

# C-ITS 및 자율주행자동차 융합 기술 세미나

2024. 03. 28. (목)

위원장 : 정승환 (Ph. D.)

부위원장 : 안세영 (Ph. D.)

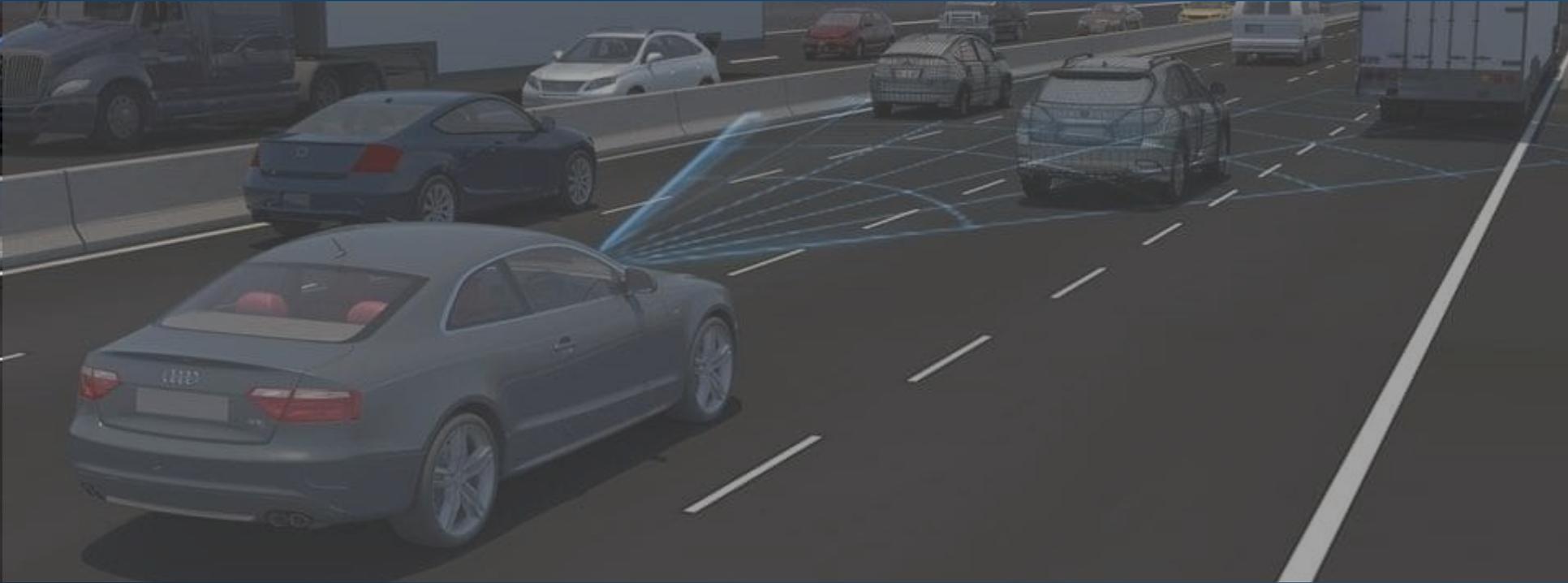
# 목차 / 일정

## I. 커넥티드 인프라를 활용한 자율주행 실증 접근 방안

15:20 ~ 16:00    지능형자동차부품진흥원    김봉섭 실장

## II. ADAS 차량의 긴급제동장치 작동 한계 및 사고 분석 사례 소개

16:20 ~ 17:00    국립과학수사연구원    김종혁 실장



# ADAS 차량의 긴급제동장치 작동 한계 및 사고 분석 사례 소개



행정안전부  
국립과학수사연구원

교통과 차량안전실장

공학박사/공업연구원 김 종 혁

E-mail: [jhkim11@korea.kr](mailto:jhkim11@korea.kr)



## 김종혁 교수 공학박사 / 공업연구원

### 학력

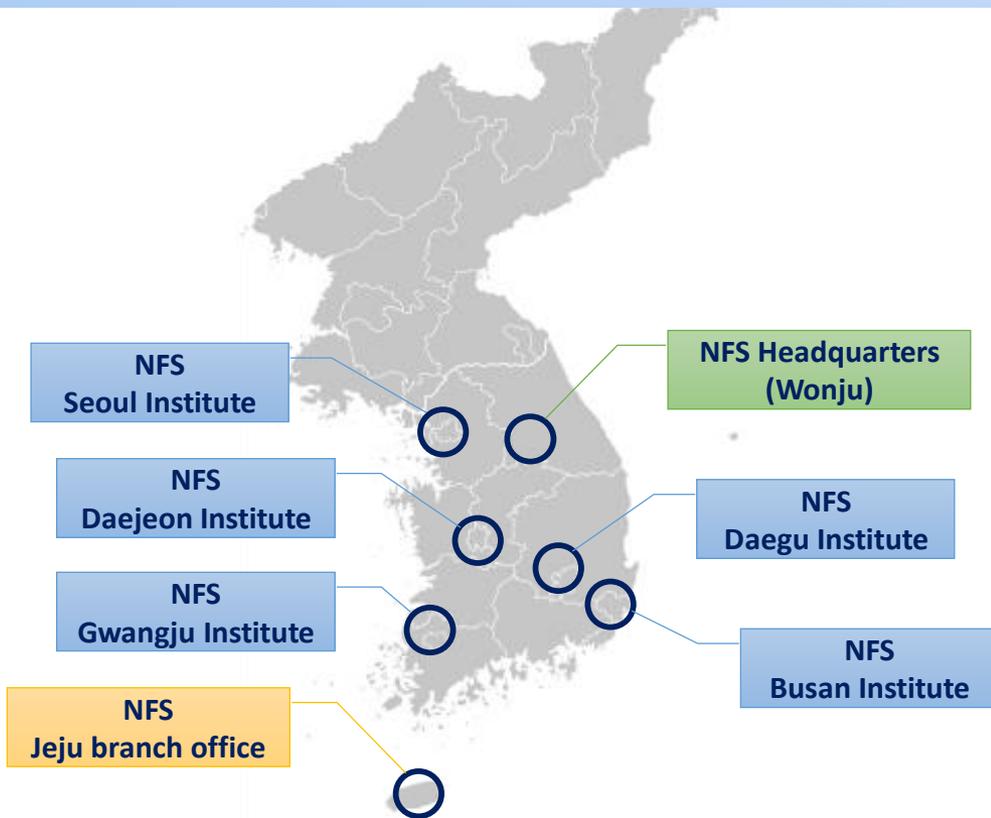
- 박사: 한국항공대학교 일반대학원 항공우주 및 기계공학과, 동역학 및 제어 전공
- 석사: 한국항공대학교 일반대학원 항공우주 및 기계공학과, 동역학 및 제어 전공
- 학사: 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부, 항공우주공학 전공

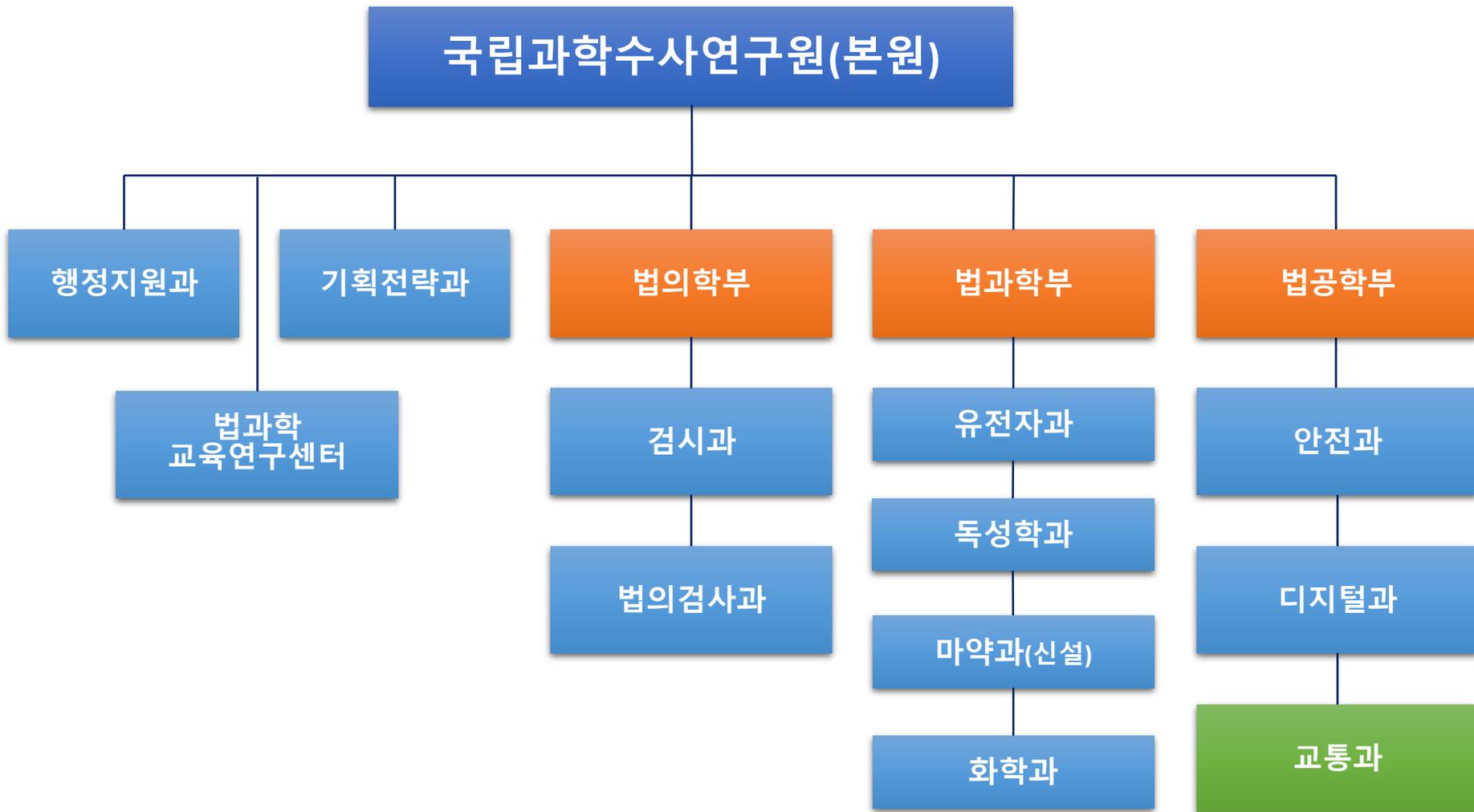
### 주요 경력 (현재)

- 국립과학수사연구원 법공학부 교통과 차량안전실장
- 연세대학교 보건행정학부 겸임교수
- 한국교통안전공단 교통사고분석사 전문강사
- 한국교통안전공단 첨단자동차검사연구센터 자문위원
- 도로교통공단 도로교통사고감정사 자격시험 출제위원



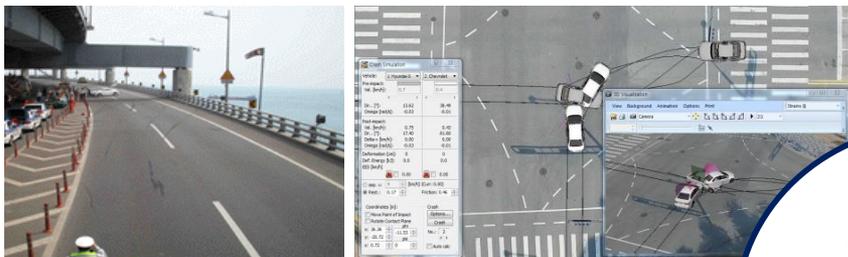
## “Science Sheds Light On The Truth”





## 교통사고 재구성

- 교통사고 역학적 해석
- 교통사고 재현 시뮬레이션



## 차량 안전 검사

- 차량 결함 검사(제동 장치, 조향 장치 등)
- 사고기록장치(EDR, DTG 등) 분석



## 교통과

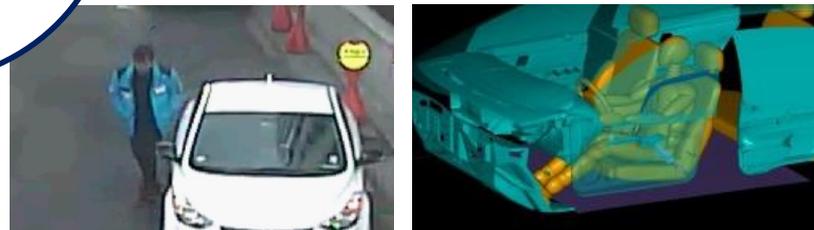
Traffic Accident Analysis  
Division

## 도주차량 식별



- 도주차량(차대차, 차대보행자) 흔적 검사
- 피해자 의복 검사

## 교통범죄 분석



- 보험사기 운전자의 고의성 판별
- 상해 피해 과장 여부 분석
- 고의 살인 교통사고 분석

- 연구 배경 및 목표
- 긴급제동장치(AEB) 작동 실험
- PreScan을 활용한 AEB 시뮬레이션 로직 개발 및 검증
- 차량 시뮬레이터 기반의 AEB 시뮬레이션
- AEB 시뮬레이션 활용 사고 분석 사례
- 결론 및 맺음말



## ■ ADAS와 자율주행기술의 관계

- 미국 자동차공학회(SAE)에서는 자율주행기술을 총 6단계로 분류
- 자율주행 단계 중 레벨0~레벨2에 해당되는 기능인 **첨단 운전자 지원 시스템(ADAS, Advanced Driver Assistance System)**이 장착된 차량이 현재 상용화되어 널리 보급되고 있음



### SAE J3016™ LEVELS OF DRIVING AUTOMATION

	SAE LEVEL 0	SAE LEVEL 1	SAE LEVEL 2	SAE LEVEL 3	SAE LEVEL 4	SAE LEVEL 5
What does the human in the driver's seat have to do?	You <b>are</b> driving whenever these driver support features are engaged - even if your feet are off the pedals and you are not steering			You <b>are not</b> driving when these automated driving features are engaged - even if you are seated in "the driver's seat"		
	You must constantly supervise these support features; you must steer, brake or accelerate as needed to maintain safety			When the feature requests, you must drive	These automated driving features will not require you to take over driving	
	These are driver support features			These are automated driving features		
What do these features do?	These features are limited to providing warnings and momentary assistance	These features provide steering OR brake/acceleration support to the driver	These features provide steering AND brake/acceleration support to the driver	These features can drive the vehicle under limited conditions and will not operate unless all required conditions are met	This feature can drive the vehicle under all conditions	
Example Features	<ul style="list-style-type: none"> <li>automatic emergency braking</li> <li>blind spot warning</li> <li>lane departure warning</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>lane centering OR adaptive cruise control</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>lane centering AND adaptive cruise control at the same time</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>traffic jam chauffeur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>local driverless taxi</li> <li>pedals/steering wheel may or may not be installed</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>same as level 4, but feature can drive everywhere in all conditions</li> </ul>

### - ADAS 주요 기능



FCW(Foreward Collision Warning)



AEB(Autonomous Emergency Braking)



LDW(Lane Departure Warning)



LKA(Lane Keeping Assistance)



ACC(Adaptive Cruise Control)

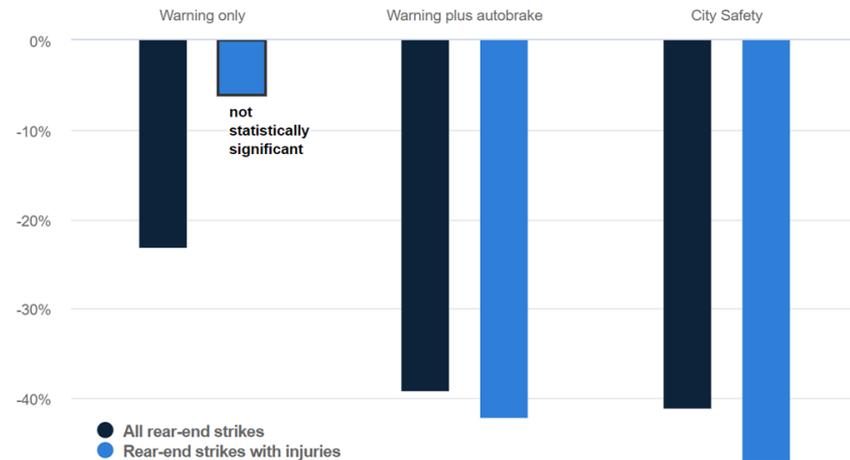
## ■ AEB의 목적 및 기능

- **AEB(Autonomous Emergency Braking)**는 ADAS 기능들 중 교통사고 원인 분석과 가장 밀접한 관계
- 긴급 시 자동으로 제동장치를 작동하여 다른 차량 또는 보행자 등과의 충돌을 회피하거나 경감시키는 능동 안전 시스템



## ■ AEB의 사고 방지 효과 및 의무화

- 미국 고속도로안전 보험협회(IIHS)에서 최근 몇 년 동안 미국 전체 교통사고 데이터 분석
- AEB가 후방 추돌 사고를 기존 대비 약 40 % 감소 시키는 효과가 있는 것으로 보고
- 국내의 경우, 2017년도부터 11 m 이상 승합차량 및 20톤 초과 대형 상용차에 의무 장착
- 2019년 우리나라, 일본 및 유럽 등 총 40개국이 AEB 기능 탑재 의무화에 합의
- **2022년 AEB 장착 의무화 대상을 모든 차종(초소형차 제외)으로 확대**



**AEB 장착 의무화로 사고 분석 수요 지속적 증가 예상**

## ■ AEB 작동 사례(맥스크루즈 2018년식)



## ■ AEB 작동 사례(EV6 2021년식)



## ■ ADAS 사고 원인 분석?

- 2016년 이후 출시 차량 사고기록장치(EDR, Event Data Recorder) 기본 탑재
- ADAS 차량의 경우, SCC 및 AEB에 대한 사고기록정보 포함

2020. 6., 인제 터널 내 충돌 사고 (1명 사망)  
(싼타페, 2020년식)

### 기본 사고기록정보

시간 (sec)	자동차 속도 [km/h]	엔진 회전수 [rpm]	엔진 스로틀밸브 열림률 [%]	가속계감 변위량 [%]	제동제압 작동여부 [on/off]	바퀴감각장치신체동장치 (ABS) 작동여부 [on/off]	자동차 안전성 제어장치 (ESC) 작동여부 [on/off/engaged]	조향각 변도 [degree]
-5.0	87	1300	31	24	OFF	OFF	ESC 미작동 (ESC 스위치 on)	0
-4.5	87	1300	31	24	OFF	OFF	ESC 미작동 (ESC 스위치 on)	0
-4.0	87	1300	31	23	OFF	OFF	ESC 미작동 (ESC 스위치 on)	0
-3.5	87	1300	31	23	OFF	OFF	ESC 미작동 (ESC 스위치 on)	0
-3.0	87	1300	31	23	OFF	OFF	ESC 미작동 (ESC 스위치 on)	0
-2.5	87	1300	31	23	OFF	OFF	ESC 미작동 (ESC 스위치 on)	0
-2.0	87	1300	31	23	OFF	OFF	ESC 미작동 (ESC 스위치 on)	0

### SCC

시간 (sec)	기어 워프트 표시	스마트 크루즈 컨트롤 (스위치 상태)	스마트 크루즈 컨트롤 (설정 속도)	스마트 크루즈 컨트롤 (속도 단위)	스마트 크루즈 컨트롤 (모드 상태)
-5.0	D	On	92	Km/h	제어중
-4.5	D	On	92	Km/h	제어중
-4.0	D	On	92	Km/h	제어중
-3.5	D	On	92	Km/h	제어중
-3.0	D	On	92	Km/h	제어중
-2.5	D	On	92	Km/h	제어중
-2.0	D	On	92	Km/h	제어중
-1.5	D	On	92	Km/h	제어중
-1.0	D	On	92	Km/h	준비
-0.5	n	On	92	Km/h	준비

### AEB

시간 (sec)	전방충돌방지 (시스템 상태)	전방충돌방지 (경고 수준)	시간 (sec)	전방충돌방지 (시스템 상태)	전방충돌방지 (경고 수준)
-5.0	ON	미검보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	-2.5	ON	미검보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신
-4.9	ON	미검보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	-2.4	ON	미검보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신
-4.8	ON	미검보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	-2.3	ON	미검보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신
-4.7	ON	미검보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	-2.2	ON	미검보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신
-4.6	ON	미검보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	-2.1	ON	미검보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신
-4.5	ON	미검보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	-2.0	ON	미검보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신
-4.4	ON	미검보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	-1.9	ON	미검보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신
-4.3	ON	미검보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	-1.8	ON	미검보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신
-4.2	ON	미검보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	-1.7	ON	미검보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신
-4.1	ON	미검보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	-1.6	ON	미검보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신



## ■ ADAS 사고 원인 분석?

사고 이전 차량 정보 3 (-5 ~ 0 sec)

시간 (sec)	전방충돌방지 (시스템 상태)	전방충돌방지 (경고 수준)	시간 (sec)	전방충돌방지 (시스템 상태)	전방충돌방지 (경고 수준)
-5.0	on	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	-2.5	on	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신

시간 (sec)	전방충돌방지 (시스템 상태)	전방충돌방지 (경고 수준)	시간 (sec)	전방충돌방지 (시스템 상태)	전방충돌방지 (경고 수준)
-5.0	on	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	-2.5	on	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신
-4.9	on	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	-2.4	on	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신
-4.5	on	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	-1.5	on	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신

**ADAS 차량 사고 발생 시**  
**AEB 관련 과학적인 사고 재현 및 분석 기법 마련 필요**

-3.3	on	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	-0.8	on	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신
-3.2	on	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	-0.7	on	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신
-3.1	on	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	-0.6	on	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신
-3.0	on	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	-0.5	on	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신
-2.9	on	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	-0.4	on	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신
-2.8	on	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	-0.3	on	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신

**AEB 기능 정상**  
**But 운전자 경보 및 AEB 기능 작동 X**

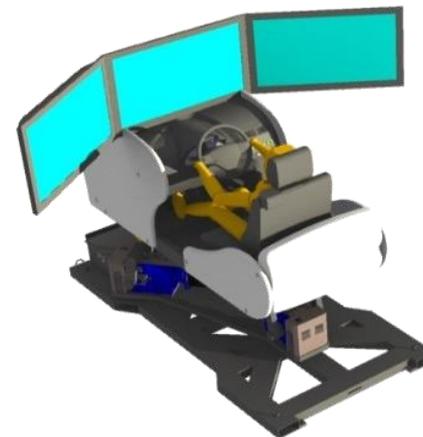
## ADAS 차량의 사고 재현 및 분석에 활용할 수 있는 실차 실험 데이터 기반의 ADAS AEB 시뮬레이션 환경 구축

- 실차 실험을 통한 AEB 작동 및 한계 특성 데이터베이스 구축
- 실차 실험 데이터 기반의 AEB 작동 시뮬레이션 로직 개발 및 검증
- 차량 시뮬레이터 환경에서의 AEB 작동 시뮬레이션 구현 및 검증

- Radar Sensor & Target -



- Camera Sensor -



# 긴급제동장치(AEB) 작동 실험

## ■ 정지 타겟 AEB 실험(EuroNCAP CCRs)

### Car-to-Car Rear stationary

The CCRs scenario is a combination of speed and overlap with 5km/h incremental steps in speed and 25% in overlap within the ranges as shown in the tables below.

