

국내도로환경을 고려한 LKAS 시험평가 방법에 관한 연구

윤필환¹, 이선봉^{2*}

¹계명대학교 일반대학원 기계공학과, ²계명대학교 기계자동차공학과

A Study on Evaluation Method of the LKAS Test in Domestic Road Environment

Pil-Hwan Yoon¹, Seon-Bong Lee^{2*}

¹Department of Mechanical Engineering, Keimyung University

²Division of Mechanical and Automotive Engineering, Keimyung University

요약 현대사회의 자동차 산업은 교통사고를 예방하고 운전자의 운전 부담을 줄이기 위해 첨단 운전 보조 장치(ADAS)를 개발 해왔다. ADAS중 차선유지지원장치(LKAS)는 안전과 운전 향상을 위해 차량 시스템을 자동화시키기 위해 개발되었다. LKAS의 주요 역할은 현재 차선 내에서 차량을 유지하는데 있어 운전자를 도와주는 것이다. LKAS는 레이더센서와 카메라센서를 사용하여 차선 내에서 차량의 위치에 대한 정보를 수집하고 필요한 경우 액츄에이터에 명령을 전송하여 차량의 측면 이동에 영향을 미친다. 최근 LKAS가 장착된 차량 일부가 일부 선진국에서 상용화되며 안정성이 증가되었다. 국제적으로 LKAS 평가를 위한 시험절차는 ISO(International Organization for Standardization)와 UNECE(United Nations Economic Commission for Europe)와 같은 국제위원회에서 논의하며 개발중이다. 한국에서는 차량 안전을 위한 LKAS의 평가가 KNCAP(Korean New Car Assessment Program)에 의해 도입될 예정이다. 따라서 국제표준에 부합하는 국내 도로환경에 적합한 LKAS의 시험 절차가 개발되어야한다. 본 논문에서는 국내도로환경에 맞춘 LKAS 시험시나리오 개발 및 목표 상대거리를 구하는 수식을 제안한다. 그리고 제안한 시나리오와 수식을 평가하기 위해 LKAS가 장착된 상용차량을 사용하여 시험평가를 진행하였다.

Abstract The automobile industry has developed Advanced Driver Assistance Systems (ADASs) to prevent traffic accidents and reduce the burden for drivers. One example is the Lane Keeping Assistance System (LKAS), which was developed for automotive vehicle systems for safety and better driving. The main system of the LKAS supports the driver while maintaining the vehicle within a lane. LKAS uses a radar sensor and camera sensor to collect information about the vehicle's position in the lane and send commands to the actuator to influence the lateral movement of the vehicle if necessary. Recently, vehicles equipped with LKAS have become commercially available. Test procedures for international LKAS evaluation are being discussed and developed by international committees, such as the International Organization for Standardization and United Nations Economic Commission for Europe. In Korea, an evaluation of LKASs for car safety is being planned by the Korean New Car Assessment Program. Therefore, test procedures should be developed for LKASs that are suitable for the domestic road environment while accommodating international standards. We developed a test scenario for LKASs and propose a formula for obtaining the target relative distance. To validate the methods, a series of experiments were conducted using commercially available vehicles equipped with LKAS.

Keywords : Advanced Driver Assistance System(ADAS), Lane keeping Assistance System(LKAS), ISO, Test scenario, Lateral speed

본 논문은 한국연구재단 지역신산업선도인력양성사업의 연구과제로 수행되었음.

*Corresponding Author : Seon-Bong Lee(Keimyung Univ.)

Tel: +82-53-580-5457 email: seonbong@kmu.ac.kr

Received November 15, 2017

Revised December 7, 2017

Accepted December 8, 2017

Published December 31, 2017

기호 설명

CG	Vehicle center of gravity
l_f	Distance from CG to front axle(2.1m)
l_r	Distance from CG to rear axle(3.1m)
l_v	Vehicle base length($l_f+l_r=5.2m$)
a	Wheel track(1.6m)
a_y	Lateral acceleration
y_{fl}	Distance from the left boundary of the lane to front left tire [m]
L	Lane width (3.0m)
R_r	Road radius of curvature [m]
R_{vl}	Path radius of the front left tire [m]
D_{LC}	Distance to line crossing [m]
δ_f	Steering angle [rad]
ψ	Vehicle relative yaw angle [rad]
c_{des}	Objective relative clearance [m]
c_0	Minimum relative clearance [m]
τ	Time gap [s]
v_f	Lead vehicle of after speed [km/h]
v_l	Lateral speed [m/s]
a_{des}	Objective acceleration [m]
k_1, k_2	Gain [-]
SWA	Steering Wheel Angle [deg]

1. 서론

현대사회에서는 자동차의 급격한 증가로 인해 교통정체, 교통사고, 환경오염 및 에너지자원의 낭비 등은 심각한 사회문제로 대두되고 있다.

이에 따라 전 세계적으로 교통사고 사상자를 줄이기 위해 각종 정책과 연구 등을 수행하였고, 그 결과로 국내의 경우 교통사고 사상자수가 지속적으로 감소추세를 보이고 있으나 OECD(Organization for Economic Cooperation and Development) 주요국보다 높은 수준이다[1].

