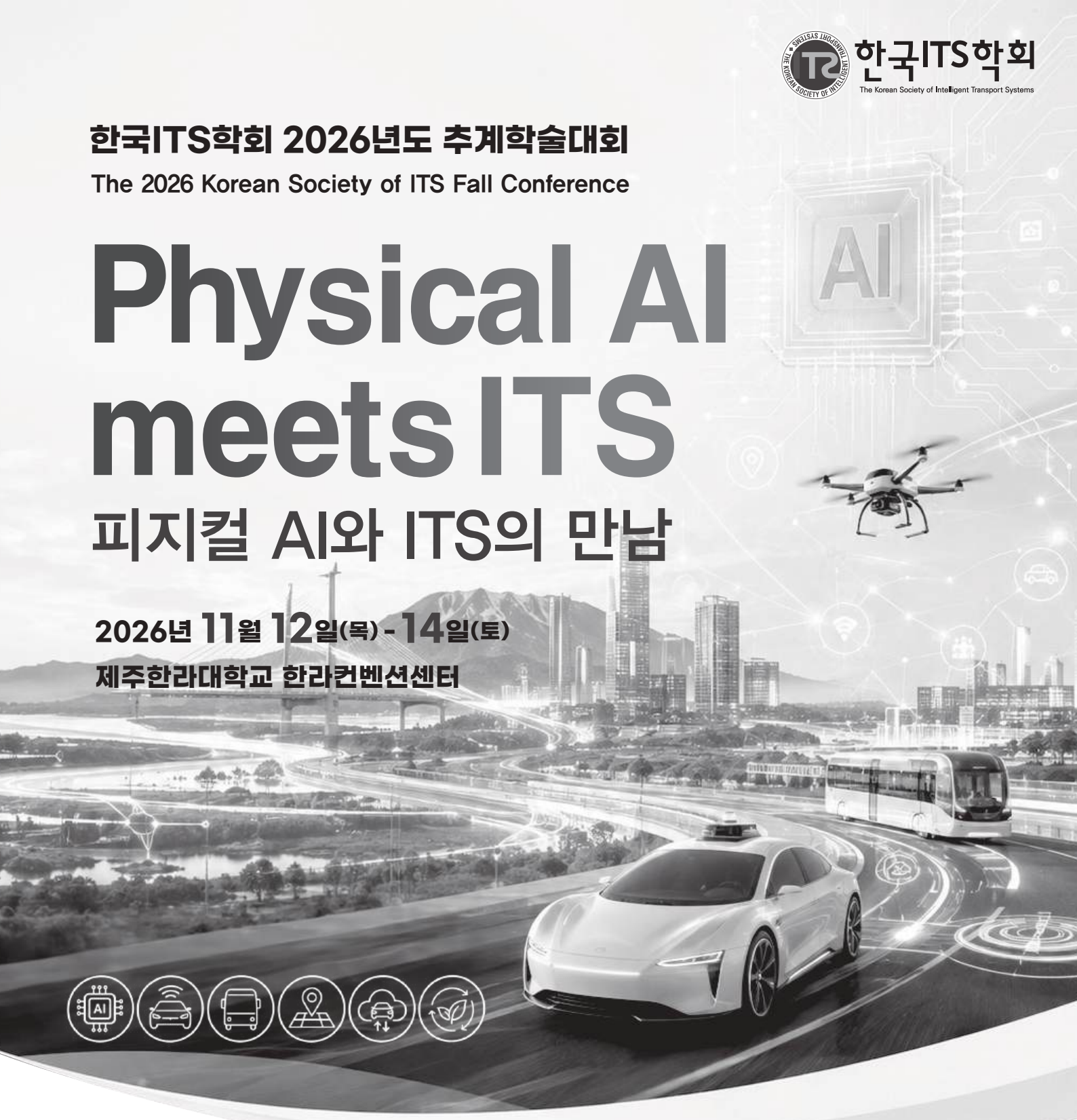
한국ITS학회
The Korean Society of Intelligent Transport Systems

한국ITS학회 2026년도 추계학술대회

The 2026 Korean Society of ITS Fall Conference

Physical AI meets ITS

피지컬 AI와 ITS의 만남



2026년 11월 12일(목) - 14일(토)

제주한라대학교 한라컨벤션센터

후원

한국도로교통공단 KOROAD | MOBILTECH | A2Z AUTONOMOUS | 올포랜드 | TS 한국교통안전공단 Korea Transportation Safety Authority | IJUS | LG유플러스 | 대흥정보 | 아주대학교 | 미래자동차 혁신융합대학사업단 | NZERO | POSCO | KETI 한국전자기술연구원 Korea Electronics Technology Institute | 인하대학교 | Tmoney Mobility | Qualcomm | SK telecom | TNS 동림TNS | 롯데이노베이트 | SOUL (주)소울인포테크 | 싸인텔레콤 | 아이엘I&D(주) | 아이티센엔텍 | WINITECH(주)위니텍 | IntelliVIX The Safest World with AI | GRI Research Global Revolutionary Insight | GS건설 | NTR 네트렉 | BYDA Sensor & System | H2STECH | FORUM 8 (주)포럼에이트코리아 | TRACOM | 해양드론기술 Marine Drone Tech | HYOSUNG HEAVY INDUSTRIES | 하남씨엔에프(주) | SMART VISION

문의처 | www.kits.or.kr | Tel. 02.3413-0041, 0042, 0045 | E-mail. info@kits.or.kr

"본 사업은 기획예산처의 복권기금 및 과학기술정보통신부의 과학기술진흥기금으로 추진되어 공익 및 사회적 가치 실현과 국가 과학기술 발전에 기여합니다."

"This work was supported by the Lottery Fund of the Ministry of Planning and Budget and the Science and Technology Promotion Fund of the Ministry of Science and ICT, contributing to the public good and the realization of social value, as well as the advancement of science and technology in Korea."

환영사

존경하는 한국ITS학회 회원 여러분, 그리고 바쁘신 가운데 함께해 주신 내외 귀빈 여러분!

안녕하십니까? 한국ITS학회 회장 박동주입니다. 아름다운 가을의 제주에서 여러분을 모시고 2026 한국ITS학회 추계학술대회를 개최하게 되어 매우 기쁘게 생각합니다.

먼저 이번 학술대회를 준비해 주신 조직위원회와 학회 관계자 여러분, 그리고 귀한 연구 성과를 발표하고 토론하기 위해 참석해 주신 모든 분들께 진심으로 감사드립니다. 아울러 학술대회 개최에 도움을 주신 제주한라대학교와 후원기관 및 기업 관계자 여러분께도 깊이 감사드립니다.

이번 추계학술대회의 주제는 'Physical AI가 ITS를 만나다'입니다. 저는 이 주제가 단순히 새로운 기술의 등장을 의미하는 것이 아니라, 앞으로 ITS가 나아가야 할 근본적인 변화의 방향을 보여준다고 생각합니다. 지난 수십 년 동안 ITS는 사람과 자동차, 도로를 연결하고, 교통정보를 수집하고 분석하여 교통의 효율성과 안전성을 높이는 방향으로 발전해 왔습니다. 그러나 이제 우리는 새로운 전환점에 서 있습니다. AI가 정보를 분석하고 예측하는 수준을 넘어, 현실 세계를 이해하고 스스로 판단하며 실제 물리적 시스템을 제어하고 행동하는 시대로 진입하고 있기 때문입니다. 자율주행차는 주변 상황을 스스로 인식하고 판단하여 움직이고, 지능형 교통신호는 실시간 교통상황에 대응하며, 미래의 교통관리시스템은 도시 전체의 교통흐름을 예측하고 선제적으로 대응하게 될 것입니다.

저는 이러한 변화를 'Mobility에서 Intelligence로의 전환'이라고 표현하고 싶습니다. 지난 30년의 ITS가 교통을 연결하는 시대였다면, 앞으로의 30년은 교통이 스스로 이해하고 판단하며 협력하는 시대가 될 것입니다. Physical AI는 바로 그 전환의 출발점입니다. 지금까지 ITS가 개별 시스템을 지능화하는 데 주력했다면, 앞으로는 자동차와 도로, 교통운영시스템이 서로 지식을 공유하고 함께 판단하며 협력하는 'Connected Intelligence'로 발전해야 할 것입니다. 그리고 그 중심에는 언제나 사람의 안전과 편리함, 그리고 지속 가능한 사회가 있어야 합니다.

올해 우리 한국ITS학회는 이러한 미래의 변화에 대응하고, 학회의 역할과 위상을 높이기 위해 여러 의미 있는 성과를 만들어 왔습니다. 지난 4월 제주에서 개최한 춘계학술대회에는 약 700명의 전문가가 참석하여 208편의 논문을 발표하는 등 활발한 학술교류가 이루어졌습니다. 또한 7월에는 국제학술대회 APTE 2026을 성공적으로 개최하여 21개 국가 및 지역의 연구자들이 참여하고 300편의 논문이 발표되는 성과를 거두었습니다. 지역 지회 활동도 한층 활성화되었습니다. 호남, 대구 · 경북, 부산 · 울산 · 경남, 제주, 충청 등 전국 각지에서 지역의 교통문제와 미래 모빌리티 발전방향을 함께 논의했습니다. 아울러 국회 정책간담회와 산 · 학 · 연 · 관 협력을 통해 ITS의 정책적 역할을 강화하고, 국제학술지 창간을 추진하는 등 학회의 학술적 기반과 활동 영역을 넓히기 위해 노력해 왔습니다.

저는 이러한 성과가 단순히 학회 활동의 양적 확대를 넘어, 우리 학회가 학술연구와 산업, 정책을 연결하는 중심 플랫폼으로 성장하고 있음을 보여준다고 생각합니다. 이 모든 성과는 집행부의 노력만으로 이루어진 것이 아닙니다. 학회 발전을 위해 함께 고민하고 적극적으로 참여해 주신 회원 여러분, 그리고 여러 기관과 기업 관계자 여러분의 헌신과 협력이 있었기에 가능했습니다. 제24대 집행부를 대표하여 이 자리를 빌려 진심으로 감사드립니다.

존경하는 회원 여러분!

이제 우리 학회는 새로운 도약을 준비해야 합니다. Physical AI 시대에는 개별 기술의 성능뿐 아니라 시스템 간 협력, 데이터와 지식의 공유, 안전성과 신뢰성, 그리고 제도와 거버넌스가 더욱 중요해질 것입니다. 이러한 과제는 어느 한 분야의 전문가나 기관만으로 해결할 수 없습니다. 교통공학과 AI, 통신, 자동차, 도시관리 등 다양한 분야의 전문가들이 함께 지혜를 모아야 합니다. 우리 한국ITS학회가 이러한 분야들을 연결하고, 새로운 기술이 실제 교통현장에서 안전하고 효과적으로 구현될 수 있도록 앞장서야 할 것입니다.

저는 앞으로 우리 학회가 단순히 새로운 기술을 소개하고 연구 성과를 공유하는 데 머물지 않고, 대한민국 ITS의 미래를 제시하고 국제적인 기술과 정책의 방향을 선도하는 학회로 발전하기를 기대합니다. 제24대 집행부가 추진해 온 여러 노력과 성과들이 앞으로도 이어지고, 다음 집행부에서는 더욱 큰 결실을 맺기를 바랍니다.

마지막으로 한 가지 말씀을 드리고 싶습니다.

지금까지 ITS가 교통을 더욱 스마트하게 만드는 기술이었다면, 앞으로의 ITS는 교통시스템 스스로 이해하고 판단하며 협력하도록 만드는 지능의 체계가 되어야 합니다. 저는 우리 한국ITS학회가 이러한 변화의 중심에서 대한민국 ITS의 새로운 미래를 열어갈 것이라고 확신합니다. 이번 학술대회가 바로 그러한 미래를 함께 고민하고 설계하는 뜻깊은 자리가 되기를 기대합니다. 다시 한번 참석해 주신 모든 분께 감사드리며, 활발한 학술교류와 따뜻한 만남이 이루어지는 소중한 시간이 되시기를 바랍니다. 감사합니다.

2026년 11월 12일

한국ITS학회 회장 박 동 주

2026년 추계학술대회 위원회 명단

조직위원회

- 위 원 장 : 서동환(국립한국해양대학교)
- 부위원장 : 김동규(서울대학교), 박신형(서울시립대학교), 윤일수(아주대학교), 서영우(KBS), 박만복(한국교통대학교), 정구민(국민대학교)
- 위　　원 : 이향숙(인천대학교), 윤경준(배재대학교), 원종훈(인하대학교), 이승현(서울시립대학교), 김인희(KAIST), 차영일(삼보기술단), 박호철(서울시립대학교), 김회경(동아대학교), 정연식(영남대학교), 김상엽(전북연구원), 최병호(한국전자기술연구원)

학술위원회

- 위 원 장 : 서정일(동아대학교)
- 부위원장 : 소재현(아주대학교)
- 위　　원 : 도우석(계명대학교), 여지호(가천대학교), 김진희(연세대학교), 배범준(부산대학교), 조신형(홍익대학교), 박영훈(아주대학교), 최성택(한양대학교), 박준영(한양대학교), 정재훈(군산대학교), 김원열(조선대학교), 강창묵(한양대학교), 심지섭(한남대학교), 이은학(경일대학교)

11월 12일(목)

12:30~17:00	등록	포스터 세션 및 부스 전시(상시 운영)

	발표장	세션	기관명	세션 주제
13:30~15:00	금호세계교육관505호	특별세션 A-1	차세대융합기술연구원	자율주행시대 고위험 사고 인자·위험 상황 예측 및 단속기술 개발
	금호세계교육관501호	특별세션 A-2	㈜하이스트시스템매틱스	운전자 인적오류 대응을 위한 사고예방 및 안전기술
	금호세계교육관503호	특별세션 A-3	자율주행기술개발혁신사업단	자율주행기술개발혁신사업 성과 발표
	금호세계교육관507호	특별세션 A-4	한국도로교통공단-3	고위험운전자 운전능력진단 및 관리제도 개선방안
	금호세계교육관506호	특별세션 A-5	한국건설기술연구원-2	자율주행 리빙랩 운영평가 방안
	금호세계교육관603호	특별세션 A-6	㈜모빌테크	Physical AI기반 자율주행 및 시뮬레이션 검증 기술
	금호세계교육관610호	특별세션 A-7	㈜아이티텔레콤	레벨4 자율 주행 차량의 인지 증강, 주변 정보 융합 기반 협력 제어 기술 개발 현황
	금호세계교육관612호	특별세션 A-8	명지대학교	자율차-일반차 혼재상황 대비 AI기반 자율주행모빌리티 운영 플랫폼 개발
	금호세계교육관107-1	특별세션 A-9	한국철도기술연구원	기술을 넘어 현장으로: 워킹쓰루 교통결제와 미래 요금체계
	금호세계교육관107-2	특별세션 A-10	한국도로공사	자율주행 지원 및 국민 참여형 교통안전 이음서비스 제공
	금호세계교육관401호	**초청발표**		국제 최우수 학술지 및 컨퍼런스 논문 PI 초청 발표(교통)
	컨벤션홀A	**지자체세션**		지자체 ITS의 역할과 발전 방향

15:00~15:10	Coffee Break

	발표장	세션	기관명	세션 주제
15:10~16:40	금호세계교육관505호	특별세션 B-1	한국도로교통공단-1	원격운전 기반 차량공유 서비스의 실증, 안전성 확보 및 제도화 방향
	금호세계교육관501호	특별세션 B-2	한국건설기술연구원-1	안전하고 편리한 지하도로 최적 시환경 확보 기술 개발
	금호세계교육관503호	특별세션 B-3	한국도로교통공단-4	경찰청 소관 연구개발과제 성과 공유
	금호세계교육관507호	특별세션 B-4	한국도로교통공단-2	교통안전연구 우수논문 소개
	금호세계교육관506호	특별세션 B-5	한국교통연구원-1	자율주행차 선박자동하역 기술 고도화 및 해상 수출입 서비스 개발 노력
	금호세계교육관603호	특별세션 B-6	한국전자기술연구원	2차 추돌사고 예방을 위한 전방사고 알림 가로등 시스템 개발 및 실증
	금호세계교육관610호	특별세션 B-7	동강대학교	AI 기반 멀티모달(multi-modal) 통합 제어 및 커넥티드 서비스 기술
	금호세계교육관612호	특별세션 B-8	한국교통연구원-3	국가균형성장을 위한 초광역교통 추진 방향
	금호세계교육관401호	특별세션 B-9	한국교통안전공단	사람 중심의 미래교통 실현을 위한 기술 혁신
	금호세계교육관107-1	특별세션 B-10	한국교통연구원-4	KTDB 여객 교통수요 분석 고도화
	금호세계교육관107-2	특별세션 B-11	한국교통연구원-5	무공해 상용차 보급 및 역할 확대를 위한 현황 진단 및 개선방안 도출
	컨벤션홀A	**정기총회 (15:30)**		

16:40~17:00	컨벤션홀B	**전시부스 컷팅식**

	발표장	구분	주요내용
17:00~18:00	컨벤션홀A	개회사	한국ITS학회 박동주 회장
		축 사	한국교통연구원장 김영찬, 한국도로교통공단 이사장 김희중, 경찰대학 치안정책연구소장 장한주, 한국지능형교통체계협회장 허청회
		시상식	ITS대상, 감사패, 공로상 및 ITS도시상 등
		2027년 국토교통 분야 신규 R&D 추진계획	한국산업기술기획평가원 김장엽 본부장 국토교통과학기술진흥원 강동윤 PD

18:00~	만찬

11월 13일(금)

9:30-16:00	등록	포스터 세션 및 부스 전시(상시 운영)

	발표장	세션	세션 주제
09:30-11:00	금호세계교육관505호	학술세션 A-1	자율주행 인지·데이터 검증
	금호세계교육관501호	학술세션 A-2	자율주행차 혼합교통류 제어 및 운영
	금호세계교육관503호	학술세션 A-3	교통단속 효과분석 및 운전자 수용성
	금호세계교육관507호	학술세션 A-4	교통사고 심각도 및 위험 예측
	금호세계교육관506호	학술세션 A-5	신호제어 및 교통류 운영
	금호세계교육관603호	학술세션 A-6	대중교통 빅데이터 및 수요 분석
	금호세계교육관610호	학술세션 A-7	교통수요 추정 및 교통계획
	금호세계교육관612호	학술세션 A-8	공유 마이크로모빌리티
	금호세계교육관107-1	학술세션 A-9	자율주행 시나리오 및 안전성 평가
	금호세계교육관107-2	학술세션 A-10	AI 기반 교통안전 및 영상분석

11:00-11:10	Coffee Break

	발표장	세션	기관명	세션 주제
11:10-12:40	금호세계교육관505호	특별세션 C-1	한국교통연구원-2	AI 고도화 등 미래 교통환경 변화에 대응한 민자도로 운영·투자 제도 개선
	금호세계교육관501호	특별세션 C-2	(주)아이비스	온디바이스 AI 컴퓨팅 기반 AI 융합형 모빌리티 디바이스 기술 개발 및 실증
	금호세계교육관503호	특별세션 C-3	한국해양대학교	무인 고속정 군집 추정 기술 연구 성과 공유 및 실증 적용 방안 논의
	금호세계교육관507호	특별세션 C-4	한국교통대학교	Lv4+ 협력자율주행 인프라 edge RSU 개발 및 실증
	금호세계교육관107-1	특별세션 C-5	한국과학기술원	충남 모빌리티 현안해결 및 발전 방향
	금호세계교육관506호	학술세션 B-1		ITS 교통정보 수집 및 도로 인프라
	금호세계교육관603호	학술세션 B-2		LLM·생성 AI 기반 통행행태 모사
	금호세계교육관610호	학술세션 B-3		대중교통 서비스 및 운영
	금호세계교육관612호	학술세션 B-4		MaaS·DRT 및 신모빌리티 서비스
	금호세계교육관401호	Doctoral Colloquium		

12:40-13:30	중식

	발표장	세션	기관명	세션 주제
13:30-15:00	금호세계교육관401호	**초청발표**		국제 최우수 학술지 및 컨퍼런스 논문 PI 초청 발표(통신)
	금호세계교육관505호	학술세션 C-1		자율주행 운행·제어권 전환 및 제도
	금호세계교육관501호	학술세션 C-2		자율주행 경로 최적화 및 주차
	금호세계교육관503호	학술세션 C-3		교통 디지털 트윈 및 시뮬레이션 플랫폼
	금호세계교육관507호	학술세션 C-4		교통안전 정책 및 운전자 행태
	금호세계교육관506호	학술세션 C-5		공간 데이터 분석과 통행행태
	금호세계교육관603호	학술세션 C-6		물류·공급망 및 교통에너지
	금호세계교육관610호	학술세션 C-7		드론 융합기술 및 재난 대응
	금호세계교육관612호	학술세션 C-8		도로·교통시설 안전성 평가
	금호세계교육관107-1	**학부생 논문 경진대회**		학부생 논문 경진대회 수상자 발표
	금호세계교육관107-2	특별세션 D-1	한국교통대학교	Physical AI 응용 세션

11월 14일(토)

9:30-11:50	학회 워크샵 및 세미나

12:00-13:30	중식

PROGRAM

특별 Session Ⅰ 12일 13:30–15:00

특별 Session A-1 차세대융합기술연구원 발표장 : 금호세계교육관 505호

주제 : 자율주행시대 고위험 사고 인자 · 위험 상황 예측 및 단속기술 개발

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	자율주행시대 고위험 사고 인자 · 위험 상황 예측 및 단속기술 개발	차세대융합기술연구원	김형주
2	자율주행차량 혼재 시 고위험 예측 모델 개발	한국교통연구원	이승봉
3	자율주행 시대 주요 교통법규 위반 항목 선정 및 단속기준 고도화 연구	한국도로교통공단	이재명
좌장	박신형(서울시립대학교)		
토론	송태진(충북대학교), 장기훈(한국지능형교통체계협회), 가동주(한국도로공사), 고주연((주)유신)		

특별 Session A-2 ㈜하이스트시스템매틱스 발표장 : 금호세계교육관 501호

주제 : 운전자 인적오류 대응을 위한 사고예방 및 안전기술

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	페달 오조작 사고 예방을 위한 제도 현황 및 R&D 기반 고도화 방향	자동차안전연구원	손성호
2	전동화 차량 구동 특성 기반 가속페달 오조작 사고 유형 예측 및 안전 기능 요구사항 도출	KG모빌리티	안석종
3	실사고 정보 기반 UN R175 ACPE 정지 · 크립 상태 작동조건 적합성 검증	자동차안전연구원	강희진
4	페달 오조작 이후 운전자 반응 특성 분석 및 페달 조작 유형 분류	하이스트시스템매틱스	김승운
좌장	오철(한양대학교)		
토론	김정화(경기대학교), 양삼규(한양대학교), 허낙원(한국도로교통공단), 김선정(플로우제온)		

특별 Session A-3 자율주행기술개발혁신사업단 발표장 : 금호세계교육관 503호

주제 : 자율주행기술개발혁신사업 성과 발표

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	자율주행 혼재시 도로교통 통합관제시스템 및 운영 기술 개발	ITS Korea	손승녀
2	협력적 교통제어전략 도입을 위한 교통정보 음영구간 정보생성 및 운영관리 기술개발	한국전자기술연구원	정성환
3	자율주행자동차 교통사고 조사 · 분석기술 개발을 위한 교통사고 재현 S/W 개발	(유)삼송	김천호
좌장	이창훈(자율주행기술개발혁신사업단)		
토론	윤일수(아주대학교), 김종형(인천연구원), 박제진(전남대학교)		

특별 Session A-4 한국도로교통공단 발표장 : 금호세계교육관 507호

주제 : 고위험운전자 운전능력진단 및 관리제도 개선방안

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	실차 기반 운전능력진단 시범운영 결과와 제도화 방안	한국도로교통공단	정미경
2	주행데이터 기반 AI 운전능력평가기술과 교통안전 분야 활용	㈜쓰리세컨즈	김재우
좌장	류준범(한국도로교통공단)		
토론	오주석(전남대학교), 권오훈(계명대학교), 윤규근(서울대학교), 최성택(한양대학교), 강민석(경찰청)		

특별 Session A-5 한국건설기술연구원 발표장 : 금호세계교육관 506호

주제 : 자율주행 리빙랩 운영평가 방안

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
좌장	변상철(한국건설기술연구원)		
토론	김창현(세종특별시), 김경범(제주특별자치도), 김재석(동강대학교), 박만복(한국교통대학교), 정의용(엔제로)		

특별 Session A-6 ㈜모빌테크 발표장 : 금호세계교육관 603호

주제 : Physical AI기반 자율주행 및 시뮬레이션 검증 기술

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	Physical AI 기반 자율주행 구현에 필요한 센서 융합 및 시뮬레이션 기술동향	㈜모빌테크	김재승
2	Physical AI의 신뢰성 확보를 위한 시뮬레이션 기반 검증 기술	㈜모라이	정지원
3	Physical AI 기반 비정형 화물 자율상하차 기술개발	㈜휴데이터스	신진수

특별 Session A-7 (Closed Session) ㈜아이티텔레콤 발표장 : 금호세계교육관 610호

주제 : 레벨4 자율 주행 차량의 인지 증강, 주변 정보 융합 기반 협력 제어 기술 개발 현황

특별 Session A-8 (Closed Session) 명지대학교 발표장 : 금호세계교육관 612호

주제 : 자율차-일반차 혼재상황 대비 AI기반 자율주행모빌리티 운영 플랫폼 개발

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	리빙랩 도시 대상 자율주행모빌리티센터 플랫폼 인프라 운영	아이티센클로잇	양희수
2	자율주행모빌리티센터 기본 운영 플랫폼 운영 및 연계 지원	엠큐닉	강승용
3	AI 활용한 EdgeRSU 데이터 분석/처리 모듈 개발	테슬라시스템	안웅
4	자율차-일반차 혼재상황 대비 교통운영 모듈 개발	블루시그널	윤인재
5	음영지역 V2N 가이던스 정보제공 기술 개발	에티포스	김상윤
6	AI 자능학습 및 지능 SW 플랫폼 확장 모듈 개발	한국전자통신연구원	이정우
7	자율주행모빌리티센터 플랫폼 운영평가	명지대학교	하혜종
좌장	손영태(명지대학교)		
토론	서종우(아이티센클로잇), 추연호(테슬라시스템), 김주완(한국전자통신연구원), 전진숙(명지대학교)		

특별 Session A-9 한국철도기술연구원 발표장 : 금호세계교육관 107-1

주제 : 기술을 넘어 현장으로: 워킹쓰루 교통결제와 미래 요금체계

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	워킹쓰루 교통결제시스템, 무엇이 바뀌어야 하는가?	한국철도기술연구원	유소영
2	무선신호-비전 융합 기반 무임승차 검지 기술 현장 테스트 시나리오	한국철도기술연구원	하정목
좌장	유소영(한국철도기술연구원)		
토론	박준식(한국교통연구원), 민재홍(한국철도기술연구원), 이주학(㈜티머니), 경교현(㈜에스트래픽)		

특별 Session A-10 한국도로공사

발표장 : 금호세계교육관 107-2

주제 : 자율주행 지원 및 국민 참여형 교통안전 이음서비스 제공

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	국민참여형 교통안전 이음서비스	한국도로공사	조경아
2	도로 인프라 기반 자율주행 지원서비스 개발 및 실증	롯데이노베이트	채희철
3	GNSS 음영구간 LTE-V2X 통신성능 연구	웨이티즈	정홍종

초청발표

발표장 : 금호세계교육관 401호

주제 : 국제 최우수 학술지 및 컨퍼런스 논문 PI 초청 발표(교통)

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	Enhanced Recursive Logit Modeling for Intermodal Travel by Integrating Path-Level Attributes: A Data- Enriched Application Using Smartcard (Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review)	한양대학교	문세동
2	Navigating public transport satisfaction: Regional disparities and policy implications (Transport Policy)	한양대학교	조항훈
3	Assessing how ride-hailing rebalancing strategies improve the resilience of multi-modal transportation systems (Transportation Research Part C: Emerging Technologies)	고려대학교	이은탁
4	Infrastructure-led urban development does not have to come at the expense of environmental sustainability: Evidence from South Korea (Cities)	국립공주대학교	최민제

지자체 Session

발표장 : 컨벤션홀A

주제 : 지자체 ITS의 역할과 발전 방향

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	지속가능한 ITS산업생태 조성방안	아주대학교	윤일수
2	5극 3특 시대의 광역교통정보센터의 역할과 기능	한국지능형교통체계협회	이주일
3	제주시 교통정보센터의 현황과 발전방안	제주시 교통정보센터	오광조
좌장	김형수(한국건설기술연구원)		
토론	윤정호(안양시), 탁세현(한국교통연구원), 정홍종(한국C-ITS산업협의체)		

특별 Session Ⅱ 12일 15:10-16:40

특별 Session B-1 한국도로교통공단

발표장 : 금호세계교육관 505호

주제 : 원격운전 기반 차량공유 서비스의 실증, 안전성 확보 및 제도화 방향

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	판교 원격운전 실증 추진방향 및 안전성 평가	차세대융합기술연구원	김형주
2	판교 원격운전 기반 기업형 카셰어링 시범사업 추진현황	기아	권순우
3	원격운전의 국내 · 외 동향과 법 · 제도 개선방향	한국도로교통공단	심태일
좌장	윤진수(한국도로교통공단)		
토론	남백(LGU+), 박호철(서울시립대학교), 탁세현(한국교통연구원), 김은영(한국도로교통공단)		

특별 Session B-2 한국건설기술연구원

발표장 : 금호세계교육관 501호

주제 : 안전하고 편리한 지하도로 최적 시환경 확보 기술 개발

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	조도 조건 변화에 따른 동공순응 특성 분석	한국건설기술연구원	박기수
2	Underground Refresh Light 디자인 사례 연구 및 VR 구현	포럼에이트코리아	김도훈
3	장대터널 및 지하고속도로용 조명 설계 동향 및 제품 적용 사례	한국광기술원	송상빈
4	3in1 조명 설계 및 개발	㈜래도	신승철
좌장	오철(한양대학교)		
토론	김동규(서울대학교), 박제진(전남대학교), 김정화(경기대학교), 박순용(서울연구원)		

특별 Session B-3 한국도로교통공단

발표장 : 금호세계교육관 503호

주제 : 경찰청 소관 연구개발과제 성과 공유

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	Lv.4 대응 교통안전 인프라 표준 및 평가기술 개발	한국도로교통공단	한음
2	Lv.4 자율협력주행 대응 교통객체 인지고도화 및 악조건 해소기술 개발	한국건설기술연구원	박원일
3	실시간 교통안전시설 운용을 위한 인프라 정보 융합 및 관리 기술 개발	한국자동차연구원	이용기
좌장	이창훈(자율주행기술개발혁신사업단)		
토론	남두희(한성대학교), 김원철(충남연구원), 박신형(서울시립대학교)		

특별 Session B-4 한국도로교통공단

발표장 : 금호세계교육관 507호

주제 : 교통안전연구 우수논문 소개

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	초소형 전기차 공유서비스의 소비자 가격 수용성 분석: 이용 의향에 따른 지불의사와 가격민감도 비교	한남대학교	김가경
2	특별교통수단 공급 격차와 이용패턴의 불일치: 서울시 장애인 콜택시를 중심으로 본 운영개선 과제	강남대학교	최형민
좌장	한상진(서울대학교)		
토론	김회경(동아대학교), 심지섭(한남대학교), 홍정열(계명대학교)		

특별 Session B-5 (Closed Session) 한국교통연구원

발표장 : 금호세계교육관 506호

주제 : 자율주행차 선박자동하역 기술 고도화 및 해상 수출입 서비스 개발 노력

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	자율주행차 선적 터미널 운영 체계 구축	엘케이시스(주)	이휘원
2	AI 기반 자율주행차 하역계획 최적화 기술 개발	현대글로비스(주)	전지원
3	자율주행차 하역작업 스마트 모니터링 기술 개발	㈜맵퍼스	임건택

특별 Session B-6 한국전자기술연구원

발표장 : 금호세계교육관 603호

주제 : 2차 추돌사고 예방을 위한 전방사고 알림 가로등 시스템 개발 및 실증

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	2차 추돌사고 예방을 위한 전방사고 알림 가로등 시스템 개발 및 실증	한국전자기술연구원	장수현
2	이기종 V2X를 이용한 seamless 협력주행 서비스	한국전자기술연구원	신대교
3	V2N2X 기반 2차 사고 예방 서비스 및 이기종 개체 간 보안 인증 기술	새솔테크	강주영
4	2차 사고 예방을 위한 시나리오 개발 및 실증	가천대학교	안세영
5	모듈형 엣지 AI 플랫폼 기반 교통안전정보 표출 서비스 기술	알트레이	최성현
6	2차 사고예방을 위한 지능형 가로등 경고 시스템 개발 및 실증	한국도로공사	김해
7	도로교통 인프라 모니터링 및 활용 기술 개발	한국도로공사	남병길
좌장	장수현(한국전자기술연구원)		

특별 Session B-7 동강대학교

발표장 : 금호세계교육관 610호

주제 : AI 기반 멀티모달(multi-modal) 통합 제어 및 커넥티드 서비스 기술

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	중증 신체장애인의 자가운전 한계 극복을 위한 통합제어 및 커넥티드 시스템	(주)에프엘씨	허현
2	AI 기반 multi-modal 통합 제어 및 커넥티드 서비스 기술 (사용자 의도에서 안전한 편의제어까지)	동강대학교	김재석
좌장	박만복(한국교통대학교)		
토론	이상수(아주대학교), 강경표(한국교통연구원), 변상철(한국건설기술연구원)		

특별 Session B-8 (Closed Session) 한국교통연구원

발표장 : 금호세계교육관 612호

주제 : 국가균형성장을 위한 초광역교통 추진 방향

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	초광역교통체계 구축을 위한 법제도 개선 방안	한국교통연구원	정동우
좌장	박준식(한국교통연구원)		
토론	권오훈(계명대학교), 배범준(부산대학교), 손상훈(제주연구원), 최성택(한양대학교)		

특별 Session B-9 한국교통안전공단

발표장 : 금호세계교육관 401호

주제 : 사람 중심의 미래교통 실현을 위한 기술 혁신

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	실차 체험코스 기반 운수종사자 운전기능 진단을 통한 운행지원 및 교육 기초연구	자격교육처	황원태
2	국내공항 비행절차 국제표준 일원화 및 설계기준 선제적 도입방안 연구	항공안전처	윤성혁
3	첨단안전장치 기반 페달오조작 방지 체험교육 도입 및 효과분석	상주체험교육센터	최창현
4	페달오조작 방지장치의 작동 및 비작동 조건 검토를 위한 실차 실증 연구	상주체험교육센터	방경동
좌장	이진수(한국교통안전공단 모빌리티연구처 처장)		
토론	박신형(서울시립대학교), 손상훈(제주연구원), 김명현(한국교통연구원)		

특별 Session B-10 한국교통연구원

발표장 : 금호세계교육관 107-1

주제 : KTDB 여객 교통수요 분석 고도화

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	2026년 전국 여객통행실태조사 기반 O/D 구축 개선 방향	한국교통연구원	김동호
2	여객 교통수요 모형 고도화 방안	한양대학교	최성택

특별 Session B-11 한국교통연구원

발표장 : 금호세계교육관 107-2

주제 : 무공해 상용차 보급 및 역할 확대를 위한 현황 진단 및 개선방안 도출

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	전기자동차 보조금 제도 현황 및 업계 동향	한국생산성본부	허세진
2	수소 모빌리티 국내외 동향 및 전문가조사를 통한 정책적 시사점	(주)모빌인텍	홍지연
3	수소 상용 모빌리티(버스,화물차) 환경성 및 경제성 분석 결과 및 시사점	한국교통연구원	김용미
토론	박지영(한국교통연구원), 이권용(제주버스조합)		

특별 Session Ⅲ 13일 11:10–12:40

특별 Session C-1 한국교통연구원

발표장 : 금호세계교육관 505호

주제 : AI 고도화 등 미래 교통환경 변화에 대응한 민자도로 운영 · 투자 제도 개선

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	운영 중 민자도로 사업의 탄력적 투자 운영 방안 연구	한국교통연구원	조윤지
2	민자도로 운영 내실화를 위한 제도개선 방안 연구	한국교통연구원	송용욱
좌장	박지형(한국교통연구원)		
토론	배범준(부산대학교), 윤재용(한국도로협회), 이재용(한국교통연구원), 황창용(원광대학교)		

특별 Session C-2 ㈜아이비스

발표장 : 금호세계교육관 501호

주제 : 온디바이스 AI 컴퓨팅 기반 AI 융합형 모빌리티 디바이스 기술 개발 및 실증

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	온디바이스 AI 기반 차량 CID 애플리케이션 개발	㈜아이비스	이윤희
2	온디바이스 sLLM 기반 주행 지원과 운전자 모니터링을 통합한 차량 인포테인먼트 시스템 구현	한양대학교	김건태
3	온디바이스 환경을 위한 차량 인포테인먼트 도메인 특화 소형 언어모델 개발	한양대학교	김건태
4	광학적 특성 기반 합성 안개 데이터 생성 및 자율주행 차량용 디헤이징 모델의 실험적 분석	서울대학교	최준원
좌장	박만복(한국교통대학교)		
토론	강창묵(한양대학교)		

특별 Session C-3 한국해양대학교

발표장 : 금호세계교육관 503호

주제 : 무인 고속정 군집 추정 기술 연구 성과 공유 및 실증 적용 방안 논의

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	선박 · UAV · 모노콥터 복합 운용 기반 무인 고속정 군집 추정 검증용 해상 시뮬레이터 구축	국립한국해양대학교	박시은
2	360도 파노라마 뷰 카메라 감시를 위한 영상 정합 방법에 관한 연구	국립한국해양대학교	배주원
3	Unity 기반 레이다-카메라 융합을 이용한 다중 무인수상정 추적 및 군집 기동 판별	국립한국해양대학교	양민석
좌장	성주현(국립한국해양대학교)		
토론	이혜원(국립한국해양대학교)		

특별 Session C-4 한국교통대학교

발표장 : 금호세계교육관 507호

주제 : Lv4+ 협력자율주행 인프라 edge RSU 개발 및 실증

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	Lv4+ 협력자율주행 인프라 edge RSU 개발 현황	한국교통대학교	송석일
2	Lv4+ 협력자율주행 인프라 edge RSU 실증 현황	싸인텔레콤	조익현
3	타 과제와의 협력 방안 논의 및 토론	한국교통대학교	문철

특별 Session C-5 한국과학기술원

발표장 : 금호세계교육관 107-1호

주제 : 충남 모빌리티 현안해결 및 발전 방향

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	모바일데이터를 활용한 내포신도시의 시공간 통행패턴 분석 및 OD 통행수요 추정 · 검증 연구	한국과학기술원	최재혁
2	자율주행 PVD 기반 제어권 전환 원인 분석	한국과학기술원	배문기
3	모빌리티 고도화 및 안심구역 활용 분석	LG유플러스	이종수

Doctoral Colloquium

발표장 : 금호세계교육관 401호

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	주행시험장 기반 자율주행자동차 안전성 평가 모형 개발	아주대학교	김인영
2	차선 집합 인식 및 M2M 지식 계승을 통한 End-to-End 자율주행 프레임워크	한화에어로스페이스	김소영
3	화물운송에서 철도 수단분담에 대한 미시 · 거시 분석: 운송사 규모를 중심으로	서울시립대학교	장진원
4	Robust 3D Inertial Odometry Framework with Cross-Attention Fusion of Heterogeneous Inertial Streams	한국해양대학교	서홍일
좌장	조신형(홍익대학교)		

특별 SessionⅣ 13일 13:30–15:00

특별 Session D-1 한국교통대학교 발표장 : 금호세계교육관 107-2

주제 : Physical AI 응용 세션

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	자율주행 파운데이션 모델 발전 현황	서울대학교	최준원
2	E2E 자율주행의 엣지 케이스 대응을 위한 시뮬레이션 검증 아키텍처	한양대학교	조기춘
3	인지 확장 및 협력자율주행을 위한 인프라 센싱 시스템 알고리즘 개발 현황	한국교통대학교	박만복
좌장	박만복(한국교통대학교)		

초청발표 발표장 : 금호세계교육관 401호

주제 : 국제 최우수 학술지 및 컨퍼런스 논문 PI 초청 발표(통신)

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	Self-Improving Autonomous Vehicles via Real-World Reinforcement Learning	아주대학교	이상현
2	SyNeT: Synthetic Negatives for Traversability Learning	인하대학교	심인욱
3	Optimizing Look-Ahead Distance for Vehicle Lateral Control: A ControllerAdaptive Approach	국립부경대학교	최우영
4	Extremum Seeking-Based Braking Friction Force Maximization Algorithm Using Fuzzy Logic Without Slip Ratio for ABSs	국립인천대학교	유세선
좌장	강창묵(한양대학교)		

학술발표 Session Ⅰ 13일 09:30–11:00

SESSION A-1 자율주행 인지 · 데이터 검증 발표장 : 금호세계교육관505호

좌장 : 강원평(한국지능형교통체계협회)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	악천후 합성 이미지의 인지 오류 재현성 분석: 클래스별 성능 변화와 오분류 양상 비교	김소희, 홍택수, 임서현, 권장우
2	센서 구성 및 주행 환경 변화에 따른 다중 Camera 3D 객체 검출 모델의 학습 전략 분석	장원태, 손재호, 원종훈
3	학습 기반 Edge Case 자동 판정 및 데이터 선별을 통한 자율주행 폐루프 재학습 · 검증 프레임워크	최재원, 박성준, 원종훈
4	RegDiffFormer: 다변량 주행 시계열 차이 학습을 통한 자율주행 소프트웨어 회귀 진단	김예린, 윤서연, 원종훈
5	KITTI 객체 탐지 난이도 기준의 임계값 타당성 분석	전혜림, 김민준, 나은교, 신채은, 강창묵
6	메시지 브로커 기반 주행 데이터 로깅 · 재현과 분석 에이전트를 활용한 주행 분석 환경 구축	김희철, 전재석, 박현배

SESSION A-2 자율주행차 혼합교통류 제어 및 운영

발표장 : 금호세계교육관501호

좌장 : 장진원(서울시립대학교)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	혼합교통류 자율주행차 종방향 제어를 위한 인지압력 기반 풍선 모델	이은호, 여지호, 소재현
2	상충영역 기반 PET를 통한 자율주행차 교차로 통과 가이던스	이진철, 이재관, 김형수, 양인철, 이준형
3	시스템 최적과 이용자 균형 간 상충관계의 재고찰: 커넥티드 자율주행차와 적응형 교통신호제어의 역할	김도현, 변지혜, 이승현
4	혼입률 · 주행행태 · 인터체인지 간격에 따른 자율주행 전용차로 운영전략의 성립 조건	백성채, 박제진
5	자율주행 행태 분석 기반 교통사고 빈도 예측에 관한 연구	김민경, 조창현, 오철
6	자율주행 로봇과 보행자 혼재에 따른 보행로 조건별 용량 변화 시뮬레이션 분석	김도형, 최지혜, 최진, 정훈, 김정화

SESSION A-3 교통단속 효과분석 및 운전자 수용성

발표장 : 금호세계교육관503호

좌장 : 박현수(서울시립대학교)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	전국 광역별 교통단속장비·교통안전데이터 구축 및 설치 효과분석	이근재, 박병철, 정도영, 양승재
2	도심부 구간과속단속시스템 운영에 따른 교통사고 감소 효과분석	윤춘식, 김상구
3	대구광역시 무인단속 카메라 설치 전 · 후 교통량과 사고심각도 변화 분석	오지혜, 신동엽, 손민찬, 하영철, 도우석
4	어린이보호구역 무인교통단속장비에 대한 운전자 인식 비교 및 가변속도제한(VSL) 도입 필요성 연구 : 구) 광주광역시를 중심으로	윤춘식, 김상구
5	지능형 단속 확대에 따른 적정 교통범칙금 수준과 운전자 수용도 분석	김수빈, 정연식

SESSION A-4 교통사고 심각도 및 위험 예측

발표장 : 금호세계교육관507호

좌장 : 이경재(홍익대학교)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	머신러닝을 활용한 저속 추돌사고 탑승자 상해 예측 모형 개발	박기정, 정동훈
2	AI 기반 고속도로 터널사고 심각도 예측 프레임워크 개발	김종진, 정연식
3	잠재 사고유형별 사고 심각도와 안전개입 가능성을 통합한 고속도로 교통안전 우선순위 분석	박준호, 홍정열
4	베이지안 공간 추론을 활용한 연령대별 교통사고 잠재 위험 지역 식별	이강엽, 이성준, 김호재, 박준영
5	고도화된 주행위험장 기반의 신호교차로 사고위험 식별연구	박누리, 이송하, 박준영, 이조영

SESSION A-5 신호제어 및 교통류 운영

발표장 : 금호세계교육관506호

좌장 : 양삼규(한양대학교 ERICA)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	연속 신호 교차로 구간에서 불완전 궤적 데이터 기반 제어 지체 추정을 통한 비선형 현시 기반 신호 최적화 방법론 개발	최솔, 이승현
2	교차로 간 연동을 위한 계층적 적응형 신호제어 프레임워크 개발	홍슬빈, 변지혜, 이승현
3	주행궤적 데이터 기반 도시네트워크 대기행렬 추정및 동적 구획 최적화	남혁주, 변지혜, 이승현
4	공간적 이질성에 따른 도시부 네트워크 MFD 혼잡 형성 · 회복 특성 분석	강민욱, 강민지, 박신형
5	차로감소 병목의 합류 상호작용을 고려한 미시 교통류 생성모델	백경선, 천경훈, 정희영, 가동호, 노병준
6	교통류 안정성 개선을 위한 강화학습 기반 다차로 가변 속도 제한 제어 모델 평가	강가원, 박준영, 오철

SESSION A-6 대중교통 빅데이터 및 수요 분석

발표장 : 금호세계교육관603호

좌장 : 변지혜(서울시립대학교)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	대규모 행사 시 도시철도 무정차 통과에 따른 수요 전이 분석	서민서, 박동주
2	경인선 급행열차의 정차 패턴 최적화:스마트카드 OD와 시간 확장 네트워크를 중심으로	고건우, 최성택
3	교통카드 자료를 이용한 최적전략 통행배정의 경로선택 오차 분석: 서울 지하철 9호선 급행 · 일반 병행 구간을 중심으로	전재현, 문세동
4	기후동행카드가 지하철 역별 수요에 미친 영향–합성이중차분법을 적용하여	배현서, 고건우, 김준구, 최성택
5	예매 데이터를 활용한 고속철도 초과수요의 고속버스 전이 패턴 분석	심재윤, 김희조, 박동주
6	버스에서 지하철 환승객의 하차 정류장 선택 : 교통카드 하차 태그 보정과 장소 · 사람 · 상황별 요인 분석	서영운, 양윤철, 허창준, 고건우, 최성택

SESSION A-7 교통수요 추정 및 교통계획

발표장 : 금호세계교육관610호

좌장 : 이은학(경일대학교)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	AI를 활용한 Traffic Assignment 및 Calibration 모형 개발	우왕희, 황준문
2	대중교통 교통수요예측 정산과정의 자동화 방안 연구: 국내 사례 적용을 중심으로	양윤철, 허창준, 김준구, 최성택
3	건물명 텍스트 유사도를 활용한 교통분석 존체계 세분화 방안 연구	권은서, 최성택
4	반복비례적합법을 활용한 소지역 단위의 소득분포 추정	손민찬, 방태원, 권오훈, 도우석
5	대도시권 광역교통개선대책 효과척도(MOE) 개선 연구	홍석훈, 방태원, 박상우, 도우석
6	공공기관 차량부제 시행 전후 교통수요 변화 분석 — 대전시 공공기관 밀집 지역을 중심으로	이용선, 이창희, 안수연, 노병준

SESSION A-8 공유 마이크로모빌리티

발표장 : 금호세계교육관612호

좌장 : 최성택(한양대학교)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	시간대별 이동시간 변화를 고려한 다중 차량 동적 공공자전거 재배치 문제: 서울시 사례연구	김용희, 정봉주
2	시공간 토픽모델을 활용한 공공자전거 잠재 이용목적 추론 및 이용권 선택과의 관계 분석	최민영, 이승현, 변지혜
3	공유자전거 네트워크 유형에 따른 경로 특성과 이동 효율성의 관계 분석	김건민, 이승현, 변지혜
4	카카오 T 바이크는 기존 교통수단을 대체하는가, 보완하는가? 버스 및 택시 이용량에 대한 인과효과 분석	김자수, 이규성, 김의진
5	생애사건은 공유 마이크로모빌리티 선택과 관련이 있는가? 일본 성인의 행태적 이질성에 관한 실증분석	Mahdi Khorasani, Sunbin Yoo
6	지속가능한 도시물류를 위한 공유자전거 통행데이터 기반 Crowdshipping 잠재력 분석	이중권, 민석원, 박동주

SESSION A-9 자율주행 시나리오 및 안전성 평가

발표장 : 금호세계교육관107-1

좌장 : 김형주(차세대융합기술연구원)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	ISO 34504 태그 체계의 PEGASUS 기반 시나리오 적용성 검토:국책과제-16 상황 시나리오 사례를 중심으로	강승모, 고우리, 김인영, 윤일수
2	운행 단계 공통 자율주행차 대표 운행 시나리오 도출	박찬영, 백성채, 박제진
3	V2X 통신 기반 자율주행 모빌리티 플랫폼의 주행 안전성 판단 시스템 설계	한종혁, 권성진
4	판타G버스 센서 데이터 기반 자율주행차 주행위험도 정량화 및 안전성 점수화 모델 개발	김호선, 강용신, 김형주
5	AHP와 미시교통시뮬레이션을 활용한 자율협력주행 교통안전시설 정보 제어 시나리오 안전성 평가	장기훈, 한재석
6	교통 시뮬레이션 기반 교통류 위험수준 분류 및 특성 분석	도승일, 강민지, 박신형

SESSION A-10 AI 기반 교통안전 및 영상분석

발표장 : 금호세계교육관107-2

좌장 : 고하영(한국지능형교통체계협회)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	멀티모달 파인튜닝을 활용한 교통안전 분야 특화 언어모형 개발 방법론 제시	풍태현, 김민성, 문시현, 이경진, 이영택, 윤일수
2	MLLM 기반 교통사고 분석을 위한 데이터셋 구축 및 국내 특화 라벨링 체계 제시	정성훈, 도승일, 박신형
3	AI를 활용한 교차로 시각 복잡도 정량화와 교통사고 발생 간 관계 분석	차정은, 김회경
4	교통 맥락을 반영한 CCTV 내 보행자 재식별 모델	안소연, 이지오, 오시몬
5	횡단 의도에 기반한 보행자의 궤적 예측	유성민, 이은호, 여지호, 소재현
6	동적 트리거 기반 도로 CCTV 돌발상황 분석 시스템의 현장 적용	최성수, 박일하, 이강혁, 이지연, 이형준, 김채원, 강용신

학술발표 Session Ⅱ 13일 11:10–12:40

SESSION B-1 ITS 교통정보 수집 및 도로 인프라

발표장 : 금호세계교육관506호

좌장 : 장기훈(한국지능형교통체계협회)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	차량 재인식 기술을 활용한 교통정보 수집 알고리즘 적용에 관한 연구	박종성, 박재훈, 임필섭
2	교통신호제어기를 활용한 보조장치 상태정보 송 · 수신 방안– 바닥형 보행신호등을 중심으로 –	이민형, 안휘근, 석승호
3	단일 PTZ 카메라 순차 관측에 따른 주기적 교통량 결측의 데이터 기반 복원 가능성 평가	최문영, 소재현
4	실시간 차선별 교통수요 대응형 신호 서비스 구현 방안 연구	장준혁, 김기주, 하상욱, 현상엽
5	도로 노면 이미지를 활용한 딥러닝 모델 기반 포트홀 검지 성능 비교	이창호, 이상현, 정한솔, 김민성, 풍태현, 강승모, 윤일수
6	희소 지도학습 환경에서의 AI 기반 도시부 간선도로 네트워크 교통량 추정	양삼규, Mohamed Abdel–Aty, 강가원, 박누리, 박준영, 주양준

SESSION B-2 LLM · 생성 AI 기반 통행행태 모사

발표장 : 금호세계교육관603호

좌장 : 최민제(국립공주대학교)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	LLM 기반 AI 페르소나를 활용한 MaaS 진술선호(SP) 조사 응답 재현성 평가	허창준, 서영운, 조항훈, 최성택
2	응답자 정보 제공 수준에 따른 LLM의 경로선택 재현성 분석 – 동적 도로요금제 선택 실험을 중심으로 –	김민준, 이승현, 변지혜
3	잠재변수를 결합한 거대언어모형 기반 활동 스케줄 생성 방법	김민우, 김의진
4	인구 특성에 부합하는 활동 스케줄 생성을 위한 생성기 인지형 판별 분류 기법	이희창, 김동규
5	원본 데이터 희소성을 고려한 모빌리티 재현데이터의 안전성 평가	이규성, 임승유, 원민수, 김의진
6	교통부문 리빙랩에서 AI–Agent의 설득력과 언어적 특성 분석	황보현, 조성수

SESSION B-3 대중교통 서비스 및 운영

발표장 : 금호세계교육관610호

좌장 : 윤규근(서울대학교)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	운영 데이터 기반 시뮬레이션을 활용한 정류장 운영 개입 기준 도출: 승객 대기행렬의 운영 · 공간 임계 분석	이승희, 이용주, 여지호, 소재현
2	에스컬레이터 접근구간의 혼잡 특성과 보행자 진입 선택행동을 반영한 환승통로 VDF 개발	최지혜, 이찬우, 김정화
3	스마트카드를 활용한 트립체인 기반 교통약자 대중교통 통행시간 격차와 환승 부담 분석	민준식, 박신형
4	교통약자를 고려한 버스정보안내단말기(BIT) 설치지점 선정 평가체계 개발:머신러닝과 SHAP 기반 가중치 산정을 중심으로	김민태, 최호경, 김용만
5	국가 통합대중교통 요금체계 구축방안 연구	전용현, 박호철
6	대도시권 버스파업이 대체 수단에 미치는 영향과 공간적 이질성 : 2024 서울 시내버스 파업을 중심으로	김준구, 고건우, 최성택

SESSION B-4 MaaS · DRT 및 신모빌리티 서비스

발표장 : 금호세계교육관612호

좌장 : 김정화(경기대학교)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	사용자 경험(UX) 극대화를 위한 MaaS 잠재수요 특성 기반의 서비스 세분화 : 머신러닝과 구조방정식의 결합모델 적용	김성아, 허창준, 최성택
2	MaaS 기반 도시철도–공유형 자율주행차 연계 서비스를 위한 통행계획 및 운영 프레임워크 연구	김태성, 서연우, 김동규, 윤규근
3	화성시 · 양주시 DRT 이용에 영향을 미치는 요인의 입지 조건별 이질성 분석: Model-Based Recursive Partitioning을 활용하여	김지우, 김수재
4	동적 수요응답형 교통의 경로최적화 알고리즘을 평가하기 위한 한국형 벤치마크 생성에 대한 연구	정혜윤, 김성은, 윤지환, 이다원, 최성택
5	15분 도시의 실질적 구현을 위한 새로운 모빌리티 전략: 목적 기반 모빌리티(PBV) 플러그인 스테이션을 중심으로	정지효, 권민주, 임호선, 이정빈, 김동은, 이수현, 김은성, 김회경
6	공항 연계형 UAM 서비스 도입을 위한 버티포트 입지 · 수요 할당 · 기체 운영의 통합 최적화 모형	오수현, 김태성, 윤규근

학술발표 Session Ⅲ 13일 13:30–15:00

SESSION C-1 자율주행 운행 · 제어권 전환 및 제도

발표장 : 금호세계교육관505호

좌장 : 이은택(고려대학교)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	실도로 자율주행버스 운행데이터 기반 제어권 전환 예측 프레임워크 개발	방혜원, 김형주, 여지호, 이응주
2	멀티모달 VLM-LLM 기반 자율주행버스 고위험 제어권 전환(ToC) 시나리오 분석 프레임워크 개발	정은주, 김형주, 여지호, 임동현
3	실도로 데이터 기반 자율차 의사결정 지원 정보 분석 연구	지정훈, 오철
4	자율주행자동차 교통사고 재현 결과의 제공 범위 도출 연구	권진문, 김원기, 홍유표, 김천호
5	다국어 텍스트 분석을 통한 한국 자율주행 법제의 규율 공백 탐색	황인수, 김정화
6	부울경 지역 맞춤형 자율주행 서비스 중요도 분석– AHP 기반 전문가 조사를 중심으로 –	정지효, 이정빈, 정연탁, 김회경

SESSION C-2 자율주행 경로 최적화 및 주차

발표장 : 금호세계교육관501호

좌장 : 전재원(차세대융합기술연구원)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	다층 선박-터미널 이종 공간에서의 Ro-Ro 완성차 최적 경로 탐색 및 heuristic 효율성 검증	이상규, 김용훈, 신승진, 노홍승, 박동주
2	Ro-Ro 터미널-선박 통합 환경의 자율주행차 경로 최적화– 선행연구 및 방법론 고찰 –	김용훈, 이상규, 신승진, 노홍승, 박동주
3	주차 형식에 따른 인휠모터 차량의 토크벡터링 기반 자동 주차 제어기 설계	이재형, 권성진
4	사전 예약 및 긴급도 기반 실시간 요청 대응을 고려한 자율주행 이동형 충전 로봇의 경로 최적화	서문정, 이승현, 변지혜
5	자율주행차 시대 공영주차장 입지 최적화– 고정비용 시설입지모형을 활용한 서울시 강남구 사례 –	최연재, 소영웅, 황우석, 서민성, 최성택
6	자율주행 수요응답형 교통서비스의 동적 스케줄링을 위한 시뮬레이션 기반 최적화 알고리즘 개발	오동희, 박준영, 박누리, 탁세현, 김현서

SESSION C-3 교통 디지털 트윈 및 시뮬레이션 플랫폼

발표장 : 금호세계교육관503호

좌장 : 전용현(명지대학교)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	입체격자체계 기반 공간데이터큐브를 활용한 OpenDRIVE 자동 생성 방법 연구	박유진, 옥민찬, 윤재현, 김재승
2	다중 공간자료를 활용한 AI 보조 시뮬레이션 환경 구축과 시각적 충실도 개선	김연지, 김재승
3	교통 디지털 트윈을 위한 자연어 기반 SUMO 시뮬레이션 자동화	강승모, 김민성, 이영택, 이요셉, 윤일수
4	공개 공간정보와 교통 관측자료를 활용한 웹 기반 도시 및 교통 시각화 시스템 개발: 세종시 사례	권호규, 원민수
5	DRT형 승차공유 서비스 요금 차등화를 위한 이용자 지불의향(WTP) 추정 SP 설계 방법론	홍대현, 박현수, 박신형

SESSION C-4 교통안전 정책 및 운전자 행태

발표장 : 금호세계교육관507호

좌장 : 김성아(한양대학교)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	약물운전 규제 적정화 방안 연구	장선희, 류준범
2	사고 위험 구조와 운전자 수용성에 기반한 면허 갱신 연계 교통안전교육 도입방안	정민준, 권민정, 박제진
3	제1종 보통 · 제2종 보통면허 운전자의 법규위반 후 재위반 위험 및 소요시간 비교	송양빈, 김남선
4	사업용 여객자동차 업종별 위험운전 행태와 위험군 분석	박준호, 조종석
5	개정된 우회전 통행방법의 보행 교통안전 효과 및 운전자 준수 의도에 관한 분석 –개입시계열분석과 확장된 계획행동이론을 중심으로–	서윤정, 유초롱, 이환진, 김주영

SESSION C-5 공간 데이터 분석과 통행행태

발표장 : 금호세계교육관506호

좌장 : 김수재(성결대학교)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	머신러닝 기반 트램 접근성의 주택가격 기여도 분석 : 지하철 환승연계 수준을 중심으로	임성준, 조성수
2	지리가중 기계학습 알고리즘 개발 연구	민석원, 박동주
3	도시환경 특성이 지표면 온도 및 냉각효과에 미치는 비선형적 영향 분석 : 머신러닝을 활용하여	김재영, 이윤지, 이호준, 조성수
4	트립체인 데이터를 활용한 자가용 운전자의 내비게이션 의존도 영향요인 분석	박유진, 이경재, 구자헌, 김동현, 추상호
5	모바일 신호자료를 활용한 통행시간 이질성 분석	남상기, 정연식
6	택시운행트립체인 데이터를 활용한 목적지 지향형 승객탐색위치추천모형 개발	조형호, 홍정열

SESSION C-6 물류 · 공급망 및 교통에너지

발표장 : 금호세계교육관603호

좌장 : 조항훈(한양대학교)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	SNA 방법론을 활용한 농산물 공급망 리스크 분석	이인호, 이향숙
2	바이오 콜드체인 우선 도입 품목 선정 및 활성화 전략 연구	이인호, 윤경준, 이향숙
3	AHP를 활용한 동남아 바이오 콜드체인 시장 진출요인의 우선순위 분석	이희종, 이향숙
4	공간 데이터 기반 복합화물운송 거점 입지 선정 연구	손형근, 이건, 박소윤, 장진원, 김동희, 이인묵, 박동주
5	주행 중 무선충전 인프라의 입지 및 요금체계 최적화	김영환, 김동규
6	시뮬레이션 기반 차량 시장 점유율 변화에 따른 에너지 소비량 및 배출가스 비교 분석	배정연, 김상국, 오시몬

SESSION C-7 드론 융합기술 및 재난 대응

발표장 : 금호세계교육관610호

좌장 : 이창훈(자율주행기술개발혁신사업단)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	원양 선망어업을 위한 YOLO 및 초해상화 기반 UAV 영상 실시간 참치어군 탐지	홍운희, Ngot Pham, 박성운, 조형래
2	IALA G1194 및 S-201 표준 기반의 무인 드론 항로표지 점검 운용 개념(ConOps) 정립과 동적 메타데이터 확장 스키마 설계	박성운, 홍운희, 조형래, 이서정
3	산불 고립위험지역의 공간적 취약성을 고려한 드론 기반 긴급물자 수송거점 입지 분석	이상민, 홍정열
4	고속도로 연결로에 대한 선진 제설 제도 · 기술의 도입 타당성 평가 – 네트워크 분석 과정(ANP)의 적용을 중심으로 –	최세령, 오주석, 박제진
5	메타분석 기반의 자율주행차량 도시홍수 상황 운영 컨텍스트 생성 LLM 개발	박근휘, 박준영, 윤천주, 박재홍

SESSION C-8 도로 · 교통시설 안전성 평가

발표장 : 금호세계교육관612호

좌장 : 최철원(차세대융합기술연구원)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	고속도로 터널 내 차로변경 허용에 따른 교통사고 안전성 비교분석	정헌영, 고우리, 김인영, 김해, 윤일수
2	CGAN 기반 안전성능함수 대체 모형의 국내 일반국도 적용성에 관한 기초연구	김민성, 풍태현, 문시현, 김예진, 이요셉, 윤일수
3	기상 조건을 고려한 머신러닝 기반 회전교차로 임계간격 산출	송동석, 이동민
4	도시철도 에스컬레이터 안전성능함수 개발 및 위험도 평가: 음이항 회귀분석을 활용한 대구광역시 사례연구	강승원, 권오훈

학술발표 Poster Session 12일 ~ 13일

좌장 : 문세동(한양대학교 ERICA), 여지호(가천대학교)

분류	발표 주제	발표 및 제출자
자율주행 1	자율주행 E2E 데이터 구축 가이드라인 및 규격 정의	민경욱, 김진우, 오영민
자율주행 2	Cusp-Catastrope기반 Dilemma Zone 의사결정 모델	임관수, 남두희
자율주행 3	Ro-Ro 하역 자동화를 위한 이종 공간 연속 경로 탐색 비용함수 설계 및 민감도 분석	이상규, 김용훈, 신승진, 노홍승, 박동주
자율주행 4	자율주행차를 위한 차로 상호작용과 하류 교통상태 기반 고속도로 교통상황 분류 및 실증분석	이혜진, 유화평, 여화수
자율주행 5	실차 연계가 가능한 V2X 협력 인지 및 협력 주행 시뮬레이터 개발	김주영, 조용우, 이신경, 송유승
자율주행 6	재사용 가능한 운전자 행동 프로파일 기반 개인화된 종방향 행동 예측	김현수, 전수제, 여화수
자율주행 7	Model Predictive Control을 통한 Trajectory Planner	홍인준, 박만복
자율주행 8	멀미 평가를 위한 MSDV 기반 주행 시나리오 설계 및 ACC 추종 시뮬레이션 검증	나수현, 김건태, 배서연, 강창묵
자율주행 9	자율주행 해제율 학습추세의 분석 모형 민감도 분석: 사양 곡선을 이용한 신뢰성 평가 요인 탐색	홍석재, 강석중
자율주행 10	자율주행차 최소위험조작의 발동 요인 분류와 3종 조작 구현 및 원격지원 연계	조용우, 김주영, 민경욱
자율주행 11	악천후 환경에서 자율주행 및 자율협력주행에 대한 이용자 생체신호 반응 비교	최지윤, 이동민, 황순천
자율주행 12	자율주행 인공지능 모델 학습 모듈 구현	이정우, 김주완, 최정단
자율주행 13	Layer 기반 자율주행 고위험 시나리오의 구조화 및 실도로 실증 시나리오 도출	박수연, 임동현, 김형주
자율주행 14	LLM 기반 사고 서술문 분석을 활용한 자율주행차 사고심각도 영향요인 분석: 주행행태와 충돌 특성을 중심으로	나성은, 김형주, 전재원
자율주행 15	중국 표준의 연계구조에 기반한 레벨4 자율주행 시험설계와 평가근거 연구	고한검, 박소정
자율주행 16	자율주행 메타데이터 모델의 정합성 분석 및 개선방안	남상기, 정연식
자율주행 17	온톨로지 기반 이동체 ID 식별 및 궤적 정합 기술 설계	김종화, 이원상, 지소연, 정지원
자율주행 18	웹 기반 자율주행 가상시험 통합 플랫폼을 통한 시뮬레이션 검증 기반 구축	이원상, 한수정, 김종화, 정지원
자율주행 19	PEGASUS 6-Layer 모델 기반 OpenSCENARIO 시나리오 분류 체계 및 데이터베이스 구축	한수정, 문대영, 심준석, 정지원
자율주행 20	정밀지도 형상 경량화 수준에 따른 자율주행 경로 생성 성능 분석	안해주, 박만복
자율주행 21	시뮬레이션 툴체인의 정합성 검증을 위한 디지털 트윈 성숙도 연구	지소연, 이원상, 정지원, 김종화
자율주행 22	통신 제약 V2X 환경에서 VLA 자율주행 정책의 설명 신호 실측: 정보량과 전송비용	김범규, 권현
자율주행 23	제약 기반 조합 커버리지를 활용한 자율주행 롱테일 시나리오 생성 방법	염수지, 이경림, 김종화, 이원상, 지소연
인공지능 1	고전 신경망과 양자 분류기를 결합한 도시 교통상태 분류	김서영, 이홍석
인공지능 2	관측 지연 환경에서 MDN 기반 행동복제 정책의 지연 증강 효과 분석	김민성, 권현
인공지능 3	GeoRSCLIP 격자 분류와 BLIP LoRA · LLM 해석을 결합한 역사 전적지 위성 이미지 자동 지형 서술 시스템	조규성, 권현
인공지능 4	교차언어 · 교차 도메인 환경에서의 온라인 프로파간다 탐지: XLM-RoBERTa 기반 전이와 과제 적응 사전학습(TAPT)의 효과 분석	양태규, 권현
인공지능 5	한반도 위기 시나리오에서 LLM의 확전 결심에 대한 언어적 탐지 모델	박용현, 권현

분류	발표 주제	발표 및 제출자
인공지능 6	소셜 미디어 한국어 비정형 텍스트 자동분류를 위한 딥러닝 기반 지능형 모니터링 시스템 연구	박현호, 권현
인공지능 7	텍스트 분류에서의 자연어 처리 모델 성능 비교 연구	김현영, 권현
인공지능 8	한국어 감성 분석 모델 비교를 통한 군사 · 안보 여론 탐지 연구	김경민, 권현
인공지능 9	LLM 기반 스키마 추출 모델을 활용한 작전명령서 정보 추출	권성준, 권현
인공지능 10	DistilBERT 모델을 이용한 텍스트 중계 데이터의 실시간 이벤트 자동 분류 및 도메인 구조적 편향성에 대한 고찰	송유찬, 권현
인공지능 11	스마트폰 사진 기반 빛공해 위반 가능성 사전 선별 AI 시스템	김승주, 조태승, 김정수, 천세진
인공지능 12	어린이 보호구역 내 녹색어머니회 효과 분석: 비전 AI를 중심으로	안세진, 김원선, 이정혁, 김진혁, 이은학
인공지능 13	주행 VLA 모델의 추론 경로 단순화가 궤적 품질에 미치는 영향	정재철, 박만복
인공지능 14	단일 이미지를 이용한 빛공해 위반 의심 광원 자동 탐지	조태승, 김승주, 김정수, 천세진
인공지능 15	MPEG Audio Coding for Machines의 기계 지향 압축 기술 분석 및 지능형 교통 시스템 적용 방안	변수빈, 서정일
인공지능 16	비전 AI를 이용한 아차사고 탐지 및 LLM 기반 안전 메시지 생성	김원선, 이정혁, 김진혁, 안세진, 이은학
인공지능 17	특징 압축을 위한 채널 적응형 활성화 함수 적용 경량 특징 변환 네트워크	유길경, 서정일
인공지능 18	뉴스 맥락의 확장에 따른 LLM 댓글 시뮬레이션의 감정 분포 재현도 분석	이정경, 김아영, 천세진
인공지능 19	LLM 기반 뉴스기사의 문장 수사적 표현 분석과 독자 참여의 연관성 탐색	오지수, 김태희, 천세진
인공지능 20	교통상태 조건부 미시 교통류 생성모델의 개발 및 성능 평가	천경훈, 백경선, 노병준, 김인희
인공지능 21	구면 및 반구면 렌더링을 위한 360° 영상의 공간적 왜곡 분석 방법	조수빈, 서정일
인공지능 22	소수 시점 다중 카메라 기반 자율주행 3차원 공간의 정밀 복원 방안	박성준, 서정일
인공지능 23	자율주행용 RGB 및 열화상 센서 기반 객체 탐지: 학습 성능과 처리 에너지 소비량의 비교 분석	임지훈, 박범진, 오시몬
인공지능 24	Hypercone 기반 구면 임베딩을 활용한 텍스트 오픈셋 의도 분류 및 이상치 거부 모델 설계	임성택, 손원석, 천세진
인공지능 25	공공 공간정보의 온톨로지 매핑을 통한 LLM 보조 가능성에 관한 사례 연구	송유진, 김정수, 천세진
인공지능 26	고정형 CCTV 영상을 활용한 주차 공간 점유 상태 자동 분석	이명주, 권희창, 이화진, 한지수, 강서진, 하성룡, 최호균, 장재훈, 주나안
인공지능 27	궤적 유사도 기반 경로 표현 기반 로봇 행동 생성 연구	정연비, 서정완, 김원열
인공지능 28	제조분야 LLM 에이전트의 선택적 실행을 위한 작업 복잡도와 행동 위험도 기반 동적 신뢰도 계산	전유리, 박정현, 천세진
ITS 1	이기종 V2X 통신 네트워크 기반 자율협력주행 서비스 개발 및 실증 연구	송유승, 이신경
ITS 2	C-ITS 통신방식 전환에 따른 LTE-V2X 노변장치 성능평가 체계 구축 방향	윤영민
ITS 3	주행경로 관련 인지 불확실성을 이용한 End-to-End 자율주행의 선택적 제어	송기주, 권현
ITS 4	운전자 상태 기반 주행 컨텍스트 생성 기술에 관한 연구	장수현, 장준혁, 왕유승, 신대교
ITS 5	V2X 기반 프리플로우 톨링 환경에서 병행 무료도로 오프셋 위치 위조를 통한 통행료 회피 공격 시나리오	윤준식, 이수지, 전다울, 박현태, 이유식
ITS 6	신호교차로 초기 대기행렬 규모에 따른 정지선 통과차두시간 특성 분석	안선영
ITS 7	정밀도로지도 기반 차로 단위 교통정보 생성을 위한 공공 · 민간 교통데이터 융합 구조 설계	신성필
ITS 8	자율주행 중심의 ITS 분야 KS 제정 트렌드 분석	주정은, 양륜호
ITS 9	동일 차량 탑재 OBU를 활용한 단일 RSE 검지시각의 변동 특성 분석	김현준, 장경찬

분류	발표 주제	발표 및 제출자
ITS 10	지역적 이질성을 고려한 지능형 주차정보시스템(IPIS)에서의 준거점 의존적 주차 선택	김솔비, 오종호, 이청원
ITS 11	다익스트라 알고리즘을 활용한 철도역 주변 상권의 이동수단별 최단 경로 탐색	이성재, 이재형, 김재환, 고은정
ITS 12	Nomadic Device 기반 VRU 안전 서비스 국제표준개발: 공사구간을 중심으로	이상조, 심현정, 이재준, 박상민
교통안전 1	지하도로 주행환경 특성을 고려한 운전자 Vision-Workload 평가지표 개발	김지현, 이동민
교통안전 2	사고유형별 위험지역 선별과 근거 기반 대규모 언어모델 설명을 결합한 교통 안전 의사결정 지원	조근희, 여화수
교통안전 3	무인교통단속장비를 활용한 끼어들기 단속기준에 관한 연구	인병철, 박지원
교통안전 4	실도로 주행실험 기반 터널 내 운전자 동공크기 특성 연구	김지현, 이동민, 최지윤
교통안전 5	무인교통단속장비의 실제 운용환경 분석을 통한 온·습도 환경시험 기준 개선방안 연구	정은옥, 김리헌
교통안전 6	머신러닝 기반 어린이보호구역 교통사고 위험 예측 및 잠재위험구역 탐색: 5개 시·도 비교를 중심으로	정구승, 이주영
교통안전 7	노면색깔유도선 설치가 교통안전 개선에 미치는 영향 분석	김진혁, 이정혁, 김원선, 안세진, 이은학
교통안전 8	노인보호구역 지정에 따른 교통안전 개선의 인과적 효과 분석	김진혁, 이정혁, 김원선, 안세진, 이은학
교통안전 9	사업용 자동차 운행기록 기반 위험운전지표 개발 및 위험도 평가	박수주, 김도현, 이주영
교통안전 10	위험운전행동 기반 사업용 운전자 사고위험도 예측 및 주요 요인 해석	강우인, 이주영
교통안전 11	적외선 기반 LED 도로표지병 활용 차선 인식 기술 개발 및 안개 환경 적용성 평가	박원일, 이석기
교통안전 12	교통안전성 향상을 위한 지하도로 운영방안 및 정보제공 체계 구축 연구	이주현, 이동민, 정승원, 황순천, 전현규
교통 빅데이터 1	대전 천변도시고속화도로 원촌육교 구간 통제에 따른 우회교통의 시공간 영향분석	윤병민, 김영진, 김태형, 안수연, 윤진원
교통 빅데이터 2	인천국제공항 이용객의 접근교통수단 선택행태 분석: 다항로짓모형을 중심으로	박현호, 최형우, 권영민, 김도현
교통 빅데이터 3	설명가능한 인공지능을 활용한 고령자 대중교통 이용행태 분석	이정혁, 김진혁, 김원선, 안세진, 이은학
교통 빅데이터 4	국내외 교통분석 네트워크 비교를 통한 도시철도 환승 표현체계 구축	김재헌, 김희조, 이상규, 박동주
교통 빅데이터 5	세금계산서 거래금액 자료의 화물 물동량 O/D 보완 활용성 검토 – 경기도 양주시 사례를 중심으로 –	김정은, 원민수, 강태규
교통 빅데이터 6	대중교통 이용자의 경로선택 특성과 경로 안내 개선 –서울 교통카드 자료 분석과 MNL 기반 후보 경로 순위 조정	김태우, 김민수, 여지호, 최성택
교통 빅데이터 7	도시철도 노선 연장에 따른 대중교통 통행행태 변화 분석	김원선, 이정혁, 김진혁, 안세진, 이은학
교통 빅데이터 8	스마트카드 데이터를 활용한 통행 유형별 정기권 이용 특성 분석	강제모, 오종호, 이청원
교통 빅데이터 9	모바일 앱 조회로그 데이터를 활용한 철도에서의 미실현 수송수요 추정방법론 고찰	길주휘, 김희조, 이건, 박동주
교통 빅데이터 10	지능형 철도 표면 결함 검출을 위한 지도학습·자기지도학습 기반 탐지 기법 연구	최기도, 윤영태, 정재훈
교통 빅데이터 11	서울시 심야 대중교통–따릉이 연계 접근성의 시공간적 변화: 접근성 격차와 지역 유형화를 중심으로	심서영, 이정현, 정은수, 황채원, 박서연, 추상호
교통 빅데이터 12	연관성 분석을 활용한 기상조건에 따른 서울역 지하철 수요 변화	정창호, 권오훈, 도우석

분류	발표 주제	발표 및 제출자
교통계획 1	미래 도로환경 변화에 대응한 통행료 제도 개선 방안	백정한, 김종학, 윤태관
교통계획 2	XAI 기반 화물수단선택 분석: 운송사 규모를 중심으로	장진원, 박동주
교통계획 3	용량제약 대중교통 통행배정의 미분을 통한 운행빈도 설정	김태형, 김동규
교통계획 4	이용자 통행행태를 고려한 장애인 콜택시 경로 최적화	안세진, 김원선, 이정혁, 김진혁, 이은학
교통계획 5	eXplainable AI를 이용한 급행열차 이용행태 분석	이정혁, 김진혁, 김원선, 안세진, 이은학
교통계획 6	교통인프라 확충에 따른 관광통행 잠재수요 분석	최보림, 정연식
교통계획 7	회전교차로 지체 산정모형의 기하구조 반영 개선 방안 연구	박준서, 배범준
교통계획 8	Virtual GTFS 기반 다중 시나리오 시뮬레이션을 통한 3기 신도시 광역 BRT의 시공간 접근성 및 형평성 사전 평가: 인천 계양 신도시를 중심으로	유아영, 문세동
교통계획 9	사용자 만족과 방문 분산의 균형을 고려한 방문 코스 추천 방법	이승보, 김예원, 김재환, 고은정
기타 1	국내 제한차량(과적차량) 운행허가 수수료 산정 방안 개발	김성현, 김현석
기타 2	고중량 차량 자동운행허가 관리를 위한 스마트 자중계 성능평가 방안 연구	김종식, 이치열
기타 3	국외 피기백 시스템 운영 현황 검토 및 국내 적용 방향 연구	박소윤, 손형근, 서민서, 김동희, 이인묵, 박동주
기타 4	협소 공간에서 공간 구조와 진입 조건에 따른 주행로봇 간 통행 조정 특성 분석	연혁주, 오승민, 장기태
기타 5	산업 작업장의 휴머노이드–작업자 공존 환경에서 행동 모델 조합이 충돌 회피에 미치는 영향: 다중 에이전트 시뮬레이션 분석	오승민, 연혁주, 장기태
기타 6	RT-DETRv4 기반 자율주행 영상 비식별화 대상 객체 검출 및 성능 분석	김주완, 이정우, 최정단
기타 7	Crowdshipping 최적화 및 시뮬레이션 연구 동향 분석	이건, 민석원, 박동주
기타 8	비전-언어 모델 기반 비주얼 머천다이징 자동평가에서 시각적 근거 제약을 통한 비근거 추론 억제	이명주, 권희창, 이화진, 한지수, 강서진, 하성룡, 최호균, 장재훈, 주나안
재난 및 방재 1	의료 로봇 힘 제어 시스템 개발	현웅근, 박동진
재난 및 방재 2	공간적 재난 취약성을 고려한 긴급지원 경로 탐색 연구	김강현, 홍정열
재난 및 방재 3	지하차도 침수 · 익수 위험 대응을 위한 Radar–Vision 기반 침수 감시 및 3차원 객체 추적 연계 기술 연구	박동현, 정인택, 장봉주
재난 및 방재 4	ITS 환경에서 Physical AI 기반 도로 침수 위험 인지 및 긴급차량 동적 경로 최적화	김은지, 김진화, 임수현, 이소원
탄소중립 1	정적 · 동적 충전 전략을 고려한 모듈형 전기화물차량 기반 물류 서비스 최적화	나채민, 유화평, 여화수
탄소중립 2	보행자 혼잡이 자율주행 배송로봇의 이동시간과 탄소배출에 미치는 영향	박성진, 최민제
탄소중립 3	인천항 대기오염물질 배출량의 장기 변화와 저감정책 효과 분석	진무위, 이향숙
자동차 1	CAN 버스의 비트 주입 공격 방어를 위한 Supernode 설계	이수지, 전다울, 윤준식, 박현태, 이유식
자동차 2	지상파 DMB 및 브로드밴드망 연동 기반 고정밀 위치 보정 정보 하이브리드 전송 구현	서영우, 이용준

학술발표 학부논문경진대회 Session 12일 ~ 13일

분류	발표 주제	저자(지도교수)	소속
인공지능 1	공공 공간정보의 온톨로지 매핑을 통한 LLM 보조 가능성에 관한 사례 연구	송유진, 김정수(천세진)	동아대학교
인공지능 2	Hypercone 기반 구면 임베딩을 활용한 텍스트 오픈셋 의도 분류 및 이상치 거부 모델 설계	임성택, 손원석(천세진)	동아대학교
인공지능 3	스마트폰 사진 기반 빛공해 위반 가능성 사전 선별 AI 시스템	김승주, 조태승, 김정수 (천세진)	동아대학교
인공지능 4	단일 이미지를 이용한 빛공해 위반 의심 광원 자동 탐지	조태승, 김승주, 김정수 (천세진)	동아대학교
인공지능 5	ITS 제조분야 LLM 에이전트의 선택적 실행을 위한작업 복잡도와 행동 위험도 기반 동적 신뢰도 계산	전유리, 박정현(천세진)	동아대학교
인공지능 6	선박 검사 준비 효율화를 위한 지능형 PSC 수검 대비 정보 지원 시스템 연구	김태홍, 장동준, 김우진 (성주현)	국립한국해양 대학교
인공지능 7	한국어 질의 기반 영문 국제해사규정 교차언어 검색방식 비교	김양현, 조승범, 이지헌 (성주현)	국립한국해양 대학교
인공지능 8	안전 게이트 기반 하이브리드 인공지능을 활용한 해상 조난 음성정보 분석 및 통신지원에 관한 연구	김희민, 성정현, 이지은 (성주현)	국립한국해양 대학교
인공지능 9	뉴스 맥락의 확장에 따른 LLM 댓글 시뮬레이션의 감정 분포 재현도 분석	이정경, 김아영, (천세진)	동아대학교
인공지능 10	LLM 기반 뉴스기사의 문장 수사적 표현 분석과독자 참여의 연관성 탐색	오지수, 김태희(천세진)	동아대학교
인공지능 11	국소 메시 결손 수선 전후의 자동 리깅 변형 비교: 난수와 포즈를 고려한 사례 연구	황진석, 조예영, 김경민, 차비전(서정일)	동아대학교
인공지능 12	단안 카메라를 이용한 실시간 유의파고 추정 기법에 관한 연구	박건영(서동환)	국립한국해양 대학교
인공지능 13	ISO 2631_1 주파수 가중과 딥러닝을 결합한 전동 휠체어 노면 분류 및 고위험 충격 사전 예측 방법	김규리(서동환)	국립한국해양 대학교
인공지능 14	온프레미스 LLM 기반 교통정책 수립 지원 시스템 개발: 강남역 일대 광역버스 혼잡 사례를 중심으로	정유진(오철)	한양대학교 ERICA
인공지능 15	VLM을 활용한 운전자 관점의 도로환경 인지 특성 정량화	한정우, 정희진(심지섭)	한남대학교
교통계획 1	이커머스 라스트마일 물류의 최적설계 연구: 배차방식을 중심으로	한재선(박동주)	서울시립대학교
교통계획 2	개인의 사회경제적 특성 및 통행 태도를 반영한 지하철 경로선택모형 : 이용자별 시간 · 요금 민감도 차이를 중심으로	전희경(조신형)	홍익대학교
교통계획 3	유전알고리즘을 이용한 M-DRT 정류장 선정 및 노선 설계 – 동탄 – 서울 통행을 중심으로 –	박경록(조신형)	홍익대학교
교통계획 4	외국인 관광객 동선 데이터 기반 서울 · 인천공항 연계 UAM 관광 네트워크 설계 및 버티포트 입지 분석	김정연(최민제)	국립공주대학교
교통계획 5	도시도로에서의 자율주행 모빌리티 도입: 법적 과제와 전망	진효겸(최민제)	국립공주대학교
교통계획 6	무궤도트램 노선망 설계 최적화: 창원시 사례 연구	조현나, 차연호, 이지훈, 김보은(조성원)	단국대학교
교통계획 7	Virtual GTFS 기반 다중 시나리오 시뮬레이션을 통한 3기 신도시 광역 BRT의 시공간 접근성 및 형평성 사전 평가: 인천 계양 신도시를 중심으로	유아영(문세동)	한양대학교 ERICA
교통계획 8	교통카드 자료를 이용한 최적전략 통행배정의 경로선택 오차 분석: 서울 지하철 9호선 급행 · 일반 병행 구간을 중심으로	전재현(문세동)	한양대학교 ERICA

분류	발표 주제	저자(지도교수)	소속
교통계획 9	김해국제공항 접근성 제고를 위한 가상정류장 기반 공항 접근버스 노선 설계	배지우, 김종민, 김나현, 김민수, 김지성(유철희)	부산대학교
자율주행 1	모빌리티 IMU 센서의 방위각 생성 알고리즘 개발 및 검증	한재민(박만복)	국립한국교통대학교
자율주행 2	실시간 속도 추종을 위한 종방향 제어기 개발	김수연(박만복)	국립한국교통대학교
자율주행 3	휠체어 이용자의 독립적 승하차를 위한 자율주행 모빌리티 개념설계	박예원(최민제)	국립공주대학교
자율주행 4	주행 장면 난이도에 대한 사람과 주행 정책의 차이 분석	김한솔, 김민서, 박경연(강창묵)	한양대학교
자율주행 5	자율주행 운행 범위 확대를 위한 안전 검증과 변경 관리 제도의 국내외 비교	이세인(최민제)	국립공주대학교
자율주행 6	자율주행 차량을 위한 카메라 기반 포트홀 인지 및 도로 위험 정보 공유 시스템 설계	차준형(권성진)	영남대학교
자율주행 7	정보 간극 해소를 통한 규칙 기반 플래너의 시뮬레이터 간 이식: CARLA용 PDM-Lite의 VTD 적용	차주원,문정원	국민대학교
공유교통 1	SUMO 시뮬레이션을 활용한 수요응답형 교통 운영 시나리오 평가: 성주군을 대상으로	권영일, 권우진, 예지현(권오훈)	계명대학교
공유교통 2	대체 정류장과 DRT의 승차수요 분산 조건과 추가 이동 부담 분석	고진우, 김찬희(최민제)	국립공주대학교
공유교통 3	동적 수요응답형 교통의 경로최적화 알고리즘을 평가하기 위한 한국형 벤치마크 생성에 대한 연구	정혜윤, 김성은, 윤지환, 이다원(최성택)	한양대학교
공유교통 4	공유자전거 연계를 고려한 카셰어링 존의 대체가능성 및 운영유형 분석: 서울 성수동 사례	금승환, 김보경, 박진호, 성지용(박영훈)	아주대학교
공유교통 5	보행 접근성과 대중교통 공급 취약성을 고려한 수요응답형 교통(DRT) 가상 정류장 입지 연구: 부산 원도심 사례	김한아, 김윤재, 김건우, 이나은(배범준)	부산대학교
교통빅데이터 1	건물명 텍스트 유사도를 활용한 교통분석 존체계 세분화 방안 연구	권은서(최성택)	한양대학교
교통빅데이터 2	항공사 유형과 운항구간별 서비스 품질 요인구조 및 평가 차이 분석	손찬원(조신형)	홍익대학교
교통빅데이터 3	충남 시군별 전동킥보드 · 전기자전거 보고 대수와 청년층 통신 지표의 관계 분석	김주완	상명대학교
교통빅데이터 4	교통카드 데이터를 활용한 광역버스 하류 정류장의 탑승 실패 분석과 중간 출발 증차 효과 평가	이서윤. 강유하(여지호)	가천대학교
교통빅데이터 5	교통 영상 객체 추적을 위한 EMA 기반 특징 압축 구조의 성능 분석	여석희(서정일)	동아대학교
ITS1	공유 셔틀존과 교통정보를 활용한 기업 통근셔틀 노선 설계 접근법: 천안시 사례연구	고태원, 이연우(최민제)	국립공주대학교
ITS2	스마트카드 데이터 기반 시뮬레이션을 활용한 관악구 버스 교통망에서의 맬웨어 초기 전파 양상 분석	이민혁(윤규근)	서울대학교
ITS3	실시간 교통 오픈 API와 LLM을 활용한 지능형 모빌리티 오디오 방송 자동화 파이프라인	김서현(서정일)	동아대학교
ITS4	3D Gaussian 장면의 360° 공간 표현을 위한 ERP 렌더링 성능 비교 분석	우성현(서정일)	동아대학교
재난및방재 1	폭염 및 한파 대응과 공기처정 기능을 고려한 부산시 스마트 버스정류장 입지 우선순위 도출	서민희, 김준서, 이소민, 최수경, 송창준(유철희)	부산대학교
재난및방재 2	사용자평형 교통배정을 활용한 도시부 침수위험 도로 군집의 네트워크 중요도 평가 : 미국 휴스턴 사례	조민준(배범준)	부산대학교

분류	발표 주제	저자(지도교수)	소속
재난및방재 3	화재예방형 실외 스마트 재떨이 개발	오준석, 김태웅, 박병윤, 정원엽, 박지혜, 오승택, 엄태후(김명식)	한국폴리텍대학
교통안전 1	심야 대중교통 연계 보행수요를 고려한 CCTV 최적 입지 선정 연구 : 서울 신림동을 중심으로	박다미(박동주)	서울시립대학교
교통안전 2	딥러닝 기반 시공간 보행 활동 예측을 활용한 C-ITS 보행자 충돌방지 경고 서비스 우선 설치지 선정: 부산 15분도시를 대상으로	윤인주, 박준서, 조민준(배범준)	부산대학교
e-mobility 1	원도심 노후 저층주거지의 전기차 충전 사각지대 해소를 위한 공영주차장 최적 입지 선정: 부천시 원미구를 중심으로	최교현, 허연주(이수철)	국립한국교통대학교
스마트시티 1	도시 시설 디지털 트윈 구축을 위한 스마트폰 기반 3D Gaussian Splatting 자동 생성 및 품질 진단 시스템 개발	천지운, 김은서, 이호경, 송승호, 이정민(서정일)	동아대학교
에너지 1	분산에너지 및 유연성 자원을 결합한 한국형 AIDC 전력 공급 표준 모델 연구	안정훈(최민제)	국립공주대학교
탄소중립 1	철송전환을 통한 국가 탄소저감 전략 연구: 컨테이너 화물을 중심으로	길주휘(박동주)	서울시립대학교

CONTENTS

특별 Session

특별 Session B-9 한국교통안전공단

1. 페달오조작 방지장치의 작동 및 비작동 조건 검토를 위한 실차 실증 연구 3
방경동

특별 Session C-2 ㈜아이비스

1. 온디바이스 AI 기반 차량 CID 애플리케이션 개발 7
황정현, 이윤희, 최민지, 김상민
2. 온디바이스 sLLM 기반 주행 지원과 운전자 모니터링을 통합한 차량 인포테인먼트 시스템 구현 8
김건태, 윤진수, 정성준, 전혜림, 강창묵
3. 온디바이스 환경을 위한 차량 인포테인먼트 도메인 특화 소형 언어모델 개발 9
김건태, 윤진수, 최민지, 강창묵
4. 광학적 특성 기반 합성 안개 데이터 생성 및 자율주행 차량용 디헤이징 모델의 실험적 분석 10
신윤식, 최준원

특별 Session C-3 한국해양대학교

1. 선박 · UAV · 모노콥터 복합 운용 기반 무인 고속정 군집 추정 검증용 해상 시뮬레이터 구축 13
박시은, 백원빈, 안홍균, 우주현, 이혜원
2. 360도 파노라마 뷰 카메라 감시를 위한 영상 정합 방법에 관한 연구 14
배주원, 이진세, 서홍일, 서동환
3. Unity 기반 레이다-카메라 융합을 이용한 다중 무인수상정 추적 및 군집 기동 판별 15
양민석, Anto Anbarasu Yesudhas, 성주현

학술발표 Session Ⅰ

SESSION A-1 자율주행 인지 · 데이터 검증

1. 악천후 합성 이미지의 인지 오류 재현성 분석: 클래스별 성능 변화와 오분류 양상 비교 21
김소희, 홍택수, 임서현, 권장우
2. 센서 구성 및 주행 환경 변화에 따른 다중 Camera 3D 객체 검출 모델의 학습 전략 분석 22
장원태, 손재호, 원종훈
3. 학습 기반 Edge Case 자동 판정 및 데이터 선별을 통한 자율주행 페루프 재학습 · 검증 프레임워크 23
최재원, 박성준, 원종훈
4. RegDiffFormer: 다변량 주행 시계열 차이 학습을 통한 자율주행 소프트웨어 회귀 진단 24
김예린, 윤서연, 원종훈

5. KITTI 객체 탐지 난이도 기준의 임계값 타당성 분석 25
전혜림, 김민준, 나은교, 신채은, 강창묵

6. 메시지 브로커 기반 주행 데이터 로깅 · 재현과 분석 에이전트를 활용한 주행 분석 환경 구축 26
김희철, 전재석, 박현배

SESSION A-2 자율주행차 혼합교통류 제어 및 운영

1. 혼합교통류 자율주행차 종방향 제어를 위한 인지압력 기반 풍선 모델 29
이은호, 여지호, 소재현

2. 상충영역 기반 PET를 통한 자율주행차 교차로 통과 가이던스 30
이진철, 이재관, 김형수, 양인철, 이준형

3. 시스템 최적과 이용자 균형 간 상충관계의 재고찰: 커넥티드 자율주행차와 적응형 교통신호제어의 역할 31
김도현, 변지혜, 이승현

4. 혼입률 · 주행행태 · 인터체인지 간격에 따른 자율주행 전용차로 운영전략의 성립 조건 32
백성채, 박제진

5. 자율주행 행태 분석 기반 교통사고 빈도 예측에 관한 연구 33
김민경, 조창현, 오철

6. 자율주행 로봇과 보행자 혼재에 따른 보행로 조건별 용량 변화 시뮬레이션 분석 34
김도형, 최지혜, 최진, 정훈, 김정화

SESSION A-3 교통단속 효과분석 및 운전자 수용성

1. 전국 광역별 교통단속장비·교통안전데이터 구축 및 설치 효과분석 37
이근재, 박병철, 정도영, 양승재

2. 도심부 구간과속단속시스템 운영에 따른 교통사고 감소 효과분석 38
윤춘식, 김상구

3. 대구광역시 무인단속 카메라 설치 전 · 후 교통량과 사고심각도 변화 분석 39
오지혜, 신동엽, 손민찬, 하영철, 도우석

4. 어린이보호구역 무인교통단속장비에 대한 운전자 인식 비교 및 가변속도제한(VSL) 도입 필요성 연구 : 구) 광주광역시를 중심으로 40
윤춘식, 김상구

5. 지능형 단속 확대에 따른 적정 교통범칙금 수준과 운전자 수용도 분석 41
김수빈, 정연식

SESSION A-4 교통사고 심각도 및 위험 예측

1. 머신러닝을 활용한 저속 추돌사고 탑승자 상해 예측 모형 개발 45
박기정, 정동훈

2. AI 기반 고속도로 터널사고 심각도 예측 프레임워크 개발 46
김종진, 정연식

3. 잠재 사고유형별 사고 심각도와 안전개입 가능성을 통합한 고속도로 교통안전 우선순위 분석 47
박준호, 홍정열

SESSION A-5 신호제어 및 교통류 운영

1. 연속 신호 교차로 구간에서 불완전 궤적 데이터 기반 제어 지체 추정을 통한 비선형 현시 기반 신호 최적화 방법론 개발 51
최솔, 이승현

2. 교차로 간 연동을 위한 계층적 적응형 신호제어 프레임워크 개발 52
홍슬빈, 변지혜, 이승현

3. 주행궤적 데이터 기반 도시네트워크 대기행렬 추정 및 동적 구획 최적화 53
남혁주, 변지혜, 이승현

4. 공간적 이질성에 따른 도시부 네트워크 MFD 혼잡 형성 · 회복 특성 분석 54
강민욱, 강민지, 박신형

5. 차로감소 병목의 합류 상호작용을 고려한 미시 교통류 생성모델 55
백경선, 천경훈, 정희영, 가동호, 노병준

SESSION A-6 대중교통 빅데이터 및 수요 분석

1. 대규모 행사 시 도시철도 무정차 통과에 따른 수요 전이 분석 59
서민서, 박동주

2. 경인선 급행열차의 정차 패턴 최적화: 스마트카드 OD와 시간 확장 네트워크를 중심으로 60
고건우, 최성택

3. 교통카드 자료를 이용한 최적전략 통행배정의 경로선택 오차 분석: 서울 지하철 9호선 급행 · 일반 병행 구간을 중심으로 61
전재현, 문세동

4. 기후동행카드가 지하철 역별 수요에 미친 영향 –합성이중차분법을 적용하여 62
배현서, 고건우, 김준구, 최성택

5. 예매 데이터를 활용한 고속철도 초과수요의 고속버스 전이 패턴 분석 63
심재윤, 김희조, 박동주

6. 버스에서 지하철 환승객의 하차 정류장 선택 : 교통카드 하차 태그 보정과 장소 · 사람 · 상황별 요인 분석 64
서영운, 양윤철, 허창준, 고건우, 최성택

SESSION A-7 교통수요 추정 및 교통계획

1. AI를 활용한 Traffic Assignment 및 Calibration 모형 개발 67
우왕희, 황준문

2. 대중교통 교통수요예측 정산과정의 자동화 방안 연구: 국내 사례 적용을 중심으로 68
양윤철, 허창준, 김준구, 최성택

3. 건물명 텍스트 유사도를 활용한 교통분석 존체계 세분화 방안 연구 69
권은서, 최성택

4. 반복비례적합법을 활용한 소지역 단위의 소득분포 추정 70
손민찬, 방태원, 권오훈, 도우석

5. 대도시권 광역교통개선대책 효과척도(MOE) 개선 연구 71
홍석훈, 방태원, 박상우, 도우석

6. 공공기관 차량부제 시행 전후 교통수요 변화 분석 — 대전시 공공기관 밀집 지역을 중심으로 72
이용선, 이창희, 안수연, 노병준

SESSION A-8 공유 마이크로모빌리티

1. 시간대별 이동시간 변화를 고려한 다중 차량 동적 공공자전거 재배치 문제: 서울시 사례연구 75
김용희, 정봉주

2. 시공간 토픽모델을 활용한 공공자전거 잠재 이용목적 추론 및 이용권 선택과의 관계 분석 76
최민영, 이승현, 변지혜

3. 공유자전거 네트워크 유형에 따른 경로 특성과 이동 효율성의 관계 분석 77
김건민, 이승현, 변지혜

4. 카카오 T 바이크는 기존 교통수단을 대체하는가, 보완하는가? 버스 및 택시 이용량에 대한 인과효과 분석 78
김지수, 이규성, 김의진

5. 생애사건은 공유 마이크로모빌리티 선택과 관련이 있는가? 일본 성인의 행태적 이질성에 관한 실증분석 79
Mahdi Khorasani, Sunbin Yoo

6. 지속가능한 도시물류를 위한 공유자전거 통행데이터 기반 Crowdshipping 잠재력 분석 80
이중권, 민석원, 박동주

SESSION A-9 자율주행 시나리오 및 안전성 평가

1. ISO 34504 태그 체계의 PEGASUS 기반 시나리오 적용성 검토: 국책과제-16 상황 시나리오 사례를 중심으로 83
강승모, 고우리, 김인영, 윤일수

2. 운행 단계 공통 자율주행차 대표 운행 시나리오 도출 84
박찬영, 백성채, 박제진

3. V2X 통신 기반 자율주행 모빌리티 플랫폼의 주행 안전성 판단 시스템 설계 85
한종혁, 권성진

4. 판타G버스 센서 데이터 기반 자율주행차 주행위험도 정량화 및 안전성 점수화 모델 개발 86
김호선, 강용신, 김형주

5. AHP와 미시교통시뮬레이션을 활용한 자율협력주행 교통안전시설 정보 제어 시나리오 안전성 평가 87
장기훈, 한재석

6. 교통 시뮬레이션 기반 교통류 위험수준 분류 및 특성 분석 88
도승일, 강민지, 박신형

SESSION A-10 AI 기반 교통안전 및 영상분석

1. 멀티모달 파인튜닝을 활용한 교통안전 분야 특화 언어모형 개발 방법론 제시 91
풍태현, 김민성, 문시현, 이경진, 이영택, 윤일수

2. MLLM 기반 교통사고 분석을 위한 데이터셋 구축 및 국내 특화 라벨링 체계 제시 92
정성훈, 도승일, 박신형

3. AI를 활용한 교차로 시각 복잡도 정량화와 교통사고 발생 간 관계 분석 93
차정은, 김회경

4. 교통 맥락을 반영한 CCTV 내 보행자 재식별 모델 94
안소연, 이지오, 오시몬

5. 횡단 의도에 기반한 보행자의 궤적 예측 95
유성민, 이은호, 여지호, 소재현

6. 동적 트리거 기반 도로 CCTV 돌발상황 분석 시스템의 현장 적용 96
최성수, 박일하, 이강혁, 이지연, 이형준, 김채원, 강용신

학술발표 Session Ⅱ

SESSION B-1 ITS 교통정보 수집 및 도로 인프라

1. 차량 재인식 기술을 활용한 교통정보 수집 알고리즘 적용에 관한 연구 101
박종성, 박재훈, 임필섭
2. 교통신호제어기를 활용한 보조장치 상태정보 송·수신 방안 – 바닥형 보행신호등을 중심으로 – 102
이민형, 안휘근, 석승호
3. 단일 PTZ 카메라 순차 관측에 따른 주기적 교통량 결측의 데이터 기반 복원 가능성 평가 103
최문영, 소재현
4. 실시간 차선별 교통수요 대응형 신호 서비스 구현 방안 연구 104
장준혁, 김기주, 하상욱, 현상엽
5. 도로 노면 이미지를 활용한 딥러닝 모델 기반 포트홀 검지 성능 비교 105
이창호, 이상현, 정한솔, 김민성, 풍태현, 강승모, 윤일수

SESSION B-2 LLM·생성 AI 기반 통행행태 모사

1. LLM 기반 AI 페르소나를 활용한 MaaS 진술선호(SP) 조사 응답 재현성 평가 109
허창준, 서영운, 조항훈, 최성택
2. 응답자 정보 제공 수준에 따른 LLM의 경로선택 재현성 분석 – 동적 도로요금제 선택 실험을 중심으로 – 110
김민준, 이승현, 변지혜
3. 잠재변수를 결합한 거대언어모형 기반 활동 스케줄 생성 방법 111
김민우, 김의진
4. 인구 특성에 부합하는 활동 스케줄 생성을 위한 생성기 인지형 판별 분류 기법 112
이희창, 김동규
5. 원본 데이터 희소성을 고려한 모빌리티 재현데이터의 안전성 평가 113
이규성, 임승유, 원민수, 김의진
6. 교통부문 리빙랩에서 AI-Agent의 설득력과 언어적 특성 분석 114
황보현, 조성수

SESSION B-3 대중교통 서비스 및 운영

1. 운영 데이터 기반 시뮬레이션을 활용한 정류장 운영 개입 기준 도출: 승객 대기행렬의 운영·공간 임계 분석 117
이승희, 이용주, 여지호, 소재현
2. 에스컬레이터 접근구간의 혼잡 특성과 보행자 진입 선택행동을 반영한 환승통로 VDF 개발 118
최지혜, 이찬우, 김정화

3. 스마트카드를 활용한 트립체인 기반 교통약자 대중교통 통행시간 격차와 환승 부담 분석 119
민준식, 박신형

4. 교통약자를 고려한 버스정보안내단말기(BIT) 설치지점 선정 평가체계 개발: 머신러닝과 SHAP 기반 가중치 산정을 중심으로 120
김민태, 최호경, 김용만

5. 국가 통합대중교통 요금체계 구축방안 연구 121
전용현, 박호철

6. 대도시권 버스파업이 대체 수단에 미치는 영향과 공간적 이질성: 2024 서울 시내버스 파업을 중심으로 122
김준구, 고건우, 최성택

SESSION B-4 MaaS · DRT 및 신모빌리티 서비스

1. 사용자 경험(UX) 극대화를 위한 MaaS 잠재수요 특성 기반의 서비스 세분화: 머신러닝과 구조방정식의 결합모델 적용 125
김성아, 허창준, 최성택

2. MaaS 기반 도시철도–공유형 자율주행차 연계 서비스를 위한 통행계획 및 운영 프레임워크 연구 126
김태성, 서연우, 김동규, 윤규근

3. 화성시 · 양주시 DRT 이용에 영향을 미치는 요인의 입지 조건별 이질성 분석: Model-Based Recursive Partitioning을 활용하여 127
김지우, 김수재

4. 동적 수요응답형 교통의 경로최적화 알고리즘을 평가하기 위한 한국형 벤치마크 생성에 대한 연구 128
정혜윤, 김성은, 윤지환, 이다원, 최성택

5. 15분 도시의 실질적 구현을 위한 새로운 모빌리티 전략: 목적 기반 모빌리티(PBV) 플러그인 스테이션을 중심으로 129
정지효, 권민주, 임호선, 이정빈, 김동은, 이수현, 김은성, 김회경

6. 공항 연계형 UAM 서비스 도입을 위한 버티포트 입지 · 수요 할당 · 기체 운영의 통합 최적화 모형 130
오수현, 김태성, 윤규근

학술발표 Session Ⅲ

SESSION C-1 자율주행 운행 · 제어권 전환 및 제도

1. 실도로 자율주행버스 운행데이터 기반 제어권 전환 예측 프레임워크 개발 135
방혜원, 김형주, 여지호, 이응주

2. 멀티모달 VLM-LLM 기반 자율주행버스 고위험 제어권 전환(ToC) 시나리오 분석 프레임워크 개발 136
정은주, 김형주, 여지호, 임동현

3. 실도로 데이터 기반 자율차 의사결정 지원 정보 분석 연구 137
지정훈, 오철

4. 자율주행자동차 교통사고 재현 결과의 제공 범위 도출 연구 138
권진문, 김원기, 홍유표, 김천호

5. 다국어 텍스트 분석을 통한 한국 자율주행 법제의 규율 공백 탐색 139
황인수, 김정화

6. 부울경 지역 맞춤형 자율주행 서비스 중요도 분석 – AHP 기반 전문가 조사를 중심으로 – 140
정지효, 이정빈, 정연탁, 김회경

SESSION C-2 자율주행 경로 최적화 및 주차

1. 다층 선박-터미널 이종 공간에서의 Ro-Ro 완성차 최적 경로 탐색 및 heuristic 효율성 검증 143
이상규, 김용훈, 신승진, 노홍승, 박동주
2. Ro-Ro 터미널-선박 통합 환경의 자율주행차 경로 최적화 – 선행연구 및 방법론 고찰 – 144
김용훈, 이상규, 신승진, 노홍승, 박동주
3. 주차 형식에 따른 인휠모터 차량의 토크벡터링 기반 자동 주차 제어기 설계 145
이재형, 권성진
4. 사전 예약 및 긴급도 기반 실시간 요청 대응을 고려한 자율주행 이동형 충전 로봇의 경로 최적화 146
서문정, 이승현, 변지혜
5. 자율주행차 시대 공영주차장 입지 최적화 – 고정비용 시설입지모형을 활용한 서울시 강남구 사례 – 147
최연재, 소영웅, 황우석, 서민성, 최성택

SESSION C-3 교통 디지털 트윈 및 시뮬레이션 플랫폼

1. 입체격자체계 기반 공간데이터큐브를 활용한 OpenDRIVE 자동 생성 방법 연구 151
박유진, 옥민찬, 윤재현, 김재승
2. 다중 공간자료를 활용한 AI 보조 시뮬레이션 환경 구축과 시각적 충실도 개선 152
김연지, 김재승
3. 교통 디지털 트윈을 위한 자연어 기반 SUMO 시뮬레이션 자동화 153
강승모, 김민성, 이영택, 이요셉, 윤일수
4. 공개 공간정보와 교통 관측자료를 활용한 웹 기반 도시 및 교통 시각화 시스템 개발: 세종시 사례 154
권호규, 원민수
5. DRT형 승차공유 서비스 요금 차등화를 위한 이용자 지불의향(WTP) 추정 SP 설계 방법론 155
홍대현, 박현수, 박신형

SESSION C-4 교통안전 정책 및 운전자 행태

1. 약물운전 규제 적정화 방안 연구 159
장선희, 류준범
2. 사고 위험 구조와 운전자 수용성에 기반한 면허 갱신 연계 교통안전교육 도입방안 160
정민준, 권민정, 박제진
3. 제1종 보통 · 제2종 보통면허 운전자의 법규위반 후 재위반 위험 및 소요시간 비교 161
송양빈, 김남선
4. 사업용 여객자동차 업종별 위험운전 행태와 위험군 분석 162
박준호, 조종석
5. 개정된 우회전 통행방법의 보행 교통안전 효과 및 운전자 준수 의도에 관한 분석 –개입시계열분석과 확장된 계획행동이론을 중심으로– 163
서윤정, 유초롱, 이환진, 김주영

SESSION C-5 공간 데이터 분석과 통행행태

1. 머신러닝 기반 트램 접근성의 주택가격 기여도 분석: 지하철 환승연계 수준을 중심으로 167
임성준, 조성수

2. 지리가중 기계학습 알고리즘 개발 연구 168
민석원, 박동주

3. 도시환경 특성이 지표면 온도 및 냉각효과에 미치는 비선형적 영향 분석: 머신러닝을 활용하여 169
김재영, 이윤지, 이호준, 조성수

4. 트립체인 데이터를 활용한 자가용 운전자의 내비게이션 의존도 영향요인 분석 170
박유진, 이경재, 구자헌, 김동현, 추상호

5. 모바일 신호자료를 활용한 통행시간 이질성 분석 171
남상기, 정연식

6. 택시운행트립체인 데이터를 활용한 목적지 지향형 승객탐색위치추천모형 개발 172
조형호, 홍정열

SESSION C-6 물류 · 공급망 및 교통에너지

1. SNA 방법론을 활용한 농산물 공급망 리스크 분석 175
이인호, 이향숙

2. 바이오 콜드체인 우선 도입 품목 선정 및 활성화 전략 연구 176
이인호, 윤경준, 이향숙

3. AHP를 활용한 동남아 바이오 콜드체인 시장 진출요인의 우선순위 분석 177
이희종, 이향숙

4. 공간 데이터 기반 복합화물운송 거점 입지 선정 연구 178
손형근, 이건, 박소윤, 장진원, 김동희, 이인묵, 박동주

5. 주행 중 무선충전 인프라의 입지 및 요금체계 최적화 179
김영환, 김동규

6. 시뮬레이션 기반 차량 시장 점유율 변화에 따른 에너지 소비량 및 배출가스 비교 분석 180
배정연, 김상국, 오시몬

SESSION C-7 드론 융합기술 및 재난 대응

1. 원양 선망어업을 위한 YOLO 및 초해상화 기반 UAV 영상 실시간 참치어군 탐지 183
홍운희, Ngot Pham, 박성운, 조형래

2. IALA G1194 및 S-201 표준 기반의 무인 드론 항로표지 점검 운용 개념(ConOps) 정립과 동적 메타데이터 확장 스키마 설계 184
박성운, 홍운희, 조형래, 이서정

3. 산불 고립위험지역의 공간적 취약성을 고려한 드론 기반 긴급물자 수송거점 입지 분석 185
이상민, 홍정열

4. 고속도로 연결로에 대한 선진 제설 제도 · 기술의 도입 타당성 평가
– 네트워크 분석 과정(ANP)의 적용을 중심으로 – 186
최세령, 오주석, 박제진

SESSION C-8 도로 · 교통시설 안전성 평가

1. 고속도로 터널 내 차로변경 허용에 따른 교통사고 안전성 비교분석 189
정헌영, 고우리, 김인영, 김해, 윤일수

2. CGAN 기반 안전성능함수 대체 모형의 국내 일반국도 적용성에 관한 기초연구 190
김민성, 풍태현, 문시현, 김예진, 이요셉, 윤일수

3. 기상 조건을 고려한 머신러닝 기반 회전교차로 임계간격 산출 191
송동석, 이동민

학술발표 Poster Session

자율주행

1. 자율주행 E2E 데이터 구축 가이드라인 및 규격 정의 195
민경욱, 김진우, 오영민

2. Cusp-Catastrope기반 Dilemma Zone 의사결정 모델 196
임관수, 남두희

3. Ro-Ro 하역 자동화를 위한 이종 공간 연속 경로 탐색 비용함수 설계 및 민감도 분석 197
이상규, 김용훈, 신승진, 노홍승, 박동주

4. 자율주행차를 위한 차로 상호작용과 하류 교통상태 기반 고속도로 교통상황 분류 및 실증분석 198
이혜진, 유화평, 여화수

5. 실차 연계가 가능한 V2X 협력 인지 및 협력 주행 시뮬레이터 개발 199
김주영, 조용우, 이신경, 송유승

6. 재사용 가능한 운전자 행동 프로파일 기반 개인화된 종방향 행동 예측 200
김현수, 전수제, 여화수

7. Model Predictive Control을 통한 Trajectory Planner 201
홍인준, 박만복

8. 멀미 평가를 위한 MSDV 기반 주행 시나리오 설계 및 ACC 추종 시뮬레이션 검증 202
나수현, 김건태, 배서연, 강창묵

9. 자율주행 해제율 학습추세의 분석 모형 민감도 분석: 사양 곡선을 이용한 신뢰성 평가 요인 탐색 203
홍석재, 강석중

10. 자율주행차 최소위험조작의 발동 요인 분류와 3종 조작 구현 및 원격지원 연계 204
조용우, 김주영, 민경욱

11. 악천후 환경에서 자율주행 및 자율협력주행에 대한 이용자 생체신호 반응 비교 205
최지윤, 이동민, 황순천

12. 자율주행 인공지능 모델 학습 모듈 구현 206
이정우, 김주완, 최정단

13. Layer 기반 자율주행 고위험 시나리오의 구조화 및 실도로 실증 시나리오 도출 207
박수연, 임동현, 김형주

14. LLM 기반 사고 서술문 분석을 활용한 자율주행차 사고심각도 영향요인 분석: 주행행태와 충돌 특성을 중심으로 208
나성은, 김형주, 전재원

15. 중국 표준의 연계구조에 기반한 레벨4 자율주행 시험설계와 평가근거 연구 209
고한검, 박소정

16. 자율주행 메타데이터 모델의 정합성 분석 및 개선방안 210
남상기, 정연식

17. 온톨로지 기반 이동체 ID 식별 및 궤적 정합 기술 설계 211
김종화, 이원상, 지소연, 정지원

18. 웹 기반 자율주행 가상시험 통합 플랫폼을 통한 시뮬레이션 검증 기반 구축 212
이원상, 한수정, 김종화, 정지원

19. PEGASUS 6-Layer 모델 기반 OpenSCENARIO 시나리오 분류 체계 및 데이터베이스 구축 213
한수정, 문대영, 심준석, 정지원

20. 정밀지도 형상 경량화 수준에 따른 자율주행 경로 생성 성능 분석 214
안해주, 박만복

21. 시뮬레이션 툴체인의 정합성 검증을 위한 디지털 트윈 성숙도 연구 215
지소연, 이원상, 정지원, 김종화

22. 통신 제약 V2X 환경에서 VLA 자율주행 정책의 설명 신호 실측: 정보량과 전송비용 216
김범규, 권현

23. 제약 기반 조합 커버리지를 활용한 자율주행 롱테일 시나리오 생성 방법 217
염수지, 이경림, 김종화, 이원상, 지소연

인공지능

1. 고전 신경망과 양자 분류기를 결합한 도시 교통상태 분류 218
김서영, 이홍석

2. 관측 지연 환경에서 MDN 기반 행동복제 정책의 지연 증강 효과 분석 219
김민성, 권현

3. GeoRSCLIP 격자 분류와 BLIP LoRA · LLM 해석을 결합한 역사 전적지 위성 이미지 자동 지형 서술 시스템 220
조규성, 권현

4. 교차언어 · 교차 도메인 환경에서의 온라인 프로파간다 탐지: XLM-RoBERTa 기반 전이와 과제 적응 사전학습(TAPT)의 효과 분석 221
양태규, 권현

5. 한반도 위기 시나리오에서 LLM의 확전 결심에 대한 언어적 탐지 모델 222
박용현, 권현

6. 소셜 미디어 한국어 비정형 텍스트 자동분류를 위한 딥러닝 기반 지능형 모니터링 시스템 연구 223
박현호, 권현

7. 텍스트 분류에서의 자연어 처리 모델 성능 비교 연구 224
김현영, 권현

8. 한국어 감성 분석 모델 비교를 통한 군사 · 안보 여론 탐지 연구 225
김경민, 권현

9. LLM 기반 스키마 추출 모델을 활용한 작전명령서 정보 추출 226
권성준, 권현

10. DistilBERT 모델을 이용한 텍스트 중계 데이터의 실시간 이벤트 자동 분류 및 도메인 구조적 편향성에 대한 고찰227
송유찬, 권현

11. 스마트폰 사진 기반 빛공해 위반 가능성 사전 선별 AI 시스템 228
김승주, 조태승, 김정수, 천세진

12. 어린이 보호구역 내 녹색어머니회 효과 분석: 비전 AI를 중심으로 229
안세진, 김원선, 이정혁, 김진혁, 이은학

13. 주행 VLA 모델의 추론 경로 단순화가 궤적 품질에 미치는 영향 230
정재철, 박만복

14. 단일 이미지를 이용한 빛공해 위반 의심 광원 자동 탐지 231
조태승, 김승주, 김정수, 천세진

15. MPEG Audio Coding for Machines의 기계 지향 압축 기술 분석 및 지능형 교통 시스템 적용 방안 232
변수빈, 서정일

16. 비전 AI를 이용한 아차사고 탐지 및 LLM 기반 안전 메시지 생성 233
김원선, 이정혁, 김진혁, 안세진, 이은학

17. 특징 압축을 위한 채널 적응형 활성화 함수 적용 경량 특징 변환 네트워크 234
유길경, 서정일

18. 뉴스 맥락의 확장에 따른 LLM 댓글 시뮬레이션의 감정 분포 재현도 분석 235
이정경, 김아영, 천세진

19. LLM 기반 뉴스기사의 문장 수사적 표현 분석과 독자 참여의 연관성 탐색 236
오지수, 김태희, 천세진

20. 교통상태 조건부 미시 교통류 생성모델의 개발 및 성능 평가 237
천경훈, 백경선, 노병준, 김인희

21. 구면 및 반구면 렌더링을 위한 360° 영상의 공간적 왜곡 분석 방법 238
조수빈, 서정일

22. 소수 시점 다중 카메라 기반 자율주행 3차원 공간의 정밀 복원 방안 239
박성준, 서정일

23. 자율주행용 RGB 및 열화상 센서 기반 객체 탐지: 학습 성능과 처리 에너지 소비량의 비교 분석 240
임지훈, 박범진, 오시몬

24. Hypercone 기반 구면 임베딩을 활용한 텍스트 오픈셋 의도 분류 및 이상치 거부 모델 설계 241
임성택, 손원석, 천세진

25. 공공 공간정보의 온톨로지 매핑을 통한 LLM 보조 가능성에 관한 사례 연구 242
송유진, 김정수, 천세진

26. 고정형 CCTV 영상을 활용한 주차 공간 점유 상태 자동 분석 243
이명주, 권희창, 이화진, 한지수, 강서진, 하성룡, 최호균, 장재훈, 주나안

27. 궤적 유사도 기반 경로 표현 기반 로봇 행동 생성 연구 244
정연비, 서정완, 김원열

28. 제조분야 LLM 에이전트의 선택적 실행을 위한 작업 복잡도와 행동 위험도 기반 동적 신뢰도 계산 245
전유리, 박정현, 천세진

ITS

1. 이기종 V2X 통신 네트워크 기반 자율협력주행 서비스 개발 및 실증 연구 246
송유승, 이신경

2. C-ITS 통신방식 전환에 따른 LTE-V2X 노변장치 성능평가 체계 구축 방향 247
윤영민

3. 주행경로 관련 인지 불확실성을 이용한 End-to-End 자율주행의 선택적 제어 248
송기주, 권현

4. 운전자 상태 기반 주행 컨텍스트 생성 기술에 관한 연구 249
장수현, 장준혁, 왕유승, 신대교

5. V2X 기반 프리플로우 톨링 환경에서 병행 무료도로 오프셋 위치 위조를 통한 통행료 회피 공격 시나리오 250
윤준식, 이수지, 전다울, 박현태, 이유식

6. 신호교차로 초기 대기행렬 규모에 따른 정지선 통과차두시간 특성 분석 251
안선영

7. 정밀도로지도 기반 차로 단위 교통정보 생성을 위한 공공·민간 교통데이터 융합 구조 설계 252
신성필

8. 자율주행 중심의 ITS 분야 KS 제정 트렌드 분석 253
주정은, 양륜호

9. 동일 차량 탑재 OBU를 활용한 단일 RSE 검지시각의 변동 특성 분석 254
김현준, 장경찬

10. 지역적 이질성을 고려한 지능형 주차정보시스템(IPIS)에서의 준거점 의존적 주차 선택 255
김솔비, 오종호, 이청원

11. 다익스트라 알고리즘을 활용한 철도역 주변 상권의 이동수단별 최단 경로 탐색 256
이성재, 이재형, 김재환, 고은정

12. Nomadic Device 기반 VRU 안전 서비스 국제표준개발: 공사구간을 중심으로 257
이상조, 심현정, 이재준, 박상민

교통안전

1. 지하도로 주행환경 특성을 고려한 운전자 Vision-Workload 평가지표 개발 258
김지현, 이동민

2. 사고유형별 위험지역 선별과 근거 기반 대규모 언어모델 설명을 결합한 교통 안전 의사결정 지원 259
조근희, 여화수

3. 무인교통단속장비를 활용한 끼어들기 단속기준에 관한 연구 260
인병철, 박지원

4. 실도로 주행실험 기반 터널 내 운전자 동공크기 특성 연구 261
김지현, 이동민, 최지윤

5. 무인교통단속장비의 실제 운용환경 분석을 통한 온·습도 환경시험 기준 개선방안 연구 262
정은옥, 김리헌

6. 머신러닝 기반 어린이보호구역 교통사고 위험 예측 및 잠재위험구역 탐색: 5개 시·도 비교를 중심으로 263
정구승, 이주영

7. 노면색깔유도선 설치가 교통안전 개선에 미치는 영향 분석 264
김진혁, 이정혁, 김원선, 안세진, 이은학

8. 노인보호구역 지정에 따른 교통안전 개선의 인과적 효과 분석 265
김진혁, 이정혁, 김원선, 안세진, 이은학

9. 사업용 자동차 운행기록 기반 위험운전지표 개발 및 위험도 평가 266
박수주, 김도현, 이주영

10. 위험운전행동 기반 사업용 운전자 사고위험도 예측 및 주요 요인 해석 267
강우인, 이주영

11. 적외선 기반 LED 도로표지병 활용 차선 인식 기술 개발 및 안개 환경 적용성 평가 268
박원일, 이석기

12. 교통안전성 향상을 위한 지하도로 운영방안 및 정보제공 체계 구축 연구 269
이주현, 이동민, 정승원, 황순천, 전현규

교통 빅데이터

1. 대전 천변도시고속화도로 원촌육교 구간 통제에 따른 우회교통의 시공간 영향분석 270
윤병민, 김영진, 김태형, 안수연, 윤진원

2. 인천국제공항 이용객의 접근교통수단 선택행태 분석: 다항로짓모형을 중심으로 271
박현호, 최형우, 권영민, 김도현

3. 설명가능한 인공지능을 활용한 고령자 대중교통 이용행태 분석 272
이정혁, 김진혁, 김원선, 안세진, 이은학

4. 국내외 교통분석 네트워크 비교를 통한 도시철도 환승 표현체계 구축 273
김재헌, 김희조, 이상규, 박동주

5. 세금계산서 거래금액 자료의 화물 물동량 O/D 보완 활용성 검토 – 경기도 양주시 사례를 중심으로 – 274
김정은, 원민수, 강태규

6. 대중교통 이용자의 경로선택 특성과 경로 안내 개선 –서울 교통카드 자료 분석과 MNL 기반 후보 경로 순위 조정 275
김태우, 김민수, 여지호, 최성택

7. 도시철도 노선 연장에 따른 대중교통 통행행태 변화 분석 276
김원선, 이정혁, 김진혁, 안세진, 이은학

8. 스마트카드 데이터를 활용한 통행 유형별 정기권 이용 특성 분석 277
강제모, 오종호, 이청원

9. 모바일 앱 조회로그 데이터를 활용한 철도에서의 미실현 수송수요 추정방법론 고찰 278
길주휘, 김희조, 이건, 박동주

10. 지능형 철도 표면 결함 검출을 위한 지도학습·자기지도학습 기반 탐지 기법 연구 279
최기도, 윤영태, 정재훈

11. 서울시 심야 대중교통–따릉이 연계 접근성의 시공간적 변화: 접근성 격차와 지역 유형화를 중심으로 280
심서영, 이정현, 정은수, 황채원, 박서연, 추상호

12. 연관성 분석을 활용한 기상조건에 따른 서울역 지하철 수요 변화 281
정창호, 권오훈, 도우석

교통계획

1. 미래 도로환경 변화에 대응한 통행료 제도 개선 방안 282
백정한, 김종학, 윤태관

2. XAI 기반 화물수단선택 분석: 운송사 규모를 중심으로 283
장진원, 박동주

3. 용량제약 대중교통 통행배정의 미분을 통한 운행빈도 설정 284
김태형, 김동규

4. 이용자 통행행태를 고려한 장애인 콜택시 경로 최적화 285
안세진, 김원선, 이정혁, 김진혁, 이은학

5. eXplainable AI를 이용한 급행열차 이용행태 분석 286
이정혁, 김진혁, 김원선, 안세진, 이은학

6. 교통인프라 확충에 따른 관광통행 잠재수요 분석 287
최보림, 정연식

7. 회전교차로 지체 산정모형의 기하구조 반영 개선 방안 연구 288
박준서, 배범준

8. Virtual GTFS 기반 다중 시나리오 시뮬레이션을 통한 3기 신도시 광역 BRT의 시공간 접근성 및 형평성 사전 평가: 인천 계양 신도시를 중심으로 289
유아영, 문세동

9. 사용자 만족과 방문 분산의 균형을 고려한 방문 코스 추천 방법 290
이승보, 김예원, 김재환, 고은정

기타

1. 국내 제한차량(과적차량) 운행허가 수수료 산정 방안 개발 291
김성현, 김현석

2. 고중량 차량 자동운행허가 관리를 위한 스마트 자중계 성능평가 방안 연구 292
김종식, 이치열

3. 국외 피기백 시스템 운영 현황 검토 및 국내 적용 방향 연구 293
박소윤, 손형근, 서민서, 김동희, 이인묵, 박동주

4. 협소 공간에서 공간 구조와 진입 조건에 따른 주행로봇 간 통행 조정 특성 분석 294
연혁주, 오승민, 장기태

5. 산업 작업장의 휴머노이드–작업자 공존 환경에서 행동 모델 조합이 충돌 회피에 미치는 영향: 다중 에이전트 시뮬레이션 분석 295
오승민, 연혁주, 장기태

6. RT-DETRv4 기반 자율주행 영상 비식별화 대상 객체 검출 및 성능 분석 296
김주완, 이정우, 최정단

7. Crowdshipping 최적화 및 시뮬레이션 연구 동향 분석 297
이건, 민석원, 박동주

8. 비전-언어 모델 기반 비주얼 머천다이징 자동평가에서 시각적 근거 제약을 통한 비근거 추론 억제 298
이명주, 권희창, 이화진, 한지수, 강서진, 하성룡, 최호균, 장재훈, 주나안

재난 및 방재

1. 의료 로봇 힘 제어 시스템 개발 299
현웅근, 박동진

2. 공간적 재난 취약성을 고려한 긴급지원 경로 탐색 연구 300
김강현, 홍정열

3. 지하차도 침수 · 익수 위험 대응을 위한 Radar-Vision 기반 침수 감시 및 3차원 객체 추적 연계 기술 연구 301
박동현, 정인택, 장봉주

4. ITS 환경에서 Physical AI 기반 도로 침수 위험 인지 및 긴급차량 동적 경로 최적화 302
김은지, 김진화, 임수현, 이소원

탄소중립

1. 정적 · 동적 충전 전략을 고려한 모듈형 전기화물차량 기반 물류 서비스 최적화 303
나채민, 유화평, 여화수

2. 보행자 혼잡이 자율주행 배송로봇의 이동시간과 탄소배출에 미치는 영향 304
박성진, 최민제

3. 인천항 대기오염물질 배출량의 장기 변화와 저감정책 효과 분석 305
진무위, 이향숙

자동차

1. CAN 버스의 비트 주입 공격 방어를 위한 Supernode 설계 306
이수지, 전다울, 윤준식, 박현태, 이유식

2. 지상파 DMB 및 브로드밴드망 연동 기반 고정밀 위치 보정 정보 하이브리드 전송 구현 307
서영우, 이용준

사람 중심의 미래교통 실현을 위한 기술 혁신

특별 Session B-9

한국교통안전공단

페달오조작 방지장치의 작동 및 비작동 조건 검토를 위한 실차 실증 연구

방경동

페달오조작 방지장치의 작동 및 비작동 조건 검토를 위한 실차 실증 연구

An Experimental Study on Activation and Non-Activation Conditions of Pedal Misapplication Prevention Devices

방경동
(한국교통안전공단, 조교수)

페달오조작 방지장치는 운전자의 비의도적 가속을 억제하여 사고를 예방하고 피해를 경감하는 것을 목적으로 하며, 정상적인 가속 요구는 허용해야 한다. 본 연구는 다양한 주행 및 노면 조건에서 장치별 개입·비개입 특성을 분석하여 작동 및 비작동 조건 검토에 필요한 실증 근거를 마련하고자 하였다.

승용차와 소형화물차를 대상으로 적재 여부를 구분하고, 정지 및 10·30 km/h 저속 주행, 80 km/h 고속 주행, 12%·20% 경사로, 저마찰 노면 및 과속방지턱 통과 조건에서 실차시험을 수행하였다. VBOX, CAN Gateway 및 답력계로 차량 속도, 이동거리, 가속페달 신호(APS), 제동스위치 상태 및 가속페달 답력을 계측하였다. 결과 해석에는 실증 이후 제정된 국내 안전확인기준의 페달 입력 조건인 조작 위치 변화량 70% 이상 구간의 평균 답입속도 400%/s 이상 및 최종 조작 위치 90% 이상 도달을 참고하였다. 이때 CAN APS 변화율과 물리적 페달 답입속도는 구분하여 해석하였다.

장치의 개입은 가속페달 신호 감소·차단과 기계식 제동 연동 등의 형태로 나타났다. 실증 참여 8개 기업 중 1개 기업의 신호차단형 장치를 사례 분석하였다. 아반떼 AD 미적재·목표 차속 10 km/h의 저속 가속시험에서 CAN APS는 0%에서 약 100%까지 0.08 s의 관측 구간에 걸쳐 상승하여 구간 평균 변화율은 약 1,250%/s였다. APS 급상승이 처음 기록된 시점부터 0% 전환이 기록되기까지 0.48 s 동안 1.46 m를 이동하였으며, 전환 시점에도 190.6 N의 답력이 계측되어 장치의 작동이 요구되는 시험 상황에서 신호 차단 양상을 확인하였다. 같은 기업의 장치를 장착한 포터Ⅱ 적재 상태의 20% 경사로 출발시험에서는 APS 0% 전환 시점에 60.9 N의 답력이 계측되었으며, 이후 제동스위치 ON 기록까지 1.68 s 동안 0.56 m의 차량 이동이 계측되었다. 해당 경사로 실증 과정에서는 신호 차단 이후 차량의 후방 밀림을 확인하였다.

제시한 수치는 개별 시험 사례의 계측 결과이며 전체 장치의 평균 성능을 의미하지 않는다. 또한 시험자가 직접 페달을 조작하므로 답입량·답입속도·조작 시점의 재현성에 한계가 있어 추가 반복시험이 필요하다. 실증 결과는 사고 예방 및 피해 경감을 위한 급격한 페달 입력에 대한 가속 억제와 경사로에서의 안전한 출발을 위한 정상적인 가속 요구의 허용을 함께 고려해야 함을 보여주었다. 본 연구는 이러한 작동·비작동 특성을 실차 계측으로 제시하여 교통안전을 고려한 국내 튜닝부품 안전확인기준 마련에 기초자료를 제공하였다.

사사: 본 연구의 수행에 협조해 주신 한국교통안전공단 시험인증처 및 상주교통안전체험교육센터의 관계자 여러분과 참여기업 관계자 여러분께 깊이 감사드립니다.

온디바이스 AI 컴퓨팅 기반 AI 융합형 모빌리티 디바이스 기술 개발 및 실증

특별 Session C-2

㈜아이비스

온디바이스 AI 기반 차량 CID 애플리케이션 개발
이윤희

온디바이스 sLLM 기반 주행 자원과 운전자 모니터링을 통합한 차량 인포테인먼트 시스템 구현
김건태

온디바이스 환경을 위한 차량 인포테인먼트 도메인 특화 소형 언어모델 개발
김건태

광학적 특성 기반 합성 안개 데이터 생성 및 자율주행 차량용 디헤이징 모델의 실험적 분석
최준원

온디바이스 AI 기반 차량 CID 애플리케이션 개발

Development of an On-Device AI based Application for Automotive Center Information Display

황정현	이윤희	최민지	김상민
((주)아이비스, 책임연구원)	((주)아이비스, 연구원)	((주)아이비스, 연구원)	((주)아이비스, 전무)

최근 차량의 CID(Center Information Display)는 인포테인먼트 화면을 넘어 차량 기능 제어와 주행 정보 표시를 통합하는 HMI의 중심으로 발전하고 있으며, 대규모 언어모델과 비전 AI를 적용하여 운전자의 의도를 이해하고 주변 환경 정보를 제공하려는 시도가 증가하고 있다. 그러나 클라우드 기반 방식은 통신 음영 지역에서의 서비스 단절과 네트워크 지연, 차량 내 음성 및 영상 데이터의 외부 전송에 따른 개인정보 보호 문제를 가지고 있어, 차량 내부에서 추론을 수행하는 온디바이스 AI 기술이 요구된다.

본 논문에서는 텔레칩스 NPU와 Linux 환경에서 sLLM 기반 차량 제어와 카메라 및 레이더 융합 디헤이징 기능을 통합한 온디바이스 AI 기반 CID 애플리케이션을 제안한다. 제안하는 시스템은 CPU와 NPU로 구성된다. CPU는 Linux Kernel, HAL, CID Function Middleware, CID Application 계층으로 구성되어 데이터 처리와 CID의 UI 및 UX를 담당하며, NPU는 AI 모델의 추론 연산을 수행한다. 또한 CPU Data Abstraction Layer와 AI Data Abstraction Layer를 통해 CPU와 NPU 간 데이터 교환을 추상화하여 AI 추론과 CID 애플리케이션을 분리하였다.

sLLM 기반 차량 제어 모듈은 운전자의 음성 입력을 텍스트로 변환한 뒤, Llama 3.2 1B 기반 sLLM을 통해 제어 대상, 동작, 설정값으로 구성된 구조화된 출력과 사용자 응답 텍스트를 생성한다. 생성된 출력은 사전에 정의된 제어 명령 형식에 따라 처리되어 자연어 명령을 실제 차량 기능과 연계한다. 디헤이징 모듈은 전방 카메라 영상과 카메라 좌표계로 투영한 레이더 검출 결과를 함께 입력으로 사용하며, 적은 연산량으로 넓은 수용 영역을 확보하는 LKD-Net을 기반으로 학습하여 임베디드 NPU에 적용하였다.

제안한 시스템의 구현을 통해 CID 메인 화면에서 내비게이션 지도, 안개 낀 원본 영상, 디헤이징이 적용된 전방 영상을 함께 표시하고, sLLM 차량 제어 화면에서 운전자의 명령과 응답을 대화 형태로 확인할 수 있음을 보였다. 또한 디헤이징 결과 영상에서 차선과 노면 표시, 도로 구조물의 대비가 복원되어 운전자의 시인성이 향상됨을 확인하였다. 이를 통해 임베디드 플랫폼에서 자연어 기반 차량 제어와 멀티모달 센서 융합 기반 영상 기능을 통합할 수 있음을 보였다.

사사: 이 논문은 정부(산업통상부)의 재원으로 한국산업기술기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구(No. RS-2024-00443216, 온디바이스 AI 컴퓨팅 기반 AI 융합형 모빌리티 디바이스 기술 개발 및 실증)이며, 정부(국토교통부)의 재원으로 국토교통과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임.(No. RS-2026-25524573, 음영지역 극복을 위한 측위 및 충돌 위험 판단 기술이 적용된 실시간 처리 속도 30 FPS급 차량용 통합 모니터링 시스템 개발)

온디바이스 sLLM 기반 주행 지원과 운전자 모니터링을 통합한 차량 인포테인먼트 시스템 구현

On-Device sLLM-Based Control Parameter Configuration and Driver Monitoring via an In-Vehicle Infotainment System

김건태	윤진수	정성준	전혜림	강창묵
(한양대학교 전기공학과, 석박사통합)	(동국대학교 컴퓨터공학전공, 학사)	(한양대학교 전기공학과, 석박사통합)	(한양대학교 인공지능학과, 석사)	(한양대학교 전기공학과, 인공지능학과, 교수)

본 연구에서는 온디바이스(On-device) 칩셋에서 실행되는 소형 언어모델(small Language Model, sLLM)을 활용하여 사용자 요청에 따른 주행 지원 기능 설정, 실시간 차량 정보 표시 및 운전자 모니터링을 차량 인포테인먼트에 통합하였다. 시스템은 sLLM과 인포테인먼트를 실행하는 온디바이스 칩셋, dSPACE MicroAutoBox(MAB), CarSim과 dSPACE SCALEXIO 및 전동식 파워 스티어링(Electric Power Steering, EPS) 기반 HILS(Hardware-in-the-Loop Simulation) 및 운전자 모니터링을 수행하는 Raspberry Pi 5로 구성하였다.

자연어 요청 처리에는 Llama 계열의 GGACHI 1B 모델을 적용하고, 직접 구성한 데이터셋과 LoRA(Low-Rank Adaptation)를 이용하여 파인튜닝하였다. 사용자의 음성 요청은 STT(Speech-to-Text)를 통해 텍스트로 변환되며, sLLM은 요청을 해석하여 해당 차량 기능에 대응하는 설정을 선택한다. 대표적인 설정 항목에는 목표 차간거리, 종방향 반응속도 및 차선 유지 시스템(Lane Keeping System, LKS)의 오프셋 등이 포함된다. 선택된 설정은 CAN(Controller Area Network) 통신을 통해 MAB에 전달되어 제어 알고리즘에 반영되며, 인포테인먼트 UI에 표시된다. 또한 TTS(Text-to-Speech)를 연동하여 사용자가 음성으로 요청하고 응답을 확인할 수 있도록 구성하였다.

차량 제어 기능으로 LKS, 적응형 순항 제어(Adaptive Cruise Control, ACC) 및 정속 주행 제어(Cruise Control, CC)를 구현하였다. MAB에서 실행되는 LKS는 EPS HILS와 연계하여 조향 제어를 수행하며, ACC와 CC는 CarSim 차량 모델과 연동하여 종방향 제어를 수행한다. MAB, SCALEXIO 및 EPS HILS는 CAN 통신으로 제어 명령과 상태 정보를 교환한다. 이를 통해 사용자 요청에 따른 설정을 제어 기능에 반영하고, 갱신된 차량 상태를 제어 알고리즘의 입력으로 활용하는 환경을 구성하였다.

운전자 모니터링 시스템(Driver Monitoring System, DMS)은 Raspberry Pi 5에서 실시간으로 실행하며, 영상 기반 운전자 분류 결과와 상태 정보를 LAN 통신을 통해 온디바이스 칩셋에 전달한다. 인포테인먼트는 DMS의 인식 결과를 기반으로 현재 운전자를 자동으로 선택하고, 해당 운전자의 상태 정보를 표시한다. UI에는 선택된 차량 기능 설정과 CAN 통신으로 수신한 실시간 차량 정보도 함께 제공하여, 사용자가 동일한 인터페이스에서 요청에 따른 설정과 차량·운전자 상태를 확인할 수 있도록 구현하였다.

본 연구는 온디바이스 sLLM을 활용한 자연어 요청 처리와 HILS 기반 차량 제어, 실시간 운전자 모니터링을 차량 인포테인먼트에 통합한 구현 사례를 제시한다. CAN 및 LAN 통신으로 각 장치의 기능을 연동하여, 사용자 요청의 해석과 설정 적용, 차량 상태의 피드백 및 운전자 정보 제공으로 이어지는 시스템 구성 방법을 제시한다.

사사: 이 논문은 2026년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원(No.RS-2020-II201373, 인공지능대학원지원(한양대학교))과 2024년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2024-00443216)

온디바이스 환경을 위한 차량 인포테인먼트 도메인 특화 소형 언어모델 개발

Development of a Domain-Specific Small Large Language Model for On-Device In-Vehicle Infotainment

김건태
(한양대학교
전기공학과,
석박사통합)

윤진수
(동국대학교
컴퓨터공학전공,
학사)

최민지
(㈜아이비스
연구원)

강창묵
(한양대학교
전기공학과,
인공지능학과,
교수)

본 연구는 온디바이스 환경을 위한 한국어 차량 인포테인먼트 및 차량 기능 제어용 도메인 특화 소형 언어모델(small Large Language Model, sLLM)의 개발 절차를 제시한다. 한국어 차량 명령에서는 상태 반전, 부정 표현, 제어 대상 생략 등으로 인해 사용자 의도와 제어 명령 간 의미 불일치가 발생할 수 있다. 이에 차량제어 시나리오에 정의된 기능과 허용 인자를 기준으로 자연어 발화를 구조화된 ACTION에 대응시키고, 도메인 고유의 의미 혼동을 고려한 데이터 구축과 LoRA(Low-rank Adaptation) 기반 파인튜닝을 수행하였다.

