

< 응용 논문 >

PreScan을 활용한 실차 실험 기반의 AEB 작동 시뮬레이션에 관한 연구

김종혁\* · 한현서 · 김송희 · 최지훈 · 박종진 · 박하선

국립과학수사연구원 교통과

A Study on the AEB Operation Simulation Using PreScan  
Based on the Vehicle Test

Jonghyuk Kim\* · Hyunseo Han · Songhui Kim · Jihun Choi · Jongjin Park · Hasun Park

Traffic Accident Analysis Division, National Forensic Service, 10 Ipchun-ro, Wonju-si, Gangwon 26460, Korea

(Received 22 November 2021 / Revised 23 December 2021 / Accepted 24 December 2021)

**Abstract** : AEB(Autonomous Emergency Braking), a representative function of ADAS(Advanced Driver Assistance System), is an active safety system that automatically operates a brake in an emergency to avoid or mitigate collisions with other vehicles or pedestrians. In Korea, laws that will make it mandatory for passenger vehicles to be installed with such safety devices by 2022 are soon to be implemented. And, as the use of AEB-equipped vehicles continues to increase, the demand for accident analysis reports related to the AEB function is expected to grow as well. Therefore, in this study, an AEB operation experiment was performed to understand the operational characteristics of the AEB. The AEB operation sequence was obtained through the experiment, and was applied to PreScan, an ADAS simulation program. By comparing the experimental and simulation results, the accuracy and the reliability of the AEB operation simulation based on actual vehicle test data were verified. Through this series of processes, accident reconstruction simulation can be secured based on the analysis of AEB-related traffic accidents.

**Key words** : ADAS(첨단운전자지원시스템), AEB(긴급제동장치), FCW(전방충돌경고장치), PreScan(ADAS 시뮬레이션 프로그램), Traffic accident analysis(교통사고분석), Accident reconstruction(사고 재구성)

1. 서론

최근 운전자의 편의와 안전 성능을 향상시키기 위한 목적으로 첨단 운전자 지원 시스템(ADAS, Advanced Driver Assistance System)이 장착된 차량이 널리 보급되고 있으며, ADAS 기능들의 조합으로 향후 자율주행 기능을 구현될 것으로 전망되고 있다.<sup>1)</sup> ADAS 기능에는 AEB (Autonomous Emergency Braking), LKAS(Lane Keeping Assist System), ACC(Adaptive Cruise Control), BSD(Blind Spot Detection) 등 여러 기능들이 있지만 그 중 차량 결함 여부, 운전자 과실 여부 및 사고 회피 가능성 등 교통사고 분석과 가장 밀접한 관계가 있으면서 ADAS를 대표하는 기능은 긴급제동장치인 AEB이다. AEB는 긴급 시 자동으로 제동 장치를 작동하여 다른 차량 또는 보행자

등과의 충돌을 회피하거나 경감시키는 능동 안전 시스템이며, 운전자가 주행 중 전방의 위험 상황을 인지하지 못하거나 대응할 수 없는 상황일 경우에 차량 시스템이 위험 상황을 인지하고, 제동을 발생시켜야하는 상황이라고 판단하게 되면 차량의 제동 시스템을 제어하여 제동력을 발생시킨다.

ADAS 센서로는 레이더, 카메라, 라이다, 초음파 등의 다양한 센서들이 있으나, AEB 기능은 주로 레이더와 카메라에 의해 구현되며, 각각의 센서가 지니는 장점과 단점을 서로 보완하기 위해 센서퓨전을 통해 동작하는 것으로 알려져 있다. 미국 고속도로안전보험협회인 IIHS (The Insurance Institute for Highway Safety)에서는 최근 몇 년 동안 미국 내에서 발생한 교통사고 데이터를 분석하

\*Corresponding author, E-mail: [jhkim11@korea.kr](mailto:jhkim11@korea.kr)

<sup>1)</sup>This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.

였으며, 대형 트럭의 후방 추돌 사고에서 FCW(Forward Collision Warning)와 AEB가 장착된 차량이 사고 발생률을 약 41 % 정도 감소시키는 효과가 있는 것으로 보고하였으며,<sup>2)</sup> Fildes 등<sup>3)</sup>은 사고 발생률을 약 38 % 정도 감소시키는 효과가 있는 것으로 보고하였다. 이러한 사고 발생률 감소 효과에 따라 미국에서는 도로교통안전국(NHTSA)의 안전기능 강화 권고를 통해 AEB의 CIB(Collision Imminent Braking), DBS(Dynamic Brake System)의 적용을 권고하고 있으며, IIHS는 매년 ‘가장 안전한 차(Top safety pick)’를 선정하는데 있어 AEB 기능을 적용한 차량에 높은 점수를 주고 있다. 유럽에서는 2013년도부터 AEB 기능을 상용차에 의무 장착하는 것을 법규화하였으며, 2014년부터 승용차가 Euro-NCAP(안전평가 기준)의 최고 인증을 받기 위해서는 반드시 AEB 시스템을 탑재하도록 규정하고 있다. 우리나라의 경우, 2017년도부터 11 m 이상의 승합차량과 20 ton 초과 대형 상용차에 의무 장착하도록 법규가 만들어졌으며, 2022년도부터는 승용차량에도 의무적으로 장착하도록 하는 법규가 추진 중에 있다. 따라서 ADAS의 대표적인 기능인 AEB 기능이 장착된 차량의 보급화가 지속적으로 증가할 것이라 예상되며, 향후 AEB 기능과 관련된 사고에 대해 분석 수요가 증가할 것으로 사료된다. AEB와 관련된 연구는 국내외에서 활발하게 진행되고 있는 실정이며, AEB 작동 실험 및 시뮬레이션에 관한 연구 또한 다양한 관점에서 진행되고 있다.

