

< 응용 논문 >

## 첨단안전장치 검사 시나리오 개발을 위한 가상 환경 구축 및 시뮬레이션

김진용<sup>\*1)</sup> · 정창현<sup>1)</sup> · 정도현<sup>1)</sup> · 정재환<sup>2)</sup>

한국자동차연구원 주행안전연구센터<sup>1)</sup> · 한국교통안전공단 첨단안전연구처<sup>2)</sup>

### Virtual Environment Establishment and Simulation for Developing Advanced Safety Device Inspection Scenarios

Jinyong Kim<sup>\*1)</sup> · Changhyun Jeong<sup>1)</sup> · Dohyun Jung<sup>1)</sup> · Jaehwan Jung<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Driving Safety R&D Center, Korea Automotive Technology Institute, 303 Pungse-ro, Pungse-myeon, Dongnam-gu, Cheonan-si, Chungnam 31214, Korea

<sup>2)</sup>Advanced Safety Research Department, Korea Transportation Safety Authority, 288-7 Hyeoksin-ro, Gimcheon-si, Gyeongbuk 39660, Korea

(Received 26 May 2021 / Revised 28 June 2021 / Accepted 29 June 2021)

**Abstract** : As the number of vehicles equipped with advanced safety devices increases, cases of malfunction and inoperable are rapidly reported. As a result, a method of verifying normal operation by implementing conditions for activating advanced safety devices in virtual driving spaces is being studied by public institutions. Virtual environment establishment and simulation are essential for scenario development in order to inspect advanced safety devices. In this paper, activation conditions were modeled through vehicle tests in order to develop advanced safety device inspection scenarios, established a virtual driving environment using validated vehicle dynamics models and input-output conditions, and conducted advanced safety device inspection simulations.

**Key words** : Advanced safety devices(첨단안전장치), Vehicle dynamics model(차량동역학 모델), Vehicle inspection(자동차 검사), Virtual environment(가상환경), Activation condition(활성화 조건)

## 1. 서론

최근 AEB(Autonomous Emergency Braking System), LDWS(Lane Departure Warning System) 등 첨단안전장치가 의무장착으로 법제화<sup>1)</sup>되면서 시장이 크게 성장하고 있다. 첨단안전장치 장착 차량이 증가되면서 오작동 및 작동 불가 사례가 급격하게 보고되고 있다. 이에 공공기관을 중심으로 첨단안전장치의 정기검사에 관련한 연구가 진행되고 있다.<sup>2)</sup> 첨단안전장치 검사는 많은 차량을 짧은 시간에 수행해야 하기 때문에 주행시험장에서 실차시험을 하는 방법은 적용하기에는 어려움이 있어, 가상의 주행공간에서 첨단안전장치 활성화 조건을 구현하여 정상 작동유무를 검사하는 방법이 연구되고 있다. 첨단안전장치를 검사하기 위한 시나리오 개발에는 가상 환경 구축 및 시뮬레이션이 필수적이다.

차량동역학 모델을 개발하는 방법으로 이중렬 등<sup>3)</sup>은 LKAS(Lane Keeping Assist System)에 대한 제어모델개발 방법을 제시하였고, 박환서 등<sup>4)</sup>은 LDWS 성능을 시뮬레이션 하였으며, 우중운 등<sup>5)</sup>은 AEB, FCWS(Forward Collision Warning System)의 시험평가 방법을 제안하였고, 조재훈 등<sup>6)</sup>은 승차감 성능해석 방법을 제시하고 있으나 기존 연구에서는 첨단안전장치에 대한 실차 활성화 조건 분석을 통한 가상 환경을 구축하는데 어려움이 나타나고 있다.

본 논문에서는 첨단안전장치 검사 시나리오 개발을 위하여 실차시험을 통해 활성화 조건을 모델링하고, 실차 정합성이 검증된 차량모델 및 입출력 조건을 이용한 가상 주행 환경을 구축하여 첨단안전장치 검사 시뮬레이션을 수행하였다.

\*Corresponding author, E-mail: kimjy@katech.re.kr

<sup>†</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.

