

## 무인 자동차의 승차감 개선을 위한 퍼지제어기의 설계

조학래\*, 강규모\*, 배종일\*\*, 조봉관\*\*, 김영식\*\*\*, 양순웅\*\*\*\*  
 부경대학교 대학원\*, 부경대학교 전기공학과\*\*, 부경대학교 자동차공학과\*\*\*, 울산대학교 자동차공학과\*\*\*\*

### Design of Fuzzy Controller for the Improvement of Auto-Vehicle's Comfortability

H. R. Cho, G. M. Kang, J. I. Bae, B. K. Jo, Y. S. Kim, S. Y. Yang  
 Pukyong National University, Graduate School\*,  
 Pukyong National University, Department of Electrical Engineering\*\*,  
 Pukyong National University, Department of Automotive Engineering\*\*\*,  
 Ulsan University, Department of Automotive Engineering\*\*\*\*

**Abstract** - Based on fuzzy logic algorithm this paper constructed fuzzy logic controller for automated vehicles.

For passenger's convenience especially comfortability controller need to reduce the frequency of input variable's changing. So we established membership functions for comfortability as well as speed following. It made possible to control comfortability directly.

To demonstration the efficiency of fuzzy logic controller, we carried out simulation with a automobile's transfer function. First, we designed the PID controller by using Ziegler-Nichols tuning method. Second, we calculated time response for each controller, then we compared the speed patterns of fuzzy controlled system and PID controlled system. Also we compared the difference of input variable. By comparing two controller's response, we can confirm the merit of fuzzy controller about comfortability. Fuzzy controller can reduce input changing frequency.

## 1. 서 론

본 연구에서는 자동차의 무인화에 적용하기 위해서 숙련된 운전자를 대신할 제어 알고리즘을 개발하는데 목적이 있으며, 산업현장에서 널리 쓰이고 있는 PID 제어방식으로는 속도 추종만을 직접적으로 제어하고 그 외의 제어성능에 대해서는 속도 패턴(Speed pattern)을 설정하면서 간접적으로 제어하고 있다. 이에 본 연구에서는 숙련운전자를 대신하여 운전을 행하는 퍼지 제어알고리즘을 이용하여 속도 추종과 동시에 승차감을 직접 제어할 수 있는 알고리즘에 대하여 설계하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 속도 추적도 및 승차감

주어진 기준속도와 실제 차량속도의 오차로서 평가한다. 속도 추적도는 오차(Error)와 오차의 시간에 따른 변화량을 이용한 퍼지 PD타입의 제어방식으로 제어를 행한다. 차량의 자동 운전제어에서는 승객의 전후방향의 요동을 어떻게 제어하여 승차감을 좋게 하는 것이 중요한 과제이며, 이 승차감은 가속도의 시간적 변화인 잭크(Jack)가 정량적인 평가기준이다. 그러나 이 값을 계속해서 피드백 하거나 계산을 하는 것은 곤란하다.

그래서 제어입력을 빈번히 변화시키면 고진동수의 쇼크를 승객에게 주고 승차감이 나빠지게 되기 때문에 최우선 제어입력을 변화시킨 후 노치를 일정하게 유지하고 있는 경과시간으로 승차감을 평가한다.

### 2.2 퍼지룰(Fuzzy rule) 및 멤버십 함수

퍼지제어기를 실제 공정에 사용하고자 할 때의 문제는 제어기를 어떻게 설계하느냐 하는 것이며, 숙련된 운전자의 경험과 제어 기술자의 지식을 정성적으로 표현하고 이들을 논리적인 형태의 퍼지 제어규칙으로 표현하면 제어기가 설계될 수 있으며, 본 연구에서는 자동차를 운전하는 일반 운전자들의 운전규칙을 바탕으로 자동 운전제어를 위한 언어적인 제어규칙을 결정하였다.

