

모델기반 예측 제어를 이용한 차선유지 보조 시스템 개발

황준연¹⁾ · 허건수²⁾ · 나혁민³⁾ · 정호기³⁾ · 강형진³⁾ · 윤팔주³⁾

한양대학교 자동차공학과¹⁾ · 한양대학교 자동차공학과²⁾ · 만도 중앙연구소 전자선행팀³⁾

Development of a Model Based Predictive Controller for Lane Keeping Assistance System

Junyeon Hwang¹⁾ · Kunssoo Huh²⁾ · Hyukmin Na³⁾ · Hogi Jung³⁾ · Hyungjin Kang³⁾ · Paljoo Yoon³⁾

¹⁾Department of Automotive Engineering Hanyang University, Seoul 135-791, Korea

²⁾School of Mechanical Engineering Hanyang University, Seoul 135-797, Korea

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

(Received 14 August 2008 / Accepted 22 December 2008)

Abstract : Lane keeping assistant system (LKAS) could save thousands of lives each year by maintaining lane position and is regarded as a promising active safety system. The LKAS is expected to reduce the driver workload and to assist the driver during driving. This paper proposes a model based predictive controller for the LKAS which requires cooperative driving between the driver and the assistance system. A Hardware-In-the-Loop-Simulator (HILS) is constructed for its evaluation and includes Carsim, Matlab Simulink and a lane detection algorithm. The single camera is mounted with the HILS to acquire the monitor images and to detect the lane markers. The simulation is conducted to validate the LKAS control performance in various road scenario.

Key words : LKAS(차선유지 보조 시스템), MBPC(모델기반 예측제어), HILS(HIL 시뮬레이션), Steering control(조향 제어), LDS(Lane Detection System)

Nomenclature

y : lateral displacement

V : vehicle speed

ψ : heading angle

e : lateral offset

I : moment of inertia

K : viscous friction coefficient

m : vehicle mass

F : cornering force

l : distance from c.g.

δ : front steering angle

C : cornering stiffness

θ : steering angle

T : torque

N : steering gear ratio

ξ : front wheel trail

Subscripts

f, r : front, rear

l, r : left, right

a : assist

d : driver

EPS : EPS controller

s : self-aligning

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

$x, y, z : x, y, z\text{-axis}$
 $x_{ia} : \text{look-ahead distance}$

1. 서론

지능형 차량은 기존 기계공학 중심의 자동차 기술에 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 운전자를 보조해주는 시스템으로서 차선 이탈 경고 등의 수동 안전 시스템과 조향 각 제어, 조향휠 토크 제어 등의 능동 안전 시스템으로 이루어져 있다. 이 시스템은 차량 상태 정보를 운전자에게 제공해주거나 능동 제어를 통해 운전자의 안전을 도모하여 보다 쾌적한 운전 환경을 조성하는데 그 목적이 있다.

이러한 LKAS에 대해 기존에 많은 연구들이 수행되었다. LKAS는 일반적으로 차량 조향휠의 각도를 제어^{1,2)}하거나 조향휠에 토크를 생성³⁻⁵⁾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 단점⁶⁾이 있다. 또한 기본적으로 차선의 변화에 따라 발생하는 desired yaw rate을 고려한 제어가 요구되며 DGPS³⁾가 아닌 비전 센서를 이용

한 차선감지 시스템^{2,7)}을 이용하는 차량의 경우 차선 감지 시스템에서 발생하는 시간지연에 강인한 제어기가 요구된다. 시간지연은 차량의 과도한 lateral offset overshoot을 발생시키는 원인이 되기 때문이다.

본 논문에서 제안하는 시스템은 단일 카메라를 이용한 차선감지 시스템을 이용한 차선유지 보조시스템으로 기존 LKAS의 단점을 보완하기 위해 일반적으로 시간지연에 강인한 제어기로 알려진 MBPC(Model Based Predicted Control)⁹⁾를 이용하여 개발하였다. 시스템은 조향휠에 적절한 조향 토크를 발생하여 운전자의 차량 운동을 보조하며 feed-forward 제어를 이용하여 도로 곡률에 따른 차량제어 역시 동시에 수행되었다. 개발된 시스템은 차선감지 시스템과 차량 EPS 조향휠 시스템으로 이루어진 Hardware In the Loop Simulator(HILS)를 이용하여 그 성능을 검증하였다.

