

# 퍼지를 이용한 이동로봇의 자율주행제어

김은석\*, 주기세\*

\*목포해양대학교

## Autonomous Navigation Control of Mobile Robot using fuzzy

EUN-SEOK KIM\*, KI-SEE JOO\*

\*Mokpo Maritime University

E-mail : jksjoo@mail.mmu.ac.kr

### 요약

최근 산업화로 인하여 물류 자동화에 많은 관심이 집중되고 있다. 지금까지는 컨베이어 벨트가 물류 자동화에 있어서 가장 많이 사용되었지만 이 시스템은 공간을 많이 차지하고, 비용이 많이 든다는 단점을 가지고 있다.

본 논문은 퍼지를 이용한 새로운 자율 주행 제어 알고리즘을 소개한다. 이 이동로봇은 바닥 위에 설치된 선을 따라가도록 되어있다. 그리고 3개의 근접센서로부터 정보가 입력된다. 이러한 획득된 정보를 자율 주행을 위하여 퍼지로 제어하였다. 그러므로 현존하는 시스템과는 달리, 열악한 환경 조건하에서도 높은 신뢰성을 보증하고, 라인의 유지 보수를 낮은 비용으로 쉽게 설치할 수 있다.

이 자율이동로봇의 이용은 공장이나 병원 내의 물류자동화를 실현시키고, 사무실 내에서 서류배달 등의 여러분야에 응용되어 질 수 있다.

### ABSTRACT

Recently, the progress of industrialization has been taken concern of material handling automation. So far, the conveyor belt has been popular for material handling. However, this system has many disadvantages such as the space, cost,

In this paper, a new navigation algorithm using fuzzy is introduced. The mobile robot follows a line installed on the roads. These informations are inputted with three approximate sensors. These obtained informations are analyzed with fuzzy technique for autonomous steering. Therefore, unlike existing systems, high reliability is guaranteed under bad environment conditions. The installation and maintenance of a line is easily made at lower cost.

The use of the mobile robot can be extended to materials handling purposes in manufacturing, hospital, inter-office documents deliveries.

### 1. 서론

최근 산업화로 인하여 공장 자동화에 관심이 대두되고 있다. 자동화를 이루기 위해서는 여러 시스템이 개발되어 지고 있는데 이 중 물류자동화는 산업에 미치는 영향이 크다. 여기서 이동 운반체는 물류를 자동화 시키는데 있어서 중요한 위치에 있는 분야이다.

이동 운반체에 관한 연구의 목표는 자율주행이 가능한 자율이동 운반체의 구축이다.<sup>(1)</sup> 자율이동 운반체는 인간의 개입없이 목적지까지 스스로 주행계획에 의해 자율적으로 안전한 주행을 할 수 있는 로봇을 말한다.

자율적인 주행 기능을 가진 이동 로봇은 생산 현장의 공장내에서 자재나 물품의 운반에 적용되어 물류 자동화를 이룩하는데 큰 역할을 담당하게 될 것이다. 또한 사무실 내에서의 서류전달,

병원 내에서의 필요한 서류나 혈액 등 물품의 신속한 운송 등 많은 분야에서 적용이 가능하다. 주행환경이 실외인 경우에는 부두와 같은 항만에서 선적과 하역작업을 하는데 물품들의 운송작업에 적용되어 물류자동화를 이룩함으로써 산업적인 큰 의의를 갖게 될 것이다. 물자의 수송은 시간과 비용을 절약하기 위하여 야간에 많이 이루어지는데 야간에 운전자는 피로하기 쉽고 운전환경도 열악하기 때문에 안전사고가 많이 발생한다. 이러한 야간수송을 무인화함으로써 인적자원의 절감과 안전을 도모할 수 있다. 그리고 인간이 활동하기 힘든 곳이나 위험한 장소에서 자율주행 차량이 지형을 탐사할 수 있다면 더욱 많은 환경에 대한 정보를 얻을 수 있다.

