◎ 논 문

차선유지지원장치 작동 메커니즘 평가에 관한 연구

정승환[*,**] · 김종민[*] · 권성진[*] · 이봉현[*]

A Study for Driving Mechanism Evaluation of the Lane Keeping Assistance System

Seung-Hwan Chung[*,**], Jeong-Min Kim[*], Seong-Jin Kwon[*], Bong-Hyun Lee[*]

Key Words : Advanced Driver Assistance System(첨단운전자지원시스템), Lane Keeping Assistance System(차선유지지원장치), Detecting Lane Departure(차선이탈감지), Electric Power Steering(전자식 파워스티어링)

ABSTRACT

LKAS(Lane Keeping Assistance System) main function is to support the driver in keeping the vehicle within the current lane. Therefore, this system is able to reduce the driver workload with assisting the driver during driving. In this paper, we presented on study for test procedures and evaluation methods of the LKAS. The vehicle test conducted on straight road, left curve, right curve and four different types of lane under various vehicle speeds. This study proposed the LKAS system test procedures and methods that we are able to identify LKAS driving mechanism and performance.

1. 서 론

첨단운전자지원시스템(advanced driver assistance system)은 주행 환경과 차량 상태를 인지하여 운전자의 운전 부담 경감과 편의성 및 안전성을 향상 시키는 시스템이다[(1)]. 이는 과거 기계적인 부품에 한정되었던 자동차 부품에 비약적으로 발전한 센서, 소프트웨어, 전자 제어 기술의 융복합화 됨에 따라 가능해 졌다[(2)]. 자동차 첨단안전 기술은 크게 자동 운전과 예방 운전 분야로 구분할 수 있다. 이중 ACC(Adaptive Cruise Control), LKAS(Lane Keeping Assistance System)는 자동 운전 기술에 포함되며, LDWS(Lane Departure Warning System), BSD(Blind Spot Warning)는 예방 운전 기술에 해당된다. 이와 같은 기술은 기존의 기계식 부품에 전장 기술이 접목됨에 따라 구현될 수 있었으며, 이는 운전자 및 보행자의 안전을 최대한으로 보장할 수 있는 능동 안전 시스템으로 발전될 전망이다. 또한, 이런 트랜드의 흐름은 자동차 부품 시장의 패러다임을 변화시킬 것으로 예상된다[(3)].

다양한 첨단운전자지원시스템 중 LKAS는 운전자의 졸음이나 부주의로 인해 차량이 차선을 이탈하지 않도록 운전자를 보조해 주는 시스템으로서 차선 변경 시 발생할 수 있는 사고를 미연에 방지해 주는 시스템이다[(4)]. 차량이 능동적으로 차선을 유지하기 위해서는 고신뢰성의 이미지 신호 처리 기술과 EPS(Electric Power Steering) 시스템의 정밀한 제어가 필요하다. EPS는 크게 조향각 제어와 조향토크 제어로 구분되어 지는데 이들은 각기 서로 다른 특징을 가지고 있다. 조향각 제어는 차선 유지 성능에서 뛰어나지만, 운전자에게 조향 이질감을 만들어내 보통의 경우 조향 토크 제어를 적용하고 있는 추세이다[(5)].

기존에 수행된 대부분의 LKAS 관련 연구들은 시스템 개발에 대한 주제로 주로 진행되었으며, 적합한 평

* 자동차부품연구원 대구경북지역본부 지능형시스템 지역연구센터
** 한양대학교 전기공학과
E-mail : shchung@katech.re.kr

가 방법 및 절차에 대해 제안하지 못했다. 이에 따라 본 논문에서는 LKAS 차량의 평가 절차와 방법에 대해 소개하고, 차량의 차선 이탈과 복귀 시 작동 메커니즘과 거동 특성을 분석하였다. 이를 위해 해외 벤치마킹 차량을 대상으로 다양한 도로 형태와 차선 패턴을 중심으로 실차 평가를 수행하였다.

