

승용자동차 차로유지지원장치의 주행 성능 평가

우 현 구^{*1)} · 용 부 중¹⁾ · 김 경 진¹⁾ · 임 재 환²⁾

경일대학교 기계자동차학부¹⁾ · 교통안전공단 자동차안전연구원²⁾

Road Test Scenario and Performance Assessments of Lane Keeping Assistance System for Passenger Vehicles

Hyungu Woo^{*1)} · Boojoong Yong¹⁾ · Kyungjin Kim¹⁾ · Jaehwan Lim²⁾

¹⁾School of mechanical & Automotive Engineering, Kyungil University, Gyeongbuk 38428, Korea

²⁾Korea Automobile Testing & Research Institute, Korea Transportation Safety Authority, 200 Samjon-ro, Songsan-myeon, Hwaseong-si, Gyeonggi 18247, Korea

(Received 12 October 2015 / Revised 10 December 2015 / Accepted 20 January 2016)

Abstract : Lane Keeping Assistance System (LKAS) is a kind of Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) which are developed to automate/ adapt/ enhance vehicle systems for safety and better driving. The main system function of LKAS is to support the driver in keeping the vehicle within the current lane. LKAS acquires information on the position of the vehicle within the lane and, when required, sends commands to actuators to influence the lateral movement of the vehicle. Recently, the vehicles equipped with LKAS are commercially available in a few vehicle-advanced countries and the installation of LKAS increases for safety enhancement. The test procedures for LKAS evaluations are being discussed and developed in the international committees such as ISO (the International Organization for Standardization) and UNECE (United Nations Economic Commission for Europe). In Korea, the evaluations of LKAS for vehicle safety are planned to be introduced in 2016 KNCAP (Korean New Car Assessment Program). Therefore, the test procedures of LKAS suitable for domestic road and traffic conditions, which accommodate international standards, should be developed. In this paper, some bullet points of the test procedures for LKAS are discussed and proposed by extensive researches of previous documents and reports, which are released in public in regard to lateral test procedures including LKAS and Lane Departure Warning System (LDWS). And then, to evaluate the validity of the proposed test procedures, a series of experiments were conducted using commercially available two vehicles equipped with LKAS. Later, it can be helpful to make a draft considering domestic traffic situations for test procedures of LKAS.

Key words : Lane keeping assistance system(차선유지지원장치), Test procedure(시험방법), Lane departure warning system(차선이탈경보장치), ISO(국제표준화기구)

1. 서론

최근 교통사고 사상자를 줄이기 위한 자동차의 안전 및 운전 편의성에 대한 관심이 증가하고 있으며, 차량 운행 시 운전자의 안전성을 증가시키기 위

한 자동차 첨단운전보조시스템(ADAS, Advanced Driver Assistance System)에 대한 연구 개발이 전 세계적으로 활발히 이루어지고 있다. 특히 이러한 첨단운전보조시스템의 개발에는 운전자의 안전과 편의성을 보장하기 위한 성능평가 시험이 필수적이므로, ADAS 개발자는 개발단계에서 가능한 실제와 동일한 상황에서 시스템의 성능을 평가하기 위해

* A part of this paper was presented at the KSAE 2013 Spring Conference

*Corresponding author, E-mail: hgwoo@kiu.ac.kr

많은 노력을 기울이고 있다. 미국, 유럽, 일본 등의 자동차 선진국들은 첨단운전보조시스템의 개발 및 국제 표준화를 통해 자국의 경쟁력 확보를 위한 꾸준한 활동을 하고 있으며, 우리나라도 국내의 실정에 맞는 시험방법 및 절차에 대한 연구가 필요하다. 차선유지지원장치(LKAS, Lane Keeping Assist System)는 ADAS의 한 가지로서 차선 인식용 전방 카메라를 통해 주행 차선을 감지하여 인식된 차선과 주행 차량 간의 상대적인 위치를 파악하여 운전자가 의도하지 않는 차선 이탈이 발생하는 경우, 운전자에게 경고를 하고 차선 이탈을 방지하여 주행차선을 유지하도록 조향 방향을 조절하는 운전자 보조 시스템이다. 현재 자동차 선진국에서는 LKAS가 장착된 차량이 많이 판매되고 있으나, 국내의 경우 최근 소수의 고가 차량에만 장착되고 대부분의 차량에는 적용되지 않은 상황이며, LKAS가 장착된 차량이 일부 수입되어 판매되고 있는 실정이다. 국제적으로는 대표적으로 ISO와 같은 위원회에서 시험 방법이 논의되어 개발되고 있으며 현재 DIS (Draft International Standard)가 공개되어 있다.¹⁾ 국내의 경우에는 LKAS에 관한 평가 시험법이 아직 결정되지 않았으며 이에 관해서는 KNCAP (Korean New Car Assessment Program)에 2016년부터 도입할 계획으로 관련 평가 기술 개발을 위한 연구 개발이 진행되고 있다.²⁾

