

## 자율적 평행주차 제어시스템의 개발

손민혁<sup>\*1)</sup> · 부광석<sup>2)</sup> · 송정훈<sup>2)</sup> · 김흥섭<sup>2)</sup>

인제대학교 기계공학과<sup>\*1)</sup> · 인제대학교 기계자동차공학부<sup>2)</sup>

### Development of Control System for Autonomous Parallel Parking

Minhyuk Son<sup>\*1)</sup> · Kwangsuck Boo<sup>2)</sup> · Junghoon Song<sup>2)</sup> · Heungseob Kim<sup>2)</sup>

<sup>\*1)</sup>Department of Mechanical Engineering, Inje University, Gyeongnam 621-749, Korea

<sup>2)</sup>School of Mechanical and Automotive Engineering, Inje University, Gyeongnam 621-749, Korea

(Received 27 May 2003 / Accepted 31 July 2003)

**Abstract** : The researches for autonomous vehicle have been implemented in many studies, but most studies were confined to the lane following and changing. This paper addresses a problem of autonomous lane following parking a nonholonomic vehicle. The algorithm for image processing by the hough transform and controlling a steering angle and speed to park a nonholonomic vehicle is developed. The developed system which integrated the control algorithm for parking and vision algorithm for line traction tested with RC car and verified by the performance of the detection of parking area and the reactive parking without collisions.

**Key words** : Autonomous vehicle(자율 주행 차량), Nonholonomic(논홀로노믹), Parallel parking(평행 주차), Lane recognition(차선 인식), Hough transform(호프 변환)

#### Nomenclature

- $l$  : wheelbase
- $w$  : tread
- $M$  : mid-point of rear wheel axle
- $D1$  : length of parking place
- $D2$  : width of parking place
- $\theta$  : vehicle's orientation with respect to the global coordinate
- $\phi$  : steering angle
- $v$  : locomotion velocity
- $\gamma$  : camera tilt angle
- $\lambda$  : camera focal length
- $(X_g, Y_g)$  : global coordinate of lane
- $(L, W, H)$  : camera location from M

#### 1. 서론

현재의 자동차는 기술의 발달로 인해 단순하게 목적하는 위치까지의 주행 및 수송을 위한 기본적인 장치 이외에 안전성, 조종성 그리고 부가적인 목적을 위하여 지능형 시스템이 계속적으로 추가되고 있다. 이러한 ITS(Intelligent Transportation System)에 관한 연구의 궁극적인 목표는 차량 스스로가 주행환경을 인식하면서 안전하게 주행할 수 있는 자율주행 차량을 개발하는 데 있다.

현재 진행중인 자율주행 차량에 관한 연구는 크게 비전 시스템에 의한 차선 인식방법이나 도로에 매설된 마그네틱봉(Magnetic Nail)을 이용하여 경로를 이탈하지 않게 하여 운전자의 개입 없이 차선을 이탈하지 않고 주행하도록 제어하는 횡방향제어(Lateral/steering Control)와 Laser Rader나 Millimeter

<sup>\*</sup>To whom correspondence should be addressed.  
hyuk2214@hotmail.com

Wave 등에 의해 앞차량을 감지하여 운전자의 개입 없이도 앞차와의 간격을 자동으로 조절해주는 종방향제어(Longitudinal Control)기능으로 구분되어진다.<sup>1)</sup>

하지만 좀 더 궁극적인 자율 주행 차량을 위해서는 단순히 차선만 따라가는 주행뿐 아니라 차선의 변경 및 주차까지 자율적으로 이루어지게 하는 제어 시스템 및 알고리즘의 개발이 필요하다. 그 이유로 차량의 기구학적인 모델을 이용한 적절한 주행 경로 변경과 제어를 위한 알고리즘은 차량의 자율 주행 능력을 더욱 향상시킬 수 있다. 또한 이를 바탕으로 한 주차를 위한 경로 생성 알고리즘의 개발은 다양한 주차공간에서의 자율 주차를 가능케 함으로써 좀 더 강한 성능의 자율 주행 차량으로 발전을 꾀할 수 있다.

