

## 비전센서와 DRPG알고리즘을 이용한 차선 유지 보조 시스템 개발

황준연<sup>1)</sup> · 허건수<sup>\*2)</sup> · 나혁민<sup>3)</sup> · 정호기<sup>3)</sup> · 강형진<sup>3)</sup> · 윤팔주<sup>3)</sup>

한양대학교 자동차공학과<sup>1)</sup> · 한양대학교 자동차공학과<sup>2)</sup> · (주)만도 중앙연구소 전자선행팀<sup>3)</sup>

### Development of a Lane Keeping Assist System using Vision Sensor and DRPG Algorithm

Junyeon Hwang<sup>1)</sup> · Kunsoo Huh<sup>\*2)</sup> · Hyukmin Na<sup>3)</sup> · Hogi Jung<sup>3)</sup> · Hyungjin Kang<sup>3)</sup> · Paljoo Yoon<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Department of Automotive Engineering, Hanyang University, Seoul 135-791, Korea

<sup>2)</sup>School of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 135-797, Korea

<sup>3)</sup>Mando Corporation Central R&D Center, 413-5 Gomae-dong, Giheung-gu, Youngin-si, Gyeonggi 446-901, Korea

(Received 31 March 2008 / Accepted 18 July 2008)

**Abstract** : Lane Keeping Assistant Systems (LKAS) require the cooperative operation between drivers and active steering angle/torque controllers. An LKAS is proposed in this study such that the desired reference path generation (DRPG) system generates the desired path to minimize the trajectory overshoot. Based on the reference path from the DRPG system, an optimal controller is designed to minimize the cost function. A HIL (Hardware In the Loop) simulator is constructed to evaluate the proposed LKAS system. The single camera is mounted on the simulator and acquires the monitor images to detect lane markers. The performance of the proposed system is evaluated by HIL system using the Carsim and the Matlab Simulink.

**Key words** : LKAS(차선유지 보조 시스템), DRPG(Desired Reference Path Generation), HILS(Hardware In the Loop Simulation), LQR(Linear Quadratic Regulator), LDS(Lane Detection System)

#### Nomenclature

$y$  : lateral displacement  
 $V$  : vehicle speed  
 $\psi$  : heading angle  
 $I$  : moment of inertia  
 $m$  : vehicle mass  
 $F$  : cornering force  
 $l$  : distance from c.g.  
 $\delta$  : front steering angle  
 $C$  : cornering stiffness  
 $\theta$  : steering angle  
 $T$  : torque

$N$  : steering gear ratio  
 $\xi$  : front wheel trail

#### Subscripts

$f, r$  : front, rear  
 $l, r$  : left, right  
 $a$  : assist  
 $d$  : driver  
 $s$  : self-aligning  
 $z$  : z-axis

#### 1. 서론

지능형 차량은 기존 기계공학 중심의 자동차 기

\*Corresponding author, E-mail: khuh2@hanyang.ac.kr

술에 전자·통신·제어 등의 다양한 기술을 바탕으로 하는 능동 안전도 차량기술로서 운전자의 주행 안전성과 편의성을 극대화시킨 첨단 안전차량을 일컫는다. 이러한 지능형 차량의 기능 중 LKAS(Lane Keeping Assistance System)은 차량이 차선을 유지할 수 있도록 보조해주는 시스템으로서 차선 이탈 경보나 능동 조향을 통해 운전자의 안전을 도모하거나 조향휠에 보조 토크를 제공해주어 보다 쾌적한 운전 환경을 조성하는데 그 목적이 있다.

이러한 LKAS에 대해 기존에 많은 연구들이 수행되었다. LKAS는 일반적으로 차량 조향휠의 각도를 제어<sup>1,2)</sup>하거나 조향휠에 토크를 생성<sup>3-5)</sup>하여 차선 유지를 한다. 조향휠 각도 제어의 경우 차선 유지 능력은 조향휠 토크 제어에 비하여 더 나은 성능을 보이지만 오히려 운전자가 불편을 느껴 운전자 수용성이 떨어지는 단점<sup>6)</sup>이 있다. 그러나 위 논문들의 경우 차량의 주행경로는 도로 중앙으로 카메라를 이용하여 차선을 얻는 경우 이미지 처리 시간 등에 의해 발생할 수 있는 시간지연에 취약하다. 이러한 시간지연은 차량의 과도한 lateral offset overshoot을 발생시켜 차량의 횡방향 진동을 발생시키는 원인이 된다.