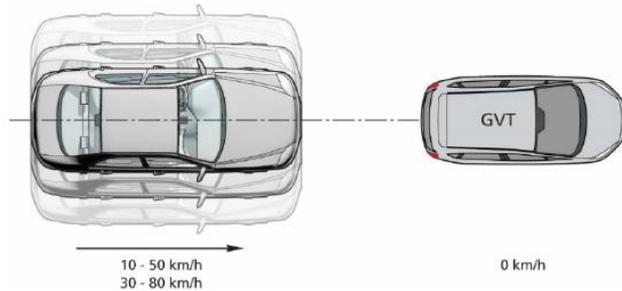
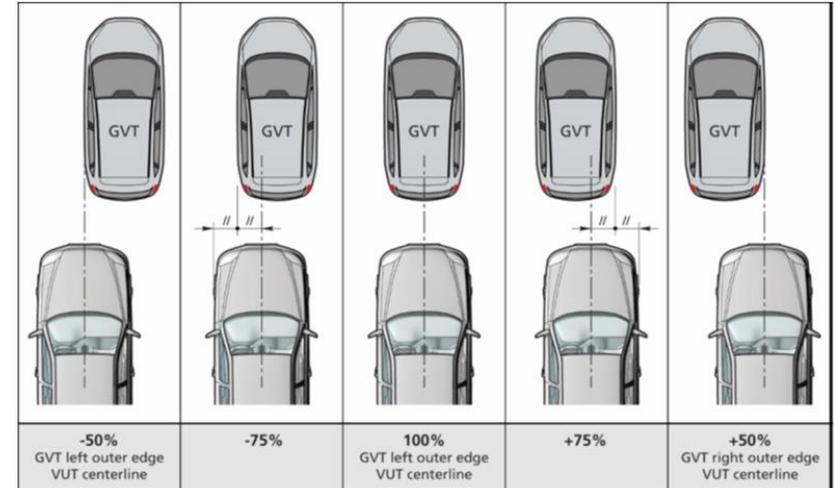


Figure 8-1: CCRs scenario



	AEB + FCW combined		AEB only	FCW only
	AEB	FCW		
<b>AEB CCRs</b>	10-50 km/h -50%-50%	30-80 km/h -50%-50%	10-80 km/h -50%-50%	30-80 km/h -50%-50%

Prediction  
Green  
Yellow  
Orange  
Brown  
Red

Impact speed range [km/h]  
 $0 \leq v_{\text{impact}} < 5$   
 $5 \leq v_{\text{impact}} < 15$   
 $15 \leq v_{\text{impact}} < 30$   
 $30 \leq v_{\text{impact}} < 40$   
 $40 \leq v_{\text{impact}}$

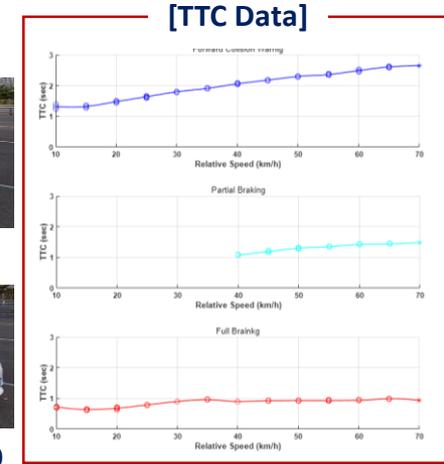
Accepted range [km/h]  
 $0 \leq v_{\text{impact}} < 7$   
 $3 \leq v_{\text{impact}} < 17$   
 $13 \leq v_{\text{impact}} < 32$   
 $28 \leq v_{\text{impact}} < 42$   
 excluded

# 긴급제동장치(AEB) 작동 실험

## ■ 긴급제동장치(AEB) 작동 및 한계 특성 DB화



### 10 VUTs(Vehicles Under Test)



# 긴급제동장치(AEB) 작동 실험

## ■ 실험 장비



조향핸들 로봇



가속 및 브레이크 페달 로봇



DGPS/IMU 장비



DEWE DAQ 장비

# 긴급제동장치(AEB) 작동 실험

## ■ CCRs 100% 실험 영상(그랜저 2019년식)



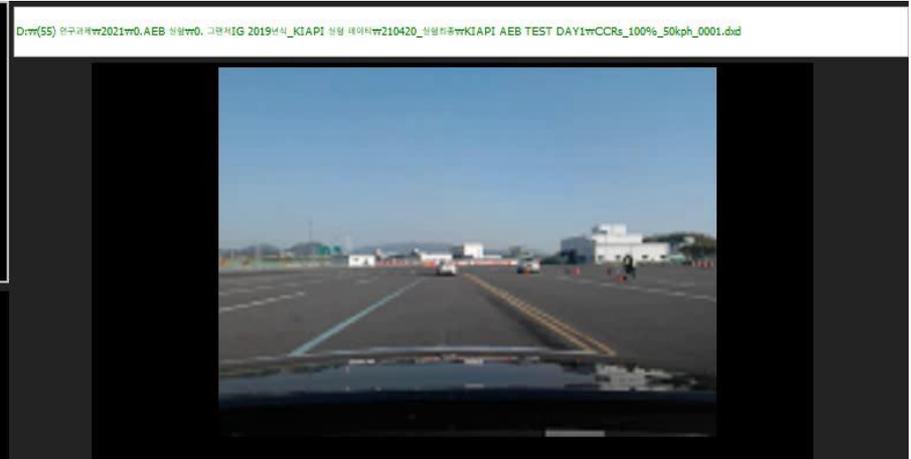
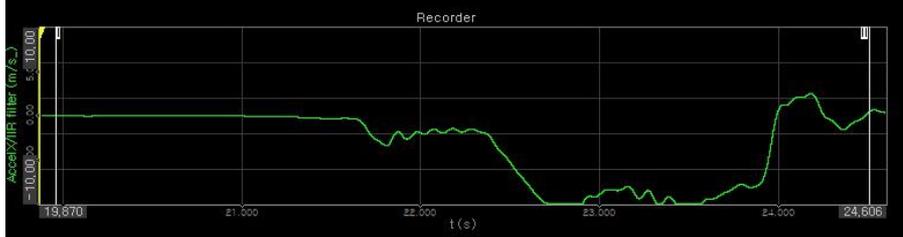
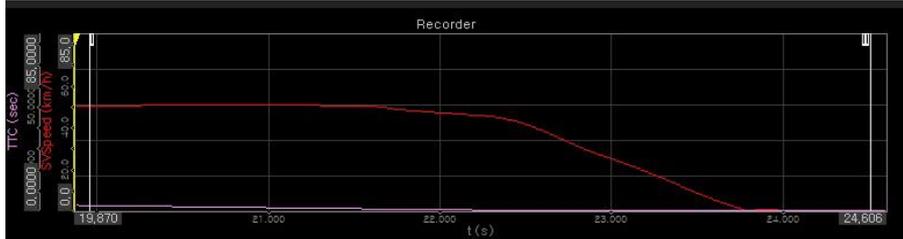
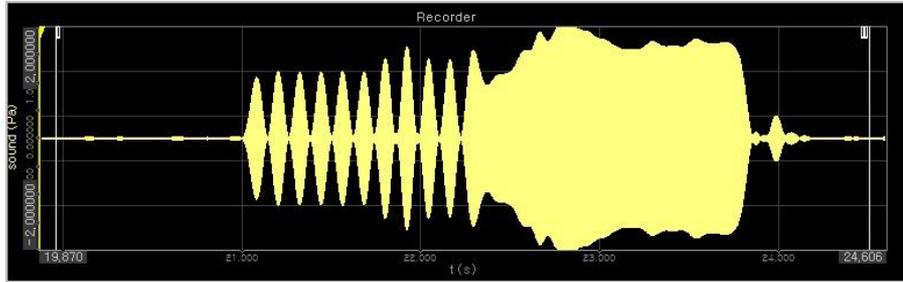
40 km/h  
AEB Operation → Avoid



50 km/h  
AEB Operation → Collision

# 긴급제동장치(AEB) 작동 실험

■ CCRs 100%, 50 km/h(그랜저 2019년식)



측정시간 00:00:19.870

TriggerAD	3.04	AngleHeading_	0.03
TTC (sec)	3.04	AnglePitch (°)	0.00
SVSpeed (km/h)	50.68	AccelX/IIR filter (m/s <sup>2</sup> )	0.00
Rel Ion	50.68	TriggerAD	0.00
AngleRoll (°)	0.00	AnglePitch (°)	0.00
PosLocalX (m)	42.97	Rel Ion	50.68
TVSpeed (km/h)	0.00	PosLocalX (m)	42.97
AngleRoll (°)	-0.06	TVSpeed (km/h)	0.00

# 긴급제동장치(AEB) 작동 실험

## ■ AEB 실험 결과 비교(CCRs 100%, Sedan)

Speed (km/h)	그랜저 2019	그랜저 2020	K7 2018	G80 2021	Benz E220D 2017
10	Avoid	Avoid	Avoid	Avoid	Avoid
20	Avoid	Avoid	Avoid	Avoid	Avoid
25	Avoid	Avoid	Avoid	Avoid	Avoid
30	Avoid	Avoid	Avoid	Avoid	Avoid
35	Avoid	Avoid	Avoid	Avoid	Avoid
40	Avoid	Avoid	Avoid	Avoid	Avoid
45	-	Avoid	Avoid	Avoid	Avoid
50	Collision	Avoid	Avoid	Avoid	Avoid
55		Avoid	-	Avoid	Avoid
60		Avoid	Collision	Avoid	Avoid
65		Avoid		Avoid	Avoid
70		Collision		Collision	Avoid
75					Collision

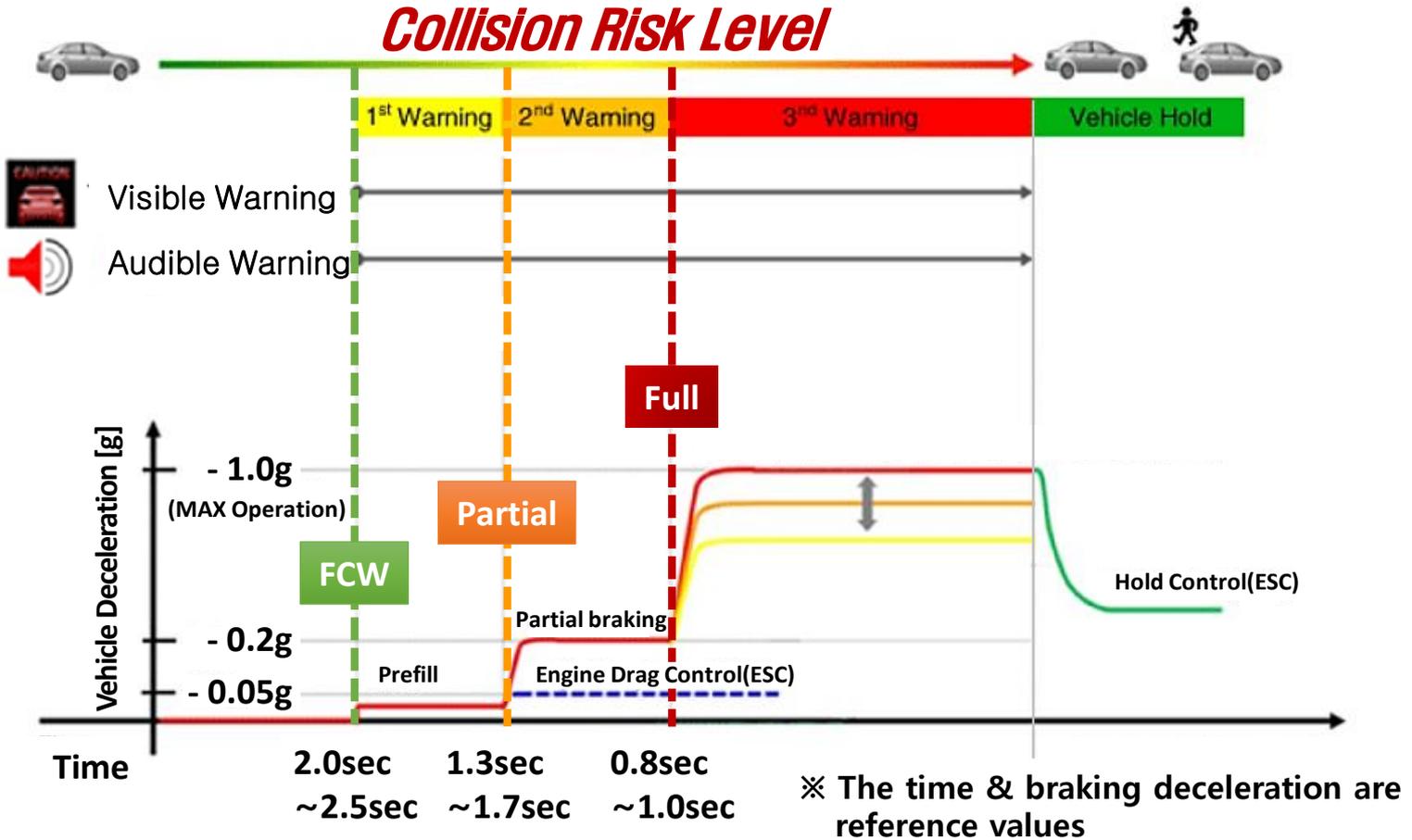
# 긴급제동장치(AEB) 작동 실험

## ■ AEB 실험 결과 비교(CCRs 100%, SUV & EV)

Speed (km/h)	싼타페 2019	쏘렌토 2018	쏘렌토 2021	아이오닉 2021	Tesla Model3 2020
10	Avoid	Avoid	Avoid	Avoid	Avoid
20	Avoid	Avoid	Avoid	Avoid	Avoid
25	Avoid	Avoid	Avoid	Avoid	Avoid
30	Avoid	Avoid	Avoid	Avoid	Avoid
35	Avoid	Avoid	Avoid	Avoid	Avoid
40	Avoid	Avoid	Avoid	Avoid	Avoid
45	Avoid	Collision	Avoid	Avoid	Avoid
50	Avoid	EuroNCAP AEB 미인증	Avoid	Avoid	Avoid
55	-		Avoid	Avoid	Avoid
60	Avoid		Avoid	Avoid	Avoid
65	Collision		Avoid	Avoid	Avoid
70			Collision	Avoid	Collision
75				Collision	

# 긴급제동장치(AEB) 작동 실험

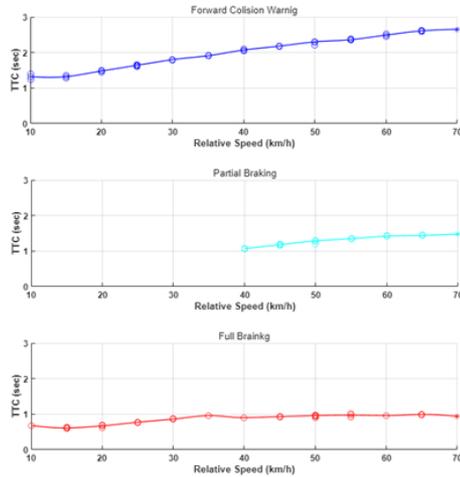
## ■ AEB 작동 시퀀스



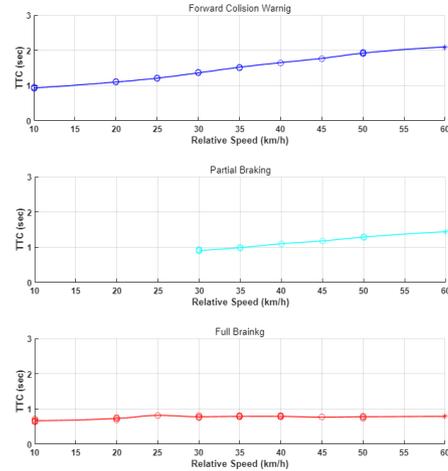
$$\text{Time to Collision, TTC(sec)} = \frac{\text{상대거리}}{\text{상대속도}}$$

# 긴급제동장치(AEB) 작동 실험

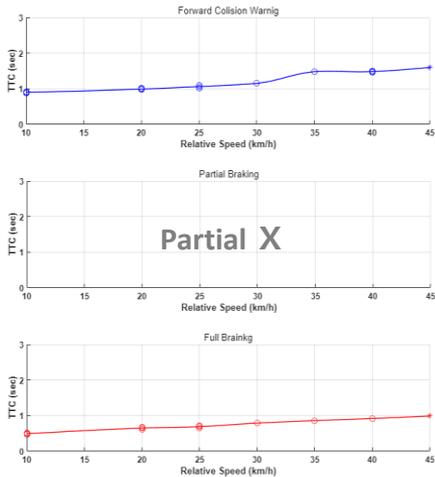
## ■ AEB 작동 TTC (FCW → Partial braking → Full braking)



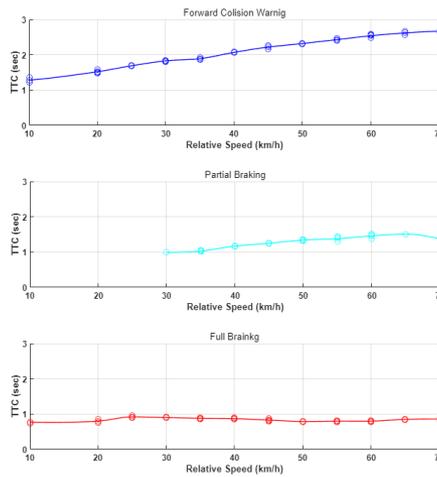
- 그랜저 2020 -



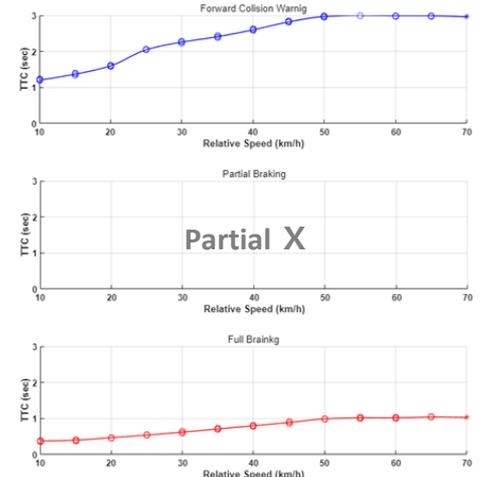
- K7 2018 -



- 쏘렌토 2018 -



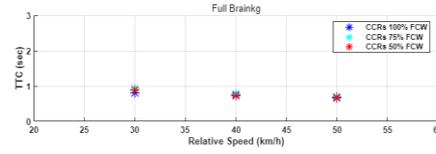
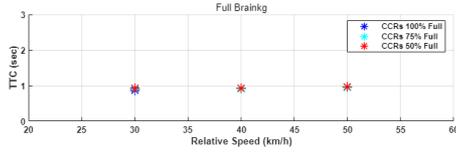
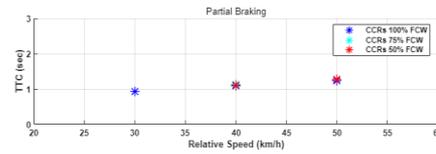
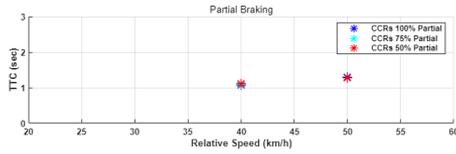
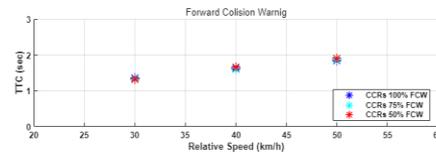
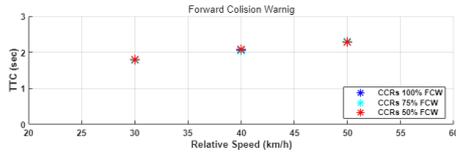
- 쏘렌토 2021 -



- 테슬라 Model3 2020 -

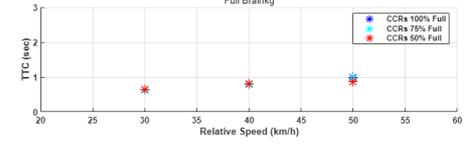
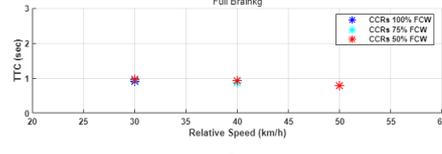
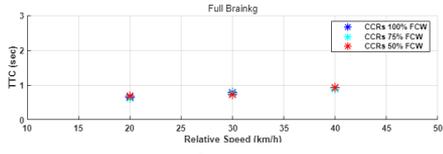
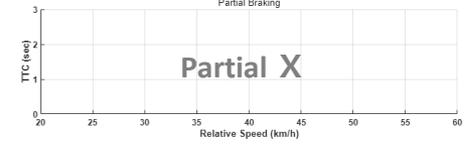
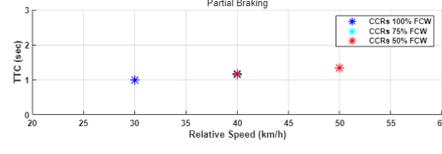
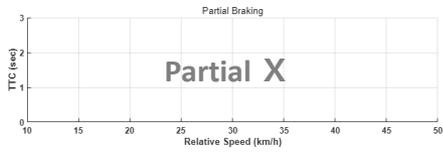
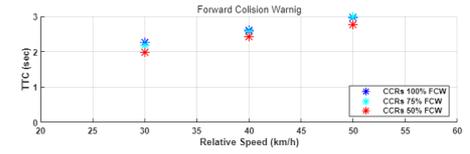
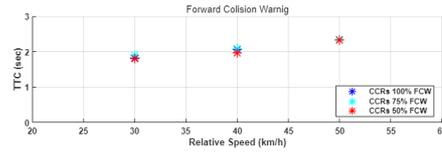
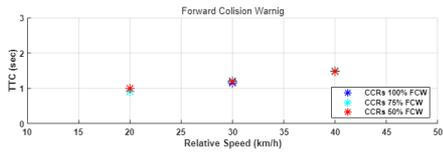
# 긴급제동장치(AEB) 작동 실험

## ■ CCRs 100%, 75%, 50% 비교



- 그랜저 2020 -

- K7 2018 -



- 쏘렌토 2018 -

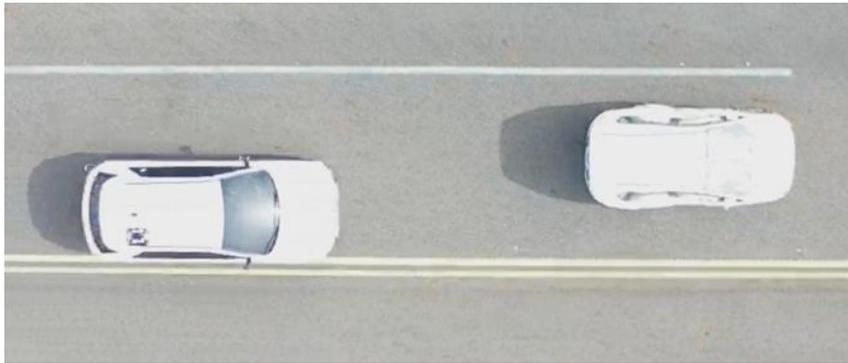
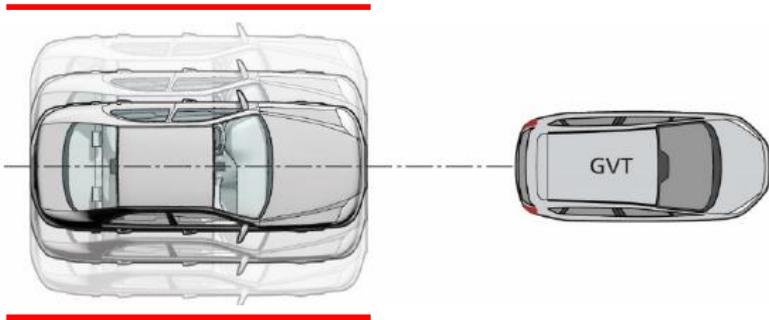
- 쏘렌토 2021 -

- 테슬라 Model3 2020 -

# 긴급제동장치(AEB) 작동 실험

## ■ AEB 작동 한계 상황 실험

### 1. EuroNCAP 기준 오버랩 초과 (50 % 미만)



아이오닉5, CCRs 40%

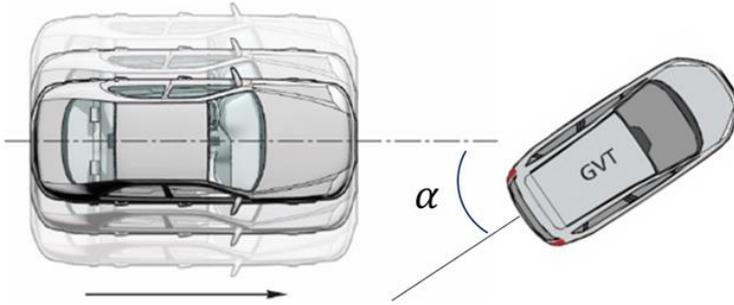
Vehicle	Results		
	한계(%)	FCW	AEB
그랜저 2019	40	○	△
그랜저 2020	40	○	△
K7 2018	40	△	X
G80 2021	25	△	△
벤츠 E220D 2017	35	△	△
싼타페 2019	35	○	X
쏘렌토 2018	40	X	X
쏘렌토 2021	35	△	△
아이오닉5 2021	25	△	X
테슬라 Model3 2020	20	X	X

오버랩 기준 초과 시 AEB 불완전 작동 또는 미작동 가능성 높음

# 긴급제동장치(AEB) 작동 실험

## ■ AEB 작동 한계 상황 실험

### 2. GVT 각도 변화



쏘렌토 2021, GVT 각도 20°

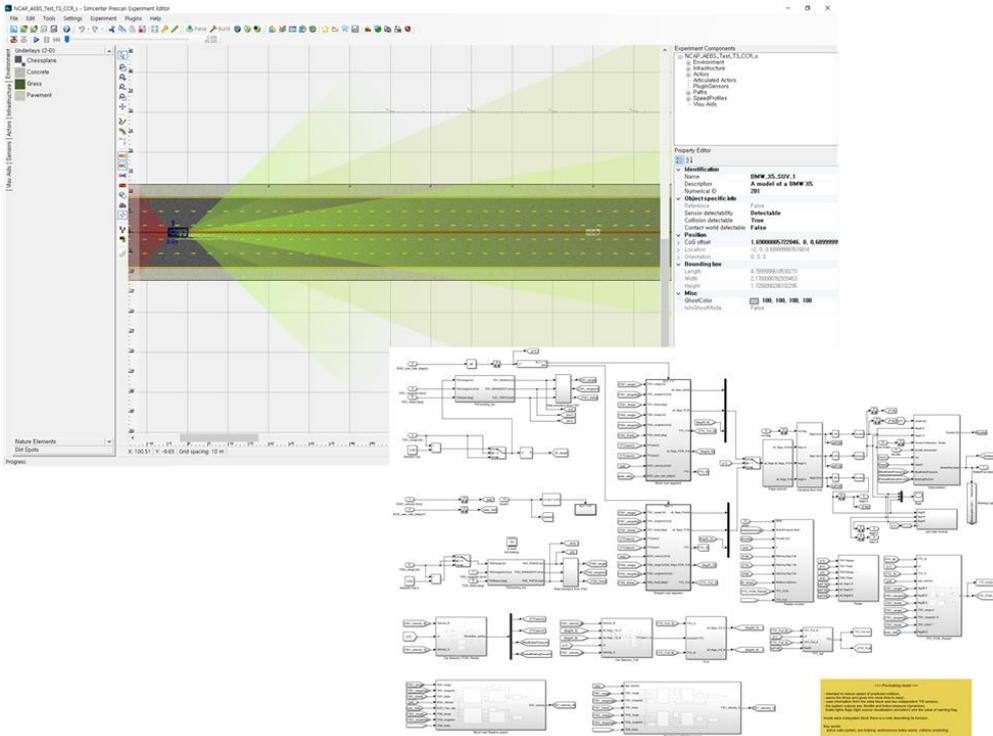
Vehicle	Results		
	한계(°)	FCW	AEB
그랜저 2019	20	○	X
그랜저 2020	40	X	X
K7 2018	20	X	X
G80 2021	25	○	X
벤츠 E220D 2017	40	△	X
싼타페 2019	20	△	X
쏘렌토 2018	15	△	X
쏘렌토 2021	25	△	X
아이오닉5 2021	25	○	X
테슬라 Model3 2020	60° 까지 AEB 정상 작동		

