

## 퍼지 이론을 이용한 이동 로봇의 주행에 대한 연구

◦ 김 현덕, 가 민호, 이 창훈, 박 민용, 이 상배  
연세대학교 전자공학과

## A Study on Navigation of Mobile Robot Based on Fuzzy Theory

Hyun-Doek Kim, Min-Ho Ka, Chang-Hoon Lee, Mignon Park, Sang-Bae Lee  
Dept. of Electronics, Yonsei University

## I. 서론

현재 산업현장에서 쉽게 볼 수 있는 대부분의 산업용 로봇에는 거의 이동기능이 없는 상태이고, 한편으로 전차나 불도저, 자동차등 이동하는 기계는 거의가 인간에 의해 직접적으로 조정되거나 원격에 의해 조정되는 이동기능을 가진 기계들이다.

그러나 점차 작업조건이 복잡해짐에 따라 많은 산업현장에서 자율적으로 움직이는 모빌로봇의 필요성이 매우 증대하고 있고 이에대한 연구도 활발이 진행되고 있다.

그러나, 많은 경우에 로봇이 이동하는 경로상에서나 그 근처에 로봇을 위한 인위적인 랜드마크(LAND MARK)를 필요로 하고, 또 환경 변화에 충분히 적응 할수 없는 등의 문제점이 있다. 한편, 로봇의 이동 지능화에 관해 종래부터 몇몇 연구가 행해지고 있지만, 적응 경로를 구하는 논리적 문제에 부딪히거나 이동에 있어 실시간성이 없거나 환경이 제약되어 있는등 실용화에는 다소 많은 문제가 남아 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해서는 이동로봇에 우선 고차원의 지리를 이해하는 능력에 관한 지능을 가질 필요가 있다. 따라서, 이동 로봇이 지리이해 능력을 갖고 지적이동을 하기위해서는 다음과 같은 요구사항이 제안 되고 있다.

- 1) 로봇이 있는 실세계의 환경에 관한 정보를 지도의 형태로 로봇이 갖고 있어야 하며,
- 2) 현재위치와 목적지가 주어지면 그 지도로부터 목적지까지의 경로를 로봇이 결정하고,
- 3) 로봇은 인위적인 랜드 마크 (LAND MARK)를 이용하지 않고 환경의 변화에 대응해가면서 이동하고,
- 4) 이상의 것을 실시간으로 처리해야 한다.

는 것이 요구된다.

본 연구에서는 로봇에 현재위치와 목적지가 주어지면 로봇이 가지고 있는 세계지도(world map)로부터 경로를 탐색하여 경로의 주위 환경 정보를 가진 경로지도(route map)을 생성하고 이를 해석하여 주행을 하도록 하며, 인간의 주관적 판단에 의한 것과 불완전 계측에 의한 것들을 처리하기위해 퍼지 이론을 이용한 추론및 주행 알고리즘을 제안한다.

## II 본론

### 1. 경로 지도와 표현법

로봇이 주행하는 환경으로 건물내의 바닥은 평평한 복도나 실내의 통로를 설정한다. 로봇은 자기가 갖고 있는 지도와 주위 벽의 상태에 의지해서 이동하게 된다. 벽은 원칙적으로 평면인 벽이 많은 것으로 하고 경로도 직선상의 통로의 조합에 의해 주어지는 것으로 한다.

본 연구에서는 좌우 적임지시, 적임점간의 거리와 불려수등의 진로정보, 경로상의 주변의 상태를 나타내주는 환경정보를 그림.1-1과 같이 모듈화하여 나타내고 있다.

그리고, 로봇이 지나가야 하는 직선경로를 X 축으로 하고 직선경로가 시작되는 진행방향의 변위점을  $x = 0$  으로 하며 경로에대해 수직인 방향을 Y 축으로 하여 로봇의 좌측을 양, 우측을 음으로 하는 좌표계로 표현한다. 즉, 로봇은 X-Y 평면상에 존재하고 로봇이 진행해야하는 경로가 X 축(양의 방향)으로 주어지게 된다.