본 논문에서는 Desired Reference Path Generation 시스템(DRPG)과 최적제어기법을 이용하여 차선 유지 보조 시스템을 개발하였다. DRPG 시스템은 차량의 주행경로를 생성하는 시스템으로 기존의 도로

중앙을 기준 경로하는 기존 LKAS의 단점을 보완하기 위한 제안되었다. 제안된 시스템의 제어기는 최적제어기법을 이용하여 feedback 제어를 수행하였으며, feedforward 제어를 이용하여 도로 곡률 변화에 따른 차량제어를 수행하였다. 또한 제안된 LKAS는 기존의 연구를 통해 얻어진 차선 감지 시스템<sup>8,9)</sup>과 조향휠을 포함하는 HILS(Hardware in the loop simulator)를 이용하여 그 성능을 검증하였다.

## 2. 시스템 구성

Fig. 1은 시스템의 전체적인 구성도로서 차량은 장착된 가상의 비전 시스템을 이용하여 차량과 도로 사이의 정보를 생성하도록 설계되었다. 그림의 상부에 있는 점선은 차량 부분으로서 조향휠 모델, 차량모델과 DRPG를 포함하는 차선감지 시스템 부분이다. 그림中间的 점선 부분은 설계된 제어기 부분으로 LKAS와 EPS가 있다. 여기서 LKAS는 아래 절에서 설명될 제어 로직을 이용하여 설계되었고, EPS는 현재 양산중인 상용 EPS의 로직을 사용하였다. LKAS 제어기는 비전센서로부터 차량과 차선사이에서 발생하는 각종 정보들을 이용하여 운행 보조 토크를 생성한다. 제어기는 feedback 제어기와 feed forward 제어기로 구성되어 있으며, 각각 도로-차량 간의 오차를 보상하는 역할과 도로의 곡률에 따라 발생하는 desired yaw rate을 보상하는 역할을 한다. EPS 제어기는 운전자 토크와 차량의 속도 입

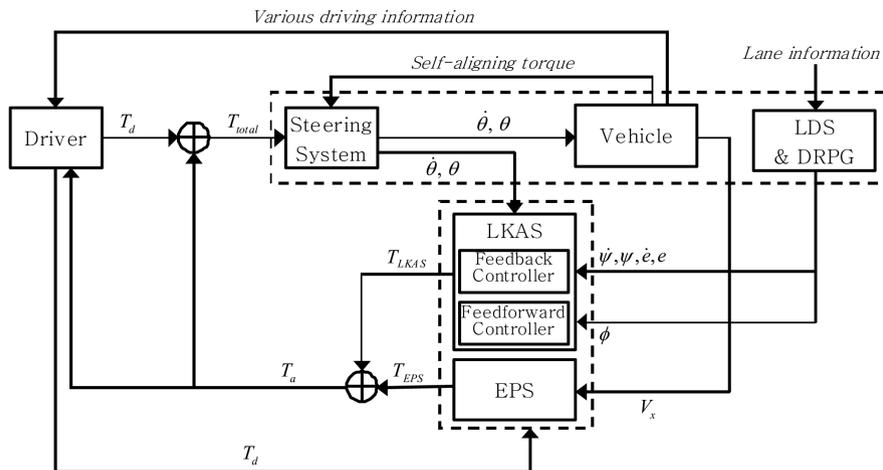


Fig. 1 Overall structure

력을 이용하여 운행 보조 토크를 생성한다. 운전자는 제어기로부터 축각을 통하여 보조 토크에 대한 정보를 얻게 되고, 청각, 시각 등을 이용하여 차량 운행에 대한 다양한 정보들을 이용하여 차량 조향에 적절한 토크를 발생시킨다. 위의 과정으로부터 생성된 전체 조향 토크는 차량의 조향휠에 전달되어 차량의 횡방향 운동을 발생시킨다.