LKAS가 국내에 본격적으로 도입이 되었을 때 성능을 검증하고 평가하기 위해서는 국내 실정에 맞는 평가 방법과 실제적인 평가 시스템(시험 도로 및 시험 평가 장비 등)이 필요하다. 국제적인 LKAS 평가 방법이나 각국의 평가 방법 관련 연구가 일부 발표된 것이 있으나 이를 그대로 수용하여 도입하면 국내 교통 환경이 제대로 반영될 수 없고, 반면에 국내의 환경만 고려하여 국제 기준과 다른 평가 방법을 만든다면 수입차 등의 평가가 문제가 될 수 있으므로 국제 기준의 큰 틀을 벗어나지 않는 독자적인 평가 방법에 대한 연구와 평가 시스템 구축이 필요하다. 따라서 보통 시스템을 개발하는데 초점을 맞춘 일반적인 연구와 달리 본 연구는 평가 방법의 개발이나 평가 시스템의 구축에 초점을 맞춘 연구로서 관련 국내 연구사례가 거의 없다. 기존에 공개된

해외의 평가 방법들도 그 기준들이 어떠한 근거로 만들어 졌는지에 관한 내용은 찾아보기 어려워 다음의 2, 3장의 내용과 같이 해외의 평가 방법들을 상세히 비교 분석하여 국내 실정에 맞는 평가 기준과 평가 환경을 제시하고자 한다.

본 연구에서는 LKAS의 성능평가를 위해 자동차의 횡방향 움직임에 관한 국제적인 시험방법 및 기준과 연구사례 등을 비교 분석하였다. 이를 통해 주요 항목을 분석하여 국내의 교통 환경 실정에 맞는 시나리오 방안을 제안하고자 한다.³⁻⁵⁾ 추가적으로 제안된 시나리오를 바탕으로 국내에 LKAS가 장착되어 있는 수입차 2종에 대한 실차량 주행시험을 실시하여 시나리오의 타당성을 살펴보고자 한다.

2. LKAS(차선유지지원장치) 평가 방법들

LKAS 평가 시나리오 개발을 위하여 참조할 수 있는 현재까지 공개된 차량 횡방향 거동과 관련된 시험법인 다음의 6가지 평가 시험 방법을 살펴보고자 한다.

2.1 ISO/DIS 11270¹⁾

지금까지 공개된 LKAS 시험법과 관련하여 가장 구체적인 자료를 포함하고 있으며, UNECE (United Nations Economic Commission for Europe)에서도 ISO11270을 참조하고 있어 평가 방법 개발에 기준이 되고 있다.

2.2 ISO 17361⁶⁾

이 시험법은 LDWS (Lane Departure Warning System, 차선이탈경보장치)에 대한 것이며 차량이 이탈하는 경우 운전자에 경보를 주는 시스템이지만, 차선의 횡방향 거동이 비슷하여 LKAS의 전 단계 안전장치로 많이 사용되고 있으며 시험법도 최종 결정되어 있어 LKAS 시험법 개발과정에서 종종 비교되어 참고되는 시험법이다.

2.3 Report of NHTSA, LDW(+LKS)⁷⁾

NHTSA(National Highway Traffic Safety Administration, 미국도로교통안전국)의 보고서에 LDW(LDWS)의 시험법과 LKS(LKAS)의 성능 평가에 관한 내용

이 포함되어 있다. LDWS에 대한 내용이 주 내용이고 LKAS에 관한 내용은 LDWS의 테스트 결과를 보조하기 위한 것으로 정보의 목적으로 사용된다고 밝히고 있다.

2.4 Commission Regulation (EU) No. 351/2012⁸⁾

이 시험법도 LDWS에 대한 것이며, 유럽 각국이 시행할 시험법의 기준을 설정한 것으로 개략적인 내용만이 포함되어 있다. 제시된 정량적인 기준들은 상세히 기술되어 있는 ISO13761보다 달성하기 쉬운 기준들로 되어 있어서 ISO13761을 만족한다면 이 기준들도 모두 만족할 수 있을 것이다.

LKAS에 대해서는 아직 평가 기준이 마련되지는 못하였고 UNECE에서 기준 개발을 위하여 최근까지도 계속 논의되고 있다.⁹⁾

2.5 KS R 1172¹⁰⁾

국내의 KS에 LDWS에 대한 기준이 제시되어 있다. 내용은 ISO13761과 거의 유사하며, 추가된 내용은 주변 상황을 맑음, 비, 눈, 안개, 터널 등 5가지로 구분하여 이들 각각의 상황 모두에서 시험을 반복 실시하도록 하고 있다. 또한 도로를 고속도로와 국도, 지방도 등으로 분류하여 고속도로에서 100 km/h 이상으로, 국도 및 지방도로에서는 60 km/h 이상으로 시험 속도를 규정하고 각 도로에서 시험을 반복하도록 하고 있다.

