

# 차륜형 이동로봇의 경로제어시스템에 관한 연구

오 정 석\* · 하 윤 수\*\*

## A Study on the Path Control System for a Wheeled Mobile Robot

Jung-Seok OH\* · Yun-Soo Ha\*\*

### Astract

This paper describes the path control system for a mobile robot driven by two different wheels. In order for the mobile robot successfully to carry out its role in a given environment, the path control is very important, because it is basic step in the accurate mobile robot positioning system. To achieve the path control system, this paper presented two parts. First, we choice a wheeled mobile robot model, and discuss the it's structure, locomotion parameter and hierarchy of the path control system. The path control system consists of three parts: wheel seep controller, power wheeled steering controller, Path tracking controller. These three controllers are constructed for more effective system modeling and programming. Secondly, describes two path tracking algorithms. One is used the linear regulator control scheme, an other is used the fuzzy logic control scheme. To compare two path control algorithms, the simulation results are reported in this paper. The wheel speed control system is simulated by MATLAB and two path tracking algorithms are tested in a set of simulation.

### 제 1 장 서 론

현대의 모든 산업분야에서는 컴퓨터 기술의 발전에 힘입어 제 2의 산업혁명이라 할

---

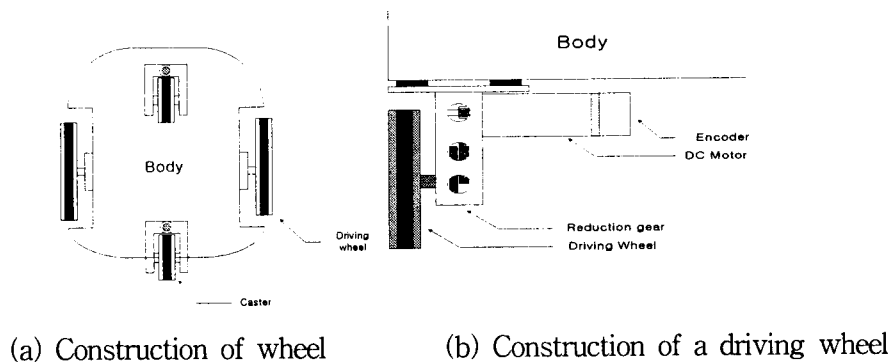
\* 한국해양대학교 제어계측공학과 석사과정 제어계측전공

\*\* 한국해양대학교 자동화·정보공학부 교수

수 있는 자동화(Automation)문제에 많은 관심이 집중되고 있다. 일반적으로 자동화를 위해 현재 산업현장에서 사용되고 있는 대부분의 로봇은 인간을 대신하기에는 아직까지 부족함이 많다. 로봇이 일정한 장소에 고정 배치되어 작업을 수행하는 고정형 로봇 머니플레이터(Manipulator)이기 때문에 링크길이의 한계로 인해 작업영역이 한정되어 있다는 것도 그 중 하나 일 것이다. 이러한 로봇의 작업영역의 제한성을 극복하기 위하여 임의의 작업공간에서 원하는 위치로 이동이 가능한 이동로봇(Mobile robot)에 대한 필요성이 요구되어 지고 있는 실정이다. 이동로봇이 임의의 환경에서 주어진 임무를 성공적으로 수행하도록 하기 위해서는 사전에 계획되거나 주행 중 자신의 환경인식 시스템으로부터 실시간으로 주어지는 목표경로를 따라 주행하도록 하는 경로추종제어를 포함한 주행제어시스템에 관한 충분한 연구가 진행되어야 할 것이다. 이중 차륜형 이동로봇을 대상으로 한 경로추종제어에 관한 몇몇 연구결과가 보고되고 있는데 이들은 대부분 선형 레귤레이터를 근거한 방법을 이용하고 있다. [1][2][6][7] 이 방법은 간단한 계산식에 의해 제어입력을 구할 수 있는 장점은 있으나 적절한 계인을 설정하기 위해서는 여러번의 시행착오를 거쳐야 하고 경우에 따라서는 비선형특성으로 인한 영향이 나타나는 등 몇가지 문제점이 발생할 수도 있다. 따라서 본 논문에서는 별도의 조향장치 없이 좌우의 구동륜을 독립적으로 제어함으로써 주행방향을 제어하는 PWS(Power wheeled steering)방식의 차륜형 이동로봇의 경로추종제어에 있어서 선형 레귤레이터에 의한 방법을 이용했을 때의 문제점을 도출하고 이를 해결할 수 있는 퍼지 로직을 이용한 새로운 경로추종제어 알고리즘을 제안한다. 또한 모의실험을 통하여 기존의 선형 레귤레이터에 의한 경로추종제어성과 퍼지 로직을 이용한 새로운 경로추종제어성을 비교, 분석하므로 그 타당성을 입증한다.