환경정보로 기술해야하는 내용은 로봇의 환경인식 종류와 능력에 맞출 필요가 있다. 여기서는 일반적인 환경인식용으로 초음파센서를 사용하고 있으며 로봇을 위한 환경정보로서는 진행방향 변위지점에서 새로운 방향으로 이동할 때의 전후좌우 벽까지의 거리및 상태와 주행하는 통로에 따른 좌우 벽까지의 거리, 상태를 제공하고 있다. 로봇이 진행하는 방향의 변위정보와 환경정보를 하나의 불려으로하여 이를 조합함에 따라 이동로봇을 위한 경로지도를 표현하는 것이 가능하다. [2]

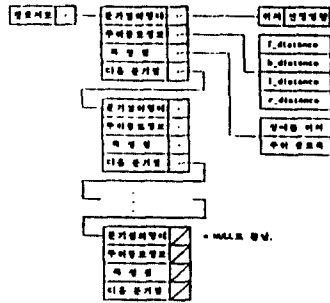


그림 1-1 경로지도 표현법

## 2. 퍼지 제어 이론 및 주행 기능

퍼지 제어는 퍼지논리제어라고도 불리워지는 것과같이 퍼지이론 중에 특히 퍼지논리의 사고방식을 응용한 것이다.

### 2-1절 퍼지추론

2차논리에 의한 추론방법은, 보통 "A 이면 B"라는 함의(implication)을 이용한 긍정법(modus ponens)이 잘 알려져있다. 긍정법은 "A 이면 B가 참"일때, "A가 참"이면 "B는 참"임을 추론하는 것이므로, 도식

$$\begin{array}{l} A \rightarrow B \\ A \end{array}$$

B

(2-1)

또는, 논리식

$$((A \rightarrow B) \text{ and } A) \rightarrow B \quad (2-2)$$

로 표현된다. 여기서, A, B는 명확히 정해진 명제이다.

이렇게 명확히 정해진 명제 A, B에 퍼지개념을 도입한 "현재의 자동차의 주행속도는, 대략 시속 60Km이다" 라는 퍼지명제를, 퍼지조건명제(If x is A then y is B)로 이용하므로써, 긍정법의 일반화가 가능하게 된다.

지금 x, y 를 대상명, A, A'; B, B'를 각각 전체집합 X; Y에 대한 퍼지집합을 나타내는 것으로하면, 긍정법을 다음식과 같이 일반화할 수 있다.

$$\begin{array}{l} \text{전제 1} \quad \text{If } x \text{ is } A \text{ then } y \text{ is } B \\ \text{전제 2} \quad x \text{ is } A' \end{array}$$

$$\text{결론} \quad y \text{ is } B' \quad (2-3)$$

이러한 퍼지명제나 퍼지집합을 포함한 추론을 일반적으로 퍼지추론(fuzzy reasoning) 또는 근사적추론(approximate reasoning)이라 부른다.

일반적으로 퍼지추론에는  $A \rightarrow B$  와  $A'$ 로부터, 직접  $B'$ 을 추론하는 직접법외에, 명제의 퍼지진리값을 구해서 진리값공간에서 추론하는 간접법이 있지만, 퍼지제어등 응용면에서 널리 이용되고 있는 것은 직접법이다.

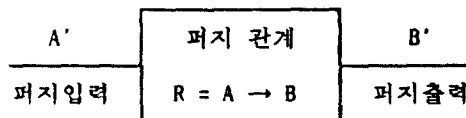


그림 2-1 직접법에 의한 퍼지추론

직접법에 따른 퍼지추론은 퍼지긍정법(fuzzy modus ponens)식의 추론  $B'$ 을, 퍼지집합  $A'$ 과 퍼지조건문  $A \rightarrow B$ 의 합  $B' = (A \rightarrow B) \circ A'$ 로부터 직접 구하도록한 방법이다.