2015년 기준 OECD 주요국의 인구 10만명당 교통사고 발생건수는 미국 515.9건, 한국 454.8건, 일본 424.2건, 독일 378.8건, 영국 225.9건 순이나, 인구 10만명당 교통사고 사망자수는 미국 10.9명, 한국 9.1명, 독일 4.3명, 일본 3.8명, 영국 2.8명으로 여전히 세계 상위 수준을 차지하고 있다[2].

따라서, 교통사고 사고율과 사망자수를 감소시키기

위한 첨단안전장치 탑재 자동차의 수요가 증가하면서 첨단 운전자 보조시스템(ADAS, Advanced Driver Assist System)의 개발속도도 빠르게 증가하는 추세이다. ADAS는 주행 중 운전자가 미처 대처하지 못하는 상황에 대비하여 미리 경고를 하여 사고 유발을 막고 안전하게 운전할 수 있도록 지원해주는 기술이며, 사고 후의 사망자 감소 또는 부상의 정도를 줄여 사고 자체를 회피하는 기술 또는 미래의 완전 자율 주행 자동차를 위한 기반으로 각광받고 있고, 이와 관련된 예방 안전시스템이 상용화되고 있다.

ADAS의 장치 중 특히 차선 유지 제어(LKAS, Lane Keeping Assistant System)는 차선이탈경고장치(LDWS, Lane Departure Warning System)보다 진일보한 기술로 차선 인식을 통해 운전자가 차선을 무의식적으로 넘고 있다고 판단되면 시스템에서 핸들을 조정하여 차로를 벗어나지 않도록 제어하는 기술이다. 카메라는 센서로서 작용을 하며, 핸들 제어를 위해 차선의 곡률을 인식하는 것이 중요하다. 또한 미리 예측된 차로를 따라갈 수 있도록 차로 예측 신호를 제어부에 보내어 차선이탈을 방지한다. 센서, 카메라 등의 기술이 발전되면서 기술의 안전도가 증가하여 교통사고 감소율에 많은 영향을 끼쳐 여러 선진국들은 장치 도입 및 법규 제도에 힘을 쓰고 있다.

지금까지의 연구는 Cho 등이 실제도로환경 구현 및 실차를 이용하여 LDWS를 평가할 수 있는 방법을 고찰하였고[3], Lee 등은 국내 운전자의 DVI(Driver Vehicle Interaction) 데이터베이스를 활용하여 고속도로 주행조건에서 국내 운전자의 차선 변경 성향을 분석하였다[4]. 또한, Woo 등은 LKAS의 성능평가를 위해 자동차의 횡방향 움직임에 관한 국제 기준 및 시험방법과 연구사례 등을 비교 분석하였으며[5], Jo 는 LKAS에 사용되는 카메라 보정 방식에 대해 논의하고, 공정 시간 및 공차 관리에서 효율을 가지는 새로운 보정 방식을 제안하였으며 [6], You 등은 전방 영상센서에서 일반적으로 발생하는 미인식 및 오인식 사례를 분석하고, 분석 결과를 바탕으로 차선 보상 알고리즘을 구현하였다[7]. 또한 Hwang 등은 차등 자동제어를 통해 차선유지 기능이 작동시 추가적인 조향제어를 통해 운전자의 조향을 방해하지 않고 이질감을 감소시키는 방안을 제시하였다[8].

그러나, 국내도로환경에 맞춘 LKAS에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 또한 수년간 유럽 및 북미의 여러 차종에 적용되고 있으며, 국내에서 생산되는 일부 차종에도

장착 되어 있으나, 이를 국내도로환경에 맞추어 제대로 평가 할 수 있는 시나리오가 미미하다.

따라서, 본 연구에서는 국제규정의 능동적인 대응과 국내도로 환경을 고려한 시험평가 방법을 제안하기 위해 국제규정의 시험방법을 비교 분석하고 국내도로환경에 맞춘 이론적 평가수식제안과 이의 검증을 위해 실차시험을 실시하고자 한다.

2. 이론적 배경과 수식의 제안

2.1 국내 및 국제기준의 시험평가방법

현재까지 LKAS와 관련하여 국제 기준 동향 및 평가 방법은 Table1에 정리하였다.

- 1) ISO 11270 : Intelligent transport systems - Lane keeping assistance systems
- 2) NHTSA : National Highway Traffic Safety Administration

Table 1. International standard trend & evaluation method

Item	ISO 11270	NHTSA
Lane departure distance	LKAS_Offset_max • Light Vehicle:0.4m • Heavy Vehicle:1.1m	Latest Warning Line : 0.5m
Lane width	3.4 ~ 3.9m	3.7 ~ 4.3m
Longitudinal speed	20 ~ 30m/s (72 ~ 108km/h)	72 ± 2km/h
Lateral speed	0.4 ± 0.2m/s (1.44 ± 0.72km/h)	Continue to Increase Until Failure at 0.5m/s Intervals
Curvature	$R = \frac{v^2}{a_y}$ Max_ $a_y = 1m/s^2$	Only for straight line

현재 LKAS는 국내의 평가 시험방법이 아직 결정되지 않았으며, 이에 관해서는 KNCAP(Korean New Car Assessment Program)에서 관련 평가 기술 개발을 위한 연구 개발이 진행되고 있다[5].

