한국ITS학회
The Korean Society of Intelligent Transport Systems

한국ITS학회 2024년도 추계학술대회

The 2024 Korean Society of ITS Fall Conference

ITS, Connected World

2024년 10월 24일(목) - 26일(토)

강릉 라카이샌드파인 리조트

주 최

한국ITS학회
The Korean Society of Intelligent Transport Systems

후 원

강릉시 GANGNEUNG CITY
강릉관광개발공사 Gangneung Tourism Dvlpmnt Corp.
한국도로교통공사 KOROAD
한국교통안전공단 Korea Transportation Safety Authority
한국교통연구원 KOREA TRANSPORT INSTITUTE
한국지능형교통체계협회 Intelligent Transport Society of Korea
kt
A2Z AUTONOMOUS
올포랜드
EASY TRAFFIC
티머니
GS건설
LG유플러스
SK telecom
neighbor system
대흥정보 DaehungInfor
SOUL
WAYS1 웨이즈원
(주)지앤티솔루션 www.gntsolution.com
현대건설
대우건설
STraffic
MONIC Maximum Quality-Based Electronic
OSCO
TRACOM
보광토탈ENG(주)

문의처 www.kits.or.kr Tel. 02.3413-0041~2 E-mail. info@kits.or.kr

의 의
"This work was supported by the Korean Federation of Science and Technology Societies(KOFST) Grant funded by the Korean Government."

환영사

존경하는 한국ITS학회 회원 여러분!

우리나라 지능형교통체계와 스마트 모빌리티 분야의 최대 학술모임인 한국ITS학회는 2024년 한국ITS학회 추계학술대회를 솔향 가득한 아름다운 도시 강릉시에서 성황리에 개최하게 된 것을 회원 여러분, 회원사, 그리고 참여해 주시는 모든 분과 함께 진심으로 기쁘게 생각합니다. 특히 강릉시는 2026년 ITS 세계총회를 개최하는 장소로 더욱 큰 의미를 지니고 있습니다.

이번 추계학술대회는 'ITS, Connected World'라는 주제로 관련 연구개발 현황을 살펴보고 앞으로 나아갈 방향과 새로운 연구개발 주제를 모색할 좋은 기회가 될 것으로 기대합니다. 최근 ITS 분야에서는 인공지능(AI)과 빅데이터 기술의 발전으로 인해 데이터 기반의 효율적인 스마트 교통 시스템 운영 및 스마트 모빌리티 서비스가 가속화되고 있으며, 궁극적으로 디지털 전환에 크게 기여하고 있습니다. 특히, 5G와 같은 초고속 통신망을 통한 차량 간의 실시간 정보 공유는 물론 차세대 지능형교통시스템(C-ITS)의 고도화를 통해 자율주행차량의 안전성과 신뢰성을 크게 높일 것입니다. 이러한 기술을 기반으로 교통 시스템의 통합과 최적화를 통해 교통 혼잡 완화는 물론 사고 예방에 기여하며, 더 나아가 세계를 하나로 연결하는 스마트 시티 구축과 지속 가능한 발전에 중요한 역할을 하게 될 것입니다.

우리는 단순한 ITS 기술 발전에 그치지 않고, 다양한 이해관계자와의 협력을 통해 지속 가능한 교통 시스템과 스마트 모빌리티를 실현해야 합니다. 이를 위해 현재 미국 National Academy of Engineering의 회원이신 Georgia Institute of Technology의 Patricia L. Mokhtarian 교수님께서 "How will autonomous vehicles affect travel time use and subsequent travel-related choices?"라는 주제의 기조연설을 준비해 주셨습니다. 이 발표는 자율주행차가 우리의 이동 패턴과 선택에 어떻게 변화시킬지에 대한 향후 연구 방향을 제시하는 중요한 기회가 될 것입니다.

또한, 강릉시 김홍규 시장님의 환영사와 더불어 주호영 국회부의장님, 강릉시 권성동 국회의원님, 한국교통안전공단 정용식 이사장님, 한국도로교통공단 서범규 이사장님, 한국교통연구원 김영찬 원장님, 경찰대학 이인상 치안정책연구소장님, 한국지능형교통체계협회 허청회 회장님께서 축사해 주시어 학술대회를 더욱 빛내주십니다.

이번 학술대회에서는 일반 세션과 포스터 세션을 통해 약 200편의 연구논문 발표가 있을 예정이며, 약 30개의 특별 세션과 15개의 ITS 및 스마트 모빌리티 업체의 전시 부스를 통해 기업, 정부 산하기관, 국책 연구원, 대학 연구소 등에서 수행한 ITS 분야 연구와 사업을 소개하고 그간의 성과를 공유하며 향후 연구를 위한 협업 체계를 공고히 할 것입니다. 특히, 학부생 논문 발표 세션, 한국지능형교통체계협회의 지자체 ITS 세션, 그리고 롯데이노베이터(주)의 자율주행차 시연이 함께

열릴 예정입니다.

세계 ITS의 중심 도시 강릉시에서 열리는 이번 추계학술대회의 다양한 학술 프로그램에 적극적으로 참여하시어 연구자 간의 연구 성과를 공유하고 학문적 식견을 넓히는 기회가 되기를 기원합니다. 우리나라 ITS와 스마트 모빌리티 기술이 전 세계의 변화를 주도하고 더욱 발전할 수 있는 계기가 되기를 바라며, 학회 회원 여러분의 적극적인 참여와 건승을 기원합니다.

감사합니다.

한국ITS학회 회장 추 상 호

2024년 추계학술대회 위원회 명단

조직위원회

- 위 원 장 : 권장우(인하대학교)
- 부위원장 : 도명식(한밭대학교), 서동환(한국해양대학교), 장일준(가천대학교), 장기태(한국과학기술원)
- 위　　원 : 김회경(동아대학교), 박동주(서울시립대학교), 박만복(한국교통대학교), 박제진(전남대학교), 박호철(명지대학교), 성주현(한국해양대학교), 신강원(경성대학교), 오철(한양대학교), 원종훈(인하대학교), 윤일수(아주대학교), 이건우(한양대학교), 홍정열(계명대학교)

학술위원회

- 위 원 장 : 김동규(서울대학교)
- 부위원장 : 김인희(한국과학기술원)
- 위　　원 : 김기천(건국대학교), 김선영(국립군산대학교), 김의진(아주대학교), 권오훈(계명대학교), 김정화(경기대학교), 김현미(한국항공대학교), 박준영(한양대학교), 변지혜(서울시립대학교), 소재현(아주대학교), 송태진(충북대학교), 안우영(국립공주대학교), 이향숙(인천대학교), 장기태(한국과학기술원), 정연식(영남대학교), 정재훈(국립군산대학교)

2024년 추계학술대회 프로그램

일시 : 2024년 10월 24일(목)

발표장	라카이볼룸 I	한송	샌드파인	천연1	천연2	호해1	호해2	해운1	해운2	
12:00–17:00	등록		특별세션 A-0 (인천연구원) 11:00~12:30	등록						
13:00–14:30	특별세션 A-1 (ITSK-1) 능동적 교통사고 예방 및 대응을 위한 자율주행 순찰 서비스 개발	특별세션 A-2 (ITSK-2) 지자체 ITS 구축성과 및 향후 발전 방향 모색	특별세션 A-3 (한국도로교통공단-3) 국내 자율주행 시범운영 실태 및 안전성 확보 방안	특별세션 A-4 (서울대학교) 센서 음영 구간에서의 교통 정보 생성 및 플랫폼 개발	특별세션 A-5 (한국교통안전공단-2) 교통수단 다양화에 대응한 연구범위의 확장	특별세션 A-6 (아주대학교) 화물차 과적 · 적재불량 검지기술 개발 및 법제도 개선방향 모색	특별세션 A-7 (대구교통공사) 자율주행 기술 협업 및 미래모빌리티 사업의 성공 전략 모색	특별세션 A-8 (한국지방행정연구원 지방투자사업관리센터) 지방투자사업 타당성 조사 교통부문	특별세션 A-9 (㈜아이티텔레콤, 아이나비시스템즈) 레벨 4 자율주행 차량의 주변 환경 및 인지 증강 정보 융합 기반 협력 제어 기술 개발 현황	포스터 세션 및 부스전시
14:30–14:40	Coffee Break									
14:40–16:10	특별세션 B-1 (한국교통연구원-1) 제5차 광역교통시행계획 지방 대도시권 추진 방향	특별세션 B-2 (한국교통안전공단-1) V2X 보안 및 통신기술 융합	특별세션 B-3 (한양대학교) 다중 모빌리티 수단에 대한 이용자의 잠재선호 분석 툴 개발	특별세션 B-4 (한국교통연구원-3) 모빌리티 빅데이터 기반의 Connected World	특별세션 B-5 (한국도로교통공단-1) 교통안전연구 연구윤리세미나	특별세션 B-6 (한국교통연구원-2) 민자도로 효율성 제고 방안	특별세션 B-7 (한국도로교통공단-2) 고위험 운전자 교통사고 예방을 위한 면허제도 및 교육 개선 방안	특별세션 B-8 (한국건설기술연구원) 자율주행 리빙랩 구축 및 운영방안	특별세션 B-9 (한국철도기술연구원, 서울시립대학교) TRIPS 프로그램을 활용한 해외 협력 연구 및 활용 방안 논의	
16:10–16:30	Coffee Break									
16:30–17:00	▶개회식 • 개회사: 추상호(한국ITS학회장) • 환영사: 강릉시 김홍규 시장 • 축 사: 주호영 국회부의장, 권성동 국회의원, 한국교통안전공단 정용식 이사장, 한국도로교통공단 서범규 이사장, 한국교통연구원 김영찬 원장, 차한정책연구소 이인상 소장, 한국지능형교통체계협회 허청회 회장 ▶수원시 ITS아태총회 홍보 ▶강릉시홍보									
17:00–17:30	▶기조연설 • How will autonomous vehicles affect travel time use and subsequent travel-related choices? –Patricia L. Mokhtarian 교수 (Georgia Institute of Technology)									
17:30–18:00	▶정기총회									
18:00	▶만찬									

일시 : 2024년 10월 25일(금)

발표장	라카이볼룸 I	한송	샌드파인	천연1	천연2	호해1	호해2	해운1	해운2	
9:30–16:00	등 록									
09:30–11:00	특별세션 C-1 (국토교통 DNA플러스 융합기술대학원 사업단)	특별세션 C-2 (한국전자통신연구원) 교통량 기반 지능형 교통정보 관제기술	특별세션 C-3 (ITSK-3) Lv 4/4+ 자율주행 데이터 상호호환성 확보를 위한 표준데이터 체계	연구논문세션 A-1 ITS(Ⅰ)	연구논문세션 A-2 ITS(Ⅱ)	연구논문세션 A-3 자율주행(Ⅰ)	연구논문세션 A-4 자율주행(Ⅱ)	연구논문세션 A-5 교통안전(Ⅰ)	연구논문세션 A-6 공유교통	
11:00–11:10	Coffee Break									
11:10–12:40	특별세션 C-1 (국토교통 DNA플러스 융합기술대학원 사업단)	특별세션 C-4 (인천대학교 · 교통물류전략연구소) 스마트 첨단 물류시스템	특별세션 C-5 (학부생세션)	특별세션 C-6 ((주)노비) 친환경 ITS를 확대를 위한 교통에너지 신기술 개발 및 안전 확보 방안	연구논문세션 B-1 ITS(Ⅲ)	연구논문세션 B-2 (한국교통안전공단) 자율주행(Ⅲ)	연구논문세션 B-3 (아주대학교) 자율주행(Ⅳ)	연구논문세션 B-4 (ITSK-3) 교통안전(Ⅱ)	연구논문세션 B-5 (유아이네트웍스) 교통계획	포스터 세션 및 부스전시
12:40–13:30	중식									
13:30–15:00		특별세션 D-1 (한국전자기술연구원) 가상 시뮬레이션 환경 기반 자율주행 검증 기술	특별세션 D-2 (삼성교통안전 문화연구소) Lv.2~Lv.4 자율주행 안전성 이슈 및 발전방안	연구논문세션 C-1 교통 빅데이터(Ⅰ)	연구논문세션 C-2 인공지능(Ⅰ)	연구논문세션 C-3 자율주행(Ⅴ)	연구논문세션 C-4 English Presentation	연구논문세션 C-5 교통안전(Ⅲ)	연구논문세션 C-6 교통안전(Ⅳ)	
15:00–15:10	Coffee Break									
15:10–16:40				연구논문세션 D-1 모빌리티	연구논문세션 D-2 스마트시티	연구논문세션 D-3 교통 빅데이터(Ⅱ)	연구논문세션 D-4 인공지능(Ⅱ)	연구논문세션 D-5 탄소중립 및 탕재		

일시 : 2024년 10월 26일(토)

시간	내용
9:30–11:50	학회 워크샵 및 세미나
12:20–13:30	중식

PROGRAM

특별 Session 24일 11:00–12:30

특별 Session A-0 인천연구원 발표장 : 샌드파인

주제 : 교통정책고도화를 위한 빅데이터 활용 연구(인천시 및 수도권을 중심으로)

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	통신빅데이터 기반 ITS 활용방안	SK텔레콤	최찬영
2	공공부문 이동 빅데이터 활용 및 발전 방안	경기연구원	김지윤
3	친환경 자동차 충전시설 이용현황분석	홍익대학교	김수재
좌장	정동재(인천연구원)		
토론	김도경(서울시립대학교), 신성일(서울연구원), 이창훈(자율주행기술개발혁신사업단), 정동재(인천연구원), 이태현(인천연구원)		

특별 Session 24일 13:00–14:30

특별 Session A-1 한국지능형교통체계협회 발표장: 라카이볼룸1

주제 : 능동적 교통사고 예방 및 대응을 위한 자율주행 순찰 서비스 개발

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	자율주행 순찰서비스 정의 및 아키텍처 개발	한국지능형교통체계협회	장기훈
2	자율주행 순찰서비스 관련 법제도	한국도로교통공단	심태일
3	자율주행 순찰 서비스 운영/관리 체계	한국도로교통공단	권민수
4	자율주행 순찰차 디스패치를 위한 전략 구성	아주대학교	박하늘
좌장	장기훈(한국지능형교통체계협회)		
토론	김정완(국토교통과학기술진흥원), 김정화(경기대학교), 방수혁(한국교통연구원), 송문형(한국자동차연구원), 윤윤기(지능형자동차부품진흥원)		

특별 Session A-2 한국지능형교통체계협회 발표장: 한송

주제 : 지자체 ITS 구축성과 및 향후 발전 방향 모색

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	지자체 ITS 효과 및 성과 관리 방안	ITS Korea	
2	경기도 교통빅데이터플랫폼 도입 및 운영 사례	경기도 교통정보과	
3	도민의 편리한 이동 보장, 스마트 교통서비스 혁신 사례	경기교통공사	
4	안양시 자율주행버스 ITS 연계통합 방안	안양시청	
5	교통안전을 위한 우회전 보행자 알림이 구축 사례	시흥시청	

특별 Session A-3 한국도로교통공단

발표장: 샌드파인

주제 : 국내 자율주행 시범운영 실태 및 안전성 확보 방안

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	자율주행 대중교통 판타G버스 운영사례 및 시사점	차세대융합기술연구원	임경일
2	서울시 자율주행 시범운행지구의 운영성과와 발전방향	서울연구원	정영제
3	자율주행 지정노선 중형버스 시범운영 지역 현장 점검	한국도로교통공단	류준범
좌장	류준범(한국도로교통공단)		
토론	박민주(한남대학교), 박준영(한양대학교), 여지호(가천대학교), 윤규근(서울대학교)		

특별 Session 24일 13:00–14:30

특별 Session A-4 서울대학교

발표장: 천연1

주제 : 센서 음영 구간에서의 교통 정보 생성 및 플랫폼 개발

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	고속도로 센서 미설치 구간 교통정보 생성을 위한 멀티모달 딥러닝 개발 및 적용	아주대학교	김의진
2	LAON AT-EVL System(Any Time Every Vehicle Location)	라온로드	박수민
3	네트워크 수준 교통제어전략의 실시간 평가를 위한 디지털 트윈 플랫폼 개발	서울대학교	윤현수
좌장	김동규(서울대)		
토론	김진희(연세대), 소재현(아주대), 권오훈(계명대), 박호철(명지대), 도우석(계명대), 조신형(서울시립대), 이현석(한국도로공사 도로교통연구원), 장경욱(모빌인포매틱스)		

특별 Session A-5 한국교통안전공단

발표장: 천연2

주제 : 교통수단 다양화에 대응한 연구범위의 확장

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	교통수단별 운전행태에 대한 고찰(교통문화실태조사)	한국교통안전공단	박지원
2	교통수단별 이용행태 변화에 대한 고찰	한국교통안전공단	이창훈
3	교통수단별 주행거리 지표 개발에 관한 연구	한국교통안전공단	김용환
4	쉐어링 교통수단 증가에 따른 운전자격 확인체계 구축에 관한 연구	한국교통안전공단	이유라
5	뉴-모빌리티수단의 평가체계 구축 방안 연구	한국교통안전공단	권지은
좌장	강희찬(한국교통안전공단)		
토론	김인희(KAIST), 남백(LG유플러스), 홍성민(화성시)		

특별 Session A-6 아주대학교

발표장: 호해1

주제 : 화물차 과적 및 적재불량 검지기술 개발 및 법제도 개선방향 모색

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	AI데이터 중심의 화물차 운송안전 향상기술 개발 연구	㈜유디엔에스	김종우
2	공용도로 테스트베드에서 고속축중기를 이용한 화물차 과적 검지 및 평가	군산대학교	전병욱
3	고속 주행 중 차량 제원 자동 계측 시스템 개발	한국전자기술연구원	박용주
4	과적단속용 고속축중기 성능평가 기준 개선 방안	(재)한국건설생활환경시험연구원	김태상
5	포장관리를 위한 과적 차량 단속 최적화: 다양한 이해관계자 상호작용을 게임이론의 관점에서	한국과학기술원	이진우
6	화물차 과적 관련 현행 법제도 분석 및 개선방향	아주대학교	윤정은
좌장	유성준(도로교통공단)		
토론	김동주(경찰청), 최윤혁(한국도로공사), 박종천(한국도로공사), 장석정(한국도로공사), 한상배(화물차공제조합)		

특별 Session 24일 13:00–14:30

특별 Session A-7 대구교통공사

발표장: 호해2

주제 : 자율주행 기술 협업 및 미래모빌리티 사업의 성공 전략 모색

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	모빌리티 특화도시 조성사업 추진경과 및 발전상	대구교통공사	권현숙
2	대구 (a)DRT의 현주소와 미래 전망	대구교통공사	김동규
3	자율주행기술 관련 현안 및 전망	㈜KT	송성주
좌장	한근수(대구교통공사)		
토론	김형철(충남연구원), 김수성(대구정책연구원), 홍정열(계명대학교)		

특별 Session A-8 한국지방행정연구원 지방투자사업관리센터

발표장: 해운1

주제 : 지방투자사업 타당성조사 교통부문

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	교통부문 발전을 위한 타당성 조사 사례 분석과 제도적 개선 방안	서울시립대학교	최민제
2	지방 교통사업 특성을 고려한 지침 개정 방향	한국지방행정연구원 지방투자사업관리센터	주재문
좌장	송지영(한국지방행정연구원)		
토론	김지훈(한국지방행정연구원), 박용덕(한국지방행정연구원), 김재영(한국지방재정공제회), 한명주(경기도공공투자관리센터), 김수재(홍익대학교)		

특별 Session A-9 ㈜아이티텔레콤, 아이나비시스템즈 발표장: 해운2

주제 : 레벨 4 자율주행 차량의 주변 환경 및 인지 증강 정보 융합 기반 협력 제어 기술 개발 현황

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	레벨4 자율주행 차량의 인지증강화를 위한 LTE-V2X OBU 및 RSU	아이티텔레콤	정우진
2	음영 지역에서 시멘틱 정보를 이용한 V2X 기반 인지 확장 연구 성과	케이스랩	주경진
3	V2V 협력 주행을 위한 측위기반 고정밀지도 데이터 설계 및 구축에 대한 연구	아이나비시스템즈	김진환
4	협력형 주행 자동화 시스템 유즈케이스, 시나리오 개발	한국자동차연구원	신유영
5	V2V 기반의 CPM 메시지를 활용한 협력형 MRM 개발	공주대학교	박홍식
6	자율주행차량 경로 계획을 위한 시공간 그래프 뉴럴 네트워크 기반의 경로 예측 모델 개발	KAIST	윤진원
7	인지 음영을 고려한 자율협력주행 테스트 시나리오 정의서 개발	KAIST	엄새얀
8	음영지역에서 인지 확장을 위한 시멘틱 정보기반 객체 매칭 방법	케이스랩	주경진
좌장	황재호(아이나비시스템즈)		

특별 Session 24일 14:40-16:10

특별 Session B-1 한국교통연구원 발표장: 라카이볼룸1

주제 : 제5차 광역교통시행계획 지방 대도시권 추진 방향

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	제5차 광역교통시행계획 부산울산권 추진 방향 제언	부산연구원	이원규
2	제5차 광역교통시행계획 대구권 추진 방향 제언	대구정책연구원	김수성
3	대전권 광역교통 통행현황과 광역교통시행계획 추진 방향 제언	충남연구원	김형철
좌장	박준식(한국교통연구원)		
토론	손상훈(제주연구원), 장경욱(㈜모빌인포매틱스)		

특별 Session B-2 한국교통안전공단 발표장: 한송

주제 : V2X 보안 및 통신기술 융합

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	자율협력주행 보안 동향	한국인터넷진흥원	이용필
2	자율협력주행 인증관리체계 및 관련 법령	한국교통안전공단	김동욱
3	통합 단말장치(DTG+C-ITS) 규격 개발(안)	㈜아이티텔레콤	송재환
좌장	김동욱(한국교통안전공단)		

특별 Session B-3 한양대학교 발표장: 샌드파인

주제 : 다종 모빌리티 수단에 대한 이용자의 잠재선호 분석 툴 개발

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	통행행태 기반 통합모빌리티서비스(MaaS) 개발	한양대학교	고준호
2	전동킥보드 이용자의 경로선택 영향요인 연구: 경로이탈율을 중심으로	한양대학교	최성택
3	통합교통체계시스템 설계 및 운영방안	명지대학교	박호철
토론	이수기(한양대학교), 여지호(가천대학교), 김수재(홍익대학교), 김지윤(경기연구원), 김승훈(국토연구원)		

특별 Session B-4 한국교통연구원 발표장: 천연1

주제 : 모빌리티 빅데이터 기반의 Connected World

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	모빌리티 빅데이터 분석시스템 Data driven Smart City 구현	한국교통연구원	이숭봉
2	TS 데이터 현황 및 활용 확대 방안	한국교통안전공단	윤진수
3	증거 기반 의사결정 지원시스템 구축 전략	충북대학교	송태진
좌장	김주영(한국교통연구원)		
토론	천승훈(한국교통연구원), 김상엽(전북연구원), 이진우(한국과학기술원), 남대식(인하대학교)		

특별 Session 24일 14:40–16:10

특별 Session B-5 한국도로교통공단 발표장: 천연2

주제 : 교통안전연구 연구윤리세미나

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	생성형 AI 시대 연구윤리 논의와 학술활동의 방향	명지대학교	김태황
사회	강애라(한국도로교통공단)		

특별 Session B-6 한국교통연구원 발표장: 호해1

주제 : 민자도로 효율성 제고 방안

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	민자고속도로와 스마트톨링	한국교통연구원	정유진
2	지하도로 사업의 효과 및 쟁점 고찰	한국교통연구원	서창범
좌장	장한별(한국교통연구원)		
토론	육동형(강릉원주대학교), 구석모(한국개발연구원), 배윤경(국토연구원)		

특별 Session B-7 한국도로교통공단 발표장: 호해2

주제 : 고위험 운전자 교통사고 예방을 위한 면허제도 및 교육 개선 방안

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	조건부 운전면허제도 개선 관련 도로교통법 개정방안	한국도로교통공단	정미경
2	사업용운전자 질병-교통사고 상관성분석 및 사고예방 대응방안	삼성교통안전문화연구소	장효석
좌장	류준범(한국도로교통공단)		
토론	이준(한국교통연구원), 김정화(경기대학교), 황순천(서울시립대학교), 김의진(아주대학교)		

특별 Session B-8 한국건설기술연구원 발표장: 해운1

주제 : 자율주행 리빙랩 구축 및 운영방안

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	자율주행 리빙랩 설계 내용	동림TNS	유진우
2	자율주행 리빙랩 구축 방안	한국건설기술연구원	변상철
좌장	강경표(한국교통연구원)		
토론	이백진(국토연구원), 김재석(파주시청), 박만복(한국교통대학교), 정연식(영남대학교)		

특별 Session B-9 한국철도기술연구원, 서울시립대학교 발표장: 해운2

주제 : TRIPS 프로그램을 활용한 해외 협력 연구 및 활용 방안 논의

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	TRIPS: Introduction of Program of Evaluating the Route Adjustment Effect incorporating Smart Card Data	University of Seoul	Shin-Hyung Cho
2	User-Centric Data Analytics in Public Transportation: Monitoring, Prediction, and Planning	KTH Royal Institute of Technology	Zhenliang Ma
3	Measuring the Habitual Travel Behaviours of Public Transport Passengers Using Smart Card Data	The University of Queensland	Jiwon Kim
4	A Dynamic Choice Model to Estimate the User Cost of Crowding with Large Scale Transit Data	National University of Singapore	Prateek Bansal
좌장	Inhi Kim(KAIST)		
토론	Soyoung I. You(한국철도기술연구원), Dongkyu Oh(한국철도기술연구원), hin-Hyung Cho(서울시립대학교)		

특별 Session 25일 09:30–11:00

특별 Session C-1 국토교통 DNA플러스 융합기술대학원 사업단 발표장: 라카이볼룸1

주제 : 「국토교통 DNA플러스 융합기술대학원 육성사업」 취업지원 프로그램 (9:30–12:40)

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	국토교통 DNA플러스 융합기술대학원 소개	아주대학교	TBD
2	국토교통 DNA플러스 융합기술대학원 후속사업 추진 방향	국토교통과학기술진흥원	TBD
3	자율주행기술개발혁신사업단 및 참여기업 소개	자율주행기술개발혁신사업단	TBD
		오토노머스에이투지	조민영
		모라이	정응지
4	융복합물류사업단 및 참여기업 소개	융복합물류사업단	TBD
		트위니	김태형
		씽크포비엘	최도연
5	UAM국가전략사업단 및 참여기업 소개	UAM국가전략사업단	TBD
		한국공항공사	최한결
		대한항공	이동주
비고	(채용 설명회) 인사담당자의 기관소개, 업무특성, 근무환경 및 채용계획 등 취업 준비생이 자주 질문하는 사항을 중심으로 설명 (취업 멘토링) 취업 선배들의 성공 노하우 공유 및 애로사항 해결 등을 위한 자유로운 소통 추진		

특별 Session C-2 한국전자통신연구원 발표장: 한송

주제 : 교통량 기반 지능형 교통정보 관제기술

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	디지털트윈기반 교통 시뮬레이터와 스마트 교차로	㈜렉스젠	박찬호
2	Surveilance의 패러다임 확장: 고정형 영상감시부터 이동형 스마트 보안 모니터링까지	경북대	이종택
3	엣지-클라우드 교통영상 분석 AI 플랫폼 기술	ETRI	김광주
4	물류 환경에서 자율주행 이동체 관제 시스템	ETRI	남승우

특별 Session C-3 한국지능형교통체계협회 발표장: 샌드파인

주제 : Lv 4/4+ 자율주행 데이터 상호호환성 확보를 위한 표준데이터 체계

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	자율주행 데이터 규격화 연구 진행 현황	스페이스인사이트	송재인
2	자율주행 메타데이터 규격화 연구 진행 현황	영남대학교	임영호
3	자율주행 데이터 카탈로그 및 OID(Object Identifier) 연구 진행 현황과 표준적합성시험방법 규격화 추진 현황	한국지능형교통체계협회	차태영

특별 Session 25일 11:10–12:40

특별 Session C-4 인천대학교 · 교통물류전략연구소 발표장: 한송

주제 : 스마트 첨단 물류시스템

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	블록체인기술을 활용한 AIOT 바이오 물류 플랫폼 개발 사업	㈜옵티로	오수영
2	의약품 배송 데이터 분석을 통한 콜드체인 개선점 제시	인천대학교	이지원
3	수산물 콜드체인 도입을 위한 위판장 운영 방향성 연구	인천대학교	박영웅
4	스마트항만과 ITS, 스마트 시티로 나아가다	교통물류전략연구소	마혜민
5	미래 ITS 기술과 결합된 스마트 출판물류센터	교통물류전략연구소	김영재
좌장	이향숙(인천대학교)		
토론	윤경준(배재대학교), 남대식(인하대학교), 박준영(한양대학교), 변희복(㈜소프트퍼즐)		

특별 Session C-5 학생위원회 학부생 특별발표세션 발표장: 샌드파인

좌장 : 박준영(한양대학교) **심사위원 :** 윤규근(서울대학교), 박재홍(한국건설기술연구원)

번호	발 표 제 목	저자
1	전국 모델과 지역별 모델을 통한 교통사고 심각도 예측의 일반화 성능 비교분석	김서영, 이주영
2	자율협력주행차량 혼재시 대응을 위한 도로시설 구축 방안 연구	김채원, 김정화
3	도시 이미지를 활용한 대중교통 수요예측에 관한 연구	고은서, 박기태, 노기민, 추상호
4	자율주행차량 실사고 및 주행행태기반 베이지안 네트워크를 통한 안전성 평가	지민경, 박준영
5	지능형 교통 시스템에서 영상 기반 도로 객체 탐지 능력 강화를 위한 Mask2Former와 SAM 기반의 Out-of-Distribution 객체 탐지 연구	송정훈, 노병준
6	자전거 이동 경로 빅데이터를 활용한 통행특성 분석	추동준, 김민송, 도명식
7	라이다 기반 교통 지표 산출 방안 연구: 교통 밀도 추정 및 차량 궤적 추출을 기반으로	조성은, 소재현
8	일반화 비용 기반 도심항공교통의 수요추정 방법론 개발: 대구 신공항을 중심으로	방태원, 김근우, 도우석, 권오훈
9	실시간 버스 혼잡도 예측을 위한 BIS 개선 방안 및 예측 알고리즘 개발	박성환, 최재혁, 김주향, 이지호, 박민주

학부생 특별세션 포스터 발표

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	이용자 특성에 따른 자율주행차 이용 선호도 분석	명지대학교	박현우, 박호철
2	딥러닝 기반 고속도로 위 돌발상황 검지 알고리즘 개발	아주대학교	풍태현, 신민제, 유현일, 최민영, 윤일수
3	차량의 궤적 예측 성능 향상을 위한 Diffusion 모델 기반 차량 궤적 데이터 증강 연구	순천향대학교	진주빈, 노병준
4	자율주행차량 도입에 따른 교차로 용량 변화와 도로 다이어트 가능성 분석	서울시립대학교	문경준, 변지혜, 이승현
5	양문형 버스 도입을 통한 BRT 정류장의 효율적 이용방안	동아대학교	이재민, 윤민옥, 김회경
6	실도로 자율주행 데이터 기반 회전교차로에서 자율주행차 운전 능력 평가를 위한 공간적 범위 분석	한양대학교	김승운, 오철
7	전기차 화재 사고와 직접 네트워크 효과: 온라인 여론과 판매량에 미치는 영향 분석	아주대학교	이규성, 임승유, 김의진
8	Taxonomy를 이용한 민관협력사업 도로 운영-유지관리 핵심성과지표 분류 및 특성 분석	계명대학교	손형주, 도우석, 권오훈
9	스마트카드 기반 실제 통행패턴과 대중교통 데이터 표준(GTFS)을 융합한 모빌리티 수단간 연계성 평가: GTX-A 연계교통망 확충사례를 중심으로	가천대학교	정은주, 박하현, 여지호

특별 Session 25일 11:10–12:40

특별 Session C-6 ㈜노바 발표장: 천연1

주제 : 친환경 ITS를 확대를 위한 교통에너지 신기술 개발 및 안전 확보 방안

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	친환경 ITS 도입 확대를 위한 교통에너지 신기술 개발	㈜펌프킨	최용길
2	친환경 차량 통합플랫폼 및 화재예방 시스템 개발	㈜노바	육동근
3	전기버스 도입 확대 방안	KD운송그룹	허덕행

특별 Session 25일 13:30–15:00

특별 Session D-1 한국전자기술연구원 발표장: 한송

주제 : 가상 시뮬레이션 환경 기반 자율주행 검증 기술

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	국제표준 정밀도로 지도 포맷을 활용한 자율주행 차량에 특화된 가상 도로환경 자동생성 프로세스 고도화	㈜모라이	전형석
2	자율주행 셔틀 및 택시 서비스를 위한 FMS 및 자율주행 시스템	토르드라이브	변성목
3	빅데이터 처리 프레임워크의 네이티브 연산 엔진 구조에 대한 비교 연구	KT NexR	민영근
4	디지털트윈에서의 자율주행 데이터셋을 활용한 실도로 주행 데이터 보완 및 활용	㈜모라이	전형석
5	멀티에이전트 기반 가상 환경에서의 교통 모니터링	한국전자기술연구원	성기호
6	그래픽스 엔진의 최적화를 고려한 실차 자세 데이터 기반 가상 차량 자세 추정 기법	한국전자기술연구원	성기호
7	자율주행 기술 검증용 가상환경 플랫폼에서의 IMU/GNSS 에뮬레이션	한국전자기술연구원	조용현
8	Tracker의 모델링 오차에 대한 수치적 분석 및 가상환경 플랫폼을 활용한 검증	한국전자기술연구원	조용현
9	단안깊이추정모델의 NVIDIA Orin 탑재	한국전자기술연구원	박진만
10	실시간 벡터화된 정밀 지도 생성	한국전자기술연구원	유재웅
11	주변 환경과 상호작용을 고려한 하이브리드 정밀 지도 기반 경로 예측	한국전자기술연구원	유재웅
좌장	민경원(한국전자기술연구원)		

특별 Session D-2 삼성교통안전문화연구소 발표장: 샌드파인

주제 : Lv.2~Lv.4 자율주행 안전성 이슈 및 발전방안

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	자율주행차 안전성 평가 시나리오 개발	아주대학교	고우리
2	자율주행 안전성 기술적/제도적 이슈	아주대학교	장정아
3	테슬라 자율주행기술 현황 및 시사점	삼성교통안전문화연구소	전제호
좌장	조준한(삼성교통안전문화연구소)		
토론	윤일수(아주대학교), 김동규(서울대학교), 홍정열(계명대학교), 박요한(삼성교통안전문화연구소)		

학술발표 Session Ⅰ 25일 09:30–11:00

SESSION A-1 ITS(Ⅰ)

발표장 : 천연1

좌장 : 조신형(서울시립대학교)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	실시간 교통신호정보 지연시간 측정 및 분석에 관한 연구	이승철, 권순일
2	도로용량편람을 활용한 미시교통 시뮬레이션의 신호교차로 평가지표 적정성 분석	김승리, 이철기, 최병권
3	앞막힘 제어를 위한 신호체계 알고리즘 연구	김영욱, 이선하, 천춘근, 서지영
4	DSRC를 이용한 도시부 신호 운영을 위한 정보 가공에 대한 타당성 검토	신희준, 홍영석
5	신호 연동성 평가를 위한 DSRC 및 영상검지기 기반 차량 궤적 모사	안정은, 김민지, 한여희, 김영찬

SESSION A-2 ITS(Ⅱ)

발표장 : 천연2

좌장 : 박호철(명지대학교)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	영상분석 기반 도시부도로 차량행태 특성 분석	길정원, 채준병, 권재경, 황재성, 이철기
2	고속도로 센서 미설치 구간 교통정보 추정	김태형, 민진홍, 김동규
3	연속류 내 상습 지정체 해소를 위한 시뮬레이션 기반 대응방안 연구	조민지, 이선하, 신승근, 서지영, 한지훈
4	도시부 돌발상황시 영향권 예측 모형 개발 및 검증	한재석, 차창준, 한경희, 이철기, 이상수
5	Payne-Whitham Model 기반 검지기 및 프로브 차량의 데이터 융합을 활용한 궤적 복원	최준희, 김동규

SESSION A-3 자율주행(Ⅰ)

발표장 : 호해1

좌장 : 문세동(서울대학교)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	협력 주행을 위한 차선 정보 기반 차량 상태 결정 방법	권승원, 안예찬, 주경진, 최준현, 국태용
2	저속주행 자율주행 도시환경관리 서비스 차량이 도심교통류에 미치는 영향분석	김주영, 소재현
3	Lv.3 자율주행차 상용화 대비 안전교육 효과분석 – 제어권전환을 중심으로 –	김태근, 이다례, 한다정, 배광수
4	심층 강화 학습을 통한 공사 구간 차로 변경 최적화 연구	심현섭, 박신형
5	신호등이 없는 교차로에서 차량 안내를 위한 iTransformer의 궤적 예측	정수환, 이재현, 이재훈, 이수목

학술발표 Session Ⅰ 25일 09:30–11:00

SESSION A-4 자율주행(Ⅱ)

발표장 : 호해2

좌장 : 김원열(조선대학교)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	실시간 교통신호정보 활용을 위한 데이터 표준 개발	이승철, 권순일, 서지현
2	RP-CNN을 이용한 자율주행차량 경로 예측 방법	이수행, 이지민, 문창주
3	KIS(KETI Infrastructure Stitching) Dataset:다수 엣지 기반 카메라/라이다 데이터 스티칭을 통한 인프라 데이터셋	이재원, 정혜인, 장달원, 이종설
4	다수 엣지 기반 카메라/라이다 센서 데이터 스티칭을 통한 자율주행차량 음영지역 데이터 확장 시스템	이재원, 정혜인, 장달원, 이종설
5	임베디드 시스템을 위한 PIL 기반의 군집 주행 테스트 프레임워크 구현	최형주, 문창주

SESSION A-5 교통안전(Ⅰ)

발표장 : 해운1

좌장 : 이태헌(인천연구원)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	무인단속 상습 적발자 분류 및 사고심각도 예측 연구	박동혁, 박준영, 권민정
2	고속도로 톨게이트 구간에서의 영업소 기하구조 및 교통류 특성을 고려한 실시간 사고 예측 모델 개발	박동혁, 박준영, 박현진
3	Random Parameter Multivariate Tobit Model을 활용한 상업용 차량 사고율에 영향을 미치는 요인 분석	박휘빈, 김정화, Chen TianTian
4	직진 · 우회전 공용차로 교차로 내 후행보행시간 적용에 관한 연구	오민석, 윤일수, 채희철
5	중고등학생 교통사고에 미치는 도로 환경 및 교통안전시설에 관한 연구	이상범, 안세영, 이재덕, 장일준

SESSION A-6 공유교통

발표장 : 해운2

좌장 : 김수재(홍익대학교)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	실증적 전동킥보드 속도제어 실험:제한속도 하향의 효과와 공간적 특성 재발견	권현지, 김나연, 주신혜, 강희찬, 송태진
2	공유형 전동 킥보드 이용 행태 분석: 지역별, 성별, 시간대별 이용거리를 중심으로	김영국
3	Cross-classified Multilevel 모형을 활용한 서울시 공공자전거 심야 시간대 개별 통행거리와 이용시간 영향요인 분석	박종한. 장승화, 김새힘, 김태우, 고준호
4	배달대행 서비스 초소형전기차 대여 플랫폼 경제적 타당성에 관한 연구	송인회, 김응석
5	공간 단위 수정가능성 문제 최소화를 위한 최적 공간분할 및 단위에 관한 연구	오다인, 김현명, 김의진
6	공유 전동킥보드 서비스의 이용행태 분석 – 세종시를 중심으로	이희준, 박호철

학술발표 Session Ⅱ 25일 11:10–12:40

SESSION B-1 ITS(Ⅲ)

발표장 : 천연2

좌장 : 김의진(아주대학교)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	스마트크루즈컨트롤 기반 운전모드의 연료절감 효과에 대한 실증적 연구	김은진, 박기현, 고수빈, 홍정열, 황호현, 유수재, 전우빈
2	루프 기반 경로 최적화의 계산 가속화를 위한 선형화 방법	김창영, 김근우, 장인권
3	전기회로와 도로교통 간의 유사성을 활용한 루프 기반 최단 경로 탐색법의 후처리 방안	박상훈, 김근우, 장인권
4	IoT 기반 공기오염원 측정 센서를 이용한 차량 내부 공기질 개선 및 실시간 모니터링 시스템 설계	염지환, 원희찬, 한정우, 이건희, 이학승, 국중진
5	해외 ITS 사업 및 ITS 수출 지원을 위한 표준 요구사항 분석	최지은, 김민영, 주정은

SESSION B-2 자율주행(Ⅲ)

발표장 : 호해1

좌장 : 김영국(한국교통연구원)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	자율주행차 사고분석을 위한 교통사고 조사서 및 통계원표 개선 방안 연구	강유정, 강유리, 배문수, 김천호, 김원기
2	자율주행 순찰서비스 유닛의 교통사고 현장대응 전략 수립을 위한 연구	고하영, 장기훈, 손승녀
3	자율차-일반차 혼재상황에서 돌발상황 발생시 교통운영전략 수립 – 화성시 리빙랩 도시 대상으로 –	김동우, 손영태, 전진숙, 하혜종, 정현숙
4	중요도-만족도 분석을 활용한 자율주행 대중교통 서비스 개선 우선순위 도출	김예진, 고우리, 윤일수
5	자율협력주행자동차 V2X 성능 평가항목 개발을 위한 기초 연구	김인영, 이영택, 윤일수
6	자율-비자율 혼합 차량 추종상황에서 주행행태 비교 분석	진현석, 오철

SESSION B-3 자율주행(Ⅳ)

발표장 : 호해2

좌장 : 정재훈(군산대학교)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	Transformer 모델을 활용한 암체 운전자의 나들목 끼어들기 사전 예측	김진성, 노병준
2	전통적 통계 모형을 활용한 자율주행자동차 교통사고 영향요인 분석	이요셉, 김예진, 윤일수
3	영상 기반 차선 검출 및 Stanley 제어를 통한 Lane Following System	정진우, 박준범, 임지웅, 원종훈
4	자율주행차량을 위한 통합된 교통 데이터 통신 서버 시스템	정혜인, 이재원, 장달원, 이종설
5	ICP를 통한 LiDAR 기반 차량 추적 알고리즘 정확도 개선	차승민, 임지웅, 원종훈

학술발표 Session Ⅱ 25일 11:10–12:40

SESSION B-4 교통안전(Ⅱ)

발표장 : 해운1

좌장 : 장정아(아주대학교)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	도심부 자율차 제어권 전환 발생 예측 모델 개발	김민경, 오철
2	다차로 하이패스 구간 기하구조 특성 및 교통량 변화를 고려한 해석가능 인공지능 기반 Risk Modification Function 개발	김호재, 박현진, 박준영
3	혼재 교통류에서 교통안전을 고려한 차간 주행유지 간격 도출 및 평가 – 지하고속도로를 중심으로	박근휘, 성예지, 김우원, 박준영
4	사용자 경험 기반 어린이 통학버스 만족도 및 차내 안전장치 우선순위 분석	박보현, 신강원
5	도심부 교통안전 취약지점 식별을 위한 최적의 네트워크 스크리닝 방법 연구	성예지, 박준영, 최새로나
6	주행시뮬레이션 기반 도로안전성 평가를 위한 평가지표 통합체계 개발	정아람, 오철, 조영

SESSION B-5 교통계획

발표장 : 해운2

좌장 : 김정화(경기대학교)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	UAM 도입으로 인한 서울시 내 접근성 변화에 따른 서울시 아파트 가격의 변화 예측 〈2025 한국형 도심항공교통 로드맵 실증 노선을 바탕으로〉	김규성, 김민석, 송형근, 조여린, 최성택
2	도로사업 교통수요예측오차를 고려한 기대교통량 모형 개발	김기민, 박동주
3	GTX-A 이용 희망자들의 통행시간가치 산정 연구:동탄, 운정에서의 업무통행을 중심으로	김우경, 정문서, 정진호, 허연수, 최성택
4	머신 러닝 기법을 활용한 소멸위험지역의 위험요인분석: 충청권을 대상으로	김정연, 이영헌, 도명식
5	사회경제적 맥락에 따른 통행패턴의 표본 편향 분석: 2021 NHTS와 서울시생활이동데이터 간 비교를 중심으로	김지수, 김의진
6	다수단 네트워크에서의 경로 단위 속성을 고려한 Recursive Logit 경로선택모형 구축	문세동, 장성훈, 김동규

학술발표 Session Ⅲ 25일 13:30–15:00

SESSION C-1 교통 빅데이터(Ⅰ)

발표장 : 천연1

좌장 : 윤경준(배재대학교)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	LLM 교통사고 경위 데이터 분석: 차대 자전거, 자전거대 차, 차대 보행자 관하여	강지훈, 고우리, 윤일수
2	다중 모빌리티 데이터 기반 통합 모빌리티 서비스 평가 지표 개발	김승민, 박호철
3	스마트 모빌리티 서비스 도입을 위한 이용자, 운영, 사회경제, 토지이용 특성별 버스정류장 분류	이영현, 한효림, 정용일, 송태진
4	DNN 기반 도심지 네트워크 교통상황 예측에 관한 연구	진종찬, 이경진, 윤일수
5	운전자 내 이질성을 고려한 차량 추종 행동에 대한 운전자 간 이질성의 영향	최세원, 최준희, 문세동, 김동규
6	교통분야 초거대 AI 기반 조성을 위한 승용차 및 대중교통 트립체인 데이터 구축	박유진, 구자헌, 이경재, 추상호

SESSION C-2 인공지능(Ⅰ)

발표장 : 천연2

좌장 : 여지호(가천대학교)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	Kubeflow 시스템에서 AI 모델 배포 전략: BentoML 중심으로	김동길, 정태윤
2	검색 증강 생성 기반 택배 운송장 자동 인식 고도화에 관한 연구	정연비, 김유환, 김원열
3	지식 기반 강화학습을 활용한 미시적 교통 시뮬레이션의 O-D 행렬 보정	민동규, 김동규
4	교통상황 시나리오를 고려한 강화학습 기반 TOD 신호 제어에 관한 연구	이경진, 김인영, 윤일수
5	신호 교차로에서 시야 제한이 있는 데이터를 기반으로 한 주변 차량의 궤적 예측	이승현, 김동규
6	자기 지도 학습 기반 도로 노면 포트홀 이상 탐지에 관한 연구	이석채, 정회준, 권장우

SESSION C-3 자율주행(Ⅴ)

발표장 : 호해1

좌장 : 윤규근(서울대학교)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	A Multi-Agent Driving Simulation 기반 자율주행차 주행행태 영향에 의한 비자율주행차 심리 생리적 작업부하 및 주행안전성 분석	김호선, 고지은, 오철
2	고속도로 합류 구간에서 자율주행차량간 협력/경쟁 개념 도입 연구	이유진, 박준호, 소재현
3	실시간 주행환경 분석 기반 통신 성능 모니터링 시스템	양은주, 서우창, 김봉섭, 윤경수
4	혼합 교통류 환경에서 주차 동선을 고려한 고속도로 휴게시설 주차관리전략 평가	이송하, 김우원, 박준영, 염춘호, 고주연
5	도심도로 기반 자율주행차 주행안전성 평가항목 개발	이영택, 김인영, 윤일수

학술발표 Session Ⅲ 25일 13:30–15:00

SESSION C-4 English Presentation

발표장 : 호해2

좌장 : 우수민(건국대학교)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	긴 간격 시간 경로 복원: 계층적 트랜스포머 접근법	Yonghui Liu
2	시간 가변 콕스 모델을 사용한 고급 고속도로 충돌 분석	Fangzhou Wang, Kitae Jang
3	과실 교통사고에서 고령 및 비고령 택시 운전자의 부상 심각도에 대한 시간적 불안정성 비교	Reuben Tamakloe, Mahdi Khorasani, Inhi Kim
4	동남아시아를 중심으로 한 도로 연구: 서지학 및 주제 분석	Paolo Ian Lucero, Kitae Jang
5	RFM 지표 기반의 공유 전동킥보드 서비스 이용자 세분화	추범준, 김동규
6	차량 호출 서비스에서의 주의 분산 운전: 실태, 영향 및 대응 전략	Raihan Pasha Isheka, Kitae Jang

SESSION C-5 교통안전(Ⅲ)

발표장 : 해운1

좌장 : 장경욱(모빌인포매틱스)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	교차로 건조환경 영향에 따른 유형별 교통사고 예측 모형개발:데이터 상관성 모델링 기법의 적용	곽찬호, 홍정열
2	그래프 주의 집중 네트워크를 적용한 지하철 전송 시스템 다중결함 탐지	김승하, 서동현, 권장우
3	꼬리물기 무인교통단속장비의 설치 효과 분석	도승일, 박현수, 박신형
4	차량행태 기반 교통안전시설 안전성 분석	채준병, 길정원, 권재경, 황재성, 이철기
5	속도와 교통량을 활용한 교통혼잡지표 설계 및 분석	최철원, 박호철
6	ARIMA모형을 이용한 무인교통단속장비의 단속건수 유형별 특성	한효승, 양정훈, 박재훈, 윤일수, 송태진

SESSION C-6 교통안전(Ⅳ)

발표장 : 해운2

좌장 : 도우석(계명대학교)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	우리나라 교통법규 위반 범칙금의 국제비교분석	김아람, 오주석, 김원중
2	생성 모델을 활용한 범주형-연속형 혼재 사고 데이터 증강 및 사고 심각도 추정	김은정, 김동규
3	과적단속용 고속축중기 성능평가 기준의 개선 방안	이동해, 이종석, 김태상
4	고속도로 2차 사고 심각도 영향요인 연구	박하정, 안세영, 이재덕, 정철현, 장일준
5	최고 제한속도 조정에 따른 고속도로 교통영향분석	백성채, 김태익, 박제진
6	세종특별자치시 교통사고 발생 추이와 특성	주재성, 안용준, 송양호

학술발표 Session Ⅳ 25일 15:10–16:40

SESSION D-1 모빌리티

발표장 : 천연1

좌장 : 문세동(서울대학교)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	서울시 택시 운행 효율성 개선을 위한 수요 · 공급 분석 및 최적 운행 방안 연구	양민수, 유준재, 홍정열
2	외생성 및 시 · 공간적 요인의 종합적 분석을 통한 서울시 택시 수요 예측 모형 개발	김강현, 홍정열
3	XGBoost-SHAP 모델 기반 UAM 신뢰도 영향 요인 평가: 인지된 위험 및 가치를 중심으로	김태성, 조정우, 백승한, 박진서
4	의료취약지역에서의 응급의료서비스 개선을 위한 RTC 위치 결정 및 UAM 기반 서비스 영역분석	노세영, 도명식
5	보행자 영향을 반영한 우회전 용량 일반 모델 개발	오승민, 장기태, 천경훈
6	여름 휴가기간 시내버스 감차운행과 대중교통 수요 변화	황유성, 신강원

SESSION D-2 스마트시티

발표장 : 천연2

좌장 : 최성택(한양대학교)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	데이터 분석을 통한 DRT 최적 정류소 입지 선정 및 수요 추정 프레임워크 개발 : 대구 국가산업단지를 대상으로	강승원, 권오훈, 박용진
2	분산 CCTV 환경에서의 연합학습 기반 도로 감시 시스템: 시공간 키포인트 트랜스포머 네트워크를 이용한 보행자 쓰러짐 감지	김병훈, 노병준
3	도심 환경에서 V2X 통신 위상 구조가 자율주행 차량 반응속도에 미치는 영향	김영환, 김동규
4	지역특성을 반영한 수요응답형 대중교통 서비스 OD 수요 예측 분석	장윤지, 권오훈, 여지호
5	건설자동화장비 실증분석을 통한 효율성 분석 및 활성화 방안	정유미, 도현철, 도명식
6	Pro Vision과 Digital Twin Simulation 연계 방안	최민기, 이선하, 천춘근, 김영욱

SESSION D-3 교통 빅데이터(Ⅱ)

발표장 : 호해1

좌장 : 홍정열(계명대학교)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	교통분석용 네트워크의 센트로이드 커넥터 구축 기준 개선 연구	이상규, 김희조, 김동호, 박동주
2	Savitzky-Golay 필터링을 사용한 단기 O-D 행렬 추정 개선	이의진, 민동규, 김동규
3	가구통행실태조사와 변분 오토인코더를 활용한 도시간 통행 스케줄 생성	이희창, 김동규
4	서비스 밸류체인을 통한 데이터 기반 국토교통 산업 발전 방안 분석	전희진, 박희건, 정정호, 이종우, 이승봉, 천승훈
5	스마트카드데이터 기반 자료포락분석을 활용한 수도권 지하철 환승역 효율성 평가	한은서, 박호철

학술발표 Session Ⅳ 25일 15:10–16:40

SESSION D-4 인공지능(Ⅱ)

발표장 : 호해2

좌장 : 박만복(한국교통대학교)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	교통분야에서의 대규모 언어 모델의 적용을 위한 기술 동향 분석 연구	강준희, 김수재, 김관용, 추상호
2	LLM 기반 교통사고 판결예측 시스템	민현식, 노병준
3	Visual LLM 기반 지정차로제 위반 검지	이상현, 이요셉, 윤일수
4	Video Diffusion를 활용한 차량 영상 센서 데이터 손실 보간 기법	임재균, 노병준
5	LLM 기반 화물차 적재 크기 초과 여부 판단	정한솔, 이상현, 윤일수
6	딥러닝 모델과 XAI 기법을 활용한 드론뷰 영상에서 도심 주행 차량의 차선 변경 궤적 예측 및 해석 연구	홍석준, 노병준

SESSION D-5 탄소중립 및 방재

발표장 : 해운1

좌장 : 김동규(서울대학교)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	CCTV 영상 기반 다중운집 압사사고 취약성 평가체계 연구	문시현, 박성호, 윤일수
2	작업자 안전 모니터링 시스템 개발에 관한 연구	박찬희, 오현서
3	자동차 주행거리를 활용한 교통수요모형 기반 온실가스 배출량 산정: 제주특별자치도를 대상으로	고상희, 신강원
4	국내 수송부문 온실가스 배출량 산정모형 고도화를 위한 종단경사 보정계수 개발	김진재, 김대진, 이승봉, 천승훈
5	주행거리 시계열 변화를 고려한 교통수요관리정책의 온실가스 감축 원단위 고찰	김태경, 신강원

학술발표 Poster Session 24일 ~ 25일

좌장 : 신강원(경성대학교), 정연식(영남대학교)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
ITS 1	5G-NR-V2V 센서 쉐어링 서비스 통신 성능 모니터링 도구	이신경, 송유승
ITS 2	LZ4 압축 알고리즘을 활용한 5G-NR-V2V 영상 전송 실험	김기태, 이신경, 김진우, 안경환, 박명욱, 송유승
ITS 3	가변형 적재불량 모형 장치를 이용한 적재불량 검지 평가 시나리오 설계	김성환, 최찬웅
ITS 4	레벨 4 이상의 커넥티드 자율주행 서비스를 위한 5G-NR-V2X 통신장치 실도로 성능분석	송유승, 이신경
ITS 5	경기도 빅데이터 플랫폼을 활용한 화물차 교통사고 위험구간 통행특성 분석	권영범, 이영란, 양수만
ITS 6	분기형 다이아몬드 인터체인지(DDI) 도입에 따른 교차로 운영 효율성 및 도로 서비스 수준 개선 효과 분석	김태희, 이의은
ITS 7	다중 진입 교차로 내 단일신호-복수경로에서 차량의 경로 예측	이호우, 노병준
ITS 8	2024년 ITS 분야 KS 표준화 동향 분석	주정은, 양륜호, 김재홍
ITS 9	Z세대의 이동 데이터 기반의 상권 특성 분석	박상현, 김준희, 양홍준, 최현권, 추상호, 장양중
공유교통 1	전기차 일 평균 주행거리 산정 및 내연기관차와의 비교 분석	변민우, 권오훈, 도우석, 김용환
공유교통 2	교통약자 수요응답형 대중교통 서비스 플랫폼 개발	이현준, 박찬, 서채연, 김혜진, 임애린, 정남진, 장유진, 박미예
공유교통 3	수요응답형 교통서비스(DRT) 지역별 도입전략에 관한 연구	김다현, 이종덕
공유교통 4	공유전동킥보드의 안전사고 저감을 위한 과금모델링 개발에 관한 연구	김윤성, 박제진
교통빅데이터 1	고속도로 합류 구간에서의 주행 조건에 따른 의사결정 구분 : 수치 분석을 기반으로	고은정, 장기태
교통빅데이터 2	Tagless Gate 도입에 따른 수도권 지하철 주기적 정산체계 구축방안	신성일, 박호철
교통빅데이터 3	서울시 지하철 재환승 정책에 따른 수입금 영향 분석	신성일, 남두희, 정경덕
교통빅데이터 4	대중교통 취약지역 분석을 통한 형평성 확보 방안 연구	심현섭, 박현수, 박신형
교통빅데이터 5	빅데이터 기반의 서울시 노인 무임승차와 도시철도 운영 효율성 분석	강현수, 조준현, 왕세빈, 권민지, 추상호, 장양중
교통빅데이터 6	UAM-DRT 연계 교통서비스 모델 개발 연구	김동현, 김재윤, 이동하, 박유진, 추상호, 장양중
교통빅데이터 7	손실 데이터와 데이터 대체 방법에 대한 연구	노용철, 신대교, 장준혁, 장수현
교통계획 1	미래 고속도로 물류 활동 효율화를 위한 화물차전용차로 선정 방법론	고수빈, 양민수, 홍정열
교통계획 2	수요응답형 광역 모빌리티 서비스 잠재 수요 분석 - 수원 당수 지구를 중심으로	김홍균, 이종덕, 박준식
교통계획 3	전남권 교통SOC의 주요 현안 및 개선방안	이상준
교통계획 4	대규모 복합대중교통망에 적합한 Turn Label 기반 K Loopless 경로탐색 알고리즘	이미영, 신성일
교통안전 1	교통안전시설 통합관제시스템을 위한 데이터 모델 설계	고정호, 이은진
교통안전 2	시각장애인의 이동권 보장을 위한 시각장애인용 음향신호기 기능개선 연구	이은진, 고정호
교통안전 3	긴급상황 영향권 분석 알고리즘 개발	안현준, 강지혜, 연준형, 장영제
교통안전 4	고령 화물차 운전자의 교통사고 발생 메커니즘 탐색: Mixed Logit Model과 Discriminant Analysis의 통합적 분석	김민지, 홍정열

번호	발표 주제	발표 및 제출자
교통안전 5	모바일 영상 장비로 수집된 영상 자료 활용 교통상충 분석 방향:SSM 지표 검토 중심으로	남상기, 정연식
교통안전 6	Time Series Transformer를 활용한 차량 궤적 예측	김성훈, 노병준
교통안전 7	안전한 개인형 이동장치(PM) 이용을 위한 제주형 도로환경 개선방안	양은혜, 강희찬
교통안전 8	스테레오 카메라 기반 무인 화물차 과적 단속 시스템	김윤태, 박진욱, 박용주
교통시설 1	접근로별 진입교통량을 고려한 터보형 회전교차로 도입 방안 연구	이현정, 박지수, 안우영
교통시설 2	중량정보 관리시스템 운영 방안	이치열, 김현석
교통시설 3	자중계 시스템 도입 시 이해관계자 분석 및 갈등조정방안	이치열, 김성현
교통시설 4	자중계 국내외 도입 사례	이치열, 김현석
교통시설 5	고중량 차량의 운행 관리 및 안전성 향상을 위한 자중계 시스템 도입 시 규제영향분석	김성현, 이치열
교통시설 6	자중계 시스템 도입 시 단계적 의무장착 방안	김현석, 김성현
물류 1	디지털 물류 실증 분석: 소상공인 물류 서비스 증대를 위한 V2V전략 및 효용 분석	류한별, 남대식
물류 2	편의점 물류 시스템에서 시간 창 최적화를 통한 정시 배송 및 통행 시간 최소화에 관한 연구	김용재, 강명구, 남대식
물류 3	드라이브 스루(DT)와 드론 기반 딜리버리 스루(DADT) 매장 주변의 시뮬레이션 기반 교통량 비교 분석	백경선, 노병준
물류 4	미래 UAM 노선 개발 및 서비스 운영을 위한 모빌리티 디지털트윈 개발	정은주, 박하현, 김민수, 여지호
스마트시티 1	스마트 모빌리티의 미래: 최신 통향과 미래 발전 전략	고은정, 김준석, 장기태
스마트시티 2	스마트교차로 데이터와 딥러닝 기반 영상 계수를 활용한 신호교차로 개선사례 연구	김지규, 손지언
스마트시티 3	서울시 폐교 부지 활용을 통한 지역형 및 근린형 모빌리티 허브의 입지 선정에 관한 연구	김민준, 이승재, 변지혜
인공지능 1	End to End 딥러닝 기반의 라이다 카메라 캘리브레이션	김준영, 김태형, 김봉섭, 윤경수
인공지능 2	소프트웨어 교육 플랫폼 발전을 위한 대규모 언어 모델 적용 기법에 관한 연구	김유환, 이태호, 안정우, 임동원, 정연비, 김원열
인공지능 3	거대 언어 모델(Large Language Model)을 이용한 객체 단위 통행 생성 방법 개발	심지윤, 원민수
인공지능 4	Range-Sequential Network 기반 HAR에 관한 연구	서홍일, 한윤상, 조형래, 서동환
자동차 1	전기자동차 배터리 이상 알림 긴급호출 장치 개발	김유원
자동차 2	자율주행차 이용요금추정 딥스택 인코더 전처리기 및 양방향 LSTM RNN 연구	임관수, 남두희
자동차 3	전기차용 고압/고내구 일체형 압출성형타입 에어서스펜션용 경량화부품 구조강도평가	박종경, 조규춘, 고영국, 강기원
자동차 4	모빌리티를 위한 방송망기반 고정밀 위치정보 서비스 아키텍쳐	서영우, 이용준
자율주행 1	실도로 기반 자율주행차량의 긴급차 지원 서비스	이신경, 조용우, 김주영, 송유승, 민경욱
자율주행 2	자율주행 시스템의 카메라 오류 대응을 위한 예측 데이터 생성 기술	김아람, 김인수, 박재홍
자율주행 3	ADAS 차량 운행을 대비한 고속도로 지원 방안 구상	김수희, 한동희
자율주행 4	인프라 센싱정보 융합을 위한 자율주행 전장부품 보안 설계	김인수, 김아람, 박재홍
자율주행 5	자율주행차량 테스트베드(K-City) VILS 서비스를 위한 차량 시스템 구성	박경국, 고한검, 조성우
자율주행 6	도심환경 자율주행을 위한 최소위험 매뉴버 결정 전략	안경환, 김진우, 박명욱, 김기태
자율주행 7	저해상도 라이다를 이용한 운전 가능 영역 검출 방법	유상진, 박만복
자율주행 8	정밀 지도 기반 정적 물체 회피를 위한 지역 경로 계획 및 성능 비교	이종윤, 박만복
자율주행 9	Sensor fusion 기반 차량 전면부 충돌 시스템에 대한 위험 평가	박상빈, 박만복

번호	발표 주제	발표 및 제출자
자율주행 10	경로와 차선 데이터를 이용한 저성능 GNSS 개선 방법에 대한 연구	안해주, 박만복
자율주행 11	자율주행 대중교통 서비스 수용성 분석: 판타G버스를 중심으로	김대연, 오경택, 강용신, 김형주
자율주행 12	자율주행 긴급차량을 활용한 효과적인 배회전략 수립	강지혜, 안현준, 김도연, 이진학, 김원호
자율주행 13	실내 위치 추정을 위한 LED 기반 AI 시스템	이준희, 최우성, 성명훈, 김재원, 정용규, 조소현, 우주, 정재훈
자율주행 14	악천후 조건에서 자율주행을 위한 라이다 필터링 알고리즘 조사	김지웅
자율주행 15	도로교통 인프라 모니터링 및 긴급복구 지원 서비스 기술 개발	유하나
자율주행 16	공간패턴분석을 통한 자율주행차량의 도로 유형별 제어권 전환 영향 요인 분석	박휘빈, 이은선, 신치현
자율주행 17	자율주행시스템의 설계운영영역(ODD) 관리 연구 동향	이상우, 김성훈
탄소중립 및 방재 1	고속도로 통행제한 시 사회적 교통비용 산정 방법 연구	한동희, 김수희
탄소중립 및 방재 2	한빛원전 방사능 누출 등 중대사고 발생 시 방재대책 연구	남창식, 김윤성, 박제진
탄소중립 및 방재 3	Cell Transmission Model 기반 양방향 보행 시뮬레이션 프레임워크 개발 및 최적화	이재영, 원민수
탄소중립 및 방재 4	환경 인식과 사회적 바람직성 편향이 전기차 구매에 미치는 영향	왕방주, 장기태

CONTENTS

특별 Session

특별 Session A-4 서울대학교

1. 고속도로 센서 미설치 구간 교통정보 생성을 위한 멀티모달 딥러닝 개발 및 적용 3
김의진

2. LAON AT-EVL System(Any Time Every Vehicle Location) 22
박수민

특별 Session A-6 아주대학교

1. 공용도로 테스트베드에서 고속축중기를 이용한 화물차 과적 검지 및 평가 37
전병욱, 김학수, 김창용, 김승철, 김학근, 곽성종, 강기원

2. 고속 주행 중 차량 제원 자동 계측 시스템 개발 39
박용주

3. 과적단속용 고속축중기 성능평가 기준 개선 방안 45
이동해, 이종석, 김태상

4. 포장관리를 위한 과적 차량 단속 최적화: 다양한 이해관계자 상호작용을 게임이론의 관점에서 50
정윤경, 이진우

특별 Session A-8 한국지방행정연구원 지방투자사업관리센터

1. 교통부문 발전을 위한 타당성 조사 사례 분석과 제도적 개선 방안 55
최민제

2. 지방 교통사업 특성을 고려한 지침 개정 방향 61
주재문, 송지영

특별 Session A-9 ㈜아이티텔레콤, 아이나비시스템즈

1. V2V 협력 주행을 위한 측위기반 고정밀 지도 데이터설계 및 구축에 관한 연구 77
김진환, 김봉근

2. 협력형 주행 자동화 시스템 유즈케이스, 시나리오 개발 83
신유영, 이나라, 박정태, 이용기, 유시복

3. V2V 기반의 CPM 메시지를 활용한 협력형 MRM 개발 89
박흥식, 김문식

4. 자율주행차량 경로 계획을 위한 시공간 그래프 뉴럴 네트워크 기반의 경로 예측 모델 개발 93
윤진원, 오승민, 이강훈, 장기태

5. 인지 음영을 고려한 자율협력주행 테스트 시나리오 정의서 개발 101
엄새얀, 오승민, 윤진원

6. 음영지역에서 인지 확장을 위한 시맨틱 정보기반 객체 매칭 방법 110
정민영, 주경진, 안예찬, 서동수, 국태용

특별 Session C-3 한국지능형교통체계협회

1. V2자율주행 데이터 규격화 연구 진행 현황 115
송재인

2. 자율주행 메타데이터 규격화 연구 진행 현황 143
임영호

3. 자율주행 데이터 카탈로그 및 OID(Object Identifier) 연구 진행 현황과 표준적합성시험방법 규격화 추진 현황 106
차태영

학술발표 Session Ⅰ

SESSION A-1 ITS(Ⅰ)

1. 실시간 교통신호정보 지연시간 측정 및 분석에 관한 연구 179
이승철, 권순일

2. 도로용량편람을 활용한 미시교통 시뮬레이션의 신호교차로 평가지표 적정성 분석 184
김승리, 이철기, 최병권

3. 앞막힘 제어를 위한 신호체계 알고리즘 연구 190
김영욱, 이선하, 천춘근, 서지영

4. DSRC를 이용한 도시부 신호 운영을 위한 정보 가공에 대한 타당성 검토 193
신희준, 홍영석

5. 신호 연동성 평가를 위한 DSRC 및 영상검지기 기반 차량 궤적 모사 200
안정은, 김민지, 한여희, 김영찬

SESSION A-2 ITS(Ⅱ)

1. 영상분석 기반 도시부도로 차량행태 특성 분석 205
길정원, 채준병, 권재경, 황재성, 이철기

2. 고속도로 센서 미설치 구간 교통정보 추정 210
김태형, 민진홍, 김동규

3. 연속류 내 상습 지정체 해소를 위한 시뮬레이션 기반 대응방안 연구 216
조민지, 이선하, 신승근, 서지영, 한지훈

4. 도시부 돌발상황시 영향권 예측 모형 개발 및 검증 219
한재석, 차창준, 한경희, 이철기, 이상수

5. Payne-Whitham Model 기반 검지기 및 프로브 차량의 데이터 융합을 활용한 궤적 복원 225
최준희, 김동규

SESSION A-3 자율주행(Ⅰ)

1. 협력 주행을 위한 차선 정보 기반 차량 상태 결정 방법 233
권승원, 안예찬, 주경진, 최준현, 국태용

2. 저속주행 자율주행 도시환경관리 서비스 차량이 도심교통류에 미치는 영향분석 237
김주영, 소재현

3. Lv.3 자율주행차 상용화 대비 안전교육 효과분석 – 제어권전환을 중심으로 – 240
김태근, 이다례, 한다정, 배광수

4. 심층 강화 학습을 통한 공사 구간 차로 변경 최적화 연구 246
심현섭, 박신형

5. 신호등이 없는 교차로에서 차량 안내를 위한 iTransformer의 궤적 예측 252
정수환, 이재현, 이재훈, 이수목

SESSION A-4 자율주행(Ⅱ)

1. 실시간 교통신호정보 활용을 위한 데이터 표준 개발 257
이승철, 권순일, 서지현

2. RP-CNN을 이용한 자율주행차량 경로 예측 방법 262
이수행, 이지민, 문창주

3. KIS(KETI Infrastructure Stitching) Dataset: 다수 엣지 기반 카메라/라이다 데이터 스티칭을 통한 인프라 데이터셋 267
이재원, 정혜인, 장달원, 이종설

4. 다수 엣지 기반 카메라/라이다 센서 데이터 스티칭을 통한 자율주행차량 음영지역 데이터 확장 시스템 271
이재원, 정혜인, 장달원, 이종설

5. 임베디드 시스템을 위한 PIL 기반의 군집 주행 테스트 프레임워크 구현 274
최형주, 문창주

SESSION A-5 교통안전(Ⅰ)

1. 무인단속 상습 적발자 분류 및 사고심각도 예측 연구 283
박동혁, 박준영, 권민정

2. 고속도로 톨게이트 구간에서의 영업소 기하구조 및 교통류 특성을 고려한 실시간 사고 예측 모델 개발 286
박동혁, 박준영, 박현진

3. Random Parameter Multivariate Tobit Model을 활용한 상업용 차량 사고율에 영향을 미치는 요인 분석 289
박휘빈, 김정화, Chen TianTian

4. 직진·우회전 공용차로 교차로 내 후행보행시간 적용에 관한 연구 295
오민석, 윤일수, 채희철

5. 중고등학생 교통사고에 미치는 도로 환경 및 교통안전시설에 관한 연구 305
이상범, 안세영, 이재덕, 장일준

SESSION A-6 공유교통

1. 실증적 전동킥보드 속도제어 실험: 제한속도 하향의 효과와 공간적 특성 재발견 313
권현지, 김나연, 주신혜, 강희찬, 송태진

2. 공유형 전동 킥보드 이용 행태 분석: 지역별, 성별, 시간대별 이용거리를 중심으로 321
김영국

3. Cross-classified Multilevel 모형을 활용한 서울시 공공자전거 심야 시간대 개별 통행거리와 이용시간 영향요인 분석 326
박종한, 장승화, 김새힘, 김태우, 고준호

4. 배달대행 서비스 초소형전기차 대여 플랫폼 경제적 타당성에 관한 연구 329
송인회, 김응석

5. 공간 단위 수정가능성 문제 최소화를 위한 최적 공간분할 및 단위에 관한 연구 333
오다인, 김현명, 김의진

6. 공유 전동킥보드 서비스의 이용행태 분석 – 세종시를 중심으로 338
이희준, 박호철

학술발표 Session Ⅱ

SESSION B-1 ITS(Ⅲ)

1. 스마트크루즈컨트롤 기반 운전모드의 연료절감 효과에 대한 실증적 연구 349
김은진, 박기현, 고수빈, 홍정열, 황호현, 유수재, 전우빈

2. 루프 기반 경로 최적화의 계산 가속화를 위한 선형화 방법 355
김창영, 김근우, 장인권

3. 전기회로와 도로교통 간의 유사성을 활용한 루프 기반 최단 경로 탐색법의 후처리 방안 358
박상훈, 김근우, 장인권

4. IoT 기반 공기오염원 측정 센서를 이용한 차량 내부 공기질 개선 및 실시간 모니터링 시스템 설계 364
염지환, 원희찬, 한정우, 이건희, 이학승, 국중진

5. 해외 ITS 사업 및 ITS 수출 지원을 위한 표준 요구사항 분석 367
최지은, 김민영, 주정은

SESSION B-2 자율주행(Ⅲ)

1. 자율주행차 사고분석을 위한 교통사고 조사서 및 통계원표 개선 방안 연구 375
강유정, 강유리, 배문수, 김천호, 김원기

2. 자율주행 순찰서비스 유닛의 교통사고 현장대응 전략 수립을 위한 연구 381
고하영, 장기훈, 손승녀

3. 자율차-일반차 혼재상황에서 돌발상황 발생시 교통운영전략 수립 – 화성시 리빙랩 도시 대상으로 – 388
김동우, 손영태, 전진숙, 하헤종, 정현숙

4. 중요도-만족도 분석을 활용한 자율주행 대중교통 서비스 개선 우선순위 도출 393
김예진, 고우리, 윤일수

5. 자율협력주행자동차 V2X 성능 평가항목 개발을 위한 기초 연구 398
김인영, 이영택, 윤일수

6. 자율-비자율 혼합 차량 추종상황에서 주행행태 비교 분석 401
진현석, 오철

SESSION B-3 자율주행(Ⅳ)

1. Transformer 모델을 활용한 암체 운전자의 나들목 끼어들기 사전 예측 409
   김진성, 노병준
2. 전통적 통계 모형을 활용한 자율주행자동차 교통사고 영향요인 분석 413
   이요셉, 김예진, 윤일수
3. 영상 기반 차선 검출 및 Stanley 제어를 통한 Lane Following System 416
   정진우, 박준범, 임지웅, 원종훈
4. 자율주행차량을 위한 통합된 교통 데이터 통신 서버 시스템 420
   정혜인, 이재원, 장달원, 이종설
5. ICP를 통한 LiDAR 기반 차량 추적 알고리즘 정확도 개선 424
   차승민, 임지웅, 원종훈

SESSION B-4 교통안전(Ⅱ)

1. 도심부 자율차 제어권 전환 발생 예측 모델 개발 431
   김민경, 오철
2. 다차로 하이패스 구간 기하구조 특성 및 교통량 변화를 고려한 해석가능 인공지능 기반 Risk Modification Function 개발 437
   김호재, 박현진, 박준영
3. 혼재 교통류에서 교통안전을 고려한 차간 주행유지 간격 도출 및 평가 – 지하고속도로를 중심으로 441
   박근휘, 성예지, 김우원, 박준영
4. 사용자 경험 기반 어린이 통학버스 만족도 및 차내 안전장치 우선순위 분석 444
   박보현, 신강원
5. 도심부 교통안전 취약지점 식별을 위한 최적의 네트워크 스크리닝 방법 연구 450
   성예지, 박준영, 최새로나
6. 주행시뮬레이션 기반 도로안전성 평가를 위한 평가지표 통합체계 개발 452
   정아람, 오철, 조영

SESSION B-5 교통계획

1. UAM 도입으로 인한 서울시 내 접근성 변화에 따른 서울시 아파트 가격의 변화 예측 〈2025 한국형 도심항공교통 로드맵 실증 노선을 바탕으로〉 461
   김규성, 김민석, 송형근, 조여린, 최성택
2. 도로사업 교통수요예측오차를 고려한 기대교통량 모형 개발 468
   김기민, 박동주
3. GTX-A 이용 희망자들의 통행시간가치 산정 연구: 동탄, 운정에서의 업무통행을 중심으로 474
   김우경, 정문서, 정진호, 허연수, 최성택
4. 머신 러닝 기법을 활용한 소멸위험지역의 위험요인분석: 충청권을 대상으로 481
   김정연, 이영헌, 도명식
5. 사회경제적 맥락에 따른 통행패턴의 표본 편향 분석: 2021 NHTS와 서울시생활이동데이터 간 비교를 중심으로 483
   김지수, 김의진
6. 다수단 네트워크에서의 경로 단위 속성을 고려한 Recursive Logit 경로선택모형 구축 489
   문세동, 장성훈, 김동규

학술발표 Session Ⅲ

SESSION C-1 교통 빅데이터(Ⅰ)

1. LLM 교통사고 경위 데이터 분석: 차대 자전거, 자전거대 차, 차대 보행자 관하여 499
   강지훈, 고우리, 윤일수
2. 다중 모빌리티 데이터 기반 통합 모빌리티 서비스 평가 지표 개발 503
   김승민, 박호철
3. 스마트 모빌리티 서비스 도입을 위한 이용자, 운영, 사회경제, 토지이용 특성별 버스정류장 분류 510
   이영현, 한효림, 정용일, 송태진
4. DNN 기반 도심지 네트워크 교통상황 예측에 관한 연구 517
   진종찬, 이경진, 윤일수
5. 운전자 내 이질성을 고려한 차량 추종 행동에 대한 운전자 간 이질성의 영향 521
   최세원, 최준희, 문세동, 김동규
6. 교통분야 초거대 AI 기반 조성을 위한 승용차 및 대중교통 트립체인 데이터 구축 527
   박유진, 구자헌, 이경재, 추상호

SESSION C-2 인공지능(Ⅰ)

1. Kubeflow 시스템에서 AI 모델 배포 전략: BentoML 중심으로 535
   김동길, 정태윤
2. 검색 증강 생성 기반 택배 운송장 자동 인식 고도화에 관한 연구 537
   정연비, 김유환, 김원열
3. 지식 기반 강화학습을 활용한 미시적 교통 시뮬레이션의 O-D 행렬 보정 539
   민동규, 김동규
4. 교통상황 시나리오를 고려한 강화학습 기반 TOD 신호 제어에 관한 연구 546
   이경진, 김인영, 윤일수
5. 신호 교차로에서 시야 제한이 있는 데이터를 기반으로 한 주변 차량의 궤적 예측 549
   이승현, 김동규
6. 자기 지도 학습 기반 도로 노면 포트홀 이상 탐지에 관한 연구 555
   이석채, 정회준, 권장우

SESSION C-3 자율주행(Ⅴ)

1. A Multi-Agent Driving Simulation 기반 자율주행차 주행행태 영향에 의한 비자율주행차 심리 생리적 작업부하 및 주행안전성 분석 561
   김호선, 고지은, 오철
2. 고속도로 합류 구간에서 자율주행차량간 협력/경쟁 개념 도입 연구 568
   이유진, 박준호, 소재현
3. 실시간 주행환경 분석 기반 통신 성능 모니터링 시스템 574
   양은주, 서우창, 김봉섭, 윤경수
4. 혼합 교통류 환경에서 주차 동선을 고려한 고속도로 휴게시설 주차관리전략 평가 576
   이송하, 김우원, 박준영, 염춘호, 고주연
5. 도심도로 기반 자율주행차 주행안전성 평가항목 개발 581
   이영택, 김인영, 윤일수

SESSION C-4 English Presentation

1. **긴 간격 시간 경로 복원: 계층적 트랜스포머 접근법** 589
   Yonghui Liu
2. **시간 가변 콕스 모델을 사용한 고급 고속도로 충돌 분석** 595
   왕방주(Fangzhou Wang), 장기태
3. **과실 교통사고에서 고령 및 비고령 택시 운전자의 부상 심각도에 대한 시간적 불안정성 비교** 602
   Reuben Tamakloe, Mahdi Khorasani, Inhi Kim
4. **동남아시아를 중심으로 한 도로 연구: 서지학 및 주제 분석** 608
   Paolo Ian Lucero, Kitae Jang
5. **RFM 지표 기반의 공유 전동킥보드 서비스 이용자 세분화** 619
   추범준, 김동규
6. **차량 호출 서비스에서의 주의 분산 운전: 실태, 영향 및 대응 전략** 625
   Raihan Pasha Isheka, Kitae Jang

SESSION C-5 교통안전(Ⅲ)

1. **교차로 건조환경 영향에 따른 유형별 교통사고 예측 모형개발: 데이터 상관성 모델링 기법의 적용** 633
   곽찬호, 홍정열
2. **그래프 주의 집중 네트워크를 적용한 지하철 전송 시스템 다중결함 탐지** 639
   김승하, 서동현, 권장우
3. **꼬리물기 무인교통단속장비의 설치 효과 분석** 644
   도승일, 박현수, 박신형
4. **차량행태 기반 교통안전시설 안전성 분석** 650
   채준병, 길정원, 권재경, 황재성, 이철기
5. **속도와 교통량을 활용한 교통혼잡지표 설계 및 분석** 655
   최철원, 박호철
6. **ARIMA모형을 이용한 무인교통단속장비의 단속건수 유형별 특성** 663
   한효승, 양정훈, 박재훈, 윤일수, 송태진

SESSION C-6 교통안전(Ⅳ)

1. **우리나라 교통법규 위반 범칙금의 국제비교분석** 667
   김아람, 오주석, 김원중
2. **생성 모델을 활용한 범주형-연속형 혼재 사고 데이터 증강 및 사고 심각도 추정** 673
   김은정, 김동규
3. **과적단속용 고속축중기 성능평가 기준의 개선 방안** 683
   이동해, 이종석, 김태상
4. **고속도로 2차 사고 심각도 영향요인 연구** 688
   박하정, 안세영, 이재덕, 정철현, 장일준
5. **최고 제한속도 조정에 따른 고속도로 교통영향분석** 690
   백성채, 김태익, 박제진
6. **세종특별자치시 교통사고 발생 추이와 특성** 692
   주재성, 안용준, 송양호

학술발표 Session Ⅳ

SESSION D-1 모빌리티

1. 서울시 택시 운행 효율성 개선을 위한 수요·공급 분석 및 최적 운행 방안 연구 703
양민수, 유준재, 홍정열

2. 외생성 및 시·공간적 요인의 종합적 분석을 통한 서울시 택시 수요 예측 모형 개발 709
김강현, 홍정열

3. XGBoost-SHAP 모델 기반 UAM 신뢰도 영향 요인 평가: 인지된 위험 및 가치를 중심으로 715
김태성, 조정우, 백승한, 박진서

4. 의료취약지역에서의 응급의료서비스 개선을 위한 RTC 위치 결정 및 UAM 기반 서비스 영역분석 721
노세영, 도명식

5. 보행자 영향을 반영한 우회전 용량 일반 모델 개발 723
오승민, 장기태, 천경훈

6. 여름 휴가기간 시내버스 감차운행과 대중교통 수요 변화 730
황유성, 신강원

SESSION D-2 스마트시티

1. 데이터 분석을 통한 DRT 최적 정류소 입지 선정 및 수요 추정 프레임워크 개발: 대구 국가산업단지를 대상으로 737
강승원, 권오훈, 박용진

2. 분산 CCTV 환경에서의 연합학습 기반 도로 감시 시스템: 시공간 키포인트 트랜스포머 네트워크를 이용한 보행자 쓰러짐 감지 743
김병훈, 노병준

3. 도심 환경에서 V2X 통신 위상 구조가 자율주행 차량 반응속도에 미치는 영향 747
김영환, 김동규

4. 지역특성을 반영한 수요응답형 대중교통 서비스 OD 수요 예측 분석 754
장윤지, 권오훈, 여지호

5. 건설자동화장비 실증분석을 통한 효율성 분석 및 활성화 방안 761
정유미, 도현철, 도명식

6. Pro Vision과 Digital Twin Simulation 연계 방안 763
최민기, 이선하, 천춘근, 김영욱

SESSION D-3 교통 빅데이터(Ⅱ)

1. 교통분석용 네트워크의 센트로이드 커넥터 구축 기준 개선 연구 769
이상규, 김희조, 김동호, 박동주

2. Savitzky-Golay 필터링을 사용한 단기 O-D 행렬 추정 개선 776
이의진, 민동규, 김동규

3. 가구통행실태조사와 변분 오토인코더를 활용한 도시간 통행 스케줄 생성 782
이희창, 김동규

4. 서비스 밸류체인을 통한 데이터 기반 국토교통 산업 발전 방안 분석 788
전희진, 박희건, 정정호, 이종우, 이승봉, 천승훈

5. 스마트카드데이터 기반 자료포락분석을 활용한 수도권 지하철 환승역 효율성 평가 794
한은서, 박호철

SESSION D-4 인공지능(Ⅱ)

1. 교통분야에서의 대규모 언어 모델의 적용을 위한 기술 동향 분석 연구 805
강준희, 김수재, 김관용, 추상호

2. LLM 기반 교통사고 판결예측 시스템 811
민현식, 노병준

3. Visual LLM 기반 지정차로제 위반 검지 817
이상현, 이요셉, 윤일수

4. Video Diffusion를 활용한 차량 영상 센서 데이터 손실 보간 기법 822
임재균, 노병준

5. LLM 기반 화물차 적재 크기 초과 여부 판단 824
정한솔, 이상현, 윤일수

6. 딥러닝 모델과 XAI 기법을 활용한 드론뷰 영상에서 도심 주행 차량의 차선 변경 궤적 예측 및 해석 연구 830
홍석준, 노병준

SESSION D-5 탄소중립 및 방재

1. CCTV 영상 기반 다중운집 압사사고 취약성 평가체계 연구 835
문시현, 박성호, 윤일수

2. 작업자 안전 모니터링 시스템 개발에 관한 연구 842
박찬희, 오현서

3. 자동차 주행거리를 활용한 교통수요모형 기반 온실가스 배출량 산정: 제주특별자치도를 대상으로 847
고상희, 신강원

4. 국내 수송부문 온실가스 배출량 산정모형 고도화를 위한 종단경사 보정계수 개발 853
김진재, 김대진, 이승봉, 천승훈

5. 주행거리 시계열 변화를 고려한 교통수요관리정책의 온실가스 감축 원단위 고찰 857
김태경, 신강원

센서 음영 구간에서의 교통 정보 생성 및 플랫폼 개발

특별 Session A-4

서울대학교

고속도로 센서 미설치 구간 교통정보 생성을 위한 멀티모달 딥러닝 개발 및 적용
김의진

LAON AT-EVL System(Any Time Every Vehicle Location)
박수민

0 | CONTENTS

1 INTRODUCTION
- 과업의 필요성
- 1차년도와 2차년도 목표

2 MODEL
- 2차년도 모델의 구조
- 시뮬레이션 데이터 추출
- 추가적인 모델 실험

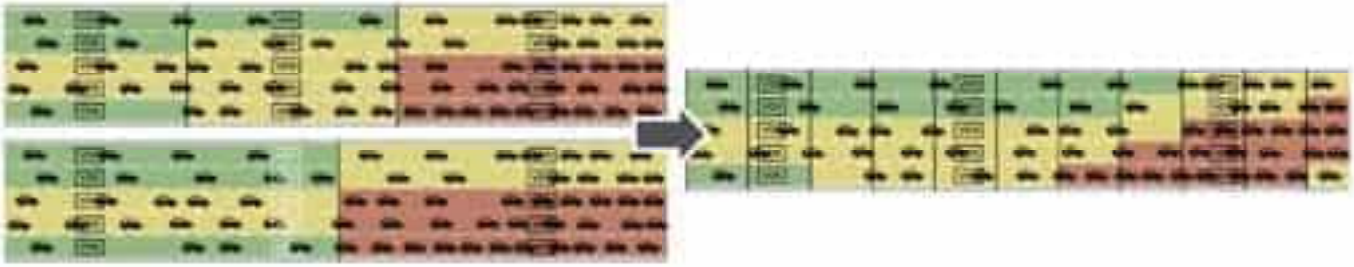
3 RESULTS & APPLICATIONS
- 2차년도 모델의 생성 결과
- 생성한 교통정보 활용방안

2

1 | INTRODUCTION

1.1 과업의 필요성

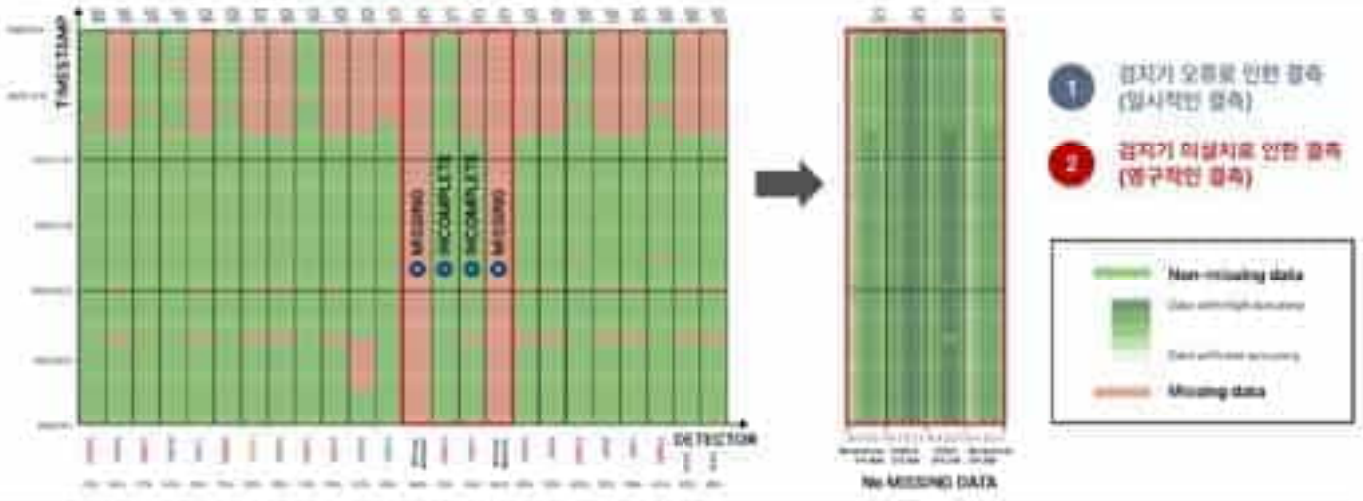
과제 목표	검지기의 오류가 발생하거나, 검지기가 설치되어 있지 않은 곳의 교통정보 (5분 단위 차로별 교통량, 속력, 점유율)을 추정하는 것을 목표로 함
과제 필요성	효율적인 교통계획 및 안전한 교통운영을 위해서는 고해상도 실시간 교통정보를 요함 * 100km/h 주행 시 안전거리는 100m로 알려져 있으며, 이에 맞는 교통운영 제어를 위해서는 100m 간격 차로별 교통정보를 필요로 함
기본 방법론	인근에 설치되어 있는 검지기가 수집한 교통정보 – 추정하고자 하는 지점의 교통정보 간의 관계를 파악 파악한 관계를 활용하여 특정 지점들의 교통정보를 추정하고자 함



1 | INTRODUCTION

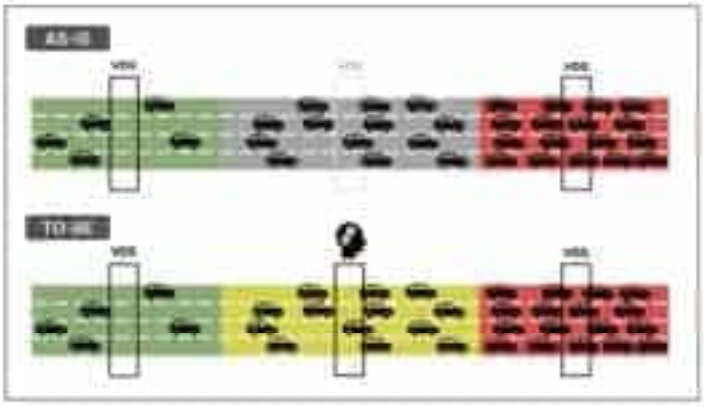
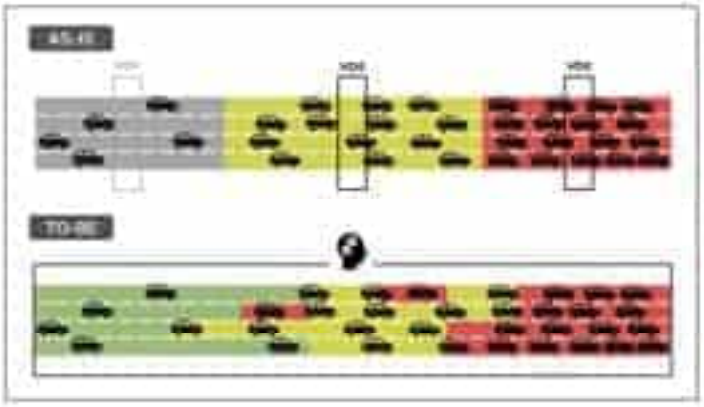
1.2 연도별 과제의 목표

1차년도	검지기 오류 발생 시 (①) 교통정보 추정을 목표로 함
2차년도	검지기 미설치구간 (②) 교통정보 추정을 목표로 함



1 | INTRODUCTION

1.2 연도별 과제의 목표

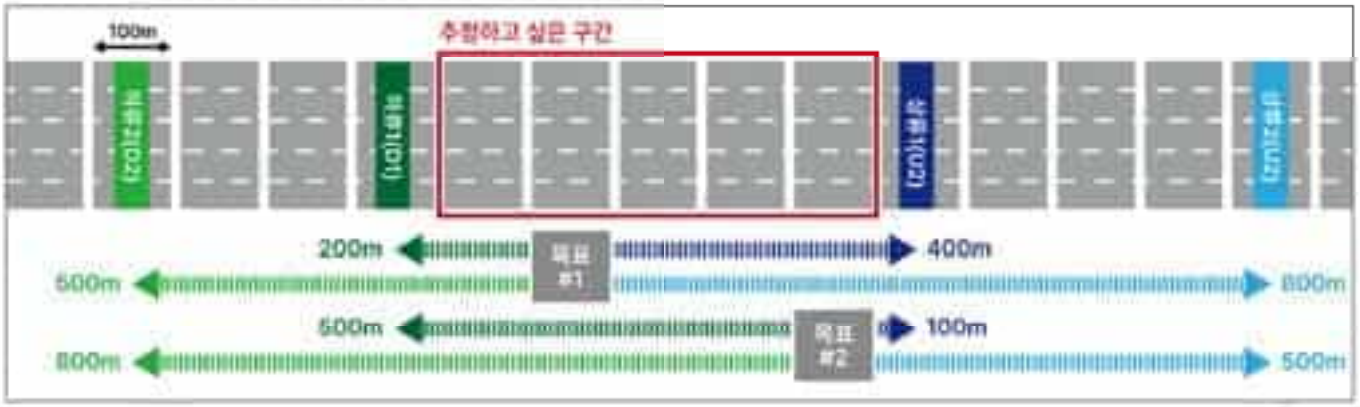
1차년도 정보추정 모델	2차년도 정보생성 모델
특정한 검지기가 설치되어 있는 지점의 교통정보를 추정하고자 함	검지기 오류 및 비설치로 정상 구축이 불가능한 지점들의 교통정보를 추정하고자 함
	
- 특정 VDS 검지기가 없다고 가정하고, 그 VDS가 수집한 교통정보를 목표값으로 설정 - 목표값으로 활용한 VDS와 주변 VDS와의 관계를 학습하여, 주변 VDS의 교통정보만으로 목표값으로 활용한 VDS의 교통정보를 추정하고자 함	- 목표 지점의 교통정보와 주변 VDS가 수집한 교통정보 간의 관계를 학습하더라도만, 목표 지점에 VDS가 없기에 관계를 학습할 수 없음 - 이사교통 시뮬레이션으로 다양한 상황을 묘현하고, 이를 모델 학습에 활용함

2 | MODEL

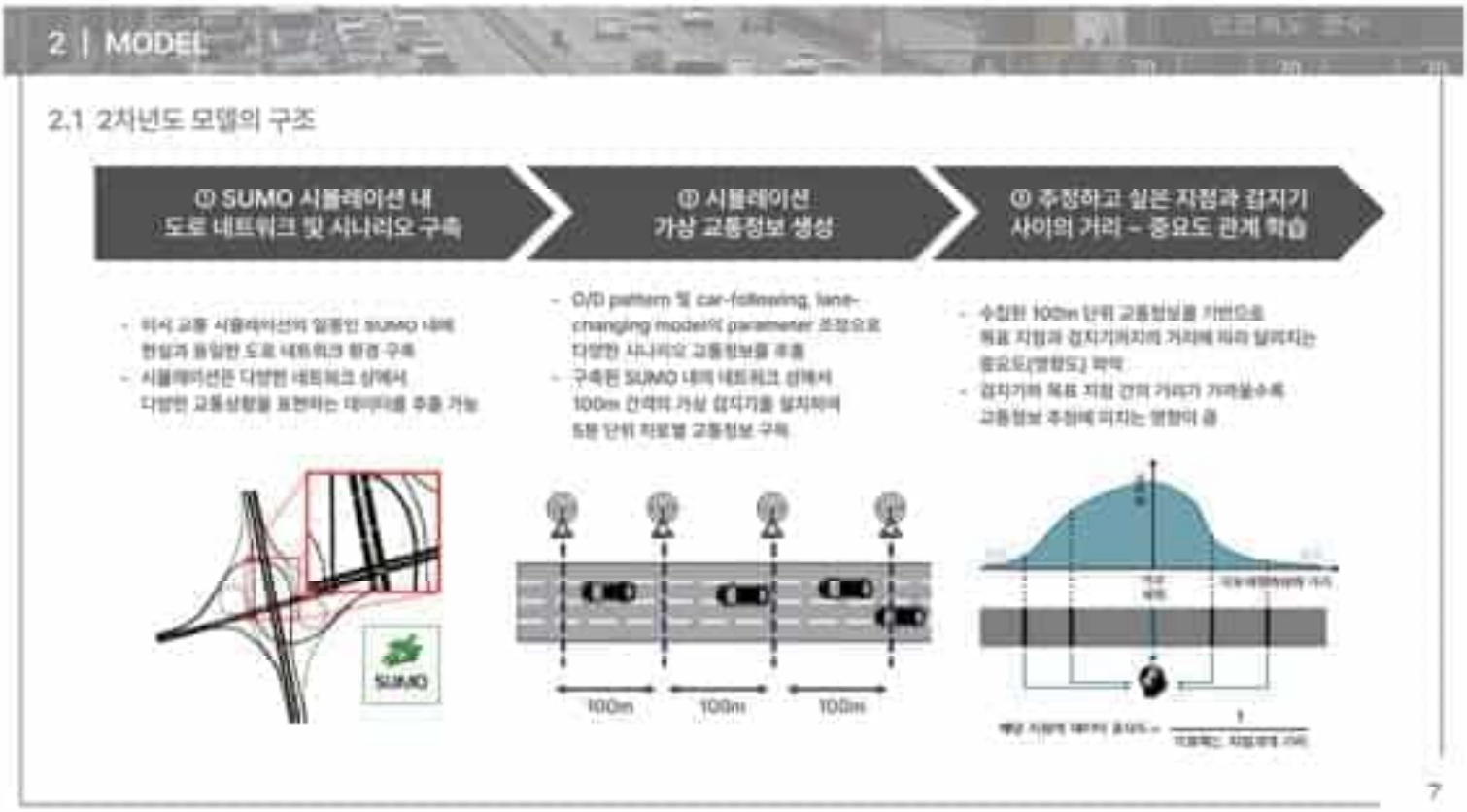
2.1 2차년도 모델의 구조

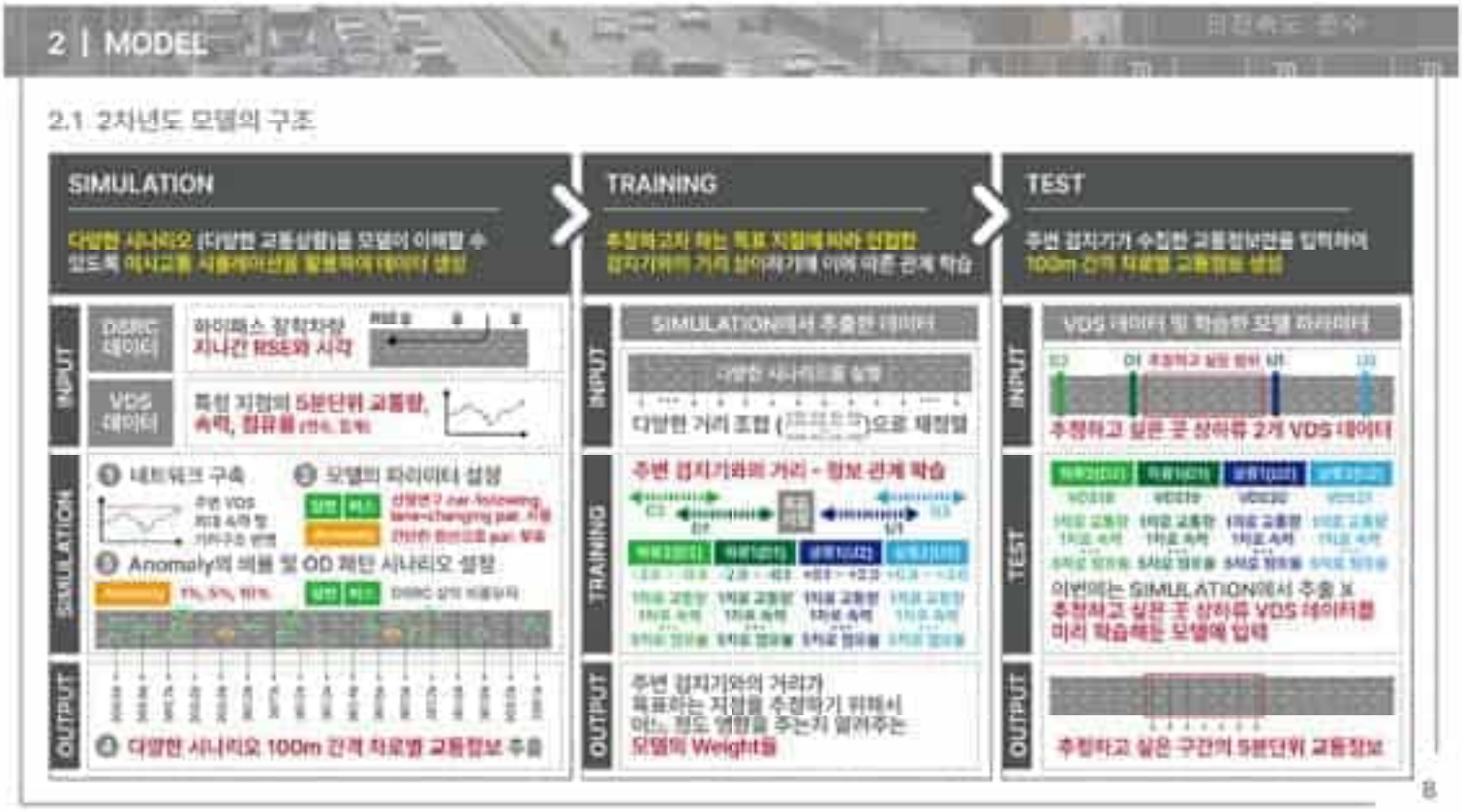
기본 방향

검지기 유무와 관계없이 100m 간격의 연속적인 지점들의 교통정보 추정을 위해서는
인접한 검지기와의 거리가 변화됨에 따라 거리와 정보의 중요도가 어떻게 변하는지 모델이 이해할 수 있어야함



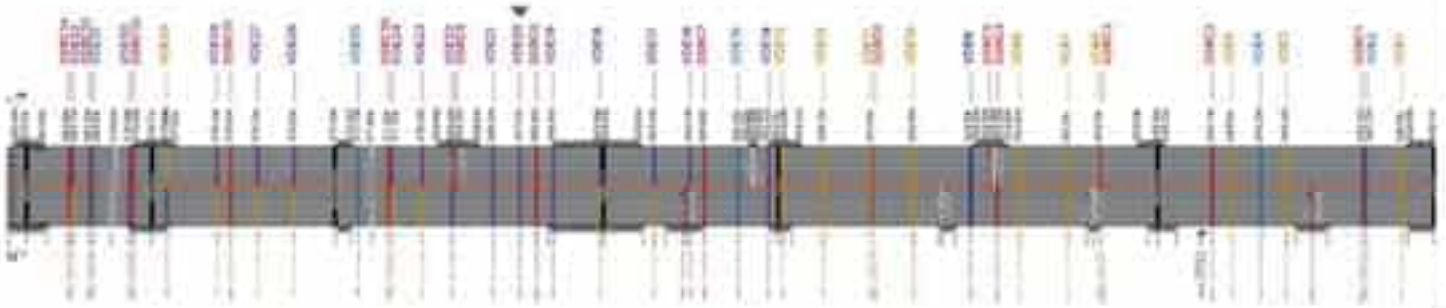
추정하고 싶은 구간 내 어떠한 지점도 추정할 수 있는 모델이지만,
입력값을 수집하는 주변 검지기와의 거리는 추정하고 싶은 지점에 따라 상이 >> 거리 – 정보 중요도를 파악할 수 있어야함


2 | MODEL
2.1 2차년도 모델의 구조
① SUMO 시뮬레이션 내 도로 네트워크 및 시나리오 구축
② 시뮬레이션 가상 교통정보 생성
③ 추정하고 싶은 지점과 검지기 사이의 거리 – 중요도 관계 학습
- 이서 교통 시뮬레이션의 일종인 SUMO 내에 현실과 유일한 도로 네트워크 환경 구축
- 시뮬레이션은 다양한 네트워크 상에서 다양한 교통상황을 표현하는 데이터를 추출 가능
- O/D pattern 및 car-following, lane-changing model의 parameter 조정으로 다양한 시나리오 교통정보를 추출
- 구축된 SUMO 내의 네트워크 상에서 100m 간격의 가상 검지기를 설치하여 5분 단위 차로별 교통정보 구축
- 수집한 100m 단위 교통정보를 기반으로 목표 지점과 검지기까지의 거리에 따라 달라지는 중요도(영향도) 학습
- 검지기와 목표 지점 간의 거리가 가까울수록 교통정보 추정에 미치는 영향이 큼
SUMO
100m
100m
100m
7


2 | MODEL
2.1 2차년도 모델의 구조
SIMULATION
다양한 시나리오 (다양한 교통상황)을 모델이 이해할 수 있도록 미시교통 시뮬레이션을 활용하여 데이터 생성
TRAINING
추정하고자 하는 목표 지점에 따라 연결한 검지기와의 거리 상이하기에 이에 따른 관계 학습
TEST
주변 검지기가 수집한 교통정보만을 입력하여 100m 간격 차로별 교통정보 생성
INPUT
DSRC 데이터
하이패스 장착차량 지나간 RSE와 시각
VDS 데이터
특정 지점의 5분단위 교통량, 속력, 점유율
SIMULATION
① 네트워크 구축
② 모델의 파라미터 설정
③ Anomaly의 비율 및 OD 패턴 시나리오 설정
OUTPUT
④ 다양한 시나리오 100m 간격 차로별 교통정보 추출
SIMULATION에서 추출한 데이터
다양한 거리 조합 ( )으로 재정렬
주변 검지기와의 거리 - 정보 관계 학습
주변 검지기와의 거리가 목표하는 지점을 추정하기 위해서 어느 정도 영향을 주는지 알려주는 모델의 Weight들
VDS 데이터 및 학습한 모델 파라미터
추정하고 싶은 곳 상하류 2개 VDS 데이터
이번에는 SIMULATION에서 추출 X 추정하고 싶은 곳 상하류 VDS 데이터를 미리 학습해둔 모델에 입력
추정하고 싶은 구간의 5분단위 교통정보
8

2.2 대상 구간 선정

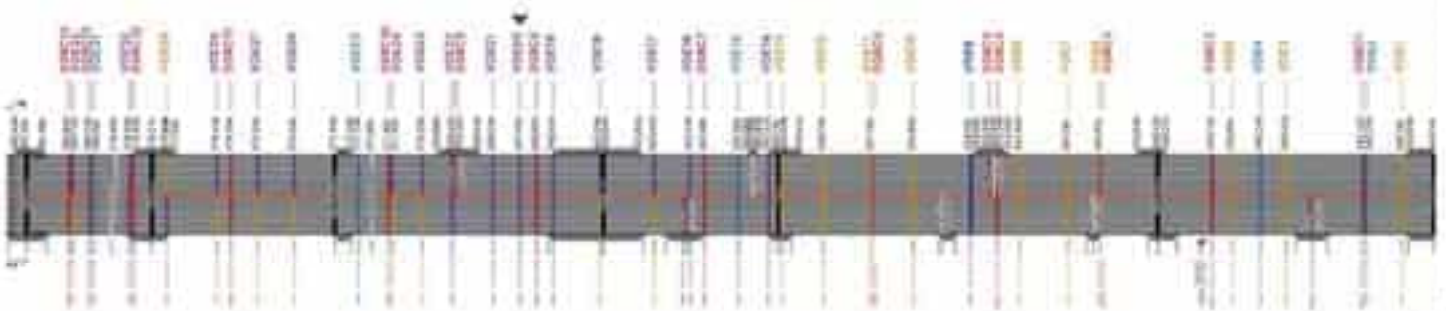
대상 구간 정보		
	시간적 범위	2022년 10월 1일 토 ~ 12월 31일 토 (3개월)
	공간적 범위	경부고속도로 서울방향 천안IC (340.14k) ~ 동탄JC (382.10k) (약 42km 구간)
	검지기 정보	레이더식 VDS 15대, 영상식 VDS 11대, Loop 및 AVC 6대, DSRC RSE 14대 (차량 검지기 32대, 구간 검지기 14대)
	선정 배경	수도권 주요 진입축이면서 다양한 검지기들이 혼재되어 있음 + 기존 정체후미 알리미 시험 중인 구간
	추가 정보	1차로는 버스전용차로, 5차로는 갓길차로 운영 중



9

2.3 검지기 데이터 분석

- 안성IC 어복으로는 레이더식 VDS가 많이 설치되어 있으며,
  레이더식 VDS가 수집하는 정보의 정확도는 높으나,
  결측 (우측 그림의 빨간 부분) 발생 시 동시에 결측이 발생함

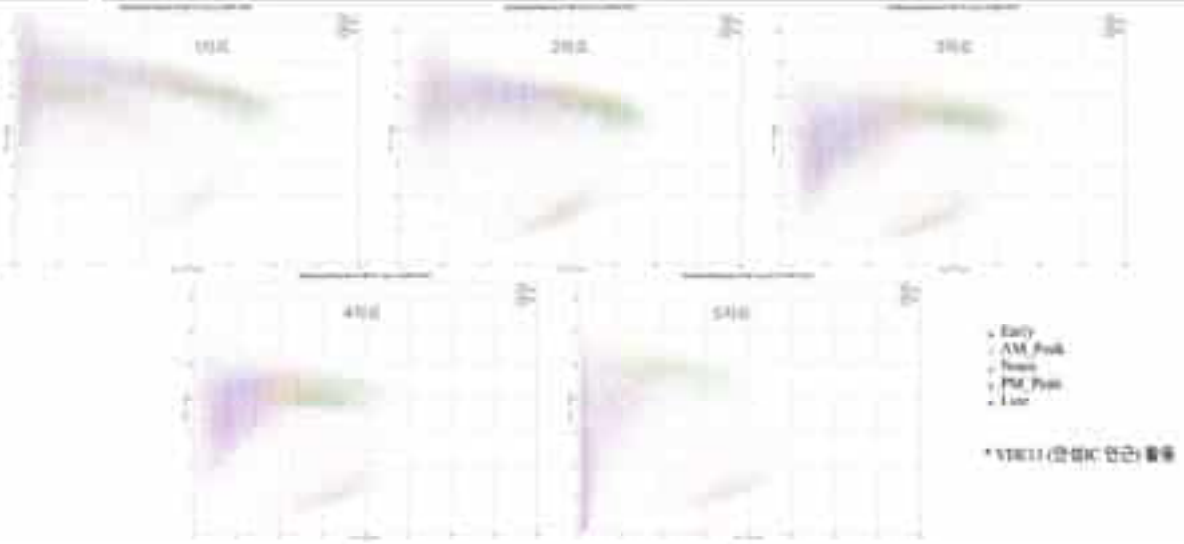


10

2.3 검지기 데이터 분석

FD 형태

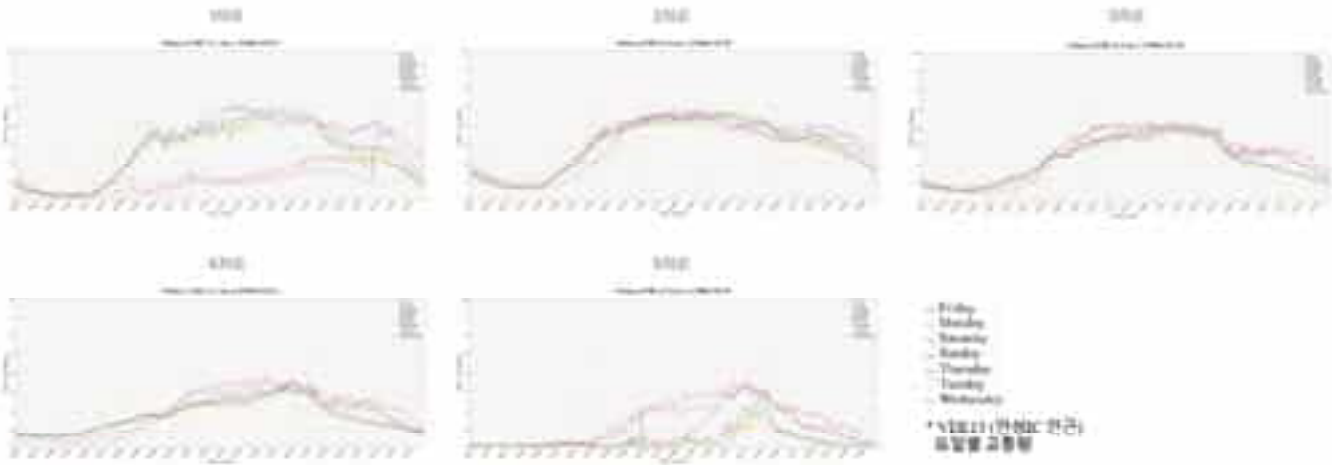
- 1차로는 07~21시에 버스 전용차로 운영 FD (fundamental diagram) 패턴 두 개가 관찰됨
- 출퇴근 첨두 시간대 (오전 7-9시, 오후 18시-20시) 감속이 정상적으로 관찰됨



2.3 검지기 데이터 분석

교통량 패턴

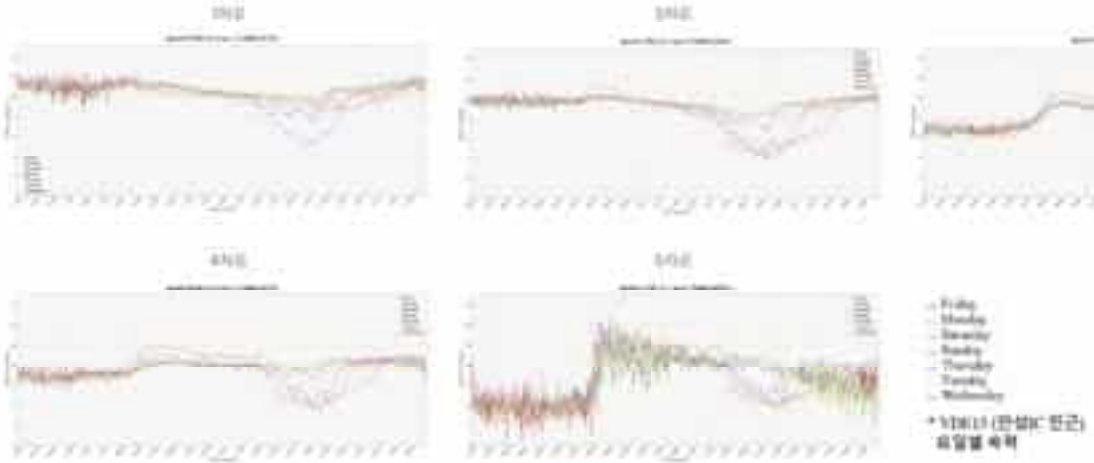
- 교통량은 2차로 > 3차로 > 4차로 순으로 증가하는 형태
- 평일 오후 14~17시에 교통량이 다소 많음. 특히 3, 4차로에 몰리는 경향을 보임



2.3 검지기 데이터 분석

속력 패턴

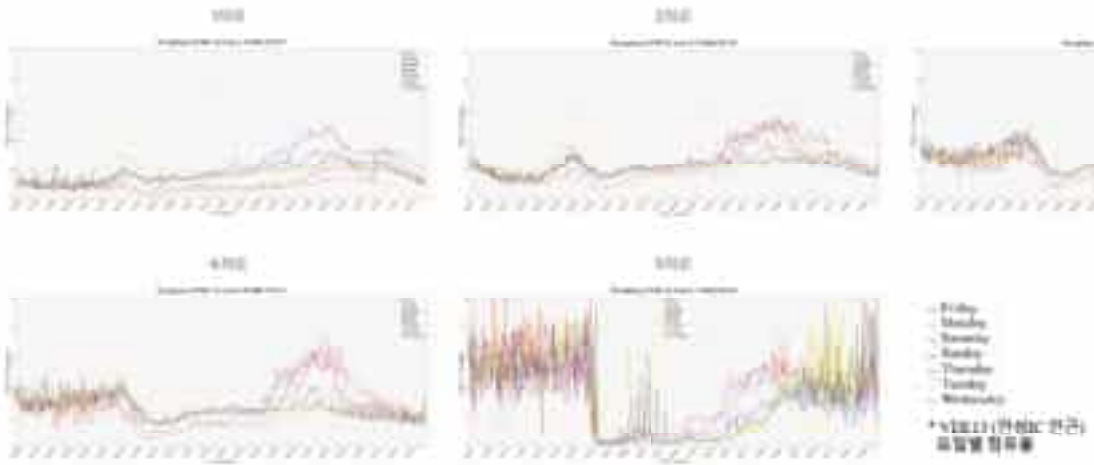
- 전반적으로 속력은 가장자리 차로로 갈 수록 약 10km/h씩 차이나며, free-flow일 때 그 경향이 더 드러남
- 교통량이 전반적으로 늘어나기 시작하는 14~16시 경에 급격히 속력이 줄어드는 것을 볼 수 있고, 주말에 더 심함



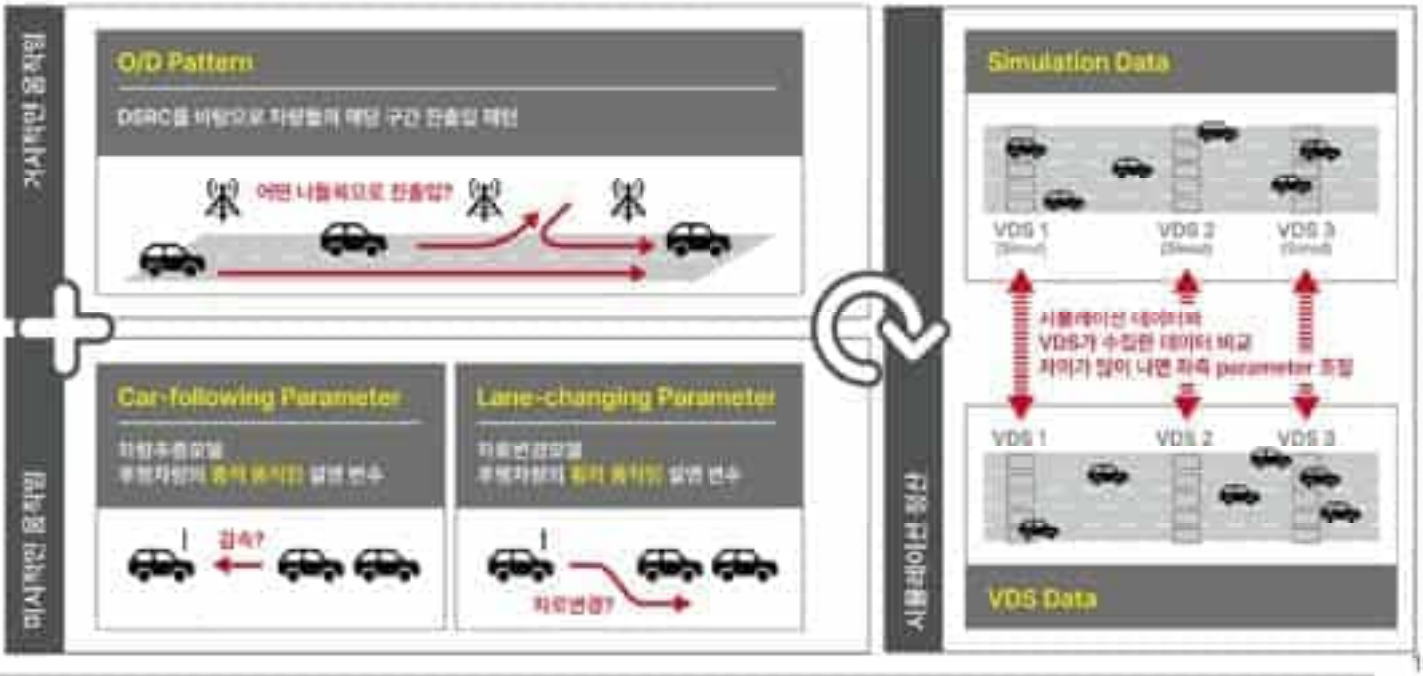
2.3 검지기 데이터 분석

점유율 패턴

- 구간의 정체유무를 판단하기 위해 점유율이 가장 많이 사용되며, 정체 상황 파악하는 데에 용이
- 가장자리 차로로 갈 수록 점유율이 증가하는 경향을 보이며, 첨두시에 이 현상이 더욱 심화됨



2.3 미시교통 시뮬레이션



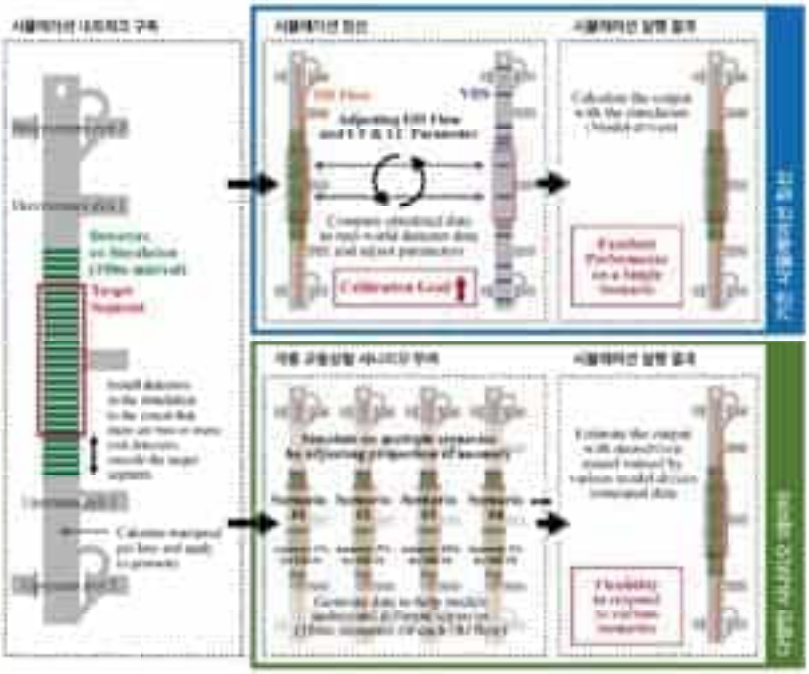
2.3 미시교통 시뮬레이션

기존 접근

- O/D 패턴을 DSRC로 파악한 후, 차량추종 모형(CF)과 차로변경 모형(LC) parameter를 조정
- 시뮬레이션을 실행하여 VDS가 설치된 지점의 교통정보를 추출
- 실제 도로 상에 설치된 VDS 교통정보와 비교하며 모형의 parameter들을 "반복적으로 조정"하는 작업

다양한 시나리오 데이터

- 최근 시뮬레이션을 활용하여 다양한 시나리오의 데이터를 만드는 연구들이 많음*
- 한달간 O/D 패턴을 파악하고, anotmaly한 움직임을 가지는 차량들의 전체 교통량에서 차지하는 비율을 조정
- 다양한 거시적인 움직임 + 미시적인 움직임에 따른 차량의 움직임을 시나리오로 부여하여 시뮬레이션 실행



* Sandholm et al., 2022

2.3 미시교통 시뮬레이션

네트워크 구축

구간별 **차로수**와 **길이**를 파악한 후, 경부고속도로 천안IC-동탄JC의 기하구조를 **시뮬레이션 상에 구현**
1차로는 버스만 통행 가능하게(**버스전용차로**), 5차로는 속도를 30km/h 낮게(**갓길차로**) 설정하여 **차로별 특성 반영**

2.3 미시교통 시뮬레이션

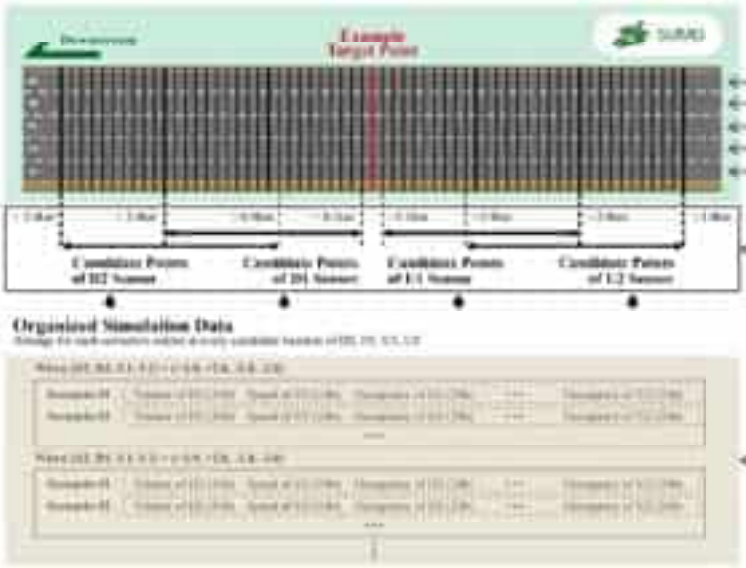
Car-following model parameter						
	Desired Velocity (km/h)	Safe Time Headway (s)	Maximum Acceleration (m/s^2)	Acceleration Exponent	Desired Deceleration (m/s^2)	vehicle length (m)
Car	120	1.6	0.73	4	1.67	5.0
Buses	120	2.0	0.5	4	1.2	7.5
Anomaly	120	1.0	3.0	4	4.0	5.0

Lane-changing model parameter								
	Lc Strategic	Lc SpeedGain	Lc Cooperative	Lc Pushy	Lc Impatience	Lc Assertive	Min Gap	lcKeep Right
Car	5.0	0.6	0.7	0.5	0.5	0.5	2.5	0.0
Buses	10.0	0.8	0.5	0.3	0.5	0.7	10.0	0.0
Anomaly	3.0	1.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.5	0.0

- 연속류 환경에서 일반적인 차량 (Car, Bus)은 car-following과 lane-changing model의 parameter는 유사하다고 알려져 있으며, 선행연구의 차량추종모형 파라미터*와 차로변경모형 파라미터**를 사용함
- 과격한 주행을 하는 anomaly의 model parameter는 간단한 비교를 통해 찾아낸 parameter를 사용함

* Treiber et al., 2000 / ** Erdmann et al., 2015

2.3 미시교통 시뮬레이션



검지기 설치

차로별로 100m 단위 검지기 설치
속력, 교통량, 점유율 정보 수집

* 31일 x 3가지 anomaly 시나리오 x 288 interval (5분단위 24시간)
= 26,784행의 시뮬레이션 데이터

검지기 위치 지정

검지기와의 거리와 정보 중요도의 관계를 학습하기 위해 인접한 검지기 4대의 위치 후보를 지정

데이터 정리

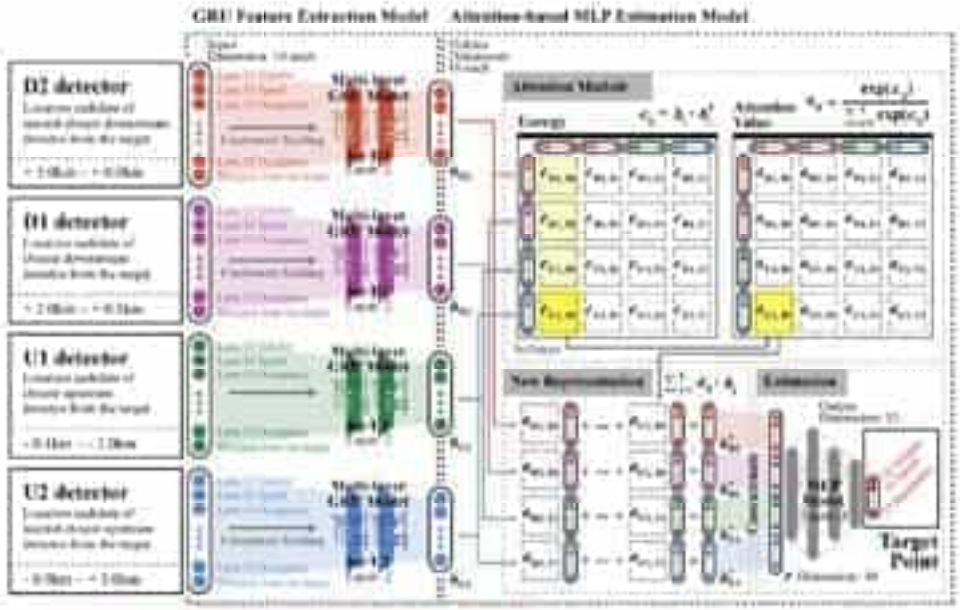
추정하고자 하는 지점과의 거리에 따른 주변 검지기의 속력, 교통량, 점유율을 학습의 input으로 활용할 수 있도록 정리

최종 모델의 입력값은 4개의 검지기 데이터이므로 4개의 검지기 데이터의 차원에 맞게 시뮬레이션 데이터 재배열

2.4 모델의 학습

[Feature Extraction]
- 상하류 방향으로 인접한 각각 두 개의 검지기로부터 수집한 교통정보를 hidden layer 차원으로 표현하는 역할을 수행함
- 시공간 상관성을 잘 설명할 수 있는 GRU 모델을 활용하여 특성을 추출함

- CustomMinMax Scaler 활용
시뮬레이션과 실제 검지기가 수집한 교통정보가 상이할 수 있으므로 검지기의 99% 값을 활용하여 scaling
- Learning rate는 0.001,
RMSE loss function,
dropout 0.3, batch size 64를 사용



멀티모달 입력층의 구조를 통해 모델로 하여금 같은 지점에서 수집한 데이터임을 이해할 수 있도록 만들고,
attention module을 통해 각 검지기의 데이터가 거리에 따라 어떻게 중요도가 바뀌는 지를 파악하도록 모델을 구축함

3 | RESULTS & APPLICATIONS

3.1 모델의 추정 결과

상황 설정

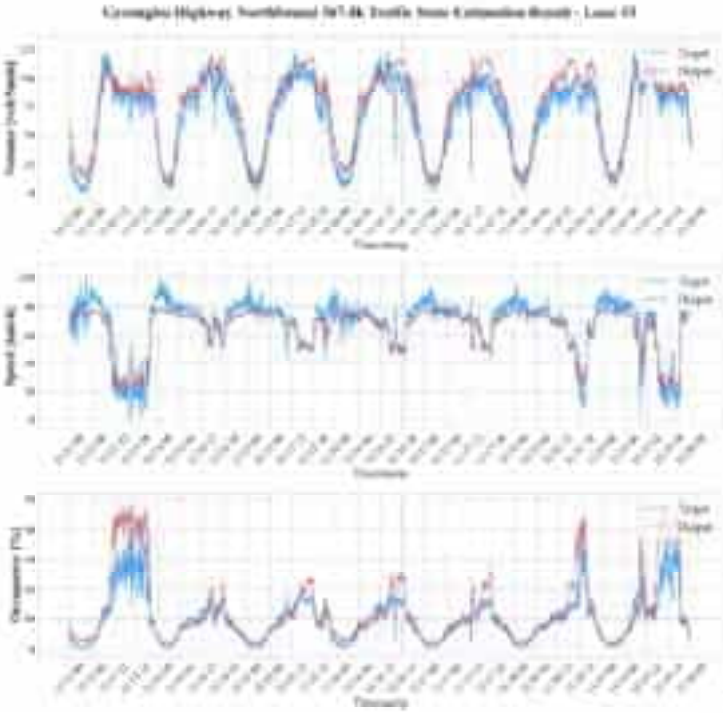
안성IC와 남사진위IC 사이에 위치한
VDS20(서울방향 367.4k)이 **없다고 가정**
(VDS20을 학습에 이미한 과정에도 사용하지 않음)

추정 방법

인접한 검지기들
(VDS18, VDS19, VDS521, VDS522)를
활용하여 **서울방향 367.4k 지점의**
5분단위 교통량, 속력, 점유율을 추정

추정 결과

11일 동해 주 3차로의
교통량, 속력, 점유율을 추정한 결과,
실제 값(**푸른 색**)과 추정치(**붉은 색**)가
동일한 경향성을 가짐



3 | RESULTS & APPLICATIONS

3.1 모델의 추정 결과

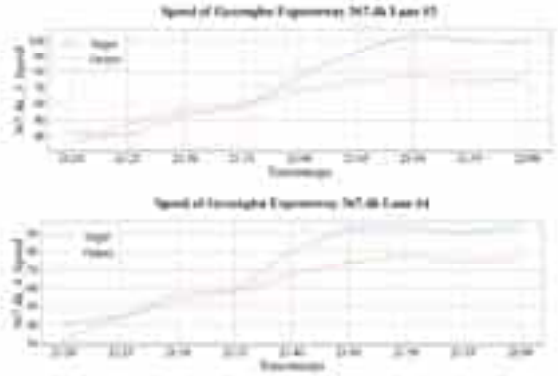
Lane #	Information	Point of 367.4k (시뮬레이션 범위 내부)			Point of 368.2k (시뮬레이션 범위 외부)		
		MAE	MAPE	RSME	MAE	MAPE	RSME
Lane 2	Volume (veh/5min)	16.94	0.20	21.14	15.71	0.28	18.99
	Speed (km/h)	8.81	0.31	11.88	27.83	0.37	29.46
	Occupancy (%)	4.59	0.30	6.15	2.95	0.30	4.25
Lane 3	Volume (veh/5min)	14.71	0.18	18.84	6.90	0.13	8.86
	Speed (km/h)	5.78	0.34	8.50	23.16	0.29	25.18
	Occupancy (%)	5.19	0.28	8.00	2.47	0.24	4.59
Lane 4	Volume (veh/5min)	11.46	0.13	14.35	12.51	0.25	16.41
	Speed (km/h)	5.38	0.18	7.56	7.47	0.13	9.63
	Occupancy (%)	3.47	0.23	4.89	2.32	0.25	3.57

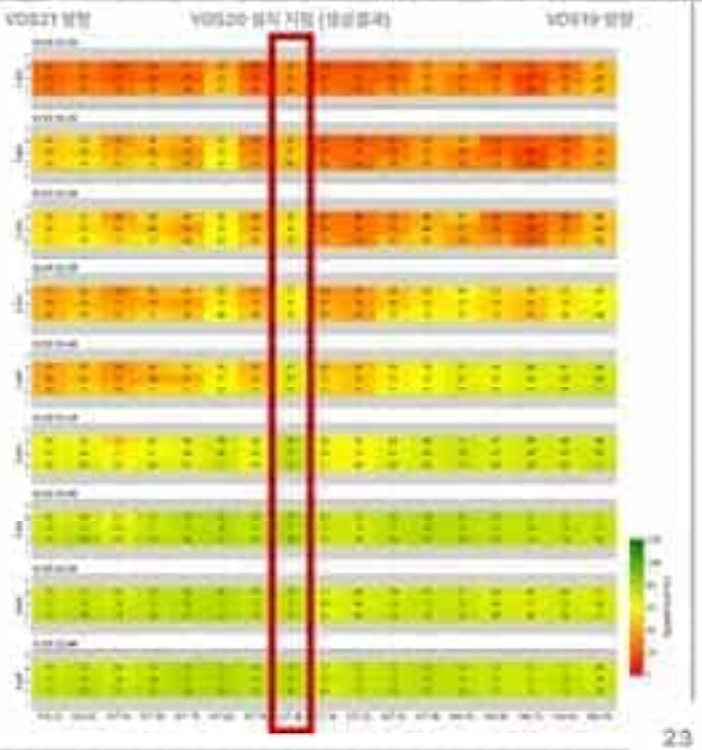
- 시간별로 특성이 달라지는 1차로(버스전용차로), 5차로(가변차로)를 제외한 **2, 3, 4차로의 예측 정확도 계산**
- 차로별 교통량은 **17대/5분 이내**, 속력은 **10km/h 이내**, 점유율은 **6% 이내**의 오차
- 2차로는 **버스전용차로 운영 여부에 따른 상황 변화**로 인해 3, 4차로에 비해 낮은 정확도

3 | RESULTS & APPLICATIONS

3.1 모델의 추정 결과

- VDS 18, 19, 21, 22를 활용해 11월 13일 일요일 21:20 ~ 22:00 VDS 19와 21 사이 1.6km 구간의 속력을 추정
- 낮은 속력은 적색, 높은 속력은 녹색으로 나타내어 시간에 따라 정체가 해소되는 상황을 표현
- 정체가 해소되는 상황을 기존 검지기보다 더 높은 해상도로 표현하여 정체가 해소되는 지점을 정확하게 파악 가능



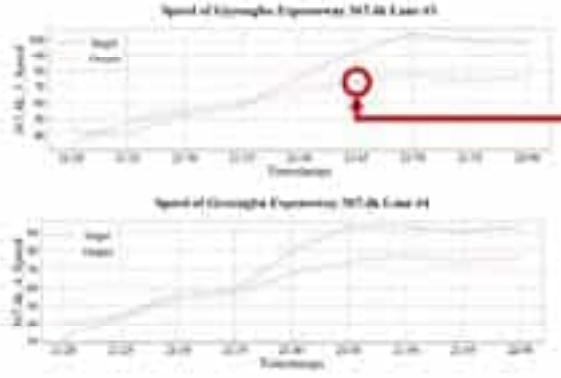


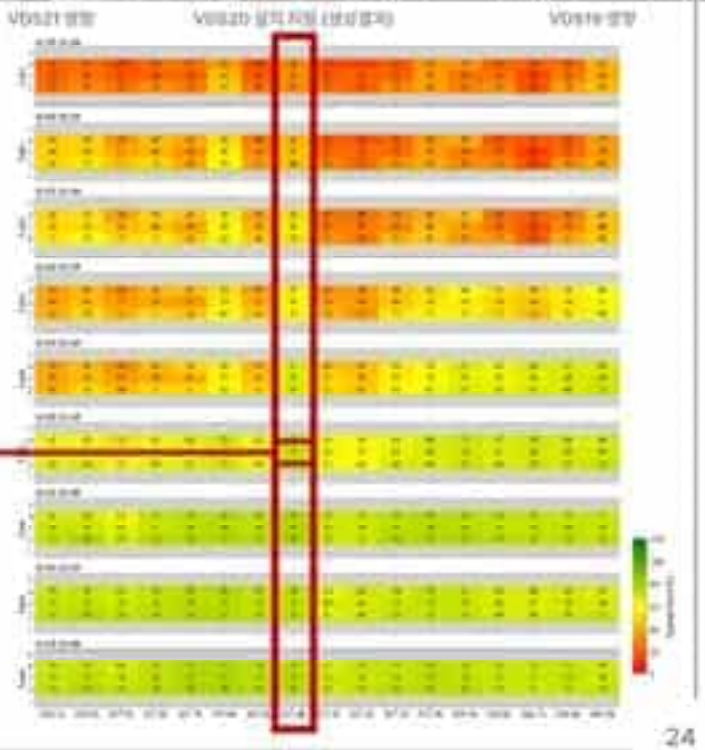
23

3 | RESULTS & APPLICATIONS

3.1 모델의 추정 결과

- VDS 18, 19, 21, 22를 활용해 11월 13일 일요일 21:20 ~ 22:00 VDS 19와 21 사이 1.6km 구간의 속력을 추정
- 낮은 속력은 적색, 높은 속력은 녹색으로 나타내어 시간에 따라 정체가 해소되는 상황을 표현
- 정체가 해소되는 상황을 기존 검지기보다 더 높은 해상도로 표현하여 정체가 해소되는 지점을 정확하게 파악 가능





24

3 | RESULTS & APPLICATIONS

3.1 모델의 추정 결과

상황 설정

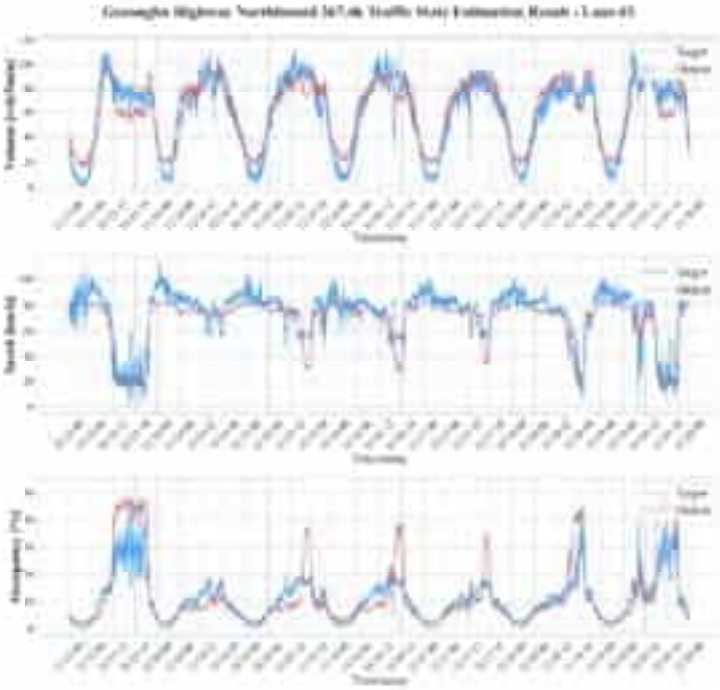
안성IC와 남사진위IC 사이에 위치한 VDS20(서울방향 367.4k)이 없다고 가정
• VDS19에 오류가 많은 경우
(VDS20을 학습에 이미한 과정에도 사용하지 않음)

추정 방법

VDS19를 제외한 인접한 감지기들 (VDS17, VDS18, VDS21, VDS22)를 활용하여 서울방향 367.4k 지점의 5분단위 교통량, 속력, 점유율을 추정

추정 결과

오르막에 위치한 VDS17의 정보가 반영되어 오작동이 없을 때보다 속력을 소폭 과소추정하고, 점유율을 소폭 과대추정



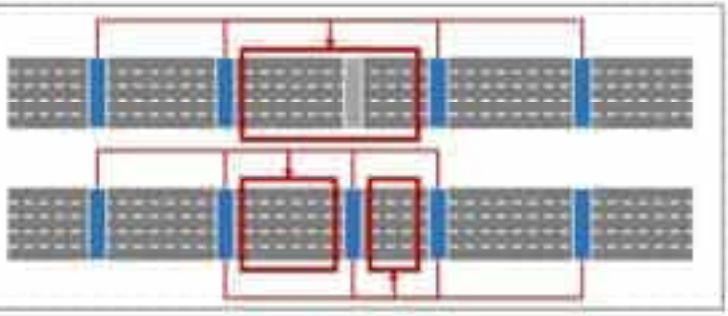
3 | RESULTS & APPLICATIONS

3.1 모델의 추정 결과

실제는 더 높은 정확도

설치되어 있는 VDS 감지기 중 하나를 제외하고 검증하였기에,
실제 고속도로에 설치되어 있는 VDS 사이 간격 (약 0.8 ~ 1.5km)보다 두 배 더 넓은 간격이 벌어져 있을 때 정확도를 추정한 결과

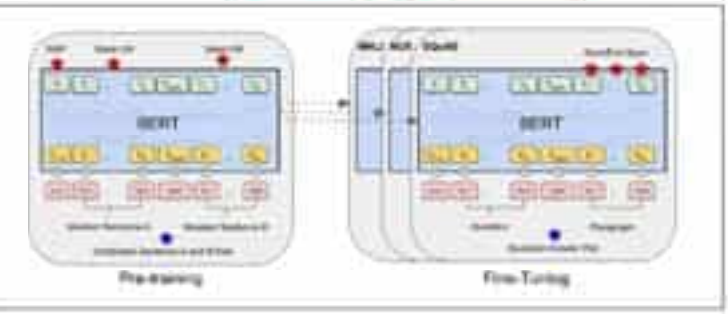
실제 더 높은 정확도를 가질 가능성 ↑



추가적인 모델 실험

시뮬레이션으로 범용적인 데이터를 추출하고 학습한 다음, 조금 더 해당 구간에 적합하도록 모델에 실제 VDS 데이터를 첨가 · 학습하여 fine-tuning할 수 있는 LLM의 일종인 BERT 기반 모델을 구축해보고자 함

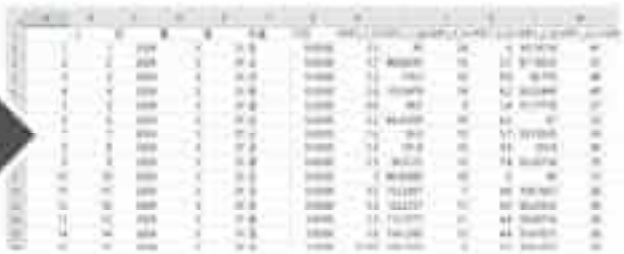
실제 더 높은 정확도를 가질 가능성 ↑



3.2 모델의 검증

데이터 수집	시간적 범위	2024년 5월 31일 금 ~ 6월 2일 일 오후 집두시 (14:00 ~ 18:00)
	공간적 범위	경부고속도로 387.40k (판성톨게소 인근 VDS 20 설치지점) 400m 구간
	수집 정보	차량 종류, 좌표, 속력, 이동거리, 차로번호 등의 차량단위 교통정보 수집 (30fps)
데이터 처리	궤적데이터	드론 촬영 궤적 데이터를 GRS80 좌표로 표현
	교통정보처리	GRS80 좌표와 경부고속도로 이정을 매칭하여 100m 간격 5분 단위 차로별 교통량, 속력, 점유율을 구득

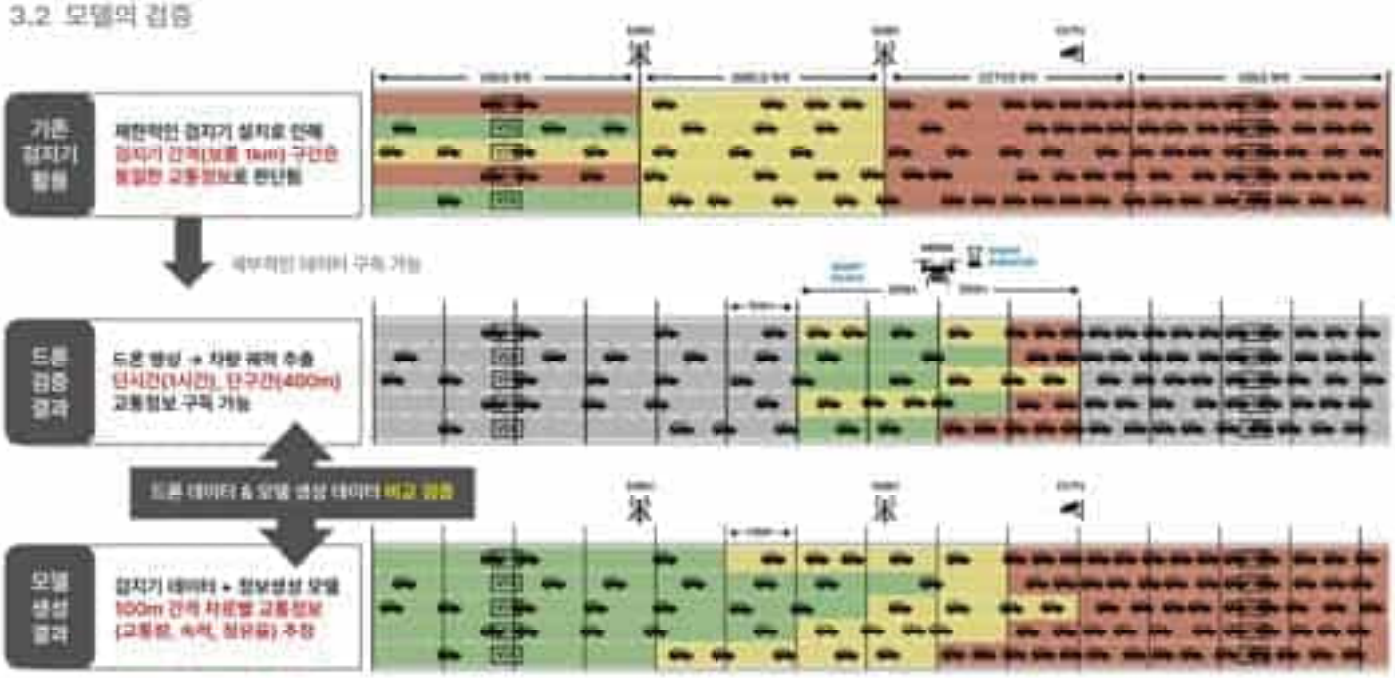
YOLO 기법을 통해 드론 촬영 영상 데이터 속 차량들을 검지하고,
이를 바탕으로 실제 교통량과 평균 속도를 산출



30초 단위로 교통량 및 속도를 산출 후 5분 단위로 집계 후 분석

3 | RESULTS & APPLICATIONS

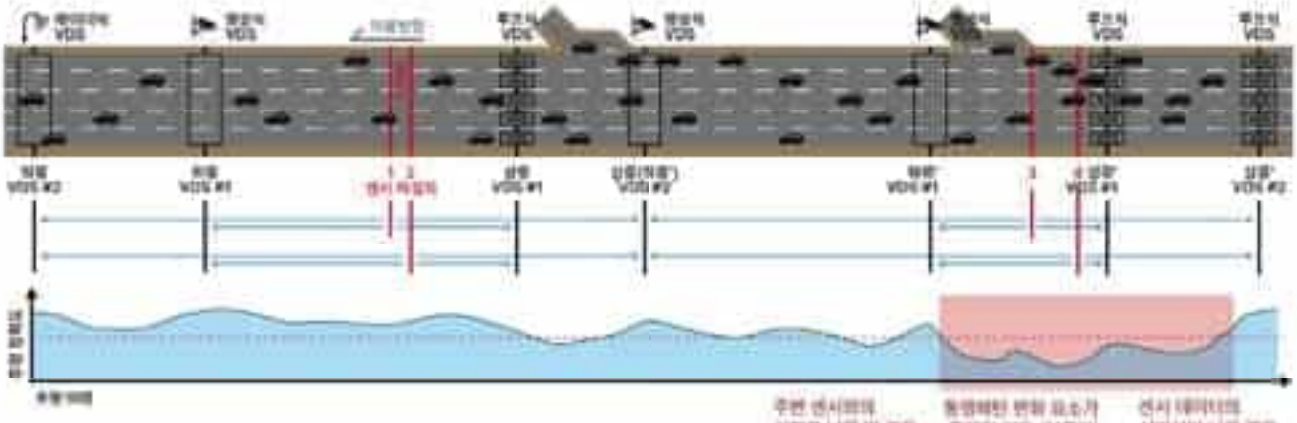
3.2 모델의 검증



3 | RESULTS & APPLICATIONS

3.3 추정값 활용 방안

ⓘ 검지기 우선 설치구간 도출



- 수집되는 정보의 신뢰성이 너무 낮거나, 교통흐름 변화가 많은 곳에서는 모델의 추정 정확도가 떨어질 수 밖에 없음
- 모델의 정확도가 낮게 나오는 지점 = 검지기 우선 설치 지점

29

3 | RESULTS & APPLICATIONS

3.3 추정값 활용 방안

ⓘ 기존 시스템(정체 후미 알림) 고도화

기운행 중인 정체 후미 알림 시스템

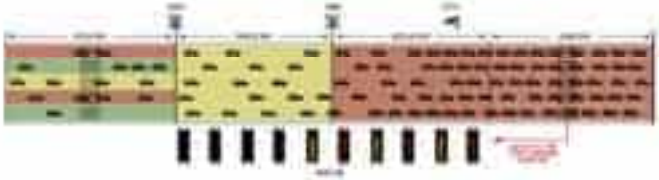
특정 지점의 검지기에서 수집된 정보를 기준으로 전방 정체 알림 및 감속 유도

생성된 교통정보 활용 정체 후미 알림 시스템

구체적인 정체 시작시점 기준으로 전방 정체 알림 및 감속 유도

경부고속도로

(안성) 500m 상류 VDS 기반 자동 가로변 소형 VMS에 추돌주의 안내
(죽전) CCTV 기반 수동 문형식 VMS에 전방 소통상황 예정 표시



(안성IC ~ 동탄JC) 정체 후미 기준 500m 자동 가로변 소형 VMS에 추돌주의 안내
(수원신갈IC ~ 판교JC) 가로별 정체 후미 및 속력 기준 자동 문형식 VMS에 주의 및 유도

타 지사 예시

(영동, 화주상주 등) 상습정체구간 자동 가로변 VMS에 전방주의 안내
(남해, 서전공주 등) 사고시 수동 VMS에 전방 사고발생 및 감속 표시

30

3.4 실행화면 예시

31

3.4 실행화면 예시

32

3.4 실행화면 예시

3 | RESULTS & APPLICATIONS

3.4 실행화면 예시

4 | PLAN

4.1 공정표 및 진행 현황

구분	항목	예상 소요기간	담당자					
			아주대	인천종	김은정	김태형	이희창	추현준
대상 구간 선정 및 검지기 데이터 파악	검지기 위치 파악	완료						
	검지기 데이터 구축 및 전처리							
	검지기 측정 데이터 패턴 및 지점 FD 파악	완료						
시뮬레이션 구축	도로 네트워크 구축							
	검지기 도로 이동 파악 및 시뮬레이션 내 검지기 설치							
	드론 데이터 활용하여 시뮬레이션 정산 (OD 및 파라미터 설정)	반복적으로 작업						
	시뮬레이션 데이터 추출	완료						
모델 학습	거리와 정보 중요도 학습	반복적으로 작업 (GRU기반 모델 완료)						
	모델 생성 결과와 실제 수집 데이터 비교 분석							
	모델 고도화 방안 고안							
	비교 모델 구축 및 학습							
모델 활용 방안 제시	모델 적용 가능 상황 정의 및 상황의 우수한 경우 제시	10월 초순 내						
	웹 공시 설명 영상 초안 디자인	9월 말 내						
	웹 공시 설명 영상 최종 제작 및 보완	10월 말 내						
모델 검증 대상 및 방법	드론 대상지 선정 및 드론 데이터 활영 요청 (+ 도공 원시 데이터 구축)	완료						
	드론 데이터 구축 및 궤적 데이터 추출	완료						
	드론 궤적 데이터 전처리	진행 중						

35

5 | REFERENCE

5.1 참고문헌 및 출처

→ PPT 배경 이미지 - https://www.joongang.co.kr/article/2519599#

→ Saadallah, A., F. Finkeldey, J. Buß, K. Morik, P. Wiederkehr, and W. Rhode. Simulation and Sensor Data Fusion for Machine Learning Application. *Advanced Engineering Informatics*, 2022. 52:101600

→ Treiber, M., A. Hennecke, and D. Helbing. Congested Traffic States in Empirical Observations and Microscopic Simulations. *Physical review E*, 2000. 62(2):1805

→ Erdmann, J. SUMO's Lane-Changing Model. *Modeling Mobility with Open Data: 2014 2nd SUMO Conference, Berlin, Germany, Springer International Publishing*, 2015. 105-123

36

감사합니다

LAON AT-EVL System

(Any Time Every Vehicle Location)

라온로드

LAON ROAD

AT-EVL System

1. AT-EVL 시스템
2. 검지 시스템
3. AT-EVL 분석
4. 데모 : 교통상황 재현

LAON ROAD

1. AT-EVL 시스템 필요성

□ 서비스 수준, 제어 지체, 신호 최적화

- 서비스 수준, 제어 지체
  - ✓ KHCS 또는 TRANSYT-7F, VISSIM 등 시뮬레이션을 활용하여 결과 획득
- 신호 최적화
  - ✓ 실제와 유사한 환경에서 시뮬레이션을 활용하여 결과 획득 가능

□ 한계점

- 교통량, 포화도, 통행 속도, 밀도, 대기 길이 등 정확한 정보가 필요
- 현재 교차로에서 다양한 센서를 통해 교통 정보 획득
  - ✓ 모든 정보를 정확하게 획득하기 어려움 (속도, 밀도, 대기 길이 등)

□ 효과

- AT-EVL 시스템을 활용하여 모든 차량의 위치 정보 획득
- 정확한 서비스 수준, 제어 지체 정보 획득
- 정확한 정보와 시뮬레이션을 활용한 신호 최적화

LAON ROAD

1. AT-EVL 시스템 개요

□ 목표

- 재현을 통한 교통상황 파악
- 모든 차량 위치 정보 파악
  - ✓ 서비스 수준, 제어 지체

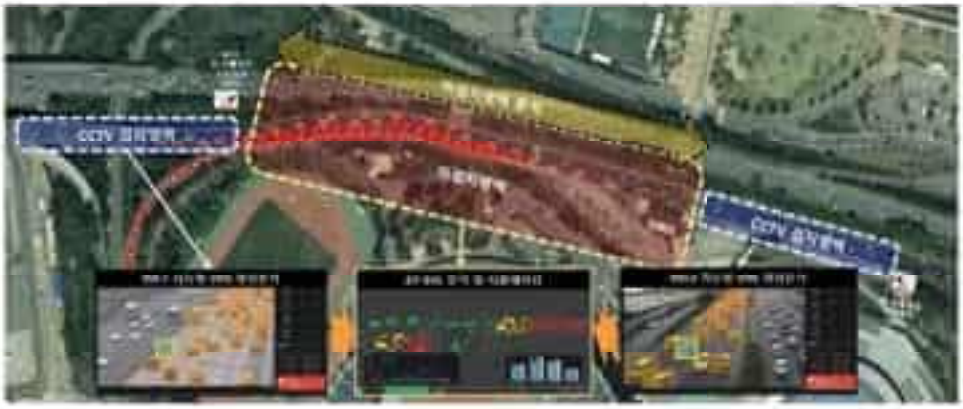
- 교통 실험(시뮬레이션)으로 개선
  - ✓ 신호 최적화
  - ✓ 정책 개선

LAON ROAD

1. AT-EVL 시스템 개요

□ 핵심 기술

- **융합 구간** 분석
- 미시적 교통수요 분석 : **OD 패턴** 분석
- **시뮬레이션 변수 최적화** : 도로 및 이용자 특성 반영



5

LAON ROAD

1. AT-EVL 시스템 개요

□ 전체 시스템 구조

6

2. 검지 시스템

□ 지점정보 검지

□ 구간정보 검지

2.1 지점정보 검지

□ 검지 정보

- 이동류별 통과차량 정보 (통행시간, 차종, 차로, 속도)
- 차로별 대기길이, 점유율
- 돌발상황

□ 영상분석

- 기반 모델 : Yolo v7
- 경량화 : GPU 700MB
- 인퍼런스 속도 : 3 ms

2.2 구간정보 검지

□ 검지 정보 : 구간 주행시간

□ 차량 번호 인식
- 네이버 클로버 OCR 모델 활용
- 경량화 : 1GB
- 인퍼런스 속도 : 1.5 ms

2.2 구간정보 검지

□ 검지 정보 : 구간 주행시간

□ 차량 재인식 (Re-Identification)
- 기존 CCTV 활용 구간정보 검지
- 기반모델 : DINO v2 (9 GB)
- 경량화 : 1.7 GB
- 인퍼런스 속도 : 8.8 ms

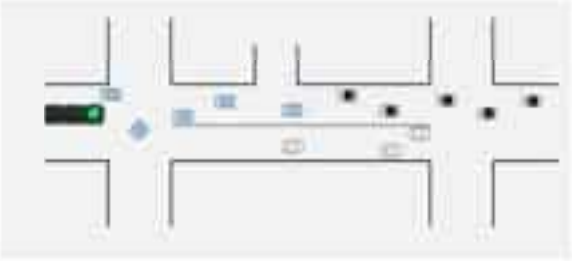
※ 신뢰도 상위 20%만 적용

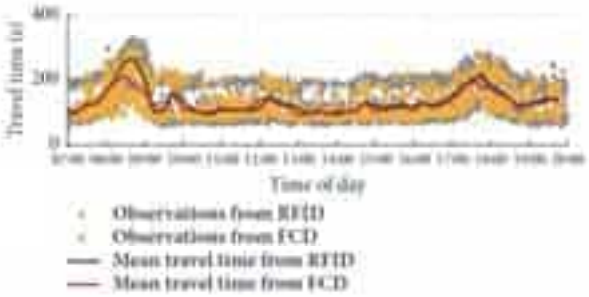
2.2 구간속도 검지

LAON ROAD

□ 구간 속도 산정 (Re-ID)

- 일부 차량만 검지
- 특히, 단속류에서 차량 별 속도 편차가 매우 심함
- 샘플 데이터로부터의 구간 속도 보정 필요





2.2 구간속도 검지

LAON ROAD

□ 구간 속도 보정 방향

- 시계열 분해 : Trend + Seasonality + Noise
- 자기지도학습(Self-Supervised Learning) 도입

3. AT-EVL 분석

- ☐ 도로 구간 차량 매칭
- ☐ OD 분석
- ☐ 시뮬레이션 최적화
- ☐ 스냅샷 생성
- ☐ 실시간 DTN

3.1 도로 구간 차량 매칭

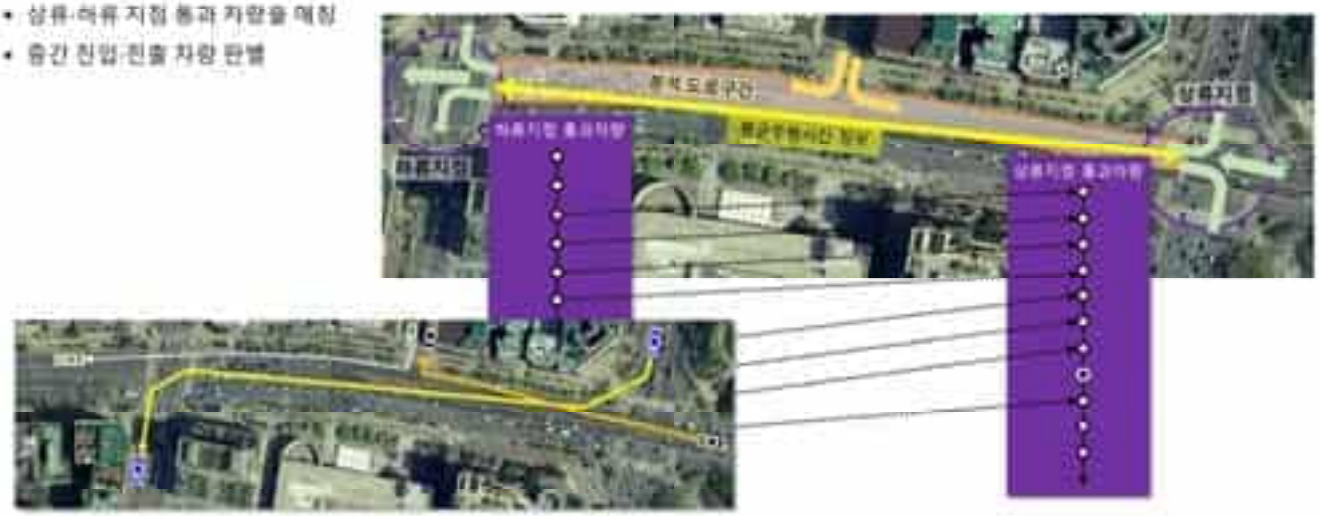
☐ 차량 매칭

- 상류-하류 지점 통과 차량을 매칭
- 중간 진입-진출 차량 판별

3.1 도로구간 차량매칭

□ 차량 매칭

- 상류·하류 지점 통과 차량을 매칭
- 중간 진입·진출 차량 판별



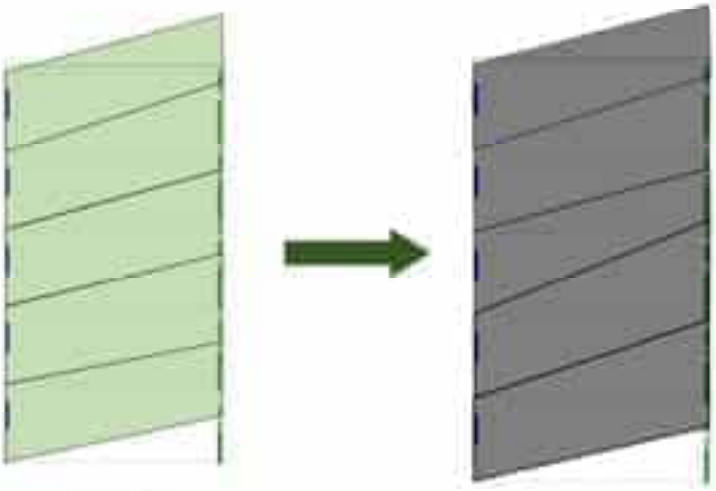
3.1 도로구간 차량매칭

□ 차량 매칭 구조

3.1 도로구간 차량매칭

□ 신호 주기 별 매칭 구간 설정

- 차량 주행시간으로 초기 구간 선정
- 차량 매칭 최적화를 통해 구간 보정



주행시간 기반
초기 매칭 구간 선정

매칭 구간 보정

3.1 도로구간 차량매칭

□ 차량 매칭 결과

- 도로 영상과 시뮬레이션 비교
  - ✓ 범계역 사거리

동

남

3.1 도로구간 차량매칭

□ 차량 매칭 결과

- 도로 영상과 시뮬레이션 비교
  - ✓ 시점 시각화

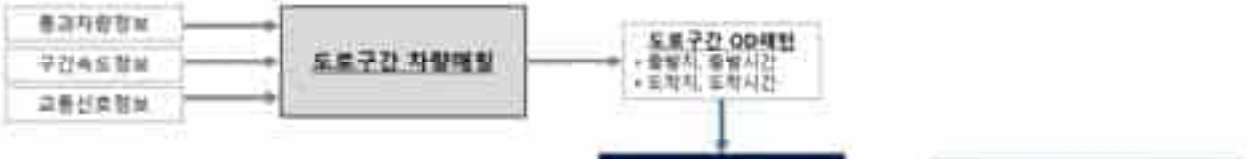
서

남

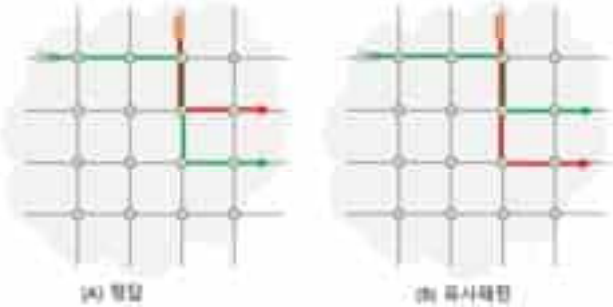
동

3.2 OD 분석

□ 도로구간 OD정보를 연결하여 글로벌 OD패턴 생성



• 유사 패턴 탐색



(a) 원본 (b) 유사패턴

3.3 시뮬레이션 변수 최적화

□ 시뮬레이션 현실성 확보

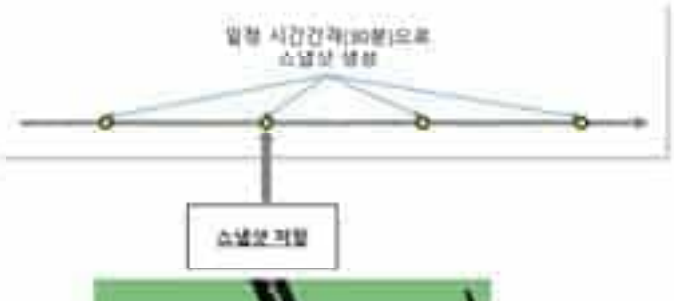
- 도로 및 이용자 특성에 대한 최적화

- 연속류
  - ✓ 개별 차량의 속도 및 가속도
  - ✓ 이용자의 정보 성향
  - ✓ 차로 변경 성향

- 단속류 (교차로 도로망)
  - ✓ 개별 차량의 속도 및 가속도
  - ✓ 주요 대상 요소 : 주정차 차량
  - ✓ 버스 정차시간
  - ✓ 우회전 정차 시간

3.4 스냅샷 생성

□ 시뮬레이션 초기 상태 복원을 위한 스냅샷 생성



3.6 실시간 DTN

□ 예측 필요

- 차량의 진행방향
- 중간 진입로 진입 차량

□ 방향

- 검지 영역 : 검지 정보로 에뮬레이션
- 미 검지 영역 : 예측 기반 시뮬레이션

4. 데모 : 교통상황 재현

□ 데모 영상

25

감사합니다

화물차 과적 및 적재불량 검지기술 개발 및 법제도 개선방향 모색

특별 Session A-6

아주대학교

공용도로 테스트베드에서 고속축중기를 이용한 화물차 과적 검지 및 평가
전병욱

고속 주행 중 차량 제원 자동 계측 시스템 개발
박용주

과적단속용 고속축중기 성능평가 기준 개선 방안
김태상

포장관리를 위한 과적 차량 단속 최적화: 다양한 이해관계자 상호작용을 게임이론의 관점에서
이진우

공용도로 테스트베드에서 고속축중기를 이용한 화물차 과적검지시험 및 평가

Truck Overload Detection Test and Evaluation using High-Speed Weigh-in-Motion on Public Road Test Bed

전병욱(군산대학교 산학협력단, 연구교수), **김학수**(군산대학교 기계공학과, 석·박사통합과정), **김창용**(군산대학교 산학협력단, 책임연구원), **김승철**(군산대학교 산학협력단, 책임연구원), **김학근**(군산대학교 산학협력단, 연구교수), **곽성종**(군산대학교 산학협력단, 책임연구원), **강기원**(군산대학교, 교수)

Key Words : 화물차(Truck), 고속축중기(High speed weigh-in-motion), 과적검지시험(Overload detection test), 공용도로 테스트베드(Public road test bed)

Ⅰ. 서론

화물차가 과도한 적재상태로 운행하게 되면 도로파손 및 교량 붕괴로 이어질 수 있으며, 이로 인해 교통사고의 가능성이 높아진다. 이에 정부는 법률 및 제도를 통해 규제 및 관리하고 있다. 그러나 기존관리 방법은 운영시간 제한 및 운전자의 우회주행으로 인해 많은 시간소모, 높은비용 등 효율성이 낮다. 따라서 최근에는 이러한 문제점들을 보다 효과적으로 개선하기 위해 도로에 고속축중기(HS-WIM)를 설치하여 무인 단속을 지속적으로 실시하는 방법에 대한 연구를 수행하고 있다.

본 연구에서는 공용도로 테스트 베드에서 고속축중기(HS-WIM)를 이용하여 화물차 과적검지시험 및 평가를 수행하였다. 이를 위해 먼저, 화물시험 차량에 대해 공차 상태에서의 타이어 상태, 공기압 등을 점검 후 적재물을 차량에 적재하여 과적상태를 구현하였다. 또한, 전북특별자치도 완주군 봉동읍 장구리 산 86-12번지(지방도 799번) 인근에서 정상 및 비정상 차로주행 상태에서의 과적검지시험을 수행하였으며, HS-WIM (High-Speed Weigh-in-Motion) 기술을 이용하였다. 마지막으로 차량축중량 및 총중량의 과적검지시험 결과를 분석 및 평가하였다.

<그림 1> 화물차 과적상태 및 도로파손

Ⅱ. 연구내용

1. 과적적재 방법

화물 시험차량에 과적상태를 구현하기 위해 화물시험 차량의 공차 상태에서 타이어 상태, 공기압 등을 점검하여 문제 유무를 확인하였고 이후 적재물을 차량에 적재하였다. 적재물은 (재)자동차융합기술원의 분동을 이용하였으며, 차량의 총중량 및 축별 중량을 4회 측정하여 과적상태를 구현하였다.

<그림 2> 화물차 적재 및 중량 측정

2. 차로주행 시험 방법

정해진 주행코스를 도로교통 상황에 맞게 주행하였으며, 고속축중기(HS-WIM) 시험장비가 설치된 장소를 각각 1, 2, 3차로에 대해 안전하게 주행하였다. 또한, 차로 이탈 주행 시험의 경우에는 2개 차로를 이용하여 주행하는 시험을 진행하였다.

<그림 3> 정상 및 이탈 주행

III. 연구결과

화물 시험차량의 총중량 및 축중량 측정결과를 평가 하기위해 정상 및 이탈 주행에 대한 1차로~3차로 시험결과 데이터를 분석하였다. 이를 통해 차량총중량 및 축중량에 대한 기준 중량 대비 시험장비 중량에 대한 오차율을 확인할 수 있었다.

IV. 결론

본 연구에서는 공용도로 테스트 베드에서 고속축중기(HS-WIM)를 이용하여 화물차 과적검지시험을 수행하였으며, 이의 결과를 분석 및 평가하였다.

참고문헌

1. Guerson, L., Tani, V. Z., & Valente, A. M. (2022). Operation of HS-WIM system to control vehicle overweight under Brazilian conditions. Studies in Engineering and Exact Sciences, 3(2), 325-342.
2. Oh, J., Kim, H., Park, M., Choi, Y., Kwon, S., & Park, D. (2017). A Study on Estimation for Freight Transportation Indices on Expressway Using TCS and WIM Data. Journal of Korean Society of Transportation, 35(5), 458-467.
3. Kwon, S. M., Jung, Y. Y., Lee, J. H., & Lee, K. B. (2012). Technical Trends of Overweight Enforcement Using the HS-WIM. Magazine of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, 16(2), 4-12.

사사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었습니다(RS-2022-00142239).

Contents

01 전체 연구목표

02 VPS 연구 수행 내용

03 현장 적용

04 VPS 프로그램 동작 영상

05 질의 응답

01 전체 연구목표

한국전자기술연구원

CTE 2. : 고속 주행 중 적재불량 의심차량 검지 및 낙하물 판별기술 개발

주요 연구 내용

- 국내외 적용중인 적재불량 자동검지기술의 문제점 보완과 극복기술 개발
- 공용도로 및 비공용도로에서의 적재불량 검지 시스템의 실주행 실증
- 다차로 고속주행 하 적용 가능한 적재불량 검지기술 개발

연구 개발 성과물

- [B-1] 고속 주행 중 적재불량 자동 검지 시스템
- [B-2] 적재형상 분석 및 낙하물 발생유무 판별 프로그램

주요 성과 목표

적재불량 분석 및 낙하물 판별 영상 탐정장치 개발 등

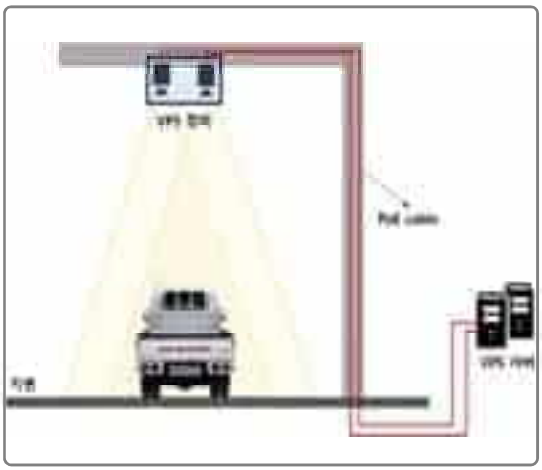
- 적재불량 검지율 95%
- 낙하물 판별 정확도 95%
- 적재물 변화 탐지율 95%

02 VPS 연구 수행 내용

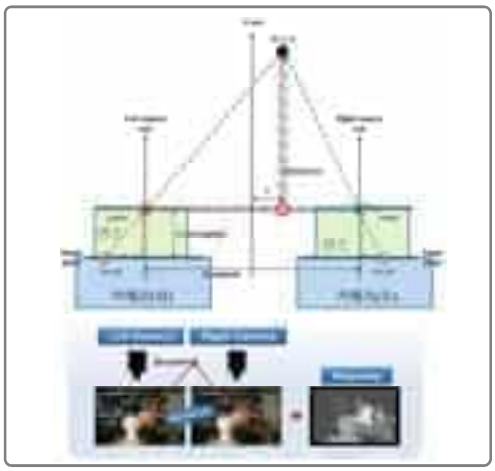
한국전자기술연구원

VPS 개념 및 원리

- VPS: Vehicle Profiling System, 차량 제원 계측 시스템, 주행 차량에 대한 형상 식별 장치
- 실내외 환경에 강인한 고속 스테레오 비전 시스템: 2개의 카메라를 평행하게 구성
- 시각 편차(Disparity) 기반으로 distance를 계산 후, 차량 제원(높이, 길이, 폭) 도출



▲ VPS 개념도



▲시각 편차(Disparity) 기반 distance 측정

02 VPS 연구 수행 내용

VPS HW

- 구조를 확각 간섭을 고려한 원형 유리면 구조 설계
  - 하우징 표면으로부터 이격(약 20mm)하여 유리 위치 선정
  - 빗물 들이침, 물방울 맺힘 등 개선
- 설치 및 유지보수가 용이하도록 설계
  - 개발이 용이하도록 전면 일체 경통 설치
  - 랜선 방수 커넥터를 사용하여 탈부착 용이
- 방수/방진을 위한 틈새 고무패킹 처리

▲ VPS(v2.0) 설계 및 제작

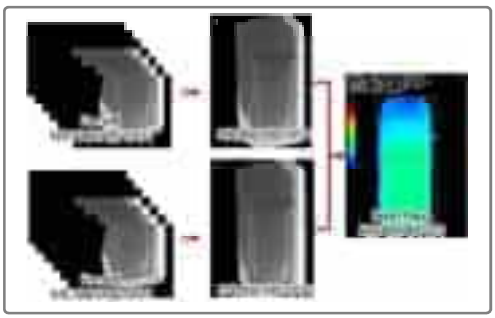
▲ VPS HW 특징

국토교통부 AI 데이터 중심의 화물차 운송 안전 향상기술 개발 KAIA

02 VPS 연구 수행 내용

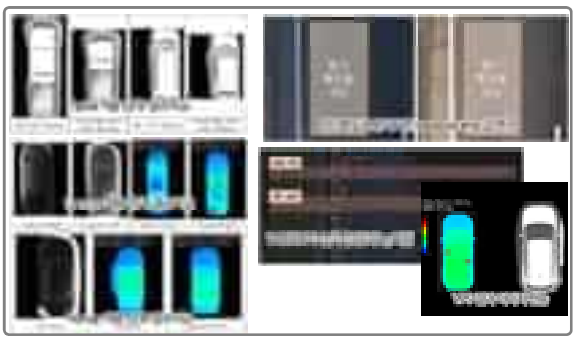
VPS SW

- Frame별 좌/우측 카메라 차량 이미지 Stitching
  → disparity(시각 편차) 기반 차량 제원 도출
- VPS 주요 알고리즘
  - 배경차 업데이트 기반 차량 진입 여부 확인
  - 분할 이미지 결합(stitching)
  - 도로 밝기 기반 exposure time 값 변경
  - 노이즈 제거 및 필터링



▲ 좌/우 스티칭 이미지를 활용한 차량 제원 산출 과정

▲차량 제원 자동 계측 Flow chart

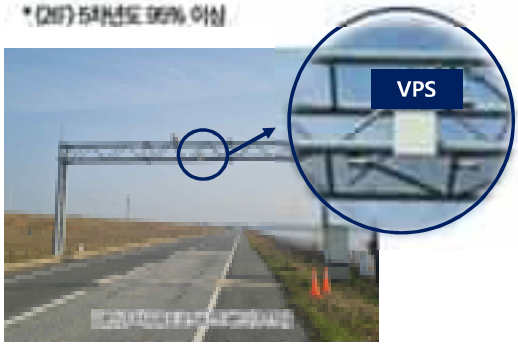


▲ VPS 주요 알고리즘 예시

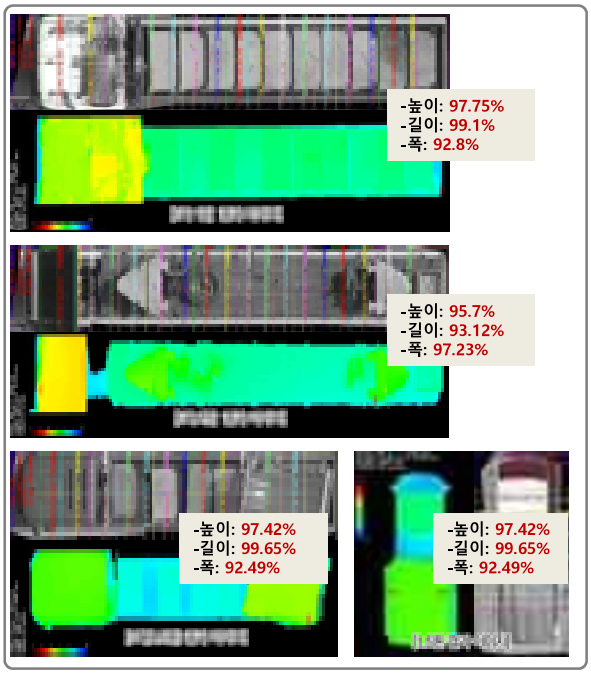
03 현장 적용

새만금 비공용도로 테스트베드

- VPS 장비 및 서버 설치 – 편도 1차로
- (24년 9/24~27) 현장 테스트 – 공인 인증 시험
- 시험조건
  - 차량: 5축 1단, 5축 2단, 3축(4.5톤), 1톤 트럭 – 총 4대
    - * 차량 별 저속(40km/h), 중속(80km/h), 고속(80km/h)으로 3, 4, 3회 주행 (총 40회)
  - 목표: 제원 계측 정확도(높이, 길이, 폭) 92% 이상
    - * (결과 예상) 92~95%
    - * (26F) 5차년도 95% 이상



*현장 실측 기반 차량 별 제원 계측 정확도



▲9/24-27 현장 테스트 결과 예시

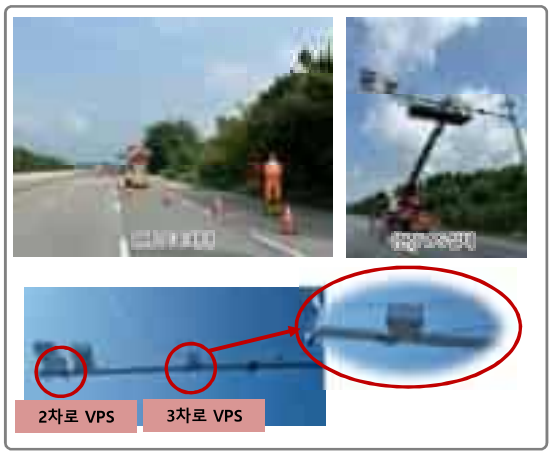
국토교통부 AI 데이터 중심의 화물차 운송 안전 향상기술 개발

03 현장 적용

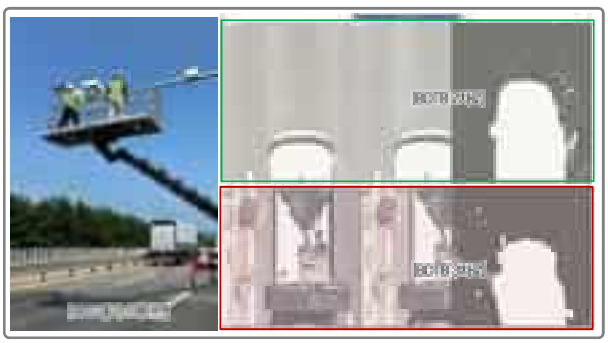
한국전자기술연구원

완주군 봉동읍 공용도로 테스트베드

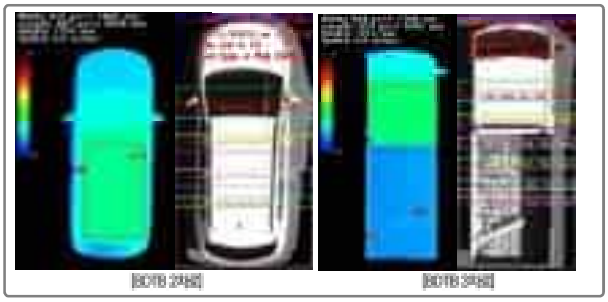
- VPS 편도 2, 3차로 설치
  - VPS 캘리브레이션 완료 및 데이터 수집
- (~12월 말) 1000대 차량에 대한 제원 계측 정확도 검증
  - 차적 조회 기반 차량 제원 비교 계획



▲ 공용도로 2, 3차로 VPS 현장 설치



▲ VPS 캘리브레이션 및 모니터링



▲ 공용도로 결과 이미지 예시

04 VPS 프로그램 동작 영상

한국전자기술연구원

2차년도 9/24-27 테스트 주행

05 질의 응답

Q & A

사사: 본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 연구비 지원으로 수행되었습니다.
(RS-2022-00142239, AI 데이터 중심의 화물차 운송 안전 향상기술 개발 사업)

과적단속용 고속축중기 성능평가 기준의 개선 방안

Improvement Strategies for the Performance Test Standard of High-Speed Weigh-in-Motion System for Weight Enforcement

이동해 (KCL, 연구원)　**이종석** (KCL, 선임연구원)　**김태상** (KCL, 팀장)

Key Words : HS-WIM, confidence level, accuracy, temperature, road geometry, roughness

목 차

Ⅰ. 초록
Ⅱ. 서론
Ⅲ. 연구방법
Ⅳ. 연구결과 및 검토
Ⅴ. 국내 기준의 개선 방안
Ⅵ. 결론

Ⅰ. 초록

본 연구는 고속축중기(High Speed Weigh in Motion, HS-WIM)의 성능평가 기준을 국외 표준과 비교하여 개선 방안을 제시하는 것을 목표로 한다. 현재 국내에서 적용되고 있는 고속축중기의 성능평가 기준은 ITS 성능평가 기준에 명시되어 있으나, OIML R134, ASTM E1318, COST 323, NMi WIM Standard와 같은 국외 표준과 비교했을 때, 정확도, 설치환경, 시험방법 측면에서 개선이 필요하다. 특히 국내 기준은 신뢰수준에 대한 고려가 미흡한데, 국외에서는 고속축중기를 용도별로 과적단속에 적용할 수 있도록 신뢰수준을 구분하고 있다. 본 연구는 이러한 차이점을 비교 분석하고, 국내 고속축중기 성능평가 기준의 개선 방안을 제시하였다. 특히 사전선별과 직접단속용 고속축중기의 정확도와 그에 맞는 신뢰수준을 고려할 수 있도록 국외 기준과 사용 현황을 검토 및 비교하였다. 아울러 온도 및 도로기하, 포장 평탄성에 대한 비교를 통해 국내 기준의 개선 방안을 수립하였다.

Ⅱ. 서론

고속축중기는 도로 위를 주행 중인 차량의 축하중 및 총중량을 실시간으로 측정하는 기술로, 과적 차량 단속과 도로 보호에 중요한 역할을 한다. 특히 차량의 정지 없이 하중을 측정할 수 있기 때문에, 고속축중기를 사용하면 교통 흐름을 방해하지 않으면서 효율적인 단속이 가능해진다. 이러한 기술은 교통 안전과 도로 유지관리 비용 절감에 크게 기여할 수 있다.

국내 고속축중기 성능평가 기준은 ITS 성능평가 기준에 근거하여 설정되어 있으나, 국외 기준과 비교했을 때 개선이 필요한 부분이 존재한다. 미국, 체코, 브라질 등의 국가들은 OIML R134, ASTM E1318, COST 323, NMi WIM Standard 등의 기준을 각국의 실정에 맞게 활용하고 있다. 이러한 기준들은 고속축중기의 정확도, 설치환경, 시험방법을 구체적으로 규정하고 있으며, 각국은 신뢰수준(confidence level)에 대한 이해를 바탕으로 사전선별(pre-selection)과 및 직접단속(direct enforcement) 용도의 고속축중기를 운용하고 있다. 반면, 국내 기준은 정확도에 대한 신뢰수준을 명확히 표기하지 않고 있으며 고속축중기를 실제 과적 단속에 적용하기 위해 필요한 설치 환경, 시험 조건에 대해 구체적으로 제시하지 못한다. 국외 표준에서는 고속축중기 성능평가 시 정확도뿐만 아니라, 설치되는 도로의 환경적 요인(온도, 도로 기하 상태, 포장 평탄성 등)을 세밀하게 고려하고 있다. 예를 들어, ASTM E1318과 COST 323에서는 설치장소의 도로기하와 포장 평탄성으로 인한 동적 효과를 줄이기 위해 명확한 기준을 제시한다. 또한 OIML R134는 온도 영향을 고려한 시험방법을 제공하고 있다.

따라서 본 연구는 국내 고속축중기 성능평가 기준을 국외 표준들과 비교하고, 정확도 및 신뢰수준, 설치환경, 시험방법 등의 측면에서의 개선 방안을 제시하는 것을 목표로 한다.

Ⅲ. 연구방법

고속축중기의 등급별 정확도, 시험방법 및 상세한 사항은 ITS 성능평가 기준의 [별표 8] 고속축중기 성능평가 기준에서 다룬다. 국내외적으로 다뤄져온 관련 기준의 개발 순서와 현황은 <표 1>과 같다. ASMT

E1318, COST 323, OIML R134는 고속축중기의 성능을 평가하는 범용적 기준으로 활용되어 왔으며, 고속축중기를 도입하여 운영하는 국가들은 이 기준들을 혼합하여 사용하는 것으로 보인다. 예를 들어 체코는 직접단속 용도의 고속축중기를 운용하고 있으며, 체코 도로교통연구소는 위 세 기준과 체코의 계량법을 통합하여 고속축중기에 대한 설계 및 운영 방법론을 개발했다. 특히 네덜란드의 국립계측연구소(NMi)는 다양한 특징을 가진 세 가지 고속축중기 기준을 통합한 국제 표준을 개발하였다. 이러한 점을 토대로 볼 때 3가지 기준을 통합하여 수용하는 방법이 국가가 고속축중기를 운용함에 있어 합리적이라는 것을 알 수 있다. 본 연구에서 ASTM E1318, COST 323, OIML R134와 국내 기준을 전반적으로 살펴본 결과 중량 정확도, 설치환경, 시험방법의 차이가 두드러졌으며, 이 세 가지 항목을 중심으로 비교하고여 개선 방안을 제시하고자 한다.

《표 1》 고속축중기 성능평가 기준 개발 현황

	성능평가기준 (국가/기관 , 연도)
1990s	[미국, 1990] ASTM E1318 (미국, 1990)
2000s	[유럽, 2002] COST 323 [국제계량기구, 2009] OIML R134
2010s	[네덜란드, 2016] NMi International WIM Standard [대한민국, 2016] 고속축중기 성능평가 기준

Ⅳ. 연구결과 및 검토

1. 중량 정확도와 신뢰수준 비교

한국은 총중량 40톤, 축하중 10톤을 초과하는 차량에 대해서 과적을 단속하며, 중량 정확도 평가항목 또한 총중량과 축하중만 존재한다. 국외의 경우 텐덤축과 트라이뎀축과 같은 그룹축에 대해서도 단속규정이 존재하여 축그룹(axle group) 하중에 대한 평가항목이 있다는 차이가 있다. 하지만 대개의 경우 총중량과 축하중 정확도로 제품의 정확도 등급을 표기하므로, 본 결과에서는 이 두가지 항목의 정확도만을 다룬다.

1) 고속축중기 성능평가 기준

국내 기준의 정확도 등급 표기 방식과 이에 해당하는 중량 정확도는 《표 2》와 같다. 개별 측정된 모든 데이터에가 특정 정확도 범위에 포함되는 경우 그 등급을 인정하는 방식으로 평가가 진행되므로, 데이터의 신뢰수준이 100%를 만족할 것을 요구하는 것이다. 또한 이 기준은 중급 이상부터 과적의심차량 식별용으로 사용할 수 있다는 내용을 포함한다.

《표 2》 고속축중기 성능평가 기준의 등급별 중량 정확도

등급	총중량	축하중
최상급	≥ 95%	≥ 90%
상급	95% > ≥ 93%	90% > ≥ 93%
중급	93% > ≥ 90%	85% > ≥ 80%
중하급	< 90%	< 80%

2) ASTM E1318과 COST 323

한국과는 다르게 ASTM E1318과 COST 323은 95%의 신뢰수준 내에서의 정확도 등급을 부여한다. 각 기준별 정확도 요구사항은 《표3, 4》와 같다.

ASTM E1318의 경우 정확도 등급이 아니라 사용하는 WIM 시스템의 유형에 따라 총중량과 축하중 오차율을 지정한다. Type I, II는 통계 목적 용도로 사용되는 고속축중기에 적용되며, Type III은 사전선별 용도의 고속축중기, Type IV는 저속축중기의 정확도 요구사항에 해당한다.

《표 3》 ASTM E1381의 등급별 중량 정확도 (오차율)

등급	총중량	축하중
Type I	±20%	±20%
Type II	±15%	±30%
Type III	±6%	±15%
Type IV	≥ 27.2±1톤	≥ 5.4±0.2톤

COST 323은 정확도 등급에 총중량 오차율이 숫자로 들어가는 형태로 구분되어있다. A부터 E까지 다양한 등급이 있지만, COST 323에서는 A(5)를 단속목적으로 사용할 것을 권고한다. 경우에 따라서 B+(7)까지 단속용도로 허용될 수 있다.

한편, 직접단속과 사전선별 등의 용도에 맞는 정확도와 신뢰수준을 선택하는 것은 국가와 해당 법을 집행하는 기관의 채택 여부에 따라 달라진다. 체코는 직접단속용 고속축중기의 성능 요구사항에 대해서 A(5)의 총중량 정확도, B+(7)의 축하중 정확도를 혼합하여 사용한다. 게다가 사전선별용 고속축중기를 운용하는 미국의 경우 ASTM E1318의 Type III 정확도 수준을 사용한다.

《표 4》 COST 323의 등급별 중량 정확도 (오차율)

등급	총중량	축하중
A(5)	±5%	±8%
B+(7)	±7%	±11%
B(10)	±10%	±15%
C(15)	±15%	±20%

3) OIML R134와 NMi WIM Standard

OIML R134와 NMi WIM Standard는 최대허용오차(Maximum Permissible Error, MEP)라는 개념을 도입하여 모든 데이터가 ±MPE의 정확도 내에 포함되도록 요구한다. 즉, 100%의 신뢰수준을 요구하는 것을 알 수 있다. <표 5, 6>은 OIML R134에서 요구하는 중량 정확도를 보여준다. 이 기준은 설치 초기단계에서의 평가와 유지보수 기간 중 평가 결과에 따라 총중량과 축하중 등급을 부여한다는 특징이 있다. 또한 축하중 정확도의 경우 2축 차량과 그 외 차량을 구분하여 등급을 부여하는데, 2축 차량을 제외한 모든 차량은 2축 차량의 축하중의 오차율보다 약 2배 더 넓은 범위를 허용한다.

<표 5> OIML R134의 총중량 등급별 정확도 (오차율)

등급	초기 검증	유지보수 기간중 검증
0.2	±0.10%	±0.20%
0.25	±0.25%	±0.45%
1	±0.50%	±1.00%
2	±1.00%	±2.00%
5	±2.50%	±5.00%
10	±5.00%	±10.00%

<표 6> OIML R134의 축하중 등급별 정확도-2축 차량 기준 (오차율)

등급	초기 검증	유지보수 기간중 검증
A	±0.25%	±0.50%
B	±0.50%	±1.00%
C	±0.75%	±1.50%
D	±1.00%	±2.00%
E	±2.00%	±4.00%
F	±4.00%	±8.00%

직접단속용 고속축중기를 사용하는 국가들이 OIML R134 인증을 받은 제품을 사용하는 만큼, MPE라는 개념을 도입하는 것이 매우 엄격한 정확도를 요구하는 것임을 알 수 있다. 실제로 OIML R134 인증을 받기 위해서는 복잡한 평가와 인증 절차를 거쳐야 한다. 직접단속용 고속축중기 제조업체인 V사와 K사의 OIML R134 인증서를 확인한 결과 10F 내외로 이보다 상위등급의 정확도를 얻기는 어려운 것으로 보인다.

이 기준들을 보면, 100%의 신뢰수준과 95%의 신뢰수준 중 어떠한 것을 채택할 지에 대한 논의가 필요하다는 것을 알 수 있다. NMi는 이러한 관점에서의 어려움을 해소할 수 있도록 용도별로 고속축중기의 정확도 및 신뢰수준을 구분하고 있다. <표 7, 8>은 NMi에서 개발한 통계용도과 법적용도로 구분된 정확도 등급을 보여준다. 여기서 등급 구분 방식은 COST 323의 등급 부여 방식과 유사한 것을 알 수 있다. 통계적용은 95% 신뢰수준, 법적적용은 ±MPE 이내일 것을를 요구한다.

<표 7> NMi WIM Standard 통계용도 중량 정확도 (오차율)

등급	총중량	축하중
S(5)	±5%	±10%
S(7)	±7%	±15%
S(10)	±10%	±20%
S(15)	±15%	±25%
S(20)	±20%	±30%

<표 8> NMi WIM Standard 법적용도 중량 정확도 (오차율)

등급	총중량	축하중
L(3)	±3%	±7%
L(5)	±5%	±10%
L(7)	±7%	±15%
L(10)	±10%	±20%

2. 설치장소에 대한 기준 비교

고속축중기는 센서에 따라 편차가 있지만 온도와 속도 조건에 민감한 경우가 존재한다. 특히 피에조 폴리머 타입의 고속축중기가 가장 민감하며 피에조 퀴츠와 밴딩플레이트가 유사한 민감도를 갖는다는 연구결과가 있다. 게다가 도로 노면의 평탄도나 기하구조 등은 차량의 동적 효과에 영향을 미치고, 더 나아가 측정되는 중량에 큰 영향을 준다. 이러한 검측영향인자(influence factor)에 대해 각 기준들은 작동온도를 권고하거나 도로 기하구조 및 포장 평탄성 요구사항을 제시한다.

<표 9>은 고속축중기가 설치되는 장소 내 기온에 대해 작동 온도범위에 대한 고려와 권고사항을 기준별로 비교한 것이다. 국내 기준을 제외하고 모든 기준에서 권장범위를 명시하고, 온도에 따른 검측영향을 최소화할 수 있는 방안을 모색하도록 하고 있다.

<표 9> 성능평가 기준별 작동온도 범위 및 권고사항

구분	작동 온도	권고사항
고속축중기 성능평가 기준	-	-
ASTM E1318	-28 ~ 50℃	평가시 온도를 기록하고, 시스템이 작동하는 합리적 주변 대기온도를 명시 후 증빙자료를 제출
COST 323	-20 ~ 60℃	평가 시 온도를 기록하고 민감도 분석을 수행
OIML R134	-10 ~ 40℃	해당 기준의 A.7.2.1(정적 온도) 테스트를 수행

고속축중기가 설치되는 장소는 주로 고속도로나 국도이므로, 주변 교통흐름이 원활하지 않아 정체가 이뤄지는 경우 및 경사로가 존재하는 곳은 피해야 한다고 알려져 있다. 특히 고속축중기 설치 장소에서의 도로기하 조건을 살펴보면, 《표 10》과 같이 특정 구간에서의 경사와 곡률반경을 설정하고 있다.

《표 10》 성능평가 기준별 도로기하 요구사항

구분	적용 구간	권고사항
고속축중기 성능평가 기준	–	–
ASTM E1318	전방 60m 후방 30m	종단경사 : 2%를 초과할 수 없음 횡단경사 : 3%를 초과할 수 없음 곡률반경 : 1,700m 이상
COST 323	전방 50m 후방 25m	종단경사 : 최소 2% 미만 횡단경사 : 3% 미만 곡률반경 : 1,000m 이상
OIML R134	전방 16m 후방 16m	종단경사가 없을 것 횡단경사 : 1%를 초과할 수 없음

《표 11》은 포장 평탄성 요구사항을 비교한 것이다. 평탄성 표기 방식과 측정방법이 달라 동일 척도로 비교하기는 어렵지만 IRI(International Roughness Index)가 많이 사용되고 있다. COST 323의 경우 단속목적의 고속축중기는 Class 1 도로에 설치되어야 하며, 이때 IRI는 1.3 이하가 되어야 한다.

《표 11》 성능평가 기준별 포장 평탄성 요구사항

구분	적용 구간	권고사항
고속축중기 성능평가 기준	–	–
ASTM E1318	전방 60m 후방 30m	해당 기준의 6.1.5.1 방식으로 직선 자를 배치할 때 직경 150 mm 및 두께 3 mm의 원판이 길이가 5 m인 직선자 밑을 통과할 수 없을만큼 매끄러울 것
COST 323	전방 200m 후방 200m	IRI 기준 설치장소의 등급 Class I : 0 ~ 1.3 Class II : 1.3 ~ 2.6 Class III : 2.6 ~ 4
OIML R134	전방 16m 후방 16m	종단경사가 없을 것 횡단경사 : 1%를 초과할 수 없음

3. 시험방법의 비교

전반적인 시험방법은 모든 기준이 동일하며 시험차량의 기준중량을 먼저 측정한 뒤 주행 시 계측된 중량으로부터 정확도를 평가하는 방식으로 진행된다. 다만 《표 12》와 같이 주행시험에 사용되는 차종이나 회수, 주행 속도에 다소 차이가 존재하는 것으로 분석되었다. 시험 차종을 선택하는 것은 고속축중기 사용 국가에서 과적 빈도나 문화에 따라서 차이가 있을 수 있다. 그러나 국내 기준에서는 주행시험 시 주행속도에 대한 언급이 없다는 문제가 있다.

《표 12》 성능평가 기준별 포장 평탄성 요구사항

구분	차종	주행시험 횟수 및 속도
고속축중기 성능평가 기준	3축 1단위 4축 1단위 5축 1단위 5축 2단위	기본성능평가 40회 (그 이외의 시험은 20회) 주행속도에 대한 언급 없음
ASTM E1318	5축 1단위 5축 2단위 시험현장의 차량	2대의 시험용 차량이 2개 속도에서 5회씩 주행하고, 현장에서 선택한 51대의 차량으로 1회씩 주행하여 총 71회 주행 (16~130km/h에서 속도 범위를 지정하고, 그 범위에서 ±8km/h 높고 낮게 설정)
COST 323	2축 1단위 (만차) 2, 3, 4축(최대 하중 21~25톤) 만차상태의 트레일러 트럭 등	지정 차량 중 4대를 사용하여 60, 75, 90 km/h의 속도로 110회 주행
OIML R134	2축 트럭 3축 또는 4축 4축 이상의 굴절식 트럭 등	3~4대를 사용하여 3개 속도에서 최소 5회씩 총 90회 주행 (주행 속도는 사용자가 지정한 속도의 최대, 중앙, 최솟값 근처로 함)

Ⅴ. 국내 기준의 개선 방안

연구결과를 바탕으로 국내 기준을 살펴보면 용도별 중량 정확도와 신뢰수준 설정, 온도와 도로기하 및 평탄성 기준 제시, 주행속도에 대한 제시가 필요한 것을 알 수 있다. 국외 기준의 모든 조건을 포괄할 수 있도록 개선방안을 정리하면 《표 13》과 같다.

《표 13》 고속축중기 성능평가 기준 개선방안

구분	개선 방안
중량 정확도	**(사전선별용)** 95% 신뢰수준으로 정확도는 총중량 90%, 축하중 80% 이상일 것 **(직접단속용)** 100%의 신뢰수준으로 정확도는 총중량 95% 축하중 90% 이상일 것
온도	-20에서 60℃ 온도 범위를 수용해야 하며, 평가 시 주변 온도를 기록하여 영향을 파악할 것
도로 기하	(종단경사) 2%를 초과할 수 없음 (횡단경사) 3%를 초과할 수 없음 (곡률반경) 1,000m 이상으로 되도록 직선 구간일 것
포장 평탄성	IRI 기준으로 1.3 미만일 것

COST 323에서 법적 집행용도로 ±2σ의 신뢰수준을 권장하는 점, 사전선별용 고속축중기 사용 국가에서 95% 신뢰수준을 요구하는 점을 토대로 볼 때 용도별로 신뢰수준을 구분하는 것이 타당할 것으로 사료된다. 다만 직접단속용 고속축중기의 정확도 신뢰수준은 100%가 요구될 수 있다. 브라질 등의 국가에서 직접단속용 고속축중기 도입을 위해 100% 신뢰수준을 요구하는 OIML R134를 참고하고 있다. 미국 또한 직접단속용 고속축중기에 관련된 조항을 NIST HANDBOOK 44에 추가하는 작업을 진행하고 있으며 이 내용이 OIML R134와 상당히 유사할 것으로 추정된다. 특히 총중량은 5%, 축하중은 10% 오차율 이내로 설정되는 추세이다. 사전선별용 정확도의 경우 경우 국내의 현행 체계를 유지하더라도 사전선별용 고속축중기 운용 국가들과 큰 차이가 없을 것으로 보인다.

그러나 고속축중기 작동온도 범위와 도로 기하 및 평탄성, 주행속도 조건에 대해서는 현행체계에서 보완이 필요할 것으로 판단된다. 수치화된 범위를 제시하기 위해 《표 13》과 같이 국외 기준을 참고하는 방법도 있지만, 실제로 해당 범위에서 타당한 성능을 발휘할 수 있는지에 대해서는 검증이 필요하다. 이러한 검증을 거쳐 과적단속용 고속축중기를 국내에 도입하기 위해 2022년부터 관련 연구과제도 진행되고 있다.

Ⅵ. 결론

본 연구는 국내 고속축중기 성능평가 기준을 국외 표준과 비교 분석하여 개선 방안을 제시하였다. 고속축중기의 용도에 따라 요구되는 중량 정확도와 신뢰수준을 구체적으로 구분하고, 온도, 도로 기하, 포장 평탄성 등 다양한 환경 요인을 고려한 기준을 수립하였다. 이를 통해 고속축중기의 성능을 정확하게 평가하고 신뢰성 높은 과적단속에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

Acknowledgments

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었습니다. (과제번호 RS-2022-00142239).

참고문헌

ASTM, E. (2009), Standard Specification for Highway Weigh-In-Motion (WIM) Systems with User Requirements and Test Methods E 1318-09, 2007 Annual Book of ASTM Standards, Edited by ASTM Committee E17-52 on Traffic Monitoring, ASTM International, USA.

Cal. Bus. & Prof. Code §12727-12728.

CALIFORNIA DEPARTMENT OF FOOD AND AGRICULTURE, (2018), WEIGHTS AND MEASURES FIELD REFERENCE MANUAL.

Caltrans, Weigh-In-Motion (WIM), (n.d.), https://dot.ca.gov/programs/traffic-operations/wim

Directive, C. (2019), 96/53/EC, OJ L, 235, 59.

European Commission, (2013), Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council amending Council Directive 96/53/EC laying down for certain road vehicles circulating within the Community the maximum authorized dimensions in national and international traffic and the maximum authorized weights in international traffic.

FHWA, Compilation of Existing State Truck Size and Weight Limit Laws, (n.d.), https://ops.fhwa.dot.gov/freight/policy/rpt_congress/truck_sw_laws/index.htm#ex2

Jacob, B., O'brien, E., & Jehaes, S. (2002), COST 323: Weigh-in-Motion of Road Vehicles-Final Report, OIML, (2006), OIML R134-1: Automatic instruments for weighing road vehicles in motion and measuring axle loads, Part 1: Metrological and Technical Requirements - Tests.

Republika, Č. (2015), Vyhláška č. 345/2002 Sb., Ministerstva průmyslu a obchodu, kterouse stanoví měřidla k povinnému ověřování a měřidla podléhající schválení typu.

Republika, Č. (2018), Vyhláška č. 209/2018 Sb., o hmotnostech, rozměrech a spojitelnosti vozidel, Sbírka zákonů.

Republika, Č. (2022), Vyhláška č. 104/1997 Sb., Ministerstva dopravy a spojů, kterou se provádí zákon o pozemních komunikacích.

Republika, Č. (2022), Zákon č. 13/1997 Sb., o pozemních komunikacích, Sbírka zákonů.

NMi International WIM Standard: Specification and test procedures for weigh-in-motion systems, (2016) NMi Certin, Dordrecht, NL, http://www.nmi.nl/nmi-wim-standard/.

포장관리를 위한 과적 차량 단속 최적화: 다양한 이해관계자 상호작용을 게임이론의 관점에서

Optimal Over-Loaded Truck Enforcement for Pavement Management System: A Game Theoretical Model for Multiple Stakeholders

정윤경*, 이진우**

*한국과학기술원 녹색성장지속가능대학원 석사과정, **한국과학기술원 건설및환경공학과 부교수

Key Words : Weigh-In-Motion, Overloaded Truck, Enforcement, Optimal Placement

목 차

1. 연구의 배경 및 목적
2. 연구 방법론
3. 수치연구
4. 결론

Ⅰ. 연구의 배경 및 목적

과적 화물차는 도로 유지보수 및 수리 비용을 증가시키는 주요 원인으로, 도로 인프라에 직접적인 손상을 입힌다. 과적 화물차는 도로 포장에 구조적 손상을 초래하고 서비스 수명을 단축시키며, 과적 화물차로 인한 손실 비용은 전체 비용의 약 60%를 차지한다. 이는 주로 과적 축이 타이어 접촉 압력에 불균형을 일으켜 아스팔트 혼합물의 변형을 증가시키기 때문이다. 과적 화물차는 교량에도 부정적인 영향을 미치는데, 차량 총중량이 15% 증가할 경우 교량의 피로 손상이 두 배가 되어 구조물의 수명이 크게 단축된다.

이 문제를 해결하기 위해 과적 화물차의 수를 효과적으로 줄일 수 있는 단속 전략이 필요하다. 도로에 매립된 센서를 통해 차량의 중량과 축중을 측정하는 WIM(Weigh-In-Motion) 시스템은 차량의 속도를 줄이거나 멈추지 않고도 단속을 시행할 수 있어 교통 흐름을 방해하지 않으면서 다양한 데이터를 수집할 수 있다.

하지만 WIM을 모든 도로에 설치하는 것은 현실적으로 불가능하고, 과적 화물차 운전자들은 경험을 바탕으로 WIM을 피할 수 있다. 따라서 WIM 위치를 전략적으로 배치하여 가능한 많은 과적 화물차를 모니터링하고, 과적 화물차를 합법적인 하중을 가진 차량으로 변화시키는 것이 중요하다.

WIM 시스템 설치는 상당한 비용이 소요되기 때문에 정부, 집행기관, 운전자 등 다양한 이해관계자들이 존재한다. 이 과정은 각자가 자신의 이익을 극대화하려는 게임이론적 관점에서 해석될 수 있다. 정부는 도로 유지보수 비용을 줄이고, 교통 혼잡을 줄이고자 하지만, 운전자는 최소비용 경로를 추구하며, 집행기관은 예산 내에서 최대한의 효율을 추구해야 한다.

또한, WIM 시스템이 설치되어 과적 차량의 경로가 변화하면, 이로 인해 특정 도로 구간에 추가적인 교통 부하가 생길 수 있으며 이는 도로 유지보수 비용의 증가로 이어질 수 있다. 이러한 변화는 단순히 과적 차량을 줄이는 데 그치지 않고, 전체 도로망의 유지보수와 비용을 고려한 통합적 의사결정 과정이 필요하다. 이를 통해 도로 유지비용 증가를 최소화하면서도 과적 차량의 단속 효과를 극대화할 수 있는 최적의 전략을 설계하는 것이 중요하다. 따라서 본 연구에서는 다양한 이해관계자들의 목적을 고려하여 과적차량을 단속할 수 있는 최적위치를 선정하는 것을 목적으로 한다.

II. 연구 방법론

과적 화물차를 감지하고 제한하는 주요 이유 중 하나는 도로 인프라에 미치는 영향을 줄이기 위해 그들의 수를 제한하는 것이다. 이를 위해 모든 차량 그룹, 특히 과적 화물차를 포함하여, 단위 시간당 예상 축하중 환산 킬로미터(ESAL-km/hr)를 최소화하는 것을 주요 목표(목표 1)로 설정했다. 동시에, WIM 시스템 설치로 인해 과적 화물차의 우회로 인해 교통량이 크게 증가하지 않도록 하기 위해, 모든 차량 그룹이 단위 시간당 총 차량 이동 시간(VHT), 즉 목표 도로망에서의 평균 차량 수를 최소화하는 것을 부차적인 목표(목표 2)로 설정했다. 현재의 계획 문제는 예산 제약 하에서 WIM 위치 계획을 다루는 상위 수준의 이중 기준 문제와, 세 가지 다른 차량 그룹(일반 경형 차량, 비과적 화물차, 과적 화물차) 간의 교통 분포 문제를 다루는 하위 수준 문제로 구성된 이중 최적화 문제이다.

1. 상위 수준 문제

도로망을 구성하는 노드와 링크로 이루어진 그래프 G의 각 링크에는 WIM 시스템을 설치할 수 있는 후보 구간들이 존재하며, 이 후보 구간들 중 어느 구간에 WIM을 설치할지를 결정하는 것이 목표이다.

WIM 설치 전에는 과적 화물차, 비과적 화물차, 일반 차량에 대한 출발지-목적지 수요가 주어지며, WIM 설치 이후에는 과적 화물차에 대한 수요가 변동될 수 있다. 비과적 화물차와 일반 차량의 수요는 WIM 설치 여부와 상관없이 일정하다고 가정한다.

각 링크에서의 세 가지 차량 그룹(과적 화물차, 비과적 화물차, 일반 차량)에 대한 교통량과 그에 따른 이동 시간은 WIM 설치에 따라 달라지며, 각 차량 그룹은 도로에 미치는 영향을 나타내는 평균 축하중 환산값(ESAL)이 있으며, 이를 바탕으로 도로에 미치는 영향이 산출된다. WIM 시스템 설치 비용은 각 후보 구간마다 다르며, 전체 설치 비용은 주어진 예산을 초과하지 않아야 한다.

2. 하위 수준 문제

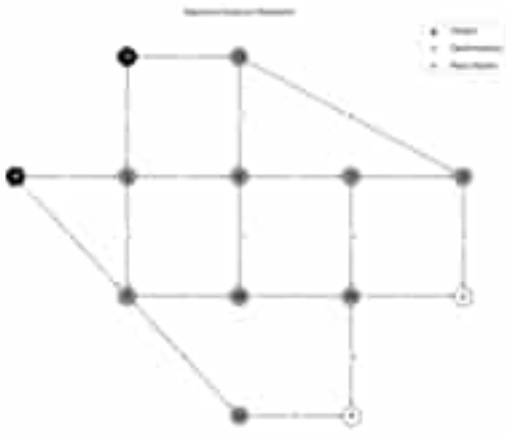
하위 수준 문제의 목표는 상위 수준에서 주어진 WIM 설치 전략에 따른 각 링크에서의 교통 흐름을 찾는 것이다. 일반 차량과 비과적 화물차 운전자는 시간과 연료 비용을 최소화하는 경로를 선택한다고 가정하며, WIM 설치 후에도 비과적 화물차 운전자가 과적을 하지 않는다고 가정한다.

과적 화물차 운전자들은 원래 과적 상태에서 얻는 이익을 과적이 아닌 상태에서의 비용과 비교해 결정하게 된다. 만약 과적 상태로 주행할 때 얻는 이익이 적다면, 과적 운전자들은 과적을 포기하고 비과적 상태로 전환할 것이다. 과적에 따른 벌금이 과적 이익보다 클 경우, 과적 화물차 운전자들은 과적을 하지 않게 된다.

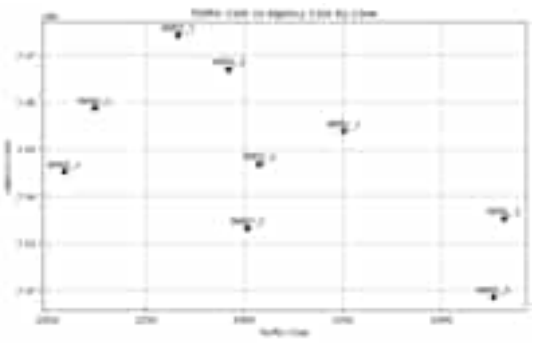
이러한 과정을 통해 각 차량 그룹(과적 화물차, 비과적 화물차, 일반 차량)의 교통 흐름과 이동 시간을 계산할 수 있으며, WIM 설치에 따른 영향을 반영한 새로운 경로와 비용이 결정된다. WIM 설치 후 과적 화물차의 수가 감소함에 따라, 그에 상응하는 비과적 화물차의 수가 증가하게 된다. 궁극적으로, 각 차량 그룹에 대한 교통 흐름을 계산한 후, 해당 네트워크에서 사용자가 균형을 이루도록 최적의 WIM 설치 위치를 찾는 과정이 반복적으로 진행된다.

III. 수치 연구

Nguyen-Dupuis 네트워크를 활용한 수치 연구를 수행했다. 해당 네트워크에 본 연구의 방법론을 적용하여 수치연구를 진행하였을 때 IM 설치로 인한 과적 화물차의 이동 비용 변화가 관찰되었으며, 과적 운전자는 과적 이익을 고려해 경로 선택을 한다. 그 결과, WIM 설치 위치와 OD 수요 변화에 따라 최적의 WIM 설치 위치를 도출하는 최종 결과를 얻었다.



<그림 1> Nguyen-Dupuis 네트워크



<그림 2> 케이스 별 목표값 변화

Ⅳ. 결론

과적 화물차는 도로 및 교량에 심각한 손상을 초래하며, 전체 도로 유지보수 비용의 상당 부분을 차지한다. 이를 해결하기 위해 과적 차량을 효과적으로 단속하는 것이 중요하다. 그러나 WIM 설치에는 높은 비용이 소요되고, 운전자들이 이를 피하려는 경향이 있어 설치 위치를 전략적으로 선정해야 한다. 다양한 이해관계자들의 목표를 고려한 게임이론적 접근이 필요하며, 과적 차량의 경로 변경에 따른 추가적인 교통 부담과 유지보수 비용도 고려해야 한다. 본 연구는 다양한 이해관계자들의 목적을 고려하여 과적 차량을 줄일 수 있는 최적의 WIM 설치 위치를 도출하였다는 점에서 의미가 있다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음. (과제번호 : RS-2022-00142339)

참고문헌

1. Arslan, O., Jabali, O., Laporte, G. (2018), "Exact Solution of the Evasive Flow Capturing Problem", Operations Research, 66(6), INFORMS, pp. 1625 - 1640.

2. Bogyrbayeva, A., Kwon, C. (2021), "Pessimistic Evasive Flow Capturing Problems", European Journal of Operational Research, 293(1), Elsevier, pp. 133 - 148.

3. Marković, N., Ryzhov, I. O., Schonfeld, P. (2015), "Evasive Flow Capture: Optimal Location of Weigh in Motion Systems, Tollbooths, and Security Checkpoints", Networks, 65(1), Wiley, pp. 22 - 42.

4. Marković, N., Ryzhov, I. O., Schonfeld, P. (2017), "Evasive Flow Capture: A Multi-Period Stochastic Facility Location Problem with Independent Demand", European Journal of Operational Research, 257(2), Elsevier, pp. 687 - 703.

5. Sheffi, Y., 1985. Urban transportation networks (Vol. 6). Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.

지방투자사업 타당성조사
교통부문

특별
Session
A-8

한국지방행정연구원 지방투자사업관리센터

교통부문 발전을 위한 타당성 조사 사례 분석과 제도적 개선 방안
최민제

지방 교통사업 특성을 고려한 지침 개정 방향
주재문

서울시립대학교

2024년 한국ITS학회 추계학술대회

교통부문 발전을 위한 타당성 조사 사례 분석과 제도적 개선 방안

발표자 서울시립대학교 교통공학과 연구교수 최민제

1 개요

1. 지방 교통사업 타당성 조사의 현황과 개선 방향

❶지방재정법에 의한 소규모 교통 사업 증가

- 지방재정법을 통해 지방 자치단체가 추진하는 소규모 교통 인프라 사업들이 지속적으로 증가하고 있음.
- 이러한 사업들은 지역 발전과 주민의 이동성을 향상시키기 위해 중요한 역할을 함.
-하지만 그 규모와 범위의 특성상 거시적인 분석만으로는 포착하기 어려운 문제가 존재함.

❷지방사업의 지속가능한 발전을 위한 상생 모델 필요성

- 대규모 국가 사업과 달리, 지방 사업에서는 세부적인 지역 특성을 반영한 미시적 분석이 필수적인 경우가 존재.
- 그러나 현재의 제도적 틀에서는 미시적 분석 결과를 체계적으로 반영할 수 있는 방법론이 부족함.
- 또한 분석 방법에 대한 다각도에서의 변화가 필연적. (첨두문제, 존 세분화 등)

❸수요 분석자로서 경험을 바탕으로 한 교통부문의 발전 방향 논의

- 70건 이상의 예비타당성 조사, 타당성조사, 민자적격조사, 기본계획 수립을 수행하면서 지방 사업의 문제점을 직시.
- 특히 수요 분석자의 입장에서 바라본 교통부문제도 개선의 필요성이 큼.
- 이를 바탕으로 교통부문의 발전 방향에 대해 구체적으로 논의하고, 현장에서 체감한 문제점과 그에 대한 해결책을 제안.

2 교통부문 수요추정 발전방향

0. 수요분석에 대한 신뢰성 제고

❶수요 신뢰성의 중요성

- 수요의 신뢰성 문제는 타당성조사를 포함한 모든 교통부문 사업에 적용되는 핵심 요소임.
- 이를 통해 사업의 타당성을 객관적으로 평가하고, 성공 가능성을 높일 수 있음.

❶현실적 접근과 미래적 제안

- 현실적으로 적용 가능한 방안부터 시작해, 미래에 고려할 수 있는 방법론까지 단계적으로 제안.
- 이를 통해 현재의 문제를 해결하면서, 개선 방안까지 모색.

자료: 데일리안

자료: 오마이뉴스

자료: 세계일보

2 교통부문 수요추정 발전방향

1. 미시 분석(Micro Simulation)의 적용방안 (1)

❶교통사업의 초점이 미시적 문제 해결로 전환

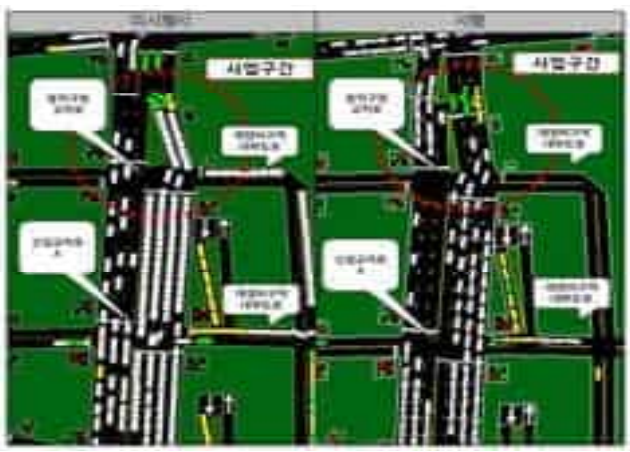
- 교통 인프라 확장이나 차로 수 불균형 해소와 같은 사업들이 많이 제안되고 있음.
- 이에 따라, 거시적 관점보다는 미시적 관점에서의 분석과 접근이 중요해짐

❶사업 규모의 제한으로 인한 거시적 분석의 한계

- 이러한 교통사업들이 상대적으로 소규모로 이루어지기 때문에, 거시적인 관점에서 분석하기에는 그 범위와 영향이 제한적.
- 이러한 사업들은 지역 내 특성에 맞춘 미시적 분석이 더욱 적합한 경우가 많음.

장승배기로 확장사업 타당성조사, 2023

자료: 장승배기로 확장사업 타당성보고서



1. 미시 분석(Micro Simulation)의 적용방안 (2) – BPR 모형확장 및 Mesoscopic

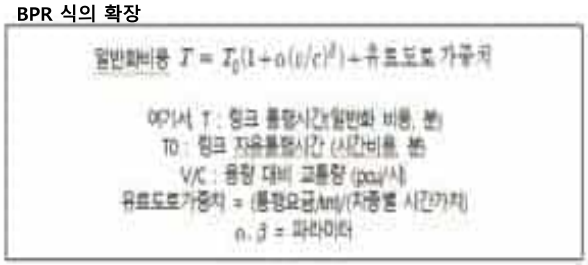
❶현행 거시 모형의 미시적 요인 반영의 한계

- 현재의 거시적 교통 분석 모형은 교차로 지체나 차로 수 불균형 등 미시적 요인들을 충분히 반영하지 못하고 있음.
- 이로 인해, 소규모 사업에서는 모형 결과가 실제 상황을 제대로 반영하지 못하는 경우가 발생함.

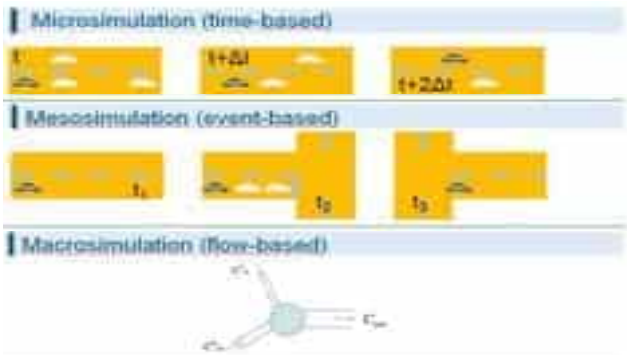
❶BPR 모형 확장을 통한 미시적 요인의 반영 및 Mesoscopic Models 도입

- 기존의 BPR(Bureau of Public Roads) 함수를 확장하여 미시적 분석에서 도출된 교차로 지체나 기타 세부적인 교통 문제들을 더 현실적으로 반영할 수 있는 방법론이 필요.
- 예를 들어, 미시 분석에서 도출된 지체 정도에 따라 추가적인 제약을 설정하거나, 교통 흐름에 미치는 영향을 보다 세밀하게 반영할 수 있는 개선된 모형 개발이 요구됨.
- Mesoscopic Models 연구 등으로 인해, 향후에는 거시적 관점에서 수요를 예측하면서 특정 지역에서는 미시모형을 통해 세부적인 문제를 해결.

BPR 식의 확장



Mesocopic Model 도입논의



자료: Aimsun.com

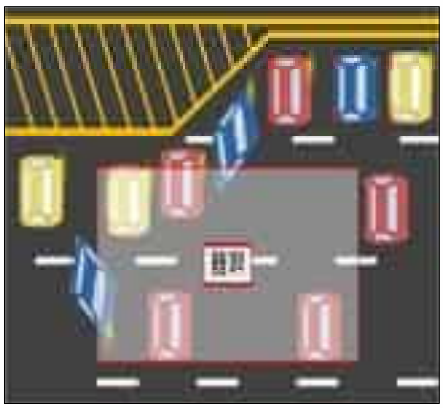
2 교통부문 수요추정 발전방향

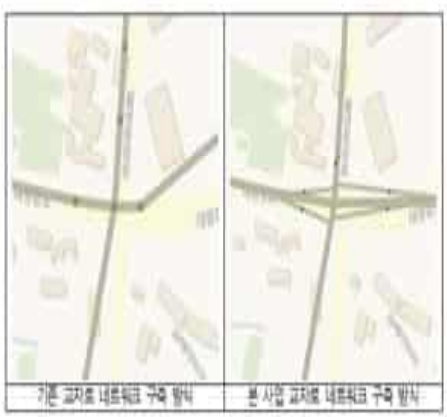
2. 방향별 교통량 세분화 방안

❶방향별 교통량 구축의 고려

- 거시적 교통 모형에서는 교차로에서의 방향별 교통 흐름을 고려하지 않고, 주로 네트워크 전체의 총량적 흐름을 바탕으로 분석을 수행함.
- 그러나 소규모 사업에서는 좌회전 교통량과 같은 특정 방향의 교통 흐름이 본선에 미치는 영향을 무시할 수 없음.
- 특히, 좌회전 교통량이나 회전 교통량은 네트워크 전반에서 교통 흐름을 지연시키는 주요 원인 중 하나로 작용할 수 있음.
- 기존의 십자가 형태로 단순화된 교차로 네트워크를 방향별 교통 흐름으로 세분화하는 방안을 고려할 필요가 있음.

대명~양곡 확포장사업, 2024





자료: 천안 남부대로 광풍로 연결사업 보고서

2 교통부문 수요추정 발전방향

3. 현실화된 첨두 O/D의 적용방안 (1)

KTDB O/D 자료의 한계

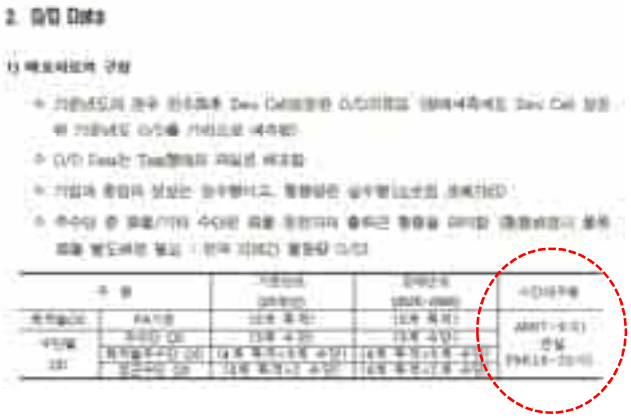
- KTDB O/D 자료는 비교적 적은 표본 크기를 기반으로 하여 전국적인 통행량을 대표하고 있음.

- 실제 통행 데이터를 분석해보면, 오전 첨두시간에 특정 방향으로 집중되는 통행량이 정부에서 제시하는 집중률보다 훨씬 높음.

- 이는 통행 패턴이 국가 기준에 비해 더 복잡하고 다이나믹하다는 것을 시사하지만, KTDB O/D 자료는 이러한 현실적인 상황을 충분히 반영하지 못하고 있음.

- 결과적으로, 첨두시간 O/D 자료는 존재하지만, 이 역시 제로 셀(zero cell) 문제와 같은 데이터 공백으로 인해 완전한 통행량을 제시하지 못하는 실정.

천안 남부대로 광풍로 연결사업, 2024



자료: 천안 남부대로 광풍로 연결사업 보고서

2 교통부문 수요추정 발전방향

3. 현실화된 첨두 O/D의 적용방안 (2)

민자사업과 재정사업의 대통합

- 실제 첨두율을 정확히 반영하여, 예상 통행량 변화에 따라 사업 규모가 재조정 되었음.
- 이는 사업의 타당성 평가 및 비용 산정에 큰 차이를 가져올 수 있음.
- 사업이 지연될 경우, 제안자는 물론 공공의 이익이 감소하고, 국가적 차원에서 사회적 비용이 증가하여 경제적, 사회적 손실을 발생시킬 수 있음.
- *KTDB 첨두자료: 고양->서울권역 (서북권, 영등포구, 서남/강남권) : 12.6%, 12.68%, 15.34%*
- *스마트카드데이터 첨두분석: 고양->서울권역 (서북권, 영등포구, 서남/강남권) : 18.6%, 29.86%, 19.96%*

기본계획+민자사업, 철도, 완료

3. 현실화된 첨두 O/D의 적용방안 (3)- 통신데이터 및 스마트카드데이터 활용

급변하는 사회와 개별 통행 분석의 필요성

- 코로나 이후로 사회는 빠르게 변화하고 있으며, 재택근무의 확산, 개인 통행 증가, 가구 구조의 다변화, 그리고 개인 이동수단의 확산 등 다양한 변화가 이루어졌음.
- 과거에는 출퇴근 패턴과 같은 정형화된 통행 형태를 분석하는 것이 상대적으로 쉬웠지만, 현재는 개인의 개별 통행이 더욱 다양하고 빠르게 변화하고 있음.
- 이로 인해, 이제는 개별 통행 단위에 대한 정밀한 분석이 필요한 시점에 도달함.

기술 발전으로 가능해진 개별 통행 분석

- 과거에는 스마트폰이나 통신 기술이 발달되지 않은 시점에서 개별 통행 단위를 분석하는 것이 매우 어려웠음.
- 그러나 현재는 통신 데이터, 카드 데이터 등 가명정보 결합을 통해 개인의 통행 데이터를 보다 정확하게 분석할 수 있는 기반이 마련되었음.
- 이처럼 데이터 분석 기술의 발전은 과거에는 불가능했던 개별 통행 분석을 현실화시켰으며, 이를 통해 개인화된 통행 패턴에 대한 더욱 정밀한 분석이 가능해짐.

더 작은 단위로의 세분화와 통행 패턴 분석

- 통신 데이터와 같은 새로운 데이터 소스를 활용하면, 기존의 동(洞) 단위보다 더 작은 세분화된 존(zone) 단위로 발생량을 파악할 수 있음.
- 세분화된 단위에서의 통행량 분석을 통해 더 명확한 통행 패턴 변화를 읽어낼 수 있으며, 이를 통해 수요 분석의 정확성을 크게 향상시킬 수 있음.
- 존의 세분화와 명확한 정의가 이루어진다면, 교통 패턴과 수요 예측에서 보다 실질적이고 유용한 결과를 도출할 수 있을 것임.

2 교통부문 수요추정 발전방향

4. 기타 발전방향

수요 추정 결과에 대한 적정성 검토 장치 필요성

- 제안의 설명력 및 반영을 위해, 수요 추정 결과의 적정성을 보다 명확하게 상세하게 수록하도록 규정하는 장치가 필요.
- 예를 들어, 역당 수요, km당 수요, 역별 수요에 대한 예측을 주변 배후 인구 대비 수요 수준과 비교하여 그 타당성을 평가할 수 있도록 구체적인 기준을 제시하는 것이 중요.
- 이를 통해 수요를 과대 또는 과소 추정하는 것을 견제하고, 더 신뢰성 있는 수요 예측 결과를 도출할 수 있는 기반을 마련할 수 있음.
- 이런 방식은 수요 분석의 객관성을 높이고, 타당성을 보다 명확하게 평가하는 데 기여할 것임

신교통수단을 고려한 모형의 다각화와 설명력 향상

- GTX나 SBRT와 같은 신교통수단의 도입을 통해 기존의 교통수단 모형보다 설명력이 높은 모형을 설계할 필요성이 커지고 있음.
- 이러한 신교통수단은 기존 교통망과는 다른 특성을 가지고 있으며, 다양한 교통수단의 연계성과 효율성을 보다 정밀하게 반영할 수 있는 모형이 필요함.
- 기존의 통상적인 모형 설계에서 벗어나 GTX, SBRT와 같은 신교통수단의 특성을 고려한 모형 다각화가 이루어져야 함.
- 다양한 교통수단 간의 상호작용과 통행 패턴을 더욱 정확하게 반영하여 설명력을 높이고, 실제 교통 수요를 보다 현실적으로 예측할 수 있게 함.
- 이를 통해 교통수단 간의 효율적인 배분과 인프라 계획의 최적화를 도모할 수 있으며, 장기적으로 신교통수단의 도입 효과를 극대화할 수 있음.

결론 및 제언

거시모형의 한계와 미시적 요인의 중요성

- 거시모형은 교차로 지체나 차로 수 불균형 같은 미시적 문제를 충분히 반영하지 못해, 소규모 교통 사업에서의 정확한 분석이 어려운 상황임.

-미시적 요인을 반영한 보다 현실적인 분석이 필요함.

모형 통합을 통한 분석 정확도 향상

- 거시모형과 미시모형의 통합은 교통 수요 예측의 정확성을 높이는 중요한 방법론임.

-상향식, 하향식, 그리고 멀티 레벨 하이브리드 접근을 통해 현실적인 교통 흐름을 반영할 수 있음.

미시적 분석 지침과 기준의 체계적 마련

- 미시적 분석을 타당성 조사에 체계적으로 활용하기 위해서는 관련 지침과 기준이 필요.

- 이를 통해 미시적 분석의 결과를 공식적으로 반영할 수 있는 제도적 장치가 마련되어야 함.

감사합니다.

지방 교통사업 특성을 고려한 지침 개정 방향

2024. 10. 24.

한국지방행정연구원 지방투자사업관리센터
주재문, 송지영

목 차

I. LIMAC 교통사업 수행 현황

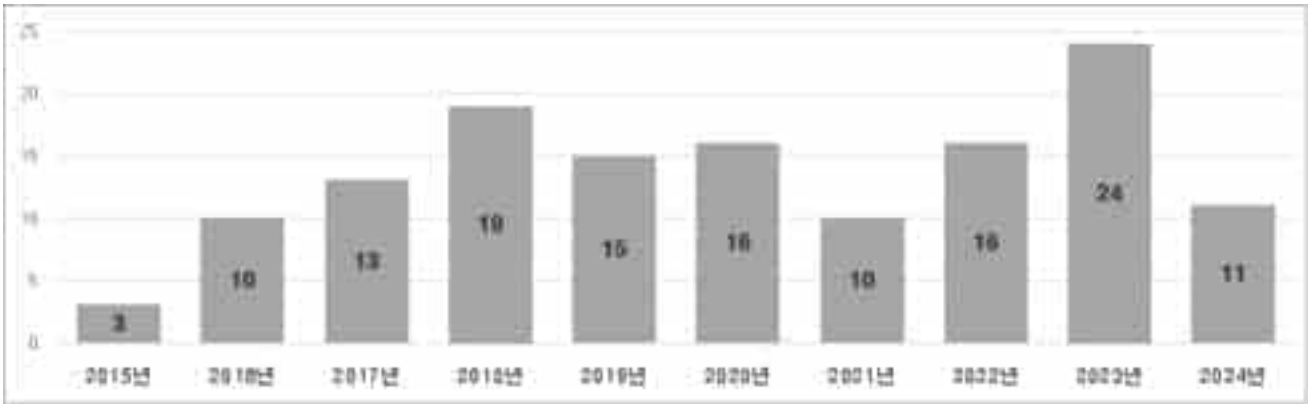
2. PIMAC / LIMAC 교통사업 지침 편익항목 비교

3. LIMAC 교통사업 지침 개정방향

Ⅰ LIMAC 교통사업 수행 현황

1 개 요

○ 한국지방행정연구원 지방투자사업관리센터는 2014년 12월 개소 이래 2024년 3차까지 총 137건의 교통사업이 의뢰되어 수행 중임



2 LIMAC 교통사업 수행 현황

○ 사업유형별로 살펴보면, 도로 사업 115건, 철도사업과 환승센터 사업 각각 8건, 주차장 사업 6건을 의뢰되었으며, 사업별 평균 사업비는 도로 사업 1,385억원, 철도사업 3,857억원, 환승센터 1,958억원, 주차장 사업 871억원으로 의뢰되었음

○ 도로 사업은 2023년 19건으로 가장 많이 의뢰되었으며, 연평균 11.8건이 의뢰됨

○ 도로 신설(47%), 도로 확포장(34%)사업이 전체 사업의 71%를 차지함

2 LIMAC 교통사업 수행 현황

○ 도로 신설, 도로 확포장 외 도로 사업은 구조개선, 교량 · 연륙교 · 연도교, 지하화, IC 신설, 터널 순으로 의뢰되었으며, 2022년 이후 총 30건의 사업 중 10건이 의뢰됨

의뢰시기	사업명	총사업비	의뢰시기	사업명	총사업비
2016	용인 지방도 315호선 일부 확장 및 지하차도 개설공사	984.00	2019	광주 지방도325호선 (가칭)중부IC 개설사업	803.00
2017	서울 탄천변 동측도로 구조개선사업	1,743.00	2019	전남 약산당목-금일일정간 연도교 가설공사	4,346.00
2017	양재대로 지하화 사업	2,953.00	2019	전남 까치내재터널 개설공사	606.00
2017	경인고속도로 일반화 사업	3,705.00	2019	광주시 지방도325호선 (가칭)중부IC 개설 사업	1,001.00
2018	서울 동부간선도로 지하화 및 생태하천 복원사업	19,870.00	2019	오산 동부대로 원동고가 철거 및 지하차도 설치 공사	658.00
2018	수원 권곡사거리 지하차도 건설사업	548.00	2019	전남 장산-자라 연도교 가설공사	1,449.00
2019	춘천 소양8교 건립사업	1,085.00	2020	서울탄천변동측도로구조개선사업	3,870.00
2019	인천 제3연륙교 건설사업	6,959.00	2020	여수시 돌산-경도간 연도교 건설사업	1,356.00

2 LIMAC 교통사업 수행 현황

의뢰시기	사업명	총사업비	의뢰시기	사업명	총사업비
2020	구미 1-3공단 연결교량 개설공사	934.00	2023	용인시 동백지구 나들목(IC) 설치사업	876.00
2020	강원 지방도 372호선 광덕터널 도로건설공사	1,435.00	2023	동부간선도로(수서방면) 연결램프 확장	552.00
2021	평택지제역 지하차도 개설공사	730.00	2023	강변북로 마포권역 진입램프 설치	894.80
2021	강원 국지도70호선 서면대교 도로건설공사	800.00	2023	장승배기로 확장	651.00
2022	서울 녹번천 복개철거 복원사업	1,205.00	2023	오송지하차도 개설공사	668.30
2022	전남 소안~구도간 연도교 개설사업	1,440.00	2023	서울 탄천변 동측도로 구조개선사업(1구간)	631.00
2023	경부간선도로 재구조화사업	12,024.05	2024	도림고가 주변 도로공간 구조개선	726.00

- 경부간선도로 재구조화사업은 입체적 도로용량 확충으로 경부간선도로의 상습 교통정체를 해소하기 위한 사업임
- 총 사업비 1조 2,024억원으로 의뢰되었으며, b/c는 X.XX로 분석되었고, 정책적분석에서 Freeval 분석을 통해 경부간선도로 Ramp의 혼잡도를 분석하였음

2 LIMAC 교통사업 수행 현황

○ 철도사업을 구체적으로 살펴보면 신설 사업 2건, 연장사업 4건, 역 신설 사업 1건, 철도차량기지 이전 사업 1건의 타당성조사를 수행하였음

○ 2017년, 2018년과 2020년 각각 1건이 의뢰되었으며, 2022년 2건, 2023년 1건, 2024년에 2건이 의뢰되었음

의뢰시기	사업명	총사업비	의뢰시기	사업명	총사업비
2017	인천 도시철도1호선 검단연장	7,277.00	2022	대구 월배차량기지 이전 사업	2,455.00
2018	부산 태종대 친환경 관광모노레일 설치사업	804.00	2023	화성시 신안산선 향남 연장사업	1,289.30
2020	경기 화성시 동탄 도시철도 건설사업	10,587.39	2024	GTX-A 평택연장	2,531.76
2022	과천지식정보타운역(가칭) 신설사업	1,428.00	2024	수도권광역급행철도 GTX-C 연장사업	4,480.50

2 LIMAC 교통사업 수행 현황

○ LIMAC에 의뢰되는 철도사업은 도시철도 노선을 활용하거나 연장하는 사업이 대부분을 차지하고 있으며, 최근 5년간 6건이 의뢰되어 철도사업의 75%를 차지함

- 과천지식정보타운역(가칭) 신설 사업은 대규모 택지개발 지구 개발이 진행됨에 따라 광역교통개선대책의 일환으로 도시철도 4호선 과천정부청사역과 인덕원역 사이에 중간역사를 신설하는 사업임
- 총 사업비 1,428억원으로 의뢰되었으며, b/c는 X.XX, PI X.XX, 운영수지비율은 X.XX로 분석되었음

2 LIMAC 교통사업 수행 현황

○ 환승센터 사업은 총 8건의 사업 중 최근 5년간 5건이 의뢰되었음

○ 최근 신규 도시철도 사업으로 인하여 기존 역이 환승역이 되어 대규모 환승 수요가 발생할 것으로 예상하여 환승센터 사업 의뢰가 증가하고 있음

의뢰시기	사업명	총사업비	의뢰시기	사업명	총사업비
2017	영등대로 지하공간 복합개발사업	5,658.00	2022	수원역 동측 환승센터 건립	1,060.00
2018	제주 6호광장 교차로 도심조입 일반복합환승센터 건립사업	1,117.00	2022	GTX의정부역 환승센터 건립사업	693.00
2018	제주 해안교차로(노형동) 도심조입 일반복합환승센터 건립사업	890.00	2023	천안역사 증개축사업	2,077.12
2020	서울 GTX-A노선 광화문역 신설사업	3,472.00	2024	세교시외버스터미널 건립	700.21

2 LIMAC 교통사업 수행 현황

- 수원역 환승센터 사업은 수원역 도시철도 1호선, 수인분당호선, GTX-C노선을 포함하여, 다수의 철도 수단과 노선버스 · 택시 · 배웅차량 · 환승 주차 등 각종 교통수단 간 연계체계 구축을 고려한 최적의 환승센터를 건설하는 사업임
- 총 사업비 1,059.55억원으로 의뢰되었으며, b/c는 X.XX로 분석되었고, 보행 통행시간 절감편익, 보행 부편익과 쾌적성 편익을 반영하였음

- 천안역사 증개축사업은 임시역사를 증개축하고, 동부광장과 지하의 환승주차장을 확보하여 시민 편의제고, 안전 및 대중교통이용 활성화를 도모하고자 하는 사업임
- 총 사업비 2,077.12억원으로 의뢰되었으며, b/c는 X.XX로 분석되었고, CVM을 활용하여 천안역사 증개축 및 동부광장 편익과 환승주차장 편익을 반영하였음

2 LIMAC 교통사업 수행 현황

○ 주차장 사업은 2023년 3건이 의뢰되었으며, 전체 주차장 사업의 50%를 차지함

○ 초기에는 버스 공영차고지 건립 사업이 주로 의뢰되었으나, 최근에는 공영주차장 조성 사업이 의뢰되고 있음

의뢰시기	사업명	총사업비	의뢰시기	사업명	총사업비
2015	서울 신림공영차고지 건설사업	628.00	2023	중곡동 주차장 복합개발	528.00
2018	성남시 운중동 버스공영차고지 건립사업	600.00	2023	서울 광장동 체육시설부지 개발 사업	2,017.00
2018	광명 철산동 지하공영주차장 조성사업	902.00	2023	부천 역곡상상시장 공영주차장 조성사업	550.00

- 중곡동 공영주차장 복합 개발사업은 주차장이 없는 노후 다가구 주택 밀집 지역의 만성적 주차난을 해결하기 위해 공영주차장을 설치하는 사업임
- 총 사업비 528억원으로 의뢰되었으며, 설문조사를 통하여 전환 수요를 추정하였으며, b/c는 X.XX, 운영수지비율은 X.XX로 분석되었음

3 PIMAC 교통사업 수행 현황

○ 한국개발연구원 공공투자관리센터는 1999년 이후 270건의 도로 사업, 143건의 철도사업 예비타당성조사를 수행하였음

○ 또한 144건의 도로 사업 타당성 재조사, 19건의 철도사업 타당성 재조사를 수행하였음

3 PIMAC 교통사업 수행 현황

○ 도로 사업은 2009년 22건으로 가장 많이 의뢰되었으며, 연평균 16.6건이 의뢰됨

○ 고속도로, 국도, 국지도, 국도우회도로, 광역도로등 지역간 도로 건설사업이 149건으로 약 55%를 차지함

- 계양~강화 고속국도 건설사업은 대규모 택지개발로 인한 발생 교통량의 신속한 처리와 지역의 접근성을 강화하여 수도권 서북부지역 교통 분산 및 혼잡율 완화를 목적으로함
- 총 사업비 1조 9,684억원으로 의뢰되었으며, b/c는 0.81로 분석되었음

3 PIMAC 교통사업 수행 현황

○ 철도 사업은 2010년 17건으로 가장 많이 의뢰되었으며, 연평균 6.5건이 의뢰됨

○ PIMAC의 철도사업은 대부분 철도 신설 및 연장사업으로 나타남

- 의정부~금정 광역급행철도 건설사업은 수도권 주민들의 교통복지 증진과 만성적인 수도권 교통난 해소를 위해 주요 거점역을 30분대로 연결하는 광역급행철도망 구축을 목표로 하는 사업임
- 총 사업비 4조 422억원으로 의뢰되었으며, b/c는 1.36으로 분석되었음

4 PIMAC / LIMAC 교통사업 유형 비교

○ LIMAC의 교통사업과 PIMAC의 교통사업의 총사업비를 비교해보면 도로 사업의 경우 총사업비 규모가 PIMAC 사업이 약 1.92배 큰 것으로 나타났으며, 철도사업의 경우는 총사업비 규모가 PIMAC 사업이 약 2.85배 큰 것으로 나타남

4 PIMAC / LIMAC 교통사업 유형 비교

○ 도로 사업의 경우 PIMAC의 사업이 도로 연장이 길고, 지역간 광역 도로 사업이 다수 포함되어 있어 총사업비가 큰 것으로 판단되며, 철도사업의 경우 PIMAC 사업의 경우 지역간 철도사업이 다수 포함되어 있어 총사업비가 큰 것으로 판단됨

Ⅱ PIMAC / LIMAC 교통사업 지침 편익항목 비교

1 PIMAC / LIMAC 교통사업 지침 공통 편익 항목

○ PIMAC과 LIMAC 교통사업의 공통 편익 항목은 교통 4대 편익인 차량운행비용 절감편익, 통행시간 절감편익, 교통사고비용 절감편익, 환경비용 절감편익이 있음

- 차량운행비용 절감편익은 사업시행 전·후 통행배정 결과로 도출되는 영향권내 링크들의 통행속도에 차종별·속도별 차량운행비용 원단위를 적용하여 분석 대상사업 시행으로 인한 차량운행비용 절감편익을 산정함

- 통행시간 절감편익은 사업시행으로 인한 통행시간 감소량을 평가기간 동안만큼 산출하여 통행시간가치를 곱하여 산정함

1 PIMAC / LIMAC 교통사업 지침 공통 편익 항목

- 교통사고비용 절감편익은 사업시행으로 평균주행거리가 감소함에 따라 교통사고로 발생하는 사회·경제적 손실의 감소분을 정량화한 편익으로 사고발생 비율과 사고비용 원단위의 곱으로 산정함

- 환경비용 절감편익은 비교적 영향의 정도가 크고 환경영향에 대한 평가 및 가치화가 용이한 대기오염(온실가스 포함)과 소음발생에 초점을 맞추어 환경비용을 추정함

- 대기오염 및 온실가스 절감편익은 오염물질별 대기오염비용 원단위를 산출하고, 사업 시행으로 인한 오염원별, 오염물질 배출량의 변화를 산정한 후 이를 오염물질별 대기오염비용 원단위를 곱하여 산정함

- 소음 감소편익 산정방법은 사업 미시행 시와 사업 시행 시의 발생 소음도 차이를 구한 후, 소음도 수준에 따른 건강영향을 고려한 사회적비용 원단위를 곱하여 산정함

2 PIMAC 교통사업 지침 신규 편익항목

○ PIMAC 교통사업은 「예비타당성조사 수행을 위한 세부지침 도로·철도 부문 편익 산정 기준 개정」(2023.06.27.)에 따라 4대 편익외 통행 신뢰성 향상 편익, 수질오염 개선 편익을 추가적으로 산정하고있음

○ 신뢰성 향상 편익은 통행시간의 변동성을 측정하고 여기에 통행시간 신뢰성의 가치를 곱하여 산정함

- 통행시간의 신뢰성은 통행 중의 불확실성 또는 변동성을 의미하며, 교통상황이 안정적일수록 통행시간의 신뢰성을 향상됨

2 PIMAC 교통사업 지침 신규 편익항목

- 국내외 다수의 연구에서 통행시간의 표준편차를 통행시간 신뢰성 지표로 정의하고 있음
- Kouwenhoven and Warffemius(2016)는 통행시간 신뢰성 지표 산정을 위한 독립변수로 통행시간, 평균지체, 링크길이, 혼잡지표를 이용하였음
- Kouwenhoven and Warffemius(2016) 모형을 기반으로 국내 네이게이션 자료(2016년 7월 1일 ~ 2017년 6월 30일)를 이용하여 경로 기반의 통행시간 신뢰성 모형을 산출하였음

$$\sigma = 0.570 + 0.189MD + 0.598LOG(MD+1) + 0.008L$$

여기서, σ: 도로이용자의 기·종점간 통행시간 표준편차

MD: 기·종점간 '평균통행시간 - 자유통행시간' (mean delay) (분)

L: 기·종점간 통행거리(km)

2 PIMAC 교통사업 지침 신규 편익항목

- 통행시간 신뢰성 가치는 통행시간 신뢰성 비율과 통행시간 가치를 통해 산정되었음
- 한국개발연구원 『통행시간 신뢰성 향상 편익 산정 연구,(2020)』에서는 도로 통행시간 신뢰성 가치를 추정하기 위하여 경로선택 이항로짓모형을 통해 효용함수의 계수를 추정하였음
- 도로 통행시간 신뢰성 가치추정 모형은 업무와 비업무 통행으로 구분하였으며, 종속변수는 고속도로와 국도의 2가지 경로 선택, 독립변수는 통행시간, 통행비용, 통행시간의 신뢰성으로 설정하였음
- 통행시간 신뢰성 비율은 일반로짓모형과 혼합로짓모형 모두 업무통행이 0.36, 비업무통행이 0.15, 전체 통행이 0.23으로 추정되었음

통행시간 신뢰성 비율

구분	도로부문	
	업무통행	비업무통행
신뢰성 비율(RVR)	0.36	0.15

자료: 한국개발연구원, 「통행시간 신뢰성 향상 편익 산정 연구」, 2020

2 PIMAC 교통사업 지침 신규 편익항목

- 도로부문 사업에서 통행시간 신뢰성 향상 편익은 상수항을 제거한 신뢰성 지표 모형과 통행시간 신뢰성 가치를 통해 다음과 같이 산정함

통행시간 신뢰성 향상 편익 산정식

$$VOTRS = VOTR_{\text{사업미시행}} - VOTR_{\text{사업시행}}$$

여기서, $VOTR = \sum_{a}\sum_{k}(x_{ak} \times \sigma_a \times VOR_k) \times 365$

$\sigma_a = 0.189MD_a + 0.598LOG(MD_a + 1) + 0.098L_a$

x_{ak}: 링크 a를 통과하는 차종 k의 교통량

σ_a: 링크 a의 통행시간 신뢰성 지표 (통행시간 표준편차)

VOR_k: 차종 k의 대당 통행시간 신뢰성 가치

k: 차종 (승용차, 버스, 화물차 등)

MD_a: 링크 a의 평균통행시간 − 초기통행시간

L_a: 링크 a의 연장

2 PIMAC 교통사업 지침 신규 편익항목

○ 수질오염 개선 편익은 도로부문에서 추정되는 비점오염물질을 대상으로 측정하여 편익을 산정함

- 수질오염피해 비용 원단위는 물환경보전법 제4조의7(오염총량초과과징금) 및 동법 시행령 제10조(오염총량초과과징금 산정의 방법과 기준) 에서 규정한 오염총량초과부과금' 에 근거하여 책정함
- 수질오염물질 1kg당 과징금 단가는 초과배출이익 × 초과율별 부과계수 × 지역별부과계수 × 위반횟수별 부과개수– 감액 대상 과징금으로 산정함
- 2012년 이후에는 2011년 과징금 단가에 연도별 과징금 산정 지수를 곱하여 산정함

수질오염 피해 비용 원단위

(단위 원)

구분	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년	2020년	2021년
가격변동지수		1.046	1.02	0.9884	1.0046	0.9881	0.9803	1.0288	1.0156	1.0024	1.0037
과징금 산정지수	1.0000	1.0460	1.0889	1.0942	1.0890	1.0920	1.0449	1.0759	1.0867	1.0925	1.0981
수질오염 피해비용 원단위	6,800	6,061	6,192	6,172	6,200	6,132	6,061	6,223	6,300	6,335	6,340

2 PIMAC 교통사업 지침 신규 편익항목

- 교통운영 측면에서의 교통량 변화를 반영하기 위해 수질오염물질 배출계수 원단위를 AADT를 고려한 원단위로 재산정함
- 수질오염물질 측정 장소의 인근도로에서 수집된 차로 수와 AADT를 기반으로 차로당 차량 1대에 해당하는 수질오염 물질 배출 원단위를 산정하였으며, 차량너비는 차로 폭과 같다고 전제하였음
- 배출계수 원단위는 한국도로공사『비점오염저감시설 설치 및 유지관리 효율화 방안 연구 ,(2016)』의 전국 도로에 설치된 비점오염저감시설별 설치 현황 자료를 활용 0.0004kg/㎢·대로 적용함

수질오염 개선 편익 산정식

$$VWPCS = VWPC_{사업 미시행} - VWPC_{사업 시행}$$

여기서, $VWPC = \sum_i (WSU \times WSC \times VPL_i \times L_i \times N_i \times VW) \times 365$

WSU = 수질오염물질 배출 원단위(0.0004kg/km²·대)

WSC = 수질오염피해 비용 원단위(6,320원/kg)(2019년)

VPL_i = 링크 i의 차로당 교통량(veh/day·lane)

L_i = 링크 i의 연장(km)

N_i = 링크 i의 차로수

VW = 차량너비 (0.0035km)

Ⅲ LIMAC 교통사업 지침 개정방향

1 최근 교통사업 투자심사 결과 분석

○ 지난 3년간(2022~2024년) 교통사업의 중앙투자심사 심사 결과 교통사업의 의견을 검토하였음

- 재원과 관련하여 중기지방재정 계획 수정 및 반영, 국비 · 시비확보, 지방채 발행 및 상환계획 수립 등 검토 의견이 있었음
- 안전과 관련하여 차량 통행 및 보행 안전 계획수립, 공사로 인한 민원 최소화 방안 마련 등 검토 의견이 있었음
- 환경과 관련하여 환경 훼손 최소화 방안 마련, 주민 의견 수렴 등의 검토 의견이 있었음

1 최근 교통사업 투자심사 결과 분석

- 기타 의견으로는 관계기관과 유기적 협력을 통한 신속한 사업추진, 교통 체증 대책 방안 마련, 효율적 운영 방안 및 타 교통수단과의 연계성 강화 방안 마련, 문화재 발굴의 차질 없는 진행 및 문화재청과 보존 방안 협의 진행등의 검토 의견이 있었음

심사연도	사업명	총사업비(억원)	심사 결과	판단 사유
2022년	대구권 광역철도 건설사업	1,857	조건부	· 중기지방재정계획 수정
2022년	주문연도교 건설사업	300	조건부	· 추후 교통량 확대에 따른 관광 활성화 방안 등 마련 · 주문 연도교 건설 후 교통량, 사업효과 등을 분석하여 볼음 연도교 건설 시에는 국비 확보 필요 · 인근 어업인등 민원 최소화방안 마련 후 추진
2022년	영동대로지하공간복합개발사업 (강남권 광역복합환승센터)	12,597	조건부	· 토목분야 사업 추진 시 교통정체 최소화 및 안전사고 예방 대책 마련 · 관계기관과 유기적 협력을 통한 신속한 사업추진
2024년	대전도시철도 2호선 건설 (재심사)	14,782	조건부	· 중기지방재정계획 수정 · 기재부와 협의한 총 사업비 범위 내 사업추진 · 연차별 지방채 발행 · 상환계획 등 안정적인 재원 조달 방안 마련 · 트램도입에 따른 차로수 감소를 고려 하여 교통 체증 대책 방안 마련 · 지방재정부담 최소화를 위한 효율적 운영 방안 및 타 교통수단과의 연계성 강화 방안 마련
2024년	서면대교 건설공사 (신규)	1,200	조건부	· 문화재 발굴의 차질 없는 진행 및 문화재청과 보존 방안 협의 진행 · 사업 추진 과정에서 환경 오염방지, 주민 불편사항 해소 방안 마련

2 LIMAC 교통사업 지침 개정방향

○ 지방 교통사업은 링크 길이가 짧고 도로확포장 같은 사업이 아닌 시설개량 등 사업이 많아 PIMAC에서 제시하고 있는 신규 편익 항목을 반영 한다 할지라도 b/c에의 영향은 상대적으로 적을 것으로 판단됨

○ 최근 LIMAC에 의뢰되고 있는 사업 유형을 고려할 때 EMME/4 등 거시모형을 사용한 전통적인 4단계 수요추정방법과 4대 편익만으로는 해당 사업의 편익을 충분히 추정하기 어려운 한계가 있음

○ LIMAC은 「도로 및 교통부문 타당성조사를 위한 지침연구」제3판 개정을 앞두고 있는데 PIMAC에서 산정하고 있는 편익항목들을 그대로 수용하기보다는 지방 교통사업 특성에 맞게 검토가 필요할 것으로 판단됨

- micro 시뮬레이션, CVM 등 설문조사 기법, macro 분석과 micro 분석의 연계, 신규편익항목의 발굴 및 추정방법론 개발, 사회과학분야에서 적용되는 계량분석기법 등 기존의 교통사업 평가에서 적용되지 않았던 새로운 분석기법의 적극적 검토가 필요함

레벨 4 자율주행 차량의 주변 환경 및 인지 증강 정보 융합 기반 협력 제어 기술 개발 현황

특별 Session A-9

㈜아이티텔레콤, 아이나비시스템즈

V2V 협력 주행을 위한 측위기반 고정밀지도 데이터 설계 및 구축에 대한 연구
김진환

협력형 주행 자동화 시스템 유즈케이스, 시나리오 개발
신유영

V2V 기반의 CPM 메시지를 활용한 협력형 MRM 개발
박홍식

자율주행차량 경로 계획을 위한 시공간 그래프 뉴럴 네트워크 기반의 경로 예측 모델 개발
윤진원

인지 음영을 고려한 자율협력주행 테스트 시나리오 정의서 개발
엄새얀

음영지역에서 인지 확장을 위한 시멘틱 정보기반 객체 매칭 방법
주경진

산업통상자원부
자율주행기술개발 혁신 사업

V2V 협력 주행을 위한 측위기반 고정밀지도 데이터설계 및 구축에 대한 연구

2024 한국 ITS학회 학술대회

2024. 10.

김진환(책임 연구원)ㅣ김봉근(전임 연구원)

본 연구는 2024년도 산업통상자원부 및 한국산업기술기획평가원(KEIT)의
자율주행기술개발혁신사업 (과제명 : 주변환경 정보 융합 기반 협력형 차량 제어 기술 개발,
과제번호 : 20026184) 연구비 지원에 의해 수행됨

목 차

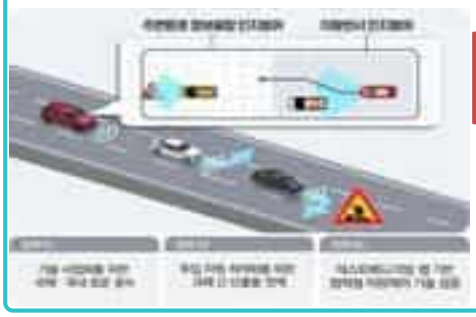
1. 연구배경 및 역할
2. 국토지리정보원 정밀도로지도 분석
3. 측위용 HD Map 설계 및 구축
4. 결론 및 향후 연구과제

1. 연구배경 및 역할

연구배경 및 역할

V2V 통신기반 협력형 자율주행 제어기술

V2V 통신 기반 데이터를 공유하여 인지영역을 확장하고, 다중 차량 협력을 통해 주행 편의/안전성 향상을 위한 협력형 차량제어 기술(5종 이상) 개발



INAVI 시스템즈 역할

- 자율주행 시스템 아키텍쳐 설계 및 N2N 협력
  제어 모듈 H/W 플랫폼 제작
  – 센서 퓨전 및 측위/통신, 하위 제어 플랫폼 연계
- V2V용 HD Map Data 모델 연구
  – 실증구역 V2V HD Map 구축
- 정밀측위지도 경량화 기술
  – LLM* 모듈 개발

- NGII HD Map 분석
  – 국내표준 준수 및 호환성 확보
- 측위기반 HD Map 설계 및 구축
  – 실증구역 V2V HD Map 구축
- 경량화 모듈 생성 기반데이터 제공

*LLM : Lightweight Localization Map

차량의 실시간 측위 정확도 향상과 주변 환경 인지영역 확장 향상에 기여

1. 연구배경 및 역할

정밀도로지도 필요성

- 자율주행차 센서 인식 범위가 제한적이고 복합 교차로에서 대응 한계
- 자율주행차에 사용되는 센서는 도로환경□기상환경 등에 의해 기능 저하
- 자율주행차량 센서와 정밀도로지도 정보를 융합하여 자율주행의 안정성 확보

HD Map

인지
도로 환경 인식
- 차선□교통표지판□도로형태 등 제공
- 차량의 정확한 위치정보 제공
- 센서와 맵 정보 융합하여 주변환경을 정확히 파악

판단
도로환경에 따른 경로탐색
- 주행 환경 이해 및 미래 상황 예측
- 목적지까지 최적의 경로를 계획

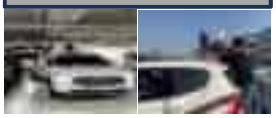
제어
차량의 이동 및 속도제어
- 급커브나 복잡교차로 상황에서 차선유지
- 도로상태□속도제한 구역에서 속도 조정

2. 국토지리정보원 정밀도로지도 분석

정밀도로지도 구축 과정

STEP1 계획수립

MMS차량준비/점검

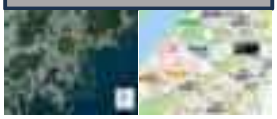


• 차량 및 MMS 촬영 장비 사전 운용 Test 및 설정

사전조사실시

• 도로의 상황, 위험요소 분석 및 주행 경로 분석

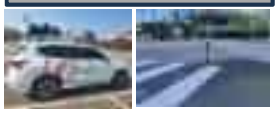
일정계획수립



• 촬영 경로 계획 수립 및 촬영 일정 계획 수립 등

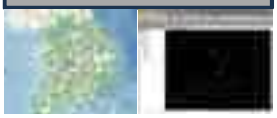
STEP2 MMS조사

MMS 및 기준점측량



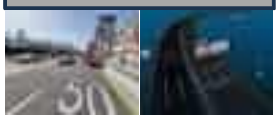
• MMS 장비 최종점검 후 촬영 (점군,이미지 데이터 취득)

데이터 전처리



• 상시관측소와 차량 GNSS 데이터를 이용한 DGPS 처리

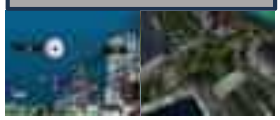
데이터 후처리



• 기준점 선점/측량 촬영 데이터 보정/정합, 표준 자료 구축

STEP3 지도제작

세부도화

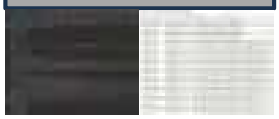


• 도화프로그램을 이용하여 객체 세부도화

구조화편집

• 세부도화 객체에 대한 속성 부여 및 구조화 편집

오류검증



• 레이어별 속성 및 형상 오류 검증 및 수정

STEP4 작업완료

품질평가

• 점군 및 벡터 위치정확도

• 속성 무결성 검사

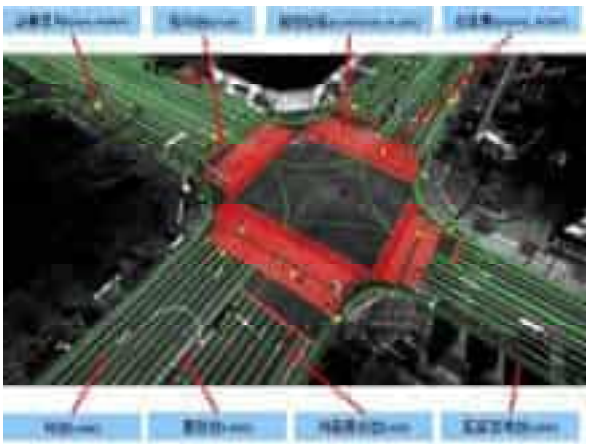
성과

※자료출처□국토지리정보원 참조 재구성

2. 국토지리정보원 정밀도로지도 분석

정밀도로지도 개념

- 차로 수준의 도로 정보를 포함하여 높은 정확도로 구축한 **3**차원 도로지도
- 자율주행차량의 운행에 활용할 수 있는 차선□도로 시설물□표지 시설 등의 정보 포함
- 네트워크 레이어 **2**개□구조물 레이어 **3**개□표지 및 노면표시 레이어 **3**개□기타 시설물 레이어 □개



※자료출처□국토지리정보원

3. 측위기반 HD Map 설계 및 구축

측위기반 HD Map

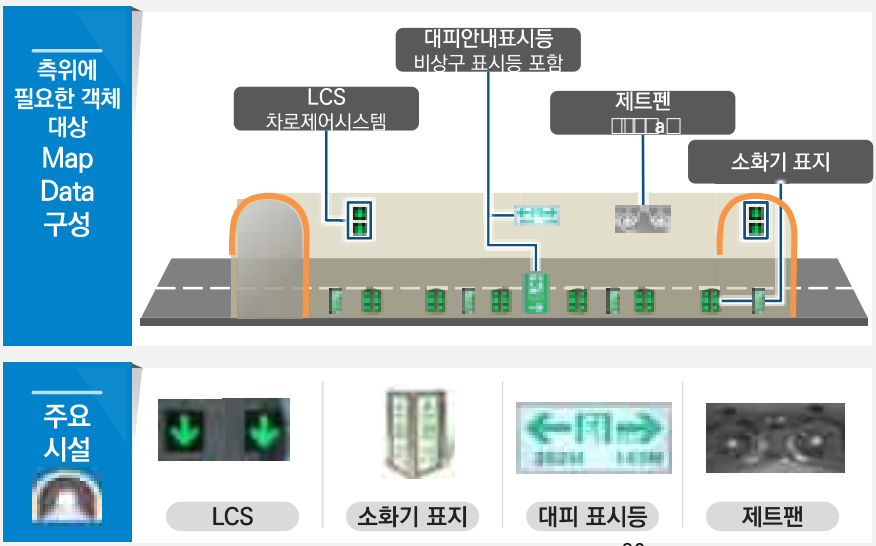
측위기반 모델 설계 및 HD Map 구축

3. 측위기반 HD Map 설계 및 구축

연구내용 – 기타시설물 구축 유형

- 도로정밀지도 레이어 中 표지판을 측위용 객체 이용
- 일반도로는 교차로 주변 측위 객체 밀집된 형태이며 터널□지하차도 구간내 측위에 필요한 객체 부족

터널 내 HD MAP (예시)



대표 객체

01 LCS

빈도 높은 돌출 시설물
- 설치 간격 : 4~500m
- 위험도 지수 2등급 이상 터널 의무 설치

02 대피안내표시등

시인성 높은 돌출 시설물
- 설치 간격 : 50m
- 200m이상 터널 의무 설치
- 상단 설치로 인한 높은 시인성 확보

03 제트펜

대형 구조물
- 500m 이상, 2등급 이상 터널 의무 설치
- 시인성 높음

04 소화기 표지

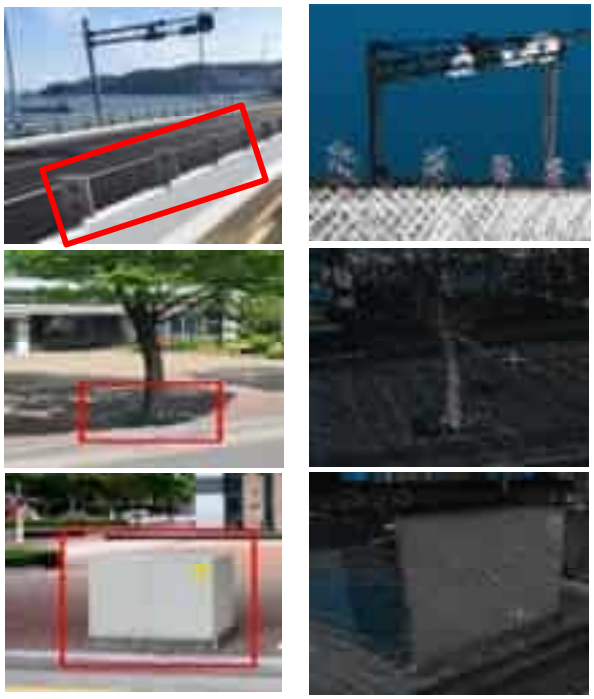
빈도 높은 돌출 시설물
- 설치 간격 : 50m 이내
- 모든 터널 의무 설치

3. 측위기반 HD Map 설계 및 구축

연구내용 – 기타시설물 구축 유형

터널 및 지하차도

일반도로

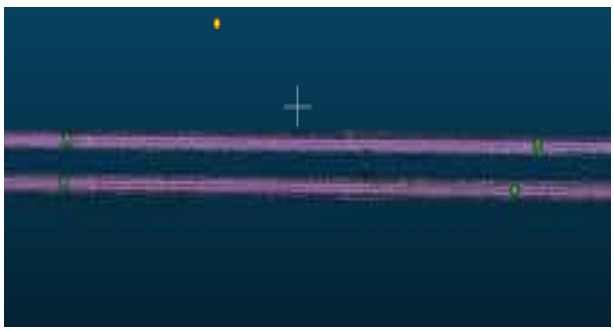


9

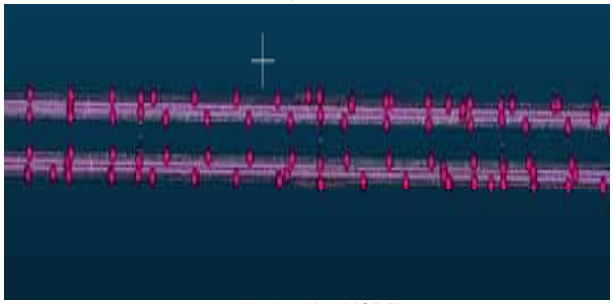
3. 측위기반 HD Map 설계 및 구축

연구내용 – 기타시설물 구축 유형

터널 및 지하차도

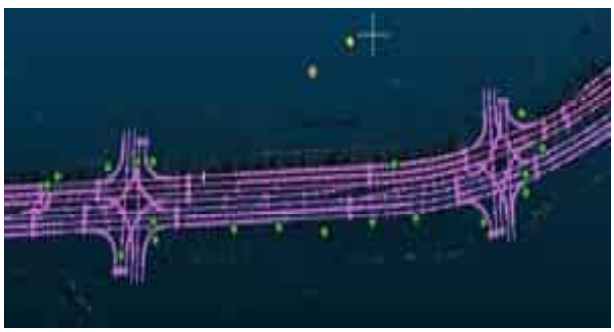


NGII Map MODEL

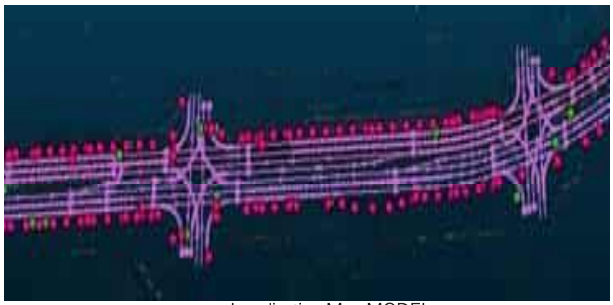


Localization Map MODEL

일반도로



NGII Map MODEL



Localization Map MODEL

4. 결론 및 향후 연구과제

결론

- V2V 실증용 Map 요구사항 분석 및 정의
  - □□l 정밀도로지도 모델 분석 및 자율주행 차량 탑재 센서 기반 측위에 필요한 지도 요소 분석
  - 자율주행 차량의 측위를 목적으로 하는 지도 요구사항 □3개 항목 정의
- 국토지리정보원 정밀도로지도 모델기반의 측위용 지도 모델 설계 및 Map구축
  - □a□□Map 2종□□□ad□S□ra□□□□□□3종□□a□d□ar□□□□□□4종으로 이루어진 데이터 모델 설계 및 Map구축
  - 정밀 측위지도 경량화 모듈 생성 기반 데이터 제공

향후 연구과제

- 실증 구간 도로환경 분석을 통한 추가 객체 구축
  - 측위에 필요한 Map Da□a 추가 및 구성
- 정밀도로지도 데이터의 오류 검출 개발을 통한 Map정확도 향상
  - 다양한 오류 케이스를 검출 및 수정하여 자율주행 지원 기술의 안정성 확보

11

Q&A

산업통상자원부
자율주행기술개발 혁신 사업

주변환경 정보 융합 기반 협력형 차량제어 기술개발

협력형 주행 자동화 시스템 유즈케이스, 시나리오 개발

한국자동차연구원

아이나비 KATECH CASELAB MDC iTelecom 롯데정보통신 KAIST 국립공주대학교

1 협력형 주행 자동화 시스템 정의

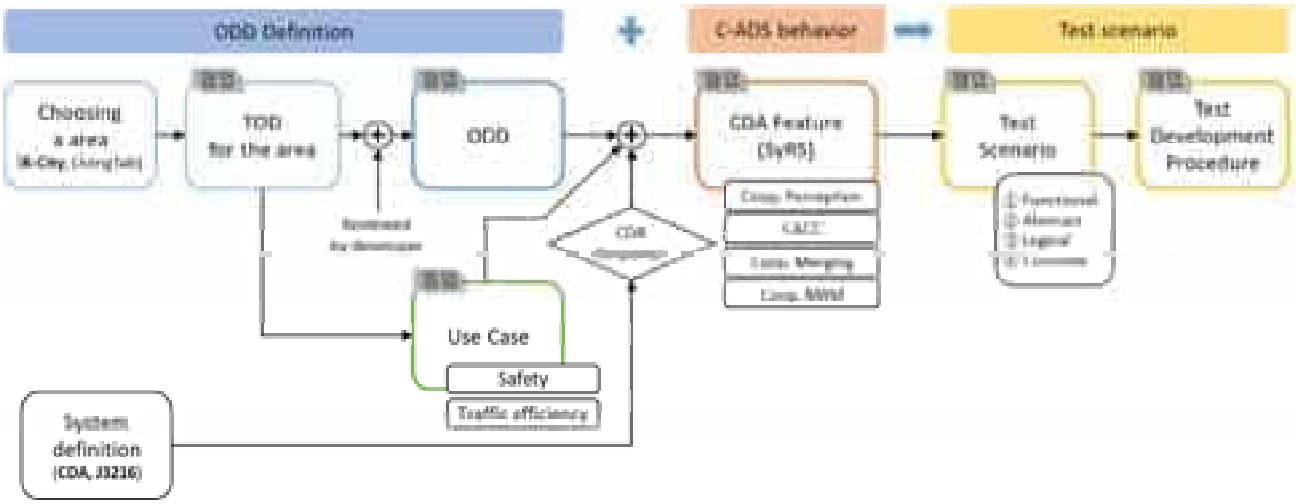
협력형 주행 자동화

시스템 정의 – CDA (Cooperative Driving Automation) Class A to C

2 유즈케이스 통합 개발 프로세스

유즈케이스 개발 프로세스

유즈케이스 및 시스템 요구사양서 개발 Framework



2 유즈케이스 통합 개발 프로세스

유즈케이스 개발 프로세스

TOD / ODD 정의

➢ ODD 관련 용어 정의 / 비교

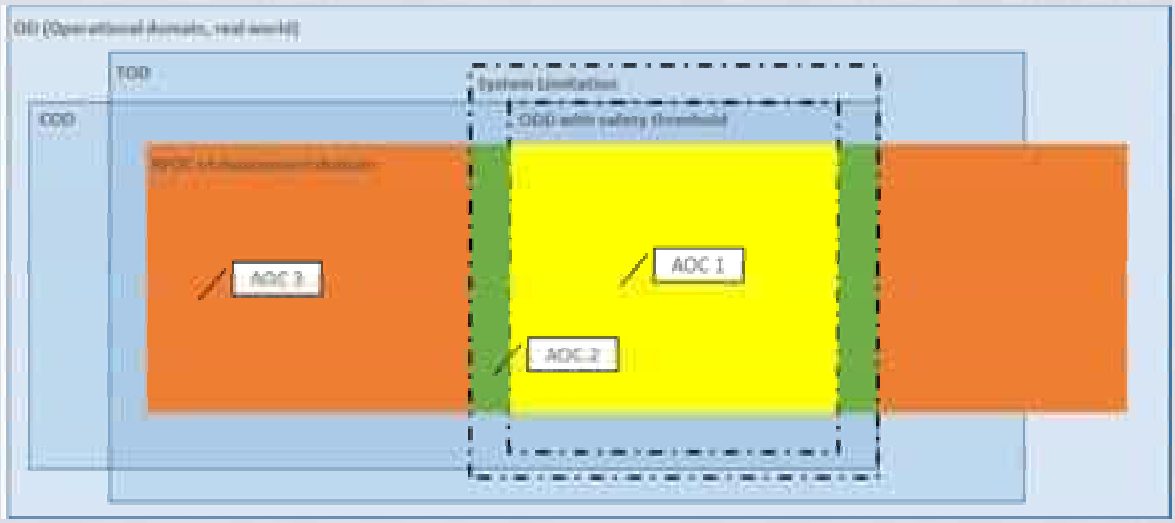
	ODD	TOD	ODD	COD	ADC	
관련표준		ISO/SAE PAS 22736, ISO 34503/34504			ISO/TR ODD Boundary and Attribute Awareness for ADS (제정 중)	
정의	ADS가 작동할 수 있는 Real-world의 모든 운행 조건	ADS가 실제 운행 (deployed)될 것으로 예상되는 지역의 운행 조건	ADS가 설계된 운행 조건 ADS의 사양	ADS가 현재 탑재한 주변에 존재하는 특정 운행조건	ADS가 실제로 운행 중에 직면한 실시간 운행 조건 (ADS 감지)	ADS가 직면할 것으로 예상되는 운행 조건
범위	가장 포괄적 (가능한 모든 운행 조건)	다양한 ADS에게 적용, 모든 ADS ODD가 충족해야 할 요구사항	특정 ADS가 안전하게 작동할 수 있는 운행 조건, ADS 설계 조건 / 사양	현재 시점에서 실시간으로 ADS가 직면한 운행 조건	ADS가 실제로 작동 중인 구체적인 조건 (ADS 감지 범위)	고객의 ADS를 사용할 때 직면할 것으로 예상하는 합리적인 운행 조건
예시	도심, 고속도로, 자동차도로, 비, 눈, 안개 등	도심, 고속도로, 자동차도로, 비, 눈, 안개 등	도심, 고속도로, 자동차도로, 비, 눈, 안개 등	고속도로에서 비가 오고 있음	고속도로에서 비가 50mm/h의 강우로 내리고 있음	고객은 50mm/h 이상의 강우에서도 정상적으로 운행하나, ADS의 ODD 밖
관계	ADS가 직면할 수 있는 모든 환경의 전체 집합	모든 ADS가 작동할 수 있는 특정(목표) 환경의 전체 집합	특정 ADS가 작동할 수 있는 환경의 부분 집합	실시간 운행 조건(실시간 변화 반영)	ODD보다 구체적인 상태조건	ODD 설계 및 배포 환경에 영향을 미침

2 유즈케이스 통합 개발 프로세스

유즈케이스 개발 프로세스

TOD / ODD 정의

➢ ODD 관련 용어 정의 / 비교

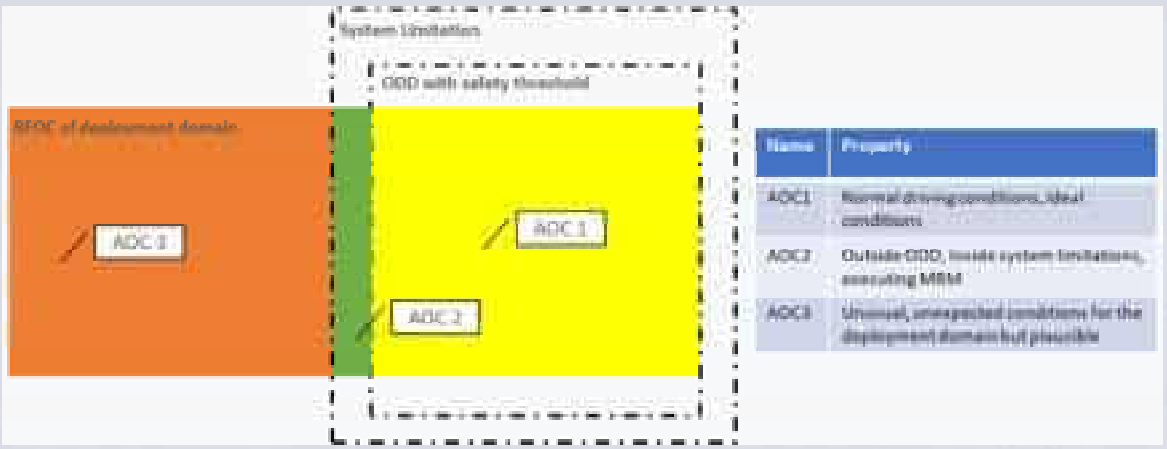


2 유즈케이스 통합 개발 프로세스

유즈케이스 개발 프로세스

ODD 개발 프로세스

➢ ODD 관련 용어 정의 / 비교



2 유즈케이스 통합 개발 프로세스

유즈케이스 개발 프로세스

ODD 개발 프로세스 – ISO 34503: Taxonomy

2 유즈케이스 통합 개발 프로세스

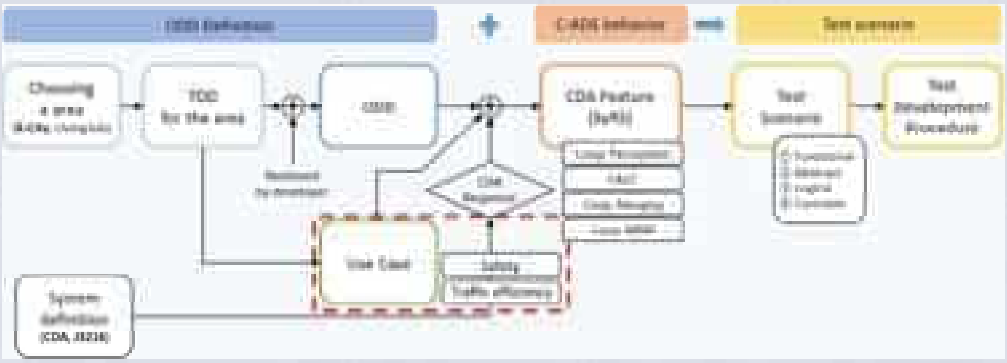
유즈케이스 개발 프로세스

ODD 개발 프로세스 – TOD 분석 기반 ODD 정의 (개발자 협의)

2 유즈케이스 통합 개발 방안 연구

유즈케이스 개발 프로세스

통합 유즈케이스 개발 프로세스



● **CDA 유즈케이스 속성**

- CDA 시스템이 탑재되어 운영되는 차량 (**C-ADS-equipped vehicle**)을 기준으로 정의
- CDA의 사용방법을 추측하기 위해서 **C-ADS-equipped vehicle**과 주변환경의 **one scene**을 특정화
  - **'특정 목적'**을 가지고 **'특정 상황'**에서 차량 간 통신(V2X)을 기반으로 하는 CDA 시스템이 적용 가능한 운용 상황
- 상황은 기준이 되는 차량 또는 주변차량/이동객체의 의도를 설명하는 것으로,
  각 차량의 의도에 따른 충돌, 상태판단, 행동 (등은 포함하지 않음

***. 전제 조건**
1) 모든 차량은 교통 법규를 준수, 2) ADS 만으로 실현가능한 유즈케이스는 배제, 3) CDA Class A-C 정의에 합치

2 유즈케이스 통합 개발 프로세스

유즈케이스 개발 템플릿

유즈케이스 개발 템플릿

TOD	K-city

유즈케이스 ID		*1 or 1-1*
유즈케이스 이름		*전방 정지 차량 대응*
목적		*교통효율 향상, 안전성, 편의성*
스토리		*전방 장애물을 회피*
CDA 클래스		*A*
물리적 인프라		
도로 형상	도로형태	*직선, 곡선, 오르막, 어린이 보호구역, 원형 교차로*
	표면유형	*아스팔트*
	도로상태	*균열, 포트홀, 빙판, 없음*
	차로수	*2*
도로구조물		*가드레일, 신호등, 버스정류장 등*
교통요소		
임시변경 및 이벤트		*공사, 사고, 통제 등*
이동물체		*보행자, 주변차량 등*
환경조건	날씨	*강수*
	조도	*2000lux*
	도로 상태	*고인물*
디지털 데이터	통신방식	*V2V, V2I, I2V*
	전송 모드	*단방향(차량 → 인프라), 양방향(차량 ←→ 차량)*
	접속 형태	*1대 다, 1대1*
	메시지	*위치정보, 주행의도(경로) 등 전달하고 싶은 메시지*
	실시간성	*실시간, 트리거 등*

기본정보

물리적 인프라

교통요소

2 유즈케이스 통합 개발 프로세스

유즈케이스 개발 템플릿

유즈케이스 개발 템플릿

TOD		K-city
유즈케이스 ID		1-2
유즈케이스 이름		합류-진출 복합
목적		교통효율 향상
스토리		본선 합류, 진출이 복합적으로 이루어지는 도로
CDA 클래스		B
물리적 인프라		
도로 형상	도로형태	직선, 곡선, 경사
	표면유형	아스팔트
	도로상태	없음
	차로수	3이상
도로구조물		가드레일
교통요소		
임시변경 및 이벤트		-
이동물체		주변차량
환경조건	날씨	맑음
	조도	-
	도로 상태	-
디지털 데이터	통신방식	V2V
	전송 모드	양방향(차량 ←→ 차량)
	접속 형태	1대1
	메시지	상태, 의도
	실시간성	실시간

Vehicle control technology

주변환경 정보 융합 기반 협력형 차량제어 기술개발

감사합니다

Thank you

V2V 기반의 CPM 메시지를 활용한 협력형 MRM 개발

Development of Cooperative Minimal Risk Manoeuvre for Automated Driving Systems using V2V based Collective Perception Message

박흥식
(국립공주대학교 기계공학과, 박사과정)

김문식
(국립공주대학교 지능형모빌리티공학과, 부교수)

Key Words : Cooperative, Automated Driving Systems, Minimal Risk Manoeuvre, V2V, CPM

목 차

1. 서론
2. 본론
3. 결론 및 향후 연구

Ⅰ. 서론

1. 연구 배경

최근 자율주행차의 기술 한계를 극복하기 위한 다양한 방법들이 개발되고 있다. 특히, 차량 탑재형 센서를 활용한 주행 상황 인지 성능의 한계를 극복하기 위해 다양한 형태의 V2I 통신 기반 인프라 기술이 개발되고 있다. 그러나 도로 인프라 기술은 구축 비용이 상대적으로 고가이며 대상 도로의 특성에 따라 기술적 한계가 존재하여 대상 범위가 제한적일 수 있다. 이에 대안으로 제시되고 있는 기술이 V2V 통신을 이용하여 차량 간 인지 정보를 공유하는 기술이다. 이러한 차량 간 협력을 기반으로 하는 자율 협력 주행 기술의 중요성이 부각되면서, SAE J3216 “Taxonomy and Definitions for Terms Related to Cooperative Driving Automation for On-Road Motor Vehicles”가 발간되었다. 이 문서에서는 자율 협력 주행을 인프라와 차량 간 통신 등을 활용하여 자율주행시스템의 주행 성능을 향상시키고 도로 사용자의 안전하고 효율적인 이동을 보조하는 자동화로 정의하고 있다.

협력 주행 단계는 Class A부터 Class D까지 분류되며, 단계가 높아질수록 고도화된 인지 정보를 공유한다. 공유된 인지 정보를 사용함으로써 자차의 센서만으로 습득한 주변 환경 정보를 활용하는 것보다 인식 범위를 확장할 수 있다는 이점이 있다. 본 연구에서는 협력 주행 시 사용되는 “ETSI TS 103 324” 문서의 CPM(Collective Perception Message) 정보를 활용하여 협력 자율주행차의 고장 상황에 대한 대응 방안으로 협력형 MRM(Minimal Risk Manoeuvre) 전략을 개발하고자 한다. 협력 주행 차량은 CPM 정보를 활용하여 인지 범위를 확장할 수 있음에 따라, 주변 환경에 대한 정보를 파악하여 MRM 전략 수행이 가능해진다. 이에 따라, 기존의 차량 단독형 MRM 보다 안전하고 효율적으로 MRC(Minimal Risk Condition) 조건에 도달할 수 있다.

Ⅱ. 본론

1. 기존 단독형 MRM과의 차이점

차량 단독형 MRM 전략은 자차의 System Failure가 발생했을 때, 자차를 최소 위험 조건(MRC : Minimal Risk Condition)에 도달시키는 방법이다. 하지만, 이 방법은 자차의 인지 센서만을 이용하기에 인지 센서가 고장 나거나 오류를 일으켰을 때 주변 환경을 충분히 고려하지 못하는 한계가 존재한다. 예를 들어, 전방 및 후방 장애물에 대한 정보를 얻지 못하였을 경우 오히려 더 큰 위험 상황에 직면할 수 있다. 이러한 문제는 특히 교통량이 많거나 도심 환경과 같은 복잡한 상황에서 더욱 심각해질 수 있다. 이러한 한계를 극복하고자, 본 연구에서는 협력 자율주행 시스템에서 중요한 역할을 하는 CPM 정보를 활용하여 협력형 MRM을 개발하고자 한다. 협력 자율주행의 핵심은 개별 차량이 아닌 여러 차량이 정보를 공유하며 동작하는 데 있으며, 이를 통해 Standalone 타입 자율주행의 한계를 보완할 수 있다. CPM은 자율주행차량 간의 협력을 가능하게 하는 중요한 정보 교환 수단으로, 주변 환경 내 장애물의 위치, 속도, 방향 등에 대한 정보를 포함하고 있어 인지 센서 고장 시에도 주변 상황에 대한 정보를 확보할 수 있다. CPM 메시지는 표 1과 같이 다양한 정보를 포함한 컨테이너를 내포하고 있으며, 여기에는 차량 컨테이너, 인식된 객체 컨테이너 등이 포함된다. 이 컨테이너 내의 CPM 송신 차량 위치 정보와 송신 차량의 좌표계 기준 장애물 정보(상대 속도, 상대 거리)를 활용하면, 자차의 인지 센서가 불능 상태일 때에도 다른 차량을 통해 전방 인지 영역을 확보할 수 있다. 이러한 정보 공유는 차량 간 통신을 기반으로 하여 자율주행 안정성을 향상시키는 요소이다.

본 연구에서는 표 1에서 나타내고 있는 정보를 포함한 CP

M 정보를 활용하여 전방 장애물과의 TTC(Time To Collision)를 산출하고, 이를 통해 차량의 적정 감속도를 선정한다. TTC는 차량 간 충돌 가능성을 예측하는 중요한 요소로, 이를 바탕으로 적절한 감속도를 설정함으로써 차량의 안전을 확보할 수 있다. 이때 ISO 23793-1에서 정의하고 있는 MRM 전략 중 Type 1 – Straight Stop을 수행하게 되며, 이 전략을 통해 자차는 시스템 고장 시에도 후방추돌 위험성을 낮추며 안전하게 MRC 조건에 도달할 수 있다.

<표 1> CPM 메시지에 포함된 주요 정보

구분	설명	세부 정보
ITS PDU 헤더	메시지의 버전, 유형, 발신 ITS 스테이션의 ID가 포함된 공통 헤더	- 프로토콜 버전 - 메시지 유형 - 발신 ITS 스테이션 ID
관리 컨테이너	CPM 해석에 필요한 기본 정보 제공	- referenceTime - referencePosition - 메시지 세그먼트 정보 - 메시지 속도 정보(optional)
차량 컨테이너	차량 기반 ITS 스테이션의 차량 정보 제공	- orientationAngle - pitch, roll angle - 트레일러 여부(optional)
RSU 컨테이너	도로변 ITS 스테이션이 보유한 센서에 대한 정보 제공	- 지도 참조 (mapReference), MAPEM 메시지와 연동 시 사용
센서 정보 컨테이너	ITS 스테이션이 보유한 센서에 대한 정보 제공	- 센서 ID - 센서 유형 - perceptionRegionShape - perceptionRegionConfiendce - shadowingApplies
인식된 객체 컨테이너	센서로 인식된 객체 정보 제공	- 객체 ID - 객체의 운동 상태(위치, 속도 등) - 객체 분류 정보
인식 영역 컨테이너	센서 감지 영역 정보 및 감지 신뢰도 제공	- measurementDeltaTime - 감지 영역 신뢰도 - 감지된 객체 수

2. 협력형 MRM 전략 : TTC 기반 Straight Stop

본 연구에서 제안하는 MRM 전략은 협력 자율주행차량의 전방 인지 센서 고장 시 발생하는 전방 인지 영역 미확보에 대한 System Failure 발생 시에 자율주행차량의 안정성을 확보하기 위한 MRM 전략으로 Straight Stop을 수행한다. 이때, 후방 추돌 위험 및 전방 충돌 위험을 최소화하는 것을 목표로 한다. 이를 위해 협력 자율주행 환경에서 CPM 메시지를 활용해 차량 간 정보를 교환하고 자차의 급정지가 아닌 주변 장애물 정보를 고려하며, 감속을 수행한다. 최종적으로는 차량이 최소 위험 조건(MRC)에 도달하는 것을 목표로 한다.

이 전략은 TTC를 기반으로 하며, TTC를 이용해 전방 충돌 위험을 예측하면서도, 후방 차량과의 충돌 위험을 고려하여 점진적인 감속을 실행한다. 전방 장애물과의 충돌을 피하는 것만이 아니라, 후방 차량이 자차의 감속에 대응할 시간을 충분히 확보할 수 있도록 설계하였다.

특히, TTC 값을 기반으로 차량의 감속도를 설정하는 데 있어, Euro NCAP. (2021). Autonomous Emergency Braking (AEB) Test Protocol 표준 문서를 참고하였다. 이 표준 문서는 자동 긴급 제동 시스템에서 사용되는 TTC 임계값과 감속 기준을 명시하고 있으며, 이를 통해 자율주행차량이 위험 상황에서 적절히 대응할 수 있는 방법을 제시한다. 이 표준에 제시된 가이드라인을 적용함으로써, 보다 신뢰성 있는 MRM 전략을 제안한다. 표 2는 제안한 협력형 MRM 전략에 관한 내용을 포함하고 있다. 주요 내용에 대해서는 아래에서 기술한다.

<그림 1> TTC 기반의 Straight Stop 개요도

<표 2> TTC 기반의 Straight Stop

Road Environment	고속도로, 도심로
MRM Strategy Name	TTC 기반 Straight Stop
Risk Conditions	- 차량의 인지 센서 고장으로 인한 인지 영역 확보 불가에 따른 전방 충돌 위험 - MRM 전략 수행에 따른 후방 추돌 위험
CPM Role	주변 차량의 장애물 인지 정보 송신
Information Requirements	CPM 메시지(Timestamp, 현재속도, 헤딩각, 장애물과의 상대위치/상대속도/검출 방위각
Short Description	해당 MRM 전략은 CPM 메시지를 활용한 TTC 기반 Straight Stop을 수행함
Objective	System Failure로 인해 자차의 MRM 전략 수행이 요구될 때, 자차의 후방 추돌 위험을 감소시키기 위함
Constraints	전방 장애물의 정보에 대한 CPM 메시지의 송/수신이 가능한 ETSI 103 324를 만족하는 V2V OBU를 장착하고 있는 차량
Preconditions	1. SV(Subject Vehicle)는 CPM 메시지 수신이 가능한 상태 2. SV는 LV.4 수준의 감속제어가 가능한 상태 3. SV는 CPM 메시지의 장애물 정보를 이용하여 TTC 산출이 가능한 상태 4. RV(Remote Vehicle)는 SV의 전방 영역에 대하여 장애물 인식 정보를 보유한 상태 5. RV는 장애물 인식 정보를 CPM 메시지로 송신 가능한 상태

Main Flow	1. SV의 인지 센서 고장 2. MRM Trigger 발생 3. RV의 CPM 메시지 송신 4. SV의 CPM 메시지 수신 5. 장애물과의 TTC 산출 6. TTC를 고려한 감속도로 MRM 전략 수행 7. SV의 MRC 조건 도달
Operating Conditions	SV의 인지 센서 고장이 감지되어 MRM Trigger가 발생한 상황

1) Risk Conditions and Constraints

제안한 MRM 전략은 자차의 전방 센서 고장 및 오류로 인해 장애물에 대한 정보 확보가 불가능한 경우에 적용된다. 자차는 CPM 정보를 통해 주변 환경에 대한 정보를 습득하고, 이를 기반으로 전방 충돌 위험뿐만 아니라 후방 충돌 위험을 감소시키기 위한 Straight Stop을 수행한다. CPM 정보를 송수신하기 위해서는 ETSI 103 324를 만족하는 OBU를 탑재한 차량이어야 한다.

2) Information Requirements

전방 및 후방 충돌 위험을 감소시키기 위한 협력형 MRM 전략을 수행하기 위해서는 CPM 정보를 통한 다양한 정보 습득이 필요하다. 이에 요구되는 정보는 아래와 같다.

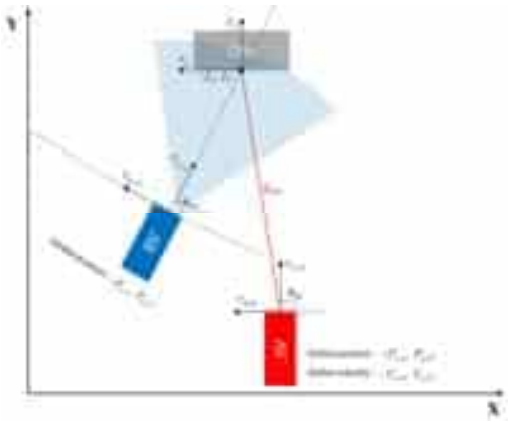
1. Timestamp
2. CPM 송신 차량의 위치 및 방위각
3. 장애물과의 상대위치 및 상대속도

3) Main Flow

1. System Failure 및 MRM 트리거 발생
: 자차의 전방 인지 센서 고장으로 인해 전방 영역에 대한 상황을 파악할 수 없기에, 자율주행을 중단하고 MRM Trigger가 발생된다.

2. CPM 정보 수신
: 자차는 주변 차량으로부터 CPM 정보를 수신하며, 해당 CPM에는 Timestamp, 장애물의 상대위치, 상대속도 등과 같은 정보가 포함되어있다.

3. CPM 장애물 정보를 활용한 TTC 산출
: 수신한 CPM 내의 장애물 정보를 통해 자차 기준 전방 장애물과의 상대 거리 및 상대 속도 등에 대한 데이터를 계산하고 이를 바탕으로 TTC를 계산한다. TTC 산출을 위해 사용한 좌표계는 그림 2와 같다



<그림 2> TTC 산출을 위한 좌표계

(1) 수식 정의를 위한 Symbol

1. RV 기준 좌표계의 장애물 위치 p_x, p_y
2. RV 기준 좌표계의 장애물 속도 v_x, v_y
3. RV 기준 좌표계의 RV 속도 $v_{x,rv}$, $v_{y,rv}$
4. Global 기준 좌표계의 SV 위치 $P_{x,sv}$, $P_{y,sv}$
5. Global 기준 좌표계의 RV 위치 $P_{x,rv}$, $P_{y,rv}$
6. Global 기준 좌표계의 SV 속도 $V_{x,sv}$, $V_{y,sv}$
7. Global 기준 좌표계의 SV, RV 방위각 θ_{sv}, θ_{rv}

(2) Global 기준 좌표계의 장애물 위치 $P_{x,obs}$, $P_{y,obs}$

$$\begin{bmatrix} P_{x,obs} \\ P_{y,obs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_{rv} & -\sin\theta_{rv} \\ \sin\theta_{rv} & \cos\theta_{rv} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} P_{x,rv} \\ P_{y,rv} \end{bmatrix}$$

(3) Global 기준 좌표계의 장애물 속도 $V_{x,obs}$, $V_{y,obs}$

$$\begin{bmatrix} V_{x,obs} \\ V_{y,obs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_{rv} & -\sin\theta_{rv} \\ \sin\theta_{rv} & \cos\theta_{rv} \end{bmatrix} \left(\begin{bmatrix} v_{x,rv} \\ v_{y,rv} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \end{bmatrix} \right)$$

(4) Global 기준 좌표계의 SV와 장애물의 상대 속도 V_{rel}

$$V_{rel} = \begin{bmatrix} V_{rel,x} \\ V_{rel,y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{x,obs} - V_{x,sv} \\ V_{y,obs} - V_{y,sv} \end{bmatrix}$$

(5) Global 기준 좌표계의 SV와 장애물의 상대 거리

$$d_{rel} = \sqrt{(P_{x,obs} - P_{x,sv})^2 + (P_{y,obs} - P_{y,sv})^2}$$

(6) Global 기준 좌표계 관점의 TTC

$$TTC = \frac{d_{rel}}{|V_{rel}|}$$

4. 감속도 산출

: 계산된 TTC 값을 EuroNCAP AEB 표준을 참고하여 전/후방 충돌 위험을 감소시킬 수 있는 최적의 감속도를 설정한다. AEB 표준의 TTC 임계값을 참고하여 산정한 TTC 별 감속도는 표 3과 같다.

<표 3> AEB 표준 기반의 TTC별 감속도

TTC	Deceleration Value
TTC ≤ 1.7[s]	약 0.6 ~ 1[G]
1.7[s] < TTC ≤ 2.5[s]	약 0.3 ~ 0.5[G]
2.5[s] < TTC	약 0 ~ 0.3[G]

5. Straight Stop

: 산출된 감속도를 통해 차량을 감속하여 MRM 전략을 수행한다. 이때, 차량은 CPM 메시지를 통한 장애물 정보를 통하여, 전방 및 후방추돌 위험을 감소시킬 수 있다. 최종적으로 차량은 MRC 조건에 도달하게 된다.

III. 결론 및 향후연구

본 연구에서는 협력 자율주행 환경에서 TTC 기반 MRM 전략을 제안하였다. 차량의 전방 인지 센서 고장 시에도 CPM 메시지를 활용하여 주변 환경의 정보를 수신하고, 이를 통해 자차의 인지 범위를 확장하는 방안을 이용하였다. 그로 인해 주변 상황을 고려한 감속도를 설정하여, 전방 및 후방 추돌 위험을 감소시킬 수 있는 협력형 MRM 전략을 제안하였다. 기존의 차량 단독형 MRM의 한계를 보완하여 협력 자율주행 시스템에서 V2V 통신을 통해 전방 장애물 정보를 확보하고, TTC 값을 활용한 안전한 감속을 구현하는데 목표를 두었다. 특히, EuroNCAP AEB 표준을 참고하여 TTC 임계값과 감속 기준을 설정함으로써, 위험 상황에서 차량의 신뢰성 있는 대응을 가능하게 하였다.

향후 연구에서는 다양한 주행 시나리오에서 시뮬레이션을 통해 제안한 MRM 전략을 검증할 계획이다. 또한 실차 실험을 통하여 보다 정확한 성능 검증 및 최적화를 수행할 예정이다.

사사

본 연구는 2024년도 산업통상자원부 및 한국산업기술기획평가원(KEIT)의 자율주행기술개발혁신사업 (과제명 : 주변환경 정보 융합 기반 협력형 차량 제어 기술 개발, 과제번호 : 20026184) 연구비 지원에 의해 수행됨

참고문헌

1. ISO. (2024). ISO 23793-1: Minimal risk manoeuvre strategies for automated driving systems. International Organization for Standardization.
2. Euro NCAP. (2021). Autonomous Emergency Braking (AEB) Test Protocol (Version 3.0.3). Euro NCAP.
3. SAE International. (2021). J3216_202107: Taxonomy and definitions for terms related to cooperative driving automation for on-road motor vehicles. SAE International.
4. ETSI. (2019). ETSI TS 103 324: Intelligent Transport Systems (ITS): Vehicular Communications: Collective Perception Service (v1.1.1). European Telecommunications Standards Institute.
5. 이신경, & 윤현정. (2023). 자율주행차량의 엣지 기반 Fallback MRC 인터페이스 설계. 한국자동차공학회 추계학술대회 및 전시회, 541-542.
6. Yoshino, J., Hiraoka, T., Shimono, K., Umeda, M., & Suda, Y. (2022). Classification of minimal risk maneuver for automated driving. Transactions of Society of Automotive Engineers of Japan, 53(6), 1095-1101.
7. Vu, V., Wang, F., Thorsén, A., Ursing, S., Sunnerstam, F., Holler, J., ... & Cosmin, I. (2023, June). Minimal Risk Manoeuvre Strategies for Cooperative and Collaborative Automated Vehicles. In 2023 53rd Annual IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems and Networks Workshops (DSN-W) (pp. 116-123). IEEE.

KAIST 한국과학기술원 KAIST
The 2024 Korea Institute of ITS Fall Conference
자율주행차량 경로 계획을 위한 시공간 그래프 뉴럴 네트워크 기반의 경로
예측 모델 개발
2024. 10. 25.
윤 진 원[1] · 오 승 민[2] · 이 강 훈[3] · 장 기 태*
[1]한국과학기술원 기계기술연구소 연수연구원
[2]한국과학기술원 조천식모빌리티대학원 박사과정
[3]한국과학기술원 산업및시스템공학과 박사과정
*한국과학기술원 조천식모빌리티대학원 교수
한국ITS학회

KAIST 한국과학기술원 KAIST
Contents
01 서론
02 연구 방법
03 분석 결과
04 결론
한국ITS학회

연구 배경 및 목표

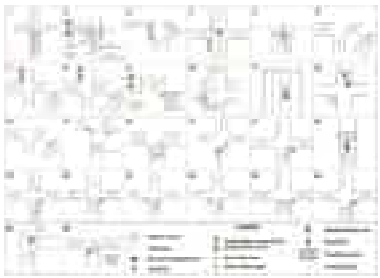
자율주행차 개발에서 궤적 예측의 중요성

- **궤적 예측(Trajectory Prediction)**
  - 움직이는 객체의 과거 위치 데이터를 기반으로 미래 경로를 예측하는 작업
  - 로봇공학, 보행자 움직임 분석, 재난 관리 등에서 사용되며, 특히 자율주행차 개발에 중요
- **자율주행차량(Autonomous Vehicle, AV) 기술 개발에서 궤적 예측의 필요성**
  - AV는 차량 센서와 V2X 통신을 통해 주변 차량의 정보를 수집하여 주변 객체의 움직임을 예측하고 스스로 주행 경로를 결정
  - 정확한 경로 계획(Path Planning)은 레벨 4 이상 고도화된 AV를 개발하는데 필수적인 문제
  - 잘못된 경로 계획은 제어권 전환(Disengagement) 또는 사고로 연결
    - AV 제어권 전환의 60%는 경로 계획 실패 - 이 중 48%는 주변 차량 움직임 예측 실패로 인해 발생

[자율주행차 AI 기술의 인지 및 경로 계획 (출처: WEVOLVER)]

정확한 궤적 예측을 위한 기존 연구

- **물리 기반(Physics-based) 궤적 예측**
  - 간단한 물리 법칙을 사용하여 객체의 움직임 예측 (Boggs et al., 2010; Schubert et al., 2008)
  - 장기 예측이나 차로 변경 같은 주변 차량과의 상호작용을 예측하는 것에 비효율적
- **기동 기반(Maneuver-based) 궤적 예측**
  - 차량을 독립적인 개체로 간주하여 기동 의도를 예측하여 미래 궤적을 예측 (Vasquez et al., 2004; Kumar et al., 2013)
  - 더 긴 예측 범위를 가능하게 하지만 주변 차량과의 복잡한 상호작용을 설명하는데 한계
- **상호작용 인식(Interaction-aware) 궤적 예측**



[자율주행차 교통사고 사례 (출처: Favarò et al., 2017)]

연구 배경 및 목표

AI 기반 상호작용 인식 궤적 예측 모델 개발

- **대규모 궤적 데이터의 가용성 딥러닝 기술의 발전으로 AI 기반 상호작용 인식 궤적 예측 연구가 활발히 진행 (Mozaffari et al., 2020)**
- **주변 환경과의 상호작용을 모델링하기 때문에 가장 진보된 접근 방식**

1) 장기적인 미래 궤적(3초 이상)을 정확하게 예측하고 차로 변경과 같은 특정 기동의 의도를 예측하는 것은 여전히 도전과제로 존재
- 이러한 한계점은 AV의 제어권 전환을 자주 유발하고 안전에 심각한 상황으로 이어질 수 있음

2) 차로 변경과 같은 특정 기동의 의도를 효율적으로 예측하고, 중·장기 궤적 예측에 높은 정확도를 보이는 AI 기반 궤적 예측 모델을 개발하는 것이 중요함

연구 목표

시공간 그래프 뉴럴 네트워크(Spatio-Temporal Graph Neural Network)를 활용하여

주변 차량과의 상호작용을 고려한 궤적 예측 모델 개발

▶ 차로 변경 행동에 중점을 두어 단기 및 장기 궤적 예측 정확도를 높이는 연구 수행

관련 연구 고찰

AI 기반 상호작용 인식 궤적 예측에 대한 이전 연구 검토

- 대부분 연구는 NGSIM과 HighD와 같은 미시적 차량 궤적 데이터셋을 주로 활용 (연속류 → 단속류)
- 궤적 예측에 대한 초기 연구는 주로 과거 위치만을 고려하여 장단기 메모리(Long Short-Term Memory, LSTM) 모델을 사용하여 미래 궤적을 예측
- 반면, 최근 연구는 주변 차량과의 상호작용을 효과적으로 파악하기 위해 그래프 기반 데이터와 그래프 뉴럴 네트워크(Graph Neural Network, GNN)를 활용
- 일반적으로 과거 위치가 입력 변수로 사용되며 속도 및 가속도 등 다양한 변수도 사용, 범위 또는 상호작용 조건에 맞는 주변 차량을 고려

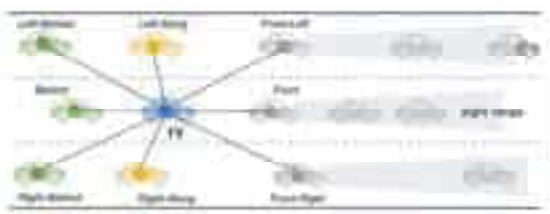
[AI 기반 상호작용 인식 궤적 예측 선행 연구 정리]

문헌	데이터셋	방법론	모델 구조	입력 변수	관찰 범위	예측 범위	성능 지표
Deo et al. (2018a)	NGSIM I-80, US-101	Interaction-aware, maneuver classification	Variational Gaussian Mixture	Position	3 sec	5 sec	MAE
Deo et al. (2018b)	NGSIM I-80, US-101	Interaction-aware, maneuver classification	Dual LSTM	Position (with 6 SVs)	3 sec	5 sec	RMSE
Li et al. (2019)	NGSIM I-80, US-101	Graph-based interaction-aware	GCN-LSTM	Position (±90 feet)	3 sec	5 sec	RMSE
Khakzar et al. (2020)	HighD, NGSIM I-80, US-101	Lane occupancy, risk maps	Dual LSTM	Position, speed, TTC	3 sec	5 sec	RMSE
Messaoud et al. (2020)	HighD, NGSIM I-80, US-101	Interaction-aware, social pooling	LSTM with multi-head attention pooling	Position, speed, acceleration, class	3 sec	5 sec	RMSE
Meng et al. (2021)	NGSIM I-80, US-101	Attention-based	LSTM with spatio-temporal attention	Position (with 6 SVs)	5 sec	5 sec	RSME, NLL
Mo et al. (2021)	NGSIM US-101	Graph-based interaction-aware	GNN-RNN	Position (with 8 SVs)	3 sec	5 sec	RMSE
Sheng et al. (2022)	NGSIM I-80, US-101	Spatio-temporal interaction-based	GCN-CNN-GRU	Position (±L meter)	3 sec	5 sec	RMSE
Ding et al. (2021)	NGSIM I-80, US-101	Attention-based	Dual GAT-LSTM	Position	3 sec	5 sec	RMSE

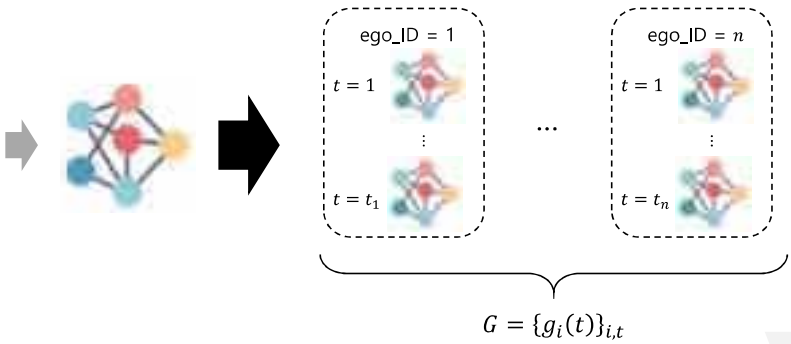
모델 개발

그래프 데이터 생성 (Graph Data Construction)

- SV의 정의 : 8-neighborhood
  - TV의 가장 가까운 8개의 차량 (좌측 전방, 전방, 우측 전방, 좌측, 우측, 좌측 후방, 후방, 우측 후방)
  - 가시 거리 범위로 제한 (전방 : 100m & 후방 : 30m)
- Node Feature
  - 8-neighborhood SV들에 대해 차량의 위치(좌표), 속도, 밀도(가시거리 내)
- Edge
  - $E = \{(i,j),(j,i),(i,i) \mid i,j \in I\}$
  - bi-directional & fully-connected & inter-connected & self-looped



[8-neighborhood]



모델 개발

모델 구성 (Model development) : Spatio-Temporal Graph Neural Network (STGNN)

- **인코더 네트워크(Encoder network)**
  - 그래프 데이터의 임베딩 정보 추출
  - 그래프 어텐션 네트워크 (Graph Attention Network, GAT)를 통한 공간적 관계성 파악

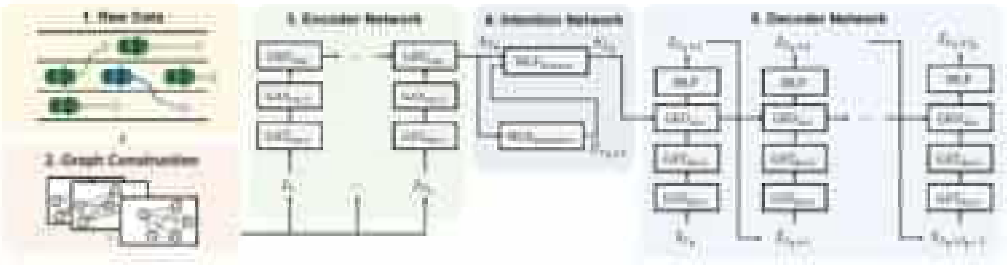
$$\alpha_t^{ij} = \frac{\exp\left(\text{LeakyReLU}\left(\mathbf{a}^\top\left[\mathbf{W}v_t^i || \mathbf{W}v_t^j\right]\right)\right)}{\sum_{k\in I}\exp\left(\text{LeakyReLU}\left(\mathbf{a}^\top\left[\mathbf{W}v_t^i || \mathbf{W}v_t^k\right]\right)\right)}$$

- **의도 네트워크(Intention network)**
  - Lateral movement 변화에 대한 의도 예측을 위한 네트워크 (Straight, L-LC, R-LC)
  - Multi-Layer Perceptron (MLP) 기반의 Classification Network

$$\hat{u}^i = \text{Softmax}\left(f_{\text{intention}}\left(h_{T_h}^i\right)\right)$$

- **디코더 네트워크(Decoder network)**
  - Attention + Intention ⇒ Gated Recurrent Unit (GRU)를 통한 미래 궤적 예측

$$\hat{s}_t^i = f_{decoder}\left(h_t^{i'}\right)$$

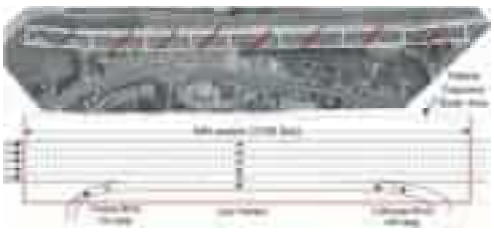


[궤적 예측 모델 구성도]

실험 과정

데이터셋 및 실험 세팅

- **궤적 예측에 대표적으로 활용되는 NGSIM US-101 데이터셋 활용**
  - 2005년 미국 캘리포니아주 고속도로의 개별차량 궤적이 45분 동안 10Hz로 수집
- **선행 연구와 동일하게 과거 시간 범위 3초, 예측 시간 범위 5초로 설정**
- **데이터 차원을 줄이고 상호 의존성을 최소화하기 위해 2Hz로 다운샘플링 (0.5초 간격)**
- **전체 데이터를 Training 80%, 모델 검증 10%, Testing 10%로 분류**



[NGSIM US-101 데이터셋 항공사진 및 구성도]

성능 평가 지표

- **궤적 예측 문제의 정확도는 실제 궤적과 예측 궤적의 오차를 측정하여 평가**
- **평균 변위 오차(Average Displacement Error, ADE)**
  - ADE는 예측 기간 동안 실제 궤적과 예측 궤적의 평균 거리를 측정
- **평균 제곱근 오차(Root Mean Squared Error, RMSE)**
  - 회귀 문제의 표준 지표로, 실제 궤적과 예측 궤적 사이의 평균 제곱 변위의 제곱근을 정량화
- **최종 변위 오차(Final Displacement Error, FDE)**
  - 최종 위치에 초점을 맞춰 실제 궤적의 최종 위치와 예측 궤적의 최종 위치 사이의 거리를 측정

$$ADE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} e(i) := \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T} e_t^i\right), e_t^i = \sqrt{\left(x_t^i - \hat{x}_t^i\right)^2 + \left(y_t^i - \hat{y}_t^i\right)^2}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} e(i)^2} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T} e_t^i\right)^2}$$

$$FDE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} e_{t=T}^i$$

모델 성능의 정량적 분석

예측 시간 범위(prediction horizon)에 따른 모델 성능

- historical trajectory : 3초 & prediction horizon : 1초 ~ 5초
- ADE, FDE, RMSE 성능 평가

➡ 예측 시간 범위 ↑ ⇒ 정확도 ↓

[본 연구의 모델 성능 평가]

예측 시간 (s)	ADE (m)	FDE (m)	RMSE (m)
1.0	0.0711	0.0791	0.5164
2.0	0.1058	0.1630	0.8098
3.0	0.1506	0.2680	1.1991
4.0	0.2042	0.3999	1.6733
5.0	**0.2673**	**0.5621**	**2.2402**

SOTA 모델과의 성능 비교

- SOTA 모델을 대조군으로 설정하고 동일한 실험 조건에 대한 RMSE 비교
  - Constant Velocity, **CV**
  - Convolutional Social Pooling, **CS-LSTM** (Deo et al., 2018)
  - Graph-based Interaction-aware Prediction, **GRIP** (Li et al., 2019)
  - Multi-Head Attention Social Pooling, **MHA-LSTM** (Messaoud et al., 2020)
  - Dual Learning Model, **DLM** (Khakzar et al., 2020)
  - Spatio-Temporal Dynamic Attention Network, **STDAN** (Chen et al., 2022)
  - Transformer-based Composite Netwrok, **TCN** (Sharma et al., 2024)

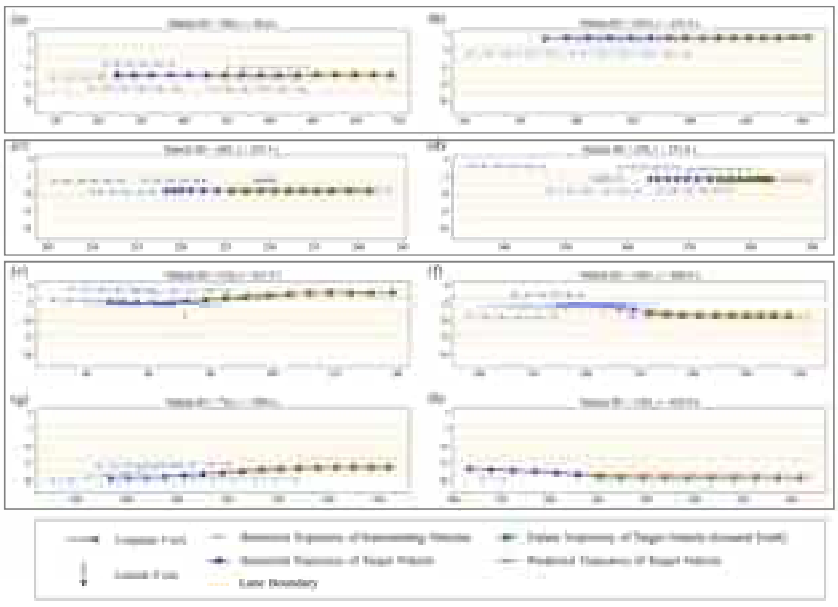
➡ 1초 단기 예측 제외, 제시된 모델이 가장 낮은 예측 오차를 기록
  - 5초 예측 시간에서 가장 최신 모델보다 27.3% 낮은 RMSE (2.24m) 제시

[본 연구와 선행 연구의 궤적 예측 모델의 RMSE 비교]

예측 시간 (s)	CV	CS-LSTM	GRIP	MHA-LSTM	DLM	STDAN	TCN	본 연구의 모델
1.0	0.73	0.61	0.64	0.54	**0.41**	0.42	0.48	0.52
2.0	1.78	1.27	1.13	1.22	0.95	1.01	0.97	**0.81**
3.0	3.13	2.09	1.80	2.01	1.72	1.69	1.56	**1.20**
4.0	4.78	3.10	2.62	3.00	2.64	2.56	2.26	**1.67**
5.0	6.68	4.37	3.60	4.25	3.87	3.67	3.08	**2.24**

모델 성능의 정성적 분석

샘플 궤적에 대한 예측 결과 분석



➡ **Case 1) 등속 직선 운동** (a, b)
  - 본선 차로, 추월차로(1차로), 진·출입로와 인접한 최우측차로 등 차로 위치와 무관하게 높은 정확도로 미래 궤적 예측

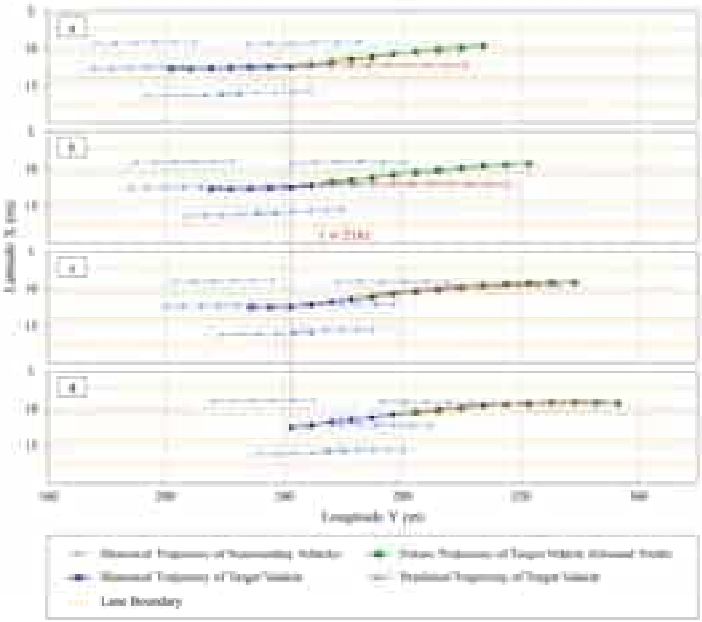
➡ **Case 2) 가·감속 직선 운동** (c, d)
  - 가속의 경우 비교적 효과적으로 예측
  - 급감속의 경우 주변 차량의 갑작스러운 행동 변화로 발생하므로, 장기 예측의 예측 정확도 저하

➡ **Case 3-4) 차로 변경** (e-h)
  - Optional-LC (e, f), Mandatory-LC (g, h)
  - 모든 유형에 대해 비교적 정확하게 예측

모델 성능의 정성적 분석

예측 시점에 따른 예측 성능 분석

- **종방향 움직임 유형 (LC-case)에 대해 예측 시점을 변화시키며 예측 성능 비교**
  - 어느 시점부터 종방향 움직임이 발생함을 인지하고 예측하는지 분석
- **예시 궤적의 움직임 특징**
  - 좌측 차로 변경 (LLC)을 $t = 220$ 에 수행
  - 예측 시점을 $t = 213 \sim 216$으로 1초 단위씩 변화시키며 예측 성능 관찰
- **예측 결과**
  - $t = 213 \sim 214$: 미래 움직임을 직진으로 예측
  - $t = 215 \sim 2016$: 차로 변경을 위해 차선에 가까이 붙기 시작, 모델도 LC로 예측을 시작



[궤적 예측에 따른 어텐션 가중치 시각화]

모델 성능의 정성적 분석

어텐션 가중치 도출 및 시각화

- **어텐션 분석을 통해 미래 경로 계획에 영향을 미치는 요소와 크기를 유추 가능 ▶ TV의 8-neighborhood에 대한 attention 분석**
  - 과거 궤적 시간 단계에서 예측된 궤적과의 어텐션 가중치를 모서리의 색상과 두께로 시각화
- **일반적으로 TV 앞에 있는 세 대의 SV가 다른 SV보다 어텐션 가중치가 크며, 비교적 균일하게 분포되어 있음**
- **차로 변경 시나리오에서는 목표 차로 앞에 있는 SV와의 어텐션 가중치가 다른 SV보다 상당히 높음**

[궤적 예측에 따른 어텐션 가중치 시각화]

결 론

연구 요약

- 본 연구는 AV 경로 계획을 위한 STGNN 기반 궤적 예측 모델을 제안함
- TV 및 SV의 상태(위치, 속도, 밀도)를 포함하는 그래프 기반 데이터를 생성하고, GAT를 이용하여 공간 관계를 도출함
- 차로 변경 의도를 파악하기 위해 의도 네트워크를 정의하고 GRU가 객체의 미래 궤적을 예측함
- NGSIM US-101 데이터셋으로 모델을 평가한 결과, 단기 예측(1초)을 제외하고 모든 기간에서 선행 연구의 최신 모델보다 높은 정확도를 보여줌
- 여러 샘플 궤적의 예측 결과와 어텐션 가중치를 시각화하여 본 모델이 차로 변경과 같은 다양한 시나리오에서 궤적 예측을 성공적으로 수행함을 확인함

- 본 연구의 주요 기여는 STGNN 방법론으로 상호작용 인식 설계를 갖춘 궤적 예측 모델을 새롭게 개발하는 것
- 본 연구는 제시된 모델이 철저한 정량적, 정성적 성능 평가를 통해 다른 최신 모델에 비해 궤적 예측에 매우 효과적임을 보여줌
- 특히, GAT와 의도 네트워크를 사용하여 차로 변경 등 상호작용으로 인한 궤적 변화를 성공적으로 예측

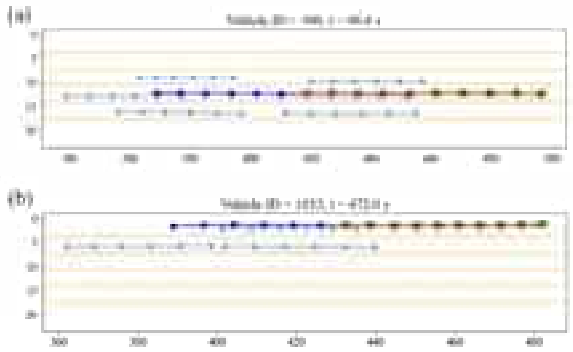
향후 연구

- 차로 변경 시나리오에 대해 다른 선행 연구의 최신 모델과 성능 평가를 수행
- NGSIM I-80, HighD 등 다른 데이터셋을 활용하여 정량적, 정성적 분석을 수행
- 교차로와 같은 도심부 도로의 복잡한 상호작용을 고려하여 단속류 환경에서의 궤적을 효과적으로 예측하는 모델을 개발

본 연구는 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로
정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행됨
(과제고유번호 : 2710006679, No.2023-00244929, 레벨4 자율주행 차량의 커넥티드 기반
인지 증강화 및 협력 자율주행 기술 개발)

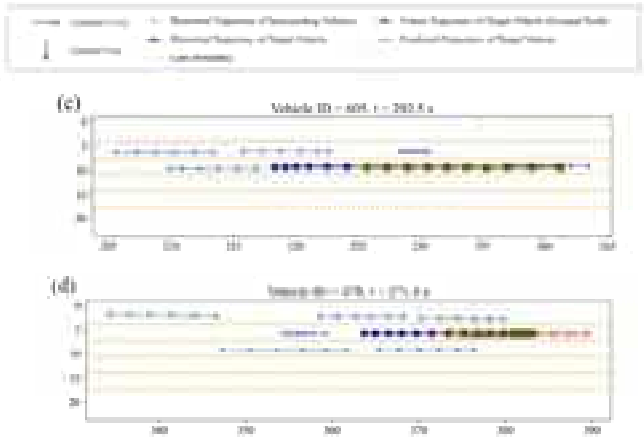
모델 성능의 정성적 분석

샘플 궤적에 대한 예측 결과 분석



Case 1) 등속 직선 운동 (a, b)

- 본선 차로, 추월차로(1차로), 진·출입로와 인접한 최우측차로 등 차로 위치와 무관하게 높은 정확도로 미래 궤적 예측



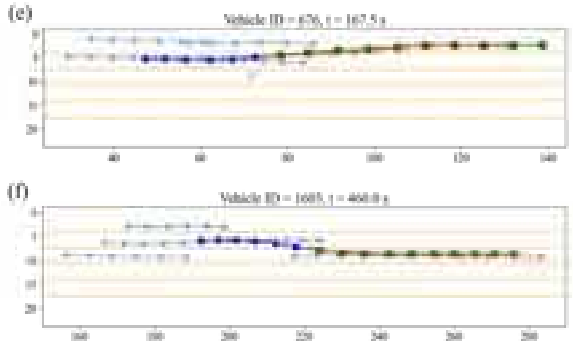
Case 2) 가·감속 직선 운동 (c, d)

- 가속의 경우 비교적 효과적으로 예측
- 급감속의 경우 주변 차량의 갑작스러운 행동 변화로 발생하므로, 장기 예측의 예측 정확도 저하

03. 분석 결과

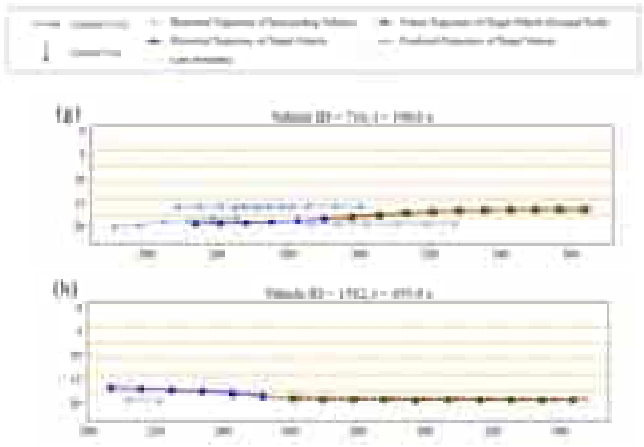
모델 성능의 정성적 분석

샘플 궤적에 대한 예측 결과 분석



Case 3) 선택적 차로 변경 (Optional-LC) (e, f)

- 좌측 차로 변경, 우측 차로 변경 모두 비교적 정확하게 예측



Case 4) 필수적 차로 변경 (Mandatory-LC) (g, h)

- 좌측 차로 변경, 우측 차로 변경 모두 비교적 정확하게 예측

Cho Chun Shik Graduate School of Mobility

인지 음영을 고려한 자율협력주행 테스트 시나리오 정의서 개발

2024. 10. 24.