이때, Mamdani의 방법

$$R = A \rightarrow B = A \times B$$

$$\mu_R(x, y) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(y) \quad (2-4)$$

에 따른 추론결과 B'의 멤버십함수는 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} \mu_{B'}(y) &= \max_x [\mu_R(x, y) \wedge \mu_{A'}(x)] \\ &= \max_x [(\mu_A(x) \wedge \mu_B(y)) \wedge \mu_{A'}(x)] \\ &= [\max_x (\mu_A(x) \wedge \mu_{A'}(x))] \wedge \mu_B(y) \\ &= \omega \wedge \mu_B(y) \quad (2-5) \end{aligned}$$

여기서,  $\omega = \max_x (\mu_A(x) \wedge \mu_{A'}(x))$  이다.

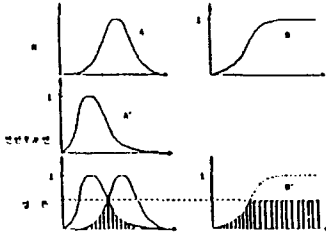


그림 2-1 Mamdani의 방법에 의한 추론과정

### 2-2. 퍼지 제어기

본 논문에서는 종래의 P.I.D 콘트롤러의 제약점을 극복 하고 보다 유연한 로봇의 이동제어와 부정확한 환경정보에 대응 하기위해 퍼지 제어기를 구성하여 적용 시켰다. 퍼지제어기 에서는 다음과 같은 4개의 퍼지 입력변수와 로봇의 속도와 방향을 제어 하기 위한 두개의 출력 변수를 사용 하고 있다.(그림 2-2)

#### 1) 퍼지 입력변수

$L_f$  = 정면의 장애물, 혹은 벽까지의 거리

$R_f$  = 우측 벽면과의 거리

$0$  = 로봇의 진행각

$L_l$  = 좌측 벽면과의 거리

#### 2) 퍼지 출력변수

$\Delta U_d$  = 방향 제어변수

$\Delta U_r$  = 속도 제어변수

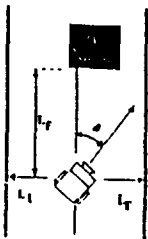


그림 2-2 퍼지 입력변수

### 2-3. 퍼지제어 알고리즘

방향 변경및 장애물 회피 모드에서는 아래의 퍼지 추론법3을 이용하여 알고리즘을 구성한다. [3]

다중 입력과 단일출력 제어기에 대한 퍼지제어규칙은 다음과 같다.

i번째 프렌트 제어규칙은

$$\begin{aligned} R^i : & \text{if } x_1 \text{ is } A_1^i, x_2 \text{ is } A_2^i, \dots, x_n \text{ is } A_n^i \\ & \text{then } y^i = f_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (3-1) \end{aligned}$$

이고, 여기서  $A_j^i$ 는 퍼지 변수이며  $f_i$ 는

$y_i = P_0^i + P_1^i x_1 + \dots + P_n^i x_n$  (3-2)  
 인 선형식이다. 이때 입력  $x_1^0 - x_n^0$  에 대한  $R^0$ 의 전건부의 적합도는

$$W_i = \prod_{j=1}^n A_j^i(x_j^0) \quad (3-3)$$

이며 출력  $y^0$ 는  $m$ 개의 규칙으로부터  $y_i$ 의 가중평균값으로 한다. 즉,

$$y^0 = \frac{\sum_{i=1}^m W_i y_i}{\sum_{i=1}^m W_i} \quad (3-4)$$

이다.

#### 2-4. 진행 모드

##### 1) 직진 모드(Go straight Mode)

직진 모드에서는 두입력변수  $d, \theta$  와 4가지의 퍼지 추론 으로 구성 하였다.

