

<응용논문>

ADAS 검사를 위한 시뮬레이션 기반의 VILS 환경 구축에 대한 연구

유 찬 학¹⁾ · 정 재 환¹⁾ · 이 호 상¹⁾ · 권 영 문²⁾ · 이 효 열³⁾

한국교통안전공단 첨단연구개발처¹⁾ · 한국교통안전공단 첨단검사전략처²⁾ · 한국교통안전공단 첨단자동차검사연구센터³⁾

A Study on the Establishment of VILS Based on Simulation for ADAS Inspection

Chanhak Yu^{*1)} · Jaehwan Jung¹⁾ · Hosang Lee¹⁾ · Yeongmun Gwon²⁾ · Hyoyeol Lee³⁾

¹⁾Advanced R&D Department, Korea Transportation Safety Authority, 288-7 Hyeoksin-ro, Gimcheon-si, Gyeongbuk 39660, Korea

²⁾Advanced Inspection Strategy Department, Korea Transportation Safety Authority, 288-7 Hyeoksin-ro, Gimcheon-si, Gyeongbuk 39660, Korea

³⁾Korea Advanced Vehicle Inspection Research Center, Korea Transportation Safety Authority, 288-7 Hyeoksin-ro, Gimcheon-si, Gyeongbuk 39660, Korea

(Received 16 June 2022 / Revised 6 July 2022 / Accepted 24 July 2022)

Abstract : In recent years, the number of vehicles equipped with advanced driver assistance systems, such as AEB and LDWS, has increased significantly around the world. Since advanced driver assistance systems are related to vehicle safety, failure or malfunction of the advanced driver assistance system can lead to major traffic accidents. To prevent the occurrence of such traffic accidents, it is necessary to inspect and manage the advanced driver assistance system of vehicles regularly. In this paper, a VILS was established to check the quality of the advanced driver assistance system during vehicle inspections. An integrated system, consisting of a driving simulator, a radar simulator, and an image simulator, was developed to simulate a virtual driving environment. The VILS environment was also validated through real vehicle testing of LDWS, FCWS, and ACC functions.

Key words : ADAS(첨단운전자보조시스템), VILS(현실 융합 시스템), Digital twin(디지털 트윈), Simulation environment(시뮬레이션 환경), Inspection technology(검사 기술), Vehicle inspection(자동차 검사)

Nomenclature

ADAS : advanced driver assistant system
VILS : vehicle In the Loop Simulation
LDWS : lane departure warning system
LKAS : lane keeping assistance system
FCWS : forward collision warning system
AEBS : advanced emergency braking system
ACC : adaptive cruise control

1. 서 론

첨단운전자보조시스템 ADAS(Advanced Driver Assistance System)를 장착한 자동차의 보급이 전 세계적으로 확대

되고 있다. 국내의 경우에도 대형 승합자동차 및 화물자동차에 첨단운전자보조시스템을 의무 장착하도록 하고 있으며,¹⁾ 국제적으로도 2020년 2월 UNECE Regulation 152조를 신설하여 승용차에 대한 첨단운전자보조시스템 장착을 확대하고 있다.²⁾ 이러한 ADAS 장착 자동차의 보급 확대로 인해 운전자의 편의는 크게 향상되었지만, 차량 운행 중 ADAS와 관련된 카메라나 레이더와 같은 센서들이 오작동하거나 고장 나는 경우 큰 사고가 발생할 수 있다. 2018년 3월에도 우버 자율주행 시험 도중 보행자가 사망하는 사고가 발생하였으며 이후에도 자율주행 관련 사고들이 여러 차례 발생하였다.³⁾ 이러한 사고를 미연에 방지하기 위해서는 운행 자동차에 대한 ADAS 기능들이 정상적으로 동작하는지에 대해서 정기

*Corresponding author, E-mail: yeh0217@kotsa.or.kr

¹⁾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.