엄새얀[1] • 오승민[2] • 윤진원[3]

[1]한국과학기술원 조천식모빌리티대학원 석사과정
[2]한국과학기술원 조천식모빌리티대학원 박사과정
[3]한국과학기술원 기계기술연구소 연수연구원

Contents

01 연구 배경 및 목표

02 현황 분석

03 인지 음영 관련 사례 분석

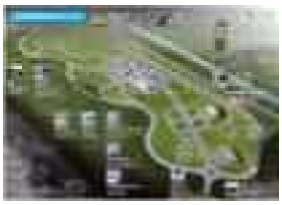
04 인지 음영 시나리오

05 결론

연구 배경 및 목표

AV 안전성 평가를 위한 실증 연구 및 시나리오 개발

- **자율주행차량(Autonomous Vehicle, AV) 기술 고도화·상용화**
  - SAE 레벨 4 이상의 고도화된 자율주행 기술 개발
  - 국내 2027년 완전자율주행 상용화를 목표로 실증 연구가 활발히 진행 중
- **AV 기술 개발과 더불어 AV 안전사고 예방 및 최소화를 위한 AV 안전성 테스트는 필수적인 단계**
  - 많은 국가에서 AV 테스트베드(Test-bed)를 구축하여 AV 안전성 평가 : M-City (미국), J-Town (일본), AstaZero (스웨덴) K-City (화성), 시범운행지역 (판교·상암)
  - 실제 교통상황을 모방한 AV 테스트 시나리오 개발 연구도 수행 : PEGASUS 프로젝트 (독일), CETRAN 프로젝트 (싱가포르) 등



[국내 자율주행 실험도시, K-City (출처: 한국교통안전공단)]

AV 안전사고 증가와 인지 음영 해소의 필요성

- **최근 AV 실도로 주행 증가로 인한 AV 안전사고 빈번히 발생**
  - 테슬라 오토파일럿 도입 이후 700건 이상(19건 사망) 충돌 사고 발생; 크루즈(GM), 보행자 사고로 인해 무인 로보택시 운행 두 달 만에 중단
  - AV가 실제 복잡한 도로에서 일반차량과 혼재하여 주행할 때 다양한 위험 상황으로 완전 자율주행을 수행하기 어려움
- **AV가 도심부에서 주로 겪는 '인지 음영'에 대한 대비가 필요**
  - 인지 음영(Perceptual Blind) : 주변 객체나 환경적 요소에 의해 AV가 인지할 수 있는 범위가 제한·저하되는 현상
  - AV가 실제 복잡한 도로에서 일반차량과 혼재하여 주행할 때 다양한 위험 상황으로 완전 자율주행을 수행하기 어려움
  - 인지 음영을 해소하고 정확한 판단을 할 수 있는 인지 증강(Perception Sharing)의 대안으로 AV가 주변 차량 또는 인프라와 통신하여 주행하는 자율협력주행 등장 (Wang et al., 2020)

[인지 음영 발생 예시]

연구 배경 및 목표

기존 AV 테스트 시나리오 개발 연구의 한계점

- **Lv 4+ 자율주행 도입에 따라 도심 내 AV 주행 안전성의 평가를 위한 새로운 AV 테스트 시나리오 개발 필요**

1) 대부분 선행 연구는 과거 발생한 일반차량 사고 데이터를 기반으로 AV 테스트 시나리오를 개발함 (So et al., 2019; Ko et al., 2022)

- AV는 일반차량과 다른 주행 특성을 가지고, AV와 일반차량이 혼재한 교통상황에서 새로운 형태의 사고 유형이 나타날 것으로 예상
- AV 실도로 주행 시 발생한 AV 사고 데이터를 활용하는 방안이 제시되고 있음

2) 선행 연구에서 도출된 AV 테스트 시나리오는 인지 음영을 충분히 고려하지 못함

- 대부분의 연구는 첨단 운전자 보조 시스템(ADAS) 등 AV 주행의 기능적 요소에 초점을 맞추어 테스트 진행
- 급격한 교통상황 변화, 물리적 시야 방해 등 AV의 인지 능력이 제한되어 위험 상황이 발생하는 인지 음영 상황은 AV 안전성 평가에 반드시 고려되어야 함

연구 목표

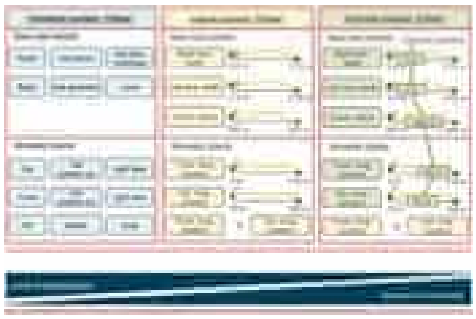
인지 음영 관련 요소와 기존 사례를 분석

▶ 인지 음영을 고려한 Lv 4+ 자율주행을 위한 테스트 시나리오 개발

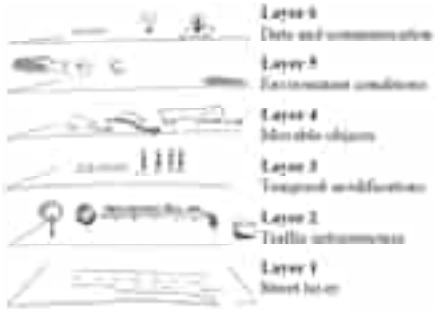
현황 분석

PEGASUS

- 독일연방 경제기술부(BMWi)에 의해 진행된 프로젝트
- 시나리오 구체화 정도에 따른 시나리오 분류 제시
  - ✓ **Functional Scenario**: 가장 추상적인 시나리오로, 전체적인 상황 묘사
  - ✓ **Logical Scenario**: 상황에 대한 조건과 변수를 범위 값으로 정의
  - ✓ **Concrete Scenario**: Logical Scenario를 기반으로 평가 값을 특정하여 명시



- 6-Layer-Model을 통해 다양한 도로 조건, 날씨, 교통 상황 등을 포함하여 시나리오 구조화
  - ✓ **Layer 1**: Street level
  - ✓ **Layer 2**: Traffic infrastructure
  - ✓ **Layer 3**: Temporal modifications
  - ✓ **Layer 4**: Movable objects
  - ✓ **Layer 5**: Environment conditions
  - ✓ **Layer 6**: Data and communication

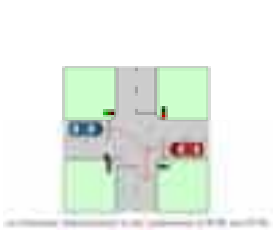


https://www.pegasusprojekt.de/en/about-PEGASUS

현황 분석

CETRAN

- 싱가포르 난양공대 프로젝트
- 각 시나리오의 상황을 카테고리로 분류
- 각 구성요소를 태그 시스템을 통해 분류
  - ✓ **동적 환경**: 도로 이용자(차량, 보행자, 자전거 등)의 행동 묘사
  - ✓ **정적 환경**: 도로 유형(고속도로, 일반도로 등)와 교차로와 같은 도로 구조 설명



https://cetran.sg/

SAKURA

- 일본 경제산업성 산하 프로젝트
- 안전성 저해요인을 Perception, Traffic, Vehicle Disturbance로 나누어 시나리오 구체화
  - ✓ **Perception**: 센서 유형, 인지 요인
  - ✓ **Traffic Disturbance**: 도로 형상, 차량 behavior, 주변 차량
  - ✓ **Vehicle Disturbance**: 갑작스러운 외부 요인으로 인한 차량 불안정

https://www.sakura-prj.go.jp/

인지 음영(Perceptual Blind)

인지 음영 정의

차량 내부 센서의 사각지대(blind spot)로 인해 발생하는 인지 실패와는 다르게,

주변 객체나 환경적 요인에 의해 AV의 인지 범위가 제한되거나 저하되는 것

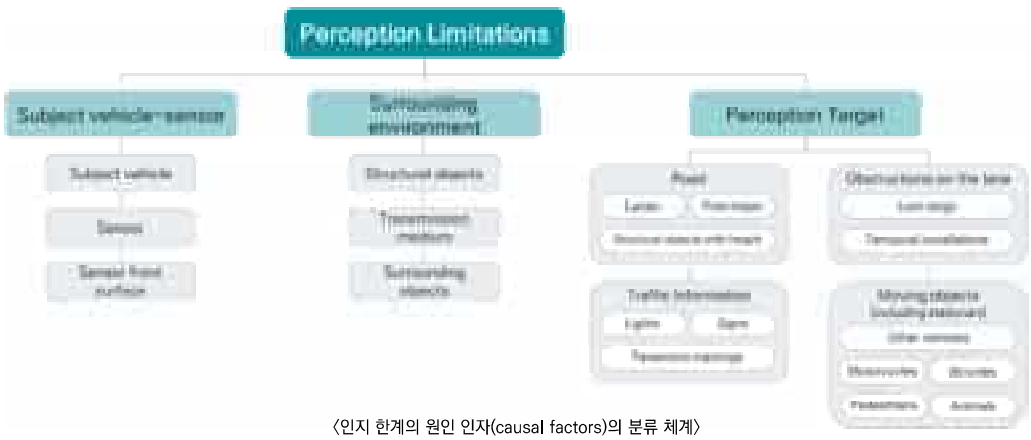
인지 음영 고려의 필요성

AV 기술 개발을 통해 차량의 인지 능력 자체의 강화도 중요하나,
AV가 실제 주행 중 복잡한 주변 환경과 도로교통 상황에 직면할 때 발생할 수 있는 인지 음영을 파악하고,
이러한 인지 음영 상황에 어떻게 대응할 수 있는지 연구하는 것이 **필수적**

ISO 34502

ISO 34502: Road vehicles —Scenario based safety evaluation framework

- 인지 관련 위험 요소와 그에 상응하는 인지관련 위험 시나리오 정의 방법 가이드라인 제공
- 인지관련 위험 시나리오는 **인지한계(Perception limitations), 사각지대(Blind spot), 연결성(Connectivity)**로 나뉨
- 자율주행 차량의 센서 유형별 특징과 다양한 물리학적 원인 인자로 인해 일어나는 인지 한계의 원인은 **대상차량의 센서, 주변 환경, 인지 대상**으로 나뉨

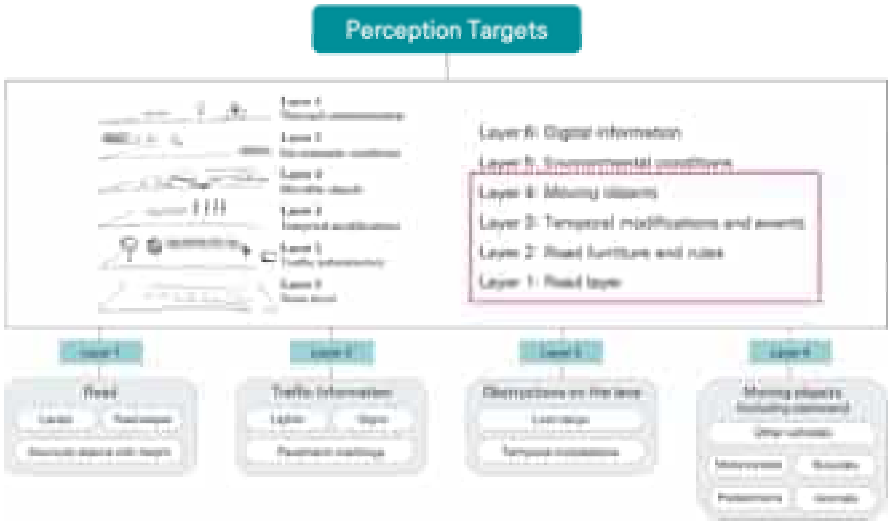


〈인지 한계의 원인 인자(causal factors)의 분류 체계〉

ISO 34502

인지 대상(Perception Targets)

인지 대상에서 인지 음영이 발생하는 경우, 각 대상의 분류에 따라 PEGASUS Layer 1~4에 맵핑할 수 있음



CA DMV Disengagement Reports

California Department of Motor Vehicle(CA DMV) 제어권 전환 사례

제어권 전환 보고서 중 다양한 인지 음영 사례를 발생 원인에 따라 분류, 그에 따라 구체적 상황 정리

인지 음영 유형	구체적 상황 설명
	인지 범위 외의 공사 현장(경고 표지판, 트래픽 콘 등 포함)을 인지하지 못해 운전자가 이를 발견하여 현장 진입을 막기 위해 제어권이 전환됨
	교차로에서 센서 시야 외에 빠르게 진입하는 신호 위반 차량의 진입을 인지하지 못해 제어권이 전환됨
	교차로 내 우회전 중 갑자기 센서 시야에 진입한 보행자 또는 자전거를 인지하지 못해 제어권이 전환됨
	교통체증으로 발생한 차량 간 음영 지역에서 주변 차량을 인지하지 못해 제어권이 전환됨
	주·정차된 차량으로 인해 시야가 가려져 보행자 등의 진입을 인지하지 못해 제어권이 전환됨
	폐색에서 다가오는 과속 차량을 인지하지 못해 제어권이 전환됨
	교차로에서 큰 트럭이 통과하면서 모든 신호등을 동시에 가려 AV가 신호를 인지하지 못해 제어권이 전환됨
	카메라에 먼지가 쌓여 신호등을 인지하지 못해 제어권이 전환됨
	나무 그림자로 전방 카메라의 시야가 차단되어 제어권이 전환됨
	태양이 카메라의 시야를 방해하여 인지 능력에 오류가 발생하여 제어권이 전환됨

- 인지 음영은 주로 **도심부에서 많이 발생**하며 지형 또는 특정 장애물로 인지 범위가 제한·저하되는 경우가 많음
- 교통 체증, 교차로 내 큰 화물차 등 **동적 환경 변화**로 인한 인지 음영 사례도 존재

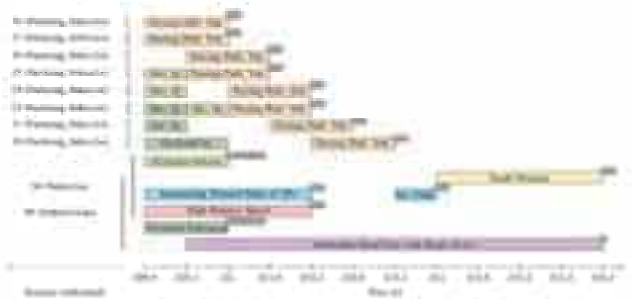
이전 연구

PEGASUS

- **시나리오 레이어 4(시나리오 참여자 데이터)에서 인지 음영을 고려해야 함**
  - Challenging Vehicle은 Ego Vehicle이 사고를 피하기 위한 반응을 필요로 함
  - Action constraints, **Dynamic occlusion**, Parallel challenger, challenger-chains를 추가로 고려

VVM (Scholtes et al., 2021)

- **PEGASUS 후속 프로젝트**
- **인지 음영 자체를 시나리오에 나타내지 않음**
  - VVM 프로젝트의 6-Layer-Model(6LM) 자체에 인지 음영 관련 변수를 명시하지는 않음
  - 하지만 6LM에서 제공된 정보에 의해 도출될 수 있음



VVM (Westhofen et al., 2023)

- **Ego Vehicle 시점에서 인지 음영을 표현**
  - 온톨로지 방식으로 시나리오 표현
  - 각 Actor에 Is_occluded라는 특성을 추가하여 인지 음영 여부를 표현함

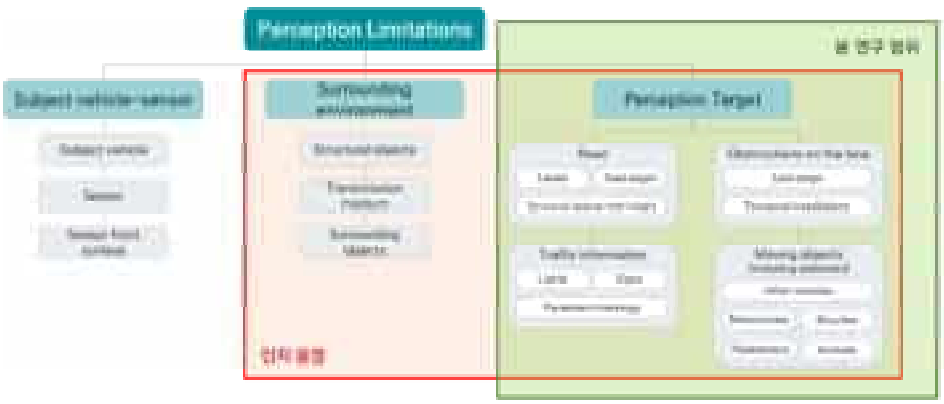
- 폐색(Occlusion)은 인지 하고 있으나 시나리오 정의서에 반영하지 않음
- 다른 다양한 인지 음영 요소는 고려하지 못하였음

➡ **인지 음영에 대한 구체적 고려 필요**

인지 음영 반영 시나리오 정의서

인지 음영 범위

인지 음영은 **주변 객체나 환경적 요인에** 의해 AV의 **인지 범위**가 **제한**되거나 **저하**되는 현상이므로,
센서 자체의 문제로 발생하는 대상 차량-센서(Subject vehicle-sensor)는 제외하고
주변 환경(Surrounding environment), 인지 대상(Perception target)으로 인한 인지 한계라고 할 수 있음



본 연구에서는 협력주행으로 극복이 가능한 지형 지물에 의한 폐색(Occlusion)에 중점

인지 음영 반영 시나리오 정의서

인지 증강화 기반 협력 자율주행 실험 시나리오 개발

인지 음영을 협력 주행으로 극복 가능한 상황을 대표 시나리오로 제시

비신호 교차로 | 분류/합류 구간 | 공사구간 차로 폐쇄 | 긴급차량 협력형 양보 | 협력형 MRM

※ 한국과학기술원 안희진 교수님 연구실과 협조하여 진행할 예정

【 대표 시나리오 】

인지 음영 반영 시나리오 정의서 제시

Functional Scenario(대표 시나리오)

Logical Scenario(범위 시나리오)

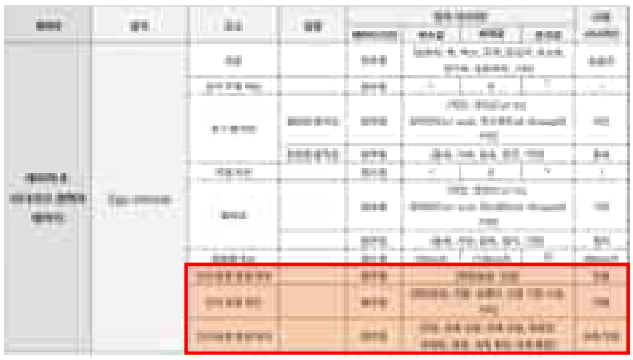
Concrete Scenario(시험 시나리오)

대표 시나리오를 기반으로 시나리오 정의서 작성

시나리오 정의서

- PEGASUS 프로젝트를 반영하고 국내에 맞게 재정의한 **아주대 시나리오 정의서 형식**을 사용
- 시나리오 **레이어 4(시나리오 참여자 데이터)**에서 인지 음영 표현

인지 음영 반영 시나리오 정의서 제시



인지 음영 변수

- ✓ 인지 음영 발생 여부
- ✓ 인지 음영 원인
- ✓ 인지 음영 발생 위치

인지

인지 음영 반영 시나리오 정의서 예시

비신호 4지 교차로 시험 시나리오

인지 음영을 고려한 자율협력주행 테스트 시나리오 정의서 개발

결론

연구 과제

레벨 4 자율주행 차량의 커넥티드 기반 인지 증강화 및 협력 자율주행 기술 개발

인지 증강화 기반 협력 자율주행 실험 시나리오 개발(2건 이상)

활용 계획

- 기관들과 협의 후 실차 실험에 적절한 형식으로 개발 예정
- 시나리오 정의서 형식 제작 후, 테스트베드와 K-City 규격에 맞춰 시나리오 제작

단계 평가 대응 계획

- 제시한 시나리오 정의서 형식에 맞춰 실험 시나리오 개발(5건 이상) 진행 예정
- 인지 음영 상황 다양화 → 5차년도 실증 실험 시나리오로 사용 예정

Thank you
for listening

KAIST 한국과학기술원

본 연구는 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로
정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행됨
(과제고유번호 : 2710006679, No.2023-00244929, 레벨4 자율주행 차량의 커넥티드 기반
인지 증강화 및 협력 자율주행 기술 개발)

음영지역에서 인지 확장을 위한 시맨틱 정보기반 객체 매칭 방법

Semantic Information based Object Method for Cognitive Expansion in Occluded Areas

정민영[1], 주경진[1,2], 안예찬[1,2], 서동수[1,2], 국태용[1,2*]

([1]성균관대학교 정보통신대학 전자전기컴퓨터공학과,
[2]주식회사 케이스랩 부설기술연구소)

Key Words : Semantic Information, TOSM, Object Detection, Object Matching

목 차

Ⅰ. 서론
Ⅱ. 시맨틱 정보기반 객체 매칭 방법
1. TOSM 기반 객체 등록
2. 시맨틱 지식정보를 이용한 객체 매칭
Ⅲ. 실험 결과
1. 실험 환경
2. 실험 결과
Ⅳ. 결론
Acknowledgement
참고문헌

Ⅰ. 서론

자율 주행 시스템(Autonomous Driving System, ADS)의 목적은 자율주행 차량(Autonomous Vehicle, AV)이 사람의 개입 없이 안전하게 작동하는 것이다[1]. 이를 위해, AV는 다양한 센서를 활용해 환경을 인식하고, 다른 차량에서 수집한 정보를 통합하여 경로를 계획한다. 실제로 AV는 환경 및 객체 인식을 위해 카메라와 LiDAR 등의 센서를 이용한다.

하지만, 이러한 센서들은 객체가 시야에서 부분적 또는 완전하게 가려질 때 탐지와 추적에 어려움을 겪는다[2]. 협력적 차량 간 통신(Vehicle to Vehicle, V2V)은 AV 간에 안전 정보를 전송하여 충돌 경고를 촉진하도록 함으로써 이와 같은 가림 현상(Occlusion)을 해결할 수 있다[3]. 특히, 실시간 데이터 전송을 통한 가림 현상 해결 연구들이 활발히 이루어지고 있다[4, 5, 6].

본 논문에서는 음영지역에서 인지 확장을 위해 시맨틱 정보를 활용하여 객체를 인식하고 매칭하는 방법을 제안한다. 이 방법은 Triplet Ontological Semantic Model(TOSM)에 기반한 환경 데이터베이스를 이용하며, Symbolic, Explicit 및 Implicit 정보를 통해 객체 클래스와 의미론적 특성을 추정한다[7]. 추정 결과와 실제 객체의 시맨틱 정보의 비교를 진행하여 신뢰도가 기준치를 넘을 때 매칭을 수행한다. 제안한 방법은 CARLA 시뮬레이션 기반 실험 환경에서의 테스트를 통해 검증하였다.

〈표 1. 객체에 적용된 시맨틱 정보 〉

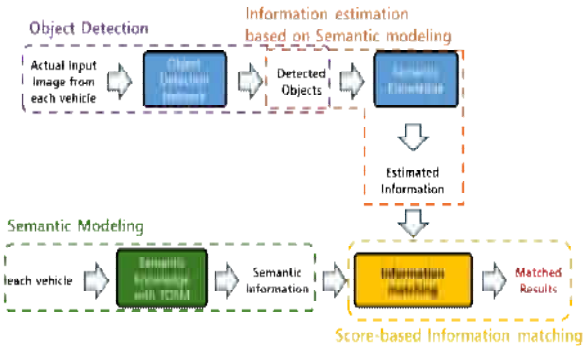
TOSM Datatype Properties		DataType	Example
Symbolic	name	string	car model name
	ID	int	1
Explicit	Size	FloatArray	[x, y, z]
	Color	string	"black"
	Velocity	FloatArray	[x, y, θ]
	Pose	FloatArray	[x, y, θ]
	coordinateFrame	string	"Map"
Implicit	isKeyObject	boolean	Yes
	isRisky	Boolean	Yes
	isInvisible	boolean	Yes
	isInsideOf	string	"section1"
	StateDecision	string	"stop"

Ⅱ. 시맨틱 정보 기반 객체 매칭 방법

1. TOSM 기반 차량의 시맨틱 지식정보 등록

객체에 의해 형성된 음영 지역의 인지 확장을 위해서 자차(Ego Vehicle)는 음영 지역 생성을 유발한 차량을 인식하고 시맨틱 정보 기반으로 객체를 매칭을 한다. 이를 위해서 각 객체는 Symbolic, Explicit 및 Implicit 데이터 타입으로 구성된 TOSM 기반의 시맨틱 정보를 소유한다.

시맨틱 정보는 표1과 같이 이루어져 있다. 해당 정보는 객체 중 차량에 적용하기 위해 구성된 것으로 Symbolic 타입은 name, ID를 포함한 상징적 정보, Explicit 타입은 Size, Color, Pose 및 Velocity 등을 포함한 외형적 정보를 담는다. 그리고 Implicit 타입 정보는 isKeyObject(핵심객체여부), isRisky(위



<그림 1. 시맨틱 정보 기반 객체 매칭 >

험요소여부), isMovable(이동가능여부), isInsideOf(현재장소), StateDecision(상태결정) 등을 포함한다. 시맨틱 정보에서 속도와 Pose는 차량이 이동함에 따라 변경되며 isInsideOf, is Risky 및 StateDecision도 장소 및 차량 상태가 변경됨에 따라 업데이트 된다.

TOSM 기반 시맨틱 정보는 제시된 정보 요소 외에도 도로 환경 객체의 다양성에 맞추어 정보를 확장하여 객체를 정확하게 매칭할 수 있다 [8].

2. 시맨틱 지식정보를 이용한 객체 매칭

자차는 차량들을 인식하고, 이를 기반으로 인지 확장 여부를 그림 1에서 보여준 시맨틱 정보 매칭 과정을 통해 결정한다.

객체 매칭은 TOSM에서 Symbolic 타입 정보의 Class, Explicit 타입 정보의 Size, Color, 추정된 Pose와 Velocity, 그리고 Implicit 타입 정보의 isInsideOf, isMovable의 시맨틱 특성을 고려하여 신뢰도가 기준치 이상일 경우 결정된다. Symbolic 정보와 Explicit 정보의 추정은 다음과 같이 진행된다. 먼저, RGB, 다채널 LiDAR 및 RGB-D 카메라 센서를 2가지 이상 조합으로 모델링하여 이미지 데이터에 거리정보가 포함되도록 퓨전 센싱한다. 객체의 class는 Object detection, Segmentation 및 Zero-shot based Detection 모델로 인식된 후, 출력된 class name을 사용해 매칭한다. Explicit 정보는 객체 인식에서 출력한 Bounding box(Bbox) 또는 Poly gon 데이터를 이용한다. 인식된 객체의 Color는 10가지 색상 레이블로 구성된 객체 데이터셋을 활용해 학습된 이미지 분류 모델에 의해 추정된다. 객체의 Size, Pose, Velocity를 인식하기 위해, 객체의 Bbox 또는 Polygon 내 깊이 정보를 활용하여 크기를 측정한다. 이어서, 자차의 위치와 속도를 기준으로 변환 행렬을 계산하여 인식된 객체의 자세와 속도를 추정한다. 이후, 추정한 자세와 속도값을 해당 객체의 실제 자세와 속도값과 비교하여 매칭한다. 마지막으로, 추정된 외형 정보를 바탕으로 Implicit 정보인 isInsideOf와 isMovable를 결정하고 이를 통해 매칭을 수행한다.

각 정보의 매칭 결과를 중요도에 따라 다르게 점수화하여 최종 매칭 정확도를 산출한 뒤, 이 값이 기준값을 넘으면 매칭하고, 그렇지 않으면 매칭하지 않는다.

<그림 2. 객체 매칭 검증을 위한 실험 환경 >

<그림 3. 시맨틱 정보 기반 객체 매칭 검증 실험>

III. 실험 결과

1. 실험 환경

제안한 방법을 검증하기 위해, 그림 2와 같이 시뮬레이션 기반 실험 환경에서 테스트를 진행하였다. Intel Core i9-14900K CPU, Nvidia RTX 4080 Super, 128GB RAM이 탑재된 PC에서 CARLA 시뮬레이터를 사용하여 설정된 환경에서 수행하였다 [9]. 낮 시간대 조건에서 자차가 음영 지역을 유발하는 차량을 높은 정확도로 인식할 수 있도록, 대간선 도로에 차량을 배치하는 실험 시나리오를 설계하였다. 자차에는 800x600 해상도 및 90도 Field of View(FoV)를 가진 RGB Camera와 Depth Camera를 차량 중앙에 설치하여 객체를 인식하고 시맨틱 기반 정보를 추정하도록 설정하였다. 자차는 YOLOv8n 모델을 사용해 해당 차량을 인식하고 class, Color, Pose, isMovable 및 isInsideOf를 추정하였다 [10]. 추정된 정보는 40%, 20%, 20%, 10%, 10%의 비율로 점수화하여 매칭 정확도를 산출하고, 80% 이상일 경우 매칭, 그 이하일 경우 매칭하지 않도록 설정하였다.

2. 실험 결과

그림 3에서 볼 수 있듯이, 실험을 통해 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 표 2에서 볼 수 있듯이 자차가 차량을 인식하여 'car'이라는 class를 추정하였으며 Bbox 내에서 차량의 색상인 'blue'도 추정하였다. 또한, Depth camera를 이용하여 인식된 객체의 거리와 자차를 기준 차량의 상대적인 위치를

<표 2. 객체 정보 매칭 실험 결과 >

Instance	Result	GT	Score[%]
Class(40)	Car	Car	40
Color(20)	Blue	Blue	20
Position(20)	(-100.0, 31.1)	(-100.5, 30.2)	18
isMovable(15)	Yes	Yes	15
isInsideOf(15)	section7	section1	15
Match Score			98%

추정한 결과, 약 10cm 내외의 오차가 발생하였다. 추정된 위치 정보를 이용하여 isInsideOf 결과를 도출하였다. 그리고 class 정보를 통해서 isMovable 값을 도출하였다.

결과적으로, 매칭 정확도는 98%로, 추정된 차량과 실제 차량이 시맨틱 정보를 기반으로 매칭되었음을 확인하였다. 2%의 오차는 위치 추정 오차에서 비롯된 것으로 확인하였다.

Ⅳ. 결론

본 논문에서는 TOSM 기반 시맨틱 정보를 활용하여 음영 지역에서의 객체 인식 및 매칭 방법을 제안하였다. 이를 통해 자차가 차량을 높은 정확도로 인식할 수 있음을 확인하였다. 실험 결과를 통해 자차는 색상, 크기, 자세, 위치 등의 정보를 바탕으로 객체를 높은 정확도로 매칭하는 것을 검증하였다.

향후 연구에서는 제안한 방법을 확장하여 음영 지역에서의 인지 확장을 실현할 것이다. 음영 지역의 인지 확장으로 위험 요소 해소 및 강인한 협력 주행이 되도록 고도화할 것이다.

Acknowledgement

이 논문은 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (과제고유번호:2710006679, No.2023-00244929, 레벨 4 자율주행 차량의 커넥티드 기반 인지 증강화 및 협력 자율주행 기술 개발)

참고문헌

1. C. Berger and B. Rumpe, "Engineering autonomous driving software," arXiv preprint arXiv:1409.6579, 2014.
2. A. Wang, Y. Sun, A. Kortylewski, and A. L. Yuille, "Robust object detection under occlusion with context-aware compositionalnets," in Proc. IEEE/CVF Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit., 2020.
3. H. Ngo, H. Fang, and H. Wang, "Cooperative perception with V2V communication for autonomous vehicles," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2023.
4. Q. Liu, T. Han, J. L. Xie, and B. Kim, "LiveMap: Real-time dynamic map in automotive edge computing," in Proc. IEEE Conf. Comput. Commun., 2021.
5. Y. Hui et al., "Collaboration as a service: Digital twins enabled collaborative and distributed autonomous driving," IEEE Internet of Things Journal, vol. 9, no. 19, 2022.
6. L. Liu, M. Zhao, M. Yu, M. A. Jan, D. Lan, and A. Taherkordi, "Mobility-aware multi-hop task offloading for autonomous driving in vehicular edge computing and networks," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 24, no. 2. 2023.
7. H.-U. Lee, Y. G. Rocha, S.-H. Joo, S.-H. Bae, S. Manzoor, and T.-Y. Kuc, "TOSM-based scene encoding using a semantic descriptor," in Proceedings of the International Conference of Control, Robotics, and Systems, Busan, Korea, 2020.
8. Joo, S.; Bae, S.; Choi, J.; Park, H.; Lee, S.; You, S.; Uhm, T.; Moon, J.; Kuc, T. “A Flexible Semantic Ontological Model Framework and Its Application to Robotic Navigation in Large Dynamic Environments,” Electronics 2022.
9. Dosovitskiy, Alexey et al. “CARLA: An Open Urban Driving Simulator.” Conference on Robot Learning, 2017.
10. REIS, Dillon, et al. Real-time flying object detection with YOLOv8. arXiv preprint arXiv:2305.09972, 2023.

Lv 4/4+ 자율주행 데이터 상호호환성 확보를 위한 표준데이터 체계

특별 Session C-3

한국지능형교통체계협회

자율주행 데이터 규격화 연구 진행 현황
송재인

자율주행 메타데이터 규격화 연구 진행 현황
임영호

자율주행 데이터 카탈로그 및 OID(Object Identifier) 연구 진행 현황과 표준적합성시험방법 규격화 추진 현황
차태영

Lv.4/4+ 자율주행 데이터 상호호환성 확보를 위한 표준데이터 특별세션

자율주행 데이터 규격화 추진 방향

2024.10.25

스페이스인사이트
송채인 대표

목 차

1. 연구 개요
2. 연차별 연구목표
3. 연구 진행현황
4. 향후 연구계획

1. 연구개요

1. 연구개요

⊘ 연구과제명 : 자율주행 Lv.4 상호호환성 확보를 위한 데이터 표준 및 표준적합성 시험방법 개발

⊘ 연구기간 : 2023. 4. 1. ~ 2027. 12. 31. (57개월)　　⊘ 연구예산 : 정부출연금 50억, 기관부담금 8.636억

⊘ 주요 연구개발 대상 – 자율주행기술개발혁신사업 국토교통부 소관 연구과제의 데이터 규격

- 국1~국21 연구과제에서 수집/가공/분석/적재/제공 데이터 조사 분석을 통한 데이터 규격
- 본 연구과제에서 구성 및 운영하는 자율주행 표준 데이터 협의체를 통해 데이터 표준, I/F 표준, Naming Rule 등에 대해 협의된 데이터

1. 연구개요

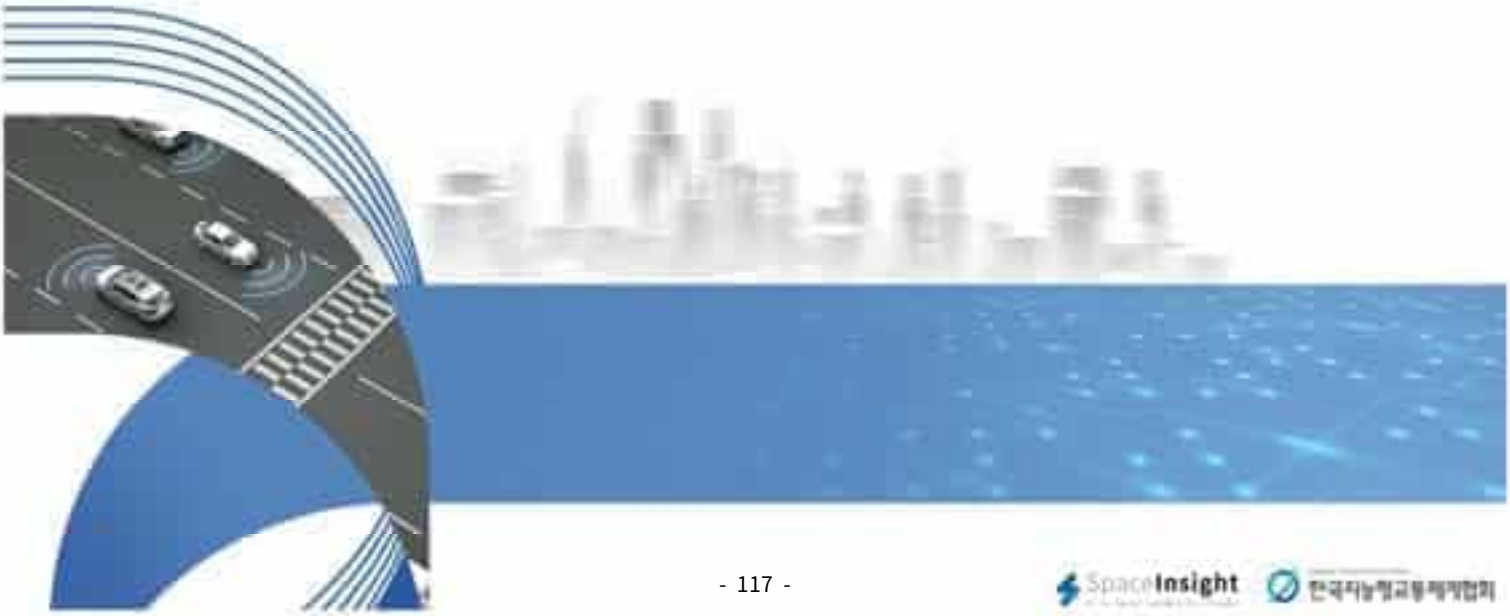
◎ 최종 연구목표

(국-22) 자율주행 Lv.4 상호호환성 확보를 위한 데이터 표준 및 표준적합성 시험방법 개발 5

SpaceInsight 한국지능형교통체계협회

국토교통부 KAIA KADIF

2. 연차별 연구계획

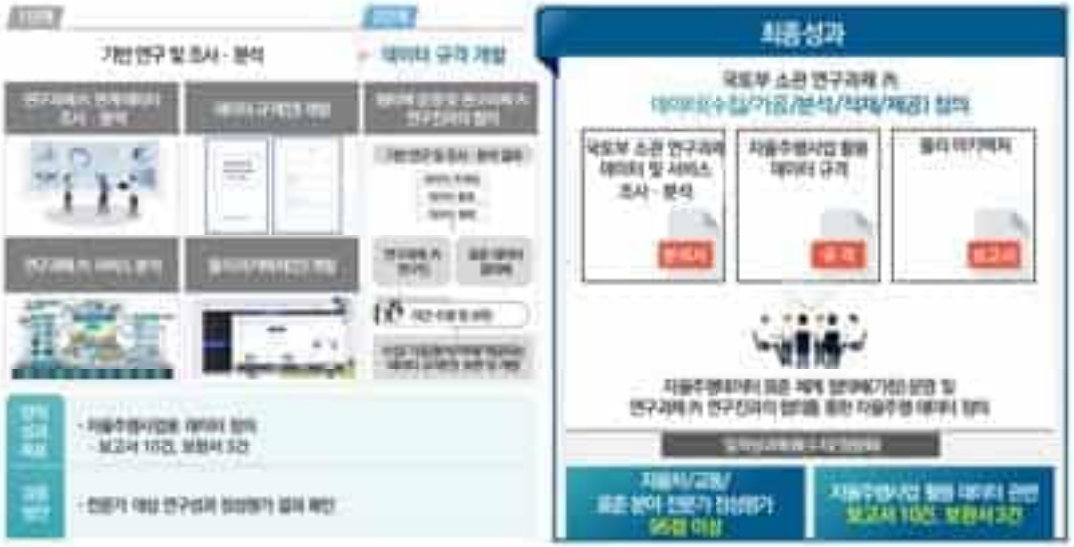


SpaceInsight 한국지능형교통체계협회

2. 연차별 연구계획

⊘ 전체 연구목표 및 성과지표

❑ **자율주행기술개발혁신사업 국토교통부 소관 연구과제의 데이터 규격 개발**



핵심성과물

· 자율주행사업용 데이터 정의 및 플러 아키텍처 개발

전체 연구성과

양적성과 및 달성

· 보고서 10건
(데이터 보고서 5건, 데이터 규격 2건, 아키텍처 개발 보고서 3건)
· 보완서 3건
(데이터 규격 보완서 3건)

질적성과지표

· 데이터조사 분석의 적정성
· 데이터 규격 개발 적정성
· 아키텍처 개발 적정성 및 유효성

2. 연차별 연구계획 (1차년도 연구수행 결과)

⊘ 국토교통부 소관과제 수집/가공/분석/적재/제공 데이터 조사·분석(I)

❑ **자율주행기술혁신사업 內 연구기관 데이터 공유 체계 마련 및 표준 데이터 수집**

자율주행 표준 데이터 정보 양식

2. 연차별 연구계획 (1차년도 연구수행 결과)

⊘ 국토교통부 소관과제 수집/가공/분석/적재/제공 데이터 조사·분석(I)

국토교통부 소관과제 수집 데이터 정의서

2. 연차별 연구계획 (1차년도 연구수행 결과)

⊘ 1차년도 연구개발 성과

자율주행사업용 데이터 규격(안) 연구개발 성과

데이터 규격(안) 1차년도 개발 내용

① 국제 및 단체표준 적용 데이터 규격(안)
② 신규 항의 데이터 규격(안)
③ 과제간 논의 후 신규 항의 데이터 규격(안)

자율주행사업용 물리 아키텍처(안) 연구개발 성과

⊘ 자율주행사업용 데이터 규격(안) 연구개발 성과

❑ 개요

- 자율주행기술개발혁신사업 활용 데이터 규격을 개발하여, 증가하는 데이터를 관리할 수 있는 데이터 표준체계를 구축하고, 개발한 서비스·시스템 간 독립성 보호와 함께 원활한 데이터 연계를 위해 시험방법 표준화 및 상호호환성 시험환경 마련
- 국토교통부 소관 자율주행기술개발혁신사업 연구분야에서 수집/가공/분석/적재/제공되는 데이터를 취합하였고, 전체 22개 과제 중 분석이 가능한 수준의 데이터 정의서가 제출된 9개 과제를 토대로 데이터 규격(안) 개발

데이터 규격(안) 개발 프로세스

데이터 규격(안) 1차년도 개발 내용

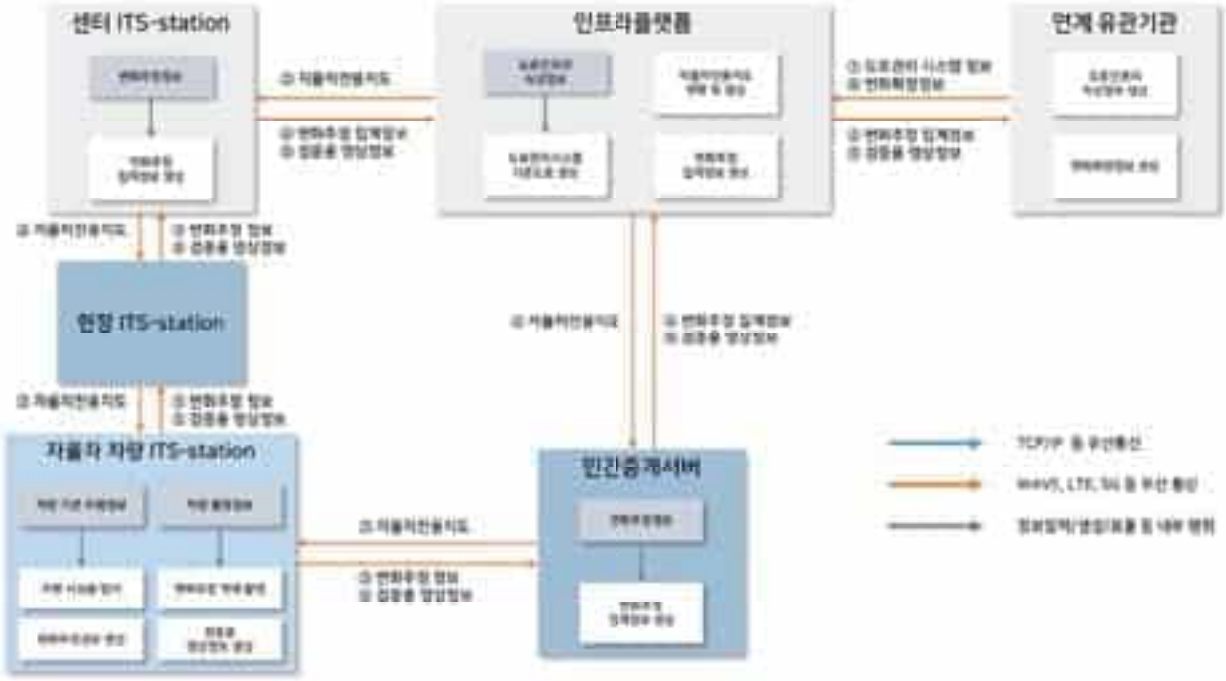
① 국제 및 단체표준 적용 데이터 규격(안)
② 신규 정의 데이터 규격(안)
③ 과제간 논의 후 신규 정의 데이터 규격(안)

전체 데이터 필드 1,384개 / 312개 데이터 엘리먼트 수집

① 국제 및 단체표준 적용 데이터 규격(안) : 170개(1,044개 데이터)
② 신규 정의 데이터 규격(안) : 123개(341개 데이터)
③ 과제간 논의 후 신규 정의 데이터 규격(안) : 10개(109개 데이터)

2. 연차별 연구계획 (1차년도 연구수행 결과)

⊘ 자율주행사업용 물리 아키텍처(안) 연구개발 성과

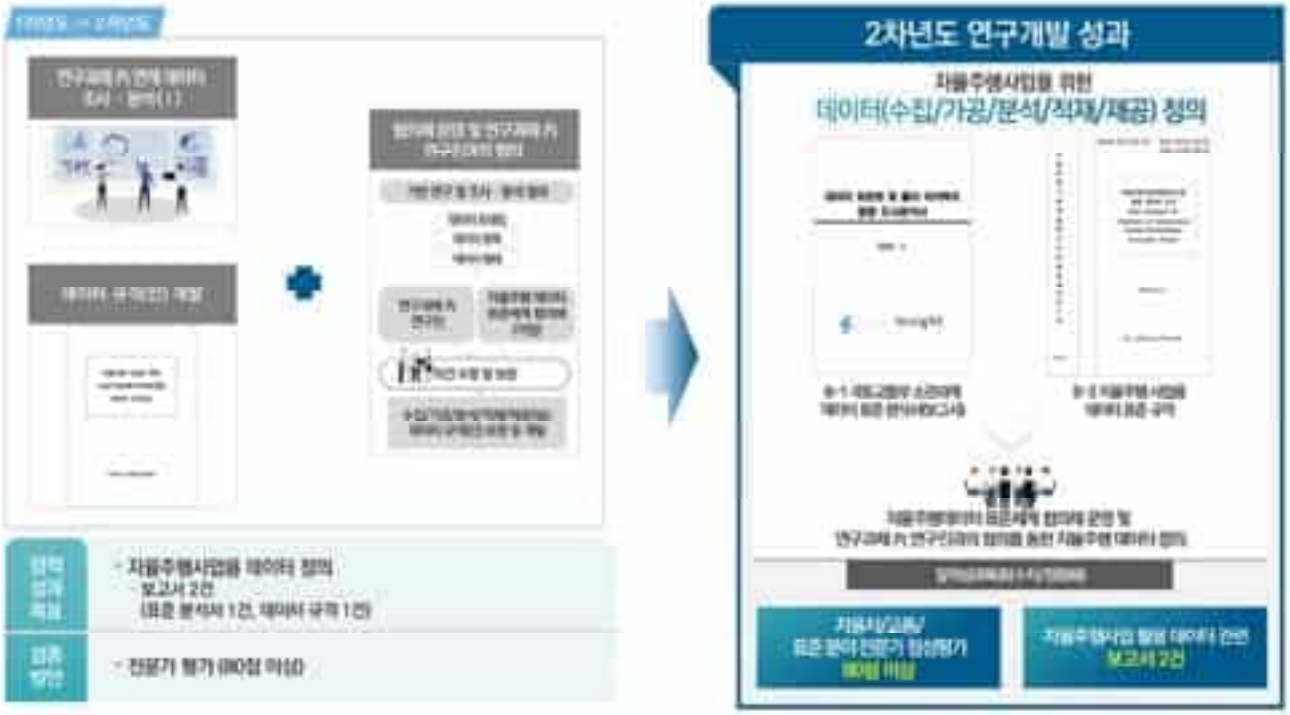


(국-1) 크라우드 소싱 기반의 디지털 도로·교통 인프라 융합 플랫폼 기술 개발 물리 아키텍처(안)

2. 연차별 연구계획 (2차년도 연구계획)

⊘2차년도 연구목표

❑ **자율주행기술개발혁신사업 국토교통부 소관 연구과제의 데이터 규격 개발**



정량 성과 목표	· 자율주행사업용 데이터 정의 · 보고서 2건 (표준 분석서 1건, 데이터 규격 1건)
검증 방법	· 전문가 평가 (80점 이상)

2. 연차별 연구계획 (2차년도 연구계획)

⊘2차년도 연구내용 및 성과지표

2.1.1 국토교통부 소관과제 수집/가공/분석/적재/제공 데이터 조사·분석(II)

- 국토교통부 소관 자율주행기술개발혁신사업 연구분야에서 수집/가공/분석/적재/제공 되는 데이터의 추가 및 변경사항을 반영한 데이터 조사 · 분석 계속 진행
- 국내외 데이터 관련 표준화 선행연구 및 사례 조사
  - 국토교통부 소관과제 활용 표준조사 및 자료보완이 필요한 과제 개별 미팅 진행
  - 데이터 관련 활용 표준조사(1차년도 누적 조사대상 및 2차년도 추가 조사대상 분석)

2.2.1 자율주행사업 활용 데이터 규격 개발

- 국토교통부 소관 연구과제 內 데이터 추가 · 변경사항 등을 기반으로 수집/가공/분석/적재/제공되는 데이터 모델, 데이터 프레임, 데이터 엘리먼트 등 데이터 규격 개발
  - 자율주행 데이터 분류 및 데이터 규격 구성방안 모색
- 협의체 內 데이터 규격 논의 및 보완
  - 협의체 內 데이터 규격 배포 및 의견수렴을 통한 최종 데이터 규격 개발

2차년도 핵심성과물

- 국토부 소관과제 데이터 조사 · 분석 보고서
- 자율주행 데이터 규격 보고서

2차년도 연구성과

정량성과 및 달성
- 보고서 2건
(표준 분석서 1건, 데이터 규격 1건)

검증방법
- 전문가 평가(80점 이상)

- 자율주행기술개발사업용 물리 아키텍처 개발(B-3) 관련 연구 순연('24,'25→'26,'27)
- 데이터 조사 · 분석(B-1) 및 데이터 규격 개발(B-2) 관련 변경사항 없음

2. 연차별 연구계획 (2차년도 연구계획)

⊘ 2차년도 연구추진계획

Subject	Contents		Date										
			24-02	24-03	24-04	24-05	24-06	24-07	24-08	24-09	24-10	24-11	24-12
자율주행 관련 국내외 동향·조사 분석	국토교통부 소관과제 데이터 조사·분석(II)												
	국내외 데이터 관련 표준화 선행연구 및 사례 조사			조사목록/일정 확인 (3.15)		1차 결과 제출 (5.16)		2차 결과 제출 (7.15)		3차 결과 제출 (9.13)			4차 결과 제출 (12.16)
	1 국토교통부 소관과제 활용 표준 조사		1차년도 보완사항 정리		1차년도 보완사항 개발 미팅		2차년도 보완사항 개발 미팅		1,2차년도 추가 보완사항 개발 미팅				
	1.1	데이터 규격 개발에 자료보완이 필요한 과제 개발 미팅											
	1.2	과제관리커드, 국토부 소관과제 관련 배포 자료 등 조사분석											
	2 데이터 관련 활용 표준 조사		1차년도 리스트 정리	1차년도 누락 조사대상 분석		2차년도 추가 리스트 정리	2차년도 조사대상 분석				중앙조사 보고서 작성	연차평가 준비	최종 보고서 제출
	2.1	ITSK 표준총회 內 자율주행 관련 분야 참여 및 동향조사분석											
	2.2	KS R 1600 시리즈 배포에 따른 표준내용 조사분석											
	2.3	1차년도 누락한 조사대상 동향조사분석											

2. 연차별 연구계획 (2차년도 연구계획)

⊘ 2차년도 연구추진계획

Subject	Contents		Date										
			24-02	24-03	24-04	24-05	24-06	24-07	24-08	24-09	24-10	24-11	24-12
데이터 표준 체계	자율주행 데이터 규격 개발												
	자율주행 데이터 규격 구성			데이터 규격 1차 검토 (3.31.)		데이터 규격 2차 검토 (5.16.)		데이터 규격 3차 검토 (7.16.)		데이터 규격 4차 검토 (9.13.)			데이터 규격 5차 검토 (12.16.)
	1 자율주행 데이터 분류		1차년도 수집 데이터 정리	1차년도 수집 데이터 분석 및 분류		2차년도 추가 수집 데이터 정리	2차년도 수집 데이터 분석 및 분류		1,2차년도 추가 수집 데이터 정리	1,2차년도 추가 수집 데이터 분석 및 분류			
	1.1	모사 특성 데이터 (배경주제, 성격, 제작 등) 분류 및 상세설명 자료 작성											
	1.2	모사한 특성이 없는 데이터 도출											
	2 자율주행 데이터 규격 구성방안		데이터 규격안 작성 논의	데이터 규격안 1차 작성	데이터 규격안 보완사항 논의	데이터 규격안 2차 작성	데이터 규격안 보완사항 논의		데이터 규격안 3차 작성		데이터 표준 규격 보고서 작성	연차평가 준비	최종 데이터 규격안 배포
	2.1	세부내용 정리 방안 결정											
	2.2	데이터 모델에 따른 자율주행 데이터 작성 (표준 준수 데이터 우선)											
	2.3	표준에 명시되지 않은 과제별 데이터 작성 (데이터 생성 과제와 미팅 필요)											
	협의체 內 국토부 소관 연구과제 관련 데이터 규격 개발 및 공개			1차 배포 (자율 및)		2차 배포 (자율 및)					3차 배포 (자율 및)		최종 규격 발표
	협의체 內 데이터 규격 논의 및 보완				1차 의견수렴	1차 의견수렴 안전결과 검토	2차 의견수렴	2차 의견수렴 안전결과 검토				3차 의견수렴 안전결과 검토	

3. 연구 수행결과

✓2차년도 연구개발 성과 예시

자율주행사업용 데이터 규격 개발 프로세스

과제별 데이터 규격

데이터 규격 2차년도 개발 내용

① 1차년도 데이터 규격(안) 배포 및 의견 수렴
② 과제별 데이터 정의서 신규 접수 및 업데이트
③ 보완 데이터 규격(안) 1차 배포('24.03.31) / 2차 배포('24.05.31) 후 의견 수렴

3. 연구 수행결과

⊘ 2차년도 연구개발 성과 예시

(국-12) 자율주행 Lv.4/4+ 기반 공유차(Car-Sharing)서비스 기술 개발 (내부)

내부 데이터 필드 144개 / 데이터 밸리언트 48개
-> 해당 부분 논의 필요

(국-12) 자율주행 Lv.4/4+ 기반 공유차(Car-Sharing)서비스 기술 개발 (연계)

타 과제 연계 데이터 필드 49개 / 데이터 밸리언트 30개
① 국제 및 단체표준 적용 데이터 규격 : 20개
② 신규 정의 데이터 규격(안) : 6개
③ 과제간 논의 후 신규 정의 데이터 규격(안) : 4개

- 수집한 데이터 중 과제 내부에서 시스템 및 서비스의 자체 관리 또는 성능 테스트를 위한 데이터가 존재하여, 모든 데이터를 규격화하는데 어려움이 있어 과제별 타 과제 연계 데이터(과제 전체 규격화)와 내부 데이터(과제 내부 규격화)로 구분

3. 연구 수행결과

⊘ 자율주행 데이터 규격 개발

❑ 작업현황 (24.09.30 기준)

과제번호	과제명	제출	1차	2차	최종	작업내용
국-1	크라우드 소싱 기반의 디지털 도로-교통 인프라 융합 플랫폼 기술 개발	O	O			수정 작업중
국-2	인프라 센서 기반의 도로 상황 인지 고도화 기술 개발	O		O	O	완료
국-3	자율협력주행을 위한 미래도로 설계 및 실증 기술 개발	O	O		O	완료
국-4	인프라 가이던스를 통한 자율차 주행지원 기술 개발	O	O		O	완료
국-5	자율차-일반차 혼재상황 대비 AI기반 자율주행모빌리티 운영 플랫폼 개발	O				작업중
국-6	자율주행 Lv.4/4+ 빅데이터를 활용한 도로교통 디지털트윈 개발	O				추가제출예정
국-7	에티버스 기반 자율주행 가상시험환경 구축 및 실증기술 개발	O		O	O	완료
국-8	Lv.4 자율주행 차량 테스트베드 환경 구축	X				미제출
국-9	자율주행 리빙랩 실증환경 운영 및 서비스를 통한 사업모델 개발	X				미제출
국-10	교통약자(장애인,노약자,교통소외지역 등) 이동지원 모빌리티 서비스 기술 개발	O	O		O	완료
국-11	실시간 수요 대응 자율주행 대중교통 모빌리티 서비스 기술 개발	O		O	O	완료
국-12	자율주행 Lv.4/4+ 기반 공유차(Car-Sharing)서비스 기술 개발	O	O		O	완료
국-13	자율주행 Lv.4/4+ 기반 도시환경관리 서비스 기술 개발	O	O		O	완료
국-14	도로교통 인프라 모니터링 및 긴급 복구 지원 서비스	O	O	O	O	완료
국-15	자율주행 Lv.4/4+ 기반 긴급차량 통행지원 서비스 기술개발	O		O		추가제출예정
국-16	주행 및 충돌상황 대응 안전성 평가기술 개발	X				미제출
국-17	실차 시뮬레이션 기반 시스템 안전성 평가기술 개발	X				미제출
국-18	V2E 인지판단 안전성 및 사고대응 평가기술 개발	O	O		O	완료
국-19	차량차/도로인프라 상태정보 융합 동적 안전성 평가기술 개발	X				미제출
국-20	자동차 통합보안 안전성 평가기술 개발	X				미제출
국-21	자동차 V2X 통신성능 안전성 및 전자파 적합성 평가기술 개발	O	O		O	완료

⊘ 자율주행 데이터 규격 개발

❑ (국-1) 크라우드 소싱 기반의 디지털 도로·교통 인프라 융합 플랫폼 기술 개발

- 연구 목표 : 자율주행 안전성 확보를 위한 디지털 도로교통 인프라 환경 구축
- 연구 내용 : '크라우드 소싱 기반 디지털 도로·교통 인프라 플랫폼 기술 및 표준화·법제도 등 기반 기술 개발', '도로·교통 시설물의 측위와 인식 성능 제고를 위한 기존 도로·교통 시설물 개선 및 가상 시설물 개발' 등이 있음

구분	메시지명	데이터명	내용	생성	제공 대상
1-1	RoadManagement SystemInformation	도로관리시스템 정보	기존도로 구축을 위해 수집한 도로 인프라 속성 데이터	연계 유관기관	인프라 플랫폼
1-2	AutonomousMap	자율자전용지도	도로관리시스템 정보 기반의 기존지도를 자율자전용지도로 변환	인프라 플랫폼	자율주행차량 ITS-station
2-1	ChangeEstimation Information	변화추정 정보	자율자전용지도 갱신을 위한 주변 시설물의 변화추정 정보	자율주행차량 ITS-station	인간중개서버
2-2	ChangeEstimation AggregateInformation	변화추정 집계정보	자율자전용지도 갱신을 위해 수집한 변화추정정보를 집계한 정보	인간중개서버	인프라 플랫폼
				인프라 플랫폼	연계 유관기관
3-1	Verification ImageInformation	검증용 영상정보	변화추정 정보확정을 위해 요청하는 객체의 이미지(영상) 정보	자율주행차량 ITS-station	연계 유관기관
3-2	ChangeConfirmation Information	변화확정정보	변화추정 정보 확인 후 확정된 정보	연계 유관기관	인프라 플랫폼

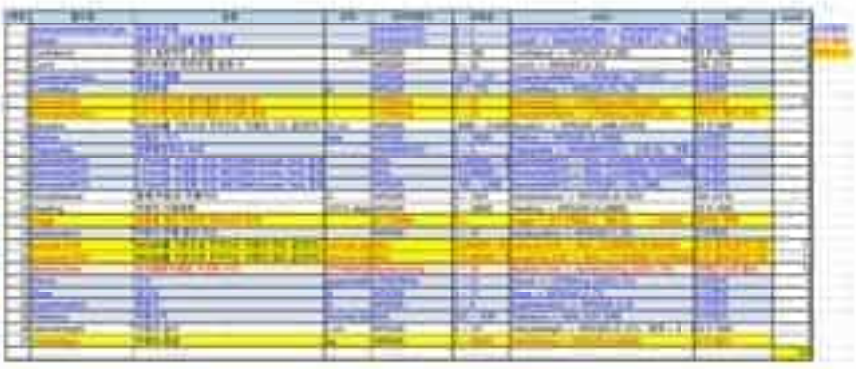
(국-1) 크라우드 소싱 기반의 디지털 도로·교통 인프라 융합 플랫폼 기술 개발 데이터 정보

3. 연구 수행결과

⊘ 자율주행 데이터 규격 개발

❑ (국-1) 크라우드 소싱 기반의 디지털 도로·교통 인프라 융합 플랫폼 기술 개발

- 데이터 정의서에서 수집된 전체 데이터 필드 수는 105개이며, 27개의 데이터 엘리먼트가 사용되었음
- ITSK-00136(크라우드소싱) 표준을 제정하여 사용하였으나, JSON으로 인코딩 되어 ASN.1 변환 과정 검토 필요



- DescriptiveID : UTF-8 형식의 문자열 식별자 / TemporaryID는 Octet 형식이며 임시 식별자로 신규 정의 검토
- DescriptiveName : 기존 IA5 형식의 문자열 명칭은 한글을 표현할 수 없어 UTF-8 형식으로 변경 검토
- NumericTime : Date-Time 형태 / UnixTime을 제외한 소수형 문자열로 구성된 "YYYYMMDDHHmmss" 정의 필요

(국-1) 데이터 엘리먼트 세부사항

검토 사항

① Mapdata 프로토콜에 대한 내용이 아직 정리되지 않아 반영되지 않음

② 메시지 및 데이터의 명칭, 필수/옵션 여부 등 입의 설정된 부분이 많아 확인 필요

③ 유효값의 범위 확대 필요
(추후 타 체계와의 연계 등을 통한 확장성 고려)

- Latitude(위도), Longitude(경도), Elevation(높이), VehicleHeight(차량높이), VehicleMass(차량중량) 등 현재 유효 값의 범위가 SAE 표준과 차이가 있음

④ UTF-8 형태의 ID / 숫자형 문자열 형태의 시간 추가 검토

3. 연구 수행결과

⊘ 자율주행 데이터 규격 개발

❑ (국-2) 인프라 센서 기반의 도로 상황 인지 고도화 기술 개발

- 연구 목표 : 스마트 도로상황 인지 노변 플랫폼 통합 개발 및 구축
- 연구 내용 : 'RSU-클라우드 연계 실시간 상황인지 LDM 플랫폼 개발', '도로상황 인지 노변시스템에 대한 SILS 및 HILS 개발', '도로상황 인지 센서-통신-컴퓨팅 통합 노변인프라 시스템 개발' 등이 있음

구분	메시지명	데이터명	내용	생성	제공 대상
1	SensorDataSharing	센서 데이터 공유 메시지	자율주행 거버넌스 생성을 위해 센서에서 수집된 도로상황 데이터	MEC(Mobile Edge Computing) 기지국	V2X RSU, 자율주행차량 및 플랫폼

(국-2) 인프라 센서 기반의 도로 상황 인지 고도화 기술 개발 데이터 정보

3. 연구 수행결과

⊘ 자율주행 데이터 규격 개발

❑ (국-2) 인프라 센서 기반의 도로 상황 인지 고도화 기술 개발

- 데이터 정의서에서 수집된 전체 데이터 필드 수는 60개이며, 40개의 데이터 엘리먼트가 사용되었음
- SAE J3224에서 정의된 SDSM(SensorDataSharingMessage)를 JSON 형태로 정의

(국-2) 데이터 엘리먼트 세부사항

검토 사항

① SDSM 이외에 생성/수집/제공 하는 다른 메시지 존재 여부

② SAE J3224 표준 그대로 사용 여부

③ 과제 내에서 단위, 형식, 유효 값 등 변경 또는 범위 확장 여부

④ 어느 과제와 어떤 데이터가 공유되는지

⑤ 과제의 데이터 구성 및 절차에 대한 확인과 세부내용에 대한 전체적인 검토 필요 (공유된 내용이 제한적임)

⊘ 자율주행 데이터 규격 개발

❑ (국-3) 자율협력주행을 위한 미래도로 설계 및 실증 기술 개발

- 연구 목표 : 스마트 도로상황 인지 노변 플랫폼 통합 개발 및 구축
- 연구 내용 : 'RSU-클라우드 연계 실시간 상황인지 LDM 플랫폼 개발', '도로상황 인지 노변시스템에 대한 SILS 및 HILS 개발', '도로상황 인지 센서-통신-컴퓨팅 통합 노변인프라 시스템 개발' 등이 있음

구분	메시지명	데이터명	내용	생성	제공 대상
1-1	VehicleDriving TrajectoryData	차량(일반차, 자율차) 주행궤적 데이터	차량 운행행태를 수집 및 분석하기 위해 수집한 차량 주행 궤적 데이터	통신 인프라 모니터링 모듈	제공 대상 확인 불가
1-2	InterSectionVehicle DrivingBehaviorSurvey	교차로 차량 운전행태 조사	교차로 차량의 운행행태 조사를 위한 특정시점에서 차량의 통행행태	통신 인프라 모니터링 모듈	제공 대상 확인 불가
1-3	InterChangeVehicle DrivingBehaviorSurvey	IC 차량 운전행태 조사	IC 차량의 운행행태 조사를 위한 특정시점에서 차량의 통행행태	통신 인프라 모니터링 모듈	제공 대상 확인 불가
2-1	QueueingLengthSurvey	대기행렬 길이 조사	교통류 흐름 변화를 측정하기 위한 대기행렬의 길이	통신 인프라 모니터링 모듈	제공 대상 확인 불가
2-2	TrafficSurvey	교통량 조사	교통류 흐름 변화를 측정하기 위한 링크당 교통량	통신 인프라 모니터링 모듈	제공 대상 확인 불가

(국-3) 자율협력주행을 위한 미래도로 설계 및 실증 기술 개발 데이터 정보

3. 연구 수행결과

⊘ 자율주행 데이터 규격 개발

❑ (국-3) 자율협력주행을 위한 미래도로 설계 및 실증 기술 개발

- 데이터 정의서에서 수집된 전체 데이터 필드 수는 61개이며, 36개의 데이터 엘리먼트가 사용되었음
- 도로설계를 연구범위로 하여 관제를 위한 물리적 시설이 따로 존재하지 않음

(국-3) 데이터 엘리먼트 세부사항

검토 사항

① 메시지 및 데이터의 명칭, 필수/옵션 여부 등 명의 설정된 부분이 많아 확인 필요

② 일부 데이터의 유효값 설정이 필요함

③ 데이터 송수신의 제공대상이 누락되어있음

④ 데이터 절차가 구분되어 있지 않아, 메시지를 임의로 구분하였음

⑤ 타과제와 중복되는 항목의 경우 단위 및 형식 등 통일 시 문제가 되는지

⑥ SteeringWheelAngle : 스티어링휠 각도
SteeringAngle : 조향(차량 바퀴) 각도

⊘ 자율주행 데이터 규격 개발

❑ (국-4) 인프라 가이던스를 통한 자율차 주행지원 기술 개발

- 연구 목표 : 혼재 상황에서 자율주행 Lv.4/4+ 지원을 통해 최적화된 교통류를 구현하는 인프라 가이던스 서비스 개발
- 연구 내용 : '자율차-일반차-VRU가 혼재된 교통 상황에서 인프라 검지', '공동/협력인지 기반 협력형 자율주행 서비스 개발' 등이 있음

구분	메시지명	데이터명	내용	생성	제공 대상
1-1	IG_JoinRequest	인프라 가이던스 서비스 참여 요청 메시지	인프라 가이던스 서비스에 대한 참여 요청	Edge RSU	인프라 가이던스 구간 진입 차량
1-2	IG_AssignID	이동객체의 임시 식별자 부여 메시지	인프라 가이던스 구간에 진입한 동적 객체에 대한 임시 식별자 부여	Edge RSU	인프라 가이던스 구간 진입 차량
2-1	IG_CooperativePerception	협력인지 메시지	동적 객체에 대한 인지 정보 또는 차량의 주행의도 정보	인프라 가이던스 구간 진입 차량	Edge RSU
2-2	IG_Instruct	가이던스 제공 메시지	인프라 가이던스 구간 진입 도로이용자에게 제공하는 가이던스	Edge RSU	인프라 가이던스 구간 진입 차량
2-3	IG_Response	가이던스 응답 메시지	가이던스 제공에 대한 응답	인프라 가이던스 구간 진입 차량	Edge RSU
2-4	IG_InstructCancel	가이던스 취소 메시지	도로상황 변화에 따라 이미 제공된 인프라 가이던스 취소	Edge RSU	인프라 가이던스 구간 진입 차량

(국-4) 인프라 가이던스를 통한 자율차 주행지원 기술 개발 데이터 정보

3. 연구 수행결과

⊘ 자율주행 데이터 규격 개발

❑ (국-4) 인프라 가이던스를 통한 자율차 주행지원 기술 개발

- 연구 목표 : 혼재 상황에서 자율주행 Lv.4/4+ 지원을 통해 최적화된 교통류를 구현하는 인프라 가이던스 서비스 개발
- 연구 내용 : '자율차-일반차-VRU가 혼재된 교통 상황에서 인프라 검지', '공동/협력인지 기반 협력형 자율주행 서비스 개발' 등이 있음

구분	메시지명	데이터명	내용	생성	제공 대상
2-5	MapData	지리적 도로정보 메시지	인프라 가이던스 서비스 참여 요청을 위한 도로정보	Edge RSU	인프라 가이던스 구간 진입 차량
3-1	IG_AS_LaneChange CooperationRequest	차로변경 양보 요청 메시지	협력주행(차로변경)을 위한 양보요청 정보	차로를 변경하려는 호스트 객체 (HO)	주변 원격 객체 (RO)
3-2	IG_AS_LaneChange CooperationResponse	차로변경 양보 요청에 대한 응답 메시지	협력주행(차로변경) 양보요청에 대한 응답 정보	차로변경을 요청받은 주변 원격 객체 (RO)	호스트 객체 (HO)
4-1	IG_AS_Crossing CooperationRequest	교차로 우선통행 양보 요청 메시지	협력주행(교차로 우선통행)을 위한 양보요청 정보	교차로에서 우선통행하려는 호스트 객체 (HO)	주변 원격 객체 (RO)
4-2	IG_AS_Crossing CooperstionResponse	교차로 우선통행 양보에 대한 응답 메시지	협력주행(교차로 우선통행) 양보요청에 대한 응답 정보	교차로 우선통행을 요청받은 주변 원격 객체 (RO)	호스트 객체 (HO)

(국-4) 인프라 가이던스를 통한 자율차 주행지원 기술 개발 데이터 정보

⊘ 자율주행 데이터 규격 개발

❑ (국-4) 인프라 가이던스를 통한 자율차 주행지원 기술 개발

- 데이터 정의서에서 수집된 전체 데이터 필드 수는 447개이며, 98개의 데이터 엘리먼트가 사용되었음
- 인프라 가이던스 관련 메시지 및 데이터 엘리먼트를 새로 제정하였으나, SAE J2735를 대부분 준용함

(국-4) 데이터 엘리먼트 세부사항

검토 사항

① 과제 내에서 단위, 형식, 유효 값 등의 변경 또는 범위 확장 여부

② 어느 과제와 어떤 데이터가 공유되는지

③ 과제의 데이터 연계 및 절차에 대한 추가 정보와 세부내용에 대한 전체적인 검토 필요

3. 연구 수행결과

⊘ 자율주행 데이터 규격 개발

❑ (국-7) 메타버스 기반 자율주행 가상시험환경 구축 및 실증기술 개발

- 연구 목표 : 가상시험환경을 구축하고 통합 시뮬레이션이 가능한 메타버스 가상시험환경 플랫폼 개발, 구축 및 운영
- 연구 내용 : 'Lv.4/4+ 자율주행 기반 가상시험환경 플랫폼 개발', '가상 Lv.4/4+ 자율주행 환경구현이 가능한 융복합 시뮬레이터 기술 개발', '도로교통 융합기술 평가를 위한 시나리오 자동 생성 및 시뮬레이션 기술 개발' 등이 있음

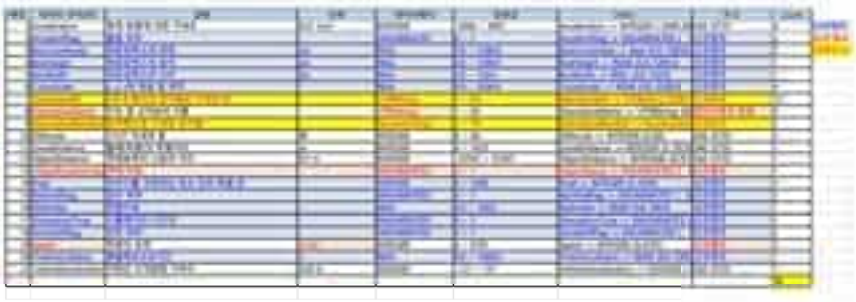
구분	메시지명	데이터명	내용	생성	제공 대상
1-1	GetTrafficSimulationList_Request	교통시뮬레이션 데이터 요청	교통시뮬레이션 데이터리스트에 대한 요청	제공 대상 확인 불가	제공 대상 확인 불가
1-2	GetTrafficSimulationList_Response	교통시뮬레이션 데이터 응답	교통시뮬레이션 데이터리스트 요청에 대한 응답	제공 대상 확인 불가	제공 대상 확인 불가
2-1	GetTrafficSimulationSummary_Request	교통시뮬레이션 요약데이터 요청	교통시뮬레이션 요약데이터리스트에 대한 요청	제공 대상 확인 불가	제공 대상 확인 불가
2-2	GetTrafficSimulationSummary_Response	교통시뮬레이션 요약데이터 응답	교통시뮬레이션 요약데이터리스트 요청에 대한 응답	제공 대상 확인 불가	제공 대상 확인 불가
3-1	GetTrafficSimulationResult_Request	교통시뮬레이션 결과데이터 요청	교통시뮬레이션 결과데이터리스트에 대한 요청	제공 대상 확인 불가	제공 대상 확인 불가
3-2	GetTrafficSimulationResult_Response	교통시뮬레이션 결과데이터 응답	교통시뮬레이션 결과데이터리스트 요청에 대한 응답	제공 대상 확인 불가	제공 대상 확인 불가

(국-7) 메타버스 기반 자율주행 가상시험환경 구축 및 실증기술 개발 데이터 정보

⊘ 자율주행 데이터 규격 개발

❑ (국-7) 메타버스 기반 자율주행 가상시험환경 구축 및 실증기술 개발

- 데이터 정의서에서 수집된 전체 데이터 필드 수는 58개이며, 21개의 데이터 엘리먼트가 사용되었음
- 시뮬레이션 데이터 특성상 해당 과제에서만 사용되는 데이터가 일부 존재하며, 송수신 주체가 명확하지 않음



- AccidentFlag / RainFallFlag / SnowFallFlag : BOOLEAN(True/False 값의 or ENUMERATED 값 : Yes / 1 : No)
- BoxCoordinate / Coordinate : 바운딩박스는 pixel 단위, 일반 좌표는 단위 없음
- Speed : 해당 과제에서 km/h로 사용 (타 과제에서 km/h를 사용하여 SpeedKPH 신규 가능성 / SAE J2735 단위 = 0.02 m/s)

(국-7) 데이터 엘리먼트 세부사항

검토 사항

① 메시지 및 데이터의 명칭, 유효값 등 임의 설정된 부분이 많아 확인 필요

② 데이터 송수신의 제공대상이 누락되어있음

③ Yes or No 데이터를 BOOLEN으로 사용할지, ENUMERATED로 0, 1값을 지정할지 확인 필요

④ 센서정보의 Data는 파일명을 의미하는지 (CameraRawData, lidarRawData 등)

⑤ 타과제와 중복되는 항목의 경우 단위 및 형식 등 통일 시 문제가 되는지

3. 연구 수행결과

⊘ 자율주행 데이터 규격 개발

- 국-10 과제는 총 11개 서비스 / 94개의 메시지로 구성되어 있으며, 이중 연계데이터는 3개 서비스 / 13개의 메시지로 구성

❑ (국-10) 교통약자(장애인, 노약자, 교통소외지역 등) 이동지원 모빌리티 서비스 기술 개발

- 연구 목표 : Lv.4+ 수준의 자율주행 이동지원 모빌리티 서비스 개발·실증으로 차별 없는 자율주행기반 포용복지 교통체계 실현
- 연구 내용 : '교통약자 이동권 격차 해소를 위한 서비스 기반기술 확보', '교통약자 모빌리티 지원 자율주행차량 플랫폼 기술 및 서비스 실증' 등이 있음

- 7번 서비스 : C-ITS 데이터 / 8번 서비스 : 국-5 연계 데이터

구분	메시지명	데이터명	내용	생성	제공 대상
7-1	C-ITSMessage	C-ITS 메시지 데이터	OBU에서 수신하는 C-ITS 메시지	UPLUS-OBU	CEST-HMI
8-1	PerceptionMapUpdate	인지정보 (정밀도로지도 갱신 데이터)	정밀도로지도 갱신에 대한 인지정보 데이터	NZ-LINKED-COLLPROV	K5-KAFKA
8-2	PerceptionEvent Transmission	인지정보 (이벤트 정보 송신 데이터)	이벤트 정보에 대한 인지정보 데이터	NZ-LINKED-COLLPROV	K5-KAFKA
8-3	AutonomousCar	자율차이스터정보	자율주행차량 정보	NZ-LINKED-COLLPROV	K5-RESTAPI
8-4	Driving	주행 정보	차량 주행(위치 등) 정보	NZ-LINKED-COLLPROV	K5-KAFKA
8-5	Route	경로 정보	경로생성 정보	NZ-LINKED-COLLPROV	K5-KAFKA

(국-10) 교통약자(장애인,노약자,교통소외지역 등) 이동지원 모빌리티 서비스 기술 개발 데이터 정보

3. 연구 수행결과

⊘ 자율주행 데이터 규격 개발

• 국-10 과제는 총 11개 서비스 / 94개의 메시지로 구성되어 있으며, 이중 연계데이터는 3개 서비스 / 13개의 메시지로 구성

❑ (국-10) 교통약자(장애인, 노약자, 교통소외지역 등) 이동지원 모빌리티 서비스 기술 개발

- 연구 목표 : Lv.4+ 수준의 자율주행 이동지원 모빌리티 서비스 개발·실증으로 차별 없는 자율주행기반 포용복지 교통체계 실현
- 연구 내용 : '교통약자 이동권 격차 해소를 위한 서비스 기반기술 확보', '교통약자 모빌리티 지원 자율주행차량 플랫폼 기술 및 서비스 실증' 등이 있음

• 10번 서비스 : 편의시설 검색기능 관련 데이터

구분	메시지명	데이터명	내용	생성	제공 대상
10-1	Holiday	공휴일	공휴일 정보	미정	NZ-CONV-WEB
10-2	Toilet	화장실	화장실 정보	미정	NZ-CONV-WEB
10-3	Hospital	병원	병원 정보	미정	NZ-CONV-WEB
10-4	SocialWelfare	사회복지시설	사회복지시설 정보	미정	NZ-CONV-WEB
10-5	TransferCenter	대중교통연계시설	대중교통연계시설 정보	미정	NZ-CONV-WEB
10-6	GovernmentOffice	관공서	관공서 정보	미정	NZ-CONV-WEB
10-7	Wheelchair	전동휠체어관련	전동휠체어 관련 정보	미정	NZ-CONV-WEB

(국-10) 교통약자(장애인,노약자,교통소외지역 등) 이동지원 모빌리티 서비스 기술 개발 데이터 정보

3. 연구 수행결과

⊘ 자율주행 데이터 규격 개발

❑ (국-10) 교통약자(장애인, 노약자, 교통소외지역 등) 이동지원 모빌리티 서비스 기술 개발

- 데이터 정의서에서 수집된 전체 데이터 필드 수는 1,056개이며, 191개의 데이터 엘리먼트가 사용되었음
- 이중 연계 데이터에 사용된 데이터 필드 수는 207개이며, 37개의 데이터 엘리먼트가 사용되었음

(국-10) 데이터 엘리먼트 세부사항

검토 사항

① 국-10 연구진 검토를 통해 3개 서비스 / 13개 메시지를 연계 데이터로 분류

② SAE J2735 표준과 일부 단위 or 형식이 다른 데이터가 있어 확인 필요

③ 데이터 프레임의 형태를 나타내는 데이터가 포함되어있음 (linkedList - 링크 ID 목록)

④ 일부 데이터의 정보가 부족하여 규격을 특정하기 어려움 (SerialNumber, SignType 등)

⑤ 타과제와 중복되는 항목의 경우 단위 및 형식 등 통일 시 문제가 되는지

⊘ 자율주행 데이터 규격 개발

- 국-11 과제는 총 6개의 메시지로 구성되어 있으며, 이중 필수데이터를 제외한 5개의 메시지를 연계데이터로 판단

❑ (국-11) 실시간 수요대응 자율주행 대중교통 모빌리티 서비스 기술 개발

- 연구 목표 : 실시간 대중교통 수요를 예측하여 Door-to-Door (D2D) 기반 자율주행 대중교통 모빌리티 서비스 구현
- 연구 내용 : '실시간 대중교통 수요예측', '노선배분 최적화로 대중교통 D2D 서비스 구현', '자율주행 대중교통 모빌리티 플랫폼 기술 개발' 등이 있음

- 인프라 수신 데이터는 데이터를 제공받지 못함

구분	메시지명	데이터명	내용	생성	제공 대상
1-1	VehicleManeuver	차량 주행 메시지	수요응답형 자율주행차량의 주행상태 정보 (PVD + ETA)	차량단	Access N/W
1-2	VehicleDispatch	차량 배차 메시지	수요응답형 자율주행차량의 배차 및 제어 정보 (TIM + Dispatch)	Access N/W	차량단
1-3	AMOD Service	AMOD 서비스 운영 데이터	AMOD 서비스 운영을 위해 필요한 차량 및 서버 데이터	차량단, 서버	서버, 차량단
1-4	VehicleMonitoringData	차량 모니터링 데이터	수요대응 대중교통 서비스의 차량에 대한 모니터링 데이터	차량단	Access N/W
1-5	InfraData	인프라 수신 데이터	인프라 정보	Access N/W	차량단

(국-11) 실시간 수요대응 자율주행 대중교통 모빌리티 서비스 기술 개발 데이터 정보

3. 연구 수행결과

⊘ 자율주행 데이터 규격 개발

❑ (국-11) 실시간 수요대응 자율주행 대중교통 모빌리티 서비스 기술 개발

- 데이터 정의서에서 수집된 전체 데이터 필드 수는 367개이며, 118개의 데이터 엘리먼트가 사용되었음
- 이중 연계 데이터에 사용된 데이터 필드 수는 184개이며, 89개의 데이터 엘리먼트가 사용되었음

(국-11) 데이터 엘리먼트 세부사항

검토 사항

① 인프라 수신 데이터 메시지는 세부내용에 명칭만 존재하여, 데이터 값 누락

② 가치타요 통신메시지 구성도 만으로는 전체 데이터의 송수신 흐름 등을 파악하기에 어려움이 있음

③ PVD, TIM 등의 메시지를 차용하여 새로운 메시지를 구성하였는데, 이과정에서 작성되지 않은 기존표준 데이터는 포함하지 않는지

④ 각 메시지의 설명 검토 필요(임의 작성)

3. 연구 수행결과

⊘ 자율주행 데이터 규격 개발

- 국-12 과제는 총 18개의 메시지로 구성되어 있으며, 이중 내부 서버 데이터 등을 제외한 4개의 메시지를 연계데이터로 판단

❑ (국-12) 자율주행 Lv.4/4+ 기반 공유차(Car-Sharing)서비스 기술 개발

- 연구 목표 : 자율주행(Lv.4/4+) 기반 공유차 서비스 모델 개발 및 실증
- 연구 내용 : '자율주행 공유차 서비스 기술 개발 및 리빙랩 운영', '자율주행 공유차량 시스템 개발 및 리빙랩 실증' 등이 있음

구분	메시지명	데이터명	내용	생성	제공 대상
1	AutonomousVehicle	차량정보	차량의 주행상태 분석 및 주행명령 확인을 위한 정보	자율주행 시스템	RSU
2-1	ApolloComputing UnitRecognition	ACU(인지) 정보	자율주행을 위한 객체 구분 및 주행명령 확인 등의 ACU(인지) 정보	자율주행 시스템	RSU
2-2	ApolloComputing UnitOther	ACU(기타) 정보	자율주행을 위한 시간적 범위 등의 ACU(기타) 정보	자율주행 시스템	RSU
3	V2XCommunication Monitoring	V2X 통신 모니터링 정보	모니터링을 위한 V2X의 송신 및 송수신 상태 등의 통신상태 정보	V2X 통신 단말	서비스 운영센터

(국-12) 자율주행 Lv.4/4+ 기반 공유차(Car-Sharing)서비스 기술 개발 데이터 정보

3. 연구 수행결과

⊘ 자율주행 데이터 규격 개발

❑ (국-12) 자율주행 Lv.4/4+ 기반 공유차(Car-Sharing)서비스 기술 개발

- 데이터 정의서에서 수집된 전체 데이터 필드 수는 193개이며, 74개의 데이터 엘리먼트가 사용되었음
- 이중 연계 데이터에 사용된 데이터 필드 수는 49개이며, 30개의 데이터 엘리먼트가 사용되었음

- DMillSecond / DSecond : DSecond의 단위가 0.001sec(millisec)이지만, sec / millisec 구분 필요 (규격 수정)
- ObjectType / VehicleType : 과제별로 객체/차량의 유형 데이터에 담고 있는 값들이 일부 차이 규격 or 과제별 규격 필요
  (ex) ObjectType-CarSharing / VehicleType-CarSharing)

(국-12) 데이터 엘리먼트 세부사항

검토 사항

① 국-12 연구진 검토를 통해 평가지표 및 내부 서버 프로세서 등 14개 메시지를 제외한 4개 메시지를 연계 데이터로 분류

② SAE J2735의 DE_DSecond의 단위가 이미 0.001초(MilliSec)이나 DMillSecond 신규 제정 필요한지

③ 타과제와 중복되는 항목의 경우 단위 및 형식 등 통일 시 문제가 되는지

④ 단순 개수를 나타내는 데이터들을 Count라는 명칭으로 통일시켜도 괜찮을지?

⊘ 자율주행 데이터 규격 개발

• 국-13 과제는 총 6개 서비스 / 19개의 메시지로 구성되어 있으나 내부/연계 여부를 판단하기 어려워 전체 데이터 검토

❑ (국-13) 자율주행 Lv.4/4+ 기반 도시환경관리 서비스 기술 개발

- 연구 목표 : 도시환경관리 서비스 제공을 위한 친환경차 기반 Lv.4/4+ 자율주행차량 시스템 개발
- 연구 내용 : 'Lv.4/4+ 자율주행 기반 도시환경관리 서비스 운영관리 및 원격제어 기술 개발', '리빙랩 기반 자율주행 Lv.4/4+ 기반 도시환경관리 운영기술 및 서비스 실증' 등이 있음

구분	메시지명	데이터명	내용	생성	제공 대상
1-1	VehicleDrivingData	차량 주행 데이터	도로의 구간을 따라 수집된 차량의 주행 거동	RideFlux/Aceworks-ACU	LGUplus-OBU
1-2	MassSensorData	대용량 센서 데이터	자율주행제어기에서 수집한 센서 및 인지/판단/제어 모듈 데이터	RideFlux/ControlWorks-ACU	LGUplus-OBU
1-3	TransferControlData	관제 데이터 전송	경로/배차/출발/정지 등의 관제 데이터 전송	LGUplus-OBU	RideFlux/ControlWorks-ACU
2-1	VehicleDrivingOBUData	차량 주행 데이터+OBU 데이터	차량 주행 및 OBU 데이터	LGUplus-OBU	LGUplus-G/W
2-2	RequestLogIn	인증요청(로그인)	OBU의 서비스 로그인 인증 요청	LGUplus-OBU	LGUplus-G/W
2-3	RequestLogOut	인증요청(로그아웃)	OBU의 서비스 로그아웃 인증 요청	LGUplus-OBU	LGUplus-G/W

(국-13) 자율주행 Lv4/4+ 기반 도시환경관리 서비스 기술 개발 데이터 정보

3. 연구 수행결과

⊘ 자율주행 데이터 규격 개발

• 국-13 과제는 총 6개 서비스 / 19개의 메시지로 구성되어 있으나 내부/연계 여부를 판단하기 어려워 전체 데이터 검토

❑ (국-13) 자율주행 Lv.4/4+ 기반 도시환경관리 서비스 기술 개발

- 연구 목표 : 도시환경관리 서비스 제공을 위한 친환경차 기반 Lv.4/4+ 자율주행차량 시스템 개발
- 연구 내용 : 'Lv.4/4+ 자율주행 기반 도시환경관리 서비스 운영관리 및 원격제어 기술 개발', '리빙랩 기반 자율주행 Lv.4/4+ 기반 도시환경관리 운영기술 및 서비스 실증' 등이 있음

구분	메시지명	데이터명	내용	생성	제공 대상
2-4	RequesetKeepAlive	인증요청(KeepAlive)	OBU의 서비스 KeepAlive 인증 요청	LGUplus-OBU	LGUplus-G/W
2-5	ResponseApprswal	인증응답(승인)	G/W의 서비스 로그인 인증 요청 승인	LGUplus-G/W	LGUplus-OBU
2-6	ResponseDeny	인증응답(거절)	G/W의 서비스 로그인 인증 요청 거절	LGUplus-G/W	LGUplus-OBU
2-7	ResponseLogOut	인증응답(로그아웃)	G/W의 서비스 로그아웃 인증 응답	LGUplus-G/W	LGUplus-OBU
2-8	ResponseKeepAlive	인증응답(KeepAlive)	OBU의 서비스 KeepAlive 인증 응답	LGUplus-G/W	LGUplus-OBU
3	ControlData	관제 데이터 (경로/배차/출발/정지 등)	경로/배차/출발/정지 등의 관제 데이터	LGUplus-KAFKA Broker	LGUplus-G/W

(국-13) 자율주행 Lv4/4+ 기반 도시환경관리 서비스 기술 개발 데이터 정보

3. 연구 수행결과

⊘ 자율주행 데이터 규격 개발

❑ (국-13) 자율주행 Lv.4/4+ 기반 도시환경관리 서비스 기술 개발

- 데이터 정의서에서 수집된 전체 데이터 필드 수는 257개이며, 73개의 데이터 엘리먼트가 사용되었음
- G/W와 OBU 간의 인증 요청-응답 과정이 과제 내부에서만 사용될 가능성이 있음

(국-13) 데이터 엘리먼트 세부사항

검토 사항

① 메시지 및 데이터의 명칭, 필수/옵션 여부를 임의 설정된 부분이 많아 확인 필요

② SAE J2735 등에서 정의되지 않은 데이터의 경우 신규 정의 및 타과제와 검토 후 정의를 위해 단위, 유효값 등의 설정 필요

③ 기존 VehicleMode (주행모드) 규격에 원격주행을 추가할지 신규로 정의할지

④ ServiceModuleError (서비스모듈 오류), ServiceModuleOn (서비스모듈 동작) 하나의 규격으로 사용 가능할지

3. 연구 수행결과

⊘ 자율주행 데이터 규격 개발

- 국-14 과제는 총 6개 서비스 / 22개의 메시지로 구성되어 있으나 내부/연계 여부를 판단하기 어려워 전체 데이터 검토

❑ (국-14) 도로교통 인프라 모니터링 및 긴급 복구 지원 서비스

- 연구 목표 : 자율주행 안전성 확보를 위한 도로교통 인프라 실시간 모니터링-진단 및 긴급복구 서비스 지원 기술 개발 및 실증
- 연구 내용 : 'V2X 기반 다차원 검지정보를 활용한 실시간 도로상황 진단 및 추론기술 개발', '긴급 복구 지원을 위한 운영·관제 기술 개발' 등이 있음

구분	메시지명	데이터명	내용	생성	제공 대상
1-1	GNSSData	GNSS 데이터	현재 차량의 위치 정보 및 속도	Roop Sensor Server	통합 DB 서버
1-2	IMUData	IMU 데이터	특정 크기 이상의 진동이 감지될 경우의 해당 위치와 가속도 값	Roop Sensor Server	통합 DB 서버
1-3	ENVData	ENV 데이터	현재 위치의 조도 및 온습도 정보	Roop Sensor Server	통합 DB 서버
2	MARWISData	MARWIS 데이터	10초대 반반씩 누적된 노면 스캔 데이터	MARWIS Logger	통합 DB 서버
3-1	LPFData	라인프로파일러 데이터	후방카메라로 수집된 포트홀 및 낙하물 데이터	라인프로파일러 모듈	통합 DB 서버
3-2	LINE_VECTORData	낙하물, 포트홀의 Vector 데이터	LPFData 분석에 따라 생성된 레이저 작셀 값	라인프로파일러 모듈	통합 DB 서버

(국-14) 도로교통 인프라 모니터링 및 긴급 복구 지원 서비스 데이터 정보

3. 연구 수행결과

⊘ 자율주행 데이터 규격 개발

• 국-14 과제는 총 8개 서비스 / 22개의 메시지로 구성되어 있으나 내부/연계 여부를 판단하기 어려워 전체 데이터 검토

❑ (국-14) 도로교통 인프라 모니터링 및 긴급 복구 지원 서비스

- 연구 목표 : 자율주행 안전성 확보를 위한 도로교통 인프라 실시간 모니터링·진단 및 긴급복구 서비스 지원 기술 개발 및 실증
- 연구 내용 : 'V2X 기반 다차원 검지정보를 활용한 실시간 도로상황 진단 및 추론기술 개발', '긴급 복구 지원을 위한 운영·관제 기술 개발' 등이 있음

구분	메시지명	데이터명	내용	생성	제공 대상
4	FCData	전방카메라 데이터	전방카메라로 수집된 표지판, 신호등 등 전방 객체 정보	Front Camera	통합 DB 서버
5-1	Connection MonitoringResult	V2X 통신 모니터링 결과	V2X 통신을 통한 모니터링 대상 정보 및 결과 정보	통신 인프라 모니터링 모듈	긴급복구·운영관제센터
5-2	RoadSideAlert	여행자 경고	도로 이용자에게 제공하기 위한 경고메시지	V2X 노변장비	통신인프라 모니터링 모듈
5-3	TravelerInformation	여행자 정보	도로 이용자에게 제공하기 위한 여행정보	V2X 노변장비	통신 인프라 모니터링 모듈
6-1	VehicleLocation	차량 위치 정보	GNSS 및 IMU 정보를 기반으로 생성한 차량 위치 정보	통합 DB 서버	도로공사 관제센터
7-1	PotholeEvent	포트홀 이벤트 정보	GNSS 및 IMU 정보를 기반으로 생성한 포트홀 이벤트 정보	통합 DB 서버	도로공사 관제센터

(국-14) 도로교통 인프라 모니터링 및 긴급 복구 지원 서비스 데이터 정보

3. 연구 수행결과

⊘ 자율주행 데이터 규격 개발

• 국-14 과제는 총 8개 서비스 / 22개의 메시지로 구성되어 있으나 내부/연계 여부를 판단하기 어려워 전체 데이터 검토

❑ (국-14) 도로교통 인프라 모니터링 및 긴급 복구 지원 서비스

- 연구 목표 : 자율주행 안전성 확보를 위한 도로교통 인프라 실시간 모니터링·진단 및 긴급복구 서비스 지원 기술 개발 및 실증
- 연구 내용 : 'V2X 기반 다차원 검지정보를 활용한 실시간 도로상황 진단 및 추론기술 개발', '긴급 복구 지원을 위한 운영·관제 기술 개발' 등이 있음

구분	메시지명	데이터명	내용	생성	제공 대상
7-2	MAPWISEvent	도로 노면 이벤트 정보	GNSS 및 IMU 정보를 기반으로 생성한 도로 노면 이벤트 정보	통합 DB 서버	도로공사 관제센터
7-3	EnvironmentEvent	환경 이벤트 정보	GNSS 및 IMU 정보를 기반으로 생성한 환경 이벤트 정보	통합 DB 서버	도로공사 관제센터
7-4	CamerasEvent	카메라 이벤트 정보	GNSS 및 IMU 정보를 기반으로 생성한 카메라 이벤트 정보	통합 DB 서버	도로공사 관제센터
7-5	CMREvent	CMR 이벤트 정보	GNSS 및 IMU 정보를 기반으로 생성한 CMR 이벤트 정보	통합 DB 서버	도로공사 관제센터
7-6	RSAEvent	RSA 이벤트 정보	GNSS 및 IMU 정보를 기반으로 생성한 RSA 이벤트 정보	통합 DB 서버	도로공사 관제센터
7-7	TIMEvent	TIM 이벤트 정보	GNSS 및 IMU 정보를 기반으로 생성한 TIM 이벤트 정보	통합 DB 서버	도로공사 관제센터

(국-14) 도로교통 인프라 모니터링 및 긴급 복구 지원 서비스 데이터 정보

3. 연구 수행결과

⊘ 자율주행 데이터 규격 개발

• 국-14 과제는 총 8개 서비스 / 22개의 메시지로 구성되어 있으나 내부/연계 여부를 판단하기 어려워 전체 데이터 검토

❑ (국-14) 도로교통 인프라 모니터링 및 긴급 복구 지원 서비스

- 연구 목표 : 자율주행 안전성 확보를 위한 도로교통 인프라 실시간 모니터링-진단 및 긴급복구 서비스 지원 기술 개발 및 실증
- 연구 내용 : 'V2X 기반 다차원 검지정보를 활용한 실시간 도로상황 진단 및 추론기술 개발', '긴급 복구 지원을 위한 운영-관제 기술 개발' 등이 있음

구분	메시지명	데이터명	내용	생성	제공 대상
8-1	ADMVLocationInformaion	ADMVLI : 자율주행 모니터링 차량 위치 정보	자율주행 모니터링 차량의 실시간 위치 정보	자율주행 모니터링 차량	긴급복구지원 운영관제센터
8-2	ADMEventInformation	ADMVEI : 자율주행 모니터링 차량 이벤트 정보	자율주행 모니터링 차량이 수집한 이벤트 정보	자율주행 모니터링 차량	긴급복구지원 운영관제센터
8-3	ERVPVLocationInformation	ERVPVLI : 긴급복구 및 순찰 차량 위치 정보	긴급복구 및 순찰 차량의 실시간 위치 정보	긴급복구 및 순찰 차량	긴급복구지원 운영관제센터
8-4	VehicleLocationInformaion	차량 위치 정보	자율주행 모니터링 차량과 긴급복구 및 순찰 차량의 실시간 위치 정보	자율주행 모니터링 차량, 긴급복구 및 순찰 차량	긴급복구지원 운영관제센터

(국-14) 도로교통 인프라 모니터링 및 긴급 복구 지원 서비스 데이터 정보

3. 연구 수행결과

⊘ 자율주행 데이터 규격 개발

❑ (국-14) 도로교통 인프라 모니터링 및 긴급 복구 지원 서비스

- 데이터 정의서에서 수집된 전체 데이터 필드 수는 241개이며, 56개의 데이터 엘리먼트가 사용되었음
- 센서에서 수집하는 데이터가 많고, JSON 형태로 인코딩을 하여 ASN.1 형식 변환 시 검토가 필요함

(국-14) 데이터 엘리먼트 세부사항

검토 사항

① 동일한 성격의 메시지 내 Raw 데이터, JSON, 적재 데이터가 전부 포함되어 있어 임의로 하나의 메시지로 병합

② 메시지 및 데이터의 명칭, 필수/옵션 여부 등 정의 설정된 부분이 많아 확인 필요

③ Array 형태의 데이터라고는 DF 형태로 변환하여 세부 내용 확인 필요(어떤 데이터인지)

④ 일부 메시지의 데이터 절차가 누락되어 있어 확인 필요

3. 연구 수행결과

⊘ 자율주행 데이터 규격 개발

❑ (국-15) 자율주행 Lv.4/4+ 기반 긴급차량 통행지원 서비스 기술개발

- 연구 목표 : 자율주행 Lv.4/4+ 기반 긴급상황 통행지원 기술과 이를 위한 자율주행모빌리티센터 운영기술 개발
- 연구 내용 : '자율주행 기반 앰뷸런스 통행지원 서비스', '자율주행 기반 도로 현장대응 통행지원 서비스', '자율주행 Lv.4/4+ 기반 긴급차량(2가지 유형 : 앰뷸런스, 현장대응 차량) 시스템 개발' 등이 있음

구분	메시지명	데이터명	내용	생성	제공 대상
1-1	CCTVInformation	CCTV 주변상황 정보 메시지	CCTV를 통해 수집한 주변상황 정보	CCTV	센터, 자율주행 모빌리티 센터(협약용)
1-2	RadarInformation	Radar 주변상황 정보 메시지	Radar를 통해 수집한 주변상황 정보	Radar	센터, 자율주행 모빌리티 센터(협약용)
1-3	LIDARInformation	LIDAR 주변상황 정보 메시지	LIDAR를 통해 수집한 주변상황 정보	LIDAR	센터, 자율주행 모빌리티 센터(협약용)

(국-15) 자율주행 Lv.4/4+ 기반 긴급차량 통행지원 서비스 기술개발 데이터 정보

3. 연구 수행결과

⊘ 자율주행 데이터 규격 개발

❑ (국-15) 자율주행 Lv.4/4+ 기반 긴급차량 통행지원 서비스 기술개발

- 데이터 정의서에서 수집된 전체 데이터 필드 수는 27개이며, 18개의 데이터 엘리먼트가 사용되었음
- 과제에서 사용되는 모든 데이터가 아닌 일부 데이터만 포함되어 있어 향후 수집 필요

검토 사항

① 메시지 및 데이터의 명칭, 필수/옵션 여부 등 일의 설정된 부분이 많아 확인 필요

② 일부 데이터의 세부내용이 비지 있어, 데이터 정의에 어려움이 있음

③ 추가적인 데이터 명세를 공유 받은 이후, 전면 재작업이 필요함

(국-15) 데이터 엘리먼트 세부사항

⊘ 자율주행 데이터 규격 개발

❑ (국-18) V2E 인지판단 안전성 및 사고대응 평가기술 개발

- 연구 목표 : 자율주행차 상용화 시 발생할 수 있는 위험요소 "Zero" 化를 지원하는 V2E 인지판단 안전성 및 사고대응 평가기술 개발
- 연구 내용 : '자율주행차 환경인지시스템 안전 평가기술 개발', '자율주행차와 공존하는 도로이용자 안전 평가기술 개발' 등이 있음

구분	메시지명	데이터명	내용	생성	제공 대상
1-1	Tx_Vehicle_Status1	차량상태1	자율주행제어기에서 수집한 차량상태 1	자율주행제어기	센서성능 확보장치
1-2	Tx_Vehicle_Status2	차량상태2	자율주행제어기에서 수집한 차량상태 2	자율주행제어기	센서성능 확보장치
1-3	Tx_Vehicle_Status3	차량상태3	자율주행제어기에서 수집한 차량상태 3	자율주행제어기	센서성능 확보장치
2	Tx_SensorCleaning	센서클리닝	센서 클리닝 데이터	자율주행제어기	센서성능 확보장치

(국-18) V2E 인지판단 안전성 및 사고대응 평가기술 개발 데이터 정보

3. 연구 수행결과

⊘ 자율주행 데이터 규격 개발

❑ (국-18) V2E 인지판단 안전성 및 사고대응 평가기술 개발

- 데이터 정의서에서 수집된 전체 데이터 필드 수는 19개이며, 8개의 데이터 엘리먼트가 사용되었음
- 데이터의 수가 부족하여, 추가적인 데이터 수집이 필요함 (평가기술 개발 과제 특성상 연계 데이터가 없을 수 있음)

- Acceleration : 0.01m/s², -2000 ~ 2031 -> m/s², -10.23 ~ 10.24
- Speed : 0.02m/s², 0 ~ 8191 -> KPH, 0.0 ~ 255.5
- YawRate : 0.01 deg/s, -32767 ~ 32767 -> deg/s, -40.95 ~ 40.96

(국-18) 데이터 엘리먼트 세부사항

검토 사항

① 기존에 정의된 규격과 일부 단위, 형식, 유효값이 다른 부분이 있어 실제 사용되는 데이터를 확인할 필요가 있음

② 일부 데이터의 세부내용이 비지 있어, 데이터 정의에 어려움이 있음

③ 추가적인 데이터 명세를 공유 받은 이후, 전면 재작업이 필요함

⊘ 자율주행 데이터 규격 개발

❑ (국-21) 자동차 V2X 통신성능 안전성 및 전자파 적합성 평가기술 개발

- 연구 목표 : Lv.4/4+ 자율주행 기술 신뢰성 확보를 위한 자동차 V2X 통신성능 안전성 및 전자파 적합성 평가기술 개발
- 연구 내용 : 'V2X 통신 안전성 평가기술 개발 및 성능 기준(안) 제시', '자율주행 자동차 성능확보를 위한 전자파 적합성 평가 방법 기준(안) 및 규격 제안' 등이 있음

구분	메시지명	데이터명	내용	생성	제공 대상
1	BSM(Basic SafetyMessage)	차량 안전 기본 메시지	차량과 차량간 전달되는 차량의 위치 및 운행 상태 정보	V2X 시스템	V2X 시스템

(국-21) 자동차 V2X 통신성능 안전성 및 전자파 적합성 평가기술 개발 데이터 정보

3. 연구 수행결과

⊘ 자율주행 데이터 규격 개발

❑ (국-21) 자동차 V2X 통신성능 안전성 및 전자파 적합성 평가기술 개발

- 데이터 정의서에서 수집된 전체 데이터 필드 수는 19개이며, 8개의 데이터 엘리먼트가 사용되었음
- SAE J2735의 BSM 메시지를 그대로 사용하여 별도의 규격화 필요하지 않음

검토 사항

① SAE J2735의 BSM 메시지를 그대로 사용하여 별도의 규격화 필요하지 않음

② 추가적인 데이터 공유 시 이후 추가작업

(국-21) 데이터 엘리먼트 세부사항

4. 향후 연구계획

4. 향후 추진계획 (3차년도)

⊘ 3차년도 추진계획

2차년도 주요 연구 내용

- 국토교통부 소관과제 데이터 조사·분석
- 자율주행사업 활용 데이터 규격 개발

3차년도연구 목표 및 성과

핵심 성과물

자율주행사업용 데이터 정의 및 품질 아키텍처 개발

연구 목표

- 자율주행기술개발혁신사업 국토부 소관 연구과제 內 데이터 규격 보완

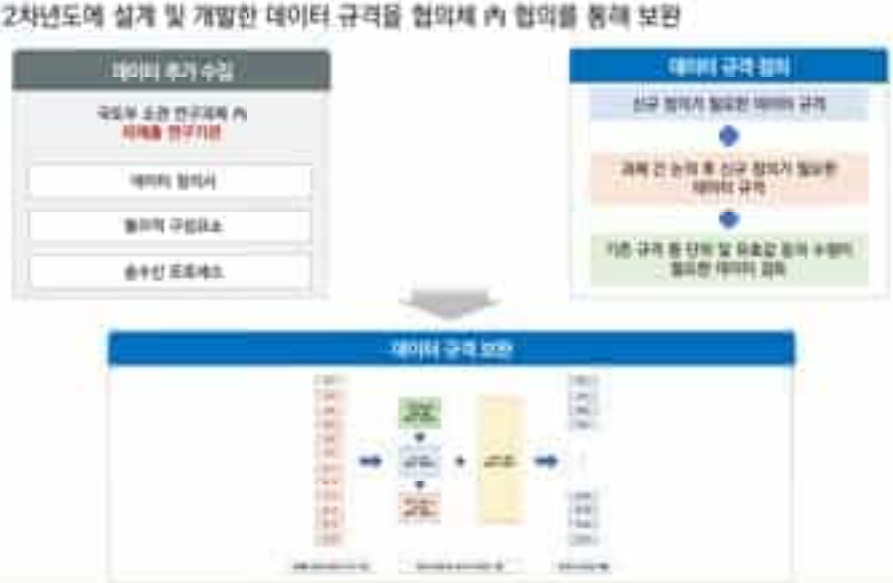
양적성과

- 보고서 2건
  - 데이터 표준 분석 보고서 1건
  - 데이터 표준 규격 보완서 1건

3차년도 연구 내용

데이터 규격 보완

⊟ 2차년도에 설계 및 개발한 데이터 규격을 협의체 內 협의를 통해 보완



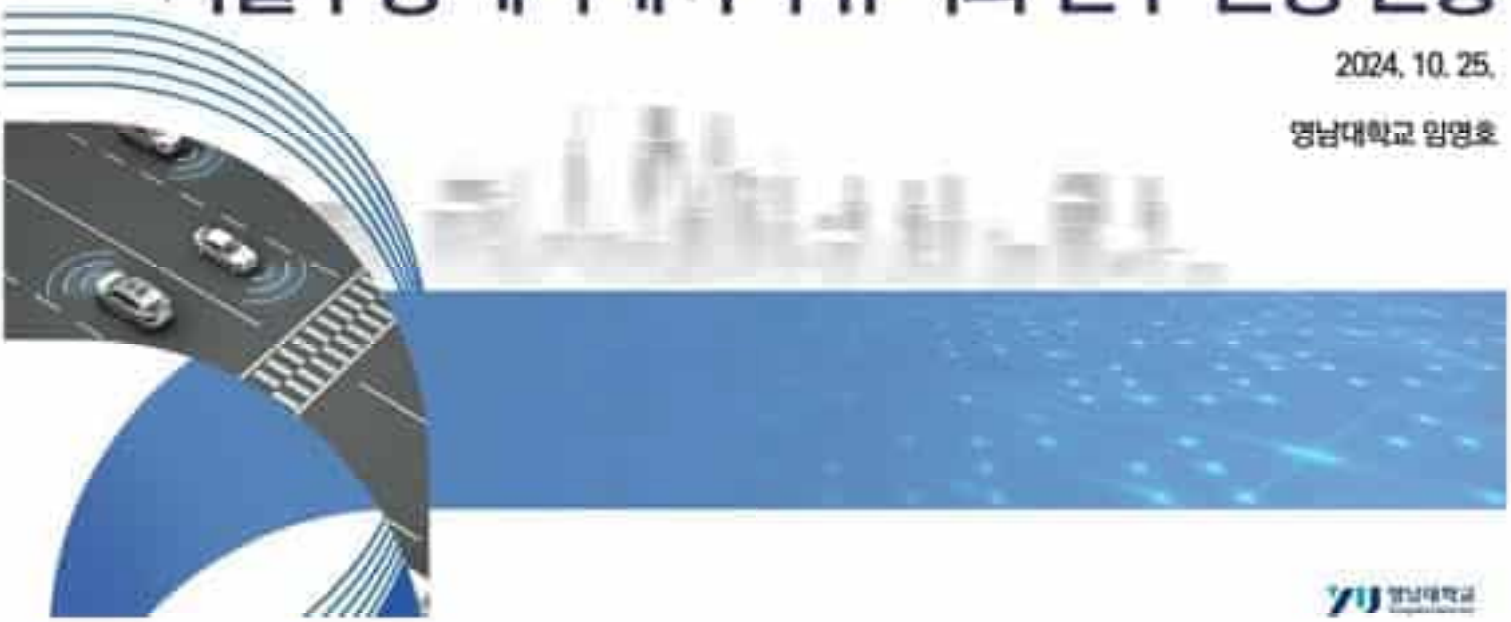
감사합니다

자율주행 Lv.4 상호호환성 확보를 위한 데이터 표준 및 표준적합성 시험방법 개발

자율주행 메타데이터 규격화 연구 진행 현황

2024. 10. 25.

영남대학교 임명호



자율주행 Lv.4 상호호환성 확보를 위한 데이터 표준 및 표준적합성 시험방법 개발

1. 서론

1. 서론

⊘ 메타데이터 정의 및 역할

- 메타데이터는 데이터를 정의하고 기술하는 데이터로 "데이터에 대한 구조화된 데이터"
- 대량의 데이터에서 검색하고자 하는 정보를 효율적으로 찾아내기 위해 일정한 규칙에 따라 부여된 데이터
  - SNS 해시태그('#')와 유사한 역할
  - 데이터를 표현하기 위한 목적
  - 효율적인 데이터 검색을 위한 목적

1. 서론

⊘ 자율주행분야 메타데이터 필요성

- 완전 자율주행차는 시간 당 1.4TB 데이터를 생성
- 대량으로 생성되는 데이터에서 효과적으로 관리하고 분석
- 데이터 관리 및 분석
  - 자율주행차량은 실시간 방대한 데이터를 수집하므로 이러한 데이터를 체계적으로 관리 및 분석
- 실시간 의사결정
  - 데이터의 출처, 이벤트 발생시간 및 전송시간, 위치 등을 통한 실시간 의사결정
- 안전성 향상
  - 수집데이터 상 환경정보, 도로정보 등 다양한 환경에서 자율주행차량이 안전한 주행이 가능
- 상호운용성
  - 차량, RSU, 센터 등 다양한 규격의 데이터에서 메타데이터를 통한 정보를 교환함으로 일관성 확보
- 학습데이터
  - 원시, 원천, 가공 등 학습 데이터의 품질을 높여 AI 학습 성능을 향상

⊘ 메타데이터 규격화의 필요성 및 목표

- 자율주행 개발은 기계, 전기전자, 통신, 소프트웨어 등 다양한 분야에서 참여
- 자율주행 시스템이 일관되게 작동하기 위해 상호호환성, 생산성 및 효율성, 품질, 국제적 호환 등 규격화 필요
- 자율주행기술개발혁신사업 內 국토부 소관 과제 중 도로교통융합신기술, 자율주행서비스, 자율주행생태계 분야를 대상

자율주행 메타데이터 규격화 연구 진행 현황

2. 메타데이터 관련 동향

2. 메타데이터 관련 동향

⊘ CAD(Connected Automated Driving) EUROPE

- 혁신적인 협동, 연결 및 자율주행 기술 및 서비스 구현을 가속화하기 위해 지원
- 연결 및 자율주행에 관한 지식 기반은 유럽 및 전 세계의 협동, 연결 및 자율주행과 관련된 지식과 경험 통합
- 협동, 연결 및 자율주행 테스트 및 평가 등을 위해 일반적인 용어 및 방법론에 집중화
- 메타데이터 표준을 제안하지는 않지만 데이터 생성 및 공유 활동에 사용하기 위해 일련의 메타데이터 요소를 제안
- 메타데이터는 크게 설명적, 구조적, 관리적 등 3가지로 제안

2. 메타데이터 관련 동향

⊘ CAD(Connected Automated Driving) EUROPE

설명적 메타데이터 요소

Element	설명
Data precision	데이터 정밀도
Unit	데이터 단위
Sample rate	데이터 측정 빈도
Filter	데이터 보정 방법
Origin	데이터 생성 방법
Type	Integer, float, string 등
Range	최소 및 최대값
Error codes	오류코드 설명
Quality	데이터 측정 품질
Offset	측정값에 대한 오프셋
Enumeration specification	열거형으로 변환여부
Availability	측정값을 공유 및 액세스 조건

- 구조적 메타데이터 요소
  - 차량, 연도, 월 등
- 관리적 메타데이터 요소
  - 버전번호, 보관날짜, 보관정책
  - 권리, 복제 및 기타 접근 요구사항에 대한 정보
  - 자산 관리 로그
  - 프로세스 문서화
  - 데이터 수명

2. 메타데이터 관련 동향

⊘ 교통관련 메타데이터 사례

⊘ TTAK.OT.-10.0246(VDS 메타데이터 구성요소 및 형식)

- VDS 교통정보에 대한 국제표준이 정립되어 있지 않아 국내 환경에 부합되는 교통정보 표준 필요
- VDS 개발 업체별 상이한 데이터 테이블에 대한 문제점으로 메타데이터 구성요소에 대한 표준 마련
- 더블린 코어 메타데이터 기술 형식을 참고 및 준용

⊘ ITSK-00131-3(스마트 도로조명 플랫폼 메타데이터)

- 교통안전서비스를 제공함에 있어 현장 장치에서 수집되는 정보를 전송 및 제공
- 스마트 도로조명 플랫폼 교통안전서비스 운용을 위한 교환정보를 메타데이터로 정의
- 메타데이터 기술 형식 참고 및 준용 표준 없음

2. 메타데이터 관련 동향

⊘ 공공분야 메타데이터 사례

- 공공데이터 포털 등 공공기관에서 운영하는 약 50개의 데이터 포털 메타데이터 매핑
- 데이터를 설명하기 위해 사용되는 메타데이터 요소
  - 데이터명(필수), 등록일, 설명, 수정일, 제공기관, 분류체계, 확장자, 업데이트주기, 조회수, 관리부서, 키워드, 이용허락범위, 연락처 등

2. 메타데이터 관련 동향

⊘ 타 분야 메타데이터 사례

- 다양한 화재 현장을 대상으로 훈련하기 위해 임의로 생성된 건축공간과 화재현장을 대상 모델링
- 원천데이터와 1:1매칭을 통해 데이터 속성, 해상도, 기타 정보를 메타데이터로 작성

2. 메타데이터 관련 동향

⊘ 메타데이터 동향

- 메타데이터 성장 요인에는 개인정보보호, 데이터 증가 문제, 사이버 보안 위협 등
- 블록체인 및 IoT 기술 발전에 따라 메타데이터는 새로운 응용 추세
- 과거 서지 및 아카이브 분야에서 주목하였으나 현재 미디어와 엔터테인먼트 분야에서 주목

2. 메타데이터 관련 동향

⊘ 메타데이터 융합 기술

- 2010년대 중반 이후 인공지능은 빠른 속도로 발전
- 미디어 분야에서도 음성인식 기술을 시작으로 영상분석기술 등 다양한 솔루션 제공
- 국내에서는 방송영상을 분석하여 메타데이터를 자동으로 생성하는 기술 도입
- 가장 큰 변화는 업무 개선 효과로 나타남
- 작업속도 약 3배 이상 향상, 인력 1/3 절감
- ML(Machine Learning)기반 자동화 장점은 다음과 같음
  - 오류나 불일치를 식별하고 전반적인 품질을 향상
  - 자동으로 태그를 지정하고 분류, 검색, 관리
  - 풍부한 메타데이터 제공

2. 메타데이터 관련 동향

⊘ 메타데이터 진화

- 메타데이터는 전통적인 기록 방식에서 벗어나 다양한 방식으로 진화
- 지표
  - 단순한 데이터 입력과 관리에 그치지 않고 사용성과 영향력을 측정하는 지표
- 컨설팅
  - 데이터 관리에서 더욱 중요한 역할을 하게 되어 메타데이터 개선을 위한 컨설팅
- 새로운 애플리케이션
  - 검색엔진이나 데이터베이스의 성능을 높이기 위한 중요한 역할로 맞춤형 검색 및 데이터 활용 가능
- 서지매트릭스
  - 메타데이터의 품질과 정확성이 연구 평가에 영향을 미침
- 시맨틱 인덱싱
  - 단순한 키워드 검색을 넘어 더욱 정확한 검색결과와 데이터 분석이 가능

3. 자율주행 메타데이터

3. 자율주행 메타데이터

⊘ 규격화 목적

- 실제적이거나 잠재적인 문제들에 대하여 주어진 범위 내에서 최적 수준을 성취할 목적으로 공통적이고 반복적인 사용을 위한 규정을 만드는 활동
- 일상에서 사용되는 다양한 물품 및 시스템 등을 통일화 및 단순화시켜 기준에 따르도록 하는 것
  - 목적: 단순화 및 호환성, 상호이해, 경제성 추구 등
  - 효과: 품질 향상, 비용절감, 호환성 증가 등

⊘ 자율주행분야 메타데이터 규격화 목적

- 메타데이터는 자율주행 시스템 간 호환성을 위해 중요한 역할
  - 차량, RSU, 센터 등 시스템에서 수집된 데이터를 설명
- 메타데이터 규격화를 통해 시스템 간 정보교환을 쉽게 수행 가능
- 각 시스템 및 제조사별 데이터 규격 차이로 시스템 간 호환성을 위해 메타데이터 규격화
- 규격화 부재는 데이터 신뢰성 하락으로 데이터 관리 및 분석 시 과다한 비용 및 시간 발생

3. 자율주행 메타데이터

⊘ 네이밍 규칙 필요성

- 방대한 데이터를 효율적으로 관리하고 데이터 품질을 보장하면서 상호운용성을 제공하기 위해서는 메타데이터 필수
- 메타데이터를 제대로 활용하기 위해서는 일관되고 체계적인 네이밍 규칙이 필요
- 메타데이터 네이밍 규칙을 통해 일관성, 유지보수, 확장성 등 보완
- 데이터 식별 일관성
  - 동일한 형식으로 데이터를 관리하고 식별의 일관성 보장
- 통합 및 분석 효율성
  - 일관된 네이밍 규칙은 통합과정을 단순화하고 분석의 정확성을 높임
- 검색 및 접근성
  - 검색 등 데이터 접근 시 네이밍 규칙 부재 시 많은 시간 소요 및 잘못된 데이터 검색
- 품질 및 신뢰성
  - 메타데이터를 통해 자율주행차량에서 수집한 데이터를 명확히 기록할 수 있어 신뢰성 확보

3. 자율주행 메타데이터

⊘ 네이밍 표기법

- 카멜 표기법(Camel Case)
  - 여러 단어가 연결되어 있을 경우 첫 단어 및 각 단어의 첫 글자를 규칙화
  - 단어 간 띄어쓰기를 하지 않아 각 단어의 가독성을 높일 수 있는 장점
  - 명명 규칙의 일관성을 유지할 수 있어 통일된 규칙을 제공하여 혼란을 줄임
  - 공공데이터베이스 표준화 관리, 메타데이터 설계 지침 등 메타데이터 작성 시 띄어쓰기를 사용하지 않음
  - 자동화 및 표준화된 메타데이터 생성 시 통합이 쉽고 상호호환성을 높임
  - 대문자 카멜, 소문자 카멜 표기법
    - 대문자 카멜 : CamelCase, 소문자 카멜 : camelCase

단어 개수	이름 타입	방법	예시
1개	모두	소문자	apple
1개이상	클래스 이름	첫 번째 글자 : 대문자 두 번째 글자 : 대문자	public class MyClass
	변수 이름	첫 번째 글자 : 소문자 두 번째 글자 : 대문자	String myName
	메소드 이름	첫 번 : 대문자 이후 글자 : 대문자	public String createMyName

⊘ 네이밍 규칙 타입

- 스네이크 표기법(Snake Case)
  - 단어와 단어 사이를 공백이나 점 없이 "_"를 사용하여 표기하는 방식
  - 변수, 함수, 파일명 등을 구분하는 방식
  - 단어 간 밑줄을 사용하여 명확히 구분하는 장점이 있으나 카멜표기법에 비해 더 긴 문자열이 될 수 있음
  - 스네이크 사용 예시
    - 스네이크: snake_case

```
[77] static int alx_get_link_ksettings(struct net_device *netdev,
[78]                                   struct ethtool_link_ksettings *cmd)
[79] {
[80]     struct alx_priv *alx = netdev_priv(netdev);
[81]     struct alx_hw *hw = &alx->hw;
[82]     u32 adv_cfg;
[83]     u32 advertising;
[84]
[85]     ASSERT_RTNL();
[86]
[87]     ethtool_convert_link_mode_to_legacy_u32(&advertising,
[88]                                             cmd->link_modes.advertising);
```


⊘ 네이밍 규칙 타입

- 헝가리안 표기법(Hungarian Case)
  - 접두어에 자료형을 붙이는 표기법으로 변수명만 봐도 자료형 유추가 가능
  - 변수명이 길어져 사용자에 따라 불편함을 느끼며 개발 중 자료형이 바뀌면 모든 변수명을 수정해야하는 단점
    - nCount: n은 정수형 변수를 의미하고 Count는 변수를 의미

변수 타입	접두사	예시	접두사 이후
int (정수)	n (카멜표 목적)	int nCnt	1. 첫 글자는 대문자 2. 나머지 소문자 3. 변수이름이 긴 경우 자음만 사용
	i (인덱스 목적)	int iCars	
float(실수)	f	float fFirst	
double(실수)	d	double dSecond	
bool (불)	b	bool bThird	
WORD (워드) : 부호없는 2byte 정수	w	WORD wFourth	
DWORD (더블워드) : 부호없는 4byte 정수	dw	DWORD dwFifth	
long (긴 정수)	l	long lSixth	
unsigned (부호 없는 정수)	u	unsigned uSeventh	
pointer (포인터)	p	int *pInth	
char (문자)	c (문자)	char cNinth	
	sz (문자열)	char* szEleventh	
Global (전역)	g_	int g_twelfth	
Member (멤버)	m_	int m_thirteenth	

3. 자율주행 메타데이터

⊘ FAIR 원칙

- 검색(Findable)
  - 메타데이터는 세계적으로 유일해야 되며, 외부적으로 영구적인 식별자가 할당
  - 데이터에는 메타데이터가 풍부하게 기술
- 접근(Accessible)
  - 데이터 접근 권한 및 인증 기능을 제공
  - 데이터가 더 이상 유효하지 않더라도 메타데이터는 접근 가능
- 상호교환(Interoperable)
  - 메타데이터는 표준적인 방식과 어휘를 사용하여 상호 운용 가능
  - 관련된 다른 데이터에 대한 관계를 포함
- 재사용(Reusable)
  - 명확한 데이터 라이선스와 출처 정보를 제공하여 재사용 가능

3. 자율주행 메타데이터

⊘ 메타데이터를 구성하는 대표적 유형

- 기술용 메타데이터
  - 데이터의 기술적인 속성으로 구성
  - 생성, 형식, 구조, 품질 등으로 구성 디지털 자원의 물리적 특성
  - 데이터 품질을 유지하며 장기적 접근성을 보장
- 관리용 메타데이터
  - 데이터를 효율적으로 관리하기 위한 속성으로 구성
  - 자원의 접근, 저장, 유지, 보존, 파일상태, 접근권한, 법적제한사항 등으로 구성
  - 시스템 관리자 및 기록 관리자가 데이터를 관리하고 운영하는데 사용
- 구조용 메타데이터
  - 데이터 구조와 구성요소 간 관계를 설명
  - 상·하위 관계, 식별자, 타 데이터와의 연결성 등으로 구성
  - 여러 파일 또는 데이터 조각이 사용될 때 사용

3. 자율주행 메타데이터

⊘ 클래스 및 요소

- 클래스
  - 유사한 의미 또는 비슷한 요소를 모아놓은 것

구분	내용	
클래스명	- CoverArtAgent	
정의	- 표준 기관 정보	
하위요소	name	- 담당자 이름(개인 또는 기관)
	postalAddress	- 기관에서 담당자 직위
	phone	- 기관 또는 개인에게 연락할 수 있는 전화번호
	numberType	- 전화번호 유형
	electronicMailAddress	- 학술 또는 기관 또는 개인의 전자우편 주소
	deliveryPoint	- 우편에 대한 주소 라인
	city	- 우편의 도시
	administrativeArea	- 우편의 주, 지방
	postalCode	- ZIP 또는 기타 우편 번호
	country	- 주소의 국가
사용용도 및 조건	- 적용 제한 없음	

- 요소
  - 단독 또는 클래스에 속한 것으로 데이터를 직접 적으로 설명

3. 자율주행 메타데이터

⊘ 메타데이터 작성 규칙

- 메타데이터 작성 규칙은 데이터의 정확한 의미를 파악 가능
- 다양한 분야의 기술 접목됨으로 축약어 사용보다는 풀네이밍을 적용하여 고유하고 명확하게 식별
  - 축약어에 대한 의미 혼동 및 이해 시간 단축
- 데이터를 설명하는 단어 및 용어는 직관적이고 공통된 의미로 전달이 가능해야 메타데이터 품질향상 기대
- 메타데이터 요소는 카멜 표기법을 적용해 관리자 및 이용자의 혼동을 줄일 수 있음
- 클래스와 요소는 대문자 및 소문자 카멜 표기법 적용해 차이점 및 이해력 증가
- 클래스는 대문자 카멜 표기법, 요소는 소문자 카멜 표기법
- 데이터 타입 정보 작성
  - STRING, INTEGER, ENUMERATED 등 규칙에 맞게 작성할 수 있도록 정의
- 메타데이터 작성 조건
  - 필수, 선택, 조건을 적용하여 작성하여 누락 및 혼돈 예방

3. 자율주행 메타데이터

⊘ 자율주행분야를 설명할 수 있는 데이터

3. 자율주행 메타데이터

⊘ 데이터별 메타데이터

요소명	정의
title	제목
algorithmId	알고리즘 ID
description	설명
outputs	알고리즘 목적
size	알고리즘 크기
url	알고리즘 입수
type	알고리즘 유형 및 분류
usage	알고리즘 활용 방식
inputType	입력 유형
outputType	출력 유형
accuracy	정확도
complexity	복잡도
programmingLanguage	알고리즘 언어
algorithmVersion	알고리즘 버전
testData	테스트 데이터
personName	담당자
emailAddress	담당자 이메일
mobileNumber	담당자 연락처
companyName	담당자 직장 이름
companyPhone	담당자 직장 전화번호
accessURL	접근 및 주소
downloadURL	다운로드 주소
remark	비고

요소명	정의
lidarManufactureCompany	라이다 제조사
modelName	모델명
modelId	모델ID
channelNumber	채널수
horizontalFieldOfView	수평화각
verticalFieldOfView	수직화각
revolutionPerSecond	초당회전수
PointPerSecond	초당측정수
horizontalResolution	수평 해상도
verticalResolution	수직 해상도
detectedDistance	감지거리
rangeAccuracy	정확도
latitude	라이다 설치 위도
longitude	라이다 설치 경도
coordinateType	좌표계 유형
height	라이다 설치 높이
heightType	높이정보 유형
heading	라이다 방향

3. 자율주행 메타데이터

⊘ 각 수준별 메타데이터 정립

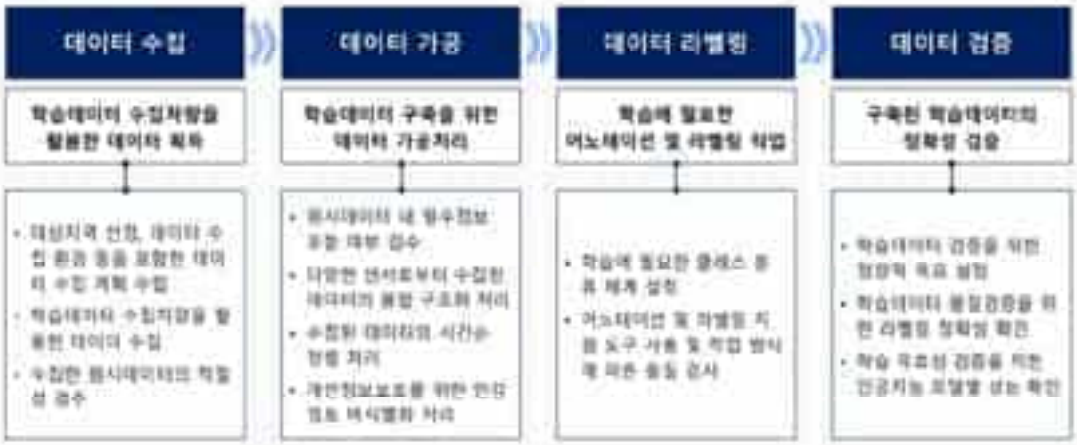
4. AI 학습데이터 메타데이터

4. AI 학습데이터 메타데이터

⊘ AI 학습데이터 구축 메타데이터 요구사항

- 가공 단계를 거치지 않은 데이터 원본을 메타데이터로 보강
- 원시데이터를 설명하기 위해 객체, 카테고리 등 메타데이터 추가
- 학습데이터 수집 환경, 센서 정보, 데이터 라벨링 정보

⊘ AI 학습데이터 구축 절차



4. AI 학습데이터 메타데이터

⊘ 센서 정보

요소명	설명
lidarManufactureCompany	라이다 제조사
modelName	모델명
modelId	모델ID
channelNumber	채널수
horizontalityFieldofView	수평화각
verticalityFieldofView	수직화각
revolutionsPerSecond	초당회전수
framerate	프레임 레이트
PointPerSecond	초당점개수
horizontalityResolution	수평 해상도
verticalityResolution	수직 해상도
detectedDistance	감지거리
rangeAccuracy	정확도

요소명	설명
lidarManufactureCompany	라이다 제조사
modelName	모델명
modelId	모델ID
channelNumber	채널수
horizontalityFieldofView	수평화각
verticalityFieldofView	수직화각
revolutionsPerSecond	초당회전수
PointPerSecond	초당점개수
horizontalityResolution	수평 해상도
verticalityResolution	수직 해상도
detectedDistance	감지거리
rangeAccuracy	정확도
latitude	라이다 설치 위도
longitude	라이다 설치 경도
coordinateType	좌표계 유형
height	라이다 설치 높이
heightType	높이정보 유형
heading	라이다 방향

- 센서 정보
  - 제조사, 모델명, 센서 종류, 해상도 등
  - 인프라 시스템의 경우 설치 위도, 경도, 높이, 방향 등 추가

4. AI 학습데이터 메타데이터

⊘ 데이터 수집

요소명	정의
weather	수집 환경 날씨
timeZone	수집 시간대
trafficCondition	수집 교통상황
roadEnvironment	수집 도로환경
roadSituation	수집 도로상황
roadSurface	수집 도로 노면 상태
roadSpeedLimit	수집 도로 제한 속도
regionZone	수집 도로 Zone 번호
superelevation	편경사
curveRadius	곡선반경
etcWeather	기타

요소명	정의
roadName	도로명
roadID	도로 ID
objectID	객체 식별자
objectType	수집 객체 종류
objectSignType	수집 객체 지시 종류
collectionDateTime	수집 시간
latitude	수집 객체 위도
longitude	수집 객체 경도
elevation	수집 객체 고도
heading	방향
coordinateType	좌표계 유형
objectSeparationDistance	객체 이격 거리
vehicleMovementPath	수집차량 이동경로
privacy	개인정보 포함 유무
privacyProcessType	개인정보 비식별화 처리 유형
creator	생성자
contactPoint	연락처
fileSize	파일크기
dataUseStatus	데이터 사용 여부
remark	비고

- 수집 환경 및 정적·동적 객체
  - 날씨, 시간대, 교통상황, 도로환경 기본요소 외 노면 상태, 제한 속도, 편경사, 곡선반경 등 추가
  - 도로, 보도, 차선, 교통 표지, 신호등과 차량, 사람, 동물 등 정적 및 동적 객체 수집

4. AI 학습데이터 메타데이터

⊘ 가공 및 라벨링

요소명	정의
fusionName	Fusion 데이터 이름
fusionFormat	Fusion 데이터 포맷
fusionID	Fusion 데이터 ID
fusionType	Fusion 연식 유형
fusionDateTime	Fusion 데이터 생성 시간
fusionObject	Fusion 객체
fusionConfidence	Fusion 신뢰도
fusionAccuracy	Fusion 정확도
fusionAvaility	Fusion 가시성
fusionIntegrity	Fusion 데이터 무결성
fusionAlgorithm	Fusion 알고리즘
fusionSize	Fusion 데이터 파일크기
fusionPath	Fusion 데이터 저장위치
remark	비고

요소명	정의
labelName	라벨링 이름
labelFormat	라벨링 포맷
labelID	라벨링 ID
labelDescription	라벨링 설명
labelMethod	라벨링 방식
labelCriteria	라벨링 기준
labelDateTime	라벨링 완료된 날짜
labelObject	라벨링 객체
objectConfidence	객체 신뢰도
labelAccuracy	라벨링 정확도
labelAvaility	라벨링 가시성
width	이미지 너비
height	이미지 높이
angle	각도
xminCoordinate	X 최소 바운딩 박스 좌표
xmaxCoordinate	X 최대 바운딩 박스 좌표
yminCoordinate	Y 최소 바운딩 박스 좌표
ymaxCoordinate	Y 최대 바운딩 박스 좌표
zminCoordinate	Z 최소 바운딩 박스 좌표
zmaxCoordinate	Z 최대 바운딩 박스 좌표
polygonCoordinate	폴리곤 좌표
labelVersion	라벨링 버전
labelSize	라벨링 파일 크기
labelPath	라벨링 데이터 저장위치
remark	비고

- 데이터 가공 및 라벨링
  - 각 센서별 수집된 데이터 융합 메타데이터, 라벨링과 관련된 내용
  - 융합 및 라벨링 데이터에는 신뢰도, 정확도, 가시성, 무결성 등을 나타낼 수 있는 메타데이터 요소 추가

4. AI 학습데이터 메타데이터

⊘ 데이터셋

요소명	설명
title	데이터셋 제목
format	데이터 포맷
dataType	데이터 유형
keyword	키워드
equipmentType	수집 장비
equipmentID	수집 장비 ID
description	수집 데이터 설명
objectCount	수집한 객체 개수
publisher	등록기관
contactPoint	연락처
issued	등록일
modified	수정일
accuralPeriodicity	업로주기
copyright	데이터 저작권
accessRight	데이터 접근 권한
collectionPeriod	수집 주기
dataProcess	데이터 처리 단계
savePath	수집한 객체 저장경로
dataGroupSize	데이터 크기
remark	비고

- 공공데이터포털 등 공공기관에서 사용하는 메타데이터 활용
  - 수집, 가공, 라벨링, 검증 등 단계별 데이터 모음
  - 기본적인 타이틀, 포맷, 키워드, 등록일, 수정일 등
  - 수집한 데이터 개수, 수집 주기, 처리단계, 크기 등

국토교통부 KAIA KADIF

감사합니다.

Lv.4/4+ 자율주행 데이터 상호호환성 확보를 위한 표준데이터 체계

자율주행 데이터 관련 연구 현황

2024. 10

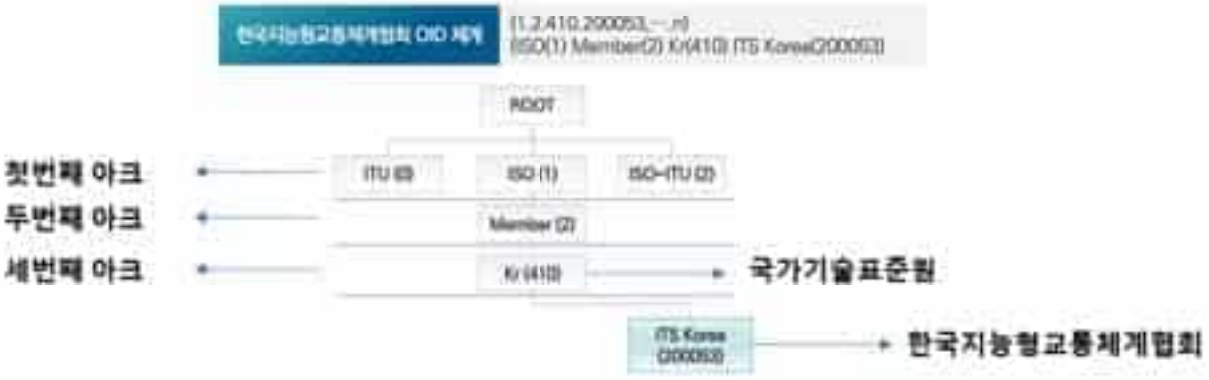
한국지능형교통체계협회
차태영 차장

1. 고유식별자(OID) 거버넌스 체계
2. 데이터 카탈로그
3. 데이터 표준적합성 시험방법

1. 고유식별자(OID) 거버넌스 체계
2. 데이터 카탈로그
3. 데이터 표준적합성 시험방법

① 개요

- 고유식별자(OID : Object Identifier)란?
  - 네트워크 프로토콜에서 유래한 용어로, 유형 또는 무형의 객체(데이터, 장비, 서비스 등)를 고유하게 식별할 수 있는 식별체계
- 국내 고유식별자 활용
  - 국가기술표준원 등 여러 공공기관에서 다양한 형태의 고유식별자를 활용할 수 있도록 활용기관 등록 업무 수행
  - 국-22과제에서 타겟으로 하는 고유식별자는 OID이며, 협회는 이미 국가기술표준원으로부터 OID 할당 기관으로 지정받음



1. 고유식별자(OID) 거버넌스 체계

② 고유식별자 활용 사례

- 고유 식별자의 활용 사례
  - 다양한 과제에서 개발한 데이터의 중 명칭이 같지만 다른 쓰임을 가지는 데이터를 구분할 수 있는 고유식별자가 필요
    (예: A과제에서 개발한 "가나다"명칭의 데이터와 B과제에서 개발한 "가나다"명칭의 데이터는 명칭은 같지만 속성정보가 다를 수 있음)
  - 식별체계가 중복되지 않아 이용자에게 최소한의 정보로 필요한 정보를 가장 빠르고 편리하게 제공할 수 있음

고유식별자 활용에 따른 이점

보유한 정보	데이터베이스 내 동일 명칭 데이터	데이터베이스 확장 분석			결과
	성명	성명	거주지	나이	
서울 34세 홍길동	홍길동	홍길동	서울	34세	보유한 정보가 한계가 있을 경우, 필요한 데이터를 정확하게 찾을 수 없음
	홍길동	홍길동	서울	34세	
	홍길동	홍길동	강릉	32세	
	홍길동	홍길동	광주	41세	
010-1234-5678	전화번호	성명	거주지	나이	전화번호
	010-1234-5678	홍길동	서울	34세	010-1234-5678

수 많은 데이터 속에서 고유식별자를 이용해 쉽게 정보를 확인할 수 있음

1. 고유식별자(OID) 거버넌스 체계

② 고유식별자의 필요성

- 자율주행체계에서 고유식별자의 필요성
  - 다양한 표준 또는 규격을 참고하는 수 많은 데이터가 혼재되어 있으며, 해당 과제 또는 과제와 직접적인 협의가 없으면 정확하게 어떤 데이터를 어떻게 사용하는 지 알 수 없음
  - 또한 고유식별자를 이용해 시스템의 버전 관리 등도 가능하여, 데이터 이외의 자율주행체계를 구성하는 시스템, 서비스, 장비 등에 적용하여 유용하게 사용할 수 있음

필요성에 대한 예시(SAE J2735)

```
BSMcoreData, RegionalExtension, VehicleSafetyExtensions, Priority, HeadingSlice, Extent, ObstacleDistance,
DDateTime, VerticalAccelerationThreshold, Offset-B11, Angle, RTCMheader, RTCMmessageList, EmergencyDetails,
BasicVehicleClass, VehicleClassification, SSPindex, TimeOffset, Node-XY-24b, CoarseHeading, VehicleWidth,
VehicleLength, VehicleHeight, BumperHeights, Offset-B12, VehicleMass, TrailerWeight, AmbientAirTemperature,
AmbientAirPressure, WiperSet, CoefficientOfFriction, GrossSpeed
    FROM Common {joint-iso-itu-t {2} country {[illegible]} us {[illegible]} organization {1} sae {[illegible]} v2x-communications {1}
    technical-committees {1} v2x-core {5} technical-reports {1} j2735 {[illegible]} part-0 {0} asn1-module {1} common
    {[illegible]} version-1 {1}}}
```

```
BasicSafetyMessage {joint-iso-itu-t {2} country {[illegible]} us {[illegible]} organization {1} sae {[illegible]} v2x-communications {1}
technical-committees {1} v2x-core {5} technical-reports {1} j2735 {[illegible]} part-0 {0} asn1-module {1} basicSafetyMessage
{1} version-1 {1}}
DEFINITIONS AUTOMATIC TAGS ::=
BEGIN
```

④ 고유식별자 거버넌스 체계

- 고유식별자 구성 체계
  - 다양한 분야와 주제에서 활용되는 객체의 고유식별자를 부여하기 위해 일련의 정책, 기준 등으로 구분하고 관리하기 위한 프로세스
  - 네번째 아크부터 하위계층에 대한 관리 체계로 고유식별자 할당범위에 해당하는 모든 객체에 대하여 동일하게 적용하여야 함

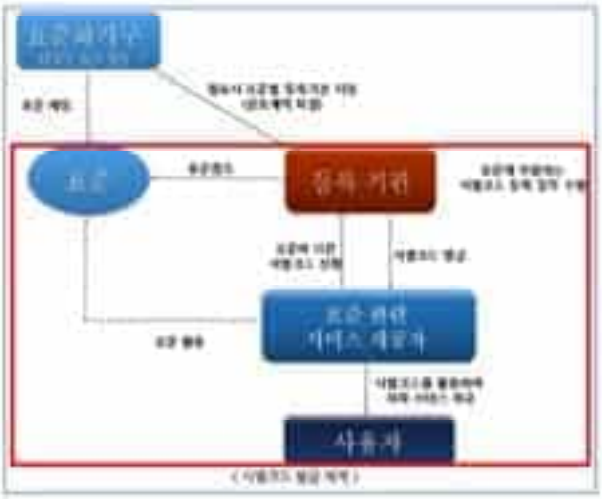
[그림 5] OID {2 16 410} 상세 계층구조

출처: 알기쉬운 표준 ICT 해설서, 2023, TTA

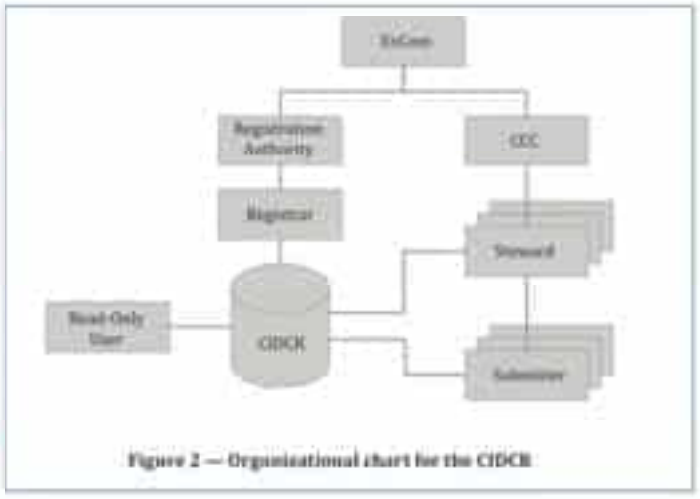
1. 고유식별자(OID) 거버넌스 체계

④ 고유식별자 거버넌스 체계

- 고유식별자 등록·관리 체계
  - 고유식별자를 할당하기 위한 범위 내에서 생성되는 객체를 임의로 등록 관리하는 것이 아닌 국제기구 절차에 따라 체계를 운영 중
  - 고유식별자 등록절차는 아니지만, 데이터를 등록·관리하기 위해 국제표준으로 제정된 절차를 참고하여 등록관리 체계를 개발하고자 함



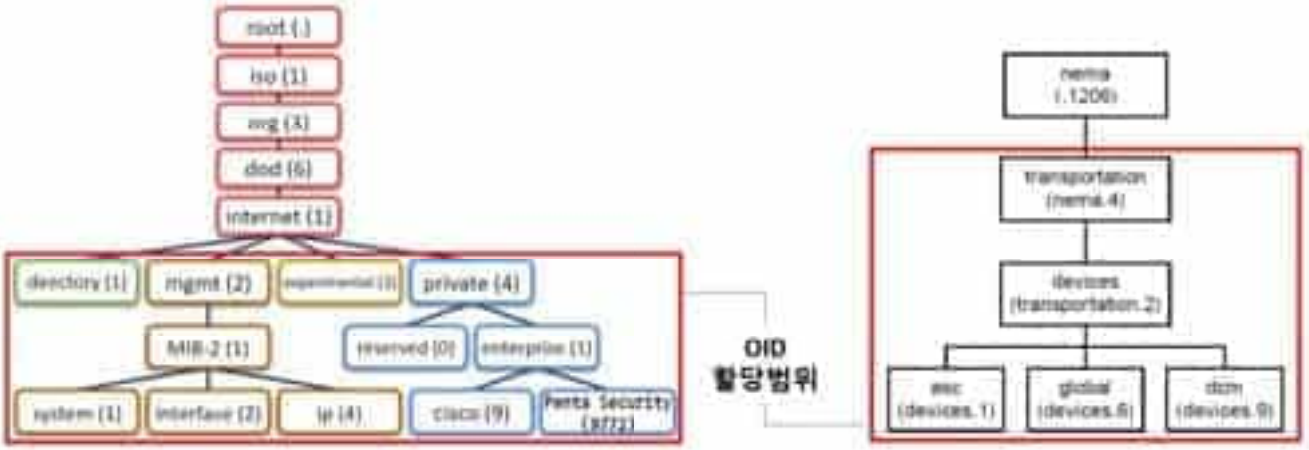
출처: 국가기술표준원 홈페이지



출처: ISO 14827-1 국제표준

⑤ 자율주행분야 고유식별자 개발

- 고유식별자 할당 범위 연구
  - 자율주행 분야의 수 많은 객체 정보 중 고유식별자를 할당하기 위한 범위를 연구
  - SAE, DOD, KISA 등 국내외에서 고유식별자를 사용하는 기관들이 할당한 범위를 분석하여 고유식별자 분류 카테고리 연구

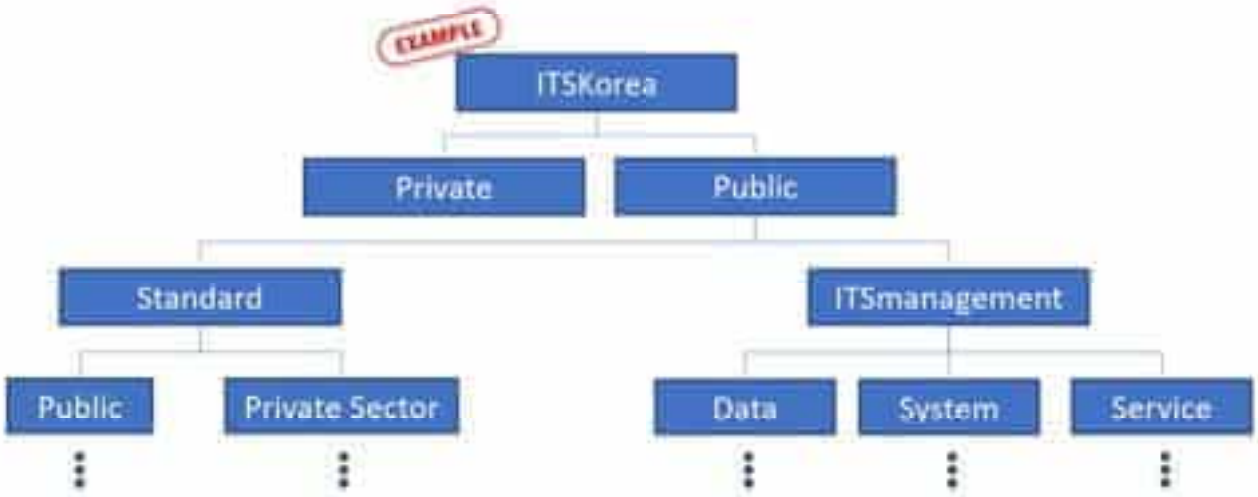


출처: 펜타시큐리티 홈페이지

출처: 표준 NTCIP 1206v0123

⑤ 자율주행분야 고유식별자 개발

- 고유식별자 할당을 위한 (안) 개발
  - 국-22과제의 주요 연구내용인 국토교통부 소관과제의 데이터에 대한 고유식별자 부여
  - 산업표준화법, 국가 기술기준 등 중요 표준에서 제공하는 데이터가 포함될 수 있도록 고려



<자율주행분야 고유식별자 할당을 위한 OID TREE 개발(안)>

⑥ 체크포인트

- OID TREE 개발 고려
  - 표준에 등록된 데이터와 표준으로 등록되지 않은 데이터를 동등한 수준으로 정의할 수 있도록 고려
  - 자율주행사업의 고유식별자 할당을 위해 OID 할당범위에 해당하는 과제별 객체의 업데이트 정보 추적관리 필요
  - 현재 OID 할당을 위해 협회의 소관으로 Public 분야에 임시 생성, 향후 활용 주체에 따라 OID 최종 등록 시 재결정

- OID 계층에 대한 유사성
  - 표준에 등록된 상세 데이터는 표준하기구-표준분야-표준번호-데이터 대분류-데이터 중분류 등 필요 위계가 많음
  - 그러나 제조사에서 개발한 시스템은 제조사-용도-모델명-버전 등 간단하게 정리될 수도 있음
  - 분야에 따라 서로 다른 객체에서도 고유식별자 거버넌스 구성체계가 적용될 수 있도록 적정수준의 결정 필요

1. 고유식별자(OID) 거버넌스 체계

2. 데이터 카탈로그

3. 데이터 표준적합성 시험방법

2. 데이터 카탈로그

① 데이터 카탈로그란

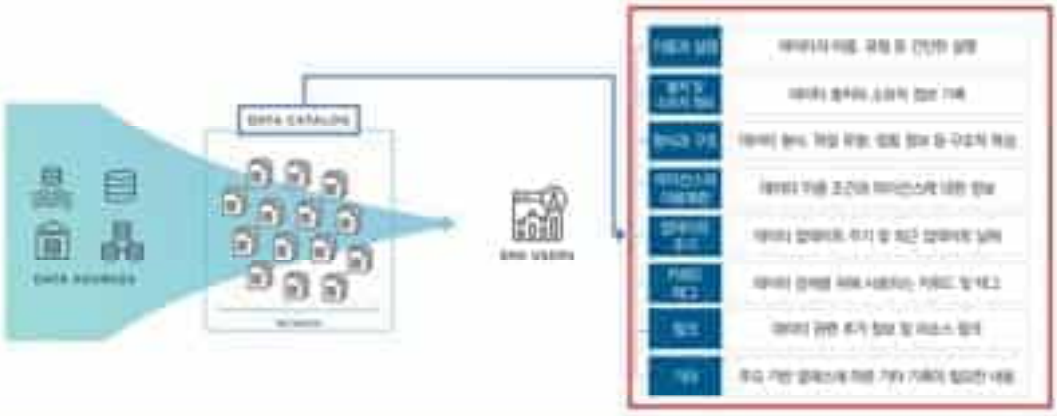
- 데이터 카탈로그란?
  - 특정 분야 또는 특정 속성을 가진 유사데이터를 표현하기 위해 필요한 메타데이터의 집합으로, 분야 또는 속성 등에 따라 필요한 데이터 카탈로그 세트가 다름
- 데이터 카탈로그(Data Catalog) 도입
  - 자율주행 관련정보 제공시스템을 이용하는 이용자를 위해 효율적인 데이터 관리 방법 필요
  - 개방적이고 효율적인 데이터 관리·활용과 이를 통한 전체 시스템의 성능 향상을 유도하기 위해 전반적인 자율주행 서비스 관련 데이터 카탈로그 정립 필요성 증대

데이터 카탈로그를 이용한 데이터 운용 구조

2. 데이터 카탈로그

② 데이터 카탈로그의 장점

- 데이터의 메타데이터 집합
  - **데이터 출처와 형식을 빠르게 파악**하여 데이터 식별력 및 접근성 향상을 통해 신속한 시스템 內 필요 정보 제공 가능
  - **출처, 형식, 라이선스, 품질 등 정보제공을 통해 데이터의 메타데이터 역할을 수행**하여 데이터 활용 및 품질 관리 향상에 도움



데이터의 메타데이터 역할을 수행하여 해당 카탈로그에 포함된 전체 데이터의 정확한 요약 정보 파악 가능

2. 데이터 카탈로그

③ 자율주행분야 데이터 카탈로그

- 데이터 카탈로그의 완성
  - 자율주행분야의 **데이터 규격화** 및 **메타데이터 정립 우선**
  - 데이터 간의 관계를 표현하여 시각화 결과 도출

2. 데이터 카탈로그

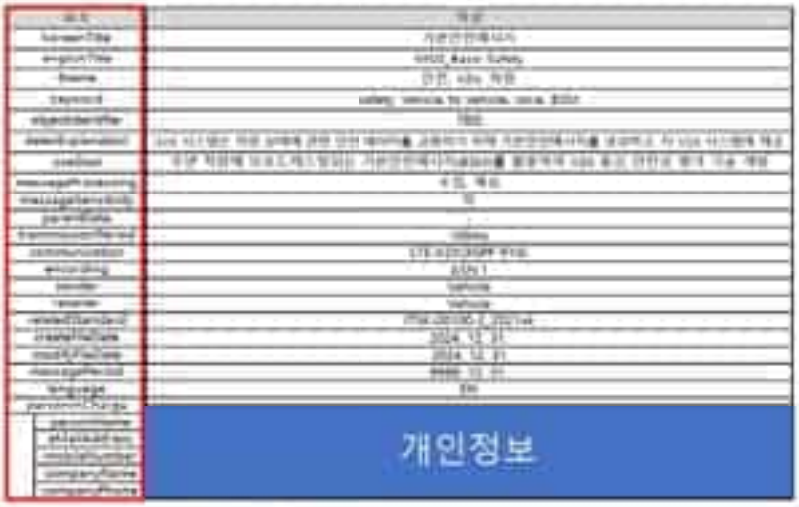
④ 데이터 카탈로그 규격화 방안

- 데이터 카탈로그 규격(안)
  - 자율주행 분야에서 생성되는 다양한 데이터 속성을 대표적으로 표현하기 위해 특정 주제로 집합화 할 수 있는 데이터별로 필요한 메타데이터를 선별, 모든 데이터에 공통적으로 활용하는 메타데이터와 선택적으로 필요한 메타데이터의 표준정보를 제공
  - (예시: AI학습데이터-라벨링 유무, 라벨링 클래스 등의 메타데이터는 소리, 이미지, 센서 등에 관계없이 사용하므로 AI 학습데이터에 대한 데이터 카탈로그에 항상 포함)
- 데이터 카탈로그의 적용
  - 현재 국-22과제는 2차년도 수행 중으로 아직 자율주행 데이터에 대한 수집과 필요 메타데이터에 대한 연구가 진행중임
  - 따라서 다양한 분야가 아닌 자율주행 리빙랩에서 주고받는 데이터를 대상으로 우선 데이터 카탈로그를 표준화 할 수 있도록 연구
  - 또한 표준화된 데이터 카탈로그를 기반으로 세부 분야의 실제 정보를 같이 입력하여, 해당 정보를 쉽게 파악할 수 있도록 개발 중

⑤ 데이터 카탈로그 예시

- 데이터 카탈로그 예시 (연계 데이터)
  - 데이터 카탈로그를 구현하고자 하는 모든 데이터 집합에 대해 명칭, 태마, 고유식별자, 정의 메타데이터가 공통적으로 사용
  - 리빙랩 내에서 연계되는 데이터의 분야에서는 데이터의 키워드, 생성자, 목적지, 전송주기, 전송방식 등을 핵심 메타데이터로 사용
  - 그 외에 연계 데이터에 대한 관리자 정보(공개가능 여부 사전 확인), 현재 데이터의 버전, 관련 표준정보 등을 추가하여 연계데이터 분야의 카탈로그를 완성하고, 실제 연계데이터에 대한 정보를 추가

연계데이터 분야 데이터 카탈로그



1. 고유식별자(OID) 거버넌스 체계

2. 데이터 카탈로그

3. 데이터 표준적합성 시험방법

3. 데이터 표준적합성 시험방법

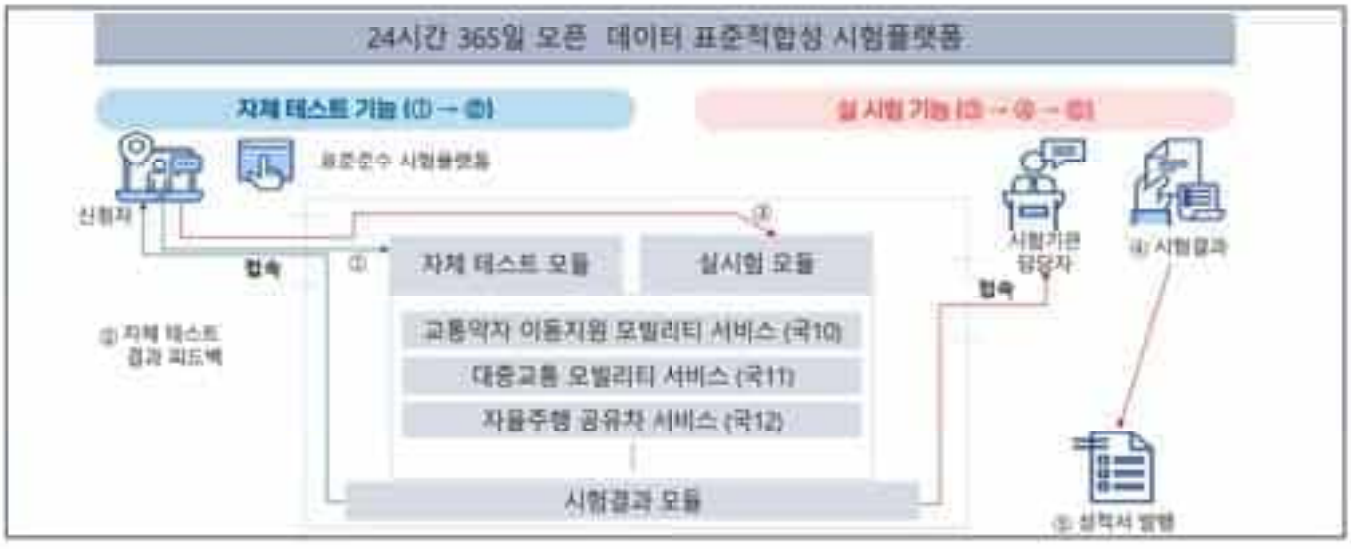
① 개요

- 시험방법 표준화 및 상호호환성 시험 환경 마련
  - 자율주행기술개발혁신사업 국토부 소관 연구과제에서 개발한 서비스-시스템 간 원활한 데이터 연계를 위해 시험방법 표준화 및 상호호환성 시험환경 마련

3. 데이터 표준적합성 시험방법

① 개요

- 데이터 표준적합성 시험시스템 – 시험(자체테스트, 실시험) 가능
  - 개발 중 또는 개발 완료된 장비 및 시스템을 리빙랩에서 요구하는 규격에 적합하게 개발하였는지 확인하기 위하여, 개발기관에서 시험시스템에 접속하여 자체 또는 시험기관을 통해 표준적합성 시험을 수행할 수 있는 기능 제공



3. 데이터 표준적합성 시험방법

② 시험방법 규격화

- (연구 추진 절차) 관련 동향 조사 분석을 통한 시험항목을 도출하고 이를 기반으로 시험방법 규격(안) 개발

Step 1	Step 2	Step 3
연구내용 • 국토부 소관 연구과제 내 적용된 정보연계 표준(규격) 분석	연구내용 • 송수신 절차 및 데이터의 상호호환성 확인을 위한 시험항목 도출	연구내용 • 동향조사분석 및 시험항목 도출 결과 기반 규격안 개발
주요결과 – 기술기준 4건, 국제표준 8건, KS 5건, 단체표준 28건, 총 45건 분석 진행 중	주요결과 – 데이터 형식 및 정보교환 절차 등의 표준적합여부를 확인할 수 있는 시험항목 정의 중	주요결과 – 도출된 시험항목 기반 데이터/시스템별 시험 항목 및 절차에 대하여 시험방법(안) 개발

3. 데이터 표준적합성 시험방법

② 시험방법 규격화

- (시험대상) 자율협력주행체계 구성요소(차량, 인프라, 센터)간 연계되는 데이터

구분	차량단말기 ↔ 노변 인프라	차량단말기 ↔ 서비스센터	노변 인프라 ↔ 리빙랩 센터	서비스 센터 ↔ 리빙랩 센터
데이터	차량고유정보 (차량상태, 주행상태, 기상정보 등) 인프라 제공정보 (위험 안내, 분리 서비스 등)	자율주행 서비스 정보 (국-1)~국-13) 자율주행차량 수집정보 (Lite 영상고기, 지도 등)	차량제공정보, 노변 인프라 제공정보 (소통정보, 교통통제정보, 돌발상황정보, 도로상태 등)	자율주행 서비스 정보 자율주행차량 수집정보
통신절차	WAVE 및 LTE-V2X 기술을 이용한 V2X 통신 (IEEE 802.11p, IEEE 1609.2&3, 3GPP 36.32X 등 국제규격)	이동통신망 활용한 다양한 통신 인터페이스 적용 (Restful API, Kafka(메시지 큐) 등)	KS 표준, 기술기준 등 통신절차 확 (KS X ISO 14827-1&2, KS X ISO 15784-3 등)	KS 표준, 기술기준 등 통신절차 확 (KS X ISO 14827-1&2, KS X ISO 15784-4 등)

3. 데이터 표준적합성 시험방법

② 시험방법 규격화

- (Step 1) 기술기준 4건, 국제표준 8건, KS 5건, 단체표준 28건, 총 45건 분석 진행 중

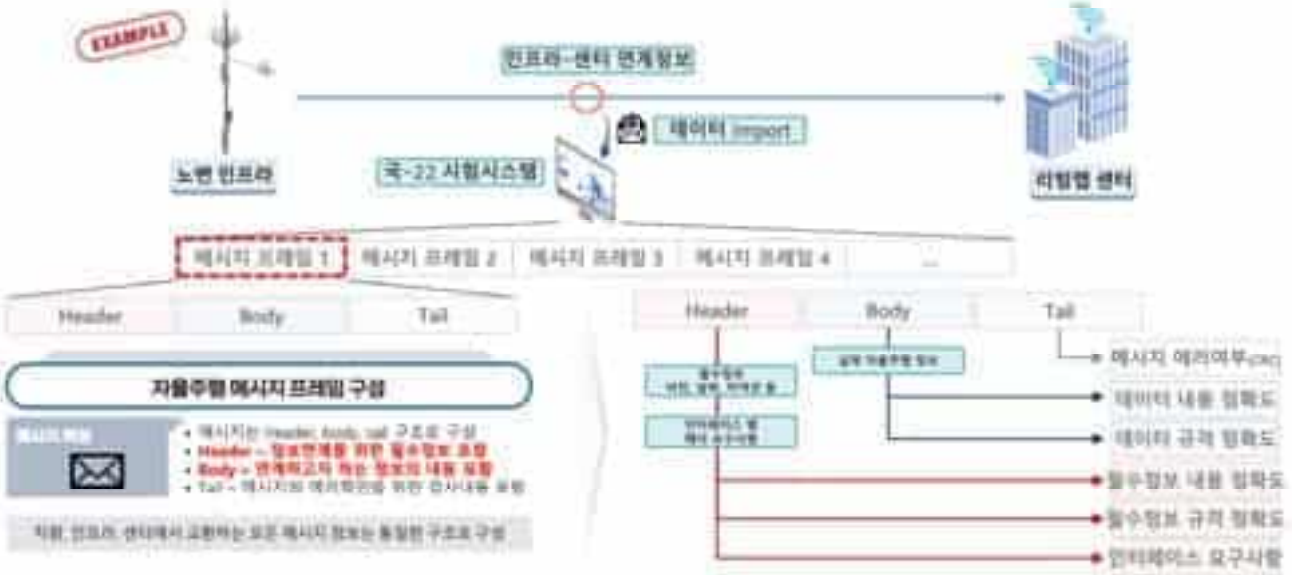
제정기관/기구	표준종류	표준(규격)번호	표준(규격)명
국토교통부	기술기준	-	기본교통정보교환기술기준 I
국토교통부	기술기준	-	기본교통정보교환기술기준 II
국토교통부	기술기준	-	기본교통정보교환기술기준IV
국토교통부	기술기준	-	대중교통(버스)정보교환 기술기준
ISO	국제표준	ISO14817-1	Intelligent transport systems - ITS central data dictionaries - Part 1: Requirements for ITS data definitions
ISO	국제표준	ISO14817-2	Intelligent transport systems - ITS central data dictionaries - Part 2: Governance of the Central ITS Data Concept Registry
ISO	국제표준	ISO14817-3	Intelligent transport systems – ITS data dictionaries – Part 3: Object identifier assignments for ITS data concepts
ISO	국제표준	ISO15836-1	Information and documentation - The Dublin Core metadata element set - Part 1: Core elements
ISO	국제표준	ISO15836-2	Information and documentation - The Dublin Core metadata element set - Part 2: DCMI Properties and classes
산업통상자원부	KS표준	KS X ISO 14827-1	지능형교통시스템(ITS) -- ITS를 위한 센터간 데이터 인터페이스 -- 제1부: 메시지 정의 요구 사항
산업통상자원부	KS표준	KS X ISO 14827-2	교통정보 및 제어시스템 -- ITS를 위한 센터간 데이터 인터페이스 -- 제2부: DATEX-ASN
산업통상자원부	KS표준	KS X ISO 15784-1	교통정보 및 제어시스템 -- ITS를 위한 센터간 데이터 인터페이스 -- 제2부: DATEX-ASN
산업통상자원부	KS표준	KS X ISO 15784-3	지능형 교통 시스템 – 정보교환(노변기기 모듈 통신포함) – 제 3부 : 어플리케이션 프로파일 정보교환(AP-DATEX)
-	-	-	-

< 시험방법 규격안 개발을 위한 데이터 표준적합성 관련 표준 조사분석 리스트(일부) >

3. 데이터 표준적합성 시험방법

② 시험방법 규격화

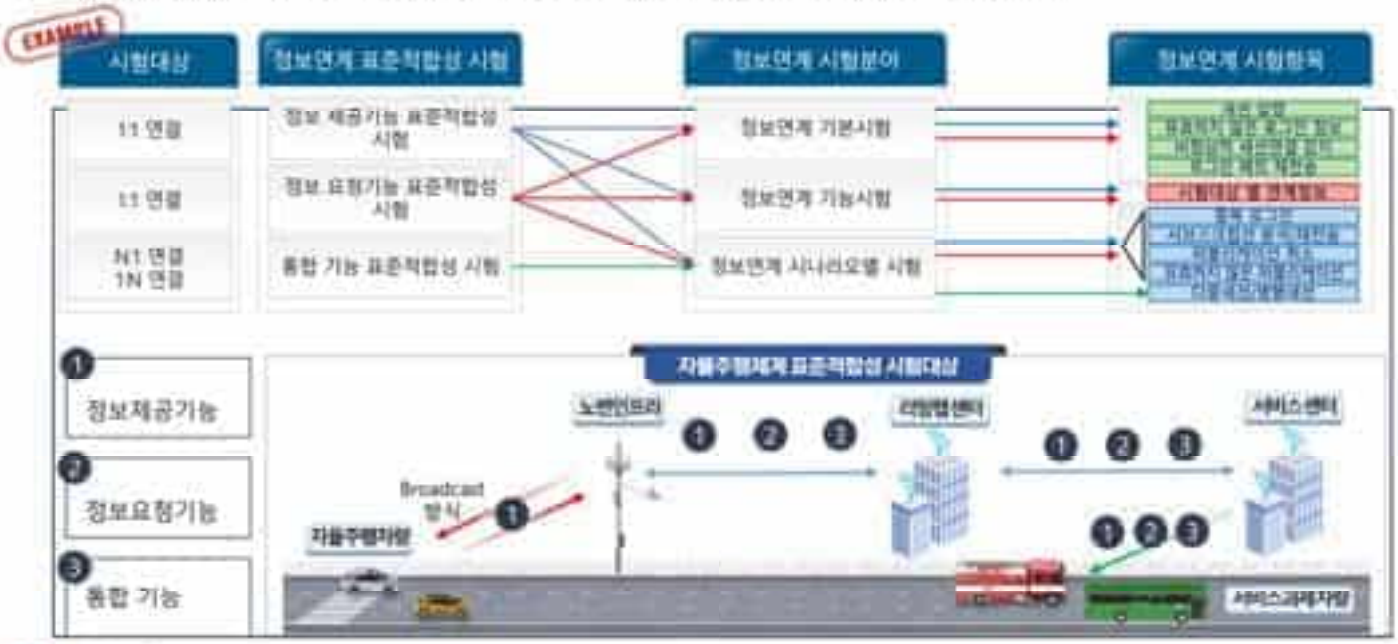
- (Step 2) 데이터 형식 및 정보교환 절차 등의 표준적합여부를 확인할 수 있는 시험항목 정의
- 자율주행 데이터의 연계절차, 필요 항목, 데이터 연계항목 및 항목의 규격을 데이터 표준적합성 시험 대상으로 선정



3. 데이터 표준적합성 시험방법

② 시험방법 규격화

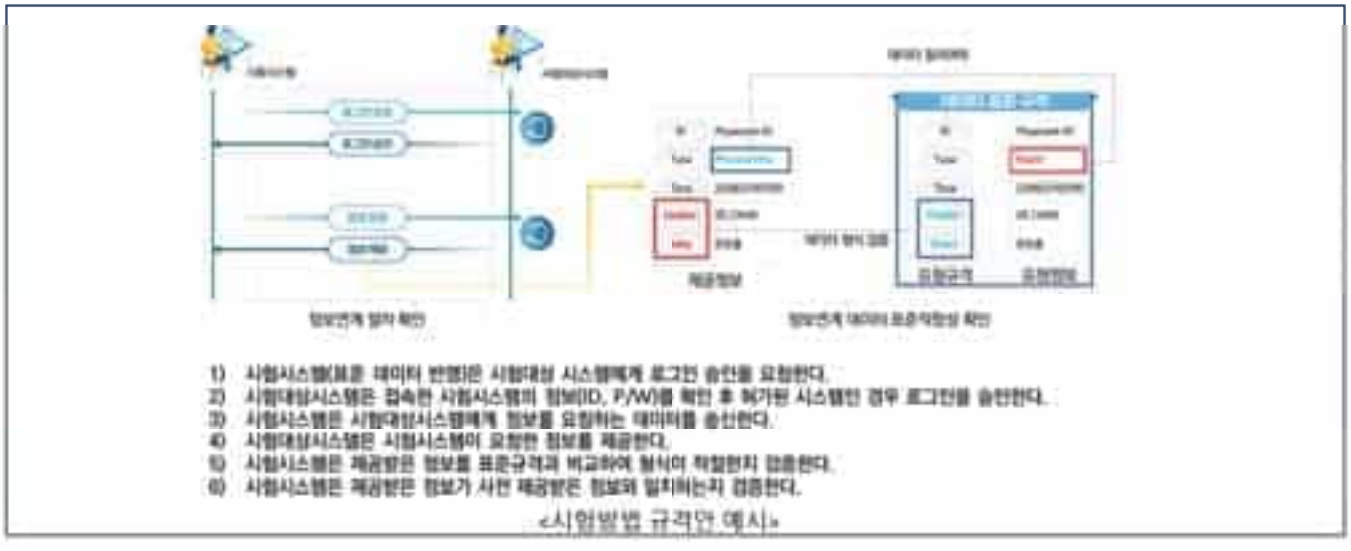
- (Step 2) 데이터 형식 및 정보교환 절차 등의 표준적합여부를 확인할 수 있는 시험항목 정의
- 기존 ITS 분야에서 활용한 데이터에 대한 표준적합성 시험방법을 참조하여 시험항목 추가 예정



3. 데이터 표준적합성 시험방법

② 시험방법 규격화

- (Step 3) 도출된 시험항목 기반 데이터/시스템별 시험 항목 및 절차에 대하여 시험방법(안) 개발



1) 시험시스템(표준 데이터 반출)은 시험대상 시스템에게 로그인 승인을 요청한다.
2) 시험대상시스템은 접속한 시험시스템의 정보(ID, P/W)를 확인 후 허가된 시스템인 경우 로그인을 승인한다.
3) 시험시스템은 시험대상시스템에게 정보를 요청하는 데이터를 송신한다.
4) 시험대상시스템은 시험시스템이 요청한 정보를 제공한다.
5) 시험시스템은 제공받은 정보를 표준규격과 비교하여 형식이 적절한지 검증한다.
6) 시험시스템은 제공받은 정보가 사전 제공받은 정보와 일치하는지 검증한다.

<시험방법 규격안 예시>

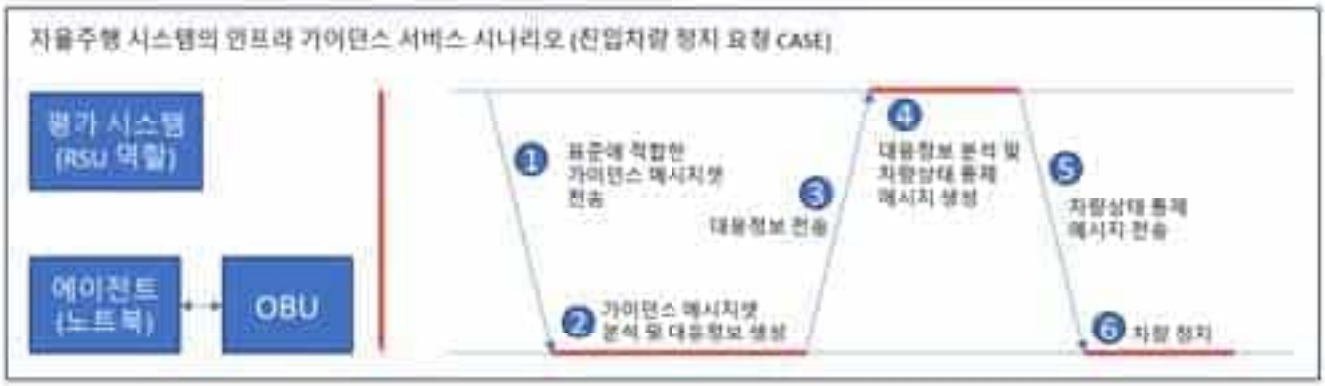
3. 데이터 표준적합성 시험방법

③ 실제 시험방법(안) 예시 – 데이터의 표준적합성 여부 확인

- (목표) 자율주행 리빙랩에서 필요한 V2X 단말기는 다양한 서비스에 활용되기 위해, 차량/인프라/센터와 모두 연계할 수 있는 데이터와 프로토콜의 적합성을 확인해야 함 (단, 프로토콜의 시험방법이 존재하는 경우 해당방법을 따름)
- (조건) 해당 V2X 단말기는 차량과 센터와는 연계되지 않는 인프라와 연계되는 서비스용 단말기로 가정함
- (역할) V2X 단말기는 인프라로부터 데이터를 수신받을수 있어야하고 필요한 정보를 송신할 수 있어야 함
- (제약조건) 국-22에서 개발하는 웹기반 적합성평가 시스템은 V2X 통신 인터페이스가 적용되지 않음 (에이전트 필요)

3. 데이터 표준적합성 시험방법

③ 실제 시험방법(안) 예시 – 리빙랩 운영 시나리오에 따른 정보연계 적합성 확인



- (목표) 개발된 V2X 단말기가 자율주행 서비스에 활용되기 위해서 약속된 프로토콜을 사용하여 표준에 적합한 메시지를 시나리오에 따라 복합적으로 연계할 수 있는지 확인이 필요함
- (조건) 해당 서비스의 연계절차는 개발 과제에서 실제 연계 프로세스 정보를 제공하고 그 내용을 따름
- (역할) V2X 단말기가 시나리오의 상황별 정보를 표준에 적합하고 상황에 맞는 정보를 연계하는지 확인
- (제약조건) 에이전트에서 OBU와의 정보연계가 끊어지지 않아야 함

감사합니다.

Q&A

Session A

ITS(I)

Session

A-1

실시간 교통신호정보 지연시간 측정 및 분석에 관한 연구
이승철, 권순일

도로용량편람을 활용한 미시교통 시뮬레이션의 신호교차로 평가지표 적정성 분석
김승리, 이철기, 최병권

앞막힘 제어를 위한 신호체계 알고리즘 연구
김영욱, 이선하, 천춘근, 서지영

DSRC를 이용한 도시부 신호 운영을 위한 정보 가공에 대한 타당성 검토
신희준, 홍영석

신호 연동성 평가를 위한 DSRC 및 영상검지기 기반 차량 궤적 모사
안정은, 김민지, 한여희, 김영찬

실시간 교통신호정보
지연시간 측정 방안에 관한 연구

이승철 책임연구원, 권순일 연구원

한국도로공사

Content

Ⅰ. 연구배경 및 목적

Ⅱ. 연구수행 절차

Ⅲ. 연구수행 내용

Ⅳ. 결론 및 향후계획

한국도로공사

Ⅰ. 연구배경 및 목적

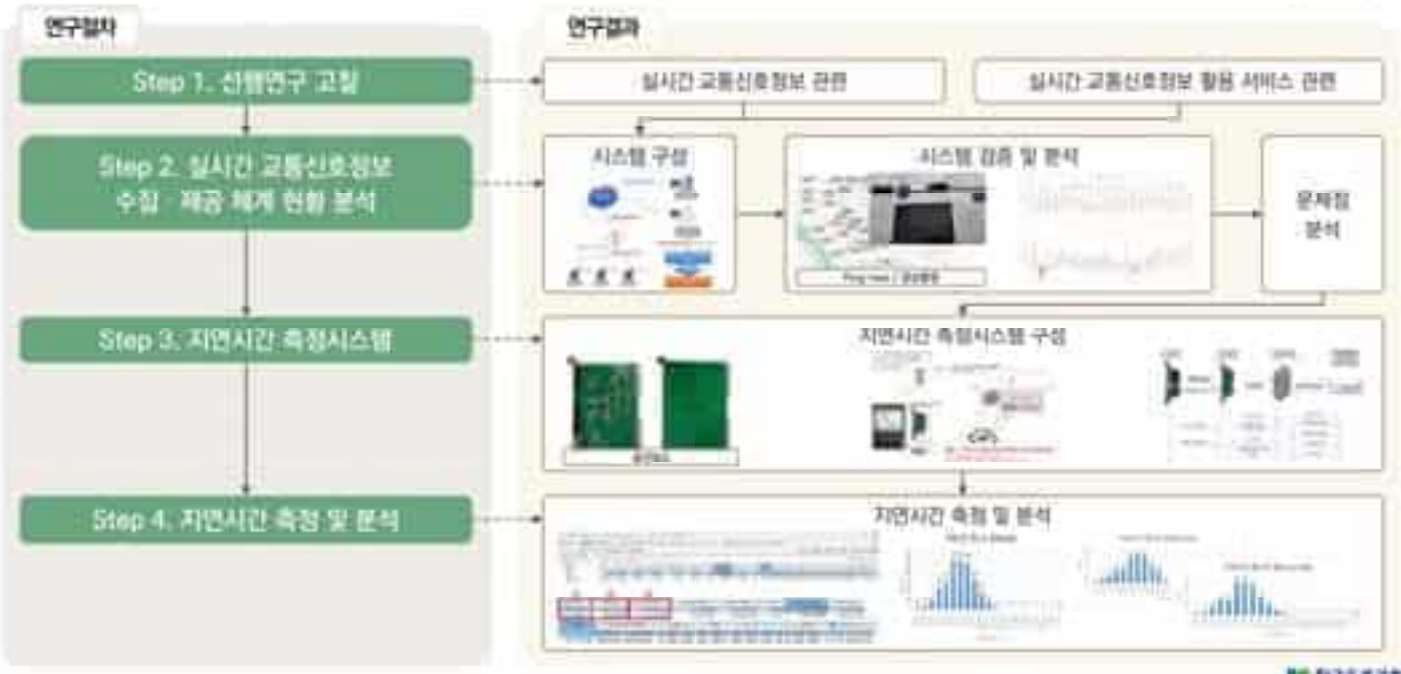
1. 연구배경

- 자율주행, ICT 기술발전 및 다양한 모빌리티 등장에 따라 실시간 교통신호정보의 필요성 대두
- ITS 및 C-ITS 사업은 단말기 보급 · 관리 및 인프라 구축 · 유지비용 등 한계
- 또한 향후 자율차가 전국적으로 상용화됨에 따라 지자체에서 교통신호정보를 수집 · 제공시 정보의 단절 등 한계
- 위와 같은 한계점을 해결하기 위해 전국 단위 센터 방식의 교통신호정보 수집체계 구축 필요
- 향후 전국적으로 확대되기 위해 센터 방식의 실시간 교통신호정보 수집체계에 대한 체계적 관리방안 필요

2. 연구목적

센터 방식의 **실시간 교통신호정보에 대한 신뢰성 확보 및 데이터 관리방안** 도출

Ⅱ. 연구수행 절차



Ⅲ. 연구수행 내용

Step 1. 선행연구 고찰

실시간 교통신호정보 관련

- 배정규 외(2022), 신호현시 정보 제공시스템의 시간 지연특성 연구
- 주은오 외(2022), 객체 인식 모델 기반 실시간 교통신호 정보 인식
- 박창현 외(2019), 신호등이 설치된 교차로 구역에서의 자율주행 시스템 구현
- Aleksandar Stevanovic 외(2013), Comparative Evaluation of Benefits from Traffic Signal Retiming and Green Light Optimized Speed Advisory System
- Hao Chen 외(2022), Developing and Field Testing a Green Light Optimal Speed Advisory System for Buses

실시간 교통신호정보 활용 서비스 관련

- TTS(Traffic Technology Services), 클라우드 기반 플랫폼을 통한 차량과 신호등 및 도로 인프라 연결사업 수행

한계점

- 신호정보 제공 및 인식 관련 연구는 수행되고 있으나,
- **신호정보 제공 시 지연 측정에 관한 연구는 미흡**
- 기존 신호현시 정보 제공시스템의 시간 지연특성 연구는 '차량-인프라'의 지연시간에 관한 연구를 수행한 것으로,
- **1) 차량 내 단말기 보급 및 관리, 2) 인프라 구축 문제 등의 한계점 존재**
- **센터 기반의 실시간 교통신호정보 수집 및 제공체계 구축을 통해 한계점을 해결하고자 함**

한국도로교통공단

Ⅲ. 연구수행 내용

Step 2. 실시간 교통신호정보 수집 · 제공 체계 현황 분석

- 시스템 구성
  - 센터 기반 실시간 교통신호정보 수집 · 제공체계는 교통신호제어기로부터 경찰청 도시교통정보센터로 신호정보를 전송하여 활용하는 시스템

- 시스템 검증 방법
  - 교차로 현장에서 신호등과 모니터링 화면을 동시 촬영방법 및 Ping-test를 수행하여, 프레임단위(30fps)로 신호현시가 변경되는 시간을 기준으로 차이 비교

한국도로교통공단

Ⅲ. 연구수행 내용

Step 2. 실시간 교통신호정보 수집 · 제공 체계 현황 분석

① 시스템 검증 결과

- 신호등-모니터링 화면 동시촬영 결과 지점별 평균 지연시간은 0.067초 ~0.180초 수준으로 무선통신환경이 실시간으로 활용 가능

- Ping test 결과 지점별 평균 응답시간은 0.033초~0.050초 수준으로 나타남

② 문제점 분석

- 현장에서 영상을 직접 촬영해야 하기에 **주변 환경과 기상에 따른 제약**이 발생되며, **동시간대 다수 지점 분석의 한계**가 존재함
- 현장(교통신호제어기)에서 도시교통정보센터 신호정보를 전송하고, 현장으로 다시 신호를 보내는 때의 지연시간을 체계적으로 수집·관리될 수 있는 시스템 구축 필요

한국도로공사

Ⅲ. 연구수행 내용

Step 3. 지연시간 측정시스템 개발

① 지연시간 측정시스템 구성

- 도시교통정보센터 및 현장(교통신호제어기) 간 양방향 통신을 통한 데이터 지연시간 측정방법이 가장 용이하나,
- 교통신호제어기는 신호시설에 대한 보안을 위해 국가기간시설로 관리되어 도시교통정보센터로의 일방향 통신 가능
- 따라서 옵션보드를 통해 도시교통정보센터 및 현장(교통신호제어기) 간 양방향 통신으로 지연시간을 측정하는 시스템을 개발

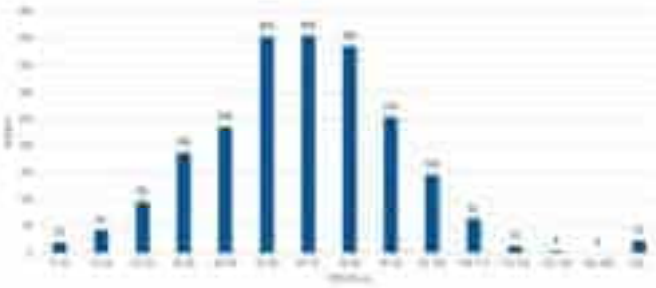
한국도로공사

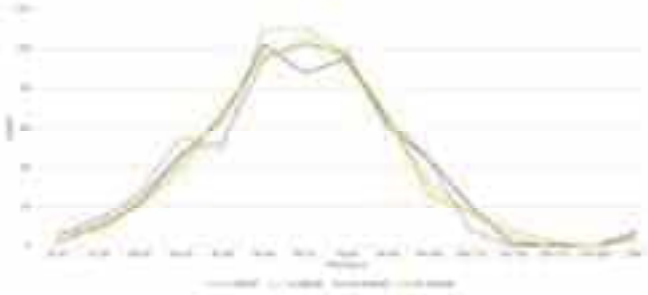
Ⅲ. 연구수행 내용

Step 4. 지연시간 측정 및 분석

☑ 지연시간 측정시스템 검증 방법

- 본 연구에서는 시스템 성능 검증을 위해 실내 테스트를 수행
- ①지연시간을 측정하기 위한 교차로 생성, ②가상의 신호운영정보를 도시교통정보센터로 전송, ③실내 측정시스템에서 수신 받아 지연시간 측정 순으로 진행
- 1시간 동안 테스트를 진행하였으며, 지연시간은 1시간 전체, 0~15분, 15~30분, 30~45분, 45~60분으로 그룹을 나누어 분석 진행
- 1시간 동안 수집된 데이터는 총 2,277개이며, 평균 지연시간은 0.068초로 나타나 센터 기반의 실시간 교통신호정보에 대한 신뢰성이 있다고 판단
- 15분 단위 수집 데이터 분석결과 평균 지연시간은 0.067초이며, 0.050~0.080초 시간대에 과반수 이상 분포





Ⅳ. 결론 및 향후계획

1. 결론

☑ 기존 신호정보 지연시간 측정방법은 단말기 보급 및 인프라 구축·유지·관리에 관한 한계점, 현장 측정 시 기상 및 공간적 제약 존재

☑ 따라서 본 연구에서는 음선보드를 통한 센터 기반의 실시간 신호정보 지연시간 측정시스템을 개발

☑ 본 연구에서는 시스템 성능 검증을 위해 실내 테스트를 수행하였으며, 측정결과 평균 지연시간은 목표치인 0.1초보다 작은 0.068초로 나타남

2. 향후 연구방향

☑ 실내 테스트의 보완을 통해 오류를 제거하고 수행 예정

☑ 센터 기반의 실시간 교통신호정보 수집 및 제공시스템은 무선통신에 기반하기에 무선통신 품질관리가 중요하므로, 추가 **도로구간별/기지국별 등으로 구분 설치하여 데이터 수집 및 분석** 예정

☑ **일별/요일별 등 시간대별 분석**을 통해 무선통신 품질관리를 위한 기초데이터 수집 예정

도로용량편람을 활용한 미시교통 시뮬레이션의 신호교차로 평가지표 적정성 분석

The appropriateness of intersection evaluation indicators in microscopic traffic simulation using the Korea Highway Capacity Manual

김승리[1], 이철기[2], 최병권[3]

[1]㈜이지트래픽 대리, [2]아주대학교 교통시스템공학과 교수, [3]화성시청 AI전략과 주무관

Key Words : 미시교통 시뮬레이션, SUMO, 도로용량편람, 제어지체

목 차

Ⅰ. 서론
1. 연구 배경 및 목적
Ⅱ. 본론
1. 관련 이론 및 선행 연구 고찰
2. 시나리오 및 분석 방법
Ⅲ. 결론
1. 시사점
2. 향후 연구 과제

Ⅰ. 서론

1. 연구 배경 및 목적

교통 시뮬레이션은 다양한 교통 상황에서의 흐름을 이해하거나 예측하기 위해 실제와 유사한 가상의 도로를 모사하여 모의적 실험을 수행하고 도출된 결과를 분석하고자 사용되고 있다. 특히 미시교통 시뮬레이션은 개별차량을 단위로 운전자의 운전 행태 등을 모형화하여 결과를 도출할 수 있어 교통 운영 평가 및 교통 관리 전략 수립에 적합한 도구로 평가된다.

SUMO(Simulation of Urban MObility)는 독일 항공 우주센터의 교통시스템 연구소에서 개발한 교통 시뮬레이션 소프트웨어로 미시적 규모에서부터 거시적 규모까지 상황에 따라 다양한 파라미터를 사용자가 자유롭게 조정할 수 있으며, 높은 확장성과 유연성을 제공한다. 또한, SUMO는 무료 오픈 소스로 제공되기 때문에 많은 연구자 및 실무자에 의해 폭넓게 활용되고 있다. SUMO를 통해 차량 통행 기반 결과, 링크 및 차선 기반 결과, 시뮬레이션 네트워크 기반 결과 등 다양한 결과 데이터를 확인할 수 있어 교통 상황을 깊이 있게 분석할 수 있다.

다만, 미시교통 시뮬레이션으로써의 SUMO의 경우 현실을 다양한 수준에서 설명하려고 하나, 결과의 유효성에 대해서는 실제 데이터와 비교하여 검증하는 등 지속적인 검토가 필요하다.

이에 본 연구에서는 SUMO에서 집계된 결과 데이터를 활용하여 도로용량편람에서 제시하고 있는 신호교차로 서비스 수준 평가 척도인 차량당 평균 제어지체를 계산하고, 차량당 평균 제어지체와 SUMO의 Time Loss를 비교 분석함으로써 두 결과 데이터의 유사성을 검증하고자 한다. 본 연구를 통해 신호교차로의 서비스 수준 평가에 있어 SUMO와 도로용량편람의 상호 보완적 활용 가능성을 모색하는데 기여하고자 한다.

Ⅱ. 본론

1. 관련 이론 및 선행 연구 고찰

1) 도로용량편람

도로용량편람에서는 신호교차로의 서비스 수준의 평가 척도로 차량당 평균 제어지체를 사용하

고 있다. 제어지체(d)란 신호 제어로 인해 차로군이 속도를 줄이거나 정지함에 따른 지체로써 주어진 교통량이 정확하게 일정한 차두간격으로 도착한다고 가정할 때 발생하는 균일지체(d_1), 균일하지 못한 도착에 의해 발생하는 임의지체와 과포화 주기에 의한 과포화 지체를 포함한 증분지체(d_2), 대기 차량이 방출되는 동안 분석기간에 도착한 차량이 감당해야 하는 추가지체(d_3)로 이루어진다.

한 차로군의 차량 당 평균 제어지체는 식(1)을 통해 산출할 수 있다.

$$d = d_1(PF) + d_2 + d_3 \quad \cdots\cdots(1)$$

여기서,

d = 차량 당 평균 제어지체(초/대)

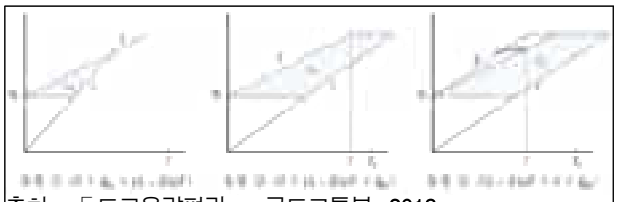
d_1 = 균일 제어지체(초/대)

PF = 신호연동에 의한 연동보정계수

d_2 = 임의 도착 및 분석기간 안에서의 과포화 영향을 나타내는 증분지체(초/대)

d_3 = 분석기간 이전에 잔류한 과포화 대기행렬로 인한 추가지체(초/대)

제어지체는 분석 기간 전 남아있는 대기 차량에 의한 영향이 포함되며, 대기 차량의 존재 여부에 따라 균일지체의 값이 달라져 분석 시 초기 대기 차량이 중요한 요소로 작용한다. 대기 차량이 존재할 경우는 ①초기 대기 차량이 존재하고 분석기간 내 도착하는 모든 교통량을 처리해 분석기간 이후에 대기 차량이 남지 않는 경우 ②초기 대기 차량이 존재하고 분석기간 이후에 여전히 대기 차량이 남아 있으나 그 길이가 초기 대기행렬보다 줄어든 경우 ③초기 대기 차량이 존재하고 분석기간이 지난 후에도 여전이 대기 차량이 남아 있으나 그 길이가 초기 대기행렬보다 늘어난 경우 3가지 유형으로 구분된다. 대기 차량이 존재하는 경우 3가지 유형은 <그림 1>과 같다.



출처 :「도로용량편람」, 국토교통부, 2013

<그림 1> 추가지체(d_3)의 모형

여기서,

Q_b = 분석기간(T)이 시작될 때 존재하는 초기 대기 차량 수(대)

c = 용량(vph)

V = 도착 교통량(vph)

T = 분석기간 길이(시간)

T_c = 초기 대기행렬 해소시간

X = 포화도

균일지체는 위에서 언급한 바와 같이 대기 차량이 존재하는 유형에 따라 산출하는 방법이 상이하며, 식(2)부터 (4)를 통해 산출할 수 있다.

$$d_1 = \frac{0.5C(1-\frac{g}{C})^2}{1-[\min(1,X)\frac{g}{C}]} \quad (Q_b{=}0 \text{ 일 때}) \quad \cdots\cdots(2)$$

$$= \frac{R^2}{2C(1-y)} + \frac{Q_b R}{2TS(1-y)} \quad (\text{유형①} \text{ 일 때}) \quad (3)$$

$$= \frac{R}{2} \quad (\text{유형②, ③} \text{ 일 때}) \quad \cdots\cdots(4)$$

여기서,

Q_b = 분석기간(T)이 시작될 때 존재하는 초기 대기 차량 수(대)

d_1 = 균일지체(초/대)

C = 주기(초)

g = 해당 차로군에 할당된 유효녹색시간(초)

X = 포화도

R = 적색신호 시간(초)

y = 교통량비(flow ratio)($=V/S$)

T = 분석기간 길이(시간)

S = 해당 차로군의 포화교통량(vphg)

증분지체는 차로군의 포화도와 분석시간의 길이 및 차로군의 용량에 크게 좌우되며, 식(5)를 통해 산출할 수 있다.

$$d_2 = 900\,T[(X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + \frac{4X}{cT}}] \quad \cdots\cdots(5)$$

여기서,

d_2 = 증분지체(초/대)

T = 분석기간 길이(시간)

X = 해당 차로군의 포화도

c = 해당 차로군의 용량(vph)

추가지체는 초기 대기 차량이 존재할 때 발생하며, 과포화로 인한 초기 대기행렬에 의해 발생하기 때문에 V/c비에 영향을 받는다. 식(6)부터 (8)을 통해 산출할 수 있다.

$$d_3 = \frac{1{,}800 Q_b^2}{c\,T(c-V)} \quad (\text{유형① 일 때}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(6)$$

$$= \frac{3{,}600 Q_b}{c} - 1{,}800\,T(1-X) \quad (\text{유형② 일 때}) \quad (7)$$

$$= \frac{3{,}600 Q_b}{c} \quad (\text{유형③ 일 때}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(8)$$

여기서,

d_3 = 추가지체(초/대)

Q_b = 분석기간(T)이 시작될 때 존재하는 초기 대기 차량 수(대)

T = 분석기간 길이(시간)

X = 해당 차로군의 포화도

c = 해당 차로군의 용량(vph)

V = 도착 교통량(vph)

2) SUMO(Simultion of Urban MObility)

개별차량의 목표 주행 속도는 일반적으로 상이하기 때문에 SUMO에서는 Speed Factor라고 하는 개별 인수를 각 차량에 할당하여 모델링하고 있다. 각 차량의 개별 Speed Factor는 시뮬레이션에서 차량의 타입을 설정할 시 정규분포 또는 절단 정규분포를 따르게 할 수 있으며, 평균, 편차 등 세부 파라미터를 사용자가 설정할 수 있다.

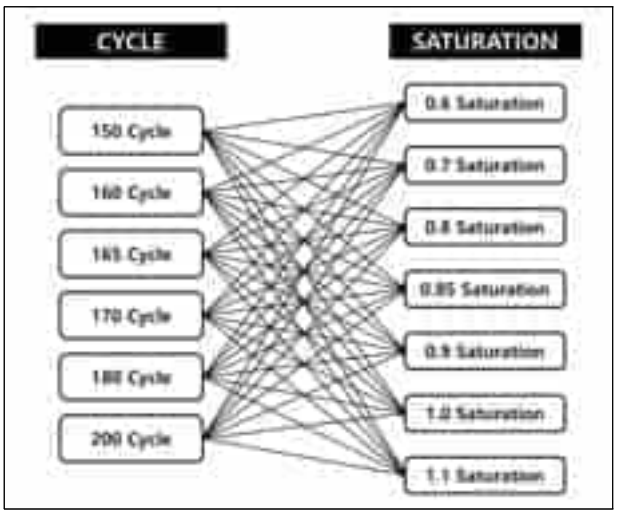
설정된 차량의 개별 Speed Factor와 주행하는 도로의 제한 속도를 곱하면 Free Flow에서의 목표 주행 속도가 결정되고, SUMO에서 제공하는 다양한 차량 통행 기반 결과 데이터 중 Time Loss의 경우 결정된 목표 주행 속도 이하로 주행함으로써 손실된 시간을 의미하고 있다. Time Loss는 교차로 등으로 인한 감속 또는 정지로 인해 초래되며, 이러한 점에서 SUMO의 Time Loss와 도로용량편람의 제어지체는 개념적 정의가 유사하다고 볼 수 있다.

2. 시나리오 및 분석 방법

1) 시나리오 구성

본 연구에서는 안성시 38번 국도에 위치한 만정사거리를 대상지로 선정하였다. 시뮬레이션 수행에 사용할 신호 제어 정보의 경우 실제 대상지에서 운영한 신호 이력을 조사하여 활용하였으며, 주기별 차로군의 용량에 따라 0.6 ~ 1.1 수준의 포화도에 대한 교통량을 계산해 <그림 2>와 같이 42개의 시나리오를 구성하였다.

<그림 1> 만정사거리 위성사진



<그림 2> 시뮬레이션 시나리오

2) 분석 방법

시뮬레이션은 3,600초(1시간)로 수행하되, 대상지 교차로 내부에 충분한 교통량이 진입하여 통행하는 시간적 여유를 고려해 1,200초 이후부터 수집되는 데이터를 시간 단위로 보정하여 사용하였다.

시뮬레이션 결과 데이터를 활용하여 도로용량편람의 제어지체를 계산하고 분석하기 위해 제어지체 산정 시 필요한 도착교통량(V)과 초기 대기 차량 대수(Q_b)를 추출하고자 SUMO의 시뮬레이션 검지기를 사용하였다. 사용한 검지기 종류 및 기능은 다음과 같다.

• Multi-Entry-Exit Detectors : 진입부와 진출부에 검지기가 세트로 설치되어 진입 및 진출 이벤트를 실시간으로 감지하고, 해당 구간의 교통의 흐름을 추적할 수 있다. 진입부 및 진출부를 각각 다른 차선으로 구성하여 설치할 수 있기에 여러 개의 검지기를 통해 동일한 진입부에서 여러 진출부로 이어지는 이동 경로별 검지가 가능하고, 검지기를 통해 시뮬레이션 기간 통과한 교통량과 전체 통과 차량의 Time Loss 합계를 집계할 수 있다. 도로용량편람에서는 제어지체를 차로군별로 계산한 후 접근로별로 종합하고, 접근로별 제어지체를 종합하여 교차로 전체에 대한 평균 제어지체를 산정하고 있으므로 해당 검지기를 대상지 교차로 각 접근로의 이동류별로 설치하여 데이터를 수집하였으며, 통과한 교통량은 도로용량편람의 도착교통량(V)으로 사용하였다.

• Lane area Detector : 차선의 특정 구간에서 교통의 흐름을 추적하며, 시뮬레이션의 신호프로그램과 연동하여 현시별로 데이터를 추출할 수 있다. 따라서, 검지기를 교차로 전체 차선에 설치함으로써 각 현시 동안 차선별로 관측된 교통량과 통과한 교통량을 집계할 수 있으며, 관측된 교통량과 통과한 교통량의 차이를 계산하여 도로용량편람의 초기 대기 차량 대수(Q_b)로 사용하였다.

구성한 시나리오의 신호계획과 포화도에 따른 교통량으로 시뮬레이션을 수행하여 시뮬레이션 검지기를 통해 도착교통량(V)과 초기 대기 차량 대수(Q_b)를 추출 후 이를 도로용량편람의 제어지체 산정 과정 중 서비스 수준 판정 과정에 대입하여 제어지체를 계산하였다. 도로용량편람의 차량당 평균 제어지체 산정 전체 과정은 <그림3>과 같다.

출처 :「도로용량편람」, 국토교통부, 2013

<그림 3> 신호교차로 분석 과정

위 과정을 통해 계산된 차량당 평균 제어지체와 접근로별 Multi-Entry-Exit Detectors에서 시뮬레이션 기간 집계된 전체 통과 차량의 Time Loss를 통과 차량의 대수로 나눈 개별차량의 Time Loss 데이터를 그래프로 시각화하여 변화 추이를 확인하였다. 또한, 두 집단의 분산 및 평균 차이를 비교하고 그 차이가 통계적으로 유의미한지 평가하기 위해 F-검정과 t-검정을 각각 수행하였다.

2. 분석 결과

시나리오별 SUMO 시뮬레이션에서 추출된 개별 차량의 평균 Time Loss와 도로용량편람의 차량당 평균 제어지체 데이터는 아래 <표 1>과 <표 2>에 제시되어 있다.

Time Loss와 차량당 평균 제어지체는 신호 주기 및 포화도에 따라 변동하고 있으며, 포화도가 증가할수록 차량이 경험하는 Time Loss 및 제어지체가 증가하는 경향을 보인다. <그림 3>은 시나리오별 Time Loss와 제어지체의 추이를 그래프로 나타낸 것으로, 포화도의 증가에 따른 두 데이터의 상승 추세를 시각적으로 확인할 수 있다.

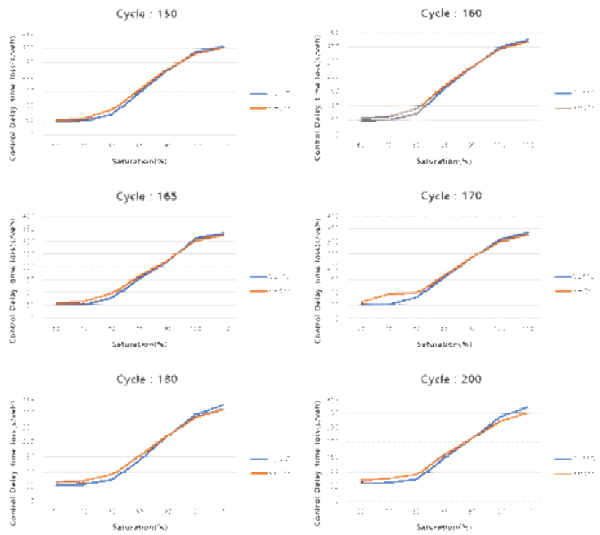
이러한 결과는 SUMO 시뮬레이션에서의 Time Loss와 도로용량편람의 차량당 평균 제어지체가 주기와 포화도의 변화에 따라 유사한 패턴을 나타내고 있음을 보여준다.

<표 1> 주기 및 포화도별 교차로 time loss(초/대)

Saturation \ Cycle(s)	150	160	165	170	180	200
0.6	45.33	49.03	50.68	52.66	54.20	60.23
0.7	49.79	50.50	52.96	54.18	56.47	61.80
0.8	70.86	71.47	78.28	79.50	70.78	72.82
0.85	147.15	158.25	156.05	160.93	140.89	145.88
0.9	222.05	230.75	220.55	237.55	221.90	212.13
1.0	287.09	299.98	315.51	310.55	295.59	287.72
1.1	306.19	325.13	334.41	337.82	327.13	321.03

<표 2> 주기 및 포화도별 교차로 제어지체(초/대)

Saturation \ Cycle(s)	150	160	165	170	180	200
0.6	52.46	57.18	59.54	61.44	63.62	69.49
0.7	57.82	62.53	65.25	92.91	68.79	74.95
0.8	87.59	88.48	96.12	97.06	88.72	89.35
0.85	157.84	168.51	166.70	169.25	155.60	158.12
0.9	227.23	233.82	225.99	238.76	223.05	211.94
1.0	280.10	292.84	304.83	300.37	285.64	272.79
1.1	300.83	318.43	324.09	327.10	313.44	300.80



<그림 4> 시나리오별 결과

다음으로, SUMO의 Time Loss와 도로용량편람의 제어지체 데이터들에 대해 F-검정과 t-검정을 수행하였다.

F-검정은 두 집단의 분산이 유사한지 검증하는 통계적 기법이다. F-검정 수행 시 귀무가설과 대립가설은 식(9)과 같이 설정하였으며, 결과는 <표 3>에 제시되어 있다. 유의수준 0.05에서 검정한 결과, p-value가 0.2698로 유의수준인 0.05보다 크게 나타났다. 따라서 귀무가설을 기각할 수 없었으며, 두 집단은 등분산성을 만족한다고 판단되어 등분산을 가정한 t-검정을 수행하였다.

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2 \text{ (두 집단 분산이 동일하다.)} \quad (9)$$
$$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2 \text{ (두 집단 분산이 동일하지 않다.)}$$

<표 3> F-검정 결과

	SUMO Time Loss	KHCM Control Delay
Mean	168.6612	173.6040
Variance	11859.9303	9778.8688
Sample Size	42	42
Degrees of Freedom	41	41
F-value	1.21281	
p-value	0.2698	
Critical F-value	1.6816	

t-검정은 두 집단의 평균이 유의미하게 다른지를 검증하기 위한 통계적 기법이다. t-검정 수행 시 귀무가설과 대립가설은 식(10)과 같이 설정하였으며, 결과는 <표 4>에 제시되어 있다. 유의수준 0.05에서 검정한 결과, p-value가 0.8282로 유의수준인 0.05보다 크게 나타났다. 따라서 귀무가설을 기각할 수 없었으며, 두 집단의 평균이 유의미하게 다르지 않다고 결론지을 수 있었다.

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 \text{ (두 집단 평균이 동일하다.)} \quad (10)$$
$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \text{ (두 집단 평균이 동일하지 않다.)}$$

<표 4> 등분산 가정 t-검정 결과

	SUMO Time Loss	KHCM Control Delay
Mean	168.6612	173.6040
Variance	11859.9303	9778.8688
Sample Size	42	42
Degrees of Freedom	82	
t-value	-0.2178	
p-value	0.8282	
Critical t-value	1.9893	

F-검정과 t-검정을 통해 SUMO의 Time Loss와 도로용량편람의 차량당 평균 제어지체는 통계적으로 유사하다는 결론을 도출하였다. 이는 두 데이터가 교차로의 서비스 수준 평가에 있어 상호 보완적으로 활용될 수 있음을 보여준다.

III. 결론

1. 시사점

본 연구에서는 SUMO 시뮬레이션의 결과 데이터 중 하나인 Time Loss와 SUMO 시뮬레이션 환경에서 검지한 교통량 및 초기 대기차량 데이터를 도

도로용량편람의 지체 산정 과정에 대입하여 계산한 차량당 평균 제어지체의 유사성을 시각적으로 확인하고 통계적 기법을 통해 검증해보았다.

그 결과, SUMO의 Time Loss와 도로용량편람의 차량당 평균 제어지체는 주기와 포화도에 따라 유사한 변화 패턴을 보인다는 것을 확인할 수 있었으며, 두 데이터는 통계적으로도 유사하다는 결론을 도출할 수 있었다.

따라서, SUMO를 통해 신호교차로 네트워크를 구성하고 시뮬레이션을 수행할 경우 Time Loss를 신호교차로의 서비스 수준 평가 척도로써 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 이는 SUMO의 결과가 도로용량편람의 전통적인 평가 방법과 유사한 신뢰성을 가지며, 두 방법을 상호 보완적으로 활용할 수 있다는 것을 시사한다.

2. 향후 연구과제

최근 현실의 데이터를 실시간으로 수집해 가상의 공간에 모사하는 Digital Twin 기술이 교통 분야에서도 주목받고 있다.

SUMO와 같은 미시교통 시뮬레이션 도구는 Digital Twin 환경에서의 교통의 흐름 예측 및 분석에 있어 유용하게 활용될 수 있으며, 시뮬레이션 결과를 통해 실제 교통 상황에 대해 정밀한 분석이 가능하다. 또한, 자율주행환경에서 만들어지는 다양한 교통 신호 운영 시나리오들을 평가할 때, SUMO와 같은 시뮬레이션 기술을 접목한다면 기존의 현장 조사를 통한 사전, 사후 평가 방식을 탈피할 수 있어 새로운 신호 제어 기술의 개발 및 평가 시 많은 조사 비용과 평가 시간을 단축시킬 수 있을 것으로 판단된다.

따라서, 향후 연구에서는 SUMO와 같은 시뮬레이션 모형을 Digital Twin 플랫폼에 접목하여 데이터 간 연계 방안을 모색하고, 수집된 실시간 교통 데이터를 바탕으로 여러 시나리오의 신호 운영 방법을 시뮬레이션으로 수행함으로써 실시간으로 최적의 운영 방법을 도출하는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

사사

이 논문은 2024년도 정부(경찰청)의 재원으로 과학치안진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구입니다.(No.092021C29S01000, 네트워크 제어를 위한 교통정체 및 혼잡 운영관리 기술 개발)

참고문헌

1. Simulation of Urban MObility, SUMO User Documentation, 2024. 09. 10 검색, https://eclipse.dev/sumo/.
2. 국토교통부. (2013). 「도로용량편람」.
3. Alvarez Lopez, P., Behrisch, M., Bieker-Walz, L., Erdmann, J., Flötteröd, Y. P., Hilbrich, R., Lücken, L., Rummel, J., Wagner, P., Wießner, E. (2018). Microscopic traffic simulation using SUMO. In 2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), Maui, Hawaii, USA, November 4-7, 2018 pp. 2575-258.
4. Raju, N., Farah, H. (2021). Evolution of Traffic Microsimulation and its Use for Modeling Connected and Automated Vehicles. Journal of Advanced Transportation, 2021, Article 2444363.
5. 김상구·윤일수·오영태·안현경·권건안·홍두표. (2014). 도로용량편람 신호교차로 성능지표 분석을 위한 차로군 분류의 적정성 평가. 「한국ITS학회논문지」, 13(1), 109-126.
6. Clemente, M. L. (2022). Building a real-world traffic micro-simulation scenario from scratch with SUMO. SUMO User Conference 2022.

한국 ITS학회 2024년도 추계학술대회

앞막힘 제어를 위한 신호체계 알고리즘 연구

A Study on the Signal Control Algorithms for Spillback Control

김영욱 공주대학교 석사과정

KONGJU NATIONAL UNIVERSITY

01 연구 배경 및 목적

연구의 배경

- [illegible]
- [illegible]

연구의 목적

"첨두시 원활한 교통흐름을 제공하기 위해 **신호체계 개선 및 알고리즘 구축**이 필요함"

02 신호체계 알고리즘 구축

03 종합결론

종합결론

- 분석결과, 알고리즘 적용시 분석 대상지의 첨두시간대 교차로 꼬리물기 현상이 많이 개선되고, 지체시간 및 대기행렬이 감소하여 차량 통과대수가 늘어나는 것으로 분석되었음
- 이러한 결과는 신호체계 알고리즘을 적용하여 신호를 개선하는 것이 효과적임을 의미하며, 이는 출퇴근 시간대의 교통 문제를 완화하는데 기여할 것으로 기대됨

한계점 및 향후 연구방안

- 도로 환경의 변화에 따른(도로 사고, 공사 등 돌발사건) 교통흐름에 미치는 영향을 반영하여 연구할 필요가 있음
- 향후 다양한 검지기의 형태에 따른 알고리즘 구현 방안을 개발해야함

감사합니다

DSRC를 이용한 도시부 신호 운영을 위한 정보 가공에 대한 타당성 검토

신희준(명지대학교, 석사과정), 홍영석(명지대학교, 연구교수)

2024. 10. 24

목차

1. 서론
2. 이론적 배경
3. 시뮬레이션 분석
4. 시뮬레이션 분석 결과
5. 결론

1.서론

연구 배경 및 필요성

- 현재 실시간 신호 제어를 위해 영상 검지기(CCTV), 루프 검지기 등이 사용되고 있음
- CCTV의 경우 검지 영역이 짧고 과포화 상태를 확인하지 못하며, 루프 검지기의 경우 설치 시 도로 파손이 발생하며, 설치 수가 많지 않음
- 본 연구에서는 현재 상당수의 보급이 진행 중인 DSRC를 이용한 도시부 신호 운영을 진행하려 함

연구 목적

- 본 연구에서는 특정 조건에서 DSRC를 통한 회전 정보에 대한 신뢰성 검토를 목적으로 함
- 본 발표에서는 시뮬레이션을 활용한 분석을 진행하였으며, 향후 실제 도로에 적용하여 분석을 실시할 계획임

2.이론적 배경

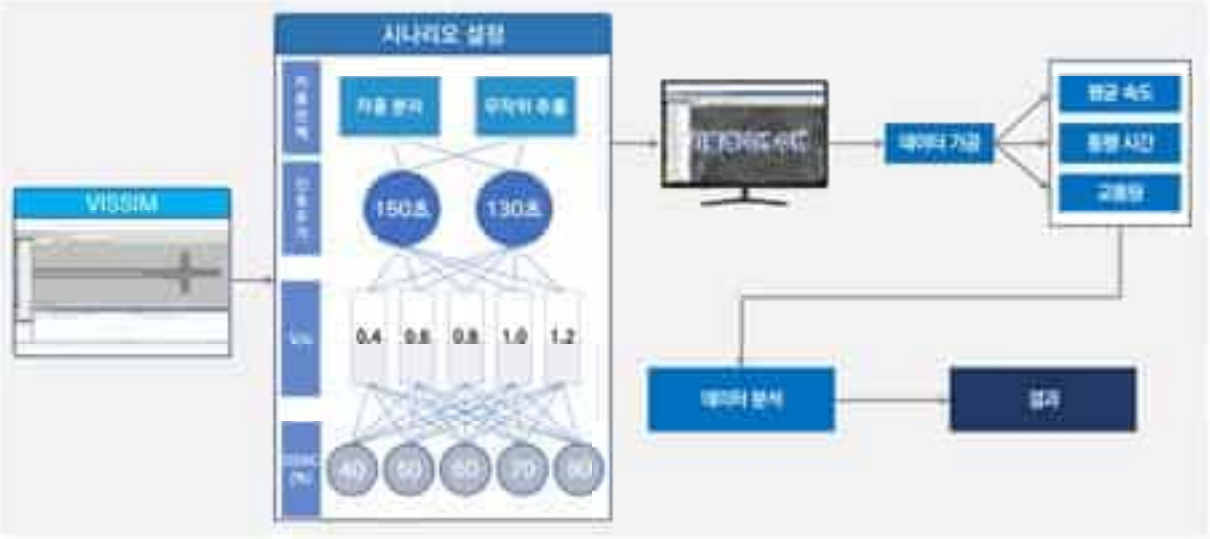
DSRC

- DSRC-RSE와 차량에 장착된 Hi-pass간 통신을 이용한 구간 검지정보를 수집하여 이를 소통정보로 가공한 뒤 VMS, 교통정보 사이트 등 정보제공 시스템을 이용하여 정보를 제공함
- DSRC 수집 장치와 신호제어기를 통합한 정보 수집 체계에 대한 연구 진행중
- DSRC 통과 시 신호 링에 관한 정보를 연결하여 실시간 차량 회전 정보를 수집함

CCTV	루프 검지기	DSRC
자료: 파이낸셜뉴스 [illegible]	자료: 연합뉴스 [illegible]	자료: 경찰서 지능형 교통체계 [illegible]
도로 위 주요 지점에 설치되어 소통상황 및 돌발상황 확인 가능	주요 지점 및 진입부에 설치 되어 소통상황 및 소요시간 정보 등 1분 간격으로 제공	노변기지국과 라이캐스를 통한 근거리 무선통신 등 통해 실시간 암호화된 교통정보 센터로 전송

3. 시뮬레이션 분석

연구 프로세스



3. 시뮬레이션 분석

시나리오 설명

- DSRC 차량의 비율을 VISSIM내에서 차종 분리와, 무작위 추출 방식을 사용하여 DSRC 비율을 설정하였음
- 본 연구에서는 2003 「도로용량편람」 지로군의 용량 산정식을 활용하여 V/c를 산정함
- 일반적인 왕복 4차로 신호교차로 구간을 분석 지점으로 선정함
- 데이터 집계단위를 5분으로 설정하여 첨두기와 비첨두기인 150초와 130초를 신호주기로 선정함

3. 시뮬레이션 분석

데이터 가공

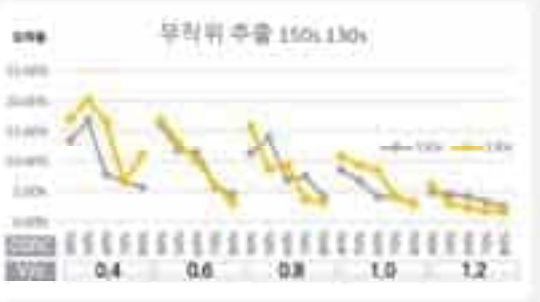
- VISSIM 시뮬레이션 결과 값을 가공하여 평균 속도, 평균 통행 시간, 교통량, 통행속도 오차율을 분석함

Vic 0.4		2주기 구간별			DSRC			오차율
TimeBucket	direction	avgpd	avgtime	vehcount	avgpd	avgtime	vehcount	
0	1	29.54306	81	4	42.2487	45	1	43.0%
	2	37.25226	61	29	34.45826	66	24	7.5%
300	1	16.68732	122	4	17.72133	117	3	6.2%
	2	33.56086	69	45	32.19802	72	36	4.1%
600	1	20.77195	94	3	22.04152	89	2	6.1%
	2	31.52641	70	41	31.69146	69	33	0.5%
-	-	-	-	-	-	-	-	-
6900	1	14.59237	134	1	14.59237	134	1	0.0%
	2	33.57641	68	30	32.96965	69	29	1.8%

4. 시뮬레이션 분석 결과

교통량, DSRC 비율에 따른 오차율

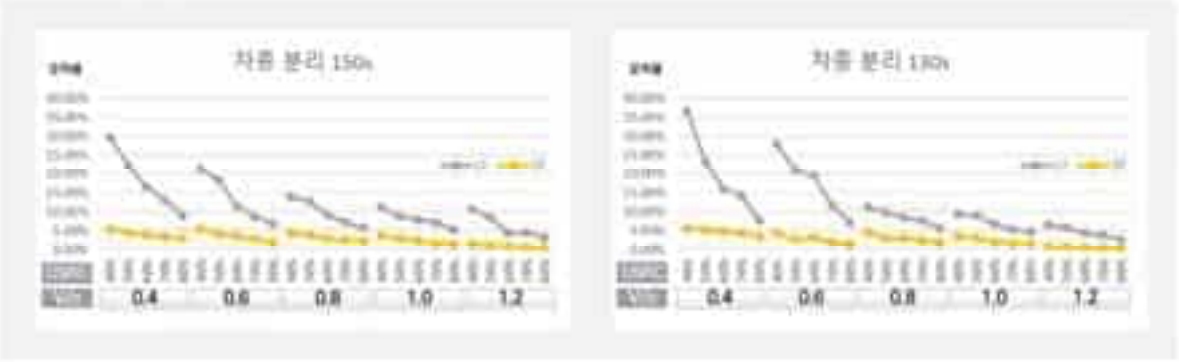
- 정주기인 150초와 비정주기인 130초의 통행속도 오차율을 비교함
- 분석 결과 가공 주기를 300초로 하였을때, 신호 주기가 크게 영향을 미치지 않는 것으로 판단됨



4. 시뮬레이션 분석 결과

회전별 오차율

- VISSIM내에서 차종 분리하여 DSRC 비율을 산정하였을때 회전별 통행속도 오차율을 비교함
- 직진의 경우 오차율이 낮지만 좌회전의 경우 교통량이 적을수록, DSRC 비율이 적을수록 오차율이 증가함
- 좌회전에 대한 정확도 보완 필요



4. 시뮬레이션 분석 결과

회전별 오차율

- 데이터 가공상에서 무작위 추출하였을 때, 회전별 통행속도 오차율을 비교함
- 직진의 경우 전반적으로 낮은 오차율을 보이지만, 좌회전의 경우 교통량이 적고, 특히 DSRC 비율이 적을때 오차율이 크게 나타남

4. 시뮬레이션 분석 결과

검증결과

- 신호 주기별 차종 분리, 무작위 추출 모형 t-검정 결과 모두 p-value값이 0.05 이상으로 유사한 평균값을 가지는 것을 확인함

신호주기	150s		130s	
차종 구분	차종 분리	무작위 추출	차종 분리	무작위 추출
평균	0.06964	0.0762	0.07064	0.08504
분산	0.001436	0.001805	0.002304	0.003194
관측수	25	25	25	25
공통(Pooled) 분산	0.001621		0.002794	
가설 평균차	0		0	
자유도	48		48	
t 통계량	-0.53853		-0.87900	
P(T<=t) 단측 검정	0.289533		0.186222	
t 기각치 단측 검정	1.677224		1.677224	

11

5. 결론 및 향후 연구과제

결론

- 교통량이 높고, DSRC 비율이 증가할수록 정확도가 증가하는 것을 확인함
- 특정 조건에서는 DSRC를 사용한 정보 가공에 대한 타당성이 존재한다고 판단되나, 모든 조건에 대한 정확도 향상이 필요함
- 따라서 교통량이 적고, DSRC 비율이 낮은 상황에서 정확도 보완이 필요한 상황임

향후 연구과제

- 본 연구에서는 DSRC 검지율을 100%로 가정하여 분석을 진행하였으나, 현실 적용을 위해 다양한 Case에 대한 테스트가 추가로 요구됨
- 따라서 DSRC 검지율에 따른 정확도에 대한 검증을 실시할 예정임
- 또한 복잡한 네트워크 시뮬레이션에서의 정확도 분석과 타당성 검토를 실시하고자 함

12

감사합니다.

신호 연동성 평가를 위한 DSRC 및 영상검지기 기반 차량 궤적 모사

Vehicle Trajectory Reconstruction through Fusion of Dedicated Short-range Communication and Video Detection Data for Signal Progression Evaluation

안 정 은 (서울시립대학교, 석사과정)
김 민 지 (서울시립대학교, 박사과정)
한 여 희 (서울시립대학교, 연구교수)
김 영 찬 (서울시립대학교, 교수)

Key Words : DSRC, 영상검지기, Variational Theory, 차량 궤적 모사, 연동성 평가

목 차

Ⅰ. 서론
Ⅱ. 본론
1. DSRC 데이터 전처리
2. DSRC 검지차량 궤적 모사
3. DSRC 비검지차량 궤적 모사
4. 시뮬레이션 분석
Ⅲ. 결론

Ⅰ. 서론

도로축 내의 효율적인 신호 연동은 해당 구간을 주행하는 차량들이 정지하지 않고 교차로를 통과할 수 있도록 한다. 신호 연동의 효율성은 운전자들이 해당 교차로를 경험할 때의 만족도에 영향을 미치기 때문에 신호 연동이 효율적으로 되어있는지에 대한 평가가 필요하다. 과거에는 사전에 설정된 신호운영계획 기반의 연동성 평가가 진행되었다. 이는 하나의 주행속도를 이용하여 신호 연동성을 분석하기 때문에 실제 도로 상황을 반영하는 데에 한계가 있었다. 해당 구간을 주행한 차량들의 주행 궤적 데이터를 이용하여 연동성을 평가할 경우 실제 차량들의 주행 행태를 고려한 연동성을 평가할 수 있다.

그러나 현재 도로에서 모든 차량들의 궤적 정보 수집은 비용 등의 문제가 있어 어렵다. 이에 기존 CV(Connected Vehicle), DSRC, 영상검지기 등의 정보수집원을 이용해 새로운 교통정보를 생성하는 연구들이 진행되고 있다. 2023년 6월 기준 국내 하이패스 보급률이 90% 이상으로 증가하였고 도로교통공단은 이러한 DSRC 정보를 이용하여 구간 통행시간 정보를 생성하는 기술을 개발하였다. DSRC 정보를 신호정보와 연계하여 수집하는 기술 또한 개발되었다. 신호정보와 연계되어 수집되는 DSRC 정보는 지점교통정보의 수집이 가능한 영상검지기 정보와 융합되어 보다 정확한 차량 궤적을 모사하는 데에 사용이 가능하다.

본 연구에서는 DSRC와 영상검지기 정보를 이용하여 차량 궤적을 추정하고자 한다. DSRC와 영상검지기 정보를 융합하여 DSRC 검지차량의 궤적을 모사한다. 이후 모사한 DSRC 검지차량 궤적을 기반으로 Variational Theory를 이용해 DSRC 비검지차량 궤적을 모사하고자 한다. 최종적으로 모사된 차량의 궤적을 이용해 도로축의 신호 연동성을 파악하고자 한다.

Ⅱ. 본론

1. DSRC 데이터 전처리

DSRC 검지기는 개별 교차로 단위로 차량의 교차로 통과 시점 및 교차로 통과 시 현시정보를 수집한다. 개별 교차로 단위의 DSRC 데이터를 이용하여 특정 구간을 주행한 차량의 궤적을 모사하기 위해서는 DSRC 데이터 전처리 과정이 필요하다. 전처리 과정을 통해 특정 구간을 주행한 개별 차량에 대한 통행데이터를 생성한다.

수집된 DSRC 데이터에서 실제 분석에 사용할 데이터만을 선별한다. 분석하고자 하는 구간의 DSRC 검지기가 설치된 교차로를 모두 통과한 차량만을 선별한다. 이후 차량통행시간을 기반으로 데이터를 필터링한다. 이후 중위절대편차법(MAD, Median Absolute Deviation), Voting Rule을 이용하여 잔여 이상치를 제거한다.

2. DSRC 검지차량 궤적 모사

전처리된 DSRC 데이터와 영상검지기 정보를 이용하여 DSRC 검지차량 궤적을 모사하였다. DSRC 검지차량 궤적 모사 시, 전처리된 DSRC 데이터, 영상검지기 데이터 중 최대대

기행렬 정보, 현시 운영 정보를 사용하였다.

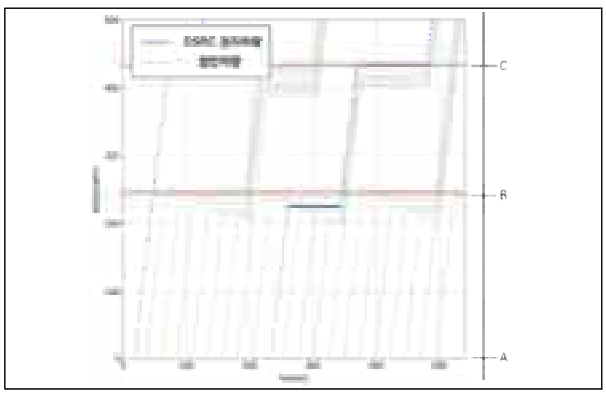
개별 차량이 해당 구간을 자유통행속도로 주행하고 대기행렬 가장 마지막에 위치한다 가정하고 1차 궤적을 생성하였다. 1차 궤적 생성 후 발생하는 실제 DSRC 데이터와의 오차는 대기행렬 내 차량의 위치, 차량 속도를 조정하여 보정한다.

궤적을 통해 산출해낸 예측 도착 시간이 실제 도착 시간보다 일정 시간 이상 차이가 나는 경우 오차를 보정한다. 예측 도착 시간이 실제 도착 시간보다 이른 경우, 차량이 속도를 조정한다. 예측 도착 시간이 실제 도착 시간보다 느린 경우, 대기행렬 내의 위치를 조정하고 이후에도 오차가 발생하는 경우 차량의 속도를 조정한다.

3. DSRC 비검지차량 궤적 모사

DSRC 비검지차량 궤적을 모사하기 위해 Variational Theory 기반 차량 궤적 모사 방법론을 설계하였다. 기존 Variational Theory는 차량의 속도가 하나의 값으로 동일하다 가정하여 개별 차량들의 속도 차이를 반영하지 못하였다. 이에 본 연구에서는 DSRC 검지차량이 진입할 때마다 개별 차량의 주행속도에 따라 좌표계를 재설정하여 개별 차량의 주행속도 차이를 반영하고자 하였다.

모사된 DSRC 검지차량 궤적, 영상검지기의 통과교통량 정보를 이용하여 DSRC 비검지차량 궤적을 모사한다. DSRC 검지차량을 선행차량, DSRC 비검지차량을 후행차량으로 설정하여 선행 DSRC 검지차량의 주행행태를 따르는 후행 DSRC 비검지차량들의 궤적을 모사하였다. 이때, DSRC 차량이 앞서 주행하는 차량을 추월하면 후행 DSRC 비검지차량들도 동일하게 해당 차량을 추월하는 형태로 나타난다. 모사된 DSRC 비검지차량 궤적은 <그림 1>와 같다.

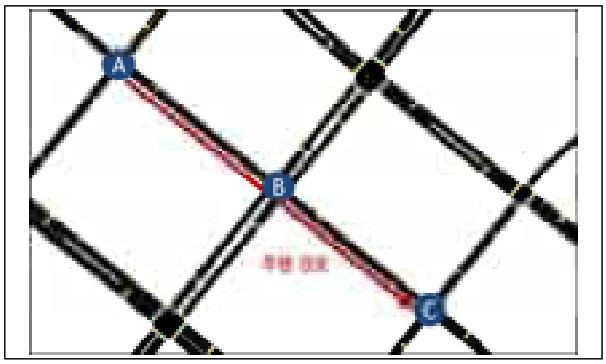


<그림 1> DSRC 검지차량 / 비검지차량 궤적 생성 결과

이처럼 선행 DSRC 차량이 같은 차량군은 FIFO(First-In First-Out), 서로 다른 차량군은 non-FIFO 형태로 나타난다. 이를 통해 다차로 환경에서 차로별 차량들의 주행 속도 차이를 나타낼 수 있다.

4. 시뮬레이션 분석

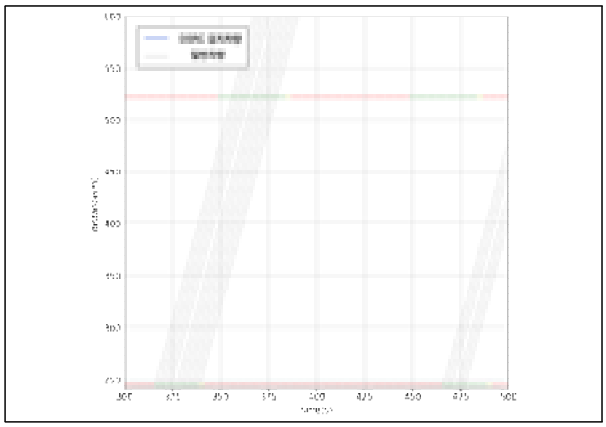
제안 방법론을 통해 모사한 차량 궤적을 통해 신호 연동성을 평가하기 위해 미시적 시뮬레이션인 SUMO를 활용하여 시뮬레이션 분석을 시행하였다.



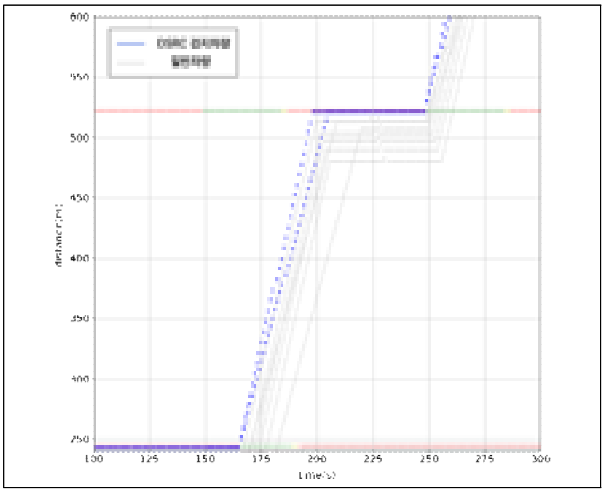
<그림 2> 미시적 시뮬레이션 대상 환경

<그림 2>의 시뮬레이션 환경에서 A, C 총 2개의 교차로에 DSRC 검지기가 설치되어 있고 A, B, C 총 3개의 교차로에 영상검지기가 설치되어 있는 환경을 가정하였다. 제안 방법론을 이용해 A-B-C 교차로를 주행하는 차량의 궤적을 모사하였다.

이후 교통축의 연동성에 따른 차량 궤적을 비교하였다. <그림 3>의 경우 교통축의 신호 연동이 잘 이루어져 있어 차량들이 교차로 접근 시 정지하지 않고 교차로를 통과한다. <그림 4> 의 경우 교통축의 신호 연동이 좋지 않아 차량들이 교차로에서 정지 후 출발한다. 이처럼 차량 궤적을 이용하면 교차로들의 신호 연동을 파악하는 데에 이용할 수 있다.



<그림 3> 연동성이 좋은 경우 차량 궤적



<그림 4> 연동성이 좋지 않은 경우 차량 궤적

III. 결론

본 연구는 DSRC와 영상검지기 정보를 융합하여 신호 연동성을 평가하기 위한 차량 궤적을 모사하는 방법론을 제시하였다. 제안 방법론을 통해 개별 차량 궤적 정보의 수집이 불가능한 상황에서 차량의 궤적을 모사하고 이를 통해 교통축의 연동성을 평가할 수 있었다. 제안 방법론을 통해 모사된 차량 궤적은 신호 연동성 평가뿐만 아니라 신호 운영에 대한 평가 또한 가능하게 할 것이라 기대한다.

현재 본 연구에서는 DSRC 비검지차량이 균일하게 발생한다 가정하였다. 하지만 실제 교차로 환경에서 차량은 상류부 교차로의 신호운영계획 및 이동류별 교통량에 따라 비균일하게 발생한다. 따라서, 추후 상류부 교차로의 신호운영계획 및 교통량에 따라 차량이 발생하는 환경으로 방향으로 연구를 확장할 필요가 있다.

사사표기

본 연구는 2024년도 정부(경찰청)의 재원으로 과학치안진흥센터의 지원을 받아 수행되었습니다. (네트워크 제어를 위한 교통정체 및 혼잡 운영관리 기술 개발)

참고문헌

1. Daganzo, C. F.(2005), A variational formulation of kinematic waves: basic theory and complex boundary conditions, Transportation Research Part B: Methodological, 39(10), 187-196
2. Daganzo, C. F.(2005), A variational formulation of kinematic waves: Solution methods, Transportation Research Part B: Methodological, 39(10), 934-950
3. Mehran, B., Kuwahara, M.,& Naznin, F. (2011). Implementing kinematic wave theory to reconstruct vehicle trajectories from fixed and probe sensor data. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 17, 247-268.
4. Mehran, B., & Kuwahara, M. (2013), Fusion of probe and fixed sensor data for short-term traffic prediction in urban signalized arterials, International Journal of Urban Sciences, 17(2), 163-183.
5. 박현석, 2015, DSRC를 활용하여 수집한 단속류 구간 통행시간의 신뢰도 향상 방안 연구, 서울시립대학교 대학원 박사학위논문
6. 김연수, 2023, 자율주행차와 기존 교통정보 융합을 통한 교통류 예측 모델 연구, 서울시립대학교 대학원 석사학위논문

ITS(II)

Session A-2

영상분석 기반 도시부도로 차량행태 특성 분석
길정원, 채준병, 권재경, 황재성, 이철기

고속도로 센서 미설치 구간 교통정보 추정
김태형, 민진홍, 김동규

연속류 내 상습 지정체 해소를 위한 시뮬레이션 기반 대응방안 연구
조민지, 이선하, 신승근, 서지영, 한지훈

도시부 돌발상황시 영향권 예측 모형 개발 및 검증
한재석, 차창준, 한경희, 이철기, 이상수

Payne-Whitham Model 기반 검지기 및 프로브 차량의 데이터 융합을 활용한 궤적 복원
최준희, 김동규

영상분석 기반 도시부도로 차량행태 특성 분석

아주대학교
석사과정 길정원

Content

Ⅰ 연구의 개요

Ⅱ 현황분석 및 선행연구 검토

Ⅲ 연구 방법론

Ⅳ 결론 및 향후 연구

I 연구의 개요

연구의 배경

- 4차 산업혁명에 따라 빅데이터, 인공지능(AI)과 더불어 자율주행 기술 발전 지속
  - 도로 내 자율주행차량 비율의 증가
- 자율주행차량과 일반차량이 혼재하는 교통상황 불가피
  - 혼재 상황 운영 및 관리를 위한 교통상황 변화에 대한 연구 필요
- 시뮬레이션과 Parameter 조정을 통한 연구 활발
  - 기존 차량행태 모델은 해외에서 개발된 모델로 국내 교통환경 반영 미흡

연구의 목적

◈ 본 연구는 국내 교통환경을 반영한 차량행태 모델 개발 및 변수 설정을 위한 기초 연구로 도시부도로의 차량 행태 특성을 제시하고자 함

II 현황분석 및 선행연구 검토

차량행태 모델

Car-Following	Wiedemann Model
☐ 차량추종이론은 연이어 전 후로 주행하는 두 차량 간의 차두간격, 속도, 가 · 감속도 등의 변화상태 및 상호 관계식을 규명하기 위한 이론 ☐ Pipes에 의해 처음 제안되고 그후 다양한 모델들이 개발되어 옴 ☐ 후행 차량은 선행 차량을 따른다고 가정함 ☐ 운전자는 선행 차량의 행태에 직접적으로 영향을 받고 반응하며 후행 차량을 진행시킴 ☐ 교통류의 주행 특성을 이해하고 후행 차량에 의한 추돌 사고를 최소화 할 수 있는 교통운영 기법의 이론적 토대를 제공함 ☐ 시뮬레이션에서 최대/최소/희망 가 · 감속도 값과 최대/희망 속도 값을 정의하고 ☐ 시작 지점에서 다음 지점까지 주행하는 동안 선행차량과의 Gap을 결정해야 함 ☐ Gap은 멋갈림/합류/분류 구간에 따라 달라짐	☐ 교통 시뮬레이션인 PTV Vissim에 사용 되는 모델로 연속류 모델인 99, 단속류 모델인 74모델로 구분됨 ☐ 주행하는 차량의 목표는 현재 속도 유지와 선행 차량과의 적절한 간격을 유지하는 것 ☐ 단속류 모델에서의 수식 $d = ax + bx$ $bx = (bx_{min} + bx_{add} \cdot z) \cdot \sqrt{z}$ 여기서, d : 이상적이(m), ax : 정지거리, bx : 반응거리, z : 속도(m/s) bx_{min} : Additive part of Safety Distance bx_{add} : Multiplicative part of Safety Distance z : 0과 1 사이의 임의 값(일반분포, $avg = 0.6$, $sd = 0.15$) ☐ 연속류 모델에서는 거리, 속도, 가속도와 관련된 매개변수를 가짐

II 현황분석 및 선행연구 검토

› 차량행태 모델

Lane-Change

- 차로변경은 추종 상황과 함께 운전자가 목적지까지의 주행 과정에서 취하게 되는 가장 기본적인 교통류 형태
- 차로 변경의 목적에 따라 DLC(Discretionary Lane-Change)와 MLC(Mandoatory Lane-Change)로 구분
  - 자율적인 차로 변경(DLC) : 희망속도와 주행환경 유지
  - 의무적인 차로 변경(MLC) : 목적지 도달을 위한 경로 변경
- 목적에 따라 주변 교통류에 미치는 영향이 달라지고 이에 대한 영향과 다양한 목적에 따른 차로변경 조건에 대한 연구 진행 중
- 차로 변경은 의사 결정, 차로 탐색, 간격 탐색, 변경 수행 총 4단계로 구분됨

MOBIL Model

- MOBIL(Minimizing Overall Braking Induced by Lane changes) Model은 목표차로의 효용과 차로 변경에 따른 위험요소를 차로 변경 발생의 조건으로 가정함
- 효용판단 임계값(가 · 감속도, 안전거리)을 만족할 경우 차로 변경을 수행하여 주변차량 고려지표 조정을 통해 운전자의 행태를 반영함

Value	설명
p(1)	• [illegible]
Dlc(1/3)	• [illegible]
P=0	• [illegible]
P(3)	• [illegible]

- 연속류 내에서 차로 변경 실행 조건

$$\tilde{a}_1 - a_1 + p(\tilde{a}_2 - a_2 + \tilde{a}_3 - a_3) > \Delta a_{th}$$

a_1, a_2, a_3 : 차량 후 방향 가산변경 전 가속도
$\tilde{a}_1, \tilde{a}_2, \tilde{a}_3$: 차량 후 방향 가산변경 후 가속도
p : politeness 계수
Δa_{th} : 조율 안전 임계값

III 연구 방법론

› 연구 수행 절차

대상지 선정 및 촬영

- 링크길이, 제한속도 등 고려
- 도시부도로 중 내 지점 선정
- 객체인식 정확도를 위한 수직 상공 촬영

변수 산출

- 속도 및 주행·정지시 차간거리 변수 선정
- 객체 인식 및 좌표를 활용하는 코드 작성
- 대상지별, 접근로별 변수 산출

특성 분석

- 대상지별 변수를 통해 차량행태 특성 분석
- 링크길이, 제한속도, 접근로별 특징에 따른 비교 분석

III 연구 방법론

대상지 선정 및 영상 촬영

- 도시부 도로 내에서 링크길이, 차선, 제한속도 등을 고려하여 분석대상지 선정
- 드론을 활용하여 도로 수직 상공 촬영

차량형
수동 인도해서거리
수동 비주대 상거리
수동 배동차운서거리
시흥 한울공원 인근

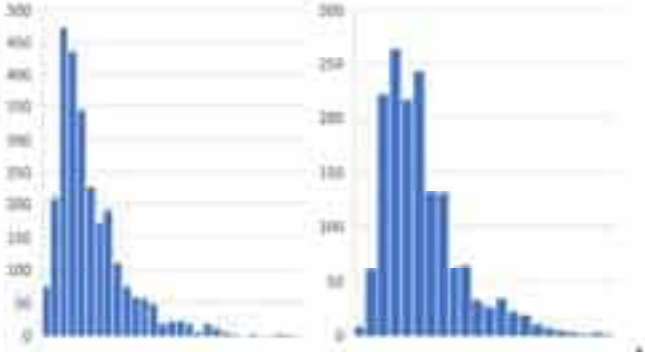
변수 산출

- 선형연구의 차량행태 모델의 주요 변수인 속도, 주행·정지 시 차간거리
- 객체인식 및 좌표를 통해 개별 차량들의 변수를 산출함

변수
속도
주행 시 차간거리
정지 시 차간거리

특성 분석

- 대상지별 변수를 통해 차량행태 특성 분석
- 대상지 내에서 접근로별 특징에 따른 분석
- 변수들 내의 상관관계 및 분포도 분석
- 제한속도, 링크길이에 따른 비교 분석



IV 결론 및 향후 연구

결론 및 향후 연구 방향

- 도시부도로의 차량행태 특성 분석
- 링크길이, 교통량, 제한속도 등 교통환경에 따라 변수의 분포가 상이함
- 다양한 도로환경을 고려하기 위해 분석범위 확대 필요
- 주요변수인 가속도 추가 산출 및 분석필요

향후 연구 절차

현재 → 적용 범위 확대 → 변수 산출 확대 → 행태모델 개발

한국ITS학회
감사합니다
Thank you for your listening

고속도로 센서 미설치 구간 교통정보 추정

Estimating Traffic State of Sensor Uninstalled Areas

서울대학교 건설환경공학부 석박사통합과정 김태형

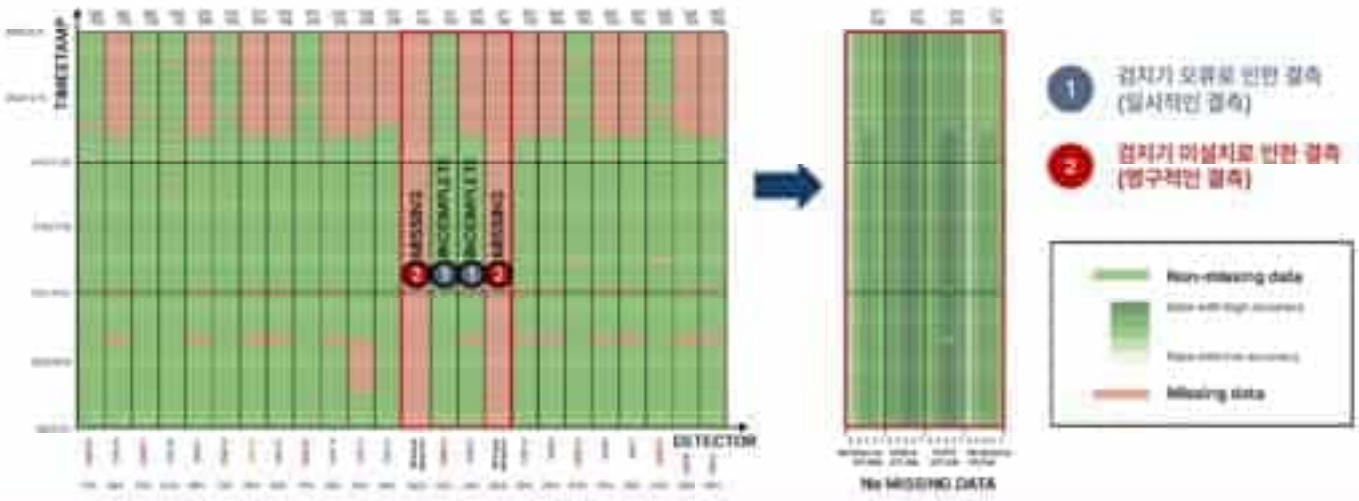
서울대학교 건설환경종합연구소 연수연구원 민진홍

서울대학교 건설환경공학부 교수 김동규

01 INTRODUCTION

1.1 연구의 배경 – 교통정보 추정이 필요한 이유

- **교통정보 추정**(Traffic State Estimation; TSE):
  도로 구간에 대한 교통량, 속도, 밀도 등 주요 교통 변수를 부분적으로 관찰된 불완전하고 잡음이 섞인 교통 데이터를 기반으로 추론하는 과정
- 교통정보를 추정하기 위해서는 주변 인프라에 설치되어 있는 검지기가 수집하는 교통정보를 필요로 하는데,
  ① 잡음이 많이 섞인 검지기 데이터 정제, ② 검지기 미설치구간 교통정보 추정을 목표로 함

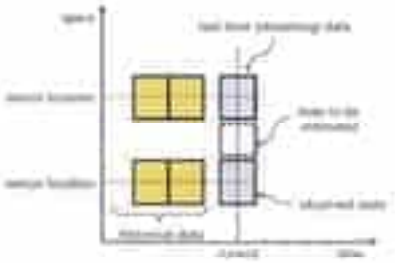


02 LITERATURE REVIEW

2.1 Model-based method & Learning-based method

Model-based method

- 교통정보를 추정하는 방식은 크게 두 가지 (Model-based, learning-based)로 나뉨 (Li et al., 2013)
  고전적인 방법에 해당하는 **model-based는 unobserved point에 대한 추정을 하는 데에 효과적**
- 유체역학을 기초로 한 교통류이론: LWR 모델 (Lighthill et al., 1955), ARZ 모델 (Zhang et al., 2002) 등이 있고,
  최근에는 미시적인 움직임을 설명한 차량추종이론을 접목한 고차원 모델들 (Seung et al., 2019)이 등장하였으나,
  원하는 교통흐름에 맞춰 정산해야하고, 시간에 따라 변화하는 복잡한 관계를 표현하기 어려움 (Qu et al., 2015)
- 시뮬레이션 프로그램들은 이러한 모델들의 연산결과를 바탕으로 교통정보를 수집할 수 있도록 도와주며,
  현실과 비슷하게 만드는 labor-intensive하고, iterative한 정산과정을 요함 (Lee et al., 2021)



Learning-based method

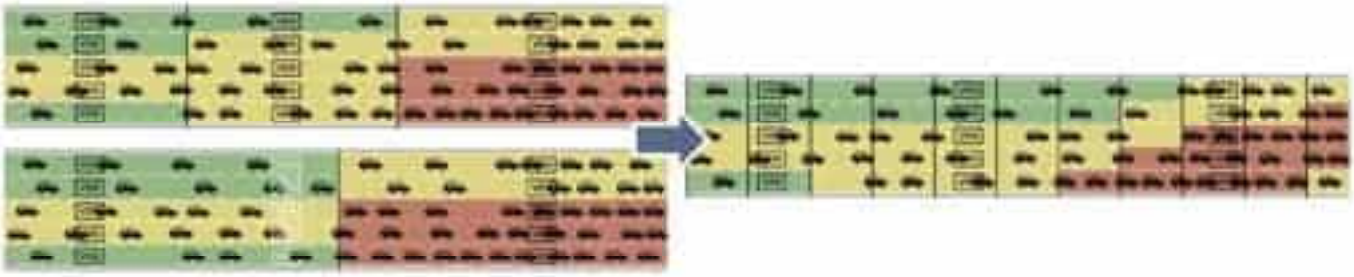
- 다양한 검지기로 여러 종류의 교통정보가 수집 가능해지고, 컴퓨터 연산능력이 발전하면서 learning-based 방법들이 각광받기 시작함
  입력하는 검지기값과 목표로하는 값과의 관계를 파악하여, 복잡한 관계를 학습을 통해 밝혀낼 수 있으나,
  참값이 없는 지점인 unobserved 지점에 대한 추정이 어려움
- ARIMA, MLP, CNN, RNN, transformer 등 다양한 모델을 활용하여 시공간적 상관성을 해결하고자 하는 노력이 있었고,
  GPS, Bluetooth (Elhenawy et al., 2015)와 같은 **미시적인 데이터를 통합하여 부족한 데이터를 보완하는 연구들이 활발히 진행 중**
- 다만, 대부분의 도로 운영기관은 미시교통정보를 구득하기 매우 어려우며,
  이러한 한계점에도 unobserved 지점들에 대한 교통정보를 추정할 수 있는 방법을 필요로 함

02 LITERATURE REVIEW

2.2 연구의 차별점

시뮬레이션으로 통해 다양한 시나리오의 데이터를 생성하고, 그 데이터를 학습하여 unobserved point 교통정보 추정

- **시뮬레이션**은 model-based method들에 기초하여 만들어짐 → **Unobserved 지점에 대한 교통정보**를 얻을 수 있음
  특정 지점, 특정 상황에 대해서만 맞는다는 점을 보완하기 위해 **다양한 시나리오를 부여하여 많은 데이터 생성**
- 어떤 시나리오의 데이터로 학습한 관계가 가장 적합한지를 learning-based method들의 도움을 받고자 함
  시뮬레이션으로 추출된 데이터를 가지고 딥러닝 모델을 학습하고자 함 → 교통의 복잡한 상관관계 파악 가능
- 상관관계를 파악할 지점의 교통정보 (교통량, 속력, 점유율)은 어떤 지점의 데이터인지 알 수 있도록
  GRU기반 멀티모달 딥러닝 구조 (Ma et al., 2024)를 활용함
- **Labor-intensive한 simulation의 calibration 혹은 미시적인 교통정보 없이, 100m 간격 차로별 교통정보를 추정할 수 있는 모델을 만들고자 함**



03 METHODOLOGY

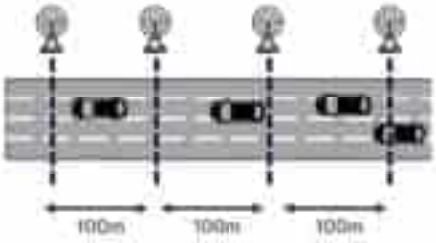
3.1 정보추정 모델의 기본적인 구조

① SUMO 시뮬레이션 내 도로 네트워크 및 시나리오 구축

- 미시 교통 시뮬레이션의 일종인 SUMO 내에 현실과 동일한 도로 네트워크 환경 구축
- 시뮬레이션은 다양한 네트워크 상에서 다양한 교통상황을 표현하는 데이터를 추출 가능

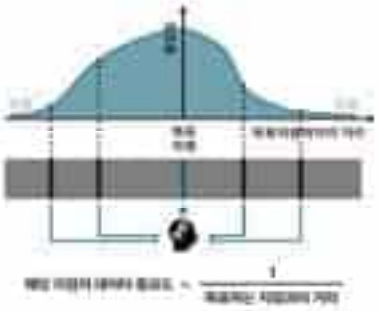
② 시뮬레이션 가상 교통정보 생성

- O/D pattern 및 car-following, lane-changing model의 parameter 조정으로 다양한 시나리오 교통정보를 추출
- 구축된 SUMO 내의 네트워크 상에서 100m 간격의 가상 검지기를 설치하여 5분 단위 차로별 교통정보 구축



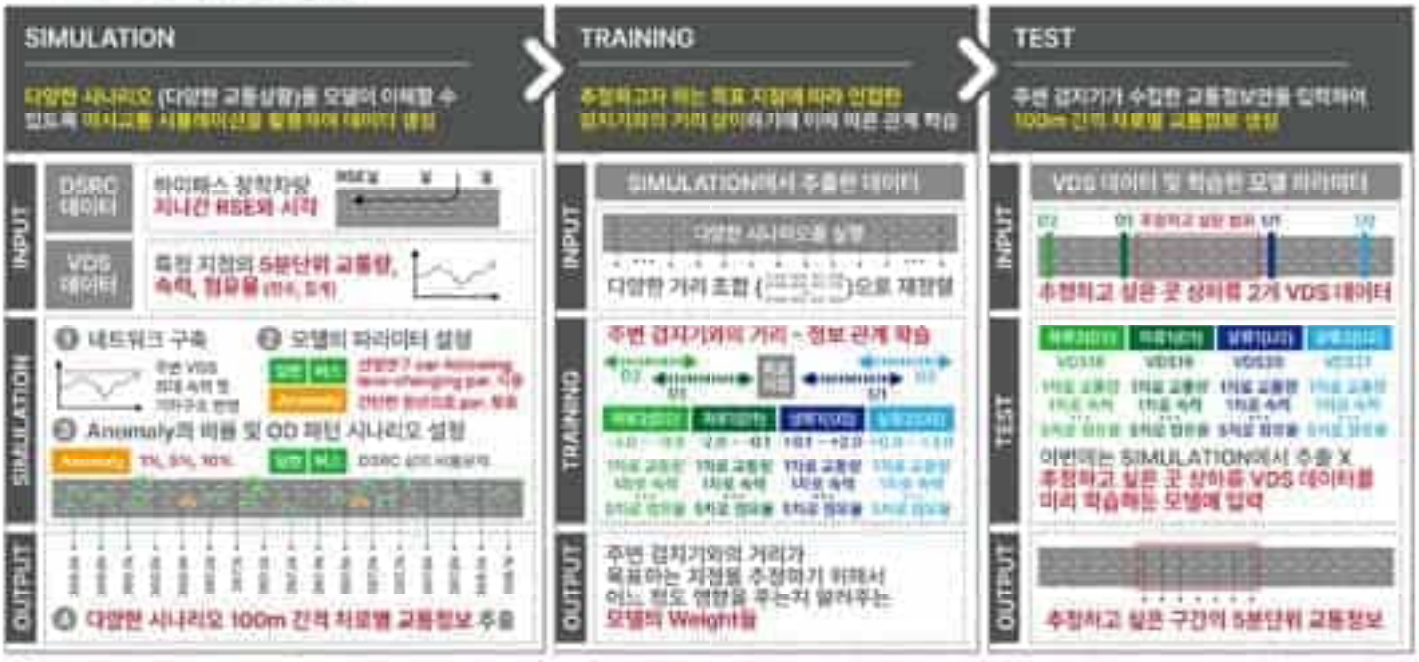
③ 추정하고 싶은 지점과 검지기 사이의 거리 - 중요도 관계 학습

- 수집된 100m 단위 교통정보를 기반으로 목표 지점과 검지기까지의 거리에 따라 달라지는 중요도(영향도) 확인
- 검지기와 목표 지점 간의 거리가 가까울수록 교통정보 추정에 미치는 영향이 큼



03 METHODOLOGY

3.1 정보추정 모델의 기본적인 구조



03 METHODOLOGY

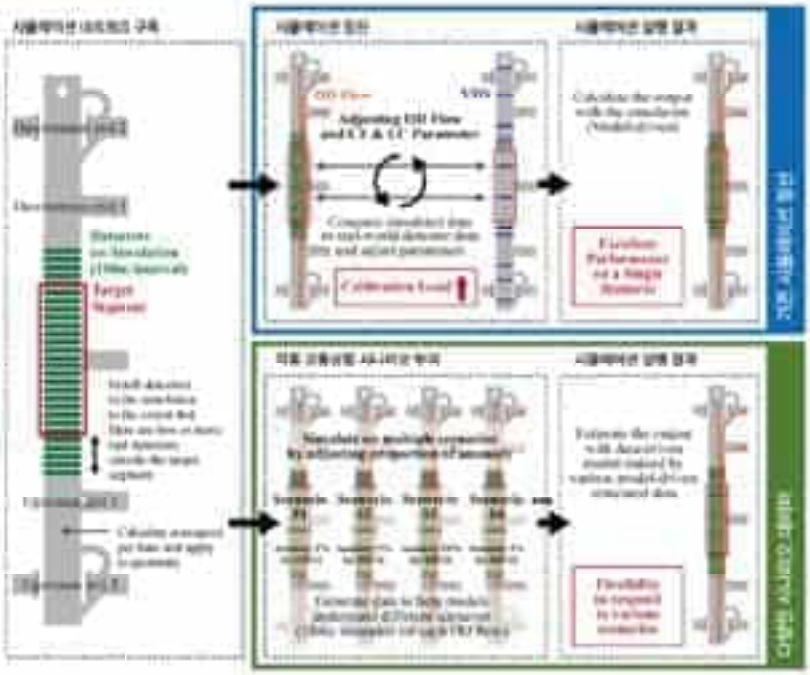
3.2 미시교통 시뮬레이션

기존 정산

- O/D 패턴을 DSRC로 파악한 후, 차량추종 모형(CF)과 차로변경 모형(LC) parameter를 조정
- 시뮬레이션을 실행하여 VDS가 설치된 지점의 교통정보를 추출
- 실제 도로 상에 설치된 VDS 교통정보와 비교하여 모형의 parameter들을 "반복적으로 조정"하는 작업

다양한 시나리오 데이터

- 최근 시뮬레이션을 활용하여 다양한 시나리오의 데이터를 만드는 연구들이 많음*
- 한달간 O/D 패턴을 파악하고, anomaly한 움직임을 가지는 차량들이 전체 교통량에서 차지하는 비율을 조정
- 다양한 거시적인 움직임 + 미시적인 움직임에 따른 차량의 움직임을 시나리오로 부여하여 시뮬레이션 실행



* Saadallah et al., 2022

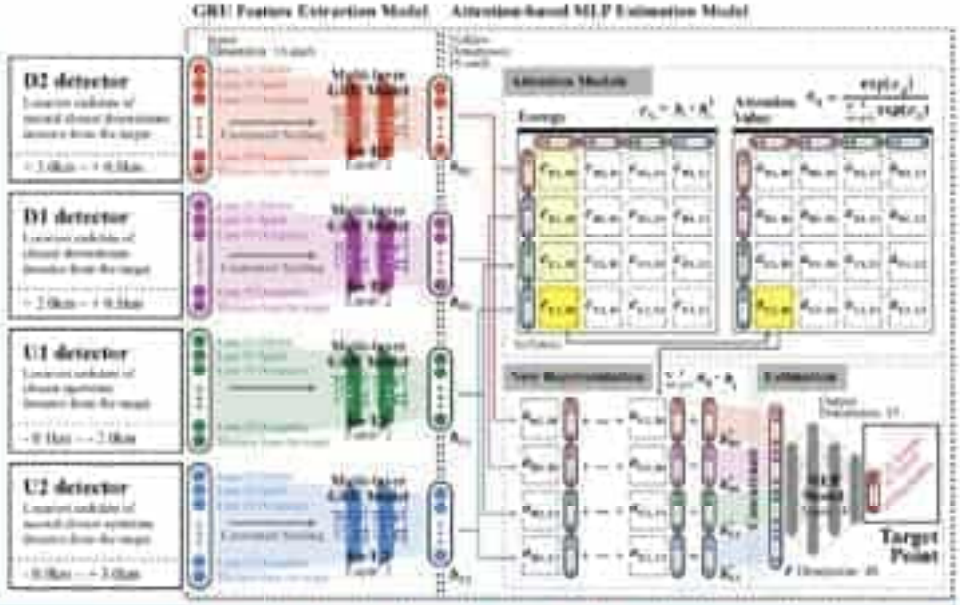
03 METHODOLOGY

3.2 미시교통 시뮬레이션

[Feature Extraction]

- 상하류 방향으로 인접한 각각 두 개의 검지기로부터 수집한 교통정보를 hidden layer 차원으로 표현하는 역할을 수행함
- 시공간 상관성을 잘 설명할 수 있는 GRU 모델을 활용하여 특성을 추출함

- CustomMinMax Scaler 활용
  시뮬레이션과 실제 검지기가 수집한 교통정보가 상이할 수 있으므로 검지기의 99% 값을 활용하여 scaling
- Learning rate는 0.001, RMSE loss function, dropout 0.3, batch size 64를 사용

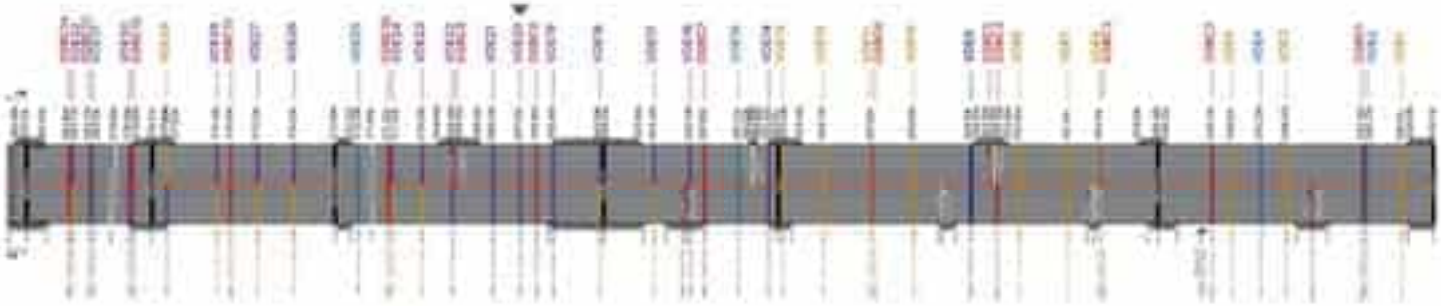


멀티모달 딥러닝의 구조 (Mao et al., 2024)를 통해 모델로 하여금 같은 지점에서 수집한 데이터임을 이해할 수 있도록 만들고, attention module을 통해 각 검지기의 데이터가 거리에 따라 어떻게 중요도가 바뀌는 지를 파악하도록 모델을 구축함

04 RESULT

4.1 적용 대상지

대상 구간 정보		
	시간적 범위	2022년 10월 1일 토 ~ 12월 31일 토 (3개월)
	공간적 범위	경부고속도로 서울방향 잠만IC (340.14k) ~ 동탄JC (382.10k) (약 42km 구간)
	검지기 정보	레이더식 VDS 15대, 영상식 VDS 11대, Loop 및 AVC 6대, DSRC RSE 14대 (차량 검지기 32대, 구간 검지기 14대)
	선정 배경	수도권 주요 진입축이면서 다양한 검지기들이 혼재되어 있음 + 기존 정체후미 알리미 시험 중인 구간
	추가 정보	1차로는 버스전용차로, 5차로는 갓길차로 운영 중

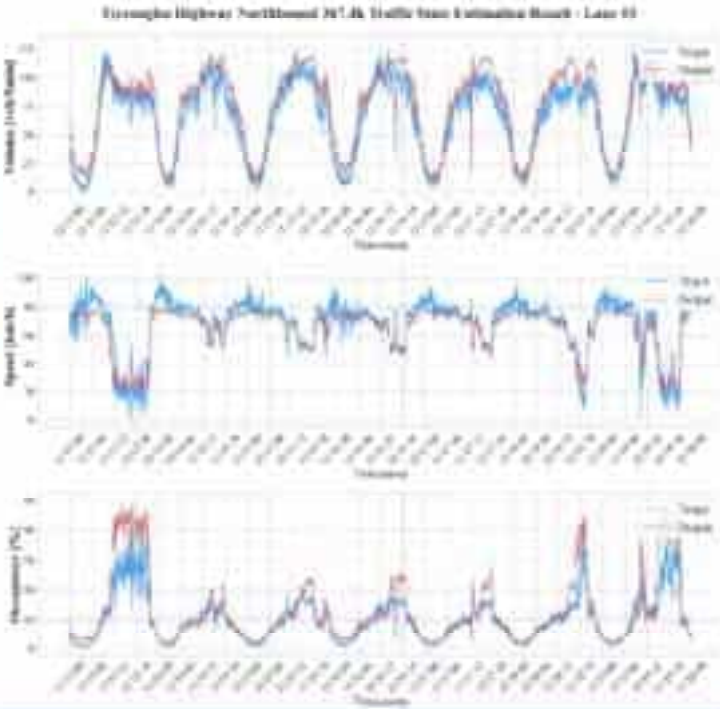


04 RESULT

4.2 모델 교통정보 추정 결과

추정 방법
인접한 검지기들 (VDS18, VDS19, VDS21, VDS22)를 활용하여 서울방향 367.4k 지점의 5분단위 교통량, 속력, 점유율을 추정

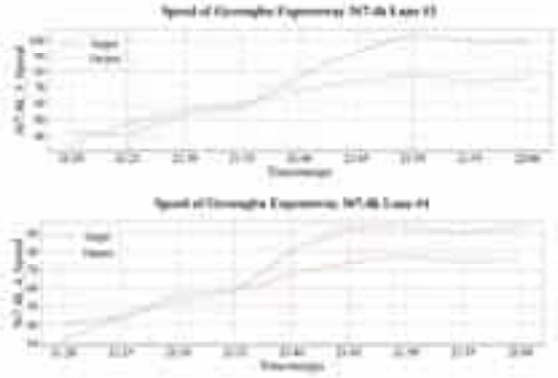
Lane #	Information	Point of 367.4k		
		MAE	MAPE	RSME
Lane 2	Volume (veh/5min)	16.94	0.20	21.14
	Speed (km/h)	9.81	0.31	11.88
	Occupancy (%)	4.59	0.30	6.15
Lane 3	Volume (veh/5min)	14.71	0.18	16.84
	Speed (km/h)	5.79	0.34	8.50
	Occupancy (%)	5.18	0.28	8.06
Lane 4	Volume (veh/5min)	11.46	0.13	14.35
	Speed (km/h)	5.38	0.18	7.56
	Occupancy (%)	3.47	0.23	4.89

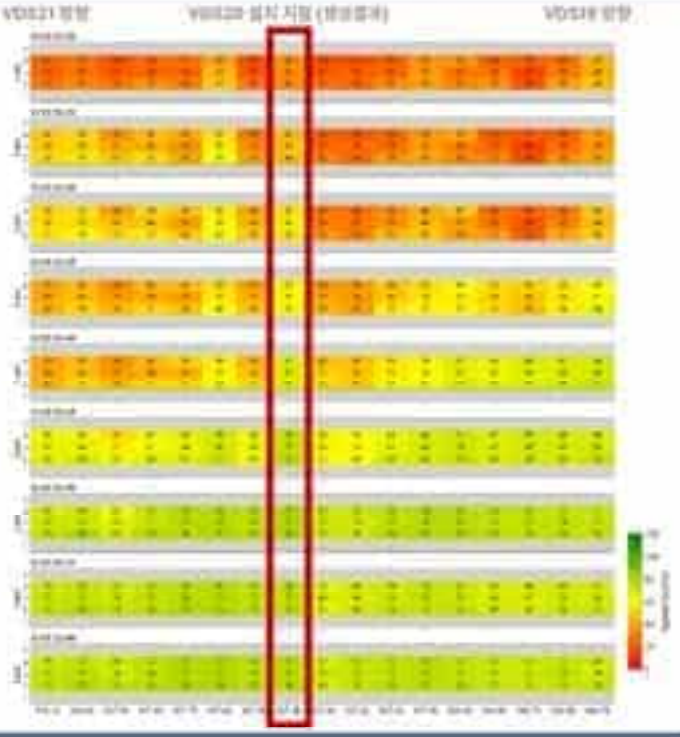


04 RESULT

4.2 딥러닝 모델 교통정보 추정 결과

- VDS 18, 19, 21, 22를 활용해 11월 13일 일요일 21:20 – 22:00 VDS 19와 21 사이 1.6km 구간의 속력을 추정
- 낮은 속력은 적색, 높은 속력은 녹색으로 나타내어 시간에 따라 정체가 해소되는 상황을 표현
- 정체가 해소되는 상황을 기존 검지기보다 더 높은 해상도로 표현하여 정체가 해소되는 지점을 정확하게 파악 가능





05 REFERENCE

5.1 참고문헌

□ 이 논문은 국토교통부 스마트시티 혁신인재육성사업으로 지원되었습니다.

- Seo, Toru, et al. "Traffic state estimation on highway: A comprehensive survey." *Annual reviews in control* 43 (2017): 128-151.
- Min, Jin Hong, et al. "Deep multimodal learning for traffic speed estimation combining dedicated short-range communication and vehicle detection system data." *Transportation research record* 2677.5 (2023): 247-259.
- Li, L., Y. Li, and Z. Li. "Efficient Missing Data Imputing for Traffic Flow by Considering Temporal and Spatial Dependence." Transportation research part C: emerging technologies, 2013. 34: 108-120.
- Lighthill, M. J., and G. B. Whitham. On Kinematic Waves II. "A Theory of Traffic Flow on Long Crowded Roads." *Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences*, 1955. 229(1178): 317-345.
- Richards, P. I. "Shock Waves on the Highway". Operations research, 1956. 4(1): 42-51.
- Aw, A., and M. Rascle. "Resurrection of "Second Order" Models of Traffic Flow." *SIAM journal on applied mathematics*, 2000. 60(3): 916-938.
- Zhang, H. M. "A Non-Equilibrium Traffic Model Devoid of Gas-like Behavior." *Transportation Research Part B: Methodological*, 2002. 36(3): 275-290.
- Song, J., and S. Kami. "A Second Order Traffic Flow Model with Lane Changing." *Journal of Scientific Computing*, 2019. 81(3):1429-1449.
- Qu, X., S. Wang, and J. Zhang. "On the Fundamental Diagram for Freeway Traffic: A Novel Calibration Approach for Single-Regime Models." *Transportation Research Part B: Methodological*, 2015. 73:91-102.
- Lu, J., C. Li, X. B. Wu, and X. S. Zhou. "Physics-Informed Neural Networks for Integrated Traffic State and Queue Profile Estimation: A Differentiable Programming Approach on Layered Computational Graphs." *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2023. 153:104224.
- Bhaskar, A., T. Tsubota, and E. Chung. "Urban Traffic State Estimation: Fusing Point and Zone Based Data." *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2014. 48:120-142.
- Saadallah, A., F. Finkeldey, J. Buß, K. Morik, P. Wiederkehr, and W. Rhode. "Simulation and Sensor Data Fusion for Machine Learning Application." *Advanced Engineering Informatics*, 2022. 52:101600.
- Treiber, M., A. Hennecke, and D. Helbing. "Congested Traffic States in Empirical Observations and Microscopic Simulations." *Physical review E*, 2000. 62(2): 1805.
- Erdmann, J. "SUMO's Lane-Changing Model." *Modeling Mobility with Open Data: 2014 2nd SUMO Conference, Berlin, Germany*. Springer International Publishing, 2015. 105-123.

연속류 내 상습 지정체 해소를 위한 시뮬레이션 기반 대응방안 연구

A Study on the Simulation-Based Response Plan for the Resolution of Habitual Designated Objects in Continuous Flows

조민지 공주대학교 석사과정

배경 및 목적

연구의 배경

- 연속류 내 상습 지정체 문제는 현대 도시에서 점점 더 심각해지고 있음
- 특히 수도권과 지방을 연결하는 국도와 같은 주요 간선 도로와 같은 연속류 내에서 출퇴근 시간대에 차량 수가 급격히 증가하여 도로의 수용 능력을 초과하고, 이로 인해 정체와 교통사고가 빈번히 발생하고 있음
- 이러한 연속류 내 상습적인 지정체 문제는 지속적으로 주목받고 있지만, 이에 대한 우리나라의 관련 연구동향은 미비한 실정임

연구의 목적

- 본 연구의 목적은 Microscopic Simulation을 기반으로 감지기와 어댑티브 크루즈 컨트롤을 활용한 차량 충격파 감소 방안을 평가하였음
- 이를 통해, 연속류 내 정체 시간 감소와 차량 간격 안정화를 목표로 하여 주행 안정성 향상 효과를 확인하고자 함

분석환경 모델링

모델링

- 교통흐름모델을 구축하기 위해 미시적 교통흐름분석 SW인 PTV의 VISSIM을 활용하였으며,모델 내 Adapted cruise control (적응형 크루즈 컨트롤)을 위해 다음과 같은 수식을 사용함
- 이러한 수식은 차량 속도 조절, 안전 거리 계산, 가속도 조절, 긴급 감속 조건을 포함함

[속도 조절 알고리즘]

$$V_{target} = V_{set} - k(D - D_{min})$$

V_{target} =목표 속도

V_{set}= 설정한 크루즈 속도

k = 조절 계수 (주행 상황에 따라 다름)

D= 현재 선행 차량과의 거리

D_{min}= 안전 거리 (주행 속도에 따라 다름)

[안전 거리 계산]

$$D_{min} = T \cdot V_{lead} + \frac{V^2_{ego}}{2g}$$

D_{min} =안전 거리

T= 반응 시간 (초)

V_{lead}= 선행 차량 속도

V^2_{ego}= 자신의 차량 속도

g= 중력 가속도 (약 9.81 m/s^2)

[가속도 조절]

$$a = \frac{V_{target} - V^2_{ego}}{\Delta t}$$

a = 필요한 가속도

V_{target}= 목표 속도

V^2_{ego}= 현재 차량 속도

Δt= 시간 간격 (초)

[긴급 감속 조건]

$$a_{brake} = \frac{(V_{ego})^2}{2D_{stop}}$$

a_{brake} = 긴급 감속 가속도

D_{stop} = 정지까지의 거리 (안전 거리 계산에 따라 달라질 수 있음)

종합결론 및 향후 연구방안

• 분석 결론

- 연속류 하류부의 차량 속도 조절을 적용함으로써 충격파에 따른 유령정체를 완화하여 교통 흐름이 원활해지고, 교통 정체 시간이 줄어드는 효과를 확인함
- 어댑티브 크루즈 컨트롤을 사용하여 차량속도를 일정하게 유지함으로써 차량 간격의 불균형을 줄이고, 결과적으로 교통 흐름이 안정화 됨을 확인함

• 한계점 및 향후 연구방안

- 향후 본 연구를 통해 대기오염 감소 및 사고율 감소 효과를 추가로 분석하고, 이를 토대로 환경적 이익을 극대화 하는 연구가 필요함
- 실제 화물차가 많이 운행되는 도로의 차종 비율을 기반으로 세부적인 분석이 필요함

Thank you

한국ITS학회

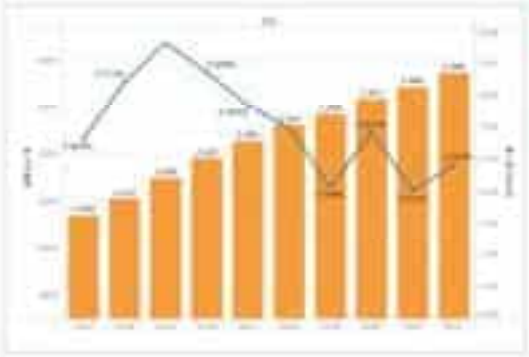
도시부 돌발상황시 영향권 예측 모형 개발 및 검증

아주대
한재석, 차함준, 한경희, 이철기, 이상수

CONTENTS

01 서론
02 선행 연구 고찰
03 연구 방법론
04 분석 결과 및 영향권 예측 모형 검증
05 결론 및 향후 연구방향

01 연구배경 및 목적



도시부 도로 교통 혼잡 문제

- 차량의 등록대수 증가 (2020년 2,437만 → 2022년 2,500만대)
- 교통사고 사회적 비용증가 (2019년 25.3조 → 2021년 28.9조)

ITS기반 돌발 상황 관리 시스템

- 기능 : 돌발 정보 수집 및 관리 (경찰청, UTIC)
- 기술 : 돌발 정보 수집 시스템 구축 (TBN 동산원, 지자체별 교통 정보센터)
- 한계 : 긴급차량 연계 및 사후 대응 중심, 실시간 돌발에 의한 교통류 예측 시스템 부재

교통류 예측의 필요성

- 사대부는 단속류의 유고율이 복합적으로 연계
→ 돌발에 의한 연쇄적 교통흐름 지속 발생
→ 차량 우측, 예소시간등 정보예로 필요

연구 목적 : 돌발상황 발생 시 교통신호, 기하구조 등을 고려하여 교통류 예측 모형 설정

02 선행연구 고찰

연구의 차별성

03 연구방법론

영향권 유형 분석

1. 시뮬레이션 구축

네트워크 구축

가상환경의 VISSIM 시뮬레이션

- 도시부 단속류 도로에서의 적용을 위해 연속된 2개의 교차로로 구성된 네트워크 설계
- 대형차로가 있는 단방향 네트워크로 구성하여 시뮬레이션 수행
- Parking Lot 기능을 활용하여, 긴급 주정차 차량을 임의로 발생시켜 돌발상황을 구현

03 연구방법론

영향권 유형 분석

2. 시나리오 설정

시나리오 설정

변수	값	
차로 수	편도 2차로, 편도 3차로, 편도 4차로	
차단차로 수	편도 2차로	0, 1
	편도 3차로	0, 1, 2
	편도 4차로	0, 1, 2, 3
포화도 (v/c)	0.7, 0.8, 0.9, 1.0	
누적시간 (hr)	0.3, 0.4, 0.5	
돌발상황 발생 위치(m)	교차로 정지선 기준 50m, 100m, 200m	

- 다양한 교통 조건과 기하구조를 반영하여 시나리오별 변수 설정

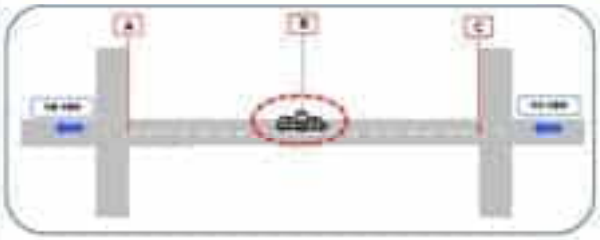
데이터 수집

- A, B 각 차량별 Q-Length max
- A, B, C 각 차량별 통과 교통량
- A,C 신호 주기

04 분석결과

영향권 유형 분석 결과

돌발상황 발생 구간 용량 분석



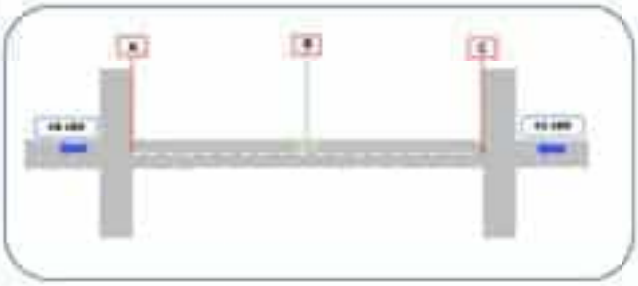
전체 차로수	차단 차로수	최대 통과 교통량 비율
3	1	0.47
3	1	0.73
3	2	0.35
4	1	0.88
4	2	0.58
4	3	0.29

- 유구간 최대교통량(EC)이 유입교통량 v/c = 0.5~1.0사이에서 최대값
- 돌발상황 해소시간 임계 기준치를 구하기 위해 v/c=1.0 설정
- 완전 연구 고장 및 밀도를 통한 교통량 추정 등 방법을 고려하였으나 운전자의 특성에 따른 변화를 고려하기 어려움
- car-following, Lane change 등 운전자 특성값을 가진 Vissim simulation을 통하여 사고지점의 용량 도출

04 분석결과

영향권 유형 분석 결과

1. 개요 및 변수 설정



- 돌발에 의해 일시적 차량정체를 형성하여 지속적으로 차량을 통과시키며 연속류의 특성을 나타냄
  → 단속류와 연속류의 혼재 상황으로 판단
- 상류부 유입교통량, 하류부 유출교통량 및 돌발지점 통과교통량을 이용하여 각 지점별 간격 교통량을 추정하여 매출

변수	내용	기본 값 (예시)
Vmax	차로당 포화교통량	2.25Mveh/h
CL	차량 평균 길이	5m
N	차로 수	2
Nb	돌발상황에 의해 차단된 차로 수	1
Vc	상류부 교차로부터 통과 포함 차단 교통량	8Mveh/cycle
CC, Ce	상류부 및 하류부 신호 주기	120s
Mt	사고로 인해 발생하는 손실 시간	5s
Gr	하류부(A) 교차로 녹색시간	30s
Vbmax	돌발상황 발생 지점의 최대 통과 교통량	
Ge	상류녹색시간	
Ra	적색시간	
Vamax	하류부(A) 1주기당 최대 통과 교통량	

04 영향권 예측모형 검증

영향권 예측 모형 개발

2. 돌발상황 발생지점 기준 상류부 이론 모형

상류부 모형

상류부 교차로에서 돌발상황 발생지점까지 교통 흐름 분석

- 유입 교통량 해소시간 T_B 계산

$$T_B = \frac{V_C}{V_{Bmax}}$$

V_C : 주기당 원래 유입 차선 교통량(대)

V_{Bmax} : 돌발상황 발생지점 하에 통과 교통량(대/초)

- 대기행렬 길이 Qbmax 계산

$$Q_{Bmax} = \frac{V_C \times C}{N}$$

V_C : 주기당 원래 유입 차선 교통량(대)

C : 차량 평균 길이(m)

N : 차로수

- 유입 교통량이 돌발상황 발생 지점을 통과할 수 있는지 판단

$$\Delta T = C_T - T_B$$

$\Delta T \geq 0$ 일 경우, 신호주기 내에 해소가 가능하여 돌발상황 발생 지점에서의 대기행렬이 발생하지 않음을 의미

$\Delta T < 0$ 일 경우, 상류부 교차로에서 유입되어 돌발상황 발생지점을 통과하지 못한 교통량으로 인해 돌발상황 발생지점에서의 대기행렬이 발생함을 의미

- 1주기가 진행되었을 때 돌발상황 발생 지점에서의 잔여 (늘어나는) 대기행렬 길이

$$RQ_B = \frac{(T_B - C_T) \times V_{Bmax} \times C}{N}$$

- 1주기가 진행될 때마다 해당 잔여 대기행렬 길이만큼 전체 대기길이가 증가함으로 간주하여 주기별 돌발상황 발생지점 대기행렬 길이

$$FQ_B = Q_{Bmax} + (RQ_B \times i)$$

04 영향권 예측모형 검증

영향권 예측 모형 개발

3. 돌발상황 발생지점 기준 하류부 이론 모형

하류부 모형

- 주기당 발생하는 신호교차로 대기행렬

$$\text{if } T_B \geq G_A,\ RQ_A = \frac{(T_B - G_A) \times V_{Bmax} \times C}{N}$$

- Rqa를 통해, 주기별 유입과 유출을 계산하여 대기행렬 길이 예측

$$inflow = RQ_A \times i$$
$$outflow = V_{Bmax} \times C \times i$$
$$FQ_A = RQ_A + inflow - outflow$$

- 특정 주기에서 대기길이가 돌발상황 발생지점까지 도달할 경우(FQa ≥ EL) 포화상태에서 교통량에 따라 다시 포화되는 정도(NST)를 계산하여, 새로운 대기길이 (NWL) 계산

$$\text{if } FQ_A \geq EL$$
$$NST = \frac{V_{Bmax}}{V_{Bmax}}$$
$$NWL = (((T_B - NST) \times C) + RQ_B) / 3 \times p + Q_{Bmax} + (RQ_A - EL)$$

- 교통량 해소시간 (Tb)이 하류부 녹색시간 (Ga)보다 작을 경우, 하류부의 주기별 대기행렬 길이를 계산한다.

$$\text{if } T_B < G_A,\ RQ_A = \max(0, \frac{V_C \times C}{N} - V_{Bmax} \times G_A)$$

- 돌발상황 발생 지점에서의 대기행렬 길이를 산출하여 최종 대기 길이를 표출

$$FQ_A = Q_{Bmax} + (RQ_A \times i)$$

끝까지 경청해주셔서

감사합니다

Payne-Whitham Model 기반 검지기 및 프로브 차량의 데이터 융합을 활용한 궤적 복원

Payne-Whitham Model based Reconstructing Vehicle Trajectory Using Data-Fusion of Traffic Detector and Probe Vehicles

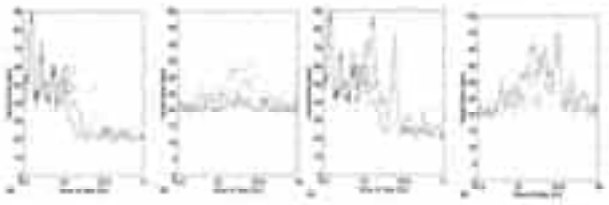
최준희
서울대학교 건설환경공학부
석사과정

김동규
서울대학교 건설환경공학부
교수

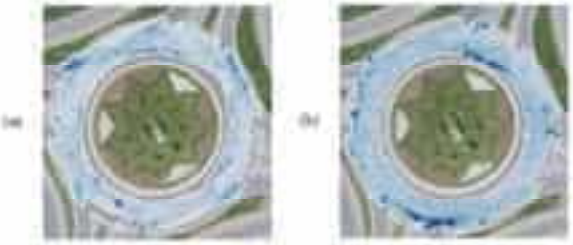
Introduction

차량 궤적의 활용 방안[1, 2]

- 교통류 모델링
- 통행시간 추정
- 신호체계 최적화 및 운영
- 온실가스 배출량 및 연료 소모량 추정
- 시뮬레이션 및 주행안전 평가[3]



[Figure] Estimating travel time using vehicle trajectory (source: Cortman, 2002)



[Figure] Adopting a trajectory on roundabout in safety (source: Choi et al. 2004)

전역의 차량 궤적 수집은 현실적인 어려움을 수반함

Introduction

실제 세계에서의 교통센서 분류[2]

[Figure] Examples for fixed traffic sensors (source: GITS [4])

[Figure] Examples for mobile traffic sensors (source: ETRI [5])

구분	고정형 센서	이동형 센서
예시	차량검지기 (루프 검지기, 레이더식 검지기), DSRC, CCTV 등	위성항법장치 (GPS), 온보드 유닛 (OBU) 등
검지 범위	지점 정보, 구간 정보	전체 정보
검지 표본	모수에 가까운 표본 정보	일부 표본 정보 (시점 침유율에 따라 달라짐)

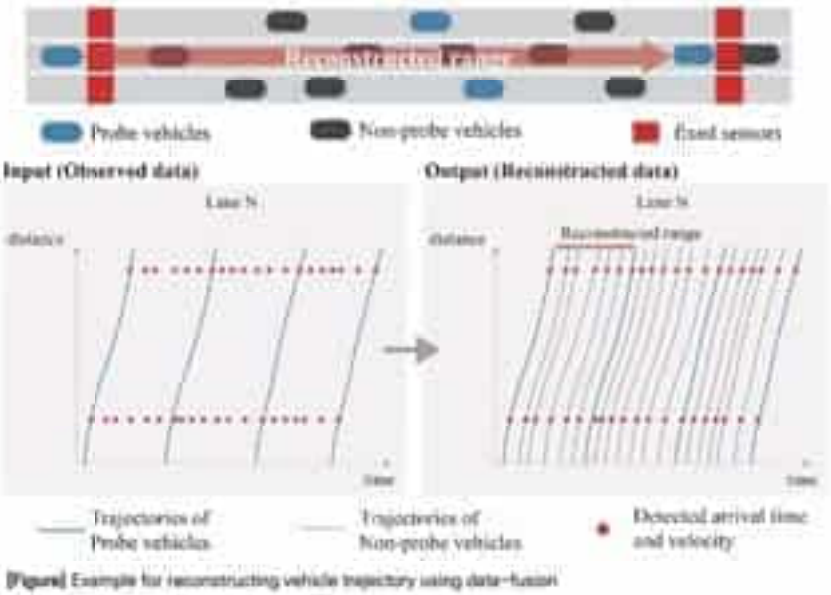
두 센서의 정보는 이질적이며, 다른 특성을 가지고 있으나 상호 보완이 가능함

[2] Chen, X., Yin, J., Qin, G., Tang, K., Wang, Y., & Sun, J. (2022). Integrated macroscopic volume modelling for individual vehicle trajectory reconstruction using fixed and mobile sensor data. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 140, 103698.
[4] https://its.go.kr/data/dataService/vdsSpec (Retrieved: 2024-09-03.)
[5] https://www.etri.re.kr/intro/en/business/business02.etri (Retrieved: 2024-09-03.)

Introduction

궤적 복원의 가정[6]

- 고정형 교통 센서(본 연구에서는 차로 단위의 데이터와 ID를 확인 가능한 AVI를 가정)는 고정된 위치에서의 교통정보를 제공하며, 낮은 공간적 해상도를 가지는 전수 정보를 수집할 수 있음
- 이동형 교통 센서(본 연구에서는 프로브 차량 데이터를 가정)에서 수집되는 교통정보는 현실세계에서 낮은 침유율을 가지고 있으나, 높은 시공간적 해상도를 가짐 [7]
- 궤적 복원과 관련한 연구는 고정형 교통센서를 활용한 연구, 표본 프로브 차량 데이터를 활용한 연구가 이전에 활발히 이루어졌으나, 각각 차량 간 동역학적 상호작용을 미반영하거나, 오류가 누적되는 한계점을 가지고 있는 실정임
- 이에 최근에는 데이터 융합 기반 연구가 주목받고 있음



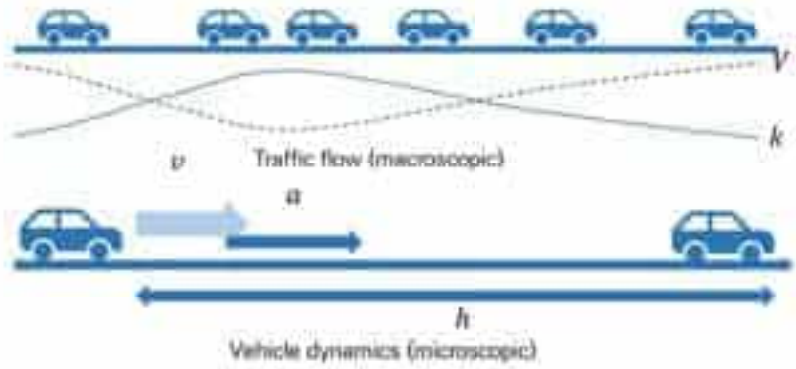
[Figure] Example for reconstructing vehicle trajectory using data-fusion

[6] Feng, Y., Sun, D., Yan, K., Ma, J., & Gu, S. (2015). Vehicle trajectory reconstruction using automatic vehicle identification and traffic count data. Journal of Advanced Transportation, 49(2), 174-194.
[7] Zheng, Y., Sarvotham, R., & Baraniuk, R. G. (2009). A time-varying stochastic queue model for reconstructing origin/destination of Poisson traffic using Lagrangian and Eulerian observations. Expert Systems with Applications, 36(2), 2744-2756.

Introduction

연구 목적

- 본 연구는 차로변경 행위를 고려하여 고정형 교통 센서와 이동형 교통 센서를 융합하여 구간 내 전체 차량 궤적을 복원하는 연구임
- 이를 위해 미시적인 행태를 반영할 수 있는 교통류 모형 중 하나인 Payne-Whitham Model을 활용하여 복원하고자 함



[Figure] Concept of traffic flow and vehicle dynamics

데이터 융합 기반 구간 내 전역 차량 궤적 복원

Method

Payne-Whitham model

- 차량 및 교통류 모델 중 하나로 압축성 유체 역학에 기반한 모형임 (Payne, 1971; Whitham, 1974) [8,9]
- 거시적인 교통류부터 미시적인 차량의 동역학까지 모두 설명할 수 있는 모형 중 하나임

First order model (Lighthill & Whitham, 1955; Richard, 1956)

- 교통류의 변화를 표현하며, 차량의 총량은 LWR model에 기반하며 보존됨을 가정함. 여기서 교통류는 fundamental diagram 을 따름 [10,11]

$$\frac{\partial k}{\partial t}+\frac{\partial q}{\partial x}=0$$ • 일반식

$$V(\rho)=V_{max}\left(1-\left(\frac{\rho}{\rho_{max}}\right)^{\beta}\right)$$ • Greenshields model 기반 보정

ρ	교통밀도
$V(k)$	평균속도(fundamental diagram 보정)
q	교통류
L	차로의 개수
t	단위시간
V_{max}	자유류 속도
ρ_{max}	최대밀도
β	매개변수(greenshields에서는 1 가정)

8 Payne, H. J. (1971). Models of freeway traffic and control. Mathematical Model of Public System, 51-61.
9 Whitham, G. B. (2011). Linear and nonlinear waves. John Wiley & Sons.
10 Lighthill, M. J., & Whitham, G. B. (1955). On kinematic waves II. A theory of traffic flow on long crowded roads. Proceedings of the royal society of london. series a. mathematical and physical sciences, 229(1178), 317-345.
11 Richards, P. I. (1956). Shock waves on the highway. Operations research, 4(1), 42-51.

Method

Second order model

- 차량의 역학을 표현하며, 반응(reaction)과 충격파(shockwave)의 개념이 포함됨
- 거시적인 교통류와의 변환이 가능함

$$a = \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v}{\partial x} v = \underbrace{\boxed{-w\frac{\partial \rho}{\partial x}}}_{\text{relaxation term}} + \underbrace{\boxed{\frac{V(\rho) - v}{\tau}}}_{\text{reaction term}}$$

a	가속도
v_i	i 번째 차로의 차량의 속도
w	충격파 속도
τ	운전자의 반응시간
l_n	차량 길이
s_{min}	최소 간격

$$a = \frac{d}{dt} v(x(t), t), \quad h(\rho) = s(\rho) + l_n, \; s(\rho) = \frac{s_{min}}{\rho/\rho_{max}}$$

$$h(t) = x_n(t) - x_{n-1}(t)$$

$$v_n(t) - v_{n-1}(t) = v(x_{n-1}(t) + h(t), t) - v(x_{n-1}(t), t) = \frac{h\partial v}{\partial x} + \frac{h^2 \partial v}{\partial^2 x} + \frac{h^3 \partial v}{\partial^3 x} + \cdots$$

$$\underbrace{\boxed{\frac{\partial v}{\partial t} + \left(v - \frac{h(\rho)}{\tau}\right)\frac{\partial v}{\partial x}}}_{\text{first-order model}} = \frac{V(\rho) - v}{T} + \frac{h^2(\rho)}{2\tau}\frac{\partial v}{\partial^2 x}$$

Method

데이터셋 및 평가 방법

- 플로리다 주 올랜도 인근 고속도로에서 고해상도(3마타)의 차량 궤적을 수집한 데이터셋 [12]
- 600m 지점을 기준으로 전후에 가상의 AVI 데이터를, 5%~15%의 프로브 차량 데이터를 수집할 수 있다는 가정하에 임의로 추출하고 이들을 기반으로 비 프로브 차량의 궤적 복원을 평가하고자 함
- 평가 방식은 car-following model (본 연구에서는 IDM)을 기반으로 복원하는 Lagrangian method 와 Fundamental diagram과 LWR model을 기반으로 복원하는 Eulerian method 를 비교할 것이며, MAE (mean absolute error), RMSE(root-mean square error), MAPE(mean absolute percentage error)로 궤적의 복원 오차를 평가함 [13,14]

Content	Value
Sample frequency (fps)	30
Length (m)	680
Duration (minutes)	15
Minimum distance(s_{min}, m)	0.9
Shockwave velocity (w, m/s)	0.83
Free-flow velocity (V_{max}, m/s)	36
Maximum density rate (ρ_{max})	1.2
Reaction time (τ, seconds)	1.4

[Figure] Aerial map of CitySim dataset

[12] [illegible]
[13] [illegible]
[14] [illegible]

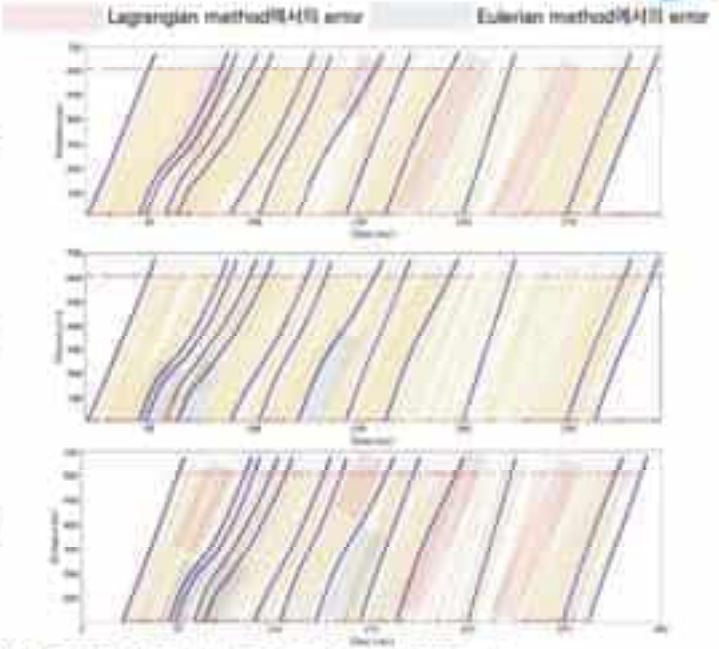
Results

복원 궤적 사공도 내 시각화

- 5%의 프로브 차량(청색 실선)을 기준으로 복원한 궤적(주황색 실선)과 실제 궤적(회색 실선)을 시공도 내에서 시각화한 결과, Lagrangian method와 Eulerian method의 궤적은 상대적으로 오차가 누적되어 복원이 안된 부분이 일부 존재

- 이 경우에는 대체로 혼잡이 전파되는 상태에서 이러한 오류가 발생함을 확인할 수 있음

- 그러나 본 연구에서 제안하는 방법 또한 일부 차로변경이 진행된 구간에서는 실제 궤적과 오차가 존재함을 확인할 수 있음



[Figure] Result of trajectory reconstruction (a) Lagrangian method (b) Eulerian method, and (c) our approach

Results

지표에 따른 결과 비교

- 분석 결과, 본 연구에서 제안하는 Payne-Whitham model은 Lagrangian method과 Eulerian method보다 높은 성능을 도출하였음

- 5%의 프보로 차량이 주어질 때 본 연구의 방법론으로는 22.16m의 MAE, 27.14m의 RMSE, 그리고 10.98%의 MAPE 오차가 도출됨

- 15%의 프보로 차량이 주어질 때 본 연구의 방법론으로는 13.53m의 MAE, 19.88m의 RMSE, 그리고 6.74%의 MAPE 오차가 도출됨

- 전반적으로 MAE가 낮게 나오는 추세를 보이는데, 이는 차로변경 등의 이상치에 있어서 RMSE가 높게 나오는 것으로 추정됨

- 따라서 향후 연구에는 차로변경을 고려한 궤적 복원 연구가 진행되어야 할 것으로 사료됨

Method	Penetration rate (%)	MAE (m)	RMSE (m)	MAPE (%)
Lagrangian method	5	27.21	38.05	12.85
	10	19.77	28.47	9.97
	15	15.22	21.23	8.69
Eulerian method	5	33.22	43.27	14.25
	10	23.15	30.98	11.89
	15	18.58	23.41	10.23
Proposed method	5	22.16	27.14	10.98
	10	16.87	23.19	8.85
	15	13.53	19.88	6.74

[Table] Result of trajectory reconstruction with MAE, RMSE, and MAPE

Conclusions

의의 및 활용방안

- 센서 데이터 융합을 활용한 교통류 모델링
- 향상된 통행시간 추정
- 배출량 추정 향상 기대

향후 연구

- 최신 센서 데이터 융합 방법론과 비교
- 차로변경 고려
- 인공지능 기반 방법론 개발

사사

본 연구는 국토교통부의 **스마트시티 혁신인재사업 육성사업**의 지원 및 정부(경찰청, 교육부)의 재원으로 과학치안진흥센터의 지원(No. 092021C26S0300, **실시간 교통안전시설 운용을 위한 인프라 정보 융합 및 관리기술 개발**)과 한국연구재단의 지원(RS-2024-00411103, **V2X 환경 내 주행 궤적 정보 복원을 위한 인프라 지원 전략 개발**)을 받아 수행되었음

References

- 1 Coifman, B. (2002). Estimating travel times and vehicle trajectories on freeways using dual loop detectors. Transportation Research Part A: Policy and Practice, [illegible]
- 2 Chen, X., Yin, J., Qin, G., Tang, K., Wang, Y., & Sun, J. (2022). Integrated macro-micro modelling for individual vehicle trajectory reconstruction using fixed and mobile sensor data. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, [illegible]
- 3 Choi, J., Joo, Y. J., & Kim, S. K. (2024). Effects of heterogeneity in driving maneuvers on calibrating car-following models at a roundabout. Transportmetrica B: Transport Dynamics, [illegible]
- 4 [illegible] (Recent access: [illegible])
- 5 [illegible] (Recent access: [illegible])
- 6 Dong, Y., [illegible] (2022). Vehicle trajectory reconstruction incorporating probe and fixed sensor data. Journal of transportation engineering, Part A: Systems, [illegible]
- 7 Zhang, Y., Kouvelas, A., & Makridis, M. A. (2024). A time-varying shockwave speed model for reconstructing trajectories on freeways using Lagrangian and Eulerian observations. Expert Systems with Applications, [illegible]
- 8 Payne, H. J. (1971). Model of freeway traffic and control. Mathematical Model of Public System, 51-61.
- 9 Whitham, G. B. (2011). Linear and nonlinear waves. John Wiley & Sons.
- 10 Lighthill, M. J., & Whitham, G. B. (1955). On kinematic waves II. A theory of traffic flow on long crowded roads. Proceedings of the royal society of London. series a. mathematical and physical sciences, 229(1178), 317-345.
- 11 Richards, P. I. (1956). Shock waves on the highway. Operations research, 4(1), 42-51.
- 12 Zheng, O., Abdel-Aty, M., Yue, L., Abdelraouf, A., Wang, Z., & Mahmoud, N. (2024). CitySim: a drone-based vehicle trajectory dataset for safety-oriented research and digital twins. Transportation research record, [illegible]
- 13 Goodall, N. J., Smith, B. L., & Park, B. B. (2016). Microscopic estimation of freeway vehicle positions from the behavior of connected vehicles. Journal of Intelligent Transportation Systems, 20(1), 45-54.
- 14 Van Lint, J. W. C. (2010). Empirical evaluation of new robust travel time estimation algorithms. Transportation Research Record, [illegible]

자율주행(Ⅰ)

Session

A-3

협력 주행을 위한 차선 정보 기반 차량 상태 결정 방법
권승원, 안예찬, 주경진, 최준현, 국태용

저속주행 자율주행 도시환경관리 서비스 차량이 도심교통류에 미치는 영향분석
김주영, 소재현

Lv.3 자율주행차 상용화 대비 안전교육 효과분석 – 제어권전환을 중심으로 –
김태근, 이다례, 한다정, 배광수

심층 강화 학습을 통한 공사 구간 차로 변경 최적화 연구
심현섭, 박신형

신호등이 없는 교차로에서 차량 안내를 위한 iTransformer의 궤적 예측
정수환, 이재현, 이재훈, 이수목

협력 주행을 위한 차선 정보 기반 차량 상태 결정 방법

Vehicle State Decision Method based on Lane Information
for Cooperative Driving

권승원[1], 안예찬[2,3], 주경진[2,3], 최준현[2,3], 국태용[2,3*]

([1]성균관대학교 공과대학 지능형로봇학과, [2]성균관대학교 정보통신대학 전자전기컴퓨터공학과,
[3]주식회사 케이스랩 부설기술연구소)

Key Words : Autonomous Driving, Instance Segmentation, Lane Segmentation, Vehicle State Decision

목 차

Ⅰ. Introduction
Ⅱ. Method
1. Lane Segmentation Method
2. Lane Information based State Decision Process
Ⅲ. Experiments
Ⅳ. Conclusion
Acknowledgement
참고문헌

Ⅰ. Introduction

자율주행 기술의 급속한 발전과 더불어, Advanced Driver Assistance Systems (ADAS)는 자율주행 자동차 산업에서 중요한 기술로 부상하고 있다. ADAS는 운전자의 편의성을 증대시키는 동시에 안전을 확보하기 위한 고도화된 보조 시스템으로, 차량의 주변 환경 감지 및 제어 기능 등을 통해 주행 환경에서 발생할 수 있는 다양한 위험 요소를 사전에 인식하고 대응하는 역할을 한다. 최근 ADAS 기능을 탑재한 차량의 보급이 확대되고 있지만, 여전히 레벨 3 이상의 고도 자율주행 기술 상용화를 위해서는 여러 기술적 과제가 남아 있다. 특히, 차량 간 협력 주행을 위한 인식 및 판단 기술이 더 발전되어야 한다는 점에서 현존하는 ADAS 시스템은 한계점이 존재한다 [1, 2].

