

퍼지 추론을 이용한 주차지원 시스템의 경로추종 운동제어

김 승 기 · 장 효 환* · 김 창 환

고려대학교 기계공학과

Path Tracking Motion Control using Fuzzy Inference for a Parking-Assist System

Seungki Kim · Hyo Whan Chang* · Changhwan Kim

Department of Mechanical Engineering, Korea University, Seoul 136-701, Korea

(Received 20 December 2007 / Accepted 17 November 2008)

Abstract : A parking-assist system is defined that a driver adjusts vehicle velocity through brake pedal operation and parking-assist system controls the motion of the vehicle to follow a collision-free path. In this study, a motion control algorithm using Fuzzy inference is proposed to track a maneuvering clothoid parallel path. Simulations are performed under SIMULINK environments using MATLAB and CarSim for a vehicle model. As the vehicle model in MATLAB a bicycle model is used including lateral dynamics. The simulation results show that the path tracking performance is satisfactory under various driving and initial conditions.

Key words : Maneuvering clothoid parallel path(전후진 클로소이드 평행경로), Path tracking(경로추종), Parking-assist system(주차지원 시스템), Fuzzy control(퍼지 제어)

1. 서 론

협소한 주차공간에서의 평행주차는 초보자뿐만 아니라 일반 운전자에게도 어려움을 주는 문제이다. 2003년 도요타사가 Prius에 처음으로 장착한 주차지원시스템이 소비자의 호응을 얻으면서 이에 대한 연구가 증가하고 있는 추세이다.^{1,5)} 주차지원시스템은 크게 반자동과 자동 주차지원시스템으로 나누어진다. 차량이 스스로 주차공간을 인식한 후 주차경로를 생성하는 과정은 두 시스템에서 동일하나 반자동 주차지원시스템에서는 운전자가 브레이크 또는 가속페달의 작동을 통해 차량속도를 조절해야 한다.^{1,2)} 반면, 자동주차시스템에서는 운전자가 차량에서 내린 후 리모콘 작동에 의해 차량의 주차과정이 완전히 자동으로 이루어진다.³⁾

현재까지 상용화된 반자동 주차지원기술은 한번의 후진만으로 직각주차 또는 평행주차 가능한 공간에서만 적용 가능한^{1,3)} 반면 2번 내지 4번의 기어레버작동(manuever)에 의해서만 주차가 가능한 아주 협소한 공간에서도 적용 가능한 기술⁴⁾은 최근에야 개발되었으나 상세한 내용은 알려져 있지 않다.

본 연구에서는 반자동 주차지원시스템의 기준경로를 추종하는 운동제어 알고리즘을 제안하였으며, 기준경로는 3번의 기어레버 작동에 의해 평행주차가 가능한 아주 협소한 주차공간에서 경로계획에 의해 생성된 것을 사용하였다. 경로추종 제어에 관한 기존 연구는 차량과 같은 유형의 이동로봇 분야에서 대부분 진행되어왔으며 기준경로도 이동시간에 따른 기준위치로 결정되며, 제어입력으로 차량속도와 휠각속도를 사용하였다.^{6,7)} 그러나 이러한 방법들은 차량의 속도가 운전자에 의해 임의로 조

*Corresponding author, E-mail: hwchang@korea.ac.kr

중되는 반자동 주차시스템에는 적용할 수 없다.

본 연구에서는 반자동 주차지원시스템에 적합하도록 기준경로를 이동거리에 따른 기준위치로 제시하였고, 제안된 운동제어기는 피치 추론을 사용하여 차량의 횡방향 오차와 요각도 오차의 멤버쉽 함수를 통해 휠각도만을 제어입력으로 사용하였다.

MATLAB과 CarSim을 이용하여 차량을 모델링한 후 SIMULINK 환경에서 시뮬레이션을 수행하였으며, 다양한 초기조건과 운전조건에서 시뮬레이션 결과 만족할 만한 제어 성능을 얻었다.

2. 차량의 동역학적 모델

후진주차 시 차량은 일반적으로 5km/h 이하의 저속으로 움직이므로 롤방향과 피치방향 운동 등 동역학적 요소를 무시할 수 있다. 하지만, 커브구간에서 휠각도를 최대 32°까지 제어할 경우가 생기며 이때 발생한 횡방향 힘에 의하여 Fig. 1과 같이 타이어의 슬립각이 발생한다. 슬립각은 타이어의 종방향 축과 진행방향 사이의 각도이다.⁸⁾ 슬립각은 타이어에 작용하는 횡방향 힘과 수직방향 힘에 따라 결정되는데 본 연구에서는 CarSim에 제시된 대형차 기준 205/60R14규격 타이어의 슬립각 자료(Fig. 2)를 사용하였다.⁹⁾

Fig. 3은 차량의 원심력에 의한 횡방향 힘을 고려한 자전거 모델을 보여주고 있다. $F_{y,f}$ 와 $F_{y,r}$ 은 차량이 회전할 때 전륜과 후륜에 각각 발생하는 횡방향 힘이며 식 다음과 같이 표현된다.

$$F_{y,f} = m \cdot \frac{V_{CG}^2}{R} \cdot \frac{l_f}{l} = C_{\alpha} \cdot \alpha_f \quad (1)$$

$$F_{y,r} = m \cdot \frac{V_{CG}^2}{R} \cdot \frac{l_r}{l} = C_{\alpha} \cdot \alpha_r \quad (2)$$

여기서, m 은 차량의 질량, R 은 회전 반경, V_{CG} 는 무게중심에서의 속도, α_f , α_r 은 각각 전륜과 후륜의 슬립각이다. C_{α} 는 코너링 강성(cornering stiffness)을 나타낸다.