타겟차량 각도 20° 이상 시 AEB 불완전 작동 또는 미작동 가능성 높음

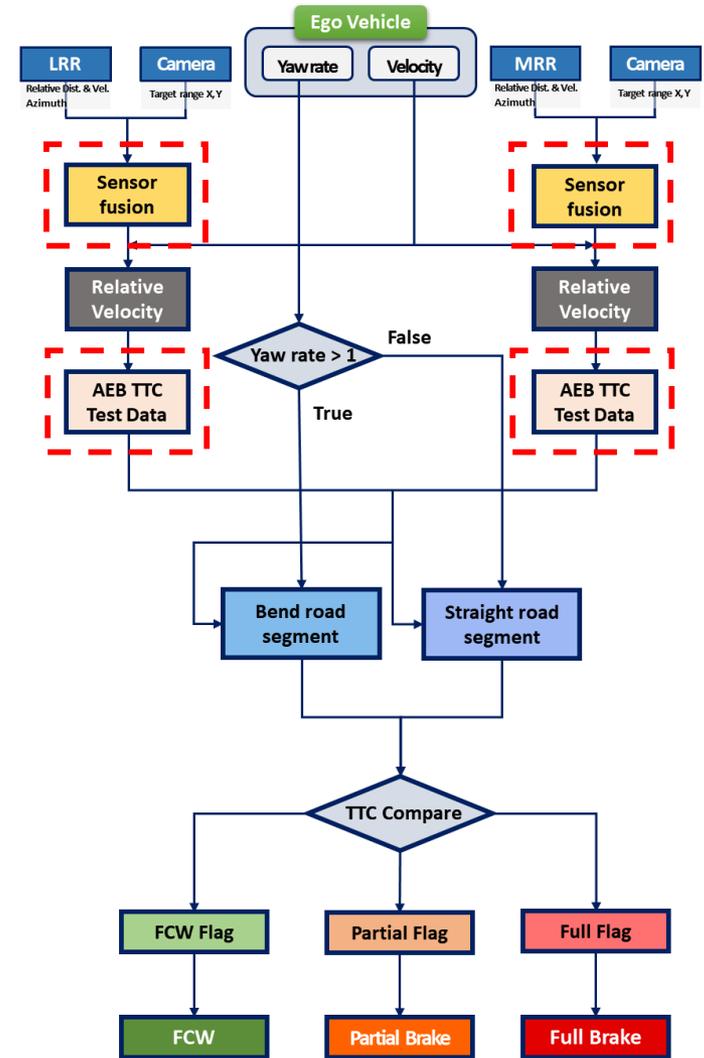
# PreScan을 활용한 AEB 시뮬레이션 로직 개발 및 검증

## ■ AEB 시뮬레이션 로직

- 레이더 센서와 카메라 센서 간의 센서 퓨전 구현
- 실차 AEB 작동 시퀀스 실험 데이터 적용



- MATLAB Simulink 기반의 AEB 로직 -

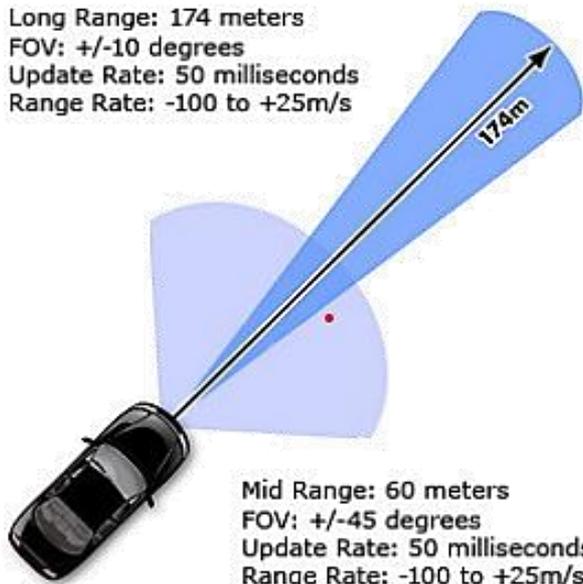


# PreScan을 활용한 AEB 시뮬레이션 로직 개발 및 검증

## ■ 가상 레이더 센서 구현

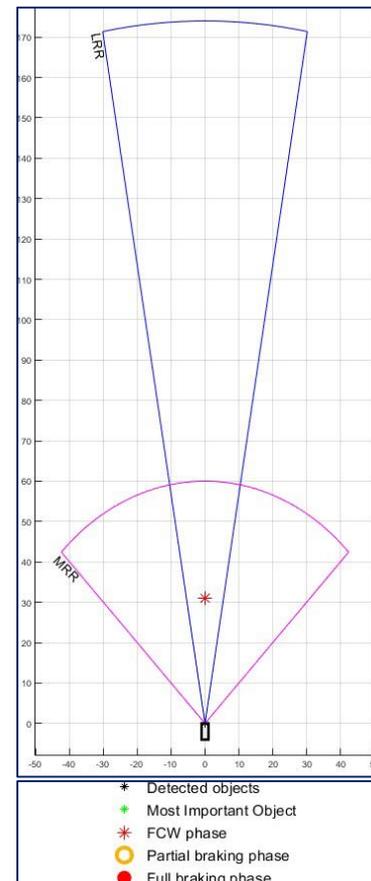
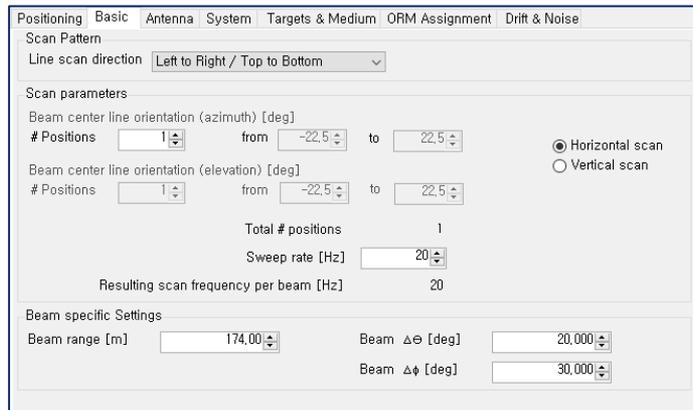
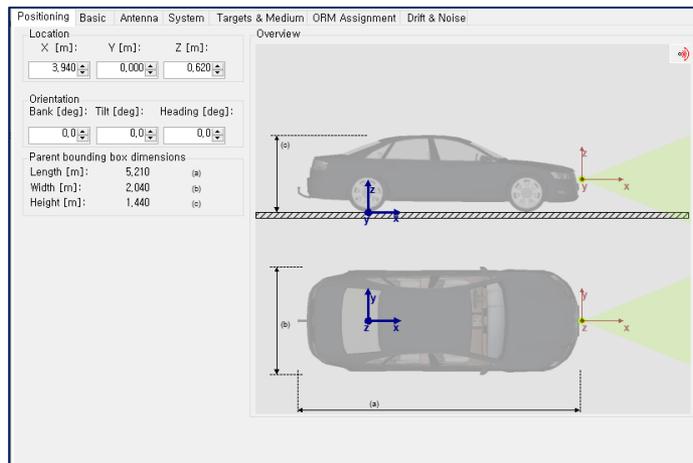
- 레이더 센서의 위치, 측정 거리 및 FOV(Field of View) 설정

Long Range: 174 meters  
 FOV: +/-10 degrees  
 Update Rate: 50 milliseconds  
 Range Rate: -100 to +25m/s



Mid Range: 60 meters  
 FOV: +/-45 degrees  
 Update Rate: 50 milliseconds  
 Range Rate: -100 to +25m/s

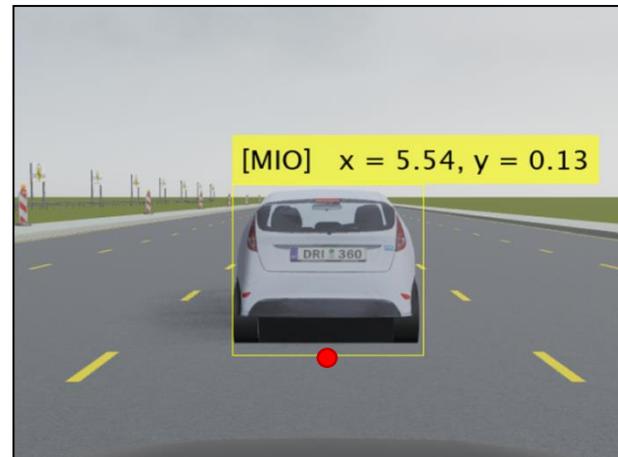
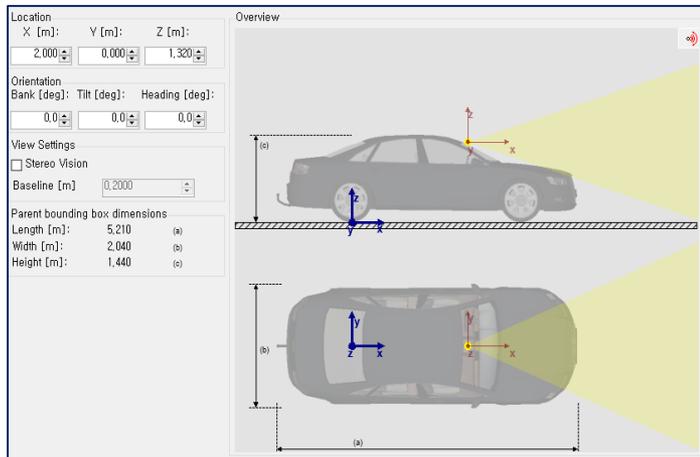
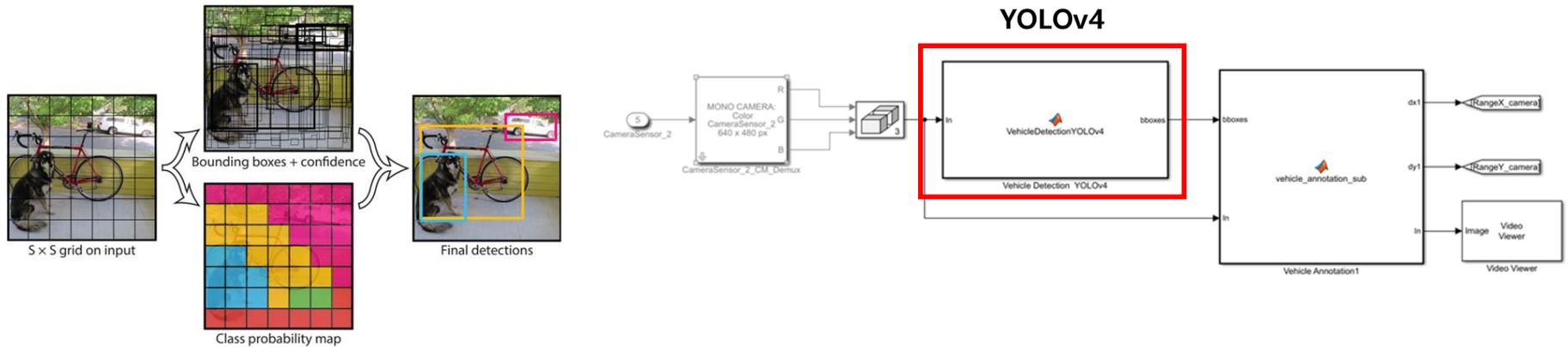
- Delphi RADAR  
 ESR(Electronically Scanning RADAR)



# PreScan을 활용한 AEB 시뮬레이션 로직 개발 및 검증

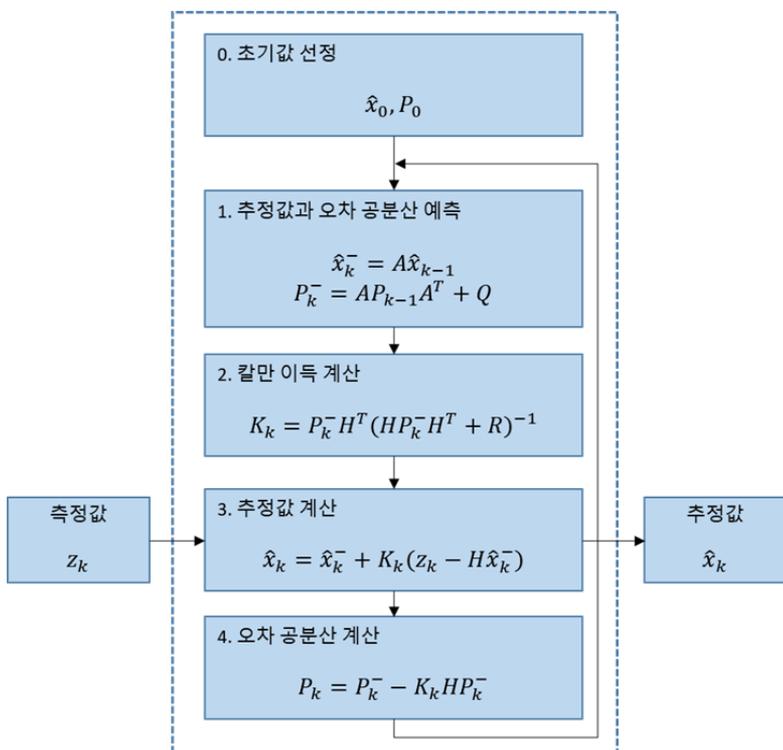
## ■ 가상 카메라 센서 구현(딥러닝 YOLOv4 알고리즘 활용)

- 카메라 이미지 상에서의 차량 검출 및 위치 정보 출력



## ■ 칼만 필터를 활용한 센서 퓨전

- 잡음이 포함되어 있는 측정치를 바탕으로 선형 역학계의 상태를 추정하는 재귀 필터
- 레이더 센서와 카메라 센서로 부터 각각 측정된 데이터를 토대로 정확한 추정값 산출



- 칼만 필터 알고리즘 -

$$x_{k+1} = Ax_k + w_k$$

$$z_k = Hx_k + v_k$$

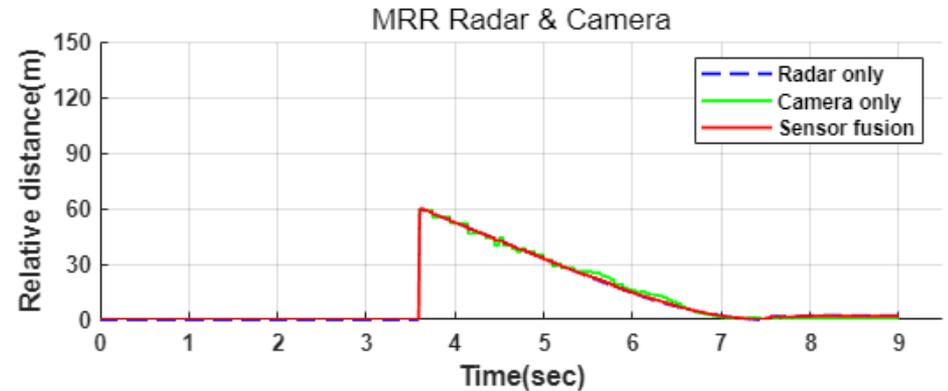
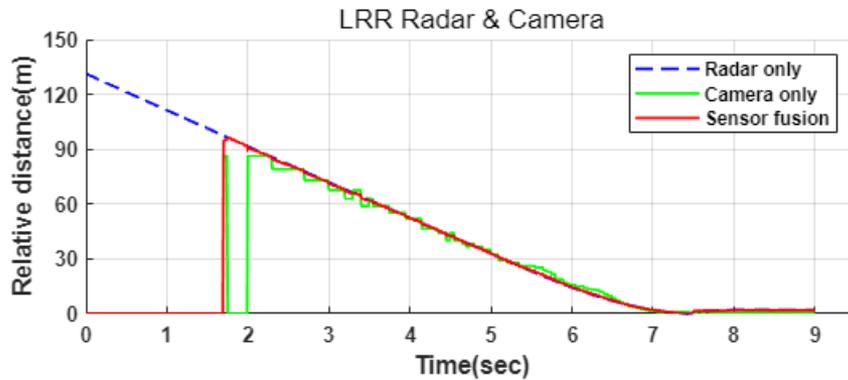
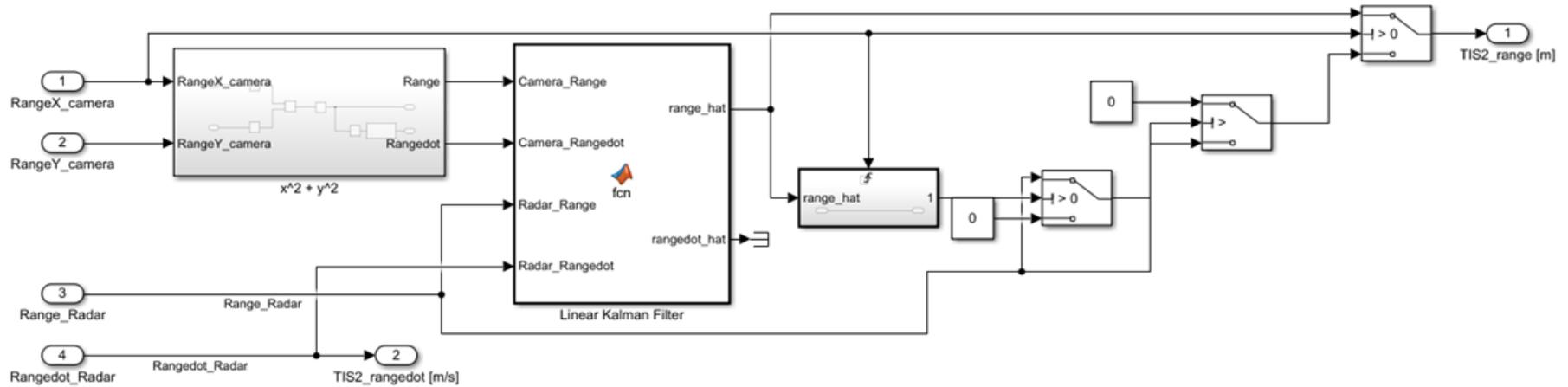
$$\begin{bmatrix} \hat{x}_{k+1} \\ 0 \\ \hat{x}_{k+1} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & dt & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & dt \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{x}_k \\ 0 \\ \hat{x}_k \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} q_{x, \max} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & q_{x, \max} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & q_{\dot{x}, \max} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & q_{\dot{x}, \max} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x_{cam} \\ \dot{x}_{cam} \\ x_{radar} \\ \dot{x}_{radar} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{x} \\ 0 \\ \hat{x} \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} r_{cam, x} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & r_{cam, \dot{x}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & r_{radar, x} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & r_{radar, \dot{x}} \end{bmatrix}$$

- 시스템 모델 -

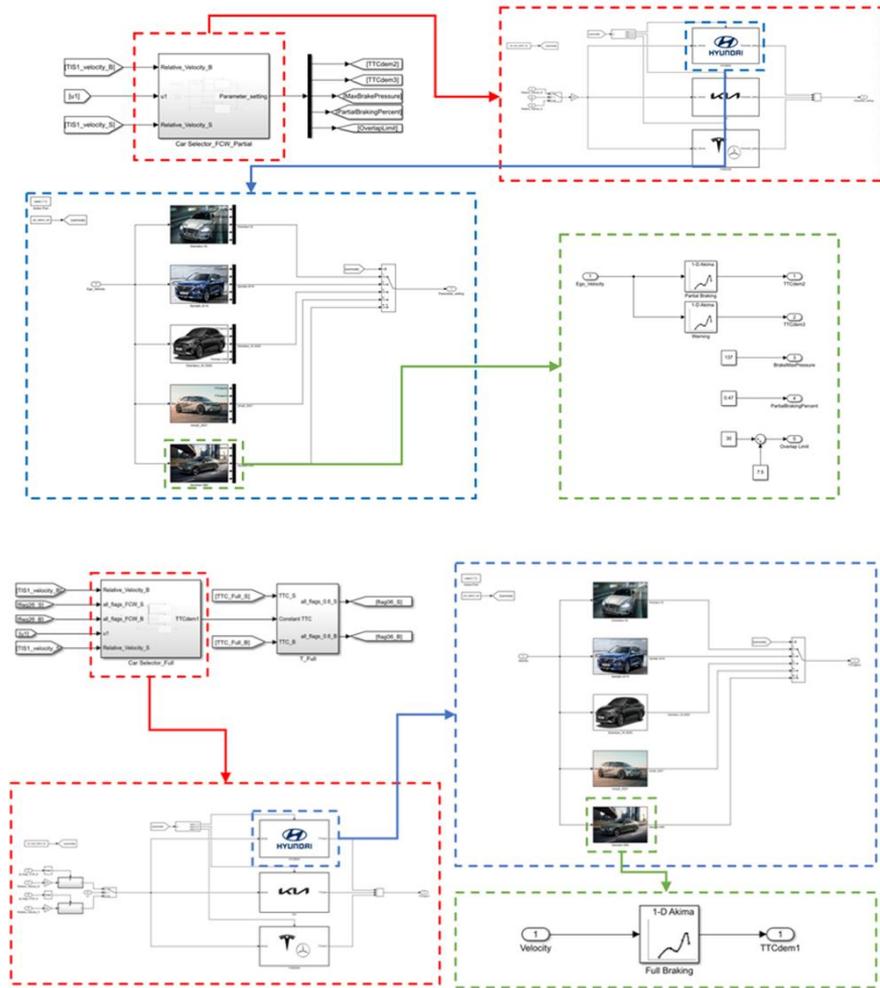
# PreScan을 활용한 AEB 시뮬레이션 로직 개발 및 검증

## ■ 칼만 필터를 활용한 센서 퓨전

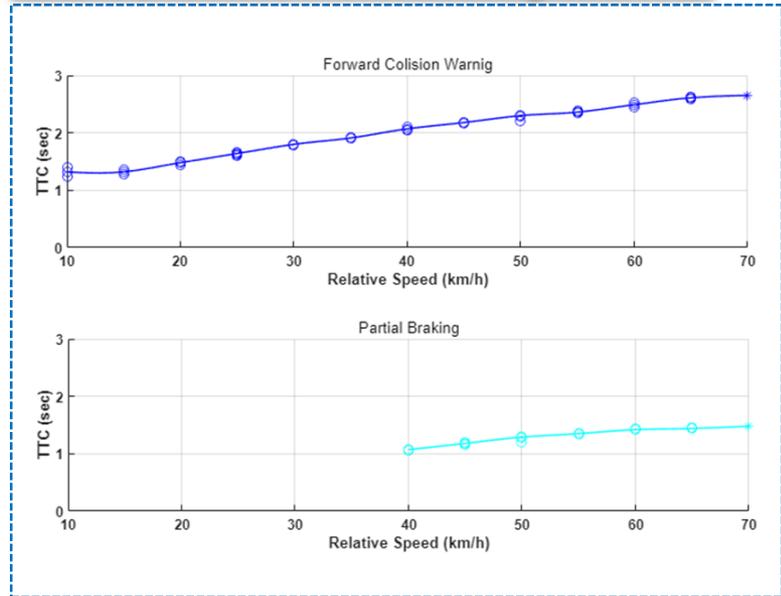


# PreScan을 활용한 AEB 시뮬레이션 로직 개발 및 검증

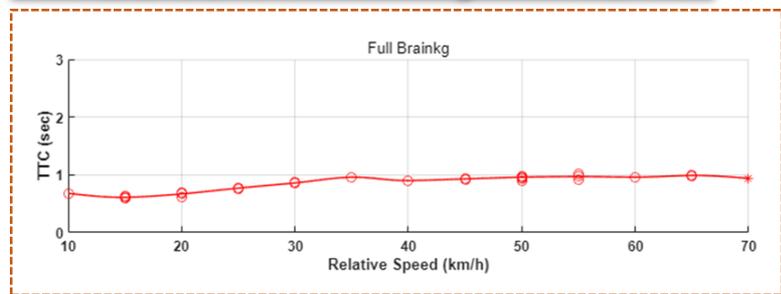
## ■ AEB 작동 시퀀스 및 제동 특성 적용



실험차량의 FCW, Partial Braking TTC 시점



실험차량의 Full Braking TTC 시점



# PreScan을 활용한 AEB 시뮬레이션 로직 개발 및 검증

## ■ AEB 작동 시뮬레이션(그랜저 2020년식)

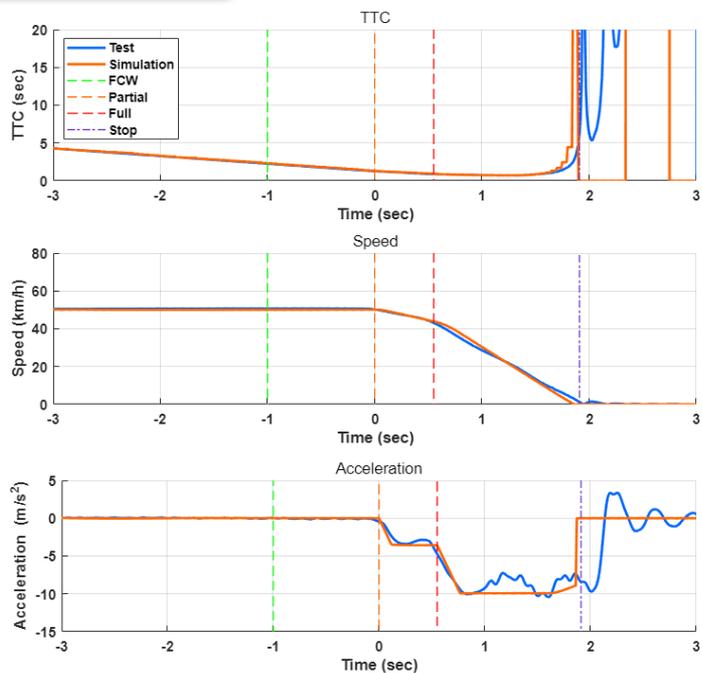
- 50 km/h, 브레이크 최대 압력 150 bar, 부분 제동 30 %, 제동 승압 300 ms