차량 상태를 판단하고 이를 기반으로 적절한 주행 결정을 내리는 것은 협력 주행에서 필수적이다. 특히 차선 정보는 차량 상태를 결정하는 데 중요한 데이터이다. 차선 변경 여부, 주변 차량의 위치 및 속도와 같은 정보는 차량이 주행 상황에서 적합한 상태를 유지하도록 돕는다. 그중에서도 차선 변경을 위해서는 차선의 점선과 실선을 구분해야 하며, 이를 위한 Segmentation 기법들이 연구되고 있다 [3, 4, 5]. Semantic Segmentation 기법은 차선을 인식할 수는 있지만, 각 객체의 개별적인 차이를 명확하게 표현하지 못하는 한계가 있다. 이에 반해, Instance Segmentation 기법은 개별 객체의 차이점을 구체적으로 인식할 수 있어 점선과 실선을 독립적으로 검출한다.

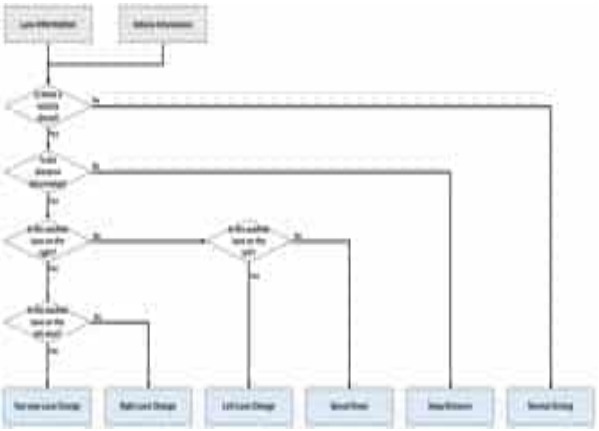
본 논문에서는 협력 주행을 위한 차선 정보 기반의 차량 상태 결정 방법을 제안한다. 제안된 방법은 차선 정보 검출을 위한 전처리 기법과 Instance Segmentation을 활용한다. 이에 따라 차선 정보를 기반으로 정의된 차량 상태에 따라 자차의 차량 상태가 결정되는 것을 보여준다.

Ⅱ. Method

1. Lane Segmentation Method

차선 정보를 강인하게 인식하기 위해 다음과 같은 전처리를 진행하였다. 먼저 차량으로부터 RGB 이미지 데이터를 추출한다. 이후 수집된 이미지에 Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) 알고리즘과 Sharpening 필터를 적용한다. CLAHE 알고리즘은 이미지를 8x8 블록 영역으로 나누고 히스토그램 제한값 이상의 값을 이미지 전체에 재분배한다. 해당 기법은 이미지의 밝은 영역과 어두운 영역 간의 차이를 강조하고 노이즈를 감쇠시킨다 [6]. Sharpening 필터는 픽셀 간의 차이를 높여 이미지의 선명도를 높인다. 이를 통해 이미지 내 경계선을 뚜렷하게 하며 차선의 윤곽을 명확하게 표현한다 [7].

본 논문에서는 차선의 Instance Segmentation을 위해 Yolov8-seg 모델을 이용하였고 [8], 점선과 실선을 구분하기 위해 2개의 클래스(Dashed, Solid)로 나누었다. US highway에서 6,670개의 도로 이미지로 구성된 Tusimple dataset을 이용하여 모델 학습을 진행하였다. 과적합을 방지하고 높은 인식률을 위해 train, validation, test를 7 : 2 : 1의 비율로 나누어 학습을 진행하였다. 인식 결과에 따라 검출된 실선과 점선은 마스크 형태로 표현되며, 자차 중심을 기준으로 좌·우측 차선을 구분하여 정보를 추출한다.



< 그림 1. Vehicle State Decision Process>

2. Lane Information based Vehicle State Decision Process

자차와 동일 선상의 차선에서 주행 중인 선행 차량과의 충돌을 방지하기 위한 차량 상태를 정의한다 [9].

- Two-way Lane Change:
  자차 기준 좌·우측 방향 모두 점선이 검출되어 양방향으로 차선 변경이 가능한 상태
- Right Lane Change:
  자차 기준 좌측 차선은 실선, 우측 차선은 점선이 검출되어 우측으로 차선 변경이 가능한 상태
- Left Lane Change:
  자차 기준 좌측 차선은 점선, 우측 차선은 실선이 검출되어 우측으로 차선 변경이 가능한 상태
- Speed Down:
  일정 거리 내에 도달하기까지 차량의 속도를 감속시키는 상태 (0인 속도도 포함)
- Keep Distance:
  선행 차량과 간격을 유지하는 상태
- Normal Driving:
  주어진 경로를 따라 주행하는 상태

본 논문에서는 위의 6가지 상태를 정의하여 상황에 따른 차선 변경 상태를 세분화하고 협력 주행을 유지할 수 있도록 하였다.

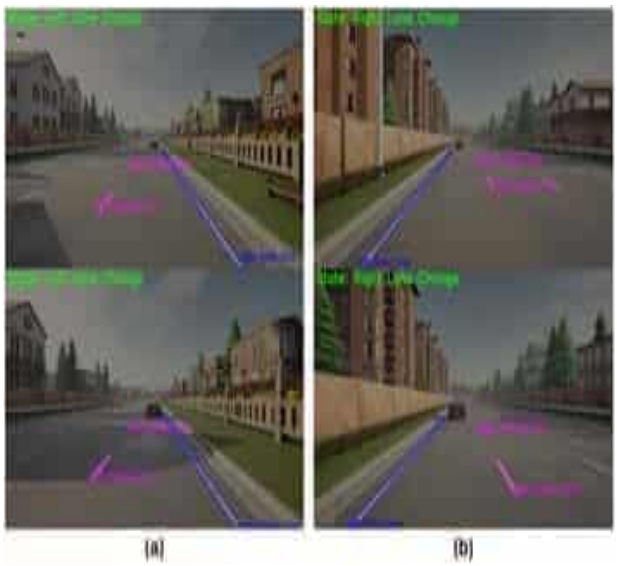
그림 1은 선행 차량과의 충돌 방지를 위해 각 프로세스에 따른 차량 상태 결정 방식이다. Lane information은 전처리 및 Instance Segmentation을 통해 검출한 차선의 정보이다. Vehicle information은 선행 차량 인식과 거리 정보를 포함한다. 차량에 장착된 카메라와 라이다, 레이더와 같은 센서들을 융합한 정보를 통해 선행 차량과의 거리가 실시간으로 반영된다고 가정한다. 현재로부터 시간이 지남에 따라 차량 상태 결정 프로세스가 진행되고 t+1일 때 차량 상태를 결정한다.

Vehicle information을 토대로 선행 차량이 존재하지 않을 때 'Normal Driving' 상태로 결정한다. 선행 차량 존재를 확인하고, 자차와의 거리 변화를 판단하기 위해 t-1과 t시간 사이의 거리 차이와 t와 t+1시간 사이의 거리 차이를 비교한다. 각 간격의 거리 차이 변화가 없거나 증가하는 경우는 'Keep Distance' 상태를 결정한다. 반대로, 거리 차이가 감소하는 경우 Lane information에 따라 상태를 결정한다. 양방향 모두 실선인 경우, 차선을 유지해야 하는 차선 변경이 불가한 상황이므로 'Speed Down' 로 상태를 결정한다. 또한, t일 때의 선행 차량과의 거리에 따라 정지할 수 있다. 왼쪽 차선만 점선인 경우는 좌측 차선으로 차선 변경이 가능한 'Left Lane Change' 상태, 오른쪽 차선만 점선인 경우는 우측 차선으로 차선 변경이 가능한 'Right Lane Change' 상태가 된다. 양방향 모두 점선인 경우, 좌·우로 차선 변경이 가능한 'Two-way Lane Change' 상태가 된다.

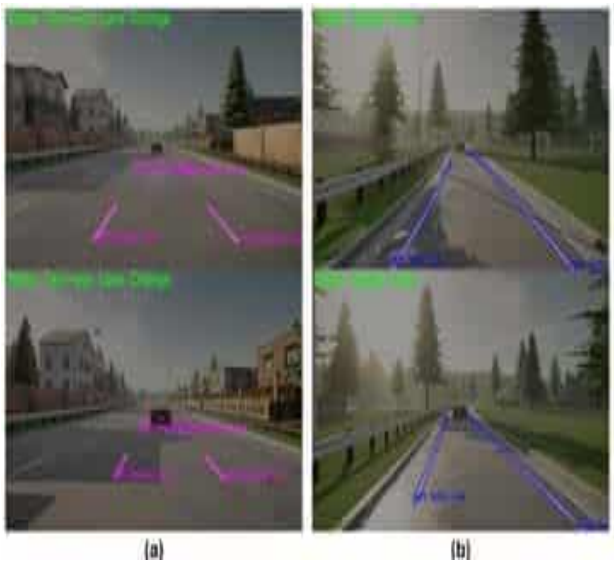
III. Experiments

본 실험은 Intel i9-14900HX, NVIDIA GeForce RTX 4060 Laptop GPU, DDR5 64GB RAM을 가진 PC 사양에서 CARLA의 highway 환경 시뮬레이션을 통해 진행하였다 [10]. 자차와 선행 차량을 설정하여 각 차선 상태와 환경의 조도에 따라 차량 상태를 결정하는 실험 시나리오를 구성하였다. 차선의 점선은 분홍색, 실선은 파란색으로 표현하였고, 차량 상태는 이미지 왼쪽 상단에 나타내었다. 본 논문은 차선 정보를 기반으로 자차 상태를 결정하는 것이 목표이므로 차선 정보가 관여하는 프로세스에 따른 결과를 도출하였다.

그림 2와 3은 CARLA 환경의 낮인 상태에서 진행된 결과이다. 그림 2의 (a)와 같이 왼쪽 차선에만 점선인 경우는 자차 상태가 'Left Lane Change', (b)의 경우는 'Right Lane Change' 로 결정된 것을 확인하였다.



< 그림 2. (a) Case of dashed line in left direction
(b) Case of dashed line in right direction >



< 그림 3. (a) Case of dashed line in two-way (b) Case of solid line in two-way >

그림 3의 (a)와 같이 양쪽 모두 점선인 경우는 'Two-way Lane Change' 상태이고, (b)와 같이 모두 실선인 경우는 'Speed Down' 상태로 자차 상태가 전환되었다. 선행 차량과 일정 거리로 좁혀진 경우에도 차선 인식과 상태 결정이 유지됨을 확인하였다.

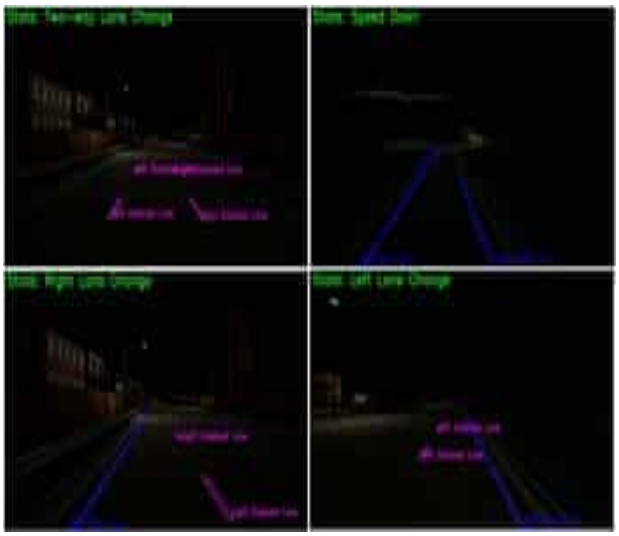
그림 4는 CARLA 환경의 밤인 상태에서 진행된 결과이다. 점선과 실선을 모두 인식하기 위해 한 방향이 점선일 때의 상황에서 결과를 도출하였다. 저조도 환경에서도 전처리와 차선 인식 및 구분을 통해 차량 상태가 결정된 것을 확인할 수 있다.

Ⅳ. Conclusion

본 논문은 협력 주행을 위한 차선 정보 기반 차량 상태 결정 방법을 제안하였다. 차량으로부터 수집된 이미지를 CLAHE 알고리즘과 Sharpening 필터를 적용하여 전처리를 진행하였고, Instance Segmentation을 이용하여 점선과 실선을 구분하였다. 자차와 선행 차량 간 거리와 차선 정보를 이용해 좌·우측 차선 변경 가능 여부를 판단하고 차량 상태를 결정하였다. 제안된 방법을 통해 시뮬레이션에서 차선 정보 기반의 상태 결정이 가능함을 실험을 통해 확인하였다. 또한, 저조도 환경에서도 차선을 검출할 수 있음을 확인하였다.

하지만 제안된 방법은 차량이 많은 도로 환경에서의 차선 인식과 정지선, 신호등과 같은 주행에 영향을 미치는 객체들을 인식하여 추가적인 상태를 정의할 필요가 있다. 향후 연구에서는 도심지, 교차로 등 다양한 도로 환경에서 주변 차량들과의 상태 정보 공유를 통해 제안된 방법을 고도화하여 적용할 것이다.

Acknowledgement



< 그림 4. Four lane cases in low light environment >

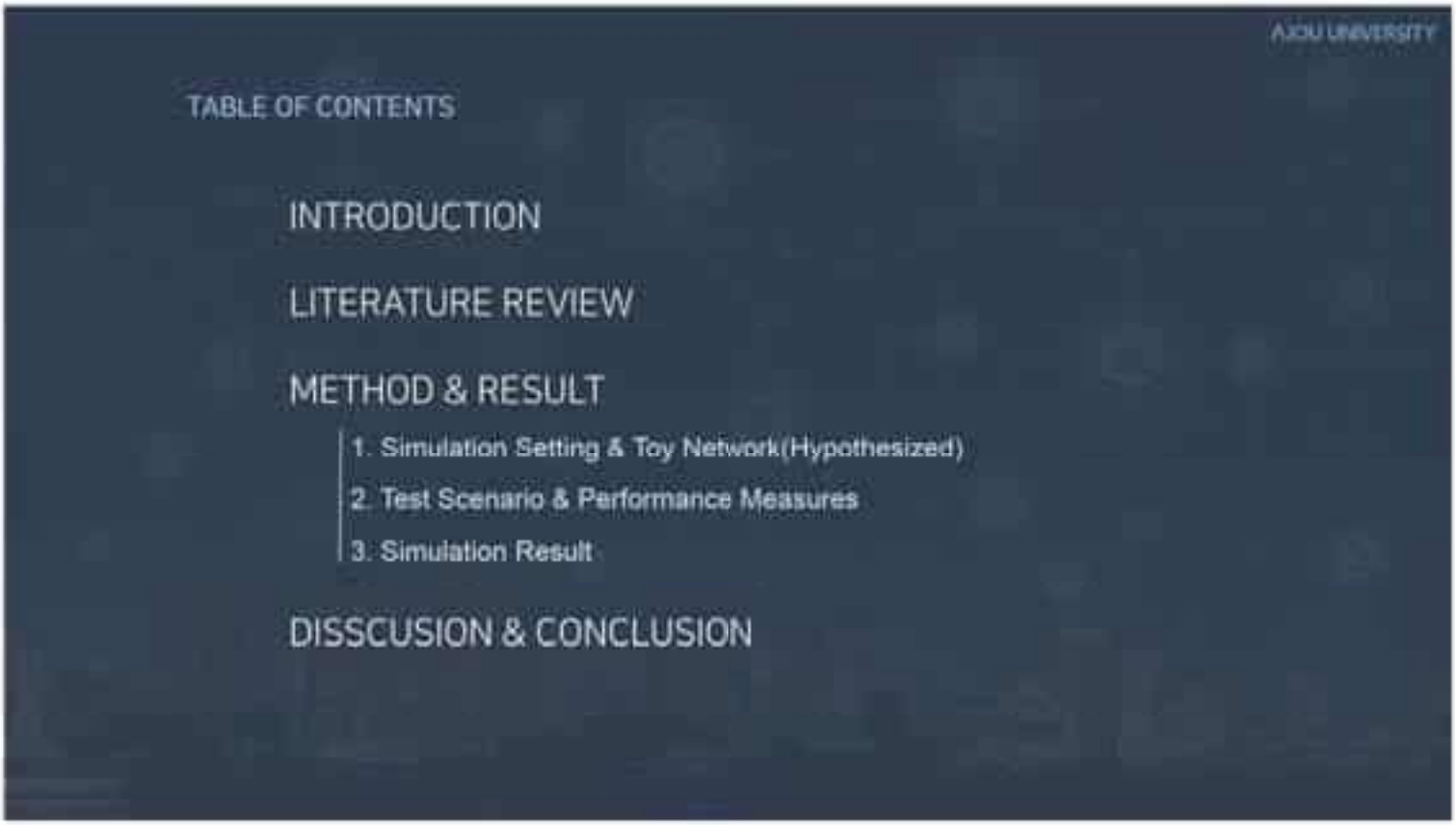
본 연구는 2024년도 산업통상자원부 및 한국산업기술기획평가원(KEIT)의 자율주행기술개발혁신사업 (과제명 : 주변환경정보 융합 기반 협력형 차량 제어 기술 개발, 과제번호 : 20026184) 연구비 지원에 의해 수행됨

참고문헌

1. Biassoni, Federica, Daniele Ruscio, and Rita Ciceri. "Limitations and automation. The role of information about device-specific features in ADAS acceptability." Safety science 85 (2016): 179-186.
2. Padmaja, Budi, et al. "Exploration of issues, challenges and latest developments in autonomous cars." Journal of Big Data 10.1 (2023): 61.
3. Neven, Davy, et al. "Towards end-to-end lane detection: an instance segmentation approach." 2018 IEEE intelligent vehicles symposium (IV). IEEE, 2018.
4. Ding, Ling, et al. "A lane detection method based on semantic segmentation." Computer Modeling in Engineering & Sciences 122.3 (2020): 1039-1053.
5. Neven, Davy, et al. "Towards end-to-end lane detection: an instance segmentation approach." 2018 IEEE intelligent vehicles symposium (IV). IEEE, 2018.
6. Lashkov, Igor, Runze Yuan, and Guohui Zhang. "Edge-computing-facilitated nighttime vehicle detection investigations with CLAHE-enhanced images." IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 24.11 (2023): 13370-13383.
7. Pham, Tuan D. "Kriging-weighted laplacian kernels for grayscale image sharpening." Ieee Access 10 (2022): 57094-57106.
8. Terven, Juan, Diana-Margarita Córdova-Esparza, and Julio-Alejandro Romero-González. "A comprehensive review of yolo architectures in computer vision: From

yolov1 to yolov8 and yolo-nas." Machine Learning and Knowledge Extraction 5.4 (2023): 1680-1716.
9. 표정원, “VRU 충돌 방지를 위한 V2V 기반 인지 증강을 활용한 차량 상태 결정 방법”, 2023 한국ITS학회 추계학술대회, 2023
10. Dosovitskiy, Alexey, et al. "CARLA: An open urban driving simulator." Conference on robot learning. PMLR, 2017.

AJOU UNIVERSITY
Investigating the Impact of Low Speed Autonomous
저속주행 자율주행 도시환경관리 서비스 차량이 도심교통류에
미치는 영향 분석
발표자 | 김 주 영
공저자 | 소 재 현

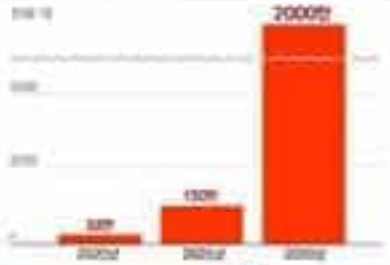

AJOU UNIVERSITY
TABLE OF CONTENTS
INTRODUCTION
LITERATURE REVIEW
METHOD & RESULT
1. Simulation Setting & Toy Network(Hypothesized)
2. Test Scenario & Performance Measures
3. Simulation Result
DISSCUSION & CONCLUSION

다양한 목적 기반 모빌리티(PBV)

- 다양한 목적 기반 모빌리티(Purpose Built Vehicle)은 활용 목적/용도에 따라 다양한 형태와 기능을 가진 차량으로 특수한 목적에 맞게 설계된 모빌리티
- 대중교통과 같은 이동 서비스 외 휴식, 물류, 상업, 의료(긴급) 등 다양한 서비스를 제공하며, 이동수단에 머물던 자동차의 생활 범위를 확장하는 개념

PBV의 시장 확대

- 코로나 19로 인한 이커머스 시장이 확대되면서 택배 물류 서비스에 대한 수요가 급격히 확대됨
- 기아자동차에서는 물류 운송 및 이동식 스토어, 레저 등 다양한 용도로 활용할 수 있는 1인승 레이 밴을 공개하였으며, CES2024에서 전시한 "PV5" 2025년 출시 예정
- PBV의 시장은 2020년 전세계에서 약 32만대 정도가 팔렸으며, 연평균 33%씩 성장
- 자율주행 및 친기차량의 기술 고도화로 인해 친환경 자율주행 PBV차량이 빠르게 성장



"PBV차량과 일반차량 혼재 시, 교통류에 미치는 영향 분석 필요"

자율주행 Lv.4/4+ 기반 도시환경관리 서비스

- 도로노면 청소, 미세먼지 모니터링 및 저감, 코로나 19 등 전염병 방역/소독 등 다양한 환경관리 서비스를 통해 자동차의 보행자를 위한 쾌적한 도로 및 도시환경을 유지
- 시민 삶의 질 향상과 쾌적한 도시환경 제공을 위한 공공서비스
- 365일 24시간 친환경 차량을 활용하여 안전한 대시민 환경•방역 서비스

도로노면 청소 차량

- 자동차 전용도로와 고속도로, 시도 등 갓길 주변과 중앙분리대 주변에 쌓여있는 이물질 쓰레기, 먼지 등을 브러쉬를 통해 흡입 마우스로 보내어 진공으로 흡입하여 청소하는 특수 차량
- 차선 내 운행이 아닌 차선 외 운행(속도 주행) 필요
- 서비스 효율성을 위한 자속주행(5~10km/h) 유지 필요

"일반 차량의 주행행태와 차이가 많이 나는 도로노면 청소차량을 우선적으로 분석"

문헌 고찰

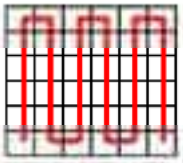
일반차량과 긴급/AV 차량의 혼재 상황

Author	content
김용호, et al (2020)	긴급차량 우선신호(Preemption) 제어 적용을 통한에 관한 연구 - 긴급차량 Signal Preemption 제어를 신호연 로 vs 표준 시간제 차량 시뮬레이션을 통해 검증 - 긴급차량이 통행하는 중 (차량 지체가 감소하였을 확인하였고, 일반차량의 지체는 증가함
박병호, 외 al (2020)	주요 교차로의 혼잡지체를 고려한 긴급차량 우선제어 신호운영 개발-복제 주기와 신호시간 산정을 중심으로 Developed the multiple-vehicle cooperation and collision avoidance (MCC) system - 긴급차량 우선제어 신호모델을 개발하여 시뮬레이션을 통해 검증 - 긴급차량의 통행시간이 단축된 것을 확인하였으나, 일반차량의 지체는 증가함
Ko, et al (2022)	Analysis of Effects of Autonomous Vehicle Market Share Changes on Expressway Traffic Flow Using IDM Developed the multiple-vehicle cooperation and collision avoidance (MCC) system - 시뮬레이션을 활용하여 자율주행차량의 시장점유율에 따른 교통류 영향 분석 진행 - 시장점유율이 30~40%일 때
김한석, et al (2019)	AV도입에 따른 교차로 진출입구간 교통류 특성 분석 - 시뮬레이션을 활용하여 자율주행 차량의 시장점유율에 따른 교통류 영향 분석 진행 - 교통류의

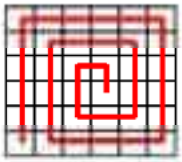
≫ 주행행태가 다른 차량이 교통류에 도입되었을 때, 교통류는 불안정해짐

효율성을 고려한 경로 계획

Author	content
한국교, 외 al (2020)	차량용 정보로봇의 제어 효율 - 한국교과학원 고가로봇공학팀 로봇개발, 고가능력이로 1.8x - 고가능력이 2대, 정보로봇을 고려한 로봇이동 을 통해스케이팅 서비스이 됨 - 다중로봇을 활 로봇능로 두 서로 경로가 겹치지 않도록 보장하고자 하였음, 2대 이
Mustafa, A. J. M. et al (2020)	개선되도를 이용한 정보로봇 경로 계획 - 기존 많이 활용되는 정보교통이 정보기술은 서비스에서 변화 정보기술임 - 변화 정보는 최근 증가하는 70~ 정도 로봇서비스 정보를 수행하고 보다 효과적 경우 가능함 - 서비스이 정보는 인공지능 정보를 진행하기 때문에 효과는 정확도나 적합 서로가 나옴



(Rectangular 경기)



(Spiral 경기)

≫ 청소 효율성 및 작업속도를 고려할 때, 두 가지 경로를 많이 활용

Thank you.

감사합니다.

AJOU UNIVERSITY

MOVE

김주명 JuYeong Kim
Dept. of Convergence of ICNA,
AJOU UNIVERSITY
Email: jooyoung2500@ajou.ac.kr

Lv.3 자율주행차 상용화 대비 안전교육 효과분석
- 제어권전환을 중심으로-

한국도로교통공단
교통과학연구원 김태근 책임연구원

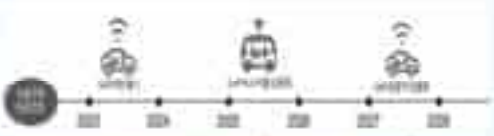
Contents

1. 연구배경 및 연구방법
2. 연구내용
3. 연구결과
4. 결론

1. 연구배경 및 연구방법

연구 배경

○ 자율주행 추진 로드맵



- 25년까지 Lv.3 상용화
- 도로교통법 개선 및 초기 모델 정립 필요

○ 자율주행 특성에 따른 문제 발생

- 자율주행 실증 및 운행 서비스 확대에 따른, 기존 도로 교통 체계와 다른 양상의 안전 문제들 국내·외 발생

➔ (운전자 관점)자율주행 대비 자율주행차 안전교육 필요

연구방법

○ 대상

- 일반인 지원자 대상
- A그룹(교육 및 기능안내), B그룹(기능안내) 각 32명

○ 방법

- 시뮬레이터 실험데이터
- 설문조사

○ 내용

- Lv.3 자율주행차의 제어권 전환 시나리오 개발
- 제어권 전환 실험 수행 및 방법 개발
- 제어권 전환 안전교육 유무에 따른 결과분석

- 시뮬레이터, 설문조사를 통한 교육 유무 따른 데이터 비교 분석
- 자율주행차 교통안전교육 효과 분석

2. 연구내용

시나리오 개발

○ 고려환경

- 고속도로 및 자동차 전용도로 구간 (Lv.3 자율주행 ODD환경)
- 최근 3개년 1만2천여건 고속도로 교통사고 분석

사고유형	개수	비율
과속	98	0.8%
기타	355	3.0%
안전거리미확보	3374	28.0%
안전운전불이행	7784	64.7%
차로위반	417	3.5%
총합계	12029	100.0%

○ 시나리오 방향: 안전거리 미확보 돌발상황

- 자율주행차 또는 외적인 원인의 돌발사항 발생시 안전거리의 급격한 감소 ➔ 제어권 전환 발생

○ 시나리오 개발 고려사항

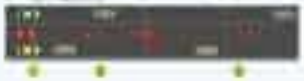
- Lv.3 자율주행 제어권 전환 환경
  - 시나리오 5종 제안
  - ➔ 계획된 제어권 전환, 차선물량, 사고차량, 시스템 고장, 장애물
- 제어권 전환전 자율주행 환경 유지
  - 운전자가 자율주행에 익숙해 질 수 있는 시간 확보
  - 비운전과업(NDRT: Non Driving Related Task)을 통한 운전자 주의력 분산상황 모사
  - 영상 활용한 NDRT 수행
  - ➔ 개인별, 연령별 편향 최소화 및 안전교육학습의 효과를 확인 위한 NDRT영향 최소화

- 각 시나리오의 처음과 끝 동일하게 구성
  - 피실험자의 시나리오 예측 가능성 배제

2. 연구내용

시나리오 개발

○ 자율주행 제어권전환 시나리오 3종

시나리오	그림	상황
계획된 제어권 전환 (PT: Planed - Take over)		톨게이트나 램프구간 등에 근접하여 미리 계획된 제어권 전환 요청
제어권 전환-차선통행 (UTM: Unplaned - Take over - Missing Lane)		전방차량 차선이 사라짐으로 인한 제어권 전환 요구 (LKA 시스템 지원 불가)
제어권 전환-시스템 고장 (UTS: Unplaned - Take over - System Failure)		자율주행 시스템 고장(fail)으로 제어권 전환 요구

○ 자율주행 제어권전환 시나리오 2종(회피기동 필요)

시나리오	그림	상황
제어권 전환-장애물 (UTO: Unplaned - Take over - Obstacle)		전방차량 장애물 감지 후 제어권 전환 요구
제어권 전환-사고차량 (UTV: Unplaned - Take over - Accident Vehicle)		전방차량 발생한 사고차량 감지 후 제어권 전환 요구

2. 연구내용

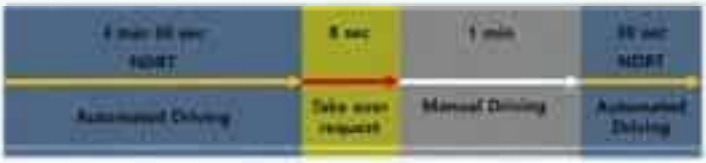
시나리오 개발

○ 시나리오 구성

- 시나리오 1개당 약 5분으로 구성
  - 시작 ~ 3'30" : 자율주행모드, NDRT 수행
  - 3'30" ~ 3'38" : 제어권 전환 알람요청
  - 3'38" ~ 4'38" : 수동운전(운전자 주체)
  - 4'38" ~ 5'08" : 자율주행모드, NDRT 수행

➔ 자율주행 모드로 처음과 끝이 동일하여 운전자는 시나리오 예측 불가능

➔ 시나리오에 따라 제어권 전환전 추가 알람 설정



○ 시나리오 상황 화면구성

- 상황에 맞는 아이콘 및 알람 구성으로 정보 전달

자율주행 모드

수동주행 제어권 전환 요청

수동주행 모드

자율주행 제어권 전환 요청

계획된 제어권 전환

시스템 Fail

2. 연구내용

실험수행

○ 실험대상

- A 그룹: 교육 및 기능안내, B 그룹: 기능안내만 수행
- 구성: 20대~50대 여성 및 남성 32명(A,B그룹 동일)

연령대	성별	
	남	여
20대	4	4
30대	4	4
40대	4	4
50대	4	4
합계	16	16

- 기존 타실험 시뮬레이터 실험 탑승자 제외(조건 균질화)
- 고령자 제외(데이터의 과도한 이산 현상 발생)

- 실험 순서

- A,B그룹 교육유무 따른 차이 발생지점

○ 교육 및 실험 방법

- 교육방법
  - 녹화된 교육자료 활용
    → 교육주체별 내용 및 시간 등 균질화로 교육편차 해제
- 교육내용
  - 돌발상황 제어권 전환 발생시 회피방법
  - 2차 사고 예방을 위한 피해야할 행동, 사고사례
- 실험방법
  - Pilot test진행
    → 1차 실험전 Pilot test 진행으로 시뮬레이터 적응시간 제공
    → 계획된 제어권 전환 시나리오 활용
  - Random 시나리오 구성
    → 시나리오 예측 불가능
  - 실험 사진

피실험자 탑승

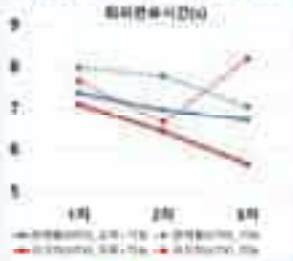
피실험자 체험화면

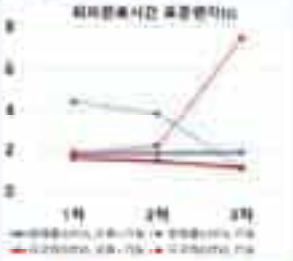
3. 연구결과

시뮬레이터 데이터 분석결과

○ 회피기동 시나리오 관련 데이터 분석

- 회피시간 및 표준편차
  - 회피기동이 필요한 시나리오 수행시 제어권 발령을 요청 받은뒤 운전자가 차선이동 하기까지 소요된 시간 및 표준편차





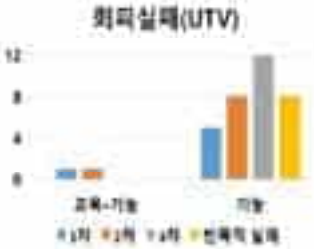
- A그룹(교육)이 B그룹대비 회피완료 시간 평균 0.85초 감소
- A그룹(교육)이 B그룹대비 회피완료 표준편차 시간 1.85초 감소

→ 기능안내만 수행시 개인별 수준 차이가 크고 실험차수 따른 감소 확인 불가

→ 2차사고 발생 가능성

○ 회피기동 시나리오 관련 데이터 분석

- 회피실패
  - 회피기동이 필요한 시나리오(UTV, UTO) 수행 시 피실험자가 회피하지 못하고 충돌 또는 정지
  - 반복적 실패: 동일 피실험자가 같은 시나리오에서 2번 이상 회피실패를 보이는 경우



- A그룹(교육)은 실험차수의 반복에 따른 회피실패 감소현상 연관성
- B그룹은 실험차수와 반복에 따른 회피실패 감소현상 연관성 없음
- 반복적 실패의 경우 A그룹(교육)은 발생 하지 않으나 B 그룹은 반복적 실패 현상이 발생함

→ 교육에 의한 개인별 편차 감소 및 반복 실패 예방 가능

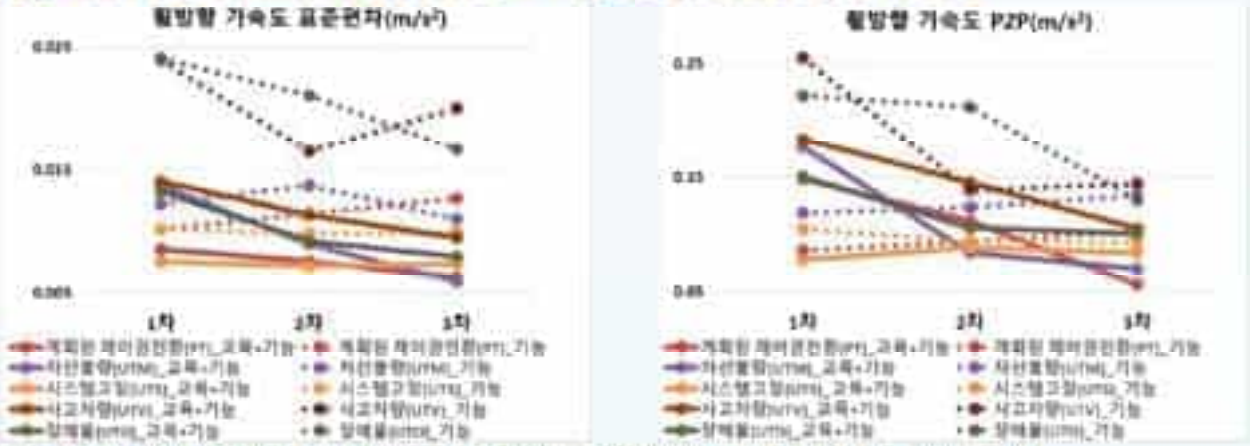
3. 연구결과

시뮬레이터 데이터 분석결과

○ 횡방향 가속도 분석

- 횡방향 가속도 표준편차 및 peak to peak(P2P)

  • 횡방향 가속도 표준편차와 P2P의 값이 클수록 좌우방향으로의 전환이 큰 것을 나타내며 안전성이 감소함



  • A 그룹(교육)은 실험차수에 따라 횡방향 가속도 표준편차와 P2P 감소하나, B 그룹은 경향성이 크게 나타나지 않음

  • 회피기동 시나리오(U10, U1V)에서 B그룹은 타 시나리오대비 횡방향 가속도 표준편차와 P2P값이 크게 벗어나는 결과

  ➔ 회피시나리오에서 교육으로 인한 안전성 효과 차이가 큼

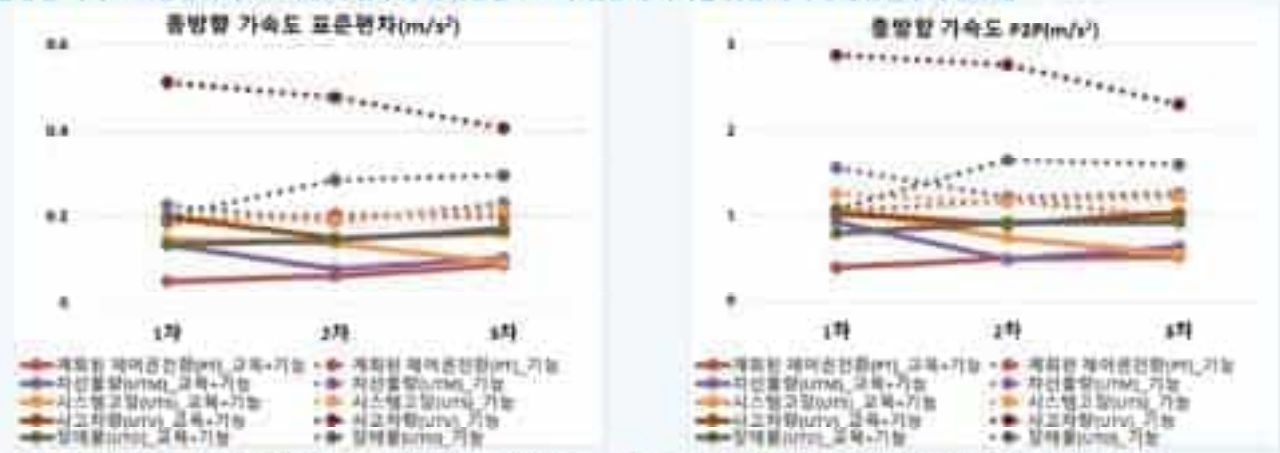
3. 연구결과

시뮬레이터 데이터 분석결과

○ 종방향 가속도 분석

- 종방향 가속도 표준편차 및 peak to peak(P2P)

  • 종방향 가속도 표준편차와 P2P의 값이 클수록 앞뒤방향으로의 전환이 가파른 것을 나타내며 안전성이 감소함



  • A그룹(교육)은 모든 시나리오에서 표준편차 0.2 이하, P2P 1이하, B그룹은 대부분의 표준편차 값이 0.2 이상, P2P 1이상 나타남

  • 회피기동 시나리오(U10, U1V)에서 B그룹의 표준편차와 P2P가 크게 나타남

  ➔ 앞차를 등의 앞에서 1차로 통한 회피보다 급감속을 택하는 피실험자가 다수 존재(2차사고 발생가능) ➔ 그룹별 비교시 교육으로 개선 가능

4. 결론

결론

○ 자율주행 시뮬레이터 데이터 분석 결과(대응시간 및 회피실패)

- 대응시간 분석: A그룹(교육)이 B그룹대비 감소율이 높으며 최대 1.9초 차이 발생
- 회피시간 분석: A그룹(교육)이 B그룹 대비 회피시간 0.85초 감소 및 개인별 수준차이 감소현상 관측
- 회피실패 분석: A그룹(교육)은 실험차수와 교육의 반복에 따라 회피실패가 감소 뚜렷하나 B그룹은 없음

○ 자율주행 시뮬레이터 데이터 분석 결과(가속도)

- 횡가속도 분석: A그룹(교육)은 실험 차수에 따라 표준편차와 최대최소(P2P) 감소하나 B그룹은 경향성 없음
- 종가속도 분석: A그룹(교육)은 B그룹 대비 안정적인 표준 편차와 최대최소(P2P) 보이며 B그룹은 급감속 등으로 인한 2차사고 발생 가능성 높음
- 회피 기동(난이도 大) 시나리오 수행 시 교육의 효과 大 확인

➔ 자율주행 상용화 대비 안전교육 효과 확인

한국도로교통공단 KOROAD

심층 강화 학습을 통한 공사 구간 차로 변경 최적화 연구

심현섭(서울시립대학교 교통공학과 석사과정)
박신형(서울시립대학교 교통공학과 교수)

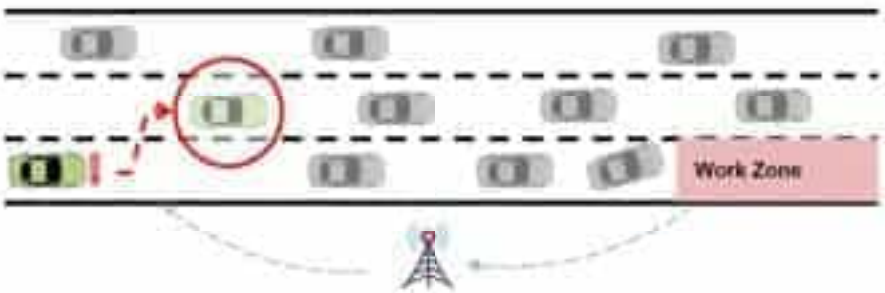
2024.10.25.

한국ITS학회 서울시립대학교

Part 1. Introduction

01. 배경 & 목적

- 최근 몇년간 인공지능(AI), 센서, 통신 기술 등의 발전으로 자율주행차량의 상용화에 압당거지고 있음
- 자율주행차량 기술의 발전에 따라 이 차량들은 효율적인 운전을 추구할 것으로 예상되며, 이는 교통 혼잡과 안전 문제 해결에 기여할 것으로 보임
- 상용화를 위해선 다양한 조건에서의 테스트가 필수적이며, 예기치 않은 사건이나 비정상적인 상황에서 자율주행차량의 효율적인 주행을 최적화하는 연구가 필요함
- 본 연구에서는 교통 시뮬레이션을 활용하여 공사 상황을 구현하고, 심층 강화학습 기법을 통해 차량의 안전성, 편의성, 효율성을 고려한 주행 최적화를 목표로 함



[공사상황에서의 자율주행차 주행 최적화 예시]

Part 2. Literature Review

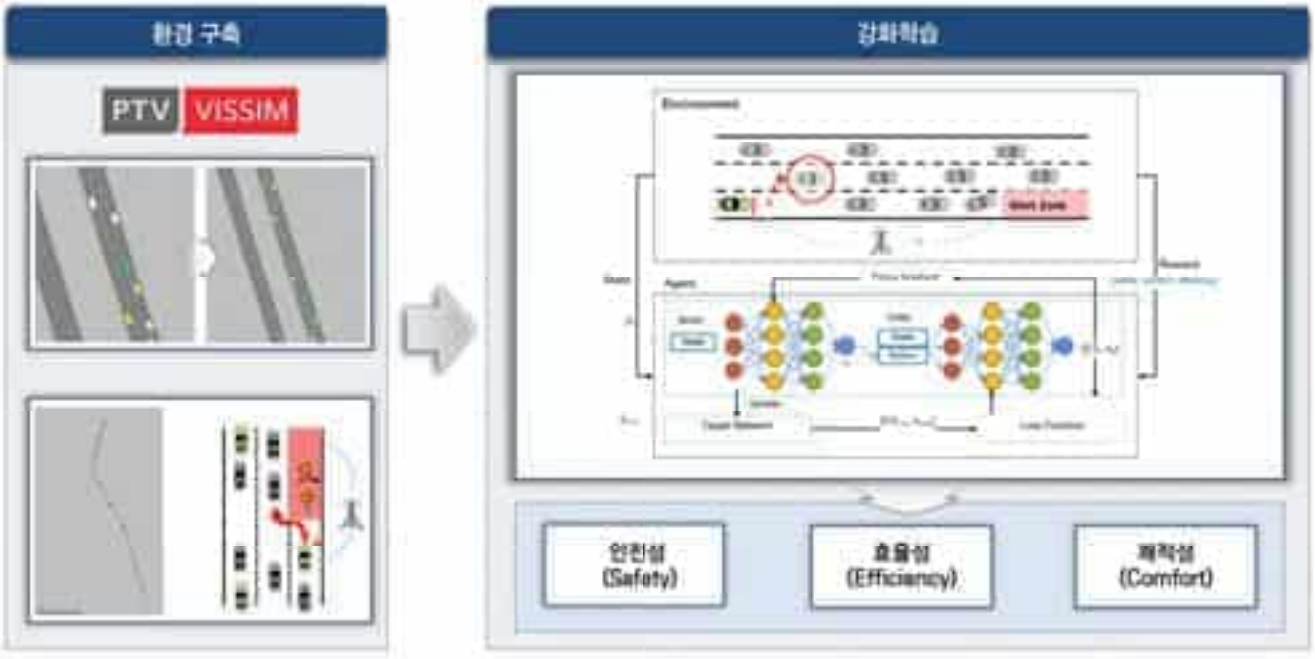
- 강화학습을 활용한 차로 변경 연구 보상함수로 안전성, 효율성, 쾌적성을 활용함
- 대부분의 차로 변경을 목적으로 둔 연구에서는 강제적으로 차로 변경 상황이 발생되는 이벤트를 고려하지 않음

Author	Purpose	Method(AI)	Reward function
Jiankun Peng et al. (2022)	Decision-making lane change and car-following	D3QN, DDPG	• The velocity of the preceding vehicle • The distance headway
Meixin Zhu et al. (2020)	Velocity control Car-Following	DDPG	• Safety : TTC • Efficiency : Short time Headway • Comfort : Jerk
Fei Ye et al. (2020)	Lane Change	PPO	• Comfort • Efficiency • Safety
Yilun Chen et al. (2019)	Lane Change	DDPG	• Road Alignmen • Lane Centering • Out-of-Bound Penalty • Prefer Speed Limit • Encourage Overtake

3

Part 3. Methodology

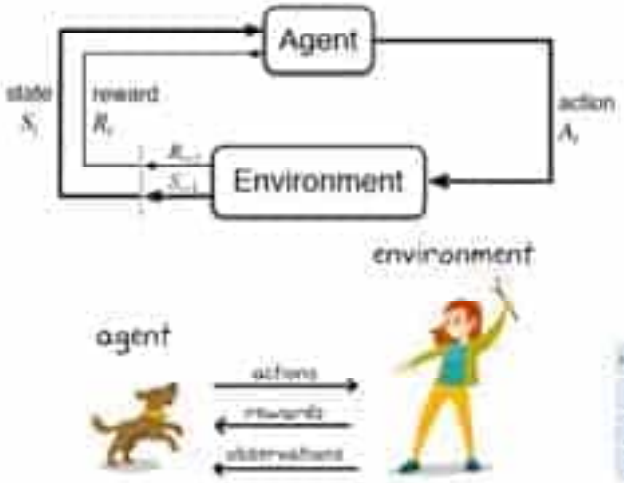
01. Framework



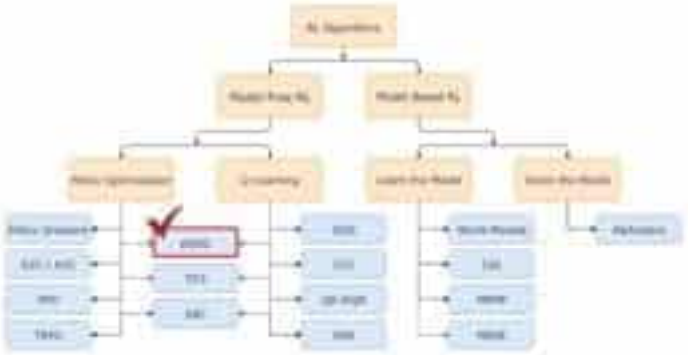
Part 3. Methodology

01. 강화학습

- 강화학습은 에이전트가 환경과 상호작용하며 보상을 극대화하기 위한 행동을 학습하는 기계 학습의 한 분야
- 에이전트는 특정 상태에서 행동을 선택하고, 그 행동의 결과로 보상을 받으며, 이를 통해 최적의 정책(행동 전략)을 학습



[강화학습 진행 과정]

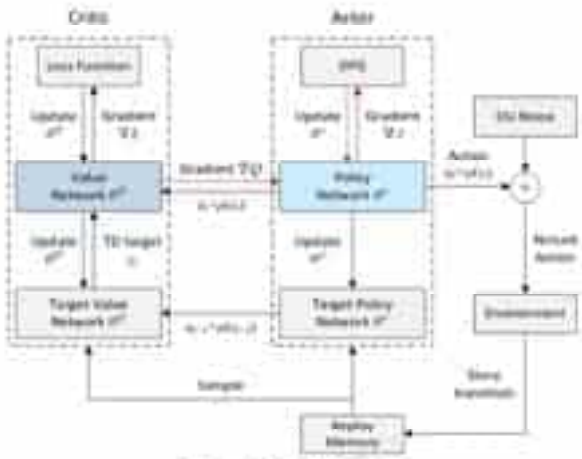


[강화학습 알고리즘의 구분에 따른 예시]

Part 3. Methodology

02. DDPG 알고리즘(Deep Deterministic Policy Gradient)

- Action을 선택하는 Actor Network가 존재하며, Action의 가치를 평가하는 Critic Network가 존재



[DDPG 알고리즘 구조]

Actor Network	주어진 상태에서 어떤 행동을 취할지 결정
Critic Network	특정 상태에서 특정 행동을 취했을 때 가치를 평가
Target Networks	Actor와 Critic 네트워크의 복사본으로, 학습의 안정성을 위해 사용
Replay Buffer	에이전트가 환경과 상호작용하면서 경험한 (상태, 행동, 보상, 다음 상태) 쌍을 저장
Exploration Noise	결정론적 정책에서 탐험을 도와 다양한 행동을 시도

Part 3. Methodology

03. 시뮬레이션 환경 구축

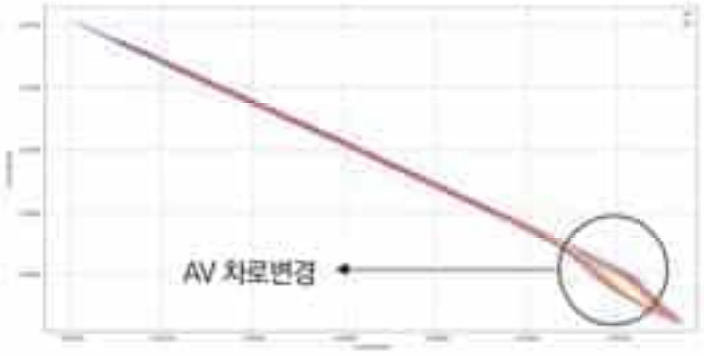
- 자율주행차량의 경우 V2X 신호를 받아 공사구간에 대한 정보를 미리 인지하고 차로 변경을 시도한다는 가정을 기반으로 시뮬레이션 환경을 설정함

[V2X 정보제공 받은 자율주행차량]

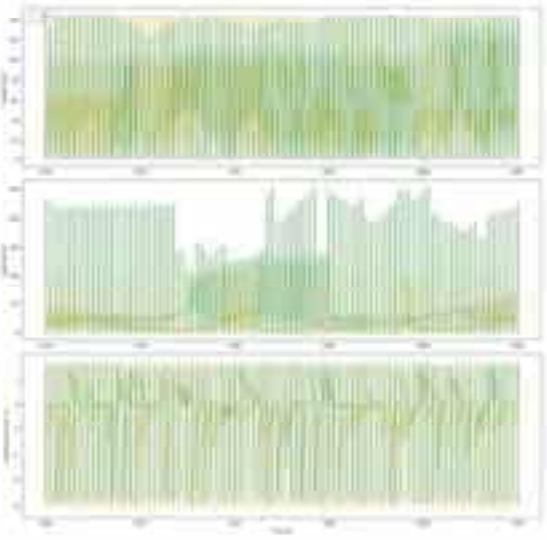
Part 4. Result

01. 시뮬레이션 샘플 데이터 분석

- V2X 통신을 받은 자율주행차량이 더 이전에 차로 변경을 시도하는 형태를 보이는 것을 확인함
- 2500-2600초에 해당하는 샘플 데이터의 분석(평균속도, 차량 간격, 가속도) 결과, 자율 주행차는 충분한 거리를 유지하는 반면 일반 차량은 더 짧은 거리를 유지하여 대기 차량이 원활하게 차로 변경할 공간이 충분하지 않은 것으로 나타남



[차로 변경 위치 히트맵]



[자율주행차, 일반차량의 샘플데이터 결과]

Part 4. Result

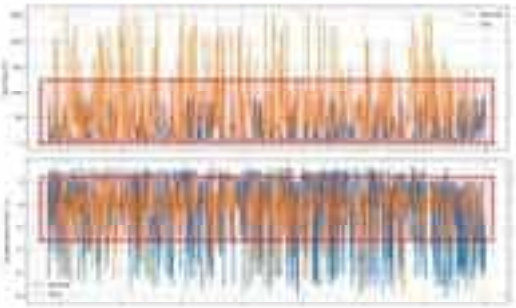
02. 학습된 데이터 분석

안전성(Time to Collision, TTC)

- 자율주행차량(V2X)이 더 높은 TTC 값의 분포를 나타내며 상대적 안전성이 높음을 알 수 있음

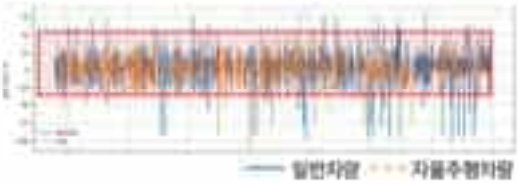
효율성(차간거리, 가속도)

- 일반차량이 선행차량과의 간격이 더 좁은 경우가 많이 발생하며, 이는 정체상황을 벗어나지 못한 것이 원인으로 파악됨
- 자율주행차량(V2X)이 가속도의 변화 폭이 낮게 나타나며, 기본적인 주행의 변동성이 적음을 의미함



쾌적성(Jerk)

- 자율주행 차량은 가감속을 하기위한 급정지, 급가속에 대한 비율의 변동이 더 적음을 확인 가능하며 일정한 주행 안정성을 보임



Part 5. Conclusion

- 본 연구에서는 교통 시뮬레이션을 활용하여 공사 상황을 구현하고, 심층 강화학습 기법을 통해 차량의 안전성, 편의성, 효율성을 고려한 주행 최적화를 목표로 함
- V2X 정보를 얻은 자율주행차량은 공사구간을 인식하고 차로 변경을 미리 시도하는 주행 패턴을 보임
- 학습된 자율주행차량들은 안전성, 효율성, 쾌적성 부문에서 일반차량에 비해 더 좋은 결과를 나타냄
- 향후 연구방향으로는 시뮬레이션 환경 내에서 데이터를 실시간으로 추출 한 후 그 결과를 학습에 사용하였으며, 학습된 데이터를 시뮬레이션 상에서 실시간적으로 주기적 학습하는 알고리즘을 구축하고 MOBIL(Minimizing Overall Braking Induced by Lane change)과 비교하는 연구를 수행하고자 함

VISSIM을 활용한 V2X 환경 구현 → 주행된 데이터를 추출하여 학습에 사용하는 방식에서 실시간적으로 주행이 학습되도록 환경 구축

심층 강화학습을 통한 모델 개발 → 기존 DDPG 알고리즘의 성능을 더 높이는 방안 마련

향후 연구방향

실시간 기반 강화 학습 모델 환경 구축

기존 모델과 MOBIL 모델 비교

참고 문헌

1. Zhu, M., Wang, Y., Pu, Z., Hu, J., Wang, X., & Ke, R. (2020). Safe, efficient, and comfortable velocity control based on reinforcement learning for autonomous driving. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 117, 102662.
2. Peng, J., Zhang, S., Zhou, Y., & Li, Z. (2022). An integrated model for autonomous speed and lane change decision-making based on deep reinforcement learning. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 23(11), 21848-21860.
3. Ye, F., Cheng, X., Wang, P., Chan, C. Y., & Zhang, J. (2020, October). Automated lane change strategy using proximal policy optimization-based deep reinforcement learning. In 2020 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV) (pp. 1746-1752). IEEE.
4. Chen, Y., Dong, C., Palanisamy, P., Mudalige, P., Muelling, K., & Dolan, J. M. (2019). Attention-based hierarchical deep reinforcement learning for lane change behaviors in autonomous driving. In Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (pp. 0-0).
5. https://davinci-ai.tistory.com/31
6. https://kr.mathworks.com/discovery/reinforcement-learning.html
7. https://dacon.io/forum/406104
8. https://ai-com.tistory.com/entry/RL-%EA%B0%95%ED%99%94%ED%95%99%EC%8A%B5-%EC%95%8C%EA%B3%A0%EB%A6%AC%EC%A6%98-4-DDPG

감사합니다.
Q&A

신호등이 없는 교차로에서 차량 안내를 위한 iTransformer의 궤적 예측

Trajectory Prediction of iTransformer for Guidance of Vehicle at Unsignalized Intersections

정수환*, 이재현, 이재훈***, 이수목******

* 주저자 : 아주대학교 소프트웨어학과 학사과정
** 공저자 : 아주대학교 D.N.A. 플러스 융합학과 석사과정
*** 공저자 : 아주대학교 기계공학과 학사
**** 교신저자 : 아주대학교 AI모빌리티공학과 교수

Keywords : Infra, Trajectory estimation, Transformer, iTransformer

목 차

Introduction, Overall Trajectory algorithm, Evaluation, Conclusion

Ⅰ. Introduction

최근, 자율주행 산업이 주목받음에 따라 도로에 움직이는 차량의 움직임을 예측하는 trajectory estimation 연구가 중요해졌다. 자율주행 차량의 센서들을 이용하여 주변 차량의 정보를 수집하는데, 센서들의 인식 한계로 인해 멀리 있는 차량에 대해서는 수집하지 못한다. 또한, 자율주행 차량도 도로에서 주행 중일 때 계속해서 도로 상황이 달라진다(자율주행 차량이 현재 위치하고 있는 교차로의 종류). 이로 인해 주변 차량의 움직임뿐만 아니라 주변 도로의 정보까지 수집해야 해서 움직임 예측을 위해 많은 정보가 필요하고 이에 따른 추론 시간이 길어지게 된다.

Infra의 경우, 고정된 교차로에서 라이다, 카메라 등의 센서를 가지고 교차로의 상황을 인식하기 때문에 차량이 인식하지 못하는 정보(멀리 있는 차량, 다른 차량에 의해 가려진 차량 등)까지 수집할 수 있다. 또한, 하나의 교차로에 대해서만 고려하기 때문에 도로 정보는 고정되어있고 교차로에 진입한 차량에 대해서만 정보를 수집하기 때문에 추론 시간과 변수들이 줄어들게 된다.

이러한 이유로 인해 trajectory estimation은 안전 측면을 위해 제한된 정보만 수집하는 자율주행 차량에서만 필요한 것이 아닌 infra 측면에서 trajectory estimation도 연구되기 시작했다.

QCNet[1] 등은 사용할 수 있는 모든 정보를 query로 담아 활용하여 알고리즘을 구성하고 있으며 Argoverse 1 and Argoverse 2 motion forecasting[2][3]에서 가장 좋은 성능을 보였다. 하지만 trajectory estimation 연구에서 안전 측면에서 정확도도 좋아야 하지만 급변하는 상황이 많은 교통상황에서는 실시간성도 중요하다. QCNet는 모든 정보를 고려하여 성능이 좋은 만큼 추론 시간이 느리다는 단점이 있다.

다양한 교차로, 그리고 실시간성의 이유 등으로, trajectory 만을 이용하여 알고리즘을 구성해야 하는 사례도 존재한다. 이에 관련한 TNT[4], Social-LSTM[5], BAT[6] 들이 있으며, 특히 시계열 예측에 주목받는 transformer를 이용한 방법[7]도 있는데 기존의 RNN보다 성능이 뛰어나며 복잡한 패턴을 잘 포착하게 되었다.

하지만, transformer의 경우 positional encoding 구성이 들어가는 특성상 해당 부분이 학습이 제대로 되지 않으면 성능이 떨어질 염려가 있다. 이는 또한 한 지역에 대해서 학습이 이뤄지면 특정 positional encoding에 overfilling 되어 다른 공간상의 인프라 장치에서는 동일하게 잘 동작하지 않을 수 있다는 문제가 있다. 또한, lookback window가 길수록 성능이 떨어지고, computation이 폭발적으로 증가한다는 한계점이 있다. 긴 시계열 입력에 추론 시간이 오래 걸리고 복잡한 구조의 encoder-decoder 기반의 transformer의 약점이다.

본 논문에서는 iTransformer[8]를 이용한 차량 경로 예측 알고리즘을 제안한다. 제안된 iTransformer 네트워크 기반 경로 예측 알고리즘은 긴 시계열 차량 시퀀스 전체를 토큰화하여 전처리한 값을 입력으로 받는 전처리 구조와 transformer보다 간단한 구조적 특징을 갖는 iTransformer를 실시간성이 중요한 trajectory estimation에서 추론 시간이 빨라지는 trajectory estimation에 접목시킨 알고리즘을 제안한다.

우리의 contribution은 다음과 같다.

- 우리는 iTransformer기반의 경로 예측 알고리즘을 제안하여 positional encoding이 필요 없는 간단한 구조로 인해

추론 시간이 빨라지는 경로 예측을 달성하였다.

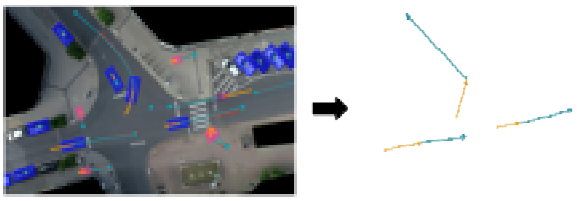
- iTransformer를 적용하기 위해 차량 시퀀스 시계열 데이터를 토큰화하는 방법에 대해서 제안한다.

II. Overall Trajectory algorithm

iTransformer는 이동 경로 예측을 위해 설계된 신경망 모델로, transformer 기반으로 하여 특정 패턴과 중요한 정보를 강조하는 구조로 되어 있다. 이 모델은 과거의 이동 데이터를 효과적으로 처리하고, self-attention 메커니즘을 활용하여 입력 시퀀스 내의 긴 의존성을 학습하며, 메모리 사용을 최적화하여 계산 효율성이 높다. iTransformer는 특히 실시간 예측 환경에서 강력한 성능을 발휘하며, 경로 예측과 같은 전문화된 문제에 효과적으로 적용될 수 있다.

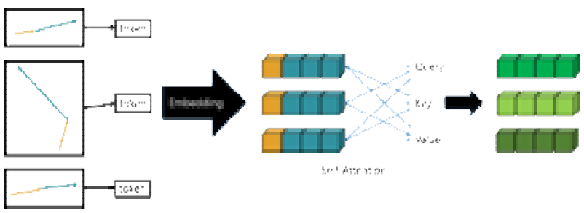
1. Architecture

iTransformer의 입력을 차량의 기록된 경로를 시계열로 받고 iTransformer를 통해 각 차량의 입력을 기반으로 예측된 경로를 출력한다.



<그림 1> 데이터 세트에서 움직이는 차량만 추출

우리는 움직이고 있는 차량(속도와 가속도 ≠ 0)의 100프레임씩 가져와 25프레임을 history(1초, 주황색), 75프레임을 모델에 학습하기 위한 ground truth(3초, 청록색)로 추출한다.



<그림 2> 추출한 차량 움직임을 토큰화

움직이는 차량의 history와 ground truth(25프레임 + 75프레임 = 100프레임)를 토큰화하고 iTransformer에 입력으로 넣는다. 토큰은 임베딩을 통해 self-attention를 한다.

2. Input & output

입력으로는 inD[9]와 rounD[10]의 움직이는 차량을 가지고 차량마다 25프레임(1초)을 한 시계열 데이터로 받는다.

출력으로는 25프레임의 입력을 두고 75프레임(3초)에 해당하는 차량의 예측경로를 출력한다.

3. Loss function

$$Smooth\,L1\,Loss(x) = \begin{cases} 0.5x^2 & \text{if } |x| < 1 \\ |x| - 0.5 & \text{if } |x| \geq 1 \end{cases}$$

III. Evaluation

1. Dataset

우리는 RWTH 아헨 대학교 자동차 공학 연구소 (ika) 팀이 다양한 이동성 도메인의 연구를 촉진하기 위해 만들어서 공개한 inD, rounD 데이터 세트를 사용하였다.

두 dataset 모두 각 시나리오에 교차로의 사진, 시나리오에 대한 정보(차량 수, 기록한 프레임 수 등), 시나리오에 등장하는 각 차량의 정보(차량의 좌표(x, y)와 각 x, y에 대한 속도, 가속도 등)이 기록되어있다. 우리는 고정된 교차로의 인프라를 위해 동일한 교차로의 다양한 시나리오에서 움직이는 차량 데이터를 추출하여 인프라 측면으로 데이터를 사용하였다.

2. Metric

Avg Validation ADE	평균 valid average displacement error
Avg Validation FDE	평균 valid final displacement error
Inference Time	추론 시간

3. Training Details and Experiment Setup

배치 사이즈 2048, 차량의 기록 100프레임 중 앞의 25프레임(1초)은 history, 뒤의 75프레임(3초)은 모델 학습을 위한 정답값으로 사용하여 입력 데이터는 [2048, 25, 75]로 구성되어있다. 에폭은 1000으로 학습하여 NVIDIA GeForce RTX 3090 1개로 inD는 약 2시간, rounD는 약 8시간이 걸렸다.

4. Evaluation Performance

<표 1> 데이터 세트와 모델 별 성능 비교

Dataset	모델	Avg Validation ADE	Avg Validation FDE	Inference Time
inD	Transformer	0.442357719	1.363103271	1.59224E-06
	iTransformer	0.44540143	1.374310637	1.51778E-06
rounD	Transformer	0.401740104	1.56105125	4.89458E-06
	iTransformer	0.408886701	1.321100473	1.58977E-06

inD에서는 두 모델의 성능(ADE, FDE)은 차이가 크지 않지만, Inference Time이 iTransformer가 줄어든 것을 확인할 수 있고, rounD에서는 iTransformer가 FDE 성능이 더 좋고

Inference Time에서 훨씬 줄어든 것을 확인할 수 있다.

Ⅳ. Conclusion

인프라 측면에서 차량의 움직임을 예측하기 위해 iTransformer를 활용하여 기존의 Transformer보다 비슷하거나 더 좋은 성능으로 더 빠른 추론 시간으로 실시간성이 중요한 trajectory prediction에서 강점을 보였다.

사사

이 논문은 2024년도 정부(경찰청)의 재원으로 과학치안진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.RS-2024-00403630, 능동적 교통사고 예방 및 대응을 위한 자율주행 순찰 서비스 개발)

Reference

[1] :Zhou, Zikang, et al. "Query-centric trajectory prediction." Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2023.

[2] : Chang, Ming-Fang, et al. "Argoverse: 3d tracking and forecasting with rich maps." Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition. 2019.

[3] : Wilson, Benjamin, et al. "Argoverse 2: Next generation datasets for self-driving perception and forecasting." arXiv preprint arXiv:2301.00493 (2023).

[4] : Zhao, Hang, et al. "Tnt: Target-driven trajectory prediction." Conference on Robot Learning. PMLR, 2021.

[5] : Alahi, Alexandre, et al. "Social lstm: Human trajectory prediction in crowded spaces." Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. 2016.

[6] : Liao, Haicheng, et al. "Bat: Behavior-aware human-like trajectory prediction for autonomous driving." Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. Vol. 38. No. 9. 2024.

[7] : Giuliari, Francesco, et al. "Transformer networks for trajectory forecasting." 2020 25th international conference on pattern recognition (ICPR). IEEE, 2021.

[8] : Liu, Yong, et al. "itransformer: Inverted transformers are effective for time series forecasting." arXiv preprint arXiv:2310.06625 (2023).

[9] : Bock, Julian, et al. "The ind dataset: A drone dataset of naturalistic road user trajectories at german intersections." 2020 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV). IEEE, 2020.

[10] : Krajewski, Robert, et al. "The round dataset: A drone dataset of road user trajectories at roundabouts in germany." 2020 IEEE 23rd International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC). IEEE, 2020.

자율주행(II)

Session

A-4

실시간 교통신호정보 활용을 위한 데이터 표준 개발
이승철, 권순일, 서지현

RP-CNN을 이용한 자율주행차량 경로 예측 방법
이수행, 이지민, 문창주

KIS(KETI Infrastructure Stitching) Dataset: 다수 엣지 기반 카메라/라이다 데이터 스티칭을 통한 인프라 데이터셋
이재원, 정혜인, 장달원, 이종설

다수 엣지 기반 카메라/라이다 센서 데이터 스티칭을 통한 자율주행차량 음영지역 데이터 확장 시스템
이재원, 정혜인, 장달원, 이종설

임베디드 시스템을 위한 PIL 기반의 군집 주행 테스트 프레임워크 구현
최형주, 문창주

실시간 교통신호정보 활용을 위한 데이터 표준 개발

한국 ITS 추계학술대회 발표자료

이승철 책임연구원, 권순일 연구원, 서지현 연구원

실시간 교통신호정보 활용을 위한
데이터 표준 개발

Ⅰ 연구의 개요

Ⅱ 연구수행 절차

Ⅲ 연구수행 내용

Ⅳ 향후 추진 계획

1. 연구의 개요

1. 연구배경 및 목적

연구 배경 및 목적

연구 배경

- 배경 1: 자율주행, ICT 기술발전 및 다양한 모빌리티 등장으로 교통신호정보 활용 필요
- 배경 2: 다양한 교통객체와 교통안전시설 등 복잡한 교통환경에서 자율주행차의 주행을 지원하는 인프라 부족
- 배경 3: 지자체별, 테스트 기관별로 SAE J2735를 준용하여 사용 중에 있으나, 데이터 관리 방식 및 해석 방식 상이
- 배경 4: 정부의 '2023 미래자동차 산업 발전전략' 추진을 통한 '27년 세계 최초 완전 자율주행 상용화를 목표 설정

연구 목적

전국 호환성 확보를 위한 자율주행 교통신호정보 데이터 표준안 개발

"2027년 자율주행차 전국 주요 조기 상용화 달성"

자율주행차 교통신호정보 데이터 표준화를 통한

2. 연구수행 결과

1. 표준화 추진 경과

자율주행 데이터 국가표준 추진 경과

- SAE J2735기반으로 데이터 국가표준 제정 방향 설정
- '미래자동차 산업 발전전략' ('19.1)과 DNA(데이터·네트워크·AI) 기반의 '디지털 뉴딜' ('20.7)에 맞춰 자율주행차 서비스 활성화를 위한 '데이터 국가표준' 제정
- '25년 국가표준(KS) 제정완료를 목표로 표준 개발 추진

2020.09
- 자율차 데이터 국가표준 위원회 & 작업반 킥오프
  - 관련 법정부부처 및 기관으로 구성
  - 공단 EM 및 WG 위원 활동 참여
  - 표준안 작성 시작

2021.08
- 자율주행 신호정보 표준안 합의 및 표준방향 설정

2022.01
- 자율차 EM 직업반 SPaT 메시지 표준작업 게시

2023.07
- SPaT&TLS 메시지 초안 완료 및 관계부처 표준안 검토

2024.03
- 표준심의 상정을 위한 표준안 검토 및 보완
  - 주요 DF, DE 검토, 유관기관 의견 수렴, KS 서식 검토 등

2024.08
- SAE J2735에 TLS를 반영한 표준배포 최종 결정
  - 신호제어기의 방향코드를 활용하여 이동방향을 인지하는 방법으로 한국 메시지만의 고유성을 인정받아 국제표준 반영

2024.09
- SAE J2735에 TLSM 반영
  - 2024년 개정판 배포

2024.12
- KS 표준 '24년 하반기 제정 예정

1. 자율주행 교통신호정보 데이터 표준안 개발

SPaT(Signal Phase and Timing) & MAP

1. SPaT(Signal Phase and Timing) 메시지

- 신호상태, 잔여시간 등 교차로의 현재 신호 상태와 미래 변시 정보를 전달
- (MAP 메시지와 연계하여) 교통신호의 phase 및 status를 전달
- 차세지도를 보유하더라도 MAP 메시지 필요
- 주요 메시지 내용(포함 데이터)
  : 메시지 전송 시간(신호의 상태에 대한 시간), 교차로 상태 정보

2. MAP 메시지

- 차로 수준의 도로 형상, 주행에 대한 제한 정보, 차로의 속성 등에 대한 정보 전달
  - 지도 Indexing 시스템과 신호체계와 연계될 필요 있음
- 주요 메시지 내용(포함 데이터)
  : 전송시간, 레이어 유형, 교차로 정보, 도로 세그먼트, 데이터 파라미터, 기타 제한사항
- MAP 메시지 활용 시 참고사항
  - MAP 메시지에서의 차로 식별자(LaneID) 부여
  - MAP 메시지의 분할 및 병합
  - MAP 메시지에서의 접류 및 보기 지정
  - MAP 메시지 제한속도 표현
  - MAP 메시지를 이용한 차량의 차로 판단
  - 가변 주행 차로의 판단

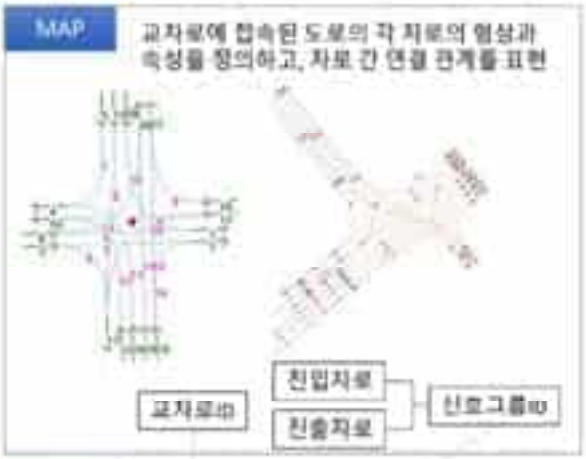


그림 SPaT/MAP 메시지 구조

1. 자율주행 교통신호정보 데이터 표준안 개발

표준안 추진 및 성과

1. TLSM(Traffic Light Status Message)

- (MAP 메시지와 연계없이 활용될 수 있는) 교통신호 정보를 전달
- DF_TrafficLightStatus 데이터 프레임은 교통신호기에 연결되어 있는 각 신호등의 상태 정보를 전달

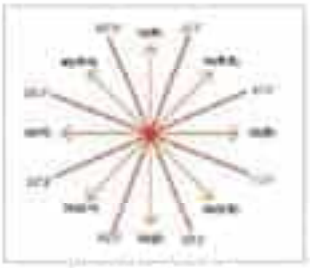
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
1	trafficLightType	교통신호의 유형을 나타냄. 예: 보행신호등, 자전거 신호등 등	M	DE_TrafficLightType
2	consecutiveTrafficLight	연동이 정보를 나타냄 - 하나의 교통신호 제어기에 2개 이상의 교차로 신호등을 연결하는 경우 주교차로가 아닌 교차로의 신호등 정보를 연동하기 위함 - 즉, 각 메시지에 포함된 교통신호가 하나의 교통신호만을 제어하는 교통신호 제어기에 의해 운영되고 있는지 아닌지를 표현 - 해당 신호를 제어하는 교통신호기에 대한 정보로 해석될 수 있음	M	DE_ConsecutiveTrafficLight
3	trafficLightIntervalType	교통신호 주기 유형을 나타냄 예: 고정, 연변주기	M	DE_TrafficLightIntervalType
4	pedestrianCall	교차로의 보행자 버튼이 눌러졌는지의 여부를 나타냄	M	DE_PedestrianCall
5	actuatedInterval	연장 또는 감응제어 되는 주기를 나타냄	M	DE_ActuatedInterval
6	permissiveNonProtected	교통신호가 비보호를 허용하는지의 여부를 나타냄 - 보호/비보호의 여부	M	DE_PermissiveNonProtected
7	lightingStatus	교통신호등의 점등 상태를 나타냄	M	DE_TrafficLightingStatus
8	maxIntervalLength	신호등 정적 상태의 최장지속시간(초)을 나타냄	M	DE_TimeInSecond-88
9	remainingTime	현 등화 상태의 최대 지속시간(초) 및 잔여시간(초)을 나타냄	M	DE_TimeInSecond-88
10	directionCode	각 교통신호를 표출하려는 차량의 진입 방향 - 해당 신호를 받아는 교통신호등을 식별하기 위한 정보로 이용될 수 있음 - 특정 교통신호등에 대한 정보는 해당 정보의 구축 및 관리 수준, 정산주기 및 정확성 확보 방안 등의 이유로 적절하므로 명시되기 어려움	M	DE_TrafficLightDirectionCode
11	reserved	예비 필드	M	DE_ReservedBit

2. 자율주행 교통신호정보 데이터 표준안 개발

표준안 추진 및 성과

- DE_ConsecutiveTrafficLight 데이터 엘리먼트는 연동지 정보를 나타냄
  - 연동지는 정지선과 동일한 설치방향과 방향코드를 부여
  - 연동지 방향코드의 일의 자리는 5부터 9까지 부여 가능
- DE_TrafficLightDirectionCode 데이터 엘리먼트는 국내 교통신호제어기 규격의 내용을 반영하는 이동류가 적용되는 방향을 표현하는 코드를 정의.
  이는 교통신호등이 적용되는 방향정보를 명시
  - 교차로가 같은 방향에 존재하는 경우에는 시계방향 순으로 일 단위에 번호를 부여 (일의자리5부터는 연동지 방향코드이므로, 일의 자리4까지교차로번호 부여 가능)

데이터 교형	코드 범위	기타 제조사항
INTEGER	10 ~ 80	1) 국내 교통신호제어기의 방향값 부여 방향에 따라, 다음과 같이 간격을 기준으로 다음의 값을 사용한다. 2) (진)북 = 10, 동 = 20, 남 = 30, 서 = 40
[참고] • a 방향코드의 의미 및 활용에 대한 부가설명 - 방향코드는 해당 교차로에 대해 교통신호제어기가 표시될 때 고정 집계됨 - 방향코드는 교차로에 대한 진입로에서 관한 신호등의 방향으로 이해하여야 하며, 각 주요 방향에 대한 사례를 도시하여야 구축과 같음		



[그림] 방향코드 부여 사례

[그림] 방향에 대한 사례 도시화

2. TLSM(Traffic Light Status Message)의 특징점

- 기존 표준에서는 신호정보와 방향정보가 별도로 있었는데, TLSM은 자체에 방향정보(direction code)가 포함되어 있음.
  > 별도의 MAP 메시지(정밀지도) 구축 없이 자체 지도 활용 가능
- TLS메시지는 도로 구간의 교통 흐름이나 교차로에서의 대략적인 이동 방향과 같은 가능이 필요한 다양한 응용 프로그램에 효과적으로 활용될 수 있음

3. 국내 표준 채택

경찰청 표준규격 및 국가 표준(KS)

1. 경찰청 교통신호제어기 표준규격

- SAE J2735를 바탕으로 신호정보 데이터 표준안을 우리나라 상황에 맞도록 수정 및 확정
- 센터 기반 신호정보 수집 기술 표준 개정
  - 센터 기반의 실시간 교통신호정보 수집 및 제공 기술에 대하여 「경찰청 교통신호제어기 표준규격서」에 반영
  - dual-vpn을 활용, 하나의 모뎀을 통해 지역신호센터와 경찰청 센터로 동시에 데이터를 전송할 수 있으며, 이를 통해 인프라 구축 및 통신비용을 절감할 수 있는 효과 발생
  ⇒ 지자체 재정 부담 감소하여 시스템 확대 구축 용이, 전국 단절없는 서비스 가능

[그림] 경찰청 교통신호제어기 표준규격 (개정 중)

2. 국가 표준(KS) 제정

- 「경찰청 교통신호제어기 표준규격서」 자율주행 신호정보 표준을 국가표준, 국제표준으로 제안하여 심의 진행, '24년 하반기 제정 예정
- 국내 표준제정은 국가표준제정을 위한 전문위원회 상정 심의 중
  - 현재 신호정보 표준(안)은 J2735방식과 공단방식* 두 가지 모두 포함하고 있음
  *공단방식 : LTE이동통신을 기반으로 도시교통정보센터를 중심으로 실시간신호상태정보를 수집 제공

4. 국제 표준 채택

국제 표준 SAE J2735

1. 국제 표준 SAE J2735

- 공단에서 제안한 TLSM(Traffic Light Status Message)는 MAP데이터 없이 신호제어기의 방향코드를 활용하여 이동방향을 인지하는 방법으로 한국 메시지만의 고유성을 인정받아 국제표준에 채택됨
- 한국의 교통 신호 운영을 지원하기 위해 추가되었지만, 향후 다른 나라에서도 적용할 수 있음.
- SAE J2735에 TLSM 반영 (2024.09): 2024년 개정안으로 반영되어 배포

[그림] TLSM의 SAE 표준

1. 향후 추진 계획

향후 추진 계획

1. 실시간 교통신호정보 수집·제공 시스템 서비스 제공

- 공단 방식의 특징점으로, 기존 인프라(교통신호제어기, 모뎀) 고도화만으로 신호정보 활용 가능하여 확대구축 용이
  - 현재 10개 지자체, 2,052개 교통신호제어기 정보 연계, 5개(현대기아 외 4개) 민간기업 서비스 제공 중
  - 내년도부터 더 많은 지자체에서 확대 구축될 예정
  - 강릉시의 경우 한약을 대상으로 인프라 구축하여 10월에 완료될 예정이며, 11월 중 강릉시 전역에 대한 교통정보 제공 가능
- 경찰청 4과제에서 체담 정보를 TLSM으로 바꿔서 자율주행차로 정보제공하는 테스트 예정('25년 예정)
  - '24년 통합관제센터 구축 후, '25년 데이터를 자율주행차에 서비스 예정

[그림] 실시간 교통신호정보 수집·제공 시스템 서비스 제공

RP-CNN을 이용한 자율주행차량 경로 예측 방법

Trajectory Prediction for Autonomous Vehicles Using RP-CNN

이수행 (건국대학교, 학부과정)
이지민 (건국대학교, 석사과정)
문창주 (건국대학교, 교수)

Key Words : Trajectory Prediction, RP-CNN, Recurrence Plot, Convolutional Neural Network

목 차

1. 서론
2. 관련 연구
3. 연구 방법
4. 연구 결과
5. 결론

Ⅰ. 서론

1. 연구의 필요성과 목적

도로 교통사고의 약 94%는 인적 오류에서 발생하며, 이는 인명 피해와 차량 손상 등 다양한 문제를 야기한다. 이를 해결하기 위한 자율주행차는 인간 운전자를 대신하여 고도화된 컴퓨터 기반 의사결정 시스템을 통해 교통 상황을 관리하고 있다. 그러나 자율주행차가 안전하게 도로를 주행하기 위해서는 인간 운전자처럼 주변 차량의 미래 행동을 예측할 수 있는 능력이 필수적이다[1].

경로 예측은 자율주행차가 돌발 상황에 대비하고, 예상치 못한 상황에 유연하게 대응할 수 있도록 하는 중요한 기술이다. 기존의 경로 예측 방식은 동역학적 모델, 딥러닝 기반 모델, 강화학습 등으로 발전해왔지만 각각의 한계를 지니고 있다. 동역학적 모델은 시간적 상관관계를 반영하지 못하며 복잡한 환경에서는 성능이 저하된다. 반면, 딥러닝 기반의 RNN 모델은 시간적 상관관계를 잘 반영하나, 컴퓨팅 비용이 많이 들고, 돌발 상황에는 취약하다.

이러한 한계들을 해결하고자 본 연구는 Recurrence Plot-Convolutional Neural Network(RP-CNN) 기반의 경로 예측 방법을 제안한다. 시계열 데이터를 이미지로 변환하고 CNN을 통해 학습하는 과정을 통해, 기존 방식에서 부족했던 시간적 상관관계 반영 문제를 보완하고자 한다. 특히, RNN에 비해 가벼운 모델 구조를 가지는 CNN을 활용해 연산 자원을 적게 소모하면서도 높은 예측 성능을 제공하는 방법을 연구한다. 또한 실제 주행 환경에서 취득된 CAN데이터를 사용해 학습하고 검증함으로서, 실제 환경에서의 적용 가능성도 함께 검증하고자 한다..

2. 연구의 기여성과 의의

본 연구는 자율주행차의 경로 예측을 위한 새로운 접근 방식으로 RP-CNN을 제안한다. RP-CNN은 시계열 데이터를 이미지화하고, 그 이미지를 CNN에 입력하여 경로를 예측하는 방식으로, 기존의 RNN 방식보다 시간적 상관관계는 물론 돌발적인 환경 변화에 대한 대응 능력을 향상시킬 수 있다.

특히, 본 연구는 실시간 주행 데이터를 활용하여 학습 데이터를 구성하였다. 이는 시뮬레이션 기반 데이터셋을 사용한 기존 연구들과 달리, 실제 주행 데이터를 바탕으로 하였다는 점에서 실용적 의미가 크다. 결과적으로, 본 연구의 제안된 방법은 자율주행차의 경로 예측에 있어 더욱 신뢰성 있고 안전한 솔루션을 제공할 수 있을 것이다.

Ⅱ. 관련 연구

1. 배경지식

Recurrence Plot (RP) 기법은 복잡한 시계열 데이터를 시각적으로 분석할 수 있는 도구로, 시간적 상관관계의 패턴을 효과적으로 드러낸다. 이는 특히, 차량의 Controller Area Network (CAN) 데이터와 같은 복잡한 시계열 데이터를 시각화하여 경로 예측 및 차량의 움직임 분석에 유용하다. RP 기법을 통해, CAN 데이터를 이미지화하고 패턴을 확인함으

로써 주행 중 발생하는 다양한 상황을 예측할 수 있다.

Convolutional Neural Network (CNN)은 이미지 분석에 탁월한 성능을 발휘하는 딥러닝 모델이다. 이미지 내 복잡한 패턴과 특징을 자동으로 학습하는 CNN은 자율주행차와 같은 고차원 문제를 해결하는 데 매우 적합하다.

RP와 CNN을 결합한 RP-CNN 모델은 시계열 데이터를 이미지로 변환한 후, 이를 CNN을 통해 학습시켜 경로 예측을 수행한다. RP를 이용해 시간적 패턴을 이미지로 처리하면서도, CNN의 이미지 인식 능력을 활용해 높은 예측 정확도를 기대할 수 있다.

2. 관련연구

최근 연구들은 다양한 데이터와 인공지능을 활용하여 경로 예측의 정확도를 높이는 데 집중하고 있다.

Donggi Jeong은 SAE J2735 Basic Safety Message (BSM) 표준을 사용하여 경로 예측을 수행하였다[2]. BSM은 차량의 위치, 속도, 가속도 및 방향을 포함한 중요한 정보를 송수신하는 표준 메시지로, 안전한 주행을 위해 실시간 데이터를 제공한다. Jeong의 연구에서는 BSM 데이터를 기반으로 Deep Neural Network (DNN)을 활용해 경로 예측을 수행하였으나, 시간적 상관관계를 반영하지 못한 한계가 있었다. 더불어, 시뮬레이션으로 생성된 학습 데이터를 사용하였기 때문에 실제 주행 상황을 완벽히 반영하지 못했다.

Seonghyun Park은 RNN의 한 종류인 Long-Short Term Memory (LSTM)을 사용하여 경로 예측을 수행하였고, 주행 경로를 시각화하기 위해 Occupancy Grid Map (OGM)을 사용하였다[3]. OGM은 차량의 주변 환경을 2차원 격자 형식으로 나타내는 방법으로, 각 차량이 차지하는 격자 공간을 점유되었다고 표시하여 시각화한다. 이는 복잡한 주행 환경을 나타내는데 유용하며, 본 연구에서도 OGM을 통해 경로를 시각화하고자 한다.

Mostafa Zaman은 CNN을 사용해 경로 예측을 수행하였다[4]. Zaman의 연구는 카메라 데이터를 활용해 접근성을 높였지만, 전방 차량의 경로를 단순히 직진, 좌회전, 우회전 세 가지로 분류하여 의도 파악에 그쳤다는 한계가 있다.

III. 연구 방법

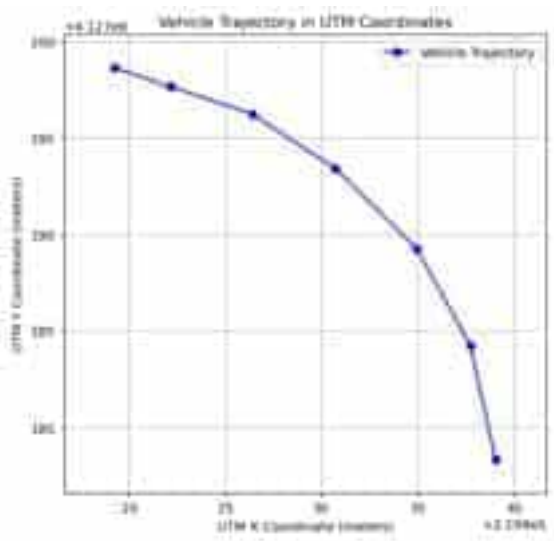
1. 학습데이터 전처리

본 연구에서는 한스네트워크에서 제공한, 실주행 환경에서 24시간 동안 1초 간격으로 수집된 CAN 데이터를 활용하여 학습 데이터를 구성하였다. 먼저, 결측값 처리를 위해 3회 이상의 결측치가 발생한 행은 삭제하고, 그 미만인 경우에는 forward fill 방법을 적용하여 데이터를 보완하였다. 이처럼 결측치가 처리된 데이터는 위치, 속도, 가속도 등의 주요 주행 정보를 포함하도록 재구성되었으며, <표 1>에서 이를 확인할 수 있다.

<표 1> 데이터프레임

	latitude	longitude	…	speed	yaw_rate
0	3716.557617	12701.51270	…	0.0	2.3125
1	3716.557617	12701.51270	…	0.0	2.3125
2	3716.557617	12701.51270	…	0.0	2.3125
…	…	…	…	…	…
86399	3716.551514	12701.53125	…	0.0	0.0000

주행 중인 구간을 특정하기 위해 속도가 20km/h 이상인 순간을 중심으로, 앞뒤 7초간 서로 다른 위도와 경도 값을 갖는 구간의 인덱스를 추출하였다. 이후, GPS 좌표를 Universal Transverse Mercator (UTM) 좌표계로 변환하였다. UTM 좌표계는 지구를 경도 6도 간격의 세로 띠로 나누고, 위도 8도 간격으로 총 60×20개의 격자로 나누어 각 세로 구역마다 설정된 원점에 대한 종·횡 좌표로 위치를 나타내는 방식이다. 한국 지역의 데이터를 처리하기 위해 zone 52를 적용하였으며, pyproj 모듈을 사용하여 변환하였다. 변환된 UTM 좌표계 상에서의 차량 이동 경로는 <그림 1>과 같이 시각화되었다.

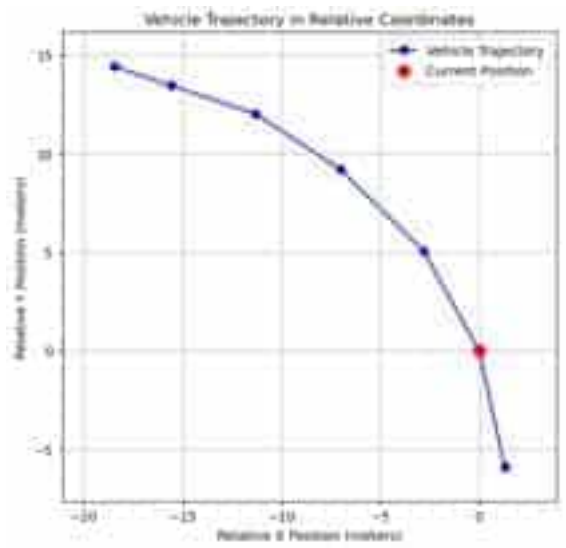


<그림 1> UTM 좌표계 상의 차량 이동 경로

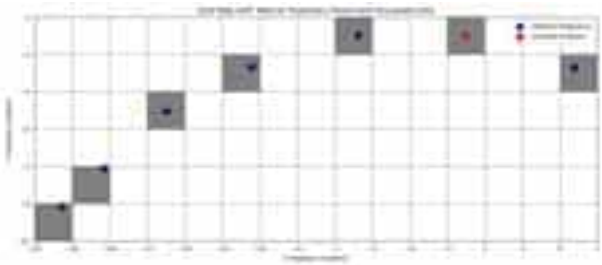
그 다음, 차량의 진행 상황을 상대 좌표계로 변환하기 위해 현재 시점의 UTM 좌표를 기준으로 다른 좌표들을 변환하였다. 이를 통해 생성된 상대 좌표계 상의 차량 이동 경로는 <그림 2>에서 확인할 수 있다.

차량의 진행 방향이 우측을 향하게 좌표계를 회전시킨 후, OGM(Occupancy Grid Map) 위에 적용하였다. OGM은 차량이 점유하는 공간을 격자 형식으로 표현하는 기법으로, 각 격자가 일정한 크기의 공간을 나타내며 차량의 위치와 이동 경로를 시각적으로 표시하는 데 유용하다. 본 연구에서 사용된

OGM의 각 그리드는 2m x 2m 크기이며, 차량이 1초 후에 위치한 좌표를 기반으로 학습 라벨값을 생성하였다. OGM 방식으로 변환된 경로는 <그림 3>에서 시각화되었으며, 학습 라벨값은 (3,0)과 같은 형식으로 기록되었다.

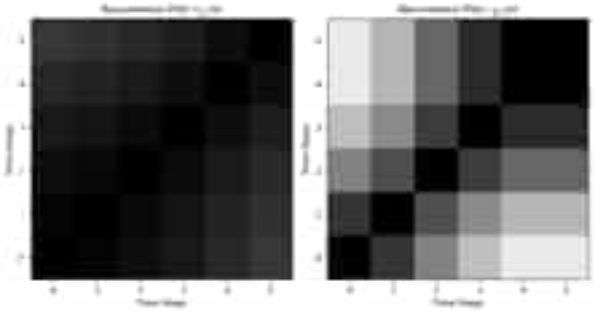


<그림 2> 상대좌표계 상의 차량 이동 경로



<그림 3> OGM 상의 차량 이동 경로

이후, 차량의 회전된 x좌표와 y좌표를 정규화하고 Recurrence Plot(RP)을 적용하여 이미지로 변환하였다. pyts 모듈의 RecurrencePlot을 사용하여 threshold는 none, time_delay는 1, dimension은 1로 설정하였으며, 그 결과는 <그림 4>와 같다.



<그림 4> 회전된 좌표 데이터의 RP 이미지

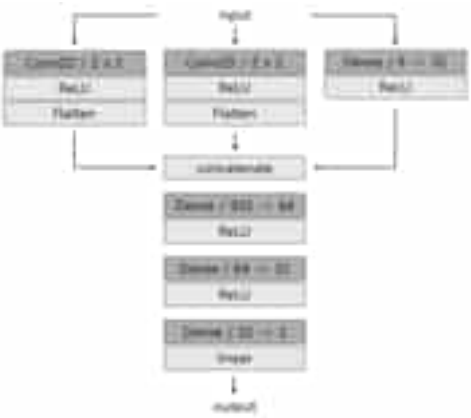
이러한 과정을 반복하여 학습 데이터를 생성하고, 학습에 사용할 이미지 데이터에 접근하기 용이하게 하기 위해 CSV 형식의 파일을 제작하였다. 그 구조는 <표 2>과 같다.

<표 2> CSV 파일의 구조

column	dtype
time	string
image_1_path	object
image_2_path	object
speed	string
label	string

2. 딥러닝 신경망 모델 설계

본 연구에서는 생성된 이미지를 분류하기 위한 CNN 모델을 설계하였다. <그림 5>는 RP 이미지로부터 주행 경로를 예측하기 위한 CNN 모델 구조를 나타낸다. 이 모델은 다층 CNN으로 구성되었으며, 작은 이미지 크기를 고려하여 maxpooling 층은 제거되었다.



<그림 5> CNN 모델 구조

3. 결과값 도출 방법

본 연구는 RP-CNN 모델과 CAN 데이터를 이용한 차량 경로 예측 성능을 평가하였다. 기존 연구와 동일하게 예측 정확도를 평가하였으며, 본 연구에서는 실시간 시스템 적용 가능성을 평가하기 위해 추가로 예측 시간을 측정하였다.

Ⅳ. 연구 결과

1. 딥러닝 신경망 모델의 성능 평가지표

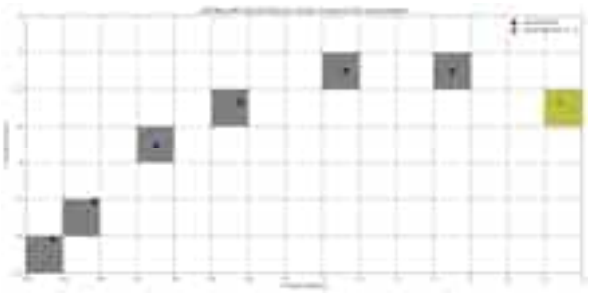
본 연구에서는 모델의 성능을 평가하기 위해 일반적으로 사용되는 Mean Absolute Error (MAE) 지표를 활용하였다. MAE는 예측된 경로와 실제 경로 간의 차이를 수치적으로 나타내어, 모델이 얼마나 정확하게 경로를 예측했는지를 평가하는 지표이다. 특히 경로 예측과 같이 연속적인 값을 다루는 문제에서는 MAE가 오차의 크기를 직관적으로 이해할 수 있어 유용하다.

또한 실시간 자율주행 시스템에서의 경로 예측 성능

을 평가하기 위해, Li, Guoqiang의 연구를 참조하여 경로 예측의 처리 속도가 100ms 이내에 이루어져야 한다는 기준을 적용하였다[5]. 따라서, 본 연구에서도 예측 속도를 측정하고, 이 기준을 충족하는지 확인하였다.

2. 실험 결과 분석 및 해석

본 연구에서는 실주행 환경에서 수집된 CAN 데이터를 기반으로 RP-CNN을 사용하여 경로 예측을 수행하였다. 데이터를 무작위로 선택하여 1초 후 차량의 위치를 예측하고, 이를 실제 위치와 비교하였다. RP를 거쳐 이미지로 변환된 시계열 데이터를 CNN 모델의 입력으로 사용하여 OGM상의 좌표로 예측된 결과를 도출하였다. 예측된 경로와 실제 경로 간의 차이는 OGM의 좌표 차이를 기반으로 평가되었다. <그림 6>에서는 차량 경로를 예측한 후 OGM 위에 시각화한 결과를 나타내며, 예측된 좌표인 (3,0)은 노란색으로 표시되었다.



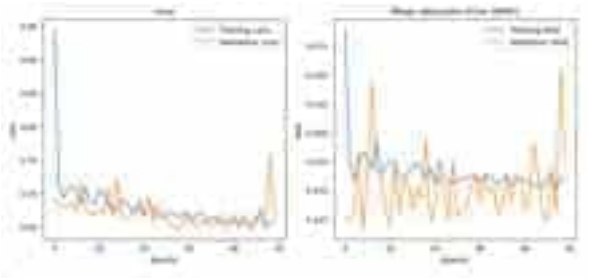
<그림 6> 경로예측 시각화

또한, 예측 성능뿐만 아니라 실시간 시스템으로의 적용 가능성을 평가하기 위해 예측 시간을 측정하였다. 100번의 반복 예측을 통해 평균 57.416ms가 소요된 것을 확인할 수 있었으며, 이는 실시간 시스템에 충분히 적합한 성능임을 보여준다.

<표 3>과 <그림 7>은 테스트 데이터셋에 대한 MAE 수치와 학습 과정에서 Loss와 MAE의 변화를 나타낸다. 모델은 테스트 데이터셋에 대해 Test Loss: 0.676과 Test MAE: 0.486을 기록하여, 경로 예측에서 적절한 성능을 보여주었다.

<표 3> test 데이터셋에 대한 MAE

Test Loss	Test MAE
0.6764620542526245,	0.48619139194488525



<그림 7> CNN 모델의 Loss 및 MAE 변화

3. 결과 해석 및 의미 도출

실험 결과, 본 연구에서 제안한 RP-CNN 기반의 경로 예측 모델은 실사용에 충분히 적합한 성능을 보였다. 특히 CAN 데이터를 사용한 실주행 환경에서의 경로 예측이 가능하다는 점을 확인하였다. 모델의 MAE 수치는 기존 연구와 비교해 뒤처지지 않는 결과를 나타냈으며, 예측 속도 또한 실시간 시스템에 적용할 수 있을 만큼 빠른 성능을 보여주었다.

이러한 결과는 자율주행차의 경로 예측에서 RP-CNN이 실시간으로 신뢰성 있는 경로 예측을 제공할 수 있음을 시사하며, 향후 자율주행 기술에 적용될 수 있는 가능성을 제시한다.

Ⅴ. 결론

1. 연구 결과의 요약

본 연구에서는 자율주행차량의 경로 예측을 목표로 Recurrence Plot (RP)과 Convolutional Neural Network (CNN)을 결합한 새로운 방법을 제안하였다. 24시간 동안 실제 주행 환경에서 수집된 차량의 CAN 데이터를 활용하여 학습 데이터를 구성하였다. CAN 데이터에는 차량의 속도, 위치, 가속도 등의 시계열 정보가 포함되며, 이러한 데이터를 기반으로 차량의 경로를 예측하고자 하였다.

RP는 시계열 데이터를 2차원 이미지로 변환하여, 시간적 상관관계를 시각적으로 분석할 수 있게 해주는 방법으로, 이를 통해 차량의 속도와 위치 변화 등의 시계열 데이터를 이미지화한 후, CNN 모델에 입력으로 사용해 차량의 경로를 예측하도록 하였다.

이 과정에서 예측된 경로는 Occupancy Grid Map (OGM)으로 표현되었다. OGM은 차량의 주변 환경과 경로를 격자 형태로 시각화하는 기법으로, 각 격자가 차량이 점유한 위치를 나타낸다. 예측된 경로는 1초 후 차량의 예상 위치를 나타내며, 이를 OGM 상에 시각화하였다.

실험 결과, 제안된 RP-CNN 모델은 실시간 경로 예측에 사용하기에 충분히 빠른 예측 시간과 정확성을 보였으며, 향후 자율주행 시스템에서 경로 예측 모델로 활용될 가능성을 보여주었다.

2. 연구의 기여성과 한계

본 연구의 주요 기여는 CAN 데이터를 RP를 이용해 이미지화한 후 CNN 모델에 적용함으로써 새로운 경로 예측방법의 가능성을 확인한 것이다. 특히, 실시간 주행 환경 데이터를 기반으로 하여 실제 주행 시 활용 가능성을 높인 점이 중요한 성과이다. 또한, CNN 모델을 통해 경로 예측의 정확성을 입증함과 동시에, OGM을 활용하여 예측 결과를 직관적으로 시각화할 수 있었다.

다만 몇 가지 한계점도 존재한다. 우선, 다른 기존 모델과

의 성능 비교가 충분하지 않았으며, 제안한 방법이 동역학 모델이나 RNN 기반 모델에 비해 얼마나 우수한지를 명확히 보여주지 못했다. 향후 연구에서는 돌발 상황이나 복잡한 주행 환경에서의 성능을 다른 방법론과 비교하여 검증할 필요가 있다. 또한, 본 연구에서 사용된 CAN 데이터는 1초 간격으로 수집된 데이터로, 이로 인해 RP 이미지의 해상도가 낮아 차량의 주행 패턴을 충분히 포착하지 못했을 가능성이 있다. 더 짧은 간격(예: BSM 규격에 따른 100ms 간격)의 데이터를 사용하여 모델 성능을 개선할 필요가 있다.

향후 연구로는 시뮬레이션을 사용해 다양한 돌발 상황을 구현한 후, RNN 기반 방식과 RP-CNN 방식을 비교 분석하여, 실제 주행 상황에서의 성능을 더욱 세부적으로 검증할 계획이다.

사사

본 과제(결과물)는 교육부와 한국연구재단의 재원으로 지원을 받아 수행된 「대학혁신지원사업」의 연구결과입니다.

참고문헌

1. Bharilya, Vibha, and Neetesh Kumar. "Machine learning for autonomous vehicle's trajectory prediction: A comprehensive survey, challenges, and future research directions." Vehicular Communications (2024): 100733.
2. 정동기, et al. "Deep Neural Network 기반의 차량 주행 경로 예측." 한국자동차공학회논문집 26.2 (2018): 202-210.
3. 박성현, 김병도, and 최준원. "자율주행을 위한 딥러닝 기반 차량 경로 예측." 한국통신학회지 (정보와통신) 35.3 (2018): 26-31.
4. Zaman, Mostafa, Nasibeh Zohrabi, and Sherif Abdelwahed. "A CNN-based path trajectory prediction approach with safety constraints." 2020 IEEE Transportation Electrification Conference & Expo (ITEC). IEEE, 2020.
5. Li, Guoqiang, et al. "Real-time optimal trajectory planning for autonomous driving with collision avoidance using convex optimization." Automotive Innovation 6.3 (2023): 481-491.

KIS(KETI Infrastructure Stitching) Dataset:
다수 엣지 기반 카메라/라이다 데이터 스티칭을 통한 인프라 데이터셋

KIS(KETI Infrastructure Stitching) Dataset:
Infrastructure dataset through multiple edge-based camera/lidar stitching

이재원 (한국전자기술연구원, 선임연구원)
정혜인 (한국전자기술연구원, 연구원)
장달원 (한국전자기술연구원, 책임연구원)
이종설 (한국전자기술연구원, 수석연구원)

Key Words : 자율주행 데이터셋, 인프라 데이터셋, 데이터 스티칭

목 차

Ⅰ. 서론
Ⅱ. 데이터셋 취득 시스템 개요
Ⅲ. 데이터셋 구성
Ⅳ. 결론 및 향후 과제

Ⅰ. 서론

자율주행차량 및 자율주행시스템의 객체 인지, 판단, 추적, 제어 등에 필요한 딥러닝 학습을 위해서는 다양하고 넓은 범위의 고품질 데이터셋이 필수적이다. 자율주행차량에서 수집되는 센서 데이터는 차량 중심의 데이터로 범위가 한정적이며[1, 2], 자율주행 인프라에서 취득한 센서 데이터셋 구축은 아직 시작 단계로, 취득 및 구축이 진행되고 있다.[3] 하지만 자율주행차량 및 인프라에서 복합 상황을 인지하고 자율주행차량의 센서 인지 범위 한계를 극복하기 위해 더 다양하고 넓은 범위의 시간동기화 된 카메라/라이다 데이터셋이 필요하다.

본 논문에서는 인프라에서 카메라/라이다 센서를 통해 수집한 데이터셋 구축 과정 및 데이터셋 구조에 대해 설명한다. 데이터셋은 판교 제2테크노밸리 실증도로에서 취득하였으며, 카메라, 라이다 센서 데이터의 스티칭, 캘리브레이션 등을 통해 시간/공간 동기화 되어 어노테이션 작업을 수행 및 데이터셋을 구축하였다.

본 논문에서 구축된 데이터셋은 자율주행차량 및 인프라 데이터를 활용하는 알고리즘의 성능 향상과 검증에 활용될 수 있으며, 특히 객체 인식, 주행 경로 예측, 상황 인지 등의 분야에서 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

Ⅱ. 데이터셋 취득 시스템 개요

먼저, 카메라/라이다 센서 간 시간/공간동기화 과정이 선행되어야 한다. 하나의 센서조립체 내에서 센서 간 시간/공간동기화 완료되면, 다수의 센서조립체 간 시간동기화 과정 또한 필요하다. 각 센서조립체 내에서 다수의 카메라는 마스터/슬레이브 카메라로 구성되고, 마스터 카메라에 트리거 신호를 발생시켜 마스터-슬레이브 카메라 데이터의 시간동기화를 수행한다. 카메라와 라이다의 시간동기화 방법은, 회전형 라이다의 경우 라이다가 회전하면서 정면을 바라볼 때, 스캐닝 라이다의 경우 한 번 스캔이 완료될 때, 카메라에 트리거 신호를 줌으로써 시간동기화 된 데이터를 취득하도록 한다.[4]

센서조립체 간 시간동기화는 다수의 센서조립체와 통신할 수 있는 서버의 시간을 기준으로, 각 센서조립체와 서버가 동기화 되어 하나의 동기화 된 시간 시스템을 구축하여 전체 센서조립체가 동기화 되어 데이터를 취득할 수 있도록 하였다.

센서와 연결된 카메라-라이다 센서조립체는 두 가지 타입으로 설계 및 제작되었는데, 각 센서조립체의 모습과 사용된 센서는 아래 <그림 1> 및 <표 1>과 같다.

<그림 1> 센서조립체 모습(좌: 타입1, 우: 타입2)

<표 1> 데이터 취득 및 데이터셋 구축에 사용된 센서

	타입1	타입2
카메라	FLIR BFLY-PGE-23S6C	FLIR BFS-PGE-31S4C
라이다	HESAI PandarXT-32	AEYE 4Sight M
레이더	Smartmicro UMRR96 type-153	Smartmicro UMRR96 type-153

카메라 데이터의 경우 마스터/슬레이브 카메라의 압축 데이터가 아닌, 원시 데이터를 각각 저장하고, 라이다 데이터는 각 센서조립체 시스템에서 패킷 형태로 출력되는 원시 데이터를 저장하였다. <그림 1>의 타입2 센서조립체는 카메라 3대의 동시 데이터를 취득하여 후처리 과정으로 3개 이미지의 스티칭 작업을 수행하여 어노테이션을 진행하였다. 라이다 데이터의 경우에도 4개 라이다 채널의 타임스탬프 값을 비교하여 가장 근접한 시간의 타임스탬프 값을 통해 데이터를 스티칭하고 어노테이션을 진행하였다.

데이터셋 구축을 위한 데이터 취득은 아래 <그림 2>와 같이 판교 제2테크노밸리 내 실증도로 세 곳 폴대에 타입1와 타입2 센서조립체를 각 2개씩, 총 4개의 센서조립체를 설치하여 수행하였다.

<그림 2> 데이터 취득을 위한 센서조립체 설치 모습

III. 데이터셋 구성

카메라/라이다 데이터셋 구축을 위한 데이터 어노테이션 정책의 일부 및 클래스에 대한 정의는 아래와 같다.

· 2D 이미지의 경우 가려짐, 잘림이 25%를 초과하는 객체는 기타 클래스로 분류

· 교통표지판, 광고판 등에 있는 사진, 그림은 제외

· 3D 포인트 클라우드의 경우 Bounding Box의 포인트 개수가 20개 이상인 대상에 대해 작업

· 인도와 차도에 걸쳐있는 보행자는 차도에 있는 것으로 분류

<표 2> 어노테이션을 위한 클래스 정의

	클래스 구분	클래스 이름	속성
2D	보행자	human.pedestrian.side	-
이미지		walk human.pedestrian.road	
	자전거	vehicle.bicycle	
	모터바이크	vehicle.motorcycle	
	자동차 (승용차)	vehicle.car	
	버스	vehicle.bus	
	소형/중형 트럭	vehicle.truck	
	대형 트럭	vehicle.heavy_truck	
	기타	human.pedestrian.ignored vehicle.rider.ignored vehicle.ignored	
3D 포인트 클라우드	보행자	human.pedestrian	sidewalk
			road
	자전거	vehicle.bicycle	with_rider
			without_rider
	모터바이크	vehicle.motorcycle	with_rider
			without_rider
	자동차 (승용차)	vehicle.car	None
	버스	vehicle.bus	None
	소형/중형 트럭	vehicle.truck	None
	대형 트럭	vehicle.heavy_truck	None

<표 2>는 어노테이션을 위한 클래스 구분, 클래스명, 속성을 나타낸 것이다. 카메라/라이다 데이터 모두 7종에 대해 클래스를 정의하였으며, 카메라 데이터의 경우 속성 인자가 클래스명에 하위 항목으로 정의되어 있고, 라이다 데이터의 경우에는 보행자의 위치를 인도/차도, 자전거와 모터바이크의 경우 사람이 타고 있는지의 유/무를 속성 항목에 정의하였다.

어노테이션이 완료된 데이터셋 포맷은 카메라 데이터의 경우 원본 파일의 포맷, 이미지의 가로, 세로 크기, 타임스탬프, 이미지에 포함된 객체의 2D Bounding Box 위치, 객체의 클래스 정보 등이 포함되어 있으며, 라이다 데이터의 경우 파일의 포맷, 타임스탬프, 포인트 클라우드 데이터에 포함된 객체의 3D Bounding Box 꼭지점 위치, Box의 중심 위치, 해당 Box에 포함된 포인트 개수, 클래스 정보 등이 포함되어 있다.

어노테이션 작업이 완료된 데이터는 JSON 형식으로 저장하였으며, 어노테이션이 완료된 결과와 카메라/라이다 데이터에 2D/3D Bounding Box를 추가한 결과는 아래 <표 3>, <표 4> 및 <그림 3>, <그림 4>와 같다.

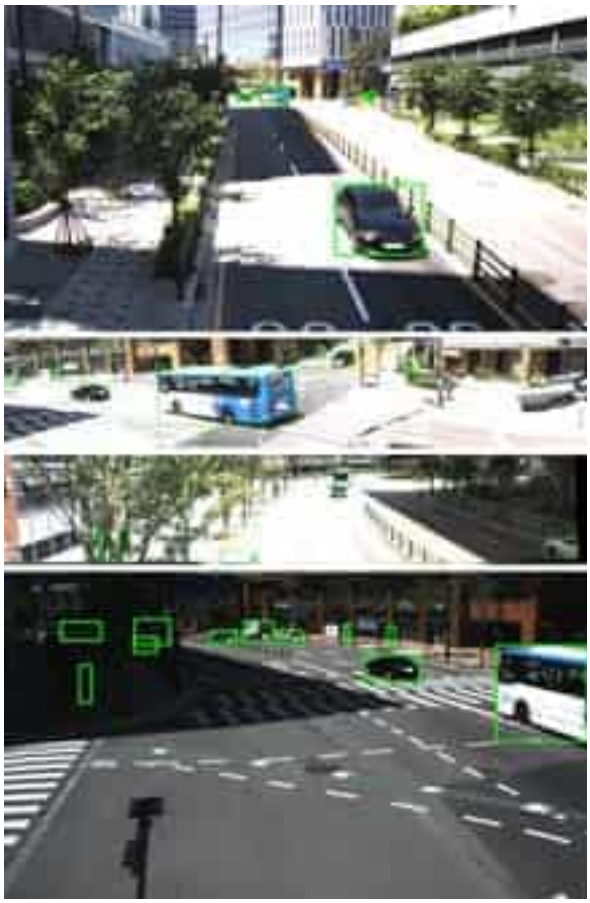
<표 3> 2D 카메라 데이터 어노테이션 결과 예시


```
{
  "annotation_data": {
    "annotation_file_info": {
      "channel": 3,
      "filename": "075_1715825699.6688504.png",
      "format": "png",
      "height": 720,
      "timestamp": "1715825699.6688504",
      "width": 1280
    },
    "annotation_metadata": {
      "object_list": [
          {
            "bbox_position": [
                [
```

```
                        727,
                        395
                    ],
                    [
                        193,
                        156
                    ]
                ],
                "class_name": "vehicle.car"
            },
            {
                "bbox_position": [
                    [
                        513,
                        196
                    ],
                    [
                        30,
                        14
                    ]
                ],
                 "class_name": "vehicle.car"
            },
                            ... (중략)
        ],
        "object_num": 4
    }
  }
}
```

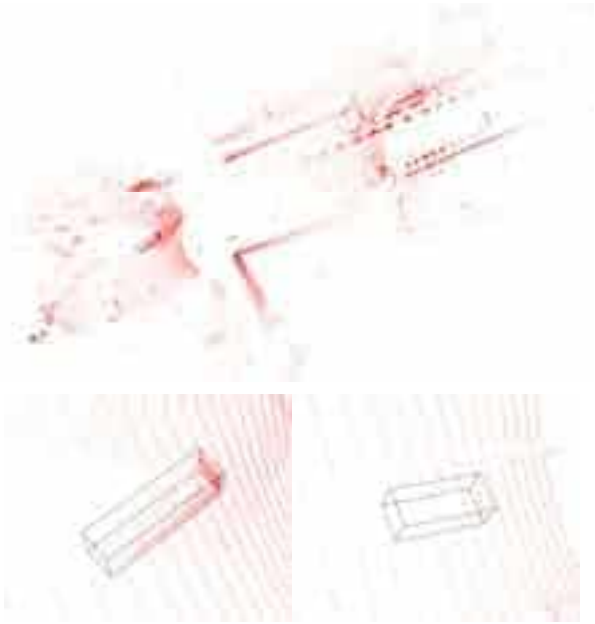

<표 4> 3D 라이다 데이터 어노테이션 결과 예시


```
{
    "annotation_file_info": {
        "filename": "042_1715825699.672602.pcd",
        "format": "pcd",
        "timestamp": "1715825699.672602",
        "pts_num": 143402
    },
    "annotation_metadata": {
        "object_num": 5,
        "object_list": [
            {
                "class_name": "vehicle.bus",
                "attribute": [
                    "ignored"
                ],
                "track_id": "5",
                "bbox_vertices": [
                    [
                        -53.227981919968244,
                        -21.654757244313007,
                        0.8355767237625331
                    ],
                    [
                        -44.71935379539205,
                        -15.472877056825904,
                        0.8355767237625331
                    ],
                    [
                        -46.32933349772102,
                        -13.25693010221475,
                        0.9073015621261056
                    ],
                    [
                        -54.837961622297215,
                        -19.438810289701852,
                        0.9073015621261056
                    ],
                    [
                        -53.182745832922,
                        -21.717019376676323,
                        3.7745692591906725
                    ],
                    [
                        -44.674117708345804,
                        -15.53513918918922,
                        3.7745692591906725
                    ],
                    [
                        -46.284097410674775,
                        -13.319192234578065,
                        3.846294097554245
                    ],
                    [
                        -54.792725535250966,
                        -19.501072422065167,
                        3.846294097554245
                    ]
                ],
                "bbox_size": [
                    10.517242757242729,
                    2.7400000000000007,
                    2.9400000000000013
                ],
                "bbox_center": [
                    -49.75603966532151,
                    -17.486974739445536,
                    2.340935410658389
                ],
                "dist": 52.791455249045065,
                "pts_num": 1622
            },
                            ... (중략)
        ]
    }
}
```

<그림 3> 4개 엣지에서 취득한 카메라 데이터 및

어노테이션 완료 결과



<그림 4> 4개 엣지에서 취득한 스티칭 된 라이다 데이터 및 어노테이션 완료 결과 및 확대 모습

Ⅳ. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 자율주행 인프라에서 수집한 다양한 센서 데이터를 활용하여, 고품질의 카메라/라이다 스티칭 데이터셋을 구축하는 방법을 제시하였다. 특히, 센서의 시간 및 공간 동기화와 이를 바탕으로 한 데이터 스티칭 기법을 통해, 자율주행차량 및 인프라의 인지 범위를 확장하고, 다양한 주행 환경에서의 객체 인식 및 추적 성능을 향상시키기 위한 기반을 마련하였다. 이를 통해 구축된 데이터셋은 자율주행 시스템의 딥러닝 학습과 알고리즘 검증에 있어 중요한 자료로 활용될 수 있으며, 객체 인식, 주행 경로 예측, 상황 인지 등 다양한 응용 분야에서 성능을 크게 개선할 수 있을 것으로 기대된다.

하지만, 본 연구를 바탕으로 해결해야 할 몇 가지 과제가 남아있다. 첫째로는 다양한 주행 환경에서 더 많은 데이터셋을 수집하여 자율주행 시스템의 일반화 성능을 높이는 것이 필요하다. 두 번째로는 구축된 데이터셋을 활용한 자율주행 알고리즘의 지속적인 성능 평가와 개선 작업이 요구되며, 다양한 객체와 복잡한 교차로와 같은 도로 환경에 대한 추가적인 연구가 필요하다. 이러한 과제의 해결은 데이터셋의 품질을 향상시키고 범용적으로 사용 가능하며, 자율주행차량의 안전성과 신뢰성을 더욱 강화하는 데 중요한 기여를 할 것이다.

※ 사사: 이 논문은 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2021-0-01314, 자율주행차량 음영지역 데이터 제공을 위한 주행환경 데이터 스티칭 기술개발)

참고문헌

1. Yu, Fisher, et al. "Bdd100k: A diverse driving dataset for heterogeneous multitask learning." Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition. 2020.
2. Sun, Pei, et al. "Scalability in perception for autonomous driving: Waymo open dataset." Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition. 2020.
3. Yu, Haibao, et al. "Dair-v2x: A large-scale dataset for vehicle-infrastructure cooperative 3d object detection." Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2022.
4. Geiger, Andreas, Philip Lenz, and Raquel Urtasun. "Are we ready for autonomous driving? the kitti vision benchmark suite." 2012 IEEE conference on computer vision and pattern recognition. IEEE, 2012.

다수 엣지 기반 카메라/라이다 센서 데이터 스티칭을 통한 자율주행차량 음영지역 데이터 확장 시스템

Autonomous vehicle shadow area data expansion system through multiple edge-based camera/lidar sensor data stitching

이재원 (한국전자기술연구원, 선임연구원)
정혜인 (한국전자기술연구원, 연구원)
장달원 (한국전자기술연구원, 책임연구원)
이종설 (한국전자기술연구원, 수석연구원)

Key Words : 센서 데이터 스티칭, 데이터 확장, 자율주행차량 인프라 데이터

목 차

Ⅰ. 서론
Ⅱ. 시스템 개요
Ⅲ. 실증 및 분석
Ⅳ. 결론 및 향후 과제

Ⅰ. 서론

현재 자율주행차량에는 카메라, 라이다, 레이더 등 다양한 센서들이 탑재되어 실시간으로 데이터를 수집, 처리하고 있다. 자율주행차량은 각각의 단일 센서로부터 많은 양의 데이터를 처리하지만, 센서의 감지 범위 한계가 존재하며, 다양한 이종 센서의 퓨전 및 동종 센서 간 데이터를 시공간적으로 결합하여 분석하여 센서의 한계 극복 방안이 필요하게 되었다. 이를 위해 차량뿐만 아니라, 센서 음영지역, 교차로 등 넓은 공간에 대해 센서 데이터를 획득/처리해야 하는 경우, 물리적 센서 데이터 확장 기술인 데이터 스티칭을 통해 자율주행 인프라 기반의 데이터 또한 자율주행차량의 센싱 범위 한계를 극복하는 데 중요한 요소가 되었다. 특히, 이러한 자율주행 인프라 데이터를 취득, 전송, 처리하기 위해서는 여러 센서에서 수집되는 Raw 데이터의 정제 및 동기화 과정이 필요하다.[1-3]

본 논문에서는 단순히 카메라, 라이다 등의 센서 데이터를 수집, 전송하는 것이 아니라, 다수의 각 엣지에서 취득, 처리하는 센서 및 결과 데이터를 서버로 전송하고, 엣지 및 서버에서 각각 카메라, 라이다 센서 데이터를 스티칭하는 과정을 실험적으로 확인하였다.

Ⅱ. 시스템 개요

먼저, 카메라와 라이다 센서로부터 데이터를 수신하는 곳을 엣지로 정의하고, 이 엣지 시스템에서 카메라의 경우 이미지 데이터, 라이다의 경우 포인트 클라우드 데이터를 포함한 원시 데이터를 수신한다. 엣지 시스템에서 센서 데이터를 수신하면 카메라 데이터의 경우 엣지 시스템에서 스티칭 과정이 이루어지고, 라이다 데이터는 서버로 전송되어 다수의 엣지로부터 취득된 라이다 데이터를 스티칭하여 하나의 확장된 데이터를 생성한다.

하나의 엣지 시스템 내에서 다수의 카메라는 하나의 마스터 카메라와 나머지의 슬레이브로 구성되고, 마스터 카메라에 트리거 신호를 발생시켜 마스터-슬레이브 카메라 이미지를 동시 취득한다. 카메라와 라이다의 시간동기화 방법은, 회전형 라이다의 경우 라이다가 회전하면서 정면을 바라볼 때, 스캐닝 라이다의 경우 한 번 스캔이 완료될 때, 카메라에 트리거 신호를 줌으로써 시간동기화 된 데이터를 취득하도록 한다.

엣지와 서버 간 시간동기화는 서버의 시간을 기준으로 각 엣지와 서버가 동기화 되어 하나의 동기화 된 시간 시스템을 구축하였고, 서버에서는 각 엣지로부터 전송되는 카메라 데이터의 시각화 및 라이다 데이터의 캘리브레이션 변환, 스티칭, 시각화 작업을 수행하도록 하였다.

Ⅲ. 실증 및 분석

엣지 시스템과 연결된 카메라-라이다 센서조립체는 두 가지 타입으로 설계 및 제작되었는데, 각 센서조립체의 모습과

사용된 센서는 아래 <그림 1> 및 <표 1>과 같다. 제안 시스템을 위한 실증은 <그림 2>와 같이 판교 제2테크노밸리 내 실증도로 세 곳에 총 4개의 엣지 시스템을 설치하여 진행하였다.

<그림 1> 센서조립체 모습(좌: 타입1, 우: 타입2)

<표 1> 실증에 사용된 센서

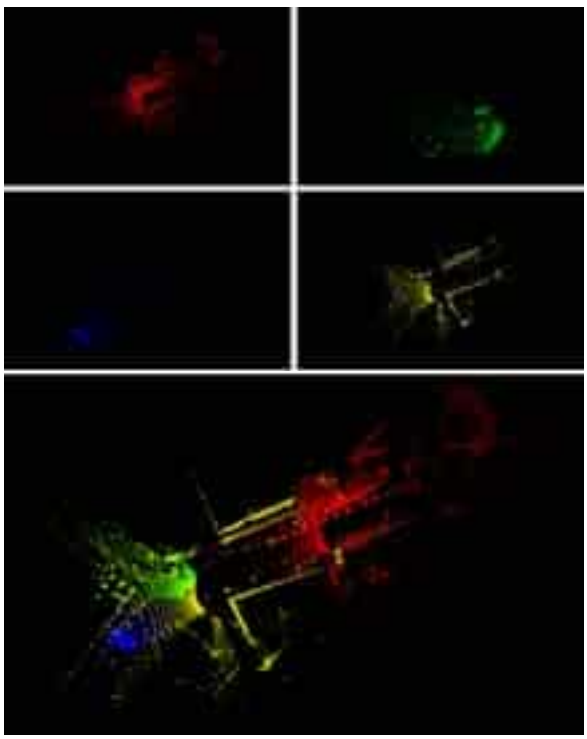
	타입1	타입2
카메라	FLIR BFLY-PGE-23S6C	FLIR BFS-PGE-31S4C
라이다	HESAI PandarXT-32	AEYE 4Sight M
레이더	Smartmicro UMRR96 type-153	Smartmicro UMRR96 type-153

<그림 2> 실증을 위한 센서조립체 설치 모습

타입1의 경우, 카메라 1대와 회전형 라이다 1대로 구성되어 있지만, 타입2의 경우에는 카메라 3대와 스캐닝 라이다 1대로 구성되어 있다. 또한, 회전형 라이다는 10Hz의 속도로 데이터를 출력하고, 카메라 및 스캐닝 라이다는 30Hz의 속도로 데이터를 출력하며, 엣지 및 서버 시스템에서 카메라, 라이다 데이터는 ROS2 기반으로 송수신하였다. 두 라이다의 데이터 취득 속도가 다르므로, 스티칭 시 30Hz의 스캐닝 라이다가 데이터를 한 번 출력할 때, 10Hz의 회전형 라이다 데이터는 이전 데이터를 반복하여 출력하는 방식으로 스티칭하였다.

이미지 데이터의 경우 HD급 사이즈의 가로 1280, 세로 720 픽셀 크기이며, 스티칭 된 이미지의 경우 가로 3840, 세로 720픽셀 크기를 가진다. 라이다 데이터는 회전형의 경우 한 프레임(회전)에 64,000 포인트가 출력되고, 스캐닝 라이다의 경우 약 8,000~10,000 포인트가 취득되어, 하나의 스티칭 된 프레임의 경우 약 14~15만 포인트의 데이터를 얻을 수 있었다. 아래 <그림 3>, <그림 4>는 실증도로에서 4개 엣지로부터 취득한 카메라, 라이다 데이터를 나타낸다.

<그림 3> 4개 엣지에서 취득한 카메라 데이터 모습



<그림 4> 4개 엣지에서 취득한 각 라이다 데이터 및 스티칭 완료된 데이터 모습

이렇게 카메라/라이다 데이터 스티칭 및 확장을 통해 단일 센서에서는 탐지하기 어려웠던 음영지역 정보들을 통합하여 센서 데이터를 획득할 수 있었다. 실험에 사용한 각 라이다 데이터의 탐지 범위는 약 80~100미터 정도였지만, 스티칭 된 라이다 데이터의 탐지 범위는 약 250~300미터로 단속류, 연속류, 사거리 등 자율주행차량 및 단일 센서로는 탐지하기 어려운 넓은 범위의 센서 데이터를 확장하여 제공할 수 있었다.

Ⅳ. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 카메라, 라이다 등 자율주행차량에 탑재된 다양한 이종 센서의 데이터를 효과적으로 수집/전송/처리하는 방법을 제시하였다. 특히, 단일 센서의 한계를 극복하기 위해 다수의 엣지 시스템에서 수집된 센서 데이터를 서버로 전송하고, 이를 엣지와 서버에서 실시간으로 스티칭하여 처리하는 과정을 실험적으로 확인하였다. 이러한 데이터 스티칭 기술은 자율주행차량의 감지 범위를 넓히고, 센서 음영지역이나 복잡한 교차로 등에서의 인식 성능을 향상시키는 데 중요한 역할을 한다. 이를 통해 자율주행 인프라 기반의 데이터를 자율주행차량의 센싱 시스템에 통합할 수 있는 가능성을 확인하였다.

하지만, 자율주행 인프라와 자율주행차량 간의 데이터 통합에서 해결해야 할 과제가 여전히 존재한다. 첫째로는 네트워크 지연이나 데이터 전송 속도 저하와 같은 문제를 해결하기 위한 안정적인 통신 프로토콜이 요구된다. 두번째로는, 다양한 주행 환경에서의 실험을 통해 데이터 스티칭 기술의 신뢰성을 더욱 높이고, 센서 데이터의 품질과 정밀도를 개선하는 추가 연구가 필요하다. 이러한 연구는 궁극적으로 자율주행차량의 안전성과 성능을 극대화하는 데 기여할 것으로 예상된다.

※ 사사: 이 논문은 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2021-0-01314, 자율주행차량 음영지역 데이터 제공을 위한 주행환경 데이터 스티칭 기술개발)

참고문헌

1. Caesar, Holger, et al. "nuscenes: A multimodal dataset for autonomous driving." Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition. 2020.
2. Sun, Pei, et al. "Scalability in perception for autonomous driving: Waymo open dataset." Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition. 2020.
3. 김주영, 조용우, 최두섭, 민경욱, 최정단, “자율주행 차량의 인식 및 판단시스템을 위한 학습용 데이터셋 수집.” 대한전자공학회 하계학술대회. 2020.

임베디드 시스템을 위한 PIL 기반의 군집 주행 테스트 프레임워크 구현

PIL-Based Test Framework for Embedded Systems in Cooperative Platooning

최형주 (건국대학교, 학부과정)　　**문창주** (건국대학교, 교수)

Key Words : (Processor-in-the-loop, Embedded System, Carla Simulator, ROS, V2V, 군집 주행)

목 차

1. 서론
2. 관련 연구
3. 연구 방법
4. 연구 결과
5. 결론

Ⅰ. 서론

자율주행 기술은 현대 자동차 산업의 핵심 연구 주제로, 그 중에서도 군집 주행은 차량이 협력적으로 주행하여 두 대 이상의 차량이 군집을 이루어 일정한 간격을 유지하여 주행하도록 하는 기술이다. 군집 주행은 각 차량이 주변 차량과 실시간으로 정보를 교환하고 이를 바탕으로 주행 경로를 조정하는 협력적인 주행 방식으로, 연료 효율성을 향상하고, 도로 안전성을 높일 수 있다. 그러나 이러한 군집 주행 기술을 개발하고 검증하기 위한 실제 환경에서의 테스트는 비용이 높고, 안전상의 위험을 수반할 수 있다. 따라서 시뮬레이션 기반의 테스트 환경을 구축하는 것은 군집 주행 기술 연구 및 개발에 필수적인 요소로 자리 잡고 있다[1].

본 연구는 임베디드 시스템 테스트를 위한 Processor-in-the-Loop (PIL) 방식의 군집 주행 테스트 프레임워크를 제안한다. PIL 방식은 실제 프로세서에서 제어 알고리즘을 테스트하는 방식으로, 시뮬레이션 환경에서 제어 알고리즘을 구동하는 대신, 실제 프로세서에 알고리즘을 배치하고, 프로세서가 생성한 제어 신호를 시뮬레이터와 같은 실제 시스템과 유사한 환경에 반영해 성능을 평가하는 방법이다. 이를 통해 연구자들은 실제 차량 혹은 센서, 액추에이터 사용하지 않고도 다양한 주행 상황에서의 임베디드 시스템의 성능을 검증할 수 있다.

본 연구는 오픈소스 자율주행 연구용 시뮬레이터인 CARLA Simulator와 ROS(Robot Operating System), MQTT를 연동한 PIL 방식의 군집 주행 테스트 프레임워크를 구현하여, 임베디드 시스템의 군집 주행 성능을 모니터링 및 테스트할 수 있는 것을 목표로 한다. 각 차량이 임베디드 시스템에서 개별적으로 제어되면서, 다른 차량과의 V2V 통신을 통해 군집 주행을 효과적으로 수행할 수 있도록 하여, 실제 군집 주행 차량의 임베디드 프로세서 및 알고리즘을 효과적으로 테스트할 수 있는 기반을 마련하고자 한다.

Ⅱ. 관련 연구

Craig Brogle은 CARLA Simulator와 ROS를 결합한 HIL (Hardware-in-the-Loop) 방식의 자율주행 시뮬레이션 시스템을 제안하였다[2]. CARLA Simulator가 시간·역학적으로 실제 환경과 유사한 환경을 제공할 수 있으며, 시뮬레이션 시스템을 사용해 생성한 알고리즘을 실제 시스템에 적용할 수 있음을 확인하였다.

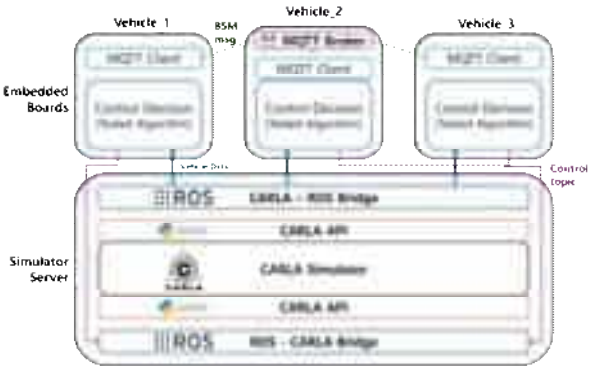
Harsh Vardhan은 전력 전자 회로와 모터 드라이브의 신속한 프로토타입 개발을 위한 저비용, 고성능 프로세서의 PIL 플랫폼을 제안하였다[3]. PIL 방식은 안전한 디버깅 환경을 제공하며, 프로세서의 시스템 코드를 검증할 수 있어 빠른 프로토타입 제작에 도움이 될 수 있음을 확인하였다.

Asier Arizala는 CARLA Simulator와 ROS 환경 기반 모듈형 자율주행 제어 테스트 프레임워크를 제안하였다[4]. CARLA Simulator를 통해 차량 주행 알고리즘을 효과적으로 테스트할 수 있음을 확인하였다.

Ⅲ. 연구 방법

1. 아키텍처 소개

본 논문에서는 임베디드 시스템의 테스트를 위한 PIL 방식의 프레임워크 아키텍처를 설계하였다. 이를 통해 임베디드 시스템과 시뮬레이터 서버 간 통신을 통한 군집 주행 환경을 구성하였다. 프레임워크 아키텍처는 <그림 1>과 같다.



<그림 1> PIL 군집 주행 테스트 프레임워크 아키텍처

차량의 주행을 모니터링 및 시뮬레이션하기 위해 CARLA Simulator를 사용한다. CARLA python API를 통해 시뮬레이터 내의 데이터에 접근하여, 차량 제어 판단에 필요한 각 차량 데이터를 수집한다. 이때 차량 데이터는 각 차량의 위치, 속도, 가속도, 스티어링 각도 등의 정보를 수집하며, Camera, Lidar와 같은 센서 데이터가 포함될 수 있다. Carla-Ros Bridge는 수집한 차량 데이터를 ROS 토픽으로 발행하여, 시뮬레이터 서버와 이더넷으로 연결된 임베디드 보드들이 각 차량에 해당하는 ROS 토픽을 구독할 수 있도록 한다. 차량 간 통신인 V2V 통신을 위해 각 임베디드 보드는 SAE J2735 표준 BSM (Basic Safety Message)[5] 형식의 차량 내부 데이터를 생성하고 MQTT 프로토콜을 통해 이를 공유한다. 각 차량의 프로세서에 대응하는 임베디드 보드는 Carla Simulator로부터 수집된 차량 데이터와 V2V 통신을 통해 수집된 군집 차량 데이터를 토대로 군집 주행을 위한 제어 신호를 생성하고, 이를 ROS 토픽으로 발행한다. 시뮬레이터 서버는 임베디드 보드로부터 전송된 제어 신호를 다시 Ros-Carla Bridge를 통해 CARLA Simulator에 반영하여 차량의 움직임을 제어한다. 다음과 같이 구성된 프레임워크는 자율주행 시스템의 군집 주행 시나리오를 PIL 방식으로 검증할 수 있는 환경을 제공한다.

2. 시스템 환경 구성

본 연구에서는 사용된 하드웨어 및 소프트웨어 환경은 다음과 같다. 임베디드 보드는 3대 모두 NVIDIA Jetson Nano 2GB Developer Kit를 사용하였으며, Wifi 무선 네트워크 연결을 위해 각 임베디드 보드에 무선랜카드를 장착하였다. 시뮬레이터 서버 및 임베디드 보드는 다음과 같은 환경으로 구성하였다.

<표 1> Embedded Board SW

SW	Version
OS	Ubuntu 20.04
ROS	ROS Noetic
Python	Python 3.8.10
MQTT Broker	Mosquitto 1.6.9
MQTT Client	paho-mqtt 1.5.1

<표 2> Simulator Server HW

HW	
CPU	Intel Xeon Gold 5220
GPU	NVIDIA Quadro RTX 4000
RAM	128 GB

<표 3> Simulator Server SW

SW	Version
OS	Ubuntu 20.04
ROS	ROS Noetic
CARLA Simulator	0.9.13
Python	3.7.10

3. 기기 간 통신 구현

(1) 시뮬레이터 서버, 임베디드 보드 간 통신

시뮬레이터 서버와 임베디드 보드 간 통신을 위해 3대의 임베디드 보드와 시뮬레이터 서버를 이더넷 스위치를 통해 <그림 2>와 같이 연결하였다. 이후 모든 기기의 ROS_MASTER_URI를 시뮬레이터 서버의 ROS Master 주소로 동일하게 설정하여 ROS 통신을 구현하였다.

<그림 2> 서버와 임베디드 보드 간 이더넷 연결

시뮬레이터 서버는 CARLA-ROS Bridge를 통해 100Hz 빈도로 시뮬레이터 상의 차량 데이터를 ROS 토픽으로 발행하며 각 차량의 프로세서에 대응하는 임베디드 보드가 이를 구독하도록 하였다. 이때 각 차량에 대하여 발행되는 차량 데이터는 <표 4>와 같다.

<표 4> Simulator Server 발행 토픽 목록

Topic name	Data
/vehicle_X/pose	차량의 위치와 자세
/vehicle_X/twist	차량의 선속도 및 각속도
/vehicle_X/heading	차량의 헤딩 방향
/vehicle_X/steering_angle	차량의 스티어링 각도
/vehicle_X/brake	차량의 브레이크

각 차량의 프로세서에 해당하는 임베디드 보드는 군집 주행을 위한 차량의 제어 값을 계산하며 이에 대한 제어 신호를 ROS 토픽을 통해 100Hz 빈도로 발행하도록 하였다. 임베디드 보드가 발행하는 제어 신호 토픽은 <표 5>와 같다.

<표 5> Embedded Boards 발행 토픽 목록

Topic name	Data
/vehicle_X/control/throttle	차량의 스로틀 제어
/vehicle_X/control/steering_angle	차량의 스티어링 각도 제어
/vehicle_X/control/brake	차량의 브레이크 제어

각 차량에서 발행된 제어 신호 토픽를 다시 Simulator Server에서 구독하여 ROS-Carla Bridge단을 통해 Carla python API에 접근하고, Carla Simulator 상의 각 차량에 제어 신호를 반영한다. 해당 방식의 ROS 통신을 통해 Simulator Server와 임베디드 보드는 지속적으로 상호 간 통신하여 PIL 구조의 시뮬레이션 환경을 구성할 수 있다.

(2) 차량간 V2V 통신

군집 주행을 위한 차량간 통신 구현 부분에서는 V2V 통신을 통해 차량들이 서로의 상태 정보를 공유하고, 이를 기반으로 효율적인 군집주행을 구현할 수 있도록 하였다. 본 연구에서는 V2V 통신을 구현하기 위해 MQTT 프로토콜을 채택하였다. MQTT는 경량 메시징 프로토콜로서 저비용, 저전력의 IoT 환경에서 주로 사용된다. MQTT는 완벽한 실시간성을 보장하지 못하며, 대규모 자율주행 차량 네트워크에서 차량 수가 증가함에 따라 네트워크 부하와 성능 저하가 발생하는 등의 단점이 있기에 실제 차량의 V2V 통신에 적용하기에 한계점이 존재한다. 그러나 MQTT는 다양한 플랫폼에서 간단히 구현할 수 있는 프로토콜로 빠른 프로토타이핑과 구현 용이성의 이점을 가질 수 있다. 또한 네트워크 구조의 높은 확장성으로 더 많은 차량을 포함하거나, 추가적인 차량 데이터를 교환할 때 유연한 확장성을 그대로 이용할 수 있다. 따라서 군집 주행 차량의 V2V 통신을 구현하기에 적합하다고 판단되어 MQTT 프로토콜을 채택하였다.

시뮬레이션 서버를 통해 수집된 차량 상태 정보는 각 임베디드 보드에서 SAE J2735 표준 BSM (Basic Safety Message) 메시지 형식으로 100Hz 빈도로 발행된다. BSM은 크게 두 개의 부분으로 나뉜다. BSM Part 1은 모든 차량에서 주기적으로 전송되는 필수 정보로, 자율주행 및 차량 안전을 위해 필요한 핵심 데이터가 포함된다. BSM Part 1이 포함하는 데이터는 <표 6>과 같다. BSM Part 2는 특정 상황에서 전송되는 추가적인 정보로, 차량의 상태와 상황에 따라 추가적인 안전 정보를 전송한다. 본 연구는 필수 데이터인 BSM Part 1을 메시지 형식으로 채택하여 차량 간 정보를 공유하도록 하였다.

<표 6> SAE J2735 표준 BSM Part 1 데이터 목록

BSM Part 1	Msg Count
	Temporary ID
	Dsecond
	Latitude
	Longitude
	Elevation
	Positional Accuracy
	Transmission State
	Speed
	Heading
	Steering Wheel Angle
	Acceleration
	Brakes
	Vehicle Size

차량 간 무선 네트워크 연결을 위해, 각 임베디드 보드에 무선랜카드를 장착하여 Wifi를 통해 서로 연결하였다. 군집 차량의 중간에 위치한 2번 차량에 해당하는 임베디드 보드가 MQTT 브로커 역할을 담당하며, 모든 차량은 각 차량의 MQTT Client를 통해 BSM 메시지를 공유한다.

4. 군집 주행 알고리즘

본 연구에서는 제안된 시스템의 성능을 검증하기 위해 간단한 군집 주행 알고리즘을 구현하였다. 해당 알고리즘은 프레임워크 성능 검증을 위한 기본적인 군집 주행 기능을 제공하여, PIL 기반의 군집 주행 테스트 프레임워크가 정상적으로 작동하고 실시간 통신이 가능함을 확인하기 위한 테스트 케이스로 활용되었다. 즉, 낮은 복잡도의 간단한 알고리즘을 기반으로 구현하여, 프레임워크의 실시간 통신과 차량 제어의 성능을 확인하는 데 중점을 두었다.

해당 알고리즘에서 3대의 차량 중, 최선두의 차량의 경우 자연스러운 주행 상황을 모사하기 위해 Carla Simulator에서 제공하는 자율주행 기능을 사용하여 자율적으로 주행하도록 하였다. 이를 뒤따르는 2대의 후속 차량은 V2V 통신을 통해 공유된 각 선행 차량의 차량 정보와 ROS 통신으로 수집한 자차 정보를 기반으로 거리 및 속도를 비교하여 선두 차량과의 거리 유지하도록 스로틀을 조정하고, 선두 차량의 위치를 추종하기 위해 Pure Pursuit 알고리즘을 기반으로 스티어링을 조정하도록 하여 선두 차량의 주행 경로를 따라 주행하도록 하였다. 선두 차량이 정지 신호 혹은 장애물 감지 등의 이유로 정지하는 상황에 대해, 선두 차량과의 거리가 일정 값 이하로 줄어들거나 선두 차량이 급정거하는 경우 브레이크 신호를 활성화하여 충돌을 방지하도록 하였다. 해당 알고리즘을 통해 선두 차량과 적정한 거리를 유지하며 주행할 수 있었다.

각 차량에 해당하는 임베디드 시스템은 스로틀, 스티어링, 브레이크 신호를 ROS 토픽을 통해 지속적으로 발행하며, Simulator Server가 해당 제어 신호를 구독 및 반영하여 CARLA Simulator 상의 차량에 제어 신호를 적용할 수 있다.

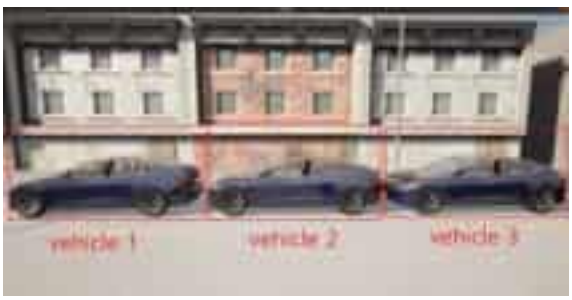
Ⅳ. 연구 결과

1. Carla Simulator 환경

시뮬레이션 환경은 <그림 3>과 같이 CARLA Simulator 환경에서 제공하는 Town02 지도를 사용하였다.

<그림 3> CARLA Simulator의 Town02 지도

Carla Simulator 환경에서 3대의 차량을 동일 차선에 5미터 간격으로 배치하여, 각 차량이 선두의 차량을 따라 주행할 수 있도록 하였다. 각 차량의 모델은 Carla Simulator에서 제공하는 Tesla Model3를 사용하였다. 시뮬레이션 환경에 3대의 차량을 배치한 모습은 <그림 4>와 같다.



<그림 4> Carla Simulator 차량 배치

2. 군집 주행 테스트

PIL 기반의 군집 주행 테스트 프레임워크가 실시간으로 작동할 수 있음을 확인하기 위해, 시뮬레이션을 통해 3대의 차량의 군집 주행 테스트를 진행하였다. 최선두의 차량은 Carla Simulator의 Tesla Model3 Auto Pilot 기능을 활용해 주행하며, 후미의 차량은 선두의 차량을 따라 주행하도록 하였다.

<그림 5>는 군집 주행 테스트 중, 차량들이 직선 구간을 주행하고 있는 모습이다. 각 차량이 V2V 통신을 통해 선두 차량의 정보를 실시간으로 수집하고, 거리와 속도 관계를 통해 주행 속도를 제어하여 선두 차량과 적정 거리를 유지하며 주행하는 것을 확인할 수 있었다.

<그림 5> 군집 주행 중, 직선 주행 구간

<그림 6>은 좌회전 구간을 주행하고 있는 모습이다. Pure Pursuit 알고리즘을 활용한 경로 추종 방식을 사용하여 선행 차량의 경로를 따라 정상적으로 스티어링을 조정하는 것을 확인할 수 있었다.

<그림 6> 군집 주행 중, 좌회전 주행 구간

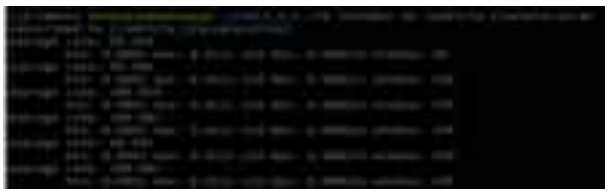
<그림 7>은 정지 신호등으로 인한 정지 상황의 모습이다. 선두 차량의 감속으로 5m/s 이상 속도 차이가 발생 시, 함께 감속하며 선두 차량과의 거리가 8미터 이하일 시, 브레이크를 작동하도록 하였다. 선두 차량의 정지에도 충돌하지 않고 안전한 거리를 유지하며 정차하는 것을 확인할 수 있었다.

<그림 7> 군집 주행 중, 정지 신호 구간

3. 통신 안정성 및 지연 시간

프레임워크의 통신 안정성을 확인하기 위해 시뮬레이터 서버와 임베디드 환경에서의 ROS 토픽 발행 빈도를 확인하였다. 시뮬레이터 차량 데이터는 ROS 통신을 통해 평균 약

100Hz 빈도로 발행되었으며, 최고 11ms, 최저 9ms 주기로 발행되어 안정적으로 임베디드 시스템으로 공유되었음을 <그림 8>과 같이 확인했다.

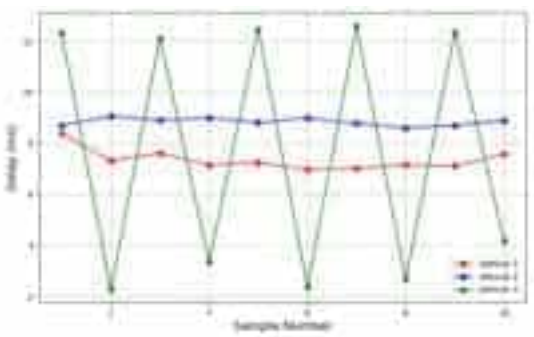


<그림 8> /vehicle_2/acceleration ROS 토픽 발행 빈도

임베디드 시스템의 차량 제어 신호 또한 ROS 통신을 통해 평균 약 100Hz 빈도로 발행되었으며, 최고 12ms, 최저 8ms 주기로 발행되어, 안정적으로 시뮬레이터 서버로 제어 신호 공유되어 Carla Simulator에 반영되었음을 <그림 9>와 같이 확인했다.

<그림 9> /vehicle_2/control/acceleration ROS 토픽 발행 빈도

프레임워크의 통신 지연 시간을 확인하기 위해 시뮬레이터 서버로부터 발행된 차량 데이터가 차량 프로세서에 해당하는 임베디드 시스템을 거쳐, V2V 통신을 통해 타 차량까지 도달하는 시간을 측정하였다. 시뮬레이터 서버에서 발행한 ROS 토픽의 타임스탬프를 임베디드 시스템의 시간과 비교하여 시간을 측정하여야 하므로, NTP(Network Time Protocol)를 사용하여 시뮬레이션 서버와 임베디드 시스템의 시간을 평균 0.3ms 이하의 시간 오차로 동기화하였다. <그림 10>은 선두 차량의 데이터가 시뮬레이터 서버에서 발행되어, 선두 차량의 임베디드 시스템를 거쳐 V2V 통신으로 현재 차량이 수신하기까지 지연 시간을 10회 측정한 결과를 각 차량에 대해 나타낸 그래프이다. 최선두 차량인 Vehicle 1의 경우 선두 차량이 존재하지 않기 때문에 Vehicle 3의 차량 정보를 수신하도록 하였다.



<그림 10> 차량별 타 차량 데이터 수신 지연 시간 그래프

각 차량에 대한 평균 지연 시간은 Vehicle 1은 7.352ms, Vehicle 2는 8.836ms, Vehicle 3는 7.666ms로 측정되었으며, 모든 차량에 대한 전체 평균은 7.961ms로, 약 8ms의 지연 시간이 측정되었다.

Ⅴ. 결론

1. 연구 결과 요약

본 연구에서는 PIL 기반의 군집 주행 테스트 프레임워크를 구현하여, 임베디드 시스템과 시뮬레이터 서버 간의 통신이 원활히 이루어지며 실시간 제어가 가능함을 확인하였다. 이를 확인하기 위해 CARLA Simulator와 ROS 기반의 시뮬레이션 환경에서 군집 주행 테스트를 수행하였다.

본 연구의 PIL 기반 군집 주행 테스트 프레임워크는 시뮬레이터 서버와 임베디드 시스템 간 실시간으로 차량 데이터 및 제어 신호를 송수신할 수 있도록 설계하였다. 시뮬레이터 서버에서 차량 데이터를 ROS 토픽으로 발행하고 임베디드 시스템에서 구독하여, 이를 기반으로 임베디드 시스템이 주행 알고리즘 연산을 수행한다. 임베디드 시스템은 주행 신호를 다시 ROS 토픽으로 발행하고 시뮬레이션 서버가 구독하여, 주행 신호를 CARLA Simulator에 반영할 수 있도록 구현하였다. 이를 위한 ROS 통신은 100Hz의 빈도로 데이터를 주고받을 수 있도록 하였으며, 이때 각 신호의 발행주기는 최고 12ms에서 최저 8ms로 측정되었다.

군집 주행을 위한 V2V 통신의 구현을 위해 MQTT 프로토콜을 이용하여 BSM 메시지를 통신할 수 있도록 하였다. 각 임베디드 시스템은 ROS 통신을 통해 시뮬레이터 서버로부터 수집된 차량 데이터를 이용해 BSM 메시지를 생성하였으며, 이를 V2V 통신을 통해 군집 차량 간 공유할 수 있었다. 시뮬레이터 서버에서 발행된 차량 데이터가 임베디드 시스템에서 수신되며, 해당 데이터가 다시 V2V 통신을 통해 타 차량에 도달하기까지의 통신 지연 시간 또한 실험을 통해 측정되었다. 이를 위해 NTP (Network Time Protocol)를 사용하여 시뮬레이터 서버와 임베디드 시스템 간의 시간을 동기화한 후, 시뮬레이터 서버에서 발행된 ROS 토픽의 타임스탬프와 임베디드 보드에서 수신한 시간의 차이를 계산하였다. 그 결과, 시뮬레이터 서버에서 발행된 데이터가 타 차량의 임베디드 시스템에 도달하기까지의 평균 지연 시간은 약 7.961ms로 측정되었으며, 이를 해당 프레임워크가 실시간으로 시스템 간 통신을 지원할 수 있음을 확인하였다.

프레임워크의 테스트를 위해 간단한 군집 주행 알고리즘을 설계하여 실시간 작동이 가능함을 확인하였다. 최선두 차량은 CARLA Simulator의 자율주행 기능을 사용하여 주행하였고, 2대의 후속 차량은 V2V 통신을 통해 선두 차량의 데이터를 실시간으로 수집하여 주행하였다. 후속 차량은 선두 차량과의 거리를 유지하면서

안정적으로 경로를 추종하였으며, Pure Pursuit 알고리즘을 적용하여 선두 차량의 경로를 추종하는 것을 확인할 수 있었다. 정지 신호, 회전 구간 등 주행 상황에서도 차량 간의 충돌 없이 주행이 가능함을 확인하였다.

해당 프레임워크는 각 시스템 간 실시간 통신을 지원하며, 군집 주행 알고리즘이 탑재된 임베디드 시스템에게 시뮬레이션 주행 환경을 제공한다. 또한 시뮬레이션 환경을 시각적으로 모니터링하여 각 차량의 주행 과정을 확인할 수 있다. 이를 통해 실제 차량 혹은 센서 및 액추에이터가 없이도 주행 알고리즘의 주행 성능 및 임베디드 시스템의 알고리즘 처리 능력을 테스트하고 주행 과정을 모니터링할 수 있는 환경을 제공할 수 있음을 확인하였다.

2. 연구의 한계 및 향후 연구

본 연구에서는 CARLA Simulator에서 제공하는 가상 차량을 이용해 군집 주행을 테스트하였으나, 실제 차량의 동역학 모델과 시뮬레이터의 차량 모델 간에는 차이가 존재한다. CARLA에서 사용되는 차량 모델은 단순화된 물리 모델에 기반하여 움직임을 구현하며, 실제 차량의 복잡한 동역학 및 주행 특성을 완벽하게 모사할 수 없다는 한계가 있다. 이러한 차이는 고속 주행이나 급제동과 같은 극한 상황에서 더욱 두드러질 수 있다. 따라서 이러한 문제점을 극복하기 위해선 실제 개발 중인 차량의 동역학 모델을 반영한 시뮬레이터 차량 모델을 설계하여 테스트해야 할 필요가 있다.

본 연구에서는 간단한 환경 구성과 확장성을 이유로 MQTT 프로토콜을 사용한 V2V 통신을 구현했지만, 향후 연구에서는 WAVE, C-V2X 등 다양한 통신 프로토콜을 적용한다면 더욱 안정적이며 실제와 같은 차량 간 실시간 통신을 구현할 수 있다.

사사

본 과제(결과물)는 교육부와 한국연구재단의 재원으로 지원을 받아 수행된「대학혁신지원사업」의 연구결과입니다.

참고문헌

[1] L. Liu et al., "Computing Systems for Autonomous Driving: State of the Art and Challenges," in IEEE Internet of Things Journal, vol. 8, no. 8, pp. 6469-6486, 15 April15, 2021

[2] C. Brogle, C. Zhang, K. L. Lim and T. Bräunl, "Hardware-in-the-Loop Autonomous Driving Simulation Without Real-Time Constraints," in IEEE Transactions on Intelligent Vehicles, vol. 4, no. 3, pp. 375-384, Sept. 2019

[3] H. Vardhan, B. Akin and H. Jin, "A Low-Cost, High-Fidelity Processor-in-the Loop Platform: For Rapid Prototyping of Power Electronics Circuits and Motor Drives," in IEEE Power Electronics Magazine, vol. 3, no. 2, pp. 18-28, June 2016

[4] A. Arizala, R. Lattarulo, A. Zubizarreta and J. Pérez, "A Control Testing Framework for automated driving functionalities using modular architecture with ROS/CARLA environment," 2021 25th International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC), Iasi, Romania, 2021, pp. 314-320

[5] SAE International Technical Standard, V2X Communications Message Set Dictionary, SAE Standard J2735_202409, Revised September 2024, https://doi.org/10.4271/J2735_202409.

교통안전(Ⅰ)

Session

A-5

무인단속 상습 적발자 분류 및 사고심각도 예측 연구
박동혁, 박준영, 권민정

고속도로 톨게이트 구간에서의 영업소 기하구조 및 교통류 특성을 고려한 실시간 사고 예측 모델 개발
박동혁, 박준영, 박현진

Random Parameter Multivariate Tobit Model을 활용한 상업용 차량 사고율에 영향을 미치는 요인 분석
박휘빈, 김정화, Chen TianTian

직진·우회전 공용차로 교차로 내 후행보행시간 적용에 관한 연구
오민석, 윤일수, 채희철

중고등학생 교통사고에 미치는 도로 환경 및 교통안전시설에 관한 연구
이상범, 안세영, 이재덕, 장일준

무인단속 상습 적발자 분류 및 사고심각도 예측 연구

A Study of Recidivist Traffic Offender Classification and Crash Severity Prediction

박동혁, 박준영, 권민정

(한양대학교 ERICA 교통물류공학과, 박사과정; 한양대학교 ERICA 교통물류공학과/스마트시티공학과, 부교수; 한국도로교통공단 교육관리처, 차장)

Key Words : 무인단속, 상습적발자, 사고 심각도 모형, 비지도학습

목 차

Ⅰ. 서론
1. 연구의 배경 및 목적
Ⅱ. 기존문헌 고찰
Ⅲ. 연구방법론
1. 데이터 정제 방법론 및 비지도학습을 활용한 무인단속 상습 적발자 식별
2. 상습 적발자 및 사고 특성 기반 사고 심각도 분석

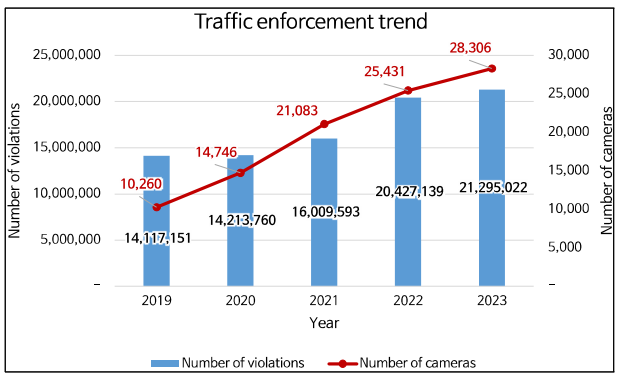
Ⅰ. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

교통법규 위반 행동은 교통상황에 잠재된 위험을 운전자가 발견하고 적절하게 대처하지 못하도록 하여 교통사고 발생 확률과 사고 심각도를 높일 수 있다(Oh and Lee, 2007). 이에 관리기관은 교통안전을 강화하기 위해 무인 교통단속용 장비를 설치하고 있다. 무인 교통단속용 장비의 설치는 운전자의 주행행태와 교통 특성 변화를 유도함으로써 교통안전을 개선시키고 교통 사고 빈도와 사고 심각도를 크게 감소시키는 효과가 있다 (Joo et al., 2009). 2020년 어린이 보호구역 교통안전 강화대책의 일환으로 무인 교통단속장비를 확충하고 어린이 보호구역에 우선적으로 설치하고 있다. 경찰청 통계자료에 따르면 무인 교통단속장비 설치 증가에 따라 교통법규 무인단속 적발 건수도 함께 증가하고 있다.

2023년 무인 교통단속용 장비 설치 대수는 2019년 대비 약 2.8배 증가하였으며, 계속해서 확충할 계획이다. 무인 교통단속이 운전자의 위험 운전을 억제하는 효과가 있지만 반복적으로 교통법규를 위반하는 운전자에게는 효과가 적다. 또한, 상습 교통법규 위반운전자는 고의적으로 위반하는 경향이 있으며, 빈도 또한 잦다.

본 연구는 무인 교통단속 상습 적발자를 식별하고 사고 위험 특성에 대해 분석하고자 한다. 이를 위해 무인 교통단속 데이터와 교통사고 이력 데이터를 활용하여 운전자 특성으로 설정한다. 그 다음으로 데이터 정제 방법론을 활용하여 이상치를 상습 적발자로 분류하고 비지도학습(Unsupervised learning)을 통해 위험 수준을 분류하여 사고 심각도 모형에 활용하였다.



<그림 1> 교통법규 무인단속 현황 (2019-2023년)

Ⅱ. 기존문헌 고찰

무인 교통단속장비의 설치는 유의미한 교통사고 감소 효과를 나타낸다 (Yun et al., 2011; Kim and Park., 2009; Myeong and Kim., 2003). Yun et al. (2011)은 고속도로 무인구간속도 위반단속 시스템을 대상으로 Comparison -Group 기반 사전 사후 분석을 활용하여 효과분석을 수행하였다. 분석대상구간과 유사한 통행 및 기하구조 특성을 보이는 구간과 비교하였을 때 교통사고 감소 효과가 있는 것으로 도출되었다. Kim and Park (2009)은 경험적 베이즈 (Empirical

Bayes, EB) 방법론을 활용하여 교차로에 설치된 무인단속 장비에 대한 사고 감소 효과를 제시하였다. 무인단속 장비 설치 전·후 사고 감소 효과는 최소 3.89%, 최대 29.23% 범위 내인 것으로 분석되었다. Myeong and Kim (2003)은 교통사고 시계열 데이터를 활용하여 교통안전 정책 도입과 단속 강화가 사고 발생에 미치는 영향에 대해 분석하였다.

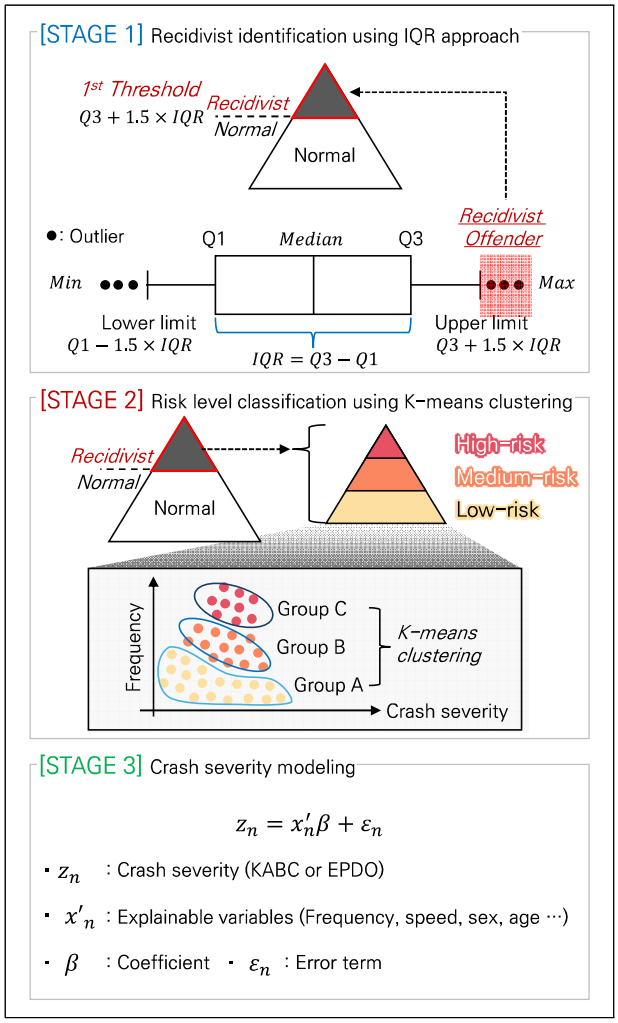
무인 교통단속장비의 설치와 그 존재는 운전자에게 주행행태를 변화시킨다 (Tavolinejad et al., 2021; Chung et al. 2023). Tavolinejad et al. (2021)은 이란 택시 운전자를 대상으로 주행 데이터를 수집하여 분석한 결과 고정식 과속 카메라 인근에서 속도 준수율이 높은 것으로 나타났다. 그러나, 카메라 인근 구간을 분석한 결과 감속한 후 다시 가속하는 캥거루 주행이 포착되었다. Chung et al. (2023)은 어린이 보호구역 내 단속카메라에 접근하는 차량들의 속도가 제어되는 사실을 기반으로 영향권을 분석하였다. 차량 주행 궤적 데이터를 기반으로 생존 분석(Survival analysis)을 수행하였으며, 상·하류부 단속카메라로 인한 속도 제어 효과가 존재하는 구간을 도출하였다.

기존 문헌에서는 통계 기반 모형을 개발하여 교통 법규 위반이 사고 심각도에 영향을 미친다는 것을 규명하였다 (Lee et al., 2022; Park et al., 2022). Lee et al. (2022)은 어린이 보호구역 내 사고 발생 요인 및 심각도 요인을 분석하기 위해 순서형 프로빗 모형과 지역 변수를 고려한 임의 효과(random effects) 순서형 프로빗 모형을 활용하였다. 분석 결과, 교통사고 심각도에는 야간, 주말, 인적 요인, 운전자 차종, 법규 위반 등으로 분석되었다. Park et al. (2022)은 화물차 교통 사고를 대상으로 10가지 모형을 개발하고 인적 요인, 환경 요인, 운전자 요인, 도로 환경 등을 조합하여 사고 심각도가 증가하는 요인을 도출하였다. 사고 심각도가 증가하는 요인으로는 과속, 안전거리 미확보 등이 있다. Cohn et al. (2020)은 도심부 내 신호 및 지시 위반으로 인한 교통사고 중 39%가 부상을 입는다고 하였다. 신호위반단속 카메라를 설치할 경우 신호 위반 운전자의 교통 법규 위반 행위를 억제할 수 있다고 하였으며, 전체 사상자를 감소시키는데 효과적임을 밝혔다.

기존 문헌에서는 교통법규 위반 행위는 교통사고에 미치는 영향이 크며, 무인단속장비를 설치할 경우 사고 감소 효과가 있음을 제시하였다. 그러나, 교통법규 무인단속 장비에 빈번하게 적발되는 상습 교통법규 위반자가 미치는 교통 안전에 대한 연구는 미흡하였다. 본 연구는 무인 교통단속 법규위반 데이터를 기반으로 상습 적발자의 기준을 마련하고 그에 따른 교통사고 심각도 모델을 활용한 영향요인 분석을 수행하고자 한다.

III. 연구방법론

본 연구에서는 데이터 정제 방법론 중 하나인 사분위수 범위(IQR, Interquartile Range) 기법을 활용하여 교통법규 무인단속 데이터 기반 상습 적발자를 식별하였다. 그 다음으로 대표적인 비지도학습인 K-means clustering을 수행하여 상습 적발자 위험 수준을 분류하였다. 마지막으로 순서형 프로빗 모형과 순서형 로짓 모형 등을 활용하여 상습 적발자 특성이 사고 심각도에 미치는 영향을 분석하였다.



<그림 2> 연구 흐름도

1. 데이터 정제 방법론 및 비지도학습을 활용한 무인단속 상습 적발자 식별

상습 적발자와 일반 적발자를 구분하기 위해 데이터 정제 방법론 중 하나인 IQR을 활용하였다. IQR은 이상치를 검지하는데 주로 사용되는 대표적인 기법으로 3사분위수(3rd quartile)와 1사분위수(1st quartile) 간의 차이를 활용한다. IQR 이상치 검지 알고리즘에서 이상치는 $Q_1 - 1.5 \times IQR$ 이하의 값과 $Q_3 + 1.5 \times IQR$ 이상의 값으로 정의된다. 본 연구에서 다루고 있는 무인단속 적발 빈도는 중도 절단(censored)된 데이터로 0 이상의 값을 갖는다. 따라서, $Q_3 + 1.5 \times IQR$ 이상의 값을 상습 적발자로 정의하였다.

비지도학습은 라벨(label)이 정해지지 않은 데이터를 학습하는 기계학습 방법론 중 하나로 군집화(clustering), 잠재 변수

모델(latent variable model), 밀도 추정(density estimation) 등이 있다. 본 연구는 비지도학습 방법론의 군집화에 해당하는 K-means clustering을 활용하여 무인단속 상습 적발자 위험 수준별 군집을 도출하였다. 무인단속 적발 빈도와 사고 심각도 간의 관계를 기반으로 군집을 형성하였다., 사고 심각도 가중치를 반영하기 위해 사회적 비용을 고려한 사고처리비용과 EPDO(Equivalent Property Damage Only) 점수를 활용하거나 교통법규 위반 정도를 고려하기 위해 벌점을 반영하였다. 군집화된 결과는 사고 심각도 모델 개발의 입력변수로 활용하였다.

2. 상습 적발자 및 사고 특성 기반 사고 심각도 분석

사고 심각도 분석은 통계적 방법을 활용하여 교통 사고 결과와 유의미한 관련성이 있는 요인과 그 관계를 파악하는 것을 의미한다. 교통사고 심각도 수준은 사망, 중상, 경상, 물피 사고 등으로 구분할 수 있으며, 순서가 정해져 있다. 순서형 종속 변수를 활용할 수 있는 프로빗 모형과 로짓 모형 등을 활용하여 사고 심각도 모형을 개발하고자 한다. 상습 적발자를 규정하기 위해 활용한 변수인 운전자의 일반적인 고유 특성, 교통법규 위반 특성을 활용하여 사고 심각도 모형을 개발하였다. 본 연구에서 개발된 모형을 기반으로 사고 심각도에 기여하는 무인단속 상습 적발자의 특성 및 요인을 식별하고 평가하였다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 한국도로교통공단 연구용역인 무인단속 효과제고를 위한 상습 적발자 관리방안 연구의 지원으로 수행되었음

참고문헌

1. Oh J. S. and S. C. Lee (2007), The Effects of Driving Behavior Determinants on Dangerous Driving and Traffic Accidents in the Reckless Drivers Group: A Path Analysis Study, Journal of Korean Society of Transportation, 25(2), 95-105.
2. Joo, D. H., C. S. Hyun, H. W. Lee, W. S. Han and C. K. Lee (2009), Study on the Analysis for the Effects of the Automated Speed Enforcement System Application. The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems, 8(6), 55-63.
3. 도로교통공단(2017), “상습 교통법규 위반자 관리방안 연구 - 음주운전과 과속운전을 중심으로 -”, p.38.
4. Yun, I. S., S. H. Park, B. S. Oh and Y. T. Oh (2011), Study of the Effect of the Point-to-Point Speed Enforcement System Using a Comparison -Group Method. International Journal of Highway Engineering, 13(4), 177-185.
5. Kim, T. Y. and B. H. Park (2009), Effects on the accident reduction of red light camera using Empirical Bayes method. The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems, 8(6), 46-54.
6. Myeong, M. H. and K-S. Kim (2003), The impact of Traffic Enforcements on Reducing Traffic Accidents. Journal of Korea Planning Association, 38(7), 109-117.
7. Tavolinejad, H., M. R.Malekpour, N. Rezaei, A. Jafari, N. Ahmadi, A. Nematollahi, E. Abdolhamidi, E. F. Mehr, M. Hasan, and F. Farzadfar (2021), Evaluation of the effect of fixed speed cameras on speeding behavior among Iranian taxi drivers through telematics monitoring. Traffic injury prevention, 22(7), 559-563.
8. Chung, S., J. Lee, Y. Kim, and C. Lee. (2023), Analysis of influence area of speed camera in school zone based on survival analysis. Journal of Korean Society of Transportation, 41(4), 425-439.
9. Lee, S., S. Park, J. Park, and J. Cho. (2022), Severity analysis for children-related crashes in school zones using random effects ordered probit models. Journal of Korean Society of Transportation, 40(4), 599-611.
10. Park, S. and, J. Park (2022). Multilevel mixed -effects models to identify contributing factors on freight vehicle crash severity. Sustainability, 14(19), 11804.
11. Cohn, E. G., S. Kakar, C. Perkins, R. Steinbach, and P. Edwards (2020). Red light camera interventions for reducing traffic violations and traffic crashes: A systematic review. Campbell systematic reviews, 16(2), e1091.

고속도로 톨게이트 구간에서의 영업소 기하구조 및 교통류 특성을 고려한 실시간 사고 예측 모델 개발

Development of a Real-Time Crash Prediction Model for Main-Line Toll Plazas based on traffic and infrastructure design characteristics

박동혁, 박준영, 박현진

(한양대학교 ERICA 교통물류공학과, 박사과정; 한양대학교 ERICA 교통물류공학과/스마트시티공학과, 부교수; 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원)

Key Words : 고속도로 톨게이트, 실시간 사고 예측, 머신러닝, 교통류 특성, 기하구조

목 차

Ⅰ. 서론
Ⅱ. 기존문헌 고찰
Ⅲ. 연구방법론

Ⅰ. 서론

고속도로는 운전자들이 통행 시간을 보장받기 위해 이동하는 교통 시설로 다수의 차량들이 고속 주행하는 환경이다. 이러한 고속도로에서 속도 변화는 교통사고 빈도와 심각도에 영향을 미치는 주요한 인자 중 하나이다 (Choudhary et al., 2018). 고속도로의 분·합류부, 차로 감소 구간 등은 용량을 감소시키며 병목 현상(bottleneck)으로 인해 속도 변화를 유발한다 (Munoz and Daganzo, 2002). 그 중 고속도로 본선형 영업소는 병목 현상을 유발하여 사고 발생에 영향을 준다. 고속도로 본선에서의 병목 현상으로 인한 교통 지·정체는 후미추돌 발생 가능성을 높인다 (Li et al., 2014).

대한민국 고속도로 영업소에서 요금을 징수하는 방식은 고속도로 통행료 수납시스템(TCS, Toll Collection System)과 하이패스(Hi-pass)로 구분할 수 있다. TCS는 차량이 요금소를 통과하면 통행권을 운전자에게 자동으로 발권하고 출구에서 통행료를 지불하는 방식이다. 하이패스는 고속도로를 진·출입하는 차량에게 무정차 방식으로 통행요금을 수납하는 특징이 있다. TCS는 요금 수납에 정차하는 서비스 시간이 필요하지만 하이패스는 서비스 시간이 불필요하다는 차이가 있다. 하이패스 이용률은 점차 증가하였으며 2023년 기준 하이패스 이용률이 90.6%에 도달하였다.

본선형 영업소는 100~110km/h에 해당하는 본선과 직접적으로 연결되어 있고 하이패스 차로의 제한속도는 30km/h이지만, 이러한 기하구조 특성은 고속도로에 병목현상을 유발할 수 있다. 본선형 영업소의 존재는 여전히 지·정체 현상을 유발할 수 있어 다차로 하이패스를 도입하였다. 제한 속도는 80km/h이며, 차로 폭이 고속도로 본선과 동일하여 주행하는 차량들이 감속하는 크기가 이전보다 개선되었다. 그럼에도 불구하고 본선형 영업소는 후미 추돌 사고의 위험이 존재하는 도로 시설물에 해당한다. 개방형 요금(ORT, Open Road Tolling)인 스마트톨링 서비스는 시범사업 중으로 전국 고속도로에 설치되지 않았으며, 다수의 영업소가 다차로 하이패스, 하이패스, TCS가 혼용된 Hybrid Main-Line Toll Plazas 형태이다. 한국도로공사에서 관리하고 있는 고속도로 20개 노선 중 31개 본선형 영업소가 있으며, 주요 노선의 본선형 영업소는 표 1에 제시하였다.

<표 1> 대한민국 주요 고속도로 본선형 영업소 현황

노선명	영업소명	입구차로 수	출구차로 수
경부선	서울	13	38
경부선	부산	12	19
서해안선	서서울	12	30
서해안선	목포	3	10
호남선	광주	4	14
호남선	동광주	8	15
중부선	동서울	12	30
중부선	통영	3	5
중부내륙선	칠원	4	6
영동선	군자	10	16
중앙선	춘천	3	10
중앙선	대동	8	13
수도권제1순환선	성남	14	14
수도권제1순환선	청계	21	15
수도권제1순환선	시흥	12	12
수도권제1순환선	김포	14	14

본 연구는 본선형 영업소에서 발생한 후미추돌 사고를 대상으로 실시간 사고 예측 모델을 개발하고자 한다. 이를 위해 교통류 검지기 데이터와 사고 이력 데이터를 결합하였다. 또한, 속도 변화와 같이 교통류 변화를 나타내는 지표를 산출하였다. 다음으로 산출한 지표를 기반으로 머신러닝 기법을 활용한 실시간 사고 예측 모델을 개발하고 성능을 검증하였다.

II. 기존문헌 고찰

교통 시스템은 인적 요인, 도로 기하구조, 주행 환경 등 다양한 요인이 유기적으로 연결되어 있으며, 교통 시스템 구성요소 중 하나 이상이 불안정해질 때 사고 개연성이 증가한다 (Kopelias et al., 2007). 특히, 고속도로 본선형 영업소에서의 병목 현상은 교통 지·정체를 유발하고 후미 추돌 사고 개연성을 증가시킨다 (Li et al., 2014). 기존에는 이력 자료 (Historical data)기반의 사고 자료와 교통량 조사 자료 등을 활용하여 도로의 위험성을 평가하였다 (AASHTO, 2010). 그러나, 이력 자료 기반의 사고 위험 구간을 식별하고 대응하는 것은 긴 시간을 요구한다는 단점이 있다. 최근 차량 검지를 위한 센서(Sensor)와 ITS(Intelligent Transportation System)의 발전은 실시간 데이터 수집이 가능하게 되었다. 실시간 데이터를 기반으로 사전에 사고를 예측하고 미리 대응이 가능하게 되었다. 실시간 사고 예측 연구는 본선, 엇갈림 구간, 진출구간 등에 대해 수행되었으나, 본선형 영업소에 대해 다룬 사례를 미흡하다 (Wang et al., 2015; Wang et al., 2019; (Hossain et al., 2019). 따라서, 본 연구의 목적은 고속도로 본선형 영업소를 대상으로 실시간 사고 예측 모델을 개발하는 것이다.

실시간 사고 예측 모델 개발 연구는 크게 통계학적 (Statistical approach) 접근방법과 인공지능(AI, Artificial Intelligence) 및 데이터 마이닝(Data mining) 접근방법으로 나뉜다 (Hossain et al., 2019). 통계학적인 접근방법으로는 Logistic regression, Bayesian Classifier 등이 있다 (Hossain et al., 2019; Theofilatos et al., 2019; Sun etl al., 2014). 통계학적인 접근방법은 사고 예측에 미치는 영향 요인에 대한 해석력이 뛰어나지만 예측 성능이 떨어진다는 단점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 인공지능 기법을 적용한 연구가 다수 수행되었다. 인공지능 및 데이터 마이닝 접근방법으로는 Neural network, Bayesian network, Classification tree, Genetic algorithm, Heuristic method 등이 있다 (Hossain et al., 2019; Sun et al., 2014; Cai et al., Yang et al, 2024).

III. 연구방법론

본 연구에서는 본선형 영업소에서 발생한 후미추돌 사고를 대상으로 실시간 사고 예측 모델을 개발하였다. 교통류의 변화를 지표로 산출하기 위해 상·하류부 간의 교통류 변화와 시간 흐름에 따른 교통류 변화를 고려하였다. 실시간 사고 예측 모델로는 SVM(Support Vector Machine), Boosting, Neural Network 등 다양한 머신러닝 기법들을 활용하고 최적화를 수행하였다. 그 다음으로 예측 성능을 기반으로 최적 모델을 선정하였다. Black-box와 같이 모델 작동 구조를 파악하기 어려운 머신러닝 기법의 한계를 극복하고 주요한 사고 영향요인을 파악하기 위해 설명 가능한 인공지능(XAI, Explainable Artificial Intelligence) 기법인 SHAP(Shapley Additive Explanations)을 활용하였다.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT). (No. 2022R1A2C1093424)

참고문헌

1. Choudhary, P., Imprialou, M., Velaga, N. R., & Choudhary, A. (2018). Impacts of speed variations on freeway crashes by severity and vehicle type. Accident Analysis & Prevention, 121, 213-222.
2. Munoz, J. C., & Daganzo, C. F. (2002). The bottleneck mechanism of a freeway diverge. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 36(6), 483-505.
3. Li, Z., Ahn, S., Chung, K., Ragland, D. R., Wang, W., & Yu, J. W. (2014). Surrogate safety measure for evaluating rear-end collision risk related to kinematic waves near freeway recurrent bottlenecks. Accident Analysis & Prevention, 64, 52-61.
4. Kopelias, P., Papadimitriou, F., Papandreou, K., & Prevedouros, P. (2007). Urban freeway crash analysis: Geometric, operational, and weather effects on crash number and severity. Transportation Research Record, 2015(1), 123-131.
5. American Association of State Highway and Transportation Officials (2010). Highway safety manual (1st ed.). Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials.
6. Wang, L., Abdel-Aty, M., Shi, Q., & Park, J. (2015). Real-time crash prediction for expressway weaving segments. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 61, 1-10.
7. Wang, L., Abdel-Aty, M., Lee, J., & Shi, Q. (2019). Analysis of real-time crash risk for expressway ramps using traffic, geometric, trip generation, and socio-demographic predictors. Accident Analysis & Prevention, 122, 378-384.
8. Yang, S., Abdel-Aty, M., Islam, Z., & Wang, D. (2024). Real-time crash prediction on express managed lanes of Interstate highway with anomaly detection learning. Accident Analysis & Prevention, 201, 107568.
9. Hossain, M., Abdel-Aty, M., Quddus, M. A., Muromachi, Y., & Sadeek, S. N. (2019). Real-time crash prediction models: State-of-the-art, design pathways and ubiquitous requirements. Accident Analysis & Prevention, 124, 66-84.
10. Theofilatos, A., Chen, C., & Antoniou, C. (2019). Comparing machine learning and deep learning methods for real-time crash prediction. Transportation research record, 2673(8), 169-178.
11. Sun, J., Sun, J., & Chen, P. (2014). Use of support vector

machine models for real-time prediction of crash risk on urban expressways. Transportation Research Record, 2432(1), 91-98.
12. Cai, Q., Abdel-Aty, M., Yuan, J., Lee, J., & Wu, Y. (2020). Real-time crash prediction on expressways using deep generative models. Transportation research part C: emerging technologies, 117, 102697.

Random Parameter Multivariate Tobit Model을 활용한 상업용 차량 유형별 사고율에 영향을 미치는 요인 분석

2024.10.25

경기대학교 석사과정 박형빈
경기대학교 교 수 김정화
한국과학기술원 교 수 Tan Tan Chen

CONTENTS

Chapter 1 서론
1. 연구의 배경 및 목적
2. 선행연구 검토

Chapter 2 방법론
1. 연구 방법론
2. 데이터 기초통계
3. Crash Rate

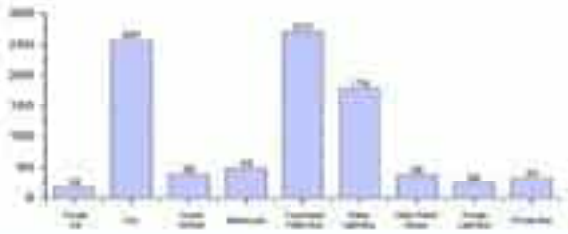
Chapter 3 분석 결과
1. 분석결과 (1)
2. 분석결과 (2)
3. 분석결과 (3)

Chapter 4 결론
1. 결론 및 향후계획

Chapter 1 서론

1. 연구의 배경 및 목적

- 본 연구의 공간적 배경은 홍콩을 대상으로 진행함
- 홍콩의 도로에서 상업용 차량은 20% 비율을 차지하지만, 70% 이상의 사고에 관여하고 있음
  - 상업용 차량의 긴 주행거리와 높은 교통 위반율에 사고 발생에 큰 영향을 미칠 것으로 예상됨
- 기존 연구는 상업용 차량의 비율이 도로 안전에 미치는 전반적인 영향을 다루었으나, 차량 유형별 사고율에 대한 연구는 부족한 실정임
- 따라서, 차량 유형별로 사고율을 분석함으로써 각 차량 특성에 맞는 맞춤형 안전 대책을 마련할 필요가 있음



본 연구는 홍콩의 상업용 차량 비율이 차량 종류별 사고율에 미치는 영향을 분석하여, 맞춤형 도로 안전 대책을 제안하는 것을 목적으로 함

Random Parameter Multivariate Tobit Model을 활용한 상업용 차량 사고율에 영향을 미치는 요인 분석

Chapter 1 서론

2. 선행연구

Modeling Crash Counts and Crash Rates

- 도로 기하구조, 교통 흐름, 환경 조건 등 다양한 요인이 교통사고에 영향을 줄 수 있음 (Usman et al. (2011))
- 교통 사고 영향 요인 분석을 위해 사고 건수 대신 사고율을 모델링하는 방식이 기존의 사고 건수 모델보다 도로 안전 성과를 더 정밀하게 측정할 수 있는 방법으로 제안되고 있음 (Hu et al. (2014), Zeng et al. (2017a, 2017b))
- 사고가 발생하지 않은 도로 구간에서는 사고율이 0이 되므로, censored 된 데이터를 분석하기 위해 Tobit 모형이 주로 사용됨 (Lord et al. (2010), Usman et al. (2011))

Effect of Crash Rates by Vehicle Type

- 많은 연구들은 단순하게 교통사고 건수 혹은 사고율을 분석하는 대신, 다변량 분석(multivariate analysis)을 통해 사고 유형별 사고 건수와 사고율을 분석함
  - Wang et al. (2017)은 다변량 모델로 충돌 유형 및 사고 심각도에 따른 사고율을 분석했으며, 동일한 위험 요인이 사고 유형에 따라 다른 영향을 미칠 수 있음을 제시함
  - Lee et al. (2015)은 다변량 포아송 로그-정규 모델을 사용하여 차량, 자전거, 보행자 사고를 동시에 분석했으며, "차량 없는 가구 비율"이 보행자 사고에만 유의미하게 영향을 미친다는 점을 발견함
- 사고 유형에 관한 선행연구는 많이 이루어졌으나, 차량 유형별 사고 요인에 대한 분석은 주로 이루어지지 않았음

Chapter 2 방법론

1. 방법론 (1)

Random Parameter Multivariate Tobit Model

- 사고율 분석을 위한 다양한 모델링 기법이 존재하며, 일반적으로 포아송 회귀분석, 음이항 회귀분석 등이 사고 건수를 분석하는 데 활용됨
- 본 연구에서는 Random Parameter Multivariate Tobit Model을 사용하여 분석 진행
- Tobit Model은 1958년 James Tobin이 제안한 통계적 모형으로, 종속변수가 특정 값에서 절단(censored)되거나 제한되는 경우에 사용함
  - 예를 들어, 소득 자료에서 최소 소득 수준 이하로는 측정되지 않거나, 특정 임계값 이상으로는 데이터를 수집할 수 없는 상황이 있을 때 사용됨
- 본 연구에서 종속변수에 해당하는 차량 유형별 사고율은 연속적이지만 0에서 좌측 절단되어 있어 Tobit 모델이 적절 적합하다고 판단함
- 한 차종의 사고율이 다른 차종의 사고율과 상관관계가 있을 수 있기 때문에, 다변량 분석을 진행함
  - Y_{ip}^{*} : 종속변수, β_{i0} : 절편 항, β_{ij} : 독립변수 x_{ip}^{j}의 계수, ε_{ip}^{a} : 오차 항

$$Y_{ip}^{*} = \beta_{i0} + \sum_j \beta_{ij}^{j} x_{ip}^{j} + \varepsilon_{ip}^{a} \qquad \begin{bmatrix} Y_{ip}^{*} = Y_{ip}^{*} & if\ Y_{ip}^{*} > 0 \\ Y_{ip}^{*} = 0 & if\ Y_{ip}^{*} \le 0 \end{bmatrix} \qquad \varepsilon_{ip}^{a} = \begin{pmatrix} \varepsilon_{ip}^{1} \\ \varepsilon_{ip}^{2} \\ \varepsilon_{ip}^{3} \end{pmatrix}, \Sigma_{\varepsilon} = \begin{pmatrix} \sigma_1^2 & \rho_{12}\sigma_1\sigma_2 & \rho_{13}\sigma_1\sigma_3 \\ \rho_{12}\sigma_1\sigma_2 & \sigma_2^2 & \rho_{23}\sigma_2\sigma_3 \\ \rho_{13}\sigma_1\sigma_3 & \rho_{23}\sigma_2\sigma_3 & \sigma_3^2 \end{pmatrix}$$

Random Parameter Multivariate Tobit Model을 활용한 상업용 차량 사고율에 영향을 미치는 요인 분석

Chapter 2 방법론

1. 방법론 (1)

Random Parameter Multivariate Tobit Model

- Random Parameter(무작위 매개변수)를 사용함으로써 관찰되지 않는 이질성(unobserved heterogeneity)에 대한 분석 가능
  - 각 관측치에 대해 독립변수가 가지는 영향이 다르게 추정되므로, 특정 독립변수의 효과를 고정된 하나의 값으로 추정하는 fixed parameter(고정 매개변수) 모델보다 유연하게 해석 가능
  - 예를 들어, 각 도로 구간마다 특정 독립변수의 영향력이 달라질 수 있기 때문에, 이러한 이질성을 반영한다면 더 정확한 추정치를 얻을 수 있음
- 즉, 독립변수의 효과가 관측 값마다 다르게 나타나는 변동성을 반영할 수 있어 더 현실적인 파라미터 추정이 가능
- Maximum Likelihood Estimation(최대 우도 추정) 분석을 위해 시뮬레이션 기반 Halton Draws 기법을 사용하여 500개의 Halton 추출을 통해 분석함

$$\beta_{ip}^{j} = \begin{pmatrix} \beta_{ip}^{1j} \\ \beta_{ip}^{2j} \\ \beta_{ip}^{3j} \end{pmatrix}, \Sigma_j = \begin{pmatrix} \sigma_{11}^{j} & \sigma_{12}^{j} & \sigma_{13}^{j} \\ \sigma_{21}^{j} & \sigma_{22}^{j} & \sigma_{23}^{j} \\ \sigma_{31}^{j} & \sigma_{32}^{j} & \sigma_{33}^{j} \end{pmatrix}$$

관측치 간 이질성을 반영하여 여러 종속 변수 간의 상관관계를 동시에 분석하여 더 정확한 추정치 제공

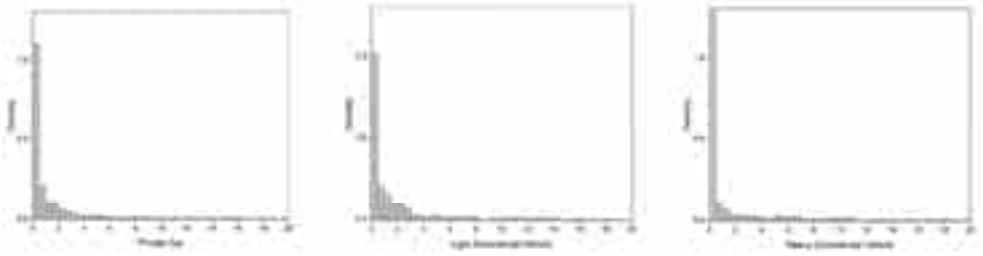
Chapter 2 방법론

1. 방법론 (2)

Crash Rate Calculation

- 사고율은 차량 주행거리(백만 킬로미터당 사고 발생량)와 같이 표준화된 척도를 사용하여 더 정확하게 추정 가능
  - 도로 구간마다 차량 통행량이 다를 수 있으므로 사고 건수가 아닌 사고율을 종속변수로 사용

$$\text{Crash rate}_{ip}^{v} = \frac{\text{Crash Count}_{ip}^{v}}{\text{Traffic Flow}_{ip}^{f} \times \text{Length}_{i} \times 365/1{,}000{,}000}$$



시범운행지구의 운행 방안과 주행 행태를 비교 및 분석하여 향후 시범운행지구 선정 시 필요한 개선 방안 제시

Chapter 3 데이터

1. 데이터

독립변수 기초통계

Variable	Mean or %	S.D.	Min.	Max.
Private car crash count	1.94	2.46	0.00	35
Light vehicle crash count	1.88	2.21	0.00	20
Heavy vehicle crash count	0.85	1.28	0.00	12
Private car crash rate	1.66	11.58	0.00	274.85
Light vehicle crash rate	1.62	7.47	0.00	160.26
Heavy vehicle crash rate	0.75	7.75	0.00	252.89
AADT	21.25017	4.36	8.03	34.75
Speed limit(km/h)	64.288	13.49	30	100
One way (yes = 1)	11%		0.00	1
Whole roadway (more than four traffic lanes: 1 = yes, 0 = no)	42%		0.00	1
Total lane width (m)	10.834	8.03	3.10	44.5
Average lane width (m)	5.740738	0.89	2.70	16
Intersection Density	2.06	3.10	0.00	16
High intersection density (≥5 intersections per km, 1 = yes, 0 = no)	16%		0.00	1
Private Car proportion	42.41	11.71	8.20	86
Taxi proportion	22.25	17.18	0.00	65.75
Goods light proportion	14.88	8.09	0.00	40.70
Goods mh proportion	5.80	6.07	0.00	
Light bus proportion	4.59	4.60	0.00	31.25
Bus proportion	6.47	5.80	0.00	64.73

Chapter 3 데이터

1. 데이터

종속변수 유형

Vehicle Type			Overall Dimensions			Maximum Gross Vehicle Weight	Maximum Passenger Seating Capacity
			Overall Length	Overall Width	Overall Height		
Private car			6.3m	2.3m	2.0m	3.0t	7
Light commercial vehicle	Taxi		6.3m	2.3m	2.0m	3.0t	6
	Light goods vehicle		10.0m	2.5m	3.5m	5.5t	5
	Light bus		7.5m	2.3m	3.0m	8.5t	18
Heavy commercial vehicle	Medium goods vehicle		11.0m	2.5m	3.5m	24t	5
	Heavy goods vehicle	Rigid	11.0m	2.5m	4.6m	38t	5
		Articulated	16.0m	2.5m	4.6m		
	Bus	Single-decked	12.0m	2.5m	3.5m	24t	-1
		Double-decked	12.0m	2.5m	4.6m		
		Articulated	15.0m	2.5m	3.5m		

Chapter 4 분석 결과

분석 결과

기하구조&교통제어 요인

Random parameter MVTOBIT										
Vehicle Type		Private car			Light commercial vehicle			Heavy commercial vehicle		
Regression		Coeff	95% CI		Coeff	95% CI		Coeff	95% CI	
Constant		2.33	(-10.52, 14.89)		12.32	(-23.44, 50.46)		34.25	(-28.58, 97.08)	
Geometric & Traffic characteristics										
AADT		1.38***	(0.49, 2.23)		-0.22	(-0.84, 0.21)		2.87	(-1.83, 7.67)	
Standard Deviation		0.002	(0.001, 0.003)							
Speed limit		-0.00	(-0.21, 0.14)		-0.17**	(-0.26, -0.01)		-0.12***	(0.06, 0.18)	
Standard Deviation					1.32	(0.84, 2.20)				
One Way		8.11***	(2.55, 16.55)		1.69***	(0.87, 2.31)		18.70***	(14.42, 21.79)	
Standard Deviation					3.88	(0.05, 4.32)		3.76		
Wide markway		1.14*	(0.53, 1.74)		-0.61*	(-1.04, -0.18)		24.07***	(12.52, 38.64)	
Standard Deviation		1.85	(1.18, 2.44)							
Total lane width		-0.05	(-0.08, 0.33)		0.17**	(0.07, 0.16)		-1.24	(-1.85, -0.53)	
Standard Deviation								8.36	(4.25, 8.43)	
Average lane width		2.72**	(0.61, 5.00)		1.10***	(0.30, 3.17)		-11.51	(-28.16, 1.14)	
Standard Deviation					4.92	(4.07, 5.77)				
Intersection density		0.06	(-0.06, 0.87)		0.45*	(0.14, 0.72)		3.96**	(0.21, 7.54)	
Standard Deviation					1.87	(1.25, 3.21)				
Density (S+)		0.00	(2.85, 4.85)		-0.40***	(-0.64, -0.22)		-34.73	(-47.80, -11.64)	
Standard Deviation										

Chapter 4 분석 결과

분석 결과

상업용 차량 비율 요인

Random parameter MVTOBIT										
Vehicle Type		Private car			Light commercial vehicle			Heavy commercial vehicle		
Commercial vehicles mix effect										
Private car		-0.44***	(0.14, 0.74)		-0.10	(-0.77, 0.37)		-2.89	(-10.19, 4.41)	
Standard Deviation		0.14	(0.07, 0.21)							
Taxi		-0.37**	(-0.91, -0.23)		1.07*	(0.82, 2.22)		-3.45	(-10.62, 3.75)	
Standard Deviation		0.37	(0.11, 0.62)							
Goods light		0.59**	(0.26, 0.92)		0.07	(-0.85, 0.64)		-3.81	(-12.11, 4.47)	
Standard Deviation										
Goods MM		-0.86	(-1.53, 0.18)		0.16	(-0.80, 0.49)		2.79**	(1.43, 4.09)	
Standard Deviation								2.05	(1.43, 2.85)	
Light bus		-0.49	(-1.67, 0.69)		-0.18***	(-0.27, -0.09)		2.81***	(0.57, 5.05)	
Standard Deviation					0.85	(0.25, 1.50)				
Bus		-0.28	(-1.40, 0.55)		-0.04	(-0.72, 0.44)		0.06**	(0.16, 1.06)	
Standard Deviation								6.22	(4.78, 8.22)	

Random Parameter Multivariate Tobit Model을 활용한 상업용 차량 서고들에 영향을 미치는 요인 분석

Chapter 4 분석 결과

분석 결과

시간대별 요인

Random parameter MVTOBIT										
Vehicle Type		Private car			Light commercial vehicle			Heavy commercial vehicle		
Temporal effect (reference: Type - 1/2pm)										
Period1 (1am~11am)		-2.87***	(-3.37, -2.88)		1.79***	(1.02, 2.03)		4.87	(-4.82, 13.99)	
Period2 (11am~6pm)		-2.59***	(-2.80, -2.21)		2.19**	(1.84, 2.02)		6.81	(-11.77, 31.39)	
Period3 (6pm~7pm)		-2.41***	(-2.80, -1.02)		2.39	(-2.84, 7.62)		6.39**	(3.59, 9.11)	

직진 · 우회전 공용차로 교차로 내 후행보행시간 적용에 관한 연구

한국도로교통공단 오 민 석
아주대학교 윤 일 수
롯데이노베이트 채 희 철

Contents

직진 · 우회전 공용차로 교차로 내 후행보행시간 적용에 관한 연구

01 연구 및 이론적 배경
- 연구의 배경
- 이론적 배경
- 기존 연구 고찰

02 후행보행신호 적용 전후 비교
- 연구 대상 기본 조사
- 신호DB 및 적용 전후 조사

03 적용 결과 분석
- 적용 전후 비교분석
- SPSS통계분석

01 연구 및 이론적 배경

연구 배경 및 목적

- 2023년 **우회전 차량 일시정지 의무화**가 시행되었으나 교차로의 기하구조, 차량통행 특성에 대한 현재 및 분석이 고려되지 않아 교통문제를 발생시키고 있는 측면이 존재
- 직진우회전 공용 차로가 존재하는 교차로 내 신호 발현 시 **우회전 차량 대기로 인해 직진교통류 지체도 증가**
- **후행보행시간 부여를 통한 통행지체 감소 효과분석**

01 연구 및 이론적 배경

직진 · 우회전 공용차로 교차로 내 후행보행시간 적용에 관한 연구

이론적 배경

도로교통법 제27조

① 모든 차 또는 노면전차의 운전자는 보행자(제15조의2제6항에 따라 자전거 등에서 내려서 자전거 등을 끌거나 밀고 통행하는 자전거 등의 운전자를 포함한다)가 횡단보도를 통행하고 있거나 통행하려고 하는 때에는 보행자의 횡단을 방해하거나 위협을 주지 아니하도록 그 횡단보도 앞(정지선이 설치되어 있는 곳에서는 그 정지선을 말한다)에서 일시정지하여야 한다.

② 모든 차 또는 노면전차의 운전자는 제12조제1항에 따른 어린이 보호구역에 설치된 횡단보도 중 신호기가 설치되지 아니한 횡단보도 앞(정지선이 설치된 경우에는 그 정지선을 말한다)에서는 보행자의 횡단 여부와 관계없이 일시정지하여야 한다.

도로교통법 시행규칙 제6조 2항

도로교통법 시행규칙 제6조 제2항 관련,

[별표2] 신호기가 표시하는 신호의 종류 및 신호의 뜻

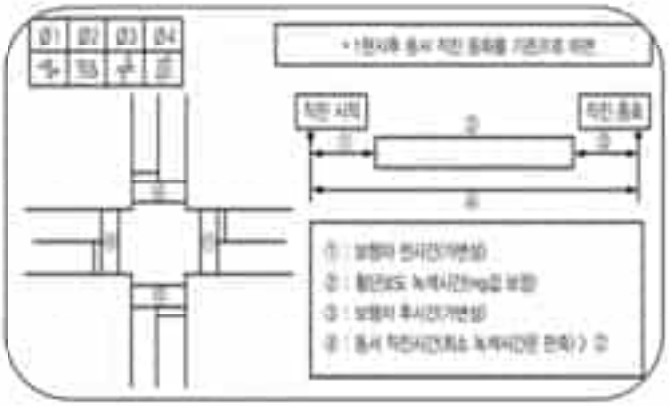
1. 차마는 정지선, 횡단보도 및 교차로의 직전에서 정지해야 한다.
2. 차마는 우회전하려는 경우 정지선, 횡단보도 및 교차로의 직전에서 정지한 후 신호에 따라 진행하는 다른 차마의 교통을 방해하지 않고 우회전할 수 있다.

※ 제2호에도 불구하고 차마는 우회전 삼색등이 적색의 등화인 경우 우회전할 수 없다.

이론적 배경

후행보행시간(pedestrian before time)

횡단보도가 있는 신호교차로에서 좌회전 또는 다른 방향의 이동류 신호시간이 종료되고 직진신호가 시작 된 후, 동일 방향의 횡단보도 보행자 신호가 머기지 전까지의 초 단위의 시간의 차이를 지칭



적용의의

① 직진신호와 동일방향 횡단보도 신호 등화 시간 차이 부여
② 직진차량의 통행 방해 해소 및 원활한 우회전 통과
③ 후행보행시간 적용 시 황색시간 내 교차로 무리한 진입 발생 가능성 증가

01 연구 및 이론적 배경

직진 · 우회전 공용차로 교차로 내 후행보행시간 적용에 관한 연구

관련 선행 연구

보행자 신호

- 박용진 외 , 2001. 보행자신호 체계에 대한 새로운 제안
- 김상규. 2007. 보행자 횡단특성을 고려한 보행 신호시간 산정 모형 개발에 관한 연구

선행· 후행보행시간

- 김동관. 2016. SSAM을 이용한 LPI 분석
- 김대경. 2019. 보행자 우선 출발 신호 교통신호체계 국내 도입을 위한 적정시간 산출방안 연구
- 김무환. 2023 . 보행자 우선출발 신호(LPI) 대상지점 선정 방법 개발

우회전

- 임유진. 2013. 우회전 교통류 처리 방안에 따른 교차로 효율성 분석
- 김영찬 외. 2017. 신호교차로에서 우회전교통류 운영방안
- 정일근. 2022. 우회전 신호 운영방식에 따른 이동성 및 안전성 평가에 관한 연구

02 후행보행신호 적용 전 · 후 비교

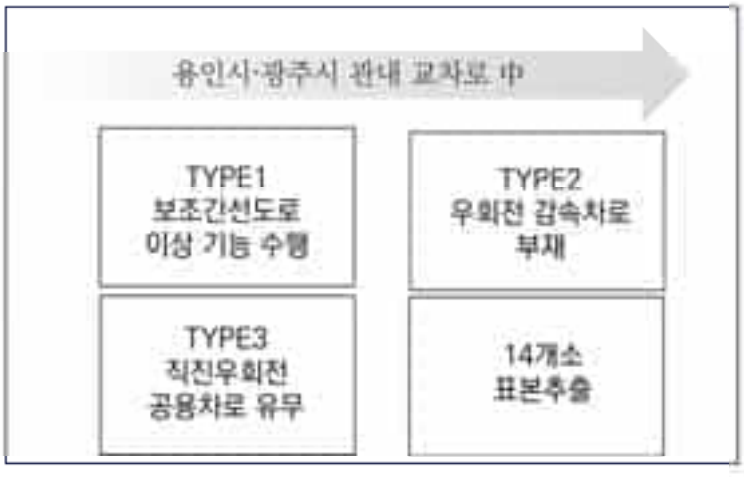
- 연구 대상 기본 조사
- 신호DB적용 및 적용 전후조사

02 후행보행신호 적용 전 · 후 비교

직진 · 우회전 공용차로 교차로 내 후행보행시간 적용에 관한 연구

연구대상 기본조사

주요 가로축 내 교차로 표본 추출



지역	교차로명	방향	최단거리	보행시간	현시시간
광주시	일곡사거리	남북	32m	39초	45초
	선린1교사거리	동서	12m	19초	52초
	송정교육원사거리	동서	23m	31초	37초
	태동교사거리	동서	11m	18초	32초
	양촌사거리	동서	22m	29초	40초
	역동사거리	동서	30m	37초	45초
	양월초입구삼거리	동서	8m	32초	67초
용인시	유림교사거리	동서	18m	24초	44초
	산율월입구사거리	동서	14m	19초	43초
	서울방향입구사거리	남북	6m	19초	36초
	방지로40번길삼거리	남북	15m	22초	88초
	운동장송탄대역사거리	남북	20m	27초	34초
	용기로일사거리	남북	30m	37초	42초
	역북초교삼거리	서동	10m	22초	124초

연구대상 기본조사

최종 대상지 선정

용인시 산괄말입구교차로 | 편도2차로

광주시 선린1교사거리 | 편도1차로

02 후행보행신호 적용 전 · 후 비교

직진 · 우회전 공용차로 교차로 내 후행보행시간 적용에 관한 연구

후행보행신호 반영

적용 범위

선린1교사거리

산괄말입구교차로

최소녹색시간 기준 후행보행시간 적용이 가능한 여유시간 확보 가능 지점 선정

후행보행신호 반영

선린1교사거리 실제 반영 DB

차량 시간	TOD1	30초	G27	Y3	
	TOD2	40초	G37	Y3	
	TOD3	57초	G54	Y3	
	TOD4	42초	G39	Y3	
보행 시간		16초	1차보행시간 21초	2차보행시간 16초	

적용예시

선린1교 사거리	• 3현시 최소녹색시간 여유 확보 부족으로 제외 • 후행보행시간 최소 7초, 최대 15초 적용

02 후행보행신호 적용 전·후 비교

직진·우회전 공용차로 교차로 내 후행보행시간 적용에 관한 연구

후행보행신호 반영

산골말입구사거리 실제 반영 DB

차량 시간	TOD1	30초	G27	Y3	
	TOD2	40초	G27	Y3	
	TOD3	57초	G54	Y3	
	TOD4	42초	G39	Y3	
보행 시간		16초	1차보행시간 21초	2차보행시간 16초	

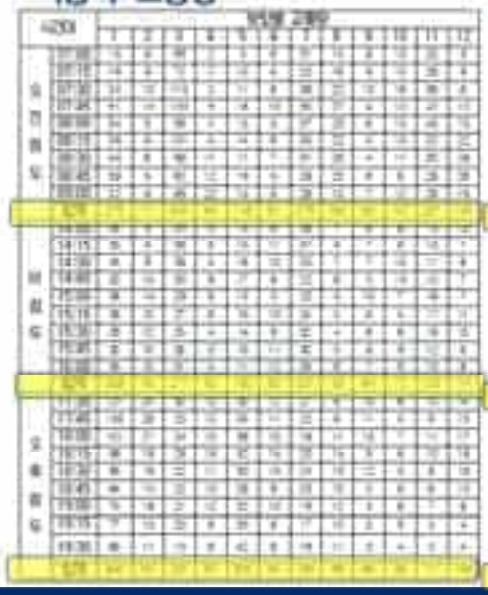
적용예시

선린1교 사거리	• 1현시 일반 방향 내 우회전전용차로 존재로 적용제외 후행보행시간 최소 6초, 최대 20초 적용

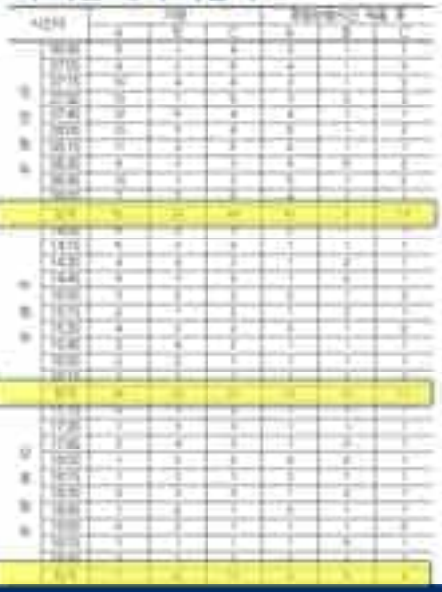
02 후행보행신호 적용 전 · 후 비교

연구 수집 자료 – 광주

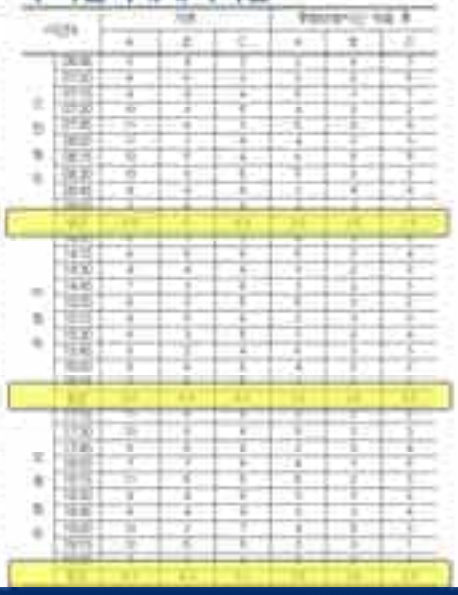
적용 후 교통량



우회전 대기 차량 수



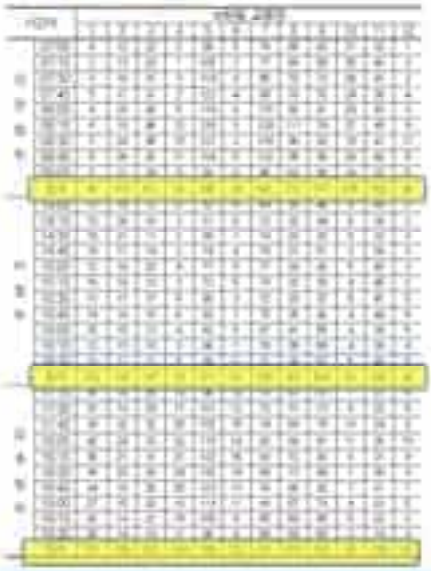
우회전최대대기시간



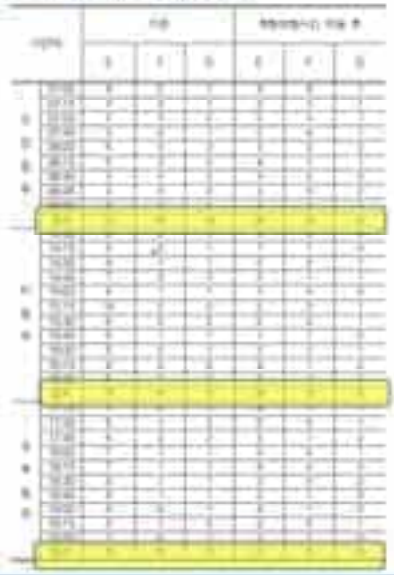
03 후행보행신호 적용 전 · 후 비교

연구 수집 자료 – 용인

적용 후 교통량



우회전 대기 차량 수



우회전최대대기시간

03 적용결과 분석 및 향후 계획

- 적용 전후 비교분석
- 향후 계획

03 적용결과 분석 및 향후 계획

적진 · 우회전 공용차로 교차로 내 후행보행시간 적용에 관한 연구

적용 전후 비교분석

교통량 대비 우회전 대기 차량 수 비교 분석

	A	B	C	합계
적용 전				
① 우회전교통량	481	312	337	1130
②우회전 대기차량 수	138	71	85	294
②/①	28.7%	22.8%	25.2%	26.0%
적용 후				
③우회전교통량	501	343	391	1235
④우회전 대기차량 수	62	31	41	134
④/③	12.4%	9.0%	10.5%	10.8%

	E	F	G	합계
적용 전				
① 우회전교통량(대)	972	358	172	1359
②.우회전 대기차량 수(대)	171	51	37	273
②/①	17.6%	14.2%	21.5%	17.8%
적용 후				
③ 우회전교통량	1042	325	149	1388
④ 우회전 대기차량 수(대)	80	42	32	141
④/③	7.7%	12.9%	21.5%	10.2%

선안1교사거리 비교분석

- 적용 전 방향별 우회전 대기차량 수 276대
- 적용 후 방향별 우회전 대기차량 수 118대
- 24.3% → 12.2%

선골절입구 사거리 비교분석

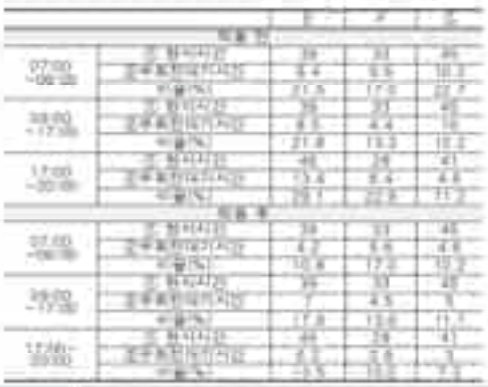
- 적용 전 방향별 우회전 대기차량 수 270대
- 적용 후 방향별 우회전 대기차량 수 141대
- 17.8% → 10.2%

적용 전후 비교분석

현시시간 대비 우회전 대기시간 비교 분석

선린1교사거리 비교분석

- 평단보도 별 현시시간 대비 우회전 대기시간 비율 분석
- 최대비율감소지점
  - A횡단보도(16:00~21:00) 33.2% → 10.6%
- 우회전교통량이 높은 지점에서 높은 비율로 감소



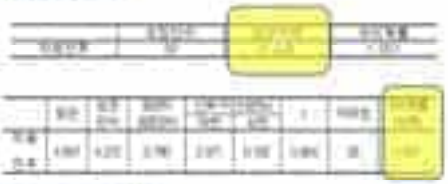
산골입구 사거리 비교분석

- 최대비율감소지점
  - G횡단보도 22.7% → 10.2%
- 우회전교통량이 높은 지점에서 높은 비율로 감소
- 일부 지점 보행현시간과 관계 없이 소폭 증가

T-test 검정 효과분석

교통량 대비 우회전 대기 차량 수 비교 분석

선린교사거리



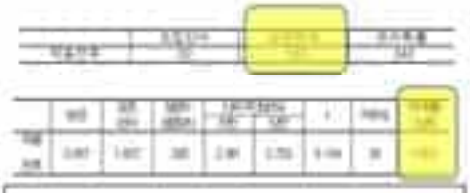
산골입구사거리

- 유의확률 (.001 · 상관관계 범위 내 측정
- 측정 항항 및 시간 대, 적용 후 대기차량 수 증가에 따른 음의 상관관계 도출

현시시간 대비 우회전 대기시간 비교 분석

선린교사거리

산골입구사거리



- 유의확률 (.001 · 상관관계 범위 내 측정

현시시간 대비 우회전 대기시간 비교 분석

- 산골입구사거리 (PHASE2) · (PHASE3) 비교분석
- 유의확률 (.001 · 상관관계 범위 내 측정

결론 및 고찰

연구결과	• 교차로 유형(TYPE) 구분 및 대상 교차로 표본 추출 • 후행보행신호 적용에 따른 효과 타당성 및 유의미 도출 • 일부 교차로 내 교통체계 흐름 변화 및 예측 불가능 상황에 따른 문제점 발생
향후고찰	• 우회전 대기행렬 무작위 발생에 따른 적정 후행보행시간 산출법 제안 필요 • 보행 현시 즉각 발현에 익숙한 보행자의 인지부조화 해결 방안 도출 필요 • 후행보행신호 적용 가능한 교차로 표본 및 유형 기준 마련 필요

중고등학생 교통사고에 미치는 도로 환경 및 교통안전시설에 관한 연구

이상범 박사과정
인세명 연구교수
이재덕 연구교수
장일준 교수

Contents

1. 연구의 개요
2. 어린이 보호구역 지정 현황
3. 중고등학생 통학 중 사고 조사
4. 중고등학교 통학로 위험도 실태조사

1. 연구의 개요

■ 연구의 배경 및 목적

- 학생 교통사고 발생 원인 다양화 : 공유형 퍼스널 모빌리티 확산

+

- 교통사고 발생 범위 확대

+

- 어린이 보호구역 사설 제외

서울지역 중고등학교 통학로 안전성 향상

중고등학교 통학로 안전구역 확대방안 및 개선방안 제시

통학로 안전 현황 검토	통학로 위험요인 및 위험행태 도출	정책안 제안
• 어린이보호구역 지정 및 통학로 교통사고 현황 조사 • 선행연구 및 유사연구 검토	• 도로환경별 학교 현장 조사 • 사고이력지역 현장 조사	• 통학로 안전 개선 • 이용자 경험 및 전문가 의견 수렴

3

2. 어린이 보호구역 지정 현황

■ 서울지역 어린이 보호구역 지정 현황

- ✓ 서울시내 어린이 보호구역 지정 현황 및 어린이 보호구역별 초등학교, 유치원 등 어린이 보호구역 지정 대상 시설 현황 분석
- ✓ 서울시내 어린이 보호구역 2022년 기준 1,700개소 지정

서울시내 자치구별 시설별 어린이 보호구역 지정 현황

자치구별 어린이 보호구역 지정 현황

자치구별 순위 및	자치구별	지정개소			
1	노원	110	14	도봉	54
2	강남	111	15	동작	52
3	성북	100	16	구로	50
4	송파	98	17	마포	53
5	서초	90	18	성동	50
6	강서	88	19	동대	48
7	강원	87	20	동원	44
8	강동	80	21	중구	42
9	동대문	74	22	양천	41
10	관악	69	23	서대문	40
11	용산	68	24	광북	39
12	영등포	68	25	용산	37
13	은평	67			

시설별 어린이 보호구역 지정 현황

4

2. 어린이 보호구역 지정 현황

■ 중고등학교 어린이 보호구역 적용 현황

✓ 중고등학교 통학로가 어린이 보호구역에 포함되어 안전시설 등의 영향을 받는 지역과 그 외의 지역 현황 검토

✓ 중고등학교별 주출입문에 접한 도로의 어린이 보호구역 지정 수준에 따라 3가지 유형으로 분류

✓ 자치구별 용산(54.7%), 관악(54.8%), 중구(78.1%) 순

5

3. 중고등학생 통학 중 사고 조사

■ 중고등학교 통학로 사고 수집 및 원인 분석

6

3. 중고등학생 통학 중 사고 조사

중고등학교 통학로 사고 수집 및 원인 분석

사고 일반 현황

총 사고 건수 360 건

도로사고 건수 354 건, 도로 외 사고 건수 5건, 기타불명 1건

보행 중 사고 154건 | 자전거 이용 중 사고 200건

사고지점 세부 사항

보호구역	도로구조	도로교통(연도)	보차분리 수준
보호구역 외 282건 보호구역 내 82건 이면의 보호구역 [illegible] 노인 보호구역 [illegible]	단일로 99건 교차로 255건 4차 이상 [illegible], 3차 [illegible], 확인교차로 1건	1차로 이하 196건 이면도로 [illegible] 2차로 이상 158건	보도미설치 70건 보도설치 280건

자전거도로(자전거 사고)	신호운영(교차로 및 횡단보도 사고)
자전거도로 외 132건 자전거도로 내 68건 [illegible] 차로 13건, 우선도로 13건, 횡단도 3건 [illegible] 보행자 전용도로 18건, [illegible] 보행자 전용도로 23건	보행자 사고 중 보행신호 미설치 79건 이면도로 [illegible] 자전거 사고 중 자전거신호 미설치 151건 보행신호 대비 [illegible], 기동자신호 대비 [illegible]

자치구별 보호구역 외 구역 사고 현황

순위	자치구	건수
1	송파구	28건
2	노원구, 양천구	20건
3	강남구, 동작구	16건
4	은평구	15건
5	동대문구, 서대문구	14건
6	구로구, 서초구	13건
7	강서구	12건
8	마포구, 성북구	11건
9	강동구	10건
10	성동구, 중랑구	8건
11	도봉구, 종로구	6건
12	관악구, 중구	5건
13	용산구	4건
14	광진구	3건
15	강북구, 성동구	2건
16	광진구	0건

7

4. 중고등학교 통학로 위험도 실태조사

실태조사 개요

실태조사 목적

- ✓ 중고등학교 인근 도로를 대상으로 교통사고 측면의 물리적 위험요인과 행태적 위험요인을 관찰
- ✓ 중고등학생 및 주변도로 운전자 위험행태 유발 요인 조사

현장조사 대상지 선정 기준

- ✓ 어린이 보호구역 외 구역에서 등교 중 사고가 가장 많이 발생한 3개 자치구
- ✓ 서울시 중고등학생 보도 통학 및 자전거 통학 형태 거리에서 10km 반경의 구역에 가장 많은 사고 이력을 가진 지역 선정

학생의 이용이 가장 많은 학교에 접한 도로에 대한 실태조사 시험 진행

노원구 일대

- 6개 고등학교, 6개 중학교 도보 및 자전거 통학권
- 교통사고 이력 3년간 14건
- 지상주차장 운영 아파트 단지 밀집

송파구 일대

- 6개 고등학교, 6개 중학교 도보 및 자전거 통학권
- 교통사고 이력 3년간 10건
- 방향별 일방통행 자전거 전용도로 다수
- 보행자 우선도로 운영

양천구 일대

- 3개 고등학교, 5개 중학교 도보 및 자전거 통학권
- 교통사고 이력 3년간 13건
- 지역 내 도로 대부분 일방통행 운영
- 보행자 전용도로 및 자전거 전용도로 다수 설치

8

4. 중고등학교 통학로 위험도 실태조사

■ 실태조사 항목

✓ 중고등학생 통학 중 발생하는 교통사고에 영향을 미치는 위험요인에 대한 조사 항목 설정
✓ 3개년 사고 데이터 분석으로부터 사고 발생 지점의 기하구조 및 시설 특성을 고려

항목			비고
물리적 시설물	보차분리 수준	보도 설치/차도높이형/유효보도폭 협소/유효보도폭 확보/펜스 및 식수설치	
	자전거도로	보도 겸용/자전거도로 설치/ 비분리형 자전거 보행자 겸용도로/분리형 자전거 보행자 겸용도로/자전거 우선도로/자전거 전용도로/자전거 전용차로	
	도로횡단	횡단보도/고원식 횡단보도/자전거횡단도/육교/ 보행자 대기공간/턱낮춤 시설 적절성	
	교통안전표지	표지설치 적절성	
	대중교통 시설	버스정차대 유형 적절성	
도로운영	신호	차량/보행/자전거 신호 운영형태 및 녹색시간 적절성	
이용자 행태	차량차 운전자	신호 및 교통안전표지 지시 사항 준수 여부/과속 및 주의운전 여부	물리적 시설물, 도로운영 항목과 연계
	자전거등 운전자	신호 및 교통안전표지 지시 사항 준수 여부/통행공간(보도, 자전거도로 및 자전거횡단도 등) 준수여부/보행자 주의운전 여부	
	보행자	신호 및 교통안전표지 지시 사항 준수 여부/통행공간(보도 및 횡단보도 등) 준수 여부	

9

4. 중고등학교 통학로 위험도 실태조사

■ 현장조사 결과

✓ 안전표지 설치 미비, 보도 턱 낮춤 미비, 불법주정차, 유효보도폭 협소 등 도보 및 자전거 통학 학생의 위험행위와 차량차 운전자 위험행위 발생 요인 조사

보행 위험행위 유발요인

자전거 위험행위 유발요인

자동차 위험행위 유발요인

10

4. 중고등학교 통학로 위험도 실태조사

■ 현장조사 결과

✓ 안전표지 설치 미비, 보도 턱 낮춤 미비, 불법주정차, 유효보도폭 협소 등 도보 및 자전거 등학 학생의 위험행위와 자동차 운전자 위험행위 발생 요인 조사

11

공유교통

Session

A-6

실증적 전동킥보드 속도제어 실험:제한속도 하향의 효과와 공간적 특성 재발견
권현지, 김나연, 주신혜, 강희찬, 송태진

공유형 전동 킥보드 이용 행태 분석 : 지역별, 성별, 시간대별 이용거리를 중심으로
김영국

Cross-classified Multilevel 모형을 활용한 서울시 공공자전거 심야 시간대 개별 통행거리와 이용시간 영향요인 분석
박종한, 장승화, 김새힘, 김태우, 고준호

배달대행 서비스 초소형전기차 대여 플랫폼 경제적 타당성에 관한 연구
송인회, 김응석

공간 단위 수정가능성 문제 최소화를 위한 최적 공간분할 및 단위에 관한 연구
오다인, 김현명, 김의진

공유 전동킥보드 서비스의 이용행태 분석 – 세종시를 중심으로
이희준, 박호철

2024 한국 ITS 학회 추계학술대회

실증적 전동킥보드 속도제어 실험 연구 : 제한속도 하향의 효과와 공간적 특성 재발견

Experiments on Speed Control of E-scooters: Rediscovering the Effects and Spatial Characteristics of Speed Limits

숭북대학교 도시공학과 석사과정 권현지
숭북대학교 도시공학과 석박사통합과정 김나연
한국교통안전공단 디지털혁신지 책임연구원 주신혜
한국교통안전공단 모빌리티플랫폼처 연구위원 김희진
숭북대학교 도시공학과 부교수 송태진

교통모빌리티연구실 Transportation Mobility Lab.

목차
Contents

1 서론
2 전동킥보드 위험주행 및 교통사고의 공간적 상관성
3 속도제어 시범적용 및 속도제어 효과 분석
4 공간적 특성 분석
5 결론

서론

▪ 연구의 배경

전동킥보드 성장: 안전 이슈 증가

- Personal Mobility(PM)는 사회적 거리두기에 따라 통근을 위한 수단으로 자주 선택되며(Usecche et al., 2022), First/Last-mile의 공백을 채워주는 새로운 단거리 교통수단으로써 급성장
- 하지만, 관련 교통사고 증가에 따라 안전성 이슈가 지속적으로 제기되며 공공과 기업 간 갈등 발생(Mir et al., 2021; Yanga et al., 2020)
- 국내 전동킥보드 거해 사고 건수는 2021년 1,735건, 2022년 2,386건으로 1년 새 약 37.5% 증가(7445)

지속되는 쟁점: PM의 속도

- OECD(2020)는 E-scooter의 속도제한이 안전관리에 있어 필수적임을 강조
- 반면에, 일각에서는 E-scooter 속도를 제한하게 되면 기존의 일반자전거의 속도보다 느리게 만들게 됨으로써 오히려 충돌을 야기할 수 있다고 주장(OECD, 2020)
- PM의 주행속도가 충돌을 직접적으로 유발하는 주요 요인으로 간주되지 않음(Che et al., 2021)
- 전동킥보드는 타 교통수단보다 바퀴 크기가 작아 주행 자체만으로도 불안정함(Kim et al., 2022)

다양한 관점에서 지속적으로 이루어지는 PM 속도제한 논의

▪ 연구의 목적

- 실제 PM 주행 GPS 데이터를 활용한 위험주행 분석 후, 속도제어 실험을 통한 위험주행 변화 분석
- 속도제어 필요한 지역과 속도제어 불필요 지역 도출 후, 각각의 공간적 특성 분석

서론

▪ 선행연구 고찰

I. 마이크로모빌리티 속도 관련 연구

- 스피드건을 사용하여 실제 도로 이용자의 속도를 직접 측정한 연구가 대다수(Cicchino et al., 2023; Gitelman et al., 2020)
- Cicchino et al.(2023)은 전동킥보드 속도제한이 높은 도시에서도 이용자가 자율적으로 속도 조절을 잘 하며, 속도를 줄이면 충돌 위험을 줄일 수 있다 주장
- Che et al.(2021)은 실험에서 나타난 일부 위험행동은 전동킥보드의 제한속도를 낮춘다고 해서 사라지는 것이 아니므로 다른 방안을 고안해야 한다고 주장
- Haworth et al.(2021)는 e-모빌리티가 교통수단으로서 증가한다면 인프라에 대한 고민이 필요할 것이라 주장

→ 직접 측정한 속도 데이터만으로 다각적인 시각에서 주장을 제기하고 있음

→ 충분한 샘플의 실제 GPS 데이터 활용 연구는 매우 적음

II. 마이크로모빌리티 주행행태 관련 연구

- 관찰실험을 통하여 마이크로모빌리티 이용자들의 주행행태를 확인 한 연구가 대다수(Arellano and Fang, 2019; Rodon and Ragot-Court, 2019; Haworth et al., 2021; Simeunović et al., 2023)
- 조사에 한계가 있어 표본 수가 비교적 적어 정확한 분석이 어렵거나 연구 결과가 특정 지역에 국한되는 문제 발생

→ PM 기기의 실제 데이터를 사용한 연구가 필요함

III. 위험주행 관련 연구

- Kim et al.(2022)은 전동킥보드의 위험주행을 종방향, 횡방향으로 구분하여 정의하였고, GPS 기반 데이터를 활용한 위험주행 검지 방법론 제안
- 이외 연구들은 설문조사 및 관찰 기반으로 위험주행을 식별함(Zhou et al., 2022; Talegani et al., 2020; Francisco et al., 2019)

연구의 차별성

1) 실제 PM 업체 중 하나인 Beam의 초단위 주행 GPS 데이터를 활용
2) PM의 실제 위험주행과 교통사고 데이터를 활용하여 위험주행 핫스팟 선정
3) 전동킥보드 이용자를 대상으로 Beam과의 속도 제어 실험 실시한 후, 이 데이터를 통하여 이용자의 위험주행 변화 분석

서론

연구의 가설

1) 전동킥보드의 위험주행 다발 지역과 교통사고 다발 지역은 연관성이 존재하는가?
2) PM의 속도제어 효과가 존재한다면, 그 효과의 정도는 얼마나 유의미한가?
3) 전동킥보드 속도제어가 필요한 지역은 어떠한 공간적 특성을 지니고 있는가?

연구의 흐름

활용 데이터 및 범위

1) PM GPS 데이터(Beam 제공)
- 실험 전: 2023년 10월 15일 ~ 2023년 11월 4일 / 95,010통행, 순이용자 수 32,459명
- 실험 시: 2023년 12월 18일 ~ 2023년 12월 20일 / 7,125통행, 순이용자 수 4,824명
- 공간적 범위: 서울시 강남구, 송파구, 마포구, 성동구·광진구 일부

2) 2022년 TAAS 전동킥보드 교통사고 데이터

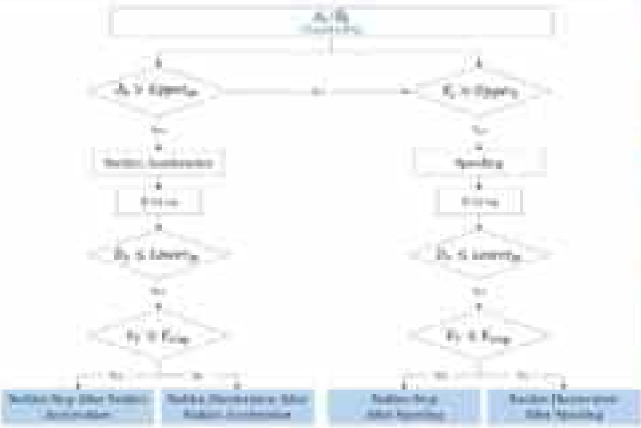
PM 위험주행 식별을 위해 주행궤적 좌표를 이용하여 시간 변화율 및 거리를 계산한 후 속도 가속도 산출

〈PM GPS 데이터 예시〉

분석 결과

전동킥보드 위험주행 및 교통사고의 공간적 상관성

1) 위험주행(Hazardous Driving Events, HDE) 행태 정의
- *Kim et al.*, 2022의 종방향 위험주행 식별 알고리즘을 데이터에 맞게 재구성하여 사용
- 최소한의 안전기준을 설정하기 위하여 임계값을 낮게 설정하거나, 위험한 지역을 도출하기 위해 임계값을 높게 설정하는 등 분석의 목적 및 연구자의 재량에 따라 임계값을 적정하게 택할 수 있음(*KRIHS, 2022*)
- 본 연구에서는 운영관리 측면에서 적절한 표본 개수를 가지며, 사고와 밀접하게 연관되어 있으면서 위험주행이 많아 문제해결이 가장 시급한 지역을 살펴보고자 함



〈PM 종방향 위험주행 알고리즘〉

위험주행 핫스팟 및 사고 매칭

주행유형	파라미터	파라미터 설명	파라미터 값
과속	$Upper_{v}$	과속을 결정하는 속도의 상한값	20km/h
급가속	$Upper_{acc}$	급가속을 판정하는 가속도의 상한값	3.0km/h/s
급감속	$Lower_{dec}$	급감속을 결정하는 감속도의 하한값	-2.0km/h/s
급정지	$Lower_{dec}$	급감속을 판정하는 감속도의 하한값	-2.0km/h/s
	V_{stop}	정지상태의 속도	4km/h

〈파라미터 값 선정〉

분석 결과

- 전동킥보드 위험주행 및 교통사고의 공간적 상관성

2) 위험주행 및 교통사고 핫스팟 분석

- 속도제어 시범적용 구간 선정을 위해 전동킥보드 위험주행·교통사고 Hotspot 도출
- 연구의 공간적 범위에 대하여 100m × 100m 격자 공간 작업 구축 후, 격자 내 포함되는 PM 위험주행 수와 교통사고 건수를 활용하여 Local Moran's I 분석 실시
- 국지적 모란지수법에 의해 도출된 H-H클러스터(위험주행과 교통사고 밀집도가 높은 격자)를 Hotspot이라 정의
- 서울시 PM 위험주행 핫스팟은 ①홍대입구역 일대, ②뚝섬역-광나루역 일대, ③ 강남구 일대, ④은마아파트 일대, ⑤석촌호수 일대로 도출

분석 결과

- 속도제어 시범적용

- 핫스팟으로 도출된 구간의 지역 특성을 고려하여, 특성이 중복되지 않도록 데이터 제공업체인 Beam과의 협의를 통해 속도제어 실험구간을 선정함
- 지하철역 일대, 학원가, 상업지역이 밀집된 소위 핫플레이스, 대학가의 서로 상이한 특성을 가지도록 함
- 최종적으로 선정된 속도제어 실험구간은 주거시설과 회원이 밀집된 지역인 은마아파트 일대(A), 지하철역 일대인 뚝섬역-광나루역 일대(B), 상업시설이 밀집된 대학가 홍대입구역 일대(C)의 총 3곳
- 실험은 총3일간 상이한 속도(20km/h, 15km/h, 10km/h)로 진행

구분	실험구간	실험 적용범위 사진	둘레 및 면적	실험일시
A	은마아파트 일대		둘레: 15,496.64m 면적: 2,096,519.53㎡	2023-12-18(20km/h) 2023-12-19(15km/h) 2023-12-20(10km/h)
B	뚝섬역- 광나루역 일대		둘레: 9,061.90m (면적제5,500m) 면적: 551,684.05㎡	2023-12-18(20km/h) 2023-12-19(15km/h) 2023-12-20(10km/h)
C	홍대입구역 일대		둘레: 3,902.26m 면적: 239,599.71㎡	2023-12-18(20km/h) 2023-12-19(15km/h) 2023-12-20(10km/h)

*자료: Beam 제공 사진

분석 결과

속도제어 실험 효과분석

1) 속도제어에 따른 위험주행 변화 분석

- 속도제어 실험 전 대비 실험기간 동안의 위험주행 수 차이를 확인하고자 t-test 실시
- 통행 빈도가 과도하게 많거나 적은 구간에서 위험주행이 발생하였을 때의 결과 왜곡을 줄이고 더 객관적인 분석을 하기 위해 원단위 사용

구분	Average	Standard Deviation	t	p
실험전 위험주행수 (위험주행 건수 / timestamp 수)	0.0070	0.0059	20.3914	3.28e-76
실험시 위험주행수 (위험주행 건수 / timestamp 수)	0.0028	0.0051		

- 제어한 속도별로 더 명확한 차이를 보기 위해 실험구간 및 제어속도별로 통행당 일막번영의 위험주행이 발생하는지 확인하고 이를 실험 전과 비교

구분	실험전	제어속도 20km/h	제어속도 15km/h	제어속도 10km/h
위험주행 건수	7,012	49	50	22
통행 수	12,366	314	367	225
위험주행 건수/통행수	0.567	0.156	0.187	0.098
위험주행 건수/통행수 ×10	5.1	10통행당 1.6	1.8	0.1

(실험구간 A)

구분	실험전	제어속도 20km/h	제어속도 15km/h	제어속도 10km/h
위험주행 건수	5,074	70	52	22
통행 수	13,887	401	367	314
위험주행 건수/통행수	0.366	0.175	0.142	0.070
위험주행 건수/통행수 ×10	3.7	10통행당 1.8	1.4	0.7

(실험구간 B)

구분	실험전	제어속도 20km/h	제어속도 15km/h	제어속도 10km/h
위험주행 건수	1,965	15	21	10
통행 수	6,677	170	198	156
위험주행 건수/통행수	0.294	0.088	0.106	0.064
위험주행 건수/통행수 ×10	2.9	10통행당 0.8	1.1	0.6

(실험구간 C)

분석 결과

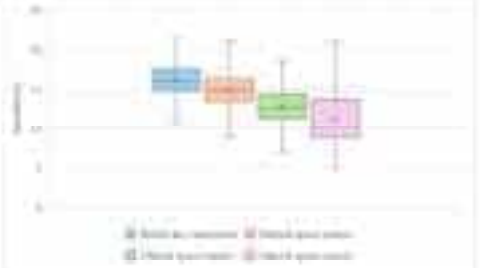
속도제어 실험 효과분석

*10km/h로 속도를 제어했을때도 불구하고 최대 속도가 이보다 큰 경우가 발생하였는데, 이는 속도를 직접 구하여 분석에 활용하여 발생한 오차

2) 속도제어에 다른 속도 격차 변화 분석

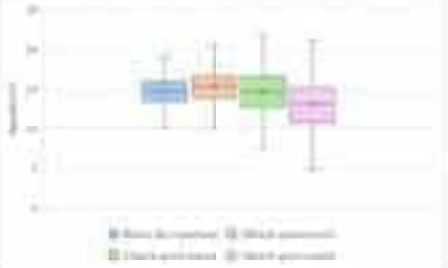
- 정지속도 기준인 4km/h를 초과하는 값을 사용하여 속도제어 전과 후의 격차별 평균 주행속도를 확인
- 서울시 내의 구간이지만 제어속도별 평균 주행속도 격차가 지역에 따라 다르게 나타남 → 동일한 지자체 내에서도 속도제어 전략을 다양하게 적용할 필요가 있음을 시사
- 모든 실험구간에서 속도 하락 시 편차 증가, 특히 10km/h에서 큰 편차 → 낮은 속도일수록 일정한 유지 어려움, 장애물 및 도로조건에 민감하게 반응

→ 전동킥보드의 속도를 제어할 때는 속도를 무작정 낮추기 보다는 지역별로 속도의 일관성을 유지할 수 있는 최적의 속도로 설정하는 것이 중요



Average Speed per grid	실험 전	제어속도 20km/h	제어속도 15km/h	제어속도 10km/h
Average	16.2	16.1	13.3	11.5
Standard deviation	3.12	3.53	2.95	3.44
Max	21.8	21.0	18.8	21.0
Min	10.8	4.0	7.7	3.0
Differentiation Value	11.0	12.2	11.6	10.0

(실험구간 A)



Average Speed per grid	실험 전	제어속도 20km/h	제어속도 15km/h	제어속도 10km/h
Average	15.9	16.4	14.8	13.2
Standard deviation	1.91	3.14	2.80	2.02
Max	20.2	20.6	22.0	21.2
Min	8.8	9.8	7.4	4.5
Differentiation Value	10.8	10.8	14.6	16.8

(실험구간 B)

Average Speed per grid	실험 전	제어속도 20km/h	제어속도 15km/h	제어속도 10km/h
Average	14.8	14.4	13.6	11.8
Standard deviation	1.80	2.20	2.99	3.10
Max	19.1	18.8	18.8	15.7
Min	10.2	8.0	7.7	4.4
Differentiation Value	8.7	11.8	12.1	10.3

(실험구간 C)

분석 결과

- 공간적 특성 분석

위험주행변화량 \ 실험 전 속도	18km/h 이상	18km/h 이만
감소	ⓐ속도제어 필요	ⓒ기존 상태 유지
증가	ⓑ속도제어 불필요	

1) 속도제어 필요 격자 도출

- 동일한 실험구간 내에서도 속도제어를 다양하게 적용하기 위하여 실험구간별 속도제어가 필요한 지역을 분석함
  - ⓐ속도제어 필요 지역: 실험 전 속도가 높고 속도제어 시 위험주행이 감소한 곳
  - ⓑ속도제어 불필요 지역(다른 안전 전략 필요 지역): 실험 전 속도가 높고 속도제어 시 위험주행이 증가한 곳, 실험 전 속도가 낮고 속도제어 시 위험주행이 증가한 곳
  - ⓒ현행 유지 지역: 실험 전 속도가 낮고 속도제어 시 위험주행이 감소한 곳
- 이때 속도의 높고 낮음 기준은 18km/h로 선정함
  - 교통공학적 측면에서 85백분위수 속도 이상으로 주행하는 운전자는 도로 및 교통상황에서 안전하고 합리적인 속도를 초과하는 것으로 간주하며, 이를 본 연구의 PM에도 적용하여 실험구간을 주행한 전체 데이터 속도 85백분위 수인 17.98km/h ≒ 18km/h로 설정

〈실험구간 A〉

〈실험구간 B〉

〈실험구간 C〉

분석 결과

- 공간적 특성 분석

2) 속도제어 필요 지역의 공간적 특성

- 속도제어가 필요한 지역의 특성을 이해하기 위해 구분한 세 가지 유형의 지역 중 ⓐ속도제어가 필요한 지역, ⓑ속도제어가 필요하지 않은 지역의 공간적 특성을 분석함
- 분석 결과 도출된 격자별 속도제어 필요 여부를 종속변수로, 독립변수는 인구특성, 도로특성, 교통시설특성으로 구분하여 활용하여 로지스틱 회귀분석 수행

구분		변수명	변수정보	출처	변수선정근거
종속변수		Speed control required	속도제어 필요지역 (1) 속도제어 불필요지역(2)	Baarm(2023)	-
독립변수	인구특성	Total population	격자별 총인구 수	국토정보플랫폼 국토정보맵 (2023.10.)	• 인구밀도는 PM 교통사고에 영향을 미침(Kim et al., 2022) • 교통사고에 영향을 미치는 만큼 속도제어에도 영향을 줄 것이라 판단되어 분석에 포함
		Population in 20~30s	격자별 20~30대 인구		• PM과 비슷한 수단인 자전거의 사고 영향에서 20대의 참도가 가장 높게 나타남(Cho, 2014) • 전동킥보드의 이용자 연령대는 30대가 가장 높음(Lee et al., 2017) • 사고 참도가 높고 이용량이 많을수록 속도제어가 필요할 것이라 판단하여 변수에 포함
	도로특성	Average number of lanes	격자별 평균 차로 수	모빌리티 데이터허브맵	• 미국 캘리포니아주에서는 전동킥보드가 넓은 도로에서 더 빠른 주행행태를 보임(Arellana&Fang, 2018) • 실험구간에서 도로가 넓을수록 속도제어가 필요할지 확인하고자 변수로 선정
		Number of crosswalks	격자별 횡단보도 수	국토지리정보원 국가관심지점정보 (2023)	• 횡단보도가 있는 구간에 보행자가 많아 위험주행 및 과속을 하면 보행자와의 충돌 위험이 커지므로 속도제어가 필요할 수 있다고 판단
	교통시설특성	Number of metro stations and bus stops	격자별 버스정류장, 지하철역 수		• 대중교통 이용자들이 많은 지역은 교통량과 보행량이 많은 지역이므로 위험주행 및 과속 시 안전상의 문제가 생길 수 있다 판단하여 변수에 포함

분석 결과

- 공간적 특성 분석

2) 속도제어 필요 지역의 공간적 특성

- 회귀분석 수행 전, 변수 간 상관성을 보기 위하여 다중공선성 분석을 수행하였고, 모든 변수의 VIF 값이 10 미만으로 나타나 분석에 적합
- 로지스틱 회귀분석 수행 후, 분석 결과의 해석을 위해 회귀계수(로그 오즈비)와 오즈비(odds ratio)를 활용함
  - 오즈(odds): 한 사건이 발생할 확률과 발생하지 않을 확률의 비율을 나타냄(Bland, J. M., & Altman, D. G., 2000)
  - 오즈비 해석: 독립변수가 1단위 증가하였을 때, 각 변수에 따른 종속변수의 변화가 오즈비의 배로 이루어짐(Kleinbaum and Klein, 2010)

Variable name	VIF
Total population	4.62
Population in 20~30s	4.63
Average number of lanes	1.23
Number of crosswalks	1.10
Number of metro stations and bus stops	1.12

Variable name	Coef.(c)	Std.err	z	p	Odds ratio(e^c)	결과해석
Total population	0.0019	0.001	2.371	0.018	1.0019	격자별 인구가 증가할 때마다 속도제어가 필요할 확률이 0.19% 증가
Population in 20~30s	-0.008	0.003	-2.336	0.019	0.9920	20030대 인구가 증가할 때마다 속도제어가 필요할 확률이 0.8% 감소
Average number of lanes	0.4668	0.147	3.172	0.002	1.5949	도로 폭이 넓어질수록 속도제어가 필요할 확률이 59.5% 증가
Number of crosswalks	-0.4101	0.143	-2.862	0.004	0.6636	횡단보도가 있을 때 속도제어가 필요할 확률이 33.7% 감소
Number of metro stations and bus stops	-0.6916	0.314	-2.200	0.028	0.5008	버스나 지하철역 근처에서 속도제어가 필요할 확률이 49.9% 감소

결론

- 요약 및 시사점

- 서울시 내에서도 실험구간별로 속도제어 효과 및 평균 주행속도 격차는 상이하게 나타남
- → **같은 지자체 내에서도 속도제어 전략을 다양하게 적용할 필요 있음**
- 10km/h로 속도제어 시 다른 속도로 제어했을 때보다 매우 큰 편차를 보임
- → **낮은 속도일수록 속도유지가 어렵고 장애물 도로조건에 민감하게 반응하여 무작정 속도를 낮추기보다는 이용자가 속도의 일관성을 유지할 수 있는 최적속도 설정 중요**
- 결론적으로, 실험구간 A와 C에서 속도제어가 필요한 구간은 20km/h, 실험구간 B에서는 15km/h의 속도제한이 필요함
- 또한, 공간특성을 확인한 결과 인구밀도가 높고, 폭이 넓은 도로일수록 속도제어 필요한 것으로 나타남
- 20~30대 인구는 PM을 주로 이용하는 연령대이긴 하지만, 다른 연령대에 비해 위험성을 더 잘 인지하고 대비하고 있을 가능성이 있음
- 횡단보도는 전동킥보드가 감속하는 구간으로 적용하므로 추가적인 속도제어가 상대적으로 덜 필요할 수 있음
- 대중교통 시설 근처에서는 PM 이용자가 자발적으로 속도를 줄여 속도제어와는 크게 상관이 없는 것으로 추측
- → **근거 없고 일괄적인 제한속도의 설정이 아닌 이러한 특성을 가진 지역에 대해서 속도를 제어하여야 함**

- 한계점

- 실제 이용자의 주행 데이터를 사용하였지만, 총 약 한 달 간의 데이터를 사용하여 분석 결과의 포괄성에 제한이 있을 수 있어 위험주행에 대하여 PM 1년치 데이터를 사용하여 추후 분석 진행 예정
- 인적특성, 도로특성, 교통시설특성을 분석하여 속도제어가 필요한 지역의 특성을 도출하였으나, 토지이용이나 건물특성과 관련된 도시설계적 요소는 반영하지 못하여 추후 이 변수군을 포함한 다각적 종합적 분석 필요

참고문헌

1. 김혜진, 이원석, 이정우, & 손석민. (2023). PM 교통사고에 영향을 주는 근무환경 요인분석: 로지스틱 회귀분석을 이용하여. 대한산업공학회지, 49(2), 205-217.
2. 한상민, 허철기, 문철수, 권재철, & 나재철. (2021). PM (Personal Mobility) 교통사고 특성 및 사망사고 발생 요인 분석. 한국 ITS 학회 논문지, 20(1), 109-118.
3. 한지영, 김경철, & 서은경. (2022). PM (Personal mobility) 교통사고와 심각도 요인 분석. 대한교통학회지, 40(3), 322-337.
4. 조남욱, 김성훈, & 송하진. (2023). 전동카트의 활용성과도출 추정을 위한 적정 운임에 관한 연구. 한국 ITS 학회 논문지, 22(2), 51-61.
5. 김서진, 우선재, 강희진, 김성훈, & 송하진. (2022). 개별주행특성 데이터 기반 전동기보드 충전할 위험주행성향 식별 방법론 개발. 대한교통학회지, 40(3), 130-149.
6. 김수욱, 이정재, 추성훈, & 김남훈. (2021). 공유 전동킥보드 이용 특성 및 영향요인에 관한 연구. 한국 ITS 학회 논문지, 20(1), 40-52.
7. 배종성, 이승진, & 김동호. (2022). 개인형 이동장치의 주행 안전성 및 이용성 향상 연구: 행정동성북동1가 1 생활권을 중심으로. 서울연구, 3-22.
8. 신동희, 추성훈, & 임미애. (2023). 서울시 PM 이용 보행자 교통사고 심각도에 대한 도시인프라환경의 영향. 한국 ITS 학회논문지, 22(4), 114-131.
9. 이수일, 김성현, & 김태호. (2017). 개인이동형 교통수단 (PM) 운행별 사고특성 및 위험도 비교연구. 한국안전학회지, 32(3), 151-159.
10. 이수진, & 김동호. (2022). 도시 골목의 생김에 따른 자전거 도로망 조성방안 연구-서울시 중랑천 주변을 중심으로. 한국도시설계학회지 도시설계, 23(4), 57-76.
11. 임규일. (2021). 도로교통법상 개인형 이동장치에 대한 개선방향에 있어서의 비판적 연구. 서강법학, 21(1), 343-370.
12. 조동훈, 노현승, 유호진, 김서진, 강서진, & 김동호. (2021). 전동 Kick 이용행태 및 인식에 관한 연구. 공동주택관리학회 논 34(1), 43-50.
13. 한국교통안전공단. (2024). 개정되어 활용되고 개인형 이동장치(PM) 안전 확보! [Press release]. 한국교통안전공단. https://www.kotsa.or.kr/journal/Main/report_list.do?menuCode=05010000
14. Andrew, J. F. F., & Fang, K. (2019). Sunday drivers, or too fast and too furious?. Findings.
15. Bilal, I. M., & Akinyo, O. S. (2020). The safe-zest. Zinc, 2(07)147).
16. Caggiani, L., Camporeale, R., Di Ser, D., & Ottomanelli, M. (2020). A gamification-based methodology for speed-limit regulation and user safety in e-scooter sharing systems. Journal of Intelligent Transportation Systems, 1-16.
17. Carlbom, A., & Lundin, J. (2019). Acute injuries resulting from accidents involving powered mobility devices (PMDs)—Development and outcomes of PMD-related accidents in Sweden. Traffic injury prevention, 20(5), 464-481.
18. Cho, M., Lee, K. M., & Whang, Y. S. (2021). Users' attitudes on electric scooter riding speed on shared footpath: A virtual reality study. International journal of sustainable transportation, 15(2), 153-161.
19. Crockett, J. B., Chaudhary, N. K., & Solomon, M. G. (2022). How Are E-Scooter Speed Limits Set and Associated with User Behavior? Observed Speeds and Road, Sidewalk, and Bike Lane Use in Austin, TX, and Washington, DC. Transportation Research Record, 03611981221114016.
20. Glasman, Y., Kornilov, A., & Dias, W. (2020). Speeds of young e-cyclists on urban streets and related risk factors: An observational study in Israel. Safety, 6(2), 29.
21. Haworth, N., Schramm, A., & Twisk, D. (2021). Comparing the risky behaviours of shared and private e-scooter and bicycle riders in downtown Brisbane, Australia. Accident Analysis & Prevention, 152, 105981.
22. Hassan, T., Imoedumai, M. N., & Hood, N. (2017). Role of sensation seeking and attitudes as mediators between age of driver and risky driving of powered two wheelers. Journal of safety research, 62, 209-215.
23. Kleinbaum, D. G., & Klein, M. (2010). Logistic regression. A self-learning text. New York: Springer.
24. Larsa, K., Suhrbir, K., & Gensa, L. A. (2022). Who haunts where: Behavior of pedestrians and micromobility users as transportation infrastructure. Journal of transport geography, 98, 103259.
25. Ma, Q., Yang, H., Meshue, A., Sun, Y., Huang, Z., & Ma, Y. (2021). E-Scooter safety: The riding risk analysis based on mobile sensing data. Accident Analysis & Prevention, 151, 105954.
26. OECD. (2020). Safe Micromobility. Paris: OECD Publishing.
27. Rydon, C., & Pagot-Court, I. (2019). Assessment of risky behaviours among E-bike users: A comparative study in Shanghai. Transportation research procedia, 2, 15002.
28. Simeunović, M., Saulić, N., Pajić, Z., Bogdanović, V., & Simeunović, M. (2020). Risky behaviour of electric scooter users in Novi Sad. Tema: Mosaic World, 6(3), 73-15.
29. Tabesen, A. R., Hough, J., Usben, S., & Carter, R. T. (2023). Risk Perception of Bicycle/Scooter Riders' Risky Behaviors (No. SUNTCOM 20-04). Upper Great Plains Transportation Institute.
30. Zhou, D., Chang, M., Gu, S., Sun, X., Xu, H., Wang, W., & Wang, T. (2022). Analysis of risky driving behavior of urban electric bicycle drivers for improving safety. Sustainability, 14(2), 1243.

감사합니다.

발표자: 충북대학교 석사과정 권현지 (hyenz@chungbuk.ac.kr)

목차

1. 서론: 왜 PM을 다루어야 하나?

2. PM 이용자 탑승 실적 자료

3. PM 이동거리 분석

4. 결론

1. 서론: 왜 PM을 다루어야 하나?

1. 서론: 왜 PM을 다루어야 하나?

"킥킥" 법 비웃는 킥라니

급증하던 '킥라니 사고' 최고속도 낮춰 잡는다

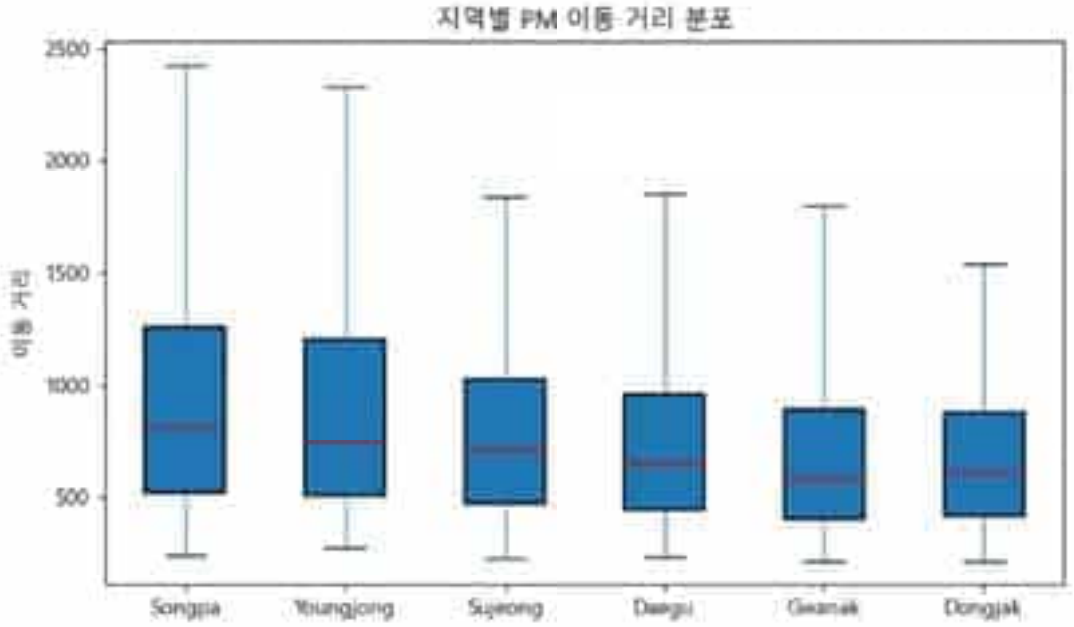
2. PM 이용자 탑승 실적 자료

탑승 자료 기초 통계: PM 이용거리

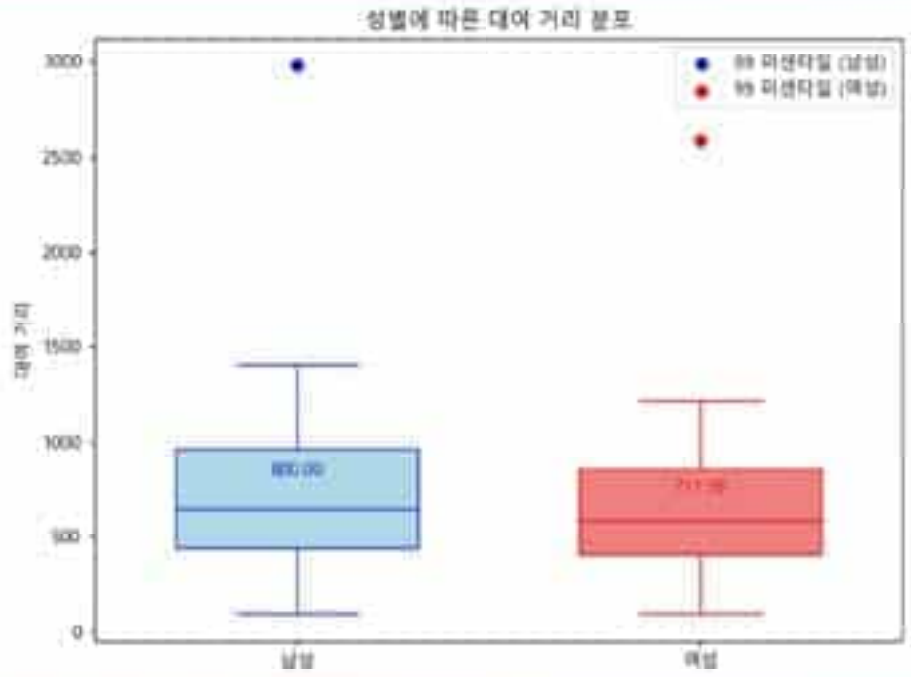
단위: 미터

지역	통행수	평균	표준편차	최솟값	5퍼센타일값	95퍼센타일값	최댓값
송파구	5,606	1,013	822	100	240	2,422	16,511
인천 영종도	9,870	971	759	99	276	2,329	8,403
성남 수정구	8,435	832	562	100	233	1,839	7,968
대구시	25,386	799	607	99	237	1,853	13,228
관악구	21,540	730	514	100	219	1,801	10,708
동작구	40,407	709	460	99	219	1,545	16,825
전체	**111,244**	**782**	**574**	**99**	**228**	**1,813**	**16,825**

3. PM 이동 거리 분석: 지역별 차이



3. PM 이동 거리 분석: 남/여간 차이



3. PM 이동 거리 분석: 시간대별 차이

주요 분석 결과

- 지역별로 PM 이동거리 차이 확인: 원인 파악 필요
- 남/여 간의 이동거리 차이 확인
- 시간대별 이동거리 차이는 대중교통 서비스 종료로 설명 가능

개선 사항

- 야간 PM 이동 경로 파악: 주행로 정비 등 사고 예방
- 이동성 제약 지역/제약 시간대 극복을 위한 PM 활용 방안 제시
- 지역별 PM 이용 형평성 제고 노력

Cross-classified Multilevel 모형을 활용한 서울시 공공자전거 심야시간대 개별 통행거리와 이용시간 영향요인 분석

Analysis of Seoul Public Bike Trip Distance and Duration during Night Times by Applying Cross-classified Multilevel Models

박종한	장승화	김새힘	김태우	고준호
(한양대학교 도시대학원, 박사후연구원)	(한양대학교 도시대학원, 박사수료)	(한양대학교 도시대학원, 박사후연구원)	(한양대학교 도시대학원, 석사과정)	(한양대학교 도시대학원, 교수)

Key Words : 공공자전거, 심야시간, 통행거리, 이용시간, 경로특성, 교차분류 다층모형

목 차

1. 연구의 배경 및 목적
2. 분석자료 및 방법론
3. 분석결과
4. 결론

Ⅰ. 연구의 배경 및 목적

심각해진 기후변화문제를 개선하기 위해 많은 나라에서는 탄소중립을 선언하고 있으며, 수송부문에서 탄소중립 달성을 위해 세계 주요 도시들은 개인 승용차 이용 억제, 친환경자동차 보급 활성화, 대중교통 이용활성화 등 다양한 교통정책을 추진하고 있다. 다양한 교통정책 중에서도 수송부문의 탄소중립 달성을 위해서는 보행 및 자전거와 같은 무배출 교통수단의 활성화가 필요하다. 특히, 도시교통 부문에 있어서 승용차, 택시, 대중교통 등과 같은 다른 교통수단에 비해 단거리 통행에 대해 경쟁우위를 가지는 자전거의 이용활성화는 탄소배출량을 획기적으로 줄이는데 기여할 수 있다 (박종한, 2023).

수도권 경제는 24시간 체제로 운영되고 있으며, 심야 시간대의 이동권 보장에 대한 문제가 대두되고 있다. 한국의 100대 상권의 유동인구는 늦은 밤 및 심야시간대인 22시에서 7시까지 약 26.89%가 집중되고 있다 (김병관·김혜원, 2020). 이러한 시민의 심야시간대 이동을 위해 서울시에서는 심야 이동권과 관련된 정책으로 심야버스 노선을 2013년부터 도입하여 운영하고 있다. 또한 서울시설공단에 의하면 2019년 기준 따릉이를 이용한 심야시간대(1시~6시) 야간 이동성 개선 편익이 연간 1,795백만원 발생하여 운송원가의 약 5.6%를 차지하는 것으로 나타났다.

이에 본 연구에서는 서울시 공공자전거 따릉이의 주중 심야시간대에 발생한 주행궤적 데이터를 이용하여 심야시간대 공공자전거 이용자의 통행거리와 이용시간에 영향을 미치는 요인을 파악하고자 한다. 연구팀은 이용자의 정확한 주행 특성을 식별하기 위해 GPS 기반의 자전거 주행궤적 데이터를 이용하여 네트워크에 일치시키는 맵 매칭 과정을 수행하였다. 이를 위해 cross-classified multilevel model (CCMM)을 이용하였다. 분석결과를 바탕으로 심야시간대 자전거 이용 활성화를 위한 정책적 시사점을 제시하고자 한다.

Ⅱ. 분석자료 및 방법론

1. 분석자료

본 연구에서는 서울시설공단의 공유자전거 시스템을 통해 이용자가 서울시 전역에 걸쳐 수일간 이용하여 수집된 GPS 기반의 주행궤적 데이터를 이용하였다. 이 데이터는 공공자전거 서비스 이용자가 자전거 대여를 기점으로 1분마다 위도와 경도의 GPS 좌표를 수신하여 기록되었다. 데이터에는 자전거 번호, 대여일시, 대여 대여소명, 반납일시, 반납 대여소명, 이용시간, 이용거리, 회원식별번호(암호화), 성별, 연령대, 이동순서, 위도, 경도 정보를 포함하고 있다. 제공된 이용거리 값은 GPS 수신 간격마다 수신된 포인트를 일직선으로 이어서 산출된 값으로 실제 이동거리보다 과소추정되는 경향이 있다 (박종한, 2023). 이에 GPS의 불량신호로 발생하

는 노이즈 포인트의 필터링과 경위도 좌표를 도로 구간의 시퀀스로 변환하는 맵 매칭 등의 일련의 trajectory pre-processing 과정을 수행하였다. 따라서 본 연구에서는 맵매칭 과정을 통해 개별 통행에 대해 주행경로를 산출하고 통행거리를 재산출하여 이용하였다.

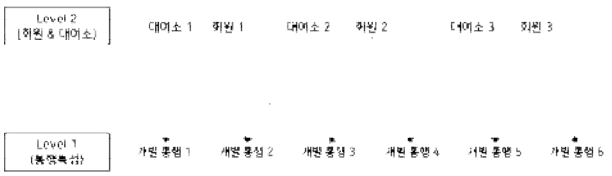
데이터 구득의 한계로 2021년 10월의 주중 데이터를 이용하였으며, 지하철 운행이 없는 1시부터 5시 이전의 심야시간을 대상으로 분석을 수행하였다. 자전거는 날씨에 큰 영향을 받으며, 선행연구에 따르면 날씨 속성 중 강수량은 자전거 이용에 가장 부정적인 영향을 준다. 따라서 본 연구에서는 강수량이 자전거 통행행태에 미치는 영향을 배제하기 위해 조금이라도 강수가 있는 날은 분석에서 제외하고 총 11일을 분석하였다. 또한 통행에 대해서 독립적인 의사결정이 어려운 청소년과 건강 및 경제활동에 제약이 있을 수 있는 노인을 제외하고, 경제활동인구인 만 19세에서 64세의 이용자만을 분석의 대상으로 설정하였다. 마지막으로 자전거 이용이 비정상적으로 짧거나 긴 경우, 평균 이용속도가 자전거 속도 범위를 넘어가는 경우, 재배치 및 정비를 위한 운반 차량과 같이 한 장소에서 다수의 대여를 하는 경우는 이상치로 분류하여 제거하였다. 이에 분석기간 동안 주중 심야시간대 따릉이는 10,313회 이용되었으며, 평균 통행거리는 3.4km, 평균 이용시간은 20.7분으로 나타났다.

본 연구에서는 크게 경로 특성, 이용자 특성, 대여소 특성, 3가지 범주로 설명변수 데이터를 수집하였다. 먼저, 자전거 이용자가 이동하는 경로를 따라 생성되는 경로 특성 변수는 자전거도로 유형과 보차이용으로 설정하였다. 경로 특성을 산출한 이전 연구(Park & Akar, 2019; Woo & Yu, 2017)에 따르면, 경로 특성을 파악하기 위한 범위는 주행 경로에 인접한 특성을 포착할 수 있을 정도로 적당히 넓으며, 도로 반대편의 특성과는 겹치지 않도록 설정하기 위해 15m~50m까지 다양한 반경을 이용하였다. 이에 본 연구에서는 주행 경로를 중심으로 반경 20m를 기준으로 설정하였다. 이용자 특성 변수는 데이터에서 주어진 회원 정보로서 성별과 연령이 있다. 성별은 여성을 '0', 남성을 '1'로 더미변수 처리하였다. 연령의 경우는 범주형 변수(20대, 30대, 40대, 50대, 60대)로 구성하였다. 마지막으로 대여소 간 거리와 보행접근성을 고려하여 대여소 반경 100m를 중심으로 주변의 특성을 대여소 특성 변수로 구축하였다. 대여소 특성은 시설물 연면적, 보차이용혼합도, 지하철 출입구, 버스정류장, 대학교가 있다. 보차이용혼합도 변수는 주거지역, 상업지역, 업무지역, 녹지지역의 면적을 엔트로피 지수를 이용하여 구축하였다.

2. 방법론

기존 대부분의 공유자전거 연구는 발생하는 통행이 모두 독립적이라는 가정하에 분석해왔다. 이는 동일 이용자를 구별할 수 없었기 때문으로 보인다. 하지만 실질적으로 공유자전거의 이용은 반복된 관측된 값으로서 독립성 가정에 위배된다 (Scott & Ciuro, 2019). 즉, 공유자전거는 이용자의 반복적인 대여와 다수의 대여소를 중복적으로 이용하는 불완전한 다층 구조를 가진다. 이러한 공유자전거 이용 특성을 반영하기 위하여 기존의 전통적인 다층 모형(multilevel model, MLM)에서 통계적인 가정을 완화한 교차분류 다층모형 (Cross-classified Multilevel Model, CCM)의 적용이 필요하다. CCM은 사회과학 분야에서 활발하게 활용되는 모형으로 상위 레벨의 교차된 특성에 해당하는 고정 효과와 무작위 효과를 동시에 조사할 수 있다. CCM에서 개별 통행(i)은 2개의 상위수준인 대여소(j)과 회원(k)에 동시에 교차한 CCM을 표현하면 식은 다음과 같다.

$$y_{i(jk)} = \beta_0 + \beta_{1_{0i(jk)}} + \beta_{2_{0j}} + \beta_{3_{0k}} + u_{0j} + u_{0k} + e_{0i(jk)}$$



<그림 1> 공공자전거의 교차분류 다층모형의 구조

III. 분석결과

종속변수는 주중과 주말의 통행거리와 이용시간으로 로그변환을 통해 정규분포로 전환하여 모형에 이용하였다. LR 검정 결과는 모든 모형에서 유의 수준 0.001에서 귀무가설을 기각함을 확인하였다. 이는 상위수준인 회원 간, 대여소 간의 이질성이 종속변수인 통행거리와 시간에 무작위 영향을 미친다는 것을 증명한다. 모든 모형에서 회원에 대한 ICC가 0.1보다 커 자전거 이용행태를 파악하기 위해서는 회원 간 수준 차이에 대한 고려가 필요하며, 대여소 속성에 비해 회원 속성의 영향력이 큼을 알 수 있다. 회원과 대여소 상호작용에 대한 ICC가 회원에 대한 ICC, 대여소에 대한 ICC보다 크므로 자전거 이용행태에 대한 정확한 효과를 파악하기 위해서는 회원과 대여소 수준 간 차이를 모두 고려하는 것이 필요하다. 대여소에 대한 ICC가 작지만 대여소 속성을 설정함으로서 회원 속성에서는 볼 수 없었던 효과를 파악할 수 있다.

주행경로 내 녹지지역은 통행거리와 이용시간에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이러한 녹지 경로와 같은 쾌적한 주행 환경은 자전거 타는 사람에게 매력적인 조건으로 작용하여 이용자는 이러한 환경을 이용하기 위해 최단 경로가 아닌 통행거리와 이용시간을 증가시키는 우회 경로일지라도 이용을 하는 것으로 보여진다. 이용자가 실제 이용하는 주행경로의 자전거도로 유형을 고려하여 자전거 통행행태에 미치는 영향을 파악하였다. 자전거전용도로와 보행자·자전거 겸용도로(분리)도 통행거리와 이용시간에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 즉, 자전거 이용자는 녹지경로와 자전거전용도로, 자전거·보행자겸용도로(분리)와 같은 주행

안전성과 쾌적성이 확보된 경로를 선호하는 것으로 보인다. 연령과 관련해서는 다른 연령에 비해 20대 이용자일수록 통행거리와 이용시간이 긴 것으로 나타났다. 이는 상대적으로 소득이 적은 20대가 심야 이동수단으로서 따릉이를 이용하는 것으로 보인다. 또한 기점과 종점 모두 업무시설 연면적이 클수록 통행거리와 이용시간이 긴 것으로 나타났다. 이는 앞선 연령과 연계하여 최근 젊은 사람들이 오피스텔 등에 거주하기 때문인 것으로 보인다.

Ⅳ. 결론

본 연구는 최근 친환경 단거리 수단으로 많이 활용되는 공공자전거에 대해 심야시간대 이용자의 통행에 영향을 미치는 요인을 파악하였다. 지하철 운행이 멈춘 심야시간대 따릉이는 대중교통의 대체 교통수단으로서 이용될 수 있다. 심야시간대의 따릉이 이용자 중 20·30대의 젊은 사람들은 자전거를 보다 길게 타는 것으로 나타났다. 또한 심야시간대 자전거 이용자는 자전거전용도로와 자전거·보행자 겸용도로(분리)와 같은 자전거도로와 녹지 경로처럼 안전하고 쾌적한 환경의 주행경로를 선호하며, 야간 자전거 이용 활성화를 위해서는 이러한 안전한 주행경로의 구축이 필요함을 입증하였다. 본 연구의 결과를 통해 교통계획가와 정책입안자가 심야시간대 공공자전거 이용자의 통행행태에 대한 이해를 높여 한정된 예산에서 이용자 맞춤형 정책 및 운영전략을 수립하는 데 도움이 되기를 기대한다.

감사의 글

이 논문은 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임. (No. NRF-2023R1A2C1006086, 자전거 주행궤적 빅데이터를 활용한 자전거 통행수요 예측 모델 개발)

참고문헌

1. 김병권,& 김혜원 (2020). 모바일 데이터 기반 심야 모빌리티 특성 분석 연구, 경기연구원, 기본연구 2020-12
2. 박종한 (2023). 자전거 주행궤적 빅데이터를 활용한 공공자전거 통행거리 영향요인 분석. 박사학위논문 한양대학교 도시대학원
3. Park, Y., & Akar, G. (2019). Why do bicyclists take detours A multilevel regression model using smartphone GPS data, Journal of Transport Geography, 74, 191-200,
4. Scott, D. M., & Ciuro, C. (2019). What factors influence bike share ridership? An investigation of Hamilton, Ontario's bike share hubs, Travel Behaviour and Society, 16, 50-58,
5. Woo, A., & Yu, C. Y. (2017). Beyond affordable shelters: Subsidized housing and surrounding environments for pedestrian safety, Applied Geography, 83, 37-45,

배달대행 서비스 초소형전기차 대여 플랫폼 경제적 타당성에 관한 연구

research on economic feasibility of micro electric vehicle rental platform for delivery service

송인회[1], 김응석[2]

[1](주식회사 마이브, 기술본부 이사), [2](주식회사 마이브, 영업본부 이사),

Key words : e-Mobility(e-모빌리티), micro EV(초소형 전기차), Battery Swap(배달대행), Electric Vehicle(대여 플랫폼), Delivery system(배달 시스템),

목 차

1. 서론
2. 초소형전기차
3. 배달용 초소형 전기차 도입
4. 1회 충전 주행 거리의 한계
5. 배터리 교환형 전기차
6. 보조 배터리 교환 방식
7. 근거리 배달 시스템
8. 결론

Abstract : 2019년 우정사업본부는 택배용 이륜차 15,000 여대중 10,000대를 초소형 전기차로 대체하는 시범 사업을 추진하고 있다. 매년 이어지고 있는 운행 중의 사고를 최소화하고 악천후에도 안전하게 배송이 가능한 초소형 전기차로 교체하는 사업이며, 이는 국가 물류체계에서의 운송 수단의 전면적인 개편 사례로 세계적인 주목을 끌고 있다. 초소형전기차는 이륜차를 대체하는 이동수단으로써 배달 및 근거리 서비스용으로 보다 안전하고 편안한 교통환경을 제공할 수 있어 교통환경 오염을 방지하기 위한 교통수단으로 각광받고 있다. 하지만 1회 완충 시 평균 100Km 정도만 주행할 수 있고, 충전 시간 등의 제약과 차량의 가격 경쟁력이 다소 떨어져 배달용으로 구매에는 적지 않은 부담이 있다. 이에 배달 대행 기사에게 공급하는 차량 임대 플랫폼의 경제적 타당성을 연구하고, 공급자와 수요자의 적절한 임대 플랫폼의 가격 제안을 연구하여 타당성을 제안하고자 한다.

1. 서론

초소형전기차는 2017년 12월 14일, 국토부는 “자동차관리법 시행규칙 일부 개정령안 입법 예고”를 통해 초소형 전기차의 법령을 마련했다. 전세계 국가중 초소형 전기차 규격을 제정한 나라는 대한민국이 유일하다.

<그림1.> 르노 삼성 초소형 전기차 트위지

배터리를 포함한 총중량 600kg이하(화물형 750kg 이하), 전장 3,600mm, 전폭 1,500mm, 전고 2,000mm 이하, 최대 토크 15kW 이하의 전기자동차를 말한다. 2017년 7월부터 대한민국에서 이를 제정하고 시행 중이다. 초소형 전기차의 규정은 <표 1>에서 볼 수 있다.

<표 1> 국내 초소형전기차 기준

구분	배기량	제원			차량중량 (배터리포함)
		길이	너비	높이	
승용	250cc (15kW)이하	3.6m 이하	1.5m 이하	2.0m 이하	600kg 이하
화물					750kg 이하

초소형전기차 실증 사업을 통하여 배달 및 근거리 서비스의 초소형전기차의 효과와 활용도를 높일 수 있는 방법등을 2019년부터 2025년까지 수행 중에 있다. 여기서 얻어진 배달대행 서비스의 실태와 문제점을 극복하기 위한 대체 운송수단인 초소형전기차의 효과를 검증한다.

배달대행 시스템으로 인한 교통환경오염을 극복하고 배달기사에게 보다 안전하고 편리한 운송수단을 제공할 수 있다.

본 실증사업을 통해 초소형전기차의 공급을 원활하게 하기 위해 본 논문에서는 1500만원에서 2000천만원 수준인 차량을 구매하기 부담스러운 배달대행 기사에게 공유서비스를 제공할 수 있는 최적의 서비스 이용료 구조를 연구하여 그 방법과 경제적 효과를 검증 연구한 내용을 소개하고자 한다. 이로써 초소형전기차 활성화와 보급 확산에 이바지 할 것으로 기대한다.

2. 배달대행 수행 패턴과 수익구조

코로나19를 통해 배달대행 서비스는 많은 변화와 질적으로, 양적으로 발달했다. 야식 메뉴를 중심으로 일부 요식업에서만 사용되던 배달대행 서비스는 다양한 음식 뿐만 아니라 식자재, 문구, 생활용품과 기타 심부름 서비스 까지 확대되었다.

배달대행서비스는 실증을 통해 확인된 결과 식사시간을 중심으로 Pick-Time이 형성된다. 점심시간과 저녁시간 이후에 집중되는 패턴을 보이고 있다. 반면 점심시간 이후에는 자연스럽게 휴식시간이 형성된다.

배달 대행 기사는 배달 대행료로 거리별, 배송물품의 양으로 수수료가 책정된다. 기본요금 3000원에서부터 많게는 1만원까지 거리와 양에 따라 가격이 책정된다.

배달대행 수행 수수료는 요금의 10%를 플랫폼 운영사 지불하고 나머지 90%는 기사의 수익이 된다.

초소형전기차는 양과 거리에 장점을 가진다. 많은 양으로 중장거리 배송이 용이하기 때문에 이륜차에 비해 다소 떨어지는 수행 건수를 대체할 수 있다.

식사시간을 중심으로 형성된 Pick-Time에는 시간당 약 5~7건의 배달건수를 수행한다. 이 때 얻는 수익금은 약 2만원에서 많게는 5만원의 수익을 갖는다.

Pick Time은 점심시간 중심으로 약 3시간, 저녁시간 전후로 약 5시간 정도로 형성된다.

초소형전기차를 이용한 배달 대행 서비스 실증을 통해 확인된 내용으로 Pick-Time 중심으로 배달을 수행하고 잔여 시간은 개인 휴식이나 개인 용무로 시간을 보내고 그 시간에 저녁시간을 준비하며, 차량 충전 시간으로 활용한다.

이렇게 해서 수행한 배달기사의 1평균 수익금은 약 20만원에서 40만원 정도로 형성된다.

3. 배달 대행 수행 이동수단 비교 분석

배달대행은 대표적으로 이륜차를 중심으로 이동수단이 형성된다. 배달 기사들의 운송수단은 도보, 자전거, 개인형 이동장치, 이륜차 등으로 다양하며, 이 중 이륜차의 비율은 95%이상이다.(한국경제 21.11.07)

이륜차를 대체하는 초소형전기차로 배달대행을 수행하는 비율은 0%에 가깝다. 하지만 초소형전기차 제작사인 주식회사 마이브의 초소형전기차 마이브 m1모델을 구매한 고객 중 배달대행을 위해 차량을 구매한 고객의 비중은 약 5%로 지속적인 증가 추세를 보이고 있다.

<그림1.> 이륜차- 초소형전기차 연간 유지비용 비교

이륜차를 이용하는 배달대행 기사는 일반 운송수단 이륜차 사용자에 비해 교통사고 발생율이 15배가 넘고, 배달 오토바이로 연간 2건꼴로 발생하여 배달 기사에게 안전이 보장된 업무환경 제공이 시급하다.

이륜차로 배달대행을 운영했을 때 소요되는 비용과 초소형전기차의 연간지출 비용을 비교 분석하였다.

가장 많이 사용되는 이륜차인 혼다PCX 모델과 초소형전기차 마이브m1모델을 에너지 충당금, 소모품 및 정비 비용 자동차 세 등으로 분류하여 연간지출을 비교한 결과 초소형전기차가 이륜차의 절반정도 수준의 유지비용이 발생됨을 확인할 수 있다.

<표 2> 이륜차 대비 초소형전기차 수익 비교

	① 초소형전기차	② 이륜차	차이(①-②)	비고
배달 건수	45	55	-10	
건 평균 배달 수익	3,900	3,200	700	
배달 매출	175,500	176,000	-500	
배달 대행 수수료	14,040	14,080	-40	수익의 8%
배달 수익 계	161,460	161,920	240	
연간 유지비	1,185,000	2,507,774	-1,322,774	
일 평균 유지비	4,989	12,539	-7,549	연간 유지비 / 연간 운영일
일 평균 수익	161,360	158,320	3,040	유지비 포함
연간 근무 일	250	250	0	연간 70% 근무
연간 운영율	95%	80%	15%	환경 제약으로 인한 운영율
연간 운영 일	238	200	38	근무일 × 운영율
월간 수익	3,096,813	2,489,686	607,127	
연간 수익	37,161,750	29,876,226	7,285,524	

배달 수익으로 봤을 때 일일 수익은 약 240원 정도의 근소한 차이를 갖는 것으로 확인된다. 여기에 일평균 유지비를 고려하게 되면 약 7,500원의 차이이다.

하지만 이를 월간, 연간으로 확대하여 운영율을 고려했을 때는 약 7백만원 이상의 차이(월간 약 60만원)로 적지 않은 차이가 나타난다. 이는 초소형전기차가 가진 장점인 이륜차보다 장거리 이동이 가능하며, 많은 양의 배달이 가능하다는 점, 환경제약을 덜 받고 운전자의 피로도가 낮다는 장점에서 나온 결론이다.

또한, 여기서 책정되지 않은 사고에 대한 “안전”에 대한 부분은 돈으로 환산될 수 없는 가치이며, 안전중시를 우선으로 여기는 사회 분위기에 부합한다고 볼 수 있다.

이 분석을 통해 초소형전기차가 이륜차에 비해 수익성과 안전 등 경제적 효과가 부족하지 않다는 것을 확인할 수 있다.

4. 초소형전기차 배달대행 공유 서비스

앞서 분석을 통하여 초소형전기차는 배달 대행 서비스에서 이륜차를 대체하는 이동수단으로 적합성을 확인하였다. 하지만 국가 전기차 구매 보조금을 제외하고 차량 구입가격이 1500만원에서 2000만원까지 형성되어 있는 초소형전기차를 구매하여 배달대행업으로 구매하기는 적지 않은 부담을 갖게 된다. 이에 장-단기 임대 서비스(렌터카, 쉐어링 등)로 제공할

경우 적정 비용을 산출하여 배달 대행 차량 임대 서비스 플랫폼의 경제적 적정성을 제안하고자 한다.

1) 배달용 이륜차 렌트 상품

시중에 배달 대행 이륜차 렌트 상품이 판매되어지고 있다. 하루, 일주일, 한달 기준으로 렌트 요금이 책정된다. 하루에 가장 저렴한 모델은 70,000원부터 90,000원, 일주일에 25만원에서 29만원, 한달에 44만원에서 54만원으로 상품구성이 되어 있다. 여기에는 유상운송책임보험이 포함되어 있다.

<그림 2> 배달용오토바이 임대 요금 예시

2) 초소형전기차 렌트 상품

대부분의 초소형전기차 렌트 상품은 관광용으로 단시간 임대서비스 용의 상품이다. 월단위, 연단위의 장기 임대는 아직 활성화 되지 않고 있다.

대부분의 관광형 상품으로 제주 등에서 찾아볼 수 있다. 대여요금은 시간단위로 약 1만원에서 15,000원 수준이다.

<그림 2> 강릉Pass 초소형전기차 공유 서비스 시범사업

강릉 스마트시티챌린지 사업을 통해 관광형 임대사업을 진행하였다. 여기에 초소형전기차 임대 사업을 진행하였는데, 이는 시범사업용으로 요금이 1천원 수준으로 매우 저렴하여 본 상품개발용으로의 레퍼런스는 부족하였다.

3) 배달용 초소형전기차 상품

본 상품은 초소형전기차 실증 사업을 통해 많은 인기를 가지고 있으며, 활용도가 높은 승용형 모델 중 주식회사 마이브의 m1 모델을 선정하여 상품을 개발하였다. 기간은 3년 상품 기준이다.

차량 가격은 공급가 기준 1700만원, 여기에 국가 보조금과 공제조합 지원금 등 할인 금액이 약 800만원이고, 차량 잔존가치를 약 500만원으로 산정하였다. 그러면 차량 금액은 약 400만원이 된다.

초소형전기차는 충전비용이 매우 저렴하다. 일반 자동차 대비 연비가 매우 우수하기 때문에 충전비용이 상품 가격에 큰 영향을 미치지 않는 것이 본 상품의 장점이 될 수 있다.

보험료, 세금, 충전비, 유지비 등 약 1000만원이 소요된다. 그러면 3년간 임대 사업에 소요되는 비용은 총 1400만원이다.

수익률 약 30%로 책정하면 약 1820만원, 연간 600만원의 상품을 개발할 수 있다.

유지관리비와 에너지 비용까지 합산해 월간 50만원 상품으로 고객에게 제공할 수 있게 된다.

여기에 임대 시간으로 환산해 시간권, 일일권, 주간권, 월간권 연간권으로 총 5가지 상품을 제공한다.

연간권과 월간권은 운영율을 100%로 하여 운영하여 연간권은 600만원, 월간권은 월 60만원에 제공할 수 있다.

월간권을 100%운영율로 환산하여 주간권과 일일권, 시간권을 각각의 운영율에 따라 제공하는 임대비용을 산정할 수 있다. 주간권은 약 70%, 일일권은 50%, 시간권은 5%로 환산하였다.

주간권은 1주일 단위로 임대하기 때문에 1달에 1주정도 운휴기간이 산정 될 것으로 예측된다. 그렇게 되면 월간권 60만원 상품이 100% 운영이 되는 기준으로 연산하게 되면

$$\text{주간권이용료} = \frac{\text{월간권이용료}}{\text{주간운영율}} = \frac{600{,}000}{70\%} \fallingdotseq 857{,}000\text{월간권}$$

이를 30/7 주로 나누게 되면 주간권의 금액은 20만원으로 산출된다.

일일권은 운영율을 50%로 산정하였다. 즉 한달에 약 15일 가량 운영하게 될 것으로 보인다. 이는 실증사업을 통한 차량 운영 데이터를 분석한 수치이다.

$$\text{일일권이용료} = \frac{\text{월간권이용료}}{\text{일일운영율}} = \frac{600{,}000}{50\%} \fallingdotseq 1{,}200{,}000$$

주간권 이용료 총 합은 120만원으로 이를 30일로 나누게 되면 일일권은 4만원으로 산정된다.

시간권은 이용시간대 별로 산정하기 때문에 운영율이 현저히 줄어든다. 초소형전기차 배달대행 서비스 운영 시간을 분석한 결과 하루 평균 약 3시간, 월간 약 90시간을 가동하는데, 사용빈도와 충전시간 등을 고려하면 월간권 대비 약 10%의 운영율이 산출된다.

$$\text{월간시간권이용료} = \frac{\text{월간권이용료}}{\text{시간운영율}} = \frac{600{,}000}{10\%} \fallingdotseq 6{,}000{,}000$$

즉, 시간권을 한달 동안 쉼없이 계속 임대를 하게 되면 600만원의 요금이 부가된다.

이를 월 720시간으로 환산하면 약 8천원의 시간권 상품이 될 수 있다.

이를 정리하면 <표 3> 와 같다.

<표 3> 초소형전기차 임대 요금 설계

	시간권	일일권	주간권	월간권
제안요금	8,000	40,000	200,000	600,000
운영율	10%	50%	70%	100%
월간 비용	6,000,000	1,200,000	857,143	600,000
1월기준	720 시간	30 일	30/7 주	1달

5. 배달 대행 기사 설문

실증사업에 참여하고 있는 배달 대행 기사에게 초소형전기차 상품 개발 타당성에 대한 설문을 진행하였다.

1) 이륜차 대비 초소형전기차 적합성

설문 항목으로 초소형전기차로 배달 대행을 수행했을 때 이륜차 대비 적합성에 대한 설문을 수행한 결과 대체적으로 만족하는 수치인 81%의 만족도를 보였다.

이륜차로 배달대행을 수행하다 초소형전기차로 변경했을 때, 처음에는 다소 답답하다가 후에 적응 되었을 때는 오히려 초소형전기차에 대한 만족감을 표현하는 경우가 대다수이다. 이는 기동력이 다소 떨어져 답답함을 느끼는 경우가 많았다는 의견이다.

초소형전기차로 배달 대행을 수행 했을 때 수익의 변화에 대해서는 비슷한 수준이라는 의견이 50%이상이고, 다소 수익이 늘었다는 의견도 30%로 수익구조면에서는 부족함이 없는 것을 확인할 수 있었다.

지역별로 분석해 보면 교통체증이 다소 덜한 지방 소도시인 영광군, 무안군에서 수익의 변동폭이 적거나 수익이 늘어난 것을 확인할 수 있었지만 광교신도시 등 도심지역에서는 다소 수익이 줄었다는 의견도 있다.

2) 배달용 초소형전기차 대여비용

초소형전기차 대여 비용에 대해서는 현재 이륜차를 임대하여 배달대행을 수행하는 배달 기사 10명을 대상으로 조사하였다. 그중 5명은 영광, 무안 등 지방소도시 지역의 배달기사와 주거밀집지역인 광교신도시 배달기사 5명에게 질문하였다.

이륜차 렌트 서비스를 이용해 배달대행한 기사 중 60%가 적정하다는 의견을 제시하였고, 저렴한 편이다 20%, 다소 비싸다 20%로 보여 합리적인 요금이 책정됨을 확인할 수 있다.

반면 사용 의사를 묻는 질문에는 평균 60점을 보였다. 이는 초소형전기차의 기동성과 주차 용이성이 이륜차 대비 떨어지기 때문으로 분석된다.

3) 대여 상품 선택

대여상품 선택에 대한 질문에 대해서 가장 인기가 많은 상품은 시간권이 가장 인기가 많았으며, 일일권이 그 뒤를 이었다. 시간권을 선택한 이유에 대해서는 충전 시간에 대한 부담이 가장 컸다. 일일권은 이륜차로 배달하기 어려운 날씨 예보에 따라 선택하여 사용할 수 있기 때문에 일일권을 선택한 이류를 들었다.

8. 결론

배달대행 서비스에 있어 초소형전기차의 장점은 분명하다. 날씨와 도로 상황에 대한 제약이 줄어들고, 사고 등의 위험에서 자유도가 높아진다. 한번에 많은 양을 배달할 수 있고, 이동 반경이 넓어 효과적인 배달을 수행할 수 있다. 작은 차량 사이즈로 협로와 협곡, 골목길 등 주차가 용이하다.

<그림 2>. 영광군 배달대행 실증사업 효과

주행거리와 에너지 수집 방법등에 약점은 보완해야 할 숙제로 갖고 있지만 이를 극복하기 위해 배달대행 초소형전기차 공유 서비스는 적절하게 사용하면 큰 대안이 될 수 있다.

이를 확장하여 마트배송 서비스, 근거리 라스트마일 물류 배송 서비스, 택배 배송 서비스 등 다양한 배달 서비스 모델로의 확장이 가능하다.

본 연구를 확장하여 플랫폼화 서비스를 연구중에 있다. 예를 들어 마트 배송 App.과 연동한 서비스를 제공하는 플랫폼 개발을 진행중에 있으며, 확장한 다양한 근거리 서비스로 확장 개발할 예정이다. 이는 e-모빌리티 산업의 발전을 견인할 B2B 중심의 딜리버리에 적합한 초소형 전기차의 배터리 문제를 극복할 수 있는 구체적인 해법을 제시하고 실증을 통해 효율성을 입증하는 과정을 진행할 것이다..

Acknowledgments

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 '초소형전기차 기반 배달 및 근거리 서비스 실증(P0022021)'사업의 재원을 지원받아 수행된 연구결과임.

참고문헌

1) 한국교통연구원 2021 배달대행 운전자 조사보고서
2) 김종배, 배터리 교환방식 초소형전기차를 이용한 근거리 배송 시스템, 2019 C-ITS 추계학술대회
3) 한국경제 21.11.8[기고] 배달 라이더 교통사고
4) 드라이브애드 홈페이지 https://drivead.co.kr/
5) (KEMA)국내 초소형전기차관련 현황 보고

공간 단위 수정가능성 문제 최소화를 위한 최적 공간분할 및 단위에 관한 연구

A Study on the Optimal Space Division and Unit
for the Minimization of Modifiable areal unit problem

2024.10.25.(금) 강릉 라카인 샌드파인

아주대학교 D.N.A.플러스융합학과 석사과정
오 다 인

I. 서론

연구배경 및 목적

- **연구배경**
  - DRT, 공유 자전거, 전동 킥보드 등 새로운 대중교통 수단 증가
    - 서비스의 운영 및 지역 선정 필요성 증가
    - 수요에 대한 공간적으로 세밀한 예측이 요구
  - MAUP(Modifiable Areal Unit Problem)
    - 공간 단위 설정에 따라 인과적 영향 추론 및 회귀 분석 결과에 차이 발생
    - 구역 분할 방법과 공간적 규모에 따른 정보 손실로 인해 분석 결과가 달라지는 현상

- **연구목적**
  - DRT 도입이 대중교통 시스템에 미치는 영향을 공간 평가 프레임워크를 통해 분석
  - 사회인구통계적 요인과 건축 환경이 DRT 이용률 및 대중교통 수요 증가에 미치는 영향 분석
  - MAUP를 최소화하고, 분석 목적에 따른 적절한 공간 분할 방법과 단위 선정 기준 도출

II. 자료 및 실험설계

연구 대상 지역

- **연구 대상 지역**
  - 위치: 충청북도 청주시(4일반구, 3읍, 10면, 30동)
  - 인구: 약 86만 명
  - 대중교통 현황: 기존에는 버스만 운영
- **DRT 서비스 지역**
  - 2022년 10월부터 순차적으로 도입
  - 청주시 11개 농촌 지역에서 운행
  - 기존의 비효율적인 공공버스를 대체

그림 2. 청주 Maas DRT 서비스 지역

II. 자료 및 실험설계

연구활용자료

- **연구 활용 자료**
  - **DRT 승객 호출 데이터**
    - 승차 위치(x, y), 일자 데이터 (2022.10.05. ~ 2024.01.21.)
  - **청주 버스 승객 데이터**
    - 일별 버스 승객 수, 정류장 위치(x, y) 데이터 (2022.09.01. ~ 2024.01.21.)
  - **건물 사용 데이터**
    - 건물 용별개요 데이터(주거, 상업, 업무용으로 구분) (건축물 수, 용도별 면적)
    - 주요 교통시설과의 직선거리 데이터(구글맵스)
  - **사회인구통계학적 데이터**
    - 인구수, 고령자 인구수(65세 이상) 데이터

그림 3. 청주시 건물용도별 분포 현황

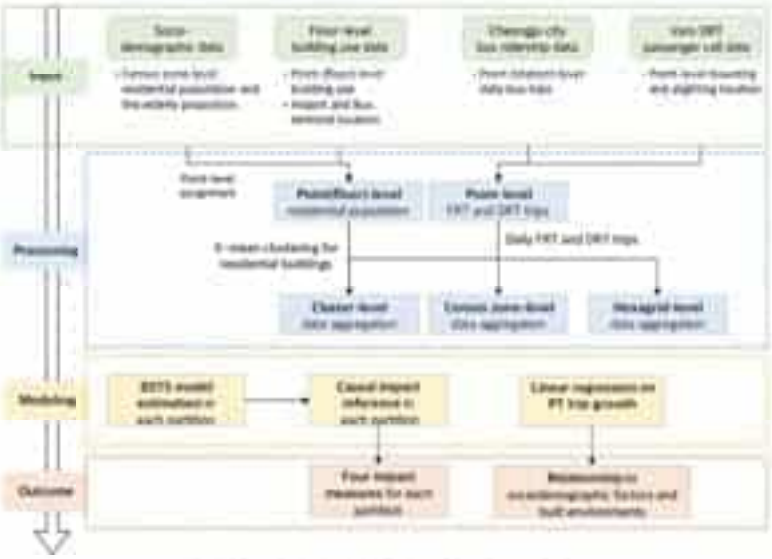


그림 4. 제안한 인과관계 영향 측정 방법의 논리적 프레임워크

II. 자료 및 실험설계

Spatial Units

- MAUP(Modifiable Areal Unit Problem)
  - 공간 단위(지역 구역) 설정에 따라 인과적 영향 추론 및 회귀 분석 모델링 결과에 차이가 발생하는 문제
  - 구역 분할방법과 공간적 규모에 따른 정보 손실 수준의 차이로 발생
  - Zoning Effect
    서로 다른 구역 분할 방식 간의 결과 차이 평가
  - Scale Effect
    동일한 구역 분할 방식 내에서 공간적 규모의 차이에 따른 분석 결과 차이 평가
- 공간 단위
  - 행정구역 기반(Census Zones): 11개의 구역으로 구성
  - 헥사곤 그리드(Hexagonal Grids): 반경 1000m 헥사곤으로 구역 분할
  - 주거기반 클러스터(Residential Clusters): 주거건물 기반으로 K-means 클러스터링 헥사곤 그리드와 유사한 면적과 구역 수로 지역 분할
- 구역 선택 및 데이터 처리
  - FRT, DRT 수요가 발생하지 않은 구역은 분석에서 제외
  - 각 구역 시스템을 비교해 MAUP 평가

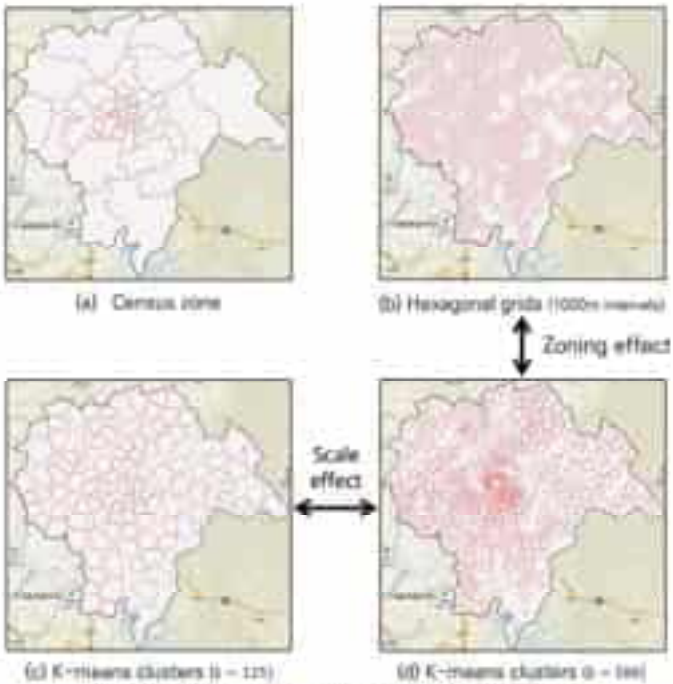


그림 5. 공간 설정 및 구역 효과를 평가하기 위한 4 가지 구역 시스템과 공유

II. 자료 및 실험설계

Residential Clustering

- PT Catchment Area
  - 서비스 수준(LOS), 접근성, 주변 환경에 따라 결정되는 대중교통 정류장이 승객을 유인하는 지리적 범위
  - 기존 정류장이 주거 지역에서 멀리 떨어져 있을 경우, 가상 DRT 정류장은 접근성을 크게 향상시킴
- 변수 설정
  - PT Catchment Area → 주거 건물들이 일정한 커버리지 수준에서 접근된다고 가정
  - 주거 클러스터가 이러한 대중교통 이용권을 반영, 다른 시스템은 이를 제대로 반영하지 못함
  - K-means 클러스터링 – 각 데이터 포인트와 중심점 간의 지리적 거리를 기반으로 유사한 그룹(클러스터)으로 나눔

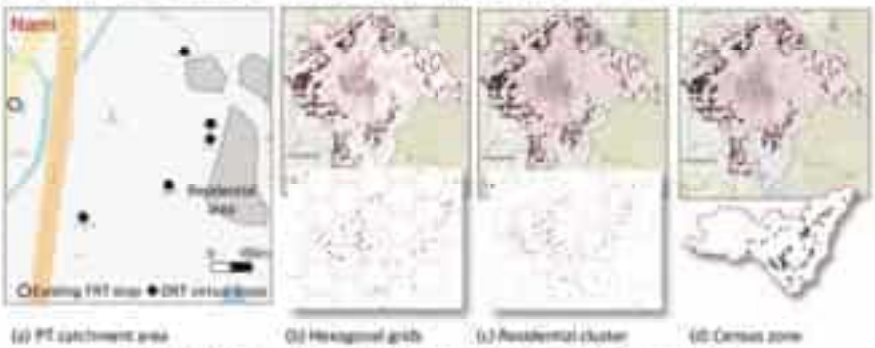


그림 6. 여러 공간단위에 따른 FRT 정류장 및 DRT 가상 정류장을 포함한 PT Catchment Area

III. 연구결과 및 결론

연구결과

- Linear Regression on DRT trip occurance and PT trip growth
  - 분석 목적
    - 사회인구통계적 요인 및 건축 환경 요인이 DRT 이용 발생률 및 대중교통 수요 증가에 미치는 영향 분석
    - DRT 발생률과 PT 증가에 대한 영향 요인에 대한 회귀분석
  - 분석 결과
    - 인구 밀도: 낮을수록 대중교통 수요가 증가
    - 고령자 비율: 높을수록 DRT 및 대중교통 수요 증가가 작용
    - FRT 이용률: 기존 이용률이 높을수록 대중교통 증가 제한
    - 버스 정류장 밀도: 정류장 밀도가 높을수록 DRT와의 시너지로 대중교통 수요 증가
    - 교통시설과의 거리: 버스 터미널, 공항과의 거리가 멀수록 대중교통 수요 증가
  - 결론
    - Residential Clusters(k=500) -> DRT 승차량에 대한 설명력이 가장 높음
    - FRT 이용률과 노인 비율은 대부분의 시스템에서 DRT 승차량에 유의미한 영향을 미치며, 버스 정류장 밀도는 Hexagon 시스템에서만 유의미하게 작용
    - 주요교통시설까지의 거리는 모든 시스템에서 유의미한 영향, 거리가 멀수록 DRT 승차량이 증가하는 경향을 보임

[표 1] 1대각 대중교통 승차량에 대한 회귀분석

	Zone Systems					
	Hexagon		Residential Clusters			
	1000m		k=500		k=125	
Parameter	Estimate	p-value	Estimate	p-value	Estimate	p-value
Intercept	0.262	0.000	0.280	0.000	0.179	0.000
Residential population density	0.012	0.818	-0.134	0.031	-0.061	0.027
The elderly proportion	-0.007	0.108	-0.120	0.001	-0.144	0.003
Business area proportion	0.093	0.223	-0.080	0.285	0.036	0.398
Commercial area proportion	0.014	0.729	-0.047	0.255	0.070	0.846
FRT trip rate (Daily average FRT trips/paid alert)	-0.061	0.001	-0.145	0.000	-0.067	0.182
Bus stop density	0.079	0.002	0.002	0.078	-0.042	0.449
Distance to inter-regional bus terminal	0.001	0.061	0.074	0.003	0.117	0.031
Distance to inter-regional airport	0.008	0.061	0.104	0.001	0.128	0.003
Adjusted R^2	0.167		0.003		0.003	

[표 2] 2대각 대중교통 승차량에 대한 회귀분석

	Zone Systems			
	Census area	Hexagonal grid	Residential cluster	
		1000 m intervals	k=500	k=125
Growth rate of the portion with significance				
Normalized PT trip growth (%) weighted averaged by residential population	+60.6%	+33.9%	-96.2%	+33.2%
Normalized DRT trip occurance (%) weighted averaged by residential population	+7.6%	+17.8%	+22.0%	+25.7%
Normalized DRT trip growth weighted averaged by residential population	+12.2%	+15.7%	-4.3%	+7.9%

III. 연구결과 및 결론

기대효과 및 한계점

- 기대효과
  - 정교한 수요 분석
    세밀한 공간 단위 분석을 통해 DRT 도입의 영향을 보다 정확하게 평가, 이는 효과적인 DRT 운영 및 서비스 지역 선정에 기여
  - 최적 공간 분할 방법 도출
    MAUP 문제를 최소화하여 분석 목적에 맞는 공간 단위 선정기준 제시
  - DRT 서비스 지역 선정 및 차량 배치 등에 활용 가능

- 한계점
  - 고령층의 디지털 접근성 문제로 DRT 이용 제한
  - 보다 다양한 공간 분할방법에 대한 연구 필요

IV. Reference

참고문헌

- [illegible]
- [illegible]
- [illegible]
- [illegible]
- [illegible]
- [illegible]
- [illegible]
- [illegible]
- [illegible]
- [illegible]
- [illegible]
- [illegible]
- [illegible]
- [illegible]
- [illegible]
- [illegible]
- [illegible]
- [illegible]
- [illegible]
- [illegible]
- [illegible]
- [illegible]
- [illegible]
- [illegible]

공유 전동킥보드 서비스의 이용행태 분석
: 세종시를 중심으로

Analysis of Usage Behavior of Shared E-Scooters Services
: A Case Study of Sejong

- 한국 ITS 학회 2024년도 추계 학술대회 -
2024.10.25

명지대학교 교통공학과 석사과정
이희준

연구배경 및 목적

1.1 연구 배경 및 필요성

공유 전동킥보드 이용의 증가

- 공유 전동킥보드는 서비스 도입 이후 이용량이 계속해서 증가하며, 도시 내 단거리 이동에 중요한 역할을 담당

- 국내 공유전동킥보드 서비스를 운영중인 빔(Beam)모빌리티의 자사 전동킥보드의 이용량이 2022년 대비 2023년 약 67% 증가함
- 빔모빌리티의 2023년 결산 리포트에서는 대중교통 접근성이 상대적으로 제한적인 지방 및 수도권을 중심으로 전동킥보드의 이용량이 크게 증가함
- 빔모빌리티 이용자들의 주 전동킥보드의 이용 시간은 오전 출근 시간과 저녁시간으로 나타남

1) 사회경제지표를 기반으로 공유 전동킥보드 이용에 영향을 미치는 요인을 파악
2) 전동킥보드의 이용의 출발지와 도착지의 특성 및 시간대별로 영향을 미치는 사회경제지표 분석

연구배경 및 목적

1.2 선행연구

① 김수재, et.al. 공유 전동킥보드 이용 특성 및 영향요인에 관한 연구(2021)

- 서울시 집계구 단위를 대상으로 공유전동킥보드의 이용특성을 음이항 회귀모형을 통해 분석

[분석에 사용된 사회경제지표 변수]

- 분석 결과 10~30 대 인구가 많이 거주하고, 상활인구와 3차산업 사업체수가 많을수록 전동킥보드의 이용이 증가
- 또한 지하철역, 버스정류장 수가 많고관련생활시설, 업무시설, 교육시설 등의 면면적이 클수록 이동수요가 높게다나남

② 김수재, et.al. 공유 전동킥보드의 공간적 이질특성분석: 공간자기상관 모형을 중으로(2021)

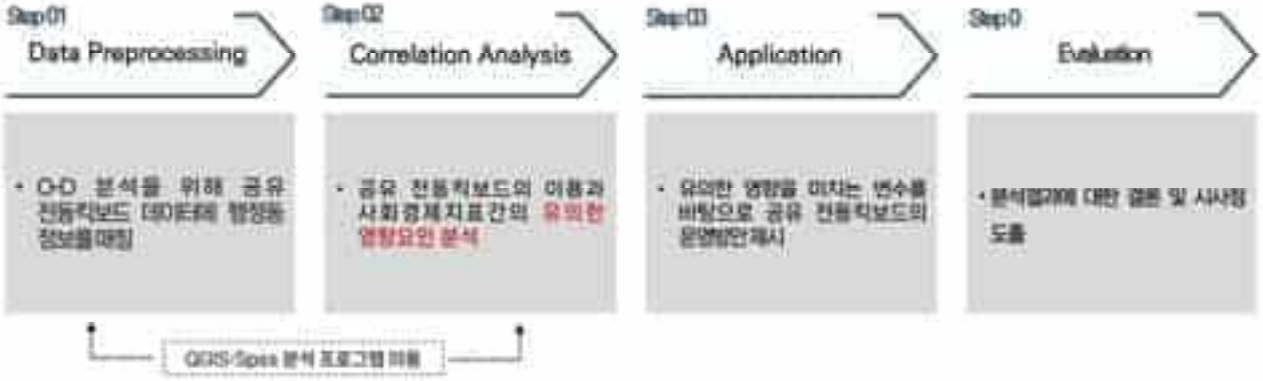
- 서울시를 200m 격자로 구분하고 공간자기상관모형을 통해 공유 전동 킥보드의 대여량과 반납량에 영향을 미치는 요인을 분석

[분석에 사용된 사회경제지표 변수]

- 분석결과 생활인구와 3차산업 종사자수, 반경 1km 내 대학교시설, 지하철역, 버스정류장 수가 많을수록 공유 전동킥보드의 이용이많은것으로나트남
- 공유 전동킥보드 특성상 반납이 이루어진 곳에서 대여가 이루어지기 때문에 대여량과 반납량에 영향을 미치는 요인이비슷하게 추정됨

연구 수행절차

1.3 Study Procedure



데이터분석

데이터 기초분석(1)

데이터개요

- (시간적 범위) 2023년 4월 4일 ~ 4월 11일 (20,586건)
- (공간적 범위) 세종시·청주시 오송읍·대전시 유성구 PM 운영지역

x_start	y_start	x_end	y_end	date_time_start	t_dist	trip_sec	speed
36.5045	127.2346	36.5134	127.2294	2023-04-07 13:27	1091.31	270	3.67
36.5135	127.2293	36.4950	127.2482	2023-04-07 16:11	2656.89	670	3.60

[분석 데이터]

공유 전동킥보드 통행량 분포

- 공유 전동킥보드의 기초 통행량 분석결과 세종시의 주요 주거지역인 조치원읍·고운동 지역에서 높은 통행량을 보임

지역	건수
Jochiwon-eup	5,604
Osong-eup	1,068
Goun-dong	637
Areum-dong	533
Naseong-dong	533

[주요 행정동 공유 전동킥보드 통행량분포]

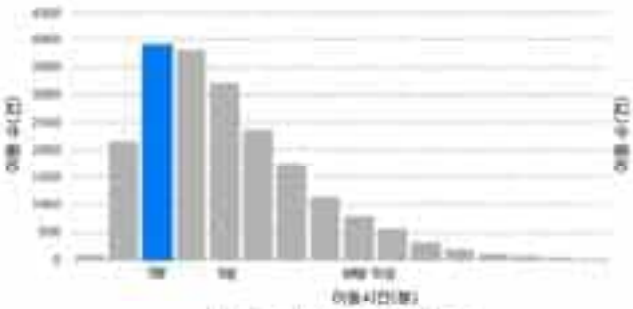
[통행량 분포]

데이터분석

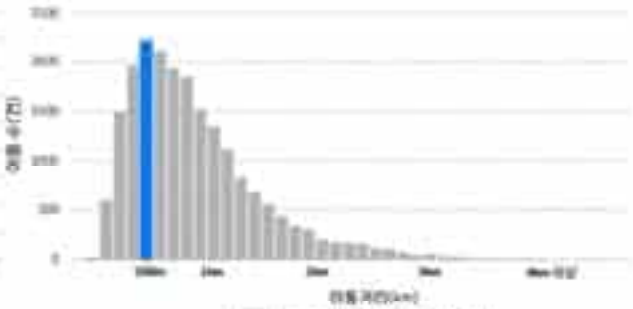
데이터 기초분석(2)

통행시간 및 통행거리 분포

- 데이터 분석결과 공유 전동킥보드의 평균 통행시간은 5분 43초, 평균 통행거리는 912m, 평균 통행속도는 13km/h로 분석됨
- 통행시간측면에서는 02~03분 구간에서 3,909건으로 가장 많은 통행시간 분포를 보임
- 통행거리측면에서는 (500-600)m 구간의 이동이 2,212건으로 가장 많은 통행거리 분포를 보임
  - 분석결과를 통해 공유전동킥보드가 도시내단거리 이동을 위한 수단으로 사용되고 있음을 알 수 있음



[공유 전동킥보드의 통행시간 분포]



[공유 전동킥보드의 통행거리 분포]

02 데이터

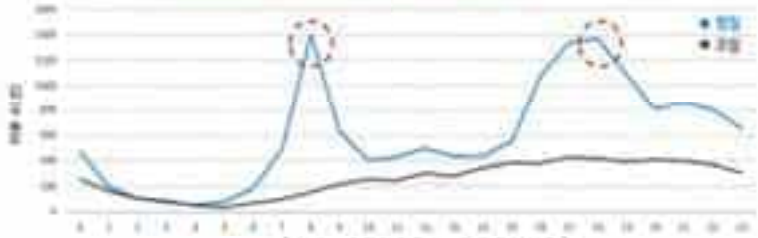
데이터분석

한국ITS학회

데이터 기초분석(3)

시간대별 통행분포

- 주중-주말 공유 전동킥보드의 이동통행 특성을 분석한 결과 주중에는 오전오후 첨두시간에 공유전동킥보드의 사용량이 늘어나는 패턴을 보임
- 하지만 주말의 경우 공유전동킥보드의 사용량이 시간대별로 비교적 균일하게 나타나는 것으로 분석됨
  - 분석결과를 통해 공유 전동킥보드를 통해 주중에는 출퇴근 시간대First-Last Mile 통행을 위한 수단으로 사용되고 있음을 알 수 있음



[시간대별 공유 전동킥보드의 통행분포]

앞선 기초통계 분석을 바탕으로 실제 분석지역의 사회경제지표와 공유전동킥보드간에 유의미한 영향을 미치는 요인을 파악

02 데이터

데이터분석

한국ITS학회

상관관계 분석

분석개요

- 종속변수 : 통행거리별 공유 전동킥보드 통행량 · 시간대별 공유 전동킥보드 통행량
- 독립변수 : 세종시 사회경제지표 (*제10회 세종통계연보,2022)

지표특성	사회경제지표	단위
인구특성	10대 20대 30대 40대 50대 65세 이상 평균연령	명
토지특성	주거용지 상업용지 학교용지	1000 m^2
사업체특성	1차산업 2차산업 3차산업	수
교통특성	버스정류장	개소

[시간대별 공유 전동킥보드의 통행분포]

분석방법

- 피어슨 상관계수 분석
  - 피어슨 상관계수(Pearson Correlation Coefficient)는 변수들간의 관련성을 구하는 이변량 상관분석에서 보편적으로 이용됨
    - 두 변수의 공분산을 각각의 표준편차로 나눈 값으로 산출됨

$$r_{XY} = \frac{\frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{n-1}}{\sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}\sqrt{\frac{\sum (Y_i - \bar{Y})^2}{n-1}}}$$

- 피어슨 상관계수는 +1과 -1 사이의 값을 가지며 +1은 완벽한 양의 선형 상관 관계, 0은 선형 상관관계 없음, -1은 음의 선형 상관관계를 의미함

03 실증분석

실증분석 : 상관관계분석

한국ITS학회

데이터 분석(1)

- 분석결과 공유 전동킥보드의 통행거리에 유의한 영향을 미치는 사회경제지표 요인은 공통적으로 버스정류장 학교 평균연령-주거지역 3차산업 등으로 나타남
- (0~500)m, (500~1000)m 구간 모두 버스정류장 수와 학교용지의 변수가 공유전동킥보드 이용과 반비례 관계를 보이는 것으로 나타남
  - 이를통해 버스정류장 수와 학교용지의 면적이 많을 수록 공유전동 킥보드의 이동거리가 짧아짐을 예상할 수 있음
- (1000)m이상 구간에서는 평균연령이 서비스이용에 가장 큰 영향을 미치는 요인으로 평균연령과 공유전동킥보드 이용은 반비례 관계를 보임
  - 이를통해 평균연령이 높을 수록 공유전동 킥보드의 이동거리가 짧아짐을 예상할 수 있음

	(0~500)m		(500~1000)m		1000m 이상	
	출발지	도착지	출발지	도착지	출발지	도착지
사회경제지표	버스정류장	버스정류장	학교	학교	평균연령	평균연령
상관계수 / 유의확률	-0.073 / 0.000	-0.073 / 0.000	-0.089 / 0.000	-0.089 / 0.000	-0.130 / 0.000	-0.124 / 0.000
사회경제지표	학교	학교	버스	버스	버스정류장	버스정류장
상관계수 / 유의확률	-0.072 / 0.000	-0.072 / 0.000	-0.088 / 0.000	-0.087 / 0.000	-0.128 / 0.000	-0.127 / 0.000
사회경제지표	평균연령	평균연령	평균연령	평균연령	학교	학교
상관계수 / 유의확률	-0.071 / 0.000	-0.071 / 0.000	-0.088 / 0.000	-0.087 / 0.000	-0.128 / 0.000	-0.125 / 0.000
사회경제지표	주거지역	주거지역	3차산업	3차산업	주거지역	주거지역
상관계수 / 유의확률	-0.068 / 0.000	-0.067 / 0.000	-0.086 / 0.000	-0.077 / 0.000	-0.103 / 0.000	-0.089 / 0.000
사회경제지표	3차산업	3차산업	주거지역	주거지역	3차산업	3차산업
상관계수 / 유의확률	-0.065 / 0.000	-0.068 / 0.000	-0.080 / 0.000	-0.073 / 0.000	-0.072 / 0.000	-0.061 / 0.000

03 실증분석

실증분석 : 상관관계분석

한국ITS학회

데이터 분석(2)

- 분석결과 공유 전동킥보드의 시간대별 통행에 에 유의한 영향을 미치는 사회경제지표 요인은 공통적으로 버스정류장 학교 20대 30대 주거지역 상업지역 3차산업 등으로 나타남
  - 이를통해 첨두시간에는 학교와 버스정류장의 지표가 공유 전동킥보드 이용에 가장 높은 상관성을 보이고 있어, 첨두시간에는 등학교 통행 및 First and Last Mile 통행으로써 공유전동 킥보드가 이용되고 있는 것으로 예상됨
  - 비첨두시간에는 상업지역과 10대 인구수가 공유전동킥보드 이용에 높은 상관성을 보이고 있어 이를통해 비첨두시간에는 주로 여가통행을 위한 목적으로 공유전동킥보드가 이용되고 있은 것으로 예상됨

	첨두시간		비첨두시간	
	출발지	도착지	출발지	도착지
사회경제지표	학교	버스정류장	평균	평균
상관계수 / 유의확률	0.086 / 0.000	0.086 / 0.000	-0.123 / 0.000	-0.127 / 0.000
사회경제지표	20대 인구	학교	버스	버스
상관계수 / 유의확률	0.081 / 0.000	0.077 / 0.000	-0.121 / 0.000	-0.122 / 0.000
사회경제지표	버스정류장	주거지역	학교	학교
상관계수 / 유의확률	0.080 / 0.000	0.054 / 0.001	-0.121 / 0.000	-0.123 / 0.000
사회경제지표	주거지역	20대 인구	상업	상업
상관계수 / 유의확률	0.080 / 0.000	0.080 / 0.000	0.037 / 0.001	0.017 / 0.127
사회경제지표	3차산업	3차산업	10대	10대
상관계수 / 유의확률	0.089 / 0.000	0.047 / 0.047	0.034 / 0.002	0.043 / 0.000

04 결론

결론 및 한계점

한국ITS학회

01 결론

- 분석결과 서울시와 유사하게 세종시 역시 공유 전동킥보드의 이용에 영향을 미치는 요인으로는 버스정류장 학교 공군 연합-주거지역 3차산업 등으로 나타남
- 학교와 버스정류장이 많은 지역에서 공유 전동킥보드의 단거리 이동이 활발하여 공유전동킥보드가 FirstandLastMile을 연결하는 수단으로써 이용되고 있음을 확인할 수 있음
- 비혈투 시간에는 상업지역의 지표가 공유전동킥보드 이용에 유의한 변수로 FirstandLastMile을 연결하는 수단뿐만 아니라 여가통행을 위한 수단으로써 이용되고 있음
- 또한 내부통행이 주를 이루는 공유 전동킥보드의 특성상 출발지와 도착지에서 모두 유사한 사회경제지표의 특성을 보임

02 한계점 향후 연구 계획

- 구독한 데이터의 공유 전동킥보드 서비스 지역이 주로 세종시의 주거지역으로 한정되어 있어, 세종시의 전반적인 지역 특성을 반영하지 못한 한계점이 존재함
- 본 분석은 행정동 단위로 분석대상지역을 선정하였는데 추후 연구에서는 그리드 단위로 세분화하여 공유 전동킥보드의 이용에 영향을 미치는 요인을 파악하고자 함

Session B

ITS(III)

Session B-1

스마트크루즈컨트롤 기반 운전모드의 연료절감 효과에 대한 실증적 연구
김은진, 박기현, 고수빈, 홍정열, 황호현, 유수재, 전우빈

루프 기반 경로 최적화의 계산 가속화를 위한 선형화 방법
김창영, 김근우, 장인권

전기회로와 도로교통 간의 유사성을 활용한 루프 기반 최단 경로 탐색법의 후처리 방안
박상훈, 김근우, 장인권

IoT 기반 공기오염원 측정 센서를 이용한 차량 내부 공기질 개선 및 실시간 모니터링 시스템 설계
염지환, 원희찬, 한정우, 이건희, 이학승, 국중진

해외 ITS 사업 및 ITS 수출 지원을 위한 표준 요구사항 분석
최지은, 김민영, 주정은

한국ITS학회 2024년도 추계학술대회

스마트 크루즈 컨트롤 기반 운전모드의 연료절감 효과에 대한 실증적 연구

An Empirical Study on the Fuel-Saving Effects of Smart Cruise Control-Based Driving Modes

계명대학교 KEIMYUNG UNIVERSITY

TS 한국교통안전공단

Ⅰ. 연구의 개요

연구의 배경 및 목적

연구의 배경

수송부문 온실가스 감축을 위한 개인의 생활 실천 과제로서 운전 행태 개선을 유도하는 경제운전 활성화 필요

기존

- 2021년 기준, 한국의 온실가스 총 배출량은 약 6억 7천톤
- 우리나라는 전 세계 배출량의 약 1.7%를 차지하며 세계 10위권 내의 온실가스배출국
- 수송부문이 주요 원인 중 하나이며, 화물차, 버스 등과 같은 사업용 차량이 큰 비율 차지
- 무척일한 운전 습관은 불필요한 연료 소비를 초래 할 뿐만 아니라, 온실가스 배출량을 증가시킴

“온실가스 감축을 위한 대안 중 경제성, 실천 용이성 측면에서 우수한 '경제운전(Eco-Drive)주목'”

“수송부문 온실가스 감축을 위한 개인의 생활 실천 과제로서 운전 행태개선을 유도하는 경제운전 활성화 필요”

고도화

- 경제운전 시 차가용 뿐만 아니라 주행거리가 긴 사업용 차량의 경제적, 환경적 측면의 긍정적 효과 기대 가능

연구의 목적

스마트크루즈컨트롤 모드가 연료 소비와 배기가스 배출에 미치는 영향 분석
경제운전과의 상관성 파악 및 효과 평가

차량 연료 소비 감소 여부 분석

- 도로동급별, 주행속도별 스마트크루즈컨트롤 모드 실험으로 차량 연료 소비 데이터 수집
- 연료 소비량 도출 및 경제운전의 연료 절감 효과 여부 판단

배기가스 배출 감소 여부 분석

- 스마트크루즈컨트롤 모드를 통해 배기가스 배출 감소 여부 분석
- 차량 연비 효율의 변화를 영향력으로 파악하여 친환경 효과 검증

경제운전 배출과의 인식도 조사 및 경제 운전 행태으로 정착 유도

- 스마트크루즈컨트롤에 대한 인식도 설문조사 실시
- 스마트크루즈컨트롤 모드 사용 전후로 경제운전 효과 모니터링
- 급가속, 급감속, 급회전 등 운전 습관 개선 여부 분석과 경제운전 행동으로 정착 유도

1

Ⅱ. 연구의 추진방향

기존 문헌 고찰을 통해 경제운전에 영향을 주는 주요 요인 및 시사점 도출

경제 운전과 연비의 관계

Title	Author	Methodology	Summary
자동차 공회전 제한장치 부착 시 온실가스 저감 및 연비개선 효과	송윤우 (2015)	주행실험 (연료소모량 산출모형)	• PEMS(휴대용 배출가스 측정시스템)를 부착한 차량이 도로를 주행하여 연비 및 온실가스 배출량 수집 및 분석 • 주행 기록 데이터를 바탕으로 IDG(공회전 제한장치)를 부착한 후의 CO2 배출 및 연비 효율 예측 • 실험결과, 승용, 화물, 승합 차량 중 승용차에서의 효율이 가장 높은 것으로 확인 • 추가적으로 공회전 문헌 이니리 도로요인 및 환경요인과의 상관관계 일간
주행패턴의 상태 가속도에 따른 중소형 자동차의 온실가스 및 대기오염물질 배출 특성	이태우 (2010)	주행실험 (차대동력계를 이용한 배출가스 시험)	• 주행패턴 변화 및 가속도에 따른 자동차 온실가스 및 대기오염물질 배출의 경향적 상관관계 분석 • PEMS(휴대용 배출가스 측정시스템)를 부착한 차량이 총 4개의 주행패턴으로 실험 • 과속 주행의 경우, 등속 주행에 비해 19~56% 증가한 온실가스 배출 • 100km/h 주행시 가속도 0.1m/s^2 증가할 때 온실가스는 약 2배, 연료 소비량은 0.8L 증가함을 확인
Fuel consumptions and exhaust emissions induced by cooperative adaptive cruise control strategies	Yu, S (2015)	VT-Micro 모델	• 두 속도 차이 모델, 다중 속도 차이 모델 및 여러 선행 차량의 가속을 고려한 차량 추종 모델을 각각 선택하여 각 차량의 연료 소비, 일산화탄소(CO), 탄화수소(HC) 및 질소산화물(NOx) 배출을 조사하고 비교 분석을 수행 • 여러 선행 차량의 가속도를 고려한 차량 추종 모델을 함께 크루즈 컨트롤 모드로 사용하면 연비와 배기가스를 향상시킨다는 결과를 도출
Estimating Vehicle Fuel Consumption and Emissions based on Instantaneous Speed and Acceleration Levels	Ahn et al (2002)	실험주행, 회귀모형	• 차량, 도로, 운전자 요인 등을 고려하지 않는 기존 예측 모형 단점 개선 목적 • 차량 속도 및 가속도를 이용하여, 에너지 소비량 및 배기가스 배출량 도출 • 속도 및 가속도에 추가적으로 타 요인을 고려한 예측 모형 개발

2

Ⅱ. 연구의 추진방향

기존 문헌 고찰을 통해 경제운전에 영향을 주는 주요 요인 및 시사점 도출

공회전 및 가속도와 연비의 관계

Title	Author	Methodology	Summary
태크콘에서의 자동 및 도로 환경별 연료 절감 효과 분석에 관한 연구	김진혁 (2014)	주행실험 (회귀분석)	• 동일한 자동차 도로 구간을 이동하여 일반 주행 및 경제운전 간 연비 차이 분석 • 각 주행패턴의 평균 주행속도나 목적지까지의 통행시간은 비슷하지만, 연비 효율성에서 경제운전에 월등한 차이를 증명 • 추가적으로 도로 기하구조가 연비 변화에 직접적인 영향을 주는 요인임을 확인
고용운시가스 감축 정책의 효과분석 방법론 연구	이규진 (2017)	주행실험	• 경제운전(eco-drive)을 시행 했을 때, 온실가스 배출량의 감축 효과를 분석 • 경제운전을 통해 과속 주행을 줄이고, 공회전 방지하는 것으로 온실가스 배출을 감축 시킬 수 있음을 증명 • 차가운데 비해서 상대적으로 주행거리가 긴 사업용 차량에서 경제운전의 효과가 더 높은 것을 확인
Eco-driving technology for sustainable road transport : A review	Yuhan Huange (2018)	Numerical modelling	• 실제 도로주행 테스트 및 주행 시뮬레이션을 통해 일반 주행과 경제운전의 데이터 비교 분석 • 경제운전과 일반주행의 성능을 Numerical modelling을 이용하여 분석, 주행패턴에 따른 연료 소비와 탄소배출량 예측 • 추가적으로 운전자에게 제공하는 경제운전 교육 프로그램 정보 제공 • 경제 운전은 연비 효율성을 비약적으로 향상시킬 수 있는 가장 낮아도가 낮은 고지임을 증명
Eco-driving effects depending on the travelled road. Correlation between fuel consumption parameters	Coloma et al. (2018)	실험주행, 요인분석 및 회귀분석	• 도로유형, 서비스수준별 연료소비와 경제운전의 효과분석 • 연료소비와 설명변수로 도로의 특성요인을 고려하여 경제운전 효과를 분석 • 경제운전시 최대 속도가 감소할때 차이 평균 rpm의 저하로 인한 연비 효율의 증가를 확인 • 경제운전을 통한 급가속, 급감속의 제한으로 운전자의 판단할 추가적으로 기대

3

Ⅱ. 연구의 추진방향

기존 문헌 고찰을 통해 경제운전에 영향을 주는 주요 요인 및 시사점 도출

경제운전 효과분석 선행연구 현황

- 일반주행 및 경제운전의 주행 데이터를 통해 연료 소모량 비교 분석
- 경제운전의 연료 효율성을 증가시키는 가장 간단한 방법임을 증명
- 평균 rpm, 주행패턴, 서비스수준, 도로 종량 등의 다양한 요인을 추가적으로 고려하여 데이터 수집

“도로조건, 차량조건 외 교통조건(용량, 혼잡도,차종구성비 등)에 대한 다양한 비교 연구 미흡”

추가적인 고찰과 연비와 상관관계 선행연구 현황

- 속도 및 가속도를 이용하여 연비에 대한 분석 진행
- 가속도가 줄수록 관실가스 배출량 증가 및 연비 효율성 감소를 파형주행 테스트 등을 통하여 증명
- 이외에 공회전 감소에 의해하여 연비의 효율성이 증가하는 것을 입증

“스마트크루즈컨트롤 모드와 경제운전의 상관관계에 대한 국내외 연구 미흡”

→ 시사점

→ SCC / 경제운전을 시행하여 얻는 정성적 정량적 효과 도출 필요

- 정성적(설문조사), 정량적(실험 및 데이터분석) 효과 분석 시행
- 수집된 데이터 등 빅데이터를 활용한 분석 방법론 제시
- 경제운전 효과평가 지표 등 개발

→ 스마트 크루즈 컨트롤에 대한 효과분석 연구 진행

- 다양한 시나리오별 분석을 통해 SCC 효과분석 측정
- 스마트 크루즈 컨트롤 모드 운전이 경제운전에 미치는 효과를 통계적으로 분석 및 검증

4

Ⅱ. 연구의 추진방향

스마트크루즈컨트롤 모드 인식도 조사

→ 스마트크루즈컨트롤 모드 인식에 관한 설문조사 설계

스마트크루즈컨트롤 사용 여부와 인식을 조사할 수 있는 설문항목

- 스마트크루즈컨트롤 모드의 주요 기능에 대한 설문항목 제시
- 스마트크루즈컨트롤 모드의 장점에 대한 설문항목 제시
- 스마트크루즈컨트롤 모드를 주로 사용하는 상황에 대한 설문항목 제시
- 스마트크루즈컨트롤 모드를 사용했을 때, 연비와의 관계에 대한 설문항목 제시

스마트크루즈컨트롤 모드 재탑교육 인식을 조사할 수 있는 설문항목

- 스마트크루즈컨트롤 모드에 대한 이론교육 및 재탑교육 인식도에 대한 설문항목 제시

“스마트 크루즈 컨트롤 모드에 대한 운전자의 인식, 사용 패턴, 교육 필요성 등을 파악하여 기능 활용도를 높이고 연비 개선 및 안전 운전을 촉진할 전략 도출가능”

5

Ⅲ. 데이터 수집 및 기초분석

실험 주행 구간 선정 및 주행 시나리오 설정

실험 주행 구간

Step 1.