최용순 등<sup>4)</sup>은 교통사고 분석 프로그램인 PC-Crash에서 AEB 작동 알고리즘을 구현하여 레이더 감지 각도에 따른 충돌 회피 여부를 연구하였다. 이정은 등<sup>5)</sup>은 커브 곡선 구간에서 AEB의 성능을 향상시키기 위한 방법을 제안하였으며, PreScan과 Matlab/Simulink를 이용하여 제안한 방법을 검증하였다. Bours 등<sup>6)</sup>은 PreScan과 Matlab/Simulink를 이용하여 HIL(Hardware-in-loop) 테스트와 Simulation을 결합한 형태의 AEB 개발 방법을 제안하였다. 조 홍 등<sup>7)</sup>은 PreScan과 Carsim 그리고 Matlab/Simulink를 이용하여 V2V 커뮤니케이션 환경에서 AEB의 활용성을 분석하였다. 또한 장현익 등<sup>8)</sup>은 AEB의 안전성 평가를 위해 IMU, DAQ, DGPS 등의 계측 시스템을 구축하였고, AEB의 안정성을 평가할 수 있는 방법을 제안하였다.

반면 기존 AEB 관련 연구는 대부분 AEB 시스템 개발과 평가를 위한 연구가 주를 이루고 있으며, AEB와 관련된 사고 분석 및 사고 재현 시뮬레이션에 관한 연구는 미진한 실정이다. AEB 기능이 작동하더라도 ADAS 작동 알고리즘의 기능적인 또는 성능적인 한계, 운전자의 과실에 의해서 사고가 발생할 수 있으며, 사고 발생원인 및 AEB 작동 여부 등에 대한 명확한 분석을 위해서는 AEB

에 대한 시뮬레이션 기법이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 AEB 작동 특성을 파악하기 위해 AEB 작동 실험을 수행하였으며, 실험을 통해 얻은 AEB 작동 시퀀스와 실차의 레이더 센서 특성을 ADAS 시뮬레이션 프로그램인 PreScan에 적용하고, 실험 결과와 시뮬레이션 결과를 서로 비교, 검토함으로써 교통사고 분석에 활용할 목적으로 실차 실험 데이터에 기반한 AEB 작동 시뮬레이션 기법을 구축하고자 한다.

## 2. 긴급제동장치 작동 메커니즘

Fig. 1은 현대자동차의 정비메뉴얼에서 나타나 있는 AEB 작동 시 주요 부품 간의 관계도를 나타낸 것으로 AEB 기능은 차량의 앞범퍼 안쪽 중앙 부분 또는 중앙 하단 부분에 장착되어 있는 레이더와 전면 유리 중앙 상단 부분에 장착되어 있는 카메라 간의 센서퓨전을 통해 차량 전방에 있는 대상 물체(자동차, 보행자, 자전거 등)를 인지하고, 차량의 속도와 조향각도, Yaw rate를 측정하여 AEB 작동을 판단한 후, 자세 제어 장치인 ESC(Electronic Stability Control)에서 각 바퀴에 장착되어 있는 브레이크 캘리퍼로 유압을 전달하여 제동력을 발생시키고, TCU(Transmission Control Unit)로 엔진 동력을 제한하는 신호를 주게 된다. 또한 차량 계기판에서 AEB의 기능을 켜고 끌 수 있으며, 운전자에게 경고를 주는 FCW(Forward Collision Warning) 시점을 2단계(Fast/Normal) 또는 3단계(Fast/Normal/Slow)로 조정할 수 있다. AEB 기능 작동 시 제동등이 점등되어 후방에서 주행 중인 차량에게도 경고를 주도록 설계되어 있다.

AEB가 작동하게 되면 먼저 FCW가 작동하여 운전자에게 시각적, 청각적으로 전방에 위험 상황이 있음을 알린다. 이후 부분 제동(Partial braking)이 작동되면서 약 0.2 g 정도의 감속도가 발생하고, 완전 제동(Full braking)이 작동되면서 약 1.0 g 정도의 감속도가 발생하게 되면

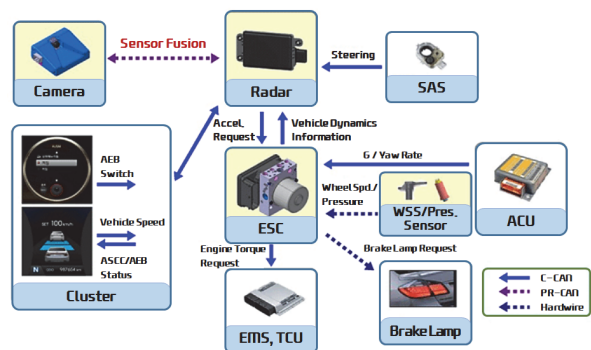


Fig. 1 Relationship diagram between major parts during AEB operation(HMC)

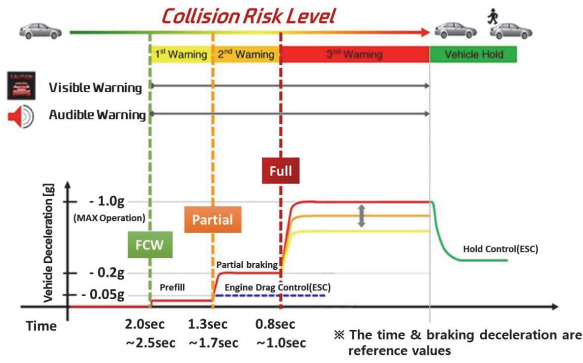


Fig. 2 AEB operation sequence(HMC)