2. LKAS 구성 요소 및 작동 메커니즘

LKAS는 ECU(Electronic Control Unit)를 기준으로 차선을 인식하고 차량의 주행 상태를 계측하는 센서부와 차선 이탈 정도를 예측하고 조향 토크량을 결정하는 제어부, 마지막으로 운전자에게 조향력을 어시스트하는 출력부로 구성되어 진다. 이를 부품별로 상세히 살펴보면 EPS, 카메라 센서 및 요 레이트 센서로 구성된다. 그 밖에도 제어 알고리즘 설계 컨셉에 따라 다르지만 LKAS 제어 개입을 해지하기 위한 브레이크 페달, 방향 지시등, 비상등, 와이퍼 스위치 등이 포함되기도 한다. LKAS 제어 해지(suppression) 조건은 LKAS 동작 시 운전자의 차선 변경 의지나 시스템이 정상 동작하기 힘든 상황이라고 판단되어 자동 조향 상태를 해지하기 위한 동기 조건 및 해지 명령 입력값으로 사용된다. 그 상세 구성 부품은 Table 1에서 확인할 수 있다.

Table 1 LKAS Components

LKAS Control Components		LKAS Suppression Components	
EPS		Brake Pedal S/W	
Camera Sensor		Turn Signal S/W	
Yaw rate Sensor		Hazard Signal S/W	
		Wiper S/W	

2.1 Electric Power Steering의 종류 및 특징

EPS의 경우 Table 2와 같이 나눌 수 있는데, 이는 모터와 감속기에 의해 조향력이 어시스트 되는 위치에 따라 구분되게 되며, 그 구성 부품과 제어 알고리즘은 거의 유사한 형태를 가지고 있다. 컬럼 구동형 EPS의 경우는 모터의 소음 및 진동이 운전자에게 전달되어 승차감이 떨어지는 단점이 있으나, 모터 부위에 방수 기능이 필요하지 않는 장점을 가지고 있다. 또한, 작은 용량의 모터가 적용되어 주로 경차와 소형에 적합한 특징을 가지고 있으며, 국내에서 양산되는 대부분의 차량에 적용되어 있다.

Table 2 Electric Power Steering Types

Column-Type	Pinion-Type	Rack-Type

피니언 구동형 EPS의 경우는 모터의 소음 및 진동이 운전자에게 전달되지 않는 장점이 있으나 모터 부위에 방수 기능 확보와 엔진룸 레이아웃 구성이 복잡해지는 단점이 있다. 마지막으로 랙 구동형 EPS의 경우 가장 큰 모터 출력을 낼 수 있어 보통의 경우 대형차에 적용되며, 제조 단가가 높은 단점을 가지고 있다. 이번 LKAS 실차 평가 연구에 사용된 차량의 경우 랙 구동형 EPS가 적용되어 있는 차량을 이용하였다.

2.2 카메라 센서 및 요 레이트 센서

카메라 센서는 차량이 주행하는 도로의 차선을 인식하는 역할을 하며, 요 레이트 센서는 차량 C.G (Center of Gravity)를 기준으로 차량의 선회 속도와 횡 가속도를 측정하는데 사용된다. 두 센서로부터 수집된 정보는 ECU로 전달되어 차량이 진행해야 할 요구 경로와 차량의 거동 상태를 비교하여 운전자에게 어시스트 해야 할 EPS의 요구 토크량을 결정하게 된다. ECU에서는 차량 이탈 속도 TLC(Time to Line Crossing)를 추정하여 운전자에게 차선 이탈 경고 시점과 조향 토크 어시스트 시점을 계산하게 된다. TLC의 추정은 Fig. 1과 다음식의 유도 과정을 거쳐 구할 수 있다.

$$d_h = d_c - \frac{d_w}{2}cos\theta - \frac{d_l}{2}sin\theta \tag{1}$$

$$v_h = vsin\theta \tag{2}$$

$$TLC = \frac{d_h}{v_h} \tag{3}$$

여기서, d_h는 전륜 모서리와 차선까지의 횡 방향 거리, d_c는 차량 중심과 차선까지의 횡 방향 거리, d_w는 차량 전폭, d_l는 차량 전장, θ는 차량과 차선 각도, v는 차량 속도, v_h는 차량 횡 방향 속도를 나타낸다.