무게중심에서의 (x, y) 방향 속도($V_{x,CG}$, $V_{y,CG}$)와 바퀴의 슬립각의 관계는 식 (3)과 (4)와 같다.

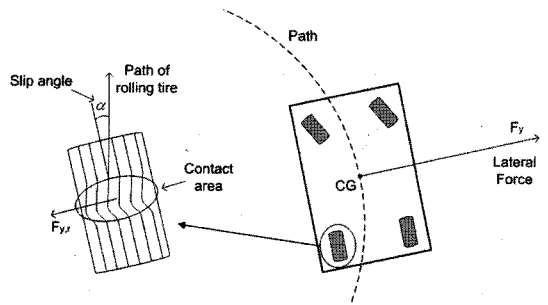


Fig. 1 Lateral force and rolling tire deformation⁸⁾

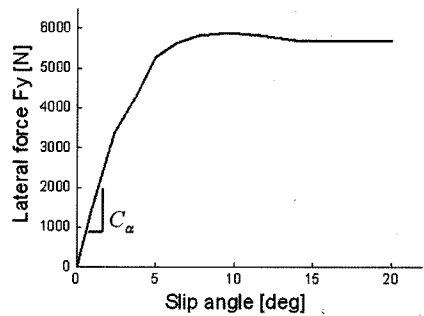


Fig. 2 Slip angle generated by the lateral force⁹⁾

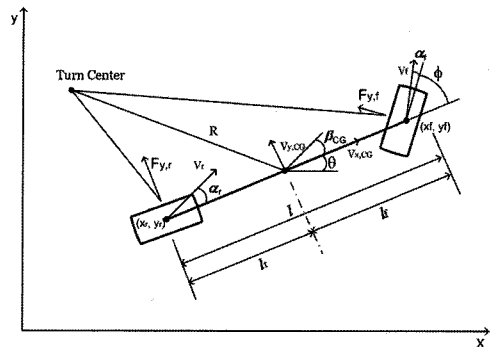


Fig. 3 Bicycle model of a vehicle

$$\tan(\phi + \alpha_f) = \frac{V_{y,CG} + l_f \cdot \dot{\theta}}{V_{x,CG}} = \tan \beta_{CG} + \frac{l_f \cdot \dot{\theta}}{V_{x,CG}} \quad (3)$$

$$\tan(\alpha_r) = \frac{V_{y,CG} - l_r \cdot \dot{\theta}}{V_{x,CG}} = \tan \beta_{CG} - \frac{l_r \cdot \dot{\theta}}{V_{x,CG}} \quad (4)$$

여기서, β_{CG} 는 무게중심에서의 슬립각이며 l_f 와 l_r 는 각각 무게중심에서 전륜중심과 후륜중심까지의 거리를 나타낸다.

일반적으로, $\beta_{CG} \approx 0$, $V_{x,CG} \approx V_{CG}$ 이므로 윗 식으로부터 구한 차량의 요각속도 $\dot{\theta}$ 은 식 (5)와 같이 나타내어지며, 조향장치의 동특성은 1차함수로 가정하여 식 (6)과 같이 나타내었다.

$$\dot{\theta} \approx \frac{V_{CG}}{l} \cdot [\tan(\phi + \alpha_f) - \tan \alpha_f] \quad (5)$$

$$\frac{\phi}{\phi_m} = \frac{1}{\tau s + 1} \quad (6)$$

여기서, ϕ 는 차량의 휠각도, ϕ_m 은 제어 입력값이며 τ 는 조향장치의 시상수이다. 운동제어를 위한 차량 모델은 식 (5)와, 후륜중심에 대한 x, y방향의 운동방정식 (7)과 (8)로 나타낸다.

$$\dot{x}_r = V_r \cdot \cos \theta \quad (7)$$

$$\dot{y}_r = V_r \cdot \sin \theta \quad (8)$$

3. 경로추종 운동제어 알고리즘

3.1 오차(Error)의 정의

차량의 위치는 비전센서, 초음파 센서, 전후륜에 장착된 엔코더 정보와 확장 칼만 필터를 이용하여 추정할 수 있다고 가정하였다.¹⁰⁾

Fig. 4는 x-y 좌표계에서 기준경로상의 기준위치(reference)와 차량의 현재위치(후륜)중심축과의 오차를 보여주고 있다. 그림에서 종방향오차를 x_e , 횡방향