데이터 구축 과정은 시나리오 기반 명령 구조화, 혼동 유형별 의미 대비 예시 구성, 오류 기반 정제, 레이블 보존 증강 및 분할 간 중복 검수로 구성하였다. 제어 명령을 의도, 대상, 목표 상태, 조절 방향 및 수치 인자로 구조화하고, 발화의 표면적인 활성화·비활성화 표현보다 최종적으로 요구되는 제어 상태를 기준으로 정답을 정의하였다. 특히 차량 제어 명령의 상태 전환 관계, 유사 기능 간 의미 차이, 조절 방향 및 대상 생략에 따른 기본 제어 규칙을 반영하였다. 학습 단계별 평가 결과를 바탕으로 오류를 기능 혼동, 상태 반전, 대상 해석 및 수치 인자 오류로 분류하고, 혼동 요소에 따라 정답 ACTION이 달라지는 대비 예시를 보강하였다. 또한 시나리오와 의미가 일치하지 않거나 제어 대상이 모호한 예시를 교정하고, 학습 분할에 정답을 유지하는 표현 증강을 적용하였다. 의미 그룹과 정규화된 발화를 기준으로 분할 간 중복을 점검하였으며, 최종적으로 47개 의도에 대해 전체 데이터 기준 의도별 최소 300건, 총 18,877건의 데이터셋을 구성하였다.

온디바이스 환경의 제한된 메모리와 연산 자원을 고려하여, 모델 저장 공간과 추론 시 메모리 요구량을 줄일 수 있는 Llama 계열 GGACHI 1B Instruct 모델을 기반 모델로 선정하였다. 모델 규모를 확대하는 대신 차량제어 시나리오에 기반한 도메인 특화 학습을 통해 sLLM의 명령 해석 성능을 확보하고자 하였다. 구축한 데이터셋을 이용하여 LoRA 기반 파라미터 효율적 파인튜닝을 수행하였으며, 기본 모델의 가중치를 고정하고 attention 및 feed-forward 계층의 투영 행렬에 LoRA를 적용하였다. rank는 32, scaling parameter는 16, dropout은 0.05로 설정하고 1 epoch 동안 학습하였다. 학습에는 시스템 프롬프트와 사용자 입력을 제외한 응답 구간에만 손실을 계산하는 지도 파인튜닝을 적용하여 구조화된 ACTION과 안내 문장인 SAY의 생성을 최적화하였다.

평가 결과, 시스템의 ACTION 정확 일치율은 검증 집합에서 95.49%, 시험 집합에서 96.58%를 기록하였다. SAY 정답률은 각각 95.78%와 96.79%였으며, ACTION·SAY 동시 정답률은 95.35%와 96.51%였다. 추론 성능은 BF16 정밀도와 배치 크기 1로 평가하였다. 텍스트 전처리부터 ACTION 및 안내 문장 생성까지의 평균 추론 지연시간은 598.8ms, 중앙값은 580.0ms, 95백분위 지연시간은 727.4ms로 나타났다. 본 연구는 한국어 차량 명령의 의미 혼동 유형을 체계화하고, 시나리오 정합성 검수와 의미 대비 예시를 결합한 데이터 구축 및 학습 절차를 통해 차량 도메인 특화 sLLM의 활용 가능성을 보여준다.

사사: 이 논문은 2026년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원(No.RS-2020-II201373, 인공지능대학원지원(한양대학교))과 2024년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2024-00443216)

광학적 특성 기반 합성 안개 데이터 생성 및 자율주행 차량용 디헤이징 모델의 실험적 분석

Optics-Based Synthetic Fog Data Generation and Experimental Analysis of Dehazing Models for Autonomous Vehicles

신윤식
(한양대학교, 전기공학과)

최준원
(서울대학교, 전기정보공학부)

안개는 빛의 산란과 흡수로 차량 카메라 영상의 대비와 색 정보를 저하시켜 자율주행 인지 성능을 떨어뜨린다. 안개 영상을 복원하는 딥러닝 기반 디헤이징 모델은 같은 장면의 안개 영상과 맑은 영상 쌍을 필요로 하지만, 실제 주행 환경에서는 이러한 쌍을 동시에 획득할 수 없어 합성 안개 데이터가 사용된다. 그러나 물리적 산란 모델은 모든 화소의 거리 정보를 요구하는 반면 공개 주행 데이터셋의 LiDAR 점군은 희소하며, 확산 모델 기반 생성 기법은 장면 구조를 변형하여 화소 단위로 정렬된 학습 쌍을 만들기 어렵다.

본 논문에서는 Depth Anything V2로 추정한 고밀도 깊이 맵과 대기 산란 모델을 결합하여 안개 농도, 거리 가중치, 안개 색상을 조절할 수 있는 광학적 특성 기반 합성 안개 생성 방법을 제안하고, 이를 nuScenes 주행 영상에 적용하였다. 비교를 위해 CycleGAN 기반의 비선형 합성 안개 데이터도 함께 구축하였다. 디헤이징 모델로는 온디바이스 적용을 고려하여 0.34M 파라미터, 3.41 GFLOPs의 경량 모델인 LKD-Net을 선정하고, RESIDE 벤치마크(OTS 학습, SOTS 평가)에서 구현을 검증하였다.

실험 결과, 광학적 특성 기반 nuScenes 데이터로 학습한 모델은 PSNR을 15.57 dB에서 31.88 dB로 16.31 dB 개선하여, 유사한 열화 수준의 기준 설정(15.21 dB)보다 큰 개선을 보였다. 반면 CycleGAN 기반 데이터에서는 개선 폭이 2.65 dB에 그쳤는데, 이는 비짝 영상 변환이 안개 외의 색상과 질감까지 변형하여 정답 영상과의 화소 단위 대응을 보장하지 못하기 때문으로 분석된다. 이를 통해 디헤이징 학습 데이터에서는 정답 영상과의 화소 단위 정합성이 핵심 요소임을 확인하였다.

향후에는 실제 안개 환경에서의 평가 체계를 구축하고, 학습된 모델을 차량용 NPU 보드에 이식하여 실시간 동작 성능을 검증할 계획이다.

사사: 이 논문은 정부(산업통상부)의 재원으로 한국산업기술기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2024-00443216, 온디바이스 AI 컴퓨팅 기반 AI 융합형 모빌리티 디바이스 기술 개발 및 실증).

무인 고속정 군집 추정 기술 연구 성과 공유 및 실증 적용 방안 논의

특별 Session C-3

한국해양대학교

선박 · UAV · 모노콥터 복합 운용 기반 무인 고속정 군집 추정 검증용 해상 시뮬레이터 구축
박시은

360도 파노라마 뷰 카메라 감시를 위한 영상 정합 방법에 관한 연구
배주원

Unity 기반 레이다-카메라 융합을 이용한 다중 무인수상정 추적 및 군집 기동 판별
양민석

선박·UAV·모노콥터 복합 운용 기반 무인 고속정 군집 추정 검증용 해상 시뮬레이터 구축

Development of a Marine Simulator for Validating USV Swarm Estimation through Integrated Ship - UAV - Monocopter Operations

박시은	백원빈	안홍균	우주현	이혜원
(국립한국해양대학교, 석사과정)	(국립한국해양대학교, 석사과정)	(국립한국해양대학교, 박사과정)	(국립한국해양대학교, 교수)	(국립한국해양대학교, 교수)

무인 고속정 군집의 탐지 및 추정 기술을 검증하기 위해서는 복합 해기상 조건뿐 아니라 관측 플랫폼의 이동, 지형에 의한 차폐, 시간에 따른 표적의 이동을 함께 고려할 수 있는 실험 환경이 필요하다. 본 연구에서는 기존에 구축한 해상 시뮬레이터를 확장하여, 선박·UAV·모노콥터의 복합 운용과 파노라마뷰 정합 및 저전력 모노콥터를 이용한 비가시선(NLOS) 탐색, 3D 이미지 융합 기반의 해상 군집 추정 기술을 검증 가능한 통합 시뮬레이션 환경을 구현하였다. 이를 위해 가시화 엔진과 동역학 엔진을 실시간 연동하고, 시나리오별 객체의 위치·자세 및 활성 상태를 가상환경에 반영하도록 구성하였다. 이를 통해 드론의 자선 복귀와 재출발을 포함한 교대 운용 및 모노콥터의 투하·하강 과정을 가시화할 수 있도록 운용 시나리오를 확장하였다. 또한 선박의 4방향 카메라와 드론·모노콥터 카메라에 대해 카메라 투영 정보와 해수면 교차 계산, 지형 차폐를 고려한 Raycast 기반 가시영역 표현을 적용하였다. 산출한 관측 영역은 객체의 위치 및 이동 궤적과 함께 전술 화면에 표시하여, 플랫폼 운용에 따른 관측 범위와 사각 구간을 직관적으로 확인할 수 있도록 하였다. 알고리즘 학습과 평가를 지원하기 위해 동일 시점의 4방향 영상과 시퀀스 내 객체 식별자가 유지되는 추적 데이터를 생성하고, 객체의 위치·속도·선수방향 및 영상 내 경계상자 등의 정답 정보를 함께 저장하도록 구현하였다. 아울러 드론의 고도와 관측 방향을 변화시킨 학습 데이터 생성 및 외부 선박 탐지 프로그램과의 영상·추론 결과 연동 기능을 구성하였다. 구축한 환경에서 시나리오에 따른 객체 이동과 센서 가시영역 변화를 확인하였으며, 이를 통해 복합 관측 플랫폼의 운용 검토와 무인 고속정 탐지·추적 및 군집 추정 알고리즘의 후속 검증을 지원하는 기반을 마련하였다.

사사: 이 연구는 2025년 정부(방위사업청)의 재원으로 국방과학연구소의 지원을 받아 수행된 미래도전국방기술 연구개발사업임(No.915141301).

360도 파노라마 뷰 카메라 감시를 위한 영상 정합 방법에 관한 연구

A Study on Radar-RGB Image Matching Techniques for Enhancing Maritime Surveillance

배주원 (한국해양대학교, 박사과정)

이진세 (한국해양대학교, 박사과정)

서홍일 (한국해양대학교, 박사)

서동환 (한국해양대학교, 교수)

고속 무인수상정과 같은 해상 이동 표적을 효과적으로 감시하기 위해서는 선박 주변의 넓은 영역을 연속적으로 관찰할 수 있는 영상 감시 기술이 필요하다. 특히 여러 카메라의 영상을 결합하여 360도 파노라마 영상을 구성하는 경우, 카메라 간 시점 차이와 영상 경계의 정합 오차로 인해 표적의 형태가 왜곡되거나 시각적 연속성이 저하될 수 있다. 이러한 문제를 완화하기 위해 본 연구에서는 360도 파노라마 영상 감시를 위한 객체 정보 기반 영상 정합 방법을 제안한다. 제안 방법은 LoFTR의 coarse-to-fine 매칭 구조를 기반으로, 분할 네트워크에서 추출한 객체 정보에 공간적 평활화와 가중치 조정을 적용하여 객체 영역을 반영하는 가중치 맵을 생성한다. 이후 해당 정보를 특징 표현, coarse 매칭 점수 및 최종 매칭 신뢰도에 단계적으로 반영하여 영상 간 대응점을 추정한다. 조명 및 시점 변화 조건에서 기존 LoFTR과 매칭 정확도 및 재투영 오차를 비교한 결과, 적절한 객체·배경 가중치 설정에서 매칭 정확도를 유지하면서 재투영 오차가 감소하는 경향을 확인하였다. 제안 방법은 향후 다중 카메라 기반 파노라마 영상 구성과 해상 표적 감시를 위한 영상 정합 기술로 활용될 수 있다.

사사: 이 연구는 2025년 정부(방위사업청)의 재원으로 국방과학연구소의 지원을 받아 수행된 미래도전국방 기술 연구개발사업임 (No.915141301)

Unity 기반 레이다 - 카메라 융합을 이용한 다중 무인수상정 추적 및 군집 기동 판별

Multi-USV Tracking and Group Maneuver Recognition Using Unity-Based Radar - Camera Fusion

양민석
(국립한국해양대학교, 석사과정)

Anto Anbarasu Yesudhas
(국립한국해양대학교, 박사후연구원)

성주현
(국립한국해양대학교, 교수)

최근 해상 무인수상정(Unmanned Surface Vehicle, USV)의 활용이 확대됨에 따라 다수의 이동 표적을 안정적으로 탐지 및 추적하고, 군집 단위의 이동 방향 및 기동 상태를 판단하는 기술의 중요성이 높아지고 있다. 그러나 해상 카메라 영상만으로는 원거리 표적의 크기가 작고 관측 방향이 제한되어 지속적인 추적과 군집 상태 추정에 어려움이 발생할 수 있다. 이에 본 연구에서는 Unity 기반 해상 시뮬레이션 환경에서 레이다와 다중 카메라 정보를 융합하여 개별 무인수상정의 이동 상태를 추적하고 군집 기동을 판별하는 멀티센싱 프레임워크를 구성하였다.

제안 시스템은 레이다에서 획득한 표적의 거리 및 방위각 정보를 이용해 상대 위치를 추정하고, 이를 선박에 설치된 전, 후, 좌, 우 4개 카메라 영상에 투영하여 관심영역 기반 객체 탐지를 수행한다. 이후 레이다와 카메라 관측 정보를 연계하여 개별 표적의 추적 상태를 유지하고 위치 및 이동 방향을 추정한다. 군집 추정에는 표적 간 거리와 이동 방향의 유사성을 활용하였으며, 군집 구성의 시간적 지속성을 확인하여 일시적인 관측 변화에 따른 오판정을 줄이도록 하였다. 또한 시간에 따른 군집 이동 방향의 변화를 분석하여 직진, 좌회전 및 우회전 상태를 판별하였다.

성능 검증을 위해 Unity 환경에서 10척의 무인수상정이 접근하거나 방향을 전환하는 시나리오를 구성하고, 5Hz로 생성된 레이다 및 카메라 데이터를 이용하였다. 정상 센서 조건의 총 18개 시뮬레이션 실행에서 표적별 5km 이전 초기 탐지, 4km 이전 2차 확인 및 3km 이전 추적 기반 식별 완료를 각각 180건 중 180건 달성하였다. 또한 군집 기동 판별은 18개 시나리오에서 모두 정답을 기록하였다. 추가적으로 다중 군집의 교차, 분리 및 합류 상황을 구성하여 군집 상태 변화에 대한 적용 가능성을 검토하였다.

본 연구는 레이다와 다중 카메라를 연계한 개별 표적 추적 및 군집 기동 판별 과정을 시뮬레이션 환경에서 통합적으로 구현하고 검증하였다는 데 의의가 있다. 향후 다양한 해상 환경과 센서 불확실성을 반영한 추가 검증을 통해 실제 운용 환경에 대한 적용 가능성을 평가할 필요가 있다.

사사: 이 연구는 2025년 정부(방위사업청)의 재원으로 국방과학연구소의 지원을 받아 수행된 미래도전국방기술 연구개발사업임 (No.915141301).



Session A

자율주행 인지 · 데이터 검증

Session

A-1

악천후 합성 이미지의 인지 오류 재현성 분석: 클래스별 성능 변화와 오분류 양상 비교
김소희, 홍택수, 임서현, 권장우

센서 구성 및 주행 환경 변화에 따른 다중 Camera 3D 객체 검출 모델의 학습 전략 분석
장원태, 손재호, 원종훈

학습 기반 Edge Case 자동 판정 및 데이터 선별을 통한 자율주행 페루프 재학습 · 검증 프레임워크
최재원, 박성준, 원종훈

RegDiffFormer: 다변량 주행 시계열 차이 학습을 통한 자율주행 소프트웨어 회귀 진단
김예린, 윤서연, 원종훈

KITTI 객체 탐지 난이도 기준의 임계값 타당성 분석
전혜림, 김민준, 나은교, 신채은, 강창묵

메시지 브로커 기반 주행 데이터 로깅 · 재현과 분석 에이전트를 활용한 주행 분석 환경 구축
김희철, 전재석, 박현배

악천후 합성 이미지의 인지 오류 재현성 분석: 클래스별 성능 변화와 오분류 양상 비교

Analysis of Perception Error Fidelity in Synthetic Adverse-Weather Images: A Comparison of Class-wise Performance Changes and Misclassification Patterns

김소희 (인하대학교 전기컴퓨터공학과)

홍택수 (인하대학교 전기컴퓨터공학과)

임서현 (인하대학교 전기컴퓨터공학과)

권장우 인하대학교 컴퓨터공학과)

자율주행 환경에서 악천후는 도로, 차량, 보행자 등을 인식하는 의미 분할(Semantic Segmentation) 모델의 성능에 영향을 미친다. 실제 악천후 데이터를 확보하는 데에는 많은 비용이 소요되므로, 맑은 날씨의 이미지를 악천후로 변환하는 합성·증강 기법이 활용되고 있다. 그러나 합성 이미지가 실제 악천후처럼 표현되더라도, 모델에서 발생하는 성능 변화까지 유사하게 재현한다고 보장할 수는 없다. 또한 이는 평균적인 성능 변화만으로 판단하기 어렵다. 클래스별 성능 변화가 유사하더라도 잘못 예측되는 대상 클래스의 분포는 다를 수 있으며, 이러한 비교 결과는 데이터 집계 방식에 따라서도 달라질 수 있다. 따라서 합성 이미지의 인지 오류 재현성을 평가하기 위해서는 클래스별 성능 변화와 오분류 특성을 함께 분석하고, 집계 방식에 따른 결과의 안정성을 확인할 필요가 있다. 본 연구는 저비용 악천후 합성 이미지가 실제 악천후에서 나타나는 의미 분할 모델의 인지 오류를 얼마나 유사하게 재현하는지 분석하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 본 연구에서는 클래스별 성능 변화와, 오류 발생 특성과 잘못 예측되는 대상 클래스를 비교 분석하였다. ACDC 데이터셋의 비, 안개, 야간 총 655개의 맑은 날씨·실제 악조건 대응 이미지 쌍을 사용하였으며, Global, Physics, Albumentations의 세 가지 저비용 합성·증강 방법을 적용하였다. 원본 참조 이미지(Clear)와 실제 악천후 이미지(Real)를 포함한 총 3,275개의 이미지별 혼동 행렬을 분석하였다. 평가 모델은 Cityscapes의 19개 클래스로 학습된 SegFormer-B5를 사용하였다. 주요 지표로는 Clear 대비 클래스별 IoU 변화량(ΔIoU), 실제 조건과 합성 조건 간 평균 절대오차(MAE), Precision·Recall 및 오분류 대상 분포의 차이를 측정하는 Jensen - Shannon Divergence(JSD_2)를 사용하였다. 또한 Recording Group별 동일 가중 평균을 주 평가 기준으로 삼고, 집계 방식과 촬영 그룹 구성에 따른 결과의 변화를 검토하였다. 첫째, 실제 악조건의 성능 변화를 가장 가깝게 재현하는 합성 방법은 날씨와 클래스에 따라 달랐다. 비 조건에서는 Global의 ΔIoU MAE가 5.90 %p로 가장 작았지만, 클래스별 비교에서는 Physics가 실제 성능 변화를 더 가깝게 재현하였다. 안개 조건에서는 Global과 Physics의 MAE가 약 8 %p인 반면 Albumentations는 27.38 %p로 나타나, 실제 안개보다 큰 성능 차이를 보였다. 둘째, 모델의 성능 변화가 유사하더라도 실제로 발생하는 오류의 특성은 다를 수 있다. 야간 조건에서 Albumentations는 가장 작은 ΔIoU MAE(13.70 %p)를 보였으나, 오분류 대상 분포의 차이를 나타내는 JSD_2 는 Physics가 0.162 bit로 가장 작았다. 셋째, 평가 결과는 데이터 집계 방식과 촬영 그룹 구성의 영향을 받았다. 비 조건에서 Equal-group 방식은 Global의 MAE가 가장 작았으나, Dataset-pooled 방식에서는 Albumentations가 가장 작아 방법별 순위가 역전되었다. 본 연구는 실제 악천후와 합성 악천후의 클래스별 성능 변화, Precision·Recall, 오분류 대상 분포 및 평가 결과를 종합적으로 비교하여 합성 이미지의 인지 오류 재현성을 분석하였다. 본 연구의 결과는 단일 의미 분할 모델과 제한된 합성 조건에서 얻어진 관찰에 기반하지만, 향후 ITS 분야에서 합성 악천후 이미지의 인지 오류 재현성을 평가하고 연구 목적에 적합한 합성 방법을 선정하는 데 필요한 다각적인 평가 관점과 근거를 제공할 수 있을 것으로 예상된다.

사사: 본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 생성AI선도인재양성사업 연구 결과로 수행되었음 (IITP-2026-RS-2026-25544188)

센서 구성 및 주행 환경 변화에 따른 다중 Camera 3D 객체 검출 모델의 학습 전략 분석

Analysis of Training Strategies for Multi-Camera 3D Object Detection under Changes in Sensor Configuration and Driving Environment

장원태 (인하대학교 자율항법연구실, 학부연구생)

손재호 (인하대학교 자율항법연구실, 학부연구생)

원종훈 (인하대학교 전기컴퓨터공학과, 교수)

다중 Camera 기반 3D 객체 검출은 자율주행 차량의 주변 환경을 인지하기 위한 핵심 기술이다. Sparse Instance 계열 모델은 이전 프레임의 객체 정보를 활용하고 다중 Camera 영상의 특징을 결합하여 3D 객체를 검출한다[1]. 그러나 Camera의 해상도, 화각, 장착 위치와 같은 센서 구성이나 주행 환경이 변경되면 기존 모델의 검출 성능이 저하될 수 있다[2]. 이러한 변화에 대응하기 위해서는 새로운 환경의 데이터를 이용한 추가 학습이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 센서 구성과 주행 환경이 동시에 변화한 조건에서 기존 3D 객체 검출 가중치의 활용 여부와 Fine-tuning 시 learning rate 설정 방식에 따른 검출 성능 및 학습 효율을 비교한다.

본 연구에서는 MORAI 시뮬레이터를 이용하여 도심 저속 주행의 Source 데이터셋과 Camera 설정 및 주행 환경을 변경한 Target 데이터셋을 구축하였다. Target은 도심 저속·고속 및 고속도로 주행 환경으로 구성하였으며, Sparse4D v3를 축소·변형한 다중 Camera 3D 객체 검출 모델을 사용하였다. 학습 전략은 세 가지로 구성하였다. S1은 기존 3D 객체 검출 가중치를 사용하지 않고 30 epoch 학습하였으며, S2와 S3는 기존 가중치를 활용하여 15 epoch Fine-tuning하였다. S2는 모든 파라미터 그룹에 동일한 learning rate 배율을 적용하고, S3는 Backbone·FPN, Decoder 및 재초기화 파라미터에 차등 배율을 적용하였다. 검출 성능은 nuScenes 방식의 mAP와 mATE를 기준으로 평가하고, validation loss와 학습 시간을 함께 비교하였다[3].

실험 결과, 기존 모델을 Target 환경에 추가 학습 없이 적용한 Source only의 mAP는 0.207이었다. 동일한 15 epoch 조건에서 S1, S2, S3의 mAP는 각각 0.738, 0.783, 0.796으로 S3가 가장 높았다. 또한 S3는 S2보다 낮은 mATE(0.292 m 대 0.309 m)와 validation loss(9.069 대 9.442)를 기록하였다. S3는 15 epoch에서 S1의 30 epoch 결과(mAP 0.794, mATE 0.290 m)와 유사한 검출 성능을 달성하면서 학습 시간은 73.5시간에서 36.5시간으로 약 50% 감소하였다. 이러한 결과는 사전학습 가중치의 효과가 데이터 특성과 학습 일정에 따라 달라질 수 있다는 기존 연구[4]의 관찰과도 관련되며, 본 실험 조건에서 기존 가중치 활용과 그룹별 learning rate 설정을 결합한 학습 전략이 검출 성능과 학습 효율 측면에서 유리할 수 있음을 보여준다.

Key Words: Fine-tuning, Domain Shift, Multi-Camera 3D Object Detection, Training Strategies Analysis

참고문헌

1. X. Lin et al. (2026), “Sparse4D: Sparse-Based End-to-End Multi-Sensor Temporal Perception”, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 48, no. 9, pp. 10774 - 10791.
2. L. Zheng, Y. Liu, Y. Wang, H. Zhao (2023), “Cross-Dataset Sensor Alignment: Making Visual 3D Object Detector Generalizable”, Proceedings of the 7th Conference on Robot Learning, Proceedings of Machine Learning Research, vol. 229, pp. 1903 - 1929.
3. H. Caesar et al. (2020), “nuScenes: A Multimodal Dataset for Autonomous Driving”, Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 11621 - 11631.
4. K. He, R. Girshick, P. Dollár (2019), “Rethinking ImageNet Pre-Training”, Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision, pp. 4918 - 4927.

사사: 본 과제(결과물)는 2026년도 교육부 및 인천시의 재원으로 인천 앵커센터의 지원을 받아 수행된 지역성장 인재양성체계(앵커)의 결과입니다.(2026-ANCHOR-04-009)

학습 기반 Edge Case 자동 판정 및 데이터 선별을 통한 자율주행 폐루프 재학습·검증 프레임워크

A Closed-Loop Retraining and Verification Framework for Autonomous Driving with Learning-Based Edge Case Classification and Data Selection

최재원
(인하대학교 자율항법연구실, 학부연구생)

박성준
(인하대학교 자율항법연구실, 학부연구생)

원종훈
(인하대학교 전기컴퓨터공학과, 교수)

자율주행 모델의 성능 개선에는 주행 중 문제 사례를 선별해 재학습에 반영할 필요가 있다. 그러나 급감속 등 주행 지표가 기준값을 초과하더라도 정상적인 위험 대응의 결과일 수 있어, 지표의 발생 자체만으로 Edge Case 여부를 판단하기 어렵다[1]. 중요한 주행 상태를 선별하는 데이터 집계 연구가 제안되었으나[2], 대응의 적절성과 학습 데이터의 유효성을 함께 검증할 필요가 있다. 이에 본 연구는 Event 검출·자동 판정·데이터 선별을 재학습 및 폐루프 평가와 연결하는 프레임워크를 제안한다.

MORAI 환경에서 VLDrive[3] 기반 주행 모델의 급감속·회피·출발 Event를 수집하고, 독립 참조 라벨로 XGBoost[4] 판정기를 학습한다. Threshold는 모든 후보를 EDGE로, Rule-based는 사전 정의된 규칙에 따라 판정한다. XGB-common은 반응 지연·최소 이격거리 등의 공통 특징을 사용하고, Proposed(XGB-full)는 추가 특징을 결합하여 EDGE·NON_EDGE·REVIEW를 판정한다. 선별된 적격 Event를 재현하고, 동일한 기준 주행의 센서 입력과 미래 waypoint를 시간 정합하여 재학습 데이터를 구성한다.

동일 시험 Event에서 네 판정 방법의 성능을 비교하고, 재학습에서는 Base를 제외한 Random·Threshold·Rule-based·Proposed에 동일한 초기 모델과 학습 조건·추가 데이터량을 적용하였다. 재학습 효과는 waypoint 예측 오차[5], 정지 문제 발생률, 회피·출발의 부적절 대응 발생률, 충돌률 및 일반 주행 완주율로 평가하였다. Proposed는 F1 0.892와 FPR 0.058을 기록했고, Rule-based 대비 정지 문제 발생률을 21.78%에서 16.42%로 낮췄으며, 회피·출발의 부적절 대응 발생률도 감소시키면서 완주율 95%를 유지하였다.

참고문헌

1. L. Vater et al. (2023) “A Systematic Approach Towards the Definition of the Terms Edge Case and Corner Case for Automated Driving,” Proc. 3rd International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering (ICECCME), pp. 1~6
2. A. Prakash et al. (2020) “Exploring Data Aggregation in Policy Learning for Vision-Based Urban Autonomous Driving,” Proc. IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 11763~11773
3. R. Zhang et al. (2025) “VLDrive: Vision-Augmented Lightweight MLLMs for Efficient Language-grounded Autonomous Driving,” Proc. IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV), pp. 5923~5933
4. T. Chen and C. Guestrin (2016) “XGBoost: A Scalable Tree Boosting System,” Proc. ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD), pp. 785 - 794
5. X. Jia et al. (2024) “Bench2Drive: Towards Multi-Ability Benchmarking of Closed-Loop End-To-End Autonomous Driving,” Advances in Neural Information Processing Systems, vol. 37, pp. 819~844

사사: 본 과제(결과물)는 2026년도 교육부 및 인천시의 재원으로 인천앵커센터의 지원을 받아 수행된 지역성장 인재양성체계(앵커)의 결과입니다.(2026-ANCHOR-04-009)

RegDiffFormer: 다변량 주행 시계열 차이 학습을 통한 자율주행 소프트웨어 회귀 진단

RegDiffFormer: Multivariate Driving Time-Series Difference Learning for Regression Diagnosis of Autonomous Driving Software

김예린
(인하대학교 자율항법연구실, 학부연구생)

윤서연
(인하대학교 자율항법연구실, 학부연구생)

원종훈
(인하대학교 전기전자공학과, 교수)

최근 자동차 산업은 소프트웨어 정의 차량(Software Defined Vehicle, SDV)으로 전환되면서 차량 기능의 소프트웨어 의존도가 증가하고 있다. 특히 인지·판단·제어가 연계되는 자율주행 시스템에서는 작은 소프트웨어 변경도 기존 주행 성능의 저하로 이어질 수 있어 회귀 검증의 중요성이 높아지고 있다[1]. 기존 자율주행 시스템 테스트에서는 시스템 수준의 오류 탐지에 집중하여 원인 모듈을 식별하는 데 한계가 있다는 지적이 있다[2]. 또한 내부 정보 제한이나 로그 누락으로 진단 근거가 부족할 수 있다. 본 연구에서는 소프트웨어 변경 전 기준 주행을 Reference, 변경 후 검증 대상 주행을 Candidate로 정의하고, Reference 대비 Candidate에서 나타나는 성능 저하 유형을 회귀패턴(Regression Pattern, RP)으로 정의한다. 이를 바탕으로 회귀패턴과 원인 단계를 함께 진단하는 RegDiffFormer를 제안한다.

제안 방법은 Reference와 Candidate의 차량 상태, 제어 명령, 주변 객체, 경로 및 신호 정보 등을 다변량 시계열로 구성한다. 관측값, 관측 마스크 및 경과시간을 입력으로 사용하며, 가중치를 공유하는 Transformer 인코더로 각 주행의 시간적 의존관계를 학습한다[3,4]. 이후 Candidate 특징을 Query, Reference 특징을 Key와 Value로 사용하는 Cross-attention을 통해 시점별 대응 Reference 특징을 참조한다[3]. Candidate 특징과 Candidate 대응 Reference 특징, 두 특징의 방향 차이와 크기 차이를 결합하여 Pair 단위 비교 특징을 생성한다. 출력은 반응 지연(RP1), 감속량 부족(RP2), 정지 유지 위반(RP3), 횡방향 진동 증가(RP4), 경로 추종 성능 저하(RP5)의 발생 여부를 예측하는 회귀패턴 헤드와, RP1·RP5의 세 원인 단계를 분류하는 원인 단계 헤드로 구성한다. 결함 주입 정보는 원인 단계 라벨에만 사용하고 모델 입력에서는 제외하며, 관측 마스크로 누락값과 유효 관측값을 구분한다[5].

실험은 VTD(Virtual Test Drive)에서 60개의 기본 시나리오에 각각 12개의 변형 조건을 적용하여 구축한 720개의 Reference - Candidate Pair와 4,932개의 분석 구간으로 수행하였다. 기본 시나리오 단위로 42/9/9개를 학습·검증·평가 세트로 분리하고, 규칙 기반 방법 및 기존 모델과 비교하였다. RegDiffFormer는 회귀패턴 검출에서 Macro-F1 0.810, RP1·RP5 원인 단계 진단에서 Macro-F1 0.803으로 가장 높은 성능을 보였다. Candidate 관측값의 50%가 누락된 조건에서도 원인 단계 진단 Macro-F1 0.698을 기록하였다. 이를 통해 두 주행의 시간적 대응 관계와 명시적 차이 특징이 회귀패턴 및 원인 단계 구분에 유효하며, 제한된 관측 환경에서도 진단 성능 저하를 완화할 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

1. P. Arcaini and A. Cetinkaya, “DETOUR: A Tool for Regression Testing of Autonomous Driving Systems,” Science of Computer Programming, vol. 253, Art. no. 103490, 2026.
2. R. Wang, M. Cheng, X. Xie, Y. Zhou, and L. Ma, “MoDitector: Module-Directed Testing for Autonomous Driving Systems,” Proceedings of the ACM on Software Engineering, vol. 2, no. ISSTA, pp. 137 - 158, 2025.
3. A. Vaswani, N. Shazeer, N. Parmar, J. Uszkoreit, L. Jones, A. N. Gomez, L. Kaiser, and I. Polosukhin, “Attention Is All You Need,” Advances in Neural Information Processing Systems, vol. 30, pp. 5998 - 6008, 2017.
4. G. Zerveas, S. Jayaraman, D. Patel, A. Bhamidipaty, and C. Eickhoff, “A Transformer-based Framework for Multivariate Time Series Representation Learning,” Proceedings of the 27th ACM SIGKDD Conference on Knowledge Discovery & Data Mining, pp. 2114 - 2124, 2021.
5. Z. Che, S. Purushotham, K. Cho, D. Sontag, and Y. Liu, “Recurrent Neural Networks for Multivariate Time Series with Missing Values,” Scientific Reports, vol. 8, Art. no. 6085, 2018.

사사: 본 과제(결과물)는 2026년도 교육부 및 인천시의 재원으로 인천앵커센터의 지원을 받아 수행된 지역성장 인재양성체계(앵커)의 결과입니다. (2026-ANCHOR-04-009)

KITTI 객체 탐지 난이도 기준의 임계값 타당성 분석

Validity Analysis of Thresholds for KITTI Object Detection Difficulty Criteria

전혜림 (한양대학교 인공지능학과, 석사)

김민준 (한양대학교 전기공학과, 학사)

나은교 (한양대학교 전기공학과, 학사)

신채은 (한양대학교 전기공학과, 학사)

강창묵 (한양대학교 전기공학과, 인공지능학과, 교수)

자율주행 시각 인지 시스템의 성능을 평가하기 위해서 객체 탐지가 어려워지는 조건을 파악하고, 이를 적절한 기준으로 구분할 필요가 있다. KITTI 객체 탐지 벤치마크는 바운딩 박스 높이, 가림 및 잘림 조건을 조합하여 Easy, Moderate, Hard의 평가 조건을 정의한다. 그러나 평가 대상을 구분하기 위한 고정 임계값이 서로 다른 모델에서도 공통된 성능 변화 경계로 나타나는지는 검토가 필요하다. 본 연구는 KITTI 공식 난이도 기준의 형성 근거를 살펴보고, 객체 탐지 모델의 검출 결과를 통해 난이도 변수의 유효성과 수치적 경계의 모델 간 일관성을 분석하였다.

실험에는 KITTI 학습 데이터셋 7,481장의 Car와 Pedestrian 33,229개 객체를 사용하였으며, 사전학습된 YOLO26n과 MobileNetV3-Large 기반 SSDLite320을 적용하였다. 검출 성공 여부는 신뢰도 0.25 이상인 예측에 대해 클래스별 IoU 기준과 일대일 매칭으로 판정하였다. 평가지표는 정답 객체 중 검출에 성공한 객체의 비율로 정의하여 공식 평균 정밀도(AP)와 구분하였다. 높이 기준 25px와 40px 주변의 검출률 및 가림 단계별 검출률 변화를 비교하고, 잘림률을 네 구간으로 나누어 검출률과 객체 특성을 분석하였다. 또한 객체 높이, 거리, 클래스 및 가림을 보정한 로지스틱 회귀분석을 수행하고, 프레임 단위 군집 강건 표준오차를 적용하여 인접 잘림 구간 간 검출 승산비를 추정하였다.

본 연구에서 검토한 선행연구와 공식 평가 문서에서는 높이와 잘림 임계값을 여러 모델에 공통인 최적 성능 변화점으로 도출·검증한 근거를 확인하지 못하였다. 실험 결과, 높이 기준 주변에서 바운딩 박스 높이가 큰 객체 집단의 YOLO26n 검출률이 작은 집단보다 4.9~17.7%p 높았다. 가림 단계가 0에서 1로 증가할 때 검출률은 YOLO26n과 SSDLite320에서 각각 33.5%p와 13.0%p 감소하여, 감소 방향은 일치하였으나 감소폭은 달랐다. 잘림률에 따른 단순 검출률은 일관되게 감소하지 않았으며, 구간별 객체 높이와 거리의 구성에도 차이가 나타났다. 특히 잘림률 0.05 초과 0.30 이하 집단은 0.05 이하 집단보다 단순 검출률이 높았으나, 공변량 보정 후 검출 승산비는 YOLO26n에서 0.447, SSDLite320에서 0.762로 나타나, 단순 검출률 비교와 반대 방향을 보였다. 또한 잘림률 0.30을 사이에 둔 인접 구간의 비교에서는 클래스 통합 분석의 차이가 통계적으로 유의하지 않았지만, YOLO26n의 클래스별 분석에서는 Car의 검출 승산은 증가하고 Pedestrian은 감소하여 서로 다른 방향을 보였다.

이러한 결과는 객체 높이와 가림이 검출 성능과 관련된 변수이지만, 공식 임계값만으로 개별 모델의 검출 난이도를 설명하기에는 한계가 있음을 시사한다. 본 연구는 난이도 변수의 유효성과 임계값의 타당성을 구분하고, 객체 특성의 보정 여부에 따라 구간별 성능 차이의 해석이 달라질 수 있음을 보였다. 다만 두 모델과 지정된 추론 설정을 대상으로 한 결과이므로 일반화에는 추가 검증이 필요하다. 향후에는 모델과 입력 해상도를 확대하고 임계값 주변의 성능 변화를 분석하여, 모델의 수행 특성을 고려하는 주행 장면 난이도 평가로 연구를 확장하고자 한다.

사사: 본 연구는 2025년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술기획평가원의 지원(No.RS-2025-13202969, 초개인화 퍼스널 모빌리티 서비스 디자인 개발)과 2026년도 정부(과학기술정보통신부, 행정안전부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.RS-2026-25623611, 폭설에 대응 가능한 모듈형 반자율주행 보도 및 이면도로 제설로봇)

메시지 브로커 기반 주행 데이터 로깅·재현과 분석 에이전트를 활용한 주행 분석 환경 구축

Construction of a Driving Analysis Environment Using Message-Broker-Based Driving Data Logging, Replay, and Analysis Agents

김희철
(재단법인 자동차융합기술원, 선임연구원)

전재석
(재단법인 자동차융합기술원, 선임연구원)

박현배
(재단법인 자동차융합기술원, 선임연구원)

자율주행 시스템의 등장으로 차량에 다양한 고성능 센서의 탑재가 가속화되었다. 이러한 센서 정보는 자율주행 시스템뿐만 아니라 연산 능력을 가진 차량 내 다른 시스템에서도 활용 수요가 생기고 있으나, Time-Critical한 자율주행 시스템이 외부 시스템을 위해 데이터를 직접 제공하는 것은 성능 부담과 시스템 안전성 측면에서 어려움이 있다. 저자는 이를 해결하기 위해 2025년 차량 내부의 메시지 브로커를 통해 여러 시스템이 실시간 데이터를 공유하는 중앙집중형 데이터 수집/분배 구조를 제안하였고(차량 내 중앙집중형 데이터 수집/분배 시스템 설계, 2025), 같은 해 본 기관이 보유한 자율주행 트럭에 이를 구축하였다.

2026년에는 이 구조를 활용하여, 게이트웨이 장치가 제공하는 Redis Topic과 휴대폰의 영상·위치 정보를 함께 기록하고 게이트웨이가 없는 일반 차량에서도 단독으로 수집할 수 있는 Android 기반 로거를 개발하였다. 수집된 시계열 데이터는 원래의 시간 간격대로 또는 배속으로 Kafka 메시지 브로커에 재현하여, 100분 분량의 실주행 데이터를 100배속 재생으로 1분 만에 분석할 수 있도록 하였다. 재현된 데이터는 서로 독립된 분석 에이전트가 구독하여 급가속, 급감속, 급조향을 감지하고 그 근거를 표출한다. 또한 분석 시스템과 에이전트 사이에 gRPC 게이트웨이를 두어 외부에서 개발한 에이전트가 인터페이스 정의 파일만으로 시스템에 참여할 수 있도록 하였으며, 이 방식으로 과속 감지 에이전트를 추가하여 현재 4종의 분석을 수행한다.

구축된 환경은 고가의 자율주행 하드웨어 없이도 수집 데이터만으로 동일한 주행 조건을 반복 재현할 수 있어, 수정된 알고리즘의 개선 여부를 같은 조건에서 비교할 수 있다. 또한 분석 알고리즘이 메시지 브로커 등 시스템 내부 기술과 분리되어 있어, 주행 데이터를 직접 확보하기 어려운 원격의 개발 조직도 재현되는 주행 데이터로 자신의 분석 기능을 개발하고 검증할 수 있는 개방형 분석 환경의 기반이 된다.

본 논문에서는 이 환경의 실구현 사례를 소개하고, 현재 개발 중인 C-ITS 신호 정보 기반 교차로 딜레마 존 분석 에이전트와 데이터 수집·분석·학습·검증의 폐루프로의 확장 방향을 제시한다.

사사: 이 연구는 2026년도 산업통상부 및 한국산업기술기획평가원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(과제번호: RS-2023-KT224814, 과제명 : 허브연계형 Lv.4 상용차 자율주행 예측구동제어 및 최적운행 기술 개발)

자율주행차 혼합교통류 제어 및 운영

Session

A-2

혼합교통류 자율주행차 종방향 제어를 위한 인지압력 기반 풍선 모델
이은호, 여지호, 소재현

상충영역 기반 PET를 통한 자율주행차 교차로 통과 가이던스
이진철, 이재관, 김형수, 양인철, 이준형

시스템 최적과 이용자 균형 간 상충관계의 재고찰: 커넥티드 자율주행차와 적응형 교통신호제어의 역할
김도현, 변지혜, 이승현

혼입률 · 주행행태 · 인터체인지 간격에 따른 자율주행 전용차로 운영전략의 성립 조건
백성채, 박제진

자율주행 행태 분석 기반 교통사고 빈도 예측에 관한 연구
김민경, 조창현, 오철

자율주행 로봇과 보행자 혼재에 따른 보행로 조건별 용량 변화 시뮬레이션 분석
김도형, 최지혜, 최진, 정훈, 김정화

혼합교통류 자율주행차 종방향 제어를 위한 인지압력 기반 풍선 모델

A Perceived-Pressure Balloon Model for Automated Vehicle Longitudinal Control in Mixed Traffic

이은호
((주)피커프로젝트, 부대표)

여지호
(가천대학교, 부교수)

소재현
(아주대학교, 부교수)

자율주행차는 후방 차량을 상시 감지할 수 있는 센서를 갖추고 있으나, 기존 적응형 순항제어(ACC)는 전방 차간거리만 제어에 사용한다. 후방 차량을 반영한 기존 모형은 후방에도 목표 차간거리를 두기 때문에 전방 목표와 충돌하는 한계가 있다. 본 연구에서는 목표 차간거리를 압력 평형으로 대체한 인지압력 기반 풍선 모델을 제안하였다. 각 차량 주변 공간은 풍선처럼 작동하며, 이웃 차량이 가까울수록, 무거울수록, 빠르게 접근할수록 인지압력이 커진다. 제어기는 전후방 인지압력을 같게 유지하므로 두 차간거리의 크기가 아닌 비율만 결정되며, 이 비율은 전후방 차량의 승용차 환산계수(PCE) 비로 정해진다. 경부고속도로 신갈JC-기흥IC 4차로 구간(9,000 veh/h, 대형차 40%)을 SUMO로 평가한 결과, ACC 대비 처리량은 14.3% 증가하고 급제동은 23.4%, 평균 저크는 33.1% 감소하였다. 동일한 센서를 사용하는 거리 기반 양방향 제어는 처리량이 늘지 않고 급제동이 2.9배 많아, 성능 향상이 후방 감지 자체가 아니라 압력 평형 제어 법칙에서 비롯됨을 확인하였다.

사사: 본 연구는 정부(국토교통부)의 재원으로 국토교통과학기술진흥원의 연구비 지원을 받아 수행된 연구임(과제번호 RS-2026-25524099, 과제명: Agentic AI 기반 모빌리티 서비스 의사결정 및 운영 최적화 기술 개발

상충영역 기반 PET를 통한 자율주행차 교차로 통과 가이던스

Intersection Crossing Guidance for Autonomous Vehicles Using Conflict Area-based PET

이진철	이재관	김형수	양인철	이준형
(한국건설 기술연구원, 박사후연구원)	(한국건설 기술연구원, 박사후연구원)	(한국건설 기술연구원, 연구위원)	(한국건설 기술연구원, 연구위원)	(한국건설 기술연구원, 수석연구원)

자율주행차와 일반차, 보행자 등이 혼재된 교통환경에서 인프라가 인지·분석·판단을 거쳐 자율주행차에 주행 권고 또는 지시를 제공하는 인프라 가이던스 기술이 각광받고 있다. 기존 교차로 통과 가이던스는 자율주행차의 Local path와 상대차량 궤적 간 예상 상충점을 도출하고, 상충점 기준 예측 PET(Post-Encroachment Time)를 산출하여 임무점(Mission Point) 형태로 부여하였다.

그러나 Local path는 차량 주변의 단기 궤적만을 표현하여 경로 길이가 짧기 때문에, 자율주행차와 상대차량이 교차로 내부에 근접한 이후에야 상충점이 도출되어 가이던스가 늦게 부여되는 한계가 있다. 또한 회전 중 가·감속과 통행의도 예측 오류로 인해 상충점 기반 예측 PET의 정확도가 저하될 수 있다.

이에 본 연구에서는 교차로 내부를 상충영역(Conflict Area)으로 정의하고, 선행차량 후미가 상충영역을 벗어난 시각과 후행차량 전면이 상충영역에 진입하는 시각의 차이로 PET를 산출하는 상충영역 기반 PET 방법론을 제시하였다. 상충영역 기반 PET는 차량이 상충영역 경계인 정지선에 도달하는 시점에 산출할 수 있어 Local path 길이에 의존하지 않으며, 영역 단위로 상충을 판단하므로 통행의도 예측 오류와 회전 중 가·감속의 영향을 보완할 수 있다.

교차로 통과 시나리오에 적용한 결과, 상충점 기반 방식은 차량이 교차로 내부에 근접한 시점에 가이던스가 부여된 반면, 상충영역 기반 방식은 차량의 교차로 진입 이전에 가이던스가 부여되어 교차로 통과 안전성을 확보할 수 있음을 확인하였다. 제안 방법론은 대형차·보행자가 혼재하거나 경로 변동이 큰 교차로에서 특히 유용할 것으로 기대된다.

사사: 본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2022-00142565 / 과제명: 인프라 가이던스를 통한 자율차 주행지원 기술 개발)

시스템 최적과 이용자 균형 간 상충관계의 재고찰: 커넥티드 자율주행차와 적응형 교통신호제어의 역할

Rethinking the System Optimum - User Equilibrium Trade-off: The Role of Connected and Automated Vehicles and Coordinated Adaptive Traffic Control

김도현
(서울시립대학교 교통공학과, 박사과정)

변지혜
(서울시립대학교 교통공학과, 부교수)

이승현
(서울시립대학교 교통공학과, 부교수)

도시 네트워크의 경로선택은 전통적으로 이용자 균형(UE)과 시스템 최적(SO)의 틀에서 논의되어 왔으며, SO는 네트워크 효율을 높이는 대신 일부 이용자에게 우회와 추가 지체를 부과하는 것으로 여겨져 왔다. 그러나 계획 경로와 예상 도착시간을 인프라와 실시간으로 공유하는 커넥티드 자율주행차량(CAV) 환경에서는 신호제어기가 SO로 배정된 차량의 경로를 사전에 파악하여 해당 이동류에 녹색시간을 배분할 수 있으므로, SO 배정은 우회에 따른 지체를 상쇄하는 신호 연계 전략으로 작동할 수 있다.

본 연구는 자율 협력주행 차량(CAV), 커넥티드 차량(CV), 일반차량(HDV)이 혼재하는 과도기 도시 네트워크에서 SO 기반 CAV가 UE 기반 차량보다 짧은 개별 통행시간을 달성할 수 있도록 하는 신호 연계형 동적 통행배정 프레임워크를 제안한다. 제안 프레임워크는 과거 시간대별 OD 행렬, 검지기 자료, CV/CAV 궤적 자료로부터 칼만 필터 기반으로 차량 유형별 동적 OD 수요를 추정하고, 이를 차량 유형별 통행배정 모형에 연결한다. CAV에는 네트워크 총 통행시간을 최소화하는 SO-DTA와 신호 최적화를 결합한 통합 최적화 모형을, HDV와 SO 안내를 수용하지 않는 CV에는 Beckmann 정식화에 기반한 UE-DTA를 적용한다. 통합 최적화 모형은 상위 수준의 교통량 분배·녹색시간 배분과 하위 수준의 궤적 계획을 피드백 루프로 연계하여, 통행료나 전용차로 없이 녹색시간 배분이라는 비금전적 인센티브만으로 SO 차량의 통행시간 부담을 보상한다.

제안 모형은 SUMO 기반 3×3 격자 네트워크에서 신호 주기 90초, OD 추정 및 배정 갱신 주기 900초, 24시간 동적 수요 조건으로 검증하였으며, HDV는 Wiedemann, CV는 IDM, CAV는 CACC 차량추종모형으로 구현하였다. UE-DTA 단독(모형 1), SO-DTA 단독(모형 2), 두 모형의 혼합(모형 3), 혼합 배정에 신호 최적화를 결합한 제안 모형(모형 4)을 설계하고, HDV 비율을 10%에서 90%까지 변화시키며 CV와 CAV를 동일 비율로 배분한 혼합교통 시나리오를 분석하였다.

분석 결과, 차량 유형별 OD 추정값은 관측값에 안정적으로 수렴하였고 급격한 수요 변화에도 효과적으로 대응하였다. 평균 통행시간은 혼합 모형과 제안 모형이 UE-DTA보다 높고 SO-DTA보다 낮아 개인 지향 배정과 시스템 지향 배정 사이의 균형 잡힌 절충을 보였으며, 제안 모형에서는 CAV가 모든 보급률 구간에서 가장 낮은 통행시간을 기록하여 녹색시간 인센티브가 의도대로 작동함을 확인하였다. 이는 신호 연계가 수반될 경우 'SO는 개별 차량에 불리하다'는 전통적 직관이 더 이상 자명하지 않음을 시사한다. 다만 본 연구는 CV 수용률을 50%로 고정하고 대안 경로가 제한적인 격자 네트워크에서 검증하였으며, 차로변경 행태를 명시적으로 고려하지 않았다. 향후 연구에서는 확률적 수용 행태를 반영하고 대규모 네트워크로 검증을 확장하며, 차로변경을 고려한 동적 네트워크 로딩 모형과 CAV 교통류에 녹색시간 인센티브를 부여하는 적응형 신호제어시스템(ATCS)으로 프레임워크를 발전시킬 계획이다.

사사: 본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원(KAIA)의 지원으로 수행되었으며(과제번호: RS-2025-16066665), 유럽연합 집행위원회(European Commission)가 공동지원하는 Driving Urban Transitions Partnership의 일환으로 수행되었음.

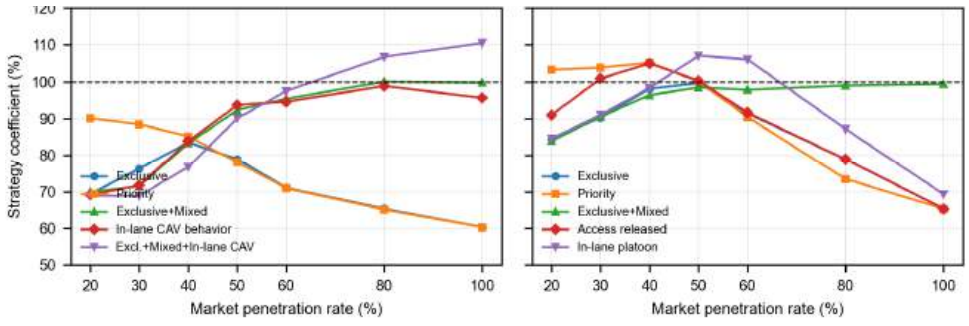
혼입률·주행행태·인터체인지 간격에 따른 자율주행 전용차로 운영전략의 성립 조건

Conditions for Dedicated-Lane Strategies for Automated Vehicles by Penetration Rate, Driving Behavior and Interchange Spacing

백성채
(전남대학교 건축토목공학과)

박제진
(전남대학교 토목공학과)

자율주행 전용차로의 효과는 지금까지 시설별 단독 구간에서 분석되어, 연결로로 진입한 자율주행차가 중앙분리대 쪽 1차로의 전용차로까지 이동하고 진출 전에 되돌아오는 과정이 앞뒤 접속부에 미치는 영향과, 전용차로 안에서 더 짧은 차간시간으로 주행하는 경우의 효과를 다루지 못하였다. 본 연구는 합류구간, 기본구간, 분류구간이 연속된 편도 3차로 고속도로 구간(설계속도 100km/h)을 미시교통시뮬레이션(VISSIM 2024)으로 구축하고, 미도입을 기준으로 전용차로 연속, 우선차로 연속, 전용+혼용차로, 접속부 해제형, 전용차로 안 주행행태 전환, 전용+혼용+안 행태 전환의 일곱 가지 운영전략을 인터체인지 간격 1·2·3·5km, 자율주행차 주행행태(보수형·협력형), 혼입률 20~100%(7수준)의 조건에서 비교하였다. 수요를 차로당 600pcphpl에서 2,400pcphpl까지 8단계로 높이며 조건마다 10회 반복하였고, 전략의 최대 처리량을 미도입의 최대 처리량으로 나눈 전략계수로 성립 여부를 판정하였다. 3차로 420조건과 4차로 420조건의 결과는 다음과 같다. 첫째, 자율주행차를 1차로에 한정하는 배타적 전략(전용·우선·접속부 해제)은 보수형에서 전 혼입률·전 간격에서 미도입보다 처리량이 낮았고(전략계수 0.60~0.90), 협력형에서는 혼입률 20~40%의 우선차로와 접속부 해제형만 미도입을 2~5% 넘었으며 혼입률 60%를 넘으면 전용차로 한 개가 자율주행차 수요를 받지 못해 급락하였다(100%에서 0.65). 둘째, 전용차로 안에서 보수형을 협력형으로 바꾸는 주행행태 전환은 손실을 줄이지만 미도입을 넘지 못하였고(0.93~0.99), 여기에 일반차로 이용을 허용하는 혼용을 더한 전략만이 혼입률 80~100%에서 미도입을 넘었다(3차로 1.07~1.11, 4차로 1.03). 셋째, 협력형 군집주행은 혼입률 50~60%에서 6~7%의 이득을 보였고, 배타적 전략의 손실은 인터체인지 간격 3km 이상에서 커졌다. 전용차로는 전용차로 한 개가 받을 수 있는 자율주행차 비중 안에서만 성립하고, 보수형 교통류에서는 혼용 허용과 안 행태 전환이 함께 있어야 성립한다.



보수형 협력형

그림 1. 혼입률에 따른 운영전략별 전략계수(3차로)

사사: 본 연구는 국토교통과학기술진흥원의 『자율협력주행을 위한 미래도로 설계 및 실증 기술 개발(RS-2021-KA160881)』에 의하여 수행되었으며, 본 연구를 지원해 준 국토교통부에 감사드립니다.

자율주행 행태 분석 기반 교통사고 빈도 예측에 관한 연구

A Study on Traffic Crash Frequency Prediction Based on Autonomous Driving Behavior Analysis

김민경
(한양대학교 교통물류공학과, 박사후연구원)

조창현
(한양대학교 스마트시티공학과, 석사과정)

오철
(한양대학교 교통물류공학과, 교수)

자율주행 리빙랩의 안전한 운영을 위해서는 자율주행차와 일반 차량이 혼재하는 실증 구간의 위험 특성을 파악하고, 안전성 개선이 필요한 구간을 식별할 수 있는 정량적 평가가 필요하다. 또한 주행데이터로 산출한 위험 수준이 실제 교통사고 발생 특성과 연관되는지 검증하여 평가지표의 활용 근거를 확보할 필요가 있다. 본 연구는 화성시 자율주행 리빙랩 실증지를 대상으로 VISSIM 시뮬레이션을 수행하여 자율주행차 주행데이터를 산출하고, 이를 활용하여 도로 구간별 안전성을 평가하는 통합위험지수(Integrated Risk Score, IRS)를 개발한 후, 교통사고 발생빈도와의 관계를 통해 지표의 타당성을 검증하는 것을 목적으로 한다. 시뮬레이션은 서비스수준(Level of Service, LOS) A~B의 교통상황에서 리빙랩 운행 자율주행차량의 최대 대수까지 동시에 주행하도록 설정하였다. 분석 구간은 교차로, 직진, 버스정류장 등을 구간으로 구분하였으며, 중심업무지구 및 간선도로 네트워크 간 중첩 구간을 제외한 총 452개 구간을 대상으로 하였다. 평가지표는 속도 및 가속도 기반 종방향 5개, 차량 간 상호작용 7개로 총 12개의 안전성 평가지표를 선정하였다.

IRS는 평지의 직선구간을 기준구간으로 설정하여 평가지표별 상대적 변화율(Relative Evaluation by Baseline, REB)을 산출하고, 최소 - 최대 정규화를 통해 Safety Penalty (SP)로 변환한 후 동일한 가중치로 통합하여 산출하였다. IRS가 높을수록 도로 안전성이 취약한 것으로 해석하며, 452개 구간의 위험 수준을 상위 5%, 상위 30%, 중위 30%, 하위 30%, 하위 5% 기준의 5개 등급으로 구분하여 시각화하였다. 분석 결과, 신호교차로와 비신호교차로, 교차로 직전 상류 구간에서 상대적으로 높은 위험도가 나타났다. 지표의 타당성을 검증하기 위해 교통사고분석시스템(TAAS)의 최근 3개년(2023~2025년) 교통사고 자료를 수집하였다. 사고 발생 위치를 평가 단위 구간에 공간적으로 매칭하여 구간별 사고건수를 집계하고 사고건수를 종속변수, IRS를 설명변수로 설정한 음이항 회귀모형을 구축하였다. 분석 결과, IRS의 회귀계수는 0.592($p<0.001$)로 사고빈도와 통계적으로 유의한 양의 관계를 보였다. 발생률비는 $\exp(0.592) \fallingdotseq 1.81$로, IRS가 1단위 높은 구간의 기대 사고건수가 약 1.81배인 것으로 추정되었다. 우도비 카이제곱은 92.851($p<0.001$)로 IRS를 포함한 모형이 절편만 포함한 모형보다 유의하게 개선되었으며, Pearson 카이제곱을 자유도로 나눈 값은 1.502로 1을 상회하여 관측값과 예측값 간 차이가 다소 큰 것으로 나타났다.

본 연구는 시뮬레이션 기반 종방향 주행 특성과 차량 간 상호작용을 통합하여 도로 구간별 위험 수준을 정량화하고, 실제 사고빈도와의 연관성을 확인하였다는 점에서 의의가 있다. 개발한 통합위험지수는 개별 평가지표만으로 파악하기 어려운 구간의 복합적인 위험 특성을 종합적으로 평가하고, 도로 구간 간 상대적인 안전 수준을 비교하는 데 활용할 수 있다. 특히 사고 이력과 함께 주행 과정에서 나타나는 위험 특성을 고려함으로써, 도로안전 점검이 필요한 구간을 식별하고 개선 검토의 우선순위를 설정하는 데 기여할 것으로 기대된다. 또한 IRS를 구성하는 세부 지표를 함께 검토하여 구간별 위험 특성에 따른 현장 점검과 개선방안 마련을 지원할 수 있다. 향후 도로 기하구조 및 시설물 정보를 연계하고 다양한 도로 환경에서 적용성을 검증하여 자율주행 리빙랩의 안전관리와 실증 구간 확대 검토를 위한 기초자료로 활용할 수 있을 것이다. 이를 통해 주행데이터 기반 도로안전 평가의 활용 범위를 넓히고, 자율주행차와 일반 차량이 혼재하는 도로 환경에서 선제적인 안전관리 체계를 마련하는 데 기여할 것으로 기대된다.

자율주행 로봇과 보행자 혼재에 따른 보행로 조건별 용량 변화 시뮬레이션 분석

Simulation-Based Analysis of Capacity Changes in Mixed Pedestrian and Autonomous Robot Traffic under Different Walkway Conditions

김도형 (경기대학교 도시·교통공학과)

최지혜 (경기대학교 도시·교통공학과)

최진 (MOBINN Inc.)

정훈 (MOBINN Inc.)

김정화 (경기대학교 도시·교통공학과)

Ⅰ. 서론

1. 연구의 배경 및 목적



<그림 1> MOBINN사의 실외이동로봇 M3.5의 사진

실외이동로봇의 보도 통행이 허용됨에 따라 보행자-로봇 혼재가 보행류에 미치는 영향에 대한 검토가 필요하다. 본 연구는 로봇의 물리적 특성, 주행 특성, 상호작용 특성(회피 특성 등) 및 보행자 특성을 VISWALK에 반영, 보행수요, 로봇 혼입률, 보행로 폭, 통행방향에 따른 교통류 특성 및 보행로 용량 변화를 분석한다.

2. 선행연구 검토

Choi et al.(2021)은 PM 혼입률에 따른 통행속도 변화를 VISWALK로 분석하였고, Lee et al.(2025)은 보도폭·보행자 수·로봇 운영대수에 따른 보행교통류와 적정 운영대수를 제시하였다. 그러나 로봇 혼재 전·후의 교통류 특성과 보행로 용량 변화를 조건별로 직접 비교한 연구는 제한적이다.

Ⅱ. 본론

1. 분석 범위

30m 직선 보행로를 대상으로 유효폭 2m·4m, 단방향·양방향, 보행수요 및 로봇 혼입률을 변화시켜 보행자-실외이동로봇 혼합류를 분석하였다. 주요 분석지표는 단위폭당 교통류율, 보행속도 및 밀도이다.

2. 로봇 및 보행자 특성 설정

실외이동로봇의 크기와 주행속도는 운행안전인증제품 및 제조사 자료, 선행연구를 참고하여 설정한다. 이후 영상을 통해 보행자와의 이격·회피 특성을 검토한다. 로봇은 길이 0.72m, 폭 0.60m, 희망속도 0.80m/s, 횡방향 이격거리 0.626m로 설정하였다. 보행자는 Size Korea 자료를 참고하여 신체 크기를 설정, 보행수요는 「2013 도로용량편람」의 보행자 서비스수준을 기준으로 자유류부터 혼잡·과밀상태까지 단계적으로 구성한다. 또한 실외이동로봇은 VISWALK 내 별도의 Pedestrian Type으로 구현하여 보행자와 동일 공간에서 상호작용하도록 설정한다.

3. 분석 방법

한국로봇산업진흥원 내 운행안전인증 제품의 정보, 제조사 자료, 선행연구 및 영상에서 확보한 로봇의 제원과 특성을 VISWALK에 반영하여 보행자와 실외이동로봇의 혼재상황을 구현한다. 이후 로봇의 크기, 희망속도 및 보행자와의 이격 및 회피 특성을 설정하고, 보행로 폭, 통행방향, 입력수요, 로봇 혼입률을 조합한 시나리오를 구축한다. 각 시나리오의 개체별 위치 및 속도 자료와 분석 단면의 통과량을 수집하여 단위폭당 교통류율, 보행속도 및 밀도를 산정한다. 추가적으로 일부 대표 조건에 대해 반복실험을 수행하여, 로봇 혼재 전·후와 보행로 조건별 교통류 특성을 비교하고, 실외이동로봇 혼재에 따른 보행로 통과성능 및 용량 변화를 분석한다. 또한 MOBINN 실외이동로봇의 실주행 실험을 통해 로봇-보행자 간 속도, 이동궤적, 이격 및 회피 특성을 관찰하고, 시뮬레이션 결과와의 비교를 통해 모형의 재현성을 검토하고자 한다.

(下 : 분석 방법 프레임워크)

① 실외이동로봇 특성 자료 수집

↓

② 영상기반 로봇-보행자 상호작용 검토

↓

③ 실외이동로봇 주행 및 상호작용 특성 설정

↓

④ VISWALK 보행자-로봇 혼합류 모형 구축

↓

⑤ 보행로 조건별 혼재 시나리오 구축

↓

⑥ MOBINN 실주행 실험 및 영상자료 구축

↓

⑦ 실측-시뮬레이션 간 특성 비교 및 검증

↓

⑧ 교통류율, 속도, 밀도 변화 분석

↓

⑨ 보행로 용량 변화 분석 및 제언

Ⅲ. 결론

1. 분석 결과 및 활용

시뮬레이션 결과 보행로 폭, 통행방향, 입력수요, 로봇 혼입률에 따라 교통류율과 보행속도 및 밀도의 변화 양상이 다르게 나타났다. 특히 고수요 조건과 일부 양방향 로봇 혼입 조건에서 교통류율 감소가 관측되었으며, 동일한 단위폭당 수요에서도 보행로 폭에 따라 흐름의 안정성에 차이가 나타났다. 다만 기본 시나리오는 조건별 1회 실행하고, 일부 대표 조건에서 6개 Random Seed를 이용한 반복실험을 수행하였으므로, 최대 관측 교통류율을 확정 용량으로 해석하는 데에는 한계가 있다. 향후 대표 조건에 대한 추가 반복실험과 MOBINN 실주행 자료를 활용한 모형 검증을 통해 보행로 조건별 용량 변화를 구체화하고, 이를 바탕으로 보행로 폭, 통행방향, 수요, 로봇 혼입률을 고려한 실외이동로봇 서비스수준(LORS)을 제시하고자 한다.



<그림 2> VISWALK를 활용한 보행자-실외이동로봇 혼재 시뮬레이션 구현 예시

사사: 이 성과는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(RS-2026-25516836)

교통단속 효과분석 및 운전자 수용성

Session

A-3

전국 광역별 교통단속장비교통안전데이터 구축 및 설치 효과분석
이근재, 박병철, 정도영, 양승재

도심부 구간과속단속시스템 운영에 따른 교통사고 감소 효과분석
윤춘식, 김상구

대구광역시 무인단속 카메라 설치 전·후 교통량과 사고심각도 변화 분석
오지혜, 신동엽, 손민찬, 하영철,, 도우석

어린이보호구역 무인교통단속장비에 대한 운전자 인식 비교 및 가변속도제한(VSL) 도입 필요성 연구 : 구) 광주광역시를 중심으로
윤춘식, 김상구

지능형 단속 확대에 따른 적정 교통범칙금 수준과 운전자 수용도 분석
김수빈, 정연식

전국 광역별 교통단속장비·교통안전데이터 구축 및 설치 효과분석

Development of Traffic Enforcement Equipment and Traffic Safety Data by Metropolitan Region Nationwide, and Analysis of Installation Effects

이근재	박병철	정도영	양승재
(한국도로교통공단 교통과학장비처, 과장)	(한국도로교통공단 교통과학장비처, 처장)	(한국도로교통공단 교통과학장비처, 과장)	(한국도로교통공단 교통과학장비처, 대리)

교통사고는 국가별로 국내총생산(GDP)의 약 3~5%에 이르는 사회적 비용을 유발하는 주요 사회문제이며, 우리나라의 교통사고 사회적 비용은 2024년 기준 약 26.1조 원으로 추산된다. 이에 따라 교통단속장비의 지속적 확충과 사업 고도화를 위해서는 장비 설치의 교통안전 효과를 실증적으로 검증할 필요가 있다. 특히 2020년「민식이법」시행 이후 어린이보호구역을 중심으로 교통단속장비 설치가 확대됨에 따라, 개별 설치지점 수준을 넘어 지역 단위 장비 보급 확대가 교통안전 성과에 미친 거시적 정책효과를 평가할 필요성이 커지고 있다. 본 연구는 전국 광역시·도별 장기 패널 자료를 구축하여 교통단속장비 보급 수준의 확대가 교통사고 사망자 감소에 미치는 영향을 분석하였다.

분석자료는 2003년부터 2024년까지 전국 광역시·도를 지방경찰청 관할 단위로 포괄한 교통안전 패널데이터이다. 종속변수는 자동차 1만 대당 교통사고 사망자 수로 설정하였으며, 핵심 설명변수는 도로연장 10km당 교통단속장비 대수이다. 분석모형에는 인구, 자동차 등록대수, 도로환경 및 기타 교통안전정책 관련 요인을 통제변수로 포함하였다. 또한 지역별로 고정된 특성과 전국적으로 공통된 연도별 충격을 고려하는 패널회귀모형을 적용하였고, 당해 연도 사고 증가에 대응하여 장비가 설치되는 역인과성 가능성을 완화하기 위해 시차를 둔 장비변수를 활용하였다. 하우즈만 검정 결과에 따라 확률효과모형을 적합모형으로 채택하였다.

분석 결과, 2002~2014년 교통단속장비의 도입 및 초기 장착 단계에서는 도로 10km당 교통단속장비가 1대 증가할 때 자동차 1만 대당 사망자 수가 연간 약 4.0% 감소하는 것으로 나타났다. 반면 2015~2023년 장비 운영의 정책적 확대 단계에서는 동일한 장비 증가가 자동차 1만 대당 사망자 수를 약 23.9% 감소시키는 것으로 추정되었다. 이는 교통단속장비 확충 이후의 교통안전 효과가 초기 도입 단계보다 7배 이상 확대되었음을 시사한다. 본 연구는 교통단속장비의 효과를 개별 지점이 아닌 전국 광역 단위의 장비 보급 수준 변화에 기초하여 추정함으로써, 장비 확충 정책의 거시적 교통안전 효과와 한계효과를 제시하였다는 데 의의가 있다.

다만, 확률효과모형의 채택은 시·도별 시간불변 특성과 핵심 설명변수 간 상관이 없다는 가정을 완전히 입증하는 것은 아니며, 고위험 지역에 장비가 우선 설치되는 선택편의와 내생성 가능성도 해석상 고려할 필요가 있다. 후속 연구에서는 Mundlak 상관확률효과모형을 적용하여 시·도 고유효과와 설명변수 간 상관 가능성을 직접 검정하고, 지역별 장비 확충 시점과 강도의 차이를 반영한 이벤트 스터디를 통해 설치 이전의 평행추세, 사전효과 및 동태적 정책효과를 검증할 필요가 있다. 이러한 분석의 보완은 교통단속장비 확충이 교통사고 사망 감소에 기여한 고유한 정책효과에 관한 실증적 근거를 강화하는 데 기여할 것이다.

주요어: 교통단속장비, 교통사고 사망자, 패널데이터, 확률효과모형, 교통안전정책, 정책효과 분석

도심부 구간과속단속시스템 운영에 따른 교통사고 감소 효과분석

Analysis of Traffic Accident Reduction Effects by Operating Urban Section Speed Enforcement Systems

윤춘식
(한국도로교통공단 차장, 전남대학교 박사수료)

김상구
(전남대학교 물류교통학과 교수)

구간과속단속시스템(SSES)은 기존 지점단속장비 부근에서만 속도를 감속했다가 통과 후 급격히 재가속하는 '캥거루 효과'의 한계를 보완하고자 고속도로나 자동차 전용도로등 연속류 구간에 다수 설치되었고 그에 대한 연구도 활발히 진행되었다. 하지만 신호 혹은 무신호교차로를 포함한 도심부 단속류에 대한 구간과속단속시스템의 설치 효과에 대한 연구는 미비한 실정이다. 때문에 본 연구는 도심부 구간과속단속시스템 도입에 따른 교통사고 감소 효과를 실증적으로 평가하고자 수행되었다. 연구 대상는 전국 도심부 60km/h 이하 단속류 중 6년간(설치 전 3년, 설치 후 3년)의 사고 데이터 수집이 가능한 전체 18개 대상 구간 전수를 선별하여 오차 및 교통량 변화를 통제하기 위해 이중차분법(Difference-in-Differences, DiD)를 고려하였다. 분석 방법으로는 평균으로의 회귀(RTM) 오류와 외부 환경 요인을 통제하기 위해 대상구간과 대향방면(비교구간)의 사고 자료를 활용한 비교그룹방법(Comparison Group Method)을 적용하였다.

분석 결과, 도심부 구간단속시스템 설치 후 전체 교통사고 발생 건수는 평균 37.07% 감소한 것으로 나타나 시스템 도입의 명확한 사고 감소 효과를 확인하였다. 사고 유형별로 살펴보면 차대차 사고는 34.98%, 차대사람 사고는 36.36%, 차량단독 사고는 42.86% 감소하여, 연차별 효과 추이에서는 차대사람 사고가 설치 2년차에 가장 큰 감소율(63.29%)을 보인 반면, 전체 사고, 차대차 사고, 설치 후 3년차에 각각 47.03%, 47.89%의 감소율을 기록하였다. 특히 차량단독 사고에서 가장 높은 감소율을 보였는데 연차별로 1년차 10.71%, 2년차 25.87% 및 3년차에 82.14%로 나타나 시스템이 안정화 될 수록 높은 효과를 나타냈다. 이는 도심부 구간단속시스템이 도입 초기 일정 기간의 운전자 적응 및 시스템 안정화 과정을 거치면서 시간이 지남에 따라 사고 감소 효과가 더욱 증대됨을 시사한다. 본 연구 결과로 도심부 지점단속의 한계를 극복하고 도심부 도로 안전성을 향상시키기 위한 구간단속시스템의 확대 설치 및 효율적 통합 운영 방안 마련에 주요한 기초자료로 활용될 수 있음을 시사한다.

주요어: 단속류, 구간과속단속시스템(SSES), 교통사고 감소효과, 비교그룹방법

대구광역시 무인단속 카메라 설치 전·후 교통량과 사고심각도 변화 분석

Traffic Volume and Crash Severity Changes at Automated Enforcement Camera Sites in Daegu

오지혜	신동엽	손민찬	하영철	도우석
(계명대학교, 학사과정)	(계명대학교, 석사과정)	(계명대학교, 학사과정)	(계명대학교, 학사과정)	(계명대학교, 조교수)

우리나라에서 무인단속은 2023년 교통법규 위반 단속의 92%를 차지하며, 대구광역시의 무인단속 카메라도 2020년 386대에서 2024년 926대로 약 2.4배 증가했다. 이러한 확대에 따라 무인단속의 안전 성과를 사고 발생뿐 아니라 인명 피해 수준에서도 검토할 필요가 있다. 국내 교차로 1,892개소를 분석한 연구에서 무인단속의 사고건수 감소효과와 사망·중상·경상·부상신고 1명당 12·6·3·1의 가중치를 부여한 Equivalent Property Damage Only(EPDO) 감소효과가 서로 다르게 나타났으며, 교통량 수준에 따라서도 차이가 나타났다. 기존 대구광역시 무인단속 카메라 분석은 약 900대의 카메라를 대상으로 설치 전·후 사고건수와 EPDO의 증감을 비교했으나, 같은 기간의 교통량 변화와 사고심각도 변화의 관계는 검토하지 않았다. 따라서 본 연구는 대구광역시 교통량 조사지점에 위치한 무인단속 카메라를 대상으로 단속 방향 및 접근로와 관련한 사고를 선별하고, 설치 전·후 교통량 변화와 사고심각도 변화의 관계를 분석한다. 또한 시설 유형별·사고 유형별·사고집단별 EPDO와 사망·중상 사고(Killed or Seriously Injured, KSI)의 증감을 비교하여 피해 변화의 차이와 잔여 안전 문제를 파악하는 데 목적이 있다.

본 연구는 「대구광역시 교통 관련 기초조사」에서 교통량 조사지점 87개(교차로 46개, 교량 21개, 간선도로 20개)의 연도별 교통량, 10년(2015~2024년)간의 교통사고 자료, 무인단속 카메라의 설치지점과 설치일 데이터를 활용한다. 분석 대상 카메라는 교통량 조사지점에 설치된 무인단속 카메라 중 재설치로 운영 공백이 있는 지점, 설치 전·후 기간 3년을 확보할 수 없는 지점, 교통량 자료가 불완전한 지점, 기존 장비가 존재하던 지점을 제외한 22대이며, 분석 대상 사고는 무인단속 카메라 설치일을 기준으로 설치 전·후 3년간 반경 30m 내에서 발생한 사고를 추출하고, 교통사고분석시스템(Traffic Accident Analysis System, TAAS)의 사고 위치와 카메라 설치지점의 거리사진을 활용하여 카메라의 단속 방향, 접근로, 지하차도와 같은 도로 기하구조를 확인한 후 단속 방향과 관련 없는 사고를 제외하여 선별한 312건이다.

분석 방법은 대상 사고 312건의 EPDO 수치와 해당연도 교통량을 바탕으로 지점별 교통량 변화와 사고심각도 변화의 관계를 검토한다. 교통량은 시설유형별 조사시간이 다르므로 동일 카메라의 전년 대비 증감률로 나타낸다. 설치연도 사고는 실제 설치일을 기준으로 전·후로 나누고, 해당 연도의 교통량은 두 구간에 동일하게 적용한다. 설치 전·후 각 기간에서 연도간 교통량 증감률과 EPDO 증감량의 상관계수를 확인하고, 전체 자료를 함께 분석할 때는 카메라별 차이와 연도별 공통 변화, 설치 전·후 구분을 고려한다. 또한 전체 및 시설 유형별·사고 유형별·사고집단별 EPDO와 KSI의 전·후 변화를 비교하고, 법규위반·도로형태·가해 및 피해 차종·연령대별로 분석한다.

분석 결과, 일부 교차로에서는 연도간 교통량 증감률과 EPDO 증감량 사이에 높은 양의 상관관계가 나타났다. 중동네거리와 성당네거리의 상관계수는 각각 0.916, 0.866이었으며, 중동네거리는 설치 전과 후를 나누어 살펴보아도 각각 0.976, 0.972로 같은 양상을 보였다. 다만 카메라별 비교가 6회에 불과하므로 이를 확정적인 관계로 해석하기는 어렵다. 전체 자료에서 카메라별 차이와 연도별 공통 변화, 설치 전·후 구분을 고려한 결과, 교통량 증감률이 10%p 높아질수록 EPDO 증감량은 평균 3.93점 높게 추정되었으나, 95% 신뢰구간은 −1.35~9.20점으로 통계적으로 유의하지 않았다(p=0.136). 전체 지점 EPDO 수치는 설치 전 3년간 1,039에서 설치 후 3년간 701로 32.5%, KSI 사고는 64건에서 33건으로 48.4% 감소했다. 두 지표를 함께 검정하면서 우연히 유의한 결과가 나올 가능성을 고려해도 감소는 통계적으로 유의했다(각 p=0.029). 시설 유형별 EPDO는 교차로와 교량은 각각 38.8%, 35.8% 감소했으나 간선도로는 4.4% 증가했다. 사고 유형별로는 차대차 충돌이 41% 감소했으나 추돌은 58.3% 증가했고, 안전거리 미확보와 보행자 보호의무 위반도 각각 23.8%, 12.1% 증가했다. 설치 후 보행자 사고와 65세 이상 피해자가 관여한 사고 중 KSI 사고의 비율은 각각 75%, 55%였다. 다만 여러 세부집단을 동시에 비교한 점까지 고려하면, 개별 집단의 변화가 통계적으로 뚜렷하다고 판단하기는 어려웠다. 전체 피해 감소와 함께 일부 사고 유형의 피해 증가 및 취약 집단의 높은 사망·중상 비중을 관측했으나, 이러한 변화를 카메라 설치만의 효과로 단정할 수 없다.

본 연구는 단속 방향과 관련한 사고를 선별하고 교통량 변화와 사고심각도 변화를 함께 검토하여 무인단속 카메라 운영 성과 평가의 기초 자료로 활용할 수 있다. 전체 EPDO와 KSI는 감소했으나 교통량 변화만으로 EPDO 증감을 설명하기 어려우며, 시설·사고유형별 피해 변화도 상이했다. 따라서 전체 감소뿐만 아니라 추돌·안전거리 미확보 사고의 피해 증가와 보행자·고령 피해자의 높은 KSI 비율을 함께 고려해야 한다. 해당 지점의 접근로 속도, 신호 운영, 횡단 여건을 점검하고 사고 특성에 맞는 안전대책을 병행하여 수립할 필요가 있다. 다만 세부집단의 변화는 통계적으로 명확하지 않으므로 장비 이설·신규 설치의 직접 근거보다 현장 점검과 추가 분석의 대상으로 활용하는 것이 적절하다. 향후 관찰기간을 확대하고 비교지점, 실제 교통 노출량 및 도로 운영 변화 자료를 확보하여 카메라 설치와 사고심각도 변화의 관계를 명확히 평가할 필요가 있다.

사사: 본 과제는 2026년도 교육부 및 대구광역시의 재원으로 RISE센터의 지원을 받아 수행된 지역혁신중심 대학지원체계(RISE)의 결과입니다(과제관리번호 : 2026-RISE-03-002).

어린이보호구역 무인교통단속장비에 대한 운전자 인식 비교 및 가변속도제한(VSL) 도입 필요성 연구 : 구) 광주광역시를 중심으로

Driver Perceptions of Traffic Enforcement and the Necessity of Variable Speed Limits: School Zones vs. General Roads : Focused on the Former Gwangju Metropolitan Area

윤춘식
(한국도로교통공단, 차장, 전남대학교 박사수료)

김상구
(전남대학교 물류교통학과, 교수)

본 연구는 연령대별 운전자 무인교통단속장비에 대한 의식조사로 단속장비 설치 및 운영에 대한 실증적 기초자료로 활용되는데 의미를 두고 있다. 어린이보호구역 교통사고 감소를 위해 2020년 3월 25일 민식이법이 시행되었고 어린이보호구역 교통사고에 대한 운전자 형사처벌이 강화되었다. 그와 함께 무인교통단속장비가 어린이보호구역에 전국에 대대적으로 설치, 완료되어 이제 교통단속장비는 도로 어느 곳에서든 흔하게 접하게 되었다. 이에 본 연구는 어린이보호구역과 일반도로에 설치되어있는 무인교통단속장비에 대해서 운전자들의 연령대별 인식차이에 대하여 비교 연구하고 그 결과에 따른 합리적인 정책 방향을 제시하고자 한다. 분석공간은 전남광주통합특별시 광주권역(구)광주광역시)이며 분석대상으로 광주권 거주 또는 광주권역을 주로 운행하는 운전자 20대~70대 각각 50명씩 300명을 균등 할당(Quota Sampling)방법으로 연구표본을 설정하였다.

주요 변인은 운전불편함, 교통사고 감소효과, 설치 필요성, 설치 현황, 운영개선 등 5가지 설문항목을 변인을 구성하였다. 설문 문항은 신뢰도 분석 및 교차분석으로 통계검정을 실시하고 그에 대한 평균차이를 알아보기 위해 기술분석을 한 후 설문항목을 변인으로 구성하여 대응표본 T-test를 실시하여 변인별 차이를 분석하였다. 측정도구를 위한 분석 프로그램은 SPSS 26.0을 이용하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다. 운전 불편성 및 사고 감소 효과 변인을 살펴보면 어린이보호구역 내 단속장비는 일반도로 대비 운전 불편성 인식(70.3%)이 높게 나타남과 동시에, 교통사고 감소 효과(67.0%)에 대한 긍정적 평가 역시 높게 나타나 규제에 따른 피로감과 안전 효과성을 동시에 인식하고 있음을 확인하였다. 그리고 어린이보호구역 단속장비의 필요성에 대해 70.0%가 찬성하였으나, 동시에 73.3%가 "이미 충분히 설치되었다"고 응답하여 물리적 포화 상태에 대한 공감대가 광범위하게 형성되어 있었다. 어린이보호구역에 시간대별로 속도 편차를 두어 속도를 제한하는 가변속도제한(VSL) 변인은 전 연령대 운전자가 도입을 매우 긍정적으로 인식하고 있었다. 대응표본 t-검정 결과, 5개 측정 변인 중 일반도로와 어린이보호구역 간 가장 격차가 큰 항목은 '가변속도 운영 필요성' 항목으로 나타났다. 전 연령대 중 30대~50대 운전자를 중심으로 시간대별 탄력적 속도 규제 도입에 대한 열망이 가장 높은 것으로 분석되었다.

위 연구결과를 바탕으로 무인교통단속장비 관리주체인 경찰청에서는 도로 및 교통 여건에 맞는 적정 관리 대수와 거리를 고려, 기존 장비에 대한 통합이나 구간단속확대 등 효율적 관리가 필요하다. 또한 도로 구조, 통행 여건, 교통량 등을 고려해 어린이 이동이 적은 시간대에 규제 속도를 탄력적으로 운영하여 현장 여건에 맞는 합리적이고 현실적인 교통운영으로 소통에 대한 어려움을 일부 해소할 필요가 있다.

주요어: 무인교통단속장비, 어린이보호구역, 교통사고, 교차분석, 대응표본 t검정, 가변속도제한(VSL)

지능형 단속 확대에 따른 적정 교통범칙금 수준과 운전자 수용도 분석

Optimal Traffic Fine Levels and Driver Acceptability under Expanding Enforcement

김수빈
(영남대학교 도시공학과, 석사과정)

정연식
(영남대학교 도시공학과, 교수)

구간단속, 지능형 무인단속 등 ITS 기반 단속이 확대되면서 위반의 적발 가능성은 높아지고 있으나, 교통범칙금은 지난 30여 년간 거의 조정되지 않았다. 본 연구는 범칙금 상향에 대한 운전자의 수용도와 위반 감소 기대의 관계, 그리고 이에 영향을 미치는 인적 특성을 규명하고, 이를 바탕으로 위반유형별 적정 상향 수준을 도출하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 1,635명(화물차 운전자 110명 포함)을 과속, 안전띠 미착용, 화물 적재불량, 운전 중 휴대전화 사용의 네 가지 위반 비네트에 무작위로 배정하고, 현행부터 400% 상향까지 5단계 범칙금 수준별로 수용도와 위반 감소 기대를 측정하였다. 반복 응답 구조를 반영하여 태도 잠재변수 6개를 포함한 다층구조방정식(MSEM)으로 분석하고, 상향에 따른 수용도 변화의 개인차는 무선기울기 다층모형으로 보완하였다. 분석 결과, 범칙금이 2배가 될 때 위반 감소 기대는 1.20점 높아졌으나 수용도는 0.52점 낮아져 억제 효과와 수용성 사이의 상충 관계가 확인되었다. 수용도는 처벌 효과 신뢰(β=.23)와 공정성 인식(β=.16)이 높을수록 높고 경제적 부담(β=−.29)이 클수록 낮았으며, 경제적 부담이 크거나(−0.53) 최근 위반 경험이 있는 운전자일수록(−0.71), 비경험자(−0.47)보다 상향에 따른 수용도 하락이 가파르게 나타났다. 두 곡선의 교차점으로 산정한 적정 상향률은 과속 29%, 운전 중 휴대전화 사용 37%, 안전띠 미착용 41%, 화물 적재불량 57%였으며, 같은 +100% 상향에서 벌점 강화의 수용도는 범칙금 상향보다 0.92점 높았다. 이러한 결과는 지능형 단속으로 적발 가능성이 높아지는 환경에서 일률적인 대폭 상향보다 위반유형별 차등 상향이 바람직하며, 경제적 부담 완화와 재원 사용의 투명성 확보, 벌점 강화를 함께 추진해야 함을 시사한다.

교통사고 심각도 및 위험 예측

Session

A-4

머신러닝을 활용한 저속 추돌사고 탑승자 상해 예측 모형 개발
박기정, 정동훈

AI 기반 고속도로 터널사고 심각도 예측 프레임워크 개발
김종진, 정연식

잠재 사고유형별 사고 심각도와 안전개입 가능성을 통합한 고속도로 교통안전 우선순위 분석
박준호, 홍정열

머신러닝을 활용한 저속 추돌사고 탑승자 상해 예측 모형 개발

Development of a Passenger Injury Prediction Model Using Machine Learning in Low-Speed Crashes

박기정
(한국도로교통공단, 사고조사연구원)

정동훈
(한국도로교통공단, 사고조사연구원)

최근 경미한 저속 추돌사고의 증가로 인한 보험금 과잉청구 및 보험사기 등 사회적 비용이 지속적으로 증가하고 있다. 이에 따라 공신력 있는 동역학 분석 프로그램인 MADYMO 시뮬레이션을 활용한 탑승자 상해 입증이 확대되고 있으나, 높은 도입·운영 비용과 분석에 소요되는 시간적 한계로 인해 사법기관 및 보험사 등 실무 현장에서의 즉각적인 활용에는 어려움이 존재한다.

본 연구에서는 이러한 한계를 극복하고 신속·정확한 상해 판정을 지원하기 위해, 한국도로교통공단에서 구축한 교통사고 데이터 및 MADYMO 분석 결과 데이터를 기반으로 머신러닝(회귀 지도학습) 활용 탑승자 상해 예측 모형을 개발하였다. 연구 방법으로는 상관분석 및 ANOVA 분석을 통해 충격력과 밀접한 연관성을 보이는 주요 변수(차량 유형, 중량차, 속도차, 충돌각도, 충돌 옵셋)를 도출하고, 대표적인 회귀 지도학습 알고리즘 5종(선형 회귀, 엘라스틱넷, 의사결정나무, 랜덤포레스트, XGBoost)을 이용하여 충격력 평가 지표인 속도변화량(△V) 및 최대충격가속도(G) 예측 모형을 구축·평가하였다. 성능평가 결과, 속도변화량 예측에서는 선형 회귀 모델이 가장 우수한 성능을 나타냈으며, 최대충격가속도 예측에서는 랜덤포레스트 모델이 높은 예측력을 입증하였다.

개발된 최적 모형으로 예측된 충격력 값을 선행연구의 탑승자 상해 역치 기준(속도변화량 8~10 km/h, 최대충격가속도 5~7 G)과 비교하여 상해 여부를 분류하고 혼동행렬 분석을 수행한 결과, 정확도 99.19%, 정밀도 99.16%, 재현율 100.00%, F1 점수 99.58%의 높은 신뢰도와 분류 정확도를 달성하였다.

본 연구에서 제시한 데이터 기반 탑승자 상해 예측 모형은 기존의 고비용·장시간 MADYMO 시뮬레이션을 보완·대체하여, 경미 교통사고 조사 업무의 효율성을 대폭 향상시키고 불필요한 사회적 비용 절감에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

AI 기반 고속도로 터널사고 심각도 예측 프레임워크 개발

Development of AI-based Prediction Framework for Freeway Tunnel Crash Injury Severity

김종진
(영남대학교, 박사과정)

정연식
(영남대학교, 교수)

본 연구는 고속도로 터널 교통사고의 치명률을 낮추고 신속한 응급 대응을 지원하기 위해 머신러닝 기반의 터널 교통사고 심각도 예측 프레임워크를 개발하였다. 2013년부터 2022년까지 10년간 한국도로공사가 관리·운영하는 전국 고속도로 31개 노선의 터널 내 교통사고 3,372건에 터널 이력 및 교통량 자료를 결합하여 총 21개 설명변수를 구축하였으며, 종속변수인 부상 심각도는 3단계(대물, 경상, 중상 이상)로 다중 분류하였다. 특히 머신러닝 모델의 예측 성능을 향상시키기 위해 교통사고 데이터의 고질적 한계인 데이터 불균형과 비관측 이질성을 동시에 극복하고자 SMOTE-NC와 CTGAN 기반 데이터 증강, 잠재계층모형(LCM) 클러스터링을 적용하였다. 이를 머신러닝 알고리즘(Random Forest, XGBoost, TabNet)과 결합하여 총 15개 분석 시나리오를 설계하고 성능을 비교 분석하였다.

분석 결과, LCM 클러스터링과 SMOTE-NC 데이터 증강을 결합한 Random Forest 모델이 소수 범주 예측 성능의 핵심 지표인 재현율(recall)과 G-mean 측면에서 가장 우수한 분류 성능을 보였다. 선정된 최적 모델에는 SHAP 기법을 적용하여 머신러닝의 한계로 지적되는 블랙박스적 한계를 해소하고 추정 결과에 대한 해석력을 확보하였다. 본 연구는 실시간 터널 안전관리 및 응급 대응 골든타임 확보를 위한 사고 심각도 정밀 예측 체계 마련에 기여할 것으로 기대된다.

잠재 사고유형별 사고 심각도와 안전개입 가능성을 통합한 고속도로 교통안전 우선순위 분석

Integrating Crash Severity and Intervention Potential for Highway Safety Prioritization Across Latent Crash Classes

박준호
(계명대학교, 학사과정)

홍정열
(계명대학교, 교수)

고속도로 사고는 발생빈도뿐 아니라 피해수준과 발생특성에 따라 안전관리 필요성이 달라지며, 사고 심각도가 높은 유형이 반드시 도로관리기관의 안전개입 가능성이 높은 유형과 일치하는 것은 아니다. 본 연구는 고속도로 사고자료에서 잠재 사고유형을 도출하고, 유형별 사고 심각도와 안전개입지수를 구분하여 평가한 후 두 지표를 통합하여 교통안전 우선순위를 분석하고 우선적으로 검토할 사고유형을 제시하고자 한다.

분석에는 2013-2022년 한국도로공사의 고속도로 사고자료 84,225건을 활용하였다. 주요 변수의 결측을 제외한 76,765건을 잠재계층분석에 76,764건을 사고 심각도 분석에 활용하였다. 주·야간, 기상, 노면상태, 사고위치, 사고원인, 사고 직전 차량조작 및 차종의 7개 범주형 변수를 기반으로 잠재계층모형(LCA)을 적용하였으며, 모형 적합도와 분류 품질, 계층크기 및 해석가능성을 종합적으로 고려하여 15개 사고유형을 도출하였다.

사고 심각도는 사망·중상·경상·물적피해에 순위중심가중치(ROC)를 적용한 유형별 평균 심각도로 산정하였다. 안전개입지수는 발생 지속성, 조건집중성, 도로관리 관련성 및 관리개입 가능성을 최소-최대 정규화한 후 CRITIC 가중치법을 적용하여 산정하였다. 두 지표의 관계는 순위상관분석과 중앙값 기반 불일치 매트릭스를 통해 검토하였으며, VIKOR 기법을 적용하여 교통안전 우선순위와 타협대안을 도출하였다. 또한 심각도 산정방식, 지표 가중치 및 정규화 방식과 891개 결합 시나리오를 대상으로 민감도 분석을 수행하였다.

분석 결과, 15개 사고유형 간 사고 심각도에는 통계적으로 유의한 차이가 나타났으나($p<0.001$), 심각도와 안전개입지수 간 순위상관은 통계적으로 유의하지 않았다($\rho=-0.2643$, $p=0.3412$). 또한 15개 유형 중 10개가 두 지표의 중앙값을 기준으로 서로 다른 고·저 집단에 속하여 사고 심각도와 안전개입 가능성 간 차이가 확인되었다. 두 지표의 동일가중과 VIKOR 전략계수 0.5를 적용한 기준 시나리오에서는 본선·졸음 우세형(Class 4)과 터널/본선·주시태만 우세형(Class 8)이 공동 타협대안으로 도출되었다. 이는 두 유형 간 VIKOR Q값의 차이가 수용가능한 우위 판정기준보다 작아 단일 유형을 최우선 대안으로 선정하기 어려웠기 때문이다. 이러한 결과는 심각도 산정방식 변경에도 유지되었으나 안전개입지수의 가중치와 정규화 방식에 따라 우선순위가 달라지는 것으로 나타났다.

본 연구는 고속도로 사고의 심각도와 도로관리기관의 안전개입 가능성을 구분하여 평가하고, 이를 통합한 사고유형별 교통안전 우선순위 분석체계를 제시하였다는 점에서 의의가 있다. Class 4에는 휴식유도, 졸음경고 및 차로이탈 방지수단을, Class 8에는 터널 입구부 조명·벽면 명도, 표지·노면표시 및 시선유도시설 개선을 우선적인 검토 대안으로 제시하였다. 다만 안전개입지수는 실제 사고 예방확률이나 개별 도로구간의 사업순위를 직접 의미하지 않는다. 향후에는 교통노출량과 사업비 등 현장 여건을 반영하고, 시범사업을 통해 안전개입 수단의 실질적인 사고 예방효과를 검증할 필요가 있다.

사사: 본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다(No.RS-2026-25481068)

신호제어 및 교통류 운영

Session

A-5

연속 신호 교차로 구간에서 불완전 궤적 데이터 기반 제어 지체 추정을 통한 비선형 현시 기반 신호 최적화 방법론 개발
최솔, 이승현

교차로 간 연동을 위한 계층적 적응형 신호제어 프레임워크 개발
홍슬빈, 변지혜, 이승현

주행궤적 데이터 기반 도시네트워크 대기행렬 추정 및 동적 구획 최적화
남혁주, 변지혜, 이승현

공간적 이질성에 따른 도시부 네트워크 MFD 혼잡 형성 · 회복 특성 분석
강민욱, 강민지, 박신형

차로감소 병목의 합류 상호작용을 고려한 미시 교통류 생성모델
백경선, 천경훈, 정희영, 가동호, 노병준

연속 신호 교차로 구간에서 불완전 궤적 데이터 기반 제어 지체 추정을 통한 비선형 현시 기반 신호 최적화 방법론 개발

A nonlinear group-based optimization method of time-dependent signal timings along with consecutive signalized intersections using incomplete trajectory-based delay approximates

최솔
(서울시립대학교 교통공학과, 석사과정)

이승현
(서울시립대학교 교통공학과, 부교수)

TOD(time-of-day) 고정식 신호제어는 널리 사용되는 운영 방식이며, TOD 구간의 설정은 신호계획의 효과를 좌우하는 핵심 요소이다. 그러나 기존 TOD 구간은 주로 교통량의 변화만을 기준으로 설정되어, 교통량은 비슷하지만 지체 수준이 다른 시간대를 구분하지 못하는 문제가 있다. 일부의 궤적데이터로 추정한 제어지체를 TOD 구간 설정에 함께 사용하였을 때 신호 최적화의 효과가 어떻게 달라지는지는 아직 충분히 밝혀지지 않았다. 이에 본 연구의 목적은 교통량과 제어지체를 함께 이용하여 TOD 구간을 재설정하고, 구간별로 예비용량을 최대화하는 신호계획을 수립하여 그 효과를 현행 신호 운영과 비교하는 것이다.

분석 대상은 경기도 고양시 경의로의 16개 연속 신호교차로이다. 자료는 2025년 3월 평일의 차량 궤적데이터(1초 단위)과 스마트교차로 검지기의 15분 교통량을 사용하였다. 연구는 다음 세 단계로 수행하였다.

제어지체 추정: 정지, 대기행렬 순번, 침투율을 기반으로 도착 패턴을 추정하여 궤적의 유무에 따라 HMM으로 다르게 1시간 대기행렬 면적으로 추정한 후, 1시간 검지기 교통량으로 나누어 평균 제어지체를 추정하였다.

TOD 클러스터링: 표준화한 교통량과 제어지체를 입력 변수로 하여 Fisher(1958)의 순서 자료 최적 분할을 적용하였다. 16개 교차로에 공통으로 적용되는 구간을 도출하였으며, 최소 구간 길이는 2시간으로 설정하였다.

신호 최적화: Lee et al.(2017)의 그룹 기반(group-based) 신호 최적화 중 1단계인 예비용량 최대화를 적용하였다. 이동류 단위로 신호그룹을 정의하고 가능한 현시 순서를 모두 열거한 뒤, 구간 평균 교통량에 대한 공통 교통량 배수가 최대가 되는 신호계획을 선택하였다.

도출한 신호계획은 관측 교통량으로 보정한 SUMO 미시 시뮬레이션에서 하루 전체 수요를 대상으로 평가하였다. 비교 기준은 현행 TOD와 현행 신호계획이며, 평가 지표는 평균 제어지체, 평균 통행시간, 정지 횟수, CO_2 배출량이다.

교통량과 제어지체를 함께 사용한 결과, 하루는 6개의 TOD 구간(5~7시, 7~10시, 10~15시, 15~20시, 20~23시, 23~5시)으로 분할되었다(GVF 0.895). 교통량만 사용한 분할과 달리 오전 첨두(07~10시)가 독립된 구간으로 구분되었다.

표 1은 현행 신호 운영과 제안한 신호계획의 시뮬레이션 결과를 비교한 것이다. 제안한 신호계획은 현행 대비 평균 제어지체를 34.9%, 평균 통행시간을 16.3%, 정지 횟수를 19.6%, CO_2 배출량을 13.2% 감소시켰다.

<표 1> 현행 신호 운영 대비 제안 신호계획의 효과

평가 지표	현행	제안	감소율(%)
평균 제어지체(초/대)	43.3	28.2	34.9
평균 통행시간(초/대)	256.1	214.3	16.3
평균 정지 횟수(회/대)	2.02	1.63	19.6
CO_2 배출량(t/일)	156	135.5	13.2

본 연구는 불완전한 궤적 데이터에서 추정한 제어지체를 TOD 구간 설정에 활용하는 방법을 제시하고, 이를 예비용량 최대화 신호계획과 결합하였을 때의 효과를 실제 연속교차로를 대상으로 확인하였다. 이러한 결과는 별도의 검지기 증설 없이 기존 궤적 데이터와 검지기 교통량만으로 TOD 신호 운영을 개선할 수 있음을 시사한다. 향후 연구에서는 제어지체 최소화와 교차로 간 옵셋 최적화를 포함하여 방법론으로 확장할 예정이다.

참고문헌

- Lee, S., Wong, S. C., & Varaiya, P. (2017). Group-based hierarchical adaptive traffic-signal control part I: Formulation. *Transportation Research Part B: Methodological*, 105, 1-18.
- Wang, Xingmin, et al. "Traffic light optimization with low penetration rate vehicle trajectory data." Nature communications 15.1 (2024): 1306.
- Zhu, Junyu, et al. "Cycle-by-Cycle Estimation of Queue Length at Signalized Intersections Using Spatially Sparse Connected Vehicle Trajectories." IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 26.2 (2024): 1522-1537.

교차로 간 연동을 위한 계층적 적응형 신호제어 프레임워크 개발

Development of a hierarchical adaptive traffic signal control framework for signal coordination

홍슬빈
(서울시립대학교 교통공학과, 석박사통합과정)

변지혜
(서울시립대학교 교통공학과, 부교수)

이승현
(서울시립대학교 교통공학과, 부교수)

본 연구는 시간에 따라 변화하는 교통수요에 대응하면서 교차로 간 연동을 확보하기 위한 계층적 적응형 신호제어 프레임워크를 제안한다. 적응형 신호제어는 교통상황에 따라 신호주기와 녹색시간을 조정할 수 있으나, 교차로별 신호운영의 개선이 도로망 전체의 원활한 차량 진행으로 이어지기 위해서는 인접 교차로 간 연동을 함께 고려해야 한다. 특히 교통수요의 공간적 분포가 변화하는 환경에서는 사전에 지정된 연동축뿐 아니라 수요 변화에 따른 연동축의 조정이 필요하다. 이에 본 연구는 교통수요에 따라 연동축을 선정하고 옵셋 제약을 갱신하는 전략적 의사결정을 신호주기별 최적화 및 실시간 국지 제어와 연결하여, 교차로 간 연동과 개별 교차로의 적응형 신호 운영을 통합하는 접근법을 제시한다.

제안 프레임워크는 전략, 전술, 및 국지 제어의 세 계층으로 구분된다. 전략 계층에서는 차로별 누적 도착량과 출발량을 푸리에 급수로 근사하여 교통수요의 시간적 변동 특성을 반영하는 분석기간을 설정한다. 이후 각 분석기간의 후보 축별 교통량을 비교하여 연동축을 선정하고, 상류 교차로의 차량군 방출 시점과 유효녹색시간, 링크 통행시간을 이용하여 하류 교차로의 녹색 시작 시점에 대한 옵셋 제약을 도출한다. 전술 계층에서는 해당 제약을 그룹 기반 bi-level 최적화 모형에 반영하여 여유용량을 최대화하고 제어지체를 최소화하는 신호주기, 신호그룹 순서 및 녹색시간을 결정한다. 국지 계층에서는 차로별 대기행렬과 포화교통류율에 기반한 max-pressure 제어를 적용하여 초 단위 교통변동에 대응한다. 이때 전술 계층에서 결정한 신호그룹 순서를 유지하면서 정해진 전환구간 내에서 녹색 종료 시점을 조정하여 계층 간 제어의 일관성을 확보한다.

성능평가는 SUMO를 활용하여 9개 신호교차로로 구성된 3×3 격자형 도로망에서 수행하였다. 교차로 간 거리는 200m로 설정하고, 시간대별 변동을 반영한 24시간 교통수요를 적용하였다. 본 실험에서는 15분의 분석기간을 사용하였으며, 고정 신호제어, MAXBAND 및 교차로 간 연동을 고려하지 않은 적응형 신호제어를 비교모형으로 설정하였다. 분석 결과, 제안모형의 평균 정지 횟수는 1.89회, 평균 통행시간은 145.11초, 평균 차량 지체는 20.30초로 모든 평가 지표에서 가장 낮은 값을 보였다. 교차로 간 연동을 고려하지 않은 적응형 신호제어 모형과 비교했을 때 평균 정지 횟수는 2.40회에서 1.89회로, 평균 통행시간은 177.48초에서 145.11초로, 평균 차량 지체는 58.18초에서 20.30초로 감소하여 각각 21.3%, 18.2% 및 65.1%의 개선을 나타냈다. 차량 시공간 궤적 분석에서는 수요에 따라 선정된 연동축을 따라 차량군이 상대적으로 연속적으로 진행하고 정지 및 출발이 감소하는 양상이 관찰되었다.

이러한 결과는 개별 교차로의 신호 최적화에 수요 기반 연동축 선정과 적응형 옵셋 제어를 결합하는 것이 도로망의 통행 효율 개선에 기여할 수 있음을 보여준다. 본 연구는 서로 다른 시간 해상도에서 작동하는 전략, 전술 및 국지 제어를 연결함으로써 교통수요 변화에 대한 실시간 대응과 교차로 간 연동을 함께 고려하는 제어체계를 제시하였다. 특히 사전에 고정된 축의 연동에서 나아가 교통수요의 공간적 변화에 따라 연동축을 조정하고, 이를 신호주기별 운영에 반영한다는 점에서 적응형 신호제어의 도로망 차원 연동 성능을 개선할 수 있는 가능성을 확인하였다.

사사: 본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원(KAIA)의 지원으로 수행되었으며(과제번호: RS-2025-16066665), 유럽연합 집행위원회(European Commission)가 공동지원하는 Driving Urban Transitions Partnership의 일환으로 수행되었음.

주행궤적 데이터 기반 도시네트워크 대기행렬 추정 및 동적 구획 최적화

Infrastructure Independent Queue Length Estimation and Dynamic Zoning
- A Hybrid Approach Using Connected Vehicle Data

남혁주
(서울시립대학교 교통공학과, 석박사통합과정)

변지혜
(서울시립대학교 교통공학과, 부교수)

이승현
(서울시립대학교 교통공학과, 부교수)

본 연구는 전국 단위로 수집되는 영업용 차량의 디지털 운행기록계(Digital Tachograph, DTG) 주행궤적을 활용하여, 방향별 교차로 대기행렬을 추정하고, 이를 동적 네트워크 구획 및 유입제어와 연계하는 통합 프레임워크를 제안한다.

최근 지능형교통체계의 확산으로 교통데이터의 수집 방식이 다양해지고 있으나, 기존 교통정보 수집체계는 고정식 검지기에 의존하고 있어 미설치 구간과 검지기 사이의 공간적 관측 사각지대가 발생한다. 교통혼잡과 대기행렬은 네트워크에 대해 연속적인 속성을 갖기 때문에 도시 단위의 교통상태 분석 및 제어를 위해서는 공간적 연속성과 시간적 일관성을 갖춘 교통정보의 확보가 필요하다. 그러나 DTG 차량궤적 데이터는 실제 네트워크 상의 모든 차량의 주행행태를 완전히 대변하지 못하며, 낮은 혼입률로 인해 대기행렬 후미와 교차로 접근방향을 정확하게 식별하기 어렵다는 한계가 존재한다.

이러한 문제를 해결하기 위해, 시공도 상의 차량 가감속 지점을 분석하여 대기행렬 형성·해소 과정에서 나타나는 충격파 전파속도를 추정한다. 특히 대기행렬 형성과 해소에 따른 충격파의 이동을 추적하여 신호주기별 대기행렬 후미의 위치를 식별하고, 이를 링크 길이, 교차로 접근방향 및 신호주기 정보와 결합하여 방향별·주기별 대기행렬 길이를 산출한다. 희소 관측으로 대기행렬 후미가 직접 확인되지 않는 상황에서는 차량추종모형의 차두간격과 속도 관계를 물리적 제약조건으로 반영한 Physics-Informed LSTM(PI-LSTM)을 이용해 시간적 변화를 보완한다. 한 신호주기에 관측차량이 부족하거나 전혀 없는 경우에는 베이지안 추론을 결합하고, 표본차량 혼입률과 인접 시점·링크의 교통상태를 사전정보로 활용하여 미관측 대기행렬의 확률분포를 추정한다. 나아가 교차로를 노드, 도로구간을 링크로 정의한 가중 그래프에 추정 대기행렬과 혼잡 전파특성을 반영하여 Normalized Cut(N-cut) 기반 동적 구획 문제를 구성한다. 이를 이진 의사결정변수와 제약조건의 페널티 항을 사용해 Quadratic Unconstrained Binary Optimization, QUBO 문제로 정의하고, 양자 어닐링기법을 최적해 탐색 방법론으로 적용하여 혼잡구역의 구획을 도출한다.

대기행렬 추정에는 2025년 3월 24~30일의 초 단위 DTG 위치·속도자료를 활용하였다. 추정 정확도는 청주 56개 스마트교차로의 실측 대기행렬 정보와 비교하고, 순수 데이터 기반 예측모형과의 성능을 대조한다. 또한 의왕 79개 노드를 대상으로 서로 다른 네트워크 구조에서의 적용 가능성을 평가한다. 아일랜드 더블린과 인천 송도의 도시네트워크를 SUMO 시뮬레이션 프로그램 상에 구현하고, 지역별 실측 교통정보를 반영하여 네트워크 단위의 교통운영 효과를 검증한다. 도출된 동적 구획에 Perimeter Control을 적용하고, 제어 전후의 대기행렬 길이, 평균 통행지체 및 네트워크 혼잡 수준을 비교하여 운영효과를 정량적으로 평가한다. 예비실험으로 SUMO 기반 도시네트워크의 6,633개 도로 링크를 대상으로 표본차량 혼입률 15% 조건에서 대기행렬 추정 성능을 평가하였다. 베이지안 대기행렬 구간 정보를 학습에 반영한 LSTM 모형은 시간단위 대기행렬 추정에서 평균제곱근오차(RMSE) 5.41 m, 평균절대오차(MAE) 0.91 m를 기록하였으며, 동일 구조의 순수 데이터 기반 모형 대비 각각 4.6%, 10.2%의 오차 감소를 보였다. 신호주기별 최대 대기행렬의 RMSE도 6.60 m에서 6.20 m로 감소하여, 확률적 사전정보를 활용한 학습이 희소 관측환경에서 대기행렬의 시간적 변화와 최대 규모 추정을 개선할 가능성을 확인하였다. 실제 대기행렬이 존재하는 시점의 RMSE는 26.62 m로 나타나, 혼잡 상황에서의 추정 정확도와 과소추정 문제를 개선하기 위한 추가 검증이 필요하다.

사사: 본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원(KAIA)의 지원으로 수행되었으며(과제번호: RS-2025-16066665), 유럽연합 집행위원회(European Commission)가 공동지원하는 Driving Urban Transitions Partnership의 일환으로 수행되었음.

공간적 이질성에 따른 도시부 네트워크 MFD 혼잡 형성·회복 특성 분석

Analysis of Congestion Formation and Recovery Characteristics of Urban Network Macroscopic Fundamental Diagrams by Spatial Heterogeneity

강민욱
(서울시립대학교 교통공학과, 석사과정)

강민지
(서울시립대학교 교통공학과, 연구교수)

박신형
(서울시립대학교 교통공학과, 교수)

도시부 네트워크의 교통 상태를 평균 유량과 평균 밀도의 관계로 나타내는 거시적 교통기본도(MFD)에서 혼잡이 공간적으로 고르지 않게 분포할 때 산포가 커지며, 혼잡이 형성될 때와 회복될 때 서로 다른 경로를 따르는 히스테리시스가 나타난다. 기존 연구는 같은 평균 밀도에서 밀도의 공간적 이질성이 클수록 네트워크 유량이 낮아짐을 실측 자료로 확인하였고, 회복기에 혼잡이 더 불균등하게 남아 유량이 낮아진다는 설명을 이론과 시뮬레이션으로 제시하였다. 그러나 형성기와 회복기의 차이를 공간적 이질성과 연결하여 정량화한 연구는 시뮬레이션이나 고속도로망에 집중되어 있으며, 도시부 실측 자료에서 같은 혼잡 수준일 때 두 국면의 이질성과 유량이 얼마나 다른지를 수치로 제시한 사례는 드물다. 따라서 본 연구는 도시부 실측 자료를 이용하여 공간적 이질성에 따라 MFD 내 혼잡의 형성기와 회복기 특성이 각각 어떻게 달라지는지 정량적으로 분석하는 데 목적을 둔다. 분석 자료는 전 세계 40개 도시 내 검지기 자료를 표준화한 공개 자료인 UTD19 데이터 전처리를 통해 유효 자료 비율이 70% 이상인 도시를 분류하고, 검지기 2,754개의 5분 단위 교통량과 점유율이 있는 런던을 선정하였다. MFD의 경우 검지기별 차로 연장으로 가중한 평균 유량과 평균 점유율을 통해 구축하였다. 공간적 이질성은 동일 시점에 검지기 점유율이 네트워크 평균 점유율에서 흩어진 정도로 정의하고, 평균과 같은 가중치를 적용한 차로 연장 가중 점유율 표준편차로 산정하였다. 국면 분할의 경우 첨두별 평균 점유율이 최대인 시점을 경계로 형성기와 회복기를 구분한 뒤, 혼잡 수준의 영향을 배제하기 위해 평균 점유율이 같은 구간끼리 두 국면의 이질성과 평균 유량을 비교하였다. 또한 각 구간에서 평균 유량을 이질성의 1차식으로 놓고 형성기와 회복기 자료에 각각 비교함으로써, 회복기의 유량 차이가 이질성의 차이로 설명되는지, 이질성 외의 요인이 작용하는지를 판별하였다. 분석은 평일과 주말, 오전과 오후 첨두로 나누어 진행하였다. 본 연구는 히스테리시스 루프가 뚜렷하지 않은 첨두 시간대를 포함하여 도시부 실측 자료에서 형성·회복 국면의 차이를 공간적 이질성 관점에서 수치로 제시한다는 데 의의가 있다. 분석 결과는 평균 점유율로 구축한 MFD가 회복 국면에서 부정확해지는 조건을 식별하고, 국면별 특성을 반영한 네트워크 교통관리 전략을 수립하는 데 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

차로감소 병목의 합류 상호작용을 고려한 미시 교통류 생성모델

A Microscopic Traffic Flow Generation Model Incorporating Merging Interactions at Lane-Drop Bottlenecks

백경선 (한양대학교 교통물류공학과, 석사과정)

천경훈 (카이스트 조천식모빌리티 대학원, 박사후연구원)

정희영 (순천향대학교 AI·빅데이터학과, 학부과정)

가동호 (NotaAI, 선임연구원)

노병준 (한양대학교 교통물류공학과, 조교수)

차로감소 병목의 교통류는 소멸차로 차량의 합류, 수용차로의 감속·양보 및 차로별 대기행렬이 결합하여 형성된다. 본 연구는 이러한 합류 상호작용과 도로 기하구조를 고려한 미시 교통류 생성모델을 제안하고, 병목구간의 통과시간·차량 누적량·유출량 재현 성능을 평가하였다. 관측자료 축소와 시간블록 제외 실험은 모델의 병목 대응 범위와 한계를 확인하는 검증 조건으로 사용하였다.

제안모델은 평균 가속도 계획과 상태 의존 잔차 확산으로 차량행동 후보를 생성하고, 합류 조건부 평균 계획과 기하구조 기반 실행 규칙을 결합한다. 학습자료에서 합류위치를 표본추출하되 실제 차로변경은 간격 수락으로 결정하며, 차로 간 대기행렬 균형화, 양보 유도 및 소멸차로 종점 제약을 적용한다. 생성된 차량 상태로 상호작용을 갱신하고, 구간 내부의 관측궤적이나 미래 합류정보는 반복 입력으로 사용하지 않는다.

검증에는 중국 난징 도시고속도로의 UTE SQM-2 자료를 이용하였다. 약 340m 구간에서 상류 5개 차로가 하류 3개 차로로 감소하며 분석시간은 0–810초이다. 기본 학습은 초기 567초(70%), 자료 축소 조건은 270초(33.3%) 또는 120초(14.8%)를 사용하였다. 또한 4개 연속 시간블록을 각각 학습에서 제외하였다. 전체 기록으로 보정한 VISSIM·SUMO와 통행시간 Wasserstein-1 거리(W_1), 차로별 GEH, 소멸차로 차량 수 RMSE 및 기본도 분포 발산(FD-JSD)을 비교하였다.

기본 학습의 통행시간 W_1은 3.218초, 소멸차로 차량 수 RMSE는 2.539대, FD-JSD는 0.163으로 두 시뮬레이터보다 낮았다. 차로별 GEH는 VISSIM이 7.229로 제안모델의 7.783보다 낮았다. 초기 270초 학습은 차량 수 RMSE 2.452대와 FD-JSD 0.169로 기본 학습과 유사했으나 통행시간 W_1은 5.285초로 증가하였다. 초기 120초 학습의 통행시간 W_1과 차량 수 RMSE는 11.814초, 5.127대였다. 공통 후반 시험구간의 통행시간 W_1은 270초 학습에서 10.587초, 120초 학습에서 24.555초로 나타났다.

시간블록 제외 실험의 가중평균 차량 수 RMSE는 2.534대, FD-JSD는 0.268로 두 비교모형보다 작았으나 후반 통행시간 오차와 변동성은 증가하였다. 결과는 합류의 확률적 특성과 기하구조 제약을 결합한 생성모델의 차로감소 병목 적용 가능성을 보여준다. 다만 차량 누적량의 일치가 통과시간의 정확성을 보장하지 않으며, 경계·검지기 정보는 모든 실험에 제공되었다. 비교 시뮬레이터는 전체 기록으로, 시간블록 실험의 실행설정은 해당 평가구간으로 사후 보정되었으므로 결과는 한 현장의 조건부 재구성 성능으로 해석해야 한다.

사사: 본 연구는 국토교통부 국토교통 DNA플러스 융합기술대학원 육성사업의 연구비 지원(과제번호 RS-2022-00156089)에 의해 수행되었습니다.

대중교통 빅데이터 및 수요 분석

Session

A-6

대규모 행사 시 도시철도 무정차 통과에 따른 수요 전이 분석
서민서, 박동주

경인선 급행열차의 정차 패턴 최적화:스마트카드 OD와 시간 확장 네트워크를 중심으로
고건우, 최성택

교통카드 자료를 이용한 최적전략 통행배정의 경로선택 오차 분석: 서울 지하철 9호선 급행 · 일반 병행 구간을 중심으로
전재현, 문세동

기후동행카드가 지하철 역별 수요에 미친 영향–합성이중차분법을 적용하여
배현서, 고건우, 김준구, 최성택

예매 데이터를 활용한 고속철도 초과수요의 고속버스 전이 패턴 분석
심재윤, 김희조, 박동주

버스에서 지하철 환승객의 하차 정류장 선택 : 교통카드 하차 태그 보정과 장소 · 사람 · 상황별 요인 분석
서영운, 양윤철, 허창준, 고건우, 최성택

대규모 행사 시 도시철도 무정차 통과에 따른 수요 전이 분석

Demand Displacement under Urban Rail Station Skipping during Planned Special Events

서민서
(서울시립대학교
교통공학과, 석사과정)

박동주
(서울시립대학교
(교통공학과·도시빅데이터융합학과, 교수)

대규모 행사 시 행사장과 가장 가까운 도시철도역에서는 역사 내 밀집 사고를 예방하기 위해 무정차 통과를 시행하고 있다. 그러나 무정차역을 이용하려던 수요는 소멸하지 않고 인접역으로 전이된다. 특히 행사장으로 들어오는 유입 수요와 귀가하는 유출 수요는 시간 분포가 상이하여 동일한 방식으로 전이된다고 보기 어렵다. 이에 본 연구에서는 무정차 통과로 발생한 수요 전이를 유입과 유출로 구분하여 전이 범위를 비교하고, 그 차이를 유출 시간대의 수요 집중과 인접역의 혼잡 수준 관점에서 설명하고자 하였다. 이를 위해 2023~2025년 축제 당일 여의나루역을 대상으로 공공승하차 자료에 음이항 회귀를 적용하여 평상시 기대수요를 추정하였다. 이를 토대로 인근 전 노선의 일별 승하차를 집계하여 무정차로 이용 역이 바뀐 수요를 각 역이 나누어 처리한 비율을 산정하였다. 또한 평일 피크 대비 부하율로 병목을 진단하고, 무정차 해제 시각별 인접역의 부하를 평가하였다. 분석 결과, 3개년 평균 기준으로, 유입 수요는 6~7시간에 걸쳐 분산되었으며 무정차 시행 시 이동한 유입 수요가 여의도(68%)와 마포(32%)로 전이되었다. 반면 유출 수요는 20~23시의 3시간에 88%가 집중되어 여의도·마포의 승차 부하율이 평일 피크의 160~233%에 이르렀다. 무정차로 귀가 역이 바뀐 유출 수요(하루 약 7.6만 명)는 여의도(24%), 대방(16%), 샛강(13%), 공덕(12%), 마포·국회의사당·신길(각 10%)에서 나누어 처리되었으며, 이 중 약 절반(48~49%)은 공식 안내역(여의도·마포·샛강)이 아닌 도보 1.9~2.8km 거리의 2차 인접역이 처리하였다. 무정차 해제를 30분 늦출 때마다 여의도 승차 부하는 13~34%p 증가하였으나, 불꽃축제 종료 직후 무정차 통과를 해제하더라도 유출 피크의 여의도·마포 부하는 169~183%로 나타나 운영 시간 조정만으로는 한계가 있었다. 이 결과는 무정차 운영과 대안역 안내를 유입용과 유출용으로 구분하여 설계하고, 유출 시간대에는 귀가 방향별로 수용 여력이 있는 역을 안내할 필요가 있음을 시사한다.

경인선 급행열차의 정차 패턴 최적화: 스마트카드 OD와 시간 확장 네트워크를 중심으로

Optimizing Express Stop Patterns on the Gyeongin Line:
A Smart Card OD and Time-Expanded Network Approach

고건우
(한양대학교 도시공학과, 석사과정)

최성택
(한양대학교 도시공학과, 부교수)

경인선 구로~동인천 구간은 급행과 완행이 별도 선로를 이용하는 2복선 구조로 완행 열차의 급행 선행대피가 없어 두 열차의 운행이 상호 지장을 받지 않는 특성을 가진다. 따라서 급행 정차역 구성에 따라 정차역 이용자는 통행시간이 단축되는 반면 통과역 이용자는 정차 1회당 약 1분씩 지연되며, 이는 이용자 간의 통행시간 차이가 발생하는 원인이 된다. 국내에서는 광역철도 급행 열차의 정차역을 선정하는 기준에 대한 논의가 지속되었으나 객관적인 기준이 제시된 바는 찾기 어렵다. 기존의 정차 패턴 최적화 연구는 대부분 지연이 없는 운행 DIA 계획과 집계된 수요를 가정하여 실제 운행 조건에서 개별 승객의 열차 이용을 반영하는데 한계가 존재하여, 본 연구는 이를 보완하고자 2025년 3월 17일 06:30~10:00의 스마트카드 태그 기록과 열차 운행기록을 결합하여 경인선 용산~인천 27개 역의 급행 정차패턴 최적화 모형을 구축하였다. 먼저 수도권 시간 확장 네트워크(열차 9,981편, 648개 역)에서 세 가지 대안에 따라 경로를 배정한 뒤 경인선 구간 이용 부분만 절단하여, 승객 226,353명을 개별 에이전트로 하는 경인선 내 역간 OD를 구성하였다.

경인선 구간에서는 열차의 역별 도착·출발 사건을 노드로, 열차의 주행과 승객의 승·하차 및 환승을 링크로 하는 시간 확장 네트워크를 지연을 포함한 실제 운행 기록을 기반으로 구축하고(열차 185편, 노드 5,957개, 링크 12,627개), 승객 에이전트를 승차 태그 시각 순으로 비용이 최소인 열차 경로에 순차 배정하되, 선행 승객으로 인해 혼잡해진 열차의 경우 BPR 함수를 통해 혼잡 비용을 반영하여 후행 승객의 비용을 높였다. 평가지표는 BPR 함수를 통해 혼잡을 반영한 전체 승객의 통행비용과 구간별 열차 최대 혼잡도로 설정하였다. 정차 패턴의 실현 가능성을 보장하기 위해 결정 대상 18개 역의 정차 조합 262,144개 중 최소 운행시격 146초 조건을 만족하는 227,328개 패턴을 전수 평가하여 파레토 해를 확정하고, 이를 기준으로 국지탐색, 유전 알고리즘(NSGA-II), 모의 담금질의 파레토 해 도달률을 평가 횟수별로 비교하였다. 또한 최대 혼잡이 발생한 첨두 30분의 구간 통과 승객을 같은 시간대 열차에 고르게 배분한 혼잡도를 하한으로 산정하여 최적해와 비교하였다.

분석 결과, 최소 시간 경로배정원칙 기준 파레토 해는 19개였으며, 그중 12개는 현행 대비 통행비용을 0.94~1.71%, 최대 혼잡도를 0.12~6.75%p 낮추어 두 지표를 모두 개선하였다. 알고리즘 비교에서는 NSGA-II가 전체 후보의 2.0%인 평균 4,530회 평가만으로 파레토 해의 97%를 제시하였고, 모의 담금질은 4만 회 이내에 모든 파레토 해를 평가하였으나 최종 제시한 파레토 해는 평균 9.7개에 그쳤으며, 국지탐색은 29%에서 정체하였다. 최대 혼잡도가 가장 낮은 해(188.8%)와 첨두 30분 하한(181.9%)의 차이는 6.9%p로 나타났다. 이는 현행 시각표에서 관측된 최대 혼잡도 195.6% 대비 약 6.8%p 낮으며, 동시에 혼잡 가중 통행비용은 현행 시각표 대비 0.94%p 감소하는 것으로 확인되어, 정차패턴 조정만으로도 승객 분산을 통한 혼잡 완화 효과가 상당히 존재함을 확인하였다. 본 연구는 실제 수요와 운행기록에서 정차패턴의 최적성을 전수 열거로 확인하고 휴리스틱의 성능을 정량적으로 제시하였다는 점에서 의의를 가진다.

사사: 이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2026-25492164).

교통카드 자료를 이용한 최적전략 통행배정의 경로선택 오차 분석: 서울 지하철 9호선 급행·일반 병행 구간을 중심으로

Analysis of Route Choice Error in Optimal Strategy Transit Assignment Using Smart Card Data: A Case Study of Seoul Metro Line 9

전재현
(한양대학교 ERICA 교통물류공학과, 학사과정)

문세동
(한양대학교 ERICA 교통물류공학과, 조교수)

대중교통 통행배정에 널리 사용되는 최적전략(optimal strategy) 모형은 이용자가 도착 시각을 모른 채 대기하다가 이용할 만한 노선 중 가장 먼저 오는 차량에 승차한다고 가정한다. 이용할 노선의 집합은 차내시간과 대기시간을 비교해 결정하지만, 집합 내에서는 통행시간과 무관하게 운행 빈도 비율로 수요를 배분한다. 그러나 실시간 도착 정보가 보편화된 환경에서는 이용자가 더 빠른 노선을 선택할 수 있어 가정과 실제 행동 사이에 간극이 생긴다. 특히 급행과 완행이 같은 승강장에 정차하는 구간에서는 통행시간이 더 짧은 급행이 오히려 적은 수요를 배정받아, 최다 이용 노선의 순위가 뒤바뀔 수 있다.

본 연구는 두 단계로 수행하였다. 먼저 급행과 완행이 경쟁하는 가상 네트워크에서 급행 배차간격과 완행 정차시간을 변화시키며 최적전략 배정과 확정적 경로선택을 비교하여 오차가 발생하는 조건을 도출하였다. 확정적 경로선택은 대기시간 기댓값(배차간격의 절반)과 차내시간의 합이 짧은 노선에 수요를 전량 배정하는 방식이다. 다음으로 수도권 KTDB 네트워크에서 서울 지하철 9호선 급행과 일반 노선만 남긴 뒤, 급행 정차역 간 240개 역 쌍에 이 조건을 적용하고 각 역 쌍에 최적전략 배정과 확정적·확률적 경로선택을 수행하였다. 확률적 경로선택은 대기시간 기댓값과 차내시간으로 효용함수를 구성하고, 이항 로짓모형으로 급행과 일반의 선택확률을 계산하였다. 최적전략 배정과 경로선택 결과의 차이는 총변동거리(total variation distance)와 순위 역전 여부로 측정하였다. 순위 역전은 확정적 경로선택에서 수요가 전량 배정된 노선이 최적전략 배정에서는 0.5 미만의 선택확률을 받는 경우로 정의하였다. 또한 2017년 10월 31일 교통카드 자료를 역 쌍별 급행·일반열차 선택 결과로 집계하여, 당시 운행 구간인 개화에서 종합운동장까지의 급행 정차역 간 156개 역 쌍에서 최적전략 배정 결과와 비교하였다. 교통카드 자료는 통행별로 이용 가능한 후보 열차를 제시하므로, 후보 열차가 하나로 특정되는 151,187건의 통행만 사용하였다. 확률적 경로선택의 시간 민감도는 여러 값으로 바꾸어 적용하는 한편, 교통카드 자료를 이용하여 최대우도법으로 추정하였다.

가상 네트워크 실험 결과, 급행 배차간격이 완행보다 긴 경우에 한하여 완행의 추가 차내시간이 두 노선의 대기시간 기댓값 차이보다 크고 급행의 대기시간 기댓값보다 작은 조건에서 순위 역전이 나타났다. 이 조건으로 예측한 순위 역전 여부는 완행 배차간격을 3분, 5분, 8분, 10분으로 바꾼 경우에도 최적전략 배정 결과에서 판정한 순위 역전 여부와 모두 일치하였고, 역전 조건의 평균 총변동거리는 0.737로 그 외 조건의 0.113보다 약 6.5배 컸다. 9호선에 적용한 결과 240개 역 쌍 중 김포공항 방면 32개에서 순위 역전이, 중앙보훈병원 방면 27개에서는 두 노선에 수요가 균등하게 배분되었다. 두 방향은 노선과 역이 같으나 김포공항 방면만 급행 배차간격이 1분 길어 오차의 양상이 갈렸다. 조건으로 예측한 결과는 최적전략 배정 결과와 239개 역 쌍에서 일치하였고, 유일한 불일치는 추가 차내시간이 경계값과 0.02분 차이인 역 쌍이었다. 수도권 전체 네트워크에서 최적전략 배정을 수행한 경우와, 확정적 경로선택 대신 시간 민감도를 달리한 확률적 경로선택과 비교한 경우에도 역 쌍 수는 동일하게 유지되었다. 교통카드 자료와 비교 가능한 156개 역 쌍에서는, 순위 역전이 나타난 26개 역 쌍에서 모형이 급행에 47.4퍼센트를 배분하였으나 실제 급행 이용 비율은 85.2퍼센트였다. 수요가 균등 배분된 23개 역 쌍에서도 모형 50.0퍼센트에 실제 79.1퍼센트로 차이가 나타난 반면, 급행에 전량 배분된 107개 역 쌍에서는 실제 비율이 99.5퍼센트로 일치하였다. 후보 열차에 급행과 일반이 함께 포함되어 판정할 수 없는 통행을 모두 일반열차 이용으로 간주한 보수적인 경우에도, 실제 급행 이용 비율은 순위 역전 역 쌍에서 52.6퍼센트, 균등 배분 역 쌍에서 52.5퍼센트로 모형의 배분 비율보다 높았다. 교통카드 자료로 추정한 로짓 모형은 실제 급행 이용 비율과의 통행량 가중 평균 절대오차가 0.047로 최적전략 배정의 0.124보다 작았으며, 첨두와 비첨두로 나누고 배차간격을 달리한 경우에도 이 차이는 유지되었다. 다만 배정은 2024년 네트워크, 교통카드는 2017년 자료로 시점이 다르며, 2017년 운행 조건으로 다시 계산한 경우에도 모형 50.7퍼센트에 실제 77.1퍼센트로 동일한 경향이 나타났다.

본 연구는 최적전략 배정이 구조적으로 오차를 보이는 조건을 제시하고, 이를 실제 노선에 적용해 수요가 잘못 추정되는 구간을 판별하였으며, 교통카드 자료로 해당 구간에서 모형이 급행 수요를 과소 추정함을 확인하였다는 점에서 의의가 있다. 이 조건은 배차간격과 노선별 통행시간만으로 판정할 수 있어 급행과 완행이 병행 운행되는 다른 노선에도 적용할 수 있다. 다만 더 빠른 병행 노선이 있는 구간은 수요가 발생하지 않으므로 적용 전에 이용률을 확인해야 하며, 이러한 구간은 추후 연구의 대상으로 남겨 둔다. 향후 혼잡과 환승을 포함한 조건에서의 오차 변화와, 정보 반영 수준에 따른 배정 결과 보정 방안을 검토하고자 한다.

사사: 이 논문은 한양대학교 교내연구비 지원으로 연구되었음(HY-2026-1258)

기후동행카드가 지하철 역별 수요에 미친 영향 -합성이중차분법을 적용하여

The Effect of Seoul's Climate Card on Station-Level Subway Ridership -A Synthetic Difference-in-Differences Approach

배현서 (한양대학교 도시공학과, 학사과정)

고건우[2] (한양대학교 도시공학과, 석사과정)

김준구 (한양대학교 도시공학과, 석사과정)

최성택 (한양대학교 도시공학과, 부교수)

기후동행카드 이용 확대가 실제 추가 승차 수요로 이어졌는지에 대해, 서로 다른 자료와 비교설계를 활용한 국내 연구들은 다양한 결과를 보고하고 있다. 본 연구는 타 광역시의 지하철역을 조합한 합성대조군을 구성하고, 합성이중차분법(Synthetic Difference-in-Differences, SDID)을 적용하여 기후동행카드 도입 이후의 평균 수요 변화와 월별 경로, 역별 조정 변화량의 분포를 분석하였다.

철도산업정보센터의 2022년 1월부터 2025년 12월까지 역별 월 승차실적을 활용하여, 기후동행카드 적용 역 259개를 처치집단으로, 인천 65개·대구 88개·광주 20개·대전 22개 역을 비교(도너)집단으로 구성하였다. 환승역을 물리적 역으로 통합하고 전환월인 2024년 1월을 제외하여, 사전 24개월과 사후 23개월에 걸친 454개 역의 21,338개 관측치로 완전 균형 패널을 구축하였다. 종속변수는 월 승차 합계를 달력일수로 나눈 일평균 승차량의 자연로그로 정의하였다.

SDID의 단위·시간 가중치를 이용하여 지속적인 역별 수준 차이를 허용하면서 사후 평균 격차에서 가중 사전 격차를 차감하고, 처치역 동일가중 평균과 월별·역별 조정 변화량을 산출하였다. 역 단위 부트스트랩을 500회 수행하면서 매회 가중치와 잡음 수준·벌점 계수를 재추정하였다. 도너 도시별 제외 분석, 사건 관련 역 제외 분석, 시점·도시 플라시보 진단을 병행하였으며, 통계지리정보서비스(SGIS)의 2023년 100m 격자를 역 반경 500m에 면적가중한 자료로 역세권 특성 균형을 점검하였다.

분석 결과, 동일가중 평균 로그효과는 0.0151 로그포인트로 추정되었으며, 비율 환산값은 +1.52%, 명목 95% 구간은 [+0.14%, +2.92%], 명목 p값은 0.031이었다. 도너 도시를 각각 제외한 점추정치는 +1.22~+1.94%로 모두 양의 값을 보였다. 다만 입주·교통망 변화 등이 확인된 14개 역(처치 9·도너 5)을 제외하고 가중치를 재추정하면 +0.80%(명목 p 0.19)로 낮아져, 추정 크기는 표본 구성에 민감하였다. 기간별 평균 조정 격차는 초기 6개월(2024년 2~7월) +0.26%, 이후 6개월(2024년 8월~2025년 1월) +1.19%, 후반 11개월(2025년 2~12월) +2.39%로 나타나 후반 구간에서 더 높은 평균 격차가 관측되었다.

역별 조정 변화량은 142개 역에서 양수, 117개 역에서 음수로 나타났으며, 중앙값은 +0.39%, 중간 50%의 범위는 −1.15~+3.08%였다. 일부 역의 큰 양의 조정 변화량이 평균에 반영되면서 평균이 중앙값보다 높게 나타났다. 역별 값은 공통 합성대조군 기준으로 전체 SDID 추정치를 분해한 조정 변화량으로, 별도 식별한 개별 역의 인과효과와 구별된다.

도시 플라시보 추정치는 −2.35~+1.23%였으며, 모두 명목 p값이 0.05보다 컸다. 시점 플라시보는 2023년 1월 +0.15%(명목 p 0.71), 2023년 7월 +0.87%(명목 p 0.034)로, 실제 도입 이전 일부 시점에서도 양의 격차가 관측되었다. 종사자 수의 로그값에 대한 표준화 평균차는 가중 전 +0.95에서 가중 후 +0.91로 나타나, 승차 경로에 따른 가중 이후에도 역세권 특성 차이가 남았다.

종합하면, 기후동행카드 도입 이후 분석 대상 역에서는 합성대조군 대비 평균 약 1.5%의 양의 조정 격차가 나타났으며, 도너 도시를 변경한 분석에서도 양의 점추정치가 유지되었다. 이러한 결과는 기후동행카드의 수요 확대 가능성을 뒷받침하는 실증적 근거를 제공한다. 다만 추정 크기의 표본 민감성과 사전기간 플라시보 결과를 고려하면, 관측된 격차 전체를 정책의 순수한 추가 수요로 해석하는 데에는 주의가 필요하다. 또한 역 단위 명목 구간은 역 간 잔여 오차 독립 등의 전제에 의존하며, 도시 공통 충격과 동시 정책, 집계 기준 차이를 충분히 반영하지 못할 수 있다. 본 연구는 정기권의 성과를 카드 이용 규모와 구분하여 평가하고, 평균적인 수요 변화와 역별 분포를 함께 검토할 필요성을 제시한다.

사사: 이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2026-25492164).

예매 데이터를 활용한 고속철도 초과수요의 고속버스 전이 패턴 분석

Analysis of Express Bus-Shift Patterns for Excess Express Railway Demand Using Reservation Data

심재윤 (서울시립대학교, 석사과정)
김희조 (서울시립대학교, 박사수료)
박동주 (서울시립대학교, 정교수)

우리나라에서 운영하는 지역 간 철도는 모든 열차가 예약제로 운행하고 있다. 이로 인한 단점으로, 특정 구간의 지역 간 철도의 모든 표가 매진되면, 철도교통을 이용할 수 없어 이동을 포기하거나 다른 교통수단을 이용하는 것이 불가피하다. 그리고, KTDB 국가교통데이터베이스에서 제공하고 있는 지역간 O/D 자료는 각 교통수단별로 제공되나, 실제 이용객 수를 기반으로 하고 있어 철도가 매진되어 어쩔 수 없이 다른 교통수단을 이용한 수요를 파악하기 어렵다. 따라서, 본 연구에서는 철도를 이용하고 싶었으나 어쩔 수 없이 고속버스를 이용하게 된 수요의 양을 추정하여, 철도 교통의 좌석 수가 무한하다면 고속철도와 고속버스의 O/D는 어떻게 변화하는지 분석하고자 하였다.

고속버스와 고속철도의 예매 데이터를 활용하여 연구 범위 내를 오가는 수요는 얼마인지, 어느 시간대의 열차를 이용했는지, 언제 매진되었는지를 알 수 있다. 이를, 단절 시계열 분석을 통해 경강선 서울~강릉 구간과 동해선 서울~포항 구간에서 고속철도에서 고속버스로 전이된 수요를 추정하는 연구를 진행한다. 연구의 시간적 범위를 2024년 10월 12일부터 11월 26일까지의 7주 동안의 주말로 설정하였으며, 연휴가 아닌 기간으로 설정하여 일상적인 철도 매진 상황에서 발생하는 버스 전이 패턴을 분석하였다. 분석 결과 서울~강릉 구간에서는 토요일 강릉방향은 일평균 220명, 일요일 서울방향은 212명이 고속철도 예매에 실패하여 고속버스를 이용하게 된 것으로 추정된다. 서울~포항 구간에서는 토요일 포항방향은 일평균 77명, 일요일 서울방향은 일평균 139명이 고속철도 예매에 실파형 고속버스를 이용하게 된 것으로 추정된다. 일부 시간대의 전이량에 대하여 신뢰도가 낮은 점과, 외부 효과의 신뢰도를 확보하기 어려웠던 문제점을 극복하기 위하여, 차후에는 명절, 연휴, 파업기간 등을 제외한 2024년 전체의 주말로 시간적 범위를 확대할 것이다. 표본이 늘어남에 따라 외부효과의 영향력에 대한 신뢰성을 제고할 수 있을 것으로 예상되며, 보다 신뢰도 높은 전이량을 추정하고자 한다.

버스에서 지하철 환승객의 하차 정류장 선택 : 교통카드 하차 태그 보정과 장소·사람·상황별 요인 분석

Alighting Stop Choice of Bus-to-Subway Transfer Passengers: Correcting Smart Card Alighting Records and Identifying Place, Person and Situational Factors

서영운 (한양대학교 도시공학과, 석사과정)

양윤철 (한양대학교 도시공학과, 석사과정)

허창준 (한양대학교 도시공학과, 석사과정)

고건우 (한양대학교 도시공학과, 석사과정)

최성택 (한양대학교 도시공학과, 부교수)

버스에서 지하철로의 환승 편의는 지하철역과 역에서 가장 가까운 버스정류장(이하 역 앞 정류장) 사이의 거리로 계획되고, 환승 관련 분석 시에도 승객이 역 앞 정류장에서 하차하는 것으로 가정하거나 교통카드 자료에 기록된 하차 정류장을 그대로 사용한다. 그러나 역 앞 정류장이 아닌 한 정거장 앞 정류장에서 먼저 내려 걷는 승객이 존재하며, 교통카드 하차 기록 또한 미리 태그하는 하차 기록이 존재하여 이 선택은 지금까지 제대로 관측되지 못했다.

본 연구는 하차 기록을 바로잡은 뒤, 버스에서 지하철로 환승하는 승객이 역 앞 정류장의 한 정거장 앞, 즉 지하철역에서 더 먼 정류장(이하 먼 정류장)에서 먼저 내리는 선택을 장소·사람·상황 세 층위에서 규명한다. 자료는 수도권 교통카드 평일 5일(2025.3.17~21)이며, 서울 시내버스에서 서울교통공사 1~8호선으로 환승한 1,041,729건을 분석하였다.

교통카드 하차 태그는 실제 하차 정류장보다 한 정거장 앞으로 기록되는 경우가 있어(Robinson et al., 2014), 기록을 그대로 사용하면 먼저 내린 승객이 과대 집계된다. 이에 같은 버스에 탄 모든 승객의 하차 태그 시각 흐름으로 버스가 정류장을 떠난 뒤 찍힌 태그를 가려내 실제 하차 정류장을 판정하였으며, 그 결과 먼 정류장 하차 비율은 기록상 26.65%에서 14.69%로 보정되었다.