## 2. 첨단안전장치 검사 시나리오

### 2.1 LDWS 및 LKAS 성능 검사

LDWS, LKAS 성능 검사 시나리오는 자동차 성능 기준 세부규칙 별표 62, ISO 17361 및 활성화 조건 실차시험을 통하여 Fig. 1과 같이 구성하였다. 대기온도 0 °C ~ 45 °C, 풍속은 5 m/s 이내, 건조하고 균일한 아스팔트 포장 노면에서 대상자동차(SV : Subject Vehicle)를 가속하여 65±3 km/h의 속도로 유지시키며 시험차로(좌, 우 : 백색 실선, 폭 : 3.5 m) 가상의 중심선을 따라 이동하면서, SV에 임의의 조향핸들각을 입력하여 0.1 m/s ~ 0.8 m/s 이탈속도로 좌측 또는 우측으로 주행시 이탈거리 0.3 m 이내에서 LDWS 작동여부 및 차선을 벗어나지 않도록 LKAS에 의한 제어모드의 작동 여부를 검사한다. 제안된 시나리오를 이용하여 Photo. 1과 같이 실차시험을 통해 LDWS 및 LKAS 활성화 조건을 분석하였다. 분석결과 Table 1과 같이 LDWS 작동시 차선 이탈거리는 0.063 m이고, Table 2와 같이 LKAS 작동시 조향토크제어를 통해 차선을 벗어나지 않았다. 차선 이탈거리는 Fig. 2와 같이 타이어 외측

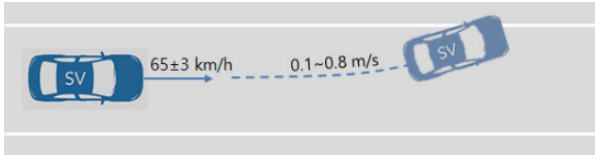


Fig. 1 LDWS and LKAS inspection scenario



Photo. 1 LDWS and LKAS inspection vehicle test

Table 1 LDWS inspection vehicle test analysis

Test	Longitudinal speed (km/h)	Lateral speed at warning (m/s)	Lane crossing distance at warning (m)
1	65.1	0.27	0.07
2	65.3	0.30	0.06
3	65.4	0.30	0.06
Average	65.27	0.29	0.0633
Standard deviation	0.153	0.017	0.006

Table 2 LKAS inspection vehicle test analysis

Test	Longitudinal speed (km/h)	Lateral speed at LKAS (m/s)	Lane crossing at LKAS (O, X)
1	65.2	0.30	X
2	65.5	0.32	X
3	64.9	0.29	X
Average	65.20	0.30	
Standard deviation	0.300	0.015	

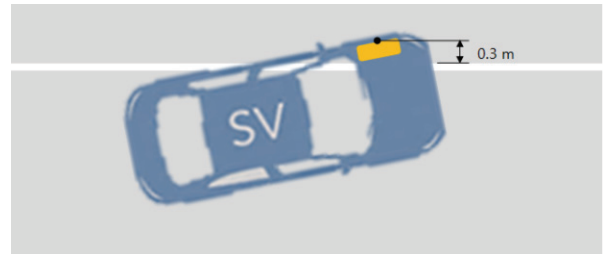


Fig. 2 Lane crossing distance measurement

중심선과 차선 외측까지 거리로 측정(이탈 후 양수로 표시)한다.

### 2.2 FCWS 및 AEB 성능 검사

FCWS, AEB 성능 검사 시나리오는 자동차 성능 기준 세부규칙 별표 63, ISO 15623, NCAP 및 활성화 조건 실차시험을 통하여 Fig. 3과 같이 구성하였다. LDWS 검사 시나리오와 같은 환경조건에서 SV를 목표자동차(TV : Target Vehicle) 후방 300 m 이상의 거리에 일직선으로 위치시킨 후 SV를 가속하여 50±2 km/h의 속도로 유지시키며 정지상태인 TV로 접근하여 SV와 TV의 상대거리가 120 m 되는 시점을 시험시작으로 하고 속도유지하며, 1 차 경고시 엑셀 OFF하여 FCWS 및 AEB 작동여부 및 충돌예상시간을 검사한다. 제안된 시나리오를 이용하여 Photo. 2와 같이 실차시험을 통해 FCWS 및 AEB 활성화 조건을 분석하였다. 분석결과 Table 3과 같이 FCWS 작동시 충돌예상시간(TTC, Time To Collision)은 1.72 s이고, AEB 작동시 충돌예상시간은 1.21 s로 충돌은 발생하지

