

# LKAS의 실도로 안전성 평가방법에 관한 연구

윤필환\* · 이선봉\*\*,<sup>†</sup>

## A Study on Safety Evaluation Method of LKAS in Actual Road

PilHwan Yoon\*, SeonBong Lee\*\*,<sup>†</sup>

**Key Words** : Lane Keeping Assistance System(LKAS, 차로유지지원장치), test evaluation method(시험평가방법), Intelligent Transport System(지능형교통시스템), Advanced safety vehicle(첨단안전차량), test scenario(시험시나리오)

### ABSTRACT

Recently, the automobile industry has developed ADAS (Advanced Driver Assistance System) to prevent traffic accidents and reduce driver's driving burden. Among the ADAS, the LKAS (Lane Keeping Assistance System) is a support system for the convenience and safety of the driver, and the main function is to maintain the driving lane of the vehicle. LKAS is a system that uses radar sensor and camera sensor to collect information about the position of the vehicle in the lane and to support keeping the lane through control if necessary. In many countries, LKAS has already been commercialized and the convenience and safety of drivers have been improved. The international LKAS evaluation test procedure is being developed and discussed by standardization committees such as the ISO (International Organization for Standardization) and the Euro NCAP (New Car Assessment Program). In Korean, the LKAS test method is specified in the KNCAP (Korean New Car Assessment Program), but the evaluation method is not defined. Therefore, the LKAS test procedure that meets international standards and is suitable for domestic road environment is necessary. In this paper, development of LKAS test evaluation scenarios that meets international standards and considering domestic road environment, and the formula that can evaluate the result value after control as the relative distance of lane and the front wheel are suggested. And a comparative analysis was conducted to verify the validity of the suggested scenario and formula. The test evaluation was conducted using the vehicle equipped with the LKAS.

### 기호설명

CG	Vehicle Center of Gravity	$d_s$	Distance from forward tire to line [m]
$D_{LC}$	Distance to line crossing [m]	$d_v$	Distance from CG to forward tire [m]
$SD_{LC}$	Distance to Straight line crossing [m]	$d_c$	Distance from CG to line [m]
$CD_{LC}$	Distance to Curved line crossing [m]	$\delta$	Steering angle of relative vehicle [°]
		$\psi$	Steering angle [°]
		$r_r$	Distance from CG to curvature center [m]
		$r_c$	Distance from line to curvature center [m]
		$v_l$	Lateral velocity [m/s]

\* 계명대학교 기계공학과  
 \*\*,† 계명대학교 기계자동차공학부, 교신저자  
 E-mail : seonbong@kmu.ac.kr

## 1. 서론

최근 첨단 운전자 지원(ADAS, Advanced Driver Assistance System)에 대한 연구개발이 세계적으로 활발히 이루어지고 있다. 특히 ADAS는 운전자의 안전과 편의성을 보장하기 위해 성능평가 시험이 필수적으로 요구된다.

미국, 유럽, 일본 등 자동차 산업의 선진국과 자동차 기업들은 ADAS의 개발 및 시험평가 방법의 국제 표준화 연구를 통하여 경쟁력을 꾸준히 확보하고 있다. 국내의 경우 국제 표준화 시험방법을 채택하고 있으나, 국내도로실증을 고려한 시험방법 및 절차에 대한 연구는 미흡하다.

그중 차로 유지(LKAS, Lane Keeping Assistance System)은 자동차가 차선을 유지하도록 보조하는 시스템이다. 이 시스템은 운전자의 의도를 파악하여 진행하는 것이 아니라 주행 중 차선을 벗어날 경우, 1차적으로 운전자에게 위험을 경고하고 그래도 차선을 이탈한다고 판단하면 조향 장치를 제어하여 차선유지를 돕는다.<sup>(1,2)</sup>