분석 결과는 세 가지로 요약된다(이하 배수는 오즈비). 첫째, 먼저 내리는 선택은 환승을 위한 통행의 편의성에 영향을 받는다. 가로변 정류장 기준 먼저 내릴 확률은 추가 도보 거리 10m에서 61.6%이지만 200m에서는 8.7%로 떨어진다. 또한 역 앞 정류장이 중앙버스전용차로여서 길을 건너야 하면 같은 확률에서 85.7m를 더 걸었고, 먼 정류장에서 가장 가까운 출입구에 에스컬레이터가 존재하면 1.315배 더 먼저 내렸다. 둘째, 버스로 역 앞까지 가는 시간이 길수록 먼저 내려 걷는다. 먼 정류장에서 역 앞 정류장까지의 버스 구간시간이 1분 길어질 때 먼저 내릴 오즈가 1.235배가 되며, 실제로 먼저 내린 승객은 같은 버스의 역 앞 하차자보다 중앙값 기준 13초 먼저 개찰하였다. 셋째, 같은 장소에서도 선택은 사람과 그날의 상황에 따라 달라진다. 지하철 환승 후 추가 환승할 승객은 덜(0.930배), 출퇴근형 승객은 더(1.253배) 먼저 내리는 선택을 하였으며, 같은 사람도 첨두(1.216배)·버스 지연(1분당 1.046배)·혼잡(10명당 1.085배)일 때 더 먼저 내렸다.

이상의 결과는 하차 정류장이 주어진 것이 아니라 선택임을 보여준다. 교통카드 하차 기록은 태그 흐름 보정 후 써야 하며, 환승 동선 계획에서는 역 앞 정류장뿐 아니라 먼 정류장 - 출입구 보행로와 중앙차로 정류장의 횡단 부담을 함께 고려할 필요가 있다.

사사: 이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2026-25492164).

교통수요 추정 및 교통계획

Session

A-7

AI를 활용한 Traffic Assignment 및 Calibration 모형 개발
우왕희, 황준문

대중교통 교통수요예측 정산과정의 자동화 방안 연구: 국내 사례 적용을 중심으로
양윤철, 허창준, 김준구, 최성택

건물명 텍스트 유사도를 활용한 교통분석 존체계 세분화 방안 연구
권은서, 최성택

반복비례적합법을 활용한 소지역 단위의 소득분포 추정
손민찬, 방태원, 권오훈, 도우석

대도시권 광역교통개선대책 효과척도(MOE) 개선 연구
홍석훈, 방태원, 박상우, 도우석

공공기관 차량부제 시행 전후 교통수요 변화 분석 — 대전시 공공기관 밀집 지역을 중심으로
이용선, 이창희, 안수연, 노병준

AI를 활용한 Traffic Assignment 및 Calibration 모형 개발

Development of a Traffic Assignment and Calibration Model Using AI

우왕희
(신명이엔씨, 박사)

황준문
(신명이엔씨, 센터장)

AI에게 프랭크볼프 알고리즘에 대해 질문해 보았다. AI는 알고리즘을 설명하며 수렴특성과 함께 실행이 가능한 예시 코드를 생성하여 보여주었다. 이어서 AI에게 질문했다. 프랭크볼프 알고리즘을 Traffic Assignment에 어떻게 적용하는지 물어보았다. AI는 사용자균형(User Equilibrium) 통행배정에 대한 설명을 해주면서 통행배정을 테스트 할 수 있는 코드를 생성하여 보여주었다. 코드에는 OD와 네트워크 데이터를 입력하는 코드가 들어 있었고 다익스트라 알고리즘 최단경로탐색 코드, 통행량 배정코드, 프랭크볼프 알고리즘을 이용한 수렴 관련 코드가 모두 포함되어 있었다. 별도 수정 없이 샘플을 테스트할 수 있는 수렴과정까지 그래프로 표현되는 VB.net 코드였다.

입출력 코드 등을 일부 수정하여 KTDB에서 배포하는 제주도 네트워크와 OD를 이용하여 Traffic Assignment 테스트를 수행하였다. 네트워크에 배정되는 통행량, 프로그램의 수행속도 등을 교통수요예측 툴 중의 하나인 TOVA를 이용하여 그 결과를 비교하였다. 네트워크 주제도 상으로는 큰 차이가 나타나지 않았다. 링크별 통행시간은 1분 미만의 차이가 발생했으며, 일반 링크에서의 배정교통량은 교통량 배정 차이가 크게 발생할 수 있는 센트로이드 컨넥터에서 멀어질수록 그 차이는 작게 나타났다.

제주도보다 규모가 큰 대전세종충청권 네트워크와 OD를 이용하여 테스트를 수행하였다. AI가 만들어준 코드가 대규모 네트워크와 OD를 고려한 코드가 아니라서 그런지 일반 상용 교통수요예측 툴과 비교해서 속도가 확연히 느렸다. TransCAD와 비교해서 10배 정도 느렸다. AI에게 속도가 개선된 코드로 수정을 요청했다. AI는 해당 프로그램 언어에서 최대로 빠르게 수행할 수 있는 병렬처리 코드로 변환하여 주었다. 제주도 네트워크부터 다시 테스트를 수행해 보고 대전세종충청권 네트워크를 테스트해 보았다. TransCAD와 Iteration당 최대 1초~2초 정도 차이가 났다. AI는 TransCAD와 10배 이상의 속도차이를 상용툴과 유사한 수준까지 개선시켜준 것이다. 네트워크 통행배정 후 주제도, 링크별 교통량·속도를 비교해본 결과 심각한 오차가 발생한 부분은 발견하지 못했다.

교통수요예측시 가장 많은 시간을 들이면서 반복적인 작업이 요구되는 것 중의 하나는 정산작업(Calibration)이다. 정산작업은 현황교통량과 통행배정결과의 오차를 줄이기 위해 링크의 속도와 교통량을 조절하면서 반복적으로 Traffic Assignment를 수행한다. AI가 만든 Traffic Assignment 코드를 특정 링크의 속성을 수정하면서 오차를 줄여나가는 방식으로 반복적으로 수행하는 코드를 다시한번 AI에게 요청했다. 기종점간 경로탐색기반의 현황 교통량 정산 프로그램이 만들어졌다.

VB.net으로 만들어진 Traffic Assignment 코드를 Python으로 변경해 달라고 AI에게 요청했다. Python 버전의 Traffic Assignment 프로그램도 제주도, 대전세종충청권을 데이터를 처리하는 데에 문제는 발생하지 않았다. 다만 언어 특성상 속도 저하는 발생했다. AI를 활용하여 코드 최적화를 수행해도 VB.net보다는 5배 이상 느리게 수행됐다.

무료 GIS툴인 Q-GIS의 플러그인은 Python으로 만들 수 있다. AI의 도움을 받아 Q-GIS의 노드레이어, 링크레이어, OD레이어의 컬럼값을 이용하여 Traffic Assignment를 수행하고 결과 출력은 링크레이어의 특정 컬럼에 저장하도록 하는 Python 플러그인을 구축하였다. 링크레이어에 배정된 교통량을 주제도로 표현하고 다른 상용툴의 결과물과 비교하여 큰 차이가 없음을 확인하였다.

AI를 활용하여 만든 Traffic Assignment 모형은 교통수요 관련 프로젝트에 직접적으로 활용하기 위해서는 상세한 검증이 추가적으로 필요하겠지만 프로젝트 수행전 사전검토나 현황교통량 기준 초기 정산시에는 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

대중교통 교통수요예측 정산과정의 자동화 방안 연구: 국내 사례 적용을 중심으로

A Study on Automating the Calibration Process in Public Transport Travel Demand Forecasting: With an Application to a Domestic Case

양윤철 (한양대학교 도시공학과, 석사과정)

허창준 (한양대학교 도시공학과, 석사과정)

김준구 (한양대학교 도시공학과, 석사과정)

최성택 (한양대학교 도시공학과, 부교수)

국내 교통시설 사업의 타당성 평가에서는 국가교통DB의 네트워크와 수단별 기종점통행량으로 통행배정을 수행하고, 배정 결과를 관측 실적에 맞추는 현황정산을 거친다. 그러나 지침은 정산의 허용오차 기준을 제시하는 데 비해 그 기준에 도달하는 절차는 분석가의 판단에 맡기고 있어, 정산은 네트워크 수정과 배정을 되풀이하는 시행착오 방식으로 이루어지는 경우가 많다. 또한 국가교통DB에서 센트로이드 커넥터의 연장은 0.01km, 승하차 커넥터의 연장은 0.232km로 일괄 적용되어 있어 역마다 다른 접근 여건이 반영되기 어렵다.

본 연구는 상용 배정 엔진(Emme/4)과 배포된 기종점통행량을 그대로 사용하는 조건에서 대중교통 현황정산을 자동화하는 절차를 제안하였다. 조정 대상은 센트로이드 커넥터와 승하차 커넥터의 인지계수, 그리고 원점 커넥터 선택 로짓의 스케일, 승차 페널티, 대기시간 인지계수의 전역 배정 파라미터 3개로 한정하였다. 정산 전에 존마다 같은 행정동 안의 도로노드에 후보 센트로이드 커넥터를, 역마다 가장 가까운 도로노드 3개에 후보 승하차 커넥터를 배치하여, 커넥터의 위치 변경을 인지계수의 연속적인 조정으로 다루었다. 탐색에는 배정량과 관측량의 비율로 인지계수를 갱신하는 비례보정과, 모든 조정변수를 동시에 움직인 두 번의 배정으로 갱신 방향을 추정하는 동시섭동 확률근사(SPSA)를 번갈아 적용하였다. 목적함수는 허용범위를 넘는 오차만 반영하는 위반항에 승하차 총량의 차이를 반영하는 총량항과 허용범위 밖 역의 비율을 반영하는 개수항을 더하여 지침의 판정 방식과 맞추었다.

대전 도시철도 1호선 22개 역에 배정 2,000회의 예산으로 적용하여 방법별 최선해를 비교한 결과, 승차 ±10% 안에 든 역은 정산 전 1개에서 19개로 늘었고, 승차 평균절대오차율은 55.8%에서 7.5%로 줄었다. 하차는 오차율 ±30% 안에 16개 역이 들었다. 비례보정만 적용한 경우 배정 13회 이후 개선이 멈추어 승차 오차율 ±10% 안의 역이 11개에 그쳤고, SPSA만 적용한 경우 승차 18개, 하차 15개로, 두 방법을 번갈아 적용한 절차가 각 방법을 단독으로 적용한 경우보다 나은 결과를 보였다. 목적함수에서 총량항과 개수항을 빼면 승차 오차율 ±10% 안의 역이 12~16개로 줄었다. 정산에 사용하지 않은 역에서도 승차 평균절대오차가 55.8%에서 31.5%로 줄었으나, 정산에 사용한 역의 7.5%와는 차이가 남았다.

이를 통해 상용 엔진과 국가교통DB를 그대로 사용하는 국내 여건에서도 커넥터 정산을 자동화할 수 있으며, 지침의 판정 기준을 목적함수에 직접 반영하는 구성이 정산 결과에 중요한 것으로 판단된다. 다만 단일 노선에 적용한 결과이고 하차 정산에는 배정 방식에 따른 한계가 있어, 다른 노선과 다수단 정산으로의 확장을 검토할 필요가 있다.

사사: 이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2026-25492164).

건물명 텍스트 유사도를 활용한 교통분석 존체계 세분화 방안 연구

Building Name Similarity-Based Traffic Analysis Zone Refinement Using Census Blocks

권은서
(한양대학교 도시공학과, 학사과정)

최성택
(한양대학교 도시공학과, 부교수)

국내 교통수요 분석에서는 자료 구축과 관리가 용이하다는 이유로 행정동을 교통분석존의 기본 단위로 활용하고 있다. 그러나 하나의 센트로이드가 행정동 전체의 통행 발생·도착을 대표하기 때문에, 동일 행정동 내부에 서로 다른 주거지와 상업지역 또는 여러 철도역과 접근 지점이 존재하는 경우 실제 통행의 공간적 분포를 충분히 반영하기 어렵다. 반대로 존을 지나치게 세분화하면 기종점통행량 자료의 희소성과 영값 셀 문제가 커질 수 있어, 지역 내부의 이질성을 반영하면서도 적정 규모를 유지하는 세분화 기준이 필요하다. 기존 선행연구는 존의 크기와 공간해상도 조정 또는 교통·토지이용 자료를 활용한 군집화를 통해 존체계 세분화 가능성을 제시하였다. 그러나 일부 연구는 규칙적인 격자나 사전에 설정한 군집 수에 의존하였으며, 군집의 공간적 연속성과 최소 규모를 직접 보장하지 못했다. 또한 국내 도시의 대규모 아파트단지처럼 건물명으로 나타나는 생활권 특성과 집계구 단위의 사회적 특성을 함께 반영한 연구는 부족하다.

본 연구는 대전을 대상으로 건물명 텍스트의 유사성, 집계구의 사회적 특성 및 공간적 인접성을 함께 고려하여 기존 행정동 단위의 교통분석 존체계를 세분화하는 방법을 제안하였다. 먼저 건물정보를 집계구 공간자료와 결합하고, 건물명에 TF-IDF를 적용하여 각 집계구의 건물명 특성을 수치화하였다. 이 과정에서 생성되는 고차원·희소 벡터는 행정동별 Truncated SVD를 적용하여 축소하였으며, 누적 설명분산 45%를 충족하는 성분을 선택하였다. 여기에 노령화지수, 종사자수, 1인 가구 비율, 유년부양비를 사회적 특성 변수로 추가하였다. 건물명과 사회적 특성의 영향력이 한쪽으로 치우치지 않도록 행정동 내부에서 변수를 표준화하고 변수군별 가중치를 조정하였다. 행정동별 후보 군집 수는 해당 행정동의 전체 면적과 인구, 최소 존 규모를 이용하여 설정하였다. 이후 경계를 공유하는 집계구를 인접 관계로 정의하고, 공간망이 분리된 경우에는 같은 행정동 안에서 가장 가까운 집계구를 예외적으로 연결하였다. 후보 군집 수마다 공간 인접성 제약을 적용한 Ward 계층적 군집화를 수행하여, 속성이 유사하고 공간적으로 연결된 집계구부터 단계적으로 결합하였다. 최소 면적 또는 최소 인구 기준에 미달하는 군집은 공유 경계가 가장 긴 인접 군집에 우선 재배정하고, 공유 경계가 없으면 폴리곤 간 거리와 속성 유사도를 순차적으로 고려하여 통합하였다.

최종 군집 수는 후보별 k별 군집 내 제곱합 감소폭을 이용한 엘보우 기법과 실루엣 스코어를 바탕으로 평가하였다. 이와 함께 최소 면적·인구 충족 여부, 군집 간 규모의 불균형, 공간적 연속성 및 예외 연결 여부를 종합적으로 검토하여 행정동별 적정 군집 수를 선택하였다. 이를 통해 행정동을 일률적으로 같은 수의 존으로 분할하지 않고, 지역의 규모와 내부 이질성에 따라 서로 다른 수의 세분화 존이 형성되도록 하였다.

제안된 존체계의 효과는 기존 행정동 단위 기종점통행량을 인구·가구 및 종사자·활동지표에 따라 세분화한 후 검증하도록 구성하였다. 세분화 과정에서 발생하는 O/D 희소성과 영값 셀을 확인하고, 실제 택시 승·하차 자료로 구축한 관측 O/D와 비교하여 MAE, RMSE, MAPE 및 상관계수 등의 지표를 산출한다. 또한 동일한 교통망과 배정 조건에서 기존 행정동 존체계와 제안된 세분화 존체계의 통행배정 결과를 비교하고, 대전 도시철도 1호선의 역별 승·하차량을 이용하여 실제 통행 분포의 재현성을 평가한다.

본 연구는 국내에서 구축 가능한 집계구 자료와 건물명 정보를 이용하여 행정경계와 실제 생활권의 불일치를 보완하고, 존 내부의 공간적·사회적 이질성을 반영할 수 있는 교통분석존 세분화 절차를 제시한다는 데 의의가 있다. 특히 속성 유사성뿐만 아니라 최소 존 규모와 공간적 연속성을 동시에 고려함으로써, 교통수요 분석에 활용할 수 있는 실용적인 존체계 구축 기준을 제안하고자 한다. 다만 건물명이 없거나 표기가 일관되지 않은 집계구에서는 텍스트 특성의 설명력이 낮아질 수 있으며, 최소 면적·인구 기준과 변수군별 가중치 설정에 따라 세분화 결과가 달라질 수 있는 점에서 한계가 있다. 향후 다양한 도시를 대상으로 방법론의 적용 가능성을 검증하고, 지역별 공간구조와 통행특성을 반영할 수 있도록 세분화 기준을 보완할 필요가 있다.

사사: 이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2026-25492164).

반복비례적합법을 활용한 소지역 단위의 소득분포 추정

Estimation of Small-Area Income Distributions Using Iterative Proportional Fitting

손민찬 (계명대학교, 학사과정)　**방태원** (계명대학교, 석사과정)　**권오훈** (계명대학교, 부교수)　**도우석** (계명대학교, 조교수)

소존 단위 사회경제 데이터는 수집하기 어렵고 대부분의 도시에서는 설문조사를 통해 큰 구역 단위의 사회경제지표를 제공하고 있다. 통행 패턴의 주요 변수인 소득수준은 지역에 따라 다르므로 존 단위 수요추정에는 지역별 소득 차이를 반영해야 한다. 특히 통행비용이 높은 UAM은 시간가치가 높은 통행자의 이용이 예상되므로, 권역별 소득분포를 모든 자치구에 동일하게 적용하면 권역 내 소소득평균이 낮은 자치구의 수요는 과대 추정하고 소득평균이 높은 자치구의 수요는 과소 추정할 수 있다. 기존 UAM 수요추정은 대도시권 전체의 평균 선택확률을 제시하여 권역 내 자치구 간 소득분포 차이를 반영하는 데 한계가 있다. 따라서 권역 단위 소득분포를 소지역 단위로 세분화하여 지역별 소득 차이를 수요추정에 반영할 필요가 있다.

본 연구는 Panori et al.(2017)가 제안한 반복비례적합법(Iterative Proportional Fitting, IPF)을 서울시 데이터에 적용하여 자치구별 합성인구를 구축하고, 직업·연령에 따른 상대적 소득순위와 권역별 소득분포를 활용하여 자치구별 소득분포를 추정한다. IPF는 개인 단위 표본의 가중치를 소지역 집계자료 제약조건에 맞추어 반복 조정하여 소지역의 합성인구를 구축하는 방법이다. 제약조건은 자료 수집이 가능한 최소 공간 단위인 자치구의 성별·연령, 경제활동상태, 직업과 혼인상태 데이터이고, 개인 단위 표본은 서울특별시의 2021~2025년 시민조사 응답자 25,000명이다. 제약조건별 자치구 총량은 만 16세 이상 성별·연령별 인구에 맞춰 보정하여 분석 대상 인구를 8,521,405명으로 설정한다. IPF는 자치구마다 25,000명의 가중치를 제약조건별로 순차 조정하는 과정을 반복하며, 산출한 연속형 가중치는 정수 부분만큼 개인을 복제하고 소수 부분을 확률로 추출하는 TRS(Truncate, Replicate, Sample) 방법으로 정수 인원으로 변환한다. 재현 수준은 IPF와 TRS 단계별로 제약조건 범주마다 합성인구와 집계자료의 인원을 비교하여 검토한다. 소득분포는 합성인구의 직업과 연령을 반영한 상대적 소득 순위에 따라 서울특별시의 권역별 연평균 근로소득 8개 구간 목표 인원을 배정한 뒤, 자치구별 구간 인원을 분석 대상 인구로 나누어 산출한다. 또한 자치구별 소득분포를 월평균 개인소득 기준으로 환산하고, 구간별 면적이 실제 비율과 같도록 연속형 확률밀도함수로 변환하여 존 단위 수요추정에 활용할 수 있는 월소득 분포를 도출한다.

분석 결과, 5개 권역의 소득분포를 25개 자치구의 소득분포로 세분화했다. 응답자 25,000명을 모두 제약조건 범주에 배정했으며, 합성인구는 분석 대상 인구와 일치했다. IPF 단계에서 직업과 혼인상태는 집계자료와 일치했고 성별·연령은 범주별 평균 2.37명의 오차를 보였으나, 경제활동상태는 범주 단위 평균 절대백분율오차가 2.3%로 상대적으로 컸다. TRS 정수화 이후 평균 절대 백분율 오차는 성별·연령 0.21%, 경제활동상태 2.44%, 직업 0.15%, 혼인상태 0.11%였으며, 권역별 소득구간 배정 인원은 목표 분포와 일치했다. 다만 일부 자치구에서 큰 개인 가중치가 나타나 합성인구의 대표성이 낮아질 가능성이 있다. 같은 권역 안에서도 자치구별 소득분포는 달랐으며, 25개 자치구 중 9개 자치구에서 하나 이상의 소득구간 비율이 권역 비율과 2%p 이상 차이를 보였다. 연 7,000만 원 이상 고소득 구간의 권역 내 자치구 간 차이는 동남권 7.6%p(서초구 32.9%, 강동구 25.3%), 서남권 5.6%p(영등포구 20.5%, 금천구 14.9%)였다. 특히 강동구의 고소득 구간 비율은 동남권 비율(30.0%)보다 4.7%p 낮아, 권역 소득분포를 그대로 적용하면 강동구의 고소득층 비율을 높게 가정하게 된다. UAM 노선 인근 8개 자치구의 월소득 PDF도 중·고소득 구간의 분포가 자치구마다 달랐다. 이러한 차이는 관측 소득이 아니라 자치구별 합성인구의 인구·사회경제적 구성 차이를 반영한다.

본 연구에서 도출한 자치구 단위 소득분포는 향후 UAM과 같은 신교통수단 도입 시 존 단위 수요 추정의 기초 자료로 활용할 수 있다. 자치구별 합성인구는 소득구간과 함께 성별·연령, 경제활동상태, 직업, 혼인상태 속성을 유지하므로, 통행자 특성별 수요 세분화에도 활용할 수 있다. 같은 권역의 자치구도 소득구간 구성 차이가 있기 때문에 통행비용이 높은 수단의 수요를 추정할 때는 권역 평균뿐만 아니라 자치구별 소득분포를 고려해야 한다. 자치구별 PDF를 UAM 선택에 필요한 시간가치 기준과 연계하면 존별 선택 확률을 산정할 수 있으며, 이를 버티포트 입지와 요금 수준 검토에 활용할 필요가 있다. 향후 행정동 단위 집계자료를 확보하고 경제활동상태와 직업 제약조건 간 범주 및 집계 기준의 일관성을 확보하여 소지역 소득분포의 정밀도를 평가할 필요가 있다.

대도시권 광역교통개선대책 효과척도(MOE) 개선 연구

A Study on Improving Measures of Effectiveness for Metropolitan Transportation Improvement Measures

홍석훈	방태원	박상우	도우석
(계명대학교, 석사과정)	(계명대학교, 석박사통합과정)	(한국교통연구원, 선임연구위원)	(계명대학교, 조교수)

대도시권 광역교통개선대책은 대규모 개발사업 시행으로 발생하는 장래 교통수요와 주변 도로의 교통영향을 분석하고, 이에 대응하기 위한 개선대책을 수립하는 제도이다. 현행 광역교통개선대책에서는 연평균일교통량(Annual average daily traffic, AADT), 첨두방향설계시간교통량(Peak directional design hour volume, PDDHV), 교통량 대 용량비(Volume-to-capacity ratio, V/C), 서비스수준(Level of service, LOS) 및 평균제어지체 등의 효과척도(Measures of effectiveness, MOE)를 활용하여 주요 도로와 교차로의 운영상태 및 개선대책의 효과를 평가한다. 그러나 이러한 지표는 개별 도로 및 교차로의 용량과 운영상태를 중심으로 평가하므로 개발사업과 개선대책 시행에 따른 영향권 전체의 교통변화를 설명하는 데 한계가 있다. 특히 LOS는 교통상태를 A~F 등급으로 구분하므로 동일한 등급 내에서 발생하는 변화의 크기를 구체적으로 나타내기 어렵다. 국내외 선행연구와 해외 개발사업에서는 기존 용량 중심 지표와 함께 차량주행거리, 총 통행시간, 지체 및 통행속도 등의 지표를 활용하여 도로망의 교통변화를 평가하고 있다.

본 연구는 현행 광역교통개선대책의 MOE를 대체하기보다 기존 평가체계를 유지하면서 추가 MOE를 적용하여 지표간 교통상태 평가의 차이와 상호 보완 가능성을 검토하는 데 목적이 있다. 본 연구는 기존 광역교통개선대책에서 활용하는 MOE와 교통상태의 세부적인 변화를 나타내는 추가 MOE를 구분하여 분석한다. 추가 MOE는 총 주행거리(Vehicle kilometers traveled, VKT), 총 통행시간(Vehicle hours traveled, VHT), 지체시간(Delay time), 통행시간(Travel time) 및 통행속도(Speed)로 설정한다. VKT는 링크별 교통량과 링크 길이의 곱을 합산하여 산정하고, VHT는 링크별 교통량과 통행시간을 이용하여 산정한다. Delay time은 혼잡상태와 자유류 상태의 통행시간 차이를 바탕으로 산정하며, Travel time과 Speed는 분석대상 경로 및 링크의 통행시간과 주행속도를 나타낸다. 이러한 추가 MOE를 통해 기존 지표에서 나타내는 개별 도로의 용량 및 운영상태와 함께 차량의 이동거리, 통행시간 및 지체 변화를 분석한다.

분석 방법은 거시 교통수요예측 프로그램을 활용하여 개발사업 미시행, 개발사업 시행, 개발사업 시행 및 개선대책 반영의 세 가지 시나리오를 설정하고, 각 시나리오에서 기존 MOE와 추가 MOE를 각각 산정하여 비교한다. 개발사업 미시행과 시행 시나리오를 비교하여 개발사업에 따른 교통수요 및 운영상태의 변화를 분석하고, 개발사업 시행과 개선대책 반영 시나리오를 비교하여 개선대책 시행에 따른 교통변화를 분석한다. 통행배정 결과에서 링크별 교통량, 길이, 통행시간 및 통행속도 등의 자료를 추출하여 각 MOE를 산정하며, 연속적인 지표는 변화량과 변화율을 이용하고 LOS는 등급 변화를 기준으로 비교한다. 또한 동일 시나리오에서 기존 MOE가 나타내는 개별 도로 및 교차로의 운영상태와 추가 MOE가 나타내는 교통변화를 함께 검토한다. 이때 동일한 분석연도와 교통수요분석 기준을 적용하여 시나리오 간 비교의 일관성을 유지하고, 각 MOE의 산정범위와 특성을 고려하여 지표별 변화를 분석한다.

분석결과, 대부분의 분석링크에서 개발사업 시행과 개선대책 반영 이후에도 LOS가 동일한 등급으로 유지되는 것으로 나타났다. 반면 V/C의 연속적인 값과 VKT, VHT 및 Delay time 등의 추가 MOE에서는 시나리오별 변화가 확인되었으며, 개발사업 시행과 개선대책 반영에 따른 변화의 크기를 보다 구체적으로 나타냈다. 특히 동일한 LOS 등급 내에서도 추가 MOE의 변화율에는 차이가 나타나 LOS 등급만으로는 확인하기 어려운 교통상태의 세부적인 변화를 파악할 수 있었다. 이는 등급 변화가 발생하지 않는 경우에도 시나리오 간 교통상태의 차이가 존재할 수 있음을 나타낸다.

이러한 결과는 기존 MOE와 추가 MOE가 서로 대체되는 관계보다 상호 보완적으로 활용될 필요가 있음을 나타낸다. V/C와 LOS는 도로의 용량 및 운영상태를 일정한 기준에 따라 판단하는 데 유효하며, 추가 MOE는 개발사업과 개선대책 시행에 따른 차량의 이동거리, 통행시간 및 지체 변화의 크기를 연속적으로 나타내는 데 의미가 있다. 다만 추가 MOE는 LOS와 같이 교통상태를 판단할 수 있는 명확한 등급기준이 마련되어 있지 않으므로 독립적인 평가기준으로 활용하기보다 기존 MOE와 함께 적용하는 것이 적절하다. 특히 동일한 LOS 등급이 유지되는 경우 추가 MOE를 함께 검토하면 시나리오 간 변화의 크기와 특성을 보다 구체적으로 해석할 수 있다. 본 연구는 현행 광역교통개선대책의 평가체계를 유지하면서 추가 MOE를 병행 적용함으로써 동일한 LOS 등급 내에서 발생하는 세부적인 교통변화를 보완적으로 검토하는 평가방향을 제시한다. 향후 다양한 개발사업과 분석대상에 적용결과를 축적한다면 추가 MOE의 활용범위와 해석방향을 보다 구체화할 수 있을 것으로 판단된다.

공공기관 차량부제 시행 전후 교통수요 변화 분석
– 대전시 공공기관 밀집 지역을 중심으로

Changes in Travel Demand Before and After Public-Sector Driving Restrictions
A Case Study of an Administrative District in Daejeon

이용선
(한양대학교 교통물류공학과, 석사과정)

이창희
(노타AI ITS Business, Director)

안수연
(대전광역시 교통정책과, 주무관)

노병준
(한양대학교 교통물류공학과, 조교수)

본 연구는 대전시 공공기관 밀집지역을 대상으로 차량부제 시행 전후의 교통수요 변화를 분석하였다. 정부대전청사와 대전광역시청 주변은 공공기관과 업무시설이 밀집하고 다양한 교통수단을 이용할 수 있어, 차량 운행제한에 따른 차량 통행과 대체교통수단 이용의 변화를 함께 살펴볼 필요가 있다. 이에 교차로 교통량과 도로 통행속도, 버스·도시철도 승하차량 및 공공자전거 타슈 대여량을 비교하여 교통수단과 시간대별 변화 특성을 파악하였다.

분석에는 대전교통공사 빅데이터 플랫폼에서 제공한 SIS 9개 교차로의 유입부 교통량, RSE 35개 구간쌍의 70개 방향별 통행속도, 버스 46개 정류장과 도시철도 2개 역의 승하차량, 타슈 48개 대여소의 대여이력을 활용하였다. 차량 및 대중교통은 2026년 3월 1~20일과 6월 1~25일을 비교하였으며, 타슈는 3~5월 자료를 미시행·5부제·2부제 기간으로 구분하였다. 비교기간의 요일 구성 차이를 보정하기 위해 요일별 평균에 동일한 가중치를 부여하고, 주요 변화율의 신뢰구간은 부트스트랩으로 산출하였다. 또한 SIS·RSE 중첩 15개 지점의 교통량과 속도 변화를 비교하고, 타슈는 서구 비대상 대여소 317개를 보조 비교집단으로 활용하였다.

분석 결과, SIS 교차로의 평일 관측 교통량은 시행 전 대비 6.36% 감소하였으며, 버스와 도시철도의 승하차 합계는 각각 3.24%, 2.91% 증가하였다. 반면 RSE의 평균 상대속도지수는 1.66% 낮아졌고, 시간대와 진행 방향에 따라 증감이 혼재하였다. 중첩지점에서는 출근시간 교통량이 10.44% 감소하여 상대적으로 큰 감소 폭을 보였으나, 교통량이 감소한 모든 지점에서 속도가 개선되지는 않았다. 타슈 대여량은 미시행 기간 대비 5부제와 2부제 기간에 각각 32.13%, 52.08% 증가하였다. 그러나 비대상 대여소에서도 유사한 증가가 관측되었으며, 두 집단의 증가배율을 비교한 보정 변화율은 각각 0.88%, 1.86%로 나타났다.

이러한 결과는 차량부제 시행 이후 대상 지역에서 차량 통행 감소와 대중교통 이용 증가가 함께 관측되었으나, 통행속도와 공공자전거 이용의 변화는 별도로 해석할 필요가 있음을 보여준다. 다만 본 연구는 제한된 기간의 전후 비교이며, 계절·기상 등 외부 요인과 동시에 시행된 정책의 영향을 분리하지 못하므로 관측된 변화를 차량부제의 인과적 효과로 단정하기는 어렵다. 본 연구의 결과는 공공기관 주변의 교통수요 변화를 파악하고, 출퇴근시간 대중교통 운영과 공공자전거 배치를 검토하기 위한 기초자료로 활용될 수 있다.

사사: 본 연구는 국토교통부 국토교통DNA플러스 융합기술대학원 육성사업의 연구비 지원(과제번호 RS-2022-00156089)에 의해 수행되었으며, 대전광역시 교통 빅데이터 플랫폼 데이터를 활용하여 수행되었음.

공유 마이크로모빌리티

Session

A-8

시간대별 이동시간 변화를 고려한 다중 차량 동적 공공자전거 재배치 문제: 서울시 사례연구
김용희, 정봉주

시공간 토픽모델을 활용한 공공자전거 잠재 이용목적 추론 및 이용권 선택과의 관계 분석
최민영, 이승현, 변지혜

공유자전거 네트워크 유형에 따른 경로 특성과 이동 효율성의 관계 분석
김건민, 이승현, 변지혜

카카오 T 바이크는 기존 교통수단을 대체하는가, 보완하는가? 버스 및 택시 이용량에 대한 인과효과 분석
김자수, 이규성, 김의진

생애사건은 공유 마이크로모빌리티 선택과 관련이 있는가? 일본 성인의 행태적 이질성에 관한 실증분석
Mahdi Khorasani, Sunbin Yoo

지속가능한 도시물류를 위한 공유자전거 통행데이터 기반 Crowdshipping 잠재력 분석
이중권, 민석원, 박동주

시간대별 이동시간 변화를 고려한 다중 차량 동적 공공자전거 재배치 문제: 서울시 사례연구

A Multi-Vehicle Dynamic Bike-Sharing Rebalancing Problem with Time-Dependent Travel Times: A Case Study of Seoul

김용희
(연세대학교 산업공학과, 석사과정)

정봉주
(연세대학교 산업공학과, 교수)

공공자전거 시스템에서는 시간과 지역에 따라 대여·반납 수요가 불균형하게 발생하여 일부 대여소에 자전거가 집중되는 반면, 다른 대여소에서는 자전거 부족으로 이용자의 대여 수요를 충족하지 못한다. 운영 중 이러한 불균형을 완화하려면 이용에 따른 재고 변화와 재배치 차량의 상태뿐 아니라 시간대별 이동시간의 변화를 반영하여 재배치 계획을 갱신할 필요가 있다. 본 연구는 서울시 공공자전거 시스템을 대상으로, 시간대별 이동시간을 고려하여 복수 차량의 미래 방문 경로와 자전거 회수·공급량을 공동으로 결정하는 동적 재배치 문제를 다룬다. 기존 연구에서 개별적으로 다루어진 요소들을 통합하여, 본 연구는 다중 차량의 미래 경로 공동계획, 시간대별 이동시간 변화, 서비스 수준과 운영비용을 하나의 동적 재배치 프레임워크에서 통합적으로 고려한다. 미충족 대여수요, 목표시점의 재고 부족량, 차량 사용 및 운영시간에 따른 비용을 함께 고려하는 혼합정수계획 모형을 수립하고, 재배치 운영시간 동안 1시간 간격으로 재최적화를 수행하며, 각 시점에서 갱신된 대여소 재고와 차량 상태를 반영하여 남은 계획을 다시 수립한다. 재최적화 시점에 이미 수행 중인 이동과 확정된 작업은 완료까지 유지하고, 해당 작업이 완료된 이후의 차량 위치와 적재량을 새로운 초기 상태로 반영한다. 이를 통해 재최적화 시점의 차량 위치에 관계없이 실제 운영 중인 차량 상태를 연속적으로 연결하여 동적 재최적화를 수행할 수 있도록 한다. 또한 반복적인 재최적화의 계산 부담을 완화하기 위해 Adaptive Large Neighborhood Search와 시간 제한 혼합정수계획 복구 절차를 결합한 해법을 제시한다.

예비실험은 서울시 따릉이의 실제 대여소 좌표와 합성 재고·수요·목표재고를 활용하여 수행하였으며, 예측 수요와 실현 수요가 동일한 결정론적 환경을 가정하였다. 예비실험은 확장된 규모의 인스턴스에서 제안 해법의 계산 가능성과 Rolling-Horizon 기반 동적 재계획의 실행 가능성을 확인하는 데 목적을 두었다. 200개 및 300개 대여소 사례에서 재최적화 시점별 약 285초의 계산으로 실행 가능한 재배치 계획을 생성하였으며, 각 실행구간의 미충족 대여수요를 집계한 결과는 각각 53건과 96건으로 초기 계획에서 예상한 57건과 104건보다 감소하였다. 또한 300개 대여소 사례에서는 초기 계획에서 발생한 목표시점 재고 부족이 최종 재최적화 결과에서 해소되었다. 이러한 예비결과는 제안 해법이 200~300개 대여소 규모에서도 제한된 계산시간 내에 동적 재계획을 수행할 수 있음을 보여준다. 향후에는 실제 따릉이 이용기록을 기반으로 예측 수요를 구축하고, 각 재최적화 시점에서 최적화 모형을 통해 차량 경로와 재배치량을 결정할 예정이다. 이후 시뮬레이션에서는 별도의 실현 수요를 시간 순서대로 재현하여 최적화 결과를 실행하고, 재배치 미실행 경우와 비교함으로써 미충족 대여수요와 운영비용 측면의 개선 효과를 평가할 예정이다. 본 연구는 시간에 따라 변화하는 운영환경에서 서비스 수준과 차량 운영비용을 함께 고려하는 다중 차량 공공자전거 재배치 의사결정의 틀을 제공한다.

시공간 토픽모델을 활용한 공공자전거 잠재 이용목적 추론 및 이용권 선택과의 관계 분석

Inferring Latent Trip Purposes for Pass Choice Analysis in Bike-Sharing Systems: A Spatiotemporal Topic Modeling Approach

최민영
(서울시립대학교 교통공학과, 석사과정)

이승현
(서울시립대학교 교통공학과, 부교수)

변지혜
(서울시립대학교 교통공학과, 부교수)

공공자전거는 도시 내 단거리 이동뿐만 아니라 대중교통의 첫 번째와 마지막 구간을 연결하는 주요 교통수단으로, 이용자의 통행목적과 이용행태를 고려한 운영 및 이용권 설계가 중요하다. 그러나 이용기록에는 통행목적이 직접 관측되지 않으며, 개별 통행만으로는 동일 이용자의 반복적인 이동패턴을 파악하기 어렵다. 이에 본 연구는 서울시 공공자전거 따릉이의 사용자 구분이 가능한 이용기록을 활용하여 개인별 잠재 통행목적을 추론하고, 이용자의 목적 구성이 이용권 선택과 어떠한 관계를 갖는지 분석하였다.

분석에는 2025년 4월 21일부터 30일까지의 따릉이 이용기록을 활용하였다. 먼저 대여소의 주변 토지이용 특성을 반영하기 위해 시설물별 POI, 주거 및 종사자 수 정보를 이용하여 K-means Clustering을 통해 대여소 기능유형을 구축하였다. 사용자별 대여소의 공간적 인접성과 출발 시각의 유사성을 기준으로 시공간 흐름을 정의하고, 대여소 기능 조합과 시간·이동 특성 등 6개 속성을 바탕으로 시공간 토픽모형을 추정하였다. 그 결과 주거-업무·상업 연계형, 장거리 여가 순환형, 저녁 여가 이동형, 단거리 생활 이동형, 지하철 연계 규칙통행형의 5개 잠재 토픽이 도출되었다.

이후 사용자별 토픽 구성으로부터 대표토픽과 토픽 혼합도를 도출하고, 인구특성 및 이용행태와 함께 일일권, 단기권(7·30일), 장기권(180·365일) 선택을 다항로짓모형으로 분석하였다. 전체 표본 모형의 McFadden pseudo R^2는 0.228이며, 이용자의 활동일수와 평일 이용비중이 이용권 선택을 설명하는 데 중요한 정보를 제공하고 잠재 통행목적도 추가적인 설명력을 갖는 것으로 나타났다. 대표토픽이 장거리 여가 순환형 또는 저녁 여가 이동형인 이용자는 단거리 생활 이동형 이용자보다 장기권 대비 일일권을 선택할 상대적 비율이 각각 2.98배, 3.21배였고, 일일권 선택확률도 각각 15.9%p, 16.6%p 높게 나타났다. 균형표본을 이용한 반복 검증에서 일일권·장기권·단기권의 평균 재현율은 각각 약 82%, 53%, 35%로, 단기권의 구분 성능이 가장 낮았다.

본 연구는 개인별 시공간 이동패턴과 대여소 기능을 결합하여 잠재 통행목적을 추론하고 이를 이용권 선택 분석에 연결하였다는 점에서 의의가 있다. 분석 결과는 이용권 선택을 이해하는 데 이용강도와 목적 구성이 유용하지만, 단기권 이용자의 특성을 구분하기 위해서는 추가적인 설명 요인 검토가 필요함을 시사한다. 다만 10일간의 관측자료를 활용하였고, 추론된 목적을 실제 통행목적자료로 직접 검증하지 못했다는 한계가 있다. 향후에는 장기 이용 이력과 가격 민감도 등 추가적인 이용자 특성을 포함하여 이용권 선택의 설명요인을 확장할 필요가 있다.

사사: This work is supported by Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement (KAIA) under the Driving Urban Transitions Partnership, which has been co-funded by the European Commission. (Grant No. RS-2025-16066665)

공유자전거 네트워크 유형에 따른 경로 특성과 이동 효율성의 관계 분석

Exploring the Relationship between Route Characteristics and Travel Efficiency across Bike-Sharing Network Types

김건민
(서울시립대학교 교통공학과, 석박사통합과정)

이승현
(서울시립대학교 교통공학과, 부교수)

변지혜
(서울시립대학교 교통공학과, 부교수)

공유자전거는 이용 편의성과 친환경성을 바탕으로 도시 내 단거리 이동을 지원하는 주요 교통수단으로 활용되고 있다. 공유자전거의 지속가능한 운영과 이용 활성화를 위해서는 이용 수요뿐만 아니라 출발지에서 목적지까지의 이동이 효율적으로 이루어지도록 대여소 위치를 설계할 필요가 있다. 이러한 이동 효율성은 개별 경로의 물리적 특성과 통행 지역의 네트워크 구조에 영향을 받을 수 있다. 그러나 기존 연구는 주로 이용수요의 시공간적 특성 분석 또는 재배치 전략 등에 초점을 두어 왔으며, 네트워크 구조에 따른 경로 특성과 이동 효율성의 관계를 분석한 연구는 부족하다. 따라서 실제 공유자전거 통행을 기반으로 생활권을 구분하고, 생활권의 네트워크 구조에 따라 경로 특성이 이동 효율성에 미치는 영향을 분석할 필요가 있다.

본 연구는 서울 공공자전거 OD 데이터를 활용하여 커뮤니티를 구분하고, 네트워크 구조에 따라 이동 효율성에 영향을 미치는 경로 특성의 차이를 분석하였다. 각 커뮤니티는 통행 우회 수준과 네트워크 선형성을 기준으로 네 가지 유형으로 분류하였다. 이동 효율성은 이동속도 및 경로의 직결성을 통해 산출하고, K-shortest path algorithm을 활용하여 OD별 대안경로와 자전거도로, 도로유형, 교통신호 및 경사 등의 경로 특성을 구축하였다. 이후 Monte Carlo 표본추출과 유형별 fractional logit 모형의 반복 추정을 통해 경로 불확실성을 고려한 이동 효율성의 영향요인을 분석하였다.

분석 결과, 경로 특성이 공유자전거의 이동 효율성에 미치는 영향은 네트워크 유형에 따라 상이하게 나타났다. 경로 특성은 이동 효율성과 유의한 관계를 보였으며, 그 영향의 방향과 크기는 네트워크의 우회성과 선형성에 따라 차이를 보였다. 특히 동일한 경로 특성이라도 네트워크 환경에 따라 이동 효율성을 높이거나 낮추는 방향으로 다르게 작용하는 것으로 나타났다.

본 연구의 결과는 공유자전거의 이동 효율성을 개선하기 위해 이용권역별 네트워크 환경과 경로 특성을 함께 고려할 필요가 있음을 보여준다. 특히 이동 효율성이 낮거나 우회가 크게 발생하는 권역에서는 해당 지역의 경로 특성을 고려하여 대여소 간의 연결성을 개선할 필요가 있다. 또한 실제 통행을 기반으로 도출된 이용권역과 이동 효율성의 공간적 차이는 자전거 인프라 개선이 필요한 지역을 파악하고, 자전거도로 정비 및 대여소 입지를 계획하는 데 기초자료로 활용될 수 있다.

사사: 본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원(KAIA)의 지원으로 수행되었으며(과제번호: RS-2025-16066665), 유럽연합 집행위원회(European Commission)가 공동지원하는 Driving Urban Transitions Partnership의 일환으로 수행되었음.

카카오 T 바이크는 기존 교통수단을 대체하는가, 보완하는가? 버스 및 택시 이용량에 대한 인과효과 분석

Does Kakao T Bike Substitute for or Complement Existing Transport Modes?
A Causal Analysis of Bus and Taxi Ridership

김지수
(아주대학교 교통공학과, 박사과정)

이규성
(아주대학교 D.N.A.플러스융합학과, 석사과정)

김의진
(아주대학교 교통시스템공학과, 조교수)

1. 연구 배경 및 필요성

공유 전기자전거의 도입은 도시 내 이동 선택지를 확대하며, 기존 교통수단의 이용에 변화를 가져올 수 있다. 예를 들어, 단거리 통행의 경우 버스나 택시를 대신하는 대체 수단으로 활용될 수 있는 반면, 정류장이나 역까지의 접근을 도와 대중교통 이용을 보완할 수도 있다. 이러한 대체·보완 관계를 파악하는 것은 도시 교통체계 내 공유 전기자전거의 역할을 이해하고, 기존 교통수단과의 연계 방향을 논의하는 데 중요한 의미를 갖는다.

그러나 기존 교통수단의 이용량에는 계절적 변동, 기상 조건 및 사회적 환경 변화가 함께 반영되므로, 단순한 도입 전후 비교만으로는 공유 전기자전거의 영향을 구분하기 어렵다. 이에 본 연구는 대전광역시의 카카오 T 바이크 도입을 대상으로 버스 및 택시 이용량에 미친 인과효과를 분석하고자 한다. 특히 출발지 기준의 공간 단위별로 도입이 없었을 경우의 이용량을 추정하고 실제 관측값과 비교함으로써, 교통수단별·공간단위별 영향의 방향과 크기를 정량적으로 파악하는 것을 목표로 한다. 이를 통해 카카오 T 바이크와 기존 교통수단 간 대체·보완 관계에 대한 실증적 근거를 제시하고자 한다.

2. 자료 및 실험 설계

본 연구는 2019년부터 2022년 대전광역시의 카카오모빌리티 공유 전기자전거·택시 통행자료와 정류장별 일별 버스 승차량 자료를 활용하였다. 분석 단위는 H3 resolution 8 격자단위로 설정하고, 택시 이용량은 출발 격자, 버스 승차량은 정류장 좌표를 기준으로 집계하여 격자별·일별 이용량 자료를 구축하였다.

대전광역시 카카오 T 바이크의 서비스 도입일인 2021년 5월 18일 이전 자료를 이용하여 Bayesian Structural Time Series (BSTS)을 학습한다. 이때, 도입 초기의 변동을 고려하여 도입일부터 2021년 6월 21일까지를 초기 안정화 기간으로 설정하여 제외하고, 2021년 6월 22일부터 2022년 12월 31일까지의 기간에 대해 반사실적 이용량을 추정한다. 모형은 다음과 같이 구성한다.

$$y_t = \mu_t + \tau_t + \beta^T x_t + \varepsilon_t$$

여기서 y_t는 격자별 일별 버스 또는 택시 이용량, μ_t와 τ_t는 추세와 계절 성분, β는 회귀계수 벡터, ε_t는 오차항이다. x_t에는 도입 영향을 받지 않은 것으로 판단되는 통제지역의 이용량과 외생변수를 포함한다. 외생변수로는 대전광역시 신규 확진자 수의 7일 이동평균, OxCGRT 정책 지표, 버스 감축 운행 더미, 일평균·최저·최고기온, 일강수량 및 행정동별 월별 인구 수를 고려한다. 최종적으로 관측값과 반사실적 추정값의 차이 및 불확실성을 평가하여 버스와 택시 이용량에 대한 도입 효과를 각각 추정한다.

3. 연구 결과 및 결론

분석 결과, 버스 이용량에서는 카카오 T 바이크 도입에 따른 뚜렷한 변화 방향이 확인되지 않은 반면, 단거리 택시 이용량은 일부 지역에서 도입이 없었을 경우보다 감소한 것으로 추정되었다. 이는 카카오 T 바이크가 단거리 택시를 보완하기보다 대체 관계를 형성할 가능성을 시사한다.

본 연구는 공유 전기자전거와 기존 교통수단의 관계를 이용량 변화에 기반하여 살펴봄으로써, 교통수단 간 연계 방향을 논의하기 위한 기초자료를 제공한다.

사사: 본 연구는 카카오모빌리티의 데이터를 활용하여 수행되었습니다. 데이터를 제공해 주신 카카오모빌리티에 감사드립니다.

생애사건은 공유 마이크로모빌리티 선택과 관련이 있는가? 일본 성인의 행태적 이질성에 관한 실증분석

Do Life Events Matter for Shared Micromobility Choice?
Evidence of Behavioral Heterogeneity Among Japanese Adults

Mahdi Khorasani
(Department of Energy Science, Sungkyunkwan University, Suwon, PhD Student)

Sunbin Yoo[2]
(Department of Energy Science, Sungkyunkwan University, Suwon, Associate Professor)

Life events may reorganize travel routines, yet their relevance to shared micromobility choice remains uncertain. We examine associations between 23 past-year events and stated choices involving walking, shared bicycles, e-scooters, and mopeds using a nationwide online survey of 9,717 Japanese adults completing eight tasks each. Four tasks concern a sunny 1-km commute and four a sunny 2-km park visit; each offers walking and two experimentally varied shared profiles. We classify events into four life-course domains and estimate six specifications covering utility shifts, prior service experience, latent behavioral segmentation, service-attribute and context interactions, and multidimensional life dissatisfaction. We estimate models on 7,778 respondents and evaluate them on a fixed hold-out sample of 1,939, retaining each individual's tasks within one partition.

In the three-class stayer model, employment and educational transitions and health, safety, and adverse events are associated with average increases of 4.16 and 6.33 percentage points in shared-choice probability, respectively, with statistical significance after Holm adjustment. Several associations attenuate when we account for prior experience. Our integrated choice and latent variable specification jointly models choices and 17 reverse-coded life-domain satisfaction indicators, organized into four correlated constructs through training-sample exploratory factor analysis using maximum-likelihood extraction from polychoric correlations and geomin rotation. The health, safety, and adverse-events association remains positive at 4.62 percentage points (Holm-adjusted $p = 0.012$). Its component transmitted through dissatisfaction is 0.56 percentage points, approximately 12% of the total point estimate, and is not individually significant at the 5% level.

Prior service experience improves hold-out log loss from 0.7775 to 0.7668; the paired difference is −0.0107 (95% CI −0.0151 to −0.0063). The dissatisfaction model achieves 0.7639 without conditioning on hold-out satisfaction responses, but its improvement over the experience-adjusted model is not statistically distinguishable from zero. Attribute and trip-context extensions provide no predictive improvement. Although event terms improve in-sample likelihood, none of the choice-only specifications demonstrates a statistically discernible predictive gain over its event-free benchmark.

Our findings associate recent life circumstances with heterogeneous stated preferences while showing that explanatory associations, measurement fit, and predictive value require separate evaluation. The cross-sectional design supports conditional associations and model-based decompositions; it does not identify causal effects, causal mediation, or the effectiveness of event-based targeting. Because walking is the competing alternative, greater shared-mode choice also does not establish reduced car dependence. Longitudinal evidence and prospective service trials are needed to evaluate behavioral responses around life transitions.

Acknowledgments: We acknowledge the Research Institute of Economy, Trade and Industry (RIETI), which commissioned the survey, and Cross Marketing Inc., which implemented it.

지속가능한 도시물류를 위한 공유자전거 통행데이터 기반 Crowdshipping 잠재력 분석

Analyzing Crowdshipping Potential Using Public Bike-Sharing Trip Data for Sustainable Urban Logistics

이중권
(서울시립대학교 교통공학과, 석·박사통합수료)

민석원
(서울시립대학교 교통공학과, 석·박사통합수료)

박동주
(서울시립대학교 교통공학과, 교수)

본 연구는 공공자전거 이용자의 기존 통행을 활용하는 Crowdshipping의 조건부 처리 잠재력을 추정하고, 배송자가 매칭되지 않은 물량의 1회 이월이 매칭량과 대기시간에 미치는 영향을 분석하였다. 이를 위해 관측 통행자료, 건물별 택배 수요, 참여 및 배송업무 수락행태, 순차적 시간창을 통합한 동적 시뮬레이션 알고리즘을 개발하였다.

분석 대상은 서울특별시 성동구와 중구 일부를 연결한 단일 테스트베드이며, 2025년 1년간 공공자전거 통행 811,149건과 17,459개 건물에 배분된 택배 수요 추정치 10,324,934건을 활용하였다. 도로망 최단경로로 자전거 경로와 경유 대여소 순서를 추정하고, 각 건물을 가장 가까운 적격 대여소에 배정하여 대여소별 가상 집하 대기열을 구성하였다. 택배 투입 시각은 오후 특정 시간대를 최빈값으로 하는 비대칭 분포로 생성하였다. 성별·연령 기반 참여모형으로 Crowdshipping에 참여할 통행을 한 번 선정한 뒤, 배송 참여 보상과 추가 이동거리 기반 업무수락모형으로 개별 업무를 배정하였다. 각각의 배송 참여자는 1회에 택배를 최대 3개까지 배송할 수 있는 것으로 가정하였다.

분석 시나리오는 투입 후 24시간 내 매칭되지 못한 물량을 Crowdshipping 후보에서 제외하는 'TW(24H)'와 미매칭 물량을 한 번 이월하여 추가 매칭 대기시간 24시간을 부여하는 'MTW(48H)'이다. 전체 자전거 통행 중 약 34%가 Crowdshipping에 참여하는 통행으로 선정되었다. TW 시나리오의 연간 매칭량은 약 53만건, 전체 연간 택배 수요 대비 매칭 비율은 5.21%였으며, MTW 시나리오에서는 각각 약 55만건, 5.36%로 증가하여 미매칭 물량 이월을 통한 매칭량 증가율은 2.88%로 분석되었다. 분석 결과, 1회 이월은 미매칭 물량의 Crowdshipping 후보 제외를 줄이지만 매칭 증가폭에 비해 대기시간 증가가 커, 긴급하지 않은 물량 등에 대해 선별적으로 적용할 필요가 있다. 다만 본 연구의 분석 결과는 관측 통행과 가상의 행태·운영 제약하의 매칭 기반 잠재력으로, 실제 배송완료 실적을 뜻하지 않는다.

본 연구는 공신력 있는 관측 데이터를 기반으로, 대도시에서의 Crowdshipping 실현 가능성·잠재력을 정량적으로 평가하였다는 점에서 의의를 가진다. 향후 연구 계획으로 국내 행태조사와 현장자료, 설문조사 등을 통한 후속 연구 및 검증을 예정하고 있으며, 이를 통해 도시형 Crowdshipping 서비스의 설계 및 정책 수립 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

사사: 본 연구는 2025년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(과제번호: RS-2025-00557826, 한국형 Crowdshipping 서비스 최적 설계 및 운영방안 연구).

자율주행 시나리오 및 안전성 평가

Session

A-9

ISO 34504 태그 체계의 PEGASUS 기반 시나리오 적용성 검토:국책과제-16 상황 시나리오 사례를 중심으로
강승모, 고우리, 김인영, 윤일수

운행 단계 공통 자율주행차 대표 운행 시나리오 도출
박찬영, 백성채, 박제진

V2X 통신 기반 자율주행 모빌리티 플랫폼의 주행 안전성 판단 시스템 설계
한종혁, 권성진

판타G버스 센서 데이터 기반 자율주행차 주행위험도 정량화 및 안전성 점수화 모델 개발
김호선, 강용신, 김형주

AHP와 미시교통시뮬레이션을 활용한 자율협력주행 교통안전시설 정보 제어 시나리오 안전성 평가
장기훈, 한재석

교통 시뮬레이션 기반 교통류 위험수준 분류 및 특성 분석
도승일, 강민지, 박신형

ISO 34504 태그 체계의 PEGASUS 기반 시나리오 적용성 검토: 국책과제-16 상황 시나리오 사례를 중심으로

Applicability of the ISO 34504 Tagging Scheme to PEGASUS-Based Scenarios: A Case Study of Functional Scenarios from National R&D Project 16

강승모	고우리	김인영	윤일수
(아주대학교, 석사과정)	(아주대학교, 연구조교수)	(아주대학교, 박사후연구원)	(아주대학교, 교수)

자율주행자동차 안전성 평가 시나리오는 개발 주체에 따라 구성요소와 표현 방식이 달라, 공유·비교 및 통합 관리에 제약이 발생할 수 있다. 따라서 서로 다른 형식으로 구축된 시나리오를 공통된 기준에 따라 분류·검색할 수 있는 체계가 필요하다. 이에 본 연구는 PEGASUS 프로젝트 기반 functional scenario의 분류·검색 기준으로서 ISO 34504 태그 체계의 적용 가능성과 한계를 검토하였다.

이를 위해 PEGASUS 프로젝트의 시나리오 추상화 체계를 참고하여 개발된 국책과제-16「주행 및 충돌상황 대응 안전성 평가기술 개발」(이하 국-16)의 상황 시나리오를 분석 대상으로 활용하였다. 먼저 국-16 상황 시나리오의 공통 양식과 ISO 34504 태그 항목 간 구조적 대응 관계를 분석하였다. 다음으로 878개 상황 시나리오 가운데 한 건을 분석 대상으로 선정하여 태그를 부여하고, 시나리오의 핵심 특성과 상황 전개를 태그 조합으로 표현할 수 있는 범위와 한계를 확인하였다.

분석 결과, 시나리오 유형·위치, 차종, 상대적 위치, 개별 거동, 차로 구성 및 데이터 출처는 단일 또는 복수의 태그 항목과 대응하였다. 반면 시나리오 목적, 주행차로 및 시나리오 도출 근거는 부분적으로만 대응하였으며, 전체 상황도, 시나리오 상세 설명, 이동객체의 역할 구분 및 작성자는 직접 대응하기 어려웠다. 대표 사례에서는 객체·도로·거동 등 개별 특성을 태그로 분류할 수 있었으나, 객체 간 관계와 연속적인 상황 전개를 나타내는 데에는 한계가 있었다. 또한 ISO 34504의 일부 태그는 상황 시나리오보다 세분된 정보를 요구하였으나, 범위 시나리오에 필요한 정량적 매개변수 정의는 제공하지 않았다. 따라서 ISO 34504 태그는 국-16의 상황·범위 시나리오뿐만 아니라 이에 각각 대응하는 PEGASUS 프로젝트의 functional scenario와 logical scenario 중 어느 한 단계에도 직접 대응시키기 어려운 것으로 분석되었다.

본 연구는 ISO 34504 태그 체계를 국-16 상황 시나리오의 공통 양식과 사례에 적용하여 구성요소 간 대응 관계, 연속적인 상황 전개의 표현 가능성 및 시나리오 추상화 단계와의 관계를 분석하였다는 데 의의가 있다. 분석 결과를 바탕으로 ISO 34504 태그를 상황 시나리오의 분류·검색을 지원하는 보조적 메타데이터로 활용하는 방향을 제시하였다. 이러한 결과는 향후 시나리오 메타데이터 체계를 보완하고 서로 다른 시나리오 체계 간 연계 방안을 검토하기 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

사사: 본 논문은 국토교통부 자율주행 기술개발 혁신사업 '주행 및 충돌상황 대응 안전성 평가기술 개발(RS-2021-KA160637)' 과제 지원에 의해 수행되었습니다.

운행 단계 공통 자율주행차 대표 운행 시나리오 도출

Representative Operational Scenarios for Automated Vehicles Common to All Operation Stages

박찬영 (전남대학교 건축토목공학과)
백성채 (전남대학교 건축토목공학과)
박제진 (전남대학교 토목공학과)

레벨 4 자율주행차의 운행 방식은 유인 운행에서 원격 관제를 거쳐 무인 운행으로 단계적으로 전환되고 있으며, 단계에 따라 동일한 상황에서도 위험 양상이 달라진다. 그러나 기존 시나리오 기반 안전 평가는 단계별 대응 방식의 차이를 반영하지 못하고, 단계마다 시나리오를 별도로 구축할 경우 운행 요건과 대응 절차의 복잡성이 가중된다.

이에 본 연구는 운행 단계별 위험 노출 구조를 분석하고, 단계와 무관하게 활용할 수 있는 단일 대표 운행 시나리오 목록 도출을 목표로 한다.

운행 단계별로 5개 항목(탑승자, 원격 역할, 상황 인지 주체, 현장 조치 주체, 위험 노출 구조)을 기준으로 분석했고, 시나리오는 KS R ISO 34502의 도출 체계와 국내 법령이 제시한 예상되지 않는 상황과 도로교통법 통행 조문, 국내 도로 환경 특성을 결합하여 연역적으로 구성하였다.

분석 결과, 유인 단계에서는 제어권 전환 직후의 조작이, 원격 관제와 무인 단계에서는 상황 인지 주체와 현장 조치 주체의 분리가 주요 위험 요인으로 나타나, 단계에 따라 달라지는 것은 상황이 아닌 대응 주체임을 확인하였다. 도출된 시나리오는 통상 운행 56건과 돌발상황 16건으로 총 72건이며, 국내 법령이 예시한 5개 상황을 모두 포괄하였다.

본 연구의 시나리오 목록은 운행 단계 전환 시에도 일관된 운행 요건과 대응 절차를 적용하는 기반으로 활용될 수 있으며, 향후 실증 자료를 바탕으로 지속적인 보완을 수행할 것이다,

<표 1> 운행 단계별 특성 및 위험 노출구조

구분	유인	원격 관제	무인
탑승자	안전관리자 및 승객	승객만 탑승	승객만 탑승 또는 무탑승
원격 역할	감시	감시 및 지원· 조작	감시 및 지원
상황 인지 주체	탑승자 및 시스템	시스템 및 원격 관제 화면	시스템 및 원격 관제 화면
현장 조치 주체	안전관리자	현장 출동인력	현장 출동 인력 (유일)
고유위험	제어권 전환 이후 조작	통신 지연과 두절	현장 도착까지의 시간

사사: 본 연구는 한국도로교통공단「대규모 실증사업에 대비한 자율주행차 교통안전 권고안 개발」연구용역의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

V2X 통신 기반 자율주행 모빌리티 플랫폼의 주행 안전성 판단 시스템 설계

Design of the Driving Safety Assessment System for a V2X Communication-Based Autonomous Mobility Platform

한종혁
(영남대학교 미래자동차공학과, 석박사통합과정)

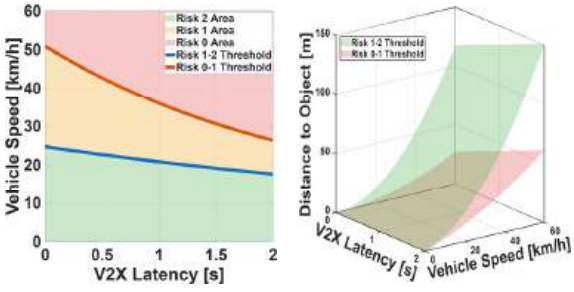
권성진
(영남대학교 미래자동차공학과, 교수)

서라운드 센서 기반 자율주행 시스템(autonomous driving system)은 차량에 장착한 센서를 기반으로 인지, 판단, 제어 기능을 수행하지만, 센서 FOV(Field of View)에 의한 사각지대와 같은 한계로 인해 자율주행 중에 발생하는 모든 상황에 대응하기 어렵다. V2X(Vehicle-to-Everything) 기반 자율주행 시스템은 도로 인프라에서 인지한 객체 정보를 자율주행 차량에 제공함으로써 자율주행 차량의 인지 범위를 확장할 수 있다. 그러나 V2X 통신 과정에서 지연이 발생하면 객체 정보를 수신하는 시점이 늦어지고, 차량 주행속도와 객체와의 상대 거리에 따라 주행 안전성(drving safety)이 달라질 수 있다. 본 연구에서는 V2X 정보를 자율주행 시스템과 연계하기 위해 그림 1과 같이 실차 기반의 자율주행 모빌리티 플랫폼을 설계하고, 차량 주행속도, V2X 통신 지연시간, 객체와의 상대 거리를 고려하여 자율주행 시스템의 주행 안전성을 판단하는 시스템을 설계하고자 하였다.

자율주행 모빌리티 플랫폼은 GNSS, LiDAR, Camera, ADS(Automated Driving System) 및 OBU(On-Board Unit)로 구성하고, 자율주행 플랫폼과 이동형 RSU(Road Side Unit) 간의 V2X 통신 인터페이스를 구성하였다. 이동형 RSU에서 인지한 객체 정보는 SAE J2735 기반의 V2X 메시지로 변환하여 자율주행 시스템에 전달하도록 하였다. 자율주행 안전성 판단을 위한 감속도 기준값은 실도로 시험에서 도출한 MRM(Minimal Risk Maneuver) 수행 시의 평균 종방향 감속도 1.18 m/s²와 UNECE R152에서 규제한 AEB(Automated Emergency Braking) 시의 최소 감속도 인 5.0 m/s²로 설정하였다. 본 연구에서는 각각의 감속도 기준값을 적용하여 V2X 통신 지연시간과 차량 속도에 따른 정지거리를 산출하고, 이를 객체와의 상대 거리에 대한 경계값으로 적용하여 그림 2와 같이 주행 안전성을 3단계로 판단하는 시스템을 설계하였다. 이러한 주행 안전성 판단 시스템은 V2X 통신 지연에 따른 자율주행 시스템의 주행 안전성을 정량적으로 판단할 수 있으며, 자율주행 플랫폼의 최소 위험 상태(Minimum Risk Condition, MRC) 달성을 위한 유효한 설계 가이드라인으로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.



<그림 1> Autonomous driving mobility platform design



(a) Driving safety assessment for latency (b) Driving safety assessment criteria

<그림 2> Definition of driving safety assessment

사사: 본 논문은 2026년도 산업통상부 및 한국산업기술진흥원(KIAT) 연구비 지원에 의한 연구임(과제번호: P0027951. 자율 비자율 혼합상황 지원 플랫폼 기반조성).

판타G버스 센서 데이터 기반 자율주행차 주행위험도 정량화 및 안전성 점수화 모델 개발

Development of a Driving Risk Quantification and Safety Scoring Model for Autonomous Vehicles Using Panta G Bus Driving Data

김호선 (차세대융합기술연구원, 선임연구원)
강용신 (차세대융합기술연구원, 센터장)
김형주 (차세대융합기술연구원, 팀장)

자율주행차의 실도로 운행과 시범서비스가 확대됨에 따라 실제 교통환경에서 차량의 주행행태와 주변 차량과의 상호작용 위험을 정량적으로 평가할 안전성 평가체계가 요구된다. 기존 평가는 충돌예상시간(Time to Collision, TTC), 차두시간(Time Headway, THW), 충돌회피 요구 감속도(Deceleration Rate to Avoid Crash, DRAC) 등 개별 대리안전지표나 특정 위험이벤트를 중심으로 수행되는 경우가 많다. 그러나 실도로 주행위험은 차량의 주행거동, 주변 객체와의 상대운동, 위험상태의 지속시간 및 변화추세 등이 복합적으로 작용하므로 단일 지표만으로 설명하기 어렵다.

이에 본 연구는 판교 자율주행 시범운행지구에서 운행 중인 판타G버스의 센서 데이터를 활용하여 연속적인 주행행태와 주변 교통 객체와의 상호작용을 고려하는 주행위험도 평가 방법론을 구축하고, 이를 자율주행 안전성 점수화 모델로 개발하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 일정 시간 동안의 차량거동과 상호작용 특성을 기반으로 주행상태를 정상(Normal), 주의(Caution), 위험(Risk)으로 분류하고, 예측 확률을 안전관리 및 운행 평가에 활용 가능한 점수체계로 변환하고자 한다.

이를 위해 차량 내부 주행정보와 레이더 기반 주변객체 정보를 공통 시간축으로 통합하여 0.1초 단위 시계열 데이터셋을 구축한다. 원시데이터의 결측 및 이상값을 보완하고 레이더 객체 식별 정보의 변경이나 단절을 보정하여 연속적인 객체 추적궤적을 구성한다. 이후 차량의 속도, 종·횡방향 가속도, jerk, yaw rate, 조향각 및 조향각 변화율과 주변 객체의 상대거리, 상대속도 및 접근속도 등을 산출한다. 또한 주변 차량의 끼어들기(cut-in), 자율주행차의 차로변경 등 주요 상호작용 상황을 식별하여 동적인 교통상황에 따른 위험 특성을 분석한다.

주행위험상태는 TTC, THW, DRAC 등의 대리안전지표를 활용하여 정의하되, 특정 시점의 임계값뿐만 아니라 위험수준의 변화추세, 위험노출 정도 및 지속성을 종합적으로 고려한다. 특히 일반적인 차량 추종과 갑작스러운 끼어들기는 객체 관측시간이 다를 수 있으므로, 관측시간과 상호작용 맥락을 고려하여 위험판정의 유효성을 검토한다. 이를 통해 정상·주의·위험의 대리 위험라벨을 구축하고, 관측 정보가 부족한 구간은 구분하여 학습자료의 신뢰성을 확보한다.

주행위험도 예측에는 CNN-BiLSTM(Convolutional Neural Network - Bidirectional Long Short-Term Memory) 기반 딥러닝 모델을 적용한다. 0.1초 간격의 주행 데이터를 5초 단위 시계열 입력 구간으로 구성하고, CNN을 통해 가·감속, jerk 및 상대속도 변화 등의 국소적 시간 패턴을 추출한다. BiLSTM은 이러한 변화의 시간적 순서와 진행 양상을 학습하여 위험상태의 동적 특성을 반영하며, 최종적으로 각 주행 구간의 Normal, Caution, Risk 분류결과와 예측확률을 산출한다.

모델 학습에서는 위험라벨 생성에 활용된 TTC, THW, DRAC 및 관련 위험지표를 직접적인 예측 변수에서 제외하고, 차량 거동과 주변 객체의 상대운동 변수를 활용한다. 또한 입력변수와 위험라벨 간 정보 누출 가능성을 점검하고, 중첩된 시계열 구간이 학습 자료와 평가 자료에 혼합되지 않도록 운행 일자를 기준으로 학습(Train), 검증(Validation), 평가(Test) 자료를 시간적으로 분리한다. 정규화와 클래스 가중치는 학습자료를 기준으로 산출하여 평가과정의 독립성을 확보한다.

위험상황 탐지의 민감도와 예측 확률의 신뢰성을 확보하기 위해 확률 보정(probability calibration)을 수행한다. 확률보정과 위험상태 판정을 위한 operating threshold는 검증 자료에서 결정하고, 독립적인 평가자료에 적용하여 일반화 가능성을 검토한다. 정상 주행에 비해 위험 주행의 비율이 낮은 데이터 특성을 고려하여 balanced accuracy, Macro-F1, Risk precision, Risk recall, Risk F1, ROC-AUC 및 PR-AUC 등을 활용하고, 반복 학습을 통해 모델의 재현성과 안정성을 평가한다.

또한, 위험 판정의 해석 가능성을 확보하기 위해 CNN-BiLSTM과 별도로 LightGBM 기반 설명모델을 구축하고 SHAP(SHapley Additive exPlanations) 분석을 수행하였다. 이를 통해 속도, 가속도, jerk, 조향거동, 상대거리 및 상대속도 등 주요 변수의 상대적 중요도와 위험 판정에 미치는 기여 방향을 분석한다. 이를 바탕으로 주행 위험도 증가와 관련된 차량거동 및 주변차량 상호작용을 교통 공학적으로 해석할 수 있는 체계를 마련한다.

최종적으로 CNN-BiLSTM에서 산출된 위험 등급별 예측 확률에 확률 보정 및 점수 변환 절차를 적용하여 위험도가 높을수록 낮은 점수가 부여되는 0~100점 기반 안전성 점수를 산정한다. 이때 위험등급을 단순 치환하지 않고 연속적인 예측 확률을 활용하여 동일 등급 내 위험 수준의 차이를 표현한다. 또한 Risk 확률 중심의 점수 산정 방식과 Caution 및 Risk 확률의 서열적 특성을 고려한 방식을 비교하여 점수의 변별성, 시간적 안정성 및 해석 가능성을 검토한다.

산출된 안전 점수는 개별 5초 주행 구간뿐만 아니라 도로구간 및 노선 단위로 확장할 수 있도록 구성한다. 단순 평균에 의해 단시간의 중대한 위험이 희석되는 문제를 방지하기 위해 고위험 구간 발생빈도, 위험 확률의 상위 분위수, 최대 위험수준 및 위험노출 비율 등을 함께 검토한다. 또한 독립적인 평가 자료를 통해 위험분류 및 확률보정 성능, 위험등급별 점수 변별성, 연속 주행에서의 점수 일관성 및 고위험 상황에 대한 반응 특성을 검증할 계획이다.

본 연구는 개별 대리안전지표 중심의 평가에서 나아가 자율주행차의 연속적인 주행거동, 주변 차량과의 상호작용 및 인공지능 기반 위험예측을 통합한 정량적 안전성 평가체계를 제안한다. 특히 위험예측 결과를 설명가능성 분석과 0~100점 안전 점수로 연계함으로써 자율주행 시범운행지구의 위험구간 식별, 운행단위 안전성 비교, 실증운행 모니터링 및 데이터 기반 안전관리에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

사사: 판교제로시티 자율주행 및 미래모빌리티 산업생태계 조성·운영

AHP와 미시교통시뮬레이션을 활용한 자율협력주행 교통안전시설 정보 제어 시나리오 안전성 평가

Safety Evaluation of Traffic Safety Device Information Control Scenarios for Cooperative Automated Driving Using AHP and Microscopic Traffic Simulation

장기훈
(ITSKOREA, 실장)

한재석
(ITSKOREA, 선임연구원)

1. 연구 배경 및 목적

자율주행차량이 긴급차량의 통행을 방해하거나 도로작업구간에 진입하는 사례는 비정상적인 도로 상황에서 차량 자체의 인지만으로 적절한 대응에 한계가 있음을 보여준다. 이에 도로 인프라를 통해 제한속도, 통행방향, 진입제한 등 교통안전시설의 속성정보를 상황에 맞게 제공할 필요가 있다. 특히, 차량의 판단 혼선을 방지하기 위해 정보별 우선순위와 제공 위치·시점을 체계적으로 설정해야 한다. 본 연구는 교통 상황별 교통안전시설 정보 제어 시나리오를 정의하고, 전문가 AHP 분석과 미시교통시뮬레이션을 통해 정보의 상대적 중요도와 안전성을 평가하여 향후 자율협력주행 교통안전시설 정보 제어 운영 가이드라인 수립을 위한 기초 자료를 마련하는 데 목적이 있다.

2. 연구 방법

교통안전시설 정보 제어 상황을 교통정체, 교통사고, 도로공사, 악천후, 긴급차량 접근의 5가지로 구분하고, 도로기하구조와 필요한 차량 대응행동에 따라 속도제한, 차로변경, 우회경로 및 안전통행지원 유즈케이스를 구성하였다. 각 유즈케이스에는 최고속도제한, 일시정지, 진입금지, 회전금지 등 제어가 필요한 교통안전시설 속성정보를 설정하였다. 정보별 중요도는 전문가 AHP 설문조사를 실시한 후, 일관성 비율이 0.2 이내인 12인의 응답을 활용하여 산정하였다. 분석은 교통안전표지와 노면표시를 중심으로 수행하였으며, 단일 정보만 제공되는 유즈케이스는 상대적 비교 대상에서 제외하였다. 이후 VISSIM으로 도로 네트워크와 정보 제어 상황을 구현하고, 정보별 효과를 구분하여 평가할 수 있는 9개 유즈케이스를 대상으로 안전성을 분석하였다. 평가는 TTC, PET 및 상충 발생 관련 지표의 변화를 토대로 수행하였으며, 유즈케이스 내 정보별 상대적 안전성 영향도를 도출하였다.

3. 분석 결과

AHP 분석 결과, 동일한 교통안전시설 정보라도 교통상황과 도로 조건에 따라 중요도가 다르게 나타났다. 교통사고가 발생한 단일로 1차로에서는 일시정지 정보의 중요도가 0.560으로 중앙선 정보보다 높았으며, 단일로 2차로에서는 좌·우측면 통행 정보가 0.827로 차로변경 정보보다 높게 평가되었다. 도로공사 상황에서는 차단 방향에 따라 중요도가 달라졌다. 좌회전 또는 우회전이 차단된 경우에는 도로공사중 정보가 상대적으로 중요하게 평가된 반면, 직진이나 좌·우회전이 함께 차단된 경우에는 해당 방향의 통행금지 정보가 높게 나타났다. 이는 정보 제공 우선순위를 시설 종류만으로 결정하기보다 상황별 위험요인과 차량의 대응행동을 함께 고려해야 함을 의미한다. 시뮬레이션 결과, 교통정체 시 교차로 가변속도 권고 상황에서는 주정차금지 정보의 상대적 안전성 영향도가 0.749로 최고속도제한 정보보다 높았다. 교통사고 시 단일로 1차로에서는 일시정지 정보가 0.529로 중앙선 정보보다 높게 나타나 AHP 분석과 동일한 우선순위를 보였다. 반면, 도로공사로 좌회전 또는 우회전이 차단된 상황에서는 회전금지 정보의 상대적 안전성 영향도가 각각 0.549와 0.560으로 도로공사중 정보보다 높아 전문가 평가와 차이를 보였다. 이는 상황을 알리는 정보에 대한 전문가의 중요도 판단과 차량의 주행행동을 직접 제어하는 정보의 시뮬레이션 효과가 다를 수 있음을 보여준다.

4. 결론

본 연구는 전문가 판단에 기반한 정보 중요도와 시뮬레이션 기반 안전성 평가를 연계하여 자율협력주행 교통안전시설 정보 제어 전략의 적용 가능성을 검토하였다는 데 의의가 있다. 분석 결과는 AHP 우선순위를 모든 상황에 일률적으로 적용하기보다, 실제 제어 효과와 함께 검토하여 상황별 운영 기준을 마련할 필요가 있음을 시사한다. 본 연구 결과는 상황별 정보 제어 조건, 판단 기준, 메시지 구성, 정보 생성 시점 및 갱신주기 등을 규정하는 자율협력주행 교통안전시설 인프라 정보 제어 가이드라인 수립의 기초자료로 활용될 수 있다.

사사: 이 논문은 2026년도 정부(경찰청)의 재원으로 과학치안진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임(No.RS-2021-PT000173, Lv.4 대응 교통안전 인프라 표준 및 평가기술 개발).

교통 시뮬레이션 기반 교통류 위험수준 분류 및 특성 분석

Classification and Characterization of Traffic Risk Levels Using Traffic Simulation Data

도승일 (서울시립대학교, 석박사통합과정)

강민지 (서울시립대학교, 연구교수)

박신형 (서울시립대학교, 교수)

교통안전성 평가는 교통사고 발생 이후의 사고자료를 활용하는 사후적 분석뿐만 아니라, 차량 간 상충 및 주행상태를 활용하여 잠재적 위험을 파악하는 사전적 분석으로 확대되고 있다. 특히 교통 시뮬레이션에서 산출되는 대리안전지표(Surrogate Safety Measures, SSM)는 실제 사고가 발생하지 않은 상황에서도 차량의 충돌여유시간, 요구감속도 및 안전여유 등을 정량적으로 분석할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 개별 안전지표는 서로 다른 위험 특성을 반영하므로 단일 지표나 위험기준 위반 여부만으로 다양한 주행상황의 위험 특성을 종합적으로 설명하기 어렵다. 특히 복수 안전지표의 위험기준을 동시에 위반한 관측치를 하나의 위험집단으로 분류할 경우, 위험후보 내부에서 나타나는 지표 간 결합 특성과 상대적인 위험수준의 차이를 충분히 반영하지 못하는 한계가 있다. 이에 따라 복수 안전지표의 결합 특성을 고려하여 위험상황을 세분화하고, 위험수준별 특성을 종합적으로 해석하는 접근이 요구된다.

본 연구는 이러한 한계를 보완하기 위해 차량-교통 시뮬레이션에서 산출된 복수 대리안전지표를 활용하여 교통류 위험수준을 분류하고, 위험수준별 안전지표의 결합 특성을 분석하였다. 분석자료는 단속류(S2, S4, S7)와 연속류(S6, S12)로 구성된 총 5개 시나리오를 대상으로 구축하였다. 각 시나리오에서 기본 주행조건은 Vehicle-in-the-Loop Simulation(VILs), 엣지케이스 주행조건은 Model-in-the-Loop Simulation(MILs)을 통해 구현하였으며, 교통량 및 난수 시드를 달리하여 다양한 주행상황을 반영하였다. 본 연구는 기본 및 엣지케이스의 안전성을 직접 비교하기보다, 서로 다른 교통상황에서 확보된 주행자료를 통합하여 복합적인 위험 특성을 구분하는 데 목적을 두었다. 이를 위해 수정된 충돌소요시간(MTTC), 충돌회피 요구감속도(DRAC), 정지거리 지수(SDI), 충돌위험 지수(CI) 등 4개 대리안전지표를 활용하였다.

분석은 교통류 유형별 유효 관측치 추출, 위험후보 선별, 가우시안 혼합모형(Gaussian Mixture Model, GMM) 기반 군집화 및 위험수준별 특성 분석 순서로 수행하였다. 먼저 4개 안전지표가 모두 유효한 단속류 23,423건과 연속류 18,248건의 관측치를 확보하였으며, 기존 안전지표의 위험기준을 적용하여 각각 5,346건(22.82%)과 2,207건(12.09%)의 위험후보를 선별하였다. 이후 복수 안전지표의 결합 분포를 고려한 GMM 분석을 수행하고, 군집의 분류 명확성, 규모 및 안전지표 특성을 종합하여 최종 군집 수를 선정하였다. 분석 결과, 단속류는 Low, Moderate, High의 3개 군집으로 분류되었으며, 각각 43.08%, 55.84%, 1.08%의 구성비를 보였다. 연속류는 Low, Moderate, High, Extreme의 4개 군집으로 구분되었으며, 각각 18.85%, 68.96%, 12.14%, 0.05%로 나타났다. 이를 통해 동일한 위험기준으로 선별된 관측치 내부에서도 안전지표의 결합 특성에 따른 상대적 위험수준의 차이가 존재함을 확인하였다.

위험수준별 안전지표 특성을 분석한 결과, 모든 지표가 위험수준에 따라 동일한 방향으로 변화하지는 않는 것으로 나타났다. 단속류의 Low 대비 Moderate 군집에서는 MTTC가 5.801초에서 2.769초로 52.3% 감소하였으나, SDI는 -3.422에서 -2.807로 증가하였다. 연속류에서도 MTTC가 10.993초에서 3.079초로 72.0% 감소한 반면, SDI는 -5.689에서 -4.833으로 증가하는 유사한 특성이 확인되었다. 이는 충돌여유시간의 감소가 정지거리 기반 안전여유의 감소와 반드시 동반되는 것은 아니며, 개별 안전지표가 서로 다른 위험 특성을 반영하고 있음을 의미한다. 반면 Moderate 대비 High 군집에서는 복수 안전지표의 위험 특성이 동시에 두드러졌다. 단속류의 DRAC는 0.394에서 8.765로 약 22.2배 증가하였으며, 연속류에서도 0.356에서 4.229로 약 11.9배 증가하였다. 동시에 두 교통류 모두 MTTC 및 SDI가 크게 감소하고 CI가 증가하는 특성을 보였다. 이러한 결과는 고위험군이 단순히 충돌여유시간이 짧은 관측치가 아니라, 높은 충돌회피 요구와 안전여유 감소 등 복합적인 위험 특성을 갖는 집단임을 보여준다.

본 연구는 기존 안전지표의 위험기준을 활용한 위험후보 선별을 넘어, 복수 지표의 결합 특성을 기반으로 위험후보 내부의 상대적 위험수준을 세분화하고 그 특성을 해석하였다는 점에서 의의가 있다. 특히 위험수준별 안전지표의 변화가 일관되지 않으며, 고위험군에서 복수 지표의 위험 특성이 함께 두드러진다는 점을 확인함으로써 개별 지표 중심의 위험판단을 보완할 수 있는 분석 방향을 제시하였다. 또한 단속류와 연속류의 위험군에서 서로 다른 지표 조합 특성이 나타나 교통류 유형을 고려한 위험수준 해석의 필요성을 확인하였다. 다만 본 연구에서 도출된 군집은 시뮬레이션 관측치의 통계적 특성을 기반으로 한 상대적 위험수준으로, 실제 사고자료를 통해 검증된 절대적인 위험등급을 의미하지 않는다. 특히 연속류 Extreme 군집은 단일 관측치로 구성되어 독립적인 위험수준으로 일반화하기에는 한계가 있다. 향후에는 위험수준을 구분하는 주요 안전지표와 판단기준을 구체화하고, 신규 시뮬레이션 테스트 결과에 적용하여 분류 결과의 안정성과 활용 가능성을 검토할 계획이다. 이를 통해 다양한 교통상황에 적용할 수 있는 복합 안전지표 기반 교통류 안전성 분석체계로 발전시키고자 한다.

사사: 본 연구는 국토교통과학기술진흥원 실차 시뮬레이션 기반 시스템 안전성 평가기술 개발의 연구비 지원 (과제번호 RS-2021-KA162419)에 의해 수행되었습니다.

AI 기반 교통안전 및 영상분석

Session

A-10

멀티모달 파인튜닝을 활용한 교통안전 분야 특화 언어모형 개발 방법론 제시
풍태현, 김민성, 문시현, 이경진, 이영택, 윤일수

MLLM 기반 교통사고 분석을 위한 데이터셋 구축 및 국내 특화 라벨링 체계 제시
정성훈, 도승일, 박신형

AI를 활용한 교차로 시각 복잡도 정량화와 교통사고 발생 간 관계 분석
차정은, 김회경

교통 맥락을 반영한 CCTV 내 보행자 재식별 모델
안소연, 이지오, 오시몬

횡단 의도에 기반한 보행자의 궤적 예측
유성민, 이은호, 여지호, 소재현

동적 트리거 기반 도로 CCTV 돌발상황 분석 시스템의 현장 적용
최성수, 박일하, 이강혁, 이지연, 이형준, 김채원, 강용신

멀티모달 파인튜닝을 활용한 교통안전 분야 특화 언어모형 개발 방법론 제시

Proposal of a Development Methodology for a Multimodal Fine-Tuned Language Model Specialized for Traffic Safety

풍태현	김민성	문시현	이경진	이영택	윤일수
(아주대학교, 석사과정)	(아주대학교, 석사과정)	(아주대학교, 석박사통합과정)	(아주대학교, 석박사통합과정)	(아주대학교, 박사후연구원)	(아주대학교, 교수)

2016년부터 2025년까지 국내에서 발생한 교통사고의 90% 이상은 교차로와 단일로에서 발생하였다. 이 기간 단일로 사고는 115,543건에서 82,974건으로 감소한 반면, 교차로 사고는 99,249건에서 93,792건 수준에 머물렀다(한국도로교통공단, 2025). 교차로는 서로 다른 기하구조와 교통운영을 가진 도로가 결합되는 지점으로, 진입 차량 간의 상충 등으로 인해 교통사고가 지속적으로 발생하는 공간이다(서임기 외, 2012). 그러나 교통사고 잦은 곳의 개선방안은 전문가가 사고자료를 분석하고 현장을 검토하여 도출하는 노동집약적 과정에 의존하고 있어, 매년 약 1,700개소가 선정되는 데 비해 개선사업으로 이어지는 지점은 연평균 400개소 수준에 그친다.

언어모델은 축적된 지식을 바탕으로 상황에 맞는 응답을 생성할 수 있어, 그간 축적된 개선 사례를 학습한다면 새로운 지점에 대한 대응책의 초안을 제시하여 대책 수립의 부담을 줄이는 데 활용될 수 있다. 다만 교통안전대응책은 지점의 도로환경을 함께 고려하여 수립되는데, 교차로의 기하구조, 신호등의 위치, 횡단보도의 배치와 같은 공간적 정보는 텍스트로 온전히 기술하기 어렵다. 선행연구에서도 텍스트 기반의 대응책 생성과 시각 정보 기반의 교통사고 인식은 서로 다른 연구에서 다루어져 왔다. 이에 본 연구는 두 접근을 결합하여, 문제점 텍스트와 도로 환경 이미지를 함께 학습하여 교통안전대응책을 생성하는 멀티모달 언어모형의 개발 방법론을 실제 자료에 적용하여 제시하고자 한다.

개발 방법론은 기반 모형 선정, 멀티모달 학습 데이터 구축, 미세조정, 응답 생성 및 평가의 네 단계로 구성된다. 먼저 텍스트·이미지 동시 입력, 가용 연산 자원 내 미세조정, 한국어 입출력, 경량 미세조정 프레임워크 지원을 기준으로 Gemma 4 26B-A4B를 기반 모형으로 선정하였다. 다음으로 확보 가능한 자료인 2016~2022년 「서울특별시 교통사고 잦은 곳 기본개선계획」에 수록된 286개소 교차로의 문제점과 설계내역을 지점, 문제점, 대응책 단위의 1,040개 레코드로 분해하였다. 이를 네이버 지도 로드뷰를 90° 간격으로 수집해 결합한 360° 파노라마 이미지와 함께 입력-정답 쌍으로 구성하고, 학습 데이터 832개와 평가 데이터 208개로 분할하였다. 미세조정에는 4비트 양자화 기반의 QLoRA를 적용하되, 도로 환경의 시각 정보가 함께 학습되도록 시각 인코더와 언어모형 모두에 어댑터를 부착하였다. 평가는 표현 수준의 지표(코사인 유사도, ROUGE-1·2·L)와 의미 수준의 지표(BERTScore F1)를 병행하고, 동일 어구가 반복되는 퇴화 응답을 판정하도록 구성하였다.

이를 실제 자료에 적용한 결과, 단일 GPU 환경에서 기반 모형의 선정부터 평가에 이르는 전 과정을 수행할 수 있었으며, 평가 데이터 208개 응답 가운데 퇴화 응답은 관세청입구 표본 1개였다. 같은 교차로의 정상 응답 사례는 하나의 문제점에 하나의 대응 시설이 대응하는 구조로, 모형은 정답과 동일한 위치 정보와 시설을 제시하였다. 반면 퇴화 응답 사례는 하나의 문제점에 7개의 세부 대응책이 나열된 표본으로, 모형은 대응 시설을 나열하는 구간에서 같은 어구를 반복하며 응답을 끝맺지 못하였다. 두 사례는 동일한 이미지를 공유하므로, 이러한 차이는 다수의 세부 대응책이 나열된 사례가 드물어 모형이 이러한 형태의 응답을 충분히 학습하지 못한 데에서 비롯된 것으로 추정된다. 이에 여러 세부 대응책이 나열된 사례의 점검·보강과 생성 시 반복 억제 설정을 개발 방법론에 반영하였다.

본 연구는 텍스트 기반 대응책 생성 연구와 시각 정보 기반 교통사고 인식 연구의 접근을 결합하여, 멀티모달 언어모형의 과업을 교통안전대응책의 생성으로 확장하였다는 점에서 의의가 있다. 다만 학습 데이터가 서울특별시에 한정되고, 레코드 단위 분할로 평가 지점의 상당수가 학습에 사용된 이미지를 공유한다는 한계가 있다. 향후에는 다른 지역의 자료로 확장하고 지점 단위로 분할하여 평가하며, 미세조정하지 않은 원본 모형, 이미지 없이 미세조정한 모형, 검색증강 생성(RAG) 기반 모형과 응답을 비교하여 미세조정과 이미지 입력이 대응책 생성에 미치는 영향을 확인할 필요가 있다.

사사: 본 논문은 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원의 연구비지원(RS-2021-KA162419)에 의해 수행되었습니다.

MLLM 기반 교통사고 분석을 위한 데이터셋 구축 및 국내 특화 라벨링 체계 제시

Development of a Dataset and a Korea-Specific Labeling Framework for Traffic Accident Analysis Using Multimodal Large Language Models

정성훈
(서울시립대학교 교통공학과, 석사과정)

도승일
(서울시립대학교 교통공학과, 석박사통합과정)

박신형
(서울시립대학교 교통공학과, 교수)

기존 교통사고 데이터는 사고유형, 당사자, 차량 및 도로환경 등 정형화된 통계정보를 중심으로 구성되어 있어 차량의 위치, 진행방향, 이동궤적 및 충돌과정 등 사고 발생 당시의 시·공간적 맥락을 표현하는 데 한계가 있다. 반면 교통사고 속보자료, 사고보고서 및 사고 상황도에는 사고 원인과 전개과정에 관한 서술·시각정보가 포함되어 있으나, 자료별 형식과 식별체계가 상이하여 통합적인 활용이 어렵다. 따라서 MLLM(Multimodal Large Language Model) 기반 교통사고 분석을 위해서는 이질적인 사고자료를 동일 사고사례 단위로 연계하고, 사고 발생과정을 구조화한 멀티모달 데이터셋 구축이 필요하다.

본 연구는 교통사고 속보자료, 경찰청 사고자료 및 보험 심의자료 등을 동일 사고사례 단위로 연계·구조화한 멀티모달 교통사고 데이터셋을 구축하고, 국내 교통사고 기록 체계와 시·공간적 사고 정보를 반영한 교통사고 특화 라벨링 체계를 제시하는 것을 목적으로 한다. 이를 통해 향후 MLLM 기반 사고 상황 이해, 사고유형 판단, 원인 행동 및 위험 요인 분석을 위한 학습·검증 데이터 기반을 마련하고자 하였다.

본 연구에서는 2017년 이후 사고자료의 사고 ID를 중심으로 사고일시, 발생지점, 노선, 진행 방향 및 사고 내용 등 공통정보를 검토하여 동일 사고사례를 연계했다. 사고 기본정보는 교통사고 통계원표의 분류체계를 참고하여 사고유형, 당사자, 차량, 도로 환경, 주행 행동, 법규위반 및 사고 결과 등으로 구조화했다. 또한 사고보고서와 사고 상황도에서 차량별 위치, 차로, 진행 방향, 이동 궤적 및 충돌지점 등 시·공간적 정보를 도출하고, 사고 전개 과정을 '발생 전 - 충돌 시 - 발생 후'로 구분했다. 이를 통해 정형·비정형 데이터를 통합하고, 시각 정보 설명, 사고유형 판단, 사고원인 및 행동, 위험 요인 등 4개 Q-A 유형을 구성하였다.

연구 결과, 교통사고 정보를 사고 기본정보, 사고유형 및 발생원인, 사고 행동 및 법규위반, 사고 차량 특성, 사고 도로 환경 특성, 사고 피해 및 심각도, 사고 전개 정보, Q-A 데이터 등 8개 대분류로 구분한 교통사고 특화 라벨링 체계를 구축하였다. 각 중분류 및 세부 유형은 사고일시·발생지점 등 기본 속성, 사고유형·충돌 형태·발생원인, 주행행태·법규위반, 차량 특성, 도로 기하구조·시설물, 사고 피해 규모 등으로 구성했다. 특히 사고 전개 정보는 차량 위치, 진행 방향, 이동 궤적 및 충돌지점 등을 '사고 전 - 충돌 시 - 사고 후'로 구분하였으며, Q-A 데이터는 시각 정보 설명, 사고유형 판단, 사고원인 및 행동, 위험 요인의 4개 유형으로 구성하였다. 이를 기반으로 총 1,308건의 교통사고 사례를 통합한 멀티모달 데이터셋을 구축하고, 정형정보·사고보고서·사고 상황도를 동일 사고사례 단위로 연계하여 MLLM 기반 교통사고 분석을 위한 데이터 구조를 마련하였다.

본 연구는 서로 다른 형태로 관리되는 교통사고 자료를 단순히 결합하는 것을 넘어, 동일 사고사례를 식별·연계하고 사고 발생과정을 구조적으로 표현하는 국내 특화 라벨링 체계를 제시하였다는 점에 의의가 있다. 특히 실제 사고 기록을 기반으로 원자료의 추적성을 확보하고 사고 전·중·후의 시·공간적 정보를 통합적으로 구조화하였다는 점에서 차별성을 가진다. 다만 사고유형별 데이터 대표성과 해석적 정보의 객관성에 대한 추가 검증이 필요하며, 향후 데이터셋 확충과 MLLM 학습·성능평가를 통해 사고유형 판단, 원인행동 및 위험요인 분석을 지원하는 교통사고 분석체계로 확장하고자 한다.

사사: 이 과제는 과학기술정보통신부의 지원을 받아 수행된 과제입니다 (No. RS-2025-24534095).

AI를 활용한 교차로 시각 복잡도 정량화와 교통사고 발생 간 관계 분석

Quantifying Intersection Visual Complexity Using AI and Analyzing Its Relationship with Traffic Crash Occurrence

차정은
(동아대학교 도시계획·조경학과, 석사과정)

김회경
(동아대학교 도시공학과, 교수)

부산시 교통사고의 41.5%는 교차로에서 발생하며, 교차로 사고는 2016–2019년 연평균 4,862건에서 2020–2025년 연평균 4,777건으로 1.7% 감소하는 데 그쳤다. 또한 2016–2019년 사고 상위 10% 교차로의 61%가 2020–2025년에도 상위 10%에 포함되어, 사고가 동일 교차로에서 반복되는 경향을 보였다. 이는 교차로 자체의 특성이 사고에 작용함을 시사한다. 그러나 기존 연구는 차로수, 제한속도 등 도로속성을 중심으로 이루어졌으며, 운전자가 실제로 마주하는 시야 환경은 충분히 다루지 못하였다. 선행연구에서도 시각적으로 복잡한 장면이 사고를 늘린다는 결과와 운전자의 주의를 높여 사고를 줄인다는 결과가 함께 보고되고 있다. 이에 본 연구는 교차로 시야의 복잡도와 교통사고의 관계가 선형인지를 검토하고, 그 형태가 적정 각성 가설이 예측하는 U자형인지, 과업난이도 항상성 이론이 예측하는 감소형인지를 판별하고자 하였다.

분석 대상은 부산시 교차로 2,431개이다. OSM 교차로 후보 4,175개를 국토교통부 표준노드링크와 연결하고, 2016–2019년에 촬영된 Google Street View 4방향 영상 9,724장을 확보하였다. 영상은 Mask2Former(Cityscapes 19개 클래스)로 의미분할하였으며, 방향별 클래스 구성비의 Shannon 엔트로피를 4방향 평균한 값을 시각 복잡도 지수(VCI)로 정의하였다(평균 2.10, 표준편차 0.18). 종속변수는 TAAS 2016–2019년 주간 교차로 사고 6,034건을 최근접 교차로 노드에 배정한 교차로별 사고건수이다. 사고 0건 교차로가 37%로 많아 분포 가정에 의존하지 않는 방법을 적용하였다. 2020–2025년 사고로 강건성을 검토하였다.

분석 결과, VCI와 사고의 선형 상관은 거의 없었다($r=-0.06$). 그러나 구간별로는 VCI 1.88–2.16 구간에서 교차로당 약 2.9건으로 사고가 가장 많았고, VCI 상위 20%(2.25 이상)에서는 약 1.9건으로 가장 적었다. 구간 간 차이는 유의하였으며($p=0.004$), 도로조건이 같은 교차로끼리 비교해도 상위 20% 구간의 사고는 기대치보다 약 12% 적었다($p=0.03$). 이러한 형태는 2020–2025년 사고에서도 반복되었다($p=0.005$). 하위 구간의 사고가 중간 구간보다 적어 U자형은 지지되지 않았으며, 상위 구간의 감소는 감소형과 부분적으로 부합하였다.

본 연구는 교차로 시야 복잡도와 사고의 관계가 비선형임을 실증하였다. 이를 근거로, 적당히 복잡한 교차로 가운데 사고가 잦은 곳을 우선 점검 대상으로 제시하였다. 또한 자율주행 차량의 장면 인지와 같은 의미분할 기술로 모든 교차로의 시야를 동일한 절차로 측정할 수 있어, 도로자료에 없는 정보를 교통안전 진단에 활용할 수 있다. 향후 시각 구성요소 비율과 교통량을 반영한 분석, 사고유형 및 교차로 유형별 분석을 통해 결과를 보완할 예정이다.

사사: 이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2025-16069618).

교통 맥락을 반영한 CCTV 내 보행자 재식별 모델

Traffic Context-Aware Pedestrian Re-Identification for CCTV Surveillance

안소연
(고려대학교 미래모빌리티학과, 학사과정)

이지오
(고려대학교 미래모빌리티학과, 학·석·박사통합연계과정)

오시몬
(고려대학교 미래모빌리티학과, 부교수)

BRT 정류장은 승하차 보행자와 버스, 일반 차량의 이동이 좁은 공간에서 교차하는 교통시설로, 안전한 운영을 위해서는 보행자의 대기·횡단·승하차 행태를 정확하게 파악할 필요가 있다. CCTV 영상으로부터 추출한 보행 궤적은 이동 경로, 체류 시간 및 차량과의 상충 가능성을 정량적으로 분석하는 데 활용될 수 있다. 그러나 실제 정류장 CCTV에서는 버스나 다른 보행자에 의한 가림, 혼잡, 저해상도 및 일시적인 검출 실패로 인해 동일 인물의 추적 ID가 여러 개의 궤적 단위인 tracklet으로 분절된다. 이러한 ID 분절은 보행자 수를 과대 산정하고 이동 거리와 체류 시간을 과소 추정하게 하여 궤적 기반 분석의 신뢰성을 저하시킨다. 기존의 보행자 재식별(Re-Identification, Re-ID) 방법은 주로 의복이나 신체 형태와 같은 외형 특징에 의존하기 때문에 가림이 빈번하고 유사한 복장의 보행자가 다수 존재하는 교통시설 CCTV 환경에서는 오연결과 연결 누락이 발생할 가능성이 크다. 이에 본 연구는 BRT 정류장 CCTV에서 분절된 보행자 tracklet을 재연결하기 위해 외형 정보와 교통 맥락 기반 이동 정보를 결합한 Re-ID 방법을 제안한다.

제안 방법은 세 가지 확률을 기반으로 재식별 과정을 거친다. ① 위치와 경과 시간을 반영한 칼만 필터 기반 이동 점수를 이용하여 소실된 tracklet 가운데 재연결 가능성이 높은 상위 5개 후보를 선정한다. ② ViT 모델로 보행자의 신체 부위 외형 특징을 추출한다. ③ 이동 경로와 교통 맥락을 반영하여 CVAE 모델로 예상 출현 지점을 정한다. 최종적으로 이 세 가지 확률을 단절 길이에 따라 가중 결합하며, 최종 확률이 연결 기준값 이상인 경우 같은 인물로 재식별한다.

제안 모델의 성능을 평가하기 위해 세종특별자치시 도담동 BRT 정류장 하행 방향 24시간 영상에서 매시간 1분씩 추출한 24개 영상으로 Re-ID 정답 데이터셋을 구축하였으며, 동일인 510쌍과 비동일인 332쌍 등 총 842개 후보 쌍을 시간대 단위 5분할 교차검증으로 평가하였다. 그 결과 제안 모델은 ROC-AUC 0.8419, PR-AUC 0.8862, balanced accuracy 0.7568 및 Rank-1 정확도 69.02%를 기록하였다. 이는 동일한 데이터셋으로 평가한 CLIP-ReID, TransReID, Key-ReID, OSNet, OSNet-AIN 및 PSTA보다 전반적으로 높은 성능이다.

본 연구 결과는 저해상도와 가림으로 외형 단서가 불충분한 교통시설 CCTV 환경에서 교통 맥락(보행 신호와 공간 구역에 따른 이동 경향)이 보행자 재식별 성능을 효과적으로 보완할 수 있음을 보여준다. 제안 방법을 통해 복원된 연속 보행 궤적은 BRT 정류장 내 보행자의 횡단·대기·승하차 행태 분석과 보행자 - 차량 간 상충 판단 등 교통안전 분석을 위한 기초 자료로 활용될 수 있다.

사사: 이 논문은 2026년도 산업통상부의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원(P0031136, 중부권 지역혁신클러스터육성)과 과학기술정보통신부에서 지원하는 과학기술원 InnoCORE 사업(N10260092)에 의해 수행되었습니다.

횡단 의도에 기반한 보행자의 궤적 예측

Pedestrian Trajectory Prediction Based on Crossing Intention

유성민 (아주대학교 D.N.A. 플러스융합학과, 박사과정)

이은호 (주식회사 피커프로젝트, 부대표)

여지호 (가천대학교 스마트시티학과, 부교수)

소재현 (아주대학교 교통시스템공학과, 부교수)

보행자 충돌 경보는 보행자가 차량 앞으로 들어선 뒤에야 위험을 판단하므로, 경보가 울릴 때에는 운전자가 제동할 시간이 거의 남지 않는다. 신호와 횡단보도가 없는 곳에서는 도로 환경만으로 보행자의 진입 시점을 미리 알 수 없고, 관측 구간의 위치 변화를 연장하는 궤적 예측도 횡단이 시작된 뒤에야 진입을 반영한다. 이에 본 연구는 보행자의 횡단 의도를 조건으로 미래 궤적을 예측하고, 예측 정확도의 개선이 경보를 얼마나 앞당기는지를 시간 단위로 검증하였다.

분석에는 차량 전방 영상과 차량 속도를 함께 기록한 PIE(Pedestrian Intention Estimation) 자료를 사용하였다. 이 자료의 횡단 의도 값은 관찰자가 횡단 직전 구간의 영상만 보고 0에서 1 사이로 부여한 점수이다. 모형은 세 가지를 장단기 기억 신경망(Long Short-Term Memory, LSTM)으로 각각 학습하였다. 첫째는 0.5초 동안 관측한 보행자의 경계 상자(bounding box) 열로 횡단 의도를 추정하는 모형이고, 둘째는 의도 값을 조건으로 이후 1.5초의 궤적을 생성하는 모형이며, 셋째는 자차 속도를 예측하는 모형이다. 예측한 경계 상자의 하단은 PIE가 제공하는 카메라 보정값으로 노면에 투영하였고, 예측 궤적이 차량 중심선 좌우 1.4 m 폭의 주행 구간에 처음 들어오는 시점에 경보를 발령하였다. PIE에서는 주석으로 부여된 의도 값을 조건 입력으로 사용하였고, 학습한 모형을 재학습 없이 JAAD(Joint Attention in Autonomous Driving) 자료에 적용할 때는 추정 모형의 출력을 사용하였다.

PIE 시험 자료 전체에서 의도를 넣지 않은 모형과 넣은 모형의 평균 변위 오차(Average Displacement Error, ADE)는 각각 14.49화소와 14.65화소로 비슷하였고, 등속 외삽의 17.76화소보다 작았다. 그러나 1.5초 안에 도로에 진입하는 보행자의 궤적 1,380개에서는 의도를 넣은 모형이 ADE를 31.29화소에서 30.00화소로 4.1% 줄였다. 경보 단계에서는 실제 주행 구간 진입 1,269건 가운데 경보로 검지한 비율(검지율)이 74.6%에서 77.9%로 높아졌고, 경보는 실제 진입보다 평균 0.74초 앞섰다. 대신 오경보가 187건에서 244건으로 늘었다. 의도 값이 임계값 이상일 때만 경보를 발령하도록 하고 임계값을 0에서 0.7로 높이면, 오경보는 206건으로 줄었으나 검지율도 77.9%에서 69.0%로 낮아졌다. JAAD에서는 실제로 횡단한 보행자의 ADE만 42.52화소에서 42.02화소로 줄어, PIE와 같은 방향의 효과가 나타났다.

오경보가 늘어난 것은 도로 쪽으로 몸을 돌렸으나 끝내 횡단하지 않은 보행자에게 높은 의도 값이 주어져, 예측 궤적이 주행 구간 쪽으로 당겨졌기 때문으로 보인다. 이 오차는 궤적 예측 모형보다 의도 추정 단계에서 비롯되므로, 관측 구간 안에서 의도 값이 변하는 양상이나 신호와 횡단보도 같은 주변 정보를 반영하면 줄일 수 있을 것이다. 본 연구의 방법은 차량 전방 카메라와 차량 속도만 사용하므로, 기존 차량의 전방 충돌 경보 기능에 추가로 적용할 수 있다.

사사: 본 연구는 정부(국토교통부)의 재원으로 국토교통과학기술진흥원의 연구비 지원을 받아 수행된 연구임(과제번호 RS-2026-25524099, 과제명: Agentic AI 기반 모빌리티 서비스 의사결정 및 운영 최적화 기술 개발).

동적 트리거 기반 도로 CCTV 돌발상황 분석 시스템의 현장 적용

A Dynamic-Trigger-Based System Integrating Video Anomaly Detection and a Vision-Language Model for Roadway Incident Analysis Using CCTV Footage

최성수 (차세대융합기술연구원 미래모빌리티 센터, 선임연구원)

박일하 (차세대융합기술연구원 미래모빌리티 센터, 선임연구원)

이강혁 (차세대융합기술연구원 미래모빌리티 센터, 선임연구원)

이지연 (차세대융합기술연구원 미래모빌리티 센터, 선임연구원)

이형준 (차세대융합기술연구원 미래모빌리티 센터, 전임연구원)

김채원 (차세대융합기술연구원 미래모빌리티 센터, 전임연구원)

강용신 (차세대융합기술연구원 미래모빌리티 센터, 센터장)

도로 CCTV의 돌발상황은 발생 빈도가 낮고 유형별 데이터가 불균형하여, 학습된 사건 유형만으로는 미분류·비정형 상황의 유형을 판별하기 어렵다. 반면 모든 CCTV 영상 구간을 비전·언어 모델(VLM)로 분석하면 많은 연산 자원이 필요하다. 본 연구는 영상이상탐지의 이상점수와 사건 유형별 점수를 조합하여 VLM으로 추가 분석할 구간과 분석 목적을 결정하는 동적 트리거 기반 다단계 분석 시스템을 제안한다. 이상점수는 높지만 기존 유형으로 분류되지 않은 경우, 이상점수는 낮지만 위험 유형 점수가 높은 경우, 유형 판정이 모호하거나 재확인이 필요한 경우를 구분하고 각각에 맞는 질의를 생성한다. VLM은 선별된 영상 구간에서 사건의 발생 여부, 유형, 발생 시점 및 판단 근거를 구조화하여 출력한다. VLM의 확인 대상 유형과 검증 정책은 설정 파일로 관리하여 현장 요구에 따라 변경할 수 있도록 하였다. 현장 적용 성능은 시스템 알림과 독립적으로 확인된 실제 사건을 기준으로 검지·미탐·오경보 건수를 산정하고, VLM 호출 비율과 알림 지연시간을 함께 평가한다.

사사: 본 성과물은 한국인터넷진흥원의 「2026년 양자내성암호 시범전환 사업」의 지원을 받아 수행된 연구 결과임. (협약번호: KISA지원-2026-44)



Session B

ITS 교통정보 수집 및 도로 인프라

Session

B-1

차량 재인식 기술을 활용한 교통정보 수집 알고리즘 적용에 관한 연구
박종성, 박재훈, 임필섭

교통신호제어기를 활용한 보조장치 상태정보 송·수신 방안 – 바닥형 보행신호등을 중심으로 –
이민형, 안휘근, 석승호

단일 PTZ 카메라 순차 관측에 따른 주기적 교통량 결측의 데이터 기반 복원 가능성 평가
최문영, 소재현

실시간 차선별 교통수요 대응형 신호 서비스 구현 방안 연구
장준혁, 김기주, 하상욱, 현상엽

도로 노면 이미지를 활용한 딥러닝 모델 기반 포트홀 검지 성능 비교
이창호, 이상현, 장한솔, 김민성, 풍태현, 강승모, 윤일수

차량 재인식 기술을 활용한 교통정보 수집 알고리즘 적용에 관한 연구

A Study on the Application of Vehicle Re-Identification Technology to Traffic Information Collection Algorithms

박종성
(라온로드, 연구원)

박재훈
(한국도로교통공단 서울지부, 차장)

임필섭
(한국도로교통공단 디지털운영처, 처장)

본 연구는 선행 연구(하지현 외, 2025)에서 제안된 DINOv2 기반 차량 재인식(vehicle re-identification) 모델을 활용하여, 스마트 교차로 시스템의 구간 통행정보 산출 기술을 고도화하는 방안을 제시한다. 선행 연구는 직진 차량 기준 94.84%의 높은 top-1 정확도를 확보하고, 이를 화성시·안양시 다수 교차로에 확대 적용하여 구간 평균속도(MAE 1.64km/h, MAPE 10.45%)를 산출하는 데 성공하였다. 그러나 좌회전·우회전 등 이동류 전환 시 재인식 정확도가 급격히 저하되고(우회전 후 우회전 조합 28.57%), 이로 인한 오매칭이 구간속도 추정치를 왜곡하는 한계가 확인되었다. 본 연구는 이를 개선하기 위해 재인식 기반 구간 통행시간 데이터에 사분위범위(IQR) 및 Z-score 기반 이상치 탐지를 적용하고, 이동류별 모드 분리(mode separation)를 통해 대표 통행시간을 별도로 산출하는 방법을 제안하였다.

나아가 본 연구는 물리적 검지기가 설치되지 않은 음영구간에서도 신호교차로의 서비스 수준(Level of Service)을 나타내는 핵심 지표인 구간 제어지체(control delay)를 산출할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 구간 평균속도에 자유류 속도(free-flow speed) 및 구간 거리를 대입하여 실제 통행 조건과 이상적 조건 간의 편차를 지체로 정의함으로써, 차량 번호판 인식 없이 차량 외형 특징만으로 구간 서비스 지표를 산출하는 방법론적 틀을 마련하였다.

안양시 관평사거리-시청사거리 실증 데이터셋을 활용한 예비 검토 결과, 재인식 정확도가 낮은 이동류 조합(우회전-우회전 등)일수록 통행시간 분포에 이상치가 다수 포함되어 있음을 확인하였으며, 이는 이상치 탐지 및 모드 분리 절차의 필요성을 뒷받침하는 근거가 되었다. 다만 제안 알고리즘에 대한 실측 기반의 정량적 검증은 아직 완료되지 않았으며, 본 연구는 예비 실험 설계 수준의 결과를 제시하는 데 그친다.

향후 연구에서는 2026년도 고도화 사업을 통해 이상치 탐지 적용 전후의 구간속도 추정 정확도(목표 MAPE 7% 이하)를 검증하고, 산출된 구간 제어지체 값을 현장 신호 운영 데이터와 비교하여 방법론의 타당성을 확인할 계획이다. 아울러 좌·우회전 차량에 대한 다중 시점 데이터 증강 및 시점 불변 특징 학습, DINOv3 등 신형 비전 파운데이션 모델 적용을 통해 이동류 전환 구간의 재인식 정확도 자체를 개선하고, 여행시간지수(TTI)·버퍼지수(BI) 등 신뢰성 지표를 추가로 산출하여 보다 종합적인 교통 서비스 수준 평가 체계를 구축할 예정이다.

사사: 본 연구는 한국도로교통공단의 "스마트교차로 데이터 기반의 AI 분석 교통정보 수집 알고리즘 고도화 용역" 연구 과제의 지원을 받아 수행되었습니다. 또한, 연구에 활용된 교차로 영상 데이터를 제공해 주신 안양시 관계자분들께 감사드립니다.

교통신호제어기를 활용한 보조장치 상태정보 송·수신 방안
- 바닥형 보행신호등을 중심으로 -

Communicating Status Information of Traffic Signal Sub-devices via Traffic Signal Controllers
- Focusing on Floor-Type Pedestrian Signals -

이민형 (한국도로교통공단, 책임연구원)
안휘근 (한국도로교통공단, 연구원)
석승호 (한국도로교통공단, 연구원)

교통신호제어기는 교차로의 신호 운영을 맡는 핵심 시설로, 최근에는 잔여시간 표시장치, 시각장애인용 음향신호기, 바닥형 보행신호등 등 보행자·차량 신호를 보조하는 장치 8종이 교통신호제어기와 연동되어 운영되고 있으며, 2019년 교통안전시설로 정식 승인된 바닥형 보행신호등처럼 새로운 보조장치가 더해지고 있다. 이 중 바닥형 보행신호등은 보행 대기선 바닥에 보행신호를 표출하는 장치로, 서울시에만 2025년 12월 기준 8,054열이 설치될 만큼 확대되었다. 설치 지점의 보행자 사고 감소 효과가 보고되고 있으나, 전국 고장 건수는 2021년 960건에서 2025년 4,456건으로 늘었고 유지보수비와 민원도 함께 증가하였다. 경기도 특정감사에서는 118곳에서 꺼짐, 적·녹 동시 표출 등의 고장이 확인되었으나, 현행 체계에서는 교통정보센터가 현장 보조장치의 고장을 확인하기 어려워 민원 접수와 현장 점검에 의존하고 있다.

이에 본 연구는 교통신호제어기를 활용하여 보조장치의 상태정보를 지역 센터로 송·수신하는 방안을 제시하였다. 먼저 보조장치 제어부가 기존 옵션보드(EDIB)로 보내는 데이터셋의 STATUS_DATA 영역(2바이트)에 방향별 제어부와 작동부(표출부)의 정상·비정상 상태를 비트 단위로 정의하였다. 다음으로 지역 센터(RC)와 교통신호제어기(LC) 간 운전 프로토콜에 교차로 외부장치 상태정보를 추가하여, 구성정보는 센터가 요청할 때, 상태정보는 신호 주기가 끝날 때마다 자동으로 송신하도록 하였다. 이 방안은 신규 장치 없이 보조장치 펌웨어와 제어기 CPU, 센터 소프트웨어의 개선만으로 구현할 수 있어 기존 교통신호 운영체계와 연계가 가능하다.

경기도 의왕시 1개 교차로의 바닥형 보행신호등을 대상으로 시범운영한 결과, 작동부와 제어부의 상태를 센터 화면에 상시 표출하고 비정상에서 정상으로 바뀐 상태 전환 이력을 기록할 수 있음을 확인하였다. 제안 방안은 민원에 의존하던 사후 대응을 상시 모니터링 기반의 선제적 유지관리로 전환하는 기반이 될 수 있으며, 향후 교통신호제어기 표준규격 반영 및 대상 보조장치의 확대 적용이 필요하다.

단일 PTZ 카메라 순차 관측에 따른 주기적 교통량 결측의 데이터 기반 복원 가능성 평가

A Proof of Concept Study on Data-Driven Reconstruction of Periodic Traffic Volume Gaps in Single PTZ Intersection Monitoring

최문영
(아주대학교 D.N.A. 플러스융합학과, 석사과정)

소재현
(아주대학교 교통시스템공학과, 부교수)

단일 팬·틸트·줌(pan-tilt-zoom, PTZ) 카메라는 여러 접근로를 순차 관측할 수 있으나, 현재 촬영 범위에 포함되지 않은 접근로에서는 구조적·주기적 결측이 발생한다. 기존 연구는 검지기 고장이나 통신 장애에 따른 무작위 결측과 연속 블록 결측을 주로 다루었으며, PTZ 순차 관측에 따른 주기적 결측은 충분히 검토되지 않았다.

본 연구는 SUMO(Simulation of Urban MObility)를 이용하여 네 접근로 12개 이동류의 기준 교통량을 구축하고, 체류시간 3, 5, 10, 15, 30초의 결측 데이터를 생성하였다. KNN(K-Nearest Neighbors), PPCA(Probabilistic Principal Component Analysis), BiLSTM(Bidirectional Long Short-Term Memory) 및 GAIN(Generative Adversarial Imputation Networks)의 복원 성능을 비교하였다. 결측률은 75%로 동일하지만 체류시간에 따라 연속 미관측 시간과 재관측 간격이 달라진다. 5분 접근로 단위에서 KNN은 10개 조건 중 8개에서 가장 낮은 WAPE(Weighted Absolute Percentage Error)를 나타냈다.

KNN의 WAPE는 오전 첨두 3~10초에서 13.6~20.4%, 주간 비첨두에서 17.5~30.9%였으며, 오전 첨두 15초와 30초에서는 각각 BiLSTM 27.1%와 PPCA 25.7%가 가장 낮았다. 이동류 단위 WAPE는 접근로 단위보다 높았고, 15분 단위 WAPE는 5분 단위보다 낮았다. 따라서 PTZ 교통량의 복원 성능을 평가하고 적용할 때에는 결측률뿐만 아니라 체류시간, 분석 시간대, 평가 단위 및 시간 집계 단위를 함께 고려해야 한다.

주요어: 교통량 결측 복원, 팬·틸트·줌 카메라, 구조적·주기적 결측, 순차 관측, 체류시간

사사: 본 연구는 정부(경찰청)의 재원으로 과학치안진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2024-00403630 능동형 교통사고 예방 및 대응을 위한 자율주행 순찰 서비스 개발).

실시간 차선별 교통수요 대응형 신호 서비스 구현 방안 연구

A Study on the Implementation of Real-time Lane-by-Lane Traffic Demand Responsive Signal Service

장준혁	김기주	하상욱	현상엽
(지능형자동차부품진흥원, 주임연구원)	(지능형자동차부품진흥원, 실장)	(지능형자동차부품진흥원, 팀장)	(지능형자동차부품진흥원, 선임연구원)

최근 대도시권을 중심으로 차량 통행량이 급증함에 따라 교통 정체 및 이로 인한 사회적·경제적 비용이 지속적으로 증가하고 있다. 현재 대다수의 교차로는 요일 및 시간대별 과거 통계에 의존하는 고정식 신호계획(TOD) 체계로 운영되고 있어, 실시간 교통량 변동이나 돌발 상황에 유연하게 대처하기 어렵다는 한계를 지닌다.

본 연구는 대구광역시 내 구축된 스마트교차로 인프라에서 수집되는 실시간 차선별·차종별 교통 데이터를 활용하여, 현장의 교통수요에 즉각 대응할 수 있는 지능형 신호 운영 서비스 모델을 제안한다. 이를 위해 스마트교차로 수집 데이터와 연계된 방향별 혼잡도를 분석하고, 대구데이터안심구역에 구축된 데이터 및 VISSIM 시뮬레이션 S/W를 활용하여 신호 최적화 적용 전·후를 비교·분석하여 서비스의 실효성을 검증하고자 한다.

본 연구를 통해 도출된 실시간 차선별 신호 운영 서비스는 통행속도 개선 및 탄소배출량 감소는 물론, 향후 민간 내비게이션과의 연계를 통한 AI 기반 최적 경로 안내 서비스로 확장될 수 있을 것으로 기대된다.

도로 노면 이미지를 활용한 딥러닝 모델 기반 포트홀 검지 성능 비교

Benchmarking Deep Learning Object Detectors for Road Surface Damage Detection Using High-Resolution Images

이창호 (한국도로공사, 해외사업처 부장) **이상현** (아주대학교, 박사과정) **정한솔** (아주대학교, 박사과정) **김민성** (아주대학교, 석사과정) **풍태현** (아주대학교, 석사과정) **강승모** (아주대학교, 석사과정) **윤일수** (아주대학교, 교수)

도로 인프라의 선제적 유지보수는 도로 이용자들의 안전 보장과 직결되는 핵심 문제이다. 특히 포트홀을 비롯한 도로파임, 균열, 단차 등의 노면 파손은 주행 중인 차량의 타이어 파손을 유발하고 차량의 방향을 상실하게 만들어 대형 연쇄 교통사고로 이어질 위험이 매우 크다. 더욱이 완전 자율주행 시대가 도래함에 따라, 차량이 스스로 노면의 물리적 상태와 미세한 위험 요소를 실시간으로 인지하고 회피할 수 있는 고도화된 비전 기반 인지 시스템의 필요성이 급증하고 있다. 기존의 딥러닝 기반 노면 파손 탐지 연구들은 대부분 차량의 블랙박스나 모바일 기기에서 촬영된 전방 주행 영상을 활용해 왔다. 그러나 이러한 데이터는 촬영 각도로 인한 심각한 원근 왜곡이 발생하며, 조도 변화 및 픽셀 분해능의 한계로 인해 아스팔트 위의 미세한 실금이나 비정형적인 결함을 정밀하게 포착하는 데 구조적인 한계를 지닌다.

본 연구는 이러한 기존 연구의 한계를 극복하고자, 픽셀 해상도가 극대화된 2048×2048 크기의 고해상도 수직 노면 이미지 데이터셋 14,000여 장을 활용하여 심층적인 벤치마크 실험을 수행한다. 해당 데이터셋은 실제 도로 현장의 파손 양상을 반영하여 '긴급보수부', '십자파손', '아스팔트 도로파임', '절삭보수부 파손', '줄눈부', '콘크리트 도로파임'의 6가지 클래스로 세분화되었다. 이를 바탕으로 컴퓨터 비전 분야의 객체 탐지 기술 발전을 선도하는 6종의 최신 딥러닝 모델에 대한 성능을 종합적으로 비교 분석한다. 실험 대조군으로는 추론 속도와 경량화에 강점이 있는 1-Stage 기반 합성곱 신경망(CNN)인 YOLOv5와 YOLOv8, 높은 탐지 정확도와 복잡한 텍스처 분석에 유리한 2-Stage 기반 모델인 Faster R-CNN과 Cascade R-CNN, 그리고 전역적 문맥 이해 능력과 어텐션 메커니즘을 적용한 최신 비전 트랜스포머 기반의 RT-DETR과 DINO를 선정하였다.

각 네트워크 아키텍처의 성능은 객체 탐지의 표준 평가지표인 평균 정밀도(mAP, mean Average Precision), 정밀도(precision), 재현율(recall)을 통해 객체 검출의 정확성을 평가하며, 초당 프레임 처리 수를 측정하여 실제 서비스 환경에서의 실시간 작동 가능성을 검증한다. 본 연구는 극단적인 종횡비와 미세 텍스처를 지닌 고해상도 노면 도메인에서 1-Stage, 2-Stage, Transformer 계열 등 서로 다른 메커니즘이 결함의 형태 및 크기에 따라 어떠한 성능 편차를 보이는지 심층 분석한다. 이를 통해 향후 지자체의 스마트 도로 유지관리 관제 시스템 구축 및 자율주행 차량의 노면 위험 회피 알고리즘 설계 시, 현장에서 요구되는 컴퓨팅 자원 환경과 목표 정확도 수준에 맞춰 최적의 딥러닝 알고리즘을 선택할 수 있는 실증적이고 포괄적인 가이드라인을 제공한다.

사사: 본 연구는 2026년 정부(국토교통부)의 재원으로 국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행하였습니다(RS-2026-25514016, 과적단속효율화를 위한 화물차 중량정보 플랫폼 구축 및 실증기술 개발사업).

LLM · 생성 AI 기반 통행행태 모사

Session

B-2

LLM 기반 AI 페르소나를 활용한 MaaS 진술선호(SP) 조사 응답 재현성 평가
허창준, 서영운, 조항훈, 최성택

응답자 정보 제공 수준에 따른 LLM의 경로선택 재현성 분석 – 동적 도로요금제 선택 실험을 중심으로 –
김민준, 이승현, 변지혜

잠재변수를 결합한 거대언어모형 기반 활동 스케줄 생성 방법
김민우, 김의진

인구 특성에 부합하는 활동 스케줄 생성을 위한 생성기 인지형 판별 분류 기법
이희창, 김동규

원본 데이터 희소성을 고려한 모빌리티 재현데이터의 안전성 평가
이규성, 임승유, 원민수, 김의진

교통부문 리빙랩에서 AI-Agent의 설득력과 언어적 특성 분석
황보현, 조성수

LLM 기반 AI 페르소나를 활용한 MaaS 진술선호(SP) 조사 응답 재현성 평가

Evaluation of Response Reproductibility in Mobility-as-a-Service (MaaS) Stated Preference Surveys Using LLM-based AI Personas

허창준 (한양대학교 도시공학과, 석사과정)

서영운 (한양대학교 도시공학과, 석사과정)

조항훈 (한양대학교 도시공학과, 석사과정)

최성택 (한양대학교 도시공학과, 부교수)

통합모빌리티(MaaS)처럼 실제 이용자가 적은 신규 교통 서비스의 수요와 선호를 파악하려면 진술선호(SP) 조사에 의존할 수밖에 없으나, 대규모 조사는 비용과 시간이 많이 들고 응답률도 낮아지고 있다. 이에 대규모언어모델(LLM)에 응답자 속성을 부여한 페르소나로 설문 응답을 생성하려는 연구가 늘고 있다. 그러나 기존 연구는 주로 예측 정확도, 집계 분담률, 문헌상의 지불의사액으로 LLM을 평가하여, 페르소나가 개별 응답자와 같은 기준으로 선택하는지는 검증되지 않았다. 또한 페르소나에 어떤 응답자 정보를 넣어야 하는지도 분명하지 않다. 본 연구는 실제 SP 조사 응답자 각각에 대응하는 LLM 페르소나를 만들어, 페르소나가 같은 응답자의 SP 선택을 재현하는지와 어떤 정보가 재현도를 좌우하는지를 검증하였다.

2026년 5월 서울·경기·인천에 거주하는 만 20~64세 성인 1,000명을 대상으로 수행한 온라인 MaaS SP 조사에서, 불성실 응답을 제외한 938명의 SP 선택 5,628건을 기준 자료로 사용하였다. SP 실험은 장거리(강남역→천안시청)와 단거리(역삼역→KBS수원센터) 시나리오별로 통행비용, 차내시간, 도보시간, 대기시간이 다른 4개 대안을 제시하였으며, 응답자당 6개 과업으로 구성되었다. 페르소나는 응답자 본인의 설문 응답을 "항목: 값" 형식의 영어 목록으로 바꾼 시스템 프롬프트로 구성하였고, 정보 수준을 무정보(P0), 사회경제적 특성(P1), 통행 특성 및 선호(P2), 태도·라이프스타일(P3)로 누적하였다. MaaS 인지·이용 의향과 SP 선택·선택 이유는 정답 누설을 막기 위해 어느 수준에도 넣지 않았다. 응답은 로컬에서 구동한 Llama-3.2-3B-Instruct로 탐욕적 디코딩을 사용해 생성하였다. 보기 순서에 따른 편향을 통제하기 위해 과업마다 보기 순서를 네 가지로 순환 회전하여, 총 90,048건의 합성 응답을 얻었다. 재현도는 무작위 선택, 거리별 최빈 대안, 카드별 최빈 선택, MNL 모형의 예측과 비교하였다. 개인 정보의 기여는 카드 내 Cohen의 κ와 순열 검정으로, 정보 수준 간 차이는 McNemar 검정으로 확인하였다.

첫째, 페르소나의 적중률은 P0 31.8%, P1 31.6%, P2 31.2%, P3 30.5%로 무작위 선택(25.0%)보다 높았다. 그러나 모든 응답자에게 거리별 최빈 대안을 답으로 주는 기준(31.3%)과 같은 수준이었고, 카드별 최빈 선택(35.0%)과 MNL 예측(33.4%)보다 낮았다. 카드 내 κ는 -0.005~0.001로 0에 가까웠고, 같은 카드 안에서 페르소나 간 응답을 섞어도 적중률이 유지되었다(순열 검정 $p = 0.47 \sim 0.88$). 즉, 무작위를 넘는 적중은 응답자 개인의 정보가 아니라 카드 수준의 선택 경향에서 비롯되었다. 둘째, 페르소나 정보를 추가하면 응답의 15~25%가 바뀌었으나 실제 선택에 가까워지지 않았고, P3의 재현도는 오히려 P0보다 유의하게 낮았다($p < 0.001$). 셋째, 페르소나의 응답은 대안의 내용보다 화면상 위치에 크게 좌우되었다. 첫 번째 보기는 0.3~1.5%만 선택된 반면 네 번째 보기는 39.2~47.1%가 선택되었으며, 실제 선택 대안이 첫 번째로 제시된 경우 재현도는 0.3~1.8%에 그쳤다.

이러한 결과는 소형 공개 LLM의 응답을 신규 교통 서비스 SP 조사의 개인 응답 대체물로 활용하기는 아직 어렵다는 것을 보여준다. 또한 합성 응답을 평가할 때에는 무작위 기준만으로 재현도가 과대평가될 수 있으므로 카드 수준의 기준선과 우연 일치를 보정한 지표를 함께 사용해야 한다. 정보의 효과는 무정보 조건과 비교하여 판단해야 하며, 보기 순서를 회전하여 위치 편향을 통제해야 한다. 향후에는 더 큰 규모의 모델과 한국어 프롬프트를 적용하고, 실제 응답과 합성 응답으로 각각 선택모형을 추정하여 시간가치와 같은 파라미터가 재현되는지를 검증할 예정이다.

사사: 이 논문은 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-RS-2024-00415360).

응답자 정보 제공 수준에 따른 LLM의 경로선택 재현성 분석 - 동적 도로요금제 선택 실험을 중심으로 -

Analyzing LLM Performance in Reproducing Human Route Choices under Different Levels of Respondent Information : A Case Study of Dynamic Road Pricing

김민준
(서울시립대학교 교통공학과, 석박사통합과정)

이승현
(서울시립대학교 교통공학과, 부교수)

변지혜
(서울시립대학교 교통공학과, 부교수, 교신저자)

본 연구는 동적 도로요금제(Dynamic Road Pricing, DRP) 경로선택 실험에서 대규모 언어모델(Large Language Model, LLM)의 인간 선택 재현 성능을 평가한다. LLM을 가상 응답자로 활용하면 다양한 운전자 특성과 정책 조건의 응답을 생성하여 교통정책 설문을 보완할 가능성이 있다. 그러나 전체 선택 경향의 유사성이 개인별 선택과 집단별 차이의 재현을 보장하지는 않는다. 이에 응답자 정보 제공 수준에 따른 성능 변화와 경로별·집단별 재현 특성을 분석하였다.

한국 운전자 530명의 이산선택실험(DCE) 자료를 활용하여, 유료 고속도로 두 대안과 무요금 국도로 구성된 동일한 선택 상황에서 Gemini의 응답을 생성하였다. 정보 조건은 개별 특성 미제공, 인구통계·운전 특성 제공, 태도 정보 추가로 구분하였다. 인간의 실제 선택은 입력에서 제외하고, 개인별 선택 일치율과 경로별 선택 분포 및 재현율을 평가하였다. 또한 균형 정확도와 우연 일치 보정 지표를 활용하고, 단순 선택 기준 및 인간 자료 기반 다항로짓모형과 재현 성능을 비교하였다.

분석 결과, 개인 특성과 태도를 함께 제공한 조건에서 전체 선택 일치율이 소폭 높았다. 다만 개선은 주로 특정 고속도로 대안에서 나타났으며, 인간의 국도 선택은 모든 정보 조건에서 크게 과소 재현되었다. 일부 대안의 선택 비율이 인간과 유사하더라도 개인별 선택 일치는 충분하지 않았다. 요금 관련 태도 집단별 성능 차이는 인간의 국도 선택 비중과 함께 관찰되어, 집단별 경로 선택 구성을 고려한 해석이 필요하였다. 가장 많은 정보를 제공한 조건에서도 비교 기준 대비 뚜렷한 우월성이 확보되지 않아, 정보 추가만으로 인간 선택을 충분히 재현하기는 어려웠다.

본 연구는 정보 제공에 따른 성능 변화와 특정 경로의 과소 재현을 확인하여, LLM 기반 선택실험의 활용 가능성을 평가하기 위한 검증 요소를 제시하였다. 전체 일치율이나 선택 비율의 유사성만으로는 특정 대안의 과소 재현과 집단별 성능 차이를 충분히 파악하기 어렵다. 따라서 LLM을 교통정책 설문의 보완 수단으로 활용하기 전에 개인별 선택, 대안별 재현 특성 및 집단별 선택 구성을 함께 검증할 필요가 있다.

사사: 본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원(KAIA)의 지원으로 수행되었으며(과제번호: RS-2025-16066665), 유럽연합 집행위원회(European Commission)가 공동지원하는 Driving Urban Transitions Partnership의 일환으로 수행되었음.

잠재변수를 결합한 거대언어모형 기반 활동 스케줄 생성 방법

Activity Schedule Generation Using a Large Language Model with a Latent Variable

김민우
(아주대학교 D.N.A플러스융합학과, 석사과정)

김의진
(아주대학교 교통시스템공학과, 교수)

활동 기반 모형(activity-based model)은 개인이 하루 동안 수행하는 활동과 그에 수반되는 이동을 바탕으로 교통수요를 설명하는 접근법이다. 이 모형은 통행을 독립적인 선택이 아니라 출근, 쇼핑, 여가 등 특정 활동에 참여하기 위해 발생하는 파생수요로 본다. 따라서 교통수요를 이해하려면 개별 통행의 특성뿐 아니라, 개인이 어떤 활동을 언제, 어디서, 얼마나 오래, 어떤 순서로 수행하는지를 함께 파악해야 한다. 이러한 하루의 활동 구성을 나타내는 활동 스케줄(activity schedule)은 활동 참여를 통행의 발생 시각, 목적지, 통행 간 연계로 연결하는 핵심 요소이다. 예를 들어, 동일한 출근 통행이라도 퇴근 후 자녀를 데리러 가거나 쇼핑을 해야 하는 경우에는 이후 이동뿐 아니라 출근 시 교통수단 선택까지 달라질 수 있다. 이처럼 활동 스케줄은 하루 전체의 시간·공간적 제약과 통행 간 관계를 반영함으로써, 교통정책이나 생활 여건의 변화가 개인의 이동과 전체 교통수요에 미치는 영향을 분석하는 기반이 된다.

그러나 활동 스케줄은 구성 요소 간 의존성이 높고 가능한 조합이 방대해 모형화하기 어렵다. 활동의 종류와 장소에 따라 필요한 활동시간과 이동시간이 달라지고, 이는 후속 활동의 시작 시각과 수행 가능성에 영향을 미친다. 하루를 1시간 단위로 나누어 두 가지 활동만 배정하더라도 가능한 배열은 2^{24} 개에 이르지만, 제한된 조사 표본으로 관측할 수 있는 일정은 그중 일부에 불과하다. 따라서 핵심 과제는 제한된 관측자료를 바탕으로 활동 간 의존성과 시간·공간적 제약을 충족하는 다양한 일정을 재현하는 것이다.

기존 생성 모형(예: VAE, GAN)은 제한된 표본에서 충분히 관측되지 않은 개인 특성의 조합에 대한 활동 패턴을 학습하는 데 어려움이 있다. 또한 성별, 연령, 취업 여부와 같은 특성이 같더라도 개인의 선호나 당일의 사정에 따라 하루 일정은 달라질 수 있다. 본 연구는 이러한 자료의 한계와 개인 특성만으로 설명되지 않는 일정의 다양성을 함께 다루기 위해, 거대언어모형(LLM)에 잠재변수(z)를 결합한 활동 스케줄 생성 방법을 제안한다. LLM의 사전 지식을 활용하여 표본에서 충분히 관측되지 않은 개인 특성과 활동 간 관계를 보완하고, 잠재변수로 관측된 개인 특성만으로 설명되지 않는 일정의 차이를 표현하고자 한다.

제안 방법은 전국 표본 가구의 만 10세 이상 가구원이 이틀간의 활동을 10분 단위로 기록한 생활시간조사 자료를 활용하여 평가한다. 이 자료는 개인 특성과 하루 활동 스케줄을 함께 제공하므로, 생성된 일정이 실제 활동 패턴과 개인 특성을 얼마나 반영하는지 확인할 수 있다. 평가는 분포 재현, 실현 가능성과 다양성, 개인 특성 반영의 세 관점에서 수행한다. 활동의 빈도·시간·전이 및 하루 통행 횟수의 분포를 실제 자료와 비교하고, 불가능한 일정의 비율과 활동 순서의 다양성을 살펴 실현 가능성과 다양성이 함께 확보되는지 검증한다. 또한 개인 특성별 분포와 특성에 부합하지 않는 일정의 비율을 확인하여, 생성 결과가 개인의 조건을 적절히 반영하는지 평가한다.

본 연구는 LLM의 사전 지식과 잠재변수를 결합하여, 제한된 표본을 보완하면서도 관측된 개인 특성만으로 설명되지 않는 활동 스케줄의 다양성을 표현하고자 한다. 이를 통해 개인 특성과 현실적 제약을 반영하는 다양한 하루 일정을 생성함으로써, 활동 기반 교통수요 분석에 활용할 수 있는 기초를 마련하고자 한다.

인구 특성에 부합하는 활동 스케줄 생성을 위한 생성기 인지형 판별 분류 기법

Generator-aware auxiliary discriminative classification to generate demographically consistent activity schedules

이희창
(서울대학교 건설환경도시공학부, 석박사통합과정)

김동규
(서울대학교 건설환경도시공학부, 교수)

활동기반모형(activity based model, ABM)은 개인의 활동 참여를 모사하여 거시적인 교통 수요를 재현한다. ABM 구축에 쓰이는 가구통행실태조사(household travel survey, HTS) 데이터는 제로셀(zero-cell) 문제와 표본 편향 문제를 가지며, 교통 정책 결정을 잘못된 방향으로 이끌 수 있다. 최근 제안된 활동 스케줄 생성 연구들은 스마트카드, 통신 데이터 등 외부 빅데이터를 HTS와 결합해 희소한 표본 수를 보완하고자 한다. 그러나 데이터 합성 기법은 데이터의 접근성에 의해 성패가 좌우되므로 수집 인프라가 구축되지 않은 지역에는 적용하기 어렵다. 또한 빅데이터는 설문조사와 달리 수집 자체가 목적이 아니며 다른 서비스의 부산물로 수집되므로 데이터 수집 방식에 따라 심각한 편향이 존재할 수 있다. 따라서, 본 연구는 제한된 HTS 데이터로부터 고차원 인구 특성에 대한 활동 스케줄의 분포를 학습하는 방법을 제안하고자 한다.

HTS로부터 인구 조건과 활동 스케줄 사이의 관계를 추정한 후, 센서스 등 신뢰도 높은 인구 데이터에 대입하면 HTS의 낮은 표본율을 극복하고 전수 인구의 활동 스케줄을 생성할 수 있다. 본 연구는 딥 생성 모형을 활용하여 인구 조건과 활동 스케줄 사이의 관계를 추정한다. 생성자가 인구 조건을 활동 스케줄 생성 과정에 반영하도록, 생성기 인지형 보조 판별 분류기(auxiliary discriminative classifier; ADC)를 도입한다. ADC는 생성된 활동 데이터의 인구 조건을 재분류하고, 진위 여부를 동시에 판별한다. 생성자의 입력된 인구 조건과 ADC가 생성된 데이터로부터 예측한 인구 조건이 다를 때마다 손실 함수가 부과하여, 생성자가 인구 조건을 반영하여 활동 스케줄을 생성하도록 유도한다.

일드프랑스 지역의 가상인구를 활용한 통제 실험 결과, 제안된 모델은 단순 조건부 변분 오토인코더(CVAE) 대비 feasibility를 2.5배, diversity를 1.85배 향상하는 것으로 나타났다. 제안된 모델은 인구 조건에 활동 스케줄의 고차원 확률분포를 적은 HTS 데이터만으로 효율적으로 추정하여, 빅데이터 없이도 전수에 가까운 활동 스케줄을 생성할 수 있도록 한다. 이렇게 생성된 활동 데이터는 ABM의 다양성과 현실성을 높여 ABM을 활용한 교통 시뮬레이션 및 정책 분석의 정확도를 높일 수 있다.