서 차량이 완전히 정지하게 된다. 각 시퀀스의 작동 시점은 단순한 작동 시간(Operating time) 기준이 아닌 TTC (Time to Collision, 충돌 소요 시간) 기준이며, TTC를 계산하기 위한 수식은 아래와 같다.

$$TTC(sec) = \frac{\text{상대거리}(m)}{\text{상대속도}(m/sec)} \quad (1)$$

현대자동차의 정비매뉴얼을 참고해보면 Fig. 2와 같이 AEB 작동 시퀀스를 나타내고 있으며, TTC 기준 FCW가 작동되는 시점은 2.0~2.5초이고, 부분 제동이 작동되는 시점은 1.3~1.7초, 완전 제동이 작동되는 시점은 0.8~1.0초로 표기되어 있다. 반면 시간 및 제동 감속도는 단순 참고 수치라고도 명기되어 있다. 따라서 정비매뉴얼 상에 나와 있는 AEB 작동 시퀀스를 AEB에 대한 교통사고 분석 시 그대로 적용하면 실제 사고 상황과 일치하지 않을 수 있다.

### 3. 긴급제동장치 작동 실험

#### 3.1 실험조건(EuroNCAP AEB Test)

본 연구에서는 AEB의 가장 기본적인 작동방식을 파악하기 위해 Euro NCAP의 AEB C2C Test protocol에서 CCRs(Car-to-Car Rear stationary)를 진행하였다.<sup>9)</sup> CCRs는 Fig. 3과 같이 평가하고자 하는 차량의 전방에 GVT(Global Vehicle Target)을 정차시킨 뒤 실험차량인 VUT(Vehicle Under Test)가 GVT의 후방을 향해 주행하면서 AEB를 평가하는 항목이다. CCRs에서 평가하는 속도의 범위는 10-80 km/h 이며 오버랩(Overlap)의 범위는 -50%에서 50%까지다. 오버랩은 아래 Fig. 4와 같이 GVT와 VUT의 폭이 얼마나 중복되는가를 의미한다. GVT와 VUT의 중심선이 완전히 일치하면 100% 오버랩이며 VUT의 중심선이 GVT의 좌측에 있을 경우 부호는 ‘-’가 되며, 반대로 VUT의 중심선이 GVT의 우측에 있을 경우는 ‘+’오

#### 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.

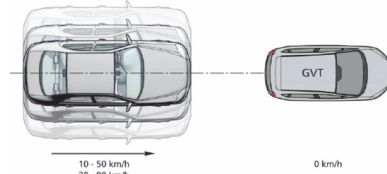


Figure 3-1: CCRs scenario

	AEB + FCW combined		AEB only	FCW only
	AEB	FCW		
AEB CCRs	10-50 km/h -50%~50%	30-80 km/h -50%~50%	10-80 km/h -50%~50%	30-80 km/h -50%~50%

Fig. 3 AEB CCRs test scenario in euro NCAP

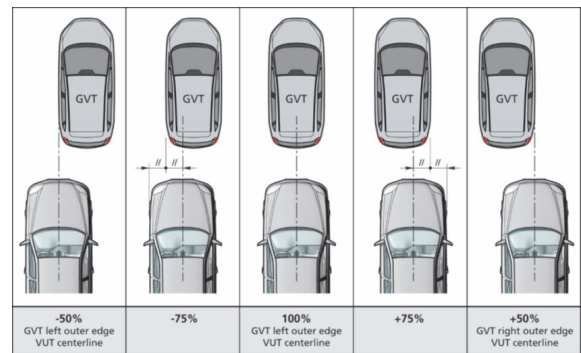


Fig. 4 Overlap test criteria

버랩이다. 평가 시에는 속도를 5 km/h 간격으로 증가하며, 오버랩은 25% 단위로 조정한다.

#### 3.2 실험환경

AEB 실험은 지능형자동차부품진흥원(KIAPI) 내 PG (Proving Ground)에서 수행하였다. 본 AEB 실험은 Fig. 5와 같이 PG 내 범용로에서 실시하였으며, 범용로의 규격은 길이 657 m × 폭 70 m의 직사각형 형태로 구성되어 있다. AEB의 CCRs 실험을 위해서는 차량이 목표속도에 도달할 수 있도록 충분히 여유 있는 길이의 도로가 필요



Fig. 5 AEB test environment of KIAPI



하고, 속도, 가속도 등 차량 관련 정보를 취득하기 위해서는 DGPS/IMU 장비를 필요로 하는데 해당 범용로는 송수신에 방해가 되지 않는 넓은 개활지를 갖추고 있다.

### 3.3 실험 차량 및 장비

#### 3.3.1 실험차량

본 연구에서는 실험차량으로 대중성과 판매량을 고려하여 쏘렌토 2021년식을 선정하였으며, AEB 실험을 위한 셋팅 모습은 Fig. 6과 같다.