적으로 검사하고 관리할 필요가 있다.⁴⁾

한국교통안전공단에서는 운행자동차에 대한 검사 업무를 수행하고 있다. 자동차검사는 관능검사, 전자장치 검사, 전조등, 속도계, 제동력, 배출가스 검사 등으로 구성되어 있으나 첨단운전자보조시스템과 관련된 검사는 전무한 실정이다.⁵⁾

운행자동차에 대한 ADAS 기능을 검사하기 위한 가장 좋은 방법은 실제 도로를 주행하면서 ADAS 기능들이 동작하는 시나리오에서 관련 기능들이 정상적으로 동작하는지를 검사하는 것이다. 하지만 현재 검사소의 시간적, 공간적, 안전성의 문제로 인해 자동차 정기검사에서 실제 도로를 주행하면서 ADAS 기능을 검사하는 것은 쉽지 않다.

본 논문에서는 ADAS 정기검사 적용을 위한 시뮬레이션 기반의 VILS 환경을 구축하고 FCWS, AEBS, LDWS, LKAS, ACC 등 ADAS 기능들에 대한 검사 방법을 제안하고자 한다.

2. VILS 시스템

자동차검사소의 경우 시간적, 공간적 제약으로 인해 실제 도로를 주행하며 ADAS 검사를 수행하는 것이 불가능하다. 이러한 이유로 검사소에서는 가상의 주행환경을 모사해주며 ADAS 기능들이 정상적으로 동작하는지를 검사하는 것이 적합하다. 검사소에서 가상 주행환경을 모사하여 ADAS 검사를 수행하기 위해서는 여러 가지 조건들을 고려해야 한다.

- 1) 차량 진입 시 별도의 고정 장치 없이 주행 모사가 가능할 것
- 2) 주행모사장비에 조향 및 제동 기능이 있을 것
- 3) ECU와의 별도 통신 없이 검사가 가능할 것
- 4) 도로환경 및 상대물체에 대한 모사가 가능할 것

위와 같은 조건들을 고려하여 한국교통안전공단에서는 DÜRR 社의 다기능 주행시뮬레이터(X-road Curve), dSPACE 社의 레이더 및 영상 시뮬레이터를 활용하여



Fig. 1 VILS environment for ADAS inspection

Fig. 1과 같이 ADAS 기능검사를 위한 VILS 환경을 구축하였다.

2.1 다기능 주행시뮬레이터(X-road Curve)

테스트 차량의 주행 환경을 모사하기 위해 DÜRR社의 다기능 주행시뮬레이터(X-road Curve)를 사용하였다 (Fig. 2).

자동차 OEM에서는 자동차의 조립이 완료된 이후 최종 검사 공정인 EOL(End of Line)에서 자동차를 롤러 위에서 주행시키며 완성된 자동차의 롤 및 브레이크의 성능을 검사하고 있다. X-Road Curve의 경우 기존 자동차 OEM EOL 라인에서 Roll & Brake 테스트를 수행하는 장비에 조향 기능이 추가된 장비이며 EOL 라인에서 ADAS와 관련된 기능들을 보정하고 테스트하기 위한 장비로 활용할 수 있다.⁶⁾

해당 장비를 활용하여 별도의 차량 고정 작업 없이 주행을 모사할 수 있으며 ECU와의 통신 없이 차속 및 차량의 조향각을 실시간으로 측정할 수 있다. 또한 전륜 롤러 아래에는 롤러를 좌우로 움직이기 위한 별도의 장치가 설치되어 있어 주행 중 조향이 가능하도록 설계가 되어 있으며 최대 시속 170 km/h까지 주행이 가능하다.

장비의 모터는 60 kW AC모터를 사용하고 있으며 4개의 모터가 전륜 및 후륜의 롤러와 연결되어 독립적으로 제어되며 4륜구동 자동차의 주행이 가능하다. 또한 각 롤러 옆에 설치된 레이저 센서를 이용하여 차량의 위치 및 조향각 정보를 실시간으로 모니터링할 수 있으며 초음파 센서를 활용하여 차량의 진입 여부를 감지할 수 있다. 장비의 전륜 롤러에는 좌우로 움직일 수 있는 턴테이블이 설치되어 있어 조향 시 롤러를 회전시킴으로써 차량의 이탈을 방지할 수 있다.