2.2 국내 도로설계기준

국내 도로설계기준은 국토교통부에서 지정된 기준으로 Table 2에 정리하였다.

Table 2. Design specifications of domestic road width

Division of Road	Minimum Width of Lane(m)				
	Local Area		Urban Area	Compact Car Road	
Highway	3.50		3.50	3.25	
General Road	Velocity Limit (km/h)	More than 80	3.50	3.25	3.25
		More than 70	3.25	3.25	3.00
		More than 60	3.25	3.00	3.00
		Under 60	3.00	3.00	3.00

국제기준은 Table1의 ISO 17361(LDWS)와 ISO 11270(LKAS)와 같고, 국내도로 폭은 2.75~3.5m로 규정되어있다. 도로설계기준에서 자동차의 폭은 승용차 기준 2.0m 이다[9].

2.3 Sa d Mammam 수식 검토

LKAS 작동시 운전자와 탑승자 모두 편안하게 느끼기 위해서, 실제 운전자의 주행 상태와 같이 자연스럽게 부드럽게 차선에 복귀하여야 한다.

따라서 LKAS의 차량 전방 타이어의 위치를 왼쪽차선 경계를 기준으로 실제차량 CG, 횡변위, 조향각 등을 기준으로 실도로에서 계측 가능한 거리함수로 표현된 Saïd Mammam의 이론적 평가방법에 대해 국내도로환경에서의 적용가능여부를 검토한다[10].

2.3.1 직선로

1) 조향각이 0°인 경우

차량 CG가 차량의 상대 조향각(ψ)을 갖는 직선 도로 구간의 왼쪽차선으로부터 거리 y_l 이 있다고 가정한다. y_l 은 전방 왼쪽 타이어의 교차거리까지의 거리이다.

상대 조향각 및 조향각을 포함한 모든 각도는 반시계 방향으로 계산된다. 이 식은 도로 곡률반경 R_c 이 y_l 보다 훨씬 큰 것을 고려하여 곡선 도로구간에서도 일치한다.

왼쪽차선에서 교차가 발생하는 경우 D_{LC} 는 식(1)로 나타난다.

$$D_{LC} = \frac{y_l}{\sin\psi} = \frac{y_l - l_f \sin\psi - \frac{a}{2} \cos\psi}{\sin\psi} \quad (1)$$

2) 조향각이 일정한 경우

직선도로에서 차량 조향각은 일정하게 유지하며 곡선

주행 시, 조향각은 0°이 아닌 양수이고 δ_{f0} 와 같다. R_{vl} 은 전방 좌측 타이어 경로를 나타내며, l_v 는 차량의 전장이고 전방 좌측 타이어는 상대 조향각 ψ_L 을 나타낸다. D_{LC} 를 구하는 방법은 식(2)와 같다.

$$D_{LC} = \varepsilon_{ll} R_{vl} \quad (2)$$

2.3.2 곡선로

1) 조향각이 0°인 경우

직선도로구간에서는 조향각이 0일 때, 차량 상대 조향각의 부호가 차선 이탈이 발생하는 차선의 측면을 결정한다. 그러나 곡선도로구간에서는 차량 상대 조향각이 양수 일지라도 오른쪽 차선 이탈이 발생할 수 있다.

차량이 반경 R_r 의 곡선 도로에 있다고 가정한다. 조향각은 0°으로 유지하고 조종 장치는 차량의 종방향 축의 방향으로 제적을 계속 유지하도록 한다. 이때 조향각은 0°로 유지한다. 차선이탈이 차선의 왼쪽에서 발생할 경우 D_{LC} 는 식(3)과 같다.

$$D_{LC} = (R_r + y_{ll})\sin\psi - \sqrt{R_r^2 - (R_r + y_{ll})^2 \cos^2\psi} \quad (3)$$

$$\cos\psi \leq (R_r / (R_r + y_{ll})) \quad (4)$$

식(3)이 성립하기 위해서는 식(4)가 성립해야만 한다. 성립하지 않으면, 차선 이탈은 차선의 우측에서 발생한다.

또한 곡률반경이 무한대로 커질 때 D_{LC} 의 곡률의 도로 반경 효과를 강조하는 유용한 근사공식을 식(5)에 정리하여 나타내었다.

$$D_{LC} \approx \frac{y_{ll}}{\sin\psi} + \frac{1}{2} \left(\frac{\cot^2\psi}{\sin\psi} \right) y_{ll}^2 \frac{1}{R_r} \quad (5)$$

2) 조향각이 일정한 경우

호 길이와 곡률반경을 계산 후 차량 경로의 중심점 사이의 거리를 고려한 거리함수 D_{LC} 는 식(6)와 같다.

$$D_{LC} = \varepsilon_{ll} R_{vl} \quad (6)$$

그러나 Saïd Mammarr가 제안한 식은 시험차량이 차선 중앙에 위치한 경우 차량 앞 타이어부터 차선까지의 거리만 알 수 있는 정적인 값으로 레이더와 카메라 센서

를 사용하여 측정된 차량의 속도와 조향각, 이탈속도 등을 활용하는 최근의 기술동향과는 차이가 있다고 판단된다. 따라서 레이더와 카메라 센서등이 장착된 최근 기술의 LKAS에 대한 새로운 이론적 평가 수식이 필요하다.

