

# 퍼지를 이용한 자율이동로봇의 이동경로 추종

김은석\*, 주기세\*\*

## Moving Path Following of Autonomous Mobile Robot using Fuzzy

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

### 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, etc.

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 control 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.

This developed mobile robot can be applied to material handling automation in manufacturing system, hospital, inter-office document delivery.

**Key Words** : Material handling automation(물류자동화), Navigation algorithm(주행알고리즘), Approximate sensor(근접센서), Fuzzy control technique(퍼지제어기법), Autonomous steering(자동조향), Environment condition(주위환경)

### 1. 서론

최근 산업화로 인하여 공장 자동화에 관심이 집중되고 있다. 자동화를 이루기 위해서 여러 시스템이 개발되어 지고 있는데 이 중 물류자동화는 산업에 미치는 영향이 크다. 여기서 이동 운반체는 물류를 자동화 시키는데 있어서 가장 핵심적인 분야 중의 하나이다.

이동 운반체에 관한 연구 목표는 자율주행이 가능한 자율이동 운반체의 구축이다. 자율이동 운반체는 인간의 개입없이 목적지까지 스스로 주행계획에 의해 자율적으로 안전한 주행을 할 수 있는 로봇을 말한다.

자율적인 주행 기능을 가진 이동 로봇은 생산현장의 공장내에서 자재나 물품의 운반에 적용되어 물류 자동화를 이룩하는데 큰 역할을 담당하게 될

\* 목포해양대학교 해양전자통신학부  
\*\* 목포해양대학교 해상운송시스템학부

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 무인화 함으로써 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.

지금까지 각종 센서를 이용하여 로봇의 위치 제어를 위한 많은 연구가 진행되어 왔다. Giuseppe Borghi, Vincenzo Caglioti<sup>[1]</sup>는 자기 조직화 알고리즘을 사용하여 위치 탐색의 불확실성을 최소화하였다. Loulin Huang, Jagannathan Kanniah<sup>[2]</sup>는 로봇의 알고리즘을 로봇의 몸체에 부착된 두 개의 엔코더 값을 읽으므로써 로봇의 위치를 파악하도록 하였다. 그리고 주행전략은 시행착오법(try and error)을 이용하여 센서로부터 얻어진 근접한 정보로부터 로봇이 이동하도록 하였다. M. Oussalah, C. Barret, H. Maaret<sup>[3]</sup>는 로봇의 동작과 로봇의 절대적 위치를 결정하여 로봇의 이동을 최적화 하였다. 여기서 사용되어진 방법은 주행거리를 칼만 모델(kalman model)을 통해 로봇 위치의 변화를 동시에 판단하도록 하였다. Hans-Joachim von der Hardt and Didier Wolf Rene Husson<sup>[4]</sup>는 로봇의 위치 측정을 마그네틱 컴퍼스과 자이로스코프를 사용하여 향상시켰으며, 로봇 상태의 동작을 칼만 필터(kalman filter(=EKF))의 확장에 의해 제어되도록 하였다. 여기서 EKF 알고리즘의 실행은 로봇의 충돌에러의 방지와 불확실한 에러의 증가를 무효화하도록 하였다.

기존의 이동로봇 제어기인 PID(Proportional Integral Derivative)제어기<sup>[5][6]</sup>는 센서입력에 대한 모터의 회전과 모터에 부착된 엔코더 값의 오차를 최소화하도록 설계되어있다. 하지만 이 제어기를 사용하면 기준선이 3개의 센서 사이에 왔을 때에 이 에 대한 제어가 불가능하다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 퍼지 제어<sup>[7][8]</sup>를 통하여 센서와 증가형 엔코더로부터 로봇의 위치와 방향을