Fig. 6 Setup test vehicle

#### 3.3.2 GVT

EuroNCAP 인증 타겟인 GVT(Global Vehicle Target)은 Fig. 7에 나타낸 바와 같으며, GST(Guided Soft Target)라고도 불린다. GVT는 레이더, 라이다 등의 ADAS 센서를 통해 감지될 수 있고, GPS 위성 수신을 방해하지 않는 재질로 구성되어 있으며, 중량은 327 kg으로 실험차량과의 충돌 시 실험차량의 손상을 줄이기 위해 모듈화된 폼(Foam) 구조물이 서로 부직포로 연결되어 있어 충돌 시 GVT가 비산되도록 설계되어 있다.<sup>10)</sup>

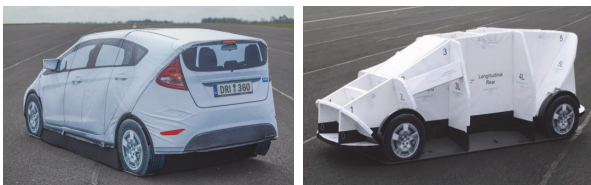


Fig. 7 GVT(Global vehicle target)

#### 3.3.3 조향 및 가속·제동 페달 로봇

EuroNCAP AEB 실험 기준을 충족하기 위해서는 실험 차량과 GVT 간의 오버랩을 정확히 맞추어야 하며, 실험 차량의 속도 또한 계기판에 표시되는 속도 기준이 아닌 실제 속도인 GPS 기반의 속도를 따라야 한다. 이러한 조건을 충족하면서 EuroNCAP 인증 장비인 ABDynamics에서 제조, 판매되고 있는 조향 로봇과 가속·제동 페달 로봇을 실험차량에 Fig. 8에 나타낸 바와 같이 각각 설치하였다.



Fig. 8 Steering robot(SR60, ABDynamics) & accel./brake pedal robot(CBAR600, ABDynamics)

#### 3.3.4 DGPS/IMU

인공위성으로부터 지상의 GPS 수신기로 송신되는 정보는 오차를 지니고 있으며, 서로 가까운 거리에 두 개의 수신기가 있을 경우에는 서로 비슷한 오차를 갖게 된다. DGPS(Differential Global Positioning System)는 두 개의 수신기가 갖는 공통 오차를 서로 상쇄시킴으로써 하나의 수신기 보다 더 정밀한 GPS 데이터를 얻을 수 있는 기술이다. IMU(Inertial Measurement Unit)는 이동물체의 속도와 방향, 중력, 가속도를 측정하는 장치로 DGPS와 함께 연동되어 실험차량의 위치, 속도, 가속도 등에 대한 정확한 데이터를 측정할 수 있다. 본 실험에서는 EuroNCAP 인증 장비인 Oxford Technical Solution사의 RT3002를 사용하였다. 실험차량에 설치된 DGPS/IMU 장비의 모습은 Fig. 9에 나타내었다.



Fig. 9 DGPS/IMU(RT3002, Oxford Technical Solution Co.)



### 3.3.5 자료수집장치(DAQ)

GVT, 조향 및 가속·제동 페달 로봇, DGPS/IMU 등의 여러 장비들로부터 취득 가능한 실험 데이터들을 자료 수집장치(DAQ, Data Acquisition)를 통해 취득하였으며, 자율주행 및 ADAS 실험에 주로 활용되고 있는 Dewetron 사의 SIRIUS 장비를 사용하였고, 실험차량에 설치된 DAQ 모습은 Fig. 10과 같다.

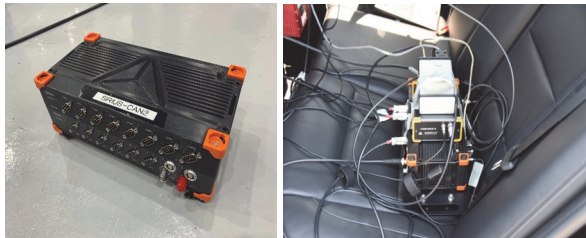


Fig. 10 DAQ(SIRIUS, Dewetron Co.)

### 3.4 실험결과

#### 3.4.1 차량 데이터 취득

실험차량에 설치된 DAQ 장비로부터 차량의 속도, 감속도, 브레이크 램프 신호, 카메라 영상들에 대한 데이터를 동기화하여 취득하였으며, 그에 따른 DEWE Software 화면을 Fig. 11에 나타낸 바와 같이 구성하였다. 우선 실험차량의 전방 상황을 촬영한 카메라 영상과 계기판 및 페달 림을 촬영한 영상을 각각 나타내었으며, FCW 작동 시 발생하는 경고음을 시각화한 그래프를 나타내었다. 실험차량과 GVT에 각각 DGPS/IMU 장비가 장착되어 있어 실험차량과 GVT 간의 상대거리 및 상대속도를 측정하여 TTC를 계산하였으며, TTC와 실험차량의 속도를 그래프로 나타내었다. 또한 실험차량의 감속도와 제동 등 신호 또한 그래프로 각각 나타내었다. 위 측정 데이터들을 토대로 AEB 작동 시퀀스에 해당되는 FCW, 부분제동, 완전제동이 각각 TTC 기준 어느 시점에 작동되었는지를 분석하였으며, FCW와 AEB가 정상 작동하였는지,