2.6 Reports of eVALUE Project¹¹⁾

eVALUE는 능동안전 평가를 위한 유럽 다국적 프로젝트로 “Testing and Evaluation Methods for ICT-based Safety Systems”라는 제목으로 2008년 1월부터 2010년 12월까지 수행되었다. 이 중에서 능동안전 장치의 평가방법에 대한 것은 “Final Testing Protocols”라는 보고서에 언급되어 있다.¹²⁾ 이 보고서에는 LKAS와 LDWS의 구분이 없이 lane departure라는 제목으로 차량의 횡방향 이탈시 경고 시점과 이탈거리 등에 관한 실험 자료를 포함하고 있다. eVALUE는 다른 보고서나 연구 사례에 비해 오래되었고, 본 논문의 내용이 너무 많아지게 되어 3장 주요 결정인자의 비교 분석 대상으로는 포함하지 않았다.

3. LKAS 평가의 주요 결정인자

지금까지 LKAS 평가 방법에 참고할 자료를 언급 하였으며 이 장에서는 평가 결과에 중요한 영향을 미치는 주요 인자들을 항목별로 비교 분석해 보고, 논의해 보고자 한다.

3.1 차선이탈거리

1) ISO11270 : LKAS의 기준은 다음과 같다.

타이어의 바깥쪽이 차선 경계선을 LKAS_Offset_max 이상 벗어나지 않는다면 테스트는 성공이다. LKAS_Offset_max는 승용차 등에서는 0.4 m, 버스 와 화물차 등에서는 1.1 m로 제시하고 있다.

2) ISO17361 : LDWS

차선이탈거리와 유사한 개념인 latest warning line 은 승용차 등은 0.3 m, 트럭과 버스 등은 1 m로 제시 하고 있다.

3) NHTSA LDW(+LKS)

LDW 기준에서는 latest warning line이 0.3 m, LKS 기준에서는 0.5 m가 이탈 기준이다.

4) 논의 및 검토

[11270]의 이탈거리가 [17361]에 비하여 거리 0.1 m 씩 더 큼. 이는 차선 이탈 제어 전에 경고가 발생 하여야하므로 경고 발생 시점이 더 빠른 것으로 판단된다. 전체적으로 0.3 m ~ 0.5 m 범위이다. 차선폭 을 3.5 m, 승용차의 폭을 2.0 m로 가정하고 전륜 타 이어 중심점을 기준으로 살펴보면, Fig. 1에서 보이는 바와 같이 0.4 m의 차선이탈은 옆 차선의 차량과 0.35 m의 여유가 있어 부딪히지 않는다. 그렇지만 옆 차선의 차량이 시험 차량에 가까운 차선 쪽으로 주행한다면 부딪힐 가능성이 있으므로, 어떻게 되

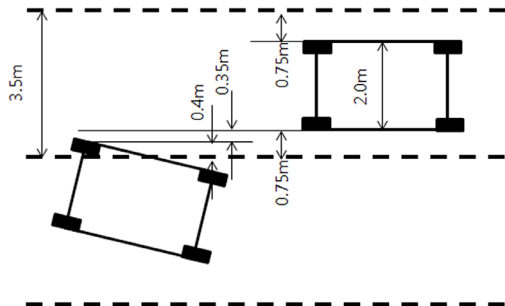


Fig. 1 Layout of vehicles and road for lane departure

있든 차선을 넘어가게 되면 차량의 안전성이 낮아진다.

3.2 차선 폭

1) ISO11270 : LKAS

차선표시의 중앙선을 기준으로 3.4 m ~ 3.9 m 범위의 도로가 기준이다.

2) ISO17361 : LDWS

LDWS는 한쪽 차선만이 중요하므로 차선평에 대한 명확한 언급이 없다.

3) NHTSA LDW(+LKS)

LKS 테스트에서 차선의 안쪽과 안쪽은 3.7 m ~ 4.3 m 간격이어야 한다.

4) 도로설계기준

국토교통부의 도로설계기준에는 Table 1과 같이 제시되어 있다.¹³⁾ LKAS [11270] 와 LDWS [17361] 에서는 국내의 도로 폭은 2.75 m ~ 3.5 m로 규정되어 있다. 도로설계기준에서 자동차의 폭을 살펴보면 승용자동차가 2.0 m가 기준이다.

Table 1 Design specifications of road width

도로의 구분	차로의 최소 폭(m)				
		지방지역	도시 지역	소형차 도로	
고속 도로		3.50	3.50	3.25	3.25
일반 도로	설계 속도 (km/h)	80 이상	3.50	3.25	3.25
		70 이상	3.25	3.25	3.00
		60 이상	3.25	3.00	3.00
		60 미만	3.00	3.00	3.00

5) 논의 및 검토

LKAS [11270] 와 NHTSA LDW(+LKS)의 기준대로 하면 차선평은 3.7 m ~ 3.9 m이어야 하나, 국내의 도로 폭은 3.5 m 이하이므로 시험도로도 3.5 m 정도이어야 할 것으로 판단된다.