본 연구에서는 로봇이 주어진 목적지까지 안전하게 주행하기 위하여 현재 로봇의 위치와 방향을 계산하는데 로봇이 신속하게 대처하기 위하여 퍼지제어 방법을 구현하였다. 로봇의 위치와 방향의 결정은 목적지까지 주행하는데 있어서 중요한 요소이다. 로봇이 위치와 방향의 계산을 위하여 증가형 엔코더(Incremental Encoder)에 의한 바퀴의 회전수를 인식하거나 근접 센서를 사용하여 로봇의 주행경로를 인식하였다. 하지만 모터의 부하와 바퀴의 미끄러짐으로 인하여 정확한 측정이 어렵고 센서의 외부환경요소에 의한 정보의 부정확성이 발생한다. 이러한 문제를 기존의 로봇제어로도 행할 수 있으나 공장내에서의 예러는 여러 공정에 피해를 주므로 로봇의 정확한 제어를 필요로 한다. 그래서 보다 정확한 위치파악과 방향을 측정하기 위하여 퍼지 제어방식을 사용하였다.

## II. 이동 로봇 시스템 구성

본 연구에서는 퍼지제어로 로봇이 스스로 위치와 방향을 찾아갈 수 있도록 하였다. 실제 이동로봇의 퍼지제어를 하는데 필요한 로봇 시스템 구성은 그림 1과 같다. 이 시스템 구성도는 로봇 구동 시스템과 센서 제어 시스템 그리고 전체를 제어하기 위하여 중앙처리 장치로 구성되어 있다.

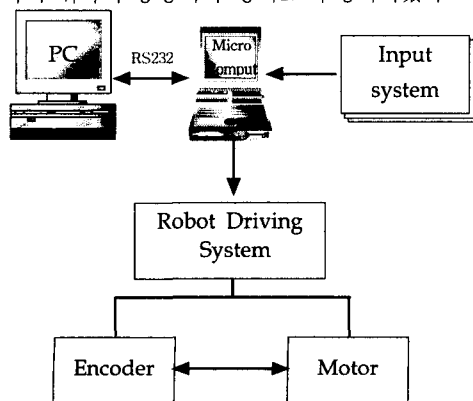


그림 1. 이동로봇 시스템 구성도

### 1. 이동 로봇 구동 시스템

구동 시스템은 로봇이 이동 하는데 있어서 가장 중요한 부분이라고 할 수 있으며, 여러 하위 시스템으로 분류된다. 본 시스템에서 로봇의 이동을 위하여 2개의 DC 모터를 사용하였으며 DC 모터의 제어를 위하여 마이크로 컴퓨터를 이용하였다. 그리고 DC 모터의 정확한 회전을 하기 위해 증가형 엔코더를 이용하였다. 그림 2는 로봇의 구동시스템을 보여주고 있다.

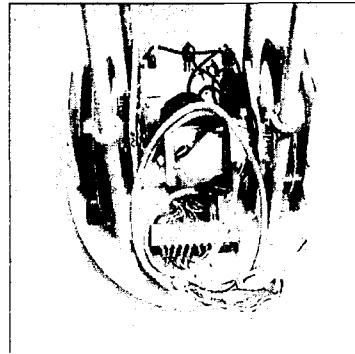


그림 2. 로봇의 구동시스템

### 2. 입력 시스템(센서 시스템)

입력 시스템에서는 바닥에 설치된 선을 추적하기 위하여 근접센서를 사용하였으며 오차를 최대한 줄이기 위하여 3개의 센서를 사용하였다. 입력된 값은 중앙처리 시스템에서 제어한다.

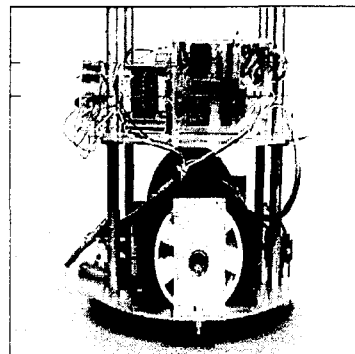


그림 3. 로봇의 외면

### 3. 중앙처리 시스템

중앙처리 시스템에서는 일반 개인용 컴퓨터와 마이크로 컴퓨터를 사용하였다. 본 시스템의 목적은 입력시스템에서 받은 데이터를 처리하여 구동 시스템에 데이터를 보내서 모터를 구동시키는 것으로 전체 시스템을 제어하는 것이다. 여기서 마이크로 컴퓨터는 구동시스템과 입력시스템 제어

에 쓰이며 개인용 컴퓨터는 로봇의 속도제어를 하고, 마이크로 컴퓨터와 RS232통신을 하는 시스템이다.