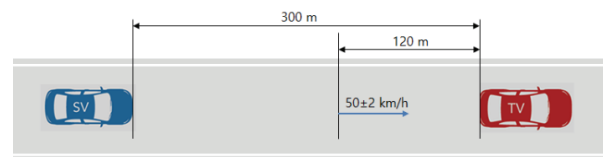


Fig. 3 FCWS and AEB inspection scenario



Photo. 2 FCWS and AEB inspection vehicle test

Table 3 FCWS and AEB inspection vehicle test analysis

Test	Longitudinal speed(km/h)	Time to collision at warning(s)	Time to collision at AEB(s)
1	50.5	1.72	1.21
2	51.2	1.74	1.23
3	50.3	1.71	1.19
Average	50.67	1.72	1.21
Standard deviation	0.473	0.015	0.020

않았다. 충돌예상시간은 상대거리를 상대속도로 나누어서 산출한다.

### 2.3 ACC(Adaptive Cruise Control) 성능 검사

ACC 성능 검사 시나리오는 ISO 15622 및 활성화 조건 실차시험을 통하여 Fig. 4와 같이 구성하였다. LDWS 검사 시나리오와 같은 환경조건에서 SV를 가속하여 60±2 km/h의 속도로 유지시키며 20 km/h로 주행중인 TV에 접근한다. SV와 TV의 상대거리가 120 m 되는 시점을 시험시작으

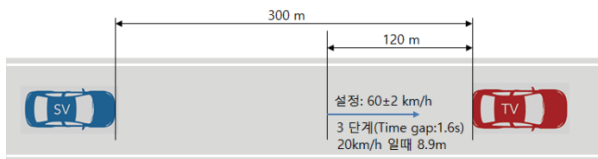


Fig. 4 ACC inspection scenario

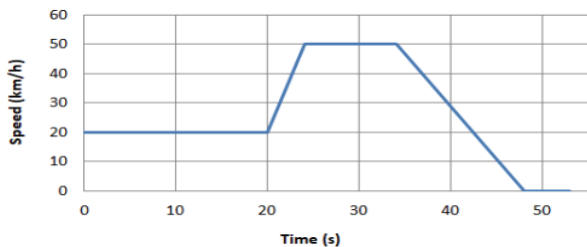


Fig. 5 TV driving scenario

Table 4 ACC inspection vehicle test analysis

Test	Acceleration activation (O, X)	Constant speed activation (O, X)	Deceleration activation (O, X)	Stop activation (O, X)
1	O	O	O	O
2	O	O	O	O
3	O	O	O	O



Photo. 3 ACC inspection vehicle test

로 하고 ACC 설정(60 km/h, 3단계)한 후 Fig. 4와 같이 TV 속도를 20 km/h(20초)→0.2 g가속(4초)→50 km/h(10초 유지)→0.1 g감속(14초)→0 km/h(5초)로 제어할 때 SV가 상대거리 유지하면서 가속, 등속, 감속 정지 작동 여부를 검사한다. 제안된 시나리오를 이용하여 Photo. 3과 같이 실차시험을 통해 ACC 활성화 조건을 분석하였다. 분석결과 Table 4와 같이 ACC 작동시 TV 속도에 따라 안전거리를 유지하면서 가속, 등속, 감속, 정지에 대한 모드가 충돌 없이 정상 작동하였다.