판단하여 로봇의 이동을 최적화 하도록 하였다. 그리고 로봇이 주어진 목적지까지 안전하게 주행하기 위하여 현재 로봇의 위치와 방향을 계산하는데 이때 로봇이 신속하게 대처하기 위하여 퍼지 제어 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 외부 환경요소에 의한 정보의 부정확성이 발생한다. 이러한 문제를 기존의 로봇제어로도 행할 수 있으나 공장내에서의 에러는 여러 공정에 피해를 주므로 로봇의 정확한 제어를 필요로 한다. 그래서 보다 정확한 위치파악과 방향을 측정하기 위하여 퍼지 제어방식을 사용하였다. 본 연구에서 사용된 퍼지 제어기는 기존 제어기에 비해 로봇이 목적지까지 주행경로를 추적하는데 있어서 로봇의 변화가 최소화되었고, 이에 따라 목적지까지의 이동하는 시간이 절약되었다.

## 2. 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 같이 로봇 구동 시스템, 센서 제어 시스템 그리고 전체를 제어하기 위하여 중앙처리 장치로 구성되어있다.

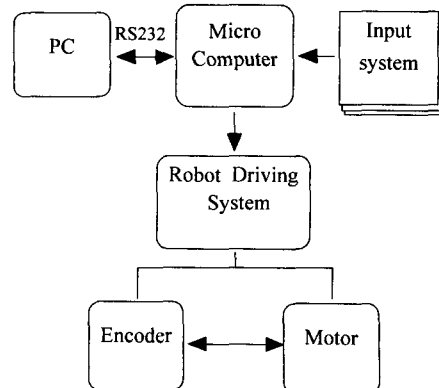


Fig. 1 The structure of mobile robot system

먼저 로봇구동 시스템은 로봇이 이동하는데 있어서 가장 중요한 부분이라고 할 수 있으며, 여러 하위 시스템으로 분류된다. 본 연구에서는 로봇의 이동을 위하여 2개의 DC 모터를 사용하였으며 DC 모터의 제어를 위하여 마이크로 컴퓨터를 이용하였다. 그리고 DC모터에 부착된 증가형 엔코더로 모터의 회전수를 인식하였다. 그리고 입력 시스템에서는 바닥에 설치된 선을 추적하기 위하여 근접 센서를 사용하였으며 오차를 최대도 줄이기 위하여 3개의 센서를 사용하였다. 이동로봇 시스템 구조를 살펴보면 먼저 입력시스템에서 받은 데이터를 중앙처리 시스템에서 처리하며 처리된 정보를 구동 시스템에 전송하여 전송된 정보에 따라 양쪽 모터를 구동시킴으로써 이동로봇에 진행속도 및 방향을 제어한다. 여기서 마이크로 컴퓨터는 구동시스템과 입력시스템 제어에 쓰이며 개인용 컴퓨터는 마이크로 컴퓨터와 RS232 통신에 의해서 이동로봇의 속도제어 및 이동방향을 결정한다.

### 3. 이동 로봇 제어를 위한 퍼지 모델링

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

이 시스템은 로봇 이동으로 인한 기준선과의 오차를 줄이기 위해서 3개의 입력센서로부터 획득된 데이터와 엔코더로부터 얻은 데이터를 퍼지추론<sup>[9]</sup>을 통해 2개의 모터를 제어한다. 이 시스템의 흐름도는 그림 2와 같다.

#### 3.1 퍼지제어 변수

그림 3은 자체 제작한 이동로봇의 하드웨어 구성으로서 기준선을 판단하기 위하여 로봇 앞면에 3개의 근접센서를 사용하였으며, 2개의 DC모터를 사용하여 로봇 회전을 자유롭게 하였다. 그리고 기준선과 로봇의 오차추정 방법은 이동로봇이 기준선을 따라 이동을 하면 로봇이 기준선으로부터 오차가 생기게 된다. 이 오차는 로봇의 이동에 따른 좌·우 엔코더의 변화 값과 3개의 센서 중에 어느 센서가 기준선을 인식했는가에 따라 오차를 측정할 수 있게 된다. 이와같이 기준선과의 오차를 최소화하기 위해서 퍼지 제어 시스템에서는 로봇의 전면

에 설치된 3개의 근접센서를 통한 정보와 로봇의 이동에 의한 엔코더 값의 변화량정보 등 2개의 입력변수를 사용하여 이동로봇의 위치와 방향을 빠르고 정확하게 추정하였으며 출력변수는 펄스량에 따른 양쪽바퀴에 부착된 두 모터의 속도로 하였다.