해당 장비는 레이더 및 영상시뮬레이터와 통합되어 실시간으로 테스트 차량의 차속 및 조향 정보를 도로환

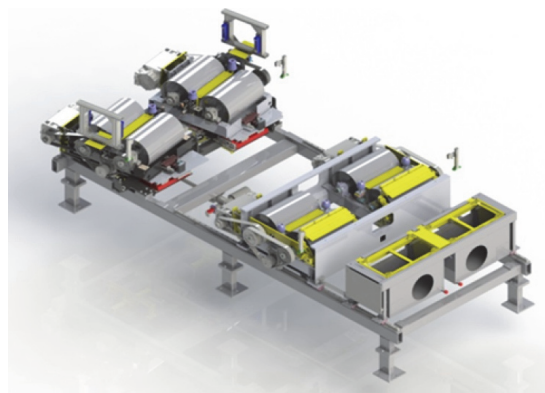


Fig. 2 DÜRR X-Road Curve

경 시뮬레이션에 반영할 수 있도록 하였으며 이를 통해 ADAS 기능을 활성화하기 위한 다양한 시나리오 구현이 가능하다.

2.2 레이더 시뮬레이터

차량에 장착된 레이더 센서를 검사하기 위해서는 레이더 센서 전방에 표적을 설치하여 레이더 센서가 정상적으로 표적을 탐지하는지 확인하여야 한다. 하지만 실제 표적을 활용하여 검사를 진행하는 경우 안전상의 문제가 될 뿐만 아니라 테스트 시나리오도 제한적이다. 따라서, 본 연구에서는 공간적인 측면, 안전성 측면, 테스트 가능한 시나리오의 제한적인 측면을 고려하여 레이더 시뮬레이터를 사용하였다.

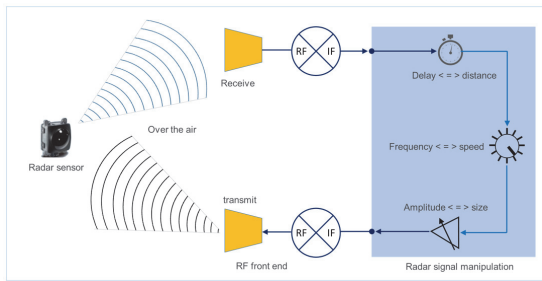


Fig. 3 Radar target simulator operating principles



Fig. 4 Radar target simulator (dSPACE)

Table 1 Specifications of radar target simulator

	Specification
Frequency range	76 ~ 79 GHz
Bandwidth	1 GHz
Min. range	4 m
Max. range	150 m
Range steps	6 cm
Speed	± 60 km/h
Dynamic range	> 60 dB

레이더 시뮬레이터는 Fig. 3에서 볼 수 있는 것처럼 차량의 전방에 설치된 레이더 신호를 수신하여 사용자가 설정한 거리, 속도, 크기 값을 시뮬레이션할 수 있다. 거리의 경우 레이더 타겟 시뮬레이터가 수신한 신호에 시간 지연을 시켜 사용자가 설정한 거리를 시뮬레이션할 수 있으며, 속도의 경우 신호의 세기를 제어함으로써 원하는 속도를 시뮬레이션할 수 있다.

본 연구에서 사용한 레이더 시뮬레이터는 dSPACE社의 레이더 시뮬레이터(Fig. 4)를 사용하였으며 해당 레이더 시뮬레이터 상세 사양은 Table 1과 같다.

2.3 영상 시뮬레이터

차량에 장착된 카메라 센서를 검사하기 위해서는 도로의 차선, 상대 차량 등 도로환경을 시뮬레이션할 수 있어야 한다. 본 연구에서는 대표적인 영상 송출 장치인 모니터를 활용하여 카메라 센서 전방의 표적 및 도로환경을 시뮬레이션하였다. 이를 통해 협소한 공간에서도 검사할 수 있으며 표적의 속도 제어나 차선이탈 시나리오 등 다양한 테스트 시나리오 시뮬레이션이 가능하다.

영상 시뮬레이터는 Fig. 5와 같이 구성되어 있으며 운용 PC에서 실행되고 있는 시나리오 시각화 S/W와 연동하여 표적 및 도로환경을 시뮬레이션한다. 테스트 차량에서는 영상 송출 장치에서 시뮬레이션 된 표적 및 차선을 인식하여 차량의 ADAS 기능들을 활성화할 수 있다.