### 2.1 차량 모델

본 연구에서 사용된 2자유도 차량 모델<sup>7)</sup>은 Fig. 2와 같다. 이 모델을 이용하여 수식으로 나타내면 (1)과 같은 수식으로 표현할 수 있다.

$$m(\ddot{y} + V_x \dot{\psi}_c) = 2F_f + 2F_r \tag{1}$$

$$I_z \ddot{\psi}_c = 2l_f F_f - 2l_r F_r$$

where  $\psi_c$ : 회전 각

LKAS이 작동하는 영역은 횡가속도가 작은 경우이므로 식 (2)와 같은 단순화된 타이어 모델이 사용되었다.

$$F_f = C_f \left( \delta - \frac{\dot{y} + l_f \dot{\psi}_c}{V_x} \right) \tag{2}$$

$$F_r = C_r \left( -\frac{\dot{y} - l_r \dot{\psi}_c}{V_x} \right)$$

여기서 위의 수식을 도로에 따른 차량의 위치와 각도에 관한 함수로 표현하기 위해 다시 정의 한다.

Fig. 2에서  $e$ 는 차선 중심으로부터 차량 중심까지 거리이다. 차량의 속도가  $V_x$ 로  $R$ 의 반경을 갖는 도로를 진행하고 있을 때  $R$ 값이 매우 큰 값을 갖는다면 차량의 desired yaw rate은 다음과 같이 표현된다.

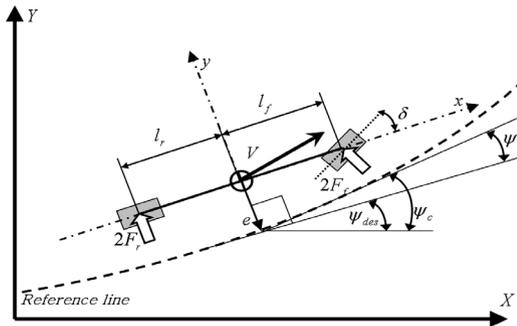


Fig. 2 Lateral vehicle dynamics

$$\dot{\psi}_{des} = \frac{V_x}{R} \tag{3}$$

위의 식 (1) ~ (3)을 정리하면 다음과 같은 상태 방정식을 얻을 수 있다.

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \dot{\psi} \\ \dot{\psi} \\ \dot{e} \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\psi} \\ \psi \\ \dot{e} \\ e \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{16} \\ 0 \\ a_{36} \\ 0 \end{bmatrix} \delta + \begin{bmatrix} b_{12} \\ 0 \\ b_{32} \\ 0 \end{bmatrix} \dot{\psi}_{des} \tag{4}$$

$$a_{11} = \frac{-2(C_f l_f^2 + C_r l_r^2)}{I_z V_x}, \quad a_{12} = \frac{2(C_f l_f - C_r l_r)}{I_z}$$

$$a_{13} = \frac{-2(C_f l_f - C_r l_r)}{I_z V_x}, \quad a_{31} = \frac{2(-C_f l_f + C_r l_r)}{m V_x}$$

$$a_{32} = \frac{2(C_f + C_r)}{m}, \quad a_{33} = \frac{-2(C_f + C_r)}{m V_x}$$

$$a_{16} = \frac{2C_f l_f}{I_z}, \quad b_{12} = \frac{-2(C_f l_f^2 + C_r l_r^2)}{I_z V_x}$$

$$a_{36} = \frac{2C_f}{m}, \quad b_{32} = \frac{2(-C_f l_f + C_r l_r)}{m V_x} - V_x$$

### 2.2 조향휠 모델

Fig. 3은 본 연구에서 사용된 조향휠 시스템으로 다음식 (5)와 같이 표현할 수 있다.

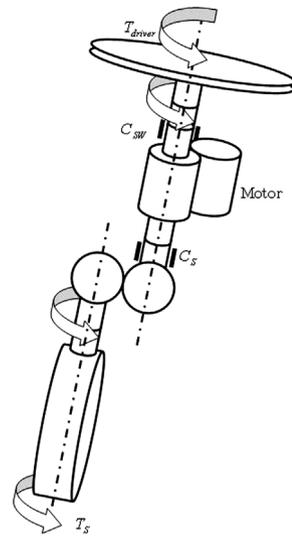


Fig. 3 Steering wheel mechanism

$$\left( I_{SW} + \frac{I_s}{N^2} \right) \ddot{\theta} = - (C_{SW} + C_S) \dot{\theta} - \frac{T_s}{N} + T_a + T_d \quad (5)$$

where  $I_s$  : 앞차축 등가 관성 모멘트

ISW : 조향휠 관성 모멘트

CS : 앞차축 등가 점성 마찰계수

CSW : 조향휠 점성 마찰계수

self-aligning 토크는 식 (6)과 같이 표현할 수 있다.