2. 시스템 구성

Fig. 1은 시스템의 전체적인 구성도로서 차량은 장착된 비전 시스템을 이용하여 차량과 도로 사이의 정보를 생성하도록 설계되었다. 그림의 상부에 있는 점선은 차량 부분으로서 조향휠 모델과 차량 모델 부분이다. 그림 중간의 점선 부분은 설계된 제어기 부분으로 LKAS와 EPS가 있다. 여기서 LKAS는 아래의 제어 로직을 이용하여 설계되었고, EPS

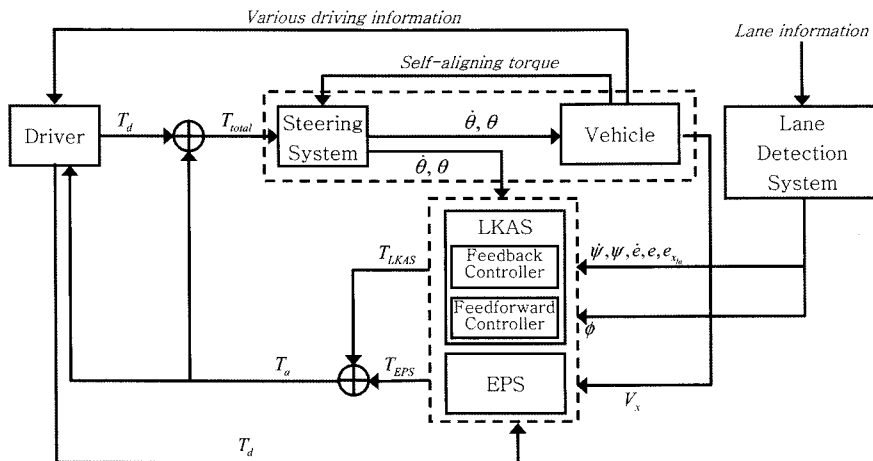


Fig. 1 Overall structure

는 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 입력을 이용하여 운행 보조 토크를 생성한다. 운전자는 제어기로부터 촉각을 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 모델⁸⁾은 Fig. 2와 같다. 이 모델을 이용하여 수식으로 나타내면 (1)과 같은 수식으로 표현할 수 있다.

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

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

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

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

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

차량의 속도가 V_x 로 R의 반경을 갖는 도로를 진행하고 있다면 차량의 desired yaw rate은 다음과 같이 표현된다.

$$\dot{\psi}_{des} = \frac{V_x}{R} \quad (3)$$

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

$$\dot{e} = \dot{y} + V_x (\psi_c - \psi_{des}) \quad (4)$$

$$\dot{\psi} = \dot{\psi}_c - \dot{\psi}_{des}$$

e : 차선 중심으로부터 차량 중심까지 거리

ψ : 차선과 차량 진행 방향과의 각도

위의 식 (1)~(4)를 정리하면 다음과 같은 상태 방정식을 얻을 수 있다.

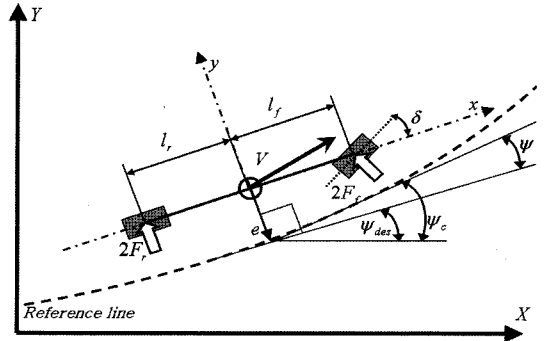


Fig. 2 Lateral vehicle dynamics

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \dot{\psi} \\ \dot{\psi} \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\psi} \\ \dot{\psi} \\ e \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{16} \\ 0 \\ a_{36} \\ 0 \end{bmatrix} \delta + \begin{bmatrix} b_{12} \\ 0 \\ b_{32} \\ 0 \end{bmatrix} \dot{\psi}_{des} \quad (5)$$

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

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

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

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

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

2.2 전방 주시 모델

Fig. 3은 전방주시모델로 x_{la} 는 차량의 전방 주시 점, $e_{x_{la}}$ 와 ϕ 는 각각 주시점에서의 lateral offset과 yaw angle을 의미한다. 이들은 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$\dot{e}_{x_{la}} = \dot{e} + x_{la} \dot{\psi} - \Delta \dot{e} = \dot{e} + x_{la} \dot{\psi} - V_x \phi \quad (6)$$

$$\dot{\phi} = -\dot{\psi}_{des} + \dot{\psi} = -\frac{V_x}{R} + \dot{\psi}$$

전방 주시 거리는 차선감지 시스템¹⁰⁾의 성능, 카

메라 스펙과 전방주시 거리에 따른 root locus 해석을 고려하여 20m로 선정되었다.