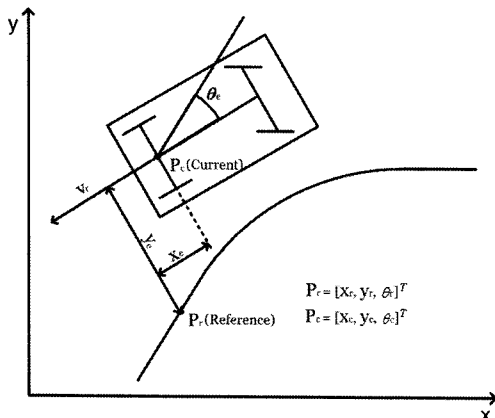


Fig. 4 Error configuration

향오차를 y_e , 차량요각도 오차를 θ_e 라고 정의한다. 오차벡터 $P_e(x_e, y_e, \theta_e)$ 와 기준위치벡터 $P_r(x_r, y_r, \theta_r)$, 현재위치벡터 $P_c(x_c, y_c, \theta_c)$ 와의 관계식은 식 (9)와 같이 표현된다.

$$P_e = \begin{pmatrix} x_e \\ y_e \\ \theta_e \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_c & \sin \theta_c & 0 \\ -\sin \theta_c & \cos \theta_c & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} (P_r - P_c) \quad (9)$$

3.2 Fuzzy 경로추종 제어기

퍼지 제어기는 복잡한 수식을 필요로 하지 않고 차량과 같은 비선형 시스템의 제어에 적합하며 상황에 따라 파라미터의 민감도를 조절할 수 있어 강한 제어가 가능하다는 장점이 있다.¹¹⁾

반자동 주차지원시스템에서는 휠각도만을 제어 입력으로 사용하여야 하기 때문에 본 연구에서는 횡방향오차(y_e)와 차량의 요각도오차(θ_e)를 퍼지 제어기의 입력 멤버쉽함수(membership function: MF)로 퍼지화하고, 휠각도를 출력 멤버쉽 함수로 퍼지화하였다. Fig. 5(a)와 (b)는 각각 횡방향오차와 요각도오차의 입력 MF를, Fig. 5(c)는 휠각도의 출력 MF를 보여주고 있다.

본 연구에서는 Mamdani의 퍼지추론 모델¹¹⁾을 사용하여 횡방향오차 y_e 의 크기에 따른 제어 입력값에 대한 규칙을 우선 정하고, y_e 의 크기와 차량의 요각도오차 θ_e 를 AND 논리법칙에 적용하여 θ_e 에 따른 제어 입력값에 대한 규칙을 추가로 정하였다.

Table 1은 y_e 에 대한 제어 입력값을 나타낸 퍼지 규칙이며, Table 2는 AND 논리법칙을 적용한 θ_e 에 대한 제어입력값을 나타낸 퍼지 규칙이다. Table 1과 2에서 P는 양수, N은 음수, ZE는 0을 의미한다. P와 N 뒤에 붙은 숫자는 크기를 의미하며 0은 매우 작은 값, 5는 매우 큰 값을 뜻한다. y_e 가 클 경우에는 위치 추종을 우선으로 하도록 θ_e 를 고려하지 않았고, y_e 가 작을 경우에만 θ_e 를 고려하여 제어규칙을 정하였다. 입력 변수들에 대한 각 규칙의 추론 결과들에 무게중심법을 적용하여 최종적인 추론 결과

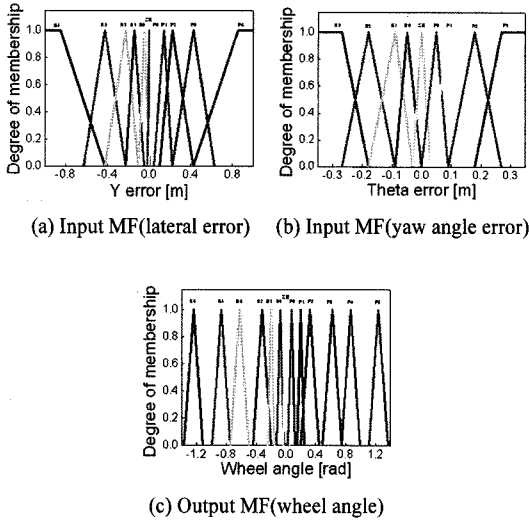


Fig. 5 Membership functions of fuzzy controller

Table 1 Fuzzy rules for Y_e

N4	N3	N2	N1	N0	ZE	P0	P1	P2	P3	P4
N4	N3	N2	N1	N0	ZE	P0	P1	P2	P3	P4

Table 2 Fuzzy rules for θ_e

$Y_e \backslash \theta_e$	N3	N2	N1	N0	ZE	P0	P1	P2	P3
N3	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5
N2	P5	P4	P5	P4	P4	P5	P5	P5	P5
N1	P3	P3	P3	P2	P2	P3	P3	P4	P4
N0	P2	P1	P1	P0	P0	P1	P2	P3	P3
P0	N3	N3	N2	N1	N0	N0	N1	N1	N2
P1	N4	N4	N3	N3	N2	N2	N3	N3	N3
P2	N5	N5	N5	N5	N4	N4	N5	N4	N5
P3	N5	N5	N5	N5	N5	N5	N5	N5	N5

를 얻고 이를 비퍼지화 하였다.