### III. 이동 로봇 제어를 위한 퍼지 모델링

본 연구에 있어서 주 핵심부분으로서 기존의 이동 로봇 제어 모델과는 달리 동역학적 구조가 비선형적이고 부정확한 센서의 입력과 라인 추적 시 바퀴의 미끄러지는 현상의 영향을 최대한 줄이면서 제어를 하기 위하여 퍼지 모델을 도입하였다.

퍼지 모델을 도입했을 경우의 시스템 구성도는 그림 4와 같다.

이 시스템은 3개의 센서로부터 입력받은 데이터를 퍼지 제어기에서 입력 데이터를 퍼지추론을 통해 2개의 증가형 엔코더에 데이터를 보내면 2개의 모터가 구동된다. 이 시스템의 순서도는 그림 5와 같다.

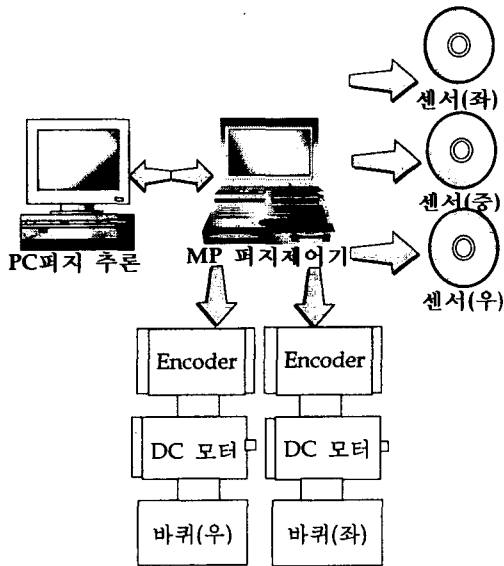


그림 4. 퍼지 모델 도입 후 시스템 구성도

#### 1. 퍼지 제어 변수

그림 6에서와 같이 퍼지 제어에 사용된 입력 변수는 이동 로봇의 위치와 방향을 빠르고 정확하게 추정하기 위하여 부정확한 센서의 입력과 바퀴의 미끄러짐으로 인한 로봇의 이동 각의 변화로 하였으며, 출력변수는 모터의 속도로 하였다.

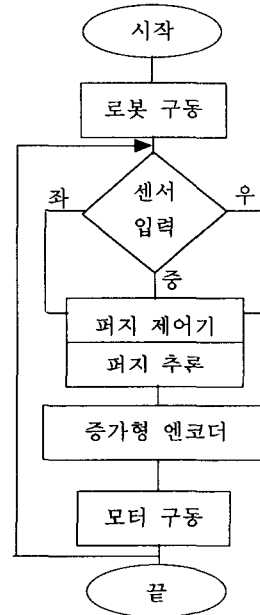


그림 5. 로봇의 퍼지제어 순서도

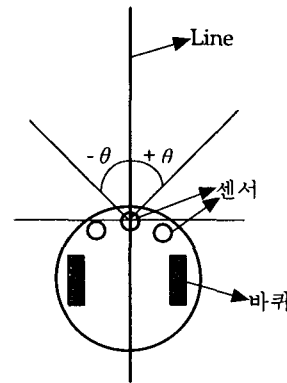


그림 6. 로봇의 퍼지제어 변수

#### 2. 퍼지 변수 값과 범위

본 연구는 3개의 센서로부터 입력값과 이동로봇의 이동각을 입력변수로 놓았으며, 로봇의 좌우 바퀴의 이동거리를 출력변수로 하였다. 입력변수로서 센서는 선의 유무를 파악하므로 '1'이거나 '0'이 된다. 로봇의 이동각은 로봇이 외부환경이나 바퀴의 미끄러짐으로 인하여 발생하는 각이다.