2.4 이론적 수식 제안

Saïd Mammarr의 제안 식에서 고려하지 못했던 레이더와 카메라 센서를 활용하고 국내도로환경에 부합하는 도로별 차량속도를 고려한 평가 이론식을 목표 상대거리로 제안한 Kim 등의 식(7)을 이용하여 변경, 추가 제안하였다[11].

$$c_{des} = \frac{1}{2} [(c + c_0) - \frac{1}{k_1} (a_{des} + k_2 v_s) + v_f (\tau - \frac{k_2}{k_1})] \quad (7)$$

c_{des} 는 목표 상대거리, c_0 는 초기 상대거리, a_{des} 는 목표가속도, k_1, k_2 는 계인, v_s 는 제어차량의 속도, τ 는 시간 차, v_f 는 목표차량의 속도이다.

본 연구에서는 일정한 가속도로 주행하기 때문에 가속도 공식을 제외하고, v_f 는 전방차량에 대한 고려가 필요하지 않아 수식 값이 0이 된다.

따라서 LKAS에 최적화된 수식은 차량의 이탈 속도를 고려하여 식(8)로 제안할 수 있다.

$$c_{des} = \frac{1}{2} (c + c_0) - \int v_l dt \quad (8)$$

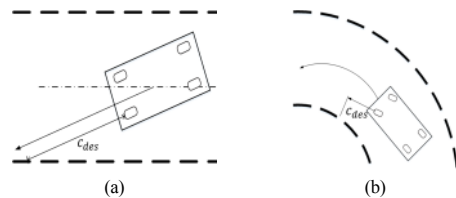


Fig. 1. Straight road section
(a) Zero steering (b) Constant steering

2.5 국내도로 환경에 부합한 시험평가 시나리오 제안

2.5.1 시험을 위한 가정

시나리오별 시험을 실시하기 전에 안전을 위하여 아래와 같은 선행 조건을 선정하였다.

- 도로 폭은 3.0m를 넘지 않음

- LKAS 시스템의 차선유지 능력은 차량 사용자 설명서에 반드시 언급
- LKAS 작동한계를 벗어나는 범위에서는 반드시 운전자가 조작
- 차량 이탈 속도 $0.4m/s \pm 0.2m/s$ 초과 시 운전자가 조작

2.5.2 이론평가 식에 따른 시나리오 제안

실차시험은 차량의 LKAS 작동 후 윈드실드 글라스(windshield glass)에 장착된 카메라 센서가 차선의 감지 유무를 판단 후 진행한다. 센서가 차선에서 앞 타이어 사이 거리의 거리를 확인하여 차선이탈 유무를 판단하여 차선 내에 복귀여부를 평가를 한다.

1) 직선로

Fig. 2의 (a)는 조향각이 없는 경우 시험차량이 직선 도로 주행중 차량이 왼쪽으로 차량의 상대 조향각이 적용된 상황에서 차선 이탈을 하지 않고 차선복귀에 대한 평가를 진행하는 시나리오이다. 설정조건은 Table 3에 나타내었다.

Table 3. Scenario 1 condition

Velocity	Lane width	ψ	δ_f	ψ_L
60km/h	3m	3°	0°	3°

Fig. 2의 (b)는 조향각이 일정한 경우는 왼쪽으로 차량의 상대 조향각이 적용된 상황에서 추가의 조향각을 적용한 시나리오 2의 그림이다. 이탈 속도를 초과하지 않고 차선을 복귀를 성공하면 종료되는 시나리오이다. 설정조건은 Table 4에 나타내었다.

Table 4. Scenario 2 condition

Velocity	Lane width	ψ	δ_f	ψ_L
60km/h	3m	3°	2°	5°

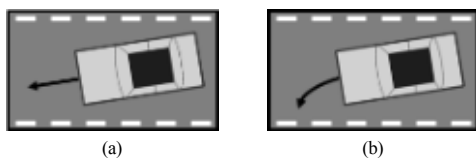


Fig. 2. Straight road section
(a) Zero steering (b) Constant steering

2) 곡선로

Fig. 3의 (a)는 조향각이 없는 경우 시험차량이 직선 도로에서 운전자가 조향에 관여하지 않은 상태로 곡선 도로에 진입한다. 곡선부 중앙에 차량이 위치한 상태에서 왼쪽으로 차량 상대 조향각을 적용시킨 후 차선 이탈을 하지 않고 차선복귀에 대한 평가를 진행하는 시나리오이다. 설정조건은 Table 5에 나타내었다.

Table 5. Scenario 3 condition

Velocity	Lane width	Road radius	ψ	δ_f	ψ_L
60km/h	3m	500m	3°	2°	5°

Fig. 3의 (b)는 조향각이 일정한 경우는 곡선도로 중앙부에서 왼쪽으로 차량의 상대 조향각이 적용 후 운전자가 추가적으로 조향각을 적용한 시나리오 2의 그림이다. 시험차량이 차선을 이탈하지 않고 차선을 유지하며 곡선도로 주행에 성공하면 종료되는 시나리오이다. 설정 조건은 Table 6에 나타내었다.