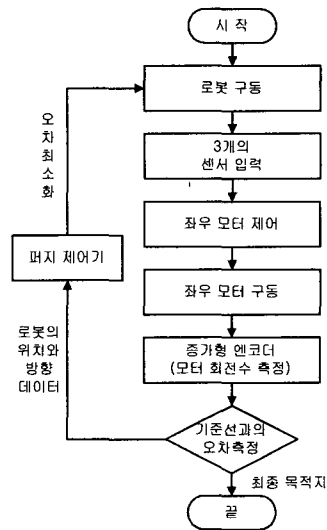


Fig. 2 Fuzzy control flow

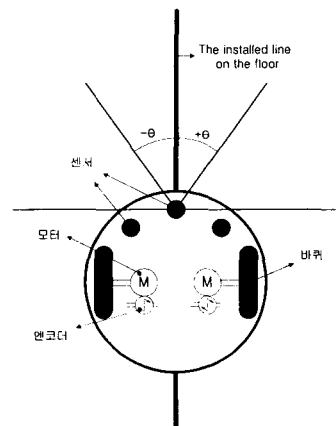


Fig. 3 Hardware structure of robot

#### 3.2 제어 시스템의 구조

이동로봇을 목표지점까지 이동시킬 경우에 속도제어는 직진인 경우에는 로봇이 가능한 한 좌우 변화없이 직선 운동만 해야 하므로 로봇의 좌우 모터의 속도를 최대한 같게 해주어야하며, 회전이나 곡선으로 이동시에는 좌우 모터의 속도조절에 의해

서 완전한 회전 및 곡선운동이 되도록 해야한다.

이동 로봇을 제어하기 위한 제어 시스템은 그림 4에서와 같이 속도 패턴 발생기와 퍼지 논리 제어기로 구성되어 있다. 먼저 속도패턴 발생기는 로봇의 3개의 센서로부터의 입력과 로봇 이동각의 변화량, 모터의 속도를 고려하여 직선운동 속도패턴을 만들어낸다. 그리고 이 속도 패턴에 의해 이동 로봇의 두 개의 모터를 제어한다. 속도패턴 발생기에 의해 로봇이 이동하게 되면 변화된 로봇의 위치와 이동각에 따라 기준선과의 오차를 최소화하기 위하여 퍼지 제어기에서 좌우 모터의 속도를 제어하게 된다.

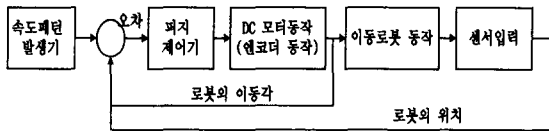


Fig. 4 Control system structure

### 3.3 퍼지 논리제어기의 구성

이동로봇의 제어시스템 중에서 퍼지 논리 제어기는 그림 5와 같이 퍼지화 인터페이스, 퍼지 룰, 퍼지 추론 그리고 비퍼지화 인터페이스로 구성되어 있다.

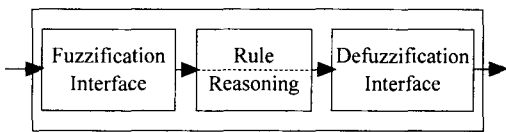


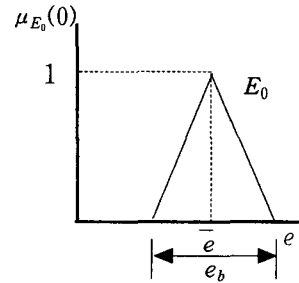
Fig. 5 Fuzzy logic controller structure

#### 3.3.1 퍼지화 인터페이스

퍼지화 인터페이스 장치는 크리스프(crisp)한 입력값을 측정하여 퍼지값으로 변환하는 장치로서, 여기서는 이동변 삼각형법<sup>[10]</sup>을 이용하였다.