$d$ : 길의 중심선으로부터 로봇트의 중심까지의거리

$\theta$ : 로봇트의 주행 방향각

o inference rules

$R_5^1$ : If  $d$  is left and  $\theta$  is middle then  $U$  is PB

$R_5^2$ : If  $d$  is right and  $\theta$  is middle then  $U$  is NB

$R_5^3$ : If  $d$  is left then  $U$  is PS

$R_5^4$ : If  $d$  is right then  $U$  is NS

그림 2-3 은 세변수  $d, \theta, U$  의 멤버십 함수 이다.

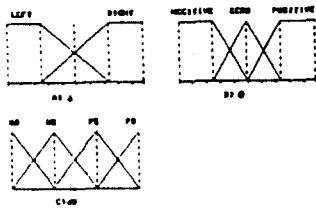


그림 2-3  $d, \theta, U$

2) 회전모드(Turning Mode) 본 논문에서는 8가지의 가능한 회전모델을 제안하였고 (그림 2-4) 이때 사용하는 변수로서는  $L_L, L_R, dV$ 를 사용하였고 퍼지추론틀은 Table 2-1 와 같이 구성 하였다.



그림 2-4 8 개의 회전 모델

$L_L$ : 왼쪽 벽까지의 거리

$L_R$ : 오른쪽 벽까지의 거리

$dV$ : 회전 방향

위의 세변수에 대한 멤버십 함수의 그래프는 그림 2-5와 같다.

Table 2-1 회전모드에 대한 퍼지추론 틀

| $dU$  |       | $dV$     |      |          |
|-------|-------|----------|------|----------|
| $L_L$ | $L_R$ | Positive | Zero | Negative |
| S     | S     | NB       | Zero | PB       |
| S     | M     | NS       | Zero | PS       |
| S     | B     | NB       | NS   | Zero     |
| M     | S     | Zero     | PS   | PB       |
| M     | M     | PS       | PB   | PB       |
| M     | B     | Zero     | PS   | PB       |

|   |   |    |    |    |
|---|---|----|----|----|
| B | S | PB | PB | PB |
| B | M | PS | PB | PB |
| B | B | PB | PB | PB |

S : Small                      PS : Positive Small  
 M : Medium                    Zero : Zero  
 B : Big                         NS : Negative Small  
 PB : Positive Big            NB : Negative Big

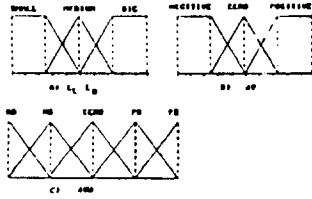


그림 2-5 멤버십 함수  $L_L, L_R, U$

2-5. 주행관리(Running Management)

이러한 알고리즘을 바탕으로 로봇트는 주행계와 환경센서로부터 정보를 얻고 경로 지도와 비교, 조합하여 지도상의 벽상태 변화점과 진로변위지점에 도달했는지를 조사하고, 그것이 확인되면 지도상에서 로봇트의 현재위치를 나타내고있는 포인터(pointer)를 갱신하고, 필요에 따라 진로의 변위를 주행계에 지시한다.

현재위치의 확인은 로봇트의 주행계가 차륜의 회전등으로부터 누적계산하여 구한 축정값을 기본으로 한다. 차륜형의 이동로봇트는 바닥면이 평탄하면 어느정도까지는 정확하게 현재의 위치를 계산할 수 있다. 그러나, 초기상태의 위치와 방향오차, 바닥면의 요철, 차륜의 미끄럼, 주행계측계의 오차등으로인해 거리 오차가 누적되는 현상이 발생하기 때문에 어느정도 이상의 먼거리 주행에서는 이동량의 누적계산만으로 제어할 수 없다. 따라서, 여기서는 로봇트가 누적계산에 의해 현재위치와 방향값  $(x, y, \theta)$ 를 적정 지도정보와 환경센서정보에 의해 보정하는 방법을 사용한다[5]. 방향변위는 진로 변위지점 근방에 도달했는지를 판단하고, 환경센서정보와 지도정보를 비교하여 허용치 내에 있을경우 주행계에 진행방향 변위지시를 준다.