## 3. 첨단안전장치 검사 가상 환경 구축

### 3.1 LDWS 및 LKAS 가상 검사 환경

2.1 LDWS 및 LKAS 성능 검사 시나리오에 따라 가상 노면은 Fig. 6과 같이 아스팔트 포장노면이면서 평평한



Fig. 6 LDWS and LKAS inspection virtual road

직선도로 1차선으로 모델링하였고, 노면의 마찰계수는 0.9로 설정하였으며, 왼쪽, 오른쪽은 백색실선으로 설정하였다. 차선폭은 3.5 m로 설정하고 어깨길은 1.5 m로 설정하였으며, 차량의 속도는 65 km/h 제어되도록 설정하였고, 제어를 위한 비례게인은 0.5로 설정하였다. 브레이크 제어는 하지 않고, 변속기 제어는 속도제어에 따라 자동 조절되도록 설정하였으며, 운전자 모델은 전방 1초 앞을 주시하면서 차선을 유지하는 조향을 하다가 1초 이후에 조향토크를 입력하여 차선이탈을 하도록 설정하였다. 좌우 차선이탈이후 차선유지제어를 수행하는 순서로 주행하며 총 시물레이션 시간은 12초로 설정하였다. 카메라 모델, LDWS 및 LKAS 제어모델은 활성화 조건 분석을 위한 실차시험을 통해 모델링 되었다. 차량모델의 입출력 신호는 Table 5와 같이 조향각, 조향토크, 좌우 LDWS, LKAS 작동신호를 입력받아 조향각, 조향토크, 횡방향 속도, 횡방향 이동거리, 요각을 출력하는 것으로 설정하였다. 실차상관도가 97 % 이상인 차량모델과 입출력환경을 이용하여 Fig. 7과 같이 LDWS 및 LKAS에 대한 가상 검사 환경을 구축하였다. 가상 검사 환경 구축 도구로는 CarSim과 Simulink를 사용하였다.

Table 5 LDWS and LKAS inspection virtual environment input/output

Item	Contents
Input	Steering angle, deg
	Steering torque, Nm
	Left LDWS signal
	Right LDWS signal
	LKAS operating signal
Output	Steering angle, deg
	Steering torque, Nm
	Lateral velocity, km/h
	Lateral distance, m
	Yaw angle, deg

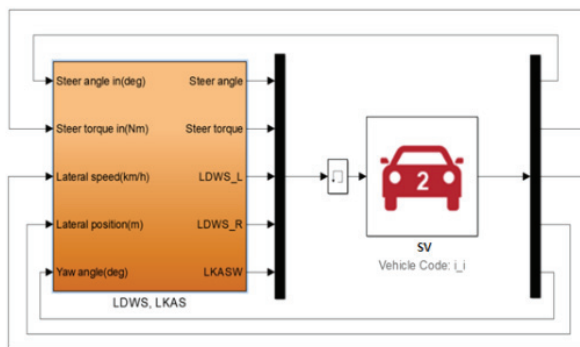


Fig. 7 LDWS and LKAS inspection virtual environment

### 3.2 FCWS 및 AEB 가상 검사 환경

2.2 FCWS 및 AEB 성능 검사 시나리오에 따라 가상 노면은 Fig. 8과 같이 아스팔트 포장노면이면서 평평한 직선도로 1차선으로 모델링하였고, 노면의 마찰계수는 0.9로 설정하였으며, 좌우차선은 백색실선으로 설정하였다. 차선폭은 3.5 m로 설정하고 어깨길은 0.5 m로 설정하였으며, TV를 SV 전방 120 m에 배치하였다. TV 속도는 0 km/h으로 설정하였고, 브레이크 압력을 초기부터 10 MPa로 설정하였다. SV 차량의 속도는 초기에 50 km/h 설정하였으며, 이후 속도제어는 가상 검사 환경 모델에서 AEB가 시작되기 전까지 제어한 후 AEB 작동시 제어하지 않는다. SV 차량의 별도 브레이크 제어는 하지 않고, 변속기 제어는 속도제어에 따라 자동 조절되도록 설정하였다. 운전자 모델은 전방 1초 앞을 주시하면서 차선을 유지하는 조향을 하도록 설정하였다. 직진주행 중 레이더 센서로 전방 정지차량을 감지하고, FCWS 작동, AEB 작동을 수행하는 순서로 주행하며 총 시물레이션 시간은 8.5초로 설정하였다. 레이더 모델, FCWS 및 AEB 제어모델은 활성화 조건 분석을 위한 실차시험을 통해 모델링 되었다. 차량모델의 입출력 신호는 Table 6과 같이 스톱플 열림각, 브레이크 마스터실린더 압력, 전방차