이 방법은 크리스프 입력에 대하여 소속함수가 이동변 삼각형 모양인 퍼지집합으로 변환시키는 방법이다. 이 방법에서는 기존의 제어기를 사용한 이동로봇의 제어 데이터인 일정한 N개의 과거데이터 {  $e_0, e_{-1}, \dots, e_{-N+1}$  }를 이용하여 평균치  $\bar{e}$ 을 구하고, 그 쪽은 그림 6과 같이  $\bar{e}$ 를 중심으로 데이터 표준편차의 두 배가 되도록 하였다.

먼저 로봇 이동각의 변화량을 증가형 엔코더를



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

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

$$e_b = 2\delta$$

여기서,  $\bar{e}$  = 데이터 평균치,  $\delta$  = 데이터 표준편차

Fig. 6 Fuzzy membership function

통해서 받아들이고 이 이동각의 변화량의 범위를 그에 해당하는 전체 공간 값으로 변환한다. 이를 위하여 로봇 이동각의 변화량을  $-\theta \max$ 와  $+\theta \max$  사이를 120까지 양자화 하였고, 로봇의 위치(3개의 센서로부터의 입력 값)를 6으로 양자화하였다. 그리고 이동변 삼각형 법을 이용하여 퍼지화 하였으며, 표 1은 퍼지변수와 그 값의 범위를 나타내고 있다. 표 1에서 나타낸 것과 같이 로봇의 위치(3개의 센서로부터의 입력 값), 로봇 이동각의 변화량, 모터의 속도(좌, 우)에 대한 특성을 살펴보면 그림 7은 이동 로봇의 위치(3개의 센서로부터의 입력 값)의 멤버십 함수이며 3개의 센서가 로봇의 위치를 판별하므로 이때의 변수를 Sensor Left(SL), Sensor Middle(SM), Sensor Right(SR)로 표현하였다. 그리고 3개 센서사이의 기준선 인식을 못하는 범위는 멤버십 함수에는 표현이 되지 않는다. 그래서 그림 7의 1.8~2.0과 3.7~4.0영역은 포함되어있지 않다. 그림 8은 로봇 이동각의 변화량( $\theta$ )의 멤버십 함수로서 모터의 증가형 엔코더에서 나온 값을 카운터로 읽어서 이동각의 변화량을 나타내는 것으로서 로봇이 최소 -60. 에서 최대 60. 사이에서 변화했을 경우의 멤버십 함수이다. 로봇 이동각의 변화량의 변수로는 Negative High(NH), Negative Middle(NM), Negative Small(NS), Zero(ZO), Positive Small(PS), Positive Middle(PM), Positive High(PH)로 분류하였다. 그리고 이 멤버십함수는 로봇의 속도제어에 있

어서 그림 7의 센서가 인식하지 못하는 영역을 제어하도록 멤버쉽함수를 구성하였다. 그림 9, 10은 양쪽(좌, 우)모터 속도의 멤버쉽 함수이며 로봇 이동에 영향을 주는 함수이다. 모터의 속도에 민감하도록 양자화를 100으로 하였다. 이 때의 변수로는 Negative High(NH), Negative Middle(NM), Negative Small(NS), Zero(ZO), Positive Small(PS), Positive Middle(PM), Positive High(PH)로 분류하였다.