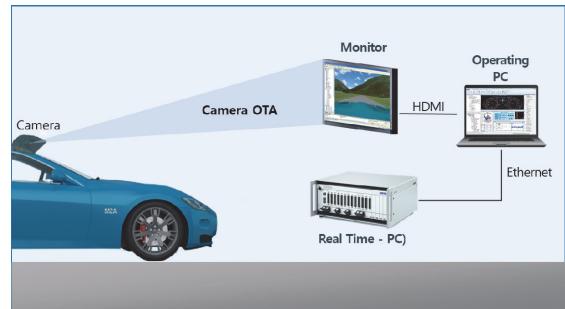


Fig. 5 Schematic diagram of image simulator

2.4 SCALEXIO

테스트 차량의 ADAS 기능을 활성화하기 위해서는 각 기능에 맞게 테스트 시나리오를 구성하고 시나리오에 따라 레이더 및 영상 시뮬레이터를 제어할 필요가 있다. 또한 실제 주행 환경을 보다 정확하게 모사하기 위해서는 테스트 차량의 차속 및 조향각 신호를 실시간으로 받아 레이더 및 영상 시뮬레이터에 반영할 수 있어야 한다.

본 연구에서는 테스트 차량의 차속 및 조향각을 실시간으로 모니터링하고 시나리오에 맞게 레이더 및 영상



Fig. 6 SCALEXIO real time PC (dSPACE)

Table 2 Specifications of SCALEXIO

	Specification
Calculation speed	1 ms
Frequency range	24
Core	Quad core
Basic frequency	2.8 GHz
Memory	4 GB RAM (DDR4), 8 GB flash memory
Host interface	Gigabit Ethernet
Communication protocol	Ethernet, CAN/CAN-FD, LIN, FlexRay

시뮬레이터를 제어하기 위해 Fig. 6과 같이 dSpace社의 SCALEXIO Real Time PC를 사용하였으며 상세사양은 Table 2와 같다. SCALAXIO는 레이더 및 영상 시뮬레이터, 다기능 주행시뮬레이터와 연결되어 실시간으로 통신하며 테스트 차량의 정보를 모니터링 하며 레이더 및 영상 시뮬레이터를 제어하도록 구성되어 있다.

2.5 통합시스템

Fig. 7과 같이 다기능 주행시뮬레이터와 SCALEXIO의 인터페이스를 통합하여 다기능 주행시뮬레이터에서의 실시간으로 측정하고 있는 테스트 차량의 데이터를 실시간으로 레이더 및 영상 시뮬레이터에 반영할 수 있도록 하였다.

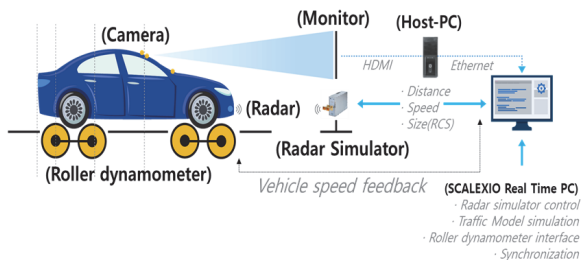


Fig. 7 Schematic diagram of VILS environment for ADAS inspection

해당 통합시스템을 활용하여 테스트 차량의 데이터를 실시간으로 반영한 시뮬레이션이 가능하며 테스트 차량 주행 중 조작을 통하여 상대 차량과의 충돌상황이나 차선 이탈 상황 등 다양한 시나리오를 시뮬레이션할 수 있다.

통합시스템은 dSPACE 社의 SCALEXIO를 주장비로 하여 DÜRR 社의 다기능 주행시뮬레이터를 제어할 수 있도록 구성하였다. 장비 간 인터페이스를 공유하여 통합제어 될 수 있도록 Table 3과 같이 제어모드를 개발하였으며 다기능 주행시뮬레이터의 제어 흐름도는 Fig. 8과 같다.