실험 주행 구간 선정 : 대구외곽순환선, 25번 국도

대구외곽순환도로 조사 구간

25번 국도 조사 구간

주행 시나리오 설정

Step 2.

차종별 분류

- 현대, 아반떼, 가솔린 (1600cc)
- 기아, k7, 가솔린 (2500cc)
- BMW, X7, 가솔린 (3000cc)

✓ 차량 배기량 및 연료별 고려 후 선정

Step 3.

실험 주행 시나리오

- 실험 1. 대구외곽순환선 60km/h, 80km/h 주행
- 실험 2. 25번 국도 75km/h 주행

✓ 실험 1과 실험 2를 일반주행과 스마트 크루즈 컨트롤 2가지 주행모드로 실험

✓ 차종별 계절적으로 실험 주행 실시

6

Ⅳ. 데이터 가공 및 방법론

실험 주행 데이터 구축

Step 1. 실험주행을 통한 주행 데이터 수집

- INFOCAR 차량스캐너를 이용하여 주행 실험 데이터 추출
- 수집 되는 데이터 중 '평균 RPM', '최고 RPM', '연비', '연료 소모량', '사용 유류비' 를 핵심 데이터로 선정

Step 2. 주행 시나리오별 데이터 프레임 설정 및 분류

(소형차 대구외곽선 주행 예시자료)

(소형차 25번 국도 주행 예시자료)

7

Ⅳ. 데이터 가공 및 방법론

실험 주행 데이터 분석

Step 3. 실험 주행 데이터를 통한 T-검정

독립표본 t-검정(일반주행 vs 스마트 크루즈 컨트롤)에 대한 T-검정

$$T = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$$

- 신뢰수준 95%
- H0 : 일반 주행과 스마트 크루즈 컨트롤 간 평균의 차이는 없다
  H1 : 일반 주행과 스마트 크루즈 컨트롤 간 평균의 차이는 있지 않다
- $\bar{x}_1$ = 일반주행의 연비의 평균
- $\bar{x}_2$ = 스마트 크루즈 컨트롤 사용 시 연비의 평균
- s_1 = 일반주행 표본의 분산
- s_2 = 스마트 크루즈 컨트롤 표본의 분산
- n_1 = 일반주행 표본의 수
- n_2 = 스마트 크루즈 컨트롤 표본의 수

	A	B
1	[illegible]	[illegible]
2	[illegible]	[illegible]
3	[illegible]	[illegible]
4	[illegible]	[illegible]
5	[illegible]	[illegible]
6	[illegible]	[illegible]
7	[illegible]	[illegible]
8	[illegible]	[illegible]
9	[illegible]	[illegible]
10	[illegible]	[illegible]
11	[illegible]	[illegible]
12	[illegible]	[illegible]
13	[illegible]	[illegible]
14	[illegible]	[illegible]
15	[illegible]	[illegible]
16	[illegible]	[illegible]
17	[illegible]	[illegible]
18	[illegible]	[illegible]
19	[illegible]	[illegible]
20	[illegible]	[illegible]
21	[illegible]	[illegible]
22	[illegible]	[illegible]
23	[illegible]	[illegible]
24	[illegible]	[illegible]
25	[illegible]	[illegible]
26	[illegible]	[illegible]
27	[illegible]	[illegible]
28	[illegible]	[illegible]
29	[illegible]	[illegible]
30	[illegible]	[illegible]
31	[illegible]	[illegible]
32	[illegible]	[illegible]
33	[illegible]	[illegible]
34	[illegible]	[illegible]
35	[illegible]	[illegible]
36	[illegible]	[illegible]
37	[illegible]	[illegible]
38	[illegible]	[illegible]
39	[illegible]	[illegible]
40	[illegible]	[illegible]
41	[illegible]	[illegible]
42	[illegible]	[illegible]
43	[illegible]	[illegible]
44	[illegible]	[illegible]
45	[illegible]	[illegible]
46	[illegible]	[illegible]
47	[illegible]	[illegible]
48	[illegible]	[illegible]
49	[illegible]	[illegible]
50	[illegible]	[illegible]
51	[illegible]	[illegible]
52	[illegible]	[illegible]
53	[illegible]	[illegible]
54	[illegible]	[illegible]
55	[illegible]	[illegible]
56	[illegible]	[illegible]
57	[illegible]	[illegible]
58	[illegible]	[illegible]
59	[illegible]	[illegible]
60	[illegible]	[illegible]
61	[illegible]	[illegible]
62	[illegible]	[illegible]
63	[illegible]	[illegible]
64	[illegible]	[illegible]
65	[illegible]	[illegible]
66	[illegible]	[illegible]
67	[illegible]	[illegible]
68	[illegible]	[illegible]
69	[illegible]	[illegible]
70	[illegible]	[illegible]
71	[illegible]	[illegible]
72	[illegible]	[illegible]
73	[illegible]	[illegible]
74	[illegible]	[illegible]
75	[illegible]	[illegible]
76	[illegible]	[illegible]
77	[illegible]	[illegible]
78	[illegible]	[illegible]
79	[illegible]	[illegible]
80	[illegible]	[illegible]
81	[illegible]	[illegible]
82	[illegible]	[illegible]
83	[illegible]	[illegible]
84	[illegible]	[illegible]
85	[illegible]	[illegible]
86	[illegible]	[illegible]
87	[illegible]	[illegible]
88	[illegible]	[illegible]
89	[illegible]	[illegible]
90	[illegible]	[illegible]
91	[illegible]	[illegible]
92	[illegible]	[illegible]
93	[illegible]	[illegible]
94	[illegible]	[illegible]
95	[illegible]	[illegible]
96	[illegible]	[illegible]
97	[illegible]	[illegible]
98	[illegible]	[illegible]
99	[illegible]	[illegible]
100	[illegible]	[illegible]
101	[illegible]	[illegible]
102	[illegible]	[illegible]
103	[illegible]	[illegible]
104	[illegible]	[illegible]
105	[illegible]	[illegible]
106	[illegible]	[illegible]
107	[illegible]	[illegible]
108	[illegible]	[illegible]
109	[illegible]	[illegible]
110	[illegible]	[illegible]
111	[illegible]	[illegible]
112	[illegible]	[illegible]
113	[illegible]	[illegible]
114	[illegible]	[illegible]
115	[illegible]	[illegible]
116	[illegible]	[illegible]
117	[illegible]	[illegible]
118	[illegible]	[illegible]
119	[illegible]	[illegible]
120	[illegible]	[illegible]
121	[illegible]	[illegible]
122	[illegible]	[illegible]
123	[illegible]	[illegible]
124	[illegible]	[illegible]
125	[illegible]	[illegible]
126	[illegible]	[illegible]
127	[illegible]	[illegible]
128	[illegible]	[illegible]
129	[illegible]	[illegible]
130	[illegible]	[illegible]
131	[illegible]	[illegible]
132	[illegible]	[illegible]
133	[illegible]	[illegible]
134	[illegible]	[illegible]
135	[illegible]	[illegible]
136	[illegible]	[illegible]
137	[illegible]	[illegible]
138	[illegible]	[illegible]
139	[illegible]	[illegible]
140	[illegible]	[illegible]
141	[illegible]	[illegible]
142	[illegible]	[illegible]
143	[illegible]	[illegible]
144	[illegible]	[illegible]
145	[illegible]	[illegible]
146	[illegible]	[illegible]
147	[illegible]	[illegible]
148	[illegible]	[illegible]
149	[illegible]	[illegible]
150	[illegible]	[illegible]
151	[illegible]	[illegible]
152	[illegible]	[illegible]
153	[illegible]	[illegible]
154	[illegible]	[illegible]
155	[illegible]	[illegible]
156	[illegible]	[illegible]
157	[illegible]	[illegible]
158	[illegible]	[illegible]
159	[illegible]	[illegible]
160	[illegible]	[illegible]
161	[illegible]	[illegible]
162	[illegible]	[illegible]
163	[illegible]	[illegible]
164	[illegible]	[illegible]
165	[illegible]	[illegible]
166	[illegible]	[illegible]
167	[illegible]	[illegible]
168	[illegible]	[illegible]
169	[illegible]	[illegible]
170	[illegible]	[illegible]
171	[illegible]	[illegible]
172	[illegible]	[illegible]
173	[illegible]	[illegible]
174	[illegible]	[illegible]
175	[illegible]	[illegible]
176	[illegible]	[illegible]
177	[illegible]	[illegible]
178	[illegible]	[illegible]
179	[illegible]	[illegible]
180	[illegible]	[illegible]
181	[illegible]	[illegible]
182	[illegible]	[illegible]
183	[illegible]	[illegible]
184	[illegible]	[illegible]
185	[illegible]	[illegible]
186	[illegible]	[illegible]
187	[illegible]	[illegible]
188	[illegible]	[illegible]
189	[illegible]	[illegible]
190	[illegible]	[illegible]
191	[illegible]	[illegible]
192	[illegible]	[illegible]
193	[illegible]	[illegible]
194	[illegible]	[illegible]
195	[illegible]	[illegible]
196	[illegible]	[illegible]
197	[illegible]	[illegible]
198	[illegible]	[illegible]
199	[illegible]	[illegible]
200	[illegible]	[illegible]
201	[illegible]	[illegible]
202	[illegible]	[illegible]
203	[illegible]	[illegible]
204	[illegible]	[illegible]
205	[illegible]	[illegible]
206	[illegible]	[illegible]
207	[illegible]	[illegible]
208	[illegible]	[illegible]
209	[illegible]	[illegible]
210	[illegible]	[illegible]
211	[illegible]	[illegible]
212	[illegible]	[illegible]
213	[illegible]	[illegible]
214	[illegible]	[illegible]
215	[illegible]	[illegible]
216	[illegible]	[illegible]
217	[illegible]	[illegible]
218	[illegible]	[illegible]
219	[illegible]	[illegible]
220	[illegible]	[illegible]
221	[illegible]	[illegible]
222	[illegible]	[illegible]
223	[illegible]	[illegible]
224	[illegible]	[illegible]
225	[illegible]	[illegible]
226	[illegible]	[illegible]
227	[illegible]	[illegible]
228	[illegible]	[illegible]
229	[illegible]	[illegible]
230	[illegible]	[illegible]
231	[illegible]	[illegible]
232	[illegible]	[illegible]
233	[illegible]	[illegible]
234	[illegible]	[illegible]
235	[illegible]	[illegible]
236	[illegible]	[illegible]
237	[illegible]	[illegible]
238	[illegible]	[illegible]
239	[illegible]	[illegible]
240	[illegible]	[illegible]
241	[illegible]	[illegible]
242	[illegible]	[illegible]
243	[illegible]	[illegible]
244	[illegible]	[illegible]
245	[illegible]	[illegible]
246	[illegible]	[illegible]
247	[illegible]	[illegible]
248	[illegible]	[illegible]
249	[illegible]	[illegible]
250	[illegible]	[illegible]
251	[illegible]	[illegible]
252	[illegible]	[illegible]
253	[illegible]	[illegible]
254	[illegible]	[illegible]
255	[illegible]	[illegible]
256	[illegible]	[illegible]
257	[illegible]	[illegible]
258	[illegible]	[illegible]
259	[illegible]	[illegible]
260	[illegible]	[illegible]
261	[illegible]	[illegible]
262	[illegible]	[illegible]
263	[illegible]	[illegible]
264	[illegible]	[illegible]
265	[illegible]	[illegible]
266	[illegible]	[illegible]
267	[illegible]	[illegible]
268	[illegible]	[illegible]
269	[illegible]	[illegible]
270	[illegible]	[illegible]
271	[illegible]	[illegible]
272	[illegible]	[illegible]
273	[illegible]	[illegible]
274	[illegible]	[illegible]
275	[illegible]	[illegible]
276	[illegible]	[illegible]
277	[illegible]	[illegible]
278	[illegible]	[illegible]
279	[illegible]	[illegible]
280	[illegible]	[illegible]
281	[illegible]	[illegible]
282	[illegible]	[illegible]
283	[illegible]	[illegible]
284	[illegible]	[illegible]
285	[illegible]	[illegible]
286	[illegible]	[illegible]
287	[illegible]	[illegible]
288	[illegible]	[illegible]
289	[illegible]	[illegible]
290	[illegible]	[illegible]
291	[illegible]	[illegible]
292	[illegible]	[illegible]
293	[illegible]	[illegible]
294	[illegible]	[illegible]
295	[illegible]	[illegible]
296	[illegible]	[illegible]
297	[illegible]	[illegible]
298	[illegible]	[illegible]
299	[illegible]	[illegible]
300	[illegible]	[illegible]
301	[illegible]	[illegible]
302	[illegible]	[illegible]
303	[illegible]	[illegible]
304	[illegible]	[illegible]
305	[illegible]	[illegible]
306	[illegible]	[illegible]
307	[illegible]	[illegible]
308	[illegible]	[illegible]
309	[illegible]	[illegible]
310	[illegible]	[illegible]
311	[illegible]	[illegible]
312	[illegible]	[illegible]
313	[illegible]	[illegible]
314	[illegible]	[illegible]
315	[illegible]	[illegible]
316	[illegible]	[illegible]
317	[illegible]	[illegible]
318	[illegible]	[illegible]
319	[illegible]	[illegible]
320	[illegible]	[illegible]
321	[illegible]	[illegible]
322	[illegible]	[illegible]
323	[illegible]	[illegible]
324	[illegible]	[illegible]
325	[illegible]	[illegible]
326	[illegible]	[illegible]
327	[illegible]	[illegible]
328	[illegible]	[illegible]
329	[illegible]	[illegible]
330	[illegible]	[illegible]
331	[illegible]	[illegible]
332	[illegible]	[illegible]
333	[illegible]	[illegible]
334	[illegible]	[illegible]
335	[illegible]	[illegible]
336	[illegible]	[illegible]
337	[illegible]	[illegible]
338	[illegible]	[illegible]
339	[illegible]	[illegible]
340	[illegible]	[illegible]
341	[illegible]	[illegible]
342	[illegible]	[illegible]
343	[illegible]	[illegible]
344	[illegible]	[illegible]
345	[illegible]	[illegible]
346	[illegible]	[illegible]
347	[illegible]	[illegible]
348	[illegible]	[illegible]
349	[illegible]	[illegible]
350	[illegible]	[illegible]
351	[illegible]	[illegible]
352	[illegible]	[illegible]
353	[illegible]	[illegible]
354	[illegible]	[illegible]
355	[illegible]	[illegible]
356	[illegible]	[illegible]
357	[illegible]	[illegible]
358	[illegible]	[illegible]
359	[illegible]	[illegible]
360	[illegible]	[illegible]
361	[illegible]	[illegible]
362	[illegible]	[illegible]
363	[illegible]	[illegible]
364	[illegible]	[illegible]
365	[illegible]	[illegible]
366	[illegible]	[illegible]
367	[illegible]	[illegible]
368	[illegible]	[illegible]
369	[illegible]	[illegible]
370	[illegible]	[illegible]
371	[illegible]	[illegible]
372	[illegible]	[illegible]
373	[illegible]	[illegible]
374	[illegible]	[illegible]
375	[illegible]	[illegible]
376	[illegible]	[illegible]
377	[illegible]	[illegible]
378	[illegible]	[illegible]
379	[illegible]	[illegible]
380	[illegible]	[illegible]
381	[illegible]	[illegible]
382	[illegible]	[illegible]
383	[illegible]	[illegible]
384	[illegible]	[illegible]
385	[illegible]	[illegible]
386	[illegible]	[illegible]
387	[illegible]	[illegible]
388	[illegible]	[illegible]
389	[illegible]	[illegible]
390	[illegible]	[illegible]
391	[illegible]	[illegible]
392	[illegible]	[illegible]
393	[illegible]	[illegible]
394	[illegible]	[illegible]
395	[illegible]	[illegible]
396	[illegible]	[illegible]
397	[illegible]	[illegible]
398	[illegible]	[illegible]
399	[illegible]	[illegible]
400	[illegible]	[illegible]
401	[illegible]	[illegible]
402	[illegible]	[illegible]
403	[illegible]	[illegible]
404	[illegible]	[illegible]
405	[illegible]	[illegible]
406	[illegible]	[illegible]
407	[illegible]	[illegible]
408	[illegible]	[illegible]
409	[illegible]	[illegible]
410	[illegible]	[illegible]
411	[illegible]	[illegible]
412	[illegible]	[illegible]
413	[illegible]	[illegible]
414	[illegible]	[illegible]
415	[illegible]	[illegible]
416	[illegible]	[illegible]
417	[illegible]	[illegible]
418	[illegible]	[illegible]
419	[illegible]	[illegible]
420	[illegible]	[illegible]
421	[illegible]	[illegible]
422	[illegible]	[illegible]
423	[illegible]	[illegible]
424	[illegible]	[illegible]
425	[illegible]	[illegible]
426	[illegible]	[illegible]
427	[illegible]	[illegible]
428	[illegible]	[illegible]
429	[illegible]	[illegible]
430	[illegible]	[illegible]
431	[illegible]	[illegible]
432	[illegible]	[illegible]
433	[illegible]	[illegible]
434	[illegible]	[illegible]
435	[illegible]	[illegible]
436	[illegible]	[illegible]
437	[illegible]	[illegible]
438	[illegible]	[illegible]
439	[illegible]	[illegible]
440	[illegible]	[illegible]
441	[illegible]	[illegible]
442	[illegible]	[illegible]
443	[illegible]	[illegible]
444	[illegible]	[illegible]
445	[illegible]	[illegible]
446	[illegible]	[illegible]
447	[illegible]	[illegible]
448	[illegible]	[illegible]
449	[illegible]	[illegible]
450	[illegible]	[illegible]
451	[illegible]	[illegible]
452	[illegible]	[illegible]
453	[illegible]	[illegible]
454	[illegible]	[illegible]
455	[illegible]	[illegible]
456	[illegible]	[illegible]
457	[illegible]	[illegible]
458	[illegible]	[illegible]
459	[illegible]	[illegible]
460	[illegible]	[illegible]
461	[illegible]	[illegible]
462	[illegible]	[illegible]
463	[illegible]	[illegible]
464	[illegible]	[illegible]
465	[illegible]	[illegible]
466	[illegible]	[illegible]
467	[illegible]	[illegible]
468	[illegible]	[illegible]
469	[illegible]	[illegible]
470	[illegible]	[illegible]
471	[illegible]	[illegible]
472	[illegible]	[illegible]
473	[illegible]	[illegible]
474	[illegible]	[illegible]
475	[illegible]	[illegible]
476	[illegible]	[illegible]
477	[illegible]	[illegible]
478	[illegible]	[illegible]
479	[illegible]	[illegible]
480	[illegible]	[illegible]
481	[illegible]	[illegible]
482	[illegible]	[illegible]
483	[illegible]	[illegible]
484	[illegible]	[illegible]
485	[illegible]	[illegible]
486	[illegible]	[illegible]
487	[illegible]	[illegible]
488	[illegible]	[illegible]
489	[illegible]	[illegible]
490	[illegible]	[illegible]
491	[illegible]	[illegible]
492	[illegible]	[illegible]
493	[illegible]	[illegible]
494	[illegible]	[illegible]
495	[illegible]	[illegible]
496	[illegible]	[illegible]
497	[illegible]	[illegible]
498	[illegible]	[illegible]
499	[illegible]	[illegible]
500	[illegible]	[illegible]
501	[illegible]	[illegible]
502	[illegible]	[illegible]
503	[illegible]	[illegible]
504	[illegible]	[illegible]
505	[illegible]	[illegible]
506	[illegible]	[illegible]
507	[illegible]	[illegible]
508	[illegible]	[illegible]
509	[illegible]	[illegible]
510	[illegible]	[illegible]
511	[illegible]	[illegible]
512	[illegible]	[illegible]
513	[illegible]	[illegible]
514	[illegible]	[illegible]
515	[illegible]	[illegible]
516	[illegible]	[illegible]
517	[illegible]	[illegible]
518	[illegible]	[illegible]
519	[illegible]	[illegible]
520	[illegible]	[illegible]
521	[illegible]	[illegible]
522	[illegible]	[illegible]
523	[illegible]	[illegible]
524	[illegible]	[illegible]
525	[illegible]	[illegible]
526	[illegible]	[illegible]
527	[illegible]	[illegible]
528	[illegible]	[illegible]
529	[illegible]	[illegible]
530	[illegible]	[illegible]
531	[illegible]	[illegible]
532	[illegible]	[illegible]
533	[illegible]	[illegible]
534	[illegible]	[illegible]
535	[illegible]	[illegible]
536	[illegible]	[illegible]
537	[illegible]	[illegible]
538	[illegible]	[illegible]
539	[illegible]	[illegible]
540	[illegible]	[illegible]
541	[illegible]	[illegible]
542	[illegible]	[illegible]
543	[illegible]	[illegible]
544	[illegible]	[illegible]
545	[illegible]	[illegible]
546	[illegible]	[illegible]
547	[illegible]	[illegible]
548	[illegible]	[illegible]
549	[illegible]	[illegible]
550	[illegible]	[illegible]
551	[illegible]	[illegible]
552	[illegible]	[illegible]
553	[illegible]	[illegible]
554	[illegible]	[illegible]
555	[illegible]	[illegible]
556	[illegible]	[illegible]
557	[illegible]	[illegible]
558	[illegible]	[illegible]
559	[illegible]	[illegible]
560	[illegible]	[illegible]
561	[illegible]	[illegible]
562	[illegible]	[illegible]
563	[illegible]	[illegible]
564	[illegible]	[illegible]
565	[illegible]	[illegible]
566	[illegible]	[illegible]
567	[illegible]	[illegible]
568	[illegible]	[illegible]
569	[illegible]	[illegible]
570	[illegible]	[illegible]
571	[illegible]	[illegible]
572	[illegible]	[illegible]
573	[illegible]	[illegible]
574	[illegible]	[illegible]
575	[illegible]	[illegible]
576	[illegible]	[illegible]
577	[illegible]	[illegible]
578	[illegible]	[illegible]
579	[illegible]	[illegible]
580	[illegible]	[illegible]
581	[illegible]	[illegible]
582	[illegible]	[illegible]
583	[illegible]	[illegible]
584	[illegible]	[illegible]
585	[illegible]	[illegible]
586	[illegible]	[illegible]
587	[illegible]	[illegible]
588	[illegible]	[illegible]
589	[illegible]	[illegible]
590	[illegible]	[illegible]
591	[illegible]	[illegible]
592	[illegible]	[illegible]
593	[illegible]	[illegible]
594	[illegible]	[illegible]
595	[illegible]	[illegible]
596	[illegible]	[illegible]
597	[illegible]	[illegible]
598	[illegible]	[illegible]
599	[illegible]	[illegible]
600	[illegible]	[illegible]
601	[illegible]	[illegible]
602	[illegible]	[illegible]
603	[illegible]	[illegible]
604	[illegible]	[illegible]
605	[illegible]	[illegible]
606	[illegible]	[illegible]
607	[illegible]	[illegible]
608	[illegible]	[illegible]
609	[illegible]	[illegible]
610	[illegible]	[illegible]
611	[illegible]	[illegible]
612	[illegible]	[illegible]
613	[illegible]	[illegible]
614	[illegible]	[illegible]
615	[illegible]	[illegible]
616	[illegible]	[illegible]
617	[illegible]	[illegible]
618	[illegible]	[illegible]
619	[illegible]	[illegible]
620	[illegible]	[illegible]
621	[illegible]	[illegible]
622	[illegible]	[illegible]
623	[illegible]	[illegible]
624	[illegible]	[illegible]
625	[illegible]	[illegible]
626	[illegible]	[illegible]
627	[illegible]	[illegible]
628	[illegible]	[illegible]
629	[illegible]	[illegible]
630	[illegible]	[illegible]
631	[illegible]	[illegible]
632	[illegible]	[illegible]
633	[illegible]	[illegible]
634	[illegible]	[illegible]
635	[illegible]	[illegible]
636	[illegible]	[illegible]
637	[illegible]	[illegible]
638	[illegible]	[illegible]
639	[illegible]	[illegible]
640	[illegible]	[illegible]
641	[illegible]	[illegible]
642	[illegible]	[illegible]
643	[illegible]	[illegible]
644	[illegible]	[illegible]
645	[illegible]	[illegible]
646	[illegible]	[illegible]
647	[illegible]	[illegible]
648	[illegible]	[illegible]
649	[illegible]	[illegible]
650	[illegible]	[illegible]
651	[illegible]	[illegible]
652	[illegible]	[illegible]
653	[illegible]	[illegible]
654	[illegible]	[illegible]
655	[illegible]	[illegible]
656	[illegible]	[illegible]
657	[illegible]	[illegible]
658	[illegible]	[illegible]
659	[illegible]	[illegible]
660	[illegible]	[illegible]
661	[illegible]	[illegible]
662	[illegible]	[illegible]
663	[illegible]	[illegible]
664	[illegible]	[illegible]
665	[illegible]	[illegible]
666	[illegible]	[illegible]
667	[illegible]	[illegible]
668	[illegible]	[illegible]
669	[illegible]	[illegible]
670	[illegible]	[illegible]
671	[illegible]	[illegible]
672	[illegible]	[illegible]
673	[illegible]	[illegible]
674	[illegible]	[illegible]
675	[illegible]	[illegible]
676	[illegible]	[illegible]
677	[illegible]	[illegible]
678	[illegible]	[illegible]
679	[illegible]	[illegible]
680	[illegible]	[illegible]
681	[illegible]	[illegible]
682	[illegible]	[illegible]
683	[illegible]	[illegible]
684	[illegible]	[illegible]
685	[illegible]	[illegible]
686	[illegible]	[illegible]
687	[illegible]	[illegible]
688	[illegible]	[illegible]
689	[illegible]	[illegible]
690	[illegible]	[illegible]
691	[illegible]	[illegible]
692	[illegible]	[illegible]
693	[illegible]	[illegible]
694	[illegible]	[illegible]
695	[illegible]	[illegible]
696	[illegible]	[illegible]
697	[illegible]	[illegible]
698	[illegible]	[illegible]
699	[illegible]	[illegible]
700	[illegible]	[illegible]
701	[illegible]	[illegible]
702	[illegible]	[illegible]
703	[illegible]	[illegible]
704	[illegible]	[illegible]
705	[illegible]	[illegible]
706	[illegible]	[illegible]
707	[illegible]	[illegible]
708	[illegible]	[illegible]
709	[illegible]	[illegible]
710	[illegible]	[illegible]
711	[illegible]	[illegible]
712	[illegible]	[illegible]
713	[illegible]	[illegible]
714	[illegible]	[illegible]
715	[illegible]	[illegible]
716	[illegible]	[illegible]
717	[illegible]	[illegible]
718	[illegible]	[illegible]
719	[illegible]	[illegible]
720	[illegible]	[illegible]
721	[illegible]	[illegible]
722	[illegible]	[illegible]
723	[illegible]	[illegible]
724	[illegible]	[illegible]
725	[illegible]	[illegible]
726	[illegible]	[illegible]
727	[illegible]	[illegible]
728	[illegible]	[illegible]
729	[illegible]	[illegible]
730	[illegible]	[illegible]
731	[illegible]	[illegible]
732	[illegible]	[illegible]
733	[illegible]	[illegible]
734	[illegible]	[illegible]
735	[illegible]	[illegible]
736	[illegible]	[illegible]
737	[illegible]	[illegible]
738	[illegible]	[illegible]
739	[illegible]	[illegible]
740	[illegible]	[illegible]
741	[illegible]	[illegible]
742	[illegible]	[illegible]
743	[illegible]	[illegible]
744	[illegible]	[illegible]
745	[illegible]	[illegible]
746	[illegible]	[illegible]
747	[illegible]	[illegible]
748	[illegible]	[illegible]
749	[illegible]	[illegible]
750	[illegible]	[illegible]
751	[illegible]	[illegible]
752	[illegible]	[illegible]
753	[illegible]	[illegible]
754	[illegible]	[illegible]
755	[illegible]	[illegible]
756	[illegible]	[illegible]
757	[illegible]	[illegible]
758	[illegible]	[illegible]
759	[illegible]	[illegible]
760	[illegible]	[illegible]
761	[illegible]	[illegible]
762	[illegible]	[illegible]
763	[illegible]	[illegible]
764	[illegible]	[illegible]
765	[illegible]	[illegible]
766	[illegible]	[illegible]
767	[illegible]	[illegible]
768	[illegible]	[illegible]
769	[illegible]	[illegible]
770	[illegible]	[illegible]
771	[illegible]	[illegible]
772	[illegible]	[illegible]
773	[illegible]	[illegible]
774	[illegible]	[illegible]
775	[illegible]	[illegible]
776	[illegible]	[illegible]
777	[illegible]	[illegible]
778	[illegible]	[illegible]
779	[illegible]	[illegible]
780	[illegible]	[illegible]
781	[illegible]	[illegible]
782	[illegible]	[illegible]
783	[illegible]	[illegible]
784	[illegible]	[illegible]
785	[illegible]	[illegible]
786	[illegible]	[illegible]
787	[illegible]	[illegible]
788	[illegible]	[illegible]
789	[illegible]	[illegible]
790	[illegible]	[illegible]
791	[illegible]	[illegible]
792	[illegible]	[illegible]
793	[illegible]	[illegible]
794	[illegible]	[illegible]
795	[illegible]	[illegible]
796	[illegible]	[illegible]
797	[illegible]	[illegible]
798	[illegible]	[illegible]
799	[illegible]	[illegible]
800	[illegible]	[illegible]
801	[illegible]	[illegible]
802	[illegible]	[illegible]
803	[illegible]	[illegible]
804	[illegible]	[illegible]
805	[illegible]	[illegible]
806	[illegible]	[illegible]
807	[illegible]	[illegible]
808	[illegible]	[illegible]
809	[illegible]	[illegible]
810	[illegible]	[illegible]
811	[illegible]	[illegible]
812	[illegible]	[illegible]
813	[illegible]	[illegible]
814	[illegible]	[illegible]
815	[illegible]	[illegible]
816	[illegible]	[illegible]
817	[illegible]	[illegible]
818	[illegible]	[illegible]
819	[illegible]	[illegible]
820	[illegible]	[illegible]
821	[illegible]	[illegible]
822	[illegible]	[illegible]
823	[illegible]	[illegible]
824	[illegible]	[illegible]
825	[illegible]	[illegible]
826	[illegible]	[illegible]
827	[illegible]	[illegible]
828	[illegible]	[illegible]
829	[illegible]	[illegible]
830	[illegible]	[illegible]
831	[illegible]	[illegible]
832	[illegible]	[illegible]
833	[illegible]	[illegible]
834	[illegible]	[illegible]
835	[illegible]	[illegible]
836	[illegible]	[illegible]
837	[illegible]	[illegible]
838	[illegible]	[illegible]
839	[illegible]	[illegible]
840	[illegible]	[illegible]
841	[illegible]	[illegible]
842	[illegible]	[illegible]
843	[illegible]	[illegible]
844	[illegible]	[illegible]
845	[illegible]	[illegible]
846	[illegible]	[illegible]
847	[illegible]	[illegible]
848	[illegible]	[illegible]
849	[illegible]	[illegible]
850	[illegible]	[illegible]
851	[illegible]	[illegible]
852	[illegible]	[illegible]
853	[illegible]	[illegible]
854	[illegible]	[illegible]
855	[illegible]	[illegible]
856	[illegible]	[illegible]
857	[illegible]	[illegible]
858	[illegible]	[illegible]
859	[illegible]	[illegible]
860	[illegible]	[illegible]
861	[illegible]	[illegible]
862	[illegible]	[illegible]
863	[illegible]	[illegible]
864	[illegible]	[illegible]
865	[illegible]	[illegible]
866	[illegible]	[illegible]
867	[illegible]	[illegible]
868	[illegible]	[illegible]
869	[illegible]	[illegible]
870	[illegible]	[illegible]
871	[illegible]	[illegible]
872	[illegible]	[illegible]
873	[illegible]	[illegible]
874	[illegible]	[illegible]
875	[illegible]	[illegible]
876	[illegible]	[illegible]
877	[illegible]	[illegible]
878	[illegible]	[illegible]
879	[illegible]	[illegible]
880	[illegible]	[illegible]
881	[illegible]	[illegible]
882	[illegible]	[illegible]
883	[illegible]	[illegible]
884	[illegible]	[illegible]
885	[illegible]	[illegible]
886	[illegible]	[illegible]
887	[illegible]	[illegible]
888	[illegible]	[illegible]
889	[illegible]	[illegible]
890	[illegible]	[illegible]
891	[illegible]	[illegible]
892	[illegible]	[illegible]
893	[illegible]	[illegible]
894	[illegible]	[illegible]
895	[illegible]	[illegible]
896	[illegible]	[illegible]
897	[illegible]	[illegible]
898	[illegible]	[illegible]
899	[illegible]	[illegible]
900	[illegible]	[illegible]
901	[illegible]	[illegible]
902	[illegible]	[illegible]
903	[illegible]	[illegible]
904	[illegible]	[illegible]
905	[illegible]	[illegible]
906	[illegible]	[illegible]
907	[illegible]	[illegible]
908	[illegible]	[illegible]
909	[illegible]	[illegible]
910	[illegible]	[illegible]
911	[illegible]	[illegible]
912	[illegible]	[illegible]
913	[illegible]	[illegible]
914	[illegible]	[illegible]
915	[illegible]	[illegible]
916	[illegible]	[illegible]
917	[illegible]	[illegible]
918	[illegible]	[illegible]
919	[illegible]	[illegible]
920	[illegible]	[illegible]
921	[illegible]	[illegible]
922	[illegible]	[illegible]
923	[illegible]	[illegible]
924	[illegible]	[illegible]
925	[illegible]	[illegible]
926	[illegible]	[illegible]
927	[illegible]	[illegible]
928	[illegible]	[illegible]
929	[illegible]	[illegible]
930	[illegible]	[illegible]
931	[illegible]	[illegible]
932	[illegible]	[illegible]
933	[illegible]	[illegible]
934	[illegible]	[illegible]
935	[illegible]	[illegible]
936	[illegible]	[illegible]
937	[illegible]	[illegible]
938	[illegible]	[illegible]
939	[illegible]	[illegible]
940	[illegible]	[illegible]
941	[illegible]	[illegible]
942	[illegible]	[illegible]
943	[illegible]	[illegible]
944	[illegible]	[illegible]
945	[illegible]	[illegible]
946	[illegible]	[illegible]
947	[illegible]	[illegible]
948	[illegible]	[illegible]
949	[illegible]	[illegible]
950	[illegible]	[illegible]
951	[illegible]	[illegible]
952	[illegible]	[illegible]
953	[illegible]	[illegible]
954	[illegible]	[illegible]
955	[illegible]	[illegible]
956	[illegible]	[illegible]
957	[illegible]	[illegible]
958	[illegible]	[illegible]
959	[illegible]	[illegible]
960	[illegible]	[illegible]
961	[illegible]	[illegible]
962	[illegible]	[illegible]
963	[illegible]	[illegible]
964	[illegible]	[illegible]
965	[illegible]	[illegible]
966	[illegible]	[illegible]
967	[illegible]	[illegible]
968	[illegible]	[illegible]
969	[illegible]	[illegible]
970	[illegible]	[illegible]
971	[illegible]	[illegible]
972	[illegible]	[illegible]
973	[illegible]	[illegible]
974	[illegible]	[illegible]
975	[illegible]	[illegible]
976	[illegible]	[illegible]
977	[illegible]	[illegible]
978	[illegible]	[illegible]
979	[illegible]	[illegible]
980	[illegible]	[illegible]
981	[illegible]	[illegible]
982	[illegible]	[illegible]
983	[illegible]	[illegible]
984	[illegible]	[illegible]
985	[illegible]	[illegible]
986	[illegible]	[illegible]
987	[illegible]	[illegible]
988	[illegible]	[illegible]
989	[illegible]	[illegible]
990	[illegible]	[illegible]
991	[illegible]	[illegible]
992	[illegible]	[illegible]
993	[illegible]	[illegible]
994	[illegible]	[illegible]
995	[illegible]	[illegible]
996	[illegible]	[illegible]
997	[illegible]	[illegible]
998	[illegible]	[illegible]
999	[illegible]	[illegible]
1000	[illegible]	[illegible]

- 분석을 위한 주행 데이터의 구간별 평균 연비 일람 추출
- A : 일반주행 차량의 연비
  B : 스마트 크루즈 컨트롤 사용 차량의 연비

Step 4. 전체 실험주행 데이터에 대한 분석 결과

T-검정분석 결과

Variable	Obs	Mean	Std. Err.	95% Conf. Interval	
Normal Driving	328	20.9200	0.66005	19.6224	22.2382
Smart Cruise Control	328	23.3396	0.85235	21.6671	25.0162
diff	328	-2.4198	0.58105	-3.5634	-1.2762
		Pr(T<t) = 0.0000		T = -4.9197	

- 평균의 차이는 -2.4198로, 스마트 크루즈 컨트롤을 사용한 차량의 연비가 2.4198 만큼 더 향상
- t-값 -4.9197, p-value (0.0001)으로 신뢰수준 95%에서 귀무가설 기각

스마트 크루즈 컨트롤이 일반주행에 비해 연비효율성 측면에서 효과가 있는 기능임을 검증

8

Ⅴ. 분석 결과

데이터 수집 및 데이터별 기초분석 결과

속도별 T-검정

- 속도별 연비 비교

- 시사점
  - ✓ 일반주행 및 스마트 크루즈 컨트롤 모드의 실험주행 데이터 분석 결과, 스마트 크루즈 컨트롤 모드 사용시 주행속도 60km/h의 경우 약 9%, 80km/h의 경우 약 7%의 연비 증가

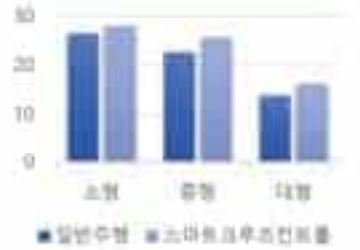
도로등급별 T-검정

- 도로등급별 연비 비교

- 시사점
  - ✓ 스마트 크루즈 컨트롤 모드를 사용하였을 때, 고속도로의 경우 약 8%, 중형차의 경우 약 14%, 국도의 경우 약 15%의 연비 증가

차종별 T-검정

- 차종별 연비 비교



- 시사점
  - ✓ 스마트 크루즈 컨트롤 모드를 사용하였을 때, 소형차의 경우 약 6%, 중형차의 경우 약 14%, 대형차의 경우 약 17%의 연비 증가

9

Ⅵ. 결론

연구의 기대효과 및 활용방안, 연구의 한계성

연구의 기대효과 및 활용방안

스마트크루즈 컨트롤 모드의 효과 검증

- 연비 개선 및 배기가스 배출량 감소의 정량적, 정성적 효과 확인
- 스마트크루즈컨트롤과 경제운전 간의 상관관계 분석을 통해 경제적, 환경적 이점 도출

스마트크루즈컨트롤 모드 사용 권고

- 운전자들에게 스마트크루즈컨트롤 모드를 활용한 경제운전 방식을 제안
- 스마트크루즈컨트롤 사용 전후 데이터 분석을 통한 교육 및 정책적 활용 가능성 제시

실험 설계 및 정책적 활용

- 일반주행, 스마트크루즈컨트롤 간 차이점을 차종 및 속도 시나리오별로 실험
- 실험 결과를 바탕으로 경제운전 인증제도 도입 및 체험교육 프로그램 확대 가능성 검토

탄소 중립 기여

- 연구 결과를 통해 스마트크루즈컨트롤 모드 사용을 촉진
- 이를 통해 탄소 배출 감소와 탄소 중립 실현에 기여

연구의 한계성 및 보완 방안 제시

연구의 한계 및 보완방안

- 실험에서 외부 요인(가상조건, 교통량 등)의 충분히 반영되지 못한 점
- 특정 차종 및 속도 시나리오에 국한된 연구로 일반적인 드로 환경에 대한 적용성 한계
- 다양한 주행 환경에서 장기적인 데이터 수집을 통한 분석 필요

향후 연구 방향

- 더 다양한 차종과 도로 상황을 포함하는 연구로 확장 필요
- 경제운전 효과를 더욱 정밀하게 측정할 수 있는 분석 도구의 방법론 개발

한국ITS학회 2024년도 추계학술대회

스마트 크루즈 컨트롤 기반 운전모드의 연료절감 효과에 대한 실증적 연구

An Empirical Study on the Fuel-Saving Effects of Smart Cruise Control-Based Driving Modes

계명대학교
TS 한국교통안전공단

루프 기반 경로 최적화의 계산 가속화를 위한 선형화 방법

Linearization Technique for the Computational Acceleration of Vehicle Routing Problem Based on the Loop-wise Route Representation

김창영 (한국과학기술원, 석사과정) **김근우** (한국과학기술원, 연구원) **장인권** (한국과학기술원, 교수)

Key Words : 차량 경로 문제(Vehicle Routing Problem), 선형화(Linearization), 루프 기반 경로 표현법(Loop-wise Route Representation), 위상 최적화(Topology Optimization), 전기회로(Electric Circuit)

목 차

Ⅰ. 서론
Ⅱ. 루프 기반 경로 표현법
1. 새로운 경로 표현법
2. 위상최적설계 기반 차량경로 문제 정식화
Ⅲ. 선형화 방안
Ⅳ. 제안 방법 적용 및 평가
Ⅴ. 결론

Ⅰ. 서론

차량 경로계획 문제(Vehicle Routing Problem, VRP)는 다수의 목적지와 제한된 기능/용량을 가진 배송 수단을 고려하여 최적의 경로를 계획하는 문제이다 [1]. VRP는 최근 전자상거래의 확대, 차량 전동화 등으로 인해 적용 범위 확대와 함께 활발히 연구되고 있다. 위 문제는 다항 시간 내에 풀기 어려운(NP-hard) 문제로 분류되며 [1], 경유지의 수가 증가함에 따라 요구되는 계산시간이 급격히 증가하기에 효율적인 해결책이 필요하다.

본 연구그룹은 VRP를 효율적으로 해결하기 위해 도로 교통과 전기회로 간의 유사성에 기반한 루프 기반 경로 표현법을 최근 제안하였으며, 이를 위상최적설계에 접목함으로써 경로 최적화문제의 수식을 간략화하는 연구를 수행하였다 [2, 3].

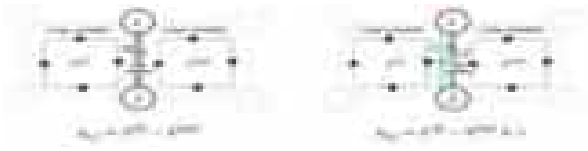
위 연구를 통해 필요한 설계변수와 제약조건의 수에 대한 효과적인 감소를 달성하였으나 비선형 함수의 존재로 인해 비효율적인 근사 최적화 기법을 사용하여야 했으며, 이는 최적해로의 수렴 시 많은 반복 과정을 필요로 하게 된다. 본 연구에서는 이를 보완하기 위해 선형화 방안을 제안하고자 하며, 이상(ideal) 격자형 네트워크에 대해 계산시간 및 최적해의 우수성 측면에서 기존 방법을 제안 방법과 비교하여 성능을 검증한다.

본 논문은 다음과 같은 구조로 구성되어 있다. 2장에서는 루프 기반 경로 표현법과 이에 기반한 차량 경로 문제의 정식화 과정을 설명한다. 3장에서는 제안 선형화 방법의 적용 예시를 통해 원리를 자세히 설명한다. 4장에서는 제안 방법과 기존 방법 간의 성능 비교를 수행하며, 5장에서 결론을 제공함으로써 마무리한다.

Ⅱ. 루프 기반 경로 표현법

1. 새로운 경로 표현법

제안 경로 표현법은 출발지/목적지를 설정하는 기준 경로(base route, b)와 연속 루프 변수 $\bar{x}$ 를 사용하여 경로를 표현한다(그림 1). 기존 링크 표현법에 비해 더 적은 수의 루프 변수로 경로를 표현하며, 항상 유입·유출량 보존을 만족하여 경로 연결성을 보장하기 위한 추가적인 제약조건이 필요하지 않다. 이 특성은 문제를 상당히 간소화하여 문제 복잡도를 효과적으로 감소시킨다.

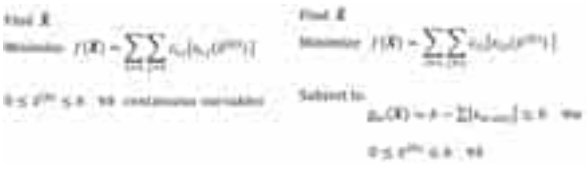


(ㄱ) (ㄴ)

<그림 1> 루프 기반 경로 표현법: (ㄱ) link with no base route b, (ㄴ) link with a base route b

2. 위상최적설계 기반 차량 경로 문제 정식화

기존 수식은 위상최적설계의 SIMP(Solid Isotropic Material with Penalization)에 착안하였다 [3]. SIMP란 설계 영역을 이산화하여 최적의 구조를 갖는 밀도 분포를 구하는 것이다. 위 방법론에서는 체커보드 패턴을 방지하기 위해 둘레 제약조건(perimeter constraint)을 사용하며 둘레는 설계의 내부와 외부 경계의 길이의 합으로 정의된다 [4]. 본 연구팀은 SIMP의 개념과 둘레 제약조건을 제안 경로 표현법에 접목하여 경로 최적화 문제를 정식화하였다(그림 2).



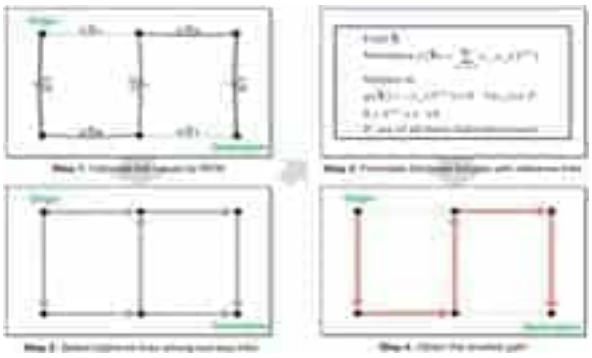
(ㄱ) (ㄴ)

<그림 2> 루프 기반 VRP의 비선형 수식: (ㄱ) 최단경로문제, (ㄴ) 외판원 문제 [3]

III. 선형화 방안

<그림 2>에 나타낸 차량경로문제에 속하는 두 문제(최단경로문제, 외판원 문제)의 기존 수식은 루프 변수의 기준 방향(reference direction)과 다른 방향을 갖는 링크의 존재로 인해 음수 링크 값이 존재하여 절댓값 기호를 필요로 한다. 본 연구에서는 전처리(preprocessing)를 통해 절댓값 기호를 소거함으로써 수식의 선형화를 달성하였으며, 아래에서 전처리에 대해 자세히 설명하겠다.

구하고자 하는 최적경로는 링크의 선형결합으로 볼 수 있으며 전처리 과정은 이를 구성할 수 있는 후보 링크들인 참조 링크(reference link)들을 선별하는 과정이다. 이러한 참조 링크 선정은 모든 인접 노드 간에 존재하는 링크의 방향을 양방향에서 단일방향으로 축소하여 풀고자 하는 도로 네트워크를 간소화하고 해의 영역(solution space)을 축소한다. 위 과정을 통해 얻은 단방향 네트워크(unidirectional network)에서 참조 링크에 양수만 할당되도록 루프 변수 간의 대소 관계를 규정함으로써 절댓값 기호가 필요하지 않게 된다.



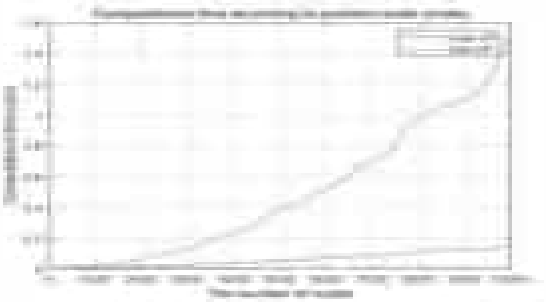
<그림 3> 제안 방법론 적용 예시: 최단경로문제

<그림 3>은 망전류법(Mesh Current Method, MCM)을 사용하여 교통 네트워크에 상응하는 전기회로에 대한 전류분포를 계산한 후, 해당 정보를 활용하여 최단경로문제를 푸는 과정을 보여준다.

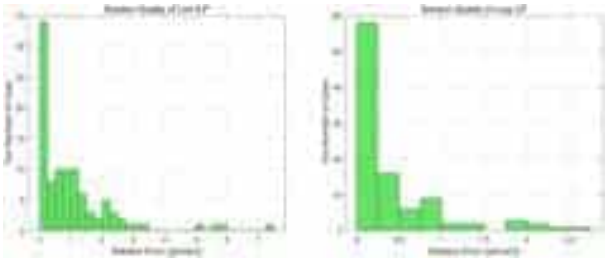
IV. 제안 방법 적용 및 평가

본 연구에서는 제안한 방법의 성능 검증을 위해 기존 링크 표현법과 비교하였다. 실험은 100개의 다양한 크기 ($1\times1 \sim 100\times100$)에 대한 이상 격자 네트워크에서 진행되었으며, 링크의 가중치(노드 간의 이동 거리 또는 비용)는 무작위로 부여되었다. 상대오차는 정확해 방법(exact method)인 Dijkstra 방법의 결과값을 토대로 측정되었다.

그래프의 규모가 커질수록 연산속도 측면에서 제안 방법이 더 우수함을 볼 수 있으며, 노드가 10,000개인 격자 네트워크에 대해서는 약 8배 더 빠른 것을 볼 수 있다(그림 4). 또한 상대오차 히스토그램을 통해 도출해의 최적성 측면에서도 제안 방법이 더 우수하였으며, 오차가 발생하더라도 대부분 1% 이내의 오차율을 가지는 것을 볼 수 있다(그림 5).



<그림 4> 기존 방법(Link ILP)과 제안 방법(Loop LP) 간의 계산시간 비교



(ㄱ) (ㄴ)

<그림 5> 상대오차 히스토그램: (ㄱ) 기존 방법, (ㄴ) 제안 방법

V. 결론

본 연구는 새로운 루프 표현법을 활용한 전처리를 통해 차량 경로계획 문제를 단순화 및 선형화하였다. 이상 격자 네트

워크에 대해 기존 방법과 비교하여 계산시간과 도출해의 최적성 측면에서 제안 방법론이 우수함을 확인하였다. 네트워크의 규모가 클수록 제안 방법의 장점이 극대화되며, 이는 대규모 네트워크를 갖는 산업에 적용이 가능할 것으로 기대한다.

사사

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음 (과제번호 RS-2023-00236825, 자율주행 Lv.4/4+ 기반 도시환경관리 서비스 기술 개발).

참고문헌

1. Suresh, N. K. and Ramasamy, P., 2012, "A Survey on the Vehicle Routing Problem and Its Variants," Scientific Research, Vol. 4, pp. 66~74.
2.. G. Kim, H. Jin, M. Kim, K. Jang, and I. G. Jang, 2023, "Loop-wise Route Representation and Its Optimization Formulation for Symmetric Vehicle Routing Problems," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems,vol. 24, no. 9, pp. 9490-9500.
3. G. Kim, S. Kim, and I. G. Jang, 2022, "Loopwise Route Representation-Based Topology Optimization for the Shortest Path Problems," IEEE Access,vol. 10, pp. 128835~128846.
4. I.G. Jang, and I. Y. Kim, 2008, "Computational study of Wolff's law with trabecular architecture in the human proximal femur using topology optimization," Journal of Biomechanics, Vol. 41, pp. 2353~2361.

전기회로와 도로교통 간의 유사성을 활용한 루프 기반 최단 경로 탐색법의 후처리 방안

Loop-wise Route Representation-Based Analogy between Electric Circuit and Roadway Traffic for the Shortest Path Problems

박상훈, 김근우, 장인권

Cho Chun Shik Graduate School of Mobility

Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST)

KAIST Innovative Design for Mobility Systems Laboratory

Research Background

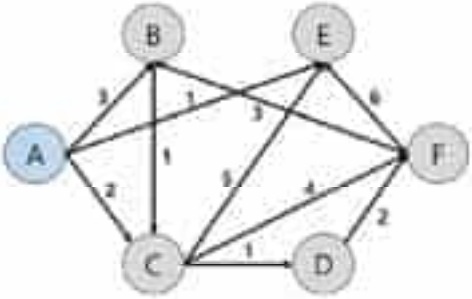
- **Vehicle Routing Problem (VRP)**
  - **Vehicle Routing Problem (VRP)** is one of the combinatorial optimization problems that determine the optimal route through the given waypoints.
  - With the growing e-commerce market and autonomous/sharedness in the transportation, the development of more efficient route optimization algorithms is required.
  - However, the **complexity and slow computational speed** of the problem are limited to current real-life applications.

Vehicle Routing Problem (VRP) 의 예

• Shortest Path Problem (SPP)

- **Shortest path problem (SPP)** is one of the VRP, which is typically solved using graph search methods.
- However, graph search methods have limitations in expanding to various VRP.
- To overcome these issue, optimization methods based on **loop-wise route representation** has been proposed.

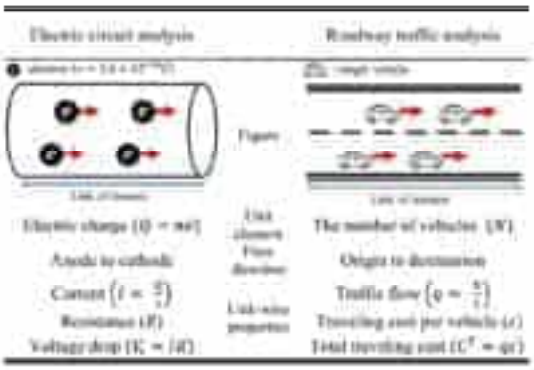
Example of shortest path problem



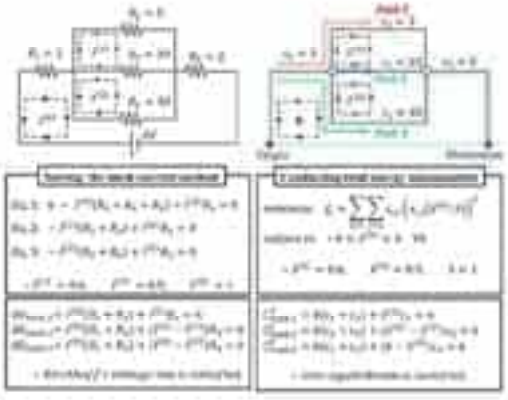
Dijkstra algorithm

• Loop-wise Route Representation (LRR)

- We developed an efficient **gradient-based optimization** method using **loop-wise route representation (LRR)** based on well-established circuit theory governing principles.



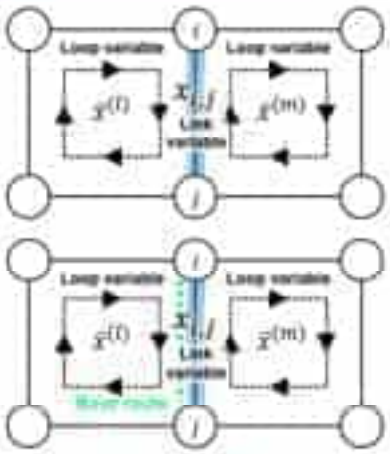
Analogy between the electric circuit and roadway traffic analyses [9]



Comparison between the current distribution under the electric potential and the optimal traffic flow [9]

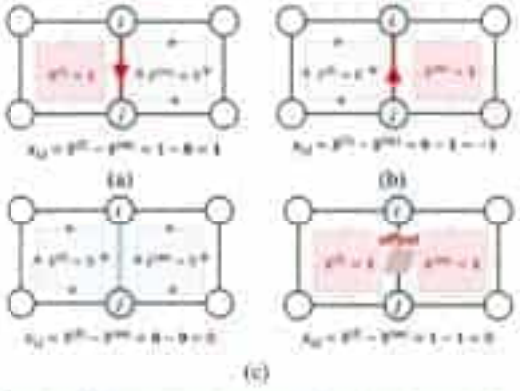
• Loop-wise Route Representation (LRR)

Loop-wise Route Representation [5, 6]



$x_{ij} = x_{ij}(\bar{x}^{(k)}, b)$

Link Loop Move route



Example of the loop-wise route representation: (a) downward link flow, (b) upward link flow and (c) no link flow

• Loop-wise Route Representation (LRR)

Loop-wise Route Representation [5, 6]

Link-wise route representation

Loop-wise route representation

1. 120 Design variables
2. Constraints for flow conservation

1. 25 Design variables
2. No constraints for flow conservation

1. Identical route with fewer design variables
2. Simplified formulation for VRPs

• Linearization Technique for SPP Based on LRR

- To reduce computational time, LRR-based **linear formulation** for SPP was introduced through preprocessing.

LRR-based SPP formulation (Non-linear) [3], [4]

Find $\vec{X}$

Minimize $f(\vec{X}) = \sum_{\text{all links}} c_{ij} \left| x_{ij}\left(\vec{x}^{(k)}\right) \right|$

$-1 \le \vec{x}^{(k)} \le 1 \quad \forall k$

Using the **reference link selection**

LRR-based SPP formulation (Linear)

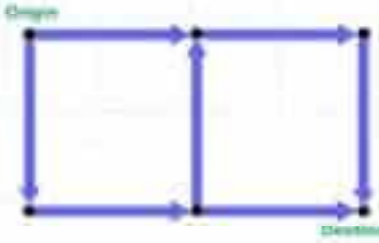
Find $\vec{X}$

Minimize $f(\vec{X}) = \sum_{\text{Positive links}} c_{ij} x_{ij}\left(\vec{x}^{(k)}\right)$

Subject to

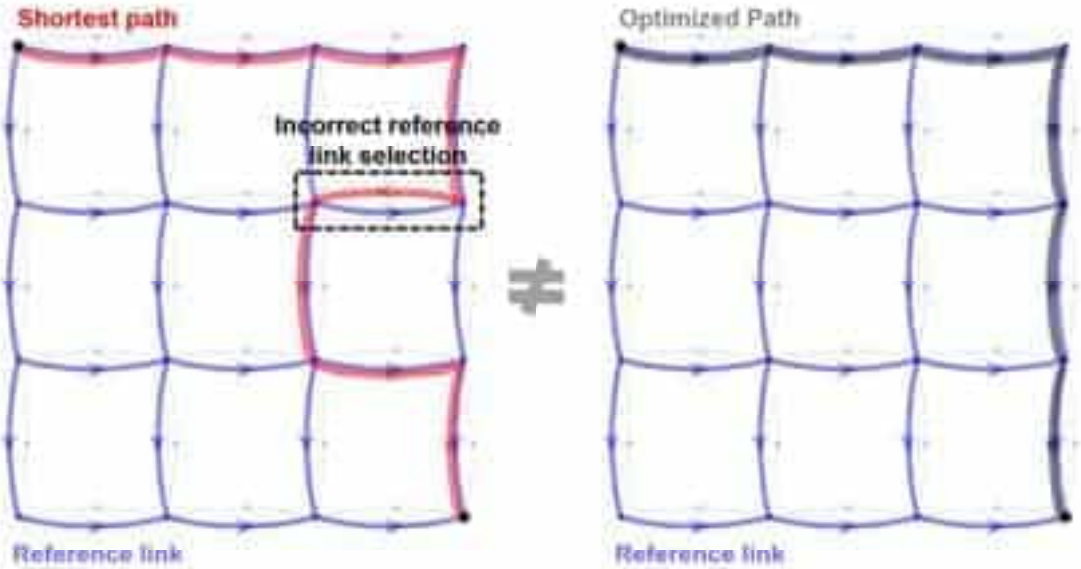
$g(\vec{X}) = -x_{ij}\left(\vec{x}^{(k)}\right) \le 0 \quad \forall \text{ positive link}(i,j)$

$0 \le \vec{x}^{(k)} \le 1 \quad \forall k$

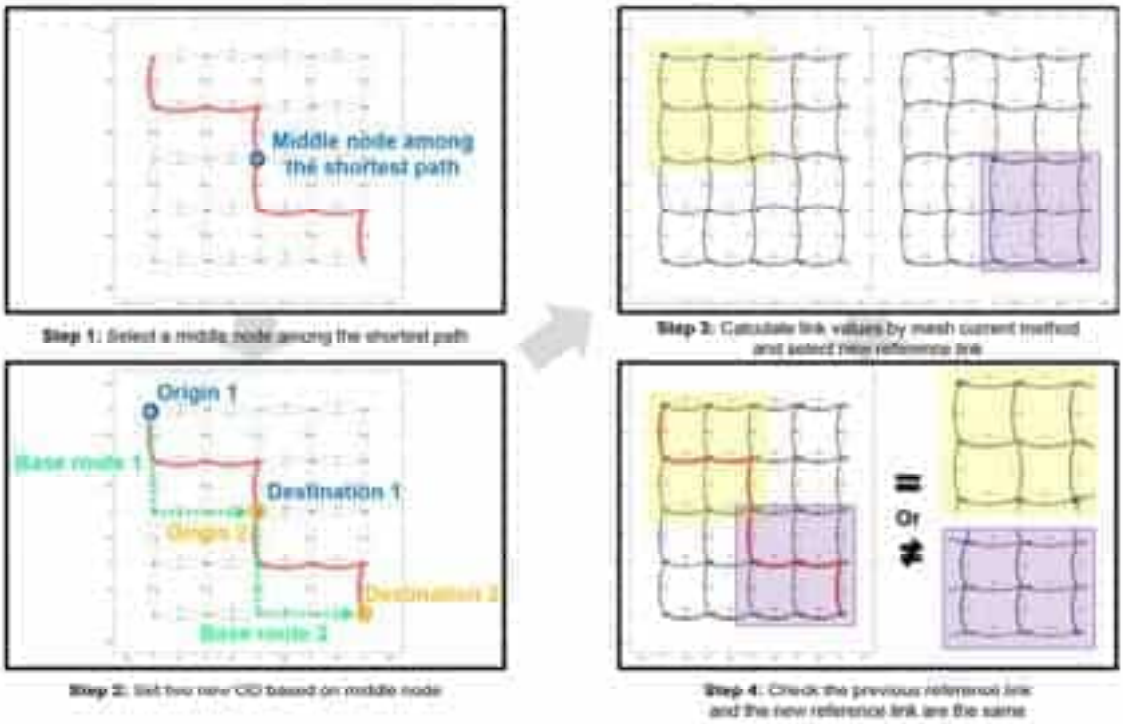


• Failure Case Analysis

- A relative error occurs when the reference link is selected **incorrectly**.

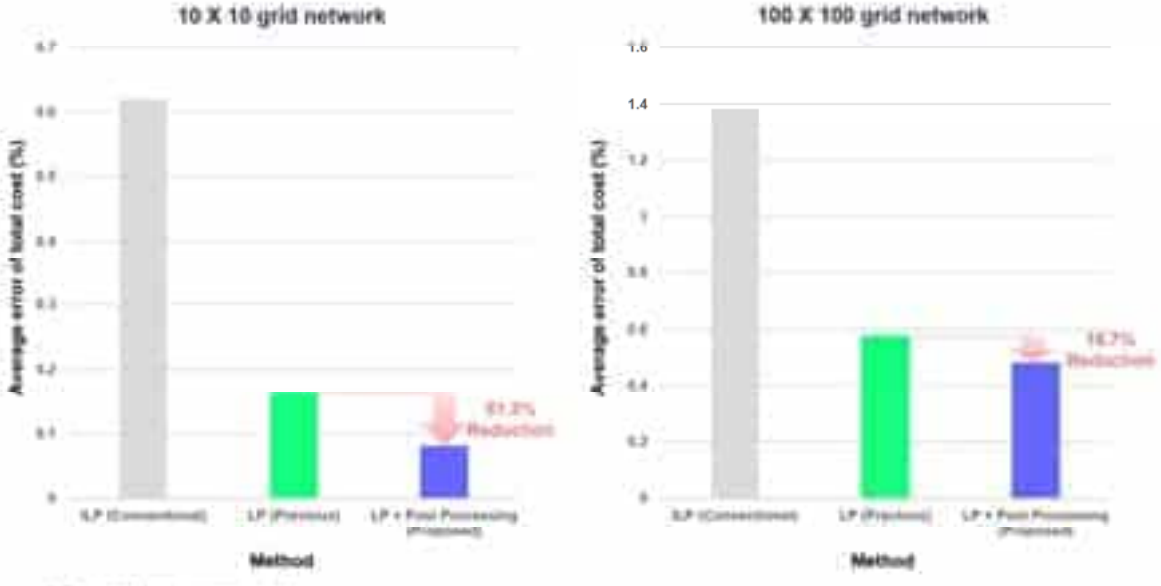


• Method of Proposed Post-processing



• Average Error of Total Cost

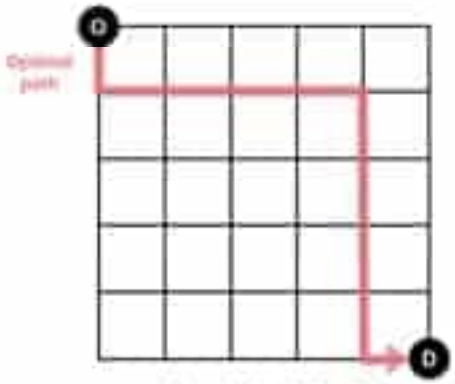
- On the 10 x 10 grid network and the 100 x 100 grid network, we improved average error of total cost by **51.3%** and **16.7%**, respectively.



LP: Integer linear programming
LP (Previous): LRR based linear programming

• Conclusion

- ✓ This study solved the shortest path problem by applying post-processing to LRR-based linear formulation.
- ✓ Proposed method improved the average error of total cost **51.3%** and **16.7%** for 10 x 10, 100 x 100 grid network.
- ✓ Through this study, it is expected that the shortest path can be found in **less computational time** with a **small error** in the 100x100 grid network that can be applied to the **real network of Seoul**.



Example of grid network

Real network of Seoul

KAIST

Innovative Design

Thank you.

IoT 기반 공기오염원 측정 센서를 이용한 차량 내부 공기질 개선 및 실시간 모니터링 시스템 설계

Improving Air Quality Inside Vehicles and Designing a Real-Time Monitoring System Using IoT-Based Air Pollution Source Measurement Sensors

염지환
(상명대학교 전자정보시스템공학과, 석사과정)
원희찬
(상명대학교 전자정보시스템공학과, 석사과정)
한정우
(상명대학교 전자정보시스템공학과, 석사과정)
이건희
(상명대학교 전자정보시스템공학과, 석사과정)
이학승
(상명대학교 전자정보시스템공학과, 석사과정)
국중진
(상명대학교 전자정보시스템공학과, 교수)

Key Words : IAQ, IoT, Indoor Air Quality, Connected Car, ICT Car

목 차

서론, 본론(IAQ 디바이스 시스템 구조, IAQ 측정 센서, 통신 모듈 및 IAQ 서버, 차량 내부 공기질 개선 방식), 결론

I. 서론

도시화, 실내 체제 시간 증가, 대기환경오염 등으로 인한 사회문제가 대두됨에 따라 대한민국에서는 2014 년 '실내공기질 관리 기본 계획'을 마련하였으며, 여기에는 그림 1과 같이 각 부처별로 특정 장소에 대해 오염원의 유형, 관리방법, 의무사항 등을 정의하고 있다[1].

Indoor Air Quality(IAQ)는 그림 1에 나열된 것처럼 주된 공기오염물질을 PM10, CO2, HCHO, 총부유세균, CO, NO2, VOCs, Radon, Asbestos, O3 등의 10개 항목 내외로 규정하여 인체에 영향을 끼치는 정도에 따라 단계를 구분한다[2].

또한, 최근 자동차는 기존의 기계 시스템이 아닌 인터넷 등 새로운 ICT 연구를 기반으로 발전하여, 하나의 전자 시스템으로 거듭나고 있다. 이러한 사용자 경험(UX)을 중심으로 한 IT 기술이 접목된 자동차를 Connected Car라고 부른다. Connected Car의 기본 구성은 다음과 같다.[3]

- capable of accessing the Internet at anytime, using either a built-in device or brought in user devices
- equipped with a set of modern applications and dynamic contextual functionalities, offering advanced infotainment features to the driver and passengers
- capable of interacting with other smart devices on the road or in mechanical shops, leveraging vehicle-to-road infrastructure communication technologies
- capable of interacting with other vehicles, leveraging vehicle-to-vehile communication technologies

본 논문에서는 IoT 기반 센서 네트워크를 활용하여 차량 내부의 공기질을 개선하고 실시간으로 모니터링할 수 있는 시스템을 설계하고자 한다. 제안된 시스템은 차량 내 다양한 오염원에 대해 실시간으로 데이터를 수집하고, 클라우드와 연계된 IoT 장치들이 이를 분석하여 자동으로 차량 내부 환경을 제어할 수 있도록 한다. 특히, IoT 기기와 차량의 연결성을 극대화한 Connected Car 환경을 이용하여, 차량 내외부의 공기질을 종합적으로 관리할 수 있는 그린 스마트 차량 솔루션을 제안한다.

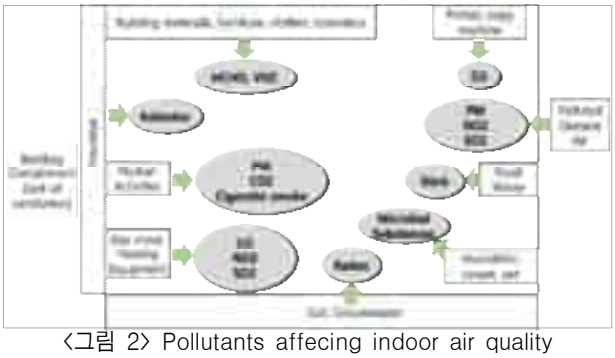
〈그림 1〉 Basic plan for indoor air quality managementin republic of Korea

II. 본론

1. IAQ 디바이스 시스템 구조

우리가 생활하는 집, 사무실, 학교 등의 건축물에서는 실외와 실내에 구성되는 다양한 기기들과 환경으로부터 오염물질이 발생된다. 실내공기질을 나빠지게 하는 주요 오염물질과 오염원을 그림 2 와 같다[4].

IAQ 측정 디바이스의 전체 동작은 이러한 온도, 습도, 이산화탄소(CO2), 미세먼지, 총 휘발성 유기 화합물(tVOC) 등을 모니터링하는 다양한 센서 모듈을 이용하며, 오염물질을 실시간으로 감지하고 수집된 데이터를 중앙 서버로 전송하는 역할을 한다. 이때, 네트워크 서버는 커넥티드 카와 연계되어 실내 및 외부의 공기질을 비교하고, 이를 기반으로 차량의 공기질 관리 시스템을 제어한다. IAQ 측정 및 개선 시스템의 전체 하드웨어 장치는 센서 모듈, 제어 보드, 통신 모듈, 전원 관리 시스템, Connected Car Interface로 구성된다. IAQ 디바이스의 전체 구성은 그림 3 과 같다.



〈그림 2〉 Pollutants affecing indoor air quality

〈그림 3〉 IAQ Device

2. IAQ 측정 센서

센서 모듈은 각 센서들이 특정 오염물질의 농도를 측정하며, 이를 기반으로 차량의 공기질 관리 시스템과 연결된다. 상세하게는 온도와 습도는 공기질에 직접적인 영향을 미칠 수 있기 때문에 온도와 습도를 동시에 측정할 수 있는 SHT30, 실내 기압과 고도를 측정하여 실내의 압력 변화를 감지하는 BMP280, 차량 내부의 환기 상태를 판단하기 위한 지표로 이산화탄소(CO2)를 검출하고 페인트와 가구 등에서 발생하는 유기 화합물을 의미하는 퐁 휘발성 유기 화합물(tVOC)을 측정하는 MICS-VZ-89TE, 자동차 배기가스와 난방 기기 등에서 발생하는 유독성 가스인 일산화 탄소(CO)를 감지하는 GSBT11-P110, toluene과 formaldehyde 측정을 위한 GSET11-P110, 공기 중의 미세먼지 및 초미세먼지를 측정하는 PMS9003M 장치들을 사용한다. 각 센서 모듈은 I2C, SPI, UART, 아날로그 입력 등의 인터페이스를 통해 제어 보드에 연결된다.

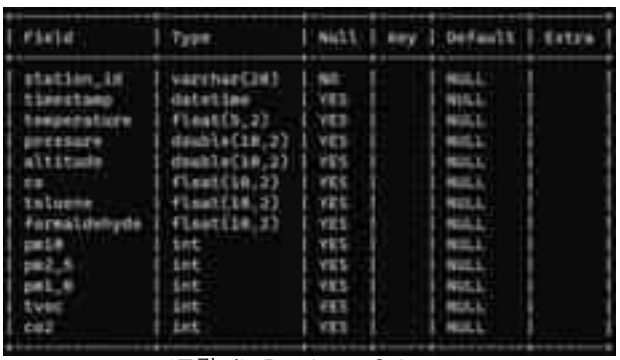
3. IAQ 데이터 및 전원 관리 설계

제어 보드는 센서 데이터를 처리하고 전송하는 중심 역할을 하는 보드로, Arduino MKR 1010이 사용된다. 이 보드는 Wi-Fi 연결을 통해 데이터 전송을 지원하며, 다양한 센서의 데이터를 하나의 프레임으로 통합하는 펌웨어가 내장되어 있다.

전원 관리 시스템은 IAQ 디바이스의 안정적인 전원 공급을 위해 배터리 또는 외부 전원 장치를 사용하며, 전력 소모를 최소화할 수 있는 설계가 필요하다. 전력 효율성을 위해 디바이스는 일정 시간 동안 대기 모드로 전환되었다가 데이터 전송 시 활성화된다.

4. 통신 모듈 및 IAQ 서버

통신 모듈은 수집된 데이터를 서버로 전송하기 위한 Wi-Fi 또는 RoRa 통신 모듈이 포함된다. 본 시스템에서는 Wi-Fi 모듈을 사용하여 IAQ 디바이스가 주기적으로 센서 데이터를 IAQ 서버로 전송한다. IAQ 서버는 Conventional Server Type(CST) 또는 Serverless Type(SLT)으로 구현할 수 있다. 서버에서 수신한 데이터를 저장할 데이터베이스의 스키마 형태는 그림 4 와 같이 정의되었다. 또한, 데이터베이스 스키마는 IAQ 디바이스가 전송하는 데이터 프레임 형식과도 일치하다.



<그림 4> Database Schema

5. 차량 내부 공기질 개선 방식

Connected Car Interface는 Connected Car 환경에서 차량 내부의 IAQ 디바이스와 차량 외부의 공기질 데이터를 비교하여 실내 및 외부 공기질을 종합적으로 관리할 수 있다. IAQ 디바이스가 실내 공기질 데이터를 수집하고, 동시에 외부 공기질 데이터를 IAQ 서버로부터 받아 비교한 후, 상황에 따라 차량 제어 알림을 보낸다. 예를 들어, 외부 공기질이 실내보다 좋을 경우에는 차량 인터페이스에 창문을 여는 알림을 차량 사용자의 애플리케이션으로 보낸다. 반대로, 실내와 외부의 공기질이 모두 나쁜 경우에는 차량의 공기청정기를 실행하는 알림을 전송한다.

III. 결론

본 논문에서는 IAQ 기반 공기오염원 측정 디바이스와 Connected Car Interface를 활용하여 차량 내부 공기질을 실시간으로 모니터링하고 개선할 수 있는 시스템을 설계하였다. 해당 시스템은 차량 내부와 외부의 공기오염원 데이터를 비교하는 것으로 차량 내부의 공기질 관리를 직접적으로 수행한다. 동작 방식은 외부 공기질이 차량 내부 공기질보다 양호한 경우, 차량의 창문을 열도록 알림을 보내어 환기를 유도하고, 반대로 양쪽 모두의 공기질이 나쁜 경우 차량 공기청정기 작동을 유도하는 것으로 차량 내부 공기질을 개선한다. 본 연구는 스마트 그린 카 개발에 대한 연구로 IAQ 디바이스를 Connected Car에 연계하는 것으로 차량 내부의 쾌적한 공기질을 유지하고, 운전자의 건강과 안전을 보장하는 지속 가능한 솔루션을 제안했다.

감사의 글

본 연구는 2024년도 환경부(MOE)의 재원으로 한국환경산업기술원(KEITI)의 「녹색복원 특성화대학원 전문인력 양성사업」의 지원을 받아 수행한 연구임.

참고문헌

1. The 4th Basic Plan for Indoor Air Quality Management Ministry of Environment Republic of Korea. (, 2020)
2. Hyejin Shin, Woosang Park, Bokyung Kim, Kyunghee Ji, Ki-Tae Kim, Indoor Air Quality and Human Health Risk Assessment for Un-regulated Small-sized Sensitive Population Facilities, Journal of Environmental Health Sciences, vol.44, Issue 4, pp.397-407, 2018.
3. Riccardo C and Maurizio M, Connected Car: Technologies, Issues, Future Trends, ACM Computing Surveys, 49, pp.1-28, 2016.
4. Tae Han Kim, Ji Eun Oh, Mi Ju Kim, Study on Particulate Pollutant Reduction Characteristics of Vegetation Biofilters in Underground Subway Stations, Journal of the Semiconductor & Display Technology, vol.21, no.4, pp.99-105, 2022.

해외 ITS 사업 및 ITS 수출 지원을 위한 표준 요구사항 분석

Analysis of the requirements of ITS standards for supporting oversea ITS projects and export of ITS

최지은 (ITS KOREA, 차장)　**김민영** (ITS KOREA, 실장)　**주정은** (ITS KOREA, 대리)

Key Words : 무역기술장벽, 수출, 해외 ITS 사업, 표준

목　차

Ⅰ. 서론
1. 연구의 배경 및 목적
2. 연구의 범위 및 방법
Ⅱ. ITS 표준체계 분석
1. WTO TBT 협정 분석
2. 국제 표준체계 분석
3. 미국 표준체계 분석
4. 유럽 표준체계 분석
Ⅲ. 해외 ITS 사업 발주현황 분석
1. 분석 개요
2. 분석 결과
Ⅳ. 주요 ITS 사업분야 관련 표준 분석
1. 주요 ITS 사업분야별 표준 목록
2. 주요 ITS 사업분야별 표준 정보
Ⅴ. 결론

Ⅰ. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

2019년부터 2023년 해외 ITS(Intelligent Transport Systems) 사업 현황 데이터(국토교통부·ITS 국제협력센터)를 살펴보면 2019년 대비 2023년 해외 ITS 사업건수가 연평균 약 20.3% 감소하였다. 코로나 19, 세계경기 회복세 둔화 등 외부 환경 변화로 인해 ITS 사업이 감소한 것으로 사료된다. 또한, 국내 ITS 민간기업은 ITS 국제협력센터, 한국국제협력단(Korea International Cooperation Agency, KOICA) 등에서 해외 ITS 사업 입찰정보를 확인할 수는 있으나, 해외사업 추진 및 수출되는 제품에 대한 기술규정, 국제표준 등 정보 부족으로 인해 해외사업 추진 및 수출에 어려움을 가진다. 국내 ITS 기술을 해외 현장 적용 및 수출 시 상호운용성 및 호환성 확보를 위해서 표준 정보가 필요하다. 또한, 국내 우수한 ITS 기업들이 글로벌 기업으로 성장하여 해외사업 및 수출시장을 선도하기 위해 해외진출 지원 방안이 필요하다. 따라서, 본 연구의 목적은 국내 ITS 민간기업들에게 해외사업 추진 및 수출을 지원하기 위해서 주요 ITS 사업분야에 대한 표준 정보를 분석하여 제공하는 방안을 마련하는 것이다.

2. 연구의 범위 및 방법

표준 측면에서 ITS 해외시장 진입 장벽을 해소하기 위해 ITS 표준체계를 분석하였다. TBT 협정, 해외 기술규제 제정 및 개정 정보를 분석하였으며, 국제 표준체계, 미국 및 유럽 표준체계를 분석하였다. 주요 ITS 사업 분야에 대한 표준 정보를 제공하기 위해 최근 5년간(2020년~2024년 7월) 해외 ITS 사업 발주정보를 분석하여 발주건수가 많은 ITS 사업분야, 대륙 및 국가를 도출하였다. 도출된 결과를 기반으로 주요 ITS 사업분야별 참조 가능한 국제표준, 미국표준, 유럽표준을 조사하여 표준명, 표준번호, 적용범위, 주요 내용 등을 포함한 표준 분석서를 개발하였다.

Ⅱ. ITS 표준체계 분석

1. WTO TBT 협정 분석

TBT(Technical Barriers to Trade)는 국가간 서로 상이한 기술규정, 표준, 적합성 평가절차 등을 적용함으로써 상품의 자유로운 이동을 저해하는 무역상 장애요소를 의미한다. TBT 협정에서는 WTO(World Trade Organization) 회원국이 기술규정, 표준, 적합성평가절차를 개발, 채택, 적용 시 국제표준을 활용토록 규정하고 있다. 지능형 해외기술규제대응 정보시스템에서는 WTO 회원국에 해외 기술규제 제정 및 개정 정보를 제공하고 있다. 도로교통분야 해외 기술규제는 안전표지, 교통신호 등 교통통제장치 및 도로표지판 요구사항을 규정하고 있다.

2. 국제 표준체계 분석

해외 ITS 사업 추진 및 수출 지원을 위한 ITS 관련 국제 표준체계를 분석하였다. 1993년 국제표준화기구인 ISO(International Organization for Standardization)는 ITS 국제표준 제정을 위해 Technical Committee(TC) 204를 설립하였다. 2024년 기준으로 ISO/TC 204 회원국에 속한 국가는 정회원국 36개국, 준회원국 28개국 총 64개국이다. ISO/TC 204의 사무국인 미국국가표준협회(American National Standards Institute, ANSI)는 지역표준화기구와 협력하여 표준화 관련 정보를 공유하고 국제표준화를 추진하고 있다. 지역표준화기구는 아프리카표준화기구(African Organisation for Standardisation, ARSO), 태평양지역표준회의(Pacific Area Standards Congress, PASC), GCC(Gulf Cooperation Council)표준화기구(GCC Standardization Orgranisation, GSO), 유럽표준위원회(European Committee for Stand, CEN), 유럽전기표준화위원회(European Committee for Electrotechnical Standardization, CENELEC), 유럽전기통신표준협회(European Telecommunications Standards Intstitute, ETSI)가 있다. 지역표준화기구는 각 회원국 간 표준화 관련 의견 교환뿐만 아니라 국제표준화에 필요한 사항을 건의 및 논의하여 추진하고 있다. ISO/TC 204에서는 <표 1>과 같이 아키텍처, 전자지불 등 분야별 워킹그룹(Working Group, WG)를 운영하여 국제 표준화를 추진하고 있다.

<표 1> ISO/TC 204 Working Group(WG)

WG	분야	
WG1	Architecture	아키텍처
WG3	ITS Geographic Data	ITS 지리 데이터
WG5	Fee and Toll Collection	전자지불
WG7	General Fleet Management and Commercial/Freight	운송관리 및 상업용/화물 운영
WG8	Public Transport/Emergency	대중교통/긴급차량
WG9	Integrated Transport Information, Management and Control	통합교통정보, 관리 및 제어
WG10	Traveller Information Systems	여행자정보시스템
WG14	Vehicle/Roadway Warning and Control Systems	차량/도로 경고 및 제어 시스템
WG16	Communications	통신
WG17	Nomadic Devices in ITS Systems	ITS 시스템의 노매딕 장치
WG18	Cooperative Systems	협력형 ITS
WG19	Mobility Integration	모빌리티 통합
WG20	Big Data and Artificial Intelligence supporting ITS	ITS 지원 빅데이터 및 인공지능

3. 미국 표준체계 분석

미교통부 장관실(U.S. Department of Transportation Office, OST)의 연구기술 차관보실(Office of the Assistant Secretary for Research and Technology, OST-R) 소속인 ITS 공동 프로그램 사무국(Intelligent Transportation Systems Joint Program Office, ITS JPO)은 ITS 전문인력 양성 교육, ITS 연구 개발, 표준 개발 등을 지원하고 있다. ITS JPO는 실질적인 ITS 표준을 개발하기보다는 ITS 표준 개발, 교육, 테스트를 위한 예산을 지원하고 있다. ITS JPO는 공공 파트너인 연방교통청(Federal Transit Administration, FTA), 연방도로청(Federal Highway Administration, FHWA), 연방철도청(Federal Railroad Administration, FRA)과 표준개발기관(Standard Development Organization, SDO)과 협력하여 ITS 표준화를 추진하며, 표준개발기관에서 ITS 표준을 개발한다. SDO는 미국국가표준협회(ANSI), 미국시험재료협회(American Society for Testing and Materials, ASTM), 전기전자기술자협회(Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE), 미국자동차공학회(Society of Automotive Engineers, SAE), 도로교통기술자협회(American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO), 교통기술자협회(Institute of Transportation Engineers, ITE), 미국전기공업협회(National Electrical Manufactures Association, NEMA), 미국대중교통협회(American Public Transportation Association, APTA)로 구성되어 있다. SDO는 자발적(Voluntary), 공개(Open), 협의 기반(Consensus-based)의 원칙에 따라 표준을 개발하고 있다. 즉, 자발적이란 표준 사용이 법적으로 의무화되지 않는 것을 의미하며, 공개란 독점이 아닌 누구나 사용할 수 있음을 의미한다. 또한, 협의 기반이란 모든 이해관계자들 간 협력과 타협을 통해 동의를 얻었음을 의미한다. ANSI는 SDO에서 개발한 표준의 중복 제거, 조정, 합의를 통해 국제표준화를 추진하고 있다. ITS JPO는 ITS 표준 프로그램을 운영하고 있으며, 정보연계 단위별로 표준화 영역을 구분하여 표준 정보를 제공하고 있다. 정보연계 단위는 센터와 센터 간 정보 연계, 센터와 현장장비 간 정보 연계, 센터와 차량 및 여행자 간 정보 연계, 현장장비와 차량 간 정보 연계로 구분하고 있다. 정보연계 단위별 ITS 표준화 영역은 <표 2>와 같다.

<표 2> 정보연계 단위별 ITS 표준화 영역

정보연계 구분	표준화 영역
센터-센터	데이터 보관
	돌발 관리
	대중교통 관리
	여행자 정보
	철도 조정
센터-현장장비	데이터 수집/모니터링
	도로전광표지
	환경 모니터링
	조명 관리
	램프 미터링
	교통 신호
	영상 감시
센터-차량/이용자	긴급신호
	대중교통 통신
	여행자 정보
현장장비-현장장비	철도 교차로
현장장비-차량	우선 신호
	통행료/요금 징수

4. 유럽 표준체계 분석

유럽집행위원회(European Commission, EC)는 유럽표준화기구(European Standardization Organizations, ESOs)에 표준

화 추진을 요청하고, 재정적으로 지원하고 있다. EC는 ISO, 국제전기통신연합(International Telecommunication Union, ITU), 국제전기기술위원회(International Electrotechnical Commission, IEC)에서 채택한 국제표준과 유럽표준 간 일치화하는 것을 목표로 하고 있다. ESOs는 유럽표준화위원회(CEN), 유럽전기표준화위원회(CENELEC), 유럽전기통신표준협회(ETSI)로 구성되며, 유럽표준을 개발하고 국제표준화를 추진하고 있다.

Ⅲ. 해외 ITS 사업 발주현황 분석

1. 분석 개요

해외 ITS 사업의 발주정보를 기반으로 발주건수가 많은 ITS 사업분야, 대륙 및 국가를 분석하였다. 2020년부터 2024년 7월까지 해외 ITS 사업 발주정보는 총 570건이며, 교통관리, 도로교통안전, 모빌리티, 도시계획, 대중교통, 친환경 ITS, 전자요금징수 등 다양한 ITS 사업을 발주한 것으로 분석되었다.

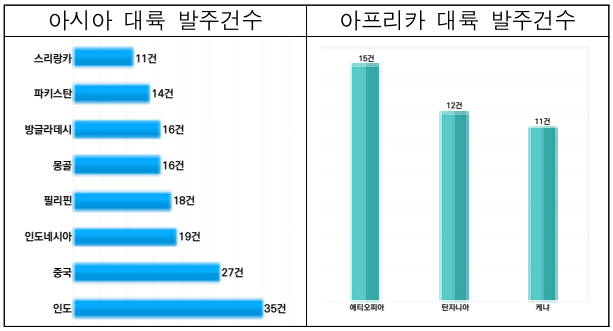
2. 분석 결과

해외 ITS 사업 발주정보를 분야별 분석한 결과, CCTV, 신호등, VMS 구축 등 인프라 사업이 16%, 대중교통 사업이 14%, 교통관리 사업이 11% 순으로 발주건수가 높게 나타났다. 대륙별 발주건수의 비율은 아시아 36%, 아프리카 21%, 유럽 19%, 남미 8%, 중동 8%, 북중미 5%, 오세아니아 3%로 분석되었다.

<표 3> 대륙별 ITS 사업 발주 현황(2020년~2024년 7월)

구분	2020년	2021년	2022년	2023년	2024년	합계
아시아	16	43	48	55	43	205
아프리카	12	12	23	42	28	117
유럽	69	11	11	12	7	110
남미	5	4	14	14	9	46
중동	7	6	13	9	11	46
북중미	1	10	1	12	6	30
오세아니아	-	-	4	7	5	16
합계	110	86	114	151	109	570

2020년부터 2024년 7월까지 ITS 사업을 10개 이상 발주한 국가는 총 13개국으로 분석되었다. 13개국 중 아시아 대륙에 속한 국가는 몽골, 방글라데시, 스리랑카, 인도, 인도네시아, 중국, 필리핀, 파키스탄으로 분석되었다. 아프리카 대륙에 속한 국가는 에티오피아, 케냐, 탄자니아이며, 아메리카 대륙에 속한 국가는 브라질, 파라과이로 나타났다.



<그림 1> 대륙 및 국가별 발주건수

Ⅳ. 주요 ITS 사업분야 관련 표준 분석

1. 주요 ITS 사업분야별 표준 목록

민간기업의 해외 ITS 사업 추진 및 수출 지원을 위해 참조 가능한 국제표준, 미국표준, 국내표준 목록 제공 방안을 마련하였다. 발주건수가 많은 ITS 사업분야인 인프라, 대중교통, 교통관리 분야를 중심으로 <표 4>와 같이 표준 목록을 제시하였다. 인프라 사업분야는 데이터교환 및 인터페이스, VMS, CCTV, 교통신호, 돌발상황검지시스템에 대한 표준을 제시하였다. 데이터 교환 및 인터페이스 관련 표준은 ISO 15784 series, ISO 22741 series, ISO 20684 series, ISO/TS 15624 등이 있다. 대중교통 사업분야는 대중교통정보, 요금, 자율주행버스에 대한 표준 목록을 제시하였으며, ISO 17185 series, ISO/TS 18234-5, ISO 24014, ISO 14806, ISO/IEC 24192 series 등이 연관되어 있다. 교통관리 사업분야는 교통관리센터(Transportation Management Center, TMC), 데이터 관련 표준 목록을 제시하였으며, ISO 14827 series, ISO 14817 series 등을 제시하였다.

<표 4> 주요 ITS 사업분야별 표준 목록

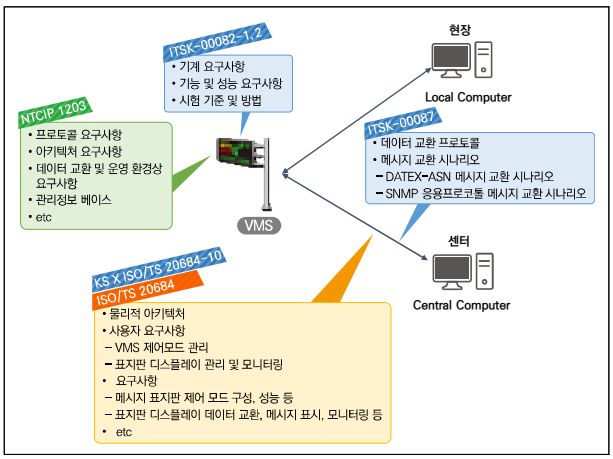
구분		주요 표준	표준번호
인프라	데이터 교환 및 인터페이스	교통정보센터와 노변기기 간/ 노변기기 간 정보 교환	· ISO 15784-1 · ISO 15784-2 · ISO 15784-3 · KS X ISO 15784-1 · KS X ISO 15784-3
		노변기기 모듈 AP-DATEX 데이터 인터페이스	· ISO 22741-1 · ISO 22741-2 · NTCIP 2304 · ITSK-00030
		노변기기 모듈 SNMP 데이터 인터페이스	· ISO 20684-1 · ISO/TS 20684-2 · ISO/TS 20684-3 · ISO/TS 20684-4 · ISO/TS 20684-5 · ISO/TS 20684-6 · ISO/TS 20684-7 · NTCIP 1103 · NTCIP 1201

	VMS	VMS 정보 교환	· ISO/TS 20684-10 · NTCIP 1203 · KS X ISO/TS 20684-10 · ITSK-00082-1 · ITSK-00082-2 · ITSK-00087
	CCTV	CCTV 요구사항	· ISO/TS 15624 · NTCIP 1205 · NTCIP 1208 · ITSK-00094
	교통신호	교통신호제어기 및 검지기 간 프로토콜 및 메시지 셋	· ISO 10711 · NTCIP 1202 · NTCIP 1210
		협력형 신호제어	· ISO/TS 19082 · ISO/TS 19091 · ISO 26684 · NTCIP 1202 · NTCIP 1210 · KS X ISO TS 19082 · KS X ISO TS 19091 · KS X ISO TS 26684
		우선신호시스템의 데이터사전 및 메시지 셋	· ISO 22951 · NTCIP 1211
	돌발상황 검지시스템	돌발상황 검지시스템 기능 및 성능 요구사항	· ITSK-00103-1 · ITSK-00103-2 · ITSK-00103-3 · ITSK-00087
대중교통	대중교통 정보	대중교통 이용자 정보	· ISO 17185-1 · ISO 17185-2 · ISO 17185-3 · SAE J2354 · ITSK-00020 · ITSK-00024
		대중교통정보 애플리케이션	· ISO/TS 18234-5
	요금	상호호환 가능한 요금관리시스템	· ISO 24014-1 · ISO/TR 24014-2 · ISO/TR 24014-3
		결제 애플리케이션 사용에 대한 대중교통 요구사항	· ISO/TR 14806
		카드 및 보안장치	· ISO/IEC 24192-1 · ISO/IEC 24192-2
교통관리	교통관리센터	센터 간 데이터 인터페이스	· ISO 14827-2 · ISO 14827-3 · ISO 14827-4 · ISO/TS 19468 · NTCIP 1102 · NTCIP 2304 · KS X ISO 14827-1 · KS X ISO 14827-2 · KS X 6921
	데이터	ITS 중앙 데이터사전	· ISO 14817-1 · ISO 14817-2 · ISO 14817-3 · ISO 5345 · ASTM E2468-05 · KS X ISO 14817-1 · KS X ISO 14817-2 · KS X ISO 14817-3
		데이터 등록 절차	· ISO 24978 · ISO 5345 · KS X ISO 24978

2. 주요 ITS 사업분야별 표준 정보

분야별 국제표준, 미국표준, 국내표준의 적용 범위, 주요 내용을 분석하여 <그림 2>, <그림 3>, <그림 4>와 같이 표준 정보 제공 방안을 마련하였다.

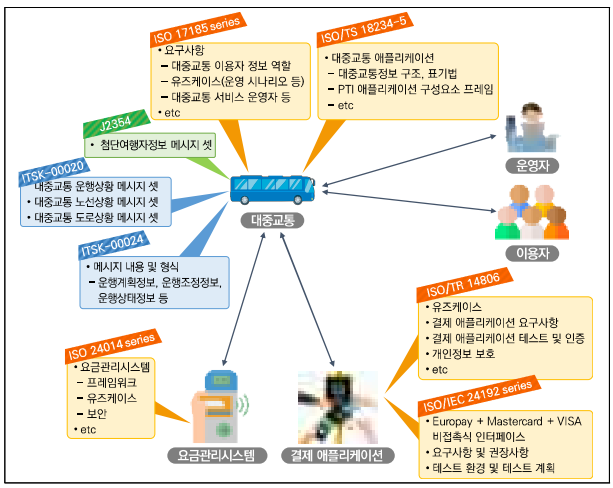
도로전광표지(Variable Message Sign, VMS) 관련 표준은 <그림 2>와 같이 ISO/TS 20684-10, NTCIP 1203, KS X ISO/TS 20684-10, ITSK-00082-1, ITSK-00082-2, ITSK-00087이 있으며, VMS 기능 및 성능 요구사항, 데이터 교환 및 운영 환경 요구사항, 데이터 교환 프로토콜 등을 정의하고 있다. 국제표준인 ISO/TS 20684-10은 물리적 아키텍처, VMS 제어모드관리, 디스플레이 데이터 교환, 메시지 표시 등을 규정하고 있다. 미국표준인 NTCIP 1203은 프로토콜, 아키텍처, 데이터 교환 및 운영 환경 요구사항 등을 정의하고 있다. 국내표준인 KS 표준은 ISO/TS 20684-10을 부합화하고 있으며, ITSK-00082-1, 2 표준은 기능 및 성능 요구사항, 시험 기준 및 방법, 데이터 교환 프로토콜, 메시지 교환시나리오 등을 정의하고 있는 것으로 파악되었다.



<그림 2> VMS 관련 표준

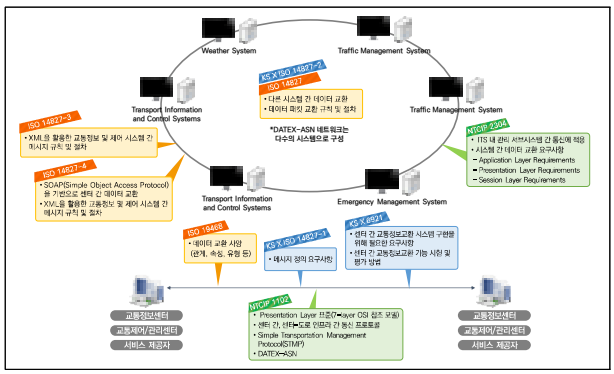
대중교통정보 및 요금 관련 표준은 <그림 3>과 같이 ISO 17185 series, ISO 24014 series, ISO/TR 14086, ISO/IEC 24192, ISO/TS 18234-5, SAE J2354, ITSK-00020,

ITSK-00024가 있으며, 대중교통 이용자 정보 요구사항, 메시지 셋, 결제 애플리케이션 요구사항, 요금관리시스템 등을 정의하고 있다. ISO 17185 series는 대중교통 이용자 정보 제공을 위한 기본 프레임워크, 이용자 및 관리자 유즈케이스 등을 정의하고 있으며, ISO 24014 series는 교통요금관리시스템의 프레임워크, 역할, 유즈케이스, 인증 등을 기술하고 있다. ISO/TR 14806은 결제 애플리케이션 요구사항, 결제 애플리케이션 테스트 및 인증, 개인정보 보호 등을 규정하고 있으며, ISO/IEC 24192 series는 비접촉 대중교통장치 요구사항, 테스트 등을 정의하고 있다. ISO/TS 18234-5는 대중교통정보(Public Transport Information, PTI) 구조, 표기법, 구성요소 프레임 등을 규정하고 있다. SAE J2354는 첨단여행자정보시스템(Advanced Traveler Information System, ATIS) 관련 메시지를 정의하고 있다. ITSK-00020에는 대중교통 정보교환을 위한 메시지 분류체계, ASN.1 메시지 등을 기술하고 있으며, ITSK-00024에는 메시지 내용 및 형식을 정의하고 있다.



<그림 3> 대중교통정보 및 요금 관련 표준

교통관리센터 관련 표준은 <그림 4>와 같이 ISO 14827 series, ISO/TS 19468, NTCIP 1102, NTCIP 2304, KS X ISO 14827-1, KS X ISO 14827-2, KS X 6921이며, 교통정보센터, 교통제어/관리센터, 서비스 제공자, 교통제어 및 제어시스템 간 메시지 절차, 데이터 교환 사양 등을 정의하고 있다. ISO 14827 series는 데이터 교환절차, 교환 모델링 프레임워크 등을 기술하고 있으며, ISO/TS 19468은 데이터 교환 기능, 요구사항 등을 정의하고 있다. NTCIP 1102는 센터 간 통신 프로토콜, DATEX-ASN 등을 정의하고 있으며, NTCIP 2304는 ITS 서브시스템 간 데이터 교환 요구사항 등을 규정하고 있다. KS X ISO 14827-1과 KS X ISO 14827-2는 국제표준을 부합화하고 있으며, KS X 6921은 센터 간 교통정보 교환 요구사항, 기능시험 및 평가방법 등을 정의하고 있다.



<그림 4> 교통관리센터 관련 표준

Ⅴ. 결론

국내 민간기업이 ITS를 해외 현장 적용 및 수출 시 상호운용성 및 호환성을 확보하기 위해서는 대상국에서 요구하는 시스템에 대한 표준 정보가 필요하다. 본 연구에서는 국내 민간기업의 해외 ITS 사업 추진 및 수출 지원을 위한 주요 ITS 분야별 표준 정보 제공 방안을 마련하였다.

민간기업의 무역기술장벽 해소 및 표준 정보를 제공하기 위해 TBT 협정, ITS 분야 국제 표준체계, 미국 및 유럽 표준체계를 분석하였다. 최근 5년간(2020년~2024년 7월) 해외 ITS 사업 발주정보를 기반으로 발주건수가 많은 ITS 사업분야, 대륙 및 국가를 분석하였다. 발주건수가 많은 해외 ITS 사업분야는 인프라, 대중교통, 교통관리 순으로 분석되었다. 발주건수가 많은 대륙은 아시아 36%, 아프리카 21%, 유럽 19% 순으로 도출되었다. 아시아에서 10개 이상 ITS 사업을 발주한 국가는 몽골, 방글라데시, 스리랑카, 인도, 인도네시아, 중국, 필리핀, 파키스탄으로 분석되었다. 인프라, 대중교통, 교통관리 사업분야별 국제표준, 미국표준, 국내표준의 목록, 적용 범위, 주요내용 등을 반영하여 표준 분석서를 개발하였다.

본 연구에서 개발된 표준 분석서가 민간기업에 제공된다면 해외 ITS 사업 추진 및 수출시 대상국의 상호운용성 및 호환성을 확보하여 해외진출의 진입장벽을 완화시킬 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 이를 통해 해외사업 및 수출시장 활성화에 기여할 수 있을 것이다. 향후에는 민간기업들이 C-ITS, 자율협력주행분야 해외사업 및 수출시장을 선도할 수 있도록 관련 표준을 분석하는 후속 연구가 추진되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 '2024년 도로교통분야 ITS 표준화 위탁사업'에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 국토교통부・ITS 국제협력센터, https://intl.its.go.kr/main
2. 산업표준심의회, 지능형교통시스템(ITS) - 노변 모듈 데이터 인터페이스 - 제10부: 도로전광표지판(VMS), KS X

ISO/TS 20684-10, 2023. 5. 23. 제정
3. 산업표준심의회, 지능형교통시스템(ITS) - ITS를 위한 센터간 데이터 인터페이스 - 제1부: 메시지 정의 요구사항, KS X ISO 14827-1, 2023. 7. 31. 개정
4. 산업표준심의회, 지능형교통시스템(ITS) - ITS 센터간 교통정보교환을 위한 시험방법과 절차, KS X 6921, 2017. 10. 13. 제정
5. 산업표준심의회, 지능형교통시스템(ITS) - 교통정보 및 제어시스템 - ITS를 위한 센터간 데이터 인터페이스 - 제2부: DATEX-ASN, KS X ISO 14827-2, 2002. 7. 20. 제정
6. e나라표준인증, https://standard.go.kr/KSCI/portalindex.do
7. 한국지능형교통체계협회, 대중교통정보제공을 위한 정보형식 표준 Part 1., ITSK-00020, 2023. 07. 15.
8 ITS KOREA, ITS 표준총회 https://standard.itskorea.kr/main.do
9. 한국지능형교통체계협회, 대중교통정보제공 정보형식 규격 - 제2부 Message Sets for Public Transport Information Standard Part 2, ITSK-00024, 2024. 09. 22.
10. 한국지능형교통체계협회, 도로전광표지 시스템 규격 - 제1부 : 공통, ITSK-00082-1:2022v2, 2022. 11. 03.
11. 한국지능형교통체계협회, 도로전광표지 시스템 규격 - 제2부 : 고속도로 및 일반국도 일반형, ITSK-00082-2:2022v2, 2022. 11. 03.
12. 한국지능형교통체계협회, 도로전광표지(VMS) 시스템 규격 - 제6부 : VMS-센터간 정보교환, ITSK-00087, 2013. 12. 20.
13. AASHTO / ITE / NEMA, Octet Encoding Rules (OER) Base Protocol, NTCIP 1102:2004 v01.15, October 2005.
14. AASHTO / ITE / NEMA, Object Definitions for Dynamic Message Signs (DMS), NTCIP 1203 v03, September 2014.
15. AASHTO / ITE / NEMA, Application Profile for DATEX-ASN (AP-DATEX), NTCIP 2304:2002 v01.08, September 2005.
16. AMERICAN NATIONAL STANDARDS, https://www.ansi.org/
17. ISO/TC 204, https://www.iso.org/committee/54706.html
18. ISO, Cards and Security Devices for Personal Identification - Communication between contactless readers and fare media used in public transport - Part 1: Implementation Requirements for ISO/IEC 14443(all parts), ISO/IEC TS 24192-1:2021, Edition 1, 2021. 05.
19. ISO, Cards and Security Devices for Personal Identification - Communication between contactless readers and fare media used in public transport - Part 2: Test plan for ISO/IEC 14443(all parts), ISO/IEC TS 24192-2:2021, Edition 1, 2021. 05.
20. ISO, Intelligent Transport Systems - Public Transport Requirements for the Use of Payment Applications for Fare Media, ISO/TR 14806:2013, Edition 1, 2013. 07.
21. ISO, Intelligent Transport Systems - Data Interfaces between Centres for Transport Information and Control Systems - Part 2: AP-DATEX, ISO 14827-2:2022, Edition 2, 2022. 12.
22. ISO, Transport Information and Control Systems - Data Interfaces between Centres for Transport Information and Control Systems - Part 3: Data Interfaces between Centres for Intelligent Transport Systems (ITS) using XML (Profile A), ISO 14827-3:2019, Edition 1, 2019. 01.
23. ISO, Intelligent Transport Systems - Data Interfaces between Centres for Transport Information and Control Systems - Part 4: Data Interfaces between Centres for Intelligent Transport Systems (ITS) using XML (Profile B), ISO 14827-4:2022, Edition 1, 2022. 09.
24. ISO, Intelligent Transport Systems - Public Transport User Information - Part 1: Standards Framework for Public Information Systems, ISO 17185-1:2014, Edition 1, 2014. 04.
25. ISO, Intelligent Transport Systems - Public Transport User Information - Part 2: Public Transport Data and Interface Standards Catalogue and Cross References, ISO/TR 17185-2:2015, Edition 1, 2015. 12.
26. ISO, Intelligent Transport Systems - Public Transport User Information - Part 3: Use cases for journey planning systems and their interoperation, ISO/TR 17185-3:2015, Edition 1, 2015. 05.
27. ISO, Traffic and Travel Information (TTI) - TTI via Transport Protocol Expert Group (TPEG) Data-Streams - Part 5: Public Transport Information (PTI) Application, ISO/TS 18234-5:2006, Edition 1, 2006. 06.
28. ISO, Intelligent Transport Systems - Data Interfaces between Centres for Transport Information and Control Systems - Platform-independent model specifications for data exchange protocols for transport information and control systems, ISO/TS 19468:2022, Edition 2, 2022. 02.
29. ISO, Intelligent Transport Systems - Roadside Modules SNMP Data Interface - Part 10: Variable Message Signs, ISO/TS 20684-10:2021, Edition 1, 2021. 04.
30. ISO, Public Transport - Interoperable Fare Management System - Part 1: Architecture, ISO 24014-1:2021, Edition 3, 2021. 01.
31. ISO, Public Transport - Interoperable Fare Management System - Part 2: Business Practices, ISO/TR 24014-2:2013, Edition 1, 2013. 08.
32. ISO, Public Transport - Interoperable Fare Management System - Part 3: Complementary Concepts to Part 1 for Multi-Application Media, ISO/TR 24014-3:2013, Edition 1, 2013. 04.
33. OST-R・US DOT, Intelligent Transportation Systems Joint Program Office https://www.iso.org/committee/54706.html

자율주행(Ⅲ)

Session

B-2

자율주행차 사고분석을 위한 교통사고 조사서 및 통계원표 개선 방안 연구
강유정, 강유리, 배문수, 김천호, 김원기

자율주행 순찰서비스 유닛의 교통사고 현장대응 전략 수립을 위한 연구
고하영, 장기훈, 손승녀

자율차-일반차 혼재상황에서 돌발상황 발생시 교통운영전략 수립 – 화성시 리빙랩 도시 대상으로 –
김동우, 손영태, 전진숙, 하혜종, 정현숙

중요도-만족도 분석을 활용한 자율주행 대중교통 서비스 개선 우선순위 도출
김예진, 고우리, 윤일수

자율협력주행자동차 V2X 성능 평가항목 개발을 위한 기초 연구
김인영, 이영택, 윤일수

자율-비자율 혼합 차량 추종상황에서 주행행태 비교 분석
진현석, 오철

2024 한국ITS학회 추계학술대회

자율주행차 사고분석을 위한 교통사고 조사서 및 통계원표 개선 방안 연구

김유정*, 김유리*, 배문수*, 김천호**, 김원기*

* 한국도로교통공단

** 대한교통학회

이동하는 모든 순간
안전과 편리를 더하는
국민의 KORAD

한국도로교통공단 KOROAD

Ⅰ. 연구 개요

연구 배경 및 목적

- 첨단운전보조장치가 장착된 차량의 수요는 매년 증가하며 수요 증가와 더불어 ADAS 차량 교통사고도 증가하는 추세
- 차량 및 인프라 원인에 대한 조사 기법, 기술 미비로 인해 **불명 원인의 교통사고 책임이 모두 인적 책임**(국내 : 안전운전 불이행)으로 데이터가 수집되며 자율주행차 사고로 인한 피해 규모 예측 불가
- 자율주행 기술이 고도화됨에 따라 주행 보조 기술, 통신기술, 차량 주행 기록 등 다양한 기술 활용
  ⇒ **사고분석방법, 주체 등도 다양해질 것으로 전망됨**
- 자율주행차는 수시로 변하는 주행 환경에 반응해 정보를 수집하고 상황에 맞게 판단을 내리고 전략을 수립해 운행함에 따라 상용화를 목전에 둔 단계로 발생할 수 있는 문제 예측을 통한 법 개정 검토가 반드시 필요함

발생 요인별 각 관점에서 교통사고 분석, 재현 기법 개발 필요

❍ 자율주행자동차와 일반자동차가 혼재된 상황이 상당기간 지속될 것으로 판단

❍ 사고가 발생한 시점에서의 다양한 자료를 수집하여 혼재 상황 시 교통사고 조사 · 분석 체계 정립 추진

자율주행차의 책임 원칙에 대한 정립 필요

❍ 교통사고로 인한 사람의 사상 또는 재물의 손괴 발생 시 형사책임 부과 필요

❍ 사고 발생 시 운전자와 자율차 사이에서 과실의 원인 규명을 위한 법적 근거 필요

Ⅰ. 연구 개요

연구 진행 Flow-Chart

실황조사서 및 자율차 사고분석 관련 국외 사례 검토
- 국외 비자율주행 및 자율주행 사고조사보고서 현황 검토
- 국내 실황조사서 현황

▼

자율주행 내/외부 요인 선정
- 실사고 사례 기반 통계 분석, 1차년도 자율주행 관련 기술 검토 기반 자율차 내/외부 요인 선정

▼

실황조사서 개정(안) 작성
- 사고 개요, 사고 현황, 사고 관련 차량 및 관련자, 데이터, 자율주행시스템, 사고유발원인, 관련 인프라 등과 관련된 항목 개정 작성

▼

실 수요자 및 전문가 의견수렴
- 실황조사서 작성 경찰관, 자율주행, 교통사고 분석 관련 전문가 대상 개정 항목의 적합성 검토 및 의견 수렴

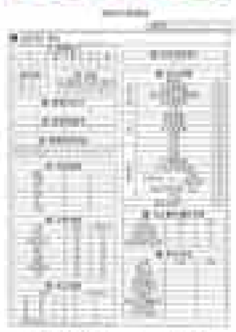
▼

최종 실황조사서 개정(안) 도출

실황조사서 개요

- 교통사고 조사 · 분석을 위해 수사기관이 사고 현장에 출동하여 관련자들의 진술을 청취하고 수사관의 오관의 작용에 의하여 실황을 조사한 결과를 기재한 교통사고보고서(이하 실황조사서라 지칭)를 작성
- 실황조사서는 사고 발생에 가장 근접한 중요한 근거자료로 수사서류에 첨부되어 증거 조사 단계에 제출
- 그러나, 현재 작성되는 실황조사서는 비자율주행차에 맞춰 구성
- 일반차와 혼재된 상황에서의 자율차 사고는 자율주행시스템 등과 같은 기능 분석이 추가적으로 필요, 운전자의 역할 축소와 같이 일반차량과는 특성이 상이함에 따라 자율차 맞춤형 실황조사서가 필요함

<교통사고 실황조사서>


<교통사고 통계원표>

Ⅱ. 기존 현황 고찰

국내 실황조사서 현황

- 실황조사서 : 사고현장의 상황과 수단 등 사고 실황을 조사하고 이후에 사실에 기반하여 경위 및 결과를 기재하는 문서
- 통계원표 : 교통사고 담당 경찰관이 직접 조사한 자료를 기반으로 작성하는 문서로 TCS(교통경찰업무시스템)를 통해 입력되어 TAAS 등 유관기관을 통해 제공
- 실황조사서는 사고의 구체적인 세부사항을 제공하고, 통계원표는 광범위한 교통사고에 대한 통계적인 개요를 제공함
- 신교통수단 등장 등 교통 환경이 변화함에 따라 2020년 기존 68개의 항목에서 불필요한 항목들은 제거하여 60개 항목으로 개선함

<실황조사서 작성 근거>

[illegible]
[illegible]
[illegible]
[illegible]

<실황조사서 통계원표 작성 항목>

구분	실황조사서			통계원표		
사고 개요	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	-		-

II. 기존 현황 고찰

국외 실황조사서(자율차) 현황

캘리포니아 DMV

- 캘리포니아 차량 관리국(DMV)에서는 캘리포니아주에서 시범운행이 허가된 자율차의 사고 정보에 대해 수집
- 현재 공개된 유일한 자율주행 사고조사보고서로 다양한 자율주행 연구에 활용

구분	내용
제조사 정보	Manufacturer's name / Business name
Vehicle 1 정보	Date of accident / Time of accident / Vehicle year / Make / Model / Vehicle was (Moving / Stopped in traffic)/Involved in the accident (Pedestrian / Bicyclist)/Describe vehicle Damage / Shade in Damaged area
Vehicle 2 정보	Vehicle year / Model/Vehicle was (Moving / Stopped in traffic)/Involved in the accident (Pedestrian / Bicyclist)
상해 정보	Injured / Deceased / Driver / Passenger / Bicyclist / Property
상세 사고 정보	Autonomous mode / Conventional Mode/Roadway Surface / Roadway conditions / Movement Preceding collision / Type of collision / Other associated factor(s)
확인서	[illegible]

미국 NHTSA

- NHTSA에서는 SAE 2단계 첨단운전자 보조 시스템(ADAS) 또는 SAE 3~5 단계의 자율주행 시스템(ADS)이 장착된 차량의 제조업체 및 운영자에게 충돌 사고를 보고하도록 요구함

구분		내용
[illegible]	[illegible]	[illegible]
	[illegible]	ADAS, ADS 시스템 버전, 하드웨어 버전, 소프트웨어 버전, ADS 정보 등
[illegible]		[illegible]
[illegible]		[illegible]
[illegible]		[illegible]
[illegible]		[illegible]
[illegible]		[illegible]

II. 기존 현황 고찰

관련 문헌

교통사고 조사 양식 개선방안 연구

제목	저자	고려 대상	내용
A Comprehensive Traffic Accident Investigation System for identifying causes of the accident involving Events with Autonomous Vehicle(2024)	Heesoo Kim et al.	자율주행차	- 자율주행차와 관련된 교통사고의 원인을 체계적으로 분석하고 이해하기 위한 종합적인 교통사고 조사 시스템 제안 - [illegible] - [illegible]
자율주행 안전성 검증 시나리오 개발 활용을 위한 교통사고보고서 개선방향에 관한 연구(2022)	[illegible]	자율주행차	- [illegible] - [illegible] Pre/On/Post - Crash [illegible] - [illegible]
교통사고 통계원표의 효율적 활용 및 개선방안(2021)	[illegible]	자율주행차 비자율주행차	- [illegible] - [illegible] - [illegible]
운전자 인적요인을 고려한 교통사고 조사 양식 개선방안 연구(2010)	[illegible]	비자율주행차	- [illegible] - [illegible] - [illegible]

Ⅲ. 자율차 요인 선정

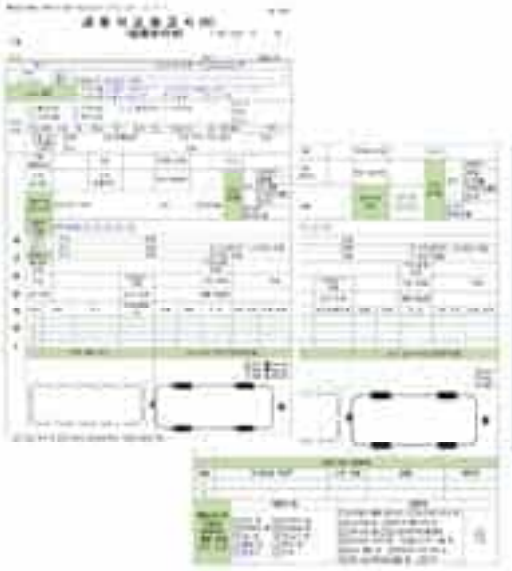
자율주행차 내 · 외부 요인 도출

- 자율주행기술, 실사고 분석, 국외 자율차 사고 보고서 등을 기반으로 자율주행차 사고요인 선정

Ⅳ. 실황조사서, 통계원표 개정(안) 제시

실황조사서 개정(안) 작성

- 국외 자율주행차 사고 조사 · 분석 항목을 바탕으로 자율주행 맞춤형 실황조사서 개정(안) 제시



Point 1. 자율주행차 및 면허 여부

Point 2. 자율차 제원

Point 3. 운전 참여를 감지 여부

Point 4. 운행자 정보

Point 5. 차량 충돌 및 센서 설치 위치

Point 6. 연속 레벨 상태

Point 7. 기타 사고 관련자 정보

Point 8. 사고와 직결된 행동 유형

전문가, 실수요자 자문을 통해 타당성 있는 항목 검토 및 선정

Ⅳ. 실황조사서, 통계원표 개정(안) 제시

실황조사서 개정(안) 작성

- 국외 자율주행차 사고 조사 · 분석 항목을 바탕으로 자율주행 맞춤형 실황조사서 개정(안) 제시

Point 9. 구축 가능 데이터

자율차 사고의 경우 데이터를 활용한 분석이 핵심
현장에서 구축 가능한 데이터 확보 필

Point 10. 데이터 정상 기록 여부

ECR 필수 저장 항목으로 정상 기록 여부 및
데이터 변조 방지를 위해 정상 기록 저장에 대한 검토 필

Point 11. 사고차전 운전자 행동

만약 자율 이전 제품 : 운전자의 대응이 필요한 상황 등
책임소재 확인을 위해서는 사고 직전 운전자의 행동에
대해 파악 필요

Point 12. 차선 관련 정보

Curb, Curved 차량 등이 사전에 수집 시스템에
분석하는 것이 좋아
차선의 경우 명시된 인식정보 이외 실제한 인식 여부를
분석하기 위해 차선의 상태에 대해서도 파악이 필요함

Point 13. 신호 상태

자율차의 경우 교차로에서 사고가 많이 일어나며 특히한
신호 인지를 차량는지에 대한 분석을 위해 각 신호기
운영자와 협의 이 과정 신호 상태에 대해서도 파악이 필요함

Point 14. 통신 인프라 관련

통신 인프라의 제품, 종류, 용도, 제조사 관련된 정보
수집을 통해 기사하던 통신 오류 발견에 대한 분석 가능

Point 15. 자율주행시스템 관련

주행보조기능에 대한 정보를 위해 각 기능이 활성화 된
상태였는지, 정상 수준이였는지 비활성화 상태였는지
여부 파악이 필요

Point 16. 사고 유발 원인

사고 유발 원인이 다양화가 가속하는 현실에서 여러
사고를 유발할 수 있는 원인 추가

전문가, 실수요자 자문을 통해 타당성 있는 항목 검토 및 선정

Ⅳ. 실황조사서, 통계원표 개정(안) 제시

교통사고 통계원표 개정(안)

사고 개요 관련

개정 항목
자율주행 교육 이수 여부

개정 취지
• 현재 운전자의 취득 과정에서도 자율주행에 대한 이해도를 제고하기 위해 자율주행 관련 교육 추진 중임 • 그러나 아직은 신규 면허 취득자에 한해 교육이 진행되고 있기에 자율주행 교육 이수 여부를 조사함으로써 위험상황 시 적절한 대응을 하였는지, 운행자로서의 책임을 수행하였는지 등에 대한 책임을 부과 가능함

Ⅳ. 실황조사서, 통계원표 개정(안) 제시

교통사고 통계원표 개정(안)

사고 개요 관련

개정 항목

당사자 차종
(교통사고 처분 및 피해자 차량 조사 통합)

개정 이유

- 기존 일반차량도 승용, 승합, 화물 등 세부차종으로 구분되어 있음에 따라 자율주행차도 승용, 승합, 화물, 버스 등 다양한 차종의 개발될 예정임
- 이에 각 차종에 대한 조사가 필요하며 각 차종에 대한 사고통계를 통해 유의미한 사고 분석이 가능할 것으로 보여짐

개정 항목

보험가입 상황

개정 이유

- 최근 자율주행사에게 맞선 보험업계에서도 다양한 자율주행 관련 보험을 선보이고 있음
- 이에 자율주행 사고 발생 시 대응 가능한 보험에 가입되어 있는지, 책임 소재를 따른 보험 보상 기준이 심리 해결에 따라 위 사항에 대한 파악이 필요함

Ⅳ. 교통사고 통계원표 개정

교통사고 통계원표 개정(안)

사고 개요 관련

개정 항목

센서별 작동 여부

개정 이유

- 자율주행차는 센서 기반으로 주행이 이루어지기에 각 센서의 정상적인 작동 여부가 이슈사항으로 보여짐
- 센서가 장애물을 인지하였는지를 분석하기 이전에 정상적인 기능을 하고 있는지 분석이 필요하며 이를 통해 원인분석이 가능할 것으로 보여짐

개정 항목

특정도로

개정 이유

- 자율주행차의 경우 단순한 시스템 작동을 위해서는 운행 구역이 지정될 예정이며 차종 확대될 것으로 전망됨
- 이에 자율주행이 운행이 가능한 도로 였는지 등에 대한 조사를 통해 사고가 자주 발생하는 도로, 구간, 책임소재 등을 분석 가능할 것으로 보여짐

Autonomous Driving Patrol Service

자율주행 순찰서비스 유닛의

교통사고 현장 대응 전략 수립을 위한 연구

한국ITS학회 2024년 추계학술대회 | 2024.10.

한국지능형교통체계협회

고하영(발표자) 장기훈 손승녀

연구의 배경

교통사고 발생 시 **신속한 초기 대응 및 2차 사고 예방**을 위해 **자율주행 기술을 접목한 조치 체계 마련**

교통사고 발생 시
2차 사고 방지를 위한
신속한 초동조치 필요

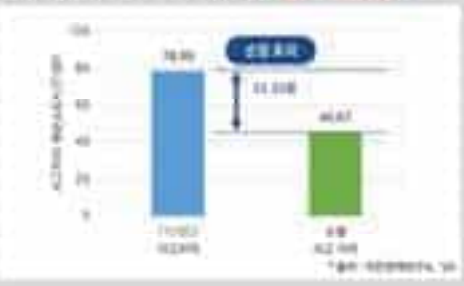
교통사고 사망자 중 약 17%는 2차 사고로 인한 사망자이며, 2차 사고 치사율 ↑

구분	2020년		2021년		2022년		통계	
	사고 건수	사망자 (치사율)	사고 건수	사망자 (치사율)	사고 건수	사망자 (치사율)	사고 건수	사망자 (치사율)
① 일반 사고	1,783	151 (8.5%)	1,665	143 (8.6%)	1,621	127 (7.8%)	5,089	421 (8.3%)
② 2차 사고	51	28 (54.9%)	50	28 (56.0%)	51	29 (56.9%)	152	85 (55.9%)
총계 (① + ②)	1,834	179	1,715	171	1,672	156	5,241	506

+78

+7%

교통사고 112신고 사고처리 1건당 **평균 1시간 이상** 소요



자율주행 순찰 유닛을 활용하여
신속·정확한 경찰 업무 지원 필요

정확한 사고지점 파악이 어려워 사고처리 지연발생

현장 측량의 위험성, 수기 측량 부정확(교통사고 현장 약도 작성의 어려움)

- 교통사고 현장에서 경찰의 직접 현장 측량 시, 사고 위험성 ↑
- 경찰 수기 측량 및 도면 작성 시, 현장 약도의 부정확성으로 사고 분석 어려움

연구 목적

자율주행 순찰 서비스 유닛을 활용한 교통사고 현장 대응(초동 조치) 전략 수립

구분	핵심 요구사항	서비스 분야	단위 서비스
교통	교통사고 예방 (사전 대비)	교통질서 유지를 위한 자율주행 기반 예방 순찰	• 자율주행 노선(인력) 순찰 • 자율주행 거점 순찰 • 교통안전시설 유지관리 • 도로/노견상태 관리
		법규 준수를 위한 교통지도 감시 · 단속	• 속도 위반 • 중앙선 침범 • 지정차로 위반 • 회전(유턴, 좌회전 등) 위반 • 불법주정차 위반 • 이륜차 불법(안전모 미착용, 통행지도 위반, 속도불법) • 퍼퍼물기 • 모리물기 • 신호위반
	교통사고 대응 (사후 대처)	이벤트 상황 발생 시 교통소통 관리 및 현장 통제	• 비정형 교통흐름(사고, 사회활동) 대응 • 통행제한/속도제한 조정 관리 • 사고/재난 정보 전파 • 트래픽브레이션 • 전·후방 차량/인력 통제 • 계도/단속정보 안내
		교통경찰 행정업무 지원	• 교통사고 기록 자동화 • 위해 차량 감시
교통 · 생활안전	교통안전 대책	교통사고 예방을 위한 보행자 보호	• 보행 안전 횡단 지원 (미디어) • 스리진 보행자(우회차 등) 사고 예방 • 보행자 에스코트 (산실거가 동행)

3

연구 방법론

연구 방법론

- 자율주행 순찰서비스 중 교통사고(일반) 현장 대응 전략을 수립하기 위해 국내·외 문헌 고찰을 통해 순찰서비스 유닛이 지원 가능한 임무 파악
- 자율주행 순찰 유닛별 기술적으로 구현 가능한 기능을 정의하여 도로 유형별(단속류 도로, 단속류 도로, 보차혼용도로) 교통사고 현장 대응 전략 수립

문헌 고찰 (매뉴얼 검토)

- 자율주행 순찰 유닛 지원 가능 임무 파악(경찰학개론, 경찰교통론)
- 교통사고 대응 절차 및 처리단계, 업무 분담 전략(교통사고 초동조치 매뉴얼)

자율주행 순찰서비스 유닛 기능 정의

※ 유닛 전체 : 자율주행 기능 구현

	자율주행 교통순찰차 (MPC)	구조물형 소형 자율순찰차 (I-SPC)	드론탑재형 소형 자율순찰차 (D-SPC)	소형 자율순찰로봇 (SPR)
운영범위	도심 내 · 외 단속류 운영(모든 지역)	도심 내 단속류(교차로) 중심 운영	도심 외곽 단속류 중심 운영	보도,보차혼용도로 중심 운영
주요 서비스	순찰/관제	순찰/단속/관리/행정	순찰/단속/관리/행정	순찰/단속/관리/행정/ 보행자 보호

교통사고 현장 대응 전략 수립

4

문헌 고찰

교통사고 발생 시 순찰 유닛 지원 가능 임무 파악을 위한 관련 문헌 고찰

① 경찰학개론

- 교통사고처리시스템(교통사고 처리요령), 대형교통사고 처리 매뉴얼 및 교통사고 현장초동조치 매뉴얼 주요내용, 교통사고 현장 경찰조치요령 규정

(1) 교통사고처리시스템 : 사고 피해 유형(인적피해사고, 물적피해사고, 도주사고)에 따른 적용 법령, 처리 요령 안내

(2) 현장초동조치 매뉴얼

- 교통사고 현장에서의 경찰 조치 요령

① 경찰차 주차장소 선정 : 교통에 방해가 안되며 전조등으로 현장을 비출 수 있는 장소에 주차

② 부상자 유무 신속 파악 : 부상자 구호가 최우선, 응급처치 및 구급차 요청하여 병원으로 후송

③ 사망자 유무 확인 및 사고 관계자 소지금품 보호

④ 2차사고 방지 노력 : 사고현장 부근 교통정리, 보행인 이동, 교통차단, 위험물발견 및 제거/보관, 교통장애물 조치

⑤ 현장 보존, 증인 확보, 사진 촬영

② 경찰교통론

<교통사고 보고서(실황조사서)>

(1) 신고접수-출동-현장조치

신고접수
- 기초자료(사고일시, 장소, 신고자 인적사항, 사고 내용) 확보

현장출동
- 신고접수 즉시 출동하여 현장 보존, 증거수집 필요
- 경찰관 : 발생일시/장소, 사고 유형, 피해 상황 등 즉시 보고

현장조치
- 사상자 구호 조치 : 관내 응급구호기관 연락, 구급차 출동 요청
- 교통 소통 관리(사고 상황 현장 표시, 교통 정리 제공)

(2) 현장초동수사

차량/피해자 최종위치 표시	액체유류물 / 고체유류물품
노면 차량 사고 흔적 / 타이어 흔적	도면작성 및 사진촬영

(3) 사전 자율주행 순찰 유닛 지원 가능 임무

- 2차 사고 방지 : 자율차/비자율차 대상 교통사고 발생 상황 전파, 교통 통제 및 차단, 사고현장 부근 교통정리
- 자동사고기록 : 사진 및 영상 촬영 및 현장 도면화(사고현장 약도 작성), 사고 현장 위치(좌표) 파악 및 공유, 유닛 센싱 정보 기반 교통사고보고서 자동 생성

문헌 고찰

전략 수립을 위한 교통사고 현장 대응 절차 파악을 위한 문헌 고찰

③ 교통사고 초동조치 매뉴얼

신고접수 → 현장출동 → 현장도착 → 사상자 구호/교통안전확보 → 증거확보/보존 → 서식작성 → 경찰서인계

(1) 사고 출동 단계 (2) 사고처리 단계 (3) 사고처리 후 단계

자율주행 순찰 서비스 유닛 기능 정의

자율주행 순찰 서비스 유닛 임무 중심의 교통사고 현장 대응 전략 수립

자율주행 순찰 서비스 유닛 임무 중심의 교통사고 현장 대응 전략 수립

자율주행 순찰서비스 운영 전략_자율주행 소형 교통순찰차/로봇(SPC/SPR)

- 자동사고기록, 사고현장 정리 및 통제 중심 임무 수행

도로 유형별 자율주행 순찰 서비스 유닛 교통사고 현장 대응 전략 수립

자율주행 순찰 유닛 활용 기반 교통사고 현장 대응 전략 1(차도/연속류)

AI-등

<일반사고(차도, 연속류) : MPC 1대(경찰 1인), 도로정체형 유인 SPC 1대(경찰 1인) 출동시>

구분	경찰관 서송우?		경찰관 비운전	
현장 도착시	• 상황판단 → 현장위험 및 피해정도	• 보고 · 전파 · 지원요청	• 순찰차량 안전확보	• 사고현장 안전확보
구호 및 안전조치	• 사상자 구호 및 위치확인	• 사상자 구급차 인계 및 기록유지, 소지품 보관	• 2차 사고방지를 위한 조치	• 교통회복 및 필요시 차소한 차단
증거확보 및 보존	• 사고 운전자 및 부상자 인적사항 확보, 지형 진술서 교부, 진술청취 • 사고 발생시간, 가상 노면상태, 충돌 및 정지지점 등 확인 • 사고현장 주요사항 거리측정 등		• 증거자료 수집 및 유사 후 보존(차량손상, 타이어흔적, 차선, 혈흔, 낙하물, 유류물 등) • 사진촬영 및 목격자 확보 등 • 기타 사고관련 자료 수집	
종결	• 종합의와 상의	• 초동조치 실황조사서 작성 및 인계	• 사고차량 견인사항(A와 상의)	• 교통회복

TIP-등

구분	경찰관 서송우(MPC)	경찰관 비(도로정체형 유인 SPC)
현장 도착시	• 상황판단 → 현장위험 및 피해정도 • 보고 · 전파 · 지원요청(구급차, 견인차 등) • 자율주행 순찰 유닛 재개 및 지원 유도	• 순찰차량 및 사고현장 안전확보 - SPC 지원 • 자율차/비자율차 대상 교통사고 전파(MS, 비요) - SPC 지원
구호 및 안전조치	• 사상자 구호 및 위치확인 • 사상자 구급차 인계 및 기록유지, 소지품 보관	• 2차 사고방지를 위한 조치(추동/해방활동) - SPC 지원 • 교통회복 및 필요시 전방통제(통제/속도제한) - SPC 지원
증거확보 및 보존	• 사고 운전자 및 부상자 인적사항 확보, 지형 진술서 교부, 진술청취 • 목격자 확보, 기타 사고관련 자료 수집	• 자동 사고 기록(사진/영상 촬영) - 도로(경찰관 등) • 사고현장 측정 및 사고지점 위치(좌표) 인식 - 현장 도면제(3D Mapping) - 도로(경찰관 등) • 사고 발생시간, 가상 노면상태, 충돌 및 정지지점 등 확인(실황조사서 자동 생성) - 도로(SPC 지원) • 증거자료 수집 및 유사 후 보존 - 차량손상(타이어흔적,차선,혈흔,낙하물,유류물 - 경찰관 등)
종결	• 종합의와 상의 • 초동조치 실황조사서 작성(자료 송신) 및 경찰서 인계	• 사고차량 견인사항(A와 상의) • 현장(임무)수행상황 보고 및 교통 회복 - SPC 지원 • 기초 보고서 기반자료 작성 및 MPC(교통 센터) 전송 - SPC 지원

도로 유형별 자율주행 순찰 서비스 유닛 교통사고 현장 대응 전략 수립

자율주행 순찰 유닛 활용 기반 교통사고 현장 대응 전략 2(차도/단속류)

As-Is

<일반사고(차도, 단속류) : MPC 1대(경찰 2인), 구조출동 무인 SPC 1대 출동시>

구분	경찰관 A(승무)		경찰관 B(운전)	
현장 도착시	• 상황판단 → 현장위험 및 피해정도	• 보고 · 전파 · 지원요청	• 순찰차량 안전확보	• 사고현장 안전확보
구호 및 안전조치	• 사상자 구호 및 위치확인	• 사상자 구급차 인계 및 기록유지, 소지품 보관	• 2차 사고방지를 위한 조치	• 교통회복 및 필요시 최소한 차단
증거확보 및 보존	• 사고 운전자 및 부상자 인적사항 확보, 지정 진술서 교부, 진술청취 • 사고 발생시간, 기상 노면상태, 충돌 및 정지지점 등 확인 • 사고현장 주요사항 거리측정 등		• 증거자료 수집 및 표시 후 보존(차량손상, 타이어흔적, 파편, 혈흔, 낙하물, 유류물 등) • 사진촬영 및 목격자 확보 등 • 기타 사고관련 자료 수집	
종결	• 종합판단 실시	• 초동조치 실황조사서 작성 및 인계	• 사고차량 견인사항(AR) 실시	• 교통회복

To-Be

구분	경찰관 A(승무/MPC)	경찰관 B(운전)	구조출동 무인 SPC
현장 도착시	• 상황판단 → 현장위험 및 피해정도 • 보고 · 전파 · 지원요청(구급차, 견인차 등) • 자율주행 순찰 유닛 배치 및 지원 요청	• 순찰차량 및 사고현장 안전확보	• [illegible]
구호 및 안전조치	• 사상자 구호 및 위치확인 • 사상자 구급차 인계 및 기록유지, 소지품 보관	• 2차 사고방지를 위한 조치[illegible]	• 교통회복 및 필요시 [illegible]
증거확보 및 보존	• 사고 운전자 및 부상자 인적사항 확보, 지정 진술서 교부, 진술청취	• 증거자료 수집 및 표시 후 보존 • 차량손상, 타이어흔적, 파편, 혈흔, 낙하물, 유류물 • 목격자 확보, 기타 사고관련 자료 수집	• 자동 사고 기록(사진/영상) 촬영 • [illegible] • 사고 발생시간, 기상 노면상태, 충돌 및 정지지점 등 확인 (실황조사서 자동 생성)
종결	• 종합판단 실시 • 초동조치 실황조사서 작성자료 활용 및 현장서 인계	• 사고차량 견인사항(AR) 실시 • 교통회복	• 현장임무 수행상황 보고 및 교통 회복 • TCS 보고서 기반자료 작성 및 [illegible] 전송

도로 유형별 자율주행 순찰 서비스 유닛 교통사고 현장 대응 전략 수립

자율주행 순찰 유닛 활용 기반 교통사고 현장 대응 전략 3(보차혼용도로)

As-Is

<일반사고(보차혼용도로) : MPC 1대(경찰 2인), SPR 1대 출동시>

구분	경찰관 A(승무)		경찰관 B(운전)	
현장 도착시	• 상황판단 → 현장위험 및 피해정도	• 보고 · 전파 · 지원요청	• 순찰차량 안전확보	• 사고현장 안전확보
구호 및 안전조치	• 사상자 구호 및 위치확인	• 사상자 구급차 인계 및 기록유지, 소지품 보관	• 2차 사고방지를 위한 조치	• 교통회복 및 필요시 최소한 차단
증거확보 및 보존	• 사고 운전자 및 부상자 인적사항 확보, 지정 진술서 교부, 진술청취 • 사고 발생시간, 기상 노면상태, 충돌 및 정지지점 등 확인 • 사고현장 주요사항 거리측정 등		• 증거자료 수집 및 표시 후 보존(차량손상, 타이어흔적, 파편, 혈흔, 낙하물, 유류물 등) • 사진촬영 및 목격자 확보 등 • 기타 사고관련 자료 수집	
종결	• 종합판단 실시	• 초동조치 실황조사서 작성 및 인계	• 사고차량 견인사항(AR) 실시	• 교통회복

To-Be

구분	경찰관 A(승무/MPC)	경찰관 B(운전)	SPR
현장 도착시	• 상황판단 → 현장위험 및 피해정도 • 보고 · 전파 · 지원요청(구급차, 견인차 등) • 자율주행 순찰 유닛 배치 및 지원 요청	• 순찰차량 및 사고현장 안전확보	• [illegible]
구호 및 안전조치	• 사상자 구호 및 위치확인 • 사상자 구급차 인계 및 기록유지, 소지품 보관	• 2차 사고방지를 위한 조치 • 교통회복 및 필요시 최소한 차단	• 2차 사고방지를 위한 조치 • [illegible]
증거확보 및 보존	• 사고 운전자 및 부상자 인적사항 확보, 지정 진술서 교부, 진술청취	• 증거자료 수집 및 표시 후 보존 • 차량손상, 타이어흔적, 파편, 혈흔, 낙하물, 유류물 • 목격자 확보, 기타 사고관련 자료 수집	• 자동 사고 기록(사진/영상) 촬영 • [illegible] (3D Mapping) • 사고 발생시간, 기상 노면상태, 충돌 및 정지지점 등 확인 (실황조사서 자동 생성)
종결	• 종합판단 실시 • 초동조치 실황조사서 작성자료 활용 및 현장서 인계	• 사고차량 견인사항(AR) 실시 • 교통회복	• 현장임무 수행상황 보고 • TCS 보고서 기반자료 작성 및 MPC로 [illegible] 전송

결론 및 향후 연구과제

연구 결론

교통사고 발생 시 자율주행 순찰 유닛 활용 현장 대응 전략 수립

교통사고 매뉴얼/지침

유닛 지원 업무 및 절차 분석

자율주행 순찰서비스 유닛별/도로유형별 업무분담 및 초동조치 절차 등 전략 제시

- MPC : 현장대응/유닛 제어 및 정보 통합
- SPC/SPR : 자동사고기록, 사고현장 교통 정리 및 통제
- 도로유형별 : 차도(단속류/연속류), 보차혼용도로 사고 발생 시 처리 절차 및 업무분담 전략 제시

기대효과

- 신속한 교통사고 초동조치로 2차 사고 저감 및 경찰 안전성/업무 효율성 향상
- 선진화/자동화된 경찰 업무 체계 수립
- 다중 센서 기반 객체 인식 및 상황분석 기술 확보
- 신속한 사고 현장 대응 전략을 통해 도로교통 안전성 향상 및 서비자 비용 절감
- 경찰 업무 자동화를 통한 교통경찰 업무 부담 해소

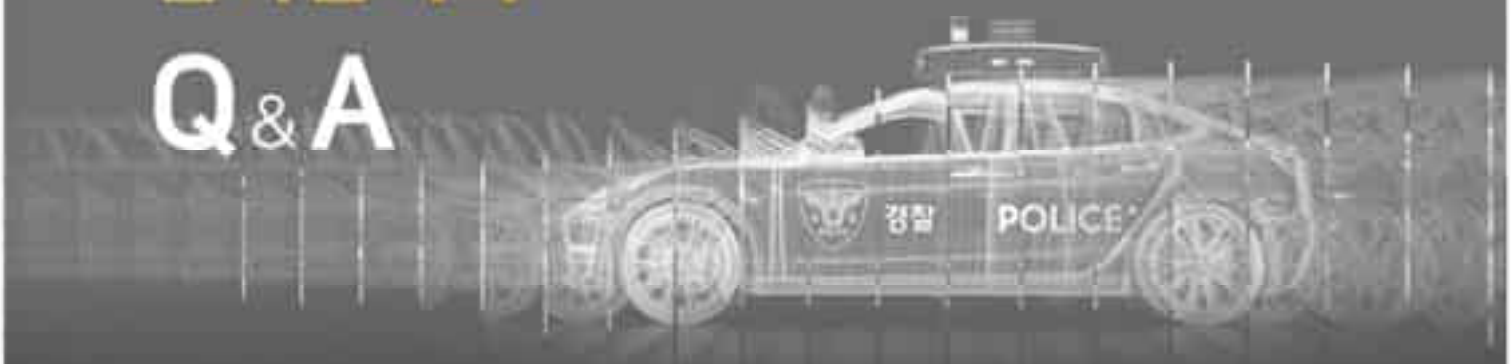
연구의 한계점 및 향후 연구 과제

- 대형사고 발생 시 자율주행 순찰 서비스 유닛 혼합 대응 전략 수립 필요
- 경찰 업무 지원 : 사고실황조사서 연계를 위한 현장상황 데이터 정의
- 자율주행 기반 순찰/단속 서비스를 위한 운영 전략 수립

Autonomous Driving Patrol Service

자율주행 순찰서비스 유닛의 교통사고 현장대응 전략 수립을 위한 기초 연구

Thank you
감사합니다
Q&A



※ 본 연구는 2024년도 정부(경찰청)의 재원으로 과학치안진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임
(RS-2024-00403630 농동력 교통사고 예방 및 대응을 위한 자율주행 순찰 서비스 개발)

자율차-일반차 혼재상황에서 돌발상황 발생시 교통운영전략 수립
-화성시 리빙랩 도시 대상으로-

Development Traffic Operation Strategies in Mixed Traffic Situations of Autonomous and Manual Vehicle When events occurs
- A Case Study of Hwaseong City Living Lab -

김동우	손영태	전진숙	하혜종	정현숙
(명지대학교 교통공학과 석사과정)	(명지대학교 교통공학과 주임교수)	(명지대학교 교통공학과 연구교수)	(명지대학교 교통공학과 연구교수)	(명지대학교 교통공학과 박사과정)

Key Words : 돌발상황 발생, 혼재된 교통상황, 자율주행, 시뮬레이션, 교통운영전략

목 차

Ⅰ. 연구의 배경 및 목적
Ⅱ. 연구범위 및 방법
Ⅲ. 선행연구 검토
Ⅳ. 교통운영전략 수립
Ⅴ. 시뮬레이션 모델링
Ⅵ. 결론

ABSTRACT

자율주행 기술이 고도화됨에 따라 자율주행을 기반으로 하는 모빌리티 서비스 도입과 관련된 연구와 실증 사업이 증가하고 있으며, 향후 자율주행차가 상용화되어도 상당한 기간동안은 일반차와 자율주행차가 혼재되어 운행되는 도로교통 상황이 지속될 것으로 전망된다. 따라서, 일반차와 자율차 혼재상황에서 발생할 수 있는 교통문제와 그에 따른 악영향을 최소화하기 위해서는 교통운영전략에 따른 자율차 주행지원 시스템이 필요하다.

본 연구에서는 자율주행모빌리티 리빙랩 도시로 선정된 화성시 남양읍을 공간적 범위로 한정하였으며, 다양한 실시간 교통 데이터를 수집하여, 수집된 데이터베이스가 자율차의 자율주행 지원을 위하여 혼재된 교통상황에 따라 원활하게 주행할 수 있도록 데이터 분류를 구체화하고, 이를 통해 빅데이터 분류체계인 교통관리 인덱스를 구축하였다. 교통관리 인덱스를 통한 교통운영 전략을 도출하여 운영전략 시행 전후를 비교분석하였다.

도로에서 돌발상황이 발생한 경우, 교통운영전략을 VISSIM 프로그램을 사용하여 시뮬레이션 모델링을 통하여 리빙랩에 대한 네트워크를 구축하고, 시뮬레이션 수행을 통하여 교통운영전략 시행 전후를 비교하였다. 분석한 결과, 평균 통행 시간이 감소하는 효과와 자율차의 운행, 전체적인 교통 흐름에도 긍정적인 영향을 주는 것으로 확인 되었다.

Ⅰ. 연구의 배경 및 목적

자율주행차 기술의 발전은 교통 시스템을 변화시키고 운전의 편의성 증대, 다양한 방면에서 긍정적인 영향을 보일 것으로 판단되나, 다양한 도로 환경과 조건에서 안전성 문제가 대두되면서 고도의 자율주행차의 상용화까지는 오랜 시간이 걸릴 것으로 전망된다.

향후 자율주행차가 상용화되어도 상당한 기간동안은 일반차와 자율차가 혼재되어 운행되는 도로교통 상황이 지속되는 것은 불가피할 것이다.

따라서, 도로에서 일반차와 자율차의 혼재상황 시 교통안전 및 효율적 교통흐름 확보를 위해서는 개별 자율주행 차의 운행상태를 모니터링하고 도로상황의 위험수준을 판단하여, 교통사고 및 혼잡 발생요인을 사전 관리해야 한다. 이에, 일반차와 자율차 혼재상황에서 발생할 수 있는 교통문제와 그에 따른 악영향을 최소화하기 위해서는 교통운영관리에 따른 자율차 주행지원 시스템이 필요하다.

실도로에서 일반차와 자율주행차가 혼재된 교통상황에서 자율주행차량이 안전한 주행을 하기 위해서는 실시간 교통 데이터의 수집·분석을 통한 교통상황 판단이 중요하다. 즉, 현재 운영 중인 지능형교통체계(Intelligent Transport System, ITS)의 차량검지시스템 및 스마트교차로 시스템 과 자율주행차량에 장착된 다양한 센서에서 수집된 실시간 속도 및 교통량 정보 등을 융합분석하여 자율차의 자율주 행을 지원할 수 있다. 따라서, 실시간 대용량 데이터를 효율적으로 관리하는 것은 매우 중요하다.

본 연구에서는 자율차의 안전한 주행지원을 위한 데이터를 구체화하여 분류하고 교통운영전략시 필요한 데이터를 바로 찾아올 수 있는 분류체계인 교통관리 인덱스를 구축하고 교통운영전략 use-case 중 돌발상황 발생에 따른 시나리오 시행 전후 비교분석을 목적으로 한다.

Ⅱ. 연구범위 및 방법

1. 연구 범위

본 연구의 공간적 범위는 자율주행모빌리티 리빙랩 도시로 선정된 화성시 남양읍으로 한정하였으며, 자율차의 도로 주행정보와 Edge-RSU 수집정보, ITS센터 차량검지시스템 및 스마트교차로 시스템 수집정보 등을 대상으로 빅데이터 자동분류체계인 교통관리 인덱스를 구축하였다. 리빙랩과 동일한 가상환경을 VISSIM 프로그램을 사용하여 구축하였다.

2. 연구 방법

본 연구에서는 관련 문헌 고찰을 통해 연구 방법론을 설명하고, 빅데이터 분류체계인 교통관리 인덱스를 구축하였다. 빅데이터들을 수집하고 교통관리 인덱싱 방법으로 데이터를 분류하고 교통운영 use-case 중 돌발상황 발생에 따른 교통운영 최적화 시나리오를 설정하였다.

그리고, VISSIM 프로그램의 시뮬레이션 모델링을 통하여 리빙랩의 가상 네트워크를 구축하고 시나리오 시행 전후 비교분석을 통하여 자율차의 경로를 분석하였다.

Ⅲ. 선행연구 검토

1. 데이터 분류 사전 연구

Park et al.(2020)는 교통 부문에 대한 데이터 종류가 다양해지는 상황에 대응하기 위해 교통 데이터 관리자 및 이용자 측면에서 이해하고 적용할 수 있도록 세종시에서 수집 가능한 교통 데이터를 활용하여 DCAT 기반 교통 데이터 카탈로그에 대해 실증 연구를 수행하였다. 데이터 카탈로그의 도입으로 이용자들의 데이터 이해도가 향상되어 데이터 분석의 다양성이 확보되고 분석에 대한 신뢰도가 향상될 것으로 판단된다고 하였다.

Duarte et al.(2021)는 위치를 점 또는 점 모음으로 나타낼 수 있는 시공간 데이터를 쿼리하기 위한 MIDET (Method for Indexing Traffic Events)를 제안하였다. MIDET은 고정 그리드 공간 지향 분할을 기반으로 하며, 데이터 스큐를 해결하기 위해 각 그리드 셀은 이벤트 기록을 포함하는 블록 집합과 연결되며, 실제 데이터를 검색하지 않고 블록을 필터링하는 데 비트맵 인덱스를 사용하였다. Waze에서 얻은 실제 데이터를 사용하여 실험 연구를 수행하였고, MIDET의 쿼리 성능을 R-트리 인덱스 구조를 채택한 Postgis와 비교하였다.

Kim et al.(2020)는 자율주행셔틀 실증을 위해 미국 도로 교통안전국(National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA) 자율주행시스템 보고서에서 제시하는 ODD 분류체계를 활용하여 국내 도로 인프라와 교통환경 조건에 맞는 자율주행 ODD를 정의하였다. 또한 국내 도로인프라 및 도로환경 조건을 고려하여 자율주행셔틀 ODD를 링크 유형 및 링크 소통상황 서비스수준으로 한국도로용량편람(2013)의 기준을 활용하여 정의하였다.

2. 교통운영전략 사전 연구

천춘근(2019)은 도심부 교통상황의 심각도를 판단하고, 그에 따른 교통 운영 시스템을 구축하는 방안을 제시한다. 도심부 교통 네트워크의 다양한 요소에서의 심각도 판단은 교통량의 수집, 가공, 융합, 검증 단계별 방법론으로 VDS 차량검지기의 교통량 데이터를 검증 및 분석하여 교통상황별 패턴데이터를 정립하였다.

이지연(2022)은 도심 교통 혼잡도를 분석하고 교통 운영 시스템의 설계 및 최적화를 제시한다. 교통량 데이터와 신호 시스템을 통합 분석하여 교통 혼잡을 효과적으로 관리할 수 있는 방안을 제시하며 거시적 및 미시적 교통 시뮬레이션을 활용하여 도심부 교통 패턴과 심각도를 평가하고, 이를 기반으로 동적인 교통 신호 조정 방안을 제시하였다. 도심 교통의

효율성을 높이고 사고율을 줄이기 위해 교통 운영 전략을 세밀하게 조정할 필요성을 강조하며, 실제 도시 환경에 적용 가능한 교통 운영 개선안을 제안한다.

임동현 외(2023)은 자율주행차 도입 단계별 교통운영전략 수립을 위해 자율주행차 혼입률에 따른 교통 효율성 및 안전성 분석을 수행하였으며, 분석 결과를 토대로 자율주행차 혼입률 30%, 70%를 기준으로 도입기, 과도기, 안정기로 구분하였다. 교통류 운영전략은 자율주행차 도입기에는 기존 도로 인프라 첨단화, 과도기에는 자율주행차 전용차로 및 일반차 마일리지 제도 운영, 안정기에는 자율주행차 전용차로 확대 운영 및 제한속도 완화를 제시하였다. 교통안전 전략은 도입기에는 자율주행차 사고 발생 대응 매뉴얼 및 법제도 마련, 과도기에는 자율주행차 사고 원인 분석 및 예방정책 시행, 안정기에는 자율주행차 시스템 고도화 및 보안정책 강화를 제시하였다.

정헌영(2011)은 VMS데이터의 중요성과 현재 교통 관리에서의 역할을 소개하며 VMS가 운전 행태와 경로 선택에 미치는 영향을 분석하기 위해 사용된 데이터 수집 및 구성 방법론을 제시한다. 분석 부분에서는 VMS(가변 메시지 표지)가 제공하는 실시간 교통 정보가 운전자의 운행 경로 전환 결정에 미치는 영향을 분석하고 특정 도로 구간에 설치된 VMS에서 제공하는 교통 상황 정보가 운전자의 경로 변경 행태를 어떻게 변화시키는지 관찰하였다. 그 결과, VMS 정보는 특히 교통 혼잡이 예상되는 경우 운전자들이 더 빠른 경로를 선택하도록 유도하는데 효과적임을 보였다.

이진수(2018)은 고속도로 혼잡을 실시간으로 판단하고 관리하는 새로운 지표와 알고리즘을 제시하며, 속도로 전역의 구간검지 시스템을 활용하여, 차량의 연속적인 주행 특성을 분석하고, 개별 차량의 희망주행속도와 실제 주행속도 간의 차이를 측정하여 혼잡도를 판단하는 VSRI 지표를 개발하였다. 해당 지표를 활용하여 교통량, 밀도, 구간 점유율 등 다양한 데이터를 통합하여 혼잡의 심각성을 실시간으로 평가할 수 있게 하였고 실시간 데이터 기반의 혼잡 관리 시스템이 효율적인 교통 운영과 사고 감소에 효과적이라고 설명했다.

3. 기존 연구와의 차별성

선행연구와는 달리 자율차와 일반차의 혼재된 교통상황에서 자율차의 운행데이터와 ITS 데이터를 융합한 복합데이터를 실시간으로 수집하여 자동 분류체계를 구축하였다는데 기존 연구와의 차별성을 지닌다. 교통운영 전략시 필요한 데이터를 즉각 찾아올 수 있는 분류체계를 활용하여 교통운영전략 use-case 중 돌발상황 발생에 따른 교통운영최적화 시나리오를 설정하고 실제 도로교통의 운영상황을 반영한 형태와 운영을 활용하여 시뮬레이션 모델링을 통해 교통운영전략 시행 비교분석을 진행하였다는 점에서 기존 연구들과 차별성을 지닌다.으로 한다.

Ⅳ. 교통운영전략 수립

1. 교통관리 인덱싱

리빙랩에서 수집된 다양한 정보 중 교통운영 최적화에 필요한 정보를 추출하여 빅데이터 분류방법인 교통관리 인덱스 방법으로 데이터를 분류하여 데이터베이스로 저장한다. 따라서, 교통관리 인덱스는 다음과 같은 방법으로 수행한다.

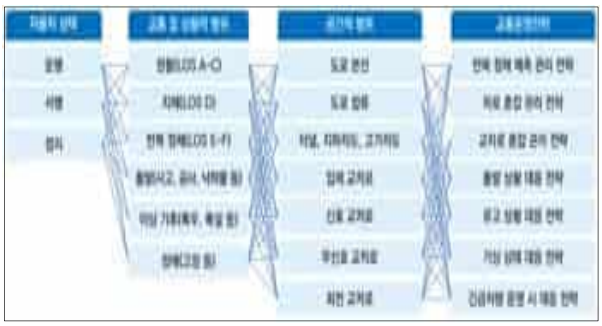
- 자율차-일반차 혼재상황의 교통운영 최적화에 필요한 데이터를 수집하여 인덱스 분류
- 실시간 대량으로 수집되는 데이터의 자동 인덱싱을 위해 AI시스템을 통한 인덱스 분류

교통관리 인덱싱은 그림 1과 같이 자율차의 운행상태를 기준으로 총 9단계의 프로세스로 진행된다.

<그림 1> 교통관리 인덱싱 프로세스

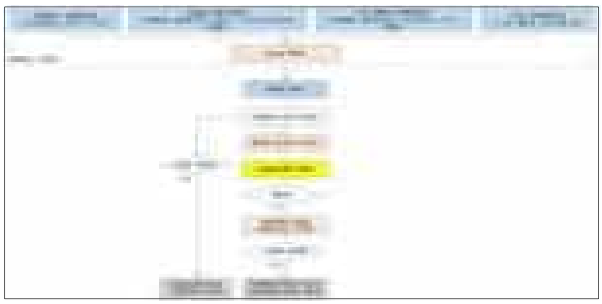
2. 교통운영전략 수립

자율차-일반차 혼재상황을 고려한 교통운영전략을 체계는 아래 그림과 같이 자율차 운행상태, 교통 및 상황적 범위, 공간적 범위를 고려하여 교통운영전략을 도출하는 체계를 구축하였다.



<그림 2> 자율차-일반차 혼재상황에서의 교통운영전략 체계 수립

본 연구에서는 도로에서 오전 첨두시에 발생한 돌발 상황에 대한 교통운영전략을 설계하였으며, 돌발상황 발생 시에는 다음과 같은 알고리즘으로 교통운영전략 시나리오가 실행된다.



<그림 3> 돌발상황 교통운영전략 시행 알고리즘

Ⅴ. 시뮬레이션 모델링

1. 데이터 설정

본 연구에서 자율주행모빌리티 리빙랩 도시로 선정된 화성시 남양읍의 도로 환경과 VDS 데이터, TOD, 스마트교차로 교통량 데이터를 활용하였다. 자율주행차는 Level 4로 가정하였으며, 운행 데이터는 warm up-time 900초 이후 1시간동안 120초 간격으로 자율차가 운행 구간을 주행하도록 설정하였다.

2. 네트워크 구축

자율주행 리빙랩 도시로 선정된 경기도 화성시 남양읍의 2차로 이상 도로를 시뮬레이션 네트워크를 VISSIM 프로그램을 사용하여 구축하였다. 화성시에서 제공받은 TOD자료를 반영하여 신호현시를 구현하였다.

<그림 4> 남양읍 도로(네이버 지도)

<그림 5> VISSIM 시뮬레이션 네트워크 구축

3. 운영전략 분석을 위한 시나리오 설계

본 연구는 돌발 상황 발생 시 교통운영 전략의 효과를 분석하기 위해 시행 전과 후의 교통 흐름을 비교 분석하였다. 시뮬레이션 네트워크 환경에서 리빙랩을 실제 행할 예정인 자율주행 차량 운행 구간을 설정하고, 이 구간에 일정 수의 자율주행 차량이 원활히 주행할 수 있도록 조정하였다. 이번 시뮬레이션에서 운행하는 자율주행차는 노선을 가지고 운행하는 대중교통 서비스를 제공하는 것으로 설정하였다. VISSIM 시뮬레이션을 통해 실제 교통량 데이터를 반영하였고, 각 지점에서 입력된 1시간 교통량을 기반으로 자율주행차량의 평균 통행 시간을 산출하였다.

이어서, 도로구간에서의 돌발 상황(교통사고)에 대비한 시나리오를 설정하여, 자율차 노선의 일부인 3차로 중 6m 구간의 2차로를 30분 동안 차량 통행을 금지시켰다. 이 시나리오는 돌발 상황이 발생했을 때의 자율주행차에게 교통운영전략을 시행여부에 대한 효과를 분석하기 위해 설정하였다.

또한, 돌발 상황 발생 시 자율차가 우회도로를 이용할 수 있도록 노선에 우회로를 추가하였고, 이를 통해 돌발 상황 발생 전과 후의 교통 흐름 변화를 분석하였다. 우회도로의 설정은 돌발 상황에 대한 교통운영 전략 시나리오로, 이를 통해 우회 효과 및 교통 흐름에 미치는 영향을 평가할 수 있었다.

이러한 방법론을 통해 돌발 상황 발생 시 자율주행 차량의 운행 경로와 교통 운영 전략의 효과성을 체계적으로 분석하고자 한다.

<표 1> 시뮬레이션 시나리오

구분	시나리오 1	시나리오 2
시간	오전첨두시간 (07:00~08:00)	오전첨두시간 (07:00~08:00)
자율차 MPR	0 ~ 100%(until : 10%)	
시뮬레이션 시간	4,500 sec (warm up : 900 sec)	
돌발상황	1200 sec부터 3900 sec까지 3차로중 2차로 차단	
교통운영전략	X	O

4. 시뮬레이션 분석결과

시나리오를 진행하기 전 전체 네트워크 자율차 주행구간에 대한 자율주행 차량의 평균 통행시간을 산출한 결과 1581.15초가 산출되었다. 이후 도로구간에서의 돌발 상황(교통사고)에 대비한 시나리오에 대한 시뮬레이션 분석 결과 평균 통행 시간은 1754.736초로 173초 증가한 것을 확인하였다.

이후 돌발 상황 발생에 대한 교통운영전략 시행 분석을 진행하기 위해 우회도로를 추가한 교통운영 전략 시나리오 시뮬레이션 분석 결과 1386.223 sec로 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

<표 2> 시뮬레이션 분석결과

구분	기본상황	시나리오 1	시나리오 2
네트워크 평균 통행시간	1581.15 sec	1754.736 sec	1386.223 sec

Ⅵ. 결론

자율주행차가 주행하는 리빙랩 도시는 일반차와의 혼재된 교통상황이므로 교통흐름이나 교통안전에 부정적인 영향을 미칠 수다. 따라서 본 연구는 교통사고 등 돌발상황 발생시 교통운영전략을 수립하였다.

자율차의 네트워크 평균 통행시간은 기본상황에서 1581.15초로 측정되었다. 이후 도로 구간에서 발생한 돌발 상황(교통사고) 시나리오 분석을 통해 평균 통행 시간이 1754.736초로 173초 증가하였다. 그러나 우회도로를 포함한 교통운영 전략을 시행한 결과, 평균 통행 시간이 1386.223초로 감소하는 효과를 확인할 수 있었다.

본 연구에서는 일반차와 자율차가 혼재된 교통상황에서 교통운영전략 수립이 자율주행차 운행 뿐만 아니라 전체적인 교통흐름에도 긍정적인 영향을 주는 것으로 사료된다.

본 연구는 리빙랩이 운영되지 않은 시점에서 시뮬레이션을 통한 교통운영전략 시행시 효과를 분석하는 연구로 실제 혼재된 교통상황을 반영하는 데는 한계를 가지고 있다. 향후 리빙랩이 운영되어 자율차와 일반차가 혼재된 실제 교통상황에서 실시간으로 수집되는 자율차 운행데이터와 교통 데이터를 통해 다양한 교통운영전략 시행에 대한 연구가 더 필요할 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원의 연구비 지원(RS-2023-00243530)으로 수행하였습니다.

참고문헌

1. 임동현·김우석·김종호·김형주.(2023). 자율주행차 혼재 시 시범운행지구 교통운영전략 수립: 판교제로시티를 중심으로,『한국ITS학회논문지, 2023, Vol.22, No.1』. p.172~191
2. Park, E. M., Kang, J. H., and Lee, S. H.. (2020). Developing User Interface for Data Catalog Service.『Korean Society of Transportation, Vol. 38, No. 6』. Pages 473-490. (in Korean).
3. Mariana M. G. Duarte, Marcos V. Pontarolo1, Rebeca Schroeder and Carmem S. Hara. (2021). MIDET: A Method for Indexing Traffic Events.『SIMPÓSIO BRASILEIRO DE BANCO DE DADOS』. Pages 217-228.
4. Kim, H. J., Im, K. I., and Son, W. B.. (2020). Operational Design Domain for Testing of Autonomous Shuttle on Arterial Road.『The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transportation Systems, Vol. 19, No. 2』. Pages 135-148. (in Korean).
5. 천춘근.(2019). 도심부 교통상황 심각도에 따른 교통운영시스템 구축 연구.『공주대학교 건설환경공학과 박사학위 논문』.
6. 이지연.(2022). 미시교통시뮬레이션 기반 도심도로 자율협력주행 서비스 효과 분석.『한국ITS학회논문지, 2022, Vol.21, No. 1』. p.91~104.
7. 정헌영·손수란·이정호.(2023). VMS(Variable Message Sign)를 통한 교통정보 제공이 운전자의 운행경로 전환에 미치는 영향 분석.『대한교통학회, 2011』. p.193~201.
8. 이진수.(2018). 실시간 고속도로 혼잡판단지표 및 알고리즘 구축.『서울대학교 환경대학원 석사학위 논문』.

중요도-만족도 분석을 활용한 자율주행 대중교통 서비스 개선 우선순위 도출

Deriving Improvement Priorities for Autonomous Public Transportation Services Using Importance-Performance Analysis

김예진 (아주대학교, 석박사통합과정)
고우리 (아주대학교, 석박사통합과정)
윤일수 (아주대학교, 교수)

Key Words : 자율주행, 자율주행 대중교통, 중요도-만족도 분석

목 차

Ⅰ. 연구 배경
Ⅱ. 연구 방법론 선정
Ⅲ. 설문 설계
1. 사전 설문
2. 본 설문
Ⅳ. 설문 결과
1. 설문 응답자 통계
2. 중요도-만족도 평가
Ⅴ. IPA
Ⅵ. 결론

Ⅰ. 연구 배경

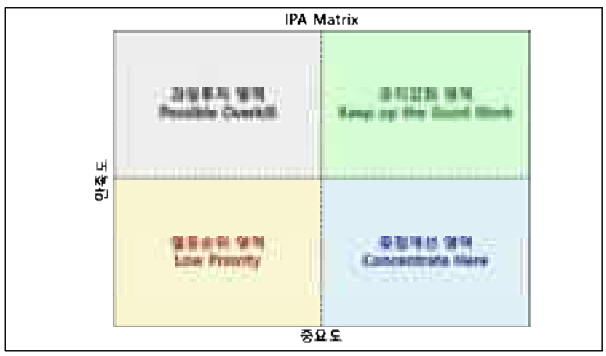
자율주행 자동차(Automated vehicles)는 효율적인 에너지 소비로 환경에 대한 악영향을 줄이고 이동성을 향상시키며 이동시간을 단축시키는 등 여러 이점을 기대할 수 있다(Othman, 2021). 따라서 전 세계적으로 자율주행 기술 상용화를 위한 노력이 기울여지고 있으며, 프랑스 리옹의 'Navly', 미국 라스베이거스의 'Ama'와 같은 자율주행 대중교통 도입 역시 이의 일환으로 활발히 진행되고 있다(김규옥, 2019). 서울시에 따르면, 국내 대중교통 운영비 중 인건비 비율이 50% 이상을 차지하고 있다(서울특별시, 2024). 따라서 자율주행 대중교통이 도입된다면 차량 운행을 위한 인력이 불필요해져 인건비를 크게 절감할 수 있으며, 수익성이 낮아 대중교통이 운영되지 않던 서비스 음영 지역을 해소할 수 있을 것이다.

자율주행 대중교통 서비스가 성공적으로 도입되기 위해서는 기존의 대중교통 서비스와 비교했을 때 경쟁력을 갖출 수 있어야 한다. 이를 위해선 제공 서비스에 대한 이용자 만족도를 높이는 것이 중요하므로 한정된 자원을 효과적으로 활용하여 이용자 만족도를 극대화할 수 있는 발전 방안의 수립이 필수적이다. 따라서 본 연구는 중요도-만족도 분석을 적용하여 자율주행 대중교통 서비스 이용자 대상 설문 조사를 통해 최적의 발전 방안을 도출하는 것을 목표로 하였다.

연구의 공간적 범위는 현재 자율주행 대중교통 시범사업('주야로')을 운영하고 있는 '안양시 자율주행 시범운행지구'이다. 안양시는 주간 및 야간 노선을 총 10.6km 구간 33개 정류장에 대해 제공하고 있으나, 본 연구에서는 설문 결과 수집을 용이하게 하기 위해 분석 대상 노선을 '안양시청 사거리~비산체육공원' 사이 3.4km 길이의 주간 노선으로 한정하였다.

Ⅱ. 연구 방법론 선정

본 연구에서는 현재 서비스 되고 있는 자율주행 대중교통의 이용자 만족도를 평가하고 적절한 발전 방안을 수립하기 위해 IPA 방법론을 활용하고자 한다. IPA는 특정 제품이나 서비스에 대한 이용자의 중요도 및 만족도를 기반으로 개선 전략을 도출하는 방법론을 말한다. IPA는 개별 평가지표의 중요도와 만족도 조사 결과에 따라, 평균치를 기준으로 하여 중요도와 만족도 모두 높은 평가지표가 속하는 유지강화 영역(keep up the good work), 중요도는 낮으나 높은 만족도를 달성한 과잉투자 영역(possible overkill), 중요도가 높음에도 이용자 만족도는 낮은 중점개선 영역(concentrate here), 중요도와 만족도가 모두 낮은 열등순위 영역(low priority) 4개 영역으로 분류하여 발전 전략을 도출한다. IPA 결과를 시각화한 IPA matrix는 <그림 1>과 같다.



<그림 1> IPA matrix

유지강화 영역은 중요도가 높은 평가항목에 대해 높은 수

준의 이용자 만족도를 달성한 항목이 속하므로, 현재 수준의 높은 서비스 품질을 유지할 수 있도록 노력해야 한다. 과잉투자 영역의 경우, 이용자들이 생각하는 중요도가 낮은 항목임에도 불구하고 높은 만족도를 달성한 것으로 과잉투자가 이루어지고 있음을 예상할 수 있다. 따라서 과잉투자 영역에 투입되는 자원을 더 중요도가 높은 영역의 항목에 재투자해야 한다. 중점개선 영역의 경우, 이용자가 평가한 중요도는 높으나 만족도는 낮은 평가항목이 속하는 영역을 말한다. 중요도가 높음에도 서비스 수준이 낮은 항목이 위치하므로, 가장 시급하게 개선되어야 하며 과잉투자 영역의 자원을 중점개선 영역에 재분배함으로써 이용자 만족도를 높이기 위해 노력해야 한다. 마지막으로 열등순위 영역은 이용자가 생각하는 중요도, 만족도가 모두 낮은 평가항목이 속하며 현재 개선 필요성이 높지 않은 영역이다.

IPA는 특히 자원이 한정되어 있을 때, 이를 가장 효율적이고 이용자 만족도를 극대화할 수 있는 방향으로 활용 가능한 발전 전략을 도출할 수 있다는 점에서 차별점을 가지고 있으며, 또한 IPA는 분석 결과를 IPA matrix의 형태로 시각화할 수 있으므로 의사결정을 위한 유용한 도구로 활용될 수 있다(김소희 외, 2022). 그러므로 본 연구에서는 IPA를 활용하여 이용자 의견을 기초로 한 자율주행 대중교통의 발전 방안을 도출하고자 한다.

Ⅲ. 설문 설계

자율주행 대중교통 이용자를 대상으로 여러 평가항목에 대한 중요도, 만족도 응답을 수집한 후 IPA 분석을 통해 발전 전략을 도출하고자 한다. 이를 위해서 첫째, 이용자 대상 설문 조사에 활용할 평가지표 도출이 필요하고, 둘째, 개발한 평가지표를 활용한 이용자 대상 설문 조사 설계가 필요하다. 본 연구에서는 평가지표 도출을 위한 설문을 사전 설문, 이용자 의견 조사를 위한 설문을 본 설문으로 명명하였다.

1. 사전 설문

본 절에서는 자율주행 대중교통 이용자 설문에 활용하기 위한 평가항목을 도출하기 위해 수행한 사전 설문의 설계 과정 및 조사 결과에 관해 설명하고자 한다. 사전 설문의 목적은 본 설문에 활용할 평가항목을 도출하는 것이므로, 자율주행 대중교통 서비스에 대한 이해도가 높은 자율주행 관련 연구를 수행하고 있는 연구자 10인을 대상으로 선정하여 진행하였다. 사전 설문을 위해 기존에 수행된 서비스 이용자 대상 만족도 조사 연구들에서 활용되었던 평가지표를 수집하였으며(홍순민, 2012; 김세훈 외, 2021; 이동한 외, 2024), 이 외에도 본 연구의 범위인 안양시 자율주행 대중교통 서비스를 평가하는 데 필요한 평가지표를 추가하였다. 이러한 방법으로 도출된 지표들을 '평가지표 후보 목록'으로 명명하였으며, 평가지표 후보 목록은 속성에 따라 이용자 관련·운영 관련 지표로 나뉜다. 평가지표 후보 목록의 세부 내용은 <표 1>과 같다.

〈표 1〉 평가지표 후보 목록

구분	평가지표	평가내용
이용자 관련 지표	관심도	· 자율주행에 관한 관심도 · 자율주행 차량 또는 자율주행 기반 서비스 사용 경험
	이해도	· 자율주행 기술에 대한 이해도
	신뢰성	· 자율주행에 대한 인식 및 신뢰성 · 기존 대중교통 수단을 대체할 잠재력
	경제성	· 대중교통 대비 이동시간 절감 · 개인차량 대비 비용 절감
	접근성	· 출발지에서 자율주행 노선까지의 접근성 · 자율주행 노선에서 목적지까지의 접근성
	만족도	· 자율주행에 대한 전반적인 만족도 · 자율주행 대중교통 승차 경험에 대한 전반적인 만족도 · 자율주행 대중교통 재이용 의사
운영 관련 지표	편리성	· 이용, 결제, 타 대중교통 환승의 편의성
	적절성	· 운행 차량, 노선, 배차 간격, 정류장 간격, 요금의 적절성
	정시성	· 자율주행 대중교통의 정시성 · 기존 대중교통 및 자가용과 비교했을 때 예상 도착 소요 시간 준수 여부
	안전성	· 비상 상황에서 신속히 대응할 수 있는 능력 · 다른 차량 및 보행자와의 충돌 위험 · 버스 정류장의 안전성
	정보성	· 차량 내 HMI[1])가 제공하는 정보의 충분성과 이해성 · 차량 내 HMI의 가시성과 가독성
	수용성	· 일반 승객의 사용 편의성 · 교통약자의 사용 편의성
	신속성	· 타 대중교통과 비교한 이동속도
	확장성	· 노선 확장의 필요성

사전 설문에서는 10인의 응답자를 대상으로 하여 자율주행 대중교통의 서비스 평가 시 각 평가지표의 중요도를 판단하여 이용자 관련 지표 6개에 대한 우선순위, 그리고 운영 관련 지표 8개에 대한 우선순위를 부여하도록 요청하였다. 개별 응답자가 부여한 우선순위를 산술 평균하여 평균 우선순위가 높은 순서대로 이용자 관련 지표 4개, 운영 관련 지표 4개, 총 8개의 본 설문을 위한 평가지표를 선정하였다.

사전 설문을 수행한 결과, 이용자 관련 지표 중 우선순위가 높은 순서대로 만족도, 신뢰성, 경제성 및 접근성 항목이 본 설문을 위한 평가지표로 도출되었으며 운영 관련 지표로는 안전성, 적절성, 편리성, 정시성 항목이 도출되었다. 10인의 응답자를 대상으로 한 사전 설문의 수행 결과는 <표 2>와 같다.

1)HMI : human-machine interface, 인간과 기계의 상호작용

〈표 2〉 사전 설문 수행 결과

구분	평가지표	응답자별 평가지표 우선순위 (1위부터 6·8위까지)										평균 우선순위
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
이용자 관련 지표	관심도	5	5	5	5	2	5	5	3	6	4	4.5
	이해도	6	6	6	6	6	6	6	6	5	5	5.8
	신뢰성	4	1	1	1	3	2	3	1	3	2	2.1
	경제성	3	3	4	3	4	3	1	5	4	3	3.3
	접근성	1	2	3	2	5	4	4	4	2	6	3.3
	만족도	2	4	2	4	1	1	2	2	1	1	2
운영 관련 지표	편리성	2	6	3	3	4	3	4	4	1	2	3.2
	적절성	4	4	2	4	2	2	1	2	4	3	2.8
	정시성	3	1	4	5	3	4	5	3	5	6	3.9
	안전성	5	2	1	1	1	1	2	1	2	1	1.7
	정보성	6	8	5	6	5	7	7	8	6	7	6.5
	수용성	7	7	7	2	6	5	3	5	7	4	5.3
	신속성	1	3	6	7	8	6	8	6	3	5	5.3
	확장성	8	5	8	8	7	8	6	7	8	8	7.3

본 설문의 경우, 자율주행 대중교통 이용자를 대상으로 수행되므로 사전 설문에 비해 자율주행 기술이나 제공되는 서비스에 대한 응답자의 이해도가 상대적으로 낮을 수 있다. 또한, IPA의 경우, 여러 개의 평가지표에 대해 중요도와 만족도 모두 응답해야 하므로 설문 구성의 복잡도가 높아질 수 있다. 그렇기에 본 설문의 응답자에게 사전 설문에서 도출한 평가지표의 내용을 간단명료하게 제공할 수 있도록 평가내용을 단순화하여 표기하였다. 단순화한 평가지표별 평가내용은 <표 3>과 같다.

〈표 3〉 본 설문을 위한 평가지표 도출 결과 및 평가내용 요약

구분	평가지표	평가내용 요약
이용자 관련 지표	신뢰성	· 기존 대중교통 대비 자율주행 대중교통에 대한 인식 및 신뢰도
	경제성	· 기존 대중교통 대비 시간 절약, 자가용 대비 비용 절약 효과
	접근성	· 출발지-자율주행노선-도착지 접근성
	만족도	· 자율주행 대중교통 탑승 경험에 대한 전반적인 만족도 및 재이용 의사
운영 관련 지표	편리성	· 자율주행 대중교통의 예약, 이용, 결제, 환승 시 편리성
	적절성	· 자율주행 대중교통 차량, 노선, 배차 간격, 요금의 적절성
	정시성	· 기존 대중교통 및 자가용 대비 자율주행 대중교통의 도착 예상시간 준수 정도
	안전성	· 자율주행 대중교통 탑승 중 주변의 일반 차량, 보행자와 상충(사고) 위험 여부

2. 본 설문

본 설문은 자율주행 대중교통 이용자를 대상으로 평가지표별 만족도와 중요도를 조사하는 것을 목적으로 수행되었다. 본 설문에서는 크게 응답자의 기본 신상 정보(거주지, 성별, 연령대, 자율주행 대중교통 이용 목적), 사전 설문에서 도출한 8개 평가지표에 대한 중요도 및 만족도 평가, 기타 의견(서술형) 3개 항목을 조사하였다. 중요도 및 만족도의 경우 개별 평가지표에 대해 리커트 7점 척도(7-point Likert scale)를 활용하였다. 리커트 7점 척도의 경우, 리커트 5점 척도와 비교했을 때 응답자가 선택 가능한 응답 옵션의 수가 많으므로 응답의 정밀도가 높아지며, 중앙값이 존재해 극단적인 응답을 억제하는 효과가 있다(Finstad, 2010).

본 설문에서 응답자들은 8개의 평가지표에 대해 7점 척도로 중요도와 만족도를 평가하였다. 이때 질문 의도를 명확하게 하기 위해 '중요도'를 '응답자가 생각하기에 자율주행 대중교통을 이용할 때 느끼는 중요도'로, '만족도'를 '현재 안양시 자율주행 대중교통 서비스에 대한 만족도'로 정의하였다. 본 설문 설계 결과는 <그림 2>와 같다.

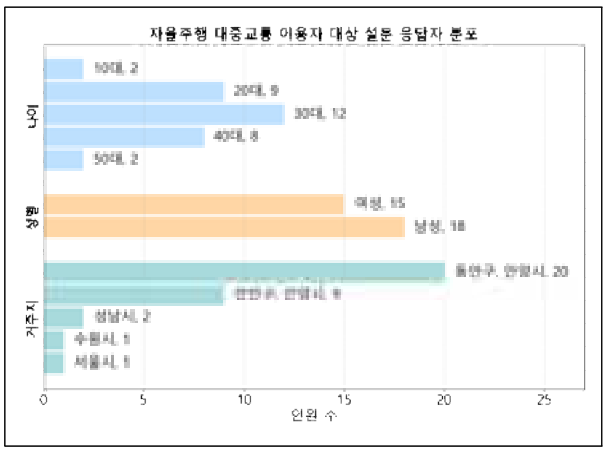
〈그림 2〉 본 설문 설계 결과

Ⅳ. 설문 결과

본 설문의 경우, 자율주행 대중교통을 이용하는 일반 시민 34인을 대상으로 현장에서 대면조사를 통해 응답을 수집하였다. 수집한 응답에 대해 신뢰성을 검증한 결과, 모든 문항에 같은 응답을 기록한 응답자가 1명 존재하여 설문의 신뢰성 결여 문제 발생을 방지하고자 해당 응답은 분석에서 제외하였다(Krosnick, 1991). 따라서 33건의 응답에 대해 분석을 진행한 결과는 다음과 같다.

1. 설문 응답자 통계

현재 자율주행 대중교통 서비스가 운영되는 시범운행지구가 안양시에 위치한 만큼, 실제 서비스를 이용하는 설문 응답자 중 약 88%가 안양시민인 것으로 확인되었으며, 남성과 여성의 성비는 18(54.5%):15(45.5%)로 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 연령대 분포의 경우 30대가 12명으로 가장 많았으며 20대가 9명, 40대가 8명 순으로 많이 집계되었다. 60대 이상의 이용자는 찾아볼 수 없었는데, 자율주행이라는 신기술에 대한 수용성이 상대적으로 젊은 세대에서 높게 관찰되기 때문인 것으로 보인다. 설문 응답자 통계 결과는 <그림 3>과 같다.



〈그림 3〉 설문 응답자 통계

2. 중요도-만족도 평가

자율주행 대중교통 서비스에 대한 응답자의 평가 결과는 다음과 같다. 먼저 이용자 관련 지표의 경우, 중요도 평균 5.06점, 만족도 평균 4.81점을 기록하였으며 운영 관련 지표에서는 중요도 평균 5.42점, 만족도 평균 4.91점을 기록하여 응답의 중앙값인 3.5점을 초과 달성하였다. 구체적으로 중요도가 가장 높은 항목으로 이용자 관련 지표에서 접근성(5.30)이, 운영 관련 지표에서 정시성(5.76)이 도출되었으며, 만족도가 가장 높은 항목으로도 동일하게 이용자 관련 지표에서 접근성(5.09)이, 운영 관련 지표에서 정시성(5.45)이 도출되었다. 본 설문의 중요도-만족도 평가 결과를 요약한 내용은 <표 4>에 제시하였다.

〈표 4〉 본 설문의 평가지표별 중요도-만족도 평가 결과

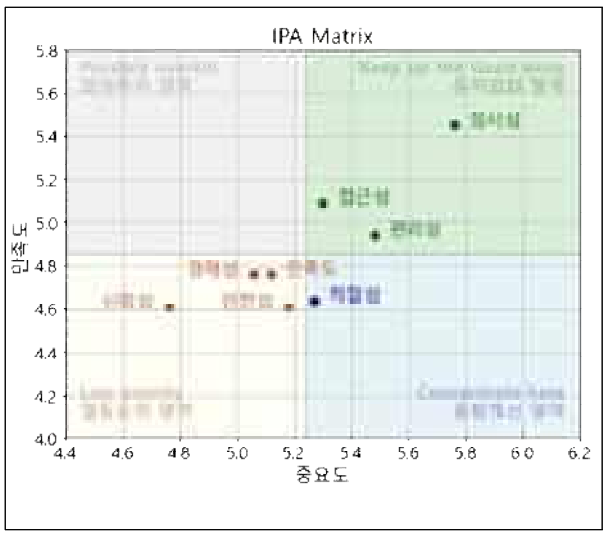
구분	이용자 관련 지표							
	신뢰성		경제성		접근성		만족도	
	중*	만**	중*	만**	중*	만**	중*	만**
평균치	4.76	4.61	5.06	4.76	5.30	5.09	5.12	4.76
구분	운영 관련 지표							
	편리성		적절성		정시성		안전성	
	중*	만**	중*	만**	중*	만**	중*	만**
평균치	5.48	4.94	5.27	4.64	5.76	5.45	5.18	4.61

* 중요도 / ** 만족도

Ⅴ. IPA

본 설문의 중요도-만족도 평가 결과를 활용하여 IPA matrix를 도출한 결과는 <그림 4>와 같다. 유지강화 영역에 포함된 평가지표는 접근성, 정시성, 편리성 3개이며, 이 지표들은 현재 중요도와 만족도 모두 높아 현재 서비스 수준을 유지하려는 노력을 지속하여야 한다. 과잉투자 영역에 포함된 평가지표는 존재하지 않았으며, 이를 통해 불필요하게 현재 낭비되고 있는 자원이 없는 것으로 이해할 수 있다. 열등순위 영역에 포함된 평가지표는 경제성, 만족도, 신뢰성, 안전성 4개였는데, 이 지표들은 이용자가 생각하는 중요도와 만족도가 모두 낮은 항목들로 상대적으로 개선 우선순위가 낮다. 마지막으로 중점개선 영역에 포함된 평가지표는 적절성이었는데, 이 지표는 현재 이용자가 생각하는 중요도가 높음에도 불구하고 낮은 만족도를 보이고 있음을 의미한다. 따라서 개선 우선순위가 가장 높다.

본 설문에서 적절성 평가를 위한 평가내용으로 현재 자율주행 대중교통의 차량 적절성, 노선 적절성, 배차 간격의 적절성, 요금의 적절성을 질문하였다. 단, 이때 차량의 경우 현재 일반 대중교통에서 사용되는 것과 유사한 형태의 버스를 활용하였으며 본 설문 당시 무료 운행되었다는 점에서 차량 및 요금의 적절성은 배제하였다. 본 설문에서 수집된 기타 의견을 검토한 결과, 이용자들은 '노선의 다양성이 부족'하다거나 '배차 간격이 지나치게 긴 문제'에 대해 여러 번 지적한 것으로 나타났다. 따라서 IPA 결과, 실제 서비스 이용자 의견을 기초로 하여 노선의 적절성 및 배차 간격의 적절성에 대한 적극적인 검토 및 개선이 가장 시급하게 이루어져야 함을 확인하였다.



〈그림 4〉 IPA matrix 도출 결과

Ⅵ. 결론

본 연구는 현재 안양시 자율주행 시범운행지구에서 운영되고 있는 자율주행 대중교통에 대한 이용자 의견을 분석함으로써 발전 방안, 즉 가장 효율적인 개선 우선순위를 도출하기 위해 수행되었다. 연구 방법론으로 이용자 만족도 평가 방법 중 한정된 자원을 효율적으로 재분배할 수 있으면서 분석 결과 시각화가 가능한 IPA를 활용하였으며, IPA 수행을 위해 사전 설문·본 설문을 설계하고 응답을 수집하였다. 사전 설문은 자율주행 전문 연구자 10인을 대상으로 수행되었으며, 이를 통해 이용자 관련 평가지표 4개, 운영 관련 평가지표 4개, 총 8개의 평가지표를 도출하였다. 본 설문에서는 실제 안양시 자율주행 대중교통 서비스 이용자를 대상으로 8개 평가지표에 대한 이용자의 중요도와 만족도를 리커트 7점 척도로 수

집하였다. 본 설문 결과, 개선 우선순위가 가장 높은 중점개선 영역에 포함되는 평가지표는 '적절성'이었는데, 응답자들의 기타 의견과 특히 현재 서비스가 제공되고 있는 환경을 포괄적으로 고려하였을 때, '운행 노선' 및 '배차 간격'에 대한 개선이 가장 시급한 것으로 나타났다.

이용자 의견을 기초로 한 서비스 품질 개선 우선순위를 부여하는 것이 중요한 이유는 다음과 같다. 먼저, 이용자의 선호에 맞는 서비스 품질 개선으로 높은 만족도를 달성할 경우, 서비스에 대한 승객의 충성도가 높아질 것을 기대할 수 있으며 이는 곧 수단선택의 경쟁력 확보와 연결된다. 또한, 자율주행 대중교통이 타 교통수단과 비교하여 경쟁력을 확보하게 되면, 향후 자율주행 대중교통 서비스를 유상운송의 형태로 전환하여 제공하였을 때 높은 수익을 기대할 수 있을 것이다.

본 연구는 자율주행 대중교통 이용자를 대상으로 설문 조사를 수행함으로써 IPA를 적용하고 개선 우선순위를 도출하는 방법을 제시하였다. 더 나아가 향후 연구에서는 IPA를 통해 도출된 우선순위에 따라 적절한 발전 전략을 수립 및 제시하는 연구 수행이 필요하다. 본 연구를 통해 도출한 최우선 개선이 필요한 항목은 운행 노선 및 배차 간격의 적절성 부족으로, 향후 연구를 통해 안양시 자율주행 대중교통의 운행 노선 및 배차 간격에 대한 이용자 만족도를 높일 수 있는 효과적인 발전 전략을 수립할 필요가 있다.

Acknowledgements

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 연구과제(과제번호 RS-2021-KA160637) 지원으로 수행하였습니다.

참고문헌

1. Finstad, K. (2010). Response interpolation and scale sensitivity: Evidence against 5-point scales. Journal of usability studies, 5(3), 104-110.

2. Krosnick, J. A. (1991). Response strategies for coping with the cognitive demands of attitude measures in surveys. Applied cognitive psychology, 5(3), 213-236.

3. 김규옥. (2019). 자율주행 대중교통 공공성 확보를 위한 쟁점과 개선방향. 방송과 미디어, 24(1), 73-83. https://kiss.kstudy.com/DetailOa/Ar?key=53861420

4. 김세훈, 문영준, & 이용훈. (2021). 자율주행셔틀 인식에 대한 연구: 시민체험단 설문조사를 바탕으로. 대한교통학회 학술대회지, 536-537.

5. 김소희, 김무건, 류민호. (2022). 국내 모바일 뱅킹 애플리케이션에 대한 이용자 중요도-만족도 분석(IPA): 구글 플레이스토어 리뷰 데이터를 활용하여. 한국산업정보학회논문지, 27(6), 115-126.

6. 서울특별시. https://news.seoul.go.kr/traffic/archives/33646, 2024.08.15.

7. 이동한, 예진해, 오영달 & 박선홍. (2024). 자율주행 셔틀 내 탑승객 안전정보 제공 서비스 만족도 조사에 관한 연구. 한국ITS학회 학술대회지, 281.

8. 홍순민. (2012). IPA를 이용한 주차만족도에 관한 연구 : 수도권 대학캠퍼스를 중심으로. 경기대학교 대학원 학위논문(석사). 국회전자도서관. https://dl.nanet.go.kr/SearchDetailView.do?cn=KDMT1201200644

자율협력주행자동차 V2X 성능 평가항목 개발을 위한 기초 연구

Basic Study on the Development of V2X Performance Evaluation Items for Connected Automated Vehicles

김인영 (아주대학교, 석박사 통합과정)
이영택 (아주대학교, 석박사 통합과정)
윤일수 (아주대학교, 정교수)

자율협력주행자동차, V2X 통신, 평가항목, 평가지표

목 차

Ⅰ. 서론
Ⅱ. 선행 연구 고찰
Ⅲ. V2X 성능 평가대상 및 평가항목 도출방법
Ⅳ. 결론 및 향후 연구계획

Ⅰ. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

자율협력주행(Connected automated vehicle, CAV)은 단독 자율주행(stand alone)의 한계(사각지대 인지, 통신음영구역, 도로상황 및 이벤트 등)를 극복하기 위해 보행자, 인프라, 주변 차량 등과의 협력을 수행한다. 특히, 레벨 4 이상의 고도 자율주행차(automated vehicle, AV)부터는 자율주행시스템이 실제 운전자 특성을 모사하고 다양한 상황, 이벤트에 대해 유연하게 반응할 수 있어야 한다.

이를 위해 SAE J2735, J3186 등의 표준에서는 다양한 메시지를 제시하여 안전한 주행을 도모하고 있다. 최근 J3186 표준에서는 MSCS(maneuver sharing and coordinating service) 서비스를 발표하여 주변 차량의 의도를 파악할 수 있도록 하였다. 국내에서는 차량 간 주행 조율을 지원하기 위한 인프라 가이던스를 개발 중이다(SAE International, 2023; Monteuuis, J 외, 2022). 이렇듯, 최근에는 개발된 AV의 기능이 주변상황을 명확히 인지하고 도로교통법을 준수하여 적절히 반응 및 제어하는 것에 대한 중요성을 인지하고 이를 위한 다양한 서비스를 제공하는 연구를 수행해오고 있다.

다만, V2X(vehicle to everything) 관련 연구동향을 살펴보면 V2X Use Case(5GAA, 3GPP, C-ITS 아키텍쳐 등) 및 V2X 통신 기술 평가(메시지 송수신 확인 및 신뢰도, 주기, 지연 등) 관련 가이드라인에서는 V2X를 위한 평가 시나리오 개발과 개발된 시나리오 기반 V2X 통신 기능에 초점을 맞추어 차량, 인프라 별 각각에 대해 평가를 진행하고 있다(한국정보통신기술협회, 2019; 국토교통부, 2023).

이로 인해 V2X 통신의 종합적인(즉, 내외부 시스템 기반 협력주행) 성능 평가를 위한 방법이 부재한 실정이다. KNCAP(2024)에서는 V2X 통신장치 평가를 위한 세부 시험방법 및 평가방법을 개정 중에 있으나 안전 서비스 항목이 충분하지 않다. CAV는 수많은 소프트웨어 기능이 내외부와 유기적으로 연결되고 작동되므로 다양한 평가항목에 대해 평가를 수행하여 충분한 협력주행의 안전성을 확보해야 한다. 이를 통해 실도로 주행 시 발생할 수 있는 치명적인 사고를 예방할 필요가 있다. 여기서, 내부는 차량을 의미하며 외부는 차량 외 인프라, 환경 등을 의미한다.

따라서, 본 연구에서는 '상황별 내외부 간 V2X 기능이 원활하게 작동하는가'에 초점을 맞춰 협력주행 성능 평가를 위한 평가대상과 항목 도출을 위한 방법을 제시하고자 한다.

2. 연구의 범위 및 절차

본 연구의 내용적 범위는 다음과 같다. 본 연구에서 제안하는 차량 V2X 성능 평가방법은 실도로와 유사한 테스트베드 내에서 안전성이 확보된 차량의 V2X 메시지 송·수신 기능에 대한 성능을 검증하기 위함이다. 발생가능한 모든 V2X 시나리오를 커버할 수 있는 평가항목을 도출하여 다양한 상황에서의 성능 평가를 지원하고자 한다.

V2X 성능 평가항목을 개발하는 절차는 다음과 같다. 국내외 V2X Use Case 관련 문서를 검토하여 대표 Use Case를 유형화하였다. 그다음으로 도로교통법을 검토하여 Use Case와 매칭 후

송·수신 되어야하는 정보를 최종적으로 도출하여 평가항목에 활용하고자 하였다.

II. 선행 연구 고찰

국내에서는 국가 ITS 아키텍처 3.0과 V2X 메시지 명세(KS R 1600)에 대한 표준이 존재한다. 국가 ITS 아키텍처 3.0에서는 ITS 서비스 단위의 아키텍처를 제시한 계획으로 안전, 효율, 편리, 혁신 등 4대 전략목표와 각 전략목표별 서비스 분야로 구분하여 ITS 서비스를 제시하였다. 또한, ITS 서비스별 서비스 정의서, 논리 및 물리 아키텍처에 대해 정의하였으며 서비스 정의서에는 ITS 서비스에 대한 구체적인 시나리오가 작성되어있다(국토교통부, 2023). V2X 메시지 명세의 경우 J2735 메시지를 기반으로 주요 시나리오를 도출하고 BSM 메시지의 구체적인 활용 방안을 제시하고 있다. 특히, 자율주행 시스템과 관련하여 활용될 수 있는 시나리오와 V2X 메시지 목록을 제시하였으며 보안, 인증, 데이터 공유를 위한 선행 사항 등은 다루지 않았다는 특징이 있다(국가기술표준원, 2023).

국외에서는 3GPP, 5GAA 의 단체계 V2X 관련 Use Case를 제시하고 이에 따른 평가항목 및 평가지표(key performance indicators, KPIs)를 일부 제시한 바 있다. 3GPP는 LTE-V2X와 5G-V2X 통신으로 구분하여 각각 20개, 26개의 Use Case를 제시하였다. LTE-V2X Use Case의 경우 V2V(vehicle to vehicle), V2I(vehicle to infrastructure), V2P(vehicle to pedestrian), V2N(vehicle to network)으로 유형화하여 Use Case를 정의하였다(한국정보통신기술협회, 2019). 5G-V2X Use Case의 경우 군집주행, 첨단주행, 센서확장, 원격운전 등 네 가지로 유형화하여 정의하였다. 특히, 5G-V2X 문서에서는 Use Case별 V2X 메시지 유형과 KPIs를 함께 제시하고 있으며 주로 지연시간과 신뢰도에 대한 KPIs를 제시하고 있다. 5GAA는 C-V2X Use Cases and KPIs 요구사항 및 5G C-V2X Use Cases로 구분하여 제시하였으며, 각 Use Case 별 시나리오와 도로환경, 도로 인프라 규칙, 목표, 정보 요구사항 등을 정의하였다(한국정보통신기술협회, 2019).

III. V2X 성능 평가대상 및 평가항목 도출 방법

1. 국내외 V2X 관련 Use Case 검토 및 유형화

본 연구에서는 국내외 V2X 관련 Use Case 문서를 검토하여 중복되는 Use Case를 제거 후 최종적으로 고려해야 할 Use Case를 도출하였다. 평가대상 도출을 위한 Use Case는 다음 <표 1>과 같다. 그다음으로는 도출된 Use Case를 유형화할 수 있는 여섯가지 기준(사각지대 정보 확보, 원격제어 응답, 군집 내 차량 주행의도 파악, 교통법규 정보 협조, 주변상황 정보 교환, 주변 객체 정보 감지)을 도출하였다.

<표 1> Use Case 도출 결과

Use Case		
사각지대		
주차장		
고장진단, 유지보수		
ADS 해제 여부		
주행모드 변경		
자율차 여부		
그룹 합류 및 분류		
협동 차선변경		
차간거리 유지		
도로안내	전용차로	
	보호구역	
	도로 기하구조	
교통규제	제한속도	
	주정차 금지	
	기타 규제	
가이던스	고속도로 분·합류	
	(비)신호 교차로	
	회전교차로	
	비탈길	
	건널목	
돌발상황	도로	노면
		통행제한
	외부환경	
	차량	위험행동
		긴급차
	기타(장애물)	
교통상황	정체, 대기행렬 등	
협력주행 상황	차선변경	
	속도조정	
	후진, 유턴, 정지 등	
	경로변경	
보행자		
오토바이		
자전거		
도로 작업자		

2. 국내 도로교통법 기반 평가정보 도출

그다음으로는 Use Case 유형화 기준에 따른 평가항목을 도출하기 위해 국내 도로교통법을 검토하였다(국가법령정보센터, 2024). 차량 주행과 관련된 법률과 주행 시 준수사항 등을 검토하여 필수적으로 평가되어야 할 항목들을 리스트업하였다. 그 결과 최종적으로 51개의 법률을 검토하였으며, 이를 통해 필요 정보를 도출하고 이에 따른 평가항목을 도출하고자 하였다. 도로교통법에 따른 필요 정보를 도출한 결과는 다음 <표 2>과 같다.

<표 2> 도로교통법에 따른 필요 정보 도출

법률명	정보
(신호 또는 지시에 따를 의무)	교통신호, 경찰 수신호
(통행의 금지 및 제한)	돌발상황(도로 파손, 화재), 통행금지 및 제한 구간
(교통 혼잡을 완화시키기 위한 조치)	교통류 최적화(교통정보)
(어린이 보호구역의 지정·해제 및 관리)	어린이 보호구역, 속도제한, 교통안전시설 혹은 장비

(노인 및 장애인 보호구역의 지정·해제 및 관리)	노인/장애인 보호구역, 통행제한및금지
(보호구역 통합관리시스템 구축·운영 등)	특정 구역 내 차량 주행정보 공유
(차마의 통행)	보행자 인지, 횡단직전일시정지, 통행방법
(차로의 설치 등)	도로운영 상태(가변차로 활성화), 통행방법준수(교통법규), 진로변경금지구간
(전용차로의 설치)	전용차로 정보(전용차로 주행 가능 차종)
(노면전차 전용로의 설치 등)	노면전차 통행방법
(자동차등과 노면전차의 속도)	도로 특성별 제한속도
(횡단 등의 금지)	교통규제
(안전거리 확보 등)	교통규제
(진로 양보의 의무)	통행방법
(앞지르기 방법 등)	통행방법 및 주변상황 정보
(앞지르기 금지의 시기 및 장소)	통행방법 및 주변상황 정보
(끼어들기의 금지)	통행방법
(철길 건널목의 통과)	통행방법
(교차로 통행방법)	통행방법
(회전교차로 통행방법)	통행방법
(교통정리가 없는 교차로에서의 양보운전)	통행방법
(보행자의 보호)	통행방법
(보행자전용도로의 설치)	통행방법
(보행자우선도로)	임시 속도제한
(긴급자동차의 우선 통행)	긴급차 주행
(긴급자동차에 대한 특례)	긴급차 특례
(서행 또는 일시정지할 장소)	서행, 일시정지, 교차로
(정차 및 주차의 금지)	정차 및 주차 금지 구간
(주차금지의 장소)	주차금지 장소
(정차 또는 주차의 방법 및 시간의 제한)	정차 및 주차 방법
(정차 또는 주차를 금지하는 장소의 특례)	정차 및 주차 가능 장소
(경사진 곳에서의 정차 또는 주차의 방법)	정차 및 주차시 주의사항
(차와 노면전차의 등화)	차량작동
(차의 신호)	신호전달
(정비불량차의 점검)	정비불량 차 인지
(난폭운전 금지)	교통법규 위반
(안전운전 및 친환경 경제운전의 의무)	주행방법
(모든 운전자의 준수사항 등)	일시정지
(자율주행자동차 운전자의 준수사항 등)	제어권전환 대응
(어린이통학버스의 특별보호)	일시정지 및 서행
(어린이통학버스 운전자 및 운영자 등의 의무)	어린이통학버스 법규
(사고발생 시의 조치)	정보 전달
(자율주행자동차 운전자의 준수사항 등)	제어권전환 대응
(위험방지 등의 조치)	필요조치 명령량통행일시금지혹은제한명령
(갓길 통행금지 등)	고속도로 교통법규
(횡단 등의 금지)	고속도로 교통법규
(고속도로등에서의 정차 및 주차의 금지)	고속도로 주정차 금지
(고속도로 진입 시의 우선순위)	고속도로 방해금지
(고장 등의 조치)	고장시 행동지침
(운전자의 고속도로등에서의 준수사항)	고장시 행동지침
(교통정보의 제공)	정보제공 및 지원

Ⅳ. 결론 및 향후 연구계획

본 연구에서는 AV의 V2X 성능 평가를 위한 평가항목을 도출하기 위해 국내외 V2X Use Case 관련 연구를 검토 후 대표 Use Case를 도출하여 이를 유형화할 수 있는 기준을 정립하였다. 그다음으로는 기준별 평가항목을 제시하기 위해 국내 도로교통법을 검토하여 필수적으로 평가가 필요한 항목을 제시할 수 있도록 하였다.

향후에는 도로교통법에 따른 구체적인 평가항목과 지표를 도출할 필요가 있다.

감사의 글

이 논문은 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원의 연구비 지원(22AMDP-C162184-02)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 국가기술표준원(2023), “협력형 자율주행 시스템을 위한 V2X 메시지 명세-제1부: 개념적 시나리오”, pp.1-50
2. 국가법령정보센터, https://www.law.go.kr, 2024. 09. 27.
3. 국토교통부(2023), “국가 ITS 아키텍처 3.0”, pp.1-18
4. 한국정보통신기술협회(2019), “C-V2X 유즈케이스, 기술 및 주파수”, pp.1-97
5. KNCAP(2024), “KNCAP TP-SS-9 V2X 통신장치 시험방법 및 평가방법”, pp.1-5
6. Monteuuis, J 외(2022), “V2x misbehavior in maneuver sharing and coordination service: Considerations for standardization”, In 2022 IEEE Conference on Standards for Communications and Networking, pp. 194-199
7. SAE International(2023), “V2X Communications Message Set Dictionary”, pp.1-275

자율-비자율 혼합 차량추종 상황에서 주행행태 비교 분석

한양대학교 석사과정 진현석
한양대학교 교 수 오 철

한양대학교 ERICA

목 차

1. 연구개요
2. 분석방법
3. 분석결과
4. 결론

연구개요

연구 배경

- 자율주행의 기술이 발전됨에 따라 국내외적으로 자율주행차의 도로 운행이 허가됨
  - 라이드플럭스는 2024년 6월에 사람이 없는 자율주행차의 임시운행을 허가 받음[1)]
  - Waymo는 2020년 10월에 자율주행 서비스를 실시하고 이후로 LA 등 미국 전역으로 확대 운영 중임[1)]
- 자율주행차가 실제 도로를 주행하게 됨에 따라 자율주행차의 실도로 주행데이터 수집이 가능함
  - 수집되는 항목에는 자율주행차의 주행데이터 외에 자율주행차 인근에 존재하는 주변 차량의 데이터도 존재함

〈 라이드플럭스 자율주행차 도로 운행 〉

〈 Waymo 자율주행차 도로 운행 〉

연구개요

연구 필요성

- 실제 자율주행차 (Autonomous vehicle, AV)의 주행데이터 수집이 가능해짐에 따라 AV의 주행안전성 분석이 가능함
- 실제 AV를 활용해 실험환경을 구축하고 분석하는데 시간적·공간적 제약이 존재함
- 따라서, 제약을 극복하기 위해 시뮬레이션에 실제 AV의 주행행태를 구현해 주행안전성을 분석할 필요성이 있음
- 비자율주행차 (Manual vehicle, MV)와 같이 AV의 주행행태는 다양한 요인 (선행차의 주행행태, 도로 기하구조 등)에 의해 주행안전성이 달라질 것으로 예상됨
- 시뮬레이션을 활용해 실험환경 구축 시, 실험환경에 맞는 AV의 주행행태 구현이 요구됨
- 따라서, AV의 실도로 주행데이터를 시뮬레이션에 반영하는 방법이 필요함

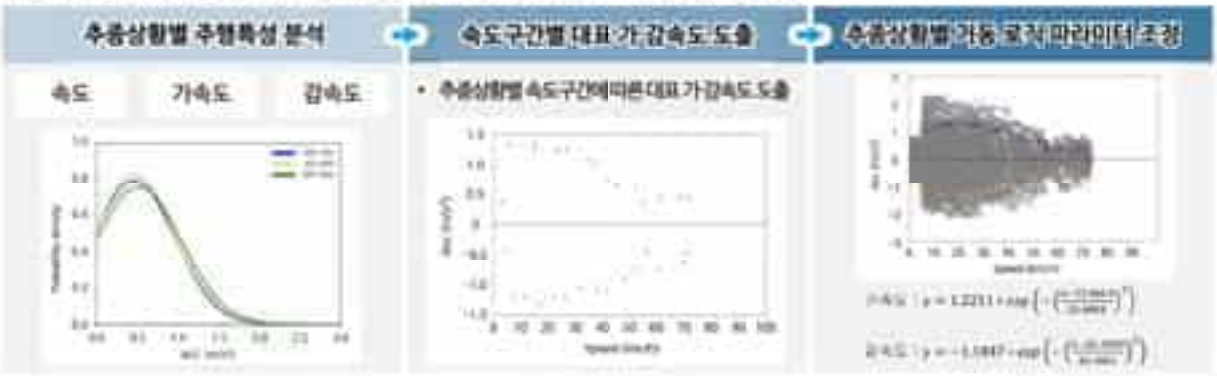
연구 목적

- 본 연구에서는 자율-비자율 혼재상황을 보다 현실성 있게 시뮬레이션에 구현하기 위한 주행행태 특성을 도출하는 것이 목적임

분석방법

연구 수행 과정

- 본 연구는 waymo 데이터를 기반으로 자율-비자율 혼재상황에서 추종상황별 주행행태 특성을 도출하는 것이 목적임
- 추종상황별 속도 및 가속도를 분석해 추종상황에서 선행차에 따른 후행차의 주행행태 차이를 비교함
- Waymo 단속류 데이터 중 차량 추종상황 데이터를 기반으로 속도구간별 대표 가·감속도를 도출함
- 속도구간별 대표 가·감속도를 기반으로 추종상황별 차량 거동 로직 파라미터를 조정함



분석방법

Waymo 데이터셋

- Waymo 데이터는 waymo에서 2019년 8월에 공개한 자율주행 데이터셋임
  - San Francisco, Phoenix 등 미국 내 여러 도시에서 실도로 주행데이터가 0.1초 단위로 약 20초간 수집됨
  - Waymo open dataset은 AV의 주행궤적 데이터 및 Lidar의 인식정보, 영상자료가 포함됨
- Waymo 데이터 1000개 중 단속류에 해당하는 데이터는 970개가 있음
- Waymo 단속류 데이터셋에는 도로 기하구조, 선행차종, 신호 유무 등 차량의 주행행태에 영향을 미치는 요인이 존재함

(AV 주행영상)

도로 기하구조	교차로							단일로		
	3지 신호	3지 비신호	4지 신호	4지 비신호	5지 신호	5지 비신호	회전	직진	좌회전	우회전
데이터 수 (개)	106	22	118	372	2	1	6	167	89	68

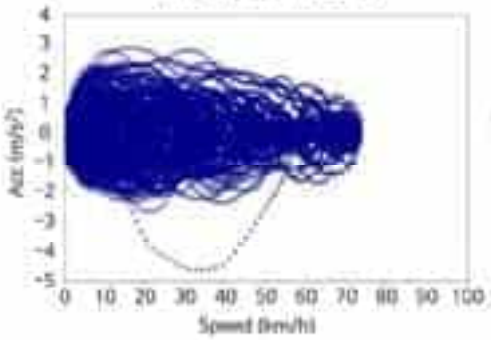
(Waymo 단속류 데이터셋 구성)

분석방법

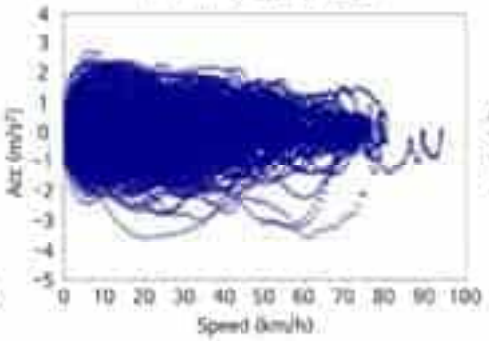
차량 추종상황별 속도-가속도 산점도

- 차량 추종상황별 후행차의 속도-가속도의 산점도를 도출함
- 단속류의 차량 추종상황에서 가속도에 비해 감속도가 더 크게 수행함
- MV-MV pair에서의 후행 MV는 AV-MV pair에서의 후행 MV와 MV-AV의 후행 AV에 비해 가·감속도 분포가 더 넓게 분산됨

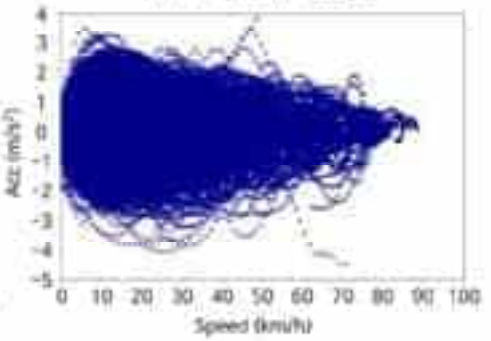
(MV-AV pair의 AV 산점도)



(AV-MV pair의 MV 산점도)



(MV-MV pair의 MV 산점도)



분석방법

차량 추종상황별 가속도 대표값

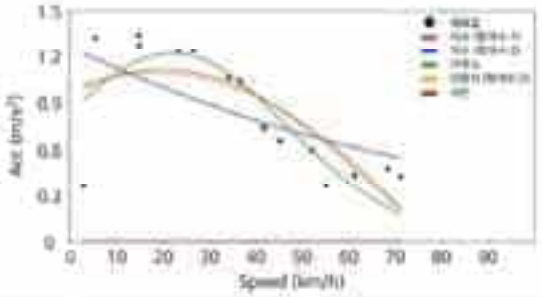
- 가속도의 대표값 도출을 위해 속도 범위를 5km/h로 설정하고 데이터셋의 이상치를 제거함
- 이상치 제거는 IQR (Interquartile range) 방법을 적용해 가속도의 대표값을 도출함
  - IQR방법 : 데이터의 1사분위수(Q1)와 3사분위수(Q3)를 계산한 다음, IQR을 기반으로 이상치의 범위를 설정하고 제거하는 방법
- 속도범위 내 가속도 데이터가 존재하지 않는 경우, 해당 속도 범위의 가속도 대표값은 제외함

- : 데이터 없음

Pair (m/s²)		속도 범위																	
		0~5	5~10	10~15	15~20	20~25	25~30	30~35	35~40	40~45	45~50	50~55	55~60	60~65	65~70	70~75	75~80	80~85	85~90
MV-AV	가속도	0.3641	1.3234	1.3435	1.2738	1.2339	1.2431	1.0592	1.0395	0.7430	0.6593	0.5967	0.3710	0.4334	0.4783	0.4289	-	-	-
	감속도	-0.4894	-1.2020	-1.1951	-1.3000	-1.1989	-1.2084	-1.0369	-1.0942	-1.1001	-0.9092	-0.7983	-0.6495	-0.7434	-0.6241	-0.4569	-	-	-
AV-MV	가속도	0.3635	1.4220	1.5886	1.2622	1.1084	1.0756	1.0520	1.2192	1.0667	1.0619	0.7961	0.5908	0.6233	0.4989	0.4253	0.3820	0.4779	0.0142
	감속도	-0.6417	-1.2482	-1.3101	-1.2212	-1.0807	-1.0158	-0.9188	-1.1034	-1.0368	-0.8800	-0.8035	-0.3009	-0.4435	-0.4567	-0.3309	-0.7301	-1.3614	-0.8509
MV-MV	가속도	0.4062	1.3896	1.5647	1.3831	1.2055	1.1227	1.1697	1.0567	0.9383	0.8803	0.7388	0.5921	0.5321	0.6640	0.5777	0.5019	0.5321	-
	감속도	-0.6189	-1.1804	-1.3843	-1.3621	-1.2532	-1.1661	-1.2213	-1.0234	-1.1058	-0.7099	-0.5223	-0.7833	-0.5592	-0.4014	-0.3169	-0.4188	-0.2507	-

속도-가속도 모델 (MV-AV)

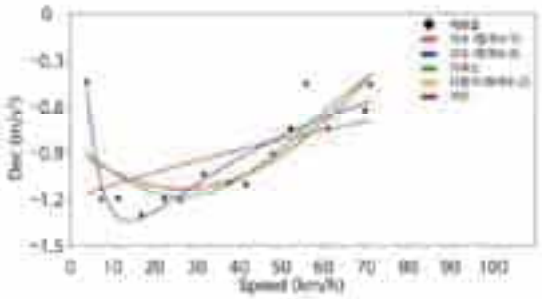
- 속도 범위 (5km/h)에 따른 가속도 대표값을 기반으로 후행 AV의 속도-가속도 모델을 도출함
- 실제 AV 속도와 가속도의 85 percentile 간의 관계를 효과적으로 설명할 수 있는 함수는 가우스 함수로 분석됨



	지수 (함계수:1)	지수 (함계수:2)	가우스	다항식 (함계수:2)	사인
함수식	$y = a * exp(b * x)$	$y = a * exp(b * x) + c * exp(d * x)$	$y = a * exp\left(-\left(\frac{x-b}{c}\right)^2\right)$	$y = a * x^2 + b * x + c$	$y = a * sin(b * x + c)$
계수	a = -0.9064 b = -9.1869	a = 0.6319 b = -0.0118 c = 0.6319 d = -0.0118	a = 1.2211 b = 22.0664 c = 25.0889	a = -3.0672e-04 b = 1.1046e-02 c = 9.8918e-01	a = 1.1086 b = -0.0270 c = 2.1059
SSE	1.3024	1.3024	0.6561	0.9258	0.8894
R-squared	0.3779	0.3779	0.6866	0.5578	0.5847
Adj. R-squared	0.2743	0.1291	0.6011	0.4372	0.4715
RMSE	0.2947	0.2947	0.2091	0.2484	0.2408

속도-감속도 모델 (MV-AV)

- 속도 범위 (5km/h)에 따른 감속도 대표값을 기반으로 후행 AV의 속도-감속도 모델을 도출함
- 실제 AV 속도와 감속도의 15 percentile 간의 관계를 효과적으로 설명할 수 있는 함수는 가우스 함수로 분석됨



	지수 (함계수:1)	지수 (함계수:2)	가우스	다항식 (함계수:2)	사인
함수식	$y = a * exp(b * x)$	$y = a * exp(b * x) + c * exp(d * x)$	$y = a * exp\left(-\left(\frac{x-b}{c}\right)^2\right)$	$y = a * x^2 + b * x + c$	$y = a * sin(b * x + c)$
계수	a = -1.11974 b = -0.0076	a = 3.5194 b = -0.2641 c = -1.7998 d = -0.0163	a = -1.1847 b = 26.3550 c = 30.2821	a = 3.6830e-04 b = -1.9649e-02 c = -8.6118e-01	a = 1.1379 b = 0.0274 c = -2.3004
SSE	0.9631	0.9631	0.4870	0.5756	0.5513
R-squared	0.2859	0.2859	0.6389	0.5732	0.5913
Adj. R-squared	0.1669	0.0003	0.5404	0.4569	0.4798
RMSE	0.2534	0.2534	0.1802	0.1959	0.1917

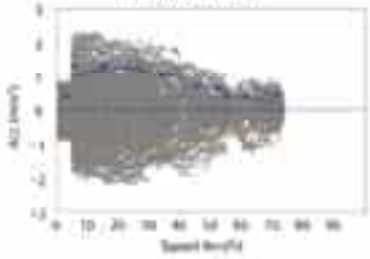
분석결과

추종상황별 거동 로직 파라미터 조정

- Waymo 단속류 데이터셋을 활용해 추종상황별 차량의 속도-가속도 모델을 도출함
- 추종상황별 속도-가속도 모델을 기반을 시뮬레이션 내 차량의 가·감속도 파라미터 값을 조정함

Pair별 거동 제어 로직

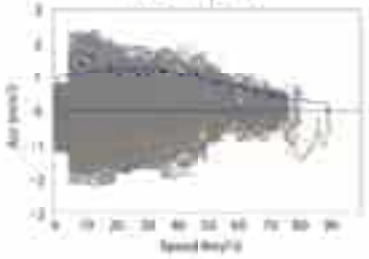
〈 MV-AV pair 〉



가속도 : $y = 1.2211 * exp\left(-\left(\frac{x-22.0664}{25.0886}\right)^2\right)$

감속도 : $y = -1.1847 * exp\left(-\left(\frac{x-26.2502}{30.0021}\right)^2\right)$

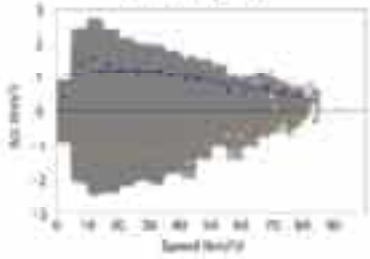
〈 AV-MV pair 〉



가속도 : $y = 1.2442 * exp\left(-\left(\frac{x-23.0627}{30.5149}\right)^2\right)$

감속도 : $y = -1.2651 * exp(-1.1694e-02 * x) - 6.1251e-06 * exp(1.2469e-01 * x)$

〈 MV-MV pair 〉



가속도 : $y = 1.1922 * exp\left(-\left(\frac{x-20.8637}{30.2663}\right)^2\right)$

감속도 : $y = -1.2405 * exp\left(-\left(\frac{x-24.5139}{27.8189}\right)^2\right)$

결론

결론

- 본 연구에서는 자율-비자율 혼재상황 내 추종상황별 주행행태 특성을 도출함
- 추종상황별 속도와 가속도, 속도와 감속도 간의 관계를 효과적으로 설명하는 함수는 가우스 함수로 나타남
- 추종상황별 속도, 가감속도는 통계적으로 유의미한 차이가 나타났으며, 거동 제어 로직 파라미터 값은 추종상황별로 다른 것으로 분석됨
- 추종상황별 차량 거동 제어 로직을 기반으로 시뮬레이션 분석 시 자율-비자율 혼재상황을 보다 현실성 있게 분석이 가능함

활용방안 및 향후 연구 방향

- 본 연구의 방법론을 활용 시 실험환경에 맞는 자율-비자율 혼재상황을 반영해 시뮬레이션 분석의 현실성을 높임
  - Waymo 데이터셋은 현실의 다양한 도로 기하구조 및 교통 상황에서의 차량 주행데이터로 구성됨
- 주행속도에 영향을 미치는 요인을 기반으로 속도-가속도 모델을 도출할 필요성이 있음
  - 도로에서는 다양한 상황이 발생하고 그에 따른 추종상황별 주행행태가 다를 것으로 예상됨
  - 속도에 영향을 미치는 요인이 복합적으로 작용 시 그에 따른 추종상황별 거동 제어 파라미터 조정이 요구됨

자율주행(Ⅳ)

Session

B-3

Transformer 모델을 활용한 얌체 운전자의 나들목 끼어들기 사전 예측
김진성, 노병준

전통적 통계 모형을 활용한 자율주행자동차 교통사고 영향요인 분석
이요셉, 김예진, 윤일수

영상 기반 차선 검출 및 Stanley 제어를 통한 Lane Following System
정진우, 박준범, 임지웅, 원종훈

자율주행차량을 위한 통합된 교통 데이터 통신 서버 시스템
정혜인, 이재원, 장달원, 이종설

ICP를 통한 LiDAR 기반 차량 추적 알고리즘 정확도 개선
차승민, 임지웅, 원종훈

Transformer 모델을 활용한 얌체 운전자의 나들목 끼어들기 사전 예측

Proactive Prediction of Selfish Cutting-in Vehicle (SCV) at Interchanges using Transformer Model

김진성
(순천향대학교 AI·빅데이터학과, 학사과정)

노병준
(순천향대학교 AI·빅데이터학과, 조교수)

Key Words : Transformer, Lane Change, Drone Vision, Selfish Cutting-in Vehicle

목 차

Ⅰ. 서론 ····· 1
Ⅱ. 연구 방법론 ····· 1
Ⅲ. 실험 및 결과 ····· 2
Ⅳ. 결론 ····· 3

Ⅰ. 서론

램프구간에서 고의적으로 진출입 지점에 가까워져서야 차선 변경을 하는 "얌체 운전" 행위는 교통 흐름을 방해하는 주요 요인 중 하나이다[1]. 특히, 고속도로 출구나 나들목, 좌회전 및 우회전 구간에서는 긴 대기행렬로 인해 일부 운전자들이 미리 차선을 변경하지 않고, 진출입 직전 시점에 급작스럽게 차선을 변경하는 얌체 운전이 빈번하게 발생한다. 이는 주변 차량의 급정거와 불필요한 차선 변경을 야기하여 교통 체증을 심화시키고 전체적인 교통 효율성을 저하시킨다[2]. 따라서, 나들목 부근에서 얌체 운전자의 차선 변경을 사전에 예측하여 통제를 유도할 수 있는 방안이 반드시 필요하다.

기존의 교통 관리 시스템은 얌체 운전자의 차선 변경을 사전에 예측하고 대응하는 데 있어 한계가 있다. 현재 일부 교통 당국에서는 드론을 사용하여 교통 상황을 모니터링하고 있지만, 이는 주로 드론이 실시간으로 상공을 순찰하는 방식에 의존하며, 수동으로 교통 위반자를 식별하는 수준에 머무르고 있다. 이러한 방식은 교통 혼잡 상황을 종합적으로 분석하거나 얌체 운전자의 패턴을 자동으로 감지하는 데 있어 실시간 대응이 어렵다.

본 연구는 드론 영상을 활용하여 운전자의 차선 변경을 사전에 예측하는 Transformer 모델 기반의 방법론을 제안한다. 제안하는 방법론은 먼저, 드론을 통해 수집된 영상으로부터 컴퓨터 비전 및 딥러닝 기술을 활용하여 차량의 각도, 방향, 속도, 그리고 주변 상황에 대한 정보를 실시간으로 추출한다. 다음으로, Transformer 모델을 활용하여 차량이 진입로에 도달하기 전에 차선 변경 여부를 예측하여, 얌체 운전자(Selfish Cutting-in Vehicle, SCV)의 기동을 사전에 파악하고, 교통 관리자가 보다 효과적으로 교통 흐름을 제어할 수 있을 것으로 기대된다.

Ⅱ. 연구 방법론

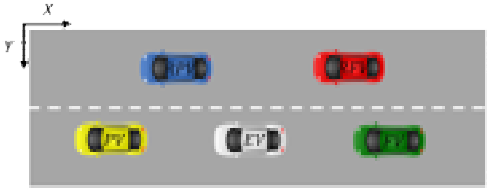
제안하는 방법론은 크게 1) 차량 정보 추출부와 2) Transformer 기반 차선변경 예측부의 두 부분으로 나뉜다.

1. 차량 정보 추출부

본 연구에서는 드론 영상을 활용하며, 영상으로부터 객체 탐지 및 추적을 위해 You Only Look Once version 8 (YOLOv8)과 Bag of Tricks for Simple Online and Real-time Tracking (BoT-SORT) 알고리즘을 활용한다.

차량 정보는 대상 차량의 정보와 주변 차량의 정보로 구분된다. 대상 차량에 대한 정보는 프레임별로 차량의 ID, 속도(m/s), 가속도(m/s^2), 차량의 각도(°)를 포함한다. 주변 차량의 정보는 대상 차량과 주변 차량 간의 상대 거리(m)이며 관련 수식은 <표 1>에서 확인할 수 있다.

주변 차량은 <그림 1>과 같이 Ego Vehicle(EV)을 기준으로 선행 차량을 Preceding Vehicle(PV), 후방 차량을 Following Vehicle(FV), 오른쪽 선행 차량을 Right Preceding Vehicle(RPV), 오른쪽 후방 차량을 Right Following Vehicle(RFV)로 명명한다.



<그림 1> Ego vehicle과 surrounding vehicle의 용어

<표 1>은 모델 입력 데이터의 정의와 수식을 보여준다. 변화량(Δ)은 현재 frame과 이전 frame의 차이를 의미하고, x, y는 차량을 검출한 bounding box의 중심 좌표를 나타낸다. T는 1/30로 30 frame per second(fps)에서 프레임의 시간 간격을 의미하고, λ는 한 프레임의 실제 거리 비율로 실제 거리를 화면상의 프레임 길이로 나눈 값을 의미한다.

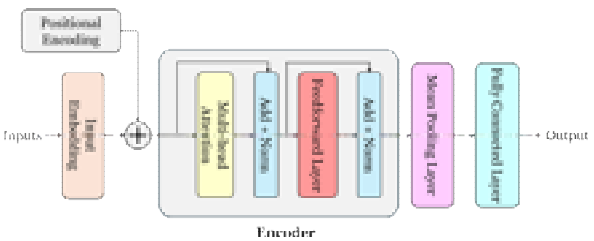
<표 1> 입력 데이터 정의 및 수식

Name	Feature Description	Formula
ID	EV car id	-
frame	The frame number of the video	-
s_e	The speed of EV	$s_e = \frac{d_e}{T}$
a_e	The acceleration of EV	$a_e = \Delta s_e$
ha_e	The header angle of EV	$ha_e = \tan^{-1}(\frac{\Delta y}{\Delta x})$
d_{ef}	The distance between EV and FV	$d_{ef} = \lvert d_e - d_f \rvert$
d_{ep}	The distance between EV and PV	$d_{ef} = \lvert d_e - d_p \rvert$
d_{erf}	The distance between EV and RFV	$d_{erf} = \lvert d_e - d_{rf} \rvert$
d_{erp}	The distance between EV and RPV	$d_{erp} = \lvert d_e - d_{erf} \rvert$

2. Transformer 기반 차선변경 예측부

본 연구에서는 차선변경 예측을 위해 <그림 2>와 같이 Transformer 모델[3]의 인코더 구조만을 사용한다. 입력 시퀀스는 ID, frame, 차량의 속도, 가속도, 각도, 앞뒤 차량과의 거리, 옆 차량과의 거리 등 차량 정보와 주변 차량과의 정보를 나타내는 9개의 특성으로 구성된다.

Transformer 모델에 대해 자세히 살펴보자면, 각 입력 시퀀스에 Positional Encoding을 추가하여 위치 정보를 반영한 후, Transformer 인코더로 전달한다. 인코더는 입력 시퀀스를 고정된 길이의 벡터로 변환하는 역할을 하며, 이를 통해 시퀀스의 중요한 정보를 요약한다. 인코더의 구조는 Multi-Head Attention 메커니즘과 Feed-Forward Neural Network로 구성된 2개의 레이어로 이루어져 있다. 각 레이어는 입력 시퀀스 간의 상호작용을 학습하고, 중요한 특성을 강조하는 역할을 한다. 인코더의 출력은 이후 Mean Pooling Layer를 통해 시퀀스의 정보를 고정된 크기의 벡터로 요약하고, 마지막으로 Fully Connected Layer를 통과하여 차선 변경 여부를 예측하는 이진 분류를 수행한다.



<그림 2> Transformer 모델 구조

III. 실험 및 결과

1. 실험 설계

1.1. 데이터 설명

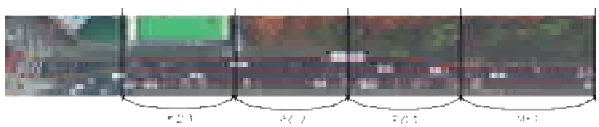
본 연구에서는 대전시 유성구에 위치한 장대동에서 한국과학기술원 방면의 충남대 오거리의 도로를 대상으로 하며, 드론을 활용하여 약 250m 고도에서 약 35분 동안 촬영된 영상을 데이터로 사용하였다. 영상은 약 30 fps의 속도로 기록되었으며, 총 62,352 프레임을 포함하고 있다. 차량에 대한 정보는 총 978대의 차량이 포함되어 있으며, 트럭이나 버스, 오토바이가 제외된 일반 차량으로 구성되어 있다.

1.2. 구간 정의

본 연구는 SCV를 탐지하기 위해 <그림 3>과 같이 start 구간을 제외한 나머지 세 개의 구간을 위험성에 따라 분류한다. 이후 Transformer 모델을 활용하여 차선 변경 시점을 예측한다. 구간 1-3은 차선 변경이 발생할 시점을 예측하는 구간으로 설정하고, 예측은 Transformer 모델을 활용하여 순차적인 방식으로 진행된다. start 구간의 차량 정보로 구간 1에서의 차선 변경을 예측하고, 이어서 구간 1에서 수집된 차량 정보로 구간 2에서의 차선 변경을 예측하며, 마지막으로 구간 2의 차량 정보로 구간 3에서의 차선 변경을 예측한다. 차선 변경이 이뤄진 구간에 따른 차량은 <표 2>와 같이 정의된다.

<표 2> 차선 변경 차량 정의

Name	Description
non-SCV	구간 1에서의 차선 변경 차량 (낮은 위험성)
semi-SCV	구간 2에서의 차선 변경 차량 (중간 위험성)
SCV	구간 3에서의 차선 변경 차량 (높은 위험성)



<그림 3> 도로 구간 정의

1.3. 평가지표

본 연구에서는 차선 변경 예측을 위해 RNN, LSTM, Transformer 모델을 비교 평가하였다. 평가지표로는 Accuracy, Precision, Recall, F1-Score를 사용하였으며, 평가지표에 대한 수식은 <표 3>과 같다.

<표 3> 평가지표

Metric	Formula
Accuracy	$\frac{TP+FP}{TP+FP+TN+FN}$
Precision	$\frac{TP}{TP+FP}$
Recall	$\frac{TP}{TP+FN}$
F1-Score	$2\times\frac{\mathrm{Precision}\times Recall}{\mathrm{Precision}+Recall}$

여기에서, TP, FP, TN, FN은 각각 True Positive, False Positive, True Negative, False Negative를 나타낸다.

2. 실험 결과

각 구간에서의 모델별 차선 변경 예측 성능 비교 결과는 <표 4>와 같다. Transformer 모델은 모든 평가 지표에서 가장 뛰어난 성능을 보였다. 구간 1과 구간 3에서는 모든 지표가 약 0.85 이상의 높은 성능을 기록하며, SCV와 non-SCV 예측에서 높은 성능을 보였다. 또한, 구간 2에서는 다른 구간보다 상대적으로 성능이 다소 낮지만, 다른 비교 모델들과 비교했을 때, 높은 성능을 보였다. 특히, Transformer 모델은 교통 흐름에 가장 큰 영향을 미치는 SCV의 Recall 값이 약 0.927로 높아, 실제 차선 변경 차량 중 이를 정확하게 예측한 비율이 높다는 점에서 Transformer 모델의 성능의 효율성을 입증하였다.

<표 4> 각 구간에서의 모델별 평가지표

구간	Model	Acc	Pre	Recall	F1
1	RNN	0.820	0.673	0.820	0.739
	LSTM	0.828	0.794	0.828	0.811
	Transformer	**0.882**	**0.876**	**0.882**	**0.879**
2	RNN	0.691	0.477	0.691	0.564
	LSTM	0.719	0.699	0.719	0.709
	Transformer	**0.755**	**0.766**	**0.755**	**0.761**
3	RNN	0.727	0.770	0.727	0.748
	LSTM	0.883	0.825	0.883	0.853
	Transformer	**0.927**	**0.860**	**0.927**	**0.892**

Ⅳ. 결론

본 연구에서는 Transformer 모델을 활용하여 도로 진출입로 부근에서 끼어들기 차량을 예측하는 방법론을 제안하였다. 제안하는 방법론은 드론 영상으로부터 YOLOv8과 BoTSORT 알고리즘을 활용하여 차량의 속도, 각도, 가속도 등의 움직임 정보를 추출하였으며, 이를 Transformer 모델의 입력으로 활용하여 차량의 끼어들기를 사전에 예측하였다.

제안하는 방법론의 검증을 위하여 본 실험에서는 대전시 유성구에 위치한 오거리 내 진출입로 부근에서 획득한 드론 영상 데이터를 활용하였다. 실험 결과, RNN, LSTM 등과 같은 다른 순차 모델 대비 Transformer 모델의 성능이 모든 평가지표에서 우수한 성능을 보였다. 이를 통해 본 연구에서 제안한 방법론이 실제 교통 환경에서 높은 신뢰성과 실효성을 보유하고 있음을 확인하였다. 이러한 시스템은 교통 안전 향상과 약체 운전자의 예방적 관리에 중요한 시사점을 제공하며, 실제 교통 상황에서 SCV의 사전 예측을 통해 교통 체증을 완화하고 전체적인 교통 효율성을 증대시키는 데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 2024년 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 SW중심대학사업의 연구 결과로 수행되었습니다 (2021-0-01399).

참고문헌

1. Li, H., Huang, Z., Qin, L., Zheng, S., & Yang, Y. (2019). Modeling and simulation of vehicle group lane-changing behaviors in upstream segment of ramp areas under a connected vehicle environment. Smart and resilient transportation, 1(1), 17-29.
2. Huang, Z., Zhang, Z., Li, H., Qin, L., & Rong, J. (2019). Determining appropriate lane-changing spacing for off-ramp areas of urban expressways. Sustainability, 11(7), 2087.
3. Vaswani, A. (2017). Attention is all you need. Advances in Neural Information Processing Systems.

전통적 통계 모형을 활용한 자율주행자동차 교통사고 영향요인 분석

Analysis of Factors Influencing Autonomous Vehicle Accidents Using Traditional Statistical Model

이요셉 (아주대학교, 석박사 통합사과정)
김예진 (아주대학교, 석박사 통합사과정)
윤일수 (아주대학교, 교수)

Key Words : 자율주행자동차, 교통사고, 영향요인 분석, 통계모형

목 차

Ⅰ. 서론
Ⅱ. 관련 연구 및 선행연구 고찰
Ⅲ. 모형 개발 및 해석
Ⅳ. 결론 및 향후 연구과제

Ⅰ. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

자율주행자동차는 운전자의 편의성 증대, 교통사고 저감에 혁신적인 대안으로 주목받고 있으며, 이에 따라 자율주행 임시 운행을 허가받은 차량도 2016년 11대에서 2023년 430대로 급격히 증가하고 있다(Park, 2024). 다만, 자율주행자동차에 대한 국민 불신도는 2018년 54%, 20119년 49%, 2020년 46%로 점차 낮아지고 있는 추세이긴 하나, 소비자들이 자율주행자동차의 안전성을 완전히 믿지는 못하는 것으로 나타났다(Deloitte, 2020). 이는, 안전한 자동차를 지향하는 자율주행차가 안전하지 않을 수도 있다는 불안감 때문으로 판단되며, 소비자들의 불안감 불식을 위해서는 기술 신뢰성 고취, 사고 원인 규명 체계의 정의, 관련 제도적 장치 마련 등이 필요하다.

미국자동차공학회(society of automotive engineers, ,SAE)에서 정의한 자율주행 레벨 3 이상의 자율주행자동차는 사람이 아닌 자율주행 시스템(automated driving system, ADS)이 주행 전반의 업무를 담당하며, 교통사고가 발생하는 경우 비자율주행자동차 교통사고와 달리 다양한 형태의 예측하기 어려운 위험요소가 존재할 수 있다(Weixi et al., 2022). 이에 따라, 비자율주행자동차의 교통사고와 자율주행자동차의 교통사고는 영향요인이 상이할 것으로 판단된다(Ryu, 2018). 따라서, 자율주행자동차와 관련된 규정 및 제도적 장치 마련을 위해서는 자율주행자동차가 관여된 교통사고의 영향요인 규명이 우선되어야 한다.

교통사고의 영향요인 분석을 위해서는 많은 표본의 교통사고에 대한 상세한 정보가 포함된 데이터가 필요하다. 이에 따라 비자율주행자동차의 교통사고 영향요인 분석은 활발히 수행되어 다양한 해석이 제시되어 왔다(Park et al., 2013; Limet al., 2014). 반면, 자율주행자동차의 교통사고 영향요인 분석은 임시운행이 허가된 자율주행자동차의 교통사고여야 한다는 점, 기업기술비밀(confidential business information)을 제외한 데이터의 수집, 한정된 공간적 범위 등으로 인해 미미하게 수행되었다.

이에 따라, 미국 도로교통안전국(national highway traffic safety administration, NHTSA)는 ADS 및 레벨 2 ADAS 시스템 제조업체와 이를 장착한 차량의 안전성 및 법적 의무 충족 평가를 위해 2021년 6월부터 자율주행자동차의 교통사고 데이터를 수집·공개하도록 일반명령(general order)를 규정하였다. NHTSA에서 수집·공개되는 데이터는 교통사고 부상 심각도, 사고발생 당시 속도 등을 포함하여 137개 항목을 상세하게 기록하고 있으며 2024년 7월 기준, 약 4년간 700건의 교통사고 데이터가 수집되었다.

따라서, 본 연구에서는 기존 자율주행자동차 데이터의 한계점을 일부 해소할 수 있는 NHTSA 자율주행자동차 교통사고 데이터를 기반으로 교통사고 영향요인 분석을 수행하고자 한다. 다만, 700건의 자율주행자동차 교통사고 데이터는 머신러닝·딥러닝을 적용하여 분석하기에는 무리가 있다고 판단하여 전통적 통계모형 중 이분형 로지스틱 회귀모형을 활용하여 영향요인 분석을 수행하도록 하였다. 본 연구는 자율주행자동차 실사고 데이터를 기반으로 교통사고 심각도 영향요인을 도출하며 정량화함에 의의가 있다.

Ⅱ. 관련 이론 및 연구 고찰

1. 관련 이론 고찰

1) 전통적 통계 모형

전통적 통계 모형은 다양한 변수 간의 관계를 정량적으로 평가하는데 추론에 따른 불확실성을 신뢰구간 등으로 제시하며, 연구 가설에 대한 지지정도를 통계학적 분포와 확률에 근거하여 추정하는 과정을 수행하여 가설 검정 및 연관성 추정을 수행하는 모형을 일컫는다(Rye et al., 2022).

전통적 통계 모형은 종속변수와 독립변수 간의 관계를 수식화하여 변수들이 결과에 미치는 영향을 정량적으로 파악할 수 있도록 관계식을 산출할 수 있으며, 대표적인 전통적 통계 모형으로는 선형 회귀분석, 로지스틱 회귀분석 등이 있다.

선형 회귀분석은 독립변수와 종속변수 간의 선형 관계를 가정하는 모형으로 오차항이 선형성, 독립성, 등분산성, 정규성, 다중공선성 없을을 만족해야 하며, 잔차 제곱합(residual sum of squares, RSS)를 최소화하는 방식으로 회귀 직선을 도출한다. 로지스틱 회귀분석은 선형 회귀분석과 달리 종속변수가 범주형일 경우에 활용하는 모형으로 종속변수가 0과 1 사이의 확률값으로 변환되기 때문에 선형성과 정규성 가정을 만족하지 않는 경우에 활용한다(Park et al., 2009; Kutner et al., 1990).

2) 이분형 로지스틱 회귀분석

이분형 로지스틱 회귀분석은 종속변수가 이분형일 때 사용되는 통계 모형으로, 독립변수가 종속변수에 미치는 영향을 분석하고, 사건이 발생할 확률을 예측하는 데 활용된다(Hosmer et al., 2013). 본 연구에서는 종속변수를 이분형인 부상발생 여부로 설정하였기 때문에 이분형 로지스틱 회귀분석 모형을 활용하여 분석을 수행하고자 한다.

이분형 로지스틱 회귀분석을 수행하기 위해서는 종속변수가 발생할 확률에 로그오즈 변환을 수행하여 선형관계로 이를 변환하며, 최대우도 추정법(maximum likelihood estimation)을 통해 독립변수가 종속변수의 사건이 발생할 확률에 미치는 영향을 측정할 수 있다. 또한, 회귀계수의 지수함수 값으 ㄹ취하여 오즈비(odds ratio)를 산출하여 독립 변수의 단위 변화가 종속 변수의 발생 확률에 미치는 영향을 정량화할 수 있다.

교통사고 심각도 영향요인 분석에서 부상발생여부에 해당하는 종속변수를 Y라고 할 때, Y가 발생할 확률 p는 식 (1)과 같다. 부상이 발생할 확률 p에 대해 오즈(odds)는 식 (2)와 같이 정의되며 여기서, $1-p$는 사건이 발생하지 않을 확률이다.

$$p = P(Y=1) \tag{1}$$

$$odds = \frac{p}{1-p} \tag{2}$$

오즈는 사건이 발생할 확률을 0과 1사이의 값으로 표현하기 어렵기 때문에, 이를 로그 변환한다. 이 때, 로그 오즈는 독립변수와 선형 관계로 식 (3)과 같이 선형 회귀식으로 모델링할 수 있다. 여기서, β_0는 절편, β_n은 독립변수 X_n에 대한 회귀계수이다.

$$\log(\frac{p}{1-p}) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta_n X_n \tag{3}$$

식 (3)에서 p에대한 식을 귀하기 위해 양 변에 지수 함수를 취하고, 양 변을 정리하면 p는 다음 식 (4)와 같다.

$$p = \frac{1}{1+\exp(-(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta_n X_n))} \tag{4}$$

2. 선행연구 고찰

1) 비자율주행자동차 교통사고 심각도 영향요인 분석

Kim(2023)은 로지스틱 회귀분석을 활용한 노인 보행자 교통사고 예측모형 개발 연구를 통해 노인 보행자가 연루된 교통사고에서 주요 영향을 미치는 변수를 도출하였다. 분석 결과, 차량 유형, 보행자 상태, 도로 상태, 날씨, 속도 순서로 높은 영향을 미치는 것으로 분석되었으며, 개별 요인들에 대한 해석을 수행하였다.

Jang et al.(2018)은 로지스틱 회귀분석을 이용한 개인 및 도시 특성에 기반한 교통사고 연구에서 개인 특성(성별, 연령)과 도시 특성(도로 인프라, 교통량, 신호 체계) 등이 교통사고 심각도에 미치는 영향을 분석하였다. 분석 결과 요인별 영향요인을 정량화하였으며, 이를 기반으로 교통사고 예방을 위한 전략을 제시하였다.

2) 자율주행자동차 교통사고 심각도 영향요인 분석

Kim et al.(2023)은 자율주행자동차 교통사고 심각도 영향요인 분석을 캘리포니아 차량관리국(california department of motor vehicles, CA DMV)에서 공개하고있는 데이터를 기반으로 수행하였다. 데이터의 한계를 극복하기 위해 공간정보 데이터를 결합하여 데이터를 재구성하였다. 독립변수는 조도, 차로수, 전용차로 유무, 보행자 사고 이력, 자전거 사고 이력을 설정하였으며, 종속변수는 사고 심각도로 설정하여 분석을 수행하였다. 분석 결과, 차로 수를 제외한 모든 독립변수가 사고 심각도에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Francesca et al.(2024)은 CA DMV에서 제공하는 자율주행해제 데이터를 분석하여 ADS가 해제(disingagement)된 주요 원인과 교통사고에 미치는 영향을 심층분석하였다. 분석에 앞저 자율주행자동차의 교통사고 특성 분석을 수행하였으며, 자율주행자동차의 후방에 비자율주행자동차의 충격이 가장 높은 빈도로 발생하였다. 연구 결과 ADS의 해제는 복잡한 교차로와 어두운 조도를 주요 원인으로 빈번하게 발생한 것으로 판단하였다.

3. 연구의 차별성

선행연구 고찰 결과, 기존 비자율주행자동차 교통사고에 대한 영향요인 분석은 다양한 연구에서 진행되었으며, 그에 따른 해석 및 제언 등을 제시하고 있는 것으로 나타났다. 이에 반해 자율주행자동차의 교통사고 영향요인 분석은 CA DMV 데이터를 활용한 연구가 주를 이루고 있으며, 대부분의 연구에서 데이터 표본 및 상세도를 한계점으로 제시하고 있다.

이에 본 연구에서는 CA DMV 데이터보다 높은 상세도와 많은 표본 수를 가지고 있는 NHTSA 데이터를 기반으로 교통사고 심각도 영향요인 분석을 수행하고자 한다. 모형의 개발은 저표본에서도 안정적으로 영향분석을 수행할 수 있는 전통적 통계 모형을 활용하고자 하며(Bonilla et al., 2023), 이를 통해 개별 영향요인의 정량화를 수행한다.

III. 데이터 전처리

본 연구에서 활용하는 NHTSA 데이터는 2021년 7월부터 2024년 7월까지 약 4개년동안 수집된 700건의 자율주행자동차 교통사고 데이터이다. 해당 데이터는 개별 교통사고에 대하여 교통사고 심각도, 사고발생 당시 주행속도, 자율주행자동차와 비자율주행자동차의 주행행태 등 137개 항목을 수집하고 있다. 분석을 수행하기에 앞서, 본 연구에서 활용하는 이분형 로지스틱 회귀분석 모형에 활용하기에 적합하도록 데이터의 전처리를 다음과 같은 순서로 수행하였다.

1. 137개 항목 중 교통사고 영향요인 분석에 불필요할 것으로 판단되는 보고서 번호, 보고 유형, 차대번호, 신고자 이름과 같은 데이터를 제외하였으며, 이에 따라 137개 항목 중 36개 항목을 선택
2. 유사한 위계의 정보를 포함하는 항목이나 지나치게 적은 표본을 가진 항목은 취합하여 재구성하여 29개 항목을 선택(예, 맑음, 흐림, 비와 같은 항목은 날씨로 취합)
3. 이분형 로지스틱 회귀모형에 적용할 수 있도록 선정된 독립변수 및 종속변수를 개별 기준에 따라 이분형으로 재구성

이분형으로 재구성하는 기준 및 선정된 독립변수 및 종속변수는 다음 <표 1>과 같다.

〈표 1〉 데이터 재구성 결과

구분	항목	기준
종속변수	부상발생 유무	물적피해 = 0 / 부상발생 = 1
독립변수	주행거리	중간값 이상 = 1 / 이하 = 0
	운전자	운전자 없음 = 1 / 존재 = 0
	ADS 사용 여부	ADS = 1 / 그 외 = 0
	충돌전 SV* 거동	정지 = 1 / 그 외 = 0
	SV 주행속도	30mph 이하 = 1 / 그 외 =0
	ODD 구간	구간 내 = 1 / 구간 외 = 0
	사고시간	오전 = 1 / 오후 = 0
	도로유형	일반 도로 = 1 / 그 외 = 0
	도로표면	마름 = 1 / 그 외 = 0
	도로설명	이상 없음 = 1 / 그 외 = 0
	제한속도	25mph 이하 = 1 / 이상 = 0
	조명	밝음 = 1 / 그 외 = 0
	날씨	맑음 = 1 / 그 외 = 0
	CP** 종류	자동차 = 1 / 그 외 = 0
	충돌전 CP 거동	직진 = 1 / 그 외 = 0
	CP 견인여부	해당되는 경우 = 1 해당하지 않음 = 0
	CP 충돌부위 후면	
	CP 충돌부위 전면	
	CP 충돌부위 좌우측	
	CP 충돌부위 상하면	
	CP 에어백 전개 여부	
	SV 견인여부	
	SV 에어백 전개 여부	
	SV 충돌부위 후면	
	SV 충돌부위 전면	
	SV 충돌부위 좌우측	
	SV 충돌부위 상하면	
	SV 승객 벨트 착용여부	

* SV : 자율주행자동차

** CV : 충돌대상물

IV. 향후 연구방향

교통사고 영향요인 분석 모형은 이분형 로지스틱 회귀모형을 활용하여 IBM SPSS Statistics 21을 통해 분석을 수행한다. 전처리된 데이터를 기반으로 모델을 구성하며, 전체 독립변수를 입력한 모형부터 평가하여 후진 제거법의 반복 수행을 통해 구축한다. 모형의 평가는 Hosmer와 Lemeshow 검정을 통해 수행하며, -2 Log Likelihood, Cox와 Snell의 R^2, Nagelkerke R^2을 통해 평가할 수 있도록 한다. 또한, 구성된 모델의 독립변수별 오즈비 값을 확인하여 최종적으로 자율주행자동차 교통사고 심각도에 영향을 미치는 요인들을 확인하고, 이를 정량화하여 해석할 수 있도록 한다.

IV. 결론

자율주행자동차는 운전자의 편의성 증대, 교통사고 저감에 혁신적인 대안으로 주목받고 있으며, 이에 따라 자율주행 임시 운행을 허가받은 차량도 2016년 11대에서 2023년 430대로 급격히 증가하고 있다. 하지만, 안전한 자동차를 지향하는 자율주행차가 안전하지 않을 수도 있다는 불안감으로 인해 소비자들이 자율주행자동차의 안전성을 완전히 믿지는 못하는 것으로 나타났다. 따라서, 소비자들의 불안감 불식을 위해서는 기술 신뢰성 고취, 사고 원인 규명 체계의 정의, 관련 제도적 장치 마련 등이 필요하다.

자율주행자동차의 교통사고는 비자율주행자동차의 교통사고와 다양한 측면에서 차이를 보일 것으로 예상되기 때문에, 자율주행자동차와 관련된 규정 및 제도적 장치 마련을 위해서는 자율주행자동차가 관여된 교통사고의 영향요인 규명이 우선되어야 한다.

따라서, 본 연구는 NHTSA에서 수집된 자율주행자동차 교통사고 데이터를 기반으로 자율주행자동차 사고 심각도에 영향을 미치는 요인을 분석하기 위해 이분형 로지스틱 회귀모형

을 활용하여 분석을 수행한다. 이를 위해서 우선적으로 NHTSA 자율주행자동차 교통사고 데이터를 전처리하여 이분형 로지스틱 회귀모형에 적합하도록 재구성하였다. 모형을 구성하기 위해 입력된 종속변수는 부상발생 유무로 설정하였으며, 입력된 독립변수는 자율주행자동차의 주행거리, 운전자 유무, ADS 사용 여부, 자율주행자동차의 주행 속도, ODD 구간, 도로유형, 표면, 설명 및 도로 환경적 요소, 자율주행자동차와 충돌대상물의 충격부위 등 28개의 항목을 설정하였다.

본 연구는 자율주행자동차 실사고 데이터를 기반으로 교통사고 심각도에 영향을 미치는 영향요인을 도출하고, 정량화하는데 의의가 있으며, 향후 모형의 개발 및 해석 수행 결과는 자율주행자동차 상용화를 위한 규정 및 제도적 장치 마련에 기반이 될 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

본 논문은 국토교통부 자율주행 기술개발 혁신사업 '주행 및 충돌상황 대응 안전성 평가기술개발 (RS-2021-KA160637)' 과제 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. Park, G.(2024), "Development of a Severity Model and the Integration of an Investigation Process for Automated Vehicle Traffic Accidents", Doctoral dissertation, Ajou University.
2. Deloitte(2020), Is consumer interest in advanced automotive technologies on the move, 2020 Global Automotive Consumer Study.
3. Weixi, R., Bo, Y., Yuren, C., Kun, G.(2020), "Divergent Effects of Factors on Crash Severity under Autonomous and Conventional Driving Modes Using a Hierarchical Bayesian Approach", vol. 19, no. 18, 11358.
4. Lyu, B.(2018), "Legal Responsibility of Autonomous Vehicle Accident, Hongik Law Review", vol. 19, no. 1, pp.31-58.
5. Park, J., Yun, D., Sung, J.(2013), "Analysis on Factors Affecting Traffic Accident Severity - Case Study : Arterial Included Curve Section-", Journal of the Korean Society of Safety, vol. 28, no. 6, pp.84-89.
6. Lim, Y., Moon, H., Kang, W.(2014), "Analysis on Factors of Traffic Accident on Roads having Width of Less than 9 Meters", The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems, vol. 13, no. 4, pp.86-106.
7. Ryu, L., Han, K.(2022), "Machine Learning vs. Statistical Model for Prediction Modelling: Application in Medical Imaging Research", Journal of the Korean Society of Radiology, vol. 83, no. 6, 1219-1228.
8. Kontkanen, P., Myllymäki, P., Silander, T., Tirri, H., Grunwald, P.(2000), "Comparing predictive inference methods for discrete domains", Proceedings of the Sixth International Workshop on Artificial Intelligence and Statistics, pp. 311-318.
9. Park, B., Yang, J., Kim, J.(2009), "Logistic Regression Accident Models by Location in the Case of Cheong-ju 4-Legged Signalized Intersections", International Journal of Highway Engineering, vol. 11, no. 2, pp.17-25.
10. Kutner, M. H., Neter, J., Wasserman, W.(1990), "Applied Linear Statistical Models(Third Edidtion)", Irwin, Homewood.
11. Hosmer, D. W., Lemeshow, S., & Sturdivant, R. X.(2013), "Applied Logistic Regression (3rd ed.)", John Wiley & Sons.
12. Kim, S.(2023), "A Study on the Elderly Pedestrian-involved severe Accidents Prediction Model Development Using Logistic Regression Analysis", Master's thesis, Ajou University.
13. Jang, J., Lee, S., Lee. Y.(2018), "Study on Traffic Accidents Characteristics by using Driver and City Characteristics", International journal of highway engineering, vol. 20 no. 2, pp.97-107.
14. Kim, C., Kim, J.(2023), "A Study on Factors Influencing the Severity of Autonomous Vehicle Accidents: Combining Accident Data and Transportation Infrastructure Information", The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems, vol. 22, no. 5, pp.200-215.
15. Francesca M. F., Nazanin, N., ,Sky, O. E., Michelle, T. Naresh, V.(2017), "Examining accident reports involving autonomous vehicles in California", PLOS ONE vol. 12, no. 9, e0184952.
16. Bonilla, M. E. Jr., McDonald, J., Toth, T., & Sadler, B.(2023), "Traditional vs Machine Learning Approaches: A Comparison of Time Series Modeling Methods", SMU Data Science Review, vol. 7, no. 2, Article 2.

영상 기반 차선 검출 및 Stanley 제어를 통한 Lane Following System

Lane Following System by Vision based Lane Detection and Stanley Control

정진우[1], 박준범[1], 임지웅[2], 원종훈[3]

[1](인하대학교 자율항법연구실 학부연구생), [2](인하대학교 자율항법연구실 박사과정),

[3](인하대학교 전기컴퓨터공학과 교수)

Key Words : Lane Detection, Lane Following System, Moving Average Filter, Stanley Method

목 차

I. 서론

II. 본론

1. 영상 기반 차선 검출

2. Pixel Error Model Stanley Method

3. 주행 실험 결과 및 분석

III. 결론

Ⅰ. 서론

최근 자율주행 기술의 발전으로 첨단 운전자 보조 시스템의 중요성이 대두되고 있으며, 특히 차선 유지 보조 시스템은 운전자의 안전성과 편의성을 향상시키는 필수적인 시스템으로 자리잡았다. 특히, 정밀한 차선 검출 기술의 경우 GPS 센서의 다중 경로 오차와 같은 위치 추정 성능 저하 상황에서 차량의 안전한 주행을 위해 더욱 필요한 기술이다.

본 연구에서는 정확한 위치 추정이 불가한 환경에서도 안정적인 경로 추종을 위해 카메라 영상 기반 차선 검출 기법과 Pixel Error Modeling을 결합하여 Stanley Method 기반의 Lane Following System(LFS)을 제안한다. 제안하는 영상 기반 차선 검출 기법의 경우 조도 변화와 같은 환경적 변수에도 강건한 동작을 위해 Canny 에지 검출 기술 및 Hough 변환 기술을 활용한다. 또한, 검출된 차선으로부터 추종하고자 하는 경로점 추출 시 안정적인 차량 제어를 위해 Moving Average Filter(MAF)를 활용한 검출 방법을 활용한다. 제안하는 차량 제어 기술의 경우 Pixel 좌표계 상에서 목표 조향각을 직접적으로 도출하기 어려운 문제를 해결하기 위해 차량의 Error를 재정의하여 Pixel Error Model Stanley를 설계한다. Pixel 좌표계 상에서 좌우 차선 Edge와 경로점을 기반으로 차량의 Error를 정의하고 이를 Stanley Method와 결합하여 LFS의 조향각을 계산한다. 마지막으로 LFS와 HD Map 및 기존 제어기와의 Trajectory를 비교 분석하여 제안한 LFS의 유효성을 평가한다.

Ⅱ. 본론

1. 영상 기반 차선 검출

1) 영상 전처리

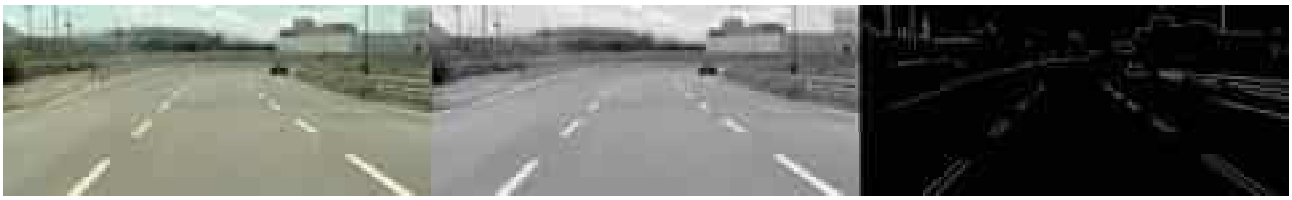
전방 카메라를 통해 획득한 영상은 도로 노면의 질감, 차선의 일부 소실 그리고 카메라 렌즈 자체의 먼지 등의 노이즈를 포함하고 있다. 노이즈는 부정확한 엣지 포인트를 발생시켜 차선 검출의 정확도를 저하시킬 수 있다.(De Paula and Jung, 2015). 본 논문에서는 노이즈 감소와 정확한 엣지 포인트 검출 및 위치화(Canny, 1986)를 위해 2차원 가우시안 필터링을 사용한다.

2) 차선 검출

차선 검출을 위한 영상처리는 Inverse Perspective Mapping(IPM)을 통해 생성한 Bird's Eye View(BEV) 영상이 아닌, Perspective View 영상에서 진행한다. IPM을 통해 영상의 차선을 실제 환경처럼 평행하게 변환할 수 있지만(Aly, 2008), 지면이 평평하고 카메라와 지면 사이의 고정된 extrinsic 관계를 가정하기에 차량의 Dynamic과 노면 상태에 영향을 받아 추가적인 왜곡이 발생할 수 있다.

<그림 1>, <그림 2>는 제안하는 차선 검출 과정을 보여준다. <그림 1>의 (a)는 전방 카메라에서 취득한 원본 영상, (b)는 전처리 이후 회색조로 변환한 영상, (c)는 Canny 에지를 검출한 영상이다. 회색조 영상에서 차선은 배경보다 상대적으로 밝기가 높으며, 인접 화소간의 큰 밝기 변화는 차선의 에지를 의미한다. 차선 에지를 검출하기 위해서 본 논문에서는 단일 에지에 대한 거짓 양성에 강인한 Canny 에지 알고리즘을 사용한다(Yan and Li, 2017). Canny 에지 검출기는 픽셀의 Gradient 크기가 해당 픽셀의 최대 강도 변화 방향에서, 양쪽에 있는 픽셀들의 Gradient 크기보다 클 때 그 픽셀을 에지로 분류한다.

<그림 2>의 (a)는 Hough 변환 결과, (b)는 Hough Line 군집화 결과, (c)는 군집화 한 결과를 바탕으로 검출한 차선과 경로점이다. <그림 1>의 (c)에서 검출한 에지 정보를 기



(a) (b) (c)

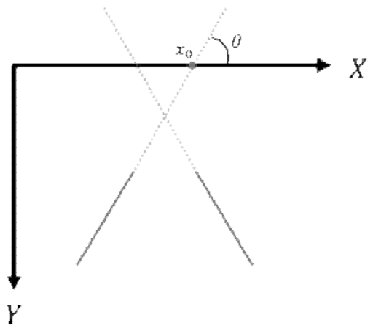
<그림 1> (a) 원본 영상, (b) 회색조 영상, (3) Canny 에지 검출 결과

(a) (b) (c)

<그림 2> (a) Hough 변환 결과, (b) Hough Line 군집화, (3) 차선 및 경로점 검출

반으로, Hough 변환을 통해 Hough Line을 검출한다. Hough 변환은 동일한 직선상에 위치하는 에지 포인트들을 하나의 직선으로 표현함으로써 잡음이나 불연속적인 경우에도 안정적으로 직선을 검출할 수 있다(Srivastava et al, 2014). 이때, 차선이 아닌 에지로부터 검출된 Hough Line의 경우 본 논문에서는 <그림 3>에서 정의된 영상 좌표계에서의 기울기(θ)를 계산해 제거한다. 주행 차선에 대하여 계산 가능한 기울기를 가지는 Hough Line만 유지하고, 그 외 각도 및 수직/수평의 기울기를 가지는 Hough Line을 제거한 결과 <그림 2>의 (a)와 같다.

이후 하나의 직선에 해당하는 Hough Line을 군집화한다. <그림 3>에서 정의된 영상 좌표계에서 각 Hough Line의 각도(θ)와 x 절편(x_0)을 기준으로 군집화한 결과는 <그림 2>의 (b)와 같다. 이를 통해, 동일 차선에 대해 다수의 후보군이 생성되는 것을 방지할 수 있다. 이후, 각 직선에 해당되는 Hough Line의 양 끝점을 RANSAC(Fischler and Bolles, 1981) 알고리즘의 샘플로 설정하여 모든 Hough Line을 아우르는 최적의 직선을 검출한다. <그림 2>의 (c)와 같이 검출한 차선 후보군 중, 주행 차선의 왼쪽, 오른쪽 차선을 선택한다. 첫 번째 프레임의 경우 차량과 가장 가까운 차선을 주행 차선으로 선정하며 이때, 차량의 가운데에 카메라가 위치함을 가정한다. 연속된 프레임에서는 이전 프레임에서 검출한 각 차선의 θ, x_0와 차이가 최소가 되는 차선으로 선택한다.



<그림 3> θ, x_o Destination

3) 경로점 검출

검출한 왼쪽, 오른쪽 차선을 기반으로 차량 제어를 위한 경로점을 검출한다. 이때, 급격한 경로점의 변화는 차량의 Heading이 선형적이지 않고 Heading Error가 발산하기에 차량 제어에 악영향을 준다. 따라서 본 논문에서는 식 (1)과 같이 MAF를 사용하여 검출한 경로점의 안정성을 강화하고 Noise에 강건하게 한다.

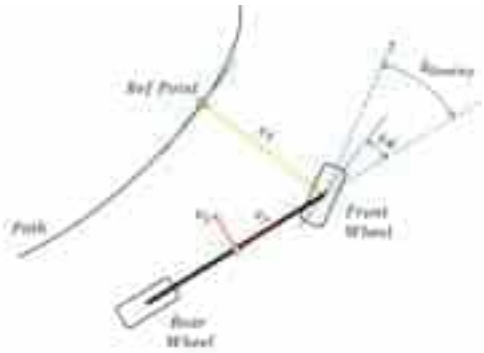
$$P(x,y) = \frac{1}{N}\sum_{i=0}^{N-1} P_{t-i}(x,y) \quad (1)$$

여기서, $P_t(x,y)$는 t 프레임에서 검출한 경로점이며, N은 평균을 내는 영상의 개수이다. 본 논문에서는 $N=5$로 하여 현재로부터 이전 4개의 프레임에서 검출한 경로점의 평균으로 최종적인 경로점 $P(x,y)$을 계산한다.

2. Pixel Error Model Stanley Method

1) Stanley Method

Stanley Method는 2005 DARPA Grand Challenge에서 개발된 차량 제어 기법으로, <그림 4>와 같이 차량 전륜 축으로부터 참조 경로상의 가장 가까운 점을 기준점으로 설정하여 경로를 추종하는 방법이다(Lee et al, 2022). Stanley Method는 기준점과 차량의 전륜 축 사이 Heading Error와 Distance Error를 기반으로 목표 조향각을 도출하는데, Heading Error는 차량의 Heading과 기준점의 접선 방향 차이를 의미하며, Distance Error는 기준점과 차량의 전륜 축 사이 거리를 의미한다. 앞서 정의한 Error와 차량의 종방향 속도를 바탕으로 최종적으로 가중치 k를 조정하여 식 (2)와 같이 Stanley 목표 조향각을 도출한다차.



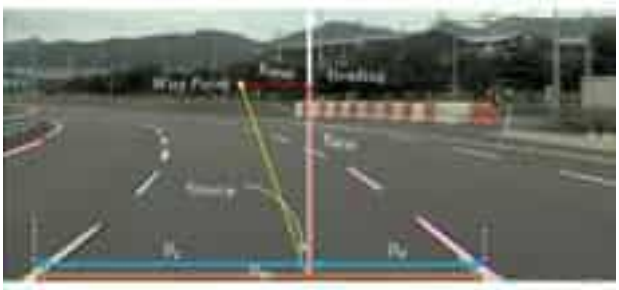
<그림 4> Stanley Method Diagram

$$\delta_{Stanley} = e_{\psi} + \tan^{-1}(\frac{k \times e_y}{V_x}) \quad (2)$$

여기서 e_y는 Distance Error이고, e_{ψ}는 Heading Error이며 V_x는 차량의 종방향 속도이다.

2) Pixel 기반 Error Modeling

대부분 제어기와 마찬가지로 Stanley Method도 동일하게 미터계 단위로 정의되어 본 논문에서 제시한 차선 검출 기법을 기반으로 Pixel 좌표계 상에서 목표 조향각을 직접 도출하기엔 한계가 존재한다. 따라서 본 논문은 단일 카메라를 사용하여 Stanley Method를 이용한 경로 추종을 수행하기 위해 Heading Error와 Distance Error를 <그림 5>와 같이 Pixel 좌표계를 기반으로 재정의한 Error Modeling을 제시한다.



<그림 5> Pixel Error Modeling

Pixel 좌표계 상에서 Heading Error를 도출하기 위해 차량의 현재 Heading을 Y축 방향으로 정의하고, 차선을 기준으로 한 참조 Heading을 기존 Stanley Method와 달리 <그림 2>에서 검출한 차선의 Way point 방향으로 정의한다. 이후 Pixel Heading Error($e_{Pixel\ \psi}$)를 식 (3)을 이용하여 도출한다.

$$e_{Pixel\psi} = \tan^{-1}(\frac{X_{Way}}{Y_{Way}}) \quad (3)$$

여기서 X_{Way}와 Y_{Way}는 Pixel 좌표계 상 차량의 중앙점부터 Way point까지 X, Y Pixel 거리를 의미한다.

이후 차선 기반 Distance Error를 도출하기 위해 차량에 가장 가까운 양측 차선의 Edge부터 차량의 중앙점까지 Pixel 거리를 이용한다. 좌우 Pixel 거리 차를 이용해 차량이 차선 중앙으로부터 떨어진 거리를 계산 후, 차선폭을 기준으로 정규화하여 식 (4)와 같이 Pixel Distance Error를 도출한다.

$$e_{Pixely} = \frac{D_R - D_L}{D_W} \quad (4)$$

여기서 D_L은 좌측 Pixel 거리, D_R은 우측 Pixel 거리를 의미하며 D_W은 차선폭의 Pixel 거리이다.

마지막으로 Pixel Error Modeling을 기반으로 도출한 Error를 식 (2)을 이용하여 목표 조향각을 계산함으로써 Pixel Error Model Stanley Method에 의한 제어가 완료된다.

2. 주행 실험 결과 및 분석

1) 실험환경

본 논문은 <그림 6>의 (a)와 같은 자율주행 연구를 목적으로 개조한 상용 차량을 기반으로 차선 검출 및 차량 제어 알고리즘의 성능을 검증한다. 실험은 지능형자동차부품진흥원의 주행시험장에서 직선로와 곡선로를 포함한 약 3.7km의 고속 주회로에서 진행하였다. 본 논문에서 제안하는 LFS 검증 과정에서 센서는 <그림 6>의 (a) 중 카메라 센서만 사용하였으며, 카메라 제원은 해상도 1020x300, FOV 80이다. LFS와 비교군 형성을 위해 <그림 6>의 (a)에서 MGI-2000 고정밀 GNSS/INS 센서를 기반으로 Stanley Method를 이용한 경로 추종을 진행하였다.

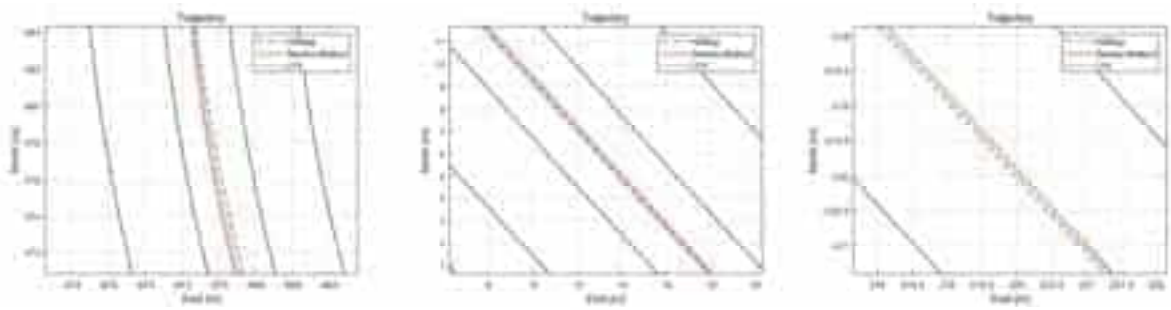
(a) (b)

<그림 6> (a) 실험 차량, (b) 지능형자동차부품진흥원 고속 주회로

2) 결과 및 분석

실험은 국내 도로 환경에 기반하여 도심로 기준 시속 60km/h로 지정하였다. <그림 7>의 경우 실시간으로 검출한 주행 차선 및 경로점이다. 직선로와 곡선로 모두에서 주행 차선을 정확히 검출하였으며, 다수의 차선이 검출되는 경우 이전 차선과의 오차를 비교하여 최적의 차선을 검출함을 확인할 수 있다. <그림 8>은 본 논문에서 제안하는 LFS의 Trajectory와 비교군을 위해 Stanley Method를 기반으로 차량을 제어한 Trajectory, Proving Ground의 HD Map의 일부이다. HD-Map과 LFS Trajectory의 Lateral Error는 직선부는 약 0.1m, 곡선부는 0.3m 이내의 성능을 보이며, 기존 Stanley Method와 비교했을 때, 유사한 경로 추종 성능을 보여 LFS의 유효성이 입증됨을 확인할 수 있다.

<그림 7> 차선 및 경로점 검출 결과



<그림 8> HD Map, Stanley Method, LFS Trajectory

III. 결론

최근 자율주행 기술의 발전으로 첨단 운전자 보조 시스템을 위한 차선 검출 기술은 다양한 방법으로 연구되고 있지만, 완전 자율주행을 위한 다양한 환경에서의 적용과 차선 기반의 자율주행 차량 제어 시스템은 지속적인 연구가 필요하다. 본 논문에서는 전 방 카메라 센서를 이용하여 검출한 주행 차선 및 경로점을 기반으로 Pixel Error를 계산하여 자율주행 차량을 제어하는 LFS를 제안하였고, 자율주행을 위해 개조한 상용 차량을 기반으로 실제 환경에서 검증하였다. 제안한 차선 검출 알고리즘은 색상 기반의 필터링과 관심 영역의 제한 없이도 조도의 변화 및 환경적 차이가 존재하는 직선로와 곡선로에서 강건함을 보였다. 또한, 잡음이나 합류, 분기 지점에서 다중 차선 이 검출되어도 강건하게 주행 차선을 검출함을 확인할 수 있다. 또한, Pixel Error Model Stanley 방식을 기존의 제어 방식과 비교 분석한 결과, 제시한 방식은 자차 측위가 불가능한 상황에서 안정적인 경로 추종이 가능한 것을 확인하여 유효성을 입증할 수 있었다. 본 논문에서 제안하는 시스템은 카메라 센서만으로 동작하기에 GPS, IMU 등 위치 추정을 위한 센서가 고정난 상황에서도 유용하게 활용되며, 첨단 운전자 보조 시스템을 위한 기술로 확장할 수 있다. 실제 도심 환경에서는 GPS의 불안정성이 더 커지기에 차량 Odometry를 기반으로 현재 위치를 추정하는 방향으로 확장할 계획이다.

감사의 글

이 논문은 2024년도 정부(경찰청)의 재원으로 과학치안진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.092021D75000000, AI 운전능력평가 표준화 및 평가 프로세스 개발)

참고문헌

1. De Paula, M. B., & Jung, C. R. (2015). “Automatic detection and classification of road lane markings using onboard vehicular cameras”, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 16(6), pp. 3160-3169
2. Canny, J. (1986). “A computational approach to edge detection”, IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 6, pp. 679-698
3. Aly, M. (2008). “Real time detection of lane markers in urban streets”, IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp. 7-12
4. Yan, X., & Li, Y. (2017). “A method of lane edge detection based on Canny algorithm”, Chinese Automation Congress(CAC).IEEE, pp. 2120-2124
5. Srivastava, S., Singal, R., & Lumba, M. (2014). “Efficient lane detection algorithm using different filtering techniques”, International Journal of Computer Applications, 88(3), pp. 6-11
6. Fischler, M. A., & Bolles, R. C. (1981). “Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartograph”, Communications of the ACM, 24(6), pp. 381-395
7. Lee, H. G., Kim, T. Y., Yu, D. Y., & Hwang, S. H. (2022). "Path-Following Correction Control Algorithm Using Vehicle State Errors", Transaction of the Korean Society of Automotive Engineers, 30(2), pp. 123-131

자율주행차량을 위한 통합된 교통 데이터 통신 서버 시스템

An Integrated Traffic Data Communication Server System for Autonomous Vehicles

정혜인 (한국전자기술연구원, 연구원)
이재원 (한국전자기술연구원, 선임연구원)
장달원 (한국전자기술연구원, 책임연구원)
이종설 (한국전자기술연구원, 수석연구원)

Key Words : 자율주행, 객체 검출, 이종 센서, LDM, ROS2

목 차

I. 서론
II. 선행 연구
III. 교통 데이터 통신 서버 시스템
IV. 분석 및 결론

I. 서론

자율주행 기술이 활발히 개발되면서, 운전자가 부분적으로 차량을 제어해야 하는 단계를 넘어 고도·완전 자동화 자율주행을 위한 연구가 이루어지고 있다. 그에 따라, 탐지할 수 있는 범위에 한계가 있는 차량의 센서에만 의존하는 것이 아니라 주변 인프라의 센서에서 획득한 교통 정보를 차량과 인프라가 교환하는 방법이 함께 연구되고 있다. 이를 위해서는 인프라 서버의 빠른 데이터 처리와 차량-서버 및 서버-서버 간의 안정적인 데이터 통신이 필요하다[1-3].

이 논문에서는 인프라에서 탐지한 센서 데이터, 차량 및 보행자 객체, 주행 신호 및 차선 등의 다양한 교통 데이터를 차량 및 다른 서버와 통신하는 통합 서버를 소개한다. 실제 주행 환경에 설치한 다수 센서체로부터 교통 데이터를 획득하고, 데이터의 종류에 따라 ROS2, 소켓, REST api 등의 다양한 방법을 사용하여 효율적인 데이터 통신을 구축하였다.

II. 선행 연구

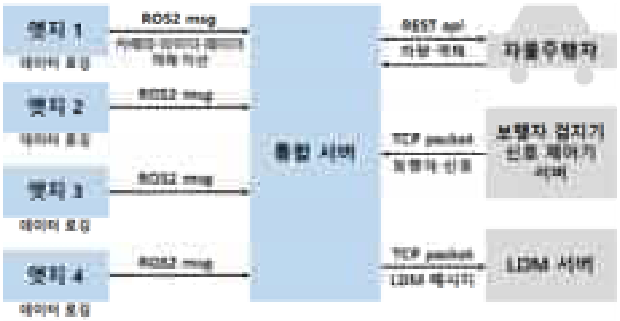
도로 상황을 철저히 파악하기 위해서는 여러 종류의 센서가 함께 사용되어야 한다. 본 연구에서는 객체의 3차원 형상과 지도상의 객체 위치를 정밀한 포인트클라우드로 표현할 수 있는 라이다, 이미지를 통해 객체의 종류와 도로 차선을 탐지하기 위한 카메라, 그리고 먼 거리의 객체와 그 속도를 감지하기 위한 레이더로 이루어진 센서체 4개를 사용하였다. 다수 센서로부터의 데이터를 함께 사용하는 데이터 스티칭을 위해, 센서 캘리브레이션을 선행하였다[4]. 각 엣지의 센서체에서는 카메라-라이다-레이더 간 좌표계 통일을 위한 TF 좌표계 변환과 GPIO 모듈을 이용한 센서들의 time synchronization이 이루어지며 일부 엣지에서는 3개 카메라의 이미지가 취합된다. 센서 데이터는 엣지에서 실시간 로깅되며 동시에 서버로 전송되어 객체 검출 및 차량과의 통신을 위해 처리된다. 우리는 자율주행을 위한 데이터셋 구축을 위해 실제 도로 인근의 폴대에 센서체를 설치하고 3종 센서의 raw 데이터를 수집하였다[5].

<그림 1> 센서체 구조

<그림 2> 현장에 설치된 센서체

III. 통합 서버 시스템

다양한 교통 데이터를 엣지 센서체, 차량, 다른 서버들과 통신하기 위한 통합 서버 시스템의 개요도는 아래와 같다.



<그림 3> 통합 서버 시스템

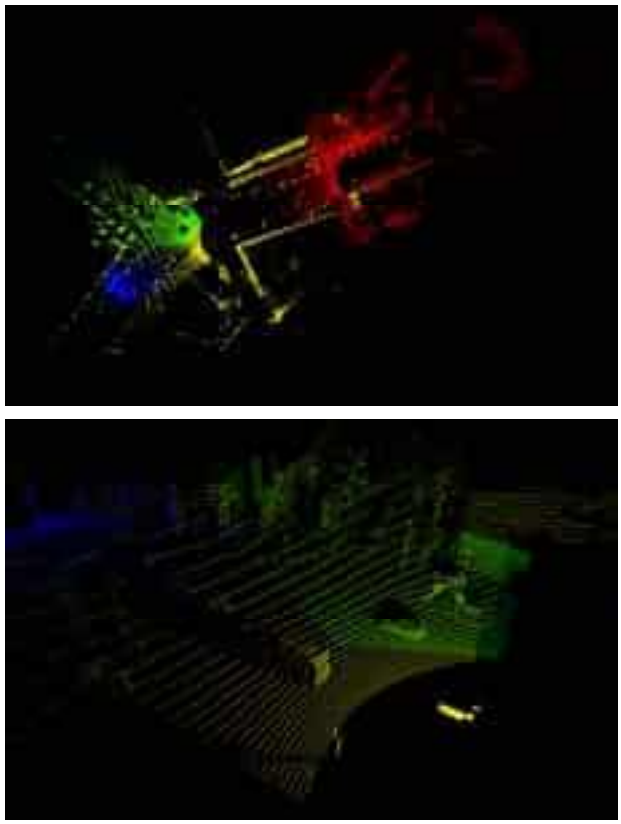
1. 엣지 센서체

주행 환경의 넓은 범위와 음영 지역을 다루기 위해, 4개의 엣지로부터 센서 데이터와 객체 및 차선 정보를 획득한다. 각 엣지는 개별적으로 카메라, 라이다, 레이더의 raw 데이터를 로깅하며, 카메라 이미지에서 딥러닝 기반의 객체 및 차선을 검출한다. 이 5종의 데이터들은 <표 1>의 ROS2 메시지 형태로 변환되어 서버로 실시간 전송된다.

<표 1> 엣지 to 서버 데이터

항목	ROS2 Message Type
카메라	Compressed Image
라이다	Pointcloud2
레이더	Pointcloud2
객체 검출	String
차선 검출	String

<그림 4> 4개 엣지 카메라 이미지



<그림 5> 서버에서 스티칭된 라이다 포인트클라우드
(위: 도로, 아래: 차량)

엣지로부터의 라이다 포인트클라우드는 서버에서 좌표 변환 및 취합되며 딥러닝 기반 알고리즘으로 객체를 검출한다. 객체는 자전거, 버스, 승용차, 오토바이, 보행자, 소형 트럭, 대형 트럭의 7개 클래스로 분류되며, 각각 크기, 위치, 방향 등의 정보를 포함한다. 통합 서버 내의 엣지 데이터 처리 프로세스, 자율주행차 통신 프로세스, LDM 통신 프로세스 간의 데이터는 각각 필요한 정보에 따라 정의한 ROS2 Custom Message와 공유 메모리를 이용하여 효율적으로 교환되도록 하였다.

2. 자율주행차

자율주행차는 자신의 차량 정보와 차량 시점에서 검출된 객체 정보를 서버에 전송한다[6]. 서버는 1. 엣지 센서체에서 얻은 객체 정보를 차량에 전송한다. 차량과 통신하는 서버는 REST api 기반으로 구축하였으며, 차량에서부터의 GET·PUT 요청을 통해 양방향 데이터 교환이 이루어지도록 하였다. 서버와 차량에서의 객체 데이터는 차량 통신 프로세스에서 <표 2>의 ROS2 Custom Message로 변환되어, 이후 LDM 서버 통신 프로세스에 전달된다. REST 요청이 있을 때마다 한 프레임에서 탐지되는 다수의 객체를 한 번에 송·수신하기 위해 객체들은 배열화된다.

<표 2> 자율주행차 통신 프로세스-다른 프로세스 간 데이터 교환을 위한 ROS2 Custom Message

Custom Message Type	Field	
Object Array	Object	
Object	ID	Latitude
	Age	Longitude
	Score	Altitude
	Type	Orientation x
	Width	Orientation y
	Depth	Orientation z
	Height	Orientation w
Vehicle	Type	Altitude
	Width	Orientation x
	Depth	Orientation y
	Height	Orientation z
	Latitude	Orientation w
	Longitude	-

<그림 6> 객체·차량 정보를 통신하는 자율주행차
(Kiapi 제공)

3. 보행자 검지기・신호 제어기

추가적인 교통 데이터를 위해, 서버는 주행 환경에 설치된 <그림 7>의 보행자 검지기와 신호 제어기로부터 데이터를 수신한다. 보행자 검지기는 카메라와 라이다를 통해 범위 내 보행자가 탐지될 때마다 자신의 함체 및 센서 ID, 신호등 상태, 차량과 보행자 상태 등을 전송한다. 신호 제어기는 교차로 및 신호등 ID, 각 신호등의 상태 및 통과 신호 잔여 시간 등을 전송한다. 서버는 별개의 소켓 통신 프로세스에서 위의 인프라 데이터를 수신한다.

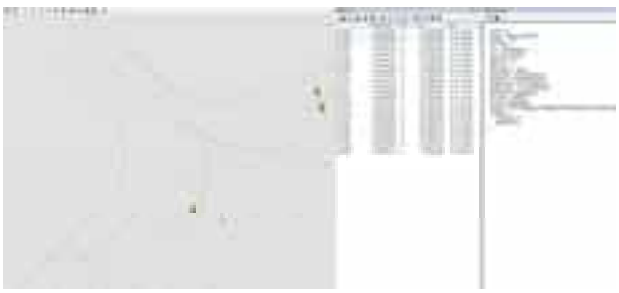
<그림 7> 보행자 검지기(좌)와 신호 제어기(우)
(차세대융합기술연구원 제공)

4. LDM 서버

서버는 인프라에서 탐지한 객체 데이터와 차량에서 수신한 객체 데이터를 string 형식의 LDM 메시지로 변형하고, 소켓 통신을 통해 LDM 서버에 전달한다. 차량에서와 인프라에서 탐지된 객체는 Layer 4의 완전 동적정보 (highly dynamic data)로, 'ROADSEER'와 'LIDAR'로 구분되며 각 객체는 고유 ID, 클래스, 위치, 방향, 크기 등의 정보를 포함한다[7]. LDM 메시지 예시는 다음의 <표 3>과 같다. LDM 서버로 전송되어 시각화한 객체의 예시를 <그림 8>에 나타내었다.

<표 3> LDM 메시지 예시 및 설명

$LIDAR,240920,162523.806,V,305306971,T,37.758997,N,128.896051,E,005,117,246,088*66	
객체를 탐지한 대상	LIDAR
날짜	240920
시/분/초	162523.806
클래스	V
객체 ID	305306971
위도 (degree)	37.758997
경도 (degree)	128.896051
크기 (m)	005
방향 (degree)	117
지속 시간 (sec)	246
checksum	088*66



<그림 8> 통합 서버에서 LDM 서버로 전달된 객체 예시
(Ways1 제공)

IV. 분석 및 결론

엣지-서버 간 센서 데이터 통신이나 서버 내 다양한 프로세스 간 객체 데이터 교환은, ROS2 메시지 통신의 장점인 데이터 field의 정의와 데이터의 배열화를 이용하여 효율적으로 구축할 수 있었다. 서버-차량 간의 REST 통신은 30hz의 높은 속도의 데이터 교환에도 다수의 객체 데이터를 안정적으로 통신하였다. 그 외 다른 인프라 서버와의 소켓 통신 또한 정의된 프로토콜에 맞게 송·수신됨을 확인하였다. 그러나 엣지 센서체의 30hz의 센서 속도와 빠른 ROS 통신에도 불구하고, 서버에서 객체 검출에 걸리는 시간이 소요되어 다른 서버로의 객체 데이터 전송이 일부 느려짐을 확인하였다.

향후에는 서버에서의 라이다 데이터의 범위를 분할하여 객

체를 검출하거나 엣지에서 객체 검출에 필요한 부분의 포인트클라우드만 서버에 전달하여 처리 속도를 높일 방법을 연구할 것이다. 또한 보행자 검지기와 신호 제어기에서부터의 도로 데이터와 센서로부터 예측된 차량의 속도를 자율주행차의 경로 탐색에 적극적으로 활용할 수 있는 새로운 방법을 모색할 수 있다.

감사의 글

이 논문은 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임
(No.2021-0-01314, 자율주행차량 음영지역 데이터 제공을 위한 주행환경 데이터 스티칭 기술개발)

참고문헌

1. S. Liu, B. Yu, J. Tang, Y. Zhu and X. Liu, "Towards Fully Intelligent Transportation through Infrastructure-Vehicle Cooperative Autonomous Driving: Challenges and Opportunities," in 2021 58th ACM/IEEE Design Automation Conference (DAC), 2021, pp. 1323-1326.
2. Z. Bai, G. Wu, X. Qi, Y. Liu, K. Oguchi and M. J. Barth, "Infrastructure-Based Object Detection and Tracking for Cooperative Driving Automation: A Survey," 2022 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2022, pp. 1366-1373.
3. H. Yu et al., "DAIR-V2X: A Large-Scale Dataset for Vehicle-Infrastructure Cooperative 3D Object Detection," 2022 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2022, pp. 21329-21338.
4. 이재원, 장달원, 이종설, "카메라-라이다-레이더 센서 동시 캘리브레이션을 통한 프로젝션 매핑 온 이미지 시스템," 제35회 영상처리 및 이해에 관한 워크샵 (IPIU 2023), 2023
5. 이재원, 장달원, 박경원, 송현학, 이종설, "자율주행차량 음영지역 데이터 확장을 위한 카메라/라이다/레이더 센서 데이터 수집 및 스티칭 시스템," 한국 ITS 학회 (The Korea Institute of Intelligent Transport Systems), 2022
6. 김태형, 이인규, 허준호, 김봉섭, 윤경수, "엣지-클라우드 연계 자율주행 플랫폼 기반 동적 운행환경의 시각화 구조 설계를 위한 개발 환경 구축," 2021 한국통신학회 하계종합학술발표회, June 2021
7. Shimade H, Yamaguchi A, Takada H, Sato K, "Implementation and Evalution of Local Dynamic Map in Safety Driving Systems," Journal of Transportation Technologies, Vol.2015 (5), pp.102-112

ICP를 통한 LiDAR 기반 차량 추적 알고리즘 정확도 개선

Improvement of Accuracy of LiDAR-based Vehicle Tracking Algorithm by ICP

차승민[1], 임지웅[2], 원종훈[3]

[1](인하대학교 자율항법연구실 학부연구생), [2](인하대학교 자율항법연구실 박사과정),
[3](인하대학교 전기컴퓨터공학과 교수)

Key Words : LiDAR, Vehicle Tracking, ICP, Object Tracking, Kalman Filter

목 차

Ⅰ. 서론
Ⅱ. 본론
1. 칼만 필터 기반 차량 추적 알고리즘
2. 차량 추적 알고리즘의 부정확성
3. ICP를 이용한 중심점 및 heading 보정
4. 실험 및 검증
Ⅲ. 결론

Ⅰ. 서론

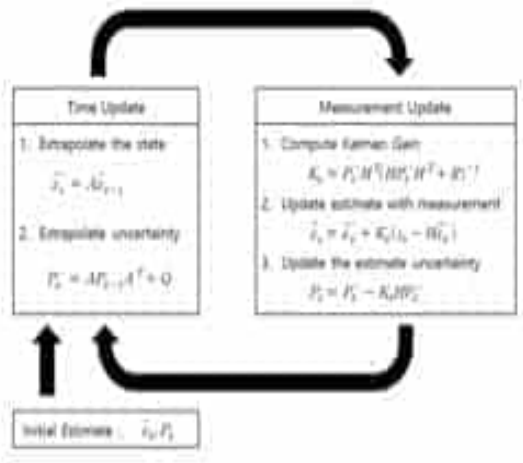
LiDAR는 자율주행 시스템에서 주변 환경 인지에 광범위하게 사용된다. 도심 주행과 같이 주변 차량들이 존재하는 상황에서는 LiDAR를 통해 취득한 Point Cloud에서 해당 차량들의 정보를 추출하여 활용한다. 이때 Clustering 알고리즘을 통하여 각각의 Point들을 군집화해 하나의 객체로 인지하며, 객체로 인지된 주변 차량들의 크기, 위치를 활용하여 경로를 계획하고 주행한다. 하지만 더 고도화된 자율주행을 위해서는 주변 객체들의 추가적인 정보를 취득할 필요가 있다. Clustering을 통해 단순히 군집화만 된 임의의 객체 정보를 통해서는 이전 프레임과 현재 프레임에 인지된 객체가 서로 같은 객체인지는 알 수 없다. 또한 해당 객체의 크기나 위치는 알 수 있지만 속도는 알 수 없다. 이처럼 Clustering만으로는 취득할 수 없는 정보들을 얻기 위해 시스템의 상태를 추정할 수 있는 알고리즘인 칼만 필터를 기반으로한 객체 추적을 통해 이전 프레임과 현재 프레임에 존재하는 객체가 서로 같은 객체인지 알 수 있으며 객체의 상대 속도를 구할 수 있다(Li et al, 2010).

일반적인 객체 추적 알고리즘의 경우, Clustering을 통해 취득한 차량의 위치를 이용해 추적한다. 이때 차량의 위치로 중심점을 사용하게 되면 LiDAR가 차량을 관측하는 위치나 다른 객체로 인한 가려짐에 따라 정확하지 않은 중심점을 가지게 된다(Petrovskaya and Thrun, 2009). 이러한 문제는 차량 추적 과정을 통해 구한 상대 속도의 정확성을 떨어뜨린다. 본 논문에서는 칼만 필터를 기반으로 한 차량 추적 알고리즘의 성능을 더 높이기 위해 Iterative Closest Point(ICP) 알고리즘을 활용한 차량 추적 알고리즘을 제안한다. ICP 알고리즘을 통해 부정확한 차량의 중심점을 보정하여 차량 추적의 정확성을 높이고 그 성능을 분석한다.

Ⅱ. 본론

1. 칼만 필터 기반 차량 추적 알고리즘

본 논문에서 제안한 ICP를 활용한 차량 추적 알고리즘은 기본적인 칼만 필터 기반 객체 추적 알고리즘을 기반으로 한다. 칼만 필터를 이용한 차량 추적 알고리듬은 Clustering을 통해 취득한 주변 차량의 중심점을 활용하여 <그림 1>과 같은 방식을 통해 계산할 수 있다(Welch and Bishop, 1995).



<그림 1> 칼만 필터 과정

1) 전처리

차량를 추적하기 전에 <그림 1>의 행렬 P인 오차 공분산의 초기값, 행렬 Q인 추정 오차 공분산, 행렬 R인 측정 오차

공분산을 설정한다. 차량을 추적하기 위해 LiDAR에서 Point Cloud만으로 Clustering 과정에서 인지한 차량(cluster)와 추적하고 있던 차량(hypothesis)을 통해 새로운 hypothesis를 할당하거나 기존 hypothesis의 <그림 1>의 행렬 z_k인 측정값을 저장한다. 먼저 전달 받은 cluster의 위치를 기반으로 hypothesis와의 거리를 비교한다. 일정한 threshold 이하의 거리이면서 가장 가까운 cluster의 위치 정보를 측정값으로 저장한다. 이 과정을 통해 동일한 차량인지를 판단하고 그 위치 정보를 행렬 z_k에 저장한다. 이후 hypothesis와의 거리가 threshold 이상인, 즉, 새로운 cluster에 대해서는 추가적인 filtering을 거친다. 이러한 현재 cluster에 대해 이전 프레임에도 존재한 hypothesis와도 동일한 차량으로 판단되지 않은 이전 cluster와 거리를 기반으로 비교하여 동일한 차량인지 판단한다. 동일한 차량으로 판단되어 신뢰할 수 있는 cluster는 새로운 hypothesis로 할당하며 초기 위치와 속도는 현재 cluster와 이전 cluster의 위치와 시간 변화 Δt를 통해 설정한다. 이를 통해 센서에서 발생한 noise로 인해 객체로 인지된 정보들을 filtering 하여 신뢰할 수 있는 cluster 정보를 활용한다.

2) Update 과정

위와 같은 과정을 통해 초기값과 행렬 z_k를 설정한다. 이후에는 <그림 1>의 과정을 수행한다. Time Update 과정에서는 시스템 모델인 행렬 A에 식 (1)과 같은 운동방정식 모델을 사용하여 Δt와 상대 속도를 이용해 위치를 추정하고 추정 오차 공분산을 통해 오차 공분산을 추정한다.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \Delta t & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \Delta t \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

이후 이전 과정에서 현재 cluster 정보가 존재하는 hypothesis에 대해 Measurement Update 과정을 수행한다. 칼만 이득 K를 계산하며 이때 행렬 H는 상태 변수 $\hat{x}_k$와 측정값 z_k를 연관시키는 행렬로 식 (2)와 같은 항등 행렬을 사용한다. 행렬 z_k는 식 (3)과 같이 현재 측정값, 이전 측정값과 Δt를 이용해 위치와 속도에 대한 행렬로 사용하며 이때 x_k와 y_k는 xy 평면 상의 좌표를 말한다.

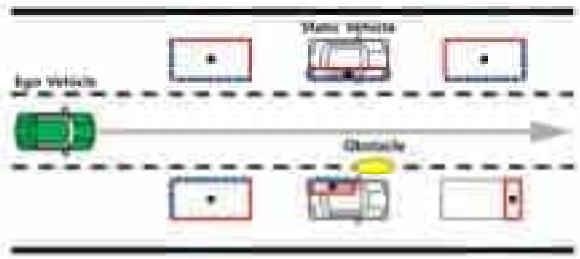
$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$z_k = \begin{bmatrix} x_k \\ y_k \\ (x_k - x_{k-1})/\Delta t \\ (y_k - y_{k-1})/\Delta t \end{bmatrix} \quad (3)$$

이를 통해 hypothesis의 위치와 속도 그리고 오차 공분산을 갱신하고 해당 측정값을 이전 측정값으로 저장해 다음 프레임에 활용한다. 이러한 일련의 과정을 반복함으로써 차량의 위치와 속도를 추정해 추적한다.

2. 차량 추적 알고리즘의 부정확성

추정한 차량의 위치와 속도는 LiDAR가 차량을 관측하는 위치나 차량이 다른 객체로 인한 가려짐으로 정확도가 떨어질 수 있다. <그림 2>와 같이 정적인 차량에 대해 LiDAR의 관측 위치와 주변 객체로 인한 가려짐에 따라 중심점이 달라지게 되면 차량의 위치와 속도가 부정확해질 수 있다. 따라서 이와 같은 특성으로 인해 정적인 차량이 동적인 차량이 될 수 있으며 동적인 차량 또한 그 속도와 위치가 부정확할 수 있다(Choi et al, 2013).



<그림 2> 관측 위치와 가려짐에 따른 중심정의 변화

실제로 LiDAR는 주변 환경의 많은 차량들을 인지해야 하며, 여러 객체가 겹치거나 복잡한 도시 환경에서는 차량이 잠시 보이지 않거나 가려질 수 있다. 이로 인해 <그림 2>의 Bounding Box에서 볼 수 있듯이 LiDAR에서 관측이 되지 않은 부분으로 인해 차량의 실제 크기를 알 수 없다. 특히 상대적인 속도가 빠른 차량의 경우 Δt를 사용한다는 특성으로 인해 추적하는 차량의 위치와 속도가 비정상적으로 변하거나 추적이 일시적으로 불가능할 수 있다. 이러한 문제는 차량 추적 이후, 차량의 위치와 속도를 활용하는 경로 예측과 같은 알고리즘에 직접적인 영향을 미쳐, 해당 시스템에서 문제를 발생시킬 수 있다. 따라서 중심점이 변화하는 문제를 해결하여 차량의 위치와 속도의 정확성을 향상시켜 차량 추적 결과의 신뢰도를 높여야 한다.

3. ICP를 이용한 중심점 및 heading 보정

위와 같은 중심점 변화 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 3D Point-to-Point ICP 알고리즘을 활용한다. 이때 추적하는 차량의 모든 부분을 나타내는 heading이 0°인 Target Point Cloud 정보를 보유하고 있음을 가정한다.

3D Point-to-Point ICP를 활용하기 위해서는 보유한 Target Point Cloud와 Clustering을 통해서 군집화된 Point Cloud인 Source Point Cloud의 Point들 간의 대응 관계가 필요하다(Besl and McKay, 1992). 차량은 해당 위치에 어떠한 방향을 보고 존재하는지 알 수 없다. 따라서 대응 관계를 구하기 위해서는 ICP를 진행하기 전에 기존과는 다른 보다 정확한 Source Point Cloud의 초기 정렬이 필요하다. 초기 정렬을 위해서 차량 추적 과정에서 취득한 차량의 위치와 상대

속도, Ego 차량의 속도를 활용한다. 추적하는 차량의 상대 속도와 Ego 차량의 속도를 통해 추적하는 차량의 진행 방향을 구한다. 초기 heading은 차량의 진행 방향이라 가정하고 Source Point Cloud의 모든 Point에 중심점만큼 빼서 원점으로 이동시키고 초기 heading만큼 회전시켜 0°가 되도록 정렬한다.

초기 정렬 이후 ICP에서는 Source Point Cloud과 Target Point Cloud를 각각 x, y라 두고 이의 무게 중심 $\bar{x}$, $\bar{y}$를 구하고 모든 Point에 대해 무게 중심만큼 빼준다. 이때 Source Point Cloud의 Point마다 가장 가까운 거리의 위치한 Target Point Cloud의 Point를 대응 관계로 설정한다(Marden and Guivant, 2012). 이 과정에서 ICP가 추가된 차량 추적 알고리즘의 실시간성을 확보하기 위해 KD-tree 등을 사용하고 GPU 연산을 활용하여 최단 거리의 점을 구하는데 소요되는 시간을 줄인다. 다음 무게 중심만큼 빼준 Point Cloud를 각각 x', y'라 할 때, 두 Point Cloud에 대한 공분산 행렬 H를 식 (4)와 같이 구할 수 있다.

$$H = x'y'^{T} \tag{4}$$

공분산 행렬 H를 singular value decomposition(SVD) 하여 구한 직교 행렬 V와 U를 통해 최적 회전 행렬 R을 식 (5)와 같이 구할 수 있다(Arun et al, 1987). 이때 최적 회전 행렬 R을 Euler angle로 분해하여 yaw를 구할 수 있다. 이동 벡터 t는 식 (6)과 같이 Target Point Cloud의 무게 중심과 회전한 Source Point Cloud의 무게 중심 차이로 구한다.

$$R = VU^{T} \tag{5}$$

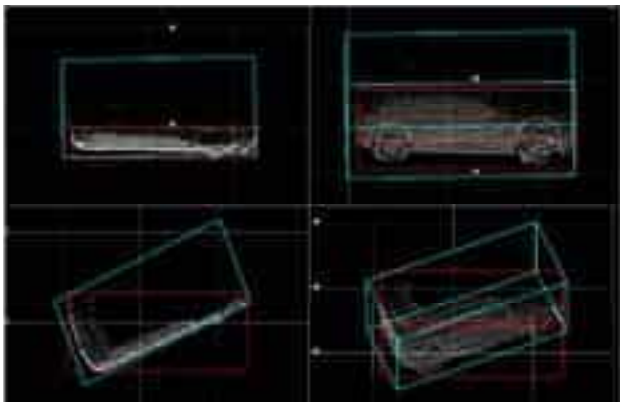
$$t = \bar{y} - R\bar{x} \tag{6}$$

최적 회전 행렬 R과 이동 벡터 t를 이용해 Source Point Cloud를 식 (7)과 같이 이동시키고 이 과정을 일정 횟수만큼 반복하거나 두 Point Cloud 간의 거리를 기반으로 한 Score를 기준으로 정렬이 충분히 될 때까지 반복한다.

$$x = Rx + t \tag{7}$$

각각의 반복 과정에서 구해진 yaw와 이동 벡터 행렬을 각각 θ와 t'으로 그 값을 누적한다. 초기 heading에서 θ를 빼줌으로써 보정된 heading을 구할 수 있으며, 보정된 heading만큼 t'을 회전시켜 정합 이전 위치 상의 이동 벡터 T를 구한다. 해당 보정값 T를 식 (3)에 적용하여 식 (8)과 같이 중심점을 이동시켜 보정하고 보정된 중심점을 통해 속도를 구한다. 이를 통해 보정된 z_k를 측정값으로 사용하여 차량 추적 과정에서 보다 정확한 속도 추정이 가능하다. 또한 차량의 실제 크기에 따른 중심점과 heading을 <그림 3>과 같이 보정된 z_k와 heading 통해 나타낼 수 있다.

$$z_k = \begin{bmatrix} x_k - T_x \\ y_k - T_y \\ \{(x_k - T_x) - x_{k-1}\}/\Delta t \\ \{(y_k - T_y) - y_{k-1}\}/\Delta t \end{bmatrix} \tag{8}$$



<그림 3> 차량 중심점 및 heading 보정 결과

4. 실험 및 검증

1) 실험 환경

본 논문에서 제안한 알고리즘을 검증하기 위한 실험은 MORAI Simulator를 활용하여 진행하였다. 상대 차량으로는 회색 Hyundai IONIQ5를 사용하였으며 상대 차량을 인지하기 위한 LiDAR로 Velodyne VLS-128을 장착하였다. 차량 추적 결과로 도출되는 속도의 안정성을 확인하기 위해 <그림 4>와 같이, Ego 차량이 정지한 상대 차량의 옆을 직선 주행하고 있는 상황을 가정하였다. 또한 상대 차량의 heading에 대한 안정성을 확인하기 위해 <그림 5>과 같이, Ego 차량은 정지한 상태에서 상대 차량은 Ego 차량을 기준으로 45° 방향을 향해 직선 주행하고 있는 상황을 가정하였다. 주어진 시나리오에서 기존 칼만 필터 기반 차량 추적 알고리즘과 본 논문에서 제안한 알고리즘에서 도출한 상대 차량의 속도와 heading을 실제값과 함께 비교한다.

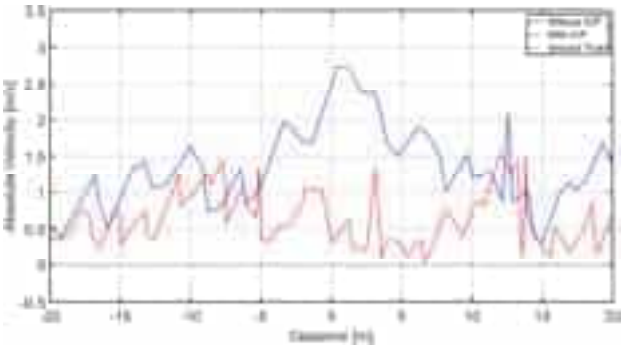
<그림 4> 속도 측정 시나리오

<그림 5> heading 측정 시나리오

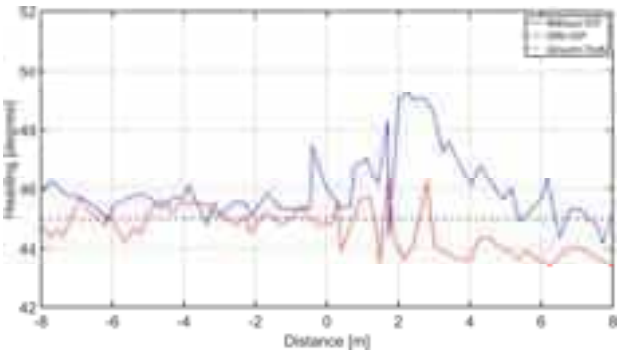
2) 실험 결과 분석

<그림 6>과 <그림 7> 각각 상대 차량의 속도와 heading

에 대해 실제값과 차량 추적 알고리즘을 통해 추정한 값을 비교한 결과이다. ICP를 활용하지 않은 차량 추적 알고리즘과 ICP를 활용한 차량 추적 알고리즘의 실제 속도와 heading에 대한 평균 제곱근 오차는 각각 $1.44 m/s$, $0.76 m/s$와 1.54°, 0.83°였다. ICP를 활용하지 않은 차량 추적 알고리즘에서는 정적인 차량에 대해 속도가 안정적이지 않았으며, 특히 <그림 2>와 같이 거리가 가까워질수록 LiDAR의 관측 위치에 따른 중심점 오차가 커지기 때문에 속도 또한 Ego 차량과 거리가 가까운 지점에서 그 오차가 더 크다. 또한 주행 중인 상대 차량에 대한 heading 추정 결과도 ICP를 활용한 차량 추적 알고리즘의 결과가 더 안정적이었다. 이 역시 기존 차량 추적 알고리즘은 Ego 차량과 거리가 가까운 지점에서 오차가 더 크게 발생하였다. 이처럼 본 논문에서 제안한 차량 추적 알고리즘은 기존의 알고리즘에 비해 차량의 중심점에 따른 오차에 강건하여 추적 차량의 속도와 heading을 안정적으로 추정해낼 수 있음을 보인다.



<그림 6> 정적 차량의 속도



<그림 6> 동적 차량의 heading

III. 결론

본 논문에서는 ICP를 활용한 차량 추적 알고리즘을 제안하고 검증하였다. 실험 결과, 기존 차량 추적 알고리즘에 비해 속도와 heading 추정에서 더 안정적이었다. ICP를 이용해 보유한 차량 Point Cloud와의 정합을 통해 중심점과 heading 오차를 구하고 이를 보정하여 차량 추적 알고리즘의 측정값으로 사용한다. 따라서 제안한 알고리즘을 통해 LiDAR의 관측 위치와 다른 객체로 인한 가려짐에 따른 중심점 오차에 강건하여 안정성 및 성능 문제를 해결하였다. 향후에는 향상된 차량 추적 알고리즘을 이용해 상대 차량 경로를 예측할 수 있도록 상대 차량의 예상 주행 경로 생성에 대한 연구를 진행할 예정이다.