퍼지 입출력 변수를 도입하여 퍼지 모델링을 하면 그림 7과 같다.

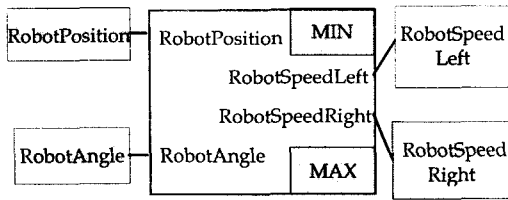


그림 7. 퍼지 입력력 변수

### 3. 전체 제어기의 구조

이동로봇을 목표지점까지 이동시킬 경우 정해진 속도 계획에 따라 이동 시킨다. 속도제어는 로봇이 가능한한 좌우 변화없이 직선 운동만 해야 하므로 로봇의 좌우 모터의 속도를 같게 해주어야 한다. 외부 환경요소에 의해 이동로봇의 좌우로 위치가 변화했을 경우 이에 대하여 좌우 모터의 속도를 조절해야 한다.

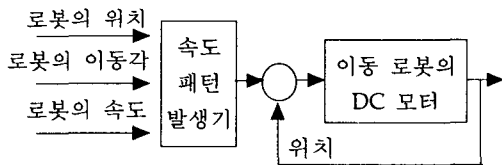


그림 8. 속도 패턴 발생기

그림 8과 같이 속도 패턴 발생기는 로봇의 위치와 이동각, 모터의 속도를 감안하여 직선운동 속도 패턴을 만들어내고, 이 속도 패턴에 의해 이동 로봇의 DC 모터를 제어한다. 이때 DC 모터는 위치 제한 구조를 가지고 있어서 속도계측에 의해 발생하는 로봇의 위치가 출력되어진다.

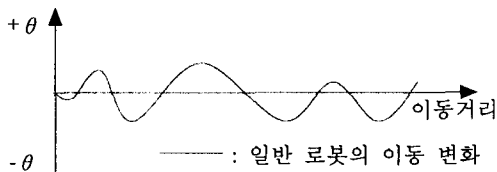


그림 9. 이동 로봇의 최적 이동 패턴

위의 그림 9는 로봇이 퍼지제어기를 사용하지 않았을 경우의 이동변화와 외부 환경변화가 없을 경우의 최적 이동 패턴을 보여주고 있다.

이러한 목적으로 퍼지 논리 제어기를 사용한 각도제한 방식을 그림 10과 같이 이용하였다. 퍼지 논리제어기는 이동로봇의 이동각과 로봇의 위치를 감지하여 로봇의 변화를 최소화한다.

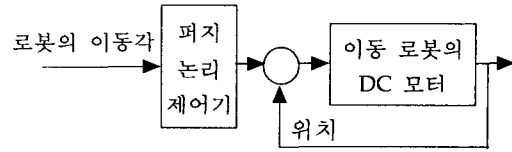


그림 10. 퍼지논리 제어기

이동로봇을 제어하기 위한 전체 시스템은 그림 11과 같이 속도 패턴 발생기와 퍼지 논리 제어기를 결합한 시스템이 된다.

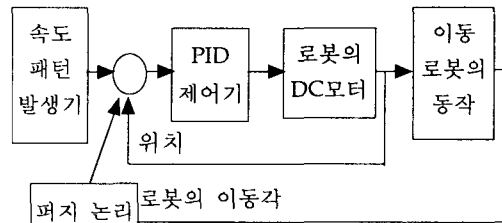


그림 11. 전체 시스템

### 4. 퍼지 논리제어기의 구성

퍼지 논리 제어기는 그림 12과 같이 퍼지화 인터페이스, 퍼지 추론 장치, 비퍼지화 인터페이스, 그리고 퍼지 룰로 구성되어 있다.