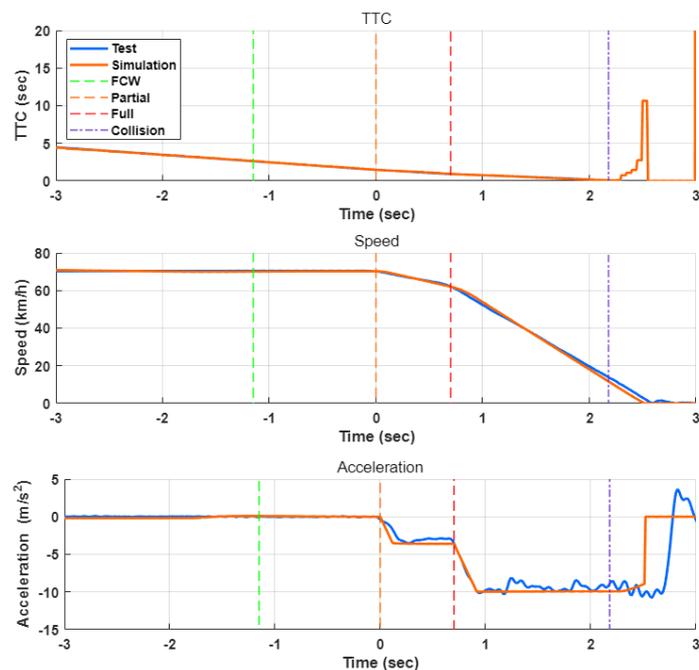
# PreScan을 활용한 AEB 시뮬레이션 로직 개발 및 검증

## ■ AEB 작동 시뮬레이션 결과 비교(그랜저 2020년식)

### 50 km/h (Avoid)



### 70 km/h (Collision)



Sequence	Test		Simulation	
	TTC(sec)	Distance(m)	TTC(sec)	Distance(m)
FCW	2.29	32.2	2.31	32.1
Partial	1.30	18.1	1.30	18.1
Full	0.93	11.6	0.93	11.3

Sequence	Test		Simulation	
	TTC(sec)	Distance(m)	TTC(sec)	Distance(m)
FCW	2.65	52.0	2.63	51.3
Partial	1.48	28.8	1.47	28.6
Full	0.94	16.4	0.93	16.0

# PreScan을 활용한 AEB 시뮬레이션 로직 개발 및 검증

## ■ AEB 작동 시뮬레이션 결과 비교(그랜저 2020년식)

Speed (km/h)	Result	Stop distance / Collision speed		Deviation
		Test	Simulation	
10	Avoid	1.2 m	1.3 m	0.1 m
20	Avoid	1.5 m	1.5 m	0.0 m
30	Avoid	2.5 m	2.2 m	<b>0.3 m</b>
40	Avoid	2.8 m	2.9 m	0.1 m
50	Avoid	2.3 m	2.4 m	0.2 m
60	Avoid	1.6 m	1.4 m	0.2 m
70	Collision	12.7 km/h	11.7 km/h	<b>1.0 km/h</b>

# 차량 시뮬레이터 기반의 AEB 시뮬레이션

## ■ CDS(Compact Driving Simulator)

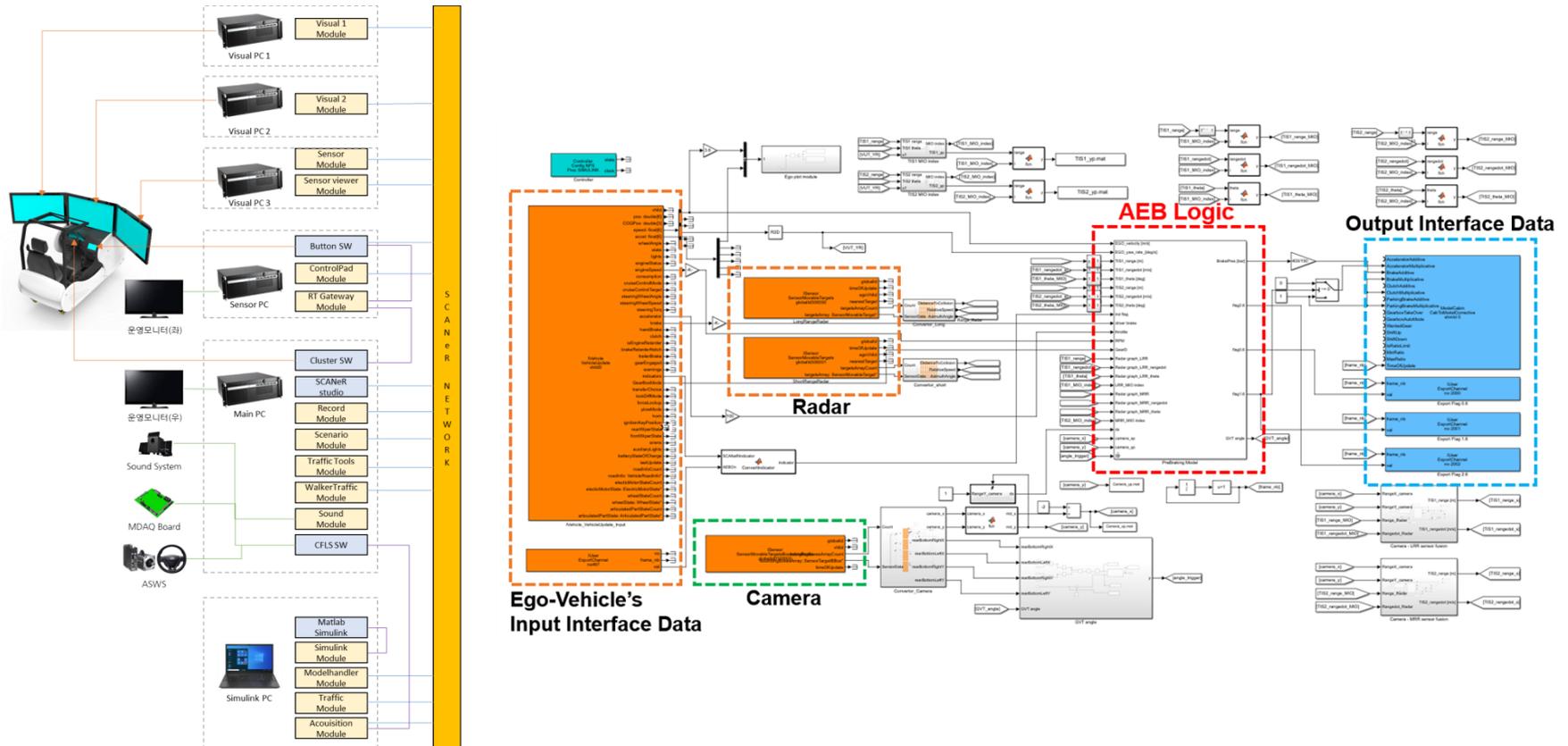
- 실차 부품 활용 차량 시뮬레이터 제작
- 운전자 관점에서 AEB 시뮬레이션 가능
- 차량 시뮬레이터 상에서 주요 도로 환경(도심, 고속도로 등) 구현 가능



# 차량 시뮬레이터 기반의 AEB 시뮬레이션

## ■ AEB 시뮬레이션 로직 적용

- MATLAB Simulink 기반으로 개발된 AEB 로직 적용
- MATLAB API를 활용하여 차량 시뮬레이터 프로그램 SCANer studio와 연동

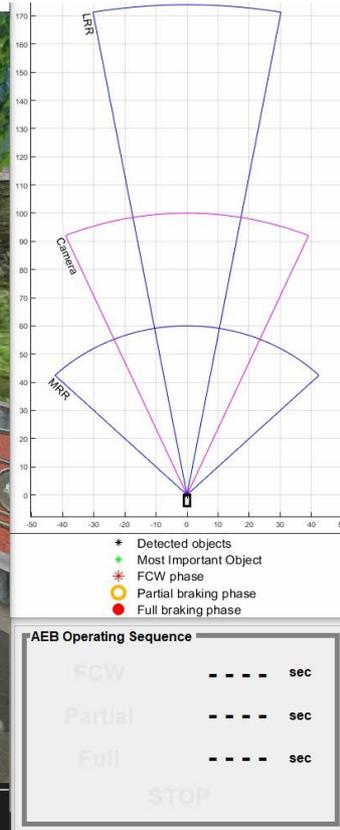
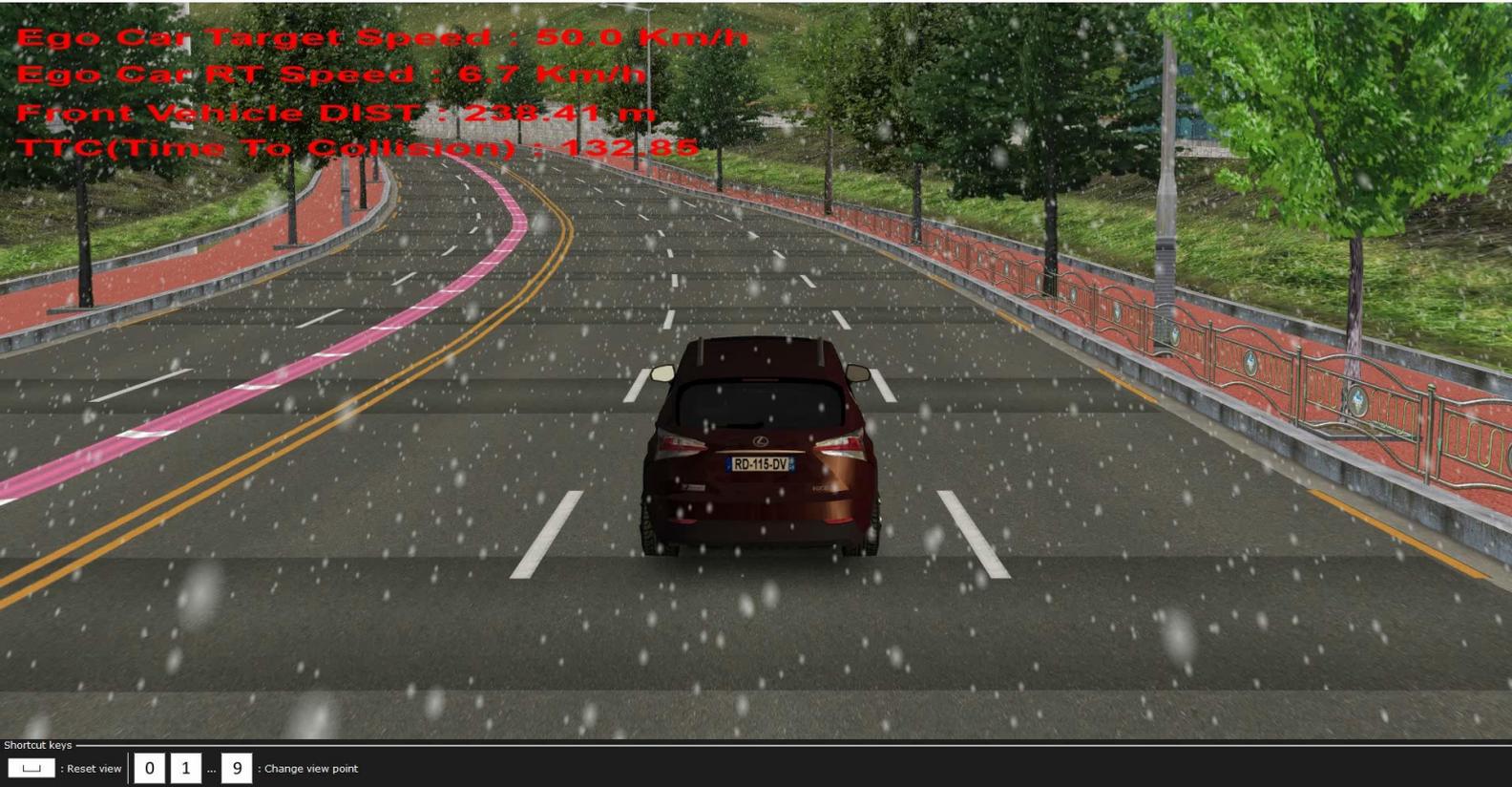


## ■ AEB 계기판 및 기능 설정 시스템 구현



# 차량 시뮬레이터 기반의 AEB 시뮬레이션

## ■ 곡선 도로 주행 시나리오(쏘렌토 2021년식, 50 km/h)



# AEB 시뮬레이션 활용 사고 분석 사례

## ■ AEB 사고 분석 사례 I (아이오닉5 2022년식)

- 일시 및 장소: 2022년 8월 24일 01시 45분경, 경상북도 칠곡군 소재 중앙고속도로 상
- 사고 내용: 아이오닉5가 1차로를 따라 주행 중 오른쪽 차선을 넘어 2차로를 주행하던 트레일러의 후미 좌측 부분을 추돌한 사고로 아이오닉5 운전자는 AEB 미작동에 따른 사고 발생 주장



# AEB 시뮬레이션 활용 사고 분석 사례

## EDR 데이터 분석

- 아이오닉5는 사고 당시 129 km/h로 ACC 작동 상태에서 정속 주행 중 추돌

### 사고 이전 차량 정보 1(-5 ~ 0 sec)

시간 (sec)	자동차 속도 [kph]	엔진 회전수 [rpm]	엔진 스로틀밸브 열림률 [%]	가속페달 변위량 [%]	마스터 실린더 압력 [bar]	제동페달 작동여부 [on/off]	바퀴잠김방지시스템장치 (ABS) 작동여부 [on/off]	자동차 안정성 제어 장치(ESC) 작동여부 [on/off/engaged]	조향핸들 각도 [degree]
-5.0	129	10000	유효하지 않은 데이터 또는 지원하지 않음	0	0.0	OFF	OFF	ESC 미작동 (ESC 스위치 on)	0
-4.5	129	10000	유효하지 않은 데이터 또는 지원하지 않음	0	0.0	OFF	OFF	ESC 미작동 (ESC 스위치 on)	0
-4.0	129	10000	유효하지 않은 데이터 또는 지원하지 않음	0	0.0	OFF	OFF	ESC 미작동 (ESC 스위치 on)	0
-3.5	129	10000	유효하지 않은 데이터 또는 지원하지 않음	0	0.0	OFF	OFF	ESC 미작동 (ESC 스위치 on)	0
-3.0	129	10000	유효하지 않은 데이터 또는 지원하지 않음	0	0.0	OFF	OFF	ESC 미작동 (ESC 스위치 on)	0
-2.5	129	10000	유효하지 않은 데이터 또는 지원하지 않음	0	0.0	OFF	OFF	ESC 미작동 (ESC 스위치 on)	0
-2.0	129	10000	유효하지 않은 데이터 또는 지원하지 않음	0	0.0	OFF	OFF	ESC 미작동 (ESC 스위치 on)	0
-1.5	129	10000	유효하지 않은 데이터 또는 지원하지 않음	0	0.0	OFF	OFF	ESC 미작동 (ESC 스위치 on)	0
-1.0	129	10000	유효하지 않은 데이터 또는 지원하지 않음	0	0.0	OFF	OFF	ESC 미작동 (ESC 스위치 on)	0
-0.5	129	10000	유효하지 않은 데이터 또는 지원하지 않음	0	0.0				
0.0	129	10000	유효하지 않은 데이터 또는 지원하지 않음	0	0.0				

시간 (sec)	기어 쉬프트 표시	스마트 크루즈 컨트롤 (스위치 상태)	스마트 크루즈 컨트롤 (설정 속도)	스마트 크루즈 컨트롤 (속도 단위)	스마트 크루즈 컨트롤 (모드 상태)	스마트 크루즈 컨트롤 (교정정보)
-5.0	D	ON	133	Km/h	제어중	시스템 정상
-4.5	D	ON	133	Km/h	제어중	시스템 정상
-4.0	D	ON	133	Km/h	제어중	시스템 정상
-3.5	D	ON	133	Km/h	제어중	시스템 정상
-3.0	D	ON	133	Km/h	제어중	시스템 정상
-2.5	D	ON	133	Km/h	제어중	시스템 정상
-2.0	D	ON	133	Km/h	제어중	시스템 정상
-1.5	D	ON	133	Km/h	제어중	시스템 정상
-1.0	D	ON	133	Km/h	제어중	시스템 정상
-0.5	D	ON	133	Km/h	제어중	시스템 정상
0.0	D	ON	133	Km/h	제어중	시스템 정상

# AEB 시뮬레이션 활용 사고 분석 사례

## EDR 데이터 분석

### 사고 이전 차량 정보 3 (-5 ~ 0 sec)

시간 (sec)	전방 충돌방지 보조 (기능 상태)	전방 충돌방지 보조 (경고 단계)	전방 충돌방지 보조 (고장정보)	시간 (sec)	전방 충돌방지 보조 (기능 상태)	전방 충돌방지 보조 (경고 단계)	전방 충돌방지 보조 (고장정보)
-5.0	ON	미경고 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	정상	-2.5	ON	미경고 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	정상
-4.9	ON	미경고 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	정상	-2.4	ON	미경고 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	정상
-4.8	ON	미경고 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	정상	-2.3	ON	미경고 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	정상
-4.7	ON	미경고 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	정상	-2.2	ON	미경고 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	정상
-4.6	ON	미경고 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	정상	-2.1	ON	미경고 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	정상
-4.5	ON	미경고 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	정상	-2.0	ON	미경고 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	정상
-4.4	ON	미경고 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	정상	-1.9	ON	미경고 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	정상
-4.3	ON	미경고 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	정상	-1.8	ON	미경고 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	정상
-4.2	ON	미경고 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	정상	-1.7	ON	미경고 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	정상
-4.1	ON	미경고 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	정상	-1.6	ON	미경고 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	정상
-4.0	ON	미경고 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	정상	-1.5	ON	미경고 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	정상
-3.9	ON	미경고 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	정상	-1.4	ON	미경고 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	정상
-3.8	ON	미경고 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	정상	-1.3	ON	미경고 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	정상
-3.7	ON	미경고 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	정상	-1.2	ON	미경고 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	정상
-3.6	ON	미경고 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	정상	-1.1	ON	미경고 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	정상
-3.5	ON	미경고 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	정상	-1.0	ON	미경고 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	정상
-3.4	ON	미경고 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	정상	-0.9	ON	미경고 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	정상

AEB 기능 정상

But 운전자 경보 및 AEB 기능 작동 X

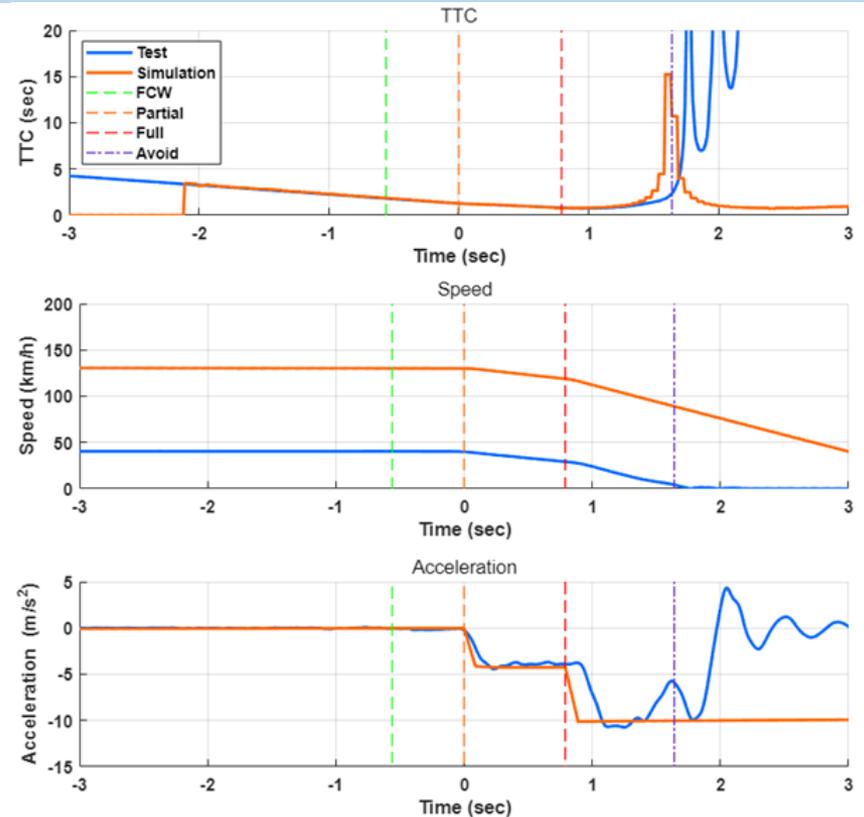
# AEB 시뮬레이션 활용 사고 분석 사례

## ■ AEB 정상 작동 상황 재현

- 아이오닉5 약 130 km/h, 화물차량 제한속도 90 km/h로 주행(Overlap 100%, ACC off 가정)



Sequence	Test(40 km/h)		Simulation	
	TTC(sec)	Distance(m)	TTC(sec)	Distance(m)
FCW	1.86	21.0	1.84	20.3
Partial	1.28	14.2	1.28	14.0
Full	0.77	5.9	0.76	6.0
Result	Avoid	2.7	Avoid	3.1

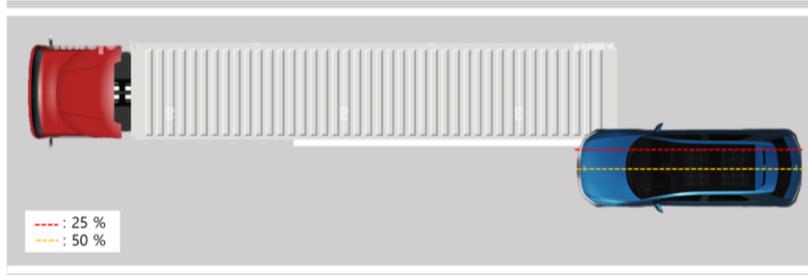


Normal operation situation  
AEB operation → Avoid

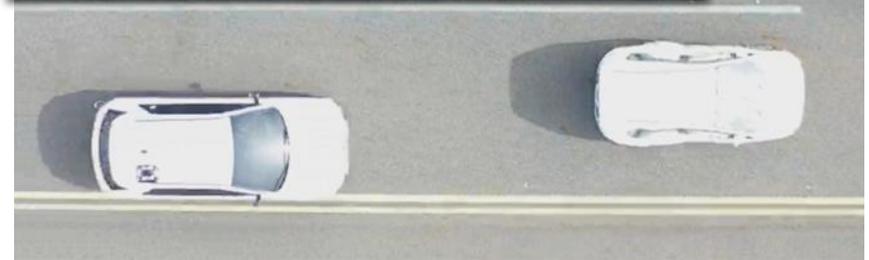
# AEB 시뮬레이션 활용 사고 분석 사례

## ■ 사고 상황 분석

- 영상 분석 시 사고 순간 아이오닉5와 트레일러 간의 오버랩 25 % 이하 → 오버랩 한계 초과



### 오버랩 기준 초과 실험(아이오닉5 2021년식)



Overlap (%)	Speed (km/h)	TTC (sec)			Result
		FCW	Part	Full	
45	30	1.57	1.02	0.84	Normal
45	40	1.88	1.29	0.73	Normal
40	30	1.57	1.03	0.77	Normal
40	40	1.83	1.26	0.74	Normal
35	30	1.61	1.07	0.76	Normal
35	40	1.81	1.27	0.72	Normal
30	30	1.58	1.03	0.80	Normal
30	40	1.84	1.30	0.71	Normal
25	30	0.99	-	-	AEB No operation
25	40	1.76	-	0.73	Abnormal