3.3 종방향 주행 속도

1) ISO11270 : LKAS

최소 속도는 20 m/s, 최대 속도는 30 m/s이며 보통 평가를 위한 직진로와 곡선로에서의 주행 속도는 20 m/s ~ 22 m/s 의 범위에서 실시한다.

2) ISO17361 : LDWS

다음 Table 2와 같이 차량 속도와 곡률반경반경에 따라 Class I, II 로 구분하여 제시되어 있다.

Table 2 Classification types of road by LDWS

	Class I	Class II
Radius of curvature	≥500 m	≥250 m
Vehicle speed	≥20 m/s	≥17 m/s

3) NHTSA LDW(+LKS)

평가 시험 속도는 72±2 km/h이다.

4) 논의 및 검토

[17361]의 경우가 비교적 낮은 속도 기준이다. [11270]의 경우 최저 속도는 20 m/s이고 최고 속도는 30 m/s (=108 km/h)이다. 세 개의 시나리오 모두 20 m/s (72 km/h)의 속도가 언급되어 있다. 국내의 현실을 고려하면 고속도로에서 100 km/h로 주행하는 경우가 많으므로 70 km/h 부근의 시험 속도에 100 km/h의 시험 속도를 추가하는 것이 바람직하다고 판단된다.

3.4 횡방향 이탈속도

1) ISO11270 : LKAS

직선로에서 이탈속도(V_{depart})는 0.4±0.2 m/s 범위로 시험하며, 직선에서 곡선로 진입 시험에서는 이탈속도가 자연스럽게 만들어지므로 따로 규정된 이탈속도가 없다.

2) ISO17361 : LDWS

a) warning generation test: 곡선로

낮은 이탈속도는 0.0 m/s ~ 0.4 m/s 범위로, 높은 이탈속도는 0.4 m/s ~ 0.8 m/s 범위로 시험한다.

b) repeatability test: 직선로

2 가지 이탈속도는 0.1 m/s ~ 0.3 m/s와 0.6 m/s ~ 0.8 m/s이며, 차량 제작사가 선택할 수 있다.

c) 최종적인 이탈속도 범위: 0.0 m/s ~ 0.8 m/s

3) NHTSA LDW(+LKS)

LDW 시험에서는 0.5 m/s이고, LKS 시험에서는 0.5 m/s 간격으로 실패할 때까지 계속 증가시켜서 성공하는 최대 횡속도가 성능 지표 값이다.

4) 논의 및 검토

0.0 m/s ~ 0.8 m/s의 횡속도 범위인 [17361]에 비해 [11270]이 0.2 m/s ~ 0.6 m/s로 좁은 범위를 갖는다.

차선유지지원 장치에 관한 [11270]이 좁은 범위의 횡방향 이탈속도를 규정한 것은 차선이탈경보장치의 조건 중 일부에서만 차량 제어 되는 것으로 해석할 수 있다.

3.5 곡선도로 곡률 반경

1) ISO11270 : LKAS

Fig. 2와 같이 직선 → clothoid → 곡률 일정 곡선의 순서로 직진로에서 곡선로로 진입하는 도로의 형상을 제시하고 있다. 곡률반경은 정해지지 않았다. 주행 속도에서 횡가속도(a_y)는 1.0 m/s^2 을 넘지 않도록 곡률 반경(R) 선정한다. 다음 식(1)에 의해 주행속도(v) 20 m/s ~ 30 m/s 범위에서 400 m ~ 900 m 범위로 계산된다.

$$R = v^2 / a_y \quad (1)$$

대표적인 주행속도인 $v=20 \text{ m/s}$ 조건에서는 R은 400 m이다. 곡선로 진입을 부드럽게 하기 위하여 clothoid 구간이 설정되어 있다. 시험을 위해 좌우 방향 도로가 모두 설치되어야 한다. 예시로 아래의 2 경우를 제시하며, 총 곡선부 길이는 100 m로 설정하고 있고 곡률반경은 400 m와 800 m를 제시하고 있다. 아래에서 S1이 clothoid 구간, S2가 일정곡률 구간이다. 이것은 단지 예시일 뿐이며, 속도와 연계된 조건 등이 없다.

ex1) $c=1/800$, $dc/ds=4 \times 10^{-5} / \text{m}^2$, $S1 = c/(dc/ds)=31 \text{ m}$,
 $S2=100-S1=69 \text{ m}$

ex2) $c=1/800$, $dc/ds=1.56 \times 10^{-5} / \text{m}^2$, $S1 = c/(dc/ds)=$
 80 m , $S2=100-S1=20 \text{ m}$

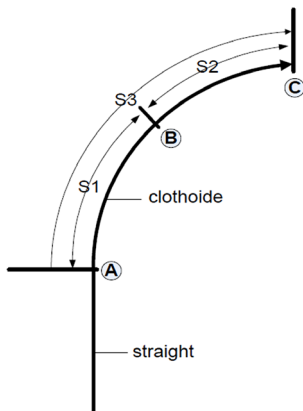


Fig. 2 Example of a curve test track in ISO11270

2) ISO17361 : LDWS

Table 2에 곡률반경과 주행속도가 제시되어 있다.