따라서 LKAS가 국내에 본격적으로 도입되고 있는 시점에서, 국내도로환경에 맞는 성능검증과 평가 방법 등의 실제적인 시스템이 필요하다. LKAS 시험평가의 경우, 세계적으로 국제표준화기구(ISO, International Organization for Standardization)위원회에서 논의되어 개발 및 개선되고 있으며 현재 DIS(Draft International Standard)가 공개되어 있다.<sup>(3)</sup> 국내의 경우 LKAS에 관한 시험평가 방법은 2016년부터 한국 자동차안전연구원(KNCAP, Korean New Car Assessment Program)에서 도입하였다.<sup>(4)</sup>

LKAS의 연구동향을 살펴보면, Park은 차선유지 보조 장치의 성능 평가에 관한 연구를 진행하였고,<sup>(5)</sup> Yoon등은 국내도로환경을 고려한 LKAS 시험평가 방법에 관한 연구를 진행하였다.<sup>(6)</sup> 또한 Cho등은 실제도로환경 구현 및 실차를 이용하여 LDWS 평가방법을 고찰하였고,<sup>(7)</sup> Lee등은 국내 운전자의 DVI(Driver Vehicle Interaction) 데이터베이스의 활용을 통하여 고속도로 주행조건에서 운전자의 차선 변경 성향을 분석하였으며,<sup>(8)</sup> Woo등은 LKAS의 성능평가를 위해 자동차의 횡방향 움직임에 관한 국제 기준 및 시험평가방법과 연구사례 등을 분석하였다.<sup>(9)</sup> Moon등은 GIS(Geographic Information System)의 차선데이터와 RKT(Real Time Kinematic)/DGPS(Differential Global Positioning System) 등의 정밀위치센서의 차량 데이터를 비교함으로써 차선이탈감지에 대한 신뢰성을 높였다.<sup>(10)</sup>

따라서, 본 연구에서는 LKAS의 시험평가 방법에 대한 국제표준의 능동적인 대응과 국내환경에 맞는 시험평가

방법의 정립을 위해 시나리오를 제안하고, 차선과 차바퀴 간의 거리에 대한 함수로 목표치를 설정한 이에 따른 이론적 모델을 제시한다. 또한 LKAS가 탑재된 차량을 이용하여 제안한 시나리오 별 이론적 평가 기준에 대해 실도로의 실차시험을 통해 검증하고자 한다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1. 국내외 시험평가 기준

국내 LKAS시험평가 규격은 KNCAP에서 지정한 시험방법을 정리하였으며, 국외의 경우 ISO 11270을 기본으로 시험 방법 및 규정을 정리하였다. 현재 국내의 LKAS는 KNCAP에 시험방법이 규정이 되어있으나 평가방법에 대한 규정은 없다. 따라서 KNCAP, 완성차 회사 및 관련 부품사, 대학 및 연구소 등에서 관련 평가 기술 개발을 위한 연구 개발이 활발히 진행되고 있다.<sup>(11)</sup>

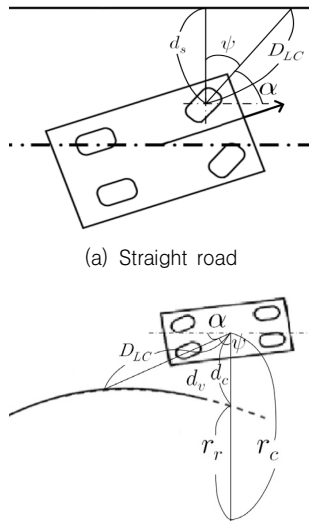
LKAS 관련 기준 동향 및 평가 방법을 Table 1에 정리하였다.

Table 1 Interantional and domestic standard & evaluation method

Item	ISO 11270	KNCAP
Lane departure distance [m]	LKAS_offset_max ■ Light vehicle:0.4 ■ Heavy vehicle:1.1	-
Lane width [m]	3.4-3.9	3.5±0.01
Longitudinal speed	20-30m/s (72-108km/h)	65±3km/h
Lateral speed	0.4±0.2m/s (1.44±0.72km/h)	0.2m/s or 0.5m/s
Curvature	$R = v^2/a_y$ max $a_y = 1m/s$	800m

### 2.2. 실도로 안전성평가를 위한 이론식 제안

LKAS는 차량이 차선을 이탈하지 않도록 유지시켜야 한다. 차선을 유지하기 위해 카메라와 레이더 센서 등을 이용하여 도로환경을 파악하고 차선까지의 이탈 전 안전 거리를 유지하도록 설계되어야 한다.<sup>(12)</sup> 따라서 국내도로 환경에 부합하는 직선도로와 곡선도로의 곡률반경을 고려하고, 차량 앞바퀴부터 차선까지의 상대거리를 목표치로 표현한 이론식을 제안하고자 한다.