$$T_s = 2\xi F_r \quad (6)$$

### 2.3 통합 모델

차량의 조향 토크 제어를 위해 앞 절에서 얻어진 차량 모델과 조향 휠 모델로부터 통합 모델을 구현하였다. 식 (2), (4), (5), (6)을 조합하면 다음의 식 (7)과 같은 상태공간 방정식을 얻을 수 있다.

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \dot{\psi} \\ \psi \\ \dot{e} \\ e \\ \dot{\theta} \\ \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & 0 & 0 & a_{16} \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & 0 & 0 & a_{36} \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & 0 & a_{55} & a_{56} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\psi} \\ \psi \\ \dot{e} \\ e \\ \dot{\theta} \\ \theta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ b_{51} \\ 0 \end{bmatrix} (T_a + T_d) + \begin{bmatrix} b_{12} \\ 0 \\ b_{32} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \dot{\psi}_{des} \quad (7)$$

$$a_{16}' = \frac{a_{16}}{N}, \quad a_{36}' = \frac{a_{36}}{N}$$

$$a_{53} = \frac{2\xi C_f l_f}{\left( I_{SW} + \frac{I_s}{N^2} \right) N V_x}, \quad a_{52} = - \frac{2\xi C_f}{\left( I_{SW} + \frac{I_s}{N^2} \right) N}$$

$$a_{51} = \frac{2\xi C_f}{\left( I_{SW} + \frac{I_s}{N^2} \right) N V_x}, \quad a_{55} = - \frac{(C_{SW} + C_S)}{\left( I_{SW} + \frac{I_s}{N^2} \right)}$$

$$a_{56} = - \frac{2\xi C_f}{\left( I_{SW} + \frac{I_s}{N^2} \right) N^2}, \quad b_{51} = \frac{1}{\left( I_{SW} + \frac{I_s}{N^2} \right)}$$

### 2.4 DRPG(Desired Reference Path Generation) System

일반적인 LKAS 시스템은 카메라를 이용하여 차선을 감지한다. 그러나 차선을 감지하고 신호처리

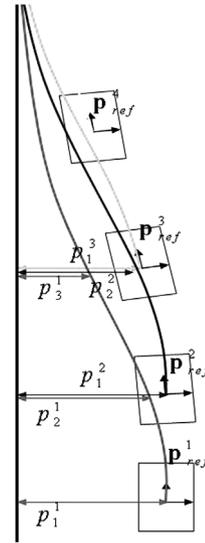


Fig. 4 Desired reference path

하는 과정에서 불가피하게 시간지연이 발생하게 된다. 이러한 시간지연은 적게는 0.03sec에서 많게는 0.2sec 이상의 값을 갖는다. 시간지연의 대부분은 카메라의 영상획득과 영상처리 시간으로 도로 중앙이 차량의 기준경로인 경우 차량의 횡방향 lateral offset overshoot은 불가피하다. 이러한 차량 상태 overshoot은 운전자에게 오히려 불편한 감을 줄 수 있으며 차량의 횡방향 진동을 발생시킬 수 있다. 따라서 이와 같은 문제를 해결하기 위해 DRPG를 이용한 기준경로 생성 시스템을 제안하였다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 차선 중심에서 lateral offset의 overshoot을 최소화하기 위하여 tangential curve와 같은 기준 경로가 필요하다.

위의 같은 경로를 생성하기 위해 우선 각각의 카메라 이미지마다 기준 경로를 생성한다. 이때 차량 속도는 일정하다고 가정한다. 각각의 이미지에서 생성된 기준 경로는 각각  $l$ 개의 기준점을 갖게 되는데,  $n$  번째 이미지의 기준경로,  $P_{ref}^n$ 와  $l$ 개의 기준점,  $P_1^n, P_2^n, \dots, P_l^n$ 는 전방주시 거리에서 수렴하는 tangential curve에 의해서 결정되어진다.