사사: 이 연구는 한국연구재단 4단계 BK21 사업 및 한국연구재단(RS-2025-25428362, 다중 이산-연속 선택 모형의 유연성 및 예측력 향상을 위한 이론-데이터 융합 접근법 개발)의 지원을 받아 수행된 연구입니다. 또한 이 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 “첨단 GPU 활용 지원 사업”으로 지원받아 수행된 연구입니다.

원본 데이터 희소성을 고려한 모빌리티 재현데이터의 안전성 평가

Safety assessment of synthetic mobility data considering rarity in the original data

이규성 (아주대학교, 석사과정)
임승유 (아주대학교, 석사과정)
원민수 (한국교통연구원, 연구위원)
김의진 (아주대학교, 교수)

1. 서론

인공지능과 생성모형의 발전은 교통수요 예측, 이동행태 분석, 도시계획에서 보다 정밀한 학습데이터에 대한 수요를 증가시키고 있다. 특히 최근의 교통 분석은 단순한 집계 통행량을 넘어 개별 통행의 출발지와 도착지, 출·도착 시간, 이동경로와 같은 세부적인 시공간 정보를 활용하는 방향으로 발전하고 있다. 이러한 고해상도 모빌리티 데이터는 지역별·시간대별 이동유형과 국지적 수요를 세밀하게 파악할 수 있어 인공지능 기반 이동예측 및 생성모형의 학습자료로 높은 활용가치를 가진다. 그러나 모빌리티 데이터의 시공간적 해상도가 높아질수록 데이터의 활용성뿐 아니라 개인정보 노출 가능성 또한 함께 증가한다. 이동데이터는 출발지, 도착지 및 이동시간의 조합 자체가 특정 통행 또는 개인에게 고유한 유형을 형성할 수 있다. 이러한 상충관계는 고해상도 모빌리티 데이터의 활용을 확대하기 위해 데이터 활용성과 안전성을 동시에 확보할 수 있는 방법론이 필요함을 의미한다. 합성 또는 재현데이터는 실제 이동데이터의 통계적 특성과 세부 유형을 보존하면서 원본자료의 직접적인 공개를 줄일 수 있다는 점에서 유력한 대안으로 제시되고 있다. 그러나 생성모형이 원본의 특정 이동유형을 그대로 생성하거나 희귀한 유형을 반복적으로 생성할 가능성이 있으므로, 단순히 합성자료라는 이유만으로 안전성을 전제하기 어렵다. 따라서 본 연구는 고해상도 모빌리티 재현데이터의 원본 이동정보의 노출 가능성을 체계적으로 평가할 수 있는 안전성 평가 방법을 제안하는 것을 목적으로 한다. 특히 재현데이터와 원본데이터 간의 완전일치 여부뿐 아니라, 해당 이동유형이 원본데이터에서 얼마나 희소하게 존재하는지를 함께 고려하여 단순한 일치 여부, 재현데이터 자체의 k-익명성만으로는 구분하기 어려운 위험 수준을 구체적으로 평가하고자 한다.

2. 방법론

본 연구는 50 m 격자, 1분 단위의 LGU+ 통신 기반 모빌리티 데이터(원본 데이터)를 500 m 격자, 1분 단위의 데이터로 재구성하고, 이를 활용하여 고해상도 재현데이터를 생성한다. 생성된 재현데이터를 기반으로 원본 데이터와의 일치 여부 및 원본 내 이동유형의 희소성을 고려하여 안전성을 평가한다. 분석 데이터는 출발지, 도착지, 출발시간, 도착시간 및 통행량으로 구성된다. 재현데이터 생성에는 대표적인 딥러닝 기반 생성모형인 Generative Adversarial Network (GAN)과 Variational Autoencoder (VAE)를 활용한다. 각 생성모형은 원본데이터의 출·도착 공간 및 시간 정보 간 결합분포를 학습하여 원본과 동일한 데이터 구조를 갖는 재현데이터를 생성한다. 이를 통해 재현데이터의 안전성을 평가함과 동시에 서로 다른 생성 메커니즘을 갖는 모형에서 원본 이동유형의 생성 정도와 안전성 수준이 어떻게 달라지는지를 비교한다. 재현데이터의 안전성은 원본, 재현데이터 간 완전일치 여부와 원본데이터 내 k-익명성을 결합한 지표를 이용하여 평가한다. 먼저 출발지, 도착지, 출발시간, 도착시간 및 통행량의 속성 조합이 원본데이터와 완전히 동일한 재현 레코드를 식별한다. 이후 완전일치한 이동유형에 대하여 원본데이터 전체에서 동일한 속성 조합을 갖는 레코드를 산출한다. 본 연구에서는 완전일치 레코드 중 원본 데이터 내에서 k-익명성을 만족시키지 못하는 데이터를 고위험 완전일치 레코드로 정의하고, 완전 일치하지만 원본 데이터 내에서 k-익명성을 만족시키는 경우 원본에서 동일한 이동유형이 충분히 반복적으로 존재하므로 저위험 완전일치 레코드로 분류한다. 원본과 완전히 일치하지 않는 레코드는 위험하지 않은 레코드로 분류한다. 이를 통해 원본 데이터 재현을 통해 생성된 고위험 완전일치 레코드의 비율을 재현데이터의 위험성 지표로 정의한다.

3. 결과

통계적 생성모형, GAN, VAE의 원본 완전일치 비율은 각각 75.94%, 64.55%, 24.47%로 나타났다. 이 중 원본에서 희소한 통행까지 고위험 완전일치한 비율은 각각 25.34%, 18.20%, 13.47%로, VAE가 가장 낮게 나타났다. 본 연구는 고해상도 모빌리티 재현데이터의 안전성 평가에서 단순한 완전일치 여부보다, 완전일치한 이동패턴의 원본 내 희소성을 함께 고려하는 것이 중요성을 보여준다.

사사: 이 연구는 한국교통연구원의 연구개발적립금 사업의 지원을 받아 수행되었습니다. (No. 51-25-020)

교통부문 리빙랩에서 AI-Agent의 설득력과 언어적 특성 분석

Analysis of AI-Agent Persuasiveness and Linguistic Characteristics in Transportation Living Labs

황보현
(국립한밭대학교 도시공학과, 학부과정)

조성수
(국립한밭대학교 도시공학과, 조교수)

도시의 교통 문제는 다양한 이해관계자의 요구와 실제 이동 경험이 복합적으로 작용하기 때문에 행정기관과 전문가 중심의 Top-down 방식만으로는 해결에 한계가 있다. 이에 시민, 전문가, 민간기업 및 공공기관이 실제 도시환경에서 문제를 함께 발굴하고 해결 방안을 도출하는 리빙랩의 중요성이 확대되고 있다. 그러나 리빙랩 토론 과정에서는 참여자 간 정보 및 전문지식의 차이, 제한된 토론 시간, 의견 정리와 합의 도출의 어려움이 나타날 수 있다. 최근 대규모 언어모델(LLM) 기반 AI 기술의 발전으로 AI-Agent가 이를 보완할 수 있는 수단으로 주목받고 있으나, 정보의 신뢰성과 편향 가능성 등 윤리적 문제도 함께 고려해야 한다. 특히 AI의 발언이 참여자의 판단과 의견 형성에 영향을 미칠 수 있어 설득력과 적절한 활용 범위에 대한 검토가 필요하다.

본 연구는 교통 분야의 이해관계 및 재정 문제와 관련된 9개 토론 주제를 구성하고, 리빙랩 단계를 문제 발굴 - 문제해결 방향 도출 - 서비스 아이디어 도출 3단계로 구분하여 15명의 참가자를 대상으로 AI-Agent와의 토론 실험을 수행하였다. 실험은 참가자가 토론 상대의 정체를 모르는 블라인드 방식으로 진행하였다. 각 토론 전·후 교통 주제에 대한 동의 정도를 5점 척도로 측정하고, 설문 전후 찬반 입장 변화에 따라 점수를 측정하였다. 설득 효과는 변화된 점수를 기반으로 부분비례오즈모형을 활용하여 리빙랩 단계별로 분석하였다. 또한 참가자와 AI-Agent의 대화문에 Orange3 분석을 적용하였다. Orange3는 텍스트에 사용된 단어를 언어·심리적 범주로 분류하여 대화의 특성을 분석하는 방법으로, 이를 통해 참가자와 AI-Agent의 감정 표현, 논리성 및 언어적 표현방식의 차이를 비교하였다. 이를 바탕으로 AI-Agent의 설득 효과와 토론 특성을 종합하여 리빙랩 단계별 활용 가능성을 분석하였다.

분석 결과, AI-Agent의 설득 효과는 리빙랩 단계에 따라 차이가 나타났으며, 특히 문제해결 방향 도출과 서비스 아이디어 도출 단계에서 상대적으로 높은 설득 가능성을 보였다. 이는 구체적인 대안과 해결 방안을 논의하는 과정에서 AI-Agent의 정보 제공과 논리적 제안이 참가자의 의견 변화에 효과적으로 작용할 가능성을 보여준다. Orange3 분석에서는 AI-Agent가 참가자보다 논리적·구조적이고 근거 중심의 표현을 하는 것으로 나타났다. 종합하면 AI-Agent는 리빙랩 단계에 따라 역할을 설정할 필요가 있으며, 특히 대안 비교와 해결 방안 구체화, 서비스 아이디어 도출 단계에서 토론과 의사결정을 지원하는 보완적 도구로 활용될 수 있다. 본 연구는 향후 리빙랩에서 AI-Agent의 적절한 활용 범위와 역할을 설정하기 위한 기초자료로 제공할 수 있을 것이다.

사사: 본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(RS-2026-2547289) 및 국토교통부·국토교통과학기술진흥원의 지원(RS-2026-25517068)을 받아 수행되었음.

대중교통 서비스 및 운영

Session

B-3

운영 데이터 기반 시뮬레이션을 활용한 정류장 운영 개입 기준 도출: 승객 대기행렬의 운영 · 공간 임계 분석
이승희, 이용주, 여지호, 소재현

에스컬레이터 접근구간의 혼잡 특성과보행자 진입 선택행동을 반영한 환승통로 VDF 개발
최지혜, 이찬우, 김정화

스마트카드를 활용한 트립체인 기반 교통약자 대중교통 통행시간 격차와 환승 부담 분석
민준식, 박신형

교통약자를 고려한 버스정보안내단말기(BIT) 설치지점 선정 평가체계 개발: 머신러닝과 SHAP 기반 가중치 산정을 중심으로
김민태, 최호경, 김용만

국가 통합대중교통 요금체계 구축방안 연구
전용현, 박호철

대도시권 버스파업이 대체 수단에 미치는 영향과 공간적 이질성: 2024 서울 시내버스 파업을 중심으로
김준구, 고건우, 최성택

운영 데이터 기반 시뮬레이션을 활용한 정류장 운영 개입 기준 도출: 승객 대기행렬의 운영·공간 임계 분석

Deriving Bus Stop Operational Intervention Criteria from Operational Data-Driven Simulation: Operational and Spatial Criticality of Passenger Queues

이승희
(아주대학교 D.N.A. 플러스융합학과, 석사과정)

이용주
(주식회사 피커프로젝트, 최고운영책임자)

여지호
(가천대학교 스마트시티학과, 부교수)

소재현
(아주대학교 교통시스템공학, 부교수)

본 연구는 모빌리티 운영 플랫폼의 Sim-to-Real-to-Sim 피드백 체계 구축 과제의 일환으로, 운영 데이터 기반 시뮬레이션을 통해 운영 개입 기준을 도출하는 방법을 도시 버스정류장 사례로 검토하였다. 대기공간이 제한된 도시 버스정류장의 승객 혼잡은 버스 서비스 운영과 이용 가능한 대기공간의 제약에 의해 함께 결정된다. 그러나 기존에는 대기행렬 누적과 공간 혼잡을 하나의 상태로 다루는 경우가 많아, 일시적인 혼잡이 지속적인 운영적 또는 공간적 한계상태로 전환되는 시점을 구분하기 어려웠다. 이에 본 연구는 대기행렬의 회복 능력이 상실되는 운영 임계와 승객밀도 및 보행 서비스수준(Level of Service, LOS)의 악화가 지속되는 공간 임계를 구분하는 시공간적 분석 프레임워크를 제안하였다.

제안된 프레임워크는 서울의 중앙버스정류장을 대상으로 노선별 승객 수요, 실제 운행 패턴 및 미시적 교통 시뮬레이션을 활용하여 적용하였으며, 배차간격과 기상조건에 따른 승객 행동을 체계적으로 변화시켜 대기행렬의 회복성과 공간 혼잡의 변화를 분석하였다. 실제 저녁 첨두시간대 운행조건에서는 수요 발생이 종료된 이후 대기행렬이 다시 해소되어 운영적으로 회복 가능한 상태를 유지하였다. 반면 배차간격이 증가함에 따라 대기행렬은 회복 가능한 상태에서 지속적으로 누적되는 상태로 전환되었으며, 공간적 혼잡의 악화는 운영 임계와 다른 조건에서 발생하였다. 또한 불리한 기상조건에 따른 승객 행동 변화는 캐노피 등 보호된 대기공간에서 공간 임계가 더 짧은 배차간격에서도 발생하도록 하였다.

분석 결과는 동일한 대기시설 내에서도 운영상의 회복성 저하와 국지적인 공간 혼잡의 악화가 반드시 동시에 발생하지 않음을 보여준다. 따라서 정류장 성능을 하나의 배차간격이나 밀도 기준으로 판단하기보다 운영 임계와 공간 임계를 구분하여 함께 평가할 필요가 있다. 이러한 구분은 서비스 조정, 승객 동선 및 대기공간 관리, 기상조건에 대응한 운영 개입의 필요 시점을 판단하는 데 활용될 수 있다. 도출한 운영 임계와 공간 임계의 구분은 시뮬레이션 기반 운영 의사결정의 기준으로 활용될 수 있으며, 현장 관측 데이터를 통한 파라미터 보정은 후속 연구로 제시한다. 향후 현장 관측자료를 활용해 기상조건별 승객 집중, 대인 간격, 보행속도 및 탑승시간 등의 파라미터를 보정하고 실시간 승객·운행 데이터와 연계함으로써 동적 운영 개입 기준으로 확장할 수 있다.

주요어: 승객 대기행렬, 운영 임계, 공간 임계, 배차간격, 대기공간 용량, 기상조건, 시뮬레이션 기반 운영 의사결정

사사: This work is supported by the Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement (KAIA) grant funded by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport (Grant No. RS-2026-25524099).

※ 본 연구는 정부(국토교통부)의 재원으로 국토교통과학기술진흥원의 연구비 지원을 받아 수행된 연구임 (과제번호 RS-2026-25524099, 과제명: Agentic AI 기반 모빌리티 서비스 의사결정 및 운영 최적화 기술 개발)

에스컬레이터 접근구간의 혼잡 특성과 보행자 진입 선택행동을 반영한 환승통로 VDF 개발

Development of a Transfer Passageway Volume - Delay Function (VDF) Incorporating Congestion Characteristics and Pedestrian Entry Choice Behavior in Escalator Access Areas

최지혜
(경기대학교 도시·교통공학과, 석사과정)

이찬우
(경기대학교 도시·교통공학과, 학부과정)

김정화
(경기대학교 도시·교통공학과, 부교수)

대심도 철도역에서는 승강장과 대합실·환승공간 간 수직이동거리가 길어 에스컬레이터 이용 여건이 전체 보행 통행시간에 중요한 영향을 미친다. 특히 열차 도착 직후 보행자가 집중 유입되면 에스컬레이터 접근구간에 대기열이 형성되며 유입량과 탑승 처리량의 차이에 따라 대기열의 확장과 해소가 반복된다. 이러한 상황에서 보행자는 에스컬레이터별 대기규모와 진입열 혼잡상태를 고려하여 탑승 시설과 진입열을 선택한다. 그 결과 동일한 유입량에서도 대기상태와 선택행동에 따라 접근 통행시간이 달라질 수 있다. 따라서 에스컬레이터 접근 통행시간을 설명하기 위해서는 통행량뿐 아니라 대기열의 공간적 변화와 이용자의 진입 선택행동을 함께 고려할 필요가 있다. 본 연구는 서울역 GTX-A 에스컬레이터 접근구간을 대상으로 대기열 변화와 선택행동을 분석하고 이를 반영한 보행 통행시간 함수(Volume - Delay Function, VDF)를 개발하는 것을 목적으로 한다.

분석에는 2025년 9월 25일 서울역에서 07:00~13:00에 촬영한 영상을 활용하였다. 서울교통공사 1~8호선 승하차 통계에서 같은 날 서울역의 08:00~09:00 승하차량이 23,750명으로 가장 높게 나타나 해당 시간대를 대표 분석시간으로 선정하였다. 분석구역은 GTX-A 상행 에스컬레이터 2기 전면의 접근 및 대기공간으로 설정하였다. 상승 방향을 기준으로 두 시설의 좌·우 진입열을 나누어 E1-L·E1-R·E2-L·E2-R의 네 가지 선택지를 정의하였다. 또한 기준선(Queue Line, QL)을 설정하여 대기열 미관찰(S0)과 대기열 끝이 QL 이내인 상태(S1) 및 QL을 초과한 상태(S2)로 대기상태를 구분하였다. 개인별 접근 통행시간은 보행자가 QL을 통과한 시점부터 에스컬레이터 첫 발판에 탑승한 시점까지의 소요시간으로 정의하였다.

먼저 시간별 합류·탑승·이탈인원을 파악하여 대기인원 변화를 산정하고 분석구역 내 보행밀도와 대기열의 형성·확장 특성을 분석한다. 다음으로 보행자의 진입 당시 대기상태와 최종 탑승 진입열을 연계하여 상태별 선택비율을 산정한다. 이를 통해 에스컬레이터 시설 간 선택 및 동일 시설 내 좌·우 진입열 선택 특성을 비교한다. 대기열이 QL을 초과하는 경우 선택비율에 변화가 나타나는지 검토하여 혼잡상태와 선택행동 간 관계를 분석한다. 이어서 개인별 QL 통과 시각과 탑승 시각을 연결해 접근 통행시간을 산정하고 대기상태와 최종 탑승 위치에 따른 통행시간 차이를 비교한다.

최종적으로 보행 유입량만을 설명변수로 사용하는 기본모형과 유입량·밀도·대기상태·진입열 선택을 반영한 확장모형을 구축한다. 기본모형은 통행량 변화에 따른 접근 통행시간 관계를 나타내며 확장모형은 같은 유입량에서도 혼잡상태와 선택 위치에 따라 나타나는 통행시간 차이를 설명하도록 구성한다. 두 모형의 추정 결과와 예측오차를 평균절대오차(MAE) 및 평균제곱근오차(RMSE)로 비교하여 추가 변수의 설명 효과와 예측성능을 검토하고자 한다. 이를 통해 에스컬레이터 접근구간의 혼잡 및 진입 선택 특성을 반영한 보행 VDF를 개발·검증하고자 한다.

본 연구는 대기열의 시간적·공간적 변화와 진입 선택행동을 개인별 접근 통행시간에 연결한다는 점에서 의의가 있다. 연구 결과는 향후 GTX 역사 내 보행 통행배정과 에스컬레이터 이용수요 분산 및 수직이동시설 운영평가를 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

사사: 본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단(NRF)의 지원을 받아 수행되었습니다.(RS-2025-00558731)

스마트카드를 활용한 트립체인 기반 교통약자 대중교통 통행시간 격차와 환승 부담 분석

Analyzing Travel Time Disparities and Transfer Burdens among Transport-Vulnerable Groups Using Smart Card - Derived Trip Chains

민준식
(서울시립대학교, 석사과정)

박신형
(서울시립대학교, 교수)

1. 연구 배경 및 목적. 교통약자는 2023년 기준 전체 인구의 약 31%이며 이 중 고령자가 절반 이상을 차지하고, 고령화로 그 규모와 비중은 앞으로도 증가할 전망이다. 대중교통은 의료·교육·사회 참여를 위한 통행의 핵심 수단이므로, 이용 중 겪는 통행시간 격차와 환승 부담의 개선이 요구된다. 본 연구는 서울 교통카드 자료로 버스→지하철 트립체인을 구성하고, 같은 이동 조건에서 고령자·장애인과 일반 이용자의 통행시간 격차와 환승 부담을 정량화하는 것을 목적으로 하며, 연구 질문은 Q1 집단별 통행 전체의 시간 격차, Q2 환승 소요시간의 집단 차이, Q3 전체 격차 중 환승시간의 비중이다.

2. 선행연구와 연구 공백. 홍콩 지하철에서 같은 출발지-도착지·시간대의 고령자 - 청년 통행시간 차이는 이용 빈도를 통제해도 평일 오전 첨두에 약 33~42초로 가장 컸다(Lei et al., 2026). 서울의 버스→지하철 환승 구간에서는 같은 경로의 교통약자 - 일반 중앙값 차이가 10.6~74초였고(Han et al., 2022), 런던에서는 환승 1회가 차내시간 약 4.9분에 해당하는 부담으로 추정되었다(Guo and Wilson, 2011). 그러나 이들 연구는 환승 구간만 또는 집단 평균 비교에 그쳤고(범위), 검토한 국내 연구는 이용 빈도·시간대를 통제하지 않았으며(통제), 시간 격차와 환승 부담을 따로 다루어 환승이 격차를 키우는지 확인되지 않았다(연결).

3. 자료 및 분석 방법. 서울시 교통카드 자료(2026년 8월 4~10일, 7일)에서 카드 ID별로 버스 하차 후 30분 이내 지하철에 승차한 기록을 환승으로 연결하여 버스→지하철 트립체인을 구성하고, 통행시간 150분 초과, 승·하차 지점 동일, 하차 미태그·코드 오류 기록을 제거한다. 일반·고령자·장애인을 최초 버스 승차 정류장의 400m×400m 격자, 지하철 승차역, 최종 하차역이 같고 평일·주말과 시간대가 같은 통행끼리 비교한다. 지표는 전체 통행시간(최초 버스 승차~최종 지하철 하차)과 관측 환승시간(버스 하차 태그~지하철 승차 태그)이며, 원시 시각이 분 단위이므로 관측 정밀도도 분이다. Q1(전체 통행시간 격차)은 고정효과 회귀(카드 클러스터 표준오차)와 분위수 회귀로, Q2(환승시간의 집단 차이)는 판정 기준 30·33분 민감도 분석과 함께, Q3(전체 격차 중 환승시간 격차의 비중)는 역별로 산출하고 부트스트랩 신뢰구간과 편의시설 자료 대조로 해석한다.

4. 기대효과 및 해석상 유의점. 교통약자의 환승 부담을 같은 조건에서 정량화하여, 편의시설 개선이 필요한 역의 우선순위를 제시할 수 있다. 다만 태그 시각은 실제 탑승시각이 아니고 하차 위치를 제한하지 않아 동선 차이가 포함되므로, 결과는 이동 조건 일부를 맞춘 관측 시간 차이로 해석한다.

교통약자를 고려한 버스정보안내단말기(BIT) 설치지점 선정 평가체계 개발: 머신러닝과 SHAP 기반 가중치 산정을 중심으로

Development of an Evaluation Framework for Bus Information Terminal (BIT) Site Selection Considering Mobility-Disadvantaged Persons: Focusing on Weight Estimation Using Machine Learning and SHAP

김민태 (한국도로교통공단, 차장)
최호경 (한국도로교통공단, 대리)
김용만 (한국도로교통공단, 처장)

1. 연구 배경

버스정보안내단말기(BIT)는 정류소에서 실시간 도착정보를 제공하는 시설로, 한정된 예산에서 설치 우선순위를 정하는 일은 대중교통 이용편의와 교통복지에 직결된다. 그러나 BIT 설치지점 선정에는 표준 기준이 없어 승하차 인원이나 민원 등 단편적 지표에 의존해 왔고, 이로 인해 교통약자 밀집 지역이 소외될 수 있다. 이에 본 연구는 머신러닝과 SHAP을 활용하여 지표별 가중치를 데이터 기반으로 산정하고, 교통약자 형평성을 고려하는 BIT 설치지점 선정 평가체계를 제시하고자 한다.

2. 연구 방법

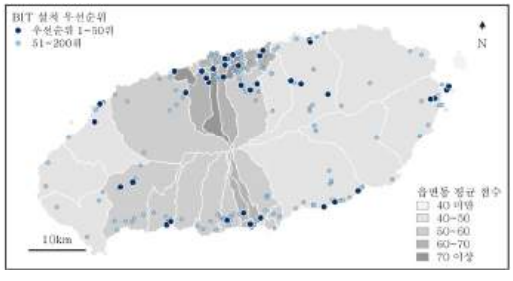
분석 대상은 제주특별자치도 정류소 약 4,300개소이며, 데이터 12종을 정류소·읍면동 단위로 통합하였다. 평가지표는 경기도 「버스정류소 설치 및 운영·관리 매뉴얼」과 ITS 전문가 자문을 바탕으로 이용수요, 형평성, 지자체 특성의 9개 세부지표로 구성하였으며, 상권·노인복지시설 수는 정류소 반경 500m 내 개수로, BIT 공급도는 낮을수록 높은 점수로 반영하였다. 승하차수는 기존 기준과의 연속성을 위해 매뉴얼의 가중치(40점)을 준용하고, 나머지 60점은 이용수요를 가장 직접적으로 나타내는 승하차수를 기준으로 각 지표의 상대적 중요도를 머신러닝으로 추정하여 배분하였다. 자료가 단일 지역·단일 연도에 한정되므로 머신러닝은 수요 예측이 아닌 지표별 기여도 산출에 활용하였으며, 전체 정류소 자료로 모형을 학습하였다. 1단계에서는 노선 유형별 운행노선 수로 승하차수를 설명하는 선형 모형 4종과 트리 앙상블 모형 4종을 비교하였고 노선 유형별 보정계수(가중노선수)를 SHAP 값으로 산출하였다. 2단계에서는 가중노선수를 포함한 8개 평가지표에 1단계와 동일한 절차를 적용하여 지표별 SHAP 값을 산출하고 영향력에 비례하여 가중치를 부여하였다. 다만 SHAP 영향력은 승하차수에 대한 설명력이므로 형평성 지표는 낮게 평가될 수 있어, 고령자 이용 편의와 정보 인프라 소외 지역 방지를 위해 노인복지시설 수와 BIT 공급도에는 최소 10점을 보장하였다.

3. 분석 결과

1·2단계 모두 적합도가 가장 높은 그래디언트 부스팅(GBM)을 채택하였으며, GBM의 평균 절대 SHAP 값으로 산출한 노선 유형별 보정계수는 급행 1.00, 간선 0.78, 순환 0.41, 지선 0.33이었다. 지표별 SHAP 비중은 가중노선수(50.6%)와 상권수(31.1%)가 81.7%를 차지하였다. 반면 읍면동 단위 5개 지표는 15.5%에 그쳐 공간단위의 제약이 작용했을 수 있으며, 노인복지시설 수(2.7%)는 정류소의 78%가 0개로 편중되었다. 형평성 3개 지표는 단순 비례 시 6.5점이나 하한 제약으로 22점이 되었으며, 이를 적용한 설치 우선순위 상위 200개소의 분포는 그림1과 같다. 동일 후보군의 승하차 인원 순 상위 50개소보다 교통약자 승하차 비중은 19.0%에서 21.0%로, 노인복지시설 인접 비율은 24.0%에서 48.0%로 높게 나타났다.

구분	세부지표	공간단위	가중치(점)
이용수요	승하차수	정류소	40
	운행노선 수(가중노선수)	정류소	22
	상권 수	정류소	13
형평성	노인복지시설 수	정류소	10
	BIT 공급도	읍면동	10
	고령자 비율	읍면동	2
지자체 특성	내국인 유동인구	읍면동	1
	외국인 단기체류 유동인구	읍면동	1
	외국인 장기체류 유동인구	읍면동	1
합계			100

<표 1> BIT 설치지점 선정 평가지표 및 분석 지점 가중치



<그림 1> 읍면동 평균 점수 및 설치 우선순위 상위 200개소

4. 결론

본 연구는 머신러닝과 SHAP으로 BIT 설치지점 평가지표의 가중치를 데이터 기반으로 산정하고, 수요 기반 기여도에서 과소평가되는 교통약자 형평성 지표를 하한 제약으로 보완하는 방법을 제시하였다는 점에서 의의가 있다. 이는 단편적 지표에 의존하던 BIT 설치지점 선정에 정량적 근거를 제공하며, 지자체의 BIT 설치지점 선정 기준 마련에 활용될 수 있을 것이다. 다만 읍면동 단위 자료의 공간 해상도 제약으로 형평성 지표와 지자체 특성 지표의 기여도가 충분히 반영되지 못했을 수 있어, 향후 더 조밀한 공간 단위의 자료를 활용한 추가 검증이 필요하다.

국가 통합대중교통 요금체계 구축방안 연구

A Study on the Development of a Nationwide Integrated Public Transport Fare System

전용헌
(명지대학교 교통공학과, 연구원)

박호철
(서울시립핵교 교통공학과, 부교수)

국내 대중교통 요금체계는 교통수단과 운영기관별로 상이한 운임·결제방식을 적용하고 있다. 수도권은 교통카드 태그정보를 활용한 통합환승할인과 운송기관 간 정산체계를 운영하고 있으나, KTX 및 일반철도는 예약·발권 중심의 독립적인 결제체계를 사용한다. 이에 지역 간 철도와 도시철도·버스를 연속 이용하더라도 통행 전체를 대상으로 하는 통합할인이 제한되며, 환승 과정에서 중복 요금 부담과 결제 불편이 발생할 수 있다.

본 연구는 수도권 통합환승할인제도의 운영 경험을 국가 단위로 확장하여, 지역 간 철도와 지역 내 대중교통을 연결하는 통합 요금·정산체계의 구축방안을 제안하는 데 목적이 있다. 국내 통합환승할인, K-패스, 기후동행카드의 적용방식과 스위스의 연속승차권·패스제도를 비교하고, 요금체계의 호환성, 통행식별, 할인재원 및 기관 간 정산을 핵심 검토항목으로 설정하였다.

통합체계는 교통수단별 기본 운임과 철도 좌석예약 기능을 유지하되, 이용자의 연속된 이동에 통합 혜택을 적용하는 구조로 설계하였다. 이를 위해 철도 예약·발권정보(이용일시, 승하차역 등)와 교통카드 승하차 태그정보(시각, 정류장, 수단 등)를 개인정보 보호 및 이용자 동의에 기반하여 연계한다. 연계된 정보에는 환승시간, 역·정류장 간 접근거리 및 교통수단별 연결성을 적용하여 동일 통행사슬 여부를 판정하고, 할인 적용대상 및 정산내역을 생성하도록 제안하였다.

통합요금 모형은 ① 기존 운임을 유지하면서 철도 전후 환승통행에 일정 금액을 할인하는 정액 환승할인형, ② 출발지부터 목적지까지의 통행거리와 수단별 운임특성을 결합하는 통합거리비례형, ③ 수단별 운임을 우선 결제한 뒤 연계 이용실적에 따라 환급하는 사후환급형으로 구분하였다. 세 모형을 기존 시스템 변경범위, 이용자 요금부담, 할인대상 식별 가능성 및 재정 소요 측면에서 비교한다. 초기 도입 시에는 예약·태그체계의 전면 통합 없이도 적용할 수 있는 정액할인형과 사후환급형을 우선 검토할 필요가 있다.

정산체계에서는 각 운송기관의 기준 운임수입과 통합할인액을 구분하고, 연계 통행별 할인 발생분을 별도 정산계정으로 관리하는 방안을 제시하였다. 할인비용의 재원은 중앙정부·지방자치단체·운송기관의 분담 시나리오로 검토하며, 철도→도시철도→버스 통행을 대상으로 현행 개별운임 합계와 모형별 최종 이용자 부담액, 기관별 정산금액을 비교하는 분석 절차를 제안한다. 실제 도입효과와 재정 규모는 이용실적 자료를 활용한 추가 검증이 필요하다.

국가 통합요금체계는 주요 철도역의 환승통행을 대상으로 시범 적용한 뒤 일반철도 및 전국 버스·도시철도망으로 확대하는 단계적 추진이 적절하다. 본 연구는 지역 간·지역 내 통행을 하나의 서비스로 연계하기 위한 요금산정·통행판정·정산의 기본구조를 제시한다는 데 의의가 있으며, 향후 교통카드 및 철도 예약자료 기반의 실증분석과 법·제도 개선 검토를 위한 기초자료로 활용될 수 있다.

주요어: 국가 통합대중교통, 통합요금체계, 철도·버스 연계, 교통카드, 통합정산

대도시권 버스파업이 대체 수단에 미치는 영향과 공간적 이질성: 2024 서울 시내버스 파업을 중심으로

Effects of a Metropolitan Bus Strike on Alternative Travel Modes and Spatial Heterogeneity: The Case of the 2024 Seoul City Bus Strike

김준구
(한양대학교 도시공학과, 석사과정)

고건우
(한양대학교 도시공학과, 석사과정)

최성택
(한양대학교 도시공학과, 부교수)

대중교통은 대도시 통근의 큰 몫을 담당하며 승용차 통행을 줄여 도로 혼잡을 완화한다. 서울은 2023년 평일 대중교통 수단분담률이 64.4%로 승용차 27.8%의 두 배를 넘는다. 특히 시내버스는 도시철도가 닿지 않는 지역을 연결하고 철도역까지의 접근을 맡아 도시철도와 함께 대중교통망의 한 축을 이룬다. 그러나 버스가 도시 교통에서 하는 역할은 평상시 자료로는 드러나지 않으며, 버스가 기능을 정지한 날 다른 수단과 도로에 나타난 변화로 그 역할의 일부를 확인할 수 있다. 2024년 3월 28일 서울 시내버스 파업에서는 04시 첫차부터 파업이 시작되어 12시까지 시내버스 운행률이 4.4%에 그쳤고, 15시 노사 합의와 함께 정상 운행이 재개되어 같은 날 안에 파업 시간대와 운행 재개 이후 시간대가 함께 나타났다. 국외에서는 대중교통 파업을 자연실험으로 이용해 도로 혼잡, 공공자전거 이용, 대체 노선 승차의 변화를 분석한 연구가 진행되었으나, 국내에서는 대중교통 파업이 여객 수단 이용과 도로에 미치는 영향을 실측 자료로 분석한 연구가 부족하다. 따라서 본 연구는 이 파업이 지하철 승차, 공공자전거 대여, 도로 속도에 미치는 시간대별 영향과 운행 재개 이후 그 영향이 평소 예측 오차 범위로 돌아오기까지 걸리는 시간, 그리고 영향의 공간적 이질성을 분석하고자 한다.

본 연구는 지하철 승차·공공자전거 대여·도로 속도를 같은 공간 단위와 같은 시간대에서 같은 반사실 방식으로 추정한다. 이를 통해 버스 운행 중단의 영향을 하나의 사건 안에서 수단 간에 비교하고, 같은 날 오후에 정상화된 파업 구조를 이용해 운행 재개 이후의 회복을 시간 단위로 함께 본다는 점에서 기존 연구와 차별성을 갖는다. 또한 영향이 크게 나타난 지역과 작게 나타난 지역의 특성을 비교하여 버스 운행 중단의 영향이 공간적으로 어떻게 집중되는지를 식별한다.

분석에서는 서울시를 1km 격자로 나누어 격자·시간 단위의 지하철 승차 인원, 따릉이 대여 건수, 도로 통행속도를 구축했다. 서울 전체가 동시에 파업을 겪어 대조 지역이 존재하지 않으므로, 2023년 1월부터 파업 직전까지의 평일 자료로 XGBoost 예측 모형을 학습해 파업이 없었을 경우의 값을 추정하고, 실제 관측값과의 차이를 파업의 영향으로 정의했다. 예측 모형에는 시간·요일·연휴 효과와 시간대별 강수 등 기상 조건을 반영했다. 파업이 없었던 평일에도 같은 절차를 적용해 파업일의 변화가 평소 예측 오차 범위를 넘는지 확인한다. 또한 15시 이후 시간대별 영향의 변화로 회복 시점을, 격자별 영향과 격자 특성의 비교로 공간적 차이를 분석한다.

분석의 주요 결과는 첫째, 시내버스 운행이 중단된 시간대에 지하철 승차량은 파업이 없었을 경우보다 크게 증가하고, 그 증가는 공공자전거 대여량의 변화보다 더 뚜렷하게 나타날 것이다. 둘째, 15시 운행 재개 이후 지하철 승차량 증가는 곧바로 사라지지 않고 일정 시간 남은 뒤 평소 예측 오차 범위로 돌아올 것이다. 셋째, 지하철 승차 증가 폭은 1km 격자마다 차이를 보일 것이며, 효과가 큰 격자와 작은 격자의 특성을 비교해 그 차이를 살펴본다. 넷째, 도로 통행속도는 파업 시간대, 특히 출근 시간대를 중심으로 평상시보다 낮아질 것이다.

본 연구의 예상 시사점은 다음과 같다. 학술적으로는 대중교통 분담률이 높은 대도시에서 버스의 기능이 정지했을 때 지하철·공공자전거·도로가 받는 영향과 그 회복 과정을 같은 반사실 틀에서 시간 단위로 함께 보여준다. 이로써 대부분 한 가지 수단만 다루고 운행 재개 직후의 시간 단위 변화는 거의 다루지 않았던 대중교통 파업 연구를 확장할 수 있다. 정책적으로는 버스 파업 시 지하철 이용 증가가 집중되는 시간대와 격자를 제시하여 지하철 증회 등 비상수송대책의 배분을 검토하는 자료를 제공한다. 또한 운행 재개 직후 지하철 효과가 줄어드는 시간 경로를 제시해 비상수송대책 종료 시점 논의에 참고 자료를 제공할 수 있다.

사사: 이 연구는 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-RS-2024-00415360).

MaaS · DRT 및 신모빌리티 서비스

Session

B-4

사용자 경험(UX) 극대화를 위한 MaaS 잠재수요 특성 기반의 서비스 세분화: 머신러닝과 구조방정식의 결합모델 적용
김성아, 허창준, 최성택

MaaS 기반 도시철도-공유형 자율주행차 연계 서비스를 위한 통행계획 및 운영 프레임워크 연구
김태성, 서연우, 김동규, 윤규근

화성시 · 양주시 DRT 이용에 영향을 미치는 요인의 입지 조건별 이질성 분석: Model-Based Recursive Partitioning을 활용하여
김지우, 김수재

동적 수요응답형 교통의 경로최적화 알고리즘을 평가하기 위한 한국형 벤치마크 생성에 대한 연구
정혜윤, 김성은, 윤지환, 이다원, 최성택

15분 도시의 실질적 구현을 위한 새로운 모빌리티 전략: 목적 기반 모빌리티(PBV) 플러그인 스테이션을 중심으로
정지효, 권민주, 임호선, 이정빈, 김동은, 이수현, 김은성, 김회경

공항 연계형 UAM 서비스 도입을 위한 버티포트 입지 · 수요 할당 · 기체 운영의 통합 최적화 모형
오수현, 김태성, 윤규근

사용자 경험(UX) 극대화를 위한 MaaS 잠재수요 특성 기반의 서비스 세분화: 머신러닝과 구조방정식의 결합모델 적용

A service segmentation based on potential demand characteristics for enhancing MaaS user eXperience (UX): A machine learning-based SEM approach

김성아
(한양대학교 도시공학과, 박사후연구원)

허창준
(한양대학교 도시공학과, 석사과정)

최성택
(한양대학교 도시공학과, 부교수)

디지털 기술과 공유모빌리티, 수요응답형 교통, 개인형 이동수단의 확산으로 도시교통은 개별 교통수단 중심에서 통합 모빌리티 서비스 체계로 전환되고 있다. MaaS(Mobility as a Service)는 대중교통과 다양한 모빌리티 서비스를 하나의 디지털 플랫폼에서 연계하여 경로탐색, 예약, 결제 및 이동정보를 통합적으로 제공하는 서비스이다. 특히 MaaS의 핵심은 단순히 여러 교통수단을 연결하는 데 그치지 않고, 이용자의 통행특성·생활양식·선호에 적합한 이동대안과 기능을 제공함으로써 사용자 경험(User Experience, UX)을 향상시키는 데 있다. 그러나 이용자들은 사회경제적 특성뿐 아니라 심리, 라이프스타일, 시간·환경·정보기술 관련 성향 및 실제 이동행태에서 서로 다른 특성을 가지므로, 모든 이용자에게 동일한 MaaS 서비스와 기능을 제공하는 방식에는 한계가 있다.

기존 MaaS 연구는 크게 이용의향 및 지불의사를 규명하는 연구와 이용자의 이질성을 고려하여 잠재수요를 유형화하는 연구로 발전해 왔다. 초기 연구들은 MaaS의 잠재시장 규모, 가격 및 서비스 구성에 대한 이용·지불의사를 규명하였으며, 이후에는 라이프스타일과 이동행태를 고려한 잠재계층 분석과 이용자 유형화 연구로 확대되었다. 그러나 이용의향이나 지불의사 중심의 연구는 이용자 집단별로 상이한 수요 형성 메커니즘을 설명하기 어렵고, 잠재계층 또는 군집분석과 구조방정식을 순차적으로 적용하는 접근은 집단 구분과 구조적 영향관계를 하나의 분석체계에서 직접 연결하기 어렵다는 한계가 있다. 특히 군집화 단계에서 발생한 분류오차와 집단 할당의 불확실성이 후속 경로모형에 충분히 반영되지 않을 경우 집단별 경로계수와 통계적 차이의 추정에 편향이 발생할 가능성이 있다.

이에 본 연구는 개인의 UX를 기반으로 MaaS 잠재수요 특성을 규명하고, 잠재수요 유형별 맞춤형 서비스 세분화 모델을 제안하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 수도권 1,000명을 대상으로 개인 단위의 설문조사를 실시하였으며, 설문 문항은 (i) 개인의 사회경제적 특성, 개인성향 및 라이프스타일, 주관적 만족도와 같이 UX 형성의 기반이 되는 사용자 개인특성(User context). (ii) 통행특성, 통행수용성과 같이 현재 교통체계에서 체감하는 UX 요인, (iii) 교통수단 선호, SP 기반의 통행선택, MaaS 인식 및 이용의향, MaaS 추천방식 및 기능선호 등 향후 MaaS 이용 과정에서 기대되는 예상 UX(anticipated UX)로 구성하였다. 이를 통해 '누가 MaaS를 이용하려 하는가'뿐 아니라 '어떠한 이용자에게 어떠한 MaaS 기능이 적합한가'를 조사하고자 하였다.

분석에는 SEM Tree(Structural Equation Model Tree)를 적용한다. SEM Tree는 구조방정식모형과 머신러닝 기반 의사결정나무의 반복적 분할을 결합한 모형으로, 개인특성과 이동행태 가운데 어떤 변수의 어느 수준의 파라미터값이 MaaS 이용의향 및 기능선호의 구조적 경로 차이를 변화시키는지를 탐색할 수 있다는 장점이 있다. 특히 본 연구에서는 score-guided SEM Tree를 활용하여 구조계수의 불안정성을 설명하는 주요 분할요인과 기준점을 식별하고, 구조적 경로가 서로 다른 잠재수요 세그먼트를 도출하였다. 그 결과, 각 세그먼트별 수요 형성경로와 MaaS 이용의향 및 기능선호에 차이가 있었으며, UX 기반의 수요맞춤형 MaaS 우선순위 기능과 서비스 조합 패키지를 제안하였다. 궁극적으로 본 연구는 MaaS 잠재수요의 세그먼트 단위의 특성을 식별하고, 구조적 영향관계를 하나의 분석체계에서 통합적으로 분석하는 연구 프레임워크를 제시한다는 점에서 의의가 있다. 실무적으로는 모든 이용자에게 동일한 MaaS 패키지를 제공하는 방식에서 벗어나, 잠재수요 특성에 따라 기능과 조합을 차별화하는 UX 중심의 수요맞춤형 MaaS 설계방향을 제시한다.

사사: 이 논문은 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-RS-2024-00415360).

MaaS 기반 도시철도-공유형 자율주행차 연계 서비스를 위한 통행계획 및 운영 프레임워크 연구

Trip Planning and Operation Framework for MaaS-Based Metro-SAV Integrated Services

김태성 (서울대학교, 석박사통합과정)
서연우 (서울대학교, 석사과정)
김동규 (서울대학교, 교수)
윤규근 (서울대학교, 조교수)

최근 국내외 도시교통체계는 대량 수송 중심의 전통적인 대중교통 운영 방식에서 벗어나, 다양한 교통수단을 하나의 플랫폼에서 통합적으로 계획·예약·결제하는 서비스 중심의 모빌리티 체계로 전환되고 있다. 일례로, MaaS (Mobility-as-a-Service)는 개별 교통수단을 통합하고, 이용자의 통행 전체를 하나의 연속적인 서비스로 제공한다는 점에서 미래 도시교통의 핵심 운영 패러다임으로 주목받고 있다. 이에 본 연구는 MaaS 기반 도시철도-공유형 자율주행차 연계 서비스를 대상으로, 이용자 선호에 따른 통행계획과 공유형 자율주행차 운영을 연계하는 2단계 모형을 제안하고자 한다. 구체적으로 상위 수준에서는 일반화 비용을 기반으로 공유형 자율주행차와 도시철도를 대상으로 다섯 가지 수단 조합 중 최적 여정을 선택하고, 하위 수준에서는 선택된 공유형 자율주행차 이용 구간을 테스트(Task)로 변환하여 삽입 휴리스틱(Insert Heuristic)과 강화학습(Reinforcement Learning) 기반 배차를 통해 차량 배정 및 승차 공유를 수행한다. 본 연구의 결과는 승객의 통행 선호 유형과 공유형 자율주행차의 실시간 운영 상태를 함께 고려한 연계 MaaS 플랫폼 서비스를 설계 및 운영하는 데 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 특히, 제안하는 모형은 공유형 자율주행차를 단순히 도시철도의 first-mile 또는 last-mile 수단만으로 가정하지 않고, 이용자 선호에 따라 도시철도와 보완 또는 경쟁 관계를 형성하는 수단으로 반영한다는 점에서 의의가 있다.

사사: 이 연구는 서울대학교 신임교수 연구정착금으로 지원되는 연구비에 의하여 수행되었음.

화성시·양주시 DRT 이용에 영향을 미치는 요인의 입지 조건별 이질성 분석: Model-Based Recursive Partitioning을 활용하여

Locational Heterogeneity in Factors Associated with DRT Ridership in Hwaseong and Yangju: A Model-Based Recursive Partitioning Approach

김지우
(성결대학교 도시디자인정보공학과, 학부과정)

김수재
(성결대학교 도시디자인정보공학과, 조교수)

수요응답형교통(Demand Responsive Transport, DRT)은 이용자의 호출에 따라 차량이 배차되는 교통서비스로, 교통소외지역과 이동수단 선택의 폭이 좁은 계층을 중심으로 빠르게 성장하고 있다(경기도의회, 2025). DRT 관련 연구는 도입 기준, 운영 현황 등 공급 측면을 중심으로 다루어져 왔으나, 실제 이용을 결정하는 요인은 이용 측면에서 살펴볼 필요가 있다. 이에 본 연구는 노선형 DRT인 똑버스를 운행 중인 양주시와 화성시를 대상으로 DRT 수요에 영향을 미치는 요인을 분석하였다. 정류장 500m 영향권을 기준으로 살펴본 결과, 양주시와 화성시 읍면지역 주거건물의 각각 58.1%, 78.5%가 영향권 밖에 위치하여 접근성 사각지대가 넓게 나타났다. 그러나 영향권 내에 위치한다고 모든 주민이 DRT를 이용하는 것은 아니므로, 정류장 주변의 잠재수요, 대중교통 연계, 생활SOC 시설 등이 이용에 미치는 영향과, 그 영향이 입지 조건에 따라 어떻게 달라지는지를 MOB(Model-Based Recursive Partitioning) 기법으로 분석하였다.

MOB는 회귀모형을 추정한 뒤, 분할변수에 따라 모형의 계수가 구조적으로 달라지는지를 통계적으로 검정하고, 유의한 변화가 나타나는 지점에서 표본을 반복적으로 분할하는 방법이다(Zeileis et al., 2008). 이를 통해 동일한 요인이라도 입지 조건에 따라 이용에 미치는 영향이 어떻게 달라지는지를 파악할 수 있다. 본 연구의 종속변수는 양주시와 화성시에서 운행 중인 노선형 똑버스 정류장 중 2025년 4~6월 승하차 실적이 있는 150개소의 정류장별 승하차 합계로, 분석에는 자연로그를 취한 값을 사용하였다. 독립변수는 정류장 이용을 발생시키는 수요 요인으로, 정류장 500m 영향권 내 주거건물 연면적, 고령인구 비율, 버스정류장 수, 최근접 도시철도역까지의 거리, 생활SOC 시설 수, 토지이용 혼합도로 구성하였다. 분할변수는 이러한 수요가 실제 이용으로 이어지는 정도를 달리할 수 있는 입지 조건으로 설정하였다. 평균 경사도는 정류장까지의 보행 부담을, 교차로 수는 보행망 연결성을 나타내며, 시 구분은 두 지역 간 특성 차이를 반영한다. 분석에는 R의 partykit 패키지를 활용하였으며, 기본 모형은 선형회귀모형으로 하였다. 분할 여부는 각 분할변수에 대한 모수 안정성 검정(M-fluctuation test)으로 판단하였으며, 유의수준은 0.05, 최소 노드 크기는 30으로 설정하였다. 모수 안정성 검정 결과, 세 분할변수 모두에서 유의한 구조 변화가 검출되지 않아 모형은 분할되지 않았다. 단일 모형에서 고령인구 비율은 5% 수준에서 p-value가 0.027로 정(+)의 방향을, 최근접 도시철도역까지의 거리는 10% 수준에서 p-value가 0.076으로 부(-)의 방향을 보였다. 이는 고령인구 비율이 높은 지역의 정류장에서 이동수단 선택의 폭이 좁은 계층의 수요가 이용으로 이어지고, DRT가 철도역과의 연계 수단으로 활용되고 있을 가능성을 시사한다. 다만 그 외 변수는 유의하지 않았으며, R^2가 0.065로 모형의 설명력도 낮게 나타났다.

1차 분석 결과 고령인구 비율과 철도역 접근성이 정류장 이용과 관련이 있는 것으로 나타났으나, 입지 조건에 따른 이질성은 검출되지 않았고 모형의 설명력도 낮았다. 이는 다음과 같은 한계가 원인으로 판단된다. 첫째, 150개소 중 90개소는 묶음 단위로 집계된 승하차 값을 정류장 수로 균등 배분한 것으로, 정류장 간 실제 이용 차이가 상당 부분 반영되지 못했다. 둘째, 분할변수인 경사도와 교차로 수는 500m 영향권 단위로 집계되었고, 경사도는 90m 해상도 DEM으로 산출되어 정류장 주변의 미시적인 보행 환경 차이를 충분히 반영하지 못하였을 가능성이 있다. 이에 2차 분석에서는 정류장별 실측 승하차 자료를 확보하고, 본래 계획하였으나 1차에서 구축하지 못한 보행 단절 및 가상정류장 운영 여부 등 변수를 추가하여 입지 조건에 따른 이질성을 재검증할 예정이다. 이를 통해 정류장 유형별 이용 영향요인을 도출하고, DRT 정류장 확충 및 개선을 위한 입지 기준을 제시하고자 한다.

동적 수요응답형 교통의 경로최적화 알고리즘을 평가하기 위한 한국형 벤치마크 생성에 대한 연구

Development of a Korean Benchmark Dataset for Evaluating Route Optimization Algorithms in Demand-Responsive Transit

정혜윤	김성은	윤지환	이다원	최성택
(한양대학교 도시공학과, 학부과정)	(한양대학교 도시공학과, 학부과정)	(한양대학교 도시공학과, 학부과정)	(한양대학교 도시공학과, 학부과정)	(한양대학교 도시공학과, 지도교수)

수요응답형 교통(Demand-Responsive Transit, DRT)은 승객의 실시간 요청에 따라 차량의 운행 경로와 시간을 결정하는 교통체계이다. 본 연구는 실제 택시 이용 수요를 DRT로 처리한다면 얼마나 많은 차량이 필요하며, 어떤 운영 성능을 보일 것인가라는 질문에서 출발하였다. 이를 분석하기 위해서는 실제 이동 수요와 도로 환경을 반영하면서도 경로최적화 알고리즘의 성능을 일관된 조건에서 평가할 수 있는 벤치마크가 필요하다. 그러나 기존 연구는 합성 데이터나 연구별 자체 인스턴스에 의존하는 경우가 많아 실제 도시의 도로 구조와 시간대별 이동 수요를 충분히 반영하지 못했으며, 연구 간 성능 비교와 결과 재현에도 한계가 있었다. 이에 본 연구는 카카오택시의 실제 승하차 이력 데이터와 국내 도로망을 활용하여 한국의 이동 특성을 반영한 DARP(Dial-a-Ride Problem) 벤치마크를 구축하고자 하였다.

연구 대상지는 도시 규모와 교통환경이 다른 대전광역시, 전라남도 목포시, 강원특별자치도 정선군으로 선정하였다. 2023년 7~9월 카카오택시의 실제 승하차 이력 데이터, OSM(OpenStreetMap) 도로망 및 공공 도로별 평균속도 자료를 활용하였으며, 분석 대표일은 2023년 9월 13일로 설정하였다. 분석지역 외 좌표와 비정상 운행기록을 제거하고, 실제 승하차 위치와 시간 정보를 기반으로 DRT 승객 요청을 생성하였다. 도로망과 링크별 평균속도를 활용해 노드 간 이동시간 행렬을 구축하고, 누락된 속도자료는 택시 통행속도 및 도로등급별 기본속도로 보완하였다. 또한 개량된 삽입 휴리스틱과 이진탐색으로 운영 제약 내에서 필요한 차량 수를 산정하였다.

벤치마크는 지역과 시간대에 따른 서비스 수행력 및 운영 효율성을 평가하는 A세트와, 픽업 지연 허용시간 및 우회 조건 변화에 따른 연산 성능과 대응 특성을 평가하는 B세트로 구성하였다. A세트에서는 지역별 3개 시간대를 대상으로 총 9개의 인스턴스를 구축하였으며, 산정된 차량 수는 5%의 버퍼를 포함하여 대전 168~607대, 목포 16~83대, 정선 6~9대로 나타났다. B세트에서는 대전의 승객 요청 4,931건을 대상으로 운영 조건별 9개의 인스턴스를 구성하였으며, 차량 수는 452~961대로 산정되었다. 픽업 지연 허용시간과 우회 조건이 완화될수록 필요한 차량 수가 감소하는 경향이 확인되었다. 또한 IH, RTV 및 OR-Tools 알고리즘을 적용한 결과, 계산시간과 서비스율, 승객 대기시간 및 차량 운영 효율성에서 알고리즘별 성능 차이가 나타나 벤치마크의 변별력과 활용 가능성을 확인하였다.

본 연구는 실제 카카오택시 이용 이력을 DRT 승객 요청으로 변환하여 현실의 택시 수요를 DRT로 처리하는 상황을 실험적으로 구성하고, 이를 기반으로 경로최적화 알고리즘 평가용 벤치마크를 구축했다는 점에서 의의가 있다. 특히 도시 규모와 교통환경이 다른 지역의 실제 이동 수요를 반영하고, 지역 및 운영 조건별 평가 인스턴스를 구축함으로써 서로 다른 DRT 경로최적화 알고리즘을 동일한 조건에서 비교할 수 있는 실험 기반을 제시하였다. 이는 기존 합성 데이터 중심의 평가를 보완하고 국내 DARP 알고리즘 개발 및 검증에 활용될 수 있다. 다만 단일 대표일 분석과 대규모 요청 처리 시 계산 제약 등의 한계가 있어 향후 다양한 날짜와 수요 조건을 반영할 필요가 있다.

사사: 이 논문은 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-RS-2024-00415360).

15분 도시의 실질적 구현을 위한 새로운 모빌리티 전략: 목적 기반 모빌리티(PBV) 플러그인 스테이션을 중심으로

A New Mobility Strategy for Realizing the 15-Minute City: Focusing on Purpose-Built Vehicle (PBV) Plug-in Stations

정지효	권민주	임호선	이정빈	김동은	이수현	김은성	김회경
(동아대학교 도시계획·조경학과, 박사과정)	(동아대학교 도시공학과, 학부과정)	(동아대학교 도시공학과, 학부과정)	(동아대학교 도시공학과, 학부과정)	(동아대학교 도시공학과, 학부과정)	(동아대학교 도시공학과, 학부과정)	(동아대학교 도시공학과, 학부과정)	(동아대학교 도시공학과, 교수)

15분 도시는 도보와 자전거로 15분 이내에 생활 필수 기능을 누리는 근린 중심의 도시 패러다임이다. 그러나 부산은 급경사 지형과 산복도로 중심의 도시 구조로 인해 직선거리 기준의 접근성 평가가 실제 보행 환경을 반영하지 못하고, 고정형 인프라의 신규 건설만으로는 지형적 장벽을 해소하기 어렵다. 본 연구는 이러한 한계를 극복하기 위해 시설이 사람을 찾아가는 '이동형 공간 복지' 개념을 도입하고, 목적 기반 모빌리티(PBV)를 활용한 플러그인 스테이션의 최적 입지를 데이터 기반으로 도출하는 것을 목적으로 한다.

분석 대상은 부산시 주거지역이며, 이를 40,000㎡ 단위의 헥사곤 6,418개로 구획하여 분석 단위로 설정하였다. 종합병원, 경로당, 체육시설, 버스정류장, 도서관, 행정공공시설 등 생활 SOC 6종을 대상으로 ArcGIS 네트워크 분석을 수행하였으며, 도로망과 경사 저항을 반영한 도보 15분(4km/h) 서비스 영역을 산정하여 접근성 1점 이하의 보행 사각지대 2,010곳을 도출하였다. PBV 거점 후보지는 신규 건축 없이 기존 유휴 공공자원을 활용한다는 원칙 아래 공영주차장, 학교(초·중·고), 행정복지센터 1,601개소로 설정하였다. 이어 입지-배분(Location-Allocation) 모형을 적용하여 후보지 유형별·거점 수별 커버리지를 비교하였다. 커버리지 분석은 실제 도로망을 반영하지 못하는 한계가 있으나, 상대 비교 결과 단일 유형보다 공영주차장·학교·행정복지센터를 통합한 복합 유형의 커버리지가 가장 높았고, 거점 수 증가에 따른 커버리지 증가폭이 체감하는 지점(20개소 87.1%)과 경제성을 함께 고려하여 20개소를 최적 거점 수로 선정하였다. 최종 거점은 학교 9개소, 공영주차장 8개소, 행정복지센터 3개소이다.

실제 도로망과 경사 저항을 반영한 네트워크 분석에서는 해소율이 지나치게 낮게 산출되는 문제가 있었다. 이에 1,601개 후보지를 모두 가동했을 때 물리적으로 도달 가능한 사각지대 983곳(전체의 48.9%)을 상한선으로 설정하고 이를 기준으로 해소율을 재산정하였다. 그 결과 사각지대의 51.1%(1,027곳)는 지형 구조상 해소가 불가능한 것으로 나타났으며, 20개 거점은 상한선 983곳 중 764곳을 커버하여 77.7%의 해소율을 달성하였다. 이는 전체 후보지의 1.2%만 투입한 결과이다. 또한 미도달 사각지대를 위성지도로 현장 교차 검증한 결과 하천 단절 등 물리적 장벽이 확인되어, 이는 분석 오류가 아닌 현실 지형의 한계임을 확인하였다. 산복도로·계단·하천 등 보행 장벽의 분포를 사각지대 분포와 비교한 결과, 산복도로와 계단이 도심 산복도로 벨트에 집중되어 지형 장벽이 사각지대 형성과 관련됨을 확인하였다.

본 연구는 건물 신축과 부지 매입 없이 기존 유휴 공공시설을 활용하므로 사업비를 절감할 수 있으며, 의료·도서·카페·약국 등 다양한 서비스를 탑재한 PBV를 거점에 배치하는 마스터플랜을 제시하였다. 시설이 사람을 찾아오는 이동형 인프라는 지형적 제약으로 소외된 고령층과 보행 약자를 포용하는 15분 도시 실현 전략으로 활용될 수 있을 것이다.

사사: 이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2025-16069618).

공항 연계형 UAM 서비스 도입을 위한 버티포트 입지·수요 할당·기체 운영의 통합 최적화 모형

Integrated Optimization of Vertiport Location, Demand Assignment, and Fleet Operations for UAM Airport Access Services

오수현 (서울대학교, 석박사통합과정)

김태성 (서울대학교, 석박사통합과정)

윤규근 (서울대학교, 조교수)

도심항공교통(UAM)은 도심과 주요 교통거점을 연결하는 새로운 교통수단으로 논의되고 있으며, 특히 공항 접근 과정에서 발생하는 기존 지상교통의 시공간적 제약을 보완할 수 있는 수단으로 주목받고 있다. 공항 연계형 UAM 서비스를 도입하기 위해서는 이용 수요를 확보할 수 있는 버티포트의 입지와 수요의 공간적 배분뿐만 아니라, 한정된 기체와 시설을 활용하여 실제 서비스가 가능한 운항계획을 수립해야 한다. 그러나 버티포트의 입지, 이용자 수요, 기체 운영은 서로 영향을 미치는 의사결정임에도, 이를 개별적으로 다룰 경우 실제 운영 가능성을 고려한 UAM 네트워크를 구축하는 데 한계가 있다. 이에 본 연구는 공항 접근을 목적으로 하는 UAM 서비스를 대상으로 버티포트 입지 선정, 수요 할당, 기체 운영을 하나의 의사결정 체계에서 동시에 고려하는 통합 최적화 모형을 제안한다. 제안 모형은 지역별 공항 접근수요와 버티포트의 서비스 범위를 고려하여 이용 수요를 배분하고, 버티포트 및 기체의 운영 제약을 함께 반영하여 실제 서비스 가능한 수요를 기준으로 네트워크를 설계한다. 본 연구의 결과는 향후 공항 연계형 UAM 서비스 도입 시 수요와 운영 여건을 함께 고려한 버티포트 네트워크 구축 방안을 제시하며, 추후 UAM의 단계적 인프라 확충 및 운영계획 수립을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

사사: 이 연구는 서울대학교 신임교수 연구정착금으로 지원되는 연구비에 의하여 수행되었음.



Session C

자율주행 운행 · 제어권 전환 및 제도

Session

C-1

실도로 자율주행버스 운행데이터 기반 제어권 전환 예측 프레임워크 개발
방혜원, 김형주, 여지호, 이응주

멀티모달 VLM-LLM 기반 자율주행버스 고위험 제어권 전환(ToC) 시나리오 분석 프레임워크 개발
정은주, 김형주, 여지호, 임동현

실도로 데이터 기반 자율차 의사결정 지원 정보 분석 연구
지정훈, 오철

자율주행자동차 교통사고 재현 결과의 제공 범위 도출 연구
권진문, 김원기, 홍유표, 김천호

다국어 텍스트 분석을 통한 한국 자율주행 법제의 규율 공백 탐색
황인수, 김정화

부울경 지역 맞춤형 자율주행 서비스 중요도 분석 – AHP 기반 전문가 조사를 중심으로 –
정지효, 이정빈, 정연탁, 김회경

실도로 자율주행버스 운행데이터 기반 제어권 전환 예측 프레임워크 개발

Development of a Takeover Control Prediction Framework Using Real-World Autonomous Bus Operational Data

방혜원 (가천대학교 스마트시티학과)

김형주 (차세대융합기술연구원 첨단교통체계연구실)

여지호 (가천대학교 스마트시티학과)

이응주 (차세대융합기술연구원 첨단교통체계연구실)

자율주행버스의 실도로 운행 중 발생하는 제어권 전환(Take-Over Control, ToC)은 자율주행 시스템의 대응 한계와 운전자 개입 상황을 파악하는 데 중요한 지표이다. 그러나 기존 연구는 주로 운전자의 반응시간이나 ToC 발생 원인의 사후 분석에 초점을 맞추어, 제동(Brake) 및 가속(Acceleration) 개입 유형별 주행 특성과 주변 교통환경의 차이를 충분히 고려하지 못하였다. 본 연구는 차세대융합기술연구원이 운영하는 판타G버스의 실도로 운행데이터를 활용하여 ToC 발생 가능성과 개입 유형을 예측하고, 주요 영향 요인을 해석하는 프레임워크를 구축하였다. 분석에는 2024년 10월 25일부터 2025년 8월 21일까지의 유효 운행일 105일에 대해 0.1초 간격(10Hz)으로 기록된 차량 센서·가공데이터와 도로 유형, 교통밀도, 신호 및 합류 상황 등을 기록한 운행환경 메타데이터를 활용하였다. 자율주행에서 수동주행으로 전환된 시점을 ToC로 정의하고, 운행 로그의 해제 사유에 따라 제동 및 가속 개입을 구분하였다. 정상 주행 및 ToC 구간 모두 직전 7초(70프레임)가 자율주행 상태인 데이터만 사용하고, 정상 주행 데이터는 모드 전환 시점에서 일정 시간 이상 떨어진 구간에서 추출하여 편향을 방지하고자 하였다. 입력 변수는 차량 동역학, 주변 객체 정보, 도로·교통 상황으로 구성하였다. 특히 기존 가공데이터의 전방 차량 정보 결측과 좌·우측 차량 정보 부재를 보완하기 위해 레이더 원시 탐지 객체 기반 주변차량 정보 재구성 로직을 설계하였다. 탐지 객체의 상대 위치와 각도를 기준으로 전방·좌측·우측 영역을 구분하고, 우선순위 점수로 주요 객체를 선정하여 영역별 거리, 상대속도 및 충돌예상시간(Time-to-Collision, TTC)을 산출하였다. 이를 통해 기존 데이터에서 활용하기 어려웠던 주변차량 상호작용 정보를 머신러닝 입력 변수로 구성하였다. 또한 7초 시계열을 1초(10프레임) 단위의 7개 구간(t0~t6)으로 분할하고, 변수의 물리적 특성과 분석 목적에 따라 서로 다른 통계 연산자를 적용하였다. 예를 들어 주변 차량과의 거리는 최솟값, 상대속도는 평균값, 요구가속도는 표준편차 등을 적용하여 각 구간의 10개 프레임을 하나의 통계값으로 요약하였다. 생성된 통계값은 시간 순서에 따라 t0~t6의 입력 변수로 구성하여 ToC 발생 이전의 시간적 변화 특성을 반영하였다. 여기에 도로 유형, 신호 및 합류 상황 등의 운행환경 정보를 결합하여 총 197개의 머신러닝 입력 변수를 구성하였다. 최종 데이터셋은 14,502개 윈도우(Normal 11,066개, Brake 1,167개, Acceleration 2,269개)로 구축하였으며, 운행일 단위 월별 층화 분할을 통해 학습 74일과 평가 31일로 구분하였다. 예측 모델로는 표 형식 데이터에 특화된 파운데이션 모델인 TabICLv2와 XGBoost, LightGBM, EBM(Explainable Boosting Machine)을 적용하여 성능을 비교하였다. TabICLv2는 ToC 탐지에서 ROC-AUC 0.906, AP 0.812로 가장 높은 성능을 보였으며, 제동과 가속 개입 유형 구분에서도 ROC-AUC 0.851을 기록하였다. 주요 영향 요인은 TabICLv2 기반 SHAP(SHapley Additive exPlanations)으로 분석하고, EBM 및 트리 기반 모델의 해석 결과와 비교하여 예측 기여도와 해석의 일관성을 검토하였다. 분석 결과, 두 유형 모두 차선 합류 및 신호 출발 등 주행 상태가 변화하는 구간과 높은 연관성을 보였으나, 제동 개입은 비보호 우회전과 차로 변경 상황에서, 가속 개입은 좌회전 신호 및 곡선 구간에서 상대적으로 높게 나타났다. 특히 전방 차량이 25m 이내에서 접근할 때 제동 개입 비율은 전체 평균 대비 약 2.2배, 동일한 거리에서 전방 차량이 멀어질 때 가속 개입 비율은 약 2.5배로 나타나, 전방 차량과의 거리 및 상대속도가 개입 유형을 구분하는 주요 요인임을 확인하였다. 본 연구는 실도로 운행데이터의 특성을 고려한 주변차량 정보 재구성 및 변수별 시계열 특징 추출 방법을 제시하고, 이를 활용하여 ToC 발생 가능성과 개입 유형을 예측하였다. 또한 유형별 주행·교통환경 특성의 차이를 정량적으로 분석함으로써 자율주행버스의 운영 안전성 평가와 주행 제어 개선을 위한 기초 근거를 제시하였다.

사사: 본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2026-25524099,RS-2026-25522607).

멀티모달 VLM - LLM 기반 자율주행버스 고위험 제어권 전환(ToC) 시나리오 분석 프레임워크 개발

Development of a Multimodal VLM - LLM Framework for Analyzing High-Risk Takeover-of-Control Scenarios in Autonomous Buses

정은주	김형주	여지호	임동현
(가천대학교 스마트시티학과)	(차세대융합기술연구원 첨단교통체계연구실)	(가천대학교 스마트시티학과)	(차세대융합기술연구원 첨단교통체계연구실)

자율주행 중 발생하는 제어권 전환(Takeover of Control, ToC)의 원인을 파악하기 위해서는 당시의 도로 환경과 주변 교통 참여자의 움직임, 차량의 주행 상태를 함께 살펴볼 필요가 있다. 그러나 기존의 해제 기록만으로는 제어권 전환에 이르게 된 구체적인 상황을 파악하기 어렵다. 이에 본 연구에서는 실도로 자율주행버스의 카메라 영상과 주행 데이터를 활용하여 개별 ToC 발생 상황을 해석하고, 유사한 발생 원인을 가진 사례를 유형화하는 VLM - LLM 기반 분석 프레임워크를 제안한다.

분석에는 판교 8.3km 순환 노선을 운행하는 판타G 자율주행버스의 평일 5일간(2025.07.31.~08.06.) 운행 데이터를 활용하였다. 해당 기간에 발생한 ToC 318건을 추출하고, 각 사례에 대해 제어권 전환 시점 전후 7초 범위의 전방·좌전방·우전방 카메라 영상 9시점과 가공 주행 피처 38개, 메타데이터 4개를 구성하였다.

제안한 프레임워크는 장면 관찰과 원인 판단을 분리하여 수행한다. 먼저 VLM을 통해 ToC 발생 전후의 시각적 상황을 서술하고, LLM을 이용하여 이를 7개의 관찰 필드로 구조화하였다. 이후 장면 서술과 관찰 필드, 주행 피처 및 메타데이터를 종합하여 ToC의 주요 원인과 안전 관련성을 분석하였다. 이 과정에서 입력 데이터만으로 발생 원인을 판단하기 어려운 사례는 원인을 확정하지 않도록 하였다. 최종적으로 주요 원인 서술문에 의미 기반 군집화를 적용하여 반복적으로 나타나는 ToC 상황을 유형별로 분류하였다.

분석 결과, 주요 원인에 대한 의미 기반 군집화를 통해 반복적으로 나타나는 ToC 상황 유형을 도출하였다. 도출된 유형에는 녹색 신호에서의 출발 지연, 선행차량 추종 중 정지, 주변 차량과의 측방 근접 및 차로 이탈 등이 포함되었으며, 안전 관련 사례는 주로 측방 근접 및 차로 이탈 유형에 분포하였다. 한편, 원인이 확정되지 않은 사례를 연구자가 검토한 결과, 운전자의 운행 판단에 따른 개입이나 노면·곡선 구간에서의 개입이 다수를 차지하였다. 이러한 결과는 ToC가 모두 동일한 위험 수준이나 발생 원인을 갖는 것은 아니며, 개별 상황의 맥락을 고려하여 구분할 필요가 있음을 보여준다.

본 연구는 실도로 영상과 주행정보를 결합하여 개별 ToC 발생 상황을 해석하고, 주요 원인에 따라 반복적인 상황을 유형화하였다. 이를 통해 단순한 해제 기록으로는 구분하기 어려웠던 제어권 전환의 발생 맥락을 파악하고, 실제 운행 데이터에 기반한 위험 시나리오 도출 가능성을 확인하였다.

사사: 본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2026-25522607, RS-2026-25524099).

실도로 데이터 기반 자율차 의사결정 지원 정보 분석 연구

A Study on Information Analysis to Support Decision-Making in Autonomous Vehicles Based on Real-World Data

지정훈
(한양대학교 교통물류공학, 박사과정)

오철
(한양대학교 교통물류공학, 교수)

자율주행 기술 및 인프라 검지 기술의 발전에 따라 실도로 환경에서의 다양한 교통자료가 수집되고 있다. 또한 V2X(Vehicle-to-Everythin) 기반 정보 연계 기술의 발전에 따른 인프라-자율차 간 양방향 데이터 공유의 기반이 마련되었다. 따라서 자율협력주행 환경에서의 협력적 관점의 접근이 필요하다. 자율차의 의사결정 체계에서 경로계획은 도로 네트워크 수준의 경로를 결정하는 상위 계획 단계이며, 이후 행동 결정과 차량 제어의 기준이 된다. 본 연구에서는 자율차의 경로계획을 위한 새로운 교통정보를 제시하고, 실도로에서 수집된 교통자료를 기반으로 정보 생성 가능성을 평가하는 것을 목적으로 한다. 현재 수집 및 활용이 가능한 자율주행 리빙랩 실증구간의 데이터를 기반으로 자율차의 주행 부담 정도인 자율주행 스트레스 정보를 생성하였다. 자율주행 스트레스 정보는 자율차의 동적주행부담(Dynamic Driving Task, DDT)의 기능적 수행영역을 기반으로 정의되며, 자료 특성기반 가중치와 도메인 지식 기반 가중치 방안을 통해 산출되었다. 수집된 실도로 자율차 데이터와 인프라 검지자료를 기반으로 모델의 학습 과정과 정보를 생성하는 과정을 수행하였다. 이때 실도로 정보 생성을 위한 주기와 집계의 공간적 범위, 정보 산출 범위를 설정하여 분석하였다. 분석 결과, 실도로 교통자료를 기반으로 자율주행 스트레스 정보를 생성하였다. 본 연구에서 제시하는 자율주행 스트레스 정보는 향후 자율협력주행 환경에서 자율차의 전역경로계획을 위한 의사결정 지원 정보로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

사사: 본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(RS-2022-00143579)

자율주행자동차 교통사고 재현 결과의 제공 범위 도출 연구

권진문	김원기	홍유표	김천호
(한국도로교통공단, 연구원)	(한국도로교통공단, 사고조사연구원)	(한국도로교통공단, 교통사고종합분석센터장)	((유)삼송, 연구소장)

전남광주 자율주행 실증도시와 같이 도시 전역이 유·무인 자율주행자동차의 운행 영역으로 확대되고 도로 운행을 위한 여러 법적 규제와 제도적 장벽이 완화되는 등 우리나라 정부의 전방위적인 지원 정책에 따라, 자율주행자동차가 도로를 주행하고 시민들이 자율주행버스나 무인택시를 자유롭게 이용하는 모습은 더 이상 낯설지 않은 일상으로 자리 매김할 것이다. 이렇게 자율주행자동차의 운행 비중이 커질수록 이와 관련된 교통사고 역시 증가할 것으로 예상된다. 자율주행주행차 교통사고의 경우 기존의 교통사고 조사·분석 과정에서보다 훨씬 정밀하고 사실적인 재현결과를 도출해낼 수 있다. 이는 자율주행자동차가 주행 과정에서 인지하는 차량 내·외부 주행환경 데이터를 자율주행정보기록장치(DSSAD)에 매 순간 저장하는 덕분이다. 따라서 이 데이터를 사고재현 시뮬레이션을 통해 가공하면 교통사고 당시와 흡사한 장면을 재현해 사고원인을 규명하는 것이 가능하다. 이렇게 처리된 자율주행차 교통사고 자료는 기존 교통사고와 마찬가지로 정보수요자에게 제공될 수 있다. 예를 들어 국가 및 지자체의 자율주행 정책 수립, 교통사고 방지 전략 마련, 산학계의 연구개발, 사고당사자의 사고사실확인 등이 있다. 하지만 교통사고 재현결과의 경우에는 그 정보 속에 개인정보를 침해하는 정보가 들어있거나, 다른 정보와 쉽게 결부되어 개인을 정황상 식별할 수 있는 위험성을 내재하고 있다. 따라서 자율주행차 교통사고 정보의 제공은 그 공개 범위에 명확한 기준을 세워야 한다.

이에 따라 본 연구에서는 BWS(Best Worst Scaling) 기법을 활용해 자율주행차 교통사고 재현 결과인 11개 항목이 정보 제공 제공 측면과 개인정보 보호 측면에서 각각 어느 정도의 중요성과 필요성을 가지는지 분석하였다. 여기에는 응답자의 인구통계학적, 교통이용특성, 교통사고경험 등도 함께 고려하였다. 분석결과를 바탕으로 가중치를 곱한 종합점수를 각 항목마다 부여하였으며, 이 점수를 기준으로 자율주행차 교통사고 재현 결과의 공개 범위를 도출하였다. 다음은 본 연구의 결과이다. 첫째, 설문참가자들은 각 항목에 포함된 개인정보의 정도와 수준을 고려했을 때 정보제공의 필요성이 개인정보 보호의 필요성보다 높다고 응답하였다. 둘째, 종합 점수의 순위는 상황판단기록, 시뮬레이션영상, 운행주체, 속도, 주행모드, 궤적, 통신상태, 가속도, 주변객체 상대거리, 시뮬레이션 캡처이미지, 주변객체유형 순으로 나타났다. 셋째, 상위 5개는 긍정적 응답이 더 많았던 반면, 하위 6개는 부정적 응답이 더 많았다. 넷째, 연령대, 주 이용 교통수단, 자차 보유 여부, 자율주행자동차 이용경험, 사고경험, 사고유형에 따른 분석결과에서 각 항목의 순위에 큰 차이가 나타나지 않았다. 결론적으로 개인정보 침해 가능성 및 제공 필요성 여부를 고려하여 자율주행자동차 교통사고 재현 결과를 제공하는 범위로 5개 항목을 추렸다. 연구 결과를 바탕으로 한국도로교통공단의 교통사고분석시스템(TAAS)의 기능 개편이나 교통사고사실확인원 등의 양식 개정을 제시하는 데 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

사사: 본 연구는 2023년도 경찰청의 재원으로 과학치안진흥센터 및 자율주행기술개발혁신사업단의 지원을 받아 수행하였습니다.(RS-2023-00260576 자율주행자동차 교통사고 조사 ·분석 기술 개발을 위한 교통사고 재현 S/W 개발)

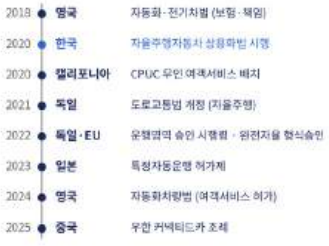
다국어 텍스트 분석을 통한 한국 자율주행 법제의 규율 공백 탐색

Exploring Regulatory Gaps in Korea's Autonomous Driving Legislation through Multilingual Text Analysis

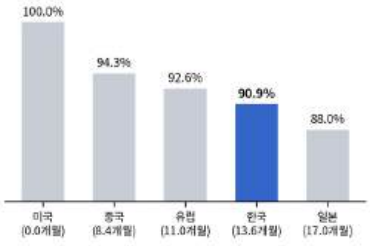
황인수
(경기대학교 도시·교통공학과, 학부과정)

김정화
(경기대학교 도시·교통공학전공, 부교수)

자율주행은 레벨 4 이상 차량의 무인 운영과 유상 서비스를 제공하는 상용화 단계로 넘어가고 있다. 무인 서비스에서는 기존 법제가 운전자에게 맡겨 온 안전 확보, 사고 대응, 승객 보호의 역할을 새롭게 정해야 하며, 이에 일본(2023년 특정자동운행 허가제), 독일(2021년 도로교통법 개정과 기술감독 제도), 영국(2024년 자동화차량법) 등 주요국은 운행 승인부터 이용자 보호까지 상용 서비스 전 과정을 규율하도록 2018년 이후 법제를 정비하고 있다. 국내에서도 「자율주행자동차 상용화 촉진 및 지원에 관한 법률」을 중심으로 시범운행지구와 성능인증 등 상용화 기반이 마련되었고, 기술수준은 최고기술국 대비 90.9%, 격차 13.6개월로 주요국에 근접하였다. 이에 따라 국내 법제가 상용 서비스 단계에 필요한 규율을 갖추었는지 점검할 필요가 커지고 있으나, 국내 법제와 주요국 규율의 조항 단위 대응을 다국가로 비교한 연구는 제한적이다. 기존 비교법 연구는 개별 국가의 입법 동향을 정성적으로 검토하는 데 중점을 두었고, 언어와 법체계가 다른 여러 나라의 법령을 조항 단위로 대조하기에는 검토 부담이 크다.



[그림 1] 주요국 자율주행 법제 정비 연표



[그림 2] 국가별 기술수준 (%)과 최고기술국 대비격차(개월)

자료: [그림 2] 자율주행기술개발혁신사업단(2026), 『2025년 자율주행 기술수준 보고서』

이에 본 연구는 다국어 텍스트 분석을 활용하여 한국 자율주행 법제의 규율 공백을 탐색하였다. 한국과 일본, 중국(우한), 독일, EU, 영국, 미국 캘리포니아 7개 법체계의 자율주행 관련 법령을 공식 원문으로 수집하여 조항 단위로 분할하고, 상용화 진입 단계(성능인증·운행승인·사업허가)와 서비스 운영 단계(안전관리·사고와 데이터·이용자 보호)로 나누었다. 다국어 임베딩으로 해외 조항과 국내 조항의 유사도를 산출하여 대응이 약한 해외 조항 466건을 선별하고, 이를 국내 조항과 원문으로 대조하여 대응, 부분대응, 대응 없음으로 판정하였으며, 국가별 특징 규율어 분석을 병행하였다.

분석 결과, 연구 범위 밖 8건과 독립 판정 대상이 아닌 연결문 2건을 제외한 456건 중 대응 없음 374건(82.0%), 부분대응 78건, 대응 4건으로 나타났다. 두 단계에 속하지 않는 4건을 제외하면 진입 단계 236건 중 192건(81.4%), 운영 단계 216건 중 179건(82.9%)이 대응 없음이었다. 진입 단계에서는 성능인증과 시범운행지구 등은 확인되었으나, 소프트웨어 업데이트 보안, 안전입증 문서, 운행영역 승인 철회·운행제한·재검토 등 허가 이후의 사후관리 규정은 검토 범위 안에서 확인되지 않았다. 운영 단계에서는 기록장치와 사고조사 제도는 있으나, 운행기록의 항목·형식, 운영데이터 정기보고, 자율주행 사고책임 특칙, 운영 인력의 결격·피로 관리, 이용자 고지 등이 확인되지 않았다. 특징 규율어 분석에서도 한국은 인증·시범운행지구·사고조사 중심으로, 해외는 인력 역할·데이터 항목·서비스 허가를 세분화하는 경향을 보였다.

이는 국내 법제가 제도의 골격은 갖추었으나 그 안의 개별 의무·권한·절차, 특히 사후관리 규율에서 보완을 검토할 필요가 있음을 시사하며, 다국어 임베딩으로 비교 대상을 좁혀 여러 나라 법령을 조항 단위로 대조할 수 있음을 보였다는 점에서 의의가 있다. 다만 본 결과는 선별한 후보 안에서 확인한 탐색 결과이므로, 관련 일반법까지 비교 범위를 확대하고 전문가 교차검토로 판정의 신뢰성을 높이는 후속 연구가 필요하다.

사사: 본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2026-25516836).

부울경 지역 맞춤형 자율주행 서비스 중요도 분석
- AHP 기반 전문가 조사를 중심으로 -

Prioritizing Region-Specific Autonomous Driving Services in the Busan-Ulsan-Gyeongnam Region: An AHP-Based Expert Survey

정지효 (동아대학교 도시계획·조경학과, 박사과정)

이정빈 (동아대학교 도시공학과, 학사과정)

정연탁 (스마트모빌리티 혁신연구소)

김회경 (동아대학교 도시공학과, 교수)

자율주행 기술은 운행데이터·관제·통신·인프라가 결합된 모빌리티 서비스로 확장되고 있으며, 국내에서도 시범운행지구 지정과 실증도시 추진 등 상용화 정책이 확대되고 있다. 그러나 2024년 시범운행지구 운영성과 평가에서 36개 지구 중 12개가 E등급을 받는 등 지정 이후 운영성과의 편차가 크다. 특히 부산·울산·경남(부울경)은 광역통행, 항만·공항·산업단지 물류, 농촌·도서 교통복지, 관광 수요가 공존하여 획일적 도입 모델에 한계가 있다. 이에 본 연구는 전문가 조사와 계층화분석법(AHP)으로 자율주행 서비스 도입 평가 기준의 중요도와 지역별 우선 도입 서비스를 도출하고, 지역 맞춤형 단계별 도입 방안을 제시하고자 하였다.

교통·ITS·도시 분야 전문가 30명(교수 8명, 연구원 10명, 공무원·공공기관 9명, 관련 업체 3명, 평균 경력 19.7년)을 대상으로 2026년 5월 설문조사를 실시하였다. AHP 계층은 안전성, 효율성, 형평성, 경제성, 확장성의 5개 기준과 20개 세부 항목으로 구성하였고, 30명 모두 일관성 비율(CR) 0.1 이하를 충족하였다(평균 0.047). 지역별 발전 가능성과 실증 필요성은 5점 척도로, 지역별 우선 도입 서비스는 1~3순위에 3·2·1점을 부여한 가중점수로 분석하였다.

분석 결과, 1계층 중요도는 안전성(0.464)이 가장 높았고 효율성(0.167), 경제성(0.157), 형평성(0.109), 확장성(0.104) 순이었다. 글로벌 가중치 1~4위는 주행 위험 인지 및 대응체계 강화(0.186), 긴급상황 대응 및 관제 연계 강화(0.099), 운행데이터 기반 안전성 검증 및 평가체계 구축(0.096), 사이버보안 및 시스템 신뢰성 확보(0.083)로 모두 안전성 항목이었고, 차량-인프라-관제 연계 효율화(0.056)와 공공투자 효율성·재정 지속가능성 확보(0.052)가 뒤를 이었다. 발전 가능성과 실증 필요성의 통합 평균은 부산(3.87), 울산(3.72), 부울경 광역권(3.65), 경남(3.30) 순이었다.

지역별 우선 도입 서비스는 뚜렷하게 구분되었다. 부산은 항만·공항 자율주행 셔틀(40점)과 자율주행 심야버스 확대(37점), 울산은 산업단지 자율주행 통근버스(55점)와 물류·배송 자율주행 로봇(18점), 경남은 농촌·도서 교통약자 DRT(57점)와 의료·복지 연계 순환버스(21점)가 상위에 올랐다. 주요 후보지로는 부산의 북항 재개발지·부산역·BRT 구간, 울산의 미포·온산 국가산단, 경남의 의령·산청·함양·남해군과 도서 지역이 제시되었다. 이는 부산은 거점 연계·대중교통 보완형, 울산은 산업지원형, 경남은 교통복지형 서비스가 각 지역의 핵심 방향임을 의미한다.

이상을 종합하면 부울경 자율주행 서비스는 안전성 확보를 최우선 원칙으로 하여 지역별 대표 서비스를 제한 구간에서 실증하고, 성과에 따라 보완 서비스로 확대하며, 관제·데이터·평가 체계를 부울경 공동 플랫폼으로 연계하는 단계적 방식으로 추진할 필요가 있다. 또한 실증 단계부터 운영비, 보험·책임, 기존 운송사업자와의 상생 구조를 함께 설계해야 한다. 향후 후보지별 수요와 비용·편익 분석을 결합하여 도입 우선 지역을 정량적으로 검증할 필요가 있다.

사사: 본 연구는 부울경 지역 맞춤형 자율주행서비스 기획 연구 컨설팅의 일환으로 수행되었음.

자율주행 경로 최적화 및 주차

Session

C-2

다층 선박-터미널 이종 공간에서의 Ro-Ro 완성차 최적 경로 탐색 및 heuristic 효율성 검증
이상규, 김용훈, 신승진, 노홍승, 박동주

Ro-Ro 터미널-선박 통합 환경의 자율주행차 경로 최적화- 선행연구 및 방법론 고찰 -
김용훈, 이상규, 신승진, 노홍승, 박동주

주차 형식에 따른 인휠모터 차량의 토크벡터링 기반 자동 주차 제어기 설계
이재형, 권성진

사전 예약 및 긴급도 기반 실시간 요청 대응을 고려한 자율주행 이동형 충전 로봇의 경로 최적화
서문정, 이승현, 변지혜

자율주행차 시대 공영주차장 입지 최적화 - 고정비용 시설입지모형을 활용한 서울시 강남구 사례 -
최연재, 소영웅, 황우석, 서민성, 최성택

다층 선박-터미널 이종 공간에서의 Ro-Ro 완성차 최적 경로 탐색 및 heuristic 효율성 검증

Optimal Routing and Heuristic Efficiency for Ro-Ro Finished Vehicles across Heterogeneous Vessel-Terminal Spaces

이상규	김용훈	신승진	노홍승	박동주
(서울시립대학교 교통공학과·도시빅데이터융합학과 석·박사통합과정)	(서울시립대학교 교통공학과 석사과정)	(한국교통연구원 교통기술연구본부 부연구위원)	(한국교통연구원 교통기술연구본부 선임연구위원)	(서울시립대학교 교통공학과·도시빅데이터융합학과 교수)

완성차 Ro-Ro 하역은 운전 기사가 차량을 한 대씩 직접 운전해 옮기는 방식에 의존하며, 하역 경로 역시 운전자의 경험으로 결정되어 왔다. 하역 자동화를 위해서는 터미널 야적장의 지정 위치에서 다층 선박 내부 적재 위치까지 단절 없는 최적 경로가 필요하지만, 기존 연구는 적재 계획이나 자동화 효과 검증에 집중하여 경로를 사전에 주어진 것으로 가정했고, 성격이 다른 두 공간을 하나의 네트워크로 통합한 연구는 없었다.

본 연구는 선박·연결 램프·터미널을 OpenStreetMap 기반 3-layer 네트워크(광양항 testbed, 노드 141개·방향 링크 313개)로 통합하고, 링크 통행 비용과 회전·층간 이동 등 링크 간 전이 비용으로 구성된 Ro-Ro 비용함수를 설계하였다. 이때 탐색 정렬용 비용과 실제 경과 시간 성분을 분리하였으며, 양방향 A* 알고리즘으로 최적 경로를 산출하였다. 각 층에서 50개 지점을 무작위로 선정해 선박 데크(L1~L3)에서 터미널(L0)로 향하는 7,500개 기종점(OD)을 구성하고, 양방향 A*·Dijkstra·거리항만 사용한 양방향 A*의 세 방법을 비교하였다.

분석 결과 7,500개 OD 모두에서 최적성 격차가 0이었고 통과 링크 순서도 Dijkstra와 완전히 일치하였으며, 수계산 검증과 대안 경로 전수 열거로도 최적성이 확인되었다. 경로 비용의 80.4%가 전이 penalty인 조건에서도 평균 통행 속도가 기준 속도 범위 안에 유지되어 소요 시간의 물리적 타당성이 보존되었고, 경로당 평균 탐색 시간은 1.368 ms로 실시간 활용이 가능한 수준이었다. 거리 기반 하한은 경로 비용의 6.1%만 설명하였으나, 최소 층간 이동 횟수 기반의 허용 가능한 하한을 heuristic에 추가하자 설명 비율이 59.1%로 높아지고 탐색 노드 수가 21.9% 감소하였다.

결론적으로 본 연구는 다층 선박과 실외 터미널을 잇는 이종 공간 경로 탐색 문제를 정식화하고, 탐색 효율이 양방향 구성 자체가 아니라 heuristic이 비용의 지배 성분을 포착하는지에 달려 있음을 실험적으로 보였다. 또한 램프 통과는 위상적으로 고정되어 실질적인 경로 선택의 자유도는 데크 내부와 야적장의 수평 이동 구간에 있으며, 일방통행 구조로 인해 선적과 하선은 별도의 경로 문제로 다루어야 함을 확인하였다. 제안 프레임워크는 표준 OSM 태그 체계에 기반하여 다른 Ro-Ro 터미널로 확장할 수 있고, 자율주행 완성차뿐 아니라 일반 차량의 하역 경로 안내에도 활용할 수 있다. 향후 실측 속성 기반 parameter 보정, 차량 동역학 반영, 다차량 경로 배정 등으로 확장할 계획이다.

사사: 본 연구는 해양수산부의 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 '자율주행차 해상 수출입 서비스 기술개발' 과제의 지원으로 수행되었습니다.

Ro-Ro 터미널-선박 통합 환경의 자율주행차 경로 최적화 - 선행연구 및 방법론 고찰 -

Continuous Terminal-to-Vessel Routing for Automated Ro-Ro Finished-Vehicle Handling: An OSM-Based Three-Layer Network Using Bidirectional A
- Literature and Methodogy Review -

김용훈	이상규	신승진	노홍승	박동주
(서울시립대학교 교통공학과·도시빅데이터융합학과, 석사과정)	(서울시립대학교 교통공학과·도시빅데이터융합학과, 석·박사통합과정	(한국교통연구원 교통기술연구본부, 부연구위원)	한국교통연구원 교통기술연구본부, 선임연구위원)	(서울시립대학교 교통공학과·도시빅데이터융합학과, 교수)

국내 완성차는 대부분 자동차 전용 운반선(PCTC)에 Ro-Ro(Roll-On/Roll-Off) 방식으로 실려 수출되며, 선적·하역은 작업자가 차량을 직접 운전해 옮기는 인력 작업에 의존하고 있다. 인력 기반의 선적·하역은 인건비와 작업자 안전 문제가 크다. 자율주행 기술의 발전으로 이러한 인력 기반 선적·하역을 자동화할 수 있는 기술적인 배경이 갖추어졌다. 그러나 선적·하역의 자동화는 기술적인 배경뿐만 아니라 선박과 터미널 간의 경로 탐색, 주행 제어, 정밀 주차의 3단계를 순서대로 풀어야 하며, 첫 단계인 경로 탐색부터의 선행연구가 충분하지 않다. 또한, 다층 데크와 경사로로 이루어진 선박 내부와 선박과 램프로 이어진 터미널 야적장의 공간적인 특성을 고려할 때, 일반 도로망 기반의 경로 탐색을 그대로 적용하기 어렵다. 본 연구는 선박 내부의 3차원 다층 데크와 터미널 야적장의 2차원 실외 공간이 이어진 이종(異種)공간에서 자율주행차의 선적·하역 경로를 최적화하는 방법을 제시하는 것을 목표로 한다.

본 연구에서는 Ro-Ro 선박·터미널, 이종공간 통합, 경로탐색 알고리즘의 세 관점에서 선행연구를 검토하였다. Ro-Ro 선박·터미널 연구는 적재계획 최적화와 자동화 효과 검증에 집중되어 있었으며, 선내 주행 궤적을 직접 생성한 연구도 특수 대형 트레일러를 대상으로 선내 공간에 한정되었다. 이종공간의 통합 연구는 보행자를 대상으로 Dijkstra 계열 알고리즘과 단일 목적 비용에 머물렀으며, 조사된 경로탐색 선행연구 36편 가운데 선박과 터미널을 하나의 그래프로 통합한 연구는 없었다. 이동 주체 측면에서는 해양·항만 분야에서 자율주행차를 이동 주체로 한 경로탐색 연구가 확인되지 않았다.

선행연구 고찰 결과는 본 연구의 경로탐색 방법론에 세 가지 시사점을 준다. 첫째, 선박과 터미널을 하나의 그래프로 통합해야 한다. 이에 OSM(OpenStreetMap) 태그만으로 실내외를 통합한 선례(Wang & Niu, 2018)를 확장하여, 선박 내부, 터미널, 연결 구간을 OSM 형식의 레이어로 구축하고 하나의 경로 네트워크로 통합하는 구조를 설계하였다. 둘째, 기존 이종공간 통합 연구는 Dijkstra 계열 알고리즘에 머물러 대규모 네트워크의 탐색 효율을 충분히 다루지 않았다. 이에 OSM 기반 비격자 그래프에서 구현할 수 있는 Dijkstra, Traditional A*, Weighted A*, Bidirectional A*를 최적 경로 보장, 구현 용이성, 이종공간 통합 탐색, 가변 구조 비용 처리, 대규모 네트워크 탐색 효율의 5개 기준으로 비교하였고, 이를 모두 충족한 Bidirectional A*를 채택하였다. 셋째, 기존 연구의 단일 목적 비용으로는 Ro-Ro 환경의 제약을 표현하기 어렵다. 이에 링크 통과 비용(EdgeCost)과 링크 간 전이 비용(TransitionCost)으로 구성된 비용함수를 정의하고, 통로 폭, 경사, 층간 이동, 램프 진입·진출, 회전 등의 제약을 factor와 penalty로 반영하였다. 통행 가능 여부는 차량 크기와 통로의 폭·높이·경사를 기준으로 비용 계산에 앞서 판정한다.

향후 최적성 검증, 통행시간 평가, 민감도 분석으로 경로의 타당성을 검증하고, 자율주행 제어 시스템과의 연계 방안을 검토할 계획이다. 본 연구가 제시하는 통합 네트워크와 비용함수 구조는 Ro-Ro 선적·하역 자동화 연구의 기초틀로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

사사: 본 연구는 해양수산부의 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원(No. RS-2026-25528851)을 받아 수행되었습니다.

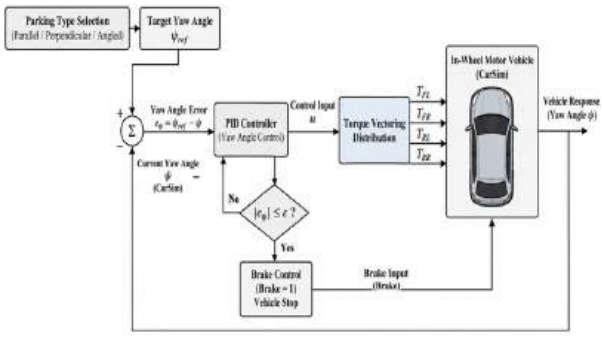
주차 형식에 따른 인휠모터 차량의 토크벡터링 기반 자동 주차 제어기 설계

Design of the Torque Vectoring-Based Automated Parking Controller for an In-Wheel Motor Vehicle According to Parking Type

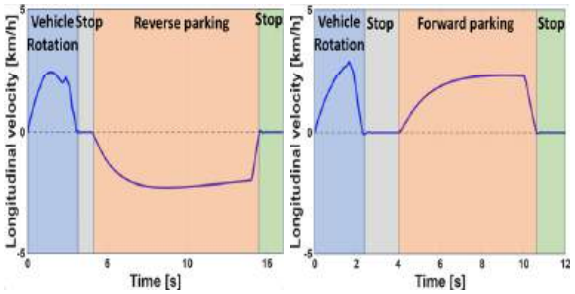
이재형
(영남대학교 미래자동차공학과, 석박사통합과정)

권성진
(영남대학교 미래자동차공학과, 교수)

최근 전기자동차의 구동 시스템은 각 휠의 구동 토크를 독립적으로 제어할 수 있는 인휠모터(in-wheel motor) 시스템으로 확장되고 있다. 인휠모터 차량은 좌·우 휠의 구동 토크를 차등 분배하여 추가적인 요 모멘트(yaw moment)를 발생시킬 수 있으며, 이를 통해 차량의 선회 및 자세 제어가 가능하다. 자동 주차(automated parking)는 제한된 공간에서 차량의 위치와 자세를 제어하여 목표 주차 공간에 진입시키는 기술로 평행주차, 직각주차 및 사선 주차와 같이 주차 형식에 따라 요구되는 차량의 목표 자세와 진행 방향이 달라진다. 따라서 서로 다른 주차 형식에서 요구하는 차량의 자세 변화와 진행 방향에 대응할 수 있는 공통 제어 구조가 필요하다. 이에 본 연구에서는 인휠모터 차량의 독립적인 휠 토크 제어 특성을 활용하여 다양한 주차 형식에 적용 가능한 토크벡터링(torque vectoring) 기반 자동 주차 제어기를 구성하였다. 본 연구에서 제안한 제어기는 현재 차량의 요 각도와 목표 요 각도의 오차를 PID 제어기의 입력으로 사용하고, 좌·우 휠에 차등 토크를 인가하여 차량 회전에 필요한 요 모멘트를 발생시키도록 구성하였다. 요 각도 오차가 허용범위 내에 진입하면 구동 토크를 제거하고 제동한 후, 주차 형식에 따라 전진 또는 후진하여 주차 공간으로 진입하도록 하였다. 제어 성능은 CarSim-Simulink 연동 환경에서 평행주차, 직각주차 및 사선 주차 조건을 대상으로 검증하였다. 평행주차의 목표 요 각도는 30°, 45°, 60°로 설정하였으며, 최종 요 각도 오차는 0.16°, 0.42°, 0.65°로 나타났다. 직각주차는 목표 요 각도 90°에서 정렬 시간 2.86초, 최종 요 각도 오차는 0.25°로 나타났으며, 자세 정렬 이후 후진 운동을 통해 주차를 완료하였다. 사선 주차는 목표 요 각도 45°에서 정렬 시간 1.88초, 최종 요 각도 오차는 0.50°로 나타났으며, 이후 전진 운동을 통해 주차 공간으로 진입하는 것을 확인하였다. 이를 통해 주차 형식에 따라 목표 요 각도와 차량의 진행 방향을 변경함으로써 본 연구에서 개발한 토크벡터링 기반 제어기를 평행, 직각 및 사선 주차에 적용할 수 있음을 확인하였다.



<그림 1> Control block diagram of the torque vectoring-based automated parking controller



(a) Perpendicular parking (b) Diagonal parking

<그림 2> Longitudinal velocity according to parking type

사사: 본 논문은 2026년도 산업통상부와 한국산업기술기획평가원 (KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(과제번호 : RS-2026-25544523, 과제명 : 이기종 ZCU와 적응형 통합 드라이브 모듈의 글로벌 상용화 지원 기술 개발).

사전 예약 및 긴급도 기반 실시간 요청 대응을 고려한 자율주행 이동형 충전 로봇의 경로 최적화

Integrated Route Planning for Autonomous Mobile Robotic Chargers with Advance Reservations and Urgency-Prioritized Real-Time Requests

서문정
(서울시립대학교 교통공학과, 박사과정)

이승현
(서울시립대학교 교통공학과, 부교수)

변지혜
(서울시립대학교 교통공학과, 부교수)

전기차는 친환경 교통수단이자 스마트시티의 핵심 요소로 주목받고 있으나, 전기차 보급을 확대하기 위해서는 충전 수요 집중으로 발생하는 병목 현상을 완화하고 안정적인 충전 서비스를 제공할 수 있는 인프라 운영 방안이 필요하다. 본 연구는 사전 예약 요청과 실시간 요청을 통합적으로 처리하여 대규모 전기차 충전 수요에도 안정적인 서비스를 제공할 수 있는 자율주행 이동형 충전 로봇(Autonomous Mobile Robotic Charger, AMRC)의 통합형 경로 계획 프레임워크를 제안한다. 사전 경로설정 단계에서는 혼합정수선형계획(Mixed-Integer Linear Programming, MILP) 모형을 활용하여 사전 예약 정보를 기반으로 AMRC의 일일 이동 경로와 충전 서비스 계획을 수립하며, 전체 AMRC의 총 이동거리를 최소화한다. 실시간 경로 조정 단계에서는 운영 중 새롭게 발생하는 충전 요청에 긴급도 점수를 기반으로 우선순위를 부여하고, 사전 계획의 실행 가능성을 유지하는 범위에서 해당 요청을 기존 경로에 동적으로 삽입한다. 서울특별시 강남구의 실제 도로망을 기반으로 충전 수요 데이터를 활용하여 제안된 전략의 운영 효율성, 확장성 및 유연성을 평가한다. 다양한 충전 수요와 AMRC 운영 대수를 조합한 시나리오를 분석한 결과, 동일한 수요 수준에서도 사전 예약 요청의 비중에 따라 실시간 요청 수용량과 AMRC 운영률이 상이하게 나타나, 총 수요뿐 아니라 수요 구성을 함께 고려한 AMRC 운영 규모의 결정이 필요한 것으로 확인되었다. 따라서 제안된 운영 전략은 이동형 전기차 충전 로봇의 적정 운영 규모 산정과 경로 계획을 위한 실무적 시사점을 제공하며, 대도시 충전 수요의 시공간적 불균형을 완화하는 데 기여한다.

사사: 본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원(KAIA)의 지원으로 수행되었으며(과제번호: RS-2025-16066665), 유럽연합 집행위원회(European Commission)가 공동지원하는 Driving Urban Transitions Partnership의 일환으로 수행되었음.

자율주행차 시대 공영주차장 입지 최적화
- 고정비용 시설입지모형을 활용한 서울시 강남구 사례 -

Optimal Location of Public Parking Facilities in the Era of Autonomous Vehicles:
A Fixed-Charge Facility Location Approach for Gangnam-gu, Seoul

최연재	소영웅	황우석	서민성	최성택
(한양대학교 도시공학과, 석사과정)	(한양대학교 도시공학과, 석사과정)	(한양대학교 도시공학과, 석사과정)	(한양대학교 도시공학과, 석사과정)	(한양대학교 도시공학과, 부교수)

[연구 배경] 자율주행차는 이용자를 내려준 뒤 스스로 주차장까지 이동하고 호출하면 돌아오므로, 주차장이 목적지 바로 옆에 있어야 할 이유가 약해진다. 지가가 매우 높은 강남구에서 공영주차장(60개소, 5,739면)을 도심에 두면 공차 주행은 짧지만 토지비가 크고, 외곽에 두면 그 반대이다. 본 연구는 이 절충을 최적화 문제로 풀어 공영주차장의 입지와 규모를 분석하였다.

[분석 방법] 고정비용 시설입지모형(FCFLP)으로 연간 시설비용과 공차 왕복 주행비의 합을 최소화하였다. 시설비용은 토지 기회비용(공시지가 × 자본환원율 5%)과 건설비 연간 환산액(면당 4,447만 원 × 자본회수계수 0.0614), 주행비는 왕복 341원/km의 도로망 거리 비용이다. 수요는 KTDB 도착통행을 건물 용도별 연면적으로 배분한 100m 격자 2,815개(첨두 5,739면), 최대 주행거리는 5km이다. 도시계획시설 정보(도로·철도·역·하천)와 토지특성정보의 지목(임야·하천·구거·유지·제방·도로 등)·이용상황(자연림·위험시설·유해혐오시설)으로 물리적으로 지을 수 없는 땅을 뺀 100 셀만 남겼다. 앞선 조건에 따라 A(2,498곳)와 B(A에서 공원·학교·청사 등 공공시설 제외, 2,402곳)를 두고, 토지비의 영향을 보기 위해 같은 후보지에서 토지비 제외 후 이동비만 최소화한 경우와 비교하였다. 시설은 400·800·1,000면 × 5·10·15층의 AVP 전용 기계식 주차타워(면당 18.6㎡, 건폐율 90%)로 가정하고, LP 완화와 근거리 400개 후보 제한으로 변수를 줄여 Gurobi로 풀었다.

[분석 결과] 두 후보지 조건 모두에서 400면·15층 시설 15개소가 가장 낮은 비용을 보였다(A 201.2억, B 214.5억 원/년, <표 1>). 규모별 순위는 A·B의 모든 층수에서 400면 < 1,000면 < 800면이었는데, 800면은 8개소 6,400면(11.5% 과잉)을 지어야 하기 때문이며, 면수를 맞추면 400면 < 800면 < 1,000면이다.

<표 1> 주요 대안 비교 (억 원/년)

구분 (400면·15층)	개소	총비용	토지비	평균거리
A 지을 수 있는 곳 전부	15	201.2	13.4	958m
B 공공시설 제외	15	214.5	29.6	846m
A 이동비만 (A 후보지)	15	326.0*	145.2	679m
기존 공영주차장	60	-	-	906m**

* 토지비를 목적함수에 넣지 않고 선정지에 대해 사후 산정. ** 최적안과 같은 용량 여유(4.5%) 기준. 건설비는 모든 400면 안에서 163.8억 원.

공원·학교·청사를 쓰지 못하면(B) 총비용이 15층에서 6.6%, 10층에서 10.2%, 5층에서 18.1% 늘어 저층일수록 공공부지 활용 효과가 컸다. A 최적안 15곳 중 14곳이 공원 부지였는데, 공원 지가(약 300만 원/㎡)가 민간 필지의 절반 이하이기 때문이다. 이동비만 최소화하면 평균 주행거리는 29% 짧아지지만 토지비가 10배 이상(13.4→145.2억) 커지고 총비용이 55~62% 늘었다. 개소를 기존 60곳의 4분의 1로 줄여도 평균 공차 주행거리(846~958m)는 같은 용량 여유의 기존 배치(906m)와 비슷했다. 기존 단독 노외주차장 11곳 면적의 절반으로 6,000면을 공급해, 풀리는 땅값이 새로 쓰는 땅값보다 A 1,080억·B 757억 원 컸다.

[결론] 자율주행 시대 공영주차장은 목적지 인접성보다 토지 가치와 공차 주행의 절충으로 입지를 정해야 하며, 강남구에서는 400면 규모의 고층 시설을 분산 배치하는 것이 가장 효율적이었다. 공공부지, 특히 공원을 활용하면 같은 공급을 6~18% 싸게 할 수 있어 공원 입체 활용 제도의 검토가 필요하다. 다만 공원 안 숲과 평지 공원을 공식 자료로 구분하지 못한 점, 시설당 고정비를 넣지 않은 점(약 17억 원을 넘으면 1,000면이 유리), 시간 제한 내 근사해(gap 2~8%)라는 한계가 있다.

사사: 이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (RS-2026-25492164).

교통 디지털 트윈 및 시뮬레이션 플랫폼

Session

C-3

입체격자체계 기반 공간데이터큐브를 활용한 OpenDRIVE 자동 생성 방법 연구
박유진, 옥민찬, 윤재현, 김재승

다중 공간자료를 활용한 AI 보조 시뮬레이션 환경 구축과 시각적 충실도 개선
김연지, 김재승

교통 디지털 트윈을 위한 자연어 기반 SUMO 시뮬레이션 자동화
강승모, 김민성, 이영택, 이요셉, 윤일수

공개 공간정보와 교통 관측자료를 활용한 웹 기반 도시 및 교통 시각화 시스템 개발: 세종시 사례
권호규, 원민수

DRT형 승차공유 서비스 요금 차등화를 위한 이용자 지불의향(WTP) 추정 SP 설계 방법론
홍대현, 박현수, 박신형

입체격자체계 기반 공간데이터큐브를 활용한 OpenDRIVE 자동 생성 방법 연구

A Study on Automatic Generation of OpenDRIVE using a Spatial Data Cube based on a 3D Grid System

박유진 (모빌테크 연구원)　**옥민찬** (모빌테크 연구원)　**윤재현** (모빌테크 연구원)　**김재승** (모빌테크 대표)

최근 모빌리티 기술의 적용 대상이 자율주행 차량, 드론, 실내 로봇으로 확장되면서 다양한 공간에서의 주행을 지원하는 기술이 요구되고 있다. 모빌리티의 안전한 운행을 위해서는 주변 환경에 대한 정밀한 공간정보 구축이 요구되며, 이를 위해 LiDAR, Camera, GPS 등 다양한 센서를 통해 취득한 데이터를 기반으로 공간정보를 구축하고 활용한다. 자율주행 분야에서는 실제 도로 환경으로부터 취득한 센서 정보를 기반으로 도로 구조를 구축하고 이를 주행 시뮬레이션에 활용하기 위한 표준 형식으로 변환한다. 본 논문에서는 다중 센서 정보를 기반으로 구축된 공간데이터큐브를 활용하여 필요한 영역의 공간정보를 선택적으로 검색하고 해당 공간정보를 기반으로 OpenDRIVE를 생성하는 방법을 제안한다.

본 연구는 구축된 공간데이터큐브에서 도로의 복셀 정보를 선택하여 조회하고 OpenDRIVE의 연속적인 도로 구조로 변환한다. 전체 흐름은 Spatial Data Cube, Voxel JSON Interface, Lane-wise Aggregation, Curve Fitting & Parameterization, OpenDRIVE Generator의 5단계로 구성된다. 차량의 현재 위치 또는 주행 경로를 기준으로 관심 영역(ROI)을 설정하고 해당 영역에 포함된 복셀에서 도로 구성과 관련된 정보를 조회한다. 조회 정보는 차선의 3차원 좌표와 차선 번호, 노면표시 종류, 색상, 폭 등의 속성 정보와 교통 신호등, 교통 표지판, 연석 등의 객체 정보로 구성된다.

공간데이터큐브 조회 결과는 도로 구간 단위 JSON으로 정규화한다. 각 JSON은 공간 복셀을 식별하는 id와 차선의 3차원 좌표 등을 포함한다. 복셀 단위로 저장된 차선 좌표는 동일한 id를 기준으로 통합하고 도로 진행 방향에 따라 정렬하여 Curve Fitting을 적용하고 연속적인 기하학 형상과 OpenDRIVE 생성에 필요한 매개변수를 산출한다. 곡선 구간은 도로좌표로 변환하여 paramPoly3 계수로 표현하고 OpenDRIVE의 geometry에 적용한다.

OpenDRIVE 생성 단계에서는 변환된 계수값을 기반으로 geometry와 차선 구조, width, roadMark를 구성한다. 객체 및 신호 속성은 기준선에 대한 상대 위치를 계산하여 objects 또는 signals 요소로 포함한다. 차량의 현재 위치, 주행 경로 또는 필요한 도로 범위를 기준으로 관심 영역(ROI)을 설정하고 해당 영역의 복셀 정보를 선택적으로 조회하여 OpenDRIVE 생성 대상 구간을 구성한다. 차량 이동이나 사용 목적에 따라 ROI가 변경되면 새롭게 포함된 복셀 정보를 추가하고 중첩 영역의 정보는 유지하여 생성 대상 구간을 갱신한다. 이를 통해 필요한 도로 공간을 선택적으로 OpenDRIVE로 생성한다.

본 연구에서 제안한 방법은 공간데이터큐브의 복셀 기반 도로 공간정보로부터 OpenDRIVE 도로 환경을 생성한다. Voxel JSON Interface를 통해 차선 정보를 통합하고 Curve Fitting & Parameterization 및 OpenDRIVE Generator를 이용하여 연속적인 도로 형상과 차선 구조를 구성한다. 또한 사용자가 설정한 관심 영역에 해당하는 복셀 정보를 선택적으로 활용함으로써 필요한 도로 구간을 OpenDRIVE로 생성할 수 있음을 확인하였다. 이를 통해 대규모 공간데이터큐브에서 필요한 영역의 공간정보를 활용하여 효율적인 시뮬레이션용 도로 환경을 구성하는 기능을 제공할 수 있다.

사사: 본 연구는 국토교통부와 국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었습니다(RS-2025-02317649, 국토정보 고도화를 위한 입체격자체계 적용 및 활용 기술개발)

다중 공간자료를 활용한 AI 보조 시뮬레이션 환경 구축과 시각적 충실도 개선

AI Assisted Construction and Visual Fidelity Refinement of Simulation Environments from Multiple Spatial Sources

김연지
((주) 모빌테크, 팀장)

김재승
·((주) 모빌테크, 대표)

ITS 시뮬레이션은 실제 공간의 위치와 운전자 시점 외관을 재현하면서 환경 변경과 객체 상호작용을 지원해야 한다. 본 연구는 공개 공간정보와 영상정보를 활용한 환경 자동 생성을 목표로, 자료 융합·AI 판독·객체별 모델링·엔진별 표현 교정을 연결한 AI 보조 구축 방법론을 제시한다.

수치지형도, 항공사진, 등고선·표고점과 공개 지상 사진을 입력으로 사용한다. 평면 경계·배치·입면에 적합한 자료를 선택하고, 특징점 대응과 항공사진 간 시차로 정합 및 높이 후보를 보완한다. AI 검출·분할·특징 분석의 후보를 지도·영상 대조와 사용자 검토로 교정하고, LLM 에이전트가 절차적 생성과 렌더 진단을 지원한다. 지형, 도로·교통섬·연석, 노면표시, 건물, 도로시설물, 식생의 여섯 유형을 편집 가능한 OpenUSD 모델로 구성한다.

AAA급 시각적 충실도를 제작 목표로 노면·콘크리트·보도·외장 재질의 미세 PBR 질감과 도색 마모, 연석·입면의 근접 형상, 식생의 실루엣·잎·지면 접점을 개선한다. 동일 모델의 엔진별 표현 차이는 Isaac Sim과 Unreal Engine에서 재질·색공간·조명·노출을 교정하여 줄인다.

서부운전면허시험장 사례에는 교통섬 29개, 건물·캐노피 51개, 도로시설물 원형 16종을 구성했다. 교통섬 경계의 수치지형도 입력 대비 최대 차이는 0.05 m였고, 도색 205개의 계단형 모서리는 2,035개에서 54개로 감소했다. 모델 사본의 부스 지붕을 0.5 m 높여 수정·재반입을 확인했다. 공통 9시점의 선택 영역에서 선형 영상 평균 휘도비(Unreal/Isaac)는 중앙값 1.003, 범위 0.906 – 1.216이었다. 이는 입력 형상 반영·윤곽 개선·객체 편집·평균 밝기 대응의 사례 검증이다.

실측 자료가 빈약하여 높이·미관측 입면·재질·식생의 일부를 추정했으며, 위치 정확도와 시각적 충실도의 독립 검증에는 한계가 있다. 향후 MMS 영상과 LiDAR 점군으로 형상·외관의 근거를 보강하고 운전자 시점의 재현성을 평가할 예정이다.

사사: 이 연구는 2025년도 산업통상부 및 한국산업기술기획평가원 연구비 지원에 의한 연구임(RS-2025-25453109)

교통 디지털 트윈을 위한 자연어 기반 SUMO 시뮬레이션 자동화

Natural-Language-Based Automated SUMO Simulation for Transportation Digital Twin Applications

강승모	김민성	이영택	이요셉	윤일수
(아주대학교, 석사과정)	(아주대학교, 석사과정)	(아주대학교, 박사후연구원)	(아주대학교, 박사후연구원)	(아주대학교, 교수)

교통 디지털 트윈이 실질적인 가치를 갖기 위해서는 현재 상태의 재현에 그치지 않고, 돌발상황 발생 시 그 영향을 신속하게 예측하여 대응 의사결정을 지원하는 기능이 요구된다. SUMO는 차량 단위의 교통 흐름을 분석할 수 있는 미시교통 시뮬레이션 도구로 널리 활용되고 있으나, 돌발상황을 시뮬레이션하기 위해서는 사고 차량의 위치, 차로, 정차 시간 등의 정보를 입력 파일로 작성해야 한다. 본 연구에서는 이러한 한계를 개선하기 위해 돌발상황을 자연어로 입력하면 입력 파일 생성부터 시뮬레이션 실행과 결과 분석까지 자동으로 수행하는 웹 시스템을 개발하였다.

제안 시스템은 사용자 입출력, LLM 기반 사고 파라미터 구조화 및 검증, SUMO 시나리오 생성·실행·분석의 세 영역으로 구성된다. LLM은 자연어로 입력된 돌발상황 설명과 네트워크 정보를 바탕으로 사고 유형, 차량 구성, 위치, 차로, 발생 시점 및 정차 시간 등의 파라미터를 구조화한다. 검증을 통과한 파라미터는 규칙 기반 Python 모듈로 전달되며, 해당 모듈은 SUMO 입력 파일을 생성하고 차량 길이와 구간 경계를 고려하여 배치 위치를 조정한다. 이후 교통류 생성 및 경로 배정, 돌발상황 반영, SUMO 실행과 결과 분석은 사전에 정의된 규칙과 절차에 따라 수행된다.

제안 시스템을 경기도 안성시 만정사거리~내리교차로의 약 4km 구간에 적용하였다. 대상 네트워크는 110개 링크로 구성되며, 1·2·4차로 구간에 무사고, 차량 간 추돌사고 및 차량 고장에 따른 정차 상황을 적용하여 총 9회의 시뮬레이션을 수행하였다. 그 결과 자연어로 기술된 차량 구성, 점유 차로, 구간 내 위치 및 처리 시간은 모두 파라미터로 변환되어 시뮬레이션에 반영되었다. 단일 차로 구간에서는 사고 지속 동안 링크 유출 대수가 무사고 대비 각각 1.7%와 4.8% 수준으로 감소하여 사실상 통행이 차단되었다. 반면 다차로 구간에서는 링크 유출 대수가 무사고 대비 99.7~100.0%로 나타났으나, 통행속도는 12.3~39.8% 낮아졌다. 네트워크 전체 지표에서는 사고 영향이 하나의 링크에 국한되어 사고 유무에 따른 차이가 뚜렷하게 나타나지 않았다.

본 연구는 새로운 교통류 모형을 제안하거나 예측 정확도를 높이는 것을 목적으로 한 것이 아니라, SUMO 활용 경험이 부족한 사용자도 자연어를 통해 교통 돌발상황 시뮬레이션과 영향 분석을 수행할 수 있는 시스템의 구현 가능성을 제시하였다는 데 의의가 있다. 다만 현재 시스템은 실시간 자료가 자동으로 반영되는 완성형 디지털 트윈에는 해당하지 않는다. 향후 도로 검지기 및 교통관제 플랫폼과 연계하여 실시간 정보를 자동으로 입력하고 관측자료로 시뮬레이션을 보정한다면, 교통 디지털 트윈의 돌발상황 예측 및 의사결정 지원 모듈로 확장될 수 있을 것이다.

사사: 본 연구는 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원의 연구비지원(22AMDP-C162184-02)에 의해 수행되었습니다.

공개 공간정보와 교통 관측자료를 활용한 웹 기반 도시 및 교통 시각화 시스템 개발: 세종시 사례

Development of a Web-based Urban and Traffic Visualization System Using Open Geospatial and Traffic Data: A Sejong City Case Study

권호규
(한국교통연구원, 연구원)

원민수
(한국교통연구원, 연구위원)

도시의 교통 현황을 이해하려면 공간정보, 교통 관측자료 및 모의실험 결과를 해당 지역의 맥락에서 함께 살펴볼 필요가 있다. 그러나 자료마다 출처, 공간 해상도와 관측 또는 생성 시점이 달라 자료의 의미를 구분하여 제시해야 한다. 본 연구는 세종특별자치시를 대상으로 공개 공간정보와 교통 관측자료를 연계한 웹 기반 시각화 시스템 SejongScape를 개발하고, 구현 범위와 한계를 제시하였다.

시스템은 도시 공간 탐색, 교통 관측자료 조회, 모의실험 결과 재생으로 구성하였다. 도시 공간은 OpenStreetMap(OSM) 자료를 Overpass로 수집하여 도로, 건물, 수면 및 시설 태그를 바탕으로 3차원 도시와 도로망을 구성하고, 조감도, 거리 시점 및 주요 장소 이동을 제공하였다. ITS 국가교통정보센터의 구간 속도와 통행시간은 링크 ID(LINK_ID)를 기준으로 표준노드링크의 도로 선형과 연결하여 관측값과 관측시각을 표시하였다. Eclipse SUMO의 TraCI 출력은 저장 후 차량과 신호 상태를 같은 시간축에서 재생하였다. 교통 관측자료 조회와 SUMO 모의실험은 정부세종청사 및 세종호수공원 일대를 시범 대상으로 하였다. 브이월드 공식 3차원 지도 API는 별도 화면에서 제공하였으며, Three.js와 Vite를 기반으로 구현하였다.

세종시 전역의 건물 객체 26,773개와 도로 및 보행로 객체 23,711개를 156개 구역으로 나누어 카메라 위치에 따라 주변 구역을 자동으로 불러오도록 하였다. ITS 기준 응답 464개 링크 중 450개는 도로 도형 ID와 일치하였으며, 미일치 14개는 표시에서 제외하였다. SUMO 결과는 600초 동안 기록하였고, 차로 1,114개와 신호 제어기 1개를 포함한다. 이 수치는 시스템에서 다룬 자료의 규모이며 실제 교통 상황의 재현 정확도를 의미하지 않는다.

현재 도시 형상에는 OSM 자료와 일부 추정 높이를 사용하였으므로 차로와 회전 연결, 교차로 형상 및 고도의 검증이 필요하다. ITS 자료도 구간 경계, 진행 방향 및 관측시각의 정합성을 확인해야 한다. 모의실험에는 randomTrips로 생성한 수요와 모의 신호를 사용하였다. 향후 실측 교통량, 회전비 및 신호 현시로 입력 조건을 보완하고, 생성된 교통 수요를 교통존 및 방향별 경로에 연결할 계획이다. 모형 보정 후에는 별도 날짜와 시간대의 관측자료로 성능을 검증하고자 한다.

본 연구는 공간정보, 관측자료 및 모의실험 결과의 출처와 의미를 구분하면서 탐색, 조회 및 재생할 수 있는 시각화 프로토타입을 구현하였다. 향후 실측 입력자료 확보와 독립 검증을 통해 도시 및 교통 분석을 지원하는 도구로 확장할 수 있을 것으로 기대한다.

DRT형 승차공유 서비스 요금 차등화를 위한 이용자 지불의향(WTP) 추정 SP 설계 방법론

Developing a Stated Preference Survey Design for Estimating Users' Willingness to Pay for Differentiated Fares in DRT-Based Ride-Sharing Services

홍대현 (서울시립대학교, 학석사연계과정)
박현수 (서울시립대학교, 연구교수)
박신형 (서울시립대학교, 교수)

1. 연구 배경 및 목적. 수요응답형 교통(DRT) 기반 승차공유 서비스에서는 지역·시간대별 수요와 공급의 불균형으로 호출 수락률과 서비스 접근성에 차이가 발생할 수 있다. 이러한 문제에 대응하기 위해서는 이용자의 요금 수용성과 서비스 조건에 대한 선호를 반영한 차등요금 설계가 필요하다. 그러나 추가요금에 대한 지불의향(WTP)은 대기시간, 배차 가능성, 통행 목적 등에 따라 달라지므로 이를 추정하기 위한 조사체계가 선행되어야 한다. 본 연구는 강화학습 기반 차등요금 전략 연구의 사전 단계로서, DRT·승차공유 분야의 진술선호(SP) 연구를 검토하고 이용자 WTP 추정을 위한 SP 설계 방법론을 제안하는 데 목적이 있다.

2. 선행연구 및 연구 차별성. DRT·승차공유 관련 영문 학술지 논문 26편을 예비 검토한 결과, 요금과 통행시간이 주요 속성으로 활용되었으며, 기존 교통수단을 포함한 대안 구성과 이용자 선호 이질성을 반영한 선택모형이 다수 확인되었다. 반면 검토 범위에서 배차 신뢰성 속성의 반영, 실제 통행에 기반한 피벗 설계, 가설적 편의 완화 장치의 적용은 제한적으로 확인되었다. 이에 본 연구는 원거리·기피지역 호출의 서비스 조건을 고려하여 추가요금과 배차 성공확률 간의 상충관계를 조사에 반영하고, 추정 결과를 강화학습의 이용자 선택 반응 모듈과 연결할 수 있는 설계 조건을 제시한다.

3. 자료 및 연구 방법. 연구는 문헌 검색·선별, 설계요소 비교, SP 구축 방법론 도출, 적용 예시 구성의 순서로 진행한다. 예비 검토 문헌은 대안 구성, 속성, 수준 설정, 실험설계, 선택상황·블록, 표본·조사 방식, 가설적 편의 대응, 추정모형, WTP 산출의 9개 항목으로 비교하였다. 이를 바탕으로 차등화 축 정의, 속성·수준 도출, 대안·시나리오 구성, 사전조사, 효율적 실험설계, 본조사·품질관리, 모형 추정·WTP 산출의 7단계 절차를 제안한다. 핵심 속성은 추가요금, 예상 대기시간, 배차 성공 확률로 설정하고, 차내 통행시간과 도착시간 신뢰성을 함께 고려한다. 지역 유형·시간대·통행목적은 맥락 변수로 구성한다. 실제 통행 기반 피벗 설계와 사전조사 모수를 활용한 Bayesian D-efficient 설계를 적용하고, Mixed Logit 및 Latent Class 모형을 통해 이용자별·집단별 선호 차이를 분석하도록 한다.

4. 기대효과 및 향후 연구. 제안 방법론은 서비스 조건 개선에 대한 이용자의 추가요금 수용성을 추정하고, 지역·시간대별 차등요금 정책을 평가하기 위한 기초자료 구축에 활용될 수 있다. 특히 조사에서 제시하는 요금 범위를 강화학습의 행동 범위와 연계하고, 맥락 변수를 상태 구성에 반영하여 이용자 반응을 고려한 정책 학습의 기반을 마련할 수 있다. 다만 현재 결과는 웹 기반 예비 검토이며 일부 문헌은 초록을 중심으로 분석하였으므로, 향후 Scopus·Web of Science·TRID 검색과 원문 검토를 통해 보완해야 한다. 또한 이용자 SP 조사와 별도로 운전자 SP 또는 배차 수락 기록을 확보하여 공급자 반응을 추정하고, 이용자 편익과 지역 간 서비스 격차를 함께 고려한 차등요금 전략으로 확장할 필요가 있다.

교통안전 정책 및 운전자 행태

Session

C-4

약물운전 규제 적정화 방안 연구
장선희, 류준범

사고 위험 구조와 운전자 수용성에 기반한 면허 갱신 연계 교통안전교육 도입방안
정민준, 권민정, 박제진

제1종 보통 · 제2종 보통면허 운전자의 법규위반 후 재위반 위험 및 소요시간 비교
송양빈, 김남선

사업용 여객자동차 업종별 위험운전 행태와 위험군 분석
박준호, 조종석

개정된 우회전 통행방법의 보행 교통안전 효과 및 운전자 준수 의도에 관한 분석 – 개입시계열분석과 확장된 계획행동이론을 중심으로 –
서윤정, 유초롱, 이환진, 김주영

약물운전 규제 적정화 방안 연구

A Study on Improving the Regulation of Drug-Impaired Driving

장선희
(한국도로교통공단, 연구원)

류준범
(한국도로교통공단, 수석연구원)

최근 약물운전 적발이 증가하고 관련 사고에 대한 사회적 우려가 확대됨에 따라 약물운전에 대한 실효성 있는 관리체계 마련의 필요성이 높아지고 있다. 특히 2026년 4월 개정「도로교통법」시행으로 약물운전에 대한 처벌 및 단속의 법적 근거가 강화되었으나, 이를 현장에서 일관되게 적용하기 위해서는 약물운전의 특성을 고려한 구체적인 판단기준과 단속절차가 뒷받침될 필요가 있다. 약물운전은 음주운전과 달리 운전에 영향을 미치는 약물의 종류가 다양하고, 동일한 약물이라도 복용량, 복용 후 경과시간, 개인별 대사 특성 및 병용 여부 등에 따라 운전능력에 미치는 영향이 달라질 수 있다. 또한 체내 약물의 검출이나 농도가 운전 당시의 기능저하를 직접적으로 의미하지 않으며, 의료 목적으로 적법하게 사용되는 처방약도 운전능력에 영향을 미칠 수 있다는 점에서 일률적인 기준을 적용하는 데 한계가 있다.

이에 본 연구에서는 국내 약물 처방 및 검출 현황과 약물이 운전능력에 미치는 영향을 검토하고, 국내외 약물운전 관련 법·제도 및 단속방식을 조사하였다. 국외 사례에서는 현장 행동검사와 약물검사를 연계하여 운전자의 상태를 평가하거나 약물인식전문가(DRE)와 같은 전문인력을 활용하는 방식이 운영되고 있으며, 일부 국가에서는 특정 약물을 대상으로 혈중농도에 따른 정량기준을 병행하고 있다. 이러한 사례는 약물운전의 판단이 단순한 약물 검출 여부에 한정되기보다 운전자의 상태와 행동, 약물검사 결과 및 복용 특성 등을 종합적으로 고려하는 방향으로 구성될 필요가 있음을 보여준다. 또한 모든 약물에 일률적인 정량기준을 적용하기보다는 약물별 특성과 과학적 근거의 축적 정도를 고려하여 적용 가능성을 검토할 필요가 있다.

약물운전에 대한 운전자의 인식과 규제 수용성을 파악하기 위해 전국 만 19세 이상 운전면허 소지자 1,000명을 대상으로 설문조사를 실시하였다. 조사 결과 최근 3년 이내 마약류 처방 경험자는 25.1%였으며, 처방 경험자의 38.6%는 처방받은 약물에 마약·향정신성의약품·대마 성분이 포함되어 있는지 알지 못하는 것으로 나타났다. 약물 투약 후 운전의 위험성에 대해서는 전체 응답자의 91.5%가 위험하다고 인식하고 있었으나, 처방약으로 인해 운전능력이 저하된 경우에도 처벌될 수 있다는 사실을 알고 있다는 응답은 13.5%에 그쳤다. 반면 처방약이라 하더라도 운전능력 저하가 발생한 경우 처벌하는 것이 적정하다는 의견은 77.1%로 나타나, 관련 제도에 대한 구체적인 인지도와 규제 필요성에 대한 수용성 사이에는 차이가 있는 것으로 확인되었다.

단속방안과 관련해서는 운전자 상태를 기반으로 판단하는 방식에 70.3%가 동의하였으며, 약물인식전문가 제도 도입과 약물 간이시약검사 실시에 대해서도 각각 84.7%, 84.3%가 동의하는 것으로 나타났다. 또한 전체적인 약물운전 위험인식은 높은 수준이었으나 20대, 운전직 종사자 및 마약류 처방 경험자의 위험인식은 상대적으로 낮게 나타나 집단별 특성을 고려한 예방정책의 필요성이 확인되었다. 처방단계에서도 약물의 운전 영향에 관한 정보를 보다 명확하게 전달할 필요가 있는 것으로 나타나, 약물운전 관리는 단속 및 처벌뿐 아니라 복약지도와 운전주의 정보 제공을 포함하는 예방적 접근이 병행될 필요가 있다.

향후에는 국내외 제도 및 설문조사 결과를 토대로 현행 약물운전 단속기준의 적정성을 검토하고, 현장 상태평가의 구체화, 약물인식전문가 제도의 도입 가능성 및 약물별 정량기준의 적용 가능성 등을 검토하고자 한다. 이를 통해 약물의 종류와 특성, 국내 처방환경 및 현장 단속 여건을 함께 고려하면서도 실제 운전능력 저하를 보다 객관적이고 일관되게 판단할 수 있는 약물운전 규제 및 단속체계의 개선방안을 도출하고자 한다.

사사: 본 논문은 한국도로교통공단 기본연구과제 '약물운전 규제 적정화 방안 연구'를 통해 수행된 결과를 기초로 작성되었습니다.

사고 위험 구조와 운전자 수용성에 기반한 면허 갱신 연계 교통안전교육 도입방안

A Study on the Introduction of Traffic Safety Education of the Point of Drivers' License Renewal

정민준 (전남대학교, 건축토목공학과)
권민정 (한국도로교통공단, 교육관리처)
박제진 (전남대학교, 토목공학과)

우리나라는 1999년 갱신 연계 교통안전교육이 폐지된 이후 일반 운전자 재교육 체계가 복원되지 않았으며, 현행법상 의무 교통안전교육은 면허 취득 단계의 1시간에 한정된다. 그동안 새로운 이동수단이 유입되고 도로교통법 개정이 반복되었음에도 변화한 내용을 기존 운전자에게 전달할 절차는 마련되지 않았다. 본 연구는 새로운 교육 주기를 설정하는 것이 아니라, 이미 운영 중인 갱신 주기를 활용하여 교육을 결합하는 방식의 타당성을 자료로 검증하는 데 목적을 두었다 연구는 사고데이터 분석과 운전자 의견조사를 병행하였다. 2020~2024년 교통사고 자료와 운전면허 자료를 개인 식별 기준으로 결합하여 사고 시점의 경과기간을 1년 단위로 산출하였고, 노출량 차이를 보정하기 위해 인-년(Person-Year) 기반 발생밀도를 적용하였다. 위험 전환 시점은 관행적 구간을 전제하지 않고 변경점 탐지와 조인포인트(Joinpoint) 회귀분석으로 자료에서 직접 탐지하였으며, 과산포 보정에는 준-우도 기반 정보기준(QBIC)을 적용하였다. 아울러 1,000명 층화표본 조사와 관계 기관·이해관계자가 참여한 공청회를 통해 제도 수용성과 실행 여건을 진단하였다. 분석 결과 사고 발생률은 취득 1년차에 최저값을 보인 뒤 약 20년을 전후하여 단계적으로 상승하였다. 변경점 탐지에서는 22년차를 경계로 위험 수준이 한 단계 올라섰고 조인포인트 회귀에서는 18년차부터 증가 속도가 빨라졌으며, 동일한 전환은 노출량 기준 심각도 지표에서도 재현되었다. 연령을 통제한 교차분석에서도 신규 취득기와 장기 경력기에 위험이 높아지는 양상이 모든 연령대에서 반복되었고, 고령 신규취득 집단이 가장 높은 위험을 보였다. 의견조사에서 제도 도입 동의는 76.8%, 부정적 응답은 5.0%였다. 결론적으로 새로운 교육 주기를 신설하기보다 현행 갱신 절차에 교육을 결합하는 방식이 타당한 것으로 판단되었다. 취득 초기 10년 구간에서는 유의한 절단점이 확인되지 않은 반면, 위험이 상승으로 전환되는 22년차는 현행 10년 주기의 2차 갱신 직후에 해당하기 때문이다. 다만 현행 「도로교통법」은 취득 단계와 특정 대상에 대한 교육만을 규정하고 있어, 제도 실행을 위해서는 법적 근거의 마련이 선행되어야 한다.

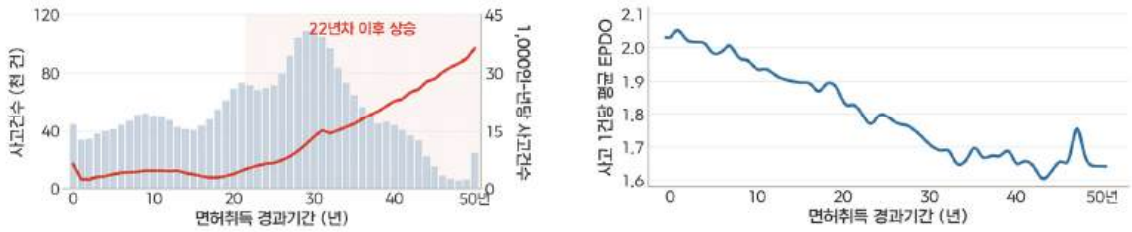


그림 1. 면허취득 경과년수별 1,000인-년당 사고발생률 및 심각도(EPDO)

사사: 본 연구는 한국도로교통공단의 『운전면허 갱신 교통안전교육 체계 수립 및 도입방안 연구(2026-1101-01)』에 의하여 수행되었으며, 본 연구를 지원해 준 행정안전부 및 경찰청에 감사드립니다.

제1종 보통·제2종 보통면허 운전자의 법규위반 후 재위반 위험 및 소요시간 비교

Comparison of Reoffense Risk and Time to Reoffense After Traffic Violations Between Class 1 and Class 2 Ordinary License Holders

송양빈
(경찰대학 치안정책연구소 첨단교통연구센터)

김남선
(경찰대학 치안정책연구소 첨단교통연구센터)

본 연구는 연도별 총위반건수만으로는 동일 운전자의 반복위반 여부와 재위반 시점을 파악하기 어렵다는 문제의식에서 출발하였다. 2016~2024년 운전자 단위 교통법규 위반이력을 활용하여 제1종 보통과 제2종 보통의 법규위반 현황, 30·90·180·365일 누적 재위반율, 최초 재위반 중앙 소요일을 비교하였다. 제1종 보통 위반건수는 56.2%, 제2종 보통은 37.8% 감소하였고, 면허소지자 1천 명당 위반 발생건수의 종별 격차는 37.9건에서 12.9건으로 축소되었다. 각 면허의 분석기간 내 첫 위반일을 기준으로 이후 다른 날짜에 발생한 첫 위반을 재위반으로 정의하였다. 제2종 보통의 누적 재위반율은 30일 2.16%, 90일 4.19%, 180일 5.93%, 365일 8.79%로, 제1종 보통의 1.77%, 3.57%, 5.09%, 7.96%보다 모든 기간에서 높았다. 재위반이 확인된 면허의 최초 재위반 중앙 소요일은 제1종 보통 585일, 제2종 보통 475일로 제2종 보통이 110일 짧았다. 또한 면허종별 재위반율 차이는 최초 위반 후 180일까지 확대되었다. 이 결과는 연간 총량과 별도로 운전자 단위 재위반을 확인할 필요가 있으며, 최초 위반 후 6개월을 핵심 관찰기간으로 활용할 수 있음을 보여준다. 다만 면허종별은 단독 관리기준이 아니라 위반유형, 반복횟수, 재위반 시점과 함께 사용하는 참고정보로 활용해야 한다.

핵심어: 도로교통법, 교통법규위반, 재위반, 운전면허 관리, 면허종별, 적성검사, 운전면허 교육

ABSTRACT

This study compares reoffense rates and the timing of first reoffense between holders of Class 1 Ordinary and Class 2 Ordinary driver licenses using driver-level traffic violation records from 2016 to 2024. Aggregate annual counts cannot show whether violations are concentrated among the same drivers or when a subsequent violation occurs. For each license, the earliest valid violation in the study period was defined as the index violation, and the first violation on a later date was defined as a reoffense. Cumulative reoffense rates within 30, 90, 180, and 365 days were calculated only for licenses with complete follow-up for each period. Class 2 Ordinary license holders had higher cumulative reoffense rates at every period: 2.16%, 4.19%, 5.93%, and 8.79%, compared with 1.77%, 3.57%, 5.09%, and 7.96% for Class 1. Among licenses with an observed reoffense, the median time to first reoffense was 475 days for Class 2 and 585 days for Class 1, a difference of 110 days. The difference in cumulative rates widened through the first 180 days. These findings suggest that driver-level reoffense history can complement the existing periodic license-renewal and fitness-test system. The first six months after an index violation may be used as a key observation period, while license type should be treated as supplementary information rather than a stand-alone management criterion. Future research should examine why these differences arise by comparing the two license groups within the same age group, initial violation type, and index year; considering driving experience, driving exposure, and multiple-license classification; and including drivers without an observed reoffense in a full follow-up analysis.

Keywords: traffic low, traffic violation, reoffense, driver license management, driver license type, driver license aptitude test, driver license training

사사: 본 논문은 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (과제고유번호 : RS-2024-00337489, 분석 모델의 성능저하 극복을 위한 데이터 드리프트 관리 기술 개발)

사업용 여객자동차 업종별 위험운전 행태와 위험군 분석

Analysis of Risky Driving Behavior and Driver Risk Groups by Commercial Passenger Transport Sector

박준호
(한국교통연구원 교통빅데이터연구본부, 연구원)

조종석
(국가교통DB센터장)

사업용 여객자동차는 다수의 승객을 운송하므로 사고 발생 시 인명피해가 커질 수 있어 위험운전 예방과 안전관리가 중요하다. 업종에 따라 운행거리, 정차 빈도, 노선 및 배차환경이 다르기 때문에 위험운전행동의 발생 수준과 특성을 구분하여 분석할 필요가 있다. 본 연구는 디지털운행기록장치(Digital Tachograph, DTG) 자료를 활용하여 업종별 위험운전행동과 연도별 분포를 비교하고, 여러 행동을 종합한 상대 위험군을 분류하여 안전관리 활용방안을 제시하였다.