감사의 글

이 논문은 2024년도 정부(경찰청)의 재원으로 과학치안진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.092021D75000000, AI 운전능력평가 표준화 및 평가 프로세스 개발)

참고문헌

1. Li, X., Wang, K., Wang, W., & Li, Y. (2010). “A multiple object tracking method using Kalman filter”, IEEE international conference on information and automation, pp. 1862-1866
2. Petrovskaya, A., & Thrun, S. (2009). “Model based vehicle detection and tracking for autonomous urban driving”, Autonomous Robots, pp. 123-139
3. Welch, G., & Bishop, G. (1995). “An introduction to the Kalman filter”, Department of Computer Science University of North Carolina at Chapel Hill, pp. 1-16
4. Choi, J., Ulbrich, S., Lichte, B., & Maurer, M. (2013). “Multi-target tracking using a 3d-lidar sensor for autonomous vehicles”, In 16th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), pp. 881-886
5. Besl, P., & McKay, N. (1992). “A method for registration of 3-D shapes”, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, pp. 239-256
6. Marden, S., & Guivant, J. (2012). “Improving the Performance of ICP for Real-Time Applications using an Approximate Nearest Neighbour Search”, Australasian Conference on Robotics and Automation, pp. 3-5
7. Arun, K., Huang, T., & Blostein, S. (1987). “Least-Squares Fitting of Two 3-D Point Sets”, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, pp. 698-700

교통안전(II)

Session

B-4

도심부 자율차 제어권 전환 발생 예측 모델 개발
김민경, 오철

다차로 하이패스 구간 기하구조 특성 및 교통량 변화를 고려한 해석가능 인공지능 기반 Risk Modification Function 개발
김호재, 박현진, 박준영

혼재 교통류에서 교통안전을 고려한 차간 주행유지 간격 도출 및 평가 – 지하고속도로를 중심으로
박근휘, 성예지, 김우원, 박준영

사용자 경험 기반 어린이 통학버스 만족도 및 차내 안전장치 우선순위 분석
박보현, 신강원

도심부 교통안전 취약지점 식별을 위한 최적의 네트워크 스크리닝 방법 연구
성예지, 박준영, 최새로나

주행시뮬레이션 기반 도로안전성 평가를 위한 평가지표 통합체계 개발
정아람, 오철, 조영

도심부 자율차 제어권 전환 발생 예측 모델 개발

한양대학교 석사과정 김 민 경
한양대학교 교 수 오 철

목 차

1. 연구 개요
2. 방법론
3. 분석 결과
4. 결론

HYU ERICA

1. 연구 개요

HYU ERICA

1. 연구 개요

교통안전정보연구실

연구 배경

- 자율주행기술 발전을 위해 전세계적으로 자율주행 운행구역을 선정하고 자율차 testing을 수행하고 있음
- 자율주행 운행구역에서 자율차 시험주행 중 위험이 발생할 수 있는 상황에서는 테스트 드라이버가 제어권 전환을 수행함
- 특히 도심부 도로는 인속류에 비해 차량의 정지, 감속, 차로변경 등 다양한 거동변화가 발생 가능한 환경이므로 자율주행 중 제어권 전환 빈도가 높음
- 따라서, 도심부에서 자율차의 주행안전성 확보를 위해 제어권 전환이 발생하는 지점을 파악하고 제어권 전환이 발생할 지점을 예측하여 자율차 주행안전성을 향상시키고 Lv.4 수준의 자율차로 발전시킬 필요가 있음

연구 목적

- 세종시 자율차 주행데이터 기반 도심부에서의 제어권 전환 발생 지점 도출
- 제어권 전환 전 영향권 설정 및 영향권의 평가지표 산출을 통한 머신러닝 기반 제어권 전환 발생 예측 모델 개발

HYUERICA

2. 방법론

HYUERICA

2. 방법론

전체 연구 흐름도

[Stage 1] 제어권 전환 발생 지점 도출

1 자율주행차 주행데이터 수집

- 세종시 자율주행차 주행데이터 수집
  1) 시간적 범위 : 2022년 5월 2일~4일, 9~13일
  2) 공간적 범위 : 세종특별자치시청 인근도로

2 데이터 가공 및 처리

- 시-공간적 filtering
- 자율주행차 주행데이터 이상치 제거

3 제어권 전환 발생 지점 도출

- 제어권 전환 개념 및 제어권 전환에 영향을 미치는 상황 설명
- 자율주행모드에서 비자율주행모드로 변경되는 지점 도출

[Stage 2] 제어권 전환 발생 예측 모델 개발

1 제어권 전환 영향권 설정

- 제어권 전환 영향권 / 제어권 전환 미발생 영향권 정의
- 4개의 시나리오를 통한 영향권 설정

2 분석 평가지표 선정 및 산출

- 각 영향권별 총-횡방향, 차량간 상호작용 평가지표 선정 및 산출

속도	가속도	Jerk	Lane offset
횡방향 가속도	TTC	DRAC	Spacing

3 제어권 전환 발생 예측 모델 개발

- 머신러닝 기반 제어권 전환 발생 예측 모델 개발

Input: 유의미 평가지표
Output: 제어권 전환 발생 / 미발생
▶ 영향로레스트

2. 방법론

수집데이터 설명

- 세종시 자율주행 빅데이터 관제센터 오픈랩에서 제공하는 자율주행 실차 데이터 (세종 TP 데이터) 수집
  - 세종특별자치시청 인근 도로를 시계방향으로 순환하며 주행
  - 2022년 5월 2일~4일, 9일~13일의 주행 데이터 수집
  - 총 연장 8.6km, 편도 2~4차로 도로

[수집 데이터 네트워크]

수집일시 [yyyymmddHHMMSS]	위도	경도	주행모드	속도(kph)	…
20220502163332	37.5763	126.8913	비자율	46.75	…
20220502163333	37.5767	126.8934	비자율	45.22	…
20220502163334	37.5767	126.8933	비자율	41.67	…
20220502163335	37.5762	126.8941	비자율	38.91	…
20220502163336	37.5768	126.8931	자율	36.18	…
20220502163337	37.5766	126.8934	자율	35.57	…

[수집 데이터 예시]

2. 방법론

제어권 전환 지점 도출

- 제어권 전환은 자율주행모드로 주행하던 자율차가 자율주행이 어려운 상황에서 비자율주행모드로 변경하는 것을 의미함
- 자율주행 어려운 상황
  - 현행법상 자율주행이 불가능한 어린이보호구역
  - 선행차량과의 안전거리가 확보가 어려운 상황
  - 기하구조 및 도로시설물에 따라 자율차가 영향을 받는 상황
  - 다양한 교통상황 (선행차량의 급감속, 끼어들기 등)
- 제어권 전환이 발생한 데이터는 분석기간 내 총 230건이나, 어린이보호구역 진입에 따른 의무적인 제어권 전환은 제외하여 총 54건의 제어권 전환이 발생함

[제어권 전환 발생 지점]

제어권 전환 영향권 산정

- 제어권 전환 전 자율차의 주행패턴 분석을 위하여 제어권 전환 영향권 산정
- 제어권 전환 영향권을 제어권 전환이 발생하기 3초, 5초, 7초, 9초 전으로 설정하여 총 4가지 시나리오 설정
- 제어권 전환이 발생한 지점과 동일한 지점이나 제어권 전환이 발생하지 않은, 즉 자율주행 상태로 주행한 데이터를 추출하고 제어권 전환 미발생 지점으로 정의
- 제어권 전환 미발생 지점을 기준으로 제어권 전환 영향권과 동일하게 4가지 시나리오의 제어권 전환 미발생 영향권을 설정하여 제어권 전환 여부에 따른 자율차 주행행태 비교

시나리오	제어권 전환 영향권
1	제어권 전환 3초 전
2	제어권 전환 5초 전
3	제어권 전환 7초 전
4	제어권 전환 9초 전

분석 평가지표 선정

- 각 영향권의 분석 평가지표로 총 8개의 종방향, 횡방향, 차량간 상호작용 평가지표를 선정함

지표명		의미	산출식
종방향	속도	분석차의 주행속도 (km/h)	$v_n = \frac{d_{n+1} - d_n}{t_{n+1} - t_n}$
	가속도	단위시간에 대한 주행속도의 변화율 (m/s^2)	$a_n = \frac{v_{n+1} - v_n}{t_{n+1} - t_n}$
	Jerk	단위시간에 대한 가속도의 변화율 (m/s^3)	$Jerk_n = \frac{a_{n+1} - a_n}{t_{n+1} - t_n}$
횡방향	Lane offset	차로 중심으로부터 떨어진 거리 (m)	$lane\ offset = lane\ distance\ left - lane\ distance\ right$
	횡방향 가속도	차량의 주행방향으로부터 좌·우측 직각방향으로 작용하는 속도의 단위시간당 변화율	$LACC_n = \frac{La_{n+1} - La_n}{t_{n+1} - t_n}$
상호작용	TTC	후행차량의 주행속도가 선행차량보다 빠른 경우 추돌까지 소요되는 시간 (s)	$TTC(t) = \frac{X_{PV,LV}(t)}{V_{PV}(t) - V_{LV}(t)}$
	DRAC	후행차량이 위험상황을 인지하고 감속하기 시작할 때의 충돌 회피 감속도 (m/s^2)	$DRAC_t = \frac{(V_{PV,t} - V_{LV,t})^2}{2l_t}$
	Spacing	선행차량 후미에서 후행차량 차두까지의 거리 (m)	$\bar{s} = \frac{1}{n}\sum_t^T s_t$

분석방법론_랜덤포레스트

- 랜덤포레스트는 의사결정나무 분석의 문제를 해결하기 위해 개발된 의사결정나무 분석의 심화된 기법
- 랜덤포레스트는 데이터를 하나의 나무가 아닌 여러 개의 나무로 확장시켜 분석하는 기계학습 기법이며, 서로 다른 트리들이 각각의 의사결정을 내리고 그 의사결정의 결론을 종합적으로 판단하는 개념
- Mean Decrease Gini (MDG)는 랜덤포레스트를 이루는 각 나무가 가지를 뻗어 나갈 때마다 선택되는 변수들의 불순도 감소량을 측정하여 전체 나무로부터의 그 평균을 산출한 값이며 0에서 100 사이의 값으로 산출됨
- 특정 변수의 MDG 값이 높은 것은 불순도를 감소시키는 방향, 즉 동일한 범주끼리 잘 분류되는 것을 의미함
- MDG는 입력변수별 출력변수를 분류하는 데 미치는 영향을 정량화한 값을 의미하여 변수들의 중요도 판별 가능함
- 본 연구에서는 8개의 종·횡방향 및 상호작용 평가지표를 활용하여 랜덤포레스트 분석 수행
  - 입력변수 : 8개의 종·횡방향 및 상호작용 평가지표
  - 출력변수 : 제어권 전환 영향권/ 제어권 전환 미발생 영향권

Thank you

HANYANG UNIVERSITY

다차로 하이패스 구간 기하구조 특성 및 교통량 변화를 고려한 해석가능 인공지능 기반 Risk Modification Function 개발

Development of XAI-based Risk Modification Function based on traffic and design information of Multi-lane Hi-pass toll plaza

김호재, 박현진, 박준영

(한양대학교, 석박사 통합과정), (한국도로공사 선임연구원), (한양대학교, 조교수)

Key Words : 머신러닝, Collision Modification Function, 다차로 하이패스, 시뮬레이션, 안전성

목 차

Ⅰ. 서론
Ⅱ. 기존문헌고찰
Ⅲ. 분석 방법론

Ⅰ. 서론

1. 연구배경 및 목적

하이패스 시스템은 차량 단말기에 선·후불카드를 삽입한 후 무선통신을 이용하여 톨게이트를 무정차로 주행하며 통행로를 지불하는 시스템으로 통과시간, 차량운행비용, 지정체, 차량 연료소비량, 환경오염물질 배출량 및 교통사고를 줄이는 효과가 입증되었다. 하이패스는 2007년에 고속도로 전국 261개 영업소에 설치되었으며, 도입 초기에는 15.6% 수준에 불과하던 이용률이 지속적으로 증가하여 2023년 기준 전체 고속도로 이용차량의 89.8%가 하이패스를 이용하는 것으로 조사되었다. 하이패스 이용 비율이 증가하며 기존의 하이패스 시스템의 이동성과 안전성을 향상시키고자 2018년부터 다차로 하이패스가 신규 도입되었다.

다차로 하이패스는 기존의 하이패스 차로를 두 개 이상 연결하여 아일랜드, 안테나 기둥 등 차로 사이의 시설물을 제거하고 본선과 유사한 정도의 차로폭을 확보한 하이패스 시스템으로 기존의 하이패스 시스템에 비해 높은 제한속도로 운영되어 영업소 통과를 위한 가감속이 감소하여 안전성이 증가하고 처리용량이 증대될 것으로 기대되고 있다.

그러나, 다차로 하이패스 도입 시 본선형 기준 제한속도 80km/h의 다차로 하이패스 차로, 제한속도 30km/h의 단차로 하이패스 및 정지하여 요금 지불 후 출발하는 Toll Collection System (TCS)차로가 혼재되어 합류부에서 교통류들 간의 상대속도 차이가 존재하게 되며, 이에 따라 급가감속 행태가 증가하는 상황이 우려된다. 안전한 분류 및 합류 주행을 위해 차로변경 금지구간, 방호벽 설치 등의 시설개선이 이루어졌지만, 여전히 안전성 개선에 대한 연구는 미비한 상태이다. 특히, 2019~2023년 다차로 하이패스를 도입한 서울, 서서울, 동서울, 구리남양주. 김포 영업소의 최근 5년간 사고 현황 분석 결과 연간 96~139건으로 지속적으로 사고가 발생했으며, 도입 전·후 3년간의 사고건수 비교 결과 영업소 광장부 내 사고는 500건에서 550건으로 증가하였다.

사고수정계수(Crash Modification Factors, CMF)는 도로에 특정 조치사항이 적용된 이후 사고통계에 있어 예상되는 변화를 설명하는 계수로, 국내외에서 다양한 도로의 사고자료를 활용하여 안전조치를 평가하는 관련 연구들이 진행되고 있다. 기존의 통계적 기법을 활용하여 CMF를 개발하는 방법론은 오랜 기간 동안 교통 안전 연구의 핵심 방법론 중 하나였으나, 몇 가지 한계점이 존재한다. 첫째, 변수가 사고 발생에 미치는 영향이 일정하고 선형적으로 작용한다고 가정하는 선형성 가정을 기반으로 한다. 교통사고의 위험 요인들은 서로 비선형적 관계를 가질 수 있으며, 단일 위험 요인이 다른 요인과 상호작용할 때 그 영향이 달라질 수 있다. 둘째, 기존 통계적 방법에서는 주로 주요 변수들에 대한 개별적인 효과를 추정하며, 변수들 간의 상호작용 효과를 충분히 고려하지 못하는 경우가 발생한다. 도로 및 교통 환경은 다수의 변수들이 동시에 작용하는 복잡한 환경으로 각 변수들이 서로 상호작용하여 사고 발생 확률에 영향을 미칠 수 있다. 셋째, 통계적 모델은 다중공선성 문제를 고려하여 독립 변수들 간의 상관관계를 무시하거나 제거할 필요가 있지만, 실제 분석에서는 독립변수 제거 시 결론 도출에 중요한 정보를 제외할 수 있다. 마지막으로, 통계적 모델은 고정된 데이터셋에서 도출된 관계를 바탕으로 CMF를 도출하여 시간과 환경의 변화에 따라 지속적으로 유지보수해야하지만, 현실적으로 도로 운영자의 입장에서 시간적, 경제적 제약이 따른다.

이같은 문제를 해결하기 위하여 최근 머신러닝을 활용한 CMF 개발 연구가 진행되었다. 머신러닝 모델은 변수들 간의 비선형적 관계를 파악하여 보다 정확하고 세밀한 CMF를 도출할 수 있으며, 상호작용 효과와 상관관계를 처리할 수 있다. 또한, 동적으로 업데이트되어 새로운 데이터가 추가됨에 따라 지속적으로 학습 가능하며, 시간과 환경 변화에 민감하게 반응하여 유효한 CMF를 유지할 수 있다. 이러한 머신러닝 기반의 CMF 개발 연구는 기본의 머신러닝 기법이 변수들의 영향력을 파악할 수 없는 블랙박스(Black Box)를 해결 가능한 해석 가능 머신러닝 기법의 발전으로 인하여 가능하게 되었다.

또한, 점 추정치 형태의 CMF는 처리된 위치에서 구현된 대책이 안전에 미치는 영향을 완전히 이해할 수 없으며, 시간에 따른 처리 효과, 해당 요소가 데이터셋에 포함된 수준 외의 다른 수준으로 변화했을 때의 결과를 파악하지 못하는 한계가 있다. 이에 따라, 최종적으로 특정 대안의 효과 및 안전성 개선 연구를 위해서는 시간 경과 또는 요인 변화에 따른 CMF를 통합한 Crash Modification Function을 개발하는 것이 필수이다.

본 연구는 고속도로 다차로 하이패스 구간에 대해 안전 대책을 개발하고 사고 발생 위험성을 감소시키기 위해 머신러닝 모델을 기반으로 사고 발생 위험 요인을 식별하고 Crash Modification Function을 도출하는 것을 목표로 한다. 데이터 수집의 한계로 인하여 시뮬레이션을 통해 수집된 데이터를 활용하였으며, 이에 따라 본 연구에서는 개발된 모형을 Crash Modification Function이 아닌 Risk Modification Function (RMF)로 정의하였다.

II. 기존문헌고찰

1. 하이패스 및 다차로 하이패스 안전성 관련 연구

Foroogh, H. et al. (2015)는 요금소 광장부의 주행행태 분석이 미시적 교통류 시뮬레이션 VISSIM으로 가능한지 입증하고, 하이패스 차로구성에 따라 사고 안전성에 미치는 영향을 평가하였다. 분석 결과 하이패스로만 구성된 시나리오가 가장 안전하며, TCS(Toll Collection System)과 혼재되어 운영 시엔 하이패스 이용 차로가 별도로 분리되었을 때 안전성이 증가하는 것으로 나타났다. Xing, L. et al. (2019)는 요금소 광장부에서 촬영한 영상을 통하여 추출한 차량 궤적 데이터를 기반으로 TTC(Time to Collision)를 분석하여 충돌 위험성을 평가하였으며, TCS의 대기행렬이 많을수록 충돌 위험이 높아지고, TCS와 인접한 차로일수록 상충 위험이 높아지는 것으로 분석되었다. 김지규 외 2인(2021)은 다차로 하이패스 도입에 다른 첨두시와 비첨두시의 통행속도 및 상충수 변화를 예측하였다. 분석 결과, 다차로 하이패스 도입 시 통행속도 증가로 광장부의 추돌상충이 증가할 수 있으나 차로변경상충이 감소해 전체적인 상충 수가 감소하였으며, 본선 제한속도와 하이패스 제한속도의 차이가 감소하며 통과 교통량의 안전성이 제고되는 것으로 나타났다.

2. Crash Modification Function 관련 연구

Sacchi et al. (2014)는 Signal Head Upgrade Program의 충돌 감소 효과를 평가하기 위해 베이지안 개입 모델을 적용하여 CMF를 도출했다. 분석 결과, 도로에서 교통 신호 업그레이드가 충돌 빈도를 감소시키며, 시간 경과에 따른 대책 효과의 변화도 설명할 수 있음을 발견했다. 특히 비선형 개입 모델이 장기적인 안전 개선 효과를 더 현실적으로 나타냈다. El-Basyouny와 Sayed (2012)는 교차로에서의 안전 대책에 대한 CMF를 평가하기 위해 베이지안 회귀 모델을 사용하였으며, 안전 대책이 시간이 지남에 따라 충돌 빈도를 감소시키는 패턴을 확인했다. 해당 연구에서는 CMF가 시간에 따른 대책 효과를 반영해야 한다는 결론을 도출했다. Park & Abdel-Aty (2016)는 다변량 적응 회귀 스플라인(Multivariate Adaptive Regression Splines, MARS)을 사용하여 갓길 확장이 도로 안전에 미치는 영향을 분석하였으며, 분석 결과 갓길 확장이 교통사고 빈도를 최대 31%까지 감소시키는 효과가 있음을 확인했다. 특히, 갓길 폭 증가에 따른 사고 감소 효과는 도로 조건에 따라 달라지는 것으로 나타났다. Hadi et al. (2012)는 음이항 회귀 모델을 사용하여 갓길 확장의 안전성 개선 효과를 분석했다. 분석 결과, 갓길 폭이 1피트 증가할 때마다 충돌 빈도가 1%에서 3% 감소하는 것으로 나타났다.

III. 분석 방법론

1. 분석 개요

본 연구에서는 고속도로 다차로 하이패스 구간에서 사고 발생 위험 요인을 식별하고, RMF를 도출하기 위해 해석 가능한 머신러닝 기법을 활용하였다. 시뮬레이션을 통해 다양한 다차로 하이패스 설계 및 운영 시나리오에서의 데이터를 수집하였으며, LightGBM(Local Interpretable Model-agnostic Explanations) 모델을 사용하여 사고 발생 확률을 예측하고

SHAP(Shapley Additive Explanations)을 통해 각 위험 요인이 예측 결과에 미치는 기여도를 분석하였다. 이를 기반으로 개별 요인 및 상호작용 효과를 반영한 RMF를 도출하며, 도출된 RMF는 기존의 Full-Bayes 기반의 통계적 CMF와 비교검증을 수행하였다. 최종적으로, 이를 통해 더 정교하고 현실적인 교통 안전 대책을 제시하였다.

2. 분석 데이터 수집

다양한 요소를 포함한 실제 다차로 하이패스 구간 데이터 수집의 제약으로 인하여 미시 교통류 시뮬레이션 VISSIM을 활용한 데이터 수집을 수행하였다. 분석 대상 구간은 서울 TG를 중심으로 상류부 2km, 하류부 2km 총 4km 연장의 구간을 설정하였으며, 시뮬레이션 시나리오는 교통량, 차로폭, 하이패스 속도제한, 다차로 하이패스 운영 차로 수 등을 선정하였다.

3. 머신러닝 기반 CMF 개발

해석 가능한 머신러닝 기법을 기반으로 고속도로 다차로 하이패스 구간 사고 발생 위험 요인을 식별하고 이를 통해 RMF를 개발하였다. 해석가능한 머신러닝 기법은 모델의 복잡성을 해결 가능하며, 블랙박스 문제를 해결하여 투명성과 설명력을 확보 가능하다. 사고 발생 위험 요인 식별과 결과를 해석하고 RMF를 개발하기 위한 방법론에는 각각 대표적인 머신러닝 기법인 LightGBM과 SHAP (SHapley Additive exPlanations)이 활용되었다.

1) LightGBM (Local Interpretable Model-agnostic Explanations)

LightGBM은 일반 의사결정트리 계열의 트리 분할 방법과는 다르게 리프 중심의 트리분할(Leaf Wise) 방식의 알고리즘을 활용하고 있으며, 이러한 리프 중심의 트리분할 방식을 적용할 경우 트리 균형을 맞추지 않고 노드가 지속적으로 분할하면서 비대칭적인 규칙 트리가 생성된다. 이러한 알고리즘은 최대 손실 값을 가지는 리프 노드를 중심으로 지속적으로 분할함으로써 균형 트리 분할 방식에 비하여 상대적으로 예측력에 있어 우수하다는 평가를 받고 있다.

2) SHAP (SHapley Additive exPlanations)

SHAP은 게임 이론에서의 샤플리 값을 이용해 최적의 크레딧 할당과 지역 해석을 결합한 새로운 모델 해석 방법이다 (Lundberg and Lee, 2017). SHAP의 기본 원리는 각 변수의 기여도를 계산하는 것으로, 이때 해당 변수의 기여도가 전체 예측 결과에서 차지하는 비중을 수치적으로 설명한다. SHAP의 가장 큰 강점은 이론적으로 검증된 공정한 기여도 계산을 제공하며, 모델 전반적인 해석과 개별 예측값 해석을 모두 지원한다는 점이다. 또한, SHAP은 변수들 간의 상호작용을 고려하여 변수가 예측값에 미치는 복합적인 영향을 설명할 수 있다.

결과적으로 SHAP 값을 통해 계산된 변수의 기여도는 RMF 도출에 확용된다. RMF는 해당 변수의 변화에 따른 사고 발생률의 변화를 나타내는 수치로, SHAP 값을 기반으로 해당 변수의 영향력을 정량화할 수 있다. 또한, SHAP의 특성을 활용하여 기존 통계적 RMF 개발 기법에서 나아가 변수간 상호작용 효과를 고려한 RMF 개발이 가능하다.

4. 머신러닝 기반 RMF의 검증

개발된 머신러닝 기반 RMF의 검증을 위하여 기존에 활용된 통계적 RMF 개발 방법론 중 하나인 음이항 회귀모델을 활용한 RMF와의 비교검증을 수행하였다. 음이항 회귀모델은 사고 발생 빈도 데이터를 처리하는 데 자주 사용되는 통계모델로 다차로 하이패스 구간에서 도출된 사고 데이터와 환경변수를 입력으로 하여 각 변수의 회귀계수를 추정하고, 이를 통해 변수별 RMF를 도출하였다.

통계적 CMF와 머신러닝 기반 RMF는 두 가지 측면에서 비교검증되었다. 첫째, RMSE를 활용하여 두 모델의 예측 성능을 비교하고, 각 모델에서 도출된 RMF의 신뢰성을 검증하였다. 둘째, 변수간 상호작용을 고려한 머신러닝 기반 RMF는 통계적 CMF의 인과 관계 기반 접근과 비교하여 정확성을 검증하고, 유용성을 평가하였다.

참고문헌

1. Hajiseyedjavadi, F., McKinnon, I., Fitzpatrick, C., & Knodler Jr, M. A. (2015). Application of microsimulation to model the safety of varied lane configurations at toll plazas (No. 15-3480).
2. Xing, L., He, J., Abdel-Aty, M., Cai, Q., Li, Y., & Zheng, O. (2019). Examining traffic conflicts of up stream toll plaza area using vehicles' trajectory data. Accident Analysis & Prevention, 125, 174-187.
3. 김지규, 이동민, & 윤성수. (2021). 다차로 하이패스 (ETCS) 도입에 따른 통행속도 변화에 관한 연구. 한국도로학회 논문집, 23(3).
4. Sacchi, E., Sayed, T., & El-Basyouny, K. (2014). Collision modification functions: Incorporating changes over time for treatment effectiveness. Accident Analysis & Prevention, 62, 178-184.
5. Park, J., & Abdel-Aty, M. (2016). Safety effects of widening shoulders on rural multilane roads: Developing crash modification functions with multivariate adaptive regression splines. Accident Analysis & Prevention, 93, 1-10.

6. El-Basyouny, K., & Sayed, T. (2012). Safety performance functions with measurement errors in predictor variables. Accident Analysis & Prevention, 45, 1-9.
7. Hadi, M., Aruldhas, J., Chow, L., & Wattleworth, J. (2012). Estimating safety effects of cross-section design for rural, multilane highways. Transportation Research Record, 1500(1), 169-177.

혼재 교통류에서 교통안전을 고려한 차간 주행유지 간격 도출 및 평가 - 지하고속도로를 중심으로

Assessment of Maintaining Vehicle Spacing under Autonomous Vehicle Environment - focusing on Underground Highways

박근휘, 성예지, 김우원, 박준영

한양대학교 스마트시티공학과 석사과정

한양대학교 교통물류공학과 석사과정

한양대학교 스마트시티공학과 석사과정

한양대학교 교통물류공학과, 스마트시티공학과 부교수

Key Words : 혼재 교통류, 지하도로, VISSIM, 차간 간격, 안전성 평가

목 차

1.서론 2.문헌고찰 3.연구방법론 4.참고문헌

Ⅰ. 서론

1. 연구배경

지하도로란 지상교통의 원할한 소통을 위하여 지하에 설치하는 도로로서 도시 내 주요지역을 연결하거나 도시와 도시간 상호 연결, 도시와 인접 지역을 연결하는 역할을 수행하는 도로이다. 도로 지하화는 지하공간을 활용하여 기존의 지상도로의 교통정체를 해소하고 대기오염, 소음 저감 등 도시 환경개선 및 지상 공간의 새로운 가치를 창출할 수 있어 세계적인 추세로 자리잡았다(유완규, 2023). 현재 국내의 지하도로는 서울시 신월여의지하도로와 서부간선지하도로가 개통되어 있으며, 부산시 만덕-센텀 도시고속화도로가 올해 11월 개통을 목표로 건설 중에 있다. 또한 정부는 국토종합계획(20~40), 제2차 국가도로망종합계획(21~30), 제2차 고속도로 건설계획(21~25) 등을 근거로 서울외곽순환선, 경부선, 경인선의 일부 구간의 지하화 계획을 발표하였다. 이에 따라 지하도로 특성을 고려하여 기하구조, 지하도로 구조물, 방재 및 안전시설 등의 기준 규정이 마련되고 있다. 특히 지하고속도로의 경우, 설계속도 100m/h 이상의 10~30km의 초장대 터널을 의미하며, 곡선부에서의 전방 상황 인지 곤란과 화재 발생 시 대규모 참사로 이어질 수 있다는 우려로 인해 교통안전 측면의 개선대책 마련이 필요한 상황이다. 2022년 고속도로에서 발생한 사고 중 안전거리 미확보로 인해 발생한 사고 건수는 1,357건으로 전체 4,860건의 사고 중 27.9%에 해당하며, 이는 안전운전 의무불이행(60.0%) 다음으로 높은 수치이다(도로교통공단, 2022). 또한 지하도로와 도로 환경이 유사한 터널의 평균 치사율은 전체 교통사고 치사율의 2.4배로, 운전자의 안전이 더욱 취약하다(한국도로공사, 2023). 따라서 지하고속도로 건설 시, 교통사고 발생 확률과 사고 심각도를 감소시키기 위해 지하도로 환경을 고려하여 운전자가 유지하여야 하는 적정 차간 간격에 관한 연구가 필요하다.

2. 연구목적

이에 본 연구는 VISSIM 미시교통시뮬레이션을 활용하여 향후 건설될 제한속도 100km/h 이상의 지하고속도로의 분류부 및 합류부를 구현하고 지하고속도로의 주행행태 모사한다. 또한 가까운 미래에는 자율차와 비자율차가 한 도로에서 함께 주행하는 혼재 교통류가 등장할 것이므로 자율주행차의 영향을 함께 고려하여야 하는데, 해당 가상 교통 네트워크에 자율차의 MPR(Market Penetration Rate)을 달리하여 자율차를 투입함으로써 혼재 교통류를 구현하도록 한다. 이때 자율차가 지하고속도로 네트워크에 미치는 영향은 작지 않을 것으로 예상 되는데, 자율차는 교통 인프라와의 정보통신을 통해 미래 교통상화엥 대한 가이던스를 받고 암·명순응이 존재하지 않으므로 비자율차와 주행행태가 확연히 다르기 때문이다. 이러한 특정을 고려한 가상 환경 아래에서 분합류부의 유출입 교통량에 따른 혼재 교통류에서의 지하고속도로 내 적정 차간 간격을 도출하고자 한다.

Ⅱ. 문헌고찰

1. 지하도로 교통 안전 관련 문헌고찰

김현(2023)은 대심도 지하도로 구축의 필요성과 국내외 지하도로 사례와 향후 계획, 대심도 지하고속도로 이슈에 대해 조사하였다. 지하도로 교통사고는 지상부에 비해 높은 사고 심각도를 가지며, 자하도로 교통사고의 주요 원인은 운전자 요인(폐쇄성, 전방환경 인지곤란, 속도감 저하 등)이 주된 원인임을 시사하였다. Kim et al.(2021)은 도시지역 지하도로 연결로 접속부의 효율적인 교통제어를 위한 요소기술 우선순위를 계층화 분석법(AHP)를 통해 산정하였다. AHP 분석을 이해 도로 설계 및 교통 관련 전문가와 유관 연구직 종사자 15명을 대상으로 개별면접 설문조사를 수행하였다. 상위계층에서는 수요제어(48.5%), 속도제어(32.8%), 차로제어(18.7%) 순으로 우선순위가 높은 것으로 나타났으며. 속도제어의 경우, 구간속도제어(46.3%), 최고속도제어(22.6%), 가변속도제어(19.7%), 최소속도제어(11.4%) 순으로 우선순위가 높았다.

2. 지하도로 가상 시뮬레이션 관련 연구

Park et al.(2021)은 지하도로의 특성을 반영한 지하도로 합류부 및 분류부 VISSIM 가상 실험 네트워크를 구축하여 유출입 교통량에 따른 지하도로 지정체를 분석하였다. 지하도로 운전자의 인지반응시간 및 지하도로 경사도 및 중차량 비율을 고려하였으며, 분석 시 ANOVA 분석을 통해 통계적으로 주행패턴이 상이한 구간들을 분류하여 비교하였다. Yang et al.(2021)은 VISSIM을 활용하여 지하도로 합류부 및 분류부에 대한 가상 교통 네트워크를 구축하여 연결로의 유출입 교통량에 따른 상충 증가율을 비교하였다. 시뮬레이션 환경은 부산시 만덕-센텀 구간의 도로 기하구조 특성을 모사하였으며, 교통 운영성 평가지표로는 평균 통행속도, 점유율 통과 교통량, V/C비를 활용하였고 교통 안전성 평가지표로는 상충건수와 TTC(Time to Collision)를 활용하였다. Park et al.(2022)는 신월여의지하차도를 대상으로 가상현실(VR) 시뮬레이터를 활용하여 지하도로 내 운전자의 주행행태 특성을 분석하였다. 분석된 주행행태 특성을 바탕으로 VISSIM 미시교통 시뮬레이션에서의 지하도로 주행행태를 calibration 하기 위해 지하도로 주행특성을 반영한 6가지 driving behavior parameter를 도출하였다. 해당 parameter를 적용하여 지점별 모사 수준을 validation한 결과, 관측값에 대한 모사 수준이 적합한 것으로 도출되었다.

3. 기존 연구들과의 차별성

본 연구에서는 앞서 고찰된 지하도로 관련 문헌들을 통해 지하도로의 교통 안전을 개선하기 위해 폐쇄성, 전방환경 인지곤란, 속도감 저하와 같은 운전자 요인으로 발생하는 사고를 예방하여야 하며, 특히 속도 관리가 중요함을 확인하였다. 또한 VISSIM과 같은 미시교통 시뮬레이션을 통해 지하도로의 교통 운영 및 안전 연구가 이루어지고 있음을 확인하였고, 본 연구에서도 지하도로의 운전자 주행행태를 모사하기 위해 고찰된 문헌의 VISSIM 주행행태 parameter를 적용하고자 한다. 하지만 기존의 문헌에서는 자율차 혼재 교통류 상황에서 지하도로의 교통 안전에 관해 연구한 사례는 없었으며, 특히 혼재 교통류 및 지하고속도로 환경에서의 교통 안전에 대한 연구는 미흡하다. 이에 따라 본 연구는 VSSIM 시뮬레이션을 통해 지하지하도로 분합류부 네트워크를 구현하고, 자율차를 MPR별로 투입하여 유출입 교통량에 따른 적정 차간 간격을 도출하고자 한다.

Ⅲ. 연구 방법론

1. 가상 네트워크 구현 및 시나리오 작성

본 연구에서는 자율차 혼재 교통류에서 지하고속도로 내 교통 안전을 고려한 적정 차간 간격을 분석하고자 한다. VISSIM 분석 네트워크는 toy 네트워크를 활용하며, 도로 기하구조가 같은 지상 및 지하 고속도로를 모두 구현한다. 지하고속도로의 주행행태는 Wiedemann99 모델을 활용하며, 기존문헌을 통해 조사된 지하도로 주행행태 parameter를 적용한다. 분석 구간은 고속도로의 분류부 및 합류부이며, 유출입 교통량 및 자율차 MPR, 차간 간격에 대한 순응률에 따라 시나리오를 나누어 분석한다. 적정 차간 간격에 따른 차량 주행 모사와 차간 간격에 대한 순응률에 따른 알고리즘은 VISSIM-COM 인터페이스를 활용하여 python 환경에서 차량을 제어한다. 이를 통해 해당 교통류의 교통 안전성을 중심으로 평가하고 지하고속도로에서의 적절한 차간 간격을 도출한다. 하지만 안전성만을 고려할 경우, 차간 간격을 넓힐수록 평가지표의 값이 안전하게끔 도출되는 한계가 존재하므로 운영성 평가지표를 통해 이를 보완하여 최적의 차간 간격을 도출한다. 본 연구의 분석 절차는 아래 그림1에 제시하였다.

〈그림1〉 연구 흐름도

2. 교통 안정성 및 운영성 평가지표

또한 혼재 교통류 및 지하고속도로 환경에서의 교통 안전 및 운영 효과를 평가하여 적정 차간 간격을 도출하기 위해 SSM (Surrogate Safety Measure)과 교통 운영성 평가지표를 활용한다. 교통 운영성 평가지표로는 통과 교통량 및 평균 통행속도를 활용한다. 교통 안전성 평가지표로는 상충건수와 TTC(Time to Collision)를 활용하며 TTC에 대한 산출식은 수식 1으로 제시하였다.

$$TTC(t) = \frac{S_F^L(t)}{V_F(t) - V_L(t)} \quad (1)$$

여기서, $TTC(t)$는 t 시간에서의 Time to Collision(s),
$S_F^L(t)$는 t 시간에서의 선후행차량 사이의 거리(m),
$V_F(t)$는 t 시간에서의 후행차량의 속도(m/s),
$V_L(t)$는 t 시간에서의 선행차량의 속도(m/s)

참고문헌

1.유완규. (2023). 지하도로 설계지침 주요 개정 사항. 대한교통학회 학술대회지, 82-82.

2.도로교통공단, (2022), 2022년 고속도로사고 법규위반별 현황

3.한국도로공사, (2023), 터널사고 연도별 사고현황

4.김현 (2023-02-23). 대심도 지하고속도로의 효과 및 외국사례. Proceedings of the KOR-KST Conference, 서울.

5.GOV.UK, (2018), Traffic Signs Manual

6.Kim, Jin Guk, Lee, Gun Woo, Lee, Gun Woo. (2021). Prioritizing efficient Traffic Control Strategies in the On-off Ramp Junction of Urban Deep Underground Tunnels. International journal of highway engineering, 23(4), 125-132.

7.Sang Hyun Park, Jin Kak Lee, choongheon Yang, & Jinguk Kim (2021). Preliminary Study for Risk Assessment Estimation of Urban Underground Connect Section Using VISSIM : Comparison of Characteristics Based on Diverge/Merge. 한국ITS학회 논문지, 20(5), 59-74, https://doi.org/10.12815/kits.2021.20.5.59

8.Choongheon Yang, Jinguk Kim, Sang Hyun Park, & Jinkak Lee (2021). Simulation for Traffic Operation and Safety Impact Analysis on Merge/Diverge of Underground Road. Journal of Digital Contents Society, 22(10), 1733-1741, 10.9728/dcs.2021.22.10.1733

9.Sang Hyun Park, Jin Kak Lee, & Sang Un Ko (2022). A Study on the Analysis of Underground Road Behavior Using VISSIM and VR Simulator. Journal of Digital Contents Society, 23(12), 2507-2516, 10.9728/dcs.2022.23.12.2507

한국 ITS학회 2024년도 추계학술대회

사용자 경험 기반 어린이 통학버스 만족도 및 차내 안전장치 우선순위 분석

Analysis of User Experience-Based Satisfaction with Children's School Buses and the Prioritization of In-vehicle Safety Equipments

박보현*, 신강원**

* : 경성대학교 도시공학과 석사과정
** : 경성대학교 도시공학과 교수

본 연구는 국토교통부의 재원으로 국토교통과학기술진흥원의 지원을 받아 수행한 결과입니다.(RS-2022-00143581)

I 연구의 배경 및 목적

Analysis of satisfaction with Korean Children's Buses and safety device priorities

어린이 통학버스 교통사고의 심각성은 증대

지역	일시	유형	사고내용
제주	22.01.25	끼임사고	• 9세 여아, 통학버스 문에 외투 끼어 끌려가 사망
파주	22.06.20	추돌사고	• 도로 커브길에서 통학버스 전도, 어린이 1
부산	22.07.04	보행사고	• 22개월 여아, 아파트 단지에서 유치원 통
부산	22.07.12	끼임사고	• 3세 남아, 통학버스 하부에 끼여 70m 끌
부산	22.08.10	추돌사고	• 시내버스가 어린이통학버스 뒷부분을 박
창녕	22.10.25	추돌사고	• 5톤 트럭이 어린이집 통학버스 뒤를 박는 및 12명 어린이 경상
남양주	22.10.31	추돌사고	• 어린이집 버스와 시내버스 추돌사고 발생,
광주	22.12.03	승하차사고	• 어린이통학버스 하차 중 급출발 사고 발생
대전	23.04.04	추돌사고	• 어린이 통학버스와 승용차, 승합차 간 3중 추돌사고
서울	23.05.16	추돌사고	• 어린이통학버스와 승용차 추돌사고 발생, 어린이 3
창원	24.01.01	추돌사고	• 어린이통학버스와 승용차 추돌사고 발생, 어린이 6명 경상
사천	24.03.11	추돌사고	• 어린이 통학버스와 5톤 화물차 추돌사고 발생, 운전자와 중학생 6명 경상
안산	24.04.07	보행사고	• 신호 위반한 어린이통학버스에 초등학생이 치여 중상
전북	24.06.27	추돌사고	• 어린이통학버스 2대와 차량 4대 추돌사고 발생, 학생 및 교사 경상

안전성 보강 기술이 적용된 한국형 어린이 통학버스 개발

Analysis of satisfaction with Korean Children's Buses and safety device priorities

I 선행연구 고찰

어린이 통학버스 안전 장치/서비스 평가 관련 연구

어린이 통학버스의 로드 프로젝션 등화장치 표준 제정에 관한 연구 (신판주 외, 2023)

야간에 어린이 승하차를 위하여 정차한 어린이 통학버스를 운전자들이 인지하고 일시정지 할 수 있는 로드 프로젝션 등화장치의 기술의 실효성 효과를 살펴봄

Rub Rail 장착 유무에 따른 어린이 통학버스의 측면충돌 해석 (최규권 외, 2023)

어린이 통학버스의 측면보호를 위한 러브 레일(Rub rail)의 형태를 제안

어린이 통학버스 운영 서비스 평가체계 개발 (박보현 외, 2023)

어린이 통학버스 안전성 및 편의성에 영향을 미치는 다양한 요인들을 현황조사 및 설문조사를 통해 도출하고 AHP 분석을 기반으로 통학버스 서비스 평가 지표를 개발하여 서비스 수준을 평가

어린이 통학버스 사고 방지 및 안전 관리 시스템 (김현주 외, 2020)

어린이의 착석 여부와 안전벨트 사용 여부를 동시에 쉽게 확인할 수 있는 어린이 통학버스 사고 방지 및 안전관리시스템을 제안

시사점

- 통학버스의 안전성과 편의성을 향상시키기 위한 다양한 기술적, 관리적 접근을 다루고 있음
- 어린이 통학버스 차량에 대한 전반적인 만족도를 평가한 연구 부재
- 실제 사용자를 기반으로 한 어린이 통학버스의 만족도 연구 필요

KANO 모델을 활용한 서비스 우선순위 도출 관련 연구

KANO 모델을 활용한 V2H 커뮤니케이션 기술의 우선순위 도출 (이상화 외, 2022)

자율주행차와 도로 이용자 간의 원활한 소통을 위해 프로젝션 및 디스플레이 도형식 V2H 커뮤니케이션 기술 개발이 소비자 니즈에 부합하는 것으로 판단

KANO 모델을 이용한 어린이보호구역 안전시설 기능 도출 (나호혁 외, 2022)

어린이보호구역 내 18개 안전시설의 품질요소를 구분하였으며, 속도제한표지판, 신호 및 과속단속카메라, 어린이 보호구역 노면표시의 중요도가 높은 것으로 분석

KANO 모델을 기반으로 한 잠재적 고객만족 개선지수 (임성욱 외, 2010)

KANO 모델과 Timko 고객만족계수를 활용하여 제품 기능이 완전히 충족되었을 때 고객 만족도를 얼마나 증가시킬 수 있는지를 나타내는 잠재적 고객 만족도 개선 지수(PCSI)를 제안

Attractive Quality and Must-Be Quality (KANO Noriaki et al, 1984)

제품 및 서비스 품질 속성을 이원적 품질모형을 통해 연구하여 최종적으로 세 가지 주요 품질요소(매력적 품질, 일원적 품질, 당연적 품질)와 두 가지 잠재적 품질요소(무관심 품질, 역 품질)로 서비스 품질속성을 분류

시사점

- KANO모델을 이용하여 서비스 /기술에 대한 품질속성 분류 및 우선 순위 도출에 관한 연구 多
- KANO모델을 이용하여 통학버스 안전장치들의 품질요소 및 우선순위를 도출한 연구는 수행된 바 없음

3

Analysis of satisfaction with Korean Children's Buses and safety device priorities

II 분석 방법론

연구 과정

STEP.1
탑승 체험 프로그램 진행

STEP.2
만족도 설문조사

STEP.3
KANO 모델 분석

STEP.4
우선순위 도출

STEP.1 탑승 체험 프로그램 진행

한국형 어린이 통학버스 탑승 체험

- 초등학생 141인 대상
- 체험 탑승 프로그램 진행
- 이용자 의견 수렴

STEP.2 만족도 설문조사

한국형 어린이 통학버스 만족도

- 탑승 체험 초등학생 141인 대상
- 차량 만족도 설문조사 결과 분석
- 차량 안전장치 설문조사 결과 분석

STEP.3 KANO 모델 분석

차량 안전 장치 품질 요소 평가

- 온·오프라인 조사
- 통학버스 관리자 및 전문가 31인 대상
- 차량 안전장치 품질 속성 구분

STEP.4 우선순위 도출

Timko 고객만족계수

- 만족계수와 불만족계수 분석
- 평균 만족계수 분석
- 차량 안전장치 우선순위 도출

4

탑승 체험을 통한 만족도 조사

STEP.1 탑승 체험 프로그램 진행

탑승 체험 프로그램 진행 과정

구분	A초등학교	B초등학교
체험 장소	각 학교 교실 & 운동장	
체험 시간	40분 (교육 15분 + 탑승 체험 25분)	
일시	24.09.05(목)	24.09.23(월)
대상	전교생 49인	3학년 92인
지역	비도시 지역	도시 지역

탑승 체험 프로그램 진행 과정

체험 교육 프로그램 진행

STEP.2 만족도 설문조사

설문 개요

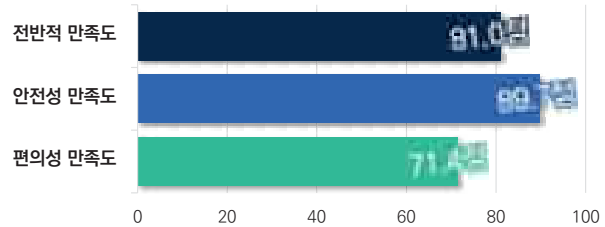
- 설문 방법 : 탑승 체험 프로그램 후 오프라인 설문조사
- 설문 일시 : 24.09.05 & 24.09.23 (2일)
- 설문 인원 : 141인 (초등학생, 평균 연령 10.0세)

설문 내용

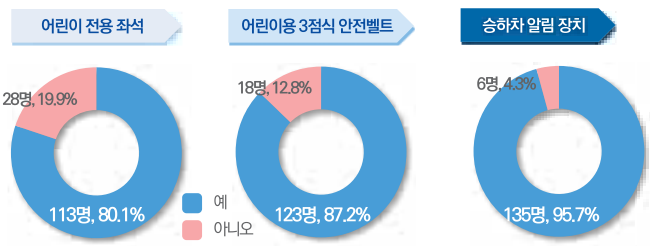
- 일반 사항 : 학교명, 학년, 성별, 기존 통학버스 이용 여부
- 차량 전반적 만족도 & 차량 안전 장치 전반적 만족도
- 평가 기준 : 매우 그렇다(100점) ~ 매우 그렇지 않다(0점)

STEP.2 만족도 설문조사 | 결과

한국형 어린이 통학버스 전반적 만족도

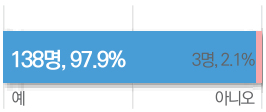


Q. 나는 차량 안전 장치가 좋다고 생각한다.

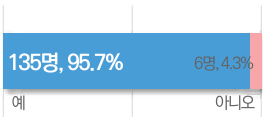


한국형 어린이 통학버스 안전 장치 상세 만족도

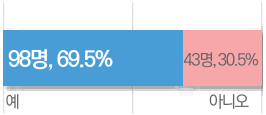
Q. 어린이 전용 좌석이 안전하다.



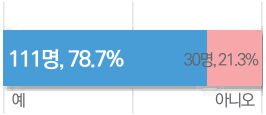
Q. 어린이용 3점식 안전벨트가 안전하다.



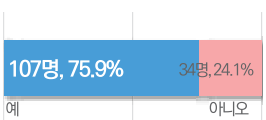
Q. 어린이 전용 좌석의 크기가 충분하다.



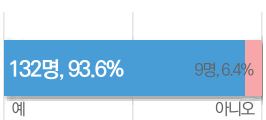
Q. 어린이용 3점식 안전벨트의 장착이 편리하다.



Q. 레그룸이 충분하다.



Q. 어린이용 3점식 안전벨트를 조절할 수 있다



STEP.2 만족도 설문조사 | 개선사항 도출

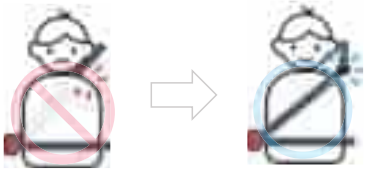
어린이 전용 좌석

고학년 신체 고려 필요

좌석에 맞는 **차체 개발**

어린이용 3점식 안전벨트

Q. 어린이용 3점식 안전벨트가 안전하다.



잘못된 안전벨트 착용 올바른 안전벨트 착용

어린이용 3점식 안전벨트 필요성 확인

올바른 **교육 필요**

승하차 알림 장치 (통학버스 플랫폼)

Q. 승하차 알림 장치가 좋다고 생각한다.

하차 확인 장치 대체 가능성 확인

KANO 모델을 활용한 안전 장치 우선순위 도출

STEP.3 KANO 모델 분석

서비스 품질 측정 모델

KANO 모델

- 제품 개발에 관련된 상품기획론으로, 이용자를 대상으로 서비스 및 제품을 평가하기 위해 활용
- 긍정질문과 부정질문(이원적 품질론)을 이용하여 물리적 충족 정도에 따른 고객의 주관적 만족도 관계를 분석
- 세 가지 주요 품질요소(매력적 품질, 일원적 품질, 당연적 품질)와 두 가지 잠재적 품질요소(무관심 품질, 역 품질)로 서비스 품질속성을 분류

	매우 만족한다	당연하다	상관없다	어쩔수 없다	매우 불만족스럽다
긍정질문					
만약, ○○○이 있다면 어떤 느낌이 드시나요?	①	②	③	④	⑤
부정질문					
만약, ○○○이 없다면 어떤 느낌이 드시나요?	①	②	③	④	⑤

		부정질문				
		①매우 만족한다	②당연하다	③상관없다	④어쩔수 없다	⑤매우 불만족스럽다
긍정질문	①매우 만족한다	–	A	A	A	O
	②당연하다	R	I	I	I	M
	③상관없다	R	I	I	I	M
	④어쩔수 없다	R	I	I	I	M
	⑤매우 불만족스럽다	R	R	R	R	–

주)A-매력적 품질, M-당연적 품질, O-일원적 품질, I-무관심 품질, R-역 품질, Q-최의적 품질

* 품질요소 사례 출처) KANO 모형을 기반으로 한 스마트 카 기능의 품질 속성 분석(정규석 외, 2019)

STEP.3 KANO 모델 분석 | 결과

분석 결과

품질요소 구분

- 품질 요소별 최빈값을 기준으로 각 안전장치의 품질 요소를 결정
- KANO모델을 통해 분석된 안전 장치는 일원적 품질요소 3개, 매력적 품질요소 5개로 구분
- 어린이 전용 시트, 어린이용 3점식 안전벨트, 어라운드뷰가 일원적 품질요소로 결정되었으며 그 외 장치는 매력적 품질요소로 분류

항목							
a. 어린이 전용 시트		✓					
b. 어린이용 3점식 안전벨트		✓					
c. VMS	✓						
d. Line Lamp	✓						
e. Road Projection	✓						
	✓						
		✓					
	✓						

✓ : 품질 요소별 최빈값

STEP.4 우선순위 도출

Timko 고객만족계수

우선순위 도출

- 고객의 만족 정도가 어느 정도 올라갈 수 있고, 제품의 상태가 불만족 되었을 때 어디까지 떨어질 수 있는지를 파악한 계수
- 만족계수는 양(+)의 값으로, 불만족 계수는 음(−)의 값으로 정의하고, 만족계수의 범위는 '0~1', 불만족 계수의 범위는 '−1~0'
- 만족계수와 불만족계수의 평균인 ASC는 품질의 중요도 값으로 사용되며, 1에 가까울수록 고객의 만족에 미치는 영향이 큼

만족계수

$$SI_i = \frac{(A+O)}{(A+O+M+I)} \quad (0 \le SI_i \le 1)$$

불만족계수

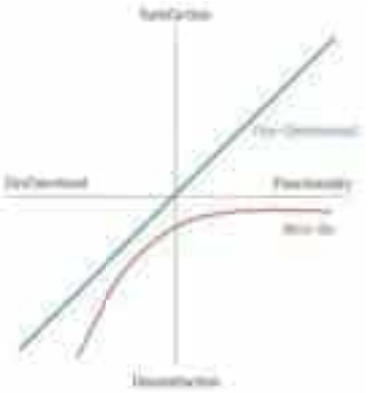
$$DI_i = -\frac{(M+O)}{(A+O+M+I)} \quad (-1 \le DI_i \le 0)$$

평균 만족계수

$$ASC_i = \frac{(|SI_i| + |DI_i|)}{2} \quad (0 \le ASC_i \le 1)$$

만족계수 영향요인

불만족계수 영향요인



주) A–매력적 품질, M–당연적 품질, O–일원적 품질, I–무관심 품질, R–역 품질, Q–회의적 품질,

a

b

c

d

e

f

g

h

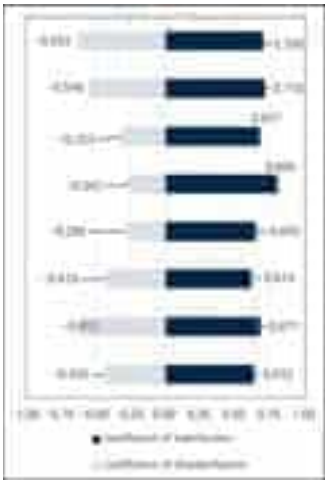
IV KANO 모델을 활용한 안전 장치 우선순위 도출

STEP.4 Timko 고객만족계수 | 분석결과

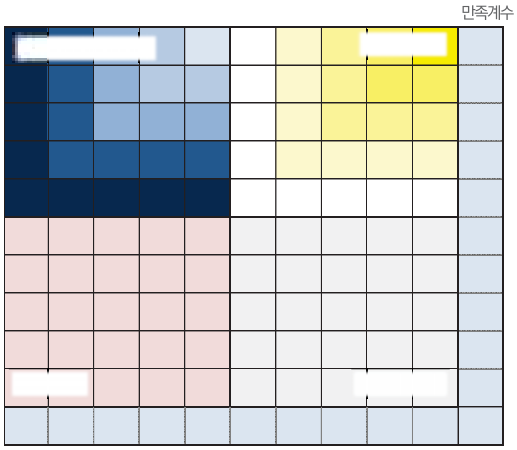
분석 결과

우선순위 도출

- Timko의 고객만족계수를 적용하여 차량 안전 장치 우선순위 도출
- 중요도가 높다고 판단된 상위 3개의 안전 장치는 어린이 전용 좌석, 어라운드뷰, 어린이용 3점식 안전벨트인 것으로 나타남
- 차량 좌석에 관한 안전 장치의 우선 도입이 필요하다고 판단



점검 항목	KANO 모델	TIMKO coefficient 만족 계수	TIMKO coefficient 불만족 계수	ASC	ASC ranking
a. 어린이 전용 시트	일원	0.70	−0.63	0.67	1
b. 어린이용 3점식 안전띠	일원	0.71	−0.55	0.63	3
c. VMS	매력	0.68	−0.32	0.50	7
d. Line Lamp	매력	0.80	−0.27	0.53	4
e. Road Projection	매력	0.65	−0.29	0.47	8
f. Rub 레일	매력	0.61	−0.42	0.52	6
g. 어라운드뷰	일원	0.68	−0.61	0.65	2
h. 승하차 알림장치 (통학버스플랫폼)	매력	0.63	−0.43	0.53	4



V 결론

연구 결론

결론 1. 사용자(어린이) 대상 탑승 체험을 통한 만족도 조사

- ✓ 안전성 보강 기술 적용 통학버스 실제 만족도 및 의견 조사 결과, 전반적으로 만족도는 모두 높았으나 안전성의 만족도에 비해 편리성의 만족도가 상대적 낮게 분석
- ✓ 이는 어린이 전용 좌석 및 어린이용 3점식 안전벨트는 안전하다 응답하였으나, 좌석의 규격 및 레그룸의 간격은 좁다는 설문 결과 때문인 것으로 판단
- ✓ 고학년의 신체를 고려한 좌석, 3점식 안전벨트에 대한 올바른 교육 필요, 승하차 알림 장치의 하차확인장치 대체 가능성 등을 확인

결론 2. 통학버스 관계자 대상 KANO모델 분석

- ✓ KANO 모델 분석 결과, 어린이 전용 좌석, 어린이용 3점식 안전벨트, 어라운드뷰가 일원적 품질요소로 결정되었으며 그 외 장치는 매력적 품질요소로 분류
- ✓ 어린이 전용 좌석, 어라운드뷰, 어린이용 3점식 안전벨트의 중요도 순위 상위권 분포 – 차량 좌석에 관한 안전 장치의 우선 도입이 필요한 것으로 판단

기대효과

- ✓ 본 연구 결과는 향후 어린이 통학버스의 안전성을 향상시키기 위한 단위 기술 상용화 자료에 기여할 것으로 기대

도심부 교통안전 취약지점 식별을 위한 최적의 네트워크 스크리닝 방법 연구

Applying an optimal network screening method for identifying traffic risk hotspots in urban areas

성예지, 박준영, 최새로나

(한양대학교 교통물류공학과 석사과정, 한양대학교 스마트시티공학과 부교수,
한국교통안전공단 모빌리티플랫폼처 차장)

Key Words : 도심부, 교통안전, 교통안전취약지점 식별, Network Screening

목 차

Ⅰ. 서론
1. 연구의 배경 및 목적
Ⅱ. 기존문헌고찰
1. Network Screening 연구
Ⅲ. 분석개요
1. 분석 데이터
2.. 분석 방법론
3. 분석 평가지표

Ⅰ. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

도심 지역은 높은 인구 밀도와 복잡한 교통 흐름으로 인해 교통사고 발생 위험이 높다. 한국도로교통공단 교통사고분석시스템에 따르면, 일반국도와 고속국도를 제외한 시도, 군도, 지방도, 특별광역시도에서 발생하는 사고는 전체 사고의 약 80%에 달한다. 또한 교차로 내 사고는 전체 발생 사고의 약 50%를 차지하고 있다. 이에 따라 도심부 내 교통안전의 중요성은 더욱 커지고 있는 상황이다.

또한 도심부에서는 특히 보행자와 자전거 이용자, 어린이, 노약자 등 교통 약자가 도로를 많이 이용하는 경향이 있다. 이러한 교통 약자는 사고 발생 시 신체적으로 더 큰 피해를 입을 가능성이 높으며, 교통사고에 더욱 취약하다. 이에 따라 도심부 교통사고를 줄이기 위해서는 체계적이고 지속적인 정책과 모니터링이 필요하고 즉, 교통사고 취약구간을 식별하여 관리하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 도심부 내 교통 데이터를 활용하여 동적 프로그래밍(DP)을 기반으로 한 동적 프로그래밍 기반 핫스팟 식별법을 활용하고자 하며, 기존 스크리닝 방법인 슬라이딩 윈도우(SW) 및 CRP와 성능을 비교하고자 한다.

Ⅱ. 기존문헌고찰

1. Network Screening 연구

HSM(AASHTO, 2010)에서의 Network Screening은 안전대책을 시행했을 때 사고건수의 감소에 대한 기대효과가 가장 높은 곳부터 낮은 곳까지 산출하고, 순위를 매기기 위해 도로 네트워크를 검토하는 절차라고 정의하고 있다. 여기서 식별되는 사고위험지점(구간)은 'Hotspot', 'Black Spot', '사고취약지점(구간)' 등으로 주로 정의된다. Network Screening에 관한 연구는 다수 이루어졌는데, 가장 기본적이며 많이 쓰는 방법은 Sliding window 이다. 이상조&이진걸(2012)은 실제 차량의 속도분석을 통해서 새로운 Sliding window length를 도출하였으며, 대물피해환산법인 EPDO를 활용하여 다양한 사고유형에 대한 심각도를 구하고 그에 따라 사고의 우선순위를 정했다. 손승오(2023)는 도시부 교차로를 대상으로 사고심각도 가중치 평가지표를 개발하여 network screeening 기법을 활용해 국내 사고위험지점을 식별하고 일관성 검증을 수행하였다. 또한 Montella(2010)는 hotspot identification (HSID) 방법을 평가하기 위하여 일반적으로 적용되는 7가지 HSID 방법(사고 빈도(CF), EPDO, 사고율(CR), proportion method(P), 총 사고 빈도(EB)의 경험적 베이즈 추정치, 심각한 사고 빈도(EB)의 경험적 베이즈 추정치, 개선가능성(PFI))을 구간 일관성 테스트, 방법 일관성 테스

트, 총 순위 차이 테스트 및 총 점수 테스트를 사용하여 비교하였다.

III. 분석개요

1. 분석 데이터

본 연구에서는 도심부 내 발생한 교통사고(2020년~2022년) 데이터와 개별차량운행기록데이터(DTG), 도로 기하구조 데이터를 수집하고 가공하여 분석에 활용한다. 특히나 개별차량운행기록 데이터와 교통사고 데이터는 좌표를 기반으로 분석 대상 도로만 추출하여 사용한다. 분석 대상 도로는 전국 17개 지자체 중 대표 지역을 산출하고, 해당 지역들이 공정하게 비교될 수 있는 도로들을 산출하여 진행한다. 도로들을 선정하는 기준은 차로수, 보도 설치 유무, 제한속도 등 만족 조건을 설정하여 선정한다.

2. 분석 방법론

Network Screening 연구에는 다양한 기법이 존재한다. 우선 가장 단순한 방법으로 교통사고건수에 의한 검지 방법(사고율, EPDO 활용)이 있고, 사고 집중 구간 검지 방법으로 알려진 방법론 중 대표적인 3가지는 다음과 같다. 먼저 Sliding window 기법은 고정된 단위길이의 window가 도로구간을 정해진 이동길이만큼 움직이며 각 고정된 단위길이 만큼의 평가지표를 산출하는 방법이다. 이 방법은 window 크기만큼 대푯값을 산출할 수 있지만 중첩되는 구간이 있고 구간 전체를 지표 하나로 설명하는 것이 부족하다는 한계가 있다. 두 번째로는 CRP(Continuous Risk Profile) 방법은 도로의 각 지점, 구간에 내재된 사고위험도를 기준 구간마다 단위거리당 사고밀도 값으로 산출하여 그래프로 도시하는 방법이다. 일정한 크기의 window를 조금씩 이동하면서 구간 내부 측정값을 구해 그래프를 도시하며, CRP값으로 식별되는 사고집중구간 전후의 상관관계를 고려할 수 있다. 마지막은 동적 프로그래밍 기반 스크리닝 방법이다. DSL이란 동적 프로그래밍(DP)을 기반으로 하는 핫스팟 식별 방법이며 동적 프로그래밍 기반의 핫스팟 식별 알고리즘을 제안하기 위해서는 핫스팟 선택에 대한 중요한 목표를 정의할 필요가 있다. 본 연구에서 제안하는 핫스팟 식별 접근법의 목표는 핫스팟 기준별 최소 사고 수를 기준으로 최종적으로 선택되는 핫스팟에 포함되는 총 사고 수를 최대화하는 것으로 정의한다. 동적 프로그래밍 접근 방식은 전체 도로 네트워크에서 핫스팟을 최적으로 식별하는 작업을 사고 I가 핫스팟의 종점을 형성해야 하는지 여부를 식별하는 더 작은 하위 문제로 세분화한다.

3. 분석 평가지표

본 연구에서는 경험적 베이지안(EB) 추정치를 사용하여 제안된 DSL 방법의 성능을 최적의 목적 값(가장 높은 위험에 처한 구간을 감지하는 성능) 측면에서 다른 기존 스크리닝 방법인 슬라이딩 윈도우(SW) 및 연속 위험 프로필(CRP)과 비교하고자 한다. 또한 추가적으로 사이트 일관성 테스트(Site Consistency Test)를 통하여 특정 기간 동안 식별된 사고다발구간이 다음 기간에도 얼마나 일관되게 식별되는지를 평가할 수 있으며, 방법 일관성 테스트(Method Consistency Test)를 통하여 다른 기간에 식별된 사고다발구간이 얼마나 공간적으로 일관성이 있는지를 평가할 수 있다.

참고문헌

1. Montella, A. (2010). A comparative analysis of hot spot identification methods. Accident Analysis & Prevention, 42(2), 571-581.
2. 이상조, & 이진걸. (2012). 단속교통류의 사고 잦은 구간 길이 선정방안 및 개선대안 우선순위 설정방안 연구-Sliding Window 기법을 활용하여. 교통안전연구, 31, 187-206.
3. Medury, A., & Grembek, O. (2016). Dynamic programming-based hot spot identification approach for pedestrian crashes. Accident Analysis & Prevention, 93, 198-206.
4. 손승오, 박준영. (2018). Network Screening 방법론을 이용한 사고집중구간 검지방법 연구. 대한교통학회 학술대회지
5. Lee, J., Chung, K., Papakonstantinou, I., Kang, S., & Kim, D. K. (2020). An optimal network screening method of hotspot identification for highway crashes with dynamic site length. Accident Analysis & Prevention, 135, 105358.
6. 손승오, (2023) 교통 빅데이터를 활용한 도로 네트워크 안전성 평가기법 개발, 한양대학교 박사학위논문

주행 시뮬레이션 기반 도로안전성 평가를 위한 평가지표 통합체계 개발

한양대학교 교통물류공학과 박사후과정 정아람
한양대학교 교통물류공학과 교수 오 철

HYU ERICA
TRANSPORTATION SAFETY AND INFORMATION LAB.

한양대학교 ERICA

연구 개요

개별 및 통합된 평가지표에 따른 의사결정 과정

- 개별 평가지표를 이용하여 각 평가항목에 따른 안전성 평가가 가능하나, 평가지표마다 가장 안전성이 낮은 구간의 특성이 서로 다른 구간으로 도출되어 교통 운영·관리자들은 종합적인 의사결정에 한계가 존재함
- 교통관리자는 모든 평가항목이 종합적으로 고려된 안전성 평가가 필요함

구분	평가지표 예시	평가항목
주행행태 평가지표	속도 표준편차	종방향 안전성
	횡방향 가속도	횡방향 안전성
	차간거리	차량간 상호작용에 따른 안전성

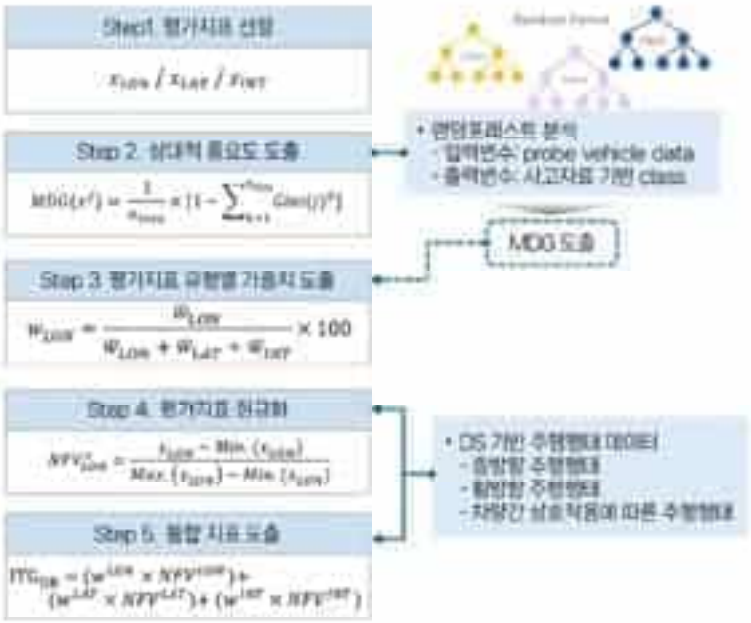
→ 위험구간 분포위험 IC
→ 위험구간 급속차로
→ 위험구간 평면선형 (R<1,500m)

평가지표별로 위험구간이 모두 상이함
→ 위험구간의 우선순위 선정 한계

- 평가지표를 통합함으로써 모든 평가항목이 종합적으로 고려된 단일의 평가지표를 산출하고 단일의 위험구간이 도출되어 효율적인 의사결정을 지원함

연구 개요

평가지표 통합 절차



평가지표 통합 프레임워크 개발

평가지표 상대적 가중치 도출을 위한 분석 데이터

1. PVD 자료
- 공간적 범위: Connected vehicle 시범사업 구간 중 경부선과 수도권제1순환선
- 시간적 범위: 2020년 10월 (한달간)

2. 사고자료
- 공간적 범위: PVD 자료와 동일
- 구간별 수집 건수: 경부선 308건
  수도권제1순환선 566건
- 시간적 범위: 2017년 6월 – 2022년 5월 (5개년)

연구 개요

평가지표의 상대적 중요도 도출

평가지표 통합 프레임워크 개발

평가지표 상대적 중요도 도출 방법

- 본 연구에서는 주행행태 평가지표의 가중치를 도출하기 위한 방법으로 랜덤포레스트 (Random forest, RF) 기법을 이용함

활용기법 랜덤포레스트

- ◆ 룰렛을 통해 구성된 다수의 트리로부터 분류결과를 취합하여 결론을 얻는 방식의 머신러닝 기법임
- ◆ 서로 다른 트리들이 각각의 의사결정을 내리고, 그 의사결정의 결론을 종합적으로 판단함
- ◆ 본 연구에서는 significant indicators를 대상으로 risk/normal condition을 구분하는 변별력 높은 평가지표를 도출하기 위하여 RF 기법을 적용함

활용기법 랜덤포레스트의 장점*

- ◆ 모형의 정확도가 높고 노이즈 (noise)에 강하며, 단일 트리 모델에 비해 과적합이 발생할 가능성이 적음
- ◆ RF 분석에 사용된 평가지표가 예측/분류에 얼마나 기여하는지 중요도를 측정할 수 있음 (MDG)
- ◆ 중요도를 측정하여 불필요한 특성을 제거하면서 효율적인 모델을 생성할 수 있음
- ◆ 데이터의 일부가 부족하거나 데이터 분포가 불균형한 경우에도 데이터 변동에 민감하지 않아, 안정적으로 사용 가능함

* Breiman, L. (2001). Random Forests. Machine Learning 45, 5-32.

평가지표 통합 프레임워크 개발

평가지표 상대적 중요도 도출 방법

- RF 분석을 위한 입력변수는 probe vehicle data를, 출력변수는 사고자료를 사용함
  - 입력변수: PVD 데이터 기반의 종방향 주행행태 평가지표
  - 출력변수: 사고자료 기반의 사고위험도 2classes
    (0: normal condition, 1: risk condition)

* Risk condition: 분석구간 내 평균 사고건수(1.2.4건) 이상인 경우

- RF 분석 결과로 도출되는 MDG를 이용하여 평가지표 가중치를 도출함

도출 지표 MDG의 의미

❖ MDG (Mean decrease gini)는 0에서 100사이의 값으로 산출함

❖ 0에 가까울수록 해당 변수가 분류에 전혀 사용되지 않고,
100에 가까울수록 해당 변수가 관측치를 완벽하게 분류하였음을 의미함

$$MDG(x^j) = \frac{1}{n_{tree}} \times \left(1 - \sum_{k=1}^{n_{tree}} Gini(j)^k\right)$$

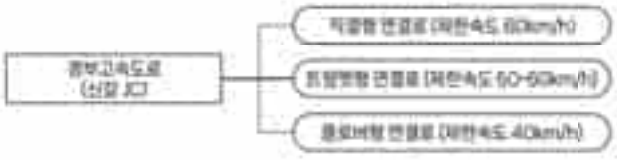
n_{tree}: 변수 x^j 기반의 트리 노드 수

$Gini(j)^k$: 변수 x^j 의 지니 계수

자료 수집 대상 구간

DS 기반 주행행태 자료수집 구간

- 신갈JC에서의 다양한 유형의 연결로들을 분석대상 구간으로 선정함



실험 개요

❖ 실험 일시:
2023년 6월 20일 ~ 7월 10일 (평일 기준 15일)

❖ 실험 장소:
한국도로공사 도로교통연구원 도로주행 시뮬레이션 센터 실험실

❖ 운전자 인원:
30명 모집 (비고령 운전자 25명, 고령 운전자 5명)

평가지표 통합 절차 수행 예시

평가지표 항목간 통합 수행 예시

01 평가지표 선정

◆ 입력 변수

- PVD 데이터 기반의 종방향 주행행태 평가지표

◆ 출력 변수

- 사고차량 기반의 사고위험도 2 classes
  (0: normal condition, 1: risk condition*)

출력변수	0: normal condition, 1: risk condition
입력변수	종방향 (n=7)
	속도 표준편차
	가속도 표준편차
	Jerk 표준편차
	Peak to peak jerk
	속도 기반 volatility
	가속도 기반 volatility
	Jerk 기반 volatility

02 상대적 중요도 (MDG) 도출

◆ 평가지표 항목별 MDG 도출

- MDG는 모든 평가지표 항목을 고려하였을 때 위험/비위험 상황을 변별력있게 구분하는 영향력을 의미

종방향 (7개)	항목별 MDG (MDG_{Lon})
속도 기반 volatility	98.13
가속도 표준편차	80.38
가속도 기반 volatility	78.45
Peak to peak jerk	74.70
속도 표준편차	72.04
Jerk 기반 volatility	66.84
Jerk 표준편차	65.29

03 평가지표 항목별 가중치 (w^*) 도출

◆ MDG 합계와 평가지표 값의 MDG에 대한 비율로 산출

◆ 가중치 산출식 • 가중치 총합은 100

$$w^*_{Lon} = \frac{MDG^*_{Lon}}{\sum MDG^*_{Lon}} \times 100$$

$$= \frac{98.13}{(98.13 + 80.38 + \cdots + 65.29)} \times 100 = 18$$

종방향 (7개)	항목별 가중치 (w^*_{Lon})
속도 기반 volatility	18.35
가속도 표준편차	15.03
가속도 기반 volatility	14.67
Peak to peak jerk	13.97
속도 표준편차	13.47
Jerk 기반 volatility	12.31
Jerk 표준편차	12.21
총계	100.00

평가지표 통합 절차 수행 예시

평가지표 항목간 통합 수행 예시

04 평가지표 정규화 방법 및 결과

◆ 정규화 수식

$$NFV^*_{Lon} = \frac{x_{Lon} - Min.(x_{Lon})}{Max.(x_{Lon}) - Min.(x_{Lon})}$$

종방향 (7개)	정규화 값 (NFV^*_{Lon})
속도 기반 volatility	0.16
가속도 표준편차	0.41
가속도 기반 volatility	0.42
Peak to peak jerk	0.30
속도 표준편차	0.90
Jerk 기반 volatility	0.71
Jerk 표준편차	0.22

05 평가지표 항목간 통합 지표 (ITG) 도출

◆ 종방향 안전성을 나타내는 모든 평가지표로부터 가중치와 평가지표 정규화 값을 곱한 값을 합산

◆ 합산 값에 대한 평가지표 개수의 비율을 이용하여 통합지표를 도출

▸ 통합 지표 산출식 $ITG_{Lon} = \sum(w^*_{Lon} \times NFV^*_{Lon}) \,/\, number\ of\ x$ • $number\ of\ x$: 평가지표 개수

평가지표 유형	평가지표 항목	항목별 가중치 (w^*)	개별 평가지표 정규화 값 (NFV^*)	$w^*_{Lon} \times NFV^*_{Lon}$	$w^*_{Lon} \times NFV^*_{Lon}$ 의 합계	평가지표 항목간 통합 지표 (ITG_{Lon})
종방향 (7개)	속도 기반 volatility	18.35	0.16	2.94	43.00	6.14
	가속도 표준편차	15.03	0.41	6.16		
	가속도 기반 volatility	14.67	0.42	6.16		
	Peak to peak jerk	13.97	0.30	4.19		
	속도 표준편차	13.47	0.90	12.12		
	Jerk 기반 volatility	12.31	0.71	8.74		
	Jerk 표준편차	12.21	0.22	2.69		
총계		100.00	3.12	43.00	-	-

Lesson

- 통합 평가지표에 따른 안전성 평가 결과

  트럼펫 연결로에 대하여 종·횡방향 및 차량간 상호작용 안전성 종 종방향 안전성이 가장 낮음

  종·횡방향 및 차량간 상호작용 안전성을 고려하였을 때 연결로 유형 중 트럼펫형 연결로의 안전성이 가장 낮음

- 주행실험을 통해 수집 가능한 데이터 기반의 지표들은 값의 범위 및 단위가 모두 다르기 때문에 이들을 단일의 평가지표로 나타낼 수 있는 평가지표 통합 프레임워크를 개발함

- 통합 평가지표를 이용하여 비교대상 시나리오별로 안전성 개선이 우선되어야 하는 구간 도출이 가능함

한계점

- 본 주행 실험에서는 level of service 를 세부적으로 고려하지 않음

- 분석대상 구간을 인터체인지 유형에 따른 연결로로 한정함

교통계획

Session

B-5

UAM 도입으로 인한 서울시 내 접근성 변화에 따른 서울시 아파트 가격의 변화 예측 〈2025 한국형 도심항공교통 로드맵 실증 노선을 바탕으로〉
김규성, 김민석, 송형근, 조여린, 최성택

도로사업 교통수요예측오차를 고려한 기대교통량 모형 개발
김기민, 박동주

GTX-A 이용 희망자들의 통행시간가치 산정 연구: 동탄, 운정에서의 업무통행을 중심으로
김우경, 정문서, 정진호, 허연수, 최성택

머신 러닝 기법을 활용한 소멸위험지역의 위험요인분석: 충청권을 대상으로
김정연, 이영헌, 도명식

사회경제적 맥락에 따른 통행패턴의 표본 편향 분석: 2021 NHTS와 서울시생활이동데이터 간 비교를 중심으로
김자수, 김의진

다수단 네트워크에서의 경로 단위 속성을 고려한 Recursive Logit 경로선택모형 구축
문세동, 장성훈, 김동규

UAM 도입으로 인한 서울시 내 교통접근성 변화가 서울시 아파트 가격에 미치는 영향

<UAM 운영 모델에 따른 시나리오 분석을 중심으로>

한국ITS학회 2024년도 추계학술대회

한양대학교
김규성, 김민석, 송형근, 조여란, 최성택

한국ITS학회

서론

연구 소개

연구 배경 및 목적

- 한국 정부는 2025년의 '한국형 도심항공교통(K-UAM)' 실증 및 상용화를 목표로 한 로드맵을 발표.
- UAM 도입은 서울 등 주요 대도시에서 교통 접근성을 개선하고, 특히 실증 노선이 선정된 지역의 부동산 시장, 특히 아파트 가격에 긍정적 영향을 미칠 것으로 기대.
- UAM 도입으로 인한 서울 주요 교통 결절지로의 접근성 변화가 아파트 가격에 미치는 영향 분석.
- 교통 결절지 접근성이 개선된다면 서울 아파트 가격에 큰 변동이 예상되며, 이를 기반으로 도시계획적 시사점을 도출.

연구 범위 및 방법

- 실증노선상, 주요 UAM Vertiport가 **서울시** 내에 계획되어 있어 UAM의 광범위한 영향력을 고려하여 연구의 공간적 범위를 서울시전체로 설정
- 수도권에서 가장 보편적인 주택유형인 **아파트**를 대상으로 하며, 아파트는 표준화되어 있어 가격 차이가 상대적으로 적어 접근성 기반의 주택가격 분석에 적합

- 서울시 아파트 단위면적당 평균 실 거래가를 종속변수로 설정하고, 동별 인구중심점으로부터 교통 결절지까지의 접근성을 주요 독립변수로 하는 헤도닉 가격 모형 작성.
- UAM의 수송 능력, UAM Vertiport의 개수에 따른 시나리오 별 아파트 가격을 추정하고, 이를 바탕으로 서울시 아파트 가격의 변화 예측.

UAM 도입으로 인한 서울시 내 접근성 변화에 따른 서울시 아파트 가격 변화 예측

서론

기존 연구 고찰

연구 배경 및 목적

서울시 아파트 가격에 대한 대기질의 영향 - 헤도닉 가격기법을 이용하여 - (최충일, 2002)	UAM 도입에 따른 수도권 도시공간구조 변화 예측 - 수도권의 상대적 주택가격분포를 중심으로 - (이중목, 2021)
헤도닉 가격 모형의 대기 질과 같은 이시적 요인도 주택 가격에 미치는 영향을 구체적으로 분석할 수 있다는 시사점을 제공하지만, 주택 가격에 중요한 영향을 미치는 접근성 요인을 충분히 반영하지 못했다는 한계가 있음.	UAM 도입이 수도권 내 주택가격 차이를 줄여 도시공간구조의 균형 발전에 기여할 수 있는 가능성을 제시하지만, 정책적 로드맵에 기반한 실증적 분석이 부족하며, 핵심 변수인 'UAM을 이용한 3핵심까지의 시간거리'가 소비자의 통행비용과 시간가치를 반영하지 않아 현실성이 결여되어 있는 한계가 있음.

본 연구의 차별성

본 연구는 "2025년 한국형 도심항공교통(K-UAM) 로드맵 실증 노선"을 기반으로 UAM이 도시공간구조에 미치는 잠재적 영향과 실증적 분석을 제공함으로써, 현재와 미래의 도시 발전 방향에 대한 중요한 통찰을 제공한다.
특히, 소비자가 중요시하는 통행비용과 시간을 고려한 일반화비용을 주요 독립 변수로 삼아 현실성 있는
UAM 도입 시나리오별 서울시 아파트 가격 변화를 추정함으로써, 정책 결정 및 도시계획에 실질적 기여를 할 수 있다.

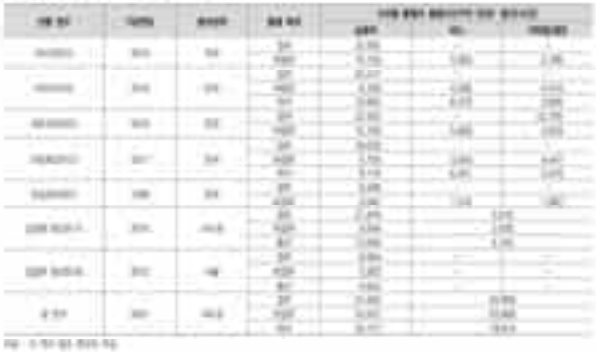
분석 방법 - 일반화비용

데이터 구축

웹 스크래핑

- 웹 스크래핑을 활용하여 프로그램 코드 작성.
- 매 계산마다 스크래핑을 시도할 시 계산이 오래 걸리므로, 서버에서 불러온 정보를 컴퓨터에 저장한 후 이용.
- 교통 정보는 통근 시간인 오후 6시로 설정하여 수집.

통행시간가치



- 일반화비용 = 통행비용 + 시간가치x통행시간
- 시간가치는 <경기도 교통수단 통행시간가치 산정 연구>를 참고하여 적용.
- 각 수단별 여가, 업무, 비업무 별 통행시간가치가 산정되어 있어 평균값 이용.
- 승용차의 경우에는 유지비를 일 단위로 환산하여 일반화비용에 더하였음.
- 도보의 경우에는 <대중교통 통행배정을 위한 일반화비용 추정>에서 제시한 도출법을 활용.

분석 방법 - 일반화비용

일반화비용

통행시간가치 (VOT) :
승용차, 택시 = 26941 버스, 지하철, UAM (대중교통) = 22543
도보 = 17150 로 산정.

- 시나리오 A, B 의 1단계는 모두 기존 UAM 실증노선을 기준으로 위와 같이 <킨텍스-김포공항-여의도-강남-수서> 노선을 채택.
- 현재 UAM 예상 운영 모델을 참조하여 시속 200km, km당 요금 2000원으로 설정하였음.
- 도착지는 접근성과 인구 유동성을 고려하여 서울역, 수서역, 김포공항역 세 개로 지정.

주택별 가중치 = 주택별 총 세대수
+ 주택별 건물 수

- 다음과 같이 가중치를 서울시 아파트에 적용하여 구 별, 동 별 평균중심점 도출. 이후 UAM 노선을 추가할 때 이용함.
- 또한, 사람들은 모두 각 법정동의 평균중심점에서 출발한다고 가정하고 연구 진행.
- TAZ (traffic analysis zone) 개념을 접목하여 수요유발점의 역할을 할 수 있도록 하였음.

1	O	D	TRANS	generalRad	FEE	LT	PreUAM	PostUAM	UAMRoute
2	강남구 역	수서역	SUBWAY	9516.367	1400	37			
3	강남구 역	수서역	UAM_AVP	10017.35	4022.281	17.39134	WALK(0)	SUBWAY(1)	강남구 역
4	강남구 역	수서역	BUS AND	11121.23	1500	31			
5	강남구 역	수서역	UAM_SVP	13247.04	7164.187	17.84443	SUBWAY(1)	WALK(0)	강남역 - 수서역
6	강남구 역	수서역	BUS	19762.72	1500	31			
7	강남구 역	수서역	CAR	20919.62	900	37			
8	강남구 역	수서역	UAM_EVP	21033.06	10479.51	35.15193	SUBWAY(1)	SUBWAY(1)	서초구 - 강남구
9	강남구 역	수서역	TAXI	20513.62	12800	37			
10	강남구 역	수서역	WALK	34880.78	0	7112			

설계한 프로그램을 활용하여 다음과 같이 O-D 별 일반화비용 도출.

UAM 도입으로 인한 서울시 내 접근성 변화에 의한 서울시 지역도 가격 변화 예측

분석 방법 - 일반화비용

일반화비용 계산 결과

시나리오 A

1) svp(기존 노선): 광진구, 동대문구, 성북구에서 UAM이 기존 교통수단보다 합리적인 것으로 나옴.

2) dvp(구 별 중심점에 버티포트 추가): 기존 교통수단보다 합리적인 경우가 존재하지 않았음.

3) avp(동 별 중심점에 버티포트 추가): 6건의 경우에는 기존 노선이 더 합리적인 것으로 분석되었으나, 이를 제외한 대부분의 경우(796건)에는 동 별 중심점에 추가된 노선을 이용하는 것이 최적의 수단인 것으로 분석됨.

최적 UAM(경로)

시나리오 B

1) 기본 (시속 200km, km 당 2000원): A-1과 마찬가지로 세 개 구에서 합리적인 것으로 도출.

2) 시속 260km, km 당 700원: 16개 구에서 합리적인 것으로 도출.

3) 시속 320km, km 당 500원: B-2의 결과에서 7개 구가 추가되어 총 23개 구에서 합리적인 것으로 도출.

최적 UAM(구)

→시나리오 A-2를 제외하고는 점진적으로 UAM의 효과가 확대되는 것으로 나타남.

UAM 도입으로 인한 서울시 내 접근성 변화에 의한 서울시 지역도 가격 변화 예측

분석 방법 – 헤도닉 모형

헤도닉 모형

헤도닉 가격 함수 : 재화의 가격을 그 재화가 지닌 여러 특성들로써 설명하고자 하는 함수 식

$$(1)\ P = f(Z_1, Z_2, \ldots, Z_N) + u$$

종속변수(주택가격) ... 독립변수(주택의 특성)

P : 부동산의 가격

$Z_1, Z_2, \ldots, Z_N$: 주택특성

u : 특성변수들로부터 설명되지 않는 오차항

아파트 가격과 아파트의 특성 간의 관계를 회귀모형으로 표현한 후, 종속변수인 아파트 실 거래가에 자연로그를 취한 역로그 함수를 통한 회귀분석 진행.

$$\ln Y = \alpha + \sum_{i}^{n} \beta_i X_{1i} + \sum_{j}^{n} \gamma_j X_{2j} + \epsilon$$

아파트 가격에 영향을 미치는 독립변수를 단지특성, 입지특성, 사회경제적특성, 교육특성, 지역특성으로 나누고 추가적으로 일반화비용 변수를 설정.

헤도닉 방정식 설정 후 2025년 UAM의 도입으로 인해 3곳의 도착지까지 이동 시 감소하는 일반화비용에 따른 아파트 가격의 변화를 관찰.

시나리오A : UAM 도입 전 (A-0) -> UAM 도입 직후 실증노선 상에만 5개의 버티포트 존재 (A-1) -> 구별 버티포트 존재 (A-2) -> 동별 버티포트 존재 (A-3)

시나리오B : UAM 도입 전 (B-0) -> UAM 도입 직후 가격 2000원/km, 속도 200km/h (B-1) -> UAM 가격 700원/km, 속도 260km/h (B-2) -> UAM 가격 500원/km, 속도 320km/h (B-3)

구분	변수명		단위	
종속변수	아파트 실거래가(㎡당)		만원	실거래가/전용면적
독립변수	단지특성	노후도	년도	준공 후 경과 연수
		층수	층	거래 층수
		브랜드	더미	상위10대 브랜드 1/0
		전용면적	㎡	세대 전용면적
	입지특성	가장 가까운 학교까지의 거리	m	아파트에서의 거리를 GIS를 이용하여 측정
		가장 가까운 공원까지의 거리	m	
		가장 가까운 역까지의 거리	m	
		가장 가까운 쇼핑시설까지의 거리	m	
		가장 가까운 대형병원까지의 거리	m	
	사회경제특성	인구밀도	명	아파트 단지가 포함된 동의 인구수/면적
		고용밀도	명	아파트 단지가 포함된 동의 종사자수/면적
		소득수준	만원	동별 연평균
	교육특성	상위 10위 학교 진학률	%	진학정보공개
		사설학원 수	개	구별 개수
	지역특성	강남3구 + 용산구	더미	4개 자치구 1/0
	수서역까지의 일반화비용		원	이동+시간가치(₩/시간)
	서울역까지의 일반화비용			
	김포공항까지의 일반화비용			

분석 방법 – 헤도닉 모형

2024 기초통계

구분	평균	최대값	최소값	표준편차
아파트 실거래가(만원/㎡)	1300.0	8811.6	218.8	671.1
층	10.1	49.0	-3	6.3
전용면적(㎡)	74.4	300.7	10.8	30.1
학교거리(m)	271.3	2797.0	10.9	182.1
공원거리(m)	344.6	2895.0	18.9	285.7
역거리(m)	549.3	3501.1	13.3	360.3
쇼핑거리(m)	452.6	2717.6	8.1	326.3
병원거리(m)	1060.3	4621.7	44.4	738.9
인구밀도(명)	21869.6	55906.2	472.6	9531.8
고용밀도(명)	9687.6	28798.8	2394.5	6077.2
소득수준(만원)	5541.8	16701.4	3022.4	2167.8
상위학교진학률(%)	0.19	0.37	0.10	0.07
사설 학원 수(개)	714.3	2530.0	108.0	511.2
강남3구	0.32	1	0	-
수서역 일반화비용(원)	18432.2	33358.3	6238.1	4417.8
서울역 일반화비용(원)	14885.1	26889.3	4157.6	3567.7
김포공항역 일반화비용(원)	21864.3	38319.7	5667.3	6043.9

- 아파트 실거래가 – 2023.01.01 ~ 2024.01.01 까지의 실 거래 사례 자료를 통해 구축
- 학교/공원/역/쇼핑/병원거리 – 각 아파트별로 최단거리에 있는 시설까지의 거리 GIS를 통해 측정
- 상위학교 진학률 – 고교 졸업 후 2년 이내 대학 진학한 졸업생 자료 및 진학 인원 자료를 통해 구축
- 서울시 아파트 가격 가장 높은 강남3구 + 용산구의 지역적 특성을 더미변수로 구축

<2025년 변화하는 변수>

- 노후도
- 인구밀도 – 법정동별 인구수 및 인구성장률을 반영하여 구축
- 고용밀도 – 구별 종사자 수 및 인구성장률을 반영하여 구축
- 소득수준 – 법정동별 소득단위 및 이동평균법 적용하여 구축
- 사설학원 수 – 구별 종사자 수 및 이동평균법 적용하여 구축

분석 방법 – 헤도닉 모형

헤도닉 결과

모형		아파트 가격		표준화 계수		
		수	표준화 오류	베타	t	유의확률
1	(상수)	-1.931	.295		-6.556	<.001
	전용면적(m²)	-.001	.000	-.058	-15.423	<.001
	층	.009	.000	.123	33.212	<.001
	건축년도	.005	.000	.123	32.427	<.001
	학교거리	-.190	.004	-.078	-20.812	<.001
	공원거리	-.122	.003	-.106	-28.735	<.001
	역거리	-.067	.005	-.055	-12.702	<.001
	쇼핑거리	.085	.006	.063	14.133	<.001
	병원거리	-.002	.002	-.003	-.857	.391
	인구밀도	-1.102E-6	.000	-.022	-5.411	<.001
	고용밀도	-1.235E-6	.000	-.017	-3.853	<.001
	소득수준	4.182E-5	.000	.243	31.842	<.001
	상위학교진학률	.395	.037	.065	10.830	<.001
	사설학원수	.000	.000	.127	17.794	<.001
	강남3구	.150	.006	.136	19.225	<.001
	수서역	-1.652E-5	.000	-.243	-35.172	<.001
	서울역	-2.814E-5	.000	-.254	-45.286	<.001
	김포공항역	-4.894E-7	.000	-.007	-1.221	.222

a. 종속변수: 종속이

수서역, 서울역, 김포공항역까지의 일반화비용은 아파트 가격과 음의 상관관계.
-> Api를 통해 도출된 2025년 UAM 도입 이후의 일반화 비용 감소를 바탕으로 아파트 가격의 하락 예상.

건축 년도, 소득 수준은 아파트 가격과 양의 상관관계
인구 밀도, 고용 밀도는 아파트 가격과 음의 상관관계
-> 2024년 현재에서 2025년 시점 변화 반영 시 변수들의 변화에 의해 아파트 가격에 영향을 미칠 것 .

이항 회귀

모형	수	수직교	수정된 수직교	추정값의 표준 오류
1	.143[a]	.351	.351	[illegible]

a. 예측자: (상수), 서울역, 층, 공원거리, 학교거리, 전용면적(m²), 수서역, 건축년도, 인구밀도, 역거리, 고용밀도, 상위학교진학률, 쇼핑거리, 강남3구, 사설학원수, 소득수준

ANOVA[a]

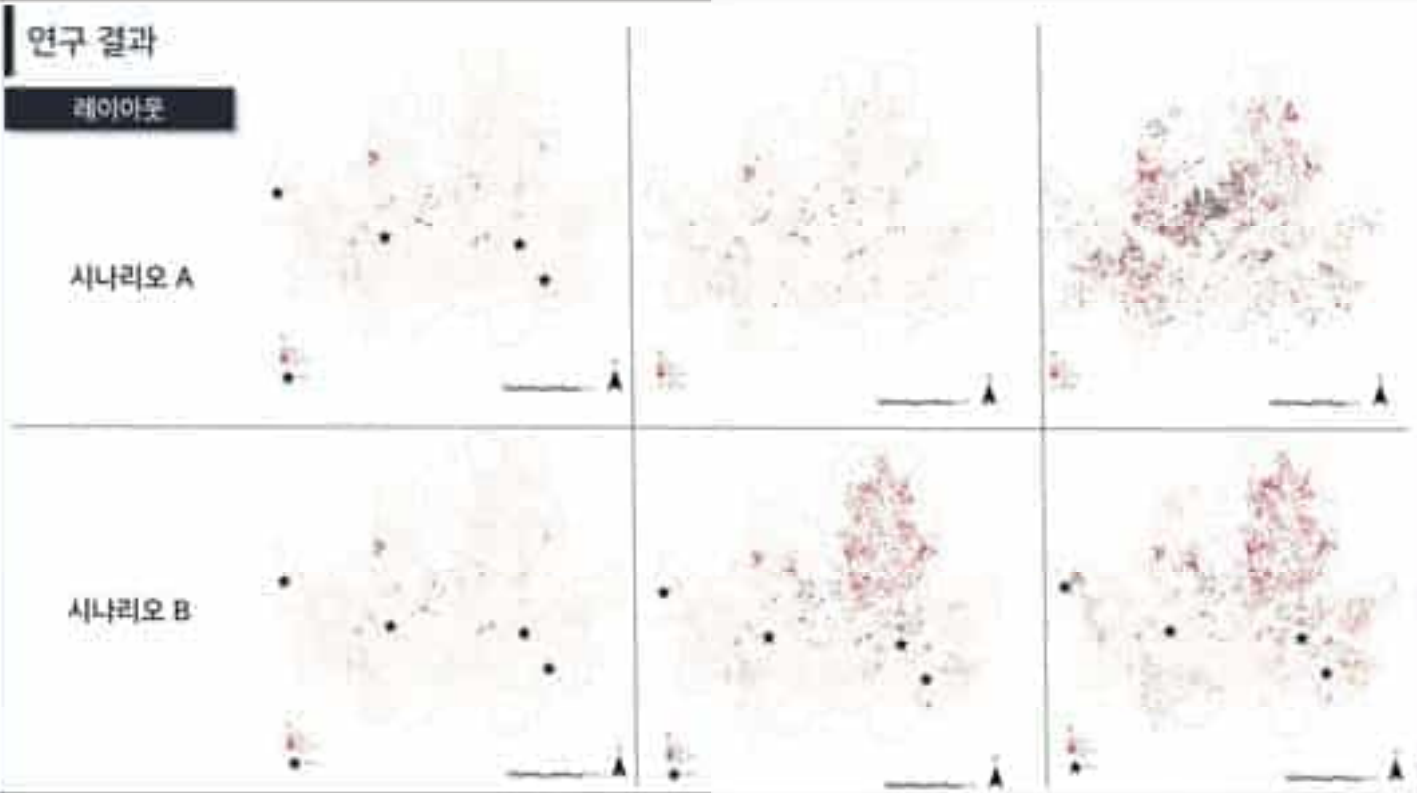
모형		직교값	자유도	평균직교	t	유의확률
1	회귀	[illegible]	15	[illegible]	[illegible]	<.001[b]
	건축	[illegible]	[illegible]	[illegible]		
	전체	[illegible]	[illegible]			

Ln 아파트 가격 = -0.001 전용면적 + 0.008 층수 - 0.005건축 년도-0.19학교거리 - 0.122공원거리 -0.067역 거리 - 0.085쇼핑거리 - 0.002병원거리 - 1.102E-6인구밀도 - 1.235E-6고용밀도 + 4.182E-5소득수준 - 0.395상위학교진학률 + 0.15 강남3구 -1.652E-5수서역 - 2.814E-5서울역 - 4.894E-7 - 1.931

UAM 도입으로 인한 서울시 내 접근성 변화에 의한 서울시 아파트 가격 변화 예측

연구 결과

레이아웃



UAM 도입으로 인한 서울시 내 접근성 변화에 의한 서울시 아파트 가격 변화 예측

연구 결과

통계

시나리오 A

전체통계 (단위: %)	평균 변화	분산	표준편차	최댓값	아파트 총 개수	변화한 아파트 개수	아파트개수 변화율
시나리오A1	0.1481532	2.277746	1.5092203	23.774105	35408	1790	5.055354722
시나리오A2	0.1481532	2.277746	1.5092203	23.774105	35408	1790	5.055354722
시나리오A3	2.0156129	15.373416	3.9208949	25.184781	35408	18596	52.5192047

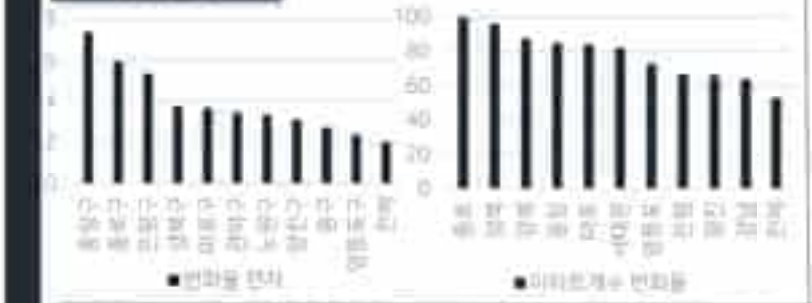
시나리오 B

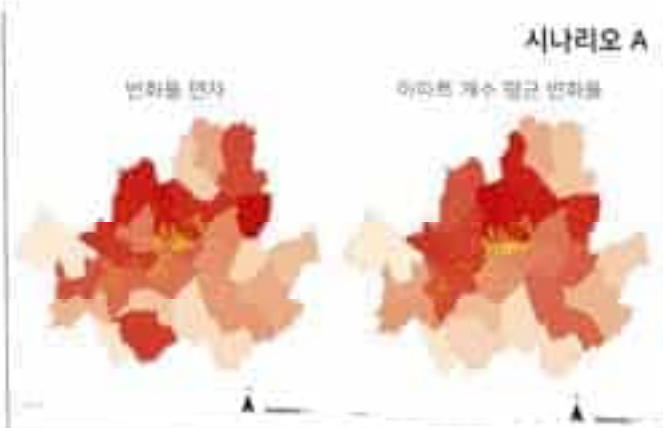
전체통계 (단위: %)	평균	분산	표준편차	최댓값	아파트 개수	변화된 아파트개수	아파트개수 변화율
시나리오B1	0.148152781	2.277741726	1.509218913	23.7735166	35408	2006	5.665386
시나리오B2	1.524092507	6.15659247	2.481248168	23.7735166	35408	16326	46.10822
시나리오B3	2.1638155	7.830319654	2.798270833	23.7735166	35408	23205	65.53604

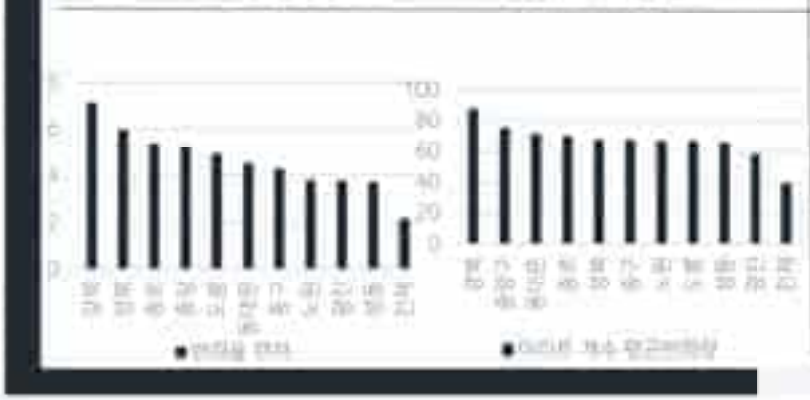
UAM 도입으로 인한 서울시내 접근성 변화에 따른 서울시 아파트 가격 변화 예측

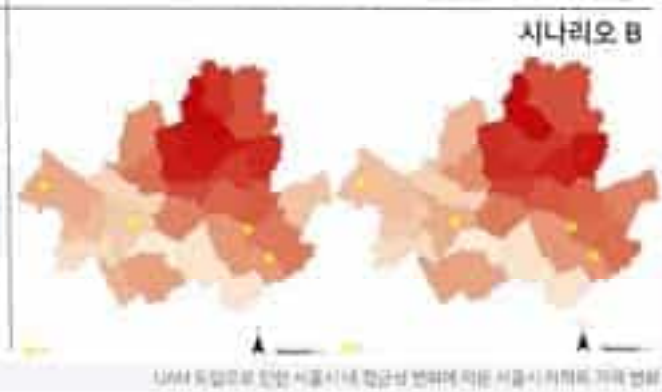
연구 결과

결과 통계









UAM 도입으로 인한 서울시내 접근성 변화에 따른 서울시 아파트 가격 변화 예측

결론 및 시사점

시나리오 A: UAM 도입 전(A-0) -> UAM 도입 직후 설정노선 상에만 5개의 버티포트 존재(A-1) -> 구별 버티포트 존재(A-2) -> 동별 버티포트 존재(A-3)
시나리오 B: UAM 도입 전(B-0) -> UAM 도입 직후 가격 2000원/km, 속도200km/h(B-1) -> UAM 가격 700원/km, 속도260km/h (B-2) -> UAM 가격 500원/km, 속도 320km/h (B-3).

시나리오 A: A1, A2에서는 도입 전과 비교하였을 때 높은 아파트 가격의 변화량을 보여주지 않았지만 **A3에서는 중랑구, 종로구를 중심으로 50% 가량 아파트의 가격이 상승**한 것을 관찰하였음.
시나리오 B: 가격이 낮아지고 속력이 올라갈수록 점증적으로 아파트 가격이 상승함을 관찰하였다(B2:46%, B3:65% 가량의 아파트 가격 상승). 특히 **결절지로의 교통 인프라가 부족하고 접근성이 낮은 강북, 상북 지역을 중심으로 높은 아파트 가격의 상승률을 관찰**하였음.

√ UAM의 도입 직후의 교통 접근성 변화로는 아파트 가격의 높은 상승률을 기대하기는 힘들 것으로 판단.
√ 버티포트의 개수 증가와 이를에 가격과 속도가 수요자의 효용에 부합할지가 UAM이 향후 주택 가격에 영향을 미치는가에 중요 요건.
√ 버티포트의 밀집도가 높은 지역, 비교적 교통 결절지까지의 접근성이 낮은 강북 지역, 그리고 장거리 통행이 이루어지는 지역을 중심으로 아파트 가격의 상승과 지역별 편차 기대됨.

참고문헌

- 이종욱, 이재홍, 홍성조. (2021). 도시형 공중 모빌리티 (UAM: Urban Air Mobility) 도입에 따른 수도권 도시공간구조 변화 예측 - 수도권의 상대적 주택가격분포를 중심으로 -. 대한건축학회논문집, 37(6), 149-160.

- 최종일, 심성훈. (2002). 서울시 아파트 가격에 대한 대기질의 영향 - 헤도닉 가격기법을 이용하여 -. 자원·환경경제연구, 11(2), 261-278.

- 경기연구원. (2023). 경기도 교통수단 통행시간가치 산정 연구.

- 손상훈, 최기주, 유정훈. (2007). 대중교통 통행배정을 위한 일반화비용 추정. 대한교통학회지, 25(2), 121-132.

UAM 도입으로 인한 서울시내 접근성 변화에 따른 서울시 아파트 가격 변화 예측

계량경제방법을 적용한 교통량 예측결과 모형 개발 연구

2024. 4.

발표자 : 김기민, 박동주

(서울시립대학교 교통공학과)

목차

1. 연구개요
2. 기존문헌 검토
3. 분석 활용자료
4. 분석방법론
5. 분석결과(안)
6. 종합결론 및 향후연구

1.1. 연구의 배경 및 목적

3

연구배경

□ 도시개발과 교통계획 수립을 위해 장래 교통량 추정은 필수적임

- 한국은 교통체계효율화법에 의거, 1999년부터 KTDB를 활용하여 예비타당성조사를 수행함
- 교통사업 시행여부를 결정하기 위해 경제성 분석이 수행되며, 이 때 경제성은 추정된 교통수요에 의해 결정
  - ✓ 도로 및 철도사업에 있어서 교통수요 추정결과가 핵심요인 (PPIAF, toolkit for public-private partnership in roads&highway, p.18, Hoque et al(2021))

교통수요 추정의 실패사례

'24년 2월 용인 경전철 환불	용인경전철 사업을 추진한 당시 시장과 수요예측기관인 한국교통연구원에 214억원 손해배상을 청구하는 법원판결(서울고등법원, 2024)
'17년 5월 26일 의정부경전철 파산	의정부경전철 사업은 파산으로 인해 의정부에서 부담해야 할 금액은 운영적자만 약 4천억원(서울회생법원 파산 21부, 2017)
한국의 지방 공항 적자	김해공항과 제주공항 이외 13개 지방공항 적자, 양양국제공항은 하루에 1편 비행기 운행('23년 5월부터 운항 중단)
호주의 M7 Clem Jones Tunnel (CLEM7) 소송	1억 2,100만 호주달러(약 1천억원)에 합의(투자자들 승소, 2016) (Piverdy action August, settlement notice, 2018)
김포골드라인	김포골드라인 예산절감을 위하여 4량을 2량으로 변경, 평균혼잡도 241%

1.2. 연구의 필요성

4

□ 기존연구의 추정결과 평가방법 개선 필요성 등 존재

- 기존에는 종합적인 수요추정 결과가 평가되지 않았고 유료도로 위주로 연구되었으며, 사업구간에 국한하여 검토됨

[표 1] 선행연구 검토결과 및 본 연구의 추진방향

기존 연구의 한계점	연구의 필요성	본 연구 추진방향
장래 교통수요추정 결과에 대한 종합적인 분석 부재	국내 교통사업에 대한 정확성 평가 수행 필요 → 기존 연구에서 적용한 방법 이외의 계량경제학 기반 평가기법 적용 필요	단순히 예측치와 실측치의 차이를 검토하는 수준에 머무르지 않고, 수요추정 결과에 대한 종합적 평가기법 도입 (Odeck and Welde의 연구방법론 차용)
교통수요 추정결과 비교 시 사업노선만 비교	유료도로 위주의 연구 수행으로 사업노선만 검토 → 사업노선 이외 구간에 대한 수요추정결과를 활용하여 사업의 경제성 분석 및 추진여부 결정	예비타당성조사 및 타당성조사 등 사업의 추진 여부를 결정하는 단계에서 경제성 분석에 활용되는 구간 전체 검토
기준연도 정산결과에 대한 검토 부재	기준연도 정산결과와 장래 수요추정 결과 간의 관계에 대한 규명 필요 → 교통수요 추정의 첫 단계인 정산의 영향력을 확인 필요	기준연도와 장래연도 통행배정 결과 간의 관계를 확인하여 정산오차의 허용범위 또는 검증 방법에 대한 개선안 제시

1.3. 연구의 흐름

5

2.1. 국내 연구

6

☐ 국내에서는 2007년 연구를 시작으로 도로 및 철도사업을 대상으로 연구가 수행되어 왔음

➢ 도로사업의 추정치와 실측치 차이는 MPE(Mean Percentage Error) 기준 -15% ~ -42%로 과다추정됨

[표 2] 국내 주요연구 요약

연구	기간	검토 대상사업		예측치와 실측치 차이(MPE)		연구내용	시사점
		사업성격	사업개수	평균(%)	표준편차(%)		
KDI (2007)	1970 ~ 2000s	유·무료도로	171	-22.0	53.0	• 국내 도로사업의 평균 수요추정 오차 제시 (-22%로 과다추정) • O/D를 통해 불확실성 실증분석을 수행하여 수요추정 결과의 영향요인 규명 • 수요추정 위험요인 감소방안 제안	• 유료도로/무료도로 구분 • O/D자료로 수요추정의 불확실성 정량화 • 평가지표로 MPE만 제시 • 대부분 2000년 이전에 수행된 사업 분석
KDI (2010)	1996 ~ 2006s	도시철도	11개 노선 22정개 역	26.0	15.0	• 도시철도사업의 수요추정 결과 검토 • 추정치가 실측치 대비 400% 수준으로 과다추정됨을 확인 • 수요추정 오차 발생요인을 감소시키기 위한 정책적 방안 제시	• 수요추정 오차를 모의실험을 통해 분석 • 수요추정시 외부 전제의 체계적 반영 방안 제안
김유찬 (2018)	2000 ~ 2010s	유료도로	18	-35.0	18.0	• 유료도로를 대상으로 백케스팅 기법 도입	• 수요추정 결과의 시나리오를 통합할 수 있는 보정방법 제안
김강수 (2021)	1999 ~ 2012s	도로	155	-41.3(예타전) -14.5(예타후)	3.0(예타전) 8.9(예타후)	• 예비타당성조사 제도 도입 전후 정확성 개선효과 분석(T-검정, 로그회귀식) • Random forest를 이용해 오차발생요인 분석	• 예타제도 도입효과에 대한 연구로 정확성 평가는 PE로 수행 • 정확성에 영향을 미치는 요인을 검토

주 : PE = (추정치 - 실측치) / 추정치, 양수일 경우 과소추정, 음수일 경우 과다추정됨을 의미함

2.2. 국외 연구

7

□ 국외 연구 중 계량경제평가 방법을 도입하여 수요추정결과를 평가함

➢ Odeck and Welde(2017)의 연구에서 계량경제학에 기반하여 평가지표로 추정편의, 추정효율성이 제안됨

➢ Hoque et al(2021)은 교통량 추정결과에 대한 불확실성 모형을 구축함

[표 3 계속] 국외 주요연구 요약

연구	지역	기간	검토 대상사업		예측치와 실측치 차이(PE)		연구내용	시사점
			사업성격	사업개수	평균(%)	표준편차(%)		
Nicolaisen and Naess (2015)	덴마크, 영국	1985~2010s	도로 (미시행)	35	-6.9	12.5	• 도로사업의 미시행시에 시행시 대한별 수요추정 오차 검토 • 도로유형별로 구분하여 접근	• 기존연구와 달리, 사업노선의 미시행된 "미시행시" 대한으로 수요추정 결과 평가 수행
Odeck and Welde (2017)	노르웨이	1975~2013s	유료도로	68	4.0	23.0	• 유료도로의 수요추정 결과를 계량경제학에 기반하여 평가 • 운영수익에 대한 관심이 다소 낮은 사업시행자로 인해 교통수요가 과소 추정된 것으로 추측	• 수요추정결과에 대해서 계량경제평가 방법인 추정편의, 추정효율성으로 통계적 평가 수행
Welde et al(2018)	노르웨이	1970~2013s	교량	23	13.0	26.0	• 노르웨이의 교량을 대상으로 수요예측 오차를 검토 • 교량 특성상 해상교통량의 연속성이 적기 때문으로 언급함	• 분석대상 사업은 수요가 과소추정되었고, 준공후 연도가 지나도 오차가 감소하지 않음을 확인함
Hoque et al(2021)	미국, 유럽	1960~2000s	유·무료 도로	1,291	-	-	• 준거집단 예측법에 착안하여 기존 수요추정 결과를 이용한 불확실성 모형을 추정	• 분위회귀 분석을 통하여 불확실성 추정 모형을 제시하고, 기대교통량을 구간값으로 제안함

주 : PE는 (예측치 - 실측치) / 예측치으로, 양수일 경우 과소추정, 음수일 경우 과다추정임을 의미함

3. 분석대상 및 교통량

8

□ 본 연구에서 활용하고자 하는 자료의 기준연도 및 개통연도의 실측과 예측 교통량은 다음과 같음

➢ 예측자료는 KDI 홈페이지에 공개된 사업별 보고서 자료를, 실측자료는 매년 발간되는 국토교통부의 도로교통량 통계연보를 활용하여 구축(총 65건, 695구간)

[표 7] 추정(예정 및 예측)교통량 및 실측교통량 자료 기술통계

(단위 : 대/일)

구분	기준연도			개통연도		
	예정교통량	실측교통량	오차(실측-추정)	예측교통량	실측교통량	오차(실측-예측)
평균값	30,362	30,672	310	33,894	34,195	301
최댓값	241,465	214,987	-26,478	254,701	256,254	1,493
최솟값	1,539	1,596	57	1,857	1,635	-222
표준편차	38,669	39,178	509	41,885	43,733	1,848
표본수	465	465	0	695	695	0

자료 : 본 연구 수집자료, 각 사업별 예비타당성조사 및 타당성재조사 보고서, 도로교통량 통계연보

04 분석방법론

4. 교통수요 추정결과 평가기법

9

☐ 기존 연구에서 교통수요의 추정결과를 평가함에 있어 사용한 지표는 정확성, 추정편의, 추정효율성임

➢ 정확성은 사업별 실측교통량과 예측교통량의 차이로 산정하며, 추정편의와 효율성은 각각의 귀무가설을 확인

[표 8] 교통수요 추정결과 평가기법의 개념

구분	정확성			추정편의	추정효율성
	PE	MPE	MAPE		
개념	사업 혹은 구간별 실측치와 추정치의 차이	사업별 PE의 평균	사업별 절대PE의 평균	추정치와 실측치 간의 차이가 한 쪽으로 치우쳤는가?	예측치와 실측치 차이가 예측치와 연관되는가? (효율성 1) 전년도 오차와 연관되는가? (효율성 2)
산식	$PE_i = \left(\frac{y_{ai}-y_{fi}}{y_{fi}}\right) \times 100$ • y_{ai} : 구간 i의 실측교통량 • y_{fi} : 구간 i의 추정교통량	$MPE_t = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} PE_i$ • n : 구간 개수 • PE_i : 구간 i의 Percentage Error	$MAPE_t = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \lvert PE_i \rvert$ • n : 구간 개수 • PE_i : 구간 i의 Percentage Error	$y_{ai} = \alpha + \beta y_{fi} + \varepsilon_i$ (충분조건) $e_i = y_{ai} - y_{fi} = \tau + \eta_i$ (필요조건) • α, τ : constant • β : 계수 • e_i : 실측과 예측 교통량 차이 • y_{ai} : 구간 i의 실측교통량 • y_{fi} : 구간 i의 예측교통량 • ε_i, η_i : noise	$e_{i(t)} = \gamma + \delta y_{fi} + \rho_i$ (효율성 1) $e_{i(t)} = \mu + \omega e_{i(t-1)} + \epsilon_i$ (효율성 2) • $e_{i(t)}$: 구간 i의 개통연도의 실측과 예측교통량 차이 • y_{fi} : 구간 i의 예측교통량 • γ, μ : constant • δ, ω : 계수 • $e_{i(t-1)}$: 구간 i의 교통량 추정 전년도(t-1) 실측교통량과 예측교통량 차이 • ρ_i, ϵ_i : noise
귀무가설	-	-	-	• 충분조건 : $\alpha = 0$ and $\beta = 1$ • 필요조건 : $\tau = 0$	• 효율성 1 : $\delta = 0$ • 효율성 2 : $\omega = 0$

자료 : Odeck and Welde(2017)

05 분석결과

5.1. 정확성, 추정편의, 추정연계성 분석결과

10

☐ 본 연구에서 예비타당성조사 수행이후 준공된 도로사업에 대한 수요추정결과를 평가한 결과는 다음과 같음

➢ 정확성 지표인 MAPE 기준 전체구간은 43.2%로 과소추정(MPE 9.8%), 사업구간은 40.5%로 과다추정(MPE -14.3%), 주변구간은 MAPE 43.7%로 과소추정(MPE 14.8%)으로 분석되었으며, 이 중 사업구간만 과다추정된 점은 주목할 사항임

➢ 추정편의 분석결과, 전체구간에 대해서는 추정편의가 존재하지 않으나 사업구간과 주변구간에 대해서는 존재함이 확인됨

➢ 추정연계성 분석결과, 기준연도 정산결과(오차)와 장래교통량의 오차간에 관계가 존재함을 알 수 있음(사업구간 제외)

[표 12] 국내 도로사업 교통량 추정결과의 정확성, 추정편의, 추정연계성 분석결과

구분		MPE	MAPE	추정편의			추정연계성		
전체구간(695건)	평균	9.8%	43.2%	τ	268(대/일)		β_1	0.366	
	최댓값	393.7%	393.7%	t-value	0.339		t-value	2.821	
	최솟값	-92.7%	0.2%						
	표준편차	62.7%	46.5%	p-value	0.735	귀무가설 기각 불가	p-value	0.005**	귀무가설 기각
사업구간(120건)	평균	-14.3%	40.5%	τ	-6,500(대/일)		β_1	-1.007	
	최댓값	179.8%	179.8%	t-value	-3.000		t-value	-1.617	
	최솟값	-92.7%	0.2%						
	표준편차	48.3%	29.7%	p-value	0.003**	귀무가설 기각	p-value	0.112	귀무가설 기각 불가
주변구간(575건)	평균	14.8%	43.7%	τ	2,100(대/일)		β_1	0.426	
	최댓값	393.7%	393.7%	t-value	2.874		t-value	3.234	
	최솟값	-91.5%	0.7%						
	표준편차	64.2%	49.3%	p-value	0.004**	귀무가설 기각	p-value	0.001**	귀무가설 기각

주 : 유의수준 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

5.2. 정확성, 추정편의, 추정연계성 분석결과

11

□ **정확성, 추정편의, 추정효율성을 모두 검토하여야 추정결과에 대한 심도있는 평가가 가능**

➢ 정확성 지표 중 MPE가 가장 낮은 경우, 편의가 존재하지 않는 것을 알 수 있으나 한편으로 MPE가 어느정도 수준이어야 편의가 존재하지 않는지는 가늠하기 어려움

➢ 결국 "교통수요 추정이 잘 되었는가"를 확인하기 위해서는 정확성, 추정편의, 추정연계성을 모두 검토할 필요가 있음

[표 13] 정확성, 추정편의, 추정연계성 분석 결과 종합

구분	정확성 MPE	정확성 MAPE	추정편의	추정연계성	분석결과	시사점
전체구간 (696건)	9.8% (과소추정)	43.2%	편의 미발생	기준연도 오차와 연관	• MPE 낮음 • MAPE 높음 • 편의 미발생	• 오차의 분포가 넓지만, 한쪽으로 치우치지 않음 • 기준연도 정산을 통해 장래교통량 오차 개선 가능
사업구간 (120건)	-14.3% (과다추정)	40.5%	편의 발생	기준연도 오차와 무관	• MPE 낮음 • MAPE는 높음 • 편의 발생	• 사업구간만 과다추정된 원인 추가 검토가 필요
주변구간 (576건)	14.8% (과소추정)	43.7%	편의 발생	기준연도 오차와 연관	• MPE 낮음 • MAPE 높음 • 편의 발생	• 오차의 분포가 넓고 과소추정됨 • 추가적인 검토를 통해 개선점 도출 필요
비고	실측교통량과 예측교통량 간 차이의 평균		예측치의 실측치 간 편차의 평균(μ)이 '0'이라는 가설 검정	기준연도 오차 (실측-모형치)와의 관계 검토	• 정확성 : 과소/과다 추정검토 • 편의 : 평균(μ)=0 검증 • 추정연계성 : 정산오차와 관계	• 장래 수요추정시 사업구간/주변구간의 차이점 검토 필요

6. 종합결론 및 향후 연구

12

□ **국내 도로 사업의 교통량 추정결과에 계량경제 평가 방법 적용 및 개선**

➢ 기존연구의 단순한 평가 방법론 이외, 계량경제 평가 방법 적용

➢ 추정편의, 추정 효율성 모형 개선방안 모색

➢ 기준연도 정산결과와 예측교통량 추정관계를 고려한 추정 연계성 모형 제안

➢ 장래 교통수요추정결과의 종합적인 판단방법 제공

□ **사업노선 외 주변도로에 대한 추정결과 평가**

➢ 사업노선과 주변도로간 장래교통량 추정시 차이점 도출

□ **기준연도 정산결과와 장래교통량 추정결과와의 관계 검토**

➢ 기준연도 정산을 통해서 장래교통량 오차 감소 가능 확인

□ **자료 확대 및 사업노선과 주변구간간의 차이점 규명**

➢ 도로사업이외의 사업유형 확대, 사업노선의 과소 추정사항 연구

[한국 ITS학회 2024년도 추계학술대회]

GTX-A 이용 희망자들의 통행시간가치 산정 연구
: 동탄, 운정에서의 업무통행을 중심으로

A Study on the Value of Travel Time in GTX-A traveler
: Focus on Commuting Behavior in Dongtan, Unjeong

발표자 김우경

저자 김우경(한양대학교 도시공학과)·정진호(한양대학교 행정학과)·정문서(한양대학교 도시공학과)·허연수(한양대학교 도시공학과)·최성택(한양대학교 도시공학과 교수)

목차

01 서론
- 연구의 배경 및 목적
- 선행 연구 검토
- 연구의 차별점 및 연구 흐름도

02 데이터 구축
- 데이터 개요
- 데이터 분석

03 모형 개발 및 통행시간가치 산출
- 관련 이론
- 모형 개발 결과
- 통행시간가치 추정

04 결론
- 결론, 한계, 정책제언 및 향후 연구방향

1.1. 연구의 배경 및 목적

▶ 연구의 배경

- GTX는 수도권 과밀화 현상을 완화하기 위한 방안으로 2009년 계획이 수립되고 GTX-A는 2024년 개통하였음
- GTX는 최고 시속 180km 및 평균 운행 속도는 시속 101km로, 일반 지하철보다 2-3배 빠름
- 기존 통행수단(지하철, 광역버스) 대비 통행요금이 비쌈
- 따라서 GTX의 통행시간과 통행요금에서 오는 Trade-off가 어떠한지에 관한 연구 진행 필요

구분	GTX	광역버스	지하철
기본요금	3,200원	3,000원	1,400원
추가요금	10km 이후 5km 마다 250원	30km 이후 5km 마다 100원	10km 이후 5km 마다 100원

* 성인 교통카드 기준

▶ 연구의 목적

1. GTX를 포함한 교통수단(GTX, 광역버스, 지하철, 승용차) 선택의 영향요인을 규명
2. GTX 이용자들의 통행시간가치를 추정하여 다른 교통수단과의 비교를 수행

1.2. 선행 연구 검토

▶ 국내외 연구

연구분야	국가명	연구자	연구내용
새로운 교통수단	한국	하태준, 박제진, 이상해 (2002)	새로 도입되는 고속철도의 소요 시간과 소요 요금에 따른 기존 수단에서의 수단 전환율을 SP조사를 통해 예측
통행시간가치	미국	Lam, T. C., & Small, K. A. (2001)	시간대별 차등요금제 부과에 따른 이용자의 통행시간가치를 분석
	한국	Han, K et al. (2016)	대중교통 이용자의 메가이벤트 여가통행 시간가치를 SP조사 데이터에 로짓 모형을 적용하여 산정
	덴마크	Rich, J., & Vandet, C. A. (2019)	소득의 증가가 시간가치에 영향을 미치는지 덴마크의 2006-2016년 국가 교통 설문데이터를 이용하여 분석
새로운 교통수단 및 통행시간가치	미국	Zhong, H et al. (2020)	혼합 로짓 모델을 사용 AV 및 SAV에 대한 통근 이동에 대한 시간 가치를 분석한 논문
	스페인	Román, C et al. (2014)	새로운 교통수단인 고속열차의 추가로 마드리드와 바르셀로나 간의 통행시간가치를 RP조사 데이터에 혼합 로짓 모형을 적용하여 산정

01 서론

1.3. 연구의 차별점 및 연구 흐름도

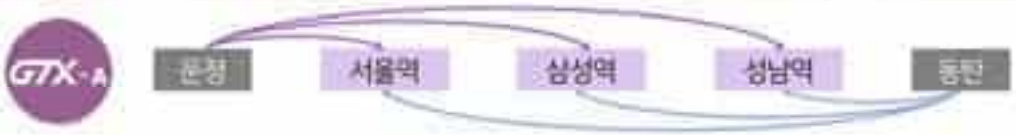
▶ 연구의 차별점

- 기개통한 GTX-A 노선 이용(희망)자 기준 통행시간가치 추정
- GTX-A 노선이 운행하는 특정 지역(동탄, 운정) 대상 통행시간가치 추정

→ 따라서 우리 연구는 타 GTX 노선을 비롯한 신규 교통수단이 다른 통행시간가치를 가짐을 보임

▶ 연구 흐름도

설문조사 설계	설문조사 수행	데이터 구축	결과 분석
동탄, 운정 지역에서 각각 서울역, 삼성역, 성남역으로의 수단별 요금 pair제시	서울시내 업무 중심지의 동탄, 운정행 버스정류장에서 대기하는 인원 대상 설문 조사 (각각 152명씩, 총 304명)	데이터 수집 및 정제 작업	4개의 수단을 포함하는 다항로짓모형 개발 (R 4.4.1.ver)



02 데이터 구축

2.1. 데이터 개요

▶ 설문 조사 범위

구분	내용	비고
시간적 범위	2024년 7~8월	하루 중 퇴근시간대
공간적 범위	동탄신도시, 운정신도시에 거주하는 주민	서울 주요 업무지구 및 교통결절점 (강남, 광화문, 당산, 명동 등)에서 각 신도시행 버스 정류장에서 설문조사 실시
내용적 범위	동탄신도시와 운정신도시에 거주하면서 통근하는 통행자에게 수단별 시간과 요금 pair를 제공	수단: GTX, 지하철, 버스, 승용차

▶ 설문 조사 구성

- 목적지별 소요시간 및 비용을 직교배열표를 활용해 수준 차이를 부여하여 3 pair씩 제공
- 설문지 구성은 수단과 목적지별 소요시간 및 비용, 라이프스타일, 사회경제특성(직업, 소득, 성별, 연령대, 주거형태 등)으로 구성
- 통근통행을 하는 통행자를 대상으로 진행하는 설문조사 특성 상 회수와 통계정리가 용이한 Google Forms 활용

2.1. 데이터 개요

▶ 설문 조사 구성

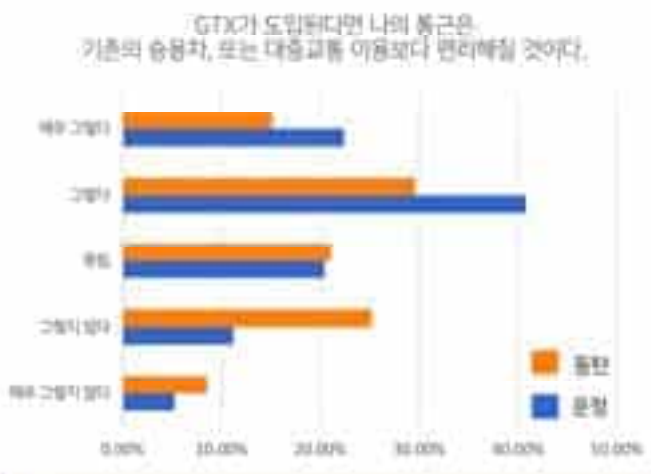
- 설문 조사는 퇴근 시간에 동탄·운정 지역으로의 버스를 이용하고자 하는 시민들을 대상으로 진행
- 인포그래픽 자료를 활용하여 각 수단 선택 시 차내·차외 시간, 총 통행시간과 비용 표현

2.2. 데이터 분석

▶ 설문 조사 결과 - 수단별 선호도

- 설문조사 결과 전체적으로 GTX에 관한 선호도가 높았으나, 동탄 지역보다 운정 지역의 선호도가 높음
- 동탄역 GTX-A 개통 시기가 운정역보다 빠르고 동탄 지역에서 주요 업무 지역으로의 우수한 접근성 때문이라 판단

▶ 설문 조사 결과 - 지역별 기대감



- 설문조사 결과 운정에 비해 동탄의 GTX-A에 관한 기대감이 낮음
- 이는 연계 교통 수단 부족, 배차간격 과다 등의 현실적 문제를 체감했기 때문인 것으로 예상

02 데이터 구축

2.2. 데이터 분석

▶ 응답자 기초통계

구분		빈도	비율(%)
직업	농·어업·수산업	1	0.3
	생산/운수/일반노무자	5	1.6
	자영업	11	3.6
	전문/기술직	92	30.3
	판매/서비스직	20	6.6
	행정/사무/관리직	175	57.6
성별	남성	168	55.3
	여성	136	44.7
연령대	10대	2	0.7
	20대	62	20.4
	30대	113	37.2
	40대	78	25.7
	50대	41	13.5
	60대 이상	8	2.6
가구 전체 월소득	1,000만원 이상	47	15.5
	200~300만원 미만	19	6.3
	200만원 미만	5	1.6
	300~400만원 미만	37	12.2
	400~500만원 미만	21	6.9
	500~600만원 미만	43	14.1
	600~700만원 미만	40	13.2
	700~800만원 미만	38	12.5
	800~900만원 미만	29	9.5
	900~1,000만원 미만	25	8.2
주거 형태	고시원/독방	1	0.3
	다가구 주택(동 전체 소유주 1인)	14	4.6
	다세대주택(각 호의 소유주가 다름)	7	2.3
	단독주택	5	1.6
	아파트	275	90.5
	오피스텔	1	0.3
	주상복합	1	0.3

구분		빈도	비율(%)
훈련 여부	기초	179	58.9
	직무	125	41.1
최종 학력	고등학교 졸업	27	8.9
	대학교 졸업	236	77.6
	대학원 졸업 이상	40	13.2
	초등학교 졸업 이하	1	0.3
근무형태	개인 사업자	1	0.3
	교대근무	2	0.7
	방업직	2	0.7
	재택근무	4	1.3
	정기적 출퇴근	249	81.9
	프리랜서	11	3.6
	종합형(출퇴근과 재택근무 병행)	35	11.5
자동차 수	1대	164	53.9
	2대	106	34.9
	3대이상	10	3.3
	없음	24	7.9
운전면허 유무	없다	21	6.9
	있다	283	93.1
송풍차 유무	없다	80	26.3
	있다	224	73.7
가구원 수	1	30	10
	2	50	16.7
	3	92	30.7
	4	107	35.7
	5	20	6.7
	6	2	0.7
	7	1	0.3
	14	1	0.3
운전 경력	5년 미만	58	19.1
	5년 이상 10년 미만	42	13.8
	10년 이상	204	67.1

03 모형 개발 및 통행시간가치 추정

3.1. 관련 이론

1. 수단선택모형

- 교통수단의 선택에 영향을 미치는 요소에는 크게 통행자의 특성, 통행의 특성, 교통수단의 특성으로 구분하여 볼 수 있음.(Ortúzar & Willumsen, 1994)
- 이 연구에서는 통근통행을 기준하므로 통행자, 교통수단 특성만을 고려

2. 효용함수

- 다항로짓모형 : 개인 n이 대안 3개 이상 중 하나를 선택할 확률

- $P_n(i) = Prob(U_{in} \geq U_{jn}, \forall j \in C_n) = \dfrac{e^{V_{in}}}{\sum_{j=1}^{J} e^{V_{jn}}}$
- $V_{in} = \beta_1 x_{in1} + \beta_2 x_{in2} + \beta_3 x_{in3} + \cdots + \beta_K x_{inK}$

i, j: 대안, U_{in} : 개인 n의 i 대안 선택 시 총 효용
U_{jn}: 개인 n의 j 대안 선택 시 결정적 효용

3. 통행시간가치

- 통행시간 한 단위를 줄이기 위해 지불하고자 하는 비용
- 시간과 비용의 한계 대체율

- $U = \alpha + \beta_{TT} x_{TT} + \beta_{TC} x_{TC}$
- $VOT = \dfrac{\beta_{TT}}{\beta_{TC}}$

α: 수단특성상수
β_{TT}: 통행시간계수
β_{TC}: 통행비용계수
x_{TT}: x수단 통행시간
x_{TC}: x수단 통행비용

3.2. 모형 개발 결과

▶ 효용함수

$$U_{GTX} = \alpha_{GTX} + \beta_{Time,GTX}TT_{GTX} + \beta_{TC}TC_{GTX} + \beta_{Male,GTX}Male + \beta_{Age,GTX}Age + \beta_{Income,GTX}Income + \beta_{Alwayscar}Alwayscar + \beta_{Com,GTX}Com + \beta_{Long,GTX}Long + \beta_{Mid,GTX}Mid$$

$$U_{Bus} = \alpha_{Bus} + \beta_{Time,Bus}TT_{Bus} + \beta_{TC}TC_{Bus} + \beta_{Alwayscar}Alwayscar + \beta_{Com,Bus}Com + \beta_{Long,Bus}Long + \beta_{Mid,Bus}Mid$$

$$U_{Metro} = \alpha_{Metro} + \beta_{Time,Bus}TT_{Metro} + \beta_{TC}TC_{Metro} + \beta_{Age,Metro}Age + \beta_{Alwayscar}Alwayscar + \beta_{Long,Metro}Long + \beta_{Mid,Metro}Mid$$

$$U_{Car} = \beta_{Time,Car}TT_{Car} + \beta_{TC}TC_{Car} + \beta_{Male,Car}Male + \beta_{Income,Car}Income$$

[illegible]

▶ 계수추정결과

변수(Variable)	계수(Coeff.)	t-통계값(t-ratio)	P값(p-value)
GTX 수단특성상수	-1.5e+00	-1.8	0.020*
버스 수단특성상수	1.4e+00	2.1	0.017*
지하철 수단특성상수	-1.3e+00	-2.3	0.007**
통행비용	-4.2e-01	-7.9	2e-15***
GTX 통행시간	-3.5e-02	-3.8	9e-05***
대중교통(버스, 지하철)통행시간	-5.0e-02	-19.4	2e-16***
자가용 통행시간	-8.1e-03	-1.6	0.050*
성별 남성(GTX)	5.2e-01	5.1	2e-07***
성별 남성(자가용)	4.8e-01	2.8	0.002**
[illegible](GTX)	3.5e-02	4.5	9e-07***
[illegible](지하철)	3.2e-02	3.4	3e-04***
소득(GTX)	2.8e-04	1.6	0.098
소득(자가용)	2.8e-04	1.1	0.125
[illegible]	6.8e-01	1.9	0.027*
[illegible]	1.1e+00	3.1	8e-04***
[illegible]	7.6e-01	1.9	0.029*
[illegible]	1.7e+00	6.6	2e-11***
[illegible]	1.8e+00	7.3	1e-13***
[illegible]	1.8e+00	8.2	1e-08***
[illegible]	-1.2e+00	-7.8	4e-15***
[illegible]	-6.5e-01	-4.5	3e-06***
[illegible]	-1.3e+00	-5.1	2e-07***
관측치 수	2796		
LL	-2777.08		
AIC	4427.16		
BIC	4457.27		

$p < 0.1$, $^{*}p < 0.05$, $^{**}p < 0.01$, $^{***}p < 0.001$

3.3. 통행시간가치

▶ 통행시간가치 추정

통행수단	통행시간계수(분)	통행비용계수(천원)	결과값 산정식	통행시간가치
GTX	-0.035	-0.421	$\frac{-0.035분}{-0.421천원} \times \frac{60분}{1시간} \times 1000$	4950원/시간
대중교통 (버스, 지하철)	-0.050		$\frac{-0.050분}{-0.421천원} \times \frac{60분}{1시간} \times 1000$	7110원/시간
자가용	-0.008		$\frac{-0.008분}{-0.421천원} \times \frac{60분}{1시간} \times 1000$	1150원/시간

- GTX의 통행시간가치는 4950원/시간으로, 기존 대중교통인 버스, 지하철 7110원/시간 대비 약 70%수준으로 추정됨
  - ☞ 이는 GTX에 대한 만족도가 기존 대중교통보다 높아 통행시간을 줄이는 것에 비용을 더 지불하지 않기 원하기 때문으로 사료됨
- 자가용의 통행시간가치는 1150원/시간으로, 통념과 달리 선택수단 중 가장 낮게 추정됨
  - ☞ 이는 표본조사대상의 편향(버스정류장에서 표본수집), 표본 수 부족 등의 이유 때문으로 사료됨

04 결론

4.1. 결론, 한계, 정책 제언 및 향후 연구방향

▶ 결론

- 설문조사를 통하여 동탄-운정 거주자의 GTX 이용에 관한 통행시간가치 추정 완료
  - 비용-시간은 GTX 선택과 음의 관계이며, 단거리 통행일수록 GTX를 선택하지 않음
  - 연령과 소득이 높고, 남성일수록 GTX 선택하며, 기존 대중교통의 통행시간가치에 비해 GTX의 통행시간가치가 낮음

▶ 한계

- 대중교통 사용자들을 대상으로 설문조사를 진행하여 승용차 사용자들의 선택을 반영하지 못함
- 동탄과 운정을 분리하여 통행시간가치를 조사하려 했으나 설명력이 낮았음
  - 따라서 설문조사 표본 수를 늘려서 표본의 편차를 줄이고 모형의 설명력을 높여야 함
  - 차외시간, 심리적 요인, 연계교통수단 등 GTX 이용에 분명히 영향을 주는 요인들을 반영하지 못함

▶ 정책 제언

- 정책결정자: 새로운 교통수단의 도입을 위한 VOT 산정 시 SP조사를 진행할 수 있음
- 지자체: GTX와 연계되는 교통수단의 확충을 통한 GTX의 수단분담률을 높여 적자폭을 감소시켜야 함
- 택지 개발청: 서울행 교통수단을 입주 시기에 맞춰 제공해야 대중교통 및 신교통수단에 관한 수단분담률을 높일 수 있음

▶ 향후 연구방향

- 설문조사 시 표본의 편향을 줄이고, 표본 수를 늘여서 재조사하여야 함
- 사용하지 않은 변수의 추가 투입을 통해 효용함수를 재계산할 수 있음
- B·C 노선 등 미개통 지역의 VOT가 어떠한지 비교분석할 수 있음

마무리

참고문헌

- 윤대식. (2018). 교통계획-교통수요 이론과 모형. 박영사
- 하태준, 박제진, 이상하. (2002). 고속철도 도입에 따른 교통수단선택모형 추정 및 수단전환률의 비교. 국토계획, 37(6), 129-135
- 한광희, 박제현, 장수은, 갑영주. (2016). 대중교통 이용자의 메가이벤트 여가통행 시간가치 산정. 관광연구논총, 28(4), 131-146
- Lam, T. C., & Small, K. A. (2001). The value of time and reliability; measurement from a value pricing experiment. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 37(2-3), 231-251.
- Ortúzar, J. de D., L. G. Willumsen. (1994). Modelling Transport. Second Edition, Chichester: John Wiley & Sons
- Rich, J., & Vandet, C. A. (2019). Is the value of travel time savings increasing? Analysis throughout a financial crisis. Transportation Research. Part A: Policy & Practice, 124, 145-168.
- Román, C., Martin, J. C., Espino, R., Cherchi, E., Ortúzar, J. D. dios, Rizzi, L. I., González, R. M., & Amador, F. J. (2014). Valuation of Travel Time Savings for Intercity Travel: The Madrid-Barcelona Corridor. Transport Policy, 36, 105-117.
- Zhong, H., Li, W., Burris, M. W., Talebpour, A., & Sinha, K. C. (2020). Will autonomous vehicles change auto commuters' value of travel time? Transportation Research Part D: Transport and Environment, 83, Article 102303.

머신 러닝 기법을 활용한 소멸위험지역의 위험요인분석 : 충청권을 대상으로

Analysis of the Extinction Risk Factors using Machine Learning Targeting the Chungcheong Region

김정연 (국립한밭대학교 도시공학과, 석사과정)
이영헌 (국립한밭대학교 도시공학과, 박사수료)
도명식 (국립한밭대학교 도시공학과, 교수)

Key Words : 지방소멸위험지수, 지방소멸위험지역, 머신러닝기법

목 차

Ⅰ. 서론
Ⅱ. 분석방법론
Ⅲ. 결론 및 향후 연구과제

Ⅰ. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

많은 도시가 저출산 및 고령화로 인한 인구감소가 사회적 문제로 크게 대두되고 있다. 한국의 경우, 합계출산율은 1970년도부터 급격하게 감소하여 2023년도 기준 0.72명으로 감소하여 2000년대 진입 이후 세계적으로 낮은 수준을 차지하고 있다. 그에 반해 고령자는 2023도 기준 65세 이상 고령인구는 우리나라 인구의 18.3%로, 향후 계속 증가하여 '25년에는 20.6%로 우리나라가 초고령사회로 진입할 것으로 전망된다(통계청, 2023).

초고령사회로 진입하여 인구가 감소하면 교통수요가 줄어들테고, 교통인프라를 유지하거나 개발하기가 경제적으로 어려워지게 된다. 특히, 대중교통의 의존도가 높은 고령인구에게는 교통 접근성은 아주 중요한 문제가 된다.

또한, 여러 도시 상태 유지의 어려움 및 사회 기반 등이 무너지게 되면서 균형적인 발전이 불가능해진다. 그리하여 인구 감소에 따른 다양한 도시의 공간적 구조가 변형되어야 한다. 그러기 위해서는 지방소멸위험에 미치는 요인을 찾아내야 한다.

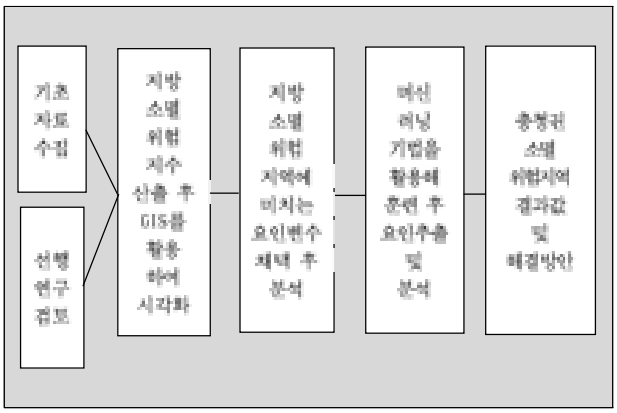
본 연구는 전국 총 251개 시군구를 대상으로 지방소멸위험지수를 산출하여 지방소멸에 대한 위기를 인식한 후 지방소멸위험지수를 통해 지방소멸의 요인이 되는 지방소멸 및 도시축소와 관련된 선행연구를 참고하여 다양한 분야별 변수들을 추출 및 활용할 것이다. 이를 활용하여, 지방소멸 위험에 영향을 미치는 요인을 머신 러닝(Machine Learning)기법을 사용하여 훈련된 분석값에 충청권 36개의 시군구 데이터를 반영하여 결과를 추출하고자 한다.

2. 연구의 범위 및 방법

충청권은 공공행정기관의 이전과 행정중심복합도시 건설을 통해 국가균형발전을 주도하고 수도권에 대응하기 위한 노력이 필요한 지역이다. 행정안전부가 분석한 인구감소지역 지정지역으로 충청북도 6개의 지역, 충청남도 9개의 지역이 해당했다.

따라서, 본 연구의 공간적 범위는 충청권 지역들과 주변 지역인 대전광역시와 세종특별자치시의 시·군·구를 포함하여 총 36개의 지자체를 공간적 범위로 설정하고, 시간적 범위는 2021~2022년도로 설정하였다.

본 연구는 국가통계포털을 통해 지방소멸위험지수를 산출한 후 지방소멸 및 도시축소와 관련된 여러 선행 연구들을 참고하여 지방소멸위험과 관련 있는 다양한 분야의 위험 요인들을 추출하였고, 이를 참고하여 독립변수를 선정하여 지방소멸위험지수를 목표값(Target Value)으로 삼아, 머신 러닝(Machine Learning)기법을 통해 분석하고자 한다.



<그림 1> 연구의 흐름도

Ⅱ. 분석방법론

1. 연구방법론

머신 러닝(Machine Learning) 기법은 인공지능(AI)의 한 분야로, 데이터와 알고리즘의 형태로 얻어지는 경험에 초점을 맞춘 시스템이다. Arthur Samuel에 의해 "명시적으로 프로그래밍 되지 않고 컴퓨터가 학습할 수 있는 능력을 주는 연구 분야"로 처음 정의됐다.

머신 러닝(Machine Learning) 기법은 알고리즘에 다양한 데이터를 제공하여 분석 내에서 연관성과 패턴을 파악하여 습득할 수 있도록 훈련하도록 하고, 분석 기반으로 예측 또는 결정을 내리게 된다. 이를 지속적으로 학습시켜 개선 또는 성과를 향상시키는 방식이다. 전국 시군구 지방소멸위험지수를 목표값(Target Value)으로 설정한 후 독립변수 데이터를 가지고 머신 러닝(ML) 기법을 통해 컴퓨터 알고리즘에 학습을 시킨 후, 충청권의 지방소멸위험지수를 추출 혹은 예측하고자 한다.

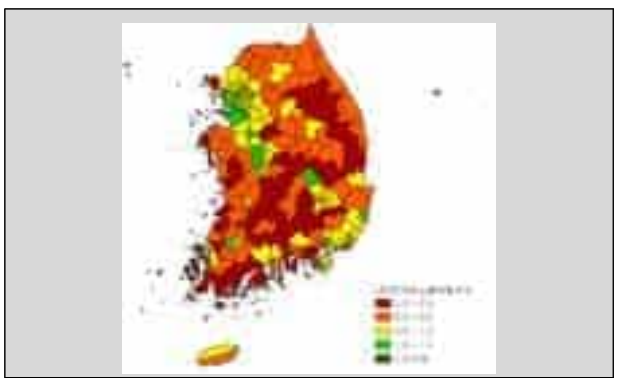
2. 지방소멸위험지수 분석

지방소멸위험지수는 젊은 여성인구의 수도권 유출이 지방소멸을 가져올 수 있다는 마스다 히로야(2014)의 저서 「지방소멸」의 핵심 내용에 착안하여 이상호(2015)에서 처음으로 개발하여 사용하였다(이상호, 2018).

$$\text{지방소멸위험지수} = \frac{20 \sim 39\text{세여성인구}}{65\text{세이상인구}} \quad (1)$$

전국 총 261개 시군구의 지방소멸위험지수를 산출하기 위해 국가통계포털에서 2022년도 20~39세 여성인구와 65세 이상 인구 데이터를 활용하였다.

<그림 2>는 전국 시군구 대상으로 총 261개 지역에 지방소멸위험지수를 적용한 후 단계별로 구분하였다. 지방소멸위험지수가 소멸위험매우낮음(>=1.5)으로 나온 지역은 존재하지 않아, 전체적으로 소멸 위험성이 높은 것을 확인할 수 있다. 해당하는 지역이 가장 많은 단계는 소멸주의로 114개의 시군구가 포함됐다.



<그림 2> 지방소멸위험지수 지도

2. 지방소멸위험요인 분석

전국을 대상으로 분석한 지방소멸위험지수 결과값을 통해, 소멸위험요인 분석을 진행하였다. 여러 선행연구의 문헌 및 사례들을 참고하였고, 독립변수와 종속변수로 설정한 지방소멸위험지수와 플롯(Plot)을 진행했다. 지방소멸위험지수는 인구변수로 이루어져 있어 6가지 분야 중 인구변수와 경제·재정 분야 변수가 R^2이 높은 것을 확인할 수 있었다. 인구, 경제·재정을 제외한 변수 중 가장 높은 R^2을 나타내는 변수는 아파트비율, 의료기관수, 유출유입통행량으로 나타났다. R^2이 높은 변수들로 추출하여 인구, 경제·재정, 가구·주택, 의료·보건, 교통·인프라, 환경, 교육, 문화부문에서 총 18개의 독립변수를 선정하였다.

Ⅱ. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 머신러닝을 활용하여 지방소멸위험에 영향을 미치는 요인을 알아보고자 하였다. 전국 261개의 시군구를 대상으로 분석을 위해 지방소멸위험지수와 18개의 독립변수 데이터를 추출하였다.

각 시군구의 지방소멸위험지수를 확인하기 위해 QGIS 3.28.14를 활용해 시각화지도를 제작했다. 전국 시군구 중 소멸위험매우낮음으로 나온 지역은 존재하지 않았고, 가장 많은 시군구가 해당하는 단계는 소멸주의로 나타났다. 이후 지방소멸위험지수와 18개의 독립변수의 자료를 가지고 머신러닝 기법을 통해 분석한 후 충청권의 데이터를 적용하여 결과를 도출 및 예측하고자 했다.

머신 러닝기법을 통해 지역 소멸위험에 미치는 영향이 높다고 판단할 수 있는 변수들과 앞서 참고하였던 선행연구와 비교 진행하고 지역의 매력도를 높이는 역할을 하는 변수들을 추출한 후, 머신러닝기법에 충청권 시군구의 분석결과와 주요 요인에 관한 문제점을 해결할 수 있는 대안 방안은 추후 밝히기로 한다.

향후 연구로 첫 번째는 다양한 변수의 발굴 및 분석 결과를 통해 소멸가능성을 줄이기 위한 대안에 대한 추가적인 연구를 진행할 것이고, 두 번째로는 지방소멸위험지수는 20~39세 여성인구와 65세이상인구 자료를 활용하였기에 구체적인 인구감소를 전부 설명하기에 한계점이 존재함으로, 종속변수의 다양한 지표 선정을 통해 실질적인 지방소멸위험을 나타내는 변수에 대한 추가적인 연구를 진행할 것이다.

참고문헌

1. 유한별·탁근주·문정승(2021), 한국 지방소멸 요인과 극복 방안에 관한 연구: 머신러닝 방법을 통한 탐색, 지방행정연구, 24(4), pp.444-476.
2. 이상호(2016), 한국의 '지방소멸'에 관한 7가지 분석, 지역고용동향브리프, pp1-17.
3. 통계청(2023), 2023 고령자 통계 보도자료.
4. 増田寛也(2014), 地方消滅 東京一極集中が招く人口急減, 中央公論新社(東京, 日本).

한국 ITS학회 2024년도 추계 학술대회

사회경제적 맥락에 따른 통행패턴의 표본 편향 분석

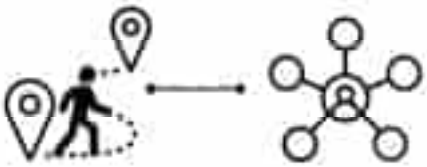
2021NHTS와 서울시생활이동데이터 간 비교를 중심으로

Analysis of Sample Bias in Travel Patterns within a Socioeconomic Context
: A Comparative Study between the 2021 NHTS and KT Life Movement Data in Seoul

아주대학교 석사과정 김지수
지도교수 김의진

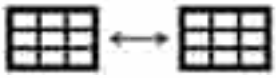
공간적 요인의 중요성

- 통행 패턴
  - 개인의 활동이 발생함에 따라 수반되는 일상적인 움직임
  - 단순한 이동이 아닌, 복잡한 의사결정의 결과



- 연구 배경
  - 현재 대부분의 선행 연구에서, 주로 하나의 자료만을 활용해 통행 패턴을 분석
  - 데이터 간 비교를 통해 통행 패턴을 분석한다면 → 자료의 신뢰성 및 편향성 직접적인 파악 가능
  - 의사결정 과정을 대리해서 나타내는 공간 변수를 통해 → 통행 의사결정 과정을 간접적으로 파악 가능
  - 통행 분석 시 공간적 요인에 대한 고려의 필요성 증가

- 연구 목적
  - 가구통행실태조사 데이터(NHTS)와 서울시 생활이동데이터 간 비교 분석
  - 일반적으로 통행 패턴 분석에서 활용되는 NHTS의 Bias 발견
  - 공간적 요인에 대한 고려를 통해 통행 의사결정 과정 파악



기존의 가구통행실태조사(NHTS) 자료

- NHTS 표본 수집 방법: '비례 배분법'
  - 표본의 무작위성과 비편향성 확보를 위해서
  - 읍면동 수준 – 성별을 기준으로 비례 배분하여 표본을 할당
  - 시군구 수준 – 연령을 기준으로 비례 배분하여 표본을 할당
- NHTS 한계점
  - 기억 편향: 설문조사 응답자의 기억편향 오류
  - 응답 편향: 특정 집단의 과대 or 과소 수집으로 인한 결과 왜곡

→ 장기 교통 수요 예측에 있어 큰 통계실성을 보유

데이터 기반 통행패턴 신뢰도 향상 필요 /

서울시 생활이동데이터의 등장

- 기지국에 집계되는 KT 휴대폰 신호를 바탕으로, 사람들의 이동을 가공한 데이터
- 서울시 보유 공공빅데이터 + 교통연구원의 교통플리곤 + KT 휴대폰 LTE+5G 시그널 데이터

대상연월	요일	도착시간	출발행정동	도착행정동	성별	나이	이동유형	평균이동시간	이동인구
202110	목	0	1121062	1121062	F	30	HW	10	111.18
202110	목	0	119076	1114074	M	20	OO	40	30.7
202110	목	14	1122052	1122062	F	60	OH	10	11.37

연구 설계

데이터	2021년 가구통행실태조사 자료, 2021년 서울시 생활이동데이터 자료
분석 대상	서울특별시 한정 (분석단위: 서울특별시 내 426개의 행정구역(행정동))
개인 특성	총 3가지 변수: (1) 성별, (2) 나이, 연령대
통행 특성	총 2가지 변수: (1) 이동유형, 이동목적
공간 지표	총 6가지 변수: (1) 가구수, (2) 산업별 산업체규모, (3) 평균공시지가, (4) 토지이용, (5) 단위면적별 버스정류장개수, (6) 소득분위
설문 지표	총 2가지 변수: (1) 통행목적도 분산, (2) 설문조사 참여율

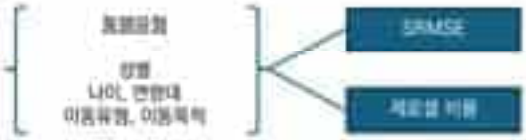
데이터 구조화

분석1 – SRMSE

분석2 – Zerocell

분석3 – 회귀분석

방법론



- **SRMSE**
  - 데이터의 예측값과 실제값 사이의 차이를 측정하는 지표
  - 두 데이터 소스의 "분포"의 차이를 비교하고 데이터 소스 간 차이를 정량화하기 위해 사용
  - SRMSE 값이 클수록 두 데이터의 차이가 크다는 의미하고, 작은 값은 두 데이터가 더 유사함을 나타냄
  - → 데이터 간 편향이 얼마나 존재하는지 확인 가능
- **제로셀(Zero-cell) 비율**
  - 특정 카테고리에서 값이 0인 셀(데이터 포인트)이 차지하는 비율
  - 통행 조사에서 제로셀 = 특정 조건에서 통행이 전혀 발생하지 않았음 → 데이터의 대표성 문제 발생 가능
  - → 특정 카테고리나 변수에서 정보가 부족한지, 또는 특정 집단이 과소 또는 과대 대표되었는지 확인 가능

각 데이터가 통행 정보를 어떻게 다르게 반영하는지를 비교 /

- **회귀 분석**
  - 독립변수와 종속변수 사이의 관계를 모델링하여 독립변수가 종속변수에 미치는 영향을 분석하는 통계적 방법
  - 본 연구에서 SRMSE를 종속변수로, 다양한 공간적 요인과 설문 요인을 독립변수로 설정
  - 회귀 계수와 유의성(P-value)을 통해, 각 독립변수의 유의성을 평가
  - 각 변수가 SRMSE에 미치는 영향을 중심으로 연구결과를 도출

→ 어떤 요인들이 두 데이터 간 차이를 크게 or 작게 하는가?
→ 편향성(Bias)이 발생하는 주된 요인이 무엇인가?
→ 특히, 공간적 요인이 데이터 간 차이에 미치는 영향은 무엇인가?

두 데이터 간 차이를 규명하고, 이를 설명하는 요인을 파악하기 위해 수행 /

가설 설정

- **NHTS에서 발생하는 편향성(Bias)의 주요 원인을 사회경제적 구조에서 찾을 수 있다 /**

  일반적으로 설문조사에 참여하는 사람들은 교통 수단을 많이 이용하거나 이동이 활발한 계층일 가능성이 큼
  - Ex. 경제적 여유가 부족하거나 대중교통에 접근성이 낮은 저소득층: 적은 설문조사 응답 기회 or 제한적인 이동성

  응답자의 시간적 여유나 교통수준은 설문조사에 참여하는 데 중요한 요소로 작용함
  - Ex. 고소득층과 고학력층: 설문조사에 더 많이 참여하는 경향
  - Ex. 저소득층과 저학력층: 설문 조사에 응답하지 않는 경향

  이러한 편향성은 특정 계층(집단)의 통행 패턴이 충분히 반영되지 못하는 결과로 이어짐

→ 가설: "특히 고령층, 저소득층은 교통 소외 계층으로서 과소 대표될 것이다."

SRMSE & 제로셀 비율 : 성별

통행 유형 – 변경대	SRMSE	생활이동데이터	NHTS	생활이동 대비 NHTS
F	5.13	0.17	0.92	0.91
M	3.69	0.12	0.92	0.91

SRMSE: 여성 통행패턴 차이 비교적 뚜
제로셀 비율: NHTS 각 성별 0.92

→ 응변동 수준에서 비례 배분 표본 수집 방법에 의해 성별이 균등 수집됨

⇒ 여성 집단의 통행 정보가 남성 집단보다 덜 설명됨

SRMSE & 제로셀 비율 : 나이, 연령대

통행 유형 – 나이	SRMSE	생활이동데이터	NHTS	생활이동 대비 NHTS
10대	13.34	0.65	0.88	0.91
20대	11.10	0.51	0.97	0.91
30대	11.32	0.41	0.96	0.93
40대	6.32	0.27	0.96	0.94
50대	4.61	0.23	0.96	0.95
60대	4.50	0.28	0.98	0.97
70대	5.93	0.53	0.99	0.98
80대	6.77	0.80	0.99	0.99

통행 유형 – 연령대	SRMSE	생활이동데이터	NHTS	생활이동 대비 NHTS
1020 (10대-20대)	9.51	0.43	0.95	0.93
3060 (30대-60대)	3.69	0.09	0.89	0.88
7090 (70대-90대)	4.96	0.49	0.99	0.97

⇒ NHTS에서 **젊은 층 및 고령층 집단의 통행 정보가 덜 설명됨**

특히 나이 10대, 20대, 30대의 통행 패턴에서 데이터 간 차이가 두드러짐

→ 젊은 층의 낮은 설문조사 응답률

NHTS 70대, 80대의 제로셀 비율 0.99

→ 특히 고령층의 통행 데이터를 제대로 반영하지 못함

SRMSE: 젊은 층 큰 통행 패턴 차이
제로셀 비율: 젊은 층, 고령층 결손 大

젊은 층과 고령층의 통행 데이터를 NHTS에서 제대로 반영하지 못함

SRMSE & 제로셀 비율 : 이동유형, 이동목적

통행 유형 – 이동유형	SRMSE	생활이동데이터	NHTS	생활이동 대비 NHTS
WH	4.60	0.39	0.96	0.95
OH	6.94	0.32	0.96	0.95
HW	4.63	0.38	0.96	0.93
WW	19.40	0.77	0.99	0.99
OW	17.02	0.81	0.99	0.98
HO	6.68	0.34	0.97	0.95
WO	20.02	0.53	0.98	0.97
OO	7.65	0.39	0.97	0.96

통행 유형 – 이동목적	SRMSE	생활이동데이터	NHTS	생활이동 대비 NHTS
Hto Home, 귀가목적	5.25	0.23	0.94	0.92
Wto Work, 업무목적	7.59	0.29	0.95	0.93
Oto Other, 기타목적	8.48	0.19	0.94	0.93

⇒NHTS에서 **특정 이동 목적(업무 및 기타목적)의 통행 정보가 덜 설명됨**

통근 통행 외 통행

SRMSE: 큰 통행 패턴 차이
제로셀 비율: 심각한 결손

일상적인 이동(ex. 출퇴근)은 잘 보고되지만,
비정기적 이동 or 짧은 이동은 누락되는 경향이 있음

앞선 이동유형과 같은 선상에서 업무 목적의 통행과 기타 목적의 통행에서 상대적으로 큰 차이를 보임

회귀 분석

유의미한 변수	Coef	P > |t|
가구수	-0.79	0.000
3차 산업 사업체 규모	-0.36	0.003
분산	0.52	0.000
소득분위 5분위	3.53	0.019
소득분위 6분위	3.13	0.034

가구수: 가구수가 많은 행정동에서 두 데이터간 차이가 적음
가구수 多 → 데이터 수집 표본이 多 → 통행패턴의 일관성 大 → 데이터간 차이 감소 가능성 大

3차 산업 사업체규모: 3차 산업이 발달한 행정동에서 두 데이터 간 차이가 적음
사업체 규모가 클수록 → 명확한 출퇴근 패턴 존재할 가능성 O → 데이터간 차이 감소 가능성 大

분산: 통행 패턴이 복잡한 지역일 수록 데이터 간 차이가 큼

소득분위(5, 6분위): 소득수준이 중간인 지역에서 데이터간 차이가 큼
중간 소득층 다양한 이동 수단을 이용하거나 비정기적인 통행 패턴을 가질 가능성 O
→ 각 데이터 간 중간 소득층을 포착하는 방식에서의 차이가 발생할 수 있음
서울시 내 소득분위: 5, 6, 7, 8, 9, 10분위
서울시 내 소득분위가 상대적으로 낮은 지역일수록 NHTS에서 해당 통행 패턴을 충분히 포착 X
(추측) 상대적 저소득지일수록 설문 참여 少, 고소득지일수록 설문 참여 多 경향

요약 및 결론*

- SRMSE와 제로셀 비율
  - 두 데이터 간 통행 패턴 차이를 성별/나이, 연령대/ 이동유형, 이동목적 각각의 경우에 대해 실험
  → 여성, 젊은 층, 고령층과 같은 교통 소외 계층이 설문조사데이터에서 과소 대표될 수 있음 /

- 설문조사데이터, 가구통행실태조사(NHTS) 자료의 편향(Bias)
  - 과소 반영: 젊은 층(10대, 20대) 및 고령층(70대, 80대)의 이동, 비일상적인 통행(업무간 통행 및 기타 목적의 통행)
  - 과대 반영: 주 이동층이라 여겨지는 30대-60대의 이동, 일상적인 통행(통근 통행 및 귀가 통행)

- 회귀 분석 결과

(-) 가구수와 3차 산업 사업체 규모:
  - 해당 변수들이 클수록 두 데이터 간 차이 감소 → 이는 해당 변수들이 클수록 통행 패턴이 일관되게 나타난다는 것을 의미

(+) 분산과 소득분위: 통행 복잡도와 중간 소득층이 두 데이터 간 차이를 증가시키는 요인
  - 설문조사 데이터의 통행 패턴이 복잡할수록, 그리고 중간 소득층이 있는 지역에서 데이터 수집의 일관성이 떨어지는 경향
  → 단순히 고소득층 or 저소득층을 고려하는 것이 아닌, 중간 소득층의 복합적인 이동 패턴 또한 충분히 반영해야 함 /

한계점 및 연구 방향성

- 연구 의의
  - 가구통행실태조사와 서울시생활이동데이터 비교를 통해, 교통 수요 예측과 정책 수립에 있어 두 데이터 모두의 상호보완적 활용이 필수적!
    → 통행 BIG DATA 활용 필요성 제시
  - 공간 지표와 통행 데이터를 결합하여, 지역 특성이 통행 의사결정에 미치는 영향을 분석
  - 보다 정확한 통행 분석을 가능케 하여, 장기적인 교통 수요예측에 있어 중요한 고려사항으로 작용

- 연구 한계 – 생활이동데이터의 편향(Bias) 고려
  - 통신 데이터의 연령대 편향: 젊은 층에 편중된 스마트폰 사용으로 인해 고령층의 이동 패턴이 과소 표현될 수 있음
  - 사회경제적 편향: 저소득층의 데이터 사용량이 적어 이들의 온전한 이동패턴이 충분히 반영되지 않을 수 있음
  - 이동 목적 편향: 여가 목적(D)의 통행 시 데이터 사용량이 증가하여 여러한 이동패턴이 과대 표현 될 수 있음

- 추후 연구 방향성
  - 설문조사데이터인 NHTS의 편향 뿐만 아니라 생활이동데이터의 편향까지 동시에 고려한 Bias 연구
  - 편향을 고려한 지표 or 가중치 개발 가능

다수단 네트워크에서의 경로 단위 속성을 고려한 Recursive Logit 경로선택모형 구축

A Recursive Logit Path Choice Model Integrating Path-Based Attributes in Multimodal Networks

문세동[a], 장성훈[b], 김동규[c]

[a] 서울대학교 건설환경종합연구소 박사후연구원

[b] Assistant Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, The Hong Kong Polytechnic University

[c] 서울대학교 건설환경공학부 교수

한국ITS학회 2024년도 추계학술대회

2024.10.25.(금)

1. 서론

❖ Recursive logit (RL) model *Fosgerau et al., 2013*

- 통행자들의 경로선택 행태를 개별 링크 선택의 연속으로 표현하는 모형
- 경로의 선택 집합(path choice set)을 별도로 생성할 필요 없음

❖ RL 모형은 링크 단위 속성(link-based attribute)에 기반한 모형으로, 링크 가산성(link-additivity)이 성립한다고 가정함

- 통행시간, 링크 길이 등과 같은 링크 단위 속성에 기반함
- Link-additivity: 개별 링크의 속성값을 더하면 전체 경로의 속성값이 되는 성질

❖ 기존의 RL 모형은 경로 단위 속성(path-based attribute)을 반영하기가 어려움

- (예) 대중교통 요금은 통합요금제(환승할인 등) 및 통행경로에 따라 결정되는 경로 단위 속성임
- 경로 단위 속성은 링크 단위 속성의 합으로 표현되지 않아 RL 모형에 반영하기 어려움

❖ 본 연구의 목적: 경로 단위 속성을 링크 단위의 값으로 변환함으로써, 경로 단위 속성을 고려한 RL 모형 구축

2. 기존 연구

❖ 다수단 교통망에서의 수단 · 경로선택 모형

- 대부분 Random utility maximization에 기반함
- 주로 사용되는 모형인 Multinomial Logit (MNL), Nested Logit (NL), Path Size Logit (PSL) 등은 경로의 선택 집합을 먼저 생성해야 함

Ben-Akiva & Bierlaire (1999); Lo et al. (2004); Hoogendoorn-Lanser (2005); Prato (2009); Liu et al. (2010); Ramos & Mahn (2013); van Eck et al. (2014); Montini et al. (2017); Anderson et al. (2017); Nielsen et al. (2021)

- 실제 이용자 행태와 일치하는 선택 집합을 생성하는 것은 어려움 *Prato & Bekhor (2007); Prato (2009); Bovy (2009)*

→ RL 모형은 경로의 선택 집합을 별도로 생성할 필요가 없음

❖ 다수단 통행에서의 RL 모형

- 대중교통, 승용차, 자전거, 도보 등으로 이루어진 다수단 통행의 수단 · 경로선택에 RL모형 적용

Zimmermann et al. (2017, 2018a); Nassir et al. (2018); Meyer de Freitas et al. (2018); van Oijen et al. (2020); Oyama (2023); Corlu et al. (2023)

- Activity-travel scheduling *Zimmermann et al. (2018b)*

❖ RL 모형의 확장

- Nested RL (NRL) *Mai et al. (2015)*
  - Nested logit 모형 기반의 링크 선택의 연속으로 표현
  - 경로 사이의 중복으로 인한 대안 간 correlation을 고려할 수 있으며, log-likelihood 및 예측 정확도가 개선됨
- 추가적인 요소의 고려: Discount factor *Oyama & Hato (2017)*, Choice aversion *Khoo et al. (2022)*

→ 현재까지의 RL 모형은 링크 단위 속성을 주로 다루고 있으며, 경로 단위 속성은 반영되지 않음

→ 본 연구는 경로 단위 속성을 고려한 RL 및 NRL 모형을 제안함

3. 방법론

3.1 Recursive Logit (RL) Model

❖ Recursive logit model *Fosgerau et al., 2013*

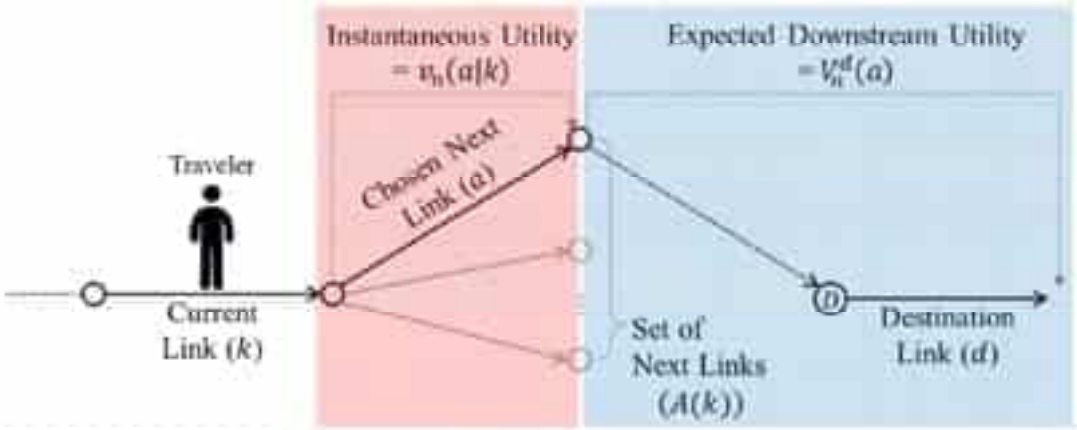
- 통행자는 **instantaneous utility** & **expected downstream utility** 의 합을 최대화하는 다음 링크 (a) 를 선택함

$$V_n^d(k) = \mathrm{E}\left[\max_{a \in A(k)} \left(v_n(a|k) + \mu\varepsilon_n(a) + V_n^d(a)\right)\right]$$

Expected downstream utility (value function) from current link k

Instantaneous utility
$v_n(a|k)$: deterministic term
$\varepsilon_n(a)$: random error
μ: scale parameter

Expected downstream utility from next link a



3. 방법론

3.1 Recursive Logit (RL) Model

❖ 현재 링크 (k)와 목적지 링크 (d)에 대한 다음 링크 (a)의 조건부 선택확률은 일반적인 로짓모형으로 표현됨

$$P_n^d(a|k) = \frac{e^{\frac{1}{\mu}(v_n(a|k)+V_n^d(a))}}{\sum_{a' \in A(k)} e^{\frac{1}{\mu}(v_n(a'|k)+V_n^d(a'))}}$$

여기서

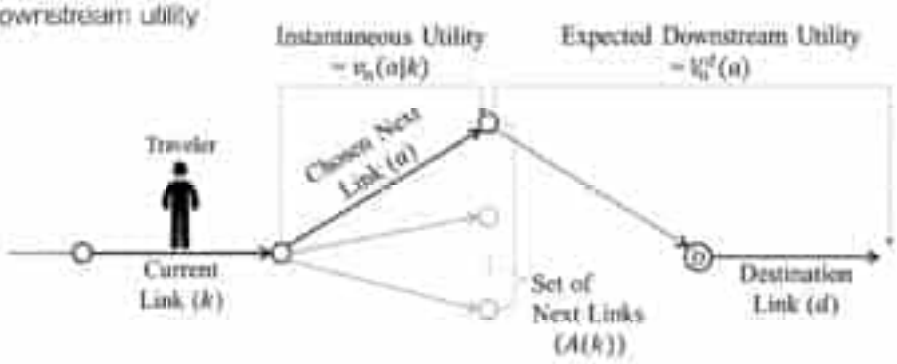
$P_n^d(a|k)$: 현재 링크 (k)와 목적지 링크 (d)에 대한 다음 링크 (a)의 조건부 선택확률

$v_n(a|k)$: 현재 링크 (k)에 대한 다음 링크 (a)의 조건부 instantaneous utility

$V_n^d(a)$: 다음 링크 (a) 이후의 expected downstream utility

μ: scale factor

- 일반 RL에서는 $\mu = 1$
- NRL에서는 μ의 값이 달라질 수 있음



3. 방법론

3.2 경로 단위 속성을 반영한 RL 모형 (RL-PA)

❖ 본 연구에서 제안하는 RL-PA model

- Instantaneous utility에 링크 단위 & 경로 단위 속성이 모두 반영됨

경로 단위 속성 → 링크 단위 값으로 변환

$$x_q^p(\sigma) = \sum_k \delta_{\sigma k} x_q^l(k) \quad \text{for all } \sigma, k \quad (1) \quad \Leftrightarrow \quad \text{Matrix form: } \mathbf{X}_q^p = \boldsymbol{\Delta} \mathbf{X}_q^l \quad (2)$$

여기서

$$\delta_{\sigma k} = \begin{cases} 1 \text{ if } k \in \sigma \\ 0 \text{ otherwise} \end{cases}$$

$\mathbf{X}_q^p = \left[x_q^p(\sigma_1) \quad \cdots \quad x_q^p(\sigma_P) \right]^T$ (P: 관측된 경로 개수)

$\mathbf{X}_q^l = \left[x_q^l(k_1) \quad \cdots \quad x_q^l(k_L) \right]^T$ (L: 사용된 링크 개수)

$\boldsymbol{\Delta} = \left[\delta_{\sigma_i k_j} \right]_{1 \le i \le P, 1 \le j \le L}$

3. 방법론

3.2 경로 단위 속성을 반영한 RL 모형 (RL-PA)

경로 단위 속성 → 링크 단위 값으로 변환

$$\mathbf{X}_q^p = \Delta \mathbf{X}_q^l \quad (2)$$

❖ (2)에서 $\mathbf{X}_q^l$의 정확한 해는 존재하지 않으므로, 다음과 같이 오차를 최소화하는 근사해를 구함

$$\min \| \mathbf{X}_q^p - \Delta \mathbf{X}_q^l \| \quad (3)$$

‖ ··· ‖: Euclidean norm

❖ Δ의 역행렬이 존재하지 않으므로 $\mathbf{X}_q^l$의 최적해를 구하기 위해 Moore-Penrose Pseudoinverse (Moore, 1920; Penrose, 1955) 사용

$$(\mathbf{X}_q^l)^* = \Delta^+ \mathbf{X}_q^p \quad (4)$$

여기서

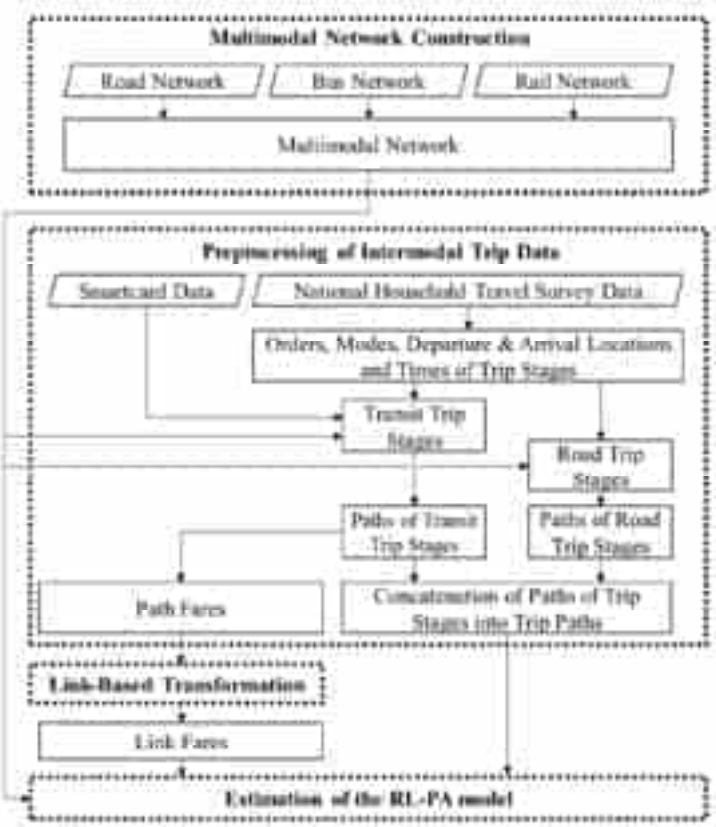
$(\mathbf{X}_q^l)^*$: $\mathbf{X}_q^l$의 최적 근사해

Δ^+: Δ의 Moore-Penrose Pseudoinverse

4. 사례연구

4.1 데이터

1. **다수단 네트워크**
   - 서울특별시의 도로, 버스, 철도 네트워크
     - 도로: 도보, 승용차, 택시, 자전거, 오토바이
     - 버스: 시내버스
     - 철도: 지하철, 광역철도, 경전철
2. **다수단 통행 데이터**
   - 2016~17년의 서울특별시 출근통행
   1. 가구통행실태조사 데이터 → 수단, 목적통행
   2. 대중교통 스마트카드 데이터 → 대중교통 경로
   - 두 데이터셋의 통행자는 같은 경로선택 행태를 보인다고 가정함
   - 대중교통 통행은 스마트카드에 기반하여 경로 생성
   - 도로 통행은 최단경로로 경로 생성
3. 경로 단위 속성을 링크 단위 값으로 변환
   - **경로 비용(요금) → 링크 단위 비용(요금)**
4. RL-PA model 추정



4. 사례연구

4.2 모형 추정

❖ 사용한 속성값

- 링크 단위 속성값: **통행 시간, 환승 횟수**
- 경로 단위 속성값: **경로 비용** (링크 단위의 비용으로 변환함)
- **Link size (LS)**
  - PSL에서의 path size에 해당하는 개념 *Fosgerau et al. (2013)*
  - Link size의 값은 O-D 수요가 1일 경우의 O-D별 link flow 값이며, 본 연구에서는 LS가 없는 모형을 먼저 추정한 뒤 이때 추정된 파라미터 값을 바탕으로 O-D 수요를 배정하여 LS 값을 계산함
- NRL 모형에서의 scale factor 계수: **통행 시간, 연결된 링크 개수**
  - NRL 모형에서 scale factor의 값은 이들 변수에 선형이라고 가정함

❖ 본 연구에서 비교한 모형들

- Benchmark model: **MNL**
- RL without LS: **RL, RL-PA**
- RL with LS: **RL-LS, RL-PA-LS**
- NRL without LS: **NRL, NRL-PA**
- NRL with LS: **NRL-LS, NRL-PA-LS**

모형 종류		경로 단위 속성 미반영	경로 단위 속성 반영
Benchmark		MNL	
RL	without LS	RL	RL-PA
	with LS	RL-LS	RL-PA-LS
NRL	without LS	NRL	NRL-PA
	with LS	NRL-LS	NRL-PA-LS

4. 사례연구

4.3 모형 추정 및 예측 결과

❖ 통행시간, 환승횟수, 비용에 대한 계수는 음(-)의 값 → 직관에 부합함

❖ 경로 단위 속성(경로 비용)이 반영되었을 때, RL과 NRL 모두에 대해서 모형 적합도 (log-likelihood) 및 예측 정확도 (RMSE, MAE, MAPE) 개선됨

			Benchmark	Recursive Logit without Link Size		Recursive Logit with Link Size		Nested Recursive Logit without Link Size		Nested Recursive Logit with Link Size	
			MNL	RL	RL-PA	RL-LS	RL-PA-LS	NRL	NRL-PA	NRL-LS	NRL-PA-LS
Parameter Estimates		Travel time (minutes)	-0.25421	-0.29355	-0.25735	-0.26593	-0.27496	-0.29257	-0.25736	-0.29354	-0.25736
		Transfer	-0.50529	-0.57388	-0.50192	-0.59726	-0.57798	-0.57388	-0.50191	-0.57389	-0.50192
		Cost (US $) *	-0.98033		-0.99934		-0.90658		-0.99947		-0.88232
		Link Dummy	-2.89300	-2.46822	-2.44444	-1.03133	-1.17093	-2.46857	-2.44442	-1.26823	-1.24309
		Link Size				-1.19753	-0.94101			-1.20225	-1.07028
	Scale (NRL)	Travel time (min.)						0.16297	0.15240	0.16960	0.15960
		# of outgoing links						0.10901	0.11387	0.09655	0.10224
Model Fit		Final Log-Likelihood	-48816	-43176	**-43087**	-22496	**-22382**	-33399	**-33318**	-18458	**-18307**
Prediction Results		RMSE	0.488	0.136	**0.126**	0.078	**0.041**	0.074	**0.073**	0.043	**0.026**
		MAE	0.210	0.122	**0.118**	0.066	**0.039**	0.066	**0.062**	0.036	**0.022**
		MAPE	55.68%	30.54%	**29.79%**	16.36%	**9.29%**	16.14%	**15.95%**	9.43%	**5.18%**

* Converted from the original cost in Korean won (KRW) to US dollars, assuming $ 1 = 1,300 KRW

5. 결론

5.1 결론

❖ 본 연구에서는 경로 단위 속성을 고려한 RL 모형을 구축함

- 경로 단위 속성(본 연구에서는 경로 비용)을 링크 단위 값으로 변환하는 접근법을 제안함

❖ 본 연구에서 제안한 모형으로 다음과 같은 분석이 가능함

- 경로 단위 속성이 경로 선택에 미치는 영향을 분석할 수 있음
  (예: 통행 비용이 경로 선택에 미치는 영향)
- 경로 단위 속성을 고려함으로써 모형 추정 및 예측 정확도가 향상됨

5.2 향후 연구

❖ 본 연구에서 제안한 모형으로 정책적으로 유용한 지표를 도출할 수 있음

- 예: 통행자의 시간가치

❖ 모형의 Cross-validation

❖ 다른 경로 단위 속성 고려

- 예: 환승 페널티, 경로의 우회 정도, 통행자의 피로도 등

❖ 경로 단위 속성의 변환과정에서 오차율을 줄이기 위한 기법

❖ 다른 데이터(예: trajectory data) 및 다른 지역에 대한 적용

References

- Arentze, T. A. & Molin, E. J. E., 2013. Travelers' preferences in multimodal networks: Design and results of a comprehensive series of choice experiments. *Transportation Research Part A*, Volume 58, pp. 15-28.
- Anderson, M. K., Nielsen, O. A. & Prato, C. G., 2017. Multimodal route choice models of public transport passengers in the Greater Copenhagen Area. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 6(3), pp. 221-245.
- Ben-Akiva, M. & Bierlaire, M., 1999. Discrete choice methods and their applications to short-term travel decisions. In: R. W. Hall, ed. *Handbook of Transportation Science*. Boston: Kluwer Academic Publishers, pp. 5-33.
- Bovy, P. H. L., 2009. On modelling route choice sets in transportation networks: a synthesis. *Transport Reviews*, 29(1), pp. 43-68.
- Cortés, C. E. et al., 2023. A recursive stochastic transit equilibrium model estimated using passive data from Santiago, Chile. *Transportation Research Part B*, Volume 174, p. 102780.
- Fosgerau, M., Frejinger, E. & Karlström, A. (2013). A link based network route choice model with unrestricted choice set. *Transportation Research Part B: Methodological*, 56, 70-80.
- Hoogendoorn-Lanser, S., 2005. *Modelling Travel Behaviour in Multimodal Networks*. Ph. D. Dissertation. Delft: Delft University of Technology.
- Kneis, A., Lorca, J. & Melo, E., 2022. A recursive logit model with choice aversion and its application to transportation networks. *Transportation Research Part B*, Volume 155, pp. 47-71.
- Liu, Y., Bunker, J. & Ferreira, L., 2010. Transit Users' Route-Choice Modelling in Transit Assignment: a Review. *Transport Reviews*, 30(6), pp. 753-769.
- Lo, H. K., Yip, C. W. & Wan, Q. K., 2004. Modeling competitive multi-modal transit services: a nested logit approach. *Transportation Research Part C*, Volume 12, pp. 251-272.
- Mai, T., Fosgerau, M. & Frejinger, E. (2015). A nested recursive logit model for route choice analysis. *Transportation Research Part B*, 75, 100-112.
- Meyer de Freitas, L., Becker, H., Zimmermann, M. & Axhausen, K. W. (2019). Modelling intermodal travel in Switzerland: A recursive logit approach. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 119, 200-213.
- Montini, L., Antoniou, C. & Axhausen, K. W., 2017. Route and mode choice using GPS data. *Presented at 96th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C.
- Moore, E. H. (1920). On the reciprocal of the general algebraic matrix. *Bulletin of the American Mathematical Society*, 26 (9): 394-95. doi:10.1090/S0002-9904-1920-03322-7.
- Nassir, N., Hickman, M. & Ma, Z. L. (2019). A strategy-based recursive path choice model for public transit smart card data. *Transportation Research Part B: Methodological*, 126, 528-548.
- Nielsen, O. A., Eltved, A., Anderson, M. K. & Prato, C. G., 2021. Relevance of detailed transfer attributes in large-scale multimodal route choice models for metropolitan public transport passengers. *Transportation Research Part A*, Volume 147, pp. 76-92.
- Oyama, Y., 2023. Capturing positive network attributes during the estimation of recursive logit models: A prism-based approach. *Transportation Research Part C*, Volume 147, p. 104014.
- Oyama, Y. & Hato, E., 2017. A discounted recursive logit model for dynamic gridlock network analysis. *Transportation Research Part C*, Volume 85, pp. 509-527.
- Penrose, R. (1955). A generalized inverse for matrices. *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*. 51 (3): 406-13. Bibcode:1955PCPS...51..406P. doi:10.1017/S0305004100030401.
- Prato, C. G. & Bekhor, S., 2007. Modeling Route Choice Behavior: How Relevant Is the Composition of Choice Set?. *Transportation Research Record*, Volume 2003, pp. 64-73.
- Prato, C. G., 2009. *Route choice modeling: past, present and future research directions*. *Journal of Choice Modelling*, 2(1), pp. 65-100.
- van Eck, G. et al., 2014. Model complexities and requirements for multimodal transport network design: Assessment of classical, state-of-the-practice, and state-of-the-research models. *Transportation research record*, Volume 2429, pp. 178-187.
- van Oijen, T. P., Daamen, W. & Hoogendoorn, S. P., 2020. Estimation of a recursive link-based logit model and link flows in a sensor equipped network. *Transportation Research Part B*, Volume 140, pp. 262-281.
- Zimmermann, M., Mai, T. & Frejinger, E. (2017). Bike route choice modeling using GPS data without choice sets of paths. *Transportation Research Part C*, 75, 183-196.
- Zimmermann, M., Axhausen, K. & Frejinger, E. (2018a). *Multi-modal route choice modeling in a dynamic schedule-based transit network* (No. CIRRELT-2018-36). CIRRELT, Centre interuniversitaire de recherche sur les réseaux d'entreprise, la logistique et le transport= Interuniversity Research Centre on Enterprise Networks, Logistics and Transportation.
- Zimmermann, M., Västberg, O. B., Frejinger, E. & Karlström, A., 2018b. Capturing correlation with a mixed recursive logit model for activity-travel scheduling. *Transportation Research Part C*, Volume 93, pp. 273-291.

Session C

교통 빅데이터(Ⅰ)

Session

C-1

LLM 교통사고 경위 데이터 분석: 차대 자전거, 자전거대 차, 차대 보행자 관하여
강지훈, 고우리, 윤일수

다중 모빌리티 데이터 기반 통합 모빌리티 서비스 평가 지표 개발
김승민, 박호철

스마트 모빌리티 서비스 도입을 위한 이용자, 운영, 사회경제, 토지이용 특성별 버스정류장 분류
이영현, 한효림, 정용일, 송태진

DNN 기반 도심지 네트워크 교통상황 예측에 관한 연구
진종찬, 이경진, 윤일수

운전자 내 이질성을 고려한 차량 추종 행동에 대한 운전자 간 이질성의 영향
최세원, 최준희, 문세동, 김동규

교통분야 초거대 AI 기반 조성을 위한 승용차 및 대중교통 트립체인 데이터 구축
박유진, 구자헌, 이경재, 추상호

LLM 교통사고 경위 데이터 분석
: 차대 자전거, 자전거대 차, 차대 보행자 관하여

LLM Based Analysis of Traffic Accident Description Data
: Focusing on Car-to-Bicycle, Bicycle-to-Car, and Car-to-Pedestrian Accidents

강지훈 (아주대학교, 석사과정)
고우리 (아주대학교, 석박사통합과정)
윤일수 (아주대학교, 교수)

Key Words : 교통사고 분석, LLM, 사고 경위, 객체 거동 예측

목 차

Ⅰ. 서론
Ⅱ. 관련 연구 고찰
Ⅲ. 분석방법론
Ⅳ. 결과분석
Ⅴ. 결론 및 향후 연구과제

Ⅰ. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

2022년 기준, 도로교통사고로 인한 사회적 비용은 약 26조 원에 달하며, 이는 국내총생산(GDP)의 1.2%에 해당한다(한국도로교통공단, 2024). 교통사고는 사회 전반에 걸쳐 경제적, 사회적 손실을 발생시키는 중요한 문제로, 이를 예방하기 위한 효과적인 대책 마련의 필요성이 커지고 있다. 교통사고의 예방 대책을 효과적으로 수립하기 위해서는 단순한 사고 통계 데이터뿐만 아니라, 사고 경위 설명과 같은 텍스트 데이터의 분석이 필수적이다. 사고 경위는 사고가 발생한 구체적인 상황을 서술한 데이터로, 이를 분석하여 사고에 연관된 객체들의 움직임과 사고 원인을 더 정확하게 추론할 수 있다.

차대 자전거, 자전거대 차, 차대 보행자 사고는 도심도로에서 자주 발생하는 주요 사고 유형으로, 여기서 첫 번째로 언급된 객체가 사고를 발생시킨 주체를 의미한다. 이러한 사고는 피해가 크고 복잡한 경위 분석이 요구된다. 기존의 교통관련 데이터 분석에서는 TF-IDF(Term Frequency-Inverse Document Frequency) 기법이 사용되는 경우가 있다(양은혜, 2023). TF-IDF는 단어의 빈도와 전체 문서에서의 출현 빈도를 바탕으로 단어의 중요도를 계산하는 기법이다. 따라서, TF-IDF 중요도 점수가 높은 단어를 추출하여 사고 원인이나 객체의 움직임을 분석하는데 주로 활용되었다. 그러나 TF-IDF는 단어 빈도에 의존하기 때문에 문장의 맥락을 충분히 반영하지 못한다는 한계를 가지고 있다(유은순, 2015). 동일한 사고 상황이라도 표현 방식에 따라 문맥이 왜곡되거나 중요한 정보가 누락될 가능성이 있으며, 이로 인해 분석의 정확도가 떨어질 수 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해, 최근 대형 언어 모델(LLM, Large Language Model)이 주목받고 있다. LLM은 방대한 데이터를 학습하여 텍스트 내에서 문맥적 의미를 이해하고, 단순한 단어 빈도 분석을 넘어 복잡한 문장 구조를 해석할 수 있는 능력을 갖추고 있다. 특히 GPT-4와 같은 최신 LLM은 사고 경위 설명에서 숨겨진 패턴을 발견하고, 이를 통해 사고 발생 원인과 객체의 구체적인 거동을 더 정확하게 추론할 수 있다.

본 연구의 목적은 차대 자전거, 자전거대 차, 차대 보행자 사고 경위 데이터를 LLM을 활용하여 분석하고, 기존에 주로 사용된 TF-IDF 기법이 가지는 한계를 LLM이 어떻게 보완할 수 있는지를 평가하는 것이다. 특히, TF-IDF 기법이 단어의 빈도에 기반해 문맥을 반영하지 못하는 부분을 LLM이 문장 구조를 분석하여 텍스트 내에서 의미를 추출함으로써 보완할 수 있는지에 중점을 둔다. 이를 통해, 기존 분석 방식으로는 추출되지 않은 객체의 거동 정보를 LLM이 얼마나 정확히 예측할 수 있는지를 평가하고자 하며, LLM이 교통사고 데이터 분석에 실질적으로 기여할 수 있는 가능성을 검토한다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구는 교통사고 경위 데이터를 기반으로 차대 자전거, 자전거대 차, 차대 보행자 사고에서 객체들의 거동 정보를 예측하는 분석 방법을 제시하는 것을 목표로 한다. 연구 대상은 2012년부터 2014년까지 경찰청에서 수집된 교통사고 데이터

로, 각 사고의 구체적인 경위가 포함된 텍스트 설명을 사용한다. 해당 데이터는 사고의 시간, 장소, 도로 형태, 사고 유형, 차량 유형, 법규 위반 여부 등의 구조화된 정보도 포함하고 있으며, 본 연구는 특히 텍스트 형태의 사고 경위 설명에 중점을 둔다.

본 연구의 방법은 크게 네 단계로 구성된다. 첫째, 차대 자전거, 자전거대 차, 차대 보행자 사고 경위 데이터를 수집한 후, 이를 거동 정보가 명시된 데이터와 명시되지 않은 데이터로 구분한다. 거동 정보가 명시된 데이터는 각 객체의 움직임이 구체적으로 서술된 데이터를 의미하며, 전체 데이터 중 300개를 무작위 추출하여 사용한다.

둘째, LLM의 학습 데이터를 준비하기 위해, 기존 TF-IDF 기법을 통해 거동 정보가 추출된 차대 자전거, 자전거대 차, 차대 보행자 사고 경위 데이터 300개에서 각 객체의 거동 정보를 도출한다. 이를 통해 LLM을 학습하여 문맥적 의미를 이해하고, 각 객체의 움직임을 예측하도록 훈련한다.

셋째, 학습된 LLM을 사용하여, 거동 정보가 포함된 60개의 데이터를 테스트하고 모델이 TF-IDF로 추출한 거동 정보와 얼마나 일치하는지 평가한다. 이후, 거동 정보가 명시되지 않은 60개의 데이터에 대해 LLM이 예측한 결과를 사전에 수기로 작성된 거동 정보와 비교하여 성능을 평가한다. 성능 평가 지표로는 정확도(accuracy), 정밀도(precision), 재현율(recall), 그리고 F1 점수를 사용한다. 이를 통해 LLM이 다양한 사고 경위 설명에서 객체의 거동 정보를 얼마나 효과적으로 예측하는지 평가한다.

II. 관련 연구 고찰

1. 기존 연구

김홍비 외(2023)는 LLM을 활용해 교통사고 데이터를 분석하는 연구를 진행하여, 텍스트 기반 사고 경위 설명에서 중요한 정보를 추출하고 사고 원인을 파악하는 데 중점을 두었다. 이 연구에서는 규정 질의응답 시스템을 구축하는 과정에서 LLM과 문서 검색 알고리즘을 결합하여 질문에 대한 신속하고 정확한 답변을 생성하는 방식을 적용하였다.

Maroa M. 외(2023)는 교통사고 데이터를 분석하기 위해 LLM을 사용하여 사고 설명 텍스트에서 중요한 사건 정보를 추출하는 연구를 진행했다. 이 연구에서는 LLM을 사용해 교통사고의 주요 원인을 파악하고, 이를 바탕으로 특정 교통 패턴을 예측하는 데 집중했다. 특히 사고 내러티브의 문맥적 해석이 LLM을 통해 어떻게 이루어질 수 있는지에 중점을 두었다.

Zheng O. 외(2023)는 LLM을 활용한 교통 안전 연구의 가능성을 탐구하는 연구를 진행했다. 이 연구에서는 ChatGPT와 같은 대형 언어 모델을 이용해 사고 보고서 자동화, 데이터 증강, 그리고 멀티 센서 분석 등의 응용 가능성을 평가하였다. 특히 LLM이 대형 데이터셋을 바탕으로 교통 안전 분석을 개선할 수 있는 잠재력을 강조하며, 더 복잡한 교통 시나리오를 처리하는 데 있어 중요한 도구로 작용할 수 있음을 시사했다.

2. 기존 연구와의 차별성

기존 연구들은 LLM의 정보 추출과 답변 생성에 중점을 두고 있는 반면, 본 연구는 사고 경위 내에서의 추론과 거동 정보 예측에 초점을 맞추며, 이를 통해 복잡한 교통사고 경위 데이터에서 LLM이 어떻게 기존 기법을 보완할 수 있는지를 검증한다. 이와 같이, 본 연구는 LLM이 단순히 정보 추출을 넘어 복잡한 문맥 분석과 추론 기반의 예측을 통해 교통사고 데이터를 처리하는 방법론적 차별성을 제시한다.

III. 분석 방법론

1. 데이터 분석

본 연구에서는 교통사고 경위 데이터를 기반으로 차대 자전거, 자전거대 차, 차대 보행자 사고 시나리오에서 LLM을 활용하여 사고 경위 설명에 따른 두 객체의 거동 정보를 예측하는 방법을 제시하였다. 먼저, 데이터를 전처리하여 불필요한 특수 문자와 공백을 제거하고, 누락된 데이터를 분석에서 제외하였다. 이를 통해 사고 경위 텍스트 데이터를 LLM에 적합한 형태로 준비하였다. <표 1>은 해당 데이터의 예시를 나타낸다.

<표 1> 교통사고 경위 예시 데이터

사고 경위	거동 정보	사고 유형
# 1자전거가 연지동방면에서 ... 좌회전 하다 금산교차로에서 직진 하던 ... # 2차량 우측부분이 접촉한 사고임	좌회전/직진	자전거대차
# 1차량 은 신호등 없는 삼거리 교차로상을 북구청 ... 좌회전 하던중 진행방향 좌측에서 우측으로 횡단 하던 보행자 몸부위를 ... 부분으로 충격한 사고임	좌회전/횡단	차대보행자
# 1차량 편도 2차로 도로를 ... 용마어린이공원 방향으로 신호위반 약 10운전자 진술로 좌회전 중 용마어린이공원 방면에서 .... 도로를 횡단 하던 # 2자전거 우측부분을 앞 범퍼부분으로 충돌 인적물적피해 사고임	좌회전/횡단	차대자전거

2. LLM 학습 및 예측

본 연구에서는 최신 대형 언어 모델인 GPT-4를 사용하여 교통사고 경위 설명 데이터를 학습시켰다. LLM은 기존 TF-IDF 기법과는 달리 문맥적 의미를 이해하는 데 강점을 가지고 있으며, 단순한 단어 빈도 분석을 넘어 문장 내의 패턴과 관계를 파악하여 객체들의 구체적인 움직임을 예측할 수 있다. 예측 결과는 "1객체/2객체" 형식으로 출력되었으며, 예를

들어 "직진/좌회전"과 같은 방식으로 표현된다. 이 과정에서 LLM은 다양한 사고 시나리오에서 두 객체의 복잡한 상호작용을 문맥적으로 분석하여 예측 정확도를 높였다.

3. 성능 평가

LLM의 성능은 정확도, 정밀도, 재현율, 그리고 F1 점수를 기준으로 평가하였다. 특히, LLM은 문맥적 정보를 활용해 더 복잡한 사고 경위에서도 일관된 예측을 수행할 수 있었다. 성능 평가에서 LLM이 얼마나 정확하게 객체의 움직임을 예측했는지, 그리고 TF-IDF 기법이 놓친 데이터를 얼마나 보완했는지를 중점적으로 분석하였다.

Ⅳ. 결과분석

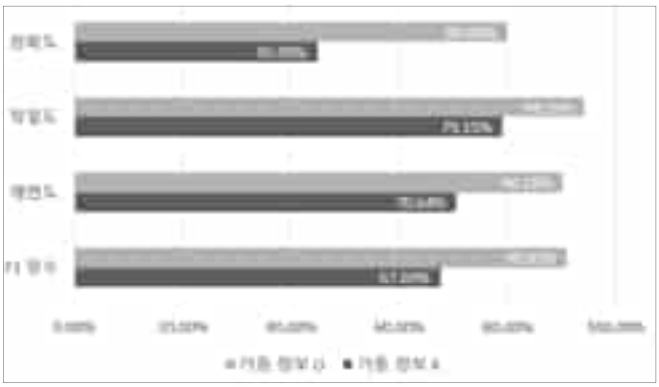
1. 거동 정보가 명시된 데이터

본 연구에서는 차대 자전거, 자전거대 차, 차대 보행자 사고 데이터를 대상으로 거동 정보가 명시된 데이터에 대해 LLM을 적용하여 예측 성능을 분석하였다. 거동 정보가 명시된 데이터란, 사고 발생 시 각 객체(차량, 자전거, 보행자 등)의 움직임이 구체적으로 서술된 데이터를 의미한다. LLM은 다양한 성능 지표에서 우수한 결과를 보였으며, 특히 복잡한 교통사고 경위 설명을 문맥적으로 이해하여 각 객체의 거동 정보를 성공적으로 예측하였다.

LLM의 TF-IDF 기반 거동 정보랑 비교한 결과 LLM 정확도는 80%로 나타났다. 이는 예측된 결과 중 실제 값과 일치한 비율을 의미한다. 예를 들어, 교차로에서 자전거가 좌회전 중이었고 차량이 직진하는 상황에서, LLM은 이 두 객체의 상호작용을 문맥적으로 이해하여 자전거와 차량의 움직임을 정확히 예측할 수 있었다. 80%의 정확도는 LLM이 단순한 단어 빈도에 의존하지 않고, 사고 경위 설명에서 문맥적 의미를 잘 이해하여 예측했음을 시사한다. 복잡한 사고 상황에서도 문맥적 정보를 바탕으로 일관된 예측을 수행한 것이 성능 향상의 주요 원인으로 분석된다. 정밀도는 94.19%로, 예측된 거동 정보 중 실제와 일치하는 비율을 나타낸다. 높은 정밀도는 LLM이 불필요한 오탐(false positives)을 최소화하고, 정확한 예측을 수행했음을 의미한다. 특히, 교차로와 같은 복잡한 사고 상황에서도 LLM은 객체의 움직임을 효과적으로 포착한 것이 확인되었다. 재현율은 90.18%로, 실제 거동 정보 중 모델이 얼마나 많은 부분을 정확하게 예측했는지를 나타낸다. 높은 재현율은 LLM이 다양한 실제 정보를 성공적으로 포착했음을 의미하며, 복잡한 경위 설명에서도 일관된 성능을 유지했음을 시사한다. F1 점수는 90.91%로, 정밀도와 재현율 간의 균형을 잘 맞춘 성능을 보여준다. 이는 LLM이 정확성과 포괄성을 모두 충족하는 예측을 수행했음을 의미하며, 특히 복잡한 사고 상황에서도 일관된 성능을 입증한다.

2. 거동 정보가 명시되지 않은 데이터

거동 정보가 명시되지 않은 데이터를 대상으로 한 예측에서 LLM의 성능은 다소 제한적으로 나타났다. 정확도는 45%로, 이는 LLM이 절반 정도의 경우에서 실제 값과 일치한 예측을 수행했음을 의미한다. 정보가 불명확한 텍스트 기반 데이터에서는 문맥적 단서가 부족할 경우 예측의 정확도가 떨어질 수 있다. 이는 LLM이 불명확한 정보에 대해서는 문맥을 더 효과적으로 활용해야 함을 시사한다. 정밀도는 예측된 값 중 실제와 일치하는 비율을 의미한다. LLM의 정밀도는 79.15%로 나타났으며, 이는 모델이 불필요한 예측을 최소화하고 중요한 데이터를 정확하게 포착했음을 보여준다. 재현율은 70.64%로, 실제 거동 정보 중 약 70%를 성공적으로 예측했음을 나타낸다. 이는 LLM이 일부 중요한 데이터를 놓쳤다는 것을 의미하며, 데이터 불균형이나 훈련 데이터의 부족이 원인일 수 있다. F1 점수는 67.69%로, 정밀도와 재현율 간의 균형이 부족했음을 의미한다. 이는 학습 데이터에서 특정 클래스가 충분히 학습되지 않았을 가능성을 시사하며, 향후 데이터를 보강하여 성능을 향상시킬 필요가 있다. 다음 <그림 1>는 해당 성능 평가 결과를 나타낸다.



<그림 1> 성능 평가 결과

Ⅴ. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 LLM을 활용하여 차대 자전거, 자전거대 차, 차대 보행자 사고 경위 설명을 바탕으로 두 객체의 거동 정보를 예측하는 분석을 수행하였다. 기존에 사용되던 TF-IDF 기법과 비교했을 때, LLM은 문맥적 요소를 더 효과적으로 이해할 수 있는 잠재력을 가지고 있다. 특히 불분명한 사고 상황에서 LLM이 사고 경위 설명의 문맥을 더 깊이 파악할 수 있어, TF-IDF가 처리하기 어려운 복잡한 문장 구조에서 더 정확한 예측이 가능할 것으로 기대된다. 이를 통해 LLM이 차대 자전거 및 차대 보행자 사고 분석에서 유의미한 대안이 될 수 있음을 제안할 수 있다.

거동 정보가 명확하지 않거나 기록되지 않은 데이터에서도, LLM은 사고 경위 설명을 기반으로 일정 부분 유의미한 예측을 도출할 수 있었다. 이는 LLM이 다양한 사고 경위 설

명에서 추론 능력을 활용하여 복잡한 상황을 분석할 수 있음을 시사하며, 일부 교통사고 데이터 분석에서 활용 가능성을 보여준다. 또한, LLM은 기존 TF-IDF 기법의 한계를 보완하여 단순한 단어 빈도 분석이 아닌 문맥을 고려한 사고 분석을 가능하게 함을 입증하였다. 결론적으로, 본 연구는 LLM이 차대 자전거, 자전거대 차, 차대 보행자 사고 데이터 분석에서 효율적이고 유용한 도구로 활용될 수 있음을 입증하였으며, 이를 발전시켜 교통사고 예방 및 관리 시스템에 적용할 가능성이 있음을 제시하였다. LLM 기반의 분석이 기존 텍스트 분석 기법보다 정교하고 예측력이 뛰어난 도구임을 입증하여 실무에서의 활용 가능성을 제시한 것이다.

향후 연구에서는 다음과 같은 과제를 중심으로 연구를 확장할 필요가 있다. 첫째, 본 연구에서 사용된 수기 데이터 분류의 문제점으로는 사람이 데이터를 수기로 분류하는 과정에서 발생할 수 있는 일관성 부족과 주관적 오류가 있다. 특히, 대량의 데이터를 수기로 처리하는 경우 시간이 많이 소요되며, 처리 과정에서 누락이나 잘못된 분류가 발생할 가능성이 크다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 자동화된 데이터 분류 시스템 개발이 필수적이며, 향후 연구에서는 이를 통해 데이터 처리의 효율성과 정확성을 높일 수 있는 방법을 모색할 필요가 있다.

둘째, 더 많은 데이터를 활용한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 300개의 데이터를 사용하였지만, 대규모 데이터셋을 적용하여 LLM의 예측 성능을 정교화하고, 다양한 사고 유형을 추가로 포함하는 연구가 필요하다. 이를 통해 일반화 가능성을 높이고, 보다 폭넓은 교통사고 분석을 위한 LLM의 성능을 입증할 수 있을 것이다.

마지막으로, LLM의 분석 결과에 대한 설명 가능성을 다루는 연구도 중요하다. LLM이 도출한 예측 결과의 근거를 명확히 제시하고, 이러한 설명 가능성이 실제 교통사고 데이터 분석에서의 실무적 활용이나 데이터 분석가의 의사결정 과정에서 어떻게 도움이 될 수 있을지에 대한 연구가 필요하다.

감사의 글

본 논문은 국토교통부 자율주행 기술개발 혁신사업 '주행 및 충돌상황 대응 안전성 평가기술 개발 (RS-2021-KA160637)' 과제 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 김홍비, 유용균. (2023). 거대언어모델과 문서검색 알고리즘을 활용한 한국원자력연구원 규정 질의응답 시스템 개발. 한국산업정보학회, 28(5), 31-39.
2. 양은혜, 강희찬, 안우영. (2023). 텍스트마이닝을 활용한 교통영향평가 교통개선대책 분석 : 경기도 도시개발사업을 대상으로. 한국ITS학회, 22(2), 182-194.
3. 유은순, 최건희, 김승훈. (2015). TF-IDF와 소설 텍스트의 구조를 이용한 주제어 추출 연구. 한국컴퓨터정보학회, 20(2), 121-129.
4. Maroa M., Md Samiullah, C., & Jonathan, W., (2023) . LARGE LANGUAGE MODELS IN ANALYZING CRASH NARRATIVES – A COMPARATIVE STUDY OF CHATGPT, BARD AND GPT-4.(arXiv:2308.13563v1 [cs.CL]
5. Zheng, O., Abdel-Aty, M., Wang, D., Wang, Z., & Ding., S (2023). ChatGPT is on the Horizon: Could a Large Language Model be Suitable for Intelligent Traffic Safety Research and Applications?(arXiv preprint arXiv:2303.05382)
6. 한국도로교통공단. (2022). 『2022년 도로교통사고 사회적 비용,약 26조 2,833억 원 발생』, https://www.koroad.or.kr/main/board/6/89912/board_view.do?&cp=1&listType=list&bdOpenYn=Y&bdNoticeYn=N

2024.10.24~10.26

다중 모빌리티 데이터 기반 통합 모빌리티 서비스 평가 지표 개발

Development of Intergrated Mobility Service Evaluation MetricsBased on Multimodal Mobility Data

김승민[a], 박호철[b],

a: 명지대학교 교통공학과 석사과정

b: 명지대학교 교통공학과 부교수

MYONGJI UNIVERSITY

1. 서론

연구 배경 및 필요성

- **도시화와 모빌리티 서비스**
  - 지속적인 도시화와 인구 이동의 증가로 인해 도시 교통체계와 모빌리티 서비스는 중요한 관심사가 됨
  - 모빌리티 서비스(이동성 서비스)는 현대 도시 환경에서 중요한 역할을 하고 있으며, 사용자에게 편의성과 효율성을 제공하고 친환경 교통 옵션을 촉진하고자 하는 다양한 이해관계자들에게 큰 관심을 받고있음
- **교통 불평등**
  - 대중교통 시설은 도심에서의 서비스 격차를 줄이는 방안이 아닌 경제성, 효율성을 중심으로 수립되어 공간적인 서비스 수준의 격차가 심화되고 있음
  - 특정 지역은 다른 지역으로 접근하는데 어려움을 겪거나 대중교통을 이용하는 데 비교적 긴 이동시간을 경험하거나 여러 번 환승을 해야함
  - 결과적으로 이러한 지역은 소외되어 대중교통 서비스의 불균형이 심화됨

1. 서론

기존 문헌 검토

• 이동성 지표에 대한 연구사례

연구사례	주요내용	활용 변수
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]

• 접근성 지표에 대한 연구사례

연구사례	주요내용	활용 변수
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]

1. 서론

데이터 수집

• 세종시 버스, 스마트카드, PM, DRT 수집 및 전처리

1차 방법론

• 개발된 이동성 및 접근성 지표
• 사례 분석을 위해 실제 데이터에 지표 적용
• 지역적 특성에 대해 지표에 가중치 할당

2차 방법론

• 다중 모빌리티를 기반으로 한 통합 모빌리티 서비스 평가 지표 개발
• 심층적 데이터 분석 수행
• 통합 모빌리티 서비스 수준 판별

연구의 목표

대중교통(버스), 방향, PM, DRT의 통행분포 시각화
위 4개의 데이터를 활용하여 이동성, 접근성 지표 제시

문헌 검토

- 이동성 지표 관련 선행연구 검토
- 접근성 지표 관련 선행연구 검토

분석용 데이터 구축

- 원천데이터에서 구축된 데이터 활용
- Python 기반의 전처리를 통해 데이터 구축

분석 방법론 (1차, 2차)

이동성 지표 산출식 활용 | 접근성 지표 산출식 활용

통행분포 시각화를 위한 QGIS 프로그램 활용

분석 결과 및 해석

결론 및 향후 연구

통합 모빌리티 서비스 수준 판별

1. 서론

분석 지역(세종시)

- 주요 대중교통 및 연결성 문제
- 긴 통근 시간
- 서비스 격차 유발 악화
- 관리 역할을 지원하기 위한 인프라 개선 필요

- 본 연구에서는 공간적으로 발생하고 있는 세종시 대중교통의 불균형을 평가하기 위하여 대중교통 노선, 개인의 이동수단, DRT 데이터를 활용하여 이동성, 접근성 등 다양한 지표를 개발하고자 함

- 세종시의 불편한 대중교통, 공역교통문제

대중교통의 만족도	
매우 불만족	10%
약간 불만족	21.6%
보통	29.2%
약간 만족	30.3%
매우 만족	9%

대중교통의 불만 요인	
배차간격 길어서	76.1%
정류장거리 멀어서	7.3%
운전자 난폭운전 및 불친절	5.1%
승차시간 길어서	4.7%
기타	6.8%

2. 분석 데이터

세종시 다중 모빌리티 데이터

01	
시간적 범위	• 2020년 05월 1일자 데이터 (6,960건)
공간적 범위	• 세종특별시 전체
내용적 범위	• 출발, 도착, 승차, 하차 X,Y 좌표, 출발 도착 시각, 목적, 성별

02	
시간적 범위	• 2021년 10월 21일 목요일 하루치 데이터 (28,549건)
공간적 범위	• 세종특별시 전체
내용적 범위	• 승·하차 시간, 승·하차 정류장 코드

03	
시간적 범위	• 2023년 04월 05일 ~ 04월 11일 7일치 데이터 (18,287건)
공간적 범위	• 세종특별시 전체
내용적 범위	• 각보도 하서, 출발 X,Y 좌표, 도착 X,Y 좌표, 이용시간, 이동거리, 이동속도

04	
시간적 범위	• 2023년 03월 1일자 데이터 (2,435건)
공간적 범위	• 세종특별시 전체
내용적 범위	• 출발시간, 도착시간, 승차지 X,Y 좌표, 하차지 X,Y 좌표, 인원수, 예약 방식

한계점	
	• 공간적 범위는 세종특별시 전체이나, 데이터 수집 절차의 어려움으로 시간적 범위가 상이한 한계점을 가지고 있지만, 위 4개의 데이터를 같이 분석한 선행 연구가 없으기 때문에 본 연구는 유의미한 결과를 낼 수 있다고 판단함

2. 분석 데이터

세종시 다중 모빌리티 데이터 전처리

- 위에서 구축한 4개의 데이터를 각 지역마다 결측치 및 이상치 처리 등의 전처리 작업을 수행하여 파생 변수를 생성함
- 각 4개의 수단(대중교통, DRT, PM, 보행)에 있어서 각 지역마다 평균 통행시간으로 나타냄
- 각 4개의 수단 (대중교통, DRT, PM, 보행) 에 있어서 각 지역마다 총 이용 횟수로 나타냄
- 승용차 통행시간은 각 읍면동마다 모빌리티 수단 이용량이 가장 많은 버스 정류장을 기준으로 승용차 통행시간 평균을 내 나타냄

NAME	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
승용차 접근시간(분)	33.46	4.32	28.58	61.90	8.60	28.13	16.84	17.41	23.00	8.38	18.98	7.11	12.84	7.36	11.90	13.32	8.20	17.34	9.47	10.84	10.23	11.98	14.87
대중교통 통행시간(분)	40.26	9.77	37.78	40.26	14.85	30.79	19.07	40.21	30.21	15.63	46.08	13.20	17.78	30.72	30.97	7.88	15.97	28.34	13.58	27.75	17.28	18.05	20.19
대중교통 이용횟수	940	40000	7935	8995	116603	2715	61000	25185	1581	117540	12545	32855	33511	40775	49440	65130	32580	13975	28140	80215	17828	54830	10732
DRT 통행시간(분)	46	9.93	29.04	7.2	28.03	11.21	5	7.97	23.29	0	26.79	0	0	0	0	0	0	0	0	13.26	0	0	0
DRT 이용 횟수	13	130	170	75	460	177	1	388	18	0	258	0	0	0	0	0	0	0	0	270	0	0	0
PM 통행시간(분)	6	6	0	5	1	0	6	0	3	6	6	5	1	3	6	6	6	7	0	7	6	6	6
PM 이용 횟수	0	1174	0	0	2212	0	8144	0	3	8217	6	2802	1728	2164	4717	6296	4480	374	1623	201	617	5792	3744
보행시간(분)	16	12	16	17	12	12	15	16	17	12	15	12	14	15	14	12	13	8	17	13	13	12	8
보행 횟수	13	133	13	26	275	21	209	32	11	284	21	404	227	145	233	333	236	31	237	89	344	335	254

3. 1차 방법론

1차 방법론 지표 산출

01 이동성 지표 산출식

- 본 연구의 지표의 모형화를 위해 사용한 표식은 다음과 같다
- 본 지표는 대중교통시설의 승용차에 비해 얼마나 빠른 경쟁력을 제공하는지를 나타냄
- 대중교통시설 뿐만 아니라 DRT의 이동성을 포함시켜 대중교통 접근성이 좋지 않은 지역의 균형을 맞춤
- 본 산출식으로 분석을 했을 때 비용적인 분석을 하기에는 한계가 있어 시간 보정 작업을 실시함

$$M_{ij} = mean\left(\sum_{k}^{n} \frac{S_{ij}(T_{ij})}{C_{ij}}\right) * w$$

M_{ij} = 지역 i에서 j까지의 이동성 지표

C_{ij} = 지역 i에서 j까지 승용차 통행시간

$S_{ij}(T_{ij})$ = 대중교통 통행시간 (환승시간 포함)

$$M_{ij} = mean\left(\sum_{k} \frac{\frac{R_{ij} * NR_{ij} + S_{ij}(T_{ij}) * NS_{ij}(T_{ij})}{NS_{ij}(T_{ij}) + NR_{ij}}}{C_{ij}}\right) * w$$

M_{ij} = 지역 i에서 j까지의 이동성 지표

$NS_{ij}(T_{ij})$ = 대중교통 이용횟수 (환승시간 포함)

R_{ij} = DRT 통행시간

NR_{ij} = DRT 이용횟수

- 가중치

$W = (C_{ij} + S_{ij}(T_{ij})) / Min(C_{ij} + S_{ij}(T_{ij}))$

02 접근성 지표 산출식

- 본 연구의 지표의 모형화를 위해 사용한 표식은 다음과 같다
- 본 지표는 대중교통서비스 접근 용이 정도를 나타냄
- 통행의 출발지와 도착지에서 대중교통 노선 이용을 위해 정류장까지 도달하기 위한 시간으로 도보접근성과 수단(PM)접근성으로 나누어 측정
- (도보접근성) 일별 교통카드 기반으로 최초 승차 정류장까지 접근하는데 소요되는 시간 및 이동거리 측정
- (수단접근성) PM 데이터 기반으로 최초 출발 위치부터 정류장까지 도달하는데 소요되는 시간 및 이동거리 측정

$$A_i = mean\left(\sum_{k} AT_{ik}\right)$$

A(Accessibility) = 접근성

AT(Access Time) = 접근시간

i = 산출지역

k = 이용자

$$A_i = mean\left(\sum_{k} AD_{ik}\right)$$

A(Accessibility) = 접근성

AD(Access Distance) = 접근거리

i = 산출지역

k = 이용자

3. Method

접근성 지표 산출

- 지역별로 평균 소요시간 및 이동거리 산출

보행 접근성 지표

PM 접근성 지표

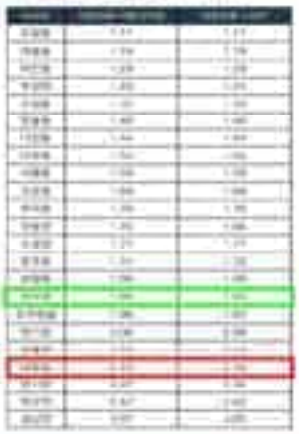
- 일일 교통카드와 PM 데이터 기반으로 평균값으로 산출
- 대중교통 시설까지의 접근 시간은 역 정류장 접근을 위한 보행시간으로 산출
- PM 접근시간의 경우 지역별로 큰 차이가 없는 반면, 보행 접근시간과 보행거리의 경우 차이 발생
- 도보접근시간의 경우 기점 주변이 없는 지역에서 오히려 PM 서비스를 지원하지 않은 곳으로 분석됨
- 이를 해결하기 위해서는 대중교통 허브지역에도 개인형 이동수단 보급이 필요함

3. Method

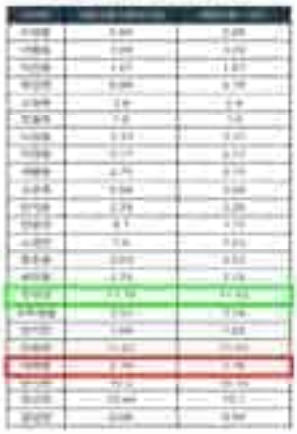
이동성 지표 산출

- 아래와 같이 통행시간을 보정하지 않으면 평균 이동거리가 가장 짧은 대평동지역이 통행이 활지 않은 곳으로 분석됨
- 분석 결과 어린동의 이동성이 가장 높고 한마면이 가장 활지 않은 곳으로 분석됨

보정 전 대중교통 이동성 지표값



보정된 대중교통 이동성 지표값



- 대평동과 소정면의 경우 DRT 서비스가 원활하게 이루어지지 않아 DRT를 제외한 대중교통의 이동성 지표값보다 DRT를 포함한 이동성 지표값이 커진을 확인할 수 있음
- 반면, 연동면의 경우 DRT 서비스가 대중교통보다 이동성이 좋아 최종 지표값이 커진것 을 안할 수 있음 (대평동, 소정면 외 지역)

DRT 서비스 지역 대중교통 이동성 지표값

읍면동	대중교통 이동성 지표
대평동	2.16
부강면	6.80
소정면	7.60
연동면	9.10
금남면	9.90
연서면	10.80
장군면	10.44
전동면	11.01
전의면	11.76

대중교통 + DRT 이동성 지표값

읍면동	대중교통+DRT
대평동	4.16
부강면	6.79
소정면	7.63
연동면	7.75
장군면	7.80
금남면	8.94
연서면	10.34
전의면	11.01
전동면	11.01

3. 2차 방법론

통합 모빌리티 서비스 수준 지표 산출

01 통합 모빌리티 서비스 지표

- 본 지표는 현재접근수단의 접근성, 간선이동수단의 이동성을 모두 보여줌으로써 각 지역의 모빌리티수단 이동 및 접근성을 나타냄
- PM의 경우 서비스가 되지 않는 지역이 있기 때문에 위의 DRT 이동성지표를 구할 때와 같이 보정 작업을 실시함
- 본 산출식으로 분석을 했을 때 바람직한 분석을 하기에는 한계가 있어 위의 가중치로 시간 보정 작업을 실시함

대중교통 + 보행(또는 PM) 이동 및 접근성 지표

$$M_{ij} = \max\left(\sum \frac{W_{ij} + A_{ij}(T_{ij})}{C_{ij}}\right) * w$$

M_{ij} = 지역 i에서 j까지의 이동성 지표

C_{ij} = 지역 i에서 j까지 승용차 통행시간

$A_{ij}(T_{ij})$ = 대중교통 통행시간 (환승시간 포함)

W_{ij} = 보행 접근시간

- 가중치 : $w = [C_{ij} + A_{ij}(T_{ij})] / Max(C_{ij} + A_{ij}(T_{ij}))$

대중교통 + DRT + PM(또는 보행)이동 및 접근성 지표

$$M_{ij} = \max\left(\sum \frac{\frac{D_{ij} * ND_{ij} + A_{ij}(T_{ij}) * NA_{ij}(T_{ij}) + P_{ij} * NP_{ij}}{NA_{ij}(T_{ij}) + ND_{ij} + NP_{ij}}}{C_{ij}}\right) * w$$

M_{ij} = 지역 i에서 j까지의 이동성 지표

$NA_{ij}(T_{ij})$ = 대중교통 이용횟수 (환승시간 포함)

D_{ij} = DRT 통행시간

ND_{ij} = DRT 이용횟수

P_{ij} = PM 통행시간

NP_{ij} = PM 이용횟수

3. 2차 방법론

통합 모빌리티 서비스 수준 지표 산출

- 모든 모빌리티수단 이동 및 접근성지표 산출 결과 [illegible]이 이동성이 가장 좋고, [illegible]이 가장 좋지 않은 곳으로 나타남
- PM 및 DRT 서비스가 제공되는 지역은 이동 및 접근성 지표값이 좋아진 것을 확인할 수 있음

대중교통 이동성 지표값

[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]

대중교통 이동 및 접근성 지표값

[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

통합 모빌리티 이동 및 접근성 지표값

[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]

2024.10.24~10.26.

감사합니다

MYONGJI
UNIVERSITY

한국ITS학회 2024 추계학술대회

스마트모빌리티 서비스 도입을 위한 이용자, 운영, 사회경제, 토지이용 특성별 버스정류장 분류

Bus stop Classifiaction by Bus Stop Classification by Users, Operations, Socioeconomic, and Land Use Characteristics for Introducing Bus Stop-based Smart Mobility Service

충북대학교 도시공학과 석사과정 이영원
충북대학교 도시공학과 석사과정 한유림
충북연구원 지역공간연구부 연구위원 정용일
충북대학교 도시공학과 부교수 송태진

서론

▪ 연구의 배경

대중교통 시스템

- 최근 스마트 시티가 도래함에 따라 고전적인 대중교통 수단에서 벗어나 자율주행버스, DRT, 마이크로모빌리티 등 다양한 서비스 형태로 모빌리티가 등장함
- 새로운 모빌리티 서비스를 도입할 시점에 기존과 같은 방식으로 교통을 계획하고 제공할 이유는 없으며, 점차 도입이 활성화되는 새로운 모빌리티 서비스 방향으로 전통적인 대중교통 수단을 확장하는 것이 필요함[1,2]

승객 이용 패턴

- 두 가지를 연계하여 도시에 적용할 수 있는 통합적인 관점에서 다양한 모빌리티 서비스를 적재적소에 배치하기 위해서는 승객의 이용패턴을 파악하는 것이 중요함
- 관련 선행연구들은 승객의 군집을 파악하는 데만 초점을 맞춰 개별 정류장마다 통행특성을 면밀히 진단하는데 한계가 존재함
- 승객들이 1차적으로 접하는 시설은 정류장이며, 모든 정류장은 동일한 수요를 갖지 않기 때문에 동일한 서비스를 공급할 필요는 없음 [3,4]
- 또한, 정류장은 고정시설이기에 정류장을 기반으로 통행특성을 진단하고 연결고리를 찾을 수 있는 요인을 발견하는 것은 중요함

▪ 연구의 목적

- 정류장을 기반으로 승객이용 정기성과 휴차노선 경유 비율을 고려하여 정류장 유형을 구분하는 것
- 정류장 유형별 공간적 특징을 파악하여 여러 대중교통 수단의 적용되기 적합한 공간 즉, 도입 전략을 제안하는 것

서론

▪ 문헌고찰

스마트모빌리티 서비스 도입 방안

- 기존 도시에 구축된 대중교통 서비스와의 연계성을 위한 도입 전략에 대한 문헌고찰
- Demand Responsive Transport, Shared Mobility, Autonomous Vehicle, Bimodal Tram 등과 관련한 선행 연구들을 고찰한 결과 **스마트 모빌리티 서비스마다 이용특성 및 패턴이 매우 상이함**
- **스마트 모빌리티에 해당하는 여러 수단에 대한 연구가 각각 수행되어져 옴**
- 여러 수단의 상대적 이점을 통합적으로 평가하고, 수단을 적용하기에 적합한 이용행태는 무엇인지 데이터에 기반한 연구가 필요한 시점

대중교통 이용자 특성 분석

- 스마트 카드 데이터의 다양한 컬럼들을 이용하여 시공간적으로 비슷한 패턴을 가지는 승객끼리 그룹화하는 방법론을 제안함 [13, 19, 28, 30]
- 대중교통을 빈번하게 이용하는 승객에 초점을 맞춰 분석함 [23, 24]
- 통행목적, 통행시간 등과 함께 분석하여 그룹별 차이를 밝히는 연구들은 실제 어떤 정류장에 해당 특징을 가진 승객이 있는지 정류장마다 판단하지 않음
- 노선 수익성과 관련한 연구는 도시 전반의 통계를 기반으로 노선 효율성을 판단할 수 있는 수익성 산출모델에 초점 [14, 17, 29, 33]
- 노선을 운영하는 입장에서 수익성을 효율적으로 판단하는 근거를 마련하였지만 실제로 어떤 정류장에 수익성 있는 노선을 적용해야할지 밝혀지지 않음

▪ 선행연구와의 차별성

- 실제 정류장을 기반으로 이용자 지표와 운영자 지표를 구축하여 비슷한 특징을 가진 승객이 있는지 정류장마다 판단하고 정류장을 유형화
- 정류장과 같이 세밀한 단위에서 다양한 모빌리티 서비스가 적용되기 적합한 특성이 무엇인지 파악하고, 종합적으로 고려할 수 있는 기반 연구를 수행

연구의 방법론 및 연구의 방법

▪ 연구의 방법론

▪ 연구의 방법

- 청주시 2022년 1월 스마트카드데이터를 활용하여 트랜잭션 생성
- 승차정류장과 하차정류장이 같은 통행 제거
- 통행시간 30초 미만 2시간 초과 통행 제거
- 승객수 하위 50% 정류장 제거

- **승객이용 정기성 (이용자 지표)**

$$\text{정류장 이용일수 기댓값} = \sum_{n=1}^{D} n \times \frac{P_{ni}}{P_i}$$

$$\text{정류장 통행수 기댓값} = \frac{1}{D}\sum_{n=1}^{D}\left(\frac{T_{ni}}{P_{ni}}\right)$$

Gaussian Mixture Model Clustering

- **혹자노선 경유 비율 (운영자 지표)**

노선의 혹자, 적자 여부 판단

$$\text{정류장 혹자노선비율} = \frac{R_i}{A_i}$$

K-means Clustering

- 정류장 인적, 시간적, 토지 특성 변수 구축

Hierarchical Clustering

- 최종적으로 클러스터링 된 정류장들의 특성을 기반으로 적합한 모빌리티 서비스 제안

연구 결과

- 청주시 버스정류장 총 개수는 3060개
- 2022년 1월 SC(스마트 카드) 데이터 기준 승객수 0명인 정류장은 1082개
- 승객수 하위 50% 정류장은 2093개

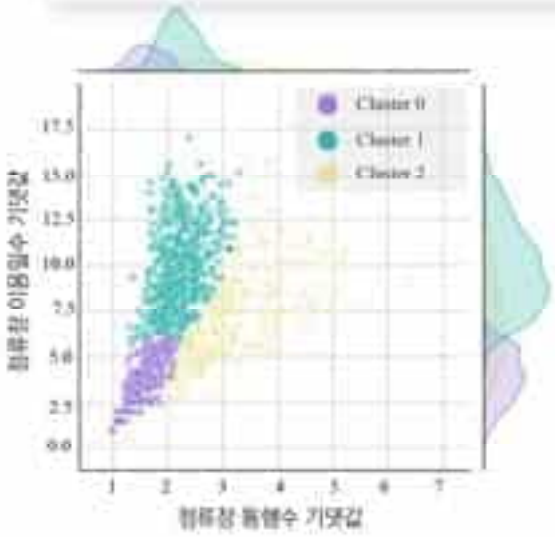
승객수 0명 정류장

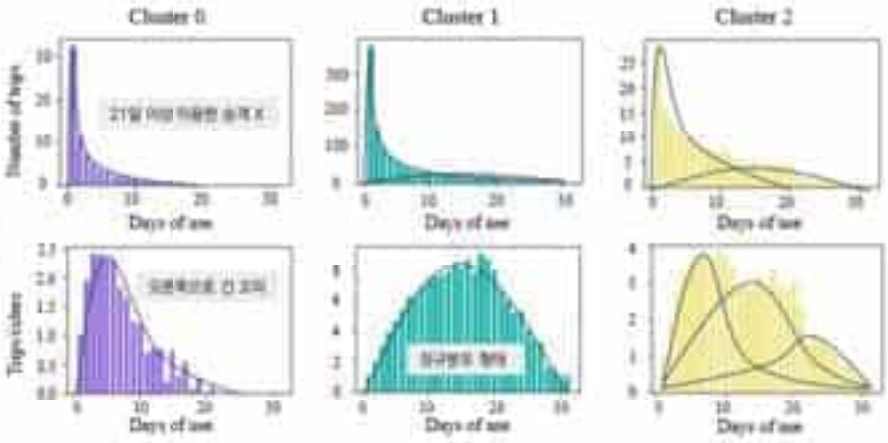
승객수 14명 이하 정류장

구분	승객수(명)	정류장 수
하위 10%	1	235
하위 20%	2	402
하위 30%	4	600
하위 40%	8	812
하위 50%	14	1011

연구 결과

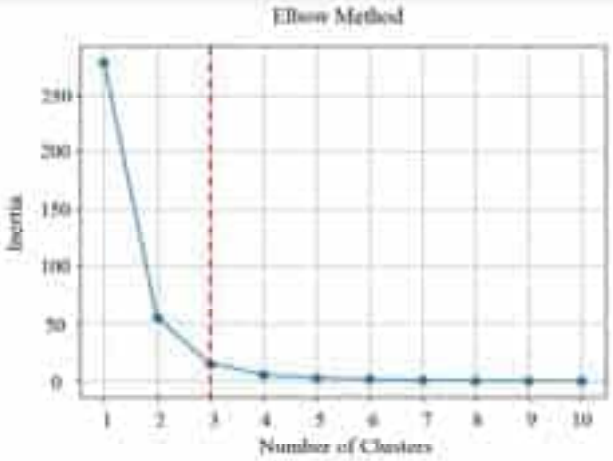
- (비정기성 정류장) 클러스터 0은 승객이 한 달 동안 정류장을 이용할 확률이 평균 1일, 한 달에 평균 4일 동행하는 승객이 있는 정류장
- (정기성 정류장) 클러스터 1은 승객이 한 달 동안 정류장을 이용할 확률이 평균 2일, 한 달에 평균 10일 동행하는 승객이 있는 정류장
- (혼합유형 정류장) 클러스터 2은 승객이 한 달 동안 정류장을 이용할 확률이 평균 3일, 한 달에 평균 7일 동행하는 승객이 있는 정류장

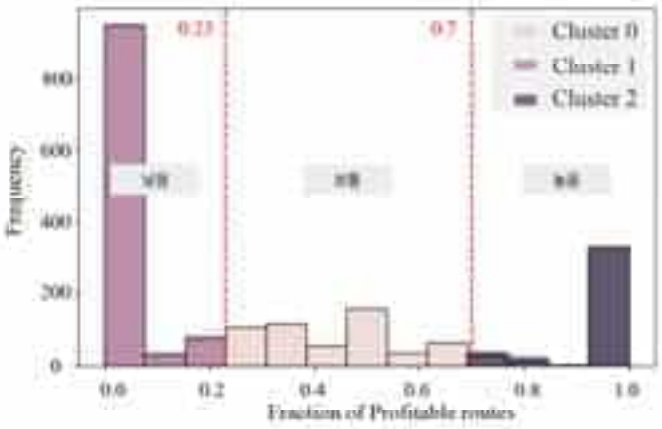




연구 결과

- Elbow Method를 통해 최적의 군집개수를 3으로 설정
- (흑자노선비율 낮음) 클러스터 1에 속한 정류장들의 흑자노선비율은 0~0.23으로 흑자노선이 거의 경유하지 않는 정류장
- (흑자노선비율 보통) 클러스터 0에 속한 정류장들의 흑자노선비율은 023~0.7으로 흑자노선이 적당히 경유하는 정류장
- (흑자노선비율 높음) 클러스터 2에 속한 정류장들의 흑자노선비율은 0.7~1으로 흑자노선비율이 가장 높은 정류장



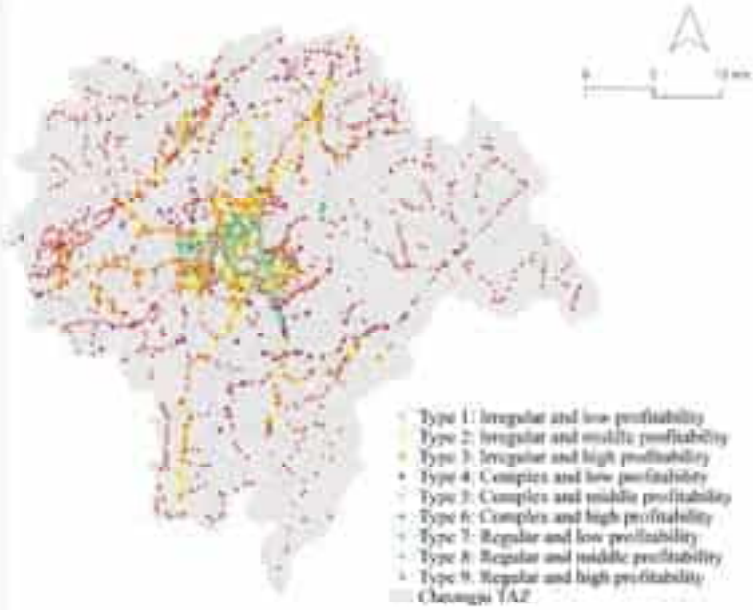


연구 결과

승객이용 정기성 / 및 승객이용 정기성 grey area

-	비정기	혼합유형	정기	합계
낮음	1938 (Type1)	87 (Type4)	116 (Type7)	2141
보통	153 (Type2)	88 (Type5)	315 (Type8)	536
높음	223 (Type3)	36 (Type6)	124 (Type9)	383
합계	2314	191	555	3060

- 승객이용 정기성으로 유형화된 정류장과 흑자노선비율로 유형화된 정류장을 교차하여 청주시 정류장 3060개소를 총 9가지 유형으로 분류함
- 비정기성 정류장은 외각지역에, 혼합유형은 산발적으로, 정기성 정류장은 도심지역에 위치함
- 유형 1,3,7,9 정류장의 경우 특징이 명확하여 해석하는데 어려움이 없으나, 나머지 유형들은 grey area로써 해석하기 애매함
- 따라서 정류장별로 인적특성, 시간적 특성, 토지 특성 변수를 구축하여 재군집함

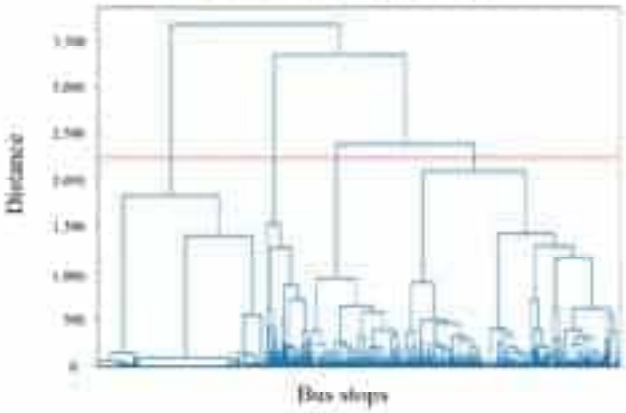


연구 결과

Step 1

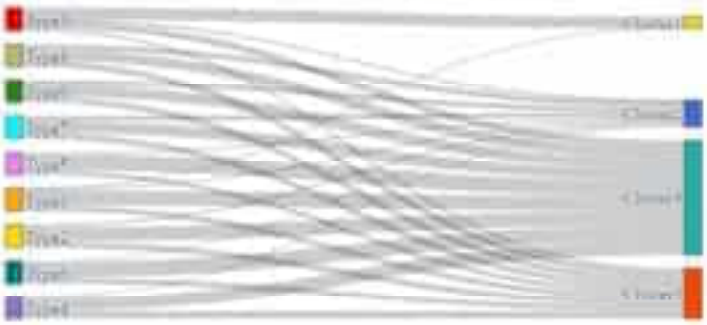
- 각 클러스터 내에서 유형(Type)이 차지하는 비율이 높은 것을 대표 유형으로 간주함 (다만, 앞 클러스터에서 대표 유형이 선택되면 뒤에서는 제외함)
- 클러스터별로 대표하는 유형이 다른 것을 알 수 있음
- **클러스터 1**은 유형1 정류장이, **클러스터 2**는 유형 8, 9 정류장이, **클러스터 3**은 유형 4, 7 정류장이, **클러스터 4**는 유형 2, 3, 5, 6 정류장이 대표성을 띔
- 다음장에서는 클러스터별 정류장 요인의 평균값을 보고함

(A) Clusterd bus stops by the type



(B) Re-clusterd bus stops by the type

Type / Cluster	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	51.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	8.56	10.46	8.52	6.80	8.82	5.58	22.41	26.39	23.39
3	12.44	27.49	25.11	83.33	20.59	25.00	27.59	28.25	28.23
4	32.77	62.09	65.47	59.77	70.58	69.44	50.00	45.40	48.38



연구 결과

Step 2

Cluster	정류장 특징		공간특징	대안
1	승객수 매우 적음	버퍼기상	골연지역 위치	DRT로 전환이 필요한 정류장
2	승객 수 매우 많음	정기상	도심지역(주로 주거) 위치, 인근 인구수 많음	15분 이내의 정기상 확보를 위한 자율주행버스 혹은 퍼스트 라스트 마일 보완이 필요한 정류장
3	정기상에 가까운 혼합유형		토지이용혼합도가 높음	승객 편의성을 위해 노선 추가 공급 혹은 버퍼모델 프로 도입
4	버퍼기상에 가까운 혼합유형		산 대로변을 따라 주로 상업지역 위치	이용이 집중되는 시간대에 집중 제공 혹은 대로변을 따라 자율모로 운행되는 자율주행버스

Cluster	1	2	3	4
일반승객 통행 비율	100	69.800	83.035	81.241
학생 및 어린이 통행 비율	0.000	30.100	16.965	18.759
주중통행비율	0.000	75.576	78.088	78.779
주말통행비율	100	24.424	20.912	21.221
아침 통행 비율	0.000	42.152	45.514	39.762
오후 통행 비율	0.000	37.857	41.159	42.056
비대 통행 비율	100	20.191	13.327	18.182
차량 엔트로피 지수	0.000	0.800	0.717	0.705
인구수	1.029	153.334	12.737	4.594
주거시설 비율	38.071	70.735	85.679	6.399
상업시설 비율	52.441	11.997	12.795	38.057
문화시설 비율	0.067	2.405	1.486	10.804
공업시설 비율	0.009	0.000	0.043	4.759
토지 엔트로피 지수	0.007	0.048	0.068	0.042

(A) Cluster1

(B) Cluster2

(C) Cluster3

(D) Cluster4

결론

- 본 연구는 기존 대중교통 서비스와 새로운 모빌리티 서비스 연계를 위해 버스정류장 유형을 구분하여 각 정류장 특성마다 적합한 모빌리티 서비스를 제시함
- 정류장 유형 구분법은 실제 데이터를 기반으로 이용자와 운영자 입장을 모두 고려함으로써 기존보다 포괄적이고 신뢰 높은 분석이 가능하였음
- 분석 결과, 청주시 공모 버스정류장의 승객 이용 특성과 특자노선버물이 상이하게 나타났으며, 이에 따라 정류장이 9가지 유형으로 구분됨
- 정류장의 통행 특성 외에 인적 특성, 시간적 특성, 토지 특성에 따라 4가지 클러스터로 재군집됨
- 클러스터 1 정류장들이 위치한 곳에는 DRT를 도입하는 것이, 클러스터 2는 대중교통의 정시성을 확보 혹은 라스트마일 모빌리티 연계를 강화하는 것이 적절할 것임
- 클러스터 3 정류장들이 위치한 곳에는 클러스터 2와 연계한 노선을 확충하거나 바이모달 트램 도입을 고려해보는 것이, 클러스터 4는 대로변에 위치한 상업지역 인근에 집중시간대 자율주행버스를 공급하는 것이 적절함

- ✓ 본 연구는 버스 정류장 유형을 구분하는 방법론을 통해 모든 지역에 동일한 서비스를 제공할 필요는 없으며, 각 특성별로 적합한 모빌리티 서비스가 다름을 밝혀냄
- ✓ 특히, 도심지역과 도시외곽 및 읍면지역에 차등적인 서비스가 필요하며, 도심 내에서도 승객의 이용 특성 및 공간적 특성 등 성격에 따라 서비스가 다르게 공급되어야 할 필요성을 시사함
- ✓ 본 방법론을 통해 다른 도시에서 대중교통 이용 특성을 미시적으로 조사할 수 있으며, 이를 통해 정책적인 시사점을 도출할 수 있을 것으로 기대함

11

참고문헌

1. Abdelkarim, S. E., Ahmad, A. M., Fenwan, S., and Naji, K. Urban Facility Management Improving Livability through Smart Public Spaces in Smart Sustainable Cities. Sustainability, 2023. 15: https://doi.org/10.3390/su152316257.
2. Bhin, M. Y., Joh, C. H., and Son, S. K. A Study on the Influencing Factors of the Use of Autonomous Vehicle Transit Services: Focusing on the Commuters of Pangyo 2nd Techno Valley. Journal of Korean Society of Transportation, 2020. 38:415–430.
3. Choi, H. J., and Jang, S. M. A Study on the Demand-Driven Layout Method of Shared Personal Mobility to Increase Public Transportation Utilization. Journal of the Korean Society of Cadastre, 2022. 24: 125–137.
4. De Gruyter, C., Ma, L., Saghapour, T., and Dodson, J. How does the built environment affect transit use by train, tram and bus?. Journal of Transport and Land Use, 2020. 13:625–650.
5. Duan, Y., Zhao, Y., Sun, M., Yang, Y., Yi, M., Li, F., and Ma, C. Can tram construction improve traffic pollution? A microscale examination in Songjiang. Journal of Cleaner Production, 2024. 448: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141674.
6. Duducc, H., and Piątkowski, I. Smart mobility solutions in public transport based on analysis chosen smart cities. Informatyka Ekonomiczna. Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wroc ł awiu, 2018. 2: 19–35.
7. Feng, Y., Zeng, A.Z. Long-term collaboration mechanism for Disruption Recovery Service in public tram systems. Procedia Comput. Sci. 2015. 60:1337–1346.
8. Gkavra, R., Susilo, Y. O., and Kleimenhitz, R. Determinants of usage and satisfaction with demand responsive transport systems in rural areas. Transportation Research Record, 2023. 2678: https://doi.org/10.1177/03611981231188834.
9. Han, J. W., Ahn, S. Y., Kim, M. S., Han, D. H., Lee, S. G. Analysis of the Priority Supply Areas of Personal Mobility in Seoul, Korea: Focusing on the Travel Characteristics of First-and-Last Miles. Journal of Korea Planning Association, 2022. 57:42–58.
10. Huo, Y., Qiu, Z., Xin, Y., Dai, S., Pan, R., & Wan, Y. Exploring the influencing factors on demandresponsive customized bus ridership using multi-source data. 6th International Conference on Transportation Information and Safety, 2021 : 393–399.
11. Jeong, Y. I., and Oh, S. J. Transforming the city of Cheongju from a car-dependent city to a transitfriendly city. ChungBuk FOCUS, 2021. 192: 1–27.
12. Jun, C. E. H. N., Chao-jun, T. I. A. N., Qing-mei, Z. H. A. O., and Kao-wei, L. I. Bus passenger classification method based on spatial and temporal behavior regularity mining. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2021. 21: 274–285.
13. Kalkar, A. L., and Kulkarni, K. Route Profitability Prediction for Public Bus Transportation System. 5th International Conference on Advances in Science and Technology, 2022. 428–430. Yeonghwan Lee, Hyorim Han, Yongil Jung, and Tai-Jin Song 17
14. Khelf, M., Boulekbab, S. The effect of noise on the comfort of passengers inside the tramway and its impact on traffic congestion in the urban area. J. Vibroengineering, 2018. 20:530–540.
15. Kim, K. H., Kim, H. S., Yun, B. K., Song, T. J. Understanding the Heterogeneity of Travel Patterns of Carsharing Service by User Characteristics. Journal of Korean Society of Transportation, 2022. 40: 492–516.
16. Kim, S. H., and Sim, T. E. The Analysis of Efficiency for the City Bus Route Operation Using DEA: Focused on Suwon City. Journal of Korean Society of Transportation, 2021. 39:264–278.
17. L. M. Kieu., A. Bhaskar., and E. Chung. Passenger segmentation using smart card data. IEEE Transactions on intelligent transportation systems, 2014. 16:1537–1548.
18. Lee, S. Y., and Jung, H. Y. Proposition of Desirable Management According to Characteristics of Venture Bus Route Type. Journal of Korean Society of Transportation, 2013. 31:79–94.
19. Liu, M., Seeder, S., and Li, H. Analysis of e-scooter trips and their temporal usage patterns. Institute of Transportation Engineers, 2019. 89:44–49.
20. Liu, S., Yamamoto, T., Yan, F., and Nakamura, T. Exploring travel pattern variability of public transport users through smart card data: Role of gender and age. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2020. 23:4247–4256.

12

참고문헌

21. Luvala, F. Determinants of profitability in public transport: a case of savings and credit cooperatives (Saccos) in Eldoret, University of Nairobi, 2014.
22. Ma, X., Wu, Y. J., Wang, Y., Chen, F., and Liu, J. Mining smart card data for transit riders' travel patterns. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2013, 36:1-12.
23. Mahrsi, M. K. El., Côme E., Oukhellou, L., and Verleysen, M. Clustering Smart Card Data for Urban Mobility Analysis. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2017, 18:712-728.
24. Manley, E., Zhong, C., and Batty, M. Spatiotemporal variation in travel regularity through transit user profiling. Transportation, 2018, 45:703-732.
25. Moreno, T., Reche, C., Rivas, I., Minguillón, MC, Martins, V., Vargas, C., Buonanno, G., Parga, J., Pandolfi, M., Brines, M., Eato, Marina., Fonseca, A. S., Amato, F., Sosa, G., Capdevila, M., Miguel, E., Querol, X., and Gibbons, W. Urban air quality comparison for bus, tram, subway and pedestrian commutes in Barcelona. Environmental Research, 2015, 142:495-510.
26. New mobility services managing change and disruption. UITP Advancing Public Transport, 2020.:1-10.
27. Nikel, C., Eldeeb, G., and Mohamed, M. Perceived quality of bus transit services: a route-level analysis. Transportation Research Record, 2020, 2674:79-91. 28. Ouyang, Q., Lv, Y., Ren, Y., Ma, J., and Li, J. Passenger travel regularity analysis based on a largescale smart card data. Journal of Advanced Transportation, 2018, 2018: https://doi.org/10.1155/2018/9457486.
28. Ouyang, Q., Lv, Y., Ren, Y., Ma, J., and Li, J. Passenger travel regularity analysis based on a largescale smart card data. Journal of Advanced Transportation, 2018, 2018: https://doi.org/10.1155/2018/9457486.
29. Owczarzak, L., & Żak, J. Design of passenger public transportation solutions based on autonomous vehicles and their multiple criteria comparison with traditional forms of passenger transportation. Transportation Research Procedia, 2019, 10:472-482.
30. Park, K. J., Song, K. W., and Jung, H. Y. A Study on the Route Selection Method for Demand Response Transport (DRT) Replacement for Bus Services in Vulnerable Areas : Focused on Region Vulnerable to Public Transportation of GyeongSangNam-Do in Korea. Journal of Korea Planning Association, 2019, 54: 71-79.
31. Popelka, S., Zamelník, R., and Kolková, A. Profitability analysis of urban mass transport lines using activity-based costing method: An evidence from the Czech Republic. Journal of Applied Engineering Science, 2016, 14:335-344.
32. Richter, M. A., Hagenmaier, M., Bandte, O., Parida, V., and Wincent, J. Smart cities, urban mobility and autonomous vehicles: How different cities needs different sustainable investment strategies. Technological Forecasting and Social Change, 2022, 184: https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121857.
33. Salazar, M., Rossi, F., Schiffer, M., Onder, C. H., and Pavone, M. On the interaction between autonomous mobility-on-demand and public transportation systems. 21st international conference on intelligent transportation systems, 2018, :2262-2269.
34. Tupper, L. L., Matteson, D. S., and Hendley, J. C. Mixed data and classification of transit stops. IEEE International Conference on Big Data, 2016, :2225-2232.
35. Yoon, H. T., Park, Y. K., and Chang, S. K. Characteristics of the Bimodal Tram in terms of Traffic Engineering. In Proceedings of the KSR Conference The Korean Society for Railway, 2011, :1760-1765.
36. Zhao, J., Qu, Q., Zhang, F., Xu, C., and Liu, S. Spatio-temporal analysis of passenger travel patterns in massive smart card data. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2017, 18:3135-3146.
37. Zhu, J., Xie, N., Cai, Z., Tang, W., and Chen, X. A comprehensive review of shared mobility for sustainable transportation systems. International Journal of Sustainable Transportation, 2023, 17: 627-651.
38. KOSIS. Census data. 2022. https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1IN1503_01&vw_cd=MT_GTITLE01&list_id=101&seqNo=&lang_mode=ko&language=kor&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=MT_GTITLE01

DNN 기반 도심지 네트워크 교통상황 예측에 관한 연구

A study on traffic situation prediction in urban area networks based on DNN

진종찬 (아주대학교, 석사과정) **이경진** (아주대학교, 석박사통합과정) **윤일수** (아주대학교, 교수)

Key Words : 자율주행자동차, 네트워크, 도심지, 심층신경망, 예측

목 차

Ⅰ. 서론
Ⅱ. 관련 이론 및 연구 고찰
Ⅲ. 분석방법론
Ⅳ. 결론 및 향후 연구 과제

Ⅰ. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

자율주행자동차(Autonomous vehicle, AV)는 운전자 또는 승객의 조작 없이 자동차 스스로 운행이 가능한 자동차를 말한다(MOLIT, 2021). 이러한 차량은 개별차량의 주행 정보뿐만 아니라 자율주행 기술의 구현을 위한 카메라, 라이더, 레이더, 초음파 등의 센서를 통해 차량의 주변 상황 정보를 수집하며, 항시 네트워크에 연결되어 있어 방대한 양의 교통정보 수집이 가능하다. 또한, 주변의 교통상황과 도로 조건을 실시간으로 분석하여 안전하고 효율적인 주행 경로를 결정한다.

이를 통해 자율주행자동차의 운행 정보와 주변 상황 정보를 활용하여 인프라 측면에서 효율적인 교차로 신호 운영 전략을 수립함으로써 도시부 도로의 최적화된 교통 효율을 달성할 수 있다. 이를 위해 인공지능 기술을 활용하여 교차로 신호와 자율주행 자동차의 최적 경로를 연계함으로써 교통량을 효과적으로 분산시키고, 신호 교차로의 운영효율성을 극대화할 수 있는 교통운영이 필요하다.

특히, 기존에는 링크 단위로 교통상황을 예측하는 방식이 주로 사용되었으나, Lv.4 자율주행자동차의 상용화에 따라 네트워크 단위에서 교통상황을 예측하는 것이 더욱 중요해지고 있다. 자율주행자동차는 출발지와 목적지가 정해져 있어 최적의 경로를 실시간으로 계산하며 주행하는 특성이 있다. 이러한 경로 최적화 과정에서는 개별 링크뿐만 아니라 전체 교통 네트워크의 상황을 종합적으로 고려해야 하므로 네트워크 단위에서의 교통 예측이 필수적이다.

따라서, 본 연구에서는 Lv.4 자율주행 상용화에 대비한 인공지능 기반 네트워크 단위 교통상황 판단 및 예측 모델 개발에 앞서 심층신경망(deep neural network, DNN) 모형 구축을 위한 다양한 교통 패턴 데이터 생성 및 전처리, 네트워크 단위 지표에 대한 선정 과정을 제시하고 교통상황 예측 모델을 구축하고자 한다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구의 공간적 범위는 부천시청 일대 4×4(16개)의 교차로 네트워크이고, 미시교통시뮬레이션 프로그램(VISSIM)을 활용해서 분석을 수행한다. 시뮬레이션 구축에 활용된 시간적 범위는 2021년 12월 04일부터 2021년 12월 10일까지다. 본 연구의 절차로는 인공지능 기반 교통상황 예측 모델 관련 선행연구를 검토한다. 다음으로 VISSIM com-interface를 통해 교통상황 예측 모델 학습에 사용되는 다양한 교통 패턴 데이터를 생성한다. 이후 네트워크 단위 교통상황 예측을 위한 교통혼잡 지표를 선정하고 교통상황 예측 모델을 구축한다. 마지막으로 결론과 한계를 바탕으로 향후 연구를 제시한다.

Ⅱ. 관련 이론 및 연구 고찰

1. 관련 이론 고찰

심층신경망(Deep neural network, DNN)은 입력층(input layer)과 출력층(output layer) 사이에 다수의 은닉층(hidden layer)을 포함하는 인공신경망(artificial neural network, ANN)의 일종으로, 비선형 문제를 해결하는 데 효과적인 기계학습 방법이다(Park et al., 2018). DNN은 차량 속도, 교통량, 날씨 등 다양한 요인이 복잡하게 얽혀 있는 교통 데이터를 학습하고, 그 상호작용을 인식하는 데 뛰어난 능력을 보인

다. 이러한 특성 덕분에, 단순한 모델로는 파악하기 어려운 복잡한 교통상황을 더욱 효과적으로 예측할 수 있다(Fafoutellis et al., 2023).

SHAP(Shapley additive explanations)은 기계 학습 모델의 예측 결과를 설명하는 방법론으로, 각 변수가 모델의 예측에 미치는 기여도를 정량적으로 분석할 수 있는 도구이다(Yoon et al., 2021). 이를 통해 교통상황 예측 모델을 구축할 때 SHAP을 활용하면, 복잡한 교통 데이터에서 차량 속도, 교통량, 날씨 등의 다양한 요인이 예측에 미치는 영향을 체계적으로 평가할 수 있으며, 모델의 해석 가능성을 높임으로써 예측 결과에 대한 신뢰성을 강화할 수 있다(Dong et al., 2022).

2. 관련 연구 고찰

최근 인공지능을 활용한 교통상황 예측 모델 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 이러한 인공지능 기반 교통 예측 모델의 발전과 모델에서 중요하게 작용한 변수들을 확인하는 데 초점을 맞추어 선행 연구 고찰을 수행하였다.

김동현 외(2019)는 교통 혼잡 예측을 위한 DNN 모형을 제안하였다. 연구 결과, 서울시 주요 도로에서 평균 90% 이상의 예측 정확도를 기록하였으며, 교통사고 및 도로공사 데이터를 추가할 경우 더욱 높은 정확도를 기대할 수 있다. 그러나 해당 연구는 개별 링크의 혼잡도 예측에만 집중하였기 때문에, 링크 간의 관계와 차량의 이동 경로를 통합적으로 분석하면 교통흐름 예측의 정밀도가 향상될 것으로 기대한다.

정희진 외(2017)는 순환 인공신경망(Recurrent Neural Network, RNN)을 활용하여 실시간 교통정보, 이력 데이터, 돌발 상황 데이터를 통합한 교통상황 예측 모델을 제안하였다. 이 모델은 반복적 정체와 비반복적 정체를 예측할 수 있으며, 33개 링크 중 25개 링크에서 높은 예측 정확도를 보였다. 다만, 비반복적 정체의 발생 빈도가 낮은 데이터로 인해 예측 성능 향상을 위해서는 사고다발지역 등으로 연구 범위를 좁힐 필요가 있다.

최준희 외(2023)는 비용 민감 가중치를 적용한 DNN 모형을 통해 이륜차 사고 심각도를 예측하고자 하였다. 예측 결과, 73%의 정확도와 80%의 F1-score를 기록하여 높은 성능을 보였다. 이는 로지스틱 회귀 모형 및 랜덤 포레스트 분석과 비교했을 때, 사고 심각도 분류에 있어 더욱 적합한 방법론임을 시사하며, 향후 다양한 교통사고 데이터에 대한 확장 가능성을 제시한다.

Yashu Kang 외(2022)는 SHAP 기법을 적용한 DNN 모형을 활용하여 교통사고 심각도를 예측하고자 하였다. 예측 결과, 82.2%의 예측 정확도를 기록하였으며, 77.3%의 정확도를 보인 다항 로지스틱 회귀(multinomial logit, MNL) 모형보다 우수한 성능을 나타냈다. 또한, SHAP 값을 도입함으로써 예측에 기여하는 중요한 변수를 명확하게 식별하고 분석할 수 있음을 확인하였다.

2. 연구의 차별성 도출

선행연구의 검토 결과, 주로 개별 링크 단위의 교통 혼잡 예측에 중점을 두었거나, 제한된 변수들을 활용하여 교통상황을 예측하는 데 집중하여 자율주행자동차 상용화를 대비한 네트워크 단위의 예측 모델에 관한 추가적인 연구가 필요한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 자율주행자동차의 특성을 바탕으로 네트워크 단위 교통상황 예측 모델 구축을 목표로 연구를 수행한다. 또한, 다양한 교통 패턴을 분석하여 예측 성능을 향상시키고, SHAP 기법을 적용하여 교통상황 예측에 중요한 변수를 식별함으로써, 예측 모델을 경량화하여 좀 더 효율적이고 더욱 높은 성능의 예측 모델을 구축하고자 한다.

III. 분석방법론

1. 교통 패턴 데이터 생성 및 전처리

먼저, 교통상황 예측 모델을 학습시키기 위한 교통 패턴 데이터 생성을 위해 VISSIM 테스트 베드 시뮬레이션을 구축하였다. <그림 1>은 구축한 VISSIM의 4×4(16개)의 교차로 네트워크 모습이다.

<그림 1> VISSIM 상 4×4(16개)의 교차로 네트워크

네트워크 교통상황의 특성을 추출하기 위해 2023년 3월 1일부터 2024년 2월 29일까지 총 1년의 신호주기 단위 데이터를 활용하여 클러스터링을 진행하였다. 시간, 날씨 신호의 도심부 교통상황 특성을 반영한 결과 5개의 유형이 도출되었다. <그림 2>는 클러스터링을 통해 5개로 분류된 네트워크 교통상황 유형의 모습이다.

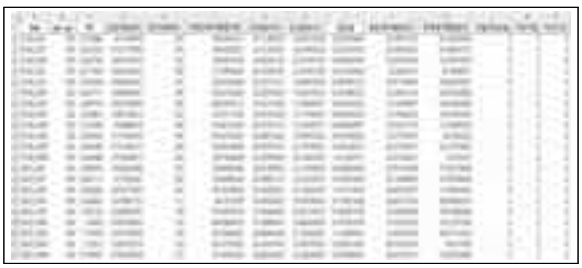
<그림 2> 클러스터링 결과

다음으로, 도심지에서 발생할 수 있는 여러 상황을 반영하여 데이터 증강을 통해 연구의 신뢰성을 높이고자 하여 세 가지 주요 조건을 설정한다. 자율주행자동차 점유율은 자율주행자동차의 상용화와 자율주행자동차와 일반차량이 혼재된 상황을 모두 고려하여 모델을 개발하기 위한 변수로 설정되었다. 이는 자율주행자동차가 도입될 초기 단계와 완전한 상용화 단계에서의 교통상황을 반영하기 위함이다. 유입 교통량의 변화는 도심지에서 발생할 수 있는 교통흐름의 변동성을 고려한 것으로, 시간대별 또는 이벤트 발생 시 교통량의 급격한 변화에 따른 교통 패턴을 반영하고자 한다. 돌발상황 발생지점과 차로 차단시간은 사고나 도로공사 등 도심지에서 발생할 수 있는 다양한 비정상적인 교통 상황을 반영하고자 한다. <표 1>은 교통 패턴 데이터 증강 조건을 나타낸 것이다.

<표 1> 교통 패턴 데이터 증강 조건

데이터 증강 조건	
자율주행자동차 점유율	1%, 3%, 5%, 10%, 15%, 20%
유입 교통량 변화	-30%, -15%, 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%
돌발상황 발생지점 + 차로 차단시간	마유로, 정왕천로, 옥구천동로, 정왕대로
	0분, 15분, 30분

따라서, 5개로 분류된 네트워크 교통상황 유형과 데이터 증강 조건에 따른 교통 패턴을 총 3,960가지로 도출하였다. 3,960가지의 교통 패턴에 대해 VISSIM com-interface 기능으로 시뮬레이션을 수행하였으며 데이터 수집 단위는 조건별 1일 단위 시뮬레이션을 수행하였다. 최종적으로 교통상황 예측 모델을 학습시키기 위한 1일 단위 데이터 3,960set을 출력하였다. <그림 3>은 출력된 1set의 예시이다.



<그림 3> VISSIM com-interface를 통한 데이터 출력 결과

2. 네트워크 단위 지표 선정

본 연구의 목표인 네트워크 단위 교통상황 예측 모델 개발을 위해 네트워크 단위로 교통상황을 판단할 수 있는 지표가 필요하다. 지표 설정을 위해 고려한 조건은 시뮬레이션 활용 측면에서 데이터 활용성, 명확성이 있으며, 현장 활용 측면에서 직관성과 적용 용이성이다. 먼저 데이터의 활용성은 자율주행자동차를 통해 수집되는 방대한 양의 교통정보를 반영할 수 있는 지표를 선정하고자 하였다. 명확성은 네트워크 혼잡 추이의 변화를 명확히 나타내는 지표인지를 확인하였다. 다음으로 직관성은 단순한 가공 절차를 통해 실시간 혼잡상황 판단 및 예측 대응이 가능하여 직관적이고 표현이 간단한 지표인지를 확인하였으며, 적용 용이성은 다양한 도로 유형에 통합적으로 적용할 수 있는 지표를 선정하고자 하였다.

위 조건을 종합적으로 고려하여 본 연구에서는 네트워크상 모든 링크의 TTI(travel time index) 표준편차를 지표로 선정하였다. TTI는 자유속도에서의 통행률과 첨두시 통행률을 비교하는 지표이며 4×4(16개)의 교차로 접근로 링크 64개의 TTI에 대한 표준편차를 지표로 선정하였다. TTI 표준편차는 <그림 4>를 통해 구할 수 있다.

$$\overline{TTI_w} = \frac{\sum_{i=1}^{N} W_i \cdot TTI_i}{\sum_{i=1}^{N} W_i}$$

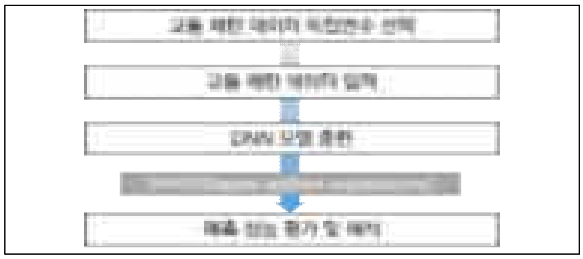
$$TTI_{std} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} W_i \cdot \left(TTI_i - \overline{TTI_w}\right)^2}{\sum_{i=1}^{N} W_i}}$$

<그림 4> TTI 표준편차 수식

3. DNN 모형 구축

본 연구에서는 네트워크 단위 교통상황 판단 및 예측 모델을 개발하기 위해 DNN 모형을 활용한다. DNN은 복잡한 교통상황을 모델링하고 예측하는 데 매우 적합한 기계학습 기법으로, 다차원 데이터에서 숨겨진 패턴을 학습하는 능력이 뛰어나다. 특히, 교통량, 속도, 날씨, 사고 등의 다양한 변수를 효과적으로 처리하여 비선형적인 상관관계를 예측할 수 있다. 자율주행 자동차의 실시간 네트워크 교통흐름 계산 특성을 반영하는 데 있어 DNN은 본 연구의 목적에 부합한다.

<그림 5>는 DNN 모형 구축 과정을 나타낸다. 먼저, 생성된 교통 패턴 데이터에 대해 다중공선성 분석 및 단계적 선택법을 통해 독립변수를 선택한다. 선택된 독립변수를 바탕으로 trial and error 방식을 통해 충분한 epoch 동안 비용함수(cost)가 수렴하는 적절한 은닉층과 노드 수를 확인하여 DNN 모형의 구조를 결정한다. 이후, TTI 표준편차 예측 성능을 MAD(mean absolute deviation), RMSE(root mean square error), SMAPE(symmetric mean absolute percentage error) 등의 지표를 통해 평가한다.



<그림 5> DNN 모형 구축 과정

DNN 모형 구축 후에는, SHAP 기법을 적용하여 변수 중요도를 확인한다. 이를 통해 예측 모델에서 각 독립변수가 TTI 표준편차 예측에 미친 영향을 정량적으로 분석하며, 변수들의 상대적 기여도를 파악하여 모델의 해석 가능성을 높인다. 이는 교통 예측 성능을 더욱 향상시키는 데 중요한 피드백을 제공하며, 모델의 최적화를 위한 근거로 활용된다.

Ⅳ. 결론 및 향후 연구 과제

본 연구에서는 DNN 활용한 네트워크 단위 교통상황 판단 및 예측 모델 개발 방법론을 제안하였다. 기존 인공지능을 활용한 교통상황 예측 연구는 주로 개별 링크 단위의 교통 혼잡 예측에 중점을 두었으며, 이는 자율주행 자동차가 상용화됨에 따라 발생하는 네트워크 단위의 교통흐름 변화를 충분히 반영하지 못하는 한계가 있다. 본 연구에서는 자율주행 자동차의 상용화에 자율주행 자동차의 주행 특성을 반영한 도심지 교통상황을 예측하고자 하였다. 이를 위해 자율주행자동차 점유율, 유입 교통량 변화, 돌발상황 발생지점과 차로 차단시간을 조건에 반영한 교통 패턴 데이터 증강을 예측 모델의 학습 데이터로 활용하였고, 네트워크 단위에서 교통상황을 예측하기 위한 지표로 TTI 표준편차를 선정하였으며, DNN 모형을 구축하여 TTI 표준편차를 예측하고 예측 성능을 평가하는 방법을 제안하였다.

향후 연구 과제로는 교통 패턴 데이터를 통해 DNN 모형을 학습시키고 TTI 표준편차 예측 성능을 평가할 것이다. 또한, SHAP 기법을 통해 예측에 활용된 변수의 중요도를 판단하여 모델을 경량화 하고 좀 더 효율적인 예측이 가능하게 한다. 이를 추후 예측 모델 개발에 반영하여 연구의 정확성과 실효성을 높이고, 다양한 교통상황에서 적용 가능성 확장을 기대한다.

감사의 글

이 논문은 2024년도 정부(경찰청)의 재원으로 과학치안진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.092021C29S01000, 네트워크 제어를 위한 교통정체 및 혼잡 운영관리 기술 개발)

참고문헌

1. Dong, S., Khattak, A. J., Ullah, I., Zhou, J., & Hussain, A. (2022). Predicting and Analyzing Road Traffic Injury Severity Using Boosting-Based Ensemble Learning Models with SHAPley Additive exPlanations. International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(5), 2925.

2. Fafoutellis, P., & Vlahogianni, E. I. (2023). Unlocking the Full Potential of Deep Learning in Traffic Forecasting Through Road Network Representations: A Critical Review. Data Science for Transportation, 5, 23.

3. Kang, Y., & Khattak, A. J. (2022). Deep learning model for crash injury severity analysis using Shapley additive explanation values. Transportation Research Record, 2676(12), 242-254.

4. 국토교통부(2021). 자율주행자동차 상용화 촉진 및 지원에 관한 법률 제2조 제1항 제1호.

5. 김동현, 황기연, & 윤영. (2019). 심층인공신경망(DNN)과 다각도 상황 정보 기반의 서울시 도로 링크별 교통 혼잡도 예측. 한국ITS학회논문지, 18(4), 44-57.

6. 박동주, 김병우, 정영선, & 안창욱. (2018). Deep Neural Network 기반 프로야구 일일 관중 수 예측: 광주-기아 챔피언스 필드를 중심으로. 스마트미디어저널, 7(1), 16-23.

7. 윤연아, 이승훈, & 김용수. (2021). SHAP를 활용한 중요변수 파악 및 선택에 따른 잔여유효수명 예측 성능 변동에 대한 연구. 대한산업공학회지, 44(4), 1-11.

8. 정희진, 윤진수, & 배상훈. (2017). 순환인공신경망(RNN)을 이용한 대도시 도심부 교통혼잡 예측. 한국ITS학회논문지, 16(6), 67-78.

9. 최준희, 함승우, 강민희, 송재인, & 황기연. (2023). 비용 민감 학습을 활용한 이륜차 사고 심각도 예측. 교통안전연구, 42(2), 77-94.

운전자 내 이질성을 고려한 차량 추종 행태에 대한 운전자 간 이질성의 영향

Effects of inter-driver heterogeneity on car-following behavior considering intra-driver heterogeneity

서울대학교 건설환경공학부 석박사통합과정 최세원

서울대학교 건설환경공학부 석박사통합과정 최준화

서울대학교 건설환경종합연구소 연수연구원 문세동

서울대학교 건설환경공학부 교수 김동규

Introduction

Background

Driver heterogeneity

• 기존 Car following model은 각 운전자가 일관된 운전 스타일을 유지한다고 가정하는 경향이 있으며, 운전자가 다양한 요인에 따라 공격적, 중립적, 또는 소극적인 운전 행동을 보일 수 있다는 사실을 간과하고 있음 (Ding et al., 2022).

• 운전자 이질성은 교통 시뮬레이션과 예측의 정확성에 영향을 미치, 혼합 교통 상황에서 자율주행 차량 시스템의 안전성과 성능에 부정적인 영향을 미칠 수 있음 (Wang et al., 2010; Choi et al., 2024).

Inter driver heterogeneity, Intra driver heterogeneity

• 운전자 이질성은 운전자 간 이질성과 운전자 내 이질성으로 구분 지을 수 있음.

• 운전자 간 이질성은 운전자가 성격 특성 등의 요인으로 인해 서로 다른 운전 방식을 보이는 것을 의미함 (Rao et al., 2023).

• 운전자 내 이질성은 운전 상황, 시간적 요인, 그리고 상황적 요인에 따라 한 운전자의 행동이 시간에 따라 변화하는 것을 의미함 (Wang et al., 2010).

Intelligent Driver Model(IDM)

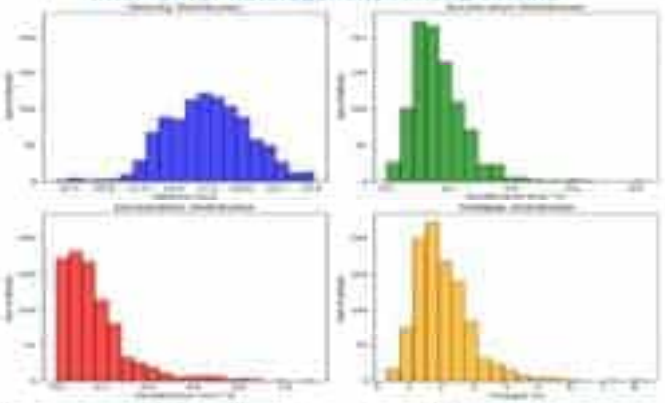
$$a(v, \Delta v, s) = a\left(1 - \left(\frac{v}{v_0}\right)^4 - \left(\frac{s^*}{s}\right)^2\right)$$

$$s^* = s_0 + vT + \frac{v\Delta v}{2\sqrt{ab}}$$

a	maximum acceleration
v	the current speed of the following vehicle
Δv	relative speed
s	gap between leader and following vehicle
v_0	desired speed of following vehicle
T	safe time headway
s_0	minimum gap
b	comfortable deceleration of following vehicle

Introduction

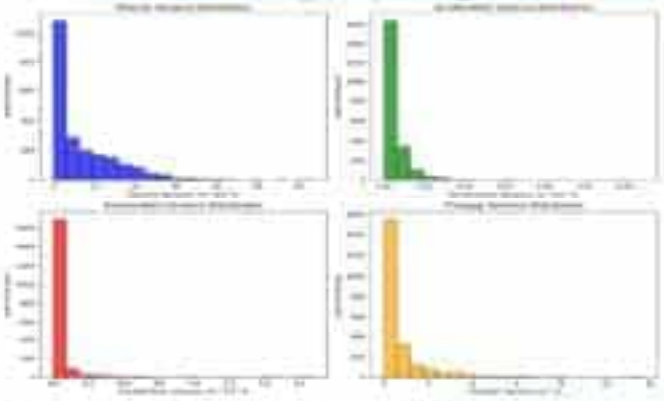
Inter-driver heterogeneity Among Drivers



	Mean	Std	CV(%)
Velocity (m/s)	27.42	3.04	11.08
Acceleration (m/s^2)	0.17	0.09	52.66
Deceleration (m/s^2)	0.17	0.15	85.27
Time gap (s)	2.06	0.89	43.17

고속도로 운전의 물리적 특성을 분석한 결과 가속도, 감속도, Time gap에서는 큰 표준 편차, 즉 운전자 간 이질성을 갖고 있는 것으로 확인되었음.

Intra-driver heterogeneity Among Drivers



	Mean	Std	CV(%)
Velocity (m/s)	0.81	8.37	122.01
Acceleration (m/s^2)	0.01	0.02	220.00
Deceleration (m/s^2)	0.03	0.09	300.00
Time gap (s)	0.01	0.98	160.66

각 개인의 운전하면서 속도, 가속도, 감속도, Time gap의 변화하는 정도를 확인하기 위해 운전자 별로 분산을 구하였음. 속도, 가속도, 감속도, Time gap에서 운전자 내 이질성을 갖고 있는 것으로 확인 되었음.

Introduction

Research Purpose

Research Gap

• 현재 Car-following model은 Driver heterogeneity를 고려하지 않기 때문에 모든 운전자가 동일한 운전 성향을 갖고 있는 것으로 간주하여 부정확한 Calibration을 하고 있음.

• 교통 시뮬레이션, 자율주행 차량의 주행 안전 전략 등 교통의 다양한 범위에 Car-following model을 기반으로 하는 연구 및 산업이 진행되고 있으므로 운전자의 성향을 고려한 Car-following model의 개발이 필요함.

How to close Research Gap

• 운전자 간 성향을 의미하는 Inter driver heterogeneity뿐 만 아니라 각 운전자 마다 주행 중에도 운전 성향이 바뀌는 운전자 내 이질성, 즉 Intra driver heterogeneity도 고려되어야 함.

• Intra driver heterogeneity는 Car-following model을 기반으로 운전자가 일반적인 주행을 하는지, model과의 주행 궤적에서 이질성을 갖는지에 따라 평가될 수 있어 IDM Calibration을 통하여 운전자 내 이질성에 대해 정의하고자 함.

• Inter driver heterogeneity를 고려하여 공격적인 운전자로 분류된다면 Intra driver heterogeneity도 높을 것으로 예상되며, 두 특성을 분석하기 위해 회귀분석을 진행하여 인과를 구명하고자 함.

Literature Review

Ossen, S., Hoogendoorn, S.P., Gorte, B.G.H., "Inter driver differences in car-following: A vehicle trajectory based study," Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2006.

- 차량 궤적 데이터를 기반으로 운전자 간 차간 추종 행동의 차이를 조사하여, 동일한 자극에 대해 각 운전자가 어떻게 다르게 반응하는지 분석
- 7개의 Car following model을 비교 및 보정하여 운전자 간 이질성을 분석

Rao, H., Zhang, D., Qin, G., Yue, L., Sun, J., "Investigating the intra-driver heterogeneity in car following behaviour based on large-scale naturalistic driving study," Transportmetrica B: Transport Dynamics, 2023.

- Naturalistic driving data를 바탕으로 운전자 내 차간 추종 행동의 이질성을 분석하고, 다양한 요인(운전 상황, 시간적 요인 등)이 운전자의 행동에 미치는 영향을 탐구
- 연구에서는 다수의 요인(교통적 특징, 교통 흐름, 주변 환경, 운전자 사회경제적 요인)을 수집하여 다층 로짓 모델을 사용해 운전자 내 이질성을 설명하는 주요 요인을 분석

Ding, Z., Xu, D., Tu, C., Zhao, H., Mora, M., Aloun, F., Guillemard, F., "Driver Identification Through Heterogeneity Modeling in Car-following Sequences," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2022.

- Car following model에서 운전자 간 및 운전자 내 이질성을 모델링하여 운전자를 식별하는 방법을 제안
- 운전자의 행동 차이와 변화를 확률 분포로 표현하는 가우시안 혼합 모델(GMM)을 개발했으며, 베이징 고속도로에서 수집된 자연주의적 운전 데이터를 사용해 운전자 식별 실험을 수행

→ 운전자 간 이질성과, 운전자 내 이질성을 각각 분석하여 정의하는 연구는 다수 존재 하였으나, 서로 간의 미치는 영향에 대해서는 고려되지 않았음

Dataset

highD dataset

Road segment length(m)	420
Number of lane	2-3 per each direction
Number of Vehicles	110,500
Frame(fps)	25
Recording duration(hr)	16.5
Average vehicle visibility(s)	13.6
Vehicle types	90,000 cars 20,000 trucks
Data Collection Conditions	8 AM ~ 5 PM
Whether	Sunny, Windless

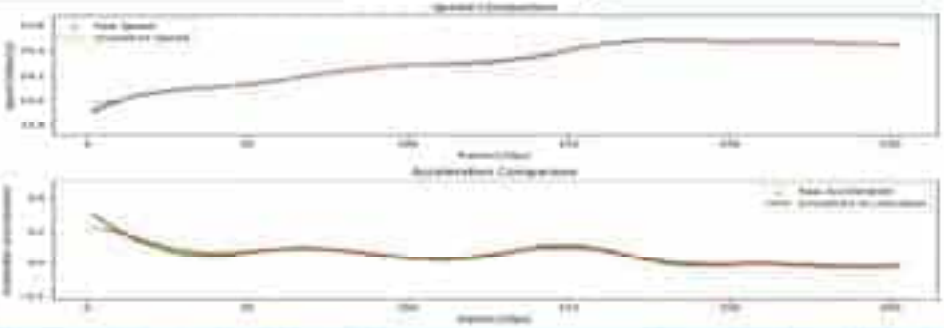
- highD 데이터는 독일 고속도로에서 드론을 활용해 차량의 자연스러운 주행 궤적을 촬영한 데이터임.
- 4K 해상도의 카메라를 장착한 드론이 도로 옆에서 고정된 위치에서 촬영하여 왜곡을 최소화하고, 컴퓨터 비전 알고리즘을 통해 차량을 감지하고 궤적을 추출함.
- 이 데이터는 차량의 위치, 속도, 가속도 등 다양한 정보를 포함하며, 후처리 과정을 통해 궤적의 정확도를 높임.

데이터 전처리

- Kernel smoothing으로 속도, 가속도에 대한 보정을 진행하여 데이터의 정확도를 높이고 노이즈를 제거함.
- 촬영된 시간이 10초 이하, 앞차와의 time gap 10초 이상, 앞차와의 time to collision 10초 이상인 차량은 제외하였음.

$$K(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$

$K(x)$: 가우시안 커널 함수, σ^2 : 가우시안 커널 함수의 분산



Methodology

(1) Inter-driver heterogeneity

• 차량 궤적의 물리학적 특성(속도, 가속도, 감속도, time gap)을 시간에 따라 평균을 구하여 운전자의 성향을 분석 하였음.

• 일반적으로 운전자의 성향을 구분할 때는 Timid, Neutral, Aggressive로 분류함(Chen et al, 2020; Zheng et al., 2013; Bergasa et al, 2017; Martinez and Cao, 2018).

• 주행 시간동안 각 특성의 평균을 구하여 속도, 가속도, 감속도의 절대값이 높을수록, time gap의 절대값이 낮을수록 Aggressive한 운전자로 분류 하였음.

• 분류할 때는 각 특성에 대해 normalization한 뒤 K-means clustering을 사용하여 Inter-driver heterogeniety를 나타냄.

• 회귀 분석에 사용할 수 있도록 성향별로 Labeling을 함. (Timid : 0, Neutral : 1, Aggressive : 2)

K-means clustering

주어진 데이터 세트를 k개의 클러스터로 나누는 비지도 학습의 방법으로 각 cluster내의 데이터 포인트가 서로 최대한 가깝고, 클러스터 간에는 최대한 멀리 떨어져 있도록 하는 것임. 데이터 포인터 x_i가 클러스터 C_j에 할당되는 조건은 다음과 같다.

$$C_j = arg\,min_j \|x_i - \mu_j\|$$

μ_j 는 클러스터의 중심이며 $\|x_i - \mu_j\|$는 유클리드 거리를 나타냄.

Methodology

(2) Intra-driver heterogeneity

• IDM에 calibration하여 각 변수를 구함. Calibration과정에는 Genetic Algorithm을 사용함.

Genetic Algorithm

• Genetic Algorithm은 초기 개체군을 무작위로 생성한 후, 적합도 평가, 선택, 교차, 돌연변이의 과정을 반복하여 최적의 해를 탐색하는 진화 기반 최적화 알고리즘임.

초기 개체(a, b, v_0, T, s_0)	50세대
적합도 평가	MRMSE
선택	3개의 개체 중 선택
교차	0.5
돌연변이	0.2
최적화	100세대

	v_0	T	s	b	a
Mean	36.22	0.86	0.68	3.37	0.22
Std	6.59	0.25	0.04	0.53	3.74

Genetic Algorithm을 통해 구한 Parameters의 평균과 표준편차

Generate Trajectory Based IDM parameters

• 각 시간마다 차량의 속도 및 위치를 IDM 가속도 함수를 사용해 계산하여 업데이트함.

• IDM parameters 기반으로 생성된 궤적과 원본 궤적과 비교를 통해 Car-following model과 유사한 운전행태를 보이면 0, 상이한 운전행태를 보이면 1로 labeling함.

• 궤적의 유사도를 평가하기 위해 시계열에 따른 차량의 위치간 Cosine similarity를 사용하였음.

Methodology

(2) Intra-driver heterogeneity

Cosine similarity

- 원본 궤적과 IDM parameters에 기반한 궤적의 위치 정보를 기반으로 동일 차량간 시간에 따른 Cosine similarity 구하여 궤적의 유사도를 구함.
- Cosine similarity는 두 벡터간 각도의 Cosine 값을 이용하여 측정된 벡터 간의 유사한 정도를 나타내며, 본 연구에서는 (시간, 위치)벡터로 구성하였음
- Cosine similarity를 정규 분포하여 음수일 때 0 (이질성 없음), 양수일 때 1(이질성 있음)으로 labeling함.

Logistic regression

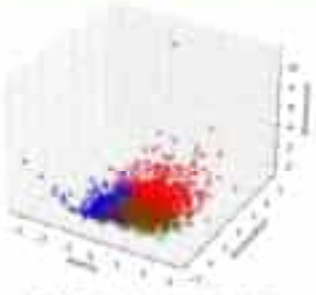
- Logistic Regression은 이진 분류 문제를 해결하는 통계적 모델로 종속 변수(Intra-driver heterogeneity)가 0 (이질성 X) 또는 1 (이질성 O)과 같은 두 가지 범주 중 하나로 분류되는 경우에 주로 사용함.
- 독립 변수(Inter-driver heterogeneity)의 선형 결합을 사용하여 특정 사건이 발생할 확률을 예측하며, 예측된 확률이 0.5 이상이면 사건이 발생(1), 그렇지 않으면 발생하지 않음(0)으로 분류함.

$$\log\left(\frac{P(y=1)}{1-P(y=1)}\right) = (\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \cdots + \beta_n x_n),\ P(y=1|x) = \frac{1}{1+e^{-(\beta_0+\beta_1 x_1+\beta_2 x_2+\cdots+\beta_n x_n)}}$$

- $P(y=1)$는 종속 변수 y (Inter-driver heterogeneity) = 1이 발생할 확률이며, 발생 확률을 발생하지 않을 확률로 나누어 로그를 취함. β는 독립 변수 x (Inter-driver heterogeneity)에 대한 회귀 계수이며, 선형적으로 결합되어 y와의 관계를 나타냄.
- Sigmoid 함수 $\frac{1}{1+e^{-x}}$ 와 선형적으로 결합된 독립변수 $(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \cdots + \beta_n x_n)$를 합성하여 $P(y=1|x)$ 독립변수에 대해 종속 변수가 1일 확률을 구함.

Results

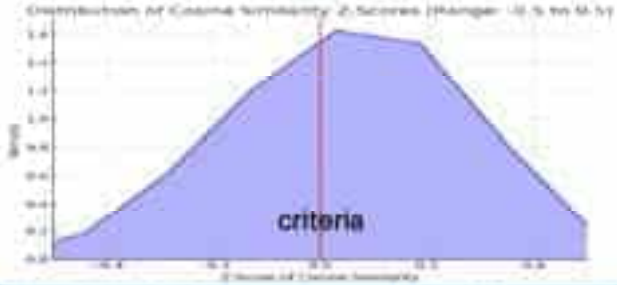
(1) Inter-driver heterogeneity



Aggressive (Red)	1040/1,569 (47.93%)
Neutral (Green)	647/1,569 (22.18%)
Timid (Blue)	480/1,569 (29.99%)

	Aggressive	Neutral	Timid
Speed mean	29.91	24.88	21.57
Speed std	2.36	2.34	2.42
Accel mean	0.27	0.14	0.13
Accel std	0.06	0.06	0.06
Decel mean	0.19	0.11	0.13
Decel std	0.22	0.12	0.13
Time gap mean	1.87	3.13	2.71
Time gap std	0.62	0.75	0.47

(2) Intra-driver heterogeneity



Heterogeneity O	Heterogeneity X
949/1569 (60.48%)	620/1569 (39.52%)

Results

(3) Effects of inter-driver heterogeneity on car-following behavior considering intra-driver heterogeneity

종속 변수	독립 변수	계수 추정 방법	R-squared	LLR p-value
intra-driver heterogeneity	inter-driver heterogeneity	MLE	0.09358	9.278e-45

	Constant	Inter-driver heterogeneity
Coefficient	-0.5474	0.8665
Std error	0.089	0.064
P>|z|	0.000	0.000
Z-value	-6.180	13.474
95% 신뢰 구간	[-0.721, -0.374]	[0.740, 0.993]

- Inter-driver heterogeneity는 0.8665 라는 높은 계수를 갖고 있으므로 intra-driver heterogeneity와 높은 수준의 인과 관계를 갖는 것으로 확인되었음.

- 추후 인과성을 적용하여, Calibration의 정확도를 높이는 Car-following model의 개발로 이어질 수 있음.

Reference

1. [illegible]
2. [illegible]
3. [illegible]
4. [illegible]
5. [illegible]
6. [illegible]
7. [illegible]
8. [illegible]
9. [illegible]
10. [illegible]
11. [illegible]
12. [illegible]
13. [illegible]
14. [illegible]
15. [illegible]
16. [illegible]
17. [illegible]
18. [illegible]
19. [illegible]
20. [illegible]
21. [illegible]
22. [illegible]

사 사 본 연구는 국토교통부의 스마트시티 혁신인재육성사업의 지원 및 정부(경찰청). 교육부의 재원으로 과학치안진흥센터의 지원(No. 092021C2650300, 실시간 교통안전시설 운용을 위한 인프라 정보 융합 및 관리기술 개발)을 받아 수행되었음

한국ITS학회 2024년 추계학술대회

교통분야 초거대 AI 기반 조성을 위한 승용차 및 대중교통 트립체인 데이터 구축

홍익대학교 박유진, 구자환, 이경재, 추상호

1. 연구의 배경

o 연구 목적
- 초거대 AI 확산
- 정부의 AI 산업 지원
- AI 융합서비스 제품/개발 활성화
- 교통/물류 산업 혁신
- AI 데이터 전문가 육성

AI Creative Process를 지원할 수 있는 멀티모달(음성) 트립체인 원천데이터 확보

초거대 AI 혁신 생태계 조성 지원	교통물류 산업 혁신 견인	개인맞춤형 교통서비스 지원
• 교통분야 초거대 AI데이터 구축, 개발을 통한 AI 융합서비스 제품 개발 활성화 • AI의 기존 산업계 적용 확산지원, 데이터 전문가 육성 • 국민생활밀착형 서비스 / 산업혁신 / 공공서비스 혁신 영역의 3대 영역 선점	• 산업현장에서 새로운 수요와 혁신을 유발하는 데이터 구축 • (교통물류)초거대 AI 기술을 통한 수요자 중심의 안전한 모빌리티 혁신 실현 및 초지능화된 스마트 물류 시스템 견인	• 개인 맞춤형 교통서비스로 수요자 관점에서의 이동성 극대화 ✓(26-1) 승용차 이용자 개별 트립체인 데이터 ✓(26-2) 대중교통 이용자 종합 트립체인 데이터

AI Hub를 통해 트립체인을 활용할 수 있는 생성형 데이터셋 공개

[사회적 측면]	[경제적 측면]	[기술적 측면]
• 사회·경제 전반에 데이터 기반 신 산업, 데이터직무 창출 • 빅데이터 전문 인력 양성을 위한 대학 등과 연계 및 인력 채용	• 데이터 기반의 제품 서비스 창출을 통한 중소벤처기업의 활동 촉진 및 산업 토대 강화	• Navigation 개인 맞춤형 경로 선택 지원 • 교통계획 수립 등 정책 지원 • 인공지능 융합 모델 개발 소스 공개를 통한 기술 혁신 지원

2. 연구의 목적

ㅇ 연구 주요 목표
- 5,000건 트립체인
- 통행 통합 데이터
- 선호도 음성 데이터
- 메타 데이터
- 5문장 : 5,000건

승용차/대중교통 이용자 중심의 개인 맞춤형 교통서비스 제공을 위한 통행 패턴 학습용 트립체인 내 음성 및 텍스트 데이터 수집 · 정제 · 가공 및 AI 모델 개발

분류		소구사항
원천 데이터	승용차	• 통행에 대한 통합 데이터 : 5,000건 · 사용자 데이터(성별, 나이, 직업, 연봉, 운전 연수 등) · 통행경로 데이터(GPS 좌표 및 시간, 신호 정보 등) · 통행경로 상 주요 도로구간 교통량 및 교통상황 데이터 • 음성데이터 : 5,000건 · 출발, 이동 중, 도착 정보 및 선호도
	대중교통	• 환승 통합데이터 : 5,000건 · 사용자 데이터(성별, 나이, 직업, 연봉 등) · 대중교통 수단 데이터(대중교통 종류, 시점, 종점, 시간 등) · 통행경로 상 주요 도로구간 교통량 및 교통상황 데이터 • 음성데이터 : 5,000건 · 출발, 이동 중, 환승 중, 도착 정보 및 선호도
수집 방법 데이터 가공	공통	• 통행 관련 사용자의 선호도를 음성으로 녹음하여 제출할 수 있는 App 등 개발
	공통	• 통합 데이터와 음성데이터를 결합하여 음성 1건당 5문장(50토큰) 이상의 텍스트 라벨링(총 25만 토큰 이상)
메타 데이터	공통	• 트립체인별 메타데이터 구축 · 출발지 및 도착지 기존, 강수량, 강설량 등 · 주변 시설물, 연료 상태에 따른 주유소 현황 등

5,000건 • 개인 사용자 특성에 따른 선호도

통합 데이터 • 트립체인에 대한 교통 상황

음성 데이터 • 트립선정에 대한 개인 선호도를 음성으로 취득 • 자연스러운 시스템 인터페이스

생성형 문장 데이터 • 1개 트립체인에 대한 선호도 중심의 설명

1. 학습데이터 구축 프로세스

ㅇ 구축 프로세스
- NIA 품질관리가이드 v3.1 준수
- NIA 사업 수행 경험

	준비/계획	수집	정제	가공	검사	학습	활용
단계별목적	• 데이터 설계 • 시나리오 계획 • 수집 가공 도구 개발 및 고도화	• 크라우드워커 모집 • 트립체인 데이터 획득	• 음성 검사 • 통합데이터 정제 • 메타데이터 정제	• 학습에 필요한 5문장 라벨링 작업 생성	• 데이터의 구조적 정확성 검사 • 데이터의 의미적 정확성 검사	• 인공지능 모델을 통한 데이터 유효성 검사	• 데이터공개 • 데이터 활용 활성화
실제데이터 발생 일정	• 공정별 수집 데이터 명세 설계 • 수집시나리오 • 수집APP 개발	• 교통트립 데이터 수집 • app을 통한 음성 데이터 수집 • 음성데이터 제거 • 메타데이터 입력	• 데이터 형태 변환 • 불필요한 데이터 제거 • 유해 데이터 일터링 • 개인정보 필터링	• 5문장 생성	• 음성데이터 제거 • 유해데이터 검수	• Pre training 모델 개발 • 1-Cycle 검증 ✓ EEVE 10.8B	• AI 서비스를 통한 데이터 공개 • 사후 효과분석 • 데이터 활용 활성화
산출물	• 공정별 명세서 • 공정별 가이드 라인 • 공정별 운영 결과서	• 원시 데이터	• 정제 데이터 • 원천 데이터	• 가공된 데이터		• 학습데이터 유효성 • 인공지능 학습 모델 (1종)	• 데이터 활용 가이드 • 데이터 활용 홍보 영상

2. 데이터 준비 및 계획 단계 (트립체인 데이터의 구성)

- 트립체인 데이터 구성
  - 통합데이터
  - 음성데이터
  - 메타데이터
  - 생성형 데이터

트립체인(trip chain) : 교통 이용자가 환승을 포함하여 출발지에서 목적지까지 도착하는 연속적인 전체 과정

3. 원시데이터 수집 - 데이터 수집 어플리케이션

3. 원시데이터 수집 - 데이터 수집 어플리케이션

3. 원시데이터 수집 - 데이터 수집 예시

4. 원천데이터 정제(전처리)

원시데이터에서 각 센서별 정보를 확인 수행 후, 데이터별 유효성 점검

○ 텍스트 데이터
- 파일 형식
- 파일 개정
- 결측치 제거

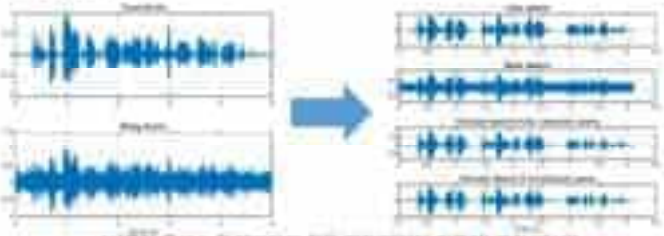
○ 음성 데이터
- 노이즈제거
- 중복제거
- 데이터파르기
- 비식별화
- 문장의 적절성
- 표현 검수
  (편견, 혐오, 비속어등)

■ 정제 공정

■ 정제 대상

데이터	구분	위치센서	등재량
소음과 이용자 개별 트립세안 데이터	텍스트	수집 시스템	5,000건
	음성	데이크	5,000건
대중교통 이용자 종합 트립세안 데이터	텍스트	수집 시스템	5,000건
	음성	데이크	5,000건

■ 정제 방법



<사용자 음성 녹음 데이터의 잡음 제거(데이터 자르기) 과정(예시)>

5. 라벨링 데이터 가공 - 라벨링(전사)

원시 데이터 상황에 따라 효율적인 전사 작업

○ 전사 원칙
- 수집된 음성을 데이터 처리가 쉽도록 전사하여 라벨링
- 운전자 중심 데이터 전사 : 동승자, 내비게이션, 외부 소음 등 제외
- 시간 순서에 따른 음성 전사 : 하나의 문장 앞에는 반드시 GPST 정보가 매칭
- 이벤트 (경로 변경, 경유지 설정 등) 누락이 없는지 체크
- 비속어, 의성어, 정확한 파악이 어려운 음성은 맥락을 파악하여 유사어로 전사
- 발화 순서에 따른 음성 전사

5. 라벨링 데이터 가공 - 라벨링(5문장 생성) - 승용차/대중교통 이용자 개별 트립체인 데이터

통합데이터와 선호도(음성데이터)를 바탕으로 5문장 생성

- ㅁ 문장 생성 원칙
  - 개인 선호도(음성) 중심 문장 생성
  - 시간의 흐름에 따른 문장 생성
  - (사용된) 단어 사용
  - 통행 목적 포함
  - 경로선정 및 변경 사유 포함
  - 만족도 포함

사용자정보
- 성별
- 나이
- 직업
- 연봉
- 운전경력 등

통행개요
- 통행 일시
- 통행 목적
- 최초 출발지
- 최종 목적지
- 통행목적
- 날씨

1문장
- 30대 여성은 인천에서 서울까지 통근을 위해 티맵에서 실시간 경로 추천을 받았다.

교통상황 데이터
- 대중교통 수단 데이터
- 경로상의 교통상황

선호도
- 출발시간 및 도착시간 결정에 활용한 정보 및 요소
- 대중교통 종류 선관 선호도
- 환승 관련 선호도

- 오전 7시에 경인고속도로와 올림픽대로를 경유하여 잠실로 이동하였다.
- 가장 빠른 시간을 선택하였으나, 중간에 차량 통제로 인해 우회로를 이용하며 시간 지연이 생겼다.
- 실제 도착시간은 예상 보다 늦어졌고, 이로 인해 매우 불만족한 상태가 되었다.

메타 데이터
- 기온
- 강수량
- 연료 상태 등

트립체인 평가
- 총 통행시간
- 총 비용
- 소요시간 차이 발생 사유
- 통행전반에 대한 불만사항

1문장
- 예상보다 30분 지체되어 다음에는 차량을 이용하는 다른 동료의 추천을 받기로 했다.

- 11 -

6. 데이터 검사

데이터의 정확성 확보를 위하여 3단계 검사를 진행하며, 명확한 검사 기준을 제시

- ㅁ 공정별 검사
  - 수집/정제/가공/모델 검사
- ㅁ 생성형 데이터 및 음성 데이터 검사
  - 3단계 검사 수행
- ㅁ 검사 절차
  - Likert 10점 Scale
  - 90점 기준

■ 공정별 검사

[illegible]	[illegible]	[illegible]
획득	법 제도 준수	[illegible]
	사실적인 획득 환경 구성	[illegible]
	[illegible]	[illegible]
	[illegible]	[illegible]
정제	[illegible]	[illegible]
	[illegible]	[illegible]
	[illegible]	[illegible]
	정제 도구	[illegible]
	정제 작업 방식	[illegible]
라벨링	라벨링 가이드	[illegible]
	[illegible]	[illegible]
	라벨링 검사 도구	[illegible]
AI 모델 학습	AI 모델 학습	[illegible]
	[illegible]	[illegible]

■ 생성형 데이터 검사 기준

[illegible]	[illegible]
1	[illegible]
2	[illegible]
3	[illegible]
4	[illegible]
5	[illegible]
6	[illegible]
7	[illegible]
8	[illegible]
9	[illegible]
10	[illegible]

- 12 -

인공지능(I)

Session C-2

Kubeflow 시스템에서 AI 모델 배포 전략: BentoML 중심으로
김동길, 정태윤

검색 증강 생성 기반 택배 운송장 자동 인식 고도화에 관한 연구
정연비, 김유환, 김원열

지식 기반 강화학습을 활용한 미시적 교통 시뮬레이션의 O-D 행렬 보정
민동규, 김동규

교통상황 시나리오를 고려한 강화학습 기반 TOD 신호 제어에 관한 연구
이경진, 김인영, 윤일수

신호 교차로에서 시야 제한이 있는 데이터를 기반으로 한 주변 차량의 궤적 예측
이승현, 김동규

자기 지도 학습 기반 도로 노면 포트홀 이상 탐지에 관한 연구
이석채, 정회준, 권장우

Kubeflow 시스템에서 AI 모델 배포 전략 : BentoML 중심으로

AI Model Development Strategy in Kubeflow System : Focusing on the BentoML

김동길
(강원ICT융합연구원,
팀장)

정태윤
(강릉원주대학교 전자공학과,
교수)

Key Words : MLOps, Kuberflow, BentoML, Kuberentes, Serving

목 차

Ⅰ. 서론
Ⅱ. 본론
Ⅲ. 결론

Ⅰ. 서론

인공지능(AI) 기술은 다양한 산업 분야에서 혁신을 이끌며 그 중요성이 날로 커지고 있다. 오늘날 AI의 활용은 단순한 모델 개발을 넘어, 그 모델을 효과적으로 배포하고 운영하는 데까지 확장되고 있다. AI 기술의 진정한 잠재력을 발휘하기 위해서는 모델의 개발뿐만 아니라, 이를 어떻게 배포하고 운영할 것인지에 대한 전략적 접근이 필수적이다. 이러한 요소들이 상호 보완적으로 작동할 때, AI는 산업 전반에 걸쳐 혁신적인 성과를 창출할 수 있다.

특히, AI 모델의 배포와 운영은 모델의 지속적인 업데이트와 다양한 환경에서의 안정적 운용을 보장하기 위한 핵심 과정이다. 이에 따라, AI의 성공적인 적용을 위해서는 모델 개발 과정에서 MLOps(Machine Learning Operations)를 활용한 체계적인 접근이 요구된다. MLOps는 AI 모델의 전체 수명 주기를 관리하고 자동화하는 방법론으로, 데이터 수집과 준비, 모델 훈련, 배포, 모니터링 등 모든 과정을 포함한다. 이 중에서도 모델 배포 전략은 AI 모델의 성능을 최적화하고 비즈니스 가치를 극대화하기 위한 중요한 요소로 자리 잡고 있다.

이에 본 논문에서는 MLOps의 중요한 구성 요소 중 하나인 AI 모델 배포 전략의 중요성을 강조하고, 이를 효과적으로 지원하는 도구로서 BentoML의 역할에 대해 심층적으로 분석하고자 한다. BentoML은 AI 모델의 배포와 관리를 단순화하고, 이를 통해 AI 시스템의 효율성을 극대화하는데 중요한 기여를 하고 있다. 본 논문을 통해 BentoML을 활용한 AI 모델 배포의 실질적인 해결 방안을 제시함으로써, AI 기술의 더 넓은 응용 가능성을 탐구하고자 한다

Ⅱ. 본론

BentoML은 AI 모델의 패키징과 배포를 간소화하는 오픈소스 플랫폼으로, 그림 1과 같은 구조를 기반으로 모델 서빙을 신속하게 구현할 수 있는 다양한 기능을 제공한다. 본 논문에서는 BentoML의 주요 기능들을 다음과 같이 분석하고, 이들이 머신러닝 워크플로우의 효율성을 어떻게 향상시키는지를 논의한다.

<그림 1> Kubeflow 기반 BentoML API 구조

1) 모델 패키징

BentoML은 AI 모델을 패키징하여 배포 준비를 용이하게 하는 기능을 제공한다. 개발자는 모델의 코드, 학습된 파라미터, 필요한 라이브러리를 포함한 패키지를 생성할 수 있으며, 이를 통해 다양한 환경에서 일관된 성능을 보장할 수 있다. 이 과정은 모델의 재현성과 재배포성을 높이며, 모델의 종속성과 설정을 명확히 관리함으로써, AI 시스템의 안정성과 신뢰성을 향상시킨다.

2) API 개발

BentoML은 사용자 정의 API 엔드포인트를 설정할 수 있

는 기능을 지원하여, AI 모델 배포의 유연성을 극대화한다. RESTful API와 gRPC 등의 서비스를 지원하며, 모델 추론을 위한 효율적인 통신 방법을 제공한다. 이러한 기능을 통해 개발자는 모델을 다양한 애플리케이션과 통합할 수 있으며, API 엔드포인트 설정을 통해 모델의 접근성과 사용성을 높일 수 있다. 또한, BentoML은 API 개발을 간소화하여 개발자가 빠르고 효율적으로 API를 구축하고 유지관리할 수 있도록 지원한다.

3) 배포 및 운영

BentoML은 Swagger UI와 같은 도구를 활용하여 복잡한 API 명세를 관리하고 운영할 수 있는 기능을 제공한다. Swagger UI는 API 문서화와 테스트를 시각적으로 지원하며, 사용자는 API의 동작을 직관적으로 이해하고 테스트할 수 있다. 또한, BentoML은 모델의 모니터링과 로그 관리 기능을 갖추고 있어, 운영 중 발생할 수 있는 문제를 신속히 대응하고 모델 성능을 지속적으로 최적화할 수 있도록 돕는다. 이러한 기능은 모델의 안정적인 운영을 보장하고, 비즈니스 요구에 맞춰 모델을 지속적으로 개선할 수 있는 기반을 제공한다.

이러한 기능들을 통해 BentoML은 AI 모델의 배포 과정에서 발생할 수 있는 복잡한 문제들을 해결하며, 비즈니스 요구에 맞춘 유연한 모델 운영을 가능하게 한다. 따라서, BentoML은 AI 기술의 실용성과 효율성을 극대화하는 중요한 도구로 자리매김하고 있으며, AI 모델의 성공적인 배포와 운영을 위한 강력한 지원을 제공한다. 이러한 이유로 BentoML은 향후 AI 모델 배포 및 운영의 핵심 솔루션으로 계속해서 주목받을 것으로 기대된다.

III. 결론

AI 모델의 배포는 현대 데이터 과학, 머신러닝, 딥러닝 분야에서 핵심적인 문제로 자리잡고 있으며, 이는 모델 성능의 극대화와 운영 효율성의 향상에 필수적이다. 본 논문에서는 AI 모델 배포를 위한 방법론으로 Kubeflow와 BentoML을 중심으로 이들이 복잡한 AI 워크플로우를 효과적으로 관리하는데 기여하는 방법을 제안한다.

Kubeflow는 Kubernetes 상에서의 배포, 스케일링, 및 관리를 지원하며, BentoML은 모델의 패키징과 배포를 간소화하고 모델 서비스의 유지보수를 용이하게 한다. 이 두 시스템의 통합을 통해 얻을 수 있는 주요 이점은 다음과 같다.

첫째, 모델 관리의 통합성으로, Kubeflow와 BentoML은 각각 모델 훈련 및 실험 관리, 그리고 모델 패키징과 배포를 지원한다. 이들 시스템의 통합은 모델 관리의 모든 단계를 단일 워크플로우로 연결하여, 전체적인 효율성을 증대시키고 운영 비용을 절감하는데 기여할 수 있으며, Kubeflow는 모델의 훈련과 실험을 포괄적으로 지원하며, BentoML은 모델의 패키징과 배포를 간소화하여, 전체적인 모델 관리의 통합성을 강화한다.

둘째, 자동화 및 확장성으로, Kubeflow의 자동화된 배포 및 스케일링 기능은 대규모 모델 배포를 지원하며, BentoML의 직관적인 배포 기능은 모델 서비스의 유지보수를 용이하게 한다. 이 두 도구의 결합은 자동화된 파이프라인을 통해 높은 확장성과 안정성을 보장하며, 대규모 AI 모델의 효율적인 관리와 운영을 가능하게 한다.

셋째, 유연한 배포 옵션으로, BentoML은 클라우드 환경, 온프레미스, 엣지 장치 등 다양한 인프라에서 모델을 배포할 수 있는 유연한 배포 옵션을 제공한다. Kubeflow와의 통합은 이러한 배포 옵션을 효과적으로 관리하고, 다양한 환경에서 최적의 성능을 발휘할 수 있도록 지원하며, 이러한 통합은 모델 운영의 효율성을 극대화한다.

넷째, 모델 버전 관리와 롤백으로, BentoML은 모델의 버전 관리 및 롤백 기능을 제공하며, Kubeflow는 Kubernetes의 롤링 업데이트 기능과 결합하여 무중단 배포 및 안정적인 롤백을 지원한다. 이로 인한 모델 배포 과정에서의 위험을 최소화하고, 서비스의 연속성을 보장하며, 모델의 안정성과 서비스 연속성을 유지하는데 중요한 역할을 한다.

결론적으로, Kubeflow와 BentoML을 기반으로 하는 API 시스템은 AI 모델 배포에 있어 실질적이고 효과적인 솔루션을 제공한다. 이들 도구는 각각의 강점을 통해 모델의 훈련, 패키징, 배포 및 유지보수 전반에 걸쳐 높은 효율성을 발휘하며, AI 시스템의 성능과 신뢰성을 향상시킨다. 향후 논문에서는 이러한 시스템의 실제 적용 사례를 분석하고, 다양한 산업 환경에서의 성과를 평가하여 AI 모델 배포 전략의 발전 방향을 모색하고자 한다.

참고문헌

1. 김동길, 정태윤, “AI 워크플로우의 효율적인 관리를 위한 MLOps 개발 환경에 관한 연구”, 한국지식정보기술학회, 제18권, 제6호, pp.1417-1429, 2023.
2. 김동길, 정태윤, “MLOps 기반 Kubeflow 환경에 최적화된 객체 탐지 모델 개발”, 제19권, 제3호, pp.607-615, 2024.
3. https://www.bentoml.com/
4. https://swagger.io/

검색 증강 생성 기반 택배 운송장 자동 인식 고도화에 관한 연구

A Study on advanced Visual Document Understanding based on Retrieval augmented Generation

정연비
(조선대학교 정보통신공학과, 석사과정)

김유환
(조선대학교 컴퓨터공학과, 학부생)

김원열
(조선대학교 인공지능공학과, 조교수)

Key Words : 택배 운송장 자동 인식, 시각 문서 이해, 거대 언어 모델, 검색 증강 생성

목 차

Ⅰ. 서론
1. 딥러닝 기반 택배 운송장 영상 인식 자동화 기술
2. 관련 연구
1) VDU(Visual Document Understanding)
2) LLM(Large Language Model)
3) RAG(Retrieval Augmented Generation)

Ⅱ. 본론
1. 제안하는 모델
2. 데이터셋
1) 대한민국 택배 운송장 데이터셋
2) 대한민국 주소 DB

Ⅲ. 결론

Ⅰ. 서론

1. 딥러닝 기반 택배 운송장 영상 인식 자동화 기술

택배 및 물류 과정의 자동화 기술에 대한 요구는 지속적으로 증가하는 택배 물동량에 비례하여 증가한다. 택배 과정은 집화, 수집, 운송의 세 가지 단계로 나뉘며, 특히 집화 과정에서 운송장에 기입된 정보를 자동으로 추출하는 연구의 필요성이 대두되고 있다.

딥러닝 기반 택배 운송장 영상 인식은 딥러닝 모델에 이미지를 입력하면 작성된 정보를 추출하는 기술이다. 이러한 기술은 학습된 딥러닝 모델을 통해 복잡한 수작업을 최소화하고, 송장 정보를 자동으로 추출할 수 있어 기존의 수작업 처리 방식보다 빠르고 효율적이다. 최근 딥러닝 기반 VDU(Visual Document Understanding, 시각 문서 이해) 모델이 발전하면서, 이러한 자동화 기술의 발전이 가속화되고 있다.

대한민국 송장 데이터셋에 기존 VDU 모델을 적용할 경우, 한국어 학습량 부족과 독특한 주소 체계로 인해 주소 검출 정확도가 낮다. 이를 해결하기 위해, 본 연구는 대한민국 주소록 DB에 RAG(Retrieval Augmented Generation)[2]를 적용한 LLM(Large Language Model)을 활용하여 주소 검출 성능을 향상시키며 주소 정보 재학습을 제거하고자 한다.

2. 관련 연구

1) VDU(Visual Document Understanding)

VDU(Visual Document Understanding)는 이미지 속 텍스트를 추출하고 의미를 분석해 구조화하는 과정이다. VDU 방식은 OCR-Dependent와 OCR-Free로 나뉜다. OCR-Dependent 방식은 OCR을 통해 텍스트를 추출하여 처리하는 모델로 LayoutLM과 Docformer가 있다. 이 방식은 OCR 성능에 크게 의존하며, 학습 비용이 높다. OCR-Free 방식은 DONUT[1]과 같이 인코더-디코더 구조를 사용해 이미지에서 직접 정보를 추출하며, 학습이 단순하지만 오타 발생률이 높아 교정이 필요하다.

2) LLM(Large Language Model)

LLM은 대량의 텍스트 데이터를 학습하여 인간과 유사한 수준의 텍스트 생성 및 이해 능력을 가진 모델을 의미한다. 이러한 모델은 방대한 파라미터로 구성되어 있으며, 텍스트 생성, 질의응답, 번역 등 여러 분야에서 활용된다. LLM은 이러한 분야에서 뛰어난 성능을 보이지만, 특정 지식이나 정보에 대한 접근 제한, 그리고 학습되지 않은 정보에 대한 환각 문제를 가질 수 있다.

3) RAG(Retrieval Augmented Generation)

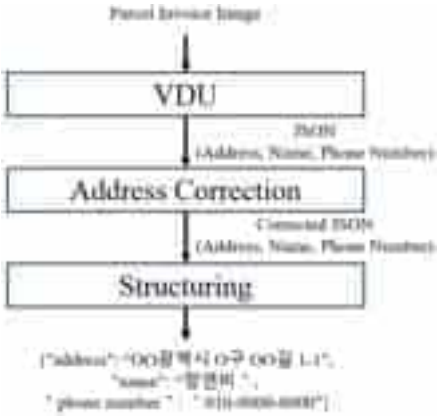
RAG는 LLM이 질문에 대한 답변을 생성할 때 외부

데이터 소스를 활용하도록 하는 방식이다. RAG는 Retriever와 Generator의 두 가지 주요 구성 요소로 이루어진다. Retriever는 질문과 관련된 외부 데이터를 검색하고, Generator는 검색된 정보를 바탕으로 답변을 생성한다. 이 접근 방식은 LLM이 학습되지 않은 정보에 접근할 수 있게 하여 정확성을 높이고, 텍스트 생성을 위한 맥락을 제공함으로써 더욱 신뢰할 수 있는 결과를 도출할 수 있게 한다.

II. 본론

1. 제안하는 모델

본 연구에서는 간단하고 빠른 학습효율 및 성능 문제를 보완하기 위해 RAG와 LLM에 기반한 택배 운송장 인식 및 교정 모델을 제안한다. 그림 1은 제안한 모델을 나타내며 VDU 단계와 Correction 단계로 구성된다. 먼저 VDU 단계에서, OCR-Free VDU 모델인 DONUT을 통해 송장 이미지 데이터에서 필요한 송장 정보를 JSON 형태로 추출하여 반환한다. VDU 모델의 낮은 주소 정보 검출 정확도를 향상시키기 위해 이후 Correction 단계에서 RAG를 적용한 LLM을 통해 오탈자를 수정한다. LLM은 RAG를 통한 사전 지식과 적절한 프롬프트를 제공받아 대한민국 주소 정보에 대한 사전 지식을 가지고 검출된 주소에 오탈자가 포함되었는지 여부를 판단할 수 있다. 또한 오탈자가 포함된 경우 실제 존재하는 주소 정보 중 어떤 주소에서 오탈자가 발생한 것인지 추론하는 과정을 통해 교정이 가능하다.

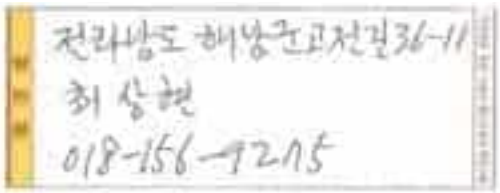


〈그림 1〉 제안하는 택배 운송장 인식 모델

2. 데이터셋

1) 대한민국 택배 운송장 데이터셋

실험을 위해 사용한 대한민국 택배 운송장 데이터셋은 6,000개의 이미지로 구성되어 있으며, 3,000개는 수취인을, 3,000개는 발신인 정보가 기입되어 있다. 또한 각 이미지마다 텍스트 정보가 포함된 해당 JSON 파일로 구성된 레이블이 존재한다. 본 연구에서는 한국 송장 데이터 세트의 6,000개 이미지를 모두 4,800개의 훈련 샘플, 600개의 검증 샘플, 600개의 테스트 샘플로 나누어 실험을 진행했다.그림 2는 대한민국 택배 운송장 데이터 이미지의 예시이다.



〈그림 2〉 대한민국 택배 운송장 데이터셋 예시

2) 대한민국 주소록 DB

한국의 주소 체계는 지번 주소와 도로명 주소로 구성되어 있다. 대한민국 송장 데이터 세트에는 두 가지 유형이 모두 포함되어 있으므로 RAG 기법을 적용하기 위해 사용할 주소 데이터베이스에는 두 주소 모두 포함되어야 한다. 따라서 인터넷 우체국에서 제공하는 주소록 데이터를 CSV 형식으로 추출하여 사용하였다.

III. 결론

본 연구에서는 자동화된 택배 송장 처리, 특히 복잡한 한국어 주소 체계 내에서 수기 및 디지털 입력 주소를 모두 처리할 때 발생하는 문제를 해결하기 위해 검색 증강 기법을 적용한 LLM을 도입했다. 제안한 모델의 실험 결과, 제안한 방법을 통해 주소 검출에 대한 성능이 향상될 뿐만 아니라 재학습 없이도 외부 데이터 갱신만으로 새로운 주소 정보 반영이 가능함을 입증하였다. 향후, LLM의 연산 비용을 감소시키는 기법을 적용하여 효율적인 택배 운송장 인식 모델에 관한 연구를 진행할 예정이다.

참고문헌

1. Kim, G., et al., 2022. Ocr-free document understanding transformer. In European Conference on Computer Vision, Switzerland, pp. 498-517. https://doi.org/10.1007/978-3-031-19815-1_29.

2. Muludi, K., et al., 2024. Retrieval-Augmented Generation Approach: Document Question Answering using Large Language Model. International Journal of Advanced Computer Science & Applications, 15 (3), pp. 776-785. https://doi.org/10.14569/IJACSA.2024.0150379.