Table 6. Scenario 4 condition

Velocity	Lane width	Road radius	ψ	δ_f	ψ_L
60km/h	3m	500m	3°	2°	5°

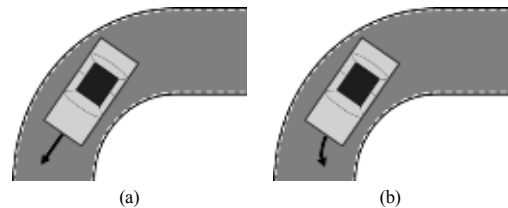


Fig. 3. Curved road section
(a) Zero steering (b) Constant steering

3. 실차시험

3.1 실차시험 차량

본 연구에서 실차시험은 제안한 거리 함수에 따른 이론수식 검증을 위하여 실시하였고, 실차시험을 실시하였다. 시험에 사용된 차량은 제네시스 제네시스 EQ900이고 Fig. 4와 같다.

EQ900은 카메라와 레이더 센서를 활용하여 LKAS를

구현하며, 현재 판매되고 있는 국내 최고급 세단에 장착된 LKAS 중 우수하다고 평가 받고 있다.



Fig. 4. Test vehicle EQ900

3.2 실차시험 장비

LKAS 차량의 차량 위치, 속도, 가속도, 이탈 속도, 조향각 등 동적 데이터를 얻기 위하여 DGPS(Global Positioning System) & 자이로 센서와 함께 데이터 통신을 위한 DAQ(Data Acquisition)를 시험차량에 장착하였다. 또한, 차량의 조타력 및 조향각 조절에 도움에 도움을 주는 핸들 조타력 각 변환기를 Fig. 6의 (b)와 같이 핸들에 장착하였다[12].

시험차량에 장착된 장비의 사진은 Fig 5, 6에 나타나었고, 사양은 Table 7, 8, 9에 정리하였다.



Fig. 5. DGPS & gyro sensor



Fig. 6. Test measuring device
(a) DAQ (b) Steering wheel sensor

Table 7. DGPS & gyro sensor spec.

DGPS & gyro sensor	
Equipment name	RT3002
Spec.	Velocity Accuracy : 0.05km/h RMS
	Roll, Pitch 0.03°, Heading 0.1°
	Slip Angle 0.15°, 2cm Positioning
	GPS Accuracy < 3cm

Table 8. DAQ spec.

DAQ	
Equipment name	SIRIUS
Spec.	IEPE 2ch, STG 6ch, CAN 9ch, CNT 2ch
	Strain Ranges : 2mV/V ... 500mV/V free programmable with Dual core

Table 9. Steering wheel sensor spec.

Steering Wheel Sensor	
Equipment name	Steering Wheel Sensor
Spec.	Steering Moment : passenger cars(±10N·m)
	Angle Resolution : 0.1°
	Maximum Steering Speed : 1,000°/sec
	Steering Angle : 1,250°

차선인식을 위해 레이더 센서와 카메라 센서를 사용하였다. 레이더 센서는 D사의 ESR 2.5로 판단되고, ESR 2.5는 중거리에서 넓은 범위의 시야를 장거리 범위와 결합하여 최대 175m까지 감지가 가능하며 최대 64개의 대상을 식별 할 수 있는 기능을 가지고 있다. 또한 MFC카메라의 AR0132AT를 이미지 센서로 판단되고, AR0132AT는 최장거리 프로세싱이 가능하며 M사의 전용칩이다. 레이더 센서의 감지범위는 Fig. 7, 장비사양은 Table 10에 나타냈으며, 카메라 센서의 사양은 Table 11에 나타냈다.

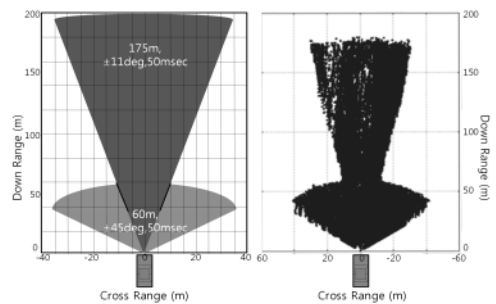


Fig. 7. Radar detection range

Table 10. Radar sensor spec.

Radar sensor	
Equipment name	ESR 2.5
Spec.	24V-DC for Commercial Applications
	Integrated 3-Axes Accelerometer
	Multi-mode, Multi-application capability
	Complete radar module, including electronics, measures just 173.7 x 90.2 x 49.2 millimeters including mounting features
	Horizontal Field of View
	Mid-Range (60m) : ± 45 deg
	Long-Range (174m) : ± 10 deg

Table 11. Camera sensor spec.

Camera sensor	
Equipment name	MFC Camert
Spec.	Image Sensor : AR0132AT
	Resolution : 1280×672
	Angle of View : D55, H: 45, V: 34
	Data Transfer : YUV 422 16bit
	Control Signal : 12C, RESET
	DC 3.3V ±0.1V
	IR Wavelength : 650mm

3.3 실차시험 장소 및 환경

실차시험은 대구지능형자동차진흥원의 주행시험장에서 직선로와 곡선로로 나누어서 진행하였다. 직선로 시험로는 Fig 8의 (a) 고속 주회로이며, 곡선로 시험로는 Fig 8의 (b) 범용로에서 시험하였다. 시험환경은 Table 12에 정리하였다.