분석에는 한국교통안전공단 운행기록분석시스템(eTAS)의 2022년 1월부터 2025년 12월까지 DTG 월자료 9,880,533건을 사용하였다. 분석대상은 시내버스, 농어촌버스, 마을버스, 특수여객, 시외·고속버스, 전세버스, 법인택시, 개인택시의 8개 세부업종이며, 월자료를 연도·업종·익명 운전자 ID별로 통합하여 연간 집계 기록 393,403건을 구성하였다. 분석지표는 과속, 급가속, 급감속, 급좌회전, 급우회전, 급U턴, 급출발, 급정지, 급진로변경의 9개 행동이다. 월별 100km당 발생횟수를 주행거리로 가중하여 연간 지표를 산출하고, 업종별 발생 수준과 행동 구성비를 비교하였다. 행동 간 관련성은 업종·연도 내 백분위 점수를 이용한 스피어만 순위상관분석으로 확인하였다. 또한 9개 행동의 백분위 점수를 동일 가중치로 평균한 종합점수에 K-means 군집분석을 적용하였다. 집단 수를 2~6개로 달리하여 실루엣과 군집 내 제곱합(WSS)을 비교하고, 세 단계 안전관리를 위한 저위험·보통·고위험군을 구분하였다.

분석 결과, 업종별 위험운전행동의 발생 수준과 구성에 차이가 나타났다. 2022~2025년 주행거리 가중평균을 기준으로 시내버스와 마을버스는 급가속이 각각 100km당 11.74회와 20.69회로 가장 많았으며, 급좌회전이 5.69회와 6.02회로 뒤를 이었다. 농어촌버스는 과속이 7.26회로 가장 많았고, 특수여객과 전세버스는 급가속이 각각 10.51회와 10.88회, 과속이 8.84회와 5.74회로 나타났다. 시외·고속버스는 연도별 과속 구성비가 62.5~68.0%로 높았으나, 100km당 과속 발생횟수는 6.34회였다. 법인택시와 개인택시는 과속이 각각 24.31회와 19.91회, 급가속이 25.75회와 22.97회로 나타나 두 행동의 발생 수준이 높았다. 연도별 비교에서는 마을버스의 급가속 구성비가 2022년 41.7%에서 2025년 60.5%로 증가하였다. 행동 간 상관계수는 급가속 - 급좌회전 0.771, 급출발 - 급U턴 0.764로 나타나 해당 행동의 상대적 발생 수준 간 높은 관련성이 확인되었다.

군집분석 결과, 저위험군은 79,780건(20.3%), 보통군은 168,242건(42.8%), 고위험군은 145,381건(37.0%)으로 분류되었으며, 종합점수의 경계값은 36.42점과 56.98점이었다. 실루엣은 2개 집단에서 0.572, 3개 집단에서 0.554로 나타났으며, 본 연구에서는 관리대상을 세 단계로 구분하기 위해 3개 집단을 적용하였다. 각 위험군의 행동별 중앙값과 25~75백분위 범위를 산출하여 발생 수준을 비교하고, 급정지는 평균과 발생 기록 비율을 함께 제시하였다. 민감도 분석에서 기존 분류와의 일치율은 종합점수의 3분위 분류에서 83.32%, 11개 행동을 이용한 분류에서 88.72%, 첫 번째 주성분 점수를 이용한 분류에서 94.24%로 나타났다. 이러한 위험군은 같은 업종·연도 내 위험운전행동의 상대적 수준을 나타내며, 업종 간 절대 위험도나 사고확률과는 구분된다.

본 연구는 업종별 주요 위험운전행동과 상대 위험군을 함께 제시함으로써 업종 특성에 맞는 안전관리 기준을 마련하는 데 기초자료를 제공하였다. 시내버스와 마을버스는 급가속·회전행동, 농어촌버스는 과속, 특수여객과 전세버스는 급가속·과속, 시외·고속버스는 과속 구성비, 법인택시와 개인택시는 과속·가감속을 중심으로 점검 항목과 교육 내용을 구체화할 수 있다. 상대 위험군과 100km당 발생횟수를 함께 활용하면 같은 업종 내 관리대상을 선별하고 교육·운행 피드백의 우선순위를 정할 수 있으며, 위치·시간 및 노선·배차정보와의 연계를 통해 위험행동 집중 구간과 시간대에 대한 운행환경 개선에도 활용할 수 있다. 다만 사고자료와의 연계가 이루어지지 않아 사고예측력을 검증하지 못하였으며, 익명 식별정보와 위치·도로환경 정보의 제약으로 개인별 장기 변화와 발생 원인을 분석하는 데 한계가 있다.

사사: 본 연구는 한국교통연구원의 「여객자동차 차령제도 개선방안 연구」의 일환으로 수행되었음.

개정된 우회전 통행방법의 보행 교통안전 효과 및 운전자 준수 의도에 관한 분석 -개입시계열분석과 확장된 계획행동이론을 중심으로-

An Analysis of the Effect of the Revised Right-Turn Rules on Pedestrian Traffic Safety and Driver's Compliance Intentions
-Focusing on Interrupted Time Series Analysis and Extended Theory of Planned Behavior-

서윤정 (한국도로교통공단, 과장)

유초롱 (한국도로교통공단, 대리)

이환진 (한국도로교통공단, 차장)

김주영 (한국도로교통공단, 선임연구원)

본 연구는 2022년 6월 개정된 우회전 통행방법에 대한 보행 교통안전 개선 효과를 실증적으로 검증하고, 운전자의 법규 준수 의도에 영향을 미치는 요인을 규명함으로써 제도의 실효성 제고를 위한 정책적 시사점을 도출하는데 목적이 있다. 최근 보행자 보호를 위한 우회전 관련 교통법규가 강화되었으나, 제도 시행에 따른 교통사고 감소 효과와 운전자의 준수 의도 형성요인을 종합적으로 분석한 연구는 제한적이다. 이에 본 연구는 교통사고 발생자료를 활용한 개입시계열분석과 운전자 인식조사에 기반한 확장된 계획행동이론을 병행하여 정책효과와 행동적 영향요인을 다각적으로 분석하였다.

먼저, 제도 시행에 따른 교통안전 효과를 분석하기 위해 2020년 1월부터 2025년 12월까지 총 72개월의 월별 교통사고 및 사망자 자료를 활용하였다. 2022년 6월을 정책 개입시점으로 설정하고, 사고건수에는 SARIMA(1,0,0)(1,0,0)12모형을, 사망자수에는 ARIMA(2,0,0)모형을 적용하여 제도 시행 전후의 수준 및 추세 변화를 분석하였다. 분석 결과, 사고건수와 사망자수 모두 정책 시행에 따른 즉각적인 수준 변화와 시행 이후 추세 변화가 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다. 이는 분석기간과 모형의 범위 내에서도 제도 시행에 따른 사고 감소 효과가 통계적으로 명확하게 확인되지 않았음을 의미한다.

다음으로, 운전자의 우회전 통행방법 준수 의도에 영향을 미치는 요인을 분석하기 위해 운전자 300명을 대상으로 설문조사를 실시하고, 확장된 계획행동이론에 기반한 구조방정식 모형을 적용하도록 연구를 설계하였다. 기존 계획행동이론의 행동태도(AT), 주관적 규범(SN), 지각된 행동통제(PBC)에 법규 인지도(LAW), 단속 및 처벌 강화 인식(PEN), 교육 및 홍보 강화 인식(EDU), 교통시설 개선 인식(FAC)을 추가하여 총 7개 영향요인과 행동의도(BI) 간의 관계를 검증하였다. 분석 결과, 지각된 행동통제(β=0.677), 행동태도(β=0.203), 교통시설 개선 인식(β=0.129)이 행동의도에 통계적으로 유의한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다.

이러한 결과는 개정된 우회전 통행방법의 실효성 제고를 위해 법규 강화와 단속 중심의 접근뿐 아니라, 운전자의 행동 수행 가능성에 대한 인식과 안전에 대한 긍정적 태도 형성, 안전행동을 직관적으로 유도하는 교통환경 조성을 종합적으로 고려할 필요가 있음을 시사한다. 본 연구는 교통사고 시계열자료를 통한 정책효과 검증과 운전자 준수 의도에 대한 행동요인 분석을 결합하였다는 점에서 의의가 있으며, 향후 우회전 관련 교통안전정책의 개선방향을 마련하기 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

사사: 본 연구는 한국도로교통공단과 한국교통안전공단의 공동연구를 통해 수행되었음.

공간 데이터 분석과 통행행태

Session

C-5

머신러닝 기반 트램 접근성의 주택가격 기여도 분석: 지하철 환승연계 수준을 중심으로
임성준, 조성수

지리가중 기계학습 알고리즘 개발 연구
민석원, 박동주

도시환경 특성이 지표면 온도 및 냉각효과에 미치는 비선형적 영향 분석: 머신러닝을 활용하여
김재영, 이윤지, 이호준, 조성수

트립체인 데이터를 활용한 자가용 운전자의 내비게이션 의존도 영향요인 분석
박유진, 이경재, 구자헌, 김동현, 추상호

모바일 신호자료를 활용한 통행시간 이질성 분석
남상기, 정연식

택시운행트립체인 데이터를 활용한 목적지 지향형 승객탐색위치추천모형 개발
조형호, 홍정열

머신러닝 기반 트램 접근성의 주택가격 기여도 분석: 지하철 환승연계 수준을 중심으로

Machine Learning-Based Analysisof Tram Accessibility's Contribution to Housing Prices: Focusedon the Level of Subway Transfer Connectivity

임성준
(한밭대학교 도시공학과, 학부)

조성수
(한밭대학교 도시공학과, 조교수)

본 연구는 개통 이전 시점에서 대전 수소트램의 접근성이 아파트 가격에 미치는 영향을 분석하였다. 아울러 그 기여도가 기존 도시철도 1호선과의 연계 수준에 따라 달라지는지도 함께 검토하였다. 대중교통 접근성 개선에 대한 시장의 기대는 개통 이전부터 주택가격에 반영될 수 있다. 이에 본 연구의 목적은 트램 접근성이 주택가격에 미치는 영향을 분석하고자 하였으며, 특히 환승이라는 것에 초점을 맞추어 연구가 진행되었다. 연구 자료는 트램 예비타당성조사 면제가 확정된 2019년 1월부터 2026년 5월까지 대전광역시에서 거래된 아파트 실거래 가격이다. 또한, 주택특성, 위치특성, 도시시설 접근성, 시계열 변수 등 24개 변수로 예측모형을 구축하였다. 트램 접근성과 주택가격 간에는 단순 선형관계로 설명하기 어려운 비선형적 관계가 존재할 수 있어, 이를 포착하기 위해 머신러닝 기법을 활용하였다. Linear Regression, Random Forest, XGBoost의 예측성능을 비교하여 가장 우수한 XGBoost를 최종모형으로 선정하였다. 다만 머신러닝 모형은 예측력이 높은 반면 해석이 어려운 블랙박스 문제를 안고 있어, 이를 보완하기 위해 설명가능 인공지능(XAI) 기법인 SHAP을 함께 적용하였다.

분석 결과, 면적과 주차여건, 준공시점, 가격지수 등 주택 관련 변수가 높은 설명력을 보였고, 공간좌표 변수 또한 대전시 권역 간 가격 차이를 반영하였다. 트램 접근성은 전체 24개 변수 중 13위, 접근성 관련 11개 변수 중에서는 3위를 기록하여, 개통 전임에도 시장에서 그 가치가 이미 반영되고 있음을 보여주었다. 다만 이러한 기여도는 정거장과의 거리에 따라 균일하지 않았으며, 정거장에 가까울수록 크게 나타나다가 거리가 멀어질수록 급격히 줄어드는 양상을 보였다. 기존 지하철 1호선과의 연계 구조를 함께 살펴본 결과, 해당 기여도는 환승역 인근보다 오히려 환승역에서 한두 정거장 떨어진 일반 정거장 주변에서 더 크게 나타났다. 이는 트램이 철도 서비스가 상대적으로 부족했던 지역을 보완하며, 기존 지하철망의 사각지대를 메우는 역할을 하고 있음을 시사한다. 본 연구는 머신러닝과 XAI를 결합해 미개통 시설에 대한 시장의 선반영 효과를 검증하였다는 방법론적 의의를 가진다. 아울러 트램 역세권 정책이 환승거점뿐 아니라 인접한 비환승 구간까지 포괄해야 함을 시사한다.

사사: 본 과제는 2026년도 교육부 및 대전광역시의 재원으로 대전앵커센터의 지원을 받아 수행된 지역성장 인재양성체계(앵커)의 결과입니다(2026-ANCHOR-06-002).

지리가중 기계학습 알고리즘 개발 연구

A Study on Developing the Geographically Weighted Machine Learning Algorithm

민석원
(서울시립대학교 교통공학과, 박사과정)

박동주
(서울시립대학교 교통공학과,)교수

콜롬비아의 도로안전도는 OECD 회원국 중 가장 낮은 수준이다. 그러나, 현재 교통사고 저감사업의 대상구간은 사망사고 다발지점에 국한되어 있어, 사고 기록이 적거나 없는 구간의 잠재적 위험을 반영하지 못한다. 한편 학계에서는 공간적 이질성을 고려한 지리가중 기계학습 모형이 거시적 관점의 교통사고 분석에 등장하고 있으나, 기존 연구들은 사고빈도모형 또는 사고심각도모형에 치중되어 있으며 특히 사고심각도모형은 그 구조상 입력자료의 양성 데이터가 적을 경우 결과값이 불안정해질 위험에서 자유롭지 못하다.

이에 본 연구는 이진변수인 콜롬비아의 도로사망사고 발생여부를 안정적으로 예측할 수 있는 Geographically Weighted XGBoost(GWXGB)를 개발하였다. 다양한 층위에서의 의사결정을 지원하기 위해 약 20,000 km에 달하는 콜롬비아 국가간선도로망 전체를 500m 구간으로 분할하고, 그 사이의 이정들에 2019~2023년 동안의 사망사고 발생여부를 종속변수로, 도로 및 교통 특성, 강우량, 표고, 인구밀도를 독립변수로 결합하여 모형에 투입하였다. GWXGB는 전역 XGB의 예측 결과에서 출발하여 각 이정의 참조반경 내 타 이정들의 속성값에 지리적 가중치를 부여해 추가 학습함으로써, 변수들 간의 관계성이 전역적으로 형성된 공통의 관계와 지역별로 나타나는 편차로 분리되도록 하였다. 그 결과, 위치좌표를 독립변수 내 포함시킨 전역 XGB 대비 Area Under the Precision-Recall Curve가 GWXGB에서 크게 증가하였다. 이어진 Shapley Additive Explanations는 변수별로 지역적 편차의 수준이 다름을 입증하였으며, 이를 토대로 진행한 반사실적 분석에서는 현실적이면서도 적절한 도로 기하구조 또는 교통관리체계 향상이 이루어질 경우 사망사고 발생확률이 크게 감소할 것으로 추정되었다.

본 연구는 전역모형의 예측을 보정하는 형태의 국지모형화 구조를 제시하고, 위치정보를 지리 가중치의 형태로 반영할 때 예측력이 유의하게 향상됨을 보였으며, 콜롬비아 뿐 아니라 국가적 차원의 도로안전 정책을 수립하는 과정에서 중요한 참고자료로써 활용되어질 수 있다.

도시환경 특성이 지표면 온도 및 냉각효과에 미치는 비선형적 영향 분석: 머신러닝을 활용하여

Nonlinear Effects of Urban Environmental characteristics on LST and PCI: Machine Learning Approach

김재영 (국립한밭대학교, 학부과정)

이윤지 (국립한밭대학교, 학부과정)

이호준 (UNSW, 박사)

조성수 (국립한밭대학교, 조교수)

도시화와 고밀개발에 따른 불투수면과 건축물의 증가, 녹지공간의 감소는 도시의 열환경을 악화시키는 주요 요인으로 작용한다. 특히 기후변화와 도시열섬 문제가 심화됨에 따라 도시 내 녹지와 공원이 수행하는 열환경 완화 기능의 중요성이 더욱 커지고 있다. 도시공원은 식생의 차양과 증발산 등을 통해 공원 내부의 온도를 낮출 분만 아니라 주변 지역의 열환경에도 영향을 미칠 수 있다. 그러나 공원의 열환경 개선효과는 공원 자체의 특성뿐만 아니라 주변의 토지피복과 건축환경에 따라 달라질 수 있으며, 이러한 도시환경 특성과 열환경 간의 관계 또한 비선형적인 모양을 나타낼 수 있다. 따라서 공원 주변지역의 온도 수준과 공원이 제공하는 상대적인 냉각효과를 구분하고, 이에 영향을 미치는 도시환경 특성과 비선형적 관계를 정량적으로 분석할 필요가 있다.

본 연구는 서울시 도시공원을 대상으로 공원 및 주변 도시환경 특성과 지표면 온도(LST, Land Surface Temperature) 및 공원 냉각효과(PCI, Park Cool Island) 간의 관계를 분석하였다. 공원 주변지역의 온도 수준을 나타내는 LST와 공원 내부와 주변지역 간의 온도 차이를 나타내는 PCI를 구분하여, 각 지표의 예측에 기여하는 주요 요인과 비선형적 관계를 비교하였다.

분석에는 2025년 여름철 Landsat 8 위성자료와 서울시 공원, 토지피복 및 건축물 자료를 활용하였다. 총 1,869개 공원을 대상으로 공원 경계에서 50~300m의 누적 버퍼를 50m 간격으로 설정하고, 공원 면적과 버퍼별 토지피복 및 건축물 특성을 설명변수로 구성하였다. LST와 PCI를 각각 예측하는 XGBoost 모형을 구축하고, SHAP를 적용하여 변수의 상대적 중요도와 변수값에 따른 예측 기여도의 변화 양상을 분석하였다. 이후 XGBoost와 SHAP 분석에서 나타난 관계를 보완적으로 검토하고, 같은 공간에서 LST와 PCI간 단조적 관계의 방향과 강도를 비교하기 위해 Spearman 순위상관분석을 진행하였다.

분석 결과, 본 연구에서 비교한 50~300m의 공간 범위 내에서 LST 모형은 공간 범위가 확대될수록 예측성능이 감소하였따, 선정된 LST 300m 모형에서는 건축물 밀도가 가장 높은 중요도를 보였으며, 주거지역 비율, 건축면적 비율, 산림 비율, 교통지역 비율 및 건축물 수 등이 주요 변수로 나타났다. 반면 PCI 50m 모형에서는 공원 면적의 중요도가 가장 높았으며, 건축물 수, 산림 비율, 수환경 비율 및 주거지역 비율 등이 주요 변수로 나타났다. 또한 공원 면적과 토지피복 변수에 건축물 특성을 추가하였을 때 LST 300m 모형의 RMSE와 MAE는 각각 9.0%와 10.4% 감소하고 R^2는 0.132 증가한 반면, PCI 50m 모형에서는 RMSE 감소폭이 약 0.6%, R^2는 증가폭이 0.008에 그쳐 건축환경 특성의 추가에 따른 설명력 차이가 나타났다.

주요 변수와 LST 및 PCI 간의 관계에서는 변수값에 따라 예측 기여도의 증가폭과 방향이 달라지는 비선형적 특성이 확인되었다. LST 모형에서는 건축물 밀도가 증가함에 따라 예측 기여도가 증가하다 일정 수준 이후 증가세가 둔화되는 양상이 나타났다. 산림 비율은 일정 수준 이상에서 LST 예측값을 낮추는 방향으로 기여하였다. PCI 모형에서는 상대적으로 작은 규모의 공원에서 공원 면적이 증가할수록 예측 기여도가 빠르게 증가하였으나, 면적이 증가함에 따라 그 증가폭은 완화되는 경향을 보였다. 이는 도시환경에 따라 그 영향이 달라질 수 있음을 나타낸다.

종합하면, 공원 주변지역의 절대적인 열환경을 나타내는 LST와 공원 내부와 주변지역 간의 상대적인 냉각효과를 나타내는 PCI는 서로 다른 특성을 갖고 있다. 각 지표의 예측에 기여하는 주요 도시환경 요인과 공간 범위에서도 차이가 나타났다. 따라서 도시공원의 열환경 개선효과를 평가할 때 하나의 지표만을 활용하기보다 주변지역의 온도 수준과 공원의 상대적인 열환경과 함께 고려해야한다. 또한 도시공원의 열환경 개선을 위한 계획에서는 공원 면적의 확보뿐만 아니라 주변지역의 도시환경과 녹지환경을 함께 고려하여 계획할 필요가 있다.

다만 본 연구는 2025년 여름철 Landsat 위성자료를 활용하여 계절별 및 연도별 열환경 변화를 충분히 반영하지 못하였따는 한계가 있다. 또한 Landsat 기반 열자료의 공간해상도와 재표본화 특성으로 인해 일부 소규모 공원에서는 혼합화소의 영향을 받을 수 있으며, 50m 범위의 PCI를 미세 공간수준의 실제 기온 차이로 직접 해석하는데 한계가 있다.

트립체인 데이터를 활용한 자가용 운전자의 내비게이션 의존도 영향요인 분석

From Trip Narratives to Navigation Dependence Scores:
An LLM-Based Framework for Measuring Navigation Reliance

박유진	이경재	구자헌	김동현	추상호
(홍익대학교 도시계획과, 박사과정)	(홍익대학교 도시공학과, 연구교수)	(홍익대학교 도시공학과, 연구교수)	(홍익대학교 도시공학과, 석사과정)	(홍익대학교 도시공학과, 교수)

동일한 내비게이션을 사용하는 운전자여도 경로를 선택하는 방식은 다를 수 있다. 안내 경로를 그대로 따르는 운전자가 있는 반면, 자신의 경험이나 교통상황을 고려해 다른 경로를 선택하는 운전자도 있다. 같은 안내를 따르더라도 처음 가는 길인지, 평소 자주 다니던 길인지에 따라서도 그 의미는 달라진다. 본 연구는 이러한 차이를 반영하여 통행 상황의 친숙도와 운전자의 경로 선택 개입 여부를 바탕으로 내비게이션 의존도를 측정하고, 이와 관련된 운전자 및 통행 특성을 분석하였다.

분석에는 한국지능정보사회진흥원(NIA)의 승용차 트립체인 데이터를 활용하였다. 해당 자료는 2024년 10월 수도권에서 수집된 4,500건의 통행으로, 운전자의 통행 경험에 관한 음성전사 및 문장 데이터, 설문 정보, GPS 데이터로 구성된다. 전체 통행에 대해 의존도를 분류한 후, 응답 결과에 오류가 있는 것으로 파악된 241건을 제외한 4,259건을 모형 분석에 사용하였다.

내비게이션 의존도는 대규모 언어모형(LLM)을 이용해 분류하였다. 먼저 운전자의 서술에서 통행 상황 친숙도, 경로 안내에 대한 주관 개입 정도, 사용한 안내 기능을 추출하였다. 이후 친숙도와 개입도를 조합해 각 통행의 의존도를 낮음·중간·높음의 세 단계로 구분하였다. 익숙한 경로에서 별다른 개입 없이 안내를 따른 경우에는 높은 의존도를 부여하였으며, 친숙도를 확인하기 어려운 경우에는 개입도에 따라 분류하고 별도로 표시하였다. 무작위로 선정한 150건을 사람이 직접 분류한 결과와 비교했을 때, 일치율은 73.3%. 선형 가중 카파계수는 0.537로 나타났다.

분석 결과, 내비게이션 의존도는 운전자 개인의 특성 뿐만 아니라 통행 시간대와 주행 여건에 따라서도 차이를 보였다. 특히 출발시각이 중요한 변수로 나타났으며, 이른 새벽과 저녁, 야간 통행에서 높은 의존도로 예측되는 경향이 있었다. 정차와 우회가 적은 통행에서도 비슷한 양상이 나타났고, 연령과 소득은 높은 의존도보다 낮은 의존도를 구분하는 데 더 크게 기여한 것으로 드러났다. 이는 내비게이션 의존 행태를 이해할 때 운전자 특성과 통행 당시 상황을 함께 살펴볼 필요가 있음을 시사한다.

모바일 신호자료를 활용한 통행시간 이질성 분석

Analysis of Travel Time Heterogeneity Using Mobile Phone Signal Data

남상기
(영남대학교 도시공학과, 박사수료)

정연식
(영남대학교 도시공학과, 교수)

모바일 신호자료는 대규모 이용자의 위치와 시간정보를 반복적으로 관측할 수 있어 통행시간의 평균적 차이뿐 아니라 동일 이용자의 반복통행에서 발생하는 일별 변동을 함께 분석할 수 있다는 장점이 있다. 본 연구는 이러한 특성을 활용하여 모바일 기지국 체류자료로부터 집과 근무거점을 추론하고, 근무유형 및 통행유형에 따른 집 - 근무거점 반복통행시간의 수준과 변동구조를 분석하는 것을 목적으로 한다. 분석에는 2016년 5월 19일부터 26일까지 8일간 수집된 88,637명의 모바일 기지국 체류자료 44,781,693건을 활용하였다. 핑퐁·핸드오버 등 전처리 후 26,072,392건을 대상으로 체류시간 25분 이상을 활동체류로 식별하고, 연속 활동체류 간 시간적 연결관계를 이용하여 활동거점을 공간적으로 통합하였다.

집은 고정된 야간 시간창을 적용하지 않고 24시간 전체 활동기록에서 반복 관측일수, 복귀일수, 일별 체류순위, 체류비중 및 총 체류시간을 순차적으로 비교하여 추론하였다. 근무거점은 집 이외의 활동장소 중 1일 누적 체류시간이 180분 이상인 날이 3일 이상 관측된 장소로 정의하였으며, 조건을 충족하는 거점이 여러 개인 경우 모두 인정하였다. 이후 근무거점 수와 도착시간의 반복패턴을 이용하여 주간, 오후, 야간, 교대, 불규칙, 복수근무거점형의 6개 근무유형으로 분류하였다. 집과 근무거점 사이의 연속 활동을 연결하여 다른 활동거점 체류가 없는 경우를 직접통행, 하나 이상의 다른 활동거점 체류가 포함된 경우를 중간방문통행으로 구분하였으며, 통행시간은 도착지 체류 시작시각과 출발지 체류 종료시각의 차이에서 식별된 중간 활동체류시간을 제외하여 산정하였다.

최종적으로 25 - 55세 42,279명의 반복통행 459,690건을 구축하였으며, 직접통행은 292,482건(63.6%), 중간방문통행은 167,208건(36.4%)으로 나타났다. 직접통행의 근무유형별 평균 통행시간은 양방향에서 약 26.7 - 33.7분 수준으로 유형간 차이가 비교적 제한적이었으나, 집→근무거점 직접통행의 Between/Within 분산구조는 근무유형별로 뚜렷한 차이를 보였다. 주간근무형은 Between 비중이 71.6%로 사용자 - 근무거점 간 차이가 우세한 반면, 불규칙근무형은 Within 비중이 64.5%로 동일 사용자 - 근무거점 내 일별 변동의 비중이 가장 높았다. 직접통행의 Within SD 중앙값은 근무유형별 약 8 - 10분으로 나타났다. 중간방문통행은 평균 통행시간이 51.3 - 88.0분, 중앙값이 33 - 56분으로 직접통행보다 길었으며, Within SD 중앙값도 약 14 - 41분으로 증가하였다.

이는 근무유형별 평균 통행시간의 차이만으로 반복통행의 특성을 충분히 설명하기 어렵고, 사용자 - 근무거점 간 차이와 동일 사용자 - 근무거점 내 일별 변동을 함께 고려할 필요가 있음을 보여준다. 본 연구는 모바일 신호자료를 이용하여 집 - 근무거점 반복통행을 구축하고, 근무유형과 활동연계 특성에 따른 통행시간의 이질성을 Between/Within 구조로 구분하여 분석하였다는 점에 의의가 있다.

택시운행트립체인 데이터를 활용한 목적지 지향형 승객탐색위치추천모형 개발

Development of a Destination-Oriented Passenger Search Location Recommendation Model Based on Taxi Trip-Chain Data

조형호
(계명대학교, 석사과정)

홍정열
(계명대학교, 교수)

본 연구는 택시 운전자의 현재 위치와 희망 목적지를 고려하여 승객 탐색에 적합한 지역을 추천하는 모형을 개발하고자 한다. 택시 운행에서 탐색지역의 적합성은 승객확보 가능성뿐만 아니라 승객의 목적지와 탐색에 소요되는 시간 및 비용에 따라 달라진다. 특히 승객확보 가능성이 높은 지역이 운전자의 희망 목적지와 일치하는 통행을 제공하는 것은 아니므로, 두 확률을 구분하여 평가할 필요가 있다. 이에 본 연구는 일정 시간 이내 승객을 확보할 확률과 해당 승객이 희망 목적지로 이동할 조건부확률을 결합하고, 이동 및 탐색비용을 함께 고려한 탐색지역 추천체계를 제시한다.

분석에는 2023년 서울특별시 개인·법인택시 운행자료를 활용한다. 차량별 연속된 승·하차 기록을 연결하여 승객 하차 이후 다음 승객을 확보하기까지의 운행 및 탐색 특성을 나타내는 트립체인을 구축한다. 또한 서울시 467개 법정동의 승·하차 건수와 기종점 통행량을 15분 단위로 집계하여 시간대별 승객수요와 목적지 분포를 분석한다. 탐색지역은 현재 위치에서 도로망을 통해 접근 가능한 지역으로 설정하며, 후보지역 도착 후 15분 이내 승객확보 여부와 확보한 승객의 희망 목적지 일치 여부를 기준으로 각각 승객확보확률과 목적지 이동 조건부확률을 추정한다. 두 확률의 추정에는 이항로짓모형을 적용하고, 승차수요, 공급수준, 목적지별 통행비율, 지역·시간대 특성 및 기상조건 등을 설명변수로 검토한다.

추천 단계에서는 두 확률의 결합값과 후보지역까지의 이동시간·거리, 예상 탐색·대기시간을 종합적으로 평가하여 후보지역별 우선순위를 산정한다. 또한 목적지 일치 가능성과 탐색비용에 대한 가중치를 달리한 시나리오를 구성하고, 상위 3개 지역의 예상 확률과 비용정보를 제공한다. 모형의 예측성능은 시간 순서에 따라 분리한 자료로 검증하며, 추천 효과는 과거 운행자료 기반 시뮬레이션을 통해 평가한다. 동일한 출발 위치·시각·희망 목적지 조건에서 현재 지역 유지, 수요 중심 추천 및 승객확보확률 중심 추천과 비교하여 희망 목적지행 승객 확보율과 이동·탐색 부담의 차이를 분석한다. 아울러 승객확보 판정시간, 탐색지역의 접근범위 및 평가 가중치에 따른 민감도 분석을 수행한다.

본 연구는 승객확보 가능성과 희망 목적지 일치 가능성을 구분하여 추정하고, 탐색에 수반되는 시간과 비용을 통합적으로 고려한 택시 승객 탐색지역 추천모형을 제시한다는 점에서 의의가 있다. 이를 통해 운전자의 목적지 선호와 탐색 효율성을 함께 고려한 운행 의사결정을 지원하고, 운전자 맞춤형 택시 승객 탐색지원 서비스 개발을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

사사: 본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다(No.RS-2026-25481068)

물류 · 공급망 및 교통에너지

Session

C-6

SNA 방법론을 활용한 농산물 공급망 리스크 분석
이인호, 이향숙

바이오 콜드체인 우선 도입 품목 선정 및 활성화 전략 연구
이인호, 윤경준, 이향숙

AHP를 활용한 동남아 바이오 콜드체인 시장 진출요인의 우선순위 분석
이희종, 이향숙

공간 데이터 기반 복합화물운송 거점 입지 선정 연구
손형근, 이건, 박소윤, 장진원, 김동희, 이인묵, 박동주

주행 중 무선충전 인프라의 입지 및 요금체계 최적화
김영환, 김동규

시뮬레이션 기반 차량 시장 점유율 변화에 따른 에너지 소비량 및 배출가스 비교 분석
배정연, 김상국, 오시몬

SNA 방법론을 활용한 농산물 공급망 리스크 분석

A Study on Selecting Priority Items for Bio-Cold Chain Adoption and Strategies for Its Activation

이인호
(인천대학교 동북아물류대학원, 석사과정)

이향숙
(인천대학교 동북아물류대학원, 교수)

최근 2022년 러시아-우크라이나 전쟁과 2026년 미국-이란 분쟁에 따른 호르무즈 해협 통제 등 잇따르는 지정학적 리스크는 글로벌 농산물 공급망, 비료 원료 가격 및 해상 물류비 상승에 심각한 충격을 주고 있다

. 에너지는 대체 자원 및 우회 경로 확보를 통한 중장기적 대응이 상대적으로 용이한 반면, 농산물은 기후, 토지, 습도 등 물리적 제약으로 인해 단기간 내 공급망 전환이나 대체 조달이 매우 어렵다. 특히 한국은 농산물 수입 의존도가 높고 식량 자급률이 낮으며, 배합사료의 주원료이자 주요 작물인 옥수수와 밀의 곡물 자급률은 최근 10년간 1% 미만 수준을 유지하고 있어 물류대란 및 운송 지연 발생 시 식량 안보 위기에 취약한 구조적 한계를 안고 있다. 그럼에도 불구하고 이러한 공급망 취약성을 네트워크 구조 관점에서 실증적으로 분석한 연구는 미흡한 실정이다. 이에 본 연구는 사회 네트워크 분석(SNA: Social Network Analysis) 기법을 활용하여 러-우 전쟁 발발 시점인 2022년과 안정화 시점인 2025년의 세계 3대 주요 곡물(밀, 옥수수, 대두) 수입량 상위 15개국 간의 교역 관계를 노드(Node)와 링크(Link)로 계량화하고 공급망 구조의 변화를 실증적으로 규명하고자 한다. 이를 통해 세계 곡류 공급망 변화가 한국 곡류 공급망에 어떠한 영향을 주는지를 분석하고, 리스크에 대응하기 위한 대응전략을 수립하고자 한다. 본 연구는 지정학적 리스크 전이 경로 및 주요 교역국의 네트워크 위치 변화를 파악함으로써, 특정 수입국에 대한 과도한 의존성을 완화하고 리스크 발생 시 대체 조달국 모색 및 공급망 다변화를 위한 한국 농산물 수입 물류 대응전략을 제시한다는 점에서 학술적·실무적 의의를 가진다.

사사: 이 연구는 2026년도 정부재원으로 과학정보기술통신부(2026년도 지역 자율형 디지털 혁신프로젝트)의 지원을 받아 수행되었음(PJT-26-020124).

바이오 콜드체인 우선 도입 품목 선정 및 활성화 전략 연구

A Study on Selecting Priority Items for Bio-Cold Chain Adoption and Strategies for Its Activation

이인호
(인천대학교 동북아물류대학원, 석사과정)

윤경준
(인천대학교 동북아물류대학원, 박사과정)

이향숙
(인천대학교 동북아물류대학원, 교수)

본 연구는 콜드체인 기업이 우선적으로 검토할 수 있는 바이오 콜드체인 품목을 선정하고, 해당 품목의 현장 적용을 위한 활성화 전략을 제시하는 데 목적이 있다. 연구는 델파이법을 활용하여 진행하였고, 1차 라운드는 문헌조사와 전문가 자문을 통해 12개 후보 품목을 검토하고 10개 평가 품목을 선정하였다. 이후 2차 라운드를 통해 16명의 관련 분야 전문가를 대상으로 콜드체인 필요성, 적용 용이성 및 시급성을 5점 척도로 평가하고, CVR, 합의도 및 수렴도 수치를 통해 품목을 적절성을 분석하였다. 분석 결과, 자가유래 세포치료제(CAR-T), 동결해동 적혈구, mRNA 백신·유전자치료제 원료, 마이크로바이옴 치료제, 오가노이드, 정자 및 수정란 등 7개 품목이 콜드체인 필요성 기준을 충족하였다. 시급성에서는 동결해동 적혈구가 세 기준을 모두 충족하여 우선 검토 품목으로 도출되었다. CAR-T는 시급성 평균과 CVR은 높았으나 합의도와 수렴도 기준을 충족하지 못하여 조건부 검토 품목으로 분류하였다. 반면 모든 품목의 적용 용이성 CVR이 기준에 미달하여 현장 도입을 위해서는 인프라 구축, 전문인력 교육, 관리체계 표준화 및 정책적 지원이 필요한 것으로 나타났다. 본 연구 결과는 콜드체인 기업의 신규 서비스 품목 검토와 단계적 시장 진입 전략 수립을 위한 기초자료로 활용될 수 있다.

사사: 이 연구는 2026년도 정부재원으로 과학정보기술통신부(2026년도 지역 자율형 디지털 혁신프로젝트)의 지원을 받아 수행되었음(PJT-26-020124)

AHP를 활용한 동남아 바이오 콜드체인 시장 진출요인의 우선순위 분석

A Priority Analysis of Factors for Entry into the Southeast Asian Bio Cold-Chain Market Using AHP

이희종
(인천대학교 동북아물류대학원, 석사과정)

이향숙
(인천대학교 동북아물류대학원, 교수)

본 연구는 국내 바이오 콜드체인 물류기업이 동남아시아 시장에 진출할 때 고려해야 할 평가요인의 상대적 중요도를 분석하고, 이를 바탕으로 단계별 시장 진출방안을 제시하는 데 목적이 있다. 연구는 계층분석법(AHP)을 활용하여 진행하였으며, 선행연구를 바탕으로 시장성·수요, 물류·운영 환경, 정책·제도 환경, 현지 사업·협력 환경의 4개 상위요인과 12개 하위요인을 선정하였다. 이후 관련 분야 전문가 20명을 대상으로 쌍대비교 설문조사를 실시하였으며, 일관성비율(CR) 검증을 거쳐 평가요인별 가중치와 우선순위를 분석하였다. 분석 결과, 상위요인에서는 시장성·수요(0.525)가 가장 높은 중요도를 보였으며, 정책·제도 환경(0.204), 물류·운영 환경(0.174), 현지 사업·협력 환경(0.097) 순으로 나타났다. 하위요인의 종합가중치에서는 바이오·의약품 시장 규모 및 성장성(0.270)과 한국산 바이오·의약품 수입수요 및 구매력(0.182)이 각각 1위와 2위를 차지하였으며, 제품 허가 절차의 신속성 및 명확성(0.091)이 3위로 나타났다. 이러한 결과는 동남아시아 시장 진출 시 시장 규모와 성장 가능성, 실제 수요를 우선적으로 검토하고, 이후 제품 허가 및 규제환경과 콜드체인 운영여건을 함께 고려할 필요가 있음을 보여준다. 본 연구는 분석결과를 바탕으로 시장 진입 가능성 검토, 제도적 진입여건 검증, 콜드체인 운영 및 현지 사업체계 구축의 3단계 진출방안을 제시하였으며, 국내 바이오 콜드체인 물류기업의 동남아시아 시장 진출 의사결정을 위한 기초자료로 활용될 수 있다.

사사: 이 연구는 2026년도 정부재원으로 과학정보기술통신부(2026년도 지역 자율형 디지털 혁신프로젝트)의 지원을 받아 수행되었음(PJT-26-020124).

공간 데이터 기반 복합화물운송 거점 입지 선정 연구

Location Selection of Intermodal Freight Transport Hubs Based on Spatial Data

손형근 (서울시립대학교 교통공학과·도시빅데이터융합학과, 석박사통합과정)

이건 (서울시립대학교 교통공학과·통계학과, 학부연구생)

박소윤 (서울시립대학교 교통공학과·도시부동산기획경영학전공 학석사연계과정)

장진원 (서울시립대학교 교통공학과, 연구교수)

김동희 (한국철도기술연구원 철도운영연구실, 책임연구원)

이인묵 (한국철도기술연구원 철도운영연구실, 선임연구원)

박동주 (서울시립대학교 교통공학과·도시빅데이터융합학과, 교수)

국내 화물의 대부분은 도로로 운송되며 철도의 수단분담률은 1.2%에 그치고 있다. 현재 철도 화물은 수출·입 컨테이너 및 시멘트와 철강을 비롯한 일부 중량품목에 집중되어, 이를 제외한 내수 일반화물의 철도 물동량은 사실상 부재한 상태이다. 본 연구는 철도 화물 물동량 및 수단분담률 제고를 위한 방안으로 내수 물동량의 철도 수단전환에 주목하여, 전국 물류시설과 산업단지의 입지 자료로 잠재 수요지를 식별하고 이를 바탕으로 철도 복합운송 거점 후보를 선정하고자 하였다.

본 연구는 잠재 수요지 식별을 위해 HDBSCAN(Hierarchical Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise) 알고리즘을, 철도 물류거점 후보 선정을 위해 MCLP(Maximal Covering Location Problem) 알고리즘을 활용하였다. 분석 대상은 물류창고를 포함한 물류시설 4,754개소와 국가·일반산업단지 662개다. 물류시설과 산업단지의 좌표는 주소 정보를 바탕으로 지오서비스(GEOSERVICE)를 활용한 지오코딩으로 구축하였다. 물류시설에 대해서는 HDBSCAN 알고리즘을 통해 잠재 수요 군집을 식별하고, 부트스트랩 재표집으로 동일한 군집이 재구성되는지를 확인하며 군집별 안정성을 검증하였다. 다만 산업단지는 단지 간 군집이 안정적으로 형성되지 않아, 사업체가 이미 집적된 단지 자체로 가정하였다. 철도 물류거점 선정을 위한 후보 철도화물역은 기존 컨테이너 취급역 22개와 추가 후보역 8개, 총 31개 화물역이다. 거점 수는 커버리지 상한의 90%에 최초로 도달하는 값으로 정하고, 인접한 역의 커버리지 차이가 1.0%p 미만이면 기존 취급역을 우선하였다.

분석 결과 53개의 잠재 수요 군집이 식별되어 물류시설의 79.2%가 군집에 속하였고, 이 중 34개 군집이 안정된 군집으로 확인되었다. 최대 커버리지의 상한은 83.8%로 산출되었으며 이에 도달하려면 23개 역이 필요하나 13번째 역부터는 한계 증가가 1%p 미만에 그치는 것으로 나타났다. 최종적으로는 기존 취급역 8개와 추가 후보역 2개로 구성한 거점 10개가 수요의 76.0%를 커버할 수 있는 것으로 나타났다.

본 연구는 관측 물동량(O/D) 대신 화물이 발생하는 시설의 입지로 잠재 수요를 정의하고, 철도 내수 물동량 증대를 위한 복합운송 물류거점 후보를 식별하였다는 데에 의의가 있다. 다만 산업단지를 여러 사업체가 이미 집적된 군집으로 가정하였고 시설 면적을 수요의 대리변수로 사용하였다는 한계가 있다,

사사: 본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원(과제번호: RS-2026-25538098) 및 한국철도기술연구원 '피기백 시장 분석 및 화주·운송사 수요조사 기반 운영모델 분석' 과제의 지원으로 수행되었습니다.

주행 중 무선충전 인프라의 입지 및 요금체계 최적화

Dynamic Wireless Charging Infrastructure Placement and Pricing Optimization

김영환
(서울대학교 건설환경도시공학부, 석박사통합과정)

김동규
(서울대학교 건설환경도시공학부, 교수)

전기자동차 보급 확대에 따라 충전 대기시간과 시설 설치공간의 제약을 완화할 수 있는 충전 인프라의 필요성이 커지고 있다. 주행 중 무선충전(Dynamic Wireless Charging, DWC)은 도로에 매설한 설비를 통해 이동 중인 전기차에 전력을 공급하는 기술로, 별도의 충전 정차 없이 통행 과정에서 에너지를 보충할 수 있다. 그러나 기존 차로를 충전차로로 전환하면 일반차로의 용량과 이용자의 경로선택이 달라지며, 요금체계에 따라 충전 수요와 혼잡의 공간적 분포도 변화한다. 특히 비전기차는 충전편익을 직접 얻지 못하면서 도로용량 재배분의 영향을 받을 수 있으므로 시설 이용량만으로 도입 효과를 평가하기 어렵다. 본 연구는 도시 도로망에서 요금체계에 따른 DWC 설치 배치와 이용행태를 비교하고, 전기차 보급률 변화에 따른 충전서비스 및 교통 영향을 함께 분석하는 것을 목적으로 한다.

본 연구에서는 충전량 비례 요금제, 시간가중 점유 요금제, 무료 이용을 각각 적용하여 요금체계별 DWC 설치 배치를 도출하고, 그에 따른 도로망 성과를 비교하였다. 시설의 설치 여부에 따라 충전차로와 일반차로의 용량을 구분하고, 전기차가 충전으로 얻는 편익과 요금 부담이 경로선택에 반영되도록 하였다. 충전량 비례 요금제는 공급 에너지에 따라 과금하며, 시간가중 점유 요금제는 충전차로에 머무르는 시간을 요금에 반영한다. 이용자는 차량 유형과 시간가치에 따라 구분하고, 통행시간·충전요금·잔여 가정충전 부담을 고려한 이용자균형으로 각 설치안의 교통량과 비용을 산정하였다. 이를 바탕으로 예산 범위 내에서 총 이용자 일반화비용을 줄이는 설치 구간을 순차적으로 선택하였다. 이후 특정 요금체계에서 도출한 배치에 다른 운영요금을 적용하는 교차평가를 수행하여, 설치 위치의 효과와 운영요금의 효과를 구분하였다. 또한 설치비의 고정비 비중과 전기차 보급률을 변화시켜 배치 및 성과의 민감도를 검토하였다.

분석 대상은 서울 강남·서초·송파 도로망으로, 차량 궤적자료와 관측 교통량을 활용하여 보정한 7,263개 노드, 14,908개 방향성 링크, 4,223개 OD쌍 및 오전 첨두 수요 137,761대/시를 적용하였다. 설치 후보는 길이 200m 이상인 간선도로 208개 링크로 한정하였다. 전기차 보급률 50%에서 충전량 비례·시간가중 점유·무료 이용의 설치 연장은 서로 유사했으나 선택된 구간과 연결 회랑의 구성은 달랐고, 무료 이용이 가장 큰 이용자 일반화비용 절감과 충전 이용을 유도하였다. 반면 전기차 보급률이 높아질수록 무료 충전구간에 교통이 집중되어 운영 사회비용 측면의 성과가 악화되었고, 두 유료 요금제는 이용을 조절하여 양의 운영 개선 효과를 유지하였다. 비전기차의 경로 변경도 무료 이용에서 충전시설을 직접 이용하지 않는 차량의 경로 변화가 가장 컸다. 교차평가에서는 동일한 무료 운영요금을 적용하더라도 설계 배치에 따라 충전 에너지가 2,757~3,209kWh로 달라져, 운영요금 변경 시 기존 입지의 성과를 재평가할 필요성을 확인하였다.

본 연구는 DWC를 에너지 공급시설이자 도로용량을 재배분하는 교통시설로 다루어, 시설 배치와 요금체계가 이용자균형을 통해 서로 영향을 미친다는 점을 제시하였다. 전기차 보급률 50%와 기준 수요에서 DWC의 시간보정 충전서비스는 요금제에 따라 고정식 충전기 398~1,200포트에 상응하였으며, 수요가 3배인 무료 이용 시나리오에서는 2,312~2,984포트로 확대되었다. 이는 실제 충전기 철거·대체 대수가 아니라 충전 처리량과 접근·우회·체류시간을 고려한 서비스 환산 규모이다. 따라서 DWC는 고정식 충전망과 함께 반복적인 간선도로 통행의 충전 수요를 분담하는 보완 인프라로 해석해야 한다. 요금은 수입 확보뿐 아니라 충전차로 이용과 혼잡을 조절하는 운영수단이며, 요금제별로 공통 선택되는 간선축을 우선 검토하고 운영 성과에 따라 확대하는 단계적 도입이 가능하다. 향후에는 경로별 배터리 충전상태, 차로 구성의 이질성 및 연속 회랑 단위 요금체계를 반영하여 모형을 확장할 필요가 있다.

사사: 이 논문은 2026년도 정부(경찰청)의 재원으로 과학치안진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구입니다
(No. 0583-20260010, 실시간 교통안전시설 운용을 위한 인프라 정보 융합 및 관리 기술 개발).

시뮬레이션 기반 차량 시장 점유율 변화에 따른 에너지 소비량 및 배출가스 비교 분석

A Simulation-Based Assessment of Energy Consumption and Emissions under Varying Vehicle Market Shares

배정연
(고려대학교 미래모빌리티학과, 학사과정)

김상국
(고려대학교 미래모빌리티학과, 석사과정)

오시몬
(고려대학교 미래모빌리티학과, 부교수)

전 세계적으로 기후변화 대응과 탄소중립 실현을 위한 노력이 확대되면서 교통 부문의 에너지 소비 및 온실가스 배출 저감이 중요한 과제로 부각되고 있다. 특히 내연기관 차량(ICE)을 대체하기 위한 친환경 차량 보급 확대가 추진되고 있으나, 전기차 전환이 도시 교통체계의 에너지 소비 및 배출가스 저감에 미치는 영향을 정량적으로 평가하기 위해서는 차량 동력원별 구성 비율과 도로 교통환경을 종합적으로 고려할 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 차량 시장 내 동력원별 점유율 변화에 따른 에너지 소비량과 이산화탄소(CO_2) 및 질소산화물(NO_x) 배출량을 비교·분석하고, 동일한 전동화 비율에서 친환경 차량의 세부 구성에 따른 환경적 효과를 평가하고자 한다.

이를 위해 통합 도시 교통 시뮬레이션 플랫폼인 SimMobility MT의 Virtual City 환경을 활용하였다. 내연기관차(ICE), 하이브리드차(HEV), 배터리 전기차(BEV)의 구성 비율을 달리한 총 21개 시나리오를 구축하고, 에이전트별 차량 동력원을 무작위로 배정하여 시뮬레이션을 수행하였다. 차량별 주행 특성과 동력원별 파라미터를 반영하는 SimpleEnergyModel을 통해 에너지 소비량을 산정하였으며, 에너지원별 CO_2 배출계수와 차량 유형별 주행속도 기반 NO_x 배출계수를 적용하여 환경적 영향을 분석하였다.

분석 결과, 차량의 전동화 비율이 증가할수록 승용차의 에너지 소비량과 배출량이 전반적으로 감소하는 경향이 나타났다. ICE 100%인 기준 시나리오와 BEV 100% 시나리오를 비교한 결과, 승용차 총에너지 소비량은 486,399.96kWh에서 87,570.01kWh로 82.00% 감소하였으며, CO_2 배출량은 125,491.19kg에서 36,332.80kg으로 71.05% 감소하였다. 또한 승용차의 직접 NO_x 배출량은 완전히 제거(100% 감소)된 반면, 경유, 버스가 포함된 전체 교통수단에서는 75.19% 감소하는 데 그쳤다. 동일한 ICE 구성 비율에서도 HEV와 BEV의 세부 구성에 따라 에너지 소비량과 배출량에 차이가 발생하였으며, BEV의 구성 비율이 높은 시나리오에서 상대적으로 큰 저감 효과가 확인되었다.

종합적으로 본 연구는 차량 전동화에 따른 에너지 소비 및 배출 저감 효과가 단순한 전동화 비율뿐만 아니라 차량 동력원별 구성에 따라 달라질 수 있음을 확인하였다. 특히 교통 시뮬레이션과 에너지 모델을 연계하여 다양한 차량 구성 시나리오의 환경적 영향을 정량적으로 평가하였다는 점에서 의의가 있다. 본 연구 결과는 향후 친환경차 보급 전략 및 탄소 배출 저감 정책 수립을 위한 기초자료로 활용될 수 있다. 특히, 도시 교통체계의 실질적인 탄소중립을 위해서는 승용차뿐만 아니라 대중교통 부문의 저공해·전동화 전환도 병행되어야 함을 시사한다.

사사: 이 논문은 2026년도 산업통상부의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원(P0031136, 중부권 지역혁신클러스터육성)과 과학기술정보통신부에서 지원하는 과학기술원 InnoCORE 사업(N10260092)에 의해 수행되었습니다.

드론 융합기술 및 재난 대응

Session

C-7

원양 선망어업을 위한 YOLO 및 초해상화 기반 UAV 영상 실시간 참치어군 탐지
홍운희, Ngot Pham, 박성운, 조형래

IALA G1194 및S-201 표준 기반의 무인 드론 항로표지 점검 운용 개념(ConOps) 정립과 동적 메타데이터 확장 스키마 설계
박성운, 홍운희, 조형래, 이서정

산불 고립위험지역의 공간적 취약성을 고려한 드론 기반 긴급물자 수송거점 입지 분석
이상민, 홍정열

고속도로 연결로에 대한 선진 제설 제도 · 기술의 도입 타당성 평가 – 네트워크 분석 과정(ANP)의 적용을 중심으로 –
최세령, 오주석, 박제진

원양 선망어업을 위한 YOLO 및 초해상화 기반 UAV 영상 실시간 참치어군 탐지

Real-time Tuna School Detection from UAV Imagery Using YOLO and Super-Resolution for Offshore Purse Seine Fisheries

홍운희 (한국해양대학교 박사과정)

Ngot Pham (㈜해양드론기술, 팀장)

박성운 (㈜해양드론기술, 본부장)

조형래 (한국해양대학교 명예교수)

Conventional aerial detection of tuna schools using manned helicopters is costly, labor-intensive, and hazardous. Although UAV-based maritime surveillance has gained attention, the lack of UAV imagery captured at high altitudes and wide angles integrates AI software. This paper proposes a novel dataset and a two-stage framework that automatically detects tuna schools while reducing transmitted data. In Stage 1, a YOLO model detects and localizes tuna waves, surface disturbances generated by tuna schools, in real time. In Stage 2, these regions (up to 400 pixels per side) are upscaled four-fold using the DRCT super-resolution model for visual verification. A semi-automatic labeling method, in which human-reviewed YOLO pseudo-labels iteratively fine-tune the model, expands the dataset from 4,691 to 22,007 images. Benchmarking YOLOv8, YOLO11, YOLO26, RF-DETR, and RT-DETR dmodels on the initial dataset shows that YOLO11n offers the best accuracy and light weight trade-off, achieving 94.61% mAP@0.5 and 75.23% mAP@0.5:0.95 with 2.6M parameters. On an RTX 5080 GPU, the end-to-end framework runs at about 40 FPS for detection and 10 FPS with super-resolution, demonstrating its potential for practical deployment on edge AI device.

유인 헬리콥터를 활용한 기존의 참치 어군 공중 탐색은 운용 비용이 크고 인력 의존도가 높으며 위험하다. UAV 기반 해상 감시 기술이 주목받고 있으나, 고고도·광각으로 촬영된 UAV 영상과 이를 활용하는 AI 소프트웨어는 아직 부족한 실정이다. 본 논문에서는 새로운 데이터셋과 함께, 전송 데이터량을 줄이면서 참치 어군을 자동으로 탐지하는 2단계 프레임워크를 제안한다. 1단계에서는 YOLO 모델이 참치 어군이 수면에 일으키는 교란인 어군 파랑(tuna wave)을 실시간으로 탐지하고 위치를 추정한다. 2단계에서는 탐지된 영역(한 변 최대 400픽셀)을 DRCT 초해상화 모델로 4배 확대하여 육안 검증을 지원한다. 사람이 검수한 YOLO 의사 라벨(pseudo-label)로 모델을 반복적으로 미세조정하는 반자동 라벨링 기법을 통해 데이터셋을 4,691장에서 22,007장으로 확장하였다. 초기 데이터셋에서 YOLOv8, YOLO11, YOLO26, RF-DETR, RT-DETR 모델을 비교한 결과, YOLO11n이 2.6M개의 파라미터로 mAP@0.5 94.61%, mAP@0.5:0.95 75.23%를 달성하여 정확도와 경량성 간 최적의 균형을 보였다. RTX 5080 GPU에서 전체 프레임워크는 탐지만 수행할 때 약 40 FPS, 초해상화를 포함할 때 약 10 FPS로 동작하여, 엣지 AI 디바이스에 실제로 적용될 수 있는 가능성을 확인하였다.

IALA G1194 및S-201 표준 기반의 무인 드론 항로표지 점검 운용 개념(ConOps) 정립과 동적 메타데이터 확장 스키마 설계

Establishing a Concept of Operations (ConOps) and Dynamic Metadata Extension Schema for Drone-based AtoN Inspection Based on IALA G1194 and S-201 Standards

박성운	홍운희	조형래	이서정
(㈜해양드론기술, 본부장)	(㈜해양드론기술, 센터장)	한국해양대학교, 명예교수)	(한국해양대학교, 교수)

AtoN inspection in Korea relies on tender-based site visits that are costly and weather-dependent for remote and island AtoN, and produces unstructured records that are hard to use promptly as navigational safety information. As S-100-based ECDIS is introduced under IMO Resolution MSC.530(106), AtoN information must transition to IALA S-201 and remain consistent with IHO S-124 navigational warnings, yet no framework exists for integrating drone-generated dynamic inspection data into S-201 and reconciling it with S-124. This study proposes a framework that links drone inspection to navigational warning issuance across three layers: operations, data, and services. First, following IEEE Std 1362, a Beyond Visual Line of Sight (BVLOS) Concept of Operations (ConOps) was established, covering range-based operation zones and airframe assignment, LTE-M/LEO satellite link redundancy, S0–S4 state-transition contingency procedures, and edge-AI defect grading subject to operator approval. Second, following the S-100 General Feature Model (GFM), a backward-compatible S-201 extension schema was designed, defining the information type 'DroneInspectionRecord' (11 attributes) linked to existing features via the 1:N association 'inspectedAtoN'; restricting warning identifiers to operator-approved records enforces the human-in-the-loop principle at the data-model level. Third, an S-98-based pipeline was designed using the Maritime Resource Name (MRN) as a common key to verify five S-201–S-124 consistency rules (R1–R5) before distribution. Across five maritime scenarios, AtoN access time was reduced the most compared with vessel-based inspection and inter-product status inconsistencies were blocked before distribution, while vessel inspection remains necessary beyond weather limits. Future work includes pilot-based validation and establishing the legal status of drone inspection records.

국내 항로표지 점검은 항로표지선 중심의 현장 방문에 의존하여 원거리·도서 표지의 접근 비용이 크고 기상에 따라 일정이 지연되며, 점검 결과가 비정형 문서로 축적되어 항행안전정보로 즉시 활용되기 어렵다. 또한 IMO MSC.530(106)에 따라S-100 기반 ECDIS가 도입되면서 항로표지 정보는 IALA S-201로 전환되어 IHO S-124 항행경보와 일관되게 제공되어야 하나, 드론이 생성하는 동적 점검 데이터를 S-201에 편입하고 S-124와 정합시키는 체계는 아직 정립되지 않았다. 본 논문은 IALA G1194 및 S-201을 기반으로 드론 점검에서 항행경보 발령에 이르는 정보 흐름을 운용–데이터–서비스3계층으로 연결하는 프레임워크를 제시하였다. 첫째, IEEE Std 1362에 따라 관리 반경별 3개 운용 구역과 기체 배정, LTE-M·저궤도 위성통신 이중화, S0~S4 상태 전이 기반 비상절차, 엣지AI 1차 판정과 관리자 최종 결정으로 구성된 비가시권(BVLOS) 운용 개념(ConOps)을 정립하였다. 둘째, S-100 일반 피처 모델(GFM)에 따라 동적 점검 데이터를 11개 속성의 정보 유형'DroneInspectionRecord'로 정의하고 정보 연관'inspectedAtoN'으로 기존 피처와1:N 연결하는 하위 호환 확장 스키마와 GML 인코딩을 설계하였으며, 관리자가 승인한 기록에만 항행경보 식별자를 부여하도록 제약하여 인간 개입(Human-in-the-loop) 원칙을 데이터 모델 수준에서 보장하였다. 셋째, 해사자원식별자(MRN)를 공통 키로 S-201과 S-124 간 5개 정합성 규칙(R1~R5)을 배포 전에 검증하는 S-98 기반 6단계 파이프라인을 설계하였다. 5개 해상 시나리오에서 기존 선박 점검 방식과 비교한 결과, 표지 접근 시간이 가장 크게 단축되고 제품 간 상태 불일치가 배포 전에 차단되었으나, 기상 한계를 초과하는 조건에서는 선박 점검과의 보완 운용이 필요하다. 향후 시범 운용을 통한 정량 검증과 드론 점검 기록의 법적 지위 확보 등 제도적 기반 마련이 요구된다.

산불 고립위험지역의 공간적 취약성을 고려한 드론 기반 긴급물자 수송거점 입지 분석

Location Optimization of Drone-Based Emergency Supply Hubs Considering Spatial Vulnerability in Wildfire-Prone Isolated Areas

이상민
(계명대학교, 학석사과정)

홍정열
(계명대학교, 교수)

산불의 심각성은 발생 건수뿐만 아니라 피해 규모와 지역사회에 미치는 영향을 함께 고려해야 한다. 산림청 통계에 따르면 2025년 산불 발생 건수는 459건으로 2016~2025년 평균보다 13.2% 적었으나, 피해면적은 105,100ha로 같은 기간 평균의 약 7.3배에 달하였다. 산불로 인한 도로 통제와 단절은 주민 대피와 구조활동을 지연시키고 구호물자 수송에 차질을 초래할 수 있다. 특히 외부 연결도로가 제한된 산간지역은 고립위험이 높아 도로망의 영향을 상대적으로 적게 받는 드론 기반 긴급물자 수송체계가 필요하다. 이에 본 연구는 대구·경북지역의 잠재적 고립위험지역을 식별하고, 상대적 위험도를 고려한 드론 수송거점의 최적 입지 대안을 제시하고자 한다.

이를 위해 울릉도를 제외한 대구·경북지역의 1984~2021년 산불자료 1,515건을 활용하였다. 산불 발생 위치와 피해면적을 기반으로 원형 피해권역을 설정하고 외곽 1km까지 확장한 후, 주거용 건축물이 존재하고 경계를 통과하는 도로 링크가 1개 이하인 지역을 잠재적 고립위험지역으로 정의하였다. 또한 1km×1km 격자 20,394개를 대상으로 인구수, 고령인구 비율, 산불 발생 빈도, 재난취약시설 수, 소방서비스 취약성 등 5개 지표에 엔트로피 가중치법을 적용하여 상대적 위험도를 산정하였다. 잠재적 고립위험지역과 격자를 중첩하여 2,838개 수요 셀을 도출하고, 중첩면적 비율에 따라 위험도를 배분하였다. 고속도로 나들목·분기점·휴게소·졸음쉼터 164개소를 후보지로 설정하고, 서비스 반경 50·100·150km에 대해 입지집합커버링모형(LSCP)과 최대커버링 입지모형(MCLP)을 적용하여 최소 거점 수와 위험도 가중 커버율을 분석하였다.

분석 결과, 잠재적 고립위험지역은 경상북도 285개소와 대구광역시 40개소 등 총 325개소로 나타났다. 봉화군이 33개소로 가장 많았으나, 상대적 위험도는 대구 동구 상매동의 두 지역에서 가장 높았다. 서비스 반경 50km에서는 5개 거점으로 2,719개 수요 셀을 커버하여 셀 커버율 95.81%, 위험도 가중 커버율 95.91%를 확보하였다. 반면 봉화·울진의 119개 셀은 모든 후보지의 서비스권에서 제외되었다. 서비스 반경 100km와 150km에서는 각각 2개와 1개 거점으로 전체 수요 셀을 커버할 수 있었다. 또한 50km에서 거점을 4개에서 5개로 확대하면 위험도 가중 커버율이 95.06%에서 95.91%로 0.85%p 증가하였다. 위험도 상위 10% 격자는 전체 산불 피해면적의 74.32%와 피해금액의 67.86%를 포착하였으며, 50km·5개 거점의 서비스권은 수요 셀에 배분된 피해면적의 97.89%와 피해금액의 98.54%를 포함하였다.

본 연구는 산불에 따른 잠재적 고립위험지역을 식별하고, 상대적 위험도와 드론 수송거점의 입지 최적화를 연계하였다는 점에서 의의가 있다. 또한 서비스 반경과 거점 수에 따른 커버 효과 및 서비스 사각지대를 정량적으로 제시함으로써 산불 발생 시 긴급물자 수송을 위한 거점 배치와 대응 우선순위 결정에 활용할 수 있는 기초자료를 제공하였다. 향후에는 후보지 유형을 확대하고 구축·운영비용, 공급능력, 기상 및 지형조건을 고려한 분석이 필요하다.

사사: 본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다(No.RS-2026-25481068).

고속도로 연결로에 대한 선진 제설 제도·기술의 도입 타당성 평가 - 네트워크 분석 과정(ANP)의 적용을 중심으로 -

Feasibility Evaluation of Advanced Snow-Removal Policies and Technologies for Expressway Ramps: An Application of the Analytic Network Process

최세령
(전남대학교 건축토목공학과, 석사수료)

오주석
(전남대학교 공업기술연구소, 연구교수)

박제진
(전남대학교 토목공학과, 부교수)

국내 고속도로의 제설 체계는 본선을 기준으로 수립되어 있다. 현행 「도로제설업무 수행요령」은 입체교차로와 연결로의 제설 방법을 규정하고 있으나, 연결로의 기하구조를 반영한 세부 작업 기준은 포함하지 않는다. 그러나 연결로(IC 램프, JCT 연결로 등)는 작은 곡선반경과 급한 종단경사로 인해 횡방향 미끄러짐에 취약하며, 최근 겨울철 고속도로의 다중 추돌 사고도 나들목·분기점·요금소 인근에서 반복적으로 발생하고 있다. 이에 대한 대응으로 해외 선진 제도·기술의 선별적 도입을 검토할 수 있으나, 그러나 도입 여부를 판단할 때는 평가기준 간의 상호 의존성을 고려하여야 한다. 초기 도입 비용이 큰 기술은 운영비 절감으로 일부 상쇄되고, 법·제도 정합성이 낮은 제도는 현장 효용성이 높더라도 단기 도입이 어렵다. 따라서 본 연구는 종속성과 피드백을 반영하는 네트워크 분석 과정(ANP)을 적용하여, 해외 선진 제설 제도·기술의 국내 고속도로 연결로 도입 타당성을 분석하였다(Saaty, 1996).

먼저, 미국·일본·핀란드 등 7개국의 동절기 도로관리 현황을 국내와 대조하여 제도 6개와 기술 7개를 평가 대안으로 도출하였다. 평가지표는 경제성·현장 효용성·적용 용이성·적합성의 네 클러스터와 12개 노드로 구성하였으며, 세 클러스터 간에는 내부 종속과 양방향 외부 종속을 두고, 개별 대안에 따라 변화하지 않는 적합성은 원천으로, 대안 클러스터는 종점으로 설계하였다. 도로 제설·유지관리 및 관련 정책·연구 분야 전문가 25인의 쌍대비교 응답을 기하평균으로 통합하여 슈퍼매트릭스를 연산하였고, 통합 행렬의 일관성 비율은 모두 수용 기준을 충족하였다.

분석 결과 클러스터의 상대적 중요도는 현장 효용성, 적용 용이성, 적합성, 경제성의 순으로 나타나 도입 판단의 기준이 초기 투자비보다 현장에서의 실효성에 있음이 확인되었으며, 경제성 내에서도 운영·유지관리 비용이 초기 도입 비용보다 높게 평가되었다. 도입 타당성은 제도에서 연결로 세부 작업 내용 제시가, 기술에서 고마찰표면처리가 각각 최상위로 산출되었다. 상위 대안은 대규모 투자나 조직 개편 없이 현행 작업 방식을 명문화하거나 기존 설비를 개량하는 성격을 공유하였으며, 특정 클러스터에서의 우위보다 네 클러스터에 걸친 고른 평가가 최상위 순위로 이어졌다. 이 결과는 응답 통합 방식과 클러스터 가중 방식을 달리한 여섯 개 조건에서 모두 동일하게 유지되었다.

본 연구는 성격이 상이한 제도와 기술을 동일한 평가 체계에서 비교하여 도입 타당성을 정량적으로 제시하였다는 점에 의의가 있으며, 그 결과는 연결로 제설 관련 지침의 개정과 예산 배분의 근거로 활용될 수 있다.

사사: 본 연구는 한국도로공사의 『고속도로 연결로 제설대책 및 제도개선 로드맵 수립 연구용역』에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

도로 · 교통시설 안전성 평가

Session

C-8

고속도로 터널 내 차로변경 허용에 따른 교통사고 안전성 비교분석
정헌영, 고우리, 김인영, 김해, 윤일수

CGAN 기반 안전성능함수 대체 모형의 국내 일반국도 적용성에 관한 기초연구
김민성, 풍태현, 문시현, 김예진, 이요셉, 윤일수

기상 조건을 고려한 머신러닝 기반 회전교차로 임계간격 산출
송동석, 이동민

고속도로 터널 내 차로변경 허용에 따른 교통사고 안전성 비교분석

Comparative Safety Analysis of Traffic Accidents in Expressway Tunnels with and without Permitted Lane Changes

정헌영 (아주대학교, D.N.A.플러스융합학과, 석사과정)

고우리 (아주대학교, 교통시스템공학과, 연구조교수)

김인영 (아주대학교, 교통연구센터, 박사후연구원)

김해 (한국도로공사, 교통처, 차장)

윤일수 (아주대학교, 교통시스템공학과, 교수)

국내 고속도로 터널에서는 과거 백색실선을 통해 차로변경을 제한하는 방식이 일반적으로 적용되어 왔으나, 터널 및 교량의 장대화에 따라 저속차량 추종과 교통류 운영 측면의 문제를 개선하기 위해 일부 터널에서 차로변경을 허용하는 백색점선 운영(이하 점선운영)이 시범적으로 도입되었다. 이후 일정한 시설조건을 만족하는 고속도로 터널에서 진로변경을 허용할 수 있도록 관련 기준이 개정되었으나, 기존 효과분석은 시범운영 초기의 제한된 기간을 중심으로 수행되어 차로변경 허용에 따른 장기적인 교통사고 안전성을 판단하는 데 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 장기간 축적된 실제 교통사고 자료를 이용하여 점선운영 터널과 실선운영 터널의 사고발생 수준을 비교하고, 터널 내 차로변경 허용에 따른 교통안전성 저하 여부를 검토하였다.

분석대상은 상주 - 영덕고속도로와 동홍천 - 양양고속도로의 점선운영 터널 9개소와 실선운영 터널 9개소 등 총 18개 터널이며, 분석기간은 2018년부터 2025년까지로 설정하였다. 교통사고는 한국도로공사 교통사고 속보자료의 A급, B급 및 C급 사고를 합산한 C급 이상 사고를 대상으로 하였다. 먼저 동일 노선·연도를 기준으로 점선군과 실선군의 연도별 사고건수/km를 비교하고 대응표본 t-test와 exact paired permutation test를 수행하였다. 이후 회귀분석에서는 2018~2025년의 사고건수와 차량주행거리(Vehicle Kilometers Traveled, VKT)를 터널별로 통합한 18개 터널 자료를 이용하였다. 초기 Poisson 모형에는 점선운영 여부, 구간단속 여부, 노선, 중·대형차량 비율 및 터널 폭원을 설명변수로 포함하고 누적 VKT의 자연로그를 offset으로 적용하였다. 초기모형의 추정결과와 모형 적합도를 검토하여 폭원, 구간단속 여부, 노선 및 중·대형차량 비율을 순차적으로 제외하고, 최종적으로 점선운영 여부만을 설명변수로 유지한 Poisson 사고발생률 모형을 구성하였다.

기초 비교분석 결과 상주 - 영덕고속도로에서는 점선군과 실선군 간 사고발생 수준에 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았으나($p=0.802$), 동홍천 - 양양고속도로에서는 점선군의 사고발생 수준이 실선군보다 유의하게 낮게 나타났다($p=0.009$). 두 노선을 통합한 분석에서도 점선군의 평균 사고건수/km는 0.040, 실선군은 0.093으로 나타났으며, 그 차이는 통계적으로 유의하였다($p=0.022$). 회귀분석에서는 폭원을 포함한 초기모형에서 폭원과 노선 간 높은 중첩성이 확인되어 폭원을 우선 제외하였고, 이후 점선운영과 구간단속의 중첩된 자료구조로 인한 추정 불안정성을 고려하여 구간단속을 제외하였다. 이후 노선과 중·대형차량 비율을 순차적으로 제외하였으며, AIC는 46.439에서 44.685, 44.272, 42.553, 최종 40.704로 감소하였다. 구간단속 제거 이후 점선운영 여부의 발생률비(Incidence Rate Ratio, IRR)는 0.451, 0.425 및 0.431로 유사한 수준을 유지하였다. 최종 Poisson 모형에서 점선운영 여부의 IRR은 0.431($p=0.019$), 95% 신뢰구간은 0.213~0.872로 나타났으며, Pearson χ^2/df는 0.968로 뚜렷한 과산포가 확인되지 않아 Poisson 모형을 최종모형으로 선정하였다.

분석 결과 본 연구의 대상과 관찰된 운영조건에서는 차로변경을 허용한 점선운영 터널의 C급 이상 사고발생률이 실선운영 터널보다 높게 나타나는 경향은 확인되지 않았으며, 오히려 낮은 수준으로 관찰되었다. 이는 본 연구의 분석범위에서 터널 내 차로변경 허용이 교통안전성을 저하시킨다는 근거가 확인되지 않았음을 의미한다. 다만 점선운영 터널 9개소가 모두 구간단속 적용범위에 포함되는 등 점선운영과 구간단속이 상당 부분 중첩되어 있어, 이러한 차이를 차로변경 허용 자체의 독립적인 사고감소 효과로 해석해서는 안 된다. 향후에는 차로변경 허용과 구간단속이 독립적으로 적용된 사례를 추가로 확보하고 분석대상 노선과 터널을 확대하여 보다 다양한 도로·교통조건을 통제한 분석이 필요하다.

CGAN 기반 안전성능함수 대체 모형의 국내 일반국도 적용성에 관한 기초연구

A Preliminary Study on the Applicability of a CGAN-based Alternative to Safety Performance Functions for National Highways in Korea

김민성	풍태현	문시현	김예진	이요셉	윤일수
(아주대학교, 석사과정)	(아주대학교, 석사과정)	(아주대학교, 석박사통합과정)	(아주대학교, 석박사통합과정)	(아주대학교, 박사후 연구원)	(아주대학교, 교수)

한정된 예산으로 교통사고를 효과적으로 줄이기 위해서는 사고 위험이 높은 구간을 정확히 식별하여 개선 대상의 우선순위를 정하는 것이 중요하다. 국내 교통사고 발생건수는 최근 10년간 약 16.4% 감소하였으나, 2025년에도 193,889건이 발생하는 등 여전히 상당한 수준에 머물러 있다. 이에 국내에서는 1988년부터 교통사고 잦은 곳 개선사업을 시행하여 사고 발생건수가 28.9%, 사망자수가 45.4% 감소하는 효과를 거두었으나, 관측된 교통사고 건수를 기준으로 대상지점을 선정하고 있어 관측기간 동안 우연히 사고가 크게 증가한 지점이 선정될 수 있다는 한계가 있다.

그러나 음이항 모형 기반의 안전성능함수는 사고건수와 설명변수 간의 함수 형태와 자료의 분포를 사전에 가정해야 하며, 일반적인 머신러닝·딥러닝 모형은 대부분 점추정치만을 산출하여 예측의 불확실성을 표현하지 못한다. 한편, 생성적 적대 신경망(GAN)은 자료의 분포 자체를 학습할 수 있어 정상 패턴에서 벗어난 희소한 패턴을 식별하는 이상 탐지 분야에 활용되어 왔으며, 교통사고 역시 정상적인 통행 중 드물게 발생하는 사건이라는 점에서 이러한 특성은 교통사고 예측에 적합할 수 있다. 특히 조건부 생성적 적대 신경망(CGAN)은 도로 구간의 특성을 조건으로 사고건수 표본을 반복 생성하여 기대 사고건수와 분산을 함께 산출할 수 있다. 이에 본 연구는 국내 일반국도를 대상으로 CGAN을 음이항 모형 기반 안전성능함수 대신 적용하고, 두 모형의 성능을 비교하여 CGAN의 안전성능함수 대체 가능성을 검토하였다.

분석에는 2021년부터 2023년까지의 경찰청 교통사고 자료, 디지털 운행기록계(DTG) 기반 위험운전행동 자료, 국가표준노드링크, View-T 교통량 자료를 활용하였으며, 각 자료를 링크 단위로 매핑하여 일반국도 45,880개 구간의 분석 자료를 구축하였다. 종속변수는 구간별 3년간 교통사고 건수이며, 독립변수는 구간길이, 과속과 장기과속을 제외한 9종의 위험운전행동 건수, 차로수, 교통량으로 설정하였다. 특히 위험운전행동은 정상 주행 패턴에서 벗어난 운전 행태를 나타내는 변수로, 교통사고를 정상 통행에서 벗어난 사건으로 보는 본 연구의 관점을 반영하기 위해 활용하였다. 자료는 학습 자료 80%, 검증 자료 20%로 무작위 분할하였다. CGAN 모형은 생성자와 판별자가 경쟁하며 도로 구간 특성에 따른 사고건수의 분포를 학습하도록 구성하였으며, 학습된 생성자로 구간별 사고건수 표본을 500회 생성하여 그 평균을 기대 사고건수로 산정하였다. 비교 모형으로는 동일한 변수를 활용하여 음이항 모형 기반의 안전성능함수를 구축하였다. 두 모형의 성능은 검증 자료를 대상으로 결정계수(R^2)를 통해 사고건수 예측 성능을 비교하였으며, 기대 사고건수가 0.5 이상인 구간을 사고 발생 구간으로 판정하여 재현율, 정밀도, F1 점수를 통해 교통사고 발생 구간의 식별 성능을 비교하였다.

분석 결과, 결정계수는 음이항 모형이 0.468로 CGAN 모형(0.423)보다 높게 나타났다. 이는 분석 구간 중 사고건수가 0인 구간이 60.4%에 달해 생성자가 0에 가까운 값을 주로 생성하는 모드 붕괴가 발생하였고, 이로 인해 큰 사고건수를 충분히 생성하지 못하여 기대 사고건수가 과소 추정되었기 때문으로 판단된다. 한편, 재현율은 CGAN 모형이 0.813으로 음이항 모형(0.786)보다 높았으며, 정밀도는 CGAN 모형이 0.592로 음이항 모형(0.616)보다 다소 낮아 F1 점수는 CGAN 모형 0.685, 음이항 모형 0.691로 유사하게 나타났다. 즉, CGAN은 사고건수 예측에서는 다소 낮은 설명력을 보였으나, 재현율을 통해 실제 교통사고 발생 구간을 더 많이 식별하면서도 F1 점수가 유사하여 개선 대상 구간 선별 측면에서는 음이항 모형과 대등한 성능을 보였다. 이는 함수 형태와 분포를 사전에 가정하지 않는 CGAN의 안전성능함수 대체 가능성을 보여준다.

다만 본 연구는 0건 구간의 비중이 높은 국내 교통사고 자료의 영 과잉 특성으로 인해 CGAN 모형의 학습에 한계가 나타났으며, 생성 표본의 평균만을 활용하였다는 한계가 있다. 따라서 향후 연구에서는 영 과잉 특성을 반영할 수 있도록 CGAN 모형의 구조를 보완하여 모드 붕괴를 완화하고, 생성 표본의 분산을 활용한 분석과 분석 대상 도로 등급의 확대를 통해 CGAN의 안전성능함수 대체 가능성을 추가로 검토할 필요가 있다.

사사: 본 논문은 한국교통안전공단이 발주한 “2026년 운수안전컨설팅지원시스템 운영 및 고도화 용역”의 연구 결과를 바탕으로 작성되었습니다.

기상 조건을 고려한 머신러닝 기반 회전교차로 임계간격 산출

Machine Learning-Based Estimation of Critical Gap at Roundabouts Considering Weather Conditions

송동석
(서울시립대학교 스마트시티학과, 석사과정)

이동민
(서울시립대학교 교통공학과/스마트시티학과, 교수)

회전교차로는 중앙 교통섬을 중심으로 차량이 한 방향으로 회전하여 통과하는 교차로로, 일반 평면교차로에 비해 차량 지체와 상충 횟수를 감소시키는 장점이 있다. 이에 따라 국내 회전교차로는 지속적으로 증가하고 있으며, 효율적인 운영을 위해 운전자의 간격수락 행태에 관한 연구가 수행되어 왔다. 특히 임계간격은 진입차량 운전자가 회전교통류에서 수락할 수 있는 최소 간격으로, 회전교차로의 용량과 진입 행태를 설명하는 주요 지표이다. 또한 우천과 같은 기상 조건은 운전자의 주행 환경과 간격수락 판단에 영향을 미칠 수 있으므로, 기상 조건에 따른 임계간격과 간격수락 행태의 변화를 분석할 필요가 있다.

기존 연구에서는 Raff 및 Wu 방법을 이용하여 임계간격을 산출하거나, 로짓 모형을 통해 간격수락에 영향을 미치는 요인을 분석하였다. 본 연구에서는 기존 분석을 확장하여 변수 간 비선형 관계와 상호작용을 학습할 수 있는 SVM, Random Forest, GBDT 및 XGBoost를 적용하였다. 또한 기상 조건별 분리모형을 구축하여 맑음과 우천 조건의 임계간격을 비교하고, SHAP 분석을 통해 수락·거절 예측에 대한 변수별 상대적 기여도를 분석하였다. 이를 통해 머신러닝을 기반으로 임계간격을 산출하고, 기상 조건에 따른 임계간격과 진입 판단 특성의 차이를 분석하는 것을 목적으로 하였다.

분석에는 총 2,420개의 관측자료를 활용하였으며, 간격, 대기시간 및 회전교통량을 주요 입력변수로 설정하였다. 4개 머신러닝 알고리즘을 이용하여 기상 조건 변수를 포함한 통합모형과 맑음·우천 조건별 분리모형을 학습하였다. 수락·거절 분류성능은 ROC-AUC로 평가하였으며, 분리모형의 결정경계를 기준으로 임계간격을 산출하였다. 또한 SHAP 분석을 통해 간격, 대기시간 및 회전교통량의 상대적 기여도를 비교하였다.

분석 결과, 통합모형과 기상 조건별 분리모형의 ROC-AUC는 전반적으로 유사한 수준으로 나타났다. 임계간격은 SVM에서 맑음 3.44초, 우천 4.36초, Random Forest에서 3.44초와 4.39초, GBDT에서 3.23초와 4.15초, XGBoost에서 3.24초와 4.17초로 산출되어 모든 모형에서 우천 조건이 맑음 조건보다 0.92~0.95초 길게 나타났다. 또한 SHAP 분석 결과, 4개 모형 모두 우천 조건에서 간격의 상대적 기여도는 증가한 반면 대기시간과 회전교통량의 상대적 기여도는 감소하였다.

따라서 우천 조건에서는 운전자가 맑음 조건에 비해 상대적으로 더 긴 간격에서 진입을 수락하는 경향이 나타났으며, 수락·거절 판단에서도 간격의 상대적 예측 기여도가 증가하였다. 이는 기상 조건에 따라 운전자의 간격수락 특성과 변수의 상대적 기여구조가 달라질 수 있음을 시사한다. 이러한 결과는 향후 회전교차로의 간격수락 행태와 운영 특성을 평가할 때 기상 조건을 함께 고려할 필요성을 시사하며, 기상 조건을 반영한 회전교차로 운영 및 평가 방안 마련을 위한 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.



Poster Session

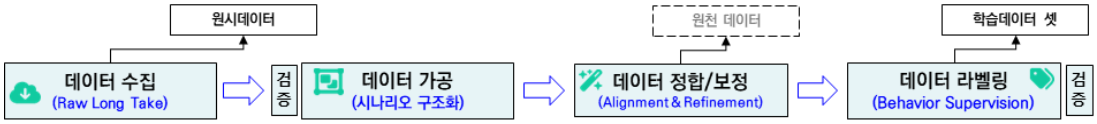
자율주행 E2E 데이터 구축 가이드라인 및 규격 정의

A Guideline and Specification for End-to-End Autonomous Driving Data Construction

민경욱 (한국전자통신연구원, 책임연구원)　**김진우** (한국전자통신연구원, 책임연구원)　**오영민** (한국전자통신연구원, 연구원)

최근 자율주행 기술은 인지, 예측, 판단 및 제어를 개별적으로 구성하는 모듈러 방식에서 센서 입력으로부터 미래 주행궤적을 직접 생성하는 End-to-End(E2E) 방식으로 발전하고 있다. E2E 모델의 성능은 학습데이터의 규모뿐 아니라 센서 간 정합성, 주행 시나리오의 다양성 및 주행 의도와 궤적 정보의 정확성에 크게 의존한다. 본 연구에서는 E2E 자율주행 모델 개발을 위한 데이터 구축 절차를 정의하고, 센서 및 학습데이터의 규격과 품질 기준을 제시한다.

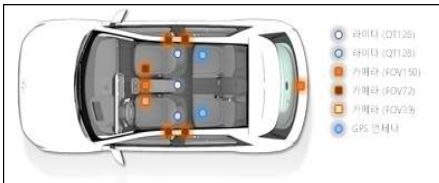
E2E 데이터 구축 가이드라인: E2E 학습데이터 구축 과정은 데이터 수집, 가공, 정합·보정, 라벨링 및 검증 단계로 구성한다. 카메라, LiDAR, GNSS/IMU 및 차량 거동정보를 단일 시간 기준으로 동기화하여 수집하고, Raw Long Take 데이터는 30초 Scene을 기본 단위로 분할한다. 각 Scene에는 차선유지, 차선변경, 회전 등의 기본 거동과 주변 객체와의 상호작용 및 Edge Case 정보를 포함한다. 이후 Ego Pose 보정과 카메라-LiDAR-HDMap 간 공간 정합을 수행하여 E2E 학습에 활용 가능한 데이터로 구축한다.



<E2E 데이터 셋 구축 과정>

E2E 학습데이터 규격 정의: E2E 학습데이터는 센서 데이터와 3D 객체, Map, Ego Trajectory 및 Driving Intent로 구성한다. 3D 객체는 위치, 크기, 방향 및 속도 등을 포함하고, Map은 차선, 도로경계, 정지선 및 횡단보도 등의 정보를 포함한다. Ego Trajectory는 차량의 미래 이동경로를 나타내며, Driving Intent는 Straight, Left Turn, Right Turn 등의 주행 의도로 정의한다. 각 데이터는 session_id, frame_id 및 timestamp를 공통 식별정보로 사용하여 센서와 라벨 간 일관성을 확보한다. 또한 학습데이터는 Raw Session을 시나리오 단위로 분할하고, 각 Session에 Camera, LiDAR, Localization, Vehicle Status, Calibration 및 Annotation 정보가 연계되도록 구성한다. 구축된 데이터는 규격 일치성뿐만 아니라 객체 추적의 연속성, 주행 의도와 궤적 간 일관성 및 센서 간 공간 정합성을 검증하여 학습데이터의 품질을 확보한다.

시스템 구축 사례: 제안한 가이드라인과 규격을 검증하기 위해 ETRI에서는 아이오닉5 기반 E2E 데이터 수집 차량과 통합 데이터 플랫폼을 구축하였다. 차량에는 카메라 8대, 128채널 LiDAR 3대, Radar 및 고정밀 GNSS/IMU를 구성하고 센서와 차량 상태정보를 동기화하여 수집한다. 센서 간 시간 동기화를 위해 GPS 기반 PTP 및 PPS를 적용하고, 차량의 위치·자세와 속도, 가속도, 조향각 등의 Ego Status를 함께 저장하도록 구성하였다. 통합 플랫폼은 데이터 변환, 시나리오 분할, 센서 정합·보정, AI 기반 Auto-labeling 및 데이터 검증 기능을 제공한다. 또한 멀티 카메라 영상과 3D Point Cloud 및 HD Map을 통합하여 시각화하고, 3D 객체 검출·추적 및 Localization 등의 자동 라벨링을 지원한다. 구축된 데이터는 BEV 기반 E2E 자율주행 모델의 학습 및 성능 검증에 활용할 예정이다.



<ETRI E2E 데이터 구축 차량 센서 구성>



<전방위 6개 카메라 E2E 구축 데이터 셋>



<구축 데이터로 학습한 E2E 모델>

사사: 본 연구는 '23년도 과학기술정보통신부의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2023-00229833, 클라우드 기반 자율주행 차량 오류 및 한계 상황 지능형 원격지원 기술 개발)

Cusp-Catastrope기반 Dilemma Zone 의사결정 모델

Modeling of Cusp- Catastophe Based Dilemma Zone Decision Making

임관수
(한성대학교, 대학원생)

남두희
(한성대학교, 교수)

황색 신호 구간에서 운전자는 제한된 정보와 시간 제약 하에서 정지(braking)또는 통과/회피(evasive maneuver)라는 상반된 행동 중 하나를 선택해야 한다. 이 판단은 차량의 접근 속도, 교차로까지의 거리, 노면 상태, 인접 차로 상황, 후방 차량의 존재 등 물리적 요인뿐 아니라, 운전자의 위험 인식 수준, 경험, 순간적인 인지 부하와 같은 심리적 요인의 영향을 동시에 받는다. 결과적으로 이 구간에서의 의사결정은 단순한 계산 문제라기보다는 복합적이고 비선형적인 특성을 갖는 인간 - 기계 상호작용 문제로 귀결된다.

이러한 특성에도 불구하고, 전통적인 교통공학 및 차량 제어 연구에서는 황색 신호 구간 의사결정을 주로 연속적인 변수 변화에 따른 합리적 판단의 결과로 모델링해 왔다. 다시 말해, 접근 속도나 잔여 신호 시간과 같은 입력 변수가 점진적으로 변화함에 따라 운전자의 행동 역시 점진적으로 변화한다고 가정해 왔다. 그러나 실제 관측 데이터와 시뮬레이션 결과는 이러한 가정과 상충하는 사례를 반복적으로 보여준다. 매우 작은 조건 변화에도 불구하고 운전자의 행동이 급격히 다른 선택으로 전환되는 현상, 즉 불연속적 의사결정 전이는 황색 신호 구간에서 빈번하게 관찰된다.

본 연구는 황색 신호 구간에서 발생하는 감속 - 회피 선택 문제를 기존의 연속적 의사결정 문제로부터 분리하여, 불연속 동역학 시스템의 관점에서 새롭게 해석하는 것을 주요 목적으로 한다. 이를 위해 본 연구는 파국이론(Catastrophe Theory), 그중에서도 꼬임 파국(Cusp Catastrophe) 모형을 핵심 이론 틀로 채택한다. 구체적인 연구 목적은 다음과 같다. 첫째, 교차로 의사결정을 구성하는 핵심 상태를 저차원 상태변수로 추상화하고, 이를 통해 감속과 회피라는 상반된 행동 선택이 공존할 수 있는 구조를 수식적으로 정식화한다. 둘째, 제어변수의 변화에 따라 다중 안정 상태가 형성되고 소멸되는 조건을 분석함으로써, 황색 신호 구간에서 관찰되는 딜레마 상황을 이론적으로 설명한다. 셋째, 불연속 의사결정 전이가 발생하는 임계 영역을 정량적으로 정의하고, 이를 “딜레마 영역”으로 해석한다. 넷째, 이러한 이론적 모델을 바탕으로, 운전자 보조 시스템 및 자율주행 시스템 설계에 적용 가능한 사전 개입형 의사결정 프레임워크를 제안한다. 다섯째, 가상 시나리오 기반 시뮬레이션을 통해 제안된 이론 모델의 예측 구조와 딜레마 제로 알고리즘의 작동 원리를 수식적으로 검증한다. 이를 통해 파국이론 기반 제어 전략이 기존의 반응형 ADAS 개입 방식과 구조적으로 어떻게 차별화되는지를 명시적으로 논증한다.

Ro-Ro 하역 자동화를 위한 이종 공간 연속 경로 탐색 비용함수 설계 및 민감도 분석

Cost Function Design and Sensitivity Analysis for Continuous Path Finding across Heterogeneous Spaces in Automated Ro-Ro Operations

이상규 (서울시립대학교 교통공학과·도시빅데이터융합학과, 석·박사통합과정)

김용훈 (서울시립대학교 교통공학과, 석사과정)

신승진 (한국교통연구원 교통기술연구본부, 부연구위원)

노홍승 (한국교통연구원 교통기술연구본부, 선임연구위원)

박동주 (서울시립대학교 교통공학과·도시빅데이터융합학과, 교수)

완성차 Ro-Ro 하역은 운전 기사가 차량을 한 대씩 직접 운전해 옮기는 방식에 의존하고 있어 하역 생산성의 병목이자 인건비·사고 위험·차량 손상의 원인이 된다. 항만 야적장과 선박 내부는 통행 주체와 규칙이 제한되어 Lv4 자율주행의 유망한 적용 영역이지만, 기존 연구는 자동화의 효과를 시뮬레이션으로 입증하는 데 그쳤고 실제 구현에 필요한 개별 주행 경로 생성은 공백으로 남아 있었다. 특히 다층 선박 실내와 실외 야적장을 잇는 경로는 좁은 통로·급회전·경사 램프·층간 이동이 연속되어 단일 공간 최단경로 문제와 성격이 다르다.

본 연구는 선박·연결·터미널 layer를 OpenStreetMap 기반 3-layer 네트워크(광양항 testbed, 노드 141개·링크 179개)로 통합하고 램프 연장·경사·층·일방통행 등의 속성을 부여하였다. 비용은 탐색 정렬용 성분(cost)과 실제 경과 시간 성분(secs)의 이변량 벡터로 정식화하고, 비용 옵션을 속도 항·비용 척도·factor·penalty로 분류한 뒤 양방향 A*로 경로를 산출하였다. 이어 선적 방향 4개 기종점(OD)과 parameter 3종에 대한 40회의 결정론적 민감도 분석과, 제외된 penalty·factor 계열에 대한 14개 OD 210회의 사후 검증을 수행하였다.

분석 결과 전 실행이 오류 없이 완료되었고, 가중 비용의 볼록결합 구조(편차 0.0005 이하)와 거리항 정규화 상수 0.05312 s/m가 확인되어 정식화가 수치적으로 검증되었다. 속도 상한은 경로를 바꾸지 않고 소요 시간만 변화시켰으며(10 km/h에서 2.14~3.42배 증가), 40회 실행은 서로 다른 경로 9개로 수렴하였다. 가변식 램프를 경유하는 유일 경로인 s11은 어떤 parameter에도 고정되었고, penalty·factor 계열은 실측 속성 부재로 210회 전 사례에서 무효였다. 또한 일방통행으로 인해 같은 지점 쌍이라도 선적과 하선 경로가 달라 왕복 대칭 가정이 성립하지 않았다.

결론적으로 본 연구는 이종 공간 연속 경로 탐색 문제를 최초로 정식화하고 실행 가능한 주행 경로 산출을 실증하였다. 이변량 비용함수는 penalty로 경로 선호를 조정해도 보고 시간의 물리적 타당성을 유지하며, parameter 민감도는 값의 크기가 아니라 경로 중복성과 속성 부여 상태에 좌우됨을 규명하였다. 실무적으로는 무손상 인도가 우선인 국면에서는 penalty를 유지하고, 선적 마감 등 처리량이 우선인 국면에서는 penalty를 완화하는 운영 전략을 검토할 수 있다. 향후 폭·경사 실측 속성 부여, 실측 궤적 기반 보정, 다차량 혼잡 반영 등이 과제로 남는다.

사사: 본 연구는 해양수산부의 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 '자율주행차 해상 수출입 서비스 기술개발' 과제의 지원으로 수행되었습니다.

자율주행차를 위한 차로 상호작용과 하류 교통상태 기반 고속도로 교통상황 분류 및 실증분석

Classification and Empirical Analysis of Freeway Traffic Situations Considering Lane Interactions and Downstream Traffic Conditions

이혜진 (한국과학기술원, 박사과정)
유화평 (명지대학교, 교수)
여화수 (한국과학기술원, 교수)

속도·밀도·교통량 기반의 교통상태는 국지적 교통류 특성을 요약하는 데 유용하지만, 차로변경의 빈도와 방향, 차로 간 불균형, 하류부 교통상태를 구분하지 못한다는 한계가 있다. 동일한 교통상태에서도 이러한 특성에 따라 자율주행차가 처하는 운행 상황은 달라질 수 있으나, 이를 실증적으로 검토한 연구는 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 교통상황을 교통류 유형(F), 차로 상호작용 유형(L), 하류 이상도(A)로 구분한 S = (F, L, A) 표현을 제안하고, 차로 상호작용과 하류 교통상태가 교통류 유형만으로는 설명되지 않는 정보를 부가적으로 설명할 수 있는지 검증하였다. F와 L은 종방향 교통류 변수와 차로변경·차로 간 불균형 변수에 각각 주성분분석과 가우시안 혼합모형을 적용하여 4개 유형(자유류, 고교통량, 밀집, 교통류 진동)과 5개 유형으로 분류하였으며, A는 하류 100 - 300 m 구간의 속도 저하, 밀도 증가, 차로 이동 방향성, 차로 간 불균형을 연속값으로 산정하였다. 분석에는 NGSIM US-101 차량 궤적자료를 100 m × 20 s 시공간 영역 단위로 집계하여 활용하였으며, US-101에서 추정한 모형을 재추정 없이 I-80 자료에 적용하여 타 도로로의 전이 가능성을 검토하였다. 분석 결과, 20 s 후 유형 유지확률은 US-101에서 F 0.798, L 0.334, I-80에서 각각 0.902 - 0.938, 0.402 - 0.451로 나타나 두 요소의 변화 시간 척도가 상이한 것으로 분석되었다. 교통류 진동 유형 내에서도 L의 유효 유형 수는 3.68 - 3.91로, 약 네 가지 차로 상호작용 양상이 공존하는 것으로 나타났다. 또한 US-101 진동 유형에서 차량당 20 s 기준 선행차 교체 횟수는 상호작용 희박 유형 0.035회, 그 외 유형 0.133회로 약 3.8배 차이를 보였으나(차이의 95% 신뢰구간 0.034 - 0.148회), 중앙 차두시간은 유의한 차이를 보이지 않았다. 진동 유형 내 평균 하류 이상도 크기 역시 US-101 0.716, I-80 1.228 - 1.434로 상이하였으며, I-80 관측의 46.3 - 55.5%는 US-101 학습 자료의 분포 범위(F 우도 하위 5%)를 벗어난 것으로 나타났다. 추가적으로 PeMS 3개 노선(I80-E, SR91-E, I5-N)의 검지기 자료를 활용하여 하류 속도 이상도를 외부 검증한 결과, 이상도는 세 노선 모두 국지적 교통류 붕괴 직전 15분에 30 - 60분 전보다 증가하였으며 I80-E와 SR91-E에서는 통계적으로 유의하였다. 다만 단일 임계값 기반 경보의 성능은 노선별로 상이하였고 일자별 교차검증에서 PR-AUC가 일관되게 개선되지 않아, A는 독립적인 붕괴 탐지 지표보다는 연속형 맥락 정보로 활용하는 것이 적절한 것으로 판단된다. 본 연구 결과는 차로 상호작용과 하류 교통상태를 교통류 유형과 별도로 표현해야 할 실증적 근거가 되며, 다른 센서 자료로의 적용성과 자율주행 제어 성능 개선 효과는 후속 연구에서 검증할 필요가 있다.

사사: 본 연구는 국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호: [RS-2021-KA160548])

실차 연계가 가능한 V2X 협력 인지 및 협력 주행 시뮬레이터 개발

Development of a Simulator for V2X Cooperative Perception and Planning

김주영	조용우	이신경	송유승
(한국전자통신연구원 피지컬AI연구소 AI로봇·모빌리티연구본부 자율주행지능연구실)	(한국전자통신연구원 피지컬AI연구소 AI로봇·모빌리티연구본부 자율주행지능연구실)	(한국전자통신연구원 피지컬AI연구소 AI로봇·모빌리티연구본부 자율주행지능연구실)	(한국전자통신연구원 피지컬AI연구소 AI로봇·모빌리티연구본부 자율주행지능연구실)

자율주행차는 차량에 탑재된 센서로 주변 환경을 인지하지만, 주행 경로 주위의 구조물이나 대형 차량에 가려지는 인식 음영지역이 존재하고 원거리 객체는 검출 성능이 떨어진다. 또한 짧은 시간 동안의 관측만으로는 전방 차량이 잠시 정차한 것인지 불법 주정차한 것인지 구분하기 어려워 단독 주행에 한계점이 있다. 판단 측면에서도 딜레마존이나 비보호 교차로처럼 상황 해석의 여지가 큰 환경에서 차량마다 서로 다른 위험도 분석을 수행하면 진입 여부가 엇갈려 위험이 커질 수 있다. 이러한 한계를 보완하기 위해 인프라·타 차량·보행자와 정보를 공유하는 협력 인지와, 주변 교통 참여자가 일관된 판단으로 움직이도록 하는 협력 주행이 요구된다.

본 연구에서는 이를 위한 V2X 메시지 셋으로, 검출 객체를 공유하는 SDSM(Sensor Data Sharing Message)과 노변의 인프라에서 검출한 객체를 전달하는 SDSM-G(SDSM-Guidance), 차량과 보행자의 상태를 알리는 BSM(Basic Safety Message)·PSM(Personal Safety Message), 협력주행 서버가 개별 차량에 정지·출발·감속 및 교차로 진입 가능 여부를 지시하는 CGM(Cooperative Guidance Message), 자율주행차가 교차로 통과·차로 변경 등 주행 의도를 알리는 DMM(Driving Maneuver Message)을 정의하였다. 그러나 이러한 메시지에 대한 자율주행 로직의 반응을 확인하려면 다양한 교통 상황을 반복 재현해야 하며, 매번 실차와 인프라 장비를 동원하기는 어렵다.

이에 정의한 메시지 프로토콜을 그대로 송수신하며 협력 인지 및 협력 주행 로직을 검증할 수 있는 자율주행 시뮬레이터를 개발하였다. 일반적인 자율주행 시뮬레이터가 사실적인 3차원 가상 주행환경을 구성하고 카메라·라이다 등 센서 신호와 차량 동역학을 물리적으로 모사하는 데 초점을 두는 것과 달리, 본 시뮬레이터는 인지 결과를 객체 단위로, 통신을 실제 메시지 단위로 모사하여 V2X 메시지와 자율주행 판단 로직 간의 상호작용을 검증하는 데 목적을 둔다. 따라서 실차에 탑재되는 판단 소프트웨어를 그대로 구동할 수 있으며, 시나리오 구성과 반복 실행이 간단하다. 시뮬레이터는 자율주행 판단 소프트웨어를 중심으로 가상 인식 시뮬레이터, 가상 제어 시뮬레이터, 모니터링 UI로 구성된다. 가상 인식 시뮬레이터는 정밀지도의 차로를 따라 주행하는 가상 차량과 보행자를 생성하여 자차 센서 인지 결과를 모사하고, 동시에 V2X 송신 주체 역할을 수행한다. 즉, 설치 위치·화각·검출 거리로 정의되는 가상의 인프라가 커버리지 내 객체를 SDSM-G로 송신하고, 커넥티드 차량과 보행자로 지정된 가상 객체는 BSM·PSM으로 자기 상태를 송신하며, 운영자가 UI에서 대상 객체를 선택하면 협력주행 서버를 대신해 CGM을 송신한다. CGM은 사양에 따라 동일 지시를 50 ms 주기로 3초간 반복 송신하도록 구현하였고, 실제 검출 오차를 모사하기 위해 객체별 위치 오차를 부여하여 주행환경을 시뮬레이션하였다. 가상 제어 시뮬레이터는 판단 소프트웨어가 생성한 경로와 목표 속도를 추종하여 자차를 주행시킨다. 또한 시나리오 파일로 가상 객체의 경로와 등장 시점을 정의하여 다양한 상황을 반복 재현할 수 있다.

자율주행 판단 소프트웨어는 자차의 인지 결과와 주행 의도를 각각 SDSM·DMM으로 송신하고, 수신한 V2X 객체를 차량 센서 객체와 구분하여 별도로 관리하면서 충돌 위험도 평가 등의 주행 판단 시스템에 반영하며, CGM 지시에 따라 감속·정지·재출발을 수행한다. 시뮬레이션을 통해 이러한 협력 인지, 협력 주행 시스템을 단계적으로 검증하였다. 또한 수신 메시지와 판단 결과를 로그로 기록하여, 후처리를 통해 자차가 V2X 메시지에 어떻게 반응하여 주행했는지를 시뮬레이션과 실차 모두에서 동일하게 분석할 수 있도록 구현하였다.

이러한 판단 소프트웨어는 실장비와 동일한 메시지 형식과 통신 경로로 데이터를 수신하므로 설정 변경만으로 시뮬레이션과 실차 환경을 전환할 수 있어, 시뮬레이터에서 검증한 로직을 수정 없이 실차에 적용할 수 있다. 개발한 시뮬레이터를 통해 실차 통합실험에 앞서 메시지 송수신부터 판단 반영까지 협력 인지 및 협력 주행 기능 전반을 충분히 검증하여 개발과 통합 실험 및 검증 효율성을 크게 높일 수 있었다.

사사: 이 논문은 2025년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구결과임(RS-2025-02283230, 자율주행을 위한 이기종 V2X Seamless 통신 기반 자율협력주행 기술 개발)

재사용 가능한 운전자 행동 프로파일 기반 개인화된 종방향 행동 예측

Personalized Longitudinal Driver Action Prediction Based on Reusable Behavioral Profiles

김현수 (한국과학기술원 건설및환경공학과, 박사후연구원)

전수제 (한국과학기술원 건설및환경공학과, 박사과정)

여화수 (한국과학기술원 건설및환경공학과, 교수)

같은 차간거리와 상대속도에서도 운전자마다 감속을 시작하는 시점과 강도는 다르다. 충돌예상시간(TTC)이나 요구 감속도와 같은 물리적 위험 지표는 모든 운전자에게 동일한 기준으로 산정되므로, 특정 운전자가 언제, 얼마나 강하게 행동할지 설명하기 어렵다. 본 연구는 과거 행동으로 추정한 운전자 행동 프로파일을 사전에 저장하여 반복 예측에 재사용하는 2단계 프레임워크를 제안한다. 예측 대상은 3초 이내에 발생할 다음 종방향 행동의 유형(무조작·감속·가속), 시작 시점, 강도이다. 시작 시점은 0.1초 단위 30개 구간의 확률분포로 예측하고, 강도는 행동이 지속되는 구간(최대 1초)의 가속도 크기 중앙값으로 정의한다.

1단계에서는 운전자가 처음 수행한 16회의 감속(D)·가속(A) 행동을 각각 하나의 행동 토큰으로 표현한다. 행동 토큰은 행동 방향, 발생 시점의 속도·차간거리·상대속도, 강도 등으로 구성된다. 이 16개 토큰으로 6개 매개변수의 프로파일을 추정하며, 프로파일은 운전자가 감속 또는 가속을 시작하는 차간거리를 속도별로 나타낸 경계선인 A/D 곡선의 형상과 해당 운전자가 평소 보이는 선호 감속·가속의 크기로 이루어진다. 이때 학습 데이터에서 도출한 10개 대표 프로파일(원형)과 해당 운전자가 얼마나 닮았는지를 사후확률로 구하고, 이를 가중치로 원형들을 가중 평균하여 프로파일을 산출한다. 16회 행동만으로는 소속 프로파일을 확정하기 어려우므로, 이 방식으로 추정 불확실성을 반영한다. 2단계에서는 단기 이력(최근 3초, 0.1초 간격)과 장기 이력(12초, 1초 간격)을 각각 인코딩한다. 인코딩된 이력을 저장된 프로파일과 교차 어텐션으로 결합하여 행동 유형, 시작 시점 분포, 강도를 예측한다.

NGSIM I-80·US-101 궤적 데이터를 운전자 단위로 학습·검증·평가 집합에 분할하고, 초기 16회 행동이 끝난 이후의 시점만 평가하였다(분석 대상 운전자 11,157명, 평가 시점 24,141개). 물리적 이력만 사용하는 모형에 집단 평균 프로파일, 원형 기반 운전자별 프로파일, 선호 강도, 교차 어텐션을 단계적으로 추가하였다. 그 결과 결합 음의 로그우도(NLL)는 3.5238에서 3.5101로 감소하였고, NLL 차이의 운전자 단위 부트스트랩 95% 신뢰구간은 [−0.01719, −0.01198]로 0을 포함하지 않았다. 개선 폭은 작지만 운전자 단위 재표본에서도 일관되게 나타나, 물리적 이력만으로 설명되지 않던 행동 차이를 저장된 프로파일이 보완함을 시사한다. 집단 평균 프로파일보다 운전자별 프로파일이 유의하게 더 나았다. 또한 A/D 곡선만 쓸 때보다 선호 강도를 함께 쓸 때가 유의하게 더 나아, 행동을 언제 시작하는지뿐 아니라 얼마나 강하게 하는지도 예측에 필요함을 확인하였다. 초기 16회 행동을 예측할 때마다 함께 입력하는 종단간(end-to-end) 어텐션 모형은 NLL이 0.19% 더 낮아 예측 성능이 가장 우수하였다. 반면 제안 모형은 운전자별 저장 정보를 16회 행동 기록(144개 값)에서 6개 값으로 줄이고, 반복 예측 시 소요 시간을 12.2~18.1% 단축하였다.

학습에 사용하지 않은 실차 주행 데이터(차량 45대, 355회 주행)로도 검증하였다. D 곡선을 기준으로 나눈 보수형·중립형·공격형 집단의 근접 추종 비율(차두시간 2초 미만 추종 비율)은 각각 0.192, 0.472, 0.595로 성향 순서와 일치하였다. 차량별 D 곡선 매개변수와 이 비율 간의 Spearman 순위상관계수는 0.811로 강한 상관을 보였다. 또한 초기 16회 감속 행동과 이후 감속 행동에서 각각 산출한 차량별 차두시간 중앙값 간의 순위상관계수는 0.488로, 초기 행동에서 추정한 운전 성향이 이후 주행에서도 유지됨을 시사한다. 단, 1초 간격 자료라 2단계 예측기를 직접 적용한 검증은 아니다. 제안 구조는 개인화 정보를 해석 가능한 6개 값으로 분리하므로, 물리적 안전 기준은 유지하면서 운전자 맞춤형 전방 충돌 경고(FCW), 적응형 순항 제어(ACC), 공유 제어(shared control)에 행동 예측 정보를 제공할 수 있다.

사사: 본 연구는 과학기술정보통신부에서 지원하는 과학기술원 InnoCORE 사업에 의해 수행되었습니다.(N10260092)

Model Predictive Control을 통한 Trajectory Planner

Trajectory Planning Using Model Predictive Control

홍인준
(한국교통대학교, 박사과정)

박만복
(한국교통대학교, 공학박사)

자율주행 차량의 주행 안정성을 확보하기 위해서는 주변 차량의 움직임을 고려한 안전한 경로 계획이 필요하다. 특히 차선 변경 상황에서는 단순히 목표 차선으로 이동하는 것 뿐만 아니라, 목표차선에 존재하는 주변 차량의 위치와 속도를 고려하여 충돌을 회피하면서 적절한 진입 위치를 결정해야한다. 주변 차랴과의 상대적인 위치 및 상대속도에 따라 자율주행 차량은 적절한 가속 및 감속을 수행하여 안전한 차간 거리를 확보하며 차선 변경을 시도해야 하며, 동시에 차량의 동역학적 제약을 만족하는 연속적인 경로가 생성되어야 한다. 본 연구에서는 이러한 차선 변경 상황에서 주변 차량의 움직임을 고려하여 차량의 이동을 결정할 수 있는 Model Predictive Control 기반의 Trajectory Planner를 설계하였다.

Model Predictive Control을 이용하여 제어까지 하면 좋지만, 차량이라는 플랫폼에서는 MPC가 연산량이 크기 때문에 제어 입력으로 사용할 수 없다. 대신 본 연구에서는 Planner까지만 사용하여 실차적용이 가능하도록 설계하였다. 차량의 움직임을 표현하기 위해 Kinematic Vehicle Model을 사용하였으며, 정밀지도를 기준으로 frenet 좌표계를 구성하여 자차 및 주변 차량의 위치를 변환하여 최적화 문제를 구성하였다. 주변 차량은 등속 모델을 이용하여 움직임을 예측하였으며, 주변 차량의 횡방향 점유 영역은 보수적인 충돌 판단을 위해 차선 폭을 기준으로 설정하였다. 또한 최적의 경로를 얻기 위해 가속도, 헤딩 각속도, 최대 속도, 차선 영역, 주변 차량과의 충돌 회피 등을 제약으로 설정하여 계산하였다.

제안한 Planner의 성능을 확인하기 위해 주변 차량이 있는 차선변경 및 합류 영역에 대하여 실험을 진행하였다. 제한한 Planner는 주변 차량의 위치 및 이동속도를 고려하여 차량을 가속 또는 감속하여 안전거리를 유지하면서 안전한 위치에서 차선 변경 경로 및 속도 프로파일을 생성하는 것을 확인하였다.

사사: 논문은 산업통상자원부가 지원한 '자율주행기술개발혁신사업'의 지원을 받아 수행된 연구 결과입니다[과제명: Lv.4 자율주행시스템의 FailOperational 기술개발 / 과제번호: 20018055]. 또한, 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2021-KA160501).

멀미 평가를 위한 MSDV 기반 주행 시나리오 설계 및 ACC 추종 시뮬레이션 검증

Design of MSDV-Based Driving Scenarios for Motion Sickness Evaluation and Validation via ACC Car-Following Simulation

나수현 (한양대학교 전기공학과, 석사)

김건태 (한양대학교 전기공학과, 석박통합)

배서연 (숙명여자대학교 기계시스템학부, 학사)

강창묵 (한양대학교 전기공학과, 교수)

자율 주행 차량에서는 운전자의 역할이 탑승자로 바뀌면서 비운전 과업을 수행하게 되므로, 차량 운동을 예측하기 어려운 탑승자의 멀미가 승차감의 주요 문제로 대두되고 있다. 특히 반복적인 종방향 가·감속은 인체가 민감한 0.1~0.5 Hz 대역의 저주파 운동을 발생시키며, 이러한 멀미 노출은 일반적으로 ISO 2631-1의 MSDV(Motion Sickness Dose Value)로 평가한다. 한편 가속도와 함께 jerk(저크)도 탑승자 불편감과 멀미의 주요 인자로 다루어지지만, 일반적인 가·감속에서는 가속도 노출과 jerk가 동시에 변하므로 두 요인의 영향을 독립적으로 해석하기 어렵다.

이를 위해 본 연구에서는 동일 목표 가속도 0.15 G에서 MSDV를 동일하게 유지하며 peak jerk만 ±1.0 m/s^3와 ±2.2 m/s^3로 구성한 Low jerk, High jerk 두 가지 멀미 평가 프로파일을 설계하였다. 하지만 실제 실험 시 탑승자는 실험 프로파일을 직접 경험하는 것이 아니라, ACC(Adaptive Cruise Control)로 선행 차량을 추종하는 후행 차량의 운동을 경험하게 된다. 이에 CarSim 기반 ACC 추종 시뮬레이션을 통해 설계한 멀미 유발 특성이 후행 차량 관점에서도 유효한지 검증하였다.

시뮬레이션 결과 두 시나리오 간 MSDV 차이는 입력 프로파일 단계의 6.2%에서 후행 차량 단계의 2.4% 수준으로 감소하여, ACC 추종 후에도 가속도 노출 수준이 비슷하게 유지되었다. 가속 구간에서는 두 시나리오 간 jerk RMS 차이가 입력 프로파일 단계의 43%에서 후행 차량 단계의 11%로 줄어들었으나, High jerk 시나리오의 jerk가 더 큰 경향은 유지되었다. 반면 감속 구간에서는 선행 차량의 제동 응답이 설계한 jerk 특성을 대체하여 두 시나리오 간 jerk 차이가 거의 사라졌다.

본 연구의 결과는 ACC 추종 후 유지되는 멀미 유발 특성과 소실되는 특성을 구분하여, 가속 구간을 중심으로 가속도와 jerk의 멀미 유발 영향을 분리하여 분석할 수 있는 실험적 타당성을 제시한다. 이는 향후 멀미 평가 실험과 멀미 저감 종방향 제어기 개발의 기반이 될 것으로 기대된다.

사사: 이 논문은 2026년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.RS-2020-II201373,인공지능대학원지원(한양대학교))

자율주행 해제율 학습추세의 분석 모형 민감도 분석: 사양 곡선을 이용한 신뢰성 평가 요인 탐색

A Sensitivity Analysis of the Learning Trend in Autonomous-Vehicle Disengagement Rates to Analysis-Model Choice: Exploring Candidate Factors for Reliability Assessment Using a Specification Curve

홍석재
(고려대학교 기술경영전문대학원, 박사과정)

강석중
(고려대학교 기술경영전문대학원, 교수)

캘리포니아 차량관리국에 보고된 자율주행 해제(disengagement) 자료에서 누적 주행거리에 따른 해제율 감소는 흔히 학습효과로 해석되어 왔다. 선행 연구(홍석재·강석중, 2026, 한국ITS학회논문지 제25권 제4호, pp.221~236)는 운영자 수가 적은 자료에 맞는 추론을 쓰면 이 감소가 유의하지 않고 운영자에 따라 기울기 방향도 엇갈림을 보였으며, 지표의 신뢰성이 보고의 표준화·완전성에 달려 있다는 명제를 제시하였다. 본 연구는 그 후속으로, 학습추세의 기울기(이하 학습 기울기)가 분석 모형의 선택, 곧 추정 사양에 따라 얼마나, 어떤 선택에서 달라지는지를 묻는다. 선행 연구의 운영자 35곳·60개월 패널로 경험 척도 4가지(누적 주행거리의 로그선형·B-스플라인·구간별, 표본 내 경과 개월), 시간 통제 4가지, 분포 3가지, 노출 비례성 2가지를 조합한 96개 추정 사양을 두 표본(전체, 주행거리 상위 10곳)에서 모두 추정해 그 분포를 보는 사양 곡선 분석(specification curve analysis)과, 관측 12개월 이상·해제 10건 이상인 운영자 22곳의 기울기 분포 추정을 탐색적 분석으로 수행하였다.

분석 결과, 선행 연구의 기준 추정치(평균 한계탄력성 −0.359)는 전체 표본 96개 사양 가운데 오름차순으로 9번째였다. 해제 건수가 주행거리에 비례한다는 가정(노출 탄력성 1)과 누적 주행거리 척도를 유지한 36개 사양은 모두 음(−)이었으나 크기는 −0.680에서 −0.065까지 달랐다. 전체 표본에서 노출 탄력성이 1이라는 가정은 기각되었고(선행 연구의 노출 탄력성 추정치 0.56, 와일드 군집 부트스트랩 검정 $p<0.001$, 상위 10곳에서는 기각되지 않음), 이를 풀면 대응 36개 사양 중 17개(모두 시간 통제를 둔 사양)에서 점추정 부호가 양(+)으로 바뀌었다. 표본 내 경과 개월 척도(운영자별 패널 등장 순번)는 운영자 내에서 달력 시간과 거의 같아(상관 0.95) 그 기울기를 부호와 무관하게 경험 효과로 해석할 수 없다. 운영자 22곳의 평균 기울기(−0.168)는 추론 방법에 따라 유의성이 갈렸고($p=0.031$~0.054), 기울기 분포의 95% 예측구간은 [−0.76, +0.43]으로 0을 포함하여 이 표본과 교환 가능한 새 운영자의 기울기 부호는 이 자료로 단정할 수 없다.

따라서 이 자료에서 추정한 학습 기울기는 운영자 간 비교나 기술 성숙도 판단에 쓸 때 노출 비례성·시간 통제·경험 척도·추론 방법의 선택을 밝히지 않은 단일 추정치로 해석할 수 없으며, 사양 전체의 분포와 운영자별 기울기 분포로 함께 읽어야 한다. 본 연구는 선행 연구가 제시한 보고의 표준화·완전성에 더해 추정 단계의 신뢰성 평가 요인 후보 다섯 가지(선행 연구의 최소 조건·기본 절차에서 나온 ① 노출 비례성, ② 시간 통제 방식, ③ 운영자 이질성과 추론 방법, 본 연구가 새로 더한 ④ 경험 척도의 식별 가능성, ⑤ 주 사양의 사전 명시)를 제시하고, 사양 곡선(추정치의 분포)과 운영자별 기울기 분포를 함께 보고하는 절차를 제안하며, 요인의 체계화와 필요 자료는 향후 과제로 남긴다.

자율주행차 최소위험조작의 발동 요인 분류와 3종 조작 구현 및 원격지원 연계

Trigger Classification and Implementation of Three Minimum Risk Maneuver Types with Teleoperation for Autonomous Vehicles

조용우
(한국전자통신연구원)

김주영
(피지컬AI연구소)

민경욱
(AI로봇·모빌리티연구본부
자율주행지능연구실)

ISO 23793은 자율주행 시스템이 정상 주행을 유지할 수 없을 때 최소위험조작(MRM)으로 최소위험상태(MRC)에 도달하기 위한 요구사항을 제시하며, 조작 유형을 현재 위치 정지(straight stop), 차로 내 정지(in-lane stop), 갓길 정차(road shoulder stop)의 세 가지로 구분한다. 그러나 어떤 장애를 어떤 유형에 대응시킬지와 각 유형의 궤적·속도를 어떻게 생성할지는 규정하지 않는다. 모든 장애를 급정지로 처리하면 후속 차량에 대한 위험이 과도하고, 모두 감속 정지로 처리하면 제동이 시급한 고장에 대응이 늦어지므로 장애 심각도에 따른 차등 설계가 필요하다. 또한 조작에 진입한 차량이 스스로 상황을 벗어나지 못하면 운행 중단이 길어지므로 원격지원과의 연계도 함께 요구된다. 본 연구에서는 이 대응 체계와 각 유형의 경로·속도 생성, 그리고 원격지원 연계를 설계·구현하고 실증하였다.

발동 요인은 기능이 손상된 오류 계열, 주행을 지속할 수 없는 한계 계열, 운전자 상태 계열로 구분하고, 인지 오류(미분류·오분류 객체), 하드웨어 오류, 소프트웨어 오류, 도로 한계(공사 구간·교통 사고), 운전자 졸음의 다섯 가지 유즈케이스로 정의하였다. 이를 세 조작 유형에 대응시켜, 인지·판단·제어 시스템과 전방 카메라 고장은 긴급 정지로, 라이다·측위 보정 고장과 공사 구간 및 미분류·오분류 객체의 차로 점유는 차로 내 정지로, 측방 센서와 GPS·IMU 고장 및 운전자 졸음은 갓길 정차로 처리하였다.

구현은 MRM 사유와 조작 종류, 정차 유형을 분리하여 관리하고, 복수 요인이 동시에 발생하면 항상 더 보수적인 정차 유형이 선택되도록 하였다. 조작의 종료는 상황 해소 여부에 따라 달라진다. 원격 회피 경로를 수신하면 MRM 사유는 유지한 채 정차만 해제하여 경로를 추종하고, 상황 발생 구간을 통과하면 사유까지 해제하여 자율주행으로 복귀한다. 경로가 제공되지 않거나 상황이 해소되지 않으면 조작을 유지하여 갓길로 이동해 정차한다.

원격지원이 제공하는 회피 경로는 자차 센서보다 넓은 범위의 상황 인지를 전제로 한다. 노변 인프라와 관제 서버는 공사 구간이나 사고와 같은 전방 상황을 자차보다 먼저, 넓게 파악할 수 있으므로 이를 반영한 회피 경로를 생성하여 차량에 제공한다. 다만 수신한 경로를 그대로 추종하지 않고, 자차가 생성한 회피 경로와 같은 위치끼리 가중 평균하여 지역 경로를 만든다. 이때 신호등·정지선 판정과 같은 기존 지도 기반 판단은 그대로 유지되도록 하였다. 원격 경로가 미치지 않는 구간에서는 자차 경로를 그대로 사용하고, 두 경로가 만나는 구간에서는 가중치를 점차 낮춰 곡률이 급변하지 않게 하였다.

세 유형 중 갓길 정차는 최외곽 차로로 이동한 뒤 도로 경계까지 붙여 정차하는 2단계 조작으로 정의하였다. 이동 단계는 기존 차선변경 기능을 재사용하여 우측 차선변경을 연속 수행하고, 우측 차로가 없어 경로가 더 이상 생성되지 않는 시점을 최외곽 도달로 판정하였다. 경계 밀착 단계는 파티클 필터로 수행한다. 참조 경로를 우측으로 확률적으로 이동시킨 후보를 pure pursuit 기법으로 전개한 뒤, 카메라 semantic segmentation으로 얻은 주행 가능 영역 격자지도, 정밀지도 도로 경계까지의 거리 변환, 차로 중심선 이탈, 전방 객체 폴리곤 겹침을 측정량으로 가중치를 주고 저분산 리샘플링으로 대표 경로를 얻는다. 횡방향 이격은 생존 후보의 가중 평균에 비례 제어와 지수 이동평균을 적용해 경계로 수렴시킨다.

인프라가 제공하는 정보는 정차 과정에서도 쓰인다. 센서 고장으로 조작에 진입하면 자차의 인지 결과가 비어 정차 중 전방을 확인할 수 없으므로, 노변 인프라가 검출한 객체를 자차 좌표계로 변환하여 온보드 인지 결과와 융합하고 충돌 위험도 평가에 반영하였다. 제안한 기능은 시뮬레이터에서 요인별로 검증한 뒤 K-City(경기 화성), 자동차부품진흥원 시험로(대구), 대덕연구단지(대전)의 실차 환경에서 시험하였다.

사사: 이 논문은 2026년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구결과임(RS-2023-00229833, 클라우드 기반 자율주행 차량 오류 및 한계 상황 지능형 원격지원 기술 개발)

악천후 환경에서 자율주행 및 자율협력주행에 대한 이용자 생체신호 반응 비교

Comparison of User Physiological Responses to Automated and Cooperative Automated Driving in Adverse Weather

최지윤
(서울시립대학교 교통공학과, 석사과정)

이동민
(서울시립대학교 교통공학과/스마트시티학과, 교수)

황순천
(서울시립대학교 스마트시티학과, 연구교수)

자율주행차는 카메라, LiDAR, 레이더 등 차량 센서에 의존하여 주변을 인지하므로, 우천이나 안개 같은 악천후에서는 인지 성능이 저하된다. 이러한 한계는 합류부, 보행자 횡단, 회전교차로, 비신호교차로처럼 자율주행차가 단독으로 주행하기 어려운 통행장애 구간에서 급정지나 진입 지연 같은 불안정한 거동으로 나타날 수 있다. 이는 이용자의 불안감을 높이고, 급정지 시 팔 근전도 상승과 같은 놀람 반응을 유발하는 것으로 보고되었다. 자율협력주행은 교통안전시설과의 정보 공유를 통해 차량 센서의 인지 한계를 보완할 수 있으므로, 그 효과를 이용자 측면에서 평가할 필요가 있다. 이에 본 연구는 악천후 조건에서 자율주행과 자율협력주행 시 탑승자의 생리적 반응을 비교하여, 인프라 협력이 이용자 측면의 주행 안전성에 미치는 영향을 평가하였다.

본 연구는 한국건설기술연구원 연천 SOC실증실험센터의 테스트베드 도로를 가상환경으로 구현한 VILS(Vehicle-in-the-Loop Simulation) 환경에서 수행하였다. 실험에는 16명(20대 5명, 30대 6명, 40대 5명; 남성 11명, 여성 5명)이 참여하였다. 실험 조건은 맑음-자율주행, 우천-자율주행, 우천-자율협력주행, 안개-자율주행, 안개-자율협력주행의 5개로 구성되었으며 각 조건에서 합류부, 보행자 횡단, 회전교차로, 비신호교차로의 4개 이벤트를 제시하였다. 생체 지표로는 우측 상완(팔)과 우측 종아리의 근전도를 동시에 측정하고, 심박수를 보조지표로 함께 측정하였다. 근전도는 피험자·채널별로 Min-Max 정규화한 뒤, 이벤트 직전 3초(Pre)와 이벤트 구간(Event, 3~5초)의 RMS 차이(ΔRMS)를 산출하였다. 심박수는 근전도와 동일 구간의 평균 변화율(%)을 산출하였다.

분석 결과, 팔 근전도 ΔRMS는 우천과 안개 모두에서 자율주행이 자율협력주행보다 크게 나타났다. 우천 조건에서는 자율주행이 +0.020, 자율협력주행이 0.000이었고, 안개 조건에서는 각각 +0.009, −0.001이었다. 자율협력주행의 값은 맑음-자율주행(−0.001)과 비슷한 수준이었다. 또한 이벤트별로 분석한 결과, 우천-자율주행 보행자 횡단에서 가장 큰 증가(+0.035)가 나타났다. 종아리 근전도 ΔRMS도 우천(+0.012, +0.003)과 안개(+0.004, +0.003)에서 자율주행이 더 크게 나타났으나, 그 차이는 팔 근전도에 비해서는 작았다. 심박수 평균값은 모든 조건에서 ±1.3% 이내로 변화 폭이 크지 않았고, 이벤트별 변화는 일관되게 나타나지 않았다. 그러나 우천(+0.47%, +0.34%)과 안개(+0.14%, −0.19%) 모두에서 자율주행이 자율협력주행보다 높게 나타나 근전도와 유사한 경향을 보였다.

본 연구 결과, 악천후 시 자율주행에서는 주행 이벤트마다 탑승자의 근전도 값이 증가한 반면, 자율협력주행에서는 맑음 조건과 유사한 수준으로 거의 증가하지 않았다. 특히 놀람·불안 반응을 반영하는 팔 근전도에서 차이가 뚜렷하였다. 이는 교통안전시설과의 협력이 악천후로 인한 차량의 인지 성능 저하를 보완하여 탑승자의 긴장을 완화할 수 있음을 시사한다. 따라서 자율협력주행은 악천후 시 이용자 측면의 주행 안전성을 확보하는 수단이 될 수 있다. 또한 본 연구의 근전도 기반 평가 방법은 자율협력주행 기술의 이용자 측면 안전성 평가 지표로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

자율주행 인공지능 모델 학습 모듈 구현

Implementation of a Training Module for an Autonomous Driving AI Model

이정우 (한국전자통신연구원, 책임연구원)
김주완 (한국전자통신연구원, 책임연구원)
최정단 (한국전자통신연구원, 책임연구원)

자율주행에 사용되는 인공지능 모델을 학습시키기 위해서는 고사양의 자원을 가진 시스템이 필요하며 이러한 학습 환경을 제공하기 위한 다양한 기능을 제공하는 도구들과 클라우드 기반 자원 사용 환경이 존재하지만 사용 환경 구성 및 사용상 어려움, 비용 등을 이유로 잘 사용되고 있지 않다.

본 논문에서는 쿠버네티스 환경에서 학습 도구들과 연동하여 자율주행 뿐만 아니라 일반 인공지능을 학습하는데 있어 사용자 편의성을 높인 인터페이스와 학습 환경을 제공하는 자율주행 인공지능 모델 학습 모듈을 구현하고 시험한 결과를 나타낸다.

전체 구조는 기존 설계 내용에 따라 학습 도구들의 API와 연동하는 사용자 인터페이스를 통해 학습 환경 구성, 학습 실행 및 결과를 전달받는 구조로 구현되었다. 사용자별 구분된 프로젝트 기반 인공지능 학습 환경을 구성하고 학습 결과에 대한 메트릭 정보와 아티팩트 정보를 바로 확인하거나 다운로드할 수 있고 학습 결과 메트릭 정보 간 비교도 가능한 통합된 인터페이스 환경을 제공한다. 학습된 모델과 같은 아티팩트 정보는 자율주행 인공지능 모델을 저장 관리하고 OTA 배포할 수 있는 모듈과 연동하여 자율주행 차량이나 엣지시스템에 바로 배포할 수 있는 기능도 제공한다. 또한 일반 학습 스크립트를 자율주행 인공지능 모델 학습 모듈에서 동작할 수 있는 스크립트로 변환시키는 기능을 제공하여 학습 모듈에 대한 사용성을 높였으며 각종 학습 진행 과정과 학습 로그 정보 등을 시각적으로 확인할 수 있게 하였다.

학습 모듈을 사용한 인공지능 모델 학습은 다음과 같은 절차로 진행된다. 먼저 사용자는 프로젝트를 생성한 뒤 인공지능 학습을 위한 스크립트를 생성하여 등록한다. 등록된 스크립트를 실행하면 모델에 대한 학습이 진행되고 학습된 결과는 메트릭 정보 및 아티팩트 정보로 표출되며 표출된 정보에서 최적의 모델 등 결과물을 선택하여 다운로드 받거나 연동된 OTA 모듈에 신규 버전으로 등록하면 자율주행 차량이나 엣지시스템에 전달되어 업데이트를 수행하게 된다.

이렇게 구현된 인공지능 모델 학습 모듈은 리빙랩 센터 운영플랫폼인 AWS 아웃포스트 환경에 적용되었으며 사용자 인터페이스를 통해 시멘틱 세그멘테이션과 같은 자율주행에 사용되는 인공지능 모델에 대한 학습 및 제공된 기능을 시험하였다. 향후 다양한 자율주행 인공지능 모델을 학습하여 자율주행 시스템에 활용될 수 있도록 기능 고도화 및 안정화를 수행할 예정이다.

사사: 본 연구는 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원 자율주행 기술개발혁신사업의 연구비 지원에 의해 수행되었음 (RS-2023-00243530, 자율차-일반차 혼재상황 대비 AI기반자율주행 모빌리티 운영플랫폼 개발)

Layer 기반 자율주행 고위험 시나리오의 구조화 및 실도로 실증 시나리오 도출

Layer-Based Structuring of Autonomous Driving High-Risk Scenarios and Derivation of Real-World Testing Scenarios

박수연
(차세대융합기술연구원, 연구원)

임동현
(차세대융합기술연구원, 선임연구원)

김형주
(차세대융합기술연구원, 연구실장)

자율주행차의 안전성을 확보하기 위해서는 다양한 도로·교통 환경에서 발생할 수 있는 위험 상황을 사전에 파악하고, 자율주행 시스템이 해당 상황을 적절히 인지하고 대응하는지 검증하는 과정이 필요하다. 이를 위해서는 실제 도로에서 발생 가능한 고위험 상황을 구체적으로 정의하고, 도로 환경과 교통조건을 반영하여 재현·검증할 수 있는 실도로 실증 시나리오를 체계적으로 도출해야 한다. 그러나 기존 연구에서 도출된 시나리오는 연구 목적과 분석 방법에 따라 구성 조건과 표현 방식이 달라, 시나리오 간 비교 및 실증 대상 선별을 위한 체계적인 정리가 요구된다. 이에 본 연구는 사고요인 분석 기반 대표 사고 시나리오, 시뮬레이션 기반 시나리오, 고위험 상황·법규위반 결합 시나리오, 판교 자율주행 시범운행지구 영상데이터 분석 기반 시나리오 등 총 65종의 고위험 시나리오 후보를 종합적으로 검토하고, 계층 기반 구조화와 단계별 선별을 통해 최종 5종의 실도로 실증 시나리오를 도출하고자 한다.

먼저, 각 시나리오의 주체(Who), 장소(Where), 시간(When), 상황(What), 원인(Why), 대응 과정(How)을 기준으로 주요 조건을 정리하였다. 이어 자율주행 데이터셋 및 관련 표준의 데이터 구성 요소를 참고하여 연구 목적에 맞는 8개 계층을 구성하고, 시나리오별 주요 조건과 관련 계층을 연결하였다. 이를 바탕으로 시나리오 간 공통점과 차이점을 분석하고, 주요 계층 조합에 따른 유사 시나리오군과 도로 유형, 교통량·혼잡도, 차량 조합, 도로 구조·교통시설, 기상·노면 상태, 법규위반 유형 등에 따른 세부 변형 조건을 정리하였다. 이후 연구목적 부합성, 법규위반 연계 가능성, 실증환경 적용 가능성, 개발기술 적용 및 검증 가능성의 4개 기준을 적용하여 후보 시나리오를 단계적으로 선별하였다.

본 연구는 다양한 출처의 고위험 시나리오를 공통된 계층 구조로 체계화하고, 유사 시나리오군과 세부 변형 조건을 정리하여 실증 대상 선정의 일관성을 확보하고자 한다. 최종 실증 시나리오는 실증 환경의 다양성을 고려하여 신호교차로, 비신호교차로, 터널·지하차도, 버스정류장, 회전교차로 등의 도로 유형을 중심으로 구성할 계획이다. 이를 통해 다양한 도로 환경에서 고위험 상황을 재현하고, 도로구간 및 개별차량 단위의 위험 예측과 법규위반 검지 기술을 검증하는 데 활용하고자 한다.

사사: 본 연구는 2025년도 정부(경찰청)의 재원으로 과학치안진흥센터의 지원을 받아 수행된 수행된 성과임(No. RS-2024-00405603, 자율주행시대 고위험 사고인자·위험상황 예측 및 단속기술 개발).

LLM 기반 사고 서술문 분석을 활용한 자율주행차 사고심각도 영향요인 분석: 주행행태와 충돌 특성을 중심으로

Factors Associated with Automated Vehicle Crash Severity Using LLM-Based Crash Narrative Analysis: A Focus on Maneuvers and Collision Characteristics

나성은
(차세대융합기술연구원
첨단교통체계연구실, 연구원)

김형주
(차세대융합기술연구원
첨단교통체계연구실, 연구실장)

전재원
(차세대융합기술연구원
첨단교통체계연구실, 선임연구원)

자율주행차 사고 서술문에는 도로 상황과 차량의 주행행태뿐 아니라 자율주행차의 대응 맥락과 충돌 전개에 관한 정보가 포함되어 있다. 본 연구는 대규모 언어모형(Large Language Model, LLM)으로 구조화된 사고 관련 항목을 분석자료로 구성하고, 도심부에서 자율주행 모드 또는 제어권 전환 모드로 운행 중 발생한 자율주행차 사고에서 사망 또는 부상 발생과 관련된 주행행태 및 충돌 특성을 분석하였다. 특히 자율주행차가 사고 전에 대응한 대상과 실제 충돌한 대상을 구분하여, 사고 서술문에 담긴 정보를 분석변수에 반영하였다.

분석 대상은 AVCrashes 기반 자료에 수록된 사고 기록 중 도심부에서 발생하고, 사고 당시 자율주행 모드 또는 제어권 전환 모드였던 695건이다. 이 중 사망 또는 부상이 기록된 사고는 95건이었다. 자료에 포함된 172개 수치형 필드의 역할을 검토하고, 분석에 직접 활용할 수 있는 30개의 필드를 재분류하여 24개 설명변수를 구성하였다. 종속변수는 사고별 사망 또는 부상 발생 여부로 설정하였다. 동일한 15개의 설명변수를 적용한 초기 로짓모형과 프로빗모형을 비교한 결과, 로그우도가 더 큰 프로빗모형(-244.639, 로짓모형 -245.328)을 최종 분석에 적용하였다. 최종 모형의 로그우도는 -227.704, McFadden의 의사결정계수는 0.179였으며, 24개 설명변수 중 8개가 명목 유의수준 10%에서 통계적으로 유의하였다.

분석 결과, 세단·해치백 차체 유형, 자율주행차의 감속·제동 및 합류·차로변경, 취약도로이용자(Vulnerable Road User, VRU) 대응 맥락, 취약도로이용자와의 충돌 여부는 사망 또는 부상 발생과 양의 관련성을 보였다. 반면 운전자 미탑승 운행, 상대 객체의 통과·지나감 및 회전은 음의 관련성을 보였다. 세단·해치백 차체 유형의 결과는 표본 내 차량 유형과 운영 주체의 구성이 결합되어 나타났을 가능성이 있으므로 해석에 유의해야 한다. 민감도 분석에서는 운전자 미탑승 운행, 상대 객체의 통과·지나감, 취약도로이용자 대응 맥락 및 취약도로이용자 충돌 여부가 세 가지 분석 조건에서도 추정 방향과 통계적 유의성을 유지하였다.

본 연구는 사고 서술문에서 구조화한 정보를 사고 결과 분석에 연결하고, 사고 전 대응 대상과 실제 충돌대상을 구분하여 주행행태 및 충돌 특성을 분석했다는 데 의의가 있다. 분석 결과는 향후 엣지케이스 시나리오와 안전성 평가 조건을 구체화하는 데 참고자료로 활용될 수 있다. 다만 본 연구 결과는 공개된 사고 기록에서 사망 또는 부상이 기록되었는지와 설명 변수 간의 조건부 관련성이며, 실제 운행 위험이나 인과관계를 추정한 것은 아니다. 표본 구성, 차량 유형과 운영 주체의 중첩, 제한된 사망·부상 사고 수, 모형 명세 조정 및 결측값 보완을 고려하여 탐색적 근거로 해석해야 한다.

사사: 이 논문은 2026년도 정부(국토부)의 재원으로 국토교통과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2026-25522607).

중국 표준의 연계구조에 기반한 레벨4 자율주행 시험설계와 평가근거 연구

A Study on Test Design and Evaluation Evidence for Level 4 Automated Driving Based on the Interrelationships of Chinese Standards

고한검
(자동차안전연구원 자율주행실증처, 책임연구원)

박소정
(자동차안전연구원 자율주행실증처, 연구원)

본 연구는 중국 국가·단체표준과 ISO 시나리오 표준의 연계구조를 분석하여 레벨 4 자율주행의 시험설계와 평가근거 관리방안을 제시한다. 중국 표준을 검토하는 이유는 표준 수나 국가별 기술우위 때문이 아니라, 차량 기능을 필요한 도로·특수환경·시험절차·판정자료로 구체화하는 연결성에 있다. 무엇을 어떤 조건에서 검증하고 결과를 어디까지 해석할 것인지 설명하는 체계에 초점을 둔다.

중국 표준은 GB·GB/T 국가표준과 T/CSAE·T/CMAX 단체표준으로 구분되지만, 일률적인 법적 상하관계는 아니다. GB 44721 계열은 안전요구, GB/T 45312는 설계운행조건, 46896·46958은 시나리오 용어와 평가체계, 41798·44719·47025는 시험장·도로·시뮬레이션 방법을 담당한다. T/CSAE 125는 기능별 도로와 공용시설을, T/CMAX는 차량능력·폐쇄시험장·시험도로 조건을 구체화한다.

ISO 34501~34505는 각각 용어, 안전평가, 운행설계영역(ODD), 시나리오 분류, 평가·시험케이스 생성을 제공한다. 중국의 GB/T 46896과 46958은 ISO 34501과 34502를 수정 채택하지만, 채택 사실이 조항의 동일성이나 성적의 상호인정을 의미하지는 않는다. 적용 차종·조건·정의의 차이를 확인하고 시나리오 유형, 구체 케이스와 실제 실행회차를 구분해야 한다.

시험설계는 안전목표·운행조건 확정, 시나리오 구체화, 시험수단 배분, 플랫폼 능력 확인, 실행·판정으로 구성한다. GB/T 46958의 구체 시나리오 집합, 배분보고서와 플랫폼 능력 확인보고서는 각 결과를 연결하는 핵심 산출물이다. 시뮬레이션은 GB/T 47025에 따라 ADS·맵·모델·평가기의 구성을 유지하고 대표·경계·위험조건을 탐색한다. 모델 재현성, 통합 플랫폼의 적합성, ADS 성능을 구분하며, 모델이 표현하지 않은 물리현상의 검증을 주장하지 않는다.