## 제 2 장 대상 이동로봇 시스템

본 논문에서 취급하게 될 대상 이동로봇의 구조를 그림 2.1에서 나타낸다.



(a) Construction of wheel (b) Construction of a driving wheel

Fig 2.1 Configuration of a robot vehicle

그림 2.1의 (a)는 차륜의 구조를 나타내는 것으로서, 좌우에 각각의 DC모터에 의해

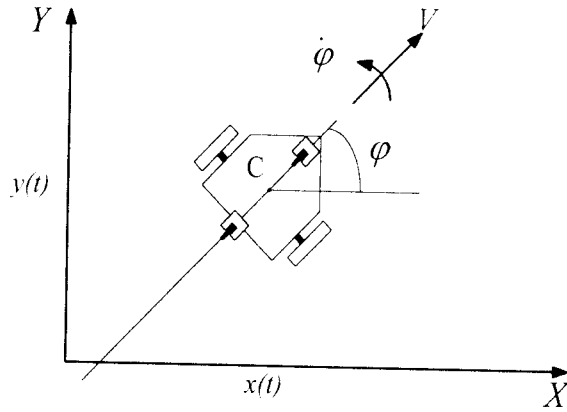


Fig 2.2 Coordinate and locomotion variables

독립적으로 구동되는 구동륜과, 전후에 로봇의 자세를 보조하며 자유롭게 회전이 가능한 자세보조륜(Caster)을 가진다. 그림 2.1 (b)는 구동부의 구조를 나타내는 것으로 구동륜(Driving wheel)은 감속기어를 거쳐 구동모터에 연결되어 있으며, 속도검출센서를 통해 구동륜의 속도를 검출한다.

이와 같은 구조를 가지는 이동로봇의 주행관련 변수는 그림 2.2와 같이 로봇 중심 (C)의 병진속도  $V$ 와 회전각속도  $\dot{\phi}$ 로 나타낼 수 있다. 따라서 임의의 위치에서 원하는 목표위치까지 로봇을 이동시키는 것은, 병진속도  $V$ 와 회전각속도  $\dot{\phi}$ 를 적절히 제어함으로써 가능하다는 것을 알 수 있다.<sup>[3]</sup>

## 제 3 장 경로 제어 시스템

### 3.1 경로 제어 시스템의 구성

일반적으로 복잡한 제어시스템을 구성할 때, 기능별로 구조화하는 것이 프로그램의 수정 및 보완을 용이하게 할 뿐만 아니라 병렬로 개발이 가능하게 하는 장점이 있다. 따라서 본 논문에서는 차륜형 이동로봇의 경로 제어 시스템을 그림 3.1과 같이 차륜 속도제어기(Wheel speed controller), PWS제어기(Power wheeled steering controller), 경로 추종 제어기(Path tracking controller)로 구조화 하여 구성하였다. 임의의 목표경로가 주어지면 경로 추종 제어기는 로봇의 현재 위치 및 방위와 주어진 목표경로와 비교하여 목표주행속도  $V_{ref}$ 와 목표회전각속도  $\omega_{ref}$ 를 결정한다. 이를 근거로 PWS제어기는 각 차륜의 목표회전각속도  $\omega_{rref}$ ,  $\omega_{lref}$ 을 생성하고, 차륜속도제어기는 목표회전각속도와 현재의 로봇의 회전각속도로부터 구동모터에 공급하게 될 목표전압을  $U_{rref}$ ,  $U_{lref}$ 를 계산한다. PWM Generator는 목표전압  $U_{rref}$ ,  $U_{lref}$ 에 따른 PWM 신호를 모터드라이브로 출력하게 되고 이에 의해 구동모터가 구동된다. 이하에서는 각 제