3.3 주차지원 시스템 시뮬레이션 환경

앞에서 제안한 제어 알고리즘을 적용한 반자동 주차지원시스템을 SIMULINK 환경에서 시뮬레이션 하였다. 대상차량은 대형승용차량이며 앞 장에서 언급한 차량모델을 MATLAB을 이용하여 나타낸 경우와 상용 소프트웨어인 CarSim을 이용하여 실제차량에 가깝게 모델링 한 경우로 나누어 시뮬

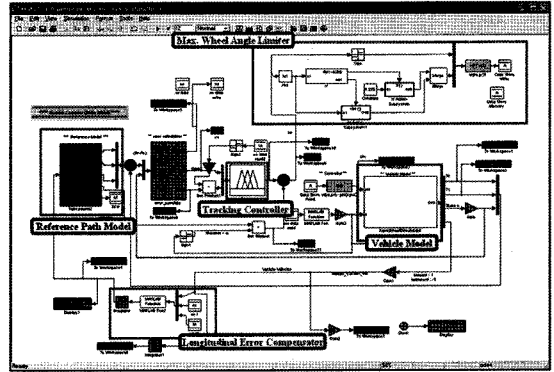


Fig. 6 SIMULINK simulation environment using MATLAB for a vehicle model

레이션 하였다. CarSim에서 사용한 차량모델은 차량의 실제 제원과 조향 동특성에 영향을 미치는 타이어 모델 등 MATLAB 차량모델에서 고려하지 못한 동역학적 요소가 모두 고려된 모델이다.

Fig. 6은 MATLAB을 이용하여 모델링 한 대상차량에 본 연구에서 제안한 제어알고리즘을 적용한 주차지원시스템의 SIMULINK 시뮬레이션 환경을 보여주고 있다. CarSim을 이용한 실제차량 모델에 대한 SIMULINK 시뮬레이션 환경은 Fig. 6과 동일하며 차량모델만 CarSim S-함수로 나타내어진다. 그림에서 볼 수 있는 것처럼 주차지원시스템은 ‘기준경로 모델’, ‘경로추종제어기’, 휠각도를 최대 허용범위 내로 제한하는 ‘최대휠각도제한기’와 종방향오차 x_e 를 일정 값 이내로 제한하는 ‘종방향오차 보상기’로 구성되어 있다. 종방향오차 보상기는 속도를 제어입력으로 사용할 수 없는 주차지원 시스템에서 종방향 오차가 커질 때의 제어성능 저하를 방지하는 알고리즘이다.

4. 시뮬레이션

Fig. 7은 본 연구에서 사용한 주차공간과 차량의 초기위치를 보여주고 있다. 주차공간은 가로 6.5m, 세로 2m로써 차량길이의 1.328배 이며, 차량의 초기위치와 차량이 최대로 후진할 수 있는 위치의 좌표(x,y)는 각각 (0,0)과 (-12.5, -5)이다. 차량의 최종 위치는 차량이 주차공간의 중앙에 위치하는 (-12,-5)이다.

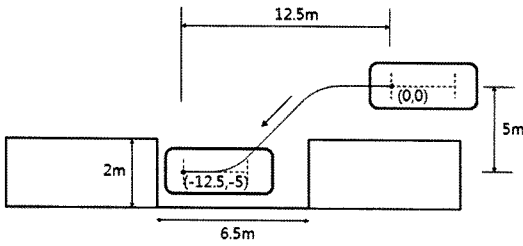


Fig. 7 Parallel parking space and coordinates

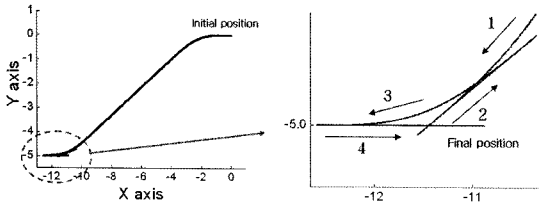


Fig. 8 Clothoid reference path for a parallel parking

Fig. 8은 본 연구에서 사용한 기준경로를 보여주고 있다. 이 기준경로는 주어진 초기위치에서 3번의 기어레버 작동에 의해 진후진 방향전환(후진-전진-후진-전진)을 거쳐 평행주차가 이루어지도록 경로 계획에 의해 생성된 것이다. 또한 이 경로는 기본적으로 직선과 원으로 구성되어 있고 차량이 이동하면서 휠각도가 비례적으로 증가하도록 직선과 원 사이가 clothoid 곡선으로 연결되어 있다.¹²⁾

본 연구에서는 MATLAB/SIMULINK와 CarSim/SIMULINK 환경에서 평행주차 시뮬레이션을 수행하여 제어알고리즘의 경로추종 성능을 고찰하였다. CarSim/SIMULINK 환경에서는 차량의 정확한 속도 설정이 어렵고 차량의 초기위치를 기준경로에서 벗어나게 할 수 없다. 따라서, 제어알고리즘의 경로추종 성능과 강인성을 확인하기 위해 MATLAB/SIMULINK 환경에서 차량의 초기위치와 운전조건을 변화시켜가면서 시뮬레이션을 수행하였다.