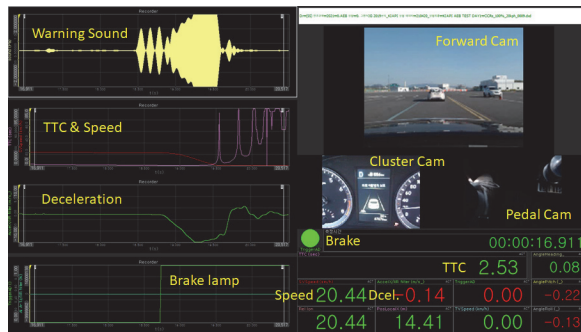


Fig. 11 Configuration of analysis display

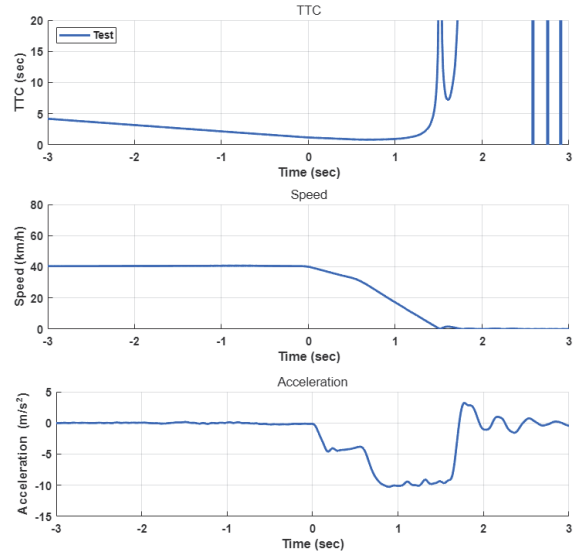


Fig. 12 AEB test results(CCRs 100 %, 50 km/h)

실험차량과 GVT가 서로 충돌하였는지, 충돌되었다면 충돌 속도가 얼마인지를 분석하였다. AEB 작동 시 TTC, 자차 속도 및 가속도 변화 그래프는 Fig. 12에 나타낸 바와 같다.

#### 3.4.2 CCRs 100 %

CCRs 100 % 조건에서의 AEB 실험을 진행하였으며, 10 km/h에서 70 km/h까지 저속인 15 km/h를 제외하고 기본 5 km/h 단위로 증가하면서 3회씩 반복하였고, 충돌 시 1회만 진행하였다. 타겟차량과 자차 간의 상대속도에 따른 FCW, AEB 부분제동 및 완전제동에 대한 TTC 데이터를 Table 1과 Fig. 13에 정리하였으며, 3회씩 반복한 데이터는 평균을 내어 나타내었다. 그에 따라 상대속도가 증

Table 1 AEB test results(CCRs 100 %)

Relative speed (km/h)	Average TTC (sec)			Result
	FCW	Partial brake	Full brake	
10	1.28	-	0.77	Avoid
20	1.52	-	0.80	Avoid
25	1.69	-	0.92	Avoid
30	1.83	0.99	0.90	Avoid
35	1.89	1.03	0.88	Avoid
40	2.07	1.17	0.87	Avoid
45	2.22	1.25	0.83	Avoid
50	2.32	1.34	0.79	Avoid
55	2.43	1.38	0.80	Avoid
60	2.54	1.46	0.80	Avoid
65	2.62	1.51	0.85	Avoid
70	2.67	1.38	0.86	Collision

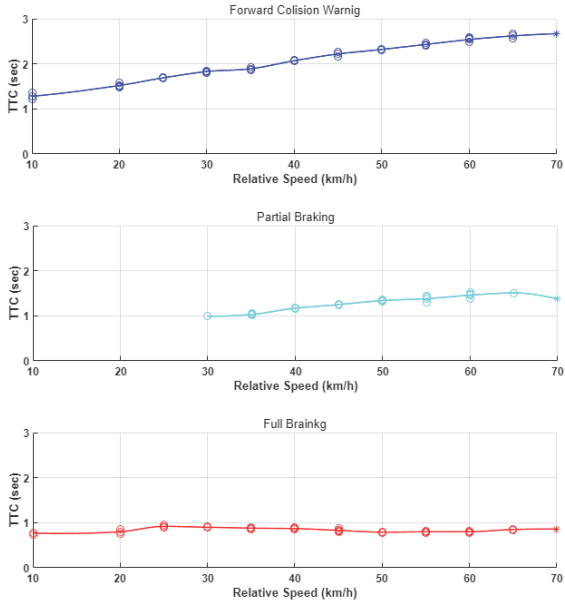


Fig. 13 AEB operation sequence(CCRs 100 %)

가함에 따라 FCW가 작동하는 TTC 또한 증가함을 알 수 있으며, AEB 부분제동은 30 km/h 이상 부터 발생하고, 이후 상대속도가 증가함에 따라 AEB 부분제동이 작동하는 TTC가 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 AEB 완전제동은 상대속도에 따른 경향성 없이 TTC 약 0.77~0.92초 범위 내에서 작동하는 것을 알 수 있다.

3.4.3 CCRs 75 %, 50 %

CCRs 75 %, 50 % 조건에서의 상대속도에 따른 FCW, AEB 부분제동 및 완전제동에 대한 TTC 데이터가 CCRs 100 %와 동일하지 여부를 확인하기 위해 30 km/h, 40 km/h, 50 km/h에 대해서도 1회씩 실험을 진행하였으며, 그 결

Table 2 Comparing of AEB test results about CCRs 100 %, 75 %, 50 %

Over lap (%)	Relative speed (km/h)	TTC (sec)			Result
		FCW	Partial brake	Full brake	
100	30	1.83	0.99	0.90	Avoid
	40	2.07	1.17	0.87	Avoid
	50	2.32	1.34	0.79	Avoid
75	30	1.82	0.96	0.87	Avoid
	40	2.09	1.14	0.87	Avoid
	50	2.35	1.34	0.79	Avoid
50	30	1.80	0.96	0.90	Avoid
	40	1.96	1.15	0.92	Avoid
	50	2.32	1.34	0.78	Avoid