Laugier<sup>3)</sup> 등은 평행주차와 차선 변경등을 위한 센서의 정보에 의한 알고리즘을 구현하고 전기자동차를 이용한 실험을 통해 검증하였다. 하지만 국내에서는 아직 자율 주행이외의 자율 주차에 관한 연구는 아직 미진한 상태이다.

본 연구에서는 주차 공간 탐지를 위한 제어기와 주차 공간으로의 이동을 위한 경로 생성, 제어 알고리즘을 개발하였다. 개발된 알고리즘은 초음파 센서에 의한 주차공간의 데이터를 이용하여 조향각과 주행속도를 제어한다. 또한, 주차공간을 탐지하기 위해 주행하는 차량의 차선의 이탈을 방지하기 위해 비전시스템을 장착, 영상처리를 함으로써 차량에 대한 차선의 상대위치를 알아내고 이를 기반으로 차량이 차선에서 이탈하지 않도록 조향각을 제어하였다.

## 2. 차량의 모델링 및 평행 주차

### 2.1 논홀로노믹(Nonholonomic) 특성

Fig.1에서 X와 Y축은 기준 좌표계이며, 기준점은 O점이다. 차량의 위치와 운동의 기준이 되는 좌표는  $(x, y, \theta)$  로 표시된다. 여기서  $x$ 와  $y$ 는 차량의 뒷차축 중심의 좌표이며  $\theta$ 는 기준 좌표계에 대한 차량의 기울어진 각도이다. 차량의 모델링은 차량의 바퀴가 평행한 지면과 미끄러짐없이 완전 구름을 한다고 가정한다.

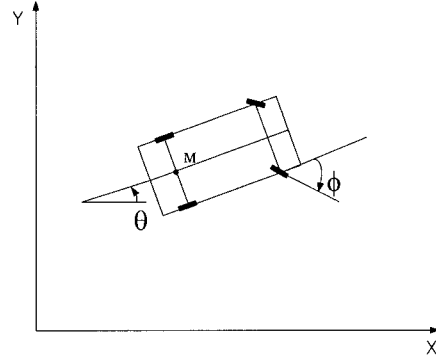


Fig. 1 Schematic diagram of a vehicle

Fig.1의 차량의 기구학적인 방정식은 다음과 같이 나타낸다.

$$\begin{aligned} \dot{x} &= v \cos \theta \cos \phi \\ \dot{y} &= v \sin \theta \cos \phi \\ \dot{\theta} &= \frac{v}{l} \sin \phi \end{aligned} \quad (1)$$

여기서,  $\phi = \phi(t)$ 로서, 차량의 조향각이며,  $v = v(t)$ 로서, 차량중심의 속도이다. 차량의 위치와 경로의 제어는 조향각과 속도  $(\theta, v)$ 에 의해 이루어진다. 하지만 식 (1)은 차량위치의 도함수를 포함하는 두 식에 대한 적분이 완전히 되지 않기 때문에 제어가 용이하지 않다.<sup>2)</sup>

본 연구에서는 이러한 논홀로노믹 특성을 가지는 차량 모델의 경로 제어를 위해 센서로부터의 입력값(차량속도)을 계산하여 차량의 위치와 경로를 계산하였다.

### 2.2 평행 주차 경로

자동차의 주차 방식에는 여러 가지가 있으나 대표적으로 “평행 주차”, “사선 주차” 그리고 “T자형 주차” 등이 있다.<sup>3)</sup> 그 중에서 “사선주차”와 “T자형 주차”는 주차공간이 별도로 지정되어 있는 곳으로 건물내 주차장이나 아파트 등의 주차장에 많이 적용된다. 하지만 대부분의 도로상의 주차는 평행 주차 방식으로 이루어진다. 본 연구에서는 평행 주차에 대해 다루고자 한다. 운전자가 평행주차하기 위한 행위로는 차선을 따라가며 적절한 주차 공간의 탐지, 평행주차하기 위한 초기 위치로 이동, 평행 이동을 위한 후진과 전진의 반복 등의 순서로

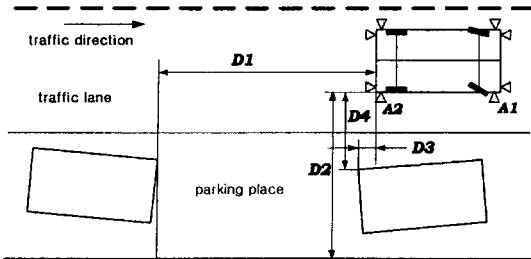


Fig. 2 Start location for parallel parking

이루어진다. 본 연구에서도 이러한 순서로 이루어지는 자율적 평행 주차 알고리즘을 구현하고자 한다.

