

# 평행주차를 위한 자동 조향 제어시스템 개발 및 성능평가

## Development and Evaluation of Automatic Steering System for Parallel Parking

이대현<sup>1</sup> · 김용주<sup>2\*</sup> · 김태형<sup>3</sup> · 정선옥<sup>2</sup> · 최창현<sup>4</sup>

Dae Hyun Lee, Yong Joo Kim, Tae Hyeong Kim, Sun Ok Chung and Chang Hyun Choi

Received: 06 Nov. 2015, Revised: 04 Feb. 2016, Accepted: 17 Feb. 2016

**Key Words** : Parallel Parking(평행 주차), Automatic Steering Control(자동 조향 제어), Path Generation(경로 생성), Path Tracking(경로 추종), Space Recognition(공간 인식)

**Abstract:** This research is conducted to develop an automatic steering system for parallel parking, and the performance of the system was evaluated by parallel parking a conventional vehicle. The automatic steering system consisted of MDPS (motor driven power steering) to control steering, ESC (electronic stability control) to acquire wheel speed, ultrasonic sensors to recognize the parking space, and a controller to communicate and handle data. The parallel parking process using the automatic steering control consisted of parking space recognition, parking path generation, and parking path tracking. The path for parallel parking was generated based on a kinematic model of a conventional vehicle, and a PI controller was used to control the steering angle for path tracking. Parallel parking using the automatic steering control was conducted according to vehicle speed conditions. The results show that the errors on the x-axis and y-axis were below 0.54 m and 0.14 m, respectively, and the error on the steering angle was less than 1°. Therefore, it is possible to implement parallel parking using an automatic steering control system for conventional vehicles.

### 기호 설명

$C_1, C_2$  : the center point of a circles  
 $D_x, D_y$  : coordinates at start point, m  
 $F$  : the center of the front axis, m  
 $l$  : wheelbase, m

$P_0$  : start point, m  
 $P_1, P_2$  : steering angle change point, m  
 $P_3$  : target point, m  
 $r$  : a radius of rotation, m  
 $r_{min}$  : minimum radius of rotation, m  
 $R$  : the center of the rear axis, m  
 $s$  : distance that the vehicle has moved, m  
 $x_R, y_R$  : coordinates of the rear wheel center, m  
 $x_F, y_F$  : coordinates of the front wheel center, m  
 $\theta$  : the angle between vehicle movement direction and x-axis, °  
 $\phi$  : wheel angle, °

\* Corresponding author: babina@cnu.ac.kr

1 Institute of Agricultural Science, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

2 Department of Biosystems Machinery Engineering, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

3 Future IT Convergence Lab., LG electronics Inc., Seoul 137-130, Korea

4 Department of Bio-Mechatronic Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon 16419, Korea

Copyright © 2016, KSFC

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

### 1. 서 론

좁은 공간에서 차량의 평행 주차는 초보자뿐만 아니라 일반 운전자에게도 어려움을 주기 때문에 독일,

일본 등에서는 자동주차 시스템에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>1)</sup> 자동주차 시스템은 차량 운전자의 의도와 상관없이 속도와 조향각을 동시에 자동 제어하는 방법과 운전자가 경험과 주변 상황에 따라 속도를 조절하고 조향각만 자동 제어하는 방법으로 나누어진다.<sup>2)</sup> 차량의 속도와 조향각을 동시에 제어하는 자동주차 시스템은 차량의 후방에 장애물이 갑자기 출현하는 등 긴급 상황에 따른 사고의 위험성이 있어 최근에는 속도에 상관없이 조향각만으로 평행 주차를 완료하는 조향 제어 시스템에 관한 연구가 진행되고 있다.<sup>3)</sup>

조향 제어 시스템은 주차공간 산출, 주차경로 생성, 경로 추종을 통한 평행 주차의 3단계로 이루어진다.<sup>4)</sup> 주차공간은 정밀도가 높은 LIDAR (light detection and ranging)를 사용하여 스캔하는 경우도 있으나<sup>5-6)</sup> 가격이 비싼 단점이 있어 일반적으로 승용차의 측면에 부착된 초음파센서를 이용하여 주차공간과의 거리를 측정하여 산출한다.<sup>7)</sup> 주차경로는 측정된 주차 공간과 승용차의 좌표를 이용하여 평행주차 완료하기 위한 최적 궤적을 생성한다. 이때 경로 생성은 승용차의 최대 회전 반경을 이용하는 방법<sup>8)</sup>, 평행주차 경로의 이동 궤적을 최소로 하는 TSG (trajectory shaping guidance) 방법<sup>9)</sup> 등이 있으며, 최근에는 연속적으로 조향 제어가 가능하여 부드러운 자동주차 가능한  $\beta$ -spline 곡선을 이용하는 방법<sup>10-11)</sup> 관한 연구가 수행되었다.  $\beta$ -spline 곡선을 이용한 방법은 대부분 시뮬레이션으로 검증되고 있으나, Gomez-Bravo 등의 경우<sup>12)</sup> 실험용으로 제작된 차량을 이용하여 평행 주차를 위한 자동 조향 시스템의 성능을 검증하였다. 실차 실험 결과, 주차 속도가 증가할수록 목표 경로와의 오차가 증가하는 경향을 보였고 실험용 제작 차량의 평행 주차가 가능한 최대 속도는 0.443 km/h에서 최대 오차는 0.59 m로 나타나  $\beta$ -spline 알고리즘의 사용 가능성을 제시하였다. 경로 추종은 생성된 경로로 주행하도록 승용차의 MDPS (motor driven power steering)를 자동 조향하며, PI (proportional integral) 혹은 PID (proportional integral derivative) 알고리즘을 이용하는 방법,<sup>13-14)</sup> 운전자의 운전 기술이나 패턴을 퍼지 혹은 인공지능 알고리즘을 이용하여 경로를 추종하는 방법 등에 관한 연구가 수행되었다.<sup>15-17)</sup> 퍼지 및 인공지능 알고리즘을 이용하는 방법은 다양한 위치 및 주차 조건에서도 평행주차 가능하다는 장점이 있으나 고가의 제어가 필요하며, 구조가 복잡하여 상용화하기는 어려운