2.3 조향 휠 모델

Fig. 4는 본 연구에서 사용된 조향휠 시스템으로 식(7)과 같이 표현할 수 있다.

$$\left(I_{sw} + \frac{I_s}{N^2}\right)\ddot{\theta} = -(K_{sw} + K_s)\dot{\theta} - \frac{T_s}{N} + T_a + T_{EPS} + T_d \quad (7)$$

이때 Self-aligning 토크는 식(8)과 같이 표현할 수 있다.

$$T_s = 2\zeta F_r \quad (8)$$

2.4 통합 모델

차량의 조향 토크 제어를 위해 앞 절에서 얻어진 차량 모델과 조향 휠 모델로부터 통합 모델을 구현하였다. 식(2), (4), (5), (6), (7), (8)을 조합하면 다음의 식(9)와 같은 상태공간 방정식을 얻을 수 있다.

$$\dot{x} = Ax + B_1(T_a + T_d + T_{EPS}) + B_2\dot{\psi}_{des} \quad (9)$$

여기서

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & 0 & a_{16}' & a_{17} & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & 0 & a_{36}' & a_{37} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & 0 & a_{55} & a_{56} & a_{57} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ a_{71} & 0 & a_{73} & 0 & 0 & 0 & 0 & a_{78} \\ a_{81} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad B_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ b_{51} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad B_2 = \begin{bmatrix} b_{12} \\ 0 \\ b_{32} \\ 0 \\ b_{52} \\ 0 \\ 0 \\ b_{82} \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} a_{16}' &= a_{16}/N & a_{36}' &= a_{36}/N \\ b_{51} &= \frac{1}{I_{sw} + \frac{I_s}{N^2}} & a_{51} &= \frac{2\zeta C_f l_f}{\left(I_{sw} + \frac{I_s}{N^2}\right)NV_x} \\ a_{52} &= \frac{2\zeta C_f}{\left(I_{sw} + \frac{I_s}{N^2}\right)N} & a_{53} &= \frac{2\zeta C_f}{\left(I_{sw} + \frac{I_s}{N^2}\right)NV_x} \\ a_{55} &= -\frac{C_{sw} + C_s}{I_{sw} + \frac{I_s}{N^2}} & a_{56} &= \frac{2\zeta C_f}{\left(I_{sw} + \frac{I_s}{N^2}\right)N^2} \\ b_{52} &= a_{51} & a_{71} &= x_{la} \\ a_{73} &= 1 & a_{78} &= -V_x \\ b_{82} &= 1 & & \end{aligned}$$

3. 제어기 설계

3.1 MBPC Feedback Controller

MBPC(Model Based Predictive Controller)를 사용하기 위하여 다음과 같은 이산시간 상태공간 방정식(Gauss-Markov process model)을 사용하였으며 $\dot{\psi}_{des}$ 항은 다음절에서 설명될 feed-forward 제어기에 서 고려하도록 한다.

$$\begin{aligned} x(k+1) &= Ax(k) + B_1\Delta u(k) + Gz(k) \\ y(k) &= Cx(k) + v(k) \end{aligned} \quad (11)$$

여기서

$$\begin{aligned} E\{z\} &= 0, & E\{v\} &= 0 \\ E\{z^2\} &= \Psi_z, & E\{v^2\} &= \Psi_v, & E\{zv\} &= \Psi_{zv} \\ z &: \text{system signal noise} \\ v &: \text{measurement signal noise} \\ \Delta &: 1 - q^{-1} \end{aligned}$$