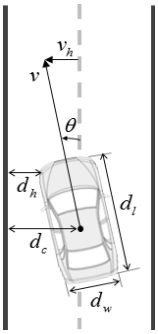


Fig. 1 Time to Lane Crossing for LKAS

2.3 LKAS 작동 메커니즘

LKAS 작동 메커니즘은 크게 세 단계로 구분할 수 있다. 첫째, 차량의 전면부에 설치된 카메라 센서를 통해 차선을 인식하고 이 정보를 ECU로 전달하게 된다. 둘째, ECU에서는 차선 영상 처리 과정을 거쳐 차선폭과 차량과의 상대 위치와 곡률을 계산하며, EPS 토크/앵글 센서와 요 레이트 센서로부터 차량이 조향 각도, 선회 속도, 차선 이탈 속도를 계측 및 예측하고 차량이 차선을 이탈하지 않도록 어시스트 조향토크를 계산한다. 셋째, 엑츄에이터에서는 차량의 차선 이탈이 예상될 때 운전자에게 일정 시간동안 경고음, 진동 및 클러스터를 통해 위험 상황을 경고하고, 그럼에도 불구하고 운전자가 조향휠을 조작하지 않을시 차선을 이탈하지 않는 최적의 조향 토크로 자동 조향하게 한다.

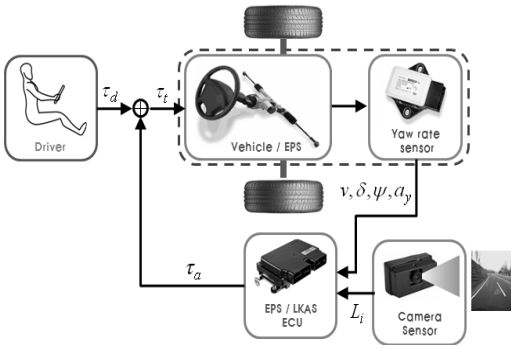


Fig. 2 LKAS Driving Mechanism

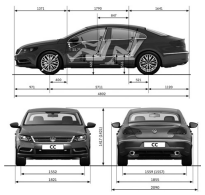
3. LKAS 실차 평가

본 연구에서 수행한 실차 주행시험 평가 모드는 두 가지 도로 형태에 네 가지 차선 패턴을 갖는 도로를 세 가지 속도별로 평가를 시행하였다. 차선 이탈 방향은 좌우로 두 방향으로 실시하였으며, 이때의 LKAS 동작 상태와 차량 거동 상태를 분석하였다.

3.1 LKAS 평가 차량 제원

국내에는 아직 LKAS 기능이 적용된 양산 차량이 없는 관계로 해외 벤치마킹 차량을 대상으로 평가를 진행하였으며, 차량의 상세 제원은 Table 3과 같다.

Table 3 Test Vehicle Specifications

Manufacture Year	2010
Engine Type	2.0 TDI
Engine Displacement	1,968 (cc)
Fuel Type	Diesel
Max. Horsepower	170 (hp)
Max. Speed	220 (kph)
Length	4,802 (mm)
Tread	1,855 (mm)
Hight	1,421 (mm)
Wheelbase	2,71 (mm)
Vehicle Weight	1,656 (kg)
ADAS System	LKAS besides 8ea
Configuration	