각 이미지 얻어진 기준 경로는 아래와 같은 식 (8)과 같은 방법을 통해 이전 이미지에서 얻어진 정보들을 이용하여 기준경로를 생성하게 된다. 차선 감지 시스템은 위의 방법을 이용하여 생성된

경로를 이용해 차량의 lateral offset, heading angle 등의 정보를 변환하여 제어 파라미터로 이용하게 된다.

$$\begin{aligned}
 \mathbf{P}_{des}^1 &= \mathbf{P}_{ref}^1 = [P_1^1 \ P_2^1 \ \dots \ P_l^1] \\
 \mathbf{P}_{ref}^2 &= [P_1^2 \ P_2^2 \ \dots \ P_l^2] \\
 \mathbf{P}_{des}^2 &= (\mathbf{P}_{ref}^2 + w[P_2^2 \ P_3^2 \ \dots \ 0])/2 \\
 \mathbf{P}_{ref}^3 &= [P_1^3 \ P_2^3 \ \dots \ P_l^3] \\
 \mathbf{P}_{des}^3 &= (\mathbf{P}_{ref}^3 + w[P_2^3 \ P_3^3 \ \dots \ 0] + w[P_3^2 \ P_4^2 \ \dots \ 0])/3 \\
 &\vdots \\
 \mathbf{P}_{ref}^n &= [P_1^n \ P_2^n \ \dots \ P_l^n] \\
 \mathbf{P}_{des}^n &= (\mathbf{P}_{ref}^n + w[P_2^{n-1} \ P_3^{n-1} \ \dots \ P_{l-1}^{n-1} \ 0] \\
 &\quad + w^2[P_3^{n-2} \ P_4^{n-3} \ \dots \ 0 \ 0] + \dots \\
 &\quad + w^{m-1}[P_{l-m+1}^{n-m+1} \ P_{l-m+1}^{n-m+2} \ \dots \ 0 \ 0])/m
 \end{aligned} \tag{8}$$

where  $w$  : 망각 계수 ( $0 \leq w \leq 1$ )  
 $P_l^n$  :  $n^{th}$  이미지 프레임의  $l^{th}$  기준 점  
 $P_{ref}^n$  :  $n^{th}$  이미지 프레임의 기준 경로

## 2.5 제어기 설계

### 2.5.1 LKAS 제어기 설계

운전자 보조 토크를 생성하기 위해 최적제어기법을 사용하였다. 제어기를 설계하기 위한 cost function은 아래와 같은 식 (9)와 같다.

$$J = \int_0^\infty (q_2 \psi^2 + q_4 e^2 + T_a^2) dt \tag{9}$$

$$q_2 = q_4 = 10$$

LQR(Linear Quadratic Regulator)을 이용하여 얻어진 제어 입력은 다음 식 (10)과 같은 상태변수들로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 u = T_a &= -Kx \\
 &= -(k_1 \dot{\psi} + k_2 \psi + k_3 \dot{e} + k_4 e + k_5 \dot{\theta} + k_6 \theta)
 \end{aligned} \tag{10}$$

where  $K$  : 제어게인

### 2.5.2 Feed forward 제어기 설계

Feed forward 제어기는 식 (7)에서 운전자 입력은 고려하지 않고 다음 식을 포함하여 설계하였다.

$$T_a = -Kx + T_{ff} \tag{11}$$

여기서  $\delta_{ff}$ 는 feed forward 제어 입력이다. 식 (4)와 식 (11)로부터 closed-loop 시스템을 표현하면 다음

과 같다.

$$\dot{x} = (A - B_1 K) x + B_1 T_{ff} + B_2 \dot{\psi}_{des} \tag{12}$$

위 식에서 라플라스 변환을 한 후 초기값을 0이라 하면 다음의 변환식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned}
 X(s) &= [sI - (A - B_1 K)]^{-1} B_1 L(T_{ff}) \\
 &\quad + B_2 L(\dot{\psi}_{des})
 \end{aligned} \tag{13}$$

위 식에서  $L(\cdot)$ 은 라플라스 변환을 의미한다.