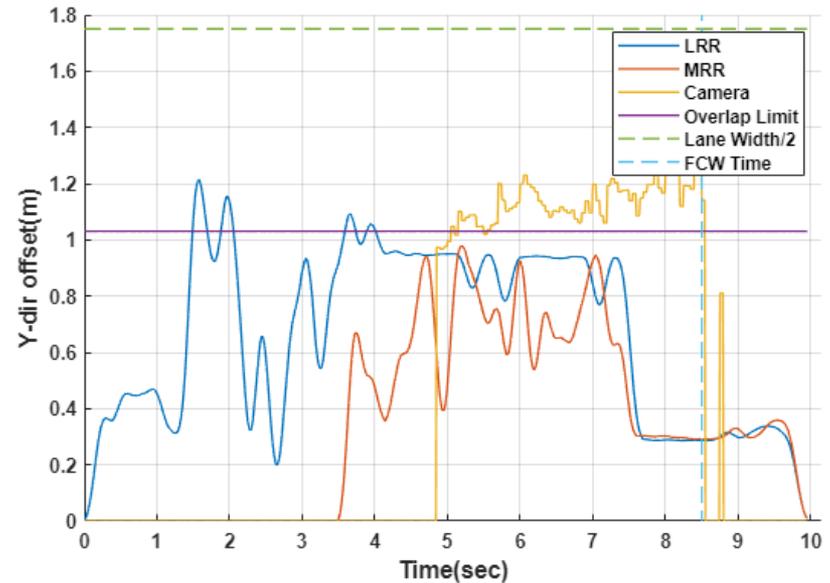
# AEB 시뮬레이션 활용 사고 분석 사례

## ■ 사고 상황 재현

- 아이오닉5 2021년식, 오버랩 한계 25 %
- 사고 상황 재현 시 오버랩 한계를 벗어나 AEB 미작동, 감속 없이 트레일러 추돌



Accident reconstruction  
AEB no operation → Collision



Ioniq5 2021, overlap 25% ↓ FCW △, AEB X

사고 당시 아이오닉 5와 트레일러 간의 오버랩 한계 초과로 인하여  
AEB가 작동되지 않은 것으로 판단됨

## ■ AEB 사고 분석 사례Ⅱ(싼타페 2020년식)

- 일시 및 장소: 2020년 6월 14일 08시 50분경, 강원도 인제군 소재 서울양양고속도로 터널 내
- 사고 내용: 프라이드 차량이 터널 내에서 단독 사고가 발생하고, 이후 싼타페 차량이 프라이드 차량을 충돌하여 프라이드 차량 운전자가 사망한 사고임



# AEB 시뮬레이션 활용 사고 분석 사례

## EDR 데이터 분석

- EDR 데이터 상에서 신타페는 사고 당시 87 km/h로 ACC 작동 상태에서 정속 주행 중 추돌

### 사고 이전 차량 정보 1(-5 ~ 0 sec)

시간 (sec)	자동차 속도 [kph]	엔진 회전수 [rpm]	엔진 스로틀밸브 열림량 [%]	가속페달 변위량 [%]	제동페달 작동여부 [on/off]	바퀴잠김방지식제동장치 (ABS) 작동여부 [on/off]	자동차 안정성 제어장치 (ESC) 작동여부 [on/off/engaged]	조향핸들 각도 [degree]
-5.0	87	1300	31	24	OFF	OFF	ESC 미작동 (ESC 스위치 on)	0
-4.5	87	1300	31	24	OFF	OFF	ESC 미작동 (ESC 스위치 on)	0
-4.0	88	1300	31	24	OFF	OFF	ESC 미작동 (ESC 스위치 on)	0
-3.5	87	1300	31	24	OFF	OFF	ESC 미작동 (ESC 스위치 on)	0
-3.0	87	1300	31	24	OFF	OFF	ESC 미작동 (ESC 스위치 on)	0
-2.5	87	1300	31	23	OFF	OFF	ESC 미작동 (ESC 스위치 on)	0
-2.0	87	1300	31	23	OFF	OFF	ESC 미작동 (ESC 스위치 on)	0
-1.5	87	1300	31	23	OFF	OFF	ESC 미작동 (ESC 스위치 on)	0
-1.0	87	1300	31	23				
-0.5	87	1300	31	23				
0.0	87	1300	31	23				

시간 (sec)	기어 쉬프트 표시	스마트 크루즈 컨트롤 (스위치 상태)	스마트 크루즈 컨트롤 (설정 속도)	스마트 크루즈 컨트롤 (속도 단위)	스마트 크루즈 컨트롤 (모드 상태)
-5.0	D	ON	92	Km/h	제어중
-4.5	D	ON	92	Km/h	제어중
-4.0	D	ON	92	Km/h	제어중
-3.5	D	ON	92	Km/h	제어중
-3.0	D	ON	92	Km/h	제어중
-2.5	D	ON	92	Km/h	제어중
-2.0	D	ON	92	Km/h	제어중
-1.5	D	ON	92	Km/h	제어중
-1.0	D	ON	92	Km/h	제어중
-0.5	D	ON	92	Km/h	제어중
0.0	D	ON	92	Km/h	제어중

## ■ EDR 데이터 분석

### 사고 이전 차량 정보 3 (-5 ~ 0 sec)

시간 (sec)	전방충돌방지 (시스템 상태)	전방충돌방지 (경고 수준)	시간 (sec)	전방충돌방지 (시스템 상태)	전방충돌방지 (경고 수준)
-5.0	ON	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	-2.5	ON	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신
-4.9	ON	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	-2.4	ON	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신
-4.8	ON	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	-2.3	ON	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신
-4.7	ON	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	-2.2	ON	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신
-4.6	ON	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	-2.1	ON	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신
-4.5	ON	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	-2.0	ON	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신
-4.4	ON	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	-1.9	ON	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신
-4.3	ON	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	-1.8	ON	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신
-4.2	ON	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	-1.7	ON	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신
-4.1	ON	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	-1.6	ON	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신
-4.0	ON	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	-1.5	ON	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신
-3.9	ON	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	-1.4	ON	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신
-3.8	ON	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	-1.3	ON	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신
-3.7	ON	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	-1.2	ON	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신
-3.6	ON	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	-1.1	ON	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신
-3.5	ON	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	-1.0	ON	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신
-3.4	ON	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	-0.9	ON	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신
-3.3	ON	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	-0.8	ON	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신
-3.2	ON	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	-0.7	ON	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신
-3.1	ON	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신	-0.6	ON	미경보 / 시스템 고장 혹은 신호 미수신

AEB 기능 정상

But 운전자 경보 및 AEB 기능 작동 X

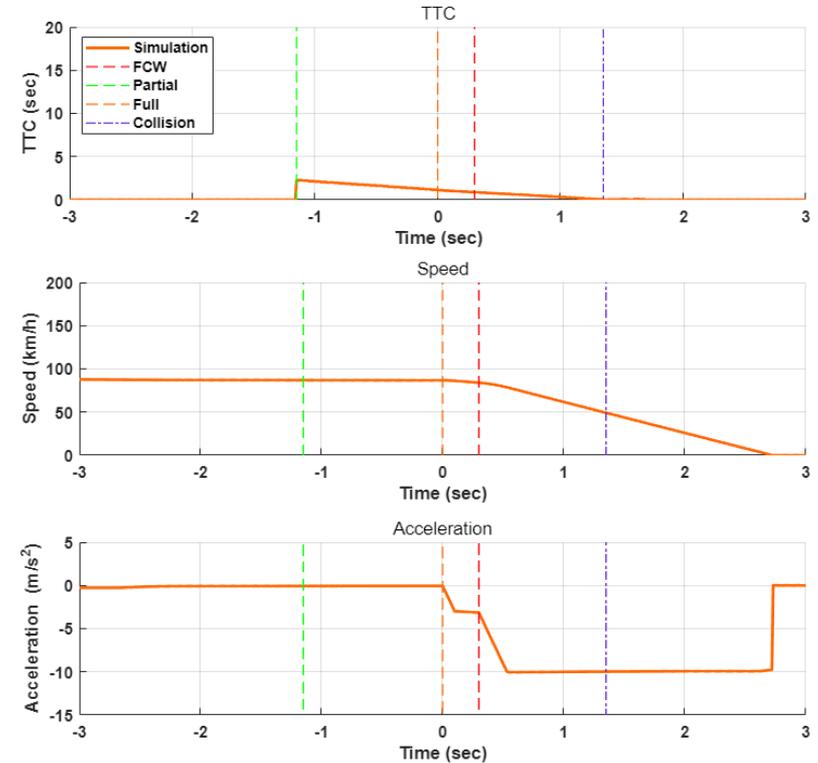
# AEB 시뮬레이션 활용 사고 분석 사례

## ■ AEB 정상 작동 상황 재현

- 신타페 약 87 km/h로 주행(Overlap 100%, ACC off 가정)



Sequence	Simulation	
	TTC(sec)	Distance(m)
FCW	2.24	54.2
Partial	1.12	27.1
Full	0.87	20.2
Result	Collision	49.2 km/h



Normal operation situation  
AEB operation, but Collision

## ■ 사고 상황 재현

- 싘타페 2019년식, 오버랩 한계 35 %, 각도 한계 20°
- 사고 상황 재현 시 오버랩 한계 및 각도 한계를 벗어나 AEB 미작동, 감속 없이 프라이드 추돌

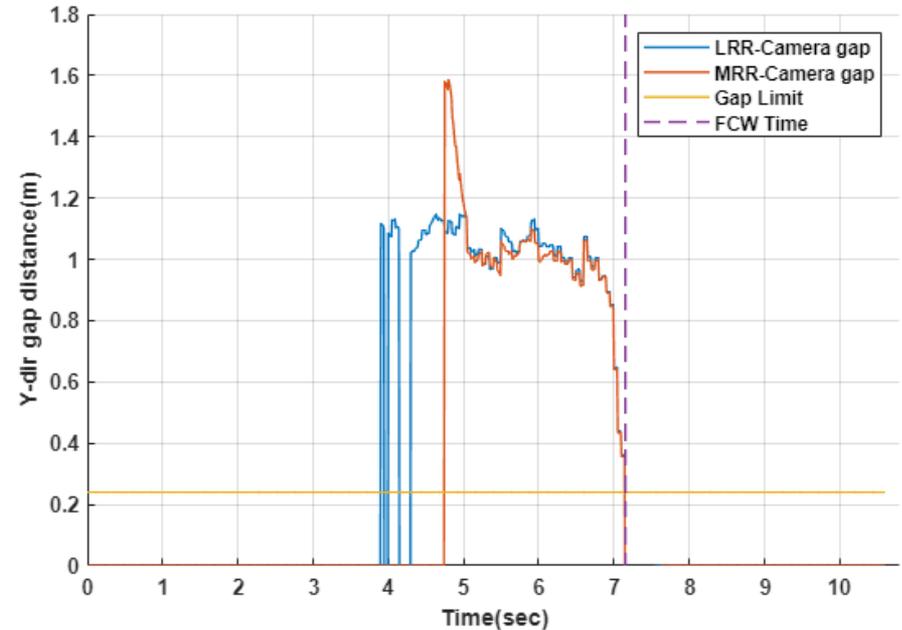
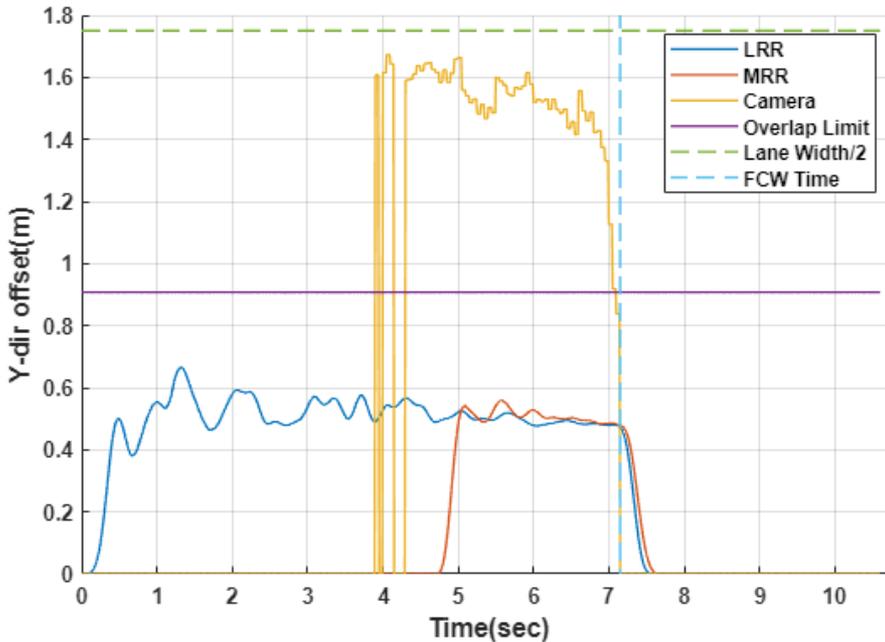


Accident reconstruction  
AEB no operation → Collision

# AEB 시뮬레이션 활용 사고 분석 사례

## ■ 사고 상황 재현

- 싘타페 2019년식, 오버랩 한계 35 %, 각도 한계 20°
- 사고 상황 재현 시 오버랩 한계 및 각도 한계를 벗어나 AEB 미작동, 감속 없이 프라이드 추돌



사고 당시 싘타페와 프라이드 간의 오버랩 한계 및 각도 한계 초과로 인하여 AEB가 작동되지 않은 것으로 판단되나, 100 % 오버랩 상황에서 AEB 작동하더라도 충돌 발생

## ADAS 차량의 사고 재현 및 분석에 활용할 목적으로 긴급제동장치(AEB) 시뮬레이션 기법 연구

### 1) EuroNCAP AEB 작동 실험

- AEB 작동 시 FCW → AEB 부분제동 → AEB 완전제동 시퀀스
- 총 10대 실험 차량에 대해 EuroNCAP CCRs 시험
- 실험 차량별로 AEB 작동 TTC 시점 및 한계 특성이 다름 → 데이터베이스화

### 2) PreScan AEB 시뮬레이션 로직 개발

- PreScan AEB 기본 로직에서 카메라 센서 추가, 레이더와 카메라 간의 센서퓨전 적용
- AEB 실험 데이터(AEB 작동 TTC 시퀀스) 적용

### 3) AEB 시뮬레이션 로직 검증

- 실차 실험 결과와 비교 시 TTC, 속도, 가속도 경향 서로 매우 유사
- 최종 정지 거리 및 충돌 속도 편차 수용 가능(그랜저 2020년식 각각 최대 0.3 m, 1.0 km/h)
- 오버랩 기준 초과, GVT 각도 및 Cutout 상황 등

### 4) 차량 시뮬레이터 기반의 AEB 시뮬레이션

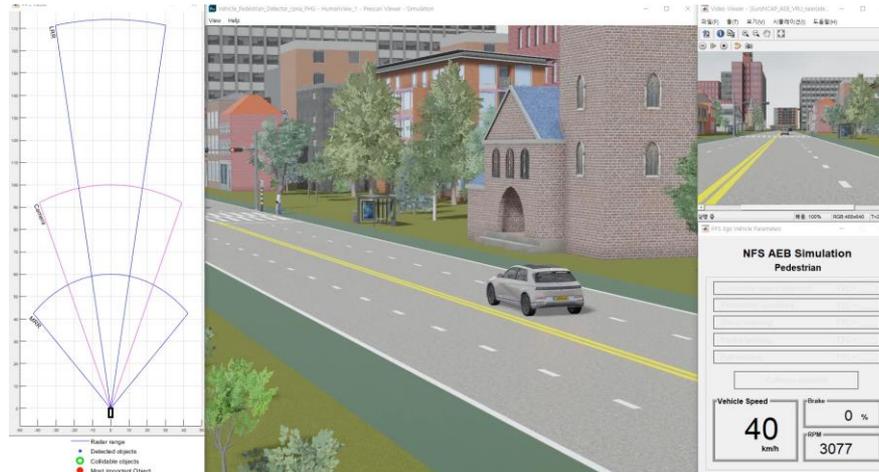
- 운전자 관점에서 실제 교통 상황과 유사한 도로 환경에서 AEB 시뮬레이션 가능

## ■ 차량 및 보행자 타겟 통합 긴급제동장치 시뮬레이션 환경 구축

CPFA

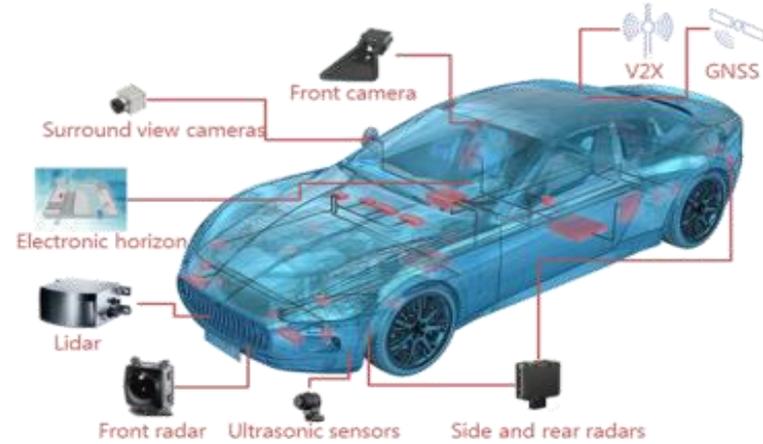


CPNA



# In the future

## ADAS / Autonomous Driving



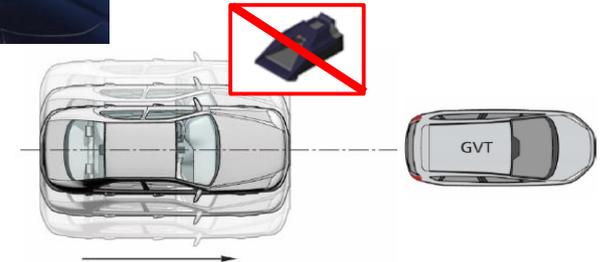
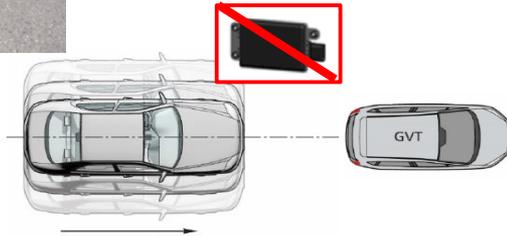


**경청해주셔서  
감사합니다.**



행정안전부  
국립과학수사연구원

## ■ ADAS 센서 이상 상황(그랜저 2019년식)

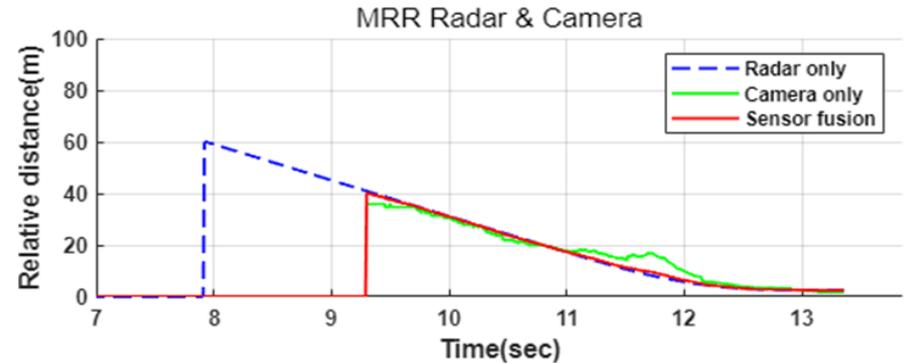
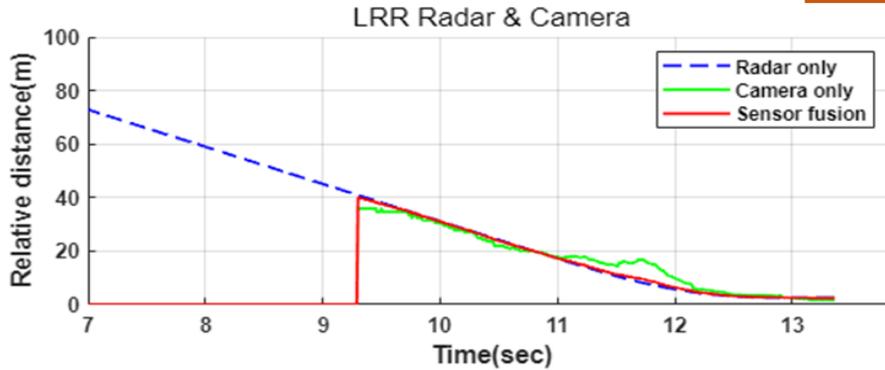


**AEB 작동 시 레이더 센서와 카메라 센서 간의 센서 퓨전 활용**

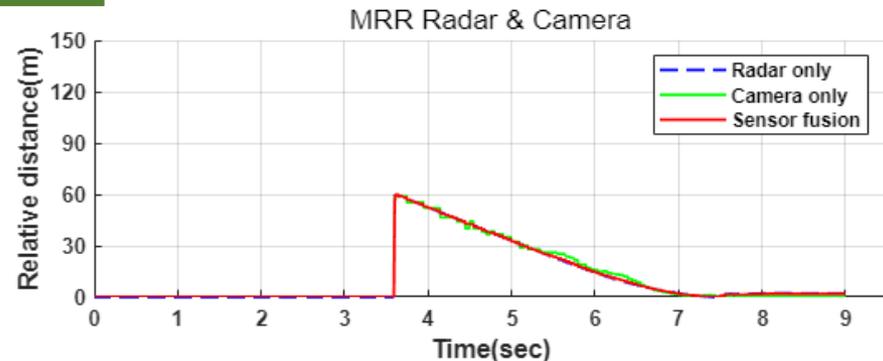
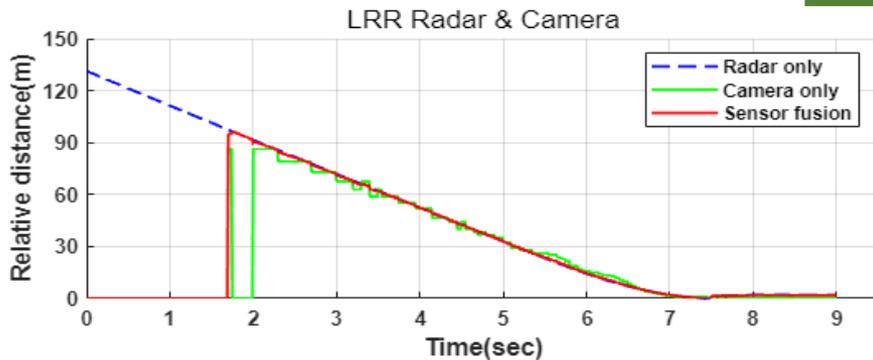
## ■ 딥러닝 알고리즘에 따른 카메라 센서 성능 비교

- YOLOv2 사용 시 최대 감지 거리 약 40 m 한계
- YOLOv4 모델로 변경, 최대 감지 거리 약 90 m로 개선 (현재 YOLOv8 적용 연구 중)

### YOLOv2

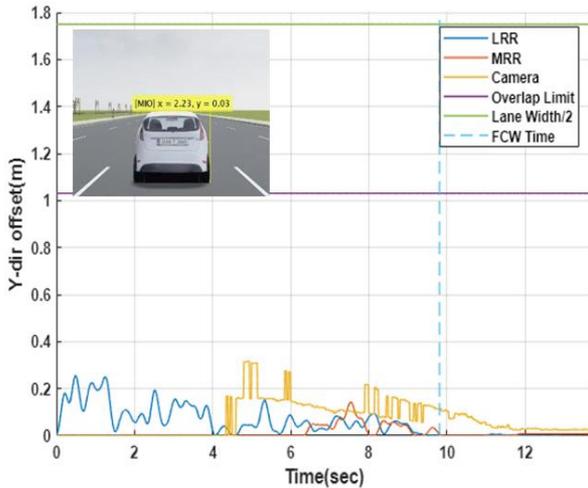
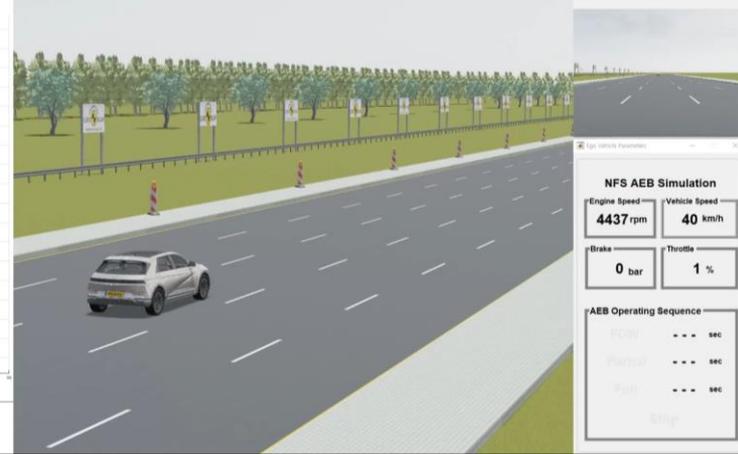
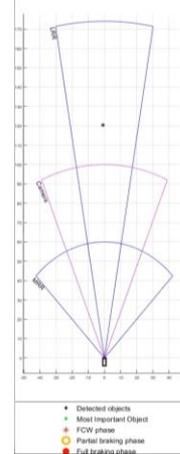
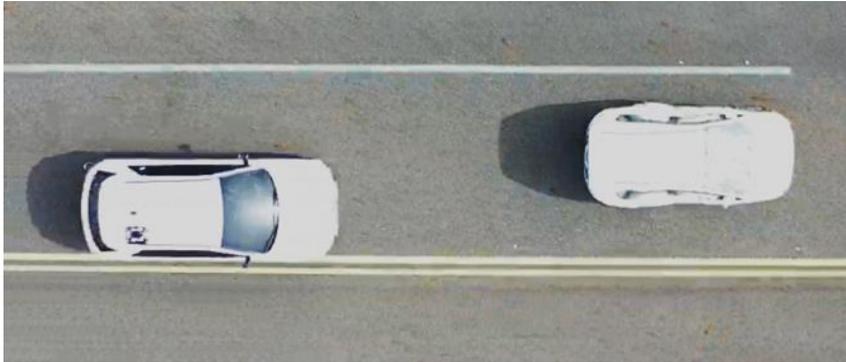