이상의 주행기능이 하는 역할을 정리하면 다음과 같다.

- 가. 경로지도에 따른 직진및 진행방향 변경의 실행.
- 나. 지도정보와 환경센서 정보를 이용한 현재위치의 확인및 진로 수정.
- 다. 동로주변의 환경이 지도와 다른 경우 지도갱신및 관리프로세스로 통지.
- 라. 진행도중 장애물 발생시 이에 대처.
- 마. 이상의 동작을 실시간으로 수행.

3. 전체 시스템의 구성

지능형 이동로봇트는 아래와 같이 각각의 독립모듈로 구성되어 각 기능을 수행하며, 시스템의 블럭도는 그림.4-1과 같다.

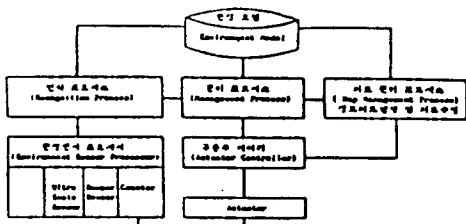


그림 4-1-a NAS-1 의 시스템 구성도

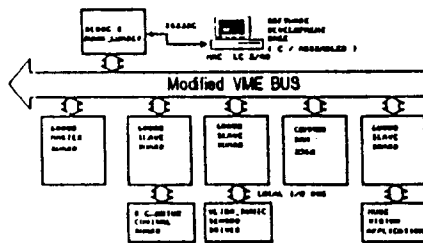


그림 4-1-b NAS-1 의 하드웨어 구성도

(1) 환경센서 모듈

로봇의 진행방향에 대해 전후 각 1개씩, 좌우에 각 2개씩 6개의 레인지(range) 센서를 가지고 있으며 이 레인지 센서는 초음파에 의한 것이고 불의 충돌을 방지하기 위한 범퍼(bumper)센서로 이루어져있다.

이 로봇의 전후의 레인지 센서는 주로 주행중에 진로를 방해하는 것을 검출하거나 진로변경시 앞벽의 거리검출을 위해 사용된다. 그리고 좌우의 레인지센서는 벽의 형상 및 벽에 대한 자기의 위치관계 및 진로방향 각도를 알기위해 사용된다[6].

(2) 이동기구 모듈

로봇의 이동기구는 2개의 DC서보모터와 더블 PLL 및 PWM 의 구동제어부로 평면위를 움직이는 기능을 갖고, 주어진 지시에 따라 직진 및 가감속으로 진행방향의 변경 및 정지가 가능하다. 또, 차륜에 부착된 회전센서(pulse encoder)에 따라 평면위에서 자기의 위치, 자세를 적당한 오차범위내에서 파악 가능하다. 이 값은 오차가 누적되는 문제점이 있으므로 일정기간 마다 보정을 필요로 한다.

또, 이 로봇트가 가진 직진 기능은 주어진 직선위를 주행하는 경우 궤적이 지시된 직선위를 벗어나도 내계센서 및 환경센서에서 검출되면 앞에서 기술한 퍼지추론법에 의해 자율적으로 그 직선으로 복귀하도록 제어된다.

그리고, 장애물에 대해서는 발생시 잠시간 장애물이 없어지는 것을 기다리고, 없어지면 계속 주행하고, 그렇지 않으면 장애물 회피동작을 행한다[3][7].

(3) 경로지도 발생, 갱신 및 관리모듈

로봇트가 활동하는 전체환경의 지도를 데이터베이스로 작성해두고, 현 위치와 목적지가 주어지면, 이에 따라 적절한 경로를 찾아 경로지도를 발생하고, 환경변화시 지도를 갱신[8]하며 위치정보의 수정을 주행계에 요구하게 된다. 이러한 전체시스템을 관리프로세스는 변경정보의 흐름 및 각 모듈의 상태를 관리한다.