3) NHTSA LDW(+LKS)

직진로만을 대상으로 하여 곡선도로에 대한 언급이 없다.

4) 도로설계기준

국토교통부의 도로설계기준에는 도로의 곡률반경은 식(2)와 같이 설치한다고 제시되어 있다.

$$R = \frac{V^2}{127(f+i)} \quad (2)$$

여기서, V : 설계속도(km/h), f : 횡방향 미끄럼마찰 계수, i : 편경사(%/100), R : 평면곡선반지름(m)

LKAS에서는 평면시험도로이므로 편경사는 0이 된다. 쾌적성을 고려한 횡방향 미끄럼 마찰계수는 70 km/h에서 0.13이고, 100 km/h에서는 0.11이다. 식(2)에 따라 70 km/h => 297 m, 72 km/h => 314 m, 100 km/h => 716 m, 108 km/h => 918 m 등으로 각각의 속도에서 곡률반경이 계산된다. LKAS [11270]에서 예시한 곡률반경 800 m는 시속 100 km/h의 속도에서도 적절한 것으로 판단된다. 설계속도가 60 km/h 이상인 도로의 평면곡선부에는 직선부와 곡선부의 원활한 주행 궤적 변화를 위하여 완화곡선을 설치한다. 완화곡선의 최소길이는 식(3)과 같다.

$$L = v \cdot t = \frac{V}{3.6} t = \frac{V}{1.8} (m) \quad (3)$$

여기서, L:완화곡선의 길이(m), t:주행시간(2 s), v:주행속도(m/s), V:주행속도(km/h)

완화곡선의 길이는 주행시간이 2초가 되도록 설정하고 있으며, 각 속도에서 길이를 계산하면 70 km/h => 38.9 m, 72 km/h => 40 m, 100 km/h => 55.6 m이 된다. LKAS [11270]에서 예시한 clothoid 구간(완화곡선과 같은 개념의 구간) 길이는 31 m와 80 m이다.

따라서 80 m의 경우에는 저속인 72 km/h에서 도로환경보다 구간이 길므로 완화된 조건이며, 31 m의 경우에는 좀 더 엄격한 시험 조건이 될 수 있으나 고속에서는 너무 가혹한 조건이 될 수 있다. 완화구간 혹은 clothoid 구간길이는 약 30 m ~ 80 m 범위여야 한다고 판단된다. 곡선도로의 곡률반경이나 완

화구간을 엄격하게 적용하면 차량의 안정성을 충분히 확보할 수 있지만 제작사에게 어려움이 있을 수 있고, 완화된 기준을 적용하면 차량의 안정성을 충분히 확보하지 못할 수 있어서 국제기준과 비교하여 적절한 수준에서 결정되어야 한다.

5) 논의 및 검토

[17361]가 곡률 반경이 좀 작지만, 곡선로를 따라 주행하며 시험 방법 제시하고 있다. [11270]은 직선로 주행 후 곡선로 진입 시험 방법이 제시되어 있고 곡선로 만의 시험 방법은 없으며, 이유로는 곡선로 만의 주행에서는 운전자의 줄음이나 부주의의 확률이 매우 낮기 때문에 핸들을 놓고 있을 가능성이 낮아 조향 제어의 필요성이 낮을 것으로 추정된다. 다른 평가 방법에 비하여 [11270]는 차량 제어의 경우이므로 부드러운 곡선진입과 더 큰 곡률반경으로 완화된 것으로 판단된다. 시험도로의 곡률반경은 시험차량의 종방향 속도에 따라 다르므로 차속을 먼저 결정해야 할 것이다.

3.6 차선 복귀 후 차량의 안정성

- 1) 운전자의 조향 안정감과 관련이 있으며, 차선 복귀 후 차선 중앙으로 조향 성능 평가
- 2) 차선이탈 시 LKAS에 의해 차선 내로 복귀한 후 차량은 Fig. 3과 같은 거동을 보일 수 있다.
 - A. 부드러운 복귀
 - B. 복귀 후 차선 중앙에서 과조향에 의한 overshoot 발생
 - C. 차선 사이 왕복(ping pong 모션발생)
 - D. 툽니 모양 주행
- 3) [11270] 등 기존의 시험법에서는 이러한 안정성을 다루지 않았으나, LKAS 성능의 주요 요소로 고려될 수 있다고 판단함.