3.2 LKAS 평가 계측 장비

LKAS 실차 평가를 진행하기 위해 사용한 장비는 DGPS(Differential Global Positioning System), 별도의 카메라 센서, 요 레이트 센서 및 CAN(Controller Area Network) 어널라이저을 사용하였다. DGPS를 이용하여 주행 도로의 차선 좌표 정보를 측정 장비에 입력하고, 이로부터 출력되는 정보는 차량이 차선을 이탈 했을 시 이탈 속도와 이탈 거리를 계측할 수 있었다. 카

메라 센서는 전륜측 휠이 차선을 넘는 과정과 이탈 거리를 모니터링 하기 위해 설치하였다. 또한 차량의 선회 속도와 횡 가속도 값을 계측하기 위해 별도의 IMU(Inertial Measurement Unit)을 설치하였으며, 이들 모든 장비들의 출력 데이터는 CAN 어널라이저를 통해 취합 및 분석 하였다. 이들의 장비의 구성과 설치 과정은 Table 4에서 확인할 수 있다.

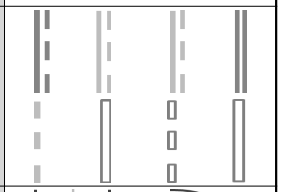
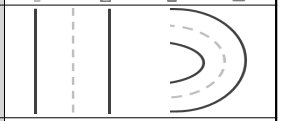
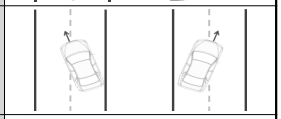
Table 4 Test Vehicle and Equipments Setup

1st - Base Station Setup	
2nd - DGPS Coordinate Setup	
3th - Road Lane Width Measurement	
4th - Camera Setup	
Test Vehicle Setup	

3.3 LKAS 평가 방법

실차 시험은 주행 속도, 도로 형태, 차선 패턴, 이탈 방향을 좌우로 변경해가는 경우의 수를 조합하여 다양한 시험을 진행하였다. 하지만, 곡선로 시험의 경우 시험 도로 구조 및 안전상의 이유로 우 이탈을 수행하지는 못했다. 또한, LKAS 제어 개입시 해지 모드에 대해서는 차량 속도를 65kph 고정하여 평가를 진행하였다. 그 상세 평가 모는 Table 5에서 확인 할 수 있다.

Table 5 LKAS Evaluation Test Modes

Vehicle Speed (kph)	60	70	100
Lane Pattern			
Road Shape			
Lane Departure Direction (Left / Right)			
Suppression Condition v : 65(kph)			

4. LKAS 실차 평가 결과

실차 시험은 자동차안전연구원의 주행시험장 (proving ground)의 종합 시험로와 고속주회로를 사용하였다. 차량 주행 속도 60, 70kph 및 LKAS 동작 해지 모드 평가는 종합 시험로에서 진행하였으며, 차량 주행 속도 100kph와 곡선로 평가는 고속주회로에서 실시하였다. 주행 결과 데이터는 운전자 입력값인 차량 속도와 조향각이며, 그 때의 차량 거동 특성인 횡 가속도와 요 레이트를 출력값으로 정리 하였다. 또한, DGPS 기반의 출력 신호인 차선 이탈 상태와 차선 이탈 횡 속도값을 정리하였다. 이로부터 차량의 거동 상태에 따른 양산 차량에 적용된 LKAS 작동 및 해지 임계값과 메커니즘 상태를 계측하고 예측할 수 있었다.