테스트베드 실차시험은 T/CSAE·T/CMAX의 시설요구와 GB/T 41798의 기능시험을 결합한다. 도로·신호·타깃·기상조건을 통제하고 준비·계측·안전완충 구간을 확보한 뒤, 환경과 객체의 실제 조건을 확인하여 반복시험을 수행한다. 시설 보유나 실행 성공을 차량의 성능 만족과 혼동하지 않고, 센서·인지·제어 및 차량응답을 평가목적에 맞게 기록한다.

본 연구는 문헌 기반 방법론으로서 전체 표준 적합성이나 안전성 향상을 실증한 결과는 아니다. 이 연구를 통해 시험 선택의 이유와 재현한 조건, 판정근거 및 결과의 적용범위를 설명하는 검증체계의 정립을 하는 기초연구로서 활용할 예정이다.

사사: 본 연구는 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원 자율주행기술개발혁신사업의 연구비 지원(과제번호 RS-2021-KA162184)에 의해 수행되었습니다.

자율주행 메타데이터 모델의 정합성 분석 및 개선방안

Conformance Analysis and Improvement Strategies for an Autonomous Driving Metadata Model

남상기
(영남대학교 도시공학과, 박사수료)

정연식
(영남대학교 도시공학과, 교수)

자율주행 환경에서는 차량, 도로 인프라 및 교통관리시스템에서 다양한 구조와 형식의 데이터가 생성·교환되므로, 서로 다른 데이터 간 연계와 재사용을 지원하기 위한 메타데이터가 실제 표준의 정보구조와 제약조건을 충분히 수용할 수 있는지 검증할 필요가 있다. 특히 메타데이터 모델이 개념적 설계에 그치지 않고 실제 자율주행 표준에 정의된 정보를 일관되게 표현할 수 있는지 확인하는 과정이 요구된다. 이에 따라 본 연구는 기존 자율주행 메타데이터 모델을 KS R 1600-2~7에 적용하여 정합성을 평가하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 KS R 1600-2~7에 정의된 Message, DataFrame, DataElement 등 총 529개 객체를 해당 메타데이터 모델에 매핑하고, 메타데이터 속성과 표준 정보를 대응시킨 후 Range, XSD Type, 유효값 및 의미의 네 가지 기준으로 정합성을 평가하였다. 평가 과정에서는 각 속성별 대응 여부를 정합, 부분정합, 부정합 및 평가제외로 구분하여 메타데이터가 표준의 데이터형, 값 범위, 관계구조와 의미를 어느 수준까지 수용하는지 확인하였다. 특히 단순히 속성의 존재 여부만을 비교하지 않고, 실제 표준에 정의된 값과 제약조건을 메타데이터 속성에 직접 매핑함으로써 구조적 문제와 표현상의 차이를 함께 식별하고자 하였다. 평가 결과, 전체 8,594건의 판정 중 평가 가능한 5,080건을 기준으로 정합 3,382건(66.6%), 부분정합 1,687건(33.2%), 부정합 11건(0.2%)으로 나타났다. 부분정합은 주로 객체 간 관계정보를 참조형 또는 문자열로 표현하는 방식의 차이와 단위·해상도 정보의 혼합에서 발생하였으며, 부정합은 물리적 통신매체와 통신기술의 구분, 문자열 길이 제약, 수치형 전송주기와 조건·이벤트 기반 전송정보의 표현 차이에서 확인되었다. 이에 관계정보 표현방식을 정비하고 DataElement의 unit과 resolution을 분리하였으며, Message에 communicationTechnology와 transmissionCondition 속성을 추가하고 dataValue의 문자열 길이 제약을 완화하는 방식으로 메타데이터 구조를 개선하였다. 이와 같은 개선은 단순히 부정합 항목의 값을 수정하는 데 그치지 않고, 서로 다른 표준정보를 수용할 수 있도록 메타데이터의 표현구조와 속성 정의를 조정하는 데 초점을 두었다. 개선된 메타데이터를 동일한 기준으로 재평가한 결과, 평가 가능한 항목은 5,080건에서 5,174건으로 증가하였으며 5,174건 모두 정합으로 판정되어 기존에 확인된 부분정합과 부정합 사례가 해소되었다. 본 연구는 실제 자율주행 표준을 속성 수준에서 메타데이터 모델과 비교하여 구조적 한계를 식별하고, 평가 결과를 구조 개선과 재검증으로 연결함으로써 자율주행 데이터의 상호운용성과 표준 수용성을 향상하기 위한 메타데이터 설계 방향을 제시했다는 데 의의가 있다.

사사: 본 연구는 국토교통과학기술진흥원의 자율주행 Lv.4 상호호환성 확보를 위한 데이터 표준 및 표준적합성 시험방법 개발(과제번호: RS-2023-00245915)의 지원을 받아 수행되었습니다.

온톨로지 기반 이동체 ID 식별 및 궤적 정합 기술 설계

Design of Ontology-Based Moving Object ID Identification and Trajectory Association Technology

김종화 (MORAI)
이원상 (MORAI)
지소연 (MORAI)
정지원 (MORAI)

스마트 시티 및 관제 시스템에서 수집되는 미식별(Unlabeled) 객체 데이터는 프레임 간 연속된 식별 정보(ID)가 결여되어 있어 정확한 시계열 궤적 추정 및 이동체 행동 분석에 한계가 존재한다. 본 연구에서는 10~30Hz 주기의 Raw 센서 데이터로부터 이동체 ID를 식별하고 고정밀 궤적(속도 및 가속도)을 복원하기 위한 도메인 온톨로지 제약 기반 2-Stage 슬라이딩 윈도우 정합 프레임워크를 제안한다.

제안하는 시스템은 이동체 클래스별 물리적 행동 한계(최대 속도, 가속도, 조향각)를 지식 구조화한 온톨로지 파라미터와 방향성 부채꼴 게이팅(Directional Fan Gating)을 적용하여 복잡한 탐색 공간을 사전에 축소한다. 정합 엔진은 5프레임(~200ms) 단위의 슬라이딩 윈도우 내에서 트랙클릿 생성과, 관성 외삽 기반 전역 최적화를 통해 가림 구간을 연결하는 트랙클릿 Stitching의 2단계 구조로 설계하였다.

본 연구는 시스템 구조 설계 및 메커니즘 정립을 목적으로 하는 초기 연구 단계로, 향후 실제 센서 데이터셋 기반의 정량적 실증 평가 및 알고리즘 구현을 통해 기술을 완성할 예정이다. 본 설계 기술이 구체화될 경우, 매 프레임 연산 대비 연산 자원 사용량을 대폭 절감함과 동시에 정교한 속도·가속도 프로파일을 안정적으로 공급하는 핵심 백엔드 엔진으로 기능할 수 있다. 나아가 지능형 교통 관제(ITS) 시스템, 자율주행 인프라 데이터 정제 파이프라인, 물류 이동체 로봇 추적 등 데이터 연속성과 자원 효율성이 동시에 요구되는 다양한 도메인에서 핵심 데이터 전처리 프레임워크로 폭넓게 활용될 것으로 기대된다.

사사: This research was supported by a grant(code RS-2023-00233952) from 2026 R&D Program funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government.

웹 기반 자율주행 가상시험 통합 플랫폼을 통한 시뮬레이션 검증 기반 구축

Establishing a Simulation-Based Verification Framework through a Web-Based Autonomous Driving Virtual Test Integration Platform

이원상 (MORAI)

한수정 (MORAI)

김종화 (MORAI)

정지원 (MORAI)

자율주행 기술의 안전성 및 신뢰성 확보를 위해서는 다양한 주행 시나리오에 대한 체계적인 시뮬레이션 검증이 필수적이다. 그러나 기존의 자율주행 검증 환경은 시나리오 생성, 시뮬레이션 실행, 성능 평가 등의 각 단계가 개별 도구에 분산되어 있어 통합된 워크플로우 구성이 어려웠으며, 전문 소프트웨어의 복잡한 설치 및 설정 과정으로 인해 연구자의 접근성이 저해되는 문제가 있었다.

본 연구에서는 이러한 한계를 극복하기 위해 웹 기반 자율주행 가상시험 통합 플랫폼을 설계 및 구현하였다. 제안하는 플랫폼은 시나리오 데이터베이스(Scenario DB)에서 검증 대상 시나리오를 선택하고, Scenario Editor를 통해 차량 속도, 거동, 환경 조건 등 세부 파라미터를 수정하여 OpenSCENARIO 표준 형식인 xosc 파일을 생성하는 기능을 제공한다. 생성된 xosc 파일은 MORAI 시뮬레이터와 연동되어 자율주행 시뮬레이션을 수행하며, 시뮬레이션 종료 후에는 출력된 로그 파일을 기반으로 충돌 횟수, 신호 준수, 급제동 등의 핵심성능지표(KPI)를 자동으로 평가 및 시각화한다. 전체 워크플로우가 웹 환경에서 통합 제공됨으로써 별도의 소프트웨어 설치 없이 브라우저만으로 검증 과정 전반을 수행할 수 있다.

현재 본 플랫폼은 다수의 자율주행 차량 서비스 관련 연구과제와 협업하여 자율주행 알고리즘 검증을 수행할 예정이다. 이를 통해 시뮬레이션 기반 검증 체계의 실효성을 확인하고 향후 시나리오 자동 생성, 클라우드 기반 병렬 시뮬레이션, 다양한 시뮬레이터 확장 지원 등을 통해 플랫폼의 범용성과 확장성을 더욱 강화할 계획이다. 본 연구는 자율주행 검증 환경의 통합화 및 접근성 향상에 기여하며, 국내 자율주행 연구 생태계의 효율적 검증 기반 구축에 이바지할 것으로 기대된다.

사사: This research was supported by a grant(code RS-2023-00233952) from 2026 R&D Program funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government.

PEGASUS 6-Layer 모델 기반 OpenSCENARIO 시나리오 분류 체계 및 데이터베이스 구축

Construction of an OpenSCENARIO Scenario Classification Framework and Database Based on the PEGASUS 6-Layer Model

한수정	문대영	심준석	정지원
(MORAI)	(MORAI)	(MORAI)	(MORAI)

자율주행 시스템의 안전성 검증에서 시나리오 기반 시뮬레이션 평가의 비중이 커지고 있으며, 대응해야 할 운행설계영역(ODD)이 확장될수록 관리해야 할 시나리오의 수도 급격히 증가한다. 그러나 기존의 시나리오 파일은 지도(Map) 폴더에 종속된 구조로 저장되어 동일 유형의 시나리오가 여러 지도에 중복 생성되었고, 단순 넘버링 방식의 파일명으로 인해 파일을 열어보지 않고서는 시나리오의 목적과 내용을 식별하기 어려웠다. 이로 인해 시나리오의 검색과 재사용이 어렵고, Euro NCAP, UN R157 등 규제 요구사항과의 매핑도 체계적으로 이루어지지 못하는 한계가 있었다.

본 연구에서는 PEGASUS 6-Layer 모델과 시나리오 추상화 수준(Functional/Logical/Concrete)을 기준으로 OpenSCENARIO 시나리오의 분류 체계와 데이터베이스 구조를 제안한다. 시나리오 파일을 활용 목적에 따라 Catalog, Action 예제, 상황 기반 시나리오, Scenario Set의 4가지 유형으로 구분하고, 지도 데이터와 시나리오 라이브러리를 분리하여 시나리오 단위의 독립적인 관리가 가능하도록 하였다. 상황 기반 시나리오는 Layer 1·2(도로 유형 및 형태)를 상위 폴더로, Layer 2·3(교통 규칙 및 공사·사고 등 임시 제약 요소)을 하위 폴더로 분류하며, Layer 4(객체)는 객체 유형, Ego 기준 상대 위치, 객체 행동을 조합한 파일명 규칙으로 표현하고 고장·외력 등의 특수상황을 확장 표기한다. Layer 5(환경)와 속도, 거리 등 실행 시 변화하는 조건은 OpenSCENARIO 파라미터로 정의하여 하나의 Logical Scenario로부터 다수의 Concrete Scenario를 생성할 수 있도록 하였으며, Scenario Set은 Euro NCAP, UN R157(ALKS), UN R171(DCAS) 등 평가 목적별로 구성하였다.

제안한 분류 체계를 통해 폴더 구조와 파일명만으로 시나리오를 식별할 수 있으며, 도로 형태, 교통 조건, 객체 및 행동 기준의 검색과 필터링, 규제 시나리오 매핑, 시나리오 자동 생성 파이프라인과의 연계가 가능한 기반을 마련하였다. 향후 혼합현실 ViLS 평가 환경과 연계하여 시나리오별 평가 결과(KPI)를 함께 관리하는 시나리오-평가 데이터 통합 DB로 확장할 계획이며, 이를 통해 자율주행 시나리오 자산의 재사용성과 검증 효율 향상에 기여할 것으로 기대된다.

사사: 본 연구는 2026년 산업통상자원부 및 한국산업기술기획평가원(KEIT)의 잦율주행기술개발혁신사업(혼합현실 기반 자율주행 부품 및 시스템 평가 기술개발)의 연구비 지원(과제번호 20014476)에 의해 수행되었습니다.

정밀지도 형상 경량화 수준에 따른 자율주행 경로 생성 성능 분석

Performance Analysis of Autonomous Vehicle Path Generation According to HD Map Geometry Simplification Levels

안해주
(국립한국교통대학교, 석사과정)

박만복
(국립한국교통대학교, 교수)

자율주행 차량의 주행을 위해서는 출발지와 목적지를 기반으로 주행 가능한 경로를 생성하는 과정이 필요하다. 경로 생성에는 A*, Dijkstra 등 다양한 경로 탐색 알고리즘이 활용되며, 정밀지도(HD Map)를 이용할 경우 도로의 연결 관계와 세부 형상 정보를 반영한 경로 생성이 가능하다. 그러나 정밀지도는 도로 형상을 표현하기 위해 다수의 정점(Vertex)으로 구성되어 있어, 경로 생성 과정에서 연산 부하가 발생할 수 있다. 정밀지도 Geometry의 정점 수를 감소시키면 데이터 처리량을 줄일 수 있지만, 경량화 수준에 따라 원본 도로 형상과의 편차가 증가할 수 있다. 이러한 형상 변화는 생성 경로의 정확도에 영향을 미칠 수 있으므로, 형상 보존 정도와 경로 생성 성능을 함께 평가할 필요가 있다.

본 연구에서는 정밀지도 Geometry의 경량화 수준에 따른 형상 오차와 경로 생성 성능의 변화 관계를 분석하고자 한다. 이를 위해 도로의 곡률반경에 따라 정점 제거 조건을 차등 적용하고, 정점 간 거리, 방향 변화량 및 형상 편차를 고려하여 불필요한 정점을 제거하였다. 곡률반경이 큰 구간에서는 정점 제거를 확대하고, 곡률반경이 작은 구간에서는 주요 정점을 유지하여 도로 형상의 변화를 최소화하고자 하였다. 또한 도로의 연결 관계를 보존하기 위해 링크의 시작점과 끝점 및 공유 정점을 유지하였다. 경량화 수준에 따른 영향을 분석하기 위해 정점 간 거리 및 방향 변화량의 임계값을 단계적으로 변경하여 총 7개의 경량화 지도를 생성하고, 정점 감소율, 도로 길이 오차 및 Hausdorff Distance를 이용하여 원본 지도 대비 형상 보존 성능을 평가하였다. 또한 동일한 A* 기반 경로 생성 알고리즘을 적용하여 3개의 주행 시나리오에서 경로 탐색시간, 궤적 생성시간 및 전체 처리시간을 각각 30회 반복 측정하였다.

실험 결과, 최대 경량화 조건에서 정점 수는 13,224개에서 3,808개로 감소하여 71.20%의 감소율을 나타냈으며, 원본 지도와의 최대 Hausdorff Distance는 0.3051m로 나타났다. A* 경로 탐색시간은 원본 대비 52.45~75.47%, 전체 경로 생성 처리시간은 27.74~47.97% 감소하였으며, 모든 경량화 조건에서 원본 지도와 동일한 링크 경로가 유지되었다. 그러나 경량화 수준이 증가함에 따라 도로 형상 편차와 생성 경로 길이의 변화가 발생하여 형상 보존 성능과 연산 효율 사이의 상충관계를 확인하였다. 이를 통해 정밀지도 Geometry의 경량화 수준에 따른 형상 보존 성능과 경로 생성 효율의 변화 특성을 정량적으로 분석하였으며, 향후 형상 오차와 연산 효율을 함께 고려한 경량화 수준 선정에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

사사: 논문은 산업통상자원부가 지원한 '자율주행기술개발혁신사업'의 지원을 받아 수행된 연구 결과입니다[과제명: Lv.4 자율주행시스템의 FailOperational 기술개발 / 과제번호: 20018055]. 또한, 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2021-KA160501).

시뮬레이션 툴체인의 정합성 검증을 위한 디지털 트윈 성숙도 연구

Research on Digital Twin Maturity for Fidelity Assessment of Simulation Toolchains

지소연	이원상	정지원	김종화
(MORAI)	(MORAI)	(MORAI)	(MORAI)

UNECE WP.29 VMAD NATM을 비롯한 글로벌 자율주행 규제 체계에서는 자율주행 시스템(ADS) 및 고급 운전자 보조 시스템(ADAS)의 안전성을 검증하기 위한 핵심 수단으로 가상 시뮬레이션(Virtual Testing)의 활용을 강력히 권고하고 있다. 그러나 ISO/IEC 30186과 같은 기존의 디지털 트윈 관련 표준은 개념적 프레임워크 제시에 치중되어 있어, 차량 동역학이나 주행 환경, 운전자 행동 등 자율주행 특화 도메인에서 시뮬레이션 결과를 규제 입증용 데이터로 신뢰할 수 있는지 판단할 수 있는 실질적인 정량 지표가 부재한 실정이다.

이러한 한계를 극복하기 위해 본 연구에서는 실제 실차 시험장(Proving Ground) 데이터와 디지털 가상 환경 간의 정합성(Fidelity)을 객관적으로 검증하기 위한 다차원 정량 평가 프레임워크를 제안한다. 본 프레임워크는 정합성을 정적, 동적, 행동 영역의 세 가지 차원으로 구체화한다.

우선 정적 정합성은 K-City 등 실제 시험장의 GPS 좌표와 디지털 트윈 내 랜드마크 공간 오차 간의 공간 상관관계(R2)를 통해 평가한다. 동적 정합성은 차량의 종·횡방향 운동 특성인 속도, 가속도, 요율(Yaw rate) 등의 시계열 데이터를 바탕으로 R2 Score 및 정규화 근상평균제곱오차(NRMSE)를 산출하여 물리적 모사 정밀도를 측정한다. 마지막으로 행동 정합성은 구간 공격성 지수(SAI)와 궤적 공격성 지수(TAI)를 도입하여 운전자의 미시적인 조향 및 페달 조작 패턴이 가상 환경에서 얼마나 통계적으로 유사하게 재현되는지 평가한다.

나아가 도출된 정량적 지표들을 기반으로, 단순 궤적 모사 수준인 Level 1부터 규제 검증 적합성을 갖춘 Level 2 및 Level 3, 그리고 실시간 HILS/VILS 연동이 가능한 Level 4에 이르는 총 4단계의 디지털 트윈 성숙도 모델(Maturity Model)을 수립하였다.

본 연구에서 제시하는 평가 가이드라인은 완성차 업체(OEM), 시뮬레이션 툴 개발사, 그리고 규제 검증 기관에 시뮬레이션 결과의 신뢰성을 증명할 수 있는 객관적인 기준을 제공한다. 이를 통해 불필요한 실차 주행 시험의 반복을 줄이고 자율주행 안전성 인증 절차의 시간적·경제적 효율성을 획기적으로 제고할 수 있을 것으로 기대된다.

사사: This research was supported by a grant(code RS-2023-00233952) from 2026 R&D Program funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government.

통신 제약 V2X 환경에서 VLA 자율주행 정책의 설명 신호 실측: 정보량과 전송비용

Measuring Explanation Signals of a VLA Driving Policy for Communication-Constrained V2X: Information and Transmission Cost

김범규
(육군사관학교 AI·데이터과학과, 학부생)

권현
(육군사관학교 AI·데이터과학과, 부교수)

비전-언어-행동(VLA) 모델이 자율주행 정책으로 활용되면서, 노변 기지국(RSU)이나 관제 센터처럼 차량 밖에 있는 주체가 차량의 판단 근거를 파악해야 할 필요성이 커지고 있다. 그러나 터널이나 음영지역을 지날 때 V2X 연결은 수십 초씩 끊기며, 짧은 연결 구간에 무엇을 보내느냐에 따라 전달되는 설명의 질이 달라진다. 기존 협력 주행 연구는 주로 수십 kB 크기의 장면 메시지를 전송하는 방식을 다루었으나, VLA 모델 내부의 설명 신호가 바이트당 얼마나 많은 정보를 담는지는 알려진 바가 적다. 이에 본 연구는 실제 VLA 모델의 설명 신호를 실측하고, 통신 제약 환경에서의 전달 방식에 대한 시사점을 도출하였다.

이를 위해 공개 모델인 OpenDriveVLA-0.5B를 nuScenes 검증 세트 2,000개 샘플(51개 장면)에 적용하여, 크기가 서로 다른 세 가지 신호인 계획 궤적(24 B), 토큰 엔트로피(6 B), 은닉상태 주성분 계수(계수당 2 B)를 추출하였다. 각 신호의 정보량은 수신 측이 그 신호만으로 전방 차량, 근처 보행자, 주행 의도를 얼마나 정확히 복원하는지로 정의하였으며, 같은 장면의 샘플끼리 비슷하다는 점을 고려하여 장면 단위 교차검증으로 평가하였다.

분석 결과, 모델 불확실성을 나타내는 토큰 엔트로피는 차량 속도가 설명하는 수준을 넘어 궤적 오차 기준의 주행 실패를 예측하지 못하였다. 대신 각 신호는 서로 다른 정보를 전달하였다. 궤적은 전방 차량을(균형정확도 0.765), 엔트로피는 주행 의도를(0.755) 잘 담았으나, 근처 보행자의 존재는 궤적으로는 우연 수준(0.514)에 그쳤고 은닉상태 계수 32개(64 B)를 통해서만 복원되었다(0.704). 세 신호를 묶으면 94 B로 LTE-V2X 메시지 하나에 담기며, 이는 기존 장면 메시지(40.5 kB)의 약 1/430에 해당한다. 나아가 1km 터널 통과 시뮬레이션에서 고정 전송 방식의 최선은 링크 종류마다 달라졌지만, 연결 여건에 맞춰 신호 묶음을 고르는 방식은 모든 링크에서 그 최선과 같거나 더 높은 설명 가치를 전달하였다.

이러한 결과는 통신 제약 환경에서 설명을 전달할 때 큰 장면 메시지 하나에 의존하기보다, 신호별 소형 묶음을 기본으로 하고 연결 여건이 허락하는 만큼 정보를 더하는 방식이 효과적일 수 있음을 시사한다.

핵심어: 설명가능 인공지능, 비전-언어-행동 모델, V2X 통신, 통신 제약, 자율주행

제약 기반 조합 커버리지를 활용한 자율주행 롱테일 시나리오 생성 방법

Constraint-Based Long-Tail Scenario Generation for Autonomous Driving Using Combinatorial Coverage

염수지	이경림	김종화	이원상	지소연
(MORAI)	(MORAI)	(MORAI)	(MORAI)	(MORAI)

자율주행 시스템의 안전성 검증에서는 드물게 발생하는 롱테일 상황을 충분히 시험하는 것이 중요하다. 그러나 운행설계영역(ODD)을 구성하는 요소들의 조합은 기하급수적으로 증가하므로 모든 시나리오를 시험하기 어렵다. 따라서 제한된 시험 자원으로 어떤 조합을 생성하고 선정할 것인지가 핵심 과제이다. 본 연구는 롱테일을 개별적으로는 흔한 요소들이 드물게 결합하는 상황으로 정의하고, 이를 체계적으로 생성하는 제약 기반 조합형 시나리오 생성 방법을 제안한다.

제안 방법은 PEGASUS 6-layer 모델을 기반으로 ODD 요소를 구조화하고, 동적 객체를 객체 유형과 행동으로 세분화한다. 사용자는 시험 대상 요소와 값, 조합 차수, 레이어 간 상호작용 강도를 설정한다. 시스템은 이를 바탕으로 조합 커버리지를 확보하는 시나리오 집합을 생성한다. 이때 전체 커버리지를 충족하는 방식과 정해진 시험 예산 내에서 커버리지를 최대화하는 방식을 지원한다.

조합 생성 과정에서는 물리적 모순, 정의상 모순, 상호 배타 관계를 제약 조건으로 적용한다. 특히 불가능한 조합과 발생 빈도가 낮은 조합을 구분한다. 불가능하다는 근거가 확인된 조합만 제외하며, 가능 여부가 불확실한 조합은 보존한다. 이를 통해 드물지만 발생 가능한 롱테일 상황이 생성 과정에서 누락되는 것을 방지한다.

생성된 조합에는 지역 및 상황 맥락에 따른 희소도와 실제 주행 데이터에서의 관측 여부를 추가 정보로 부여한다. 희소도는 시험 우선순위 결정에 활용하며, 관측 여부는 실제 발생 사례와 미관측 조합을 구분하는 데 사용한다. 두 정보는 조합을 제거하는 기준이 아니라 시험 목적에 따른 선정 기준으로 활용된다.

최종 출력은 시나리오 집합, 조합 커버리지, 제약 조건 및 제외 근거로 구성된다. 시나리오 선정 과정은 시뮬레이터, 월드모델 등 재현 수단과 독립적으로 수행된다. 제안 방법은 제한된 시험 자원에서 롱테일 조합을 체계적으로 탐색하고, 시험 대상 선정의 근거와 추적성을 확보하는 것을 목표로 한다. 이를 통해 자율주행 시스템의 개발 검증뿐 아니라 제3자 안전성 평가에도 활용할 수 있는 일관된 시나리오 선정 체계를 제공하고자 한다.

사사: This research was supported by a grant (code P0028540) from the 2026 R&D Program funded by the Ministry of Trade, Industry and Resources of the Korean government.

고전 신경망과 양자 분류기를 결합한 도시 교통상태 분류

Urban Traffic State Classification Using a Hybrid Classical Neural Network - Quantum Classifier

김서영
(과학기술연합대학원대학교, 석사과정)

이홍석
(과학기술연합대학원대학교, 교수)

교통상태 분류는 도로의 혼잡 수준을 파악하고 교통 운영 및 이용자 정보 제공을 지원하기 위한 기초 기술이다. 차량검지시스템(Vehicle Detection System, VDS)에서 수집되는 교통량과 속도 등의 관측정보는 시간대별 도로 이용 특성과 교통상태의 변화를 반영한다. 본 연구에서는 대전광역시의 실제 VDS 교통데이터를 이용하여 원활, 보통, 혼잡의 세 가지 교통상태를 분류하고, 심층 신경망과 양자 분류기를 결합한 하이브리드 모델의 성능을 평가하였다. 분석에는 단일 검지 지점에서 수집한 2017년 4월 평일 20일간의 5분 단위 관측치 5,760개를 사용하였으며, 총교통량, 평균속도, 시간대 및 파생 교통지표의 네 가지 특성을 입력으로 구성하였다.

하이브리드 모델인 DNN - VQC는 ReLU 활성화 함수를 사용하는 심층 신경망(Deep Neural Network, DNN)이 교통데이터의 비선형 특징을 추출하고, 변분 양자 분류기(Variational Quantum Classifier, VQC)가 이를 이용하여 최종 교통상태를 판별하는 구조이다. 고전 신경망에서 추출한 4차원 특징을 4큐빗 양자회로에 인코딩하였다. 기존 MVQC를 DNN - VQC로 재구현하고, 자동 최적화 기법인 Optuna를 이용하여 양자회로의 구성과 깊이 및 학습 설정을 탐색하였다. 모든 비교 모델에 동일한 데이터·라벨·분할 조건을 적용하고, 5개 랜덤시드(random seed)로 반복 평가하였다.

노이즈가 없는 양자 시뮬레이션 환경에서 평균 시험 정확도는 고전 DNN 99.43%, 단독 VQC 82.17%, DNN - VQC 99.24%로 나타났다. DNN - VQC는 단독 VQC보다 17.07%p 높은 정확도를 보였으며, 고전 DNN과의 차이는 0.19%p였다. 이는 본 실험 조건에서 심층 신경망의 특징 추출을 결합한 양자 분류기가 고전 기준 모델에 근접한 교통상태 분류 성능을 달성했음을 보여준다. 다만 하나의 VDS에서 수집된 데이터를 기반으로 노이즈가 없는 양자 시뮬레이션 환경에서 수행된 결과이므로, 실제 운영 환경의 성능과 계산 효율을 입증한 것은 아니다. 향후에는 다른 도로와 기간의 데이터 및 실제 양자컴퓨터 환경에서 모델의 일반화 성능과 실행 특성을 검증할 필요가 있다.

사사: 본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단(NRF)의 지원을 받아 수행된 연구입니다 (No. RS-2025-24534879).

관측 지연 환경에서 MDN 기반 행동복제 정책의 지연 증강 효과 분석

Effect of Observation-Delay Augmentation on MDN-Based Behavior Cloning Policies

김민성
(육군사관학교 AI·데이터과학과, 학부생)

권현
(육군사관학교 AI·데이터과학과, 부교수)

자율주행 등 이동체의 AI 제어에서는 센서 정보의 수집·전달·처리 과정에서 발생하는 관측 지연으로 인해 현재 상태와 제어에 사용되는 정보 사이에 차이가 생길 수 있다. 본 연구는 이러한 문제와 연결되는 기초 실험으로, 공개 로봇 조작 시뮬레이션인 PushT 환경에서 관측 지연에 따른 행동복제 정책의 성능 변화와 지연 증강 학습의 효과를 분석하였다. PushT는 에이전트가 T자형 물체를 밀어 목표 위치와 방향에 맞추는 과제이다.

공개 데이터셋의 시연 206개를 학습용 165개와 검증용 41개로 분할하고, 혼합밀도신경망(Mixture Density Network, MDN)을 이용한 행동복제 정책을 구성하였다. 정책은 두 시점의 관측과 상대 위치 정보를 입력받아 향후 8개 시점의 행동을 예측하며, 이 중 처음 2개 행동을 실행한 후 다시 예측하도록 설계하였다. 지연 없이 학습한 기준 정책과 학습 중 관측에 0·1·3·5스텝의 지연을 무작위로 적용한 증강 정책을 동일한 모델 구조와 학습량으로 비교하였다.

평가는 0·100·300·500 ms의 관측 지연 조건에서 수행하였다. 각 정책을 3개의 난수 시드로 학습하고, 시드별로 동일한 50개 초기 상태에서 평가하여 총 1,200회의 실험을 진행하였다. 평가 지표는 실행 중 최대 목표 영역 겹침률, 종료 시 겹침률, 성공률로 설정하였다. 지연이 0 ms에서 500 ms로 증가할 때 평균 최대 겹침률은 기준 정책에서 60.22%에서 19.52%로, 증강 정책에서 70.32%에서 49.59%로 감소하였다. 감소 폭은 각각 40.70%p와 20.73%p로, 증강 정책에서 19.97%p 작게 나타났다. 또한 500 ms 조건의 평균 종료 시 겹침률은 기준 정책 14.68%, 증강 정책 30.17%였다.

실험 결과, 지연 증강 정책은 모든 평가 지연 조건에서 기준 정책보다 높은 평균 최대 및 종료 시 목표 영역 겹침률을 보였다. 특히 0 ms 대비 500 ms 조건에서 최대 겹침률의 감소 폭이 작아, 관측 지연에 따른 성능 저하를 완화할 가능성을 확인하였다. 다만 증강 정책의 성공률은 지연이 없는 조건에서도 6.67%, 500 ms 조건에서는 0.67%로 낮아 안정적인 과제 완수에는 한계가 있었다. 본 결과는 상태 정보를 직접 제공하는 2차원 로봇 조작 환경과 3개의 학습 시드에서 얻은 것으로, 이동체 제어에 대한 적용 효과는 추가 검증이 필요하다.

GeoRSCLIP 격자 분류와 BLIP LoRA·LLM 해석을 결합한 역사 전적지 위성 이미지 자동 지형 서술 시스템

Automatic Terrain Description of Historical Battlefields
Using GeoRSCLIP Grid Classification and LLM-Based Interpretation

조규성
(육군사관학교 AI·데이터과학과, 학부생)

권현
(육군사관학교 AI·데이터과학과, 부교수)

지형 분석은 전술 결심의 출발점이지만, 기존 원격탐사 캡셔닝 모델은 일반적인 시각 묘사에 머물러 지형이 갖는 군사적 함의까지 서술하지 못한다. 본 연구는 위성·항공 이미지에서 생성한 캡션을 전술적 지형 해석으로 바꾸는 자연어 처리 파이프라인을 설계하고, 이를 역사 전적지 이미지에 적용하였다. 시스템은 캡션 생성, 자연어 처리, 대규모 언어모델(LLM) 종합 해석 순으로 동작하고, 격자 단위 지형 분류를 보조 정보로 제시한다.

캡셔닝에는 ViT-B/16을 RGB와 수치표고(DEM)의 4채널 입력으로 확장한 인코더와 Cross-Attention LSTM 디코더를 결합하고, 인코더를 동결한 채 디코더만 RSICD 43,670쌍으로 학습하였다. 보조 모델로는 BLIP-base에 LoRA (r=32, α=64)를 적용해 전체 파라미터의 3.33%만 학습하였다. 생성된 캡션은 NLTK 불용어와 도메인 불용어를 걸러 내용어를 남기고, 지형 어휘 사전과 접미사 규칙으로 각 단어를 대상·공간관계·속성으로 판별한다. 이어 캡션과 워털루·게티즈버그·노르망디·스탈린그라드 전투의 지형 기록 사이의 TF-IDF 코사인 유사도로 가장 가까운 전투를 찾고, 그 결과를 캡션·핵심 토큰과 함께 프롬프트로 구성해 Claude API에 전달한다. LLM은 지형 유형, 고도, 식생, 수계, 접근성 등 8개 필드와 5~7문장의 종합 해석을 JSON으로 돌려주며, API를 쓸 수 없으면 규칙 기반 해석으로 대체된다. 격자 분류는 이미지를 4×4 구역으로 나누고 RS5M 500만 장으로 사전학습된 GeoRSCLIP으로 28개 지형 레이블을 zero-shot 분류하였다.

테스트 세트 5,465쌍에서 ViT+LSTM의 자유 생성 성능은 BLEU-4 0.0313, CIDEr-D 0.8797이었고, BLIP LoRA는 500쌍 기준 BLEU-4 0.0751이었다(표본 수와 빔 크기가 달라 직접 비교는 어렵다). 격자 분류는 산림 이미지를 dense forest 88%와 grass meadow 12%로 나누는 식으로 구역별 지형 구성을 드러냈다. 전적지 이미지 10장 모두에서 LLM 해석이 생성되었으며, 농경지 이미지는 워털루(유사도 0.203)와 매핑되어 지배 고지나 장애물이 없어 정적 방어에 불리하고 기동전에 유리하다는 해석을 얻었다. 반면 TF-IDF 매핑의 유사도는 0.059~0.203에 머물렀고, 10장 중 7장이 실제 지형과 무관하게 스탈린그라드로 매핑되었다. LLM은 이 가운데 일부를 알고리즘 오류라고 스스로 지적하기도 하였다.

결과는 캡션을 전술 해석으로 확장하는 파이프라인이 작동함을 보여 주지만, 해석의 질은 여전히 낮은 캡션 정확도에 묶여 있다. DEM을 수집하지 못해 네 번째 채널을 0으로 채웠으므로 고도 서술은 실측이 아닌 LLM의 추정이며, TF-IDF는 어휘 표면만 비교해 동의어와 문맥을 반영하지 못한다. 향후 캡셔닝 백본을 강화하고 실제 고도 데이터를 결합하며, 역사 매핑을 문장 임베딩 기반으로 바꿀 계획이다.

교차언어·교차 도메인 환경에서의 온라인 프로파간다 탐지: XLM-RoBERTa 기반 전이와 과제 적응 사전학습(TAPT)의 효과 분석

Online Propaganda Detection in Cross-Language and Cross-Domain Setting: Analysis of the Effects of XLM-RoBERTa-Based Transfer and Task-Adaptive Pre-Training (TAPT)

양태규
(육군사관학교 AI·데이터과학과, 학부생)

권현
(육군사관학교 AI·데이터과학과, 부교수)

온라인 선전과 허위정보는 국가 안보를 위협하지만, 이를 탐지하는 모델은 대부분 자원이 풍부한 영어 뉴스로 학습된다. 실제 정보전은 다른 언어의 소셜 미디어에서 벌어지는 경우가 많아, 언어와 도메인이 동시에 바뀔 때 탐지기가 얼마나 버티는지가 관건이다. 본 연구는 다국어 사전학습 모델 XLM-RoBERTa로 영어 뉴스(Proppy)에서 학습한 선전 탐지기를 러시아어 텔레그램 게시물에 적용할 때의 성능 저하를 측정하고, 타깃 도메인의 비라벨 텍스트만으로 수행하는 과제 적응 사전학습(TAPT)이 그 격차를 얼마나 회복하는지 검증하였다.

소스 데이터는 Proppy 학습셋 14,021건과 원 분포를 유지한 평가셋 10,162건(선전 비율 11.2%)이다. 타깃은 2022년 러시아의 우크라이나 침공 초기에 수집된 러시아어 텔레그램 채널 게시물(tg-misinfo-data)로, 허위정보와 프로파간다를 선전으로, 진짜 뉴스를 비선전으로 이진 매핑한 뒤 클래스당 500건씩 균형 표집해 평가셋 1,000건을 만들었다. 평가셋과 겹치지 않는 비라벨 게시물 29,741건은 TAPT 코퍼스로 썼다. 실험은 소스 도메인 성능 상한, 제로샷 전이, TAPT 후 전이의 세 조건으로 나누고, 클래스 불균형을 고려해 이진 F1을 주 지표로 삼았다.

영어 뉴스에서 F1 0.844를 기록한 모델은 러시아어 텔레그램에서 F1 0.078로 무너졌다. 두 평가셋의 선전 비율이 달라 기저 비율과 무관한 재현율을 보면 0.880에서 0.042로 떨어져, 러시아어 선전을 사실상 찾아내지 못하였다. TAPT를 적용해도 F1은 0.082로 0.003 오르는 데 그쳐 평가 규모를 감안하면 노이즈 수준이다. TAPT 동안 MLM 손실은 전반적으로 줄어 모델이 러시아어 텔레그램의 언어 자체에는 적응하였지만, 그 적응이 분류 판별력으로 이어지지는 않았다. 영어 뉴스에서 학습한 결정경계가 타깃으로 옮겨 가지 않은 것이다. TAPT 모델을 영어 뉴스에서 다시 평가한 F1은 0.835로 소스 성능은 거의 유지되었다.

결과는 영어 공개 데이터로 만든 탐지기를 비라벨 적응만으로 적성 언어와 플랫폼에 이식하는 접근이 충분하지 않음을 보여 준다. 이는 북한 매체 분석이나 대북 영향공작 탐지처럼 라벨이 부족한 적성 언어를 다루어야 하는 우리 안보 환경과 직접 맞닿아 있다. 향후 소량의 타깃 라벨을 활용하는 준지도·few-shot 적응, 더 큰 규모의 도메인 적응 사전학습(DAPT), 교차언어 표현 정렬, 소스와 타깃의 라벨 정의 정합화로 격차를 좁히는 방안을 모색할 필요가 있다.

한반도 위기 시나리오에서 LLM의 확전 결심에 대한 언어적 탐지 모델

A Linguistic Detection Model for Escalatory Decisions of
Large Language Models in Korean Peninsula Crisis Scenarios

박용현
(육군사관학교 AI·데이터과학과, 학부생)

권현
(육군사관학교 AI·데이터과학과, 부교수)

대형언어모델(LLM)을 지휘결심과 정보분석 보조에 쓰려는 시도가 늘고 있지만, 선행연구는 상용 LLM이 위기 모의에서 예측하기 어려운 확전 경향을 보인다고 보고한다. 모든 출력을 사람이 검토하기 어렵다면 모델이 내놓은 방책이 위험한지를 자동으로 가려내는 장치가 필요하다. 본 연구는 LLM이 행동을 선택하며 함께 생성하는 근거 문장만으로 그 결심의 확전 수준을 탐지하는 분류 모델을 제안하고, 학습에 필요한 라벨 데이터를 생성하는 절차까지 함께 설계하였다.

선행연구의 확전점수(ES) 체계를 가져와 외교 대화 제의(-3)부터 전면적 군사작전·대량보복(32)까지 여덟 가지 행동에 지수적으로 커지는 가중치를 주고, ES 1 이하는 자제, 2~4는 중간, 8 이상은 확전으로 라벨을 나누었다. 서해 경계선 근접, 미사일 시험 발사, 해안포 도발, 사이버 공격, 접경 교전, GP 침투, 함정 대치의 일곱 가지 가상 한반도 위기 시나리오에 중립(baseline)·자제(restraint)·강경(deterrence)의 세 프롬프트 조건을 적용하고, 공개 가중치 모델 llama-3.1-8b-instant를 조합마다 30회씩 실행하였다. 모델은 선택한 행동과 함께 한국어 근거 문장을 제시하도록 하였고, 이렇게 모은 712건을 학습 534건과 평가 178건으로 계층 분할하였다. 탐지 모델은 행동 식별자나 점수 없이 근거 텍스트만 입력받도록 하여 KLUE-BERT를 5 epoch 파인튜닝하였다.

생성 데이터의 평균 ES는 restraint 1.11, baseline 5.26, deterrence 6.70으로 세 조건의 부트스트랩 95% 신뢰구간이 서로 겹치지 않아, 프롬프트가 확전 경향을 체계적으로 조절함을 확인하였다. 탐지 모델은 평가 집합에서 정확도 0.994, Macro-F1 0.992를 기록하였고, 오분류는 확전 사례를 중간으로 본 한 건뿐이었다. 빈출 어휘를 비교하면 자제 결심에는 '외교', '대화', '긴장완화', '비례성'이, 확전 결심에는 '전방', '경계태세', '전개', '격상'이 두드러져 확전 수준의 차이가 어휘 단계에서부터 갈렸다.

중립 조건에서도 평균 ES가 5.26에 이른다는 점은 기성 LLM을 자율적 결심 주체가 아닌 지휘관 보조로 한정해야 함을 말해 준다. 자제 조건에서 ES가 1.11까지 낮아진 결과는 교전수칙을 시스템 프롬프트로 강제하는 1차 통제의 가능성을, 탐지 모델은 확전적 권고에 경보를 띄우는 2차 안전 필터의 가능성을 보여 준다. 다만 단일 LLM이 만든 데이터라 어휘 패턴이 비슷해 과적합 가능성이 있고, 중간 클래스 표본(97건)이 적으며, 가상 시나리오와 단일 결심은 실제 작전을 단순화한 설정이다. 향후 여러 LLM의 데이터를 함께 학습하고, 실제 위기 국면의 공개 텍스트에 적용하며, 교전수칙 문서를 검색해 주입하는 RAG 기반 통제와 결합할 계획이다.

소셜 미디어 한국어 비정형 텍스트 자동분류를 위한 딥러닝 기반 지능형 모니터링 시스템 연구

Deep Learning-Based Intelligent Monitoring System for Korean Unstructured Text Classification in Social Media

박현호
(육군사관학교 AI·데이터과학과, 학부생)

권현
(육군사관학교 AI·데이터과학과, 부교수)

소셜 미디어와 온라인 커뮤니티에서는 혐오 표현, 선동 게시물, 잠재적 안보 위협 발화가 빠르게 퍼진다. 특정 단어의 포함 여부만 검사하는 키워드 매칭은 문장의 맥락을 보지 못해 오탐과 미탐이 모두 많다. 본 연구는 한국어 비정형 텍스트를 일반 의견(none), 공격적 표현(offensive), 혐오·위협 발화(hate)의 세 범주로 자동 분류하는 사전학습 언어모델 기반 모니터링 파이프라인을 설계하고, 공개 데이터로 그 성능을 검증하였다.

데이터는 포털 뉴스 댓글을 수집해 전문가 집단이 편향성과 혐오 강도를 교차 검증하여 라벨링한 Korean Hate Speech(BEEP!) 데이터셋이다. 학습 데이터는 none 3,486건, offensive 2,499건, hate 1,911건으로, 정작 탐지해야 할 hate가 가장 적은 불균형 구조이다. 초기 모델(KcBERT-base)은 최대 입력 길이 64로 긴 댓글의 후반부 맥락을 잃었고, 불균형을 처리하지 않아 다수 클래스로 치우쳤으며, 단순 교차 엔트로피와 3 epoch 고정 학습으로 과적합에 노출되었다.

이를 해결하기 위해 62GB 규모의 한국어 코퍼스로 사전학습된 KLUE/RoBERTa-base로 모델을 바꾸고 최대 길이를 128로 늘렸다. 이 모델은 신조어와 은어가 섞인 댓글의 숨은 의도를 읽어 내는 데 유리하고, Base 규격이라 실시간 모니터링 체계에 탑재할 만한 연산 효율을 갖추었다. 클래스 빈도에 반비례하는 가중치를 손실에 곱해 소수 위험 클래스를 틀릴 때의 벌점을 키웠고(hate 1.377), 정답 확률을 0.9로 낮추는 0.1의 라벨 스무딩과 검증 성능이 2 epoch 연속 개선되지 않으면 학습을 멈추는 조기 종료로 과적합을 억제하였다. 평가 지표는 다수 클래스만 맞히는 편향된 전략을 걸러 낼 수 있도록 정확도 대신 Macro F1-Score로 정하였다. 정밀도와 재현율의 조화평균이어서 hate 클래스를 놓치면 점수가 곧바로 떨어지기 때문이다.

검증 데이터에서 정확도 68.58%, Macro F1-Score 68.34%를 달성하였다. 핵심 탐지 대상인 hate 클래스는 정밀도 0.72, 재현율 0.65로, 오탐을 억제하면서도 실제 위협 발화의 약 3분의 2를 찾아냈다. 가중 손실과 규제 기법을 결합한 파이프라인이 소수 클래스를 포기하지 않는 분류기를 만들 수 있음을 확인한 결과이다.

제안 시스템은 공개출처정보(OSINT) 기반 정보작전 지원, 심리전 게시물 탐지, 방첩·작전보안 위협 식별 등 군사 분야에 바로 적용할 수 있는 기술적 토대를 제공한다. 향후 멀티모달 정보 처리 기술과 결합해 복합적인 전술 의사결정을 지원하는 체계로 발전시킬 수 있다.

텍스트 분류에서의 자연어 처리 모델 성능 비교 연구

A Comparative Study of Natural Language Processing Models for Text Classification

김현영
(육군사관학교 AI·데이터과학과, 학부생)

권현
(육군사관학교 AI·데이터과학과, 부교수)

텍스트 분류는 문서를 정해진 범주로 자동 배정하는 기본 과제로, 정보가 넘쳐나는 환경에서 필요한 문서를 빨리 찾게 해 준다. 본 연구는 통계 기반 특징에서 순환신경망, 어텐션, 트랜스포머로 이어지는 자연어처리 모델의 발전 단계를 텍스트 분류 성능으로 직접 비교하고, 그 결과를 군사 문서 자동 분류에 적용할 때의 고려사항으로 연결하였다. 자연어 처리 과목에서 다룬 TF-IDF, word2vec, 어텐션, 포지셔널 인코딩, 멀티헤드 어텐션 같은 개념을 실험으로 확인하려는 목적도 함께 담았다.

비교 모델은 1~2-gram TF-IDF 특징(최대 30,000개)과 로지스틱 회귀를 결합한 베이스라인, 은닉 차원 256의 양방향 2층 LSTM, 같은 LSTM 인코더에 Bahdanau 가산 어텐션을 얹은 모델, 그리고 포지셔널 인코딩과 8헤드 멀티헤드 셀프어텐션, Add&Norm, 512차원 FFN을 3층 쌓은 간이 트랜스포머이다. 딥러닝 모델은 모두 사전학습 없이 처음부터 학습하였으며, 임베딩 128차원, 배치 256, 학습률 0.001(Adam), 15 epoch, 드롭아웃 0.3을 공통으로 적용하였다. 데이터셋은 4개 범주의 영문 뉴스인 AG News(학습 120,000건, 테스트 7,600건)와 10개 주제의 질의응답인 Yahoo Answers Topics(학습 140,000건, 테스트 10,000건)이며, 상위 50,000개 단어의 어휘 사전과 최대 128 토큰 길이를 사용하였다. 평가는 클래스가 균일한 AG News에서는 정확도를 주 지표로, 10개 클래스로 이루어진 Yahoo Answers에서는 macro F1을 함께 보고하였다.

AG News에서는 LSTM이 정확도 0.9230으로 가장 높았고 TF-IDF+LR 0.9203, 어텐션 모델 0.9157, 트랜스포머 0.9097이 뒤를 이었다. Yahoo Answers에서는 TF-IDF+LR이 0.6566으로 가장 높았고, 딥러닝 모델 가운데서는 어텐션 모델이 0.6560으로 가장 좋았으며 트랜스포머는 0.5888에 그쳤다. 이로부터 세 가지를 확인하였다. 사전학습이 없는 조건에서 TF-IDF+LR은 딥러닝 모델과 대등하거나 더 나은 강력한 기준선이다. 어텐션의 효과는 과제 복잡도에 따라 달라, 4클래스 분류에서는 LSTM이, 10클래스 분류에서는 어텐션 모델이 우세하였다. 처음부터 학습한 트랜스포머는 중소 규모 데이터에서 순환신경망 계열에 미치지 못하였으며, 이 구조의 잠재력은 대규모 사전학습을 거쳐야 발휘된다.

이 결과는 작전 보고서, 상황 일지, 정보 분석 보고서를 아군 기동, 적 동향, 화력 지원 요청, 군수 상황 등으로 자동 분류하는 체계를 설계할 때의 선택 기준이 된다. 군사 도메인의 학습 데이터가 제한적이라면 TF-IDF 기반 모델이나 LSTM 계열이 현실적이고, 충분한 데이터를 확보한다면 BERT 등 사전학습 언어모델을 미세조정하는 편이 낫다. 어느 경우든 군사 용어, 약어, 부대 부호를 반영한 어휘 사전이 필요하며, 기밀 문서를 다루는 만큼 보안 요건을 충족하는 온프레미스 운용 체계가 먼저 갖추어져야 한다.

한국어 감성 분석 모델 비교를 통한 군사·안보 여론 탐지 연구

A Comparative Study of Korean Sentiment Analysis Models for Military and Security Public Opinion Detection

김경민
(육군사관학교 AI·데이터과학과, 학부생)

권현
(육군사관학교 AI·데이터과학과, 부교수)

온라인 공간의 안보 관련 여론을 사람이 일일이 살피는 데에는 인력과 시간의 한계가 분명하다. 본 연구는 텍스트의 긍·부정 극성을 자동으로 분류하는 감성 분석 기술을 군사·안보 여론 탐지에 적용할 수 있는지 확인하기 위해, 자연어처리 기술의 발전 단계를 대표하는 세 모델을 같은 한국어 벤치마크에서 비교하였다. 비교 대상은 TF-IDF 특징과 선형 SVM을 결합한 베이스라인, Word2Vec 임베딩과 Bi-LSTM을 결합한 모델, 그리고 한국어 사전학습 언어모델 klue/roberta-base를 파인튜닝한 모델이다.

데이터는 네이버 영화 리뷰 20만 건으로 구성된 NSMC를 사용하였다(학습 149,995건, 테스트 49,997건). TF-IDF는 단어와 바이그램을 합쳐 최대 30,000개의 특징을 추출하였고, Word2Vec은 학습 문장으로 100차원 임베딩을 학습해 2층 양방향 LSTM의 초기값으로 활용하였다. 사전학습 모델은 Colab의 GPU 메모리와 학습 시간 제약 때문에 학습 데이터 중 30,000건만 무작위로 뽑아 3 epoch 파인튜닝하였다. 평가는 정확도, 정밀도, 재현율, F1-score와 혼동행렬로 수행하였다. 학습 손실은 Bi-LSTM이 5 epoch 동안 0.4280에서 0.1274로, 사전학습 모델이 3 epoch 동안 0.3651에서 0.1343으로 줄어 두 모델 모두 과적합 없이 수렴하였다.

테스트셋 정확도는 TF-IDF+SVM 80.07%, Word2Vec+Bi-LSTM 78.96%, 사전학습 모델 89.43%였다. 사전학습 모델은 학습 데이터의 5분의 1만 쓰고도 두 베이스라인보다 9~11%p 높았다. 단순한 TF-IDF+SVM이 Bi-LSTM을 앞선 것은 NSMC 문장이 평균 10~15 토큰으로 짧아 장거리 문맥을 다루는 LSTM의 강점이 드러나지 않았고, 공백 단위 토큰화로 형태소 정보가 손실되었기 때문으로 분석된다. 사전학습 모델의 예측 확률은 부정 샘플이 0.0~0.2, 긍정 샘플이 0.8~1.0 구간에 몰려 높은 확신도를 보였으나, 영어·특수문자로만 된 문장, 반어적 표현, 맥락이 부족한 초단문에서는 오분류가 나타났다.

학습된 모델을 위협 문장 5개와 안정 문장 5개로 이루어진 군사·안보 문장에 적용한 결과, 10개 문장을 모두 올바르게 분류하였다. 다만 '적 무인기가 영공을 침범하여 대응 태세가 발령되었다'는 부정 확률이 0.560으로 임계값에 가까웠는데, '대응', '발령' 같은 군사 어휘가 영화 리뷰 학습 데이터에 충분히 없었기 때문이다. 일반 도메인 모델로도 기본적인 위협·안정 구분은 가능하지만, 실전에 쓰려면 군사 전용 데이터셋을 구축해 도메인 적응 파인튜닝을 하고, 형태소 분석 기반 전처리와 위협·중립·안정의 다중 클래스 분류, 온프레미스 배포를 위한 경량화가 뒤따라야 한다.

LLM 기반 스키마 추출 모델을 활용한 작전명령서 정보 추출

Information Extraction from Operation Orders Using LLM-Based Schema Model

권성준
(육군사관학교 AI·데이터과학과, 학부생)

권현
(육군사관학교 AI·데이터과학과, 부교수)

작전명령서는 지휘관이 상황을 판단하고 명령을 하달하는 출발점이지만, 분량이 많고 요소가 서로 얽혀 있어 핵심을 빠르게 추려 내기 어렵다. 본 연구는 대규모 언어모델(LLM)로 작전명령서의 전술 요소를 사전에 정의한 JSON 스키마에 맞추어 구조화 추출하고, 부대·임무동사·목표·시간을 하나의 행위 단위로 묶는 관계까지 함께 산출하는 방법을 제안한다. 추출 스키마는 상황, 임무, 실시, 지휘 및 통신, 전투근무지원으로 이루어진 OPORD 5단락 형식을 골격으로 설계하였다.

실제 작전명령서는 보안 규정상 학습 데이터로 쓸 수 없으므로, 가상의 부대명·지명·시간·임무동사·통제수단을 무작위로 조합한 합성 작전명령서를 만들었다. 문서마다 정답 JSON을 먼저 생성하고 이를 바탕으로 본문을 렌더링하였기 때문에 관계 라벨도 함께 확보된다. 합성 데이터의 한계를 보완하려고 인터넷에 공개된 작전명령서 일부를 직접 라벨링해 검증셋(40건)에 넣었다. 기반 모델로는 다국어 소형 LLM인 Qwen3 가운데 정형 JSON 출력을 방해하지 않는 지시 전용 모델을 택하였고, 제한된 연산 환경에 맞추어 4비트 QLoRA로 5 epoch 파인튜닝하였다. 입력은 시스템 지시문, 추출 스키마, 작전명령서에 검색으로 찾은 유사 사례를 결합해 구성하였으며, 출력은 유효성 검증을 거쳐 파싱하되 실패하면 다시 생성하게 하였다. 추출된 부대명·통제수단·지명은 군대부호 표준, 지명-좌표 사전, 군사용어 약어 사전으로 구축한 외부 지식베이스에서 문장 임베딩 기반 의미 검색으로 표준 부호와 좌표에 매핑하여, 요도에 바로 도식할 수 있는 보강 JSON으로 바꾸었다.

검증셋에서 개별 필드를 대상으로 한 구조화 추출은 정밀도 0.928, 재현율 0.933, F1 0.931을 기록하였고, 관계추출은 정밀도 0.990, 재현율 0.980, F1 0.985로 더 높았다. 관계추출이 통상 더 어려운 과제로 알려진 것과 반대되는 결과로, 합성 데이터의 관계 표현이 정형화되고 단순했던 탓으로 분석된다. 필드별로는 지휘 및 통신 필드가 가장 정확했고 상황 단락의 아부대 임무 필드가 가장 부정확하였다. RAG 기반 정규화는 F1을 0.948에서 0.954로 0.006 올리는 데 그쳤다. 충분히 파인튜닝된 모델은 추출 패턴을 이미 매개변수에 담고 있기 때문이며, 학습이 부족하거나 분포 밖의 문서가 들어올 때 효과가 더 클 것으로 보인다.

제안 방법은 제한된 연산 자원으로도 스키마를 따르는 JSON을 빠르게 산출하므로, 지휘관이 놓칠 수 있는 핵심 정보를 짚어 주고 상황 판단부터 명령 하달까지의 소요 시간을 줄이는 보조 도구가 될 수 있다. 향후 추출 대상을 다른 전술 문서로 넓히고, 추출 결과를 요도 등 시각 자료에 자동으로 표기하는 방향으로 발전시킬 계획이다.

DistilBERT 모델을 이용한 텍스트 중계 데이터의 실시간 이벤트 자동 분류 및 도메인 구조적 편향성에 대한 고찰

A Study on Real-Time Event Classification of Text Commentary Data Using DistilBERT Model and Its Structural Domain Bias

송유찬
(육군사관학교 AI·데이터과학과, 학부생)

권현
(육군사관학교 AI·데이터과학과, 부교수)

지휘통제 환경에서는 비정형 텍스트가 실시간으로 쏟아지고, 그 속에서 핵심 사건을 얼마나 빨리 골라내느냐가 상황 인식의 속도를 좌우한다. 본 연구는 이와 성격이 비슷한 영국 프리미어리그(EPL) 문자 중계 데이터를 대상으로, 사전학습 언어모델 DistilBERT를 이용해 중계 문장을 플레이·골·경고·퇴장의 네 가지 이벤트로 자동 분류하는 시스템을 구현하였다. 아울러 극단적으로 높은 성능 지표가 나왔을 때 그 수치가 실제로 무엇을 뜻하는지를 비판적으로 검토하였다.

문장 분류 모델은 같은 경기의 문장이 학습과 검증에 함께 들어가는 시간적 데이터 누출과, 드문 이벤트가 다수 클래스에 묻히는 불균형에 취약하다. 모델이 손쉬운 단서에 기대지 않도록 세 가지 장치를 두었다. 먼저 goal, yellow card처럼 정답을 곧바로 드러내는 단어를 [MASK] 토큰으로 치환해 주변 문맥만으로 판단하게 하였다. 다음으로 중계의 시간 흐름을 반영하도록 직전 시점의 문장과 현재 문장을 [SEP] 토큰으로 이어 입력하였다. 끝으로 누출을 막기 위해 경기 고유 ID를 기준으로 데이터를 8:2로 격리 분할하였다. 드물게 나타나는 이벤트 클래스에는 빈도의 역수를 손실 함수의 가중치로 주는 커스텀 Trainer를 적용해 불균형을 보정하였다.

학습은 3 epoch 안에 수렴하였고, 경기 단위로 격리한 검증셋에서 정확도와 F1-Macro가 모두 1.000을 기록하였다. 누출을 막은 조건에서 나온 만점이라 오히려 더 따져 볼 필요가 있었고, 본 연구는 이 수치를 모델이 완벽하다는 증거로 보지 않는다. 핵심어를 가렸는데도 scored, net처럼 특정 이벤트에만 쓰이는 대체 어휘가 남아 있었고, 중계 문장이 고정된 템플릿으로 작성되어 문장 구조만으로 정답이 결정되었기 때문이다. 만점은 도메인 특화 어휘의 독점성과 문장 양식의 결정론이 만든 데이터셋 편향이다.

이 관찰은 국방 분야에 두 가지 시사점을 준다. 작전 보고, 감청 첩보, 무전 로그 역시 군사 용어가 정형 양식에 맞추어 작성되므로, 같은 구조로 적의 도발·아군 피해·병력 이동 같은 사건을 실시간 분류해 전장 상황도(COP)에 시간순으로 표시하는 지휘결심 지원 도구를 만들 수 있다. 반대로 핵심 단어만 가린 문서도 주변 문맥과 문장 구조로 내용이 복원될 수 있으므로, 군 문서의 보안 처리는 단어 단위 마스킹을 넘어 문장 구조와 기능어까지 비정형화하는 기준을 갖추어야 한다. 향후 실제 전술 훈련 로그와 군사 비정형 문서를 확보해, 비정형적이고 은유적인 첩보 환경에서도 강건하게 작동하는 국방 전용 대형 언어모델(Mil-LLM)로의 전이 학습을 수행할 계획이다.

스마트폰 사진 기반 빛공해 위반 가능성 사전 선별 AI 시스템

A Smartphone Image-Based Pre-screening AI System for Light Pollution Violations

김승주 (동아대학교 컴퓨터공학과, 학사과정)

조태승 (동아대학교 컴퓨터공학과, 학사과정)

김정수 (동아대학교 컴퓨터공학과, 박사과정)

천세진 (동아대학교 컴퓨터공학과, 교수)

빛공해는 침입광, 눈부심, 산란광, 과도한 조명의 형태로 나타나 수면 장애와 생태계 교란, 에너지 낭비 등 사회적·환경적 비용을 유발한다. 우리나라는 국토 면적 대비 빛공해 노출 수준이 G20 국가 중 두 번째로 높으며, 환경부 통계에 따르면 빛공해 민원은 2013년 3,214건에서 2023년 7,574건으로 10년 사이 두 배 이상 증가하였다. 2013년부터 「인공조명에 의한 빛공해 방지법」에 따라 조명환경관리구역(제1종~제4종)별 허용 기준과 과태료 규정이 시행되고 있음에도 빛공해 민원과 피해는 지속적으로 늘고 있다.

현행 위반 판정은 수백만 원대 휘도계·조도계와 숙련 인력에 의한 야간 현장 계측에 의존하며 지점당 30분에서 1시간이 소요된다. 이로 인하여 측정은 민원 접수 이후 일부 지점에서만 이루어지고 관리 체계는 사후 대응에 머문다. 조명을 운영하는 시민과 업체 역시 자신의 조명이 기준에 부합하는지 확인할 수단이 없다. 따라서 필요한 것은 더 정밀한 계측기가 아니라 누구나 쉽게 접근하여 활용할 수 있는 사전 점검 수단이며, 본 연구는 스마트폰 카메라가 그 역할을 할 수 있음을 검증하기 위하여 실제 동작하는 AI 시스템을 구현하였다.

제안 시스템은 휘도계를 대체하는 계측기가 아니라 정밀 계측이 필요한 대상을 미리 가려내는 선별 도구로 설계되었다. 사용자가 야간 조명 사진을 업로드하면 시스템은 간판, 가로등, 장식 조명 영역을 자동 식별하고, 각 영역의 밝기 분포·면적·색 특성을 촬영 기기, 감도, 노출 차이를 보정한 상대 지표로 수치화한다. 이어 사진에 포함된 위치 정보로 촬영 지점이 속한 조명환경관리구역을 판별하고, 해당 구역과 조명 유형에 적용되는 법규 기준과 지표를 대조하여 위반 가능성, 참고용 과태료 단계, 빛공해 유형별 개선 권고를 제시한다. 자동 식별 기술은 분석 영역 탐지에만 사용하고 위반 판단은 법령 기준과의 규칙 대조로 처리하여 판단 근거를 법규 조항까지 추적할 수 있도록 하였다. 또한 사진 기반 밝기가 물리적 휘도의 근사치임을 고려해 결과를 위반 가능성으로 표현하고 실제 행정 처분은 현장 계측에 따른다는 점을 함께 안내한다.

검증을 위해 야간 도시 환경 이미지 6,202장에 조명 객체 31,806개의 경계 상자를 부여한 데이터셋을 구축하고 학습 4,462장, 검증 1,161장, 평가 579장(정답 객체 3,201개)으로 분할하였다. 동일 데이터와 학습 조건에서 복수의 공개 객체 탐지 기법을 비교 평가한 결과, 평가 이미지 기준 mAP50 최대 0.55, 민원 비중이 큰 간판 범주 AP 최대 0.56을 기록하여 사전 선별 목적에 부합하는 정확도를 확인하였다. 처리 시간은 장당 약 5ms(185~200 FPS)로 웹 실시간 응답에 충분하였다. 가로등 범주는 평가 표본이 169개로 적고 객체 크기가 작아 성능이 낮았으며, 이는 데이터 불균형과 소형 객체 문제에서 비롯된 것으로 판단되어 향후 과제로 두었다. 식별부터 지표화, 구역 판별, 법규 대조, 결과 제시까지 전 과정을 하나의 웹 서비스로 통합해 공개 배포하였다. 본 시스템은 위치 정보가 없는 사진에 대한 구역 직접 선택 및 4개 구역 기준 동시 비교 기능을 제공하며, 조명이 없는 사진이나 손상된 파일 등 예외 입력에도 안정적으로 동작함을 확인하였다.

사사: 이 논문은 2023년도부터 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2023-0-00076, SW중심대학(동아대학교)). 또한, 이 논문은 과학기술정보통신부와 한국지능정보사회진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(협약번호: 2026-인공지능융합-위06, 2026년도 디지털 트윈 시범구역 조성(도심형)).

어린이 보호구역 내 녹색어머니회 효과 분석: 비전 AI를 중심으로

Analyzing the Effects of Crossing Guards in School Zones: A Vision AI Approach

안세진 (경일대학교 철도운전시스템학부)
김원선 (경일대학교 철도운전시스템학부)
이정혁 (경일대학교 철도운전시스템학부)
김진혁 (경일대학교 철도운전시스템학부)
이은학 (경일대학교 철도운전시스템학부)

어린이 보행자 안전은 전 세계적인 주요 관심사 중 하나이며, 특히 등하교 시간대에 집중적으로 발생하고 있어 더욱 효과적인 안전대책의 필요성이 부각되고 있다. 안전대책 중 하나인 녹색어머니회는 현장의 교통 상황을 모니터링하고 접근 차량을 통제하며, 어린이들이 안전하게 도로를 건널 수 있도록 안내하는 능동적인 역할을 수행한다. 이러한 역할에도 불구하고, 녹색어머니회의 안전 효과에 대한 정량적 평가는 미흡한 실정이다. 이에 본 연구는 어린이 보호구역 내 녹색어머니회의 효과를 평가하기 위해 비전 AI 기반 프레임워크인 '모닝 가드(Morning Guard)'를 제안한다. 이를 통해 녹색어머니회의 활동이 활발한 시간대와 활동하지 않는 시간대를 비교하여 차량 주행 행태와 보행자–차량 간 상호작용 위험도의 유의미한 변화를 정량적으로 파악하고자 한다.

본 연구에서는 양일초등학교 인근에서 수집된 녹색어머니회 활동 유무에 따른 CCTV 영상을 분석에 활용하였다. 영상은 녹색어머니회가 활동하는 등교 시간대와 활동하지 않는 하교 시간대로 구분하였다. 영상 내 객체의 이미지 좌표는 호모그래피(Homography) 변환을 통해 도로 평면 좌표로 변환하였으며, 현장 기준점의 부재를 고려하여 수동으로 설정한 기준점과 가정된 도로 치수를 활용하였다.

객체 탐지에는 YOLO26m 모델을 적용하였으며, 탐지된 객체의 위치, 유형, 신뢰도 및 추적 ID 등의 정보를 추출하였다. 이후 동일한 객체 추적 ID를 기준으로 시간순 데이터를 정렬하여 보행자와 차량의 이동 궤적을 재구성하였다. 보행자와 차량의 이동 궤적이 시간적·공간적으로 근접한 경우를 상호작용 이벤트로 정의하였으며, 이를 기반으로 충돌회피 감속도(DRAC), 접근 속도, 최소 분리 거리, 차량 속도 및 통과 시간차(PET) 등의 대체 안전 지표를 산출하였다. 각 지표는 차량의 제동 요구량, 보행자와 차량 간 접근 특성, 공간적 근접성 및 시간적 분리 특성을 평가하는 데 활용하였다.

분석 결과, 두 영상에서 관측된 전체 상호작용 횟수는 유사하였으나 고위험 상호작용의 발생 비율에서는 뚜렷한 차이가 나타났다. 녹색어머니회가 활동하는 조건에서는 고위험 상호작용 비율이 약 7%로 나타난 반면, 활동하지 않는 조건에서는 약 27%로 분석되었다. 상대위험도와 교차비 분석에서도 녹색어머니회가 활동하는 조건에서 고위험 상호작용이 상대적으로 적게 발생하는 경향이 확인되었다.

본 연구는 상호작용 이벤트를 정확하게 식별하는 통합 프레임워크를 구축하여, 녹색어머니회의 유무에 따른 상호작용 위험도의 차이를 정량적으로 분석했다는 점에 의의가 있다. 다만 단일 초등학교에서 촬영된 두 개의 CCTV 영상만을 분석에 사용한 점, 가정한 도로 치수를 바탕으로 추정했다는 점, 모든 관찰치가 통계적으로 완전히 독립된 것은 아니었다는 점 등의 한계를 지닌다. 따라서 향후 연구에서는 실측 기준점 확보와 개선된 카메라 캘리브레이션 기법을 도입하고, 보다 다양한 환경의 어린이 보호구역 데이터를 수집하여 제안된 프레임워크의 범용성과 신뢰성을 검증할 필요가 있다.

사사: 이 논문은 정부(경찰청)의 재원으로 "치안신산업핵심기술사업화지원사업"(www.kipot.or.kr)의 지원을 받아 수행된 연구결과입니다.[과제명: AI · 시뮬레이션 기반 보행자 사고위험 예측 및 바닥조명 연계 안전유도 솔루션, 과제번호: RS-2026-25542549]

주행 VLA 모델의 추론 경로 단순화가 궤적 품질에 미치는 영향

Impact of Inference Path Simplification on Trajectory Quality of Driving VLA Models

정재철
(국립한국교통대학교, 석사과정)

박만복
(국립한국교통대학교, 교수)

주행 비전-언어-행동(VLA) 플래너는 카메라 영상으로부터 Chain-of-Thought(CoT) 텍스트를 생성한 뒤 확산 디코더의 다단계 반복으로 궤적을 출력하므로, 상위 플래너 10 Hz·하위 제어기 50 Hz의 멀티레이트 제어 구조에서 요구되는 계획 주기를 만족하기 어렵다. 그러나 실제 차량 제어기는 텍스트가 아닌 타임스탬프가 부여된 궤적 청크만을 소비한다. 본 논문은 이 점에 착안하여 NVIDIA Alpamayo-R1(10B) 모델의 추론 경로에서 CoT 생성을 생략하고 확산 스텝을 절단했을 때 궤적 품질이 유지되는지를 재학습 없이 검증한다.

CoT 생략은 생성 프로세서로 첫 토큰을 궤적 시작 토큰으로 강제하여 텍스트 디코드를 0토큰으로 만들고 프리필 길이를 3007 토큰 상수로 고정한다. 이에 따라 CoT 디코드 지연은 289 ms(평균 13.8토큰, 23.8 ms/토큰)에서 24 ms(강제 토큰 1개)로 감소한다. 확산 스텝 절단은 플로우 매칭 디코더의 추론 스텝을 10에서 5, 3, 2, 1로 줄여 그대로 추론하는 것으로, 액션 생성 지연은 스텝 수에 선형(eager 25.2 ms/스텝, CUDA Graph 19.7 ms/스텝)이다. 평가는 학습에 사용되지 않은 PhysicalAI-AV 주행 클립 50개에 대해 minADE@3와 minFDE@3(3샘플 중 최소, 6.4 s 호라이즌)를 동일 런 내 페어드로 비교하였으며, 정답 미래 궤적의 헤딩 변화로 직진($|\Delta\psi|<10°$, 8클립)·완만 곡선 및 차선변경(10~45°, 30클립)·회전(>45°, 11클립)·정지(평균 속도<2 m/s, 1클립)의 시나리오로 분류하였다.

확산 스텝 절단은 두 독립 런 모두에서 품질을 유지하거나 개선하였다. 스텝 스윕 런에서 전체 minADE@3는 10스텝 1.178 m, 5스텝 0.951 m, 3스텝 0.933 m, 2스텝 0.977 m, 1스텝 1.154 m로 3스텝에서 최소였고, 10스텝 대비 악화 클립은 14%에 그친 반면 1스텝은 34%로 회귀하였다. 절단 이득은 회전 시나리오에서 가장 컸으며(minFDE 5.22→3.80 m), 오차는 회전>완만>직진 순으로 시나리오 분류가 난이도 축을 잘 포착하였다. 이에 따라 3스텝을 배포 구성으로 채택하였다.

CoT 생략은 평균 변위 오차에는 영향이 없었으나 종점 오차에는 소폭 열세 경향을 보였다. 10스텝에서 CoT on/off의 minADE@3는 0.992/1.060 m, minFDE@3는 3.055/3.017 m였고, 3스텝에서는 0.973/0.980 m와 2.731/2.860 m로 ADE 차이는 런 간 노이즈(±0.2 m) 이내였으나 3스텝 FDE의 median 차이는 +0.40 m였다. 시나리오별로는 효과의 부호가 갈려, 직진에서는 CoT 생략이 일관되게 유리했고(FDE 2.24→1.48 m) 완만 곡선·차선변경에서는 CoT 유지가 유리했다(FDE 2.37 대 2.97 m). 회전은 스텝 수에 따라 부호가 뒤집혀(n=11) 결론을 유보한다. 이는 차선변경·회피처럼 의도 선택이 필요한 장면에서 CoT 조건이 궤적 후반부의 종점 선택에 기여하고, 직진에서는 텍스트 조건이 오히려 분산을 키운다는 해석과 부합한다.

두 단순화로 액션 생성 지연은 290 ms에서 59 ms로, CoT 디코드는 289 ms에서 24 ms로 감소하였고, 원본에서 99 백분위수 지연과 중앙값 지연의 차이가 282 ms에 달한 것은 CoT 길이 분산에서 비롯된 것으로, CoT 생략 이후 이 차이는 20 ms 미만으로 줄어 계획 주기의 결정성이 확보되었다. GPU 최적화를 결합한 플래너 전체 지연은 단일 소비자 GPU에서 543 ms이며, 10 Hz 달성을 위한 비전·프리필 축소는 향후 과제이다. 본 연구는 오픈루프 지표만을 평가하였으며 폐쇄루프 제어 품질 검증과 장면 유형에 따른 선택적 CoT 적용은 후속 연구로 남긴다.

사사: 논문은 산업통상자원부가 지원한 '자율주행기술개발혁신사업'의 지원을 받아 수행된 연구 결과입니다[과제명: Lv.4 자율주행시스템의 FailOperational 기술개발 / 과제번호: 20018055]. 또한, 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2021-KA160501).

단일 이미지를 이용한 빛공해 위반 의심 광원 자동 탐지

Automatic Detection of Light Sources Suspected of Light Pollution Violations Using a Single Image

조태승	김승주	김정수	천세진
(동아대학교 컴퓨터공학과, 학사과정)	(동아대학교 컴퓨터공학과, 학사과정)	(동아대학교 컴퓨터공학과, 박사과정)	(동아대학교 컴퓨터공학과, 교수)

1. 서론

과도한 인공조명은 수면 장애와 생태계 교란을 유발하며, 도로 조명과 옥외광고물의 눈부심은 운전자 시인성을 저하시켜 교통안전에도 영향을 미친다. 「인공조명에 의한 빛공해 방지법」은 조명환경관리구역별로 조명 유형별 허용 기준을 규정하나, 단속은 전문 인력이 휘도계·조도계를 지참하여 법정 지점과 시간대에서 대상별로 실측하는 절차에 의존하며, 계측기 비용과 측정 시간이 점검 범위를 표본조사 수준으로 제약한다. 본 연구는 촬영 이미지 한 장으로 광원을 탐지하고 휘도를 추정하여 위반 여부를 자동 판정하는 시스템을 제안한다.

2. 관련 연구

선행 연구는 계측 수단과 분석 단위에 따라 구분된다. 도시 단위 빛 방사량 모니터링[1]은 위성 야간광 자료를 이용하여 광역 경향 분석에 기여하였으나, 공간해상도의 한계로 개별 간판·가로등 단위의 위반 판정에는 적용되지 못한다. 반면 영상 기반 휘도측정시스템[2]은 DSLR 영상에 OECF 보정과 거리 보정을 결합하여 개별 발광광고물을 탐지하였다. 하지만, 전용 거치 구성과 수동 노출 고정, 관심영역 지정을 전제로 하기 때문에 계측 기반 접근의 제약은 여전히 해소하지 못하였다. 광원 객체를 탐지한 연구[3]는 야간 교통영상에서 빛 번짐과 백화를 고려하려 딥러닝 자동 탐지의 가능성을 보였으나 법정 기준치와의 대조로 확장되지 않았다. 요컨대 선행 연구는 광역 관측, 전용 장비 측광, 광원 탐지로 분절되어 있으며, 비전문가가 촬영한 단일 이미지에서 탐지·측광·법규 판정을 연속 수행한 사례는 확인되지 않았다.

3. 제안 방법

제안 방법은 사진 한 장으로 수 초 내에 판정 결과를 제시한다. 또한, 탐지·측광·법규 대조를 단일 파이프라인으로 통합하였다. 게다가, EXIF 기반 촬영환경 정규화로 기기 차이에 따른 측정 편차를 완화하였다.

4. 제안

시스템은 단일 이미지를 이용하여 빛공해 위반이 의심되는 광원을 자동으로 탐지한다. 구체적으로, 탐지 기법은 야간 저조도 특성을 Gray-World 화이트밸런스, 양방향 필터, LAB 색공간 L채널 CLAHE 측면에서 보정하며, 전이학습한 YOLOv8 모델이 간판·장식조명·가로등 세 유형의 광원을 탐지한다. 탐지 영역은 sRGB를 선형화한 뒤 Rec.709 계수를 적용하여 상대휘도 $Y = 0.2126R + 0.7152G + 0.0722B$ 로 환산하고, 주요하게 고휘도 픽셀 비율을 산출한다. 특히, 촬영 조건의 편차는 EXIF의 기종·ISO·노출시간·촬영각으로부터 보정계수를 도출하여 정규화하고, GPS 역지오코딩으로 조명환경관리구역을 판별한다. 판정은 조명 유형별 법정 기준에 대한 초과 배율에 따라 위반 단계를 산출하며, 침입광·눈부심·산란광·군집된빛의 네 유형으로 분류하여 제시한다.

5. 실험 및 결과

야간 이미지 3클래스 데이터셋(학습 1,630장·9,321 인스턴스, 검증 353장·2,094 인스턴스)을 구축하고 YOLOv8n을 전이학습하였다. 초기 학습 구간에서 mAP@0.5 0.257, Recall 0.474를 관측하였다.

6. 결론

단일 이미지 기반 빛공해 법규 위반 판정 시스템을 구현하여 계측 중심 절차의 영상 기반 대체 가능성을 확인하였다.

참고문헌

[1] 김정아, 천상현, "빛공해 저감을 위한 원격탐사 데이터를 활용한 서울시 빛 방사량 변화양상 모니터링", 한국공간디자인학회 논문집, 13(6), pp.165-178, 2018.

[2] 선은혜, 김용태, "측정 위치를 고려한 영상기반 휘도측정시스템에 관한 연구", 한국지능시스템학회 논문지, 24(4), pp.424-429, 2014.

[3] 강지수, 심세은, 조선문, 정경용, "교통 영상 빅데이터 처리를 위한 Yolo 기반 광원 객체 탐지", 디지털융복합연구, 18(8), 2020.

사사: 이 논문은 2023년도부터 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2023-0-00076, SW중심대학(동아대학교)). 또한, 이 논문은 과학기술정보통신부와 한국지능정보사회진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(협약번호: 2026-인공지능융합-위06, 2026년도 디지털 트윈 시범구역 조성(도심형)).

MPEG Audio Coding for Machines의 기계 지향 압축 기술 분석 및 지능형 교통 시스템 적용 방안

Anlaysis of Machine-Oriented Compression in MPEG Audio Coding for Machines and Its Application to Intelligent Transport Systems

변수빈
(동아대학교 컴퓨터공학과)

서정일
(동아대학교 컴퓨터공학과)

지능형 교통 시스템(Intelligent Transport Systems, ITS)에서는 사이렌, 경적, 충돌음 및 차량·도로 설비의 이상음과 같은 음향 정보를 활용한 환경 인지와 상태 진단의 중요성이 크게 증가하고 있다. 그러나 다수의 차량과 센서에서 수집되는 원 신호를 지속적으로 전송하면 대역폭과 저장 비용이 크게 증가하므로, 기계 분석에 필요한 정보를 유지하면서 데이터량을 감소시키는 압축 기술이 요구된다. MPEG Audio Coding for Machines(ACoM)은 오디오, 다차원 신호 및 이들로부터 추출된 특징을 기계가 효율적으로 이용할 수 있도록 표현하기 위한 표준이다.

ACoM Phase 1은 ISO/IEC 23000-8의 Biomedical and General Waveform(BGW) 부호화와 preLPC를 이용하여 입력 신호를 무손실 압축하고, 복호 후 원 신호와 비트 단위로 동일한 값을 복원하는 것을 목표로 한다. 따라서 다채널 신호의 시간 및 위상 정보를 보존하여 다양한 후처리와 재분석 활용할 수 있으나, 태스크와 무관한 신호 성분도 함께 전송하므로 고속·다채널 센서 환경에서는 전송량 절감에 한계가 있다.

Phaes 2에서는 원 신호 전체의 복원보다 기계 태스크에 필요한 정보의 보존을 우선하는 기계 지향 압축이 논의되고 있다. 신경망의 중간 특징을 압축하여 전송하는 특징 기반 방식은 낮은 비트율의 실시간 추론에 유리하며, 필요한 주파수 대역만 선택하여 부호화하는 선택적 서브밴드 방식은 원 신호 영역의 일부를 유지하여 모델 변경과 재분석에 상대적으로 유연한다. 다만 특징 정의와 특징 추출 위치 등 Phase 2의 핵심 요소는 현재 표준화 논의 단계에 있다.

본 논문에서는 ITS 적용을 위해 전 대역 무손실 압축, 선택적 서브밴드 압축, 특징 기반 압축의 세 가지 운용방식을 비교한다. 사고 분석이나 모델 재학습과 같이 원 신호 보존이 중요한 경우에는 무손실 압축이 적합하며, 사이렌 및 교통 이벤트 탐지와 같이 낮은 지연과 전송량이 중요한 경우에는 특징 기반 압축이 유리하다. 또한 관심 주파수가 명확한 설비 진단에는 선택적 서브밴드 압축을 적용할 수 있다. 특히 평상시에는 저비트율 데이터를 전송하고 이상 이벤트 발생 시 원 신호를 추가 저장하는 적응형 구조를 통해 평균 전송량과 사후 분석 가능성을 동시에 확보할 수 있다. 향후에는 특징의 상호운용성, 비트율-태스크 성능 기반 평가, 다중 태스크 지원 및 edge 장치의 연산 복잡도와 지연을 종합적으로 고려한 결과가 필요하다.

사사: 본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 결과임(No. 2020-0-00011, 기계를 위한 영상 부호화 기술).

비전 AI를 이용한 아차사고 탐지 및 LLM 기반 안전 메시지 생성

Vision AI for Pedestrian - Vehicle Near-Miss Detection and LLM-Based Safety Messaging

김원선	이정혁	김진혁	안세진	이은학
(경일대학교 철도운전시스템학부)	(경일대학교 철도운전시스템학부)	(경일대학교 철도운전시스템학부)	(경일대학교 철도운전시스템학부)	(경일대학교 철도운전시스템학부)

보행자는 교통사고 발생 시 외부 충격에 직접 노출되는 취약한 교통 주체로, 특히 횡단보도에서는 차량과 보행자의 이동 경로가 교차함에 따라 충돌 이전에도 위험 상황이 발생할 수 있다. 기존 교통사고 통계는 사고 발생 이후의 피해를 분석하는 데 유용하지만, 충돌 이전의 접근 및 회피 과정에서 발생하는 잠재적 위험을 파악하는 데에는 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 컴퓨터 비전 기술을 활용하여 차량과 보행자 간 근접 위험 상황(Near Miss)을 탐지하고, 대규모 언어모델(Large Language Model, LLM)을 기반으로 보행자 안전 메시지를 생성하는 통합 분석 체계를 제안하였다.

본 연구에서는 약 40초 길이의 횡단보도 영상에서 약 600개 프레임을 분석하였다. YOLO26x 객체 탐지 모델과 BoT-SORT 및 객체 ID 안정화 절차를 활용하여 보행자와 차량의 이동 궤적을 추적하였다. 차량과 보행자 간 거리가 일정 기준 이내인 경우를 상호작용 후보로 정의하였으며, 객체 간 거리, 충돌예상시간(Time to Collision, TTC), 접근각 및 횡단보도 맥락을 종합적으로 고려하여 위험도를 산정하였다. 위험도는 Low, Warning, Critical의 세 단계로 구분하였으며, 이동평균과 이벤트 병합 절차를 적용하여 순간적인 위험도 변동과 위험 이벤트의 중복 집계를 최소화하였다.

분석 결과, 약 1만 7천 개의 차량 - 보행자 Pair-Frame 중 Low는 약 97%, Warning은 약 2%, Critical은 1% 미만으로 나타났다. 이를 이벤트 단위로 병합한 결과, Critical과 Warning 단계의 Near Miss 후보 이벤트가 각각 1건씩 탐지되었다. Critical 이벤트는 약 5.5초간 지속되었으며, 최소 TTC는 0.4초 수준, 최대 위험점수는 약 96점으로 분석되었다. Warning 이벤트는 약 4.2초간 지속되었으며, 최소 TTC는 2.4초 수준, 최대 위험점수는 약 55점으로 나타났다. 이러한 결과는 제안한 분석 체계가 차량과 보행자 간 상호작용에서 발생하는 위험 상황을 단계별로 구분하고, 주요 위험 이벤트를 식별할 수 있음을 보여준다.

탐지된 위험 이벤트의 객체 ID, 발생시간, 최소 거리, 최소 TTC 및 위험단계 등의 정보를 GPT-4o mini에 입력하여 보행자 안전 메시지를 생성하였다. LLM은 위험도를 직접 판정하지 않고 규칙 기반으로 산정된 위험정보를 바탕으로 안전 메시지를 생성하도록 설계하였다. 또한 메시지 생성 과정에 안전 제약 규칙(Safety Guard)을 적용하여 위험 판정과 모순되거나 성급한 횡단을 유도하는 부적절한 표현을 제한하였다.

본 연구는 영상 기반 객체 탐지 및 추적, 다중 지표 기반 위험도 평가, 위험 이벤트 판별 및 LLM 기반 안전 메시지 생성을 하나의 통합 분석 체계로 구현하였다는 점에서 의의가 있다. 다만 단일 횡단보도 영상을 대상으로 분석하였으며, 카메라 보정 및 수동 구축 정답자료를 활용한 탐지 성능평가와 실제 보행자를 대상으로 한 안전 메시지의 효과 검증이 수행되지 않았다는 한계가 있다. 향후 다양한 도로환경의 영상자료 확보, 위험도 임계값의 타당성 검증 및 안전 메시지의 효과 평가를 통해 제안한 분석 체계의 신뢰성과 현장 적용 가능성을 검토할 필요가 있다.

사사: 이 논문은 정부(경찰청)의 재원으로 "치안신산업핵심기술사업화지원사업"(www.kipot.or.kr)의 지원을 받아 수행된 연구결과입니다.[과제명: AI · 시뮬레이션 기반 보행자 사고위험 예측 및 바닥조명 연계 안전유도 솔루션, 과제번호: RS-2026-25542549]

특징 압축을 위한 채널 적응형 활성화 함수 적용 경량 특징 변환 네트워크

Low Complexity Feature Transform Network with Channel-Adaptive Activation for Feature Compression

유길경
(동아대학교 컴퓨터공학과)

서정일
(동아대학교 컴퓨터공학과)

교통 CCTV 영상을 서버에서 분석하기 위해서는 대량의 영상 데이터 전송이 필요하며, 단말에서 모든 추론을 수행하기에는 연산 자원의 제약이 존재한다. 이를 해결하기 위해 MPEG에서는 신경망의 중간 특징 텐서를 압축하여 전송하는 FCM(Feature Coding for Machines) 표준화를 진행하고 있다. FCM의 참조 소프트웨어인 FCTM(Feature Compression Test Model)은 다중 스케일 특징을 저차원 특징으로 축소한 뒤 영상 프레임 형태로 변환하여 압축한다. 따라서 특징 축소 및 복원 네트워크의 성능은 전체 부호화 효율에 중요한 영향을 미친다. 경량 특징 변환 네트워크인 LCFT(Low Complexity Feature Transform)는 주요 연산 블록으로 DCBlock을 사용하며, 활성화 함수로 WSiLU를 적용한다. 기존 WSiLU는 다음과 같이 정의된다.

$$y = x^{*} sigmoid(4x)$$

여기서 $sigmoid()$는 시그모이드 함수이며, 모든 특징 채널에 동일한 스케일 값 4.0을 적용한다. 그러나 중간 특징은 채널마다 활성화 분포가 다르므로 고정된 스케일을 사용하는 방식은 채널별 특성을 충분히 반영하기 어렵다. 이를 개선하기 위해 본 논문에서는 채널별 학습 가능한 스케일 파라미터를 적용한 Channel-wise WSiLU를 제안한다.

$$y = x^{*} sigmoid(\beta x)$$

β는 채널별로 독립적인 학습 파라미터로 값에 따라 게이팅의 강도를 조절한다. 모든 β를 4.0으로 초기화하여 기존 WSiLU와 동일한 출력에서 학습을 시작하며, 학습 과정에서 채널별 특성에 맞게 조정되도록 구성하였다. 제안 방법의 성능을 검증하기 위해 FCM의 공통 실험 조건인 CTTC를 기반으로 HiEVE 데이터셋에서 기존 LCFT와 비교 실험을 수행하였다. 실험 결과, HIEVE 1080p에서 BD-rate -10.29%, BD-MOTA +0.46을 달성하였으며, HIEVE 720p에서는 BD-rate -4.48%, BD-MOTA +0.34를 기록하였다. 이는 기존 LCFT 대비 두 해상도 모두에서 부호화 효율과 객체 추적 정확도가 개선되었음을 의미한다. 특히 1080p 영상에서 더 큰 BD-rate 감소를 보여, 고해상도 특징 압축 환경에서 제안 방법의 효과를 확인하였다.

본 논문에서는 LCFT의 DCBlock에 Channel-wise WSiLU를 적용하여 채널별 특성을 반영하는 적응형 활성화 함수를 제안하였다. 실험을 통해 기존 네트워크 구조의 큰 변경 없이 특징 압축 효율과 객체 추적 성능을 동시에 개선할 수 있음을 확인하였다. 향후 연구에서는 제안한 활성화 함수를 어텐션 연산이 포함된 DCAttnBlock으로 확장하고, 블록 유형별 적용 효과 및 다양한 영상 환경에서의 성능을 분석할 예정이다.

사사: 본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 결과임(No.2020-0-00011, 기계를 위한 영상 부호화 기술).

뉴스 맥락의 확장에 따른 LLM 댓글 시뮬레이션의 감정 분포 재현도 분석

Effects of News Context Enrichment on the Fidelity of Emotion Distributions in LLM-Based Comment Simulation

이정경
(동아대학교 컴퓨터공학과, 학부생)

김아영
(동아대학교 컴퓨터공학과, 대학원생)

천세진
(동아대학교 컴퓨터공학과, 교수)

연구배경

인간과 소통하는 인공지능은 언어의 의미뿐만 아니라 사람이 어떤 상황에서 특정 감정을 느끼고 행동을 요구하는지 이해할 필요가 있다. 인지평가 이론(Appraisal Theory)은 사건의 위험성, 개인과의 관련성, 책임 소재 및 대처 가능성에 대한 판단이 감정 반응과 연결된다고 설명한다. 본 연구는 이러한 인지평가를 활용하여 대규모 언어모델(LLM)이 뉴스 댓글을 생성하도록 하고, 제공하는 뉴스 정보에 따라 실제 댓글의 감정과 행동 요구를 얼마나 유사하게 재현하는지 비교하고자 한다. 특히 본문 요약, 언론사 시점, 썸네일 이미지를 순차적으로 추가했을 때 나타나는 변화를 분석한다.

관련연구

Scherer(2001)는 사건에 대한 일련의 평가가 감정 반응의 분화에 관여한다는 모형을 제시하였다[1]. Argyle 등(2023)은 배경 정보를 제공한 언어모델의 응답과 실제 인간 표본을 비교하여 LLM을 활용한 인간 반응 시뮬레이션의 가능성을 탐색하였다[2]. 한편 He 등(2024)은 언어모델이 생성한 텍스트의 감정 및 도덕적 표현이 실제 소셜미디어 집단의 표현과 차이를 보일 수 있음을 보고하였다[3]. 이러한 연구의 경향을 따라, 본 연구는 생성 댓글의 자연스러움보다 실제 댓글에서 관찰되는 감정과 행동 요구의 분포를 재현하는 정도에 초점을 둔다.

연구방법 및 실험계획

실제 댓글이 충분히 작성된 온라인 뉴스에서 제목, 본문, 언론사, 게시 시점, 썸네일 및 댓글을 수집한다. 본문 요약은 동일한 기준으로 작성하고, 댓글은 일정한 수집 기간과 전처리 기준을 적용한다. 실제 댓글은 평가에만 사용하며 생성 입력에는 포함하지 않는다. 입력 조건은 다음과 같이 구성한다. (C1: 제목), (C2: 제목+본문 요약), (C3: 제목+본문 요약+언론사 시점), (C4: 제목+본문 요약+언론사 시점+썸네일).

향후 실험 평가에서 C1-C4 조건에서 ChatGPT, Gemini, Claude의 다양한 버전의 LLM을 사용하고, 생성 지침과 댓글 수 및 샘플링 설정을 동일하게 유지한다. 각 LLM은 다양한 감정과 행동 요구를 설정하고 C1-C4에 따라 댓글을 생성한다. 여기서, 모든 댓글에 특정 감정이나 행동 요구를 강제하지 않으며, 중립적인 반응과 행동 요구가 없는 댓글도 허용한다.

실제 댓글과 생성 댓글은 동일한 기준으로 주관성, 긍정/부정/중립의 감성, 분노, 기쁨과 같은 감정, 인지평가 표현, 조사, 처벌과 같은 행동 요구를 분류한다. 생성 단계에서 설정한 라벨을 그대로 평가에 사용하지 않고 최종 댓글을 별도로 분석한다. 특히, 유형별 분포 차이는 Jensen–Shannon Divergence(JSD)와 Total Variation Distance(TVD)로 정량적인 측정을 실시할 계획이다.

본 연구에서는 실제 댓글을 확보할 수 있는 한국어 온라인 뉴스 300건을 수집하여 실험 데이터셋을 구축할 계획이다. 안전사고, 환경, 재난, 공공정책 등 다양한 사건을 포함하고, 기사별로 동일한 수집 기간을 적용하여 댓글을 수집할 예정이다

참고문헌

[1] Scherer, K. R. (2001). Appraisal considered as a process of multilevel sequential checking. Appraisal Processes in Emotion, 92–120.
[2] Argyle, L. P., et al. (2023). Out of one, many: Using language models to simulate human samples. Political Analysis, 31(3), 337–351.
[3] He, Z., et al. (2024). Whose emotions and moral sentiments do language models reflect? Findings of ACL 2024, 6611–6631.

사사: 이 논문은 2023년도부터 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2023-0-00076, SW중심대학(동아대학교)).

LLM 기반 뉴스기사의 문장 수사적 표현 분석과 독자 참여의 연관성 탐색

LLM-Based Analysis of Rhetorical Features in News Articles and Their Associations with Reader Engagement

오지수 (동아대학교 컴퓨터공학과, 학부생)

김태희 (동아대학교 컴퓨터공학과, 대학원생)

천세진 (동아대학교 컴퓨터공학과, 교수)

서론: 뉴스기사는 사건, 배경, 근거와 해석을 배치하는 방식에 따라 서로 다른 서술 구조를 형성한다. Stab과 Gurevych는 주장, 전제 및 이들 사이의 관계를 추출하는 논증 구조(Rhetrocial Scheme) 분석을 제안하였고[1], Choubey 등은 뉴스 문장의 기능적 역할을 분류하여 기사 구조를 모델링하였다[2]. Gilardi 등은 여러 텍스트 분류 과제에서 LLM의 주석 가능성을 제시하였으며[3], Berger와 Milkman은 뉴스의 감정적 특성과 온라인 공유의 관계를 분석하였다[4]. 본 연구는 문장 기능의 구성 비율과 배열 순서, 수사적 표현(Rhetorical Feature)을 함께 독자의 참여도와 연관 분석한다. 연구문제는 ① LLM 분류의 신뢰성, ② 도메인 분야별 서술 구조의 차이, ③ 구조적 특징과 독자 참여의 연관성이다.

접근 방법: 뉴스기사의 문장 기능을 ①사건(핵심 사건이나 상태 전달), ②배경(선행 사건 및 맥락 설명), ③근거(주장 및 해석을 뒷받침하는 자료), ④주장(입장, 평가, 당위 제시), ⑤해석(원인, 의미 설명), ⑥전망(미래 변화 예측), ⑦기타의 유형으로 구분한다. 각 문장에는 문맥상 중심적인 기능 하나를 부여하고, 출처와 감정 호소는 독립적인 속성으로 기록한다. 예를 들어, 전문가의 예측을 인용한 문장은 '전망'과 '출처'을 동시에 가질 수 있다. LLM에는 분류 지침과 경계 사례, 기사 문맥을 제공하고 문장별 라벨과 판단 근거 구절을 출력하도록 한다.

분류된 기사는 문장 역할 시퀀스 ($S=r_1, \ldots, r_n$)로 표현하고, 역할별 비율, 정규화된 문장 위치, 연속된 두세 문장의 역할 조합 및 전이 확률을 추출한다. 이를 통해 어떤 기능이 많이 사용되는지, 기사 내 어디에 배치되는지, 어떠한 순서로 연결되는지를 분석한다. 예를 들어 '사건→배경→해석'과 '주장→근거→전망'의 출현 양상을 비교할 수 있다. 기사별 역할 빈도를 유지하면서 순서를 무작위로 섞은 기준과 비교하여 구성 비율과 배열 순서의 특징을 구분한다. 추출한 특징을 활용하여 도메인 분야별 및 언론사별 서술 구조를 비교하고, 댓글 수와 좋아요 수와 같은 인기도를 각각 독자 참여 지표로 분석한다.

향후 실험 계획: 뉴스 플랫폼에서 5개 분야와 5개 언론사의 기사 약 3,000편을 균형 있게 수집할 계획이다. 이 중 300편을 두 주석자가 독립적으로 분류하여 합의 전 일치도를 측정하고, 조정된 라벨을 개발용 100편과 평가용 200편으로 분리한다. 다양한 LLM 모델과 함께 입력 문맥과 예시 제공 조건을 비교하고, 기능 분류의 F1 성능을 주요 지표로써 평가한다. 추가적으로, 전체 데이터의 구조적 차이와 독자 참여의 연관성을 분석하고, 사람 주석 표본에서도 결과의 민감도를 검증할 계획이다.

기대 기여: 본 연구는 문장 기능과 수사적 표현을 분리하면서 이를 기사 수준의 구조로 연결하는 분석 절차를 제시하고자 함. 이를 통해 한국어 뉴스의 정보 구성 방식과 독자 참여 사이의 관계를 정량적으로 분석가능할 것으로 기대함

참고문헌

[1] Stab, C., & Gurevych, I. (2017). Parsing Argumentation Structures in Persuasive Essays. Computational Linguistics, 43(3), 619 - 659.

[2] Choubey, P. K., et al. (2020). Discourse as a Function of Event: Profiling Discourse Structure in News Articles around the Main Event. ACL, 5374 - 5386.

[3] Gilardi, F., Alizadeh, M., & Kubli, M. (2023). ChatGPT outperforms crowd workers for text-annotation tasks. PNAS, 120(30), e2305016120.

[4] Berger, J., & Milkman, K. L. (2012). What Makes Online Content Viral?. Journal of Marketing Research, 49(2), 192 - 205.

사사: 이 논문은 2023년도부터 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2023-0-00076, SW중심대학(동아대학교)).

교통상태 조건부 미시 교통류 생성모델의 개발 및 성능 평가

Development and Evaluation of a Traffic-State-Conditioned Microscopic Traffic Flow Generation Model

천경훈	백경선	노병준	김인희
(카이스트 조천식모빌리티대학원, 박사후연구원)	(한양대학교 교통물류공학과, 석사과정)	(한양대학교 교통물류공학과, (조교수)	(카이스트 조천식모빌리티대학원, 부교수)

교통류 생성모델은 개별 차량행동의 다양성과 반복 상호작용으로 형성되는 구간 운영을 함께 재현해야 한다. 본 연구는 상류 유입정보와 집계 교통상태를 조건으로 연속적인 미시 교통류를 생성하는 모델을 개발하고 성능을 평가하였다. 모델의 목적은 관측궤적을 일대일로 복제하는 것이 아니라 주어진 교통조건에 부합하는 차량행태와 통행 특성을 함께 생성하는 것이다.

제안모델은 앙상블 평균 가속도 계획, 상태 의존 잔차 확산, 실행가능성을 고려한 후보 선택 및 확률적 차로변경으로 구성된다. 평균 계획에 조건별 잔차를 결합하여 복수의 가속도 후보를 만들고, 단기 차간거리 투영으로 실행가능한 후보를 우선 선택한다. 생성된 차량의 위치·속도·차로로 상호작용 이력을 반복 갱신하며, 최종 상태 전파에서는 차량 중첩 방지 제약을 적용한다. 시간간격은 0.2초, 계획구간은 2.4초이며 기본 재계획 주기는 0.8초이다.

기본 생성 성능은 독일 6개 고속도로 지점의 highD 자료로 검증하였다. 저속·혼잡 조건이 확인된 7개 방향별 기록을 제외한 58개 기록, 113개 방향별 구간을 기록 단위로 학습·검증·시험에 분할하였다. CVAE, Trajectron++, TrajGAIL, FloMo, TimeGrad, DeepAR, MDN 및 SMART를 공통 실행 엔진의 종방향 생성기로 적용하고, 3개 독립 자료분할에서 교통량 GEH, 통행시간 Wasserstein-1 거리(W_1), 완료율, 미시 행태분포 및 기본도 분포 발산(FD-JSD)을 비교하였다.

제안모델의 평균 GEH는 3.821, 통행시간 W_1 은 1.322초로 평가한 9개 모형 중 가장 낮았으며, 각 지표의 최우수 비교모형보다 각각 3.4%, 26.6% 감소하였다. 완료율은 98.9%였다. 공간차간거리, 시간차간거리 및 충돌예상시간(TTC)의 W_1 은 각각 3.337m, 0.171초, 2.204초로 가장 작았다. 반면 속도분포는 DeepAR가 우수했고, 제안모델·DeepAR·Trajectron++의 FD-JSD는 제시 정밀도에서 모두 0.063이었다. 차로변경 정책의 추가는 공간차간거리와 TTC의 W_1 을 각각 20.7%, 16.9% 줄였으나, 고정 차로 조건에서 후보 선택의 추가 효과는 작았다.

본 연구는 조건부 행동 생성과 폐루프 상호작용을 결합하여 미시 교통류를 생성하는 방법을 제시하였다. 결과는 속도분포, 추종 상호작용 및 구간 운영을 함께 평가해야 함을 보여준다. 검증 범위는 저속·혼잡 방향을 제외한 기본 고속도로 구간이며, 경계 유입과 집계 교통상태가 제공되는 조건부 생성이다. 따라서 다양한 도로구조와 혼잡상태에서의 적용 가능성은 추가 검증이 필요하다.

사사: 본 논문은 2025년도 과학기술정보통신부의 재원으로 연구개발특구진흥재단의 「지역혁신 실증 스케일업 지원사업」 지원(과제번호 RS-2025-02307661)을 받아 수행되었습니다. 또한, 과학기술정보통신부의 재원으로 정보통신기획평가원의 「광역권 도시를 위한 차세대 AI 융합 모빌리티 시뮬레이션 및 예측/활용 기술 개발」 과제 지원(과제번호 RS-2024-00459703)을 받아 수행되었습니다.

구면 및 반구면 렌더링을 위한 360°영상의 공간적 왜곡 분석 방법

A Method for Analyzing Spatial Distortion in 360° Images for Spherical and Hemispherical Rendering

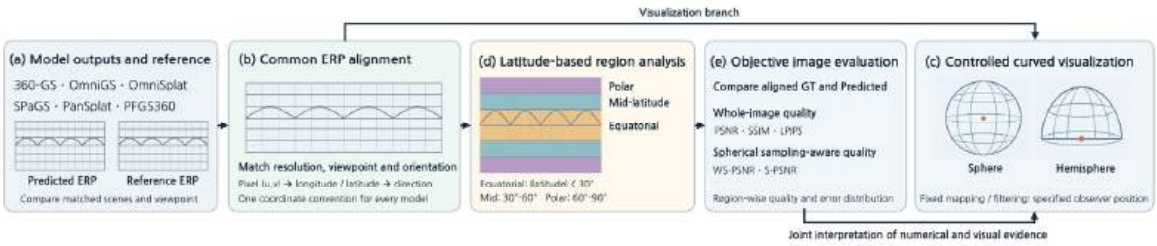
조수빈
(동아대학교 컴퓨터공학과)

서정일
(동아대학교 컴퓨터공학과)

가상현실, 디지털 트윈 및 몰입형 미디어의 발전에 따라 주변 공간의 전방향 정보를 제공하는 360° 영상의 활용이 확대되고 있다. 특히 구면 및 반구면 디스플레이는 사용자의 시야를 넓게 둘러싸는 형태로 공간을 표현하므로, 평면 영상과 다른 투영 및 관찰 조건을 고려해야 한다. 최근에는 3D Gaussian Splatting 기반의 장면 재구성을 이용하여 새로운 시점의 360° 영상을 생성하는 연구가 진행되고 있다. 그러나 전체 영상의 평균 화질만으로는 특정 방향이나 위도에서 발생하는 품질 저하를 충분히 설명하기 어렵다. 본 연구에서는 다양한 360° 장면 생성 모델의 출력을 공통된 구면 환경에 적용하고, 구면상의 위치에 따른 공간적 왜곡과 품질 변화를 분석하는 방법을 제안한다.

360° 영상을 표현하는 ERP(Equirectangular Projection)은 구면상의 경도와 위도를 직사각형 영상의 수평 및 수직 좌표에 대응시킨다. 이 방식은 전방향 정보를 하나의 영상으로 표현할 수 있지만, 동일한 픽셀 간격에 대응하는 구면상의 면적이 위도에 따라 달라진다. 특히 극점에 가까워질수록 작은 구면 영역에 많이 픽셀이 배분되어, 평면 영상에서 물체가 수평 방향으로 늘어나 보인다. 이러한 투영 특성은 정확한 구면 역매핑을 통해 원래의 방향 관계로 대응시킬 수 있으나, 실제 구현에서는 유한한 영상 해상도, 보간, 텍스처 필터링 및 메시의 UV 배치가 추가적인 표현 오차에 영향을 줄 수 있다.

제안 방법은 모델별 출력 영상을 공통 ERP 형식으로 정렬하고, 구면 시각화와 영역별 품질 평가를 결합한다. 비교 대상으로 360-GS, OmniGS, OmniSplat, SPaGS, PanSplat, 및 PFGS360을 고려하며, 공통으로 적용 가능한 장면과 평가 시점을 기준으로 분석한다. 기준 영상과 복원 영상의 해상도 및 방향을 일치시키고, ERP 좌표를 경도와 위도, 3차원 방향 벡터로 변환하여 구면 내부에 매핑한다. 구면 환경에서는 카메라를 중심으로 고정하고 시선 방향을 변경하며, 반구면 환경에서는 표시 각도 범위와 관찰 위치를 명시한다. 모든 영상에 동일한 매핑 및 렌더링 설정을 적용하여 표시 조건의 영향을 최소화한다.



정량적 평가는 정렬된 기준 ERP와 복원 ERP를 직접 비교하여 수행한다. 전체 영상에는 PSNR, SSIM, LPIPS를 적용하고, 구면상의 비균일한 픽셀 분포를 고려하기 위해 WS-PSNR과 S-PSNR을 함께 사용한다. 또한 절대 위도 30° 미만을 적도, 30° 이상 60° 미만을 중위도, 60° 이상을 극 영역으로 구분하여 공간적 품질 변화를 분석한다. 정성적 평가에서는 기준 영상과 복원 영상을 동일한 곡면 환경에 표시하고, 객레 윤곽과 구조적 불일치 및 경계 불연속을 관찰한다. 이를 통해 전체 평균에 가려진 부분적 품질 저하를 확인하고, 투영 특성과 재구성 및 매핑 과정의 오차를 구분하여 해석하고자 한다.

본 연구는 구면상의 위치와 표시 조건을 함께 고려하는 360° 영상의 공간적 왜곡 분석 방법을 제안한다. 이는 구면 및 반구면 콘텐츠에서 품질 저하가 집중되는 영역을 파악하고, 몰입형 공간 표현의 평가 기준을 마련하는 데 활용될 수 있다. 향후 도로 및 교차로 장면으로 분석을 확장하여 Physical AI와 지능형교통체계(ITS)의 가상 학습과 평가 환경에서 공간 표현의 신뢰성을 검토하고자 한다.

사사: 이 논문은 한국전자통신연구원 연구운영비지원사업(기본사업) 사용자 맞춤형 형상 프리폼 미래 디스플레이 개발 과제(26CC1100)의 논문입니다.

소수 시점 다중 카메라 기반 자율주행 3차원 공간의 정밀 복원 방안

High-Fidelity 3D Reconstruction of Autonomous Driving Scenes
Using Sparse-View Multi-Camera Systems

박성준
(동아대학교 컴퓨터공학과)

서정일
(동아대학교 컴퓨터공학과)

자율주행 시스템에서 차량 주변의 3차원 공간 정보를 정확하게 복원하는 기술은 주행 가능 영역 판단, 장애물 인식 및 안전한 경로 계획을 위한 핵심 요소이다. 특히 제한된 수의 카메라 영상으로 주변 환경을 복원해야 하는 경우, 관측 가능한 시점이 적고 시점 간 간격이 클수록 정확한 대응 관계를 추정하기 어려워 3차원 복원 성능이 저하될 수 있다. 최근 Visual Geometry Grounded Transformer(VGGT)와 같은 순전파 기반 모델을 통해 소수의 다중 시점 영상에서도 깊이와 3차원 기하 정보를 통합적으로 추정할 수 있게 되었으나, 세밀한 공간 구조를 복원하기 위해 입력 해상도를 높이면 전역 어텐션의 연산량이 급격히 증가하는 문제가 발생한다. 본 연구에서는 소수 시점에서 중요한 기하 정보를 보존하면서 전역 정보 교환에 필요한 연산을 효율화하고, 확보된 연산 자원을 고해상도 공간 복원에 활용하는 방법을 제안한다.

제안 방법은 다중 카메라 영상에서 특징을 추출하고, 전역 기하 정보를 통합한 뒤, 정밀한 복원이 필요한 영역에만 추가 연산을 배분하는 방식으로 구성된다. 먼저 카메라별 공간 특징을 소수의 잠재 토큰으로 압축하고, 이 토큰 사이에서 전역 어텐션을 수행해 장면의 전체 구조와 카메라 간 관계를 파악한다. 압축된 표현을 활용하면 모든 고해상도 공간 토큰 사이에서 직접 정보를 교환하는 것보다 계산 부담을 줄일 수 있다. 통합된 전역 정보는 다시 원본 공간 특징에 전달해 각 카메라가 가진 세부 표현과 다중 시점 정보를 결합한다.

잠재 토큰을 이용한 전역 추론이 끝나면 초기 깊이 결과를 바탕으로 추가 연산이 필요한 영역을 찾는다. 이 과정에서는 깊이 예측의 불확실성, 카메라 간 재투영 불일치, 도로 경계와 장애물 주변의 주행 중요도를 함께 고려한다. 깊이 변화가 급격하거나 초기 예측의 신뢰도가 낮은 영역은 정밀 복원 후보로 분류한다. 또한 카메라 보정정보와 초기 깊이를 이용해 다른 시점에 대응 특징이 존재할 가능성을 확인하고, 실제 관측과 재투영 결과의 차이가 큰 영역에 우선순위를 부여한다. 전체 영상에서 차지하는 비율은 작더라도 주행 가능 영역이나 장애물의 경계에 해당하는 부분에는 별도의 가중치를 적용한다.

선정된 영역에는 압축하지 않은 원본 특징을 활용한 선택적 정밀 교차 어텐션을 적용한다. 카메라 사이에 충분한 관측 중복이 있으면 기하 정보를 이용해 대응 후보의 탐색 범위를 줄이고, 해당 영역의 특징을 비교해 깊이와 국소적인 공간 관계를 보완한다. 이때, 정밀 검색을 수행할 영역과 대응 후보의 수는 미리 정한 연산 예산에 맞춰 제한한다.

마지막으로 전역 정보 교환 과정에서 절감한 연산 자원을 고해상도 기하 복원에 재배분한다. 전체 장면의 구조는 상대적으로 낮은 해상도의 특징으로 추정하고, 도로 경계, 연석, 소형 장애물, 깊이 불연속 영역에는 원본 고해상도 특징과 국소 정제 모듈을 적용한다. 이 구조는 모든 영상 영역의 해상도를 일괄적으로 높이는 대신, 실제로 정밀한 복원이 필요한 부분에만 계산을 집중한다는 점에서 기존의 단순한 압축 방식과 다르다.

추후, Waymo Open Dataset 등의 다중 카메라 영상을 활용해 검증한다. 기존 VGGT, 토큰 압축 기반 모델, 고해상도 정제 기반 모델을 비교 대상으로 설정하고, 동일한 전체 연산량 조건에서 깊이 추정 오차, 3차원 복원 정확도, 추론 지연시간, 메모리 사용량을 비교할 예정이다. 시점 간 관측 중복률에 따른 성능 변화와 도로 경계 및 소형 장애물 주변의 복원 오차도 별도로 분석한다.

본 연구는 전역 공간 이해와 국소 정밀 복원을 분리하고, 기하학적으로 불확실하거나 주행에 중요한 영역에 연산 자원을 집중하는 방법을 제시한다. 이를 통해 제한된 차량 탑재 환경에서도 3차원 공간 복원의 정확도와 계산 효율을 함께 높일 수 있는 기반을 마련하고자 한다.

사사: 이 논문은 한국전자통신연구원 연구운영비지원사업(기본사업) 사용자 맞춤형 형상 프리폼 미래 디스플레이 개발 과제(26CC1100)의 논문입니다.

자율주행용 RGB 및 열화상 센서 기반 객체 탐지: 학습 성능과 처리 에너지 소비량의 비교 분석

RGB and Thermal Sensor-based Objective Detection in Autonomous Driving: Comparing Training Efficiency and Energy Consumption

임지훈
(고려대학교 미래모빌리티학과, 학부과정)

박범진
(고려대학교 미래모빌리티학과, 석·박사통합과정)

오시몬
(고려대학교 미래모빌리티학과, 부교수)

지속적인 자율주행 데이터 처리를 위해서는 센싱 데이터 처리 과정에서의 연산장치의 효율적인 에너지 관리가 중요하다. 본 연구에서는 두 가지 형식(RGB 기반, 열화상 기반) 영상데이터에 대한 입력 해상도 축소에 따른 객체 탐지 성능과 프레임당 CPU·GPU 처리 에너지의 변화를 분석한다.

실험을 위해 자율주행 오픈 데이터 세트(FLIR ADAS v2)를 활용하여 센서별 학습 분할로 YOLO26x 모델을 각각 학습하고, 검증 분할로 학습 중 성능을 평가하였다. 학습 입력 크기는 640×640, 입력 채널 수는 3개로 고정하고, 입력 해상도에 따른 성능을 측정하기 위해 추론 입력 크기를 640×640, 512×512, 416×416으로 각 시나리오를 설정하였다. 평가에는 test 데이터의 주간 2개·야간 2개 장면을 사용하였다. 프레임 번호 단절을 기준으로 나눈 7개 구간의 센서 별 2,339장을 조건별로 3회 재생하였다. RGB와 열화상에는 동일한 장면·프레임 번호 목록을 적용하되, 완전한 촬영 동기화나 화각 일치를 전제하지 않았다.

추론은 NVIDIA GeForce RTX 3080에서 FP32, 배치 1, 목표 24FPS로 수행하였다. 자동차·버스·트럭·이륜차·자전거·보행자의 6개 클래스를 탐지하고, 모든 비교 조건에 동일한 예측 선별 및 정답 매칭 기준을 적용하고, 정탐·오탐·미탐을 집계하여 클래스별 F1을 산출하였다. 주요 결과는 두 센서의 주야간 조건 모두에 정답 라벨이 있는 자동차와 보행자를 중심으로 제시하였다. 정답 라벨이 없는 클래스·조건은 성능 비교를 제한하였다. 하드웨어의 에너지 사용량을 관측할 수 있는 HWiNFO에서 1초 간격으로 갱신되는 CPU Package Power와 GPU Power를 수집·시간 적분하고 처리 프레임 수로 나누어 프레임당 에너지를 계산하였다. 측정에는 이미지 읽기, 탐지, 화면 표시 및 대기를 포함하고 모델 로딩과 워밍업은 제외하였다. 에너지와 처리 속도는 6개 클래스 전체 탐지 실행에 대한 측정값이다.

입력 크기를 640×640에서 416×416으로 축소 시, RGB의 평균 프레임당 에너지 소비량은 9.865J에서 5.667J로 42.6%, 열화상은 9.608J에서 5.583J로 41.9% 각각 감소하였다. 주간 자동차에 대한 F1 스코어는 RGB에서 83.12%에서 75.64%로, 열화상에서 81.70%에서 79.04%로 감소하는 패턴을 보였다. 유사하게 주간 보행자 F1 스코어는 RGB에서 68.52%에서 55.33%로, 열화상에서 74.32%에서 73.85%로 감소하였다. 야간 열화상의 자동차·보행자 F1 감소 폭은 0.11-1.49%P였으나, 자동차는 개별 야간 장면에 따라 변화 방향이 상이하다. 실제 평균 처리 속도는 목표 FPS를 24로 설정하였을 때 RGB 23.41~23.98FPS, 열화상 약 24FPS였으며, RGB 일부 구간에는 처리 지연이 발생하였다.

선택된 주간 장면에서 입력 해상도 축소에 따른 자동차·보행자 F1 스코어의 감소 폭은 열화상 모델에서 RGB 모델보다 작았다. 다만 센서별 학습 데이터와 평가 화각·라벨 구성이 달라 이를 센서 자체의 우위로 해석할 수는 없다. 다만 이 결과를 모든 객체 클래스나 장면으로 확대할 수는 없다. 학습 장면 및 평가 화각·라벨 구성의 차이, 일부 클래스의 정답 라벨 부재, 제한된 장면 수와 처리량 차이로 인해 센서 종류만의 인과적 효과로 확대하여 해석하기에는 제한되는 것으로 판단된다. 본 결과는 대상 객체의 탐지 성능과 에너지를 함께 고려한 입력 해상도 선택의 기초 자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

사사: 이 논문은 2026년도 정부(산업통상부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임 (P0031136, 2026년 중부권 지역혁신클러스터육성)

Hypercone 기반 구면 임베딩을 활용한 텍스트 오픈셋 의도 분류 및 이상치 거부 모델 설계

Design of an Open-Set Intent Classification and Out-of-Distribution Rejection Model for Text Using Hypercone-Based Hyperspherical Embeddings

임성택
(동아대학교 소프트웨어대학 AI학과, 학부연구생)

손원석
(동아대학교 소프트웨어대학 AI학과, 석사과정)

천세진
(동아대학교 소프트웨어대학 AI학과, 교수)

챗봇과 같은 대화형 인공지능 시스템은 금융, 고객 상담 등 다양한 분야에서 활용되므로, 사용자 발화의 의도를 정확하게 파악하는 것이 중요하다. 기존 시스템은 의도 분류 모델을 이용하여 입력 문장을 사전에 정의된 클래스 중 하나로 분류한다. 대표적인 모델인 소프트맥스 기반 모델은 각 클래스에 대한 예측 확률을 계산하고, 가장 높은 확률을 갖는 클래스를 최종 의도로 선택한다. 이 방식은 학습되지 않은 의도의 발화가 입력되어도 기존 의도 중 하나로 분류하므로, 미지 의도를 잘못 분류하는 문제가 발생한다. 예를 들어 은행 업무 챗봇에 "피자를 주문해줘"라는 문장이 입력되더라도 특정 은행 업무로 분류될 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 최대 소프트맥스 확률이나 특징 공간에서 클래스 분포까지의 거리(마할라노비스 거리, kNN 거리 등)를 점수로 사용하여 미지 의도를 판별하는 분포 외 탐지 기법들이 제안되었다. 하지만 이러한 방법들은 별도의 임계값을 설정하여 미지 의도 여부를 판단하므로, 데이터셋에 따라 임계값을 보정해야 한다. 또한 미지 의도는 종류와 표현이 다양하여 학습이나 검증 단계에서 충분히 확보하기 어렵다.

본 연구는 생성 모델에서 클래스 구조 보존에 쓰이던 초원뿔(hypercone)을 활용하여, 알려진 의도의 문장만으로 분류 영역과 거부 영역을 구성하는 오픈셋 의도 분류 모델을 제안한다. 사전 학습된 문장 인코더로 추출한 임베딩을 다층 퍼셉트론 기반 네트워크로 변환하고 길이를 1로 정규화하여 단위 구면 위의 벡터로 표현한다. 의미는 주로 벡터의 방향에 담기므로, 크기를 제거하고 문장 간 유사성을 각도로만 판단한다. 각 의도 클래스는 하나의 hypercone으로 나타내며, 이 영역을 해당 클래스의 Class Prototype이라 한다. Class Prototype은 의도의 대표 방향을 중심축으로, 허용 각도를 경계로 갖는다. 모델은 코사인 소프트맥스 손실로 학습하며, 이 과정에서 같은 의도의 문장이 해당 중심축 주변에 모인다. 학습이 끝나면 클래스마다 학습 문장과 중심축 사이의 각도를 계산하고, 그 각도의 95% 분위수로 Class Prototype의 경계를 정한다. 표현이 서로 비슷한 의도는 Class Prototype이 좁고, 표현이 다양한 의도는 Class Prototype이 넓다. 추론 시 입력 문장과 각 중심축 사이의 각도가 그 클래스의 허용 각도보다 작으면 Class Prototype 안에 있다고 본다. 여러 Class Prototype 안에 동시에 있으면 경계로부터 가장 안쪽에 있는 의도로 분류하고, 어느 Class Prototype에도 속하지 않으면 미지 의도로 판단해 거부한다. 클래스마다 정한 Class Prototype이 분류와 거부의 기준이 되므로, 데이터셋마다 검증 데이터로 임계값을 맞출 필요가 없다. 판정에 필요한 정보도 클래스별 중심축과 허용 각도뿐이어서 구조가 간결하다. 입력과 중심축 사이의 각도를 Class Prototype의 허용 각도와 비교하면, 왜 수용되거나 거부되었는지 직관적으로 설명할 수 있다.

구면 위에서 정의되는 확률분포인 von Mises - Fisher(vMF) 분포를 특정 각도 범위로 제한한 truncated vMF(tvMF) 분포를 이용하여 경계 부근의 거부 성능을 보완하기 위한 확장 방법도 제안한다. 문장 인코더의 임베딩 구면에서 의도별로 구한 hypercone 경계 바로 바깥 띠 영역에 tvMF 분포로 가상 이상치를 생성하고, 실제 문장과 함께 특징 변환 네트워크에 통과시킨다. 확장 방식에서는 Class Prototype의 경계를 분위수로 정하지 않고, 실제 문장은 Class Prototype 안에 수용하고 가상 이상치는 바깥으로 밀어내도록 Class Prototype의 경계와 네트워크를 함께 학습한다. 이를 통해 실제 미지 의도 문장 없이 거부 경계를 조정할 수 있다. 제안 방법은 CLINC150과 BANKING77 데이터셋에서 학습 의도의 비율을 달리한 오픈셋 설정으로 평가하였다. 본 연구는 판정 근거를 각도로 설명할 수 있다는 점에서 신뢰성과 해석 가능성이 요구되는 실제 대화 시스템에 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

사사: 이 논문은 2023년도부터 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임"(No.2023-0-00076, SW중심대학(동아대학교)

공공 공간정보의 온톨로지 매핑을 통한 LLM 보조 가능성에 관한 사례 연구

A Case Study on the Feasibility of LLM Assistance in Ontology Mapping of Public Geospatial Data

송유진
(동아대학교 컴퓨터공학과, 학사과정)

김정수
(동아대학교 컴퓨터공학과, 박사과정)

천세진
(동아대학교 컴퓨터공학과, 교수)

분산된 공공 공간정보를 통합하기 위해서는 데이터 필드가 공통 의미 구조의 어느 클래스와 속성에 대응하는지 판단해야 하며, 이 과정에는 상당한 수작업이 요구된다. 본 연구진은 디지털 트윈 기반 '도심 인공조명 생활안전 서비스'[1]를 개발하였으며 이를 타 지역으로 확장하기 위한 데이터를 구축하는 과정에서 가로수, 옥외광고물 공공데이터를 사전 정의한 온톨로지에 대응시키는 작업에 LLM(Large Language Model, 거대언어모델)을 보조적으로 적용하고, 실제 공공데이터의 이질성 해석 가능성과 한계를 분석하였다.

초기의 데이터 통합 자동화 연구에서는 이질적 데이터 소스와 통합 스키마 간 대응 관계를 탐색하기 위해 기계학습을 활용한 반자동 매칭 방법이 제안되었으며[2], 최근에는 LLM을 활용한 스키마 매칭[3]과 임베딩 또는 에이전트를 결합한 온톨로지 매칭 연구[4]가 진행되고 있다. 이러한 연구들이 이질적인 스키마 또는 온톨로지 간 의미적 대응 관계 탐색에 초점을 맞춘 반면, 본 연구는 축약된 영문 필드명, 수종명이 개별 열로 구성된 테이블 구조, 높은 결측률 등 실제 한국의 공공데이터에서 나타나는 이질성을 대상으로 필드를 사전 정의한 온톨로지의 클래스와 속성에 대응시키는 문제를 다룬다.

원천 필드와 공통 의미 구조 간 의미 매핑을 LLM이 보조할 수 있는지 검토하기 위해, 실제 통합에 사용된 원천 필드 중 클래스별로 추출한 30개 필드에 Gemini 3.6 Flash 모델을 적용하였다. 각 사례에는 원천 필드 정보, 값 예시, 데이터셋의 전체 필드 구성, 온톨로지 정의를 제공하였고, LLM이 제안한 클래스, 속성, 변환 유형을 연구자의 참조 매핑과 비교하였다. 그 결과 30건 중 26건이 세 항목 모두 일치하였고, 불일치 사례와 추가 확인이 필요한 사례 6건을 원천 데이터와 함께 재검토하였다(표 1). 성공 사례에서 LLM은 수종명이 열로 존재하고 값이 수량인 구조를 행-열 구조 변환(Wide-to-Long)이 필요한 것으로 해석하였고, 대부분 결측인 건물명 필드에서는 의미를 식별하면서도 낮은 신뢰도를 제시하였다. 반면 허가와 관리의 목적으로 구축된 데이터의 조명과 광고내용 필드는 속성 의미는 적절히 파악하였으나 현황 객체 클래스로 분류하여, 필드 수준 해석은 성공했지만 데이터셋의 생성 목적을 반영한 상위 클래스 선택에서는 오류가 발생하였다.

표 1. LLM 의미 매핑의 주요 사례 재검토 결과

유형	사례(필드명)	주요 확인 결과	판단
구조 변환	ginkgo, prunus_yedoensis	수종명이 필드명, 값이 수량인 열 중심 구조(Wide)를 적절히 해석	적절
데이터 상태	bldgNm	대부분 결측인 필드의 의미를 식별하고 낮은 신뢰도를 제시	적절
문맥 미반영	조명, 광고내용	속성 의미는 적절하나 허가관리 데이터를 현황 객체로 분류	오류

이를 통해 LLM은 축약된 영문 필드명, 테이블 행-열 구조 변환이 필요한 데이터 구조, 높은 결측률 등 실제 공공데이터에서 나타나는 이질성을 해석하고 원천 필드와 온톨로지 간 대응 후보를 제시하는 보조 수단으로 활용 가능성을 확인하였다. 반면 일부 사례에서는 전체 필드 구성이 제공되었음에도 데이터셋의 관리 목적을 클래스 판단에 충분히 반영하지 못해 하위 클래스를 잘못 선택하는 한계가 나타났다. 따라서 LLM 기반 온톨로지 매핑을 실제 데이터 통합 과정에 적용하기 위해서는 필드 수준 정보뿐 아니라 데이터셋의 구축 목적과 관리 특성을 포함한 추가 문맥을 제공하고, 연구자의 검토를 병행할 필요가 있다. 향후 입력 문맥을 확장한 추가 실험과 독립적인 평가를 통해 적용 가능성을 검토하여 '도심 인공조명 생활안전 서비스'를 확장할 예정이다.

참고문헌

[1] 부산광역시, "1365 트윈 부산," 1365twin.busan.kr, 2026(acc 10.14.).
[2] A. Doan et al., "Reconciling Schemas of Disparate Data Sources: A Machine-Learning Approach," ACM SIGMOD, 2001.
[3] M. Parciak et al., "Schema Matching with Large Language Models: An Experimental Study," TaDA, 2024.
[4] Z. Qiang et al., "Agent-OM: Leveraging LLM Agents for Ontology Matching," PVLDB, 2024.

사사: 이 논문은 2023년도부터 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2023-0-00076, SW중심대학(동아대학교)). 또한, 이 논문은 과학기술정보통신부와 한국지능정보사회진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(협약번호: 2026-인공지능융합-위06, 2026년도 디지털 트윈 시범구역 조성(도심형)).

고정형 CCTV 영상을 활용한 주차 공간 점유 상태 자동 분석

Automated Parking Space Occupancy Analysis Using Fixed CCTV Images.

이명주 (동아대학교 소프트웨어대학 AI 학과)

권희창 (동아대학교 소프트웨어대학 AI 학과)

이화진 (동아대학교 소프트웨어대학 AI 학과)

한지수 (동아대학교 소프트웨어대학 AI 학과)

강서진 (동아대학교 디자인환경대학 패션디자인학과)

하성룡 (동아대학교 디자인환경대학 패션디자인학과)

최호균 (동아대학교 디자인환경대학 패션디자인학과)

장재훈 (동아대학교 소프트웨어대학 AI 학과)

주나안 (동아대학교 디자인환경대학 패션디자인학과)

본 연구에서는 저해상도 및 원거리 촬영 환경에서 발생하는 차량 검출 불안정성을 보완하기 위한 CCTV 기반 주차면 점유 상태 추정 시스템을 제안한다. 일반적인 객체 검출 기반 주차관제 방식은 단일 프레임의 차량 탐지 결과에 의존하기 때문에 차량의 부분 가림, 영상 해상도 저하, 촬영 각도, 조명 변화 및 차량의 주차 과정에서 일시적인 미검출과 오검출이 발생할 수 있다. 특히 실제 주차 환경에서는 차량이 주차면에 진입하는 과정에서 전·후진을 반복하거나 객체 추적 ID가 변경될 수 있어, 단순 차량 검출 결과만으로 주차면의 점유 여부를 안정적으로 판단하기 어렵다.

본 연구에서는 관리자가 사전에 지정한 주차면 위치를 기준으로 차량 검출 결과를 공간적으로 대응시키고, 일정 시간 동안의 차량 검출 이력, 객체 이동 정보 및 주차면 상태 변화를 함께 활용하는 시계열 기반 점유 판정 방식을 구성하였다. CCTV 영상에서 수행되는 차량 검출을 기본 탐지 방식으로 사용하되, 차량 검출 신뢰도가 낮거나 기존 점유 차량이 일시적으로 미검출되는 경우 해당 주차면 주변 영상을 선택적으로 확대하여 재검사하는 보조 검출 방식을 적용하였다. 이를 통해 모든 주차면에 대해 반복적으로 추가 추론을 수행하는 방식에 비해 연산량을 줄이면서도 차량 미검출에 대한 보완이 가능하였다.

CCTV 촬영 영상을 대상으로 개발 구간과 평가 구간을 시간적으로 분리하여 시스템을 검증하였다. 평가 구간의 주차면 총 점유 수를 기준으로 제안 시스템은 85.29%의 일치율과 0.147면의 평균 절대 오차(MAE)를 나타냈으며, 최대 오차는 1면으로 확인되었다. 분석 결과, 차량이 안정적으로 정차한 구간에서는 비교적 높은 점유 상태 유지 성능을 보인 반면, 차량의 입·출차 및 주차 조작 과정에서는 점유 상태 전환 시점에 일부 오차가 발생하였다. 또한 객체 추적 ID가 변경되는 경우, 실제 차량의 이동 과정은 연속될 수 있어, 개별 객체 ID뿐 아니라 주차면 주변의 시간적·공간적 변화 정보를 함께 고려할 필요성이 확인되었다.

향후 연구에서는 서로 다른 시간대와 조명 조건에서 촬영된 독립 CCTV 영상을 이용하여 시스템의 일반화 성능을 추가 검증하고, 개별 주차면의 점유 상태 변화 시점을 포함하는 슬롯 단위 Ground Truth를 구축이 필요하다. 이를 바탕으로 입차 및 출차 판정 지연시간, 오점유 및 오공석 판정률 등 주차면 단위 성능지표를 추가적으로 분석하고, 장시간 실시간 운영 환경에서의 안정성과 상용 주차관제 시스템 적용 가능성을 검토하고자 한다.

사사: 본 논문은 과학기술정보통신부의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2023-0-00076, SW중심대학(동아대학교))

궤적 유사도 기반 경로 표현 기반 로봇 행동 생성 연구

A study on Robot Action Generation based on Trajectory Similarity-Based Path Representations

정연비
(조선대학교 인공지능공학과 박사과정)

서정완
(조선대학교 AI·SW학부 인공지능공학전공, 학부생)

김원열
(조선대학교 AI·SW학부 인공지능공학전공, 조교수)

최근 Vision-Language Model(VLM)을 활용한 로봇 제어 연구가 활발히 진행되고 있으나, 유사한 작업이라도 로봇의 초기 상태와 목표 위치, 장애물 배치에 따라 서로 다른 궤적이 생성되므로 동작 표현의 일관성을 확보하기 어렵다. 특히 단일 생성 모델이 서로 다른 경로를 함께 학습할 경우, 상이한 동작의 평균화로 인해 장애물 충돌이 발생할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 문제를 완화하기 위해 로봇 궤적의 경로 모드를 추출하고, 이를 조건부 행동 생성에 활용하는 방법을 검토한다.

이를 위해 충돌 없이 목표에 도달한 궤적을 선별하고, 시작 상태와 목표 상태를 연결하는 기준 경로를 제거한 잔차 궤적을 동작 특징으로 정의한다. 이후 궤적의 시간 길이를 통일하고 관절별 정규화를 적용하여 목표 위치의 차이보다 장애물 회피 방향과 같은 경로 형태의 유사성이 반영되도록 한다. 추출된 궤적 특징은 군집화를 통해 경로 모드 잠재 표현으로 변환하며, 경로 모드를 사용하지 않는 단일 조건부 Flow 모델과 경로 모드를 추가 조건으로 사용하는 Route-mode Flow 모델을 비교한다. 또한 유사한 학습 궤적의 경로 형태를 직접 보존하는 방식을 함께 평가하여 경로 표현 방법에 따른 성능 차이를 분석한다.

원형 장애물의 상·하단 회피 경로를 이용한 통제 실험에서 단일 Flow 모델은 서로 다른 경로를 평균화하여 충돌을 일으켰으나, 정확한 경로 모드를 조건으로 제공한 모델은 안정적으로 목표에 도달하였다. Isaac Sim 기반 Franka 로봇 팔 시뮬레이션에서도 경로 모드 잠재 표현을 적용한 모델은 단일 Flow 모델보다 학습 환경과 새로운 환경에서 모두 높은 성공률을 보였다. 다만 유사 학습 궤적의 경로 형태를 직접 보존하는 방식이 더 우수한 성능을 나타내어, 단순 군집화만으로는 고차원 로봇 궤적의 의미적 유사성과 장애물 회피 특성을 충분히 표현하기 어렵다는 한계를 확인하였다.

본 연구는 경로 모드 조건화가 다중 경로의 평균화 문제를 완화할 수 있음을 보이고, 궤적 유사도 기반 잠재 표현의 개선 필요성을 제시한다. 향후에는 영상·언어 특징과 궤적 특징 간 대조 학습 기반 동작 유사도 손실을 적용하고, 말단장치의 이동 특성과 장애물 회피 경로를 함께 반영하는 공통 동작 잠재 공간을 학습함으로써 다양한 작업 및 로봇 환경에 대한 일반화 가능성을 검토하고자 한다.

제조분야 LLM 에이전트의 선택적 실행을 위한 작업 복잡도와 행동 위험도 기반 동적 신뢰도 계산

Dynamic Confidence Computation for Selective Action Execution in LLM Agents Based on Task Complexity and Action Risk

전유리
(동아대학교 컴퓨터공학과, 학부생)

박정현
(동아대학교 컴퓨터공학과, 대학원생)

천세진
(동아대학교 컴퓨터공학과, 교수)

연구 배경: 선택적 분류(Selective Classification)는 모델이 불확실한 예측을 거부하도록 하여 예측 위험과 처리 범위 사이의 균형을 조절하는 접근이다[1]. 이를 LLM 에이전트에 적용하면 경량 모델이 신뢰도 높은 행동을 직접 실행하고, 불확실한 행동은 더 강력한 모델에 위임하는 선택적 제어가 가능하다[2]. 그러나 동일한 신뢰도라도 작업의 복잡도와 잘못된 실행으로 발생하는 피해에 따라 허용 가능한 실행 기준은 달라질 수 있다. 그러나 단순한 설비 상태 조회와 생산 일정 변경은 판단에 필요한 정보와 잘못된 실행의 영향이 다르다. 본 연구의 연구질문은 '작업 복잡도와 행동 위험도를 반영한 동적 신뢰도(Dynamic Confidence)가 고정 신뢰도보다 성공률-안전성-비용 간의 균형을 개선하는가?'이다.

제안 방법: 경량 모델이 제안한 행동의 신뢰도를 (c), 작업 복잡도를 (q), 행동 위험도를 (r)로 정의하며, 각 값은 ([0,1]) 범위로 정규화한다. 신뢰도는 모델의 자기평가 점수를 별도 보정 데이터의 행동 정오 여부로 보정하여 산출한다.

복잡도는 행동 결정에 필요한 정보 조회 수와 확인 조건 수를 기준으로 산정한다. 예를 들어 생산 일정 변경에는 자재 재고, 설비 가용 시간 및 납기 조건의 확인이 필요하다. 위험도는 잘못된 행동이 초래할 생산 지연·자원 손실과 복구의 어려움을 기준으로 산정한다. 점수 산정 규칙은 사전에 정의하고 실행 전에 적용한다.

동적 신뢰도에 대한 임계값 (τ은 다음 수식을 이용하여 산출된다.

$$\tau(q,r) = \min \{ 1, \tau_0 + \alpha q + \beta r \}$$

여기서, τ_0는 기초 임계값이며, (α)와 (β)는 복잡도와 위험도가 임계값에 미치는 영향을 조절하는 계수이다. 행동의 신뢰도 (c)가 계산된 임계값 ($\tau(q,r)$) 이상이고 사전에 정의된 실행 조건을 충족하면 해당 행동을 직접 실행한다. 신뢰도가 부족하면 상위 모델에 위임하고, 필수 정보나 승인이 부족하면 사용자 확인을 요청한다. 매개변수는 검증 데이터에서 성공률과 오류율의 허용 기준을 만족하는 후보 중 추론 비용이 가장 낮은 조합으로 선택한다.

실험 시나리오: 부품 제조기업 A사는 설비 고장으로 생산 차질이 발생하면, LLM 에이전트를 활용해 대체 설비의 가용 시간, 기존 작업 일정를 확인하고 납기를 충족하는 생산 일정 변경안을 수립하는 상황을 가정한다. 에이전트는 확인 조건의 수를 작업 복잡도로, 잘못된 변경에 따른 납품 지연과 복구 부담을 행동 위험도로 산정하여, 동적 신뢰도 임계값 (τ에 따라 변경안을 직접 반영하거나 상위 모델에 검토를 위임한다.

향후 실험 계획: A사의 업무를 모사한 실험 환경에서 고정 임계값 방식과 비교하여 일정 조정 성공률, 잘못된 변경의 실행 비율 및 평균 추론 비용을 평가할 계획이다. 비교 대상은 ① 강력한 모델 단독 사용, ② 고정 임계값 기반 제어, ③ (τ이다. 고정 임계값 방식과 (τ에는 동일한 모델 조합, 신뢰도 산정 방식 및 실행 조건을 적용하며, 평가 지표는 작업 성공률, 오류 실행률, 직접 실행 비율/상위 모델 호출 비율, 평균 추론 비용을 활용할 계획이다.

기대 기여: 본 연구는 제조 업무의 특성에 따라 실행 기준을 조절하는 방식이 고정 임계값의 한계를 보완할 수 있는지 확인하고자 한다.

참고문헌

[1] Y. Geifman and R. El-Yaniv, "Selective Classification for Deep Neural Networks," NeurIPS, 2017.
[2] T. Wu and W. Y. B. Lim, "REFLEX with Jev for Efficient Selective Control in LLM Agents," arXiv preprint, 2026.

사사: 이 논문은 2023년도부터 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2023-0-00076, SW중심대학(동아대학교)).

이기종 V2X 통신 네트워크 기반 자율협력주행 서비스 개발 및 실증 연구

Development and Demonstration of Heterogeneous V2X-Based Cooperative Automated Driving Services

송유승
(ETRI, 책임연구원)

이신경
(ETRI, 책임연구원)

국내 C-ITS 연구 개발은 5.9GHz 대역의 V2X 통신 기술과 활용 서비스에 따라 크게 3가지 단계로 구분할 수 있다. 도입기 단계에서는 IEEE 802.11 기반의 WAVE 통신 기술을 사용하여 긴급제동과 같은 15개 안전서비스를 개발하고 주요 고속도로와 서울, 대전 등의 대도시의 일부 구간에서 실증을 진행하였다. 성장 단계에서는 국내 V2X 통신기술로 단일화된 LTE-V2X 통신 기술을 바탕으로 다양한 실도로 환경에서 차량간 협력주행 서비스를 실증하였다. 고도화 단계에서는 5G-NR-V2X 기술을 활용하여 원격제어, 군집주행, 센서 쉐어링과 같은 대용량 초고속 서비스를 실도로에 실증하였다. 반면 C-V2X 기술을 활용하여 보행자에게 안전 서비스를 제공하는 연구 개발 및 실증이 셀룰러 네트워크 기술을 기반으로 진행되었다.