Fig. 9는 시뮬레이션에서 사용한 차량의 초기위치(x, y, θ)를 보여주고 있다. 초기위치 $a(0,0,0)$ 는 기준경로 시작점과 동일한 곳이며 초기위치 $b(0,0.5,-5.7)$ 와 초기위치 $c(0,-0.5,-5.7)$ 는 기준경로에서 각각 위, 아래로 0.5m 떨어지고 차량의 각도가 시계방향으로 5.7° 기울어진 조건을 나타낸다.

운전조건으로는 차량의 속도를 5km/h와 가변속도로 설정하여 시뮬레이션을 수행하였다. 5km/h 운

Initial condition ($x(m), y(m), \theta(deg)$)

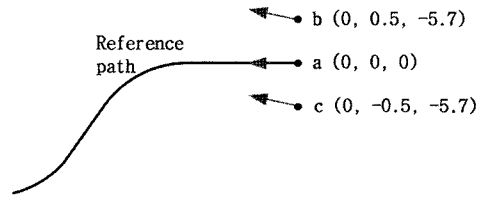


Fig. 9 Initial conditions of the vehicle for MATLAB simulation

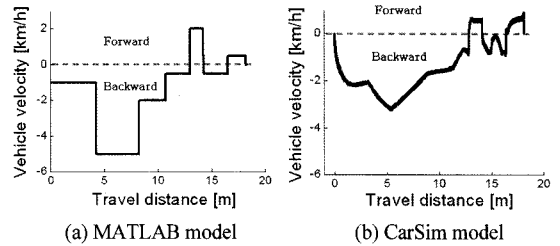


Fig. 10 Vehicle velocity profiles along the travel distance

전조건은 후진주차 시 차량이 안정적으로 낼 수 있는 최대속도를 가정한 것이다. 가변속도 운전조건은 운전자가 기준경로를 따라 운전할 때 커브구간 등 필요한 위치에서 속도를 줄인다고 가정하여 속도를 최소 0.5km/h에서 최대 5km/h까지 변화시킨 조건이며, 이동거리에 따른 속도 프로파일이 Fig. 10(a)에 나타나 있다. CarSim에서는 원하는 차량의 속도를 임의로 설정할 수 없고 브레이크 페달에 가하는 압력에 의해 간접적으로 속도를 조절하여야 한다. Fig. 10(b)는 CarSim에서 사용한 이동거리에 따른 속도 프로파일을 보여주고 있다.

CarSim/SIMULINK 환경에서는 노면의 빙판, 요철 등 불확실성이 존재하는 환경에서 제안된 제어기의 경로추종 성능과 강인성을 확인하기 위해 차량의 초기위치를 $a(0,0,0)$ 로 고정하고 운전조건을 가변속도로 설정한 후 노면조건으로 마찰계수가 각각 0.85와 0.1인 건조한 아스팔트인 경우와 빙판인 경우에 대해 시뮬레이션을 수행하였다. 또한, 외란에 의해 차량의 이동거리가 기준경로보다 길어지는 경우의 경로추종 성능을 확인하기 위하여 Fig. 11에 보여준 요철을 차량의 우측 바퀴가 지나가는 경로에 설치한 경우와 설치하지 않은 경우에 대하여 시뮬레이션을 수행하였다.

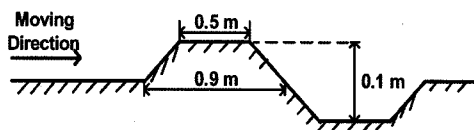


Fig. 11 Dimension of a bump and dent

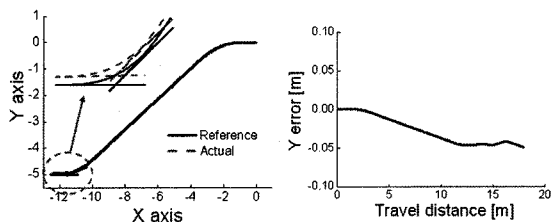
마지막으로, MATLAB 차량모델을 사용하여 얻은 경로추종 성능이 실제 차량모델을 사용한 CarSim/SIMULINK 환경에서도 유지되는지를 확인하기 위하여 Fig. 10(b)에 표시된 이동거리에 따른 차량속도 프로파일을 MATLAB/SIMULINK 환경에 적용하여 경로추종 성능을 비교하였다.

5. 결과 및 고찰

Fig. 12는 차량모델링에서 고려한 원심력에 의한 횡방향 동특성을 조사하기 위해 5km/h 운전조건에서 피드백 제어를 하지 않은 상태에서 평행주차 시 물레이션을 수행한 결과이다. 그림에서 볼 수 있는 것처럼 차량의 원심력에 의해 커브구간에서 유지해야 하는 차량의 요각도가 목표값에 미치지 못하는 언더스티어 현상이 발생하고, 이로 인해 차량이 최종위치에서 횡방향으로 기준경로를 4.9cm 이탈하였다. 따라서, 저속의 후진주차에도 급격한 휠각도 변화에 의한 횡방향 동특성을 고려하여 차량을 모델링하는 것이 필요함을 확인할 수 있었다.