단점이 있어 아직까지 시뮬레이션 혹은 시험용 로봇 등을 이용하여 검증되고 있다.<sup>18)</sup> 그러므로 평행 주차 제어는 대부분 제어기의 구성이 간단하여 산업용으로 가장 많이 사용되는 PI 혹은 PID 알고리즘이 승용차에 적용되고 있다.

승용차의 평행 주차에 관한 연구는 주차공간 산출, 주차경로 생성, 경로 추종에 관하여 활발히 연구되고 있으나 대부분 시뮬레이션 혹은 실험용 로봇 등에 적용되고 있어 아직까지 승용차에 적용하여 성능을 평가한 연구는 부족한 실정이다. 또한 국내의 협소한 주차 공간과 여성 운전자의 증가에 따른 자동 주차 시스템의 요구 등을 고려할 때, 승용차의 평행 주차 시스템 개발 및 성능평가가 필요한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 초음파센서로 주차 공간을 산출하고  $\beta$ -spline 곡선과 차량의 기구학적 모델을 이용하여 주차경로를 생성하였으며, 경로 추종에 PI 알고리즘을 적용하여 실제 차량의 평행 주차 성능을 평가하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 평행주차 알고리즘

자동 조향 제어시스템을 이용한 평행주차는 Fig. 1 과 같이 차량이 이동하면서 초음파센서를 통해 측면의 주차 공간을 인식하고 2차원 좌표를 측정하는 주차공간 산출(parking space recognition), 측정된 주차공간과 차량 위치의 2차원 좌표 및 기구학적 모델을 이용한 주차경로 생성(parking path generation), 마지막으로 생성된 경로를 후진으로 조향 제어하는 주차 경로 추종(parking path tracking)으로 구성된다.

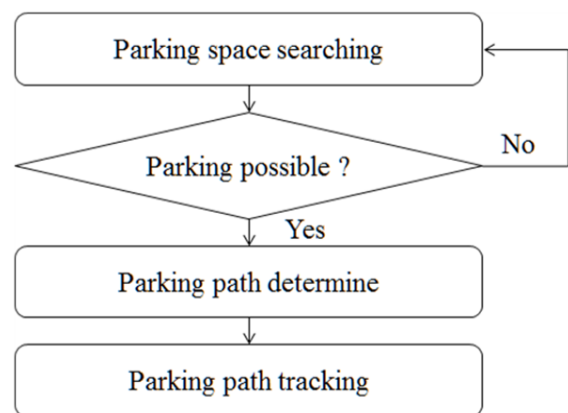


Fig. 1 Procedure of automatic steering system for parallel parking

2.1.1 주차공간 산출

주차공간의 2차원 좌표는 Fig. 2와 같이 차량이 전진하면서 측면에 부착된 초음파센서로 진행 방향 길이와 측면 방향의 폭을 측정하여 공간의 면적을 산출하였다. 진행 방향의 길이는 차륜 반경에 따른 휠 속도와 진행 시간으로부터의 이동거리로 계산하였으며, 측면 방향의 폭은 초음파센서에 의한 측면 장애물까지의 거리로 측정하였다. 주차공간 인식은 차량이 진행하면서 측정되는 측면 공간의 폭이 평행주차를 위한 최소 폭보다 클 경우 주차 공간으로 인식을 시작하게 되며, 그 이후 차량의 이동거리가 평행주차를 위한 최소 길이 이상이 될 때까지 측면 공간이 최소 폭 이상을 유지하면 평행주차 가능 공간으로 결정하게 된다<sup>19)</sup>. 측정된 주차공간은 오차에 의하여 균일하지 못하므로 직사각형으로 가정하여 데이터를 보정한 후, 2차원 좌표를 산출하였다.