Table 12. Environmental conditions

Item	Condition
Road conditon	Flat, dry and clean asphalt or concrete
Temperature[°C]	18.2 ~ 18.5
Wind speed[m/s]	2 ~ 2.6
Weather	sunny

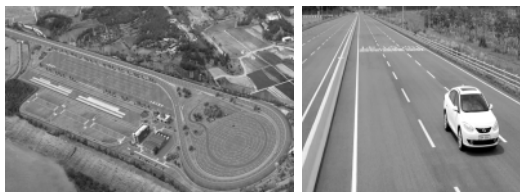


Fig. 8. Evaluation road of Korea Intelligent Automotive Parts Promotion Institute
 (a) Multipurpose test track (b) High speed main circuit

시험 시나리오는 LKAS 차선유지 구별에 대하여 대표적인 시나리오를 구성하였으며, 운전자는 지능형자동차부품진흥원의 실차시험전문교육을 이수한 전문가가 직접 진행하였다.

3.4 실차시험 조건

실차시험은 국내도로환경에 맞추어 도심로 기준 시속 60km/h로 지정하였으며, 도로 폭은 시속에 맞추어 3.0m로 진행하였으며, 자동차 폭은 승용차 기준 2.0m이내에 적용하였다. 또한 곡선로 시험은 Fig. 9의 곡선부 A~C 구간 중 곡선중앙부 B에서 LKAS시험평가를 진행하였다.

시험차량의 LKAS 설정속도는 60km/h로 모든 시나리오에 동일하게 적용하였고, ISO규정에 의거하여 곡선도로의 곡률반경을 계산하였다. 시속 60km/h일 경우 횡가속도를 0.5m/s²으로 가정하였다. 식(9)에 의해 곡률반경은 557.78m가 되지만 시험장 규격에 맞춰 500m로 진행하였다.

$$R = v^2 / a_y \tag{9}$$

LKAS 시나리오 시험을 통해 객관적인 데이터를 얻기 위해서는 도로폭과 곡선도로에서의 곡률반경이 동일하여 반복 재현 가능해야 한다. 이에 따라 실차시험에 사용되는 시험장비와 운전자는 동일하게 유지하였으며, 모든 시나리오에는 정확한 데이터를 얻기 위해 3번 반복시험을 하였다.

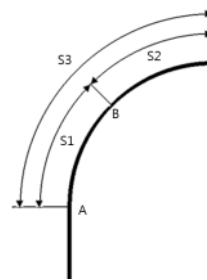


Fig. 9. Example for a track for the test procedure in a curve

3.5 실차시험 결과

시나리오에 따른 시험차량 실차시험 결과는 아래의 그림과 같으며 각 시나리오 별 조향각, 차량 앞 타이어에서 차선까지의 거리, 차량 이탈 속도 등을 시간에 따른 그래프로 나타낸 값이다.