### YOLOv4

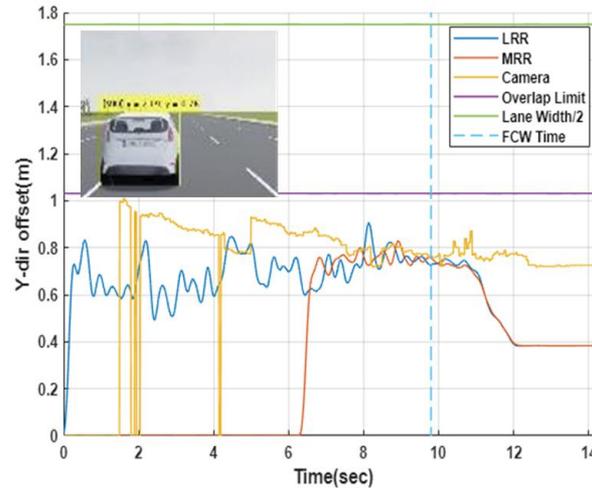


## ■ AEB 시뮬레이션 로직 검증(EuroNCAP 기준 오버랩 초과)

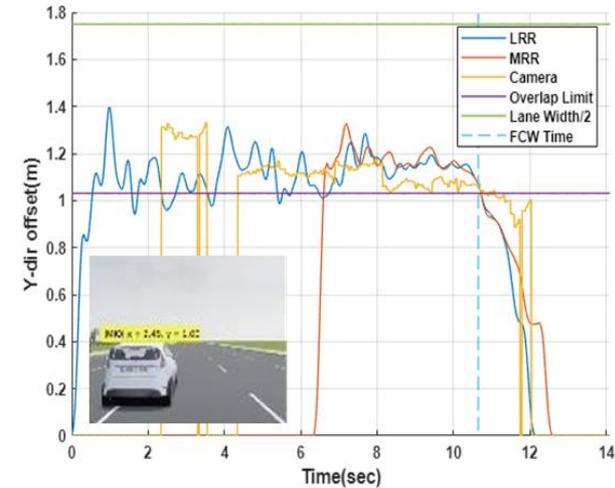
아이오닉5 2021년식, 25% FCW  $\Delta$ , AEB X



CCRs 100% Avoid



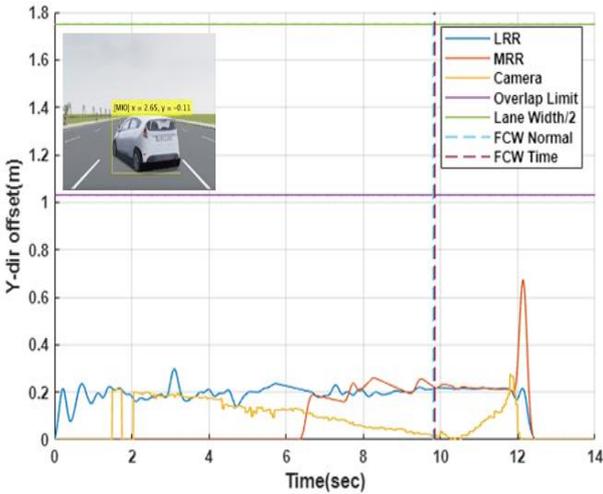
CCRs 50% Avoid



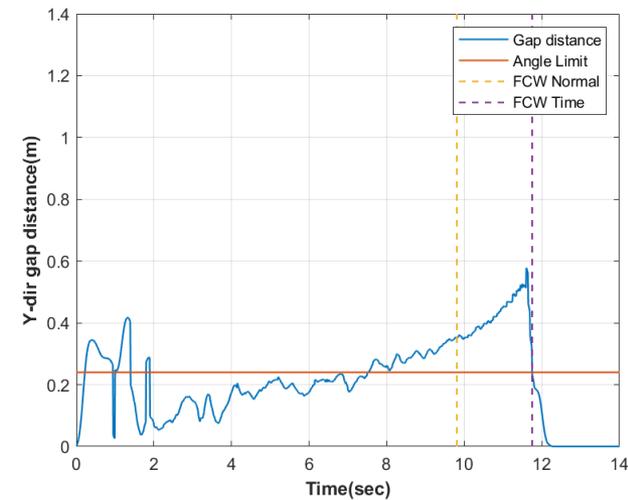
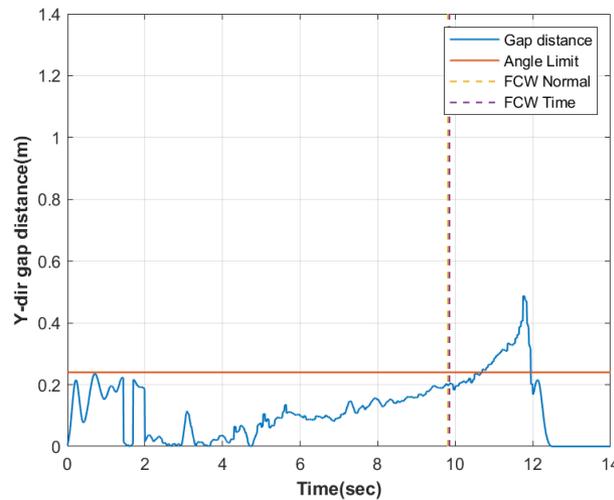
CCRs 25% FCW  $\Delta$ , AEB X

## ■ AEB 시뮬레이션 로직 검증(GVT 각도)

아이오닉5 2021년식, GVT 25° FCW O, AEB X

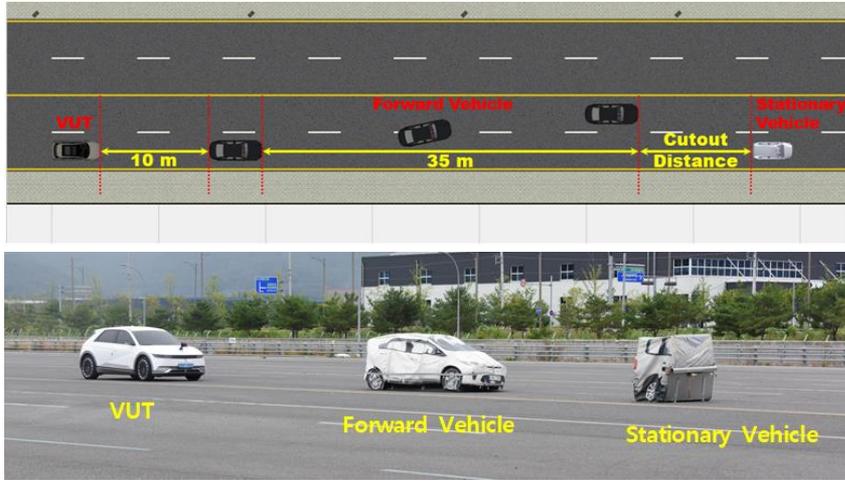


GVT 25° FCW O, AEB X

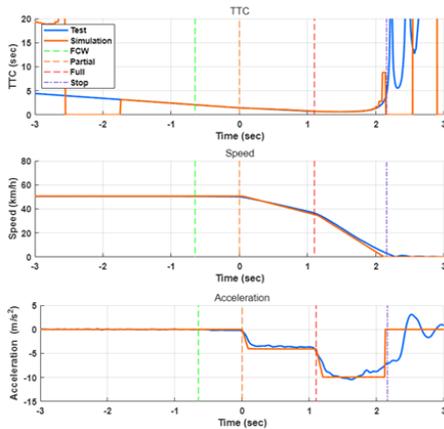


GVT 30° FCW Δ, AEB X

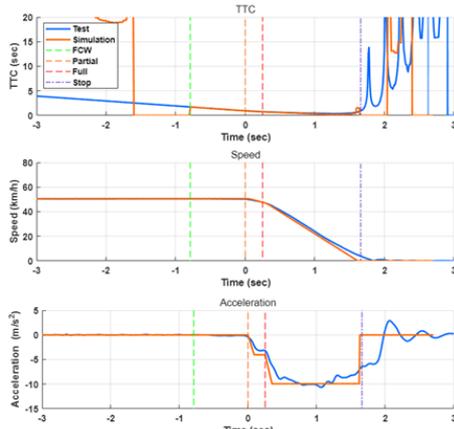
## ■ AEB 시뮬레이션 로직 검증 (Cutout 한계 상황)



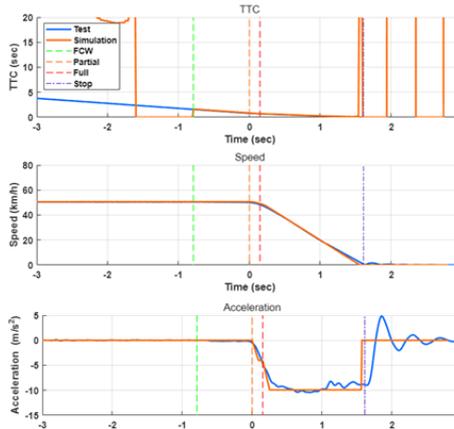
Cutout 6 m



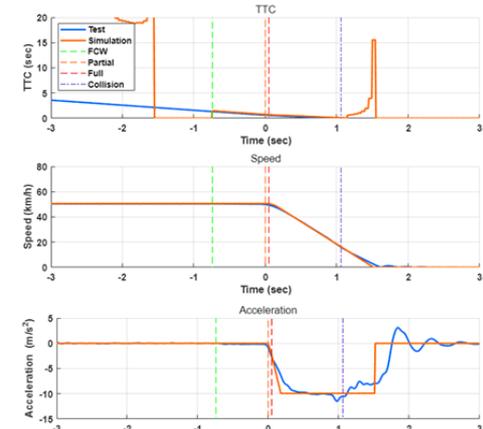
Cutout 30 m  
Avoid



Cutout 9 m  
Avoid



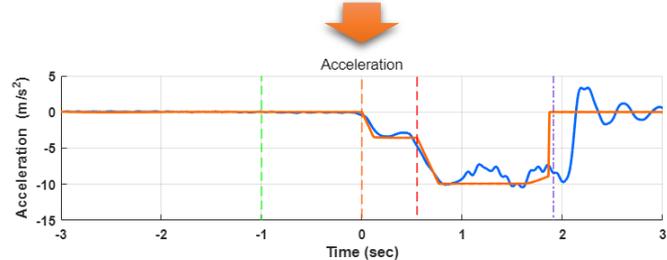
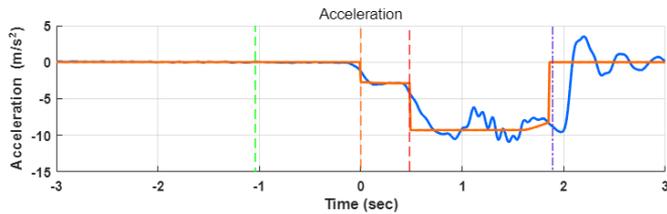
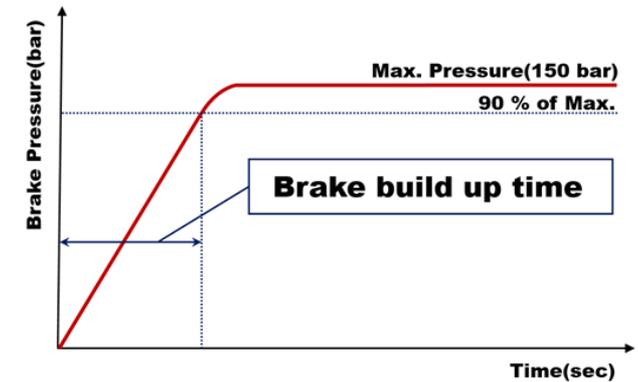
Cutout 8 m  
Avoid



Cutout 6 m  
Collision

## ■ 제동승압시간(Brake build up time) 적용

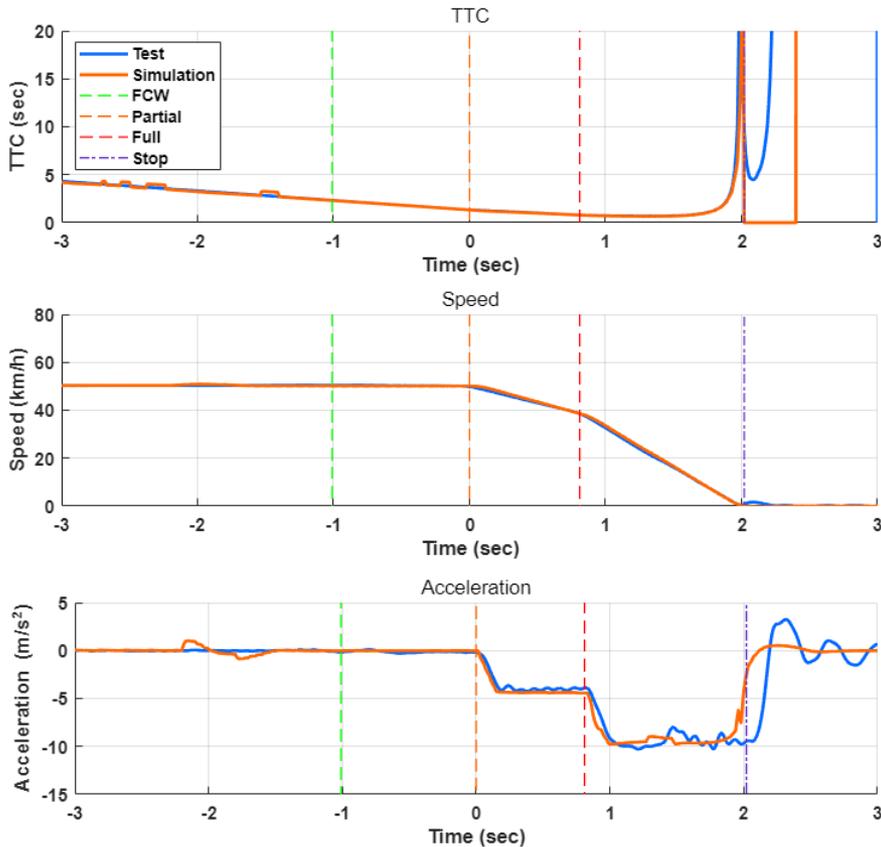
- 제동 압력은 ESC(Electronic Stability Control)의 승압 모터에 의해 형성
- 최대 제동 압력의 90%까지 도달하는데 걸리는 시간을 **제동승압시간**이라 함



## 실험 차량별 제동 특성 설정값

VUT	Max. Brake Pressure (bar)	Partial Brake (%)	Partial brake build up time (ms)	Full brake build up time (ms)
그랜저 2019	150	25	200	300
그랜저 2020	150	35	200	300
K7 2018	150	30	200	350
G80 2021	150	50	200	200
E220D 2017	150	55	400	200
싼타페 2019	150	30	200	300
쏘렌토 2018	140	-	-	600
쏘렌토 2021	150	40	200	300
아이오닉 2021	150	40	200	150
Model3 2020	150	-	-	160

## ■ 곡선 도로 주행 시나리오(쏘렌토 2021년식, 50 km/h)



Sequence	Test		Simulator	
	TTC (sec)	Distance from target (m)	TTC (sec)	Distance from target (m)
FCW	2.32	32.5	2.31	32.6
Partial	1.34	18.5	1.33	18.7
Full	0.78	8.3	0.79	8.7
<b>Result</b>	<b>Stop</b>	<b>2.1</b>	<b>Stop</b>	<b>2.2</b>

C-ITS 및 자율주행자동차 융합 기술 세미나 안내

# 커넥티드 인프라를 활용한 자율주행 실증 접근 방안

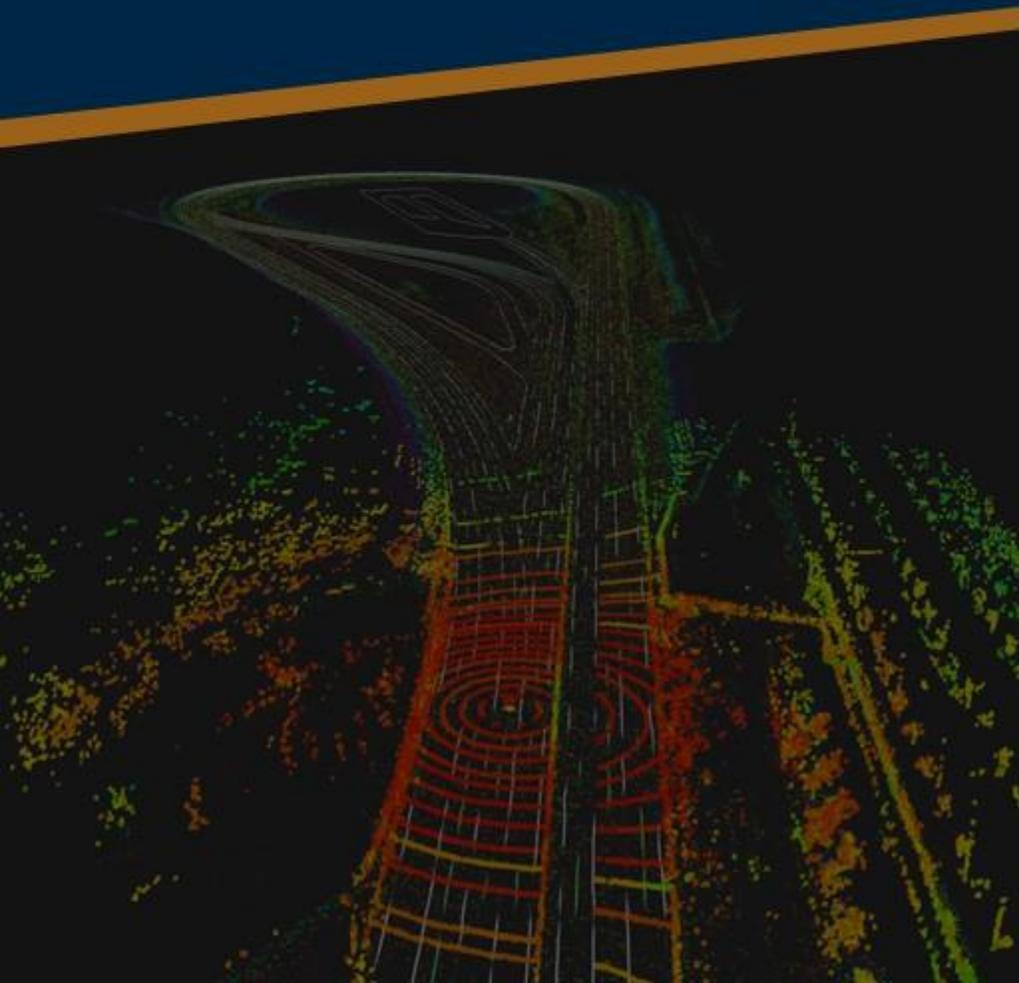
2024. 03. 28.

김봉섭 실장



# Contents

- 01 **배경 및 목적**
- 02 **C-ITS 인프라 환경 구성**
- 03 **C-ITS 연계 시뮬레이션 환경 구성**
- 04 **C-ITS 연계 자율주행차량 구성**
- 05 **CAV 적용을 위한 검증 방안 도출**
- 06 **결론**



국외 자율주행 차량 주요 정책

미국	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (NHTSA) '23년 7월 자율주행 시스템이 장착된 차량의 안전 및 투명성을 평가하기 위한 프로그램인 'AV STEP'를 발표하였으며 이를 통해 더 많은 자율주행 차량들이 도로에 배치될 것으로 예상됨</li> <li>· (NHTSA) '20년 AV TEST Initiative를 시작하여 자율주행 차량 개발 업체들이 자발적으로 주행 정보를 공유할 수 있는 최초의 공유 플랫폼을 만들었으며 Waymo, Cruise 등 다수의 자율주행 차량 관련 기업이 참여하고 있음</li> </ul>
유럽	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (UNECE) GRVA에서 자율주행시스템 검증 가이드라인인 'NATM'을 발표하였으며 이와 함께 사이버보안과 OTA에 관한 권고사항을 제안하였음</li> <li>· (EU) '22년 8월 자율주행시스템이 탑재된 차량에 대한 요구사항을 포함하고 있는 형식 승인 문서를 채택하였으며 형식 승인 정보, 성능 요구사항, 평가 등으로 구성되어 있음</li> </ul>
일본	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (JAMA) UNECE 자율주행시스템 평가 그룹 VMAD 소속으로서 '22년 12월 '자율주행 안전성 평가 프레임워크 Ver. 3.0'를 발표하였으며 해당 문서에는 자율주행시스템 평가 시나리오 설계 방법 등이 포함되어 있음</li> <li>· 일본 경찰청은 SAE 레벨 4 자율주행 차량의 운행 금지를 해제할 것이라 발표하였으며 이에 따라 '23년 4월부터 자율주행 차량이 운행될 수 있게 됨</li> </ul>
중국	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 중국산업정보기술부가 중국에서 SAE 레벨 3 이상의 자율주행 기술의 상업적 개발을 지원하고 권장할 것이라 보도되었으며 이러한 권장 사항에서는 자율주행을 지원하는 반도체, 센서 및 운영체제 개발이 포함되어 있음</li> </ul>

국외 자율주행 차량 관련 기업 동향

	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 23년 8월 미국 샌프란시스코에서 Waymo 무인 택시 차량에 대한 24시간 서비스 운영이 허가됨</li> <li>· 23년 5월 Uber와 파트너십을 체결하여 Waymo의 자율주행 기술이 Uber 플랫폼에 도입될 예정</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>· '23년 8월 Waymo와 함께 샌프란시스코에서 무인 택시 차량에 대한 24시간 서비스 운영이 허가됨</li> <li>· 샌프란시스코에서 발생한 두 번의 충돌사고로 인해 운행 중인 Cruise의 로봇택시 절반을 줄이기로 결정</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 이스라엘 라이다 전문 스타트업 이노비즈 테크놀로지와 기술협력 확대</li> <li>· '23년 i5 차량에 고속도로 주행보조 기능을 탑재하였으며 전 라인업으로 순차적 확대될 전망</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>· '드라이브 파일럿'은 네바다주에서 미국 최초 레벨 3 자율주행 차량 인증을 획득함</li> <li>· '22년 라이다 전문 제작업체 루미나(Luminar)와 대규모 파트너십 구축</li> </ul>



1

# 배경 및 목적 - 커넥티드 자율주행 서비스의 필요성 (1)

## 자율주행차와 C-ITS 간의 관계

- 약천후 시 차량센서 기능의 저하
- 원거리 검지(센서검지거리 200m 이내) 및 사각지대 검지 한계

## CV(Connected Vehicle) + AV(Autonomous Vehicle) = CAV

- 해외(미국, 유럽 등)에서도 CV와 AV에 대한 필요성 인지
- 향후 자율주행 시대를 대비하여 C-ITS의 역할 중요

	<p><b>Sensor-Based Solution Only</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cannot sufficiently mimic human senses</li> <li>• Not cost-effective for mass market adoption</li> <li>• Lack of adequate 360° mapping of environment in urban grids</li> </ul>
	<p><b>Connected Vehicle Solution Only</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• DSRC does not currently work with pedestrians, bicyclists, etc.</li> <li>• DSRC-based V2I might require significant infrastructure investment</li> <li>• V2V requires high market penetration to deliver value reliably</li> </ul>
	<p><b>Converged Solution</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Convergence will facilitate adequate mimicking of human senses</li> <li>• Convergence will reduce need for an expensive mix of sensors and reduce the need for blanket V2I investment</li> <li>• Convergence will provide the necessary level of functional redundancy to ensure that the technology will work 100 percent of the time</li> </ul>

**V2V - Vehicle-to-Vehicle.**  
Alerts one vehicle to the presence of another. Cars "talk" using DSRC technology.

**V2D - Vehicle-to-Device.**  
Vehicles communicate with cyclists' V2D device and vice versa.

**V2P - Vehicle-to-Pedestrian.**  
Car communication with pedestrian with approaching alerts and vice versa.

**V2H - Vehicle-to-Home.**  
Vehicles will act as supplement power supplies to the home.

**V2G - Vehicle-to-Grid.**  
Smart grid controls vehicle charging and return electricity to the grid.

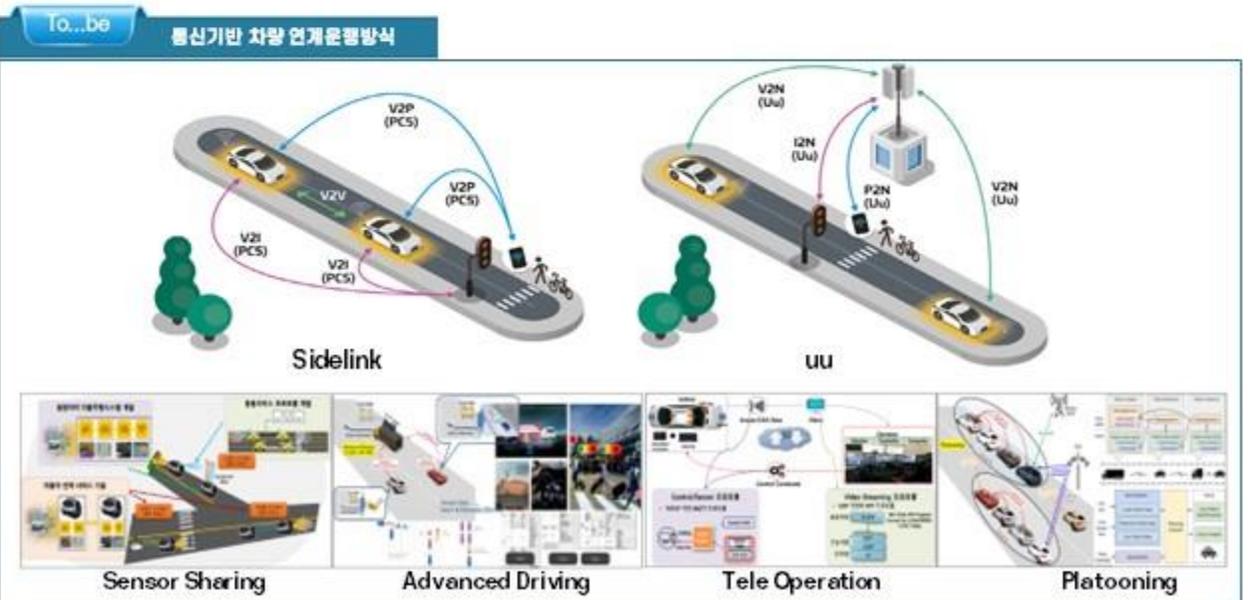
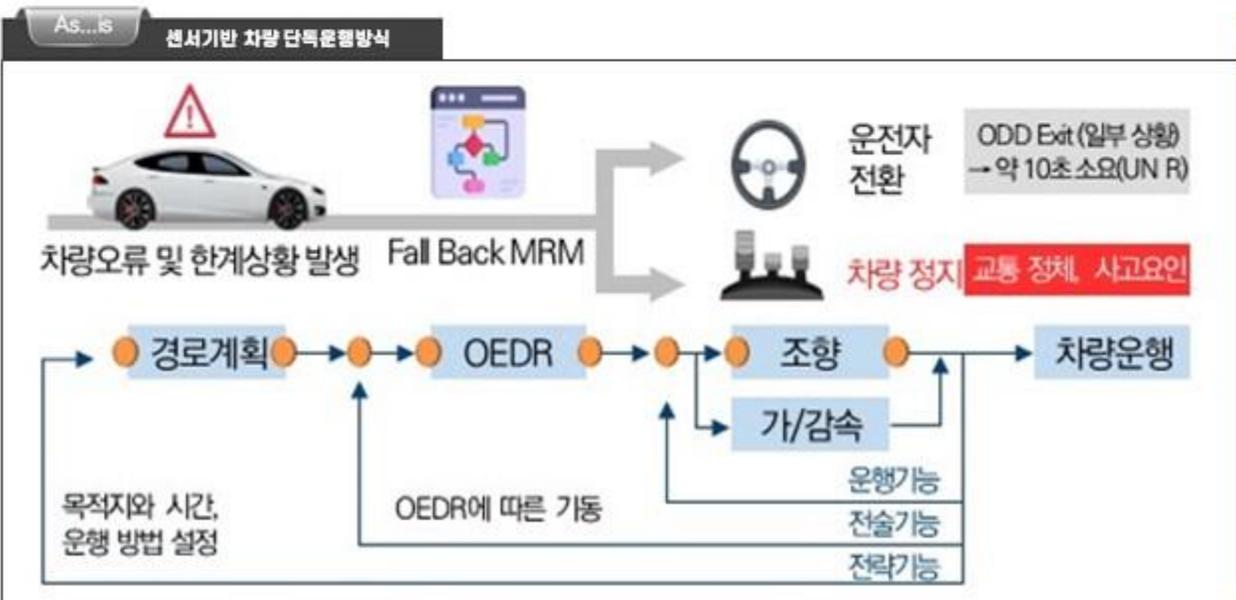
**V2I - Vehicle-to-Infrastructure.**  
Alerts vehicles to traffic lights, traffic congestion, road conditions, etc.