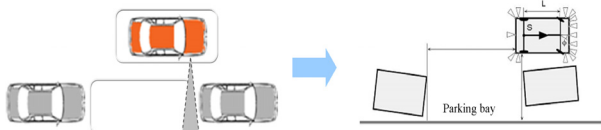


Fig. 2 Parking space recognition using ultrasonic sensor

2.1.2 주차경로 생성

4개의 바퀴를 가진 전륜구동 차량의 기구학적 모델은 Fig. 3과 같이 2차원 평면상의 x, y좌표를 이용하여 차량의 전후 방향 중심축과 x축이 이루는 각도( $\theta$ ), 차량 앞바퀴 축 중심( $F$ ), 미소 위치 변화량( $s$ )와 차륜각( $\phi$ )으로 나타낼 수 있다.<sup>13)</sup> 또한 차량의 위치와 자세는 뒷바퀴 축의 중심( $R$ )을 기준으로 표현되며, 뒷바퀴 축의 중심은 뒷바퀴 축의 위치 변화량( $\Delta x_R, \Delta y_R$ ), 차량의 전후 방향 중심축과 x축과의 각도의 변화량( $\Delta\theta$ ) 및 회전반경( $r$ )은 식 (1)과 같이 계산된다. 또한 식 (1)을 이용하여 차량의 다음 위치( $x'_R, y'_R$ ), 전후 방향 중심축과 x축과의 각도( $\theta'$ ), 차량 앞바퀴 축의 중심( $x_F, y_F$ )을 식 (2)를 이용하여 산출 할 수 있다.

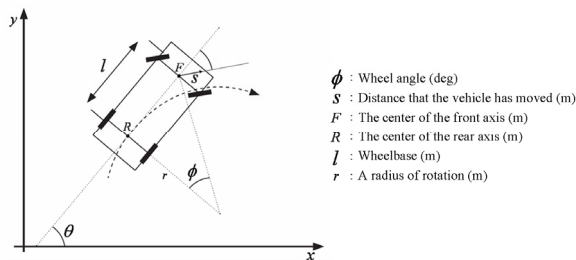


Fig. 3 Kinetics model of a conventional vehicle

$$\begin{cases} \Delta x_R = s \cos\phi \cos\theta \\ \Delta y_R = s \cos\phi \sin\theta \\ \Delta\theta = \frac{s}{l} \sin\phi \\ r = \frac{l}{\sin\phi} \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} x'_R = x_R + s \cos\phi \cos\theta \\ y'_R = y_R + s \cos\phi \sin\theta \\ x_F = x_R + l \cos\theta \\ y_F = y_R + l \sin\theta \\ \theta' = \theta + \frac{s}{l} \sin\phi \end{cases} \quad (2)$$

자동 조향은 주로 차량의 초기 위치와 최종 목표점까지의 주차 경로 생성을 통해 제어되며, 이는 장애물과의 충돌 등을 고려하여야 한다.<sup>19)</sup> 평행주차 시 주차 경로는 차량이 장애물에 충돌하지 않도록 조절점(control points)을 정의한 후 곡선을 생성한  $\beta$ -spline 곡선<sup>12)</sup>을 이용하였으며 Fig. 4와 같이 반경이  $r$ 이고 서로 외접하는 동일한 두 개의 원으로 표현하였다.<sup>13)</sup> 전체 경로는 직선 주행을 위해 조향각을  $0^\circ$ 로 제어해야 하는  $\overline{P_0P_1}$  구간, 최소 회전 반경을 위해 조향각을 최대로 하여 시계방향, 반시계방향으로 제어해야 하는  $\overline{P_1P_2}, \overline{P_2P_3}$  구간으로 나누어지며 후진만으로 평행주차를 완료한다. 주차 시작위치와 주차 목표 위치는 각각  $P_0(D_x, D_y)$ 와  $P_3(0, 0)$ 로 나타낼 수 있으며,  $P_1, P_2$ 는 조향각이 바뀌는 점의 좌표이다. 두 원의 중심 좌표  $C_1, C_2$ 는 식 (3)과 같이 두 원이 접하는 것을 이용하여 계산할 수 있으며,  $P_1, P_2$ 의 좌표는 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

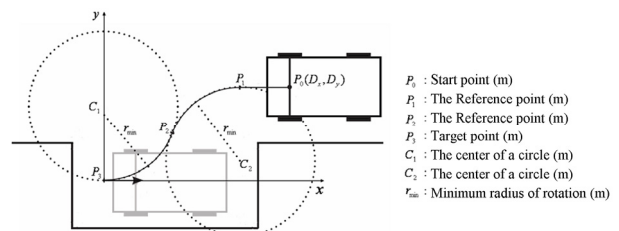


Fig. 4 Ideal path for a parallel parking

$$\begin{cases} C_1 = (0, r) \\ C_2 = (\sqrt{4rD_y - D_y^2}, D_y - r) \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} P_1 = (\sqrt{4rD_y - D_y^2}, D_y) \\ P_2 = (\frac{\sqrt{4rD_y - D_y^2}}{2}, \frac{D_y}{2}) \end{cases} \quad (4)$$

2.1.3 주차경로 추종

평행주차를 위한 자동 조향 제어 시스템은 조향각과 속도를 동시에 자동 제어하는 자동 주차 시스템과는 달리 주차 중에 운전자가 임의적으로 차량의 속도를 변화시킬 수 있기 때문에 차량의 현재위치 및 평행주차 경로에 따른 조향각의 제어가 필요하다. 본 연구에서는 Fig. 5와 같이 차량 기준점의 이동거리에 따른 조향각을 산출하여 제어 입력 변수로 이용하였으며, 평행주차 경로의 각 점간 이동거리는 식 (5)를 이용하여 산출하였다. 이때 조향각 부호는 Fig. 3의 차량 동역학적 모델을 선정하였으며, 반시계 방향이 양의 방향이다.