주차 제어는 차량에 부착되어 있는 초음파 센서의 거리 데이터를 통해 이루어진다.

초음파 센서는 Fig. 2에서 보여지듯이 차량의 전후, 좌우에 부착된다. 센서를 통한 거리측정은 주차공간의 탐지, 주차를 위한 초기위치 파악, 주차나 주행중의 장애물 감지와 주차한 위치가 적절한지를 파악하는 등에 이용된다.

적절한 주차공간의 탐지는 다음과 같은 방법으로 이루어진다.

2.2.1 센서 A1에 의한 D2의 측정

$$D^* < D2 \tag{2}$$

식 (2)에서  $D^*$ 는 주차공간 폭의 판단을 위한 임계치이다. 직진주행을 하면서 차량의 좌우에 부착된 센서값을 읽어들이면서 전륜 옆에 부착된 센서를 통해 들어오는 값이  $D^*$ 값을 넘으면 주행방향 오른쪽에 주차 가능한 공간이 있음을 인식한다.

2.2.2 센서 A2에 의한 D4의 측정

$$D^* > D4 \tag{3}$$

식 (3)에서  $D4$ 는 차량의 후륜에 부착된 센서 A2를 통해 입력되는 값이다. 식 (2)에서 주차 가능함을 인식하고 계속 주행하다가 후륜쪽의 센서를 통해 들어오는  $D4$ 가  $D^*$ 보다 작아지면 주차폭의 인식은 끝나게 된다.

2.2.3 A1과 A2에 의해 D2, D4를 측정하는 동안  $D'$ 의 계산

$$D' < D1 \tag{4}$$

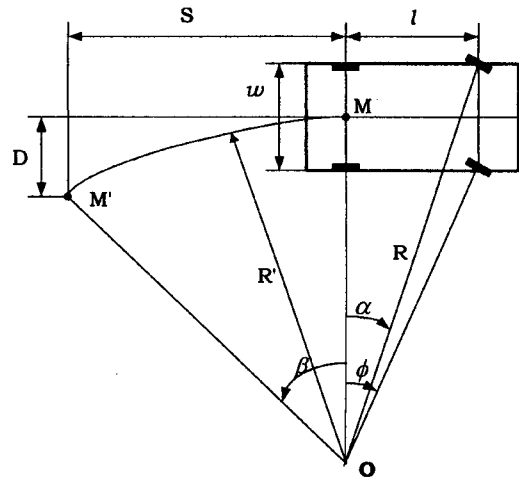


Fig. 3 Trajectory line of vehicle motion

여기서  $D'$ 은 주차공간의 길이 판단을 위한 임계치이다. 식 (2), (3), (4)에서 쓰여진 임계치  $D^*$ ,  $D'$ 는 각각 차량의 차폭, 차량길이의 1.5배로 설정하였다.

식 (4)의 판단을 위해서는 차량이 주행한 거리  $D1$ 의 예측이 요구된다. 식 (1)에서 차량속도  $v(t)$ , 조향각  $\theta(t)$ 를 이용하여  $x(t)$ ,  $y(t)$ 를 완전히 적분할 수 없기 때문에 본 연구에서는 식 (2)를 통해 적절한 주차폭이 측정된 순간부터 식 (3)에 의해 측정이 마무리 될 때까지의 거리를 센서를 통해 측정하였다.

또한, 차량이 적절한 초기위치에서 시작하여 평행주차가 완료되기까지의 경로도 평행이동을 하는 차량의 기하학적인 모델링을 통해 차량이 평행이동을 하기 위해 각각의 거리를 계산하고 이동 거리에 알맞은 조향각을 제어 할 수 있다.