(a) Straight road  
(b) Curve road  
Fig. 1 Road section

Fig. 1은 차와 도로의 변수 조건들을 정리하여 나타내었다.

LKAS 차량이 차선까지의 거리를 유지하도록 제어하기 위한 직선로의 이론식은 아래와 같이 정의된다.

$$SD_{LC} = \frac{d_s}{\cos \psi} \quad (1)$$

$$\psi = 90 - \alpha \quad (2)$$

여기서,  $SD_{LC}$ 는 직선로에서 차선까지의 상대거리,  $d_s$ 는 직선로에서 차선부터 앞바퀴까지의 거리,  $\psi$ 는 차량 상대 조향각,  $\alpha$ 는 조향각을 나타낸다.

곡선로에서는 도로의 곡률반경을 고려한  $CD_{LC}$ 의 이론식은 아래와 같이 정의할 수 있다.

$$k = \frac{1}{r} \frac{|v(t) \times a(t)|}{|v(t)|^3} \quad (3)$$

$$d_c = r_c - r_r \quad (4)$$

$$CD_{LC} = \frac{d_c}{\cos \psi} - d_v \quad (5)$$

이때 곡선로의 원의 반지름( $r_r$ )과 차량 무게중심부터 원의 중점까지의 거리( $r_c$ )를 곡률 방정식을 이용하여 곡

선로에서 차선까지의 거리( $CD_{LC}$ )를 구할 수 있다. 직선로와 곡선로에서 차선까지의 거리( $D_{LC}$ )는 아래 식으로 정의, 제한할 수 있다.

$$D_{LC} = SD_{LC} + CD_{LC} - \int_{t_0}^{t_1} v_l dt \quad (6)$$

직선로와 곡선로에서 차선까지의 거리의 합에서 차량 이탈속도( $v_l$ )를 이용하여 실시간으로 차선까지의 거리를 측정할 수 있기 때문에 제안한 이론식의 신뢰성을 검증할 수 있다.

## 2.3. 실도로에서의 안전성평가 시나리오

실도로에서 실차시험을 진행하기에 앞서 갖길에 주차된 자동차와 다른 자동차가 주행하고 있어 시험을 실시하기 전 안전을 위하여 몇 가지의 가정과 실도로 상의 환경을 고려한 시나리오를 선정하였다.

### 2.3.1. 실도로 안전성평가를 위한 가정

시나리오 선정 전 실도로 상의 환경을 고려하고 실차시험의 안전성을 확보하기 위하여 선행조건을 아래와 같이 선정하였다.

- 도로 폭은 3.5m를 넘지 않을 것(국내도로폭 최대치 기준)
- LKAS의 차선유지 능력은 차량 사용자 설명서에 반드시 언급 해야 할 것
- LKAS 작동한계를 벗어나는 범위에서는 반드시 운전자가 조작해야 할 것
- 차량 이탈 속도  $0.4 \pm 0.2m/s$  초과시 운전자가 반드시 조작해야할 것
- 횡방향 가속도의 크기는  $3m/s^2$ 을 초과하지 않을 것

### 2.3.2. 안전성평가 시나리오 선정

실차시험은 차량의 LKAS 작동 후 전방 유리 윗면에 장착되어 있는 카메라 센서가 차선의 감지하는지 확인한 후 주행한다. 또한 카메라가 차선과 앞바퀴 사이 거리를 확인한 후 차선이탈 유무를 판단하여 차선 내에 복귀여부를 평가한다.