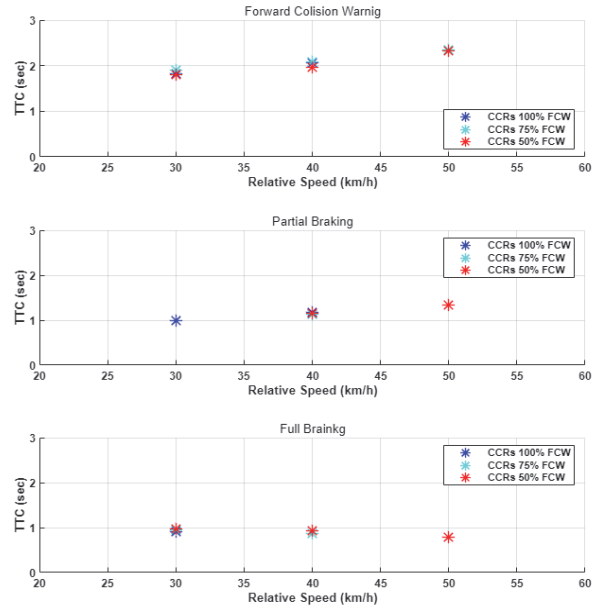


Fig. 14 Comparison of AEB TTC about CCRs 100 %, 75 %, 50 %

과 Table 2와 Fig. 14에 정리하여 나타낸 바와 같이 AEB 작동 시퀀스가 매우 유사하게 나타나는 것을 알 수 있다.

4. PreScan을 활용한 AEB 시뮬레이션

4.1 PreScan AEB 시뮬레이션 로직

본 연구에서는 ADAS 및 자율주행차량에 대한 시뮬레이션이 가능한 프로그램인 SIEMENS 사의 PreScan을 활용하였다. PreScan에서는 다양한 ADAS 기능들에 대한 시뮬레이션 환경을 제공하고 있으며, Fig. 15에 나타낸 바와 같이 Matlab Simulink 기반으로 AEB 구동 로직을 구성할 수 있다. PreScan의 AEB 로직에 레이더 센서와 카메라 센서를 칼만필터를 활용하여 센서퓨전하였으며, FOV 내에 타겟 차량들의 상대거리, 상대속도, 방위각을 측정하고, 자차량(Ego vehicle)의 주행 차로 내에 MIO(Most Important Object)를 선별함으로써 TTC를 실시간으로 계산하도록 하였다. 그에 따라 계산된 TTC가 이미 설정된 AEB 작동 시퀀스(FCW→부분제동→완전제동)의 TTC 시점에 따라 AEB가 작동되도록 구성되어 있다.

4.2 AEB 작동시퀀스 적용

PreScan의 기본적인 AEB 로직에는 TTC 기준 FCW는 2.6초, 부분제동은 1.6초, 완전제동은 0.6초로 설정되어 있으나, AEB 실험 결과에서 알 수 있듯이 AEB 작동시퀀스는 타겟차량과 자차 간의 상대속도에 따라 변하게 되

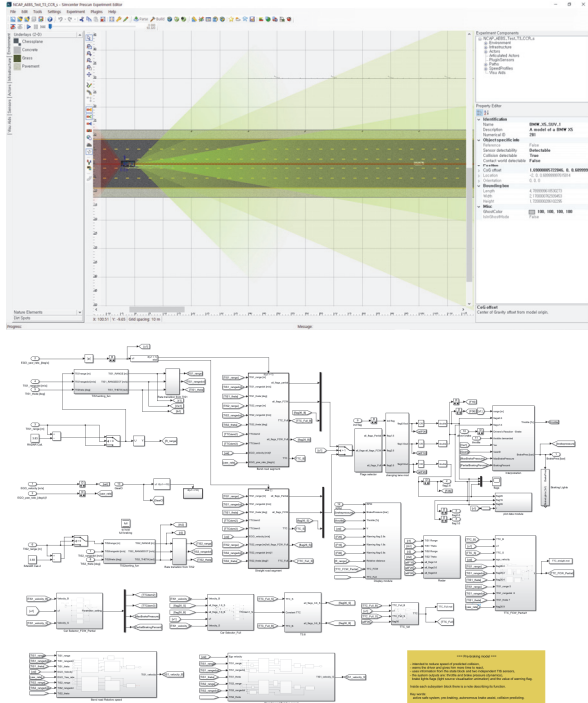


Fig. 15 PreScan AEB simulation logic based on Matlab/Simulink

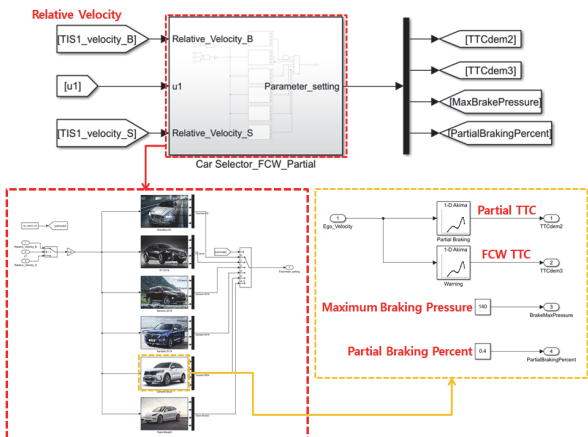


Fig. 16 Applying FCW, partial braking operation TTC to PreScan AEB simulation

며, 상대속도가 증가함에 따라 TTC 시점이 증가하는 경향을 보이므로 실차에 맞게 AEB 작동시퀀스가 AEB 로직에 적용되어야 하며, 상대속도에 맞게 가변되어 적용되어야 한다. 이를 위해 Fig. 16과 Fig. 17에 나타난 바와 같이 Matlab simulink 내 Lookup table을 활용하여 실차 실험을 통해 얻은 AEB 작동 시퀀스(Fig. 13)를 AEB 로직에 적용하였으며, 상대속도에 따른 TTC 데이터가 없는 구간에 대해서는 Akima spline 보간을 이용하여 실시간