Fig.3와 같이 차량이  $D$ 만큼의 폭을 이동하기 위해서는 직선거리로  $S$ 만큼의 이동이 필요하다. 이 경우에 차량이 움직인 거리는 곡선  $MM'$ 으로  $R'$ 을 알면 쉽게 구하여 지는데

$$R' = R \cos \alpha - \frac{W}{2} \tag{5}$$

여기서  $R$ 은 최소회전 반경으로 다음과 같이 나타내어 진다.<sup>4)</sup>

$$R = \frac{l}{\sin \alpha} \tag{6}$$

$R'$ 을 계산한 다음  $\beta$ 를 계산하면,

$$\beta = \cos^{-1} \left( \frac{R' - D}{R'} \right) \quad (7)$$

으로 나타내어지고 마지막으로 곡선MM'는

$$MM' = 2\pi R' \cdot \frac{\beta}{360} \quad (8)$$

로 계산된다.

MM'의 계산은 차량의 축거, 윤거 그리고 최대 조향각 등의 제원에 의해 결정되어지므로 차량에 따라 제어를 위한 함수의 변수도 변경되어야 한다. 식 (8)은 최소 회전 반경 R에 관한 함수로 나타내어진다. 결국 식 (8)을 적용하기 위해서는 차량의 평행이동은 최대 조향각 상태에서 이루어져야 한다. 평행이동을 위해서는 식 (8)에 따른 이동을 반복함으로써 Fig.4에서 보여지듯이  $\phi$ 가 x축에 대해 서로 대칭이 되어야 한다.  $\phi$ 을 이동거리 D에 관한 식으로 나타내어진다.

$$\phi(D) = k_\phi \phi_{\max} \quad (9)$$

여기서  $k_\phi = \pm 1$

조향각이  $\phi_{\max}$ 에서  $-\phi_{\max}$ 으로 바뀌어야할 시점은 D2의 축경과정에서 계산되어진 평행이동거리에서 역으로 MM'을 계산하여 D만큼 이동했을 때이다.

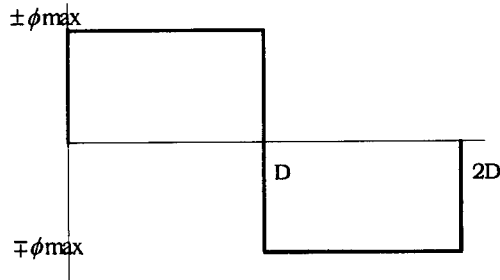


Fig. 4 Steering angle

### 2.3 차선 인식 기법

비전 시스템에 의한 차선 인식기법에는 크게 역원근 투영법, 저장된 템플릿에 의한 패턴 매칭 방법, 호프변환(Hough Transform)에 의한 직선 근사화 방법 등이 있다.<sup>5)</sup>

영상에서 차선을 추출하기 위한 알고리즘은 대부분 임계값(Threshold value)을 이용하여 경계 인식을

통해 차선을 추출하는 방식이다. 이러한 영상의 특징을 이용한 방식은 그림자, 빛의 변화, 차선의 훼손 등의 요인에 민감하여 임계값 결정에 어려움이 따르고 계산량이 많아서 알고리즘의 처리속도가 느린 단점이 있다.

하지만 본 연구에서 제안된 주행상황을 고려할 때 차량의 주행속도가 0.3m/s 이하의 저속에서 이루어지고 빛이나 그림자, 차선 훼손 따위의 외부 요인의 간섭을 거의 받지 않으므로 이러한 단점은 무시할 만하다. 본 연구에서는 직선 검출에 가장 효율적인 호프 변환(Hough Transform)을 이용한 차선 인식 기법을 사용한다.

차선 인식 알고리즘의 영상 신호 입력 후에 노면과 차선부분 만의 영상을 획득하기 위해 관심영역을 설정하였다. 관심영역설정에는 단순히 영상신호에서 차선과 노면 부분만을 영상처리에 사용하는 방법을 사용하였다. 카메라를 통해 입력된 영상정보에 실험을 위한 도로환경 이외에 영상이 포함되어 있기 때문에 차선의 검출이 어렵고 계산이 복잡해진다. 단순히 차선이 그려져 있는 도로 영상만 획득하기 위해 기타 영상이 포함되어 있는 부분은 전처리 과정에서 잘라내었다. 영상 정보에서 추출된 차선은 차선의 중심에 나타나는 하나의 마커로 표시되어 글로벌 좌표로 변환한다. 차선의 글로벌 좌표를 얻기 위해 영상 좌표와 뒷차축 중심점M을 기준으로 한 차량 좌표계를 통한 변환으로 차선의 글로벌 좌표를 계산하였다.