Fig. 13은 가변속도 운전조건에서 초기위치가 각각 a, b, c일 때 시물레이션을 수행한 결과를 보여주고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 세 경우 모두 기준 경로를 정밀하게 추종함을 알 수 있었다. 초기위치가 c인 경우 경로추종 과정 초기에 기준경로에 접근한 후 비교적 큰 최대오버슈트가 발생하였다. 이는 차량이 기준경로에 접근하는 시점에서 차량의 요각도오차가 크게 발생하지만 운동제어 알고리즘의 ‘최대휠각도제한기’의 제어입력값 제한(최대 32°)으로 인하여 요각도 제어가 제약을 받았기 때문이다.

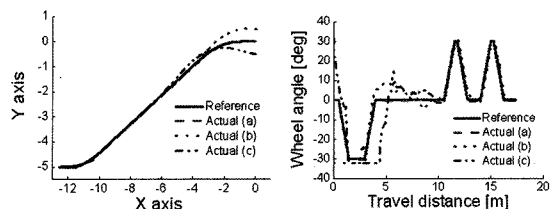
Fig. 14는 5 km/h 운전조건에서 Fig. 13의 경우와 마찬가지로 초기위치가 각각 a, b, c일 때 시물레이션을 수행한 한 결과를 보여주고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 세 경우 모두 가변속도 운전조건에서 시물레이션을 수행한 결과와 크게 다르지 않았다. 이를 통해 본 연구에서 제안한 제어기가 차량의 속도



(a) Path tracking

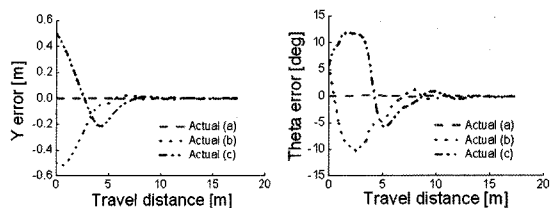
(b) Lateral error

Fig. 12 Effects of lateral forces on the path tracking when cornering without control



(a) Path tracking

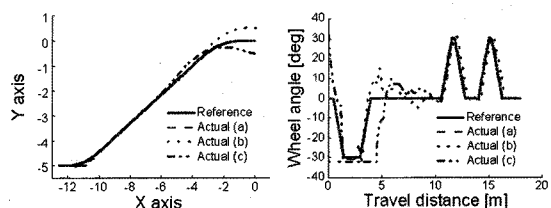
(b) Wheel angle



(c) Lateral error

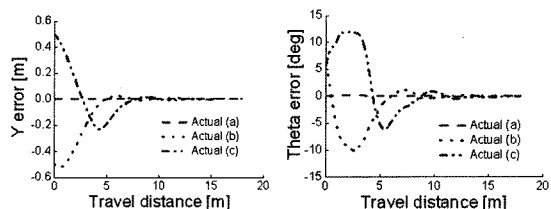
(d) Yaw angle error

Fig. 13 Trajectory tracking performance of the vehicle with variable speed under 3 different initial conditions



(a) Path tracking

(b) Wheel angle



(c) Lateral error

(d) Yaw angle error

Fig. 14 Trajectory tracking performance of the vehicle with v=5km/h under 3 different initial conditions

Table 3 Comparison of the errors for various initial and driving conditions

		Initial cond.	Variable speed	5 km/h
y_e (m)	Max. overshoot	a	0.0027	0.0016
		b	0.0207	0.0221
		c	0.2133	0.2249
	Final error	a	0.0003	0.0001
		b	0.0021	0.0017
		c	0.0025	0.0001
θ_e (deg)	Max. overshoot	a	0.174	0.167
		b	1.186	1.201
		c	5.814	6.211
	Final error	a	0.0353	0.0325
		b	0.0151	0.0457
		c	0.0863	0.0574

에 거의 영향을 받지 않음을 확인하였다.

Table 3은 위에서 언급한 3가지 초기조건과 2가지 운전조건에서 시뮬레이션 결과를 종합하여 최대오버슈트와 최종위치오차를 나타낸 것이다. 기준경로 추종과정 초기에 발생하는 최대 오버슈트는 초기조건 c 경우를 제외하면 각 운전조건에서 조금씩 차이를 보였지만 비교적 크지 않았으며 최종위치오차는 모든 조건에서 $y_e \leq 0.0025m$, $\theta_e \leq 0.0863^\circ$ 이하로 아주 작음을 알 수 있다.

Fig. 15는 CarSim에서 사용한 이동거리에 따른 차량속도 프로파일을 MATLAB/SIMULINK 환경에 동일하게 적용하여 시뮬레이션한 결과를 비교하여 보여주고 있다. 차량모델에 따른 최대오버슈트와 최종위치오차는 Table 4에 나타나 있다. 그림에서 볼 수 있는 것처럼 MATLAB 차량모델과 CarSim 차량모델을 사용한 시뮬레이션 결과의 차이는 기준경로의 곡선구간 전후에서 발생하는 것을 알 수 있으며, 이는 이 구간에서의 휠각도의 급속한 변화에 의해 MATLAB 차량모델에서 고려하지 못한 여러 동역학적 요소가 영향을 미치기 때문인 것으로 사료된다.