식 (13)에서 final value theorem을 이용하면 정상 상태 응답은 다음은 식 (14)와 같다. 여기서 차량의 속도와 도로 반경은 상수라 가정하여 사용되었다.

$$\begin{aligned}
 \mathbf{x}_{ss} &= \lim_{t \rightarrow \infty} \mathbf{x}(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s X(s) \\
 &= -(A - B_1 K)^{-1} (B_1 T_{ff} + B_2 \frac{V_x}{R})
 \end{aligned} \tag{14}$$

식 (14)로부터 Lateral offset의 정상상태 오차를 보정하는  $T_{ff}$ 를 얻을 수 있다.

## 3. SIMULATIONS

본 논문에서 제안된 LKAS시스템의 성능을 검증하기 위하여 Fig. 5와 같은 Matlab Simulink와 Carsim을 기반으로 한 HILS를 이용하였다. Fig. 6에서 보는 바와 같이 조향기는 토크센서, 각도 센서 그리고 두 개의 모터로 구성된다. 두 개의 모터는 Carsim에서 나오는 self-aligning 토크, LKAS 토크, EPS 토크와 운전자의 조향 입력으로 작동한다. 비전시스템은 Fig. 5와 같이 장착되었다. 모니터에서 나오는 도로

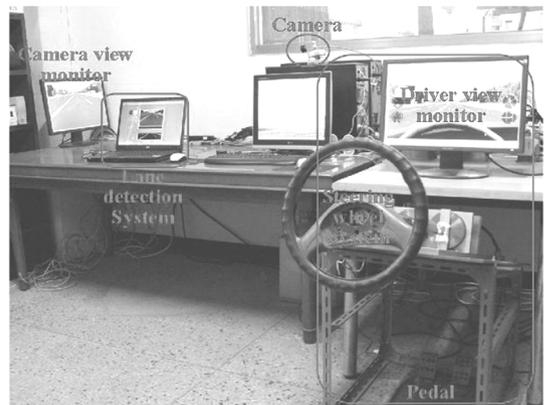


Fig. 5 HILS Simulator

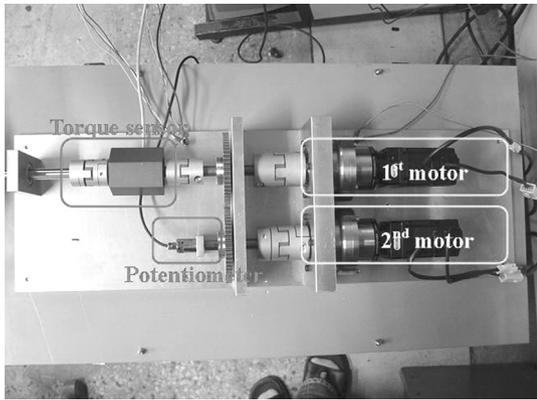


Fig. 6 Steering wheel unit

이미지를 촬영하기 위해 모니터와 평행한 방향으로 설치되었다.

설치된 카메라는 Carsim 소프트웨어로부터 얻어진 카메라 position, rotation, field of view를 이용하여 보정되었다. 카메라는 640×480크기의 이미지를 초당 30프레임을 촬영할 수 있고, 한 프레임당 영상처리 소요 시간은 약 0.003sec이다. 차선 감지 소프트웨어는 Labview 언어와 IEEE 1394 CMOS camera를 사용하여 구성되었다. 사용된 차선 모델은 두 개의 차선 모델을 이용하여 근거리 정보인 차량의 lateral offset과 heading angle, 원거리 정보인 도로곡률과 전방주시 거리를 각각 계산하였다.