영상좌표에서 계산되어진 차선의 글로벌좌표는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$X_g = L + (\cos \gamma + \frac{z \sin \gamma}{\lambda}) X_c$$

$$Y_g = W + \frac{y}{\lambda} X_c \quad (10)$$

$$X_c = \frac{-(H_{c.g.} + H)}{-\sin \gamma + \frac{z}{\lambda} \cos \gamma}$$

여기서  $X_g, Y_g$ 는 차선의 글로벌 좌표이고  $\gamma$ 는 카메라 틸트각,  $\lambda$ 는 카메라 초점거리,  $L, W, H$ 는 차량의 뒷차축 중심인 M점으로부터의 카메라 위치,  $H_{c.g.}$ 는 차량의 중심점 M의 지면에서의 높이이다.

글로벌 좌표로 변환된 차선 정보는 차량의 좌우

에 있는 차선과의 횡간거리를 좌우쪽 모두 같도록 유지하게 하는 방법으로 차선 이탈을 방지한다.

차선 인식을 위한 알고리즘은 Matrox Image Library 7.0의 예제 함수 중 호프 변환에 의한 물체의 중심 좌표를 찾아내는 Blob Analysis를 차선인식에 알맞게 개선하였다.

### 3. 실험 방법 및 결과

#### 3.1 실험장치 및 방법<sup>6-8)</sup>

본 연구에서 제안된 자율 주행 및 평행 주차 알고리즘을 구현하기 위해 모델차와 모형 주차장을 제작하였다. 차체는 1/10 scale의 R/C 자동차를 사용하였다. 축거리는 257mm 이고 윤거리는 163mm 이다. 모형 주차장은 3m × 1.2m 크기로 제작하였고, 주차공간의 크기는 700mm × 300mm 로 설정하여 차선을 그었다.

거리 측정을 위해 초음파 센서(SRF04)를 전후 각각 4개씩 부착하였다. 차량의 조향과 구동은 서보모터를 이용하였다. 차량의 주행거리를 측정하기 위해 뒷차축에 포토 다이오드를 부착하여 회전수를 검출하였다. 초음파 센서 신호의 측정과 포토 다이오드에 의한 회전수 검출 그리고 서보 모터의 제어를 위한 제어용 보드는 PIC16F877과 PIC16F84를 이용하여 구성하였다. 초음파 센서 측정은 펄스 폭을 측정하여 거리를 계산하였으며 포토 다이오드는 빛이 통과할 때 발생하는 펄스 신호의 개수를 카운트하였다. 서보 모터는 PWM방식을 이용하여 제어하였다. 제어용 보드와 Host PC와의 통신은 RS232 방식을 이용하였다.

영상 정보 입력을 위한 CCD 카메라는 640x480 pixel의 흑백 카메라를 사용하였다. 카메라의 영상 신호는 영상 RF모듈을 통해 무선으로 Host PC로 전송된다. 영상 처리용 보드는 Matrox사의 MeteorII Frame Grabber를 사용하였다.

차선 인식 알고리즘과 주차 경로 알고리즘은 Visual C++ 6.0을 이용하여 프로그래밍 하여 차선 위치 정보와 차량의 이동거리 및 초음파 센서에서 들어오는 거리 신호를 모니터링 할 수 있게 하였다.

모델차의 구동과 PIC board의 구동은 DC 5V의 전원으로 이루어지고, CCD 카메라와 영상 RF 모듈

은 DC 12V의 전원을 필요로 한다. 이들 전원은 별도의 파워서플라이에 의해 시리얼 통신을 위한 케이블과 함께 전선을 통해 차량에 공급되어 진다.

Fig. 5는 전체 시스템의 구성을 나타내었다.

#### 3.2 실험 결과

실험 중 주차공간을 탐지하는 동안 차량의 속도는 0.1m/s이고 주차동작 중 차량의 속도는 평균 0.03m/s의 속도로 제어된다. 조향각은 주차중 차량의 속도가 지속이고 서보모터의 동작속도가 빠르므로 구동상태에서 전환하도록 하였다.