직선로의 경우, Fig. 2(a)는 조향각이 없는 경우이며, 시험차량이 직선도로에서 주행 중일 때 왼쪽으로 조향각

이 부여된 상황에서 차선을 이탈하지 않고 복귀하는 것에 대해 평가하는 시나리오이다. 설정조건은 Table 2와 시나리오 1에 나타내었다.

Fig. 2(b)는 조향각이 일정한 경우이며, 시험차량이 조향각을 갖는 상태로 주행중일 때 추가로 조향각을 부여한 시나리오이다. 이때 이탈 속도를 초과하지 않고 차선으로 복귀하면 성공으로 판단할 수 있다. 설정조건은 Table 2와 시나리오 2에 나타내었다.

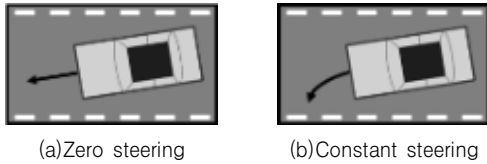


Fig. 2 Straight road section

곡선로의 경우, Fig. 3(a)는 조향각이 없는 경우이며, 시험차량이 직선도로에서 운전자가 조향에 관여하지 않은 상태로 곡선도로에 진입하고, 곡선부 중앙에 차량이 위치한 상태에서 왼쪽으로 조향각을 부여하였을 때 차선을 이탈하지 않고 복귀 여부를 판단하는 시나리오이다. 설정조건은 Table 2와 시나리오 3에 나타내었다.

Fig. 3(b)는 조향각이 일정한 경우이며, 곡선도로 중앙부에서 왼쪽으로 조향각을 부여한 후 운전자가 추가적으로 조향한 시나리오로 차선을 이탈하지 않고 유지하며 곡선도로를 주행 하는지를 판단하는 시나리오이다. 설정조건은 Table 2와 시나리오 4에 나타내었다.

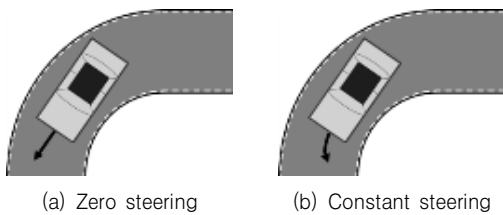


Fig. 3 Curved road section

Table 2 Scenario condition

Scenario	Velocity (km/h)	Lane width (m)	Road radius (m)	$\psi$ (°)	$\delta_f$ (°)	$\psi_L$ (°)
1	60	3	0	5	0	5
2			0	5	3	8
3			500	5	0	5
4			500	5	3	8

### 3. 실차시험

#### 3.1. 실차시험 차량

본 연구에서 제안한 시나리오와 거리에 대한 이론적 식의 검증을 위해 실도로에서 실차시험을 실시하였고 시험에 활용한 차량은 B社의 520d이다.

B社의 520d는 레이더와 카메라 센서를 활용하여 LKAS를 구현하며 현재 판매되고 있는 차량 중 우수하다고 평가 받고 있는 차량이다.



Fig. 4 Test vehicle (B社 520d)

Fig. 4는 실차시험에 활용한 차량이다.

#### 3.2. 실차시험 장비

실차시험에서 사용한 장비는 차량위치, 속도, 가속도, 이탈속도, 조향각 등의 데이터를 얻기위해 V-box, DAQ (Data Acquisition System)를 이용하였으며 Fig. 5에 나타내었고, 사양은 Table 3~4에 정리하였다.

Table 3 V-box spec.

Equipment name	VBOX 3i
Spec.	100 Hz logging to CF memory card
	High brake stop accuracy up to $\pm 1.8$ cm
	Very low latency: $8.5 \pm 1.5$ msec
	Over-sampled brake/event trigger input (25 nsec), 4x analogue inputs
	1x default CAN Bus port for input module expansion
	1x configurable CAN Bus for vehicle CAN interface or VBOX data output
	Real-time result display via serial, USB or Bluetooth
	IMU integration
Wide 7 V to 30 V operating range	

Table 4 DAQ spec.