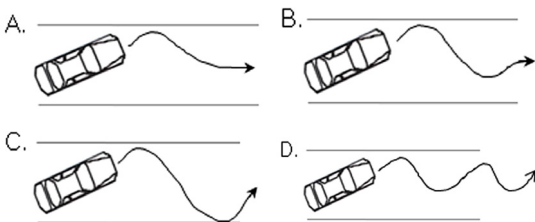


Fig. 3 Examples of a vehicle behavior controlled by LKAS

- 4) C, D와 같은 경우를 방지하기 위한 정량적 평가(안)는 시험 주행시간 동안 좌, 우 차선을 이탈하는지 여부로 판단할 수 있으며 총 시험 주행시간은 5초 이상 10초 이하로 제한한다.

3.7 기타 평가 항목 및 조건

이 외에도 직선로 시험을 위한 직진 차로 길이 나 혹은 주행시간, 곡선 시험차로의 길이, 곡선로에서만 주행 시 평가 방법, 곡선로 주행 후 직선로 진입 시 평가 방법 등의 항목이 있다. 이들 항목은 차량의 동역학적 거동이 앞서 언급한 시험법과 유사하고, 시험에 필요한 도로 길이와 시험 시간은 적절히 확보하면 되므로 지금까지 다루었던 항목들이 주요 인자라 생각된다.

4. LKAS 평가를 위한 주행시험

지금까지 3장에서 언급한 평가 시나리오를 바탕으로 현재 국내에 LKAS가 장착되어 있는 수입차 2종에 대한 실차량 주행시험을 실시하여 시나리오의 타당성을 조사하여 보았다.

4.1 시험 조건

시험 도로는 직선로와 곡선로 2가지로 시험하였으며 앞서 언급한 주요 결정인자를 포함한 시험조건은 Table 3과 Table 4에 표시하였으며 백색 실선 차선의 도로에서 시험하였다.

Table 3 Experimental conditions for LKAS performance test on a segment of straight road

구분	값	근거 및 사유
시험속도	70 km/h, 100 km/h	지방도로 및 고속도로 주행 감안
도로 폭	3.5 m	80 km/h 이상 지방 도로 설계 폭 고려
회이탈속도	0.6 m/s 이하	완만한 이탈 고려, LDWS 대비 낮을 것
이탈방향	좌/우	도로 운행 중 이탈 상황 고려
반복횟수 (각 방향)	2회	1회에 한하여 재현성 확인
차로유지성능	차로이탈 없을 것	장치 장착효과 기대, 양산차 만족성능
시험유지시간	5초 이상	LKAS Hands off 감지 시간(통상 10초) 이내




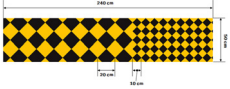
Table 4 Experimental conditions for LKAS performance test on a segment of curve

구분	값	근거 및 사유
시험속도	70 km/h, 100 km/h	지방도로 및 고속도로 주행 감안
곡선도로 구성	완화곡선, 원곡선	도로 설계 및 자동차 거동 감안
완화부 곡률 변화율	4×10^{-5} 1/m ²	ISO 상의 완화곡선부 (클로소이드형) 최대 곡률변화율 적용
원곡선부 선회반경	400 m, 800 m	요구 선회 횡가속도 1 m/s ² 이내 (도로 설계 최대 횡가속도 기준)
도로 폭	3.5 m	80 km/h 이상 지방도로 설계 폭 고려
차로이탈방법	직선 후, 곡선	곡선 진입 시, 운전 부주의 사고 감안
이탈방향	좌/우	도로 운행 중 이탈 상황 고려
반복횟수	2회	1회에 한하여 재현성 확인
차로유지성능	차로이탈 없을 것	장치 장착효과 기대, 양산차 만족성능
시험유지시간	5초 이상	LKAS Hands off 감지 시간 (통상 10초) 이내

4.2 평가를 위해 개발된 계측 장비

LKAS 시험 평가를 위하여 국내의 W사가 개발한 장비를 이용하였으며, 주요 구성품은 다음 Table 5 와 같다.

Table 5 Measuring equipments used for LKAS test

장비명	사양	사진
데이터처리용 PC	Intel Core i5-4 4460 (하스웰 리플레쉬)	
다채널 NTSC 아날로그 프레임 그레버	Mophis QxT (PCI eX4)	
CCD CAM	VCQ2-P222HN (VisionIte)	
calibration을 위한 패널	도색된 폴리카보네이트	

4.3 시험 차량

현재 국내에는 LKAS가 장착되어 판매되는 국산 차량은 아직 소수여서 구하기가 어려워, 본 연구에서는 Table 6과 같이 LKAS 기능이 장착된 수입차 2종에 대한 시험을 실시하여 차선유지성능을 평가하였다. 시험 결과 값인 이탈거리는 앞 타이어의 차량 바깥쪽 지면에 닿는 부분부터 차선의 중심선까지의 거리를 의미한다.