서울대학교 SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

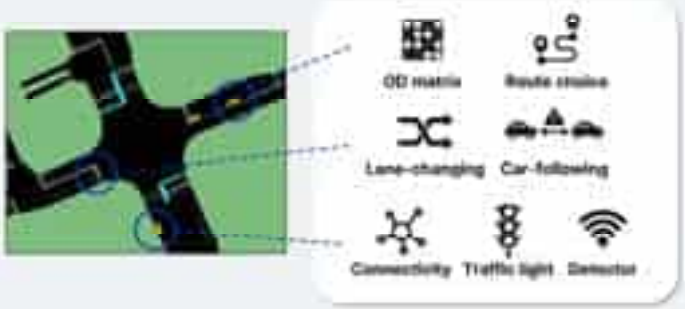
Fine-tuning O-D matrices of Microscopic Traffic Simulation Using Guided Reinforcement Learning

민동규
서울대학교 건설환경공학부 석사과정

김동규
서울대학교 건설환경공학부 교수

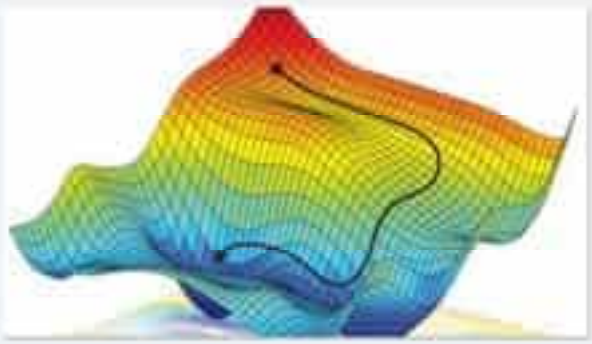
Introduction

미시적 교통 시뮬레이션의 정산



- 정산(Calibration)이란, 시뮬레이션을 현실화하는 과정
- 시뮬레이션의 가상 데이터와 현실 데이터를 일치
- 네트워크의 교통량 데이터 시퀀스를 재현하는 O-D 추정을 포함
  → 세부 분야로의 확장: 동적 O-D 행렬 추정 문제

O-D 행렬 추정 문제의 어려움



- Closed-form solution이 존재하지 않음 (numerical)
- 탐색 공간이 넓어 해 탐색이 어려움 (high-dimensional)
- 지역해가 다수 존재함 (non-convex)
  → solution uncertainty
  → 추정된 O-D 행렬에 대한 fine-tuning이 필요

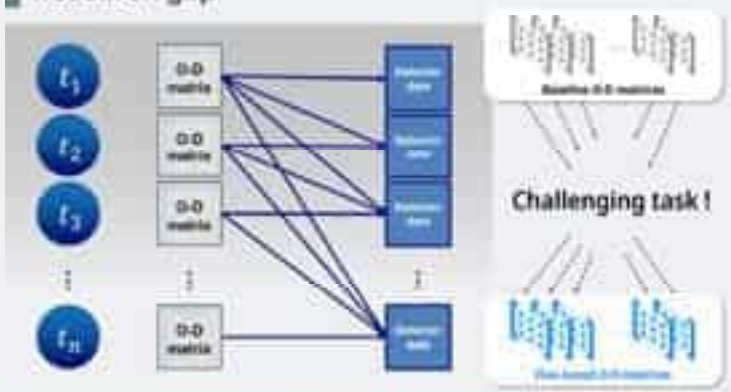
Introduction

Literature review

Author	Network modeling	Algorithm	Discussion
Cascetta et al. (2013)	Quasi-dynamic estimator	Kalman filter	+ Algorithm needs improvement
Osorio (2019)	Analytical metamodel	Simulation-based optimization	+ Need to compensate for errors due to approximations in the metamodel
Krishnakumari et al. (2020)	Neural network and Aimsun	Levenberg-Marquardt optimization	+ Discovering the linearity of error with prediction quality
Hao et al. (2023)	Physical surrogate model	Bayesian optimization	+ Need to improve error due to complex interactions
Min et al. (2024)	Data-driven metamodel	Simultaneous Perturbation Stochastic Approximation	+ State representation and algorithms sophistication required

- 정도의 차이가 있을 뿐 근본적으로 오차가 발생할 수밖에 없음
- 네트워크 모델 불일치에 의한 오차, 알고리즘 성능에 의한 오차 등
- 대부분의 연구는 추정한 solution을 신뢰하며, solution을 improvement하고자 하는 노력은 미비함

Research gap



- **문제점**) 기존 solution을 개선시키려고 해도 구체적으로 어느 부분을 어떻게 수정해야 하는지 쉽게 알 수 없다는 것이 문제

→ **이슈 1:** 경로 선택 등 복잡한 상호작용 때문에 solution을 직접적으로 수정하기 어려움

→ **이슈 2:** 수정된 한 step의 solution이 다음 step에 어떤 방식으로 영향을 미칠지 모름

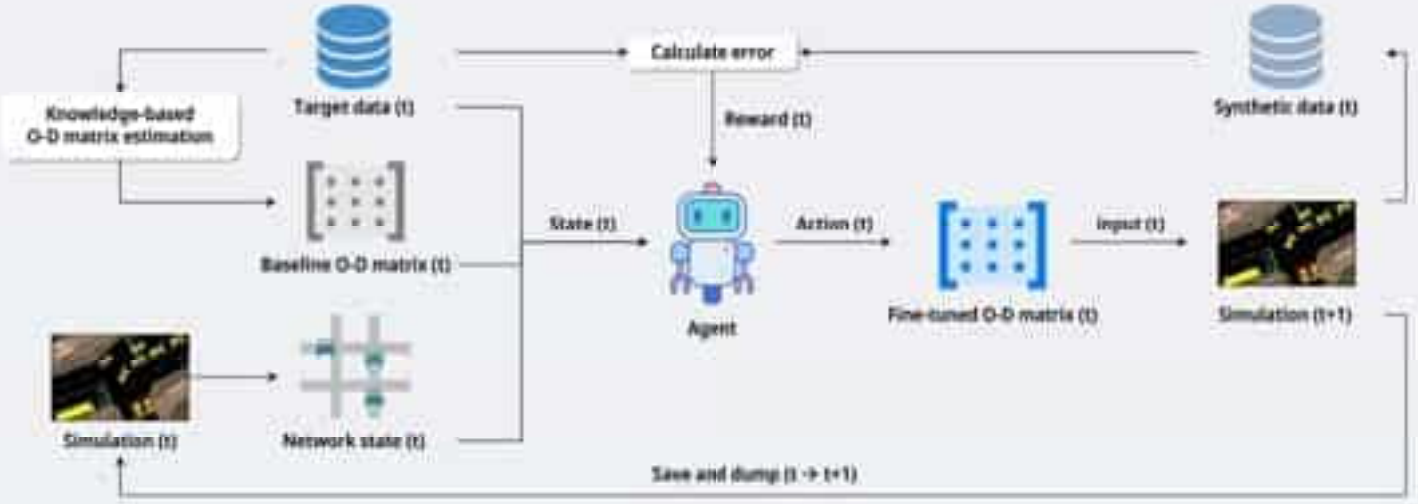
Introduction

Research objective

- **순차적 결정 문제 공식화와 지식 기반 강화학습을 활용한 수요 보정 프레임워크 제안**
- **기존 방법으로 추정된 O-D 행렬을 step 단위로 fine-tuning 하여 시뮬레이션 입력 시 더 낮은 재현 오차를 갖는 O-D 행렬로 개선**
- How? (contributions)
  1) **네트워크 상태 벡터화:** 경로 선택 등 차량 간 복잡한 상호작용을 고려하기 위해 미시 시뮬레이션의 정보를 벡터화하여 반영
  2) **순차적 결정 문제 공식화:** 수정한 O-D 행렬이 미래에 미치는 복잡한 영향을 고려하기 위한 MDP formulation

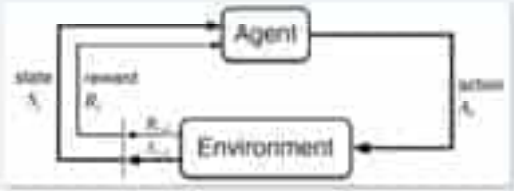
Method

지식 기반 강화학습을 활용한 수요 보정 프레임워크



Method

Markov Decision Process (MDP)



- MDP $\equiv < S, \mathcal{A}, p, R, \gamma >$ (Arulkumaran et al., 2017)
  - Set of states S, plus a distribution of starting states $p(s_0)$
  - Set of actions $\mathcal{A}$
  - Transition dynamics $\mathcal{T}(s_{t+1}|s_t, a_t)$
  - Reward function $R(s_t, a_t)$
  - Discount factor $\gamma \in [0,1]$

- Policy $\pi : S \rightarrow p(\mathcal{A} = a|S)$
- The goal of RL is to find an optimal policy π^*
  - $\pi^* = \underset{\pi}{\operatorname{argmax}}\, \mathbb{E}[R|\pi]$

Soft-Actor-Critic (SAC)

✓ Objective function (Haarnoja et al., 2018)

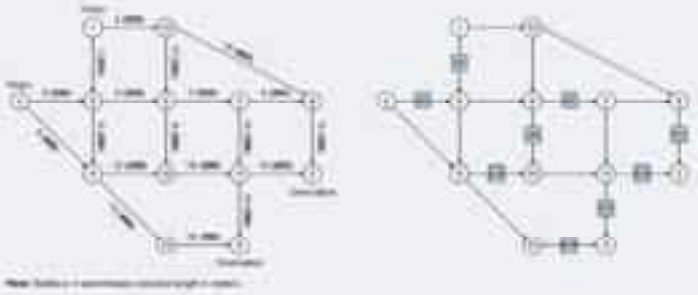
$$J^{\pi} = \mathbb{E}_{\tau \sim \pi}\left[\sum_{t=0}^{\infty} \gamma^t (R(s_t, a_t) + \alpha \mathcal{H}(\pi(\cdot|s_t)))\right]$$

- $\tau = (s_0, a_0, s_1, a_1, \ldots)$: 정책 π를 따라 생성된 경로
- $\mathcal{H}\left(\pi(\cdot|s_t)\right) = -\mathbb{E}_{a_t \sim \pi}[\log \pi(a_t|s_t)]$: 상태 s_t에서의 정책 엔트로피
- α: Temperature parameter

- Model-free, Off-Policy, Actor-Critic, Stochastic Policy
- SAC 알고리즘을 사용한 이유
  - ① O-D 행렬의 범위가 넓어 탐색의 다양성 필요
  - ② 민감한 보정이 필요하여 연속적인 행동 공간을 설계
  - ③ 높은 샘플 효율성과 학습 안정성
  - ④ 하이퍼파라미터 튜닝 부담 감소

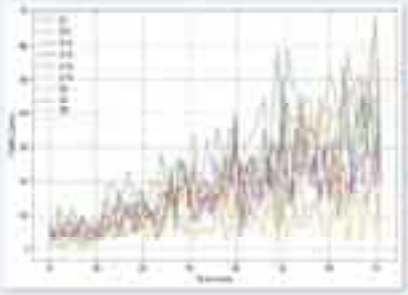
Method

Experiment Design



- Nguyen and Dupuis network (Nguyen and Dupuis, 1984)
- 4 O-D pairs, 13 nodes, 19 directed links
- SUMO에 9개의 loop detector를 설치하여 5분 단위 교통량 수집
- SUMO의 O-D 행렬을 제외한 모든 파라미터는 default로 고정

Ground truth data

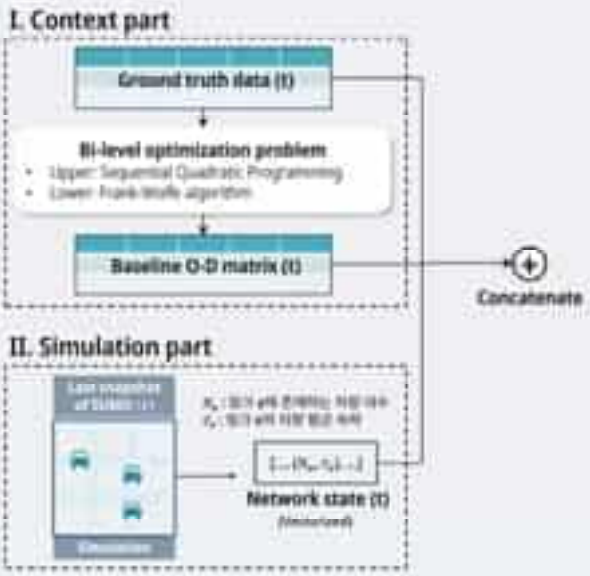


Time index	Mean	Standard deviation
0 – 11	5	1.5
12 – 23	10	3.0
24 – 35	15	4.5
36 – 47	20	6.0
48 – 59	25	7.5
60 – 71	30	9.0

- 오전 peak를 가정하기 위해 점차 수요가 증가하는 시나리오 설정
- 위의 평균과 표준편차를 갖는 정규분포에서 5분 단위 수요를 샘플링
- SUMO를 이용하여 출발 시점의 time-dependent shortest path 및 one-shot assignment로 할당

Method

State



Action

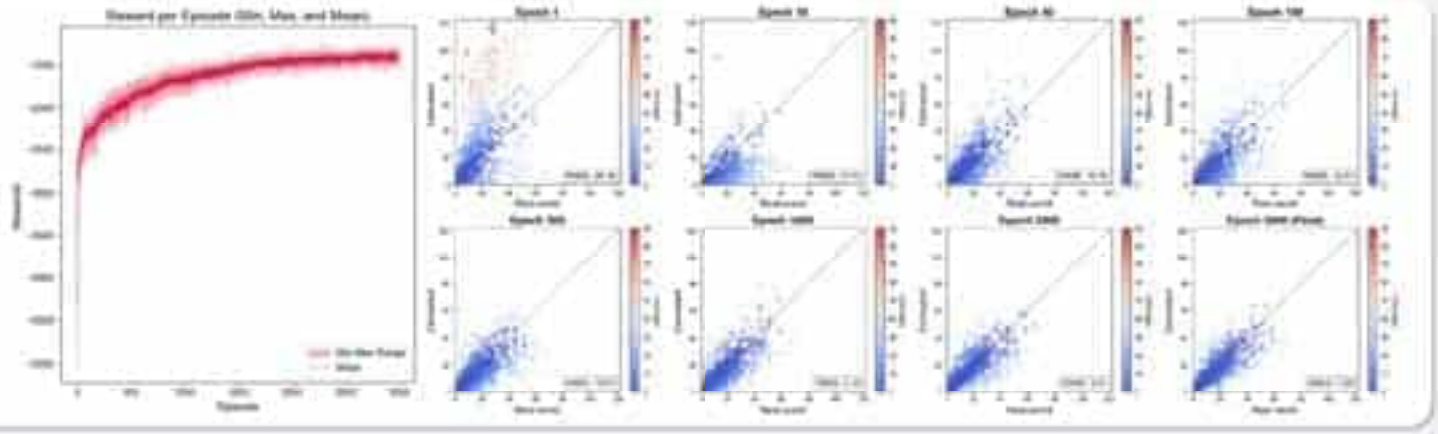
- k번째 O-D pair의 fine-tuning 계수 $a_k \in [-1, 1]$
- 기존 Demand 값 $\delta_k(t)$에 대한 수요 보정 수행
- $\delta_k^*(t) = \delta_k(t) \cdot (1 + a_k)$

Reward

- step (t) 에 대한 Fine-tuning 작업을 마친 후 (step 종료)
- 보정된 O-D 행렬을 SUMO에 입력하여 detector data (t) 재구성
- Ground truth data (t)와의 Mean Squared Error 계산
- $MSE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(\hat{Y}_i - Y_i)^2$

Result

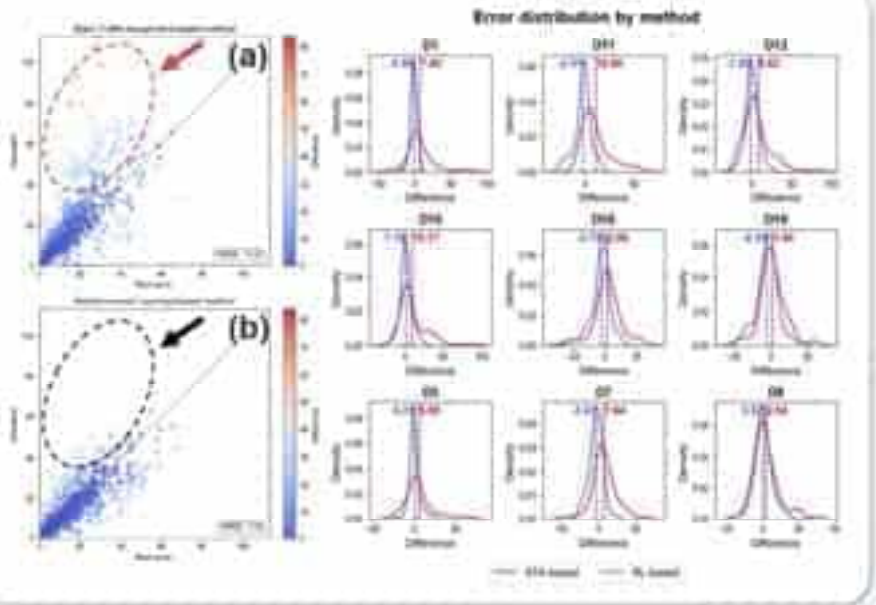
지식 기반 강화학습 에이전트 학습 결과



- 학습이 진행되며 Episode의 총 보상이 증가함. 주어진 교통량 시뮬레이션을 더 잘 재현하는 방향으로 개선됨
- 학습 초반부에는 Ground truth보다 과소 혹은 과대하게 O-D 수요를 보정하는 경향이 있으나 점차 Fine-tuning 되는 모습을 보임
- RMSE(Epoch) 추이: 26.16(1)→15.04(10)→12.76(50)→12.37(100)→10.07(500)→9.10(1,000)→8.51(2,000)→7.99(3,000)

Result

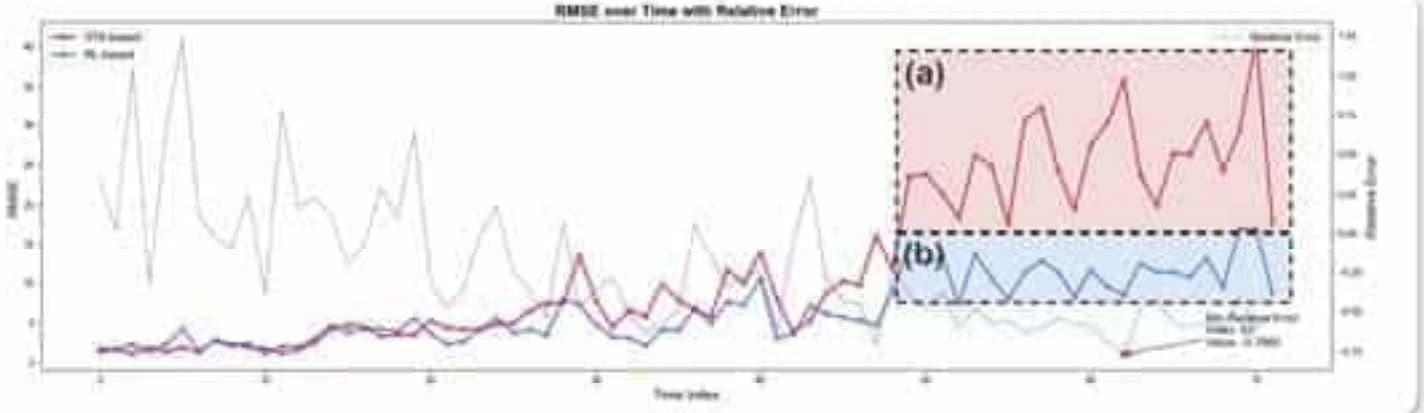
방법론별 최종 정산 결과 및 에러 분포 비교



- Frank-Wolfe 알고리즘 기반의 Static Traffic Assignment 모델링과 Sequential Quadratic Programming 알고리즘을 이용하여 추정한 O-D 행렬을 시뮬레이션에 입력한 결과(a): RMSE 15.97
- 제안된 방법을 이용하여 기존의 O-D 행렬을 가장 개선된 수준으로 Fine-tuning한 결과(b): RMSE 7.68
- RMSE 51.9% 감소
- 전반적으로 과대 추정되었던 포인트들이 x=y에 가깝게 보정된 것을 확인할 수 있음

Result

Time index에 따른 방법론별 에러 추이



- 제안된 방법은 잔류 차량이 많아지는 피크 시간대의 교통 상황에 더욱 효과가 존재하는 것으로 나타남
- 해당 구간은 네트워크가 혼잡한 상황으로, 잘못 추정된 O-D 행렬로 인해 연쇄적으로 오차가 누적될 수 있음
- 기존 solution(a) 대비 Fine-tuned solution(b)는 최대 76.6% 오차 감소율을 보이며 안정적인 오차 관리 능력을 보여줌

11

Conclusion

Summary

연구요약

- 더 현실적인 미시적 교통 시뮬레이션을 구현하기 위하여, 추정된 O-D 행렬을 Fine-tuning 하는 방법을 제안함

학술적 기여

- O-D 행렬을 Fine-tuning 하기 위한 순차적 의사 결정 문제의 formulation과 RL 기반 방법 활용

① 고차원성 개선을 위한 기존 해 정보 제공 Guided
② 차량 간의 복잡한 상호작용을 반영 Deep
③ O-D 행렬의 순차적인 영향을 고려 Reinforcement Learning

후속 연구

- 대규모 네트워크 확장
- 상태 벡터화 개선
- 알고리즘 대안

12

References and Acknowledgement

References

- Arulkumaran, K., Deisenroth, M. P., Brundage, M., & Bharath, A. A. (2017). Deep reinforcement learning: A brief survey. IEEE Signal Processing Magazine, 34(6), 26-38.
- Cascetta, E., Papola, A., Marzano, V., Simonelli, F., & Vitiello, I. (2013). Quasi-dynamic estimation of o–d flows from traffic counts: Formulation, statistical validation and performance analysis on real data. Transportation Research Part B: Methodological, 55, 171-187.
- Haarnoja, T., Zhou, A., Abbeel, P., & Levine, S. (2018, July). Soft actor-critic: Off-policy maximum entropy deep reinforcement learning with a stochastic actor. In International conference on machine learning (pp. 1861-1870). PMLR.
- Huo, J., Liu, C., Chen, J., Meng, Q., Wang, J., & Liu, Z. (2023). Simulation-based dynamic origin–destination matrix estimation on freeways: A Bayesian optimization approach. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 173, 103108.
- Krishnakumari, P., Van Lint, H., Djukic, T., & Cats, O. (2020). A data driven method for OD matrix estimation. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 113, 38-56.
- Osorio, C. (2019). High-dimensional offline origin-destination (OD) demand calibration for stochastic traffic simulators of large-scale road networks. Transportation Research Part B: Methodological, 124, 18-43.
- Min, D., Yun, H., Ham, S. W., & Kim, D. K. (2024). Real-Time Estimation of Origin-Destination Matrices Using a Deep Neural Network for Digital Twins. Transportation Research Record, 03611981241266837.
- Nguyen, S., & Dupuis, C. (1984). An efficient method for computing traffic equilibria in networks with asymmetric transportation costs. Transportation science, 18(2), 185-202.

Acknowledgement

- 이 논문은 국토교통부의 스마트시티 혁신인재육성사업으로 지원되었음
- 이 논문은 2024년도 정부(경찰청)의 재원으로 과학치안진흥센터의 지원을 받아 수행되었음(No. 092021C28S02000)
- 이 논문은 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2022R1A2C2012835)
- 이 논문은 2024년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. RS-2024-00408860)

교통상황 시나리오를 고려한 강화학습 기반 TOD 신호 제어에 관한 연구

Reinforcement Learning-Based Time-of-Day Signal Control Considering Traffic Scenarios

이경진 (아주대학교, 석박사통합과정)

김인영 (아주대학교, 석박사통합과정)

윤일수 (아주대학교, 교수)

Key Words : 교통신호제어, Time-of-Day(TOD), 강화학습, DQN

목 차

1. 서론
2. 관련 이론 및 연구 고찰
3. 교통상황 시나리오 개발
4. 강화학습 알고리즘 개발
5. 결론 및 향후 연구 과제

Ⅰ. 서론

Time-of-Day (TOD) 신호 제어 방식은 특정 시간대에 정해진 신호 주기를 적용하는 방법이다. TOD 신호 계획(TOD plan)은 교통 운영자의 경험과 과거 교통 패턴에 기반해 결정되기 때문에 예상치 못한 교통 패턴의 변화나 돌발 상황에 즉각적으로 대응하기 어렵다(Zheng et al., 2015; Muralidharan et al., 2016; Song et al., 2018). 이러한 TOD 신호 제어 방식의 한계를 극복하기 위해서는 TOD 시간 경계(break points)를 실시간 교통상황에 적합하게 최적화할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 강화학습(reinforcement learning, RL) 알고리즘을 기반으로 TOD 시간 경계를 동적으로 조정하는 방법을 제안한다. 기존의 강화학습 기반 신호 제어 연구들이 주로 교차로 신호 최적화에 집중되었던 것과 달리, TOD 시간 경계를 조정하여 신호를 제어하는 알고리즘을 개발함으로써 알고리즘의 경량화와 동시에 우수한 성능을 유지할 수 있는 효율적인 모델을 구축하는 것을 목표로 한다. 이는 교차로의 신호 제어를 보다 직관적이고 간결하게 수행하면서도 기존 TOD 방식이 가지고 있던 한계를 극복할 수 있을 것으로 기대한다.

또한, 본 연구는 강화학습 알고리즘에 다양한 교통상황 시나리오를 반영하여, 더욱 실질적인 교통 패턴과 상황 변화에 대응할 수 있는 신호 제어 알고리즘을 제안한다. 이는 기존 TOD 시간 경계의 결정에 관한 연구들이 주로 과거 이력 데이터 기반 군집분석(clustering)에 기반해 진행되었던 반면(Smith et al., 2002; Wong and Woon, 2008; Ratrout, 2011; Jun and Yang, 2013; Guo and Zhang, 2014; Song et al., 2018), 본 연구는 강화학습을 통해 실시간으로 변화하는 교통 상황에 반응하며, 보다 동적인 교통 환경에 적합한 신호 제어 방안을 제시한다.

본 연구는 단일 교차로를 대상으로 TOD 시간경계를 조정하며 신호제어를 하는 강화학습 알고리즘을 개발한다. 이를 위해 다양한 교통상황 시나리오를 개발하여 알고리즘 학습에 활용함으로써 강화학습 알고리즘이 다양한 상황에서 적응할 수 있는 일반화 성능을 확보하고자 하였다. 또한 본 연구 목적에 적합한 강화학습 알고리즘을 선정한 후 강화학습 에이전트 설계를 통해 다양한 교통상황에 따라 TOD 시간경계를 동적으로 조정하는 매커니즘을 구체화하였다. 그 후 결론 및 한계를 바탕으로 향후 연구과제를 제시한다.

Ⅱ. 선행 연구 고찰

Ma et al.(2021)은 proximal policy optimazaiton(PPO)를 활용해 실시간 교통 흐름 데이터를 기반으로 신호를 동적으로 조정하는 방법을 제안했으며, 기존 신호제어 방식보다 차량 대기시간과 대기행렬길이를 효과적으로 줄일 수 있음을 확인하였다. 다만, TOD plan의 시간경계는 고정된 채로 사전에 정의된 최소, 최대 시간 사이의 녹색 현시 지속시간을 조정하였기 때문에 교통패턴 변화에 유연하게 대응하는 데에 한계가 있다.

Du et al.(2022)는 자율주행자동차와 일반차량의 혼재상황에서 강화학습 기반 신호제어 시스템을 제안하였으며, 교통 안전성을 향상시킬 수 있음을 확인하였고, 다양한 교통 패턴에 대응하는 신호 제어 시스템의 효율성을 입증하였다. 다만, 복잡한 교차로 환경에서 발생하는 다양한 돌발 상황에 대한 고려는 부족하였으며, 실제 교통상황에서 발생하는 예외적인 상황에 실시간으로 대응하는 기능이 제한적이었다.

Kondratov(2021)은 Deep-Q-learning(DQN)을 활용한 실시간 교통신호제어 시스템을 제안하였으며 이는 운전자의 평균 이동

시간을 감소시키는 데 효과적이라는 연구 결과를 제시하였다. 이는 기존의 교차로 신호 최적화 연구 대비 효율적이고 실시간 교통상황에 적합한 방법이라는 결론을 도출하였다. 그러나 알고리즘이 복잡하고 계산 비용이 증가하여 실시간 적용 가능성이 떨어질 수도 있다는 한계가 존재한다.

기존 연구 검토의 한계점을 보완하기 위한 본 연구의 차별성은 다음과 같다. 먼저 본 연구는 기존의 고정된 TOD 시간 경계 방식의 한계 보완을 위해 실시간으로 시간경계를 동적 조정하는 방법론을 제안한다. 이는 교통패턴 변화나 돌발 상황에 보다 유연하게 대응할 수 있어 기존 방식의 한계를 극복할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 기존의 강화학습 기반 신호 제어 연구가 교차로 신호 최적화에 집중한 것과 달리, 본 연구는 TOD 시간 경계 조정을 통해 신호 제어 알고리즘을 경량화함으로써 복잡한 교통 시스템 내에서도 우수한 성능을 유지할 수 있는 효율적인 모델을 개발하는 것을 목표로 한다. 더불어 다양한 교통상황 시나리오를 강화학습 알고리즘에 반영하여 현실적인 도심지 교통상황에 잘 대응할 수 있는 신호 제어 알고리즘을 제안하고자 한다.

III. 교통상황 시나리오 개발

신호교차로의 교통 패턴은 시간대나 요일에 따라 크게 변동될 수 있어 다양한 교통상황 시나리오를 통해 에이전트가 각기 다른 교통 상황에 잘 적응할 수 있도록 학습하는 것이 필요하다. 이는 특정 패턴에 과적합(overfitting)되지 않고 다양한 교통상황에서도 일관된 성능을 발휘할 수 있는 강화학습 알고리즘을 구현하는 데 필수적이다. 또한 실시간 교통상황 변화에 유연하게 대응할 수 있어 돌발 상황이나 예상치 못한 교통량 변화에도 적절히 반응할 수 있도록 한다. 따라서 본 연구에서는 다양한 교통상황 시나리오를 개발하여 강화학습 알고리즘에 반영하였다.

본 연구에서는 교통상황 시나리오 개발을 위해 먼저 도심부 교통상황 특성을 반영한 교통상황 유형 분류를 수행하였다. 기존 교통상황 이력 데이터에 도심지 교통상황의 시간관련 특성(계절, 요일, 첨두/비첨두), 날씨 특성(기온, 강수)를 반영하여 클러스터링을 수행하였으며, 총 5개의 교통 패턴을 도출하고 각 패턴 별 시뮬레이션을 구현하였다. 그 후 시뮬레이션을 활용하여 다양한 교통상황 변화 조건에서의 패턴별 시뮬레이션 데이터를 추출하였다. 이때 교통상황 변화 조건으로 자율주행자동차 점유율, 돌발상황 발생차로, 돌발상황으로 인한 차로 차단 시간, 유입 교통량의 변화를 반영하였다. 위의 절차를 통해 본 연구에서 활용할 다양한 교통상황 시나리오 데이터를 구축하였다.

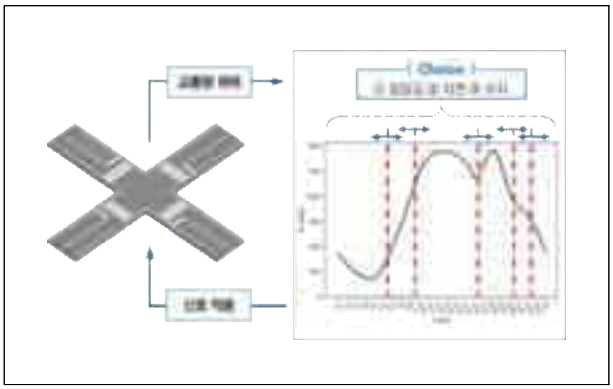
IV. 강화학습 알고리즘 개발

1. 강화학습 알고리즘 선정

본 연구에서는 다양한 교통상황에서 TOD 시간 경계를 조정하기 위한 강화학습 알고리즘으로 Deep Q-Network(DQN)을 선정하였다. 교차로의 신호제어를 위한 알고리즘으로는 안정성과 성능이 중요하다. DQN은 심층 신경망을 이용해 방대한 상태-행동 공간에서 최적의 행동을 선택할 수 있도록 한다. 또한 DQN의 경험 리플레이(experience replay)와 타겟 네트워크(target network) 특성은 학습의 안정성을 높이고 성능을 향상시키는 데 기여한다. 이러한 특징들로 인해 DQN은 교차로에서 다양한 교토 상황에 적응하며 효율적인 신호제어를 가능하게 할 수 있어 본 연구에 적합한 알고리즘으로 판단하였다.

2. 강화학습 에이전트 설계

본 연구에서는 교통 상황에 따라 TOD plan의 시간 경계를 동적으로 조정하는 강화학습 에이전트를 설계한다. 이 에이전트는 일정 시간 간격으로 교차로의 교통 데이터를 수집하고, 이를 기반으로 교통 흐름에 적합한 TOD plan의 시간 경계를 설정한다.



<그림 1> TOD 시간경계 조정 알고리즘 개요

강화학습에서 상태(State)는 현재 교통 상황을 나타내며, 에이전트는 이 상태를 관찰하고 그 정보를 바탕으로 적절한 행동(Action)을 선택한다. 본 연구에서 시뮬레이션 환경은 연구 대상인 교차로의 네트워크를 모사하며, 상태 변수로는 주 방향 직진 통과교통량을 사용한다. 동(Action)은 에이전트가 주어진 상태에서 취할 수 있는 선택지들을 의미하며, 에이전트의 선택에 따라 환경이 변화하고 그 결과가 반환된다. 본 연구에서는 TOD plan을 조정하는 세 가지 행동, 즉 계획의 앞당김, 유지, 지연을 에이전트의 행동으로 정의하였다. 교통 상황에 지나치게 자주 변동을 주는 것은 혼란을 일으킬 수 있으므로, 에이전트는 30분, 1시간 단위로 행동을 결정하도록 설정하였다. 보상(Reward)은 에이전트가 특정 행동을 수행했을 때 환경으로부터 받는 피드백으로, 긍정적 혹은 부정적 보상을 통해 에이전트는 어떤 행동이 바람직한지 학습하게 된다. 본 연구에서는 차량 대기 행렬의 길이 기반의 함수를 보상 함수로 설정하였다.

알고리즘 구현은 파이썬(Python) 프로그래밍 언어로 수행되었으며, PyTorch 라이브러리를 활용하여 강화학습 알고리즘을 개발하였다.

Ⅴ. 결론 및 향후 연구 과제

본 연구는 기존 TOD 신호 제어 방식의 한계를 극복하기 위해, TOD 시간 경계를 동적으로 조정하는 강화학습 기반 알고리즘을 제안하였다. 다양한 교통상황 시나리오를 개발하여 알고리즘 학습에 적용함으로써 강화학습 알고리즘이 여러 상황에 적응할 수 있는 일반화 성능을 확보하고자 하였다. 다양한 교통상황 시나리오 개발을 위해 도심부 교통 특성을 반영한 클러스터링을 수행하였으며, 자율주행자동차 점유율, 돌발상황, 교통량 변화 등의 다양한 조건을 고려하여 실질적인 교통상황을 반영한 시뮬레이션 데이터를 구축하였다.

향후 연구로는 DQN 알고리즘을 통한 TOD 시간 경계 조정 모형의 구체적인 개발 및 구현을 통해 시나리오 기반의 신호 제어 성능을 평가하고, 실제 교차로 상황에서 알고리즘의 실효성을 검증하는 작업이 필요하다. 다양한 교통 상황에 따른 TOD plan의 최적화를 달성할 수 있는 알고리즘 개발이 이루어져야 한다.

또한, 본 연구에서는 단일 교차로에 대한 신호 제어를 다루었으나, 실제 교통 환경에서는 복수의 교차로가 상호작용하는 경우가 많다. 따라서 향후 연구에서는 연동 교차로에 대한 강화학습 기반 신호 제어 알고리즘의 확장 및 적용도 함께 고려할 필요가 있다. 마지막으로, 본 연구에서 제안한 알고리즘의 실효성을 높이기 위해서는 실시간 교통 데이터를 활용한 알고리즘 검증 및 최적화 작업도 병행되어야 한다.

감사의 글

이 논문은 2024년도 정부(경찰청)의 재원으로 과학치안진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.092021C29S01000, 네트워크 제어를 위한 교통정체 및 혼잡 운영관리 기술 개발)

참고문헌

1. A. Muralidharan, S. Coogan, C. Flores, and P. Varaiya, "Management of intersections with multi-modal high-resolution data," Transportation Research Part C: Emerging Technologies, vol. 68, pp. 101-112, Jul. 2016.

2. B. L. Smith, W. T. Scherer, T. A. Hauser, and B. B. Park, "Data-driven methodology for signal timing plan development: A computational approach," Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, vol. 17, no. 6, pp. 387-395, Nov. 2002.

3. J. Zheng, H. Liu, and S. Misgen, "Fine-tuning time-of-day transitions for arterial traffic signals," Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, vol. 2488, pp. 32-40, Oct. 2015.

4. Kondratov, I. V. (2021). DQN-BASED TRAFFIC SIGNAL CONTROL SYSTEMS. Chronos, 6(7), 16-18.

5. Ma, Z., Cui, T., Deng, W., Jiang, F., & Zhang, L. (2021). Adaptive optimization of traffic signal timing via deep reinforcement learning. Journal of Advanced Transportation, 2021(1), 6616702.

6. N. T. Ratrout, "Subtractive clustering-based K-means technique for determining optimum time-of-day breakpoints," Journal of Computing in Civil Engineering, vol. 25, no. 5, pp. 380-387, Sep. 2011.

7. R. Guo and Y. Zhang, "Identifying time-of-day breakpoints based on nonintrusive data collection platforms," Journal of Intelligent Transportation Systems, vol. 18, no. 2, pp. 164-174, Jun. 2014.

8. X. Song, W. Li, D. Ma, Y. Wu, and D. Ji, "An enhanced clustering-based method for determining time-of-day breakpoints through process optimization," IEEE Access, vol. 6, pp. 29241-29253, 2018.

9. Y. Jun and Y. Yang, "Using Kohonen cluster to identify time-of-day break points of intersection," in Emerging Technologies for Information Systems, Computing, and Management, New York, NY, USA: Springer, pp. 889-896, 2013.

10. Y. K. Wong and W. L. Woon, "An iterative approach to enhanced traffic signal optimization," Expert Systems with Applications, vol. 34, no. 4, pp. 2885-2890, May 2008.

11. Yu Du, Wei ShangGuan, Linguo Chai, Traffic signal control in mixed traffic environment based on advance decision and reinforcement learning, Transportation Safety and Environment, Volume 4, Issue 4, December 2022, tdac027, https://doi.org/10.1093/tse/tdac027

Robust Trajectory Prediction of Surrounding Vehicles for Autonomous Vehicle Using Partial Observable Sensor Data in Signalized Intersection

이승현
서울대학교
석박사통합과정

김동규
서울대학교
교수

2024.09.25.

Introduction

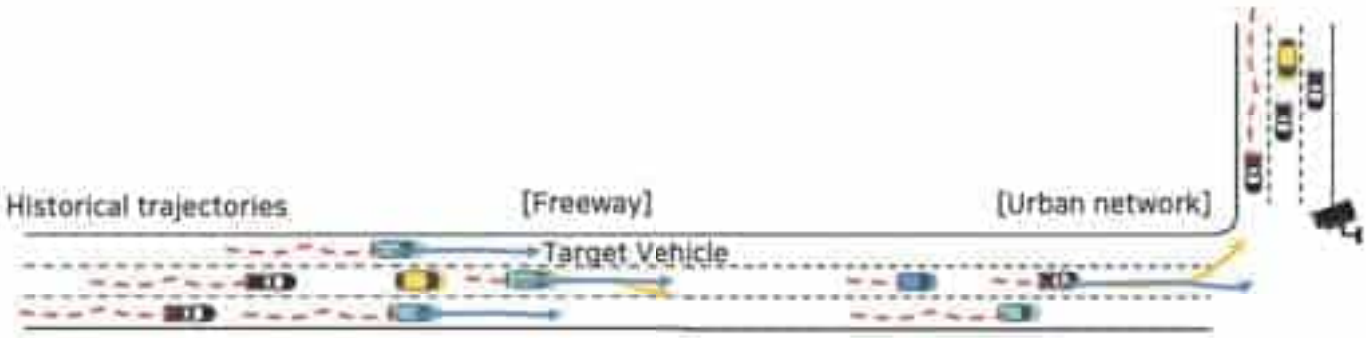
Draw the daily lives of people driving self-driving cars in the future

Introduction

- Research Background
  - Autonomous vehicles need to ensure the safety of its passengers and other occupants of the road, while navigating smoothly without disrupting traffic or causing discomfort to its passengers.
  - In order to safely share the road with human drivers, an autonomous vehicle needs to have the ability to predict the future motion of surrounding vehicles purely based on perception.

Literature Review

- Studies related to trajectory prediction usually focus on single/several target vehicles
- Studies related to trajectory prediction can be divided into freeway studies/ urban network studies
- Trajectory prediction based on mobile data collection, such as sensor data from vehicles, has not been well studied in situations including urban roads.



Literature Review

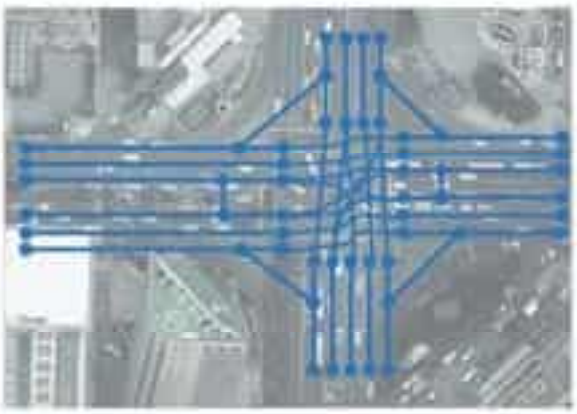
- Previous studies have utilized perfect observable data of limited target vehicles, which means no observations are missing and spatial and temporal variations are limited.
- Data to be collected from actual autonomous vehicles is prone to missing vehicle data due to limited visibility between vehicles, and the data is noisy.

[Perfect observable data]

[Partial observable data]

Literature Review

- Some studies utilize HD maps for better representation of the network
- This can improve the performance of the model, but constructing HD maps for all roads is cost-inefficient



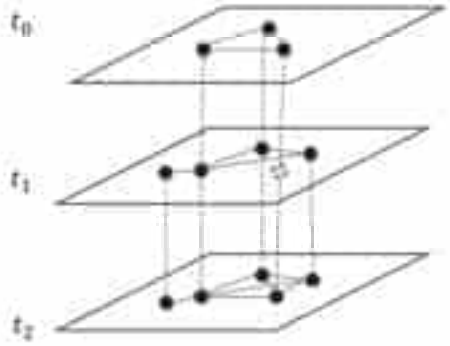
[HD map]

[Low resolution map]

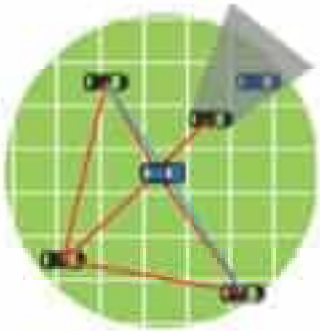
Introduction

- Research Challenge

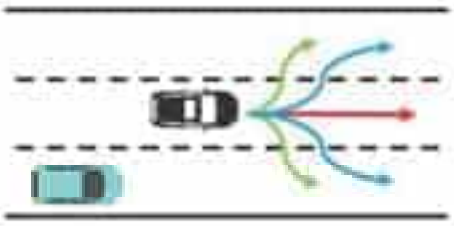
Spatiotemporal relationship



Partial observable data



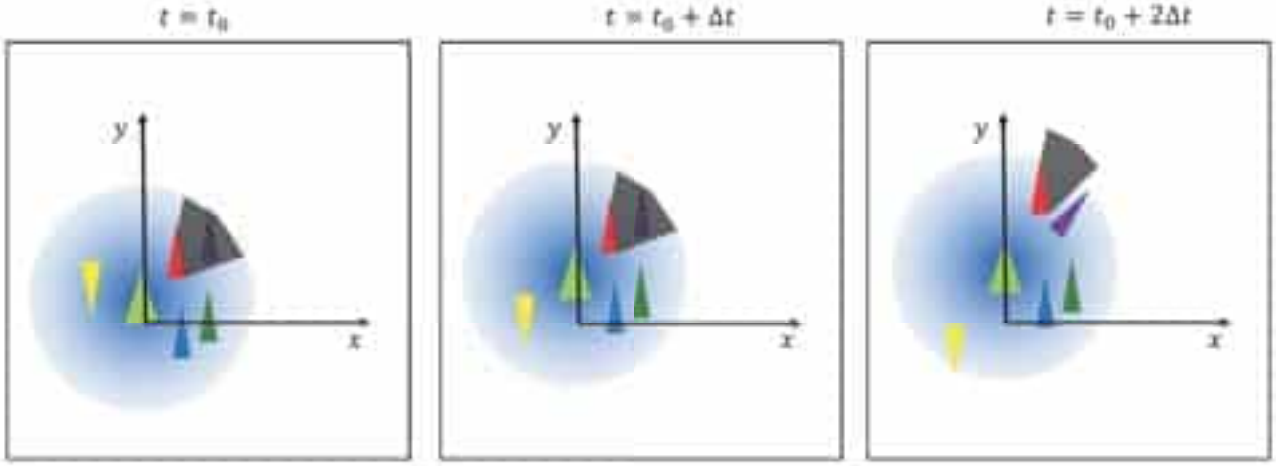
Diversity of driving maneuverings



7

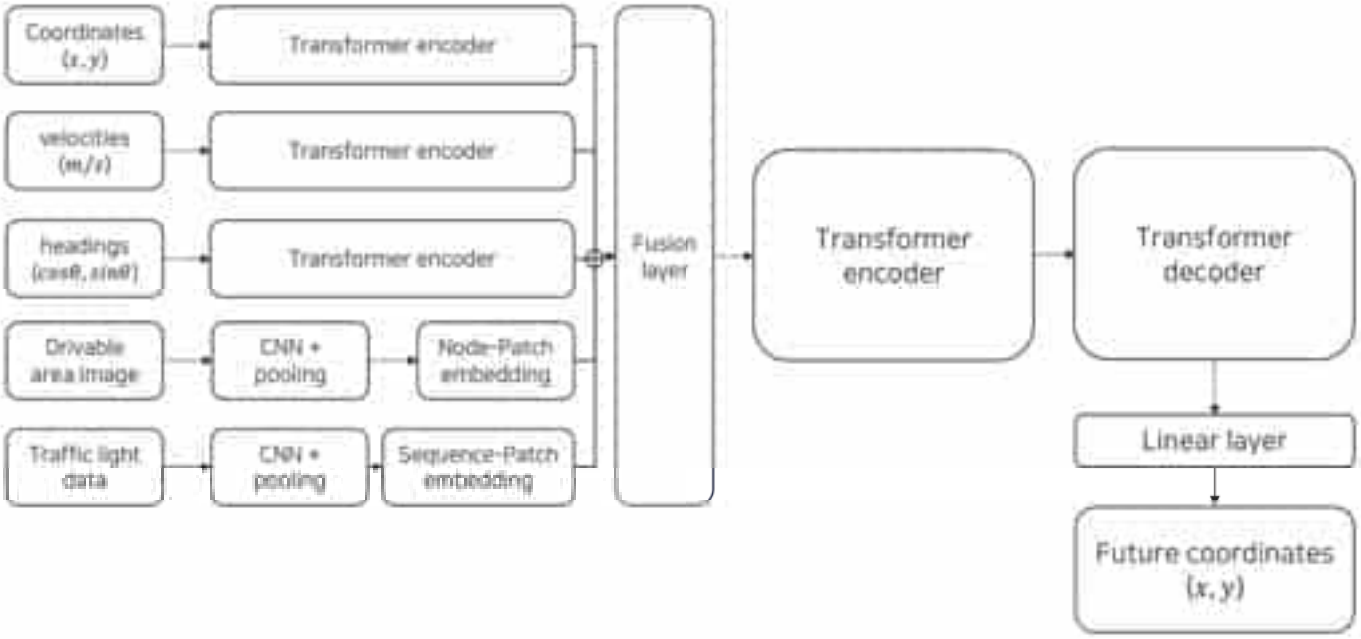
Preprocessing

- Coordinate preprocessing
  - Lat-lon coordinate system can overfit the model
  - Change from a lat-lon coordinate system to a relative coordinate system based on the Ego vehicle coordinates at the start of the sequence



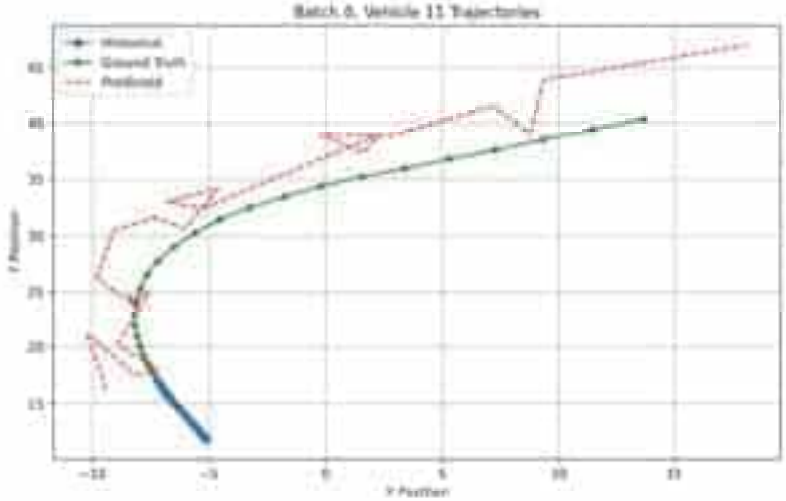
8

Model architecture



9

Results



After 200 epoch,

MSE: 12.39

Average ADE (Average displacement error): 2.60

Average FDE (Final displacement error): 2.91

10

Conclusion

- This study proposes a trajectory prediction model for surrounding vehicles that closely approximates real autonomous driving environments.
- To tackle the challenges of practical settings, the model assumes sensors are installed at heights similar to the vehicle's body, allowing for realistic data collection that includes occlusion effects between vehicles using microscopic traffic simulation.
- The primary limitation of this study is the use of simulated data generated by SUMO, which may not fully capture the complexity and uncertainty of real-world road environments.
- Future research should enhance the practicality and reliability of the model by applying domain adaptation learning. This involves evaluating the model, trained on simulation data, with real-world data collected from actual road conditions.

[illegible]

References

1. Bharilya, V., & Kumar, N. (2024). Machine learning for autonomous vehicle's trajectory prediction: A comprehensive survey, challenges, and future research directions. *Vehicular Communications*, 100733.
2. Liu, M., Cheng, H., Chen, L., Broszio, H., Li, J., Zhao, R., ... & Yang, M. Y. (2024). Laformer: Trajectory prediction for autonomous driving with lane-aware scene constraints. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 2039-2049).
3. Quintanar, A., Fernández-Llorca, D., Parra, I., Izquierdo, R., & Sotelo, M. A. (2021, July). Predicting vehicles trajectories in urban scenarios with transformer networks and augmented information. In *2021 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)* (pp. 1051-1056). IEEE.

자기 지도 학습 기반 도로 노면 포트홀 이상 탐지에 관한 연구

Study on self-supervised learning-based pothole anomaly detection in roads

이석재*, 정회준*, 권장우**
*인하대학교 전기컴퓨터공학과
**인하대학교 컴퓨터공학과 교수

Key Words : Deep Learning, Anomaly Detection, Self-Supervised Learning

목 차

I. 연구 개요
II. 관련 연구
1. 전통적인 이상 탐지와 포트홀 탐지
2. 인공지능 기반 이상 탐지
III. 방법론
3. SSD(Self-Supervised outlier Detection)
IV. 실험
4. 데이터 세트
5. 실험 환경 및 결과
V. 결론

ABSTRACT

도로 노면의 포트홀은 ITS분야 중 교통 안전 및 차량 성능에 중대한 영향을 미치는 문제이다. 따라서 본 연구에서는 포트홀 이상 탐지를 위한 새로운 딥러닝 방법론을 제안한다. 제안된 방법론은 비지도 학습 기반의 특징 추출 방법과 Mahalanobis 거리 측정을 활용하여 포트홀을 효과적으로 탐지한다. 카메라와 드론을 활용하여 다양한 도로 조건에서 이미지를 획득한 오픈 데이터 세트를 사용하였으며, 이러한 이미지에서 특징을 학습한다. 성능 평가 결과, 우리의 방법은 기존 기술에 비해 우수한 탐지 성능을 달성하였다. 특히, 다양한 도로 환경에서의 실험을 통해 제안된 방법론에 대한 평가를 진행하였다. 향후, 실시간 데이터 처리와 포트홀 종류별 특성을 파악하여 유지보수 시스템에 적합하도록 발전시킬 계획에 있으며 우리의 접근법은 안전한 도로 유지관리에 기여할 수 있는 가능성을 보여준다.

Ⅰ. 연구개요

도로 노면의 포트홀(pothole)과 같은 이상 현상은 교통 안전과 인프라 유지 관리 측면에서 심각한 문제를 야기한다. 포트홀은 차량에 물리적 손상을 초래할 뿐만 아니라, 교통 혼잡, 사고 및 운전자의 부상 등을 유발할 수 있다. 따라서 도로 유지 관리 당국은 이와 같은 결함을 신속하고 정확하게 식별하여 신속한 수리를 유지하는 것이 필수적이다.

최근 인공지능(AI) 기술, 특히 컴퓨터 비전 분야의 발전은 이러한 문제를 해결하는 데 많은 기여를 하고 있다. 시각적 데이터를 처리할 수 있는 능력 덕분에 AI 기반의 포트홀 탐지 시스템은 신뢰성 있는 도로 상태 평가를 가능하게 한다. 기존의 전통적인 포트홀 탐지 방법은 수작업으로 도로를 점검하거나 특정 지역에서만 실시되는 정기 점검 등으로 인해 한계가 있었다. 이러한 방법들은 인력과 시간이 많이 소모되고, 결함을 놓치기 쉬운 비효율적인 접근 방식이었다.

본 논문에서는 새로운 포트홀 탐지 방법론을 제안한다. 이 방법론은 딥러닝 기반의 이미지 분석을 활용하여 도로의 시각적 데이터를 자동으로 수집하고 분석하는 과정을 포함한다. 특히, 자기 지도 학습(self-supervised learning) 기법을 통해 라벨 없는 데이터를 효과적으로 활용하여 포트홀을 탐지하는 방법을 모색한다. 이러한 접근 방식은 데이터 라벨링의 필요성을 감소시키면서도, 높은 정확도로 도로 상태를 감지하고 분석할 수 있는 가능성을 제시한다.

본 연구의 주요 목표는 도로 노면 포트홀 탐지의 효율성을 극대화하고, 유지 관리 비용을 절감하며, 교통 안전을 향상시키는 것이다. 이를 위해, 본 논문에서는 다음과 같은 세 가지 주요 기여를 제시한다: 첫째, 새로운 포트홀 탐지 방법론을 설계하고 구현한다. 둘째, 실시간 데이터 수집을 통한 포트홀 탐지 성능을 평가한다. 셋째, 자기 지도 학습 기법을 활용하여 포트홀 탐지의 정확성을 향상시키는 방법론을 제안한다.

도로 안전을 위협하는 포트홀 문제를 효과적으로 해결하기 위한 본 연구가 향후 도로 유지 관리 정책 및 시스템 개선에 기여할 수 있기를 희망한다.

Ⅱ. 관련 연구

1. 전통적인 이상 탐지와 포트홀 탐지

전통적인 이상 탐지에서의 접근 방식은 주로 통계적 기법과 이미지 처리 기술을 포함한다. 이러한 전통적인 방법들은 이상치를 감지하기 위해 Z-점수와 같은 통계적 기법을 사용하며, 데이터 평균으로부터의 편차를 기준으로 이상치를 탐지한다. 편차가 일정 수준 이상인 경우 해당 데이터를 이상치로 분류하는 방식이다. 또한, 이상치 탐지 통계 테스트를 통해 해당 데이터를 다른 데이터 집합과 비교하여 통계적으로 유의미한 차이를 확인하기도 한다. 이미지 처리 기법으로는 엣지 검출 알고리즘이 사용되며, Sobel 필터와 같은 기술을 통해 이미지에서 특이한 형태나 구조를 탐지하여 포트홀과 같은 도로의 이상 징후를 신속히 식별할 수 있다. 또 다른 방법인 모폴로지 처리는 이미지에서 구조적 요소를 분석하여 포트홀의 개수를 파악하는 데 도움을 주며, 침식 및 팽창과 같은 연산을 통해 포트홀의 형상 및 크기를 판단한다. 기본적인 패턴 인식 기술을 통해 여러 기준을 적용하여 이미지에서 포트홀 프레임을 분석하고 비정상적인 구조를 탐지하는 방법도 있다. 이러한 기술들은 비용이 적고 신속하게 결과를 도출할 수 있지만, 종종 사람의 개입이 필요할 수 있다.

2. 인공지능 기반 이상 탐지

인공지능 기반의 이상 탐지는 통계 모델을 넘어 기계 학습과 딥러닝 기술을 활용한다. 딥러닝 기반 방법에서는 고차원 데이터에서 패턴을 학습하고 이상치를 감지하는 데 사용되는 딥러닝 모델이 있으며, 일반적으로 CNN(Convolutional Neural Network) , ViT(Vision Transformer)와 같은 구조가 활용된다. 이러한 모델을 통해 다양한 형상의 이상을 탐지할 수 있으며, 비지도 학습을 통해 정상 데이터와의 유사성을 기준으로 이상치를 탐지하는 방법도 있다. 투명도 기반 접근법은 타깃 데이터와 실제 데이터를 비교하여 특징을 찾는 방식으로 이상치를 탐지하며, 이는 이전의 통계적 방법보다 더 높은 신뢰도를 보여주는 경우가 많다.

인공지능 기술이 포트홀 탐지에 적용됨으로써 데이터 분석의 정확성과 효율성이 크게 향상되었다. 이미지 분할 기법을 통해 도로 이미지의 각 객체를 식별하고 포트홀의 위치와 크기를 정확히 파악할 수 있으며, Segmentation 모델이 효과적으로 사용된다. CNN을 활용하여 도로 이미지에서 포트홀을 실시간으로 탐지할 수 있으며, 다양한 환경적 요인에서도 강력한 성능을 보인다. 기존의 방법들보다 높은 정확성으로 도로 상태를 평가할 수 있는 장점이 있다. 또한, 드론이나 CCTV에 설치된 카메라를 통해 실시간으로 도로를 모니터링하고 AI 알고리즘을 통해 포트홀 정보를 자동으로 수집하는 방법도 활용되고 있다. 이러한 인공지능 기반 접근법은 도로 유지 관리 시스템을 현대화하고, 안전한 도로 환경을 마련하는 데 중요한 역할을 하고 있다.

Ⅲ. 방법론

1. SSD(Self-Supervised outlier Detection)

SSD는 비지도 학습 기반의 이상 탐지 프레임워크로, 레이블이 없는 in-distribution 데이터를 활용하여 이상치를 탐지하는 방법이다. SSD의 주요 단계는 다음과 같다.

첫 번째 단계는 특징 추출(Feature Extraction)이다. 이 단계에서는 딥 러닝 모델(예: ResNet-18)의 특정 레이어에서 feature를 추출한다. 신뢰성이 높은 feature는 여러 클러스터로 나누어지며, 클러스터 간의 거리 기반으로 이상치를 판별

한다. 두 번째 단계는 클러스터링(Clustering)이다. 이 과정에서는 Mahalanobis distance를 사용하여 유사한 특성을 가진 데이터를 클러스터링하며, 이를 통해 in-distribution 데이터의 구조를 파악하고 클러스터 간의 거리를 계산한다.
Mahalanobis 거리는 각 데이터 포인트 (x)와 클러스터 평균 (μ)에 기반하여 다음과 같이 계산된다:

$$sx = \min_{m}(z_x - \mu_m)^T \Sigma_m^{-1}(z_x - \mu_m)$$

수식 3 Mahalanobis distance

여기서 (z_x)는 입력 데이터의 feature vector, (μ_m)는 클러스터 (m)의 평균, (Σ_m)는 클러스터 (m)의 공분산 행렬을 나타낸다.
세 번째 단계는 이상치 스코어(Outlier Score) 산출이다. 각 입력 (x)에 대해 해당 클러스터의 거리를 기반으로 이상치 점수를 산출하며, 최소 거리의 클러스터가 해당 샘플의 이상성을 결정한다.
추가적으로, SSD는 Few-shot OOD Detection 기능을 통해 몇 개의 샘플만으로도 OOD 탐지를 수행할 수 있는 방법을 제공한다. 또한, 레이블 사용(Label Incorporation) 측면에서 가급적 레이블이 없는 데이터에서 학습하되, 필요시 레이블이 있는 데이터를 통합하여 성능을 강화하는 접근법을 사용한다. 이러한 방법론을 통해 SSD는 효과적인 이상 탐지 성능을 달성할 수 있다.

Ⅳ. 실험

1. 데이터 세트

본 데이터 세트는 도로 노면 상태를 평가하기 위한 다양한 클래스와 레이블을 포함하고 있으며, AI 허브에서 제공하는 "고해상도 도로 노면 이미지 오픈 데이터 세트"를 기반으로 한다. 이 데이터셋은 바운딩 박스(Bounding Box) 형태로 레이블링되어 있어 각 객체의 위치를 정확히 지정하고 있다.
데이터셋은 다음과 같은 클래스를 포함하고 있다: 아스팔트 도로파임, 콘크리트 도로 파임, 중방향균열, 힘방향균열, 거북등균열, 줄눈부식, 십자파손, 절삭보수파손, 긴급보수파손, 규제형, 맨홀, 배수로. 이러한 클래스들은 도로 노면의 다양한 결함을 나타내며, 각 클래스에 해당하는 이미지가 포함되어 있다.

그림 1 도로 노면 포트홀 데이터 예시

전체 데이터셋의 수량과 비율은 아스팔트 도로파임이 37,661개로 14.40%, 콘크리트 도로 파임이 43,176개로 16.50%, 노면이 53,275개로 20.30%, 수직이 65,278개로 24.90%를 차지하고 있다. 데이터셋은 훈련용으로 전체의 80%, 검증용으로 10%, 최종 테스트용으로 10%가 할당되어 모델의 성능을 체계적으로 평가할 수 있도록 구성되어 있다.
이 데이터셋은 도로 노면 상태를 분석하고 포트홀 및 기타 결함을 탐지하는 데 유용하게 활용될 수 있으며, 다양한 클래스와 높은 품질의 레이블을 통해 모델 학습에 도움을 준다.

2. 실험 환경 및 결과

<표 1> 하이퍼 파라미터

Hyper Parameter Setting	
Batch Size	32
Epochs	100
Learning rate	0.001
Optimizer	Adam

본 연구에서는 모델을 학습하기 위해 다음과 같은 하이퍼파라미터를 설정하였다. 배치 크기는 32로 설정하여, 모델 훈련 시 한 번에 처리하는 데이터 샘플의 수를 조절하였다. 이 크기는 메모리 사용량과 훈련 속도 간의 균형을 고려하여 결정된 것이다. 에폭 수는 100으로 설정하여 전체 데이터셋을 100회 반복하여 학습하도록 하였다. 이 설정은 모델이 데이터의 특성을 충분히 학습할 수 있도록 하기 위한 것이다. 학습률은 0.001로 설정하였으며, 이는 모델이 최적화 과정에서 파라미터를 업데이트할 때의 크기를 조절하는 중요한 요소이다. 마지막으로, Adam 최적화 알고리즘을 사용하여 모델의 가중치를 업데이트하였다. Adam은 적응형 학습률을 제공하여 빠르고 효율적인 학습을 가능하게 하며, 다양한 문제에 대해 좋은 성능을 보여주는 장점이 있다.
평가지표로는 AUROC(Area Under Receiver Operating Characteristic Curve)가 사용된다. AUROC는 이진 분류 모델의 성능을 평가하는 중요한 지표로, 모델이 긍정 클래스와 부정 클래스를 얼마나 잘 구분하는지를 나타낸다. 이 지표는 다양한 임계값에서의 True Positive Rate(재현율)과 False Positive Rate(잘못된 긍정 비율)를 시각적으로 표현한 ROC 곡선 아래의 면적을 측정하는 방식으로 작동한다. AUROC 값은 0과 1 사이의 범위를 가지며, 1에 가까울수록 모델의 분류 성능이 뛰어난 것을 의미한다.
모델의 성능을 비교하기 위해 Autencoder 모델을 실험에 추가하였다. Autencoder는 비지도 학습 기법으로, 데이터의 잠재적 특징을 학습하고 재구성하는 데 강점을 가진다. 이러한 특성 덕분에 이상 탐지 문제에서 정상 데이터의 패턴을 학습하고, 이를 기반으로 이상치를 효과적으로 탐지할 수 있다.
SSD, AutoEncoder 모델의 성능을 비지도 학습 기반으로 평가한 결과, Autencoder는 26.4%의 AUROC를 기록하였으

며, SSD는 58.2%의 AUROC를 나타냈다. 이 결과는 SSD가 Autencoder에 비해 훨씬 더 높은 성능을 발휘한다는 것을 보여준다. 따라서, 비지도 학습을 활용한 이상 탐지에서 SSD가 더 효과적인 모델임을 시사한다.

<표 2> 성능평가

모델	AUROC(%)
Autencoder	26.4
SSD	58.2

Ⅳ. 결론

본 연구에서는 도로 노면의 포트홀을 효과적으로 탐지하기 위한 새로운 딥러닝 방법론을 제안하였다. 비지도 학습 기반의 특징 추출 방법과 Mahalanobis 거리 측정을 활용하여 포트홀을 탐지함으로써, 기존 기술들에 비해 우수한 성능을 달성하였다. 다양한 도로 조건에서 이미지를 수집한 오픈 데이터 세트를 활용한 실험을 통해, 제안된 방법론의 효용성을 입증하였다.

특히, 다양한 도로 환경에서의 평가 결과는 우리의 접근법이 실제 적용 가능성을 지니고 있음을 보여준다. 향후 연구에서는 실시간 데이터 처리 기능을 추가하고, 포트홀 종류별 특성을 분석하여 유지보수 시스템에 적합한 방향으로 발전시킬 계획이다. 이러한 발전이 이루어진다면, 우리의 방법론은 안전한 도로 유지 관리에 기여할 수 있는 중요한 도구로 자리매김할 것으로 기대된다.

사사

본 연구는 2024 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 SW중심대학지원사업의 연구결과로 수행되었음 (2022-0-01057)

참고문헌

1. Kingma, Diederik P. "Auto-encoding variational bayes."arXiv preprint arXiv:1312.6114(2013).
2. Zhou, Chong, and Randy C. Paffenroth. "Anomaly detection with robust deep autoencoders."Proceedings of the 23rd ACM SIGKDD international conference on knowledge discovery and data mining. 2017.
3. Cui, P.; Bidzikrillah, N.A.; Xu, J.; Qin, Y. Application of the Semi-Supervised Learning Approach for Pavement Defect Detection. Sensors 2024, 24, 6130. https://doi.org/10.3390/s24186130
4. Jaiswal, Ashish, et al. "A survey on contrastive self-supervised learning."Technologies9.1 (2020): 2.
5. Sehwag, Vikash, Mung Chiang, and Prateek Mittal. "Ssd: A unified framework for self-supervised outlier detection."arXiv preprint arXiv:2103.12051(2021).
6. Siam, Mennatullah, et al. "Deep semantic segmentation for automated driving: Taxonomy, roadmap and challenges."2017 IEEE 20th international conference on intelligent transportation systems (ITSC). IEEE, 2017.10.1088/1361-6501/ac56f1.

자율주행(V)

Session

C-3

A Multi-Agent Driving Simulation 기반 자율주행차 주행행태 영향에 의한 비자율주행차 심리 생리적 작업부하 및 주행안전성 분석
김호선, 고지은, 오철

고속도로 합류 구간에서 자율주행차량간 협력/경쟁 개념 도입 연구
이유진, 박준호, 소재현

실시간 주행환경 분석 기반 통신 성능 모니터링 시스템
양은주, 서우창, 김봉섭, 윤경수

혼합 교통류 환경에서 주차 동선을 고려한 고속도로 휴게시설 주차관리전략 평가
이송하, 김우원, 박준영, 염춘호, 고주연

도심도로 기반 자율주행차 주행안전성 평가항목 개발
이영택, 김인영, 윤일수

MADS 기반 자율주행차 주행행태 영향에 의한 비자율주행차 심리 생리적 작업부하 및 주행안전성 분석

한양대학교 박사과정 김호선
한양대학교 박사후연구원 고지은
한양대학교 교 수 오 철

한양대학교 ERICA
Education Research Industry Cluster a Korea

연구개요

연구의 배경 및 필요성

- Autonomous vehicle (AV)의 공도 주행 안전성을 평가하기 위해 해외에서는 PEGASUS 프로젝트[1], NATM[2]과 같은 시나리오 기반 평가를 개발중이며, 다양한 operation design domain (ODD)에서 발생할 수 있는 시나리오를 생성하여 주행안전성을 분석한 연구[3][4]가 진행됨에 따라 AV의 안전성이 향상되는 추세임
- 그러나 AV의 주행행태로 인해 운전자가 두려움을 느낀다는 연구 결과[5]와 특정 ODD의 경우 manually driven vehicle (MV)보다 더 높은 스트레스가 발생한다는 연구결과[6]가 발표됨
- 특히, 최근 AV의 자체적인 안전성뿐만 아니라 AV와 상호작용하는 MV의 주행행태 변화 요인에 대한 연구[7][8]도 진행됨
- 이와 같은 기존 연구 결과를 통해 AV의 운전능력을 평가하기 위해서는 다양한 ODD에서 AV의 주행행태를 분석하고 상호작용이 발생하는 MV의 주행안전성이 저하되지 않는 기준이 필요함

연구의 목적

- AV와 상호작용하는 MV의 주행안전성과 운전자가 불만감을 느끼지 않는 AV의 주행행태의 임계값 도출
- AV 측면의 위험운전 기준 마련을 위해 위험운전의 기준이 정량적으로 정립되지 않은 평가지표에 대한 기준 도출

연구개요

연구의 목적

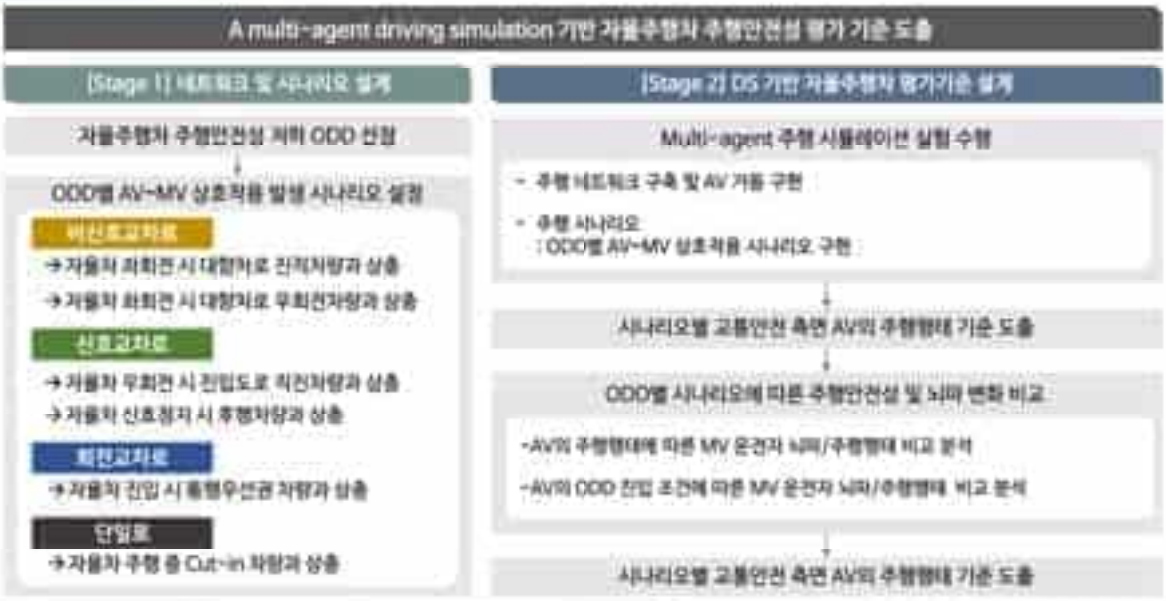
혼재교통류 환경에서 MADS & 뇌파 기반 자율주행차의 안전한 ODD 통과 기준을 개발하고자 함

- **MADS 실험 네트워크 및 시나리오 설계**
  - 자율주행차의 주행안전성이 저하되는 ODD를 우선적으로 driving simulation 환경에 구현
  - 해당 ODD에서 발생할 수 있는 AV-MV 상호작용 시나리오를 검토하여 선행-후행 시나리오 / 대향차 상호작용 시나리오 / 보도로 합류 시나리오 등을 설계함

- **AV 및 MV 주행 데이터, 운전자 뇌파 데이터 분석**
  - MV의 주행안전성 및 운전자의 불안감이 변화하는 구간의 AV의 주행행태를 도출함
  - AV의 ODD 진입 시점에 따른 MV의 영향정도를 파악함으로써 최적의 ODD 진입 시점을 도출함

2. 연구방법

연구 흐름도

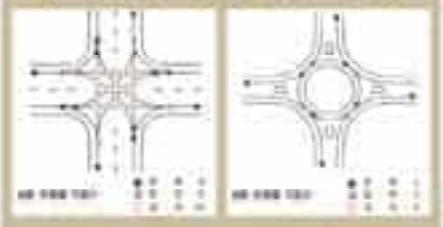


2. 연구방법-Stage 1

자율주행차 주행안전성 저하 ODD 선정

- 선행연구*의 결과로 도출된 ODD 평가 우선순위 중 차량 외 도로이용자와 상호작용이 발생하는 ODD를 제외하여 분석 ODD로 선정
- 기존문헌 고찰을 통해 ODD별 상충 발생이 가능한 시나리오에 대해 검토함으로써 높은 빈도로 발생함과 동시에 위험한 상황을 분석 시나리오로 선정
- 시나리오 통합으로 유사한 상호작용 과정이 발생할 것으로 판단되는 ODD를 하나로 통합하여 보다 간결하고 명확한 시나리오를 선정함

[ODD별 발생가능 상충 시나리오 검토]



[사고발생 가능성이 높은 시나리오 선정]

	ODD 우선순위	Risk score
1	비신호교차로 좌회전	0.554
2	교통섬 횡단보도	0.552
3	신호교차로 우회전	0.525
4	회전교차로	0.501
5	부도로 합류 구간	0.493
6	비신호교차로 우회전	0.485
7	Mid-block 횡단보도	0.485
8	자전거차로	0.473
9	불법주정차	0.457
10	비신호교차로 직진	0.372
11	신호교차로 좌회전	0.369

선행연구 결과 기반 안전성 저하 시나리오 선정

[유사한 시나리오 통합]

- 비신호교차로 좌회전 시 대향차로 직진차량과 상충 시나리오
- 비신호교차로 좌회전 시 대향차로 우회전차량과 상충 시나리오
- (비)신호교차로 우회전 시 진입도로 직진차량과 상충 시나리오
- 회전교차로 진입 시 회전차량과 상충 시나리오
- 비신호교차로 직진 중 일시정지 시 후행차량과 상충 시나리오

2. 연구방법-Stage 1

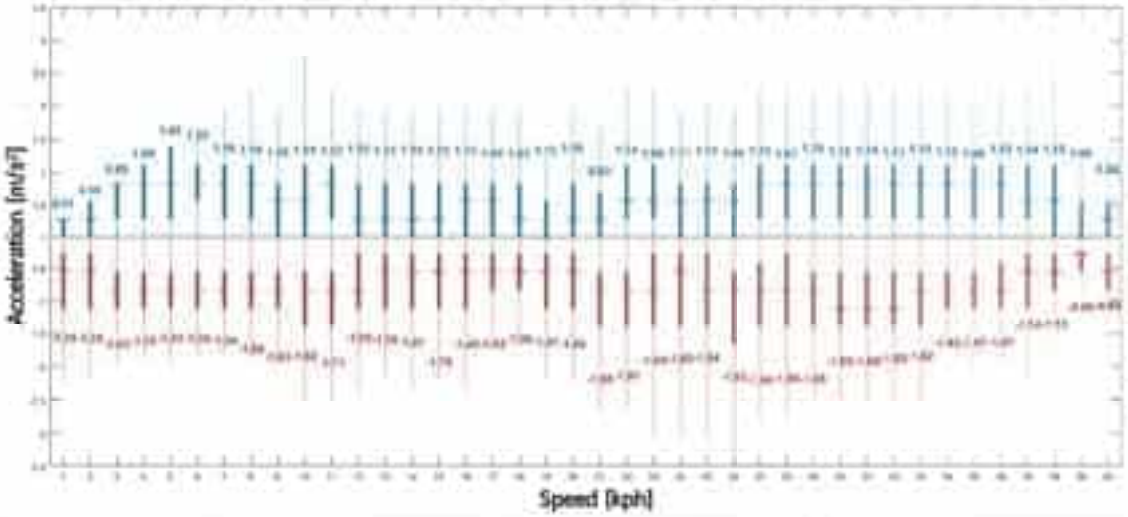
ODD별 AV-MV 상호작용 발생 시나리오 설정

- 시나리오 1 : 비신호교차로 좌회전 (AV) 시 대향차로 직진차량 (MV)과 상호작용 (제한속도 50kph)
  - ➢ 직진 차량 (MV)과 상충 까지 남은 거리(ex. 50m, 75m, 100m, 125m)
- 시나리오 2 : 비신호교차로 좌회전 (AV) 시 대향차로 우회전차량 (MV)과 상호작용 (제한속도 50kph)
  - ➢ 우회전 차량 (MV)과 상충 까지 남은 거리(ex. 50m, 75m, 100m, 125m)
- 시나리오 3 : (비) 신호교차로 우회전 (AV) 시 진입도로 직진차량 (MV)과 상호작용 (제한속도 50kph)
  - ➢ 우회전 차량 (MV)과 상충 까지 남은 거리(ex. 50m, 75m, 100m, 125m)
- 시나리오 4 : 회전교차로 진입 (AV) 시 회전차량 (MV)과 상호작용 (회전속도 15~20 kph)
  - ➢ 회전 차량의 상충지점 까지 남은 거리(ex. 15m, 20m, 25m, 30m)
- 시나리오 5 : 교차로에서 정지 (AV) 시 후행차량 (MV)과 상호작용 (제한속도 50kph)
  - ➢ Saptoadi (2017)의 연구 결과에 긴급 제동 시 4~7.5m/s², 일반적으로 2.5~3.5m/s²로 도출됨에 따라 2.5~10m/s²의 감속도를 고려함
  - ➢ AV의 감속도 (2.5m/s², 5m/s², 7.5m/s², 10m/s²)
- 시나리오 6 : 차로축소 구간에서 cut-in (AV) 시 후행차량 (MV)과 상호작용 (제한속도 50kph)

2. 연구방법-Stage 2

AV 거동 제어 로직 수정: 속도-가속도 모델

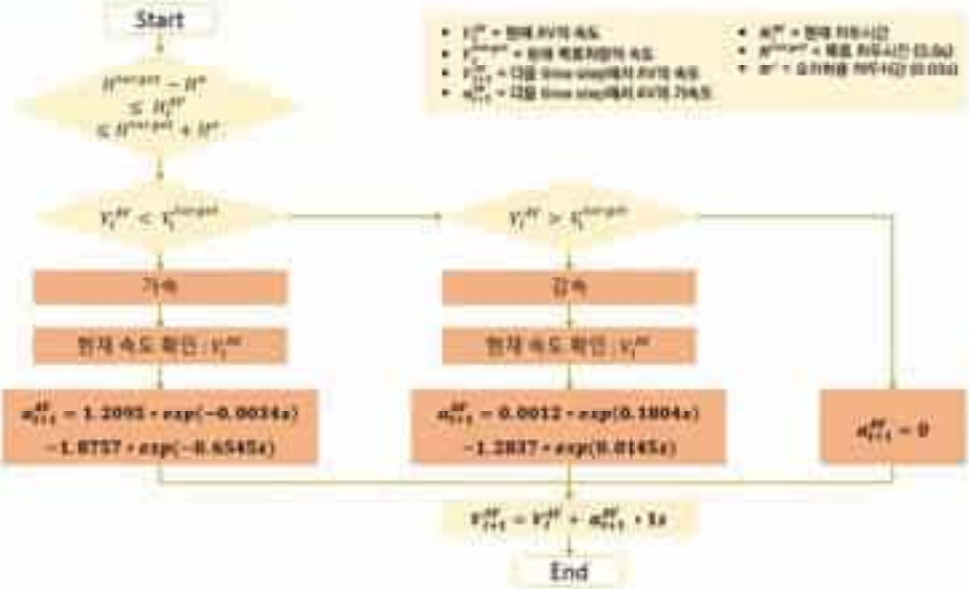
- 상암 자율주행차로부터 수집된 실제 AV 주행데이터 기반 가속도 및 감속도의 기술통계량과 속도 범위에 따라 관측된 가속도의 85 percentile, 감속도의 15 percentile 값을 산출함



기술통계량	가속도	감속도
평균	0.3976	-0.7320
중위수	0.2778	-0.5556
최빈값	0	-0.5556
표준편차	0.6243	0.5102
분산	0.3898	0.2603
최소값	0	-3.47
최대값	2.78	-0.05
15 percentile	0	-1.3889
85 percentile	1.1237	-0.2778

2. 연구방법-Stage 2

AV 거동 제어 로직 수정



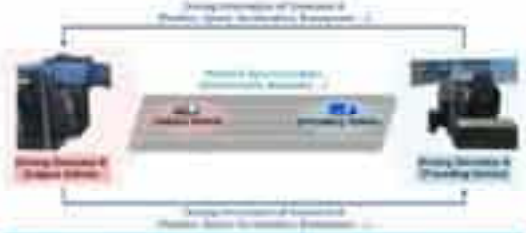
- Step 1. 목표 차두시간 내 선행차량 존재 여부 확인
- Step 2. 속도 변화여부 결정
- Step 3. 가감속 여부 확인
- Step 4. 현재 AV 속도 확인
- Step 5. 속도-가속도 모델 기반 가감속도 값 결정
- Step 6. 가감속도에 따른 다음 time step의 속도 계산 및 적용

2. 연구방법-Stage 2

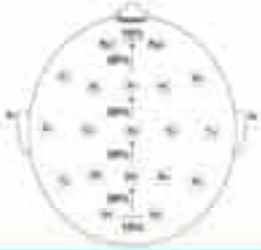
Multi-agent 주행 시뮬레이션 실험 수행

- HY-STARS (HY Smart Transportation Analysis and Research with Simulations, 스마트 교통시뮬레이션 연구센터)
  - 한양대학교 에리카캠퍼스 제2공학관 538호에 위치하며, 다수의 주행 시뮬레이터가 배치된 실험 환경 구축
    - 3차원의 가상현실을 생성하여 시뮬레이션 환경 구축이 가능한 SCANeR 소프트웨어 사용
    - 2대의 주행 시뮬레이터를 네트워크를 통해 동기화하여 동일한 공간에서 동시에 주행이 가능하도록 연동한 실험 환경 구축
  - '개별 차량'의 주행행태 분석 및 '차량간' 상호작용 분석에 활용
  - 불안감을 느낄 수 있는 차량의 운전자 또는 탑승자의 뇌파를 수집하여 불안감을 느끼는 시나리오 도출

HY-STARS (스마트 교통시뮬레이션 연구센터)



MADS 개념도



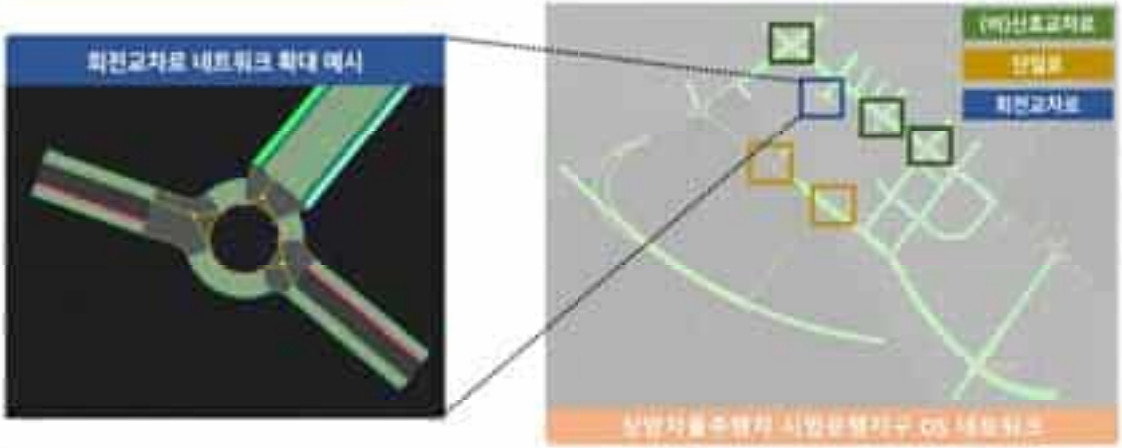
뇌파 수집

교통안전정보연구실

2. 연구방법-Stage 2

Multi-agent 주행 시뮬레이션 실험 수행

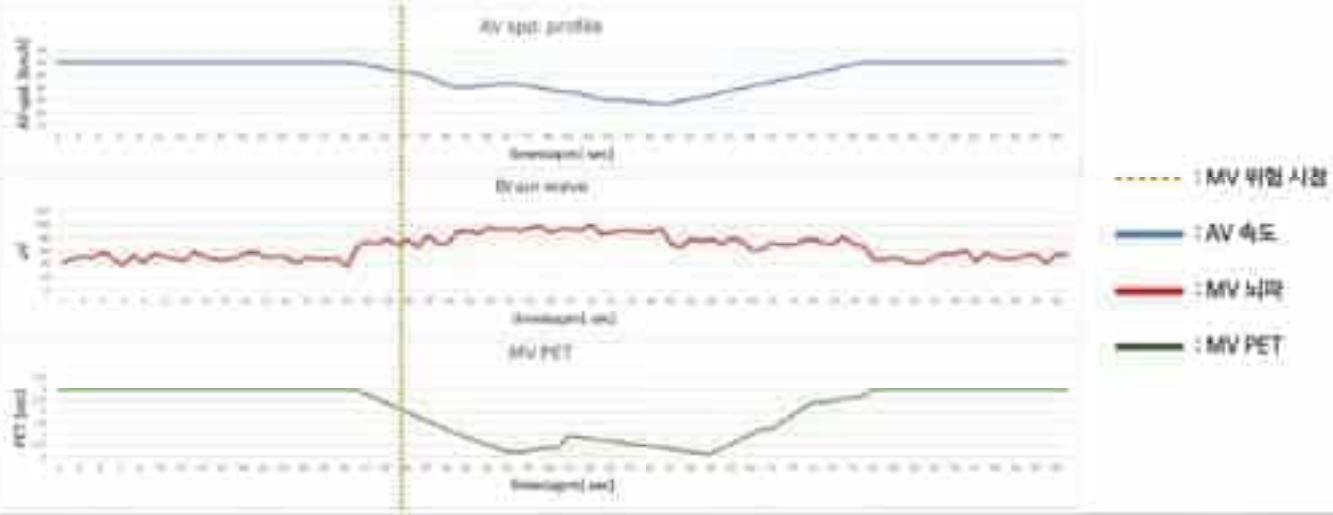
- DS 실험을 위해 상암자율주행자 시범운행자구 일부에 대한 네트워크 구축을 수행하였으며, 시나리오별 발생가능한 ODD를 순차적으로 발생시켜 분석을 수행함
- 시나리오별 AV 진입조건을 다르게 설정하여 총 4번의 시뮬레이션을 수행함으로써 AV의 평가기준 및 ODD 진입조건을 도출함



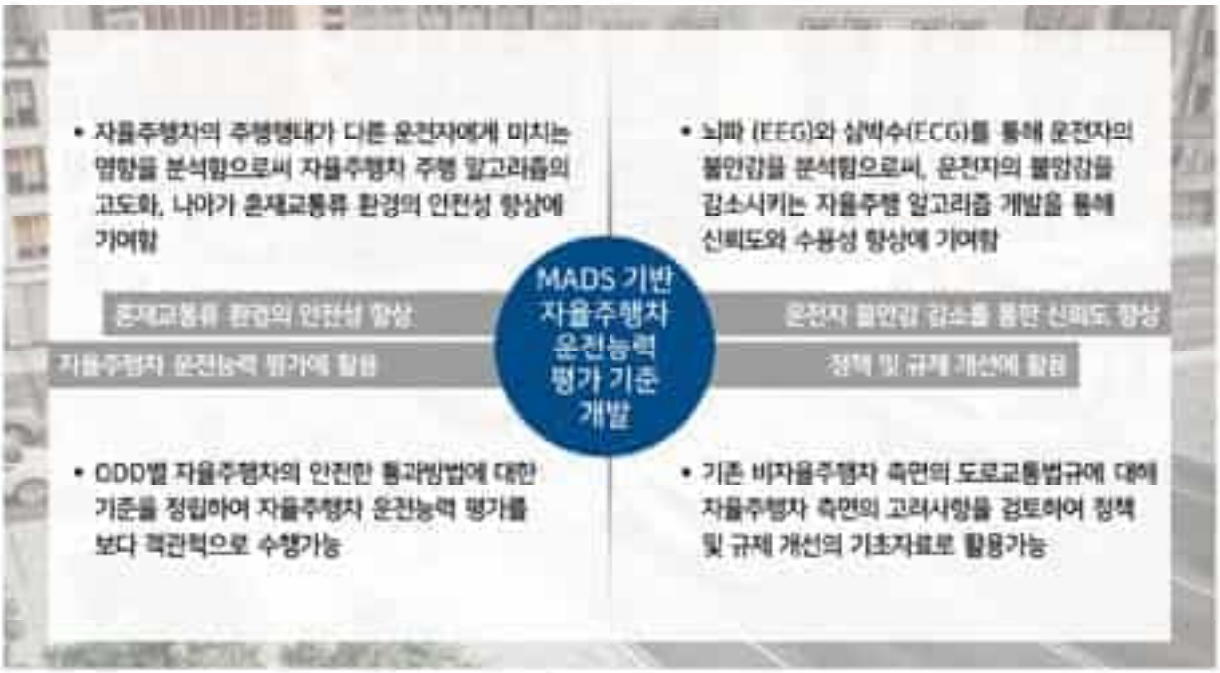
2. 연구방법-Stage 2

수집데이터 처리 및 가공

- 시나리오별 MV 운전자의 뇌파 분석을 통해 불안감을 느끼는 시점, 차량간 상호작용 안전성 평가지표의 위험 임계값 초과 시점에서의 AV 주행행태를 비교분석하여 교통안전 측면의 AV 주행안전 기준 도출



3. 기대효과 및 활용방안



Thank you

Q & A

한양대학교
고용안전정보연구실

AJOU UNIVERSITY
자율 주행 조건에서의 차량 협력과 경쟁: 개념 증명 연구
Cooperation and Competition Among Vehicles in Automomous Driving merge scenario - A Proof-of-Concept Study
저자 | 이유진 (MOVELAB Graduate Researcher)
공저자 |
김주영 (MOVELAB Graduate Researcher)
노치우 (MOVELAB Graduate Researcher)
소재현 (Ajou Univ. Assistant Professor)

AJOU UNIVERSITY
TABLE OF CONTENTS
INTRODUCTION
LITERATURE REVIEW
METHOD & RESULT
1. Multi-Agent Deep Deterministic Policy Gradient
2. MADDPG-based Merging Sequence Determination
3. Logic development (Cooperation vs Competition)
4. Simulation Setting & Performance Measures
5. Simulation Result
DISSCUSION & CONCLUSION

INTRODUCTION

MOVE

"Autonomous vehicles driving skillfully in various traffic scenarios is difficult"

Trends in Autonomous Vehicle Technology

- Autonomous vehicles are the focus of cooperative research
- Autonomous driving solutions tend to limit interactions rather than embrace them
- When faced with complex interaction scenarios, AVs tend to slow down and wait, rather than proactively act to find another way

"This strategy is practical enough to allow AVs to operate on many roads without causing accidents, this conservatism creates problems for other road users and degrades the passenger experience"

Diversity of Traffic Scenarios

- Driving involves complex interactions between various agents that are difficult to fully describe through code or rules alone
- Autonomous driving systems cannot be pre-programmed with exhaustive rules that encompass all possible interaction mechanisms and scenarios on the road

"Agents need to find solutions through learning on their own"

Need to Understand The Effectiveness of AV Interactions, Not Just Cooperation

LITERATURE REVIEW

MOVE

Interaction of Autonomous Vehicles

Author	content
Yuan, et al (2023)	RACE: Reinforced Cooperative Autonomous Vehicle Collision Avoidance - Build a framework called reinforced cooperative autonomous vehicle collision avoidance (RACE) to learn the optimal driving policy and analyze whether it effectively avoids collisions - The number of vehicle collisions was effectively reduced, the driving behavior was improved, and the associated [illegible]
Muzahid, A. J. M. et al (2023)	Multiple Vehicle Cooperation and Collision Avoidance in Automated Vehicles: Survey and an AI-Enabled Conceptual Framework - Developed the multiple vehicle cooperation and collision avoidance (MVCCA) system - Compared the differences in how vehicles communicated with each other to obtain insights into how different modules could effectively work together in AVs
⋮	⋮

» Research focused on cooperation in the interaction of autonomous vehicles, not the other way around

Multilateral Interaction

Author	content
Zheng, X. et al (2011)	Modeling Cooperative and Competitive Behaviors in Emergency Evacuation: A Game-Theoretical Approach - emergency evacuees often exhibit competitive and cooperative behaviors - competitive behavior resulted in a greater evacuation time than non-competitive behavior
Georgiou, I. et al (2007)	Different action patterns for cooperative and competitive behaviour - This study examined the kinematics of identical actions grasping a wooden block in two different contexts: a cooperative task and a competitive task - When competitive and cooperative tasks were compared to each other, competitive tasks with specific [illegible] showed superior results
⋮	⋮

» Neither cooperation nor competition can be considered superior to the other

Multi-Agent Deep Deterministic Policy Gradient

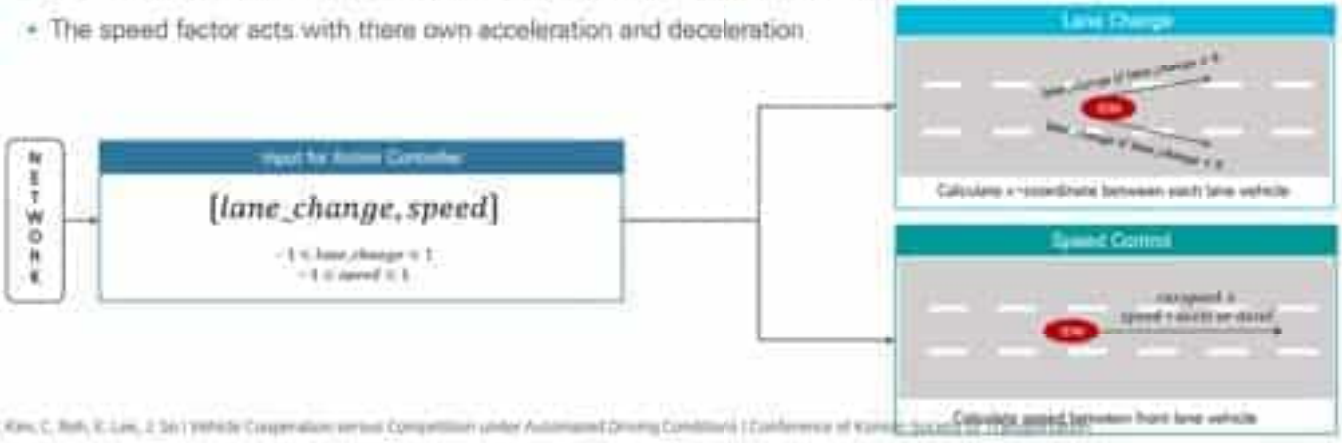
MADDPG

- MADDPG is the algorithm that extends DDPG into a multi-agent policy gradient algorithm
- Decentralized agents learn a centralized critic based on the observations and actions of all agents.
- Applicable for both cooperative interaction but to competitive or mixed interaction

MADDPG-based Merging Sequence Determination

Agent Action

- The agents have two main behaviors: lane change and speed control.
- At each step agents receive list of lane change factor and speed factor between -1 and 1
- The minus sign of lane change factor means below lane and plus sign means upper lane
- The speed factor acts with there own acceleration and deceleration



METHOD

MOVE

Logic development (Cooperation vs Competition)

Base Information

- The difference between cooperation and competition is mainly on reward function
- Mainly focused on time loss and conflicts where time loss is defined as time lost due to driving below the ideal speed in area
- For competition we looked this game as zero-sum game where the result is an advantage for one side and an equivalent loss for the other.

Cooperation

$$r_t = -\left(TimeLoss_{ramp}(t) + TimeLoss_{main}(t)\right) + \frac{1}{conflict(t)+1}$$

r_t: reward for step t
$TimeLoss_{main}$: TimeLoss for main road
$TimeLoss_{sub}$: TimeLoss for sub road
$conflict(t)$: total conflicts in step t

Competition

$$r_{main}(t) = \left(TimeLoss_{main}(t) + \frac{1}{conflict_{main}(t)+1}\right) - \left(TimeLoss_{main}(t) - \frac{1}{conflict_{main}(t)+1}\right)$$

$$r_{ramp}(t) = -r_{main}(t)$$

r_{main}, r_{ramp}: reward main road and subroad
$conflict_{main}$: conflicts for main road
$conflict_{sub}$: conflicts for sub road

METHOD : Simulation Setting & Performance Measures

MOVE

Simulation Setting

SUMO

Micro-level traffic simulation tools like SUMO offer detailed and ongoing traffic modeling to depict intricate vehicle interactions within a given traffic network.

Network Section	The three-lane stretch of highway (0.8 km) with a reduction to two lanes at the 0.4 km point.
Input Data	• Inflow of vehicles : 1800 veh/h • Car-follow model : IDM • Lane-change model : LC2013 (Default)

- This study assumed a situation where vehicles merged from an on-ramp into the mainline
- The on-ramp merging area is a typical bottleneck in a highway network because vehicle merging can cause concentrated disruptions to the mainline traffic flow and has various negative impacts on traffic efficiency and safety

Performance Measures

Mobility Measure

- Speed : Average speed at each zone (mainline, subline)
- maxBR : Average maximum brake rate is recorded at each sim. step

Safety Measure

- TTC : Time left before two vehicles collide if they maintain their current path and speed.
- Conflict : Average number of conflict at each zone
- MinGAP : The distance of the bumper to bumper gap to the ego vehicle's leader minus the vehicle's minimum gap

Simulation Result Mobility Metrics

- In terms of Mobility, using indicators such as vehicle speed, and maximum brake ratio, both Competition and Cooperation produced better results.
- For ramp section Cooperation works most efficiently in Average speed then other.
- For Brake Ratio the Competition works efficiently then other

Simulation Result Safety Metrics

- In terms of Safety, using indicators such as minimum gap, vehicle collisions, and time to collision, competition and cooperation both worked efficiently then normal situation
- For mainline Cooperation seems to be more effective then other
- For ramp side while Cooperation gets better result in minimum gap Competition gets slightly better result in TTC and number of Collision

DICUSSION & CONCLUSION

MOVE

- Implementing cooperative and competitive interactions in autonomous vehicles using the MADDPG algorithm
- Evaluation of vehicles in mainline and ramp areas with an emphasis on mobility and safety
- Considering competitive algorithm in autonomous vehicle driving situation
- Limited clarity in mobility indicators like speed due to numerous merging scenarios

CONCLUSION

- Focusing on more realistic road scenarios and challenges like communication delays and perception system imperfections
- Crucial improvements needed in the reward function, with separate considerations for mobility and safety
- Further studies are needed to test the algorithm in diverse scenarios beyond merging networks

These challenges can lead to advanced AV interaction algorithms suitable for various traffic situations

Thank you.

감사합니다.

AJOU UNIVERSITY

MOVE

이유진 EuGene Lee
Dept. of Convergence of ICN.
AJOU UNIVERSITY
Email: happyeugene@ajou.ac.kr

실시간 주행환경 분석 기반 통신 성능 모니터링 시스템

Communication performance monitoring system based on real-time driving environment

양은주 (지능형자동차부품진흥원 센터장)

서우창 (지능형자동차부품진흥원 선임연구원)

김봉섭 (지능형자동차부품진흥원 실장)

윤경수 (지능형자동차부품진흥원 본부장)

Key Words : C-V2X, 5G-NR-V2X, 자율협력주행, 통신성능 평가, 모니터링 시스템

목 차

Ⅰ. 서론
1. 개요
Ⅱ. 실시간 주행환경 취득 시스템
1. 실시간 주행환경 취득 시스템 개요
2. 주행환경 정보 수집을 위한 데이터 정의
Ⅲ. 주행환경 기반 통신 성능 모니터링
Ⅵ. 결론
ACKNOWLEDGEMENTS
참고문헌

Ⅰ. 서론

1. 개요

지금까지 실차 기반 자율주행차량의 운행과 시험은 분명한 목적으로 수행되는 경우가 많았다. 예를 들어 실차 기반 통신 반경 테스트, 자율주행 교차로 통과 테스트, 차선 변경을 통한 cut-in/cut-out 테스트 등 주어진 시나리오에 대해 그 기능 또는 성능을 만족하는지에 대해 초점을 맞추어 수행되고 있다. 그러나 이러한 테스트들을 평가하기 위해 수집되고 분석되는 데이터는 많은 항목들이 중복되는 경우가 많다.

본 연구는 다양한 실차 기반 테스트를 수행하며 연계한 데이터들을 특정 목적에만 사용하지 않고 데이터간 통합 분석을 통해 지금까지 서로 연관성을 두지 않은 실차 테스트 데이터를 복합적으로 분석하여 데이터만으로 실주행 환경을 파악해보자는 것으로 시작되었다. 다르게 말하면 잘 설정되고 준비된 실도로에서 예측 가능한 실차 테스트 결과가 도출되는 것이 아닌, 잘 설정했음에도 불구하고 예측하지 못한 테스트 결과(낮은 성능)가 나왔을 때 그 테스트 데이터만을 분석하여 원인을 파악할 수 있는 시스템을 구축하는 것을 목표로 연구가 시작되었다.

실도로 주행을 통해 취득한 주행환경 데이터를 분석하여 여러 가지 자율주행 기능 및 성능을 평가하는 것이 가능하지만, 그 중 통신 성능을 평가하는 것으로 시작해 보았다. 그 이유는 자율협력주행을 위해 가장 기본이 되는 요소가 통신이기도 하지만 실도로 주행에서 그 성능의 편차가 가장 큰 요소 또한 무선을 기반으로 하는 차량 통신이라고 할 수 있다. 이러한 이유로 차량 통신은 최소한 일관성있는 성능을 내지 못한다는 오해를 불러일으켰으며, 나아가 이것은 자율주행의 기능 안전에 심각한 위험을 초래할 수 있는 것으로 비춰지기도 했다.

본 연구를 통해 실차 주행 환경을 상세히 분석할 수 있도록 데이터를 취득하고 통합 분석하여 통신 성능에 영향을 미칠 수 있는 다양한 동적 요소들을 도출할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

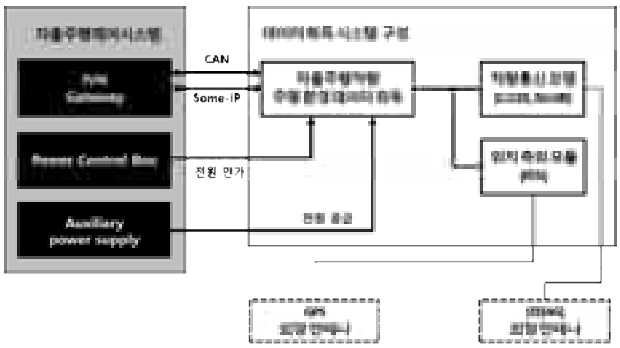
Ⅱ. 실시간 주행환경 취득 시스템

1. 실시간 주행환경 취득 시스템 개요

본 논문에서 실시간 자율주행차량의 주행환경 정보 수집을 위해 <그림 1>과 같이 차량 데이터 취득 시스템을 구성하였다. 해당 시스템은 기존 자율주행 제어시스템과 연계가 가능하도록 인터페이스를 구성하여 IVN(In Vehicle Network)을 통해 CAN, Ethernet, 또는 Some-IP 통신을 기반으로 다양한 정보가 수집된다. 특히 시스템을 기존 차량 전원 제어 박스와 직접 연결하여 차량 시동 여부에 따라 시스템에 전원이 자동으로 인가되거나 시스템이 종료되도록 설정하여 운전자(또는 시험자)의 별도 조작없이 자율주행차량 운행 및 시험 주행을 수행하는 동안 다양한 실시간 주행환경 데이터가 취득되도록 하였다.

5G-NR-V2X 뿐만 아니라 실주행 및 실도로 환경에서 다양한 통신 장치의 특성과 성능을 분석하기 위해 차량통신 모뎀의 종류를 특정하지 않고 인터페이스 가능하도록 구성하였

다. 또, 자율주행제어시스템과 독립적으로 동작할 수 있는 위치 측위 모듈을 장착하도록 하여 데이터를 취득한 위치와 속도에 대한 정보가 함께 수집되도록 하였으며, 이때 사용되는 위치 측위 모듈의 정밀도는 본 논문에서 다루지 않는다.



<그림 1> 데이터 취득 시스템 HW 개요

이 시스템은 5G-NR-V2X 통신 성능을 분석하기 위한 목적의 자율주행 차량 뿐만 아니라 다양한 V2X 기반 자율협력 주행 차량에 설치 가능하며, 각 자율주행의 ODD, 서비스, 주행 보안 상황에 맞추어 선택적으로 데이터 수집이 가능하다. 또, 데이터 보안 및 접근 관리를 위해 VPN(Virtual Private Network)을 통해서만 데이터 취득이 가능하며, 장치 관리 Back-End 서버를 통해 승인된 장치에 대해서 SW 버전 관리 및 업데이트가 되도록 구성하였다.

2. 주행환경 정보 수집을 위한 데이터 정의

통신 성능을 모니터링하기 위해 다양한 통신 분석 지표의 수집에 관한 연구가 진행되고 있지만, 주로 통신 성능에 대한 결과 데이터를 수집하는 것이 대부분의 연구에서 다루어지고 있다. 실시간으로 데이터 취득 시스템이 수신하는 통신 성능에 대한 정보들(수신 감도와 통신 반경 등)은 현재 통신 상태(결과) 값이라는 것은 타 연구와 동일하지만, 본 논문에서는 통신 상태 또는 성능에 영향을 미친 것이 통신 모듈과 통신 장비 자체의 성능보다는 주행 환경적 요소가 없는지 실차 기반으로 상세하게 수집하고 분석하는 것을 다룬다.

1) 주행환경 분석을 위한 데이터 취득 장치의 정보

주행환경 분석을 위해 실시간 수집되는 데이터만큼 중요한 것은 데이터를 취득하는 장치와 주행 조건에 대한 정보라고 할 수 있다. 이를 위해 아래 <표 1>과 같이 데이터 취득 장치를 상세하기 분류하기 위해 V2X 통신 장치 정보, 위치 측위 장치 정보, 장치가 탑재된 차량의 일반 정보, 그리고 차량의 주행 설정 정보를 정의하였다. 이것은 주행하면서 바뀌지 않는 static 데이터로 매번 주행마다 장치 관리 서버에 장치 정보를 등록하기 위한 것으로 실시간 데이터와 연계해서 통신 성능 상태를 분석하기 위한 기본 항목이라고 할 수 있다.

<표 1> 데이터 취득 장치 분류 개요

데이터 구분	데이터 명세 설명
V2X 통신 장치 정보	
통신 장치 타입 분류	WAVE-OBU/RSU, 5G-NR-OBU/RSU, LTE-V2X-OBU/RSU, LTE, 5G, WiFi
통신 장치 제조사 분류	A사, B사, C사 등 분류
안테나 타입 분류	Omni, directional, shark 등에 따른 single, multi 분류
안테나 설치 위치 분류	통신 장치의 안테나 설치 위치 분류 (안테나 위치 선정에 따른 성능 분석)
위치 측위 장치 정보	
위치 측위 장치 제조사 분류	a사, b사, b사 등 분류
안테나 설치 위치 분류	위치 측위 장치의 안테나 설치 위치 분류 (안테나 위치 선정에 따른 성능 분석)
차량 일반 정보	
차량 타입 분류	차종 및 모델명(하위 버전) 상세 분류
차량 번호	차량 고유 번호 (수집 동의 차량 또는 본원 소유 시험 차량)
자율주행레벨	0~5까지 0.5 단위의 자율주행레벨 분류
운전 일반 정보	
운전자 ID	운전자(시험자) 식별 번호
운전 모드	자율주행 또는 수동(human) 주행
주행 구간	ODD에 따른 주행 지역(행정구역)

V2X 통신 장치 정보에는 통신 장치 타입, 장치 제조사, 안테나 타입, 그리고 안테나 설치 위치를 상세하게 분류하도록 하여 주행환경 상세 분석에 활용할 수 있도록 하였다. 안테나 설치 위치는 실측을 통한 절대위치가 아니라 차량 상판 기준 25개의 셀로 나누고 ID를 설정하여 설치 위치 매핑을 손쉽게 할 수 있도록 정의하였다. 실도로의 주행 시 안테나 위치에 따라 RSU로부터의 수신 성능에 대해 상행과 하행이 매우 상이한 경우가 많고, 특히 OBU간 V2V의 통신 성능에도 영향을 미치므로 안테나 타입과 그 설치 위치는 실차 기반 성능 분석을 하는데 매우 중요한 분석 요소라고 할 수 있다.

2) 실시간 주행환경 분석을 위한 데이터 정의

실시간 통신 성능 모니터링을 위해 <표 2>와 같이 V2X 통신 성능 정보와 실시간 주행 정보를 동시에 수집할 수 있도록 정의하였다. V2X 통신 성능 정보에는 1초간 OBU가 수집한 메시지 수와 메시지 크기를 수집하여 처리한 데이터의 양을 분석할 수 있도록 하였다. 또 수신한 각 메시지에 대한 메시지 생성 시간, 타입, 크기, 서비스 등을 분류하고 나아가 해당 메시지를 전송한 장치와의 거리, 방향, 속도(또는 상대속도)를 수집(필수는 아니면 메시지에 전송 장치의 위치 정보가 있는 경우에 한함, 예를 들어, BSM(SAE J2735, 기본 안전 메시지) 등) 하도록 정의하였다.

V2X 통신 성능 정보가 수집되는 동일한 시간에 자율주행 차량에 대한 기본 주행 정보(위치, 속도, 방향, 고도, 가속도 등)를 수집하여 차량 거동에 따른 통신 성능을 분석할 수 있

도록 하였다. 특히, 자율주행차의 센서들로부터 인식되는 전후방 객체 정보를 취득하고 위치, 높이, 타입, 이동 속도 등으로 분류하여 이러한 객체들이 일시적으로 통신 성능에 미치는 영향을 분석할 수 있도록 정의하였다. V2X 통신 성능 데이터만을 가지고 분석할 경우, 도로구조와 전송장치와의 거리를 모두 파악하더라도 일시적인 통신 장애의 원인을 파악하는데 많은 한계가 있다. 특히 실도로 주행 환경에서는 RSU와 OBU 장치 자체의 하드웨어적 한계와 통신 특성 보다는 동적인 주변 환경의 영향으로 인해 통신 반경이 좁거나 통신이 단절되는 경우가 빈번할 수 밖에 없다. 따라서 다양한 센서를 활용하는 자율주행제어시스템과 협력하여 실시간 주행 정보를 취득한다면 보다 정확한 주행환경 정보를 기반으로 통신 성능을 분석하여 음영 구간에 대한 원인을 파악하는 것이 가능하다.

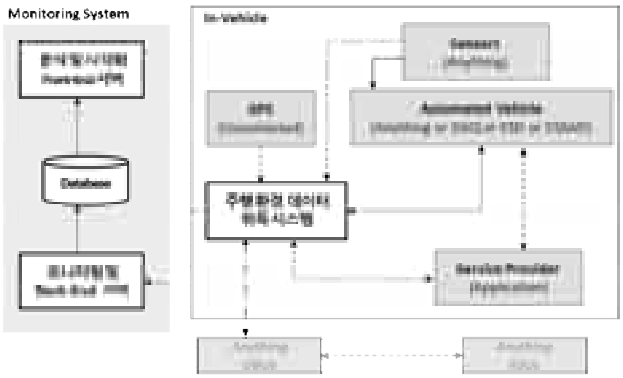
<표 2> 실차 기반 실시간 데이터 취득 정보 개요

데이터 구분	데이터 명세 설명
V2X 통신 성능 정보	
메시지 수	1초간 OBU가 수집한 메시지 수
메시지 사이즈(byte)	1초가 OBU가 수집한 메시지 크기
메시지 세부 정보(list)	메시지 생성시간/타입/크기/서비스 분류
	메시지 전송 장치와의 거리/방향/속도 등
	메시지 수신 상태(수신감도) 등
실시간 주행 정보	
차량 거동 정보	위경도, 속도, 방향, 고도 등 일반 거동 정보
센싱 정보	전방 객체 센싱 정보(위치, 높이, 타입, 이동 속도 등)
샤시 정보	가속도, 스티어링, 휠 정보 등
주행 모드	자율주행 또는 운전권 전환 여부 정보

III. 주행환경 기반 통신 성능 모니터링

본 논문에서 각 차량에서 취득한 주행환경 데이터들을 통합하여 관리하고 분석하기 위해 각 자율주행차량에 탑재된 차량통신장치(C-V2X 또는 5G-NR)를 활용하여 서버 시스템에 실시간 전송하도록 구성하였다. 특히 지능형자동차부품진흥원은 통신의 시뮬레이션 환경, 실시간 자율주행차량 등을 통합 모니터링할 수 있는 시스템을 구축하여 운영하고 있으며, 지속적으로 확장 및 고도화하고 있다. 본 연구를 위해 해당 모니터링 시스템을 활용하였으며, 그 구성은 <그림 2>와 같다.

본 논문에서 제시한 주행환경 데이터 취득 시스템은 특정 통신 장치만 연계되는 것이 아니라 어떠한 차량 통신 장치 또는 시스템이 연계 가능하도록 설계하였다. 기존 통합 모니터링 시스템과 동일하게 취득 가능한 데이터를 크게 4개의 카테고리(GPS 기반의 기본 거동 정보, 자율주행제어시스템 기반의 거동 정보, 센싱 정보, 그리고 자율주행 서비스 정보)로 분류하여 자율주행 차량이 연계하지 않더라도 기본 주행 정보를 취득할 수 있도록 구성하였다.



<그림 2> 통신 성능 모니터링 시스템 SW 개요

이렇게 취득된 데이터는 기존 통합 모니터링 시스템을 개선한 통신 성능 모니터링 시스템으로 실시간 전송되고, 통합 운영 관리할 수 있도록 기본 프로토콜(접속 승인 절차, 장치 등록 절차, 데이터 전송 절차 등)을 따르도록 하였다.. 모니터링 시스템은 여러 장비의 동시 접속과 실시간 데이터 처리를 담당하는 백엔드서버, 대규모 데이터를 저장하고 관리하는 데이터베이스 엔진, 그리고 취득한 데이터를 시각화하고 분석하는 프론트엔드 서버로 구성된다.

이를 통해 데이터를 통합 운영 관리하여 장치별 또는 차량별 데이터를 개별로 분석하는 것이 아니라, 취득된 모든 통합 데이터간 상세 분석이 가능하도록 취득 장치별, 용도별 테이블을 분리하여 관리하여 기본적으로 각 개별 차량 데이터에 대한 분석 뿐만 아니라 모든 주행환경 정보에 대한 통합을 기반으로 시공간 분석이 가능하도록 하였다.

<그림 3> 실시간 데이터베이스 운영 현황

본 연구를 수행하는 동안 수집한 주행환경 데이터(시스템 통합 테스트를 위한 데이터 포함)는 다양한 자율주행 시험을 위해 주행하는 11대의 차량으로부터 취득되고 있으며 점차 데이터 취득 장치를 탑재한 차량의 수를 늘려나갈 예정이다. 현재 약 480만개의 데이터가 적재되어 있으며, 대부분 자율주행의 기능을 테스트하기 위해 지능형자동차부품진흥원의 고속주회로에서의 취득되었으며, 주행 시험 목적에 따라 10km/h~140km/h까지 다양한 속도로 수행되었다.

주행환경에 따른 통신 성능을 분석하기 위해 모든 차량에 동일한 HW로 시스템을 구성하여 장착하였으며 시스템 숙련도에 따라 취득 데이터의 품질이 달라지지 않도록 시스템 구동은 운전자(사용자)가 개입하지 못하도록 설정하였다. 그 결

과 특정 구간, 특정 구간을 주행하는 속도, 가속도, 고도, 주변 건물 유뮤 그리고 기상 상태 등에 따라 주행시험장 내에서도 통신 성능의 차이가 나는 것을 실시간으로 모니터링할 수 있었다. 본 연구는 이에 그치지 않고 성능이 낮은 조건에서 이를 완화하여 자율협력주행이 가능하도록 미리 예측하여 자율주행 차량이 해당 구간에 진입하기 전에 정보를 제공하거나 또는 주행 안전을 위해 해당 구간을 완전히 벗어난 후 정보를 제공하여 자율주행이 가능한지 확인하였다. 이를 통해 실차 기반 통신 성능에 대한 분석 뿐만 아니라 자율주행의 기능 안전을 위한 대응 전략(예측 또는 낮은 우선순위 서비스에 대한 의도적 지연)의 제시도 가능함을 알게 되었다.

<그림 4> 데이터 모니터링 백엔드 서버

Ⅳ. 결론

자율주행 레벨 4 이상을 위한 차량통신의 중요성은 이미 오래전부터 대두되었으며, 최근에는 자율협력주행 뿐만 아니라 UAM을 아우르는 미래 모빌리티를 위한 고성능의 통신 요구사항이 정의되고 있다. 이와 관련한 많은 무선 통신 기술이 개발되고 있으며, 최근에서 6G 통신 표준과 서비스에 대한 논의가 활발히 시작되고 있다. 초고속/대용량/초저지연을 위한 고도의 차량통신 기술이 개발되고 발전하는 만큼 무선통신을 기반으로 하는 실도로 주행환경에 대해 그 성능을 충족하는지에 대해 어떻게 평가할 것인가에 대한 기술도 함께 발전하고 고도화 될 것이라고 판단된다.

특히 본 연구의 결과는 주행환경을 기반으로 한 통신 성능을 복합적으로 분석하는 것에 더 나아가 협력주행을 위한 자율주행 서비스(또는 데이터)의 송수신이 원활하지 않는 통신 음영 또는 통신 단절 전에 취득한 데이터를 기반으로 이러한 상황을 예측할 수 있는 방안을 제시할 수 있으므로 오히려 통신 성능이 일시적으로 나쁘더라도 이를 감안한 안전한 자율주행이 가능하도록 할 수 있다. 또 자율주행차량의 안전성 시험과 평가 관점에서 본 연구를 통해 적재된 데이터들은 재현 가능한 다양한 통신 성능 환경의 생성이 가능하므로 보다 자율주행 시뮬레이션과 연계하여 눈에 보이지 않는 무선 환경에 대한 실질적인 디지털 트윈의 실현을 가능하게 할 수 있다. 주행환경 취득 데이터는 통신 성능 분석에만 그치지 않고 이를 기반으로 데이터 통합 및 데이터 학습을 통해 다양한 자율주행 기능과 성능에 대한 평가를 가능하게 하여 미래 모빌리티의 자율주행 기술에 대한 상용화를 앞당길 수 있을 것으로 기대한다.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by Institute of Information & communications Technology Planning & Evaluation (IITP) grant funded by the Korea government(MSIT) (No.2022-0-00199, 커넥티드 자율주행을 위한 5G-NR-V2X 성능 검증)

참고문헌

1. 오준호, 박평선, 문희석, 정재일(2012), 실행시간 V2X 안전 서비스 통신 성능 평가를 위한 가상 환경 기반 시뮬레이션 플랫폼 설계. 한국통신학회, 제29권 제2호, pp.39-45
2. 최승규, 이주원, 김규현(2023), 전자파 적합성 평가를 위한 하이브리드 V2X 통신모듈 설계, 자동차안전학회지, 제15권 제4호, pp.65-70
3. 김유원, 조병찬, 정혁(2023), 자동차 V2X 통신성능 평가를 위한 제어 보드 프로토타입 구현. 자동차안전학회지 제15권 제2호, pp.28-34
4. 윤영우(2019), 5G NR Phase 2 표준화 동향,. TTA Journal, pp.28-39
5. 국토지리정보원 스마트공간정보과(2021), 정밀도로지도 설명 및 안내 자료
6. SAE-J2735(2022), Surface Vehicle Standard-V2X Communication Message Set Dictionary
7. SAE-J2945/C(2022), Surface Vehicle Standard-Requirement for Probe Data Collection Applications
8. SAE-J3224(2022), Surface Vehicle Standard-V2X Sensor-Sharing for Cooperative and Automated Driving

혼합 교통류 환경에서 주차 동선을 고려한 고속도로 휴게시설 주차 관리 전략 평가

Evaluation of Parking Management strategies in Expressway Rest Areas Considering Parking lots allocation involving human-driven and autonomous vehicles

이송하, 김우원, 박준영, 염춘호, 고주연

한양대학교 스마트시티공학과 박사과정, 한양대학교 스마트시티공학과 석사과정

한양대학교 교통물류공학과, 스마트시티공학과 부교수

서울시립대학교 국제도시과학대학원 부교수, 서울시립대학교 국제도시과학대학원 연구교수

Key Words : Autonomous vehicle, Freeway rest area, Parking system, Simulation

목 차

1. 서론 2. 선행연구검토, 3. 연구 방법론, 4. 연구 결과, 5. 연구 결론

Ⅰ. 서론

1. 연구 배경 및 목적

고속도로 휴게시설은 이용자의 안전 운행과 편의 증진을 위한 도로 부대시설로, 다양한 특성의 도로 이용자(차량, 보행자 등)가 상호 작용하고 있는 공간으로 도로 이용자 간 교통 상충이 불가피하게 발생한다. 특히, 주차는 어려운 운전 작업 중 하나로, 적절한 주차 기동 생성 및 제어, 주변 장애물 회피 수준에 따라 복잡성이 결정된다(Banzhaf et al., 2017). 그래서 고속도로 휴게시설의 경우, 주차 공간 검색과 다른 이용자들의 움직임을 살피는 것을 동시에 수행해야 하는 진입부 및 휴게소 내부에서 상대적으로 많은 사고가 발생한다. 이러한 복잡성을 해결하기 위해서는 V2X 기술을 바탕으로 새로운 주차관리 시스템 적용되어야 한다(Wu et al., 2021). 미국 자동차 공학회(SAE)에 따르면, 전체 주차 공간 검색 프로세스 동안 지능형 주차 인프라와 상호작용이 가능한 기술 수준을 자율주행 Level 4단계 수준으로 정의하였다. 이러한 지능형 주차시스템을 구축하기 위해서는 차량별 주차 경로 계획과 이에 대한 관리 방안이 체계적으로 수립되어야 한다(Zeng et al., 2023; Zhang et al., 2024). 또한, Level 4 수준의 자율주행 차량이 상용화되더라도, 단기적으로 비 자율주행 차량과 자율주행 차량이 혼재할 가능성이 높다. 이러한 환경 속 기존의 고속도로 휴게시설 내 교통체계를 유지하는 것은 차량별 주행 행태를 고려되지 않아 교통사고 위험과 교통혼잡을 야기할 것으로 예상된다. 따라서 본 연구는 주차관리를 중심으로 시뮬레이션을 활용하여 혼합 교통류 환경 속 고속도로 휴게시설 내 교통체계 관리 전략에 대해 분석을 수행하였다. 차량의 제원에 따라 주차 위치(대형, 일반차량)를 구분하는 기존 고속도로 휴게소 주차 인프라처럼 비 자율주행 차량-자율주행 차량간 이질적인 주행 행태간 차이에 의한 교통혼잡 및 사고위험을 예방하기 위해 주차 구역을 분리하였다. 주차 구역 구분 방식 및 주차면 비율에 따른 관리 전략을 비교하여 평가하여 적합한 혼합 교통류 환경 시 고속도로 휴게시설 내 주차관리 전략을 도출하고자 하였다.

Ⅱ. 기존 문헌 고찰

1. 시뮬레이션을 활용한 주차관리 체계 관련 연구

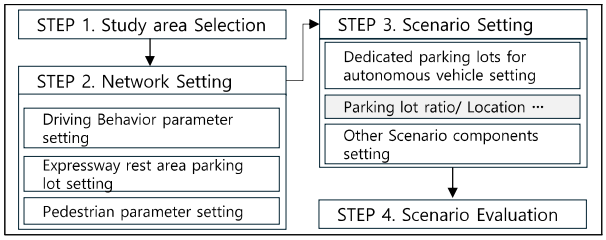
교통 시스템의 필수적인 구성요소인 주차관리는 주차수요, 주차 구획에 따른 영향평가 등으로 기존 연구들이 수행되었다. Wang et al.(2021)은 비 자율주행 차량과 자율주행 차량이 혼재할 때, 퍼지(Fuzzy) 이론을 기반으로 차량별 최적 주차 공간 배정 모델을 도출하였다. 또한, 점점 더 많은 연구에서 시뮬레이션 툴을 활용하여 현실과 유사한 가상의 교통환경을 구축하고 대규모 주차관리를 최적화 또는 관리 방안을 수립하고 있다(Codecá et al.,2018). Ye et al.(2018)은 공개된 오픈 시뮬레이션 툴인 SUMO와 유전알고리즘을 결합하여 자율주행 차량의 주차면을 배정하는 알고리즘을 도출하였다. 대부분 자율주행 차량의 주차 동선을 설계하는 기존의 연구들은 주로 도심부 네트워크를 대상으로 분석을 수행하였고, 기존 주차 인프라가 아닌 새로운 주차 인프라 도입을 가정

하고 분석을 수행하였다.

III. 연구 방법론

1. 연구 흐름도

본 연구의 흐름도는 그림 1에 나타냈다.



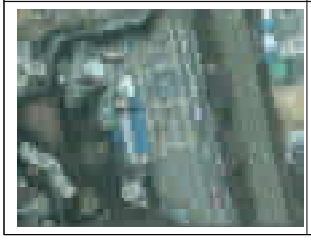
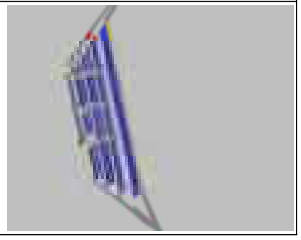
<그림 1> 연구 흐름도

2. 분석 대상 휴게시설 선정

분석 구간을 설정하기 위해서는 사고빈도, 구간 교통량, 휴게시설 이용현황, 주차면 비율 등의 현황 자료를 사용하였다. 사고빈도는 2010~2022년 고속도로 교통사고 자료(휴게소 내 교통사고)를 활용하였고, 자율주행 차량의 차종은 승용차만을 가정하여 사고 연관 차량 중 대형차량이 포함된 사고 자료를 제외하였다. 소형차량 주차면 비율, 연평균 일 통행량이 높은 경부고속도로 기흥휴게소(부산 방향)의 교통체계 관리 필요성이 있을 것으로 판단되어, 분석 구간으로 선정하였다.

<표 1> 고속도로 교통사고 자료 기준 상위 위험 휴게시설 현황

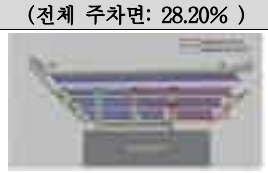
순위	휴게시설 (방향)	사고빈도	대형주차면 비율
1	춘천휴게소	25건	9.18%
2	입장거봉포도휴게소(서울)	18건	56.57%
3	단양팔경휴게소(부산)	15건	19.14%
4	화성휴게소(목포)	15건	17.06%
5	함평나비휴게소(무안)	13건	33.33%
6	충주휴게소(창원)	12건	19.90%
7	기흥휴게소(부산)	12건	15.70%
8	예산휴게소(대전)	11건	21.89%
9	망향휴게소(부산)	11건	20.66%
10	횡성휴게소(인천)	11건	10.28%

위성 사진	시뮬레이션 네트워크
	

<그림 2> 고속도로 휴게시설 시뮬레이션 구축

3. 주차 동선 설계

기존 주차 인프라를 활용하는 경우, 휴게시설에 가까운 주차 구역에 비 자율주행 차량이 주차하고, 자율주행 차량은 상대적으로 먼 주차 구역으로 위치할 수 있도록 주차 동선을 설계하고, 이에 따른 영향을 평가하였다.

자율주행차량 전용 주차 구역이 없는 경우	-
	-
주차 동선 1: 진입로 위치 (전체 주차면 11.88%)	주차 동선 2: 진입로 위치 (전체 주차면 18.49%)
주차 동선 3: 진입로 위치 (주차면 32.16%)	주차 동선 4: 진입로 위치 (전체 주차면 59.44%)
주차 동선 5: 보행공간위치(전체 주차면 26.10%)	주차 동선 6: 보행공간위치(전체 주차면 21.67%)
주차 동선 7: 진입로 및 보행공간 위치 (전체 주차면: 34.73%)	주차 동선 8: 진입로 및 보행공간 위치 (전체 주차면: 28.20%)
	

<그림 3> 고속도로 휴게시설 주차 구역 설정 및 동선

참고문헌

1. Banzhaf, H., Nienhüser, D., Knoop, S., & Zöllner, J. M. (2017, June). The future of parking: A survey on automated valet parking with an outlook on high density parking. In 2017 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV) (pp. 1827-1834). I EEE.
2. Wu, M., Jiang, H., & Tan, C. A. (2021). Automated parking space allocation during transition with both human-operated and autonomous vehicles. Applied Sciences, 11(2), 855.
3. Zeng, D., Chen, H., Yu, Y., & Hu, Y. (2023, April). An allocating slot method for autonomous valet parking vehicles with improved ant colony algorithm. In International Conference on Signal Processing, Computer Networks, and Communications (SPCNC 2022) (Vol.

12626, pp. 235-244). SPIE.
4. Zhang, Z., Liu, W., Sun, Z., Zhu, Z., Hu, Y., & Zeng, D. (2024). A Guidance Strategy for Parking Space of Autonomous Valet Parking with Cooperative Vehicle Infrastructure System (No. 2024-01-2571). SAE Technical Paper.
5. Codecá, L., Erdmann, J., & Härri, J. (2018, December). A sumo-based parking management framework for large-scale smart cities simulations. In 2018 IEEE Vehicular Networking Conference (VNC) (pp. 1-8). IEEE.
6. Ye, Q., Stebbins, S. M., Feng, Y., Candela, E., Stettler, M., & Angeloudis, P. (2020, September). Intelligent management of on-street parking provision for the autonomous vehicles era. In 2020 IEEE 23rd International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC) (pp. 1-7). IEEE.

도심도로 기반 자율주행차 주행안전성 평가항목 개발

Development of Driving Safety Evaluation Items for Automated Vehicles Based on Urban Roads

이영택
(아주대학교, 석박사 통합과정)

김인영
(아주대학교, 석박사 통합과정)

윤일수
(아주대학교, 교수)

Key Words : 도심도로, 자율주행차, 주행안전성, 평가항목

목 차

1. 서론
2. 관련 문헌 고찰
3. 도심도로 기반 자율주행차 주행안전성 평가항목 도출
4. 결론 및 향후 연구과제

Ⅰ. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

오랜 기간 전 세계적으로 도심 집중 현상이 일어남에 따라 일어나는 교통사고, 도시 혼잡 문제, 환경 문제를 해결하기 위한 많은 노력이 있어왔다. 특히 교통사고의 경우 전 세계적으로 꾸준히 발생하고 있으며 2021년에는 119만 명의 교통사고 사망자가 발생하였다(WHO, 2023). 이러한 교통사고의 대부분은 인간 운전자의 실수로 인해 발생하고 있다. 이러한 사고를 감소시키기 위하여 첨단운전자지원시스템(advanced driver assistance system, ADAS)이 개발되었다. ADAS에 이어 교통사고를 줄이고 교통류에 대한 안전성을 제고시킬 것으로 기대되는 자율주행차(automated vehicles, AV) 개발에 노력하고 있다(Feng et al., 2021). 고도화된 자율주행시스템(automated driving systems, ADS)의 상용화를 통해 인간 운전자를 보조하거나 운전에서 아예 배제하여 교통사고로 인한 사망자를 획기적으로 줄일 수 있을 것으로 기대하고 있다. AV는 국제자동차기술자협회(SAE International, SAE)에서 정의한 자율주행 기술 단계를 국제적으로 사용하고 있으며 레벨 0부터 5까지 총 6단계로 구분된다. 앞서 언급하였던 ADAS는 레벨 2로 간주되고 있고 레벨 3부터 자율주행(automated driving)으로 정의된다. 독일의 메르세데스 벤츠가 레벨 3 수준의 자율주행 기술 인증 척도로 사용되고 있는 『UN Regulation No. 157(이하 'UN R157')』을 통해 전 세계에서 처음으로 레벨 3 AV로 인증되었다.

그러나, 고도화되어가는 AV의 개발에서 중요한 문제 중 하나는 안전성을 검증해야한다는 과제를 남겨두고 있다(Pütz et al., 2017; Winkle et a., 2018; Feng et al., 2021; Pikner et al., 2022). AV의 개발뿐만 아니라 인프라 환경, 센서 기술, 인공지능(artificial intelligence, AI) 기술과 같이 관련된 기술이 고도화되어 도입이 임박한 것으로 기대되었다. 그러나, AV에 적용되는 기술이 고도화되어감에 비례하여 하드웨어와 소프트웨어 또한 복잡해지면서 고장 문제, 사이버 보안과 주행 안전성에 대한 신뢰도가 저하되었다 특히, 테슬라, 웨이모와 같은 자율주행 기술 개발을 집중적으로 하는 기관에서 제작한 AV가 교통사고에 관여됨에 따라 주행 안전성에 관한 신뢰도를 약화시켰다. 그 결과 소비자에게 AV를 수용하는 데 있어 경제적인 영향이나 개인정보 보호 문제보다 안전성이 중요한 요소로 작용된다(Ho, 2021).

AV의 주행 안전성을 평가하기 위해서 실제 환경을 모사한 주행 시험장(proving ground, PG)와 시뮬레이션을 개발에도 집중하고 있다(Schwarz et al., 2022). 그러나, PG 및 시뮬레이션에서 많은 문제를 식별하고 해결할 수 있으나 아직 밝혀지지 않은 위험을 가진 문제가 존재한다. 또한, PG와 시뮬레이션을 통해 수행되는 평가는 AV가 예상치 못한 상황에 대한 대응 능력과 다양한 상황에서의 주변 차량과의 조화롭게 주행하는지 평가하는 데 한계가 있다. 이에 따라, 실도로에서 AV의 주행 안전성에 대한 객관적인 평가가 필요하다.

본 연구의 목적은 실제 도심도로에서 레벨 4 수준의 AV의 주행안전성을 평가하는 항목을 도출하고자 하였다. 이를 위하여 AV의 주행안전성을 평가하는 관련된 연구를 고찰하였다. 이후, AV의 주행안전성을 평가하기 위한 항목을 도출하기 위하여 관련 교통 법규와 규제를 선정하였다. 이후에, 선정한 법규와 규제를 토대로 도심도로 기반 AV 주행안전성 평가항목을 도출하였다. 이를 통해 레벨 4 수준의 AV를 평가하는 데 있어 기초적인 가이드라인으로 활용되어 안전성을 개선시키는 데 도움이 될 것으로 생각된다.

2. 연구의 범위

본 연구에서는 고속도로를 제외한 도심도로를 공간적 범위로 한정하였다. 고속도로는 현재 다양한 연구에서 다수의 연구가 진행된 바 있으며 향후 AV 상용화에 있어 중요한 문제점으로 간주될 도심도로를 집중적으로 연구를 진행하고자 하였다. 또한, AV 기술 수준은 레벨 3, 4 수준으로 한정하였다. 앞서 언급하였던 것과 같이AV의 안전하고 실효성있는 평가 방법론을 도출하기 위해 관련된 사례와 연구를 고찰하였으며 평가항목을 도출하기 위해 관련 법규와 규제를 검토하였다.. 마지막으로 본 연구에 대한 결론과 향후에 진행할 연구 과제를 제시하였다.

II. 관련 문헌 고찰

1. 관련 문헌 고찰

김호선 외(2024)는 AV의 주행 성능을 평가하기 위한 주행 행동 지표를 개발하고 분석하고자 하였다. 이를 위해 AV의 주행 안전성에 영향을 미치는 주요 운영설계영역(operational design domain, ODD) 요소를 식별하고 영향에 따라 우선 순위를 지정하는 데 중점을 두었다. 이를 위해 서울 상암 테스트베드의 실제 데이터를 활용해 VISSIM을 통해 시뮬레이션을 구현하여 AV와 인간 운전자의 거동을 시뮬레이션하였다. 이를 통해, 12개의 안전 지표를 선정하여 종단 지표와 차량 상호 작용 기반 지표로 분류 후 ODD에 대해 관련성이 높은 지표를 식별하기 위해 요인 분석을 사용하였다. 그 결과, 다양한 ODD 시나리오에 대한 주요 안전 지표를 식별하였고 안전성 평가 최우선 ODD에는 보행자와의 잦은 상호작용과 예측불허 상황으로 인한 횡단보도 등이 포함되었다.

국윤영과 이경수(2023)는 AV의 주행 행동이 인간 운전자의 주행 행동과 유사한지 시나리오를 기반으로 AV의 안전성을 검증하였다. 실제 교통 상황과 안전 우선순위를 고려하여 기본과 심화 시나리오 총 7가지 시나리오를 선택하였다. 이후, 안전성 검증을 위해 데이터 수집・분석 플랫폼을 구현하여 실제 수집 데이터를 분석하여 성능 평가 시나리오를 검증하였다. 주요 안전평가지표는 국제표준인 ISO와 기존 ADAS 요구사항을 바탕으로 도출하였다. 그 결과 AVS는 차선 유지 및 차선 변경 시나리오에서 인간 운전자와 비슷한 성능을 보였으며 컷인과 보행자 대응 시나리오에서는 표준 기준을 충족하며 안전거리와 속도를 유지한 결과를 도출하였다.

김중효 외(2021)는 AV의 운전능력을 평가하기 위한 가상현실(virtual reality, VR) 기반 평가 프레임워크를 개발하고자 하였다. 이를 위해 일반 운전면허시험 문제를 기반으로 UC-win/Road ver.14.0을 활용하여 다양한 주행 환경에서 돌발상황에 대한 운전능력을 시험하고자 하였다. 이를 위해 일반 운전 면허 시험의 영상 기반 시나리오를 활용하여 차선 변경, 보행자 상호작용 등 7가지의 운전 시나리오를 선택하였다. 각 시나리오는 차량 속도, 충돌까지의 시간(time to collision, TTC)와 같은 매개변수를 ±10%씩 변경하여 시뮬레이션되었다. 그 결과, VR 기반 평가 시스템이 실제 운전 상황을 효과적으로 모방하고 AV의 주행 행동을 면밀히 분석할 수 있음이 입증되었으며 대부분의 상황에서 AV는 안전한 주행 행동을 유지하였다고 제시하였다.

2. 시사점 및 연구의 차별성 도출

기존 연구는 AV 안전에 대하여 시뮬레이션과 PG 테스트를 통해 정확하고 반복 가능한 테스트 환경의 필요성이 강조되고 있다. 또한, AV 성능을 인간 운전 행동과 유사한지 평가하여 AV가 도입되었을 때 인간 운전자와 조화롭게 주행하는지 평가할 수 있음을 시사한다. 뿐만 아니라, VR 시뮬레이션 도구를 통한 안전성 평가는 실제 도로 시험에 비해 관련된 위험없이 AV 기능을 테스트하는 데 효과적인 것을 입증하였다. 그러나, 기존 연구에서는 시뮬레이션 환경 또는 VR과 테스트베드 등 통제된 테스트환경에서 AV 안전성 평가와 관련된 연구를 진행하였지만 본 연구의 경우 실제 도심도로 환경을 범위로 하는 것에 차별성이 존재한다. 또한, 기존 연구에서는 운전 성능 지표를 통해 안전성을 분석하였으나 법적인 측면에서의 검토가 부족하다는 점에 대해서 본 연구에 차별성이 존재한다고 판단된다.

III. 도심도로 기반 자율주행차 주행안전성 평가항목 도출

1. 관련 교통 법규 및 규제 검토

본 연구에서 도심도로에서 AV의 주행안전성을 평가하기 위한 항목을 도출하기 위하여 관련 교통 법규와 규제를 선정하였다. 본 연구에서 검토한 관련 교통 법규는 『도로교통법』 및 하위법령이며, 관련 규제는 『부분 자율주행시스템의 안전기준(‘이하 ’안전기준‘)』, 『UN R157』으로 한정하였다. 관련 교통 법규와 규제에서 본 연구의 목적과 범위에 맞추어 자동차의 주행 행동과 자율주행기능과 관련된 항목만을 선별하였다. 이때, 『도로교통법』, 안전기준, 『UN R157』간에 중복되는 항목이 존재하는 경우 『도로교통법』, 안전기준, 『UN R157』순으로 우선순위를 두어 항목을 대체하였다. 또한, 일부 항목의 경우 데이터에 대하여 정밀한 측정이 필요하거나 실제 상황에서 평가하기에 적합하지 않은 항목은 PG와 시뮬레이션에서 평가하도록 배제하였다.

『도로교통법』은 도로를 구분하고 구분된 도로의 기하구조에 따라 자동차의 주행 행동을 규정하고 있다. 이에 따라, 인간 운전자뿐만 아니라 AV 또한 준수하여야할 필요가 있어 공통적인 기준으로 적용할 수 있다고 판단하였다. 『도로교통법』 및 그에 관한 하위 법령을 검토하여 총 57개의 항목을 선정하였다.

안전기준은 2019년에 대한민국에서 세계 최초로 레벨 3 수

준의 AV에 대한 안전기준으로 제정되었으며 2022년에 국제 동향에 발맞추어 개정된 바 있다. 현재 안전기준은 자동차로 유지기능의 성능기준, 운전자모니터링시스템의 성능기준, 자율주행정보 기록장치의 성능기준에 대하여 규정하고 있다. 안전기준은 레벨 3 수준의 AV를 대상으로 하고 있으나, 레벨 4 AV와 시스템적인 기능에서 유의미한 차이가 없을 것으로 판단되어 주행안전성 평가항목을 도출하는 데 적합한 항목으로 선정되었다. 안전기준에서 『도로교통법』과 중복되는 의미를 가진 항목을 제외하고 총 29개의 항목이 자동차의 주행 행동 또는 자율주행 기능과 관련된 항목으로 선정되었다.

마지막으로 『UN R157』은 유엔유럽경제위원회(United Nations Economic Commission for Europe, UNECE)에서 제정한 국제 규제로서 자동차로유지시스템(automated lane keeping systems, ALKS)에 대한 요구사항을 규정하고 있다. 『UN R157』은 앞서 언급하였던 것처럼 현재 레벨3 수준 AV 인증척도로 국제적으로 사용되고있으며 ALKS의 동적운전임무(dynamic driving tasks, DDT), 위험최소화운행(minimum risk maneuver, MRM)과 관련된 매개변수를 제시하고 있다. 또한, 『UN R157』은 PG 테스트와 실도로 테스트와 관련된 요구사항을 정의하고 있다. 도심도로에 대하여 『UN R157』을 검토한 결과, 중복되는 항목을 제거하고 6개의 항목을 선정하였다.

2. 선정된 항목들에 대한 주행안전성 평가항목 적합성 판단

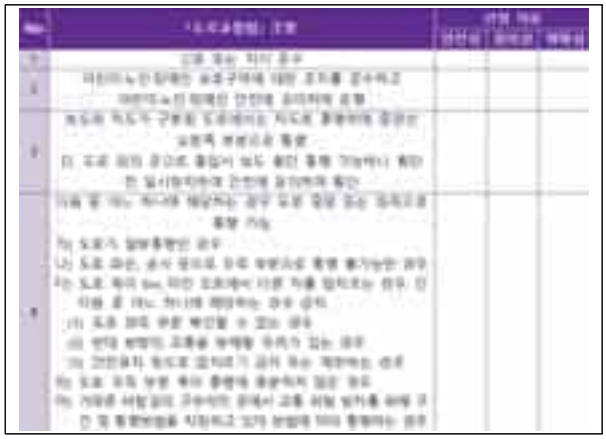
앞서 도출한 자동차 주행 행동 및 자율주행기능 관련 항목을 5점 척도의 선정 지표를 통해 도심도로 기반 AV 주행안전성 평가항목을 도출하고자 하였다. 선정 지표는 '주행안전성 관련성', '측정의 용이성', '내용의 명확성'으로 정의하였다. 주행안전성 관련성은 해당 항목이 AV의 주행안전성과 관련된 정도를 나타내는 것이다. 두 번째로 측정 용이성은 도심도로에서 AV가 주행하면서 평가용 데이터에 대한 측정이 용이한지에 대한 정도를 나타낸다. 마지막으로 내용 명확성은 해당 조항에 명시된 내용이 명확한지에 대한 정도를 의미한다.

<표 1> 주행안전성 평가항목 선정 지표 예시

지표 기준	매우 상관없음	상관없음	보통	상관있음	매우 상관있음
점수	1	2	3	4	5

예를 들어, 『도로교통법』 제5조 '신호 또는 지시에 따를 의무' 조항이 주행안전성과 관련성이 매우 높을 경우 '주행안전성 관련성'에 5점을 배점한다. 이때, 이를 통하여 『도로교통법』, 안전기준, 『안전기준』에서 선정된 전체 자동차 주행 행동 또는 자율주행기능 관련 항목에 대하여 선정 지표 값을 배점하여 평가하였다.

<표 2> 주행안전성 평가항목 선정 지표 배점표



3. 주행안전성 평가항목 도출

선정 기준은 지표 결과 평균 4점을 기준으로 그룹화를 진행하였다. 평균 4점 이상인 첫 번째 그룹은 해당 내용이 명확하고 AV의 주행안전성과 밀접하며 평가용 데이터 측정이 용이한 항목들로 구성되었다. 두 번째 그룹은 해당 내용이 불명확하거나, AV의 주행안전성과 다소 관련성이 떨어지거나, 평가용 데이터 데이터 측정이 용이하지 않거나, 현재 기술 수준으로는 해당 기능 발현이 어렵다고 판단되는 항목으로 구성되었다. 향후 관련 기술 발전에 따라 두 번째 그룹에 대해서도 주행안전성 평가항목으로 도출할 수 있도록 설정하였다.

선정 지표 값을 살펴본 결과 『도로교통법』에서 선정된 항목 57개의 항목 중 38개, 『안전기준』은 28개의 항목 중 27개, 『UN R157』은 6개의 항목 중 4개의 항목이 도출되었다. 본 연구에서는 첫 번째 그룹에 해당하는 조항만을 평가항목으로 선정하였으며 향후 연구에서 두 번째 그룹에 해당하는 조항에 대한 평가항목을 구성할 예정이다.

도출된 항목들에 대하여 세부내용을 정의하였다. 전체적인 대분류로 평가항목을 그룹화한뒤 세부적인 평가항목에 대해 정의하였다. 해당 평가항목이 어떠한 내용을 평가하는지에 대한 정의 혹은 평가지표에 대한 부가적인 설명을 기입하였다. 세부 평가항목에 대한 평가지표를 정의한 후에 필요한 데이터인 입력값과 그에 대한 단위와 주기를 정의하였다. 마지막으로 평가 지표에 대한 기준 값을 제시하여 도심도로 기반 AV 주행안전성 평가항목을 정의하였으며 이에 대한 예시는 하단의 <표 3>과 같다.

<표 3> 도심도로 기반 AV 주행안전성 평가항목 예시

Ⅳ. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 다수의 연구가 진행된 고속도로에서 확장하여 도심도로를 중점으로 AV의 주행안전성을 평가하기 위한 항목을 도출하였다. 본 연구에서는 실제 도심도로에서 객관적이고 합리적인 주행안전성 평가 결과를 도출하기 위하여 『도로교통법』 및 하위법령, 안전기준, 국제적으로 사용되는 『UN R157』을 전체적으로 검토하였다. 우선, 법규 및 규제에서 도심도로에서 자동차가 주행할 때 준수하여야할 주행 행동과 자율주행 기능과 관련된 항목 이외의 항목은 제거하였다. 이때, 『도로교통법』, 안전기준, ,『UN R157』 순으로 우선수위를 두어 중복되는 항목이 존재하는 경우 대체할 수 있도록 원칙을 정의한 상태로 진행하였다. 또한, 일부 항목의 경우 데이터 취득에 정밀한 측정이 필요하거나 실제 도로 환경에서 평가하기에 위험하거나 적합하지 않은 항목은 PG 또는 시뮬레이션에서 수행하도록 배제하였다. 이후에 도심도로 기반 자동차 주행 행동 및 자율주행기능 관련 항목을 각각 『도로교통법』에서 57개, 안전기준에서 27개, 『UN R157』에서 6개를 선정하였다. 선정된 항목들에 대하여 5점 척도의 선정 지표를 통해 도심도로에서 AV의 주행안전성을 평가하기에 적합한지 평가하였다. 선정 지표는 '주행안전성 관련성', '측정의 용이성', '내용의 명확성'으로 정의하였다. 선정 지표 값 평균 4점 이상을 기준으로 그룹화를 진행하였다. 평균 4점 이상인 첫 번째 그룹은 AV의 주행안전성과 밀접하고 항목 내용이 명확하며 데이터 측정이 용이한 항목들로 구성된다. 평균 4점 미만인 두 번째 그룹은 AV 주행안전성과 관련성이 떨어지거나, 데이터 측정이 용이하지 않거나, 항목 내용이 불명확하거나, 현재 기술 수준으로는 구현하기 어려운 항목으로 구성된다. 선정 지표 값 배점 결과 『도로교통법』에서는 57개의 항목 중 38개의 항목이 도출되었으며 안전기준에서는 28개 중 27개, 『UN R157』은 6개 항목 중 4개가 도출되었다. 이후에 도출된 항목들에 대하여 대분류로 그룹화를 한 뒤 각 평가항목에 대한 정의, 평가지표, 평가를 위한 입력값과 그에 대한 단위, 주기, 평가지표에 대한 기준값을 정의하여 도심도로 기반 AV 주행안전성 평가항목을 정의하였다.

그러나, 본 연구는 도심도로에서 AV를 평가하기 위한 기초적인 연구로서 여러 한계가 존재한다. 본 연구에서 제시한 평가항목에 대해서 검증하는 절차가 부재하고 구체적인 평가 방법론 프레임워크를 정의하지 못하였다. 따라서 본 연구에서 도출한 결과에 대한 실효성을 개선시키기 위해선 다음과 같은 같은 연구를 진행할 계획이다.

첫 번째로, AV를 도심도로 환경에서 주행시켜 본 연구에서 도출한 평가항목으로 평가하는 동시에 평가항목에 대하여 검증할 계획이다. 주행할 도심도로에 대해서는 사전에 도로 구간에 대한 기초적인 조사를 수행하고 ODD의 범위 안과 범위 밖, 경계면 등에 있을 때 AV의 주행 행동을 추가적으로 분석할 계획에 있다.

두 번째로, AV를 평가하는 프레임워크에 대한 구체적인 정의를 할 계획에 있다. AV를 평가할 수 있는 항목은 도출하였으나 실도로 테스트는 예상치 못한 위험이 있을 가능성이 높다. 이를 대비하여 안전하고 일관되게 주행하고 기준을 준수하는지 평가할 프레임워크를 정립할 계획이다. 이러한 추가적인 연구와 본 연구의 도심도로 기반 AV 주행안전성 평가항목을 결합한다면 보다 실효성이 개선되어 기초적인 가이드라인으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 국토교통부 자율주행기술개발혁신사업 '주행 및 충돌상황 대응 안전성 평가기술개발(RS-2021-KA160637)' 과제 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. Feng, S., Yan, X., Sun, H., Feng, Y., & Lid, HX.(2021) Intelligent driving intelligence test for autonomous vehicles with nauralistic and adversarial environment, Nature communications, 12(1), pp.748.
2. WHO.(2023), *Global status report on road safety 2023.*
3. Pütz, A., Zlocki, A., Küfen, J., Bock, J., & Eckstein, L. (2017, June). Database approach for the sign-off process of highly automated vehicles. In 25th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV) National Highway Traffic Safety Administration pp. 1-8.
4. Winkle, T., Erbsmehl, C., & Bengler, K. (2018). Area-wide real-world test scenarios of poor visibility for safe development of automated vehicles. European Transport Research Review, 10, 1-15.

5. Pikner, H., Sell, R., Majak, J., & Karjust, K. (2022). Safety system assessment case study of automated vehicle shuttle. Electronics, 11(7), 1162.
6. Ho, S. S. (2021). Complementary and competitive framing of driverless cars: framing effects, attitude volatility, or attitude resistance?. International Journal of Public Opinion Research, 33(3), 512-531.
7. Schwarz, D. M., Rolland, L., & Johnston, J. B. (2022, June). Identifying real-world problems with automated vehicles by detecting behavioral differences in steering movements between the human driver and machine. In 2022 IEEE 28th International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC) & 31st International Association For Management of Technology (IAMOT) Joint Conference (pp. 1-9). IEEE.
8. 김호선, 고지은, 김민경, & 오철. (2024). 혼재교통상황에서 자율주행 운전능력 평가를 위한 시뮬레이션 기반 ODD 및 평가지표 분석. 대한교통학회지, 42(2), 196-211.
9. 국윤영, & 이경수. (2023). 자율주행 차량의 실도로 주행을 위한 안전 시나리오 기반 인간중심 시스템 성능평가. 자동차안전학회지, 15(2), 6-12.
10. 김중효, 김도훈, 주성갑, 오석진. (2021). 가상환경 기반 자율주행 운전능력 평가방안 연구. 한국ITS학회논문지, 20(5), 202-217.

English Presentation

Session C-4

긴 간격 시간 경로 복원: 계층적 트랜스포머 접근법
Yonghui Liu

시간 가변 콕스 모델을 사용한 고급 고속도로 충돌 분석
Fangzhou Wang, Kitae Jang

과실 교통사고에서 고령 및 비고령 택시 운전자의 부상 심각도에 대한 시간적 불안정성 비교
Reuben Tamakloe, Mahdi Khorasani, Inhi Kim

동남아시아를 중심으로 한 도로 연구: 서지학 및 주제 분석
Paolo Ian Lucero, Kitae Jang

RFM 지표 기반의 공유 전동킥보드 서비스 이용자 세분화
추범준, 김동규

차량 호출 서비스에서의 주의 분산 운전: 실태, 영향 및 대응 전략
Raihan Pasha Isheka, Kitae Jang

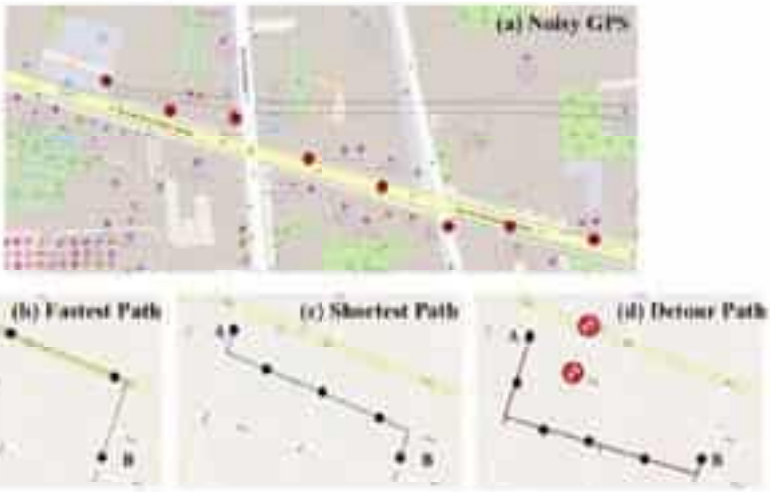
KAIST
Chu Chun Shik Graduate School of Mobility
KAIST
Enhancing Trajectory Recovery for Long Interval Time: A Hierarchical Transformer Approach
speaker Yonghui Liu

KAIST
Contents
01 Background
02 Model Structure
03 Results
04 Conclusion

Background

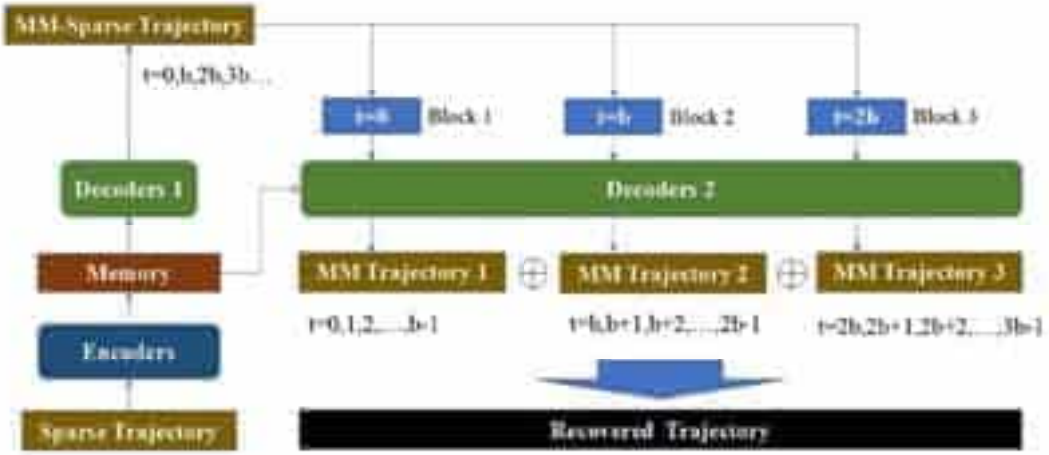
Trajectory Uncertainty

The trajectory data usually only report the status at start time and end time of a trip, or there is an issue of low sampling, which resu lts in the continuously sampled positions being far apart from each other.



Model Structure

Structure overview



Model Structure

Data Generation

Using Open Street Map (OSM) API

Model Structure

Evaluation Metrics

$$ecall = \frac{\mathcal{E}_R \cap \mathcal{E}_G}{\mathcal{E}_G}$$

$$precision = \frac{\mathcal{E}_R \cap \mathcal{E}_G}{\mathcal{E}_R}$$

$$F1 = \frac{2 * recall * precision}{recall + precision}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} dist(p,p)^2}$$

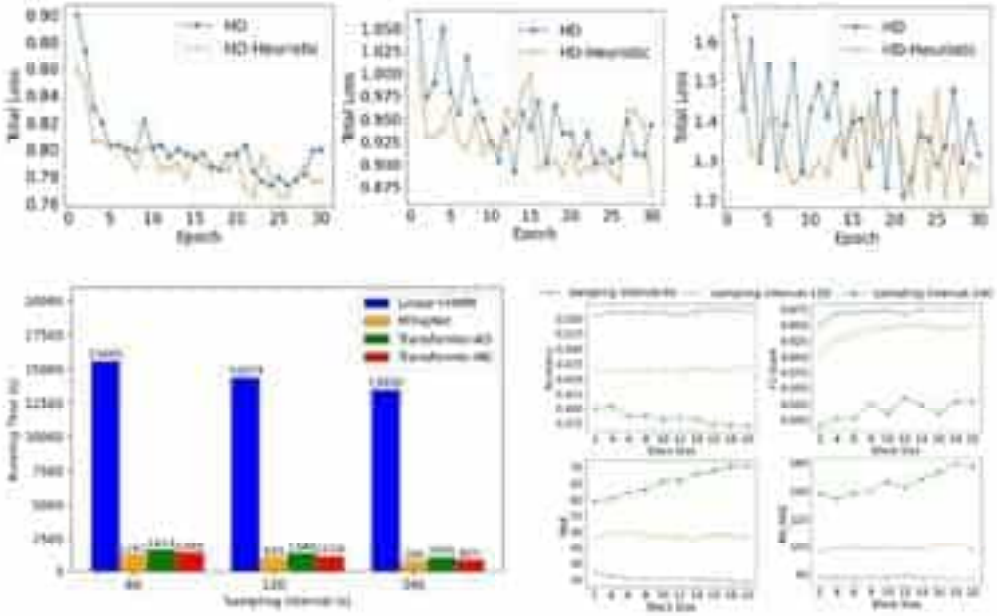
Results

Comparative with different results

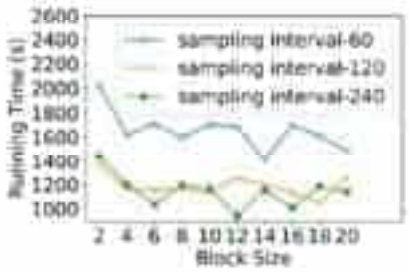
Methods	Accuracy			F1 Score			MAE			MAE_RN		
	240	120	60	240	120	60	240	120	60	240	120	60
Linear + HSDM	0.3154	0.3392	0.4229	0.4515	0.5104	0.5684	91.98	80.36	54.71	199.31	179.24	141.98
MDigRes	0.3387	0.4650	0.5527	0.4823	0.6441	0.6674	74.70	48.57	35.56	206.30	103.53	78.94
Transformer - All	0.3216	0.4711	**0.5606**	0.4349	**0.6468**	**0.6729**	80.09	48.17	**34.48**	179.10	99.70	76.92
Transformer - HD	**0.4063**	0.4701	0.5509	0.5351	0.6410	0.6717	62.48	49.88	35.24	**132.44**	99.08	77.18
HD - Attn	0.3982	0.4723	0.5497	0.5156	0.6447	0.6643	62.20	48.47	36.47	134.41	97.78	80.95
HD - Share	0.3380	0.4182	0.5413	0.5068	0.5794	0.6498	87.34	66.11	41.66	174.44	123.20	87.14
HD - Attn & Share	0.3895	**0.4725**	0.5511	0.5025	0.6466	0.6662	63.31	48.09	36.82	142.62	**95.92**	80.72
HD - Heuristic	0.4022	0.4657	0.5601	**0.5245**	0.6456	0.6708	**60.68**	**48.63**	34.79	136.70	96.80	**76.77**

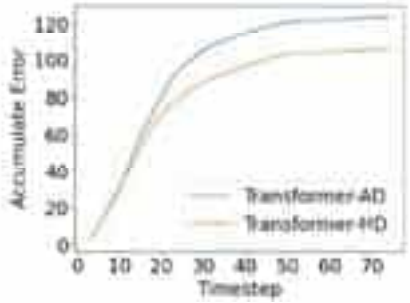
Results

Comparative with different results



Results



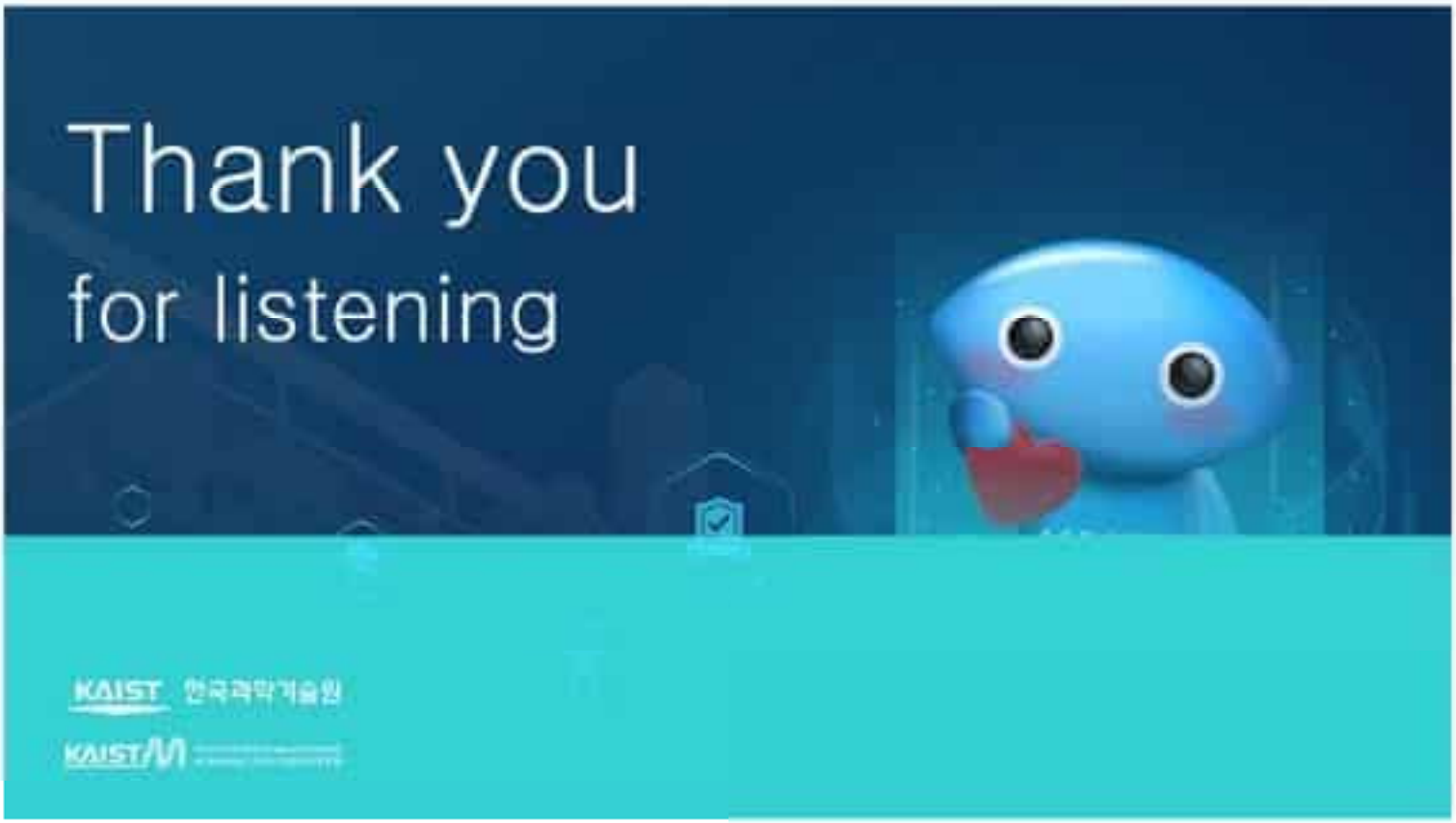


Complexity	AD		HD	
	Training	Inference	Training	Inference
Time	$O(T^2)$	$O(T^2)$	$O(T^2/k^2)$	$O(T^2/k^2)$
Space	$O(T^2)$	$O(T^2)$	$O(T^2/k^2)$	$O(T^2/k^2)$

Conclusion

The contributions of this paper are summarized as follows:

- This study employs a map-constrained Seq2Seq multi-task learning approach for reconstructing trajectories in an end-end manner. A Transformer model is used to capture the spatial-temporal characteristics of the road network and the trajectories. In the encoding phase, we amalgamate map data with the road network information of the specified area where the trajectory unfolds, achieving a comprehensive representation of the entire road network.
- A hierarchical decoder for the transformer model is proposed to address the challenges associated with long target sequences. Experiments in a case study demonstrate that this method enhances both the spatial and temporal efficiency of the trajectory recovery model without degrading performance. In contrast, the performance improves in cases of extremely sparse sampled trajectories, as the hierarchical decoder effectively mitigates the error typically accumulated in an autoregressive decoder.
- To better address the uncertainty in trajectory recovery over long time intervals, we incorporate heuristic information, such as the shortest path between two consecutive points, as prior knowledge and analyze its effectiveness in the trajectory recovery task. To the best of our knowledge, this is the first time combining heuristic decisions with deep learning models for trajectory recovery.


Thank you
for listening
KAIST 한국과학기술원
KAIST

Introduction

Background:

- Freeway crash frequency directly affects traffic safety and management efficiency
- Accurate analysis of crash frequency can help analyze and prevent future crashes
- Tradition accident frequency models (e.g., Poisson model and negative binomial model) are widely use in traffic safety studies

Shortcoming of traditional statistic methods:

- Traditional statistic models rely on highly aggregated crash data and lack analysis of individual crash intervals
- Cannot effectively capture dynamic changes, especially the time-varying effects of traffic flow and weather factors
- Key variables (e.g. weather and traffic flow) can only be analyzed statically, ignoring the dynamic role of time factors

Data

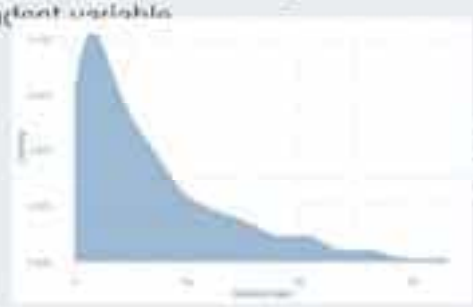
Study Area:

경부선 Gyeongbu expressway

Time:

2022

In 2022, a total of 1,018 crashes occurred on the Gyeongbu Expressway. The crash data was allocated to VDS (Vehicle Detection System) segments, and the time interval between crashes within each VDS segment was calculated as the dependent variable.



Distribution of Duration Between Crashes

Data

Variables	Description	Mean	S.D.
Continuous variables			
Duration between crashes	The duration between two crashes in the same segment.	65.07	65.88
Traffic volume	Daily traffic volume on the segment (10, 000veh/day)	3.81	2.97
S.D.(Speed)	The standard deviation of passing speed on the segment every day (km/h)	7.09	55.30
Category variables		Frequency	Percentage
Weather condition			
Rainy	Rainy days are the days with more than 0.1mm of precipitation per day.	3599	10.0%
Snowy	Snowy days are the days observed by snow, snow, powder snow, snowstorm, snow sleet, sleet, and snow.	592	1.6%
Other weather conditions	Other weather condition days, except rainy and snowy days. (Reference term)	32037	88.4%

Freeway Geometry			
Slope			
500m to 1000m	Crashes happened in locations where the longitudinal gradient extends from 500 meters to 1000 meters.	79	7.9%
Less than 500m	Crashes happened in locations where the longitudinal gradient is less than 500 meters.	163	15.1%
Flat	Crashes happened in locations where the road is flat. (Reference)	384	37.7%
Others	Crashes happened in locations that do not fit into the specified categories of longitudinal gradients and are categorized as 'Others'.	390	38.3%
Curvature			
Large curves	Crashes happened in locations with curves that have a radius larger than 1000 meters.	106	10.4%
Small curves	Crashes happened in locations with curves that have a radius of 1000 meters or less.	83	8.1%
Straight	Crashes happened in locations that are straight, without any curves. (Reference)	829	81.5%

Method

Cox model with time-varying covariates

Method:

The hazard function of the Cox model with time-varying covariates is as follows:

$$h(t|X(t), Z) = h_0(t)\exp(\beta_1 X_1(t) + \beta_2 X_2(t) + \cdots + \beta_n X_n(t) + \gamma_1 Z_1 + \gamma_2 Z_2 + \cdots + \gamma_m Z_m)$$

where $X_1(t), X_2(t), \ldots, X_n(t)$ are the time-varying covariates, and $Z_1, Z_2, \ldots, Z_m$ are the time-fixed covariates. $\beta_1, \beta_2, \ldots, \beta_n$ are the coefficient of time-varying covariates, and $\gamma_1, \gamma_2, \ldots, \gamma_m$ are the coefficient of time-fixed covariates. In this study, the time-varying covariates include weather conditions and traffic characteristic as daily traffic volume and standard deviation of passing speed; the time-fixed covariates include

KAIST

Data:

Period ID	Start time	End time	Event	Traffic flow	S.D.(Speed)	Slope	Rain
1	0	2	0	3.65	7.01	1	0
1	2	3	0	3.90	6.22	1	1
1	3	5	1	3.82	5.53	1	0
2	0	1	0	3.99	6.33	0	1
2	1	2	1	3.56	7.02	0	0

Assumption:

Proportional Hazards Assumption: The Cox model assumes that the proportional hazards between covariates are constant, meaning the effect of covariates on risk does not change over time. However, when time-varying covariates are introduced, this assumption is relaxed, but it still assumes that at any given point in time, the effect of covariates on risk is multiplicative.

Unspecified Baseline Hazard Function: The Cox model does not make assumptions about the specific form of the baseline hazard function; it only assumes that it exists and is smooth.

Independence Assumption: The occurrences of events are independent, meaning that the occurrence of each event is independent of other events.

Method

Negative Binomial model

Method:

The Negative Binomial Model is commonly used for count data where the variance exceeds the mean, making it suitable for over-dispersed traffic accident frequency data. The model assumes that the number of accidents follows a Poisson-like process, but it introduces an extra parameter to account for over-dispersion. The probability function is:

$$P(Y = y) = \frac{\Gamma(y + \theta)}{y!\,\Gamma(\theta)}\left(\frac{\mu}{\mu + \theta}\right)^{y}\left(\frac{\mu}{\mu + \theta}\right)^{\theta}$$

Where, Y is the number of crashes; μ is the expected number of crashes, and θ is the over-dispersion parameter.

KAIST

Data:

Segment ID	Crash Count	Traffic flow	Segment length	Slope	Snowy days
1	0	3.65	1.1km	1	3
2	6	3.90	2.9km	1	1
3	3	3.82	1.5km	1	0
4	0	3.99	0.9km	0	2
5	5	3.56	3.6km	0	1

Assumption:

Overdispersion Assumption: The model allows for overdispersion, meaning that the variance in the number of crashes can exceed the mean, which is typical in real-world crash data.

Poisson-like Process: It assumes that accidents occur according to a Poisson process but corrects for overdispersion by introducing the parameter θ.

Independence Assumption: Crashes within different time periods and segments are assumed to be independent of each other.

Exogeneity of Covariates: It assumes that the covariates (e.g., traffic volume, weather) are exogenous and do not change in response to the accident occurrences.

Model Results

Variables	Cox model with time-varying covariates	
	mean	t-stat
Traffic volume	-0.048	-2.53
S.D.(Speed)	-0.044	-4.78
Rainy	0.801	5.92
Snowy	0.647	2.20
Large curves	0.594	3.18
Small curves	0.415	2.17
500m to 1000m	0.158	0.62
Less than 500m	0.624	2.54

Variables	Negative binomial model	
	mean	t-stat
Segment length	0.318	3.891
Seasonal ADT	-0.123	-1.376
Rainy days	0.011	0.496
Snowy days	0.007	2.189
Large curve	0.310	2.871
Small curve	0.375	2.653
500m to 1000m	0.307	2.206
Less than 500m	0.318	2.916

Model Fitness Results

	Cox model with time-varying covariates
Log likelihood	-2100.76
AIC	4219.53

	Negative binomial model
Theta	8.90
AIC	1066.6

Explanation of significant variables

Traffic volume	-0.048	-2.53

Seasonal ADT	-0.123	-1.376

- **Cox model:** traffic volume (Seasonal ADT) shows a significant negative effect, indicating that higher traffic volume leads to shorter intervals between accidents (more frequent accidents over time).
- **Negative Binomial model:** the Seasonal ADT is not statistically significant.

This difference may suggest that traffic volume influences accident frequency more directly in a dynamic (time-varying) context than in aggregated seasonal data.

Explanation of significant variables

- **Cox model:** Rainy and snowy conditions are positive and significant in Cox model, indicating these factors increase the likelihood of accidents happening sooner (shorter intervals between accidents).
- **Negative Binomial model:** Snowy days are consistently positive and significant, though the effect is smaller compared to the Cox model (NB: t = 2.189). Rainy days, however, are not significant in NB models (t ≈ 0.5).

Rainy	0.801	5.92
Snowy	0.647	2.20

Rainy days	0.011	0.496
Snowy days	0.007	2.189

Both models agree that snowy conditions significantly increase accident risk, but the Cox model shows a much stronger effect. For rainy conditions, the Cox model shows a highly significant effect, while Negative Binomial models do not detect any significant impact.

This suggests that the Cox model, which considers time-varying covariates, may be better suited to capturing the short-term impact of rain on accidents, while Poisson/Negative Binomial models may not capture this dynamic effect as well in seasonal frequencies.

Explanation of significant variables

- **Cox model:** Large curves have a positive and significant effect in Cox model and small curves are less significant.
- **Negative Binomial model:** Both large and small curves are significant and positive in NB model.

Large curves	0.594	3.18
Small curves	0.415	2.17

Large curve	0.310	2.871
Small curve	0.375	2.653

Both models suggest that curved roads are associated with more frequent accidents. However, the Cox model shows that the effect of large curves is more consistently significant across different segment types, while the Negative Binomial models indicate that both large and small curves have similarly significant effects on accident frequency.

Explanation of significant variables

- **Cox model:** The effect of slopes is mixed, with shorter slopes (less than 500m) having a more consistent positive and significant effect. Slopes between 500m and 1000m are generally not significant in any version of the Cox model.
- **Negative Binomial model:** Both slope categories are positive and significant in the NB model, with shorter slopes (less than 500m) showing a stronger effect (NB: t = 2.916).

500m to 1000m	0.158	0.62
Less than 500m	0.624	2.54

500m to 1000m	0.307	2.206
Less than 500m	0.318	2.916

Both models agree that shorter slopes (less than 500m) are associated with more frequent accidents. The Cox model suggests that the impact of slopes on the time between accidents may be less significant for longer slopes, while the Negative Binomial model find that slopes in general contribute to accident frequency, particularly shorter ones.

Explanation of significant variables

Both models agree that shorter slopes (less than 500m) are associated with more frequent accidents. The Cox model suggests that the impact of slopes on the time between accidents may be less significant for longer slopes, while the Poisson/Negative Binomial models find that slopes in general contribute to accident frequency, particularly shorter ones.

- **Cox model:** The effect of slopes is mixed, with shorter slopes (less than 500m) having a more consistent positive and significant effect. Slopes between 500m and 1000m are generally not significant in any version of the Cox model.
- **Poisson/Negative Binomial model:** Both slope categories are positive and significant in the Poisson and NB models, with shorter slopes (less than 500m) showing a stronger effect (Poisson: t = 3.338, NB: t = 2.916).

500m to 1000m	0.158	0.62
Less than 500m	0.624	2.54

500m to 1000m	0.317	2.636	0.307	2.206
Less than 500m	0.320	3.338	0.318	2.916

Model Comparison

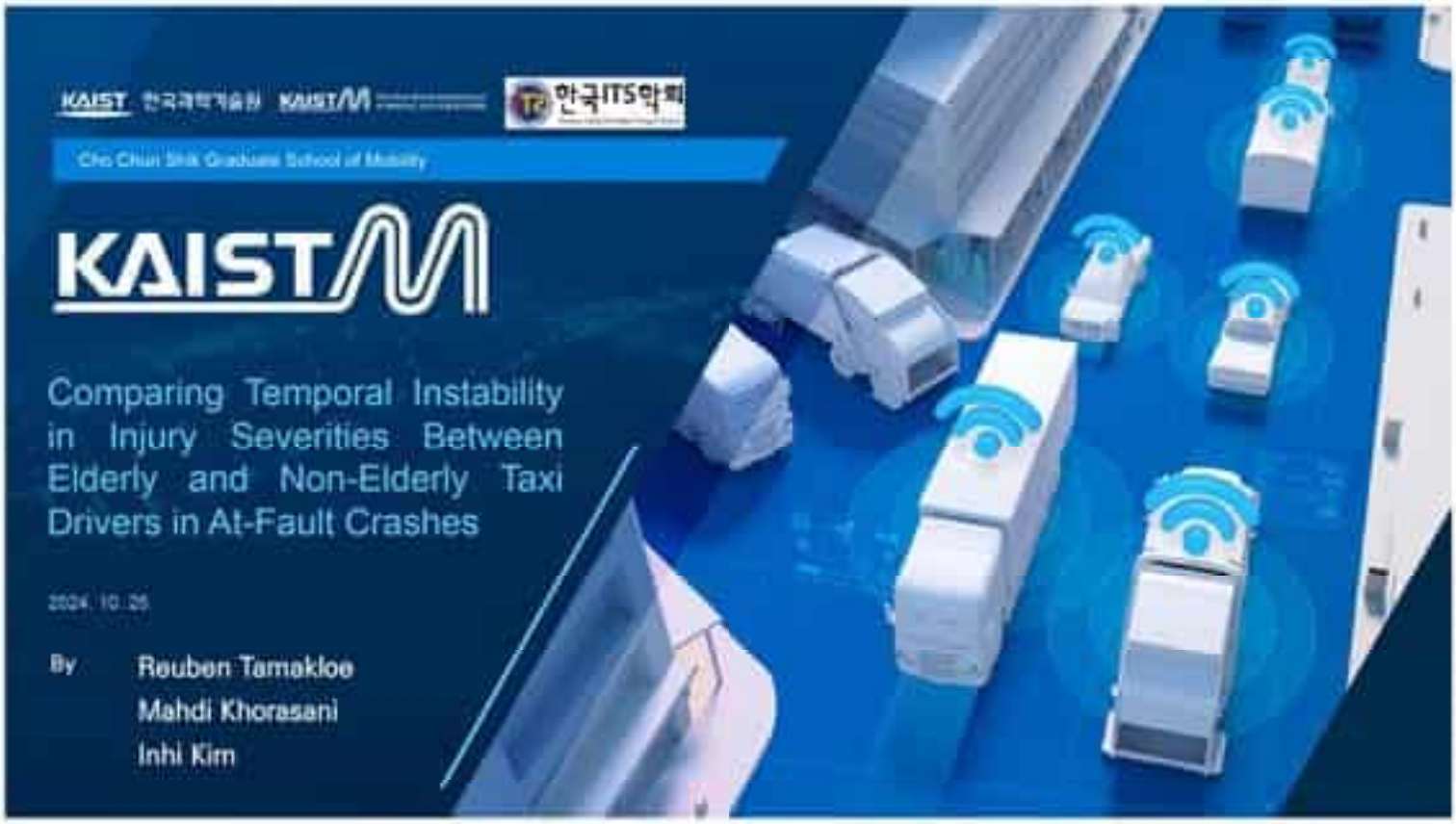
Cox model with time-varying covariates

- ✓ Better at capturing the short-term, time-varying effects of factors like traffic volume, weather conditions.
- ✓ Traffic volume and rainy conditions show strong, significant effects in the Cox model, suggesting that time-varying covariates have a dynamic influence on the interval between accidents.
- ✓ To understand how accident risk evolves dynamically over time (e.g., how traffic volume and weather affect accident intervals)

Traditional crash frequency model Poisson/Negative binomial model

- ✓ The traditional model shows that road segment length, snow conditions, and curves are significant predictors of accident frequency.
- ✓ However, the traditional model fails to capture the significant impact of traffic volume and rainy conditions seen in the Cox model.
- ✓ To model the overall frequency of accidents on different road segments, considering factors like road length and seasonal conditions, the Negative Binomial model provides a good fit by handling overdispersion and accounting for more accident variability.

Thank you for listening


KAIST 한국과학기술원 KAIST/M
한국ITS학회
Cho Chun Shik Graduate School of Mobility
KAIST/M
Comparing Temporal Instability in Injury Severities Between Elderly and Non-Elderly Taxi Drivers in At-Fault Crashes
2024. 10. 25
By Reuben Tamakloe
Mahdi Khorasani
Inhi Kim

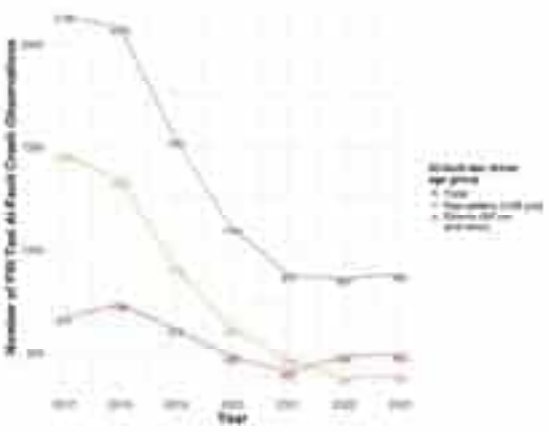
KAIST 한국과학기술원 KAIST/M
Contents
01 Background
02 Novelty and significance of study
03 Methodology
04 Data description
05 Results and discussions
06 Conclusions

Background

KAIST

Why is studying elderly drivers' involvement in crashes important?

- Increased **involvement** of **elderly individuals** in development and economic **activities**, impacting sectors such as **transportation** *(UN, 2024; United Nations, 2023)*
- **Taxis** gaining increased importance by offering essential **point-to-point** urban mobility, with **ridership** surging during the **COVID-19** pandemic *(Sogbe, 2021)*
- **Taxi** drivers face a higher crash risk than non-professional drivers, often due to **fatigue** and **risky driving** behaviors *(Johnson et al., 1999, Dai et al., 2023)*
- **South Korea**'s taxi driver number **decreased** by 12.08% from 2018-2023, while **elderly** drivers **increased** by 42.66% *(Ministry of the Interior and Safety, 2023)*
- Increased crashes with advancing **age**, **higher** speeds, **weekend driving**, and **driving experience**. *(Lee et al., 2020)*



Background

KAIST

What we know so far

- **Occupational demands** and financial pressures **increase working** hours, exposure to **hazardous** situations, and **traffic violations** *(Peng et al., 2020, 2024)*
- **Fatigue** among taxi drivers, leading to **poor sleep quality** and **increased crash** risks. *(Meng et al., 2015, Jaydarifard et al., 2024)*
- Taxi drivers are more likely to engage in **aggressive driving behaviors**, contributing to increased crash risk, often driven by **financial strain**, **job stress**, and **long working hours**. *(Hussain et al., 2023)*
- **Aggressive driving**, poor **seat belt** usage, and **fatigue**, increasing the likelihood of property **damage-only** incidents and **personal injury** crashes. *(Wang, Zhang, et al., 2019)*
- **Ride-hailing** services provide **convenience** and **flexibility**, but instability in industries leads to complex driving behaviors, **financial pressures**, fatigue, and workplace stress, potentially increasing crash risks and **injury severity**. *(Sun et al., 2019)*

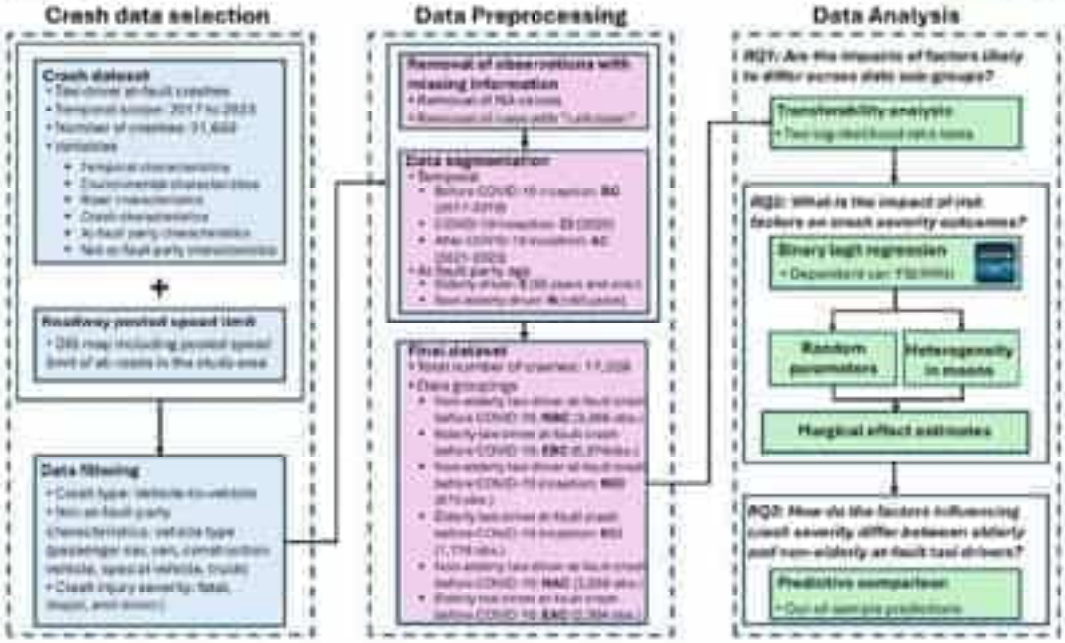
02. Novelty and significance of study

Novelty and significance of study

- Investigating the **stability** of **factors** affecting **injury severity** outcomes in **taxi** drivers **at-fault** crashes in Seoul during **pre-**, **during**, and **post-COVID-19** periods.
- Focusing on the differences in crash risk factor impacts between **elderly** and **non-elderly** drivers.
- Identifying which **risk factors impact** on crash **injury severity** outcomes – and which factors **show variations** in their impacts across different data **subgroups**.
- Identifying **differences** between **elderly** and **non-elderly** taxi driver at-fault crash **injury severity** outcomes.

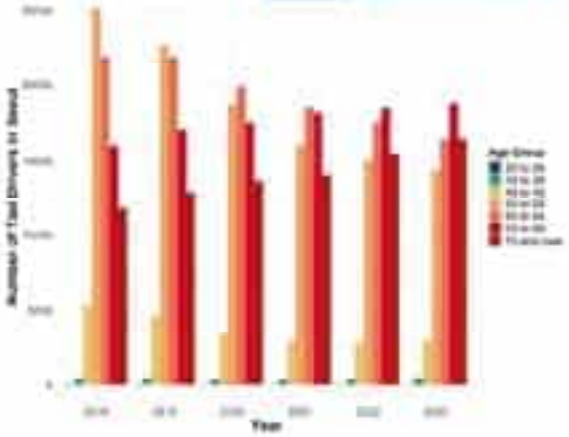
03. Methodology

Study approach



Spatial and temporal scope selection

- rom 2017 to 2023, **Seoul's population decreased** from 9.7 million to 9.3 million, but its **elderly population rose** from 1.3 million to 1.7 million.
- The **growing elderly population**, **labor shortage**, and **easy taxi driver** qualification requirements have led to a significant increase in elderly taxi drivers.
- In 2023, elderly drivers made up approximately **50.7%** of all taxi drivers in Seoul, a **26.8% increase** since 2018.
- **Changes** in **taxi** drivers' **behaviors** and factors affecting the **severity** of **taxi driver** at-fault crash injuries in South Korea.



Key observations

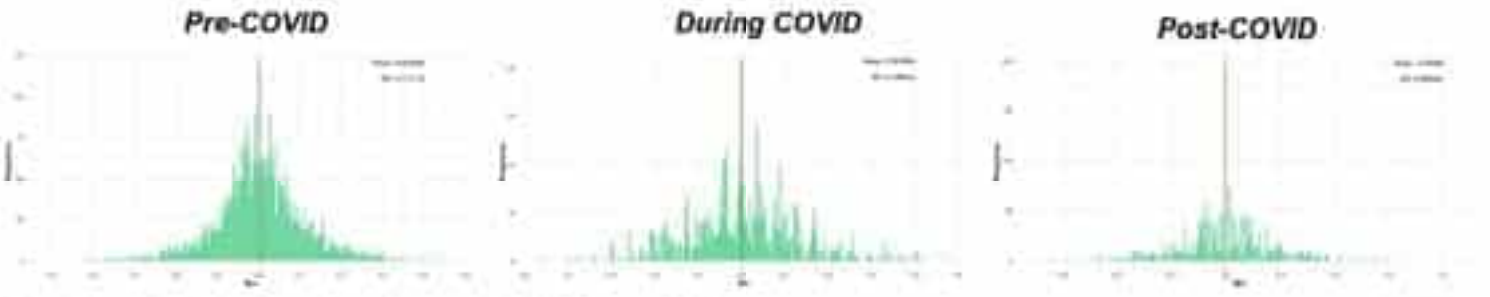
- Crashes were most frequent **between 20:00 and 23:00**, particularly among **non-elderly taxi drivers**.
- **Weekdays** had the highest crash rates across all age groups and years.
- **Clear weather conditions** were associated with the highest number of crashes.
- **Sideswipes** were the most frequent crash type.
- Most **crash victims** were **male**, **driving passenger cars**, and **predominantly aged 30-39**.
- The most common violation among drivers was **the failure to comply with safe driving obligations**.

What affects FSI crashes?

- **Time of Crash:** Crashes during 12–3 AM and 4–7 AM, especially for non-elderly drivers, had a higher likelihood of FSI outcomes due to low visibility and driver fatigue.
- **Day of Week:** Weekday crashes generally increased FSI risks, but elderly drivers showed lower risks on weekdays, with age impacting crash severity.
- **Weather Condition:** Clear weather reduced FSI risks for elderly drivers, while inclement weather increased crash severity due to age-related visibility and reaction issues.
- **Road Surface Condition:** Dry and wet pavements raised FSI risks compared to snow/ice roads, especially for both elderly and non-elderly drivers.
- **Posted Speed Limit:** Higher speed limits (60 km/h+) significantly increased FSI risks, particularly for elderly drivers, with greater risks post-COVID-19.Crash Type: Rear-end collisions had higher FSI risks, while sideswipes were less severe; head-on collisions were especially dangerous for elderly drivers.
- **Crash Location:** Crashes inside intersections had higher FSI risks due to complex traffic interactions, especially for professional drivers.
- **Not-at-fault Party Gender and Age:** Male not-at-fault drivers had lower FSI risks, while older drivers (50-59, 65+) faced higher injury severity, especially in crashes involving elderly drivers.
- **Not-at-fault Party Injured Area:** Foot injuries significantly increased FSI risks, particularly for elderly drivers before and during COVID-19.
- **Not-at-fault Party Vehicle Type:** Crashes involving passenger cars or trucks had lower FSI risks compared to special vehicles like ambulances, which are prone to severe collisions.
- **Traffic Violations:** Signal violations significantly increased FSI risks, especially for elderly drivers, while maintaining a safe distance reduced FSI risks.
- **Intersection Crashes:** Crashes inside intersections on weekdays had higher FSI risks due to increased traffic and complex driving behaviors.

Predictive comparisons

- **Out-of-sample simulations**
  Simulations explored **differences** in **injury severity** between **elderly** and **non-elderly** taxi drivers, considering factors like **vision**, **reaction time**, and **driving behavior**.
- **Elderly drivers** tend to have **worse vision and slower reactions**, while **non-elderly** drivers may have **less experience** and drive **more aggressively**.
- **Pre-COVID Predictions**: Using non-elderly crash data to predict elderly outcomes **slightly overestimated FSI** probabilities pre-COVID (by 0.0044) and during COVID (by 0.0017).
- **Post-COVID Predictions**: After the pandemic (2021-2023), the model **underestimated FSI** outcomes for **non-elderly** drivers by -0.0020, likely due to **improved driving behavior** from **safety awareness** and **measures**.
- The **growing disparity** between **elderly** and **non-elderly** driver injury severities suggests an increasing **separation in crash outcomes post-pandemic**.



Key findings

- Crashes during **late-night hours** and under **certain road conditions**, like dry and wet pavements, increase FSI risks, **particularly for non-elderly drivers**.
- **Elderly** drivers are **more vulnerable** in **high-speed collisions** and **complex traffic situations**, while **non-elderly** drivers are more likely to engage in **risky driving** during **high-risk** periods.

Policy implications

- Increased road safety patrols and driver fatigue **awareness programs** are necessary to address the heightened FSI risks for non-elderly drivers during late-night hours.
- **Mandatory assessments**, enhanced training, and educational programs for elderly drivers, alongside regular license screening and improved intersection design, are crucial for mitigating crash risks.
- **Stronger police enforcement**, deployment of CCTV at intersections, and monitoring risky behaviors through taxi management systems can help reduce crash severity, especially for elderly drivers on high-speed roads.

Thank you for listening

KAIST 한국과학기술원 KAIST

한국ITS학회

동남아시아를 중심으로 한 도로 안전 연구: 서지학적 및 주제 분석

A review of road safety research in Southeast Asia: insights from bibliometric and thematic analyses

Paolo Ian Lucero
(한국과학기술원, 박사과정)

Kitae Jang
(한국과학기술원, 교수)

Key Words : literature review, traffic safety, road safety, research themes, research trends, Southeast Asia

목 차

Ⅰ. Introduction
Ⅱ. Related Literature
Ⅲ. Methods
Ⅳ. Results & Discussion
Ⅴ. Conclusion

Ⅰ. Introduction

According to a 2023 global status report from the World Health Organization (WHO), efforts related to the improvement of road safety were somehow effective in the past decade. The report cites a 5% drop in road traffic deaths in 2021 (1.19 million deaths) in comparison to the numbers in 2010 (1.25 million deaths) [1]. The reduction of road traffic deaths came from almost more than half of all the United Nations (UN) Member States from 2010-2021. However, this progress is far from the target of the UN Decade of Action for Road Safety 2021-2030: to reduce road traffic deaths by 50% by 2030 [2].

About 92% of road traffic deaths were identified to have occurred in upper-middle (44%), lower-middle (35%), and low-income countries (13%). High-income countries (8%) have the least share [1]. These statistics highlight the differences in road safety outcomes based on economic classification. The motivation for this paper lies in exploring these differences within Southeast Asia, a region characterized by a wide range of income levels and road safety challenges.

From a report published by WHO, Southeast Asia is composed of three upper-middle-income countries, six low-middle-income countries, and two high-income countries. Detailed information is shown in Table 1, as extracted from WHO's database [3], [4]. Also shown in the same table are the estimated road traffic death rates per country and the global road traffic death rates based on income classification.

This paper aims to analyze road and traffic safety research across different settings and sets Southeast Asia as the geographical focus for several reasons:

1. While diverse, countries in the region share certain characteristics in culture, economic activities, and infrastructure development that can be comparable factors on road safety influence.
2. Among the region's countries, there are common challenges related to urbanization, law enforcement, and infrastructure development.
3. The region includes a wide range of income levels, from high-income countries like Singapore and Brunei to emerging economies like Cambodia and Myanmar.
4. A regional focus may result in more valuable insights in terms of road safety strategies that may further reduce road traffic deaths.

Through the analysis of road and traffic safety research trends and themes, specific needs, challenges, and research gaps faced by countries with high road traffic death rates may be identified and compared to countries with certain success rates in promoting road safety strategies. It is worth noting that Brunei is the only country in Southeast Asia to achieve the target reduction of at least 50% in fatality numbers as based on the Decade of Action for Road Safety 2011-2020 [1]. By limiting the scope of the

study to Southeast Asia, findings may provide more understanding in a more local and cultural context.

The remaining parts of this paper are organized as follows. In the following section (2), a brief review of related literature and similar works is presented. In the third section (3), details of the document selection are presented, including how the bibliometric analysis and thematic analysis were applied in the review. Section 4 contains a discussion of the findings of the literature review, while the last section concludes the paper.

<Table 1> Income level classification in Southeast Asia and corresponding estimated road traffic death rates (Data Source: World Health Organization)

World Bank Analytical Classifications (presented in World Development Indicators) GNI per capita in US$ (Atlas methodology)						
Bank's fiscal year	FY20	FY21	FY22	FY23	FY24	
Data for calendar year	2018	2019	2020	2021	2022	
Low income (L)	<= 1,025	<= 1,035	<= 1,045	<= 1,085	<= 1,135	
Lower middle income (LM)	1,026-3,995	1,036 - 4,045	1,046 - 4,095	1,086 - 4,255	1,136 - 4,465	
Upper middle income (UM)	3,996-12,375	4,046 - 12,535	4,096 - 12,695	4,256 - 13,205	4,466 - 13,845	
High income (H)	> 12,375	> 12,535	> 12,695	> 13,205	> 13,845	
COUNTRY						Estimated Road Traffic Death Rate (per 100,000 population) 2021
Thailand	UM	UM	UM	UM	UM	25.4
Myanmar	LM	LM	LM	LM	LM	19.3
Cambodia	LM	LM	LM	LM	LM	18.8
Vietnam	LM	LM	LM	LM	LM	17.7
Lao	LM	LM	LM	LM	LM	16.4
Malaysia	UM	UM	UM	UM	UM	13.9
East Timor (Timor-Leste)	LM	LM	LM	LM	LM	12.0
Indonesia	LM	*UM*	*LM*	LM	*UM*	11.3
Philippines	LM	LM	LM	LM	LM	9.7
Brunei	H	H	H	H	H	3.6
Singapore	H	H	H	H	H	1.9
				GLOBAL RATE	L	21.0
					LM	16.0
					UM	16.0
					H	8.0

II. Related Literature

In recent years, several papers have also focused on analyzing road and traffic safety concerns based on economic classification. Heydari et al. (2019) put emphasis on low-income countries, citing the inadequacy of standards related to road safety [5]. This led the researchers to review current knowledge in countries mostly in the region of Africa, a few other countries from Asia (Afghanistan, Nepal, & North Korea), and one country coming from the Americas (Haiti). Through the Safe Systems framework and the UN Decade Action for Road Safety, key focus areas that were identified in the research included under-reporting, global best practices, vulnerable groups, disabilities, road crash costing, vehicle safety, proactive approaches, data challenges, social and behavioral aspects, as well as capacity building [5].

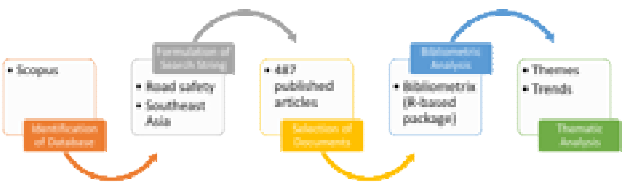
On the other hand, research by Gupta & Bandyopadhyay (2020) focused on the effectiveness of road engineering and regulatory interventions in the prevention of road traffic injuries and fatalities, this time, including both low- and middle-income countries. Malaysia, Brazil, Pakistan, Ghana, Southern Africa, and Vietnam are some of the countries included in the review paper [6]. The study included the relationship of road traffic injuries and fatalities to road engineering interventions (speed humps, rumble strips, road markings, etc.), and traffic law enforcement (helmet law, speed, red-light cameras, etc.), also highlighting the unique settings of low- and middle-income countries [6].

In a more recent publication, Goel et al. (2024) focused on identifying existing literature evidence related to road safety interventions among countries belonging to different income classifications. However, most of the countries in the review paper belong to high-income countries (96%). Upper-middle-income countries (4.5%) and lower-middle and low-income countries (1.4%) were also included in the study. Findings of the research show that interventions related to human factors in terms of enforcement and road user education were the most studied, while interventions related to hospital care and vehicle safety features were the least studied [7].

In the context of this literature paper set in Southeast Asia, high-income, upper-middle-income, and lower-middle-income countries will be included. As extracted from Scopus, upper-middle-income publications comprise the most at 72%, followed by lower-middle-income countries at 20%, and high-income countries at 8%.

III. Methods

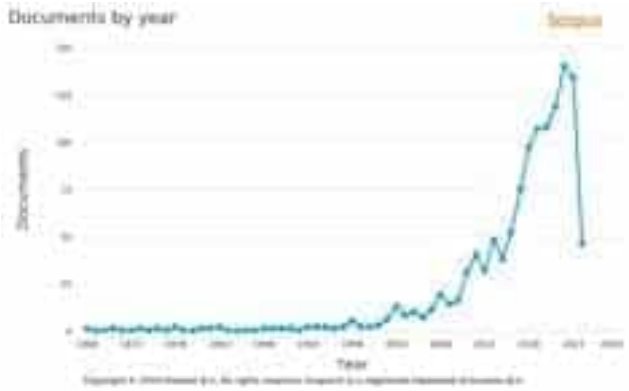
This study uses two primary methods: bibliometric analysis and thematic analysis. Bibliometric analysis is used to quantify and map the research landscape of road safety studies in Southeast Asia, with Scopus serving as the primary data source. Scopus is among the top research databases, offering comprehensive coverage across a wide range of scientific disciplines, including social sciences to transportation engineering. Aside from Scopus' reputation of maintaining quality research papers through peer-reviewed publications, the database was also identified and chosen due to its provision of organized metadata for bibliometric analysis. It is also used in various large-scale research projects, government-related policy evaluations, as well as university rankings, which further establishes its reliability as a sufficient bibliometric data source for a review paper with a regional focus [8]. For this paper, a summary of procedures is shown in Figure 3.1.



<Figure 3.1> Summary of literature review procedures

1. Selection of Documents

There are a total of 487 selected documents from Scopus for this paper. The process of how documents were narrowed down to this number is shown in Table 2. Search String 1 contains the countries in Southeast Asia, while Search String 2 contains general terms in the field of road safety. These search strings are combined to come up with 1,206 documents.



<Figure 3.2> Distribution of published documents by year based on search strings 1 and 2

2. Timeline distribution of 1,206 documents

Based on the search strings implemented in Scopus, published research in the road safety field dates as far back as 1968 (1 published document). The cumulative number of publications from 1968 to 2000 is only 32 documents. The trend of documents per year is shown in Figure 3.2. Research in the road safety field started increasing after the year 2000 and continued to rise until recent years. For this matter, this review will focus on published literature in the last 10 years and will only include published articles in journals. To differentiate and provide better distinction, the bibliometric analysis of articles is separated based on the income classification of countries.

Other filters implemented for the selection of documents include language, document source, Scopus subject categories, and document types. These are all shown in Table 3.1.

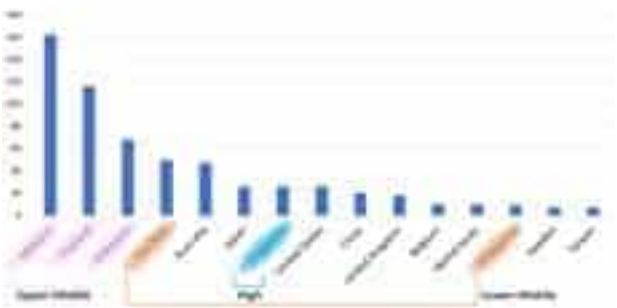
To be able to conduct the bibliometric analysis, data were extracted from Scopus per income classification of countries and were processed and analyzed using Bibliometrix, a package specifically designed for bibliometric analysis based on R [9]. More specifically, co-occurrence of keywords analysis was applied using Leiden algorithm [10] to come up with clusters per income classification of countries. From each cluster, the most influential papers were identified through their total citation count and were grouped according to their topics for thematic analysis. Visualization of the data set was also implemented through Bibliometrix.

<Table 3.1> Search strings and document search process in Scopus

No.	Date Conducted: 5/22/2024 SEARCH STRING	Documents Found Scopus
1	cambodia OR myanmar OR lao OR laos OR "east timor" OR "timor leste" OR vietnam OR "viet nam" OR indonesia OR philippines OR thailand OR brunei OR malaysia OR singapore OR asean OR "southeast asia"	646,246
2	"road accident*" OR "pedestrian saf*" OR "traffic saf*" OR "road saf*" OR "road crash*" OR "traffic crash*" OR "road traffic crash*" OR "vehicular accident*" OR "driving behavi*r"	68,784
3	(**SEARCH STRING 1**) AND (**SEARCH STRING 2**)	1,206
4	(SEARCH STRING 1) AND (SEARCH STRING 2) + (**YEAR 2014-2024**)	964
5	(SEARCH STRING 1) AND (SEARCH STRING 2) + (YEAR 2014-2024) + (**ENGLISH**)	960
6	(SEARCH STRING 1) AND (SEARCH STRING 2) + (YEAR 2014-2024) + (ENGLISH) + (**SOURCES: Journal**)	898
7	(SEARCH STRING 1) AND (SEARCH STRING 2) + (YEAR 2014-2024) + (ENGLISH) + (SOURCES: Journal) + (**Subject Area: Engineering, Social Sciences, Computer Science, Environmental Science, Physics and Astronomy, Materials Science, Decision Sciences, Energy, Mathematics, Multidisciplinary, Economics, Econometrics and Finance, Chemical Engineering**)	787
8	(SEARCH STRING 1) AND (SEARCH STRING 2) + (YEAR 2014-2024) + (ENGLISH) + (SOURCES: Journal, Conference Proceeding) + (Subject Area: Engineering, Social Sciences, Computer Science, Environmental Science, Physics and Astronomy, Materials Science, Decision Sciences, Energy, Mathematics, Multidisciplinary, Economics, Econometrics and Finance, Chemical Engineering) + **(Document Type: Article)**	487
SCOPUS BOOLEAN SEARCH STRING	TITLE-ABS-KEY((cambodia OR myanmar OR lao OR "east timor" OR "timor leste" OR vietnam OR indonesia OR philippines OR thailand OR brunei OR malaysia OR singapore OR asean OR "southeast asia") AND ("road accident*" OR "pedestrian saf*" OR "traffic saf*" OR "road saf*" OR "road crash*" OR "traffic crash*" OR "road traffic crash*" OR "vehicular accident*" OR "driving behavi*r")) AND PUBYEAR > 2013 AND PUBYEAR < 2025 AND (LIMIT-TO (SRCTYPE,"j")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA,"ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA,"SOCI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA,"COMP") OR LIMIT-TO (SUBJAREA,"ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA,"PHYS") OR LIMIT-TO (SUBJAREA,"MATE") OR LIMIT-TO (SUBJAREA,"DECI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA,"ENER") OR LIMIT-TO (SUBJAREA,"MATH") OR LIMIT-TO (SUBJAREA,"MULT") OR LIMIT-TO (SUBJAREA,"ECON") OR LIMIT-TO (SUBJAREA,"CENG")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE,"ar")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE,"English"))	**487**
REGIONAL	SCOPUS BOOLEAN SEARCH STRING + LIMIT TO (asean OR "southeast asia")	29
HIGH-INCOME	SCOPUS BOOLEAN SEARCH STRING + LIMIT TO (brunei OR singapore)	40
UPPER MIDDLE-INCOME	SCOPUS BOOLEAN SEARCH STRING + LIMIT TO (indonesia OR thailand OR malaysia)	349
LOWER MIDDLE-INCOME	SCOPUS BOOLEAN SEARCH STRING + LIMIT TO (cambodia OR myanmar OR lao OR laos OR "east timor" OR "timor leste" OR vietnam OR "viet nam" OR philippines)	96

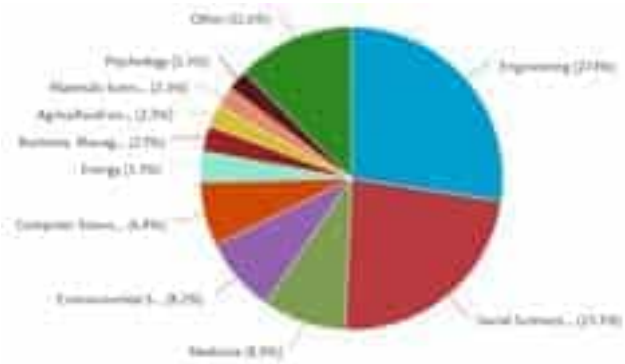
IV. Results & Discussion

Based on the implemented search strings in Scopus and other filters in the document selection process, the distribution of the papers (top 15) is summarized in Figure 4.1. All three countries belonging to the upper-middle income classification comprise the top 3. Out of the six countries belonging to the lower-middle-income category, two countries are in the top 15, with Vietnam ranking 4th and the Philippines ranking 13th in terms of the number of published documents in Scopus. Only Singapore (1 out of 2) from the high-income classification belong to the same list.



<Figure 4.1> Distribution of journal articles based on search strings 1 and 2 (Top 15, Source: Scopus)

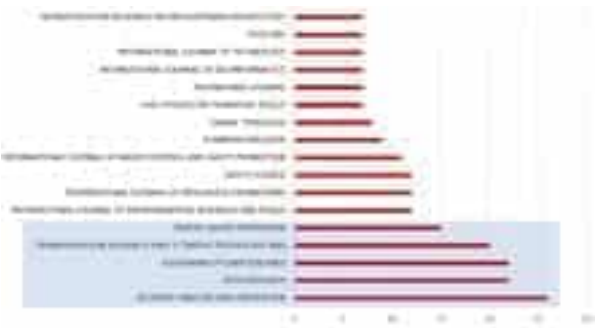
In Figure 4.2, a summary of how the selected documents are classified by Scopus subject area is shown. Even though some of the subject areas were explicitly excluded in Scopus, there is still some road safety-related research that falls into other categories (e.g., Medicine, Business, Management, Psychology). About 27% of the selected documents are classified under Engineering, while about 23% are classified under Social Sciences.



<Figure 4.2> Selected publications (487 documents) by subject area (Source: Scopus)

In terms of sources, Accident Analysis and Prevention ranks 1st among journals in terms of road safety publications in Southeast Asia. Other journals in the top 5 in terms of number of published documents include *IATSS Research* (2nd), *Sustainability (Switzerland)* (3rd), *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* (4th), and *Traffic Injury Prevention*.

Considering the authors of the selected documents, a list of the top 10 based on the number of documents produced is shown in Figure 4.4. All the authors in the top 3 come from Thailand.



<Figure 4.3> Selected publication (487 documents) by journal source (Source: Scopus)

1. Bibliometric Analysis

To achieve the objective of this paper which focuses on determining research themes and trends in Southeast Asia

<Figure 4.4> Selected publication (487 documents) by author (Top 10, Source: Scopus)

across income classifications, keywords co-occurrence analysis was utilized as the main bibliometric analysis tool among various options in Bibliometrix.

More specifically, between keywords plus and author's keywords, the latter was chosen to come up with a clustering that is more specific to the context of the region as described by local authors. In general, keywords plus cover a broader context because they include words generated by algorithms, while the author's keywords are chosen by the author themselves and are more related to the content of the article [11]. The assumption in this part is that the authors of the research would choose the keywords that would best describe their work, which will also be related to the main references that they used in their work.

In Figures 4.1.1, 4.1.2, and 4.1.3, the identified themes and trends per income classification in Southeast Asia are shown. These are based on the clusters produced from the co-occurrence analysis of keywords. The bibliometric tool produced five (5) connected clusters for lower-middle-income countries, (6) six connected clusters for upper-middle-income countries, and (2) two connected clusters for high-income countries. For high-income countries, since it only comprises about 8% of the selected published documents, limited author's keywords were observed, and thus, keywords plus were used instead of author's keywords to come up with clusters. Documents belonging to each cluster were identified, and the topics and themes of the top 10 most influential papers per cluster in terms of total citations were analyzed and then grouped accordingly. If a cluster identifies more than one topic or theme, this is also accounted for. This means that the identified topics and themes are not automatically identical to the number of clusters per income classification.

<Figure 4.1.1> Identified research themes in lower-middle-income countries in Southeast Asia

<Figure 4.1.2> Identified research themes in upper-middle-income countries in Southeast Asia

<Figure 4.1.3> Identified research themes in high-income countries in Southeast Asia

2. Thematic Analysis

The identified research themes and topics from the selected documents with the most number of total citations in each cluster were quantified and estimated, as shown in Figure 4.2.1. Research related to motorcycle safety is the most discussed topic among lower-middle-income countries. The same topic ranks 2nd among upper-middle countries. For both lower-middle-income and upper-middle-income countries, driving behavior is also a prominent theme, with a focus on young drivers for lower-middle-income countries. Research related to pedestrian behavior comprises a considerable amount of literature across all income classifications. For upper-middle-income countries, the top research theme includes studies related to traffic accidents, more specifically to traffic crashes and corresponding factors related to road traffic fatality and severity. A bulk of research topics in high-income countries are categorized under urban planning, which includes studies related to transport network analysis, urban morphology, urban traffic signals management, traffic information dissemination, and mobility patterns. For upper-middle-income countries, research on autonomous vehicles is an emerging theme, with an emphasis on its corresponding challenges and opportunities. In high-income countries, research on autonomous vehicles is more focused on human-vehicle interactions.

<Figure 4.2.1> Share of identified themes across income classifications in Southeast Asia

3. Key Findings & Discussion

Similarities between income categories - road crash analysis

Analysis of traffic crashes in terms of severity, hotspot identification, spatiotemporal patterns, and factors affecting crashes are common research themes across SEA countries, with upper-middle-income countries having the highest share. Road accidents are a major concern in

Indonesia, and these are highlighted in research related to understanding the problem through macro data analysis of road accident data in the country [12], identification of accident hotspot locations and corresponding quantity of traffic accidents [13], analysis of road injury severity and fatality [14], and the determination of traffic accident costs [15]. In Malaysia, road traffic accidents are identified as one of the country's top five causes of death [16]. Top-cited road crash research in Malaysia includes a focus on the spatial and temporal pattern analysis of road traffic crashes [16], [17], [18], and severity of injuries related to heavy vehicles [19] and rural mountainous highways [20]. Still under upper-middle-income countries, similar research themes are observed in Thailand, the country that ranks first in terms of estimated road traffic death rate according to a 2021 report from the World Health Organization [4]. Key road crash studies in Thailand with the most number of total citations include a focus on spatiotemporal patterns of accident hotspots or high-risk accident areas [21], [22], and identification of factors related to road traffic injury severity [23], [24]. For lower-middle-income countries, top-cited road crash research includes an analysis of factors associated with traffic crash fatalities in Vietnam [25], [26], and the determination of related costs to risk reduction of fatalities in Myanmar [27]. For high-income countries, studies related to road crashes also include identification of hotspots with a focus on expressways [28], risk factors associated with severe injuries in children and adolescents [29], and the relationship of the number of accidents to vehicle visibility [30].

Research on motorcycle safety in lower-middle-income and upper-middle-income countries

A large amount of research in lower-middle-income and upper-middle-income countries focuses on motorcycle safety. Among six countries belonging to the lower-middle-income category, most of the studies come from Vietnam, Cambodia, and Myanmar. In Vietnam, the top-cited research on motorcycle safety involves the analysis of the relationship between mobile phone use and motorcycle crashes among university students [31]. Other key motorcycle-related studies in terms of total citations include topics on app-based motorcycle taxis, citing a relatively high prevalence of crashes among its users, which is also linked to the use of mobile phones [32], [33]. Studies related to motorcycle taxis also discussed risky driver behaviors related to unhealthy lifestyles, such as smoking and drunk driving [34]. Furthermore, motorcycle safety studies in Vietnam also focused on food delivery motorcycle drivers and the associated impacts of risky riding behavior coming from job burnout, job resources, and other job demands [35]. In Myanmar, top-cited studies are related to the use of motorcycle helmets with a focus on innovations for enforcement related to the detection of helmet use [36], [37]. Cambodia's motorcycle safety studies, on the other hand, include traffic accident analysis focused on a younger demographic, citing incidences related to unlicensed motorcycle riders [38]. It is not required for motorcycle users in Cambodia to have a license if the motorcycles that they are using are below 125 cubic capacity (cc) [38]. For upper-middle-income countries, motorcycle safety is also a key concern. In Thailand, there are studies related to the comparison of urban and rural motorcycle crashes [39], with findings citing that fatalities may be more likely on highways than on rural roads, although a higher number of fatalities on dark rural roads is observed [40]. Other studies in Thailand discussed motorcycle crash severities on arterial roads [41], as well as the effects of motorcycle taxi services on the walkability of the built environment near transit stations [42]. Thailand is also reported to rank 1st in Asia and 9th in the world when it comes to road accidents, and in 2020, it was also reported that among the 41 million registered vehicles in the country, it is estimated that half of them are motorcycles [40]. In Malaysia's case, research is more focused on analyzing motorcycle driver behaviors and other associated factors linked to risky driving behaviors [43], [44], [45]. On another note, the top-cited paper in Indonesia on motorcycle safety involves the investigation of related factors to the traffic violations committed by young motorcycle drivers, suggesting the need for policy formulation specifically designed to reduce traffic violations of the younger demographic [46].

Active and shared mobility research in high-income countries

One notable research difference between high-income countries and other countries in Southeast Asia is the former's focus on active and shared mobility. Country resources and user behaviors can be the main factors related to this research difference. In Singapore, factors influencing the use of shared electric scooters were analyzed, and it was found that the preference to use e-scooters may increase if they are quicker and are not operated on sidewalks [47]. However, since 2018, Singapore has already implemented a rule in which off-road footpaths must be shared by both pedestrians and active mobility users such as bicycle and e-scooter users [48]. This may be the reason why recent studies are now focused on analyzing users' attitude behavior in shared spaces [48] or shared footpaths [49], citing safety concerns and overtaking behavior in non-motorized spaces [50]. The

potential for accessibility improvements and carbon emission reduction through active and shared mobility was also highlighted in these studies.

Promoting road safety through research on autonomous vehicles

Human error is among the top factors attributed to road crashes [51] and one of the fundamental principles of the application of autonomous vehicles is the reduction of these errors. Through the automation of vehicles, road crashes can be reduced, economic benefits may be obtained, and carbon emissions may be lessened [52]. However, the technology's safety itself is also a key concern that affects the acceptance of the public to its use. For upper-middle-income countries, research on autonomous vehicles is an emerging theme. In Thailand, a study focused on forecasting the adoption of autonomous vehicles through the application of a technology acceptance model, and the findings show that significant factors affecting the intention of autonomous vehicle use are related to ethical standards, legal concerns, and trust in the new technology as well [53]. In Malaysia, stakeholders and experts were interviewed to understand the challenges and opportunities associated with the integration of autonomous vehicles into the country's transportation system, and it was highlighted that careful policy formulation and infrastructure development would be key factors in promoting a sustainable and inclusive transportation system with the new technology [54]. For high-income countries like Singapore, research on autonomous vehicles has advanced to the assessment of pedestrian safety considering its interaction with the technology's environment [55], as well as crash risk evaluation in vehicle-pedestrian interactions [56]. Research in Singapore also extended to the possible planning method for the use of urban air mobility [57].

Differences in research themes between income categories - behavior studies vs. infrastructure planning

The differences between income classification of countries in Southeast Asia extend to observable distinct research themes based on possible varying resources and priorities of middle-income countries and high-income countries. In middle-income countries, it can be observed that there is a significant amount of research allotted to understanding the risky behaviors of road users. On the other hand, high-income countries' research themes tend to focus more on the infrastructure aspects of road safety. This key difference may be attributed to resources available between income categories. It is evident that for middle-income countries, motorcycle safety is one of the major concerns, with topics related to mobile phone use behavior and helmet compliance. The motorcycle industry in Southeast Asia is still growing fast. According to reported statistics from an ASEAN Data Portal, the estimated number of motorcycles in the region was about 102 million in 2017, and it grew to about 130 million in 2020 [58]. Reasons related to the prevalent use of the transport mode may include its economic aspect on personal costs, flexibility in weaving through congested roadways, as well as its associated low maintenance and fuel consumption [59]. In some countries like Cambodia, the license is not even needed when motorcycles do not reach a specific engine design [38]. In these conditions, motorcycle safety concerns further compound to crashes associated with unlicensed users, more specifically, the younger demographic [46]. To address these concerns in a more economical and feasible way, researchers focus on promoting safe driving behavior and better policy formulations. In Malaysia, studies in recent years now include an emphasis on road safety education for primary schools [60], promoting road safety awareness to children through the development of an application [61], and analyzing the effects of road safety education on the behavior of school students [62]. These interventions are catered to the local context of these countries and may also reflect the relatively limited infrastructure development related to road safety, and thus, focus is shifted to immediate solutions that are more actionable and practical. In high-income countries like Singapore, research themes observed are more related to infrastructure and urban planning. There is an emphasis on the design of pedestrian and cyclist infrastructure in relation to active mobility [50]. Research themes in Singapore also include transport network analysis, urban morphology, urban traffic signals management, traffic information dissemination, and mobility pattern analysis. Of course, this difference may be attributed to the relatively higher resources of high-income countries in comparison to middle-income countries. The focus on behavior analysis in middle-income countries is rooted in the necessity to provide solutions to road safety issues that are within the limits of existing infrastructure and resources. On the other hand, high-income countries with advanced road safety infrastructure designs and higher resources can focus on more holistic approaches in terms of urban planning and technological advancements. However, despite differences in resources among countries in the Southeast Asian region, a key research question can be raised between interventions that promote behavioral change and improved behaviors resulting from infrastructure change. To reduce road traffic deaths in the region, should we focus on changing risky behaviors, or should we start investing more in infrastructure

development, which can lead to better road safety behavior?

V. Conclusion

In this literature review paper, a general landscape of road safety research themes is presented in the context of Southeast Asia, a diverse region with certain similarities in road safety challenges but with varying economic classifications. Bibliometric analysis was applied to identify research themes and topics through the application of a keyword co-occurrence analysis tool. It is important to note that the paper is only limited to journal articles published in the last 10 years by Scopus. Since this review only focused on identifying research themes and topics in Southeast Asia, a more in-depth analysis of publications included in this review may result in more insights and unique perspectives. Findings in this study show key similarities and interesting differences in research themes between different income categories in the region. Future considerations involve possible reframing of research focus and shifting developments to cater to the road safety needs of any country with respect to its economic status. Ultimately, this review suggests more discussion on road safety research and interventions in relation to differences in economic priorities of different countries.

참고문헌

[1] “Global status report on road safety 2023,” World Health Organization, Geneva, ISBN 978-92-4-008651-7, 2023. Accessed: May 22, 2024. [Online]. Available: https://www.who.int/publications-detail-redirect/9789240086517

[2] “Improving global road safety,” United Nations, Resolution A/RES/74/299, Sep. 2020. Accessed: May 22, 2024. [Online]. Available: https://www.un.org

[3] “WDI – The World by Income and Region,” The World Bank. Accessed: May 23, 2024. [Online]. Available: https://datatopics.worldbank.org/world-development-indicators/the-world-by-income-and-region.html

[4] “Estimated road traffic death rate (per 100 000 population),” World Health Organization. Accessed: May 23, 2024. [Online]. Available: https://www.who.int/data/gho/data/indicators/indicator-details/GHO/estimated-road-traffic-death-rate-(per-100-000-population)

[5] S. Heydari, A. Hickford, R. McIlroy, J. Turner, and A. M. Bachani, “Road Safety in Low-Income Countries: State of Knowledge and Future Directions,” Sustainability, vol. 11, no. 22, Art. no. 22, Jan. 2019, doi: 10.3390/su11226249.

[6] M. Gupta and S. Bandyopadhyay, “Regulatory and Road Engineering Interventions for Preventing Road Traffic Injuries and Fatalities Among Vulnerable Road Users in Low- and Middle-Income Countries: A Systematic Review,” Frontiers in Sustainable Cities, vol. 2, 2020, doi: 10.3389/frsc.2020.00010.

[7] R. Goel et al., “Effectiveness of road safety interventions: An evidence and gap map,” Campbell Systematic Reviews, vol. 20, no. 1, 2024, doi: 10.1002/cl2.1367.

[8] J. Baas, M. Schotten, A. Plume, G. Côté, and R. Karimi, “Scopus as a curated, high-quality bibliometric data source for academic research in quantitative science studies,” Quantitative Science Studies, vol. 1, no. 1, pp. 377 – 386, Feb. 2020, doi: 10.1162/qss_a_00019.

[9] M. Aria and C. Cuccurullo, “bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis,” Journal of Informetrics, vol. 11, no. 4, pp. 959 – 975, Nov. 2017, doi: 10.1016/j.joi.2017.08.007.

[10] V. A. Traag, L. Waltman, and N. J. van Eck, “From Louvain to Leiden: guaranteeing well-connected communities,” Sci Rep, vol. 9, no. 1, p. 5233, Mar. 2019, doi: 10.1038/s41598-019-41695-z.

[11] J. Zhang, Q. Yu, F. Zheng, C. Long, Z. Lu, and Z. Duan, “Comparing keywords plus of WOS and author keywords: A case study of patient adherence research,” Journal of the Association for Information Science and Technology, vol. 67, no. 4, pp. 967 – 972, 2016, doi: 10.1002/asi.23437.

[12] A. Jusuf, I. P. Nurprasetio, and A. Prihutama, “Macro data analysis of traffic accidents in Indonesia,” Journal of Engineering and Technological Sciences, vol. 49, no. 1, pp. 133 – 144, 2017, doi: 10.5614/j.eng.technol.sci.2017.49.1.8.

[13] G. Sugiyanto, A. Fadli, and M. Y. Santi, “Identification of black spot and equivalent accident number using Upper Control Limit method,” ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, vol. 12, no. 2, pp. 528 – 535, 2017.

[14] S. P. Santosa, A. I. Mahyuddin, and F. G. Sunoto, “Anatomy of injury severity and fatality in Indonesian traffic accidents,” Journal of Engineering and Technological Sciences, vol. 49, no. 3, pp. 412 – 422, 2017, doi: 10.5614/j.eng.technol.sci.2017.49.3.9.

[15] G. Sugiyanto, “The cost of traffic accident and equivalent accident number in developing countries (Case study in Indonesia),” vol. 12, pp. 389 – 397, Jan. 2017.

[16] R. A. Rahman, M. M. H. M. Hussein, N. A. I. M. Saim, and M. Z. M. Tajuddin, “Analysis of Road Traffic

Crashes Data of Perak State in Malaysia," International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology, vol. 14, no. 2, pp. 266 - 276, 2023, doi: 10.30880/ijscet.2023.14.02.028.

[17] S. Shahid, A. Minhans, O. Che Puan, S. A. Hasan, and T. Ismail, "Spatial and temporal pattern of road accidents and casualties in peninsular Malaysia," Jurnal Teknologi, vol. 76, no. 14, pp. 57 - 65, 2015, doi: 10.11113/jt.v76.5843.

[18] Y. Darma, M. R. Karim, and S. Abdullah, "An analysis of Malaysia road traffic death distribution by road environment," Sadhana - Academy Proceedings in Engineering Sciences, vol. 42, no. 9, pp. 1605 - 1615, 2017, doi: 10.1007/s12046-017-0694-9.

[19] A. Azhar, N. M. Ariff, M. A. A. Bakar, and A. Roslan, "Classification of Driver Injury Severity for Accidents Involving Heavy Vehicles with Decision Tree and Random Forest," Sustainability (Switzerland), vol. 14, no. 7, 2022, doi: 10.3390/su14074101.

[20] R. Rusli, M. M. Haque, M. Saifuzzaman, and M. King, "Crash severity along rural mountainous highways in Malaysia: An application of a combined decision tree and logistic regression model," Traffic Injury Prevention, vol. 19, no. 7, pp. 741 - 748, 2018, doi: 10.1080/15389588.2018.1482537.

[21] N. Pleerux, "Geographic information system-based analysis to identify the spatiotemporal patterns of road accidents in sri racha, chon buri, Thailand," Current Applied Science and Technology, vol. 20, no. 1, pp. 59 - 70, 2020, doi: 10.14456/cast.1477.6.

[22] P. Sae-Ngow and N. Kulpanich, "Spatial Statistics and Severity of Highway Accidents in Nakhon Pathom, Thailand," International Journal of Geoinformatics, vol. 19, no. 4, pp. 13 - 23, 2023, doi: 10.52939/ijg.v19i4.2629.

[23] N. Klinjun, M. Kelly, C. Praditsathaporn, and R. Petsirasan, "Identification of factors affecting road traffic injuries incidence and severity in southern Thailand based on accident investigation reports," Sustainability (Switzerland), vol. 13, no. 22, 2021, doi: 10.3390/su132212467.

[24] V. Ratanavaraha and S. Suangka, "Impacts of accident severity factors and loss values of crashes on expressways in Thailand," IATSS Research, vol. 37, no. 2, pp. 130 - 136, 2014, doi: 10.1016/j.iatssr.2013.07.001.

[25] L. T. Truong, L.-M. Kieu, and T. A. Vu, "Spatiotemporal and random parameter panel data models of traffic crash fatalities in Vietnam," Accident Analysis and Prevention, vol. 94, pp. 153 - 161, 2016, doi: 10.1016/j.aap.2016.05.028.

[26] Q. N. La, D. V. Duong, A. H. Lee, and L. B. Meuleners, "Factors underlying bus-related crashes in Hanoi, Vietnam," Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, vol. 46, pp. 426 - 437, 2017, doi: 10.1016/j.trf.2016.06.023.

[27] E. E. Mon, S. Jomnonkwao, B. Khampirat, W. Satiennam, and V. Ratanavaraha, "Willingness to pay for mortality risk reduction for traffic accidents in Myanmar," Accident Analysis and Prevention, vol. 118, pp. 18 - 28, 2018, doi: 10.1016/j.aap.2018.05.018.

[28] X. Qu and Q. Meng, "A note on hotspot identification for urban expressways," Safety Science, vol. 66, pp. 87 - 91, 2014, doi: 10.1016/j.ssci.2014.02.006.

[29] S.-L. Chong et al., "Road traffic injuries among children and adolescents in Singapore - Who is at greatest risk?," Accident Analysis and Prevention, vol. 100, pp. 59 - 64, 2017, doi: 10.1016/j.aap.2017.01.005.

[30] T.-H. Ho, J. K. Chong, and X. Xia, "Yellow taxis have fewer accidents than blue taxis because yellow is more visible than blue," Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, vol. 114, no. 12, pp. 3074 - 3078, 2017, doi: 10.1073/pnas.1612551114.

[31] L. T. Truong, H. T. T. Nguyen, and C. De Gruyter, "Mobile phone use while riding a motorcycle and crashes among university students," Traffic Injury Prevention, vol. 20, no. 2, pp. 204 - 210, 2019, doi: 10.1080/15389588.2018.1546048.

[32] D. Q. Nguyen-Phuoc, H. A. Nguyen, C. De Gruyter, D. N. Su, and V. H. Nguyen, "Exploring the prevalence and factors associated with self-reported traffic crashes among app-based motorcycle taxis in Vietnam," Transport Policy, vol. 81, pp. 68 - 74, 2019, doi: 10.1016/j.tranpol.2019.06.006.

[33] D. Q. Nguyen-Phuoc, C. De Gruyter, H. A. Nguyen, T. Nguyen, and D. Ngoc Su, "Risky behaviours associated with traffic crashes among app-based motorcycle taxi drivers in Vietnam," Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, vol. 70, pp. 249 - 259, 2020, doi: 10.1016/j.trf.2020.03.010.

[34] D. Q. Nguyen-Phuoc, O. Oviedo-Trespalacios, T. Nguyen, and D. N. Su, "The effects of unhealthy lifestyle behaviours on risky riding behaviours - A study on app-based motorcycle taxi riders in Vietnam," Journal of Transport and Health, vol. 16, 2020, doi: 10.1016/j.jth.2019.100666.

[35] D. Quy Nguyen-Phuoc, L. Ngoc Thi Nguyen, D. Ngoc Su, M. H. Nguyen, and O. Oviedo-Trespalacios, "Deadly meals: The influence of personal and job factors on burnout and risky riding behaviours of food delivery motorcyclists," Safety Science, vol. 159, p. 106007, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.ssci.2022.106007.

[36] F. W. Siebert and H. Lin, "Detecting motorcycle helmet use with deep learning," Accident Analysis & Prevention, vol. 134, p. 105319, Jan. 2020, doi:

10.1016/j.aap.2019.105319.

[37] H. Lin, J. D. Deng, D. Albers, and F. W. Siebert, “Helmet Use Detection of Tracked Motorcycles Using CNN-Based Multi-Task Learning,” IEEE Access, vol. 8, pp. 162073 – 162084, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3021357.

[38] T. Yamaguchi, “The need for building role models for motorcycle riders’ education in the kingdom of Cambodia,” IATSS Research, vol. 42, no. 4, pp. 190 – 196, Dec. 2018, doi: 10.1016/j.iatssr.2018.11.003.

[39] C. Se, T. Champahom, S. Jomnonkwao, P. Chaimuang, and V. Ratanavaraha, “Empirical comparison of the effects of urban and rural crashes on motorcyclist injury severities: A correlated random parameters ordered probit approach with heterogeneity in means,” Accident Analysis & Prevention, vol. 161, p. 106352, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.aap.2021.106352.

[40] I. Mohamad, S. Jomnonkwao, and V. Ratanavaraha, “Using a decision tree to compare rural versus highway motorcycle fatalities in Thailand,” Case Studies on Transport Policy, vol. 10, no. 4, pp. 2165 – 2174, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.cstp.2022.09.016.

[41] T. Champahom, P. Wisutwattanasak, K. Chanpariyavatevong, N. Laddawan, S. Jomnonkwao, and V. Ratanavaraha, “Factors affecting severity of motorcycle accidents on Thailand’s arterial roads: Multiple correspondence analysis and ordered logistics regression approaches,” IATSS Research, vol. 46, no. 1, pp. 101 – 111, Apr. 2022, doi: 10.1016/j.iatssr.2021.10.006.

[42] P. Pongprasert and H. Kubota, “Switching from motorcycle taxi to walking: A case study of transit station access in Bangkok, Thailand,” IATSS Research, vol. 41, no. 4, pp. 182 – 190, Dec. 2017, doi: 10.1016/j.iatssr.2017.03.003.

[43] M. N. Borhan, A. N. H. Ibrahim, A. Aziz, and M. R. M. Yazid, “The relationship between the demographic, personal, and social factors of Malaysian motorcyclists and risk taking behavior at signalized intersections,” Accident Analysis & Prevention, vol. 121, pp. 94 – 100, Dec. 2018, doi: 10.1016/j.aap.2018.09.004.

[44] R. Rusli, O. Oviedo-Trespalacios, and S. A. Abd Salam, “Risky riding behaviours among motorcyclists in Malaysia: A roadside survey,” Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, vol. 74, pp. 446 – 457, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.trf.2020.08.031.

[45] M. M. Abdul Manan and A. Várhelyi, “Motorcyclists’ road safety related behavior at access points on primary roads in Malaysia – A case study,” Safety Science, vol. 77, pp. 80 – 94, Aug. 2015, doi: 10.1016/j.ssci.2015.03.012.

[46] T. B. Joewono and Y. O. Susilo, “Traffic violations by young motorcyclists on Indonesian urban roads,” Journal of Transportation Safety & Security, vol. 9, no. sup1, pp. 236 – 261, Mar. 2017, doi: 10.1080/19439962.2016.1247123.

[47] K. Hermawan and D.-T. Le, “Examining Factors Influencing the Use of Shared Electric Scooters,” Sustainability, vol. 14, no. 22, Art. no. 22, Jan. 2022, doi: 10.3390/su142215066.

[48] “Users’ attitudes on electric scooter riding speed on shared footpath: A virtual reality study,” International Journal of Sustainable Transportation, vol. 15, no. 2, pp. 152 – 161, Jan. 2021, doi: 10.1080/15568318.2020.1718252.

[49] M. Che, Y. D. Wong, K. M. Lum, and M. C. Rojas Lopez, “Users’ behavioral intention and their behavior: before-and-after study of ‘keep left’ markings on shared footpaths,” International Journal of Sustainable Transportation, vol. 17, no. 3, pp. 219 – 227, Mar. 2023, doi: 10.1080/15568318.2021.2015494.

[50] M. Che, Y. D. Wong, K. M. Lum, and X. Wang, “Interaction behaviour of active mobility users in shared space,” Transportation Research Part A: Policy and Practice, vol. 153, pp. 52 – 65, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.tra.2021.08.017.

[51] “Road traffic injuries.” Accessed: Jun. 11, 2024. [Online]. Available: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries

[52] D. J. Fagnant and K. Kockelman, “Preparing a nation for autonomous vehicles: Opportunities, barriers and policy recommendations,” Transportation Research Part A: Policy and Practice, vol. 77, pp. 167 – 181, 2015, doi: 10.1016/j.tra.2015.04.003.

[53] S. Ramjan and P. Sangkaew, “Understanding the adoption of autonomous vehicles in Thailand: an extended TAM approach,” Engineering Management in Production and Services, vol. 14, no. 1, pp. 49 – 62, Mar. 2022, doi: 10.2478/emj-2022-0005.

[54] C. Sitinjak, M. H. Md Said, J. Z. Hassim, H. M. Ali, and R. M. Khalid, “Navigating the future: Autonomous vehicle integration challenges and opportunities in Malaysia,” Journal of Infrastructure, Policy and Development, vol. 8, no. 4, 2024, doi: 10.24294/jipd.v8i4.2995.

[55] A. R. Alozi and M. Hussein, “Evaluating the safety of autonomous vehicle – pedestrian interactions: An extreme value theory approach,” Analytic Methods in Accident Research, vol. 35, p. 100230, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.amar.2022.100230.

[56] G. Lanzaro, T. Sayed, and C. Fu, “A comparison of pedestrian behavior in interactions with autonomous and human-driven vehicles: An extreme value theory approach,” Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, vol. 99, pp. 1 – 18, Nov. 2023, doi: 10.1016/j.trf.2023.10.006.

[57] W. Dai, B. Pang, and K. H. Low, “Conflict-free four-dimensional path planning for urban air mobility considering airspace occupancy,” Aerospace Science and Technology, vol. 119, p. 107154, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.ast.2021.107154.

[58] “Total number of registered motorcycles (in thousand) | ASEANStatsDataPortal.” Accessed: Jun. 11, 2024. [Online]. Available: https://data.aseanstats.org/indicator/ASE.TRP.ROD.B.011

[59] M. C. D. Team, “ASEAN Motorcycles – Facts & Data 2023 | MotorCyclesData,” Motorcycles Data. Accessed: Jun. 11, 2024. [Online]. Available: https://www.motorcyclesdata.com/2024/02/12/asean-motorcycles-industry/

[60] A. N. Zulkifli, N. F. F. Mohamed, M. M. Qasim, and N. A. A. Bakar, “Prototyping and Usability Evaluation of Road Safety Education Courseware for Primary Schools in Malaysia,” International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM), vol. 15, no. 06, Art. no. 06, Mar. 2021, doi: 10.3991/ijim.v15i06.20609.

[61] N. Shaari, A. Z. Saidin, and A. Alwi, “CHILDREN ROAD SAFETY AWARENESS: DESIGN AND DEVELOPMENT OF A ROAD SAFETY APPLICATION,” Jurnal Teknologi, vol. 77, no. 29, Art. no. 29, Dec. 2015, doi: 10.11113/jt.v77.6845.

[62] H. N. Ismail, A. Z. Khairani, S. M. S. Abdullah, Z. Mustafa, and S. A. Zulkafli, “The Effect of Road Safety Education on Knowledge, Attitude and Perceived Behavioural Control Regarding Road Safety Among Malaysian School Students,” Universal Journal of Educational Research, vol. 7, no. 12, pp. 2597 – 2603, Dec. 2019, doi: 10.13189/ujer.2019.071206.

User Segmentation of Shared E-Scooter Services Based on Recency, Frequency, and Monetary Scores

Bumjun Chon
SNU Transporation Research Laboratory

Prof. Dong-Kyu Kim
SNU Dpt. Civil & Environmental Engineering

Research Background

Growth of Shared E-Scooter Services

- The emergence of Mobility as a Service (MaaS) has significantly transformed urban transportation. Shared E-Scooters, first introduced in South Korea since 2018, have provided sustainable and affordable travel options, serving as a crucial solution for first and last-mile connectivity.

Challenges

- In response to safety issues such as accidents and improper usage, authorities have implemented stricter regulations, including requirements for licensing, adherence to traffic rules, and mandatory helmet use. In South Korea, these intensified safety measures have led to a decline in e-scooter usage and difficulties in retaining new users.
- Service providers encounter challenges in fleet management, including the rebalancing of scooters to meet demand, maintenance issues, and ensuring the availability of scooters in high-demand areas. Additionally, the dockless system can lead to problems with urban aesthetics and pedestrian accessibility due to improperly parked scooters.

Need for User Segmentation

- By employing data-driven quantitative methods, service providers can categorize users into distinct groups based on their behavior and preferences.
- Such segmentation will enable better travel satisfaction, optimize service operation, and increase user retention and revenue.

Literature Review

Optimization

- Research on shared e-scooter services emphasizes improving operational efficiency through demand prediction and fleet rebalancing. Heim et al. (2021) developed models for demand prediction to anticipate user needs and adjust fleets dynamically. Osorio et al. (2021) highlighted the importance of fleet rebalancing to ensure availability in high-demand areas and reduce downtime.

Behavior

- E-scooter usage patterns have been categorized to optimize user experience. Shah et al. (2023) used K-means clustering to group trips into distinct types, such as work commutes and social trips. Degele et al. (2018) suggested targeted marketing based on these patterns to improve user engagement and retention.

RFM Scores

- RFM analysis helps identify user segments by evaluating recency, frequency, and monetary value. Abbasmehr and Bahrini (2022) used this method to identify consumer groups in retail, which can be applied to mobility services. Aritha et al. (2022) combined RFM scores with K-means clustering to improve marketing strategies for better user engagement.

Research Gap

- There is a gap in studies addressing region specific user loyalty in shared e-scooter services. Most research focuses on basic metrics like travel time and distance, overlooking loyalty assessment (Shah et al., 2023). By using RFM segmentation, a concept widely used in the marketing and finance sector, and time-series clustering, this study aims to provide a more dynamic understanding of regional user behavior.

Research Objective

Main Objective

- Develop a data-driven user segmentation framework for shared e-scooter services by utilizing Recency, Frequency, and Monetary (RFM) analysis and clustering methods, with the goal of enhancing user experience, optimizing operational efficiency, and guiding targeted marketing strategies.

Research Goals

- Understand User Behavior through Segmentation

Classify users into distinct clusters (low, mid, and high-value) based on their RFM scores.

Analyze how user behavior varies by region and across different service areas.

Identify usage patterns and trends over time for each user group, considering factors such as seasonality, frequency of trips, and total expenditure.

- Regional Comparison and Customization

Perform region-based analysis to uncover significant differences in user behavior across different regions.

Tailor interventions and marketing efforts to address specific needs in each region, considering variables such as user age, average distance traveled, and price per trip.

Investigate the impact of sociodemographic factors (e.g., age, trip distance, spending habits) on user segmentation in different geographical contexts.

Data

Shared E-Scooter Data

- Data provided by Deer Corporation, a shared e-scooter service with over 1,500,000 users in more than 150 different districts in South Korea
- 7,259,888 use records from 2023.06.01 ~ 2024.05.30
- 413,351 user records from 2023.06.01~2024.05.30

Municipal data

- Geographic boundary data by South Korea's Ministry of Land, Infrastructure, and Transport (MOLIT)
- Municipal population data by South Korea's Ministry of the Interior and Safety (MOIS)

Data

Region Selection

- Regions within Gyeonggi-do were divided by population brackets (under 100,000; between 100,000; and above 500,000)
- Representative districts per bracket were selected by total number of e-scooter trips within the district.
- Selected Regions: Yeoncheon-gun, Anseong-si, Pyeongtaek-si

Name	Population (2023.06)	Trips	Users	Avg. Age	Avg. Distance (m)	Avg. Price (won)
Yeoncheon-gun	41,835	49,979	2,475	27.7	1,087	2,022
Anseong-si	189,242	432,201	14,407	22.5	820	1,314
Pyeongtaek-si	588,154	676,839	31,087	31.7	1,583	1,584

Methodology

RFM Scores

- Recency Score: How recently a user has made a use. The more recent the activity, the higher the recency score.

$$R_{ij} = e^{-\lambda \cdot d_{ij}}$$

- Frequency Score: How often a user makes a use.

$$F_{ij} = n_{ij}$$

- Monetary Score: How much monetary value a user contributed.

$$M_{ij} = \sum_{n=1}^{n} p_{ij}^{n}$$

- RFM Score: Sum of Normalized R, F, and M scores.

$$RFM_{ij} = R\_norm_{ij} + F\_norm_{ij} + M\_norm_{ij}$$

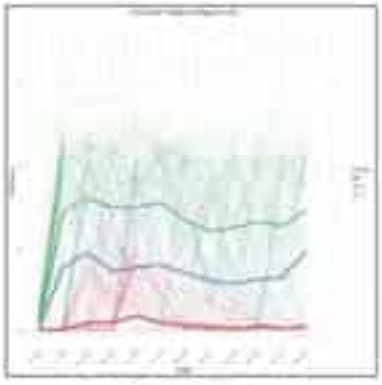
Time Series Clustering

- Each user's monthly RFM score can be displayed as a time series table, which can then be used to cluster users with similar time series.
- Clustering is conducted with the Hierarchical Clustering method, utilizing the Euclidean distance matrix and $k = 3$.

user id	2023-05	2023-06	2023-07	2023-08	2023-09	2023-10	2023-11	2023-12	2024-01	2024-02	2024-03	2024-04	2024-05
1264	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
1455	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1746	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

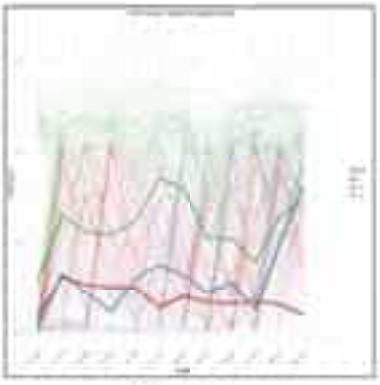
Results

RFM Trend Graphs



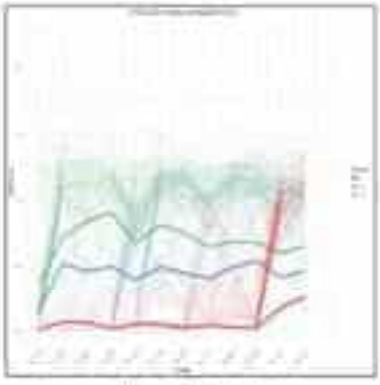
Yeoncheon-gun

- There is a stark difference between all three clusters, with all three clusters showing stable RFM scores throughout their lifecycles.
- There is a notable drop of use during winter seasons, improving



Anseong-si

- While the high-value cluster shows significant engagement, mid-value users experience ups and downs.
- The spikes in mid-value users towards the end of the period suggest that recent efforts to engage this group may be working.

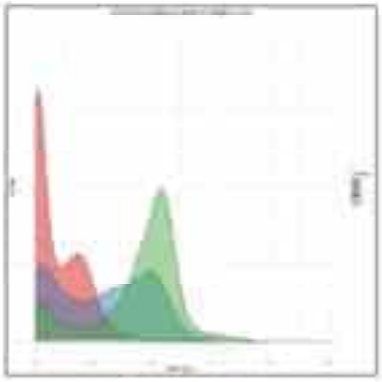


Peyongtaek-si

- High-value users in Peyongtaek-si show consistent high engagement.
- The increase in low-value users' RFM scores in April 2024 suggests effective re-engagement strategies.

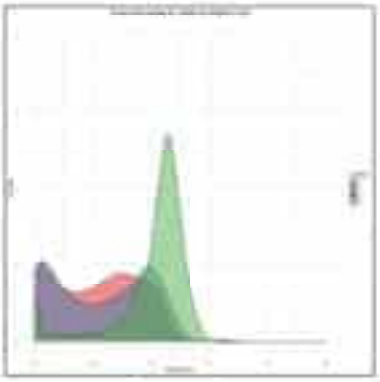
Results

RFM Trend Graphs



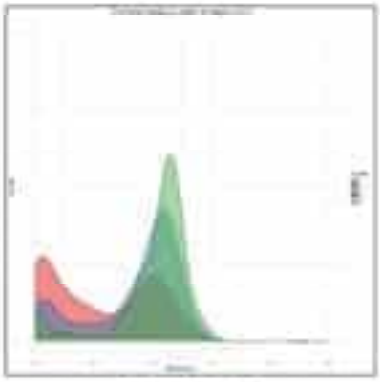
Yeoncheon-gun

- Has a more dispersed high-value cluster compared to Anseong-si.
- There is significant potential for low-value users to move up to mid-value status, particularly those with scores closer to 0.5.



Anseong-si

- There is a sharp distinction between high-value and mid-value users, but there is some overlap between mid-value and low-value users.
- Efforts should be directed at pushing low-value users up the value chain, as there are indications of fluidity between clusters.



Pyeongtaek-si

- The high overlap between mid- and high-value users suggests effective strategies could push mid-value users further up the engagement spectrum.
- Broader range of high-value users with scores above 1.5.

Conclusion

Overall Insights

- Yeoncheon-gun: Users tend to spend more per trip and cover greater distances. The high price per trip suggests that these trips might be more for leisure or less frequent but longer journeys. However, the overall user base is small.
- Anseong-si: Younger users dominate, especially in the mid- and high-value clusters, where they cover shorter distances and spend less per trip. There's a clear difference in usage patterns, likely influenced by the age of users and their commuting needs.
- Pyeongtaek-si: This region has a large, older low-value user base. The engagement is consistent across all clusters in terms of distance, but high-value users spend slightly less than the low-value and mid-value clusters, suggesting a high frequency of shorter trips.

Region	Cluster	Users	Avg. Age	Avg. Price (won)	Avg. Distance (m)
Yeoncheon-gun	1	1,372	28.7	2,443	1,260
	2	843	27.7	2,115	1,091
	3	234	27.2	1,972	1,054
Anseong-si	1	87.72	26.0	1,863	1,084
	2	16.99	21.4	1,452	906
	3	0.398	22.5	1,358	843
Pyeongtaek-si	1	17,795	32.3	1,979	1,595
	2	10,953	32.0	1,726	1,576
	3	3,901	31.9	1,604	1,589

Implications and Application

- By applying the findings to operational decisions, marketing efforts, and urban planning, shared e-scooter service providers can build a more sustainable, user-friendly, and profitable ecosystem, ultimately driving the future of urban mobility.
- **Targeted Marketing Campaigns** such as offering low-value users free rides for higher engagement, and loyalty points for high-value users could increase overall engagement. Also, seasonal fluctuations identified in user behavior (e.g., dips in winter months) can be leveraged to design offers that encourage continued usage during off-peak periods.
- Further research can be conducted in areas such as **Predictive Analytics for Churn**, applying machine learning models to RFM score data to predict churn rates among mid-value and low-value users, allowing for proactive re-engagement strategies before users stop using the service.

References

- Ham, S. W., J.-H. Cho, S. Park, and D.-K. Kim. Spatiotemporal Demand Prediction Model for E-Scooter Sharing Services with Latent Feature and Deep Learning. *Transportation Research Record*, 2021. 2675:34–43.
- Osorio, J., C. Lei, and Y. Ouyang. Optimal Rebalancing and On-Board Charging of Shared Electric Scooters. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2021. 147:197–219.
- Shah, N. R., J. Guo, L. D. Han, and C. R. Cherry. Why Do People Take E-Scooter Trips? Insights on Temporal and Spatial Usage Patterns of Detailed Trip Data. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2023. 173:103705.
- Degele, Jutta & Gorr, Anna & Haas, Katja & Kormann, Dimitri & Krauss, Sascha & Lipinski, Paulina & Tenbih, Muhammet & Koppenhoefer, Christine & Fauser, Jan & Hertweck, Dieter. Identifying E-Scooter Sharing Customer Segments Using Clustering. *IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation*, 2018. 1-8. 10.1109/ICE.2018.8436288.
- Abbasimehr, H., and A. Bahrini. An Analytical Framework Based on the Recency, Frequency, and Monetary Model and Time Series Clustering Techniques for Dynamic Segmentation. *Expert Systems with Applications*, 2022. 192:116373.
- Aridha, P., and M. M. Patil. RFM Model for Customer Purchase Behavior Using K-Means Algorithm. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 2022. 34:1785–1792.
- Geographic boundary data by South Korea's Ministry of Land, Infrastructure, and Transport (MOLIT)
- Municipal population data by South Korea's Ministry of the Interior and Safety (MOIS)

사사: 본 연구는 국토교통부 스마트시티 혁신인재육성사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

A Literature Review of Distracted Driving in Ride-Hailing Services: Prevalence, Impacts, and Mitigation Strategies

Presented by:
Raihan Pasha Isheka[1], Kitae Jang[2]
Cho Chun Shik Graduate School of Mobility
KAIST

October 24-26, 2024

INTRODUCTION

- Ride-hailing services like Uber, Lyft, Grab, and Gojek have transformed urban transportation worldwide.
- Rider and Drivers are matched by a platform in term of supply and demand of ride service

INTRODUCTION

Traffic Safety

Drivers

Distracted Driving

- Navigation
- Talking with Passenger
- Calling
- Texting
- Managing ride request

Objective

Investigate the extent, impacts, and consequences of distracted driving among ride-hailing drivers, with a focus on identifying the key factors contributing to driver distraction

National Center for Statistics and Analysis. (2024, April). Distracted driving in 2022 (Research Note. Report No. DOT HS 813 559). National Highway Traffic Safety Administration.

Drivers tend to be distracted while driving

Year	Total	Distraction-Affected (D-A)		Cellphone in Use	
		Number	Percentage of Total	Number	Percentage of D-A
Fatal Traffic Crashes					
2018	33,919	2,845	8%	359	13%
2019	33,487	2,872	9%	395	14%
2020	35,935	2,889	8%	370	12%
2021	39,785	3,214	8%	396	12%
2022	39,221	3,047	8%	365	12%
Drivers Involved in Fatal Crashes					
2018	51,800	2,704	5%	401	15%
2019	51,802	2,870	5%	398	15%
2020	54,160	2,977	5%	357	12%
2021	61,370	3,288	5%	395	12%
2022	60,048	3,129	5%	373	12%
Fatalities					
2018	36,835	2,858	8%	399	14%
2019	36,355	3,176	9%	400	14%
2020	39,007	3,154	8%	397	13%
2021	43,230	3,522	8%	421	12%
2022	42,514	3,308	8%	403	12%

METHOD

1. **Conceptual Framework**
understanding the multifaceted issue of distracted driving

2. **Search Strategy**

- Using the Scopus database, focusing on abstracts, keywords, and titles from April to June, 2024
- limited to publications in their final stage and included various source types such as journal articles, conference papers, book chapters, peer-reviewed journal articles.

Keyword

- distracted driving,
- cognitive distracted,
- visual distracted,
- operational distracted,
- auditory distracted,
- mobile phone use,
- electronic device use,
- intention to text,
- intention to call,
- intention to navigation,
- driver distraction,
- ride hailing,
- mobile taxi booking,
- transportation network companies,
- online motorcycle taxi,
- online car taxi,
- app based driver,
- commercial motorcycle driver,
- and commercial car driver

FINDINGS

OVERVIEW OF DRIVING DISTRACTION IN RIDE-HAILING

Focus Areas:

- Distracted driving behaviors
- Mobile phone usage while driving
- Impact of ride-hailing apps and work conditions on distraction
- Road traffic crashes related to RHS

Methodologies Used:

- Self-reported surveys
- Structural equation modeling (SEM)
- Driving simulator experiments
- Naturalistic driving data

Key Findings:

- Studies explore the relationship between mobile phone use, distraction, fatigue and accident risks.
- Influence of ride-hailing app interfaces and work pressure on driver focus.
- Mixed results on driver awareness and safety measures.

FINDINGS

REGULATIONS

ITF (2023) highlighted the areas that need to be addressed in order to improve existing regulations as follows:

a. <u>**Rider and Driver safety**</u>
b. Fair access to services across different populations and regions.
c. Drivers' financial conditions and employment terms.
d. Environmental factors, such as traffic congestion and pollution levels.
e. Effects on existing industry players, along with taxes and fees specific to the sector.

Country	Safety Regulations	Challenges	Current Condition/Development/Observation
Singapore	- Strict roadworthiness tests and vehicle inspections. - Driver licensing and background checks. - Monitoring of driver behavior.	- Managing rapid fleet growth. - Balancing technology use with safety regulations.	- Has one of the most advanced regulatory frameworks for ride-hailing. - Continues to update safety regulations with regular monitoring and enforcement.
Philippines	- Safety checks for vehicles. - Mandatory insurance for drivers and passengers. - Professional driver licenses required.	- High congestion makes monitoring difficult. - Informal drivers operate outside regulations, leading to inconsistent enforcement.	- **Grab** dominates the market, especially in urban areas. - Regulations are being updated, but rural regions lag in implementation.
Indonesia	- Roadworthiness tests for vehicles. - Mandatory driver licensing and insurance coverage.	- Resistance from traditional drivers. - Enforcement is difficult due to the large informal sector and regional differences.	- Major growth in **Gojek** and **Grab** services. - The government is improving regulations but struggles to enforce them consistently across regions.
Malaysia	- Professional driver background checks. - Vehicle inspections, roadworthiness checks, and driver licensing. - Background checks and insurance for drivers.	- Balancing integration of ride-hailing with traditional services. - Addressing safety, congestion, and environmental issues.	- **Grab** dominates the market. - Malaysia is working on modernizing safety regulations for app-based services.

References:
European Commission (2023). Road safety thematic report – Distraction. European Road Safety Observatory. Brussels, European Commission, Directorate General for Transport.
[illegible], C. D. A., & [illegible], A. (2020). Governance of the rise of ridesharing in Southeast Asia: An in-depth analysis. Sustainability, 12(16), 6474.

FINDINGS

1. Network Visualization (Clustering)
2. Articles by Author, Source, and Citation

Authors	Title	Year	Country	Source title	Cited by
Truong L.T., Nguyen H.T.T.	Mobile phone-related crashes among motorcycle taxi drivers	2019	Vietnam	Accident Analysis and Prevention	54
Jiwei Wen, Jie Li, Chen Lu, Yang Lu, Zhang Lu	Investigating the risk configuration and an effect on determining driving to aggressive driving behavior for a leading car scenario	2021	China	Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)	18
Chen F., Tomás Fraguedakis O., Xue M.H., Chen S.,	Mild delivery by work-related motorcycle: The impact of commuting and work-related pressure on motorcyclists'	2021	China	Accident Analysis and Prevention	10
Hill L., Band S., Verma S., Wimalasena E., Jain P.	A survey of distracted driving and electronic device use among taxi, transit and taxi drivers	2021	US	Traffic Injury Prevention	3
Qi Li, Joaquin M., Peng S.	Electronic Driving Behaviors, Driving Safe Guiding Behavior, Driver and vehicle's effects of personal electronics and vehicle's safety factors	2021	China	International Journal of Industrial Ergon.	3
Mansouri S.A., Gil G.S., Bryant B.G., Georgakilas S.A.	Ride Hailing and Road Traffic Crashes: A Clinical Review	2021	US	American Journal of Ophthalmology	2
Hasan M.Z., Dharmadipura N.A.S., Nirmala T.A., Widiastuti W.O.	Determining the common safety driving: Predictors of motivation to halt among motorcycle-based ride-hailing drivers	2021	Indonesia	Transportation Research Interdisciplinary Perspectives	1
Rahaga M., Sampaio B., Freire C., Mello J., Vasconcelos M.	A systematic review on risk factors associated with road traffic crashes and injuries among commercial motorcycle drivers	2021	-	International Journal of Injury Control and Safety Promotion	6
Chen F., Yu J., Chen Yongsheng G., Liu Yi-M	ANALYZING DRIVER'S DISTRACTION BEHAVIOR TO QUANTIFY THE IMPACT OF MOBILE DEVICES AND FACTORS ON TAXI DRIVERS' SAFETY PERFORMANCE: A GENERAL LINEAR MIXED MODEL	2021	China	Proceedings of the 25th International Conference of Hong Kong Society for Transportation Studies, HKSTS 2020: Transport and Society	1
Ding K., Chen J., Bai Y., Zhang J., Jia Q., Zhu F.	Multi-modality behavioral driving patterns of ride-hailing drivers from multi-source data: Applying association rule mining	2021	China	Journal of Transportation Safety and Security	3
Ang H., Chen K., Wu Y., Hao J., Lu J., Yao B.	Optimization method to reduce the risky driving behaviors of ride-hailing drivers	2021	China	Journal of Safety Research	3

FINDINGS

DRIVER AND OPERATIONAL CHARACTERISTICS

FINDINGS

Effect of Emotion

Types of Distraction

FINDINGS

Impact on Driving Performance and Crash Risk

Type of Distraction	Driving Performance	Crash Risk	Source
Visual Distracted Driving	1. Significantly impair vehicle control, leading to increased variability in gaze patterns and impairing lateral and speed control. 2. Visual-manual tasks, such as using a mobile app, dominate the degradation of steering performance. 3. Visual distraction contributes to more steering errors than cognitive distraction.	1. Higher likelihood of crashes due to impaired reaction times and vehicle control. 2. Visual distractions, such as texting, are among the most dangerous, significantly increasing crash risk.	Chen et al., 2022); (Hill et al., 2021); (Ge et al., 2021); (Caird et al., 2014); (Klauer et al., 2014); (Wu et al., 2016)
Cognitive Distracted Driving	1. Increase reaction time and degrade hazard detection capabilities but do not significantly affect lateral and speed control performances. 2. Reduced variability of lateral position is associated with cognitive distraction.	1. Increased crash risk due to slower reaction times and impaired hazard detection. 2. Cognitive distractions like phone conversations reduce a driver's situational awareness.	(Chen et al., 2022); (Ning et al., 2024); (Karthaus & Fallenstein, 2020); (Klauer et al., 2014); (Wu et al., 2016)
Operational Distracted Driving	1. Degrade driving performance by increasing workload, leading to significant impacts on lateral and speed control. 2. Visual-manual interactions in operational tasks significantly impair steering performance.	1. Elevated crash risk from loss of vehicle control and increased workload. 2. Tasks like eating or using a phone while driving distract hands and attention from the driving task.	(Chen et al., 2022); (Truong & Nguyen, 2019); (Simmons et al., 2016); (Caird et al., 2014); (Klauer et al., 2014)
Auditory Distracted Driving	1. Have mixed effects. 2. They can increase reaction time and collision risk but sometimes improve alertness and reduce drowsiness. 3. Visual distractions generally have stronger impacts on driving performance than auditory distractions.	1. Mixed impact on crash risk. 2. While some auditory distractions can improve alertness, others like phone conversations can increase collision risk due to divided attention.	(Chen et al., 2022); (Ge et al., 2021); (Ning et al., 2024); (Klauer et al., 2014); (Wu et al., 2016)

Impacts

FINDINGS Mitigations and Strategies

Findings on Mitigation and Control	Source
Implementing **stricter guidelines and training for ride-hailing drivers** on avoiding visual-manual tasks while driving. Use of voice-activated controls and minimizing in-app interactions.	Chen et al. (2022)
Meta-analysis suggests enforcing **stricter regulations on mobile phone usage while driving**, increasing **awareness campaigns** on the risks of mobile phone distractions.	Hill et al. (2021)
Encouraging drivers to take regular breaks to avoid fatigue, **use of advanced driver assistance systems (ADAS)** to alert drivers of potential distractions.	Ge et al. (2021)
Distraction patterns can be mitigated by **limiting ride durations, encouraging regular breaks**, and **using in-car monitoring systems to detect and alert for distractions**.	Xing et al. (2024)
Older drivers may benefit from targeted interventions and **training programs** to manage cognitive load and avoid distractions.	Karthaus & Falkenstein (2020)
Implementing **public safety campaigns** and **stricter enforcement** of mobile phone use laws for motorcyclists. Encouraging the use of hands-free devices.	Truong & Nguyen (2019)
Educational programs and policies to reduce text messaging while driving, promoting the use of voice-to-text technology.	Simmons et al. (2016)
Public awareness campaigns and strict enforcement of texting bans to mitigate distraction-related crashes.	Caird et al. (2014)
Enhanced **training** for novice drivers on the dangers of distractions and use of driver assistance technologies to **monitor** and **alert** for distractions.	Klauer et al. (2014)
Use of **real-time monitoring** and **feedback systems** to alert professional drivers of distractions, and promoting the use of driver assistance technologies.	Wu et al. (2016)

CONCLUSION

- **Socio-Demographics**: Different age groups and education levels among ride-hailing drivers influence their susceptibility to distractions and crash risk.
- **Emotions**: Positive and negative emotions affect driving behavior, with positive emotions potentially leading to risky overconfidence and negative emotions causing aggressive driving.
- **Operational Characteristics**: Extended driving hours and multitasking requirements increase driver fatigue and operational distractions.
- **Types of Distractions**: Visual, cognitive, operational, and auditory distractions all impair driving performance and increase crash risk, with visual and cognitive distractions being particularly detrimental.
- **Mitigation Strategies**: Effective mitigation involves training, technological interventions like ADAS, real-time monitoring, stricter regulations, and public awareness campaigns.

교통안전(Ⅲ)

Session

C-5

교차로 건조환경 영향에 따른 유형별 교통사고 예측 모형개발:데이터 상관성 모델링 기법의 적용
곽찬호, 홍정열

그래프 주의 집중 네트워크를 적용한 지하철 전송 시스템 다중결함 탐지
김승하, 서동현, 권장우

꼬리물기 무인교통단속장비의 설치 효과 분석
도승일, 박현수, 박신형

차량행태 기반 교통안전시설 안전성 분석
채준병, 길정원, 권재경, 황재성, 이철기

속도와 교통량을 활용한 교통혼잡지표 설계 및 분석
최철원, 박호철

ARIMA모형을 이용한 무인교통단속장비의 단속건수 유형별 특성
한효승, 양정훈, 박재훈, 윤일수, 송태진

2024년도 한국 ITS 학회 추계학술대회

교차로 건조환경 영향에 따른 유형별 교통사고 예측 모형개발 : 데이터 상관성 모델링 기법의 적용

Traffic Accident Prediction Models by Crash Types Vased on Intersection Built Environment
: Application of Data Correlation Modeling Techniques

계명대학교 도시계획 및 교통공학과 박사수료 곽찬호 계명대학교 조교수 홍정열

계명대학교 KEIMYUNG UNIVERSITY
S.I.T.A Lab
Smart Integrated Transportation Analytics Lab

1 Introduction

S.I.T.A Lab

연구의 배경

- 교통안전 개선 노력에도 불구하고 여전히 중요한 문제로 대두
- 전체 교통사고 중 교차로 내 보행자 사고는 상당한 비율 차지
- 도로 구조물 등에 의해 시거 제한으로 사고 대응시간 축소 요인
- 다중 교차로와 상충이 크며, 신호위반 급정지와 같은 상황에서 발생 가능성이 높음
- 보행사고 발생비율이 높으며, 중독시 중상 및 사망사고로 연결

연구의 목적

- 교차로의 건조환경이 교통사고 발생에 미치는 영향을 정량적으로 분석
- 사고 유형별로 높은 정확도와 신뢰성을 지닌 교통사고 예측 모형을 개발
- 직관에 의존하는 전통적인 모형방법론에서 더 나아가 고도화된 데이터 상관성 모델링 기법을 적용, 향상된 분석 수행
- 연구를 통해 교차로 교통사고 데이터를 심층적으로 이해, 데이터의 잠재된 통계적 영향을 통제하는 모형을 구축함으로써, 데이터 기반의 의사결정을 통해 교통 안전을 증진시키는데 기여

2 Literature Review

S.I.T.A Lab

교차로 교통사고 영향요인 분석과 관련한 연구 : 사고영향 요인 초점

- 기존 국내외 논문은 교차로 기하구조의 사고영향요인 초점
- 본 연구에서는 기존연구와는 차별을 두어 교차로 건조환경에 대한 연구의 당위성 제시

교차로 교통사고 예측 모형 연구 : 방법론에 초점

- 교차로 교통사고 건수 예측 모형 (Count Model : 포아송, 음이항, 영과잉 포아송, 영과이 음이항 등)
- 교차로 교통사고 확률 예측 모형 (확률 모형 : 로짓, 프로빗 모형 등)
- 교차로 교통사고위험수준 예측 모형 (확률모형 : 순서형 로짓 등)
- 데이터 마이닝 기법 연구(머신러닝, 딥러닝, 텍스트마이닝 등)

⇒ 교차로 교통사고는 빅데이터가 아니므로 빅데이터 분석기법이 아닌 계량경제모형이 적합

3 Research Methodology (1)

S.I.T.A Lab

GEE (Generalized Estinating Equations) 란?

- 일반화 선형 모형 (Generalized Linear, GLM)의 확장된 형태
- 반복 측정 데이터, 군집화된 데이터에서상관관계를 고려한 추정치를 구하는데 사용
- 패널데이터나 종속 변수가 비정상적인 분포를 따르는 경우 많이 사용

GEE 모델 설정

- 링크 함수와 분산 함수를 사용하여 모델을 설정
- 링크 함수 : 종속변수와 독립변수 간의 관계를 설명하는 함수로 로지스틱 회귀의 로짓 함수나 포아송 회귀의 로그 함수 등이 사용
- 분산 함수 : 데이터의 분포를 설명하는 함수로 이항분포나 포아송 분포가 자주 사용

GEE 모델 적용 사례

- 의학 연구 : 환자들의 시간에 따른 건강 상태를 추적하는 연구, 같은 환자의 여러 시간대 데이터를 분석할 때 사용
- 생물학 연구 : 특정 지역 내에서 시간에 따라 측정된 동물의 개체 수를 분석할 때 유용
- 사회 과학 : 지역별 군집화된 데이터 분석, 지역 간의 차이를 랜덤 효과로 반영, 고정효과로서, 성별 등이 미치는 영향 추정

4 Research Methodology (2)

S.I.T.A' Lab

GLMM (Generalized Linear Mixed Models) 란?

- 일반화 선형 모형 (Generalized Linear, GLM)의 확장된 형태
- 고정 효과와 랜덤 효과를 모두 포함하는 모델
- 군집화된 데이터, 반복 측정이나 다층 데이터(계층적 데이터)에서 변동성을 효과적으로 다루는 통계 기법

GLMM의 작동 원리

- 고정 효과와 랜덤 효과를 동시에 고려하여, 관측값들이 독립적이지 않은 데이터를 분석할 때 적합
- 반복 측정 데이터 : 시간에 따라 여러 번 측정된 데이터를 분석
- 군집 데이터 : 개인이 군집화된 데이터(학교,병원,지역 등)에서 분석, 군집 내의 데이터는 상관관계가 있어 모델링 필요

GLMM 모델 적용 사례

- 의학 연구 : 같은 환자의 여러 시간대 걸친 건강 상태 측정 데이터를 분석할 때, 환자 간의 차이와 시간에 따른 변화 모두를 고려
- 생태학 연구 : 학생들의 성적 데이터를 분석, 학생들의 성적이 상관관계가 있을 수 있기 때문에 학교를 랜덤 효과로 설정
- 사회 과학 : 지역별 군집화된 데이터 분석, 지역 간의 차이를 랜덤 효과로 반영, 고정요인(나이, 성별 등)이 미치는 영향 추정

5 Research Methodology (3)

S.I.T.A' Lab

MMM (Multivariate Marginal Model) 란?

- 여러 상관된 결과 변수를 다루는 통계적 모형
- 종속적이거나 클러스터링된 데이터에서 사용
- 동일한 대상에서 여러 변수를 측정할 때 각 변수 상관관계를 고려, 결과변수의 주변분포(marginal distribution)를 중심으로 분석
- 결과변수들이 독립적이지 않고 상관관계가 있을 때, 이를 모델링하여 보다 정확한 결과 도출

MMM의 추정 방법

- GEE(Generalized Eastimating Equations): MMM에서 가장 일반적 방법, 데이터 간의 상관관계를 고려, 각 변수의 주변 분포 추정
- 최대우도추정법(MLE, Maxium Likelihood Estimation) : 특정한 상관 구조를 가정하 때는 MLE를 사용

MMM 모델 적용 사례

- 의학 연구 : 환자의 여러 건강 지표(혈압, 체온, 심박수 등)를 시간에 따라 측정, 지표 간 상관관계 고려하여 분석
- 사회 과학 : 설문조사에서 다양한 결과 변수(소득, 교육수준, 직업 만족도 등)가 서로 상관관계 있을 때 분석
- 경제 연구 : 여러 경제 지표(물가 상승률, 실업률 등)가 서로 상관되어 있는 데이터 분석 시 경제 성과에 미치는 영향 분석

6 Data Collection(1)

S.I.T.A Lab

연구의 범위

- 공간적 범위
  - 대구광역시 8개 구군 사망 및 중상 교차로
- 시간적 범위
  - 2019년~ 2023년 교통사고데이터

Flow-Chart

활용 데이터 List

- 사고 유형 : 차대 사람, 차대차, 차대 시설물, 차대 기타
- 사고 심각도 : 사망, 중상, 경상, 물피
- 법규위반 유형 : 신호위반, 과속, 중앙선 침범 등 12대 중과실
- 가해자 차량 유형 : 승용차, 이륜차, PM, 자전거 등
- 교차로 건조 환경 : 횡단보도, 교통섬, 단속카메라, 버스정류장, 지하철 출입구 등

7 Data Colletion (2)

S.I.T.A Lab

교차로 건조 환경 데이터 기준

- 교차로 내 영향권 90m 기준
- 교차로 주변 교통안전시설물 / 도로안전시설물 설치 현황
- 버스정장 수, 지하철 출입구 수, 교차로 유형
- 도로폭, 차로 수, 횡단보도 폭, 유턴지점, 자전거 횡단도, 보행자 잔여시간 표시기 수

교차로 건조 환경 데이터 조사 표(예시)

교차로 명	버스 정류장	지하철 출입구	교차로 유형	도로폭	차로수	횡단보도 폭	교통섬 수	유턴지점수	단속 카메라	잔여시간 표시기 수
A	1	7	4	55	11	86.5	4	4	1	4
B	3	0	4	47	8.5	98.8	4	1	0	4
C	3	0	3	47	45.5	45.4	0	2	0	2
D	0	0	4	35	36.9	36.9	0	2	0	3

8 Data Colletion (3)

S.I.T.A Lab

교차로 건조 환경 기초 통계

Variable	Mean	Std.Dev
버스정류장 수	1.33	1.15
지하철출입구 수	0.49	1.61
교차로 유형	3.84	0.49
도로폭	35.9	17.4
횡단보도폭	36.3	17.9
자전거횡단도 수	1.45	1.67
교통섬 수	0.63	1.2
유턴 수	1.6	1.29
단속카메라 수	0.5	0.68
잔여시간표시기	2.06	1.5

9 Conclusion

S.I.T.A Lab

- 교차로 건조환경의 중요성
  - 교차로의 건조환경이 교통사고 발생에 중요한 영향을 미친다는 사실을 입증
  - 특히, 시야 제한과 같은 구조적 요인이 사고 발생 확률을 높이는 주요 요인으로 확인

- 데이터 상관성 모델링 기법 적용
  - 일반화 선형 혼합 모형(GLMM)과 다변량 추변 모형(MMM)을 활용하여 교차로의 교통사고 예측 모델 구축
  - 이 방법론은 기존의 전통적인 모형보다 교차로 사고 예측의 정확도와 신뢰성을 높이는 데 기여

- 방법론의 혁신성
  - 본 연구는 고정 효과와 랜덤 효과를 모두 고려하는 GLMM을 적용하여 군집화된 데이터의 변동성을 효과적으로 적용
  - 또한, MMM을 통해 상관된 결과 변수들을 분석함으로써, 데이터 간의 상호작용을 보다 정밀하게 반영

- 연구의 실용적 기여
  - 교차로 설계 및 교통안전 개선을 위한 데이터 기반의 의사결정 지원에 기여하며, 향후 교차로 사고 예방을 위한 정책 수립에 중요한 자료를 제공 가능함

- 향후 연구 방향
  - 다양한 지역과 교차로 유형을 추가 분석하여 모델의 신뢰성을 높일 필요가 있으며, 교차로 외의 다른 도로 환경에서도 적용 가능한 확장된 모델 연구가 요구

감사합니다.

그래프 주의 집중 네트워크를 적용한 지하철 전송 시스템 다중결함 탐지

Using Graph Attention Networks for Multi-Fault Detection in Equipment

김승하*, 서동현, 권장우*****

*인하대학교 컴퓨터공학과 학사

**인하대학교 일본언어문화학과 학사

***인하대학교 컴퓨터공학과 정교수

Key Words : Deep Learning, Multi-Fault Detection, Graph Attention Convolution

목 차

I. 연구 개요

II. 관련 연구

1. 가속도계 센서기반 결함진단
2. 그래프 네트워크를 이용한 결함 진단

III. 방법론

1. 실험 데이터셋
2. 그래프 주의집중 네트워크를 적용한 다중 결함 진단
3. 실험 환경 및 결과

I. 결론

ABSTRACT

설비의 결함 진단은 ITS분야 중 유지보수 및 안전성을 특히 더 고려해야하는 교통과는 뗄 수 없는 분야이다. 그 중, 많은 인원이 사용하는 대중교통은 그 특성상 사용하는 인원의 규모차이로 인해 유지보수 측면 뿐만 아니라 안전성을 위해서도 설비에 대한 결함 진단은 중요하다. 각 모듈들에 센서를 부착하여 전체적인 모니터링을 가능케 하는 기술은 현재 자율주행차와 전기차등의 분야에서 어느정도의 가능성을 보이고 있다. 취득되는 데이터들이 있다면 그곳에 딥러닝을 적용하는 것 또한 가능할 것이며 이러한 관점에서 여러 설비에 부착된 센서데이터들을 활용한 결함진단에 딥러닝을 적용하고자 하는 연구가 발전하고 있다.

본 연구에서는 지하철 열차 보깅을 1:2 규모로 설계된 고장 시뮬레이션 실험 플랫폼에서 수집된 다중 결함 데이터를 활용하여 기존의 많이 연구되는 단일 모듈의 결함이 아닌 다중 결함 탐지를 진행하고자 한다. Transformer와 Graph Attention을 활용한 아키텍쳐를 설계했다. Graph Attention Convolution의 다중결함 진단의 적용가능성을 탐색하였고 그 가능성을 볼 수 있다.

Ⅰ. 연구개요

설비의 결함 진단은 ITS분야 중 유지보수 및 안전성을 특히 더 고려해야하는 교통과는 뗄 수 없는 분야이다. 그 중, 많은 인원이 사용하는 대중교통은 그 특성상 사용하는 인원의 규모차이로 인해 유지보수 측면 뿐만 아니라 안전성을 위해서도 구축되어 있는 설비에 대한 결함 진단은 중요하다. 근래에 들어 각 모듈에 센서를 부착하여 전체적인 모니터링을 하는 기술은 현재 자율주행차와 전기차, 공장등의 다양한 분야에서 활용되고 있다.

현재로서 사용되고 있는 일반적인 방식은 센서에서 취득 되는 데이터들을 통한 특성공학을 통해 분석하고 이를 전체 모니터링 시스템에서 총괄 관리하고 있는 방식이다. 다만 이 경우, 해당 분석이 실제적으로 적절한 것인지 사람이 직접가서 확인을 해야하는 이차검증이 필요한 방식이다. 또한, 다중결함의 경우 특성공학만으로는 미리 판별하기 어려운 분야 중 하나이다.

데이터가 있다면 딥러닝을 적용하는 것이 가능하며 여러 설비에 부착된 센서데이터들을 활용한 결함진단에 딥러닝을 적용하고자 하는 연구가 발전하고 있다.

본 연구에서는 지하철 열차 보깅을 1:2 규모로 설계된 고장 시뮬레이션 실험 플랫폼에서 수집된 다중 결함 데이터를 활용하여 기존의 많이 연구되는 단일 모듈의 결함이 아닌 다중 결함 탐지를 진행하고자 한다. Transformer와 Graph Attention을 활용한 아키텍쳐를 설계했고, Graph Attention Convolution의 다중결함 진단의 적용 가능성을 탐색하엿고 그 가능성을 볼 수 있다.

Ⅱ. 관련 연구

1. 가속도계 센서 기반 결함 진단

3축 가속도계 센서 기반의 결함진단은 다양한 방법으로 연구가 되었다. Wang et al.[1]의 연구는 스마트폰 내장 가속도계 센서를 활용하여 도로의 포트홀(비정상적인 구멍)을 탐지하는 방식으로, 딥러닝 기반 모델을 활용하여 포트호의 상태를 분석하였다. 해당 연구는 포트홀의 깊이 예측, 분류, 통과 속도에 따른 상태 분류를 수행하였고 실제 도로환경에서 유의미한 결과를 도출 하였다. Hussain et al.[2]의 연구에서는 가속도계 데이터를 활용하여 철도 차량의 바퀴 결함 탐지를 수행하였다. 하이브리드 딥러닝 모델을 적용하여 다양한 결함을 분류하는데 성공하였으며, 특히높은 정확도를 기록하였다. Xu et al.[3]의 연구에서는 스마트폰의 내장 가속도계 센서를 활용하여 도로 표면 결함을 감지하는 방식을 제안하였다. 해당 연구는 반지도학습 기법을 사용하여 데이터 부족한 문제를 해결하고 도로의 결함을 높은 정확도로 분류하였다. 이처럼 가속도계 센서를 이용한 결함 탐지는 활발히 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 가속도계 센서를 활용한 다중 모듈 다중 결함 탐지를 수행하고자 한다.

2. 그래프 네트워크를 이용한 결함 진단

그래프 신경망을 이용한 결함 진단은 활발하게 연구되고 있다. S. Cao et al.[4]의 연구는 실험실 및 산업용 시뮬레이션 장비에서 얻은 진동 신호 데이터를 기반으로 시공간 특징을 동시에 추출하는 Spiking-GAT란 아키텍쳐를 제안하여 기어박스의 고장 유형과 심각도를 분류하는 작업을 수행하였다. G. Han et al.[5]의 연구에서는 진동 신호 데이터를 분석하여 회전 기계의 고장진단을 수행했다. GHOAN모델 아키텍쳐를 제안하여 적은 양의 학습 데이터로도 효과적인 고장 진단을 가능하게 했다. Jiang et al.[6]의 연구에서는 베어링 고장을 진단하며 진동 신호 데이터를 사용한다. 동적 시간 워핑(DTW)을 활용하여 그래프 구조로 데이터를 변환하고 MHGAT 모델을 통해 다중 주의 메커니즘으로 다양한 고장 유형을 분류하는 작업을 수행하였다.

본 연구에서는 그래프 주의 네트워크를 활용하여 다중 모듈의 다중결함 분류를 목표로 그래프 네트워크를 활용하고자 한다.

Ⅲ. 방법론

1. 실험 데이터셋

주어진 데이터는 선행연구에서 제공하는 데이터셋으로 단일 결함(single-fault) 및 복합 결함(compound-fault) 상태를 포함하여 다양한 운영 시나리오에서 시스템 동작을 분석할 수 있도록 구성되었다. 본 데이터셋은 지하철 보기 고장 시뮬레이션을 통해 수집되었다. 데이터셋은 9개의 작업 조건을 고려한다. 작업 조건은 20Hz에서 60Hz까지의 모터 속도와 -10kN에서 10kN까지의 측면 하중으로 나뉜다.

1) 샘플링 설정

샘플에는 시뮬레이션을 통해 수집된 진동 및 전류 신호가 포함되어 있으며 총 18개 채널 신호가 64kHz의 샘플링 주파수로 수집되었다. 센서 채널에 대한 정보는 다음 표 1과 같다.

2) 고장 유형 분류

본 데이터는 실험에 사용된 데이터셋에서 각 구성 요소의 정상 상태와 고장 유형을 분류한다. 이러한 고장 유형은 표 2와 같이 분류되어 있다.

<표 1> 센서 채널 정보

채널	구성요소	배치 위치	신호 유형
CH1 CH2 CH3	Motor	drive end	Tri-axial acceleration
CH4 CH5 CH6		fan end	
CH10 CH11 CH12	Gearbox	input axle	Tri-axial acceleration
CH13 CH14 CH15		output axle	
CH16 CH17 CH18	Axle box (left)	end cover	Tri-axial acceleration
CH19 CH20 CH21	Axle box (right)	end cover	Tri-axial acceleration

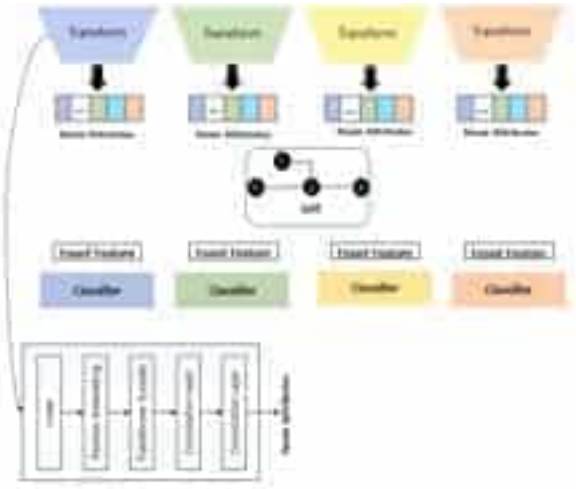
<표 2> 데이터셋의 고장 유형

구성 요소	고장 유형	설명
Motor	M0	Normal condition
	M1	Short circuit
	M2	Broken rotor bar
	M3	Bearing fault
	M4	Bowed axis
Gearbox	G0	Normal condition
	G1	Gear cracked tooth
	G2	Gear worn tooth
	G3	Gear missing tooth
	G4	Gear chipped tooth
	G5	Bearing inner race fault
	G6	Bearing outer race fault
	G7	Bearing rooling element fault
	G8	Bearing cage fault
Axle box (left)	LA0	Normal condition
	LA1	Bearing inner race fault
	LA2	Bearing outer race fault
	LA3	Bearing rolling element fault
	LA4	Bearing cage fault
Axle box (right)	RA0	Normal condition
	RA1	Bearing inner race fault

이 표는 실험에서 각 구성 요소의 상태를 구체적으로 정의하고, 고장 진단 시스템이 어떤 유형의 결함을 탐지해야 하는지 설명한다.

2. 그래프 주의집중 네트워크를 적용한 다중 결함 진단

본 연구에 사용한 데이터셋은 4개의 구성요소에서 각기 다른 채널의 데이터가 존재하고 있다. 해당 4개의 구성요소에서 취득된 각 채널의 데이터를 Transformer 인코더 기반의 Feature Neck을 설계하여 각 구성요소의 특징벡터를 얻게 된다. 각 구성요소의 특징 벡터를 그래프 주의집중 합성곱 네트워크에 입력하여 해당 시점의 인접 구성요소간의 관계성을 학습한다. 이를 통해 최종적으로 얻게 되는 각 구성요소의 특징벡터를 분류기에 입력하여 최종적으로 각 라벨의 로짓을 얻게된다. 자세한 모델 구조는 그림 1을 참고한다. 이를 BCEWithLogitLoss에 입력하여 Loss를 계산하고 이를 학습하게된다.



<그림 1>

3. 실험 환경 및 결과

64kHz로 샘플링된 데이터를 다양한 윈도우크기에 대해 실험을 진행하였고, 해당 데이터들을 raw데이터 그대로 입력하거나 fft변환 이후 입력하여 실험을 진행하였다.
자세한 실험 세팅은 표3을 참고한다.

<표 3>

	window	hopping
1	6400	3200
2	12800	6400
3	16000	8000
4	32000	16000
5	32000	24000
6	64000	32000
7	64000	48000

각 라벨별 데이터 수의 차이로 인해 각 라벨의 비중에 해당하는 가중치를 두어 loss를 계산하였다. 이외의 몇몇의 하이퍼 파라미터는 고정하여 학습을 진행하였다. 고정된 하이퍼 파라미터는 표4를 참고한다.

<표 4>

Hyper Parameter	Setting
Batch Size	64
Epochs	100
Learning rate	0.01

Optimizer	Adam
Learning Scheduler	ReduceLROnPlateau

구성한 모델 구조의 단일 결함 분류의 성능을 확인 해본결과 윈도우 크기 12800, 윈도우 호핑 크기 6400일 때 fft입력 시 각 결함에 대해 표 6과 같은 결과를 얻을 수 있다. 단일 결함 클래스는 표 5를 참고한다.

《표 5》

Fault Code	Motor	Gearbox	Left Axle box	Right Axle box
Normal	M0	G0	LA0	RA0
TYPE1	M1	G0	LA0	RA0
TYPE2	M2	G0	LA0	RA0
TYPE3	M3	G0	LA0	RA0
TYPE4	M4	G0	LA0	RA0
TYPE5	M0	G1	LA0	RA0
TYPE6	M0	G2	LA0	RA0
TYPE7	M0	G3	LA0	RA0
TYPE8	M0	G4	LA0	RA0
TYPE9	M0	G5	LA0	RA0
TYPE10	M0	G6	LA0	RA0
TYPE11	M0	G7	LA0	RA0
TYPE12	M0	G8	LA0	RA0
TYPE13	M0	G0	LA1	RA0
TYPE14	M0	G0	LA2	RA0
TYPE15	M0	G0	LA3	RA0
TYPE16	M0	G0	LA4	RA0

《표 6》

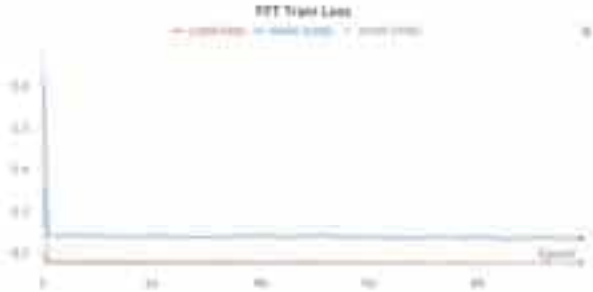
Label number	Precision	Recall	F1-score	Num of label
0	1.00	1.00	1.00	294
1	1.00	1.00	1.00	294
2	1.00	1.00	1.00	294
3	1.00	1.00	1.00	294
4	1.00	1.00	1.00	294
5	1.00	1.00	1.00	294
6	0.96	0.89	0.92	294
7	1.00	1.00	1.00	294
8	0.89	0.95	0.92	294
9	1.00	1.00	1.00	294
10	1.00	1.00	1.00	294
11	1.00	1.00	1.00	294
12	0.99	1.00	0.99	294
13	1.00	1.00	1.00	294
14	1.00	1.00	1.00	294
15	1.00	1.00	1.00	294
16	1.00	1.00	1.00	294

최종적으로 전체 정밀도(Precision) 0.99, 재현율(Recall) 0.99, F1-score 0.99, 정확도 99.04%, 해밍로스(Hamming Loss) 0.0096을 달성하며 전반적으로 각 라벨을 분류하는데 큰 어려움을 겪지 않는다. 학습 그래프는 그림2,3을 참고한다.

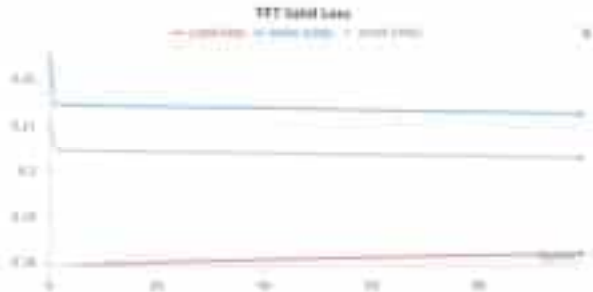
이에 해당 결과를 참고하여 다중 모듈 다중라벨을 학습하였고 결과는 Motor는 72.73% 정확도이며 해밍로스는 0.11, Gearbox는 % 정확도, 해밍로스 0.17, Left Axle Box는 63.64%정확도, 해밍로스 0.17, Right Axle Box는 95.45% 정확도, 해밍로스 0.04를 달성하였다. 학습 로스 그래프는 그림 4,5를 참고한다.

<그림 2>

<그림 3>



<그림 4>



<그림 5>

Ⅳ. 결론

본 연구에서는 이전 연구들에서 존재하던 단일 모듈에 대한 결함 분류, 다중 결함 탐지를 넘어서 다중 모듈에

대한 다중 결함 탐지를 연구하였다. 결과적으로 기존에 우수한 성능을 보이던 GCN 네트워크가 아닌 멀티헤드 GAT를 활용함으로써 기존에 단일 모듈에 대한 고장 분류에서 나아가 각 모듈의 결함이 서로 다른 모듈에 끼치는 영향을 주의 집중 기법을 이용하여 학습함으로써 다중 모듈에 대한 다중 결함 탐지에 대해 가능성을 알 수 있었다.

사사 : ACKNOWLEDGEMENTS 본 연구는 2024 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 SW중심대학지원사업의 연구결과로 수행되었음 (2022-0-01057)

참고문헌

1. Dong, D.; Li, Z. Smartphone Sensing of Road Surface Condition and Defect Detection. *Sensors* 2021, *21*, 5433. https://doi.org/10.3390/s21165433
2. Shaikh, K.; Hussain, I.; Chowdhry, B.S. Wheel Defect Detection Using a Hybrid Deep Learning Approach. *Sensors* 2023, *23*, 6248. https://doi.org/10.3390/s23146248
3. Cui, P.; Bidzikrillah, N.A.; Xu, J.; Qin, Y. Application of the Semi-Supervised Learning Approach for Pavement Defect Detection. Sensors 2024, 24, 6130. https://doi.org/10.3390/s24186130
4. S. Cao, H. Li, K. Zhang, C. Yang, W. Xiang and F. Sun, "A Novel Spiking Graph Attention Network for Intelligent Fault Diagnosis of Planetary Gearboxes," in IEEE Sensors Journal, vol. 23, no. 12, pp. 13140-13154, 15 June15, 2023, doi: 10.1109/JSEN.2023.3269445.
5. Y. Abudurexiti, G. Han, L. Liu, F. Zhang, Z. Wang and J. Peng, "Graph-Guided Higher-Order Attention Network for Industrial Rotating Machinery Intelligent Fault Diagnosis," in IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 20, no. 2, pp. 1113-1123, Feb. 2024, doi: 10.1109/TII.2023.3254601.
6. Jiang, Li & Li, Xingjie & Wu, Lin & Li, Yibing. (2022). Bearing fault diagnosis method based on multi head graph attention network. Measurement Science and Technology. 33. 10.1088/1361-6501/ac56f1.

꼬리물기 무인교통단속장비의 설치 효과 분석

도승일(서울시립대학교 교통공학과 석박사통합과정)
박현수(서울시립대학교 교통공학과 박사수료)
박신형(서울시립대학교 교통공학과 교수)

2024.10.24.

서울시립대학교 UNIVERSITY OF SEOUL

I. Introduction

01. 연구배경

- 최근 5년간(2019 – 2023) 서울시 강남구 교통사고 통계를 분석한 결과, 전체 교통사고 건수 중 교차로에서 발생한 교통사고는 약 34%로 나타남
- 교차로에서 발생하는 사고의 원인은 교통신호 미준수, 꼬리물기 등으로 인해 발생
- 이중 꼬리물기는 교차로의 교통 흐름을 방해할 뿐만 아니라, 시간과 연료, 환경오염 비용 등을 감안하면 연간 751억원의 사회적 손실을 야기함(서울시, 2019)
- 현재 꼬리물기 단속은 경찰의 현장단속을 중심으로 시행중

[서울시 강남구 교차로 교통사고 비율]

I. Introduction

01. 연구배경

- 현장 단속은 지역에 따라 상당한 인력이 필요할 뿐만 아니라 공정성 시비, 사고 위험 등의 문제로 단속 실효성이 저하될 우려가 있음
- 이러한 단점을 극복하고자 경찰청은 무인교통단속장비를 설치하여 교통법규 위반을 단속하고 있음
- 무인교통단속장비를 설치한 결과, 교통사고는 2배, 교통사망사고는 4배 이상 감소한 것으로 분석됨(경찰청, 2023)
- 그러나 무인교통단속장비가 꼬리물기 단속에 효과적인지는 아직 의문인 상황
- 따라서 본 연구에서는 무인교통단속장비가 교차로에서 꼬리물기 단속에 효과적인지를 분석하고자 함

[교차로 꼬리물기 예시]

II. Literature review

01. 국외사례분석

- 국내에서는 무인교통단속장비의 효과를 분석하기 위하여 실제 교통사고 데이터를 활용함
  - 그러나, 교통사고 건수를 활용하기 위해서 설치 전 · 후 3년 또는 5년 이상의 교통사고 자료를 확보해야 하는 단점이 존재
- 국외에서는 교차로 안전성을 평가하기 위하여 대리안전지표(Surrogate Safety Measure)를 활용하고 있음
  - 대리안전지표는 교통안전 분석에 사용할 수 있는 대체 지표로 차량 속도, 가속도 등 교통 매개변수를 사용하여 특정 교통 상황의 충돌 위험을 계산이 가능함

저자	년도	데이터	분석 구간	활용 대리안전지표
Chuanyun Fu et al	2021	영상 데이터	도시 신호교차로	TTC, PET, DRAC, MTTC
Lai Zheng et al	2019	영상 데이터	도시 신호교차로	TTC, PET, DRAC, MTTC
Yanyong Guo et al	2020	영상 데이터	도시 신호교차로 및 비신호교차로	TTC, DRAC, MTTC
Jianqing Wu et al	2020	LiDAR 데이터	도시 신호교차로	PET, CPI, PSD
Chuanyun Fu et al	2021	영상 데이터	도시 신호교차로	DRAC

[교차로 안645 문헌검토]

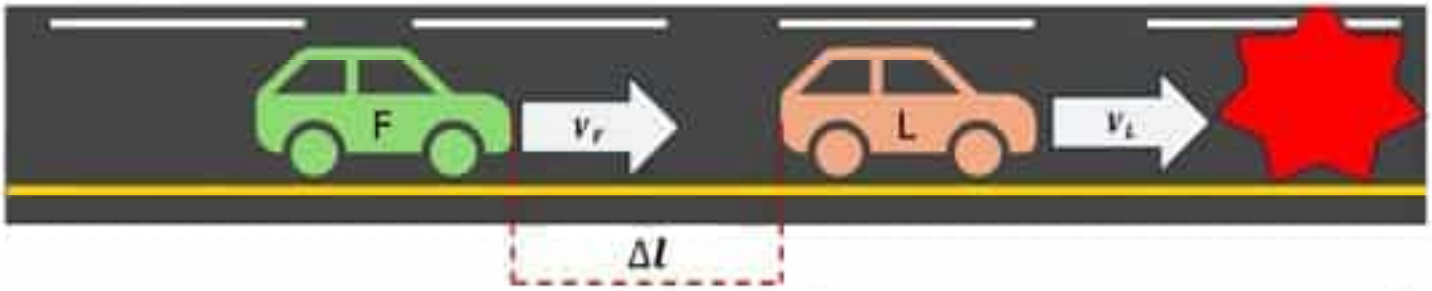
II. Literature review

02. Time to Collision(TTC)

- Time to Collision(TTC)는 차량 주행의 안전성을 평가하는 지표로 계산이 쉽고, 활용이 용이하여 널리 쓰이는 지표
- TTC는 두 차량이 현재의 주행 상태와 같은 방향 및 속도로 주행한다고 가정할 때 충돌까지 소요되는 시간을 의미
- TTC의 결과값은 평가 기준에 따라 안전, 위험, 매우 위험으로 구분
  - 안전 : TTC 〉 3.0s
  - 위험 : 3.0s 〉 TTC 〉 1.5s
  - 매우 위험 : 1.5s 〉 TTC

$$TTC = \frac{\Delta l}{V_F - V_L}$$

v_L : 선행차량 속도, v_F : 후행차량 속도, Δl : 차간거리

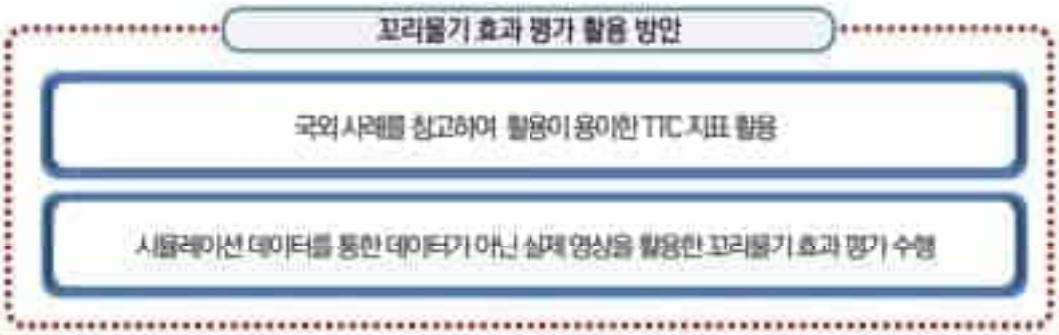


[TTC 수식 및 도식화]

II. Literature review

03. 시사점

- 꼬리물기는 교차로 내 차량간 후방 충돌 및 측면 충돌 사고에 영향을 미치므로 사고 유형별 사고 위험성과 안전성을 측정할 수 있는 대리안전지표를 위주로 검토하였음
  - 국외에서는 계산이 간단하여 손쉽게 측정이 가능한 Time to Collision(TTC) 지표를 주로 사용함
- 또한, 대부분 국외에서는 교통 시뮬레이션을 활용하여 교차로 안전성을 분석하였음
  - 이는 실제 교통 환경과 다를 수 있다는 단점이 존재함
- 본 연구에서는 실제 교통단속장비에서 추출된 영상데이터를 기반으로 꼬리물기 단속 효과를 평가한다는 데 의의가 있음



[연구 시사점]

III. Methodology and Results

01. 분석 대상지

- 서울시 강남구 국기원사거리를 대상으로 꼬리물기 효과 분석을 진행
  - 국기원 사거리는 테헤란로에서 강남대로로 연결되는 길목으로 상시 교통량이 많으며, 꼬리물기로 인한 차량 정체 발생
- 22년 10월부터 무인교통단속장비를 설치하여 영상을 수집하였음

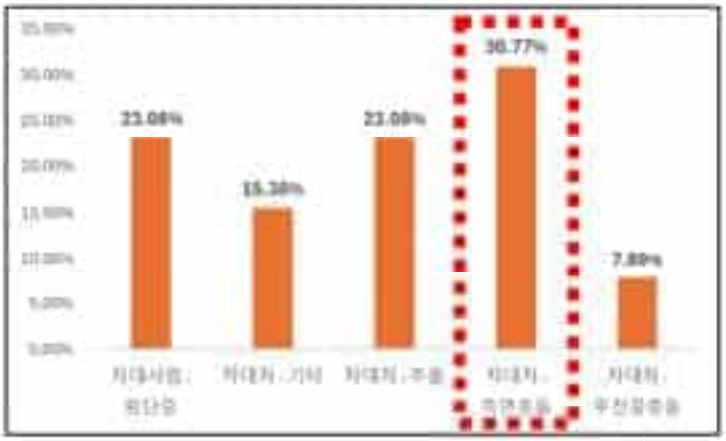
[강남구 국기원 사거리]

[국기원 사거리 무인교통단속장비]

III. Methodology and Results

02. 꼬리물기 단속 기준

- 꼬리물기 위반은 도로교통법 제25조(교차로 통행방법)5항에 근거하여, 단속을 수행함
  - 꼬리물기 위반은 차량이 전방의 교통 상황(정체 상황)을 고려하지 않고 무리하게 교차로를 진입하였다가 주어진 현시 내에 교차로를 빠져나가지 못한 상황을 의미함
- 꼬리물기로 인한 교통 흐름 방해는 차량의 진행 방향 및 교차 상충하는 방향에서 진행됨
- 본 연구에서는 꼬리물기 단속 효과를 평가하기 위해 교차 상충하는 차량의 데이터를 활용
  - 국기원 사거리 최근 3개년 교통사고 유형을 분석한 결과 측면충돌사고가 가장 많이 발생하였음



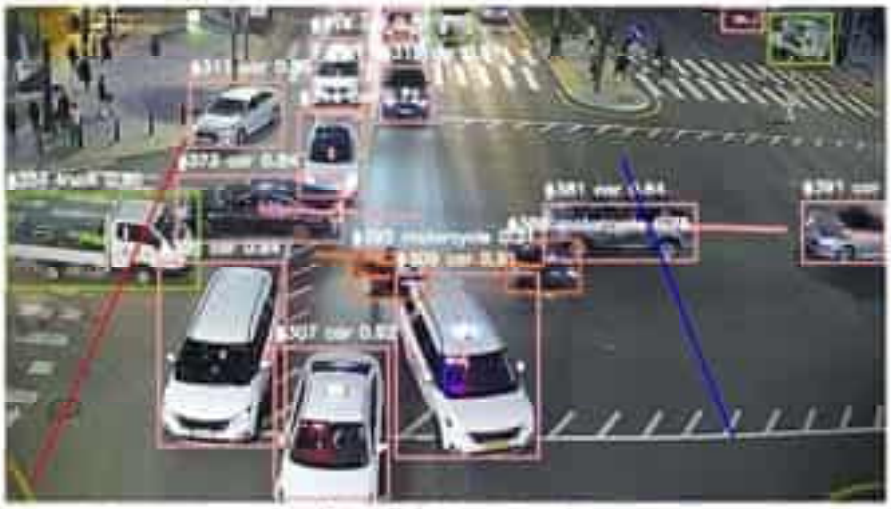
[국기원 사거리 교통사고 유형 분석 결과]

[교차로 꼬리물기 교차상충 예시]

III. Methodology and Results

03. YOLO 알고리즘

- 본 연구에서는 영상 데이터를 통해 차량을 검지하기 위하여 YOLO(You Only Look Once) 딥러닝 알고리즘을 활용함
  - YOLO는 정지된 영상이나 동영상에서 다양한 객체를 실시간으로 탐지하는 딥러닝 알고리즘으로 대표적인 객체 검출 모델임(김준석, 2023)
- 객체 탐지를 위해 전작보다 정확성이 향상된 YOLOv8을 활용하였음
- 객체를 승용차, 이륜차, 화물차, 버스로 구분하여 탐지하였으며, 통과 시간, 차량의 속도, 앞차와의 거리 등을 추출함



[YOLO를 활용한 객체 검지]

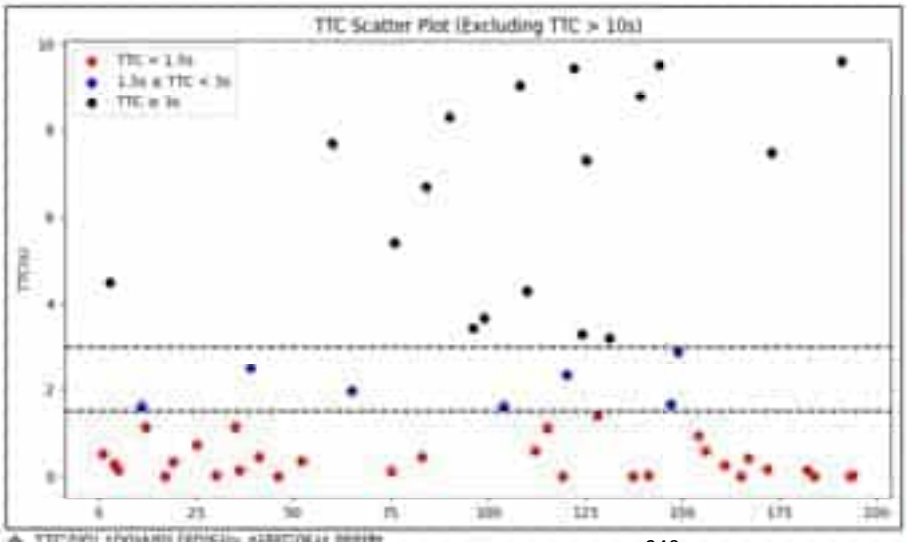
Vehicle ID	Red Line Time (s)	Blue Line Time (s)	Speed (km/h)	Distance to Front (pixels)
7614	11.46	14.23	27.32	102.01
7623	13.33	14.86	49.30	76.80
7581	14.33	18.66	17.44	224.35
7639	17.93	21.70	20.07	79.65
7641	20.56	23.73	23.87	7.716
...	...	...	...	...

[객체 검지 데이터 예시]

III. Methodology and Results

04. 교차로 꼬리물기 단속 효과평가

- 2023년 10월 31일 18시부터 19시까지 강남구 국기원사거리 영상을 활용
  - YOLO 딥러닝을 활용하여 검지된 200대의 차량 데이터를 추출함
- TTC 평가기준에 따라 첨두시간 꼬리물기 상황에서 검지된 차량 중 약 80% 차량은 안전하게 주행하지만 나머지 20% 차량 주행은 위험한 주행으로 분석됨



❖ TTC값이 100개인 데이터는 산점도에서 제외함

[국기원 사거리 TTC 결과표 및 산점도]

구 분	차량 대수(대)
안전	162
위험	7
매우 위험	31
전체 차량	200

Ⅳ. Conclusion

01. 결론

- 본 연구는 무인교통단속장비가 꼬리물기 상황에서 안전성 향상에 미치는 영향을 보고자 하였음
- 무인교통단속장비에서 기록된 영상을 기반으로 YOLO 딥러닝 알고리즘을 활용하여, 차량 데이터를 추출하였음
- 추출된 데이터를 국외에서 자주 사용되는 대리안전지표인 TTC에 적용하여 안전성을 분석하였음
- 분석 결과 꼬리물기 상황에서 약 80% 차량이 안전한 주행을 하는 것으로 분석됨

02. 연구의 한계점

- TTC는 차량의 속도와 차간거리 변수만 활용하여 실제 차량 특성을 반영하지 못한다는 단점이 존재
- 또한, 영상의 길이 및 기간이 짧아 분석 구간의 정확한 차량 특성을 파악하기 어려움
- 따라서, 향후 분석기간이 늘어난 영상을 활용하고, TTC의 단점이 보완된 MTTC, TIT, TET 등과 같은 지표들을 적용하여 보다 정확한 꼬리물기 상황에서의 차량 주행을 파악할 예정

사사 : 본 연구는 경찰청과 과학기술사업진흥원 영상분석 기술기반 교통단속 장비 및 운영 플랫폼 개발의 연구비 지원 (과제번호 2024-SCPO_B_0320)에 의해 수행되었습니다.

11

감사합니다.
Q&A

차량행태 기반 교통안전시설 안전성 분석

채준병 아주대학교 교통연구센터장

| 한국ITS학회 2024 추계학술대회

아주대학교

Contents

Ⅰ 연구의 배경 및 목적

Ⅱ 관련 연구 고찰 및 모델 분석

Ⅲ 자료 수집 및 분석

Ⅳ 결과 도출 및 해석

Ⅴ 결론 및 향후 연구

I | 차량행태 기반 교통안전시설 안전성 분석

연구의 배경 및 목적

연구의 배경

- 교통사고는 막대한 사회적, 경제적 비용을 유발하는 전 세계적으로 심각한 문제이며, 특히 우리나라는 교통 안전도 수준이 매우 낮은 편에 속함
- 2023년 우리나라의 교통사고 사망자 수는 2,551명으로, 이는 1991년 사망자 수 13,429명 대비 1/5 수준으로 줄어들었음
- 그러나, 2021년 기준 36개 OECD 회원국 중 인구 10만명당 사망자는 6.5명으로 27위, 자동차 1만대 당 사망자는 1.2명으로 31위를 기록중임.
- 특히, 교통사고 사망자 중 보행자 비율 38.9%로 OECD 회원국 중 최하위이며 보행안전 대책이 시급함

- 정부는 도시부 제한속도(5030) 정책을 통해 교통사고 예방 및 사고 발생시 피해를 최소화하여 보행자 사망 사고율을 낮추고자 함.
- 도심부 5030 정책을 효과적으로 실행하기 위해 교통단속장비, 과속방지턱과 같이 다양한 교통안전시설의 설치하여 교통 안전을 도모하고 있음.
- 교통안전시설의 설치로 인한 교통사고 감소 효과, 통행속도 감소 효과 등 다양한 연구가 이루어지고 있음.
- 그러나, 교통안전시설의 실제 교통 흐름에 미치는 영향, 차량 주행 행태, 운전자의 주행 패턴 등에 대한 연구는 미비한 상황임

연구의 목적

- 본 연구에서는 YOLOv8 알고리즘을 활용하여 차량 행태 및 운전자 주행 패턴을 측정하여 교통안전시설이 교통 환경에 미치는 영향을 파악하고자 함
- 교통안전시설의 차량 행태를 분석함으로써 교통안전시설이 사고 예방에 실질적인 효과가 있는지를 검증하고자 함

II | 차량행태 기반 교통안전시설 안전성 분석

관련 연구 고찰 및 모델 분석

교통안전시설 효과분석 연구

저자	제목	Major Findings
Geum, G. I (1996)	과속방지턱의 설치효과 분석 및 수직가속도에 의한 개발 연구	• 과속방지턱의 효과분석, 운전자 인식 조사, 설치 및 관리 문제, 수직 가속도 등 분석 수행 • 과속방지턱의 주행속도 저감 효과 분석 결과 0.3~0.6점으로 도출됨
Lee et al (2023)	비교그룹방법을 이용한 공공데이터 기반 교통단속장비 사고감소 효과 분석	• 교통사고분석시스템(TAAS)의 데이터를 활용하여 교통단속장비의 사고감소 효과 분석 수행 • 교통단속장비가 교통사고 감소 및 사고 심각도 개선에 큰 효과가 있는 것으로 분석됨

SSAM을 활용한 교차로 안전성 평가 연구

저자	제목	Major Findings
Yun et al (2011)	SSAM을 이용한 신호교차로 안전성 평가 (감응식 교통제어 도입사례를 중심으로)	• SSAM을 활용하여 교차로 교통신호 제어 유형별 안전도를 비교함 • 대리안전척도 상충횟수, TTC, PET, DR, MaxS, DeltaS를 활용하여 평가 수행
Gang et al (2012)	Modeling Risk Degree of Conflicts between Crossing Pedestrians and Vehicles at Signalized Intersections	• 신호교차로에서 보행자와 차량사이의 안전성을 평가하기 위해 TTC, PET, DCI를 제안함 • 통행 유형별 빈도와 사고 심각도 수준을 도출하여 신호교차로의 안전성을 평가함

YOLO 알고리즘 기반 연구

저자	제목	Major Findings
Gil et al (2024)	YOLO기법을 사용한 차량가속도 및 차두거리 산출방법	• YOLO를 활용하여 차량 속도 및 통행시간 차이를 통해 가속도와 차두거리 측정 모델 개발 • 특정 거리 간격의 기준선(ROI)를 설정하여 기준선을 지나는 시간 차이를 통해 속도 산출
Jeng et al (2021)	A Real-Time Vehicle Counting, Speed Estimation, and Classification System Based on Virtual Detection Zone and YOLO	• ROI와 YOLO를 기반으로 하는 차량 검지, 속도 추정에 대한 방법 제시 • 차선과 평행한 노면 정선 표시를 이용하여 속도 추정 및 정선의 길이로 주행 거리 추정

시사점 》 YOLO 알고리즘을 활용하여 SSAM의 대리안전척도로 교통안전시설의 행태 변화 및 안전성을 분석하고자 함

관련 연구 고찰 및 모델 분석

SSAM (Surrogate Safety Assessment Model)

SSAM 분석 모형

- 미국 FHWA에서 개발한 SSAM은 상충 이론에 기반한 미시교통 시뮬레이션 모형과 자동화된 상충분석기법이 결합된 모형임
- 개별 차량의 경로 정보를 이용하여 교통류의 움직임 속에서 차량과 차량의 상충을 분석하는 Software
- 안전성 효과를 대리할 수 있는 척도인 차량간 상충횟수, TTC, PET, MaxS, DeltaS, DR 등을 사용하여 차량의 사고 발생가능성 예측 및 도로의 안전성을 예측할 수 있음

교통안전시설 분석 변수 선정

- SSAM의 대리안전척도를 활용하여 교통안전시설의 안전성을 분석하고자 함
- YOLOv8 알고리즘으로 얻은 교통안전시설 내 차간거리, 차량 속도, 가·감속도를 활용
- 차량 행태 변화 및 운전자 주행 패턴에 대해 SSAM의 TTC, DR 변수로 분석 수행
- TTC는 차량 충돌까지 남은 시간으로 TTC 값이 낮을수록 충돌 확률이 높음
- DR은 후행차량의 감속도로 DR 값이 높을수록 충돌 확률이 높음

평가 지표	설명
Time to Collision(TTC)	[illegible]
Post Encroachment Time(PET)	[illegible]
Deceleration Rate(DR)	[illegible]
Max. Speed(MaxS)	[illegible]
Delta Speed(DeltaS)	[illegible]

$$TTC = \frac{L}{v_{rel}}$$

L : 앞뒤 차량과의 상대 거리

v_{rel} : 앞뒤 차량과의 상대 속도

$$DR = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Δv : 차량의 속도 변화

Δt : 시간 변화

관련 연구 고찰 및 모델 분석

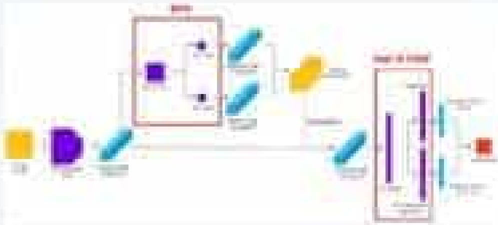
객체 탐지 알고리즘

YOLO

- 실시간 객체 탐지를 위한 알고리즘으로 이미지를 단 한번만 보고 물체를 검출하는 딥러닝 객체 탐지 모델
- 단일 신경망 구조 : 객체 분류와 경계 상자 예측을 동시에 수행하는 단일 신경망구조
- 실시간 처리 속도 : 기존 객체 탐지 알고리즘보다 훨씬 빠른 속도로 객체를 탐지
- 높은 정확도 : 다양한 객체와 환경에서도 동일하게 높은 객체 검출 성능

Faster R-CNN

- Faster R-CNN은 Object Detection의 시초인 R-CNN을 개선한 모델로 입력 이미지에서 다수의 후보 영역을 생성해 각각의 영역을 CNN으로 처리하는 모델
- 높은 검출 정확도 : 다른 딥러닝 기반의 알고리즘보다 더 높은 정확도를 보임
- 복잡한 구조 : 대용량 데이터셋에서 학습 시 메모리 부족 문제가 발생할 수 있음
- 비교적 느린 속도 : 복잡한 구조로 인해 YOLO보다 상대적으로 느린 속도를 보임



자료 수집 및 분석

자료 수집 및 구축

① 분석 대상지 촬영

- ☑ 차량 주행 특성 파악에 용이하고 시설물 영향 정도를 원활하게 확인할 수 있는 지점 선정
- ☑ 교통안전시설 차량 행태변화 분석을 위한 분석 대상지 선정
- ☑ 제한속도(30km/h, 50km/h) 구간에서 교통안전시설의 데이터를 수집
- ☑ **드론촬영 : 도로 수직 상공 100m (측정 용량구간 zero)**
- ☑ 원활한 객체 인식을 위한 고도, 날씨, 시간대 고려

[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]

② 이미지 로드 및 전처리

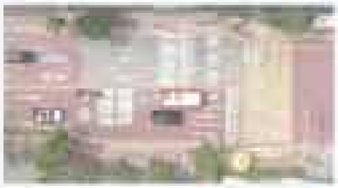
- ☑ 영상 처리에 필요한 OpenCV를 사용하여 프레임 추출
- ☑ 드론으로 촬영한 영상을 불러온 후, 1초마다 영상을 나눠 이미지 파일로 저장
- ☑ YOLO 알고리즘에 적합한 해상도로 조정하여 탐지 성능 최적화
- ☑ 이미지 크기 조정, 노이즈 제거, 이미지 정렬을 통해 분석의 정확성 향상

자료 수집 및 분석

YOLO 적용 및 분석

① YOLO 모델 적용

- ☑ Y축 범위 설정 : 이미지 내 분석을 수행할 도로 위 차선들에 대해 범위를 설정하여 객체 탐지 수행
- ☑ 객체의 위치 좌표 변환 : 탐지된 차량의 Bounding 박스에서 차량 크기 계산 및 차선 정보 추출
- ☑ 차량 정보 저장 및 시각화 : 탐지된 차량의 좌표와 크기 저장 및 차종에 따라 색상을 다르게 설정



② 차량 주행패턴 분석

- ☑ 교통안전시설 별 속도, 가·감속도 및 차간거리 분석 수행
- ☑ 선행차량과 후행차량의 y축 좌표와 y축 좌표의 차이를 계산한 후, 선행차량의 길이를 빼 차간거리 측정
- → 과속방지턱(고원식 횡단보도) 및 정지선을 통과하는 선행차량과 그 뒤를 따르는 후행차량의 간격 계산
- ☑ 각 차량의 프레임별 좌표를 이용해 위치 변화와 시간 간격 계산 후 속도 추정
- ☑ 추정된 차량의 속도를 바탕으로 교통안전시설 통과 시 차량 패턴을 분석하여 가·감속도 추정

감사합니다.