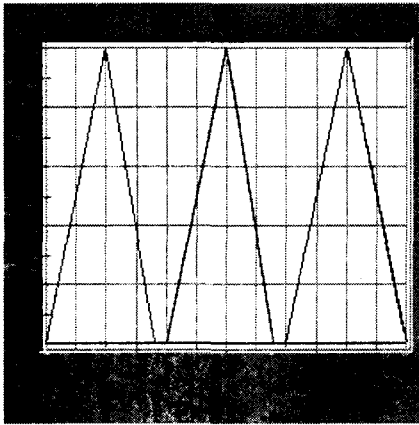


Fig. 7 Membership function of robot position

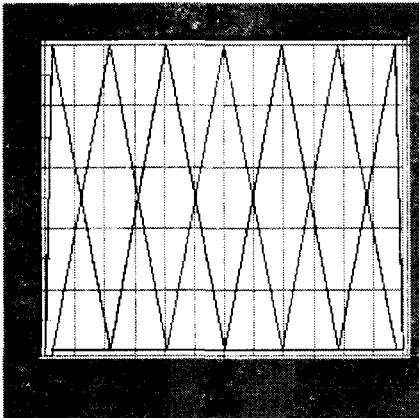


Fig. 8 Membership function of robot move variation

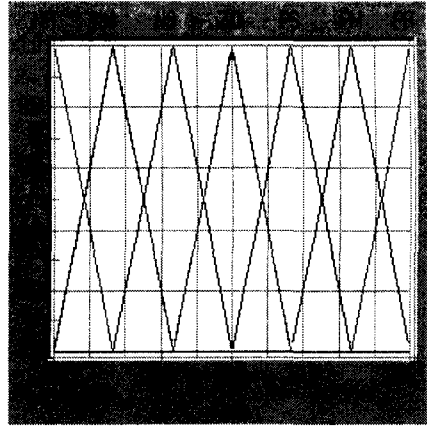


Fig. 9 Membership function of left wheel

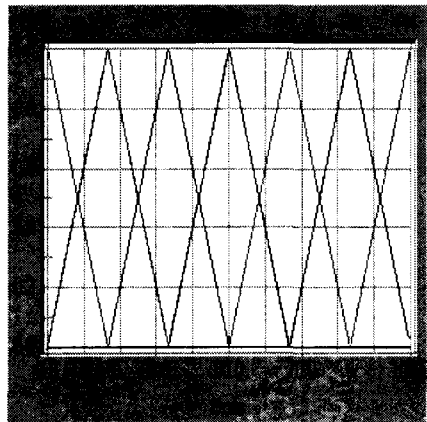


Fig. 10 Membership function of right wheel

Table 1 Range of value and fuzzy variables

Variable	I/O	Min	Max	범위
로봇의 위치 (3개의 센서 입력값)	input	0	6	SL, SM, SR
로봇 이동각의 변화량	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

### 3.3.2 퍼지 룰 및 추론장치

이동 로봇의 퍼지 제어를 위한 퍼지 룰은 기존의 로봇 제어를 바탕으로 여러번의 학습을 통하여 규칙을 찾아내었다. 퍼지 룰 베이스(fuzzy rule base)는 표 2와 같이 로봇 이동각의 변화량과 로봇의 위치가 변화했을 경우 이에 따른 로봇의 왼쪽과 오른쪽 바퀴의 이동변화를 나타내고 있다. 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.

Table 2 fuzzy rule

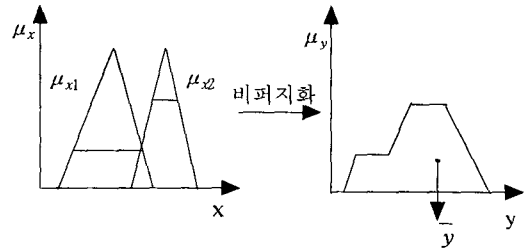
#	IF Robot Angle	Robot Position	THEN Left Length	THEN Right Length
1	ZO	SM	PH	PH
2	PH	SM	NH	PH
3	PM	SM	NM	PM
4	PS	SM	NS	PS
5	NS	SM	PS	NS
6	NM	SM	PM	NM
7	NH	SM	PH	NH
8	PH	SL	NH	PH
9	PM	SL	NM	PM
10	PS	SL	NS	PS
11	NS	SR	PS	NS
12	NM	SR	PM	NM
13	NH	SR	PH	NH
14	ZO		ZO	ZO