여기의 설계에 대해 상세히 언급한다.

### 3.2 차륜속도제어기

#### 3.2.1 수학적 모델링

본 논문에서 대상으로 하는 이동로봇과 같이 좌우 차륜이 독립적으로 구동되는 경우, 차륜계 특성의 불일치로 인한 로봇 중심의 회전은 PWS제어로서 극복되어 질 수 있는 것으로 가정하여 양 차륜계의 특성이 동일한 것으로 간주한다. 또한 DC모터의 회전 속도제어를 위해 전기자 전압을 제어하는 것으로 가정하고 전기자 전압  $u$  와 모터의 회전각속도  $\omega$ 의 관계를 나타내면 식(3.1)과 같다.

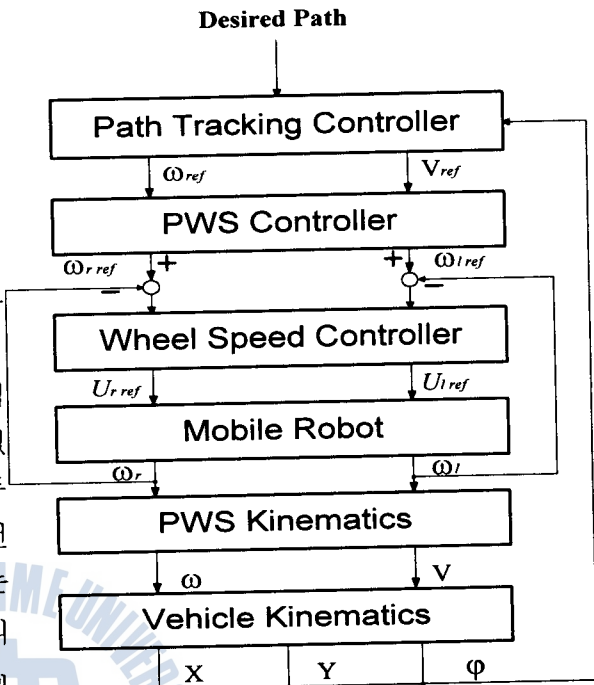


Fig 3.1 Hierarchy of the path control system

$$\frac{Q(S)}{U(S)} = \frac{K}{(1 + TS)} \tag{3.1}$$

단,  $T$ 와  $K$ 는 다음과 같다.

$$K = \frac{k_t}{f}, \quad T = \frac{J}{f}, \quad J = J_m + n^2 J_L, \quad f = f_m + n^2 f_L$$

$K$  : 정상이득,  $T$  : 시정수,  $J$  : 관성모멘트,

$J_m$  : 모터축의 관성모멘트,  $J_L$  : 차륜 및 몸체의 관성모멘트,

$f$  : 모터축의 마찰계수,  $f_m$  : 모터축의 마찰계수,

$f_L$  : 차륜 및 몸체의 마찰계수,  $k_t$  : 모터의 토크 상수,  $n$  : 감속기어비

#### 3.2.2 차륜의 속도제어 알고리즘

차륜의 속도제어기는 최적 제어기법을 이용하여 설계되었다. 목표속도와 추정속도의 차에 대한 적분치를 하나의 상태변수로 추가한 확장된 시스템에 평가함수  $J$

$$J = \int (\Delta \dot{x}^T(t) \tilde{Q} \Delta \dot{x}(t) + \Delta u^T(t) \tilde{R} \Delta u(t)) dt \quad (3.2)$$

단,  $\tilde{Q} = \tilde{Q}^T \geq 0$ ,  $\tilde{R} = \tilde{R}^T > 0$  이다.