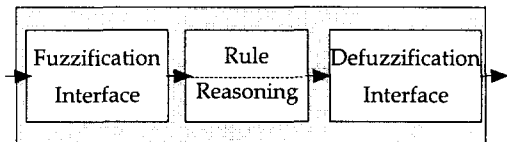
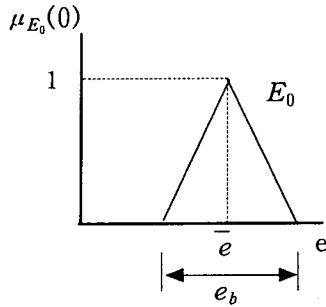


그림 12. 퍼지 논리 제어기 구성기

#### 4.1 퍼지화 인터페이스<sup>(3)</sup>

퍼지화 인터페이스 장치는 크리스프한 입력값을 측정하여 퍼지한 값으로 변환하는 장치로서, 여기서는 이동변 삼각형법을 채택하였다.

이 방법은 크리스프 입력에 대하여 소속함수가 이동변 삼각형 모양인 퍼지집합으로 변환시키는 방법이다. 이 방법에서는 일정한 N개의 과거데이터  $\{e_0, e_{-1}, \dots, e_{-N+1}\}$ 를 이용하여 평균치  $\bar{e}$ 을 구하고, 그 폭은 데이터 표준편차의 두배가 되도록 하는 것이다.



$$\bar{e} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N e_{i-N}$$

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (e_{i-N} - \bar{e})^2}$$

$$e_b = 2\delta$$

여기서  $\bar{e}$  = 데이터 평균치,  
 $\delta$  = 데이터 표준편차,  
 $e_b$  = 표준편차의 두 배

먼저 로봇의 이동각을 센서와 카운터를 통해서 받아들이고 이 이동각의 범위를 그에 해당하는 전체 공간 값으로 변환한다. 이를 위하여 로봇의 이동각을  $-\theta_{max}$ 와  $+\theta_{max}$  사이를 120까지 양자화하였고, 로봇의 위치(센서값)를 6으로 양자화하였다. 그리고 이등변 삼각형 법을 이용하여 퍼지화 하였다. 표 1은 퍼지변수와 그 값의 범위를 나타내었다. 표 1에서 나타낸 것과 같이 로봇의 위치, 이동각, 모터의 속도(좌), 모터의 속도(우)에 대한 특성을 살펴보면 그림 13은 이동 로봇의 위치의 특성함수이며 3개의 센서가 로봇의 위치를 판별하므로 이때의 변수를 Sensor Left(SL), Sensor Middle(SM), Sensor Right(SR)로 표현하였다. 그림 14는 로봇의 이동각( $\theta$ )의 특성함수로서 모터의 증가형 엔코더에서 나온 값을 카운터로 읽어서 이동각을 판별한다. 이때 로봇이 최소  $-60^\circ$ 에서 최대  $60^\circ$  사이에서 변화했을 경우의 특성함수이다. 로봇 이동각의 변수로는 Negative High(NH), Negative Middle(NM), Negative Small(NS), 0(ZO), Positive Small(PS), Positive Middle(PM), Positive High(PH)로 분류하였다. 그림 15는 왼쪽 모터의 속도의 특성함수이며 로봇 이동에 영향을 주는 함수이다. 모터의 속도에 민감하도록 양자화를 100으로 하였다. 이 때의 변수로는 Negative High(NH), Negative Middle(NM), Negative Small(NS), 0(ZO), Positive Small(PS), Positive Middle(PM), Positive High(PH)로 분류하였다. 그림 16은 오른쪽 모터의 특성함수이며 로봇의 이동에 영향을 준다. 모터의 속도에 민감하도록 양자화를 100으로 하였다. 이때의 변수로는 Negative High(NH), Negative Middle(NM), Negative Small(NS), 0(ZO), Positive Small(PS),

Positive Middle(PM), Positive High(PH)로 분류하였다.

표 1 퍼지변수와 값의 범위.