### 3.3.3 비퍼지화 인터페이스

퍼지화된 집합을 보통의 크리스프 값으로 변환하는 방법으로는 무게중심법과 합중심법, 높이법, 최대치 평균법등이 있다. 본 논문에서는 그림 11과 같이 무게중심법을 사용하여 비퍼지화하였다. 무게중심법<sup>(11)</sup>은 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.

## 4. 실험 및 결과

로봇이 자기의 위치와 방향을 파악하고 시간을



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

여기서

$x$  : 입력값,  $y$  : 출력값,  $\bar{y}$  : 비퍼지 값

$\mu_{x_i}$  :  $x_i$ 의 멤버쉽 함수  $x_i(i = 1, 2)$ ,

$\mu_y$  :  $y$ 의 멤버쉽 함수

Fig. 11 The defuzzification interface

낭비하지 않고 최단거리로 가기 위하여 퍼지 제어를 사용하였다. 앞에서 모델링 한 퍼지값을 이동 로봇의 위치와 로봇 이동각 변화량의 컴퓨터 시뮬레이션 결과는 다음과 같다.

먼저 로봇의 위치와 이동각이 변화시 좌측모터 및 우측모터의 실험결과는 그림 12, 13과 같다. 그림 12, 13에서 x축은 이동로봇의 위치(3개의 센서)를 나타내며, y축은 이동로봇의 이동각의 변화량을 나타낸다. 그리고 두 변화에 대한 결과인 z축은 이동로봇의 속도(좌·우 모터 속도)를 나타낸다. 즉, 그림 12, 13은 각각의 센서(좌·중·우센서)로부터 받아들인 로봇의 위치와 그 때 로봇의 회전각이 변화했을 경우 왼쪽, 오른쪽 모터의 속도 변화 결과를 보여주고 있다.

그리고 그림 14는 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 토대로 실제 이동로봇에 적용했을 때의 이동로봇의 이동각 변화에 따른 로봇의 왼쪽·오른쪽 모터의 속도제어 값을 나타내고 있다. 이동로봇이 기준선으로부터 변화가 없을 경우 로봇의 좌·우 모터의 펄스 값은 60이된다. 만약 이동로봇이 기준선으로부터 오차가 -50°가 생기면 로봇은 오차를 줄이기 위해서 왼쪽 모터는 100, 오른쪽 모터는 20의 펄스 값을 발생시킨다. 오차가 50°가 생기면 로봇은 왼쪽 모터에 20, 오른쪽 모터에 100의 펄스 값을 발생 시켜서 기준선으로부터의 오차를 최소화 시킨다. 표 3은 일반로봇과 퍼지로봇이 20m를 이동했을 때 로봇의 이동각 변화 시 각각의 로봇 변화각에 입력

되는 감지횟수와 목적지까지 걸린 시간을 보여주고 있다. 로봇의 변화각 중  $-20^\circ$  와  $20^\circ$  는 3개의 센서가 인식을 못하는 영역이다. 로봇이 목적지까지 최소 시간에 도달하려면 로봇의 변화각 감지횟수가  $-10 \sim 10^\circ$  에서 많이 감지되어야한다. 표 3에서 일반로봇의  $-10 \sim 10^\circ$  에서 감지횟수가 59%이고, 퍼지로봇은 85%로 퍼지로봇이 기준선과의 오차가 크게 발생하지 않는다는 것을 알 수 있다. 그리고 그림 15는 표3의 데이터로부터 이동거리에 따른 일반로봇의 변화와 퍼지 로봇의 평균적인 변화 모습으로 일반 로봇의 이동 변화는 좌우 변동이 크지만 퍼지 제어 시스템을 구축한 결과 이동로봇의 이동이 거의 직선운동에 가깝게 된다. 그리고 표 4에서 PID 제어 로봇과 퍼지 제어 로봇을 비교 설명한 것으로 퍼지제어 로봇이 일반 제어로봇에 비해 기준선과의 오차도 줄고, 목적지까지 주행하는데 걸리는 시간도 줄었음을 확인하였다.