를 최소화 하는 최적제어 입력  $u(t)$  는 다음과 같다

$$u(t) = \alpha \omega_{ref} - \tilde{g}_1(\omega_{ref} - \omega(t)) - \tilde{g}_2 \int (\omega_{ref} - \omega(t)) dt \quad (3.3)$$

단,  $\alpha = \frac{1}{K}$  이다.

식 (3.3)과 같이 표현되는 속도제어기를 갖는 좌우 차륜의 속도제어시스템은 그림 3.2와 같이 나타낼 수 다.<sup>[45]</sup>

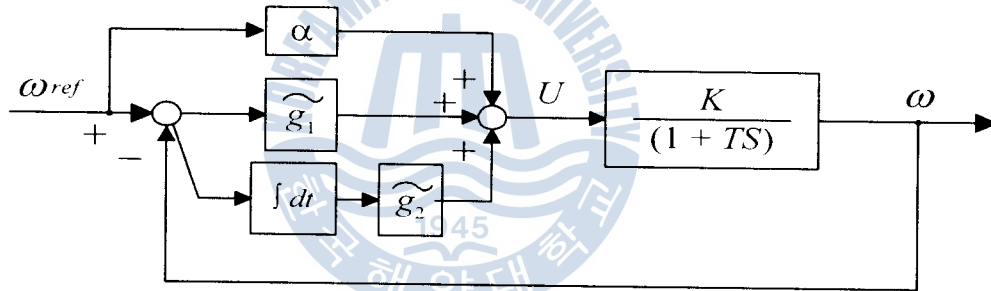
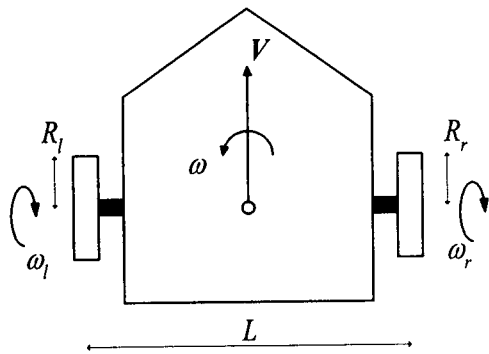


Fig 3.2 Block diagram of the wheel speed control system

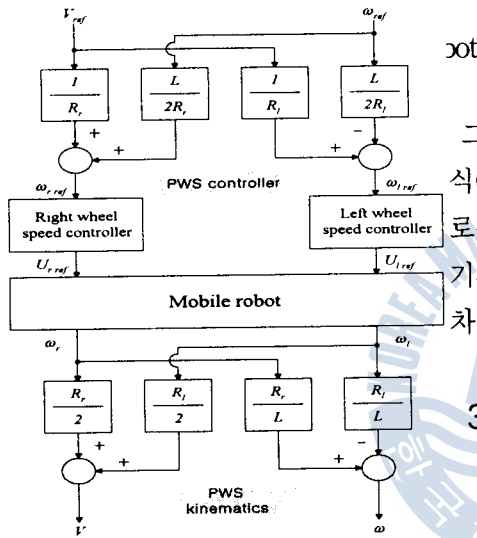
### 3.3 PWS 제어기

본 연구에서 대상으로 하는 이동로봇은 방향을 제어하는데 있어 별도의 장치를 가지고 있지 않다. 따라서 이동로봇의 방향 제어는 양 구동륜을 독립적으로 제어함으로 구동륜의 속도 차에 의해 방향을 제어하는 PWS방식을 채택하였다. 그림 3.3에서 PWS 제어방식의 이동로봇에서 로봇 중심의 속도를  $V$ , 로봇 중심의 회전각속도를  $\omega$ , 좌우 차륜의 회전각속도를 각각  $\omega_r, \omega_l$ , 좌우 차륜간 간격을  $L$ , 좌우 차륜의 반경을  $R_r, R_l$  이라고 하면 이들간의 관계식은 식(3.4)와 같이 나타내어고 이로부터 그림 3.1에 나타난 각 차륜의 목표회전각속도  $\omega_{rref}, \omega_{lref}$  는 식(3.5)와 같이 주어진다.<sup>[46]</sup>