Fig. 8 FCWS and AEB inspection virtual road

Table 6 FCWS and AEB inspection virtual environment input/output

Item	Contents
Input	Throttle opening angle, deg
	Brake master cylinder pressure, MPa
	Front vehicle and distance, m
	Front vehicle detection
	FCWS, AEB operating signal
Output	SV longitudinal speed, km/h
	SV longitudinal distance, m
	Lateral distance, m
	Yaw angle, deg

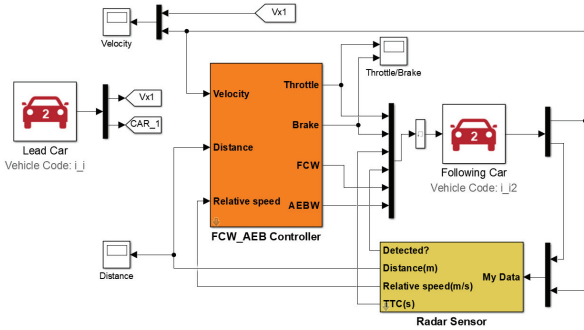


Fig. 9 FCWS and AEB inspection virtual environment

량과 거리, 전방차량 감지, FCWS, AEB 작동신호를 입력 받아 종방향 차량속도, 종방향 이동거리, 횡방향 이동거리, 요각을 출력하는 것으로 설정하였다. 3.1에서 사용한 검증된 차량모델과 입출력환경을 이용하여 Fig. 9와 같이 FCWS 및 AEB에 대한 가상 검사 환경을 구축하였다.

### 3.3 ACC 가상 검사 환경

2.3 ACC 성능 검사 시나리오에 따라 가상 노면은 3.2에서 사용한 노면을 사용하고, TV를 SV 전방 120 m에 배치하였다. TV 속도는 Fig. 4와 같이 제어되도록 설정하였고, 이때 비례제어 게인은 0.4를 사용하였다. 정지시 브레이크 압력은 4 MPa로 설정하였다. SV 차량의 속도는 초기에 60 km/h 설정하였으며, 이후 속도제어는 가상 검사 환경 모델에서 ACC에 의해 TV 움직임에 따라 가속과 감속을 제어한다. SV 차량의 별도 브레이크 제어는 하지 않고, 변속기 제어는 속도제어에 따라 자동 조절되도록 설정하였다. 운전자 모델은 전방 1초 앞을 주시하면서 차선을 유지하는 조향을 하도록 설정하였다. 직진 주행 중 레이더 센서로 전방 정지차량을 감지하고, ACC 작동을 수행하는 순서로 주행하며 총 시뮬레이션 시간은 55초로 설정하였다. 레이더 모델 및 ACC 제어모델은 활성화 조건 분석을 위한 실차시험을 통해 모델링 되었다. 차량모델의 입출력 신호는 Table 7과 같이 스톨을 열

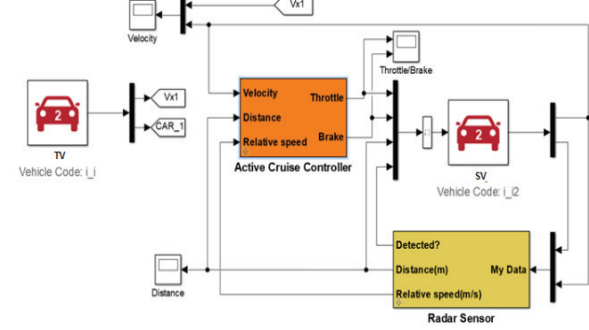


Fig. 10 ACC inspection virtual environment

림각, 브레이크 마스터실린더 압력, 전방차량과 거리, 전방차량 감지신호를 입력받아 TV 및 SV 종방향 차량속도, 종방향 이동거리, 횡방향 이동거리, 요각을 출력하는 것으로 설정하였다. 3.1에서 사용한 검증된 차량모델과 입출력환경을 이용하여 Fig. 10과 같이 ACC에 대한 가상 검사 환경을 구축하였다.