참조 : US DOT, CAV 개념도, mahbulul alam, Qualcomm

1

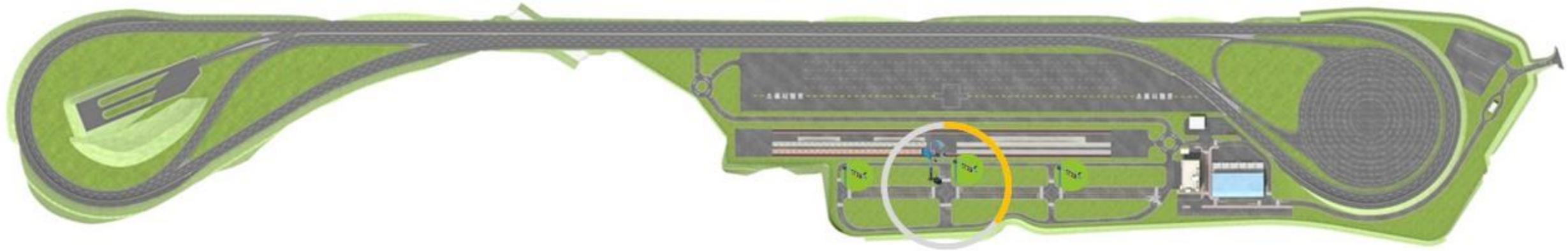
# 배경 및 목적 - 커넥티드 자율주행 서비스의 필요성 (2)

자율주행 차량 운행에 대한 문제(이상상황/한계상황)가 발생할 경우 시 이를 극복할 수 있도록  
**C-ITS 인프라를 활용하여 자율주행 안전 기술 개발 필요**

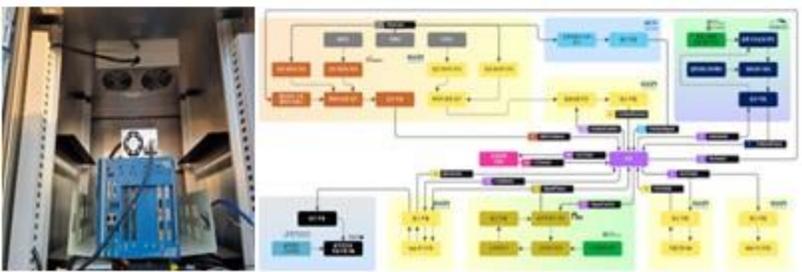


2

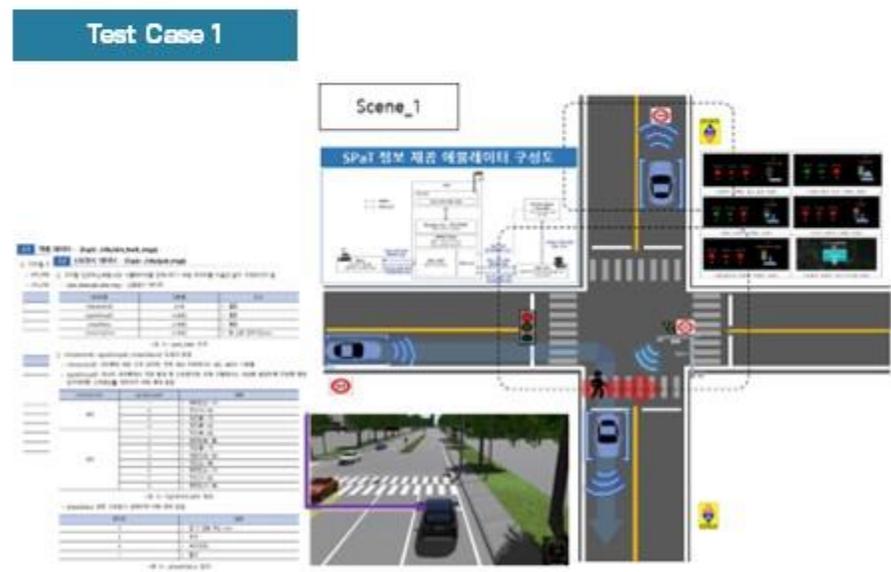
# C-ITS 인프라 환경 구성 - 주행 시험장 내 인프라 구성



<돌발상황 검지-인프라(카메라, 라이다, 레이더)>      <교통신호제어 시스템>



현장제어 통합운영 시스템 >      <현장제어 데이터 전송 시스템 아키텍처>



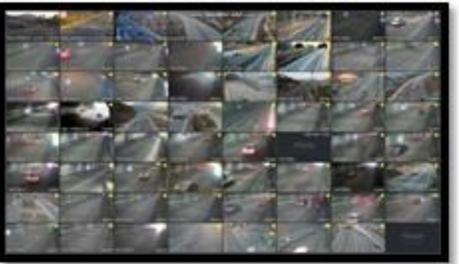
<신호등-인프라 연계 검증 서비스>



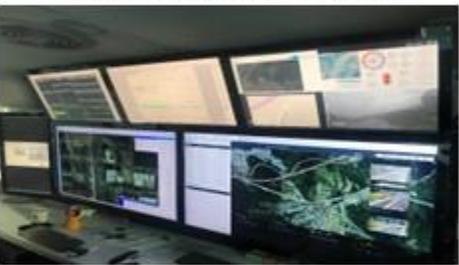
<C-ITS 인프라 연계 검증 서비스>

2

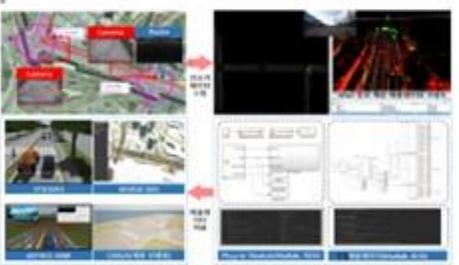
# C-ITS 인프라 환경 구성 - 주행 시험장 내 인프라 구성



<주행 모니터링용 CCTV 120대>



<관제센터(고정, 이동형)>



<디지털 트윈기반검증시스템>



<주행 데이터 수집 시스템>

## Test Case 1 - 합류로 분기로

This section illustrates the infrastructure for a merging road into a diverging road. It includes:

- Map view showing the road layout and sensor locations.
- Close-up views of the road and sensor placement.
- Simulation of vehicle movement through the intersection.

## Test Case 2 - 신호 현시 정보 제공

This section illustrates the infrastructure for providing signal information. It includes:

- Map view showing the road layout and sensor locations.
- Diagram of signal information provision to vehicles.
- Flowchart of the data processing and communication system.

2

# C-ITS 인프라 환경 구성 - 주행 시험장 내 인프라 구성

자차 개발 관제 시스템

### SIGNAL INFORMATION

JUNCTION OBU RSU

OBUS

70	INFO	RX	TX
83	INFO	RX	TX
62	INFO	RX	
63	INFO	RX	
80	INFO	RX	
81	INFO	RX	TX
82	INFO	RX	
84	INFO	RX	TX
85	INFO	RX	TX
86	INFO	RX	
117	INFO		
119	INFO		
120	INFO		
121	INFO		
122	INFO		
125	INFO		
126	INFO		
127	INFO		
128	INFO		
129	INFO		
130	INFO		
134	INFO		
135	INFO		
137	INFO		
138	INFO		

Current Time 02:28 29:26.8 ms

Fetch Time 02:28 29:25.0 ms

Fetch Status Receiving Device List

Network - SPAT (293)

Network - DEVICE (144)

Network - RX (111)

Network - TX (158)

NETWORK TEST

RX count: 129 / size: 1860

TX count: 15 / size: 1860

OBUS 81

Id	81 true
Type	1
Latitude	35.6521158
Longitude	128.4059895
Heading	25503 / 318.79°
Speed	0
StatusFlag	0
Tracking	<input checked="" type="checkbox"/> true
Visible	<input checked="" type="checkbox"/> true

RX / 02:28 29:20.6

Total Count	V2V	V2I	I2V
129	77	0	52
Total Size	V2V	V2I	I2V
14460	7700	0	6760

TX (6)

30001 / RSU / 02:28 29:19.2

Total Count	V2V	V2I	I2V
4	0	0	4
Total Size	V2V	V2I	I2V
520	0	0	520

105 / OBU / 02:28 29:19.2

Total Count	V2V	V2I	I2V
1	1	0	0
Total Size	V2V	V2I	I2V
100	100	0	0

30006 / RSU / 02:28 29:19.2

Total Count	V2V	V2I	I2V
4	0	0	4
Total Size	V2V	V2I	I2V
520	0	0	520

30010 / RSU / 02:28 29:19.2

Total Count	V2V	V2I	I2V
4	0	0	4
Total Size	V2V	V2I	I2V
520	0	0	520

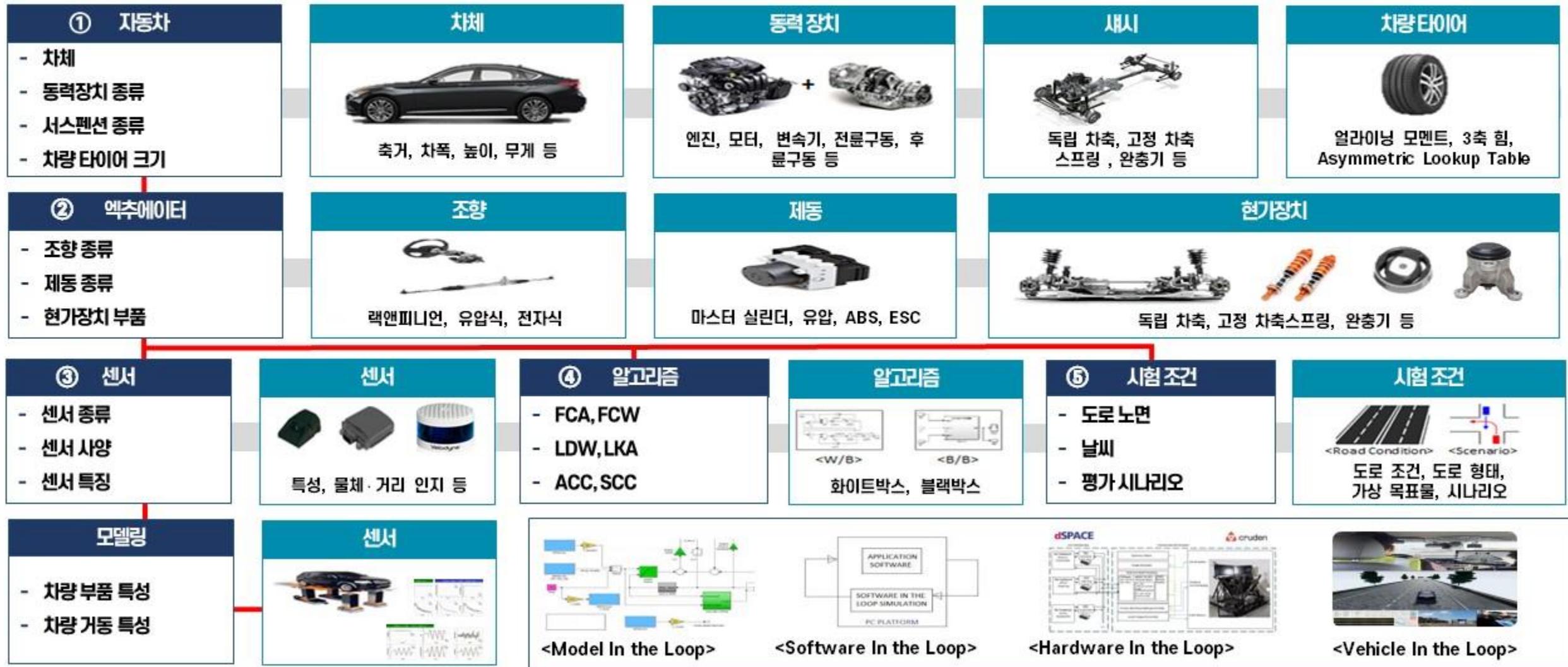
106 / OBU / 02:28 29:19.2

Total Count	V2V	V2I	I2V
1	1	0	0
Total Size	V2V	V2I	I2V

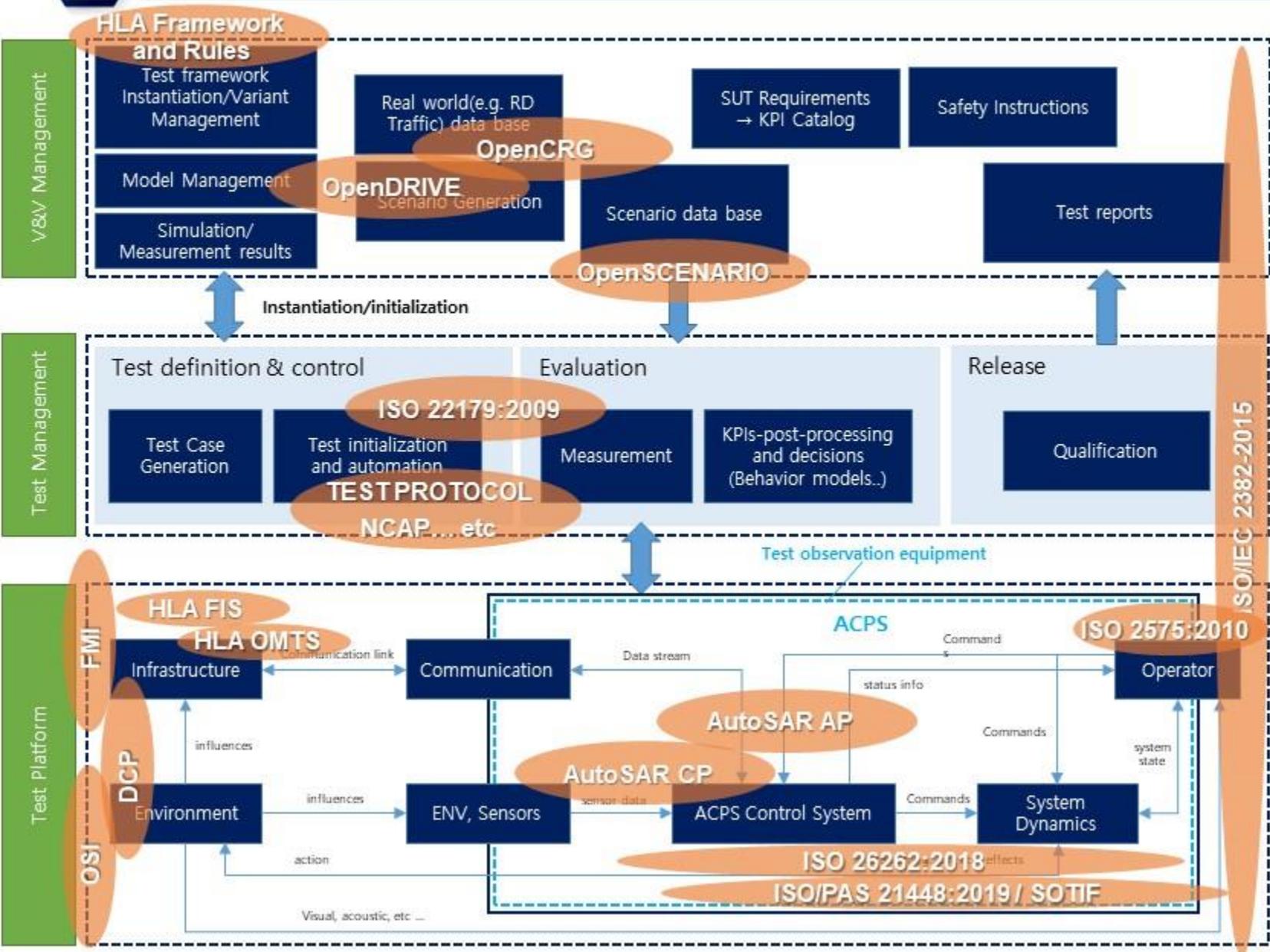


# 3 C-ITS 연계 시뮬레이션 환경 구성 - 현실 데이터 변환을 위한 데이터 변환

## 차량모델링 요소



### 3 C-ITS 연계 시뮬레이션 환경 구성 - 현실 데이터 변환을 위한 데이터 변환



- ISO 22179:2009 - Intelligent transport systems – Full speed range adaptive cruise control (FSRA) systems - Performance requirements and test procedures
- ISO 2575:2010 - Road vehicles - Symbols for controls, indicators and tell-tales
- ISO/IEC 2382:2015 - Information technology – Vocabulary
- ISO/PAS 21448:2019 / SOTIF - Safety of the Intended Functionality
- ISO 26262:2018 - Road vehicles – Functional safety
- OpenDRIVE- ASAM Open DRIVE - Open Dynamic Road Information for Vehicle Environment
- OpenSCENARIO - ASAM OpenSCENARIO
- OpenCRG - ASAM OpenCRG - Open Curved Regular Grid
- AutoSAR CP - AutoSAR Classic Platform
- AutoSAR AP - AutoSAR Adaptive Platform
- FMI - Functional Mockup Interface
- OSI – OpenSimulationInterface
- DCP - Distributed Co-Simulation Protocol
- TEST PROTOCOL - euro-ncap-protocol
- HLA Framework and Rules - IEEE Std 1516-2010 Framework and Rules
- HLA FIS - IEEE Std 1516.1-2010 Federate Interface Specification
- HLA OMTS - IEEE Std 1516.2-2010 Object Model Template Specification

# 3 C-ITS 연계 시뮬레이션 환경 구성 - 시뮬레이션 변환 적용(Dspace ASM)

	기존 시뮬레이터	장점	단점
1	로그(Log) 시뮬레이션: 실제 주행 데이터를 개발된 시뮬레이터에 그대로 집어 넣는 방법	(비정형 데이터) 실제 센서에서 수집된 인지 정보를 통해 차량이 제어되는 시점까지의 실제 상호작용의 데이터가 포함됨	(페루프 제어 불가) 기록된 장면과 데이터를 재생하기 때문에 차량의 행동을 변경하지 못함
2	가상 시뮬레이션: 비디오 게임처럼 만들어진 환경에서 가상의 데이터를 생성하는 방법	(페루프 제어 가능) 주변 차량의 행동에 따른 차량의 대응 여부를 확인할 수 있음	(정형 데이터)가상의 센서와 차량모델을 통해 수집되는 데이터 실제 차량의 비선형성, 비정형성 데이터를 모사하지 못함



**주행 시험장 기반 Vehicle in the Loop System 개발 개요도**

**주행 시험장 기반 Vehicle in the Loop System 환경**

**실제 인프라 및 시뮬레이션 연동**

**모델 기반 자율주행 알고리즘 개발**

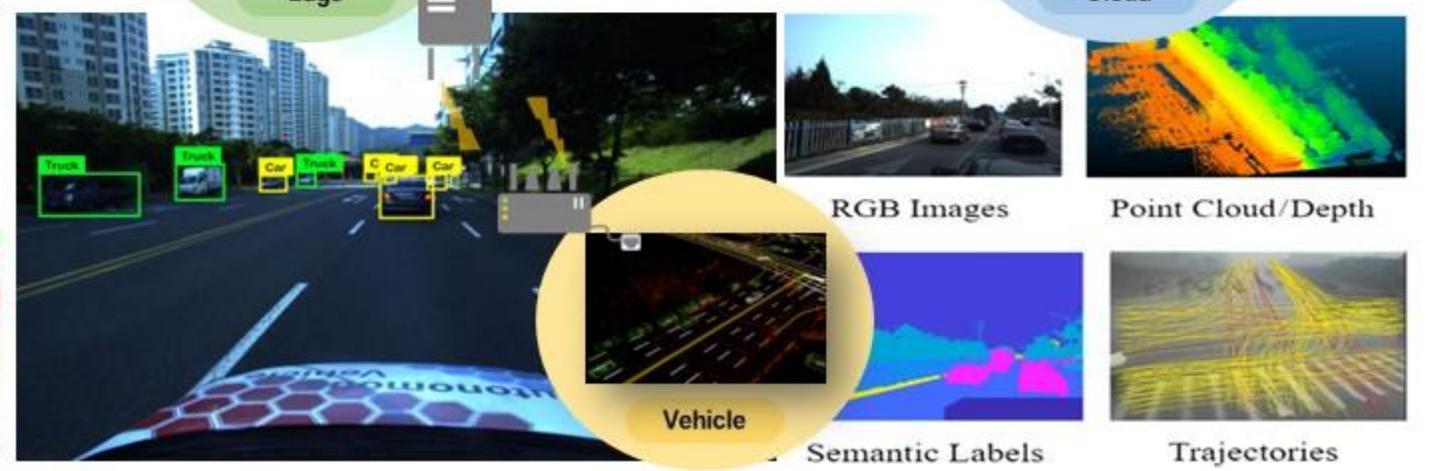
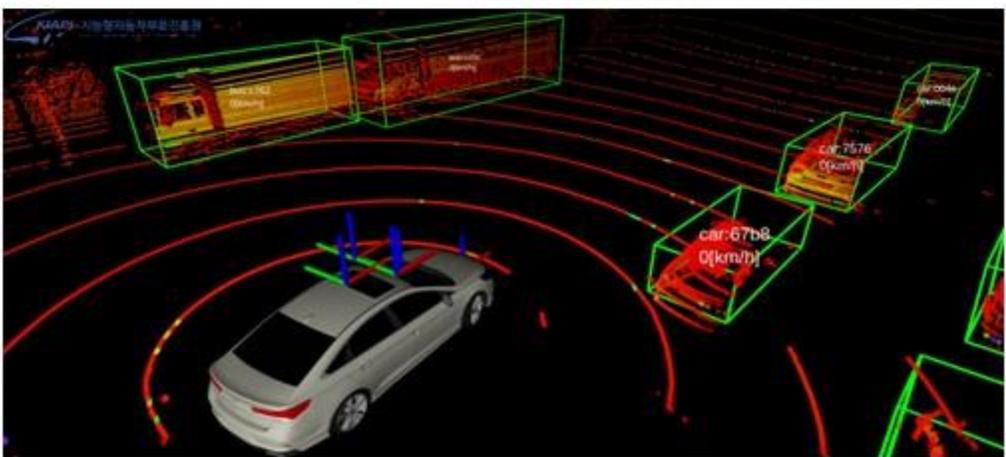
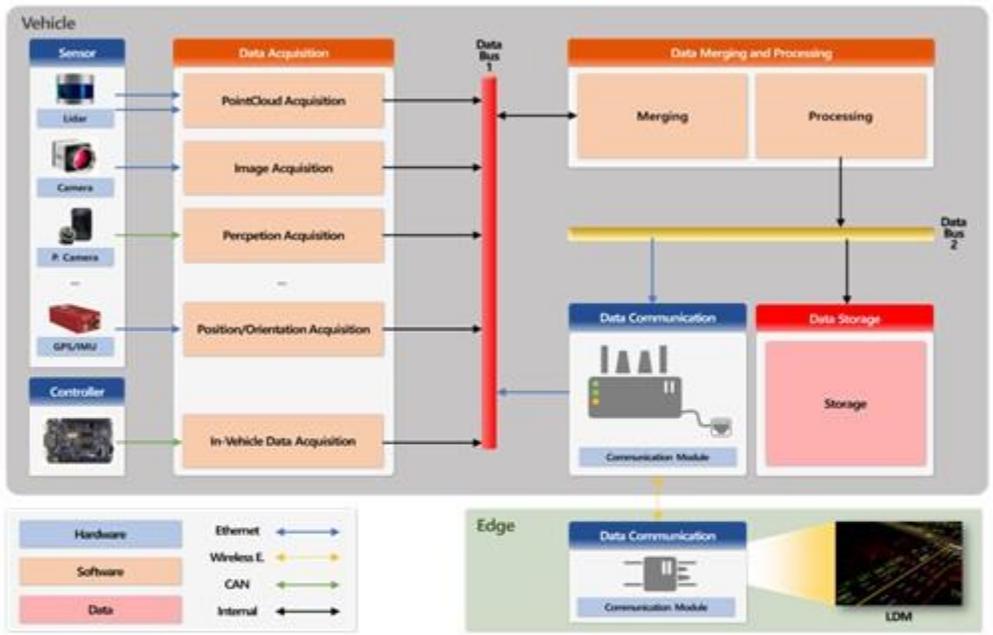
**V2X 데이터 인프라 데이터 연계 기술 개발**