4.4 시험 결과 및 검토

시험 차량 A에 대한 시험 결과를 Table 7에, 시험 차량 B의 시험 결과를 Table 8에 나타내었다.

- 1) 시험 결과를 보면 차량 A의 경우에는 직선로와 곡선로, 저속과 고속 시험 모두에서 차선을 이탈하여 최종적으로 차선유지성능이 미흡함을 알 수 있다. 차량 B의 경우에는 속도 70 km/h에서 이탈하지 않는 것으로 나타났으며, 곡선로의 경우가 0에 가까운 - 값으로 나와 차선유지 성능의 관점에서는 곡선로가 더 어려운 것으로 나타났다. 속도 100 km/h에서는 직선로에서는 성능을 만족하지만 곡선로에서는 모두 차선을 이탈하여 성능이 미흡한 것으로 나타났다.

Table 6 Commercially available cars used for LKAS test

항목	차량 A	차량 B
구분	준대형승용차	대형승용차
차선유 지방식	브레이크 좌우 편제동	조향핸들 구동, 브레이크 좌우 편제동
차량 사진		
차량 주행 사진		

- 2) 이론적으로는 70 km/h의 속도에서 곡률반경이 400 m의 경우에는 횡가속도가 0.94 m/s²이고, 100 km/h의 속도에서 곡률반경이 800 m의 경우에는 횡가속도가 0.97 m/s²로 거의 비슷하여 도로설계 최대 횡가속도 기준인 1 m/s²의 값에

Table 7 LKAS test results for the vehicle A

시험 속도 (km/h)	도로 곡률	이탈방향, 반복차수	측정 속도 (km/h)	최대 이탈 거리(m) (-:이탈X, +:이탈 O)
70	∞ (직선)	좌,1	71.5	차로이탈
		좌,2	69.8	차로이탈
		우,1	70.5	차로이탈
		우,2	71.4	차로이탈
	400 m	좌,1	70.1	차로이탈
		좌,2	68.1	차로이탈
		우,1	69.8	차로이탈
		우,2	69.1	차로이탈
100	∞ (직선)	좌,1	98.4	차로이탈
		좌,2	101.3	차로이탈
		우,1	98.8	차로이탈
		우,2	98.6	차로이탈
	800 m	좌,1	98.2	차로이탈
		좌,2	99.8	차로이탈
		우,1	98.3	차로이탈
		우,2	101.7	차로이탈

Table 8 LKAS test results for the vehicle B

시험 속도 (km/h)	도로 곡률	이탈방향, 반복차수	측정 속도 (km/h)	최대 이탈 거리(m) (-:이탈X, +:이탈 O)
70	∞ (직선)	좌,1	70.1	-0.19
		좌,2	68.4	-0.38
		우,1	71.0	-0.17
		우,2	71.5	-0.21
	400 m	좌,1	71.2	-0.03
		좌,2	70.6	-0.01
		우,1	70.9	-0.01
		우,2	68.9	-0.01
100	∞ (직선)	좌,1	100.9	-0.71
		좌,2	99.7	-0.50
		우,1	98.5	-0.18
		우,2	101.3	-0.17
	800 m	좌,1	101.5	차선이탈
		좌,2	100.2	차선이탈
		우,1	99.8	차선이탈
		우,2	100.6	차선이탈

근접한 시험 기준이다. 실제 실험에서는 비슷한 횡가속도 조건이라도 고속인 경우가 차선을 유지하도록 제어하기에 더 어려운 것으로 판단된다.

3) 차량을 일반도로 및 고속도로에서 운전해본

경험으로 주관적으로 평가해 보면 차량 A인 경우에는 차선유지성능이 타 차량에 비해 많이 부족한 편이었으나, 차량 B의 경우에는 매우 고가인 대형차이고 타 차량에 비해 차선유지성능이 뛰어나며 특히 조향핸들 제어와 브레이크 편제등의 2가지 조향 방법을 모두 사용함에도 불구하고 차선을 이탈한다는 것은 다른 대부분 차량도 차선 이탈할 가능성이 매우 높을 것으로 생각된다.

4) 따라서 현재의 차선유지 기술을 고려한 합리적인 평가 시험조건은 직선로에서는 수정이 필요 없지만, 곡선로에서는 Table 3과 Table 4에서 시험 속도를 낮추거나, 곡률반경을 더 크게 하거나, 곡률변화율을 낮추어 좀 더 완화하는 것이 바람직할 것이다.