## 4. 첨단안전장치 검사 시뮬레이션

### 4.1 LDWS 및 LKAS 검사

LDWS, LKAS 시뮬레이션 결과를 분석하기 위하여 비디오 환경과 그래프 환경을 모델링하였다. Fig. 11과 같이 비디오 환경은 주행도로, 차량모델, 차선감지 상태를 나타내고, 좌우 차선이탈 및 차선유지에 대한 아이콘이 표시되도록 구성하였다. Fig. 12와 같이 그래프 환경은 시간에 대한 종횡방향 속도, 타이어 중심점 횡방향 이동거리, LDWS, LKAS 작동시점이 분석될 수 있도록 구성하였다. SV가 65 km/h 등속 주행하면서 0.286 m/s 속도로 차선을 이탈할 때 0.0632 m의 차선이탈시 LDWS가 작동하는 것을 확인할 수 있다. 차선이탈거리에 대하여 2.1의 시험데이터와 통계적 t검정을 한 결과 95 % 신뢰수준에서 P 값이 0.039로 시험결과와 유사함에 대한 유의미성을 확보하였다. LKAS 작동시 실차시험 결과와 유사하게

Table 7 ACC inspection virtual environment input/output

Item	Contents
Input	Throttle opening angle, deg
	Brake master cylinder pressure, MPa
	Front vehicle and distance, m
	Front vehicle detection
Output	TV, SV longitudinal speed, km/h
	TV, SV longitudinal distance, m
	Lateral distance, m
	Yaw angle, deg

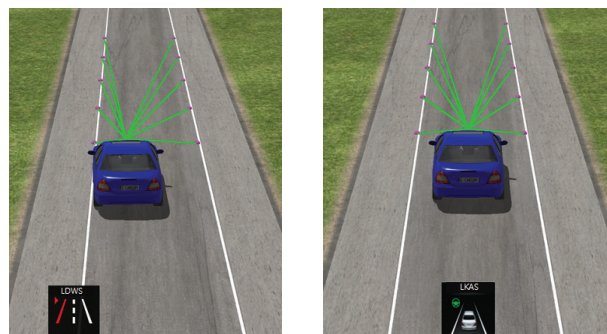


Fig. 11 LDWS and LKAS inspection simulation

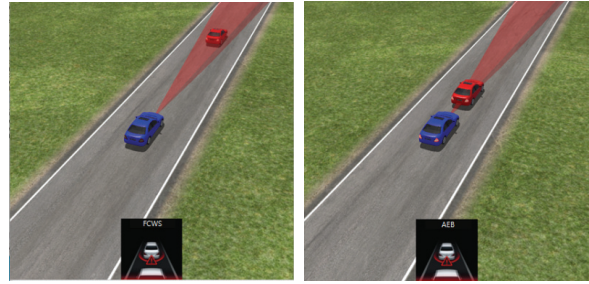
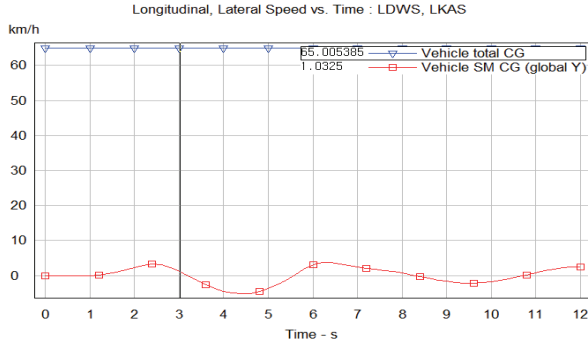