이동하는 것이 아닌 주어진 환경 없이 로봇 스스로 외부환경에 적응하여 위치와 방향을 판단하는 시스템<sup>[12]</sup>의 연구가 필요하다.



Fig. 12 Simulation result of left motor



Fig. 13 Simulation result of right motor

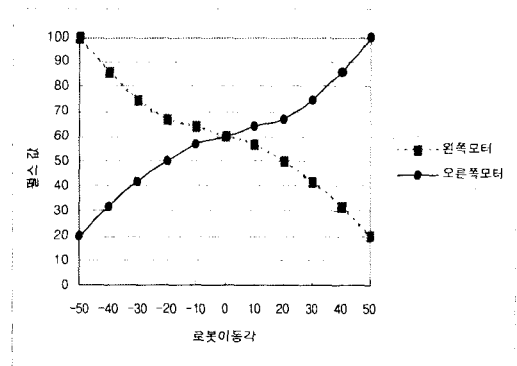


Fig. 14 Velocity control of mobile robot

### 5. 결론

본 연구에서는 기존의 로봇 제어와는 달리 로봇이 외부입력에 바로 적용할 수 있도록 퍼지제어를 적용하여 로봇이 센서로부터 입력을 받으면 즉각적으로 대처할 수 있도록 함으로써 로봇이 주행 경로를 따라 자율적으로 주행할 수 있도록 실험하였다. 실험결과 기존의 로봇제어보다는 퍼지제어를 이용한 방법이 로봇의 위치와 방향을 정확하게 판단하였다. 향후 연구에서는 로봇이 주행 경로를 따라

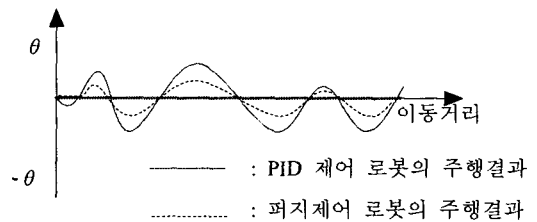


Fig. 15 Navigation result of mobile robot

Table 3 Change value of robot moving

		일반 로봇의 이동 변화(인식 횟수)											총 인식 횟수	이동시간(초)
로봇변화각(°)	실험횟수	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50		
1	0	1	2	2	8	14	9	4	4	2	0	46	24.06	
2	0	4	5	5	9	12	6	4	2	1	0	48	25.02	
3	0	1	4	4	8	13	8	4	4	2	0	48	24.85	
4	0	2	5	5	7	12	6	7	4	2	0	50	25.43	
5	0	2	4	9	10	14	8	2	3	1	0	53	23.30	
6	0	2	5	4	6	17	6	4	4	2	0	50	24.82	
7	0	2	5	5	4	12	9	2	4	1	0	44	25.80	
8	0	1	2	2	8	14	7	4	3	2	0	43	24.50	
평균		22%			59%			19%			100%	24.72		
		퍼지 로봇의 이동 변화(인식 횟수)											총 인식 횟수	이동시간(초)
로봇변화각(°)	실험횟수	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50		
1	0	0	0	3	11	19	10	1	0	0	0	44	21.72	
2	0	0	0	3	10	24	10	2	0	1	0	50	20.51	
3	0	0	2	1	11	17	10	4	1	0	0	46	22.43	
4	0	0	0	3	8	23	8	2	2	0	0	46	21.92	
5	0	1	0	3	12	18	8	3	0	0	0	45	22.07	
6	0	0	1	3	11	20	7	2	0	1	0	45	21.87	
7	0	0	0	5	10	14	10	6	2	0	0	47	23.25	
8	0	1	1	1	11	25	7	0	0	0	0	46	21.06	
평균		8%			85%			7%			100%	21.85		