속도와 교통량을 활용한 교통혼잡지표 설계 및 분석

-한국 ITS학회 2024년도 추계학술대회-

2024.10.25

명지대학교 교통공학과 스마트교통연구실
최철원

명지대학교

Introduction

연구의 배경 및 목적

- 교통 혼잡은 오랜시간동안 도시 이동의 중요한 장애물로 인식되어 왔으며, 통행시간 증가에 따른 연료 소모 등은 많은 경제적 환경적 비용을 발생시킴
- 도로의 소통 상태를 나타내는 혼잡 지표(Congestion Index)는 이용목적에 따라 다양함

1.1 연구의 배경 및 목적

- 대도시들이 겪고 있는 여러 도시화 문제점 중 교통 혼잡은 높은 교통수요로 인한 혼잡의 확산 및 전이와 직접적으로 연관되어 있음
  - 한국교통연구원 발표에 따르면 2020년 서울에서 차가 막혀 도로 위에서 버려진 교통혼잡비용은 14조로 높은 사회적 비용이 발생함
- 혼잡 지표는 도로 이용자 측면에서 판단 할 수 있는 이동성 및 신뢰성에 관한 지표, 정책 입안자 측면에서 투자를 판단할 수 있는 비용과 편익 측면의 지표, 도로시설 관리자 입장에서 도로 네트워크의 수행능력을 나타낼 수 있는 지표 등 다양하게 연구되었음
  - 다양한 혼잡 지표 중 교통관리 목적으로 사용할 수 있는 지표는 상대적으로 적으며, 혼잡하지 않을 때 대비 통행시간이 어느정도 소요되는지, 또는 분석기간 중 혼잡한 시간의 비율이 어떠한지를 나타내는 교통정보 제공 측면에서 활용되고 있음
- 도심 내 혼잡 전이를 파악하는 것은 교통문제를 해결하고 도시의 효율적인 교통시스템을 구축하는데 필수적임
  - 그러나 기존 혼잡 지표는 개별 링크 단위의 네트워크가 형성된 도시 내 링크에는 활용성이 낮아지는 한계가 있으며 혼잡에 영향을 주는 도로의 파악도 전무함
- 혼잡 전이 및 링크의 혼잡영향력 파악은 나아가 차량 경로 선택에도 영향을 줄 수 있으며, 한정된 도로 자원의 효율적인 활용을 위하여 분석이 필요함

혼잡을 파악하는 새로운 지표 제시 및 교통혼잡에 높은 영향을 미치는 링크를 예측하는 모델 구축

문헌 고찰

- 네트워크 상태를 측정하는 교통 데이터(속도, 교통량, 통행시간, 지체) 중 혼잡 지표 도출을 위하여 아래 측면에서 비교분석을 실시함
- 통행시간 및 지체와 비교하여 활용성이 높은 교통량과 속도를 본 연구의 혼잡지표 활용데이터로 선정함

2.1 분석 데이터 선정

Assessment Criteria / Congestion Metric	편의성	데이터 수집의 용이성	인정성	반복성	혼잡의 크기	도시 간 비교	연속성
속도	○	○	○	○	○	×	○
교통량	○	○	○	○	×	×	○
통행시간	×	×	×	○	×	×	○
지체	○	○	×	○	×	×	○

1) 교통량 (Los and Volume)

- 교통량은 대표적인 변수로서 데이터 수집이 용이하며, 전문가가 아닌 일반인도 이해할 수 있는 장점이 있음
- 단순한 교통량 값은 모든 도로에 대해 전수조사를 실시하고 있지 않으며, 정체가 심해지면 교통량 수요가 감소 할 수 있기 때문에 해당 지표를 사용함에 있어 제한적임

2) 속도 (Speed)

- 속도는 매력데이터 또는 설문조사 등에서도 쉽게 구득이 가능하며 혼잡을 나타내는 가장 연관성 있는 지표임
- 단순한 속도 값을 활용한 지표는 이해하기는 쉽지만 도로교통망에 적용할 시에는 주변여건 변화를 반영하는 민감도를 갖추지 못함
- 대안의 평가나 사후 평가등에 불합리한 지표로 평가됨

문헌 고찰

- 국내 외 이동성 및 혼잡지표는 다양하게 연구되었으며, 지표 도출을 위한 수식, 개념 및 특징을 제정리하였음
- 해당 지표들의 특징 및 한계점을 참고하여 혼잡지표를 개발하고자 하였음

2.2 이동성 및 혼잡 관련 지표

1) 통행시간 지표 (Travel Time Index, TTI)

- 통행시간 지표란 자유류 통행시간 대비 첨두시 통행 시간의 비율로 원하는 분석시간대를 임의로 적용 가능함
- 입력 자료 획득이 용의 하고 계산이 간단하다는 장점이 있음
- 통행시간 지표 값을 산출하는데 있어 자유통행속도는 제한속도, 85percentile 속도 등을 활용함

$$TTI = \frac{Observed\ Travel\ Time}{Free-Flow\ Travel\ Time} = \frac{Free-Flow\ Speed}{Observed\ Speed}$$

2) 밀도 혼잡지수 (Occupancy Congestion Index, OCI)

- 밀도 혼잡지수란 혼잡의 강도 개념을 추가한 혼잡지표로써 혼잡의 강도를 나타내는 측정기준으로 통행밀도(대/km), 포화통행밀도 개념을 사용함
- 밀도 혼잡지수는 혼잡의 시간적 범위와 공간적 범위만을 고려한 다른 혼잡지표와는 다르게 혼잡의 강도가 포함된 장점이 있음

$$OCI = \frac{\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{m} D_j \times E_i \times I_{ij}}{T \times L}$$

i = 1, 2, ... ,m(도로구간 수)
j = 1, 2, ... ,n(시간간격 수)
E_i = 도로구간 i의 연장(km)
D_j = 시간대 j의 간격(hour)
I_{ij} = $\frac{100}{\text{포화통행밀도}(Jam\ Density)}$ = 통행밀도
= 도로구간 i의 j시간대 혼잡강도
T = 총 시간간격의 합(hour)
L = 총 도로연장의 합(km)

문헌 고찰

- 국내 외 이동성 및 혼잡지표는 다양하게 연구되었으며, 지표 도출을 위한 수식, 개념 및 특징을 제정리하였음
- 해당 지표들의 특징 및 한계점을 참고하여 혼잡지표를 개발하고자 하였음

2.2 이동성 및 혼잡 관련 지표

3) 통행률 지표(Travel Rate Index, TRI)

- 통행률 지표란 첨두시간동안 혼잡으로 인한 추가적인 통행시간을 나타낸 지표로 첨두 시간 통행률을 비 첨두시간 통행률로 나눈 값
- 통행률은 통계분석에 사용하기 용이하고 데이터 수집이 비교적 용이하고 일반인들이 이해하기 쉬울 뿐만 아니라 지역적 단위에도 적용이 가능함
- 그러나 통행률 지표는 첨두시간동안 혼잡상태 만을 고려하고 있으므로 비 첨두시 혼잡을 고려하지 못하는 단점이 있음

$$TRI = \frac{\text{비 첨두시 통행률}}{\text{첨두시 통행률}} \quad \text{통행률} = \frac{\text{통행시간(분)}}{\text{도로구간길이}(km)}$$

4) 도로 혼잡지표(Roadway Congestion Index, RCI)

- 도로혼잡지표는 고속도로와 주간선 도로의 혼잡상황을 통한 혼잡지표로써 단위도로연장 당 일교통량을 사용하여 산출함
- 도로혼잡지표는 개략적인 도시간 혼잡상태를 비교하기 위해서 유용한 혼잡지표이나 교통량을 혼잡특정기준으로 사용함에 혼잡이 심해질수록 오히려 교통량은 더 감소하는 현상으로 인하여 지표로서 논리성이 떨어짐

$$RCI = \frac{\frac{Freeway\ VMT}{Lane-Mile} \times Free\ VMT + \frac{prin.Art\ VMT}{Lane-Mile} \times prin.Art\ VMT}{14{,}000 \times Free\ VMT + 5{,}500 \times prin.Art\ VMT}$$

II Literature Review
명지대학교

문헌 고찰

- 국내 외 이동성 및 혼잡지표는 다양하게 연구되었으며, 지표 도출을 위한 수식, 개념 및 특징을 제정리하였음
- 해당 지표들의 특징 및 한계점을 참고하여 혼잡지표를 개발하고자 하였음

2.2 이동성 및 혼잡 관련 지표

5) 혼잡심각도 지표(Congestion Severity Index, CSI)

- Lindly(1986)에 의해서 처음 개발된 지표로 37개 미국도시지역의 고속도로 혼잡도를 비교하는데 사용됨
- 혼잡심각도지표는 서비스 수준이 D(V/C 0.77 이상)이상인 상태에서 발생하는 총 고속도로 지체시간을 고속도로 통행량으로 나눈 값을 사용함
- V/C가 1.0 이상인 경우 일률적으로 통행속도를 32km/h로 해야하며,그 이하의 교통혼잡에 의한 지체시간이 반영되지 않는 단점이 있음

$$CSI = \frac{Total\ Freeway\ Delay(Veh-hrs.)}{Freeway\ Miles\ VMT}$$

6) 속도감소지표(Speed Reduction Index, SRI)

- Roess(2011)에 의해서 처음 개발된 지표로 자유주행속도와 혼잡상태의 속도차이를 백분율로 나타냄
- 혼잡으로 인해 주행속도의 감소분을 확인할 수 있으며, SRI 값이 높을수록 혼잡으로 인해 주행속도가 크게 감소함을 나타냄
- SRI는 교통관리 및 계획에서 혼잡의 영향을 정량적으로 평가하고, 개선방안을 마련하는데 활용함

$$SRI = \frac{V_f - V_i}{V_f} \times 100 \quad \text{여기서 } V_f = \text{자유 주행속도}, \ V_i = \text{혼잡속도}$$

문헌고찰

- 국내 외 이동성 및 혼잡지표는 다양하게 연구되었으며, 지표 도출을 위한 수식, 개념 및 특징을 제정리하였음
- 해당 지표들의 특징 및 한계점을 참고하여 혼잡지표를 개발하고자 하였음

2.2 이동성 및 혼잡 관련 지표 및 추가 조건

가) 속도 성능지표(Speed Performance Index, SPI)

- SPI는 실제 주행속도가 자유주행속도에 비해 얼마나 효율적인지를 나타내는 지표로서 1에 가까울수록 실제 주행속도가 자유주행속도와 비슷하다는 것을 의미함
- SPI 값이 낮을수록 혼잡이 심해 실제 주행속도가 자유주행속도에 비해 많이 감소했음을 의미하며, 도로 성능평가 및 교통관리 전략에 활용됨

$$SPI = \frac{V_c}{V_f}$$ 여기서 V_f = 자유 주행속도, V_c = 혼잡속도

혼잡 분석 지표의 추가 조건

1. 혼잡 강도 및 혼잡 범위, 혼잡지속시간을 표현할 수 있어야함
2. 비 전문가인 정책가와 시민이 쉽게 이해 할 수 있는 지표여야함
3. 자료 획득에 용이해야함
   - 각종 교통자료는 측정이 가능하나 충분한 자료가 확보되기 어려워 사용이 불가능할 수 있음
4. 최적 운영상태 혹은 이상적인 운영 상태와 비교 진단 할 수 있어야함
   - 도로교통운영상태를 최적운영상태와 비교해 얼마나 차이가 나는지 알려주는 지표여야함

연구방법론

- 국내 외 이동성 및 혼잡지표의 문헌검토 결과 각 지표들의 특징과 단순한 교통량 및 속도값의 한계를 보완하기위하여 속도의 감소분, 교통량 비율을 활용한 교통혼잡지표(Traffic Flow and Speed Congestion Index, TFSCI)를 도출함

3.1 연구 방법론

1) Traffic Flow and Speed Congestion Index, TFSCI

- 본 연구에서 제안한 교통혼잡지표는 유연성을 가지기 위하여 교통량을 분리하여 교통량 자료가 없는 상황을 고려하였음

$$TFSCI = \left(\frac{\left(S_{ij}^{Limit} - S_{ij}^{Actual}\right)}{S_{ij}^{Limit}}\right) \times \left(\frac{V_{ij}}{V_{Max}}\right) \times \left(1 - \frac{\Delta S}{S_{ij}^{Actual}} + \frac{\Delta V}{V_{ij}}\right)$$

i = 1, 2, 3, …, m (도로 구간 수)

j = 1, 2, 3, …, n (시간 간격 수)

V_{ij} = i구간의 j시 일 때 교통량(V/h)

V_{ij}^{Max} = i구간의 j시 일 때 최대 교통량(V/h)

S_{ij}^{Limit} = 제한속도(km/h)

S_{ij}^{Actual} = i구간의 j시일때 속도(km/h)

ΔS= 속도의 변화량

ΔV= 교통량의 변화량

매개변수	변화의미
$\frac{(S_{ij}^{Limit} - S_{ij}^{Actual})}{S_{ij}^{Limit}}$	• 속도감소지표를 참고하여 작성하였음 • 구간의 자유주행속도 및 혼잡 속도는 교통량 및 길이에 따라 파악이 어려울 것으로 판단하여 해당 구간의 제한 속도와 시간대별 VDS 통행 속도를 활용함 • 구간의 제한속도보다 높은 통행 속도는 혼잡이 적다고 판단하였으며, 해당 값을 기준으로 값이 높을 수록 구간의 혼잡이 높은 것을 의미함
$\frac{V_{ij}}{V_{Max}}$	• 해당 시간대의 교통량이 최대 교통량에 비해 어느 정도인지 나타낼 수 있으며, 값이 1에 가까울수록 해당 시간대의 교통량이 높아 혼잡도가 높음을 의미 • 0에 가까울수록 교통량이 낮음을 의미하여 혼잡도가 낮다고 판단하여 지표에 활용함
$(1 - \frac{\Delta S}{S_{ij}^{Actual}} + \frac{\Delta V}{V_{ij}})$	• Breakdown이 발생한 후 속도 및 V/C비가 감소하는 구간을 구별하기 위해 속도 및 교통량의 변화율을 현재 속도 및 교통량으로 고려하였으며, 속도가 낮을수록 혼잡하므로 음의 부호, 교통량이 높을수록 양의 부호

III Data Preparation

Data Preparation

- (시간적 범위) VDS 통행속도 기준인 2024년 기준으로 하되 자료수집이 어려운 경우에는 취득 가능한 최신자료를 활용함
- (공간적 범위) 한국도로공사 관할 고속도로 32개의 노선을 1km 단위로 분할함

3.1 연구의 범위

시간적 범위

구분	자료의 시간적 범위	범위
VDS 통행 속도	2024.01.02	CSV
교통량	2023	CSV
유존노드링크	2023	SHP
자료수	2023	CSV
제한속도	2023	CSV

공간적 범위

고속도로 명			
경부선	통영대전선	세종고속화도시선	남해제1지선
남해선영업-소천	중부내륙선	세종고속화도시선	남해제2지선
남해선소천-부산	영동선	세종고속화도시선	제2경인선
무안공주선	중앙선	호남선	경인선
광주대구선	서울양양선	소천원주선	서천공주선
평양울산선영업-울산	동해선영업-연산	당진영덕선영업-당진	호남선지선
고창영양선	동해선영업-속초	당진영덕선영업-송악	대전남부순환선
서해안선	동해선영업-송정	당진영덕선영업-송악	중부내륙선지선
울산선	수도권제1순환선	통영대전선	경영선지선
세종고속화도시선	남해제1지선	호부선	부산외곽순환선
세종고속화도시선	남해제2지선	제2중부선	

한국도로공사 관할 고속도로

IV Analysis Result

Analysis Result

- 해당 지표를 통한 혼잡의 전이를 판단하기 위하여 수도권제1순환고속도로 서운IC-송파IC까지의 평일 06-11시까지의 구간을 시각화 하였음
- 혼잡의 발생하는 구간은 경인선, 제2경인선, 서해안선과 만나는 지점에서 발생하였으며 해당 지점을 기점으로 진행방향에 따라 전이되는 것을 확인할 수 있음

4.1 Analysis Result (1)

Analysis Result

- 07시-08시의 경우 이전 시간대에서 발생한 교통량이 증가하여 선 구간에 영향을 미치는 것으로 확인됨
- 서운IC에서 시작된 정체가 조남JC 구간까지 미치는 것을 확인할 수 있음

4.1 Analysis Result (2)

Analysis Result

- 08시-09시의 경우 청수JC를 제외한 IC구간에서는 교통정체가 해소된 것으로 확인됨
- 다만, 조남JC에서 시작된 혼잡의 영향이 청계IC까지 영향을 미치는 것으로 확인됨

4.1 Analysis Result (3)

Analysis Result

- 09~10시의 경우 오전 첨두시에 혼잡하였던 구간인 초남JC 구간의 정체가 해소되고 정계IC에서 송파IC까지 혼잡이 전이되는 것으로 확인됨
- 해당 혼잡이 영향이 추가적으로 송파IC~상일IC로 시작되는 것을 확인함

4.1 Analysis Result (4)

Analysis Result

- 10~11시의 경우 학의JC와 정계IC의 혼잡이 해소되고 성남TG~송파IC로 혼잡이 전이되어 상일IC~강일IC의 혼잡이 시작되는 것을 확인할 수 있음
- 이를 통하여 해당 지표를 통한 서문IC부터 시작된 혼잡이 강일IC까지 전이되는 모습을 확인함

4.1 Analysis Result (5)

5. 향후 진행방향

☑ 현재 지표를 통한 혼잡의 전이성을 판단하기 위하여 본 연구의 목표인 단속류가 아닌 연속류 도로에서 분석을 실시하였음

☑ 속도의 감소분과 교통량의 비율이 어느 특정한 시점을 넘길때 TFCSI가 변하는지는 추가적인 검토가 필요할 것으로 판단됨

☑ 단속류 도로인 도심 네트워크는 연속류인 고속도로에 비하여 모든 링크에 관한 교통량 정보 구득의 한계점이 있음

☑ 이를 극복하기 위하여 교통량 정보가 없을 시 해당 구간의 혼잡 지표를 도출하고 추가적으로 교통량 정보가 있는 구간에 가중치를 고려하는 방안 또는 교통량 자료를 보완할 수 있는 추가적인 방법을 모색할 예정임

☑ 교통량 문제가 해결된 단속류 네트워크에서 지표가 구축이 된다면 링크별 혼잡영향력을 파악하기 위한 GNN 구축을 1순위로 준비하고 있으며, 2순위는 지표에 초점을 두어 타 혼잡지표 대비 본 연구에서 제안한 지표의 성능 및 논리를 준비할 예정

감사합니다.

그래프 어텐션 모델을 활용한 교통혼잡지표 개발 및 링크의 혼잡 영향력 예측

명지대학교

ARIMA모형을 이용한 무인교통단속장비의 단속건수 유형별 특성

Analysis of Violation Patterns Captureed by Automated Traffic Enforcement Systems Using the ARIMA Model

한 효 승	양 정 훈	박 재 훈	윤 일 수	송 태 진
(한국도로교통공단, 연구원)	(한국도로교통공단, 차장)	(한국도로교통공단, 과장)	(아주대학교, 교수)	(충북대학교, 교수)

Key Words : 무인교통단속장비, 시계열분석, ARIMA, 단속추세, 단속건수 유형, ATES

목 차

Ⅰ. 서론
Ⅱ. 문헌고찰
1. 무인교통단속장비 연구
2. 시계열 분석 연구
3. 기존 연구와의 차별성
Ⅲ. 연구방법론
1. 분석자료의 설명
2. ARIMA 분석
Ⅳ. 연구결과 분석
Ⅴ. 결론

Ⅰ. 서론

무인교통단속장비는 도로에서 신호 및 제한속도를 위반하는 차량을 단속하는 장비로 교통법규 위반에 따른 교통사고를 예방하는데 그 목적이 있다. 1998년 무인교통단속장비가 최초로 설치된 후 설치대수는 매년 증가하고 있으며(이상오 외, 2022), 최근 2020년 어린이보호구역 내 무인교통단속장비 설치를 담은 민식이법이 시행되면서 전국의 무인교통단속장비는 2020년 10,164대 대비 2023년 24,396대로 약 2.4배 증가하였다.

향후에도 신도시 개발에 따른 어린이보호구역 신규지정, 기존 어린이보호구역 내 추가 설치 소요 등으로 인해 무인단속장비의 설치대수는 지속적으로 증가할 것으로 예상된다. 이러한 무인교통단속장비는 초기에 설치비용뿐만 아니라 유지비용이 꾸준하게 지출되기 때문에 설치를 고려할 때, 운전자들의 안전운전을 유도하고 교통사고를 예방할 수 있는 곳으로 선정해야한다. 따라서 설치 이후 단속건수에 대한 과거추세 분석과 설치 지점에 대한 특성을 고려하여 효율적 운영을 위해 활용할 필요가 있다. 따라서 무인교통단속장비의 단속건수 데이터에 대한 일정한 패턴 유형을 도출하고, 패턴에 따른 설치지점에 대한 특성을 분석하고자 한다. 이에 본 연구는 시계열 분석기법 중 하나인 ARIMA모형을 활용하였으며, 시계열 유형별로 지점에 따른 특성들을 다변량 회귀분석을 실시하였다.

Ⅱ. 문헌고찰

1. 연구

이윤섭 외(2023)는 교통사고분석시스템(TAAS)와 교통단속장비 관리업무시스템(MTS) 간의 융합을 통해 무인교통단속장비에 대한 효과를 분석하여 제시하였다. 그 결과 전체 교통사고는 28.53%, 치명적 사고 발생은 39.44% 감소한 것으로 나타났다. 또한, 제한속도 및 교통사고 유형에 따라 감소율이 상이하다는 점을 밝혔다.

박희정 외(2022)는 고속도로에 과속단속장비를 설치하였을 때 통행속도와 사고건수가 어떻게 변하는지 그 효과에 대해서 분석하였다.

소형준 외(2020)는 무인교통단속장비 설치를 위한 정량적인 설치기준을 통해 적정 설치대수를 제시하였다. 도로 유형을 4가지로 나누고, 도로 유형별로 사고건수와 사고 심각도를 바탕으로 설치 판단을 위한 ARI 값을 제시하였다. 이를 근거로 기 설치된 구간을 제외하고, 추가적으로 5,244대의 장비가 필요하다고 분석하였다.

류운성(2010)은 대구광역시 내에 설치된 무인교통단속장비 중 단일로의 설치된 19개소의 단속건수를 바탕으로 평면선형과의 연관성을 분석한 연구를 진행하였으며, 설치 효과를 극대화 할 수 있는 방안을 제시하였다.

Yunxuan Li 외(2021)는 중국 우장시 내에 있는 교차로 53개소에 설치된 무인교통단속장비의 단속건수에 대한 예측을 수행하였다. 이를 위해 기상상황, 시간대, 토지이용 특성 등을 고려하여 분석을 진행하였다.

2. 시계열분석을 활용한 연구

Sief 외(2024)의 연구에서는 과거 교통사고 데이터를 바탕으로 ARIMA 모형과 ANN모형을 이용하여 이란의 2030년까지 교통사고 발생 추세를 예측하였다. 그 결과 두 모형 모두 교통사고가 증가할 것으로 예측하였으며, 향후 도로교통사고 사망률을 줄이기 위한 정책이 필요하다고 제언하였다.

Ihueze 외(2018)는 나이지리아의 Anambra 주의 교통사고 자료와 다양한 변수(인적요소, 차량요소, 도로환경적 요소)들을 통해 교통사고를 예측하였으며, ARIMA와 ARIMAX 두 모형에 대한 성능 비교를 하였다.

3. 차별성

기존 무인교통단속장비와 관련된 대부분의 연구들은 특정지점이나 일정구간 등에 대해 무인교통단속장비 설치 이전과 이후의 전후 비교 분석에 초점이 맞춰져 있다. 일부 연구에서는 단속자료를 활용한 연구를 진행한 바 있지만, 분석 데이터가 상대적으로 적고 단속건수에 대한 유형별 특성을 분석한 연구는 전무하였다.

III. 연구방법론

1. 분석자료의 설명

본 연구의 분석자료는 2022년부터 2023년까지 무인교통단속장비의 단속건수가 사용되었다. 각 17개의 특별광역시·도 경찰청에서 운영하는 무인교통단속장비 중 단속건수 상위 5대에 대한 설치정보와 단속자료를 수집하였다. 분석자료에 대한 세부내용은 <표 1>과 같다. 수집된 85대의 단속건수 데이터들에 대한 시계열 분석을 통해 감소추세, 횡보추세, 증가추세, 불규칙추세 등 총 4가지 유형으로 구분하였다.

<표 1> 분석자료의 세부 내용

구분	세부항목
관리번호	ex) G1122, H3820 등
일간 단속건수	일자, 단속건수
단속기능	속도위반, 신호위반
차로수	2차로, 3차로, 4차로, 5차로, 6차로
제한속도	30kph, 40kph, 50khp, 60kph, 80kph, 90kph, 100kph
보호구역 여부	스쿨존, 실버존, 빌리지존
평면선형	직선, 곡선
종단선형	평지, 내리막, 오르막
도로종류	고속도로, 특별광역시도, 국도, 시도, 지방도, 군도
장비운영 경과월수	개월

2. ARIMA 모형

본 연구에서는 2022년부터 2023년까지 일정기간 동안 집계된 무인교통단속장비의 단속건수 추세를 통해 설치위치가 단속건수에 미치는 영향을 분석하기 위해 시계열 분석모형 중 ARIMA(autoregression integrated moving average) 모형을 사용하였다.

ARIMA 모형은 기존 정상성 시계열을 구현하는 ARMA(autoregressive moving average)를 기반으로 한 모형으로 비정상성 데이터를 정상화 하는 단계가 추가된 모형이다(이기준, 2021).

IV. 연구결과 분석

1. 시계열 모형에 따른 분석

먼저 단속자료에 대해 ARIMA모형으로 분석을 실시한 결과 <표 2>와 같이 패턴들을 크게 4가지로 정리할 수 있었다.

<표 2> 시계열 모형에 따른 유형패턴

구분	감소	증가	횡보	불규칙	계
서울	1	1	1	2	5
부산	1	0	1	3	5
인천	1	2	1	1	5
대구	0	0	2	3	5
광주	1	1	0	3	5
대전	1	0	2	2	5
울산	1	1	1	2	5
경기북부	2	0	0	3	5
경기남부	2	1	1	1	5
강원	1	1	1	2	5
충북	2	1	0	2	5
충남	1	0	1	3	5
전북	1	2	0	2	5
전남	1	0	1	3	5
경북	2	0	0	3	5
경남	2	0	1	2	5
제주	1	0	1	3	5
합계	21	10	14	40	85

참고문헌

1. 이상오, 이철기, 윤일수(2022), 무인교통단속장비 개선 및 구현, 한국ITS학회논문지, 21(5), 한국ITS학회, p.42-56.
2. 이윤섭, 한여희. 김영찬(2023), 비교그룹방법을 이용한 공공데이터 기반 교통단속장비 사고감소 효과분석, 한국ITS학회논문지, 22(6), 한국ITS학회, p.168-181.
3. 박희건, 이동규(2022), 고속도로 과속단속장비 설치에 따른 통행속도 및 교통사고 변화 분석 : 이중차분법과 전후비교방법의 비교, 교통연구, 29(4), 한국교통연구원, p.1-18.
4. 소형준, 김용만, 김남선, 황재성, 이철기(2020), 무인교통단속장비 설치 판단 기준 및 설치대수 산정 연구, 한국ITS학회논문지, 19(6), 한국ITS학회, p.49-60.
5. 류운성, 김기혁(2010), 과속 무인단속장비 단속자료의 특성에 관한 연구, 대한교통학회 학술대회지, 62, 대한교통학회, p749-754.
6. Yunxuan Li, Meng Li, Jinghui Yuanm Jian Lu, Mohamed Abdel-Aty(2021), Analysis and prediction of intersection traffic violations using automated enforcement system data, Accident Analysis and Prevention, 162.
7. Mozhgan Sief, Sedigheh Edalat, Ali Majidpour Azad Shirazi, Somayeh Alipouri, Mohsen Bayati(2024), Prediction of the burden of road traffic injuries in Iran by 2030 : Prevalence, death, and disability-adjusted life years, Chinese Journal of Traumatology, 27(4), p.242-248.
8. Chukwutoo C. Ihueze, Uchendu O. Onwurah(2018), Road traffic accidents prediction modelling : An analysis of Anambra State, Nigeria, Accident Analysis & Prevention, 112(0), p.21-29.
9. 이기준(2021), 실전에서 바로 쓰는 시계열 데이터 처리와 분석, 제이펍, p.188-219.

교통안전(Ⅳ)

Session

C-6

우리나라 교통법규 위반 범칙금의 국제비교분석
김아람, 오주석, 김원중

생성 모델을 활용한 범주형-연속형 혼재 사고 데이터 증강 및 사고 심각도 추정
김은정, 김동규

과적단속용 고속축중기 성능평가 기준의 개선 방안
이동해, 이종석, 김태상

고속도로 2차 사고 심각도 영향요인 연구
박하정, 안세영, 이재덕, 정철현, 장일준

최고 제한속도 조정에 따른 고속도로 교통영향분석
백성채, 김태익, 박제진

세종특별자치시 교통사고 발생 추이와 특성
주재성, 안용준, 송양호

2024.10.

ITS학회 추계학술대회

우리나라 교통법규 위반 범칙금의 국제비교분석

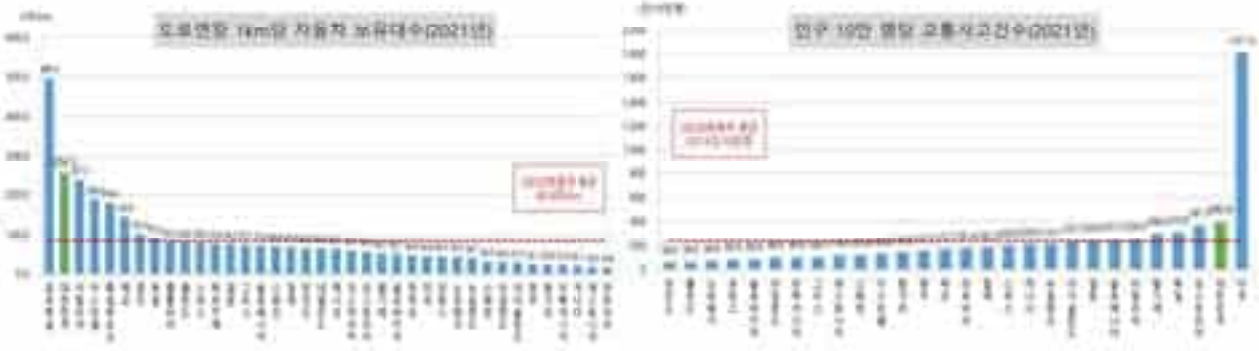
소 속: 한국도로교통공단 교통과학연구원

발표자: 김아람

공동연구자: 오주석(전남대학교 학술연구교수), 김원중(청주대학교 교수)

연구배경 및 이론적 배경

- 자동차 보급률에 비해 높은 교통사고 사망자 수



- 1인당 국민 총생산은 2.6배 증가, 30년간 법칙금 동결

주요 위반행위 범칙금

구분	1995	2023
보행자 통행방해	60,000/120,000	변동 없음
중앙선 침범	60,000	
통행구분 위반	60,000	
앞지르기 방법 위반	60,000	
신호/지시위반	70,000	
안전거리 미확보	20,000	

연구배경 및 이론적 배경

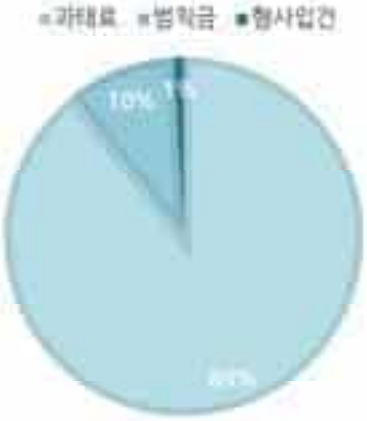
이론적 배경

1

- 법 위반 처벌 목적: 제재 및 예방

- 도로교통법 위반시 대다수는 금전적 제재(99%)

교통법규 위반처리결과 현황



- 교통법규 위반시 금전적 처벌

※ 우리나라는 '범칙금', 해외는 '벌금, 범칙금, 과태료'가 혼용되므로
이하에서 우리나라와 해외의 벌금, 범칙금, 과태료 등을 일괄적으로 일컫는 경우에는
통칭하여 '범칙금'이라고 하기로 한다.

연구목적 및 방법

연구목적 및 분석대상

2

- 네 가지 경제지표(1인당 GDP, 최저임금, 빅맥 지수, 비교물가수준)를 활용한 범칙금 수준 비교 절차

- 벌금 및 범칙금 부과 대상 위반행위: 도로교통법 제156조 및 제157조

위반사항	처벌법규	처벌내용
속도위반	제17조제3항	3~12만원
음주운전	제93조, 제44조제1항	면허취소 등
횡단보도 보행자 횡단방해	제27조제1항 제2항 등	6만원
중앙선침범	제13조제1항~3항 제5항	6만원
알지르기 위반	제21조제1항 제3항 등	6만원

연구목적 및 방법

분석방법

주요 경제지표	1인당 GDP			최저임금($)			빅맥지수			비교물가수준	
	달러	원	비율(EIR)	달러	원	비율(EIR)	달러	원	비율(EIR)	지수	비율(EIR)
우리나라	33,147	42,730,242	1.0	7.46	9,620	1.0	4.08	5,261	1.0	100	1.0
미국(CA)	80,412	103,681,239	2.4	15.5	19,986	2.1	5.58	7,195	1.4	134	1.3
영국	48,912	63,067,133	1.5	13.27	17,117	1.8	5.39	6,950	1.3	128	1.3
독일	52,823	68,103,976	1.6	13.28	17,119	1.8	5.82	7,504	1.4	113	1.1
일본	33,949	43,771,941	1.0	6.8	8,771	0.9	3.17	4,087	0.8	111	1.1
호주(NSW)	63,487	81,860,138	1.9	15.85	20,444	2.1	5.02	6,473	1.2	141	1.4

*비율은 주요 경제지표에 대해 우리나라를 기준(1.0)으로 하였을 때 비교국가들의 수준을 비율(배)로 표시한 것임

**미국 1달러 1,289.4원, 영국 1£당 1641.79원, 유럽 1€당 1426.59원, 일본 1¥당 9.13, 호주 1AU$당 880.08원 (2023.12.31. 기준 환율로 이하 표에서 동일)

- 교통법규 위반에 대한 우리나라와 해외의 범칙금을 비교하기 위한 산식

$$MSR = \frac{MSC}{EIR \times MSK}$$

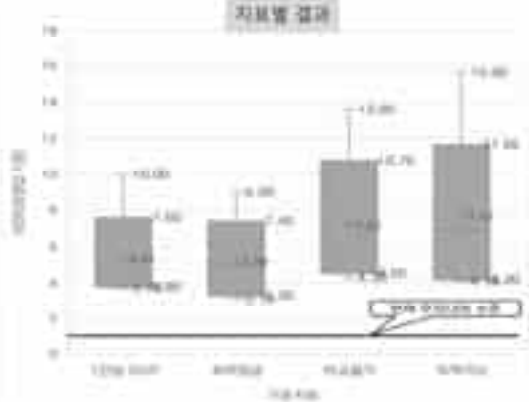
- MSR: 벌금 수준의 비율(Monetary Sanction Ratio)
- EIR: 비교 대상국의 경제지표를 우리나라와 수치화 비교한 비율(Economic Indicator Ratio)
- MSK(Monetary Sanction - Korea)와 MSC(Monetary Sanction - Country): 각각 우리나라와 비교대상국가의 범칙금 액수(원)

주요 결과

국가별 교통법규 위반 범칙금(구간별 속도위반)

국가	기준통화	제한속도 초과범위(km/h)													
		~10	11~15	16~20	21~25	26~30	31~35	36~40	41~45	46~50	51~55	56~60	61~65	66~80	81~100	101~
우리나라	원(₩)	3만			6만				9만				12만		30만	1백만
미국(CA)	달러($)	238		367					490							900
영국	파운드(£)	100~2,500														
독일	유로(€)	20~30	40~50	60~70	100~115	150~180	200~260		320~400		480~560		600~700		700~800	
일본	엔(¥)	9만		18만	18만	18만	23만	30만	1십만							
호주(NSW)	호주달러($)	119.25	316~405		542~635		1,036~1,307		2,794~2,967							

지표별 결과



※ 위 그래프는 제한속도 (21~40km/h) 위반 시로 한정함

국가별 결과

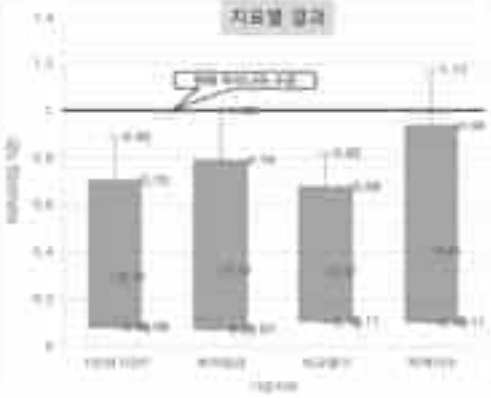
국가	우리나라 대비 범칙금 수준(단위 : 배)			
	최소		최대	
미국(CA)	3.3	1인당GDP	7.9	비교물가수준
영국	2.3	최저임금	4.3	비교물가수준
독일	1.3	최저임금	5.5	비교물가수준
일본	2.1	비교물가수준	6.9	빅맥지수
호주(NSW)	3.7	최저임금	15.6	빅맥지수

주요 결과

국가별 교통법규 위반 범칙금(음주운전)

국가	기준 통화	혈중알코올 농도(BAC)						
		0.03~	0.05~	0.08~	0.11~	0.15~	0.18~	0.2~
우리나라	원(₩)	5,000,000		5,000,000~10,000,000			10,000,000~20,000,000	
미국(CA)	달러($)	-		390~5,000				
영국	파운드(£)	-		무제한(벌금 상한선 없음)				
독일	유로(€)	-	500		형사처벌			
일본	엔(¥)	500,000~1,000,000						
호주(NSW)	호주달러($)	-	603~2,200		2,200		3,300	

지표별 결과



국가별 결과

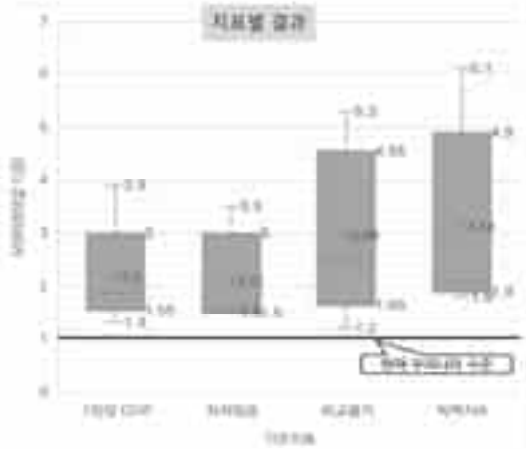
국가	우리나라 대비 범칙금 수준(단위 : 배)			
	최소		최대	
미국(CA)	0.96	1인당GDP	0.76	비교물가수준
영국	법정 상한선이 없음			
독일	0.96	1인당GDP	0.87	비교물가수준
일본	0.59	비교물가수준	1.17	빅맥지수
호주(NSW)	0.95	최저임금	0.88	빅맥지수

주요 결과

국가별 교통법규 위반 범칙금(보행자 횡단 방해)

국가	기준 통화	횡단보도 보행자 횡단 방해	
		일반도로	어린이보호구역
우리나라	원(₩)	60,000	120,000
미국(CA)	달러($)	238	
영국	파운드(£)	100	
독일	유로(€)	80~120	
일본	엔(¥)	9,000	
호주(NSW)	호주달러($)	514	644

지표별 결과



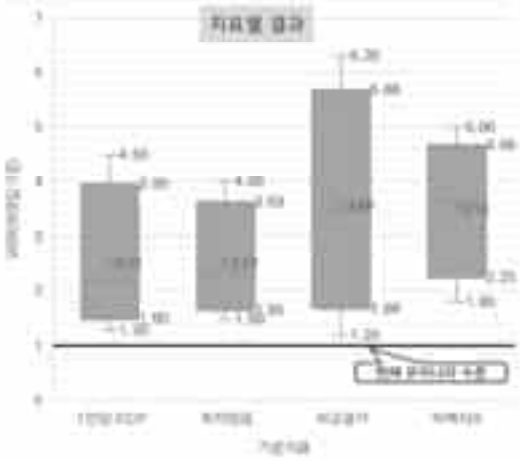
국가별 결과

국가	우리나라 대비 범칙금 수준(단위 : 배)			
	최소		최대	
미국(CA)	2.1	1인당GDP	3.8	비교물가수준
영국	1.5	최저임금	2.1	비교물가수준
독일	1.1	최저임금	2.5	비교물가수준
일본	1.2	비교물가수준	1.8	빅맥지수
호주(NSW)	2.2	최저임금	6.1	빅맥지수

주요 결과

국가별 교통법규 위반 범칙금(중앙선 침범/통행구분 위반)

국가	기준 통화	중앙선 침범 / 통행구분 위반
우리나라	원(W)	60,000
미국(CA)	달러($)	238
영국	파운드(£)	100~무제한
독일	유로(€)	10~300
일본	엔(¥)	9,000
호주(NSW)	호주달러($)	302



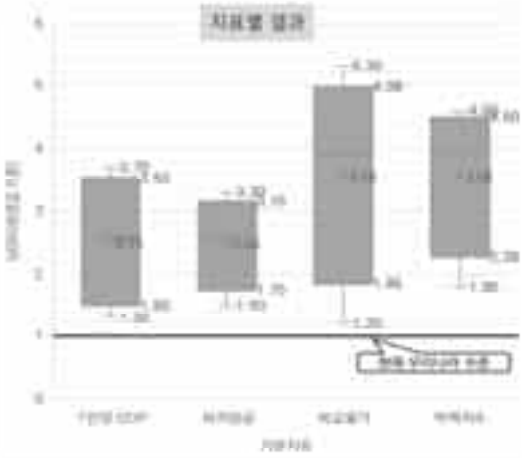
국가별 결과

국가	우리나라 대비 범칙금 수준(단위 : 배)			
	최소		최대	
미국(CA)	2.1	1인당GDP	3.8	비교물가수준
영국	1.5	최저임금	2.1	비교물가수준
독일	0.9	최저임금	6.3	비교물가수준
일본	1.2	비교물가수준	1.8	박탁지수
호주(NSW)	2.1	최저임금	3.6	박탁지수

주요 결과

국가별 교통법규 위반 범칙금(앞지르기 방법 위반)

국가	기준 통화	앞지르기 방법 위반
우리나라	원(W)	60,000
미국(CA)	달러($)	238
영국	파운드(£)	100~무제한
독일	유로(€)	30~250
일본	엔(¥)	9,000
호주(NSW)	호주달러($)	215~387



국가별 결과

국가	우리나라 대비 범칙금 수준(단위 : 배)			
	최소		최대	
미국(CA)	2.1	1인당GDP	3.8	비교물가수준
영국	1.5	최저임금	2.1	비교물가수준
독일	0.6	1인당GDP	5.3	비교물가수준
일본	1.2	비교물가수준	1.8	박탁지수
호주(NSW)	1.5	최저임금	4.6	박탁지수

결론

1. 주요결과

- 주요 교통법규 위반행위에 대한 우리나라와 비교 대상국가 간의 범칙금 비교 결과, 국가의 소득규모나 물가, 통화가치 등의 요인을 동일하게 가정한 조건에서도 우리나라의 범칙금이 최소 2~3배 낮음
- 특히 속도위반은 비교 대상국의 범칙금이 우리나라 대비 평균 5.3~7.7배까지 더 큼

2. 한계점 및 보완점

- 단순히 우리의 교통 범칙금 수준이 주요 선진국에 비해 상대적으로 낮다는 사실이 범칙금 인상의 당위성을 제공하기에는 부족함
- 교통 범칙금 인상의 교통사고 감소 효과 연구, 국민의견조사가 반드시 필요함

3. 시사점 및 논의

- 위반행위의 물리적 억제(단속강화, 안전시설 확대), 교육시스템 동반 필요
- 범칙금을 교통환경 개선 및 사고예방 목적으로 활용하는 방안 고려

경 청 해 주 셔 서 감 사 합 니 다

THANK YOU

2024 한국ITS학회 추계학술대회

생성 모델을 활용한 범주형-연속형 혼재 사고 데이터 증강 및 사고 심각도 추정

서울대학교 건설환경공학부
석박사통합과정
김은정

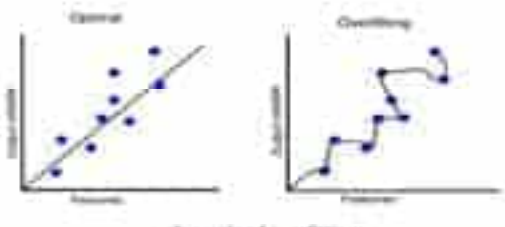
서울대학교 건설환경공학부
교수
김동규

Introduction

연구 배경

1. **고속도로 교통사고의 심각성**
   - 고속도로에서는 높은 교통량 및 높은 속도 제한으로 인해 심각한 사고 자주 발생함
   - 일반도로 사고의 치사율은 2.4%, 고속도로의 치사율은 9.9%로 나타남 (Kim et al., 2012)
2. **고속도로 사고의 경제적 영향**
   - 매년 교통사고로 인해 약 119만 명이 사망하며, 이는 대부분의 국가에서 GDP의 약 3%에 해당하는 비용을 초래함 (WHO, 2024)
   - 사고 심각도를 추정하고 영향 요인을 분석함으로써, 효과적인 안전 전략을 개발 및 인명 피해 최소화 전략 제시 필요
3. **불균형한 교통사고 심각도 데이터**
   - 교통사고 데이터 중 심각한 사고의 수는 완화의 적음
   - 모델이 치우쳐서 학습되면서 과적합 및 정확도 저하 문제 발생

<Scene of crash events on highway>



<Example of overfitting>

Introduction

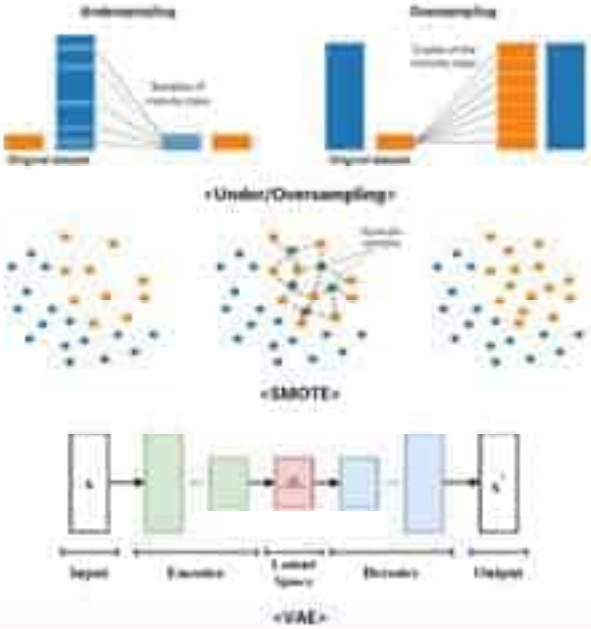
연구 배경

4. 기존 증강 방법론의 한계

- Under/Over Sampling (Basso et al., 2020; Sun et al., 2020)
- 한계: 데이터 간의 상관관계 고려 불가능

- SMOTE (Parsa et al., 2019; Wang et al., 2019; Yahaya et al., 2019; Basso et al., 2020; Li et al., 2020)
- KNN 기반으로 minor class를 증폭으로 데이터를 증강하는 기법
- 한계: 인접해 있는 major class가 instance는 고려하지 않음

- VAE (Islam et al., 2020; Hongliang et al.,2022)
- 학습 데이터가 복원 정보를 학습하여 latent space를 통해 증강하는 기법
- 한계: 다양한 데이터의 형태가 (범주형 및 연속형) 존재할 경우에는 증강 성능 저하됨



<Under/Oversampling>

<SMOTE>

<VAE>

Literature Review

교통사고 데이터 불균형 문제 관련 연구

Author	Model used	Method	Temporal range	Spatial range
Parsa et al. (2019)	SVM, PNN	SMOTE	June ~ Dec 2017	Chicago, USA
Wang et al. (2019)	BPNN	SMOTE	-	Shanghai, China
Yahaya et al. (2019)	RF	SMOTE	June ~ Nov 2015	Hangzhou, China
He et al. (2019)	SVM, AdaBoost	SMOTE	2015	Ghana
Sun et al. (2020)	XGBoost	Random Over Sampler	1999 ~ 2017	Canada
Basso et al. (2020)	SVM, LR	SMOTE, Random over sampling	Nov. 2014 ~ April, 2016	Santiago, Chile
Cai et al. (2020)	SVM, LR, ANN, CNN	DCGAN	Jan ~ Dec 2017	Florida, USA
Islam et al. (2021)	LR, SVM, ANN	VAE	Jan ~ Dec 2017	Florida, USA
Li et al. (2020)	LSTM-CNN, LSTM-RNN	SMOTE	April ~ July 2019	Florida, USA
Peng et al. (2020)	Random Forest, MLP	Youden Index	May ~ June, 2014	Shanghai, China
Hongliang et al. (2022)	Negative Binomial Regression	VAE	2014, 2016	Hong Kong

SVM: Support Vector Machine
PNN: Probabilistic Neural Network
RF: Random Forest
LR: Linear Regression
ANN: Artificial Neural Network
LSTM: Long-Short Term Memory
CNN: Convolutional Neural Network
RNN: Recurrent Neural Network
DCGAN: Deep Convolutional Generative Adversarial Network
VAE: Variational Auto Encoder

- 선행 연구들은 주로 사고 보고서의 기록 정보나 VDS 정보 중 하나만을 선택적으로 사용하여 사고 심각도를 분석함
  → 이는 데이터 종류가 다양해지면, 데이터 불균형 문제를 해결하는 것이 어렵기 때문임
  → VDS 데이터 부재 시, 교통 흐름의 단기적 불안정성으로 인한 사고 식별 어려움
- 보다 정밀한 사고 심각도 분석을 위해 다양한 데이터 유형을 효과적으로 증강할 수 있는 데이터 증강 방법론 제시 필요

Introduction

연구의 목적 및 필요성

- 범주형 및 연속형 데이터가 혼재된 상황에서도 효과적으로 사고 심각도 데이터를 증강할 수 있는 방법론 제안
  - **운전자 정보 및 도로 지형과 같은 사고 관련 <u>범주형 변수</u> + 현장 교통 흐름과 관련된 <u>연속형 변수</u>**

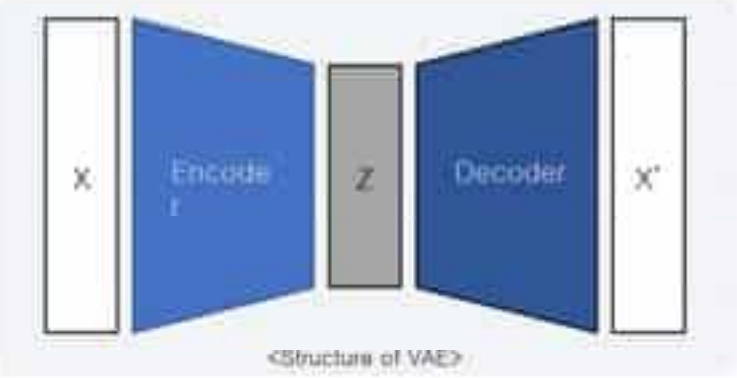
- 사고 심각도 추정 모델 성능 향상 및 각 변수가 사고 심각도에 미치는 영향 분석

Method

Variational Auto-Encoder (VAE)

- Encoder
  - 입력 값 X에 대한 조건부 확률분포를 기반으로 잠재 벡터(latent vector) Z를 생성
  - *Recognition model* = $q(Z|X,\theta) = Z$

- Decoder (generative model)
  - 잠재 벡터 Z로 부터 새로운 데이터를 생성함
  - *Generative model* = $q(X|Z,\theta) = X'$



<Structure of VAE>

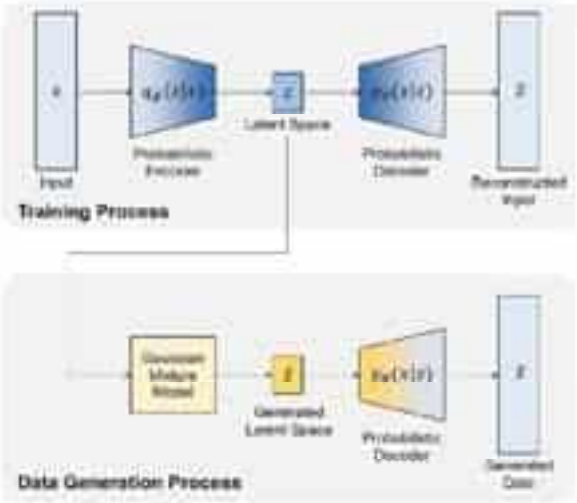
- Loss function

$$\min_{\theta,\varphi} L(\theta,\varphi) = -E_{q(z|x,\varphi)}(\log p(x|z,\theta)) + D_{KL}(q(z|x,\varphi)||p(z))$$

Method

Variational Auto-Encoder with Gaussian Mixture Model (Patricia, 2024)

- VAE와 BGM의 강점을 결합
  - VAE: 데이터의 잠재적 표현 학습 가능
  - BGM: 비가우시안일 수 있는 분포를 유연하게 모델링 가능
- 잠재 공간 속 가우시안 분포가 아닌 복잡한 분포를 학습할 수 있으며,
  연속형 및 이산형 데이터 유형들을 동시에 수용 가능함
- 교통 데이터의 복잡한 분포를 정확히 반영하는 샘플을 생성하는 데 효과적이며,
  속도, 교통량, 날씨, 성별 등 다양한 변수를 효과적으로 처리 가능함



<Structure of VAE-BGM>

Data

연구 대상 구간

- **시간적 범위:** 2015년도 1월1일 ~ 2022년 12월 31일
- **공간적 범위:** 대한민국의 37개 고속도로

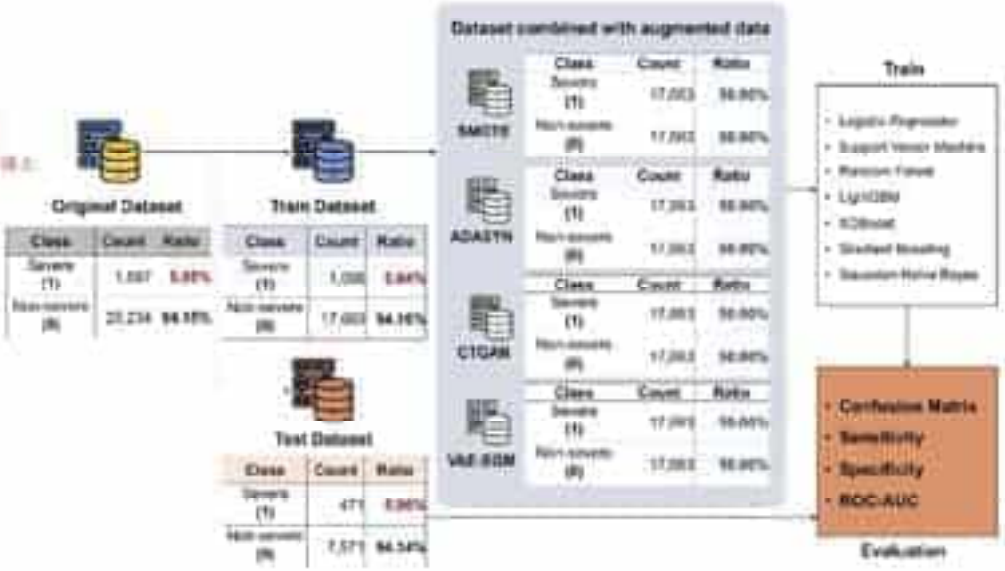
- 범주형 변수: 16개
  - 사고 일시, 사고 종류, 운전자 나이 및 성별과 같은
    사고 기록과 관련된 변수
- 연속형 변수: 4개
  - 사고지점 기준 상하류 VDS의 교통량 및 평균 속도 값

<(a) Total number of crashes and (b) the ratio of severe crashes>

Result

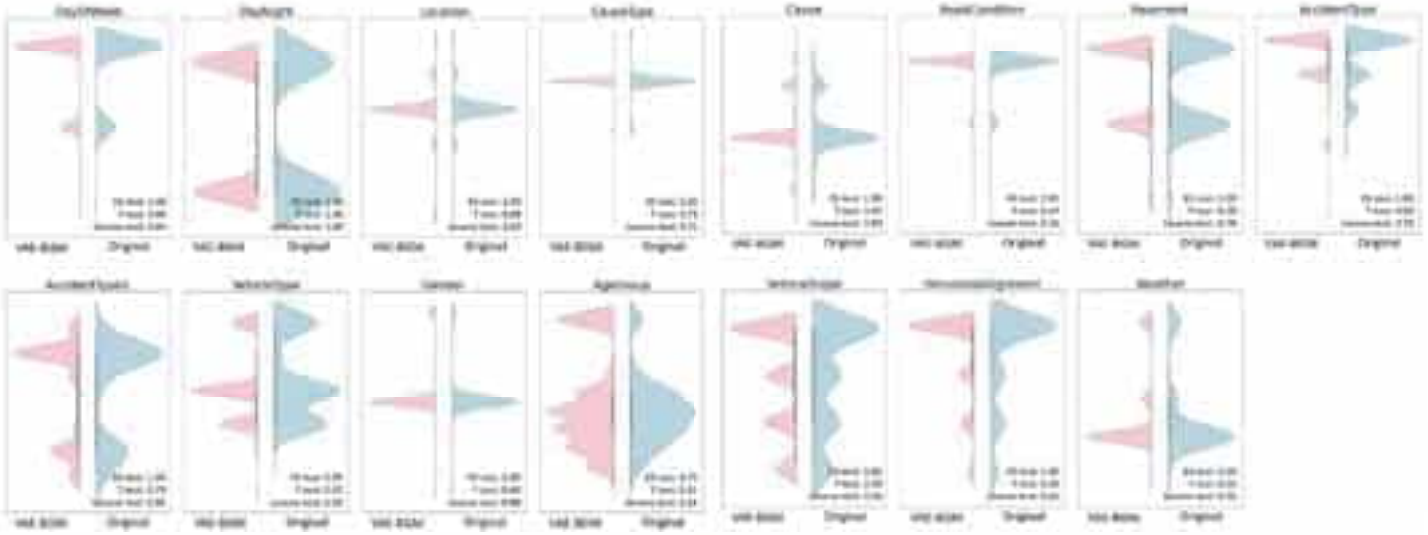
Experimental setting

- Train set(70%) → 증강 모델 학습용
  - 18,759건
  - (심각한 사고) 1,096건
  - 18,657 개의 심각한 사고 데이터를 추가 증강하여 심각도 간의 불균형 해소
  - (덜 심각한 사고) 17,633건
- Test set(30%) → 분류 모델 검증용
  - 8,042건
  - (심각한 사고) 471건
  - (덜 심각한 사고) 7,571건
- Parameter
  - Batch size: 2,048
  - Epoch: 10,000
  - Learning rate: 0.002
  - Latent dimension: 20
  - Hidden size: 256



Result

원본 사고 데이터 vs 증강 사고 데이터



- 각 변수에 대해 증강 데이터의 분포가 원본 데이터의 분포와 동일하게 증강 되었음을 확인함

Result

분류 모델 개선 결과 비교

- 기존 증강 방법론 및 VAE-BGM을 기반으로 증강한 각각의 사고 데이터를 원본 데이터에 추가하여 데이터 불균형 해소
- 총 6개의 분류 모델의 성능 개선 정도를 비교하고자 함

	Original (증강X)		SMOTE		CTGAN		VAE		VAE-BGM		Classification model
	Predicted = No	Predicted = Yes	Predicted = No	Predicted = Yes	Predicted = No	Predicted = Yes	Predicted = No	Predicted = Yes	Predicted = No	Predicted = Yes	
Crash = No (Negative)	7,568 (94.11)	3 (0.04)	5,704 (70.93)	1,867 (23.21)	5,978 (70.83)	1,993 (23.54)	6,265 (77.90)	1,306 (16.24)	5,035 (62.45)	2,533 (31.50)	Logistic Regression
Crash = Yes (Positive)	467 (5.81)	4 (0.05)	197 (2.45)	274 (3.41)	194 (2.41)	277 (3.44)	322 (4.00)	149 (1.85)	128 (1.59)	343 (4.27)	
Crash = No (Negative)	7,559 (93.99)	12 (0.15)	6,731 (83.70)	840 (10.45)	6,588 (82.04)	973 (12.10)	7,268 (90.35)	305 (3.79)	5,299 (65.89)	2,272 (28.25)	Support Vector Machine
Crash = Yes (Positive)	465 (5.78)	6 (0.07)	265 (3.3)	206 (2.56)	258 (3.22)	213 (2.64)	409 (5.09)	62 (0.77)	142 (1.77)	329 (4.09)	
Crash = No (Negative)	756 (9.43)	13 (0.16)	7,314 (90.95)	257 (3.20)	7,110 (88.41)	461 (5.73)	7,343 (91.31)	226 (2.84)	5,666 (70.7)	1,895 (23.44)	Random Forest
Crash = Yes (Positive)	453 (5.63)	18 (0.22)	361 (4.48)	110 (1.37)	320 (3.98)	151 (1.88)	405 (5.04)	66 (0.82)	127 (1.58)	344 (4.28)	

Result

분류 모델 개선 결과 비교

	Original (증강X)		SMOTE		CTGAN		VAE		VAE-BGM		Classification model
	Predicted = No	Predicted = Yes	Predicted = No	Predicted = Yes	Predicted = No	Predicted = Yes	Predicted = No	Predicted = Yes	Predicted = No	Predicted = Yes	
Crash = No (Negative)	7,549 (93.87)	22 (0.27)	6,659 (82.8)	912 (11.34)	6,569 (81.69)	996 (12.26)	7,345 (91.33)	226 (2.81)	5,674 (70.55)	1,897 (23.59)	Light GBM
Crash = Yes (Positive)	424 (5.27)	47 (0.58)	217 (2.70)	254 (3.16)	201 (2.50)	270 (3.36)	358 (4.45)	113 (1.41)	115 (1.43)	356 (4.43)	
Crash = No (Negative)	7,556 (93.96)	13 (0.16)	6,499 (80.81)	1,072 (13.33)	6,452 (80.23)	1,119 (13.91)	7,363 (91.56)	208 (2.59)	5,643 (70.17)	1,928 (23.97)	XG Boost
Crash = Yes (Positive)	433 (5.38)	38 (0.47)	186 (2.34)	283 (3.52)	189 (2.35)	282 (3.51)	392 (4.87)	79 (0.98)	116 (1.44)	355 (4.41)	
Crash = No (Negative)	6,435 (80.02)	1,135 (14.11)	5,225 (64.97)	2,348 (29.17)	5,250 (65.28)	2,321 (28.86)	6,802 (84.58)	789 (9.56)	4,231 (52.61)	3,340 (41.53)	Gaussian Naive Bayes
Crash = Yes (Positive)	217 (2.70)	254 (3.16)	131 (1.63)	340 (4.23)	132 (1.64)	339 (4.22)	377 (4.69)	94 (1.17)	99 (1.23)	372 (4.63)	

- 원본 데이터만 사용시 대부분의 사고를 덜 심각한 사고로 분류
- 증강 데이터를 추가 시 true positive 값이 향상됨 → 모델이 심각한 사고를 분별하는 능력이 향상됨
- VAE-BGM를 사용한 경우 다른 방법보다 큰 성능 증가가 가장 두드러지며, 특히 Gaussian Naive Bayes 모델의 민감도가 크게 향상됨

생성 모델을 활용한 범주형-연속형 혼재 사고 데이터 증강 및 사고 심각도 추정

Result

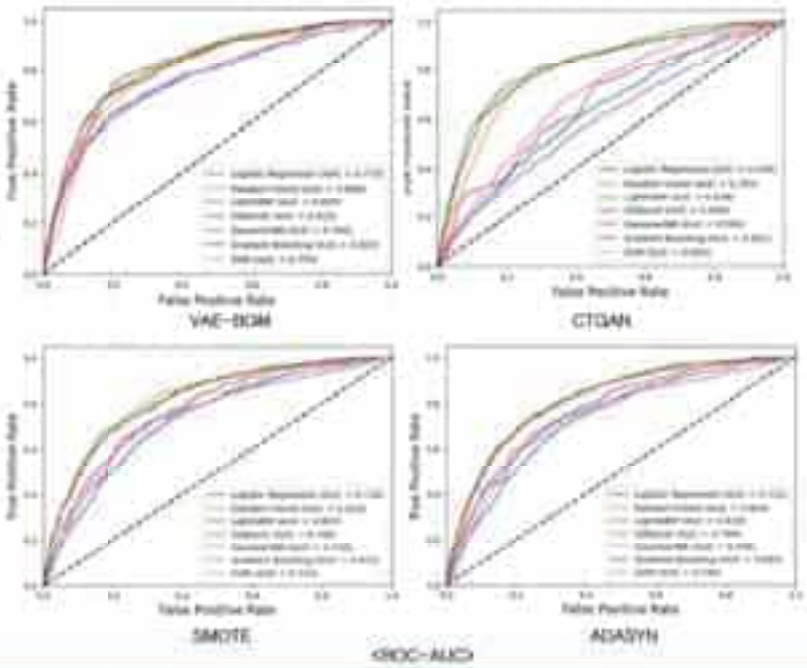
분류 모델 개선 결과 비교

- 앙상블 모델은 로지스틱 회귀나 SVM과 같은 단일 모델들보다 우수한 성능을 나타냄
- Specificity가 약간 감소했음에도 불구하고, Sensitivity가 증가함으로써 모델의 전체 성능이 향상됨

$$\text{Sensitivity} = \frac{\text{True Positives}}{\text{True Positives} + \text{False Negatives}}$$

$$\text{Specificity} = \frac{\text{True Negatives}}{\text{True Negatives} + \text{False Positives}}$$

- VAE-BGM으로 증강된 가장 높은 ROC-AUC 값은 LightGBM 모델에서 0.829로 나타남

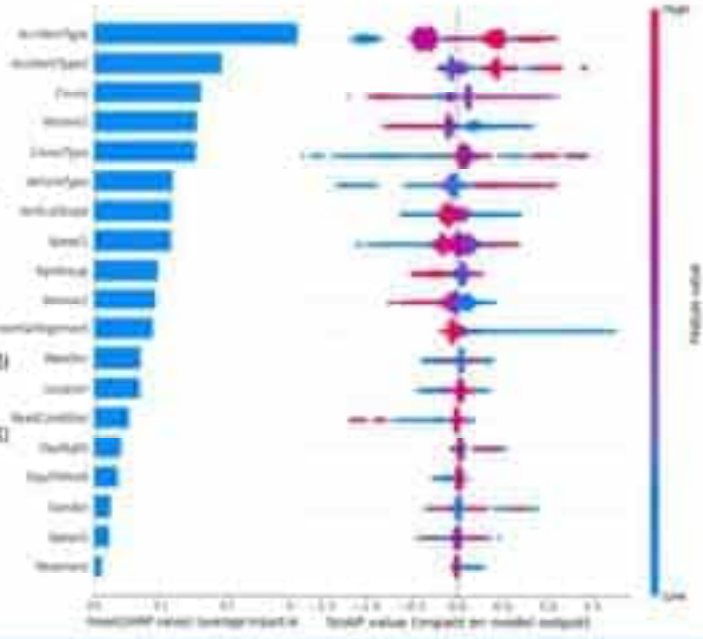


<ROC-AUC>

Conclusion

SHAP(Shapley Additive exPlanation) Feature Importance

- Shapely value: 모델 성능에 대한 각 변수의 기여도를 설명하는 지표
  - 다양한 feature 조합을 구성 후, 특정 feature의 유무에 따라 모델 성능의 평균적인 변화를 나타냄
- "CrashType", "CrashType2", "Cause", "Volume1" → 높은 평균 SHAP 값
  - 교통사고의 심각도 추정에 강한 영향을 미친다는 것을 나타냄
- "Speed2" → 낮은 평균 SHAP 값
  - 고속도로 위 VDS 검출기는 약1.5km 간격으로 설치되어 있음
  - 사고현장에서 멀리 떨어진 검출기는 사고 당시의 교통 상황을 정확하게
    반영하지 못하므로, 사고 심각도를 정확하게 추정하는 데는 적합하지 않음
- "Volume1" 교통량 변수 값이 사고의 심각도와 반비례
  - 높은 교통량은 혼잡을 유발하여 평균 차량 속도를 낮추고 운전자의 경계심을 증가시킴



Conclusion

연구의 함의점

- 사고 데이터 내 심각도의 불균형 문제 완화
- 기존에 널리 사용되는 데이터 증강 기법의 한계를 극복
- 기존 VAE기법 대비 고도화 된 VAE-BGM 기법을 활용함으로써 다양한 형태의 데이터에 활용 가능한 효과적인 방법론 제시
- 사고 보고서 데이터와 VDS 데이터를 결합하여 각 데이터 유형의 강점을 최대화한 멀티모달 접근 방식을 사용
- 교통 패턴과 사고 역학에 대한 통찰을 제공하여 보다 정확한 추정 모델 개발

추후 연구

- 파라미터 조정을 통한 모델의 정확도 추가 향상
- 대상 구간 확장을 통한 터널과 같은 특수 구간에 대한 연구 진행

부록

사용한 변수

Feature type	Feature name	Description
Temporal	DayofWeek	day of the week of the crash
	DayNight	time of day of the crash
Spatial	Location	crash location
	VerticalSlope	longitudinal slope classification at the crash site
	HorizontalAlignment	horizontal alignment classification at the crash site
Crash Details	CauseType	cause of crash (major category)
	Cause	cause of crash (subcategory)
	CrashType	type of crash (major category)
	CrashType2	manner of collision (subcategory)
Road and Environmental Conditions	Weather	weather at the time of crash
	RoadCondition	road environment
	Pavement	type of pavement
Driver Information	VehicleType	type of at-fault vehicle
	Gender	gender of at-fault driver
	AgeGroup	age group of at-fault drive
	Severity	severity level of the crash (target variable)

<사용한 범주형 변수>

생성 모델을 활용한 범주형-연속형 혼재 사고 데이터 증강 및 사고 심각도 추정

Feature type	Feature name	Description
VDS Detector	Volume1 (vehicle/15min)	average traffic volume from nearest VDS
	Volume2 (vehicle/15min)	average traffic volume from the second nearest VDS
	Speed1 (km/hr)	average speed from nearest VDS
	Speed2 (km/hr)	average traffic speed from the second nearest VDS

<사용한 연속형 변수>

Level	Severity	Description	Frequency	Percent(%)	Label
1	No injury	traffic crash without injuries	25,960	76.2	0
2	Invisible injury	injuries requiring less than 5 days of treatment due to a traffic crash	3,009	8.83	
3	Non-incapacitating injury	injuries requiring less than 5 days of treatment due to a traffic crash	3,450	10.1	
4	Incapacitating injury	injuries requiring more than 3 weeks of treatment due to a traffic crash	637	1.87	1
5	Fatal	Death occurring within 30 days of a traffic crash	1,016	2.98	
Total	-	-	34,072	100.0	-

<사고 심각도 분류 기준>

Reference

Abou Elassad, Z.E., Mousannif, H., Al Moatassime, H., 2020a. A proactive decision support system for predicting traffic crash events: a critical analysis of imbalanced class distribution. Knowl. Based Syst. 205, 106314.

Abou Elassad, Z.E., Mousannif, H., Al Moatassime, H., 2020b. A real-time crash prediction fusion framework: an imbalance-aware strategy for collision avoidance systems. Transp. Res. Part C Emerg. Technol. 118, 102708.

Ahmed, M.M., Abdel-Aty, M.A., 2011. The viability of using automatic vehicle identification data for real-time crash prediction. IEEE Trans. Intell. Transp. Syst. 13 (2), 459–468.

An, J., Cho, S., 2015. Variational autoencoder based anomaly detection using reconstruction probability. Special Lecture on IE 2 (1), 1–18.

Bao, J., Liu, P., Ukkusuri, S.V., 2019. A spatiotemporal deep learning approach for citywide short-term crash risk prediction with multi-source data. Accid. Anal. Prev. 122, 239–254.

Basso, F., Basso, L.J., Bravo, F., Pezoa, R., 2018. Real-time crash prediction in an urban expressway using disaggregated data. Transp. Res. Part C Emerg. Technol. 86, 202–219.

Basso, F., Basso, L.J., Pezoa, R., 2020. The importance of flow composition in real-time crash prediction. Accid. Anal. Prev. 137, 105436.

Beaujet, G., Vicente, J.L., Morell, A., Serrano, J., 2019. Missing data in traffic estimation: a variational autoencoder imputation method. ICASSP 2019-2019 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP) 2882–2886.

Beaujet, G., Morell, A., Serrano, J., Vicente, J.L., 2020. A variational autoencoder solution for road traffic forecasting systems: Missing data imputation, dimension reduction, model selection and anomaly detection. Transp. Res. Part C Emerg. Technol. 115, 102622.

Bunkhumpornpat, C., Sinapiromsaran, K., Lursinsap, C., 2009. safe-level-smote: safe-level-synthetic minority over-sampling technique for handling the class imbalanced problem. Pacific-Asia Conference on Knowledge Discovery and Data Mining 475–482.

Cai, Q., Abdel-Aty, M., Yuan, J., Lee, J., Wu, Y., 2020. Real-time crash prediction on expressways using deep generative models. Transp. Res. Part C Emerg. Technol. 117, 102697.

Ke, J., Zhang, W., Yang, H., Chen, X., 2019. PCA-based missing information imputation for real-time crash likelihood prediction under imbalanced data. Transp. A Transp. Sci. 15 (2), 872–895.

Islam, Z., Abdel-Aty, M., Cai, Q., & Yuan, J. (2021). Crash data augmentation using variational autoencoder. *Accident Analysis & amp; Prevention*, *151*, 105950.

Intersection safety. Intersection Safety | FHWA. (2023, May 2). https://highways.dot.gov/research/research-programs/safety/intersection-safety

Reference

Li, P., Abdel-Aty, M., Cai, Q., Yuan, C., 2020a. + This paper has been handled by associate editor Tony Sze. The application of novel connected vehicles simulated data on real-time crash potential prediction for arterials. Accid. Anal. Prev. 144, 105618.

Li, P., Abdel-Aty, M., Yuan, J., 2020b. Real-time crash risk prediction on arterials based on LSTM-CNN. Accid. Anal. Prev. 135, 105371.

Ma, Chao & Tschiatschek, Sebastian & Hernández-Lobato, José & Turner, Richard & Zhang, Cheng. (2020). VAEM: a Deep Generative Model for Heterogeneous Mixed Type Data.

Parsa, A.B., Taghipour, H., Derrible, S., Mohammadian, A.K., 2019. Real-time accident detection: coping with imbalanced data. Accid. Anal. Prev. 129, 202–210.

Peng, Y., Li, C., Wang, K., Gao, Z., Yu, R., 2020. Examining imbalanced classification algorithms in predicting real-time traffic crash risk. Accid. Anal. Prev. 144, 105610.

Sun, S., Zhou, H., Zhang, S., 2020. Analysis of factors affecting injury severity in motorcycle involved crashes. CICTP 2020, pp. 4207–4219.

Wang, Junhua, Kong, Y., Fu, T., 2019a. Expressway crash risk prediction using back propagation neural network: a brief investigation on safety resilience. Accid. Anal. Prev. 124, 180–192.

Wang, L., Abdel-Aty, M., Lee, J., Shi, Q., 2019b. Analysis of real-time crash risk for expressway ramps using traffic, geometric, trip generation, and socio-demographic predictors. Accid. Anal. Prev. 122, 378–384.

Xu, W., Sun, H., Deng, C., Tan, Y., 2017. Variational autoencoder for semi-supervised text classification. Thirty-First AAAI Conference on Artificial Intelligence.

Yahaya, M., Jiang, X., Fu, C., Bashir, K., Fan, W., 2019. Enhancing crash injury severity prediction on imbalanced crash data by sampling technique with variable selection. 2019 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC) 363–368.

Yin, Y., Hwang, Y., Zhong, L., Gao, Z., 2019. Influence of different sampling techniques on the real-time crash risk prediction model. 2019 14th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA) 1795–1799.

사사: 이 논문은 국토교통부의 스마트시티 혁신인재육성사업으로 지원되었습니다.

과적단속용 고속축중기 성능평가 기준의 개선 방안

Improvement Strategies for the Performance Test Standard of High-Speed Weigh-in-Motion System for Weight Enforcement

이동해 (KCL, 연구원) **이종석** (KCL, 선임연구원) **김태상** (KCL, 팀장)

Key Words : HS-WIM, confidence level, accuracy, temperature, road geometry, roughness

목 차

Ⅰ. 초록
Ⅱ. 서론
Ⅲ. 연구방법
Ⅳ. 연구결과 및 검토
Ⅴ. 국내 기준의 개선 방안
Ⅵ. 결론

Ⅰ. 초록

본 연구는 고속축중기(High Speed Weigh in Motion, HS-WIM)의 성능평가 기준을 국외 표준과 비교하여 개선 방안을 제시하는 것을 목표로 한다. 현재 국내에서 적용되고 있는 고속축중기의 성능평가 기준은 ITS 성능평가 기준에 명시되어 있으나, OIML R134, ASTM E1318, COST 323, NMi WIM Standard와 같은 국외 표준과 비교했을 때, 정확도, 설치환경, 시험방법 측면에서 개선이 필요하다. 특히 국내 기준은 신뢰수준에 대한 고려가 미흡한데, 국외에서는 고속축중기를 용도별로 과적단속에 적용할 수 있도록 신뢰수준을 구분하고 있다. 본 연구는 이러한 차이점을 비교 분석하고, 국내 고속축중기 성능평가 기준의 개선 방안을 제시하였다. 특히 사전선별과 직접단속용 고속축중기의 정확도와 그에 맞는 신뢰수준을 고려할 수 있도록 국외 기준과 사용 현황을 검토 및 비교하였다. 아울러 온도 및 도로기하, 포장 평탄성에 대한 비교를 통해 국내 기준의 개선 방안을 수립하였다.

Ⅱ. 서론

고속축중기는 도로 위를 주행 중인 차량의 축하중 및 총중량을 실시간으로 측정하는 기술로, 과적 차량 단속과 도로 보호에 중요한 역할을 한다. 특히 차량의 정지 없이 하중을 측정할 수 있기 때문에, 고속축중기를 사용하면 교통 흐름을 방해하지 않으면서 효율적인 단속이 가능해진다. 이러한 기술은 교통 안전과 도로 유지관리 비용 절감에 크게 기여할 수 있다.

국내 고속축중기 성능평가 기준은 ITS 성능평가 기준에 근거하여 설정되어 있으나, 국외 기준과 비교했을 때 개선이 필요한 부분이 존재한다. 미국, 체코, 브라질 등의 국가들은 OIML R134, ASTM E1318, COST 323, NMi WIM Standard 등의 기준을 각국의 실정에 맞게 활용하고 있다. 이러한 기준들은 고속축중기의 정확도, 설치환경, 시험방법을 구체적으로 규정하고 있으며, 각국은 신뢰수준(confidence level)에 대한 이해를 바탕으로 사전선별(pre-selection)과 및 직접단속(direct enforcement) 용도의 고속축중기를 운용하고 있다. 반면, 국내 기준은 정확도에 대한 신뢰수준을 명확히 표기하지 않고 있으며 고속축중기를 실제 과적 단속에 적용하기 위해 필요한 설치 환경, 시험 조건에 대해 구체적으로 제시하지 못한다. 국외 표준에서는 고속축중기 성능평가 시 정확도뿐만 아니라, 설치되는 도로의 환경적 요인(온도, 도로 기하 상태, 포장 평탄성 등)을 세밀하게 고려하고 있다. 예를 들어, ASTM E1318과 COST 323에서는 설치장소의 도로기하와 포장 평탄성으로 인한 동적 효과를 줄이기 위해 명확한 기준을 제시한다. 또한 OIML R134는 온도 영향을 고려한 시험방법을 제공하고 있다.

따라서 본 연구는 국내 고속축중기 성능평가 기준을 국외 표준들과 비교하고, 정확도 및 신뢰수준, 설치환경, 시험방법 등의 측면에서의 개선 방안을 제시하는 것을 목표로 한다.

Ⅲ. 연구방법

고속축중기의 등급별 정확도, 시험방법 및 상세한 사항은 ITS 성능평가 기준의 [별표 8] 고속축중기 성능평가 기준에서 다룬다. 국내외적으로 다뤄져온 관련 기준의 개발 순서와 현황은 <표 1>과 같다. ASMT

E1318, COST 323, OIML R134는 고속축중기의 성능을 평가하는 범용적 기준으로 활용되어 왔으며, 고속축중기를 도입하여 운영하는 국가들은 이 기준들을 혼합하여 사용하는 것으로 보인다. 예를 들어 체코는 직접단속 용도의 고속축중기를 운용하고 있으며, 체코 도로교통연구소는 위 세 기준과 체코의 계량법을 통합하여 고속축중기에 대한 설계 및 운영 방법론을 개발했다. 특히 네덜란드의 국립계측연구소(NMi)는 다양한 특징을 가진 세 가지 고속축중기 기준을 통합한 국제 표준을 개발하였다. 이러한 점을 토대로 볼 때 3가지 기준을 통합하여 수용하는 방법이 국가가 고속축중기를 운용함에 있어 합리적이라는 것을 알 수 있다. 본 연구에서 ASTM E1318, COST 323, OIML R134와 국내 기준을 전반적으로 살펴본 결과 중량 정확도, 설치환경, 시험방법의 차이가 두드러졌으며, 이 세 가지 항목을 중심으로 비교하고여 개선 방안을 제시하고자 한다.

《표 1》 고속축중기 성능평가 기준 개발 현황

	성능평가기준 (국가/기관 , 연도)
1990s	[미국, 1990] ASTM E1318 (미국, 1990)
2000s	[유럽, 2002] COST 323 [국제계량기구, 2009] OIML R134
2010s	[네덜란드, 2016] NMi International WIM Standard [대한민국, 2016] 고속축중기 성능평가 기준

Ⅳ. 연구결과 및 검토

1. 중량 정확도와 신뢰수준 비교

한국은 총중량 40톤, 축하중 10톤을 초과하는 차량에 대해서 과적을 단속하며, 중량 정확도 평가항목 또한 총중량과 축하중만 존재한다. 국외의 경우 텐덤축과 트라이뎀축과 같은 그룹축에 대해서도 단속규정이 존재하여 축그룹(axle group) 하중에 대한 평가항목이 있다는 차이가 있다. 하지만 대개의 경우 총중량과 축하중 정확도로 제품의 정확도 등급을 표기하므로, 본 결과에서는 이 두가지 항목의 정확도만을 다룬다.

1) 고속축중기 성능평가 기준

국내 기준의 정확도 등급 표기 방식과 이에 해당하는 중량 정확도는 《표 2》와 같다. 개별 측정된 모든 데이터에가 특정 정확도 범위에 포함되는 경우 그 등급을 인정하는 방식으로 평가가 진행되므로, 데이터의 신뢰수준이 100%를 만족할 것을 요구하는 것이다. 또한 이 기준은 중급 이상부터 과적의심차량 식별용으로 사용할 수 있다는 내용을 포함한다.

《표 2》 고속축중기 성능평가 기준의 등급별 중량 정확도

등급	총중량	축하중
최상급	≥ 95%	≥ 90%
상급	95% > ≥ 93%	90% > ≥ 93%
중급	93% > ≥ 90%	85% > ≥ 80%
중하급	< 90%	< 80%

2) ASTM E1318과 COST 323

한국과는 다르게 ASTM E1318과 COST 323은 95%의 신뢰수준 내에서의 정확도 등급을 부여한다. 각 기준별 정확도 요구사항은 《표3, 4》와 같다.

ASTM E1318의 경우 정확도 등급이 아니라 사용하는 WIM 시스템의 유형에 따라 총중량과 축하중 오차율을 지정한다. Type I, II는 통계 목적 용도로 사용되는 고속축중기에 적용되며, Type III은 사전선별 용도의 고속축중기, Type IV는 저속축중기의 정확도 요구사항에 해당한다.

《표 3》 ASTM E1381의 등급별 중량 정확도 (오차율)

등급	총중량	축하중
Type I	±20%	±20%
Type II	±15%	±30%
Type III	±6%	±15%
Type IV	≥ 27.2±1톤	≥ 5.4±0.2톤

COST 323은 정확도 등급에 총중량 오차율이 숫자로 들어가는 형태로 구분되어있다. A부터 E까지 다양한 등급이 있지만, COST 323에서는 A(5)를 단속목적으로 사용할 것을 권고한다. 경우에 따라서 B+(7)까지 단속용도로 허용될 수 있다.

한편, 직접단속과 사전선별 등의 용도에 맞는 정확도와 신뢰수준을 선택하는 것은 국가와 해당 법을 집행하는 기관의 채택 여부에 따라 달라진다. 체코는 직접단속용 고속축중기의 성능 요구사항에 대해서 A(5)의 총중량 정확도, B+(7)의 축하중 정확도를 혼합하여 사용한다. 게다가 사전선별용 고속축중기를 운용하는 미국의 경우 ASTM E1318의 Type III 정확도 수준을 사용한다.

《표 4》 COST 323의 등급별 중량 정확도 (오차율)

등급	총중량	축하중
A(5)	±5%	±8%
B+(7)	±7%	±11%
B(10)	±10%	±15%
C(15)	±15%	±20%

3) OIML R134와 NMi WIM Standard

OIML R134와 NMi WIM Standard는 최대허용오차(Maximum Permissible Error, MEP)라는 개념을 도입하여 모든 데이터가 ±MPE의 정확도 내에 포함되도록 요구한다. 즉, 100%의 신뢰수준을 요구하는 것을 알 수 있다. <표 5, 6>은 OIML R134에서 요구하는 중량 정확도를 보여준다. 이 기준은 설치 초기단계에서의 평가와 유지보수 기간 중 평가 결과에 따라 총중량과 축하중 등급을 부여한다는 특징이 있다. 또한 축하중 정확도의 경우 2축 차량과 그 외 차량을 구분하여 등급을 부여하는데, 2축 차량을 제외한 모든 차량은 2축 차량의 축하중의 오차율보다 약 2배 더 넓은 범위를 허용한다.

<표 5> OIML R134의 총중량 등급별 정확도 (오차율)

등급	초기 검증	유지보수 기간중 검증
0.2	±0.10%	±0.20%
0.25	±0.25%	±0.45%
1	±0.50%	±1.00%
2	±1.00%	±2.00%
5	±2.50%	±5.00%
10	±5.00%	±10.00%

<표 6> OIML R134의 축하중 등급별 정확도-2축 차량 기준 (오차율)

등급	초기 검증	유지보수 기간중 검증
A	±0.25%	±0.50%
B	±0.50%	±1.00%
C	±0.75%	±1.50%
D	±1.00%	±2.00%
E	±2.00%	±4.00%
F	±4.00%	±8.00%

직접단속용 고속축중기를 사용하는 국가들이 OIML R134 인증을 받은 제품을 사용하는 만큼, MPE라는 개념을 도입하는 것이 매우 엄격한 정확도를 요구하는 것임을 알 수 있다. 실제로 OIML R134 인증을 받기 위해서는 복잡한 평가와 인증 절차를 거쳐야 한다. 직접단속용 고속축중기 제조업체인 V사와 K사의 OIML R134 인증서를 확인한 결과 10F 내외로 이보다 상위등급의 정확도를 얻기는 어려운 것으로 보인다.

이 기준들을 보면, 100%의 신뢰수준과 95%의 신뢰수준 중 어떠한 것을 채택할 지에 대한 논의가 필요하다는 것을 알 수 있다. NMi는 이러한 관점에서의 어려움을 해소할 수 있도록 용도별로 고속축중기의 정확도 및 신뢰수준을 구분하고 있다. <표 7, 8>은 NMi에서 개발한 통계용도과 법적용도로 구분된 정확도 등급을 보여준다. 여기서 등급 구분 방식은 COST 323의 등급 부여 방식과 유사한 것을 알 수 있다. 통계적용은 95% 신뢰수준, 법적적용은 ±MPE 이내일 것을를 요구한다.

<표 7> NMi WIM Standard 통계용도 중량 정확도 (오차율)

등급	총중량	축하중
S(5)	±5%	±10%
S(7)	±7%	±15%
S(10)	±10%	±20%
S(15)	±15%	±25%
S(20)	±20%	±30%

<표 8> NMi WIM Standard 법적용도 중량 정확도 (오차율)

등급	총중량	축하중
L(3)	±3%	±7%
L(5)	±5%	±10%
L(7)	±7%	±15%
L(10)	±10%	±20%

2. 설치장소에 대한 기준 비교

고속축중기는 센서에 따라 편차가 있지만 온도와 속도 조건에 민감한 경우가 존재한다. 특히 피에조 폴리머 타입의 고속축중기가 가장 민감하며 피에조 퀴츠와 밴딩플레이트가 유사한 민감도를 갖는다는 연구결과가 있다. 게다가 도로 노면의 평탄도나 기하구조 등은 차량의 동적 효과에 영향을 미치고, 더 나아가 측정되는 중량에 큰 영향을 준다. 이러한 검측영향인자(influence factor)에 대해 각 기준들은 작동온도를 권고하거나 도로 기하구조 및 포장 평탄성 요구사항을 제시한다.

<표 9>은 고속축중기가 설치되는 장소 내 기온에 대해 작동 온도범위에 대한 고려와 권고사항을 기준별로 비교한 것이다. 국내 기준을 제외하고 모든 기준에서 권장범위를 명시하고, 온도에 따른 검측영향을 최소화할 수 있는 방안을 모색하도록 하고 있다.

<표 9> 성능평가 기준별 작동온도 범위 및 권고사항

구분	작동 온도	권고사항
고속축중기 성능평가 기준	-	-
ASTM E1318	-28 ~ 50℃	평가시 온도를 기록하고, 시스템이 작동하는 합리적 주변 대기온도를 명시 후 증빙자료를 제출
COST 323	-20 ~ 60℃	평가 시 온도를 기록하고 민감도 분석을 수행
OIML R134	-10 ~ 40℃	해당 기준의 A.7.2.1(정적 온도) 테스트를 수행

고속축중기가 설치되는 장소는 주로 고속도로나 국도이므로, 주변 교통흐름이 원활하지 않아 정체가 이뤄지는 경우 및 경사로가 존재하는 곳은 피해야 한다고 알려져 있다. 특히 고속축중기 설치 장소에서의 도로기하 조건을 살펴보면, 《표 10》과 같이 특정 구간에서의 경사와 곡률반경을 설정하고 있다.

《표 10》 성능평가 기준별 도로기하 요구사항

구분	적용 구간	권고사항
고속축중기 성능평가 기준	–	–
ASTM E1318	전방 60m 후방 30m	종단경사 : 2%를 초과할 수 없음 횡단경사 : 3%를 초과할 수 없음 곡률반경 : 1,700m 이상
COST 323	전방 50m 후방 25m	종단경사 : 최소 2% 미만 횡단경사 : 3% 미만 곡률반경 : 1,000m 이상
OIML R134	전방 16m 후방 16m	종단경사가 없을 것 횡단경사 : 1%를 초과할 수 없음

《표 11》은 포장 평탄성 요구사항을 비교한 것이다. 평탄성 표기 방식과 측정방법이 달라 동일 척도로 비교하기는 어렵지만 IRI(International Roughness Index)가 많이 사용되고 있다. COST 323의 경우 단속목적의 고속축중기는 Class 1 도로에 설치되어야 하며, 이때 IRI는 1.3 이하가 되어야 한다.

《표 11》 성능평가 기준별 포장 평탄성 요구사항

구분	적용 구간	권고사항
고속축중기 성능평가 기준	–	–
ASTM E1318	전방 60m 후방 30m	해당 기준의 6.1.5.1 방식으로 직선 자를 배치할 때 직경 150 mm 및 두께 3 mm의 원판이 길이가 5 m인 직선자 밑을 통과할 수 없을만큼 매끄러울 것
COST 323	전방 200m 후방 200m	IRI 기준 설치장소의 등급 Class I : 0 ~ 1.3 Class II : 1.3 ~ 2.6 Class III : 2.6 ~ 4
OIML R134	전방 16m 후방 16m	종단경사가 없을 것 횡단경사 : 1%를 초과할 수 없음

3. 시험방법의 비교

전반적인 시험방법은 모든 기준이 동일하며 시험차량의 기준중량을 먼저 측정한 뒤 주행 시 계측된 중량으로부터 정확도를 평가하는 방식으로 진행된다. 다만 《표 12》와 같이 주행시험에 사용되는 차종이나 회수, 주행 속도에 다소 차이가 존재하는 것으로 분석되었다. 시험 차종을 선택하는 것은 고속축중기 사용 국가에서 과적 빈도나 문화에 따라서 차이가 있을 수 있다. 그러나 국내 기준에서는 주행시험 시 주행속도에 대한 언급이 없다는 문제가 있다.

《표 12》 성능평가 기준별 포장 평탄성 요구사항

구분	차종	주행시험 횟수 및 속도
고속축중기 성능평가 기준	3축 1단위 4축 1단위 5축 1단위 5축 2단위	기본성능평가 40회 (그 이외의 시험은 20회) 주행속도에 대한 언급 없음
ASTM E1318	5축 1단위 5축 2단위 시험현장의 차량	2대의 시험용 차량이 2개 속도에서 5회씩 주행하고, 현장에서 선택한 51대의 차량으로 1회씩 주행하여 총 71회 주행 (16~130km/h에서 속도 범위를 지정하고, 그 범위에서 ±8km/h 높고 낮게 설정)
COST 323	2축 1단위 (만차) 2, 3, 4축(최대 하중 21~25톤) 만차상태의 트레일러 트럭 등	지정 차량 중 4대를 사용하여 60, 75, 90 km/h의 속도로 110회 주행
OIML R134	2축 트럭 3축 또는 4축 4축 이상의 굴절식 트럭 등	3~4대를 사용하여 3개 속도에서 최소 5회씩 총 90회 주행 (주행 속도는 사용자가 지정한 속도의 최대, 중앙, 최솟값 근처로 함)

Ⅴ. 국내 기준의 개선 방안

연구결과를 바탕으로 국내 기준을 살펴보면 용도별 중량 정확도와 신뢰수준 설정, 온도와 도로기하 및 평탄성 기준 제시, 주행속도에 대한 제시가 필요한 것을 알 수 있다. 국외 기준의 모든 조건을 포괄할 수 있도록 개선방안을 정리하면 《표 13》과 같다.

《표 13》 고속축중기 성능평가 기준 개선방안

구분	개선 방안
중량 정확도	**(사전선별용)** 95% 신뢰수준으로 정확도는 총중량 90%, 축하중 80% 이상일 것 **(직접단속용)** 100%의 신뢰수준으로 정확도는 총중량 95% 축하중 90% 이상일 것
온도	-20에서 60℃ 온도 범위를 수용해야 하며, 평가 시 주변 온도를 기록하여 영향을 파악할 것
도로 기하	(종단경사) 2%를 초과할 수 없음 (횡단경사) 3%를 초과할 수 없음 (곡률반경) 1,000m 이상으로 되도록 직선 구간일 것
포장 평탄성	IRI 기준으로 1.3 미만일 것

COST 323에서 법적 집행용도로 ±2σ의 신뢰수준을 권장하는 점, 사전선별용 고속축중기 사용 국가에서 95% 신뢰수준을 요구하는 점을 토대로 볼 때 용도별로 신뢰수준을 구분하는 것이 타당할 것으로 사료된다. 다만 직접단속용 고속축중기의 정확도 신뢰수준은 100%가 요구될 수 있다. 브라질 등의 국가에서 직접단속용 고속축중기 도입을 위해 100% 신뢰수준을 요구하는 OIML R134를 참고하고 있다. 미국 또한 직접단속용 고속축중기에 관련된 조항을 NIST HANDBOOK 44에 추가하는 작업을 진행하고 있으며 이 내용이 OIML R134와 상당히 유사할 것으로 추정된다. 특히 총중량은 5%, 축하중은 10% 오차율 이내로 설정되는 추세이다. 사전선별용 정확도의 경우 경우 국내의 현행 체계를 유지하더라도 사전선별용 고속축중기 운용 국가들과 큰 차이가 없을 것으로 보인다.

그러나 고속축중기 작동온도 범위와 도로 기하 및 평탄성, 주행속도 조건에 대해서는 현행체계에서 보완이 필요할 것으로 판단된다. 수치화된 범위를 제시하기 위해 《표 13》과 같이 국외 기준을 참고하는 방법도 있지만, 실제로 해당 범위에서 타당한 성능을 발휘할 수 있는지에 대해서는 검증이 필요하다. 이러한 검증을 거쳐 과적단속용 고속축중기를 국내에 도입하기 위해 2022년부터 관련 연구과제도 진행되고 있다.

Ⅵ. 결론

본 연구는 국내 고속축중기 성능평가 기준을 국외 표준과 비교 분석하여 개선 방안을 제시하였다. 고속축중기의 용도에 따라 요구되는 중량 정확도와 신뢰수준을 구체적으로 구분하고, 온도, 도로 기하, 포장 평탄성 등 다양한 환경 요인을 고려한 기준을 수립하였다. 이를 통해 고속축중기의 성능을 정확하게 평가하고 신뢰성 높은 과적단속에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

Acknowledgments

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었습니다. (과제번호 RS-2022-00142239).

참고문헌

ASTM, E. (2009), Standard Specification for Highway Weigh-in-Motion (WIM) Systems with User Requirements and Test Methods E 1318-09, 2007 Annual Book of ASTM Standards, Edited by ASTM Committee E17-52 on Traffic Monitoring, ASTM International, USA.

Cal. Bus. & Prof. Code §12727-12728.

CALIFORNIA DEPARTMENT OF FOOD AND AGRICULTURE, (2018), WEIGHTS AND MEASURES FIELD REFERENCE MANUAL.

Caltrans, Weigh-in-Motion (WIM), (n.d.), https://dot.ca.gov/programs/traffic-operations/wim

Directive, C. (2019), 96/53/EC, OJ L, 235, 59.

European Commission, (2013), Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council amending Council Directive 96/53/EC laying down for certain road vehicles circulating within the Community the maximum authorized dimensions in national and international traffic and the maximum authorized weights in international traffic.

FHWA, Compilation of Existing State Truck Size and Weight Limit Laws, (n.d.), https://ops.fhwa.dot.gov/freight/policy/rpt_congress/truck_sw_laws/index.htm#ex2

Jacob, B., O'brien, E., & Jehaes, S. (2002), COST 323: Weigh-in-Motion of Road Vehicles-Final Report, OIML, (2006), OIML R134-1: Automatic instruments for weighing road vehicles in motion and measuring axle loads, Part 1: Metrological and Technical Requirements - Tests.

Republika, Č. (2015), Vyhláška č. 345/2002 Sb., Ministerstva průmyslu a obchodu, kterouse stanoví měřidla k povinnému ověřování a měřidla podléhající schválení typu.

Republika, Č. (2018), Vyhláška č. 209/2018 Sb., o hmotnostech, rozměrech a spojitelnosti vozidel, Sbírka zákonů.

Republika, Č. (2022), Vyhláška č. 104/1997 Sb., Ministerstva dopravy a spojů, kterou se provádí zákon o pozemních komunikacích.

Republika, Č. (2022), Zákon č. 13/1997 Sb., o pozemních komunikacích, Sbírka zákonů.

NMi International WIM Standard: Specification and test procedures for weigh-in-motion systems, (2016) NMi Certin, Dordrecht, NL, http://www.nmi.nl/nmi-wim-standard/.

고속도로 2차 사고 심각도 영향요인 연구

Highway Secondary Incident Severity Factor Study

박하정, 안세영, 이재덕, 정철현, 장일준

(가천대 도시계획학과) (가천대 연구교수) (가천대 연구교수) (가천대 도시계획학과) (가천대 교수)

Key Words : 2차 사고, 고속도로, 심각도 영향요인, 치사율, 상관관계분석

목 차

Ⅰ. 서 론
1. 연구 배경 및 목적
2. 연구 범위 및 방법

Ⅱ. 관련 이론 고찰
1. 2차 사고 정의
2. 선행 연구 고찰
3. 연구의 차별성

Ⅲ. 2차 사고 심각도 영향요인 분석
1. 데이터 검토 및 전처리
2. 기초통계분석을 통한 2차 사고 특성
3. 상관관계 분석
4. 2차 사고 심각도 영향요인에 따른 개선방안

Ⅳ. 결론 및 향후 연구과제

Ⅰ. 서론

1. 연구 배경 및 목적

최근 몇 년간 국내 전체 교통사고 건수는 감소하는 추세를 보이고 있으나, 2차 사고로 인한 교통사망자는 여전히 증가하고 있으며, 이에 따른 국가적 재산 피해도 지속적으로 늘어나고 있다. 특히 고속도로에서 발생하는 2차 사고는 그 심각성이 매우 높아, 최근 3년간(2021~2023) 2차 사고로 인한 사망자는 전체 교통사고 사망자의 17.7%를 차지하고 있으며, 치사율은 일반사고에 비해 약 6.3배 높은 것으로 나타났다. 이는 일반사고나 차량 고장으로 인해 에어백이나 안전장치가 이미 소모된 상태에서 발생하는 2차 사고의 충격을 방어하지 못하는 상황이 주요 원인으로 작용하고 있기 때문이다.

〈표 1〉 Number of secondary incidents and fatalities on highways

Classification		Year					Fatality rate	Remarks
		2019	2020	2021	2022	2023		
Total traffic accidents	No. of cases	203,130	196,836	198,296	229,600	209,654	1.4%	TAAS
	No. of deaths	2,916	2,735	2,551	3,349	3,081		
Highway traffic accidents	No. of cases	4,223	4,039	4,883	4,860	5,220	4.3%	
	No. of deaths	206	223	191	184	186		
Secondary highway incidents	No. of cases	52	51	50	51	50	56%	Korea Expressway Corporation
	No. of deaths	33	28	28	29	25		

고속도로에서의 2차 사고는 교통사고 또는 차량 고장으로 인해 정차한 차량 주변에서 발생하며, 이러한 2차 사고의 발생 원인 중 대부분(93%)이 졸음운전 및 주시태만으로 확인되었다. 또한, 동절기인 1월과 11월에 발생 비율이 높고, 시인성이 떨어지는 야간 시간대에 주로 발생하고 있어 사고의 위험성을 더욱 증대시키고 있다. 2차 사고는 운전자 및 탑승자가 차량 내에 머무르거나(25%) 차량 주변에서 대기하는 중 후속 차량과의 충돌로 발생하는 경우가 많으며(45%), 이러한 상황은 치명적인 결과를 초래할 수 있다.

이러한 배경을 바탕으로 본 연구는 고속도로에서 발생하는 2차 사고의 심각도를 분석하여 그 원인과 특성을 규명하고, 이를 통해 향후 2차 사고를 줄이기 위한 방안을 모색하고자 한다.

2. 연구 범위 및 방법

본 연구는 고속도로 2차 사고 심각도에 영향을 주는 변수를 도출하여, 2차 사고의 원인과 특성을 분석하고 향후 2차 사고 감소 방안을 모색하기 위한 목적으로 수행되었다. 현재 2차 사고에 대한 명확한 정의가 없는 바, 선행 연구를 통하여 2차 사고 정의 및 특징에 대하여 검토하고 다양한 분석방법론을 고찰하여 본 연구의 차별성을 제시하였다. 2차 사고 데이터는 한국도로공사에서 수집한 최근 10년간('14~'23) 고속도로 2차 사고 자료를 사용하였다. 해당 자료들은 분석을 위해 가공하였으며, 분석은 통계 패키지 SPSS 27.0을 사용하였다.

참고문헌

1. A.A. Sarker, R. Paleti, S. Mishra, M.M. Golias, P.B. Freeze(2017), "Prediction of secondary crash frequency on highway networks", Accident Analysis & Prevention, 98, 108-117
2. C. Zhan, A. Gan, M. Hadi(2009), "Identifying secondary crashes and their contributing factors", Transportation Research Record, 2102(2009), 68-75, DOI:10.3141/2102-09
3. Eo J. Y.(2011), "Analysis of The Factors Effecting of Secondary-Accident in Highways", The University of Seoul
4. H. Zhang, A. Khattak(2010), "What is the role of multiple secondary incidents in traffic operations?", Journal of Transportation Engineering, 136 (11) (2010), 986-997
5. H. Zhang, A. Khattak(2011), "Spatiotemporal Patterns of Primary and Secondary Incidents on Urban Freeways", https://doi.org/10.3141/2229-03, 2229(1), DOI:10.3141/2229-03
6. J. G. Pigman, J. R. Walton, E. R. Green(2011), "Identification of secondary crashes and recommended countermeasures", Transportation Research International Documentation, Washington, DC, USA
7. J. Wang, W. Xie, B. Liu, D.R. Ragland(2016), "Identification of freeway secondary accidents with traffic shock wave detected by loop detectors", Safety Science, 87, 195-201
8. R. Raub(1997), "Occurrence of Secondary Crashes on Urban Arterial Roadways", Transportation Research Board, 1581(1), 53-58
9. Worapong H., S. Mattingly(2006), "Identifying Secondary Crash Characteristics for the California Highway System", Transportation Research Board Meeting, Washington, DC, USA

최고 제한속도 조정에 따른 고속도로 교통영향분석

Anaylsis of Highway Traffic Impacts Due to Speed Limit Adjustments

백성채[1], 김태익[2], 박제진[3]

(전남대학교 건축토목공학과, 석박사통합과정)[1], (한국자동차연구원, 선임연구원)[2],
(전남대학교 토목공학과, 부교수)[3]

Key Words : 고속도로 제한속도, 교통안전, VISSIM, SSAM

목 차

I. 서론
II. 국내외 사례분석
III. 연구방법
IV. 결론

Ⅰ. 연구 개요

최근 차량 성능의 향상과 고속도로 선형의 개선 등의 노력으로 고속도로 주행 환경이 지속적으로 개선되고 있다. 이에 따라 고속도로의 경제성을 높이기 위해 최고 제한속도를 상향해야 한다는 주장이 제기되고 있다. 반면, 교통사고율을 낮추고 교통 혼잡을 줄이기 위해 최고 제한속도를 하향해야 한다는 주장도 존재한다. 이러한 상반된 입장 속에서, 고속도로 최고 제한속도 조정의 타당성을 규명하기 위한 연구가 필요한 실정이다.

본 연구는 고속도로 최고 제한속도 조정이 교통에 미치는 영향을 분석하는 것을 목표로 한다. 이를 위해 시뮬레이션을 활용하여 최고 제한속도가 조정될 때의 변화를 분석하고, 각 제한속도가 교통 안전성과 효율성에 미치는 영향을 평가하고자 한다.

Ⅱ. 국내·외 사례분석

최고 제한속도의 조정에 관하여 많은 연구가 진행되어왔다. 주요 연구들은 일반적으로 네가지 분야에서 분석을 진행했다. 이는, (1) 최고 제한속도 조정에 따른 사고 발생·사고 치명도·속도 변화를 분석하는 등 안전성을 분석하는 경우, (2) 평균 주행속도 변화, 속도 변동성 변화, 과속 운행 비율 등을 확인하는 등 효율성을 분석하는 경우, (3) 차선별로 차량수, 교통흐름 분포, 차선 변경율 등을 확인하여 운전자의 차선 변경 행동에 미치는 영향을 평가하는 경우(Soriguera et al., 2017), (4) 도로 유형과 구간별 특성을 분석하는 경우가 있었다.

안전성·효율성 분석 측면에서 최고 제한속도를 상향할 경우에는 통행속도, 통행시간을 단축하는 등 긍정적인 결과를 도출할 수 있었다(Jin and Peter, 2021; Hu., 2017). 하지만, 속도 변동성이 증가하면서 교통사고의 발생 빈도와 사고의 치명도가 높아지는 경향도 관찰되었다(Gao et al., 2019). 반면, 제한속도를 하향했을 경우, 사고율과 사고심각도가 줄어들었으며, 특히 도로구간에서 그 효과가 더 뚜렷하게 발생하였다(Pauw et al.,2014; Vernon et al., 2004, Song and Seong, 2017; Lave and Elias, 1994).

이러한 연구 결과를 종합해보면, 주행속도와 속도 변동성을 모두 고려하여 제한속도 정책을 설계해야 하며, 효율성과 안전성을 동시에 확보할 수 있는 방안에 대한 수립이 필요하다. 다만, 기존 연구들은 실데이터를 기반으로 분석을 진행했으며, 본 연구에서는 가상의 공간에서의 시뮬레이션을 사용하여 분석을 진행했기 때문에 추가적인 신뢰성 검증이 필요할 것으로 생각한다.

Ⅲ. 연구방법

1. 대상지 구간 설정

본 연구에서는 고속국도 제29호선인 포천세종고속도로의 '세종~서하남' 구간을 연구 대상으로 설정하였다. 이 구간에는 유·출입시설이 22개(분기점 5개, 나들목 11개, 휴게시설 6개)가 존재하고 있다.

<그림 1> 대상지 구간 VISSIM basemap

2. 시뮬레이션 네트워크 구축

VISSIM을 활용하여 대상 구간의 시뮬레이션 네트워크를 구축하였다. 특히, 터널 구간은 기존 고속국도와 다르게 운전자 시야 제한과 심리적 압박감을 반영하기 위해, link driving behavior의 값을 조정하였다. 터널 구간의 주행 특성은 아래 <표 1>과 같이 반영되었다.

<표 1> VISSIM 적용 Link Driving Behaviors

입력변수	CC0(m)	CC1(s)	CC2(m)	CC4	CC5	CC8(m/s²)
일반구간	1.50	0.90	4.00	-0.35	0.35	3.50
터널구간	1.4307	0.8830	3.8648	-0.3480	0.2076	3.3152

교통량 설정 시 각 공구의 일반보고서에 제시된 본선부 차로 수 산정 및 서비스수준 분석 데이터를 사용하였으며, 유·출입시설 및 휴게시설마다 교통량을 조정하여 입력하였다.

Ⅳ. 결론

본 연구에서는 제한속도 조정이 고속도로 교통지표에 미치는 영향을 분석하고자 하였다. 분석 결과, 제한속도를 증가시켰을 경우 본선구간과 연결로·휴게시설 영향권에서 밀도가 감소하고 속도가 증가하였다. 또한 시나리오별로 crossing, rear end, lane change 상충횟수를 비교한 결과 모든 종류의 상충횟수가 증가하는 경향을 보였다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원(과제번호 RS-2021-KA160881)에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 박상현, 이진각, 고상운, 2022, VISSIM과 VR 시뮬레이터를 활용한 지하도로 주행행태 분석방안 연구, 디지털콘텐츠학회논문지, 23(12), pp.2507-2516
2. C Lave, P Elias. (1994). Did the 65 mph speed limit save lives?. Accident Analysis & Prevention. pp.49-62.
3. De Pauw, E., Daniels, S., Thierie, M., & Brijs, T. (2014). Safety effects of reducing the speed limit from 90 km/h to 70 km/h. Accident Analysis & Prevention, 62, pp.426-431.
4. Gao, C., Xu, J., Li, Q., & Yang, J. (2019). The effect of posted speed limit on the dispersion of traffic flow speed. Sustainability, 11(13), pp.3594.
5. Hu, W. (2017). Raising the speed limit from 75 to 80ámph on Utah rural interstates: Effects on vehicle speeds and speed variance. Journal of safety research, 61, pp.83-92.
6. Jin J., Peter R. (2021). How the speed limit policy affects travel speed?: Quasi-experimental approach. Transport Policy. 103. pp.2-104.
7. Song, Y., & Seong, B. (2017). Effects of maximum speed limit on Gyeongbu Expressway. Korean Journal of Applied Statistics. 30(5), pp.719-731.
8. Soriguera, F., Martínez, I., Sala, M., & Menéndez, M. (2017). Effects of low speed limits on freeway traffic flow. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 77, pp.257-274.
9. Vernon, D. D., Cook, L. J., Peterson, K. J., & Dean, J. M. (2004). Effect of repeal of the national maximum speed limit law on occurrence of crashes, injury crashes, and fatal crashes on Utah highways. Accident Analysis & Prevention, 36(2), pp.223-229.

한국ITS학회 2024년도 추계학술대회

세종특별자치시 교통사고 발생 추이와 특성

대전세종연구원 세종시 도시안전연구센터
전문연구위원 추재성
책임연구위원 안용준
선 타 달 송양호

목차

TABLE OF CONTENTS

01 | 서 론

02 | 세종시 교통 관련 현황

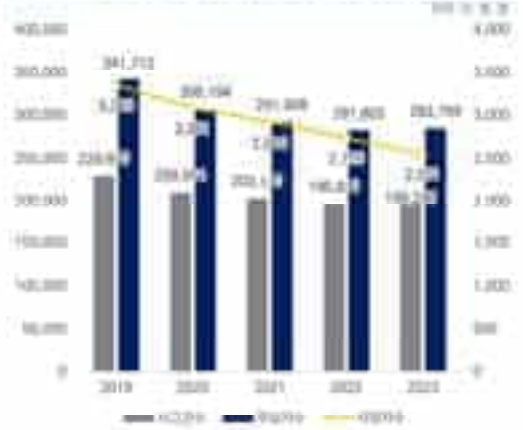
03 | 세종시 교통사고 발생 특성

04 | 결 론

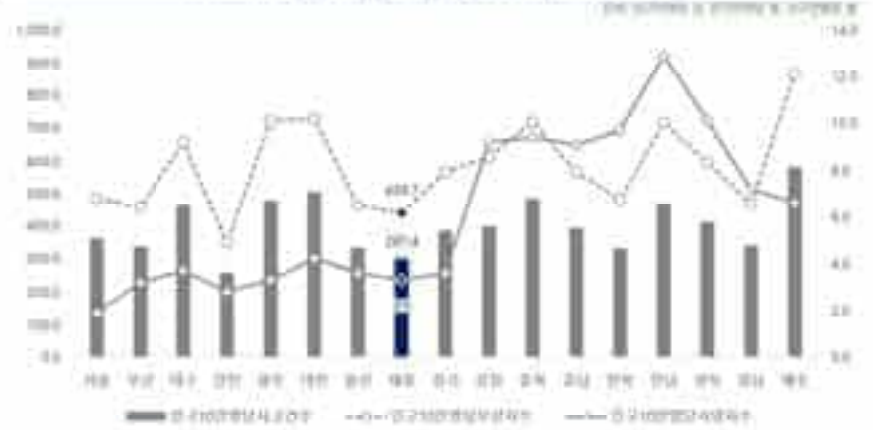
01 서 론

교통사고 현황

최근 5년간 국내 교통사고 사고·부상·사망



2023년 광역자치단체별 인구10만명당 사고·부상·사망



01 서 론

교통사고 분석의 필요성

최근 5년간 세종시 지역안전지수 교통사고 분야 추이

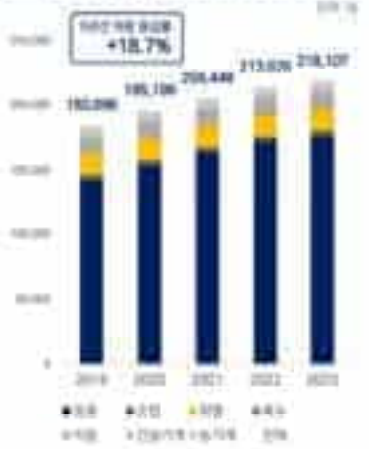
최근 5년간 세종시 교통사고 발생건수 및 사상자수

02 세종시 교통 관련 현황

인구 및 도로

최근 5년간 세종시 인구

최근 5년간 세종시 차종별 등록대수

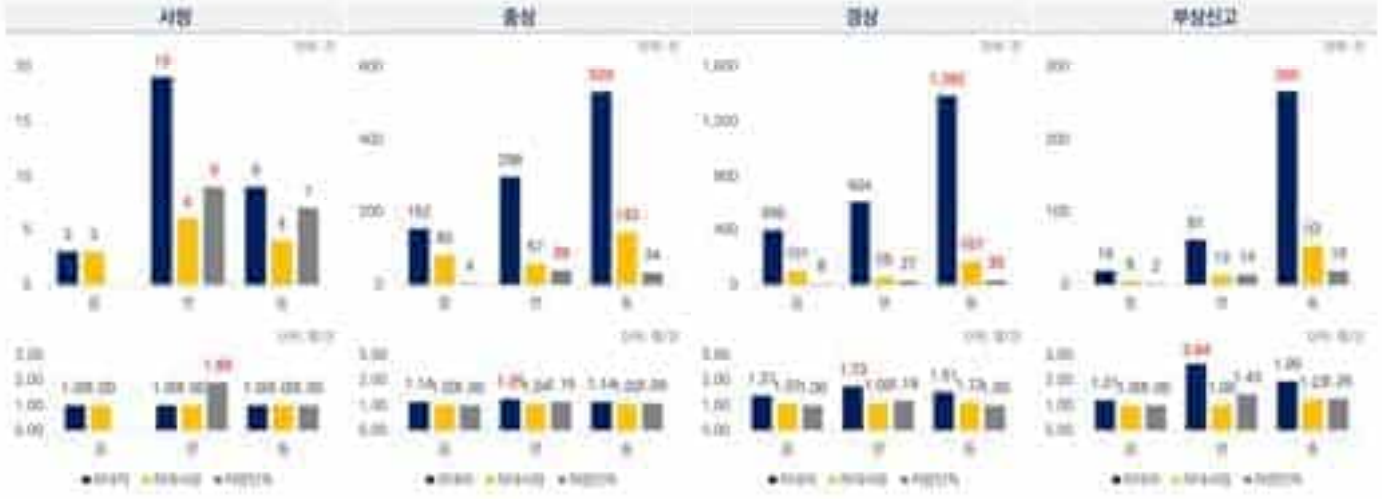


최근 5년간 세종시 도로종류별 연장

03 세종시 교통사고 발생 특성

읍면동·사고유형별 분석

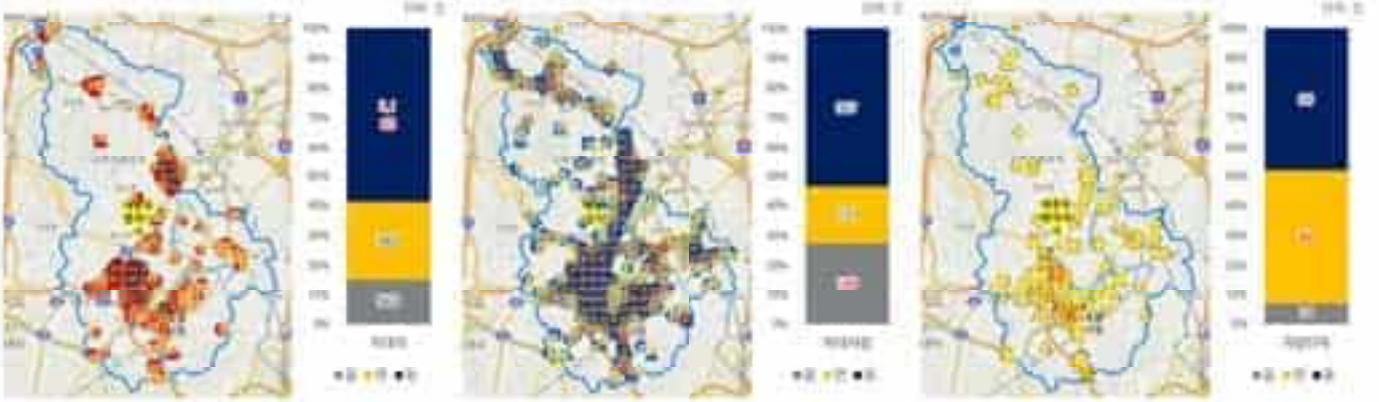
최근 5년간 세종시 읍면동별·사고유형별 사상자수 및 사고발생 대비 사상자수



03 세종시 교통사고 발생 특성

읍면동·사고유형별 분석

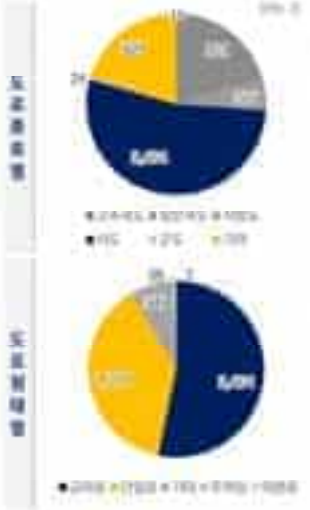
최근 3년간 세종시 사고유형별 사고발생 분포 및 최근 5년간 사고유형별·읍면동별 사고발생건수



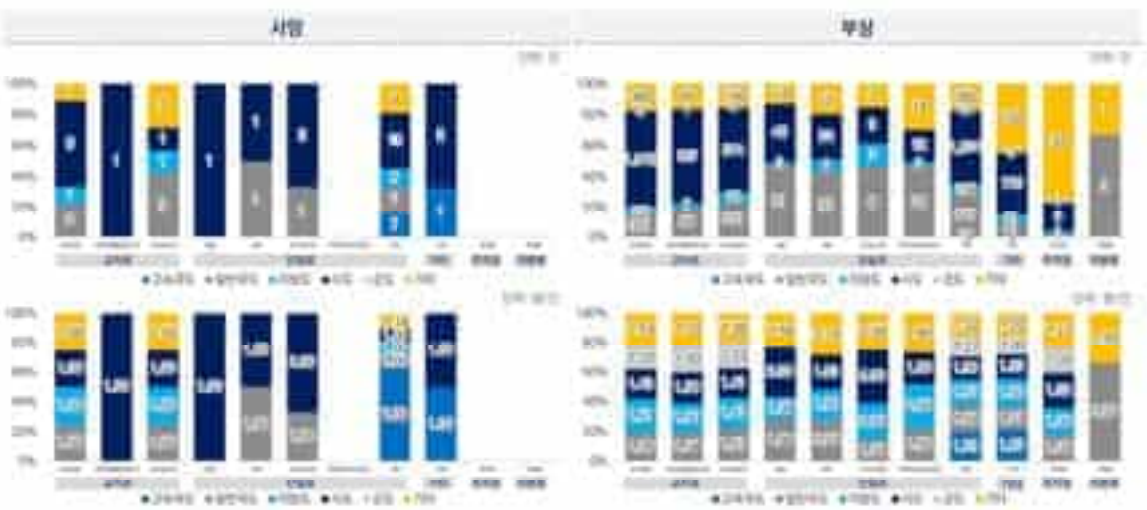
03 세종시 교통사고 발생 특성

도로종류·도로형태별 분석

최근 5년간 도로종류/형태별 사고



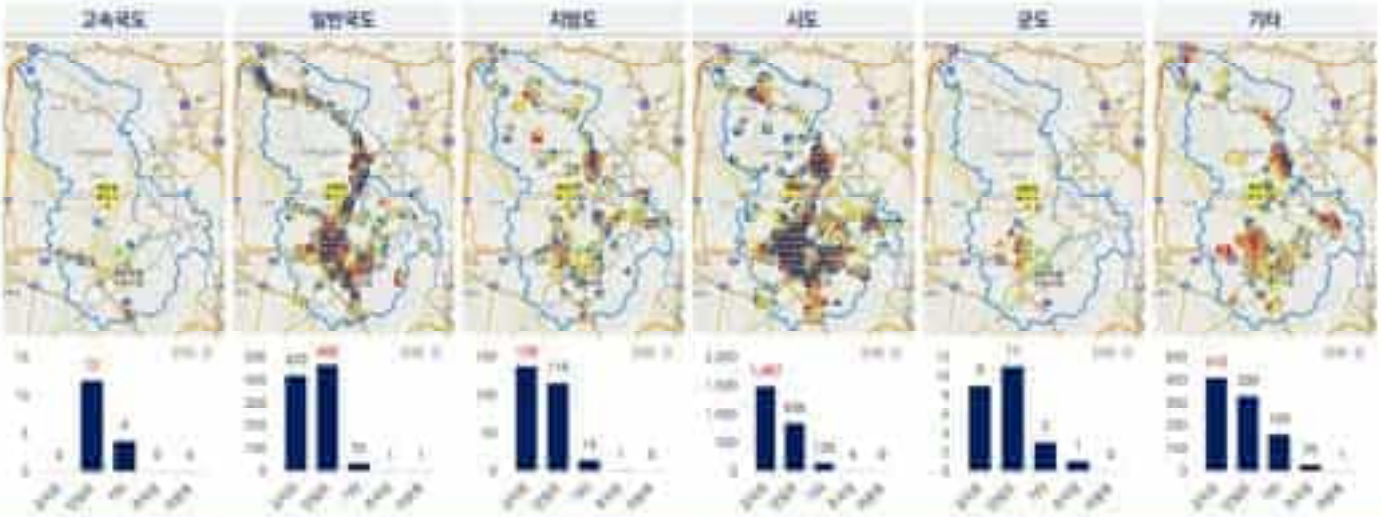
최근 5년간 세종시 도로종류별·도로형태별 사상자수 및 사고발생 대비 사상자수



03 세종시 교통사고 발생 특성

◆ 도로종류·도로형태별 분석

최근 3년간 세종시 도로종류별 사고발생 분포

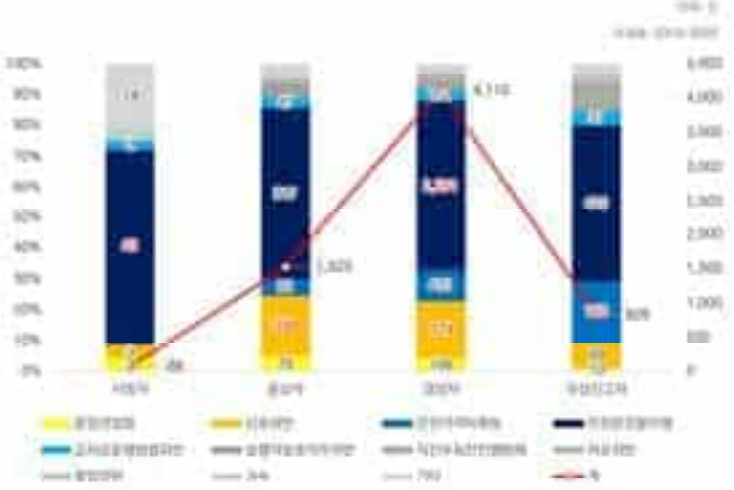


03 세종시 교통사고 발생 특성

◆ 법규위반별 분석

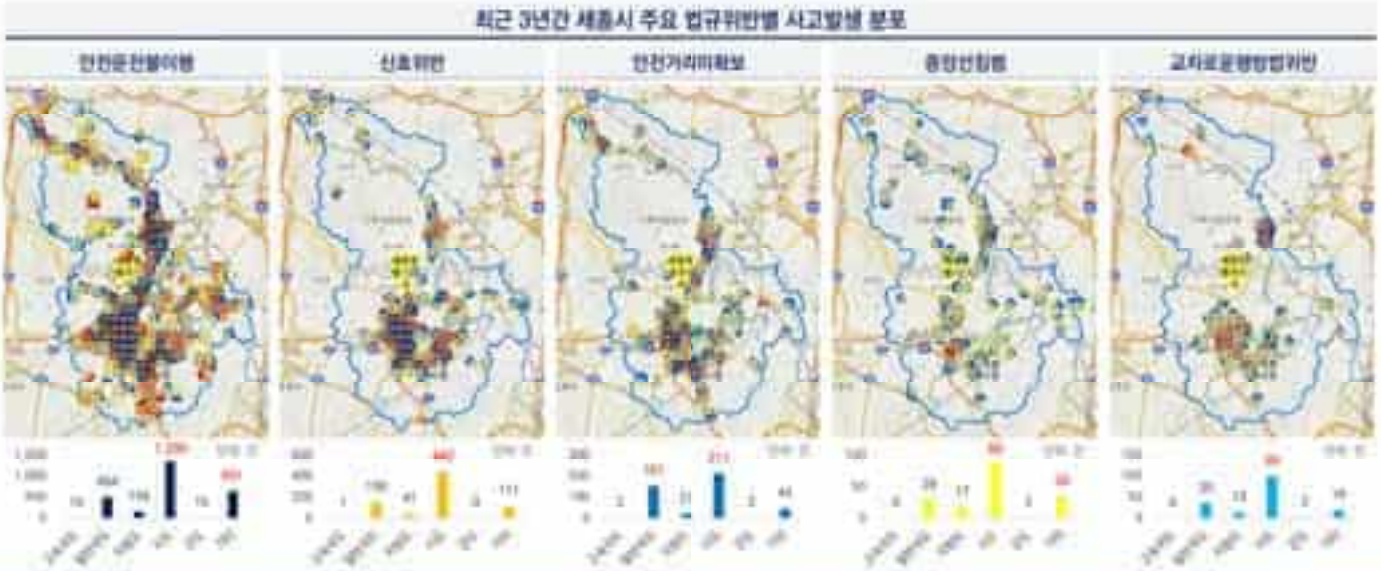
최근 5년간 세종시 법규위반별 사고발생 추이

최근 5년간 세종시 법규위반별 사상자 발생 유형



03 세종시 교통사고 발생 특성

법규위반별 분석



04 결 론

분석 결과 및 향후 계획

분석 결과

- 우리나라의 교통사고 발생건수 및 사망자수는 감소하고 있으나, 세종시는 2021년까지 감소 후 지속적으로 증가하여 2023년 최근 5년간 사고건수 및 사상자수 최대
- 세종시는 2019년 대비 2023년 인구 증가율 21.9%, 차량등록대수 증가율 18.7%로, 특히 차량등록대수의 증가율은 같은 기간 전국 8.2%보다 12.5% 높음
- 읍면동별 교통사고는 동 지역에서 가장 많이 발생하였으나, 치대사망 사고의 비율은 읍 지역이 가장 높았으며, 차량단독 사고의 비율은 면 지역이 가장 높음
- 도로종류별로는 시도, 도로형태별로는 교차로에서 사고가 가장 많이 발생하였으며, 시도는 교차로 사고 발생빈도가 가장 높은 반면, 일반국도는 교차로와 단일로가 유사
- 법규위반은 안전운전불이행, 신호위반, 안전거리미확보, 중앙선침범, 교차로운행방법위반 순으로 시도에서 주로 발생하였으나, 안전거리미확보는 일반국도 비중이 높음

향후 계획

- 교통사고의 발생 특성에 대한 심화된 분석을 진행하여 세종시의 교통사고 발생의 주요 특성을 파악
- 교통사고에 대한 공간 분석을 수행하여 지점 및 구간 등 영역을 중심으로 교통사고 다발지역을 선별하고, 다발지역별 발생 특성 파악
- 교통사고 다발지역을 중심으로 현장조사를 수행하여 교통안전 증진을 위한 개선방안 제시

Session D

모빌리티

Session

D-1

서울시 택시 운행 효율성 개선을 위한 수요·공급 분석 및 최적 운행 방안 연구
양민수, 유준재, 홍정열

외생성 및 시·공간적 요인의 종합적 분석을 통한 서울시 택시 수요 예측 모형 개발
김강현, 홍정열

XGBoost-SHAP 모델 기반 UAM 신뢰도 영향 요인 평가: 인지된 위험 및 가치를 중심으로
김태성, 조정우, 백승한, 박진서

의료취약지역에서의 응급의료서비스 개선을 위한 RTC 위치 결정 및 UAM 기반 서비스 영역분석
노세영, 도명식

보행자 영향을 반영한 우회전 용량 일반 모델 개발
오승민, 장기태, 천경훈

여름 휴가기간 시내버스 감차운행과 대중교통 수요 변화
황유성, 신강원

서울시 택시 운행 효율성 개선을 위한 수요·공급 분석 및 최적 운행 방안 연구

A Study on Demand-Supply Analysis and Optimal Operation Strategies for Improving Taxi Operation Efficiency in Seoul

유준재 (계명대학교 연구원)
양민수 (계명대학교 연구원)
홍정열 (계명대학교 조교수)

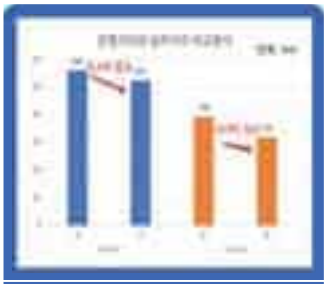
한국ITS학회 2024년도 추계학술대회

목 차

1 . 연구의 배경
2 . 연구의 목적
3 . 기존문헌고찰
4 . 데이터 수집 및 개요
5 . O - D 구별 현황
6 . 시간대별 요일별 택시수요 및 공급 현황
7 . 방법론
8 . 결과

연구 배경 서울시 택시 운행 효율 악화

2023년 2월, 택시 기본 요금 인상
(3,800원 → 4,800원)



운행거리 6.4% 감소 및
실차거리 18.9% 감소

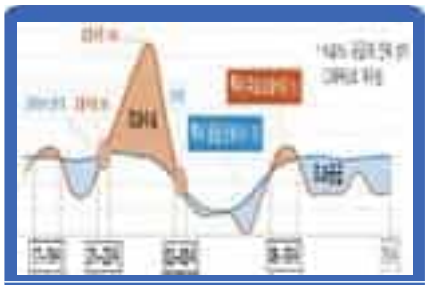
택시 실차율 약 10% 감소

- 기본 요금이 오르기 직전, 두 달간 법인택시 한대의 하루 평균 운행거리는 280km, 이 중 주행거리는 70% 수준인 196km임
- 그러나 택시 요금 인상 후 일 평균 운행거리 272km, 실차율 60.7%인 159km로 감소함 → 운행 효율이 감소
- 요금 변동이 없는 16개 시도와 비교했을 때, 서울의 실차율 감소는 전국에서 가장 크게 나타남

출처 : 조재완 기자,『[단독] 택시기사 수입 고작 1% 늘었다…운행효율만 악화』, [단독] 택시기사 수입 고작 1% 늘었다...운행효율만 악화 (newspim.com)

연구 배경 고질적인 심야시간 택시 승차난

택시 기사 수 34.3% 감소



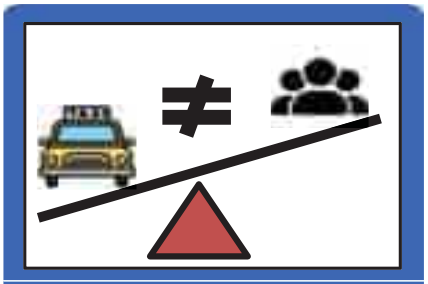
수요 공급의 불균형

- 코로나 이후 택시 기사 이탈 가속화 및 심야운행 저조
- 서울지역 심야시간(22시~03시) 택시 배차성공률은 20% 수준으로, 낮 시간(10시~13시) 배차 성공률 61%에 비해 현저히 감소
- 서울시는 택시 심야 시간 승차난의 주요원인이 택시 기사가 부족해 수요 공급 불균형이 심화되는 것으로 밝힘

출처 : 우영식 기자,『[단독] 택시기사 수입 고작 1% 늘었다…운행효율만 악화』, [단독] 택시기사 수입 고작 1% 늘었다...운행효율만 악화 (newspim.com)
출처 : 국토교통부,『심야 택시난 원인 대책』,

연구 목적

택시 운전사 운행 효용 극대화
➔ 최적의 운행지역, 운행시간대, 운행비용



수요 공급의 불균형 해결

- 서울시의 택시 데이터를 구별, 요일별, 시간대별로 나누어 분석 ➔ 택시 수요 및 공급대수를 파악
- 비모수적 선형 계획법을 활용하여 자치구 및 시간대별 택시 수요-공급 도출
- 적정 택시 운행시간과 장소를 파악 및 서울시 수요 공급의 불균형 개선 ➔ 택시 운행 효율화

출처 : 택시 아이콘 제작자: surang - Flaticon

국내 문헌 고찰 시사점

연구진	Title	Summary
구동균 외	딥러닝을 이용한 택시 승객수요 예측 (2017)	• 택시운행정보를 바탕으로 수요가 예상되는 지점을 예측하여 정보를 제공하는 수요예측형 서비스 구현 • 타코메타데이터 데이터를 활용 및 딥러닝 기법의 지도학습법을 적용을 통해 택시 수요 예상지점 예측 • 2016-1-22일~1-24일까지 3일의 데이터 학습을 통해 수요예측형 서비스 활용가능성을 확인함
김예원 외	택시 데이터 분석을 통한 수요 예측과 승차대 위치 개선 (2019)	• 서울시 도로 네트워크 데이터와 택시 운행 분석 데이터, 택시 승차대 데이터 활용 • K-mean 기법과 Elbow 기법을 이용해 서울시 권역의 택시 승차 수요량과 승차대 현황 분석 후 시각화 • 분석 결과 수요 대비 승차대 위치와 수의 불균형이 확인되었고, 개선이 필요한 승차대의 위치 추천 • 본 연구를 통해 택시 운송종사자, 이용 승객, 도시 시설의 모든 방면에서의 개선을 기대
이은경 외	딥러닝을 활용한 서울시 행정동 별 장애인 콜택시 수요예측 방법 연구(2022)	• 2019년 서울시 장애인 콜택시 호출 데이터 와 차량 이동 데이터를 활용 • GCN 및 ST - MGCN을 활용하여 sptial 하고 temporal한 특성을 반영한 수요 예측 수행 • 여러 중류의 sub-graph를 구성한 후 GNN을 사용해 행정동간 공간적 특성 반영하였고, RNN을 활용하여 시간적 특성을 반영하여 장애인 콜택시 수요 예측 모델 구축
구동균	Deep Learning을 이용한 택시 승객 승차 예측에 관한 연구 (2018)	• 택시 승객의 승차위치를 예측하기 위해 Deep Learning 기법 중 지도학습법을 활용한 학습을 실시 • 시간에 따라 변화하는 택시의 특성을 반영하기 위해 RNN를 학습 한 후 MSE 기법으로 분석 • 2016년 서울시 택시 타코메타 데이터, 건물데이터, 스마트카드 데이터 활용 • 택시 서비스 분야에서 수요 예측형 서비스 연구를 수행하였다는 점에서 다른 연구와 차별성
이인우	대전지역 택시 승·하차 총량 분석 모델 연구(2020)	• 택시운행정보관리시스템의 승·하차 분석모델을 연구 • 샘플데이터를 통한 분석 결과 도출 및 해석, 사례별 활용방안 제시 • 총량 분석모델을 연구하여 샘플데이터 분석 결과를 도출 및 기존 택시 총량 산정방식 개선방안 제시

국외 문헌 고찰 시사점

연구진	Title	Summary
Huaxiu 외	Deep Multi-View Spatial-Temporal Network For Taxi Demand (2018)	• 기존 교통 수요 예측에 대한 기존방법은 CNN 또는 LSTM을 독립적으로 사용했지만 본 연구는 공간과 시간적 관계를 모두 모델링하는 DMVST-Net (Deep Multi-View Spatial-Temporal Network)사용 • DMVST-Net은 시간적 , 공간적, semantic 의 세가지 관점으로 구성된 모델 • 대규모 택시 수요 데이터에 DMVST-Net 방법론이 효과적
Zhizhen Liu 외	Taxi Demand Prediction Based on a Combination Forecasting Model in Hotspots (2020)	• Hotspot을 탐지하고 Hotspot에서 택시 수요를 예측하는 RFM, RRM, CFM의 세가지 예측 모델 제안 • GPS 데이터, 환경데이터 활용 • 제안된 모델은 시간, 기상 및 환경적 특성을 결합하여 택시 수요 예측 모델 구축 • 택시 수요 예측 모델의 가장 중요한 영향은 시간 요인임을 확인
Filipe Rodrigues 외	Combining time - series and textual data for taxi demand prediction in event areas : A deep learning approach (2019)	• 시계열 데이터와 텍스트 데이터를 결합하기 위해 word embeddings, convolutional layers 그리고 attention mechanisms 을 활용해 이벤트 지역의 택시 수요 예측에 적용 • 뉴욕의 open data를 사용하여 cross-modal 정보를 융합함으로써 모델 도출 • 이러한 cross-modal은 수요 예측의 오차를 감소시킴
Chizhan Zhang 외	Taxi Demand Prediction Using Parallel Multi - Task Learning Model (2020)	• 택시 승·하차 수요를 동시에 예측하기 위해 딥러닝 기반 multi-task learning model 구현 • 택시 수요 예측 모델에 시계열적 특징을 포함하기 위해서 신경망 기반 택시 수요 모델 개발 • 승·하차 수요가 서로 의존하고 제안된 공동 예측 방법의 효과성을 입증
Chizhan Zhang 외	MLRNN: Taxi Demand Prediction Based on Multi-Level Deep Learning and Regional Heterogeneity Analysis (2020)	• Zone clustering 탐구 및 zone간 이질성을 활용하여 수요 예측을 개선하는 방법 제시 • pairwise clustering 이론 기반으로 다양한 zone간 상관 관계를 고려해 알고리즘 설계 • 최종적으로 두 모듈을 결합하여 다중 수준 순환 신경망(MLRNN) 모델 제안

데이터 수집 및 개요

시·공간적 범위

시간적 범위

- 2023년 택시 O-D
  - 시간대별(Hourly unit)
  - 일별(Daily unit)
  - 월별(Monthly unit)

공간적 범위

- 거시적 범위 : 서울시, 25개 구
- 미시적 범위 : 위치 좌표 단위

➔ 분석 목적에 따라 시간적 분석 범위 결정

➔ 서울시 내에서 승·하차하는 택시 이용 대상 적용

택시 통행 데이터 수집 및 전처리

택시 통행 데이터 수집 및 전처리

운행정보, 시간정보, 위치정보만 활용

누락 데이터 처리

GIS 활용을 통해 정보 기입

서울시 자치구별 택시 승·하차 대수 산출 시,
승·하차위치(구) 정보가 없는 샘플 수의 경우
X,Y좌표를 활용하여 구 정보 기입

O-D 및 영업거리 구별 현황

[단위 : 건]

순위	개인			법인		
	O	D	대수	O	D	대수
Top1	강남구	강남구	9,336,274	강남구	강남구	4,512,041
Top2	송파구	송파구	4,777,194	송파구	송파구	2,185,463
Top3	노원구	노원구	3,671,686	강서구	강서구	1,979,977
Top4	강서구	강서구	3,279,299	마포구	마포구	1,575,567
Top5	강동구	강동구	3,124,480	영등포구	영등포구	1,467,554
Top6	영등포구	영등포구	3,081,138	서초구	강남구	1,183,724
Top7	은평구	은평구	2,749,656	강동구	강동구	1,181,907
Top8	마포구	마포구	2,519,468	강남구	서초구	1,181,090
Top9	서초구	강남구	2,326,498	서초구	서초구	1,169,146
Top10	서초구	서초구	2,300,433	관악구	관악구	1,108,338
Top11	강남구	서초구	2,297,399	용산구	용산구	1,076,781
Top12	중랑구	중랑구	2,146,489	노원구	노원구	1,033,652
Top13	관악구	관악구	2,035,266	중랑구	중랑구	984,162
Top14	용산구	용산구	1,961,441	은평구	은평구	963,859
Top15	강남구	송파구	1,862,649	중구	중구	889,402
Top16	광진구	광진구	1,851,560	광진구	광진구	848,377
Top17	동대문구	동대문구	1,831,893	강남구	송파구	837,841
Top18	송파구	강남구	1,810,351	송파구	강남구	832,438
Top19	중구	중구	1,720,537	동대문구	동대문구	729,611
Top20	구로구	구로구	1,512,562	강북구	강북구	711,227

자치구 단위 택시 O-D 분석

- 서울시 자치구 간의 이동만을 포함 ➔ 인천 및 경기도 제외
- 개인택시 O-D는 176,954,257대
- 법인택시 O-D는 89,853,679대
- O-D통행은 특정 구안에서의 통행으로 강남구-강남구, 송파구-송파구, 강서구-강서구 등 순으로 통행이 가장 많음

[출근 시간대(7~9시)] [단위 : 건]

순위	개인			법인		
	O	D	건수	O	D	건수
Top1	강남구	강남구	1,226,524	강남구	강남구	590,043
Top2	송파구	송파구	700,043	강서구	강서구	238,617
Top3	노원구	노원구	695,114	송파구	송파구	237,577
Top4	영등포구	영등포구	546,491	영등포구	영등포구	236,836

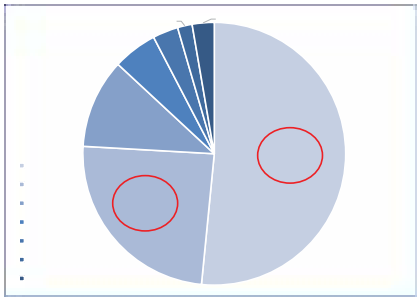
[퇴근 시간대(17~19시)] [단위 : 건]

순위	개인			법인		
	O	D	건수	O	D	건수
Top1	강남구	강남구	1,463,586	강남구	강남구	640,207
Top2	송파구	송파구	812,480	송파구	송파구	322,856
Top3	노원구	노원구	581,035	강서구	강서구	257,693
Top4	강동구	강동구	522,510	마포구	마포구	236,636

[심야 시간대(23~2시)] [단위 : 건]

순위	개인			법인		
	O	D	건수	O	D	건수
Top1	강남구	강남구	1,158,022	강남구	강남구	606,945
Top2	송파구	송파구	682,973	송파구	송파구	408,663
Top3	강서구	강서구	575,893	강서구	강서구	390,599
Top4	관악구	관악구	459,210	관악구	관악구	314,642

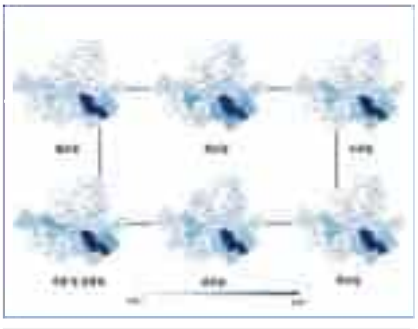
첨두시 택시 O-D분석



구별 택시 영업거리 통행분포

- 0~5km, 5~10km, 15~20km, 20~25km, 25~30km , 30km이상 7개의 범위로 법인택시 및 개인택시를 영업거리에 따른 범주화를 진행함
- 개인 및 법인 택시의 영업거리 패턴은 유사함
- 전체 통행 중 0~10km 통행이 76%를 차지함

시간대, 요일 별 택시 수요 및 공급대수 현황



구별 요일별 수요

- 주중(247일) + 주말 및 공휴일(118일)
- 대부분의 구에서 평일의 수요가 주말보다 높음
- 요일 중 금요일의 택시 수요가 가장 높음
- 요일별 택시 이용은 강남구, 송파구 등 순으로 가장 많음

[단위 : 대, 승차기준]

구 \ 시간대	0-2	3-5	6-8	9-11	12-14	15-17	18-20	21-23
강남구	6,964	2,781	4,760	9,321	9,417	9,283	8,582	9,963
강동구	1,465	743	2,344	3,065	2,481	2,634	2,539	2,358
강북구	1,421	685	984	1,410	1,191	1,207	1,361	1,513
강서구	2,122	1,112	2,225	3,256	2,835	2,657	2,630	3,297
관악구	2,254	1,227	1,562	2,101	1,844	1,788	1,817	2,150
광진구	1,924	916	1,600	2,708	2,338	2,369	2,293	2,466
구로구	1,542	628	1,348	2,174	1,980	1,946	1,842	2,073
금천구	898	434	988	1,319	1,158	1,160	1,184	1,313
노원구	1,824	809	2,232	3,092	2,645	2,768	2,597	2,442
도봉구	848	386	1,286	1,685	1,323	1,335	1,341	1,232
동대문구	1,284	643	1,578	2,472	2,207	2,289	2,167	1,981
동작구	1,077	553	996	1,492	1,330	1,240	1,061	1,314
마포구	3,687	1,683	2,291	3,507	3,315	3,310	3,260	4,256
서대문구	932	474	1,179	2,060	1,849	1,793	1,353	1,305
서초구	2,806	1,073	2,306	4,283	4,138	3,815	3,372	4,320
성동구	1,587	569	1,238	2,203	2,159	2,288	2,281	2,476
성북구	1,245	589	1,215	2,036	1,744	1,679	1,520	1,512
송파구	3,003	1,259	3,237	5,008	4,379	4,547	4,347	4,771
양천구	929	485	1,337	2,013	1,706	1,689	1,498	1,498
영등포구	2,835	1,014	2,481	4,312	4,100	4,089	3,775	4,612
용산구	2,071	867	1,994	3,568	3,494	3,657	3,064	3,254
은평구	1,354	693	1,559	2,288	1,950	2,051	1,972	1,806
종로구	1,886	692	956	2,398	2,875	2,840	2,311	2,754
중구	2,044	758	1,259	3,233	3,686	3,611	3,270	3,512
중랑구	1,391	681	1,528	2,072	1,753	1,801	1,990	2,001

시간대별 구별 수요

- 모든 자치구는 3~5시, 6~8시 시간대에서의 택시 수요가 다른 시간대의 비해 비교적 작음
- 주요 자치구 중 마포구는 0~2시에서의 택시 수요가 많은 반면, 9~11시 에서의 택시 수요는 다른 시간대 대비 작음
- 송파구와 영등포구 는 9~11시 택시 수요 이용이 가장 많으나, 0~2시에서는 다른 시간대에 비해 비교적 월등히 작음

[단위 : 대, 승차기준]

월별 공급 대수

- 개인 택시와 법인택시 간의 공급 변화가 반대로 움직이고 있는 점을 주목할 필요가 있음
- 개인 택시는 자율적 운행 방식인 반면에 법인택시는 회사 차원의공급 조절이 가능하므로 수요가 많아지는 시기에 운행 대수를 급격하게 늘리는 것이 가능함

DEA(Data Envelopment Analysis) 최적 택시 공급 솔루션

정의 투입과 산출에 관련한 복수의 요소들을 동시에 고려하며, 그 비율에 의해 상대적 효율성을 측정하는 비모수적 선형계획법

이점 생산함수에서 대한 어떠한 가정도 하지 않고 기업매출, 이윤 등과 달리 산출이 명확하지 않은 공공부문 연구에 유용 유효라,정지수.(2024)
➔ 정책, 사업, 조직, 상품 등에 사용

특징 다수의 투입과 산출 변수를 동시에 분석할 수 있어, 다용한 요소를 고려해야 하는 복잡한 의사결정단위(ex.공공기관)의 효율성 평가에 적합

분석 수행 과정

의사 결정 단위(DMU) 정의	분석할 대상 설정 동일한 종류의 투입을 사용하고 유사한 산출을 생성해야 함
투입과 산출 선택	각 DMU에서 투입 요소와 산출 요소를 선택 Ex) 투입 : 인건비, 자본 산출 : 생산량, 매출
효용성 경계 구축	주어진 투입 및 산출 데이터 기반 효율적인 경계 형성 이 경계는 효율적인 DMU들을 나타냄
각 DMU의 효율성 점수 계산	점수는 0과 1사이의 값으로 나타남 1에 가까울 수록 효율적인 것으로 평가
효율적 및 비효율적 DMU 식별	점수를 통해 효율적 및 비효율적 DMU 구분 효율적인 DMU ➔ 효율성 경계 상에 위치
비효율적 DMU에 대한 개선방안 제시	비효율적인 DMU에게는 효율성 개선하기 위한 방안 제시 투입 요소를 줄이거나 산출 요소를 늘림으로써 개선 가능

결과

최적의 장소 선택 | where
수요 데이터 기반으로, 택시 기사들이 어느 지역에서 대기해야 승객을 가장 빨리 잡을 수 있을지 예측 ➔ **공차거리 감소**

최적 운행 시간대 설정 | time
수요가 집중되는 시간대(오전 및 오후 첨두, 심야시간대)에 맞춰 운행을 집중 ➔ **대기 시간 감소**

불필요한 비용 절감 | cost
도시를 배회하는 시간 비용 , 연료비와 차량 유지비 감소 ➔ **감가삼각비 감소**
앱이나 데이터 기반 수요가 있는 지역 운행 ➔ **시간 가치 절약**

외생성 및 시·공간적 요인의 종합적 분석을 통한 서울시 택시 수요 예측 모형 개발

Taxi Demand Forecasting Model in Seoul Through Comprehensive Analysis of Exogenous and spatio-temporal Factors

발 표 자 : 김 강 현 (계명대학교 도시계획 및 교통공학과 박사과정)
공동연구자 : 홍 정 일 (계명대학교 교통공학과 조교수)

한국ITS학회 2024년도 추계학술대회

목차 CONTENT

01 연구의 배경 및 목적
02 기존문헌 고찰
03 방법론
04 데이터 수집 및 활용
05 택시 현황 분석
06 분석결과
07 결론 및 시사점

01 연구의 배경 및 목적

1.1 연구의 배경

- 택시는 승객의 요구에 따라 맞춤형 이동 서비스를 제공하여 자가용과 대중교통 수단의 융합된 특징을 지닌 준대중교통수단임
- 정부는 2022년 11월 10일을 시작으로 심야승차난을 해소시키기 위해 서울시를 포함한 광역시 및 주요 도시를 대상으로 전면 부제 해제를 시행함
- 그러나, 부제 시행에도 불구하고 택시 수요와 공급의 불균형으로 인해 택시 서비스 이용자의 불만은 지속적으로 증가함
  - 수요-공급의 불균형 문제는 수요자, 운전자, 교통·운영, 경제 등 다양한 측면에서 영향을 미침

[택시승차난]

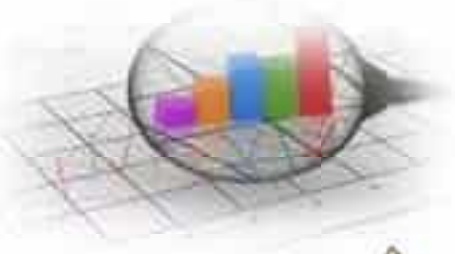
1.2 연구의 목적

- 서울시 택시 수요의 변동의 원인 및 문제점 진단
  - 사회·인구학적 요인, 환경적 요인, 이벤트 요인, 교통 요인 등으로 수요 변동의 특성 확인
- 특정 시간대 및 장소에서의 수요 변화를 포착할 수 있는 최적의 택시 수요 예측 모형 개발
  - 통계적 방법론과 머신러닝 적용을 통해 택시 수요를 예측함

01 연구의 범위

1.3 연구의 배경

- 시-공간적 범위
  - 시간적 범위 : 2023년
  - 공간적 범위 : 서울시



1.4 연구의 수행 과정

- 내용적 범위
  1) 택시 수요에 영향을 미치는 주요 요인 분석
  2) 국·내외 문헌고찰(택시 수요 예측 관련)
  3) 분석방법론 적용(SARIMAX, STARMAX, LSTM)
  4) 최적의 택시 수요 예측 모형 선정 및 유의한 영향요인 도출
  5) 분석결과 기반 시사점 도출

02 기존문헌 고찰

2.1 기존문헌 고찰

- 기존연구에서는 택시 수요에 영향을 미치는 외부요인(기상상태, 인구밀도, 행정동 등)을 반영하여 고도화된 택시 수요 예측 모형 구축에 대한 연구가 수행되어 왔음
  - 분석에 반영된 외부요인에 따라 모형 예측의 정확도는 상이하게 나타남
- 또한, 분석 방법론은 ARIMA, STAR 등 통계적 방법론과 LSTM, XGBoost, CNN 등 머신러닝 방법론을 적용함
- 이에 본 연구에서는 기존 연구에서 반영하지 못한 코로나19 확진자 수를 외부요인으로 반영하였으며 택시 수요를 시간 단위로 구축하여 미시적 단위의 심층적인 분석을 수행함

	논문	분석범위	방법론	활용변수
국내	이은경 외(2022)	서울시	GCN(Graph convolution Network), RNN(Recurrent Neural Network)	행정동, 장변 콜택시 호출
	김혜원 외(2021)	서울시	K-means 및 Elbow	행정구역, 택시 승차 위치
	윤유빈 외(2016)	서울시	Oracle Crystalball의 CB predictor	기상 상태
국외	Kuang 외(2019)	중국 청두시	3D Convolutional Neural Network, ARIMA, XGBoost, LSTM 등	기상 상태(풍속, 습기)
	Chen 외(2021)	뉴욕 맨해튼	LSTM, CNN-LSTM, Random Forest	기상 상태(기온, 강수량), 인구밀도, 이벤트
	Feghih 외(2018)	뉴욕 맨해튼	STAR, LASSO-STAR, VAR	공간행렬, 맨해튼 zone, 우버 픽업 장소

[기존문헌]

03 방법론

3.1 SARIMAX

- SARIMAX(Seasonal AutoRegressive Integrated Moving Average with Exogenous Regressors)는 택시 수요의 패턴와 영향요인(계절성 요소, 비계절성 요소, 외생요인)을 고려하여 분석하는 AI계열 방법론임
- SARIMAX는 계절성 및 비계절성 요소 각각에 대해 자기회귀(Autoregressive), 이동평균(Moving Average), 차분(Integrated) 파라미터로 구성됨

$$SARIMAX(p,d,q)(P,D,Q,s)$$

p – 비계절성 자기회귀 차수 d – 비계절성 차분 차수 q – 비계절성 이동평균 차수
P – 비계절성 자기회귀 차수 D – 비계절성 차분 차수 Q – 비계절성 이동평균 차수 s – 계절 주기

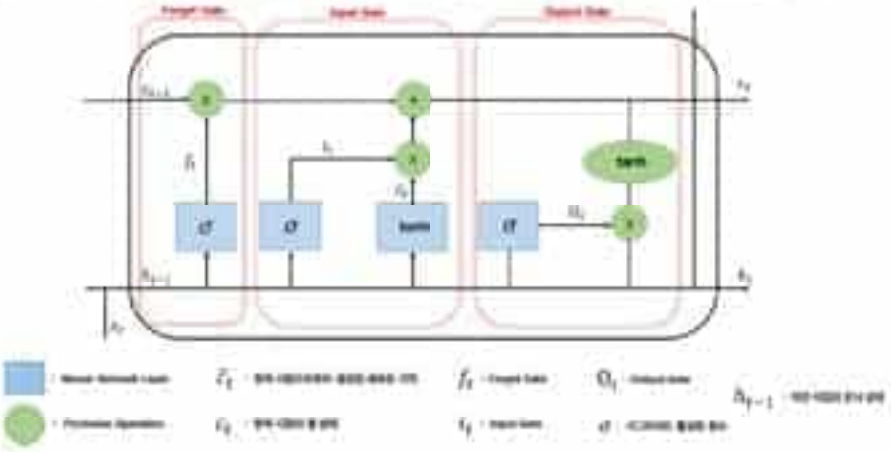
3.2 STARMAX

- STARMAX(Seasonal Threshold Autoregressive Moving Average with exogenous regressors)는 SARIMAX 모형에서 공간적 요소(공간적 상호 의존성)를 반영한 모형임
  - 복잡한 데이터의 비선형 패턴을 포착 가능
- 본 연구에서는 서울시 자치구별 인접행렬을 공간적 요소로 반영함

03 방법론

3.3 LSTM

- LSTM(Long Short-Term Memory)는 단·장기 시퀀스 데이터를 처리하는데 사용되는 머신러닝 기법 중 하나임
- LSTM은 게이트 구조(Forget gate, Input gate, Output gate)를 통해 중요한 정보를 기억하며 불필요한 정보는 처리하는 기능을 수행함
- 본 연구에서는 택시 수요 예측 시 통계적 기법과 머신러닝 기법 중 어떠한 방법론이 효과적인지를 판단하고자 함



04 데이터 수집 및 활용

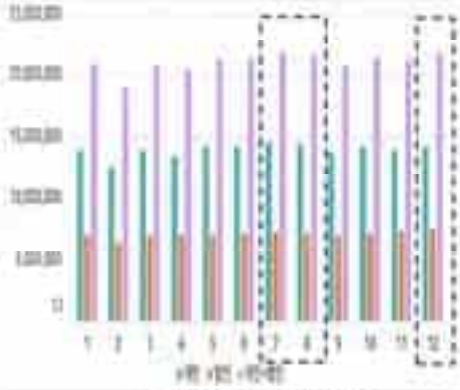
4.1 데이터 활용

- 본 연구에서는 택시 수요 예측의 영향요인을 파악하고 보다 신뢰성있는 예측 모형을 개발하기 위하여 사회·인구학적 요인, 환경적 요인, 이벤트 요인, 교통요인에 대한 데이터를 수집 및 활용하였다.
- 각 요인에 대한 데이터의 수집 가능한 주기에 따라 분기별, 일별, 월별, 시간대별로 데이터를 수집 및 구축하였음

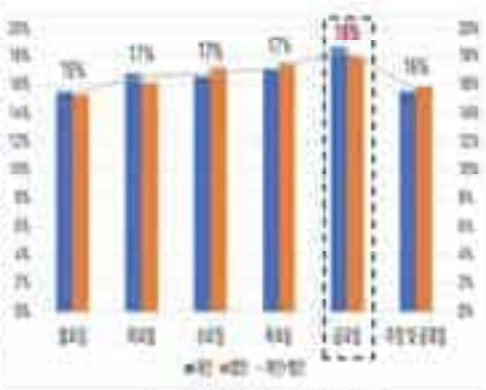
05 택시 현황 분석

5.1 택시이용현황

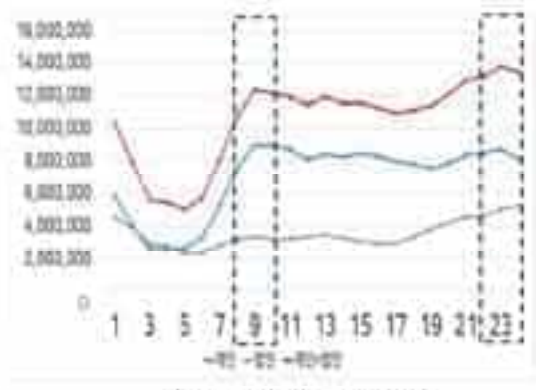
- 월별 택시 이용은 7 - 8 월, 1 2 월 등 여름과 겨울 시즌에서 가장 많음
- 요일별 택시 이용은 금요일에 가장 많았으나, 전반적으로 요일별 택시 이용은 비슷한 경향을 보임
- 시간대별 택시 이용은 야간 및 새벽 (22 - 24시) , 출근 (9시) 시간대에서 다른 시간대 대비 비교적 높음
  - 업무 시간 이후 식사, 약속, 모임 등을 통한 야간활동 ↑
  - 교통체증이 심한 출근 시간대에 목적지까지 신속하고 편리한 이동을 위하여 이용함



[월별 서울시 택시 이용현황]



[요일별 서울시 택시 이용현황]



[시간대별 서울시 택시 이용현황]

06 분석결과

6.1 STARMAX & SARIMAX 분석결과

- 공간적 요소를 반영할 경우 현 시점의 택시 수요는 이전 시간대의 택시 수요(AR1)와 이전전 주기(48시간) 동안의 택시 수요의 오차(SMA2)에 영향을 받음
  - 현재 시점의 택시 수요는 이전 시간대의 택시 수요와 자치구별 인접한 지역의 과거의 수요 및 오차에 영향을 받음
- 외부요인에서의 택시 수요는 공간적 요소 반영 유무와 상관없이 교통 요인, 사회·인구학적 요인, 이벤트 요인이 영향을 받으나, 공간적 요소를 반영한 경우 환경적 요인의 영향을 추가적으로 받음
  - 코로나19(이벤트)는 사회적 거리두기로 인한 통행 제한과 비대면 활동을 통한 생활 패턴 변화 등 생활, 경제, 사회 등 모든 측면에서 광범위한 영향력을 공간적 요소와 상관없이 택시 수요를 증가시키는 일관된 요인임
  - 강수량(환경적 요인) 등 기후 상태의 변화는 교통, 사회·인구 등 요인과 복합적으로 상호작용하여 자치구별 택시 수요 통행 패턴에 직접적인 영향을 미치며 택시 수요를 변화시킴

STARMAX				
영향요인		Coefficient	S.E.	Z
Intercept		4.7	1.039	4.524
계절성 요인	SMA1	0.111	0.002	55.5
	SMA2	0.043	0.002	21.5
비계절성 요인	AR1	0.533	0.008	66.625
	MA1	-0.401	0.008	-50.125
외부요인	강수량	-2.48	0.204	-12.157
	습도	0.797	0.079	10.089
	관광객	-0.329	0.022	-14.955
	유동인구	0.262	0.01	26.2
	코로나19 확진자	0.035	0.003	11.667
	지하철 역별 승·하차 수요	0.431	0.018	23.944
	버스 역별 승·하차 수요	-0.255	0.013	-19.615
	SARIMAX 잔차	0.977	0.001	977
	서울시 자치구별 인구밀도	-0.385	0.02	-4.3

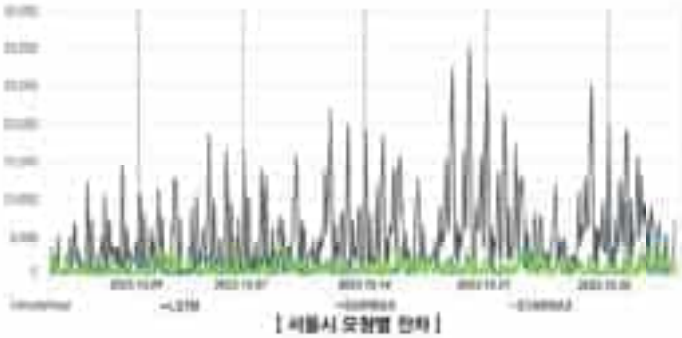
[STARMAX 결과]

SARIMAX				
영향요인		Coefficient	S.E.	Z
계절성 요인	SAR1	0.372	0.011	33.818
	SAR2	-0.316	0.011	-28.727
	SMA1	-0.965	0.003	-321.667
비계절성 요인	AR1	0.934	0.004	233.5
외부요인	생활인구	0.666	0.037	18
	유동인구	-0.139	0.018	-7
	코로나19 확진자	0.154	0.043	3.667
	지하철 역별 승·하차 수요	0.138	0.012	11.5
	버스 역별 승·하차 수요	0.23	0.071	3.239

[SARIMAX 결과]

6.2 예측

- 각 모형의 예측값과 실제값을 성능평가지표를 통해 비교·분석한 결과, STARMAX모형에서의 오차가 다른 모형에 비해 비교적 작은 것으로 나타나 최적의 택시 수요 모형으로 선정함
- 머신러닝 기반의 LSTM 택시 수요 예측 모형이 통계적 방법론 기반의 SARIMAX, STARMAX모형에 비해 현저히 큰 오차값을 가지므로 본 연구에서의 택시 수요 분석은 통계적 방법론이 더 적합함
  - 통계적 방법론을 통해 택시 수요의 추세 변동, 계절성, 공간적 의존성 등의 영향을 효과적으로 포착할 수 있음



[서울시 모형별 잔차]

	MAE	MSE	RMSE	MAPE
STARMAX	1,022.445	1,811.712	1,346.185	3.997
SARIMAX	1,128.662	2,202,181.078	1,513.986	4.86
LSTM	6,365.711	53,091,506.848	7,286.398	19.80

[서울시 모형 성능평가지표]

XGBoost-SHAP 모델 기반 UAM 신뢰도 영향 요인 평가: 인지된 위험 및 가치를 중심으로

Assessing the Influence of Perceived Risks and Benefits on Trust in UAM with an XGBoost-SHAP Model

김태성
(한국교통연구원, 연구원)

조정우
(한국교통연구원, 부연구위원)

백승한
(한국교통연구원, 부연구위원)

박진서
(한국교통연구원, 선임연구위원)

Key Words : UAM(Urban Air Mobility), Perceived Benefit, Perceived Risk, Trust, Shapley Analysis

목 차

Ⅰ. 서론
Ⅱ. 본론
1. 설문지 설계
2. 데이터 정제
3. 분석모델 설계
4. 분석 결과
Ⅲ. 결론 및 한계

Ⅰ. 서론

최근 전 세계적으로 도심지 인구 증가로 인해 교통혼잡이 심화되고 있으며, 이는 대기 오염과 높은 경제적 비용과 같은 문제를 야기하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 신교통수단 중 하나로 도심항공교통(Urban Air Mobility, UAM)이 많은 주목을 받고 있다(Chae et al., 2024). 우리나라 정부도 국정과제에 친환경 전기 수직이착륙 동체(electric Vertical Take-off and Landing, eVTOL)를 이용한 UAM의 최초 상용화 시점을 내년인 2025년으로 제시하였다(Kim et al., 2024). UAM Team Korea(UTK) 등 범정부 차원에서도 법·제도, 인프라 구축, 연구개발(R&D), 수요예측 분야 등에서 연구가 활발하게 이루어지고 있지만 UAM 사회적 수용성과 관련된 개별 수요자의 특성을 심층적으로 분석하는 연구는 아직 부족한 실정이다.

한편, 신교통수단의 도입 과정에서 기술적 문제보다 심리적 요인이 더 큰 장애물이 될 수 있다는 점이 강조되고 있다. 예를 들어, 자율주행차량(Automated Vehicle, AV)에 대한 사회적 수용성 연구에 따르면, 미국인 4명 중 3명이 AV 사용에 대해 두려움을 느끼고 있으며, 이러한 두려움은 이용 의향에 직접적인 영향을 미친다(Edmonds, 2019). 특히, 신뢰도가 AV와 같은 신교통수단의 수용에 있어서 가장 중요한 요인으로 작용하고 있다는 점이 밝혀진 바 있다(Ayoub et al., 2021).

이에, 본 연구는 UAM 사회적 수용성에 영향을 미치는 요인 중 잠재 이용자의 지각된 이익(Perceived Benefit)과 지각된 위험(Perceived Risk)이 신뢰도에 미치는 영향을 조사하고자 한다. 국내 수도권 시민 대상 설문조사(n=942)에서 수집된 데이터를 토대로 eXtreme Gradient Boosting (XGBoosting)(Chen & Guestrin, 2016)과 SHapley Additive exPlanations(SHAP)(Lundberg et al., 2020)을 활용하여 UAM 신뢰도에 영향을 주는 요인의 중요도를 예측하고 해석하였다. 본 연구의 신뢰도 영향 요인에 대한 분석은 신교통수단인 UAM이 안정적인 수단 정착에 있어서 시행착오를 최소화하는 것에 지원할 것으로 기대된다.

Ⅱ. 본론

1. 설문지 설계

본 연구에서는 새로운 기술 및 서비스에 대한 수용성 분석 방법인 기술수용모델(Technology Acceptance Model) 및 기술수용통합이론(Unified Theory of Acceptance and Use of Technology)의 항목을 UAM 특성에 수정하여 활용하였다.

<표 1> Survey structure

Constructs	Items	Abbreviation	Sources
Perceived Ease of Use	1) I think I will quickly learn how to use UAM services.	PEOU	Davis et al. (1989)
	2) I expect to become proficient in using UAM services quickly.		
	3) I think using UAM services will be easy.		
Perceived Usefulness	1) UAM services will allow for quicker travel over medium-to-long distances.	PU_1	Davis et al. (1989)
	2) By using UAM services, I can avoid ground traffic congestion, making travel more convenient.	PU_2	
	3) UAM services will be useful as they provide a variety of travel options.	PU_3	
	4) UAM aircraft will be effectively used for public purposes, such as Emergency Medical Services (EMS).	PU_4	
Psychological Risk	1) I would feel uneasy if UAM aircraft were operated autonomously without a pilot.	PsR_1	Yoo et al. (2022)
	2) Using UAM services does not seem to align well with my self-image.	PsR_2	
	3) I would feel uncomfortable or uneasy sharing a UAM aircraft with strangers.	PsR_3	
Physical Risk	1) I'm concerned about the possibility of a UAM aircraft accident over the city, which could result in casualties, including myself.	PhR_1	Yoo et al. (2022)
	2) I'm worried that I might get injured due to an accident caused by a malfunction or failure while using UAM services.	PhR_2	
Performance Risk	1) I believe that a malfunction or failure could occur during a UAM aircraft flight.	PeR_1	Featherman and Pavlou (2003)
	2) I'm concerned that unexpected situations could lead to UAM flights being canceled or delayed.	PeR_2	
	3) I'm worried that UAM aircraft might not operate properly under severe weather conditions (e.g. strong winds, heavy rains) or other unexpected situations.	PeR_3	
Security Risk	1) I believe that security issues within the UAM system could have negative consequences.	SeR_1	Shaheen et al. (2018)
	2) I'm worried that security threats like cyberattacks or terrorism could occur while using UAM services.	SeR_2	
Social Risk	1) Considering factors like noise pollution, crash risks, and potential privacy invasion from UAM aircraft, I believe that using UAM services could negatively affect how others perceive me.	SoR	Featherman and Pavlou (2003)
	2) Considering factors like noise pollution, crash risks, and potential privacy invasion from UAM aircraft, I think people around me would have a negative perception of me if I use UAM services.		
Privacy Risk	1) I'm worried that UAM services might collect too much personal information, such as biometric data, facial recognition, and travel history.	PrR_1	Kyriakidis et al. (2015)
	2) I'm concerned that UAM services flying over my residence might invade my privacy.	PrR_2	
	3) I'm worried that UAM service operators might share my personal information with other organizations without my consent.	PrR_3	
Time Risk	1) I'm concerned that bad weather or operational issues might delay or cancel a UAM flight, preventing me from reaching my destination on time.	TR_1	Featherman and Pavlou (2003)
	2) I'm worried that technical or operational issues could make the UAM flight take longer than expected, preventing me from arriving at my destination on time.	TR_2	
Financial Risk	1) I'm concerned that UAM services might not be convenient or fast enough for the cost.	FR	Featherman and Pavlou (2003)
	2) I think that due to various situations (such as delays or cancellations), the UAM service might not be worth the price I paid.		
Overall Risk	1) Considering various factors, I think using UAM services might be risky.	OR	Featherman and Pavlou (2003)
	2) I think that using UAM services would expose me to overall risks.		
Trust in UAM	(Dependent variable) Overall, I trust the flight systems and technologies utilized in UAM aircraft.	Trust	Choi and Ji (2015)

2. 데이터 정제

본 설문 문항의 응답지는 7점 리커트 척도(전혀 그렇지 않다~보통이다~매우 그렇다)로 구성하였으며, '성별', '출생년도', '거주지', '직업', '학력', '소득'의 인구통계학적 변수는 분석에서 제외하였다. 또한, 입력변수 중 개별 설문 문항이 중복의 의미를 지닌 'PEOU', 'SoR', 'FR', 'OR' 항목은 항목 내 문항의 응답 평균으로 값을 대체하였다. 마지막으로 전체 총 942명 응답자 중 종속변수인 'Trust' 문항에 4번(보통이다)으로 응답한 327명을 제외한 615명의 표본을 신뢰 = 1(5~7번), 불신 = 0(1~3번)으로 이진 분류로 정제하고 분석을 수행하였다.

<그림 1> Modelling framework

3. 분석모델 설계

1) XGBoosting(eXtreme Gradient Boosting)

XGBoosting은 병렬처리(Parallel processing)와 조기 중단(Early stopping)을 통해 빠르게 모델을 훈련시킬 수 있으며, 데이터의 크기와 상관없이 최적의 성능을 보인다. 또한, 규제(Regulation)를 통해 모델을 이루는 트리의 성장을 제한하여 과적합을 방지한다(Chen & Guestrin, 2016). 설문조사 데이터는 특성상 종종 불균형한 경향이 있지만, 부스팅 알고리즘 계열의 XGBoost는 이러한 불균형에서도 강력한 성능을 발휘하여 신뢰할 수 있는 Insight를 도출할 수 있다.

본 연구에서는 10-Fold Cross Validation을 활용하여 과적합을 방지하였으며, <표 2>와 같이 하이퍼파라미터 범위를 설정하여 Grid Search 기법을 활용하여 XGBoost 최적의 성능을 <표 3>과 같이 도출하였다.

<표 2> Parameter tuning for XGBoost

Parameter range	Parameter determination
'n_estimators': [100, 200, 300]	200
'learning_rate': [0.01, 0.05, 0,1, 0.2]	0.01
'max_depth': [3, 5, 7]	3
'subsample': [0.6, 0.8, 1.0]	0.6
'colsample_bytree': [0.6, 0.8, 1.0]	0.8

<표 3> Performance measures of model

Models	Accuracy	ROC AUC	Precision	Recall	F1 Measure
XGBoost	0.844892	0.804878	0.827957	0.905882	0.865169

2) SHAP(SHapley Additive exPlanations)

해석가능한 인공지능(Explainable Artificial Intelligence, XAI)은 데이터 분류 및 예측뿐만 아니라 인과관계를 분석하여 논리적인 설명을 제공한다(Silva et al., 2022). XAI 기법 중 하나인 SHAP은 협력 게임 이론(Cooperative game theory) 접근 방식에 따라 Shapley 값을 도출하며, 이는 각 플레이어가 연합 내에서 협력할 때 전체 보상에 기여한 정도에 따라 보상을 할당하는 방식이다(Shapley, 1953).

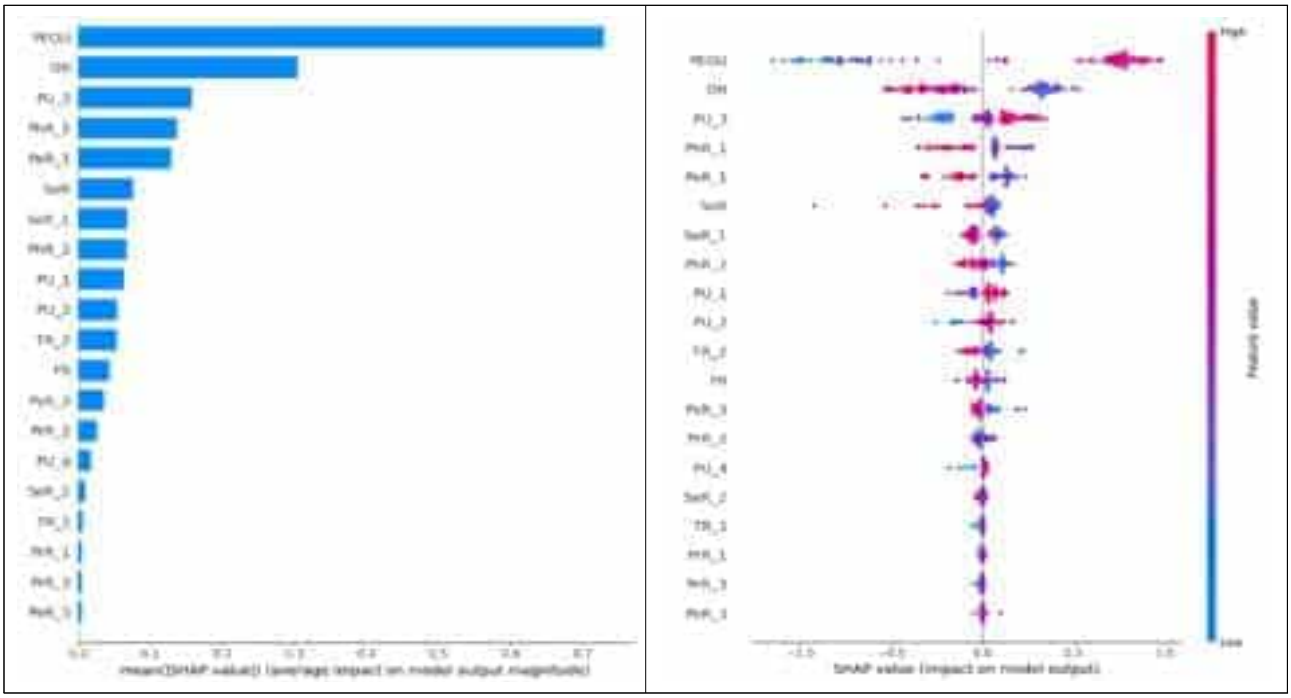
$$\phi_i(v) = \sum_{S \subseteq N \setminus i} \frac{|S|!(n-|S|-1)!}{n!}(v(S \cup i) - v(S))$$

위 수식에서 n은 총 입력변수 수를 나타내며, S는 특징 연합 N의 하위 집합으로서, 합은 입력변수 i를 제외한 N의 모든 하위 집합 S에 대해 이루어진다. 함수 $v(S)$는 본 연구에서 신뢰도를 예측하는데 있어 연합 S의 기여도를 나타낸다. 예측된 신뢰도와 평균 예측값 간의 차이는 데이터셋의 모든 입력변수-값 집합에 공평하게 분배된다.

4. 분석 결과

1) SHAP Summary plot

SHAP Summary Plot은 SHAP 값을 사용하여 각 입력변수가 모델의 예측에 미치는 영향을 시각화한다. <그림 2>의 오른쪽을 살펴보면 X축은 각 입력변수의 기여도를 보여주며. 이는 신뢰도 예측에 대한 해당 변수의 영향력을 양수 혹은 음수를 통해 표현한다. <그림 2>의 왼쪽의 SHAP Bar Plot은 해당 변수의 영향력을 절대값으로 처리하여 영향력의 크기를 표현한 것을 알 수 있다.



<그림 2> SHAP Bar plot & SHAP Summary plot

SHAP Summary plot의 색상에서 빨간색은 각 변수의 예측값이 높음을 나타내고, 파란색은 반대로 예측값이 낮음을 나타낸다. 본 연구는 전술하였듯이 UAM에 대한 신뢰가 있는 것을 1로 이진 분류하였기에 X축의 0을 기준으로 오른쪽에 빨간색이 많이 분포한 요인 혹은 왼쪽에 파란색이 많이 분포한 요인이 신뢰도를 높이는 요인으로 해석할 수 있다. 반대로 X축의 0을 기준으로 오른쪽에 파란색이 많이 분포하거나 왼쪽에 빨간색이 많이 분포한 요인은 신뢰도를 낮추는 요인으로 해석할 수 있다.

전반적으로 연구 결과를 보면 신뢰도를 높이는 Perceived Benefit 요인과 신뢰도를 낮추는 Perceived Risk 요인의 방향성이 올바르게 분석된 것을 알 수 있다. 또한, 몇 가지 요인들은 신뢰도 예측에 큰 영향력이 없는 것을 알 수 있다.

먼저 Perceived Benefit 부문 중 Perceived Ease of Use인 'UAM 서비스 이용의 용이성'은 신뢰도를 가장 높이는 요인으로 분석되었다. 즉, 잠재적 UAM 고객은 서비스가 직관적이고 사용하기 쉬울수록, 더 많은 사용자가 신뢰할 가능성이 높아지는 것을 알 수 있다. 또한, Perceived Usefulness의 세 번째 항목인 'UAM 서비스 상용화 시 이동수단 선택에 대한 선택지의 증가'가 신뢰도를 높이는 중요한 요인으로 분석되었다. 이는 교통수단 서비스의 다양성과 접근성이 신뢰도를 높일 수 있는 것을 시사하며, 향후 UAM을 포함한 새로운 교통수단 서비스 도입 시 개발과 마케팅에서 이동수단의 선택지 확대를 중심으로 한 전략적 접근이 필요한 것으로 사료된다. 반면에 Perceived Usefulness의 네 번째 항목인 '응급 이송 등의 공익 목적으로 UAM 항공기의 활용'은 신뢰도를 높이는 데에 큰 기여를 하지 못한 것을 보여준다. 즉, 응급상황은 많은 잠재적 사용자에게 드물게 발생하는 일이기에 자주 경험하거나 느끼는 이점이 아니기 때문에 본 항목은 UAM 서비스를 신뢰하는 데 있어서 영향이 적은 것으로 나타난 것으로 보인다.

다음으로 Perceived Risk 부문 중 Overall Risk인 '전반적으로 UAM 서비스는 위험할 것'은 UAM에 대한 신뢰도를 가장 낮추는 요인으로 분석되었다. 즉, 도입되지 않은 신교통수단일 경우, 잠재적 이용자는 실제 사용을 하기 전까지 불안감을 느끼고 이에 대해 신뢰하지 않는 것으로 해석할 수 있다. 두 번째로 UAM에 대한 신뢰도를 크게 낮추는 요인은 Physical Risk의 첫 번째 항목인 'UAM 기체로의 인명피해'로 분석되었다. 또한, 다음으로 UAM에 대한 신뢰도를 낮추는 요인은 Performance Risk의 첫 번째 항목인 'UAM 기체의 비행 중 고장이나 오작동으로 인한 부상'인 것으로 나타났다. 즉, 잠재적 이용자의 생명과 안전에 직접적인 위협을 가할 수 있는 요인은 신뢰도를 낮추는 데에 큰 영향을 주는 것을 알 수 있다. 반면에, '사이버 공격, 테러 등의 보안 위협', '기상악화, 운영 문제로 인한 지연 및 결항', '과도한 개인 정보 수집', '운영사의 이용자 개인정보의 공유', '자연재해 등의 예상치 못한 상황 시 기체의 비정상 작동'은 신뢰도에 영향력이 낮은 것으로 분석되었다. 이는 잠재적 사용자가 실제로 UAM을 이용하면서 직면할 가능성이 낮거나, 일상적으로 경험하지 않는 상황과 관련이 있는 부분은 영향력이 상대적으로 낮음을 알 수 있다.

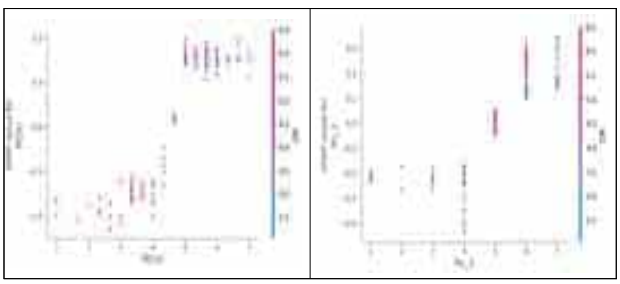
2) SHAP Dependence plot

SHAP Dependence plot은 특정 변수의 값과 이러한 변수가 모델 예측에 미치는 영향 간의 관계를 보여준다. 또한, 특정 변수와 상호작용이 가장 큰 변수를 추출하여 변수 간의 영향 관계를 시각화할 수 있다. 본 연구에서는 UAM에 대한

신뢰도에 정(+)의 영향을 가장 크게 미친 'PEOU'와 'PU_3'의 SHAP Dependence plot을 제시하였다. 또한, 부(-)의 영향을 크게 미친 'OR', 'PhR_1', 'PeR_1'의 부분 의존도 도표도 함께 분석하여, 각 요인과의 상호작용이 큰 요인을 파악하고 이들 간의 영향 관계를 분석하였다.

앞선 Summary plot과 마찬가지로 빨간색의 색상은 각 변수의 예측값이 높음, 파란색은 낮음을 의미한다. <그림 3>의 왼쪽을 보면 X축의 'UAM 서비스 이용의 용이성'이 증가함에 따라 신뢰도가 증가하는 경향성을 볼 수 있다. 또한, 'UAM 서비스 이용의 용이성'과 가장 상호작용이 큰 요인은 '전반적으로 UAM 서비스는 위험할 것' 요인이며 '전반적으로 UAM 서비스는 위험할 것' 값이 낮을 때는 SHAP 값이 낮은 반면, 'UAM 서비스 이용의 용이성'이 높아지면서 '전반적으로 UAM 서비스는 위험할 것' 값이 높아질수록 SHAP 값이 더 크게 증가하는 경향을 볼 수 있다.

다음으로 <그림 3>의 오른쪽을 보면 X축의 'UAM 서비스 상용화 시 이동수단 선택에 대한 선택지의 증가' 값이 증가함에 따라 모델이 신뢰도를 더욱 긍정적으로 예측하는 경향을 보인다. 또한, 'UAM 서비스 상용화 시 이동수단 선택에 대한 선택지의 증가' 요인과 가장 상호작용이 큰 요인은 앞선 요인과 마찬가지로 '전반적으로 UAM 서비스는 위험할 것' 요인이며 'UAM 서비스 상용화 시 이동수단 선택에 대한 선택지의 증가' 설문에 5점 '그렇다'라고 응답한 값부터는 '전반적으로 UAM 서비스는 위험할 것' 값이 높을수록 SHAP 값이 더 높은 경향을 보인다.

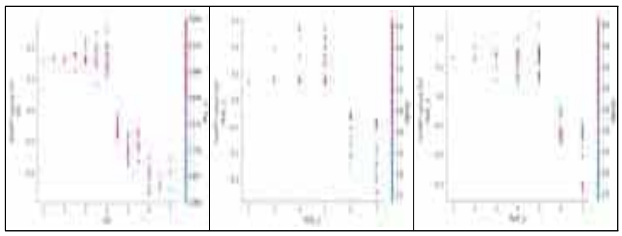


<그림 3> 'PEOU' & 'PU_3' SHAP Dependence plot

Perceived Risk 부문을 살펴보면 <그림 4>의 왼쪽에서는 '전반적으로 UAM 서비스는 위험할 것' 값이 증가할수록 SHAP 값이 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 신뢰도에 부정적인 영향을 미친다는 것을 의미한다. 또한, 가장 상호작용이 큰 요인은 앞서 제시하였듯이 'UAM 서비스 상용화 시 이동수단 선택에 대한 선택지의 증가'이다. 점의 색상을 통해 'UAM 서비스 상용화 시 이동수단 선택에 대한 선택지의 증가' 값이 높을수록 '전반적으로 UAM 서비스는 위험할 것'의 부정적인 영향이 더욱 강해지는 것을 해석할 수 있다.

<그림 4>의 중간에서는 'UAM 기체로의 인명피해' 설문에 5점 '그렇다'라고 응답한 값부터는 SHAP 값이 감소하는 패턴을 보이며 상호작용이 가장 큰 요인인 'UAM 서비스 이용의 용이성' 값이 높을 때 'UAM 기체로의 인명피해'의 부정적인 영향이 더욱 강조되는 것으로 분석되었다.

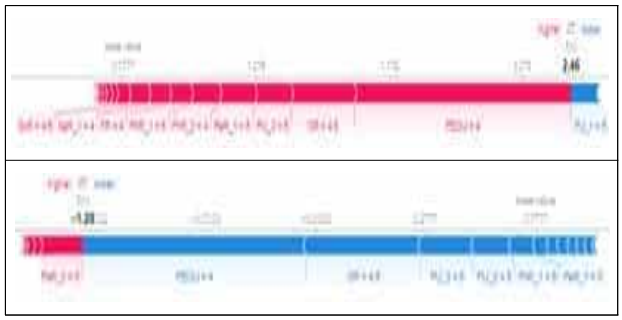
마지막으로 <그림 4>의 오른쪽을 살펴보면 'UAM 기체의 비행 중 고장이나 오작동으로 인한 부상' 값이 높을 때 SHAP 값이 감소하는 패턴을 설문 6점부터 나타나는 것을 알 수 있고, 상호작용이 가장 큰 요인인 'UAM 서비스 이용의 용이성' 값이 높을 때 'UAM 기체의 비행 중 고장이나 오작동으로 인한 부상'의 부정적인 영향이 더욱 강화될 수 있는 것을 알 수 있다.



<그림 4> 'OR' & 'PhR_1' & 'PeR_1' SHAP Dependence plot

3) SHAP Force plot

SHAP Force plot은 데이터 세트 내의 하나의 개별 관측치에 대한 모델의 예측이 어떻게 이루어졌는지를 시각적으로 보여주는 그래프이며, 기준값(base value)은 0.7777이 도출되었다. 즉, SHAP 값이 0.7777보다 크면 신뢰를 예측하는 것이다. 본 연구는 무작위로 선택되어 'UAM을 신뢰한다'로 분류된 개별 관측치와 'UAM을 신뢰하지 않는다'로 분류된 개별 관측치의 그래프를 도출하였다.



<그림 5> trust & distrust SHAP Force plot

'UAM을 신뢰한다'를 대상으로 한 <그림 5>의 위쪽 플롯에 따르면 개별 관측치의 예측값인 2.46이 도출되었으며, 예측값을 높이는 변수 및 응답은 기여도가 큰 순으로 'PEOU'의 4, 'OR'의 4.5, 'PU_3'의 5 등으로 나타났다. 예측값을 낮추는 방향으로 'PU_1'의 5 응답인 것으로 분석되었다.

반면, 'UAM을 신뢰하지 않는다'를 대상으로 한 <그림 5> 아래쪽 플롯에 따르면 개별 관측치의 예측값인 -1.28이 도출되었으며, 예측값을 낮추는 변수 및 응답은 기여도가 큰 순으로 'PEOU'의 4, 'OR'의 4.5, 'PU_3'의 5, 'PrR'의 6 등으로 나타났다. 예측값을 높이는 방향으로는 'PsR_3'의 5 응답인 것으로 분석되었다.

Ⅲ. 결론 및 한계

본 연구에서는 UAM 초기상용화가 멀지 않는 시점에서 수도권 시민 대상 설문조사 결과를 XGBoosting과 SHAP을 활용하여 UAM 신뢰도의 영향 요인을 분석하고자 하였다.

분석 결과를 종합해 볼 때, UAM 신뢰도를 높이기 위해서는 향후 UAM 서비스 이용 절차를 명확하고 간결하게 구성할 필요가 있다. 이는 이해하기 쉽고 공감할 수 있는 정보의 제공이 중요하다는 점을 시사한다. 아울러, UAM에 대한 신뢰도를 높이기 위해서는 신교통수단인 UAM의 인지도 및 도입 계획을 확산할 필요가 있다고 판단된다. 마지막으로 UAM에 대한 신뢰도를 낮추는 요인인 기체 결함에 대한 우려를 완화하기 위해서는 항공 선진국(미국, 유럽 등) 수준의 UAM 기체 인증 시스템이 마련되어야 하며, 일반 시민들에게도 기술 개발의 진행 상황을 포함한 투명한 정보를 제공해야 한다는 점을 시사한다.

본 연구는 다음과 같이 한계를 제시하며, 이를 개선하는 후속 연구가 이루어지기를 기대한다. 첫째, 본 연구는 설문조사 특성상 단편적인 연구 설계로 인해 시간이 지남에 따라 사람들의 인식 및 의견 변화를 파악하는데 한계가 존재한다. 둘째, Perceived Benefit, Perceived Risk 부문 몇 가지 요인 중 신뢰도에 영향력이 낮은 것으로 분석되었으나 명확한 사유를 밝히지 못한 한계가 있다.

감사의 글

본 연구는 한국교통연구원 “도심항공모빌리티(UAM) 산업 생태계 구축 방안 (1) -다수단 연계를 고려한 도심항공교통 도입 방안-” (M23-15) 과제의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Ayoub, J., Yang, X. J., and Zhou, F. (2021), "Modeling dispositional and initial learned trust in automated vehicles with predictability and explainability", Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, vol. 77, pp.102-116.
2. Chae, M. H., Kim, J. Y., Park, J. S., and Lee, H. K. (2024), "Potential market-based policy considerations for urban air mobility", Journal of Air Transport Management, vol. 119, 102654.
3. Chen, T., and Guestrin, C. (2016), "XGBoost: A scalable tree boosting system", Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, pp.785-794.
4. Choi, J. K., and Ji, Y. G. (2015), "Investigating the importance of trust on adopting an autonomous vehicle", International Journal of Human-Computer Interaction, vol. 31, no. 10, pp.692-702.
5. Davis, F. D., Bagozzi, R. P., and Warshaw, P. R. (1989), "User acceptance of computer technology: a comparison of two theoretical models", Management Science, vol. 35, no. 8, pp.982-1003.
6. Edmonds, E. (2019), "Three in Four Americans Remain Afraid of Fully Self-Driving Vehicles", AAA NewsRoom, 접속일자: 2024.09.02.
7. Featherman, M. S., and Pavlou, P. A. (2003), "Predicting e-services adoption: A perceived risk facets perspective", International Journal of Human-Computer Studies, vol. 59, no. 4, pp.451-474.
8. Kim, T. S., Baek, S. H., and Park, J. S. (2024), "Analysis of intention to use Urban Air Mobility(UAM) with Random Forest", vol. 31, no. 2, pp.49-64.
9. Kyriakidis, M., Happee, R., and De Winter, J. (2015), "Public opinion on automated driving: results of an international questionnaire among 5000 respondents", Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, vol. 32, pp.127-140.
10. Lundberg, S. M., Erion, G., Chen, H., DeGrave, A., Prutkin, J. M., Nair, B., Katz, R., Himmelfarb, J., Bansal, N., and Lee, S.-I. (2020), "From local explanations to global understanding with explainable AI for trees", Nature Machine Intelligence, vol. 2, no. 1, pp.56-67.
11. Shaheen, S., Cohen, A., and Farrar, E. (2018), "The potential societal barriers of urban air mobility (UAM)", Booz Allen Hamilton, 접속일자: 2024.09.02.
12. Shapley, L. S. (1953), A Value for n-Person Games, Princeton University Press(Princeton, USA), pp.307-317.
13. Silva, A., Schrum, M., Hedlund-Botti, E., Gopalan, N., and Gombolay, M. (2022), "Explainable artificial intelligence: Evaluating the objective and subjective impacts of XAI on human-agent interaction", International Journal of Human-Computer Interaction, vol. 39, no. 7, p. 1390-1404
14. Yoo, J., Choe, Y., and Rim, S.-I. (2022), "Risk perceptions using urban and advanced air mobility (UAM/AAM) by applying a mixed method approach", Sustainability, vol. 14, no. 24, 16338.

의료취약지역에서의 응급의료서비스 개선을 위한 RTC 위치 결정 및 UAM 기반 서비스 영역분석

RTC Location Selection and UAM-Based Service Area Analysis for Improving Emergency Medical Services in Local Areas

노세영
(국립한밭대학교 도시공학과, 석사과정)

도명식
(국립한밭대학교 도시공학과, 교수)

Key Words : 응급의료서비스, 응급의료기관, Ambulance, UAM, GIS 네트워크 분석

목 차

Ⅰ. 서론
Ⅱ. 분석방법
Ⅲ. 결론 및 향후 연구과제

Ⅰ. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

최근 저출생으로 인한 비수도권, 중소도시부터 인구 감소의 위기에 직면하여, 지방소멸이란 용어로 심각한 위기감을 느끼고 있다. 지방소멸은 지역경제 및 산업, 일자리 기반을 위축시킬뿐더러 인구 감소로 인한 재정 적자로 인해 의료, 대중교통 등의 생활 인프라의 이용이 취약해져 농촌 지역의 의료기관 폐쇄율이 증가하게 될 것으로 보인다. 주요 도시 외 지역은 열악한 의료시설 분포로 인해 실제로 응급상황 발생시 적절한 치료를 받을 수 있는 응급시설까지의 이송거리가 매우 길어지고 이에 따른 소요시간이 길어지게 만드는 요인으로 응급의료기관과의 접근성이 매우 중요한 요소로 작용된다.(김솔희, 2021) 응급의료서비스가 사람의 생명을 다루는 중요한 사항임을 고려하여 응급의료시설의 위치와 배치가 중요하며. 응급의료서비스는 응급환자의 발생 위치와 응급상황과 더불어 도로교통체계, 시민의식, 예방노력 등 사회 시스템과도 많은 관련이 있다.(임준홍, 2016) 이러한 주요 도시뿐만 아니라 그 외 농촌 지역의 공간적 범위를 수용할 수 있는 응급의료서비스가 구축이 필요하다. 대도시뿐만 아니라 소규모 지역과 농촌까지 포함하도록 확장하여 다양한 지역 현안을 해결하고 주민들의 삶의 질을 높이는 것을 목표로 하는 Smart region의 개념도입으로 긍정적인 영향을 미칠 것으로 본다.

따라서 농촌 지역의 응급 의료 서비스 커버리지를 개선하기 위한 RTC(Regional Trauma Center)의 위치 결정 방법론을 제안하며, 기존 지상 구급차 및 eVTOL로 환자를 이송하는 성능을 평가하고자 한다. 거리가 균일한 기능의 특성을 가진 UAM(Urban Air Mobility)을 사용하여 농촌 지역의 응급의료 서비스 가능성을 확인하고자 한다.

2. 연구의 범위

본 연구의 공간적 범위는 대전광역시, 세종특별자치시, 충청남도, 충청북도를 포함하는 중부권 핵심 지역인 충청권을 대상으로 하였으며, 시간적 범위는 연구의 분석 시점에서의 최신 데이터의 가용성을 기준으로 하여 2022년 기준으로 연구결과의 실효성을 극대화하기 위해 설정하였다.

Ⅱ. 분석방법

1. 응급의료기관과의 통행시간 산정

충청권 지역 내 응급의료기관 입지현황 및 교통안전정보관리시스템에서 제공하는 충청권 시군구 사고다발지점에 따른 경위도 좌표 기반 위치를 파악하였다. 응급의료시설 유형 중 2차, 3차 의료기관으로서의 기능을 수행하는 종합병원의 위치를 파악하고 교통사고 사상정도를 고려한 발생건수(빈도)기반의 교통사고 통합지표인 다발도와 사상자수 기반의 교통사고 통합지표인 심각도를 함께 고려하여 통합지수가 높은 지점으로 2022년 기준 과거 3년간 누적된 충청권 시군구별 교통사고 다발지점 36개를 선정하였다. Ambulance와 UAM을 이용한 응급의료기관과의 유클리드 거리(Euclidean distance)와 하버사인 공식(Haversine Formula)을 기반으로 한 통행거리 산정 및 수단별 적정속도를 적용하여 통행시간을 산정하였다. Ambulance와 UAM의 통행시간 산정식은 다음과 같다.

$$T_{ij}(Ambulance) = 2(a_1 + \frac{d_{ij}}{Speed_{Ambulance}})$$

$$T_{ij}(UAM) = 2(a_2 + \frac{d_{ij}(Lat_i, Lon_i, Lat_j, Lon_j)}{Speed_{UAM}})$$

$$d_{ij}(Lat_i, Lon_i, Lat_j, Lon_j) = Earthradius(R) * \theta(\in radians)$$

$$\theta = 2\sin^{-1}\sqrt{\sin^2\triangle L + \cos(Lat_i) * \cos(Lat_j) * \sin^2\triangle G}$$

여기서, a_1, a_2 : 준비시간 최소시간(분)

$Lat_{i(j)}, Lon_{i(j)}$: 경위도 좌표

2. RTC 입지 선정

충청권 내의 RTC(권역외상센터)는 천안시에 위치한 단국대학교병원, 청주시에 위치한 충북대학교병원, 대전광역시에 위치한 을지대학교병원으로 총 3개의 응급의료기관으로 인구가 밀집된 주요 도시에 위치해 있다. 기존 3개를 기반으로 했을때의 충청권 도시와 농촌 지역의 응급의료서비스를 수용하기에는 한계를 가진다. 따라서 응급 의료 서비스 취약지역까지 최소거리 및 시간으로 도달하여 RTC의 역할을 수행할 수 있는 종합병원 2개를 선정하였다. 기존 3개의 RTC를 제외한 충청권 내 종합병원과 교통사고 다발지점 간의 통행거리 및 통행시간을 산정하여 기존 RTC 위치를 기준으로 방향별 위치한 종합병원 간의 우선순위 비교를 통해 충청남도 홍성의료원과 건국대학교 충주병원이 선정되었다. GIS분석기법으로 RTC로 채택된 2개의 종합병원 위치 및 교통사고다발지점과의 접근성을 시각화한 자료는 다음과 같다.

<그림 1> 추가로 선정된 종합병원의 응급의료서비스 범위

3. 시간 절감효과 및 서비스 범위

Smart region의 개념은 스마트 시티의 확장 개념으로 첨단 ICT 및 기타 기술을 활용하여 도시 외곽뿐만 아니라 다른 클러스터나 지역까지 포함하여 더 넓은 지역에서 기술을 구축하고 중심 도시와의 공공 서비스를 운영하는 것을 목표로, 기술과 데이터를 활용하여 지역 사회의 문제를 해결하고, 발전을 촉진하는 것을 말한다. 의료 서비스 공급이 부족한 농촌 지역을 대상으로 UAM을 이용한 응급의료서비스 범위를 확대하면 환자 이송 시간 단축에 상당한 영향을 미칠 것으로 파악된다. 충청권 내 지역의 공공 서비스 범위는 왕복 125km로 통행시간은 45분이 산정된다. 골든타임 45분을 기준으로 한 서비스 범위를 설정하였다. UAM와 Ambulance의 시간 절감효과 및 서비스 범위를 비교하였다. 이러한 공식을 통해 비교한 시각화는 다음과 같다.

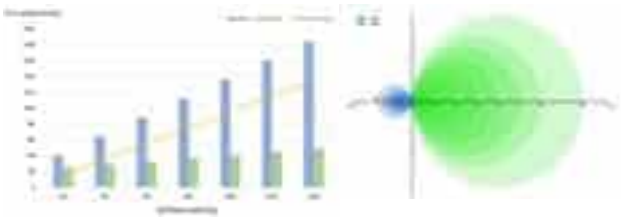
시간 절감효과(Time savings)

$$= MAX[0, T_{ij}(UAM) - T_{ij}(Ambulance)]$$

서비스 범위(Service coverage)

$$= S_{UAM} - S_{Ambulance}$$

여기서, $S_{UAM} = \pi(d_{ij}(UAM))^2, S_{Ambulance} = \pi(d_{ij}(Ambulance))^2$



<그림 2> 시간 절감효과 및 서비스 범위 비교

III. 결론 및 향후 연구과제

Smart region의 개념을 도입하여 농촌 지역의 EMS 문제 해결책을 제시하고, 주요 도시 RTC 3개를 제외한 기존의 종합병원 중 추가적인 RTC 입지 선정을 위해 농촌 지역의 응급 의료 서비스 커버리지를 개선하고자 RTC의 위치 결정 방법론을 제시하여 선정하였다. UAM을 사용하여 도시와 농촌 지역까지 수용할 수 있는 농촌 지역 응급 의료 서비스의 가능성을 파악하였다.

향후 운영 비용 추정 및 UAM이 EMS로 활용될 때의 경제적 유용성 평가를 실시하여 농촌 지역 의료 서비스 강화를 위한 주요 기관과의 협력 및 Smart region의 효율적 관리 범위를 설정할 필요가 있다.

참고문헌

1. 임준홍 · 박정환(2016), “응급의료서비스 취약지역의 공간적 분포와 응급환자발생 특성”, 대한국토·도시계획학회지 「국토계획」, Vol.51, No.1, pp.63-75.
2. 김솔희 · 서교(2021), “실시간 교통정보 빅데이터를 이용한 응급의료 취약지역 재설정 방안 연구”, 한국농공학회지, Vol.63, No.2, pp.27-34.
3. Espejo Díaz, J. A., Alfonso Lizarazo, E., & Montoya Torres, J. R. (2023). Improving access to emergency medical services using advanced air mobility vehicles. Flexible Services and Manufacturing Journal. https://doi.org/10.1007/s10696-023-09507-9.

KAIST 한국과학기술원 KAIST/M
The 2024 Korea Institute of ITS Fall Conference
보행자 영향을 반영한 우회전 용량 일반 모델 개발
2024. 10. 25.
오승민[1] · 장기태[2] · 천경훈[3]
[1]한국과학기술원 조천식모빌리티대학원 박사과정
[2]한국과학기술원 조천식모빌리티대학원 교수
[3]한국과학기술원 기계기술연구소 연수연구원
한국ITS학회

KAIST 한국과학기술원 KAIST/M
Contents
01 서론
02 모델 개발
03 모델 검증 및 분석
04 결론
05 부록
한국ITS학회

01. 서론

연구 배경 및 목표

보행자 영향을 반영한 우회전 용량 모델의 필요성

- 횡단 중인 보행자, 자전거로 인한 우회전 용량 감소
  - 신호 교차로에서 우회전은 직진과 함께 서비스 되어지며, 직진과 평행한 횡단보도의 녹색시간이 동시에 운영됨
  - 직진과 평행하게 횡단보도를 건너는 보행자, 자전거는 우회전 용량을 감소시킴
- 보행자 점유에 따른 우회전 용량 감소를 고려한 용량 추정 모델을 제시
  - 신호 교차로에서 교통 흐름을 정확하게 분석하고 평가하기 위해서는 보행자의 영향을 반영한 우회전 용량 모델이 필요
  - 경험적 데이터 또는 이론적 모델 기반의 다양한 우회전 용량 모델이 제시되고 있음

기존 제시된 우회전 용량 모델

- 미국 HCM(Highway Capacity Manual) 등 기존 우회전 용량 모델
  - 보행자로 인한 우회전 차단을 고려하여 녹색 신호의 포화교통류율을 조정
  - 미리 도시에서 관찰된 신호 주기별 충돌 구역(Conflict zone) 점유 데이터에서 도출
- 특정 국가의 실험 데이터를 바탕으로 설계되어 다른 국가나 지역에 적용하기 어려움
- 다양한 교통 상황을 충분히 반영하지 못해 확장성의 한계 존재

[횡단보도 내 보행자 이전거로 우회전을 제시 문하고 여기 중인 적용들]

01. 서론

연구 배경 및 목표

기존 우회전 용량 모델의 한계

- 정책 변화 등 다양한 교통 상황을 적용하기 어려움
  - 대한민국 보행자 안전을 강화하기 위해 교차로 우회전 관련 도로교통법이 개정
  - 정책에 따라 우회전 시 보행자와의 충돌 구역의 범위가 달라질 수 있음
- 다양한 차량 유형에 따른 보행자 충돌 구역과 우회전 행동이 고려되지 않음
  - 대형차량 또는 자율주행차량(Autonomous vehicle, AV) 등 차량 유형에 따라 충돌 구역의 범위가 달라질 수 있음
- 따라서, 다양한 교통 상황을 고려할 수 있는 일반적인 우회전 용량 모델 필요

[22년 인식 강화된 교차로 우회전 시 횡행함]

연구 목표

우회전 충돌 구역에 따른 정책 변화, 혼합된 교통 조건 등 다양한 변수를 반영한
일반적이고 확장된 우회전 용량 모델을 개발

▶ 다양한 상황에 쉽게 적용 가능한 교통 이론 기반 우회전 용량 모델 제시

01. 서론

관련 연구 고찰

기존 연구의 우회전 용량 추정 모델

- 실제 관측 데이터를 기반으로 실험적으로 도출된 우회전 용량 모델

문헌	수집 데이터	우회전 용량 모델
HCM (2022)	미국 9개 신호 교차로	신호 주기별 충돌 구역 내 보행자 점유 기반 선형 회귀 모델
Allen et al. (1998)	미국 4개 도시의 신호 교차로	차전거 도로 충돌 구역 내 차전거 점유 데이터 포함 선형 회귀 모델
Rouphail and Eads (1997)	미국 신호 교차로	우회전 포화교통류율과 보행자 수에 대한 로그 회귀 모델
Sushmitha and Ravishankar (2021)	인도 6개 신호 교차로	녹색 시간, 이론차 비율 등 다양한 변수를 사용한 다중 선형 회귀 모델

- 충돌 구역, 점유 시간 등을 기반으로 이론적으로 도출된 우회전 용량 모델

문헌	특징	우회전 용량 모델
Bang (1979)	스페인 도로용량편람 제목	보행자 녹색 시간 및 횡단보도 길이를 고려한 간격 수용 이론 기반 모델
Schmitz et al. (2024)	VISSIM 시뮬레이션 검증	간격 수용 이론에 기반한 최단 시간 모델
Chen et al. (2014)	현장 관측 결과 검증	우회전 전용차로 내 우회전 포화교통류율 모델

02. 모델 개발

모델 개요

우회전 용량 모델

- 우회전 용량모델은 우회전 녹색시간/ 적색시간 동안 통과 할 수 있는 우회전 차량의 수로 구분
  - 적색시간 동안 우회전 차량은 상충 교통류의 간격을 수용하여 통행할 수 있으며, 이는 간격 수용 이론의 critical 및 follow-up headway 변수를 이용하여 Right Turn On Red (RTOR)를 추정함
  - 우회전 녹색시간의 일부는 보행자 신호와 동시에 운영이 되며, 보통 우회전 녹색시간은 보행자 신호보다 길게 설계됨
  - 따라서 보행자 신호와 우회전 녹색시간이 겹치는 시간 동안 보행자가 충돌 구역을 점유한다면, 차량은 우회전을 수행할 수 없음
- 본 연구는 우회전 용량에 대한 보행자의 영향에 중점을 두었기 때문에, 보행자 신호와 우회전 녹색시간이 같고 RTOR이 허용되지 않는 상황을 가정, 보행자의 통행을 고려한 우회전의 실질적인 녹색시간을 추정

$$c_{RT} = \boxed{s_{adj} * \frac{g_{ub} + \Delta g}{C}} + \boxed{n_{RTOR} * n_C}$$

Right turn capacity during green

Right turn capacity during red

Where,

c_{RT} = Capacity for right turn lane group (pc/h)

s_{adj} = Saturation flow rate adjusted for exclusive right turn lane group (pc/h) = $s_s * f_{RT}$

s_s = Base saturation flow rate (pc/h) (HCM default = 1,900 pc/h/ln)

f_{RT} = Adjustment factor for right turn vehicle presence in a lane group (HCM default = 1/1.18)

g_{ub} = Unblocked green time for right turn vehicles during pedestrian green (sec)

Δg = Time difference between right turn and pedestrian green (sec) = $g_{RT} - g_{ped}$

g_{ped} = Pedestrian green time (sec)

g_{RT} = Right turn green time (sec)

C = Cycle length (sec)

n_{RTOR} = Number of right turn vehicles on red (pc/cycle)

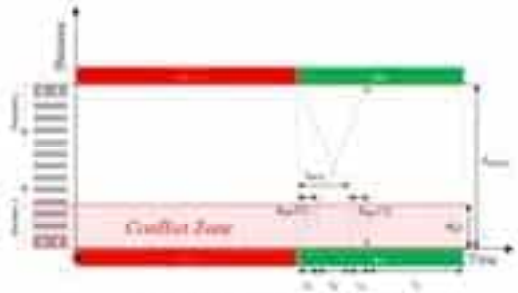
n_C = Number of cycles per hour (cycle/hour) = 3600/C

모델 개발

보행자 충돌 구역 차량 차단 과정

- 보행자가 우회전 차량 보다 통행 우선권을 가지고 있다고 가정
- 우회전의 녹색시간은 방향 별 보행자 군집 및 개별 보행자 점유 가능성에 따라 4개의 intervals로 구분

  - First interval (t_1) : Nearside (Direction 1)에 대기하고 있던 보행자 군집에 의해 Conflict zone이 점유 될 수 있는 시간
  - Second interval (t_2) : Nearside (Direction 1)에 녹색시간 이후 도착하는 보행자들로 인해 Conflict zone이 점유 될 수 있는 시간
  - Third interval (t_3) : Farside (Direction 2)에 대기하고 있던 보행자 군집에 의해 Conflict zone이 점유 될 수 있는 시간
  - Fourth interval (t_4) : 방향에 상관없이 녹색시간 이후 도착하는 보행자들로 인해 Conflict zone이 점유 될 수 있는 시간



| 보행자 녹색시간과 Conflict zone의 차단 과정 |

$$t_1 = \min\left(t_{ACZ}, b_{plt}(1)\right)$$
$$t_2 = t_{ACZ} - t_1$$
$$t_3 = t_{ACZ} + b_{plt}(2) - t_2 - t_1$$
$$t_4 = g_{ped} - t_{ACZ} - b_{plt}(2)$$

Where,
$b_{plt}(1)$ = Average blocked time by nearside (Direction 1) pedestrian platoon (sec)
$b_{plt}(2)$ = Average blocked time by farside (Direction 2) pedestrian platoon (sec)
t_{ACZ} = Time for farside pedestrian platoon to arrive at conflict zone (sec) = $(d_{cross} - d_{CZ})/v_{ped}$
d_{CZ} = Conflict zone length (m)
d_{cross} = Crosswalk length (m)

모델 개발

보행자의 비점유 시간 유도

- 적색시간동안 보행자가 도착하지 않은 경우, t_1과 t_3 는 우회전 차량의 실질적 녹색시간을 포함 가능
- 보행자의 무작위 도착을 가정, 각 방향 별 적색시간 동안 보행자가 도착하지 않을 확률은 포아송 분포를 이용하여 계산 – ①
- t_2과 t_4 는 녹색시간 이후 도착한 보행자들이 점유하는 시간, 대기행렬이론의 M/M/∞ queuing model 을 이용하여 점유 확률을 유도 – ②
- 따라서, 각 방향 별 보행자 군집 유무에 따라 네 Case에 대한 평균 보행자 비점유 시간을 산출 – ③

①

$$P(N_{plt} = 0) = e^{-\lambda r}$$
$$P(N_{plt} > 0) = 1 - e^{-\lambda r}$$

②

$$P(m; \lambda, \mu) = \frac{(\lambda/\mu)^m e^{-\lambda/\mu}}{m!}$$
$$P(m = 0) = e^{-\lambda r}$$
$$P(m > 0) = 1 - e^{-\lambda r}$$

Where,
λ = Pedestrian arrival rate (ped/sec)
μ = Pedestrian service rate (ped/sec)
m = Number of pedestrian in conflict zone

③

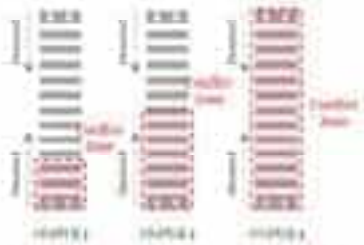
$$g_{ub} = P\left(N_{plt}(1) > 0; \lambda(1)\right) \cdot P\left(N_{plt}(2) > 0; \lambda(2)\right) \cdot \left(P(m(1) = 0) \cdot t_2 + P(m(1,2) = 0) \cdot t_4\right) +$$
$$P\left(N_{plt}(1) > 0; \lambda(1)\right) \cdot P\left(N_{plt}(2) > 0; \lambda(2)\right) \cdot \left(P(m(1) = 0) \cdot t_2 + P(m(1,2) = 0) \cdot (t_3 + t_4)\right) +$$
$$P\left(N_{plt}(1) > 0; \lambda(1)\right) \cdot P\left(N_{plt}(2) > 0; \lambda(2)\right) \cdot \left(P(m(1) = 0) \cdot (t_1 + t_2) + P(m(1,2) = 0) \cdot t_4\right) +$$
$$P\left(N_{plt}(1) > 0; \lambda(1)\right) \cdot P\left(N_{plt}(2) > 0; \lambda(2)\right) \cdot \left(P(m(1) = 0) \cdot (t_1 + t_2) + P(m(1,2) = 0) \cdot (t_3 + t_4)\right)$$

Where,
$P(N_{plt}(1) > 0; \lambda(1))$ = Probability that a pedestrian platoon is formed on the nearside
$P(N_{plt}(2) > 0; \lambda(2))$ = Probability that a pedestrian platoon is formed on the farside
$P(N_{plt}(1) = 0; \lambda(1))$ = Probability that a pedestrian platoon is not formed on the nearside
$P(N_{plt}(2) = 0; \lambda(2))$ = Probability that a pedestrian platoon is not formed on the farside

모델 검증 및 시나리오 분석 과정

우회전 정책 기반 Conflict zone 길이에 따른 우회전 용량 분석

- 정책에 따라 다양한 Conflict zone 범위 결정
  - 14m의 횡단보도에서 한 차로 (3.5m), 두 차로 (7m), 전체 (14m)를 Conflict zone으로 설정하는 시나리오 정의
  - HCM, VISSIM 시뮬레이션, 캘리된 모델의 보행자 점유율을 비교



[우회전 정책 기반 Conflict zone 설정의 다양 시나리오 정의]

실제 보행자 관측 데이터 비교 분석

- 실제 보행자 관측 데이터 기반 Conflict zone 점유율 비교
  - 대전 유성구 신호 교차로 CCTV 데이터를 수집하여 두 횡단보도의 보행자 자전거 점유 데이터 수집
  - YOLO 객체 인식 알고리즘을 활용하여 실제 보행자와 자전거의 Conflict 출입 시간 및 교통량 분석
  - 실제 보행자 관측 데이터를 기반으로 HCM의 캘리된 모델 비교

[실제 보행자 데이터를 수집한 신호 교차로 (유성사거)]

[YOLO 기반 보행자·자전거 검출 및 트래킹]

AV 환경 시나리오 우회전 용량 분석

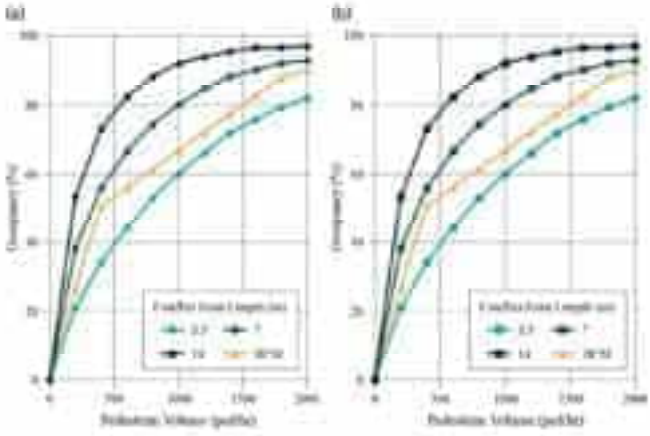
- AV 기술 수준 또는 유형에 따라 다양한 Conflict zone 범위 설정
  - Conflict zone이 짧은 AV, 중간인 AV 등 다양하게 차량 유형별 정의 가능
  - 다양한 AV의 혼입률에 따른 우회전 용량 산출 및 비교

분석 결과

우회전 정책 기반 충돌 구역 길이에 따른 우회전 용량 분석

- 분석 결과
  - VISSIM 시뮬레이션과 캘리된 모델 모두 Conflict zone 길이가 증가할수록 보행자 수가 늘어남에 따라 점유율이 민감하게 반응함
  - 이는 Conflict zone의 확장됨에 따라 보행자가 점유할 확률이 증가하기 때문
  - 두 결과 모두 이러한 경향이 잘 나타나며, 거의 일치함

  - HCM 모델은 한 차로(3.5m)와 두 차로(7m) Conflict zone에서 산출된 점유율 값 사이 위치
  - 이는 HCM 모델의 경험적으로 데이터를 수집할 당시 Conflict zone의 길이가 두 시나리오 사이였을 가능성을 시사함



[대전 Conflict zone 길이에서 보행자 수와 점유율의 관계 – (a) VISSIM (b) 캘리된 모델]

분석 결과

실제 보행자 관측 데이터 비교 분석

- 분석 결과
  - 4시간 동안, 동쪽 378명, 서쪽 669명의 보행자가 관찰
  - 두 횡단보도에서 자전거는 12%
  - 보행자 평균 보행 속도는 1.73m/s, 자전거는 2.33m/s

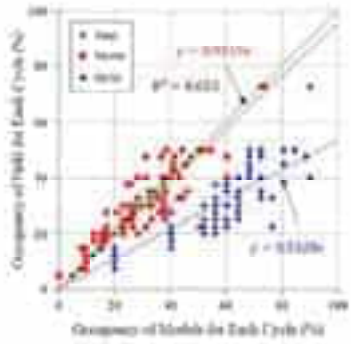
  - 실제 보행자 데이터를 통해 실제 신호 주기별 점유율을 계산
  - 실제 측정된 점유율과 모델에서 추정된 점유율을 동시에 비교
  - 실제 측정된 점유율은 $y = x$ 그래프에 분포되어 있음

  - 두 횡단보도 모두에서 제안된 모델의 점유율 값들은 $y = x$ 그래프 주변에 분포하고 있으며, 선형 회귀선의 계수는 1에 가까움
  - 제안된 모델이 실제 데이터와 유사하게 보행자의 점유율을 예시함

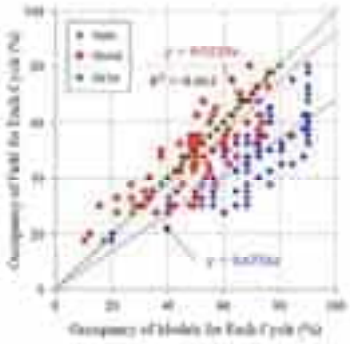
  - 반면, HCM 모델은 점유율을 과대평가하는 경향을 보임
  - 이는 HCM 모델에서 가정한 Conflict zone이 실제 관측한 Conflict zone과 다르며, 국가 간 보행자 속도의 차이 때문

(동쪽 횡단보도의 Conflict zone (3.5m))

(서쪽 횡단보도의 Conflict zone (4.6m))



(동쪽 횡단보도 신호 주기별 실제 관측한 점유율과 모델의 점유율 비교)



(서쪽 횡단보도 신호 주기별 실제 관측한 점유율과 모델의 점유율 비교)

결론

연구 요약

- 미국 HCM, 한국 도로용량편람 우회전 용량 모델은 특정 경험적 데이터와 가정을 기반으로 확장성이 부족함
- 본 연구에서는 보행자가 우회전 용량에 미치는 영향을 반영하여 Conflict zone의 보행자 점유율 추정하는 일반 모델을 개발함
- 제안된 모델은 보행자 수와 신호 타이밍 뿐만 아니라, Conflict zone의 길이, 우회전 차량 유형과 같은 추가적인 요소들을 통합함
- 이러한 변수들의 영향은 다양한 시나리오에서 VISSIM 시뮬레이션 및 현장 관찰을 통해 검증됨
- 분석 결과, 제안된 모델이 시뮬레이션과 매우 유사한 결과를 도출하며, HCM 모델보다 실제 관측 데이터 기반 우회전 용량을 잘 추정함

- 제안된 모델은 더 넓은 범위의 변수를 고려할 수 있어 기존 모델보다 다양한 상황에 적용 가능함
- 기존 모델에 비해 추가 고려된 요소가 많아 다양한 상황을 설명할 수 있음
- 이론적인 설명으로 계산과 사용이 편리한 우회전 용량의 일반적인 모델을 제공함

향후 연구

- 제안된 보행자 기반 우회전 용량 모델은 시뮬레이션 결과를 바탕으로 교정(Calibration)되었기 때문에 실제 보행자 행동과 차이가 있을 수 있음
- 따라서 실제 관측 데이터를 통한 추가 교정이 필요하며, 더 넓은 범위의 실제 환경에서 추가적인 검증이 요구됨

참고문헌

1. Highway Capacity Manual 7th Edition: A Guide for Multimodal Analysis. Transportation Research Board, Washington, D.C., 2022.
2. Allen, D. P., J. E. Hummer, and N. M. Rouphail. Effect of Bicycles on Capacity of Signalized Intersections. Transportation Research Record, Vol. 1646, No. 1, 1998, pp. 87–95.
3. Rouphail, N. M., and B. S. Eads. Pedestrian Impedance of Turning-Movement Saturation Flow Rates Comparison of Simulation, Analytical, and Field Observations. Transportation research record, Vol. 1578, No. 1, 1997, pp. 56–63.
4. Sushmitha, R., and K. V. R. Ravishankar. Effect of Pedestrian Crossing on Saturation Flow at Signalized Intersections in Mixed Traffic Conditions. Suranaree Journal of Science and Technology, Vol. 28, 2021, pp. 1–12.
5. Bang, K.-L. Part 3: Capacity of Signalized, Washington, D.C., 1978.
6. Chen, P., H. Qi, and J. Sun. Investigation of Saturation Flow on Shared Right-Turn Lane at Signalized Intersections. Transportation Research Record, Vol. 2461, 2014, pp. 66–75.
7. Schmitz, J., N. Wu, and J. Gesterfeldt. Modeling Adjustment Factors for Pedestrians and Bicycles on Turning Vehicle Movements at Signalized Intersections. Transportation Research Record, Vol. 2678, No. 2, 2024, pp. 105–117.

하계 기간 시내버스 감차운행과 대중교통 수요 변화

Impact of Reduced City Bus Operations on PublicTransportation Demand During the Summer Period

황유성* 신강원**

* : 경성대학교 도시공학과 석사과정

** : 경성대학교 도시공학과 교수

하계 기간 시내버스 감차운행과 대중교통 수요 변화

Impact of Reduced City Bus Operations on PublicTransportation Demand During the Summer Period

Contents

I. 연구 개요

II. 선행연구 고찰

III. 현황 분석

IV. 결론

I. 연구 개요

연구 배경

하계 기간 통학 및 통근수요 감소를 예상한 시내버스 운행횟수 조정

☑ 서울특별시 월별 교통량 패턴

자료 : 서울시 교통정보 서비스센터 2023년 기준

☑ 부산광역시 월별 대중교통 통행 패턴

자료 : 교통카드 빅데이터 시스템 2023년 기준

☑ 부산광역시 하계 기간 시내버스 운행 조정

조정기간 : 7월 20일 ~ 8월 19일 (1개월 간)

조정내용 : 93개 노선대상 운행횟수 감차

연구 목적

여름 관광지가 밀집된 부산광역시 특성

관광지 경유 일부 노선은 수요 증가??

감차 조정시 적절한 요인이 고려되고 있는가 ??

하계 기간 시내버스 수요변화 요인 분석
하계 기간 적정 운영 전략 도출

한국ITS학회-2024년도 춘계학술대회

I. 연구 개요

분석 개요

☑ 분석 대상 : 부산광역시 시내버스 146개 노선

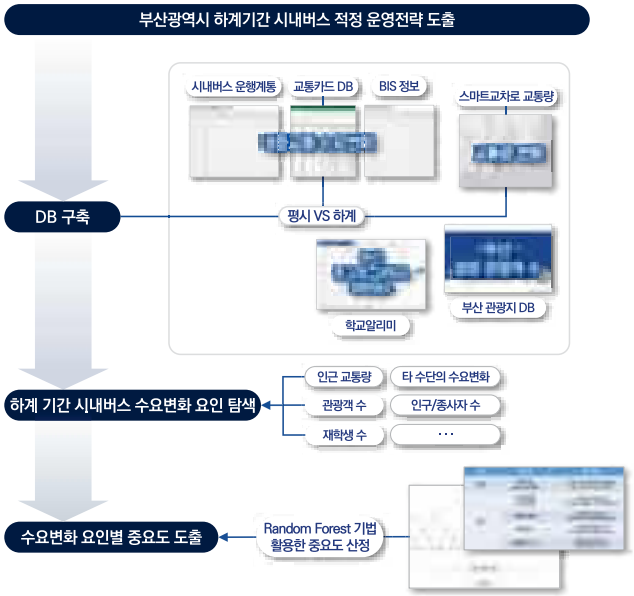
☑ 분석 내용 : 하계 기간 시내버스 수요 변화 요인 분석

☑ 분석 범위 : 기상조건이 양호한 평일 5일 (강수량 = 0)

VS 비교분석

6월							7월							8월						
일	월	화	수	목	금	토	일	월	화	수	목	금	토	일	월	화	수	목	금	토
						1	30	1	2	3	4	5	6					1	2	3
2	3	4	5	6	7	8	7	8	9	10	11	12	13	4	5	6	7	8	9	10
9	10	11	12	13	14	15	14	15	16	17	18	19	20	11	12	13	14	15	16	17
16	17	18	19	20	21	22	21	22	23	24	25	26	27	18	19					
23	24	25	26	27	28	29	28	29	30	31										

: 평시 분석 대상일 : 하계기간 분석 대상일 : 우천 기록일 : 감차운행 기간



II. 선행연구 고찰

대중교통 노선 조정에 관한 연구

자료포락분석을 이용한 청주시 버스노선 효율성 분석(양정훈 외, 2024)

청주시의 시내버스 노선 중 주말에 감차운행이 이루어지고 있는 55개 노선을 대상으로 DEA(Data Envenlopment Analysis)와 토빗(Tobit) 회귀분석으로 버스노선의 효율성에 미치는 요인들을 탐색함

이용자 특성을 고려한 버스노선 개편 우선순위 결정 방법론 개발(이명섭 외, 2024)

버스노선 체계 개편에 활용되는 평가지표에 이용자 특성이 반영되지 못하는 한계점을 명시하고, 지표중 정량적 지표에 한하여 AHP 분석을 통한 평가지표의 가중치를 산정하였음

광역급행철도와 경합하는 광역버스 노선 개편 방향(김거중, 2024)

데이터 기반 분석 방법론을 활용하여 GTX –A 노선이 광역버스에 미치는 영향을 정량적으로 분석하였으며, 노선개편 전략을 마련하였음

도시철도 개통에 따른 대중교통 통행량 변화 분석 (황정훈 외, 2022)

대구 도시철도 3호선 개통에 따른 대중교통 통행량 변화를 전·후 비교분석을 실시하였을 때, 대구 도시철도 3호선 개통에 따른 통행량 증대는 기존 버스 통행량이 도시철도로 전환된것으로 나타남

버스 공영차고지 조성에 따른 생활권별 대중교통 서비스 변화 분석(황유성 외, 2024)

이용자 측면의 Grid 분석 방식의 대중교통 서비스 평가방법론을 제안하고, 이를 부산광역시 강서차고지 노선개편 사례에 대상으로 생활권별 대중교통 서비스를 비교분석하였음

랜덤포레스트를 활용한 중요도 산정에 관한 연구

C-ITS 자료 기반 고속도로 위험구간 식별을 위한 주행안전평가지표 우선순위 도출 (조영 외, 2022)

상관관계 분석을 통해 선정한10개의 후보 지표를 랜덤 포레스트 기반 도로위험구간 분류 모델에 적용하여 차간거리 변동성, stopping distance index 상충건수, 차두시간 변동성을 주요 평가지표로 도출함

랜덤포레스트 기법을 이용한 우회전 교통사고 심각도 영향 요인 분석 (조영 외, 2022)

랜덤 포레스트와 이항 로짓 모형 분석을 통해 우회전 교통사고의 심각도 증가에 미치는 영향은 날씨, 제한속도, 우회전 전용차선, 우회전 곡선반경으로 감소에 미치는 영향은 계절, 보행자 연령층, 차량 유형, 교통안전표지, 도류로폭, 횡단보도-정지선 간인 것으로 분석함

지방소멸 대응을 위한 인구감소지수 영향요인 분석 (김민석, 2024)

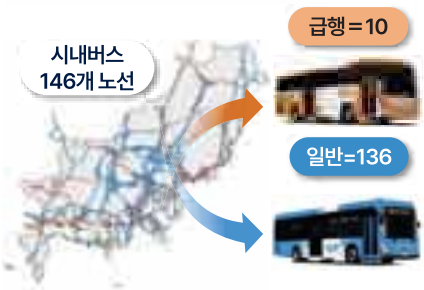
연구는 지역 매력도의 개념을 활용하여 인구감소지수에 영향을 미치는 지역 특성을 살펴보기 위해 랜덤 포레스트 기법을 활용하였고 경제, 환경 등 모든 부문의 변수들이 지역의 매력도를 향상시켜 인구감소와 지방소멸을 개선하는 것으로 나타남

Big Data applications in real–time traffic operation and safety monitoring and improvement on urban expressways (Qi Shi, 2015)

지능형 교통 시스템(ITS)을 통해 수집된 빅데이터를 활용하여 도시 고속도로의 혼잡과 사고 위험을 줄이는 실시간 교통 모니터링 전략의 가능성을 확인

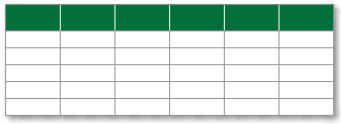
III. 현황분석

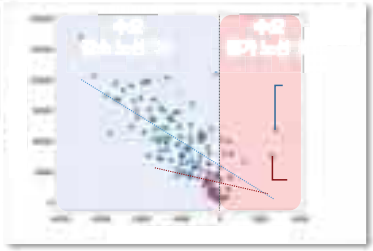
시내버스 감차운행 및 수요변화

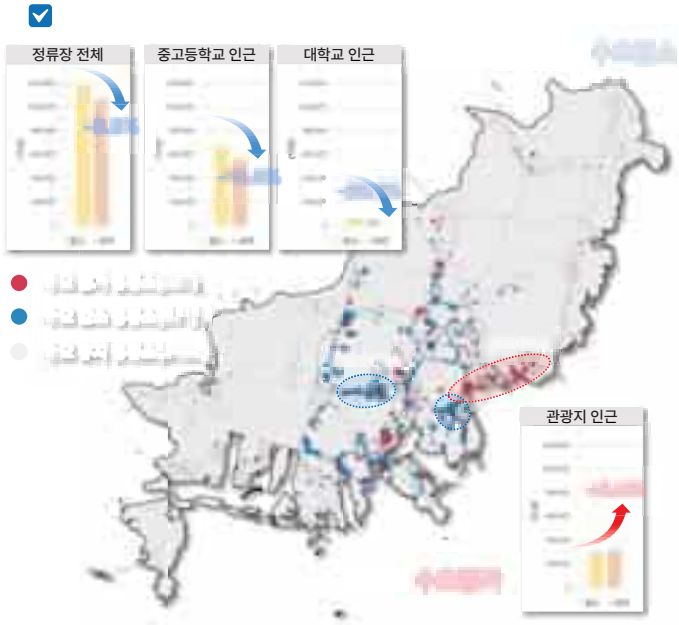


구분	전체노선	급행노선	일반노선
노선수	146	10	136
감차 노선수	93	2	91
감차 운행횟수	838	10	828

☑ 노선별 수요변화



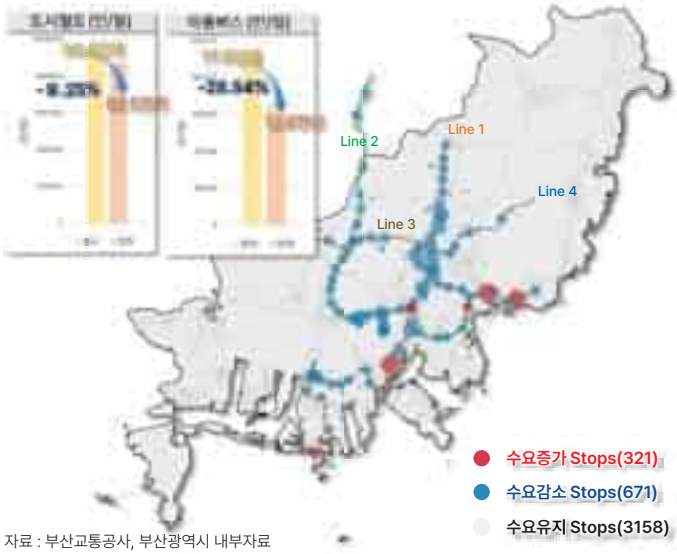




III. 현황분석

타 대중교통 수단 수요 변화

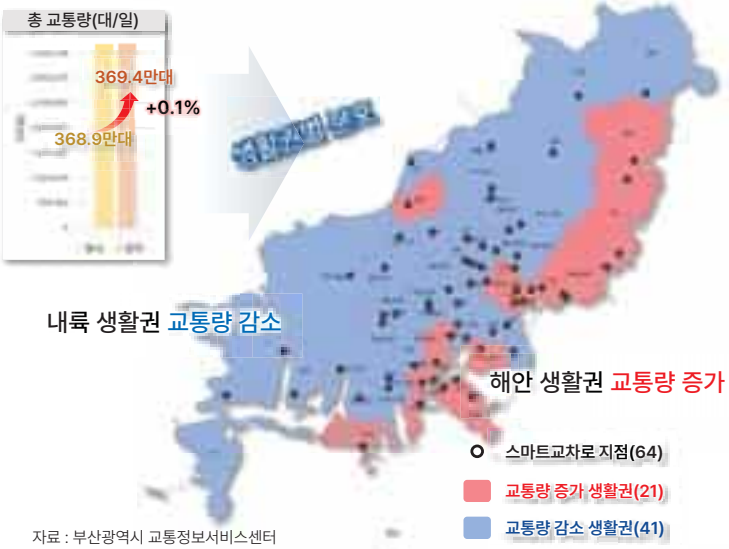
분석대상 : 부산 도시철도 1~4호선, 마을버스 수요 변화



자료 : 부산교통공사, 부산광역시 내부자료

주요 교차로 교통량 변화

분석대상 : 생활권별 주요 스마트교차로 64개 지점 교통량 변화



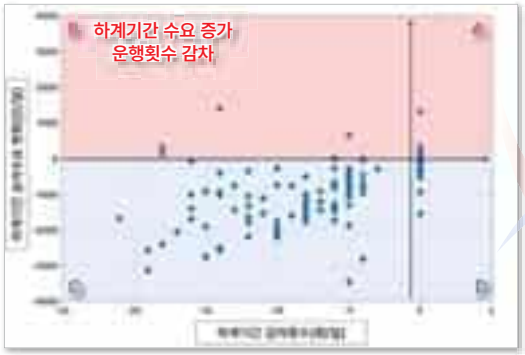
자료 : 부산광역시 교통정보서비스센터

한국ITS학회-2024년도 춘계학술대회

III. 현황분석

현황분석 결과

- 유형 B에 분류된 일부 노선의 하계기간 감차운행은 변화하는 승객 수요를 적절히 반영하지 못함
- 하계기간 대중교통 수요 변화와 교통량 변화는 유사한 경향을 가지며 해안가 지역과, 관광지 인근 지역은 통행량이 증가하는것으로 추정



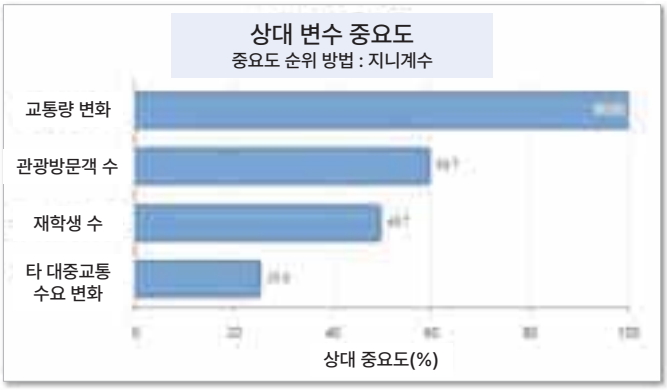
구분	특성	노선수
유형 A	하계 기간 수요↑, 운행횟수 유지	11개
유형 B	하계 기간 수요↑, 운행횟수↓	4개
유형 C	하계 기간 수요↓, 운행횟수↑	89개
유형 D	하계 기간 수요↓, 운행횟수 유지	42개

III. 현황분석

Random Forest 기법을 활용한 수요변화 요인 분석

- 머신러닝 분류 기법인 Random Forest 기법을 활용하여 영향을 미치는 변수를 식별(정확도 약 86.3%)
- 수요 변화 변수의 상대 중요도 도출
- 산정 결과 교통량 변화 변수와 관광방문객 수 순으로 중요도가 높음

구분	변수명	변수 정의
반응	하계기간 승차수요 변화	하계기간 노선별 수요 증감 변화 (예 = 감소 / 아니오 = 증가)
변수	타 대중교통 수요 변화	노선별 반경 400m 내 도시철도, 마을버스 수요 변화량의 합
	교통량 변화	노선별 반경 400m 내 스마트교차로 교통량 변화량의 합
	재학생 수	노선별 반경 400m 내 중.고등.대학교 재학생 수의 합
	관광방문객 수	노선별 반경 400m 내 관광지 방문객 수의 합



IV. 결론

결론

- ✓ 부산광역시는 하계 기간 동안 통학 및 통근 수요 감소를 예상하여 146개 노선 중 93개 노선의 감차 운행을 시행하였음
- ✓ 현황 자료 분석 시 하계기간 전반적인 대중교통의 수요는 감소하였으나 교통량은 소폭 증가한것으로 나타남
- ✓ 시내버스의 수요 또한 전체적인 수요는 감소하였으나 특정 노선(15개)의 경우에는 수요가 증가한것으로 나타났음
- ✓ 하계기간 중 수요가 증가한 노선의 특성 분석 결과 해당 노선은 **주요 관광지(해안 관광지) 인근을 경유하는 것**으로 나타났으며 여름 관광지가 밀집된 부산시의 특성상 **관광수요와 같은 요인들을 복합적으로 고려하여 감차운행할** 필요가 있음
- ✓ **랜덤 포레스트 기법**을 활용하여 하계기간 운행횟수 감차 시 고려해야한 중요 요인은 **교통량 변화량, 관광 방문객 수, 학생 수** 등으로 나타남
- ✓ 하계기간 시내버스 운행 조정 시에는 단순한 승차 수요뿐만 아니라 교통량 변화, 관광객 유입, 그리고 학생 수와 같은 복합적인 요인들을 종합적으로 반영한 운영 전략이 필요하다는 결론을 도출함

기대효과

- ✓ 본 연구에서 적용된 분석과정 및 결과는 향후 동계 기간 및 명절과 같은 연휴기간 감차운행 분석에 확대 적용하고자 하며 이는 시내버스 탄력운영 전략 수립에 기여할 것으로 기대함

스마트시티

Session

D-2

데이터 분석을 통한 DRT 최적 정류소 입지 선정 및 수요 추정 프레임워크 개발: 대구 국가산업단지를 대상으로
강승원, 권오훈, 박용진

분산 CCTV 환경에서의 연합학습 기반 도로 감시 시스템: 시공간 키포인트 트랜스포머 네트워크를 이용한 보행자 쓰러짐 감지
김병훈, 노병준

도심 환경에서 V2X 통신 위상 구조가 자율주행 차량 반응속도에 미치는 영향
김영환, 김동규

지역특성을 반영한 수요응답형 대중교통 서비스 OD 수요 예측 분석
장윤지, 권오훈, 여지호

건설자동화장비 실증분석을 통한 효율성 분석 및 활성화 방안
정유미, 도현철, 도명식

Pro Vision과 Digital Twin Simulation 연계 방안
최민기, 이선하, 천춘근, 김영욱

데이터 분석을 통한 DRT 최적 정류소 입지 선정 및 수요 추정 프레임워크 개발 : 대구 국가산업단지를 대상으로

계명대학교 도시계획 및 교통공학과 석사과정 강승원
계명대학교 교통공학과 부교수 권오훈
계명대학교 교통공학과 명예교수 박용진

계명대학교

Acknowledgement

목차

데이터 분석을 통한 DRT 최적 정류소 입지 선정 및 수요 추정 프레임워크 개발
: 대구 국가산업단지를 대상으로

01 연구개요
02 연구내용 및 방법
03 연구결과
04 결론 및 향후 연구

01 연구개요

연구배경 및 목적

❖ 프레임워크 개발의 연구배경 및 목적

➢ 대구광역시는 도시면적 증가, 도시 외곽지역의 택지개발 진행에 따른 교통체계 변화 필요성을 제기함

➢ 기존 DRT 운영 지표의 부족과 신규 개발 지역의 OD 정보 부재 등으로 적정 수요 추정이 어려운 실정

➢ DRT 서비스 도입을 위해서는 정류소 선정과 수요 추정이 필요하며, 이를 바탕으로 운영규모와 노선 형태 등의 상세 설계가 가능함

➢ 수요응답형 대중교통 수단(Demand Responsive Transit) 서비스 도입 필요성에 따라 DRT 운영 설계를 위한 사전 분석 프레임워크를 제안함

연구의 범위

❖ 연구의 범위

➢ 공간적 범위 : 대구광역시 달성군 국가산업단지

➢ 시간적 범위 : 대구시 교통카드 OD자료: 2023년 4월 26일 (약 87만 건)

구지면 지역 택시운행정보관리시스템(TIMS) 데이터: 2022년 9월 1일 ~ 2023년 8월 30일 (34,923건)

02 연구내용 및 방법

선행연구 및 이론적고찰

❖ DRT 수요 예측에 관한 문헌고찰

➢ DRT 운행을 위한 정류장 위치 선정 방법은 DBSCAN을 통하여 교통 수요가 도심, 교외, 농촌 지역 등 비선형적으로 분포할 수 있는 상황에서 효율적으로 군집화 할 수 있어 다양한 교통 패턴을 반영한 최적 정류장 위치 선정이 가능함

➢ 본 연구는 DRT 도입을 위해서 실제 교통데이터를 바탕으로 시스템의 최적 정류소 입지 선정 및 수요 예측 분석 시행

저자(연도), 논문명	내용
Yong Zhang, Donghuan Feng, Ru Zhang, Nana Geng(2017), Multi-stage Optimization of Taxi Service Stations Location Using GPS Data	• Wuxi 시의 택시 GPS 데이터를 활용하여 실제 서비스 수요를 식별하고 [illegible] • Wuxi 시에서 2015년 5월 [illegible] GPS 데이터를 활용 • K-Means 알고리즘을 사용하여 [illegible] DBSCAN 알고리즘을 [illegible] • K-Means 클러스터링을 통해 택시 서비스 수요 [illegible] DBSCAN 알고리즘을 통해 [illegible] • 본 연구에서는 택시 서비스의 정류장 위치 선정을 [illegible]
Le Bai, Liang Dongyao, Ren Haomin(2022), Optimized Design for Operation and Construction of Metro Based on Linear Programming Model and DBSCAN Clustering Algorithm	• 이 연구는 Hohhot 시의 [illegible] DBSCAN 클러스터링 알고리즘을 [illegible] • 2020년 [illegible] Hohhot 시 [illegible] • [illegible] DBSCAN 클러스터링을 통해 [illegible] • 연구에서 제시한 선형 프로그래밍 모델과 DBSCAN 클러스터링 알고리즘은 [illegible]
[illegible](2019), [illegible] 수요응답형 교통수단(DRT) [illegible]	• 이 논문은 [illegible] DRT [illegible] • 연구에서는 [illegible] 2018년 1월부터 12월까지 [illegible] • 택시와 버스를 기반으로 한 DRT [illegible] • [illegible]
[illegible](2020), 시계열 자료를 활용한 도시철도 수요 예측	• 이 연구는 대구도시철도 1호선과 2호선의 [illegible] • 대구도시철도 1호선과 2호선의 2007년 1월부터 2017년 12월까지의 [illegible] • 연구에서는 [illegible] ARIMA 모델을 [illegible] • 대구도시철도 [illegible]

02 연구내용 및 방법

계명대학교

데이터 분석을 통한 DRT 최적 정류소 입지 선정 및
수요 추정 프레임워크 개발 : 대구 국가산업단지를 대상으로

연구내용 및 방법(1/3)

◆ 프레임워크 개발

- 특정문제를 해결하기 위한 구조화된 접근 방식이나 체계 구축을 의미함
- 프레임워크의 특징
  - ✓ 체계적 접근: 문제를 단계별로 분해하여 체계적 해결 가능
  - ✓ 일관성: 동일한 방법론을 사용하여 다양한 상황에 적용
  - ✓ 효율성: 검증된 방법을 사용하여 시간과 자원을 절약
  - ✓ 유연성: 지역 특성에 맞게 조정이 가능하여 다양한 환경에 적용
  - ✓ 데이터 기반 의사결정: 객관적인 데이터를 바탕으로 의사결정 가능
- 본 연구에서는 데이터 수집 및 전처리, DRT 정류소 위치 선정, 정류소 서비스 범위 분석, 정류소별 수요 추정, 그리고 DRT 운영 시나리오별 승·하차 인원 산정 순으로 개발함

02 연구내용 및 방법

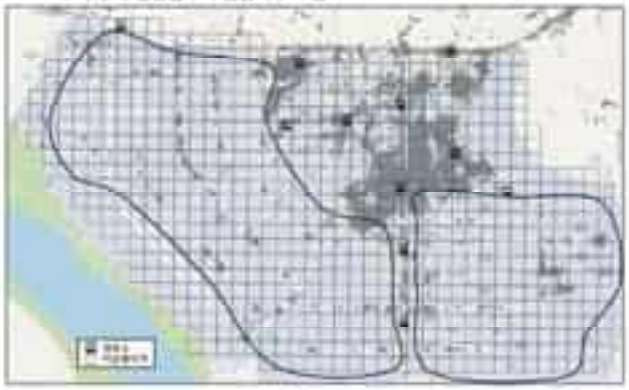
계명대학교

데이터 분석을 통한 DRT 최적 정류소 입지 선정 및
수요 추정 프레임워크 개발 : 대구 국가산업단지를 대상으로

연구내용 및 방법(2/3)

◆ 데이터 수집 및 전처리

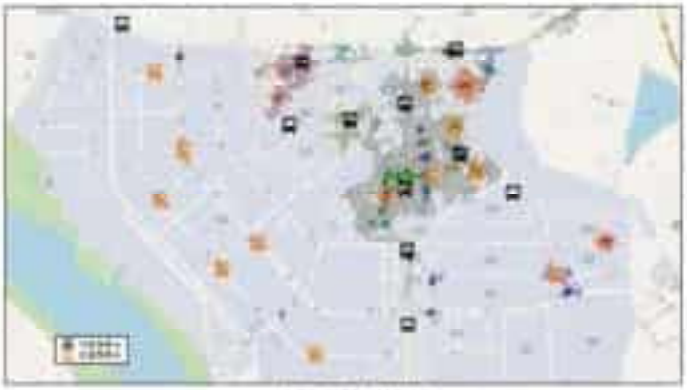
- 대구시 교통카드 OD 자료 23년 4월 2에일 통행량 약 87만개
- 국가산단 내 택시운행정보 관리시스템(TIMS) 22년 9월~ 23년 8월 데이터 34,923건
- 수요 예측을 위한 지리적 자료
  - 격자(100m×100m) 내 전체, 인구수, 생산가능 인구수, 초·중·고 학생 인구수
  - 격자 내 공정동시자 종합차수의 합



(기초자료 시각화)

◆ DRT 정류소 위치 선정 – 밀도기반 클러스터링 (DBSCAN)

- 프인트의 밀도를 기반으로 임의 형태의 클러스터를 식별하는 비지도 학습 알고리즘
- 10m, 50m 반경내에 최소 50개 이상의 밀집구간 산정
- 택시운행정보 관리시스템 데이터를 활용한 밀도기반 클러스터링으로 14개의 버스정류소 신설



(밀도기반 클러스터링)

02 연구내용 및 방법

데이터 분석을 통한 DRT 최적 정류소 입지 선정 및
수요 추정 프레임워크 개발 : 대구 국가산업단지를 대상으로

연구내용 및 방법(3/3)

◆ 정류소 서비스 범위 분석 - 최단 접근 분석

- 격자의 정류소 서비스 접근범위 확인을 위해 격자의 중앙점과 정류소 간의 최단 접근거리 분석
- 산설정류소 선정 후 동일한 최단 접근거리 분석
- 기존 서비스 범위와 신설 서비스 범위 비교 분석

◆ 수요 추정 기법

- $\frac{\text{지역 내 버스 승차자 수}}{\text{지역 내 총 인구수}}$ = 추정 수단 분담률로 가정
- 공단지역 일 때 추정 : (전체 인구 + 종업원수) × *추정 수단 분담률*
- 주거지역 일 때 추정 : 기존버스수요 이용
- 주거지역 & DRT 신설정류소 일 때 추정 : *인근버스정류소승차수요* × $\frac{\text{DRT 서비스로 접근 가능 격자 수}}{\text{기존정류소 접근 가능 격자 수}}$

(서비스범위 비교분석)

(DRT 개설 노선도)

03 연구결과

데이터 분석을 통한 DRT 최적 정류소 입지 선정 및
수요 추정 프레임워크 개발 : 대구 국가산업단지를 대상으로

연구결과(1/3)

◆ 지역에 따른 수요 추정방법

- 추정 수단 분담률은 지역 내 버스 승차자 수/ 지역 내 총 인구수로 산정함
- 주거지역 & DRT 유형일 경우 DRT 서비스로 접근 가능 격자 수/ 기존 정류소 접근 가능 격자 수에 인근 정류소 승차 수요를 곱하여 수요를 추정함
- 공단지역 유형일 경우 인근 버스 정류소 승차 수요가 없어 전체인구와 종업원수의 합을 추정 수단 분담률로 곱하여 수요를 추정함

지역	정류소 유형	정류소명	전체인구 + 종업원수 (명)	기존 (*인근) 버스 승차 수요 (명/일)	격자 이용	DRT 추정 수요 (명/일)	유형
주거	DRT	[illegible]	2,050	*160.0	93.7%	74.6	주거지역 & DRT 유형
주거	DRT	[illegible]	1,954	*64	39.9%	13.0	주거지역 & DRT 유형
주거	DRT	[illegible]	2,010	*120	98.2%	80.9	주거지역 & DRT 유형
주거	DRT	[illegible]	860	*117.5	34.2%	28.5	주거지역 & DRT 유형
주거	DRT	[illegible]	1,720	*117.5	16.4%	18.1	주거지역 & DRT 유형
주거	DRT	[illegible]	1,086	*117.5	21.2%	50.9	주거지역 & DRT 유형
공단	DRT	[illegible]	140	-	-	40.8	공단지역
공단	DRT	[illegible]	170	-	-	11.0	공단지역
공단	DRT	[illegible]	1,086	-	-	22.0	공단지역
공단	BUS STOP	[illegible]	158	8.0	-	8.7	공단지역
공단	BUS STOP	[illegible]	792	77.9	-	65.4	공단지역
주거	BUS STOP	[illegible]	80	1	-	1	기존버스수요
주거	BUS STOP	[illegible]	2,141	117.5	-	117.5	기존버스수요
주거	BUS STOP	[illegible]	284	48	-	48	기존버스수요

<지역별 정류소 유형 및 수요 분석>

추정 수단 분담률(%)
$= \frac{\text{지역 내 버스 승차자 수 (1,247)}}{\text{지역 내 총 인구수 (19,653)}} = 6.1\ (\%)$
공단지역일 때
= (전체 인구 + 종업원수) × 추정 수단 분담률 (6.1%)
주거지역 & DRT 유형일 때
$= \frac{\text{DRT 서비스로 접근 가능 격자 수}}{\text{기존정류소 접근 가능 격자 수}}$ ×인근 버스정류소 승차수요

<지역에 따른 수요 추정 수식>

03 연구결과

연구결과(2/3)

❖ 시나리오별 노선 유형

➢ 환승연계형 노선, 통근 A · B 형의 노선안 제시

➢ 노선이 편방향이고 환승 거점이 뚜렷한 지역의 특성상 시간대별 각각 승차,하차의 총 합은 종점(과학아울림아람)에서 하차, 탑승자의 수로 가정함

➢ 지역내 차량운행 2대일 경우는 환승연계형 , 통근 A · B는 각 1대로 운행

❖ 시간대 별 노선의 탑승 및 하차 비율

➢ 지역 유형이 주거지일때는 주거지역의 교통 특성을 띄는 버스 승·하차 비율을 이용함

➢ 기존 버스 정류소가 없는 공단 유형일때는 공단내 택시 승·하차 비율을 이용함

노선명	대수 (대)	배차간격 (분)	정류소 (개)	거리 (km)
환승연계형	1	20	8	4.1
통근A형	1	25	7	4.6
통근B형			9	7.9

(DRT 계획 노선도 & 시나리오별 노선 운행안)

시간대	승차	하차
5	1.6%	1.7%
6	7.2%	1.1%
7	20.4%	4.9%
8	10.9%	5.9%
9	6.4%	1.9%
10	4.2%	2.6%
11	4.8%	3.2%
12	5.3%	4.9%
13	3.2%	4.3%
14	3.4%	5.3%
15	6.2%	5.8%
16	5.8%	12.3%
17	6.9%	6.9%
18	5.0%	10.4%
19	3.5%	7.6%
20	2.3%	4.3%
21	1.1%	6.0%
22	0.7%	4.3%
23	0.0%	1.6%

<구지역 버스 승·하차 비율>

시간대	승차	하차
5	2.7%	2.7%
6	1.0%	0.9%
7	1.9%	1.9%
8	4.7%	6.4%
9	3.9%	3.7%
10	2.6%	2.6%
11	3.7%	3.2%
12	5.0%	5.3%
13	5.9%	5.6%
14	5.6%	5.6%
15	5.2%	6.2%
16	6.7%	9.6%
17	12.7%	11.3%
18	13.4%	14.8%
19	7.1%	8.0%
20	11.5%	12.0%
21	5.7%	5.5%
22	4.6%	4.1%
23	4.2%	4.7%

<국가산업단지내 택시 승·하차 비율>

계명대학교
데이터 분석을 통한 DRT 최적 정류소 입지 선정 및
수요 추정 프레임워크 개발 : 대구 국가산업단지를 대상으로

03 연구결과

연구결과(3/3)

❖ 노선 시나리오 기준 1회 순환 기준 채차인원

➢ 환승연계형 노선의 차량대수가 1대이고 배차간격이 20분 기준

➢ 7시 기준 차종에 따라 탑승이 불가 상황일 수도 있음

➢ 통근 A · B형 노선의 차량대수가 1대이고 배차간격이 25분 기준

➢ M정두시 채차인원의 수요가 비교적 낮음

04 결론 및 향후 연구

결론

- 제한된 데이터로도 DRT 초기 운영에 필요한 개략적인 수요 예측이 가능하기에 실무적으로 대구시 등기 DRT 도입 계획지역에 분석 적용하여 DRT를 운영할 수 있는 수준의 정류소별 승하차 인원을 산정 가능함
- 환승연계점에서 7시에 최대 탑승 인원이 15명을 초과함에 따라, 올라티(15인승)만으로는 서비스 제공에 한계가 있어 카운티(25인승)를 탄력적으로 투입하고 이에 따른 노선 조정을 통해 운영 효율성을 높일 수 있음
- 또한, 수요예측을 위한 산정식을 통해서 공단 지역과 주거지역에 대한 별도의 수요 예측을 가능하게 해줌으로써, 지역별 특성에 맞춘 유동적인 DRT 운행 등 다양한 교통 서비스 계획을 세울 수 있음
- 한계점으로는 거시적인 수준의 분석으로 구체적인 개별 이동의 OD 산정이 어렵고, 타 수단 이용자의 DRT로의 전환수요를 반영하지 못하며, 기존 버스와의 수요 분배 문제를 고려하기가 어려움

향후연구

- 시간대별 수요 변동, 계절적 요인, 그리고 장기적인 인구 변화 등을 고려한 더욱 정교한 프레임워크 개발이 필요함
- 도시 규모, 인구 밀도, 지형적 특성, 사회경제적 요인이 상이한 지역에서의 방법론 적용 결과를 비교 분석하여 프레임워크의 실효성과 확장성에 대한 검증 필요함
- DRT 시스템의 효과적인 설계와 운영을 위한 보다 정확하고 신뢰할 수 있는 프레임워크가 기대됨
- 현재 대구형 DRT는 협두시에는 고정형 노선이므로 추후 유동적인 운행 가능 시 그에 맞는 프레임워크의 규칙이 필요함

데이터 분석을 통한 DRT 최적 정류소 입지 선정 및 수요 추정 프레임워크 개발
: 대구 국가산업단지를 대상으로

감사합니다.

분산 CCTV 환경에서의 연합학습 기반 도로 감시 시스템: 시공간 키포인트 트랜스포머 네트워크를 이용한 보행자 쓰러짐 감지

Federated Learning-based Road Surveillance System in Distributed CCTV Environment: Pedestrian Fall Detection using Spatio-Temporal Keypoints Transformer Networks

김병훈
(순천향대학교 미래융합기술학과, 석사과정)

노병준
(순천향대학교 AI·빅데이터학과, 조교수)

Key Words : 보행자 쓰러짐 감지, 연합학습, 키포인트 트랜스포머, 지능형 CCTV

목 차

Ⅰ. 서론 ····· 1
Ⅱ. 제안 방법 ····· 1
Ⅲ. 실험 및 결과 ····· 2
Ⅳ. 결론 및 향후연구 ····· 4

Ⅰ. 서론

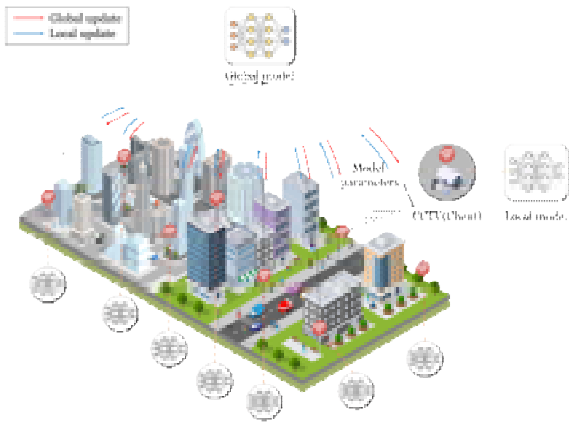
보행자 쓰러짐은 신체적, 정신적 건강에 심각한 영향을 미치며, 특히 도로 환경에서의 쓰러짐은 교통안전에 직접적인 위협이 된다 [1]. 이러한 문제를 해결하기 위해 지능형 CCTV와 컴퓨터 비전 및 딥러닝 기술을 결합하여 보행자 쓰러짐을 감지하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다 [2-3].

그러나 현재의 교통안전 시스템은 데이터를 서버에서 관리하는 중앙집중식 학습방식을 사용하고 있어, CCTV와 중앙 서버(교통정보센터) 간의 데이터 공유 과정에서 개인정보 유출과 통신 병목 현상 등의 문제가 발생한다 [4]. 또한, 도심 전반에 걸쳐 설치된 수많은 CCTV는 설치 방향, 위치, 조명 조건 등이 다양해 성능이 불안정하다.

이러한 문제를 해결하기 위해 연합학습 기술을 도시 CCTV 시스템에 접목하는 것은 매우 효과적이다. <그림 1>에서 볼 수 있듯이, 연합학습은 개별 CCTV가 로컬 데이터를 학습하고 모델 파라미터만 중앙 서버와 공유함으로써 보행자의 개인정보를 보호하고 데이터 병목 현상을 완화할 수 있다 [5]. 또한, 모델 간 파라미터 공유를 통해 환경 변화로 인해 발생할 수 있는 모델 성능 불안정 문제를 효과적으로 해결할 수 있다.

연합학습에는 경량화된 모델이 필수적이나, 기존에 널리 사용되는 이미지 기반의 쓰러짐 감지 모델은 파라미터 수가 많고 조명 변화 및 가려짐에 취약하다. 따라서 적은 파라미터로 정밀한 시공간적 특징을 추출할 수 있는 모델의 구축은 필수적이다.

본 논문에서는 분산 CCTV 환경에서의 보행자 안전을 확보하기 위한 연합학습 기반의 쓰러짐 감지 시스템을 제안한다. 제안한 시스템은 시공간적 특징을 효과적으로 추출하기 위한 키포인트 트랜스포머 기반의 모델을 연합학습 프레임워크에 통합한다. 이러한 시스템은 적은 파라미터로 통신 효율을 보장하면서 정확한 쓰러짐 감지 성능을 달성할 수 있어 도로교통 환경에서 효과적인 쓰러짐 감지 시스템을 구현할 수 있다.



<그림 1> 연합학습 개념도

Ⅱ. 제안 방법

1. 데이터 전처리

환경 및 시점이 다양한 CCTV 영상 데이터를 효율적으로 처리하기 위해서는 시간과 리소스를 절감할 수 있는 파이프라인을 구축하는 것이 중요하다. 따라서 본 연구에서는 1단계

자세 추정 모델 You Look Only Once version 8 (YOLOv8)을 사용하여 보행자의 키포인트를 추출한다. 모델은 프레임 정보를 입력받아 객체의 Bounding box와 좌푯값(x,y)을 출력한다.

이후 보행자를 지속적으로 추적하기 위해 The Bag of Tricks for Simple Online and Real-time Tracking (BoT-SORT) 알고리즘[6]을 적용한다. BoT-SORT는 기존 알고리즘의 한계를 극복하고, 추적 정확도를 크게 개선한 최신 기법으로, 복잡한 시나리오와 다중 객체 환경에서도 강건한 추적 성능을 제공한다. 이를 통해, 다양한 시나리오와 여러 보행자가 등장하는 복잡한 환경에서도 안정적이고 정확한 객체 추적이 가능하다.

2. 쓰러짐 감지 모델

<그림 2>는 제안한 모델의 전체 아키텍처를 보여준다. 모델은 시공간적 특징을 추출하기 위한 두 개의 트랜스포머 인코더로 구성되며, 입력 데이터는 이전 단계에서 추출한 키포인트 좌표 (x,y)로 이루어진 시퀀스이다. 모델은 키포인트 시퀀스를 임베딩 차원 d로 변환하여 키포인트 임베딩(z_e)을 생성한다. 이후, 공간 위치 임베딩(p_s)을 결합하여 공간 특징을 학습할 수 있는 입력 표현(h_s)을 생성하고, 이는 공간 인코더의 입력으로 사용된다.

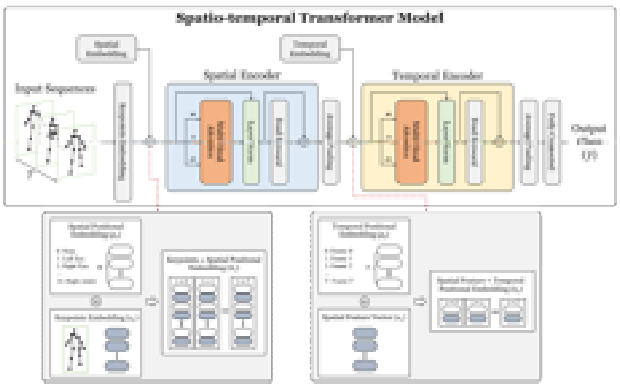
$$h_s = z_e \oplus p_s \tag{1}$$

공간 인코더는 키포인트 간의 복잡한 상호작용을 포착하기 위해 멀티 헤드 어텐션 메커니즘을 적용하여, 각 프레임마다 공간적 특징을 추출한다. 생성된 공간 특징 임베딩은 각 키포인트 간의 상호작용을 반영하며, 레이어 정규화와 피드포워드 신경망을 통해 추가로 처리된다. 이 과정에서 skip connection이 적용되어 원본 정보의 손실을 방지하고 모델의 학습 안정성을 높인다.

이렇게 얻어진 공간 특징(z_s)은 시간 위치 임베딩(p_t)과 결합되어 시간 인코더에 입력된다.

$$h_t = z_s \oplus p_t \tag{2}$$

시간 인코더는 프레임 간의 시간적 상호작용을 학습하며, 최종적으로 시공간적 패턴을 반영한 표현 벡터(z_t)를 생성한다. 이 표현 벡터는 완전 연결 레이어와 소프트맥스 함수를 거쳐 최종 예측값$(\hat{y})$을 얻는다.



<그림 2> 제안 모델 전체 아키텍처

3. 연합학습 프레임워크

본 연구에서는 연합학습을 구현하기 위해 가장 널리 사용되는 Federated Averaging (FedAvg) 알고리즘을 사용한다. FedAvg 알고리즘은 각 클라이언트가 학습한 모델 파라미터를 서버로 전송하고, 서버가 이를 평균화하여 글로벌 모델을 업데이트하는 방식으로 작동한다.

알고리즘에서 설정할 하이퍼파라미터에는 통신 클라이언트 수 K, 선택 클라이언트 비율 C, 통신 라운드 R, 로컬 배치 크기 B 로컬 훈련 에포크 수 E, 학습 속도 η가 포함된다. 서버는 첫 번째 통신 라운드에서 모델 가중치를 w_0로 초기화하여 각 클라이언트에 배포한다.

각 라운드에서 선택 클라이언트 비율 C에 따라 무작위로 선택된 클라이언트 S_t는 로컬 데이터를 사용하여 모델 업데이트를 수행한다. 로컬 훈련 중에 각 클라이언트는 데이터를 배치 크기로 나누고 로컬 모델 가중치를 업데이트한다. 모든 배치에 대한 업데이트가 완료되면 각 클라이언트는 로컬 모델 가중치 w^t를 서버로 전송한다.

서버는 클라이언트로부터 전송받은 로컬 모델 가중치의 평균을 계산하여 새로운 글로벌 모델 가중치 w^{t+1}를 산출한다.

$$w^{t+1} = \frac{1}{|S_t|} \sum_{k \in S_t} w_k^{t+1} \tag{3}$$

이러한 과정을 통해 얻은 글로벌 모델 가중치 w^{t+1}를 각 클라이언트에 재전송한다. 이 과정을 통신 라운드 R만큼 반복하며, 최종적으로 전체 클라이언트의 정보를 포함하는 글로벌 모델 가중치 W를 획득한다.

III. 실험 및 결과

1. 실험 설계

본 연구에서는 제안한 시스템의 효과를 입증하기 위해 두 가지 주요 실험을 진행하였다. 먼저 제안한 모델의 성능을 검증하기 위해, 이전 연구에서 제안된 베이스라인 모델을 기준으로 쓰러짐 감지 성능을 비교 평가한다. 이후 연합학습 기반 프레임워크의 효율성을 평가하기 위해, 동일한 쓰러짐 감지 모델을 중앙 집중식 처리와 연합학습 기반 처리로 구현하여 두 접근 방식의 성능과 효율성을 검증한다.

1) 데이터 설명

제안한 쓰러짐 감지 모델은 AI-Hub에서 제공하는 “낙상 사고 위험 행동 영상-센서 쌍 데이터” 데이터셋[7]을 사용하여 학습 및 평가를 수행하였다. 데이터셋은 정상 및 3가지 쓰러짐 유형(측면, 정면, 후면)의 총 22,672개의 영상 샘플로 구성되어 있으며, 각 영상은 8가지 각도로 설치된 카메라로 촬영되었다. <표 1>은 AI-Hub 데이터 세트에 포함된 쓰러짐 유형별 영상 개수를 보여준다.

<표 2> 쓰러짐 감지 성능평가 결과

Model	Accuracy(%)	Precision(%)	Recall(%)	F1-score	Params(M)
2D-CNN+LSTM	89.77	88.17	87.84	87.99	7.47
3D-CNN	88.36	86.67	86.10	86.33	72.53
GCN+LSTM	82.54	79.59	78.07	78.51	0.77
Ours	**94.99**	**94.40**	**94.08**	**94.23**	**0.32**

*Note: M=Million

원본 영상은 60 FPS로 10초 동안 녹화되었으나, 본 연구에서는 쓰러짐을 포함한 3초 길이의 영상만 추출하였다. 또한, 프레임 간 차이를 더 명확하게 하고 모델이 쓰러짐 동작의 세부적인 변화를 효과적으로 인식할 수 있도록 프레임 속도를 15 FPS로 다운샘플링하였다.

전체 데이터셋은 모델 훈련, 검증, 테스트를 위해 각각 60:20:20 비율로 무작위 분할되었으며, 연합학습 실험에서는 서로 다른 위치의 카메라를 개별 클라이언트로 구성하여 총 56개의 클라이언트가 각자의 로컬 데이터셋을 개별적으로 나누었다.

<표 1> AI-Hub 데이터 세트의 클래스 및 영상 개수

ID	Description	# of videos
0	Forward-Falls	7,736
1	Sideways-Falls	3,440
2	Backward-Falls	5,816
3	Non-Falls	5,680

2) 평가 지표

실험에서는 정확도, 정밀도, 재현율, F1-score와 같은 평가 지표를 사용하여 제안된 쓰러짐 감지 모델과 베이스라인 모델을 비교 검증한다.

정확도는 올바르게 인식된 클래스의 비율로 정의된다. 정밀도는 예측된 모든 쓰러짐 이벤트 중 올바르게 감지된 쓰러짐의 비율이며, 재현율은 모든 실제 쓰러짐 이벤트에 대해 올바르게 인식된 쓰러짐의 비율이다. 마지막으로 F1-score는 정밀도와 재현율의 조화 평균으로 계산된다. 본 논문에서는 모든 지표를 %로 표현하며, 각 지표에 대한 공식은 다음과 같다.

$$Accuracy(\%) = \frac{TP+FP}{TP+FP+TN+FN} \times 100 \quad (4)$$

$$\Pr ecision(\%) = \frac{TP}{TP+FP} \times 100 \quad (5)$$

$$Recall(\%) = \frac{TP}{TP+FN} \times 100 \quad (6)$$

$$F1-score = 2 \times \frac{\Pr ecision \times Recall}{\Pr ecision + Recall} \quad (7)$$

2. 실험 결과

1) 쓰러짐 감지 성능평가

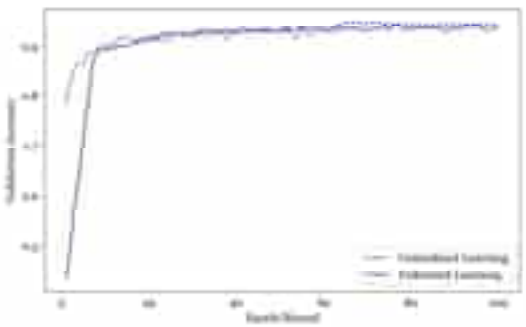
제안된 모델의 성능을 평가하기 위해 2D-CNN+LSTM, GCN+LSTM, 3D-CNN의 최신 쓰러짐 감지 기법들과 비교하여 성능을 검증하였다. 모델 훈련 간, 배치크기 16, 에포크 100로 고정하였다.

<표 2>는 제안된 모델과 베이스라인 모델의 성능 비교 결과 표를 보여준다. 제안 모델은 정확도, 정밀도, 재현율, F1-score 등 모든 평가 지표에서 베이스라인 모델보다 우수한 성능을 보여준다. 제안 모델의 정확도는 약 94.99%, 정밀도는 약 94.40%, 재현율은 약 94.08%, F1-score는 약 94.23%로 베이스라인 중 가장 성능이 높은 2D-CNN+LSTM 모델보다 약 5% 이상 높다. 이러한 결과는 제안된 모델이 쓰러짐 감지 작업에서 더 효과적이라는 것을 시사한다.

2) 연합학습 성능평가

본 실험에서는 56개의 분산된 CCTV 카메라를 클라이언트로 지정하였으며, 전체 클라이언트의 70%를 각 통신 라운드에 무작위로 참여시킨다. 실험에서는 통신 라운드 수 100, 에포크 3, 배치 크기 16을 사용한다.

<그림 3>은 쓰러짐 감지 모델에 대한 연합학습 방식과 중앙 집중식 방법의 학습 과정 그래프를 보여준다. 중앙 집중식 방식은 초기에 약 70% 이상의 높은 정확도를 보이며, 약 60에포크 이후에 최고 정확도에 도달한다. 그러나, 학습 과정에서 정확도가 변동되는 경향이 있다. 반면, 연합학습 방식은 초기 학습 수렴을 위해 더 많은 라운드가 필요하지만, 학습 과정이 더 안정적인 경향을 보인다. 초기 정확도는 중앙 집중식 방법보다 낮지만, 라운드가 진행됨에 따라 꾸준히 개선되어 최종적으로 중앙 집중식 방법과 유사한 정확도에 도달한다.



<그림 3> 연합학습 및 중앙집중식 처리 방법의 학습과정 비교 그래프

결론적으로 연합 학습 방식은 중앙 집중식 방식보다 1% 낮은 성능을 보인다. 그러나, 이는 연합학습의 개인정보 보호와 통신 비용 절감 등의 장점을 고려할 때 충분히 수용 가능한 결과이다. 이러한 장점은 실제 환경의 다양한 상황과 조건을 고려해야 하는 쓰러짐 감지 시스템에 특히 중요하다. 따라서 연합학습 방식은 개인정보를 보호하면서 분산된 데이터를 효과적으로 활용할 수 있는 접근 방식으로, 쓰러짐 감지

와 같은 실제 애플리케이션에서 매우 효과적이다.

Ⅳ. 결론 및 향후연구

본 연구는 연합학습과 경량화 모델의 도입을 통해 도로교통 환경에서의 안전을 강화할 수 있는 실용적이고 효율적인 솔루션을 제공한다. 향후 연구에서는 모델의 성능을 개선하고 다양한 유형의 이상 행동 감지로 적용 범위를 넓히는 데 집중할 것이다. 도로 안전 및 보안 시스템의 중요성은 더욱 커질 것이며, 본 연구는 이러한 시스템의 기반을 구축하는 데 크게 기여할 것이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 2024년 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 SW중심대학사업의 연구 결과로 수행되었습니다 (2021-0-01399).

참고문헌

1. Curl, Angela, Helen Fitt, and Melanie Tomintz. "Experiences of the built environment, falls and fear of falling outdoors among older adults: an exploratory study and future directions." International journal of environmental research and public health 17.4 (2020): 1224.
2. Li, Cuiling, et al. "Disturbance propagation model of pedestrian fall behavior in a pedestrian crowd and elimination mechanism analysis." IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems (2023).
3. Pustokhina, Irina V., et al. "An automated deep learning based anomaly detection in pedestrian walkways for vulnerable road users safety." Safety science 142 (2021): 105356.
4. Mothukuri, Viraaji, et al. "A survey on security and privacy of federated learning." Future Generation Computer Systems 115 (2021): 619-640.
5. McMahan, Brendan, et al. "Communication-efficient learning of deep networks from decentralized data." Artificial intelligence and statistics. PMLR, 2017.
6. Aharon, Nir, Roy Orfaig, and Ben-Zion Bobrovsky. "BoT-SORT: Robust associations multi-pedestrian tracking." arXiv preprint arXiv:2206.14651 (2022).
7. N. I. S. Agency, Fall accident risk behavior video-sensor pair data, https://www.aihub.or.kr/aihubdata/data/view.do?currMenu=115&topMenu=100&aihubDataSe=data&dataSetSn=71641 (2024).

2024 한국ITS학회 추계학술대회

도심 환경에서 V2X 통신 위상 구조가 자율주행 차량 반응속도에 미치는 영향

서 울 대 학 교
건설환경공학부
석박사통합과정
김 영 환

서 울 대 학 교
건설환경공학부
교 수
김 동 규

INTRODUCTION

V2V vs V2I

< V2V >

- Single communication between vehicles (A->B)
- Able to select receivers of information
- Communication receiving rate might be high (N-1)^N

< V2I >

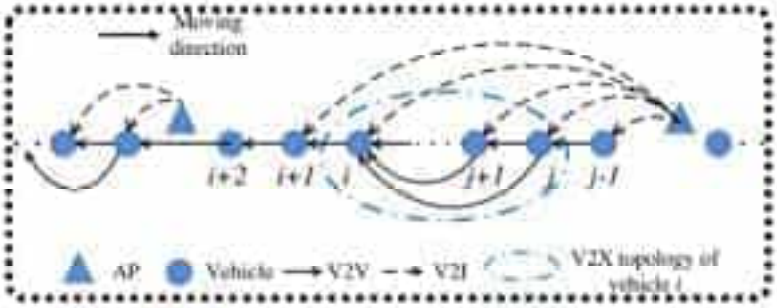
- Double communication between vehicles (A->I, I->B)
- Hard to select receivers of information
- Communication receiving rate might be low 2N

INTRODUCTION

서 울 대 학 교
SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

Cooperative vehicle communication topology

- Communicating every information with every other subject leads to channel congestion
- Topologies about vehicle communications
- Platoon forming reduces inevitable communication requirements



PF, BD, PFL, BDL, TPF, TPFL, etc.
- P : predecessor
- F : following
- BD : bidirectional
- L : leader
- T : two

< V2V communication topologies on CAV platooning scenarios>

OBJECTIVE

서 울 대 학 교
SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

Compare automated driving evaluation metrics under communication latency condition

- Measures communication latency varied on CAV penetration rate, traffic volume, vehicle speed, communication technology
- Evaluates efficiencies of automated driving evaluation metrics when communication latency has occurred

Evaluate automated vehicle control varied on V2X communication topologies

- Measures communication latency varied on V2X communication topologies
- Evaluates efficiencies of automated driving indicators under certain V2V topology

➡ Evaluate automated driving effectiveness under communication latency condition

Research Gap

- Cooperative vehicle platooning under urban condition
- Use dynamic communication latency as disturbance

TRLab Transportation Research Laboratory

LITERATURE REVIEW

서울대학교 SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

Vehicle-to-vehicle (V2V) and vehicle-to-infrastructure (V2I) communication in a heterogeneous wireless network – Performance evaluation (Dey et al., 2016)

- Het-Net (Heterogeneous wireless network) performance research consisted of Wifi, LTE, DSRC
- Communication latency measures caused by vehicle speeds, numbers, communication types through field test

< V2I field test experiment setup using Wi-Fi and LTE networks for traffic monitoring >.

< Communication Latency caused by Vehicle Speeds >

< Communication Latency caused by Vehicle Numbers and communication types >

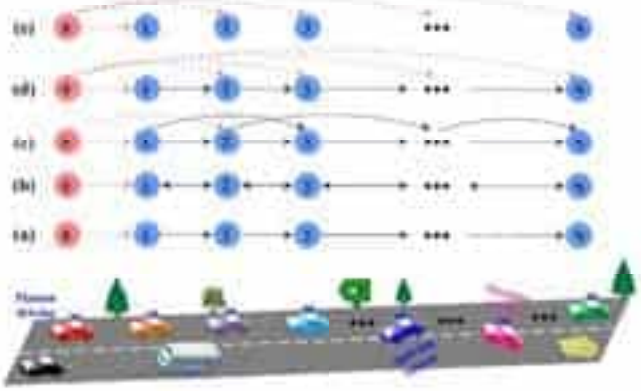
Automated vehicle communication driving parameters into simulation

LITERATURE REVIEW

서울대학교 SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

Scalable and resilient platooning control of cooperative automated vehicles (Ge et al., 2022)

- Evaluate vehicle platooning stability by measuring vehicle position trajectories, velocities, accelerations
- Scenarios based on V2V topologies under platooning conditions



Setting up automated vehicle driving scenarios passed on cooperative platoon control

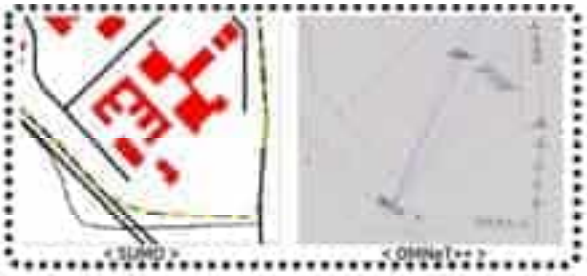
TRLab Transportation Research Laboratory

METHODOLOGY

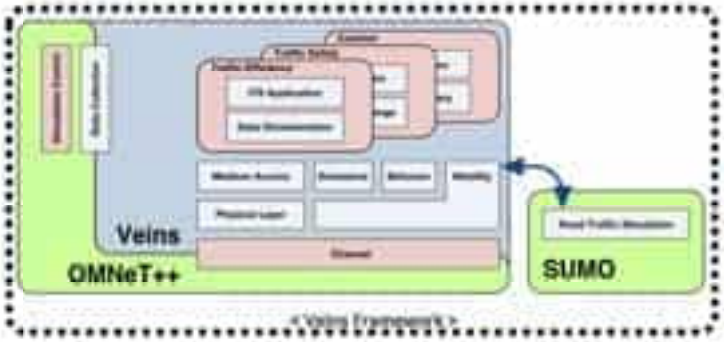
서울대학교 SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

Veins

- The open-source vehicular network simulation framework
- OMNeT++ : VANET (Vehicular Adhoc Network) simulator
- SUMO : Urban mobility simulator
- Veins : Use SUMO as add-on library in OMNeT++



< SUMO > < OMNeT++ >



< Veins Framework >

METHODOLOGY

서울대학교 SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

Sample Testbed

- University of Erlangen-Nuremberg, cities of Erlangen and Nuremberg in Bavaria, Germany
- Compose testbed under SUMO and OMNeT++

< OSM >

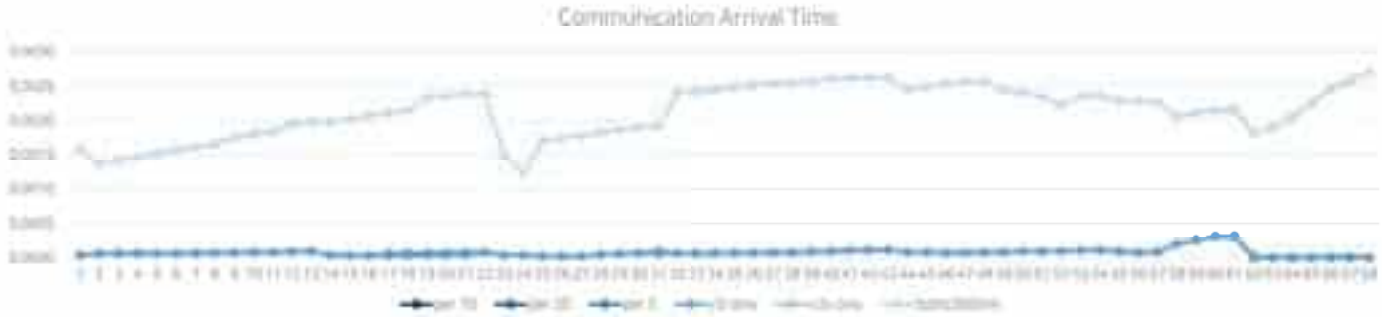
< OMNeT++ >

RESULT

서울대학교 SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

Reaction Time of Automated Vehicles

- V2X communication arrival time of each automated vehicles
- Compare time between V2X topologies
- Scenario with V2V communication between every vehicles – longer arrival time
- V2V between every 5, 10, 20 vehicles



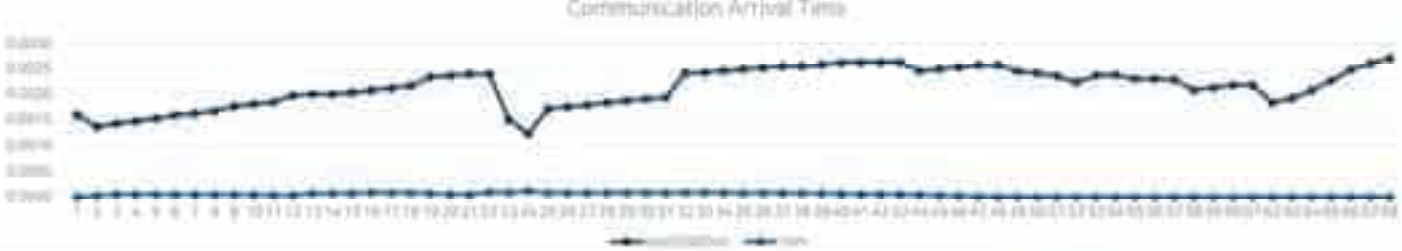
TRLab Transportation Research Laboratory

RESULT

서울대학교 SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

Reaction Time of Automated Vehicles

- Limit V2V communication range from 10m to 2,600m
- Split communication arrival time graphs to 2 closer groups



TRLab Transportation Research Laboratory

DISCUSSION

서울대학교 SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

Discussion

- This research studied the effects of V2X communication topologies on communication arrival times
- Communication arrival times can be considered as element of automated vehicles' reaction times
- Since V2V communication occurs more frequent than V2I communication, affects more critically on communication reaction times, delaying automated vehicle reaction times
- Reducing number of V2V communications by automated vehicle platooning critically reduces reaction delay time
- Reducing communication range, limiting possible arrivals decreases time for communication arrivals

FURTHER RESEARCH

서울대학교 SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

Calibrated, Larger Testbed

- Siheung, Korea, 2000 vehicles, 3600 secs
- Calibrated vehicle trips / ODs

< SUMO >

< OMNeT++ >

TRLab Transportation Research Laboratory

REFERENCES

1. Dey, K. C., Rayamajhi, A., Chowdhury, M., Bhavsar, P., & Martin, J. (2016). Vehicle-to-vehicle (V2V) and vehicle-to-infrastructure (V2I) communication in a heterogeneous wireless network–Performance evaluation. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 68, 168-184.
2. Ge, X., Han, Q. L., Wang, J., & Zhang, X. M. (2022). Scalable and resilient platooning control of cooperative automated vehicles. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 71(4), 3595-3608.
3. Xu, Q., Zhang, L., Du, D., & Yu, W. (2023). Secure intrusion detection by differentially private federated learning for inter-vehicle networks. Transportation research record, 2677(9), 421-437.
4. Nour, M., & Zaki, M. H. (2023). Toward Formalization and Monitoring of Microscopic Traffic Parameters Using Temporal Logic. Transportation Research Record, 2677(1), 625-638.
5. Bansal, G., Lu, H., Kenney, J. B., & Poellabauer, C. (2013, June). EMBARC: Error model based adaptive rate control for vehicle-to-vehicle communications. In Proceeding of the tenth ACM international workshop on Vehicular inter-networking, systems, and applications (pp. 41-50).
6. Qin, Y., Wang, H., & Ran, B. (2018). Impact of connected and automated vehicles on passenger comfort of traffic flow with vehicle-to-vehicle communications. KSCE Journal of Civil Engineering, 23, 821-832.
7. Ahmad, S. A., Hajisami, A., Krishnan, H., Ahmed-Zaid, F., & Moradi-Pari, E. (2019). V2V system congestion control validation and performance. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 68(3), 2102-2110.
8. Ma, F., Wang, J., Zhu, S., Gelbal, S. Y., Yang, Y., Aksun-Guvenc, B., & Guvenc, L. (2020). Distributed control of cooperative vehicular platoon with nonideal communication condition. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 69(8), 8207-8220.
9. Praystno, A., & Nikhaimhang, I. (2021, January). V2V network topologies for vehicle platoons with cooperative state variable feedback control. In 2021 Second International Symposium on Instrumentation, Control, Artificial Intelligence, and Robotics (ICA-SYMP) (pp. 1-4). IEEE.
10. Ge, X., Han, Q. L., Wu, Q., & Zhang, X. M. (2022). Resilient and safe platooning control of connected automated vehicles against intermittent denial-of-service attacks. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, 10(5), 1234-1251.

시사: 본 연구는 국토교통부 스마트시티 혁신인재육성사업과 2024년도 정부(경찰청)의 재원으로 과학치안진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

한국ITS학회

지역특성을 반영한 수요응답형 대중교통 서비스 OD 수요 예측 분석

- OD Demand prediction analysis of demand response public transportation service reflecting regional characteristics-

계명대학교 도시계획및교통공학과 석사과정 장윤지

계명대학교 교통공학과 부교수 권오훈

가천대학교 스마트시티학과 조교수 여지호

계명대학교

사사 : 이 논문은 한국산업기술진흥원의 산업혁신기반구축사업 지원을 받아 수행된 연구임

목차

지역특성을 반영한 수요응답형 대중교통 서비스 OD 수요 예측 분석

01 연구의 배경 및 목적

02 연구 방법론

03 연구 결과

04 결론 및 향후연구

1. 연구의 배경 및 목적

연구 배경

- ❖ DRT(Demand Responsive Transport) 서비스는 대중교통의 접근성을 높이고, 대기 시간과 이동 불편을 줄이며, 교통 혼잡을 완화하는 데 기여할 수 있어, 특히 인구 밀도가 낮거나 교통 서비스가 미비한 지역에서 중요한 역할을 하고 있음
- ❖ 최근 지역별 통합연계형 교통서비스(MaaS) 구축이 증가하면서 기존 대중교통 서비스가 어려운 지역에서 DRT 운행 수요가 늘어나고 있음
- ❖ DRT의 효율적인 운영을 위해서는 운영대수, 운영 형식 등 사전에 체계적인 DRT 운영 설계가 필요하며, 이를 위해 OD별 DRT 수요 예측이 필요함
- ❖ 그러나, DRT 운영 자료가 부족하고 지역적 특성이 상이하여 수요 예측에 어려움이 있음
- ❖ 본 연구에서 특정지역(영종도)의 운행 데이터를 이용하여 타 지역에 적용할 수 있는 모형 개발을 위해 지역적인 특성을 반영한 DRT수요 예측 모형을 개발하고자 함

연구 목적

- ❖ 타 지역에 적용할 수 있는 일반적인 지역 특성 변수와 사회지표만을 사용하여 수요 예측 모형 개발
- ❖ 체계적인 DRT 운행 및 서비스의 효율성을 높이기 위해 수요 예측 분석을 하여 DRT 서비스의 효율적인 운영을 위한 기초 자료 마련

- 1 -

01 연구의 배경 및 목적
지역특성을 반영한 수요응답형 대중교통 서비스 OD 수요 예측 분석

2. 연구의 범위 및 문헌 고찰

연구의 범위

- ❖ 시간적 범위: I-MOD 운영 데이터 수집 기간 및 구득 데이터의 시간적 범위로 적용
  - ➢ I-MOD: 인천의 영종도 지역에서 운영되는 수요 응답형 교통(Demand Responsive Transport, DRT) 서비스
  - ➢ 2021년 12월 01일~2022년 11월 30일 (총 365일)
- ❖ 사회경제적지표 데이터: 인천광역시 정류장별 일평균 승·하차, 중구 버스정류장 위치, 노선별 운행 횟수, 중구 용도지역 및 토지이용상황도,공항철도 데이터
  - ➢ I-MOD 운행 기간에 해당되는 기간 내의 데이터 활용

문헌 고찰

제목	내용
A Deep Gravity model for mobility flows generation (2021)	• [illegible] Deep Gravity model을 제안 • Deep Gravity model에 [illegible] • [illegible] Deep Gravity [illegible] • 이 논문은 Deep Gravity가 [illegible]
[illegible] 수요응답형 대중교통 수요의 [illegible] 분석 (2023)	• 수요응답형 대중교통의 [illegible] • [illegible] H3 Cell을 활용 • 인천 영종도에서 운행되었던 I-MOD [illegible] • 이 논문은 [illegible]
PGDRT: Prediction Demand Based on Graph Convolutional Network for Regional Demand (2023)	• 지역 수요응답형 교통에서 그래프 합성 신경망(GCN)을 이용한 수요 예측(PGDRT) 방법을 제안 • PGDRT는 [illegible] DRT [illegible] • [illegible] DRT [illegible] • [illegible] • [illegible] • 이 논문은 DRT [illegible] GCN [illegible]

- 2 -

02 연구 방법론

지역특성을 반영한 수요응답형 대중교통 서비스 OD 수요 예측 분석

1. 데이터 구축 방법론

❖ 1년치 데이터 필터

➢ 기존 I-MOD의 2021.02.15~2022.12.24의 데이터는 총 5,808,416개의 데이터 구성

➢ 2021.12.01~2022.11.30일까지 3,350,525개로 필터링하여 도출

❖ 중복 호출 제거

➢ 이용자 ID를 기반으로 10분 이내에 발생한 동일한 기록을 중복호출로 간주하고 제거

❖ 좌표기반 격자 매핑

➢ 가공된 호출 데이터와 국토정보플랫폼에서 제공하는 데이터를 이용하여 2023년 10월 인구수를 기반으로 250m × 250m 격자에 매핑

❖ OD테이블 생성

➢ 매핑된 데이터를 바탕으로 OD 테이블 생성하고 출발지와 목적지별 이동 빈도를 나타내며 서비스 수요 예측에 활용

❖ 승차격자와 하차격자의 직선거리 도출

❖ 통신사 유동인구 데이터를 활용

➢ 2022년 5월~2022년 11월까지 총 6개월의 데이터를 월 평균으로 산출하여 승차격자와 하차격자에 매핑

❖ GIS 분석 기반으로 해당 격자와 일치하는 사회경제적 데이터(버스정류장, 버스운행, 토지이용 등) 매핑

데이터 가공 절차

02 연구 방법론

지역특성을 반영한 수요응답형 대중교통 서비스 OD 수요 예측 분석

1. 데이터 구축 방법론

일평균 수요 데이터 (명/일)

❖ OD격자별 1년간 I-MOD 이용자 수의 총합을 365일로 나누어 일평균 OD수요 도출

변수 명(명세)	변수 명(한글)
Counts	수요
RIDE_val	승차 격자, 인구수
ALIGHT_val	하차 격자, 인구수
RIDE_floating population	승차 격자, 유동인구
ALIGHT_floating population	하차 격자, 유동인구
RIDE_route_count	승차 격자, 격자 내 노선(중복) 수
ALIGHT_route_count	하차 격자, 격자 내 노선(중복) 수
RIDE_RouteSum	승차 격자, 격자 내 노선(중복) 일평균 운행횟수 합계
ALIGHT_RouteSum	하차 격자, 격자 내 노선(중복) 일평균 운행횟수 합계
RIDE_Station_count	승차 격자, 격자 내 정류장 수
ALIGHT_Station_count	하차 격자, 격자 내 정류장 수
Ride_StationSum	승차격자 내 정류장 일평균 승차 합계
Alight_StationSum	하차격자 내 정류장 일평균 하차 합계
Ride_LandUse	승차 격자, 토지이용상황명
Alight_LandUse	하차 격자, 토지이용상황명
Ride_Zoning	승차 격자, 용도지역구분
Alight_Zoning	하차 격자, 용도지역구분
RIDE_MinDistance(m)	승차 격자, 지하철역과 격자의 중심점 최단직선거리
ALIGHT_MinDistance(m)	하차 격자, 지하철역과 격자의 중심점 최단직선거리
distance_m	승차격자와 하차격자의 직선거리

시간대별 수요 데이터 (명/시간)

❖ 일평균 OD수요 산출과정에서 시간대별로 구분하여 I-MOD 이용자 수의 시간대별 총합을 365일로 나누어 시간대별 평균 OD수요 도출

변수 명(명세)	변수 명(한글)
Counts	수요
Hour	시간대
RIDE_val	승차 격자, 인구수
ALIGHT_val	하차 격자, 인구수
RIDE_floating population	승차 격자, 유동인구
ALIGHT_floating population	하차 격자, 유동인구
RIDE_route_count	승차 격자, 격자 내 노선(중복) 수
ALIGHT_route_count	하차 격자, 격자 내 노선(중복) 수
RIDE_RouteSum	승차 격자, 격자 내 노선(중복) 일평균 운행횟수 합계
ALIGHT_RouteSum	하차 격자, 격자 내 노선(중복) 일평균 운행횟수 합계
RIDE_Station_count	승차 격자, 격자 내 정류장 수
ALIGHT_Station_count	하차 격자, 격자 내 정류장 수
Ride_StationSum	승차격자 내 정류장 일평균 승차 합계
Alight_StationSum	하차격자 내 정류장 일평균 하차 합계
Ride_LandUse	승차 격자, 토지이용상황명
Alight_LandUse	하차 격자, 토지이용상황명
Ride_Zoning	승차 격자, 용도지역구분
Alight_Zoning	하차 격자, 용도지역구분
RIDE_MinDistance(m)	승차 격자, 지하철역과 격자의 중심점 최단직선거리
ALIGHT_MinDistance(m)	하차 격자, 지하철역과 격자의 중심점 최단직선거리
distance_m	승차격자와 하차격자의 직선거리

2. 모델 비교

AutoGluon 의 개념

❖ AutoGluon은 원시 데이터를 기반으로 머신러닝 모델을 신속하게 생성하고 배포할 수 있도록 설계된 자동화된 머신러닝 도구임

❖ N개의 모델을 학습한 다음에 N개의 모델을 각각 비교해 가장 좋은 모델을 채택

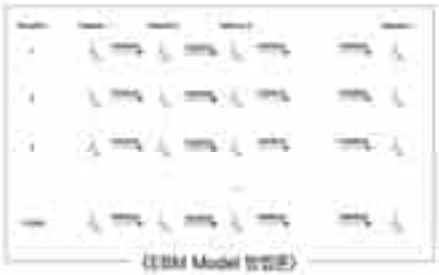
❖ 복잡한 기능이나 데이터 전처리 없이 바로 학습 진행가능하며 학습이 완료된 후 모델별로 학습 데이터와 테스트 데이터에 대한 평가 결과(특성 중요도, 평가지표 등)를 비교확인 할 수 있음

- 알고리즘 종류: 랜덤포레스트, XGBoost, Light GBM, KNN, ExtraTrees, CatBoost, DNN 및 앙상블, 스태킹 모델

EBM의 개념

❖ EBM(Explainable Boosting Machine)

- 기존 높은 성능인 부스팅 모델에 준하는 성능을 가지며 의사결정 과정을 해석 가능하고 높은 예측 성능을 동시에 추구하는 화이트 머신러닝 알고리즘
- 전통적인 그래디언트 부스팅머신(GBM)의 강력한 예측 능력과 일반화 가법 모델(GAM)의 해석 가능성을 결합
- 가산성을 유지하기 때문에 개별 변수 및 변수 간 상호 작용 기여도를 확인 가능함
- 변수의 중요도 및 변수사이의 상호작용함을 파악하면서도 앙상블 기반의 머신러닝 모델급 성능을 가지고 있는 EBM 모델을 활용함



(EBM Model 방법론)

2. 모델 비교

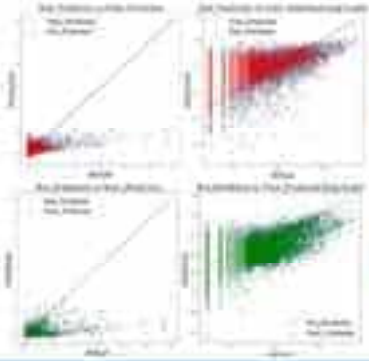
AutoGluon과 EBM 비교 및 선정

❖ **EBM**의 경우 일부 값들이 0 근처에서 편향되거나 예측 값이 덜 정확한 경향을 보이며 특히 작은 값에서의 예측이 덜 정확함

❖ **AutoGluon**은 EBM에 비해 전반적으로 예측이 더 정확하고, 데이터의 분포가 선형에 가까워지는 모습을 나타냄

❖ **로그 스케일 분석결과,** EBM은 작은 값들에서 편차가 크게 나타나지만 AutoGluon에서는 작은 값에서 상대적으로 편차가 일하고 예측 성능이 더 일관된 경향을 보임

❖ 결론적으로, 두 모델 모두 큰 값에서는 예측 오차가 존재하며 예측 성능을 종합적으로 평가할 때 AutoGluon을 이용한 WeightedEnsemble_L2 Model이 더 좋은 모델로 나타나 최종 모형으로 선택함

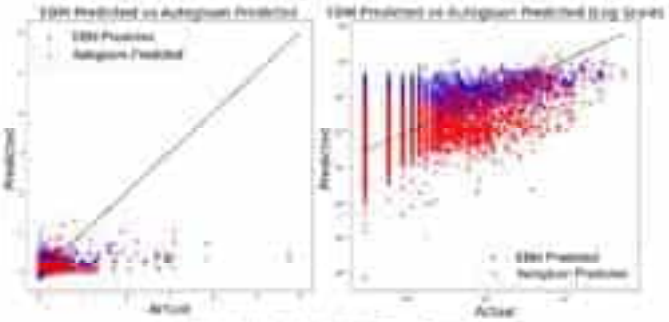


EBM

Train MAE: 0.09557976
Test MAE: 0.09888437

AutoGluon

Train MAE: 0.060619784
Test MAE: 0.067482774



(모델 간 예측 수요 비교(일평균 수요 데이터))

03 연구 결과

지역특성을 반영한 수요응답형 대중교통 서비스 OD 수요 예측 분석

1. 변수별 상관관계

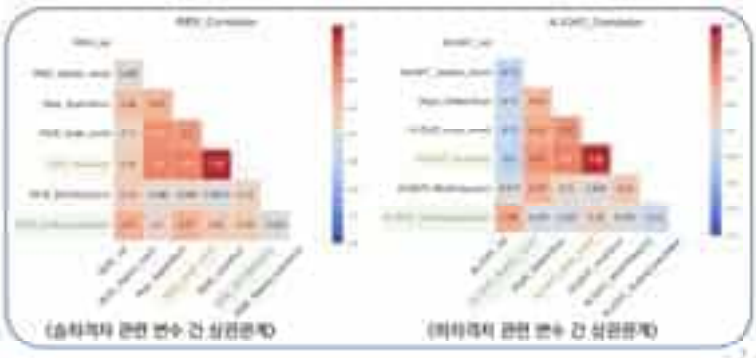
❖ 격자별 다른 변수 간 상관관계 분석 결과

- 승차격자 관련 변수 간 상관관계는 '격자 내 노선(종복) 일평균 운행횟수 합계(RIDE_routeSum)'와 '격자 내 노선(종복) 수(RIDE_route_Count)' 간에 매우 강한 양의 상관관계로 나타나며 '지하철역과 격자의 중심점 최단직선거리(RIDE_MinDistance(m))'와 '유동인구(RIDE_floating population)' 간에는 약한 음의 상관관계로 상관관계로 유의미한 관계가 거의 없음
- 하차격자 관련 변수 간 상관관계는 '격자 내 노선(종복) 일평균 운행횟수 합계(RIDE_routeSum)'와 '격자 내 노선(종복) 수(RIDE_route_Count)' 간에 매우 강한 양의 상관관계로 나타나며 '유동인구(ALIGHT_floating population)'와 ' 버스 정류장 수(ALIGHT_route_count)' 간에는 약한 음의 상관관계로 유의미한 관계가 거의 없음

❖ 타겟변수인 수요(counts)와 다른 변수 간 상관관계 분석 결과,

일평균 수요 데이터와 시간대별 수요 데이터 모두 비슷한 경향을 보임

- 하차 격자의 유동인구 > 승차 격자의 유동인구 > 승차 격자의 일평균 버스 승차 수 순으로 상대적으로 강한 양의 상관관계를 지니고 있음
- 하차격자의 용도지역구분(ALIGHT_Zoing), 승차격자와 지하철역과의 최단직선거리(RIDE_MinDistance(m))는 비교적 강한 음의 상관관계를 지니고 있음



(승차격자 관련 변수 간 상관관계) (하차격자 관련 변수 간 상관관계)

(수요와 변수 간 상관관계(일평균 수요 데이터)) (수요와 변수 간 상관관계(시간대별 수요 데이터))

03 연구 결과

지역특성을 반영한 수요응답형 대중교통 서비스 OD 수요 예측 분석

2. 앙상블 모델 수요 예측 결과

❖ Autogluon 패키지를 이용하여 앙상블 모델 수요 예측 결과

- 일평균 수요 데이터의 경우, 수요 예측 과정 중 가장 중요한 변수는 "하차격자의 유동인구", "승차격자의 일평균 버스 승차 수", "승차격자의 토지이용상황명" 순으로 나타남
- 시간대별 수요 데이터의 경우, 수요 예측 과정 중 가장 중요한 변수는 "하차격자의 인구수", "하차격자의 유동인구", "시간대" 순으로 나타남

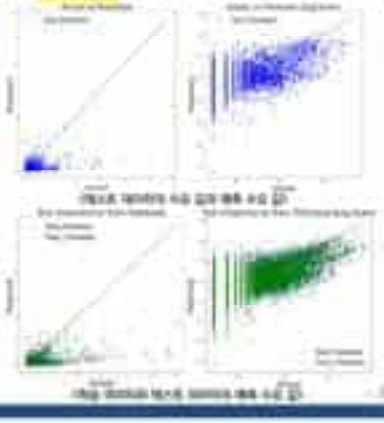
❖ MAE(Mean Absolute Error, 평균절대오차)를 통해 모델의 성능을 평가한 결과 값이 낮을수록 모델의 예측이 실제 값에 가까움

- 일평균 수요 데이터의 경우, 학습 데이터와 테스트 데이터의 실제 수요 값의 평균은 0.081521, 0.082255 으로 나타나며 MAE가 각각 0.060619, 0.067482으로 나타남
- 학습 데이터와 테스트 데이터의 MAE 차이는 ~ 0.0088 정도로 비교적 작아 모델의 일반화 성능이 양호하다고 할 수 있음
- 시간대별 수요 데이터의 경우, 학습 데이터와 테스트 데이터의 실제 수요 값의 평균은 0.004296, 0.004317으로 나타나며 MAE가 각각 0.002768, 0.003333으로 나타남
- 학습 데이터와 테스트 데이터의 MAE차이는 ~ 0.00056 정도로 비교적 작아 모델의 일반화 성능이 양호하다고 할 수 있음

일평균 수요 데이터

ALIGHT_floating population	[illegible]
Ride_MinDistance	[illegible]
Ride_LandUse	[illegible]
Distance_m	[illegible]
Right_LandUse	[illegible]
ALIGHT_cat	[illegible]
RIDE_MinDistance	[illegible]
Ride_Zoning	[illegible]
RIDE_floating population	[illegible]
RIDE_Bottom_count	[illegible]
Right_MinDistance	[illegible]
ALIGHT_routeSum	[illegible]
Right_Zoning	[illegible]
RIDE_cat	[illegible]
ALIGHT_floating population	[illegible]
RIDE_route_count	[illegible]
ALIGHT_MinDistance	[illegible]
RIDE_routeSum	[illegible]
ALIGHT_route_count	[illegible]

[illegible]	0.060619
[illegible]	0.067482

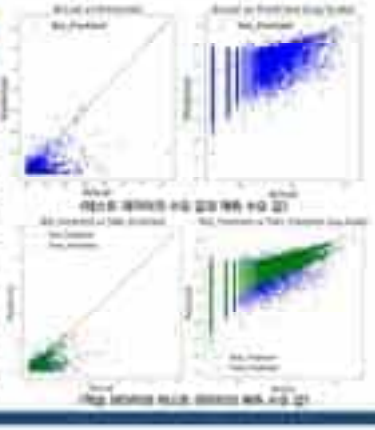


(테스트 데이터의 수요 값과 예측 수요 값)

시간대별 수요 데이터

ALIGHT_cat	[illegible]
ALIGHT_floating population	[illegible]
Ride_MinDistance	[illegible]
Ride_LandUse	[illegible]
Distance_m	[illegible]
Right_LandUse	[illegible]
ALIGHT_cat	[illegible]
RIDE_MinDistance	[illegible]
Ride_Zoning	[illegible]
RIDE_floating population	[illegible]
RIDE_Bottom_count	[illegible]
Right_MinDistance	[illegible]
ALIGHT_routeSum	[illegible]
Right_Zoning	[illegible]
RIDE_cat	[illegible]
RIDE_floating population	[illegible]
RIDE_route_count	[illegible]
RIDE_Bottom_count	[illegible]
ALIGHT_floating population	[illegible]
ALIGHT_routeSum	[illegible]
ALIGHT_route_count	[illegible]
Right_Zoning	[illegible]

[illegible]	0.002768
[illegible]	0.003333



(테스트 데이터의 수요 값과 예측 수요 값)

3. OD 수요 예측 결과 (Test Data)

일평균 수요 데이터

❖ 일평균 수요 테스트 데이터의 실제 수요와 예측 수요 값의 OD 상위20%로 총 600개 데이터 도출함

❖ 실제 수요와 예측수요의 이동 패턴은 비슷한 양상을 보임

- 실제 수요와 예측수요 모두에서 문서역 및 고등학교가 위치한 격자와 영종하늘도시 하성마크드림 및 주변 아파트가 위치한 격자 간 OD이동이 빈번한 구간으로 나타남
- 또한, 인천공항과 상업 밀집 지역인 운서역, 주거 단지 지역인 남위공원 인근 지역 간의 OD 이동 빈도가 높게 나타나, 해당 구간이 출퇴근 및 상업 활동이 활발한 구간으로 예측됨

(~MOD OD 수요 상위 20%)

(~MOD OD 예측수요 상위 20%)

시간대별 수요 데이터(1/3)

❖ 시간대별(7시) 수요 테스트 데이터의 실제 수요와 예측 수요 값 OD 상위20%로 총 602개의 데이터 도출함

❖ 실제 수요와 예측수요의 이동 패턴은 비슷한 양상을 보임

- 실제 수요에서 합동 청사역과 신세계백화점이 위치한 격자와 주거 단지 지역 간의 OD이동 빈도가 높게 나타나 출퇴근 및 상업 활동이 활발한 구간으로 예측됨
- 예측 수요에서는 주거단지에서 영종역 가는 OD, 운서역 주변에서 주거단지의 OD, 주거단지에서 인천공항가는 OD이동 빈도가 높게 나타남

(OD 수요 상위 20% 7시)

(OD 예측수요 상위 20% 7시)

03 연구 결과

지역특성을 반영한 수요응답형 대중교통 서비스 OD 수요 예측 분석

3. OD 수요 예측 결과 (Test Data)

시간대별 수요 데이터(2/3)

❖ 시간대별(15시) 수요 테스트 데이터의 실제 수요와 예측 수요 값 OD 상위20%로 총 595개의 데이터 도출함

❖ 실제 수요와 예측수요의 이동 패턴은 비슷한 양상을 보임

- 실제 수요와 예측 수요 모두 중앙에서 서쪽으로의 이동이 빈번하며 인천공항에서 서쪽으로 이동하는 패턴을 보임
- 서쪽에는 주로 상업시설(롯데몰, 영화관 등)이 분포해 있으며 시간대를 고려하여 여가 활동을 위해 이동하는 수요로 예측됨

(OD 수요 상위 20% 15시)

(OD 예측수요 상위 20% 15시)

시간대별 수요 데이터(3/3)

❖ 시간대별(18시) 수요 테스트 데이터의 실제 수요와 예측 수요 값 OD 상위20%로 총 597개의 데이터 도출함

❖ 실제 수요와 예측수요의 이동 패턴은 비슷한 양상을 보임

- 실제 수요와 예측 수요 모두 인천공항에서 초등학교로 이동하는 수요, 중심상업지역에서 주거단지로 가는 수요, 초등학교에서 중심상업지역으로 이동하는 수요가 가장 많음
- 주로 퇴근, 부모의 자녀 학업, 귀가 또는 학원으로의 이동이 활발한 OD로 예상됨

(OD 수요 상위 20% 18시)

(OD 예측수요 상위 20% 18시)

04 결론 및 향후 연구

지역특성을 반영한 수요응답형 대중교통 서비스 OD 수요 예측 분석

결론

- 본 연구는 타지역에 적용가능한 DRT OD 수요 예측 분석을 목적으로 함
  - 기존 운영한 I-MOD 데이터 구축 및 여러 변수들을 적용해 보여 타 지역에 적용가능한 변수를 설정함
- 격자별 변수 간, 수요(counts)와 변수 간 상관관계는 다음과 같이 나타남
  - 승차격자 관련 변수 간 상관관계는 '격자 내 노선(종복) 일평균 운행횟수 합계(RIDE_routeSum)'과 '격자 내 노선(종복) 수(RIDE_route_Count)' 간에 매우 강한 양의 상관관계로 나타나며 '지하철역과 격자의 중심점 최단직선거리(RIDE_MinDistance(m))'과 '유동인구(RIDE_floating population)' 간에는 약한 음의 상관관계로 상관관계로 유의미한 관계가 거의 없음
  - 하차격자 관련 변수 간 상관관계는 '격자 내 노선(종복) 일평균 운행횟수 합계(RIDE_routeSum)'과 '격자 내 노선(종복) 수(RIDE_route_Count)' 간에 매우 강한 양의 상관관계로 나타나며 '유동인구(ALIGHT_floating population)'과 '버스 정류장 수(ALIGHT_route_count)' 간에는 약한 음의 상관관계로 유의미한 관계가 거의 없음
  - 수요와 다른 변수 간 상관관계 분석 결과, 일평균 수요 데이터와 시간대별 수요 데이터 모두 비슷하게 나타났으며 '하차격자의 유동인구','승차격자의 유동인구', '승차격자의 일평균 버스 승차 수'가 상대적으로 강한 양의 상관관계를 지니며 '하차격자의 용도지역구분','승차격자와 지하철역과의 최단직선거리'는 비교적 강한 음의 상관관계를 지니고 있음
- OD 수요 예측 결과 EBM Model과 Autogluon을 이용한 WeightedEnsemble_L2 Model 비교 결과 AutoGluon을 이용한 모델이 가장 좋은 모델로 도출됨
- 수요 예측 결과 기존 수요와 예측 수요가 비슷한 패턴을 보여 타 지역에도 지역적 특성 변수, 사회지표 변수를 고려하여 수요 예측 적용 가능
  - 일평균 수요 데이터는 실제 수요와 예측수요 모두 학교와 지하철 격자에서 주거단지 격자 간 OD이동이 빈번한 것으로 나타나며 해당 OD에서는 승차근 및 상업 활동을 위해 이동하는 수요로 예측됨
  - 시간대별 수요 데이터
    (7시) 실제 수요와 예측 수요 모두 지하철과 공항, 주거단지의 이동 수요가 높은 것으로 나타나며 해당 OD에서는 승차근 및 상업 활동을 위해 이동하는 OD수요로 예측됨
    (15시)실제 수요와 예측 수요 모두 공항에서 서쪽으로의 이동, 공항에서 서쪽으로의 이동 패턴을 보이며 서쪽에는 주로 상업시설의 분포해 여가활동을 위해 이동하는 OD수요로 예측됨
    (18시) 실제 수요와 예측 수요 모두 공항에서 학교, 중심상업지역에서 주거단지, 학교에서 중심상업지역으로 이동하는 패턴을 보이며 주로 퇴근, 부모의 자녀 학업, 여가 또는 학원으로의 OD수요로 예측됨
- 실제 수요 값 보다 예측 값이 수요가 큰 OD의 경우 과소추정되는 경향이 있으며, 이는 해당 지역에서 이용자가 많은 특정 요인이 반영되지 못한점이라 판단됨

한계점 및 향후 연구

- 특정 수요가 많은 OD에 대한 만일한 분석을 통하여 과소추정되는 요인을 식별하여 모형에 반영 또는 보정계수 등 보정 방안 개발 필요
- 타 지역에 적용하기 위해서 시간대 변수 뿐만 아니라 요일, 청우시 등 변수를 다양화 시켜 수요 예측의 더 세분화된 수요 예측 필요
- 개발된 모형의 실제 타 지역 적용을 통한 정확성 검증 및 모형 고도화를 통해 지역적 특성을 반영한 모델 개발 필요

- 11 -

감사합니다.

건설자동화장비 실증분석을 통한 효율성 분석 및 활성화 방안

Efficiency evaluation and activation plan through
empirical analysis of construction automation equipments

정유미 (국립한밭대학교 도시공학과 박사과정)
도현철 (국립한밭대학교 도시공학과 박사수료)
도명식 (국립한밭대학교 도시공학과 교수)

Key Words : 건설자동화장비, MG(Machine Guidance)·MC(Machine Control), 원격·자율 운반장비, Pix4D mapping

목 차

Ⅰ. 서론
1. 연구의 배경 및 목적
2. 연구의 범위 및 방법
Ⅱ. 관련연구
1. 국내외 건설자동화의 동향
2. 건설자동화 적용에 관한 선행연구
Ⅲ. 본론
1. 실증의 개요
2. 생산성 및 품질 평가 비교분석
3. 문제점 도출 및 활성화를 위한 개선사항 마련
Ⅳ. 결론 및 향후연구
Ⅴ. 참고문헌

Ⅰ. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

현재 건설산업은 전통 생산방식에서 크게 벗어나지 못하며, 다른 산업에 비해 상대적으로 낮은 디지털화 수준을 보이고 있다(국토교통부, 2022). 이에 따라, 우리 정부도 건설산업의 생산성 및 효율성 향상을 위해 스마트 건설 활성화 정책을 지속적으로 발표하는 등 스마트 건설 도입을 적극적으로 확대하고 있다. 건설에서 생산성은 품질·건설비용·공사기간 등을 결정하는 중요한 요인이다(Van Tam, 2024).

나아가, 건설자동화는 전통적인 건설 방법에 비해 작업 속도와 정밀도, 안전성을 크게 높일 수 있으며(Castro-Lacouture, 2023), 새로운 기술 및 장비의 도입으로 초기 도입 비용은 높을 수 있지만 장기적으로 인건비 및 공기 절감으로 전체적인 건설비용을 낮출 수 있을 것으로 기대된다(Chea et al., 2020).

따라서, 본 연구에서는 건설자동화 장비에 대한 실증 분석을 통해 스마트 건설의 품질 및 생산성을 기반으로 효율성을 평가하고, 이를 바탕으로 건설자동화의 현장 활용 촉진을 위한 방안을 제안하고자 한다.