#### 2.2.1 운전자들의 운전규칙

- (1) 운전을 시작할 때 최대 가속을 한다.
- (2) 차량의 속도가 기준속도에 가까워질 때 최대 가속을 유지한다.
- (3) 기준속도와 차이가 일정 범위 안에 도달하였을 때 가·감속을 하지 않고 타행운전을 한다.
- (4) 차량속도와 기준속도와 차이가 조금 있더라도 빈번한 입력의 변화로 승차감을 해치는 것을 방지하기 위해 현재의 제어입력을 그대로 유지한다.
- (5) 타행 운전 시작 후 제어입력을 일정 유지하다가 기준속도와 차량속도와 차이가 많이 날 때에는 조금의 가·감속을 행한다.

#### 2.2.2 멤버십 함수 정의

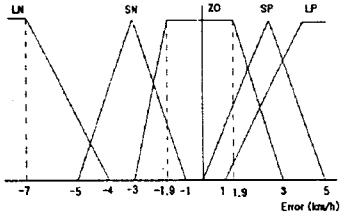
운전자들의 운전규칙을 바탕으로 속도 추적도, 승차감에 대한 멤버십 함수를 아래에 정의한다. 퍼지 추론방식도 예측 퍼지제어를 사용하지 않고 일반적인 무게 중심법에 의한 추론을 행하였다.

##### (1) 속도 추적도

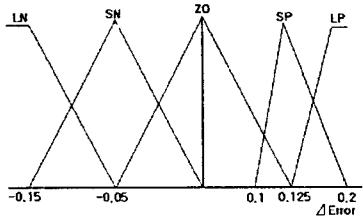
Error : Vref-Vcur  
 $\Delta$ Error : E1-E2  
 C : Comfortability  
 Vref : 기준속도  
 Vcur : 현재 속도  
 E1 : 현재 오차  
 E2 : 이전 오차  
 LN : Large Negative

MN : Medium Negative  
 SN : Small Negative  
 ZO : Zero  
 SP : Small Positive  
 LP : Large Positive  
 any : not constrained

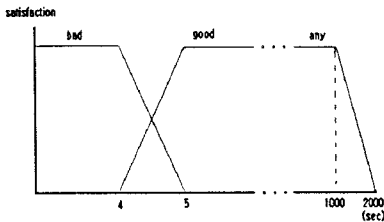
(a) Membership function of Error



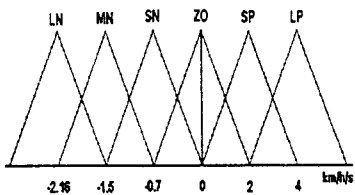
(b) Membership function of Δ Error



(2) 승차감 : 노치변화 후 경과 시간이 오래됐을 경우 good, 짧을 경우 bad로 정의한다.



(3) 가속도(Notch)



### 2.3 시뮬레이션

본 장에서는 Ziegler-Nichols 동조방법에 의해 설계된 PID제어기와 본 연구에서 제안하는 퍼지제어기를 사용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 실행하였다.

#### 2.3.1 대상시스템의 전달함수

퍼지제어기의 타당성을 검증하기 위해 실제 제작된 자동차의 전달함수를 사용하여 시뮬레이션을 실행하였다.

- ① 모델명(Model name)  
TOYOPET CROWN

#### ② 전달함수

단위시스템 입력응답으로 부터 실험적으로 구하였다.

$$G(s) = \frac{35.78}{(1 + 1.728s)(1 + 16.848s)}$$

#### 2.3.2 시뮬레이션 조건

퍼지제어기의 성능을 시험하기 위해서 여러 가지 조건 의 기준입력에 대해서 시뮬레이션을 수행하였다.

표 1과 같이 기준입력에 따라서 6개의 시뮬레이션 조건을 테이블화하였다.