Equipment name	DEWE 4010
Spec.	Portable 16 channel data acquisition system
	Built-in 16-channel DEWETRON DAQ/PAD series conditioning module slot
	19" LCD display 1280 x 1024 pixels
	2.8 GHz Intel Pentium 4 processor, 512 MB RAM 160 GB IDE hard drive, DVD-ROM
	4x USB, 1x RS-232, 1x LPT, 1x Ethernet port, 1x Firewire IEEE-1394
	230VAC power supply
	Microsoft Windows 2000 operating system



(a) DAQ (Dewesoft-4010)

(b) IMU



(c) V-box (DAQ)

Fig. 5 Test measuring device

### 3.3. 실차시험 장소 및 환경

실차시험 장소는 대구광역시 달성군 구지면의 대구국가산업단지에서 진행하였으며, Fig. 6은 시험을 진행한 시험로이다.

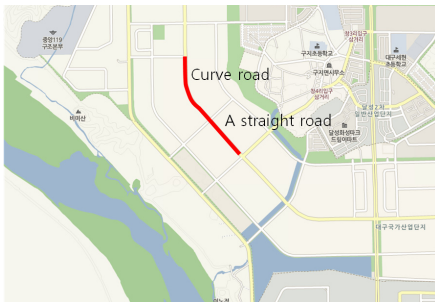


Fig. 6 Test actual road

실차시험은 직선로와 곡선로로 나누어 진행하였고, 시험환경조건은 Table 5에 정리하였다.

Table 5 Test environmental conditions

Item	Condition
Road condition	flat, dry and clean asphalt or concrete
Temperature [°C]	26 - 36.5
Horizontal visibility range [km]	More than 1
Wind speed [m/s]	1.6 - 1.7
Weather	sunny
Road Curvature [m]	500
Coefficient of friction [ $\mu$ ]	1.079
Illuminance [lux]	30900

### 3.4. 실차시험 조건

LKAS 시나리오의 실차 시험으로 객관적인 데이터 취득을 위하여 동일 시나리오를 반복, 재현 가능하도록 시험 인원과 장비는 동일하게 유지하였고, 3번 반복시험을 진행하였다.

속도는 국내도로환경에 맞추어 도심로 기준과 KNCAP의 규정을 기준으로 시속 60km/h로 지정하였으며, 도로 폭은 규정에서 정의한 차속도에 맞춘 3.0m로 진행하였다. 이때 자동차 폭은 승용차 기준 2.0m 이내이다.

시험차량의 설정속도는 모든 시나리오에 동일하게 지정된 속도를 적용하였고, 측정오차의 감소를 위하여 정속주행기능을 활용하였으며, ISO규정에 의거하여 곡선 도로의 곡률반경을 아래 식 (7)로 계산하였다. 60km/h의 속도일 경우 횡 가속도를  $0.5m/s^2$ 으로 가정하였다. 아래 식 (7)에 의해 구한 곡률반경은 557.8m이어야 하지만 실제시험은 실도로기준 500m로 진행하였다.

$$R = v^2 / a_y \quad (7)$$

### 3.5. 실차시험 결과

실차시험 결과는 Fig. 7에 나타내었다.