Fig. 16은 CarSim/SIMULINK 환경에서 노면조건으로 일반 아스팔트인 경우($\mu=0.85$)와 빙판($\mu=0.1$)인 경우에 시뮬레이션을 수행한 결과를 보여주고 있다. 일반 아스팔트의 경우 최대오버슈트는 $y_e=0.043m$, $\theta_e=1.49^\circ$, 최종위치오차는 $y_e=0.003m$,

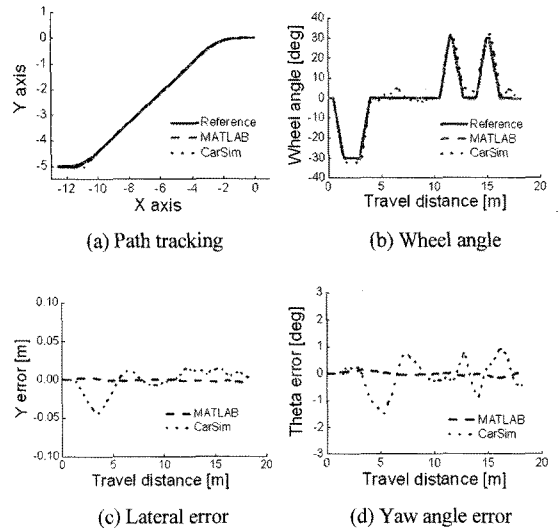


Fig. 15 Comparison of trajectory tracking performance between MATLAB and CarSim models for the vehicle

Table 4 Comparison of the errors between MATLAB and CarSim models for the vehicle

		MATLAB	CarSim
y_e (m)	Max. overshoot	0.0027	0.0438
	Final error	0.0003	0.0044
θ_e (deg)	Max. overshoot	0.174	1.498
	Final error	0.0353	0.4433

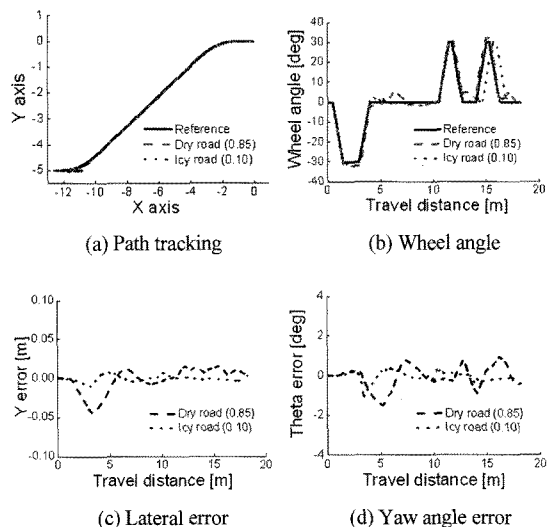


Fig. 16 Simulation results using CarSim for the vehicle under dry and icy road conditions

$\theta_e=0.42^\circ$ 로 나타났으며, 빙판의 경우 최대오버슈트는 $y_e=0.009m$, $\theta_e=1.04^\circ$, 최종위치오차는 $y_e=0.004m$, $\theta_e=0.13^\circ$ 로 나타났다. 시뮬레이션 결과 건조한 아스팔트의 경우 실차조건에서도 차량이 비교적 정밀하게 기준경로를 추종함을 확인할 수 있었다. 빙판노면인 경우 진행방향으로 15cm 정도의 미끄러짐이 발생하여 휠각도의 제어가 늦어졌지만, 건조한 아스팔트에 비해 오히려 차량 요각도 변동폭이 감소하여 기준경로를 더 정밀하게 추종하였다.

Fig. 17은 차량의 우측 바퀴가 지나가는 위 치에 최대 높이가 10cm의 요철이 있는 경우와 요철이 없는 경우에 대해 시뮬레이션을 수행한 결과를 보여주고 있다. 요철이 있는 구간에서 오른쪽 바퀴만 요철 위를 지나기 때문에 요철이 없는 경우보다 차량이 기준경로를 약 2cm 정도 이탈하였고 차량의 흔들림이 발생하였다. 그림에서 볼 수 있는 것처럼 요철로 인해 차량의 이동거리가 기준경로보다 길어지는 경우에도 비교적 정밀하게 기준경로를 추종하였다.

Fig. 18은 CarSim/SIMULINK 환경에서 전후진 방향전환을 포함한 평행주차를 수행하는 동영상을 나타낸 그림이다.