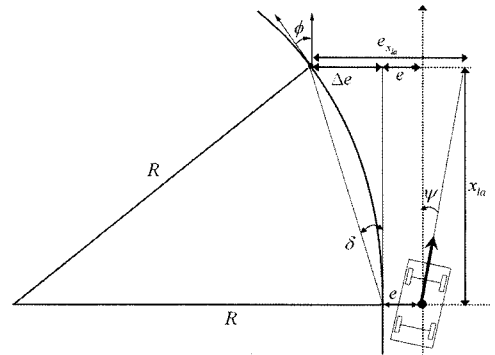


Fig. 3 Look ahead system model

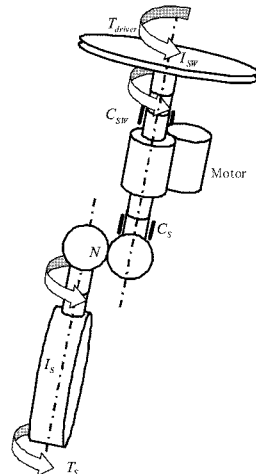


Fig. 4 Steering wheel system

z 와 v 를 백색잡음으로 가정하고 모델의 k 번째 시간에서의 step 응답을 이용하면 $k+j$ 번째 시간의 예측모델은 식 (12)와 같이 표현할 수 있다.

$$y(k+j) = CA^j E\{x(k)\} + \sum_{i=0}^{j-1} CA^{(j-i-1)} B_1 \Delta u(k+i) \quad (12)$$

$$+ \sum_{i=0}^{j-1} CA^{(j-i-1)} \geq \{z(k+i)\} + E\{v(k+j)\}$$

$$= CA^j x(k) + \sum_{i=0}^{j-1} CA^{(j-i-1)} B_1 \Delta u(k+i)$$

제어기는 식 (13)과 같은 performance index를 만족시키도록 설계되었다.

$$J = \sum_{j=N_1}^{N_2} [w(k+j) - \hat{y}(k+j)]^2 + \lambda \sum_{j=0}^{N_u-1} [\Delta u(k+j)]^2 \quad (13)$$

여기서

N_1 : lower cost function

N_2 : upper cost function

N_u : control horizon

λ : weighting factor

w : future setpoint

식 (13)을 정리하면 식 (14)와 같다.

$$J = (\mathbf{w} - \hat{\mathbf{y}})^T (\mathbf{w} - \hat{\mathbf{y}}) + \lambda \Delta \mathbf{u}^T \Delta \mathbf{u} \quad (14)$$

여기서

$$\mathbf{w} = [w(k+N_1) \ \cdots \ w(k+N_2)]$$

$$\hat{\mathbf{y}} = [\hat{y}(k+N_1) \ \cdots \ \hat{y}(k+N_2)]$$

$$\Delta \mathbf{u} = [\Delta u(k+N_1) \ \cdots \ \Delta u(k+N_u-1)]$$

예측된 출력 벡터는 식 (12)로부터 식 (15)와 같이 표현 가능하다.

$$\hat{\mathbf{y}} = F\hat{\mathbf{x}}(k) + H\Delta \mathbf{u} \quad (15)$$

여기서

$$F = \begin{bmatrix} CA^{N_1} \\ \vdots \\ CA^{N_2} \end{bmatrix}; \quad H = \begin{bmatrix} h_{N_1,1} \cdots h_{N_1,N_u} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{N_2,1} \cdots h_{N_2,N_u} \end{bmatrix}$$

$$h_{j,i} = \begin{cases} CA^{j-i} B_1 & j \geq i \\ 0 & j < i \end{cases}$$

식 (15)로부터

$$f = F\hat{\mathbf{x}}(k) \quad (16)$$

위의 식 (16)은 시스템의 자유응답으로 지난 시점

의 응답이다. 식 (15)와 식 (16)을 식 (14)에 대입하면 다음과 같은 식 (17)을 얻을 수 있다.

$$J(\Delta \mathbf{u}) = \Delta \mathbf{u}^T [H^T H + \lambda I] \Delta \mathbf{u} - 2(\mathbf{w} - \hat{\mathbf{y}})^T H \Delta \mathbf{u} + (\mathbf{w} - \hat{\mathbf{y}})^T (\mathbf{w} - \hat{\mathbf{y}}) \quad (17)$$

위의 식 (17)은 2차 함수의 최적화 문제로 다음의 식 (18)과 같은 해를 얻을 수 있다.

$$\Delta \mathbf{u} = [H^T H + \lambda I]^{-1} H^T (\mathbf{w} - \hat{\mathbf{y}}) \quad (18)$$

여기서 $\Delta = 1 - q^{-1}$ 이므로 현재 단계에서의 제어 입력은 다음의 식 (19)와 같다.

$$T_a(k) = u(k) - T_{EPS}(k) \quad (19)$$

$$u(k) = u(k+1) + k(w-f)$$

$$K = (1 \ 0 \ \cdots \ 0)(H^T H + \lambda I)^{-1} H^T$$

선정된 upper cost function은 시스템 거동 예측 구간의 길이로서 단위원 안에 존재하는 안정한 극점인 heading angle의 impulse response의 값이 정상상태에 다다르는 시간보다 짧지만 최대한 길게 선정되었다.