Fig. 7은 시나리오 1, 2, 3, 4의 시간에 따른 횡방향 가속도의 크기를 나타낸 것이다. 4개의 시나리오 모두 ISO

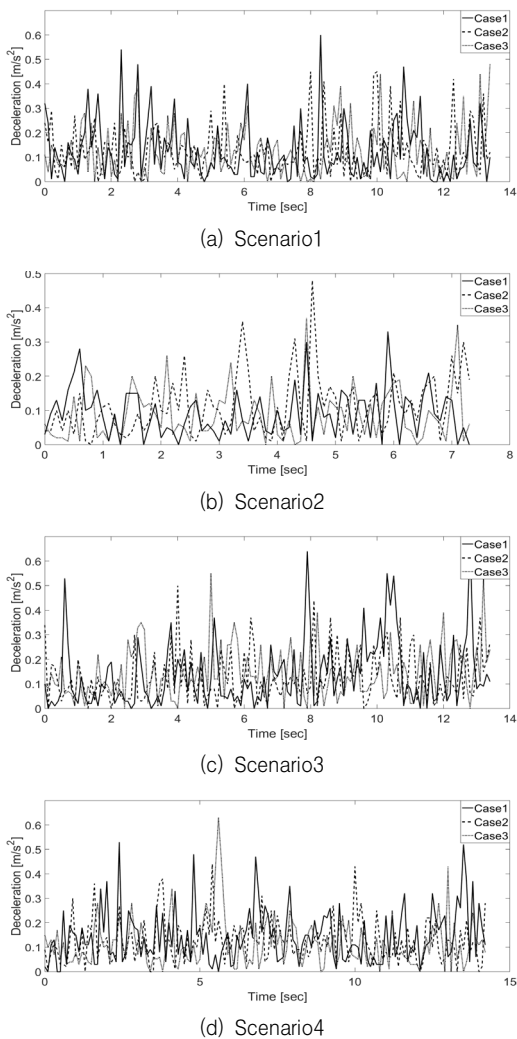


Fig. 7 LKAS Lateral Acceleration

규정의 최대치인  $3m/s^2$ 을 초과하지 않고 차선에 복귀한 것을 확인할 수 있다.

#### 4. 이론 값과 실차시험 값의 비교 분석

차선부터 차량 앞바퀴까지의 상대거리 값들을 Table 6에 정리하였다. 2.2절에서 제안한 식 (6)의 이론계산 값과 실제 값의 오차율을 비교 검증하여 나타내었다. 차량 앞바퀴와 차선까지의 이론값과 실측값의 오차율은 최소 1.94%에서 최대 10%로 나타났다. 이러한 오차는 동일한 운전자, 시험환경에서 진행하였음에도 운전자의 시나리

오 진행방법과 운전성향, 카메라 센서 범위 조절과 LKAS의 안정화 과정에서 나타나는 오차로 판단되며, 3번의 시험중 2번 이상이 5%이내의 오차율을 보였기에 비교대상에서 제외하였다.

Table 6 Comparison between theory and actual data

Scenario		Suggested formula value [m]	Test value [m]	Error factor [%]
1	1	0.125	0.129	-3.20
	2	-0.041	-0.043	-4.88
	3	0.051	0.054	(-5.88)
2	1	-0.088	-0.086	2.27
	2	0.010	0.011	(-10.00)
	3	0.041	0.043	-4.88
3	1	0.011	0.012	(-9.09)
	2	0.200	0.204	-2.00
	3	0.104	0.107	-2.88
4	1	-0.155	-0.152	1.94
	2	-0.137	-0.139	-1.46
	3	-0.127	-0.124	2.36

#### 5. 결론

본 논문에서는 LKAS의 안전성 평가를 위한 시험 시나리오를 구성하고 제안하였다. 또한 국내도로환경에 맞춘 LKAS 평가기준을 거리에 따른 이론평가 식으로 제안하였다.

본 연구를 통하여 얻은 결과는 다음과 같다.

- 1) 제안한 새로운 이론적 평가 수식은 직선로와 곡선로 등 도로조건에 따라 차선까지의 거리 계산이 가능하며 차선이탈속도도 고려되었다. 제안한 시나리오와 함께 국내환경에서 실차시험 전에 LKAS 동작 여부와 제어 경향성을 판단 할 수 있을 것으로 생각된다.
- 2) 제안한 이론식의 검증과 시나리오에 대한 평가를 위하여 실차시험을 진행하였으며, 동일한 장비를 숙련된 운전자가 같은 장소에서 3회 진행하였다.
- 3) 시나리오별 시험 결과는 제안이론식 계산 값과 실제 값을 비교하였으며, 최소 1.94%에서 최대 10%로 나타났으나 운전자의 성향, 시나리오의 진행방법 등과 같은 변수에 의해 오차가 나타난 것으로 판단하였으며 LKAS가 작동 후에는 차선에 정상 복귀하는 것을 확인할 수 있었다.