다기능 주행시뮬레이터는 “MODE1”에서 dSPACE 장비와의 통신상태를 확인한다. 이후 차량 진입이 감지되면 “MODE2”로 진입하여 SCALEXIO로부터 테스트 차량의 제원 정보, 주행시뮬레이터 주행 모드와 같은 파라미터의 송신을 기다린다. 파라미터들이 송신되면 “MODE3”으로 진입하여 차량의 제원에 맞게 휠베이스를 조정하고 조정이 완료되면 “MODE4”로 진입하여 주행 테스트

Table 3 Test modes of the integrated system

Mode	Function
1	IDLE
2	Waiting for Wheelbase/Setting
3	Adjusting the mechanical Setup
4	Ready to execute commands/wait for test end
5	ABORT command

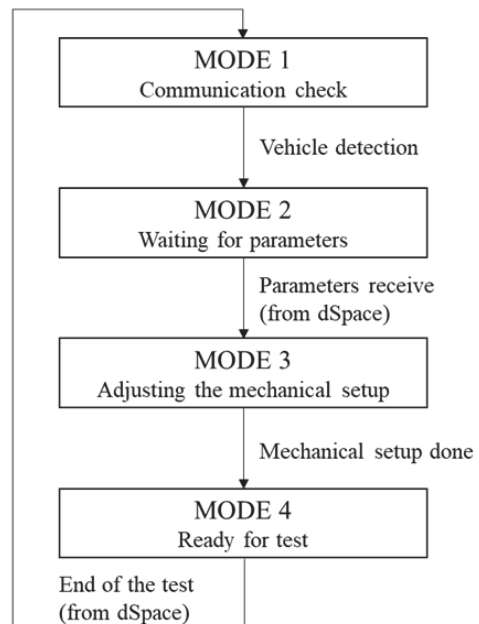


Fig. 8 Flow diagram of X-road Curve for integrated system

를 수행할 수 있다. 테스트를 수행한 뒤 SCALEXIO로부터 테스트 종료 신호를 수신하면 “MODE1”로 돌아가면서 테스트가 종료되도록 구성하였다.

3. VILS 실차 검증

3.1 테스트 차량

VILS 실차 검증을 위해 사용한 차량은 2020년 형 Grandeur IG이며, FCW(Forward Collision Warning), AEB (Advanced Emergency Braking), LDW(Lane Departure Warning), LKA(Lane Keeping Assistance), ACC(Adaptive Cruise Control) 기능이 탑재되어있는 모델이다.⁷⁾

3.2 LDWS

테스트 차량으로 사용된 Grandeur IG의 경우 시속 60 km/h 이상에서 차선을 인식하는 경우 LDWS 기능이 활



Photo. 1 LDWS function activation

성화된다. VILS 환경에서 테스트 차량을 주행시키고 Photo. 1과 같이 시속 60 km/h 이상에서 클러스터에 LDWS가 활성화되는 것을 확인하였다. 이후 차량의 조향각을 입력하여 차선이탈 상황을 모사하였으며 LDWS 경고 시 임의로 트리거를 주어 발생 지점을 로깅하는 방법으로 해당 기능의 작동 여부를 판단하였다. 정상 주행 모습과 차선이탈 상황 모습은 Fig. 9와 같다.

Fig. 10과 같이 차량과 좌우측 차선과의 거리를 로깅하며 차선이탈 상황을 모사하였을 때 좌우측 모두 차선이탈 0.5 ~ 0.6 m 전 테스트 차량의 LDWS 경고가 울리는 것을 확인할 수 있었다.

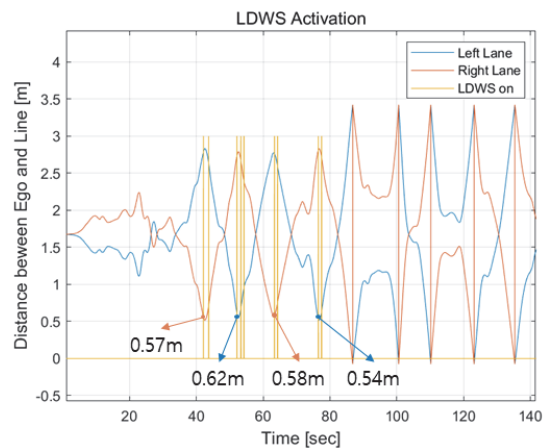


Fig. 10 LDWS test result



(a)