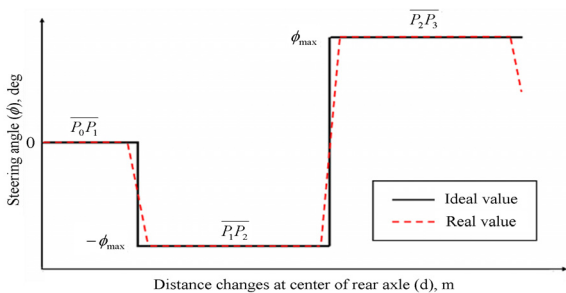


Fig. 5 Steering angle profile for a parallel parking

$$\begin{cases} P_0P_1 = D_x - \sqrt{4rD_y - D_y^2} \\ P_1P_2 = P_2P_3 = r \cot^{-1} \left( \frac{2r - D_y}{\sqrt{4rD_y - D_y^2}} \right) \end{cases} \quad (5)$$

2.2 자동 조향 제어시스템

본 연구에서 사용된 차량은 Fig. 6과 같이 H社의 I 모델 승용차를 이용하여 평행주차를 위한 자동 조향 제어시스템을 구성하였다. 승용차의 제원은 전장 4.245 m, 전폭 1.775 m, 축간거리 2.65 m 등이며, 최대 조향각은 약 510°이고 조향각 대 차륜각의 비는 16.12:1로 최대 차륜각은 약 31.64°이다.

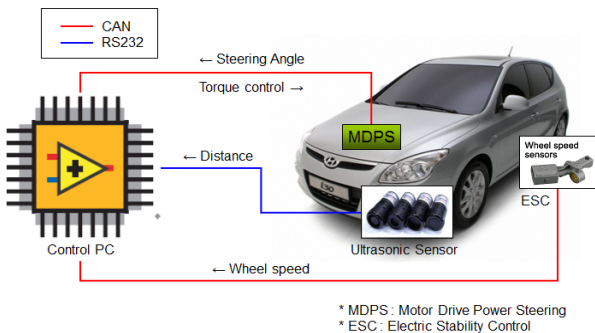


Fig. 6 Schematic diagram of automatic steering system for parallel parking

자동 조향 시스템은 장애물 및 주차공간 감지를 위한 초음파센서, 주행 속도 감지를 위한 ESC와 조향 제어를 위한 MDPS 로 구성하였다.

초음파센서(STMA-506ND2, Sontotec, Korea)는 장애물 인식 및 충돌 경보를 위해 전후방 범퍼에 각각 3개, 주차 공간 인식을 위해 측면 앞쪽에 각각 1개씩, 총 8개의 센서를 설치하였으며, 40 kHz의 주파수로 0.3 ~ 5 m 범위에서 0.01 m의 분해능을 가진다. 이때, 초음파센서 신호는 RS-232 통신을 통하여 거리 정보를 제어기로 전송하게 된다. ESC와 MDPS는 승용차에 장착된 모듈을 그대로 사용하였으며, 측정된 신호는 CAN 모듈(Leaf Semipro, Kvaser, Korea)을 통하여 제어기와 통신하게 된다. 이때, ESC와 MDPS의 분해능은 각각 0.035 m/s와 0.22°이다. 자동 조향 시스템의 제어기는 CAN 및 RS-232 통신이 가능한 PXI-8108RT (National instrument, USA)를 사용하였다.

자동 조향을 위한 알고리즘은 PI 제어를 사용하였으며, PI 제어기는 10 ms 간격으로 후진 위치에 따른 목표 조향각을 추종하도록 설계하였다. PI 제어기의 제어계수는 일반적으로 시뮬레이션 모델 등을 개발하여 설정하는 경우도 있으나<sup>14)</sup> 본 연구에서는 승용차에 장착된 상용화된 MDPS를 사용하였기 때문에 모델에 대한 정보 획득이 어려워 trial and error 방식으로 실험을 통하여 설정하였다.

2.3 조향 속도 시뮬레이션

주차경로에 따른 조향 제어를 위해서는 차량의 조향 제어 속도 선정이 필요하다. 특히, 완만한 조향 제어는 평행 주차를 완료하지 못하는 경우를 발생시키며, 반대로 너무 급격한 조향 제어는 차량의 슬립을 유발하므로 적절한 조향 제어 속도가 필요하다.<sup>12)</sup> 그러므로 본 연구에서는 승용차의 평행주차 시 슬립이 발생되지 않도록 최대 조향 제어 속도 내에서 조향을 제어하였으며, 이를 위해 평행주차 시뮬레이션을 수행하여 최대 조향 제어 속도를 선정하였다.