3.2 Feed-forward Controller

Feed forward 제어기는 식 (9)에서 운전자 입력은 고려하지 않고 다음 식을 포함하여 설계하였다.

$$u = T_a + T_{EPS} = -Kx + T_{ff} \quad (20)$$

여기서 T_{ff} 는 feed forward 제어 입력이다. 식 (9)와 식 (20)로부터 closed-loop 시스템을 표현하면 다음과 같다.

$$\dot{x} = (A - B_1 K)x + B_1 T_{ff} + B_2 \psi_{des} \quad (21)$$

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

$$X(s) = [sI - (A - B_1 K)]^{-1} B_1 L(T_{ff}) + B_2 L(\psi_{des}) \quad (22)$$

위 식에서 $L(\cdot)$ 은 라플라스 변환을 의미한다. 식 (22)에서 final value theorem을 이용하면 정상상태 응답은 다음의 식 (23)과 같다. 여기서 차량의 속도와 도로 반경은 상수라 가정하여 사용되었다.

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_{ss} &= \lim_{t \rightarrow \infty} \mathbf{x}(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s \mathbf{X}(s) \\ &= -(A - B_1 K)^{-1} (B_1 T_{ff} + B_2 \frac{V_x}{R}) \end{aligned} \quad (23)$$

식 (23)으로부터 Lateral offset의 정상상태 오차를 보정하는 T_{ff} 를 얻을 수 있다.

4. Simulation

4.1 HILS 시스템

본 연구는 HILS(Hardware In the Loop Simulator)를 이용하여 그 성능을 검증하였다. HILS의 제어기는 Matlab Simulink와 Carsim을 기반으로 설계되었으며 구성된 시스템은 Fig. 5와 같다.

Fig. 6은 HILS의 조향시스템으로 토크센서, 각도센서 그리고 두 개의 모터로 구성된다. 두 개의 모터는 Carsim에서 나오는 self-aligning, LKAS, EPS 토크와 운전자의 조향 입력으로 작동한다. 비전시스템은 Fig. 5와 같이 카메라와 수직 방향으로 장착되었다. 모니터에서 나오는 도로이미지를 개발된 single camera 차선감지 시스템¹⁰⁾에서 차선을 검출하도록 설계되었다. 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 사용하

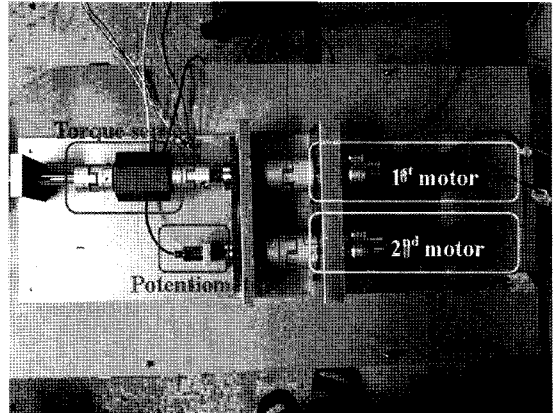


Fig. 6 Steering wheel unit

여 구성되었다. 사용된 차선 모델은 두 개의 차선 모델을 이용하여 근거리 정보인 차량의 lateral offset과 heading angle, 원거리 정보인 도로곡률과 전방주시 거리를 각각 계산하였다.

4.2 시뮬레이션 환경

시뮬레이션은 운전자와 EPS 제어기, 운전자와 기존의 LQR⁷⁾ 제어기 그리고 운전자와 MBPC 제어기가 작동한 경우로 세 가지 시나리오에 대해 수행하였다. 도로환경은 Fig. 7과 Fig. 8과 같다. 도로는 5000m 정도 길이에 좌곡률과 우곡률 모두를 포함하며 도로 폭은 3.7m, 도로의 곡률 반경은 약 500m 이하이다. 차량 속도는 80Km/h로 설정되었다.