Variable	I/O	Min	Max	범위
로봇의 위치	input	0	6	SL, SM, SR
로봇의 이동각	input	-60	60	NH, NM, NS, ZO, PS, PM, PH
모터의 속도(좌)	output	0	100	NH, NM, NS, ZO, PS, PM, PH
모터의 속도(우)	output	0	100	NH, NM, NS, ZO, PS, PM, PH

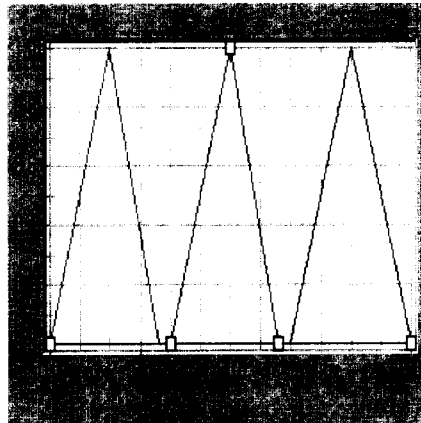


그림 13. 로봇의 위치 특성함수

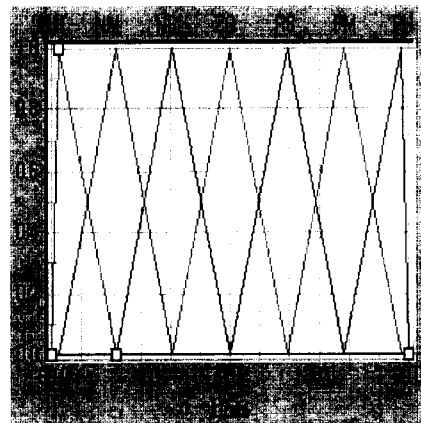


그림 14. 로봇의 이동각의 특성함수

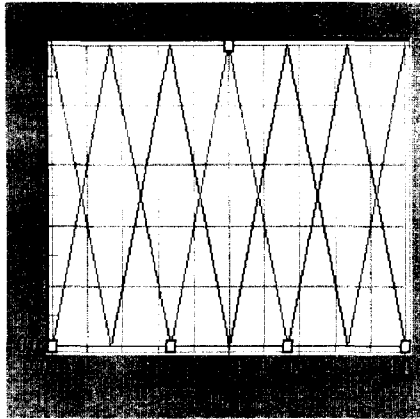


그림 15. 왼쪽 바퀴의 특성함수

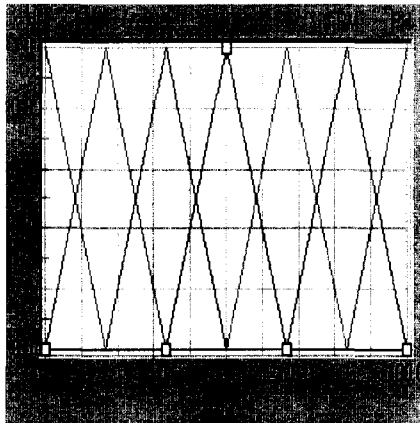


그림 16. 오른쪽 바퀴의 특성함수

#### 4.2 퍼지 룰

이동 로봇의 퍼지 제어를 위한 퍼지 룰은 기존의 로봇 제어를 바탕으로 여러번의 학습을 통하여 규칙을 찾아내었다. 퍼지 룰 베이스는 표 2와 같다.

#### 4.3 퍼지 추론 장치

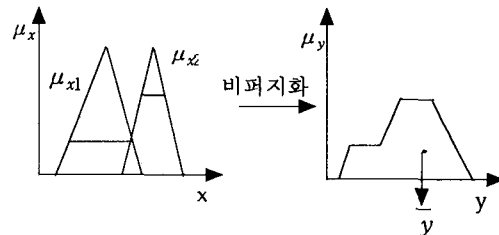
퍼지 추론장치는 퍼지 룰을 이용하여 퍼지 입력에 대한 퍼지 출력을 추론해 내는 장치이며 퍼지추론 방법으로는 제어시스템과 관련하여 많이 이용되고 있는 맘다니의 Min-Max 직접법에 의하여 추론을 수행하였다.