(b)

Fig. 9 Road simulation of normal situation(a) and lane departure situation(b)

3.3 FCWS

FCWS 테스트를 위해 시뮬레이션 충돌 타겟으로 트럭 이미지를 활용하였다(Fig. 11). 타겟 차량이 테스트 차량으로부터 300 m 떨어진 거리에서부터 레이더 신호와 영상 신호를 시뮬레이션하기 시작하여 테스트 차량이 가속하기 시작하면 시속 10 km/h로 테스트 차량 방향으로 다가오도록 하였다. 이후 타겟 차량은 테스트 차량과의 거리 2 m 앞까지 다가왔다가 다시 상대속도 10 km/h로



Fig. 11 Simulated target vehicle for FCWS test

멀어지도록 시뮬레이션하였다. 테스트 차량은 시속 70 km/h로 주행하다가 충돌 직전 가속을 중단하고 테스트 차량의 클러스터를 통하여 FCWS의 동작 여부를 확인하였다.

Fig. 12는 테스트 차량의 CAN 신호를 모니터링한 차속, 상대거리, TTC를 나타낸다. 타겟 차량과의 거리가 95 m가 되는 시점부터 테스트 차량이 타겟 차량을 감지하기 시작하였으며 상대거리 9 m, TTC 2초가 되는 시점에서 Photo. 2에서와 같이 FCWS 경고가 정상적으로 동작하는 것을 확인할 수 있다.

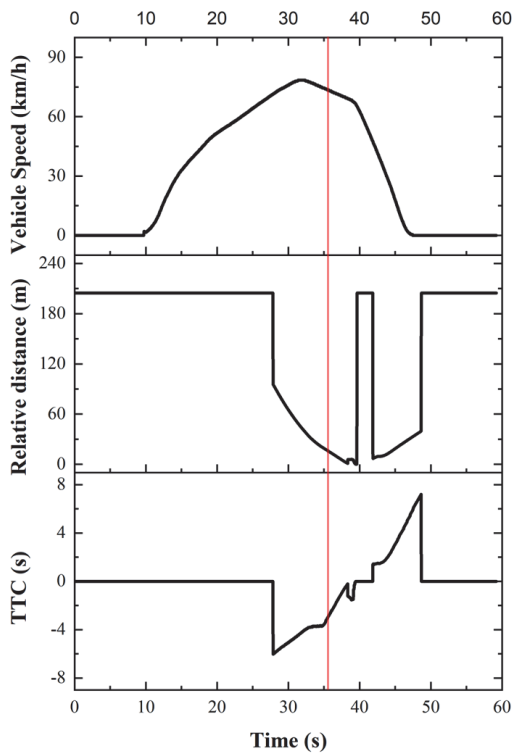


Fig. 12 Speed(km/h) and relative distance(m) and time to collision(s) of the test vehicle



Photo. 2 FCWS function activation

3.4 ACC

ACC 테스트를 위해 테스트 차량의 속도를 시속 60 km/h로 가속한 뒤 ACC 기능을 동작시켜 ACC 설정 속도를 시속 60 km/h로 설정하였다. 테스트 차량이 가속하기 시작하면서 타겟 차량이 시속 20 km/h로 다가오도록 하였으며 상대거리 15 m까지 접근하였다가 다시 시속 20 km/h로 상대거리 70 m 지점까지 멀어지도록 하였다. 이후 다시 상대거리 15 m 지점까지 접근하여 10초간 테스트 차량과 같은 속도로 정속 주행한 뒤 시속 20 km/h의 속도로 멀어지도록 시뮬레이션하였다. ACC가 VILS 환경에서 활성화된 것은 Photo. 3에서와 같이 클러스터를