Table 4 Comparison of PID control robot & fuzzy control robot

		PID 제어 로봇	퍼지 제어 로봇	비고
장점		<ul style="list-style-type: none"> <li>제어기 구성이 쉽다.</li> <li>제어 프로그램 간단하다</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>불확실한 영역(센서와 센서사이) 제어 가능</li> <li>부드럽고 정확한 이동</li> </ul>	
단점		<ul style="list-style-type: none"> <li>불확실한 영역(센서와 센서사이) 제어 불가능</li> <li>이동 시 변화 심함</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>제어기 구성 복잡.</li> </ul>	
평균시간(20m이동시)		24.72초	21.85초	2.87초 단축
기준선과 오차 (감지횟수)	-50 ~ -20°	22%	8%	14% 감소
	-10 ~ 10°	59%	85%	26% 향상
	20 ~ 50°	19%	7%	12% 감소

참고문헌

- Giuseppe Borghi, Vincenzo Caglioti, "Minimum Uncertainty Explorations in the Self-Localization of Mobile Robots," IEEE TRANSACTIONS ON ROBOTICS AND AUTOMATION, Vol. 14, No. 6, DECEMBER 1998.
- Loulin Huang and Jagannathan Kanniah, "An

- Approach for Position Estimation and Navigation of a Mobile Robot," Electronics and Communications Department Singapore Polytechnic, 500 Dover Road, Singapore 139651 REPUBLIC OF SINGAPORE, 1996.
- M. Oussalah, C. Barret, H. Maaref, "Absolute Position Estimation of Mobile Robot," CE 1455, 40 rue du Pelvoux 91020 Evry cedex France,



- 1996.
4. Hans-Joachim von der Hardt, Didier Wolf Rene Husson, "Localization of a Wheeled Mobile Robot using Incremental Odometry, a Gyroscope and a Magnetic Compass," Centre de Recherche en Automatique de Nancy (CNRS URA 821) 2, avenue de la Foret de Haye, 54516 Vandoeuvre, France, 1996.
  5. Pervozvanski, AA and Freidovich, LB, "Robust stabilization of robotic manipulators by PID controllers," Dynamics and Control, Vol. 9, No. 3, pp. 203-222, 1999.
  6. Seraji, H, "A new class of nonlinear PID controllers with robotic applications," Journal of Robotic Systems, Vol. 15, No. 3, pp. 161-181, 1998.
  7. Jetto, L , Longhi, S , and Vitali, D, "Localization of a wheeled mobile robot by sensor data fusion based on a fuzzy logic adapted Kalman filter," Control Engineering Practice, Vol. 7, No. 6, pp. 763-771, 1999.
  8. S. Ishikawa, "A method of autonomous mobile robot navigation by using fuzzy control," Advanced Robotics, Vol. 9, No. 1, pp. 29-52, 1995.
  9. Wong, CC and Chen, CC, "A clustering-based method for fuzzy modeling," IEICE Transactions on Information and Systems, Vol. E82D, No. 6, pp. 1058-1065, 1999.
  10. Helmut Thiele, "On the Concept of Qualitative Fuzzy Set," Proceedings of the Twenty Ninth IEEE International Symposium on Multi-Valued Logic, 1998.
  11. 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.
  12. Jason A. Janet, Ricardo Gutierrez, Troy A. Chase, Mark W. White, John C. Sutton, III, "Autonomous Mobile Robot Global Self-Localization Using Kohonen and Region-Feature Neural Networks," Center for Robotics and Intelligent Machines Department of Electrical and Computer Engineering, North Carolina State University, Raleigh, NC 27695-7911, October 29, 1996.