표 2 퍼지 룰

#	IF Robot Angle	Robot Position	THEN Left Length	THEN Right Length
1	ZO	SM	PH	PH
2	PH	SM	NH	PH
3	PM	SM	NM	PM
4	PS	SM	NS	PS
5	NS	SM	PS	NS
6	NM	SM	PM	NM
7	NH	SM	PH	NH
8	PH	SL	NH	PH
9	PM	SL	NM	PM
10	PS	SL	NS	PS
11	NS	SR	PS	NS
12	NM	SR	PM	NM
13	NH	SR	PH	NH
14	ZO		ZO	ZO

#### 4.4 비퍼지화 인터페이스

퍼지화된 집합을 보통의 크리스프 값으로 변환하는 방법으로는 무게중심법과 합중심법, 높이법, 최대면적중심법, 최대치 평균법등이 있다. 이 중에서 무게중심법을 사용하여 비 퍼지화하였다. 무게중심법은 비퍼지화 방법에서 소속함수의 가중평균이나 소속함수에 의해 구분된 영역의 무게중심은 퍼지량의 가장 전형적인 크리스프 값으로 계산된다. 즉 중첩되어 있는 면적이 있는 경우에 중첩되는 부분을 고려하여 계산하는 것이다.



$$\bar{y} = \frac{\int \mu_Y(y) \cdot y dy}{\int \mu_Y(y) dy}$$

여기서  $x$ : 입력값,  $y$ : 출력값

$\bar{y}$ : 비퍼지 값

$\mu_x$ :  $x_i$ 의 멤버십 함수  $x_i (i = 1, 2)$

$\mu_y$ :  $y$ 의 멤버십 함수

#### IV. 실험 및 결과

로봇이 자기의 위치와 방향을 파악하고 시간을 낭비하지 않고 최단거리로 가기 위하여 퍼지 제어를 사용하였다. 앞에서 모델링 한 퍼지의 값을 이동 로봇의 위치와 로봇의 이동 각이 변화했을 경우의 시뮬레이션 결과는 다음과 같다.

먼저 로봇의 위치와 이동 각이 변화시 왼쪽 모터의 결과는 그림 17과 같고, 오른쪽 모터의 결과는 그림 18과 같다. 그림 17과 그림 18에서 x축은 이동로봇의 위치(3개의 센서)를 나타내며, y축은 이동로봇의 회전각을 나타낸다. 그리고 두 변화에 대한 결과인 z축은 이동로봇의 속도(좌·우 모터 속도)를 나타낸다. 즉, 그림 17, 18은 각각의 센서(좌·중·우 센서)로부터 받아들인 로봇의 위치와 그 때 로봇의 회전각이 변화했을 경우 왼쪽, 오른쪽 모터의 속도 변화 결과를 보여주고 있다.

퍼지 시스템 구축 후의 이동로봇의 변화는 그림 19에서 알 수 있듯이 일반 로봇의 이동 변화는 좌우 변동이 심하다는 것을 알 수 있다. 하지만 퍼지 제어 시스템을 구축한 결과 이동로봇의 이동이 거의 직선운동에 가깝게 된다는 것을 확인하였다.