4.1 직선로 시험 평가 결과

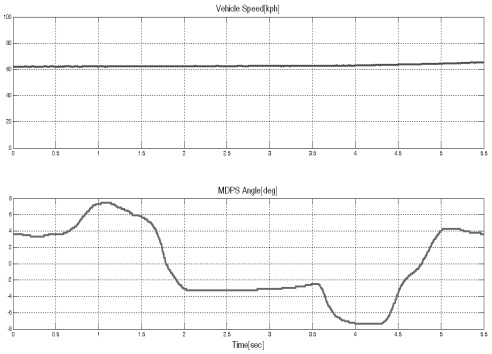


Fig. 3 Vehicle Speed and Steering Wheel Angle in Straight Road at 60kph

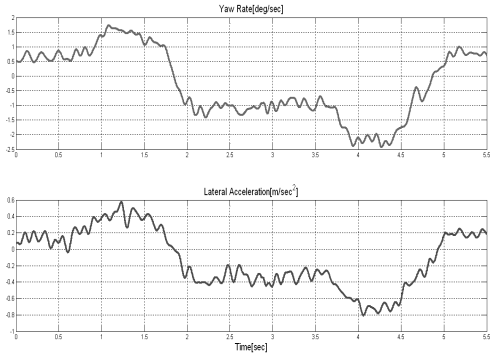


Fig. 4 Yaw Rate and Lateral Acceleration in Straight Road at 60kph

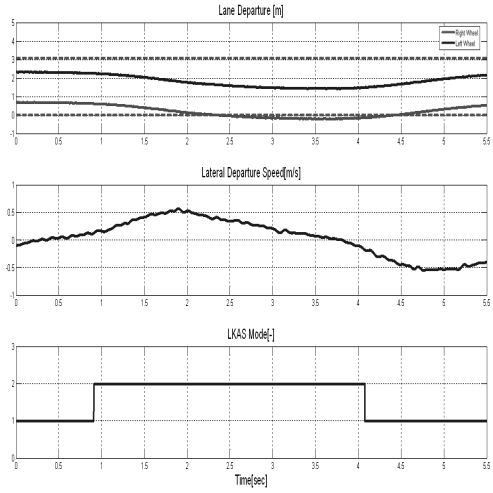


Fig. 5 Road Line and LKAS Control Mode in Straight Road at 60kph

4.2 곡선로 시험 평가 결과

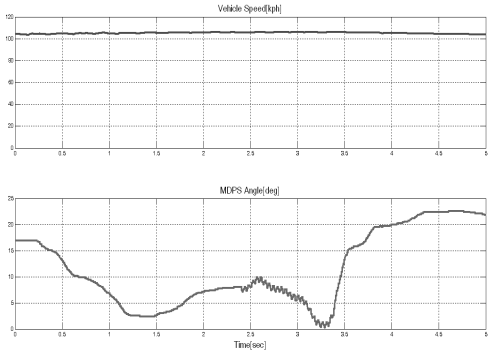


Fig. 6 Vehicle Speed and Steering Wheel Angle in Curve Road at 100kph

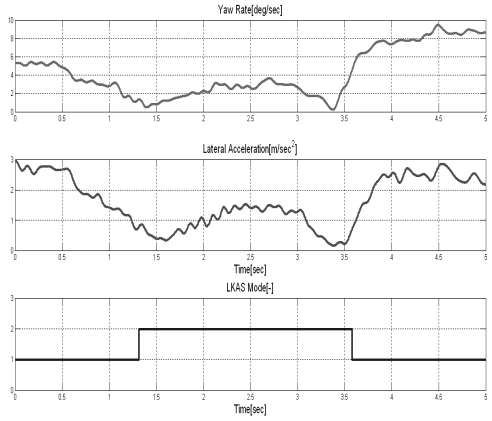


Fig. 7 Yaw Rate, Lateral Acceleration and LKAS Control Mode in Curve Road at 100kph