표 1 시뮬레이션 조건

Table 1 Simulation condition

	거리(m)	기준속도(km/h)
Condition 1	0~500	65
	500~800	40
	800~	0
Condition 2	0~400	65
	400~800	40
	800~	0
Condition 3	0~300	40
	300~800	65
	800~	0
Condition 4	0~500	40
	500~800	65
	800~	0
Condition 5	0~800	65
	800~	0
Condition 6	0~800	80
	800~	0

### 2.4 실험 및 고찰

그림 1, 2는 첫번째 조건하에서 퍼지제어와 PID제어 로 수행한 주행 시뮬레이션의 결과를 도시하며 각 구 산별 거리 대 속도 선도는 아래와 같다.

#### (1) 정상 속도 도달 시간 및 오버슈트

시뮬레이션 대상 전구간에서 PID제어기 쪽이 퍼지 제어기와 거의 같은 정상속도 도달시간을 보이고 있다. 그러나 PID제어기의 경우 약 30%의 큰 오버슈트를 보이는 반면 퍼지제어기는 약 8%의 오버슈트를 보이고 있다.

#### (2) 정상상태 오차

정상상태 오차의 관점에서 보았을때 두 제어기 모두가 우수한 성능을 보여 주었다. 정상상태 오차가 거의 영에 수렴을 하고 있다.

#### (3) 가속도 변화량

##### ① 출발 후 기준속도 도달 구간

- PID 제어기

i) 출발과 함께 최대 가속도를 행한다.

ii) 기준속도에 가까워짐에 따라 PID제어기는 가속도의 량을 줄인다

- 퍼지제어기

i) 출발과 함께 최대 가속도를 행한다.

ii) 최대 가속도를 PID제어기 보다 더욱 오랫동안 유지한다.

iii) 기준속도와 차량속도의 오차가 일정 범위에 접근하면 중간 가속도를 출력하지 않고 바로 가속도가 0이 된다.

② 일정 속도 유지 구간 (Constant speed control zone)

- PID제어기

차량속도와 기준속도와의 오차를 일정 범위 안에 유지하기 위해 오차량이 조금이라도 존재하던 가속속을 계속해서 수행한다. 그리하여 그림 1에 도시된 것과 같이 계속해서 제어입력의 크기가 변화함을 알 수 있다. 이는 승객의 승차감을 크게 저하시키는 요인으로 작용할 수 있다.

- 퍼지제어기

차량속도와 기준속도와의 오차가 어느 정도 생길지라도 승차감을 고려한 퍼지 추론의 결과 계속해서 가속도를 0으로 유지한다. 그리하여 그림 1의 프레임화 된 부분에서는 일정한 제어입력을 계속해서 유지한다.

③ 제어입력의 변화 빈도수

퍼지제어는 승차감에 대한 고려로 제어입력의 변화 회수를 줄임으로 가속도 변화 회수를 줄여서 승객이 불편하게 느끼는 잭크(Jerk)량의 감소를 기대할 수 있다.

전체적인 속도곡선과 제어입력의 변화를 고려할 때 속도 추적도는 PID제어기나 퍼지제어기가 성능면에서 별 차이를 나타내지 않았다. 오히려 과도응답 면에서는 퍼지제어기가 우수한 제어성능을 보이고 있다. 그리고 본 연구에서 의도하였던 것과 같이 퍼지제어기를 사용할 경우 속도 오차가 크게 존재하지 않는 영역에서 일정한 제어입력을 유지시킴으로써 승차감이 개선됨을 알 수 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 자동차의 자동 운전시스템에서 가장 먼저 요구되는 속도제어를 수행함에 있어서 단순히 속도 추적만을 고려하였을 때 발생하는 승차감에 대한 문제를 전문가 시스템에서 많이 사용되고 있는 퍼지 제어알고리즘을 사용하여 해결할 수 있는 방안을 제시하였다. 속도의 오차와 오차의 변화량을 고려하여 기준 입력속도를 추종하는 속도제어 뿐만 아니라 승차감을 직접적으로 제어하기 위해 승차감에 대한 만족도를 정의하였다. 오차, 오차 변화량, 승차감으로 구성된 입력들의 조건을 고려하여 그 조건에 상응하는 출력을 만들어냄으로써 만족할 만한 속도제어를 유지하는 동시에 제어입력의 변화 회수를 줄임으로써 승객의 승차감을 개선할 수 있는 제어알고리즘을 제안하였다.