4. 실험 및 결과 고찰

4-1절 이동로봇트의 운동학

로봇트의 움직임은 시스템역학으로 간주되며, 이산형선형시변방정식으로 표현되어진다. 로봇트의 위치와 방향은 그림 4-1과 같은 2구동륜과 1캐스터 (2DWIC)의 기구에서는 절대좌표로 시스템의 상태변수 들을 구할 수 있다.

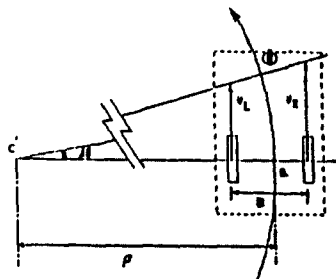


그림 4-1 2자유도(2DWIC) 이동로봇트

이동로봇트에서  $V_R$ ,  $V_L$ 을 각각 오른쪽, 왼쪽 바퀴의 속도라 하고, B를 두 바퀴 사이의 거리라 하면, 몸체의 평균이동속도  $V_a$ 와 점 Q에서의 경로의 곡률  $\rho$ 은 다음과 같은 관계를 가진다.

$$V_a = \frac{V_R + V_L}{2} \tag{4-1}$$

$$\frac{1}{\rho} = \frac{2(V_R - V_L)}{B(V_R + V_L)} \tag{4-2}$$

방정식에서의 변수들을 그림 4-1에 나타낸다. 이러한 변수를 사용해서 아래의 시스템 역학식이 구해진다.

$$\theta(k+1) = \theta(k) + \Delta\theta \quad (4-3)$$

$$x(k+1) = x(k) + \rho(k) \{ \sin\Delta\theta \cos\theta(k) - (1 - \cos\Delta\theta) \sin\theta(k) \}$$

$$y(k+1) = y(k) + \rho(k) \{ \sin\Delta\theta \sin\theta(k) + (1 - \cos\Delta\theta) \cos\theta(k) \}$$

이 방정식은  $V_R = V_L$  일때를 제외하고는 로봇의 움직임을 완전하게 표현한다. 로봇이 직선경로를 따라 직진할때, 즉  $V_R$ 이  $V_L$ 과 일치하면,  $\Delta\theta$ 는 0이고,  $\rho$ 는 계산되지 않는다. 이러한 문제 및 복잡성을 피하기 위하여, 다음과 같이 근사화된 식을 얻을 수 있다.

$$\Delta\theta = \frac{(V_R - V_L)}{B} \cdot T \quad \Delta D = \frac{V_R + V_L}{2} \cdot T \quad (4-4)$$

여기서, T는 샘플 주기이고,  $\Delta D$ 는 샘플 주기에 로봇이 이동한 거리를 나타낸다.

$$\theta(k+1) = \theta(k) + \Delta\theta \quad (4-5)$$

$$x(k+1) = x(k) + \Delta D \cos(\theta(k) + \Delta\theta/2) \quad (4-6)$$

$$y(k+1) = y(k) + \Delta D \sin(\theta(k) + \Delta\theta/2) \quad (4-7)$$

따라서, 양쪽 바퀴의 속도와 움직인 거리를 측정하므로 궤적제어를 할 수 있다.

#### 4-2절 퍼지제어 알고리즘

제어를 위해 센서로 부터 얻어진 입력으로는 다음과 같은 네가지 파라미터로 제어기의 입력으로 주어지게된다.

$L_f$  : 로봇에서 앞벽 또는 장애물까지의 거리

$L_R$  : 로봇에서 오른쪽 벽까지의 거리

$\theta$  : 로봇의 진행 방향각

$L_L$  : 로봇에서 왼쪽 벽까지의 거리

이 있다.

센서로 부터의 입력 데이터를 받아서 퍼지제어기는 좌우 구동륜으로 속도 지령값을 주게된다.