본 연구에서는 5.9GHz 대역의 차량용 통신 네트워크와 셀룰러 통신 네트워크 기술을 모두 활용한 이기종 네트워크 기반의 V2X 안전서비스 제공 기술 및 서비스 실증 결과를 소개한다. 이러한 융복합 네트워크를 위한 서비스 플랫폼 기술, 정보 융합기술, 핸드오버 기술, 네트워크 최적화 기술 등 다양한 기술이 요구된다. 본 논문에서는 이기종 V2X 기술을 통해 보행자, 일반차량 및 커넥티드 자율주행차량 등이 혼재하는 환경에서 서로의 위치 정보를 공유함으로써 센싱 음역 지역을 최소화함으로써 stand-alone 자율주행 서비스의 실도로 안전성을 크게 향상할 수 있음을 증명하였다.

사사: 이 논문은 2025년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구 결과임(RS-2025-02283230, 자율주행을 위한 이기종 V2X Seamless 통신 기반 자율협력주행 기술 개발)

C-ITS 통신방식 전환에 따른 LTE-V2X 노변장치 성능평가 체계 구축 방향

Development Directions for an LTE-V2X Roadside Equipment Performance Evaluation Framework Following the C-ITS Communication Technology Transition

윤영민

(한국건설기술연구원, 수석연구원)

협력형 지능형교통체계(Cooperative Intelligent Transport Systems, C-ITS)는 차량과 도로 인프라 간 실시간 정보교환을 통해 교통 안전성과 이동 효율을 향상시키기 위한 핵심 교통기술로 발전해 왔다. 국내에서는 대전-세종 C-ITS 시범사업을 시작으로 IEEE 802.11p 기반 WAVE(Wireless Access in Vehicular Environments) 통신방식의 노변장치와 차량단말기가 구축되었으며, 이에 따라 「자동차·도로교통분야 ITS 성능평가기준」에서는 WAVE 기반 노변장치(Roadside Equipment, RSE)의 통신성능을 검증하기 위한 기본성능평가, 준공평가, 정기평가 및 변경·이설평가 체계를 운영하여 왔다. 그러나 정부의 C-ITS 통신방식이 LTE-V2X 중심으로 전환됨에 따라 향후 기존 WAVE 기반 성능평가체계 역시 변화된 통신환경에 대응할 필요가 있다.

한편 최근 자율주행 기술은 차량 자체의 센서와 인공지능 기반 인지·판단 기술의 중요성이 확대되고 있으며, 이에 따라 향후 LTE-V2X 기반 노변 통신 인프라의 구축 규모와 적용방식에는 불확실성이 존재한다. 그러나 차량 단독 인지만으로 확보하기 어려운 도로 및 교통상황 정보를 제공하거나 교차로, 사고위험 구간 등 차량과 인프라 간 협력이 필요한 영역에서는 V2X 기반 도로 인프라의 활용 가능성이 여전히 존재한다. 따라서 향후 구축 수요가 불확실하다는 이유로 LTE-V2X 노변장치에 대한 성능평가기준을 마련하지 않는 것보다는, 과도한 시험·평가 체계의 도입을 지양하면서 실제 구축 시 필요한 최소한의 성능과 신뢰성을 검증할 수 있는 평가 체계를 선제적으로 검토할 필요가 있다.

기존 WAVE 노변장치의 ITS 성능평가는 시험도로 또는 실제 설치도로에서 기준 차량과 노변장치 간 통신을 수행하고, 패킷 오류율(Packet Error Rate, PER)을 기반으로 통신정확도를 평가하는 현장 성능 중심의 체계로 운영되어 왔다. 기본성능평가에서는 통신채널, 통신속도, 패킷 크기, 통신영역 등 다양한 조건에서 장비의 성능을 평가하며, 준공·정기·변경/이설평가에서는 실제 설치지점과 운용조건을 고려하여 통신성능을 확인한다. 이러한 방식은 단순한 무선통신 규격 적합성 시험보다는 실제 도로 환경에서 노변장치가 요구되는 통신성능을 확보하는지를 확인하는 데 목적이 있다.

그러나 LTE-V2X의 경우 이미 3GPP, SAE, IEEE 등의 국제표준을 기반으로 무선물리계층, PC5 통신, 프로토콜, 보안 및 메시지 등에 대한 기술규격이 마련되어 있으며, 국내외에서도 OmniAir 인증시험, ITS Korea C-ITS 시험방법 및 K-Plugtest 등을 통해 LTE-V2X 장비의 표준적합성, 상호운용성 및 통신성능을 검증하기 위한 시험체계가 운영 또는 개발되고 있다. 따라서 향후 LTE-V2X 노변장치의 ITS 성능평가기준을 마련할 경우 기존 시험·인증체계에서 이미 검증하는 항목을 반복하기보다는, 기존 시험방법을 최대한 활용하면서 ITS 성능평가의 목적에 필요한 평가영역을 구분하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 이러한 관점에서 기존 WAVE 노변장치 성능평가체계와 LTE-V2X 관련 국내외 표준 및 시험·인증체계의 역할을 비교하고, 향후 LTE-V2X 노변장치 성능평가체계의 구축 방향을 검토하였다. 검토 결과, RF 출력, 수신감도, 주파수 정확도 등 무선물리계층의 표준적합성, 프로토콜, 보안 및 상호운용성 등은 기존 전문 시험·인증체계와의 중복을 최소화할 필요가 있는 반면, 시험도로에서의 차량 주행 기반 통신성능과 실제 도로 설치 후 통신영역 및 통신신뢰성의 확보 여부는 ITS 성능평가에서 검토할 필요성이 있는 영역으로 판단된다. 특히 동일한 LTE-V2X 노변장치라도 안테나 설치조건, 도로구조, 주변 장애물 및 실제 교통환경 등에 따라 현장 통신성능이 달라질 수 있으므로 설치 후 성능을 확인하는 준공평가와 운영단계의 정기·변경/이설평가는 기존 제품단위 시험·인증과 차별화될 수 있다.

따라서 향후 LTE-V2X 노변장치 성능평가체계는 기존 WAVE 성능평가기준을 단순히 대체하거나 LTE-V2X의 모든 기술적 성능을 새롭게 평가하는 방식보다는, 기존 LTE-V2X 표준 및 시험·인증체계를 활용하여 중복시험을 최소화하고 실제 도로 인프라로서 필요한 통신성능을 검증하는 방향으로 구축할 필요가 있다. 기본성능평가는 표준화된 시험환경에서 노변장치의 주행 기반 통신성능을 확인하고, 준공·정기·변경/이설평가는 실제 설치환경에서 요구 통신영역과 통신신뢰성의 확보 및 유지 여부를 검증하는 방향을 우선 검토할 수 있다. 향후 연구에서는 LTE-V2X 관련 단체표준의 통신성능 시험방법을 세부적으로 분석하고, 기존 WAVE 성능평가의 통신영역, 패킷 크기, 최소 표본수, PER 산정방법 및 합격기준 등의 LTE-V2X 적용 타당성을 실증적으로 검토함으로써 구체적인 성능평가 항목과 시험방법을 도출할 필요가 있다.

주행경로 관련 인지 불확실성을 이용한 End-to-End 자율주행의 선택적 제어

Trajectory-Relevant Perception Uncertainty for Selective Control in End-to-End Autonomous Driving

송기주
(육군사관학교 AI·데이터과학과, 학부생)

권현
(육군사관학교 AI·데이터과학과, 부교수)

자율주행 시스템은 안개, 센서 노이즈, 가려진 보행자 같은 상황에서 인지 결과가 불확실해지며, 이 불확실성을 주행 판단에 어떻게 반영할지는 안전성 확보의 핵심 과제이다. 그러나 모든 객체의 인지 불확실성을 똑같이 반영하면, 주행경로와 무관한 객체에도 불필요하게 보수적으로 반응하게 된다. 본 연구는 객체별 인지 불확실성과 예상 주행경로 간의 공간·시간적 관련성을 결합한 주행경로 관련 인지 불확실성(Trajectory-Relevant Perception Uncertainty)을 제안한다. 또한 이를 TransFuser 기반 End-to-End 자율주행의 waypoint 기반 속도 제어에 적용하였다.

객체별 인지 불확실성은 객체 검출 heatmap head에 dropout 기반 stochastic sampling(p=0.2)을 적용하고, 10회의 stochastic forward pass에서 나온 검출 신뢰도의 분산으로 산출하였다. 경로 관련성은 차량 폭만큼 확장한 객체 영역과 예상 waypoint 사이의 최소 이탈거리로 계산하였다. 여기에 근접 시점일수록 넓은 범위를 허용하는 동적 감쇠 계수의 proximity 함수, 예상 도달시간(Time-to-Reach, TTR) 기반의 시간적 긴급성, 객체 중심과의 공간적 근접도를 결합하여 관련성 점수 R을 구하였다. 최종 불확실성은 U^TR = U × R로 정의하였다. 초기의 이진 overlap 방식은 돌발 객체에 대한 반응이 지연되는 문제가 있어 연속적인 proximity 함수로 개선하였다. 제어 개입 지표 D는 waypoint scaling factor로 변환해 속도 제어에만 적용하였고, 조향 계산에는 원본 waypoint를 사용하여 조향 명령이 감소하는 문제를 해결하였다.

CARLA 시뮬레이터에서 Baseline(A), 일반 불확실성 반영 방식(B), 제안 방법(C)을 비교하였다. 자전거가 경로 위에 돌발적으로 나타나는 relevant 조건에서는 세 방법 모두 100회 반복 실험에서 충돌이 없었다(0/100). 경로 측방에 객체가 나타나는 irrelevant 조건에서 제어 개입 지표는 방식 B가 평균 0.0616(SD=0.0357), 제안 방법이 평균 0.0165(SD=0.0124)였다. 제안 방법이 약 73.2% 낮았으며(약 3.7배), 이 차이는 통계적으로 유의하였다($t=11.93$, $p<0.001$). 이는 본 진단 시나리오에서 경로상 위험 객체에 대한 대응 저하 없이, 경로와 무관한 객체에 대한 제어 개입이 감소했음을 보여준다.

제안 방법은 객체별 인지 불확실성뿐 아니라 해당 객체와 예상 주행경로 간 관련성을 함께 고려함으로써 선택적인 제어 개입이 가능함을 보였다. 다만 본 연구는 단일 객체와 제한된 주행조건의 진단 시나리오에서 검증되었으며, 향후 다양한 객체 수, 측방 거리, 차량 속도 및 복합 교통상황에 대한 추가 검증이 필요하다.

운전자 상태 기반 주행 컨텍스트 생성 기술에 관한 연구

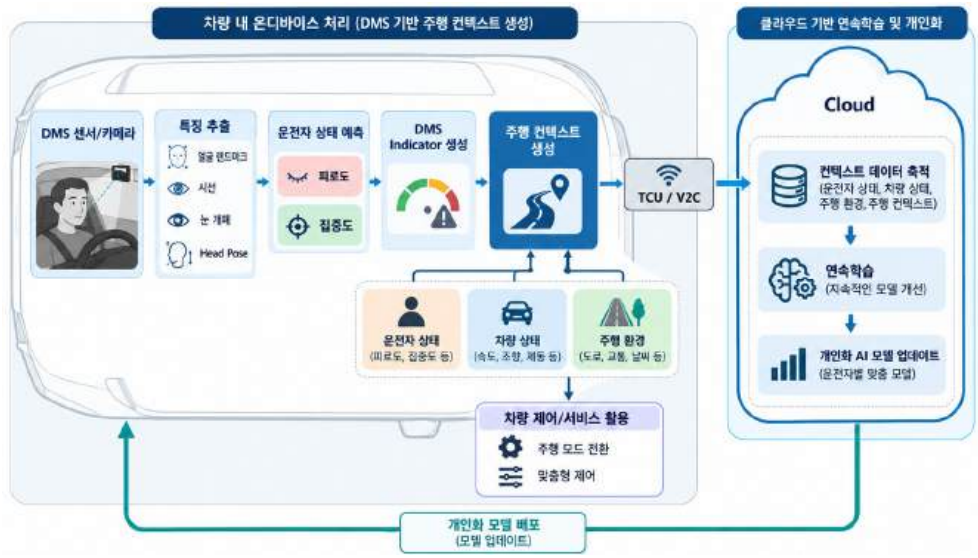
A Study on Driving Context Generation Technology Based on Driver State

장수현 (KETI, 책임연구원)　**장준혁** (KETI, 선임연구원)　**왕유승** (KETI, 선임연구원　**신대교** (KETI, 수석연구원)

최근 소프트웨어 정의 차량(Software-Defined Vehicle, SDV)의 발전에 따라 차량의 주행 특성을 운전자 상태와 성향에 따라 능동적으로 조정하는 초개인화 차량 서비스에 대한 요구가 증가하고 있다. 특히, 운전자 모니터링 시스템(Driver Monitoring System, DMS)은 카메라 기반 얼굴 특징, 시선, 눈 개폐 상태 및 머리 자세 등의 정보를 이용하여 운전자의 피로도와 집중도 등을 실시간으로 추정할 수 있어 안전지원뿐 아니라 개인화 차량 제어를 위한 중요한 정보원으로 활용될 수 있다. 최근 DMS 연구에서도 카메라와 eye tracking을 이용한 실시간 운전자 상태 추정이 주요 기술로 활용되고 있으며, 멀티모달 센서 융합과 차량 내 엣지 환경에서의 실시간 처리가 주요 연구 방향으로 제시되고 있다.

본 연구에서는 차량 모션 인텔리전스 서비스를 위한 DMS 기반 주행 컨텍스트 생성 기술을 제안한다. 제안 기술은 DMS 센서로부터 운전자 얼굴 및 행동 특징을 추출하고 온디바이스 AI를 통해 피로도 및 집중도를 추정한 후, 이를 차량 및 주행 상황과 연계 가능한 DMS Indicator 형태의 주행 컨텍스트로 변환한다. 생성된 컨텍스트는 차량 내 주행 모드 전환 및 맞춤형 제어에 활용되는 동시에 V2C(Vehicle-to-Cloud) 통신을 통해 클라우드에 축적되어 장기적인 운전자 성향 분석과 개인화 AI 모델의 연속학습에 활용된다. 이를 통해 일회성 운전자 상태 감지를 넘어 “운전자 상태 - 주행상황 - 차량거동”을 연결하는 지속적 개인화 모션 인텔리전스 구조를 구축하는 것을 목표로 한다.

주요어: 운전자 모니터링 시스템, 운전자 상태, 주행 컨텍스트, 개인화 AI, SDV, 모션 인텔리전스



사사: 이 연구는 2026년도 산업통상부 및 한국산업기술기획평가원 (KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(RS-2026-25544734, 클라우드를 통해 업데이트 가능한 이기종 ZCU지원 SDV 섀시 SW 플랫폼 개발)

V2X 기반 프리플로우 톨링 환경에서 병행 무료도로 오프셋 위치 위조를 통한 통행료 회피 공격 시나리오

An Attack Scenario of Toll Evasion via Offset Location Falsification toward Parallel Free Roads in V2X-based Free-Flow Tolling

윤준식	이수지	전다울	박현태	이유식
(순천향대학교 정보보호학과, 학사과정)	(순천향대학교 정보보호학과, 석박통합과정)	(순천향대학교 정보보호학과, 석사과정)	(순천향대학교 정보보호학과, 학사과정)	(순천향대학교 정보보호학과, 교수)

V2X(Vehicle-to-Everything) 기반 프리플로우 톨링(Free-Flow Tolling)은 차량이 정차하거나 감속하지 않고 주행 중에 통행료를 부과하는 시스템으로, 차량 OBU(On-Board Unit)가 BSM(Basic Safety Message)을 통해서 보고하는 위치 정보가 과금 판단의 기준이 되고 있다. 현행 V2X 보안 체계는 메시지의 진본성과 무결성은 보장하지만, 서명된 좌표가 실제 차량 위치와 일치하는지는 검증하지 않는다. 최근 Arquero-Gallego 등은 저가의 SDR(Software Defined Radio)을 이용한 GNSS(Global Navigation Satellite System) carry-off 스푸핑이 상용 OBU의 수신 lock을 끊지 않고 경보 없이 위조 좌표와 속도를 RSU(Roadside Unit)와 플랫폼까지 전달할 수 있음을 실증하였다. 그러나 이러한 위조가 위치 기반 과금 시스템에 미치는 위협은 아직 구체적으로 다뤄지지 않았다. 본 연구는 GNSS carry-off 스푸핑을 이용해 차량의 보고 위치를 병행 무료도로로 위조하는 통행료 회피 공격 시나리오를 제안한다. 공격자는 요금 회피를 노리는 차량 운전자이며, 공격 수단은 HackRF급 SDR로 구현한 스푸핑 장비이다. 공격자는 대상 유료 구간과 병행 무료도로의 좌표, 게이트 위치를 공개 지도 등으로 파악할 수 있다고 가정한다. 또한 SCMS(Security Credential Management System)에서 정상적으로 발급된 인증서를 그대로 사용하므로 신원 위조는 필요하지 않다.

공격 절차는 다음의 네 단계로 구성된다. 첫째, 공격자는 공개 지도 등을 이용해 대상 유료 본선과 그 본선에서 수십~수백 m 떨어져 나란히 놓인 병행 무료도로(국도 등)의 좌표, 그리고 과금 게이트의 위치를 수집한다. 둘째, 공격자는 라우팅 엔진을 이용해 병행 무료도로를 따라가는 가짜 주행 궤적을 만든다. 이때 공격자는 그 궤적을 등속·선형 보간으로 매끄럽게 다듬어, 속도·가속도·위치의 연속성이 실제 주행과 구분되지 않도록 물리적 타당성을 확보한다. 셋째, 공격자는 SDR을 이용해 실제 GNSS 신호와 위상·세기를 맞춘 위조 신호를 내보내 OBU가 수신 lock을 잃지 않게 한 뒤, 위조 신호의 송신 전력을 실제 신호보다 서서히 높여 OBU 수신기가 진짜 신호 대신 위조 신호를 수신하도록 만든다. 이어 공격자는 위조 신호가 가리키는 좌표를 병행 무료도로 쪽으로 조금씩 옮김으로써, OBU가 아무런 경보 없이 자신의 위치를 가짜 주행 궤적 위에 있는 것으로 계산하게 만든다. 넷째, 차량이 실제로는 유료 본선을 주행하는 동안, OBU는 위조된 좌표를 정상 측위 결과로 믿고 이를 SCMS 인증서로 서명한 후, BSM에 담아 RSU로 송신한다. RSU와 톨링 백엔드는 서명 검증을 통과한 이 BSM을 정상 메시지로 받아들이고, 보고된 좌표가 과금 지오펜스(Geofence) 밖에 있으므로 해당 차량에 통행료를 부과하지 않는다.

제안한 공격은 다음의 특성으로 인해 기존 방어 체계를 우회할 수 있다. 첫째, carry-off 방식이므로 OBU의 수신 lock이 유지되고 경보도 발생하지 않아 GNSS 수신 단계에서 탐지되지 않는다. 둘째, 정당한 인증서로 서명되어 있고 위조 궤적이 매 순간 물리적으로 타당하므로, 메시지 인증과 V2X 오동작 탐지(Misbehavior Detection)를 모두 통과한다. 셋째, 과금 영역을 벗어나는 것 자체가 공격 목표이므로 보고 좌표 기반 지오펜스는 오히려 공격에 이용될 수 있다. 또한, RSU 통신 반경 기반의 근접성 검증 역시 병행 무료도로가 해당 반경 안에 있는 경우 위조를 가려내지 못한다.

본 연구는 GNSS 스푸핑 기법의 실증 결과를 V2X 기반 톨링 시스템에 대한 통행료 회피 위협으로 구체화하고, 이 공격이 위치의 물리적 타당성만 검사하는 기존 방어 체계로는 탐지될 수 없음을 이론적 분석을 통해 보였다. 따라서 차량이 실제로 주행 중인 도로를 판별하는 도로·차선 단위의 1m급 인프라 기반 위치 검증이 필요하며, 향후 국내 C-ITS(WAVE)·LTE-V2X 환경의 파라미터를 반영해 오프셋된 BSM 좌표를 주입하는 시뮬레이션으로 공격의 성립 조건을 분석하고, 다중 RSU 측위 기반 검증 방안을 설계할 예정이다.

사사: 본 연구는 국토교통부의 한-스페인 협력거점형 국토교통 국제협력 연구개발사업(R&D)을 통해 국토교통과학기술진흥원의 지원을 받아 수행되었음 (No. RS-2026-25540495)

신호교차로 초기 대기행렬 규모에 따른 정지선 통과차두시간 특성 분석

Analysis of Stop-Line Headway Characteristics According to Initial Queue Size at Signalized Intersections

안선영

(한국건설기술연구원, 전임연구원)

1. 연구의 배경

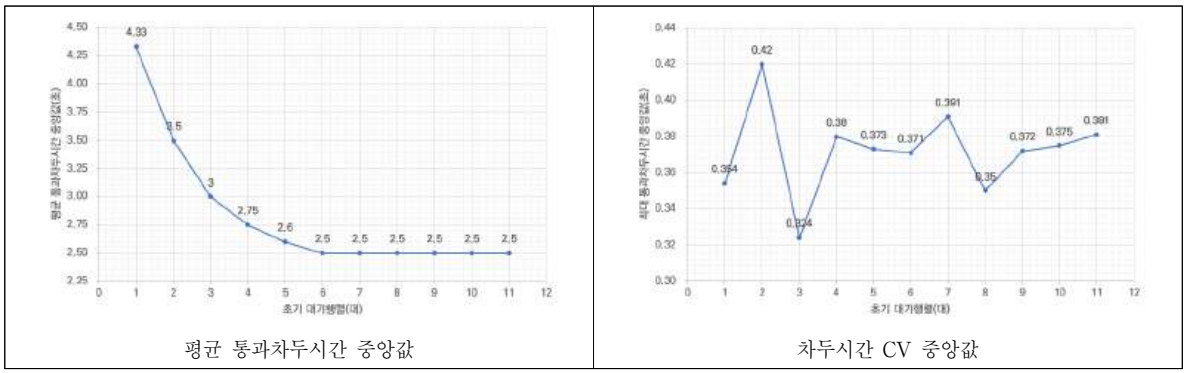
신호교차로에서 녹색신호 시 정지선을 통과하는 차량의 특성은 교차로의 용량을 결정하는 핵심 요인이다. 이때 차량 간 통과차두시간은 방출 특성을 파악하는 기초지표로 쓰인다. 그러나 평균 통과차두시간만으로는 각 신호주기마다 발생하는 차량 간 간격의 변동성을 충분히 설명하기 어렵다. 이에 본 연구는 실제 교차로에서 수집한 초기 대기행렬과 개별차량 통과 데이터를 바탕으로 초기 대기행렬 규모에 따른 평균 통과차두시간 및 변동계수(CV)의 경향성을 분석하였다.

2. 연구방법

본 연구에서는 단일 신호교차로의 직진 3차로를 대상으로 2023년 8월 24일, 25일, 28일(평일 3일간) 수집된 주기별 초기 대기행렬 자료와 개별차량 검지자료를 활용하였다. 초기 대기행렬은 녹색신호 시작 시점에 인접하여 관측된 대기차량수로 정의하였다. 차량 통과특성은 녹색신호 시작 이후 최초 검지된 차량의 통과시점을 기준으로 15초간 관측된 연속 통과차두시간을 이용하여 산출하였으며, 분석지표는 평균 통과차두시간과 CV로 설정하였다. CV는 주기별 통과차두시간의 표본표준편차를 평균으로 나눈 값이며, 최소 2개 이상의 통과차두시간을 확보하기 위해 분석구간 내 검지차량수가 3대 이상인 주기를 대상으로 하였다. 이후 초기 대기행렬 규모별 지표의 중앙값을 비교하고, 초기 대기행렬과 통과특성 간의 상관관계를 분석하였다.

3. 분석 결과

초기 대기행렬 규모별 평균 통과차두시간을 비교한 결과 초기 대기행렬이 1대인 주기의 평균 통과차두시간 중앙값은 4.33초였으며, 2대 3.50초, 3대 3.00초, 4대 2.75초, 5대 2.60초로 대기행렬이 증가함에 따라 감소하였다. 이후 초기 대기행렬이 6~11대인 조건에서는 평균 통과차두시간의 중앙값이 대체로 2.50초 수준을 나타냈다. 반면 차두시간 변동계수는 초기 대기행렬 증가에 따른 뚜렷한 증감 경향을 보이지 않았다.



평균 통과차두시간 중앙값 | 차두시간 CV 중앙값

초기 대기행렬 규모에 따른 통과차두시간 특성

초기 대기행렬이 5대 이상인 1,042개 주기를 대상으로 분석한 결과, 평균 통과차두시간과 CV의 중앙값은 각각 2.50초와 0.373으로 나타났다. 또한, 초기 대기행렬과 평균 통과차두시간 간 Spearman 순위상관계수는 -0.087, 초기 대기행렬과 CV 간 상관계수는 0.042로 모두 매우 낮은 상관성을 보였다. 이러한 결과는 일정 수준 이상의 초기 대기행렬이 확보된 조건에서 평균 통과차두시간은 비교적 일정하게 유지되는 반면, 개별차량 통과간격의 상대적 변동성은 대기행렬 규모만으로 설명하기 어려울 수 있음을 보여준다.

4. 결론

본 연구는 실제 신호교차로 검지 데이터를 기반으로 초기 대기행렬 규모에 따른 정지선 통과차두시간 특성을 분석하였다. 분석 결과, 초기 대기행렬이 증가할수록 평균 통과차두시간은 감소하다가 5대 이상인 조건에서는 약 2.5초 수준으로 안정화 되는 경향을 보였다. 반면 CV는 대기행렬 규모와 관계없이 변동성이 지속적으로 존재하는 것으로 나타났다. 이는 초기 대기행렬 규모가 평균적인 방출 특성과는 밀접하나, 개별차량의 통과간격 변동성을 설명하는 데는 한계가 있음을 시사한다. 따라서 신호교차로의 정지선 방출특성을 분석할 때, 초기 대기행렬 규모와 평균 통과차두시간 뿐만 아니라 개별차량 통과간격의 변동성을 함께 고려할 필요가 있다.

사사: 본 연구는 한국건설기술연구원 평가인증사업으로 수행되었습니다(과제번호 20250026, 2026년 ITS장비 성능평가 사업).

정밀도로지도 기반 차로 단위 교통정보 생성을 위한 공공·민간 교통데이터 융합 구조 설계

A Design of Public - Private Traffic Data Fusion Architecture for Lane-Level Traffic Information Generation Based on High-Definition Road Maps

신성필
(한국건설기술연구원, 수석연구원)

최근 지능형교통체계(ITS)는 기존의 도로 또는 링크 단위 교통정보 제공에서 벗어나 차로 단위의 정밀한 교통상태를 실시간으로 파악하고 예측하는 방향으로 고도화되고 있다. 그러나 현재 교통정보는 수집기관과 데이터 원천에 따라 공간기준, 수집주기, 데이터 구조 및 품질수준이 상이하여 공공·민간 데이터를 통합적으로 활용하는 데 한계가 있다. 또한 동일 도로구간에서도 차로별 교통량과 속도, 혼잡상태가 다르게 나타날 수 있어 기존 링크 단위 정보만으로는 세부적인 교통상태를 충분히 표현하기 어렵다.

차량검지기(Vehicle Detection System, VDS)는 특정 지점에서 차로별 교통정보를 안정적으로 수집할 수 있으나 공간적 제약이 있으며, 민간 내비게이션 기반 차량 궤적정보는 넓은 구간을 연속적으로 관측할 수 있지만 위치오차, 표본 편차 및 차로 식별의 불확실성이 존재한다. 따라서 두 데이터원을 동일한 공간 및 시간기준으로 정규화하고 상호 보완적으로 활용할 수 있는 데이터 융합체계가 필요하다.

본 연구에서는 공공 VDS와 민간 프로브 데이터를 융합하여 1분·차로 단위 교통소통정보를 생성하기 위한 데이터 구조를 제안한다. 연구 대상의 공간적인 범위는 고속국도와 일반국도로 설정하고, 정밀도로지도(High-Definition Map)를 공통 공간기준으로 활용하였다. 개별 차로 식별을 위해 lane_segment_id와 차로 세그먼트 내 상대적 위치를 나타내는 internal_start를 결합한 공간 참조구조를 정의하여 서로 다른 교통데이터를 동일한 차로 및 공간구간 단위로 정규화할 수 있도록 하였다.

또한 VDS, 민간 프로브 및 향후 추가 가능한 차량·센서 데이터를 동일한 체계에서 활용하기 위해 공통 데이터모델(Common Data Model)을 구성하였다. 공통스키마는 데이터 출처, 시간, 차로 기반 위치정보, 품질정보 및 관측값을 포함하도록 설계하였으며, 데이터 처리구조는 Raw, Processed, Feature, Inference, Service의 5개 레이어로 구성하였다.

데이터 융합 시에는 VDS를 기준 관측정보로 활용하고, 민간 프로브 데이터는 VDS 미설치 구간의 공간적 보완과 결측정보 보정에 활용하도록 하였다. 또한 정확성, 최신성, 완전성, 표본수 및 위치정합 신뢰도 등을 기반으로 데이터별 품질을 평가하고 이를 융합 가중치에 반영하도록 설계하였다.

본 연구에서 제안한 구조는 서로 다른 공간·시간 특성을 갖는 공공·민간 교통데이터를 정밀도로지도 기반 차로 단위로 통합·정규화할 수 있다는 점에서 의의가 있다. 향후 실제 데이터를 활용하여 차로 정합 정확도, 속도 추정 오차 및 데이터 융합효과를 검증하고, 이를 기반으로 1분·차로 단위 교통소통정보 생성과 5분·15분·30분 교통상태 예측에 활용할 예정이다.

사사: 본 연구는 국토교통부의 지원으로 수행 중인 「디지털 도로 기반 클라우드형 AI-ITS 센터 플랫폼 운영관리 기술개발」 연구개발사업의 연구비 지원을 받아 수행되었습니다. 이에 감사드립니다(과제번호: 20260369-001).

자율주행 중심의 ITS 분야 KS 제정 트렌드 분석

Trend Analysis of ITS Korean Industrial Standards(KS) Focusing on Automated Driving

주정은
(ITS Korea, 선임연구원)

양륜호
(ITS Korea, 책임연구원)

1. 개요

ITS 분야 국내표준은 국토교통부에서 고시하는 기술기준, 국가기술표준원에서 고시하는 한국산업표준(KS), 한국지능형교통체계협회 ITS 표준총회에서 제정하는 ITSK 표준 등으로 구성된다. 이 중 ITS 분야 KS는 국제표준화기구(ISO)의 지능형교통시스템 분야 기술위원회인 ISO/TC 204에서 제정된 국제표준을 수용하여 제정(부합화 제정)하는 방식으로 주로 개발되고 있으며, 이를 통해 국내 ITS 시스템의 국제조화 달성을 지원하고 있다. 최근 자율주행, 모빌리티 통합, 데이터 기반 서비스 등으로 ITS의 적용 범위가 확대되고 관련 신기술 개발이 활발해지면서, 시스템 간 상호운용성과 안전성 확보를 위한 국제 규격과의 조화가 더욱 중요해지고 있다. 이에 본 논문은 2026년 신규 제정된 ITS 분야 KS 14종의 분야별 주요 내용을 소개하고 제정 트렌드를 분석함으로써 ITS 관계자의 표준 이해 및 활용도를 높이는 데 그 목적이 있다.

2. 2026년 ITS 분야 KS 제정 현황 ('26.1. ~ '26.9.)

2026년에는 ISO/TC 204에서 개발한 국제표준 14종이 KS로 부합화 제정되었다. ISO/TC 204 작업반(WG) 별로 살펴보면, 차량·도로 경고 및 제어 시스템 분야(WG 14)에서는 저속주행 중 자동 제동(ABLS, Automated Braking during Low-speed manoeuvring), 트럭 군집주행(TPS, Truck Platooning Systems), 자동발렛주차(AVPS, Automated Valet Parking Systems) 제1부·제2부, 충돌 회피 횡방향 기동(CELM, Collision Evasive Lateral Manoeuvre systems), 고속도로 운전 대행(MCS, Motorway Chauffeur Systems), 최소 위험 기동(MRM, Minimal Risk Manoeuvre) 등 7종이 제정되어 전체의 절반을 차지하였다. 이 표준들은 자율주행 기능별 작동 상태와 전환, 운전자 개입, 고장 시 동작 등의 요구사항과 함께 시험 절차를 규정하고 있다. 모빌리티 통합 분야(WG 19)에서는 ITS 데이터 집합의 역할 및 기능 모델, 저속 자율주행 시스템(LSADS, Low-Speed Automated Driving System) 서비스의 갭 분석, 교통약자와 경량 교통수단 이용자를 위한 모빌리티 통합 요구사항, 보안 인터페이스 거버넌스의 최소 요구사항 등 4종이 제정되었다. 대중교통 분야(WG 8)에서는 상호운용 가능한 요금 관리 시스템의 아키텍처와 자율주행 버스의 서비스 프레임워크 및 유스케이스 표준 2종이 제정되었다. 마지막으로 화물운송 분야(WG 7)에서는 화물 이동 및 수단간 연계 환적을 지원하기 위한 공통 보고 시스템 표준 1종이 제정되었다.

3. 2026년 ITS 분야 KS 제정 트렌드 분석

2026년 1월부터 9월까지 개발 완료된 부합화 제정 KS를 분석한 결과, 다음과 같은 제정 트렌드를 확인할 수 있었다. 첫째, 자율주행 기능 안전 및 시험 표준이 중심을 이루었다. 14종 중 절반인 7종이 WG 14 표준이며, 이 중 6종이 시스템 시험 절차 또는 시나리오를 포함하고 있어 ABLS, CELM, MRM 등 위험 상황 대응 기능의 요구사항과 성능 평가 방법을 제시한다. 또한 표준에 자동화 수준이 표준에 명시된 경우를 살펴보면, 레벨 0 ~ 2의 ABLS, TPS부터 레벨3의 MCS, 레벨 3 ~ 5의 MRM, 레벨4의 AVPS, 레벨4 ~ 5의 LSADS까지 운전자 지원 단계에서 고도 자율주행 단계에 이르는 자동화 수준별 핵심 기능 표준이 확보되었다. 둘째, 연결형 서비스 확산에 따라 보안 및 데이터 거버넌스 표준이 확대되었다. AVPS 보안 통합, ITS 보안 인터페이스 거버넌스, ITS 데이터 집합 모델 등이 수용되었으며, 이는 커넥티드 환경과 자율주행 관련 ITS 서비스 확대에 따라 실시간으로 교환되는 데이터의 신뢰성 및 접근 관리가 표준화의 핵심 영역으로 부상하고 있음을 보여준다. 셋째, 한국 주도 국제표준의 국내 수용이 지속되었다. 자율주행 최소 위험 기동(KS X ISO 23793-1), 자율주행 버스 서비스 프레임워크(KS X ISO/TR 21734-3), 화물 공통 보고 시스템(KS X ISO 24533-2) 등 3종이 한국 주도로 개발된 국제표준을 수용한 것으로, WG 14, WG 8, WG 7 등 다양한 분야에서 국내 ITS 이해관계자의 활용을 지원하고 있다.

4. 맺음말

2026년 제정된 ITS 분야 KS 14종은 자율주행 기능의 위험 대응과 주행 제어, 주차 시설과 차량의 연동, 모빌리티 통합 및 데이터 거버넌스, 대중교통과 화물 정보교환까지 ITS의 다양한 애플리케이션을 다루고 있다. 특히 자율주행 상용화를 고려한 기능 요구사항 및 시험 절차 KS가 집중적으로 개발된 만큼, 국내 실증 및 시험 등에 활용될 수 있도록 표준의 보급·확산이 필요하다. 또한 한국 주도 국제표준의 국내 수용을 확대하고 보안·데이터 거버넌스 등 신규 분야의 표준 수요를 발굴하여 국내 ITS 시스템의 국제조화를 지원하는 한편, 기술보고서(TR, Technical Report), 기술시방서(TS, Technical Specification) 문서를 수용한 KS는 대응 국제표준의 정식 국제표준(IS, International Standard) 전환(개정) 동향과 연계하여 산업계 수요 기반의 후속KS 개발을 검토할 필요가 있을 것으로 판단된다.

사사: 본 연구는 국가기술표준원 '2026년도 표준개발협력기관(COSD) 지원사업' 수행의 일환으로 작성되었음

동일 차량 탑재 OBU를 활용한 단일 RSE 검지시각의 변동 특성 분석

Analysis of Detection Timestamp Variability at a Single DSRC RSE Using Multiple OBUs Mounted on the Same Vehicle

김현준
(한국건설기술연구원, 수석연구원)

장경찬
(한국건설기술연구원, 수석연구원)

1. 연구의 배경

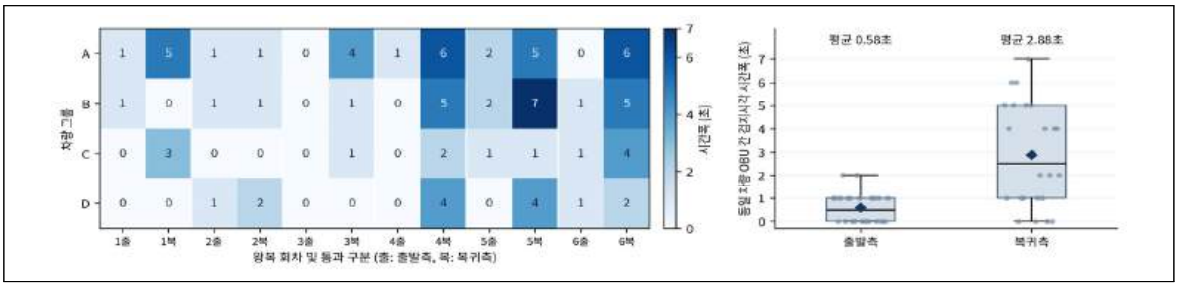
정확한 통행시간 정보는 효과적인 교통 관리와 운영의 핵심 요소이다. DSRC 기반 구간 통행시간은 서로 다른 두 노변장비(RSE)에서 동일 차량탑재장치(OBU)가 검지된 시각의 차이로 산정되므로, 검지시각이 차량의 지점 통과시각을 일관되게 대표하는지 확인할 필요가 있다. 그러나 기존 연구는 이상치 정제와 RSE 배치 최적화 등에 주로 초점을 두어, 단일 RSE의 검지시각 일관성에 대한 검토는 상대적으로 부족하였다. 이에 본 연구는 동일 차량에 탑재된 복수 OBU의 기록을 활용하여 RSE 통과 시 검지시각의 변동 범위와 반복 양상을 분석하고, 검지시각의 시간적 대표성과 구간 통행시간 산정에 대한 시사점을 검토하였다.

2. 연구방법

단일 RSE(위치: 경기도 용인시 처인구, 자료수집일: 2026년 10월 8일)의 누적 검지자료 4,105건 중 기준 OBU 16개의 기록 191건을 분석에 사용하였다. 차량 4대에 각각 OBU 4개를 탑재하여 6회 왕복 주행하였으며, 실제 탑재 관계에 따라 A~D 그룹으로 구분하였다. RSE 시각순으로 정렬했을 때 인접 기록 간 공백이 60초를 초과하면 별도의 이벤트로 구분하여 총 12개 통과를 복원하였고, 각 왕복의 첫 번째 통과를 출발축, 두 번째 통과를 복귀축으로 정의하였다. 주요 지표인 시간폭은 동일 차량의 한 차례 통과에서 가장 늦은 OBU 검지시각과 가장 이른 검지시각의 차이로 정의하였다. 통과별 분포, 차량별 반복 발생 여부, 출발축과 복귀축 간 차이를 비교하였다. 보조 분석으로는 왕복 경과시간의 OBU 간 산정 편차를 비교하였으며, 누락된 검지기록에 대해서는 검지시각을 임의로 추정하거나 보완하지 않고, 실제 수집된 기록만을 분석에 사용하였다. 기록은 초 단위의 반복 관측이므로 기술통계로 해석하였고, 독립적인 참값이 존재하지 않아 시간폭을 정확도 오차로 간주하지는 않았다.

3. 분석 결과

동일 차량의 단일 통과에서 검지시각의 시간폭은 0~7초로 나타났다. 전체 48개 조합 중 검지시각이 일치한 경우(0초)는 33.3%, 1~3초는 43.8%, 4~7초는 22.9%로, 초 단위 기록에서 검지시각이 일치하지 않은 경우가 66.7%에 달하였다. 차량별 최대 시간폭은 A그룹 6초, B그룹 7초, C그룹과 D그룹은 각각 4초였으며, 출발축의 평균 시간폭은 0.58초, 복귀축은 2.88초, 최대값은 각각 2초와 7초였다. 3초를 초과한 11개 조합은 모두 복귀축에서 발생하였다. A그룹은 6회의 복귀 중 5회, B그룹은 3회에서 시간폭이 3초를 초과하여, 동일 차량에서도 큰 시간폭이 반복적으로 나타났다. 다만 출발·복귀 구분과 함께 달라질 수 있는 접근 방향, 차로, 속도 등이 확인되지 않아 그 원인을 특정하지는 않았다. 한편 왕복 경과시간의 OBU 간 산정 편차는 평균 2.83초, 최대 6초로 나타났다. 두 통과의 검지시각 차이가 유사하면 상쇄될 수 있으나, 그 크기나 선후 관계가 달라지면 경과시간 산정에 편차로 반영됨을 확인하였다.



차량별 통과 순서 및 출발·복귀 구분에 따른 검지시각 시간폭

4. 결론

본 연구의 분석 결과, 동일 차량에 탑재된 OBU들의 검지시각은 단일 RSE의 동일 통과에서도 최대 7초의 차이를 보였으며, 큰 시간폭이 일부 차량의 복귀축에서 반복되었다. 따라서 RSE 기록을 특정 지점의 차량 통과시각으로 활용할 때는 자료 수집 여부뿐 아니라 검지시각의 일관성과 시간 산정의 변동을 함께 점검할 필요가 있다. 다만 본 연구는 단일 RSE와 소수 차량에 대한 반복시험으로 수행되어 OBU 특성이나 설치 위치 등의 영향을 명확히 분리하지 못한 한계가 있다. 향후에는 GPS·영상 자료와 통신영역 정보로 검지 위치와 시점을 확인하고, 탑재 조건을 통제한 시험을 수행하며, 시점·종점 RSE 자료를 활용하여 통행시간 산정에 미치는 영향을 검증할 필요가 있다.

사사: 본 연구는 한국건설기술연구원 평가인증사업으로 수행되었습니다. (과제번호 20250026, 2026년 ITS장비 성능평가 사업)

지역적 이질성을 고려한 지능형 주차정보시스템(IPIS)에서의 준거점 의존적 주차 선택

Reference-Dependent Parking Choices in Intelligent Parking Information Systems Considering Regional Heterogeneity

김솔비
(서울대학교 건설환경도시공학부, 석사과정)

오종호
(서울대학교 건설환경도시공학부, 석박사통합과정)

이청원
(서울대학교 건설환경도시공학부, 교수)

주차 탐색으로 인한 순환 주행은 교통혼잡과 차량 배출가스를 증가시키며, 지능형 주차정보시스템(Intelligent Parking Information System, IPIS)은 실시간 주차 정보와 여러 주차장 대안을 제공해 운전자의 탐색 부담을 줄이고 이러한 문제를 완화할 수 있다. 그러나 운전자는 주차 탐색시간을 절대적인 시간으로만 인식하기보다 자신의 기대 탐색시간과 비교해 평가할 수 있으며, 기대보다 짧거나 긴 시간에 대한 반응은 지역별 주차 수요와 주차시설 여건에 따라 달라질 수 있다. 본 연구는 기대 탐색시간보다 짧거나 긴 주차 탐색시간이 운전자의 주차 선택에 미치는 영향을 분석하고, 지역별 주차환경에 따른 반응의 이질성을 규명하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 수도권 거주자를 대상으로 수집한 진술선호(sp) 자료를 활용하고, 주차 탐색시간의 변화를 기대시간 대비 이득과 손실로 구분한 다항로짓모형을 추정하였다. 또한 지역별 주차환경을 반영해 이득과 손실에 대한 반응을 비교하고, 두 반응 간 비대칭성과 군집 간 차이를 검정하였다. 분석 결과, 저밀도·저수요 주차환경에서는 예상보다 긴 탐색시간에 따른 불이익이 예상보다 짧은 탐색시간에 따른 편익보다 크게 나타났다. 반면 주차수요가 집중되는 환경에서는 이러한 비대칭 반응이 뚜렷하게 확인되지 않았다. 또한 저밀도·저수요 지역의 운전자는 탐색시간을 추가로 단축하는 것보다 예상보다 긴 지연을 피하는 데 더 높은 가치를 부여하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 운전자의 주차 탐색시간 평가가 개인의 기대시간을 기준으로 이루어지며, 그 반응이 지역 주차환경에 따라 달라질 수 있음을 보여준다. 따라서 IPIS는 모든 지역에 동일한 정보를 제공하기보다 지역별 주차 여건과 운전자의 반응 특성을 고려해 탐색시간 및 지연 정보를 제공할 필요가 있다.

사사: This work was supported by the National Research Foundation of South Korea (NRF) grant funded by the government of South Korea (MSIT) (No. RS-2024-00357981). This research was also supported by the Institute of Construction and Environmental Engineering at Seoul National University and the Institute of Engineering Research at Seoul National University.

다익스트라 알고리즘을 활용한 철도역 주변 상권의 이동수단별 최단 경로 탐색

Exploring Mode-Specific Shortest Paths from Railway Stations to Nearby Commercial Areas Using Dijkstra's Algorithm

이성재 (한남대학교 경영정보학과, 학사과정)

이재형 (한남대학교 빅데이터응용학과, 학사과정)

김재환 (국토연구원, 부연구위원)

고은정 (한남대학교 빅데이터응용학과, 조교수)

철도역은 지역 간 이동과 도시 내부 이동을 연결하는 교통거점으로, 이용객이 주변 상업·문화시설에 접근하는 출발점이 될 수 있다. 이러한 철도역의 특성을 고려할 때, 철도역을 중심으로 형성된 이동 수요를 주변 상권과 연계하기 위해서는 도로망의 연결 구조와 이동 수단 별 통행 조건을 고려한 접근 경로를 검토할 수 있다. 특히 역 주변의 근거리 이동에 활용되는 도보와 공공자전거는 통행 가능한 도로와 대여·반납 지점의 배치에 따라 경로와 이동거리가 달라지며, 두 수단을 연계하는 경우에는 자전거 주행거리뿐 아니라 대여 전과 반납 후의 보행거리도 함께 고려해야 한다. 따라서 도로 네트워크를 기반으로 이동 방식별 최단 경로를 탐색하고 거리 구성의 차이를 비교함으로써, 철도역에서 주변 상권으로의 접근을 지원하는 경로 정보를 제공할 필요가 있다.

이러한 배경에서, 본 연구는 철도역과 주변 상권 간 접근 경로를 검토하기 위한 사례 지역으로 대전광역시의 대전역과 은행동·선화동·대흥동 일대를 선정하였다. 한국철도공사가 발표한 2025년 이용실적에 따르면 대전역의 하루 이용객은 약 5만 1천 명으로, 코레일 발표 기준 서울역과 동대구역에 이어 세 번째로 높은 이용 규모를 보였다. 또한 대전역 인근의 은행동·선화동·대흥동은 상업·문화 기능이 결합된 원도심 상권을 형성하고 있다. 이에 해당 지역을 대상으로 도보, 도보·타슈 복합 이동, 타슈 단독 이동의 최단 경로를 탐색하고, 유형별 이동 범위를 구분하여 총이동거리, 보행거리 및 자전거 주행거리의 차이를 비교하였다.

이를 위해 최단 경로 탐색에는 출발지에서 목적지까지 도로 구간별 거리의 합이 최소인 경로를 찾는 다익스트라 알고리즘을 적용하였다. 먼저, 도보 이동은 대전역 출입구에서 개별 점포까지 보행 네트워크만을 이용하는 경로로 정의하며, 전체 보행거리가 최소인 경로를 도출하였다. 다음으로, 도보·타슈 복합 이동은 대전역에서 대여소까지의 보행, 대여소 간 자전거 이동, 반납 대여소에서 점포까지의 보행으로 구성하며, 한 번의 대여와 반납을 전제로 세 구간의 거리 합이 최소가 되는 대여·반납 지점과 경로를 탐색하였다. 마지막으로, 타슈 단독 이동은 대전역 출입구와 목적 점포에서 각각 보행 네트워크 거리가 가장 가까운 운영 대여소를 출발 및 도착 지점으로 설정하고, 두 대여소 간 최단 자전거 경로를 도출하였다.

분석 결과, 도보 이동과 도보·타슈 복합 이동 간 보행거리 및 총이동거리에 차이가 나타났으며, 그 차이는 목적지에 따라 다르게 나타났다. 또한 복합 이동의 총거리를 최소화하는 대여·반납 지점은 최근접 대여소를 이용하는 타슈 단독 이동과 다르게 선택되어, 이동 유형에 따른 경로 구성의 차이가 확인되었다. 이러한 결과는 철도역과 주변 상권 간 접근 경로가 이동 방식에 따라 상이하게 나타날 수 있음을 보여주며, 이동 유형별 경로 및 거리 구성을 고려한 접근 정보 제공의 필요성을 시사한다. 나아가 본 연구에서 도출한 경로 정보는 이용객의 이동 방식 선택을 지원하고, 철도역과 지역 상권 간 연계 방안을 검토하기 위한 기초자료로 활용될 수 있다.

사사: This research was supported by the ANCHOR program through the Daejeon ANCHOR Center, funded by the Ministry of Education (MOE) and the Daejeon Metropolitan City, Republic of Korea (2026-ANCHOR-06-013). This research was also supported by the AI Data Science Research Insitute of Hannam University.

Nomadic Device 기반 VRU 안전 서비스 국제표준개발: 공사구간을 중심으로

Developing an International Standard for Nomadic Device-based VRU Safety Services: Focusing on Work Zone

이상조	심현정	이재준	박상민
(한국교통연구원 도로교통연구본부, 주임연구원)	(한국교통연구원 도로교통연구본부, 전문연구원)	(한국교통연구원 도로교통연구본부, 선임연구위원)	(한국교통연구원 도로교통연구본부, 부연구위원)

도로 공사구간은 다양한 교통안전정책에도 불구하고 사고 발생 시 사망율이 높은 고위험 구간이다. 국내 고속도로 공사구간에서는 연평균 44건의 사고와 9.8명의 사망자가 발생(2021~2025년)하였고, ACC 관련 사고의 70%가 공사구간과 관련된 사고로 나타났다. 미국에서도 공사구간 사망자 850명 중 79%가 통과차량 탑승자(2024년)였다.

국내외 공사구간 교통사고 현황을 분석한 결과 접근 차량의 후미추돌, 차로 축소·합류 구간의 충돌, 차량과 작업자·작업차량 충돌이 주요 사고유형으로 나타났다. 공사구간의 위험요인은 운전자가 공사구간과 작업자의 존재 및 위치 등을 충분히 일찍 또는 부정확하게 인지하는 '정보 제공의 실패'로 수렴하고 있다. 실제로 표지 기반 인지거리는 약 336m로 C-ITS의 약 1,50 m에 크게 못 미친다.

국내외 표준을 검토한 결과, DENM·IVIM·WZDx/CWZ 등 장소와 상황을 차량에 전달하는 공사구간 "정보" 계열과 VAM, PSM과 같이 사람의 존재 및 위치를 알리는 작업자 "개인 안전" 계열이 서로 연계 되지 않는다. 작업자 존재 정보도 구간 단위로만 표현된다. 미국·유럽·일본·한국의 공사구간 안전서비스 역시 모두 차량을 대상으로 하여, 작업자 개인의 위치를 차량에 전달하는 서비스는 표준화되지 않았다.

이에 본 연구는 ISO/TC 204/WG 17에 제안한 ISO 17739-8 'Incident prevention support in work zones' 표준안을 제시한다. 본 표준안은 공사구간 작업자(VRU)와 접근 차량 간 상태 공유를 적용 범위로 하며, 고속도로를 중심으로 일반도로와 고정식·이동식 공사, 설치·철거 단계까지 포함한다.

본 표준안은 공사구간 정보의 단위를 '구간'에서 '사람'으로 전환하는 최초의 공사구간 서비스 표준을 지향하며, 인프라 AI 검지와 차량 자동감속 연계를 통해 Physical AI 기반 교통안전 체계 구축에 기여할 것으로 기대된다.

사사: 이 연구는 2026년도 정부(산업통상부)의 재원으로 한국산업기술기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (RS-2025-12862969, VRU 보호를 위한 Nomadic Device 기반 교통안전 서비스 국제표준 개발(공사구간을 중심으로))

지하도로 주행환경 특성을 고려한 운전자 Vision-Workload 평가지표 개발

Development of a Driver Vision-Workload Index Considering Underground Road Driving Characteristics

김지현
(서울시립대학교 교통공학과, 석박사통합과정)

이동민
(서울시립대학교 교통공학/스마트시티학과, 교수)

최근 대심도 및 지하도로 건설이 확대되면서 운전자는 제한된 시야, 폐쇄적 공간 등 지상도로와 상이한 환경에 장시간 노출되고 있다. 이러한 환경적 특성은 운전자의 시각적 정보 탐색과 처리 과정에 영향을 미치며 시각적 작업부하를 증가시킬 수 있다. 기존 연구에서는 터널의 밝기, 휘도, 조명 변화 등이 시각 피로와 주시행태에 미치는 영향을 분석해왔으나, 개별 시각지표를 중심으로 평가하거나 주관적 평가에 의존하여 운전자의 시각적 부담을 종합적으로 정량화하는 데 한계가 있었다. 이에 본 연구에서는 지하도로 환경에서 발생하는 운전자의 시각적 작업부하를 정량적으로 평가할 수 있는 Vision-Workload Index를 개발하고, 지상도로와 지하도로 간 차이를 비교 분석하고자 하였다.

실험은 드라이빙 시뮬레이터와 Tobii Pro Glasses 3 시선 추적 장비를 활용하여 수행하였다. 지상도로와 지하도로를 대조적인 주행환경으로 설정하고 동일한 도로선형의 직선 및 곡선 구간을 포함하여 실험 시나리오를 구성하였다. 총 29명의 참가자가 실험에 참여하였으며, 데이터 품질 검토 후 1명을 제외한 28명의 데이터를 최종 분석에 활용하였다. 운전자의 시각적 정보처리 특성을 나타내는 지표로 동공크기 변화율, 주시 지속시간, 주시 밀집도를 선정하였다. 동공크기 변화율은 분석구간 직전 1초의 평균 동공값을 기준으로 산출하였으며, 주시 지속시간은 0.1초 이상 지속된 fixation을 기준으로 계산하였다. 주시 밀집도는 수평 및 수직 주시점 분산에 역방향 min-max 정규화를 적용하여 산출하였다.

지상도로와 지하도로 간 시각행태 차이를 확인하기 위해 paired t-test를 수행한 결과, 동공크기 변화율은 지상 -4.56, 지하 6.74로 나타나 통계적으로 유의한 차이를 보였으며 p값은 0.00이었다. 주시 밀집도 역시 지상 0.48, 지하 0.52로 증가하였으며 p값 0.03으로 유의한 차이가 확인되었다. 반면 주시 지속시간은 지상과 지하 모두 0.31 수준으로 나타나 유의한 차이가 확인되지 않았다.

세 가지 시각지표를 하나의 종합지표로 통합하기 위해 지표의 변동성과 상관관계를 동시에 고려하는 CRITIC(Criteria Importance Through Intercriteria Correlation) 기법을 적용하였다. 그 결과 가중치는 동공크기 변화율 0.3796, 주시 지속시간 0.2975, 주시 밀집도 0.3229로 산정되었다. 산출된 가중치를 정규화된 시각지표에 적용하여 최종 Vision-Workload Index를 산출한 결과, 지상도로의 평균 VWI는 0.47, 지하도로는 0.54로 나타나 지하도로에서 상대적으로 높은 시각적 작업부하가 확인되었다. 또한 VWI 누적분포 분석 결과 15 percentile은 0.370, 85 percentile은 0.636으로 산출되었다.

산출된 VWI의 활용 가능성을 검토하기 위해 기타 운전자 행태지표와 비교하으며, SDLP는 지하도로에서 약 14~24km 구간, EEG 집중도는 약 10~22km 구간에서 지상도로보다 낮은 경향을 보였다. VWI 역시 약 14km 이후부터 지하도로에서 상대적으로 높은 수준이 지속되어, 3가지 운전자 행태지표에서 유사한 변화 구간이 확인되었다. 이는 Vision-Workload가 운전자의 시각적 정보처리 부담뿐만 아니라 주행 불안정성과 집중도 변화와 연계하여 해석될 수 있음을 보여준다.

본 연구는 개별 시각지표 중심의 기존 평가방식에서 나아가 CRITIC 기법을 이용한 객관적 가중치 산정을 통해 운전자의 시각적 부담을 하나의 정량적 지표로 통합하였다는 점에서 의의가 있다. 향후 다양한 연령과 운전 특성을 가진 참가자를 대상으로 추가 검증하고 실제 도로환경 데이터와 비교함으로써 지표의 신뢰성과 일반화 가능성을 확보할 필요가 있다. 최종적으로 본 연구에서 제안한 Vision-Workload Index는 지하도로의 조명 및 안전시설 설치 위치 선정과 운전자 중심의 도로 설계 및 운영을 위한 정량적 평가자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

사사: 본 연구과제는 과학기술정보통신부의 한국건설기술연구원 전략연구사업(과제번호 20260227, (26주요-전략-1) 안전하고 편리한 지하도로(K-SCOUR) 건설 기술 개발 (1/1))으로 수행되었습니다.

사고유형별 위험지역 선별과 근거 기반 대규모 언어모델 설명을 결합한 교통 안전 의사결정 지원

Traffic Safety Decision Support Integrating Crash-Type-Specific Network Screening and Evidence-Grounded LLM Explanations

조근희
한국과학기술원 건설및환경공학과, 석박사통합과정)

여화수
(한국과학기술원 건설및환경공학과, 교수)

교통안전 개선 대상 지역을 선정할 때에는 예상 사고건수뿐 아니라 주요 사고유형, 예측의 신뢰성 및 개선대책의 적용 근거를 함께 검토할 필요가 있다. 본 연구는 사고유형별 예측, 개선대책 후보의 적용 조건 검토, 대규모 언어모델(Large Language Model, LLM)을 활용한 설명을 분리하여 각 단계의 근거를 확인할 수 있는 교통안전 의사결정 지원 프레임워크를 제안한다.

미국 휴스턴 중심부의 2021 - 2024년 사고자료와 전년도 도로 속성자료를 활용하여 모형을 개발하고, 2025년 휴스턴 중심부 및 칼리지스테이션 자료로 시간적 예측 성능과 도시 간 전이 성능을 평가하였다. 분석 단위는 면적 0.25㎢의 육각형 격자로 설정하였다. LightGBM-Poisson으로 총사고 기대건수를 추정하고, 정규화 다항로짓 모형으로 보행자·자전거 관련 사고, 차량 단독사고, 차량 간 사고 및 기타 사고의 구성비를 추정하여 유형별 예측값의 합이 총사고 예측값과 일치하도록 하였다. 또한 반복 재학습을 통해 순위 안정성을 평가하였다. 개선대책 후보는 텍사스 교통국 자료에 제시된 사고유형 및 도로 조건을 규칙 기반으로 검토하여 선별하고, LLM은 예측값과 후보를 변경하지 않은 채 제공된 근거와 적용상 한계를 설명하도록 구성하였다.

분석 결과, 모형이 선정한 상위 10% 격자에 포함된 실제 사고의 비율은 휴스턴 중심부에서 50.61%, 칼리지스테이션에서 46.78%였다. 사고이력 기반 비교모형의 포착률은 각각 54.82%, 57.93%로 더 높았으나, 제안 모형은 도로 속성만을 예측 입력으로 사용하면서 총사고와 유형별 예측의 일관성을 확보하였다. 휴스턴 중심부의 반복 재학습에 따른 평균 순위상관계수는 0.983이었다. 설명 평가 대상 30개 사례 중 28개에서 출처를 확인할 수 있는 개선대책 후보가 도출되었으며, 나머지 2개에서는 적격 후보가 없음을 표시하였다. 두 평가자가 60개 설명문을 평가한 결과, 근거와 대책 정보를 함께 제공한 형식에서 평가항목 위반이 적었으나, 일부 항목의 평가자 간 일치도가 낮아 해석에 한계가 있었다.

본 연구는 사고유형별 예측과 대책 후보의 적용 근거를 함께 전달하고, 예측·후보 선별·설명을 독립적으로 검토할 수 있는 구조를 제시하였다. 제안 프레임워크는 기존 사고이력 기반 위험지역 선별을 보완하는 도구로 활용할 수 있으며, 제시된 대책 후보의 최종 적용에는 현장 조건에 대한 추가 확인이 필요하다.

사사: 본 연구는 국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호: [RS-2021-KA160548])

무인교통단속장비를 활용한 끼어들기 단속기준에 관한 연구

A Study on Enforcement Criteria for Cutting-In Violations Using Automated Traffic Enforcement Systems

인병철
(한국도로교통공단 책임연구원)

박지원
(한국도로교통공단 책임연구원)

도로교통법 제23조에서는 제22조제2항의 각 호의 어느 하나에 해당하는 다른 차 앞으로 끼어드는 행위를 금지하고 있으며, 이를 위반한 경우 단속 대상으로 규정하고 있다. 그러나 현행 법령에서는 끼어들기 위반을 판단하기 위한 정지·서행 상태에 대하여 차량의 속도, 교통밀집 상태 등 무인교통단속장비가 적용할 수 있는 구체적인 정량적 기준이 제시되어 있지 않다. 이에 무인교통단속장비에서 끼어들기 위반에 관해 자동으로 판별하기 위한 정체·서행의 속도와 차량의 끼어들기 행위를 객관적으로 판단할 수 있는 정량적 단속기준의 마련이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 무인교통단속장비에 적용할 수 있는 끼어들기 단속기준 및 판단절차를 제시하고자 한다.

본 연구에서는 끼어들기 단속을 위한 정체·서행 상태를 정량적으로 판단하기 위해 지점평균속도와 공간점유율을 복합적으로 활용하였다. 우선 국가교통정보센터 및 도시교통정보센터 등 공공 교통정보와 민간 내비게이션에서 활용되는 도로 소통상태 분류기준을 비교·검토하여 정체·서행 판단을 위한 속도 범위로 설정하였다. 공공 교통정보에서는 도시부 도로의 소통상태를 정체 15km/h 미만, 서행 15~25km/h, 원활 25km/h 이상으로 구분하고 있으며, 일부 민간 교통정보 기준에서는 서행의 상한을 30km/h 수준으로 구분하고 잇다. 이를 바탕으로 본 연구에서는 15~30km/h의 속도를 서행의 기준으로 설정하였다. 속도는 실제 단속장비의 적용성과 측정 신뢰도를 고려하여 속도검지지점에서 측정된 개별 차량속도를 일정시간동안 집계한 지점평균속도를 적용하고, 검지지점 후방의 일정 구간에 대한 차량의 공간점유율을 함께 고려하여 정체·서행의 상태를 판단하도록 하였다.

초기 단속기준(안)은 최근 60초간의 지점평균속도와 평균 공간점유율을 산출하고 이를 5초 간격으로 갱신하는 방식으로 구성하였다. 지점평균속도는 15~30km/h 공간점유상태는 100~150m 구간으로 설정하였으며, 두 조건이 충족되는 경우 정체·서행 상태로 판단하여 끼어들기 단속기능을 활성화하도록 하였다. 이후 AI 여상분석을 통해 차량의 주행궤적과 차로별 교통상태를 분석하여 원활한 주행차로에서 정체·서행 중인 차로로 진입하는 차량을 끼어들기 위반으로 단속하는 기준을 마련하였다.

본 연구에서 제시한 기준은 실제 실증을 위한 초기 단속기준(안)으로서 향후 현장 실증을 통해 집계시간, 갱신주기, 지점평균속도 및 공간점유율 기준을 검증 및 보완할 예정이다. 이를 통해 교통상태 판단 → 끼어들기 단속기능 활성화 → 차량궤적 분석 → 위반행위 판단의 단계적 판단체계를 구축하고, 무인교통단속장비를 활용한 끼어들기 단속의 객관성과 현장 적용성을 확보하고자 한다.

사사: 본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 한국산업기술진흥협회의 「협력융합 과학기술 사업화 촉진지원(KOITA20240001)」 사업의 지원을 받아 수행된 연구임(과제번호: 2026-KOITA-CO-(후속)-08-04)

실도로 주행실험 기반 터널 내 운전자 동공크기 특성 연구

Driver Pupil Diameter Characteristics in Tunnels Based on a Real-World Driving Experiment

김지현
(서울시립대학교 교통공학과, 석박사통합과정)

이동민
(서울시립대학교 교통공학/스마트시티학과, 교수)

최지윤
(서울시립대학교 교통공학과, 석사과정)

최근 터널 및 지하도로 건설이 확대되면서 운전자는 진입과 진출 시 외부와 내부의 시각환경이 급격히 달라지는 상황을 반복적으로 겪고 있다. 이러한 밝기 변화에 대응하여 동공크기는 크게 변화한 뒤 주행이 진행됨에 따라 점차 수렴하는 양상을 보이며, 터널 내부에서는 장거리 주행 시 동공반응의 평균 수준과 변동성이 어떻게 달라지는지도 살펴볼 필요가 있다. 기존 연구에서는 터널 진출입부의 휘도 변화와 명암 적응이 시각 적응과 주행 안전성에 미치는 영향을 분석해왔으나, 특정 지점의 단기 반응에 주로 초점을 두어 진출입 이후의 수렴 과정과 내부 구간의 변동성은 충분히 다루지 못하였다. 이에 본 연구에서는 실도로 터널 주행 중 운전자의 동공반응 특성을 정량적으로 분석하고자 하였다.

실험은 서울양양고속도로 인제양양터널에서 실도로 주행으로 수행하였으며, Tobii Pro Glasses 3 시선 추적 장비를 활용하여 주행 중 동공크기 데이터를 수집하였다. 시나리오는 터널 진입 전 약 5초부터 진출 후 약 20초까지로 설정하였다. 총 4명의 참가자가 참여하였으며 2명은 서울→양양 편도, 2명은 왕복 주행하여 총 6개의 주행 데이터를 확보하였고, 1건은 측정 오류로 진입 데이터에서 제외하였다. 분석은 진출입부와 기본구간으로 구분하여, 진출입부는 기준선 대비 동공크기 변화량과 수렴 양상을, 터널 내 기본구간은 평균 동공크기와 표준편차를 산출하였다.

구간별 평균 동공크기는 진입 전 약 3.09mm, 터널 내부 약 5.49mm, 진출 후 약 2.70mm로 나타났다. 터널 내부의 평균 동공크기는 진입 전 대비 약 2.47mm 증가하였고 진출 후보다 약 2.79mm 크게 나타나, 두 비교 모두 $p<0.001$로 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 진출 후 평균은 진입 전보다 약 0.30mm 낮았으며 $p=0.03$으로 유의하였다. 다만 진입 전 5개, 터널 내부와 진출 후 6개의 소표본이며 참가자 3, 4번의 반복주행이 포함되어 구간 간 효과 비교 시 해석에 유의가 필요하다.

진입 후 동공크기는 진입 전 기준선 대비 증가하였으며, 진입 후 0~10초 +1.160mm, 10~30초 +2.248mm, 30~60초 +2.598mm로 변화하여 약 30초에 최종 수준의 90%에 수렴하였다. 반면 진출 시에는 진출 전 -5~0초 구간에서 이미 -0.973mm 감소가 시작되었고, 진출 후 0~4초에는 -2.376mm 감소하여 직전 대비 약 1.403mm 추가로 감소하였다. 이는 진입 시보다 짧은 시간에 큰 폭의 변화가 나타난 것으로, 진입부에서는 순응이 끝나지 않은 상태로 기본부에 들어갈 가능성을, 진출부에서는 급격한 밝기 변화에 충분히 대응하지 못한 채 진출할 가능성을 시사한다.

터널 내부 구간에서는 평균 동공크기가 초반 약 5.731mm에서 후반 약 5.609mm로 소폭 감소하였으며, 이는 진입 시 확장된 동공의 순응과 관련될 가능성이 있다. 구간 내 표준편차의 평균은 초반 약 0.219mm에서 후반 약 0.256mm로 소폭 증가하여, 주행시간이 누적됨에 따라 동공반응의 변동성이 다소 커지는 경향이 관찰되었다. 이는 운전자 상태 변화와 관련될 가능성이 있으나, 본 자료만으로 원인을 특정하기는 어렵다.

본 연구는 실도로 주행에서 터널 진출입부의 동공반응과 내부 구간의 평균·변동성을 구분하여 정량적으로 제시하였다는 점에서 의의가 있다. 다만 소표본이며 조도·휘도와 시선 방향을 함께 측정하지 않아 동공 변화를 운전자의 부담이나 피로로 직접 해석하기에는 한계가 있다. 향후 현장 조도·휘도, 차량 속도, 시선 데이터를 결합하고 다양한 터널과 참가자를 대상으로 추가 검증할 필요가 있다. 이를 바탕으로 진입부의 동공크기 변화가 완만하고 장거리 주행에서도 반응이 크게 불안정하지 않은 터널 내 조명 설계를 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

사사: 본 연구과제는 과학기술정보통신부의 한국건설기술연구원 전략연구사업(과제번호 20260227, (26주요-전략-1) 안전하고 편리한 지하도로(K-SCOUR) 건설 기술 개발 (1/1))으로 수행되었습니다.

무인교통단속장비의 실제 운용환경 분석을 통한 온·습도 환경시험 기준 개선방안 연구

A Study on Improving Temperature and Humidity Environmental Test Standards for Unmanned Traffic Enforcement Equipment Based on Analysis of Actual Operating Environments

정은옥
(한국도로교통공단 첨단교통인증처, 책임연구원)

김리헌
(한국도로교통공단 첨단교통인증처, 과장)

무인교통단속장비는 도로변에 상시 설치되어 고온·저온, 강우 및 습도 변화 등 다양한 외부환경에 지속적으로 노출된다. 현재 무인교통단속장비에는 -30~60℃의 온도범위와 고온 조건에서 18%RH의 환경시험 조건이 적용되고 있으나, 실제 장비 내부의 온·습도 운용환경을 충분히 대표하는지 검토할 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 실제 운용 중인 무인교통단속장비의 내부 온·습도 환경을 조사하고, 외부 기상조건 및 현행 시험조건과 비교하여 환경시험 기준의 개선방향을 검토하였다.

2019~2023년 KOSIS 시·도별 기온 및 강수량 자료를 분석하여 고온·저온·다우·소우 특성을 대표하는 제주, 강원, 부산, 대구를 1차 현장조사 지역으로 선정하였다. 2024년 7월 각 지역에서 운용 중인 장비 3~4대, 총 13대를 대상으로 24시간 이상 내부 온·습도를 측정하였다. 제주지역 4개 지점에서 관측된 최고 내부온도는 29.2~51.5℃로 지점 간 22.3℃의 차이를 보였으며, 최고 상대습도는 46.4~90.2%RH로 43.8%p의 차이가 나타났다. 이는 동일 시·도에서도 설치지점과 주변환경에 따라 장비 내부의 온·습도 특성이 크게 달라질 수 있음을 보여준다.

단기조사의 한계를 보완하기 위해 2025년 7~9월에는 제주 국립제주박물관 사거리, 제주 노형오거리, 서귀포 중앙로터리 3개 지점의 하우징 내부 온·습도를 10분 간격으로 장기 측정하였다. 하우징 평균온도는 각각 30.81℃, 31.31℃, 37.25℃였으며 최고온도는 38.4℃, 39.2℃, 46.8℃였다. 특히 서귀포 중앙로터리는 35~40℃ 환경에 520.5시간, 40℃ 이상 환경에 539.8시간 노출되었고, 40℃ 이상 구간의 평균 상대습도는 40.5%RH, 최대 51.9%RH로 나타났다. 국립제주박물관 사거리와 노형오거리의 35~40℃ 구간에서도 평균 상대습도가 각각 55.2%RH, 53.0%RH로 확인되어 실제 운용환경에서 고온과 상당 수준의 상대습도가 동시에 존재하는 사례가 확인되었다.

또한 2025년 8월 외기 월평균기온과 하우징 내부 평균온도를 비교한 결과, 국립제주박물관 사거리는 1.59℃, 노형오거리는 2.09℃, 서귀포 중앙로터리는 8.38℃ 높은 수준을 나타냈다. 다만 이는 동일시각의 내부·외부 측정값을 직접 비교한 온도차가 아니라 월평균값 간의 수준 비교이므로 해석에 주의가 필요하다.

본 연구에서 확인된 최고 내부온도는 현행 고온시험 상한인 60℃를 초과하지 않았으므로 현행 시험상한의 부족을 직접 입증하지는 않는다. 또한 장비의 내구성 저하를 직접 측정하지 않았으므로 고온·습도 환경과 장비 열화 간의 인과관계를 단정할 수 없다. 그러나 실제 운용환경에서 고온과 상당 수준의 상대습도가 장시간 동시에 존재하는 복합환경이 확인된 만큼, 향후 환경시험 기준은 최고온도뿐 아니라 온도·습도·노출시간 및 반복노출을 함께 고려하여 시험조건의 대표성을 검토할 필요가 있다.

사사: 본 연구의 1차 현장조사에 협조해 주신 한국도로교통공단 강원·부산·대구·제주지부 안전조사운영부와 2차 장기 현장조사의 원활한 수행을 위해 적극적으로 지원해 주신 제주지부 안전조사운영부 관계자 여러분께 감사드립니다.

머신러닝 기반 어린이보호구역 교통사고 위험 예측 및 잠재위험구역 탐색: 5개 시·도 비교를 중심으로

Machine Learning-Based Traffic Accident Risk Prediction and Identification of Potential High-Risk School Zones: A Comparative Study of Five Korean Regions

정구승
(한남대학교, 학사과정)

이주영
(한남대학교, 조교수)

어린이보호구역의 예방적 안전관리를 위해서는 과거 사고 이력뿐 아니라 주변 도로 및 시설 환경을 함께 고려할 필요가 있다. 본 연구는 세종시를 대상으로 한 선행 연구를 대전·대구·인천·세종·제주의 5개 시·도로 확장하여 교통사고 위험 예측 모형을 구축하고, 지역별 주요 예측 변수를 비교하며, 관측된 사고 위험보다 예측 위험이 높은 잠재 위험구역을 탐색하는 것을 목적으로 한다.

분석에는 2022~2024년 교통사고 자료와 어린이보호구역, 신호등, 무인 교통 단속카메라, 일반 CCTV, 가로등, 과속방지턱 및 도로구간 자료를 활용한다. 동일 부지의 시설을 통합하여 공간 분석단위를 구성하고, 지점별 반경 500m 이내 사고에 EPDO 합계를 종속변수로 설정한다. 독립변수는 도로 폭, 시설 유형, 주변 시설까지의 최근접 거리 및 반경 100m·300m 내 시설 분포로 구성한다. 모형은 AutoGluon을 활용하여 지역별로 랜덤 포레스트, 엑스트라 트리, LightGBM, CatBoost, XGBoost 및 가중 앙상블을 비교한다. 학습 자료 내 교차검증으로 모형을 선정한 후 독립 평가 자료에서 RMSE와 MAE로 예측 성능을 평가하고, 순열 변수 중요도를 통해 지역별 주요 예측 변수의 공통점과 차이점을 분석한다. 또한 예측값이 실제값을 초과하는 부분을 잠재 위험으로 정의하여 추가 검토가 필요한 후보지를 탐색한다. 본 연구는 공통된 공간 변수와 평가 절차를 적용하여 지역별 사고 위험 특성을 비교한다는 점에서 의의가 있다. 도출된 잠재 위험은 현장점검 후보지 선별을 위한 탐색적 보조 지표로 활용되어, 지역 특성을 고려한 어린이보호구역의 예방적 안전관리에 기초 자료를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

사사: 이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2026-25497699).

노면색깔유도선 설치가 교통안전 개선에 미치는 영향 분석

Evaluating the Effects of Colored Lane Markings on Traffic Safety

김진혁	이정혁	김원선	안세진	이은학
(경일대학교 철도운전시스템학부)	(경일대학교 철도운전시스템학부)	(경일대학교 철도운전시스템학부)	(경일대학교 철도운전시스템학부)	(경일대학교 철도운전시스템학부)

도시부 도로는 복잡한 기하구조와 높은 교통수요로 인해 운전자의 주행경로 판단이 어려우며, 특히 교차로와 합류부에서는 차로 선택의 혼란과 급격한 주행경로 변경으로 교통사고 위험이 증가할 수 있다. 이러한 문제를 개선하기 위해 운전자의 시각적 인지와 주행경로 유도를 지원하는 색깔유도선이 도입되었으며, 도시부 간선도로를 중심으로 적용 범위가 확대되고 있다. 색깔유도선은 차량의 진행 방향을 시각적으로 명확하게 제시하여 운전자의 판단 부담을 줄이고 안정적인 주행을 유도하는 교통안전시설이다. 그러나 기존 연구에서는 설치 전후의 단순 사고 건수 비교가 주로 활용되어 교통량 변화, 계절적 변동 및 장기적인 사고 감소 추세 등 외부 요인의 영향을 충분히 구분하지 못하는 한계가 있다. 이에 본 연구는 베이지안 구조적 시계열(Bayesian Structural Time Series, BSTS) 모형을 활용한 반사실적 추정을 통해 색깔유도선 설치에 따른 교통사고 감소 효과를 분석하고, 도로 기하구조와 교통운영 특성에 따른 효과의 차이를 규명하고자 하였다.

분석 대상은 서울특별시 도시부 도로망으로 설정하였으며, 다년도 교통사고 기록과 색깔유도선 설치 정보를 활용하였다. 교통사고 발생 시점과 위치, 사고 심각도 등의 정보를 수집하고, 도로 기능과 교통 특성의 일관성을 확보하기 위해 도시부 간선도로 및 집산도로를 중심으로 분석 범위를 설정하였다. 또한 색깔유도선 설치 위치와 시점을 교통사고 자료에 연계하고, 공간적 근접 기준을 적용하여 설치 구간과 관련된 사고를 구분하였다. 색깔유도선의 설치 여부와 시점에 따라 사고 발생 기록을 정리하고, 설치 이전과 이후의 변화를 비교할 수 있도록 시계열 분석 자료를 구축하였다. 아울러 도로 기하구조와 주변 교통환경의 차이를 고려하여 설치 구간별 사고 발생 특성을 검토하고, 색깔유도선 설치 효과의 공간적 차이를 분석할 수 있는 자료체계를 마련하였다.

색깔유도선의 교통안전 효과를 평가하기 위해 BSTS 모형에 기반한 반사실적 시계열 분석을 수행하였다. 해당 모형은 교통사고 발생량의 장기적 변화와 계절적 변동, 단기적 교란 요인 등을 고려하여 색깔유도선이 설치되지 않았을 경우 예상되는 사고 발생 추세를 추정하는 방식이다. 이를 통해 설치 이후 실제 관측된 교통사고 발생량과 반사실적 추정값 간 차이를 비교하고, 색깔유도선 설치에 따른 사고 감소 효과를 평가하였다. 또한 교차로, 합류부 및 일반 도로구간 등 기하구조와 주행환경에 따른 효과의 차이를 비교하여 교통안전 개선 효과의 공간적 이질성을 검토하였다. 추정 결과의 신뢰성을 확보하기 위해 설치 이전 시점에 가상의 정책 개입을 설정하는 위약 검정(Placebo Test)을 수행하였으며, 사고의 공간적 연계 기준과 비교 구간 선정 조건을 변경하는 민감도 분석을 통해 결과의 강건성을 검토하였다.

분석 결과, 색깔유도선이 설치된 다수의 도로구간에서 실제 교통사고 발생량이 반사실적 추정값보다 낮게 나타나 교통사고 감소 효과가 확인되었다. 이러한 감소 경향은 설치 직후부터 관측되었으며, 이후에도 비교적 안정적으로 유지되어 색깔유도선의 시각적 유도 기능이 지속적인 교통안전 개선과 관련될 가능성을 보여주었다. 특히 교차로와 합류부 등 차량의 진행 방향 판단과 차로 선택이 복잡한 구간에서 사고 감소 효과가 상대적으로 크게 나타났으며, 이는 시각적 경로 안내가 운전자의 주행경로 판단 부담을 완화하는 데 기여할 수 있음을 시사한다. 반면 도로 기하구조가 단순하고 주행경로의 시각적 모호성이 낮은 구간에서는 개선 효과가 비교적 제한적으로 나타나 색깔유도선의 효과가 도로환경에 따라 차별적으로 나타나는 것으로 분석되었다. 또한 장기 추세와 계절적 변동을 고려한 분석에서도 사고 감소 경향이 유지되었으며, 위약 검정과 민감도 분석에서도 유사한 결과가 확인되어 추정 효과의 강건성을 뒷받침하였다.

본 연구는 BSTS 모형을 활용한 반사실적 분석을 통해 색깔유도선 설치에 따른 교통사고 감소 효과를 평가하고, 도로환경에 따른 효과의 차이를 실증적으로 검토하였다는 점에서 의의가 있다. 특히 색깔유도선의 사고 감소 효과가 일정 기간 지속되는 경향을 확인하고, 도로 기하구조와 주행경로의 복잡성에 따라 효과의 크기가 달라질 수 있음을 제시하였다. 이는 색깔유도선을 모든 도로구간에 일률적으로 확대하기보다 교차로, 합류부 및 복잡한 차로 분기 구간 등 운전자의 경로 판단 부담이 높은 지역을 중심으로 우선 설치할 필요가 있음을 시사한다. 또한 도로별 교통운영 특성과 시각적 유도 필요성을 종합적으로 고려하여 설치 대상지를 선정한다면 교통안전시설의 투자 효율성을 높일 수 있을 것으로 판단된다. 나아가 본 연구에서 적용한 반사실적 시계열 분석체계는 다양한 도로안전시설의 정책 효과를 객관적으로 평가하는 방법론적 기반을 제공하며, 근거 기반의 교통안전 정책 수립과 도시부 도로망의 안전성 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

사사: 이 논문은 정부(경찰청)의 재원으로 "치안신산업핵심기술사업화지원사업"(www.kipot.or.kr)의 지원을 받아 수행된 연구결과입니다.[과제명: AI·시뮬레이션 기반 보행자 사고위험 예측 및 바닥조명 연계 안전유도 솔루션, 과제번호: RS-2026-25542549]

노인보호구역 지정에 따른 교통안전 개선의 인과적 효과 분석

Evaluating the Causal Effects of Senior Safety Zones on Traffic Safety

김진혁	이정혁	김원선	안세진	이은학
(경일대학교 철도운전시스템학부)	(경일대학교 철도운전시스템학부)	(경일대학교 철도운전시스템학부)	(경일대학교 철도운전시스템학부)	(경일대학교 철도운전시스템학부)

고령화의 가속화로 고령 보행자의 교통안전 확보는 지속가능한 도시교통체계 구축을 위한 주요 정책 과제로 대두되고 있다. 고령자는 신체적 이동능력과 인지·반응능력의 저하로 인해 교통사고 발생 시 심각한 인명피해로 이어질 가능성이 높아, 고령자 통행 특성을 고려한 교통안전 대책이 요구된다. 이에 정부와 지방자치단체는 노인복지시설과 의료시설 등 고령자 통행이 집중되는 지역을 중심으로 노인보호구역을 지정하고, 차량 속도 관리와 교통안전시설 확충을 추진하고 있다. 그러나 기존의 단순 사전·사후 비교 방식은 전반적인 교통사고 감소 추세와 지역별 교통환경 변화 등을 충분히 통제하기 어려워 보호구역 지정에 따른 순수한 정책 효과를 식별하는 데 한계가 있다. 이에 본 연구는 반사실적 추정에 기반한 인과적 평가체계를 적용하여 노인보호구역 지정이 고령 보행자 교통사고 발생과 사고 심각도에 미치는 영향을 분석하고, 도시 및 도로환경 특성에 따른 교통안전 개선 효과의 이질성을 규명하고자 하였다.

분석에는 국내 도시지역의 다년도 교통사고 자료와 노인보호구역 지정 정보를 활용하였다. 교통사고 발생 위치와 시점, 사고 심각도 및 사고 관련 도로이용자 유형을 토대로 고령 보행자 관련 사고를 추출하고, 노인보호구역의 공간적 경계 및 지정 시점과 연계하여 분석 자료를 구축하였다. 보호구역 지정 지역을 처치집단으로 설정하고, 미지정 지역 중 도로 기능, 교통조건 및 주변 토지이용 특성이 유사한 지역을 비교집단으로 구성하였다. 이를 통해 보호구역 지정 전후의 사고 발생 변화를 시간적·공간적으로 비교할 수 있도록 하였으며, 지역별 교통환경 차이와 장기적인 사고 발생 추세를 고려한 종단적 분석체계를 마련하였다.

노인보호구역 지정의 교통안전 효과를 추정하기 위해 반사실적 추정에 기반한 인과적 분석 방법을 적용하였다. 해당 방법은 보호구역 지정 이후 실제 관측된 사고 추세와 보호구역이 지정되지 않았을 경우 예상되는 사고 추세를 비교함으로써 정책 개입에 따른 효과를 추정하는 방식이다. 비교집단의 사고 발생 패턴을 활용하여 처치집단의 반사실적 추세를 구성하고, 실제 관측값과 추정값 간 차이를 통해 보호구역 지정에 따른 사고 변화를 평가하였다. 분석은 고령 보행자 교통사고 발생 빈도와 사고 심각도의 두 가지 측면에서 수행하였으며, 장기 추세와 계절적 변동 등 시간적 요인을 고려하여 외생적 변화의 영향을 완화하고자 하였다. 또한 분석 조건에 따른 민감도 검토를 통해 추정 결과의 강건성을 평가하고, 교차로와 복합 토지이용 지역 등 교통환경별 효과 차이를 비교하여 정책 효과의 공간적 이질성을 분석하였다.

분석 결과, 노인보호구역 지정 이후 다수의 지역에서 실제 교통사고 발생 추세가 반사실적 추정값보다 낮게 나타나 보호구역 지정에 따른 고령 보행자 교통사고 감소 효과가 확인되었다. 이러한 감소 경향은 지정 초기부터 관측되었으며, 이후에도 유지되어 보호구역의 교통안전 개선 효과가 단기적 변화에 국한되지 않을 가능성을 보여주었다. 사고 심각도 측면에서도 사망 및 중상 사고의 상대적 비중이 감소하고 경상 사고의 비중이 증가하는 경향이 나타나, 보호구역 지정이 사고 발생 억제뿐 아니라 피해 심각도 완화와도 관련되는 것으로 분석되었다. 또한 시간적 변동을 고려한 분석에서도 실제 사고 추세와 반사실적 추정값 간 차이가 유지되어 관측된 사고 감소가 일반적인 시간적 변화만으로 설명되기 어렵다는 점을 확인하였다. 지역별 효과는 교차로, 복합 토지이용 지역 및 보행활동이 집중되는 구간에서 상대적으로 크게 나타난 반면, 도로 기하구조가 단순하고 교통 상충이 적은 구간에서는 비교적 제한적으로 나타났다. 이는 노인보호구역의 교통안전 효과가 일률적이지 않으며, 차량과 보행자 간 상호작용 및 주변 교통환경에 따라 차별적으로 나타날 수 있음을 의미한다.

사사: 이 논문은 정부(경찰청)의 재원으로 "치안신산업핵심기술사업화지원사업"(www.kipot.or.kr)의 지원을 받아 수행된 연구결과입니다.[과제명: AI·시뮬레이션 기반 보행자 사고위험 예측 및 바닥조명 연계 안전유도 솔루션, 과제번호: RS-2026-25542549]

사업용 자동차 운행기록 기반 위험운전지표 개발 및 위험도 평가

Development of Risky Driving Indicators and Driver Risk Assessment for Commercial Drivers Using Digital Tachograph Data

박수주
(한남대학교, 학사과정)

김도현
(한국기계연구원
광응용장비연구실, 선임연구원)

이주영
(한남대학교, 조교수)

사업용 차량은 일반 차량에 비해 운행시간과 주행거리가 길고 다양한 도로환경에 지속적으로 노출되므로, 사고이력뿐 아니라 실제 운행과정에서 나타나는 운전행태를 반영한 선제적 위험관리가 필요하다. 특히 개별화물과 개인택시는 1인 사업자 형태로 운영되어 운수회사 차원의 안전관리가 이루어지기 어렵다. 본 연구는 개별화물 및 개인택시 운전자의 디지털운행기록계 자료를 활용하여 위험운전 특성을 정량화하고, 사고·법규위반 이력과의 관계를 검증하여 운전자 위험도 평가체계를 구축하는 것을 목적으로 한다.

분석에는 2026년 6월 중 2주간 수집된 개별화물 약 1,300대, 개인택시 약 2,000대의 DTG 자료를 활용하였다. 차량 및 운전자 정보를 연계하고 최근 3년·5년간 사고 및 법규위반 이력을 결합하여 운전자 단위 분석자료를 구축하였다. 초 단위 속도, 가속도, GPS 및 방위각 정보로부터 속도변동성, 가감속, 가가속도(Jerk), 조향변동성 등 49개의 위험운전 후보지표를 산출하고, 운행거리와 운행시간 등 노출량을 고려하여 운전자 단위로 표준화하였다. 이후 사고 및 법규위반 이력을 종속변수로 한 통계분석을 통해 지표별 위험 설명력을 비교하였다. 통계적 유의성, 지표 간 중복성, 해석가능성, 분석조건 변화에 따른 강건성을 종합적으로 검토하여 업종별 대표 위험운전지표를 선정하고, 이를 통합한 운전자 위험점수와 단계별 위험등급을 산정하고자 한다. 본 연구 결과는 실제 운행행태에 기반한 잠재적 위험운전자의 사전 식별과 운전자 맞춤형 교육 및 안전관리 대상 선정에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

사사: 본 과제(결과물)는 2026년도 교육부 및 대전광역시의 재원으로 대전RISE센터의 지원을 받아 수행된 지역혁신중심 대학지원체계(RISE)의 결과입니다(2026-RISE-06-013). 또한, 본 과제(결과물)는 한남대학교 AI데이터과학연구소의 지원을 받아 수행된 결과입니다.

위험운전행동 기반 사업용 운전자 사고위험도 예측 및 주요 요인 해석

Predicting Accident Risk of Commercial Vehicle Drivers Based on Risky Driving Behaviors and Interpreting Key Factors

강우인
(한남대학교, 학사과정)

이주영
(한남대학교, 조교수)

교통안전정보관리시스템은 사업용 차량 운전자의 운행기록을 기반으로 위험운전행동 발생 현황과 운전 특성을 담은 종합진단표를 제공하고 있다. 그러나 동일한 위험운전행동이라도 주행환경, 운행시간, 주행거리 등 운행 특성에 따라 사고위험에 미치는 영향이 다를 수 있다. 따라서 개별 운전자의 운행 특성과 사고이력을 종합적으로 반영한 맞춤형 진단이 필요하다. 본 연구는 운행기록을 사고 및 법규위반 이력과 연계하여 머신러닝 기반 사고위험도 예측모형을 구축하고, 설명가능한 인공지능을 적용하여 운전자별 주요 사고위험 요인을 도출함으로써 개인 맞춤형 운전자 종합진단 체계를 제시하는 것을 목적으로 한다.

분석에는 2026년 6월 중 약 2주간 수집된 택시, 화물자동차 및 버스의 디지털운행기록계 자료와 운전자 종합진단정보를 활용한다. 초 단위 운행기록의 속도 및 진행방향 변화를 바탕으로 급가속, 급출발, 급감속, 급정지, 급좌회전, 급우회전, 급U턴, 급진로변경, 급앞지르기 등 9개 위험운전행동을 산출하고, 주행시간, 주행거리, 시간대별 운행 특성과 함께 운전자 단위로 집계한다. 이후 사고 발생 여부에 따른 위험운전행동 및 운행 특성의 차이를 분석하고, 이를 설명변수로 활용한 머신러닝 모형을 통해 운전자별 사고위험도를 예측한다. 예측모형을 통해 운전자별 사고위험 수준과 주요 영향요인을 해석하고, 운전자가 자신의 사고위험 요인과 개선이 필요한 운전행동을 쉽게 이해할 수 있도록 개인 맞춤형 진단정보를 제공하고자 한다. 이를 통해 운전자 특성을 반영한 교통안전관리와 사고예방을 지원할 수 있을 것으로 기대된다.

사사: 이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2026-25497699).

적외선 기반 LED 도로표지병 활용 차선 인식 기술 개발 및 안개 환경 적용성 평가

Development of Lane Recognition Technology Using Infrared LED Road Studs and Evaluation of Its Applicability under Foggy Conditions

박원일
(한국건설기술연구원, 전임연구원)

이석기
(한국건설기술연구원, 연구위원)

본 연구에서는 안개 등 시인성이 저하되는 도로환경에서 자율주행차의 안정적인 차선 인식을 지원하기 위해 기존 가시광 LED 도로표지병에 적외선 LED를 추가 적용한 가시광·적외선 복합 LED 도로표지병을 개발하고, 실규모 주행시험을 통해 안개 환경에서의 차선 인식 지원 효과를 평가하였다. 기존 페인트 차선 방식은 안개 발생 시 노면과 차선 간 영상 대비가 저하되어 차선 인식 성능이 감소하는 한계가 있으며, 가시광 LED 도로표지병 역시 기상조건에 따른 빛의 산란 및 감쇠로 인해 인식 성능에 영향을 받을 수 있다. 이에 기존 페인트 차선 및 가시광 LED 도로표지병과의 성능 비교를 통해 개발된 복합 LED 도로표지병의 차선 인식 지원 효과를 검증하였다.

차선 인식에는 차량 전방 영상에서 페인트 차선 및 LED 도로표지병의 영상 특징을 검출하고, 일정 간격으로 설치된 LED 도로표지병의 발광점을 공간적 배열과 연속성을 기반으로 연결하여 좌·우 차선 경계를 추정하는 영상기반 알고리즘을 적용하였다. 차선 인식 성능은 차선 인식 신뢰성 지수(Lane Perception Reliability Index)를 활용하여 정량적으로 평가하였다. LPRI는 영상에서 검출된 차선 특징의 강도와 전방 인식 연속성, 추정된 좌·우 차선 간 폭의 기하학적 일관성을 종합적으로 반영한 지표로, 차선 인식 결과의 신뢰성을 정량적으로 나타낸다.

실험은 연천 SOC 실증센터의 실규모 도로 시험구간에서 정상 및 안개 기상조건을 구현하고, 차량을 30 km/h로 주행시키며 수행하였다. 기존 페인트 차선과 가시광 LED 도로표지병은 RGB 카메라를 이용하여 인식하였으며, 가시광·적외선 복합 LED 도로표지병은 IR 카메라를 이용하여 인식하였다. 각 조건에서 수집된 영상에 차선 경계 추정 알고리즘을 적용하였으며, 기상조건 변화에 따른 차선 인식 신뢰성의 차이를 비교·분석하였다.

실험 결과, 정상기상에서는 페인트 차선, 가시광 LED 도로표지병 및 가시광·적외선 복합 LED 도로표지병의 차선 인식 신뢰성 차이가 5% 미만으로 나타나 세 조건 간 유사한 성능을 보였다. 반면, 안개기상에서는 복합 LED 도로표지병의 적외선 인식 조건이 기존 페인트 차선 대비 약 52.7%, 가시광 LED 도로표지병 대비 약 35.2% 높은 차선 인식 신뢰성을 나타냈다. 특히 정상기상 대비 안개기상에서의 LPRI 감소율은 페인트 차선 약 38.0%, 가시광 LED 도로표지병 약 30.2%인 반면, 복합 LED 도로표지병의 적외선 인식 조건에서는 약 5.2%에 불과하여 기상악화에 따른 차선 인식 성능 저하가 상대적으로 작은 것으로 분석되었다.

이러한 결과는 정상기상에서는 인식대상 및 영상 취득 방식에 따른 차선 인식 신뢰성의 차이가 크지 않지만, 안개기상에서는 적외선 영상정보를 활용하는 복합 LED 도로표지병이 기존 가시광 기반 시설보다 안정적인 차선 경계정보를 제공할 수 있음을 시사한다. 본 연구는 기존 가시광 LED 도로표지병에 적외선 LED를 추가 적용함으로써 도로안전시설의 기능을 확장하고, 악천후 환경에서 자율주행차의 차선 인식을 지원하는 도로 인프라로서의 활용 가능성을 실험적으로 제시하였다는 데 의의가 있다. 향후에는 다양한 안개농도와 도로 기하구조를 대상으로 추가적인 성능평가를 수행하고, 광원 및 카메라의 광학적 특성을 고려한 검증을 통해 복합 LED 도로표지병의 실도로 적용성과 활용성을 구체화할 필요가 있다.

사사: 이 논문은 2026년도 정부(경찰청)의 재원으로 과학치안진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2021-PT000174, Lv.4 자율협력주행 대응 교통객체 인지고도화 및 악조건 해소기술 개발).

교통안전성 향상을 위한 지하도로 운영방안 및 정보제공 체계 구축 연구

Operation Strategies and Information Provision Systems
for Improving Traffic Safety in Underground Roads

이주현	이동민	정승원	황순천	전현규
(서울시립대 교통공학과, 박사과정)	(서울시립대 교통공학과, 교수)	(서울시립대 교통공학과, 연구교수)	(서울시립대 스마트시티학과, 연구교수)	(서울시립대 스마트시티학과, 석사과정)

전 세계적으로 지하도로의 건설이 활발히 이루어지고 있지만, 지하도로에서의 운전자 행태에 대한 연구는 여전히 부족한 실정이다. 또한 현재 지하도로 설계기준은 주로 지상도로나 터널 기준을 준용하고 있어, 지하 특유의 환경적 요인을 충분히 반영하지 못하고 있다. 이에 따라, 지하도로에서의 운전자 행태를 분석하고 이를 반영한 설계기준 마련이 필요하다.

본 연구는 지하도로에서 운전자가 차로 변경을 어떻게 수행하는지 분석하고, 정보 제공 방식이 운전자 행태에 미치는 영향을 평가하는 것을 목적으로 한다. 이를 통해, 향후 지하도로 설계 및 운영에 필요한 개선 사항을 제안하고자 하였다. 이를 위해 본 연구에서는 소형차 전용도로의 설계 재원을 기준으로한 VR 기반 주행시뮬레이터 맵을 구성하였고 34명의 피실험자를 모집하여 주행시뮬레이터 실험을 수행하였다.

첫 번째로 차로변경 행태를 살펴보기 위하여 현행 차로 변경 허용 구간 기준인 400m와 대안으로 차로 변경 허용 구간 2km로 비교하여 운전자의 차로변경 행태에 대해 분석을 수행하였다. 두 번째로는 현행 정보제공 체계 기준인 분기전 2km, 1km, 150m 전 정보안내 대안과 대안으로 추가 500m 지점에 정보를 제공하는 방안에 대해 주행시뮬레이터 실험을 수행하고 대안별 효과를 비교하였다.

실험 결과, 지하도로에서 운전자는 지상도로에 비해 차로 변경을 더 어려워하는 경향이 나타났다. 또한, 차로 변경 허용 구간에 따른 주행 패턴의 유의미한 변화는 없었으며, 운전자의 차로 변경 행태는 평소 주행 습관에 의존하는 것으로 확인되었다.

정보 제공 횟수를 추가로 늘릴 경우, 운전자는 차로 변경과 진출 지점을 더 빨리 결정하며, 차로 변경 지점의 분포가 작아지는 현상이 관찰되었다. 이는 많은 운전자들이 비슷한 지점에서 차로 변경을 수행하게 되어, 상충 구간이 줄어들고 교통 안전성이 향상될 수 있음을 의미한다. 결론적으로, 추가적인 정보 제공 체계는 지하도로의 운영 효율성과 교통 안전성을 높이는 데 효과적임을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 지하도로, 주행행태, 차로변경 허용구간, 정보제공체계

사사: 이 논문은 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원(과제번호 RS-2024-00416524)에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

대전 천변도시고속화도로 원촌육교 구간 통제에 따른 우회교통의 시공간 영향분석

Spatiotemporal Analysis of Detour Traffic Impact from the closure of the Cheonbyeon Urban Expressway near Wonchon Overpass, Daejeon

윤병민 (고려대학교 미래모빌리티학과, 학부연구생)

김영진 (고려대학교 컴퓨터소프트웨어학과, 학부연구생)

김태형 (고려대학교 컴퓨터소프트웨어학과, 학부연구생)

안수연 (대전광역시 교통정책과, 주무관)

윤진원 (고려대학교 미래모빌리티학과, 조교수)

2026년 3월 30일부터 4월 28일까지 대전 원촌육교 진입로 옹벽의 지반 침하 및 배부름 현상에 따른 긴급 보수로 천변도시고속화도로 신탄진 방향 구간이 통제되었다. 통제는 전면 통제 기간과 우회로 개통 및 반대 방향 1개 차로 전환 기간(이하 차로 전환 기간)으로 진행되었다. 본 연구는 이 통제로 발생한 우회 교통이 어느 노선으로 재배분되었고, 어느 교차로와 시간대에 영향이 나타났는지를 실측 자료로 규명한다. 통제의 직간접 영향권에 있는 6개 도로(대덕대로, 둔산대로, 대전로, 유성대로, 신탄진로, 계족로)를 대상으로, 통제 전(3월 1일~29일)과 통제 중의 18개 노선 RSE 자료와 207개 교차로 S-CCTV 자료를 사용하였다. 먼저 데이터 전처리 단계에서는 일시적 결측치를 동일 통제 단계 내의 관측값으로 학습한 LightGBM 모형으로 대체하였고, 구조적 결측이나 센서 고장으로 인한 결측은 분석에서 제외하였다. 교통량 패턴 변화의 유의성은 두 가지 기준으로 판정하였다. 시간대별 변화는 통제 전 평일 19일의 동일 시간대 교통량에서 상·하위 5%의 극단값을 제외한 범위, 즉 평소 평일 교통량의 90%가 포함되는 '평시 변동 범위'를 벗어나는지로 판정하였다. 교차로별 일 교통량 변화율은 통제 전과 통제 중의 관측일을 각각 무작위로 복원추출하여 변화율을 계산하는 과정을 3,000회 반복하고(부트스트랩), 이로부터 얻은 95% 신뢰구간이 0을 포함하지 않으면 유의한 변화로 판정하였다. 분석 결과, 일평균 교통량은 통제 전에 비해 신탄진로(상행 +35.3%), 대덕대로(상행 +6.5%), 둔산대로(하행 +8.0%), 유성대로(상행 +5.2%)에서 증가하였고, 대전로와 계족로는 양방향 모두 변화율이 2% 미만이었다. 영향은 첨두시간에 한정되지 않고 하루 전반에 나타났으며, 전면 통제 기간의 신탄진로는 대부분의 시간대에서 평시 변동 범위를 상회하였다. 교통량 증가는 전면 통제 기간에 가장 컸고 차로 전환 이후 크게 완화되었다(신탄진로 상행 평일 증가율 27.5%p 축소). 전면 통제 기간에는 연구단지네거리, 도룡삼거리, 평송수련원네거리 등에 교통이 집중되었으나, 차로 전환 기간에는 대부분의 교차로가 통제 전 수준으로 회복되고 연구단지네거리 인근에서만 증가가 지속되었다. 본 연구는 긴급 통제에 따른 우회 교통의 노선·교차로·시간대별 재배분 양상을 실측 자료로 확인하고, 그 영향이 통제 단계에 따라 달라짐을 보였다는 점에서 의의가 있다. 향후 대중교통 이용 자료와 연계하여 통행수단 전환까지 분석할 예정이다.

사사: 본 연구는 대전광역시 교통 빅데이터 플랫폼 데이터를 활용하여 수행되었음.

인천국제공항 이용객의 접근교통수단 선택행태 분석: 다항로짓모형을 중심으로

Analysis of Access Mode Choice Behavior of Incheon International Airport Users: A Multinomial Logit Approach

박현호	최형우	권영민	김도현
(한남대학교, 학부연구생)	(한남대학교, 학부연구생)	(한남대학교, 조교수)	(한국기계연구원, 선임연구원)

인천국제공항 이용객의 접근교통수단 선택은 개인 특성과 통행상황에 따라 달라진다. 특히 공항철도·일반 대중교통, 승용차, 공항리무진, 택시 등 다양한 대안이 존재하는 가운데, 이용객의 수단선택행태를 파악하는 것은 대중교통 경쟁력 및 접근교통 서비스 개선을 위한 기초자료로 활용될 수 있다. 본 연구는 2025년 8월 27일부터 30일까지 인천공항 내국인 이용객 743명을 대상으로 실시한 면접조사 자료 중 유효 응답자인 656명의 데이터를 활용하여 접근교통 수단 선택영향요인을 다항로짓모형(MNL)으로 추정하였으며, 접근교통수단 선택과 관련된 이용객 특성을 분석하였다.

공항철도·일반 대중교통을 기준 대안으로 설정하고 자가용 보유, 동반자 수, 수하물 양, 방문 목적, 심야 이용 경험, 거주지역, 연령, 소득, 통행시간·대기시간·요금 중요도, 성별, 공항 이용 경험 등 13개 범주형 변수를 설명변수로 활용하였다.

다항로짓모형 분석결과 McFadden R2는 0.2005로 분석되었으며, 변수별 LR 검정 결과 자가용 보유, 동반자 수, 수하물 양, 방문 목적, 심야 이용 경험, 거주지역 및 연령이 유의한 관련성을 보였다. 구체적으로 자가용 보유 여부는 승용차 선택에 가장 큰 정(+)의 관련성을 보였다(Coef.=2.380, $p<0.001$, RRR=10.806). 이는 자가용 보유자가 비보유자에 비해 공항철도·일반 대중교통보다 승용차를 선택할 상대적 가능성이 약 10.8배 높다는 것을 의미한다. 동반자가 4명 이상인 경우에도 승용차 선택에 정(+)의 관련성이 나타났으며(Coef.=1.103, $p=0.014$, RRR=3.014), 수하물이 많은 경우 승용차(Coef.=0.909, $p=0.020$, RRR=2.484)와 택시(Coef.=1.145, $p=0.040$, RRR=3.144) 선택 가능성이 증가하였다. 방문 목적 중 학업 목적은 승용차 선택에 강한 정(+)의 관련성을 보였다(Coef.=2.350, $p<0.001$, RRR=10.492).

심야 이용 경험이 있는 경우 승용차(Coef.=0.562, $p=0.033$, RRR=1.755)와 택시(Coef.=0.954, $p=0.015$, RRR=2.596) 선택 가능성이 높았다. 거주지역에서는 서울 대비 경기도 거주자의 승용차(Coef.=1.215, $p<0.001$, RRR=3.370) 및 공항리무진(Coef.=0.631, $p=0.032$, RRR=1.879) 선택 가능성이 높았으며, 인천 거주자는 공항리무진 선택 가능성이 낮았다(Coef.=-2.183, $p=0.001$, RRR=0.113). 비수도권 거주자의 택시 선택도 낮게 나타났다(Coef.=-2.061, $p=0.009$, RRR=0.127). 연령은 30대 이상에서 승용차 선택의 정(+)의 관련성이 나타났고, 40대는 승용차(Coef.=1.508, $p<0.001$, RRR=4.517)와 공항리무진(Coef.=1.023, $p=0.015$, RRR=2.784), 50대 이상은 승용차(Coef.=0.999, $p=0.027$, RRR=2.715)와 공항리무진(Coef.=1.090, $p=0.008$, RRR=2.975) 선택 가능성이 유의하게 높았다. 반면 소득, 성별, 공항 이용 경험은 변수 전체 LR 검정에서 통계적으로 유의하지 않게 분석되었다. 통행시간·대기시간·요금 중요도는 일부 개별 범주에서 유의한 결과가 나타났으나 변수 전체 수준에서는 유의하지 않아 제한적으로 해석하였다.

본 연구는 인천공항 이용객들의 접근교통수단 선택 영향요인을 분석하였으며, 분석 결과 접근교통수단 선택은 특히 자가용 보유, 거주지역, 연령, 동반자 수, 수하물 양, 방문 목적 및 심야 이용 경험과 교통수단 간 통계적 유의미한 관련성이 존재하는 것으로 분석되었다. 이는 자가용 이용자의 대중교통 전환을 위해 공항철도·공항리무진의 접근성 및 편의성을 개선하고, 수하물과 동반자가 많은 이용객의 이동·환승 편의를 강화할 필요가 있음을 의미한다. 또한 심야·새벽 시간대 대중교통 및 연계교통을 보완하고 거주지역과 연령별 이용 특성을 고려한 차별화된 서비스를 제공할 필요가 있다.

사사: 본 과제(결과물)는 2026년도 교육부 및 대전광역시의 재원으로 대전앵커센터의 지원을 받아 수행된 지역성장 인재양성체계(앵커)의 결과입니다.(2026-ANCHOR-06-013) 또한, 본 과제(결과물)는 한남대학교 AI데이터과학연구소의 지원을 받아 수행된 결과입니다.

설명가능한 인공지능을 활용한 고령자 대중교통 이용행태 분석

Understanding Older Adults' Public Transit Usage Patterns Through Explainable Artificial Intelligence

이정혁	김진혁	김원선	안세진	이은학
(경일대학교 철도운전시스템학부)	(경일대학교 철도운전시스템학부)	(경일대학교 철도운전시스템학부)	(경일대학교 철도운전시스템학부)	(경일대학교 철도운전시스템학부)

초고령사회에서 대중교통은 고령자의 이동권 보장과 사회활동 참여를 지원하는 필수적인 교통수단이다. 그러나 기존 대중교통 서비스는 일반 이용자를 중심으로 운영되어 고령자의 신체적 제약과 통행 특성을 충분히 반영하지 못하는 한계가 있다. 고령자의 이동 특성을 파악하기 위한 선행 연구에서는 다항로짓모형 등 전통적인 통계 기법이 활용되었으나, 다양한 통행 변수 간 비선형 관계와 복합적인 상호작용을 규명하는 데 한계가 있다. 이에 본 연구는 대구광역시 교통카드 자료와 교통시설·토지이용·인구 자료를 결합하고 머신러닝 및 해석 가능한 인공지능 기법을 적용하여 고령자와 일반 이용자의 대중교통 통행 행태를 비교하였다. 특히 고령자 통행을 구분하는 핵심 특성을 도출하고 각 변수가 예측 결과에 기여하는 방향과 비선형 영향을 분석하는 데 목적을 두었다.

분석에는 대구광역시에서 수집된 교통카드 승·하차 기록을 활용하였다. 결측치, 승·하차 불일치 기록 및 비정상적인 통행시간을 제거한 후 카드번호와 이용 시간을 기준으로 통행 기록을 정렬하고, 환승 정보를 연계하여 개별 대중교통 통행을 구축하였다. 출발지와 목적지의 정류장 및 도시철도역 정보를 기반으로 O-D를 구성하였으며, 통행 간 시간 간격과 카드별 통행 횟수 등 통행 연속성 변수를 생성하였다. 또한 정류장과 도시철도역 주변의 토지이용 다양성, 상업시설 분포 및 고령인구 비율 등 지역 특성 변수를 구축하였다. 최종적으로 일반 이용자와 고령자의 통행자료를 통합하여 O-D 특성, 통행 특성, 정류장·도시철도역 특성 및 토지이용·인구 특성을 분석에 활용하였다.

고령자와 일반 이용자의 통행 특성을 구분하기 위해 CatBoost, XGBoost, LightGBM, Random Forest 및 Multilayer Perceptron 등 다양한 머신러닝 분류 모형을 적용하였다. O-D 및 정류장 관련 변수에서 발생할 수 있는 목표 변수 유출을 방지하기 위해 out-of-fold 방식을 적용하였으며, 고령자 통행 표본의 불균형을 고려하여 클래스 가중치를 조정하였다. 모형 성능은 다양한 분류 성능 지표를 활용하여 종합적으로 비교하였으며, 최종 선정 모형에는 SHapley Additive exPlanations(SHAP)을 적용하여 주요 변수의 상대적 중요도와 개별 통행의 예측 기여도를 분석하였다.

분석 결과, CatBoost가 다른 비교 모형에 비해 우수한 종합 성능을 나타내 최종 해석 모형으로 선정되었다. SHAP 분석에서는 O-D 고령자 비율이 가장 중요한 변수로 나타났으며, 통행 간 시간 간격, 목적지 하차 고령자 비율 및 O-D 관련 특성 등이 주요 영향 요인으로 확인되었다. 특히 O-D 및 목적지의 고령자 통행 비율이 높을수록 고령자 통행으로 분류되는 경향이 강하게 나타났으며, 통행 간 시간 간격이 짧거나 동일 카드에서 관측된 통행 횟수가 많은 경우에도 유사한 경향이 확인되었다. 또한 동일한 O-D 고령자 비율에서도 방향별 통행 특성에 따라 예측 기여도에 차이가 나타났다. 반면 토지이용 환경과 주변 고령인구 비율의 상대적 중요도는 O-D 및 통행 연속성 변수보다 낮게 나타났다.

본 연구는 고령자의 대중교통 이용 행태를 설명할 때 거주지 주변의 물리적 환경뿐 아니라 실제 통행이 집중되는 O-D의 구성, 이용 시간대 및 통행의 시간적 연속성을 함께 고려할 필요가 있음을 보여준다. 특히 고령자 통행의 공간적 집중과 방향별 비대칭성, 짧은 통행 간격 및 반복 이용 특성을 확인하였다는 점에서 의의가 있다. 이러한 결과는 고령자 이용이 집중되는 시간대의 배차 조정, 주거지역과 주요 생활 목적지를 연결하는 노선 개선, 환승·보행 동선의 편의성 향상 등 수요 특성에 기반한 맞춤형 대중교통 서비스 설계에 활용될 수 있다. 나아가 해석 가능한 인공지능을 활용한 통행 특성 분석은 고령자의 이동권을 고려한 교통 복지 정책의 기초 자료를 제공할 수 있다.

국내외 교통분석 네트워크 비교를 통한 도시철도 환승 표현체계 구축

Developing a Transfer Representation Framework for Urban Rail:
A Comparison of National and Metropolitan Transport Network Models

김재헌	김희조	이상규	박동주
(서울시립대학교 교통공학과 석사과정)	(서울시립대학교 교통공학과 박사과정)	(서울시립대학교 교통공학과 박사과정)	(서울시립대학교 교통공학과 교수)

도시철도 통행에서 환승은 총 통행시간의 상당 부분을 차지하며, 대심도 역사가 증가하면서 역사 내 수직이동이 환승저항에 미치는 영향도 함께 커지고 있다. 그러나 교통수요 분석에 사용되는 네트워크에서 이러한 환승 이동이 어떤 방식으로 표현되는지는 상대적으로 덜 다루어져 왔다. 국가교통DB(KTDB) 철도 네트워크는 환승역을 노선별 노드로 분리하고 가능한 모든 노선쌍에 환승링크를 생성하여 구조적 해상도가 높은 편이다. 반면 생성된 환승링크는 길이와 속도가 일괄 적용되어 모든 환승이 동일한 비용으로 환산된다. 구조는 세분화되어 있으나 비용은 차등화되어 있지 않은 상태이다.

본 연구는 이러한 상태가 국제적으로 어떤 위치에 놓이는지를 확인하기 위해, 국내외 교통분석 네트워크의 환승 표현 방식을 동일한 기준으로 비교, 분류하는 것을 목적으로 한다. 비교 대상은 국내 KTDB와 영국 TAG, 스위스 NPVM, 일본 대도시교통센서스 및 보행공간 네트워크, 그리고 역사 내부를 노드와 링크로 기술하는 국제 데이터 규격인 GTFS-Pathways이다. 비교 기준은 임의로 설정하지 않고 네트워크 자료구조의 구성 요소에서 도출하여, 환승역 노드 분리, 환승링크 생성 단위, 환승거리·시간 산출 경로, 환승비용 차등화 방식, 수직이동 반영 여부와 역사 내부 구조, 승강설비, 환승통행량의 자료 공개 여부로 구성하였다.

비교 결과 환승비용의 산출 경로는 세 갈래로 구분되었다. 영국은 실측 거리를 보행속도로 나누어 시간을 산정하고, 스위스는 거리를 입력하지 않은 채 공표된 환승시간을 직접 사용하며, 일본은 역별로 실측된 이동거리, 이동시간, 이동속도를 보유한다. KTDB는 거리와 속도를 모두 두면서도 그 값이 상수이므로 세 유형 어디에도 속하지 않는 것으로 나타났다.

수직이동의 경우 영국은 승강설비의 거리와 속도를 코딩하도록 규정하고, 일본은 상하방향 이동거리를 역별로 실측하며, GTFS-Pathways는 계단, 에스컬레이터, 엘리베이터를 각각 독립된 링크 유형으로 정의하고 층 정보를 별도 파일로 관리한다. 국내 분석 네트워크에는 이러한 표현이 반영되어 있지 않으나, 역별 승강설비의 종류와 운행 길이, 설치 높이가 이미 공개되어 있어 국제 규격의 링크 유형 및 속성 항목과 직접 대응시킬 수 있다. 즉 자료의 부재보다는 기존 자료와 분석 네트워크 간의 미접속이 제약으로 판단된다.

본 연구는 환승 표현 수준을 단일한 단계가 아니라 구조 해상도와 비용 차등성의 조합으로 분류하고, 국내 공개자료를 국제 규격의 속성 항목에 대응시킨 매핑 결과를 함께 제시한다. 이를 통해 국내 네트워크 개선 시 우선 검토할 항목과 추가 확보가 필요한 자료를 구분할 수 있으며, 향후 대심도 환승역을 대상으로 환승링크 속성을 부여하는 작업의 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

세금계산서 거래금액 자료의 화물 물동량 O/D 보완 활용성 검토 - 경기도 양주시 사례를 중심으로 -

Applicability of Tax-Invoice Transaction Data for Complementing Freight Commodity Flow O/D: A Case Study of Yangju-si

김정은
(한국교통연구원 교통빅데이터연구본부, 주임전문원)

원민수
(한국교통연구원 교통빅데이터연구본부, 연구위원)

강태규
(㈜나이스디앤비, 팀장)

화물 물동량 O/D는 전국을 일관된 기준으로 구축한다는 장점이 있으나, 구축 과정에 기업 간 실제 거래에 대한 관측이 개입하지 않고 조사 주기와 공표 시차로 인해 최근의 산업·거래 변화를 적시에 반영하기 어렵다는 한계가 있다. 본 연구는 신용평가사(나이스디앤비)가 보유한 기업 간 세금계산서 거래금액 자료가 이를 보완할 수 있는지를 지역 분포의 정합성, 금액의 중량 환산 가능성, 업종 선별과 소재지 보정의 효과라는 세 가지 측면에서 검토하였다.

분석 자료는 경기도 양주시에 소재한 기업 981개사의 2023년 매출처별 거래금액(102,448행, 4조 786억 원)이며, 비교 대상은 같은 연도의 KTDB 화물 물동량 O/D(도로)이다. 위치가 확인되는 91,426건(3조 6,464억 원, 89.4%)을 2023년 250존 체계로 집계하고, 품목분류체계(NSPSC)와 한국표준산업분류(KSIC)를 KTDB 33품목에 대조하여 품목 부여의 타당성을 확인하였다.

분석 결과 거래금액의 지역 분포는 시도 단위에서 사업체수와 Pearson 상관계수 0.94, 시군구 단위에서 물동량과 Log-Pearson 0.80·Spearman 0.78로 유사하였고, 제조·도매업으로 범위를 좁혀도 0.78~0.80이 유지되었다. 반면 품목별 평균 원단위로 금액을 중량(톤)으로 환산하면 품목 간 원단위 편차가 커(비금속광물제품은 환산톤의 42.0%, 금액의 3.5%) 시군구 상관이 0.67에서 0.54로 낮아졌다. 또한 본점 주소로 발행되는 특성상 서울 도착 금액 비중(26.1%)이 물동량 비중(10.4%)의 2.5배였으며, 서울을 제외하면 상관이 0.70에서 0.80으로 상승하였다.

따라서 세금계산서 거래금액 자료는 물동량을 대체하기보다 업종 선별과 소재지 보정을 전제로 한 조건부 보완 자료로 보는 것이 타당하다. 지역 분포의 교차 검증과 분기 단위 변동지수로의 활용이 가능할 것으로 판단되며, 향후 KTDB와 독립된 환산단가 체계를 확보하고 전국 자료로 동일한 절차를 재수행하여 재검증할 계획이다.

사사: 이 연구는 2026년 국가교통조사 및 분석 사업의 지원을 받아 수행함.

대중교통 이용자의 경로선택 특성과 경로 안내 개선 -서울 교통카드 자료 분석과 MNL 기반 후보 경로 순위 조정

Transit Route Choice Behavior and Improved Route Guidance
-Analysis of Seoul Smart Card Data and MNL-Based Re-ranking of Candidate Routes

김태우
(가천대학교 스마트시티학과, 학부생)

김민수
(가천대학교 스마트시티학과, 박사과정)

여지호
(가천대학교 스마트시티학과, 부교수)

최성택
(한양대학교 도시공학과, 부교수)

대중교통 경로 안내 서비스는 모든 이용자가 같은 가중치로 일반화 비용을 최소화한다는 가정 아래 후보 경로의 순위를 정한다. 그러나 환승이나 보행을 유독 꺼리는 집단이 존재한다면, 이 단일 기준은 그 집단에게 실제로는 택하지 않을 경로를 체계적으로 첫 번째로 제시하게 된다. 교통카드 자료는 실제 선택 경로를 대규모로 관측할 수 있게 한다. 그러나 관측 경로와 라우터 후보를 대조하는 기준은 그동안 충분히 검증되지 않았고 추정한 선택 행태를 경로 안내의 개선으로까지 연결해 검증한 연구도 드물었다. 본 연구의 목적은 대중교통 이용자의 경로선택이 이용자 유형과 잠재적 성향에 따라 얼마나 다른지 규명하는 것이다. 또한 추정된 행태를 라우터 수정 없이 후처리 순위 조정(re-ranking)로 반영할 때 실제 선택을 얼마나 더 잘 재현하는지 검증하는 데 있다.

서울 교통카드 평일 1일 자료의 1,461,617개 통행 체인에 대해 RAPTOR 기반 엔진으로 출발 30분 창의 후보 경로를 생성하고 교통카드와 GTFS 간 노선 ID의 다대다 대응을 정정하였다. 이어 승·하차 정류장, 수단, 경유 정류장이 같은 경로를 공통 노선(common lines)으로 묶고 관측 경로와 일치하는 후보 묶음을 판정하였다. 이를 바탕으로 이용자 유형별 다항로짓(MNL), 혼합로짓, 잠재계층모형, LightGBM을 추정하여 168,935개 시험 체인에서 비교하고 전체 이용자 공통 MNL 계수로 라우터 후보의 순위를 다시 매겼다.

첫째, 후보 경로는 그대로 둔 채 노선 ID 대응을 정정하는 것만으로 관측 경로가 후보에 포함된 비율이 27.96%에서 42.52%로, 공통 노선까지 인정하면 45.53%로 높아졌다(기존 기준과 비교 가능한 1,315,339개 체인). 이를 통해 기존에 불일치로 집계되던 체인 중 상당수가 실제로는 같은 노선을 다른 ID로 기록한 것, 즉 일치 판정 기준의 문제였음을 확인하였다.

둘째, 네 모형의 적중률은 81.7~82.0%로 0.4%p 이내에 모여(LightGBM이 통계적으로 근소하게 앞섬) 6개 계수의 MNL은 예측력을 거의 잃지 않으면서 해석 가능한 행태 정보를 제공하였다.

셋째, 선택 행태는 뚜렷하게 이질적이었다. 고령자의 환승 회피 계수와 지하철 선호 계수는 일반 이용자의 1.5배와 1.9배였다. 4개 계층의 잠재계층모형은 주류 계층(64.7%)과 함께 환승을 강하게 회피하는 두 계층을 구분하였다. 고령자의 사후확률은 약 80%(47.6%, 32.5%)가 이 두 계층에 집중되었다. 다만 카드 유형과 잠재계층의 연관성은 Cramér's V=0.549에 그쳐 카드 유형만으로는 개인의 선택 성향을 충분히 대리할 수 없었다.

넷째, 공통 MNL 계수로 후보의 순위를 조정하자 관측 경로가 후보에 포함된 617,698개 체인에서 1순위 일치율이 86.95%에서 94.99%로 올라 잔여 오류의 61.6%가 사라졌다. 전체 1,461,617개 체인에서도 36.74%에서 40.15%로 3.40%p 높아졌다. 라우터와 순위 조정의 선택이 갈린 404,571개 체인 중 순위 조정만 관측 경로를 맞힌 체인은 59,101개(14.6%)로, 라우터만 맞힌 9,402개(2.3%)의 여섯 배를 넘었다. 이러한 결과는 이용자 행태를 반영한 경로 안내가 라우터 재설계 없이 1분 미만의 순위 조정만으로 가능함을 보여 준다. 동시에 환승 2회 이상 통행(29,820개 체인)은 관측 경로가 후보에 포함된 비율이 3.81%에 불과하여 남은 병목이 순위보다 후보 생성에 있음을 시사한다. 후보 생성의 개선과 유형·계층별 순위 조정가 개인화된 경로 안내의 다음 과제이다.

핵심어: 대중교통 경로선택, 행태 이질성, 잠재계층모형, 교통카드 빅데이터, 경로 순위 조정, 공통 노선

사사: 본 연구는 한국 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단(NRF)의 지원을 받아 수행 되었습니다(No. RS-2024-00415360), 본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2026-25524099).

도시철도 노선 연장에 따른 대중교통 통행행태 변화 분석

Analysis of Public Transit Travel Behavior Changes Following Urban Rail Extensions

김원선 (경일대학교 철도운전시스템학부)

이정혁 (경일대학교 철도운전시스템학부)

김진혁 (경일대학교 철도운전시스템학부)

안세진 (경일대학교 철도운전시스템학부)

이은학 (경일대학교 철도운전시스템학부)

도시철도 노선 연장은 대중교통 접근성을 향상시키고 교통서비스가 부족한 지역의 이동 편의성을 개선하기 위한 주요 정책 중 하나이다. 철도망의 확장은 기존 노선의 이용량뿐만 아니라 버스와 도시철도 등 다른 대중교통수단의 이용행태에도 영향을 미칠 수 있다. 그러나 철도 이용객 수의 증감만으로는 교통수단 간 연계 및 환승 과정에서 발생하는 변화를 충분히 파악하기 어렵다. 특히 여러 교통수단이 연결된 도시에서는 교통망의 변화가 전체 대중교통 이용행태에 영향을 미칠 수 있다. 이에 본 연구에서는 서울 지하철 9호선과 3호선의 연장 사례를 배경으로, 9호선 연장 구간을 중심으로 개통 전후의 대중교통 이용행태를 비교·분석하였다. 이를 통해 교통수단 선택, 통행시간 및 환승행태의 변화를 살펴보고자 하였다.

분석에는 서울 대중교통 체계에서 수집된 익명화된 교통카드 데이터를 활용하였다. 승하차 위치, 통행시간 및 환승기록 등을 바탕으로 연장 구간과 관련된 지역의 통행 특성을 비교하였으며, 교통수단 선택행태를 분석하기 위해 다항로짓 모형(Multinomial Logit Model)을 적용하였다. 선택 대안은 버스 단독 통행과 철도·버스 연계 통행 등을 포함하도록 구성하였다. 평균 통행시간과 환승 관련 특성을 주요 설명변수로 활용하였으며, 각 변수는 출발지와 도착지(Origin - Destination, OD)를 기준으로 집계하였다. 노선 연장 전후의 모형을 각각 추정하여 교통수단별 상대적 선호도의 변화를 비교하였다. 이 과정에서 연장사업의 직접적인 인과효과를 추정하기보다는 실제 관측자료를 기반으로 통행특성의 변화를 분석하는 데 중점을 두었다.

분석 결과, 서울 지하철 9호선 연장 이후 주변 지역의 전체 대중교통 이용량이 증가하는 경향이 나타났다. 이러한 변화는 철도뿐만 아니라 여러 교통수단에서 관찰되었으며, 연장 구간에 인접한 지역일수록 더욱 뚜렷하게 나타났다. 이용자들의 통행행태는 개통 직후 급격하게 변화하기보다는 점진적으로 조정되는 양상을 보였다. 교통수단별로는 철도 기반 통행과 철도·버스 연계 통행의 비중이 증가하였으며, 버스는 철도로 완전히 대체되기보다 연계 교통수단으로서의 역할이 강화되는 경향을 보였다. 통행시간과 환승행태에서도 변화가 관찰되었다. 특히 다수의 환승이나 우회 경로를 이용하던 통행에서 소요시간이 단축되고 환승의 복잡성이 감소하는 경향이 두드러졌다. 다만 이러한 변화는 모든 지역에서 동일하게 나타나지는 않았다. 연장 구간에서 멀리 떨어진 지역에서는 상대적으로 변화가 작았으며, 환승 거점과 일반 접근역 간에도 상이한 통행 특성이 관찰되었다. 이는 지역별 교통망 구조와 접근성에 따라 노선 연장 이후의 통행행태 변화가 다르게 나타날 수 있음을 시사한다.

본 연구에서는 도시철도 노선 연장이 철도 이용객 수의 변화뿐만 아니라 교통수단 구성, 통행시간 및 환승행태 등 대중교통 이용 전반의 변화와 관련되어 있음을 확인하였다. 철도망의 연결성 향상은 철도 기반 통행의 증가와 관련이 있었으며, 버스는 통합 대중교통체계 내에서 상호보완적인 역할을 유지하는 것으로 나타났다. 다만 본 연구는 서울의 특정 노선 연장 사례를 대상으로 하였으며, 직접적인 인과관계보다는 관측된 통행행태 변화에 초점을 맞추었다는 한계가 있다. 향후 연구에서는 추가적인 도시철도 연장 사례와 장기간의 관측자료, 다양한 분석 모형을 활용하여 통행행태 변화의 작용 메커니즘을 보다 명확하게 규명할 필요가 있다. 이러한 연구 결과는 도시철도 확장사업의 효과를 평가할 때 철도 이용량뿐만 아니라 버스와의 연계성, 환승 편의성 및 지역별 교통망 특성을 종합적으로 고려할 필요가 있음을 시사한다.

스마트카드 데이터를 활용한 통행 유형별 정기권 이용 특성 분석

Analysis of Transit Pass Usage by Travel Pattern Using Smart Card Data

강제모
(서울대학교 건설환경도시공학부, 학석사연계과정)

오종호
(서울대학교 건설환경도시공학부, 석박사통합과정)

이청원
(서울대학교 건설환경도시공학부, 교수)

대중교통 정기권은 교통비 부담을 완화하고 대중교통 이용을 촉진하여 기후위기에 대응하기 위한 정책 수단이다. 본 연구는 서울시 기후동행카드를 대상으로, 실제 통행 행태에 따른 정기권 이용 특성을 분석하고 구매 촉진을 위한 근거를 제시하고자 하였다. 구체적으로 통행 유형을 분류하여 정기권 이용과 연관된 특성을 확인하고, 이용 관측 집단과 유사한 통행 특성을 보이면서도 이용이 관측되지 않는 집단의 규모와 특성을 파악하고자 한다.

이를 위해 T Data의 스마트카드 자료와 서울열린데이터광장의 대중교통 정류장 위치 자료를 결합하였다. 카드별 하루 통행을 시간순으로 연결하고, 정류장 간 거리를 활용하여 최초 출발지로의 복귀 여부와 미관측 통행 가능성을 식별하였다. 이를 바탕으로 통행 횟수, 미관측 통행 추정 횟수, 평균 통행시간, 통행 간 시간 간격, OD 거리, 환승 비율, 복귀 여부, 복합수단 이용 비율의 여덟 변수를 구성하였다. 연속형·범주형 변수가 혼재하고 변수별 척도가 다른 점을 고려하여 Gower 거리를 적용하였으며, 실루엣 지수를 기준으로 변수 가중치를 조정한 K-medoids(PAM) 군집화를 통해 네 가지 통행 유형을 도출하였다. 정기권 이용 여부는 군집화에서 제외하여 통행 행태만으로 유형을 구분하였다.

이후 군집별 정기권 이용 관측 비율을 비교하고, 각 군집 내부의 이용 관측·미관측 집단 간 특성 차이를 Cramer's V로 분석하였다. 또한 회귀분석과 평균한계효과를 통해 다른 통행 특성을 고려한 상태에서 각 변수와 정기권 이용 관측 확률의 관계를 확인하였다. 분석 결과, 통행 횟수 외에도 복귀형 통행 구조와 환승 비율이 정기권 이용과 연관되었으며, OD 거리와의 관계는 통행 유형별로 상이하였다. 이러한 결과는 이용량만으로 설명하기 어려운 유형별 정기권 이용 차이를 보여주며, 구매 촉진 대상의 우선순위 설정과 하루 단위 요금 혜택 및 환승·장시간 통행 인센티브 검토를 위한 근거를 제공한다.

사사: This work was supported by the National Research Foundation of South Korea (NRF) grant funded by the government of South Korea (MSIT) (No. RS-2024-00357981). This research was also supported by the Institute of Construction and Environmental Engineering at Seoul National University and the Institute of Engineering Research at Seoul National University.

모바일 앱 조회로그 데이터를 활용한 철도에서의 미실현 수송수요 추정방법론 고찰

A Study on Methodologies for Estimating Unconstrained Demand on Railway Using Mobile Application Query Log Data

길주휘 (서울시립대학교, 학석사연계과정)

김희조 (서울시립대학교, 석박사통합수료)

이건 (서울시립대학교, 학부과정)

박동주 (서울시립대학교, 교수)

철도의 이용 수요는 점점 증가하나, 공급이 부족하여 주요 노선에는 좌석 매진이 빈번하게 발생하고 있다. 이러한 공급 제약 아래에서 관측되는 수송실적은 실제 수요의 하한에 머물기 때문에, 공급 확대 정책을 수행하기 위해서는 미실현 수송수요 추정이 필수적이다. '미실현 수송수요'란, 철도 이용 의향이 있었으나 좌석 매진 등으로 인하여 이용에 실패한 승객들의 수요를 의미한다. 본 연구는 철도에서 공급 제약이 없었다면 실현되었을 수요를 추정하기에 앞서 방법론에 대한 선행연구를 고찰하였다.

미실현 수송수요 추정 방법론은 주로 항공 분야에서 수요의 무제약화(Demand Unconstraining)으로 연구 및 개발되었으며, 그 중 EM(Expectation Maximization) 알고리즘이 가장 대표적인 추정 방법으로 활용되었다. EM 알고리즘은 예약이 좌석용량에 도달한 관측치를 매진으로 인해 수요가 절단된 자료로 판정하고, 실제 수요가 정규분포를 따른다는 가정하에 조건부 기댓값으로 수요를 추정하고 이를 반영하여 반복적으로 재추정하는 알고리즘이다. 최근에는 EM 알고리즘에 머신러닝 또는 복합 알고리즘을 결합하여 방법론을 고도화하는 추세이다. 한편, 철도 분야에서는 항공 분야에서 개발 및 검증된 Pickup 모델이나 EM 알고리즘이 주로 활용되었다. 이들 방법은 단일 구간(Single-Leg) 단위의 예약자료를 전제로 하므로, 다구간(Multi-Leg) 여정 간 좌석 경합을 반영하는데 제약이 있다. 철도는 편도 1구간(Leg)이 아닌 다구간 구조에서 다수의 O/D가 고정된 좌석을 두고 경쟁하므로, 기준점이 되는 O/D별 독립적인 좌석용량이 존재하지 않는다. 따라서, EM 알고리즘을 철도에 활용하기 위해서는 O/D별 예약데이터를 구간 단위의 재차인원으로 재구성하여 구간별 잠재수요를 추정한 후, 이를 다시 O/D별로 재분배하는 다구간 특화 접근이 필요하다.

이에 본 연구는 철도 수송실적에 모바일 앱 조회로그 데이터를 결합하는 방안을 제시한다. 조회로그는 승객이 검색한 출발역·도착역·출발일시(요청로그)와 후보 열차별 잔여석·매진 여부(응답로그)를 함께 기록한 데이터이다. 이를 활용하면 열차별·O/D별로 매진이 처음 관측된 시점을 관찰할 수 있으며, 매진 이후 O/D별 고유 검색자 수의 비중에 따라 구간별 잠재수요를 O/D별로 배분할 수 있다.

본 연구의 의의는 EM 알고리즘이 철도의 다구간 좌석 경합 구조를 반영하기 위해서는 수송실적 뿐만 아니라 로그데이터의 결합이 필수적임을 제시한 데 있다. 향후 이를 머신러닝 또는 복합 알고리즘과 결합하면 철도 미실현 수송수요 추정의 정밀도를 향상시킬 수 있을 것으로 전망한다.

사사: 본 연구는 '전략적 의사결정을 위한 공급 무제약 시 미실현 수송수요 추정 실증 연구'의 지원을 받아 수행되었음

지능형 철도 표면 결함 검출을 위한 지도학습·자기지도학습 기반 탐지 기법 연구

A Study on Supervised and Self-Supervised Lerning-Based Methods for Intelligent Rail Surface Defect Detection

최기도 (주식회사 머제스)
윤영태 (주식회사 케이티엠엔지니어링)
정재훈 (군산대학교 컴퓨터소프트웨어학부, 부교수)

최근 철도 유지보수 자동화를 위해 영상 기반 레일 표면 결함 검출 기술의 중요성이 증가하고 있다. 레일 표면에는 작은 국소 결함부터 넓게 이어지는 불규칙 영역까지 다양한 형태의 이상이 나타나며, 주행 환경에서 촬영되는 영상은 흐림, 조도 변화, 연속 프레임 중복 등의 영향을 받기 때문에 안정적인 결함 검출이 어렵다. 또한 공개되거나 취득 가능한 레일 표면 결함 데이터셋이 제한적이며, 단순히 이상 영상의 존재 여부를 판단하는 것보다 실제 점검에 활용할 수 있도록 결함의 위치를 정확하게 검출하는 것이 중요하다.

이에 본 연구에서는 정상 특징을 활용한 이상탐지 방법, 사전학습된 시각 특징을 활용한 지역 기반 검출 방법, 검수된 위치 정보를 활용한 객체 검출 방법을 적용하여 레일 표면 결함의 위치 검출 성능을 분석한다. 특징 기반 방법은 결함 후보 영역을 탐지할 수 있었으나 정확한 위치 검출에서는 상대적으로 제한적인 성능을 나타냈으며, 검수된 공간 정보를 직접 활용한 객체 검출 방법이 보다 높은 위치 검출 성능을 보인다. 또한 결함의 크기가 다양하게 나타나는 특성을 고려하여 결함 규모에 따라 서로 다른 검출 결과를 상호 보완하는 방식을 적용한다. 그 결과 선택된 타일 기반 시스템은 공개 회귀 평가에서 AP50 0.711, Box Recall 65.2%, 작은 결함 Recall 50.9%를 기록하여 기존 규모별 결합 방법보다 향상된 성능을 보였다.

본 연구에서는 정상 특징 기반 방법과 사전학습 특징 기반 방법, 객체 검출 기반 방법의 위치 검출 성능을 비교하고, 결함 크기를 고려한 규모별 모델 결합과 고해상도 타일 전략이 레일 표면 결함 검출 성능 향상에 기여할 수 있음을 확인한다.

사사: 본 연구는 2025년도 중소벤처기업부의 기술개발사업 지원에 의한 연구임(RS-2025-02219092)

서울시 심야 대중교통-따릉이 연계 접근성의 시공간적 변화: 접근성 격차와 지역 유형화를 중심으로

Spatiotemporal Changes in Late-Night Homebound Accessibility through Public Transit - Bike-Sharing Integration in Seoul: Accessibility Gaps and Spatial Typologies

심서영	이정현	정은수	황채원	박서연	추상호
(홍익대학교 도시공학과, 학부생)	(홍익대학교 도시공학과, 학부생)	(홍익대학교 도시공학과, 학부생)	(홍익대학교 도시공학과, 학부생)	(연세대학교, 교수)	(홍익대학교, 교수)

심야시간대에는 버스와 지하철의 막차 시각이 노선과 방향별로 달라, 출발 시각과 지역에 따라 귀가 가능한 범위에 큰 차이가 생길 수 있다. 특히 대중교통만으로 접근하기 어려운 지역에서는 따릉이 연계를 통한 이동 지원을 검토할 필요가 있다. 본 연구는 서울시 심야 대중교통의 귀가 접근성이 시간대별로 어떻게 변하는지와 출발지 간 격차를 격자 단위로 분석하고, 귀가가 어려운 지역의 특성을 파악하는 것을 목적으로 한다. 나아가 따릉이 연계 효과를 바탕으로 취약지역을 따릉이로 보완할 수 있는 지역과 심야 대중교통 개선이 필요한 지역으로 유형화하여 정책 및 개선방안을 제시하고자 한다.

기존 연구는 주간 기준의 접근성 평가, 심야버스 수요와 노선의 일치도, 따릉이 야간 이용 패턴 등 개별 주제를 다루는 데 집중해 왔다. 반면 막차 전후의 운행 조건을 반영하여 귀가 접근성을 격자 단위로 비교하고, 따릉이 연계 가능성까지 하나의 분석 틀에서 평가한 연구는 제한적이다. 본 연구는 심야시간대 버스·지하철과 따릉이의 연계를 함께 고려하여 귀가 접근성의 변화와 지역별 보완 가능성을 분석한다는 점에서 기존 연구와 구별된다.

KTDB에서 제공하는 2025년 3월 기준 GTFS 대중교통 운행자료와 OSM 도로망을 활용하여 서울시를 500 m 격자 2,639개로 구분하였다. 심야 활동과 교통 조건을 고려하여 서교동, 여의동, 역삼1동을 출발지로 선정하고, 22시, 23시, 00시, 01시 출발 시 대중교통과 도보를 이용한 이동시간을 산출하였다. 분석에는 대중교통 운행시각표와 도로망을 결합하여 출발 시각에 따른 이동시간을 계산하는 네트워크 분석 도구인 r5r을 사용하였다. 접근성은 서울시 전체 면적 대비 90분 이내 도달 가능한 면적의 비율로 정의하고, 60분과 120분 기준의 결과도 비교하였다. 또한 00시와 01시 출발의 6개 경우(3개 출발지×2개 시각) 중 90분 이내에 도달하지 못한 횟수를 격자별 도달 불가 빈도로 정의하였다.

분석 결과, 세 출발지의 평균 90분 이내 도달 면적 비율은 22시 93.5%, 23시 91.7%로 높았고, 출발지 간 차이는 1%p 미만이었다. 그러나 00시에는 43.7%로 급감하였다가 01시에 63.0%로 일부 회복되어, 심야 귀가 접근성은 출발 시각에 따라 크게 달라졌다. 통행시간 기준을 120분으로 확대했을 때 22시와 23시의 도달 면적 비율은 0.3%p 이하로 증가한 반면 00시는 25~32%p 증가하여, 00시의 접근성 평가 결과는 통행시간 기준에 따라 달라질 수 있는 것으로 분석되었다.

본 연구는 막차 전후 접근성 변화와 출발지 간 격차를 격자 단위로 정량화하는 분석 틀을 제시한다는 점에서 의의가 있다. 또한 심야 귀가 취약지역을 지도로 제시하고 따릉이 연계 효과가 큰 지역을 구분하여, 심야 대중교통 보완과 따릉이 운영 방향을 검토할 기초자료를 제공할 수 있다.