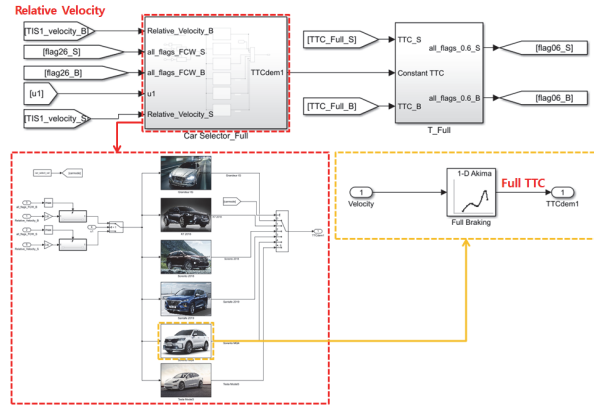


Fig. 17 Applying full braking operation TTC to PreScan AEB simulation

으로 계산되어 적용될 수 있도록 구성하였다. 또한 차종별 최대 브레이크 압력과 AEB 부분제동에 대한 압력 비율을 적용할 수 있도록 하였다.

### 4.3 PreScan AEB 시뮬레이션

PreScan은 EuroNCAP AEB test 프로토콜 시나리오를 제공하고 있으며, GVT에 대하여 AEB 작동 시뮬레이션이 가능하다. 앞서 다룬 일련의 과정들을 통해 실차 실험을 통해 얻은 AEB 작동 시퀀스를 적용하였고, 실차에 맞는 레이더 특성을 반영하였다. 실차 실험 조건과 동일하게 EuroNCAP CCRs 100 % 환경에 대해 Fig. 18과 같이 시뮬레이션을 진행하였으며, 정지 상태에 있는 GVT를 향해 차차량이 설정된 속도에 맞게 주행하다가 레이더를 통해 측정된 상대속도와 상대거리를 통해 TTC를 실시간으로 계산하고, 입력된 AEB 작동 시퀀스에 따라 FCW가 작동되고 AEB 부분제동 및 완전제동이 순차적으로 작동하게 된다.

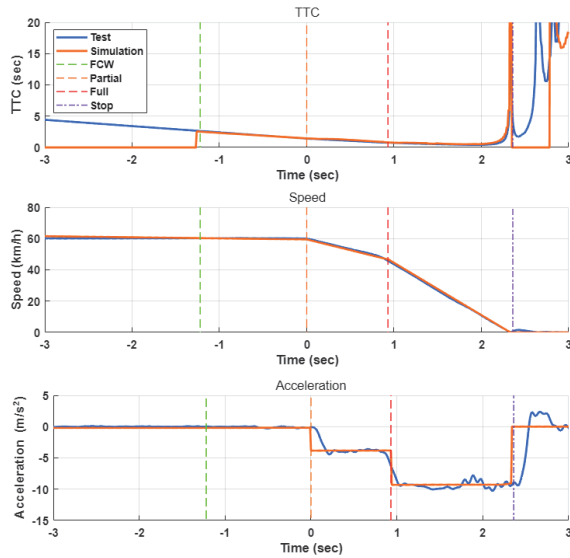


Fig. 18 Display configuration of PreScan AEB operation simulation

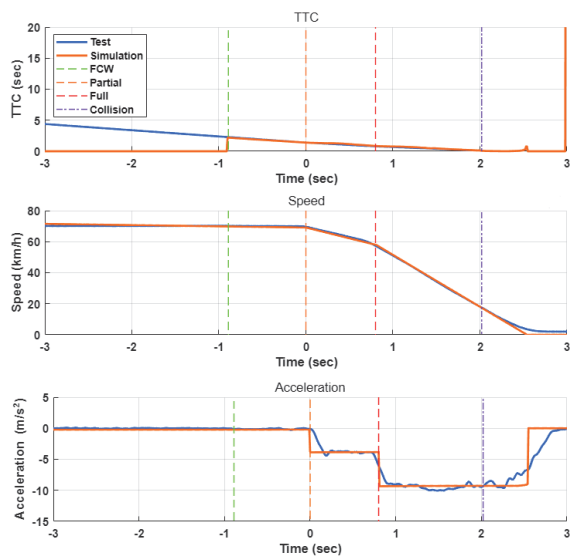
### 4.4 AEB 시뮬레이션 결과 검증

쏘렌토 차량(2021년식)에 대한 PreScan AEB 시뮬레이





(a) CCRs 100 %, 60 km/h



(b) CCRs 100 %, 70 km/h

Fig. 19 Comparison of AEB test and PreScan AEB simulation

선을 진행하였으며, 브레이크 최대 압력은 140 bar, 부분 제동은 최대 압력의 40 %인 약 56 bar를 적용하였다. AEB 실차 실험 결과와 PreScan AEB 시뮬레이션 결과를 비교해보면 Fig. 19에 나타난 바와 같이 TTC, 속도 그래프의 경향이 서로 매우 유사하게 나타나는 것을 알 수 있다.