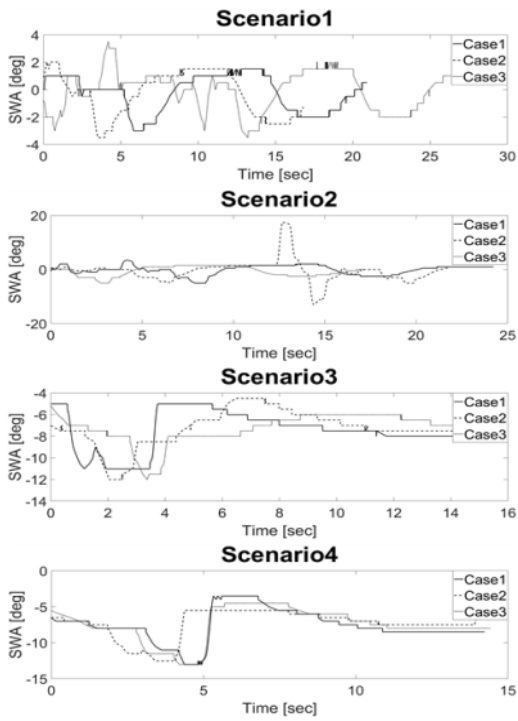


Fig. 10. Steering angle

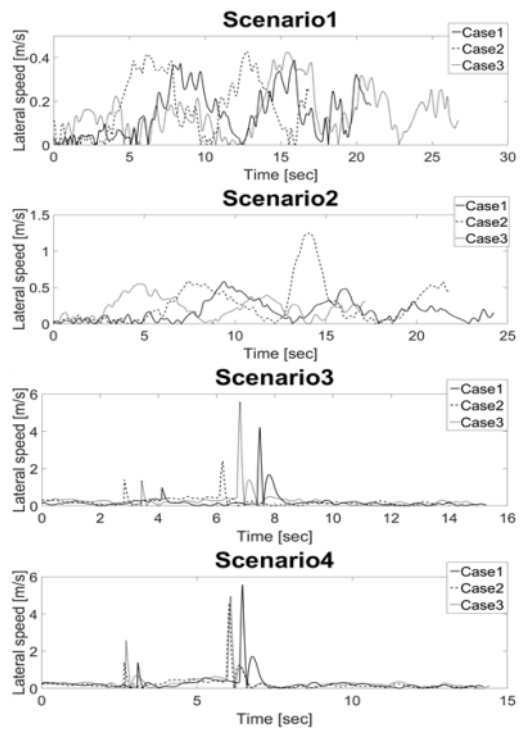


Fig. 12. Lateral speed

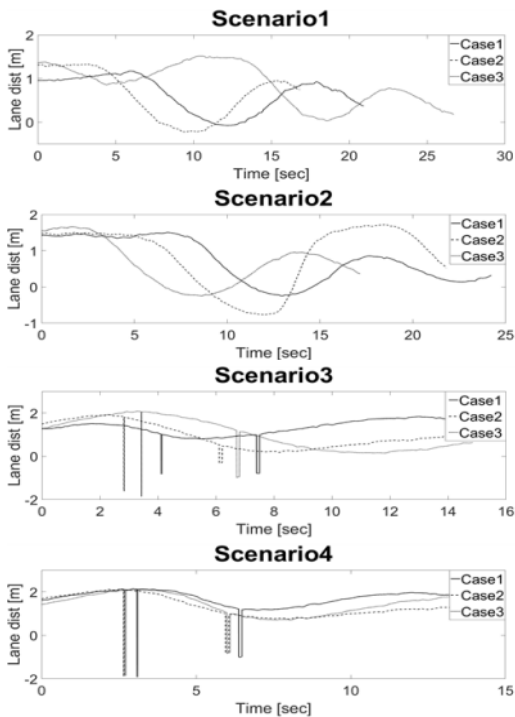


Fig. 11. Distance from the front tire to the lane

Fig. 10에 시나리오 1, 2, 3, 4의 시간에 따른 조향각 변화량을 나타내었다. 시나리오 1에서 차량 뒤틀림 각이 -3° 로 적용된 후 0° 로 값이 적용되는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 11은 차량 앞 타이어에서 차선까지의 거리를 나타낸 것으로 ISO규정에 맞추었으며, 규정상 차선까지의 거리 0.4m를 벗어나지 않는 것으로 하였다.

Fig. 12는 차량 이탈 속도를 시간별로 나타내었다. LKAS작동 후 차량 이탈 속도가 $0.4m/s \pm 0.2m/s$ 의 값이 범위 내에 있는 것을 기준으로 하였다.

4. 이론 계산 값과 실차시험 값의

비교 분석

실차시험의 차량 앞 타이어부터 차선까지의 상대거리 값은 LKAS이 정상 작동된 값들을 Table 13에 정리하였다.

Table 13. Comparison between theory and actual data

Scenario	Saïd Mammar formula value	Suggested formula value	Test value	Error factor
1-1	11.683 m	0.990 m	0.972 m	1.88 %
1-2	-	1.213 m	1.168 m	4.81 %
1-3	-	1.311 m	1.286 m	2.68 %
2-1	27.777 m	1.281 m	1.203 m	6.48 %
2-2	-	1.156 m	1.112 m	3.93 %
2-3	-	1.503 m	1.450 m	3.64 %
3-1	17.517 m	1.292 m	1.234 m	4.77 %
3-2	-	1.912 m	1.864 m	2.55 %
3-3	-	1.894 m	1.800 m	5.21 %
4-1	161.594 m	1.740 m	1.866 m	-6.26 %
4-2	-	1.749 m	1.742 m	0.35 %
4-3	-	1.710 m	1.642 m	4.17 %

Table 13은 실차시험의 상대거리 값을 LKAS의 기능이 안정화 된 값들과 각 시나리오별 Saïd Mammar가 제안한 기존 수식의 값으로 이론식을 계산하여 나타내었다. 이때, Saïd Mammar가 제안한 수식 값은 차량이 차선 중앙에 위치한 상태에서 차량 전방 타이어부터 차선까지의 거리를 나타낸 정적인 값이어서 국내도로환경과 실시간 목표상대거리 값을 나타내지 못한다. 따라서 실시간 목표상대거리 값을 확인하며 제어하는 LKAS의 경우에 대해 국내도로환경에 부합하는 제안한 새로운 이론적 평가 방법으로 계산한 값과 실제 값의 오차율을 비교 검증하였다.

차량 앞 타이어와 차선까지의 거리 데이터 오차율은 최소 0.35%에서 최대 6.48%로 나타났다. 이러한 오차는 동일한 시험환경, 운전자로 진행하였음에도 운전자의 테스트 시나리오의 진행방법과 성향, 레이더 범위조절과 LKAS의 안정화 과정에서 나타나는 오차로 판단되며, 시간에 따라 수렴하여 고려대상에서 제외하였다.

5. 결론

본 논문에서는 LKAS의 기능 평가 및 안정성 평가를 위한 시험 시나리오를 구성 및 제안하고, LKAS를 평가하기 위한 함수를 거리에 따른 수식으로 제안 하였다. 그리고 차선 추종, 거리제어로 이루어지는 LKAS의 특성을 조향각도 별로 시험검증 하였다. 또한 국내환경에 부합하는 차량의 전폭, 속도와 도로 폭을 적용하여 제안한 시나리오 별로 특성을 분석하였다.