Fig. 13 FCWS and AEB inspection simulation

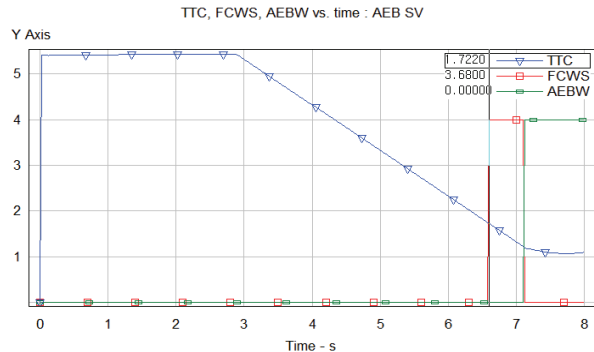
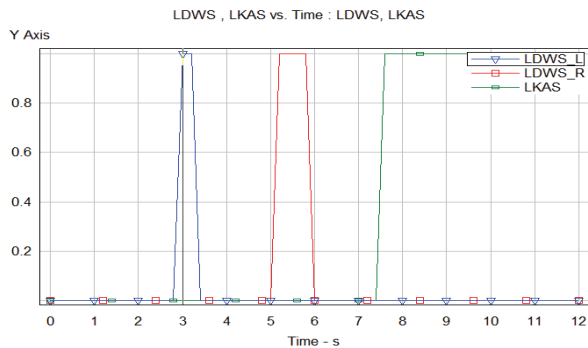
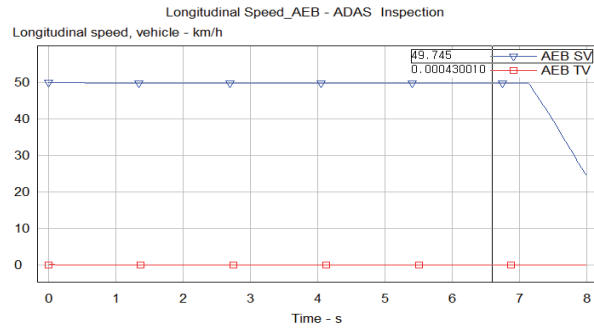
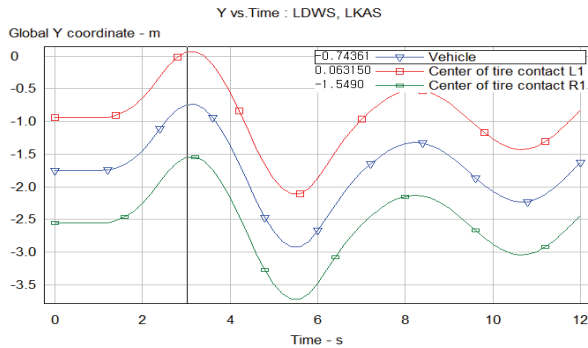


Fig. 12 LDWS and LKAS inspection simulation data

Fig. 14 FCWS and AEB inspection simulation data

도로폭 3.5 m 이내에서 차선을 벗어나지 않고 주행하는 것을 확인할 수 있다.

#### 4.2 FCWS 및 AEB 검사

FCWS, AEB 시뮬레이션 결과를 분석하기 위하여 비디오 환경과 그래프 환경을 모델링하였다. Fig. 13과 같이 비디오 환경은 주행도로, TV/SV 차량모델, 전방 차량 감지 상태를 나타내고, FCWS, AEB 작동에 대한 아이콘이 표시되도록 구성하였다. Fig. 14와 같이 그래프 환경은 시간에 대한 종방향 속도, TTC, FCWS, AEB 작동시점이 분석될 수 있도록 구성하였다. SV가 등속 주행중 80 m 정도 거리에서 전방 정지타겟 차량을 감지하고 TTC 1.722초일 때 FCWS가 작동하는 것을 확인할 수 있고, 2.2의 시험데이터와 통계적 t검정을 한 결과 95 % 신뢰수

준에서 P 값이 0.027로 시험결과와 유사함에 대한 유의미성을 확보하였다. 이후 TTC 1.209초에서 AEB가 작동하는 것을 확인할 수 있고, 시험데이터와 통계적 t검정한 결과 95 % 신뢰수준에서 P 값이 0.031로 시험결과와 유사함에 대한 유의미성을 확보하였다.

#### 4.3 ACC 검사

ACC 시뮬레이션 결과를 분석하기 위하여 비디오 환경과 그래프 환경을 모델링하였다. Fig. 15와 같이 비디오 환경은 주행도로, TV/SV 차량모델, 전방 차량 감지 상태를 나타내고, ACC 설정과 전방차량에 대한 가속, 감속 작동이 표시되도록 구성하였다. Fig. 16과 같이 그래프 환경은 시간에 대한 종방향 속도, 전방차량 거리가 분석될 수 있도록 구성하였다. SV가 60 km/h 등속 주행중 80 m