평행주차 시뮬레이션은 차량의 기구학적 모델을 적용하여 차량의 초기위치, 조향 제어 속도, 주행속도를 입력으로 LabVIEW (Version 2011, National Instrument, USA)를 이용하여 개발하였다. 시뮬레이션은 실험용 승용차와 동일한 제원을 적용하였으며, 초기위치는 뒷바퀴 중심축을 기준으로 주차 가능한 공간내의 임의의 한 점인 (10 m, 3 m)로 선정하였다. 시뮬레이션은 실험용 승용차의 최대 조향 속도 범위인 200 ~ 800°/s을 기준으로 3수준으로(250, 500, 750°/s)

변화시키며 실시하였으며, 시뮬레이션 후 뒷바퀴 중심 축의 최종 위치( $x, y$ )와 차륜각( $\theta$ )을 계산하여 목표 위치 (0 m, 0 m)와 목표 차륜각  $0^\circ$ 와의 오차를 각각 산출하였다. 이때, 차량의 속도는 가속을 하지 않은 상태의 후진 속도와 사용자의 브레이크 사용을 고려하여 7 km/h 이하의 속도를 랜덤으로 입력하도록 하였으며, 제어 간격은 실험용 차량의 조향 제어 속도를 고려하여 10 ms로 설정하였다. 시뮬레이션 결과는, 조향 제어 속도가 오차에 미치는 영향을 분석하기 위해 통계분석 프로그램인 SAS (version 9.1, SAS Institute, Cary, USA)를 이용하여 최소유의차 (least significant difference, LSD) 검정을 수행하였다.

## 2.4 자동 조향 제어시스템 성능평가

자동 조향 제어시스템은 H사의 I모델 승용차를 이용하여 주차 공간 인식, 조향각 위치 제어, 평행주차의 3가지 성능을 평가하였다. 자동 조향 제어시스템의 성능평가는 주차장법 시행규칙 제 3조에 따라 일반 차량 최소 기준인  $6 \times 2$  m의 크기로 펜스를 이용하여 5회 반복 실험하였으며, 실험 시 지면은 마르고 평평한 상태였고 기온은 약  $20^\circ\text{C}$ , 상대습도는 약 40%로 나타났다.

### 2.4.1 주차 공간 인식

주차 공간 인식 성능은 설정된 주차공간과 초음파 센서를 이용하여 측정된 주차공간 간의 크기 비교 및 실험 종료 시 승용차의 측정된 위치와 실제 위치의 오차 분석을 통해 평가하였다. 이때 측정된 주차공간은 지면 상태에 따른 차량 진동 및 초음파 센서 오차로 인해 왜곡이 발생되므로 최소자승법(least square method, LSM)을 이용하여 직사각형 형태로 보정하였다. 주차 공간 인식을 위한 시작 및 종료 위치는 생성된 평행주차 경로의 목표점에서 뒷바퀴 중심 축을 원점으로 각각 (-5 m, 3 m), (11 m, 3 m)로 선정하였으며 주행 속도는 전진 속도 7 km/h를 기준으로 사용자의 가속을 고려하여 7~9, 9~11, 11~13 km/h의 3수준으로 설정하였다.

### 2.4.2 조향각 위치 제어

조향각 위치 제어 성능은 조향 위치  $0^\circ$ 를 기준으로 60, 120, 180,  $240^\circ$ 의 4수준으로 변화시키며 응답 특성을 측정하였으며, 실제 평행주차 시를 고려하여 후진 7 km/h 이하의 속도를 3수준(1~3, 3~5, 5~7 km/h)에서 각각 실시하였다. 응답 특성은 일반적인

제어 시스템의 주요 성능인 최대 오버슈트(maximum overshoot), 상승시간(rise time), 지연시간(delay time), 정착시간(settling time) 및 정상상태오차(steady state error)를 측정하였다.

### 2.4.3 평행주차

자동 조향 제어시스템의 조향각은 시뮬레이션 결과인 최소 조향 제어 속도에서 이동거리에 따른 목표 조향각을 산출한 후 연속적으로 제어하였다. 평행주차의 성능평가는 생성된 평행주차 경로를 따라 자동 조향 제어를 수행한 후 승용차의 최종 위치 및 차륜각 각각을 목표 위치(0 m, 0 m) 및 목표 차륜각( $0^\circ$ )에 비교함으로써 평가되었다. 이때 승용차의 위치는 뒷바퀴 중심축을 기준으로 목표 위치(원점)에 대한 좌표이다. 평행주차 초기위치는 (10 m, 3 m)로 선정하였으며, 차량 속도는 1~3, 3~5, 5~7 km/h의 3수준으로 설정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 조향 속도 선정

시뮬레이션 결과 목표지점에서 뒷바퀴 중심축 및 차륜각의 목표값에 대한 오차는 Table 1과 같이 나타났다. 초기 위치에 따른 오차는 조향 제어 속도가 빠를수록 감소되었고, 최소유의차 분석 결과 유의수준 5% 이내에서 조향 제어 속도가  $250^\circ/\text{s}$ 일 경우 가장 크게 나타났으며  $500, 750^\circ/\text{s}$  간에는 차이가 없었다. 따라서  $750^\circ/\text{s}$ 의 경우는 실제 차량에서 슬립을 발생시킬 수 있으므로 오차가 상대적으로 작고 차량 슬립의 위험이 적은 최소 조향 제어 속도를  $500^\circ/\text{s}$ 로 선정하였다.