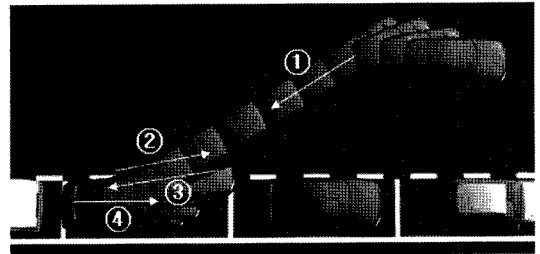


Fig. 18 Animation of the parallel parking using CarSim

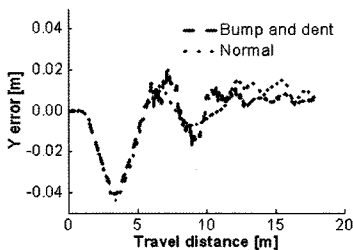
6. 결론

본 연구에서 주차지원 시스템을 위하여 퍼지 추론을 이용하여 기준경로를 추종하는 운동제어 알고리즘을 제안하고 경로추종 성능을 시뮬레이션을 통하여 고찰하였다. 본 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

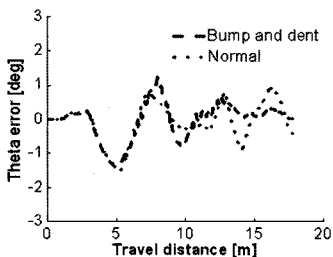
- 1) 주차 시 5km/h의 저속에서도 커브구간에서 원심력에 의한 횡방향 동특성을 고려하여 차량을 모델링하는 것이 필요함을 확인할 수 있었다.
- 2) 전후진 방향전환이 필요한 clothoid 기준경로를 추종하는 퍼지 운동제어 알고리즘을 적용하여 MATLAB/SIMULINK 환경에서 시뮬레이션을 수행한 결과 다양한 초기조건과 운전조건에서 정밀하게 기준경로를 추종함을 확인할 수 있었다.
- 3) 실차 조건에 가까운 CarSim/SIMULINK 환경에 제안된 제어를 적용하여 시뮬레이션한 결과는 MATLAB 차량모델을 사용한 결과에 비해 기준경로의 곡선구간 전후에서 약간의 차이를 보였으며, 이는 이 구간에서 차량의 동역학적 요소가 영향을 미친 것으로 사료된다.
- 4) 빙판 노면조건에서 기어변속을 위해 차량이 정지할 때 진행방향으로 약간의 미끄러짐이 발생하였지만 횡방향오차와 요각도오차는 건조한 아스팔트에 비해 오히려 감소하였다.
- 5) 주차경로상의 요철로 인해 차량의 이동거리가 기준경로보다 길어지는 경우에도 제안된 제어를 적용하여 시뮬레이션한 결과 비교적 정밀한 기준경로 추종이 이루어짐을 확인하였다.

후 기

본 연구는 산업자원부 부품소재개발사업의 일환



(a) Lateral error



(c) Yaw angle error

Fig. 17 Simulation results using CarSim for the vehicle under a bump and dent road condition

으로 (주)만도와의 위탁연구에 의해 수행되었으며 관계 기관에 감사의 뜻을 표합니다.

References

- 1) Aisin, New Intelligent Parking Assist, <http://www.aisin.com/news/products/060929.html>, 2006.
- 2) J. Pohl, M. Sethsson, P. Degerman and J. Larsson, "A Semi-Automated Parallel Parking System for Passenger Cars," Proc. of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: J. of Automobile Engineering, Vol.220, No.1, pp.53-65, 2006.
- 3) Gizmag.com, BMW: The Ultimate Parking Machine?, http://www.businessweek.com/autos/content/aug2006/bw20060802_821518.htm?campaign_id=alerts, 2006.
- 4) Intellitech, Xpark!: Perfect Automatic Parking, Even in Tight Spaces, http://www.xpark.fr/PDF/PressReleasexpark_092007_EN.pdf, 2007.
- 5) M. Son, K. Boo, J. Song and H. Kim, "Development of Control System for Autonomous Parallel Parking," Transactions of KSAE, Vol.11, No.5, pp.176-182, 2003.
- 6) Y. Kanayama and Y. Kimura, "A Stable Tracking Control Method for a Non-Holonomic Mobile Robot," IEEE/RSJ Int. Workshop on Intelligent Robots and Systems, No. 91TH 0375-6, pp.1236-1241, 1991.
- 7) E. Seignez, A. Lambert and T. Maurin, "Autonomous Parking Carrier for Intelligent Vehicle," IEEE Intelligent Vehicle Symposium Conference, pp.411-416, 2005.
- 8) J. Ryu, State and Parameter Estimation for Vehicle Dynamics Control using GPS, Dissertation, Department of Mechanical Engineering, Stanford University, 2005.
- 9) Mechanical Simulation Co., CarSim Reference Manual, Ver.6.03, 2005.
- 10) K. Lee, W. Chung and H. W. Chang, "Improvement of Odometry Accuracy and Parking Control for a Car-Like Mobile Robot," Journal of Korea Robotics Society, Vol.3, No.1, pp.16-22, 2008.
- 11) L. Cai, A. B. Rad, and W. L. Chan, "A Robust Fuzzy PD Controller for Automatic Steering Control of Yaw Dynamics for 4WD Vehicle," IEEE Intelligent Vehicle Symposium, pp.425-430, 2004.
- 12) H. W. Chang and W. Chung, Development of Trajectory Planning and Path Tracking Motion Control Algorithm for a Semi-Automated Parking System, Final Research Report, Korea University, 2008.