실제 자동차의 전달함수를 사용하여 특정한 조건하에서 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 이때 Ziegler-Nichols 동조법으로 설계한 PID제어기와 제안된 퍼지 제어기의 결과를 비교, 검토함으로써 퍼지제어기의 승차감 제어에 대한 우수성을 검증하였다.

정상상태 오차 등에서 나타났던 문제점은 퍼지제어기의 멤버쉽 함수에 대한 조정과 실제의 필드(field) 실험으로써 개선될 수 있을 것으로 사료된다.

(참고문헌)

[1] S.Yasunbu, and T. Hasegawa, "Evaluation of an automatic container crane operation system based on predictive fuzzy control," Control Theory Adv. Technol., Vol. 2, No. 3, pp. 419-432, 1986.  
 [2] R.A.Hogle, "A fuzzy algorithm for path selection in autonomous vehicle navigation," presented at the 23rd IEEE Conference on Decision and

Control, Las Vegas, 1984.

[3] M. Sugeno and M. Nishida, "Fuzzy control of a model car," FSS, Vol. 16, pp. 103-113, 1985.  
 [4] M. Sugeno and M. Murakami, "An experimental study on fuzzy parking control using a model car," in Industrial Applications of Fuzzy Logic Control, M. Sugeno, Ed., Amsterdam : North-Holland, 1985.  
 [5] L. I. Larkin, "A fuzzy logic controller for aircraft flight control," in Industrial Applications of Amsterdam : North-Holland, 1985.

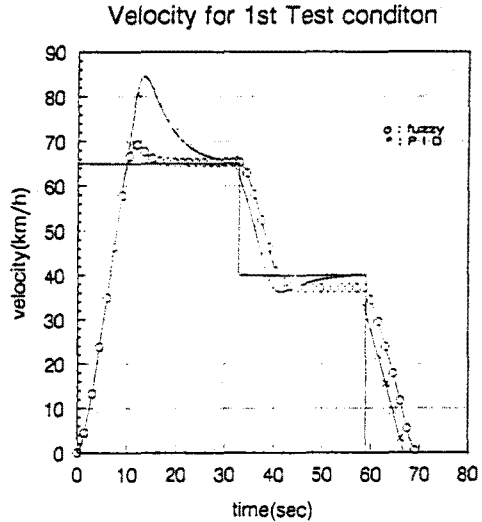


그림 1 속도에 의한 1차 실험 조건  
 Fig. 1 Velocity for 1st test condition

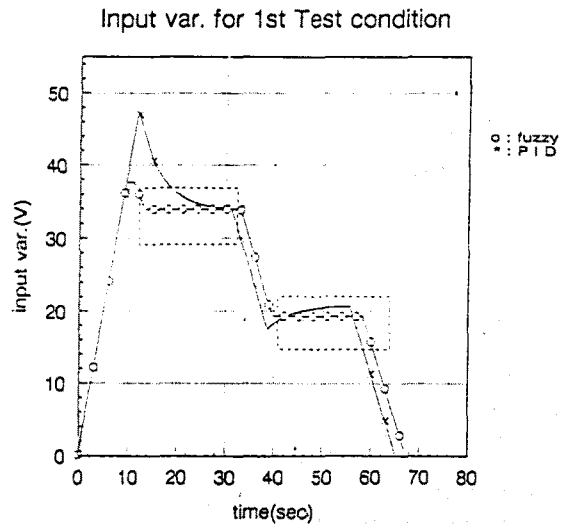


그림 2 입력변수에 의한 1차 실험 조건  
 Fig. 2 Input variable for 1st test condition