### 3.2 주차 공간 인식 성능

주차 공간 측정의 대표적인 결과는 Fig. 7과 같이 나타났으며 Fig. 7(a)는 측정된 원 신호, Fig. 7(b)는 원 신호를 직사각형 형태로 보정한 그래프다. 주차공간 측정 오차는 Table 2와 같이 계산되었으며 차량의 속도가 7~9 km/h 이하, 9~11 km/h, 11~13 km/h에 따른 측정 면적은 주차 길이(length)의 경우 각각 5.87, 5.84, 5.67 m이며, 주차 폭(width)은 각각 2.03, 1.98, 1.99로 모든 경우에서 주차공간의 크기는 실제보다 작게 측정되었다. 실험 종료 시 승용차의 측정된 위치와 실제 위치의 오차는 차량 속도 11~13 km/h일 때 x축은 0.21 m로 가장 높았지만 y축의 경

Table 1 Results of parallel parking simulation

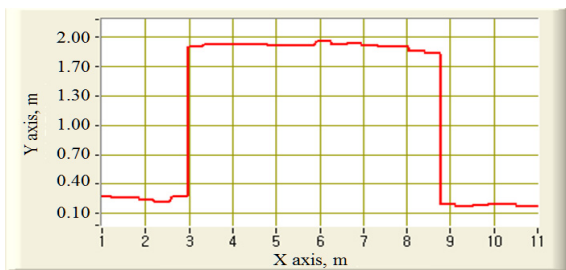
Steering control speed (°/s)	Error at the target point		
	x (m)	y (m)	θ (°)
Target value	0	0	0
250	-0.18±0.005 <sup>a</sup>	0.21±0.001 <sup>a</sup>	2.53±0.029 <sup>a</sup>
500	-0.07±0.005 <sup>b</sup>	0.06±0.002 <sup>b</sup>	1.15±0.024 <sup>b</sup>
750	-0.04±0.005 <sup>b</sup>	0.03±0.002 <sup>b</sup>	0.85±0.055 <sup>b</sup>

1) Means with different superscript (A, B, C, D) in each row are significantly different at p<0.05 by LSD's multiple range test.

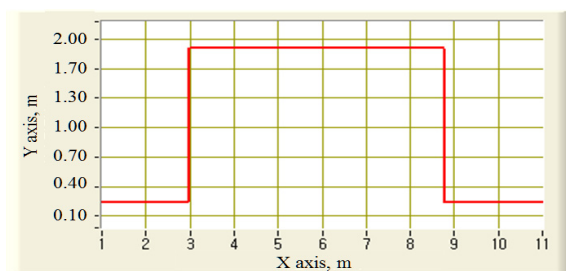
Table 2 Results for parking space detection using ultrasonic sensor

Vehicle speed (km/h)	Parking space (m)		Error of vehicle position (m)	
	Length	Width	x	y
Target value	6.00	2.00	11	3
7 ~ 9	5.87±0.06	2.03±0.03	0.09±0.05	0.07±0.05
9 ~ 11	5.84±0.11	1.98±0.03	0.14±0.12	0.07±0.03
11 ~ 13	5.67±0.35	1.99±0.03	0.21±0.32	0.07±0.03

우 모두 약 0.7 m로 차이가 없었다. 따라서 주차공간 인식 및 2차원 좌표 산출 시 차량의 속도가 느릴수록 정확히 측정 가능하며, 주행 속도가 증가할수록 오차가 증가함을 알 수 있다.



(a) raw data



(b) corrected data

Fig. 7 Parking space detection using ultrasonic sensor

### 3.3 조향각 위치 제어 성능

조향각 위치 제어 성능은 차량 속도에 따라 오차의 차이가 있었으나 유사한 경향을 보여주었으며, 그

대표적인 결과는 Fig. 8과 같이 나타났다.

차량 속도가 1~3 km/h인 경우, 조향 제어의 입력각이 클수록 최대 오버슈트 및 목표점까지 도달하는데 걸리는 시간이 증가하는 추세를 보이고 있으며, 240°의 조향각 위치 제어 시에는 MDPS의 슬립으로 조향각이 제어 입력과 역방향으로 제어되어 정확한 측정이 불가능하였다. 조향각 위치 제어의 응답 성능은 Table 3과 같이 측정되었으며 조향각의 크기가 240°인 경우는 슬립으로 인해 정확한 응답 성능의 측정이 어려워 결과 분석에서 제외하였다.

최대 오버슈트는 조향각 제어 입력의 크기와 차량 속도가 클수록 증가하였으며 조향각 크기 180°, 차량 속도 5~7 km/h에서 39.58°로 가장 높게 나타났는데, 이는 차량 속도가 증가할수록 타이어와 지면 사이 마찰이 감소하기 때문으로 판단된다. 상승시간은 차량의 속도 증가에 의한 변화가 크게 관찰되지 않았으며, 제어 조향각의 크기가 증가할수록 높게 나타났고 180°, 차량 속도 5~7 km/h에서 0.23 s로 가장 길게 나타났다. 또한 각각의 조건에서 상승시간 및 조향각 크기를 이용하여 조향 제어 속도를 계산하면 모든 조건에서 500°/s 이상으로 나타나, 평행주차를 위한 최소 조향 제어 속도 500°/s의 시뮬레이션 결과와 비교하였을 때, 만족스런 수준임을 알 수 있다. 지연시간과 정착시간은 모든 조건에서 각각 약 0.3, 2 s 이하로 나타났으며 정상상태오차의 경우에도 대부분 1% 미만으로 나타났다.