$$\begin{bmatrix} V \\ \omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{R_r}{2} & \frac{R_l}{2} \\ \frac{R_r}{L} & -\frac{R_l}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_r \\ \omega_l \end{bmatrix} \tag{3.4}$$

$$\begin{bmatrix} \omega_{rref} \\ \omega_{lref} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{R_r} & \frac{L}{2R_r} \\ \frac{1}{R_l} & -\frac{L}{2R_l} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{ref} \\ \omega_{ref} \end{bmatrix} \tag{3.5}$$



not

그림3.4는 이동로봇의 방위제어를 위해 식(3.4)와 식(3.5)를 이용하여 구성한 PWS제어기를 포함한 로봇 방위제어시스템의 블록선도를 나타낸다. 여기서 좌우의 차륜속도제어기는 그림 3.2에 나타난 차륜 속도제어기에 해당한다.

### 3.4 위치 및 방위의 추정

로봇의 움직임을 제어하기 위해서는 차륜의 회전정보를 알 필요가 있다. 양 차륜의 회전수가 계측가능하다면 그 누적계산에 의해 로봇자신의 위치 및 방위를 추정할 수 있다. 시각  $t$ 에 있어서

Fig 3.4 Block diagram of the system including the PWS controller

의 로봇의 병진속도를  $V(t)$ , 회전각속도를  $\dot{\varphi}(t)$ 로 두면 로봇의 현재 위치  $x(t)$ ,  $y(t)$ 와 방위각  $\varphi(t)$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} x(t) &= x_o + \int V(t) \cos \varphi(t) dt \\ y(t) &= y_o + \int V(t) \sin \varphi(t) dt \\ \varphi(t) &= \varphi_o + \int \dot{\varphi}(t) dt \end{aligned}$$

여기서  $x_o$ ,  $y_o$ 는 로봇의 초기위치이고  $\varphi_o$ 는 초기 방위각이다.

## 제 4 장 경로 추종 제어

### 4.1 제어전략 및 목표경로

이동로봇이 2차원 평면상에서 주어진 목표경로를 잘 추종하면서 주행하도록 하기 위해서는 로봇의 병진속도 및 위치제어 및 로봇 중심의 회전각속도 및 방위제어를 동시에 행하여야 한다. 그러나 종래부터 이 둘을 분리해서 독립적으로 제어하는 방법이 이용되어져 왔다. 따라서 본 논문에서도 이 두가지 요소를 독립적으로 제어하는 것으로 가정한다. 또한 회전시 로봇 중심의 병진속도는 변화시키지 않는 것으로 가정한다.<sup>[8]</sup> 또한 로봇의 목표경로에는 직선, 곡선 등의 여러 형태의 경로를 가질 수 있으나 곡선경로의 경우는 짧은 직선경로의 연결로 근사화할 수 있고 실제 미지의 작업영역에서의 환경센서를 이용한 주행시 곡선경로의 파악은 거의 불가능하다. 따라서 본 논문에서는 로봇에 주어지는 목표경로는 직선경로인 경우에만 취급하기로 한다.<sup>[9]</sup>