2. 연구의 범위 및 방법

건설자동화의 성능을 평가하기 위해 토공 현장에서 사면절토, 관로터파기, 토공이동의 세 가지 토공작업을 대상으로 실증을 수행하였다. 각 작업 구간에 대해 전통적인 방법과 머신가이던스(Machine Guidance, 이하 MG), 머신컨트롤(Machine Control, 이하 MC) 및 무인운반차량과 원격 자동화 장비의 도입 후, GNSS 측량을 통해 품질 검증과 생산성을 비교 분석하였다. 또한, 건설 자동화 장비(굴삭기 및 덤프)를 활용하여 효율성을 검토하고, 현장에서의 장비 활용을 촉진하기 위한 전략을 마련하는 것을 목표로 하고 있다.

Ⅱ. 관련연구

1. 국내외 건설자동화의 동향

일본의 경우, 열악한 건설 환경 개선을 위해 1970년 대 후반부터 대기업 중심으로 건설자동화 기술개발이 이루어 졌으며(강경인, 2006), 코마츠社의 굴삭기의 터파기의 무인 자동 및 Caterpillar社의 자동화 로더 등을 통해 무인 시공자동화 시스템 상용화에 성공하였다(문성우·김상태, 2020). 반면, 미국은 정부 주도 하에 연구기관 및 대학에서 MMI를 활용한 토공사 장비, 위험작업환경의 작업 가능 로봇, 도로면 및 교량 유지보수 자동화 로봇 개발 등의 자동화 기술을 개발하였다(강경인, 2006). 우리 정부도 대기업(현대건설, 대우건설 등)을 중심으로 건설자동화 기술을 건설현장에서 활용하고 있으며, 2023년 1월 국토교통부는「머신가이던스 및 머신컨트롤 시공 일반 표준시방서(KSC 10 70 10)」를 고시하여 건설 자동화 기술의 현장 도입이 가능하도록 관련 기준을 지속적으로 정비하고 있다.

2. 건설자동화 적용에 관한 선행연구

건설자동화장비의 현장 적용 실증 연구마다 활용장비, 실증내용, 토공 유형, 측량 방법, Test-Bed의 특성이 다양하게 검토되었다. White et al.(2018)은 문헌고찰을 통해 일반 및 MG 유인을 대상으로 땅고르기, 터파기, 도로토공사의 효과를 분석하였으며, 오윤석 외(2020)은 절토 및 성토의 도로 토공사를 대상으로 굴착기, 다짐기, 도저, 모터그레이더을 활용하여 일반과 MG유인의 효율을 측정하였으며, GNSS측량 및 드론을 활용하여 품질을 평가하였다. 선행연구 고찰 결과, 프로젝트 조건, 응용프로그램, 활용장비, 측량 기술 및 작업자 숙련도 등에 따라 생산성의 효과에 차이가 있었으며, 이는 스마트 건설 기술 실증에 대한 명확한 기준 아직 정비되지 않아 실증방법 및 효율성 측정 방법이 상이한 것으로 판단된다.

Ⅲ. 본론

1. 실증의 개요

본 실증연구는 세종5-1생활권 국가시범 도시를 대상으로 전기종 MG·MC 기능이 가능한 디젤 및 전기굴착기, 원격 기능이 탑재된 전기 및 디젤 굴착기, 무인 운반 장비를 활용하여 실증을 수행하였다. 기존 전통 방법과 MG·MC을 이용하여 Pix4D mapping을 활용하여 생산성 및 품질을 평가하였으며, 무인이동장치 토공이동은 일반덤프와 무인운반장치의 생산성 비교 분석으로 실증을 진행하였다. 품질검사는 네트워크 RTK, Total Station, 드론측량 등의 방법으로 측정하였으며, 생산성 검증을 위해 드론 데이터를 정합해 3D 모델링을 통해 토공량 산정하였으며, 한국건설기술연구원에서 제시한 「2021 건설공사 표준품셈」을 적용해 작업효율을 비교하였다.

2. 생산성 및 품질 평가 비교분석

사면절토 품질 평가결과, 20ton(일반방법 0.063m, MG·MC유인 0.054m, MG·MC원격 0.065m)와 30ton(일반방법 0.050m, MG·MC유인 0.052m, MG·MC원격 0.070m) 두 기종 모두 3가지 유형이 허용오차기준(0.10m)에 충족하는 것으로 나타났으며, 생산성 평가결과, 작업자의 능력이 숙련자인 경우 일반 방법과 표준품셈의 생산성이 유사하게 나타났으며, 생산효율성은 유사하거나 빠른 것으로 나타났다.

관로터파기의 품질 평가결과, MG·MC유인은 허용오차기준 0.030m에 충족하였으며, 일반방법 및 MG·MC원격은 허용오차 기준에 충족하지 못하는 것으로 나타났으며, 이는 작업자의 숙련도 및 굴착기의 버킷, 토질, 작업환경, 시공 측량 시 평탄화 작업제외 등에 의한 것으로 판단된다. 생산성 평가결과, 표준품셈 대비 생산효율성은 MG·MC유인 119.98%, MG·MC원격 111.90% 수준으로 나타났다.

무인운반장비의 토공이동 실증 결과, 생산성은 Dumping Point 2개 시나리오의 경우, 표준품셈 대비 81.14% 수준으로 도출되었으며, 완전무인화(Dumping Point 1개)의 경우, 표준품셈 대비 69.21% 수준으로 나타났다. 이는 적재용량이 일반덤프 15ton의 3배 차이인 5ton장비인 것을 고려하면 유의미한 결과라고 볼 수 있으며, 향후 기술의 발전으로 용량 및 자율주행 성능 증가로 생산효율성은 극대화 될 것이라 판단된다.

3. 문제점 도출 및 활성화를 위한 개선사항 마련

실증장비의 이동 범위 테스트 중 일부에서 통신 끊김 현상이 발생했으며, 이는 5G 신호가 흡수되는 복합적인 요인이 존재하는 것을 확인하였다. 따라서, 무선장치의 연속성을 위해 통신 장비의 위치 조정, 추가 신호 증폭기 및 수신기 설치가 필요할 것으로 판단되다.

또한, 실제 현장과 동일한 조건에서 도저, 롤러, 굴착기, 모터그레이더 등의 장비를 사용하여 일반구간과 스마트 건설 실증 구간으로 구분하고 다양한 작업환경(토공량 및 토질 등)으로 구성하여, 오랜 기간 실증 및 검증을 수행이 필요하다.

더불어, 작업자(운전자)의 스마트 건설 기술 능력 평가를 위해 경력과 연령에 따른 반복 작업을 통해 품질을 검증할 필요가 있으며, 건설 자동화 장비의 품질 평가 절차를 마련하여 신뢰성 및 정확도를 확보할 필요가 있다.

나아가, 본 연구에서 실증을 수행하였던 자율주행운반장비는 현재 안전성 관련 및 자율주행차의 공도주행 불가 등의 이유로 실제 현장에 바로 적용할 수 없다. 따라서, 건설기계 관련 법규의 원격조종, 완전 자동화 등 무인운전에 대한 특례인정 등의 규제개선이 필요하며, 일본의 ICT(건설자동화) 장비 인증 제도 등을 도입해 기존 장비에 MG·MC를 장착하는 기기를 포함하여 필요한 기능 등을 가지는 건설기계를 인증하며, 정밀도 확인 시험의 자료 제출 생략 등 서류 작성의 간소화를 통하여 건설자동화 장비 활성화 정책을 도입할 필요가 있다고 판단된다.

Ⅳ. 결론 및 향후연구

본 연구는 건설 자동화 장비를 실증 분석을 통해 스마트 건설의 효율성을 검토하고, 이를 기반으로 현장에서의 장비 활용을 촉진하기 위한 전략을 도출하였다.

건설자동화장비 실증분석 결과, 품질 평가는 사면절토 및 관로터파기의 MG·MC유인은 허용오차 기준을 충족하였으며, MG·MC원격 및 일반방법은 작업자의 숙련도 등의 차이로 허용오차 기준을 충족하지 못한 것으로 나타났다. 생산성 평가는 사면절토, 관로터파기 모두 표준품셈 대비 유사하거나 빠른 것으로 나타났다. 토공이동의 경우, 일반 덤프의 1/3 용량 장비임에도 불구하고, 표준품셈 대비 약 81.14 ~ 69.21%의 효과를 확인하여 향후 기술의 발전으로 생산성 향상 가능성을 확인하였다.

실증장비의 5G 신호와 원활한 통신을 위해 수신 장비 위치 조정 및 추가 신호 증폭기 설치가 필요하며, 다양한 토공작업 환경과 작업자의 경력 및 연령별 능력 평가가 이루어져야 한다. 또한, 자율주행운반장비 특례 인정 등의 관련 규정의 개선 및 ICT(건설자동화) 장비 인증 절차 등을 통해 현장 적용 절차 간소화를 통해 건설 장비의 활성화를 확장할 필요가 있다.

나아가, 향후 스마트 건설 기술 실증에 실제 현장과 동일한 조건 및 스마트건설기술 능력 평가를 구분하여 실증을 반영한 후속 연구가 필요 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2021-2023년 LH(한국토지주택공사) 연구용역사업으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 강경인(2006), 건설자동화 기술의 현황 및 전망, 건설기술, 쌍용, 제40권, pp.8-13.
2. 국토교통부(2022), 스마트 건설 활성화 방안.
4. 문성우·김상태(2020), 도저 정지작업 시 머신 가이던스 시스템 적용에 따른 토공성과 향상 사례분석. 한국건설관리학회논문집, 제21권 제1호, pp.78-86.
5. 오윤석·권영삼·이재강·이수득(2020), 스마트건설에서 측량이 생산성 향상에 미치는 영향에 관한 실증연구(도로 토공사 중심으로), 대한공간정보학회지, 제28권 제4호, pp.137-144.
6. Castro-Lacouture, D.(2023), Construction Automation and Smart Buildings, In Springer Handbook of Automation, pp.1035-1053.
7. Chea, C. P., Bai, Y., Pan, X., Arashpour, M., Xie, Y.(2020), An integrated review of automation and robotic technologies for structural prefabrication and construction, Transportation Safety and Environment, Vol.2, No.2, pp.81-96.
8. Van Tam, N.(2024), Unveiling global research trends in construction productivity: a scientometric analysis of twenty-first century research, Smart Construction and Sustainable Cities, Vol.2, No.1, 2.
9. White, D. J., Jahren, C. T., Vennapusa, P., Westort, C.(2018), Use of Automated Machine Guidance within the Transportation Industry.

Pro Vision과 Digital Twin Simulation 연계 방안

Integration Strategy Between Pro Vision and Digital Twin Simulation

최민기 공주대학교 박사과정

I. 연구 개요

배경 및 목적

연구의 배경

- 최근 몇 년간 **혼합 현실(AR/VR)** 기술과 **디지털 트윈(Digital Twin)** 기술에 대한 관심이 급격히 증가하고 있으며, 이는 다양한 산업 분야에서 디지털 전환과 혁신의 핵심 요소로 떠오르고 있음
- Apple Vision Pro는 현실 세계와 가상 세계를 융합하여 몰입형 경험을 제공하고 이를 통해 사용자는 현실 세계의 데이터를 실시간으로 시각화하고 가상 환경과 상호작용할 수 있음
- Digital Twin Simulation은 실제 환경을 가상으로 복제하여 다양한 시나리오를 시뮬레이션하고 분석하는 기술로, 시스템 성능을 최적화하는 데 중요한 역할을 함

연구의 목적

- Apple Vision Pro와 Digital Twin Simulation의 연계를 통해 사용자는 방대한 데이터를 VID 처리하므로 이해할 수 있으며, 교통 관리, 도시 계획 등 다양한 분야에서 시뮬레이션을 활용한 현실 데이터를 가상 환경에서 시각화하고, 이를 기반으로 교통 흐름을 시뮬레이션하거나 인프라 및 솔루션을 평가할 때 Vision Pro를 통해 현실 데이터와 가상 시뮬레이션을 결합하여 최적의 대안을 탐색하고자 함

Pro Vision 관심증대

Micro Simulation – Vissim

U-Mobility

LinkedIn PTV Group 페이지: #itsdubai2024 #itsdubai2024 #mobilityforhumanity

향후 연구방안

향후 연구방안

- 개발자가 현업을 통한 앱 개발을 통해 Pro Vision과 Digital Twin가 연계를 통한 가상환경 관련을 가능하게 하고자 함

한계점

- 현재 한국에서는 Pro Vision에 대한 지원이 안활하지 않아 개발에 대한 제한이 있음

Q&A

감사합니다

교통 빅데이터(II)

Session

D-3

교통분석용 네트워크의 센트로이드 커넥터 구축 기준 개선 연구
이상규, 김희조, 김동호, 박동주

Savitzky-Golay 필터링을 사용한 단기 O-D 행렬 추정 개선
이의진, 민동규, 김동규

가구통행실태조사와 변분 오토인코더를 활용한 도시간 통행 스케줄 생성
이희창, 김동규

서비스 밸류체인을 통한 데이터 기반 국토교통 산업 발전 방안 분석
전희진, 박희건, 정정호, 이종우, 이승봉, 천승훈

스마트카드데이터 기반 자료포락분석을 활용한 수도권 지하철 환승역 효율성 평가
한은서, 박호철

KTDB 교통분석용 네트워크 센트로이드 커넥터 구축 기준 개선 연구

이상규
서울시립대학교
교통공학과
석사과정

김희조
서울시립대학교
교통공학과
박사과정

김동호
한국교통연구원
교통빅데이터연구본부
책임전문원

박동주
서울시립대학교
교통공학과
교수

목차

1. 서론
2. 선행 연구 고찰 및 시사점
3. 연구 수행 방법
4. 향후 연구 계획

01 개요

서울시립대학교 교통물류연구실

연구의 배경 및 필요성

□ **도로 사업의 교통 수요 분석에서의 센트로이드 커넥터 구축 기준의 필요성**

- ➤ 도로 사업의 타당성 평가 시 교통수요를 추정하기 위해 대부분의 경우 4단계 교통수요 분석모형을 사용함
  - ✓ 4단계 교통수요 분석모형은 집합화된 교통존의 사회경제지표를 이용하여 총 OD를 추정한 후 각 교통수단의 특성을 반영한 수단분담모형을 이용하여 승용차, 버스, 화물차 등의 통행량을 추정하는 과정을 의미함
- ➤ 센트로이드 커넥터는 교통분석용 네트워크의 일부분으로 도로 네트워크와 존 센트로이드를 연결하는 가상의 링크로 O/D간 유입, 유출량 전체를 수용하는 통로 역할을 수행
  - ✓ **(센트로이드 커넥터의 특징)** 현실에서는 존 내 모든 링크에서 차량 통행이 발생하지만 교통분석용 도로 네트워크의 경우 센트로이드에서만 통행이 발생하기 때문에 커넥터와 연결된 링크에서만 통행이 시작됨
    - 커넥터와 연결된 링크들의 경우, 실제 관측교통량에 비해 과다한 통행이 배정되는 경우가 발생할 수 있음
    - 커넥터와 연결되어 있지 않은 링크들의 경우, 통행이 발생할 수 없어 실제 관측교통량에 비해 과소배정되는 문제가 발생할 수 있음
- ➤ O/D를 도로 네트워크에 배정하고, 각 도로 링크별로 추정된 통행량과 관측된 통행량을 비교하여 오차를 오차범위내로 정산하는 과정을 수행함으로써 수요추정 모형의 적합성을 검증함
  - ✓ **(도로사업에서 정산과정)** 전문가의 주관적인 판단에 따라 센트로이드 커넥터 연결 지점 및 개수, 링크의 통행속도, 도로 용량을 수정하여 관측교통량과 추정교통량 오차율을 구축가능한 오차율 범위 내로 배정이 되도록 정산

□ **연구 목적**

- ➤ 본 연구의 목적은 사회경제지표를 활용하여 현실적인 센트로이드 커넥터 구축 기준 설정하여 실제 교통량 대비 교통수요 분석의 예측 교통량의 오차율을 줄여 교통분석용 네트워크의 신뢰도를 높이고자 함

□ **연구의 기대 효과**

- ➤ 센트로이드 커넥터의 최적 연결 위치와 연결 개수를 결정하기 위한 새로운 접근 방법과 기준을 제안함으로써, 교통분석과 예측의 정확도를 향상시키고, 도시 교통 계획 및 관리의 효율성을 증대시키는데 기여하고자 함

02 선행 연구 고찰 및 시사점

서울시립대학교 교통물류연구실

센트로이드 커넥터 배치 문제 관련 선행 연구 고찰

[표] 선행 연구와 본연구의 차별점 검토

구분	연구 목적	활용 분야	방법론	OD	통행배정	기준		최적화 모델	[illegible]
						커넥터 연결 개수	커넥터 연결 위치		
본 연구	커넥터 배치 기준을 통해 관측-배정 오차 최소화	도로차량	-	인구 및 차량 통행량 비례	사용자 균형 통행배정 기법	-	배합인구 밀도가 높은 지역의 교차로	-	서울특별시, 대한민국
1	집계 및 분해에 따른 교통량 배정 오차 최소화	도로차량	집계 및 분해 알고리즘	인구수 비례	사용자 균형 통행배정 기법	주요노드 6개 이상 연결	주요도로와 교차하는 교통량이 높은 노드	다중 스케일 최적화 모델	유럽의 대도시 도로 교통망
2	커넥터 배치 최적화로 통행 흐름(혼잡도) 개선	도로차량	커넥터 최적화 알고리즘	차량 통행량 기반	사용자 균형 통행배정 기법	상위 10개 교차로에 연결	주요 교차로, 교통량이 많은 노드	위치 기반 최적화 모델	뉴욕 시내 도로 교통망
3	커넥터가 대중교통 배정에 미치는 영향 분석	대중교통	네트워크 분석 및 시뮬레이션	대중교통 승객 기반	다중 모드 배정기법	주요 정류장에 3~5개 커넥터 연결	대중교통 중심지, 환승 구역	대중교통 최적화 모델	캐나다의 대중교통망
4	정적 배정에서 커넥터가 교통 흐름(혼잡도)에 미치는 영향 분석	도로차량	정적 배정 최적화 알고리즘	차량 통행량 비례	정적 배정기법	주요 진출입로에 4개 커넥터 연결	혼잡 교차로, 고속도로 진출입 구간	정적 최적화 모델	중국의 주요 도시 도로 교통망
5	공간 집계가 통행 배정에 미치는 영향 분석	도로차량	공간 네트워크 분석	인구 및 차량 통행량 비례	공간 기반 배정기법	밀집 지역에 6개 이상의 커넥터 연결	상업 중심지, 고밀도 거주지	공간 기반 최적화 모델	미국의 광역 도로 교통망
6	네트워크 집계가 교통 배정에 미치는 영향 분석	도로차량	집계 네트워크 모형	교통수요 예측 기반	집계 기반 배정기법	상위 교차로 5곳에 커넥터 연결	교통량 많은 주요 교차로	네트워크 집계 최적화 모형	네덜란드 대도시 도로 교통망
7	B-node 모델을 사용한 서브에어리어 교통 배정 최적화	도로차량	B-node 모형	소규모 지역 교통량 기반	서브에어리어 배정기법	소규모 구역 내 다수의 커넥터 연결	소규모 지역의 주요 교차로	B-node 기반 최적화 모형	미국의 서브에어리어 도로 교통망
8	공간 네트워크에서의 커넥터 위치 최적화 및 네트워크 연결 최적화 분석	도로차량	공간 네트워크 최적화 알고리즘	공간적 이산최적화 기반	공간적 배정기법	주요 교차로에 3~4개의 커넥터 연결	공간적 중요도가 높은 교차로	공간 네트워크 최적화 모형	미국 대도시 도로 교통망

1) Aggregation, disaggregation and deaggregation methods in traffic assignment: Historical perspectives and new trends, Bell, P.H., Bagloee (2020), Transportation Research Part B
2) Investigation of Centroid Connector Placement for Advanced Traffic Assignment Models with Added Network Detail, Zhao (2019), Transportation Research Record Journal
3) The impact of Centroid Connectors on Transit Assignment Outcomes, (2023), Public Transport (2023)
4) On Centroid Connectors in Static Traffic Assignment: Their Effects on Flow Patterns and How to Optimize Their Selections, Qian (2015), Transportation Research Part B
5) Spatial Aggregation Issues in Traffic Assignment Models, Manout (2020), Networks and Spatial Economics
6) Network aggregation effects upon equilibrium assignment outcomes: An empirical investigation, Bovy, P., & Jansen, G (1983), Transport Science
7) B-node model: New subarea traffic assignment model & application, (2002), Transportation Research Record
8) Connecting Points to Spatial Networks: Effects on Discrete Optimization Models, James D. Gaboardi (2020), Geographical Analysis (2020)

선행 연구와 본연구의 차별점

□ 센트로이드 커넥터 배치 방법에 대한 시사점

- 센트로이드 커넥터 배치 위치 관련 선행연구 검토
  - ✓ 무한정한 커넥터 개수의 증가는 총 통행 시간, 평균 혼잡도를 과소 추정하게 만듦
  - ✓ 커넥터 배치 지점을 주요 상업지역, 교통 허브 혹은 주요 교차로에 배치하는 것이 총 통행시간 최소화와 네트워크 효율성 증가에 영향을 줌
  - ✓ 교차로 노드에 배치하여 통행량을 분산시켜 링크의 과대, 과소 배정문제를 완화
- 공간적 집계 수준이 센트로이드 커넥터 배치 기준에 미치는 영향 관련 선행연구 검토
  - ✓ 공간적 집계 수준에 따라 통행배정 결과가 달라지며 그에 따라 커넥터 연결 지점을 위한 최적화를 다시 진행
  - ✓ 네트워크 및 존의 집계 수준에 따라 커넥터 연결 방법이 변함
    - 복잡한 네트워크에서는 다양한 경로와 교차점이 존재하기 때문에 교통량 분포와 네트워크 밀도의 크게 달라짐
- MOE(평가 지표) 선정
  - ✓ 선행 연구에서는 링크의 혼잡도, 총 통행시간, 총 통행거리 등을 검토 지표로 선정하여 연구의 목표에 따라 네트워크의 효율성 및 혼잡도를 검토
  - ✓ 관측교통량과의 오차율을 기존 통행 배정결과와 수정된 커넥터 연결지점의 통행 배정 결과의 오차율을 비교하여 평가함
- 최적화 기준 문제
  - ✓ 민감도 분석 결과에 맞춰 성능 지표를 최적화 기준으로 최적 커넥터 배치지점을 선출
  - ✓ 일반적으로 혼잡도 지표 최적화 기준으로 활용함
- 일반화 방안
  - ✓ 동일한 커넥터 및 최적화 방법론을 다른 공간 네트워크에서 적용 시 민감도 분석 결과가 동일해야함

데이터 개요 및 전처리

□ 연구 범위 설정

- 시간적 범위: 2019년 기준
- 공간적 범위: 수도권

□ 통행배정을 위한 데이터 활용

- 활용데이터
  - ✓ O/D 데이터
    - 수도권 주수단 O/D
    - 수도권 화물 O/D
  - ✓ 교통분석용 네트워크
    - 수도권 도로 네트워크
  - ✓ 유료도로가중치
  - ✓ 관측교통량
    - 전국 주요도로 관측교통량 수집
    - 수도권 도심지역 관측교통량 수집
- 데이터 구축 목표
  - ✓ EMME 4를 활용한 통행배정 결과 검토
- 데이터 구축 방안
  - ✓ 4단계 통행배정 모형에 따라 통행배정을 진행

(표) 연구 범위

범위	범위 구분
시간적 범위	2019년 기준
공간적 범위	수도권

(표) 활용 데이터 구분 및 출처

번호	구분	데이터명	출처
1	네트워크	수도권 도로네트워크	KTDB
2	기종점 통행량 데이터	수도권 여객 O/D (승용차, 버스)	
3		수도권 화물 O/D (소/중/대 화물차)	
4	유료도로 가중치	네트워크 유료도로 가중치	
5	관측교통량	전국 주요도로 관측교통량	교통량정보제공시스템 (TMS)
6		수도권 도심지역 관측교통량	서울특별시 홈페이지

데이터 개요 및 전처리

☐ 서울시 집계구별 일평균 생활인구 데이터

- ➢ 활용데이터
  - ✓ 서울시 집계구 단위 생활인구수 (2019.01.~2019.12.)
  - ✓ 수도권 도로네트워크
- ➢ 데이터 활용 목표
  - ✓ 서울시 노드 당 집계구 일평균 생활인구 데이터 (인/일)
- ➢ 데이터 구축 방안
  1. 서울시 생활인구 데이터는 동별로 시간단위로 제공하기 때문에 1월~12월까지의 총생활인구수를 모두 합하고 일평균 생활인구 데이터로 구축
  2. 집계구 단위로 세분화된 shp파일에 일평균 총생활인구 데이터를 join
  3. 각 노드에 지역의 특성과 교통수요를 보다 잘 반영하기 위해 총생활인구수, 면적, 노드 수 정보에 가중치를 사용하여 값을 입력함
     - 총생활인구수*a + 면적 * b + 교차로 개수*c

(표) 집계구코드 별 시간대별 총 생활인구
(ex. 1월 1101053010001 집계구코드의 총생활인구수)

기준일ID	시간대구분	행정동코드	집계구코드	총생활인구수
[illegible]	0	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	1	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	2	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	3	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	4	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	5	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	6	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	7	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	8	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	9	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	10	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	11	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	12	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	13	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	14	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	15	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	16	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	17	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	18	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	19	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	20	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	21	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	22	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	23	[illegible]	[illegible]	[illegible]

7

연구 방법

☐ 기존 KTDB 센트로이드 커넥터 연결 원칙

1. 커넥터의 개수는 3~4개 연결함
   - ✓ 충분한 분산이 이루어지도록 하는 커넥터 개수
2. 존 내 네트워크에 연결하도록 함
   - ✓ O/D 따라 센트로이드 커넥터 또한 존 내 네트워크에 연결해야 함
3. 고속도로 혹은 연결램프에는 연결하지 않음
   - ✓ 고속도로에서 통행의 경우는 없으며 통행의 시작과 종료는 하위도로에서 이루어짐
4. 하나의 노드에 두개 이상의 센트로이드 커넥터를 연결하지 않도록 함
   - ✓ 이 경우의 연결된 존간 통행이 네트워크상 통행배정이 생략됨에 따라 총 통행시간과 V/C가 과소 추정되게 됨

☐ 도로 통행배정 모형

- ➢ O/D 포함한 통행배정을 수행
- ➢ 통행배정 모형 정산 생략하여 VDF(BPR 식을 활용), 초기속도, 용량 모두 변경하지 않음
- ➢ EMME 4의 SOLA Traffic Assignment 활용
  - ✓ 사용자 균형(User Equilibrium) 통행배정 모형, 100회 수행

(표) 기존 커넥터 연결 원칙

구분	원칙	출처
1	커넥터의 개수는 3~4개 연결	기존 KTDB 연결 원칙
2	존 내 네트워크에 연결	
3	고속도로 혹은 연결램프에는 연결하지 않음 → 하위 도로등급 도로에 연결	
4	하나의 네트워크상 노드에 두개 이상의 센트로이드 커넥터를 연결하지 않도록 함	

[그림] 여객 및 화물 수요의 분석 과정

8

연구 방법

□ 선행 연구 커넥터 연결 원칙

- 상세 네트워크의 경우 센트로이드 커넥터는 존 중심지에 가까운 곳에 우선 연결하도록 함
  - ✓ 세부 설정: 센트로이드에 가까운 노드에 우선 연결
  - ✓ 고려 필요성: 세부도로로의 통행이 이루어질 수 있도록 총 통행거리가 최대화 되는 지점에 연결

□ 고려할 변수

- 본 연구에서 센트로이드 커넥터 배치 원칙을 구축하기 위해 다음 변수들을 고려하고자함
  - ✓ 변수: 센트로이드 커넥터 개수, 집계구 단위 총 생활인구 밀도, 교차로 여부, 방위별 분배

[표] 센트로이드 커넥터 배치를 위한 변수

변수	세부설정	고려 필요성
센트로이드 커넥터 개수	1-4개	센트로이드에서 발생하는 통행량을 다른 구간으로 분산시켜 도로에 과다 과소 배정 문제를 해결하기 위해 고려
총 생활인구 밀도	가중치에 따라 방향한 총 생활인구 값이 큰 순서로 연결	실 생활 인구의 값은 현실 사회경제지표를 반영하기 위해 고려
교차로 여부	연결된 밀도가 3개 이상인 노드	신호교차로의 방향을 VDF를 통해 구현했으며 그에 대한 영향을 교차로 여부로 반영할 수 있는지를 확인하고자 고려함
방위별 구분	존 센트로이드를 기준으로 커넥터의 각도가 최대치가	센트로이드 커넥터의 연결 방향을 통해 연결되는 노드를 일이 위치시켜 최대 혼잡을 줄일 수 있음

시나리오 설정

□ 시나리오 구분

- 실험 1 목표
  - ✓ 커넥터 연결 위치를 가정하는데 있어 총 생활인구 밀도 등 현실의 사회경제지표를 고려하지 않고 도로 네트워크의 특성만을 고려하였을 경우의 관측-배정 교통량의 오차를 검토하여
- 실험 2 목표
  - ✓ 커넥터 연결 위치를 가정하는데 있어 총 생활인구 밀도 등 현실의 사회경제지표와 도로망 특성을 같이 고려하였을 경우 관측-배정교통량의 오차를 검토

[그림] 실험 구분

실험 구분		센트로이드 커넥터 연결 위치			커넥터 개수
		총생활인구 밀도	교차로	커넥터 간 방위	
기존		X	X	X	3-4
1	1-1	X	X	X	1-4
	1-2	X	O	X	1-4
	1-3	X	O	O	1-4
2	2-1	O	X	X	1-4
	2-2	O	O	X	1-4
	2-3	O	O	O	1-4

X: 고려하지 않음
O: 고려함

평가 척도(MOE)

□ **현실적 통행배정 평가를 위한 커넥터 연결 위치에 따른 관측교통량과의 오차를 분석 방법**

- 추정표준오차 (RMSE)
  - ✓ 개념: 표본(관측지점의 추정교통량)의 실제관측치가 표본확률변수의 추정치에서 얼마나 흩어져 있나를 측정
  - ✓ 기준: RMSE가 낮을수록 관측교통량과의 오차가 감소
  - ✓ 단점: 큰 오차에 민감하게 반응하며, 방향성을 고려하지 않음
- 결정계수 (R-squared)
  - ✓ 개념: 추정된 값이 실제 관측값을 얼마나 잘 설명하는지를 나타내는 지표
  - ✓ 기준: 0과 1 사이 값을 가지고 상관계수가 높을수록 1에 가까워지고
  - ✓ 단점: 모든 오차를 동일하게 처리하기 때문에, 이상값에 민감할 수 있음
- Theil's U 통계량
  - ✓ 개념: 관측값과 추정값의 비율을 비교하는 지표로, 예측 정확도를 평가
  - ✓ 기준: 0에 가까울수록 모델의 예측력이 높다는 것을 의미
  - ✓ 장점: 추정값과 관측값을 비율로 비교하여 예측 성능을 파악하는 데 유리
  - ✓ 단점: 계산이 다소 복잡

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}$$

$$U = \frac{\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}}{\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i^2}}$$

연구 방법론 선정

□ **센트로이드 커넥터 구축의 적정성 검토 기준**

- 연구 방법에 따른 센트로이드 커넥터 구축 기준을 적합한 지표를 총 통행 거리, 시간, 비용의 오차율을 평가 할 수 있음
- 교통 수요 분석 시 관측교통량과 배정교통량을 정확하게 일치는 것을 목표로 하기 때문에 그에 맞는 구축방법을 연구

□ **활용 가능한 데이터**

- 수단별 교통수요의 교통량의 특징을 모두 반영할 수 있는 빅데이터를 활용하여 연구를 진행 할 예정

□ **결론**

- 문헌 고찰을 통해 센트로이드 커넥터의 요소들이 통행량 분산에 어떤 영향을 끼치고 데이터의 요건들과 공간적 범위에 따라 어떻게 적용되었는지 고찰함
- 향후 연구 방법으로 활용가능한 빅데이터를 이용하여 연구 기준에 따라 관측 교통량과의 오차를 최소화 할 수 있는 센트로이드 커넥터 구축 기준을 진행 할 예정

감사합니다.

2024 ITS 추계학술대회

Savitzky-Golay 필터링을 사용한 단기 O-D 행렬 추정 개선

Enhancing Short-Term Origin-Destination Matrix Estimation Using Savitzky-Golay Filtering

이의진
(서울대학교 건설환경공학부, 석박사통합과정)

민동규
(서울대학교 건설환경공학부, 석박사통합과정)

김동규
(서울대학교 건설환경공학부, 교수)

1. Introduction

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

지능형교통체계에서 Origin-Destination(OD) 행렬 추정 연구의 필요성

- 출발지와 목적지를 나타내는 OD 행렬은 통행에 대한 교통 수요를 나타내며, **도시 네트워크 내 교통 흐름 역학을 이해**하는데 기초가 됨. (Krishnakumari et al., 2020)
- 이러한 중요성에 OD 행렬을 추정하기 위해 많은 노력이 있었으며, **직접조사의 한계로 탐지기 데이터를 사용하는 방안**이 대안으로 등장함. (Marzano et al., 2008)
- 최근 영상감지기를 통해 OD 행렬을 **추정하기위해 딥러닝 알고리즘을 이용하는 방식이 각광**(Pamula et al., 2023)받는 만큼, 본 연구에서도 Multi-Layer Perceptron(MLP)를 활용하여 분석을 수행함.
- 또한, 디텍터로 수집된 교통 감지기 데이터의 일일 패턴에는 **급제동, 차선변경, 신호 등과 같은 차량 기동으로 인한 고주파 변동이** 포함되며, 이는 교통 흐름을 정확히 모델링하는 것을 방해함. (kalair et al., 2021)

Fig. 1. ITS Sensor System(국토교통부, n.d.)

1. Introduction

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

연구의 필요성 및 목적

- 교통 네트워크가 복잡해지고 모달이 다원화됨에 따라, **노이즈를 분리하여 의미 있는 정보를 추출해 잠재 패턴을 발견하는 연구는 중요**해짐.(Wu et al., 2018)
- 따라서 **유의미한 신호를 노이즈에서 분리할 수 있는 Savitzky-Golay 필터링**을 적용하여 시계열 데이터를 전처리하고, OD 행렬 추정의 성능을 높이고자 함.
- 본 연구를 통해 데이터 변동과 노이즈가 있는 상황에서의 OD를 보다 정확하게 추정하여, **견고하고 신뢰성 있는 교통관리 전략에 기여**하고자 함.

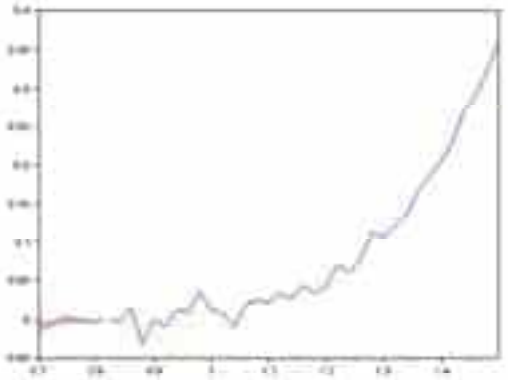


Fig. 2. Savitzky-Golay filtering (Wikipedia, n.d.)

2. Literature Reviews

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

최근 OD 행렬 추정 연구의 동향

- 감지기 데이터와 OD 행렬이 일치하도록 반복적으로 재보정하여 정확도를 개선하는 **시뮬레이션 최적화 기술**이 두드러짐. (Osorio et al., 2019)
- 특히, 머신러닝과 인공지능을 적용함으로써 OD 행렬 추정 성능이 향상됨.
- Pamula et al.(2023)은 **장단기 메모리(LSTM)과 자동 인코더 계층을 갖춘 딥러닝 알고리즘**을 통해 도시의 OD 행렬을 높은 정확도로 추정함.
- Wang et al.(2019)은 **그래프 합성곱을 사용해서 시공간 정보를 포착하는 그리드 임베딩 학습 방법**을 개발하여 OD 행렬 추정 성능을 높였음.

→ 본 연구에서는 시뮬레이션에 기반한 데이터에 MLP를 적용하여 분석하면서도, 데이터 전처리 과정을 더해 모델의 성능을 향상시키고자 함.

데이터 분해를 통한 OD 행렬 추정 성능 향상

- Djukic et al.(2012)은 **주성분 분석(PCA)를 기반으로 데이터의 차원을 축소하여 실시간으로 OD 행렬을 추정**하는 방법을 탐구하였으며, 대규모 도시 네트워크를 처리하는 잠재력을 입증하였음.
- Barceló et al.(2010)은 **칼만 필터 알고리즘을 통해서 행렬 분해 프로세스를 도입**하였으며, 동적 OD 행렬 추정에 효과적으로 적용하였음.

→ Savitzky-Golay 필터링으로 데이터를 단계적으로 분리해 분석하여, OD 행렬의 추정 성능을 비교하는 연구를 수행함.

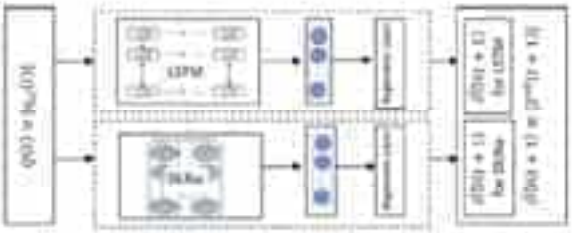


Fig. 3. The Structure of the Neural Network (Pamula et al., 2023)

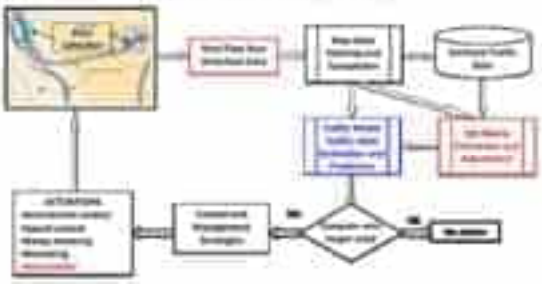


Fig. 4. Conceptual approach to ATIS/ATMS (Barceló et al., 2010)

3. Methodology

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

연구 범위 및 가정

- 현실에 맞춘 **가상의 O-D 데이터**와 SUMO 시뮬레이션을 통해 생성된 **가상의 통행 데이터를 활용**한다.
- Savitzky-Golay 필터링의 조정가능한 변수 중 **Window Length만을 변경하여 비교**한다.
- Savitzky-Golay 필터링을 사용하여 **디텍터 데이터를 전처리하면 단기 OD 행렬 추정 성능이 향상**될 것이다.
- SUMO를 통해 구현된 **대전시 네트워크는 모델 성능을 테스트하기 위한 효과적인 환경**을 제공한다.

문제 정의

$$\min_{\theta} f(\theta) = \min_{\theta} \frac{1}{|T||I|} \sum_{t \in T} \sum_{(i)} \left[y_{t,i} - [\mathbf{H}(\mathbf{x})]_{t,i} \right]^2$$

$$\theta \in \Theta$$

f : 목적함수
$\mathbf{H}(\cdot)$: 예측 모델의 출력 벡터
$\mathbf{x}$: 검지기 데이터 특성들로 구성된 입력 벡터
$y_{t,i}$: 시간 t와 OD 쌍 i에 대한 교통류율
θ : 예측 모델의 파라미터
Θ : 가능한 모델 파라미터들의 집합
T : 시간 간격 인덱스들의 집합
I : OD 쌍 인덱스들의 집합

3. Methodology

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

SUMO를 통해 구현된 대전시 교통 네트워크

Fig. 5. SUMO Network of Daejeon City's Target Site

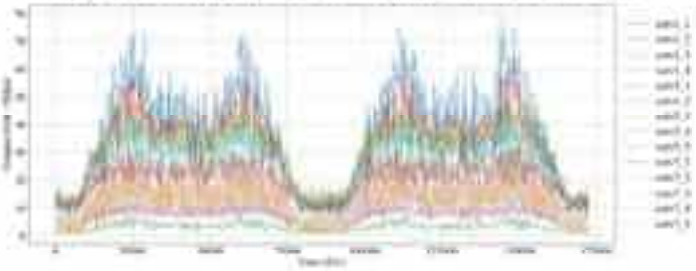


Fig. 6. Two days of SUMO Simulated data

- **대상:** 대전시 내 4개 교차로를 포함하는 교통 네트워크
- **기간:** 하루 기준으로 생성된 5분 단위 100일 분량 데이터
- **구조:** 10개의 존, 45개의 OD 쌍 (단일방향), 3개의 디텍터
- **특성:** 선형적으로 형성된 하루 단위의 OD 평균값을 기준으로, 평균의 30%를 표준편차로 설정하여 랜덤한 OD를 생성함

- **모델 구조:** MLP 모델 / Minmax Scaler / Dropout 0.2 / ADAM optimizer / 학습 70% / LR 0.001
- **입력 데이터:** 14개 차로 디텍터 교통량(Volume) 데이터
- **출력 데이터:** 45개 OD 쌍
- **손실함수:** Mean Squared Error(MSE)

3. Methodology

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

Window Length(WL)에 따른 평활화 정도 변화

- WL를 주요 변수로 설정하였으며, WL 값이 증가함에 따라 평활화 정도가 증가함.
- 원본 데이터를 **평활화된 값과 잔차로 분리**하여 모델에 투입함.

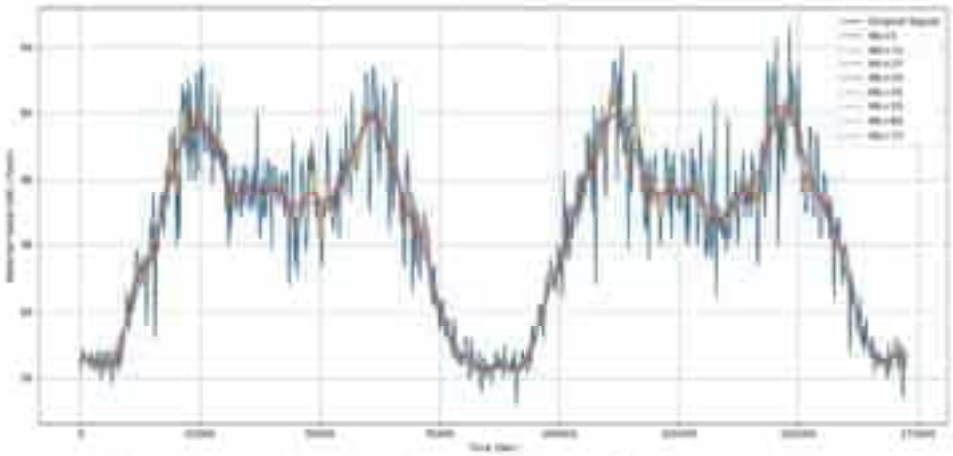


Fig. 7. Comparison of Savitzky-Golay Filter with Different Window Length on L1_1

4. Results

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

데이터를 평활화하면 OD 행렬을 추정하는 모델의 성능이 향상된다

- WL 값이 45일 때 모델의 MSE가 8.4% 향상됨. → **적절한 수준의 평활화는 모델의 성능을 향상시킴.**
- 평활화된 모델의 성능이 대체적으로 향상됨. → **트랜드와 잔차의 분리는 모델이 전체적인 경향성을 추측하도록 도움.**

Table 1. Results of MLP for Each Model

WL 값	MSE	MAE	R2
Orig.	640.04	13.36	0.65
5	647.68	13.45	0.65
15	599.69	12.94	0.67
25	593.21	12.88	0.67
35	592.53	12.89	0.67
45	586.29	12.86	0.68
55	590.08	12.85	0.68
65	593.85	12.94	0.67
75	595.16	13.02	0.67

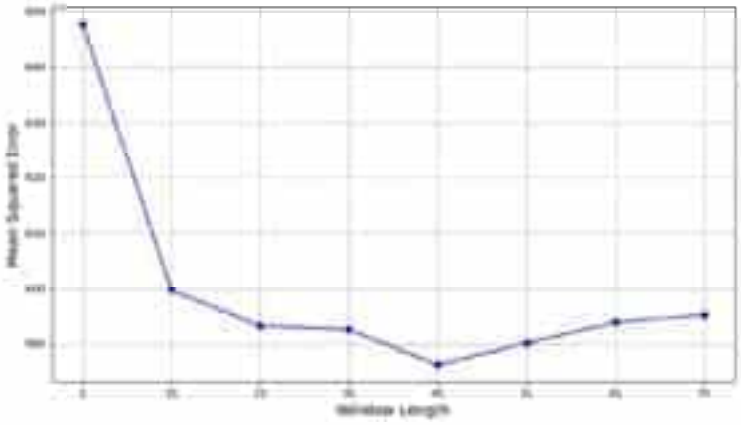


Fig. 8. Effect of Window Length on MSE

4. Results

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

원본 데이터를 활용한 모델과 WL45를 활용한 모델의 비교

- 트랜드와 잔차를 분리하여 투입한 경우 **초기부터 향상된 정확도**로 모델이 안정적으로 구성됨.
- 예측된 결과와 실제 데이터를 비교하였을 때에도, **WL45가 확연히 y=x 축에 가깝게 추정**을 했음을 확인할 수 있음.

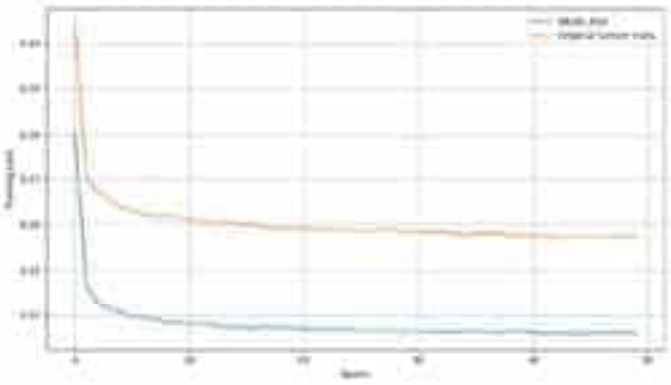


Fig. 9. Learning Curves of Original and WL45 Case

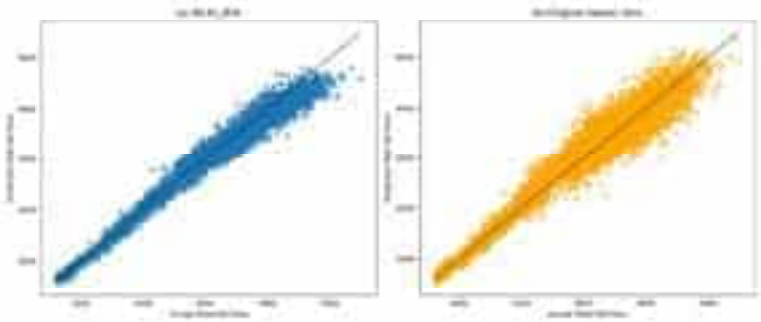


Fig. 10. Model Prediction Performance of Original and WL45 Case

5. Conclusions

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

연구 결론 및 의의

- Savitzky-Golay 필터링은 **중요한 신호의 패턴을 유지하면서도 노이즈를 적절히 분리**시켜, 5분 단위의 단기 OD 행렬 추정의 성능을 크게 향상시키는데 기여함.
- 평활화된 데이터와 잔차 오류를 분리하여 입력하는 경우, 기계학습 모델에서 **전체적인 경향성을 보다 정확하게 포착**하여 추정의 정확도를 높일 수 있음.
- 본 연구를 통해 고주파 노이즈가 포함된 교통 데이터 분석에서 **데이터 전처리의 중요성을 시사함**.
- **도시 교통 네트워크의 OD 추정을 개선**하기 위한 데이터 전처리 프레임워크를 제공함.

향후 연구과제

참고문헌

- Barceló Bugeda, J., L. Montero Mercadé, L. Marquès, and C. Carmona Bautista. A Kalman-Filter Approach for Dynamic OD Estimation in Corridors based on Bluetooth and Wi-Fi Data Collection. Presented at 12th World Conference on Transportation Research WCTR, Lisbon, Portugal, 2010.
- Krishnakumari, P., H. V. Lint, T. Djukic, and O. Cats. A Data Driven Method for OD Matrix Estimation. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2020. 113: https://doi.org/10.1016/j.trc.2019.05.014.
- Marzano, V., A. Papola, and F. Simonelli. Limits and Perspectives of Effective O-D Matrix Correction using Traffic Counts. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2009. 17(2): https://doi.org/10.1016/j.trc.2008.09.001.
- Pamuła, T., and R. Zochowska. Estimation and Prediction of the OD Matrix in Uncongested Urban Road Network based on Traffic Flows using Deep Learning. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2023. 117: https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.105550.
- Kalair, K., and C. Connaughton. Anomaly Detection and Classification in Traffic Flow Data from Fluctuations in the Flow-Density Relationship. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2021. 127: https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.103178.
- Wu, Y., H. Tan, L. Qin, B. Ran, and Z. Jiang. A Hybrid Deep Learning based Traffic Flow Prediction Method and its Understanding. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2018. 90: https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.03.001.
- Osorio, C. Dynamic Origin-Destination Matrix Calibration for Large-Scale Network Simulators. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2019. 98: https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.09.023.
- Wang, Y., H. Yin, H. Chen, T. Wo, J. Xu, and K. Zheng. Origin-Destination Matrix Prediction via Graph Convolution: A Newg Perspective of Passenger Demand Modeling. Proceedings of the 25th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining, Anchorage, A.K., 2019. https://doi.org/10.1145/3292500.3330877.
- Djukic, T., G. Flötteröd, H. V. Lint, and S. Hoogendoorn. Efficient Real Time OD Matrix Estimation based on Principal Component Analysis. 2012 15th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Anchorage, A.K., 2012. http://doi.org/10.1109/ITSC.2012.6338720.
- 국토교통부 (n.d.). FTMS(Freeway/Expressway Traffic Management System) - 고속도로 ITS 시스템. 국토교통부, https://mtl.its.go.kr/korea/systemFtms.

사사

이 논문은 2024년도 정부(경찰청)의 재원으로 과학치안진흥센터의 지원을 받아 수행되었으며(No.092021C28502000, 협력적 교통제어전략 도입을 위한 교통정보 융영구간 정보생성 및 운영관리 기술개발), 국토교통부의 스마트시티 혁신인재육성사업으로 지원되었습니다.

가구통행실태조사와 변분 오토인코더를 활용한 도시간 통행 스케줄 생성

Variational autoencoder for inter-city travel diary generation using household travel survey data

이희찬
서울대학교 건설환경공학부 석박사통합과정

김동규
서울대학교 건설환경공학부 교수

Introduction

연구의 배경

- 가능한 O-D pair 26,569쌍 중, 2016년 가구통행실태조사로 수집된 O-D pair는 3,458쌍에 불과 (86.98%의 O-D pair가 미관측)
- 교통 소외 지역의 통행이 과소 평가되며, 도로나 철도 등 도시간 교통시설 계획에도 반영되지 못함 → 교통 서비스 불균형 심화
- Deep generative model을 활용해 가구통행실태조사의 도시간 통행의 분포를 학습하고, 도시간 통행 기록을 생성하여 가구통행실태조사로 수집되지 않는 도시간 O-D를 보완
- 기존의 조사로 수집되지 못한 희소한 O-D를 생성하여 도로나 철도 등 도시간 교통시설 계획에 반영할 수 있도록 함으로써 지역균형발전에 기여

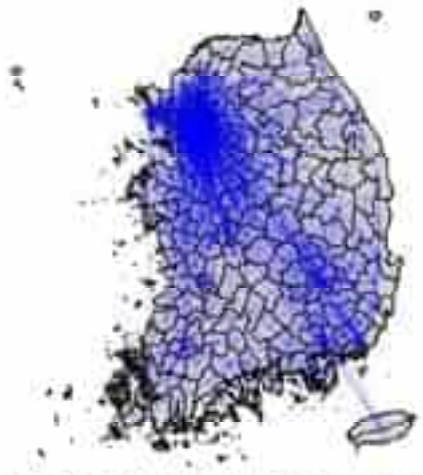


Figure 1 2016년 가구통행실태조사로 관측된 도시간 O-D

가구통행실태조사의 낮은 수집률로 인해 도시간 O-D의 zero-cell problem 심화

Literature Review

통행 스케줄 생성 연구

- 통행 스케줄 생성은 시간, 공간, 통행목적, 개인정보 등으로 이루어지는 고차원의 결합확률분포를 추정해야 하는 복잡한 문제임.
- Generative model은 전통적인 방식과 달리 데이터 기반으로 고차원의 통계적 분포를 학습하여 실제와 유사한 데이터를 생성하는 방식임 (Drchal et al., 2019)
- 그 중에서도 variational autoencoder, generative adversarial networks처럼 딥러닝을 기반으로 하는 deep generative model은 통계적인 모델에 비해 고차원의 데이터를 다루는 데 우수한 성능을 가짐 (Borysov et al., 2019)

연구의 차별성

- 기존 연구는 통행 스케줄 생성 연구 범위를 도시 내부로 한정하였음 (Jeong et al., 2021; Vo et al. 2023, 2024)
- Deep generative model을 활용해 가구통행실태조사의 도시간 통행의 분포를 학습하고, 도시간 통행 기록을 생성하여 가구통행실태조사로 수집되지 않는 도시간 O-D를 보완

Deep generative model을 활용해 도시간 통행 스케줄을 생성하고, 가구통행실태조사로 수집되지 않는 도시간 O-D를 보완

Data

데이터 수집

- 대구광역시와 경상북도에서 2016년 가구통행실태조사로 수집된 도시 내부 통행 및 도시간 통행
- 시간 정보, 공간 정보, 통행 목적, 수단 선택, 인구 정보를 one-hot 인코딩 처리

통행 특성		카테고리 (차원)
시간 정보(T)	도착 시각	오전 6시부터 오후 11시까지 시간 단위(18)
	통행 시간	[0, 10), [10, 20), [20, 30), [30, 40), [40, 50), [50, 60), [60, 120), [120, inf) (8)
	활동 시간	하루 24시간을 30분 단위로 범주화(48)
공간 정보(S)	출발 도시	대구광역권의 23개 도시를 6 x 4 그리드로 표현 (2x10)
	도착 도시	
통행 목적(A)	통행 목적	1: 출근 및 등학; 2: 비정기적 여가 활동; 3: 정기적 여가 활동; 4: 귀가; 5: 업무 (5)
수단 선택(M)	이동 수단	1: 도보; 2: 자가용; 3: 대중교통; 4: 택시; 5: 이륜차; 6: 자전거; 7: 모도바이 (7)
개인 정보(X)	성별	1: 남성; 2: 여성 (2)
	연령	1: 유소년인구(0~14세); 2: 생산연령인구(15세~64세); 3: 고령인구(65세 이상) (3)

가구통행실태조사로부터 대구경북권의 모든 내부 통행을 추출하고 학습 데이터로 전처리

Methodology

공간 데이터 전처리

- 대구·경북 23개 시·군을 공간적 위치를 고려하여 6x4 그리드와 1대1 매칭(울릉군은 육지와 떨어진 지리적 특수성을 고려하여 제외)
- 23개의 시군을 생성하는 것보다, x좌표 6개와 y좌표 4개 카테고리를 생성하는 것이 효율적(Kim et al., 2022)

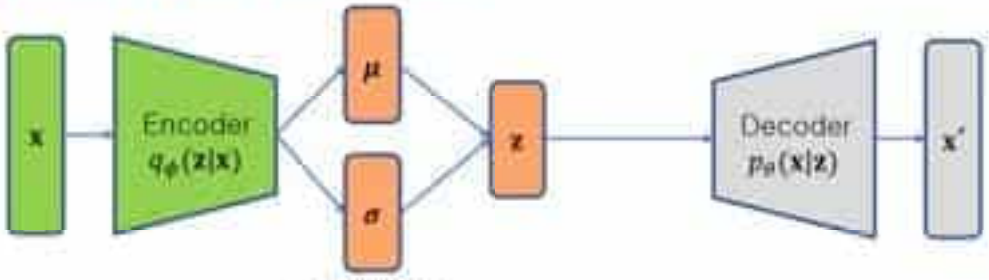
	문경	예천	영주	봉화	울진
상주	의성	안동	청송	영양	영덕
김천	구미	칠곡	군위	영천	포항
성주	고령	대구	경산	청도	경주

모델이 공간 데이터를 잘 처리할 수 있도록 2차원 좌표계로 변환

Methodology

변분 오토인코더

- 변분 오토인코더(VAE)는 고차원의 데이터를 정규분포를 갖는 단순한 잠재공간으로 변환하여 고차원의 데이터의 분포를 학습
- 적대적 생성 신경망(GAN) 등 다른 deep generative model에 비해 원본 데이터에 없는 다양한 통행 스케줄을 생성하는데 적합한 것으로 알려져 있음 (Garrido et al., 2020)
- 변분 오토인코더의 손실 함수는 잠재 공간의 분포와 정규 분포 사이의 거리를 측정하는 Kullback-Leibler divergence와, 디코더가 생성한 데이터와 학습 데이터의 오차를 측정하는 reconstruction loss로 구성됨(Kingma and Welling, 2013)



$$z = \mu + \sigma \odot \epsilon$$
$$\epsilon \sim N(0, I)$$

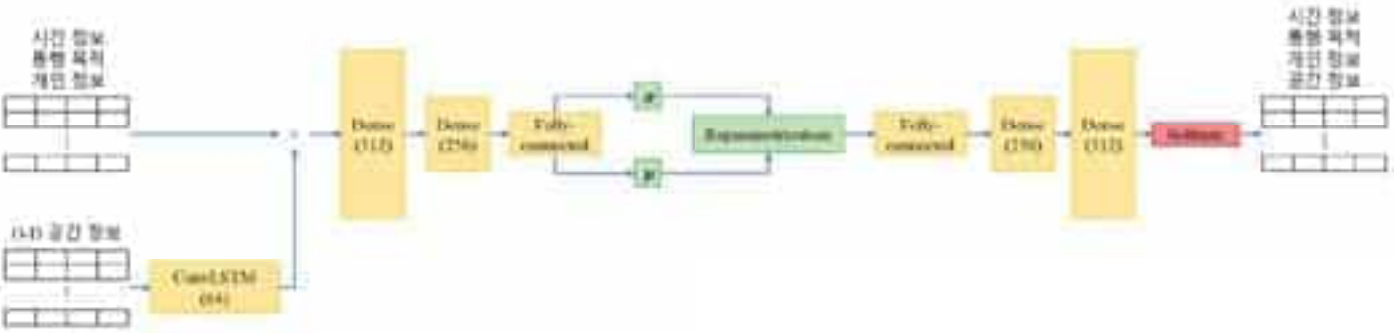
복잡한 통행 스케줄 데이터의 확률분포를 변분 오토인코더를 활용하여 학습

Methodology

신경망 구조

- VAE의 input은 공간 정보와 그 외의 속성(시간 정보, 통행 목적, 개인 정보 등)으로 구성

- 출도착지 공간 정보는 시간 정보와 공간 정보를 모두 처리할 수 있는 ConvLSTM을 활용해 출도착지 사이의 관계를 모델이 잘 학습할 수 있도록 설계함

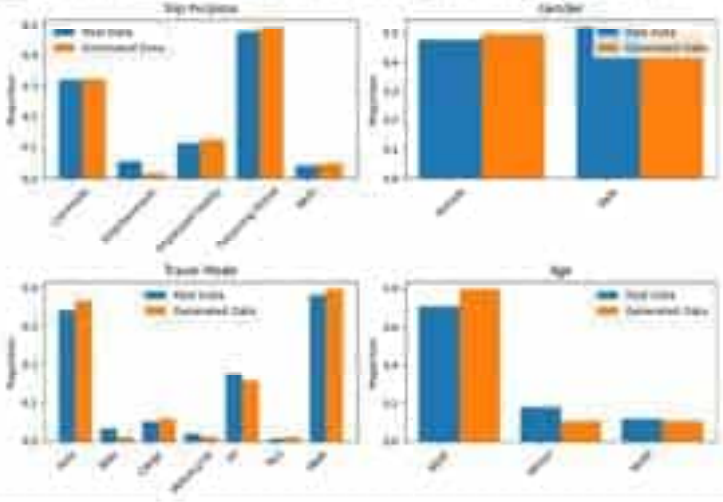


복잡한 시공간 정보의 관계를 잘 학습하는 ConvLSTM 레이어를 활용해 모델의 성능 향상

Result

집적 특성의 분포

- 가구통행실태조사의 표본률을 고려해 모집단 크기를 100배로 가정한 뒤, 그 수만큼 통행 데이터를 생성함

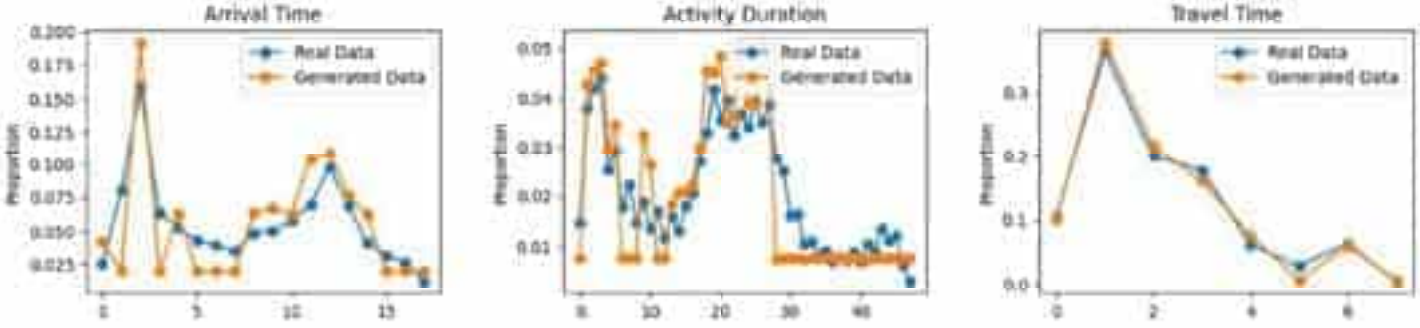


통행목적, 성별, 통행수단, 연령 등 가구통행실태조사의 집적 특성의 분포 학습

Result

시간 속성의 분포

- 가구통행실태조사의 표본률을 고려해 모집단 크기를 100배로 가정한 뒤, 그 수만큼 통행 데이터를 생성함

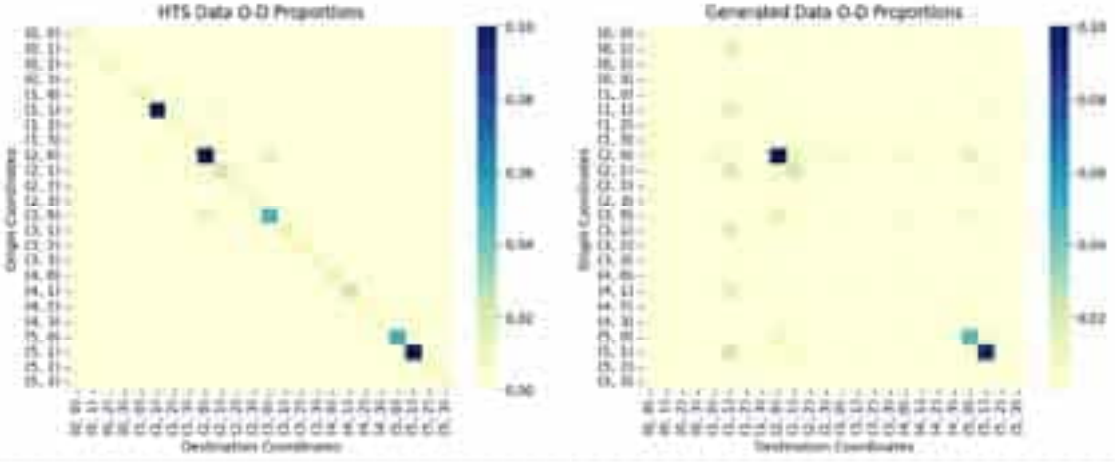


도착 시각, 활동 시간, 통행 시간 등 가구통행실태조사의 시간 속성의 분포 학습

Result

공간 속성의 분포

- 가구통행실태조사의 표본률을 고려해 모집단 크기를 100배로 가정한 뒤, 그 수만큼 통행 데이터를 생성함
- 가구통행실태조사의 도시간 통행 비중이 낮으므로, 모빌리티 빅데이터와 합성을 통해 O-D pair 분포의 현실성 향상 가능



가구통행실태조사로 수집되지 않는 희소한 O-D 조합 생성

Conclusion

연구 요약

- VAE를 활용하여 도시 내부 통행 및 도시간 통행 정보의 분포를 학습하고 통행 데이터를 생성함
- 가구통행실태조사의 **질적 특성 및 시간 속성의 분포를 유지**하면서, 가구통행실태조사로 수집되지 않는 다양한 O-D 조합을 생성하여 가구통행실태조사의 낮은 표본률을 보완함

연구 진행방향

- 각 특성의 Marginal distribution 뿐만 아니라 시공간 속성 조합, 공간-질적 특성 조합 등 다양한 joint distribution에 대한 검증 필요
- 가구통행실태조사를 가상의 전수 데이터로 가정한 후, 일부만을 학습 데이터로 활용한 뒤 VAE가 생성한 분포를 수치적 검증(Garrido et al., 2020; Kim et al., 2023)
- 가구통행실태조사보다 다양한 O-D를 학습 과정에 활용하기 위하여, 네비게이션 데이터나 고속도로 데이터 등 자동 수집 빅데이터와 합성(Kusakabe and Asakura, 2014; Vo et al., 2023)

다른 모달리티 데이터와 합성해 데이터의 다양성을 높이고 고차원 분포를 수치적으로 검증

References

1. *2018 Household Travel Survey Data*. KTDB (Korea Transport Database), Sejong, South Korea. https://www.ktdb.go.kr/eng/contents.do?key=263.Accessed Sep 10, 2024.
2. Bhat, C. R., J. Y. Guo, S. Srinivasan, and A. Sivakumar. Comprehensive econometric microsimulator for daily activity–travel patterns. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2004. 1894(1):57-66.
3. Drchal, J., M. Čertický, and M. Jakob. Data-driven activity scheduler for agent-based mobility models. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2019. 98:370-390.
4. Borysov, S. S., J. Rich, and F. C. Pereira. How to generate micro-agents? A deep generative modeling approach to population synthesis. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2019. 106:73-97.
5. Kim, E.-J., D.-K. Kim, and K. Sohn. Imputing qualitative attributes for trip chains extracted from smart card data using a conditional generative adversarial network. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2022. 137:103616.
6. Garrido, S., S. S. Borysov, F. C. Pereira, and J. Rich. Prediction of rare feature combinations in population synthesis: Application of deep generative modelling. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2020. 120:102787.
7. Kingma, D. P., and M. Welling. Auto-encoding variational bayes. *arXiv preprint arXiv:1312.6114*, 2013.
8. Kusakabe, T., and Y. Asakura. Behavioural data mining of transit smart card data: A data-fusion approach. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2014. 46:179-191.
9. Vo, K., E.-J. Kim, and P. Bansal. A novel data-fusion method to leverage passively collected mobility data in generating spatially-heterogeneous synthetic population. Available at SSRN, 2023.
10. Vo, K. D., Kim, E. J., Lee, H., & Bansal, P. Harnessing Household Travel Survey with Smart Card Data to Generate Spatiotemporally Heterogeneous Activity Schedules for Transit Users. Available at SSRN 4960458.

사사: 본 연구는 국토교통부 스마트시티 혁신인재육성사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

서비스 밸류체인을 통한
데이터 기반 국토교통 산업 발전방안 분석

2024. 10. 25
한국ITS학회 추계학술대회

목차

1 배경 및 목적

2 관련 사례 분석

3 서비스 밸류체인을 통한
데이터 기반 국토교통 산업 발전 방안 분석

4 기대효과

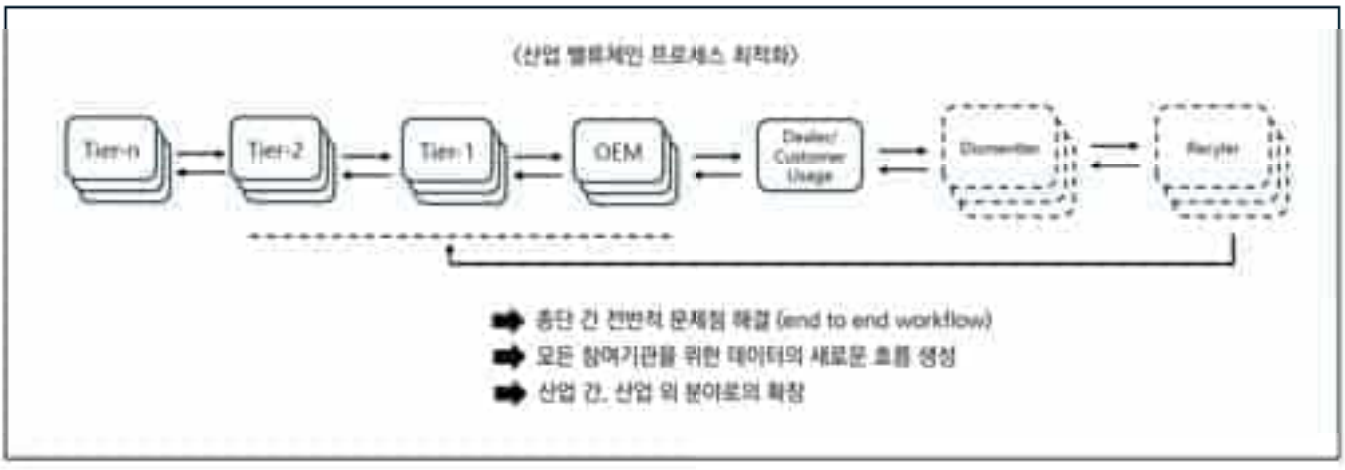
디지털 대전환 시대의 국토교통 산업 방향

- 국토교통 분야와 국가 인프라 간 연관성 증대
  - 국토교통 데이터는 기본적 공공 서비스의 근간이 되며 다양한 산업 생태계 형성 및 경제 성장의 공공재 역할 수행

1. 배경 및 목적

서비스 밸류체인을 기반 국토교통 산업 핵심 데이터 활용

- 객체단위 이동 정보 및 공간 정보를 활용한 산업 전반의 데이터 선순환 구조
  - (Catena-X) 각 주체기관이 권한을 갖는 분권형 구조의 다층적 데이터 교환 및 유즈케이스 이니셔티브 제안



2023 Catena-X or a Catena-X affiliate company

1. 배경 및 목적

서비스 밸류체인을 기반 국토교통 산업 핵심 데이터 활용

- 객체단위 이동 정보 및 공간 정보를 활용한 산업 전반의 데이터 선순환 구조
  - 서비스 밸류체인 : 이용자가 제품 및 서비스 이용 과정에서 가치를 추구하는 일련의 활동으로, 이용자의 여정을 중심으로 관련 서비스를 통합 및 연결된 형태로 제공하여 새로운 가치 창출

국토교통 서비스 밸류체인 예시 : 스마트 픽킹

2. 관련 사례 분석

국내외 사례 분석을 통한 발전방안 분석(1/3)

- (유럽) GAIA-X for Future Mobility (GX4FM)

DLR('24.04), DYNAMIC BUS STOP MANAGEMENT: a result of gaia-x 4 future mobility
DLR('24.04), AUTOMATED DRIVING ODD-Classifier: a result of gaia-x 4 future mobility
DLR('24.04), INTERMODAL MOBILITY: a result of gaia-x 4 future mobility
DLR('24.04), VEHICLE DATA COLLECTION & ROAD CONDITION MONITORING: a result of gaia-x 4 future mobility

국내외 사례 분석을 통한 발전방안 분석(2/3)

- (일본) Ouranos Ecosystem

국내외 사례 분석을 통한 발전방안 분석(3/3)

국토교통 데이터 산업은 각종 사회문제 및 국민의 삶과 맞닿아 있으며, 공공 인프라·서비스의 형태로 국민들에게 제공

이용자의 여정에 따른 서비스의 연결과 실시간 정보 제공을 통해 국민의 편의 증대 및 안전 강화

서비스 연결 및 실시간 정보 제공 예시

4. 기대효과

기업 간 협력 관계 확장을 통한 신규서비스 발굴 및 시장 확대

- 국토교통 데이터 경제적 가치 실현 및 다양한 이해관계자들이 참여할 수 있는 구조 형성
  - 통합형 서비스 발굴·개발을 위해서는 역할에 따라 자발적 유입 및 협력이 가능한 커뮤니티 기반 관련 기업 간 연계 필요
  - 기업 간 협력을 통해 발생한 새로운 가치를 통해 각 분야별, 역할별 주체의 커뮤니티 구성 및 유입 기업 증가 신규 비즈니스 발굴

기업 간 협력을 통한 국토교통 통합형 서비스 발굴 예시

빌류체인 기반 신규 서비스 발굴 및 통합형 서비스 실현

감 사 합 니 다

스마트카드데이터 기반 자료포락분석(DEA)을 활용한 수도권 지하철 환승역 효율성 평가

한국ITS학회 2024년도 추계 학술대회

한은서, 박호철

명지대학교 교통공학과 석사과정
한 은 서

연구 개요

01 연구 배경 및 목적

- 최근 도시화와 인구 집중으로 인해 수도권 지역의 대중교통 시스템은 지속적인 발전과 확장을 필요로 하고 있음
- 대중교통 노선 운영에 있어 하나의 노선이 **모든 이용객의 가 종점을 한번에 연결하는 것은 거의 불가능하기에 필연적으로 환승이 발생**하게 됨
- 따라 **수도권 지역은 지하철과 버스의 복잡한 환승 구조**로 되어 많은 사람들이 효율적으로 이동할 수 있도록 설계되어 있으나, 이러한 시스템 내에서 다양한 불편요소가 존재하고 이를 개선하기 위한 지속적인 연구가 요구됨
- 따라서 본 연구에서는 **수도권 지하철 환승역의 효율성을 분석**하여 현재 운영 중인 환승역이 얼마나 효율적으로 기능하는지를 평가하고, 이를 바탕으로 개선 방향을 제시하고자 함

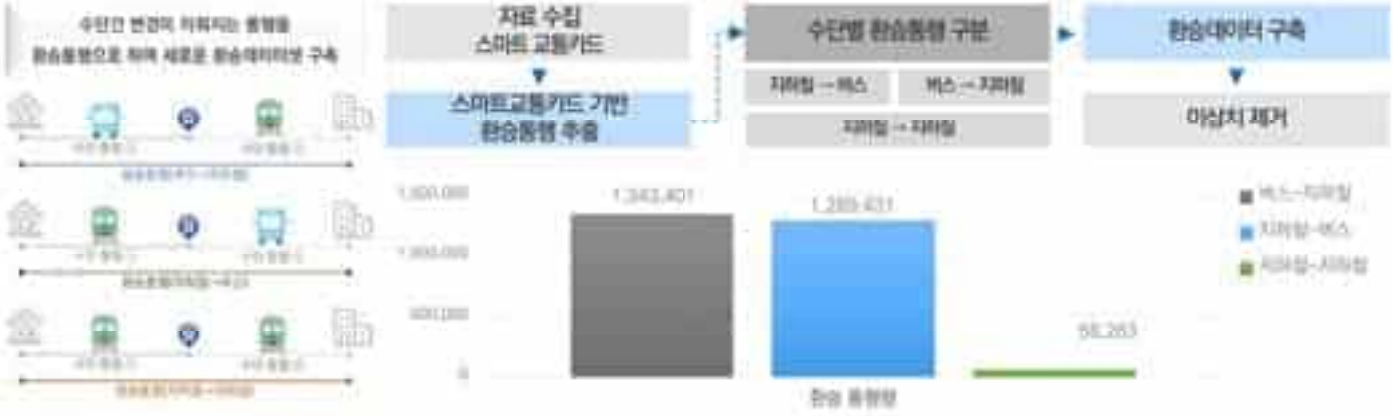
02 연구 방법

데이터 구축

(1) 스마트카드데이터

- 시간적 범위 : 2023.10.1(목)
- 공간적 범위 : 수도권 전체
- 스마트카드 거래내역 데이터의 사용자 구분코드와 승·하차 정보 등을 활용하여 환승 통행 데이터 생성

전체 수단통행 : 30,500,781 통행
수도권 내 수단통행 : 17,516,085 통행 (전체의 약 84%)
수도권 내 목적통행 : 13,325,022 통행
수도권 내 환승통행 : 2,691,455 통행 (수도권 전체 통행의 약 20%)



02 연구 방법

데이터 구축

(2) DEA 분석용 데이터 구축

연구 방법

02 자료포락분석(DEA)

- 자료포락분석(Data Envelopment Analysis: DEA)은 **변수간 상대적 효율성을 비교하는 분석기법으로 투입과 산출이 다수일 때, 이를 단일한 값으로 계산하여 상대적 효율성을 산출하는 방법론**(비모수적 방법론)임
  - 상대적 효율성이란 투입물 대비 산출물의 크기를 나타내며, 연구 목적에 따라 효율성의 지수는 효율성, 형평성, 환경성, 지속가능성 등 다양하게 정의되고 분석에 적용됨
  - 상대적 효율성을 측정하기 위한 대상으로 의사결정 단위(Decision Making Unit: DMU)를 설정하여 개별 DMU 중 가장 효율성이 높은 DMU를 기준으로 효율성을 평가함 (본 연구에서의 DMU는 개별 환승역)
- DEA모형에는 여러 모형이 개발되었는데, 대표적으로 **CRS(Constant Returns to Scale)모형**과 **VRS(Variable Returns to Scale)모형**으로 구분됨
  - **CRS모형 기반의 CCR Model** : input에 따라 산출되는 output이 일정 (불변규모수익)
  - **VRS모형 기반의 BCC Model** : input에 따라 산출되는 output이 일정하지 않음 (가변규모수익)

구분	CCR Model	BCC Model
규모 수익 (Returns to Scale)	Constant (불변 규모 수익)	Variable (가변 규모 수익)
효율성 측정 종류	기술적 효율성	기술적 효율성 + 규모 효율성
적용 가능 상황	모든 DMU가 동일한 규모에서 작동할 때	DMU가 서로 다른 규모에서 작동하며, 규모가 효율성에 영향을 미칠 때
효율성 경계 형태	직선(선형)	볼록 형태(비선형)
모델의 유연성	유연성 낮음	유연성 높음 (DMU의 규모에 따른 산출 비율의 변화를 허용하여 보다 현실적인 분석 가능)

연구 방법

02 자료포락분석(DEA)

- 규모수익을 가정한 이후에는 투입요소와 산출요소에 따라 **투입지향 모형과 산출지향 모형**으로 구분할 수 있음
  - **투입지향 모형**은 산출요소의 수준을 유지하면서 투입을 최소화하여 효율성을 측정함
  - **산출지향 모형**은 투입요소의 수준을 유지하면서 산출을 극대화하는 효율성 측정 방법으로 산출에 초점을 둠

구분	투입지향 모형 (Input-Oriented)	산출지향 모형 (Output-Oriented)
효율성 평가 방식	산출 수준 유지, 투입의 최소화	투입 수준 유지, 산출의 최대화
초점	자원 절감과 비용적 효율성	생산성 증대와 결과 극대화
적용 예시	병원, 학교 등 투입 비용 절감이 중요한 기관	제조업, 서비스업 등 산출 증대가 중요한 기업
모형 선택 기준	투입의 절감 가능성이 높고, 비용 절감이 목적	산출 확대 가능성이 높고, 성과 극대화가 목적

- 본 연구에서는 **환승역별 효율성 평가를 위하여 산출인 환승역별 평균 환승시간이 고정되어 있을 때 효율성을 달성하기 위해 어느 투입요소가 영향을 주는지를 판단하기 위하여 Input-Oriented CCR Model**을 활용함

$$Min\ \theta$$

$$s.t.\quad x_{ki}\theta \geq \sum_{j=1}^{n} x_{ij}\lambda_j \qquad (단,\ i = 1,2,\cdots,m)$$

$$\sum_{j=1}^{n} y_{rj}\lambda_j \geq y_{ki} \qquad (단,\ r = 1,2,\cdots,s)$$

$$\lambda_j \geq 0 \qquad (단,\ j = 1,2,\cdots,n)$$

- Input-Oriented CCR Model의 목적함수의 0는 효율성 점수로 DMU의 목적함수는 0를 최소화하는 문제임
- 목적함수를 최소화하는 값 0가 1이라면 DMU는 더 이상 줄일 투입요소가 없기 때문에 효율성을 달성했다고 해석함
- 0 < 1이면 투입을 줄일 수 있는 여지가 있기 때문에 비효율적이라고 할 수 있음

평균환승시간, 환승거리를 output으로 하고 나머지 변수 전체 input

연구 방법

02 DEA 분석 이후 추가 분석

(1) Anderson and Pearson Method

- DEA의 기본 모형에서는 효율적인 DMU는 모두 효율성 값이 1로 동일하게 나타나기 때문에 이들 사이의 순위를 매기는 것이 어렵기에 **Anderson and Pearson Method(AP 모형)를 활용할 예정임**
- AP 모형은 기존의 효율적 DMU를 효율성 경계(efficiency frontier)에서 제외한 후, 나머지 DMU들에 대해 새로운 DEA 분석을 수행하여 기존의 효율적 DMU를 평가함
  - 이를 통해 **효율적인 DMU들 간의 효율성 차이를 정량화**할 수 있음

(2) Binary Logistic Regression Analysis

- DEA에서 상관관계가 높은 변수가 존재할 때 어떤 효과가 나타나는지는 항상 명확하지 않으며, **DEA 자체가 비모수적인 방법**이기 때문에 변수 간의 상관관계가 통계적 영향을 미친다고 보기는 어려움
  - 실제 Avkiran(2002)이 제시한 것처럼 완벽한 상관관계를 갖는 두 투입요소를 모형에 모두 포함시킨 경우와 하나만 포함시킨 경우의 효율성 계수 값은 크게 변화하지 않음
- 어떤 변수가 효율성 점수에 영향을 미치는지에 대한 분석은 로지스틱 회귀분석이나 토빗 회귀분석을 활용하여 식별할 수 있음
- 본 연구에서는 효율성 값이 1인 DMU와 그렇지 않은 그룹으로 구분하여 이항변수를 만들어 **이항 로지스틱 회귀모형(binary logistic regression model)**을 통해 **어떤 독립변수가 DMU의 효율성에 영향을 미치는지 분석**함

연구 결과

03 DEA 모형 분석 결과

역 이름	bus_metro	metro_bus	metro_metro
[illegible]	0.89	0.83	0.73
[illegible]	0.87	0.88	1.00
[illegible]	1.00	1.00	0.79
[illegible]	1.00	1.00	0.89
[illegible]	0.89	1.00	0.90
[illegible]	0.94	1.00	1.00
[illegible]	0.79	1.00	1.00
[illegible]	1.00	1.00	0.98
[illegible]	0.93	1.00	1.00
[illegible]	0.79	1.00	0.69
[illegible]	0.78	0.81	1.00
[illegible]	0.88	1.00	1.00
[illegible]	0.83	1.00	0.73
[illegible]	0.85	0.94	1.00
[illegible]	0.82	1.00	0.82
[illegible]	0.94	1.00	1.00
[illegible]	0.89	1.00	1.00
[illegible]	0.99	1.00	1.00
[illegible]	0.82	1.00	1.00
[illegible]	0.85	0.99	0.93

역 이름	bus_metro	metro_bus	metro_metro
[illegible]	0.80	1.00	1.00
[illegible]	1.00	1.00	0.87
[illegible]	0.80	0.96	0.99
[illegible]	0.83	0.97	0.97
[illegible]	0.90	0.96	0.94
[illegible]	0.78	1.00	1.00
[illegible]	0.84	1.00	0.98
[illegible]	0.87	1.00	0.89
[illegible]	0.80	0.97	1.00
[illegible]	0.88	0.97	1.00
[illegible]	0.80	0.94	0.84
[illegible]	0.77	0.87	1.00
[illegible]	0.89	1.00	0.82
[illegible]	1.00	0.94	1.00
[illegible]	1.00	0.96	1.00
[illegible]	0.85	0.94	0.84
[illegible]	0.77	0.87	1.00
[illegible]	0.89	1.00	0.82
[illegible]	1.00	0.98	1.00
[illegible]	1.00	0.98	1.00

역 이름	bus_metro	metro_bus	metro_metro
[illegible]	0.97	1.00	1.00
[illegible]	0.79	1.00	0.89
[illegible]	0.91	0.94	1.00
[illegible]	0.86	0.87	0.96
[illegible]	0.80	1.00	1.00
[illegible]	0.79	0.88	0.85
[illegible]	0.77	0.95	1.00
[illegible]	0.74	0.83	1.00
[illegible]	0.86	1.00	0.99
[illegible]	0.73	0.84	1.00
[illegible]	0.95	1.00	1.00
[illegible]	0.87	0.86	1.00
[illegible]	0.79	1.00	1.00
[illegible]	0.94	1.00	1.00
[illegible]	0.79	0.84	1.00
[illegible]	0.85	0.86	1.00
[illegible]	0.84	1.00	1.00
[illegible]	0.84	0.99	1.00
[illegible]	0.97	1.00	1.00
[illegible]	0.90	1.00	1.00

역 이름	bus_metro	metro_bus	metro_metro
[illegible]	0.78	1.00	1.00
[illegible]	0.79	1.00	1.00
[illegible]	1.00	0.83	0.70
[illegible]	0.74	0.82	0.84
[illegible]	0.80	0.96	1.00
[illegible]	0.82	0.85	1.00
[illegible]	0.83	0.93	0.81
[illegible]	0.84	0.82	1.00
[illegible]	0.80	1.00	1.00

* 모든 수단에서 효율성이 1인 역은 제외하고 기재

- 버스-지하철의 환승 효율성이 가장 안 좋은 역
- 지하철-버스의 환승 효율성이 가장 안 좋은 역
- 지하철-지하철의 환승 효율성이 가장 안 좋은 역

연구 결과

03 분석 결과 (버스→지하철 환승)

- 버스에서 지하철로 환승하는 경우의 역 효율성이 낮게 평가되는 경우가 가장 빈번하게 발생함
- 어떤 변수가 환승역 효율성에 영향을 주는지 판단하기 위해 환승 효율성(binary)로 설정된 종속변수로 하여 **로지스틱 회귀분석**을 실시함

variables	B	Std.Error	z	p-value	해석
stn_depth	−0.1183	0.0509	2.327	0.01995*	역의 깊이가 깊을수록 효율성 ↓
stn_bus	−0.4732	0.1824	2.595	0.00946**	주변 버스정류장의 수가 많은 역은 효율성 ↓
stn_complex	−0.0666	0.0228	2.922	0.00476**	혼잡도가 높은 역은 효율성 ↓
stn_trans_route	−2.035	0.6145	2.221	0.02571*	환승 가능한 노선 수가 많은 역은 효율성 ↓
bus_trans_route	−0.1258	0.05758	2.184	0.02902*	버스에서 지하철로 환승하는 동선이 많은 역은 효율성 ↓

- 분석 결과 **환승역의 심도, 주변 버스정류장의 수, 혼잡도, 환승 가능 노선 수, 환승 동행 경로 수**가 환승 효율성에 부정적인 영향을 미침

ex. 1호선 서울

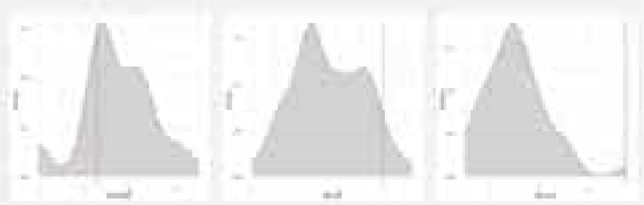
연구 결과

03 분석 결과 (지하철→버스 환승)

- 동일하게 지하철에서 버스로 환승하는 경우에 대해서도 어떤 변수의 영향이 크게 나타나는지 확인하기 위하여 **로지스틱 회귀분석**을 실시함
- 분석 결과 **환승역의 심도, 환승역의 출입구 개수, 주변 버스정류장의 수**가 환승 효율성에 부정적인 영향을 미침

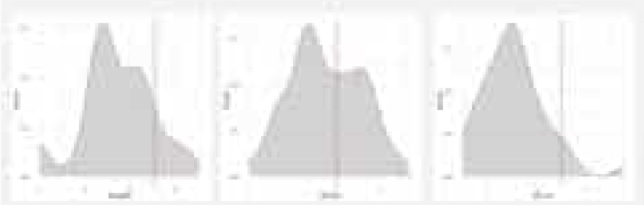
variables	B	Std.Error	z	p-value	해석
stn_depth	−0.0888	0.04111	−2.116	0.03430*	역의 깊이가 깊을수록 효율성 ↓
stn_exit	−0.2057	0.1284	−1.763	0.00802**	역 출입구의 개수가 많은 역은 효율성 ↓
stn_bus	−0.2609	0.1306	−2.000	0.02507*	주변 버스정류장 수가 많은 역은 효율성 ↓

ex. 1호선 서울



- 역의 깊이가 큰 영향을 주지는 않지만 출입구 수 및 주변 버스정류장 수가 많아 환승 효율성이 낮게 평가됨

ex. 6호선 합정



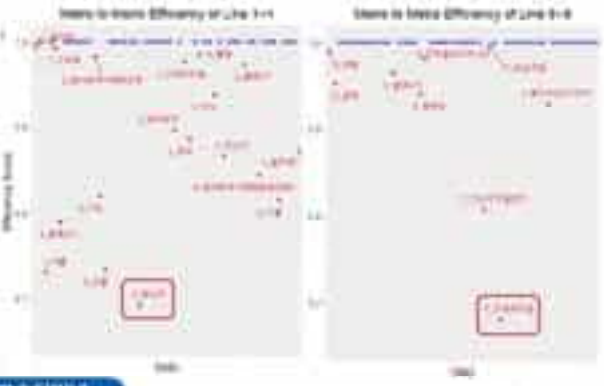
- 깊이가 상대적으로 깊고 출입구 수, 버스정류장 수도 많아 혼잡도 및 복잡성을 유발하여 효율성이 낮게 평가됨

연구 결과

03 분석 결과 (지하철→지하철 환승)

- 동일하게 지하철역서 버스로 환승하는 경우에 대해서도 어떤 변수의 영향이 크게 나타나는지 확인하기 위하여 **로지스틱 회귀분석**을 실시함
- 분석 결과 **환승역의 출입구 수, 엘리베이터 수, 평균 환승도보시간, 평균 환승평면거리**가 환승 효율성에 부정적인 영향을 미침

variables	B	Std.Error	z	p-value	해석
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]



ex. 2호선 환승역

ex. 7호선 고속터미널

결론

04 시사점 및 향후 연구 계획

- 본 연구에서는 수도권 환승역을 대상으로 **여러 환승 특성을 고려할 수 있는 데이터를 구축**하여 **환승 효율성을 평가**하였으며, 환승 효율성을 높일 수 있는 방안을 제시하는 것을 목표로 함
- 환승 효율성에 영향을 주는 변수로는 **환승역의 심도, 주변 버스정류장의 수, 혼잡도, 환승 가능 노선 수, 환승 통행 경로 수, 환승역의 출입구 수, 엘리베이터 수, 평균 환승도보시간, 평균 환승평면거리**가 있음
- 이는 이용자들이 실제로 환승 시 시간을 직접적으로 고려하지 않고 행동하는 패턴을 보이며, 환승역의 물리적 시설이나 구조적 요소들이 더 큰 영향을 미치고 있다는 것을 시사함
  - 환승역의 효율성을 개선하기 위해서는 통행시간을 줄이기 위한 동선을 개선하거나, 출구/환승경로 최적화와 같은 시설적 개선이 우선시되어야 함

한계점

- **(데이터 제한성)** 수도권 전체 환승역에 대한 DB를 구축하려고 하였으나, 데이터 취합의 한계로 서울교통공사에서 운영하는 환승역에 대해서만 분석
- **(변수의 복잡성)** 분석에 사용된 변수들이 환승 효율성에 미치는 영향을 명확하게 규명하지 못하여 정량적 평가의 어려움
- **(모형의 적용범위)** DEA 모형 중 Input-Oriented CCR Model을 활용하여 효율성을 평가하였으나, 규모의 경제를 고려하지 못함

향후 연구계획

- 수도권 내에 있는 전체 지하철 환승역에 대한 DB구축 예정
- 정량적 평가가 가능한 방법론에 대한 고찰 및 추가 input 변수 고려 예정
- Input-Oriented Model 외에도 Output-Oriented 모형 적용하여 최적 운영 방향 제시
- 효율성 평가 결과를 통해 역별로 구체적인 개선 방향 및 실질적인 방안 제시

감사합니다

(석사과정 천은서, sylvia6629@naver.com)

한국ITS학회

부록

DEA 결과 (전체)

역 이름	Sue_metro	metro_Sue	metro_metro
1_서울	0.69	0.43	0.73
1_서강	0.67	0.68	1.00
1_홍대입구	1.00	1.00	0.79
1_동대문	1.00	1.00	0.89
1_신설동	0.86	1.00	0.89
1_동묘앞	0.94	1.00	1.00
1_동대문	1.00	1.00	1.00
2_시청	0.79	1.00	1.00
2_동대문(2)	1.00	1.00	1.00
2_동대문(3)	1.00	1.00	1.00
2_동작사	1.00	1.00	0.90
2_신당	0.80	1.00	1.00
2_동대문	0.79	1.00	0.69
2_신사동교	1.00	1.00	1.00
2_동일	0.76	0.91	1.00
2_동일(2)동일	0.98	1.00	1.00
2_선릉	0.69	1.00	0.73
2_강남	1.00	1.00	1.00
2_교대	0.69	0.94	1.00
2_서강	0.65	1.00	0.92

역 이름	Sue_metro	metro_Sue	metro_metro
2_신림	0.94	1.00	1.00
2_서림	1.00	1.00	1.00
2_신구로	0.95	1.00	1.00
2_동일(2)구로	0.92	1.00	1.00
2_보라	1.00	1.00	1.00
2_동양	0.97	1.00	1.00
2_동대문(2)	0.95	0.99	0.93
2_동일(4)	0.99	1.00	1.00
2_신설동	1.00	1.00	1.00
2_동산(4)	1.00	1.00	0.87
2_동일	0.90	0.96	0.94
2_동대문(3)	0.94	0.97	0.97
2_동대문(2)	1.00	1.00	1.00
2_동작	0.90	0.96	0.97
2_수서	1.00	1.00	1.00
2_신사	0.79	1.00	1.00
2_고속(2)동일	0.94	1.00	0.98
2_교대	0.87	1.00	0.88
2_양재	0.80	0.97	1.00
2_도곡	1.00	1.00	1.00

역 이름	Sue_metro	metro_Sue	metro_metro
3_수서	0.69	0.97	1.00
3_가락시장	1.00	1.00	1.00
3_오금	1.00	1.00	1.00
4_노원	1.00	1.00	1.00
4_동화	1.00	1.00	1.00
4_동작사	1.00	1.00	1.00
4_홍대문	0.80	0.94	0.94
4_서울	0.77	0.97	1.00
4_신사동	0.88	1.00	0.92
4_서초	1.00	1.00	1.00
4_동대문(2)동일	1.00	1.00	1.00
4_홍대문(3)	1.00	1.00	1.00
4_서강	1.00	0.94	1.00
5_신사공동	1.00	1.00	1.00
5_서강(2)	1.00	0.96	1.00
5_동일(2)동일	1.00	1.00	1.00
5_신도	1.00	1.00	1.00
5_서대문	0.97	1.00	1.00
5_강남	0.79	1.00	0.99
5_홍대문	0.91	0.94	1.00

한국ITS학회

부록

DEA 결과 (전체)

핵 지름	Sys_matrix	matrix_bus	matrix_matrix
5_홍보고가	0.88	0.87	0.88
5_김지용사무	1.00	1.00	1.00
5_정구	1.00	1.00	1.00
5_정보의	0.87	1.00	1.00
6_구역(노동)	0.78	0.88	0.88
6_전화	0.77	0.86	1.00
5_고동	0.74	0.83	1.00
5_홍보역대표	1.00	1.00	1.00
5_노남	1.00	1.00	1.00
6_최종	1.00	1.00	1.00
6_기자의	0.89	1.00	0.88
6_정동	0.73	0.84	1.00
6_김의	0.88	1.00	1.00
6_홍보실원장	0.87	0.86	1.00
6_남기자	0.75	1.00	1.00
6_개사	0.88	1.00	1.00
6_정구	1.00	1.00	1.00
6_전남	1.00	1.00	1.00
6_홍보실	0.75	0.84	1.00
6_보전	1.00	1.00	1.00

핵 지름	Sys_matrix	matrix_bus	matrix_matrix
6_지주	0.88	0.88	1.00
6_개발입구	1.00	1.00	1.00
7_도동산	1.00	1.00	1.00
7_노동	0.84	1.00	1.00
7_개발입구	0.84	0.88	1.00
7_전화	0.87	1.00	1.00
7_구역(노동)	1.00	1.00	1.00
7_전화입구	0.86	1.00	1.00
7_교보구역	0.76	1.00	1.00
7_소동	0.78	1.00	1.00
7_교보역대표	1.00	0.83	0.78
7_홍보역입구	0.74	0.83	0.84
7_보전동	0.83	0.88	1.00
7_개원	0.83	0.88	1.00
7_Fortitude(가)	0.83	0.83	0.83
7_동수	0.84	0.83	1.00
8_전화(홍보대표)	1.00	1.00	1.00
8_정보(노동구역)	1.00	1.00	1.00
8_지주	1.00	1.00	1.00

핵 지름	Sys_matrix	matrix_bus	matrix_matrix
8_구역사장	0.83	1.00	1.00
8_복정	1.00	1.00	1.00
8_오전	1.00	1.00	1.00
8_전동동	1.00	1.00	1.00
8_홍보실원장	1.00	1.00	1.00

인공지능(II)

Session

D-4

교통분야에서의 대규모 언어 모델의 적용을 위한 기술 동향 분석 연구
강준희, 김수재, 김관용, 추상호

LLM 기반 교통사고 판결예측 시스템
민현식, 노병준

Visual LLM 기반 지정차로제 위반 검지
이상현, 이요셉, 윤일수

Video Diffusion를 활용한 차량 영상 센서 데이터 손실 보간 기법
임재균, 노병준

LLM 기반 화물차 적재 크기 초과 여부 판단
정한솔, 이상현, 윤일수

딥러닝 모델과 XAI 기법을 활용한 드론뷰 영상에서 도심 주행 차량의 차선 변경 궤적 예측 및 해석 연구
홍석준, 노병준

교통분야에서의 대규모 언어 모델의 적용을 위한 기술 동향 분석 연구

홍익대학교 강준희, 김수재, 김관용, 추상호

1. LLM 개념 및 이해

1.1. LLM(Large Language Model)의 정의

- 대규모 데이터 셋을 바탕으로 학습한 인공지능 모델
- 자연어 이해 및 생성 능력이 뛰어난 모델을 의미함
- Transformer구조를 기반으로 하며, 수십억개 이상의 매개변수를 가지고 있음
- 단순한 언어 처리뿐만 아니라 복잡한 질의 응답, 텍스트 요약, 번역 등 다양한 자연어 처리 작업(NLP: Natural Language Processing)을 수행할 수 있음

1.2. LLM(Large Language Model)의 주요특징

- 대규모 텍스트 데이터를 학습하여 언어의 다양한 패턴과 구조를 이해함.
- 하나의 모델이 여러 자연어 처리 NLP(Natural Language Processing)가능
- 텍스트의 문맥을 이해하고, 이전 대화나 텍스트를 바탕으로 더 나은 응답 생성 가능
- 학습된 데이터에 기반하여 다양한 분야의 지식을 통합, 활용 가능함.
- 자연어 명령어를 따르도록 학습되어 있으며, 사용자 프롬프트에 따라 다양한 작업이 가능
- 텍스트 뿐만 아니라 이미지, 오디오 등 비정형 데이터를 처리 및 생성 가능

---

2. LLM 모형 구현: 7 단계 프로세스

2.1. LLM 모형 구현 : 7 단계 프로세스

- 1단계 - 요구 사항 분석 : LLM을 적용하려는 구체적인 목표를 설정(예시, 트립 다이어리 데이터를 활용해 경로 개인 맞춤 추천) 하고 요구 사항들을 이용자인터뷰 혹은 설문조사로 파악함.
- 2단계 - 데이터 수집 및 데이터 전처리 : LLM학습을 위한 데이터를 수집함 (예시, 트립 다이어리 데이터, 실시간 교통 정보, 과거 교통 패턴 데이터 등). 수집한 데이터를 LLM이 처리할 수 있도록 데이터를 표준화함(예시, 텍스트 데이터는 토큰화, 정규화 과정을 수행함)
- 3단계 - 모델 선택 및 미세 조정 : 목표에 적합한 LLM을 선택함(예시, 경로 추천에 적합한 LLM 아키텍처로는 GPT, T5, BERT 등이 있음). 선택한 모델에서 목표에 적합한 하이퍼파라미터 조정이 요구됨
- 4단계 – 모델 학습 및 미세조정 : 대규모의 일반적인 텍스트 데이터로 사전 학습을 실시함. 사전 학습된 모델을 트립 다이어리 데이터와 같은 데이터로 미세 조정을 실시함.
- 5단계 – 모델 검증 및 테스트 : 별도의 데이터 셋으로 모델을 검증하고 정확도, 반응시간, 사용자 만족도 측면에서 성능평가실시함. 필요시 데이터 셋을 추가 하거나 모델의 하이퍼 파라미터 조정이 가능함.

2.1. LLM 모형 구현 단계

- 6단계 – 시스템 통합 및 배포 : LLM을 기존 시스템에 통합하여 차면이 기반 경로 추천 기능을 제공함. LLM이 외부 애플리케이션과 상호 작용할 수 있도록 API개발 및 배포
- 7단계 - 지속적인 개선 : 실제 이용자가 LLM을 사용하면서 제공하는 피드백을 수집하며, 실시간 데이터를 바탕으로 학습시킴으로써 모델을 지속적으로 개선함.

3. LLM 모형의 교통 분야 활용 가능성

3.1. LLM 모형의 교통 분야 활용 가능성 (경로 추천 부분)

- 자연어 기반의 경로 요청 처리 가능: 이용자가 자연어로 경로를 요청 할 수 있음.
  - 예시: "서울에서 부산까지 가장 빠르게 갈수 있는 경로를 알려줘" 사용자가 출발지와 목적지를 정해진 형식에 맞춰 입력하지 않고 음성으로 경로 요청 가능

- 맞춤형 경로 추천 가능: 이용자의 과거 경로 패턴, 선호도, 현재 교통 상황을 기반으로 경로 추천 가능. 또한 이용자가 원하지 않는 교통 상황들을 제외한 대체 경로 제안이 가능.
  - 예시: "서울에서 부산까지 내가 주로 많이 이용한 경로로 알려줘. 길이 막히더라도 익숙한 경로로 편안하게 가고 싶어"

- 피드백을 반영한 경로 추천 가능: 이용자의 피드백을 학습하여 다음 번 경로 추천 가능함
  - 예시: "지난번 부산 갈 때, 추천 경로가 너무 복잡하더라" 이러한 피드백을 주면 다음 번 경로 요청시에는 좀더 간단한 경로를 추천해줌

4. LLM을 활용한 교통 경로 제안 시스템과 기존 시스템과의 비교

4.1. LLM을 활용한 경로 추천 v.s 기존 경로 추천 앱 비교

	LLM 경로 추천	기존 경로 추천 앱
1. 자연어 이해 및 상호 작용	• 자연어처리가능 • 복잡한 요청이나 질문을 이해하고 이에 적합한 경로 제안 가능	• 앱이 정한 형식에 맞춰서 출발지, 도착지 정보를 입력해야함 • 복잡한 요청이나 특수 상황에 대한 처리가 미숙함
2. 맞춤형 추천과 예측 가능성	• 이용자의 과거 경로 이동 패턴, 선호도, 특정 시간대 교통 상황 예측하여 맞춤형 경로 제안 가능	• 현재 위치, 목적지 실시간 교통 상황만을 기반으로 경로 추천함 • 과거 운행 경로 패턴이나 개별 데이터 활용이 떨어짐
3. 다양한 정보 처리 및 멀티모드 기능	• 텍스트, 이미지, 오디오 등 다양한 데이터 유형을 통합하여 경로 추천 가능	• 주로 교통 정보와 지도 데이터를 연계하여 경로 추천함. • 다양한 데이터를 통합하는 기능은 제한적임
4. 상황에 따른 유연성 및 학습 능력	• 이용자의 실시간 피드백을 바탕으로 실시간 학습이 가능하며, 이에 따른 경로 추천이 가능함.	• 기존 앱에서 제안하는 프로그램 규칙에 따라 경로 추천을 함 • 이용자의 피드백에 의한 학습은 제한적임

4.2. 트립 다이어리 데이터의 LLM활용

- 트립 다이어리 데이터를 활용한 맞춤형 모델 학습 가능 : 이용자가 자주 이용하는 경로나 선호하는 교통 수단을 LLM이 학습하면 특정 시간대나 교통 상황에서 자동으로 해당 경로를 제안하거나 대체 경로나 대체 모드를 제시할 수 있음

- 데이터 기반의 실시간 교통 예측 및 최적화 : LLM이 트립 다이어리 데이터를 활용하여 특정 시간대 혹은 날씨 조건에 따라 해당 시간대 대체 경로 추천이 가능함

- 이용자 피드백과 지속적인 학습 가능 : LLM은 트립 다이어리 데이터를 통해 이용자 피드백을 학습하여 추천 경로의 만족도를 지속적으로 향상시킬수 있음

- 패턴 인식 및 예외 처리 가능 : LLM은 이용자의 특정한 이동패턴을 감지 하고 이를 바탕으로 특정한 상황에 대한 대응을 학습함. 따라서 이에 적절한 경로 제안이 가능해짐

- 다중 이용자 패턴 분석 가능: 개별 이용자 뿐만 아니라 여러 이용자들의 데이터를 통합하여 특정 지역이나 시간대 교통 패턴을 분석 할수 있음. 따라서 지역 특성에 맞는 경로 설정이 가능함

LLM기반 교통사고 판결예측 시스템

LLM-based Traffic Accident Sentencing Prediction System

민현식[1)]
(순천향대학교 AI·빅데이터학과, 학사과정)

노병준*
(순천향대학교 AI·빅데이터학과, 조교수)

Key Words : Legal Sentencing Prediction, Large Language Models, Multitask Learning, Grouped query attention

목 차

Ⅰ. 서론 ····· 1
Ⅱ. 관련 연구 ····· 1
Ⅲ. 방법론 ····· 2
Ⅳ. 실험 및 실험결과 ····· 3
Ⅴ. 결론 ····· 4

Ⅰ. 서론

교통사고는 운전자의 과실, 도로 여건, 기상 상태, 차량 결함 등 다양한 요인에 의해 발생하며[1], 이는 경제적 및 사회적으로 심각한 피해를 야기한다[2]. 이러한 사고에 대한 법적 처리는 형사 사건과 민사 사건으로 구분되며, 형사 사건은 주로 과속이나 음주 운전과 같은 중대한 위법 행위를 다룬다. 이 경우 운전자는 벌금, 집행유예, 징역과 같은 처벌을 받을 수 있으며, 이를 위한 정밀한 과실 판단과 적절한 형량 결정이 필수적이다.

교통사고의 과실 판단 과정은 사고와 관련된 여러 요소를 면밀하게 분석해야 하는 복잡한 절차를 요구한다[3]. 특히 난폭 운전이나 음주운전과 같은 사건에서는 과실의 정도가 형량에 직접적인 영향을 미친다. 그러나, 기존의 과실 판단 방식은 주관적인 평가에 크게 의존하여, 시간이 소요될 뿐 아니라 결과의 일관성에 문제가 발생할 수 있다[4]. 따라서 형사 사건에서 객관적이고 일관된 평가 방법의 도입이 요구된다.

최근, 대규모 언어 모델(Large Language Model, LLM)의 발전은 자연어처리 분야에 획기적인 변화를 가져왔다. LLM은 복잡한 텍스트 데이터를 효율적으로 분석하고 해석할 수 있다. BERT[5], GPT-4o[6], LLaMA 3.1[7] 등의 최신 기술은 이러한 혁신의 중심에 서 있으며, 고객 서비스[8], 번역[9], 텍스트 분석[10], 검색 엔진[11][12] 등 다양한 실무 영역에서 탁월한 정확성과 유연성을 입증하며 새로운 기준을 제시되고 있다.

LLM을 법률 분야에 적용하려는 관심이 급증하고 있다. 법률 언어는 복잡한 용어와 논리적 구조로 구성되어 있어, 이를 처리할 수 있는 LLM의 능력이 주목받고 있다[13]. LLM의 법률 프로세스 도입은 자연어 입력의 정확한 해석과 법적 문서의 자동 생성을 가능하게 하여, 판사 및 변호사 등 법률 전문가의 업무 효율성을 획기적으로 증진시킬 수 있다. 또한, 방대한 법률 문서를 수작업으로 검토하는 시간을 단축시킴과 동시에, 복잡한 사건에서 중요한 세부 사항을 제공하여 새로운 법적 통찰을 도출하는 데 기여할 수 있다[13][14].

본 연구에서는 LLM기반 교통사고 판결예측 시스템을 제안한다. 제안한 시스템은 교통사고와 관련된 판결문을 종합적으로 분석하여 징역의 기간, 벌금의 금액, 집행유예의 확률을 예측하는 데 주안점을 두고 있다. 본 연구의 주요 기여는 1) 교통사고 판결예측에 LLM을 적용한 점, 2) Grouped Query Attention(GQA)을 적용한 Bi-LSTM을 설계해 관련 법적 정보를 효과적으로 처리하고 모델 성능을 향상시킨 점, 3) 멀티태스킹 학습을 통해 여러 법적 결과를 동시에 예측하며 상호 연관성을 활용해 예측 성능을 최적화한 점이다.

Ⅱ. 관련 연구

자연어 처리 기술의 비약적인 발전은 복잡한 텍스트에서 문맥을 학습하고 예측하는 능력을 크게 향상시키며, 다양한 분야에서 중요한 도구로 자리 잡고 있다. 특히, 법률 분야에서의 활용 가능성 또한 주목받고 있다.

그 예로서, 유럽에서는 유럽인권협약 위반 여부를 예측하는 머신러닝 모델에 대한 연구가 진행되었다[15]. 이 연구는 유럽인권재판소의 판결 데이터를 분석해 판결 결과를 예측한 것으로, 서포트 벡터 머신(SVM)[16]을 활용하여 유럽인권협약에 따른 다양한 권리 침해 사건의 판결을 예측했다. 다양한

실험에서 SVM은 n-그램 분석이나 판사의 이름만을 사용한 예측에서 평균 75%의 정확도를 기록하였다.

또 다른 예로, 아랍어 법률 문서를 분석해 법원 판결을 예측한 연구가 있다[17]. 이 연구는 모로코 대법원의 판결 데이터를 사용해, Global Vectors for Word Representation(Glove) 모델[18]과 FastText 모델[19]을 훈련시켜 판결을 예측한 것으로, Glove와 Convolutional Neural Network(CNN) 기반 아키텍처가 약 80%의 정확도로 뛰어난 성능을 보였다.

그러나, 기존 연구들은 일반적인 범위를 다루거나 특정 요인의 영향만을 고려하기 때문에 사건의 현장과 상황을 종합적으로 고려하는 데 한계가 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해 LLM이 법률 분야에 활용되기 시작했다. LLM의 활용은 법률 텍스트를 처리하고 생성하는데, 속도와 정확성을 크게 향상시켰다[20].

그 예로서, 유럽인권재판소의 데이터를 사용하여 계층적 BERT 모델을 적용한 연구가 있다[21]. 이 연구는 긴 법률 텍스트에 대한 높은 성능을 나타냈다. 또 다른 예로서, SaulLM-7B가 있다[22]. SaulLM-7B는 법률 영역에 특화된 LLM으로, 법률 텍스트를 이해하고 생성하는 데 최적화되어 있다. 이 모델은 70억개의 파라미터를 기반으로 구축되었으며 300억개 이상의 법률 데이터로 학습되었다.

이러한 발전에도 불구하고, 이러한 모델들은 질문에 대한 답변을 제공하는 데 중점을 두고 있다. 본 연구에서 제안하는 시스템은 법률 문서를 이해하고 판결예측을 수행하기 위해 LLM의 문맥 이해력과 학습 능력을 활용하도록 설계하였다.

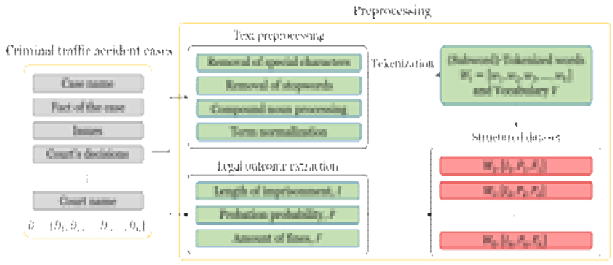
III. 방법론

1. 전처리

본 연구에서 전처리 모듈의 목적은 광범위한 교통사고 판례에서 법적 결과를 구조화하고 단어 토큰화를 통해 어휘를 구축하는 것이다. 전처리 모듈의 구조는 <그림 1>과 같다.

먼저, 전처리 모듈에서는 판결문으로부터 징역의 기간(I), 집행유예의 확률(P), 벌금의 금액(F) 정보를 추출해 해당 변수에 저장한다. 다음으로, 판결문의 요지 부분을 특수문자와 불용어를 정제 처리한다. 이 과정을 통해 정제된 텍스트는 사전 학습된 ALBERT 토크나이저[23]를 활용하여 토큰화된다.

토큰화된 판결문은 숫자 인덱스로 변환되어 앞서 추출한 징역의 기간(I), 집행유예의 확률(P), 벌금의 금액(F)과 결합하여 법률 도메인 특화 임베딩과 ALBERT모델[23]의 input으로 활용된다.



<그림 1> 전처리 모듈 구조

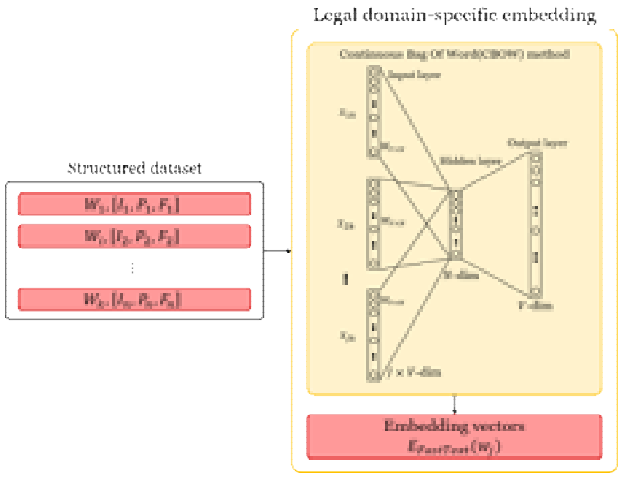
2. 법률 도메인 특화 임베딩

본 절은 전처리 과정을 통해 생성된 토큰을 바탕으로 법률 도메인에 특화된 임베딩 행렬을 생성 과정을 설명한다. 법률 도메인 특화 임베딩 모듈의 구조는 <그림 2>와 같다.

법률 도메인 특화 임베딩은 교통사고 관련 법률의 맥락과 용어를 효과적으로 이해하여, 판결예측의 성능을 향상시키기 위해 설계되었다. 기존 LLM(ALBERT, BERT, GPT)은 모델 내 사전 학습 임베딩을 포함한다. 이 임베딩은 일반적인 텍스트 말뭉치에 기반하여 학습되었기 때문에 특정 도메인의 맥락과 어휘를 어느 정도 포착할 수 있다. 그러나 본 연구는 법률 도메인 텍스트 생성이 아닌 판결예측에 주안점을 두고 있기에 법률 용어와 법적 판결 결과 사이의 관계에 대한 표현을 확립하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 법률 도메인에 특화된 FastText 임베딩 모델[19]을 사용한다. FastText는 단어를 하위 단어 수준의 n-그램으로 표현하여 단어의 내부 구조를 포착할 수 있다. 이를 통해 FastText는 학습 데이터에서 접하지 못한 새로운 단어나 도메인 특화된 단어도 효과적으로 처리할 수 있으며, 이는 ALBERT내 임베딩와 같은 기존 모델이 처리할 수 없는 Out of Vocabulary(OOV)[24] 단어도 다룰 수 있게 만든다.

본 연구에서는 각 단어들을 최소 3개 이상의 문자를 가진 문자열로 분할하기 위해 FastText 모델의 N-gram을 3으로 설정하며, 주변 단어들을 통해 중심 단어를 예측하는 Continuous Bag of Words(CBOW) 방식으로 학습한다.

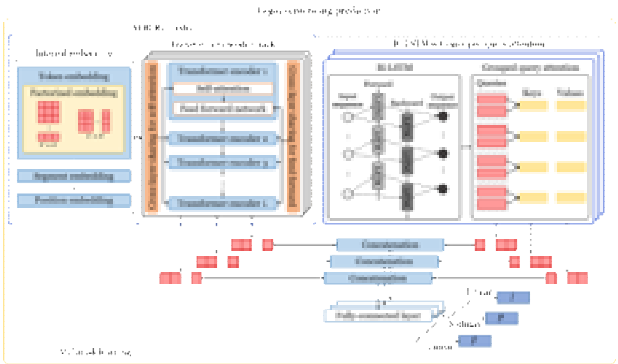


<그림 2> 법률 도메인 특화 임베딩 모듈 구조

3. 법적 판결예측

본 절에서는 도로교통사고 관련 법원 판결을 예측하는 LLM 기반 모델을 설명한다. <그림 3>은 본 연구에서 제안하는 법적 판결예측 모듈의 구조이다.

본 연구에서는 법적 판결예측을 위해 ALBERT[23]와 Grouped query attention(GQA)[25]-Bidirectional Long Short-Term Memory(Bi-LSTM)를 병렬로 구성한 모델을 제안한다. ALBERT는 입력된 텍스트의 문맥을 이해하는 역할을 하며, 토큰화된 데이터와 함께 징역 기간, 집행유예 확률, 벌금 금액과 같은 라벨을 처리한다. 동시에 GQA-BiLSTM은 징역 기간, 집행유예 확률, 벌금 금액 라벨과 함께 법률 도메인에 특화된 FastText 임베딩을 사용하여 법률 도메인의 특성을 반영한다. 두 모델은 징역, 집행유예, 벌금에 대해 멀티 태스킹 학습을 수행한 후, 그 결과를 결합하여 최종 예측을 도출한다.



<그림 3> 법적 판결예측 모듈 구조

IV. 실험 및 실험결과

1. 데이터

본 연구에서는 LBox[26] 판결문 제공 서비스를 통해 도로교통법 위반 사건 관련 판결문 약 37,406건을 수집하였다. 데이터는 2020년 11월부터 2023년 9월까지의 판결문으로, 각 판결문은 선고된 지방법원별로 구분된다. 수집된 데이터는 8:1:1의 비율로 훈련, 검증, 테스트 세트로 분할하였다.

2. 성능 평가지표

본 연구에서는 시스템 성능 비교를 위해 다양한 평가지표를 사용하였다. 징역 기간 및 벌금 금액 예측에는 Mean Absolute Error(MAE)와 Root Mean Squared Error(RMSE)를, 집행유예 확률 예측에는 Accuracy, Precision, F1-Score를 활용하여 성능을 종합적으로 평가하였다.

3. 실험 결과

본 절에서는 제안한 시스템의 성능 평가를 위해 징역과 벌금, 집행유예에 대해 Recurrent Neural Network(RNN) 계열 모델 및 LLM 모델과 비교한다.

징역의 기간 예측(<표 1> 참고) 측면에서 제안한 시스템은 MAE 약 2.59, RMSE 약 4.06으로, 비교 모델 중 가장 낮은 예측 오차를 나타내며 성능을 입증한다. 특히, Ko-BERT, Text-To-Text Transfer Transformer(T5)[27], Llama3.1과 같은 사전학습 된 LLM 대비 더 높은 성능을 보이며, 제안한 시스템이 법률 도메인에 특화된 문제에서 더욱 정교한 예측이 가능함을 입증한다.

<표 1> 징역의 기간(개월 수) 예측 정확도 결과

Model	MAE	RMSE
LSTM	3.16	4.94
AT-LSTM	3.22	4.99
Bi-LSTM	3.16	4.93
AT-Bi-LSTM	3.07	4.77
GRU	3.05	4.85
AT-GRU	3.19	4.88
Bi-GRU	3.17	4.81
AT-Bi-GRU	3.45	4.93
Ko-BERT	3.54	5.36
T5	3.58	5.39
Llama3.1	3.35	4.95
ALBERT	3.93	6.19
Proposed	2.59	4.06

본 연구에서 제안한 시스템은 벌금 금액 예측(<표 2> 참고)에서도 우수한 성능을 나타낸다. 비교 모델 대비 낮은 예측 오차를 기록하며 우수한 성능을 입증한다. 특히, RNN 기반 모델인 Long Short-Term Memory(LSTM), Gated Recurrent Unit(GRU)보다 더 정확하며, Ko-BERT, T5, Llama3.1, ALBERT 등 사전학습 LLM 대비 높은 성능을 나타낸다. 이는 ALBERT와 GQA-BiLSTM의 병렬 구조와 법률 도메인에 특화된 FastText 임베딩의 조합이 판결예측에서 더욱 정교하고 신뢰성 있는 결과를 제공함을 시사한다.

<표 2> 벌금의 금액 예측 정확도 결과

Model	MAE	RMSE
LSTM	57.70	134.62
AT-LSTM	48.33	127.44
Bi-LSTM	55.42	126.92
AT-Bi-LSTM	55.20	126.65
GRU	53.55	126.51
AT-GRU	60.06	137.32
Bi-GRU	53.98	126.80
AT-Bi-GRU	51.53	123.94
Ko-BERT	127.35	253.45
T5	127.72	253.93
Llama3.1	104.07	193.59
ALBERT	132.21	258.13
Proposed	52.60	122.42

본 연구에서 제안한 시스템은 집행유예 확률 예측(<표 3> 참고)에 있어 Accuracy 약 0.97, Precision 약 0.97, F1-Score 약 0.98을 기록하며, 비교 모델 중 가장 높은 성능을 나타낸다. 집행유예 선고 시 고려되는 다양한 요인을 모델 내 반영하고 예측함을 알 수 있다.

<표 3> 집행유예 확률 예측 정확도 결과

Model	Accuracy	Precision	F1-Score
LSTM	0.90	0.92	0.94
AT-LSTM	0.91	0.93	0.95
Bi-LSTM	0.92	0.93	0.95
AT-Bi-LSTM	0.92	0.94	0.95
GRU	0.92	0.93	0.95
AT-GRU	0.91	0.94	0.94
Bi-GRU	0.92	0.94	0.95
AT-Bi-GRU	0.92	0.93	0.95
Ko-BERT	0.88	0.88	0.93
T5	0.88	0.88	0.93
Llama3.1	0.93	0.94	0.96
ALBERT	0.78	0.78	0.88
Proposed	0.97	0.97	0.98

4. 실험 결과 논의

본 연구는 교통사고 시나리오에서 판결을 예측하기 위한 LLM 기반 시스템을 제안하며, 기존의 주관적 판결 시스템과 높은 절차 비용 문제를 해결하고자 했다.

제안한 예측 시스템은 전처리, 법률 도메인 특화 임베딩, 법적 판결예측이라는 세 가지 주요 단계로 구성된다. 먼저, 수집된 교통사고 관련 판결문에서 불용어를 제거하며 관련 핵심 정보를 추출한다. 그 후, FastText를 활용한 법률 도메인 특화 임베딩을 생성한다. 이 과정은 법률 용어와 법적 판결 결과 사이의 관계에 대한 표현을 확립하는 역할을 하였다.

본 연구의 핵심은 ALBERT와 GQA-BiLSTM을 결합한 법적 판결예측이다. 실험 결과, 징역과 벌금 예측에서 MAE와 RMSE 측면에서 기준 LLM 모델을 뛰어넘는 성능을 보여주었으며, 집행유예 확률 예측에서도 우수한 성과를 보였다.

<표 4>에서는 도로교통법 위반에 관한 실제 판결문 데이터를 본 시스템에 입력했을 때 얻어진 실제 판결 결과와 예측 결과를 비교하여 나타내고 있다. 표 내의 Actual은 실제 해당 판례가 선고받은 형에 대한 데이터이고, Predicted는 본 시스템이 예측한 결과이다. Actual와 Predicted의 각 열은 해당 판례가 받은 징역 개월 수, 집행유예를 받을 확률, 천 원 단위의 벌금을 나타낸다.

대부분의 사례에서 본 시스템은 실제 판결과 매우 유사한 징역 개월 수를 예측하는 것을 확인할 수 있다. 집행유예 확률 예측에서도 실제 판결과 비교해 유사한 결과를 도출한다. 특히, 집행유예는 피고인의 음주운전 전력, 개인적 배경, 사회적 맥락 등 다양한 요소를 고려하여 선고되며, 제안한 시스템은 이와 같은 복합적인 요인들을 종합적으로 반영하여 집행유예 확률을 예측하는 것으로 나타난다. 이를 통해 시스템이 법적 맥락에서의 복잡성을 효과적으로 처리함을 알 수 있다.

벌금 예측에서는 다소의 오차가 발생했으나, 실제 판결 금액과 예측 금액 간의 차이는 크지 않으며, 실제 결과와 거의 일치하는 수준을 유지하고 있다. 이는 벌금형 결정에 영향을 미치는 다양한 복잡한 변동 요인에도 불구하고, 모델이 상당히 신뢰할 수 있는 예측을 제공함을 의미한다.

특히 주목할 점은, 본 연구가 판결예측에 멀티태스킹 학습과 GQA를 최초로 적용한 시도라는 것이다. 멀티태스킹 학습은 징역, 집행유예, 벌금이라는 세 가지 법적 결과를 동시에 예측하는 데 필수적인 역할을 하였으며, 특히 집행유예 예측에서 탁월한 성능을 발휘하였다. 집행유예 예측은 사건의 세부적 맥락과 피고인의 개인적 상황을 종합적으로 이해하는 능력이 중요한데, 멀티태스킹 학습은 이러한 복잡성을 효과적으로 처리하도록 돕는다. 또한, GQA는 모델이 사건의 구체적인 세부 사항을 추론할 수 있게 하여, 판결예측에서 높은 정확도를 달성하는 데 중요한 역할을 하였다.

결론적으로, 본 연구에서 제안한 LLM 기반 교통사고 판결예측 시스템은 기존의 주관적 판결 시스템을 개선하고 교통사고 사건 처리의 신뢰성을 제고하는 데 기여할 것으로 기대된다.

Ⅴ. 결론

본 연구는 교통사고 사건에서 판결예측의 일관성과 신뢰성 개선을 위해, LLM 기반의 판결예측 시스템을 제안한다. 기존의 과실 판단 방식은 법률 전문가의 주관적 평가에 의존해 판결의 일관성이 저하되고 법적 절차 비용이 증가하는 문제가 있었다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 교통사고 시나리오가 기술된 판결문 데이터 기반 징역, 집행유예, 벌금 예측 시스템을 제안했다.

전처리, 법률 도메인 특화 임베딩, 법적 판결예측 세 단계로 이루어진 본 시스템은 판결문을 효과적으로 처리하고 예측 성능을 극대화함을 알 수 있다. ALBERT를 활용한 입력된 텍스트의 문맥 이해, 법률 도메인 특화 FastText 임베딩을 활용한 GQA-BiLSTM는 법률 용어와 법적 판결 결과 사이의 관계에 대한 표현 확립에 중요한 역할을 하였다. 또한 징역의 기간, 집행유예의 확률, 벌금의 금액에 대한 멀티태스킹 학습은 피고인의 음주운전 전력, 개인적 배경, 사회적 맥락 등 다양한 요소를 모델이 반영하도록 하였다. 실험결과, 제안한 시스템은 정확하고 신뢰성 있는 결과를 제공하였으며 기존 모델 대비 우수한 성능을 나타냈다.

본 연구는 LLM기반 판결예측의 성능을 입증했으며, 법률 전문가들의 의사결정을 지원하고 판결의 일관성을 높일 수 있는 가능성을 확인했다. 이를 통해 법률 시스템의 효율성을 향상시키고, 향후 지능형 법률 자문 시스템으로 발전할 수 있는 잠재력을 제시했다.

<표 4> 제안한 시스템의 실제 판례 예상 결과

Case	Situation	Actual			Predicted		
		Impr (months)	Prob	Fine (ten thousand won)	Impr (months)	Prob	Fine (ten thousand won)
Case 1	술에 취한 상태로 레스토랑에서 나와 승용차를 운전하다가 음주운전으로 적발되었다. 이전에도 유사한 범죄 경력이 있다.	12.0	100%	0.0	11.04	100%	2.00
Case 2	피고인은 경남 창녕군에서 음주 상태로 승용차를 운전하다가 자전거를 타고 있던 피해자를 충격하여 사망에 이르게 한 후, 현장을 이탈하여 도주한 혐의, 피고인은 음주운전 전력이 있으며, 이번 사건에서 중대한 결과를 초래	0.0	0%	700.0	1.68	0%	797.19
Case 3	피고인은 경남 창녕군에서 음주 상태로 승용차를 운전하다가 자전거를 타고 있던 피해자를 충격하여 사망에 이르게 한 후, 현장을 이탈하여 도주한 혐의, 피고인은 음주운전 전력이 있으며, 이번 사건에서 중대한 결과를 초래	36.0	.0%	0.0	34.98	0%	35.27
Case 4	피고인은 남양주시에서 술에 취한 상태로 승용차를 운전하다가 음주운전 단속에 적발되었으며, 혈중 알코올 농도는 법정 기준을 초과한 상태였습니다. 피고인은 이전에도 음주운전 전력이 있어 약식 명령을 받은 바 있음	12.0	100%	0.0	12.28	100%	7.52
Case 5	아파트 앞에서 술에 취한 상태로 봉고 화물차를 운전하다가 음주운전 단속에 적발됨. 이미 음주운전 전력이 다수 있음	12.0	100%	0.0	13.09	100%	0.23

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 2024년 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 SW중심대학사업의 연구 결과로 수행되었음 (2021-0-01399)

참고문헌

1. S. Simaiya, U. K. Lilhore, H. Pandey, N. K. Trivedi, A. Anand, and J. Sandhu, “An improved deep neural network-based predictive model for traffic accident’s severity prediction,” in Ambient Communications and Computer Systems: Proceedings of RACCCS 2021. Springer, 2022, pp. 181 – 190.

2. B. Noh and H. Yeo, “Safetycube: Framework for potential pedestrian risk analysis using multi-dimensional olap,” Accident Analysis & Prevention, vol. 155, p. 106104, 2021.

3. J. J. Rolison, S. Regev, S. Moutari, and A. Feeney, “What are the factors that contribute to road accidents? an assessment of law enforcement views, ordinary drivers’ opinions, and road accident records,” Accident Analysis & Prevention, vol. 115, pp. 11 – 24, 2018.

4. Z. Jin and B. Noh, “From prediction to prevention: Leveraging deep learning in traffic accident prediction systems,” Electronics, vol. 12, no. 20, p. 4335, 2023.

5. J. Devlin, M.-W. Chang, K. Lee, and K. Toutanova, “Bert: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding,” arXiv preprint arXiv:1810.04805, 2018.

6. OpenAI, “Hello gpt-4o,”2024, accessed: 2024-07-27. [Online]. Available: https://openai.com/index/hello-gpt-4o/

7. Meta AI, “Introducing llama 3.1: Our most capable models to date,” 2024, accessed: 2024-07-27. [Online]. Available: https: //ai.meta.com/blog/meta-llama- 3-1/

8. E. Mogaji, J. Balakrishnan, A. C. Nwoba, and N. P. Nguyen, “Emerging-market consumers’ interactions with banking chatbots,” Telematics and Informatics, vol. 65, p. 101711, 2021.

9. N. M. Abdelaal and A. Alazzawie, “Machine translation: The case of arabic-english translation of news texts.” Theory & Practice in Language Studies (TPLS), vol. 10, no. 4, 2020.

10. M. Rodr´ıguez-Ib´anez, A. Cas´anez-Ventura, F. Castej´on-Mateos, and P.M. Cuenca-Jim´enez, “A review on sentiment analysis from social media platforms,” Expert Systems with Applications, vol. 223, p. 119862, 2023.

11. M. Vinutha and M. Padma, “Insights into search engine optimization using natural language processing and machine learning,” International Journal of

Advanced Computer Science and Applications, vol. 14, no. 2, 2023.

12. J. Kaplan, S. McCandlish, T. Henighan, T. B. Brown, B. Chess, R. Child, S. Gray, A. Radford, J. Wu, and D. Amodei, “Scaling laws for neural language models,” arXiv preprint arXiv:2001.08361, 2020.

13. D. Shu, H. Zhao, X. Liu, D. Demeter, M. Du, and Y. Zhang, “Lawllm: Law large language model for the us legal system,” arXiv preprint arXiv:2407.21065, 2024.

14. R. Shui, Y. Cao, X. Wang, and T.-S. Chua, “A comprehensive evaluation of large language models on legal judgment prediction,” arXiv preprint arXiv:2310.11761, 2023.

15. M. Medvedeva, M. Vols, and M. Wieling, “Using machine learning to predict decisions of the european court of human rights,” Artificial Intelligence and Law, vol. 28, no. 2, pp. 237 – 266, 2020.

16. I. Steinwart and A. Christmann, Support vector machines. Springer Science & Business Media, 2008.

17. J. Zahir, “Prediction of court decision from a rabic documents using deep learning,” Expert Systems, vol. 40, no. 6, p. e13236, 2023.

18. J. Pennington, R. Socher, and C. D. Manning, “Glove: Global vectors for word representation,” in Proceedings of the 2014 conference on empirical methods in natural language processing (EMNLP), 2014, pp. 1532 – 1543.

19. A. Joulin, E. Grave, P. Bojanowski, and T. Mikolov, “Bag of tricks for efficient text classification,” arXiv preprint arXiv:1607.01759, 2016.

20. Y. Zhou, H. Huang, and Z. Wu, “Boosting legal case retrieval by query content selection with large language models,” in Proceedings of the Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval in the Asia Pacific Region, 2023, pp. 176 – 184.

21. I. Chalkidis, I. Androutsopoulos, and N. Aletras, “Neural legal judgment prediction in english,” arXiv preprint arXiv:1906.02059, 2019.

22. P. Colombo, T. P. Pires, M. Boudiaf, D. Culver, R. Melo, C. Corro, A. F. Martins, F. Esposito, V. L. Raposo, S. Morgado et al., “Saullm-7b: A pio- neering large language model for law,” arXiv preprint arXiv:2403.03883, 2024.

23. Z. Lan, “Albert: A lite bert for self-supervised learning of language representations,” arXiv preprint arXiv:1909.11942, 2019.

24. P. Bojanowski, E. Grave, A. Joulin, and T. Mikolov, “Enriching word vectors with subword information,” Transactions of the association for computational linguistics, vol. 5, pp. 135 – 146, 2017.

25. J. Ainslie, J. Lee-Thorp, M. de Jong, Y. Zemlyanskiy, F. Lebron, and ´ S. Sanghai, “Gqa: Training generalized multi-query transformer models from multi-head checkpoints,” arXiv preprint arXiv:2305.13245, 2023.

26. LBox, “https://lbox.kr/v2,” 2023.

27. C. Raffel, N. Shazeer, A. Roberts, K. Lee, S. Narang, M. Matena, Y. Zhou, W. Li, and P. J. Liu, “Exploring the limits of transfer learning with a unified text-to-text transformer,” Journal of machine learning research, vol. 21, no. 140, pp. 1 – 67, 2020.

28. H. Min, J. Yun, and B. Noh, “Natural language processing-based judgement prediction system for road traffic accidents: Focused on text information for traffic accident situations,” Journal of Korean Society of Transportation, vol. 42, no. 4, pp. 385 – 397, 2024

Visual LLM 기반 지정차로제 위반 검지

Detection of Lane Designation Violations Based on Visual LLMs

이상현 (아주대학교, 석사과정)
이요셉 (아주대학교, 박사과정)
윤일수 (아주대학교, 교수)

Key Words : 주행환경, 컴퓨터 비전, 교통 이미지, 지정차로제, CNN

목 차

Ⅰ. 서론
Ⅱ. 관련 이론 및 연구 고찰
Ⅲ. 분석 방법론
Ⅳ. 시사점 및 향후 연구 진행사항

Ⅰ. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

물자 간, 사람 간 이동이 활발해지면서 도로 교통은 지금 경제적, 사회적, 그리고 안전적인 측면에서 필수적인 요소로 자리 잡고 있다. 이에, 교통 흐름의 효율성을 높이고, 도로의 안전성을 확보하기 위해 많은 국가들이 다양한 교통 관리 시스템을 도입하고 있다. 그중에서도 지정차로제는 특정 유형의 차량이 특정 차로를 사용하도록 제한하는 제도로, 혼잡을 줄이고 사고를 예방하기 위한 중요한 방법 중 하나로 자리 잡고 있다. 지정차로제는 일반적으로 대중교통, 화물차, 승용차 등 차량 유형에 따라 차로 사용을 규정함으로써 도로의 원활한 흐름을 유도하고 교통사고의 위험을 감소시키는 역할을 한다(김주희, 2012).

최근 들어 교통량 증가와 복잡한 도로 환경으로 인해 지정차로제의 필요성은 더욱 커지고 있다. 특히 대도시에서는 출퇴근 시간대의 극심한 교통 정체를 해소하고, 각기 다른 목적을 가진 차량들이 보다 효율적으로 도로를 이용하는데 있어 지정차로제가 효과적인 해결책으로 떠오르고 있다(정철우, 2008). 또한, 전기차 및 자율주행차와 같은 새로운 유형의 차량이 도로에 등장하면서 기존의 지정차로제를 재검토하고, 이를 현대 교통 환경에 맞게 수정하는 작업이 필수적이다.

그러나 지정차로제의 성공적인 시행을 위해서는 이를 뒷받침하는 효과적인 관리 및 감시 시스템이 필요하다. 현재까지는 CCTV와 같은 영상 감시 시스템을 이용하여 지정차로 위반을 감지하고 있으나 이 방식은 결국 사람이 하는 일이라는 점에서 한계가 있다. 기술 발전에 따라 인공지능(AI)를 활용한 지정차로 위반 감지 시스템의 도입 가능성이 논의되고 있으며(이승준, 2016), 이는 기존 감시 시스템의 한계를 극복하고 더 정교한 감지와 분석이 가능하게 할 것이다.

따라서 본 논문에서는 최근 발전된 대형 언어 모델을 이용해 지정차로 위반을 효율적으로 감지할 수 있는 새로운 기술적 접근법을 제안하고자 한다. 이를 통해 현대 교통 시스템에서 지정차로제가 더욱 효과적으로 작동할 수 있는 방안을 모색하고자 한다.

2. 연구의 범위 및 절차

본 연구에서는 2021년부터 2022년까지 수집한 국내 도로 주행 영상 데이터를 활용한다. 해당 데이터셋은 차로 위반 데이터를 중심으로 구성되어 있는 공공 데이터셋이며, 차량, 차선, 위반 세 클래스를 기준으로 구축되었다. 이를 시각적 대형 언어 모델(visual large language model, visual LLM)을 통해 제시한 프롬프트에 관한 답을 이끌어내고, 이를 바탕으로 multi-modal convolution neural network(CNN) 모델로 학습하여 해당 이미지가 지정차로제를 위반하는지를 검지하는 모델이 효과가 있음을 확인하고자 한다.

본 연구는 다음과 같이 진행된다. 먼저, 관련 연구 및 이론을 고찰한다. 이후, visual LLM에 질문할 프롬프트를 제시하고, 수집한 데이터를 visual LLM에 입력하여 얻고자하는 정보를 이끌어낸다. 이후, 전처리한 데이터를 활용하여 구성한 multi-modal CNN을 학습한 후 결과를 기존 backbone network로 활용한 CNN의 성능과 비교하여 우리의 연구가 효과가 있음을 제시한다.. 마지막으로, 결론 및 향후 진행사항을 밝히며 연구를 마친다.

Ⅱ. 관련 이론 및 연구 고찰

1. 관련 이론 고찰

1) 지정차로제

지정차로제는 도로 위 특정 차량들이 특정 차로만 이용하도록 규정한 제도로, 도로의 원활한 흐름과 교통안전을 도모하기 위해 도입되었다. 이 제도는 고속도로 및 일반도로에서도 적용되며, 차량 종류에 따라 차로를 분리하여 교통사고를 예방하고, 교통의 효율성을 극대화하는 것을 목적으로 한다. 지정차로제를 통해 특정 차종이 지정된 차로를 이용하게 하면, 도로 전체의 속도 변동성을 줄일 수 있으며, 이는 결과적으로 교통 흐름을 안정시키고 사고를 줄이는 효과를 가져온다. 특히 대형 화물차와 같은 무거운 차량과 일반 차량이 주행 속도 차이에 의해 발생하는 사고 위험을 줄일 수 있다.

우리나라는 표 1과 같이 시행되고 있다. 왼쪽 차로의 경우, 승용자동차, 경형, 소형, 중형 승합차가 주행 가능하다. 이 때, 해당 차량들은 35인승 이하이고, 전장이 9m 미만인 차량들이다. 오른쪽 차로의 경우, 대형 승합자동차, 화물자동차, 특수자동차, 건설기계, 이륜자동차, 원동기장치자전거 등이 주행가능하다. 이 때, 대형 승합자동차는 36인승 이상, 9m 이상이며, 특수 자동차는 렉카차나 트레일러를 포함한다.

<표 1> 지정차로제 통행방법

구분	구분	통행할 수 있는 차종
편도 2차로	1차로	앞지르기 차로 다만, 차량 통행량 증가 등 도로 상황으로 인하여 부득이하게 시속 80 km/h 미만으로 통행할 수 밖에 없는 경우엔 주행 가능
	2차로	모든 자동차
편도 3차로 이상	1차로	왼쪽차로 통행차량의 앞지르기 차로 다만, 차량통행량 증가 등 도로 상황으로 인하여 부득이하게 시속 80 km/h 미만으로 통행할 수 밖에 없는 경우에는 주행 가능
	왼쪽 차로	승용, 경형, 소형, 중형 승합
	오른쪽 차로	대형승합, 화물, 특수, 건설기계

2) LLM

LLM은 최근 이루어진 자연어 처리(national language model, NLP) 기술 중 하나로, 최근 몇 년 동안 다양한 산업과 연구 분야에서 널리 사용되고 있다. 특히, 인간의 언어를 이해하고 생성하는 데 있어 혁신적인 성과를 보여주고 있는데, 대표적으로 GPT 시리즈(Achiam, 2023), BERT(Devlin, 2018), T5(Raffel, 2020) 등이 있다. 이러한 대규모의 텍스트 데이터를 학습한 모델들은 다양한 언어 기반 작업에서 우수한 성능을 입증한다. LLM의 등장은 단순한 언어 분석을 넘어, 창의적인 응답 생성, 자연스러운 대화 시스템 구축 등 기존 모델들이 해결하지 못했던 한계를 뛰어넘는 데 기여하였다.

LLM의 발전은 기계 학습, 특히 딥러닝 기술의 발전과 밀접한 관련이 있다. LLM의 핵심은 대규모 데이터와 고성능 컴퓨팅 자원을 기반으로 언어 모델을 학습하는 것으로, 그중 가장 중요한 이론적 기초는 transformer 아키텍처이다. Transformer는 스스로 주어진 입력 값의 각 요소들이 다른 것들과 얼마나 관련 있는지 계산해내는 self-attention 기법을 통해 각 단어의 문맥적 중요성을 효과적으로 파악하는 방식으로, 이전의 순차적 처리 모델(RNN, LSTM)보다 훨씬 효율적인 병렬 처리가 가능하다(Vaswani, 2017).

또한, LLM은 사전 학습(pre-training)과 미세 조정(fine-tuning)을 기반으로 한다. 먼저 방대한 양의 비지도 학습 데이터에서 일반적인 언어 패턴을 학습한 후, 소규모의 지도 데이터로 특정 작업에 맞게 조정하는 방식으로, 이는 다양한 언어 작업에 유연하게 적용할 수 있는 범용 모델을 구축할 수 있다. 때문에, LLM은 특정 작업에 국한되지 않고 번역, 요약, 질의응답, 감정 분석 등 다양한 NLP 작업에 응용된다. 이러한 범용성은 LLM이 모든 언어 작업에서 고유의 지식을 갖는 것이 아니라, 언어의 기본적인 패턴을 학습하여 다양한 작업에 적응할 수 있는 능력에서 비롯된다.

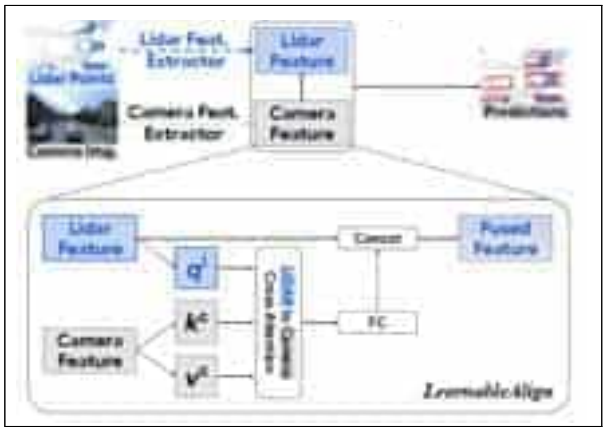
앞서 말했듯이, LLM은 빅데이터를 통해 굉장히 큰 모델을 구축한다. 일반적으로, 파라미터 수, 즉 모델의 크기와 학습 데이터의 양이 클수록 모델의 성능이 향상된다. 예를 들어, GPT-3는 약 1750억 개의 파라미터를 가지고 있으며(Brown, 2020), 이는 작은 크기의 모델들보다 훨씬 정교한 언어 생성 능력을 보여준다. 이를 스케일링(scaling) 가설이라고 불리며, 모델의 크기가 클수록 데이터에서 더 풍부한 패턴을 학습할 수 있는 이론적 근거가 있다.

3) Multi-modal CNN

Multi-modal CNN은 다양한 형태의 데이터를 동시에 처리하여 결합된 정보를 바탕으로 더 정교하고 의미 있는 결과를 도출할 수 있는 딥러닝 기법이다. 이 기법은 이미지를 처리하는 CNN의 능력을 확장하여, 텍스트, 음성, 센서 데이터 등 여러 다른 형태의 데이터를 함께 처리함으로써, 각각의 모달리티에서 얻을 수 있는 특성을 결합하여 더 나은 예측 성능을 이끌어낼 수 있다.

CNN은 이미지를 처리하는 데 특화된 딥러닝 모델로, 이미지의 공간적 구조를 보존하며 특징을 추출할 수 있는 능력을 가지고 있다. CNN은 특히 영상 인식, 객체 탐지 등의 작업에서 뛰어난 성능을 보여 왔다. 그러나 현실 세계의 많은 문제들은 하나의 데이터 유형에만 의존하지 않는다. 예를 들어, 그림 1과 같이 자율주행차는 카메라 이미지 외에도 라이다(LiDAR) 데이터, GPS 정보, 차량 센서 데이터 등을 함께 활용하여 결정을 내린다(Li, et al., 2022). 이렇게, Multi-modal CNN은 다양한 데이터 유형(모달리티)을 동시에 처리하여 더 정확한 예측을 가능하게 한다. 이 과정은 특징 융합(feature

fusion)라는 개념에 기초한다. 다양한 모달리티에서 추출된 특징들은 각각 독립적으로 처리되거나 결합되어 더 높은 수준의 표현으로 통합된다.



<그림 1> 카메라와 라이다를 이용한 deep fusion

Multi-modal CNN의 주요 특성은 다양한 데이터 소스를 효율적으로 통합하여 처리한다는 점이다. 이는 여러 모달리티 간 상호작용을 모델링하여 기존의 단일 모달리티 모델에서 얻지 못하는 풍부한 정보를 학습할 수 있게 한다. 그리고 각 모달리티가 가진 고유한 특성을 활용함으로써, 하나의 모달리티에서 얻을 수 없는 정보를 다른 모달리티에서 보완한다. 예를 들어, 비디오 데이터는 시간적 흐름을 보여줄 수 있지만 세부적인 텍스처 정보는 부족할 수 있으며, 반면 이미지 데이터는 텍스처를 잘 포착할 수 있다. 이러한 상호 보완성을 통해 더 강력한 예측 성능을 달성할 수 있다.

2. 관련 연구 고찰

Wang 외(2020)는 안전한 시각적 내비게이션을 위한 제로샷 이상 탐지에 대한 LLM의 잠재력을 탐구하였다. 실시간 객체 탐지 모델인 Yolo-World 알고리즘과 특화된 프롬프트를 활용하여 프레임워크를 제안하였다. 저자들은 카메라로 촬영한 이미지 내에서 장애물과 같은 이상을 탐지하고, 이상 요소를 강조한 간결한 음성 설명을 생성하여 복잡한 상황에서 안전한 시각적 내비게이션을 지원하였다. 또한, 이 프레임워크는 동적 시나리오 전환을 가능하게 하며, 이를 통해 사용자가 장면 간 원활하게 전환할 수 있도록 하여 기존 시각적 내비게이션의 한계를 해결하였다.

Moeini 외(2024)는 운전자와 차량 간의 원활한 상호작용을 지원하는 지능형 자동차 실내 시스템을 설계하는 것을 목표로 연구를 진행하였다. 이를 위해 저자들은 음성-텍스트 변환, 텍스트 분류, 그리고 분류기의 OOD(범위 외) 문장 감지를 위한 교정을 수행하는 세 가지 주요 기술을 사용하였다. LLM 모델을 사용하여 차량 환경 내 음성을 텍스트로 변환한 후 텍스트를 전처리한 후, SVM(서포트 벡터 머신)을 사용해 텍스트를 분류하였다. 결과적으로, 이는 인간-차량 상호작용에서의 문제를 해결하였다.

고명진 외(2022)는 갓길 사고의 심각도가 매우 크다는 것을 인지하고 갓길 차로 위반 차량을 단속하여 사고를 예방하는 것이 중요하다는 점을 주장하였다. 이에 faster R-CNN 알고리즘을 활용해 갓길 차로 위반 차량을 검출하는 방법을 제안하였다. Faster R-CNN을 기반으로 차량을 탐지한 후, 추가적인 판독 모듈을 구성하여 갓길 위반 여부를 판단하였다. 결과적으로 이는 비교적 복잡하지 않은 네트워크에서도 입력 영상의 전처리 없이 빠른 속도로 갓길 차로 위반 차량을 검출할 수 있음을 보여주며, 충분한 영상 자료 기반의 학습 데이터셋을 확보한다면 알고리즘을 실제 지정 차로 위반 검출에 활용할 수 있음을 시사한다.

3. 연구의 차별성

본 연구는 visual LLM을 활용하여 빅데이터 기반으로 도로 영상을 한 번 더 분석하였으며, 단순히 CNN을 통한 이미지 분류가 아닌 이미지와 프롬프트에 대한 답을 같이 학습하는 multi-modal 방식의 학습 모델을 제시하였다. 이는 단순한 CNN 모델을 활용하는 기존 방법들과 다르게 두 번의 분석을 거치며 정확도를 높이는 데 있어 도움이 될 수 있다는 차별성이 존재한다. 또한, 기존 교통 분야에서 활용하기 어려웠던 visual LLM 모델을 보다 범용적으로 연구에 활용하였다.

III. 분석 방법론

1. 프롬프트 정의

본 연구에서는 그림 2와 같이 알고리즘을 구성하여 연구를 진행한다. 데이터는 차로 위반 데이터를 중심으로 구성되어 있는 공공 데이터셋이며, 차량, 차선, 위반 세 클래스를 기준으로 구축되었다. 해당 이미지를 visual LLM에 정의한 프롬프트와 함께 넣어 데이터를 전처리한다. 이 때 전처리된 데이터는 지정차로제를 위반함을 알 수 있도록 나타낸 데이터이다. 이후 전처리된 데이터와, 이미지 데이터를 구성한 multi-modal CNN에 학습시킨다. 이 때, 기존 이미지 레이블과 LLM을 통해 나온 전처리 이미지를 비교하여 LLM의 오류를 바로잡는다. 결과적으로, 단순 이미지를 넣어 CNN을 통해 지정차로제 위반 검지를 하는 것보다, 더욱 정확한 검지를 보일 수 있다.

<그림 2> Visual LLM을 활용한 지정차로제 검지 모델 구성

2. 프롬프트 정의

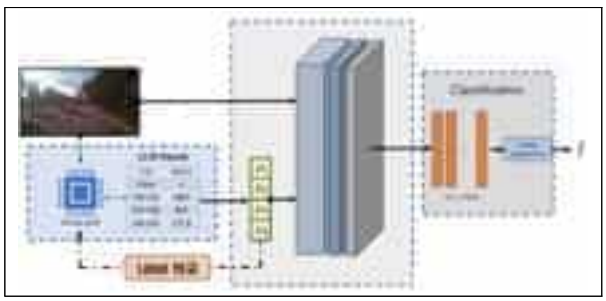
본 연구에서 지정차로제를 위반한 차량을 검지하기 위하여 LLM에 입력시킬 프롬프트는 표 2와 같이 정의하였다. 이는 지정차로제 위반을 구분하는데 있어 필요한 정보들을 중심으로 구성하였다. 차량 유형은 승용차, 화물차, 승합차, 특수차로 구분하도록 하였고, 차선 유형은 백색, 황색, 청색, 그리고 갓길 차로가 있다.

<표 2> LLM 프롬프트

구분	LLM 프롬프트 질문
차로수	현재 도로의 차로수는 몇차로입니까?
차량 유형	도로 위 차량은 어떤 종류입니까? 승용차, 승합차, 혹은 그 이외의 특수 차량인지 말씀해주십시오
차선 유형	차량의 주변 차선은 무슨 색입니까? 혹, 갓길에 차량이 있습니까?
도로 위 상황 설명	차량 중 차선을 변경 중인 차량이 있습니까? 현재 차량들은 어떤 차로에 있습니까?

3. Multi-modal CNN 모델 학습

Multi-modal CNN의 구조를 그림 3과 같이 간단하게 보인다. Visual LMM을 통해 나온 데이터 값을 하나로 묶어 하나의 데이터로 처리한 후 이미지와 같이 multi-modal로 학습한다. 이 때, LLM 호출부터 CNN 까지의 모델은 end-to-end 형식의 하나의 모델로 구성되며, 결과를 위한 클래스는 위반 혹은 정상으로 구분한다. Visual LLM의 결과는 기존 원본 레이블과 비교하여 학습과정에서 어느 정도 수정이 이루어지며, 이를 통해 더욱 정확도가 높은 알고리즘을 제시할 수 있다.



<그림 3> Multi-modal CNN 모식도

Ⅳ. 시사점 및 향후 연구 진행사항

본 연구에서는 도로 주행 영상을 visual LLM 모델에 넣어 이미지 내의 상황을 설명하게 한 후 그 내용을 기반으로 multi-modal CNN을 학습시켜 결과적으로 지정차로제 위반을 검지하는 모델을 개발하고자 하였다. 이를 위해 LLM 프롬프트를 정의하였으며, 이후 multi-modal CNN과 한 번의 학습에 진행되도록 end-to-end 형식의 모델 아키텍처를 구성하였다. 이후 전처리한 데이터와 이미지를 함께 multi-modal CNN에 입력하면서 학습을 진행하였다. 모델 학습은 CNN 중 보편적인 모델을 사용하고자 하며, 학습 후 LLM 사용을 한 모델과 사용하지 않은 모델의 성능을 비교하여 우리가 제시한 모델이 효과가 있음을 제시하고자 한다.

향후 visual LLM을 이용한 실험 결과를 통해 LLM을 활용하는 것이 높은 정확성을 보임을 확인할 것이며, 다양한 분야에서 범용적으로 활용할 수 있다는 LLM의 특징을 이용하여 다양한 컴퓨터 비전 모델에 활용해 볼 예정이다. 다만, LLM의 특징 중 일정 데이터만 학습시킨다면 데이터의 편향성 문제가 발생하기 때문에 이를 경계하고 꾸준히 데이터를 체크해야하여 학습 성능을 향상시킬 필요가 있다. visual LLM을 효과적으로 활용할 수 있는 연구를 지속하고, 이미지 분석 성능을 높일 수 있다면, 향후 교통 분야에 저렴한 비용으로 큰 도움을 줄 수 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 2024년도 정부(경찰청)의 재원으로 과학치안진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.RS-2024-00403630, 능동적 교통사고 예방 및 대응을 위한 자율주행 순찰 서비스개발)

참고문헌

1. Achiam, Josh, et al. "Gpt-4 technical report." arXiv preprint arXiv:2303.08774 (2023).
2. Brown, Tom B. "Language models are few-shot learners." arXiv preprint arXiv:2005.14165 (2020).
3. Devlin, Jacob. "Bert: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding." arXiv preprint arXiv:1810.04805 (2018).
4. Moeini, Mobina, Rouhollah Ahmadian, and Mehdi Ghatee. "Calibrated SVM for Probabilistic Classification of In-Vehicle Voices into Vehicle Commands via Voice-to-Text LLM Transformation." 2024 8th International Conference on Smart Cities, Internet of Things and Applications (SCIoT). IEEE, 2024.
5. Raffel, Colin, et al. "Exploring the limits of transfer learning with a unified text-to-text transformer." Journal of machine learning research 21.140 (2020): 1-67.
6. Wang, Chen, et al. "A Vision Based Video Crash Detection Framework for Mixed Traffic Flow Environment Considering Low Visibility Condition." Journal of advanced transportation 2020.1 (2020): 9194028.
7. Achiam, Josh, et al. "Gpt-4 technical report." arXiv preprint arXiv:2303.08774 (2023).
8. 고명진, 박민주, and 여지호. "Faster R-CNN 을 이용한 갓길 차로 위반 차량 검출." 한국 ITS 학회 논문

지 21.1 (2022): 105-122.
10. 김주희, et al. "고속도로 지정차로제 위반과 교통사고 심각도와의 관계분석: 화물차량을 대상으로: 화물차량을 대상으로." 대한교통학회지 30.3 (2012): 119-127.
11. 이승준, et al. "지정차로제의 합리적 운영방안에 대한 연구." 한국 ITS 학회 논문지 15.2 (2016): 85-94.
12. 정초영, 정철우, and 권기병. "4 차로 고속도로의 지정차로 운영 개선에 관한 연구: 교통사고 예방적 관점에서: 교통사고 예방적 관점에서." 경찰학연구 8.2 (2008): 89-111.

Video Diffusion를 활용한 차량 영상 센서 데이터 손실 보간 기법

Loss Interpolation Method for Vehicle Video Sensor Data using Video Diffusion

임재균
(순천향대학교 AI·빅데이터학과, 학사과정)

노병준
(순천향대학교 AI·빅데이터학과, 조교수)

Key Words : Video Diffusion, Gaussian Diffusion, 3D U-Net, Video Inpainting, Image Interpolation

목 차

Ⅰ. 서론 · · · · · 1
Ⅱ. 방법론 · · · · · 1
Ⅲ. 실험 및 결과 · · · · · 1
Ⅳ. 결론 · · · · · 2

Ⅰ. 서론

자율주행 차량의 안전한 주행환경을 위해서 다양한 카메라를 활용하여 주변 환경을 인식하는 것은 중요하다[1]. 그러나 실제 주행환경에서는 환경적 요인이나 기술적인 문제가 주행환경에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 이에 따라, 다양한 주행환경에서 발생하는 손상이나 손실을 효과적으로 복원하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다[2].

최근에는 딥러닝을 활용한 영상 복원 기술이 높은 성능을 보여주고 있다[3]. 이 방법들은 보다 정교한 데이터 복원이 가능하게 하였으나, 여전히 시간적 및 공간적 일관성을 유지하는 데 어려움을 겪는 경우가 많아 완벽한 복원을 실현하지 못하고 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해 손상된 영상을 효과적으로 보간하고 복원할 수 있는 새로운 방법론이 필요하다.

본 연구에서는 Video Diffusion 방식을 기반으로 한 새로운 영상 보간 방법을 제안한다[4]. 이 방법론은 자율주행 차량의 영상 데이터 손상 문제를 효과적으로 해결함으로써, 자율주행 시스템의 안정적 운영과 성능 향상에 기여하는 것을 목표로 한다.

Ⅱ. 방법론

제안된 영상 보간 방법론은 Gaussian Diffusion과 3D U-Net을 결합하여 손상된 프레임을 효과적으로 보간하고, 시간적 및 공간적 일관성을 유지하는 데 중점을 둔다. 제안하는 방법론의 모델 구조는 그림 1과 같다. Gaussian Diffusion은 손상된 영상을 입력받아 손상된 부분을 점진적으로 복원하는 과정을 수행한다. 먼저 영상 내 비정상적인 노이즈 패턴, 픽셀 값의 급격한 변화 등을 기준으로 손상된 영역을 정밀하게 식별한다. 이후, 마스킹된 손상 영역은 주변 픽셀 및 연속된 프레임의 정보를 활용하여 반복적인 노이즈 추가 및 제거 과정을 통해 복원된다.

복원된 프레임의 시공간적 일관성을 강화하기 위해 3D U-Net을 적용한다. 3D U-Net은 3D 컨볼루션을 활용하여 연속된 프레임 간의 시공간적 관계를 학습하고, 복원된 영상의 시간적 일관성을 유지하며 왜곡이나 불일치를 방지하는 역할을 한다. 이를 통해 보간된 프레임이 전체 영상 시퀀스 내에서 자연스럽게 통합되며, 시각적 일관성을 유지할 수 있다. 최종적으로 3D U-Net을 거친 보간된 영상은 시공간적 연속성을 유지하며, 손상된 영역이 주변 프레임과 자연스럽게 연결된다.

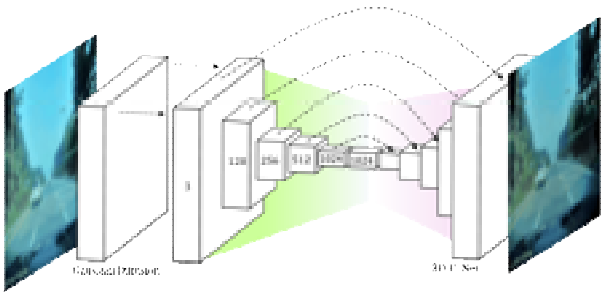


그림 1. 제안된 영상 보간 프레임워크의 전체 아키텍처

Ⅲ. 실험 및 결과

본 연구에서는 자율주행 환경에서 발생할 수 있는 다양한 데이터 손실 상황을 재현하고, 제안한 Video Diffusion 기반 영상 보간 방법의 효과를 평가하기 위해 실험을 수행하였다.

1. 데이터 손실 재현

실험에 사용된 데이터는 직접 수집한 고속 주행 환경의 블랙박스 영상으로, Diffusion의 학습 효율성을 향상시키기 위하여 64×64 해상도로 다운샘플링하여 실험에 활용하였다.

영상 데이터는 연속된 10개의 프레임으로 구성되며, 이 중 최대 3개의 프레임에 의도적인 손상을 가하여 다양한 손실 상황을 재현하였다. 손상 유형은 다음과 같이 세 가지로 구분된다:

1) 노이즈 추가: Gaussian 노이즈를 영상에 추가하여 환경적 요인으로 인해 발생할 수 있는 노이즈 현상을 재현하였다.

2) 픽셀 드롭아웃: 프레임 내 임의의 픽셀을 제거하여 픽셀 데이터 손실 상황을 재현하였다.

3) 블록 손상: 특정 영역을 볼록 형태로 제거하여 영상 내 중요한 객체 정보가 손실되는 상황을 재현하였다.

손상된 영상과 제안한 Video Diffusion 기반 영상 보간 방법을 적용한 결과는 그림 2에 나타나 있다. 그림 2에서는 각 손상 유형별로 노이즈가 추가된 원본 영상과 제안한 방법론을 통해 보간된 영상을 비교하여 시각적인 성능 향상을 확인할 수 있다.

2. 성능 평가 지표

실험의 성능 평가는 다음과 같은 지표를 사용하여 수행되었다:

1) Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR): 복원된 영상과 원본 영상 간의 신호 대 잡음비를 측정하여 복원 품질을 평가.

2) Structural Similarity Index Measure (SSIM): 복원된 영상과 원본 영상 간의 구조적 유사성을 측정하여 복원 품질을 평가.

3) You Only Look Once version 8 (YOLOv8) 탐지 정확도 차이: 복원 전후의 객체 탐지 정확도 차이를 측정하여 자율주행 시스템의 인식 성능 변화를 평가.

3. 실험 결과

실험 결과는 표 1에 요약되어 있으며, 각 손상 유형별로 PSNR, SSIM, 각 손상 유형에 대한 실험 결과를 보여준다.

손상 유형	PSNR	SSIM	YOLOv8탐지 정확도 차이
블록 손상	21.59	0.9636	0.04
노이즈 추가	19.99	0.9414	0.03
픽셀 드롭 아웃	23.24	0.9713	0.02

표 1. 손상 유형별 보간 성능 평가

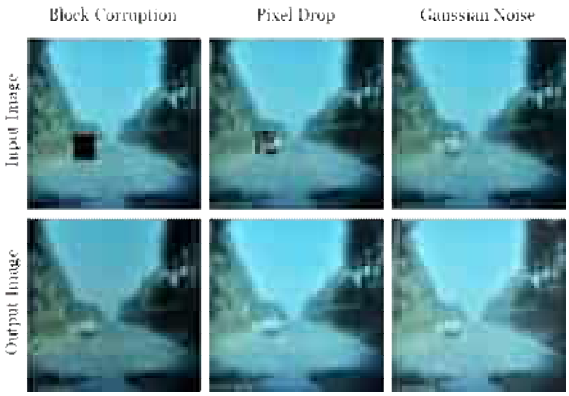


그림 2. 손상 유형별 원본 영상과 Video Diffusion 보간 결과 비교

표 1에서 볼 수 있듯이, 제안한 방법은 모든 손상 유형에서 높은 SSIM과 PSNR 값을 기록하였으며, YOLOv8 탐지 정확도에서도 유의미한 향상을 보였다. 특히, 픽셀 드롭아웃 손상의 경우 SSIM이 약 0.9713, PSNR이 약 23.24로 가장 우수한 성능을 나타냈으며, YOLOv8 탐지 정확도 차이도 약 0.02로 매우 미미한 변화를 보였다. 이는 제안된 영상 보간 기법이 다양한 손상 유형에 대해 효과적으로 복원할 수 있음을 시사한다.

표 1과 그림 2는 제안한 방법의 효과를 종합적으로 보여주며, 다양한 손상 유형에 대한 복원 성능을 명확하게 전달한다. 이를 통해 자율주행 시스템에서의 영상 데이터 손상 문제를 해결하는 데 있어 제안한 방법의 우수성을 입증하였다.

Ⅳ. 결론

본 연구에서는 자율주행 차량 운행 중 발생할 수 있는 영상 데이터 손상 문제를 해결하기 위해 Video Diffusion 기반의 영상 보간 방법을 제안하였다. 실험 결과, 제안한 방법은 다양한 손상 유형에서 높은 PSNR과 SSIM 값을 기록하였으며, YOLOv8 탐지 정확도에서도 원본과 차이가 거의 없어 우수한 성능을 입증하였다. 또한, 시공간적 보강을 통해 보간된 프레임이 전체 영상 시퀀스와 자연스럽게 통합되어 자율주행 시스템의 신뢰성을 높이는 데 기여하였다.

본 연구는 자율주행 차량의 안전한 주행 환경을 위한 핵심 기술인 비디오 인페인팅 분야에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 2024년 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 SW중심대학사업의 연구 결과로 수행되었습니다 (2021-0-01399).

참고문헌

1. H. -H. Jebamikyous and R. Kashef, "Autonomous Vehicles Perception (AVP) Using Deep Learning: Modeling, Assessment, and Challenges," in IEEE Access, vol. 10, pp. 10523-10535, 2022,

2. Parihar, A.S., Varshney, D., Pandya, K. et al. A comprehensive survey on video frame interpolation techniques. Vis Comput 38, 295-319 (2022).

3. Kai Zhang, Wangmeng Zuo, Shuhang Gu, Lei Zhang; Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2017, pp. 3929-3938

4. Ho, Jonathan, et al. "Video diffusion models." Advances in Neural Information Processing Systems 35 (2022): 8633-8646.

LLM 기반 화물차 적재 크기 초과 여부 판단

LLM-based Determination of Oversize Load Trucks using Image

정한솔 (아주대학교, 석사과정)
이상현 (아주대학교, 석박사통합과정)
윤일수 (아주대학교, 교수)

Key Words : LLM, 화물차, 적재 크기, 이미지 분류

목 차

Ⅰ. 서론
Ⅱ. 관련 연구 및 이론 고찰
Ⅲ. 활용 데이터 및 분석방법론
Ⅳ. 분석 결과
Ⅴ. 결론 및 향후 연구과제

Ⅰ. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

현대 사회에서 도로 교통안전을 위협하는 다양한 요인 중 특히 심각한 문제로 대두되고 있는 것은 화물차의 적재 불량 문제이다. 적재 불량 화물차는 주행 중 적재물이 낙하할 위험이 높으며, 이는 대형 사고로 이어질 가능성이 크다(채범석, 2007). 적재물이 도로 위로 떨어지는 경우, 뒤따르던 차량들은 갑작스러운 상황에 직면하게 되고, 설령 운전자가 안전거리를 유지하고 있었다 하더라도 낙하물의 방향과 속도를 예측할 수 없기 때문에 적절한 대처가 어려워 사고로 이어질 수 있다(유성준 외, 2017). 더 나아가, 적재물의 유형에 따라 사고의 심각성은 더욱 커질 수 있으며, 대규모 인명 및 재산 피해를 초래할 수 있다. 따라서 적재 불량 화물차로 인한 사고는 단순한 교통사고를 넘어서, 사회적 문제로 인식될 필요가 있다.

이러한 문제에도 불구하고, 현재 적재 불량에 대한 단속은 여전히 한계가 존재한다. 과적 단속의 경우 축중기를 이용해 정량적으로 수행되지만, 적재 불량 단속은 주로 육안이나 단속 카메라에 의존하고 있는 실정이다. 일반 국도에서는 국토관리사무소 단속원들이, 고속도로에서는 한국도로공사가 톨게이트에서 과적 및 적재 불량 화물차를 단속하고 있지만, 한정된 인력으로 인해 단속의 빈도와 정확도가 떨어질 수밖에 없다(김종환, 2016). 적재 불량 단속의 비효율성은 도로 위에서 발생하는 위험 요소를 체계적으로 관리하지 못하게 만들며, 이는 교통안전을 저해하는 주요한 요인으로 작용할 수 있다. 2024년 4월 17일부터 국토교통부는 한국도로공사와 경찰청, 한국교통안전공단 등 관계 기관과 협력하여 적재 불량과 과적 차량에 대한 단속을 강화할 계획을 발표했다(국토교통부, 2024). 이렇듯「화물자동차 운수사업법」 및 관련 법령에 따라 화물차 안전 점검을 강화하고 있지만, 여전히 단속의 주된 방식은 인력에 의존하고 있으며, 이에 따른 효율성 저하는 지속적인 문제로 남아 있다(김형준 외, 2021).

본 연구는 이러한 배경에서 화물차 적재 불량 문제를 해결하기 위해, 대형언어모델(Large language model, LLM) 중 멀티모달 분석이 가능한 OpenAI GPT-4o 모델을 활용하고자 한다. 해당 모델을 활용하여 화물차 적재 불량 유형 중에서도 낙하 위험도가 높은 “적재 크기 초과” 여부를 판단하는 시스템을 제안하고자 한다. GPT-4o는 텍스트뿐만 아니라 이미지 내에서 화물차의 적재 상태를 더욱 정밀하게 분석할 수 있는 기술적 기반을 제공한다. 이를 통해 기존의 육안에 의존한 단속 방식을 대체하여, 신속하고 일관된 적재 불량 감지가 가능해질 것이라 기대된다. 특히 프롬프트 엔지니어링(prompt engineering) 기법을 적용하여 모델의 분석 능력을 최적화하고, 화물차 적재물의 형태, 크기 등을 인식하고 적재 불량 판단을 자동화할 수 있다.

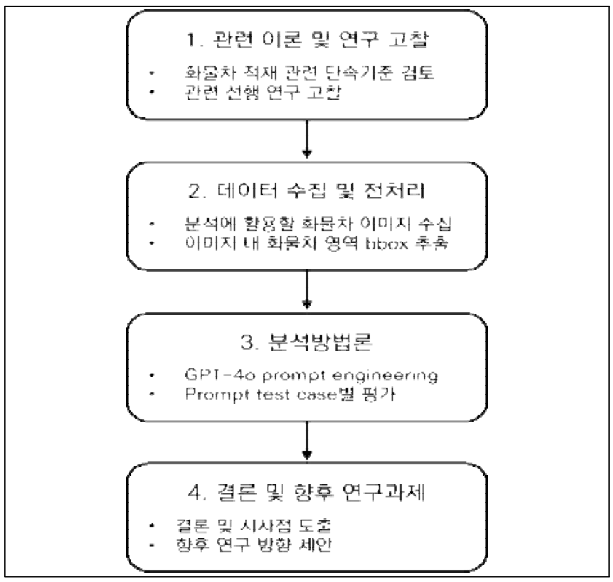
본 연구는 GPT-4의 멀티모달 분석 및 프롬프트 엔지니어링 기술을 활용하여 화물차 적재 불량 유형 중 적재 크기 초과 유형을 판단하는 새로운 방안을 제시하고, 이를 통해 적재 불량 화물차 교통사고의 위험을 줄여 도로 안전성을 높이는 것을 목표로 한다.

2. 연구의 범위 및 절차

본 연구는 LLM 중에서도 OpenAI에서 개발한 GPT-4o를 활용한 이미지 분석을 통해 「도로법」 및 「도로교통법」 기준에 따른 적재 크기 초과 여부를 판단하는데 목적이 있다. 분석에 활용된 화물차 이미지의 공간적 범위는 이순신대교 및 기타 CCTV가 설치된 대교 위 도로와 기상환경 재현 실증도로이다. 시간적 범위는 데이터 수집의 용이성을 고려하여 2021

년과 2023년으로 설정하였다.

본 연구의 수행 절차는 다음과 같다. 첫째, 화물차 적재 관련 현행 법 단속기준 검토를 통해 세부 단속기준을 확인한다. 둘째, 분석에 사용할 화물차 이미지를 수집하고, 이를 전처리 과정을 통해 분석에 적합한 형태로 정제한다. 셋째, 프롬프트 엔지니어링을 통해 최적의 분류 성능을 보이도록 프롬프트를 설계한다. 최종적으로 분석 능력이 최적화된 프롬프트 기반 화물차의 적재 크기 초과 여부를 판단하는 순서로 연구를 수행했으며, 연구 수행 절차의 흐름도는 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 연구 수행 절차

II. 관련 이론 및 선행 연구 고찰

1. 관련 이론 고찰

1) 화물차 적재 단속기준

도로법과 도로교통법에서는 폭, 길이, 높이, 중량 등에 따라 세부 기준을 제시하고 있으며, 해당 기준을 위반할 경우 도로 안전을 심각하게 저해할 수 있다. 특히 화물차 적재물의 적재 크기 초과(폭, 길이, 높이)의 경우 급정지나 회전 시 적재물이 이탈할 위험이 커져 화물차의 주행 안정성이 저하된다. 또한, 적재 크기 초과는 적재물의 고정 상태가 불안정해지기 쉬워, 차량의 주행 성능에 악영향을 미치고 도로 위에서의 사고 가능성을 높인다.

이에 따라, 본 연구에서는 적재 크기 초과(폭, 길이, 높이) 유형을 중점적으로 분석하고자 하며 기타 세부 단속기준은 다음 <표 1>과 같다.

<표 1> 화물차 적재 관련 세부 단속기준

구분		운행 제한 위반 (도로법)	적재 중량/용량 위반 (도로교통법, 동법 시행령)
세부 기준	폭	2.5m	후시경 확인 가능 범위
	길이	16.7m	자동차 길이의 110%
	높이	4m (또는 4.2m)	4m (또는 4.2m)
	중량	축하중 10톤 또는 총중량 40톤	차량 등록증 상 적재 가능량의 110%
관리주체		국토교통부	경찰청

2) LLM

LLM은 대규모 데이터를 기반으로 학습하여 자연어 처리(natural language processing, NLP) 작업을 수행하는 딥러닝 모델이다. LLM은 수억에서 수천억 개의 매개변수를 포함한 거대한 신경망 구조를 바탕으로, 텍스트 데이터를 이해하고 생성하는 능력이 탁월하다. 이 모델은 단순한 언어 패턴의 학습을 넘어 문맥 이해, 질의응답, 번역, 텍스트 요약 등의 다양한 언어 기반 작업에서 뛰어난 성능을 발휘한다(정유진 외, 2023).

LLM의 가장 대표적인 예로는 OpenAI의 생성형 사전 학습 트랜스포머(Generative Pre-trained Transformer, GPT) 시리즈가 있으며, GPT-3와 최근 출시된 GPT-4는 언어 생성 능력에서 혁신적인 성과를 보여주고 있다. 특히 GPT-4o는 멀티모달(multimodal) 기능을 제공하여 텍스트뿐만 아니라 오디오, 이미지 등 다양한 형태의 데이터를 처리할 수 있는 능력을 갖추고 있다. 이러한 기능은 기존 NLP 모델과 차별화되며, LLM이 텍스트 처리 외에도 이미지 분석, 영상 처리 등 다양한 분야에서 응용될 수 있는 가능성을 열어주고 있다(이운영, 2023).

3) Prompt engineering

Prompt란 AI 모델로부터 응답을 생성하기 위한 입력값을 의미하며, prompt engineering은 prompt에 들어가는 태스크에 대한 입력 또는 질문, 특정 지시 사항, 외부 정보 또는 추가 내용 등의 요소들을 적절하게 조합하고 작성하여, AI가 생성하는 결과물의 품질을 높일 수 있는 입력값을 설계하고 최적화하는 작업을 의미한다(Ekin et al., 2023). 이런 LLM에 결과를 요청하는 방식은 결과물의 품질에 큰 영향을 미치는 것으로 밝혀졌다(White et al., 2023). LLM 모델 성능을 높이기 위해 관심 있는 결과물의 예시를 제시하거나 처리해야 할 로직을 제공해야 하는데, prompt 제공 방식에 따라 다양한 기법들이 존재한다.

우선 예시 기반 prompt engineering은 예시 제공 유무에 따라 Zero-shot prompting과 Few-shot prompting 등이 있으며, 사고 기반 prompt engineering은 Chain of Thoughts(CoT), Tree of Thoughts(ToT) 등이 존재한다(이수환, 2023). 산술, 상징적 추론 등 복잡한 추론 작업에 대해서는 사고 기반 prompt engineering 기법인 CoT가 효과적이며, CoT도 추론 과정 제공 유무에 따라 Zero-shot-CoT, Few-shot-CoT이 있다. Prompt engineering 기법의 예시는 <그림 2>와 같다.

<그림 2> Prompt engineering 기법 예시 (출처: Kojima, et al.)

2. 선행연구 고찰

1) 화물차 적재불량 판단

강동근 외(2020)는 고속도로를 통행하는 화물차 영상을 분석하고 화물차 운영 실태 및 의식 조사를 수행하였다. 그 결과, 적재물을 안전하게 고정하고 운행하는 화물차의 비율이 30% 미만임을 확인하였고 적재물 낙하 경험이 있는 화물차 운전자 중 약 70%가 교통사고를 유발했거나 유발할 뻔한 경험이 있음을 밝혔다. 이를 통해 화물차 적재 불량 단속시스템의 개선 및 관련 법 규정의 구체화 필요성을 강조하였다.

정우진 외(2022)는 AI-Hub 데이터셋을 객체 추적 알고리즘을 적용하여 동일 객체가 중복으로 저장되는 문제를 방지하는 등 전처리 고도화 방안을 적용하였다. 객체 탐지 알고리즘(you only look once, YOLO) 모델을 기반의 적재 불량 화물차를 식별하는 시스템을 제안하였고 이는 기존 사전 학습된 모델에 비해 약 23% 향상된 성능을 보였다.

신동민 외(2021)는 YOLO 및 Mask-RCNN 모델을 활용하여 화물차의 적재 영역을 추출 및 회귀 모델 기반으로 불량 정도를 정량화하여 단속하는 시스템을 구축하였다. 이는 적재 불량 단속에 투입되는 인력을 초기에는 50% 이상 절감할 수 있을 것으로 예상되며, 추가적인 학습 데이터가 확보되면 최대 90% 이상 절감할 수 있을 것으로 기대된다.

이창목 외(2023)는 YOLO 모델과 후처리 알고리즘을 사용하여 실시간으로 적재 불량 및 과적 차량을 탐지하는 시스템을 제안하였다. 해당 시스템에서는 차량 전체를 인식하기 위한 bbox의 비율 조정을 위한 후처리 알고리즘을 제안하였다. AI-Hub의 대규모 공공 데이터셋을 이용해 버전에 따른 YOLOv5, YOLOv7, YOLOv8 모델을 학습시켰으며 특히, 성능과 연산 속도 측면에서 YOLOv5이 가장 우수한 결과를 보였다. YOLOv7 모델에서는 후처리 알고리즘을 적용한 후 mAP(0.5:0.95)가 88.3%에서 92%로 3.7% 향상되는 결과를 확인하였다.

2) LLM 기반 이미지 분석

Wang et al.(2023)은 제안한 모델을 통해 센서 수집 데이터, 이미지 등 다양한 형태의 인식 데이터를 통합하여 교통 안전을 개선하고, 인간과 기계가 함께 운전하는 환경에서 사고 예방을 목표로 한다. 제안된 모델은 GPT-4를 활용하여 이미지 분석 결과를 바탕으로 사고 원인 분석, 책임 할당 등의 작업을 수행한다.

Zarzà et al.(2023)은 다양한 시계열 데이터(날씨, 시간, 사고 정보 등)와 이미지, 텍스트 데이터를 각각의 적합한 모델로 처리하고, 이를 결합하여 교통사고를 예측하는 복합적인 접근 방식을 제안한다. 이때, LLM 기반 large language-and-vision assistant(LLaVA)를 사용하여 이미지 데이터를 기반으로 교통 상황을 해석하고, 텍스트와 함께 통합된 정보를 처리해 시각적 단서와 언어적 설명을 결합하여 위험을 분석하였다.

3. 연구의 차별성 도출

선행 연구 고찰 결과, 딥러닝 모델, 인공지능(AI)을 활용한 분석 자동화를 통한 화물차 적재 불량 단속시스템을 개선하려는 다양한 접근이 지속되고 있었다. 또한, 텍스트뿐만 아니라 이미지 분석에 LLM을 활용하려는 연구들이 새롭게 등장하고 있었다. 그러나 현행 법규 기준의 세부 적재 불량 유형을 분류하는데 LLM 기반 이미지 분석을 시도한 연구는 전무한 것으로 보여졌다. 이에 본 연구는 낙하 위험성이 높은 적재 크기 초과 여부를 LLM을 통한 이미지 분석을 통해 정확하게 판단할 수 있는지를 검증하여, 이를 활용한 단속 자동화시스템 구축을 위한 기초 연구를 수행하려고 한다.

III. 활용 데이터 및 분석방법론

1. 이미지 데이터 수집 및 전처리

화물차 이미지는 UDNS(Universal Design & Novel Solution)의 무인 무정차 고정식 축중기(JRP-WIM) 및 한국전자기술연구원과 한국도로공사에서 수집한 2023년 이순신대교 고속도로 화물차 이미지와 AI Hub에서 제공하는 2021년 기타 CCTV 설치된 대교 위 도로 및 기상환경 재현 실증도로에서 수집한 화물차 이미지를 활용하였다. 이때, 이미지 분석의 효율성을 높이기 위해 YOLO 모델을 활용하여 적재 영역에 대한 bounding box(bbox)를 그렸다. 해당 영역을 자르는 전처리 작업은 딥러닝 모델의 성능을 더욱 향상시키고, 적재 불량 감지의 신뢰성을 높일 수 있을 것으로 기대된다. 전처리한 화물차 이미지의 예시는 <그림 4>과 같다.

<그림 3> 화물차 이미지 전처리 예시

2. 분석방법론

1) OpenAI GPT-4o

GPT는 자연어 처리에 혁신을 가져온 머신러닝 모델로, 그 중 GPT-4는 OpenAI에서 개발한 최신 모델이다. GPT-4는 기존 모델 GPT-3보다 향상된 성능 및 특징을 가지며, 그중에서도 GPT-4o는 텍스트, 오디오, 이미지 등 다양한 형태의 데이터를 융합하여 추론 및 생성할 수 있는 멀티모달(multi modal) 기능을 지원한다. 이러한 특징을 가진 GPT-4o 모델은 화물차 이미지를 입력으로 넣어 분석하기에 적합할 것으로 판단하였다. GPT-4o는 ChatGPT 기반 웹 환경에서 직접 액세스하거나 OpenAI 플랫폼에서 제공하는 application programming interface, API를 통해 액세스할 수 있다. 본 연구에서는 반복문을 통해 여러 이미지를 효율적으로 입력 및 출력할 수 있는 API 호출 방법을 활용하였다.

2) Prompt engineering

효과적으로 prompt를 구성하고 원하는 결과물을 얻기 위해 본 연구에서는 선행 연구(White et al., 2023)에서 제시한 prompt engineering 전략을 검토하였으며 결과는 <표 2>와 같다. 해당 전략 중 화물차 분석에 적합한 내용을 일부 반영하였다.

<표 2> Prompt engineering 가이드라인

구분	세부 사항
Meta Language Creation	기호나 단어 등에 대한 새로운 의미를 부여하여 출력을 요구
Flipped Interaction	답변 출력 전, 필요한 정보를 사용자에게 충분히 질문 후 출력을 요구
Persona	모델에게 역할 부여
Alternative Approaches	사용자가 요구한 프롬프트보다 나은 방법이 있다면 출력을 요구
Template	사용자가 답변의 형식을 사용자의 의도에 맞게 지정
Visualization Generator	이미지 생성 인공지능(Dall-E 등)에게 입력할 프롬프트를 자세히 작성 요구
Reflection	결괏값의 근거를 찾도록 요구
Recipe	단계별로 설명하도록 요구

출처: White et al., (2023)

최종적으로 화물차 분석을 위해 설계한 prompt test case는 4가지로, 첫 번째는 예시 없이 질문을 던져 zero-shot prompting을 수행하였다. 두 번째와 세 번째는 모두 하나의 화물차 이미지 예시를 제공하는 one-shot prompting이지만 두 test case 간 차이점은 함께 제공한 텍스트가 적재 크기 초과 여부 정답만을 포함하는지와 정답을 도출하게 된 추론 과정 또한 포함하여 작성되었는지이다. 마지막은 두 개의 이미지 및 적재 크기 초과 여부 정답을 포함하는 few-shot prompting을 수행하였다.

<표 3> Test case 정보

No.	예시 개수	Prompt 세부 내용
1	Zero-shot (0)	당신은 화물차 적재 불량을 판단하는 전문가입니다. 적재물이 차량을 기준으로 튀어나와 있는지 자세하게 살펴봐주세요. 튀어나와 있는 부분이 있다면 폭, 길이, 높이 등 크기를 초과한 것입니다. 적재 크기 초과이면 O, 적재 크기 초과가 아니면 X로 판단해주세요.
2	One-shot (1)	당신은 화물차 적재 불량을 판단하는 전문가입니다. 적재물이 차량을 기준으로 튀어나와 있는지 자세하게 살펴봐주세요. 튀어나와 있는 부분이 있다면 폭, 길이, 높이 등 크기를 초과한 것입니다. 적재 크기 초과이면 O, 적재 크기 초과가 아니면 X로 판단해주세요. [예시 1] 이 화물차의 적재물이 적재함을 초과하지 않아 적재 크기 초과가 아닙니다. (X)
3	One-shot (1)	당신은 화물차 적재 불량을 판단하는 전문가입니다. 적재물이 차량을 기준으로 튀어나와 있는지 자세하게 살펴봐주세요. 튀어나와 있는 부분이 있다면 폭, 길이, 높이 등 크기를 초과한 것입니다. 적재 크기 초과이면 O, 적재 크기 초과가 아니면 X로 판단해주세요. [예시 1] 1. 이 화물차의 적재물은 차량을 기준으로 튀어나와있지 않다. 2. 이는 적재함을 초과하여 적재되지 않아 적재 크기 초과에 해당하지 않는다. 3. 해당 화물차는 적재 크기 초과가 아닙니다. (X)
4	Few-shot (2)	당신은 화물차 적재 불량을 판단하는 전문가입니다. 적재물이 차량을 기준으로 튀어나와 있는지 자세하게 살펴봐주세요. 튀어나와 있는 부분이 있다면 폭, 길이, 높이 등 크기를 초과한 것입니다. 적재 크기 초과이면 O, 적재 크기 초과가 아니면 X로 판단해주세요. [예시 1] 이 화물차의 적재물이 적재함을 초과하지 않아 적재 크기 초과가 아닙니다. (X) [예시 2] 이 화물차의 적재물이 적재함을 초과하여 적재 크기 초과입니다. (O)

Ⅳ. 분석 결과

1. Prompt Engineering 결과

설계한 prompt에 따른 test case별로 평가 이미지 100개에 대해 클래스 분류를 수행하였으며, 결과는 <표 5>과 같다. 표는 각 test case의 옳게 분류한 클래스별 개수 및 전체 이미지 중 정확하게 분류한 개수를 나타내는 정확도를 포함한다.

<표 5> 모델 학습 결과

No.	예시 개수	옳게 분류한 개수(개)		정확도(%)
1	Zero-shot (0)	정상	37	86
		적재 크기 초과	49	
2	One-shot (1)	정상	18	48
		적재 크기 초과	30	
3	One-shot (1)	정상	2	50
		적재 크기 초과	48	
4	Few-shot (2)	정상	12	52
		적재 크기 초과	40	

Test case별로 정확도를 살펴보면, 첫 번째, 네 번째, 세 번째, 두 번째 순으로 높은 것으로 나타났다. 우선, 정답만 제공한 두 번째 test case(one-shot)와 추론 과정까지 제공한 세 번째 test case(one-shot)의 결과에서는 텍스트 내의 정보량이 많은 세 번째 test case(one-shot)가 더 높은 정확도를 가지는 것으로 나타났다. 이는 추론 과정을 학습함으로써 단순한 정답 이상의 정보를 활용하여 더 정밀한 판단을 내릴 수 있게 되었을 것으로 생각된다. 또한, 한 개의 예시를 제공한 두 번째와 세 번째 test case보다는 두 개의 예시를 제공한 네 번째 test case가 더 풍부한 데이터를 학습하여, 적재 크기 초과 판단의 정확도가 더 높아진 것으로 판단된다.

다만 앞선 경향성과는 다르게 예시가 없는 첫 번째 test case에 대해서 가장 높은 정확도를 보였다. 해당 결과는 두 개의 예시를 활용한 few-shot에서 활용한 예시들이 평가 이미지와 충분히 일치하지 않아 오히려 혼란을 줬을 가능성이 존재하고, 오히려 예시가 없이 사전 학습된 지식을 활용해 고유의 방법으로 문제를 해결하려는 시도에서 안정적인 성능을 보일 수도 있다고 해석된다.

Ⅴ. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 텍스트 처리 이외에도 이미지 분석, 영상처리 등 다양한 분야에서 높은 성능을 보이는 LLM 모델을 활용하여 이미지 분석을 진행하였다. 그중에서도 널리 활용되고 있는 멀티모달 기능을 지원하는 OpenAI GPT-4o를 선정하였다. 해당 모델은 화물차 이미지와 prompt engineering 기반 도출한 prompt를 입력으로 받아 적재 크기(폭, 길이, 높이) 초과와 정상 적재된 화물차 분류하였다. 적재 크기 초과는 현행법에 따른 세부 단속기준 중 적재물이 이탈할 위험이 크고 사고 가능성이 높은 것으로 판단되어 해당 연구의 분류 기준으로써 활용하였다. 이순신대교 및 기타 대교 도로 등에서 수집된 CCTV 화물차 이미지 내에서 YOLO 기반 bbox 기준으로 적재 영역을 추출하는 전처리하는 방안을 채택해서 이미지 분류의 정확도를 높이고자 하였다.

멀티모달 기능을 지원하는 OpenAI GPT-4o 모델에 선행연구를 바탕으로 도출한 prompt engineering 전략을 적용하여, 4개의 test case를 설계하였다. 각 test case는 zero-shot, one-shot(정답만 포함), one-shot(추론 과정 및 정답 포함), few-shot prompt를 기반으로 하였다. 각 Test case 별로 평가 이미지 100개에 대해 클래스 분류 작업을 수행하여, 화물차의 적재 크기 초과 여부를 분류하는 성능을 평가하였다.

각 test case의 정확도를 비교한 결과, zero-shot이 가장 높은 성능을 보였다. 이는 예시 없이 사전 학습된 지식을 활용한 접근이 더 안정적일 수 있음을 시사한다. 반면, few-shot에서는 예시와 평가 이미지 간 불일치가 성능 저하의 원인일 가능성이 제기된다. 또한, one-shot의 경우, 추론 과정이 포함된 프롬프트가 단순 정답만 제공된 프롬프트보다 더 높은 정확도를 기록했는데, 이는 모델이 추론 과정을 학습함으로써 더 정밀한 판단을 내릴 수 있었기 때문으로 사료된다.

향후 연구에서는 few-shot 프롬프트에 기존 2개 외에도 더 많은 예시를 추가하여 모델의 학습 범위를 확장하고, 다양한 추론 과정을 적용하여 보다 정교한 prompt engineering을 수행할 계획이다. 이를 통해 분류 정확도를 더욱 개선하고자 한다.

감사의 글

본 논문은 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원의 연구비지원(RS-2022-00142239)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 채범석. (2007). 화물대형차 교통사고 예방대책 연구. 대한교통학회 학술대회지, 55, 287-295.
2. 유성준, 정미경, 이세원. (2017). 적재 불량 개방형 화물차의 고속도로 진입규제 방안. 연구도로교통공단 교통과학연구원
3. 김종환. (2016). 2단계 과적단속시스템을 위한 대기행렬 모형에 관한 연구. 의사결정학연구, 24(2),41-51.
4. 국토교통부. (2024). 화물, 제대로 안 묶으면 단속 걸린다 [정책보도자료]. 국토교통부. https://www.molit.go.kr
5. 김형준, 진은주, 오석진, 박제진. (2021). AI 학습 기반 키워드분석을 통한 노면 낙하물 사고분석 연구. 대한교통학회지,39(1),78-86.
6. 정유진, 고원진, 이유신, 최성철. (2023). ChatGPT 기반 피부 상담챗봇에서 프롬프트 엔지니어링 기법을 활용한 사용자 실험. 한국혁신학회지, 18(3), 109-133, 10.46251.
7. 이운영. (2023). 생성형 인공지능이 적용된 패션 이미지의 활용방안 제안-학습용 인공지능 데이터와 인공지능 기술적용 중심으로-. 한국디자인문화학회지, 29(4), 319-336, 10.18208.

8. Ekin, Sabit. (2023). Prompt Engineering For ChatGPT: A Quick Guide To Techniques, Tips, And Best Practices. TechRxiv. Preprint. DOI: 10.36227.
9. White, J., Fu, Q., Hays, S., Sandborn, M., Olea, C., Gilbert, H., Elnashar, A., Spencer-Smith, J., & Schmidt, D.C. (2023). A Prompt Pattern Catalog to Enhance Prompt Engineering with ChatGPT. ArXiv, abs/2302.11382.
10. 강동근, 이세원. (2020). 고속도로 개방형 적재불량 화물차 위험성 실태조사. 교통안전연구, 39(0), 49-67.
11. 정우진, 박진욱, 박용주. (2022). 객체 인식 모델을 활용한 적재 불량 화물차 탐지 시스템. 한국정보통신학회논문지, 26(12),1794-1799.
12. 신동민, 양영의, 백승룡, 정재호. (2021). 학습 기반 영상처리 분석을 통한 적재불량 차량 단속 시스템 개발. 한국산학기술학회 논문지, 22(11),788-793.
13. 이창목, 전왕수, 이상용. (2023). Yolo와 후처리 알고리즘을 이용한 실시간 적재/과적차량 판단 시스템. 한국지능시스템학회 논문지, 33(5),414-422.
14. Wang, L., Ren, Y., Jiang, H., Cai, P., Fu, D., Wang, T., Cui, Z., Yu, H., Wang, X., Zhou, H., Huang, H., & Wang, Y. (2023). AccidentGPT: Accident Analysis and Prevention from V2X Environmental Perception with Multi-modal Large Model. ArXiv, abs/2312.13156.
15. de Zarzà, I., de Curtò, J., Roig, G., & Calafate, C. T. (2023). LLM Multimodal Traffic Accident Forecasting. Sensors (Basel, Switzerland), 23(22), 9225.

딥러닝 모델과 XAI 기법을 활용한 드론 뷰 영상에서 도심 주행 차량의 차선 변경 궤적 예측 및 해석 연구

Trajectory Prediction and Interpretation of Urban Driving Vehicle Lane Changes in Drone View : using Deep Learning Model and XAI Techniques

홍석준

(순천향대학교 AI·빅데이터학과, 학사과정)

노병준

(순천향대학교 AI·빅데이터학과, 조교수)

Key Words : Deep Learning model, Drone View, Vehicle Trajectory Prediction

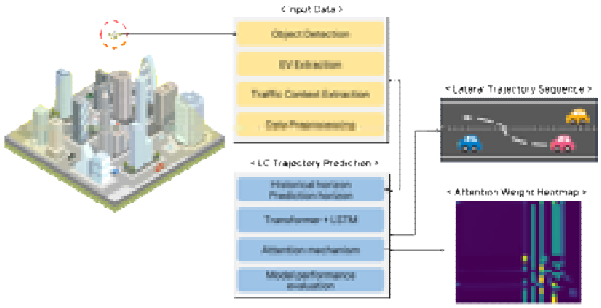
목 차

Ⅰ. 서론 ····· 1
Ⅱ. 연구 방법 ····· 1
Ⅲ. 실험 및 결과 ····· 2
Ⅳ. 결론 및 한계점 ····· 3

Ⅰ. 서론

도로 주행 상황 중에서 차선 변경은 가장 위험한 기동 중 하나로 뽑힌다. 차선 변경은 전체 도로 사고의 9%를 차지하며[1], 미국에서 매년 약 24만에서 61만 건의 차선 변경 관련 충돌 사고가 발생한다[2]. 차선 변경 기동은 다른 차선 차량과의 간섭으로 인해 차량 안전에 지대한 영향을 미치며 특히, 고속으로 주행하는 교통 흐름에서 더욱 심각한 사고의 위험성이 존재한다[3]. 이러한 차선 변경 기동을 예측하는 것은 매우 중요한 과제로, 이를 제대로 수행하지 못하는 경우 위험한 결정을 내리거나 과도하게 보수적인 운전을 하게 되어 운전 시스템의 안전성이나 효율성을 저해함과 동시에 사고 위험성으로 탑승자의 안전까지 위협할 수 있다. 따라서, 이러한 문제를 해결하기 위해 정확한 차선 변경 궤적 예측 연구가 필요하다.

본 논문에서 제안하는 전반적인 연구 진행에 대한 프레임워크는 그림 1과 같다. 본 논문은 도심에서 촬영된 드론 뷰 영상을 활용하여 차량 정보를 추출하고, 궤적 예측에서 뛰어난 성능을 보이는 LSTM(Long Short-Term Memory)[4]과 중요 부분에 선택적 집중이 가능한 Transformer[5] 모델을 결합하여 도심 도로 상황에 최적화된 차선 변경 궤적 예측 모델을 제안한다. 또한, XAI(Explainable AI) 기법인 Attention Weight Heatmap을 활용하여 모델에 대한 이해와 예측에 대한 해석을 증대시키려 한다. 이를 통하여, 복잡한 도심 교통 상황에 대한 정밀한 분석으로 정확하고 신뢰할 수 있는 차선 변경 궤적 예측 모델을 개발하는 것을 목표로 한다.



<그림 1> 연구 진행 프레임워크

Ⅱ. 연구 방법

1. 모델 구조

본 연구에서는 차선 변경 궤적 예측을 위해 LSTM과 Transformer를 결합하였다. 본 모델은 Transformer의 기초적인 인코더-디코더 구조를 따르며 각 인코더와 디코더는 3개의 층으로 구성된다. Transformer의 각 층은 Multi-Head Attention 메커니즘과 Feed-Forward 신경망으로 구성되어 있으나, 제안한 모델은 Feed-Forward 신경망을 LSTM으로 대체하여 사용한다. 이러한 결합을 통하여 시퀀스 to 시퀀스 구조의 형태인 궤적 예측에서 차량 궤적 시퀀스 관계와 장기 의존성을 효과적으로 학습하도록 한다.

2. Attention 메커니즘

Attention 메커니즘은 입력 데이터의 다양한 위치에서 정보를 동시에 집중할 수 있게 해주어, 시퀀스 내의 복잡한 의존성을 모델링하는데 매우 효과적이다. 차선 변경 시 현재 주

행 중인 차선과 변경하려는 차선을 제외한 나머지 차선은 상대적으로 고려 대상이 아니며 중요도가 떨어진다. 이처럼 차선 변경 궤적 예측에서는 차량의 현재 상태와 주변 차량의 동적인 상태 사이의 복잡한 상호작용을 학습하는 데 중요하다. 제안한 모델 내부의 Multi-Head Attention을 통해 주변 차량 움직임의 변화에 따른 차선 변경 궤적을 더 정확히 예측하도록 한다. 이 과정에서 생성되는 Attention Weight Heatmap은 XAI 기법으로 모델의 의사결정 과정을 설명하는 데 중요한 역할을 한다. 모델이 어떤 시점을 더 중요하게 고려하는지를 시각적으로 보여주며, 이를 통해 모델의 예측 과정을 해석하고 차선 변경과 차선 유지 상황에 대한 집중도 차이 양상을 분석할 수 있다.

III. 실험 및 결과

1. 데이터 설명

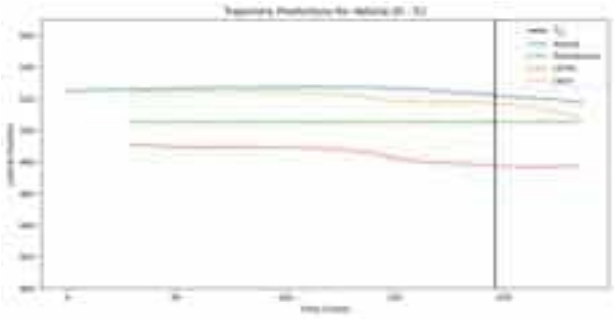
본 연구에서는 대전 유성구 구성동 445-1 도심 지역의 도로와 차량을 약 250m 고도에서 드론으로 촬영한 영상을 사용하였고, 객체 탐지 모델인 YOLOv8을 활용하여 차량의 정보를 추출하였다. 차량에 대한 정보는 트럭이나 버스, 오토바이가 제외된 일반 차량이며, 차선 변경을 예측하고자 하는 대상 차량과 주변 차량의 정보 총 두 부분으로 구성되어 있다. 대상 차량의 정보는 프레임(sec)마다 차량의 ID, 속도(m/s), 가속도(m/s^2), 차선이 포함되어 있으며, 주변 차량의 정보는 대상 차량과 주변 차량 간의 상대 속도(m/s)와 거리(pixel)가 포함되어 있다.

2. 차선 변경 궤적 예측 모델 성능 평가

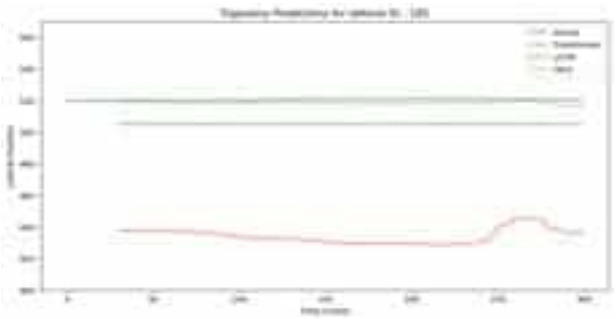
본 연구에서는 차선 변경 궤적 예측을 위해 제안한 모델과 LSTM, Transformer를 평가하였다. 표 1은 시퀀스에 따른 모델별 차선 변경 궤적 예측성능을 비교한 것이다. 제안한 모델, Transformer, LSTM 순의 성능을 확인할 수 있으며 제안한 모델이 대부분의 입력 시퀀스와 출력 시퀀스에 대해 우수한 성능을 보였다. 특히 1초 입력과 1초 예측에서 RMSE는 약 22.87, MAPE는 약 4.54로 측정되어 가장 높은 성능을 보였다. 그림 2은 1초 입력, 1초 예측일 때 실제 궤적과 모델별 차선 변경 궤적 예측, 차선 유지 궤적 예측을 시각화한 것이며 T_{LC}는 차선 변경 시점이다. 제안한 모델, Transformer, LSTM 순의 성능을 보이며 차선 변경과 차선 유지 모두 제안한 모델의 우수한 궤적 예측성능을 확인할 수 있다.

3. Attention Weight Heatmap 분석

그림 3는 차선 변경과 차선 유지 상황에서 각 Sequence에 대한 전체적인 흐름을 확인하기 위해 제안한 모델로 출력한 Attention Weight Heatmap을 Mosaic로 변형한 그래프이다. 차선 변경 Attention Weight Heatmap Mosaic 그래프의 빨간색으로 표시된 구간은 차선 변경 시점인 T_{LC}를 나타낸다. 차선 변경 상황에서는 전반적으로 패턴이 존재하며 다양한 시점들에 대해 집중하는 경향을 확인할 수 있다. 그러나, T_{LC} 부분에 대해서는 다른 시점과 유사한 패턴과 다양한 시점에 대한 집중이 존재하나 유의미한 차이가 발견되지 않았다. 차선 유지 상황에서는 상대적으로 패턴이 존재하지 않으며, 모델이 차선 유지 상황을 예측할 때 다양한 시점들이 아닌 예측 시점으로부터 가장 가까운 시점과 가장 먼 시점에 대해 주로 영향을 받고 있다는 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 차선 변경 상황에는 차선 유지 상황과 달리, 다양한 시점에 대한 복잡한 차량 간의 상호작용이 모델 예측에 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.



(A)

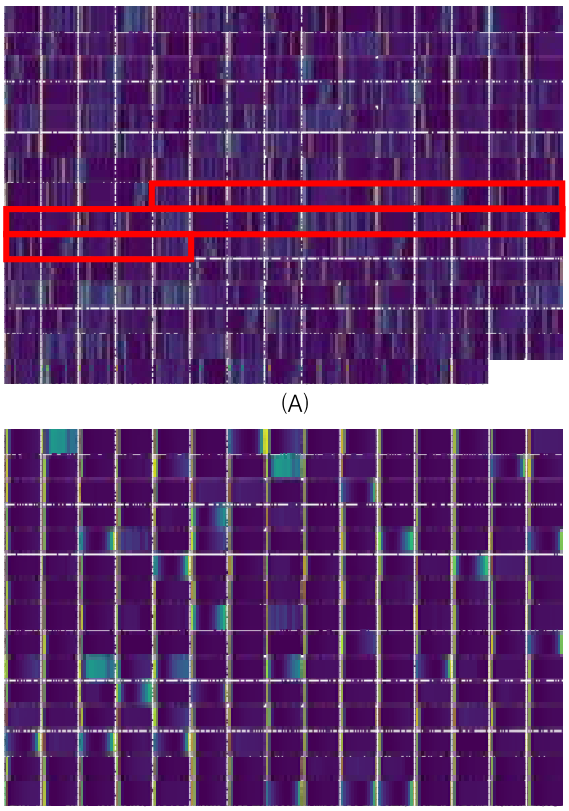


(B)

<그림 2> 모델별 궤적 예측 그래프
(A : 차선 변경, B : 차선 유지)

<표 1> 궤적 예측 모델별 성능 평가

Historical horizon (s)	Prediction horizion (s)	RMSE (LSTM)	MAPE (LSTM)	RMSE (Transformer)	MAPE (Transformer)	RMSE (Ours)	MAPE (Ours)
1	1	28.21	5.58	28.71	5.66	**22.87**	**4.54**
1	2	28.39	5.56	**27.90**	**5.47**	28.81	5.62
1	3	28.85	5.57	29.20	5.63	**27.10**	**5.27**
2	1	27.92	5.53	27.56	5.47	**24.67**	**4.96**
2	2	28.36	5.55	27.19	5.35	**26.65**	**5.26**
3	1	27.74	5.49	26.80	5.34	**26.28**	**5.26**



(A)

(B)

<그림 3> Attention Weight Heatmap Mosaic
(A : 차선 변경, B : 차선 유지)

Ⅳ. 결론 및 한계점

본 연구에서는 드론 뷰 영상을 활용하여 도심 도로에서 추출한 차량 정보 데이터를 바탕으로 차선 변경 궤적 예측을 수행하는 새로운 모델을 제시하였다. 제시한 모델을 대전 유성구 구성동 도로의 차량을 드론으로 촬영된 영상 데이터에서 추출한 차량 정보를 적용하여 효과를 검증하였다. 차선 변경 궤적 예측 모델은 제안한 모델이 1초 입력, 1초 예측에서 RMSE는 약 22.87, MAPE는 약 4.54로 다른 모델들과 비교했을 때 가장 우수한 예측성능을 보였다. 이는 해당 모델이 도심 주행 차량의 차선 변경 궤적 예측 시 매우 효과적임을 시사한다. 또한, XAI 기법인 Attention Weight Heatmap을 활용하여 차선 변경과 차선 유지 상황에 대한 시점 분석을 진행하였다. 차선 변경 상황일 때 다양한 시점에 대한 집중과 패턴이 존재하여 차선 유지 상황과의 차이점을 확인하였고, 복잡한 차량 간의 상호작용이 모델 예측에 영향을 미치는 것을 확인하였다. 이를 통해 딥러닝 모델의 블랙박스 문제를 해소하고 모델 예측에 대한 이해를 증대시켰다.

그러나, 본 연구에서 분석 대상으로 활용한 도로는 1곳으로 한정된 도로 조건에 근거하며, 신호등, 이면도로 진출입과 같은 다양한 도심 도로 환경 요인에 대한 차선 변경 영향을 배제하였기 때문에 이 연구만을 활용하여 모든 도로에서의 모델 성능을 일반화하는 것은 무리가 있다. 또한, 트럭, 버스, 오토바이 등의 다양한 차량 유형을 고려하지 않고 일반 차량을 대상으로만 진행한 연구이기 때문에 설명력이 부족하다. 따라서 본 연구에서 제안하는 방법론을 활용하여 정확하고 설득력 있는 정보를 얻기 위해 다양한 도로 조건과 차량 유형에 대한 상황들을 통해 분석이 수행되어야 할 것으로 생각된다.

본 연구에서 제안한 차선 변경 궤적 예측 모델은 도심 도로의 현실적인 교통 흐름과 변수들을 고려하여 다양한 실제 도심 도로 상황에 적합하게 적용할 수 있다는 것을 확인하였다. 또한, XAI 기법을 활용해 모델의 예측 과정을 해석하여 예측 결과에 대한 신뢰성을 높이는데 기여하였다. 이를 통해 도심 도로 교통 관리를 위한 자료로 활용되어 운전 시스템과 탑승자의 안전성 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원 자율주행기술개발혁신사업의 연구비 지원(과제번호 RS-2023-00233952)에 의해 수행되었습니다.

본 연구는 2024년 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 SW중심대학사업의 연구 결과로 수행되었습니다(2021-0-01399).

참고문헌

1. Yang L., Li X., Guan W., Zhang H. M., Fan L. (2018), Effect of traffic density on drivers' lane change and overtaking maneuvers in freeway situation—A driving simulator - based study, Traffic injury prevention, 19(6), 594-600.
2. Zhao D., Lam H., Peng H., Bao S., LeBlanc D. J., Nobukawa K., et al. (2016), Accelerated evaluation of automated vehicles safety in lane-change scenarios based on importance sampling techniques, IEEE transactions on intelligent transportation systems, 18(3), 595-607.
3. Chen T., Shi X., Wong Y. D., Yu X. (2020), Predicting lane-changing risk level based on vehicles' space-series features: A pre-emptive learning approach, Transportation research part C: emerging technologies, 116, 102646.
4. Hochreiter, S. (1997). Long Short-term Memory. Neural Computation MIT-Press.
5. Vaswani, A. (2017). Attention is all you need. Advances in Neural Information Processing Systems.

탄소중립 및 방재

Session

D-5

CCTV 영상 기반 다중운집 압사사고 취약성 평가체계 연구
문시현, 박성호, 윤일수

작업자 안전 모니터링 시스템 개발에 관한 연구
박찬희, 오현서

자동차 주행거리를 활용한 교통수요모형 기반 온실가스 배출량 산정: 제주특별자치도를 대상으로
고상희, 신강원

국내 수송부문 온실가스 배출량 산정모형 고도화를 위한 종단경사 보정계수 개발
김진재, 김대진, 이승봉, 천승훈

주행거리 시계열 변화를 고려한 교통수요관리정책의 온실가스 감축 원단위 고찰
김태경, 신강원

CCTV 영상 기반 다중운집 압사사고 취약성 평가체계 연구

A Study on the Vulnerability Assessment Framework for Crowd Crush Using CCTV

문시현 (아주대학교, 통합과정)　**박성호** (아주대학교, 연구조교수)　**윤일수** (아주대학교, 교수)

Key Words : 다중운집, 다중운집 안전관리, 다중운집 압사사고, 압사사고

목　차

Ⅰ. 서론
Ⅱ. 관련 연구 및 선행연구 고찰
Ⅲ. 다중운집 취약성 평가체계
Ⅳ. 결론 및 연구 진행안

Ⅰ. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

다중운집 압사사고는 여러명의 군중이 모인 상황에서 넘어지거나 서로를 압박하게 되면서 부상자나 사망자가 발생하는 사고이다(Feliciani et al., 2023). 이러한 사고는 전 세계적으로 반복적이고 빈번하게 발생하고 있다. 1980년부터 2007년까지 총 215건의 인간 압사 사건이 보고되었으며, 또한 사고의 빈도가 지속해서 증가해오고 있다(Hsieh et al., 2009).

국내의 경우 다중운집 압사사고와 관련한 안전관리를 위해서 법안과 매뉴얼로 대응방안을 마련하고 있다. 대표적으로 「재난 및 안전관리 기본법」 제66조에 11다중운집 행사 안전관리 매뉴얼 등 안전관리 매뉴얼을 발간하여 안전관리 방안을 제시하고 있다. 그러나 공식적인 지역축제 안전관리계획을 수립하고 있으며, 「국가경찰과 자치경찰의 조직 및 운영에 관한 법률」을 통해 다중운집 행사의 안전관리를 경찰의 사무로 명기하고 이에 따라 경찰청에서는 다중운집 행사 안전관리 매뉴얼을 통해 안전관리를 실시하고 있다. 그러나 주체자가 없는 행사에 대하여 안전관리의 사각지대가 발생할 수 있으며, 현장상황 관제에 대한 CCTV 연계가 미흡한 실정이다(배재현과 이송림., 2022).

2022년 10월 29일에 발생한 이태원 할로윈 축제 압사사고를 통해 안전관리 사각지대에 대한 경각심이 두드러졌다. 총 사망자가 154명으로 국내 주요 압사사고 중 최대를 기록한 사고가 발생한 할로윈 축제는 규모가 지역축제에 준하는 행사 였으나, 주최자가 없는 다중운집 행사였기 때문에 안전관리의 책임 주체가 모호함으로 제대로된 안전관리가 이루어지지 못하였다.

경찰청은 해당 사건을 계기로 이러한 국내 문제점을 해결하고자 치안현장 맞춤형 연구개발사업을 통해 “대형 압사사예방을 위한 CCTV 영상 기반 AI 운집 위험도 예측·분석 기술개발 및 실증” 연구를 추진하였다. 해당 연구는 CCTV 영상에 computer vision 및 AI 기술 활용하여 다중운집 압사사고의 위험요소를 분석하고 이를 통해 경고 및 대응 전략을 개발 및 실증하는 것을 목표로 한다.

CCTV 영상 기반 AI 기술을 활용하여 다중운집 압사사고 안전관리를 수행하는 것은 주체자가 없거나 비계획적인 대규모 행사에 대한 효과적인 대응 방안이다(Yogameena & Nagananthini., 2017). 이를 위해서는 영상을 통해 대규모 군중이 모여 있는 상황에서 압사사고의 취약성을 체계적으로 평가할 방안과 평가된 결과에 따라 인력의 출동 여부와 배치 여부 등의 구체적인 대응 방안이 뒷받침되어야 한다.

그러나 대규모 군중에서 보행 흐름에 대한 연구는 일반적인 보행 환경에 대한 연구에 비해 매우 제한적이다(Lee et al., 2006). 이는 다중운집이 형성은 특수한 상황에서 발생될 뿐만 아니라 사고가 발생할 경우 도의적인 이유로 데이터 수집이 어렵기 때문이다. 이러한 제한적인 조건으로 CCTV를 활용하여 압사사고의 취약성을 평가하기 위해 필요한 위험요소에 대한 분석이 어려운 실정이다.

본 연구는 이러한 상황에서 다중운집 압사사고의 취약성 평가 체계를 개발하고자 관련 연구 고찰과 계층 분석법(Analytic Hierarchy Process, AHP)을 통해 위험 요인을 도출하고 정량화하였다.

또한, 해당 결과를 바탕으로 CCTV를 활용하여 다중운집 압사사고의 취약성을 평가할 수 있는 평가체계를 구축하였다.

Ⅱ. 관련 이론 및 연구 고찰

1. 관련 이론 고찰

다중운집은 동일한 시간과 물리적 위치에서 동시에 발생하는 밀집된 대규모의 모임을 의미한다(Fruin., 1992). 다중운집의 위험은 보행자 전체의 집단적인 보행 특성과 개개인간 보행 특성이 혼재되어 예측하기 어렵다.

그럼에도 불구하고, 지난 20년 동안 많은 연구들이 다중운집의 위험을 표현하기 위해 다중운집 밀도, 압력, 에너지 등의 파라미터를 도출하였다(Yogameena & Nagananthini., 2017).

다중운집 밀도는 단위 면적에서 집단 내 보행자의 수로 보행밀도가 늘어남에 따라 보행자 완충공간이 협소해져 보행속도가 낮아지고 충돌이 발생함에 따라 안전사고가 발생할 수 있다(Fruin., 1992; Still., 2000). 다음 수식 (1)은 보행속도와 보행밀도의 관계를 나타낸다.

$$V = S \times D \quad \cdots\cdots (1)$$

이때,

V = 보행교통류율(인/분/m)
S = 보행속도(m/분)
D = 보행밀도(인/m^2)

다중운집 압력은 다중운집 집단 내 밀도에 의해 집단 내 보행자가 주변 보행자와 상호작용하면서 발생하는 현상을 표현하기 위한 파라미터이다. 다중운집 압력은 다중인집 밀도와 속도의 분산의 곱으로 정의되며, 다중운집의 집단 내 보행자가 높은 밀도로 인해 벗어나려 하거나 공간을 확보하기 위해 밀치는 등의 행위를 할 때 높아진다(Helbing et al., 2007). 다음 수식 (2)는 다중운집 압력을 나타낸다.

$$P(r,t) = \rho(r,t) \times Var_{r,t}(V) \quad \cdots\cdots (2)$$

이때,

r = 공간적 위치
t = 시간
$\rho(r,t)$ = 다중운집 밀도(인/m^2)
$Var_{r,t}(V)$ = 보행속도(m/분)

다중운집 에너지는 다중운집 내에서 발생하는 물리적 힘과 상호작용에 의해 형성되는 에너지를 의미한다. 보행자 서로 간에, 또는 벽과 같은 장애물과 상호작용할 때 발생하는 힘 등을 표현하는 파라미터이다(Helbing et al., 2000). 다중운집 에너지는 물리학의 운동 에너지와 포텐셜 에너지를 활용하여 다중운집 내 보행자간 상호작용력을 정의한다. 다음 수식 (3)은 보행자 간 상호작용력을 나타낸다.

$$C_j(t) = \sum_i \| \vec{f}_{ij}(t) \| \quad \cdots\cdots (3)$$

이때,

$\| \vec{f}_{ij}(t) \| = A_j e^{(r_i + r_j - d_{ij})/B_j}$
r = 보행자의 개인 행동 반경
d = i보행자가 j보행자에게 가하는 힘의 방향
A = 보행자 충격 강도(J)
B = 보행자 충격 범위(m)

다음과 같이 지난 연구들에서 도출된 파라미터를 통해 AHP 기법을 통해 다중운집 취약성 평가체계에 활용할 평가지표를 선정하였다.

AHP는 복잡한 의사결정을 위해 기준을 세우고 이를 체계적으로 고려할 수 있는 방법이다. 의사결정의 목표 또는 평가기준을 쌍대비교(pairwise comparison)를 통해 중요도를 산출하고 상대적 중요도를 도출하여 목표에 적합한 대안을 선택하는 방법이다(Tavana et al., 2023).

AHP는 총 세단계로 진행된다. 첫 번째 단계는 문제의 계층 구조 설정으로, 문제를 목표, 기준, 하위 기준, 대안으로 나누어 구조화한다. 두 번째 단계는 쌍대 비교이다. 기준과 하위 기준을 쌍으로 비교하여 중요도를 1~9의 척도로 평가하며, 이를 통해 각 기준의 상대적 중요도를 산정한다. 이 비교는 쌍대 비교 행렬을 형성하며, 이를 통해 각 항목의 우선순위를 결정하는 데 사용된다. 이때, 각 요소는 상위 요소와의 관계 속에서 그 중요도를 평가하게 된다.

하지만 전문가의 판단이 일관되지 않을 수 있기 때문에, 세 번째 단계로 일관성을 평가하기 위해 일관성 지수(consistency index)를 도출한다. 일관성 지수가 0.15를 넘지 않아야 하며, 일관성 지수가 낮을수록 판단의 신뢰성이 높다고 평가할 수 있다(Saaty., 1987). 다음 수식 (4)는 AHP의 일관성 지수를 나타낸다.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - m}{m - 1} \quad \cdots\cdots (4)$$

이때,

m = 비교된 기준의 개수
λ_{max} = 쌍대비교 행렬의 최대 고유값

AHP는 이러한 과정을 통해 의사결정자는 각 대안을 쌍으로 비교하면서 상대적인 중요도를 평가하고 평가 결과를 통해 의사결정을 내릴 수 있다.

2. 선행연구 고찰

본 연구에서 다중운집 안전관리를 위하여 다중운집의 보행 특성에 대한 연구가 오랫동안 진행되었다.

Fruin(1992)는 다중운집 안전관리를 위해 평균적인 보행자 인체 규격을 산정하고 다중운집 밀도에 따른 다중운집 속도 변화 관계를 설명하고 다중운집 밀도에 따라 보행자 서비스 수준을 제시하였다.

Still(2000)은 다중운집 밀도에 따른 보행자 서비스 수준을 개선하고자 다중운집 밀도가 지속되는 시간에 대해 임계치를 연구하기 위해 시뮬레이션 모델을 구축하였다.

Helbing et al.(2000)은 다중운집이 과밀한 상태의 영상 데이터를 분석하여 다중운집 내 보행자 간 상호작호력을 정의하여 넘어짐 등의 안전사고가 발생하는 원인을 분석하였다.

Helbing et al.(2007)은 다중운집 내 밀도가 증가할수록 보행자 간 보행 패턴의 차이로 상호작용이 증가하고 이를 다중운집 압력이라고 정의하여 다중운집 압력을 통해 안전사고를 발생을 미리 파악할 수 있다고 제안하였다.

Wijermans(2011)은 다중운집 행동에 관한 특성과 모델을 조사하였으며, 다중운집 보행 패턴이 다중운집 내 개인 행동의 차이에서 발생하는 상호작용에서 비롯된다고 제시하였다.

Moussaid et al.(2016)은 다중운집 행동 특성을 연구하기 위해서 가상 시뮬레이션을 활용하여 실제 대피상황을 모사하는 실험을 수행하였다.

문준섭 (2022)는 다중운집 행사의 특성과 다중운집 안전관리에 대한 주요 관심사항을 정리하였다.

Weng et al.(2023)은 다중운집 위험 특성에 대한 분석 연구에 대한 문헌 리뷰를 통해 다중운집 보행 특성에 대한 연구 동향을 분석하고 정리하였다.

다중운집 안전관리에 대한 연구는 초기에 Fruin(1992)를 통해 보행자 밀도에 근거한 집단적 보행 특성에 초점을 두었다. 그러나 영상 기술이 발전하면서 다중운집 내 보행자를 분석하기 용이해졌고 이에 따라 다중운집 내 개개인을 분석하기 위한 연구가 수행되었다. 이후에는 데이터 수집이 제한적인 다중운집 상황을 해결하고자 시뮬레이션 및 문헌 리뷰 연구가 다수 진행되었다.

3. 연구의 차별성

선행연구 고찰 결과 다중운집 안전관리를 위하여 다중운집의 보행 특성을 분석한 연구가 다수 진행되었다. 그러나 실질적으로 다중운집 압사사고를 예방하기 위해서는 취약성 평가체계에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 CCTV를 활용하여 다중운집 압사사고를 예방하기 위한 취약성 평가체계를 문헌조사와 AHP를 통해 체계적인 취약성 평가체계를 구축하였다. 특히, 다중운집 상황에서 고려할 수 있는 위험 요인을 고려하여 실질적인 대응책을 마련하는 데 기여할 수 있는 평가지표를 제시하였다.

III. 다중운집 취약성 평가체계

1. AHP 설문 개요

다중운집 취약성 평가체계는 CCTV 영상 기반 AI 기술을 활용하여 다중운집 압사사고를 예방할 수 있도록 다중운집 압사사고의 취약성을 사전에 평가할 수 있도록 하는 것을 목표로 한다.

선행연구 조사를 통해 파악된 파라미터인 다중운집 밀도, 다중운집 속도, 다중운집 압력, 다중운집 에너지 중 하나의 파라미터를 핵심 평가지표로 활용하고자 했다.

이를 위해 AHP 설문조사를 실시하여 핵심 평가지표를 결정하였으며, 평가지표에 따른 다중운집 취약성 초기 취약성 등급을 설정하도록 하였다.

그 다음에는 다중운집 밀도 취약단계를 기반하여 추가적으로 고려할 수 있는 요인들인 다중운집 이동유무, 노면 경사, 노면 습윤상태, 나이, 성별을 통해 최종 취약성 등급을 산정하는 것을 목표로 하였다.

이를 위해 추가 요인들에 대하여 AHP 설문조사를 통해 각 요인의 다중운집 취약성에 대한 가중치를 산정하였다.

가중치는 AHP 설문 결과에서 도출된 위험요인 별 가중치곱을 위험요인들의 가중치곱 총합으로 나눈 값으로 하였다.

2. 다중운집 취약성 핵심 평가지표 AHP 설문

다중운집 취약성 평가체계의 핵심 평가지표를 선정하기 위한 AHP 설문의 계층구조는 다음 <표 1>과 같다.

계층 구조	내용	
최상위 목표	CCTV를 활용한 다중운집 취약성 평가체계의 핵심 평가지표를 선정	
평가 기준	CCTV 수집 용이성	• 평가지표가 기존 CCTV를 통해 실질적으로 수집이 가능하고 데이터가 연속적으로 수집이 되는가?
	데이터 해석의 명료성	• 평가지표의 해석이 명확한 정의와 측정 기준으로 제시 될 수 있는가?
	다양성과 대표성	• 평가지표가 다양한 다중운집 밀집 상황에서 적용될 수 있는가?
	대안 수립 용이성	• 평가지표가 경찰이나 소방 등의 기관과 공유될 때 이를 기관 담당자가 이해하고 행동요령을 판단할 수 있는가?
평가 대안	다중운집 밀도	
	다중운집 속도	
	다중운집 압력	
	다중운집 에너지	

<표 1> AHP 계층구조

해당 계층구조를 바탕으로 총 14명의 교통공학 전문가를 대상에게 설문 목적과 평가 대안에 대 설명을 충분히 진행한 뒤 설문을 진행하였다.

설문에서 첫 단계는 쌍대 비교로 설문 참여자에게 각 기준간 1점에서 9점까지의 척도를 사용하여 중요도를 평가하도록 하였다. 다음 <표 2>는 쌍대 비교 결과를 바탕으로 도출된 중요도이다.

평가기준	중요도
CCTV 수집 용이성	0.35
데이터 해석의 명료성	0.32
다양성과 대표성	0.10
대안 수립 용이성	0.23
합계	1.00
최대 고유값	4.21

<표 3> AHP 기준 중요도

쌍대 비교 결과, CCTV 수집 용이성이 0.35, 데이터 해석의 명료성이 0.32, 다양성과 대표성이 0.10, 대안 수립 용이성이 0.23으로 다중운집 취약성 평가체계의 핵심 평가지표는 CCTV 수집 용이성을 최우선으로 고려할 필요가 있다는 것을 확인하였다.

쌍대 비교 다음 설문 참여자들에게 각 평가 기준에 대해 평가 대안의 적합성을 평가하도록 하였다. 평가는 각 대안에 대하여 CCTV 수집 용이성, 데이터 해석의 명료성, 다양성과 대표성, 대안 수립 용이성 총 4개의 평가 기준을 1에서 5까지의 점수로 평가하도록 하였다.

다음 <표 4>는 평가 대안에 대한 평가 기준 적합성을 설문한 결과이다. 평균 항목은 각 대안에 대하여 평가된 평가 기준의 평균 점수이고 가중치곱 항목은 평균 점수에 대하여 쌍대 비교 결과 도출된 중요도를 곱한 값이다.

다중운집 에너지	다중운집 압력	다중운집 속도	다중운집 밀도	구분	
2.33	2.25	3.92	4.67	CCTV 수집 용이성	평균
2.92	3.33	3.67	4.42	데이터 해석의 명료성	
2.75	3.17	3.17	3.83	다양성과 대표성	
2.75	3.17	3.50	4.33	대안 수립 용이성	
0.81	0.78	1.36	1.62	CCTV 수집 용이성	가중치곱
0.93	1.06	1.17	1.41	데이터 해석의 명료성	
0.29	0.33	0.33	0.40	다양성과 대표성	
0.63	0.72	0.80	0.99	대안 수립 용이성	
2.66	2.90	3.66	4.42	합계	
4	3	2	1	우선순위	

<표 4> 다중운집 취약성 핵심지표 AHP 설문 결과

AHP 설문 결과, 최종적으로 다중운집 취약성 평가체계의 핵심 평가지표는 다중운집 밀도로 선정되었다.

3. 최종 취약단계 평가요인의 가중치 산정

최종 취약단계에서 활용할 평가요인들의 가중치를 산정하기 위한 AHP 설문의 계층 구조는 다음 <표 5>와 같다.

계층 구조	내용	
최상위 목표	CCTV를 활용한 다중운집 취약성 평가체계의 최종 취약등급을 산정하기 위한 요인들의 가중치를 산정	
가중치 산정 기준	사고 발생 가능성	• 위험요인에 따른 다중운집 사고 발생 가능성에 대한 평가가 취약단계 조정에 반영되어야 한다.
	사고 발생 시 심각도	• 위험요인에 따른 다중운집 사고 발생 시 사고 심각도에 대한 평가가 위험 등급 조정에 반영되어야 한다.
평가 요인	다중운집 이동유무	
	노면 경사	
	노면 습윤상태	
	다중운집 구성원의 나이 특성	
	다중운집 구성원의 성별 특성	

<표 5> AHP 계층구조

해당 계층구조를 바탕으로 핵심 평가지표 AHP 설문과 동일한 14명의 교통공학 전문가를 대상에게 설문을 진행하였다.

설문 첫 단계는 이전 설문과 마찬가지로 쌍대 비교로 설문 참여자에게 각 기준간 1점에서 9점까지의 척도를 사용하여 중요도를 평가하도록 하였다. 다음 <표 6>는 쌍대 비교 결과를 바탕으로 도출된 중요도이다.

평가기준	중요도
사고 발생 가능성	0.51
사고 발생 시 심각도	0.49
합계	1.00
최대 고유값	2.00

<표 6> AHP 기준 중요도

쌍대 비교 결과, 최종 취약단계를 조정에 사용되는 평가요인에 대하여 가중치를 산정할 때 사고 발생 가능성에 대한 영향이 0.51로 더 중요하다고 확인되었다.

다음으로 설문 참여자들에게 각 평가요인에 대해 가중치

산정 기준을 평가하도록 하였다. 평가는 각 요인에 대하여 사고 발생 가능성, 사고 발생 시 심각도에 대한 영향력을 기준을 1에서 5까지의 점수로 평가하도록 하였다.

다음 <표 7>은 평가요인에 대한 가중치 산정 결과이다. 이전 설문과 마찬가지로 평균 항목은 각 대안에 대하여 평가된 평가 기준의 평균 점수이고 가중치곱 항목은 평균 점수에 대하여 쌍대 비교 결과 도출된 중요도를 곱한 값이다.

이동 유무	노면 경사	습윤 상태	나이 특성	성별 특성	구분	
4.20	4.00	4.10	3.10	2.30	사고 발생 가능성	평균
4.60	4.40	4.10	3.50	2.60	사고 발생 시 심각도	
2.16	2.05	2.10	1.59	1.70	사고 발생 가능성	가중 치곱
2.24	2.14	2.00	1.70	1.27	사고 발생 시 심각도	
4.40	4.19	4.10	3.29	2.45	가중치곱 합계	
0.24	0.23	0.22	0.18	0.13	가중치	

<표 7> 다중운집 취약성 핵심지표 AHP 설문 결과

AHP 설문 결과 도출된 가중치는 다중운집 이동유무가 0.24, 노면 경사가 0.23, 노면 습윤상태가 0.22, 나이 특성이 0.18, 성별 특성이 0.13로 산정되었다.

4. 다중운집 취약성 평가체계 구축

다중운집 취약성 평가체계는 AHP 설문조사를 통해 선정된 다중운집 밀도를 핵심 평가지표로 활용한다. 단계는 총 3단계로 1단계는 대상구간 이동시설 분류 단계로 CCTV를 통해 촬영된 분석 구간을 계단, 수평이동시설로 분류한다. 다음 2단계는 밀도 기반 취약단계 산정으로 사람 수와 분석 구간의 면적을 통해 다중운집 밀도를 산정하고 이를 통해 초기 취약단계를 설정한다. 마지막 3단계는 최종 취약단계 산정으로 취약단계를 추가적으로 고려할 수 있는 다중운집 이동유무, 노면 경사, 노면 습윤상태, 나이, 성별을 통해 취약단계를 상향 조정하여 최종 취약단계를 산정하는 단계이다.

1) 1단계: 분석 구간 이동시설 분류

다중운집 밀도의 취약단계는 계단과 수평이동시설에서 다르게 평가된다(Fruin, 1992). 따라서, CCTV로 촬영된 분석 구간을 계단, 수평이동시설로 구분할 필요가 있다.

본 연구에서 제안하는 다중운집 취약성 평가체계는 이를 위해 계단, 수평이동시설 구성에 따라 단일 구조, 이중 복합 구조, 삼중 복합 구조로 구분하도록 하였다.

CCTV로 영상에 분석 구간(Region of Interest, ROI)에서 계단과 수평이동시설이 차지하는 픽셀 비율을 통해 이동시설을 분류하도록 하였다. 다음 <표 8>은 분석 구간 이동시설 분류 체계이다.

다중운집 이동시설 구조	종류	예시	픽셀 비율	분류
단일 구조	수평 구조		100%	수평이동시설
	계단 구조		100%	계단
이중 복합 구조	수평-계단 구조		수평 > 계단	수평이동시설
			수평 < 계단	계단
삼중 복합 구조	수평-계단-수평 구조		수평 > 계단	수평이동시설
			수평 < 계단	계단
	계단-수평-계단 구조		수평 > 계단	수평이동시설
			수평 < 계단	계단

<표 8> 분석 구간 이동시설 분류 체계

2) 2단계: 밀도 기반 취약단계 산정

다중운집 밀도의 취약단계는 Fruin(1992)과 김현철 외(2023) 등 관련 연구를 기초하여 산정기준을 구축하였다. 다음 <표 9>는 다중운집 밀도 기반 취약단계이다.

수평이동시설			계단	
단계	밀도(인/m^2)	특징	밀도(인/m^2)	특징
1단계	≤3	자유속도로 보행	≤2	자유속도로 보행
2단계	≤4	개인공간 유지	≤3	개인공간 유지
3단계	≤5	신체접촉 증가 및 위험 징후	≤4	신체접촉 증가 및 위험 징후
4단계	≤6	군중 난류 발생	≤5	높은 사고 발생 가능성
5단계	≤8	높은 사고 발생 가능성		
6단계	9≤	대형참사 발생 가능성		

<표 9> 다중운집 밀도 기반 취약단계

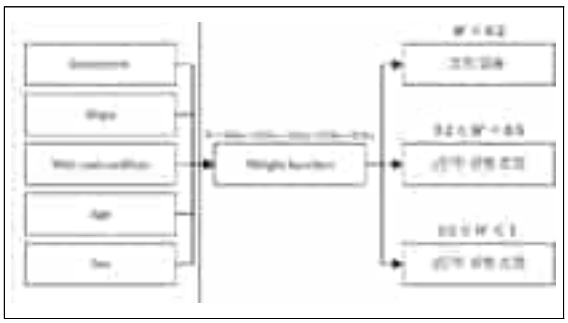
3) 3단계: 최종 다중운집 취약단계 산정

3단계는 2단계에서 산정된 다중운집 밀도 기반 취약단계를 추가로 다중운집 이동유무, 분석 구간의 노면 경사, 분석 구간의 노면 습윤상태, 다중운집 내 성별, 나이 특성을 통해 취약단계를 조정하는 단계이다.

본 단계에서는 AHP 설문으로 도출된 산정된 가중치의 합을 통해 취약요인의 관여도를 평가하여 밀도 기반 취약단계를 조정한다. 가중치 합에 대하여 각 요인이 일정 수치에 대하여 안전한지 취약한지 평가하여 안전할 경우 0으로 취약할 경우 1로 하여 가중치를 반영한다.

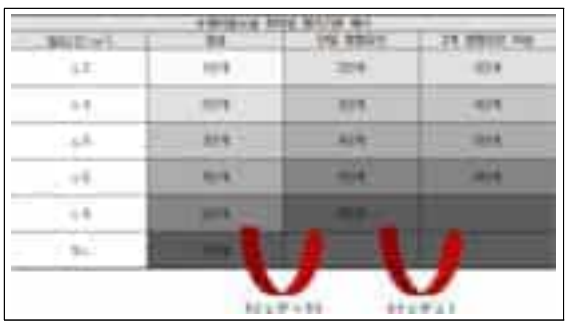
가중치 합이 0.25 이상일 경우 밀도 기반 취약단계에서 1단계를 상향 조정하고, 0.5 이상일 경우 2단계를 상향 조정한다.

다음 <그림 1>은 최종 취약단계 산정 과정을 나타낸다.



<그림 1> 최종 다중운집 취약단계 산정

또한, <그림 2>는 최종 다중운집 취약단계에서 취약단계가 상향 조정되는 과정의 예시를 보여준다.



<그림 2> 최종 다중운집 취약단계 조정 예시

Ⅳ. 결론 및 연구 진행안

본 연구는 다중운집 압사사고의 취약성 평가 체계를 개발하고자 관련 연구 고찰과 계층 분석법을 통해 위험 요인을 도출하고 CCTV 영상을 활용하는 다중운집 취약성 평가체계를 구축을 목표로 수행되었다.

다중운집 취약성 평가체계를 구축하기 위하여 관련 이론 및 선행연구 고찰을 통해 다중운집 취약성을 평가하기 위한 핵심 평가지표 후보를 정하고 AHP 설문조사를 통해 평가지표를 결정하였다. 선정된 평가지표 후보는 다중운집 밀도, 다중운집 속도, 다중운집 압력, 다중운집 에너지로 연구 목적에 따라 CCTV 수집 용이성, 데이터 해석의 명료성, 다양성과 대표성, 대안 수립 용이성을 기준으로 총 14명의 교통 전문가를 대상으로 AHP 설문조사를 실시하였다.

설문 결과, 평가 기준의 쌍대 비교에서 CCTV 수집 용이성이 0.35, 데이터 해석의 명료성이 0.32, 다양성과 대표성이 0.10, 대안 수립 용이성이 0.23으로 중요도가 도출되었다.

쌍대 비교 이후 평가지표에서 평가 기준 중요도의 가중치 곱 총합이 4.42로 다중운집 밀도가 핵심 평가지표로 선정되었다.

따라서, 본 연구에서는 다중운집 밀도를 기초로 다중운집 취약 단계를 산정하고 이를 추가로 다중운집 이동유무, 노면 경사, 노면 습윤상태, 다중운집 구성원 내 나이 특성, 다중운집 구성원 내 성별 특성을 통해 취약단계를 조정하고자 하였다.

이를 위해 핵심 평가지표 선정을 위한 설문과 동일한 참여자들 대상으로 가중치 산정을 위한 AHP 설문조사를 실시하였다.

가중치는 사고 발생 가능성과 사고 발생 시 사고 심각도를 기준으로 요인들을 평가한 결과로 도출된 각 요인 별 가중치곱 총합을 요인들의 가중치곱 총합으로 나눈 값이다.

설문조사 결과 다중운집 이동유무가 0.24, 노면 경사가 0.23, 노면 습윤상태가 0.22, 다중운집 구성원 내 나이 특성이 0.18, 다중운집 구성원 내 성별 특성이 0.13으로 가중치가 산정되었다.

AHP 설문 이후 다중운집 취약성 평가체계를 구축하였다. 다중운집 취약성 평가체계는 총 3단계로 1단계는 CCTV를 통해 촬영된 분석 구간을 계단, 수평이동시설로 분류한다. 그다음 2단계는 사람 수와 분석 구간의 면적을 통해 다중운집 밀도를 산정하고 이를 통해 초기 취약단계를 설정한다. 마지막 3단계는 취약단계를 평가할 수 있는 추가요인을 통해 취약단계를 상향 조정하여 최종 취약단계를 산정한다.

현재 연구는 마지막 3단계에서 최종 취약단계를 산정하기 위하여 다중운집 이동유무, 노면 경사, 노면 습윤상태, 다중운집 내 나이특성, 다중운집 내 성별특성에 대하여 안전과 위험으로 범주화하기 위한 연구를 진행중에 있다.

이를 위해 연구 진행안으로는 전문가 뿐만 아니라, 경찰, 공무원 등의 다중운집 안전관리 기관 종사자를 대상으로 설문을 진행하여 최종적으로 다중운집 취약성 평가체계를 구축하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 과학기술정보통신부 및 경찰청의 연구비지원(RS-2023-00230558)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. Feliciani, C., Corbetta, A., Haghani, M., & Nishinari, K. (2023). Trends in crowd accidents based on an analysis of press reports. Safety science, 164, 106174.
2. Hsieh, Y. H., Ngai, K. M., Burkle, F. M., & Hsu, E. B. (2009). Epidemiological characteristics of human stampedes. Disaster medicine and public health preparedness, 3(4), 217-223.
3. 배재현 및 이송림. (2022). 다중운집 행사 안전관리의 문제점 및 향후 과제. NARS Current Issues and Analysis, 제268호.
4. Yogameena, B., & Nagananthini, C. (2017). Computer vision based crowd disaster avoidance system: A survey. International journal of disaster risk reduction, 22, 95-129.
5. Fruin, J. (1992). Designing for pedestrians. Public Transportation United States.
6. Helbing, D., Johansson, A., & Al-Abideen, H. Z. (2007). Dynamics of crowd disasters: An empirical study. Physical Review E—Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics, 75(4), 046109.
7. Helbing, D., Farkas, I., & Vicsek, T. (2000). Simulating dynamical features of escape panic. Nature, 407(6803), 487-490.
8. Tavana, M., Soltanifar, M., & Santos-Arteaga, F. J. (2023). Analytical hierarchy process: Revolution and evolution. Annals of operations research, 326(2), 879-907.
9. Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. Mathematical modelling, 9(3-5), 161-176.
10. Wijermans, F. E. H. (2011). Understanding crowd behaviour: simulating situated individuals.
11. Still, G. K. (2000). Crowd dynamics (Doctoral dissertation, University of Warwick).
12. Moussaïd, M., Kapadia, M., Thrash, T., Sumner, R. W., Gross, M., Helbing, D., & Hölscher, C. (2016). Crowd behaviour during high-stress evacuations in an immersive virtual environment. Journal of The Royal Society Interface, 13(122), 20160414.
13. 문준섭. (2022). 다중운집행사에서의 군중관리와 군중통제 및 군중행동에 관한 연구-문헌연구를 중심으로. 한국경찰연구, 21(4), 53-74.
14. 김현철, 임형준, 이승현, 주영범, & 권순조. (2023). 군중밀집 위험도 시뮬레이션 기반의 인파 관리 안전대책 수립. 한국안전학회지 (구 산업안전학회지), 38(2), 96-103.

작업자 안전 모니터링 시스템 개발에 관한 연구

A Study on the Development of Worker Safety Monitoring System

박찬희, 오현서+

(한국전자통신연구원 자율주행지능연구실 인턴연구원, 연구전문위원+)

Key Words : MDS(Multi-Domain Service) LoRa (Long Range), 작업자 안전 모니터링 시스템

목 차

Ⅰ. 서론
Ⅱ. 작업자 안전 모니터링 시스템 구성
Ⅲ. MDS 통신 플랫폼 규격
Ⅳ. 작업자 안전 모니터링 SW 설계
Ⅴ. 작업자 안전 모니터링 시험
Ⅵ. 결론

Ⅰ. 서론

고용노동부 통계에 따르면, 건설 현장에서 사고 사망자 수는 전체 업종 중 가장 높은 비중을 차지한다. 또한, 전체 업종 중 '낙상' 사망사고의 67%는 건설업에서 발생한다. 건설업에서 '낙상' 사망 사고율의 근본적인 원인은 사고 예방 및 대응 체계가 부족하다는 점이다. 추락재해방지 표준안전 작업지침에 따르면 낙상사고 방지를 위한 구체적인 지침이 명시되어 있다. 그러나 사고 발생 후 대처방안 및 빠르게 사고 발생자를 파악하는 시스템은 부족하다. 또한, 건설업 사망재해 원인 중 높은 비중을 차지하는 것은 불안정한 상태 방치, 감독 및 연락 불충분이다[1-3]. 따라서 산업 현장에서 작업자 안전을 확보하기 위해 보다 신속하고 안전한 모니터링 시스템 구축에 대한 필요성이 대두되었으며 IoT 기술을 적용한 연구가 진행되었다.

본 연구는 작업자 안전 모니터링 시스템의 개발을 통해 사고 예방과 빠르고 안전한 대응 체계를 구축하는 것을 목적으로 한다. 기존재해 사고 예방 방법은 주로 물리적인 안전장치나 사후적인 대응이 주를 이룬다. 본 연구에서 제안하는 작업자 안전 모니터링 시스템은 기존의 예방 대책이 가지는 한계를 극복할 수 있는 시스템을 제안하고 MDS 통신 플랫폼을 기반으로 작업자 안전 모니터링 시스템을 설계하고 시험하는 내용을 설명한다.

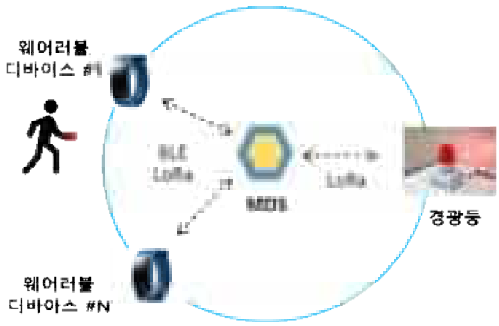
본 논문은 2장에서 작업자 안전 모니터링 시스템 개념과 구성을 설명하고 3장에서는 MDS 통신 플랫폼 규격을 설명한다. 4장과 5장에서는 작업자 안전 모니터링 SW 설계와 시험을 설명하고 6장에서는 결론을 맺는다.

Ⅱ. 작업자 안전 모니터링 시스템 구성

작업자 안전 모니터링 시스템은 작업자의 상태를 실시간으로 모니터링하고, 위험 신호를 조기에 감지하여 신속히 대응할 수 있어야 한다. 이러한 요구 사항을 고려한 작업자 안전 모니터링 시스템은 <그림 1>과 같이 웨어러블 디바이스와 MDS(Multi-Domain Service) 플랫폼, 그리고 경광등으로 구성된다.

다수의 웨어러블 디바이스는 작업자의 편의성을 고려하여 손목시계 형태로 충전하여 동작이 가능한 형태로 설계되었다. 웨어러블 디바이스는 BLE(Bluetooth Low Energy) 및 LoRa (Long Range) 통신을 하고 있으며 작업자의 맥박수, 체온, 낙상 여부를 실시간으로 검지하는 기능을 제공할 수 있다.

MDS 플랫폼은 여러 산업 환경에서 활용될 수 있도록 블루투스, LoRa, C-V2X, 그리고 LTE와 같은 다양한 통신 방식을 지원한다. 경광등은 LoRa 통신 센서를 내장하고 있어 MDS 플랫폼에서 경광등에 신호를 보내 알람을 울려 주변 작업자와 관리자에게 위험 상황을 알리게 된다. 이러한 시스템 구성은 작업 현장에 즉시 설치 및 해체가 가능하며 시스템 확장이 가능한 구조이다.

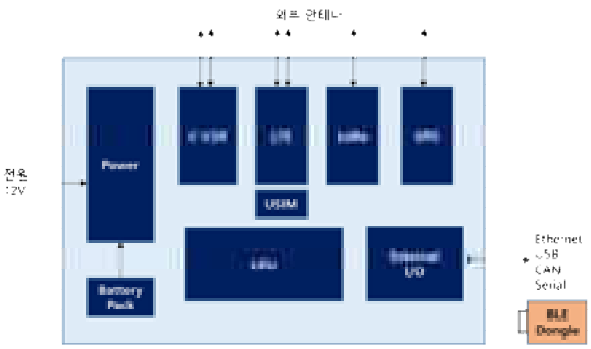


<그림 1> 작업자 안전 모니터링 시스템 구성

III. MDS 통신 플랫폼 규격

MDS 플랫폼은 아크링크(주)에서 개발한 통신 플랫폼으로 우분투 18.4 OS 환경에서 열차, 차량, 선박, 그리고 공공 안전 서비스를 제공하기 위한 C-V2X, LTE 및 LoRa 통신 기능과 응용 서비스를 개발할 수 있도록 하드웨어와 소프트웨어 환경을 제공하며, 통신 모뎀이나 서비스 플랫폼으로 사용할 수 있다. MDS는 웨어러블 디바이스와 스마트폰, 콘솔을 접속할 수 있고 응용 서비스에 따라서 경광등, 서비스 단말과 서버 접속하는 통신망을 구성할 수 있다.

MDS 통신 플랫폼은 i.MX8 CPU를 사용하고 다양한 유무선 통신을 지원할 수 있도록 V2X 차량 통신과 차량과 서버 간 통신을 위한 LTE 통신을 지원한다. 그리고 웨어러블 디바이스와 센서 인터페이스를 위해 LoRa 통신을 지원하고 USB 동글 형태로 Bluetooth 통신 기능을 제공할 수 있다. 그리고 위치 정보와 동기를 위해 GPS 기능을 내장하고 있다. <그림 2>는 MDS 플랫폼의 하드웨어 구성을 보여주고, <표 1>은 MDS 플랫폼 통신 기능과 특징을 보여준다.



<그림 2> MDS 플랫폼 서비스 개념

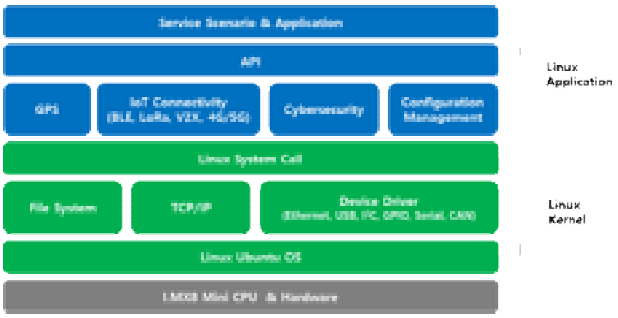
MDS 소프트웨어는 리눅스 응용 계층, 커널 계층으로 구성되어 있다. 응용 계층은 서비스 시나리오와 응용 프로그램을 위한 IoT Connectivity, GPS, 보안 등의 SW 라이브러리와 공통의 API로 제공한다.

<표 1> MDS 플랫폼 통신 기능 및 특징

항목	기능 및 특징
CPU	• i.MX 8M Mini Quad NXP • LPDDR4 2GByte, eMMc 16GByte • Gigabit Ethernet
외부 I/O	• 이더넷, USB, Micro USB, CAN, Serial 단자 • GNSS, V2X x 2, LTE x 2, Lora
무선 통신	• **V2X 통신 모듈** . LTE V2X, 5.9GHz 주파수 대역 . Output Power : 0 ~ 23 dBm . Max. Data rates : 15.84 Mbit/s(10MHz 채널 대역폭) . PCIe 인터페이스
	• **LTE 통신 모듈** . RF 주파수 : 960MHz, B3, B8, B28 . Output Power : 0~23 dBm . M2 인터페이스 지원 . KT USIM 지원
	• **LoRa 통신 모듈** . Frequency : 137 ~ 1020 MHz . Bandwidth : 7.8 ~ 500 kHz . Bit Rate : .018~37.5 kbps(SF=6~12) . Sensitivity : -111 ~ -148 dBm
	• **GNSS 모듈** . GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo Sensitivity : -167 dBm (@ Tracking) . Acquisition : 25s(@ Cold start), 2s(@ Aided starts)

리눅스 커널 계층은 임베디드 리눅스 커널과 디바이스 드라이버로 구성되며, 리눅스 운영체제 구성상 커널 계층에서 동작하는 소프트웨어로 구성된다.

i.MX8 MINI CPU 및 하드웨어는 14 LPP(Low Power Plus) FinFET 공정 기술을 사용한 임베디드 멀티코어 애플리케이션 프로세서이고, IoT Connectivity 통신 기능과 GPS 기능, 메모리와 각종 I/O 디바이스를 포함한다. <그림 3>은 MDS 통신 플랫폼 소프트웨어 구조를 보여준다.



<그림 3> MDS 통신 플랫폼 소프트웨어 구조

IV. 작업자 안전 모니터링 SW 설계

작업자 안전 모니터링 시스템의 소프트웨어 설계는, 우분투 OS 기반의 C 언어로 구현된 MDS 플랫폼의 통신 라이브러리를 이용하여 설계하였다. MDS에서 LoRa 및 시리얼 인터페이스를 초기화하고 웨어러블 디바이스로부터 주기적으로 작업자 상태 정보를 수신한다. 수신된 작업자 상태 정보는 MDS에서 처리하여 경광등을 울리거나 관리자가 확인할 수 있도록 한다. 또한, 작업자 상태 정보는 주기적으로 갱신하도록 설계하여 위험을 지속적으로 감지할 수 있도록 하였으며 <그림 4>는 MDS에서 구현된 작업자 안전 모니터링 기능의 소프트웨어의 플로우 차트를 보여준다.

<그림 4> 작업자 안전 모니터링 기능의 플로우 차트

작업자 상태 정보에 문제가 발생한 경우, MDS에서 경광등으로 메시지 프로토콜 규격에 준수하여 알람을 보낸다. <표 2>는 웨어러블 디바이스와 MDS 간 메시지 프로토콜 규격이다. TTA 표준을 준용하여 데이터의 일관성을 유지하였다[6].

<표 2>에서 웨어러블 디바이스로부터 작업자 메시지 종류, WWD ID(Worker Wearable Device ID), 체온, 맥박, 낙상 정보를 확인할 수 있다. 작업자 안전 모니터링 시스템에서는 메시지 종류는 EAD9를 사용한다. MDS와 경광등 간 메시지 프로토콜은 <표 3>과 같다. <표 3>은 경광등 제어를 위한 hex 코드와 ASCII 코드를 보여준다. AT command 내 hex 코드를 조합하여 경광등을 동작한다[4]. 마지막 7자리 16진수 데이터를 이용하여 경광등 동작을 다양하게 할 수 있다[5]. 예를 들어, 알람 10회의 경우, 마지막 7자리를 순차적으로 확인해 본다. 03은 데이터 길이, 06은 MAC 정보, 01은 알람 동작, 0A는 알람 횟수를 의미하며 0D는 모든 데이터에 대한 checksum이다. 0D, 0A는 CR(Carriage Return), LF(Line Feed)이다. 이를 통해 경광등을 요구사항에 맞게 동작할 수 있다.

<표 2> 웨어러블 디바이스 메시지 프로토콜 규격

메시지 필드명	타입	최대길이 (byte)	범위	설명
메시지 종류	INT	2	0 ~ 32767	작업자 메시지 :EAD9(Hex) 작업자 환경 메시지 :EADA(Hex) 작업자 경고 메시지 :EADB(Hex)
WWD ID	INT	2	0 ~ 32767	WWD 디바이스를 구분하는 ID
체온	INT	2	0 ~ 32767	소숫점 첫째 자리까지 표현 (예,0x0177(hex) -> 37.5도)
맥박	INT	1	0 ~ 255	맥박
낙상	INT	1	0 ~ 255	낙상 상태 정상(00) 낙상(01) 낙상 발생 후 사용자 해제(02)

<표 3> 경광등 메시지 프로토콜 규격

명령어	hex 코드	ASCII
알람 10회	41 54 2B 42 49 4E 57 3D 03 06 01 0A 0D 0D 0A	AT+BINW=\x03\x06\x01\x0A\x0D\r\n
알람 연속	41 54 2B 42 49 4E 57 3D 03 06 01 FF F8 0D 0A	AT+BINW=\x03\x06\x01\xFF\xF8\r\n
알람 정지	41 54 2B 42 49 4E 57 3D 03 06 02 FF FB 0D 0A	AT+BINW=\x03\x06\x02\xFF\xFB\r\n

V. 작업자 안전 모니터링 시험

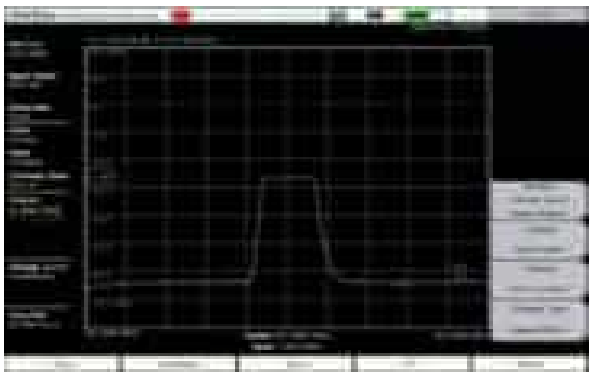
작업자 안전 모니터링 시스템이 정상적으로 동작하는지 검

증하기 위한 시험환경을 <그림 5>와 같이 구축하여 작업자 상태에 이상이 발생하면 경광등 알람이 구동되는지를 시험하였다. 이를 통해 작업자 안전 모니터링 시스템이 실제 작업 환경에서 올바르게 기능할 수 있는지 확인하였다. 작업자 안전 모니터링 시스템의 성능을 분석하기 위해, 모든 시험에서 공통으로 다음과 같은 설정을 한 후 시험하였다. MDS에서 LoRa 센서 및 시리얼 인터페이스를 초기화한 후 웨어러블 디바이스로부터 주기적으로 데이터를 수신한다.

<그림 5> 작업자 안전 모니터링 시험환경 구축

- Wisol LoRa RF 성능 시험

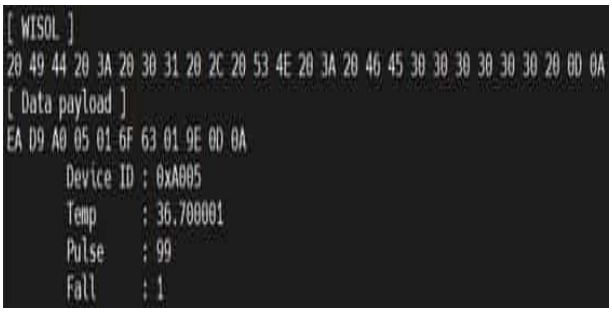
Wisol LoRa RF 성능 시험은 MDS에서 경광등에 송신 신호를 보내 스펙트럼 분석기로 신호를 측정하는 형태로 진행하였다. RF 성능 시험 과정에서, 초기에 설정한 주파수가 올바르게 측정됨을 확인하였다. <그림 6>은 중심 주파수가 921.9MHz 인 Wisol LoRa RF 스펙트럼을 보여준다.



<그림 6> Wisol LoRa 송신 신호

- Wisol LoRa 수신 데이터 점검

Wisol LoRa 모듈의 수신 데이터 검증은 웨어러블 디바이스를 손목에 착용하여 체온, 맥박, 낙상 여부를 측정하고 MDS에서 데이터를 출력하는 방식으로 수행되었다. 이를 통해, MDS는 웨어러블 디바이스로부터 수집된 데이터를 정확하게 수신하고 출력하는 것을 <그림 7>에서 보여준다.



<그림 7> 웨어러블 디바이스 데이터 수신 출력

- Wisol LoRa 송신 데이터 확인

Wisol LoRa 송신 데이터 점검은 MDS의 송신 데이터에 따라 경광등이 요구사항에 맞게 동작하는지 확인하였다. <표 4>는 경광등 동작 시험 결과를 보여준다.

<표 4> 경광등 동작시험 결과

명령어	ASCII	동작 여부
알람 1회	AT+BINW=\x03\x06\x01\x01\x0D\r\n	정상 동작
알람 10회	AT+BINW=\x03\x06\x01\x0A\x0D\r\n	정상 동작
알람 연속	AT+BINW=\x03\x06\x01\xFF\xF8\r\n	정상 동작
알람 정지	AT+BINW=\x03\x06\x02\xFF\xFB\r\n	정상 동작

- 다수의 웨어러블 디바이스 통신 시험

MDS에 다수의 웨어러블 디바이스를 무선으로 연결한다. MDS에서 웨어러블 디바이스의 정보를 수신하고 주기적으로 작업자의 상태 정보를 갱신하는 것을 확인하였다. 작업자 상태 정보에 문제가 발생하면 해당 작업자의 상태 정보를 MDS로 출력하며 경광등이 동작하는지 시험하였다. 이를 통해 MDS가 다수의 웨어러블 디바이스로부터 동시에 데이터를 수신하고 처리할 수 있는 능력을 검증하였다.

Ⅵ. 결론

작업 현장에서 작업자의 안전을 확보하기 위해 작업자 안전 모니터링 시스템을 설계하고 시험을 하였다. 이를 통하여 건설 현장에 설치 및 운용이 가능하고 작업자의 낙상이나 이상을 실시간으로 모니터링하는 기능과 동작으로 확인하였다. 메시지 프로토콜 규격은 TTA 표준 (TTAK.KO-06.0595)을 준용하여 웨어러블 디바이스와 MDS, 그리고 경광등 간의 통신이 원활하게 이루어지도록 하였다.

본 연구에서 개발한 작업자 안전 모니터링 시스템은 작업자의 안전을 확보하며 여러 산업 현장의 요구사항에 맞추어

최적화된 서비스를 제공하도록 개발되었다. 향후 추가적인 연구 계획은 실제 작업 환경에서 실험을 진행하는 것이다. 또한, MDS 플랫폼의 장점을 살려 C-V2X와 LTE 등 다목적 통신 서비스를 제공할 계획이다.

사사:본 논문은 국토교통부와 한국교통과학기술진흥원에서 지원하는 철도기술개발 사업(RS-2021-KA163166)의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 김균태. "건축공사현장의 안전관리 모니터링을 위한 USN 기술 적용에 관한 연구." *한국건축시공학회지(JKIBC)*9.4, 2009: 103-109.

2. 2022년 산업재해 현황분석, 고용노동부, 2023. 12. 10.

3. 추락재해방지 표준안전 작업지침, 고용노동부 고시 제2020-8호, 2020. 1. 7.

4. AT Command User Manual Ver 6. 1, 성지산업, 2024. 1. 29.

5. 경광등 디바이스 프로토콜, 엘센, 2024. 5. 2.

6. 작업자 안전 서비스를 위한 센서 디바이스와 게이트웨이 간 통신 메시지(TTAK.KO-06.0595). 한국정보통신기술협회, 2023. 12. 6.

7. 건설 현장 안전 서비스 통신 게이트웨이 개발, 연구개발특구 창업 고도화 사업 보고서, ETRI, 2022. 5.

2024년도 한국ITS학회 추계학술대회

자동차 주행거리를 활용한 교통수요모형 기반 온실가스 배출량 산정 : 제주특별자치도를 대상으로

Estimation of Greenhouse Gas Emissions Based on Transportation Demand Models Using Vehicle Mileage Focusing on Jeju

고 상 희* 신 강 원**

* 경상대학교 건설환경도시공학과 박사과정
** 경상대학교 도시공학과 교수

[illegible]

목 차

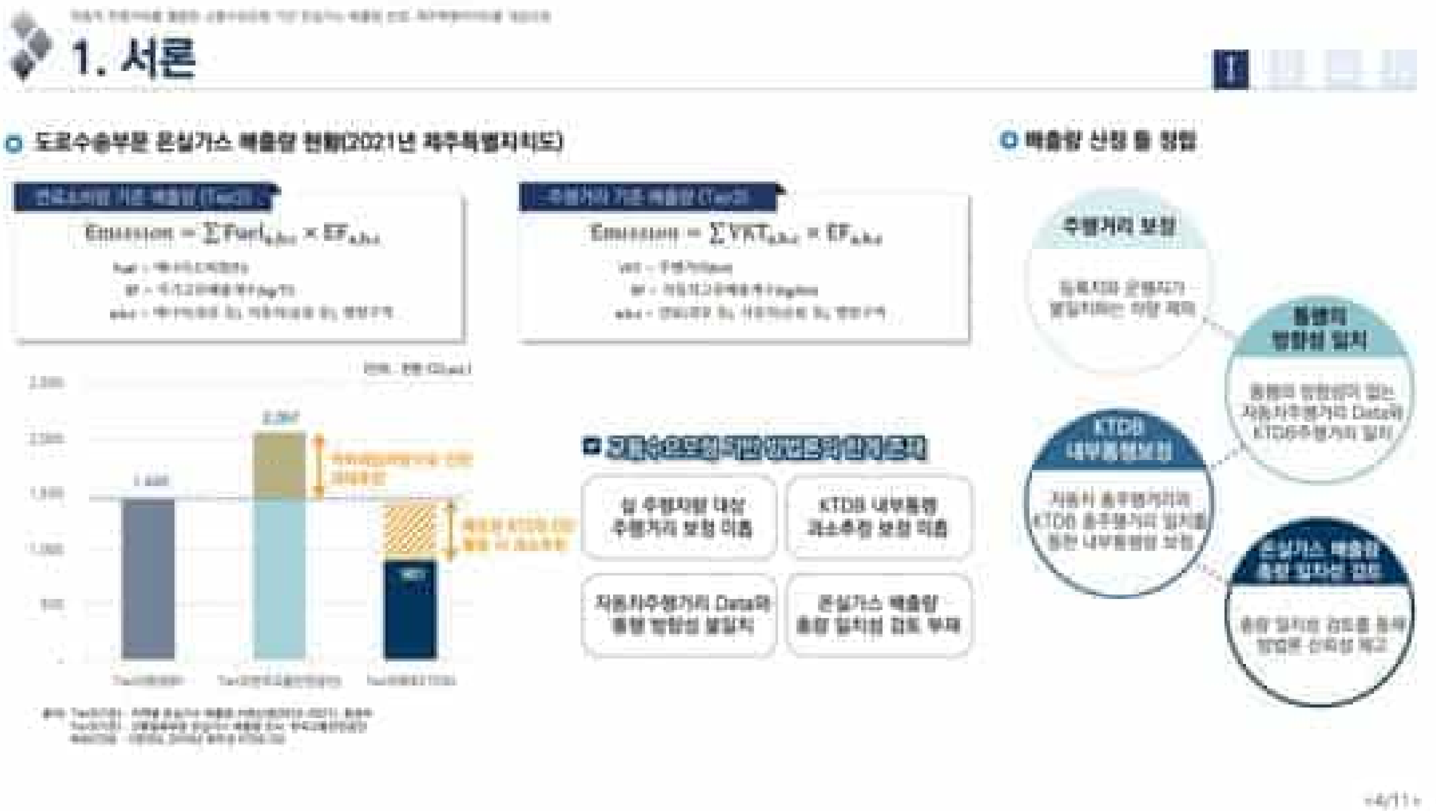
#01
서론

#02
선행연구고찰

#03
교통수요모형 기반 온실가스 배출량 산정 틀 정립

#04
결론 및 향후 과제

1. 서론
연구의 배경
교통수요관리 정책
평가유형
M
S
T
• '내부통행' 및 '총량 일치성' 검토 없는 교통수요모형 기반 효과 평가는 한계 존재(특히 도시철도 사업은 혼합시 업으로 공사 중 효과 반영 필요)
• 행정동 기반의 전통적 교통수요모형 적용 방법 변경 검토
<3/11>


1. 서론
도로수송부문 온실가스 배출량 현황(2021년 제주특별자치도)
Emission = ∑Fuel × EF
Emission = ∑VKT × EF
1,600
2,367
실 주행차량 대상 주행거리 보정 미흡
KTDB 내부통행 과소추정 보정 미흡
자동차주행거리 Data와 통행 방향성 불일치
온실가스 배출량 총량 일치성 검토 부재
배출량 산정 틀 정립
주행거리 보정
통행의 방향성 일치
KTDB 내부통행보정
온실가스 배출량 총량 일치성 검토
<4/11>

2. 선행연구 고찰

II

○ 교통수요모형 기반 교통수요관리정책 효과분석에 관한 연구

BRT 구축 효과분석 선행연구 조사

✔ KTDB OD 보정을 수행하였으나,
내부통행이 고려되지 않은 한계가 있음

철도망 구축 효과분석 선행연구 조사

✔ KTDB OD와 자동차 주행거리 불일치 한계 보정 부재
✔ KTDB 내부통행 과소추정 한계 보정 부재
✔ 등록지 기반 주행거리 한계 보정 부재

<5/11>

2. 선행연구 고찰

II

○ KTDB OD 보정 방법론에 따른 교통수요모형 기반 온실가스 배출량 산정에 관한 연구

KTDB O/D 내부통행 보정에 관한 선행연구 조사 (유한솔 외3, 2020)

✔ 자동차 총주행거리와 KTDB 총주행거리 총량일치 보정을 수행하였으나,
등록지 기반 자동차 주행거리 한계 보정 부재
✔ KTDB OD 보정에 따른 온실가스 배출 총량 불일치 문제 존재

<6/11>

3. 교통수요모형 기반 온실가스 배출량 산정 틀 정립

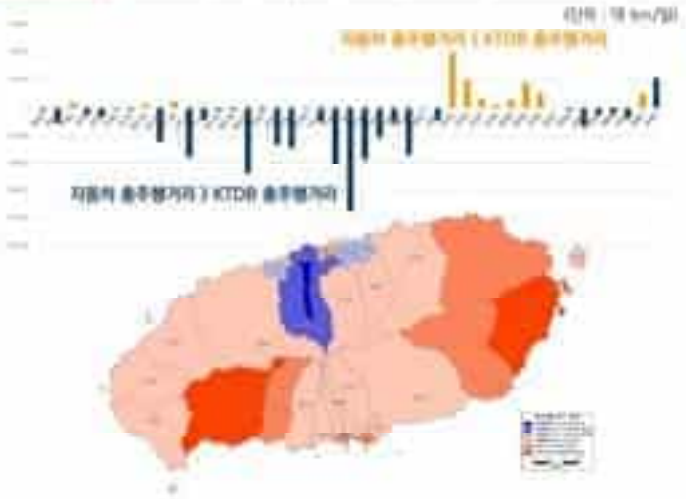
분석1. 일평균주행거리 보정

3. 교통수요모형 기반 온실가스 배출량 산정 틀 정립

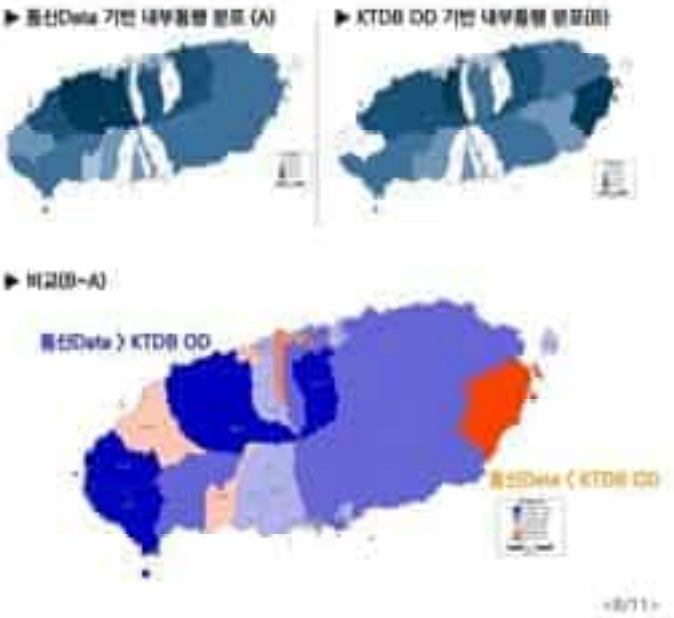
분석2. 자동차 총주행거리(VKT) 비교

[일제 1검정]

구분	대상차수	통상	최상위치	T	Probe	검정결과
KTDB 총주행거리	40	327,370	174,000	-2.54	0.015	우리집은
자동차 총주행거리	43	306,767	271,000			



분석3. 내부통행량 비교


▶ 통신Data 기반 내부통행 분포 (A)
▶ KTDB OD 기반 내부통행 분포(B)
▶ 비교(B~A)

3. 교통수요모형 기반 온실가스 배출량 산정 틀 정립

분석4. 존간 통행거리 비교

[분석자료별 자동차주행거리 산출 방법론]

KTDB 주행거리

제주권Network 및 OD 기반 존간 통행거리 산출 - TransCAD 활용

> KTDB OD를 한정하여 행정권을 자동차로 통행거리 산출

자동차주행거리

제주로 액외세입처량 제외 자동차주행거리Data 보정

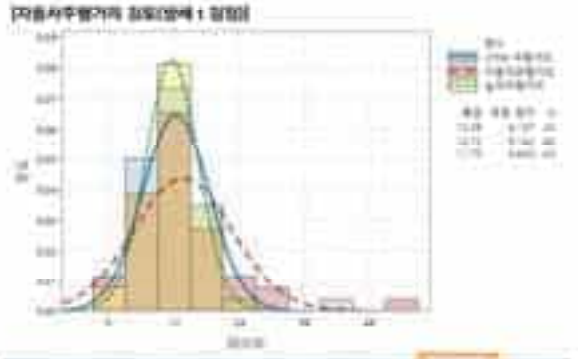
> 자동차주행거리는 km2에 한해이므로 KTDB 및 실제 통행거리에서 비교를 위해 km2통행 단위로 변환

실제통행거리

"카카오맵 길찾기" 서비스를 이용하여 행정권은 통행거리 산출 - 및 교통권 단위 활용

> KTDB OD를 한정하여 행정권을 기준원점 통행거리 산출

[자동차주행거리 정도(일제 1 정답)]



구분	행정권	평균	표준편차	T	P-value	검정결과
KTDB 주행거리	43	12.36	8.17	-0.94	0.404	유사함
자동차주행거리	43	13.73	9.14			

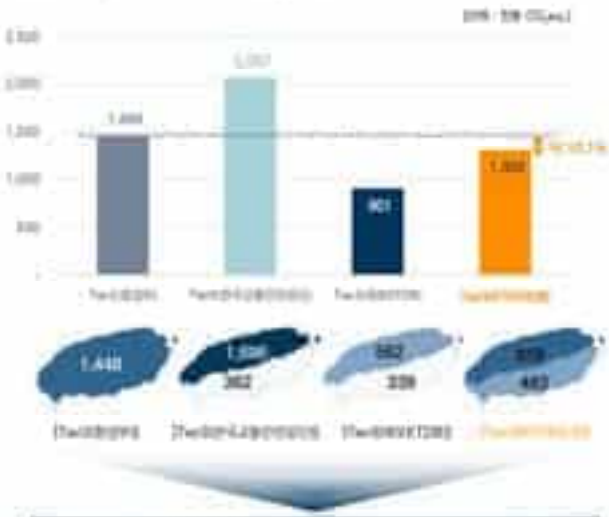
구분	행정권	평균	표준편차	T	P-value	검정결과
KTDB 주행거리	43	12.36	8.17	0.54	0.000	유사함
통과통행 주행거리	43	11.75	4.84			

구분	행정권	평균	표준편차	T	P-value	검정결과
통과통행 주행거리	43	11.75	4.84	-1.28	0.208	유사함
자동차주행거리	43	13.73	9.14			

3. 교통수요모형 기반 온실가스 배출량 산정 틀 정립

KTDB OD 보정 방법론 틀 정립

도로수송부문 온실가스 배출량 비교



KTDB OD 보정을 활용한 교통수요모형 기반 도로수송부문 온실가스 배출량은 전국교통량 기준 배출량과 유사한 수준으로 분석됨

4. 결론 및 향후과제

4.1 결론

- 제주특별자치도는 온실가스 감축을 위해 다양한 교통수요관리정책을 추진 중에 있으나 평가결과는 부재하며, 제주의 경우 제한가에 편중된 대중교통계획으로 인해 행정등 기반의 전통적 교통수요모형적용 방법 변경이 필요함
- 또한 제주의 Tier3 온실가스 배출량은 역외세입차량으로 인해 과대추정되고 있으며, 배포된 KTDB OD는 내부통행 보정 미흡 등으로 인해 과소추정되는 문제가 있음
- 따라서 본 연구에서는 주행거리 보정, 통행의 방향성 일치, KTDB 내부통행보정을 수행하여 온실가스 배출량을 산정하였으며, 환경부 Tier2 배출량과 총량 일치성을 검토하였음
- 그 과정에서 자동차총주행거리(VKT)와의 일치 여부, 존간통행거리 유사성을 검토하여 내부통행량의 보정이 필요함을 확인함
- 최종적으로 자동차 주행거리를 활용한 교통수요모형 기반 온실가스 배출량 산정 결과, 환경부 Tier2(1,448천톤 CO_2eq)와 유사한 수준으로 분석됨

4.2 향후과제

- 존 세분화(격자 단위)에 따른 온실가스 총 배출량 일치성 검토
- 시간대별 링크별 통행속도 반영한 배출량 산정 기법 고도화
- 교통수요관리정책(BRT, 도시철도)의 효과분석을 위한 수단선택모형 기반의 분석 방법 개발
- 타 지자체 적용성(모형의 공간 전이성) 검토

국내 수송부문 온실가스 배출량 산정모형 고도화를 위한 종단경사 보정계수 개발

발표자 : 한국교통연구원 김진재 연구원

Contents

- 개요
- 국내외 배출량 산정모형
- 종단경사 반영을 통한 배출량 산정모형 고도화
- 고도화 결론 및 의의

연구 개요

- 범국가적 차원의 온실가스 배출 감축 노력이 중요해지고 있음(IPCC, 2022)
- 한국 또한 2050 net-Zero 달성을 위한 NDC를 제시하고 감축목표 달성을 위한 노력을 지속중임
- 수송부문의 경우, 감축목표 달성 여부를 판단할 수 있는 배출량 산정모형의 한계가 존재함
- 수집되는 데이터에 비해, 현재 수송부문 배출계수식은 차종별 평균속도, 통행량 두가지만 활용됨
- 차량주행유형, 차량 주행패턴, 도로선형 등 국내에서도 수집중인 데이터의 활용 및 적용방안에 대한 연구 진행

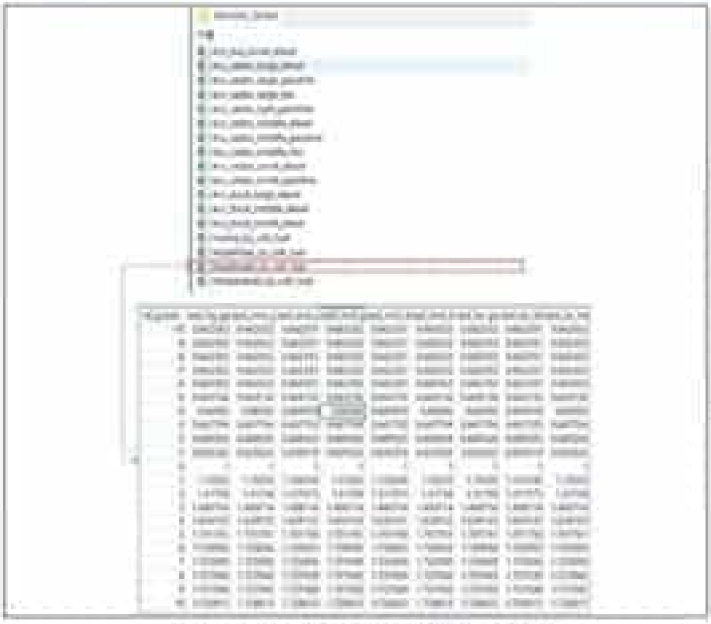
국내외 배출량 산정모형

- 국내 모형
  - 국립환경과학원(2009~12) : 국내 24개 차/유종별 차량 시험데이터(전체 약 300대)기반의 배출량 회귀식 제공
  - 온실가스종합정보센터(2021~현재) : 오염물질에 따라 최대 44개의 배출량 회귀식 제공
- 해외 모형
  - IPCC Guideline : 기후협약(1994) 이후 배출량 산정모형 기본 모형
  - COPERT : EU 국가 및 호주의 표준배출계수모형으로 시나리오 기반의 분석 제공
  - MOVES : 미국 환경청(USEPA)의 배출량 산정모형으로 실제 차량주행기반의 DB를 활용한 데이터 제공
  - EMFAC2021 : 미국 캘리포니아 대기자원위원회(CARB)에서 캘리포니아 지역 내 모든 이동오염원에 대한 배출량 제공

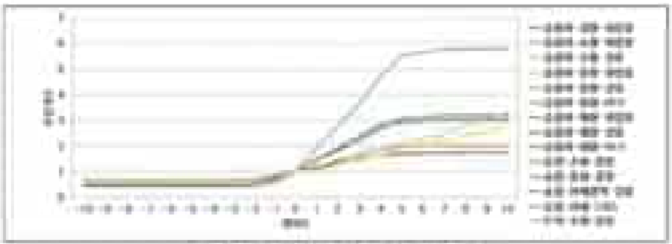
Country	Model name	Emission Methodology	Emission Input Factors
Republic of Korea	National Institute of Environmental Research (NIER)	Regression Model	Vehicle·fuel type, Speed
	Greenhouse Gas Inventory and Research Center of Korea (GIR)	Regression Model	Vehicle·fuel type, Speed
UK, USA, EU	IPCC Guideline	Regression Model	(Tier 1) Emission factor by fuel type, fuel consumption (Tier 2) Estimated fuel consumption and emission factor based on vehicle mileage data (VKT) by vehicle and fuel type, emission reduction technology by vehicle (Tier 3) Tier 2 + vehicle load factor, operating time, off-road vehicle ratio
	COPERT	Regression Model	(Tier 1) Emission factor by fuel type, fuel consumption (Tier 2) Emission factors by vehicle and fuel type, fuel consumption, number of vehicles, annual mileage (Tier 3) Activity data (vehicle type, fuel type), road average speed, climate (temperature and humidity), vehicle operation type
	MOVES	DB base Simulation Model	Vehicle Specific power(kW/tonne), vehicle(ft/s²), acceleration(m/s2), gravitational acceleration(9.81m/s2), road grade, vehicle mass, rolling resistance, rotating resistance, aerodynamic drag, fixed mass factor for source type
	EMFAC2021	DB base Simulation Model	[illegible], vehicle model year, Average speed, Area type, Season, Day/Hour, Meteorology

종단경사 반영을 통한 배출량 산정모형 고도화

- MOVES DB를 활용하여 경사도에 따른 탄소배출량 변화를 확인
- 속도 전 구간(5~120km/h)에 대한 시뮬레이션 진행 후, 평지(경사도 0%)를 기준으로 배출량 변화를 계수로 변환
- 국내 국가승인배출계수 기준 배출량 산정 시, 링크 별 종단경사를 반영하여 배출량 최종 산정



온실가스 배출량 보정계수 데이터베이스 구축 결과



경사도별 탄소배출 보정계수 추정 결과

III. 산정모형 고도화

종단경사 반영을 통한 배출량 산정모형 고도화

- MOVES 기반의 경사도별 배출량 보정계수 적용 전, 국내 차종과 유종 비율에 따른 보정계수 후보정 작업 진행
- 국가교통 통계누리자료 기준의 국내 차종구분(3종)에 따른 차/유종 별 배출량 보정계수 재산정
- 국내 적용 모형의 경우, 차/유종에 따라 기울기 고려 이전 대비 0.43~6.36배까지의 편차를 보이는 것이 확인됨

국내 차종/유종별 구성비 추정 결과

차종	사이즈	유종	구성비
승용차	경형	휘발유	9.9%
	소형	휘발유	0.8%
	소형	경유	0.4%
	중형	휘발유	56.2%
	중형	경유	18.1%
	중형	HEV	4.2%
	대형	휘발유	10.0%
	대형	경유	9.9%
	대형	HEV	2.2%
	합계		100.0%
버스	중형	경유	15.7%
	대형	CNG	84.3%
	합계		100.0%
화물차	소형	경유	76.3%
	중형	경유	11.5%
	대형	경유	12.2%
	합계		100.0%

국내 적용형 도로 경사도별 탄소배출 보정계수 추정 결과

도로 경사도(%)	승용차	승합자동차	화물자동차
-10	0.75996	0.42962	0.67068
-9	0.75996	0.42962	0.67068
-8	0.75996	0.42962	0.67068
-7	0.75996	0.42962	0.67068
-6	0.75996	0.42962	0.67068
-5	0.80372	0.42179	0.67179
-4	0.82549	0.51082	0.67577
-3	0.86541	0.53941	0.67577
-2	0.91778	0.64682	0.60888
-1	0.96023	0.90848	0.96033
0	1.00000	1.00000	1.00000
1	1.11619	1.73520	1.13636
2	1.33697	2.05531	1.30796
3	1.65560	2.73978	1.46888
4	1.87534	3.71737	1.79346
5	2.08697	5.60735	2.09528
6	2.37346	6.17796	2.30688
7	2.55546	6.08036	2.53075
8	2.91137	5.40374	2.88695
9	3.08042	6.27175	3.04276
10	3.56437	6.36075	3.35647

고도화 결과 및 의의

고도화 분석 결과

- 분석대상
  - 내용) 전국단위 Lv 6 네트워크
  - 시간) 2022년 연단위 일 평균 교통량
  - 공간) 경부고속도로 전 구간
- 분석결과
  - 도로 전 구간에 대한 링크단위 중단경사 적용 시, 기존 모형 대비 약 58.86%의 배출량이 추가로 발생하는 것이 확인됨

연구 의의 및 향후 연구 제시

- 연구 의의
  - 도로 경사도 제한이 있는 고속도로를 대상으로 한정적인 분석이 진행되었음에도 높은 수치를 나타냄
  - 지자체 단위의 배출량 산정에 있어서는 배출량의 편차가 더 크게 나타나는 것으로 확인됨
  - 향후 지자체 및 국가단위의 배출량 감축방안으로 도시계획단계에서의 도로선형을 고려가 필요함이 확인됨
- 향후 연구
  - DEM자료 등을 활용한 링크 내 경사도 세분화, 가감속도 등에 대한 추가적인 고려가 필요함

감사합니다

한국ITS학회 2024년도 추계학술대회

주행거리 시계열 변화를 고려한 교통수요관리정책의 온실가스 감축 원단위 고찰

Evaluation of Greenhouse Gas Emission Reduction Efficiency of Traffic Demand Management Policies Considering Temporal Variations in Vehicle Mileage

김태경 (경성대학교 석사과정)
신강원 (경성대학교 교수)

목차

01 서론
- 연구의 배경
- 연구의 범위

02 선행연구검토
- 주행거리 시계열 변화 관련 선행연구 검토

03 주요 연구 내용
- 연구 진행 과정
- 교통수요관리 정책 효과 분석

04 결론 및 향후과제
- 결론
- 향후과제

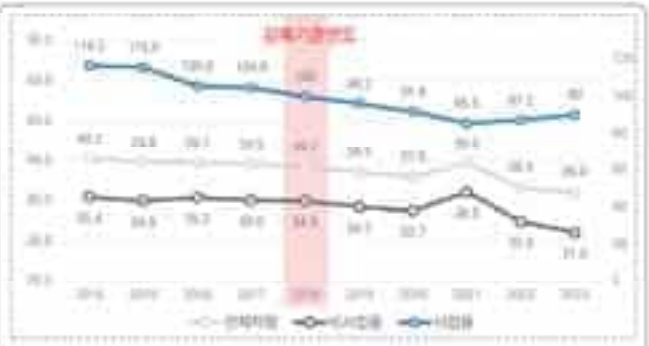
연구의 배경

✓ 지자체별 도로 수송 부문 온실가스 감축량 평가를 위해 주행거리 자료가 활용되고 있음
✓ 자동차 일 평균 주행거리는 계속 감소하고 있어 주행거리의 시계열 변화를 반영할 필요가 있음

지자체별 탄소중립 녹색성장 기본계획 수립 ● 4.05○

- 이 지자체별 도로 수송 부문 온실가스 감축을 위한 교통수요관리 확대
- 주행거리 기반의 감축 정책 평가가 다수 이루어지고 있음

10년간 자동차 일 평균 주행거리 변화 추이



- 10년간 비사업용 차량의 일 평균 주행거리는 체화하고 지속적으로 감소하고 있음
- 따라서, 주행거리 감축을 위한 교통수요관리 정책 또한 시계열 변화를 고려할 필요가 있음

3/11

연구의 배경

가이드라인 내 용단위 산정 및 적용 방법론의 문제점

4/11

연구의 범위

승용차 요일제

- 공간적 범위
  - 부산광역시
- 시간적 범위
  - 2007년~2023년
- 내용적 범위
  - 부산시 승용차 요일제 단속기일자(2018~2022년) 주행거리 변화와 이후 따른 감축 원단위 산출
  - 정책 대상 차량 이외 차량의 주행거리, 시계열 변화에 따른 승용차 요일제 신규 개입자의 주행거리 감축 효과 산정

자동차 탄소포인트제

- 공간적 범위
  - 전국
- 시간적 범위
  - 2020년~2022년
- 내용적 범위
  - 자동차 탄소포인트제 감축 원단위에 선행한 주행거리의 시계열 변화를 반영하여 감축 원단위 재산정

5등급 차량 운행제한

- 공간적 범위
  - 부산광역시
  - 대구광역시
- 시간적 범위
  - 2021년~2023년
- 내용적 범위
  - 부산시, 대구 시에 등록된 등급과 차량의 미세먼지 배출원이며, 시행 이후 주행거리 변화 및 감축 원단위 산출
  - 5등급 이외 차량의 주행거리, 시계열 변화에서의 정책 대상 차량의 주행거리 감축 효과 산정

관련 선행연구 검토

교통수요관리 정책 원단위 분석

- ✔ 지자체 온실가스 감축 사업별 감축원단위 적용 가이드 라인(한국환경공단, 2024)
  - 수송부문 감축 원단위를 제시하고 있음
  - 대부분 정책의 산정방법론이 주행거리으로 산정됨
  - 한국 및 단일 지종 단위로 감축 원단위를 산정하고 있어 대상차량의 실제 주행거리 변화를 반영하지 못하고 있음
- ✔ 교통부문 온실가스 관리시스템(한국교통안전공단)
  - 수송부문 감축 원단위를 제시하고 있음(억제, 전환, 개선)
  - 주행거리를 활용한 감축 원단위 산정 방법론 존재
  - 시도 단위의 등록대수 및 계수를 통해 지역특성은 반영하고 있으나, 정책 대상차량의 실제 주행거리 변화를 반영하지 못하고 있음

- 주행거리 자료를 이용하여 감축 원단위를 산정하는 경우가 다수이나 주행거리 변화는 미반영 하고 있음
- 정책 대상 차량의 주행거리 변화에 따른 가산 감축 효과 산정이 필요한 상황

교통정책 효과 분석

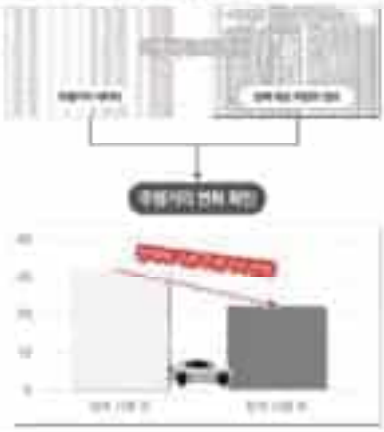
- ✔ 도시철도 인프라 확장이 지가에 미치는 영향 : 광민선 복복선화를 사례로(김범식 외 3인, 2014)
  - 역세권에 따른 지가변동을 이중차분법 및 삼중차분법을 통해 분석을 진행함
- ✔ 삼중차분 회귀모형을 활용한 도시철도 역세권 토지이용 변화에 미치는 영향 분석 : 대전시 도시철도 1호선 개통 후 10년을 중심으로(김재원 외 1인, 2018)
  - 도시철도 1호선 개통 이후 10년간 용도별 건축물의 연면적에 대한 순효과를 파악하기 위한 삼중차분법을 적용하여 분석을 진행하였음

- 정책 효과 분석을 위해 이중차분법, 삼중차분법을 활용하여 효과를 분석함
- 시계열을 고려한 교통수요관리 정책의 온실가스 원단위 산정 연구는 부족

연구 진행과정

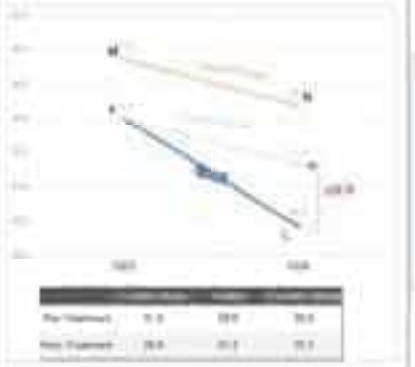
Step 1

- 주행거리 차등화 정책 대상 차량의 정보가 결합된 정책 대상차량의 주행거리 변화 확인



Step 2

- 주행거리 시계열 변화 반영을 위해 이용차분법 및 성향차분법을 활용하여 주행거리 감축 효과 검증



Step 3

- DID, DDD모형 적용을 통한 정책별 감축 원단위 산정

교통수요관리 정책의 효과 분석

✓ 승용차 요일제

Step 1

- 승용차 요일제 기존 원단위의 경우, 정책 참여자들의 주행거리 변화 및 시계열 변화를 반영하지 않음

Step 2

- DID 결과, 5개년도 모두 승용차 요일제의 감축효과가 있는 것으로 분석되었음
- DDD 결과, 도시철도 이 인근 지역에서의 승용차 요일제 효과의 차이는 없는 것으로 도출되었음

Step 3

- 시계열 변화를 반영한 주행거리 데이터에 따도(전철, 시간대별)에 따른 배출계수를 활용하여 원단위 산정

교통수요관리 정책의 효과 분석

✓ 자동차 탄소포인트제

Step 1

- 자동차 탄소포인트제의 주행거리 변화는 이미 제시 중 다만, 주행거리 시계열 변화는 미 반영 중임
- 자동차 탄소포인트제 참여 차량만 정책 시행 후 약 22.0% 감소하는 것으로 확인됨

[자동차 탄소포인트제 감축 원인자 동일]

[자동차 탄소포인트제 기술제 제한 운행거리 변화]

구분	정책 시행 전	정책 시행 후	변화율(%)
자동차 탄소포인트제 참여	20.3	19.6	-23.8
그 외 차량	37.9	39.2	-7.1

Step 2

- DID 적용을 위해 승용차 주행거리의 표준편차(18.22)를 이용한 시뮬레이션 진행(N=46,150)
- 자동차 탄소포인트제의 경우 주행거리 감축에 유의미한 영향이 존재하는 것으로 추정됨

[자동차 탄소포인트제 기술제 제한 운행거리 감축 효과 산정 결과]

변수	Coef	t	P(>t)
ATE	-2.871	-4.86	0.000***

[자동차 탄소포인트제 주행거리 감축 유지 결과]

Step 3

- 기존 감축 원단위의 1/3 수준의 감축 원단위 도출

[자동차 탄소포인트제 기술제 제한 운행거리 감축 원단위 산정 결과]

교통수요관리 정책의 효과 분석

✓ 5등급 차량 운행제한

Step 1

- 5등급 차량 운행 제한의 경우 부산, 대구 광역권의 5개 차량을 비교그룹으로 설정하였음
- 5등급 차량 운행제한 이후 사업용은 -8.3%, 비사업용은 -18.2% 전체차량은 -15.3% 감소하는 것으로 나타남

[5등급 차량 운행제한 시행에 따른 주행거리 변화]

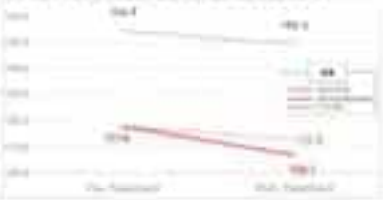
구분	유도	정책 시행 전	정책 시행 후	변화율(%)
5등급차량 운행제한	사업용	111.8	106.7	0
	비사업용	26.7	21.8	-2
	전체	35.9	30.4	-3
그 외 차량	사업용	104.4	149.3	3
	비사업용	20.9	20.5	-3
	전체	38.6	44.3	-6

Step 2

- 사업용 차량의 경우 5등급 차량의 주행거리가 감소하는 것으로 분석됨
- 비사업용의 경우 5등급 차량의 주행거리가 효과가 없는 것으로 나타남

구분	Coef	t	P(>t)
사업용 전체	-5.833***	-3.08	0.000***
비사업용 전체	0.0217***	3.16	0.001***
감축 차량 전체	-0.1960	-6.57	0.100

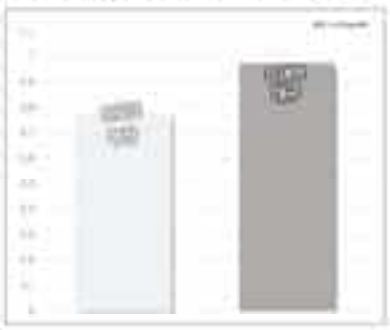
[사업용 5등급 차량 운행제한 시행에 따른 주행거리 유지 결과]



Step 3

- 각 사도(부산, 대구)별 평균속도를 이용하여 배출량을 산정하였음
- 부산의 사업용 5등급 차량의 경우 0.773t CO_2eq/대, 대구의 사업용 5등급 차량의 경우 0.923t CO_2eq/대로 분석됨

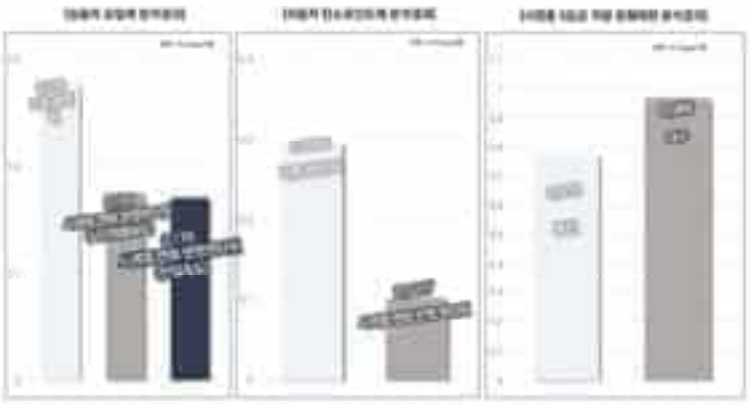
[사업용 5등급 차량 운행제한 시행에 따른 온실가스 감축효과 유지 결과]



결론 및 향후과제

✔ 결론

- 지자체별 도로 수송부문 온실가스 감축량 평가에 주행거리 자료가 활용되고, 자동차 일 평균 주행거리 감소 추세를 보이고 있으며 효과 산정에 감소추세를 반영할 필요가 있음
- 승용차 요일제, 탄소포인트제, 5등급차량 운행제한 감축 원단위를 주행거리 시계열 변화를 반영하여 산정함
- 주행거리의 시계열적 변화(감소추세)를 반영한 결과 기존 원단위보다 더 낮은 값이 산정됨



✔ 향후과제

- 복수의 정책 추진 시기(Multiple Treatments)를 반영한 교통수요관리 정책 효과 분석 방법론 정립 필요
- 교통수요관리 정책 노출기간에 따른 시계열적 원단위 제시 필요

교통분야의 전문성과 창의력을 바탕으로 한
미래가 있는 회사

보광토탈 ENG(주)

BOKWANG TOTAL ENG.

▌주요사업분야

- 교통영향평가 및 교통성검토
- 교통운영개선사업 (T.S.M.)
- 지구교통개선사업 및 설계 (T.I.P.)
- 대중교통 및 자전거도로계획
- 도시계획, 도로, 철도, 항만, 공항 등의 교통관련부문 컨설팅
- 사회간접자본 투자 타당성 검토 및 교통수요 추정

보광토탈ENG(주)

대표이사 : 교통기술사 백재민
주 소 : 서울시 송파구 법원로 127 문정동(641-4)
문정 대명벨리온 지식산업센터 1517호
전 화 : 02)3443-4568 팩 스 : 02)3443-4969

TRACOM
사람을 잇다 기술을 잇다 시간을 잇다

기술을 잇다

技術

고객과 함께 성장하는 회사,
최상의 IT서비스 구축

변화의 중심에서 고객의 가치창출을 위한 시스템과 서비스를 지속적으로 개발하는 IT 전문기업

ITS, BIS, GIS, GREEN IT, R&D 관련분야의 특화된 전문기술, 인력,
실적을 바탕으로 공공 솔루션 개발 및 시스템 통합에 주력하고 있습니다.

주식회사 트라콤, 경기도 안양시 동안구 시민대로 401(관양2동 224-5) 대륭테크노타운 15차 1501호, 14057
T E L : 031.389.8877 | F A X : 031.389.8878
Homepage : www.tracom.co.kr | Contact us : tracom@tracom.kr

오스코는 **미래기술 기반** 확산을 목표로
시스템 개발, 설계, 구축, 유지보수, 고도화 등
토탈 솔루션을 수행하고 있습니다.

www.oscoict.com

Contact

Tel. 031.8069.2293
Fax. 031.8069.2295

본사

경기도 안양시 동안구 벌말로 123,
평촌스마트베이 A동 1005호

공장

경기도 파주시 소라지로 195번길 113,
B동 지하 1층

우리는 지금도 미래를 짓고 있습니다

Great Possibility

대우건설

(주)지앤티솔루션
www.gntsolution.com
Network
Blog
Idea
Innovation
스마트시티의
미래를 선도합니다.
Content
Online
Cloud
Management
Motivation
청단 IT기술로 국토교통문제를 해결하여
모두가 안전하고 편리한 삶을 위한 솔루션을 제공합니다.
Solution
서울시 금천구 벚꽃로 298, 대륭포스트타워 6차 1007호

현대건설
별이 빛나는 밤,
현대건설로부터

300여년의 지속적인 성장!

기술과 제조기반을 모두 갖춘 업계 유일의 다양한 IT 솔루션 통합 구현

디스플레이

스코어보드
FIDS(공항)
TIDS(철도)
VMS(도로)
미디어보드
공공디스플레이

미래형 ITS

V2X 통신
스마트 신호제어
실시간 엣지분석
차세대 자율협력주행

싸인텔레콤

첨단형 BIS

ICT & IoT &
GNSS 기술 융복합
버스정보안내
버스 차내장치/전광판

스마트시티

IoT & 생활밀착형 도시재생
고령자 안전시스템
스마트 주차시스템
어린이 보호시스템

업계 1위
풍부한 수행실적

+

A+등급
안정적 신용평가

+

상위 0.001%
기술력 보유

싸인텔레콤 SIGNTELECOM

서울본사 서울시 영등포구 경인로 775, 1동 119호 (문래동 3가, 에이스하이테크시티1)
파주사옥 경기도 파주시 회동길 521, 4층 (문발동, ST빌딩)
파주공장 경기도 파주시 소라지로 195번길 113 (신촌동)

+문 의 [스마트 SI본부]
김현구 이사 M. 010-9770-5080
박은희 차장 M. 010-9509-9878

WAYS1
MAP INNOVATION WAYS

Safe & Smart MOBILITY

웨이즈원은 도로의 모든 사물에 정보라는 가치를 더하고, 자동차, 사람과 소통하여 보다 안전하고 스마트한 이동을 제공합니다.

자율주행용 HD Map

자율주행을 위한 도로와 공간 정보의 구축

자율주행에 필요한 차선정보와 도로시설 그리고, 주요표지시설을 3차원 공간정보로 구축합니다.

Local Dynamic Map(LDM)

자율협력주행을 위한
동적(Dynamic)정보의 수집, 가공, 송출

LDM 기술을 통해 도로 인프라와 모든 자율주행자동차가 서로 소통하는 차량간 자율협력주행을 실현합니다.

*Local Dynamic Map(LDM) : 동적지도

내비게이션

Mobility 서비스와 자율주행의 기반이며 실시간 변화 정보 반영의 집합체인 지도와 어플리케이션

도로의 조사, 구축 및 지도 제작의 모든 과정을 수행하여 최고 품질의 최신 데이터를 고객에게 제공하고 Map기반 Application을 개발합니다.

웨이즈원 (주) **Address.** 경기도 의왕시 이미로 40 인덕원IT밸리 D동 521호 **Email.** contact@ways1.com **Tel.** 031-8069-7887 **Fax.** 031-8069-7899

LEADING
Business Transformation

고객의 Business Transformation을 Leading하는 서비스 기업,
롯데이노베이트입니다.

디지털 트윈으로 혁신하는 데이터 기반 교통 전문기업

SOUL (주)소울인포테크

Since 1998

내일을 만드는 이웃,

네이버시스템

빅데이터, 사물인터넷, 공간·위치 정보 등의 첨단ICT기술을 융합하여,
교통, 도시, 공공, 국방 등 다양한 산업 분야에 BIG 플랫폼 기술을

BIG PLATFORM INTEGRATED TECH

Big Data

IoT

GIS

BUSINESS DOMAIN AREA

Traffic

Urban

Media · Data · GIS

neighbor system

DH 대흥정보 DaehungInfor

Global Standard CMMIDEV/3 ISO 9001 20000 27001 1등급 GOOD Software

스마트도시 서비스 인증 L2 SMART 2021 CITY KOREA

국토교통부 스마트도시 서비스 인증

대흥정보 스마트 파킹서비스 · SMART PARKING SERVICE

국내유일 이기종 주차기기 통합기술 특허 :: 업무효율 50%이상 상승효과

스마트주차 시스템 ▸▸▸ 주차 현황관리 ▸▸▸ 주차 실적관리 ▸▸▸ 징수 관리 ▸▸▸ 통계 분석 ▸▸▸ 결재/보고서 정리·출력

기존 2人 최소 3.4시간 소요 → 1人 20분 완료

주차관제 및 행정업무의 단일플랫폼구축

각각의 플랫폼에서 따로 다운 받아야하는 시스템

APP: 주차 단속, 민원 상담, 행정 업무, 관제, 시민

단일 플랫폼

⊘ 플랫폼 별 각각의 구축 및 운영

⊘ 도입 비용 상승과 사용자 혼란

시민불편 최소화

통합 주차정보 시스템

통합 주차 관제 센터

체계화된 중앙관리

주차관리 시스템

시민, 관리자, 현장요원 **동일한 플랫폼** 사용

입출차 | 정기권 | 정산 | 미납 | 고지

완벽한 연계 ↕↕↕↕↕ 동일한 플랫폼

입출차 모니터링 | 할인 | 무료차량 | 정기권 | 기기

실시간 장애·알람 정보

기기장애, 행정민원 즉각적인 대응시스템

주차관제 시스템

반응형 웹 시스템	비대면 출차	주차 공유경제	A.I 기반 콜봇	Big-Data 통계분석	KAKAO T, T-map 연계	hi-pass 연계
inerv Link	inerv Works	inerv Mobility	inerv Viewer	inerv PMC	inerv Manager	inerv IRS
이기종 통합 연계	전자정부기반 프레임워크	모바일 노상주차 관리시스템	사용자 중심 UI/UX	유무인 주차 정산 관리	통합주차 관리 시스템	행안부 비대면 자격확인 연계솔루션

행정안전부 * 행정정보 공동이용 시스템용

비대면 자격확인 서비스 연계 소프트웨어

inerv 아이널브 IRS Immediately Reduce System

공공시설 이용요금 감면자격이 있는 경우, 증명서류를 제출하지 않아도 실시간 정보연계로 자격을 확인해주는 서비스!

공영주차장 입·출차 시 차량번호를 자동으로 인식!

증명서류를 제출하지 않아도 주차요금 감면 자격이 자동으로 확인됩니다.

경차, 친친환경 자동차 여부, 모범납세자 여부 등 다양한 자격정보의 확인이 가능합니다.

전 지역으로 서비스가 확산될 수 있도록 행정안전부가 함께 하겠습니다.

국민에게 찾아가는 **행정서비스**

공공부분 최고 언택트 솔루션

공공 서비스의 비대면 디지털 전환 가속화

중앙부처 총 41종 서비스 제공

번호	자격정보	보유기관	번호	자격정보	보유기관	번호	자격정보	보유기관
1	국가유공자 자격여부	국가보훈처	14	한부모가족 사실여부	여성가족부	27	환경친화적 자동차 여부	한국환경공단
2	모범납세자 자격여부	국세청	15	차상위본인부담금 경감대상자 사실여부	보건복지부	28	자동차제원(경차) 여부	국토교통부
3	국민기초생활수급자 사실여부(Y/N)	보건복지부	16	차상위 수혜자	보건복지부	29	장기기증자 여부	질병관리본부
4	국민기초생활수급자(생계, 의료급여)	보건복지부	17	차상위 자활급여 대상자	보건복지부	30	의사상자 여부	보건복지부
5	국민기초생활수급자(교육 급여)	보건복지부	18	차상위 장애수당·장애연금	보건복지부	31	세대주 사실여부	행정안전부
6	국민기초생활수급자(주거 급여)	보건복지부	19	외국인거소사실 여부	법무부	32	여권발급 사실여부	외교부
7	자동차제원 및 등록지 자격여부	국토교통부	20	임산부 정보	국민건강보험공단	33	고용보험가입 사실여부	근로복지공단
8	장애인등급정보	보건복지부	21	병역명문가 여부	병무청	34	실업급여 수급사실여부	근로복지공단
9	18세 이하 자녀 수 자격여부	행정안전부	22	자원봉사자(시간) 정보	행정안전부	35	주민등록정보	행정안전부
10	70세 이상 부모 자격여부	행정안전부	23	다자녀정보(자녀수+생년월일)	행정안전부	36	농업경영체증명 사실여부	행정안전부
11	거주지행정코드 (관내주민)자격여부	행정안전부	24	65세이상 노부모생년월일	행정안전부	37	공무원연금내역서	공무원연금공
12	막내자녀나이 자격여부	행정안전부	25	국가유공자 차량여부	국가보훈처	38	어업경영체증명정보	해양수산부
13	전체 자녀 수 자격여부	행정안전부	26	장애인 차량여부	보건복지부	39	임업경영체등록정보	산림청 (농림수산식품
						40	건강보험자격득실 및 보험료 정보	국민건강보험
						41	사업자등록정보	국세청

특장점 ① 사용자 중심의 UI ② OS비종속적 ③ Web 방식 연계 ④ 다양한 사용자 환경지원 ⑤ 감면항목 무한확장 ⑥ 개인정보 보안강화 ⑦ 체계적인 관리 시스템 ⑧ 연계 오류 대응 시스템

AI전환을 지원하는 AI Transformation Partner

SKT Enterprise

SKT Enterprise AIX Service

제조 강력한 Connectivity와 최첨단 반도체 공장에 적용한 AI/Big Data 기반의 제조환경을 만들어 드립니다.

물류 Digital Infra와 AI/Big Data 기반의 솔루션과 이적재 로봇으로 효율은 올리고 비용은 줄이며 사고는 방지해드립니다.

금융 Hybrid Cloud와 통신Data 기반의 초개인화 기술을 적용한 AI컨택센터 등 금융서비스를 지원합니다.

미디어/게임 방대한 Data 전송 처리가 가능한 Connectivity와 미디어/게임에 최적화된 Cloud와 AI기술을 제공합니다.

공공 국가/사회가 필요로 하는 유무선 기반의 NSI 사업 뿐만 아니라, AI 기반의 Digital 서비스 구현으로 사회문제 해결을 위해 노력합니다.

Data Center AI기반 DCIM, 최신 냉각 솔루션 기반의 Global Top 수준의 최첨단 무중단 Data Center 서비스를 제공합니다.

고객사 진단 및 솔루션 제안 | **기업 특화 솔루션 설계 및 구축** | **AI기반 서비스 운영**

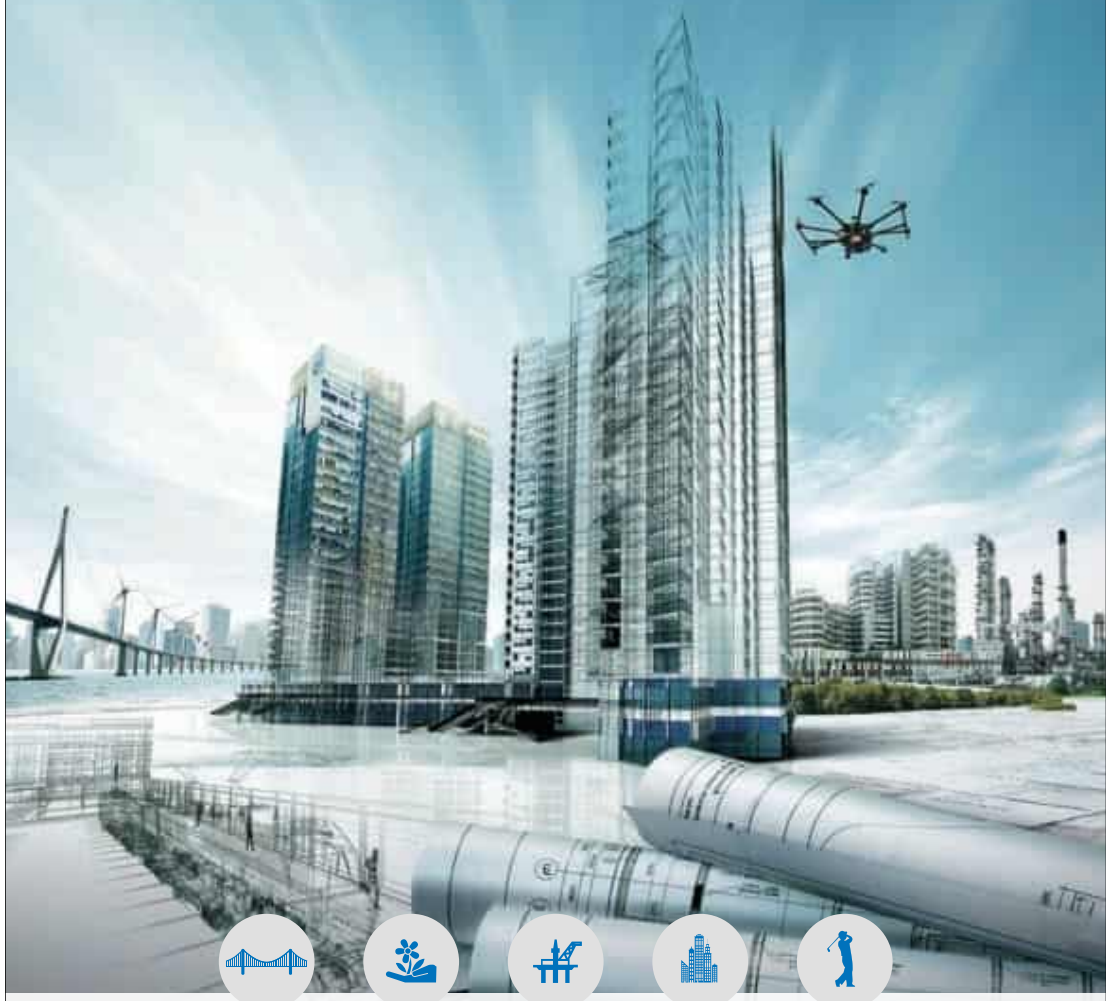
AI로 당신의 비즈니스를 바꾸는 AIX Partner,
SKT Enterprise와 함께 하세요.

GS건설

앞선 기술로 세상의 기준이 되다

건설 Convergence 4.0

내일을 이끌어 갈 첨단 산업과 세계 일류를 선도하는 GS건설의 완벽한 융합!
미래를 향한 GS건설만의 앞선 기술이 인류의 위대한 역사를 창조하고 있습니다

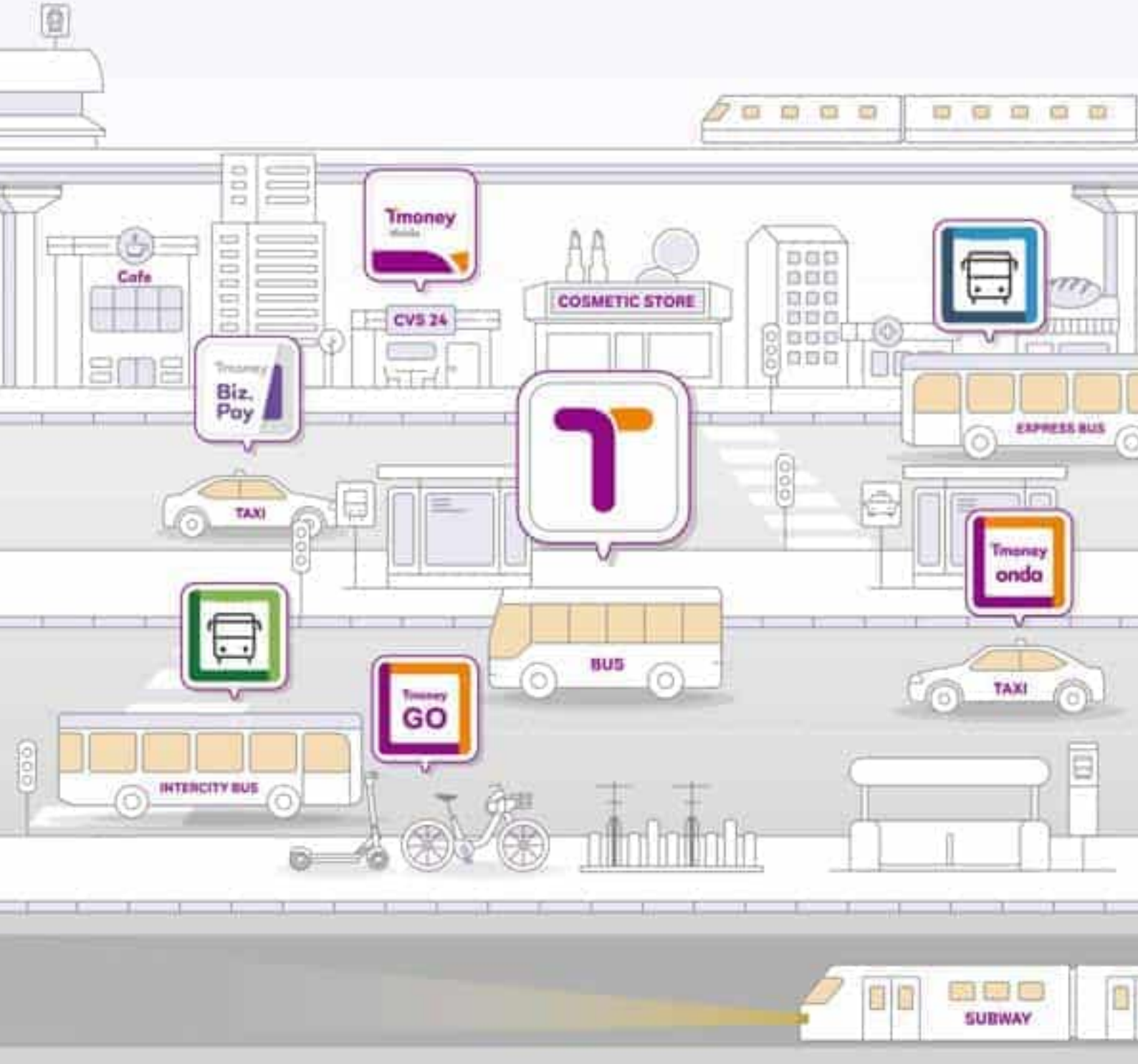


Infra Eco Plant Architecture Leisure

이동을 편하게
세상을 이롭게

티머니

스마트한 이동과 결제 서비스를 제공하여 더 편리한 세상을 만들겠습니다.



www.easytraffic.co.kr

EASY TRAFFIC

Towards freedom of mobility, we now voyage into the unknown.

Digital Twin of Mobility

+

Real-time Simulation

+

Signal Optimization

2013

Wireless control of traffic signal system

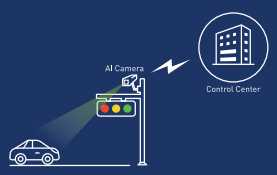
2015

Priority traffic signal control

2017

Fully wireless signal control of SEOUL

2021



AI Camera-based traffic control

공간정보서비스 Alliance

URL http://gisalliance.co.kr

CONNECTING, SHARING & SHOWING

공간정보로 연결하고, 공유하고, 볼 수 있는 세상

- 네오스펙트라
- 올포랜드
- 엘티에트릭
- 명화지리정보

공간정보서비스 Alliance

- 메타버스 플랫폼 서비스
- 솔루션 개발, SI
- 데이터 가치 창출
- DB구축

하늘 - 땅 - 바다 - 지하 - 메타버스 공간

주소 서울시 금천구 가산디지털 1로 145 에이스하이엔드타워 3차 1401호

T 02-855-5724 F 02-855-5746

ENVISION
THE MOBILITY
OF TOMORROW

A22

끝없는 도전과 혁신으로
미래 모빌리티의 새로운 기준을 만드는
오토노머스에이투지가 중동까지 뻗어나갑니다.

Digital
Transformation
Partner

대한민국 기업을 위한 디지털 혁신의 시작

언택트, 디지털 뉴딜
디지털로 빠른 변화와 혁신이 요구되는 지금
당신의 기업은 어떻게 준비하고 계시나요?

KT Enterprise가
AI, Big data, Cloud의 앞선 기술과
기업 유무선 통신의 전문성으로
대한민국 기업의 디지털 혁신을 이끌어 갑니다

Digital Transformation Partner

kt Enterprise

자세한 사항은 기업전화 전문상담(1588-0114)또는 홈페이지(enterprise.kt.com) 참조