각 구동륜의 명령속도는 다음 식으로 주어진다.

$$\begin{aligned} U_L(k) &= U_L(k-1) - \Delta U_d + \Delta U_f \\ U_R(k) &= U_R(k-1) + \Delta U_d + \Delta U_f \end{aligned} \quad (4-8)$$

$\Delta U_d$ : 방위제어입력

$\Delta U_f$ : 가감속도 제어입력

방위제어는 이동로봇의 진행방향 정보와 구동륜의 속도차  $\Delta V$ 로부터 방위제어입력  $\Delta U_d$ 를 퍼지추론에 의해 구한다.

$$\begin{aligned} \Delta V(k) &= V_R(k) - V_L(k) = U_R(k) - U_L(k) \\ &= U_R(k-1) - U_L(k-1) + 2\Delta U_d \\ &= \Delta V(k-1) + 2\Delta U_d \end{aligned} \quad (4-9)$$

$$\Delta V(k) - \Delta V(k-1) = 2\Delta U_d \quad (4-10)$$

식(4-10)로 부터, 방위제어입력은 속도차가 없는 경우  $\Delta V(k-1)=0$ 일때, 뿐만아니라, 그 외의 경우는  $\Delta U_d$  값은 가속도 성분에 해당하므로 방위 변화값이 된다.

가감속도 제어입력  $\Delta U_f$ 는, 각 모드에서 요구되는 목표속도를  $V_c$ , 로봇의 이동속도를 식(4-1)의  $V_a$ 라 하면,

$$\Delta U_f = V_c - V_a \quad (4-11)$$

로 결정된다.

따라서, 요구되는 목표속도  $V_c$ 를 통로에 해당하는 경로( 직진모드 )에서는 큰 값으로, 분기점에 해당하는 경로( 회전모드, 장애물회피모드 )에서는 작은 값으로 주어써 각 모드에서 방위제어입력 등에 영향을 받지 않도록 일정한 이동속도를 유지시켜서 효과적인 제어를 하게된다.

직진모드(Go Straight Mode)에서는 위치와 방향으로 부터 결정된 이동로봇의 상태에 대해 목표선을 따라 직진하도록 제어한다. 제어입력으로는 목표선으로부터 로봇의 중심까지의 거리를  $d$ , 방향을  $\theta$ 라 할 때, 목표선으로부터의 거리  $d$ 값은 진행방향에 대해 목표선의 좌측을 양, 우측을 음으로 정하고, 퍼지변수로는 Left, Right로 한다. 그리고, 방향  $\theta$ 에 대한 변수로는 Left, Middle, Right의 3가지로 하며, 방위제어 입력에 대해서는 PB, PS, NS, NB로 한다.

앞에서 기술한 알고리즘을 토대로 본 연구실에서 제작한 자립형 이동로봇 NAS 1호



를 가지고 본교의 공학관 3층 복도내에서 주행실험을 행하였다.

초음파 센서로 부터의 거리정보의 불확실성 때문에 주로 직진 모드에서의 시뮬레이션과 실험을 행하였다.

그림 4-2는 본연구실에서 작성한 퍼지 시뮬레이션 프로그램 Muffy로부터 멤버십 함수의 형태를 바꾸어 가며 시뮬레이션 해본 결과로서 이로부터 퍼지제어에 있어 멤버십 함수의 형태와 값에 민감하게 로봇의 운동 궤적이 변함을 알수 있다.