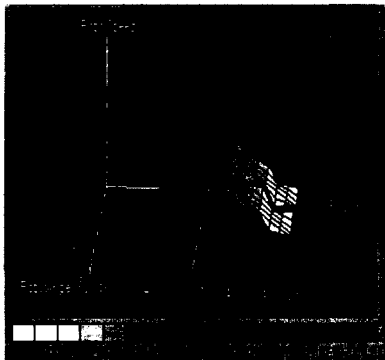


그림 17. 로봇의 위치와 이동 각 변화시 왼쪽 모터의 시뮬레이션 결과

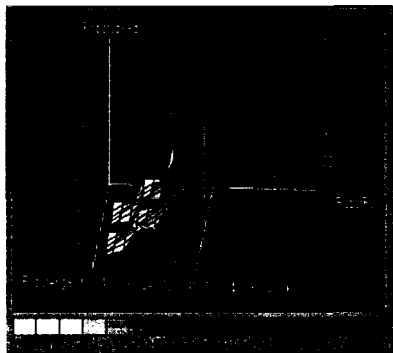


그림 18. 로봇의 위치와 이동각 변화 시 오른쪽 모터의 시뮬레이션 결과

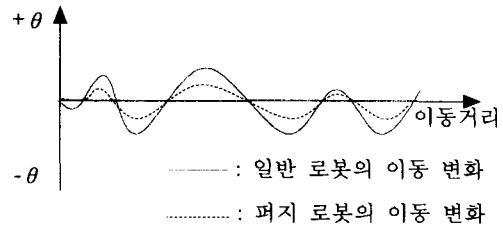


그림 19. 이동거리에 따른 로봇이동 변화

#### V. 결론

본 연구에서는 기존의 로봇 제어와는 달리 로봇이 반응에 바로 적용할 수 있도록 퍼지를 적용하여 로봇이 센서로부터 입력을 받으면 즉각적으로 대처할 수 있도록 함으로써 로봇이 주행 경로를 따라 자율적으로 주행할 수 있도록 실험 하였다. 본 연구에서는 근접센서만으로 제어를 했지만 초음파 센서와 적외선 센서를 함께 사용하여 로봇이 장애물의 감지와 급박한 상황에 대처할 수 있을 것이다.

컴퓨터 시스템으로써 자율이동 로봇이 갖추어야 할 구조에 관한 Kanayama and Yuta(4)가 제안한 내용을 소개하면 다음과 같다.

전형적인 자율이동 로봇은 환경인식, 경로결정, 위치와 속도제어, 장애물 감지 등의 모든 기능들이 동시에 이루어지는 것이 바람직하다. 하드웨어의 구조는 실시간에 효율적으로 동작해야 하는 복잡한 시스템이므로 표준 입출력을 통한 다중 병렬처리, 분산처리, 모듈화 등의 기능이 필요하다. 소프트웨어의 구조로서 효율적인 프로세서의 전환, 입출력기능, 콘솔 명령, 프로세서간 메시지 전환, 사용자 간의 상호 정보교환 등의 능력이 필요하다. 즉 로봇은 동시에 여러 가지 기능을 수행하여야 하므로 다중 프로세서 시스템일 필요가 있다. 이동 로봇은 조작, 이동, 감지, 통신 등의 기능을 독립된 프로세서를 갖는 각각의 모듈들에 분담시키고, 이를 하나의 주 컴퓨터에서 각각의 모듈로부터 정보를 통합하여 주행계획을 세워 주어진 임무를 수행하게 된다.

본 연구에서 사용한 이동 로봇에 로봇 팔(manipulator)를 부착하여 물건을 운반할 수 있도록 하는 연구를 할 수 있으며, 비전을 이용하여 더욱 효율적인 로봇 시스템을 개발할 수 있다.

#### 참고문헌

- [1] A. Meystel, "Autonomous Mobile Robot - vehicles with cognitive control", World Scientific, 1991.
- [2] 변중남, "Fuzzy-Logic Control", 홍릉과학출

- 판사,1997
- [3] 이상배, "Fuzzy-Neuro Control System", 교학사
  - [4] Yutaka Kanayama and Shin'ichi Yuta, "Computer Architecture for Intelligent Robots", J. of Robotic Systems, Vol.3, No.2, pp.273-251, 1985.
  - [5] Driankov, Hellendoorn, Reinfrank "An Intro. to Fuzzy Control", Springer-Verlag,1993
  - [6] Han, Min-hong and Rhee, Sang-Yong, "Navigation Control for a Mobile Robot," Journal of Robotic Systems, 11(3), pp. 169-179, 1994.
  - [7] Lee, Dong-Min, Kim, Dong-Ho, Kim, Byung-Soo, Moon, Soon-Hwan and Han, Min-Hong, "Development of Autonomous Test Vehicle Using Image Processing," IEEE Symp. Intelligent Vehicles'96 in Tokyo, September, pp.409-414, 1996.
  - [8] Mori, Y., and Nyudo, S., "Steering and Speed of a Car by Fuzzy-Neural Control", Proceedings of 1993 International Joint Conference on Neural Networks, pp. 1753-1756, 1993.