연관성 분석을 활용한 기상조건에 따른 서울역 지하철 수요 변화

Weather-Related Changes in Subway Demand at Seoul Station Using Association Analysis

정창호
(계명대학교 도시계획및교통공학과, 석사과정)

권오훈
(계명대학교 교통공학과, 부교수)

도우석
(계명대학교 교통공학과, 조교수)

기상조건은 대중교통 이용에 영향을 미치는 대표적인 외부 요인이다. 선행연구에 따르면 강수·강풍·폭염 등 기상 악화는 대중교통 이용을 감소시키며, 그 영향은 평일보다 주말에, 첨두시보다 비첨두시에 크게 나타난다. 그러나 기존 연구는 주로 일 단위 자료와 회귀모형으로 개별 기상 변수의 평균적 영향을 추정하여, 여러 기상조건이 함께 나타날 때의 효과나 운행 방향에 따른 차이를 파악하는 데 한계가 있다. 이에 본 연구는 연관성 분석으로 기상조건의 조합과 지하철 수요 상태 간 규칙을 도출하고, 그 규칙이 시간대와 운행 방향에 따라 어떻게 달라지는지 분석한다.

2022~2024년 1호선 서울역의 10분 단위 상·하선 재차인원과 기상 관측·특보 자료를 1시간 단위로 집계하여 사용한다. 요일 유형은 수요 특성이 유사한 일요일과 공휴일을 하나로 묶어 평일(729일), 토요일(147일), 일요일·공휴일(201일)로 구분하고, 방향별로 평일 출퇴근 시간대(07~09시, 18~19시) 5개와 토요일, 일요일·공휴일의 주간 시간대(12~18시) 각 7개로 총 19개 시나리오를 구성한다. 수요 상태는 시나리오별 재차인원의 Q1(제1사분위수) 미만을 '여유', Q1 이상~Q3(제3사분위수) 미만을 '보통', Q3 이상을 '혼잡'으로 정의한다. 기상 변수는 기온·최저·최고기온(0℃ 미만, 0~15℃, 15~25℃, 25~35℃, 35℃ 이상), 1시간 강수량(0mm, 0~3mm, 3~15mm, 15~30mm, 30mm 이상), 1시간 적설(0cm, 0~1cm, 1~3cm, 3cm 이상), 6대 기상특보(강풍·호우·한파·건조·대설·폭염)의 발효 여부로 범주화한다. 연관성 분석(Association Analysis)은 'A이면 B' 형태의 규칙으로 항목 간 관계를 찾는 방법으로, 본 연구에서는 A를 기상조건, B를 수요 상태로 둔다. 규칙은 지지도(전체 관측일 중 A와 B가 함께 나타난 날의 비율), 신뢰도(A가 나타난 날 중 B가 나타난 날의 비율), 향상도(A가 나타났을 때 B가 나타날 확률이 평소보다 몇 배인지)로 평가한다. 기상특보와 강한 비·눈은 분석 기간 중 발생일이 적으므로 최소 지지도를 0.005로 낮게 설정하고, 최소 신뢰도 0.10, 최소 향상도 1.1을 적용한다. 세 지표가 같은 규칙은 조건이 적은 규칙을 채택하며, 조건이 많을수록 관측일이 줄어 우연히 향상도가 높아질 수 있으므로 지지도를 함께 확인한다.

분석 결과, '혼잡'은 상선이 평일 08시(20,321명), 하선이 평일 18시(22,738명)에서 가장 높아 방향별 수요 정점이 다르다. 평일 출퇴근 시간대에는 방향과 관계없이 '최고기온 0℃ 미만+건조특보'인 한겨울에 '여유'(향상도: 3.12~3.50), '기온 0~25℃·최저기온 0~15℃+건조특보'인 봄·가을에는 '혼잡'(향상도: 2.26~2.85)이 나타나며, 폭염특보 시에는 대체로 '보통'이다. 평일 18시에는 '1시간 강수량 0~3mm'에서 양 방향 모두 '보통'(1.44~1.60)이나 '1시간 강수량 3~15mm'에서는 '여유'(2.86)로 바뀌어, 퇴근 시간대에는 일정 강수량 이상에서 수요가 감소하는 경향을 보인다.

같은 기상조건에 대한 반응이 방향(상선/하선)에 따라 엇갈리기도 한다. 평일 08시 대설특보 시 상선은 '보통'(1.72), 하선은 '혼잡'(2.26)이고, 주말 12시 '1시간 강수량 0~3mm'·폭염특보 시 상선은 '여유'(1.92~2.68)인 반면, 하선은 '보통'(1.13~1.30)이다. 다만 일요일·공휴일 12시에는 '기온 0℃ 미만'인 경우 양 방향 모두 '여유'(1.89~2.13)이나, 토요일 12시에는 하선에서 '보통'(1.44)으로 요일 유형 간 차이를 보인다. 또한 단독으로는 연관 방향이 불분명한 조건도 기온과 결합하면 수요 상태가 구분된다. 평일 08시 건조특보 시 상선은 '여유'와 '혼잡' 모두와 연관되나, '최고기온 0℃ 미만'과 결합하면 '여유'(3.50), '기온·최저기온 0~15℃'와 결합하면 '혼잡'(2.26)으로 구분된다. 평일 08시 하선의 '1시간 강수량 0~3mm'도 '기온 0~15℃'와 결합하면 '혼잡'(2.38), '기온 15~25℃·최고기온 25~35℃'와 결합하면 '여유'(3.34)로 구분된다.

주말 상선에서 나타난 강수·폭염 시 수요 감소는 주말 통행이 기상에 더 민감하다는 선행연구와 부합하나, 하선에서는 같은 경향이 나타나지 않는다. 이처럼 본 연구는 개별 기상 변수로는 드러나지 않는 기상조건 간 결합 효과와, 같은 역·같은 시간대에서도 운행 방향에 따라 달라지는 수요 반응을 확인하였다. 이는 기상조건을 개별 변수가 아닌 조합 단위로, 수요를 양방향 합산이 아닌 방향별로 다룰 필요가 있음을 시사하며, 기상을 고려한 지하철 수요 예측 모형의 변수 설계에 근거를 제공한다. 다만 도출된 규칙은 동시 출현 관계로서 인과관계를 의미하지 않으며, 호우·대설·35℃ 이상 고온 등 드문 기상조건은 관측일이 수일에 불과하므로 장기 자료와 다른 역사로의 확장을 통한 검증이 필요하다.

사사: 본 연구성과물은 2026년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 과제번호 : RS-2025-25427620)

미래 도로환경 변화에 대응한 통행료 제도 개선 방안

)Improving Tolling Policies in Response to Changes in the Future Road Environment

백정한 (국토연구원, 부연구위원)
김종학 (국토연구원, 선임연구위원)
윤태관 (국토연구원, 연구위원)

도로 인프라의 노후화와 친환경·첨단 교통 인프라 확대로 건설·운영·유지관리 비용이 증가하면서, 재원 확보와 이용자 수용성을 함께 고려한 통행료 제도 개선의 필요성이 높아지고 있다. 본 연구는 국내외 통행료 제도를 비교·검토하고, 지하고속도로에 대한 이용자 선택과 통행료 지불의사를 분석하여 미래 도로환경 변화에 대응한 제도 개선 방향을 제시하는 데 목적이 있다.

국내외 제도 검토 결과, 국내 고속도로 통행료는 기본요금과 주행요금으로 구성된 이부요금제를 기반으로 다양한 할인·감면 제도를 운영하고 있으나, 시간대·혼잡도·구간 특성에 따른 탄력적 요금 조정은 제한적인 것으로 나타났다. 반면 일본은 건설·운영 여건이 다른 구간에 별도 요율을 적용하고, 캐나다는 시간대·구간·차종별 가변요금제를 운영하며, 스페인과 미국은 시간대·혼잡도·이용 빈도 등을 반영한 차등요금과 할인·면제 제도를 활용하고 있다. 이러한 사례는 통행료가 도로 인프라의 재원 확보뿐 아니라 혼잡 완화와 교통 수요 분산을 위한 정책 수단으로 활용될 수 있음을 보여준다.

유연한 통행료 체계의 도입 가능성과 이용자 수용성을 검토하기 위해 수도권 광역 통근 운전자 500명을 대상으로 지하고속도로 선택실험을 실시하고, 선호 이질성과 반복 응답 특성을 반영한 패널 혼합 로짓 모형을 활용하였다. 분석 결과, 지하공간에 대한 비선호를 상쇄하기 위해서는 평균 약 10분의 통행시간 절감이 필요한 것으로 나타났으며, 추가 통행료 1,000원의 부담은 약 9~10분의 시간 손실과 유사하게 평가되었다. 10분의 시간 절감에 대한 지불의사는 평균 1,722원, 중앙값 1,251원으로 추정되었고, 시간 절약에 대한 지불의향이 높은 집단은 낮은 집단보다 약 2~3배 높은 지불의사를 보였다. 또한 지하고속도로 도입에 대한 긍정적 인식은 지하공간 비선호를 완화하였으며, 계획 노선의 시간 절감 효과가 절반으로 감소하면 동일한 통행료 수준에서도 예상 이용률이 크게 낮아졌다.

이상의 결과를 바탕으로 본 연구는 통행시간 절감 효과와 이용자 반응을 반영한 차별화된 요금 설계, 시간대·혼잡도·서비스 수준에 따른 단계적·탄력적 요금 적용, 안전성과 운영 성과에 대한 정보 제공을 통한 이용자 인식 개선 및 정책 신뢰 확보를 제안한다. 이는 해외의 유연한 통행료 운영 사례를 국내 여건에 맞게 검토하고, 미래 도로 인프라의 재원 확보와 이용자 수용성을 함께 고려하기 위한 기초 근거로 활용될 수 있다.

사사: 본 포스터는 “백정한, 김종학, 윤태관. 2025. 미래 도로환경 변화에 대응한 이용자 수용성 분석 연구. 세종: 국토연구원” 보고서를 요약·정리한 것임.

XAI 기반 화물수단선택 분석: 운송사 규모를 중심으로

An Analysis of Freight Mode Choice Using Explainable AI with a Focus on Carrier Size

장진원
(서울시립대학교
교통공학과, 연구교수)

박동주
(서울시립대학교
교통공학과&도시빅데이터융합학과, 교수)

기후위기 대응 등을 위해 전 세계적으로 철도로의 수단전환(modal shift) 정책이 추진되고 있지만, 철송분담률은 오히려 감소하고 있다. 철도화물 정책과 선행연구는 운송비용·시간 등의 운송조건을 중점적으로 다루었다. 그러나 본 연구는 철송 분담이 수단 자체의 조건만으로는 충분히 설명되지 않는다고 보고, 철도를 실제로 이용하는 주체, 그중에서도 운송사의 규모에 주목하였다. 이에 본 연구는 운송사 규모의 역할을 중심으로 철도 수단선택의 구조를 분석하고 해석하였다.

먼저 운송사 심층 인터뷰를 통해 국내 컨테이너 내륙운송에서 수단선택을 사실상 운송사가 주도함을 확인하였다. 이는 화주를 의사결정자로 전제해 온 다수의 선행연구와 상이한 결과로, 운송사를 분석의 핵심 주체로 설정한 본 연구의 접근을 뒷받침한다. 이어 143개 화주사·운송사로부터 수집한 1,425건의 잠재선호 응답에 RUMBoost를 적용하여 국내 컨테이너 수단선택을 분석하였다. 그 결과 종사자수는 화주사와 운송사를 불문하고 철도 효용에 양의 영향을 미쳤는데, 그 변화 폭은 운송사가 화주사의 약 두 배로 나타났다. 또한 이 효과는 선형적이지 않고 특정 종사자수를 전후로 증가폭이 완만해지는 양상을 보여, 철도 이용에 일정 수준의 조직적 역량이 필요함을 시사하였다.

운송조건의 영향은 운송비용, 운송시간, 철도 정시도착율 순이었으며 화물열차 운행횟수는 유의미한 효용이 확인되지 않았다. 나아가 그 영향은 응답업체 유형에 따라 비대칭적이어서, 운송사는 화주사에 비해 운송시간과 정시도착율에 둔감하였고 대형 업체는 소형 업체에 비해 운송조건 변화에 더 민감하였다. 이를 종합하면 대형 운송사는 수단선택이 운송비용에 의해 가장 강하게 좌우되는 집단으로, 철도가 비용 경쟁력을 갖출 때 이를 더 적극적으로 이용한다고 해석할 수 있다. 그 외 운송기한과 품목이 철도 효용에 미치는 영향도 분석되었다.

본 연구는 운송사 규모를 화물수단선택의 핵심 요인으로 제시하고 화주사·운송사의 행태 차이를 실증하였으며, 화물수단선택 분야에 해석가능한 머신러닝 모형인 RUMBoost를 처음으로 적용하였다. 나아가 운송사 규모의 효과가 비선형적 진입 문턱과 시장의 규모 분포를 통해 작동함을 규명함으로써, 철도 자체의 운송조건 개선에 집중되어 온 기존 논의에 운송시장의 규모 구조라는 보완적 관점을 제시한다.

사사: 본 연구는 국가철도공단 '철도 화물 수요예측방법 개선 연구 용역'의 지원 및 국토교통부/국토교통과학기술진흥원(과제번호: RS-2026-25538098)과 한국철도기술연구원 '피기백 시장 분석 및 화주·운송사 수요조사 기반 운영모델 분석' 과제의 지원으로 수행되었습니다.

용량제약 대중교통 통행배정의 미분을 통한 운행빈도 설정

Transit Frequency Setting by Differentiating Capacity-Constrained Optimal Strategies

김태형
(서울대학교 건설환경도시공학부, 박사수료)

김동규
(서울대학교 건설환경도시공학부, 교수)

대중교통 운행빈도 설정 문제(Transit Network Frequency Setting Problem, TNFSP)는 노선망을 변경하지 않은 채 한정된 차량을 노선별로 배분하여 이용자의 총 통행시간을 최소화하는 전술적 계획 단계로서, 대규모 자본 투자 없이 서비스 수준을 개선할 수 있는 수단이다. 그러나 이 문제는 운영자를 리더로, 이용자를 추종자로 하는 이중수준(bi-level) 구조를 가지며, 하위수준의 통행배정이 두 가지 이유로 미분되지 않는다는 근본적 난점을 갖는다. 첫째, 최적전략(optimal strategies) 모형에서 이용자가 정류장마다 탑승 가능한 노선의 매력집합을 선택하는 과정이 이산적이다. 둘째, 차량 용량을 반영하기 위해 도입되는 유효빈도(effective frequency) 기구가 혼잡도와 배정량이 서로를 결정하는 고정점을 형성하여 연속평균법(MSA)에 의한 반복으로만 해를 얻을 수 있다. 두 특성이 결합되면 운행빈도의 변화가 균형 배정에 미치는 영향을 해석적으로 얻을 수 없으므로, 기존 연구는 유전알고리즘을 비롯한 무작위 탐색에 의존해 왔으며, 그 결과 난수 시드에 따른 재현성 부족, 후보해마다 전체 배정을 재계산해야 하는 확장성 한계, 소규모 벤치마크 네트워크에 국한된 검증이라는 문제를 안고 있었다.

본 연구는 반복 알고리즘의 궤적을 미분하는 대신, 수렴된 용량제약 최적전략 균형을 차량 배분의 음함수로 간주하는 접근을 취한다. 수렴점에서 매력집합을 고정하면 유효빈도 잔차식만 남으며, 여기에 음함수 정리(implicit function theorem)를 적용하여 상위수준 목적함수의 정확한 해석적 기울기를 유도한다. 이때 요구되는 야코비안은 노드 수와 목적지 수의 곱에 해당하는 차원을 가져 직접적인 역행렬 계산이 불가능하므로, 수반(adjoint) 정식화를 도입하여 역행렬 계산을 목적지별 희소 선형계의 해로 대체하였다. 이 선형계는 균형 하이퍼그래프를 목적지로부터 역방향으로 1회 훑는 것만으로 해를 얻을 수 있으며, 전체 노선에 대한 도함수를 동시에 제공한다. 따라서 결정변수의 수가 증가하여도 기울기 계산 비용이 증가하지 않는다. 확보된 기울기는 차고지별 차량 대수 보존 제약과 노선별 최소 운행빈도 제약을 만족하도록 투영 경사하강법에 적용된다.

제안 기법은 서울 대도시권 다수단 대중교통 네트워크(노드 38,806개, 링크 110,368개, 버스 324개 노선, 도시철도 33개 노선, 차고지 81개소, 총 차량 6,971대)에 적용하였으며, 수요는 교통카드 전수 자료로부터 복원한 1,149만 통행, 152만 OD쌍을 사용하였다. 현행 운영 배분과 등두수 배분이라는 두 초기해로부터 각각 일일 총 통행시간을 1,072만 인·분, 1,158만 인·분 감소시켰으며, 두 궤적은 모두 단조 감소하여 최종 목적함수 값의 0.05% 이내로 수렴하였다. 이는 초기 두 배분의 격차인 130만 인·분의 대부분을 회복한 것으로, 도출된 배분이 출발점이 아니라 네트워크 자체의 속성임을 의미한다. 동일한 배정 모형으로 평가한 유전알고리즘은 같은 초기해에서 36~42% 수준의 감소만을 달성하였고, 계산시간은 제안 기법의 4.4~4.5시간에 대비하여 19.8~23.4시간이 소요되었다. 특히 대기시간 감소는 1.8~2.0배인 반면 차내 통행시간 감소는 3.5~4.7배로 나타났는데, 차내 통행시간은 재배분이 이용자의 전략 변화를 유발해야만 감소하는 항이므로, 이 격차는 제안 기법의 우위가 탐색 효율이 아니라 하위수준 이용자 반응의 관측 가능성에 기인함을 보여준다. 또한 포화도 0.8을 초과하는 링크가 14.5%, 1.0을 초과하는 링크가 21.0% 감소하여, 목적함수에 혼잡 항이 포함되지 않았음에도 과포화 구간이 우선적으로 완화되었다.

본 연구는 이산적이고 반복적인 하위수준을 가진 실제 대도시권 네트워크에서도 상위수준 목적함수의 정확한 기울기를 안정적으로 얻을 수 있음을 실증하였다. 도출되는 노선별 한계가치는 어느 노선에 차량 1대를 추가할 때 전체 통행시간이 가장 크게 감소하는지를 직접 제시하므로, 운영기관은 노선 변경이나 차량 증차 없이 기존 차량의 차고지 내 재배분만으로 서비스를 개선할 수 있다. 나아가 본 연구에서 구축한 수반 기법은 노선 topology와 운행빈도를 함께 다루는 미분 가능한 대중교통 노선망 설계(TNDP) 체계로 확장될 수 있는 기반을 제공한다.

이용자 통행행태를 고려한 장애인 콜택시 경로 최적화

Paratransit Route Optimization Considering User Travel Behavior

안세진	김원선	이정혁	김진혁	이은학
(경일대학교 철도운전시스템학부)	(경일대학교 철도운전시스템학부)	(경일대학교 철도운전시스템학부)	(경일대학교 철도운전시스템학부)	(경일대학교 철도운전시스템학부)

서울시는 2006년 유엔(UN)이 제정한 장애인권리협약에 따라 장애인 콜택시를 도입하여 운영하고 있다. 현재 서울시의 장애인 콜택시는 선입선출(FCFS) 시스템을 기반으로 운영하여 호출 순서에 따라 이용자에게 가장 가까운 택시를 배정한다. 이 전략은 단거리 이용자와 장거리 이용자를 동일한 시스템 내에서 수송함에 따라 택시의 이동 거리를 증가시키고 사용자의 대기 시간을 늘린다는 단점이 있다. 특히 장애인들은 주로 단거리 이동을 위해 장애인 콜택시 서비스를 이용한다. 이에 본 연구는 장애인의 통행 행태를 고려하여 장애인 콜택시의 최적 경로 전략을 설계하고자 한다.

제안된 전략은 이동 거리에 따라 사용자를 여러 그룹으로 분류하고 각 그룹에 최적화된 택시 서비스를 제공하는 방식이다. 먼저, 가우시안 혼합 모델(Gaussian Mixture Model, GMM)을 사용하여 장애인의 통행 거리 분포를 단거리 및 장거리 분포 등 여러 개의 분포로 분류한다. 그런 다음, 장애인 콜택시의 최적 경로 전략을 도출하기 위해 유전 알고리즘 기반의 시간 창이 있는 차량 경로 문제(VRPTW) 모델을 개발했다. 목적 함수는 사용자의 총 대기 시간을 최소화하는 것으로 설정되었으며, 결정 변수에는 사용자 그룹의 수, 장애인 콜택시의 대수, 각 차량의 경로가 포함됐다.

본 연구에서는 서울시 장애인 콜택시의 GPS 기반 운행자료를 활용하였다. 분석자료는 차량 ID, 차량 유형, 배차 요청 및 지정 시각, 승·하차 시각, 승·하차 위치 등의 정보를 포함하고 있다. 이를 바탕으로 이용자의 통행 특성을 분석하고, 도로의 평균 통행속도를 고려하여 차량의 이동시간과 대기시간을 산정하였다. 또한 기존 운영방식과 제안한 최적화 전략을 비교하여 이용자별 대기시간과 차량 운행거리의 변화를 분석하였다.

분석 결과, 제안한 운영 전략은 기존 방식에 비해 전체 이용자의 대기시간과 차량 운행거리를 감소시키는 것으로 나타났다. 특히 단거리 및 중거리 이용자의 대기시간이 크게 감소하였으며, 단거리 이용자에게서 가장 높은 개선 효과가 확인되었다. 반면 장거리 이용자의 대기시간은 오히려 증가하는 경향을 보여 이용자 집단 간 서비스 형평성 문제가 발생할 가능성이 확인되었다. 전체적으로 제안한 전략은 비교 대상 운영방식보다 시스템 차원의 운영 효율성을 개선하는 것으로 나타났으며, 경제적 편익 분석에서도 대기시간 단축과 차량 운영비 절감에 따른 긍정적인 효과가 확인되었다.

본 연구는 출발지 중심의 기존 택시 배차 전략을 개선하여 출발지와 목적지를 동시에 고려하고, 장애인 콜택시 이용자의 통행 특성과 차량 경로 최적화를 연계한 운영 전략을 제안하였다는 점에서 의의가 있다. 특히 제안한 전략은 대규모 인프라 투자 없이 기존 운영체계의 효율성을 개선할 수 있으며, 연간 약 13억 원의 경제적 편익이 발생할 것으로 추정되었다. 다만 전체적인 운영 효율성 개선에도 불구하고 장거리 이용자의 대기시간이 증가하는 한계가 확인되었다. 따라서 향후 연구에서는 장거리 이용자를 위한 사전 예약제와 대기시간 상한 설정 등 서비스 형평성을 고려한 운영 전략을 추가적으로 검토할 필요가 있다.

eXplainable AI를 이용한 급행열차 이용행태 분석

Analyzing Express Train Usage Behavior Using Explainable Artificial Intelligence (XAI)

이정혁	김진혁	김원선	안세진	이은학
(경일대학교 철도운전시스템학부)	(경일대학교 철도운전시스템학부)	(경일대학교 철도운전시스템학부)	(경일대학교 철도운전시스템학부)	(경일대학교 철도운전시스템학부)

도시철도 급행열차는 장거리 이용자의 통행시간을 단축하고 노선의 수송 효율성을 향상시키기 위한 주요 운영 전략으로 활용되고 있다. 급행열차는 완행열차와 동일 노선에서 병행 운행되며, 이용자는 통행시간, 대기시간, 환승 횟수 및 혼잡도 등 다양한 요인을 종합적으로 고려하여 열차를 선택한다. 그러나 동일 노선에서 병행 운행되는 경우 급행역 혼잡, 이용 수요의 편중 및 열차 간 이용 불균형 등의 문제를 유발할 수 있어, 효율적인 급행 서비스 운영을 위해 이용자의 실제 열차 선택 행태에 대한 이해가 필요하다. 기존 연구는 설문조사와 다항로짓모형 등 전통적인 통계적 접근을 통해 급행열차 선택 요인을 분석하였으나, 통행 관련 변수 간 비선형 관계와 복합적인 상호작용을 충분히 반영하는 데 한계가 있다. 이에 본 연구는 교통카드 데이터와 열차 운행 로그를 결합하고, 해석 가능한 머신러닝 기법을 활용하여 도시철도 이용자의 급행·완행열차 선호도와 주요 영향 요인을 분석하고자 하였다.

본 연구에서는 급행열차와 완행열차가 병행 운행되는 서울 지하철 9호선을 대상으로 교통카드 데이터와 열차 운행 로그를 활용하였다. 교통카드의 승·하차 시각 및 역 정보와 열차 운행 로그의 실제 도착 시각, 운행 방향 및 열차 유형을 연계하여 승객의 탑승 열차를 추정하였다. 분석 대상은 급행열차와 완행열차 간 선택이 가능한 통행으로 한정하였으며, 출발역과 도착역의 급행 정차 여부 및 환승 특성에 따라 통행 유형을 구분하였다. 또한 급행 및 완행열차의 총 통행시간, 대기시간, 차내 이동시간, 혼잡도 및 환승 횟수 등을 주요 설명변수로 구성하였다.

급행열차 선택행태를 분석하기 위해 Extreme Gradient Boosting(XGBoost) 기반의 이진 분류 모형을 구축하였다. 자료의 불균형을 보완하기 위해 Synthetic Minority Over-sampling Technique(SMOTE)를 적용하였으며, 교차검증을 통해 모형의 초모수를 최적화하였다. 모형의 예측 성능은 다양한 분류 성능 지표를 활용하여 평가하고, 기존 다항 로짓 모형(Multinomial Logit Model, MNL)과 비교하였다. 또한 SHapley Additive exPlanations(SHAP)를 적용하여 주요 변수의 상대적 중요도와 예측 기여도를 분석하고, 변수 간 비선형 관계 및 상호작용을 해석하였다.

분석 결과, XGBoost 모형은 기존 MNL 모형보다 우수한 예측 성능을 나타냈으며, 통행 유형별 분석에서도 전반적으로 높은 분류 성능을 보였다. SHAP 분석에서는 완행열차의 총 통행시간이 급행열차 선택을 구분하는 가장 중요한 변수로 나타났으며, 급행열차 이용 시 환승 횟수와 완행열차의 차내 이동시간이 주요 영향 요인으로 확인되었다. 특히 완행열차의 총 통행시간이 길어질수록 급행열차 선택 가능성이 증가하는 반면, 급행열차 이용 시 환승 횟수가 증가할수록 급행열차 선택 가능성이 감소하는 경향을 보였다. 또한 급행열차의 대기시간과 차내 이동시간이 짧아질수록 급행열차 선택 가능성이 증가하였으며, 완행열차의 대기시간이 길어질수록 급행열차에 대한 상대적 선호가 높아지는 것으로 나타났다. 반면 혼잡도는 통행시간 및 환승 관련 변수에 비해 상대적으로 낮은 중요도를 보였다.

본 연구는 교통카드 데이터와 열차 운행 로그를 활용하여 실제 이용자의 급행·완행열차 선택 행태를 분석하고, XGBoost와 SHAP을 결합하여 머신러닝 기반 선택모형의 예측 성능과 해석 가능성을 함께 확보하였다. 분석 결과, 급행열차 선택에는 완행열차 대비 통행시간 절감 효과와 환승 부담이 중요한 역할을 하며, 대기시간과 차내 이동시간 역시 이용자의 선택에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 급행열차 운영 전략을 수립할 때 단순한 운행 속도 향상뿐 아니라 환승 편의성, 열차 간 대기시간 및 전체 통행시간을 종합적으로 고려할 필요가 있다. 이러한 결과는 급행열차 운영 전략 조정, 환승 체계 개선 및 등 도시철도 급행 서비스 운영 전략 수립을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

교통인프라 확충에 따른 관광통행 잠재수요 분석

Analysis of Latent Tourist Travel Demand Associated with Transportation Infrastructure Expansion

최보림
(영남대학교 도시공학과, 박사수료)

정연식
(영남대학교 도시공학과, 교수)

본 연구는 교통인프라 확충에 따른 접근성 개선이 기존 통행자의 추가 방문 및 기존 미통행자의 신규 방문 의향에 미치는 영향을 분석하여, 통행 경로 전환 외 관광통행 잠재수요 발생 가능성을 규명하고자 한다. 이를 위해 신규 고속도로 개통을 가정한 설문조사를 실시하였으며, 총 600부의 유효 표본을 확보하였다. 분석 방법으로는 기존 통행 여부에 따른 추가 방문 의향의 차이를 검증하기 위해 교차분석과 Firth 로지스틱 회귀분석을 수행하였으며, 방문 의향자(n=569)의 예상 추가 방문 횟수와 관련 요인을 분석하기 위해 영절단 음이항 회귀분석(Zero-Truncated Negative Binomial Regression)을 실시하였다. 분석 결과, 기존 미통행자의 83.6%가 신규 방문 의향을 나타냈으며, 기존 통행 여부는 방문 의향 및 예상 추가 방문 횟수와 통계적으로 유의한 관계를 보였다. 특히 추가 방문 의향자의 방문 목적은 기존 미통행자와 기존 통행자 모두 관광 및 여가에 집중되는 경향을 보였다. 이러한 결과는 도로 건설에 따른 접근성 개선이 단순 통행 경로 재배분을 넘어, 관광통행 잠재수요의 확대 가능성과 관련될 수 있음을 시사한다. 본 연구는 교통인프라 확충 효과를 평가할 때 관광통행 잠재수요를 고려해야 할 필요성을 제시하며, 신규 도로 개통 전후의 통행패턴 모니터링과 잠재수요 대응형 교통 관리 체계 마련을 위한 기초자료를 제공한다.

회전교차로 지체 산정모형의 기하구조 반영 개선 방안 연구

A Study on Improving the Delay Estimation Model for Roundabouts by Reflecting Geometric Characteristics

박준서
(부산대학교 도시공학과, 석사과정)

배범준
(부산대학교 도시공학과, 조교수)

도로용량편람(2013) 회전교차로 평균제어지체 산정모형의 가감속 지체 보정항은 5×min[V/c, 1]로, 포화도를 기반으로 감속 지체를 최대 5초로 제한한다. 이 보정항은 국토교통부 회전교차로 설계지침(2022)의 핵심 기하구조 요소인 내접원 지름, 진입각 등에 따른 차량의 감속 및 가속 거동을 반영하지 못하므로, 실제 기하구조 조건에서 지체가 과대 또는 과소 평가될 수 있다. 선행연구에서는 진입차로 확폭, 설계속도, 진입로 폭, 타원형 회전교차로 등 기하구조의 영향을 분석하였으나, 교차로 갈래 수와 차로 수 등 일부 조건만을 반영하였으나, 회전교차로 내부의 구체적인 기하구조 설계 변수 변경에 따른 지체 민감도를 정량적으로 분석하여 모형에 반영한한 연구는 제한적이다. 이에 본 연구는 미시적 교통시뮬레이션 분석을 통해 화전교차로의 내접원 지름과 진입각을 반영한 가감속 지체 보정 모형을 도출하고자 한다.

본 연구는 미시적 교통시뮬레이션 프로그램 SUMO를 이용하여 1차로 회전교차로를 구축하였다. 모든 분석 시나리오에서 네트워크의 접근거리 등 동일한 조건을 설정하여 외부 요인을 통제하고, 내접원 지름 및 진입각 변화가 유발하는 지체 효과만을 추출하였다. 내접원 지름(D)은 20, 30, 40, 50m의 4수준과 진입각(A)은 20°, 30°, 40°, 50°, 60°의 5수준으로 설정하여, 총 20개 기하구조 시나리오를 구성하였다. 교통 조건은 기하구조 자체의 지체 유발 효과를 분석하기 위해 무상충 조건(free-flow)과, 실제 운영 상태를 모사하여 가감속 지체를 극대화하는 포화 조건(V/c≈1.0)으로 구분하고, 시뮬레이션 분석의 신뢰성 확보를 위해 5개의 독립적인 랜덤 시드(random seed)를 적용하여 총 200회의 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에서 도출된 포화 조건 통과시간에서 무상충 조건 통과시간을 뺀 값을 가감속 지체 보정량으로 정의하여 종속변수로 설정하고, 기하구조 특성인 D와 A를 독립변수로 하는 다중회귀모형을 추정하였다. 기하구조의 영향이 단순한 선형 관계에 그치지 않을 수 있으므로, 두 변수의 개별 영향만을 가산하는 기본 선형모형과 두 변수의 결합으로 지체를 비선형적으로 가중시키는 효과를 반영한 상호작용항(D×A)을 포함한 모형을 후보로 비교하였다.

시뮬레이션 분석 결과, 진입각이 작을수록, 내접원 지름이 작을수록 지체가 증가하는 것으로 나타났다. 진입각 20°에서 지체가 가장 높게 측정되었으며(예: 내접원 20m, 진입각 20°에서 포화조건의 평균 통과시간 61.3초, 평균 제어지체 43.4초), 동일한 내접원 지름에서 진입각이 30°로 커지면 제어지체가 29.7초로 감소하였다. 진입각이 40°~50° 수준으로 확보될 경우 지체가 추가로 감소하는 것으로 나타났다. 기본 선형모형의 R^2는 0.355(Adj. R^2 0.279)이며 D와 A 계수가 모두 5% 수준에서 유의하였다. 상호작용을 포함한 후보모형의 R^2는 0.472(Adj. R^2 0.373)로, 기본 선형모형에 비해 설명력이 약 12%p 높고 AIC도 낮아 내접원 지름과 진입각의 복합적 결합 효과를 더 잘 설명하였다(모형 전체 F-검정 p=0.0147). 이에 상호작용모형을 보정항으로 채택하였다.

$$\text{Delay_adj} = 39.2852 - 0.1672D - 0.3628A + 0.0075(D \times A)$$

여기서 Delay_adj는 기하구조 민감형 가감속 지체 보정량(초/대), D는 내접원 지름(m), A는 진입각(°)이다. 이 보정량을 기존 5×min[V/c, 1] 대신 평균지체 산정식에 적용하여 수정된 평균지체 계산식을 제안하였으며, 내접원 지름 20~50m, 진입각 20°~60° 범위에서 적용 가능하다.

본 연구는 회전교차로의 기하구조가 차량의 가감속 거동에 미치는 영향을 정량적으로 분석하고 모형화하였다. 분석 결과 진입각과 내접원 지름이 작을수록 지체가 증가하였으며, 상호작용모형이 기하구조 변수 간의 비선형 관계를 효과적으로 반영하였다. 포화도에만 의존하던 기존 보정항을 내접원 지름과 진입각에 연동되는 식으로 개선하였으므로, 도로용량편람의 회전교차로 지체 모형에 본 연구결과를 적용할 경우 서비스수준 평가의 신뢰성과 정확성을 높일 수 있을 것으로 기대된다. 다만 본 연구는 1차로 회전교차로, 내접원 지름 20~50m, 진입각 20°~60° 범위의 시나리오를 대상으로 하였으므로, 향후 2차로 이상의 다차로 회전교차로와 다양한 도로 및 교통 조건을 추가로 분석하여 보정식을 확장할 필요가 있다.

사사: 이 논문은 4단계 두뇌한국21 사업(4단계 BK21 사업)에 의하여 지원되었음.

Virtual GTFS 기반 다중 시나리오 시뮬레이션을 통한 3기 신도시 광역 BRT의 시공간 접근성 및 형평성 사전 평가: 인천 계양 신도시를 중심으로

Ex-Ante Evaluation of Spatiotemporal Accessibility and Equity of a Metropolitan BRT in a Third-Generation New Town through Virtual GTFS-Based Multi-Scenario Simulation: The Case of Gyeyang New Town, Incheon

유아영
(한양대학교 ERICA 교통물류공학과, 학부생)

문세동
(한양대학교 ERICA 교통물류공학과, 교수)

2026년 7월 확정·고시된 제2차 BRT 종합계획에 따라 인천계양 3기 신도시는 김포공항역~박촌역을 잇는 계양 광역 BRT(16.7km, 사업기간 2027~2031년 예상)를 핵심 교통수단으로 계획하고 있다. 그러나 BRT 중심의 간선교통망만으로는 도보 접근권(400~800m) 밖 외곽 주거단지 주민의 접근성 소외가 우려되며, 신도시 내부 지선 버스망과의 효율적인 환승·연계 체계 수립이 필수적이다. 본 연구는 아직 개통되지 않은 계양 광역 BRT에 대해 미시 공간 단위(200×200m 격자) 및 가상 GTFS(Virtual GTFS) 기반 경로 시뮬레이션을 구축하여, 간선 BRT 단독 도입과 지선망 연계 도입 각각의 접근성·형평성 순효과를 사전에(Ex-ante) 정량 평가하고자 한다.

제2차 BRT 종합계획(2026~2030)의 2030년 전국 노선버스 평균 통행속도 목표(28km/h)를 BRT 주행속도(정차 제외)로 준용하고, 지선 버스는 2024년 전국 노선버스 평균 실측치(21.2km/h) 대비 보수적인 20km/h로 반영해 계양 광역 BRT 및 지선망의 Virtual GTFS를 구축하였다. 지선 버스망은 서비스 공백지역 식별(보행 네트워크 기준 도보 10분 초과)→인구가중 우선순위 선정→중복 서비스 제거→노선 군집화의 4단계 규칙 기반 절차로 설계하였다. S0(현재 실제 도로망·대중교통망 기준 BRT 미도입 현황)·S1(BRT 단독)·S2(BRT+지선 연계) 3개 시나리오에 대해 r5py(R5 Routing Engine)로 Door-to-Door 통행시간과 누적기회 접근성(15/30/45/60분 중 45분을 대표 임계시간으로 채택, 15분 기준은 참고 지표)을 다중 시간대로 산출하고, 지니계수·로렌츠 곡선·PALMA 비율·LISA 공간분석으로 공간적 형평성을 진단하였다. 아울러 BRT 속도 및 지선 정류장 수·배차간격에 대한 민감도 분석과, 통행시간에 확률적 섭동을 가하는 몬테카를로 시뮬레이션(1,000회)으로 결과의 강건성을 검증하였다. 또한 지선 정류장 12개를 고정하고 노선 수·정차순서(TSP)·노선 분배(VRP)를 달리한 설계안을 필요 버스 대수와 함께 비교하였다.

실제 산출 결과(고용용지 면적, 45분, 오전 첨두 기준), 지선망 연계(S2)는 BRT 단독 도입(S1) 대비 지니계수(0.183→0.082)와 PALMA 비율(0.51→0.34, 완전 평등 시 0.25)을 추가로 개선하였다. BRT 주행속도(정차 제외)를 15~35km/h로 달리하고, 28km/h를 정차 포함 평균속도로 해석한 경우(주행속도 37.8km/h)도 비교한 결과, 접근성의 속도 탄력성은 28km/h 대비 20km/h 이상에서 0.1 안팎으로 낮았고, 25km/h 이상에서는 속도를 높여도 접근성이 거의 늘지 않았다. S1의 지니계수는 28km/h에서 0.183, 35km/h에서 0.185로 거의 같았고, BRT 속도를 15km/h까지 낮춰도 S2의 지니계수가 S1보다 낮은 우위는 유지되었다. 몬테카를로 검증(1,000회) 결과 고용용지 기준 S0·S1·S2의 지니계수 95% 신뢰구간(0.303~0.337/0.176~0.233/0.066~0.165)이 완전히 분리되어 형평성 개선 순서는 통계적으로도 견고하였다. 지선 설계안 비교에서는 버스 5대 이하 조건에서 TSP로 순서를 최적화한 3노선·배차 6분이 지니(전체 상가 45분) 0.186으로 가장 낮아 기준 S2(0.202)보다 0.016 낮았다. 다만 S2 적용 이후에도 신도시 남·북 양 끝단에는 LISA 저저(LL) 군집이 잔존해(인구 비율 15.2%), 해당 구간을 지선망 확충을 검토할 후보지로 제안한다. 본 연구는 미개통 신교통수단에 대한 재현 가능한 Virtual GTFS 기반 사전평가(Ex-ante) 방법론을 제시하며, 계양 광역 BRT의 지선 노선 개편을 위한 정량적 근거자료로 활용될 수 있다.

사용자 만족과 방문 분산의 균형을 고려한 방문 코스 추천 방법

Visit route recommendation considering the balance between user satisfaction and visitor dispersion

이승보 (한남대학교 경영정보학과, 학사과정)

김예원 (한남대학교 경영정보학과, 학사과정)

김재환 (국토연구원, 부연구위원)

고은정 (한남대학교 빅데이터응용학과, 조교수)

여행은 현대인의 대표적인 여가 활동으로 자리 잡았으며, 관광 산업이 지역 경제에서 차지하는 비중도 점차적으로 커지고 있다. 그러나 관광객의 방문이 일부 주요 관광지에 집중되면서 인접 지역의 상권은 상대적으로 소외되는 공간적 편중 현상이 발생하고 있다. 특히 인기 관광지 중심의 추천 방식은 방문 수요가 높은 장소를 반복적으로 추천함으로써 관광객 집중 현상을 심화시킬 가능성이 있으며, 인접 지역의 소규모 상업 시설은 고유한 스토리와 관광 자원을 보유하고 있음에도 관광객에게 충분히 알려지지 못할 가능성이 있다.

이러한 상황에서, 제한된 시간 내 여러 장소를 방문하는 관광 코스 추천 문제는 주어진 시간 제약 하에서 방문 지점의 효용을 최대화하는 오리엔티어링(Orienteering) 문제와 유사한 구조를 가진다. 특히 장소별 영업시간과 체류시간, 장소 간 이동시간 등의 제약을 고려할 경우, 동일한 장소들로 구성된 코스라도 방문 순서에 따라 실행 가능성이 달라질 수가 있다. 기존 연구는 주로 인기 있는 장소를 중심으로 경로를 구성하거나, 관광객 방문 분산을 고려하는 경우에도 사용자 만족도와 분산 효과를 단일 목적함수로 통합하여 최적화하는 접근 방식을 활용하였다. 그러나 이러한 방식은 분산 효과의 향상을 위해 사용자 만족도가 과하게 감소하는 결과를 초래할 수 있으며, 만족도 감소 수준을 사전에 통제하기 어렵다는 한계가 있다.

이에 본 연구는 사용자가 설정한 출발 위치, 출발 시각, 이용 가능 시간 및 방문 장소 수를 고려하여 실행 가능한 다지점 방문 코스를 생성하고, 사용자 만족도를 일정 수준 이상 유지하면서 관광객의 방문 분산을 유도하는 추천 방법론을 제안하다. 제안 방법의 핵심은 사용자 만족도와 방문 효과를 단일 목적함수로 통합하는 대신, 사용자 만족도를 기준으로 후보 코스를 선별한 후 방문 분산 효과를 비교하는 2단계 의사결정 구조에 있다. 먼저, 이용 가능 시간, 방문 장소 수 및 장소별 영업정보를 고려하여 후보 장소를 선정하고, 방문 순서별 시간적·공간적 제약조건을 검토하여 실행 가능한 코스를 생성한다. 이후 장소의 스토리 정보, 장소 간 연결성, 장소 유형의 다양성, 이동 부담 및 사용자 선호도를 종합적으로 반영하여 코스별 사용자 만족도를 산출한다. 다음으로, 최대 사용자 만족도를 기준으로 일정 수준 이상의 만족도를 충족하는 코스를 선별하고, 관광객 방문이 집중된 지역에서 상대적으로 수요가 적은 인접 지역의 중심 상권으로 이동을 유도하는 정도를 평가하여 최종 추천 코스의 우선순위를 결정한다. 마지막으로 실제 지도 서비스의 이동시간을 활용하여 추천 코스의 실행 가능성을 재검증한다.

제안된 방법론은 사용자 만족도의 감소 허용 범위를 사전에 설정하여 만족도 저하를 제한함으로써 지역 간 관광 수요의 분산을 유도할 수 있다는 특징이 있다. 또한 만족도 기준의 조정을 통해 사용자 만족도와 방문 분산 간의 균형을 조절할 수 있으며, 단계별 평가 기준에 근거하여 추천 결과의 설명 가능성을 확보할 수 있다. 이를 통해 관광객 방문이 특정 지역에 편중된 도시에서 지속 가능한 관광과 지역 상권 활성화에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

사사: This research was supported by the ANCHOR program through the Daejeon ANCHOR Center, funded by the Ministry of Education (MOE) and the Daejeon Metropolitan City, Republic of Korea (2026-ANCHOR-06-013). This research was also supported by the AI Data Science Research Insitute of Hannam University.

국내 제한차량(과적차량) 운행허가 수수료 산정 방안 개발

Development of a method for calculating permit fees for the operation of overweight(overloaded) vehicles in Korea

김성현
(한국건설기술연구원 도로교통연구본부, 연구위원)

김현석
(한국건설기술연구원 도로교통연구본부, 연구위원)

1. 논문 개요

도로의 구조 보전과 차량 운행의 안전 확보를 위해 도로관리청은 도로법 제77조 및 같은 법 시행령 제79조에 따라 일정 기준(총중량 40t, 축하중 10t, 높이 4.0m, 길이 16.7m, 폭 2.5m)을 초과하는 차량은 운행을 제한하고 있으며, 일정 기준을 초과하여 운행하고자 경우는 도로관리청의 허가를 받아 운행하도록 규정하고 있다. 현재 국내는 해외 사례와 다르게 과적 운행의 사전 예방·방지 등을 위한 정책적 차원에서 일정 기준을 초과하는 제한차량의 허가 수수료를 5천원 정액요금으로 징수하고 있다. 그러나 허가 업무에 소요하는 행정처리 비용과 초과 하중에 따른 막대한 도로 유지보수 비용 일부를 충당하고, 몇 년 전부터 국토교통부가 준비하고 있는 중차량 자동운행허가시스템의 합리적 운용을 위해서는 본 논문에서 제시하는 운행허가 수수료 산정 방안 등을 검토 적용하는 것이 바람직하다.

2. 제한차량 운행허가 수수료 산정 방안

일반적으로 수수료는 행정기관의 서비스를 받거나 공공시설을 이용할 때 부담하는 경비를 말하며, 넓은 의미의 수수료 개념에는 사용료가 포함된다. 수수료는 이익을 얻는 특정인에 대하여 부과 징수한다는 점에서 개별적 구체적인 대가성이 존재한다. 허가 수수료는 제공되는 서비스에 비추어 적정하게 결정되어야 하는데, 제공되는 서비스에 드는 비용 및 경제적인 여건 등을 고려하여 결정하는 것이 합리적이다. 국내 운행제한(과적) 차량의 허가 수수료를 산정하기 위해 본 연구에서는 i) 국내 법령에서 수수료를 규정하는 방법과 ii) 제공 서비스에 드는 비용을 고려하여 허가 수수료의 3가지 기본 원칙을 설정하였고 이를 토대로 허가수수료는 차량등록 수수료, 허가신청료 및 초과 수수료 3가지로 구성하였다.

운행허가 수수료의 기본 원칙	제한차량 운행허가 수수료의 구성 요소
• 특정성의 원칙: 「행정기본법」 제35조제1항에 따라 국가 및 지자체가 구체적인 행정서비스를 특정인에게 제공하고 있는 경우에 부과하는 것 • 수익자 부담 원칙: 응익성의 원칙이라고도 불리며, 공공서비스나 시설의 비용은 그 혜택을 직접 받는 사람이 부담해야 하는 원칙(이익 크기에 따라 비용 차등 징수) • 비용변상의 원칙: 행정기관이 특정 서비스를 제공하거나 시설을 이용하게 함으로써 발생하는 비용을 해당 서비스/시설을 이용한 자에게 부담시킴(예: 제증명 발급 수수료)	① 차량등록수수료: 이동식 기중기, 로우베드 트레일러 등 일상허가 기준 이상의 고중량으로 운행하고 여러 번의 허가가 필요한 경우 해당하며, 일상허가 대상이거나 편도 1회만 허가를 신청하는 경우는 해당하지 않음 ② 허가신청료: 운행 허가를 신청하는 모든 차량 및 건설기계에게 부과 적용되는 기본수수료 ③ 초과수수료: 일상허가 이상의 무게로 운행 허가를 신청하는 경우 해당하고 차량 무게와 운행 거리에 따라 초과 수수료를 차등 부과하며, 생애주기 비용분석을 통해 산출

3. 중차량 운행허가를 위한 중량 초과 수수료 산정 모형

고중량 및 대형차량의 운행은 포장 서비스 수명에 영향을 미치며 이는 포장 구조, 교통 특성 및 과적 비율에 따라 영향을 받는 것으로 나타난다. 중(重)차량의 운행으로 인해 식별되는 포장 응력은 피로, 균열 및 소성변형이 발생하는 크기 정도로 설명할 수가 있다. 따라서 도로가 제한기준을 초과하는 중량으로 운행하는 차량으로 인해 발생하는 추가적인 포장 손상 비용을 회수하기 위해서는 합리적으로 허가 수수료를 결정하는 것이 필요하며, 본 연구에서는 생애주기 비용분석(Life-Cycle Cost Analysis, 이하 LCCA) 개념을 적용하여 중량 초과 허가 수수료를 산정하는 모형을 다음과 같이 개발하였다.

❶ 교통 하중 ESAL을 지탱하는 데 필요한 포장비용인 연간등가비용 (Equivalent Uniform Annual Cost, EUAC) 산출
❷ 등가단축하중 (Equivalent Single Axle Load, ESAL) 환산
❸ ESAL에 대한 연간등가비용(EUAC) 함수 도출

$$EUAC = \beta_0 \cdot e^{\beta_1 \cdot \log_{10}(ESALs)} + \epsilon$$

❹ 한계포장(손상)비용(Marginal Pavement Cost) 모형 생성

$$MPC = \frac{\beta_0 \cdot \beta_1}{\ln(10)} \cdot (ESALs)^{(\frac{\beta_1}{\ln(10)} - 1)}$$

❺ 국도 평균 ESAL값 산정 및 ❹에 의한 한계포장비용 산출

총중량	60톤	65톤	70톤	75톤	80톤
1축하중	8,403	8,698	8,993	9,288	9,583
2축하중	12,495	13,595	14,695	15,795	16,895
3축하중	12,495	13,595	14,695	15,795	16,895
4축하중	13,388	14,638	15,888	17,138	18,388
5축하중	13,388	14,638	15,888	17,138	18,388
$\sum ESAL$	28.51	40.80	56.82	77.29	103.00
손상비용 (원/km)	361	517	719	979	1304
	$(\sum ESAL) \times 12.66$ (원/$ESAL \cdot Km$)				

4. 개발 초과 수수료 산정 모형의 허가수수료 체계 적용 방안

위 3절에서 개발한 중량 초과 수수료 산정 모형은 일상허가 기준 이상의 고중량(48톤 이상)으로 운행허가를 신청하는 모든 차량에 손쉽게 사용할 수가 있다. 예를 들어 총중량 70톤의 차량이 100km 구간을 운행 허가하고자 하는 경우는 도로관리청은 차량등록 수수료 및 허가신청 수수료 이외에 중량 초과로 인해 도로포장에 손상을 미치는 초과 수수료 719원/km × 100km = 71,900원을 부과 징수하는 등 허가 수수료 체계에 적용한다.

사사: 본 연구는 한국건설기술연구원의 고중량 차량 자동운행허가시스템도입 연구3차(과제번호 20250446-001)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

고중량 차량 자동운행허가 관리를 위한 스마트 자중계 성능평가 방안 연구

Development of a method for calculating permit fees for the operation of overweight(overloaded) vehicles in Korea

김종식 **이치열**

(한국건설기술연구원 도로교통연구본부, 수석연구원) (한국건설기술연구원 도로교통연구본부, 전임연구원)

1. 필요성

스마트 자중계는 차량에 설치된 하중 센서와 전자제어장치를 이용하여 축하중과 총중량을 측정하고, 운전자에게 표시하거나 외부 관리시스템에 전송하는 장치이다. 과적을 출발 전에 예방하고 자동운행허가 조건의 준수 여부를 확인하는 데 활용할 수 있다. 도로·교량 보호, 교통안전 및 운행제한기준을 준수하는 운송업체와의 형평성 측면에 서 도입 필요성이 있으며, 도로변 계측장비를 이용하는 기존 관리체계를 보완할 수 있다. 국내에서도 가축분뇨 전자인계관리와 가변축 자동화 등에 자중계를 활용하고 있으나, 참고용 중량정보를 단속·허가 업무에 적용하려면 정확도와 신뢰성에 대한 별도 검증이 필요하다. 첨부자료는 국내 전용 성능평가 기준이 미비한 상황에서 해외 제도와 실차 시험을 토대로 기술적 도입 가능성을 검토한다. 이 장에는 경제성 분석의 정량 결과가 제시되지 않으므로, 검토 결과는 측정정확도와 현장 적용성을 중심으로 해석해야 한다.

2. 해외사례

유럽은 자중계 정확도를 초기 Stage 1의 ±10%에서 Stage 2의 ±5%로 단계화하고, 견인차·트레일러 간 통신 호환과 원격 중량정보 활용을 강조한다. 호주는 형식승인, 위변조 감지 및 원격 보고를 운행허가와 인센티브에 연계한다. 호주의 Category A·B·C는 차량 내 표시, 외부 전송,규제기관 보고 등 데이터 전달·연계 기능을 구분하는 체계로 소개된다. 미국은 민간의 자율적인 과적 예방 활용이 중심이며, 일부 주에서 인증 장치를 상거래용 계량에 활용하는 사례가제시된다. 일본은 토사 등을 운반하는 덤프트럭의 과적 예방을 위해 자중계 부착제도를 운용해 온 사례로 설명된다. 해외 사례는 활용 목적에 맞는 정확도, 인증, 통신 및 유지관리체계를 함께 마련해야 함을 보여준다. 자료에서 참조한 OIML R134는 도로 설치형 동적 계량장비 기준이므로 자중계 전용의 확정된 인증 기준과 구분해야 한다.

3. 성능평가 방안

총중량 오차는 초기 ±10%, 고도화 ±5%를 목표로 한다. 고도화 단계는 최대적재량의 90% 이상을 적재한 조건에서 95% 이상의 데이터가 기준을 충족하는지 확인하고, 축하중 정확도는 별도로 평가한다.공차·50%·100% 적재 상태에서 기준저울로 차량별 교정을 수행한 뒤,공차·부분·최대 적재 등 조건별로 3회 이상 반복 측정하여 정확도와 재현성을 확인한다. 주행·제동·출발에 따른 출력 변화와 경사·노면·온도·장기 사용의 영향을 평가하고, 안정화 시간과 재교정 주기를 설정해야 한다. 원시 로그를 위치·시각·운행 상태와 함께 기록하며 통신 손실, 위변조 및 데이터 무결성도 검증한다. 초기 정확도 판정은 정지 또는 매우 저속인 5 km/h 이하 조건을 중심으로 검토한다. 자료가 제안한 차종별 최소 3대 이상, 필요시 전체 15~20대의 확대 실증은 실제 시험 실적이 아닌 후속 평가방안이다.

4. 평가결과

실제 시험은 대규모 실증이 아니라 초기 기술 특성을 확인하는 시험으로,덤프트럭과 로우베드 트레일러를 대상으로 수행하였다. 변형률 기반 하중 센서를 덤프트럭에 4개, 로우베드에 5개 설치하고, 전자제어장치에서 보정계수를 적용하여 축하중과 총중량을 산정하였다. 정적 시험은 2025년 12월 19일 KTC에 의뢰하여 이동식 축중기를 기준으로 비교하였으며,공차·적재 후·일정 구간 주행 후의 정지 상태를 확인하였다. 정적 총중량 오차는 로우베드 +0.1~4.6%,덤프트럭 +0.4~2.1%로 나타나 시험 범위에서 초기 목표 ±10%를 만족하였다. 관측된 총중량 오차는 ±5% 이내였지만, 제한된 차량과 하중 조건의 결과이므로 고도화 단계의 성능이 전반적으로 입증되었다고 해석할 수는 없다.특히 자료의 정적 시험에 표시된 '주행 1~3'은 주행 후 정지하여 측정한 결과이며 주행 중 정확도를 의미하지 않는다. 축하중은 덤프트럭의 주요 오차가 1축 최대 +6.9%, 2축 -5.6%, 3축 +4.0% 수준이었다.반면 로우베드는 4축 최대 +16.9%, 5축 최대 +10.1%로 초기 목표를 초과하였다. 총중량 결과가 양호하더라도 개별 축의 정확도가 충분하지 않을 수 있음을 보여주며, 하중 전달 구조를 반영한 축군별 보정과 좌우 센서 균형 조치가 필요하다. 동적 시험은 2026년 4월 17일과 20일 인주 과적검문소에서 실시하였다. 3축 차량이 4.2 km/h로 통과한 두 사례에서 기준 총중량은 23.73 t과 21.48 t, 자중계 값은 25.088 t과 23.021 t이었다. 상대오차는 약 +5.7%, +7.2%로 초기 목표 이내였다.두 번째 값은 원문 본문에 7.1%로 기재되어 있으나 표의 수치로 재산정하면 7.17%이다. 시동 직후와 계근대 통과 후 제동·정차 시에는 계측값이 급변하고 오차가 확대되었다. 통과 후 정차한 두 사례의 오차는 표 수치로 약 -14.8%, -17.3%로 계산되어, 정차 상태라는 이유만으로 정확도가 확보되는 것은 아님을 보여준다. 시동·제동 후 안정화 시간과 유효 측정조건을 정할 필요가 있으며, 경사로의 영향도 다양한 조건에서 추가 검증해야 한다.

5. 결론

정지·저속 조건의 총중량 시험은 스마트 자중계를 과적 예방과 사전 선별에 활용할 초기 가능성을 확인하였다. 다만 제한된 시험으로 전 차종·상시 주행 성능이나 직접 단속 활용이 입증된 것은 아니다. 총중량과 축하중을 구분하여 성능을 개선하고, 시동·제동 등 과도상태에서는 안정화 여부에 따라 측정값의 유효성을 판단해야 한다. 후속 단계에서는 차종·적재량·계절·장기 사용 조건을 확대한 실증으로 정확도와 재현성을 검증하고, 형식승인·검정·재교정·데이터 보안체계를 마련해야 한다. 과적 예방·사전 선별부터 단계적으로 활용하면서 신뢰성과 법적근거를 확보한 뒤 운행허가·단속체계와의 연계를 구체화하는 방향이 타당하다.최종 사업 판단에는 별도의 경제성 자료와 운영·유지관리 여건을 함께 검토해야 한다.

사사: 본 연구는 한국건설기술연구원의 고중량 차량 자동운행허가시스템도입 연구3차(과제번호 20250446-001)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

국외 피기백 시스템 운영 현황 검토 및 국내 적용 방향 연구

A Study on Overseas Piggyback System and Directions for Domestic Application

박소윤 (서울시립대학교 교통공학과·도시부동산기획경영학전공, 학석사연계과정)

손형근 (서울시립대학교 교통공학과·도시빅데이터융합학과, 석박사통합과정)

서민서 (서울시립대학교 교통공학과, 석사과정)

김동희 (한국철도기술연구원 철도운영연구실, 책임연구원)

이인묵 (한국철도기술연구원 철도운영연구실, 선임연구원)

박동주 (서울시립대학교 교통공학과·도시빅데이터융합학과, 교수)

피기백 시스템은 화물자동차를 철도 화차에 직접 적재하여 장거리 구간을 철도로 운송하는 도로·철도 연계 운송 방식이다. 기존 철도 화물 운송은 철도 화물역에서의 상·하역 및 환적, 접근 통행 등으로 인해 운송 시간과 비용이 추가로 발생하여 도로 화물 운송 대비 경쟁력이 저하되는 문제가 있다. 그러나 피기백 시스템은 화물자동차를 철도로 직접 운송함으로써 이러한 환적 부담을 줄이고, 도로 운송의 기동성과 철도의 대량·장거리 수송 특성을 결합할 수 있다. 이에 따라 철도 물류의 시장 경쟁력 제고와 도로 화물 운송 과정에서 발생하는 사회적·환경적·인적 문제를 완화하기 위한 대안으로 국내 피기백 시스템 도입 필요성이 제시되어 왔다. 그러나 국내 선행 연구는 피기백 화차 개발 등 기술적 측면이 중심으로 수행되었고, 실제 서비스 도입을 위한 운영체계와 사업구조, 지원정책 등에 대한 검토는 상대적으로 미비한 실정이다.

이에 본 연구는 유럽과 미국의 주요 피기백 서비스 운영 사례를 대상으로 운영 주체, 운송 형태, 예약 방식 등을 비교하고, 관련 정책·지원제도를 함께 검토하였다. 또한, 국내 철도 화물 운송 현황을 파악하고 관련 주요 정책을 다방면으로 분석하여, 국외 사례와 국내 현황 간 비교를 통해 향후 국내 피기백 시스템 도입에서의 예상 쟁점 사항을 도출하였다.

국외 피기백 서비스는 주로 국가 간 장거리 국제 열차를 중심으로 운영되며, 프랑스나 오스트리아 등에서는 국내 화물 운송수단으로도 운영되고 있다. 대부분 화물자동차 운전자가 탑승하지 않고 화물자동차만 운송하는 운전자 비동반형으로 운영되고 있으며, 일부 단거리 노선에서는 운전자 동반형 서비스도 운영되고 있다. 주된 운송 단위는 세미트레일러나 스왑바디 등이 중심이 되고 있으며, 상·하역 방식은 크레인이나 리치스태커를 활용하는 수직적 방법 외에도 플랫폼 등을 활용한 수평적 환적도 적지 않게 적용되고 있다. 운송 품목은 화학제품, 자동차 관련 화물, 냉장화물 등으로 다양한 품목이 확인되었다.

국내의 경우, 철도 수단 전환을 위해 전환교통 보조금, 녹색물류전환사업 등의 정책이 수립 및 시행되고 있다. 그러나 철도 화물운송은 물동량 대부분이 컨테이너·시멘트·철강 등에 집중되어 있고, 철도 운송 물동량과 수단분담률이 지속적으로 저하되고 있다.

국외 사례와 국내 현황 검토를 통해, 국내 피기백 시스템 도입에서는 철도 운송 품목의 확대, 효율적인 화물자동차 상·하역 체계, 피기백 시스템 이용 장려 및 운영 정책 등이 주된 쟁점이 될 것으로 보인다. 특히 현행 철도 화물 관련 정책과의 연계 및 해당 제도의 개선 및 보완이 주요 과제로 나타났다.

본 연구는 국외 피기백 시스템의 운영 및 지원체계를 국내 여건과 비교하여 국내 도입 시 고려해야 할 주요 쟁점을 도출한 데에 의의를 둔다. 후속 연구에서는 국내 화물 수요를 기반으로 대상 품목과 노선·거점을 선정하고, 도로 단독 운송 대비 비용·시간 경쟁력과 경제적 타당성을 분석하여 구체적인 운영 방안 및 비즈니스 모델을 제시할 필요가 있다.

사사: 본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원(과제번호: RS-2026-25538098) 및 한국철도기술연구원 '피기백 시장 분석 및 화주·운송사 수요조사 기반 운영모델 분석' 과제의 지원으로 수행되었음.

협소 공간에서 공간 구조와 진입 조건에 따른 주행로봇 간 통행 조정 특성 분석

Analysis of Passage Coordination Between Mobile Robots in Confined Spaces Under Varying Spatial Configurations and Entry Conditions

연혁주
(한국과학기술원 조천식모빌리티대학원, 박사과정)

오승민
(한국과학기술원 조천식모빌리티대학원, 박사과정)

장기태
(조천식모빌리티대학원, 교수)

협소한 공유 공간에서 서로 마주한 주행로봇은 충돌을 회피하면서 각자의 목적지에 도달하기 위해 통행 순서와 양보 행동을 조정해야 한다. 이 과정에서 동일한 통행 조정 방식도 공간 구조와 두 로봇의 진입 조건에 따라 상이한 결과를 보일 수 있으며, 충돌 없이 주행하더라도 지속적인 대기나 반복적인 진로 변경으로 통행이 지연될 수 있다.

본 연구는 공간 구조와 진입 조건이 주행로봇 간 통행 성공과 실패에 미치는 영향을 분석하고, 통행 조정 방식별 적용 조건과 한계를 파악하고자 한다. 이를 위해 동일한 형상과 주행 성능을 갖는 두 로봇이 명시적인 정보 교환 없이 서로 반대 방향으로 이동하는 시뮬레이션 실험을 계획한다. 물리적으로 통행 해결이 가능한 장면을 대상으로 병목 구간의 길이, 대기 공간의 존재와 위치, 진입 시점 차이를 변화시키고, 우선순위 규칙, 반응형 충돌 회피 및 공간을 활용하는 양보 방식을 비교할 예정이다. 평가는 공동 도착 성공률, 충돌률, 공동 완료 시간과 개별 로봇의 추가 지연을 중심으로 수행하며, 상호작용 과정에서 나타나는 일시적 양보, 반복적인 결정 변경 및 지속적인 진행 정체를 구분하여 분석하고자 한다. 이를 통해 공간적 제약과 상호작용 조건에 따른 통행 실패 유형을 정리하고, 협소 공간에서 효과적인 통행 조정 방식을 선택·설계하기 위한 근거를 제시하고자 한다.

사사: 본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원(IITP)의 지원을 받아 수행되었음 (No. RS-2026-25544188).

산업 작업장의 휴머노이드-작업자 공존 환경에서 행동 모델 조합이 충돌 회피에 미치는 영향: 다중 에이전트 시뮬레이션 분석

Effects of Behavior Model Combinations on Collision Avoidance in Humanoid-Worker Shared Industrial Workspaces: A Multi-Agent Simulation Study

오승민
(한국과학기술원
조천식모빌리티대학원, 박사과정)

연혁주
(한국과학기술원
조천식모빌리티대학원, 박사과정)

장기태
(한국과학기술원
조천식모빌리티대학원, 교수)

제조·물류 현장에 휴머노이드 로봇이 도입되면서 작업자와 로봇이 같은 통로와 작업 지점을 함께 쓰는 상황이 늘고 있다. 여러 대의 로봇이 동시에 움직이면 작업자와 로봇뿐 아니라 로봇과 로봇 사이에서도 충돌 위험이 생긴다. 그러나 기존 로봇 주행 연구는 대부분 로봇 한 대와 보행자 군중의 관계만 다뤘다. 또한 상대도 자신과 같은 회피 규칙을 따른다는 가정 아래 알고리즘을 평가했다. 실제 작업장에서는 작업자의 회피 행동과 로봇의 회피 알고리즘이 서로 다르며, 이 가정을 풀면 회피 성능이 크게 떨어질 수 있다는 보고가 있다. 휴머노이드는 걸음 단위로만 방향을 바꿀 수 있고 바퀴형 로봇보다 느리다. 따라서 바퀴형 로봇을 전제로 개발된 회피 알고리즘이 휴머노이드에서도 같은 성능을 낸다는 보장이 없다.

따라서, 본 연구는 휴머노이드와 작업자가 함께 일하는 환경에서 충돌 회피 성능이 개별 알고리즘보다 서로 만나는 두 에이전트의 행동 모델 조합에 더 크게 좌우되는지를 시뮬레이션으로 검증한다. 작업자 행동 모델로는 사회력 모델(Social Force Model, SFM), 방향을 고려한 사회력 모델(Headed Social Force Model, HSFM), 충돌 예상 시간(TTC) 멱법칙 모델(Universal Power Law, UPL), 최적 상호 충돌 회피 모델(Optimal Reciprocal Collision Avoidance, ORCA)를 구현하고, 회피 시작 위치, 측방 편차, 최소 간격에 맞춰 보정하였다. 로봇 알고리즘은 직진형·정지형 기준선의 SFM, TTC 기반 SFM, 예측형 TTC SFM, 비홀로노믹 ORCA로 구현하였고, 최소 간격 0.3m라는 안전 기준으로 보정하였다.

실험 공간은 작업 지점과 경로가 배치된 특정 사각형 실내 공간으로 각 에이전트에게 출발지와 도착지, 중간 지점에서의 작업 등을 부여한다. 작업자와 로봇의 비율에 따른 다양한 시나리오별로 작업 완료 시간, 충돌 수, 정지(freezing) 빈도, 최소 거리 및 최소 TTC 등을 평가한다. 또한 두 에이전트가 특정 거리(3m) 이내에서 서로 접근하는 구간을 조우로 정의하고, 쌍 유형(작업자-작업자, 작업자-로봇, 로봇-로봇)과 모델 조합별로 회피 성공률과 최소 TTC 등을 분석한다.

본 연구는 휴머노이드를 도입하는 작업장에서 동선 설계, 로봇 배치 비율, 회피 알고리즘 선정에 정량적 근거를 제공할 것으로 기대된다.

사사: 본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원(IITP)의 지원을 받아 수행되었음 (No. RS-2026-25544188).

RT-DETRv4 기반 자율주행 영상 비식별화 대상 객체 검출 및 성능 분석

RT-DETRv4-based Detection of De-identification Target Objects in Autonomous Driving Images and Its Performance Analysis

김주완
(한국전자통신연구원
피지컬AI연구소
자율주행지능연구실)

이정우
(한국전자통신연구원
피지컬AI연구소
자율주행지능연구실)

최정단
(한국전자통신연구원
피지컬AI연구소
자율주행지능연구실)

자율주행 기술 개발을 위해 차량 카메라로 수집한 주행 영상에는 보행자의 얼굴과 주변 차량의 번호판 등 개인정보가 포함될 수 있으므로, 학습 데이터 활용과 외부 제공 과정에서 개인정보 보호를 위한 처리가 필요하다. 주행 과정에 수집된 대규모 주행 영상에 포함된 얼굴과 번호판 영역에 마스킹, 블러링 등을 적용하는 비식별화 방식에서는 대상 객체의 검출 누락을 줄이는 것이 중요하다. 본 논문에서는 트랜스포머 기반 실시간 객체 검출 모델인 RT-DETRv4를 활용하여 자율주행 영상에서 개인 식별에 이용할 수 있는 얼굴과 차량 번호판을 검출하고, 자체 구축한 대규모 시험 데이터셋에서 클래스별 검출 성능과 최소 객체 크기 조건에 따른 평가 결과를 분석한다.

RT-DETRv4는 비최대 억제(NMS) 없이 객체를 예측하는 RT-DETR 계열의 모델로, 효율적인 하이브리드 인코더와 시각 기반 모델(Vision Foundation Model, VFM)을 활용한 지식 증류를 특징으로 한다. 학습 과정에서 Deep Semantic Injector(DSI)를 통해 검출기의 고수준 특징과 VFM의 의미 표현을 정렬하고, Gradient-guided Adaptive Modulation(GAM)으로 지식 전달의 강도를 조절한다. 비식별화 대상 검출을 학습하는 과정에는 얼굴 약 20만 개와 번호판 약 39만 개를 포함한 자체 구축 영상 216,417장을 사용하였다.

성능 평가는 학습 데이터와 분리한 시험 영상 47,249장에 포함된 얼굴 36,134개와 번호판 96,035개를 대상으로 수행하였다. COCOeval의 bbox 평가를 적용하고, 이미지·클래스별 최대 검출 수를 100개로 설정하여 IoU 0.50 기준 mAP50를 산출하였다. 원본 GT 전체를 사용한 평가에서 얼굴과 번호판의 클래스별 mAP50는 각각 70.3%와 93.7%로 나타났다. 이러한 결과는 해당 시험 데이터에서 얼굴 검출 성능의 개선 필요성이 번호판보다 큼을 보여준다.

추가로 비식별화 자동화율을 평가하기 위해 원본 영상의 GT 박스 크기에 따른 평가 범위를 설정하였다. 얼굴은 너비 12픽셀 및 높이 16픽셀 이상, 번호판은 너비 30픽셀 및 높이 6픽셀 이상을 모두 충족하는 객체를 평가 대상으로 정하였다. 이는 영상 내 크기가 작아 식별이 어려운 객체를 고려하여 본 연구에서 설정한 조건이다. 최소 크기 미달 GT는 무시 영역으로 처리하고 전체 시험 이미지를 유지한 평가에서, 조건을 충족한 GT는 65,999개였으며 얼굴과 번호판 클래스별 평균 mAP50는 86.1%와 98.5%로 측정되었다. 본 연구에서는 검출 기반 비식별화 자동화율로 두 클래스의 mAP50 산출 평균을 정의하였으며, 해당 값은 92.3%로 계산되었다.

본 연구에서는 RT-DETRv4를 활용한 비식별화 대상에 대한 검출 모델을 학습하고, 검출 성능을 정량적으로 제시하였다. 향후에는 번호판에 비해 상대적으로 떨어지는 얼굴에 대한 검출 성능 향상 방안, 많은 차량에서 수집되는 대규모의 주행 영상을 고속으로 비식별화 하기 위한 실시간 처리에 대한 최적화 및 평가를 실시할 계획이다.

사사: 본 연구는 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원 자율주행기술개발혁신사업의 연구비 지원에 의해 수행되었음(RS-2023-00243530, 자율차-일반차 혼재상황 대비 AI기반자율주행모빌리티 운영플랫폼 개발).

Crowdshipping 최적화 및 시뮬레이션 연구 동향 분석

Analysis of Research Trends in Crowdshipping Optimization and Simulation

이건
(서울시립대학교 교통공학과, 학사과정)

민석원
(서울시립대학교 교통공학과, 석·박사통합수료)

박동주
(서울시립대학교 교통공학과, 교수)

전자상거래의 성장으로 라스트마일 배송(Last-Mile Delivery) 수요가 급증하고, 화물차 운전자의 고령화와 근로시간 단축으로 배송 적체가 심화되면서 일반 시민이 배송 주체로 참여하는 Crowdshipping이 유력한 대안으로 대두되고 있다. 그러나 기존 선행 리뷰 논문들은 정성적 서술에 치중하여, 모형 설계 관점의 기여와 핵심 파라미터, 알고리즘, 데이터 구조에 대한 정량적 통합 분석이 부족했다. 이에 본 연구는 사전 정의된 기준에 따라 최적화 및 시뮬레이션 선행 연구 211편을 선별하고 체계적 문헌 고찰을 수행했다. 모형의 구조적 특성과 현실 반영 수준을 진단하기 위해 분석 대상을 목적함수(189편, 643건), 알고리즘(159편, 231건), 입력자료(211편, 633건), 모형 가정(211편, 3,888건)의 4대 핵심 구성요소로 분해하여 정량 진단을 실시했다.

첫째, 목적함수 분석 결과, 플랫폼 운영비용(209건), 배송자 보상(162건), 미배송·지연 페널티(88건), 서비스 성과(88건), 플랫폼 수익(76건) 등 운영비 및 수익 지표가 전체 643건 중 623건(96.9%)으로 대부분을 차지했다. 반면 탄소 배출량(12건)과 배송자 간 형평성(8건)을 다룬 연구는 미흡하여 사회·환경적 가치 반영의 공백이 확인되었다.

둘째, 알고리즘 분석에서는 휴리스틱(Heuristic) 계열이 146건(63%)으로 엄밀해를 도출하는 Exact 계열(57건, 25%)보다 2.5배 이상 많이 활용되었으며, 머신러닝·강화학습 계열은 25건(11%)에 그쳤다. 적용 문제는 경로 결정(121건)과 매칭·배정(104건)에 편중되어 기존 차량경로문제(VRP)의 틀을 단순 재해석하는 경향을 보였다.

셋째, 입력자료의 현실 반영도를 진단한 결과, 실제 플랫폼 운영기록을 활용한 연구는 수요와 공급 영역에서 각각 2편(0.9%)에 불과했다. 대다수 연구는 표준 문제집합이나 임의 생성 자료를 사용했으며(수요 73편, 공급 72편), 실측 자료를 활용한 58건 중 40건(69%)도 모형 입력이 아닌 단순 배경 설정이나 사후 검증용으로 분리 사용했다.

넷째, 모형 가정을 30개 범주 및 99개 세부 수준(Level)으로 진단한 결과, 현장의 불확실성과 인간 행동 특성을 간과한 단순화 전제가 지배적이었다. 이동시간을 고정값으로 가정한 연구가 96%(172/180편)에 달해 도로 혼잡 지연을 반영하지 못했고, 플랫폼 배정 시 100% 수락을 가정한 연구가 69%(131/189편), 보상에 따른 수락 변동을 고려한 연구는 14%(27편)에 불과했다. 또한 가용 인원을 고정한 연구가 61%(109/180편), 1회 일괄 배정 방식이 71%(137/194편), 미배정 주문의 즉시 종결 처리가 78%(161/207편)로 나타나 실시간 연속 배정 및 주문 이월(Rollover) 메커니즘 반영이 미진했다.

본 연구는 Crowdshipping 최적화·시뮬레이션 모형에 존재하는 방법론적·구조적 공백을 정량적으로 규명했다. 이는 향후 보상 연계형 동적 수락 행태, 통행 기반 공급 구성, 주문 이월 메커니즘, 환경성·형평성 지표를 통합한 현실성 높은 플랫폼 설계 모형을 구축하는 데 필요한 정량적 가이드라인을 제공한다.

사사: 본 연구는 2025년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구 (과제 번호: RS-2025-00557826, 한국형 Crowdshipping 서비스 최적 설계 및 운영방안 연구)이며, 국가철도공단의 지원을 받아 수행된 연구임 (전략적 의사결정 지원을 위한 공급 무제약 시 미실현 수송수요 추정 실증 연구)

비전-언어 모델 기반 비주얼 머천다이징 자동평가에서 시각적 근거 제약을 통한 비근거 추론 억제

Suppressing Ungrounded Reasoning in Vision-Language Model-Based Visual Merchandising Evaluation through Visual Evidence Constraints

이명주 (동아대학교 소프트웨어대학 AI 학과)

권희창 (동아대학교 소프트웨어대학 AI 학과)

이화진 (동아대학교 소프트웨어대학 AI 학과)

한지수 (동아대학교 소프트웨어대학 AI 학과)

강서진 (동아대학교 디자인환경대학 패션디자인학과)

하성룡 (동아대학교 디자인환경대학 패션디자인학과)

최호균 (동아대학교 디자인환경대학 패션디자인학과)

장재훈 (동아대학교 소프트웨어대학 AI 학과)

주나안 (동아대학교 디자인환경대학 패션디자인학과)

최근 비전-언어 모델(Vision-Language Model, VLM)의 이미지 이해 및 자연어 생성 능력이 향상되면서 매장 이미지를 기반으로 비주얼 머천다이징(Visual Merchandising, VM)을 자동 평가하는 방식의 활용 가능성이 높아지고 있다. VM은 상품, 공간, 집기, 색채, 조명 및 디스플레이 요소의 시각적 구성을 종합적으로 고려해야 하는 영역으로, VP, IP, PP 등 각 영역에 대한 전문적인 판단이 요구된다. 그러나 VLM은 이미지에서 직접 확인하기 어려운 고객 행동, 브랜드의 기획 의도 등의 정보를 사실처럼 추론하여 평가에 포함할 수 있으며, 이러한 비근거 추론은 평가 결과의 신뢰성을 저하시킬 수 있다.

본 연구에서는 VLM 기반 VM 평가에서 시각적 근거 제약(Visual Evidence Constraint)이 비근거 추론을 감소시키는지 검증하였다. 동일한 VM 이미지와 VLM 및 추론 조건을 유지하고, 평가항목과 공통 등급 기준을 제공하는 기본 프롬프트(P0), VM 영역별 전문 평가 기준을 추가한 전문 평가 프롬프트(P1), 이미지에서 확인 가능한 시각적 근거를 기반으로 평가하고 근거가 부족한 경우 판단을 보류하도록 한 근거 제약 프롬프트(P2)를 비교하였다. VP, IP, PP 영역별 10장씩 총 30장의 이미지에 세 조건을 적용하여 총 90회의 평가를 수행하였다.

실험 결과, 동일하게 비교 가능한 평가 단위에서 비근거 추론 발생률은 P0 29.3%, P1 17.7%, P2 9.1%로 감소하였으며, 세 조건 간 차이는 통계적으로 유의하였다($p<0.001$). 특히 P1과 P2 간 차이도 유의하게 나타나($p=0.0125$), 시각적 근거 제약이 VM 전문 평가 기준만을 적용한 경우보다 비근거 추론을 추가적으로 감소시키는 효과가 있음을 확인하였다. 다만 본 연구의 VM 평가 기준은 별도의 VM 전문가 타당성 검증을 받지 못했다는 한계가 있으며, 향후 전문가 검토와 다양한 매장 및 VLM을 활용한 추가 검증이 필요하다.

사사: 본 논문은 과학기술정보통신부의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2023-0-00076, SW중심대학(동아대학교)).

의료 로봇 힘 제어 시스템 개발

A Development of force/torque control system for dental robot arm

현웅근
(호남대학교 로봇드론공학과, 교수)

박동진
(호남대학교 로봇드론공학과, 학생)

의료 시술을 보조하는 로봇으로는 다비치같은 외과 수술 로봇 뿐만 아니라 치과 수술로봇 및 그 보조 로봇에 대한 연구도 많이 되어져 왔다. 치과 시술 보조 로봇은 치과 수술에서 치과 간호보조사의 역할 중 일부를 지원하는 로봇으로써, 치아교정, 임플란트, 브릿지 등 치과 진료 및 수술을 함에 있어서 치과의사를 지원하기 위해 간호보조사가 수행하는 작업인 환자의 입을 벌려서 원활한 치료 공간을 확보하는 행위를 수행한다. 이와 같이 치과의사와 협업하기 위한 치과 보조 로봇의 중요 기능중 하나는 치료환자의 구강을 개구 상태로 유지하는 것이다. 치과의사는 로봇 전문가 혹은 엔지니어가 아니므로 치과 보조 로봇을 쉽게 다루어 작업 교시를 할 수 있어야 하는 바, 치과 치료 보조 로봇은 치과의사가 로봇의 자세 및 위치를 쉽게 만들 수 있는 교시 및 재현(teaching and playback)기능이 필요하다.

치과의사와의 협업 로봇은 로봇에 대한 전공

그림 1은 로봇팔 힘제어 시스템의 제어 불록도이다. 제어 알고리즘 구조에서 $\dot{\theta}_{fd}$은 힘 센서에서 임피던스 제어기에서 환산된 관절 속도 명령이다. 이는 로봇이 실제로 구동되어 움직인 실제 관절 위치 θ_a와 결합하여 이전 속도오차를 고려한 제어 명령식 $\dot{\theta}_d = \dot{\theta}_{fd} + K_p(\theta_d - \theta_a)$으로 보정된다. 이는 모터에 입력되는 각속도 명령으로 모터는 이를 기준으로 PI 제어기를 통해 로봇팔의 각 모터 속도를 제어한다. 로봇팔의 위치인 각도는 매 $2msec$ 마다 읽혀지며 이로써 각축의 측정 각속도 벡터 $\{\dot{\theta}_{a1}, \dot{\theta}_{a2}, \dot{\theta}_{a3}\}$와 각을 구하고 자코비언 역행렬 J^{-1}를 곱하여 로봇팔 선단을 피드백 제어하는데 사용한다.

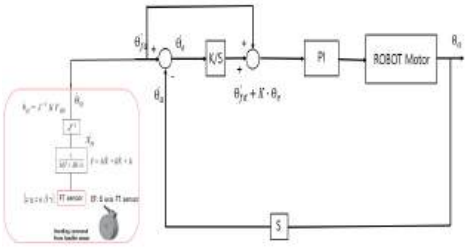


그림 1. 힘센서에 의한 로봇팔 제어기 블록도

그림 2는 힘센서 기반 로봇팔 교시 장치의 제어흐름도이다. 힘센서는 매 20msec 마다 읽으며, 측정된 x-y-z축 3방향의 힘 벡터 $F_S = \{F_x, F_y, F_z\}$는 50Hz LPF를 거친후 그림.2와 같은 오프셋 힘(offset force)보정을 거친다.

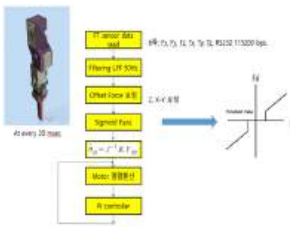


그림 2. 힘제어블록도

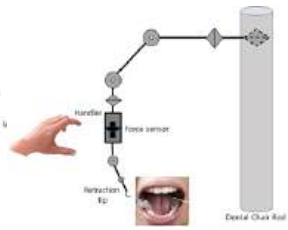


그림 3. 핸들러에 장착된 힘센서



그림 4. x축방향 센서힘



그림 5. 실험모습

그림 4는 선단의 F/T 센서를 z-x방향으로 밀고 당긴후의 x축 힘 파형 모습이다. x, y축 힘은 수평 상태에서 횡적인 힘이 반영되는 것이 아니라 선단 막대를 밀 때 센서 위부분의 축을 중심으로 회전 방향으로 힘이 적용되어 반영되므로 횡적힘의 방향인 X-Y축의 힘의 크기가 적게 나타난다.

결론적으로, 본 논문에서는 의료로봇 직접 교시에 있어서 작업자가 로봇의 선단의 힘/토크 센서를 통해 사용자의 작업 의도를 전달하여 로봇을 제어하고 동작을 재현하는 제어시스템을 제안하였다. 이를 구현하기 위해 힘 어드미턴스 제어 시스템을 개발하였으며, 힘 제어기와 연결된 6축 로봇팔 속도 제어 시스템을 제안하였고 검증하였다.

사사: 본 과제(결과물)는 2026년도 교육부 및 광주광역시의 재원으로 광주앵커센터의 지원을 받아 수행된 지역성장 인재양성체계(앵커)의 결과입니다.(2026-ANCHOR-05-016)

공간적 재난 취약성을 고려한 긴급지원 경로 탐색 연구

A Study on Emergency Support Route Considering Spatial Disaster Vulnerability

김강현
(계명대학교, 박사과정)

홍정열
(계명대학교, 교수)

재난·재해는 하나의 현상에 그치지 않고 연쇄적으로 발생하는 복합적 재난 형태로 발생한다. 이러한 재난·재해는 사고 발생 시 인명 및 재산피해뿐만 아니라 주요 사회기반시설의 기능 저하와 마비를 초래하며 이로 인한 특정 도로구간의 손상과 단절은 긴급구조와 구호물자의 이동을 제한시켜 도로망 전반에 걸쳐 재난 피해를 확대시킨다. 이러한 재난 발생에 대응하기 위해서는 재난·재해 발생 가능성을 사전에 인지하여 피해를 예방하고 발생 이후에 신속한 대응을 지원할 수 있는 재난·재해 대응체계가 필요하다. 이를 위해서는 재난·재해로 인한 피해 가능성이 높은 지역과 도로구간의 취약성을 사전에 진단하고, 특정 도로구간의 기능저하 또는 통행불능에 따른 도로네트워크 전반에 미치는 영향을 고려하여 신속한 긴급대응을 위한 최적 지원 경로를 확보하는 통합적 연구가 선행되어야 한다. 이에 본 연구에서는 먼저 2000년부터 2023년까지 24년간 자연재해(태풍, 호우, 한파 등) 발생 현황과 지역별 면적 및 인구 등 특성 자료를 활용하여 시·군·구 지역별 공간·구조적 특성, 피해 수준, 재해 발생 빈도 등을 분석하고 과거 재해 발생 이력에 기반한 자연재해 취약지역을 진단하였다. 다음으로 취약성이 높은 지역의 도로네트워크를 대상으로 잠재적 취약성, 재난 노출성, 환경적 취약성, 구조적 취약성, 교통운영, 네트워크, 대응·회복성, 대응 지연성 등 일관된 도로구간별 취약요인를 반영하여 고취약 도로구간을 정량적으로 분석하였다. 마지막으로 출발지-도착지(OD), 통행불능 구간 등 경로 분석을 위한 기초자료를 구축하고 주요 도로구간의 통행불능을 가정하여 기존 도로망과 통행불능 도로망 간 통행특성 및 통행시간의 변화를 비교함으로써 긴급지원 경로를 탐색하였다. 경로 분석을 위해 교통량, 속도, 차로수 등 도로구간별 특성을 기반으로 BPR함수를 적용하여 혼잡통행시간을 산출하였다. 본 연구의 결과는 지역 및 도로구간별 재난 취약성을 고려한 맞춤형 사전 관리전략 수립하는 데 활용될 수 있으며 미연의 재난 사고 발생으로 인한 주요 도로구간이 통행불능 상태가 되었을 경우 긴급대응시설과의 접근성 저하가 크게 발생하는 OD를 사전에 식별하고 긴급지원 경로를 확보함으로써 재난 대응을 지원하는 데에 기여할 수 있다.

사사: 본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다(No.RS-2026-25481068)

지하차도 침수·익수 위험 대응을 위한 Radar-Vision 기반 침수 감시 및 3차원 객체 추적 연계 기술 연구

Radar - Vision-Based Flood Monitoring and Integrated 3D Object Tracking for Flood and Drowning Risk Management in Underpasses

박동현
(한국건설기술연구원 미래스마트건설연구본부, 수석연구원)

정인택
(한국건설기술연구원 미래스마트건설연구본부, 수석연구원)

장봉주
(한국건설기술연구원 미래스마트건설연구본부, 수석연구원)

최근 국지성 집중호우로 인한 지하차도 침수 사고가 반복적으로 발생하면서 침수 상태뿐만 아니라 침수구간에 진입한 차량과 사람의 위험을 실시간으로 판단할 수 있는 기술의 필요성이 증가하고 있다. 기존 연구에서는 레이더 신호의 거리-도플러 정보를 이용하여 반사 잡음을 억제하는 비접촉식 지하차도 침수 감시 기술을 제안하였다. 본 연구에서는 이를 확장하여, 거리축 기반 침수·유속 계측 결과와 Radar-Vision 기반 3차원 객체 추적 결과를 결합한 지하차도 위험 모니터링 기술을 제안한다.

기존 연구에서 개발한 60GHz FMCW 레이더 기반의 WAVE-Surf 단말 장치는 연속된 거리-도플러 프레임에 전력 임계값과 시간 누적 조건을 적용하여 차량, 보행자 및 고정 구조물에 의한 일시적인 반사 잡음을 억제한다. 이후 유효 반사가 지속해서 관측되는 최근접 거리 빈을 이용하여 레이더 관측축상의 수면 위치를 계산하고, 도플러 빈의 분포를 통해 유입 또는 유출 방향과 유속을 산출한다. 또한, 레이더 설치 높이와 IMU에서 획득한 기울기 값을 적용하여 수면까지의 거리와 침수위를 보정한다. 최종적으로 침수 정보는 도로 진행 방향에 대응하는 1차원 거리축상의 침수 경계, 침수위, 유속 및 변화율로 표현된다.

객체 위험 감시 장치는 같은 모델의 레이더 장치와 AI 카메라를 이용하여 차량과 사람을 검출한다. 레이더로부터 움직이는 객체의 식별자, 3차원 위치와 이동 속도를 획득하고, 영상 분석을 통해 객체 종류와 사람의 관절 좌표를 추출한다. 사람의 자세는 관절 좌표 간 기하학적 관계와 신뢰도를 이용하여 서기, 앉기, 눕기로 분류하거나 판정 불가로 처리한다. 객체 위치는 IMU 기반 설치 자세 보정을 통해 현장 좌표계로 변환한다.

이 두 단말 모듈의 동기화를 통해 침수구간 내 차량 정차, 보행자 진입, 앉음 또는 넘어짐과 같은 상황을 단계별 위험 이벤트로 표현할 수 있다. 이에 따라 시스템 구성을 단순화하고 통신 부하를 줄이면서 지하차도의 침수 상태, 차량 진입 및 사람의 위치와 자세를 하나의 웹 기반 화면에서 통합적으로 감시할 수 있다. 본 연구는 침수 계측과 객체 추적을 연계한 지하차도 위험 모니터링 시스템의 구성 및 위험 판단 프로세스를 제안하는 데 의의가 있다. 향후 침수위 계측 오차와 위험 이벤트 검출 성능에 대한 실험적 검증을 통해 지하차도 통제 및 인명사고 대응에 대한 적용 가능성을 평가할 필요가 있다.

사사: 이 논문은 2026년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국건설기술연구원 주요사업의 지원을 받아 수행된 연구임(R-V(Radar-Vision) 융합 센서 기반 지하 건축물 내부 익수위험 사전 인지 및 대응 핵심기술 개발 (1/2)).

ITS 환경에서 Physical AI 기반 도로 침수 위험 인지 및 긴급차량 동적 경로 최적화

Physical AI-Based Road Flood Risk Recognition and Dynamic Route Optimization for Emergency Vehicles in ITS Environments

김은지 (계명대학교 경영빅데이터학과, 학부생)

김진화 (계명대학교 경영빅데이터학과, 학부생)

임수현 (계명대학교 경영빅데이터학과, 학부생)

이소원 (계명대학교 경영빅데이터학과, 학부생)

1. 연구 배경 및 목적

국지성 집중호우로 인한 도로 침수는 긴급차량의 골든타임 확보를 저해할 뿐만 아니라, 출동 차량의 침수·고립이라는 2차 안전사고를 유발한다. 그러나 기존 지능형교통체계(ITS)의 경로 안내는 최단 거리와 일반 교통 소통 정보에 치중하여, 도로 링크별 침수 이력과 잠재적 수해 위험을 경로 생성 단계에서 체계적으로 반영하지 못한다. 이에 본 연구는 침수 위험을 반영한 긴급차량 동적 경로 의사결정지원시스템(DSS)을 구현·검증하고자 한다. 본 연구에서 Physical AI는 ① 물리적 수해 환경 데이터(침수흔적, 기상정보)의 수집 및 공간 매칭, ② 그래프 알고리즘 기반 위험 가중 경로 판단, ③ 관제 대시보드를 통한 관제자·운전자의 경로 수용 및 피드백이 결합된 인간 참여형(Human-in-the-loop, HITL) 사이버-물리 제어 체계로 정의한다.

2. 연구 방법

데이터 구축	국토교통부 표준 도로 링크(MOCT_LINK, 약 156만 건)와 공공 침수흔적도 데이터를 MySQL 기반 공간 데이터베이스에 적재
공간 분석 및 위험 지수화	Python 기반 공간 교차(Spatial Intersection) 분석을 통해 링크별 침수 빈도, 최대/평균 침수심을 산출하고 정량적 위험 지수 도출
경로 생성	NetworkX로 도로 네트워크 그래프를 모델링하고, 일반 최단 경로와 침수 위험 가중 안전 대안 경로를 각각 도출하는 FastAPI 백엔드 API를 구축하여 기능 검증을 완료하였다.
관제 인터페이스	웹 기반 대시보드에서 침수 위험 도로 목록, 링크별 상세 위험 정보, 추천 경로 비교 결과를 단일 화면으로 제공
네트워크 모델링 및 경로 최적화	NetworkX로 도로망 그래프를 구축하고, 도로 연장과 위험도 비용 함수를 결합한 가중 다익스트라(Weighted Dijkstra) 알고리즘 적용
백엔드 연산 및 관제 대시보드	FastAPI RESTful API를 통해 일반 최단 경로와 침수 회피 대안 경로를 실시간 비교·연산하고, 웹 관제 인터페이스에 단일 표출
성능 평가	수 이력이 존재하는 주요 도로 구간에서 일반 최단 경로와 침수 위험 가중 경로를 총 통행거리, 소요시간, 침수 위험 링크 통과 수로 비교

3. 연구 결과 및 분석

침수 이력이 존재하는 도로 구간 주변에 긴급차량의 가상 출동 시나리오를 구성하고, 유효 경로 401개 중 일반 경로가 침수 이력 링크를 경유하는 36개 사례를 대상으로 '일반 최단 경로'와 '침수 위험 가중 경로'의 성능을 비교·분석하였다. 일반 최단 경로는 모형 주행시간을 최소화하는 경로로 정의하였다. 기존 위험 가중계수(α=1)를 적용한 결과, 위험 가중 경로의 평균 통행거리는 일반 경로 대비 3.47%, 평균 모형 주행시간은 3.53% 증가하였으나, 침수 이력 링크 통과 수는 사례당 평균 2.25개에서 1.06개로 감소하였다. 통과 수 합계는 81회에서 38회로 53.09% 감소하였으며, 평균 추가 통행거리는 133.94m, 평균 추가 모형 주행시간은 12.38초였다. 또한 최대 과거 침수심 0.3m 이상 링크의 통과 수 합계는 8회에서 6회로 감소하였으나, 전면 우회는 달성되지 않았다. 이러한 결과는 설정된 가상 시나리오에서 위험 가중치 적용을 통해 이동거리·시간 증가와 침수 이력 링크 노출 감소 간의 상충관계를 정량적으로 비교할 수 있음을 보여준다. 본 시스템은 이러한 비교 정보를 제공함으로써 관제자의 긴급차량 경로 선택을 지원할 수 있으며, 실제 출동 안전성과 골든타임 확보 효과는 향후 현장 검증이 필요하다.

4. 결론 및 향후 과제

본 연구는 전국 표준 도로 네트워크와 침수 이력 데이터를 데이터베이스로 체계화하고, Python 기반 모델링과 API 서비스를 통해 긴급차량 관제에 특화된 의사결정지원시스템을 직접 구현·검증하였다는 데 의의가 있다. 다만 현재의 위험도는 과거 침수 이력에 기반하며, CCTV 영상 기반 실시간 침수 인지는 영상 데이터 확보 및 검증의 제약으로 연구 범위에서 제외하였다. 향후 실시간 영상·센서 데이터를 연계하여 위험도를 동적으로 갱신하고, 현장 적용성을 검증할 계획이다.

사사: 본 연구는 2026년학년도 계명대학교 계명 스튜던트 스칼라 육성 프로그램의 지원을 받아 수행된 연구 결과물임.

정적·동적 충전 전략을 고려한 모듈형 전기화물차량 기반 물류 서비스 최적화

Modular Electric Vehicle-Based Logistics Service Optimization With Stationary and Dynamic Charging Strategies

나채민
(한국과학기술원 건설및환경공학과, 박사과정)

유화평
(스마트인프라공학부 스마트모빌리티공학전공, 교수)

여화수
(한국과학기술원 건설및환경공학과, 교수)

전기화물차량의 주행거리 제약과 충전 인프라 부족은 도심 물류 효율화를 저해하는 핵심 요인이다. 장거리 간선 운송과 단거리 최종 배송이 혼재하는 환경에서, 단일 구성의 전기화물차량은 수요 변동에 유연하게 대응하기 어렵고 배터리 용량 대비 활용도가 낮아지는 문제가 발생한다. 또한 정차 충전소(Charging Station, CS) 위주의 충전 전략은 우회, 대기, 충전 지연으로 인해 마감 시간 준수를 어렵게 만든다.

본 연구는 모듈형 전기화물차량(Modular Electric Vehicle, MEV) 기반 화물 배차·경로·스케줄링 통합 최적화 문제를 다룬다. MEV는 화물 모듈(Freight Module, FM)의 물리적 연결(coupling) 및 분리(decoupling)를 통해 간선 운송과 최종 배송을 유연하게 처리하며, 연결 시 공기저항 감소에 따른 에너지 절감 효과가 발생한다. 여기에 차량 간 에너지 이전(Vehicle-to-Vehicle, V2V)과 주행 중 충전 차선(Charging Lane, CL)을 추가로 고려함으로써, 정차 충전만으로는 실현 불가능한 시나리오에서의 실행 가능한 해를 탐색한다. 총 4가지 충전 설정－정차 충전(CS), CS+V2V, CS+CL, CS+V2V+CL－을 비교 분석한다.

문제는 시간 확장 네트워크(Time-Expanded Network, TEN) 상에서 혼합정수선형계획(Mixed-Integer Linear Programming, MILP) 모형으로 정식화되며, 화물 배차, 경로·스케줄링, 모듈 연결·분리, 충전 전략 결정을 단일 모형 내에서 통합적으로 최적화한다. 배터리 충전 상태(State of Charge, SoC) 제약, 배송 마감 시간 조건, 환적(transshipment) 논리가 명시적으로 모형화된다. 계산 복잡도 문제를 해결하기 위해 4가지 충전 설정에 대응하는 계층적 유전 알고리즘(Hierarchical Genetic Algorithm, GA)을 개발하였으며, Phase 1에서 경로·배차·충전을 결정하고 Phase 2에서 연결·플래투닝을 포함한 동적 충전 절차를 추가한다. Gurobi 상용 솔버로 인증된 최적해와의 비교를 통해 GA 해의 품질을 검증하였다.

Sioux Falls 네트워크에서 수행된 수치 실험 결과, 모든 실현 가능한 케이스에서 GA는 솔버 목적함수 값과 동일한 해를 도출하여 최적성 갭이 0임을 확인하였다. 정차 충전만으로는 SoC 및 마감 시간 제약을 충족할 수 없는 시나리오(I-시리즈: 마감 시간이 촉박한 3개 케이스)에서 동적 충전 전략이 실현 가능한 해를 제공하였다. 반면 마감 시간이 여유로운 F-시리즈에서는 충전 차선이 최대 12.77%의 목적함수(에너지 소비) 감소 효과를 달성하였다. V2V 전략의 효과는 배터리 모듈의 초기 위치에 따라 편차가 크게 나타났으며(동일 시나리오 내 최선-최악 목적함수 차이 22~27%), CL 또한 배치 링크의 위치에 따라 성능이 상이하였다. 개별 동적 충전 옵션이 모두 실현 불가능한 보충 시나리오(I4: 초기 SoC 0.28~0.40, 충전소 1개)에서는 V2V와 CL의 결합 전략이 유일하게 실현 가능한 해를 제시하였다.

본 연구는 화물 배차, 경로·스케줄링, 모듈 연결·분리, 정적·동적 충전 결정을 단일 최적화 모형으로 통합한 점에서 학술적 기여를 가진다. 아울러 충전 전략의 효과가 배터리 모듈 위치, 충전 차선 배치, 초기 SoC 수준, 마감 시간 조건에 복합적으로 의존함을 정량적으로 규명하였다. 본 프레임워크는 운영자 및 정책 입안자가 동적 충전 인프라 배치 전 모듈형 전기화물 운영 계획의 사전 타당성을 평가하는 데 활용될 수 있다.

사사: 이 논문은 2025년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (RS-2024-00459703, 광역권 도시를 위한 차세대 AI 융합 모빌리티 시뮬레이션 및 예측/활용 기술 개발)

보행자 혼잡이 자율주행 배송로봇의 이동시간과 탄소배출에 미치는 영향

Impact of Pedestrian Congestion on Travel Time and Carbon Emissions of Autonomous Delivery Robots

박성진
(서울시립대학교 교통공학과, 박사과정)

최민제
(국립공주대학교 지능형모빌리티공학과, 조교수)

최근 자율주행 배송로봇은 도심 내 라스트마일 배송의 인력 부족과 환경문제를 해결할 수 있는 새로운 수단으로 주목받고 있다. 그러나 실제 로봇이 운행하는 보도에서는 보행자가 많아질수록 회피, 감속, 정지 등이 반복되며 이동시간이 증가한다. 이러한 지체는 단순히 배송시간만 늘리는 것이 아니라 로봇의 에너지 소비와 운행 과정에서 발생하는 간접적인 탄소배출에도 영향을 줄 수 있다.

본 연구는 이러한 관계를 정량적으로 확인하기 위해 보행자 밀도, 자율주행 로봇의 이동지체, 에너지 소비 및 CO_2 배출량을 하나의 분석과정으로 연결하였다. 실제 자율주행 로봇의 주행실험을 통해 33개 보행로 링크에서 총 195개의 관측자료를 수집하였으며, 보행자 밀도와 로봇의 추가 지체시간 간의 관계를 혼합효과모형을 이용하여 분석하였다. 이후 분석된 지체시간을 에너지 소비량으로 환산하고, 동일한 출발지와 도착지를 연결하는 세 개의 대표 경로를 대상으로 경로별 CO_2 배출량을 비교하였다.

분석 결과, 보행자 밀도가 증가할수록 자율주행 로봇의 이동지체가 통계적으로 유의하게 증가하는 것으로 나타났다. 보행자 밀도가 0.01명/㎡ 증가할 경우 로봇의 지체는 약 0.076초/m 증가하였으며, 이를 200m 구간으로 환산하면 약 15초의 추가 이동시간이 발생한다. 이러한 차이를 경로 전체로 확장한 결과, 보행 혼잡에 적게 노출되는 Route A의 CO_2 배출량은 3.09g으로 가장 낮았으며, Route B는 3.23g, 보행 혼잡 노출이 가장 큰 Route C는 3.59g으로 나타났다.

이 결과는 자율주행 배송로봇의 경로를 결정할 때 단순히 이동거리나 최단시간만 고려하는 것보다 보행자 혼잡도까지 함께 고려할 필요가 있음을 보여준다. 특히 보행자가 많은 구간을 적절히 회피하는 경로계획은 배송 효율성을 높이는 동시에 에너지 소비와 운행 과정의 탄소배출을 줄이는 데 기여할 수 있다. 향후 보다 다양한 보행밀도와 여러 도시 환경에서 추가적인 실증을 수행한다면, 보행환경을 고려한 친환경 자율주행 배송로봇 운영 및 도시 물류계획에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

인천항 대기오염물질 배출량의 장기 변화와 저감정책 효과 분석

Long-Term Trends in Air Pollutant Emissions and Evaluation of Emission Reduction Policies at Incheon Port

진무위
(강원대학교, 글로벌융합학부, 부교수)

이향숙
(인천대학교 동북아물류대학원, 교수)

본 연구는 인천항을 대상으로 2017~2025년 대기오염물질 배출량의 변화 추이를 분석하고, 배출원별 특성과 주요 저감정책의 효과를 평가하는 데 목적이 있다. 이를 위해 선박, 차량, 하역기계, 비산먼지 등 5개 배출원을 대상으로 주요 대기오염물질의 배출량을 분석하였다. 또한 배출규제해역(ECA), 선박속도저감(VSR), 육상전원공급설비(AMP) 및 차량 매연저감장치(DPF)의 적용에 따른 배출량 저감효과를 검토하였다.

분석 결과, 인천항의 대기오염물질 총배출량은 2017년 10,680.5톤에서 2025년 5,568.5톤으로 47.86% 감소하였다. 2025년 기준 선박과 차량의 배출 비중은 각각 67.0%, 28.5%로 전체의 95.5%를 차지하였으며, NOx가 가장 많이 배출되는 오염물질로 나타났다. 정책별 시나리오 분석에서는 ECA의 SOx 및 입자상 물질 저감효과와 VSR의 NOx 저감효과가 확인되었으며, DPF 적용 시 차량 배출량은 10.3% 감소하는 것으로 추정되었다. 이러한 결과는 항만 대기환경 개선을 위해 선박과 대형 화물자동차를 중심으로 배출원을 관리하고, 오염물질별 특성을 고려한 차별화된 저감정책을 추진할 필요가 있음을 시사한다.

CAN 버스의 비트 주입 공격 방어를 위한 Supernode 설계

Design of a Supernode to Defend Against Bit-Injection Attacks on the CAN Bus

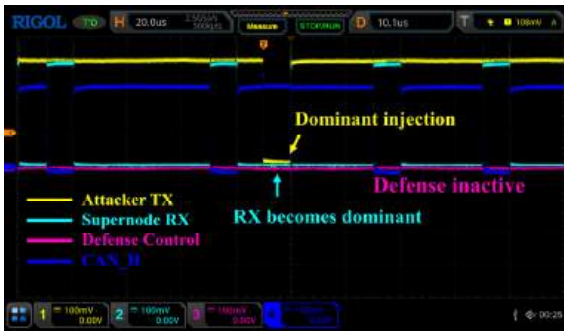
이수지	전다울	윤준식	박현태	이유식
(순천향대학교 정보보호학과, 석박통합과정)	(순천향대학교 정보보호학과, 석사과정)	(순천향대학교 정보보호학과, 학사과정)	(순천향대학교 정보보호학과, 학사과정)	(순천향대학교 정보보호학과, 교수)

CAN(Controller Area Network)은 물리계층에서 dominant(0)와 recessive(1)가 동시에 전송될 경우 dominant 상태, 즉 logical 0이 버스에 나타나는 특성을 갖는다. 이러한 특성으로 인해 공격자가 정상 CAN controller의 동작을 우회하여 송신 신호를 직접 제어할 수 있다면, 정상 ECU가 recessive bit를 전송하는 시점에 dominant bit를 강제로 주입함으로써 해당 비트를 0으로 변조할 수 있다. 이때 dominant 신호가 recessive 신호에 우선하므로, 정상 ECU의 송신만으로는 공격에 의해 변경된 버스 상태를 되돌리기 어렵다.

기존 CAN 보안 연구는 주로 비정상 메시지를 탐지하는 침입탐지시스템을 중심으로 진행되어 왔으며, 물리계층에서 비트 변조 자체를 직접 방어하는 연구는 상대적으로 제한적이다. 이에 본 연구에서는 이러한 비트 수준 공격에 직접 대응하기 위한 Supernode를 제안한다.

Supernode는 CANH와 CANL을 단락시켜 두 선 사이의 차동전압을 약 0 V로 낮춤으로써 버스 상태를 recessive로 유지하는 방어 방식을 사용한다. 자신이 송신한 CAN 프레임이 Arbitration에서 승리하면 방어 동작을 시작하며, 이후 EOF까지 ACK slot을 제외한 recessive bit 전송 시 단락 회로를 동작시킨다. 이를 통해 공격 노드가 dominant bit를 주입하더라도 버스의 recessive 상태를 유지하여, Supernode가 의도한 비트의 변조를 방지한다.

제안한 Supernode의 동작을 검증하기 위해 Supernode와 공격 노드를 FPGA로 구현하여 100 kbps CAN 통신 환경을 구성하고, CANoe를 이용해 버스의 통신 상태와 프레임 수신 결과를 모니터링하였다. 공격 노드는 CAN 버스를 모니터링하여 Supernode가 송신하는 ID 0x100 프레임을 식별한 후 특정 recessive bit에 약 10 μs 동안 dominant 신호를 주입하도록 구현하였다. Supernode는 Arbitration에서 승리한 이후 ACK slot을 제외한 recessive bit에서 방어 회로가 동작하도록 구현하였다. 방어 기능을 검증하기 위해 동일한 dominant bit 주입 조건에서 Defense OFF와 Defense ON 상태의 신호를 비교하였다. 그림 1과 그림 2는 각 조건에서 측정한 오실로스코프 파형을 나타낸다.



<그림 1> Defense OFF 상태에서 RX가 dominant로 변조되는 경우



<그림 2> Defense ON 상태에서 RX의 recessive 상태가 유지되는 경우

그림 1의 Defense OFF 상태에서는 공격 노드의 TX가 low로 전환되면서 dominant bit가 주입되고, 이에 따라 Supernode의 RX도 dominant 상태로 변경되어 recessive bit가 변조되는 것을 확인하였다. 반면 그림 2의 Defense ON 상태에서는 동일한 dominant bit 주입이 발생하더라도 Defense Control 신호가 활성화되며, Supernode의 RX가 recessive 상태를 유지하였다. 또한 CANoe를 통해 공격 상황에서도 Supernode가 송신한 ID 0x100 프레임이 CAN error 없이 정상적으로 수신되는 것을 확인하였다.

결론적으로, 제안한 Supernode는 CAN 프레임 전송 중 발생하는 dominant bit 주입 공격을 물리계층에서 방어하여 송신 노드가 의도한 비트 상태를 유지할 수 있음을 확인하였다. 향후에는 500 kbps CAN 환경과 다양한 공격 비트 및 프레임 조건에서의 검증을 통해 실제 차량 네트워크에 대한 적용 가능성을 평가할 예정이다.

사사: “본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 지원을 받아 2026년도 AI중심대학(2026-0-00032)의 결과로 수행되었음”

지상파 DMB 및 브로드밴드망 연동 기반 고정밀 위치 보정 정보 하이브리드 전송 구현

Impelementatino of Hybrid Transmission for High-Precision GNSS Correction Information based on Terrestrial DMB and Broadband Network Interworking

서영우
(KBS. 수석연구원)

이용준
(현대모비스, 책임연구원)

본 논문은 지상파 디지털멀티미디어방송(DMB)의 투명 데이터 채널(TDC)과 브로드밴드 IP망을 연동하여 고정밀 GNSS(HP-GNSS) 보정정보를 효율적이고 끊김 없이 전송하기 위한 하이브리드 전송 규격을 제안한다.

기존 DMB 기반 데이터 전송 방식은 수십 kbps 수준의 제한된 대역폭과 방송 음영으로 인해 전국 기준국 보정정보의 전송 주기가 길어지고, RTK 초기 고정 및 측위 연속성이 저하되는 한계가 있었다. 특히 단일 방송 채널에서 모든 기준국 데이터를 동일한 우선순위로 순차 전송할 경우, 수신기가 초기 측위에 필요한 광역 공통 보정정보를 반복적으로 확보하기 어렵고, 터널·지하차도·도심 빌딩 숲과 같은 음영 구간에서는 보정정보 전달이 중단될 수 있다.

이를 해결하기 위해 본 규격은 전국 GNSS 기준국을 광역 커버리지를 담당하는 코어 기준국과 지역 정밀도를 보완하는 국소 기준국으로 계층화하고, 코어 기준국 데이터는 1~2초 주기로 전송하며 국소 기준국 데이터는 10~30초 주기로 순차 롤링 전송하는 차등 스케줄링 방식을 정의한다. 가용 대역폭이 부족한 경우에는 코어 스트림과 코어 SSR에 전체 대역폭의 60~70%를 우선 할당하고, 국소 기준국의 롤링 주기를 조정하여 코어 전송주기를 유지하도록 한다. 또한 국소 스트림 패킷의 헤더에 전용 계층 식별자를 갖는 코어 SSR 보정치를 피기백하는 인밴드 코어 임베딩을 적용하여, 수신기가 국소 기준국 스트림을 수신하는 상황에서도 코어 보정정보를 지속적으로 획득할 수 있다.

방송망과 브로드밴드망 사이에는 RTCM Epoch TOW 기반 타임스탬프, 정렬 버퍼 및 헤더 필드 매핑을 정의하여 이종 망 패킷의 동기화와 중복 제거를 지원한다. 수신기는 DMB 코어 스트림(0x0), 인밴드 코어, IP 백필 코어 중 동일한 관측 시점을 가지면서 무결성 검증을 통과하고 가장 먼저 도달한 코어 패킷을 앵커로 선택하여 1차 Fast Fix를 수행한다. 이후 10~30초 주기로 수신되는 인접 국소 기준국의 고밀도 보정정보를 이용해 기저선을 단축하고 정밀 수렴을 완료하는 2단계 측위 알고리즘을 적용한다. 이때 동일 Epoch의 중복 패킷은 도달 시각과 경로 상태를 기준으로 정리하며, DMB 패킷 손실 시에는 IP 백필 패킷으로 대체 연산하여 측위 불연속을 줄인다. 아울러 수신기는 SNR 및 BER의 감쇠 기울기를 모니터링하여 방송 음영 진입이 예상되면 DMB 신호가 완전히 단절되기 전에 IP 백필 세션을 선제적으로 개설한다. 이를 통해 정상 수신, 사전 예방형 핸드오버, 음영 구간 백필의 세 가지 운용 모드 사이에서 측위 서비스를 연속적으로 유지할 수 있다.

보안 측면에서는 브로드밴드 데이터에 무결성 검증을 적용하고, DMB TDC 데이터 그룹에는 CRC-16-CCITT를 적용하며, Epoch 시간창과 Sequence Number를 이용해 재전송 공격을 방지한다. 본 규격의 권장 성능 목표는 DMB 단독 환경에서 10초 이내 1차 Fast RTK Fix, 60초 이내 정밀 수렴, 평균 1~10cm 수준의 수평 측위 정확도, DMB 경로 2초 및 IP 경로 1초 이하의 종단 지연, 500ms 이하의 경로 전환 지연이다.

제안한 방식은 자율주행, ADAS, 로보틱스, UAM 및 재난·안전 분야에서 방송망의 광역성과 IP망의 양방향성을 결합한 연속형 정밀측위 서비스 구현에 활용될 수 있으며, DMB 데이터캐스팅 기반 정밀측위 서비스의 상용화와 관련 표준 간 상호운용성 확보를 위한 기술적 기반으로 활용될 수 있다.

사사: 본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2022-00141819)

ITS MRO Specialist

SMART SV VISION



ITS 통합 유지관리 및 구축 전문기업

축적된 현장 기술력과 체계적인 유지관리로
교통시스템의 안정적 운영과 도로 안전을 지원합니다.

COMPANY

2003년 설립 이후 **고속도로·국도·지자체 ITS 현장설비와 통신망을 23년간 운영·유지관리**해 왔습니다.
한국도로공사 ITS 유지관리 분야에서 중소기업 중 **최다 수행실적**을 보유한 교통·정보통신 토털 서비스 기업입니다.

BUSINESS

ITS 통합 유지관리 및 구축

교통시설·통행료 수납·제한차량 단속·정보통신망·터널 시스템 통합 유지관리
ITS 설비 구축·직접생산 (CCTV·VMS·VSL·차량번호판독기·영상식 AVC·RTU)

- **정보통신·전기·소방공사**
- **SW 솔루션 도입 및 유지보수**
- **SI 인프라 구축·운영·유지보수**
- **공공 SOC 구축·운영·유지보수**

CERTIFICATION & CLIENTS

정보통신공사업 · 전기공사업 · 전문소방시설공사업 · 소프트웨어사업자 · 엔지니어링사업자
ISO 9001 · 45001 / INNO-BIZ / VDS 기술인증 / 연구개발전담부서
주요 발주처 한국도로공사 · 5개 지방국토관리청 · 서울특별시 · 파주시 · 인천광역시 · 민자고속도로

경기도 하남시 조정대로 150, ITECO 845호

031-790-1420

Our Flight Your Future!

AI와 드론이 완성하는 해양 비즈니스의 새로운 항해

압도적인 **해양 비행 데이터**와 고도화된 **AI 분석 역량**을 바탕으로
해양드론기술의 지능형 솔루션이 당신의 비즈니스 미래를
가장 빠르고 정확하게 현실로 만듭니다.



BlueScope
AI 드론 플랫폼



MDT-V320
어군 탐지 드론



HeDRA50
고중량 드론

해양드론기술
Marine Drone Tech



技術 기술

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

Simulation for Safer Society

도로/교통/도시/자동차/보행/피난
VR 시뮬레이션 전문 기업



- 운전능력검사
- 운전자행태분석
- 설계검토
- 자율주행기술 검증
- 영상컨텐츠 제작
- 보행/피난 시뮬레이션
- BIM/CIM
- 디지털트윈/스마트시티
- 드라이빙 시뮬레이터

FORUM 8
(주)포럼에이트코리아

H2TECH
HIGH-TECH TOWARDS HUMANITY

기본 위에 하나를 더하여 제품을 만들고
상품으로서 가치를 배가시키는 회사,
고객을 위한 열정과 가치를 만드는
이곳은 **에이치투테크** 입니다.



지능형 교통체계

자사 솔루션을 바탕으로 한 최적의 지능형 교통체계 제공

- 현장시스템 솔루션 개발 및 생산 설치 (CCTV / VMS / 긴급차량)
- 시스템 통합(SI) 구축 / 시스템 컨설팅 및 설계 수행
- 지능형 교통체계 운영지원 / 유지보수 및 기술지원



버스정보 시스템

스마트 쉘터부터 초정밀 버스까지 버스정보의 A to Z 구축

- 스마트 쉘터 / 버스도착 정보안내기(BIT) 직접 생산 및 설치
- 시스템 통합(SI) 구축 / 시스템 컨설팅 및 설계 수행
- 버스정보 시스템 운영지원 / 유지보수 및 기술지원



사이니지 솔루션

대시민 정보편의 제공을 위한 다양한 표출 솔루션 적용

- 교통분야 (가변형 도로전광표지 / 속도제한표지 / 차로제어 등)
- 공공시설분야 (스마트 폴 / 운행정보시스템 / 관제상황판 등)
- 상업 및 엔터테인먼트 분야 (전광판 / 키오스크 / 옥외광고 등)



주소

파주 본사 : 경기 파주시 운정로 165
광명 지사 : 경기 광명시 하안로 60,
광명테크노파크 A동 402호

연락처

대표전화 : 02-897-2195

홈페이지

www.h2tech.kr

QR코드를 스캔하면
홈페이지로 이동합니다



BYDA
SENSOR & SYSTEM

We will become a company that provides core solution
for the ICT industry based on world leading RADAR technology

BYDA는 밀리미터파 레이더 기술을 기반으로 스마트 센싱의 미래를 열어가는 혁신 기업입니다.
"스마트 센싱 기술로 더 편리하고 안전한 세상을"이라는 슬로건 아래, 한 걸음씩 비전을 실현해 나가고 있습니다.



Opening a Safer & Smarter World
With BYDA's Technology

www.bydasensor.com / 서울특별시 중구 한강대로 416, 10층 (남대문로5가, 서울스퀘어) / T. 02.6204.1777 F. 02.6204.1778 E.skpark@bydasensor.com

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



데이터 기반 교통·물류 정책과 전략의 해답

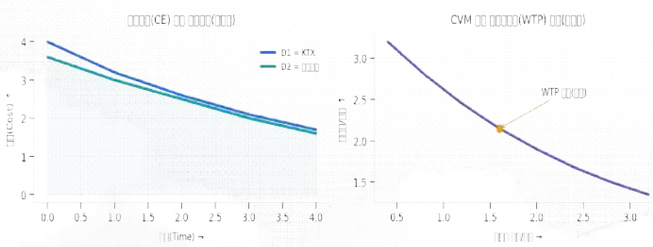
SP 조사 분석(CE·CVM) × STP 분석·전략 | 교통·물류 부문 공공정책 전문

교통·물류 | 학술연구 | SP(CE·CVM) | STP 전략·분석

교통·물류 연구를 위한 설문조사 및 데이터 분석을 '차원이 다르게' 설계·제공합니다

SP 조사 분석 (CE · CVM)

- 선택실험법(CE)·조건부가치측정법(CVM) 기반 수요·가치 추정
- 교통수단 선택행태 분석, 시간가치(Value of Time)·탄력성 검증
- 정책·신교통수단·요금체계·서비스 도입 타당성 평가



※ 그래프는 방법론 개념도(예시)

STP 분석 및 전략

Segmentation
행태·태도·이용 목적 기반 시장/이용자 세분화
Factor analysis, Cluster analysis, Conjoint analysis 등 활용

Targeting
전략성 평가 기반 핵심 타겟 정의
Decision Tree 등 활용

Positioning
정량 근거로 정책·서비스·브랜드 전략 도출

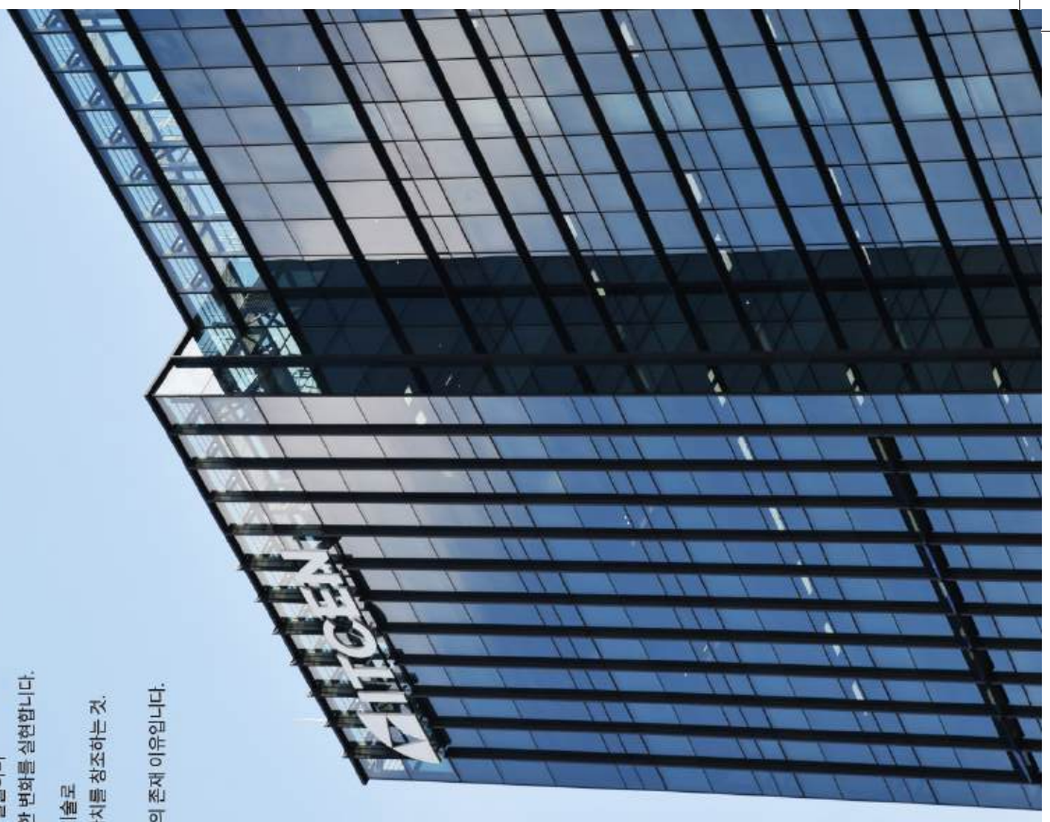
- 시장·제품·서비스 기회 탐색 및 전략 과제 도출
- 세분시장별 포지셔닝과 실행(마케팅 믹스/정책 패키지) 제안

데이터로 교통을 읽고, 전략으로 미래를 설계합니다.

㈜GRI리서치
서울시 강남구 논현로 543(역삼동) 은주빌딩 2층 (06126)
T. 02-6263-7000 | M. 010-6263-4444 | E. donald@grikorea.co.kr

GRI Research
Global Revolutionary Insight

ITCEN ENTEC



Inspire with Technology

세상을 변화시키는 기술

우리는 고객에 대한 이해를 넘어서,
변화의 흐름을 읽고, 멈추지 않는 도전을 통해
지식과 기술로 세상을 혁신합니다.
깊은 신뢰감으로 늘 고객과 함께하고,
기술, 사람, 기업간 새로운 연결 속에서
새로운 경험과 가치를 발굴하며
아이티센은 지속가능한 변화를 실현합니다.
더 나은 내일을 향한 기술로
고객의 삶에 필요한 가치를 창조하는 것.
아이티센이 생각하는
우리의 역할이자 우리의 존재 이유입니다.

미래형 기술을 담아 당신의 안전과 편의를 위해 나아갑니다.

TECHNOLOGY FOR HUMAN SAFETY

WINITECH (주)위니텍

위니텍은 지능형교통체계(ITS) 구축 경험을 바탕으로
교통 데이터와 도시 인프라를 연결합니다.

실시간 교통정보 수집부터 통합관제, 이동 서비스까지
도시의 교통 흐름을 더 스마트하게,
시민의 이동을 더 안전하고 편리하게 만듭니다.

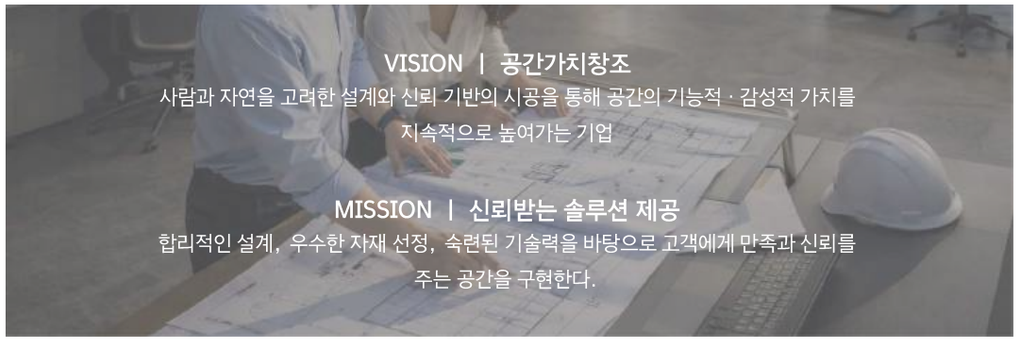


주요 구축 실적

- 대구광역시 지능형교통체계(ITS) 구축
- 대구광역시 첨단교통관리체계 구축
- 포항시 지능형교통시스템(ITS) 고도화
- 구미시 지능형교통체계(ITS) 구축
- 대구형 MaaS 플랫폼 구축
- 통합주차정보시스템 구축
- 대구 동성로 일대 aDRT 운행
- 달서구 스마트시티솔루션 확산사업

DESIGNING SPACES, BUILDING TRUST

아이엘아이앤디㈜



VISION | 공간가치창조

사람과 자연을 고려한 설계와 신뢰 기반의 시공을 통해 공간의 기능적 · 감성적 가치를 지속적으로 높여가는 기업

MISSION | 신뢰받는 솔루션 제공

합리적인 설계, 우수한 자재 선정, 숙련된 기술력을 바탕으로 고객에게 만족과 신뢰를 주는 공간을 구현한다.

DESIGN

공간기획 · 인테리어 · 설계

→ 효율성과 감성을 동시에 고려한 공간 창출

ENGINEERING

기계설비(HVAC) 통합설계 및 시공

→ 공간과 설비의 최적화 구현

PROCUREMENT

자재조달 · 품질관리

→ 프로젝트 맞춤형 공급 및 관리

I Love I&Design

아이엘아이앤디㈜ I 대표자 허남준

Tel. 061.794.2013~4 Fax. 061.791.2013 I E-mail : juni1650@nate.com

본사 : 전남 광양시 무등길 51-1 (중동) I 서울사무소 : 서울시 마포구 대흥로 157-20(5층)

싸인텔레콤

업계 1위 풍부한 수행실적 + **A+등급** 안정적 신용평가 + **상위 0.001%** 기술력 보유

300여년의 지속적인 성장 노하우로
다양한 IT 솔루션 통합 구현을 선도



미래형 ITS

AI 스마트 교차로 기반



차세대 ITS

V2X 통신 기반 미래형 자율협력주행

싸인텔레콤



첨단형 BIS

ICT & IoT & GNSS 융복합 기술 적용



스마트시티

IoT & 알고리즘 기술 융합

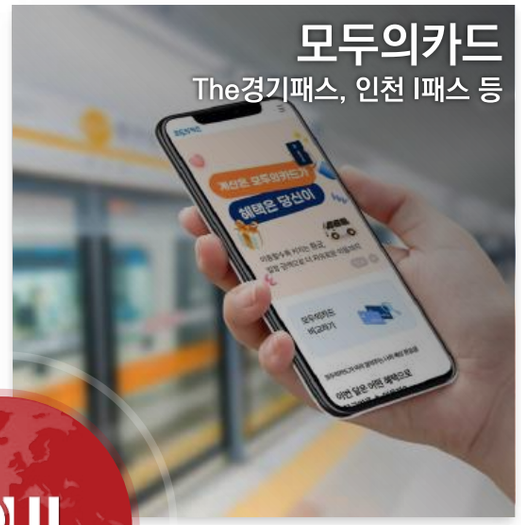
SINCE 1989	사회적 공헌	산학 클러스트	ITS 기업유일
30년 이상 업력의 강소기업	LED 이해를 돕기위한 LED스퀘어 개관	서강대, 한성대, 부산대, 인덕대 등 25개 대학교	산업융합선도기업 지정 산업융합 대통령 표창 (2019년 수상)

문 의 스마트 SI본부 김현구 이사 (010-9770-5080) | 스마트 SI본부 박은희 차장 (010-9509-9878)

서울본사 서울시 영등포구 경인로 775, 1동 119호 (문래동 3가, 에이스하이테크시티)

파주사옥 경기도 파주시 회동길 521, 4층 (문발동, ST빌딩) | **파주공장** 경기도 파주시 소라지로 195번길 113 (신촌동)









SOUL
INFORMATION TECHNOLOGY

교통 데이터 기반 SOLUTION 전문 기업

SOUL ㈜소울인포테크
INFORMATION TECHNOLOGY

롯데이노베이트

LEADING Business Transformation

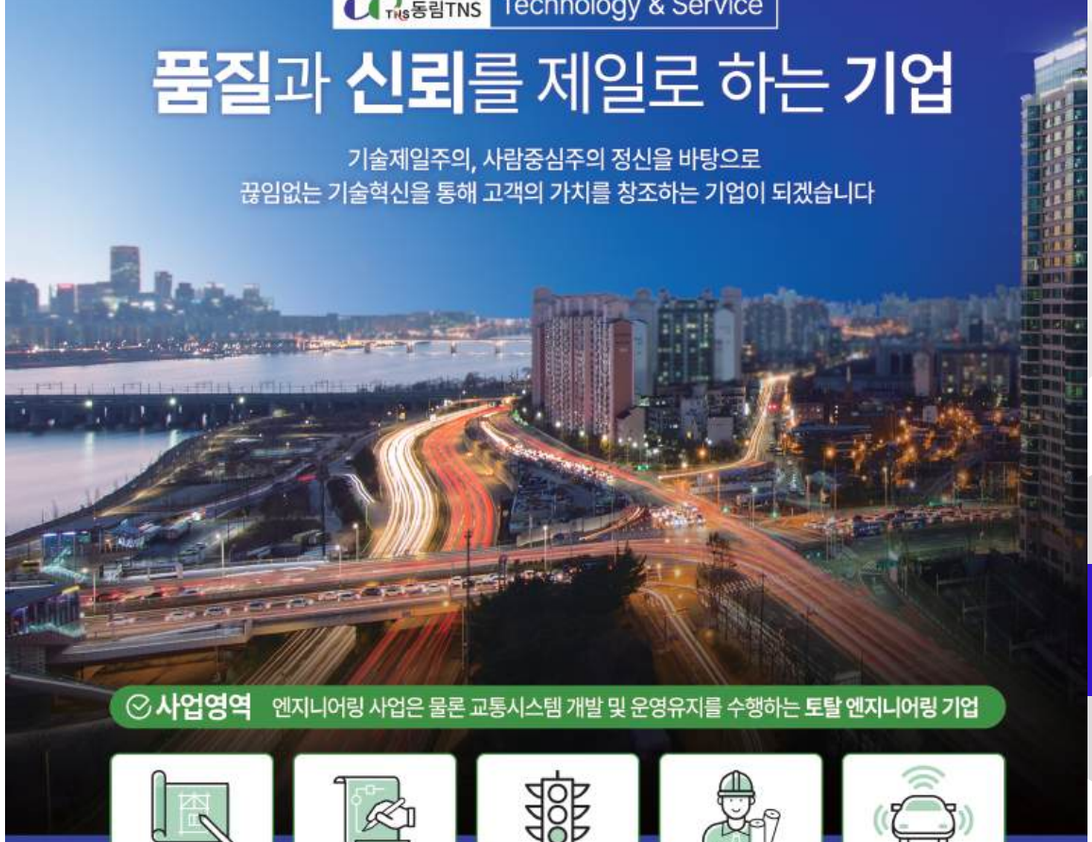
고객의 Business Transformation을 Leading하는 서비스 기업,
롯데이노베이트입니다.



동림TNS Technology & Service

품질과 신뢰를 제일로 하는 기업

기술제일주의, 사람중심주의 정신을 바탕으로
끊임없는 기술혁신을 통해 고객의 가치를 창조하는 기업이 되겠습니다



사업영역 엔지니어링 사업은 물론 교통시스템 개발 및 운영유지를 수행하는 **토탈 엔지니어링 기업**

- 교통계획 도시계획
- 교통R&D
- 교통신호운영
- 교통안전시설 설계/감리
- 모빌리티 ITS[C-ITS]
- 스마트시티
- 센터 유지관리
- 공공디자인
- 정보통신공사
- 소프트웨어 사업

☎ 02-3431-3703

지사 서울시 강동구 고덕비즈밸리로26 (강동U1센터 B동 1101~7호)
본사 울산시 남구 월평로48번길 17-1(신정동,5층)

동림TNS 바로가기

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 NGI 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.

Qualcomm

V2X

Intelligent connectivity for smarter vehicles and safer roads.

Qualcomm technologies is creating the next generation of V2X products with a unified global solution.



Tmoney GO

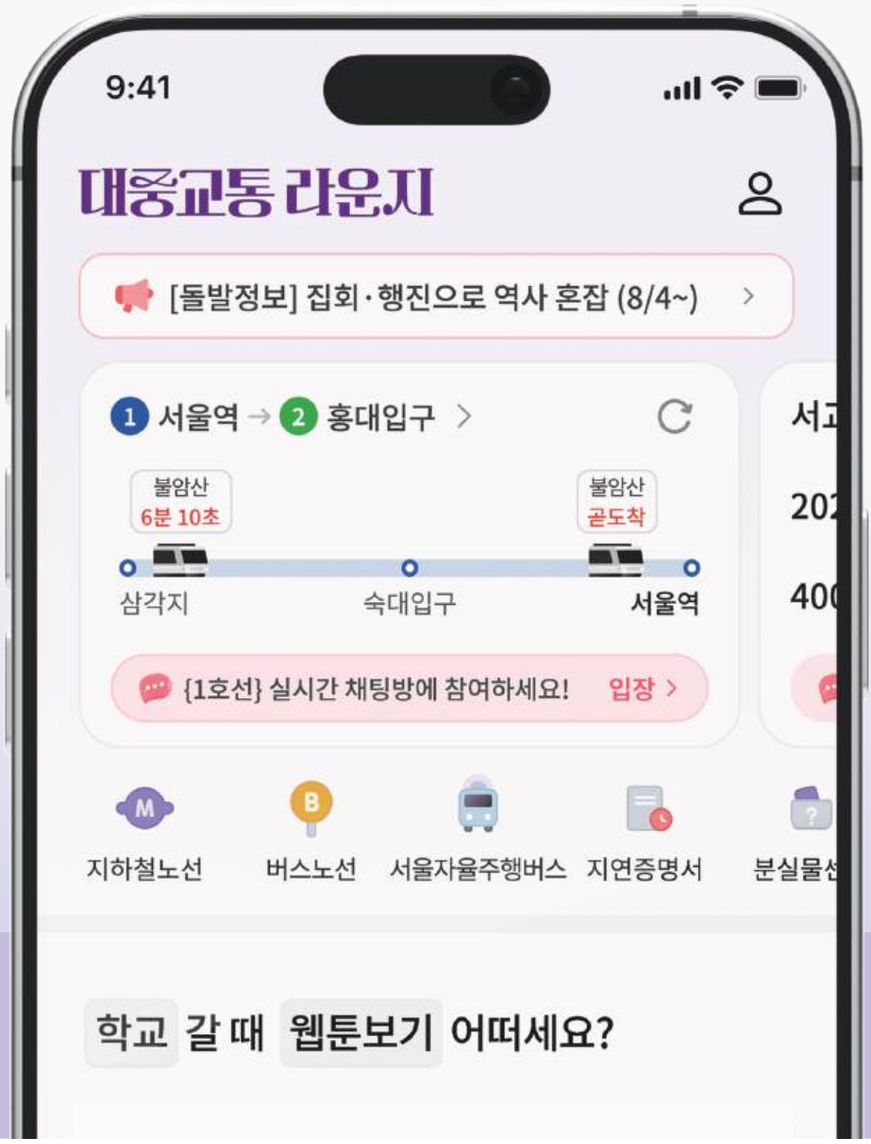
같은 길 다른 혜택

대중교통라운지, 매일 가는 길도 색다르게

지하철 실시간 알림

AI기반 맞춤형 뉴스

대중교통 속보



스낵 콘텐츠

매일 받는 마일리지

Tmoney GO 티머니GO 다운로드하기

IntelliVIX

The Safest World with AI

저희 인텔리빅스는 AI 교통관제플랫폼 기업 입니다



AI 영상 관제 플랫폼 “GenAMS”

Physical AI “ARGOS”

AI 영상분석 · GIS · 생성형 AI 리포트

ITS · 스마트시티 · 산업 모든 분야 안전 AI 솔루션 제공

오스코는 **미래기술 기반** 확산을 목표로
시스템 개발, 설계, 구축, 유지보수, 고도화 등
토탈 솔루션을 수행하고 있습니다.

교통정보시스템



스마트 시티



모빌리티



유지관리



터널화재로봇



OSCO

경기도 안양시 동안구 엘에스로116번길 91, 711~714호
Tel. 031-349-2293 **Fax.** 031-349-2295 **W.** oscoict.com

NZERO



길을 보고,
운영의 답을 찾다.

GILNOON-AI
길눈아이

AI 기반 교통상황 인지·운영지원 플랫폼

실시간 교통·영상·주차 데이터를 AI가 분석하고,
상황 알림과 자연어 질의로 운영자의 빠른 판단을 지원합니다.

강릉시 도시정보센터 실제 적용



- 회전교차로 영상 분석
- 주차장 잔여 현황 알림
- 도로 소통상황 감지

01 상황 분석

교통·영상 데이터 기반
이상상황 감지



02 능동형 알림

상황 알림 및 관련 화면
자동 전환



03 자연어 질의

LLM 기반 상황 확인과
정보 질의





AI 상황보고서 자동 생성

핵심 현황과 분석 결과를
보고서 형태로 자동 정리

질문 → 분석 → 요약 보고서



NZERO 교통정보의 통합을 넘어, **AI 기반 지능형 교통운영**으로

(주)엔제로 | ADDRESS 경기 과천시 과천대로 7길 65, 과천상상자이타워 B동 903, 915, 916호, 13840
E-Mail feelwith@nzero.kr TEL 02-6956-8338 WEB www.nzero.kr

자세한 정보 보기


12 SMART CITY KOREA
국토교통부
녹색인증
나라장터
국가종합전자조달
1등급 GOOD
SMART PARKING
2022 SMART CITY KOREA CERTIFIED
:: 2022년 스마트 도시 인증 - 스마트 파킹 서비스 부문 ::
국토교통부 장관 표창장 수상
inerv
혁신제품 통합주차솔루션
inerv I·R·S
비대면 자격확인 서비스
SMART PARKING
대흥정보
DaehungInfor
INNOBIZ 기술혁신형중소기업
MAINBiz
CMMIDEV/3 Exp. 2025-08-14 / Appraisal #5568
ISO 9001 / 20000 / 27001
2022 우수벤처기업
벤처기업확인기관

NARU Engineering & Consultant

나루

주식회사 나루이앤씨
NARU Engineering and Consultant

사람과 기술로
더 나은 내일을 설계합니다



교통계획

- 교통영향평가
- 장래 교통수요예측
- 교통안전 및 교통약자 계획

교통설계

- 교통체계개선(TSM)
- 간선급행버스체계(BRT)
- 도로교통안전진단

민간투자사업 컨설팅

- 신규사업 제안 (수요예측 및 컨설팅)
- 부대사업 추진
- 재구조화 및 운영자문

엔지니어링사업자 | 교통안전진단기관 | 공공교통시설 개발사업 타당성 평가

경기도 성남시 수정구 위례광장로 320,
IS 센트럴타워 1003호 | 031-722-1930 | www.naruenc.com



안전한 실버 한 줄

주야간에 보행하는 어르신들의 안전을 위해
제작한 은색의 반사판 키링

무단횡단 무조건 금지

교통안전 대한민국

오늘도 무사고

국토교통부 | TS 한국교통안전공단

Designed by Freepik

공간정보서비스 Alliance

URL http://gisalliance.co.kr

CONNECTING, SHARING & SHOWING

공간정보로 연결하고, 공유하고, 볼 수 있는 세상



- 네오스펙트라
- 올포랜드
- 엘티메트릭
- 명화지리정보

공간정보서비스 Alliance

- 메타버스 플랫폼 서비스
- 솔루션 개발, SI
- 데이터 가치 창출
- DB구축

하늘 - 땅 - 바다 - 지하 - 메타버스 공간

주소 서울특별시 강서구 마곡중앙8로7길 57 마곡아이파크디어반 지식산업센터 A동 T 02-855-5724 F 02-857-5746