본 연구를 통하여 얻은 결과는 다음과 같다.

1. 기존의 Saïd Mammar 제안식을 검토하였고, 새로운 기술 변화에 부합하며 적용이 가능한 실시간 목표 상대거리 값을 목표함수로 둔 새로운 수식을 제안하였다.
2. 제안한 새로운 이론적 평가 수식은 거리뿐만 아니라 차량의 차선이탈속도도 고려한 목표상대거리의 값으로 평가 할 수 있을 것으로 판단되며, 또한 제안한 시나리오는 국내환경에서 LKAS의 정상 동작 여부를 판단 할 수 있을 것으로 생각된다.
3. 제안된 수식의 검증과 시나리오에 대한 평가를 위하여 실차시험을 진행하였으며, 동일한 장비와 숙련된 운전자가 진행하였고 시험차량은 제네시스 EQ900을 이용하였다.
4. 시나리오별 시험 결과는 제안수식 계산 값과 실제 값을 비교하였으며, 최소 0.35%에서 최대 6.48%로 나타났으나 시나리오의 진행방법, 운전자의 성향, 레이더 범위조절과 LKAS가 안정화 과정에서 오차가 나타난 것으로 판단하였으며 LKAS가 작동 후에는 차선에 복귀하는 것을 확인 할 수 있었다.
5. 오차율이 6.48%로 발생한 이유는 시나리오2의 조건에 따라 조향각을 추가로 변경할 때, 레이더 센서의 인지 범위를 벗어난 곳에 차선이 존재하여 센서가 차선을 인지하지 못하게 되고, 이 때문에 측정값이 크게 나타났다고 판단된다.

이상의 결과로부터 본 연구에서는 새로운 기술이 적용된 LKAS의 이론적 평가 수식을 제안하고 국내도로환경에 맞춘 실차평가시나리오를 제안하였으며, 이의 검증을 위해 실도로 시험을 실시하였다. 그 결과 평가항목인 거리의 오차율은 5%미만으로 신뢰성이 있다고 판단되었다. 향후 주변 환경과 기후·환경적 악조건에 대한 LKAS의 시험평가가 추가적으로 필요할 것으로 판단된다.

References

[1] http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=110&tblId=DT_11001N_2013_A049&vw_cd=MT_OTITLE&list_id=110_11001_006_I3&scrId=&seqNo=&lang_mode=ko&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=E1

[2] http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=4083#quick_02

[3] 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
- [4] 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.
- [5] 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.
DOI: <https://doi.org/10.7467/KSAE.2016.24.2.255>
- [6] M. G. Jo, "The Study of camera calibration on Lane Keeping Assistant System", Journal of Korean Society of Automotive Engineers Spring Conference, pp. 2183-2185, May, 2010.
- [7] E. Y. You, K. J. Ryu and T. H. Hwang, "Development of the lane compensation algorithm for LKAS system application", Journal of KSME Spring conference, pp. 136-137, April, 2014.
- [8] Y. H. Hwang, H. K. Lee and S. G. Shin, "Lane Keeping Assist considering the Driver's Steering Condition", Journal of Korean Society of Automotive Engineers Spring Conference, pp. 920-924, May, 2013.
- [9] <https://www.standard.go.kr/KSCI/standardIntro/getStandardSearchView.do>
- [10] S. Mammari, S. Glaser, M. Netto, "Time to Line Crossing for Lane Departure Avoidance: A Theoretical Study and an Experimental Setting", Journal of IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 7, no. 2, pp. 226-240, June, 2006.
DOI: <https://doi.org/10.1109/TITS.2006.874707>
- [11] B. J. Kim, S. B. Lee, "A Study on Evaluation Method of the Adaptive Cruise Control", Journal of Drive and Control, vol. 14, no. 3, Sep, 2017.
- [12] J. G. Yoon, D. H. Kim, C. J. Cha, T. Y. Chung and T. J. Yeo, "Development and Evaluation of Vision based Lane Following Control System", Journal of Korean Society of Automotive Engineers Fall Conference, pp. 1878-1883, November, 2010.

윤 필 환(Pil-Hwan Yoon)

[정회원]



- 2017년 2월 : 계명대학교 기계자동차학과 (학사)
- 2017년 3월 ~ 현재 : 계명대학교 일반대학원 기계공학과 (석사과정)

<관심분야>

자동차 전자장치, 지능형 자동차

이 선 봉(Seon-Bong Lee)

[정회원]



- 1993년 1월 ~ 2005년 4월 : 대우 정밀(주) 기술연구소 수석연구원
- 2004년 2월 : 부산대학교 대학원 기계공학 (공학박사)
- 2005년 5월 ~ 2007년 2월 : 대구 경북과학기술원 지능형자동차 연구팀장
- 2009년 11월 ~ 2015년 2월 : 지능형자동차부품진흥원 원장
- 2007년 3월 ~ 현재 : 계명대학교 기계자동차공학과 교수

<관심분야>

자동차 전자장치, 자동차 일반