Photo. 3 ACC function activation screen

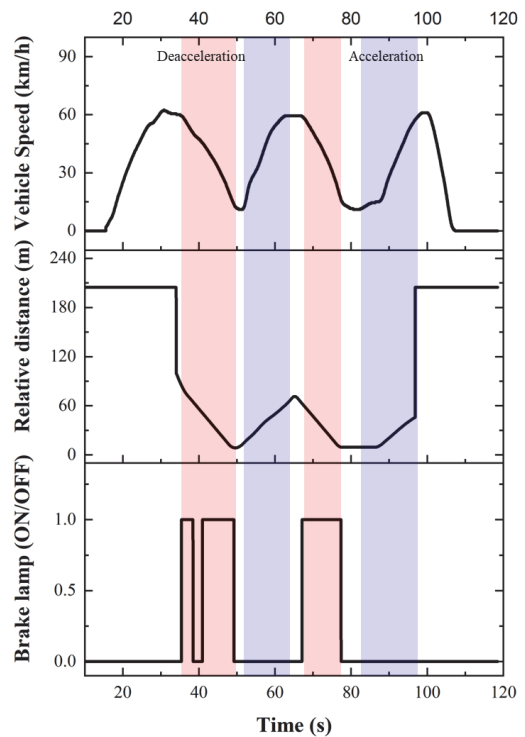


Fig. 13 Speed(km/h) and relative distance(m) and brake lamp(on/off) of the test vehicle

통하여 확인할 수 있다.

Fig. 13은 테스트 차량의 차속, 상대거리, 브레이크 동작 여부를 나타낸다. 상대거리 100 m 지점부터 타겟 차량을 인식하기 시작했으며 타겟 차량이 접근함에 따라 테스트 차량이 자동으로 감속하고 타겟 차량이 멀어짐에 따라 테스트 차량이 자동으로 가속하는 것을 보고 테스트 차량의 ACC 기능이 정상적으로 동작하는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 논문에서는 운행자동차에 대한 첨단운전자보조시스템(ADAS)에 대한 검사를 위해 VILS 환경을 구축하고 Grandeur IG를 활용하여 VILS 환경에 대한 유효성을 검증하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 운행자동차의 첨단운전자보조시스템(ADAS)에 대한 검사를 위해 VILS 환경을 구축하였다.
- 2) 실제 주행환경과 유사한 환경을 구성하기 위해서 다기능 주행시뮬레이터와 레이더 및 영상 시뮬레이터 시스템을 통합하여 테스트 차량의 주행 데이터가 시뮬레이터에 반영되도록 하였다.
- 3) VILS 환경의 유효성 검증을 위해 Grandeur IG 차량을 이용하여 LDWS, FCWS, ACC 기능에 대한 검증을 진행하였으며 VILS 환경에서 테스트 차량들의 해당 기능들이 정상적으로 동작하는 것을 확인하였다.
- 4) 하지만 현재 구축된 첨단안전장치 VILS의 경우 고사양 연구용 장비를 사용하여 구축비용이 많이 들기 때문에 정기검사를 위한 검사소에 적용하기에는 다소 부적합하다.

- 5) VILS 환경을 검사소에 적용하기 위해서는 검사 환경에 맞게 다기능 주행시뮬레이터 모터의 용량을 줄여 하드웨어의 비용을 낮추고 검사 전용 시나리오를 개발하여 소프트웨어의 가격을 낮추는 등 전체적인 시스템의 구축비용을 낮추는 것이 중요하다.

후 기

본 연구는 국토교통부 국가연구개발사업 「첨단안전장치 장착자동차 성능평가 검사기술 개발」의 연구비 지원을 받아 수행되었습니다(과제번호: 21SDPT-C158092-02).

References

- 1) Korea Ministry of Government Legislation, Regulations on the Standards of Automobiles and the Performance of Auto Parts, <http://www.law.go.kr>, 2022.
- 2) UNECER152 Regulation, 2020.
- 3) Wakabayashi, Self-Driving Uber Car Kills Pedestrian in Arizona, Where Robots Roa, New York Times, 2018.
- 4) B. Kang and U. Yeo, “Study on the Necessity of Periodic Inspection Technology of Advanced Driver Assistance System,” Transactions of KSAE, Vol.27, No.9, pp.741-746, 2019.
- 5) Motor Vehicle Management Act, 2022.
- 6) T. Weck and J. Neumann, “How to Calibrate and Test Advanced Driver Assistance and Autonomous Driving Systems EoL,” Proceedings of the 19. VDI-Kongress SIMVEC - Simulation Und Erprobung in DerFahrzeugentwicklung, 2018.
- 7) Grandeur IG Consumer Manual, 2020.