성능에 대한 평가 지표는 식 (24), (25)과 같이 정의된 지표³⁾를 이용하였다.

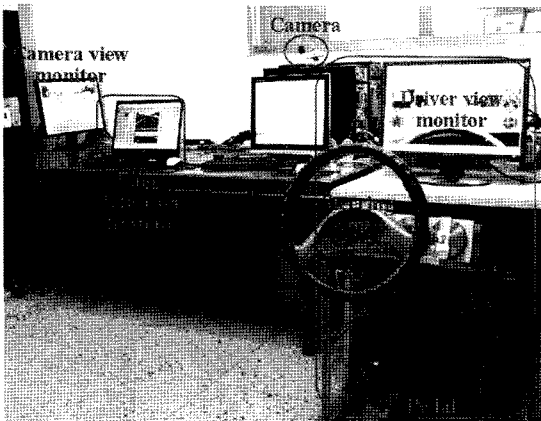


Fig. 5 HIL simulator

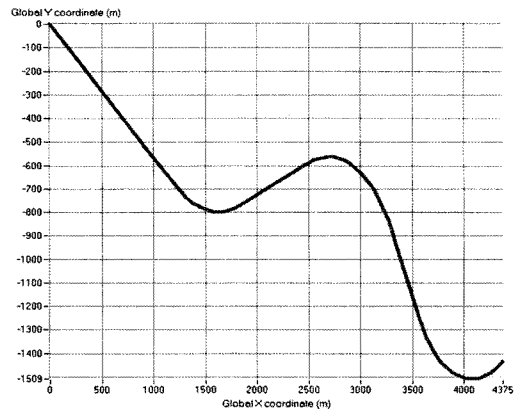


Fig. 7 Road course in driving simulator

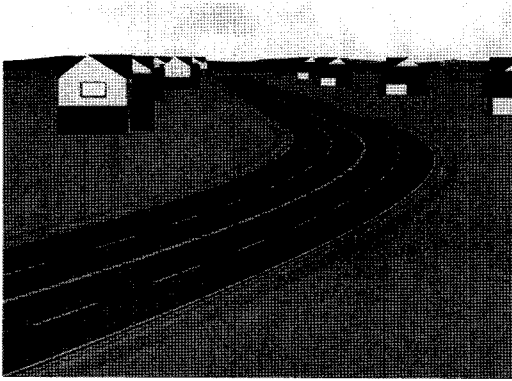


Fig. 8 Simulation road scene

$$LP = \int_0^t e^2 dt \quad (24)$$

$$PW = \int_0^t T_d^2 dt \quad (25)$$

여기서 식 (24)는 차량 거동에 관련된 성능지표이며 식 (25)는 운전자의 운전부하에 관련된 성능지표이다.

4.3 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 오차가 크지 않아 실험에 적합한 것으로 판단하였다.

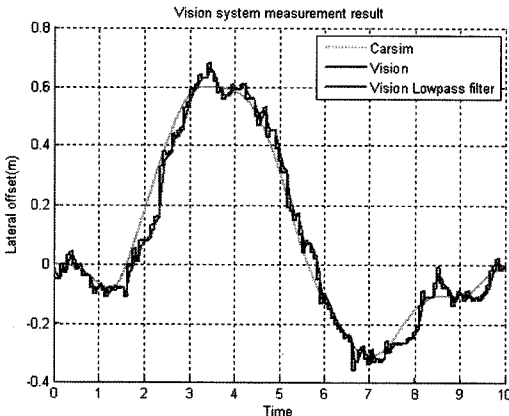


Fig. 9 Lateral offset from the vision system

4.4 시뮬레이션 결과

실험결과는 아래의 Table 1에 나타나 있다. 실험은 각 세 가지 시나리오에 대해 성인 남성 5명이 각각 5번씩 반복해서 운전을 한 결과로 하나의 시나리오에 대해 각 25번의 실험을 수행하여 그 평균값을 얻어낸 결과이다.

Fig. 10은 Table 1의 결과를 얻기 위해 수행된 실험의 샘플 그래프이다. 각 그래프에서 연한 회색의 그래프는 운전자와 EPS제어기, 짙은 회색은 운전자와 LQR 제어기 그리고 검정색은 운전자와 MBPC를 이용한 실험결과이다. 실험 결과 MBPC를 사용한 제어기가 가장 좋은 성능을 보이는 것을 볼 수 있었다. 아래 Table 1에서 LKAS 제어기를 사용한 실험은 운전자와 EPS제어기로 실험하였을 경우에 비해 실험결과가 크게 개선된 것을 볼 수 있었다. 또한 운전자와 MBPC제어기를 적용한 경우 LQR을 사용한 경우에 비해 운전자의 운전부하와 관련된 성능 지표 PW는 약 16%, 제어성능과 관련된 성능 지표 LP는 약 26% 가량의 성능 개선이 이루어 졌다.