- 4) 시나리오 1-3, 2-2, 3-1과 같은 경우 역광, 횡단 보도 등과 같은 차선의 인식에 장애를 주는 외부적인 영향으로 카메라 센서의 정상적인 작동에 방해되었음을 확인하여 비교대상에서 제외하였다.
  - 5) 최대 차선이탈거리가  $-0.155\text{m}$ 로 발생한 이유는 시나리오 4의 조건에 따라 조향각을 추가로 변경할 때, 시험장소의 특성상 시험로 구간에 횡단보도로 인해 카메라 센서가 순간적으로 차선을 인지하지 못하게 되어 오차가 발생하였다고 판단된다.
- 이상의 결과로부터 본 연구에서 국내도로환경에 부합하는 직선로와 곡선로에서 적용 가능한 LKAS의 이론적 평가 수식과 평가시나리오를 제안하였으며, 이의 검증을 위해 실도로 시험을 실시하였다. 그 결과 평가항목인 거리의 오차율은 시나리오 2-2, 3-1 두 구간만 제외하면 5%미만으로 신뢰성이 있다고 판단되었다. 향후 주변 환경과 기후 및 곡선로의 곡률반경 등의 악조건에 대한 LKAS의 시험평가가 추가적으로 필요할 것으로 판단된다.

## 후 기

본 연구는 산업통상자원부 및 한국산업기술평가관리원에서 지원하는 산업기술혁신사업(10079967, 자율주행 기술의 신뢰성 평가를 위한 실도로 기반의 실증 평가 기술 개발)의 일환으로 수행하였음.

## 참고문헌

- (1) H. Kawazoe, T. Murakami, O. Sadano, K. Suda and H. Ono, "Development of a Lane-Keeping Support System," SAE 2001-01-0797, 2001.
- (2) P. Raksincharoensak, M. Nagai and M. Shino, "Vision Based Lane Keeping Assistance Control by Using Drive-by-Wire Electric Vehicle," 12th World Congress on ITS, 2005.
- (3) ISO/DIS 11270, Intelligent Transport Systems – Lane Keeping Assistance Systems – Performance Requirements and Test Procedures, 2013.
- (4) <http://www.kncap.org/>
- (5) S. C. Park, "Study on Performances evaluation of Lane-Keeping Assistance Systems", Kangwoon University, 2018.
- (6) P. H. Yoon, and S. B. Lee, "A Study on Evaluation Method of the LKAS Test in Domestic Road Environment", Journal of Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol. 18, No. 12, pp. 628~637, 2017.
- (7) S. S. Cho, J. H. Lim, S. W. Cho, K. H. Kim and S. S. Kim, "A Study on the Performance test Method of LDWS in a real Road Condition", Journal of Korean Society of Automotive Engineers Spring Conference, pp. 1060~1065, May, 2012.
- (8) Y. S. Lee, C. W. Moon and C. H. Jeong, "A Study on Characteristics of Human Drivers for Lane Change in Domestic Highway", Journal of Korean Society of Automotive Engineers Spring Conference, pp. 804~804, May, 2015.
- (9) H. G. Woo, B. J. Yong, K. J. Kim and J. H. Lim, "Road Test Scenario and performance Assessments of Lane Keeping Assistance System for Passenger Vehicles", Journal of Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 24, No. 2, pp. 255~263, March, 2016.
- (10) S. C. Moon, S. G. Lee, J. J. Kim and B. S. Kim, "Detecting Lane Departure Based on GIS Using DGPS", Journal of Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 20, No. 4, pp. 16~24, April, 2012.
- (11) <https://standard.go.kr/KSCI/standardIntro/getStandardSearchView.do> – Intelligent transport systems – Lane keeping assistance systems(LKAS) – Performance requirements and test procedures.
- (12) M. S. Kang, Y. S. Kim, "Road Lane and Vehicle Distance Recognition using Real-time Analysis of Camera Images", Journal of Korean Institute of Information and Communication Engineering, Vol. 16, No. 12, pp. 2665~2674, December, 2010.