**실제 차량 VCU 시뮬레이션 연계 기술 개발**

4

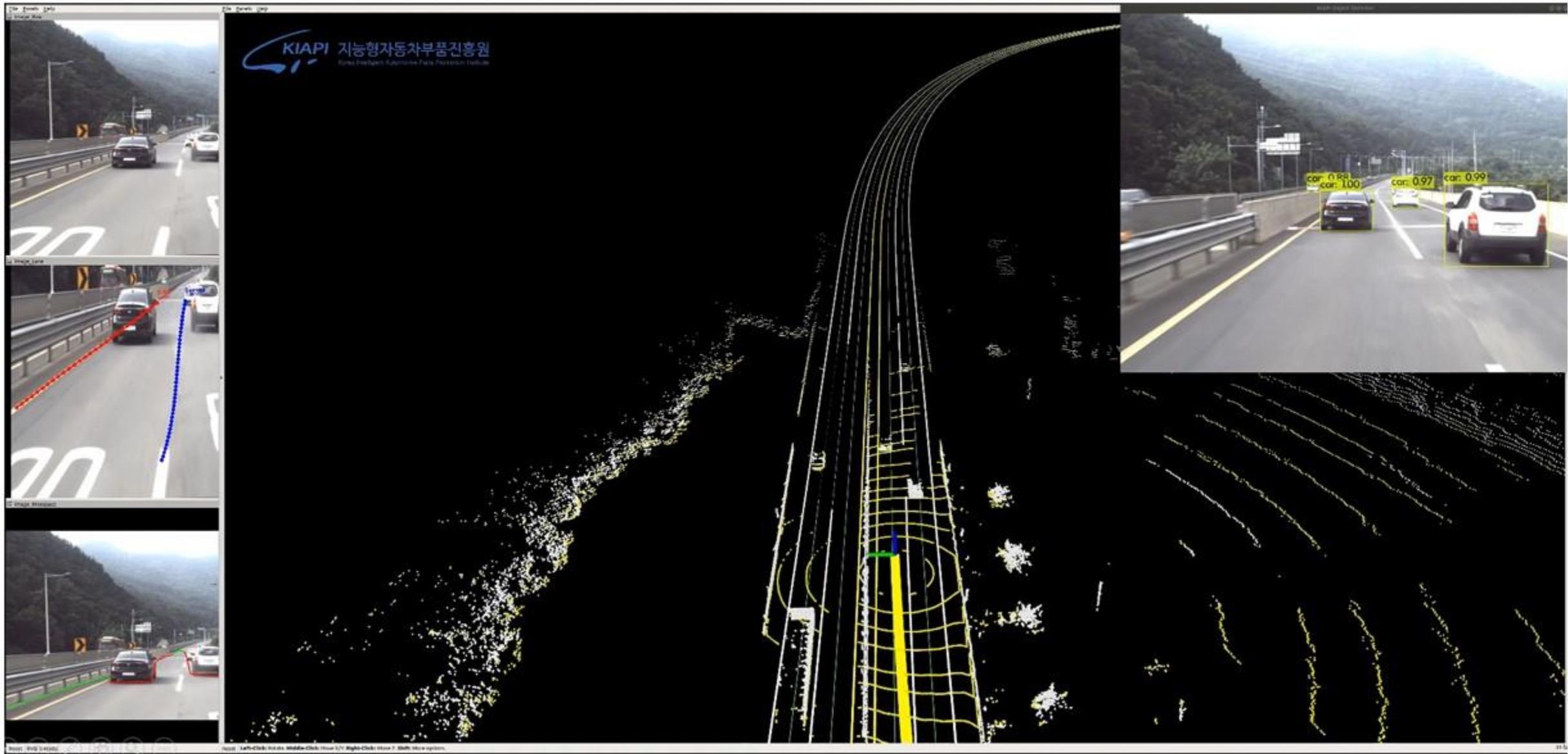
# C-ITS 연계 자율주행차량 구성

## SAE J 2735, SENSORIS 데이터 교환 방식 분석을 통한 C-ITS 전송 메시지 표준 개발



4

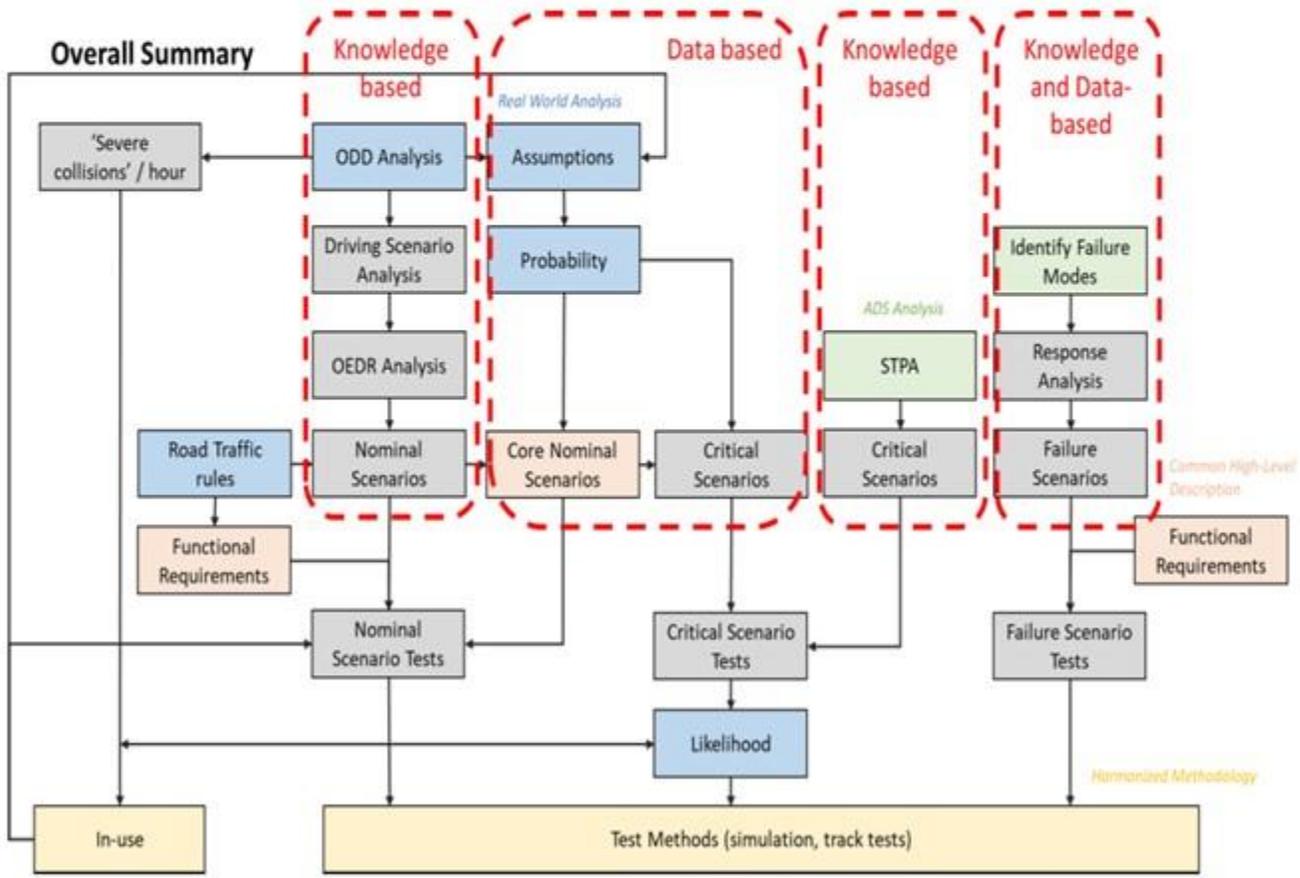
# C-ITS 연계 자율주행차량 구성 - 실도로 테스트



5

# CAV 적용을 위한 검증 방안 도출

- 자율주행의 안전도평가를 위해 실제 수집된 데이터와 전문가 지식 기반의 분석을 통해 시나리오를 도출하고, 자율주행의 항목별 안전기준에 적합성을 평가 필요 (Implementing regulation-C(2022)5402 PART 2)



완전 자율주행을 위한 형식 승인  
(Commission Implementing Regulation)

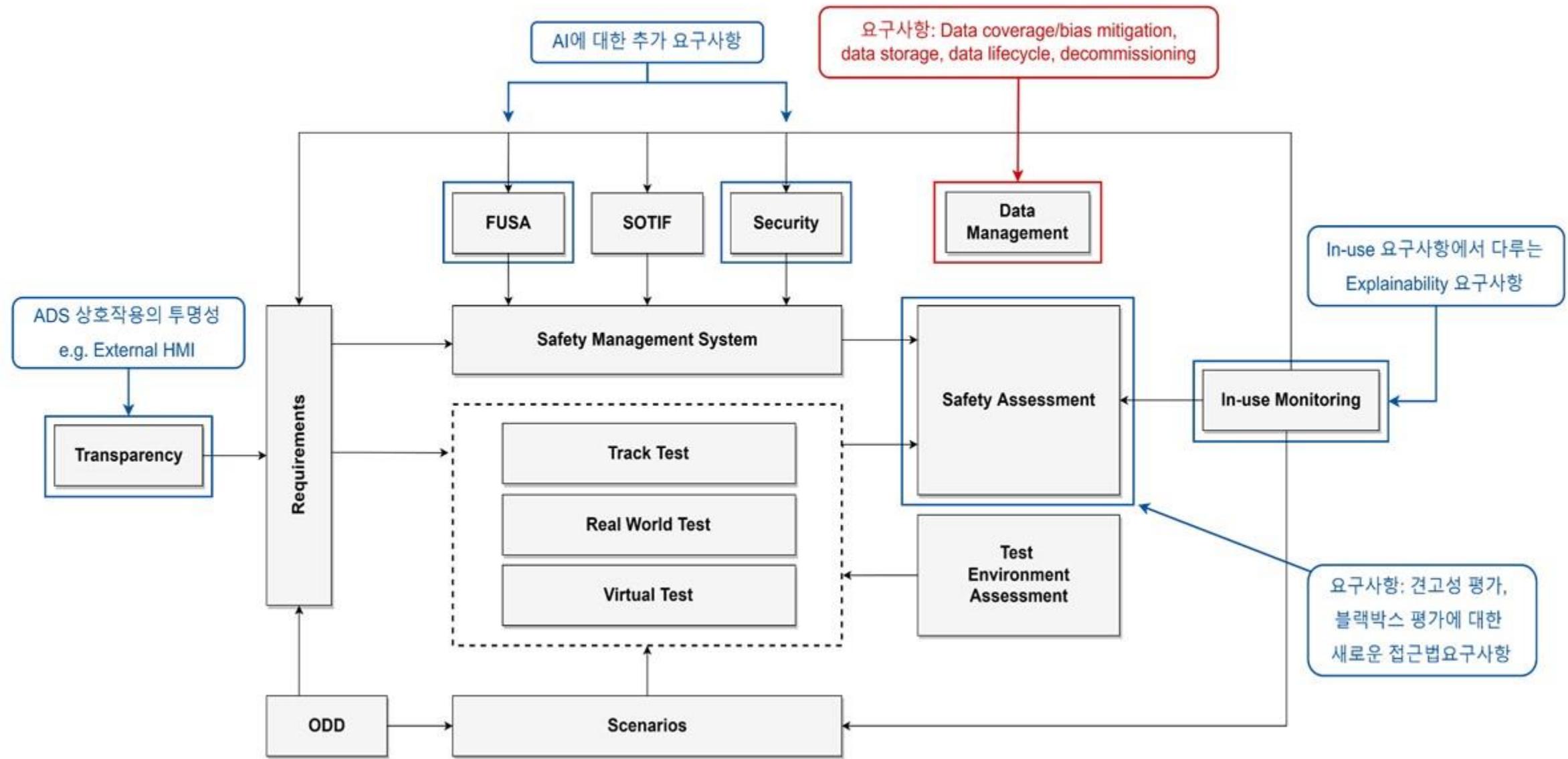
	인용문칙	합동 평가	시험장	실도로
1	가능및안전예고경정락이동화관섭등	X		
2	안전단계(OEDR, 비상운전)	X	X	X
3	운행실제영역은행법위헌제인지	X		X
4	교통적용상태(OEDR, 교통법적합성)	X		X
5	운전자에의한운행법위헌제인지	X	X	X
6	자동차에의한운행법위헌제인지(운전자, 운전자, 운전자)	X	X	X
7	운전자에의한운행법위헌제(운행법위헌제)	X	X	X
8	자동차에의한운행법위헌제(운행법위헌제)	X		
9	안전인용사용종인인전사합및검증등	X	X	X
10	데이터기록	X		
11	보안	X		
12	현재안전업규의수용인전사합및고전적안전근거를계속유지(업규업제이필요)			
13	운전자교육	X		

참조: Commission Implementing Regulation (EU) 발해 - 완전 자율주행을 위한 형식 승인 자료(draft)

자율주행 안전도 평가를 위한  
항목별 적용 가능 영역

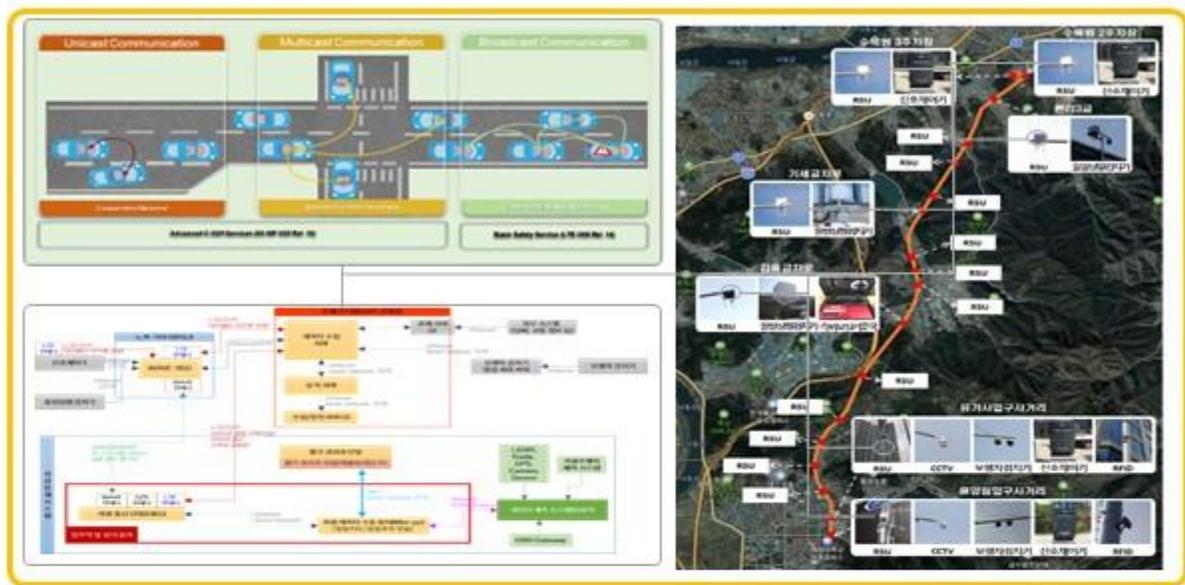
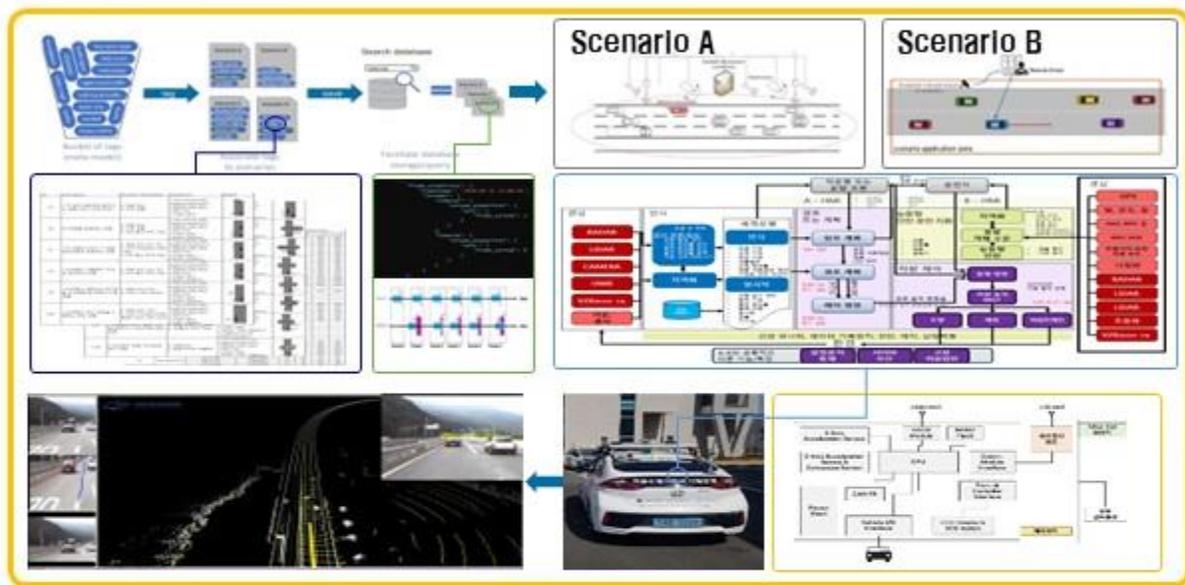
5

# CAV 적용을 위한 검증 방안 도출

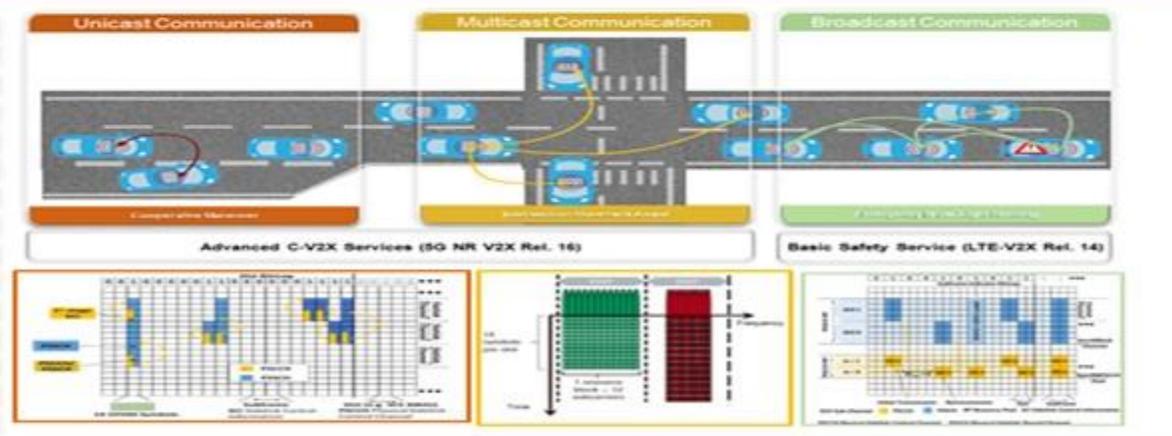


5

# CAV 적용을 위한 검증 방안 도출



- Broadcast transmission service w/o network subscription
- Direct PC5 and mobile network Uu communication
- Operation in licensed-exempt ITS 5.9GHz frequency spectrum
- Semi-persistent scheduling yields spectral efficiency
- Transmit diversity
- Support of 64QAM for higher data rate
- Reduce max. time from 20 ms to 10 ms
- Aggregation of up to 8 PC5 carriers [TM3 & TM4]
- Flexible numerology
- Operates Multiple Input Multiple Output transmission
- Distance based Hybrid Automatic Repeat Request (HARQ)
- V2X communication in FR1 and FR2
- Power Saving
- Sidelink Relay
- Higher reliability, lower latency

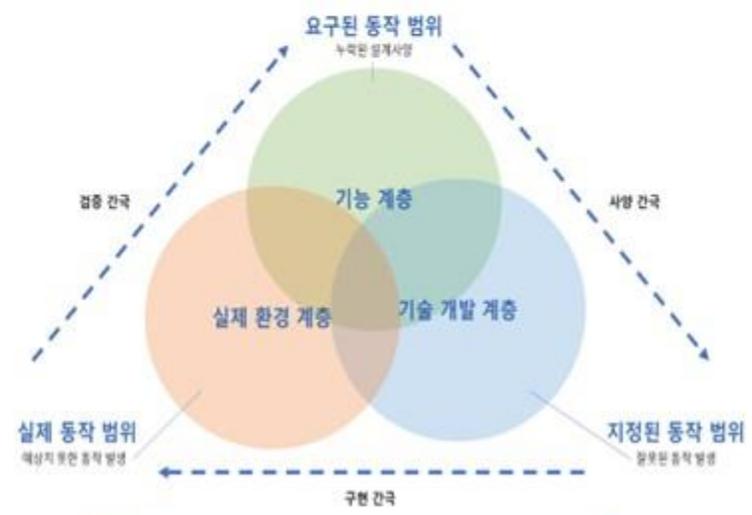


6

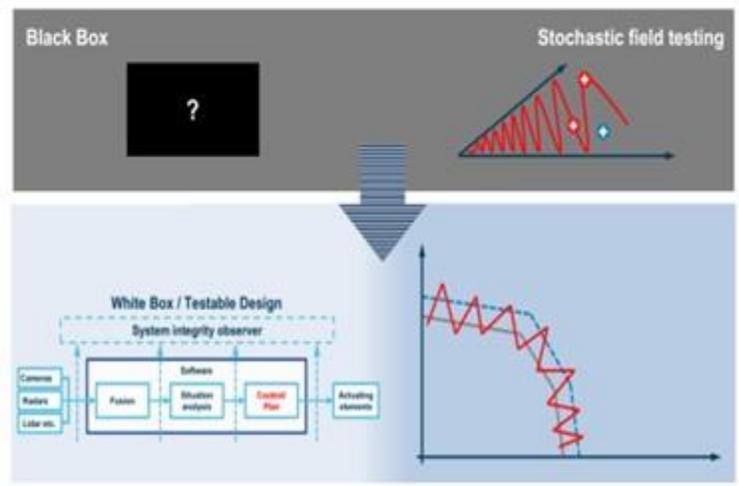
결론

자율주행 기술을 구현하게 되면서 발생하는 간극과 돌발상황을 최소화 하기 위해서는 평가 기술이 매우 중요

- 자율주행 차량을 개발하면서 차량의 설계, 구현, 동작 단계에서 모든 상황을 반영하지 못해 발생하는 간극이 발생하게 됨
- 이러한 간극으로 인해 자율주행 차량이 운행하면서 예기치 못한 동작이나, 잘못된 동작이 발생할 수 있음
- 따라서 돌발상황이 발생할 경우 대응할 수 있도록 검증 방안을 도출 하는 것이 매우 중요함
- 자율주행을 개발하며 고려해야할 3계층을 모두 고려하기 위해서는 자율주행을 위해 확장된 V-Cycle을 고려하여 설계, 개발, 실증을 진행 하여 실제 동작 범위에서 요구 설계 사항을 명확히 도출하고 이를 바탕으로 지정된 동작이 되도록 개발해야 함



실제 환경에서 자율주행 구현을 위한 3계층



실제 환경에서 고려해야하는 돌발상황에 대한 대응의 필요성



자율주행을 위해 확장된 V-Cycle

# 감사합니다