### 3.1 시뮬레이션 환경

시뮬레이션은 LKAS제어기를 사용하였을 때 DRPG를 사용한 경우와 사용하지 않은 경우, 그리고 운전자 홀로 운전한 경우 세 가지에 대해 진행되었다. 도로환경은 Fig. 7과 Fig. 8과 같다. 도로는 5000m정도 길이에 좌곡로와 우곡로 모두를 포함하며 도로 폭은 3.7m, 도로의 곡률은 약 500m이다. 차량 속도는 80Km/h 로 설정되었다. 차량 성과 운전자의 부하는 식 (15) ~ (16)와 같은 성능지표<sup>3)</sup>를 이용하였다.

$$LP = \int_0^t e^2 dt \quad (15)$$

$$PW = \int_0^t T_d^2 dt \quad (16)$$

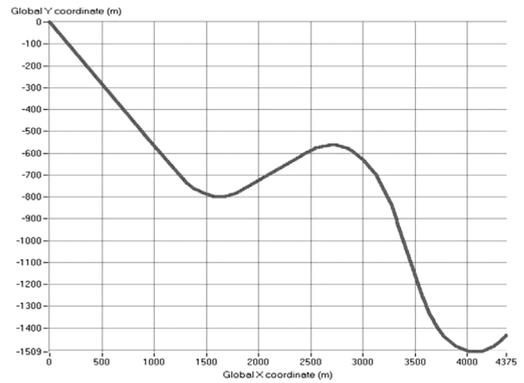


Fig. 7 Road course in driving simulator



Fig. 8 Simulation road scene

### 3.2 차선감지 알고리즘 성능 검증

차선 감지 알고리즘의 성능을 검증하기 위해 Lateral offset을 측정하였다. Fig. 9는 Carsim으로부터 얻어진 데이터와 차선 감지 알고리즘으로부터 얻어진 결과 그래프이다. 차선감지 알고리즘으로부터 측정된 lateral offset은 참값과 비교하여 비슷한 값을 갖으며 실험에 적합한 것으로 판단하였다.

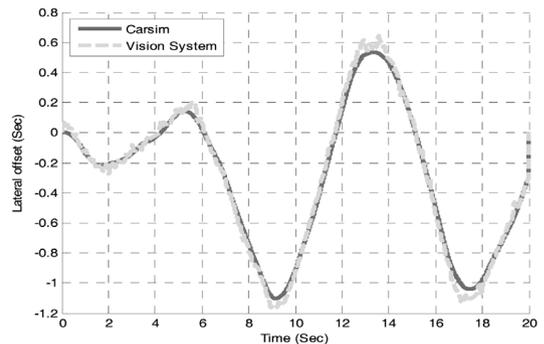


Fig. 9 Lateral offset from the vision system

### 3.3 실험 결과

실험결과는 아래의 Fig. 10, Fig. 11 그리고 Table 1에 나타나 있다. 실험은 DRPG를 사용한 LKAS 제어기와 사용하지 않은 제어기, 그리고 운전자 혼자 운전한 경우 세 가지 경우에 진행되었다. Table 1은 성인 남성 5명이 각각 5번씩 반복해서 운전을 한 결과로 하나의 시나리오에 대해 각 25번의 실험을 수행하여 그 평균값을 얻어낸 결과이다.

Fig. 10과 11은 수행된 실험의 샘플 그래프이다. 각 그래프에서 연한 회색의 그래프는 운전자 혼자만 운전한 경우, 짙은 회색은 DRPG가 적용되지 않은 LKAS 그리고 검정색은 DRPG를 이용한 실험결과이다.

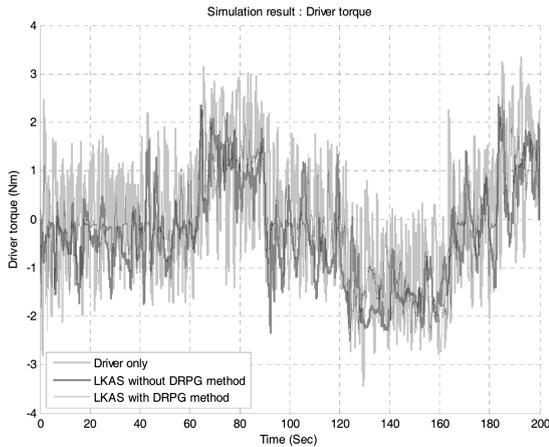


Fig. 10 Simulation results (driver torque)