Fig. 8 LKAS Driving Test Status in Curve Road at 100kph

4.3 LKAS 해지 조건 시험 평가 결과

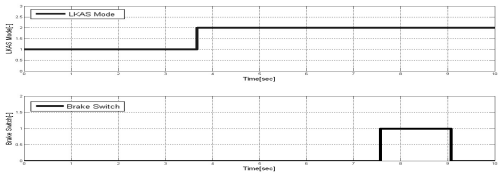


Fig. 9 Brake Pedal Switch Input at LKAS Control Status

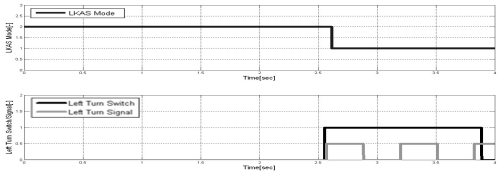


Fig. 10 Left Turn Signal Switch Input at LKAS Control Status

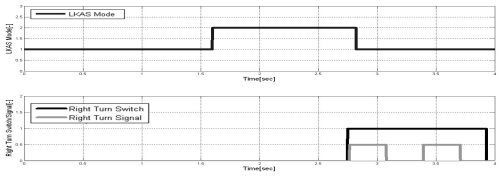


Fig. 11 Right Turn Signal Switch Input at LKAS Control Status

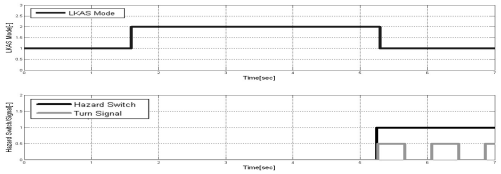


Fig. 12 Hazard Signal Switch Input at LKAS Control Status

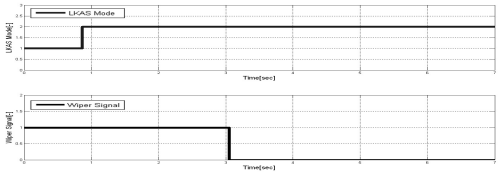


Fig.13 Wiper Signal Switch Input at LKAS Control Status

5. 결 론

본 연구에서는 실차 평가 결과 4개 차선에 대해 모두 LKAS 동작이 가능하였다. 차량 속도에 따라 다소 차이를 보이기는 했으나 요 레이트는 -3~2deg/s, 횡가속도는 -0.8~0.8m/s^{2}의 거동 특성을 보였으며, 차선 이탈 속도는 0.7m/s 정도를 보였다. 곡선로의 경우 반경이 360m 에서도 정상적인 차선 이탈 제어가 수행되었다. 해지 모드 테스트 결과는 브레이크 페달 스위치와 와이퍼 스위치는 해지 조건이 아니며, 좌우측 방향지시등 스위치와 비상등 스위치만이 해지 동기 조건으로 분석되었다. 실차 시험 결과로부터 LKAS는 자동운전이 아닌 차선을 이탈하지 않도록 운전자에게 경고 및 조향력을 보조하는 시스템으로 국한되며, 향후 계획으로는 LKAS Fail-safe 평가안을 도출할 예정이다.

후 기

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

참고문헌

(1) Josef Haberl, Klaus Kompass and Werner Hubrt, 2007, “Advanced Driver Assistance: Chances and Limitations on the Way to Improved Active Safety,” SAE International, SAE 2007-01-1738.

(2) Bong-ryul Shin, 2006, “Lane Keeping Assist System′s Ultimate Route Design Review & Commercial Trend,” Proceedings of KSAE 2006 Annual Conference, pp. 1465~1474.

(3) Sam-yong Kim and Hyun-soo Kim, 2001, “Current Technology for the Lane Departure Warning and Prevention Systems,” Automotive Electric Equipment and Electronic Technology December Special Edition, pp. 21~25.

(4) Hiroshi Kawazoe, Takuya Murakami, On Sadano, Katsuhiro Suda and Hitoshi Ono, 2001 “Development of a Lane-Keeping Support System,” SAE International, SAE 2001-01-0797.

(5) Masayasu Shimakage, Hiroshi Kawazoe, On Sadano and Takuya Murakami, 2001, “Design of Lane-Keeping Control with Steering Torque Input for a Lane-Keeping Support System,” SAE International, SAE 2001-01-0480.