Fig. 15 ACC inspection simulation

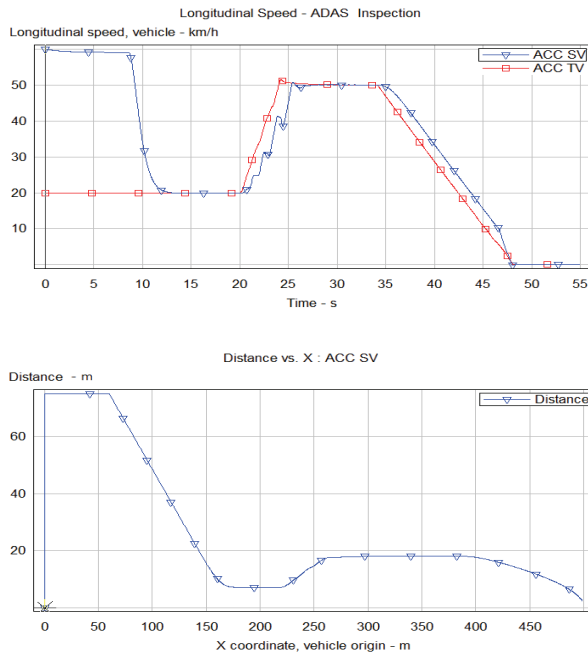


Fig. 16 ACC inspection simulation data

정도 거리에서 20 km/h 주행중인 전방 이동타겟 차량을 감지하고 약 9 m 거리를 유지하며 주행하는 것을 확인할 수 있고, 이동타겟 차량의 가속에 따라 SV가 가속을 수행하며 50 km/h로 등속주행으로 거리를 유지하다 타겟 차량의 감속 및 정지모드에 따라 SV가 일정거리를 유지하며 2.3실차시험 결과와 유사하게 충돌 없이 감속 및 정지하는 것을 확인하였다.

### 5. 결론

본 연구를 통해 첨단안전장치(LDWS, LKAS, FCWS, AEB, ACC) 검사 시나리오를 제안하고, 실차시험을 통해

활성화 특성을 분석하였다. 검증된 차량동역학 모델, 카메라, 레이더, 첨단안전장치 활성화 모델 및 입출력 조건을 이용하여 가상 검사 환경을 개발하고 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과 실차시험 결과와 통계적으로 유사한 첨단안전장치 작동특성을 얻을 수 있었다. 첨단안전장치 검사 시뮬레이션 결과는 검사 시나리오의 수행시간, 도로 길이, 작동시점 등 환경요소 분석에 사용되고, Vehicle in the loop 기반의 첨단안전장치 검사 시나리오 개발에 활용될 예정이다.

### 후 기

본 연구는 국토교통부 국토교통 연구개발사업의 연구비 지원을 받아 수행되었습니다(과제번호 : 21SDPT-C158092-02).

### References

- 1) Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Rules Concerning the Performance and Standards of Motor Vehicles and Auto Parts, <https://www.law.go.kr>, 2021.
- 2) U. S. Weo, Y. M. Gwon, H. J. Kim, E. S. Kim, I. H. Ryu and B. D. Kang, "A Study on the Inspection Standards and Inspection Methods for Advanced Driver Assistance Systems on In-use Vehicle," KSAE Spring Conference Proceedings, p.1014, 2019.
- 3) J. R. Lee, J. K. Lee and T. Ohta, "Development of a Vehicle Dynamics Model for Lane Keeping Control," KSAE Spring Conference Proceedings, pp.659-664, 2004.
- 4) H. S. Park, H. G. Lee, K. J. Chang and S. M. Yoo, "LDWS Performance Study Based on the Vehicle Type," Transactions of KSAE, Vol.20, No.6, pp.39-45, 2012.
- 5) J. W. Woo, M. I. Kim and S. B. Lee, "Study on the Test Method of AEB and FCW System," KSAE Spring Conference Proceedings, pp.1160-1163, 2013.
- 6) J. H. Jo, W. Y. Kang, D. O. Kang, G. W. Lee and S. J. Heo, "Vehicle Dynamic Model and Tire Filer for Ride Comfort Analysis," Transactions of KSAE, Vol.28, No.12, pp.859-864, 2020.