실차 실험과 시뮬레이션 간의 GVT 간 최종 정지거리, 충돌 여부 및 충돌 속도를 비교하고자 Table 3에 정리하여 나타내었다. 그 결과 GVT로부터 최종 정지거리는 최대 0.5 m의 편차를 보이나, 실차 실험에서 확인된 바와

Table 3 Comparison of AEB test and PreScan AEB simulation(CCRs 100 %)

V (km/h)	Result			
	Stop distance / Collision speed			
	Test		Simulation	
10	Stop	1.4 m	Stop	1.6 m
20	Stop	2.4 m	Stop	2.8 m
30	Stop	3.4 m	Stop	3.9 m
40	Stop	3.4 m	Stop	3.3 m
50	Stop	2.1 m	Stop	1.9 m
60	Stop	0.8 m	Stop	1.2 m
70	Collision	16.9 km/h	Collision	17.4 km/h

같이 70 km/h에서 동일하게 실험차량과 GVT 간의 충돌이 발생하였고, 충돌 속도는 실차 실험에서 16.9 km/h, 시뮬레이션 17.4 km/h로 매우 유사하게 나타났다.

따라서 AEB 실차 실험을 통해 얻은 AEB 작동 시퀀스 데이터와 레이더 특성을 PreScan AEB 로직에 적용함에 따라 실차와 매우 유사한 AEB 작동 시뮬레이션이 가능함을 알 수 있다.

### 5. 결론

본 연구에서는 실차 실험을 통해 AEB의 작동 특성을 파악하였고, 이를 PreScan에 적용함으로써 AEB 작동 시뮬레이션을 수행하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) AEB 작동 시 FCW가 작동한 후, AEB의 부분제동 및 완전제동이 순차적으로 작동하며, FCW와 AEB 부분제동은 속도가 증가함에 따라 TTC가 증가하는 양상을 보이고, AEB 부분제동은 30 km/h 미만에서는 나타나지 않음을 확인하였다. 또한 AEB 완전제동은 속도 따른 경향성 없이 TTC 약 0.77~0.92초 범위 내에서 작동하는 것을 알 수 있었다.
- 2) EuroNCAP CCRs 기준 내에서 오버랩(100 %, 75 %, 50 %)을 달리하여 비교한 결과, AEB 작동 시퀀스가 매우 유사하게 나타나는 것을 알 수 있었다.
- 3) AEB 실차 실험을 통해 얻은 AEB 작동 시퀀스 데이터와 실차의 레이더 특성을 PreScan에 적용하여 AEB 작동 시뮬레이션을 한 결과, 실차 실험과 매우 유사한 경향을 나타내며, 70 km/h에서 동일하게 충돌하였고, GVT로부터 최종 정지거리와 충돌 속도 또한 매우 유사하게 나타나는 것을 알 수 있었다.

이러한 결론들을 바탕으로 본 연구에서는 실차 실험에 기반한 AEB 작동 시뮬레이션 기법을 제시하고, 추후

AEB 관련 교통사고 분석 시 사고 재구성 시뮬레이션의 정확성 및 신뢰성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다. 향후 다른 차량들에 대해서도 추가적인 AEB 실험을 통해 AEB 작동 시퀀스 데이터를 확보함으로써 데이터베이스화하고, AEB의 작동 한계 상황에 대해서 연구를 진행할 계획이며, 또한 다양한 도로 환경 및 교통 상황에 대해서도 AEB 작동 상황에 대한 추가적인 연구를 진행해나갈 계획이다.

## 후 기

이 논문은 행정안전부 주관 국립과학수사연구원 중장기과학수사감정기법연구개발(R&D)사업의 지원을 받아 수행한 연구임(NFS2022TAA01).

## References

- 1) J. H. Hwang, "Trend of Sensor Technology for Autonomous Driving," Auto Journal, KSAE, pp. 18-21, 2020.
- 2) E. R. Teoh, "Effectiveness of Front Crash Prevention Systems in Reducing Large Truck Real-world Crash Rates," Traffic Injury Prevention, Vol.22, No.4, pp.284-289. 2021.
- 3) B. Fildes, M. Keall, N. Bos, A. Lie, Y. Page, C. Pastor, L. Pennisi, M. Rizzi, P. Thomas and C. Tingvall, "Effectiveness of Low Speed Autonomous Emergency Braking in Real-world Rear-end Crashes," Accident Analysis & Prevention, Vol.81, pp.24-29, 2015.
- 4) Y. S. Choi, S. H. Kim, J. K. Jung and J. K. Yoon, "A Study on the Applicability of AEBS according to Radar Angle Using PC-Crash and Traffic Accident Database," Transactions of KSAE, Vol.25, No.6, pp.691-701, 2017.
- 5) J. E. Lee, G. E. Kim and B. W. Kim, "Study on the Improvement of a Collision Avoidance System for Curves," Applied Science, Vol.9, No.24, Paper No.5380, 2019.
- 6) R. Bours, K. Rauf and K. Kietlinski, "A Method for Developing AEB Systems based on Integration of Virtual and Experimental Tools," 23rd International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles(ESV), Paper No.13-0347, 2013.
- 7) H. Cho, G. E. Kim and B. W. Kim, "Usability Analysis of Collision Avoidance System in Vehicle-to-Vehicle Communication Environment," Journal of Applied Mathematics, Vol.2014, Article ID 951214, 2014.
- 8) H. Jang, S. Cho and B. Yong, "The Safety Evaluation Method of Advanced Emergency Braking System," Transactions of KSAE, Vol.21, No.5, pp.162-168. 2013.
- 9) Euro NCAP Test Protocol – AEB Car-to-Car Systems, 2019.
- 10) Global Vehicle Target Specification Technical Bulletin, EuroNCAP, 2018.