5. 결론

지금까지 LKAS 평가 시나리오를 위한 여러 가지 관련 자료를 비교, 분석하고 적절한 시험조건에서 실차량 주행시험을 해 보았다. 본 연구에서 [11270]과 비교하여 수정 보완할 수 있는 제안 사항은 다음과 같이 정리될 수 있다.

- 1) 차선이탈거리 : [11270]에서는 승용차의 경우 0.4 m를 기준으로 성공과 실패로 판정하지만, 어쨌든 차선을 넘어가게 되면 차량의 안전성이 낮아지기 때문에 0.0 m, 0.1 m, 0.2 m, 0.4 m 등으로 세분화하여 KNCAP에서 예를 들면 별5개, 별4개, 별3개, 별2개 등으로 등급화하는 것을 제안하고자 한다.
- 2) 차선폭 : 평가규정에 대한 국제조화를 고려하여 다른 평가 방법의 범위 이내이면서, 국내 실정에 맞게 도로 폭은 3.5 m가 적절하다고 판단된다.
- 3) 종방향 주행속도 : [11270]에서는 20 m/s ~ 22 m/s, 즉 72 km/h ~ 79.2 km/h로 규정되어 있으나, 국내의 고속도로 주행속도를 고려하여 70 km/h 부근과 100 km/h 부근의 2가지 시험 속도로 정하는 것이 적절하다고 판단된다.
- 4) 횡방향 이탈속도 : 0.4 m/s ~ 0.6 m/s내의 범위에서 저속 주행 속도는 조금 낮은, 고속인 경우는 조금 높은 이탈속도가 적절하다고 판단된다.

- 5) 곡선도로 곡률 반경 : 저속인 경우 400 m, 고속 주행인 경우 800 m를 기준으로 조금 완화할 필요가 있다고 판단된다.
- 6) 실차량 주행 시험 결과를 보면 직선로에서 평가 기준은 적절하다고 판단되지만, 곡선로에서는 너무 엄격하여 현재의 차선유지장치 기술 수준을 고려하면 조금 완화하여 곡률반경을 좀 더 크게 하거나 시험 주행속도를 낮추는 것이 필요함을 알 수 있다.

본 연구의 결과는 평가 방법의 연구에 따른 제한일 뿐이며, 실제 시행 여부는 정부의 평가 시행 관련 부처에서 결정하여야 한다.

후 기

본 연구는 국토해양부 교통물류연구사업의 연구비지원(과제번호 09교통체계-미래02)에 의해 수행되었습니다.

References

- 1) ISO/DIS 11270, Intelligent Transport Systems - Lane Keeping Assistance Systems - Performance Requirements and Test Procedures, 2013.
- 2) J. W. Lee, "Active Safety Vehicle Technologies and New Car Assessment Program," Auto Journal, KSAE, Vol.34, No.6, pp.31-34, 2012.
- 3) H. G. Woo, B. J. Yong and K. J. Kim, "Performance Evaluation of Lane Keeping Assistance System," Transactions of KASA, Vol.6, No.2, pp.29-35, 2014.
- 4) H. G. Woo, B. J. Yong, K. J. Kim and J. H. Lim, "Performance Assessment Scenario of Lane Keeping Assistance Systems for Advanced Passenger Vehicles," KASA Annual Conference Proceedings, pp.33-38, 2014.
- 5) K. J. Kim, H. G. Woo, B. J. Yong, S. S. Kim and J. H. Lim, "A Study on the Test Scenario for Validation of the LKAS Performance," KSAE Spring Conference Proceedings, p.2180, 2013.
- 6) ISO 17361, Intelligent Transport Systems - Lane Departure Warning Systems - Performance Requirements and Test Procedures, 2007.
- 7) NHTSA Office of Vehicle Safety and Office of Crash Avoidance Standards, Report - Lane Departure Warning System Confirmation Test And Lane Keeping Support Performance Documentation, 2013.
- 8) Commission Regulation (EU) No 351/2012, Requirements and Tests for the Type-approval of Motor Vehicles with Regards to Lane Departure Warning Systems, 2012.
- 9) UNECE GRRF-78-43, Proposals to UN R-79 to Introduce the Requirements of LKAS, Informal Document, 2014.
- 10) KS R 1172, Test Method of Lane Departure Warning System for Passenger Car - Road and Ambient Test Conditions and Test Method, 2012.
- 11) Reports of eVALUE Consortium, Final Report - Testing and Evaluation Methods for ICT-based Safety Systems, <http://www.evalue-project.eu/pdf/evalue-101231-d52-v10-final.pdf>, 2015.
- 12) Reports of eVALUE Consortium, Final Testing Protocols - Testing and Evaluation Methods for ICT-based Safety Systems, <http://www.evalue-project.eu/pdf/evalue-101031-d32-v20-final.pdf>, pp.99-109, 2015.
- 13) 국토해양부, 도로설계기준, pp.3-17~3-23, 2012.