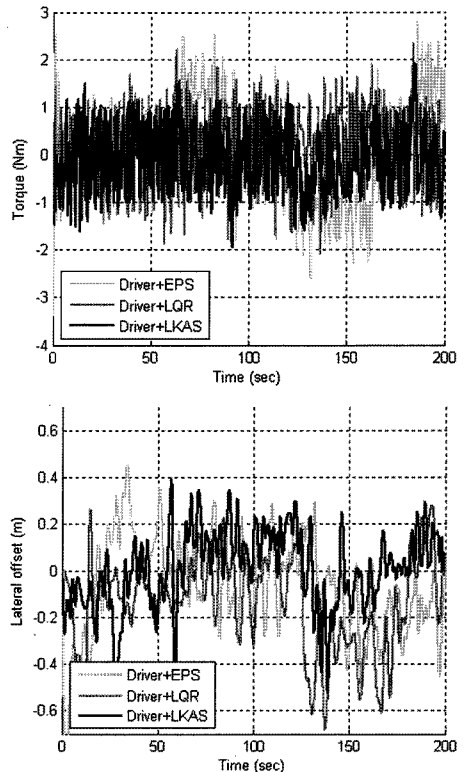


Fig. 10 Simulation results - driver torque and lateral offset

Table 1 Simulation result

Index	LP (m^2s)	PW (N^2m^2s)
Driver+EPS	3.87	32.14
Driver+LQR	2.33	25.17
Driver+MBPC	1.29	19.87

5. 결론

본 연구는 주행 중에 운전자의 운전부담을 줄여 주어 보다 편안하고 쾌적한 주행 환경을 제공하기 위한 목적으로 차선보조 유지 제어를 설계하였다. 설계된 시스템은 2자유도 차량 모델을 기본으로 모델과 전방 주시 모델을 추가하였으며, 이 모델을 이용하여 MBPC를 설계하고 설계된 제어기는 HILS를 이용하여 검증하였다.

시뮬레이션은 운전자와 EPS제어기, 운전자와 LQR 제어기 그리고 운전자와 제안된 MBPC제어기, 각 세 가지 경우에 대해 80Km/h의 차량 속도로 좌곡로와 우곡로가 있는 도로에서 수행되었다. 시뮬레이션 결과 MBPC 제어기를 사용한 시뮬레이션이 가장 많은 차량의 횡방향 오차와 운전자의 토크를 줄여주었으며 실제 실차 실험에 있어서도 비슷한 효과를 거둘 것으로 기대된다.

후 기

본 연구 결과는 지식경제부의 전략기술개발사업 연구지원에 의해 수행되었음을 밝힙니다(과제번호: 10032041).

References

- 1) S. Horiuchi and K. Sunada, "Synthesis of Driver Assistance System for Lane-Following Using Generalized Predictive Control," Proc. of AVEC'98, pp.467-472, 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 and M. Nagai, "Study on Cooperative Control of Driver and Lane-Keeping Assistance System," Proceedings of the International Symposium on Advanced Vehicle Control (AVEC), pp.219-224, 2002.
- 4) J. P. Switkes and J. C. Gerdes, "An Energy Based Performance Bound for Lanekeeping Assistance with Force Feedback," Proceedings of AVEC '06, AVEC060096, 2006.
- 5) M. Shimakage, S. Satoh, K. Uenuma and H. Mouri, "Design of Lane-keeping Control Withsteering 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) J. Hwang, K. Huh, H. Na, H. Jung, H. Kang and P. Yoon, "Evaluation of Lane Keeping Assistance Controller in HIL Simulations," Proceedings of IFAC'08, pp.9491-9496, 2008.
- 8) R. Rajamani, Vehicle Dynamics and Control, Springer, 2006.
- 9) P. Krauss, K. Dass and H. Rake, Model-based Predictive Controller with Kalman Filtering for State Estimation, Advanced in MBPC, Prentice Hall, 1994.
- 10) 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.