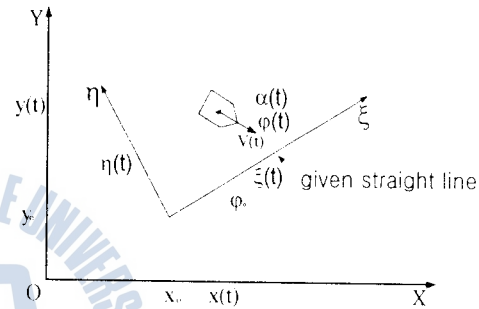


Fig 4.1 Straight line tracking control

### 4.2 선형 레귤레이터에 근거한 경로추종제어

그림 4.1에서와 같이 현재의 로봇 위치와 방위가  $(x(t), y(t), \varphi(t))$ 이고 속도  $V(t)$ 로 주행하고 있는 로봇을 X축과  $\varphi_0$ 를 이루고 좌표  $(x_0, y_0)$ 를 지나는 유향직선에 추종시키는 문제를 생각하자.<sup>[6][7]</sup>  $(x(t), y(t), \varphi(t))$ 는 기존의 X-Y 좌표계가  $(x_0, y_0)$ 만큼 병진하고  $\varphi_0$ 만큼 회전한 새로운  $\eta-\xi$  좌표계 상의  $(\eta(t), \xi(t), \alpha(t))$ 로 식 (4.1) 과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \xi(t) \\ \eta(t) \\ \alpha(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi_0 & \sin \varphi_0 & 0 \\ -\sin \varphi_0 & \cos \varphi_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(t) - x_0 \\ y(t) - y_0 \\ \varphi(t) - \varphi_0 \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

여기서 이동로봇을 목표경로에 추종시키는 것은 새로운  $\eta-\xi$  좌표계상의  $\xi$ 축에 추종시키는 문제와 같다. 이것은 새로 생성된 좌표값의  $\eta(t)$ 와  $\alpha(t)$ 를 점근적으로 "0"가 되도록 로봇의 방위  $\dot{\varphi}(t)$ 를 결정하는 것이므로 선형 레귤레이터 문제 해석되어 질 수 있다.<sup>[8]</sup> 따라서 샘플링시간  $\Delta t$  후의 로봇의 회전각속도  $\dot{\varphi}(t + \Delta t)$ 는 식

(4.2)와 같이 주어진다.

$$\dot{\varphi}(t+\Delta t) = -k_{\eta}\eta(t) - k_{\alpha}\alpha(t) \tag{4.2}$$

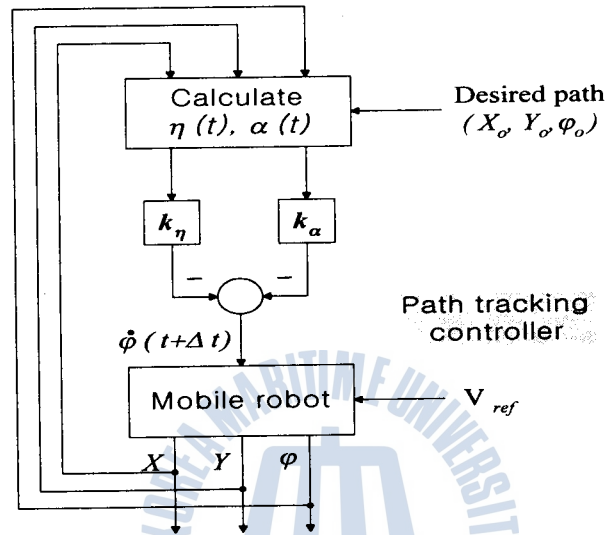


Fig 4.2 Path control system based on a linear regulator

(4.2)식의 선형 레귤레이터에 의한 경로추종제어기를 포함하는 이동로봇의 경로 제어 시스템의 구성을 나타내면 그림 4.2와 같다.