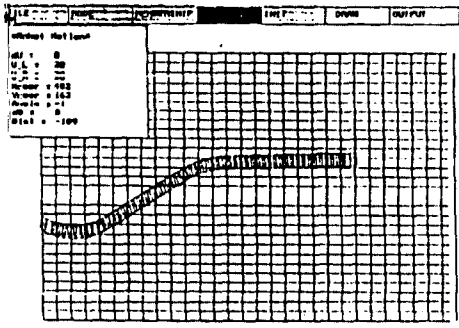
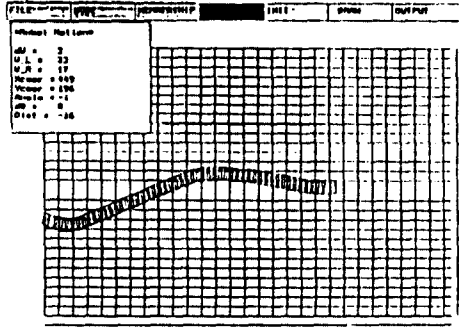


그림 5-2 a) 직진모드의 실험

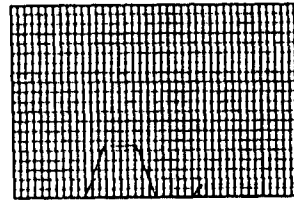
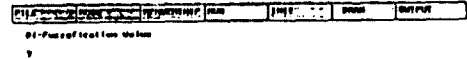


그림 5-2 b) 퍼지추론 결과 멤버십 함수

### Ⅲ. 결 론

주행과 경로 선정은 지능형 이동 로봇에서 가장 중요한 문제이다. 그러므로 불규칙한 환경변화에 적응 할수

있는 제어 알고리즘의 실현은 매우 중요한 의미를 갖는다. 센서정보의 오차 및 불확실성 등에 예외 처리가 기존의 방법보다 용이하고 병렬 분산제어, 논리형 제어 및 애매한 정보에 따른 언어적 제어의 장점을 가진 퍼지이론을 이용하여 부분 구간에 대해서는 인간의 행동을 모사하여 환경에 적절히 대응 하는 특성을 보여 주었다.

끝으로 좀더 복잡한 환경에서의 경로 발생 알고리즘과

멀티센서를 이용한 복잡한 환경의 정확한 인식에 대한 연구가 앞으로 성취 되어야 할 과제이다.

### 참고문헌

- [1] C.Isik and A.M.Meystel, " Pilot level of a hierarchical controller for an unmanned mobile robot," in Proc. IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol.4, No.3, JUNE 1988.
- [2] C.Isik, " Inference hardware for fuzzy rule-based systems," in Fuzzy Computing: Theory, Hardware and Applications, M.M.Gupta and T.Yamakawa, Eds. Amsterdam, The Netherlands : North-Holland, 1988.

- [3] A. Elfes, " Sonar-based real-world mapping and navigation," Vol.RA-3, NO.3, JUNE, 1987.
- [4] R.L.Madarasz, L.C.Heiny, R.F.Crompt and N.M.Mazur," The design of an autonomous vehicle for the disabled," in Proc. IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol.RA-2, No.3, SEPTEMBER 1986
- [5] Y.Kanayama and S.Yuta, " Vehicle Path Specification by a sequence of straight lines," in Proc. IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol-4, No.3, JUNE 1988.
- [6] J.L.Crowley, " Navigation for an intelligent mobile robot ", in Proc. IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol.RA-1, No.1, MARCH 1985.
- [7] K.Kamejima and Y.C.Ogawa, " Visual guidance of mobile robots via recursive image processing mechanism," J. Robotics Soc. Japan, Vol.5, No.5, October 1987.
- [8] P.H.Mowforth and P.Grant, " From task level planning to Analogical navigation," in Proc. IEEE /RSJ International Workshop on IROS'89, Tsukuba Center for Institutes, Tsukuba, Japan, Sept.4-6, 1989.
- [9] H.Takahashi, T.Morita, Y.Maruya and A.Okuno, " Obstacle avoidance of a mobile robot with multiple sensors ", in Proc. IEEE/RSJ International Workshop on IROS'89, Tsukuba Center for Institutes, Tsukuba, Japan, Sept.4-6, 1989.
- [10] M.sugeno and M.Nishida, " Fuzzy control of model car," in Fuzzy Sets and Systems 16, pp 103 - 113, Elsevier Science Publishers B.V., North Holland, 1985.