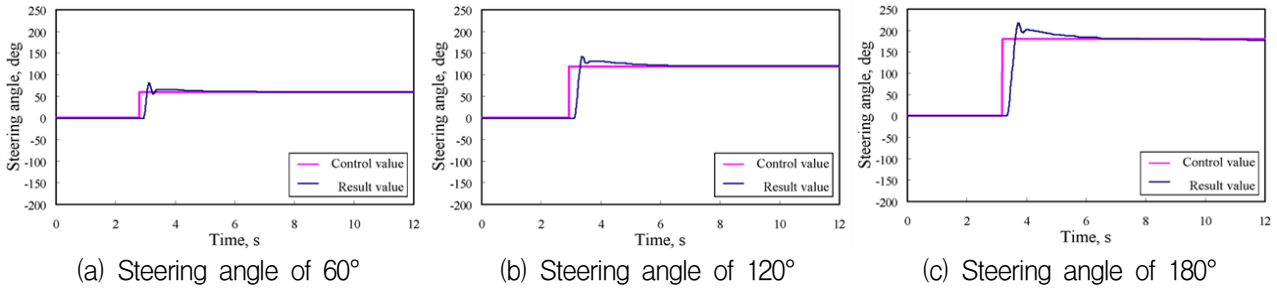


Fig. 8 Results of steering angle control (vehicle speed of 1~3 km/h)

Table 3 Response characteristics of steering control system

Steering angle (°)	Vehicle speed (km/h)	Maximum overshoot (°)	Rise time (s)	Delay time (s)	Settling time (s)	Steady state error (%)
60	1~3	18.54±2.39	0.09±0.02	0.22±0.008	1.64±0.068	< 0.58
	3~5	22.97±1.18	0.08±0.01	0.24±0.037	1.76±0.15	< 0.11
	5~7	25.36±0.98	0.08±0.006	0.31±0.11	1.81±0.086	< 0.61
120	1~3	20.30±1.21	0.14±0	0.27±0.014	1.82±0.07	< 0.15
	3~5	26.47±3.66	0.12±0.006	0.26±0.022	1.51±0.2	< 0.08
	5~7	29.00±4.20	0.13±0	0.26±0.026	1.56±0.014	< 0.09
180	1~3	32.22±4.67	0.20±0.02	0.32±0.02	2.02±0.054	< 0.15
	3~5	34.81±3.06	0.21±0.03	0.27±0.056	2.06±0.047	< 0.05
	5~7	39.58±2.07	0.23±0.037	0.29±0.008	1.96±0.053	< 1.19
240	1~3	Slip				

Table 4 Comparison of vehicle position and wheel angle at the target point between experimental test results and target values

Vehicle speed (km/h)	Error at the target point		
	x (m)	y (m)	θ (°)
Target value	0	0	0
1~3	-0.26±0.06	0.10±0.02	0.27±0.05
3~5	-0.43±0.07	0.13±0.01	0.21±0.06
5~7	-0.54±0.09	0.14±0.03	-0.87±0.05

3.4 평행주차 성능

자동 조향 제어시스템의 평행주차 성능은 평행주차 완료 후 차량의 x, y축 방향 및 차량의 자세(θ) 오차를 평가하였으며 그 결과는 Table 4와 같다. x축 방향의 경우 오차의 크기는 승용차의 속도 증가에 따라 높게 나타났으며 승용차 속도 5~7 km/h에서 0.54 m로 가장 크게 나타났다. 또한 x축 방향 오차의 크기는 모든 경우에 있어 0.24 m 이상으로 크게 나타났으며 승용차 속도에 따라 증가되었는데 이는 제어 종료에 따른 승용차 정지 시 진행 방향으로 발생된 관성에 의한 것으로 판단된다. y축 방향 오차는 x축 방향과 마찬가지로 차량 속도가 증가할수록 높게 나타났으며 차량 속도 5~7 km/h에서 0.14 m로 가장 크게 관찰되었다. 최종 자세의 오차의 크기는 모든

조건에서 약 1° 미만으로 나타났으며, 오차의 방향은 차량의 속도가 증가함에 따라서 오른쪽 방향(+)에서 왼쪽 방향(-)으로 점차 이동하였다. 이는 속도가 증가할수록 조향 제어에 필요한 시간이 감소되어 5~7 km/h에서는 목표점 도달 시 조향각을 0°까지 제어되지 못한 것으로 판단된다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 승용차의 평행 주차를 위한 자동 조향 제어 시스템을 개발하기 위해 수행되었으며 초음파센서로 주차 공간을 산출하고 β-spline 곡선과 차량의 기구학적 모델을 이용하여 주차경로를 생성하였으며, 경로 추종에 PI 알고리즘을 적용하여 실제

차량의 평행 주차 성능을 평가하였다.

주차 공간 인식 성능은 차량의 속도가 증가할수록 측정된 주차 길이의 오차는 점차 증가하였으며 주차 폭은 대부분 유사하게 나타났다.

조향각 위치 제어는 대부분에서 지연시간은 약 0.3 s, 정착시간은 약 2 s 정도로 측정되었으며, 정상상태 오차는 1% 미만의 성능을 보였다. 이때 240° 제어 시에는 MDPS의 슬립이 발생하여 응답 특성을 측정할 수 없었다. 자동 조향 제어시스템의 평행주차 성능은 x, y축 방향 위치 오차가 각각 최대 0.54, 0.14 m로 측정되었으며, 최종 자세에서 오차의 크기는 모든 조건에서 약 1° 미만으로 나타났다.