Fig. 6은 자율 주차 모습을 보여주는데 (a),(b)과정은 주차 공간을 탐지하면서 직진 주행하는 모습이다. (c)는 주행 방향의 왼쪽에 적절한 주차공간이 있음을 탐지하고 초기위치에 멈춘 모습이다. (d)는 주차를 하기 위해 후진하면서 이동하는 모습이다.

이때 조향각은  $\phi_{max}$  이다. (e),(f) 역시 후진하는 상

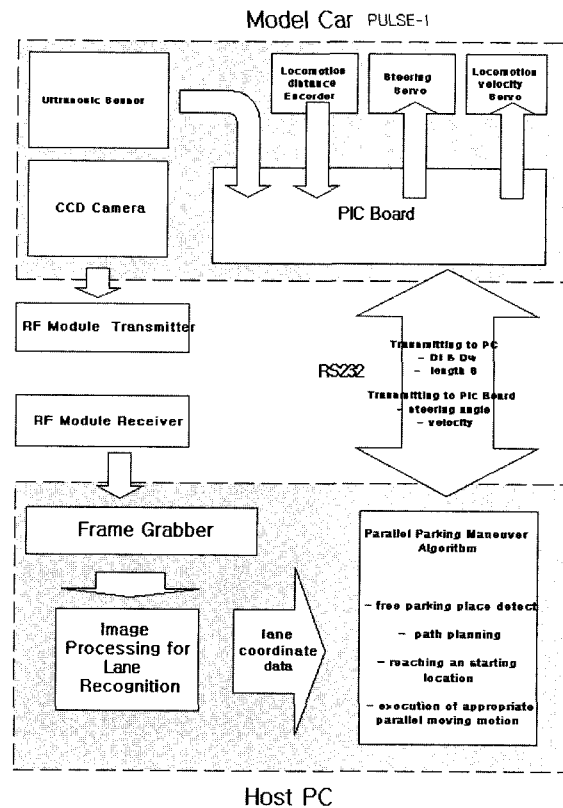


Fig. 5 The overall system architecture

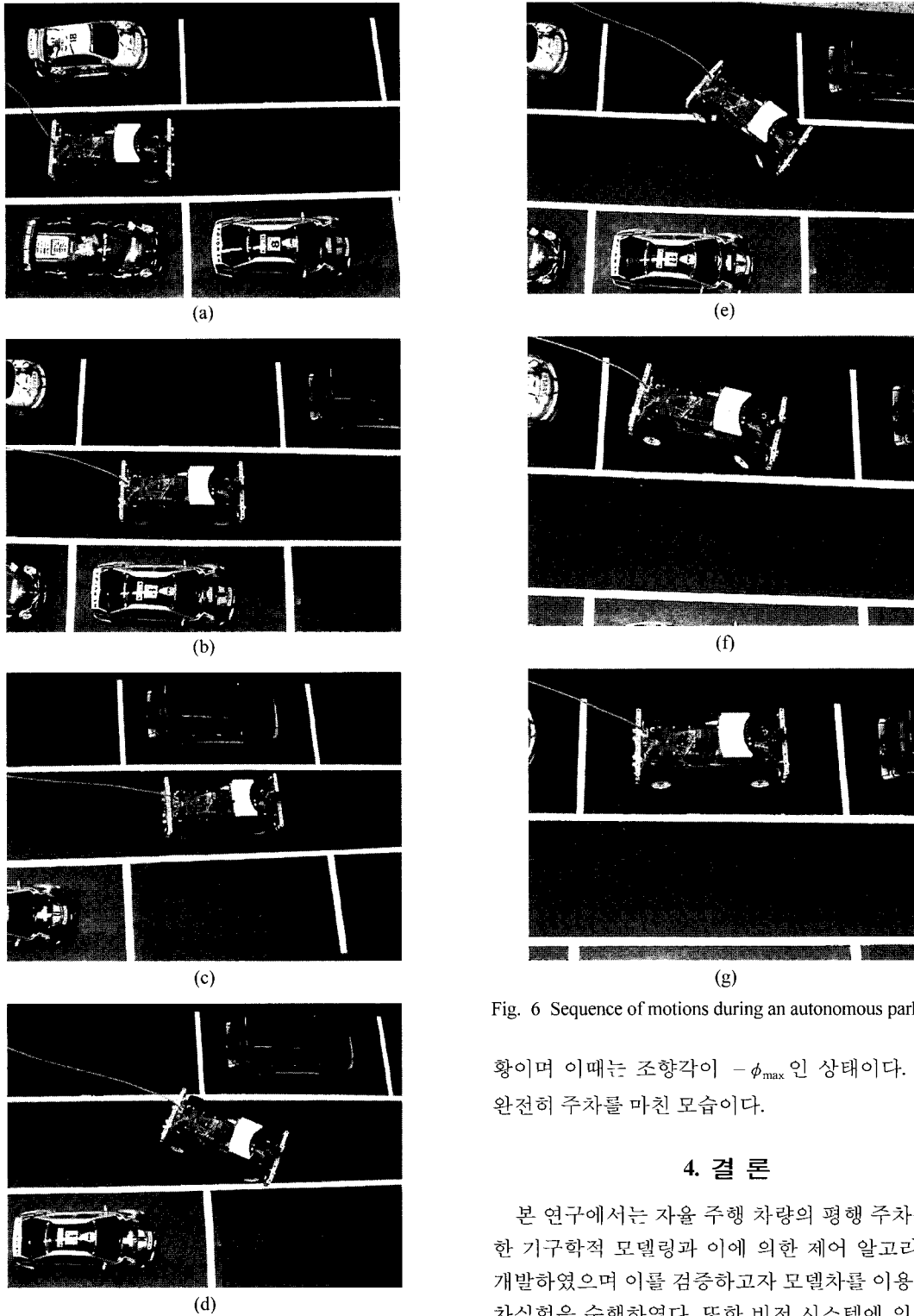


Fig. 6 Sequence of motions during an autonomous parking

황이며 이때는 조향각이  $-\phi_{\max}$  인 상태이다. (g)는 완전히 주차를 마친 모습이다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 자율 주행 차량의 평행 주차를 위한 기구학적 모델링과 이에 의한 제어 알고리즘을 개발하였으며 이를 검증하고자 모델차를 이용한 주차실험을 수행하였다. 또한 비전 시스템에 의한 자

을 주행 알고리즘과 주차 알고리즘을 통합함으로써 차량의 주행 중에 적절한 주차공간의 탐지와 주차까지 가능한 자율주행 차량을 개발하였다.

주차 방식은 단순히 평행 주차에 대해서만 다루었으나 다양한 주차 알고리즘을 적용하면 “사선방식”과 “T자형 방식”의 주차도 가능할 것이다. 평행이동을 위한 알고리즘도 차량의 초기위치를 차선에 평행하게 하지 않고 기울어지게 함으로써 더 협소한 공간에서도 평행 주차가 가능하도록 개선할 것이다.

차선 인식 알고리즘은 직선구간에서만 구현하였으나 곡로 주행도 가능하도록 보완함으로써 다양한 주차 알고리즘과 통합하여 완전 자율주행 및 주차가 가능하도록 할 수 있을 것이다.

### References

- 1) M. H. Han, G. H. Noh, “Development Trend for an Autonomous Navigation Vehicle,” Journal of KSAE, Vol.20, No.6, pp.24-30, 1998.
- 2) J. C. Latombe, Robot Motion Planning, Kluwer Academic Publish., 1991.
- 3) L. Vlacic, M. Parent, F. Harashima, “Intelligent Vehicle Technologies,” pp.333-386, SAE, 2001.
- 4) T. D. Gillespie, “Fundamentals of Vehicle Dynamics,” SAE, 1992.
- 5) J. W. Lee, “Lane Recognition Algorithm by an Image Processing,” Journal of Control, Automation and Systems Engineering, Vol.4, No.6, pp.759-764, 1998.
- 6) Matrox, MIL 7.0 User Guide and Command Reference, 2001.
- 7) J. W. Oh, CCS-C Application Guide, Comfile Technology, 2002.
- 8) Custom Computer Services Inc., C Compiler Reference Manual, 2001.