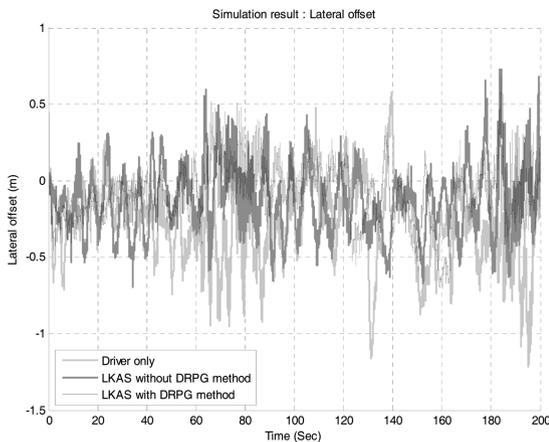


Fig. 11 Simulation results

Table 1 Simulation results

Index	LP(m <sup>2</sup> s)	PW(N <sup>2</sup> m <sup>2</sup> s)
Driver only	30.98	313.24
LKAS without DRPG method	13.03	232.87
LKAS with DRPG method	8.68	223.74

실험 결과 DRPG를 사용한 제어기가 가장 좋은 성능을 보이는 것을 볼 수 있었다. 아래 Table 1에서 LKAS 제어기를 사용한 실험은 운전자 홀로 운전하였을 경우에 비해 실험결과가 크게 개선된 것을 볼 수 있었다. 또한 LKAS를 적용한 운전자의 경우 운전자의 torque와 관련된 성능 지표 PW는 DRPG를 사용한 경우 약 4% 가량의 성능 개선이 이루어 졌으며 lateral offset과 관련된 성능지표 LP는 약 33% 정도 개선된 것을 볼 수 있었다.

### 4. 결론

본 논문에서 제안된 DRPG를 이용한 LKAS 시스템은 차선유지, 운전자 부하 감소를 목적으로 설계되었다. 특히 제안된 DRPG는 차량의 주행경로를 점진적으로 도로 중앙으로 유도하는 시스템으로 차량 lateral offset의 overshoot을 최소화하기 위해 제안되었다.

시뮬레이션은 차선 감지 시스템과 조향휠 시스템을 포함하는 HILS를 이용하여 수행되었다.

시뮬레이션은 DRPG를 사용한 LKAS와 사용하지 않은 LKAS, 그리고 운전자 홀로 운전하는 경우 세 가지에 대해 수행되었으며 시뮬레이션 결과 DRPG를 사용하는 LKAS의 성능지표가 가장 우수한 것으로 나타났다.

### References

- 1) S. Horiuchi and K. Sunada, "Synthesis of Driver Assistance System for Lane-Following Using Generalized Predictive Control," pp.467-472, Proc. of AVEC'98, 1998.
- 2) J. KoSeck, R. Blasi, C. J. Taylor and J. Malik, "A Comparative Study of Vision-Based Lateral Control Strategies for Autonomous Highway

- Driving,” Proceedings of the 1998 IEEE, International Conference on Robotics & Automation, pp.1903-1908, 1998.
- 3) P. Leelavansuk, K. Shitamitsu, H. Mouri, M. Nagai, “Study on Cooperative Control of Driver and Lane-Keeping Assistance System,” In Proceedings of the International Symposium on Advanced Vehicle Control (AVEC), pp.219-224, 2002.
  - 4) E. J. Rossetter, J. P. Switkes, J. C. Gerdes, “Experimental Validation of the Potential Field Lane keeping System,” Int. J. Automotive Technology, Vol.5, No.2, pp.95-108, 2004.
  - 5) M. Shimakage, S. Satoh, K. Uenuma, H. Mouri, “Design of Lane-keeping Control with Steering Torque Input,” JSAE Review, Vol.23, pp.317-323, 2002.
  - 6) M. Omae and H. Shimizu, “Comparison of Lane-keep Assists by using Steering Torque,” Steering Angular Velocity and Steering Angle, Proceedings of AVEC ‘06, AVEC060024, 2006.
  - 7) R. Rajamani, Vehicle Dynamics and Control, Springer, 2006.
  - 8) K. Huh, J. Park, D. Hong, D. D. Cho and J. Park, “Development of a Vision-based Lane Detection System Considering Configuration Aspects,” Optics and Lasers in Engineering, Vol.41, No.11, pp.193-213, 2005.
  - 9) M. Bertozzi and A. Broggi, “GOLD: A Parallel Real-Time Stereo Vision System for Generic Obstacle and Lane Detection,” IEEE Transactions on Image Processing, Vol.7, pp.62-81, 1998.