현재 승용차에 적용되고 자동주차 시스템은 대부분 개루프 위치 제어를 이용하며, 일부 고가의 승용차의 경우 앞, 뒤 차량과의 간격 유지를 위해 x-방향 위치에 대해서만 페루프 제어를 수행하고 있다. 본 연구에서도 페루프 위치 제어 방식을 이용하고 있어 실제 제품 적용 시 자동주차를 통해 운전자의 주차 부담은 줄여 줄 수 있으나 국내의 경우 주어진 협소한 주차 공간을 고려했을 때, 시스템의 적용에 다소 문제 발생이 예상된다. 따라서 본 시스템의 활용성 향상을 위해서는 다양한 주차 상황 및 공간에서 자동주차가 가능하도록 경로 생성 및 제어 알고리즘의 최적화가 필요하고, 이와 더불어 x 및 y, 전 방향의 페루프 제어 관련 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## Acknowledgement

이 연구는 충남대학교 학술연구비에 의해 지원되었음.

## References

- 1) M. Wada, "Development of Advanced Parking Assistance System", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.50, No.1, pp.4-17, 2003.
- 2) S. W. Jang, H. W. Chang, S. K. Kim, and W. J. Chang, "Backward Path-Tracking Motion Control Algorithm for a Semi-Auto Parking System", Proceeding of the KASE 2007 spring conference, pp.2116-2121, 2007. (In Korean)
- 3) K. T. Lee, W. J. Chung, and H. W. Chang, "Improvement of odometry accuracy and parking control for car-like mobile robot", J. Korea Robot. SOC., Vol.3, No.1, pp.16-22, 2008. (In Korean)
- 4) H. W. Chang and C. H. Kim, "Autonomous Parking of a Model Car with Trajectory Tracking Motion Control using ANFIS", Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol.26, No.12, pp.69-77, 2009. (In Korean)
- 5) H. G. Jung, Y. H. Cho, P. J. Yoon, and J. H. Kim, "Scanning laser radar based target position designation for parking aid system", IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol.9, No.3, pp.406-424, 2008.
- 6) D. A. Thornton, K. Redmill, and B. Coifman, "Automated parking surveys from a LIDAR equipped vehicle", Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol.39, pp.23-35, 2014.
- 7) M. H. Son and H. S. Kim, "Development of control system for autonomous parallel parking", Proceeding of the KASE 2003 spring conference, pp.159-166, 2003. (In Korean)
- 8) T. H. Hsu, J. F. Liu, P. N. Yu, W. S. Lee, and J. S. Hsu, "Development of an automatic parking system for vehicle", Proceeding of the IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, pp.1-6, 2008.
- 9) B. Muller and J. Deutscher, "Trajectory generation and feedforward control for parking a car", Proceeding of the IEEE International Conference on Control Applications, pp.163-168, 2006.
- 10) H. Shen, R. Ling, and S. Li, "Continuous curvature trajectory planning method for intelligent vehicle considering no slip constraints", Zhongguo Jixie Gongcheng/China Mechanical Engineering, 2012.
- 11) Z. G. Zhu, and H. S. Chen, W. X. Xu, and L. Liu, "Parking simulation of three-dimensional multi-sized star-shaped particles", Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering, Vol.22, No.3, pp.1-25, 2014.
- 12) F. Gomez-Bravo, F. Cuesta, A. Ollero, and A. Viguria, "Continuous curvature path generation based on  $\beta$ -spline curves for parking manoeuvres", Robot. Auton. Syst., Vol.56, No.4, pp.360-372, 2008.
- 13) J. Jernstrom, "Autonomous Parallel Parking-a Study based on the Implementation of a Car-like Mobile



- Robot”, MS thesis, Lund University, Lund, Sweden, 2008.
- 14) C. H. Choi, M. N. Woo, D. H. Lee, Y. J. Kim, and J. H. Jung, “Development of Electric Actuator Position Control System for Automatic Shuttle Shifting of Tractor” J. of Biosystem Eng., Vol.35, No.4, pp.224-230, 2010. (In Korean)
- 15) T. Fraichard and P. Garnier, “Fuzzy control to drive car-like vehicles”, Robot. Auton. Syst., Vol.34, No.1, pp.1-22, 2001.
- 16) A. E. Hajjaji and S. Bentalba, “Fuzzy path tracking control for automatic steering of vehicles”, Robot. Auton. Syst., Vol.43, pp.203-213, 2003.
- 17) C. H. Kim, H. W. Chang, and W. J. Chung, “Autonomous parking of a model car with travel-distance based path tracking control”, Proceeding of the KSPE 2008 Autumn conference, pp.483-484, 2008. (In Korean)
- 18) M. A. Fairus, S. N. S. Salim, J. W. Jamaludin, and M. N. Kamarudin, “Development of an automatic parallel parking system for nonholonomic mobile robot”, 2011 International Conference on Electrical, Control and Computer Engineering (INECCE), pp.45-49, 2011.
- 19) M. R. Heinen, F. S. Osorio, F. J. Heinen, and C. Kelber, “SEVA3D: Autonomous vehicles parking simulator in a three-dimensional environment” J. Comput. Sci., Vol.6, No.2, pp.63-70, 2007.