### 4.3 퍼지 로직을 이용한 경로추종제어

목표직선에 대한 로봇의 위치와 방위를 그림 4.3과 같이 몇 가지의 경우로 나타낼 수 있다. 로봇의 위치에서 로봇 중심과 목표직선이 이루는 거리성분  $\eta(t)$ 와 목표직선과 로봇이 이루는 각도  $\alpha(t)$ 는 각각 (+)값 혹은 (-)값을 가진다. 제어의 목적은 목표경로 위를 주행하도록 이동로봇의 방향을 조정하는 것이므로 거리성분과 방위각을 조정해 주면

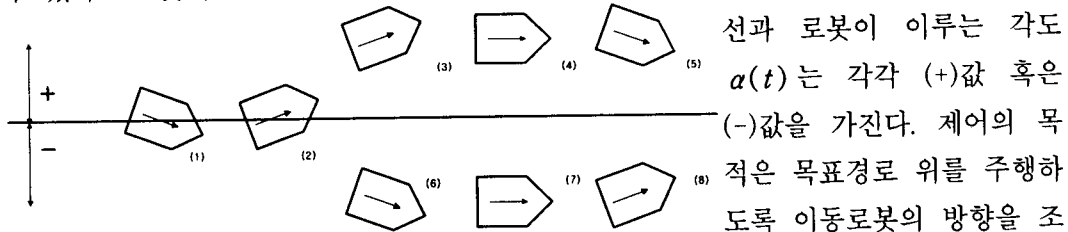


Fig 4.3 Mobile robot positions and angles to a given straight line

선과 로봇이 이루는 각도  $\alpha(t)$ 는 각각 (+)값 혹은 (-)값을 가진다. 제어의 목적은 목표경로 위를 주행하도록 이동로봇의 방향을 조정하는 것이므로 거리성분과 방위각을 조정해 주면



로봇이 목표직선상에 놓이게 될 것이다. 이 문제 또한 새로운  $\eta-\xi$  좌표계상의  $\xi$ 축을 추종하는 문제와 같이 생각하여 퍼지 논리 제어기(Fuzzy Logic Controller)를 생각할 수 있다. 여기서  $\eta(t)$ 와  $\alpha(t)$ 를 두 입력변수로, 방위각속도를  $\dot{\varphi}(t)$ 를 출력변수로 하여 각각의 변수를 퍼지화(Fuzzification)하여 퍼지 소속 함수(Fuzzy Membership Function)를 그림 4.4와 같이 구성할 수 있다.<sup>[10]</sup> 퍼지 제어 규칙의 구조는 위치형 알고리즘을 적용하여 정성적으로 고찰하여 다음과 같은 퍼지규칙(Fuzzy Rule)을 생각할 수 있다.

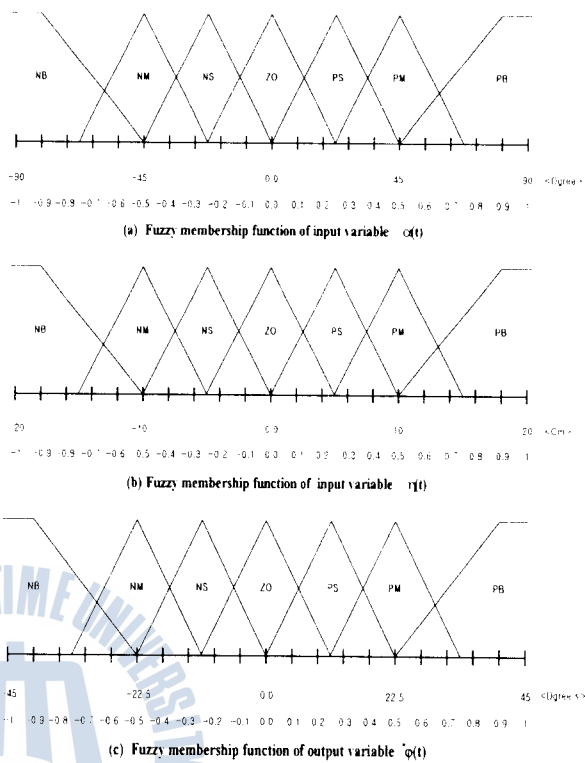


Fig 4.4 Fuzzy membership function of input/output variable

- $R_1 : \text{IF } \eta(t) = \text{PB} \quad \text{AND} \quad \alpha(t) = \text{NB} \quad \text{Then Control\_U} = \text{ZO}$
- $R_2 : \text{IF } \eta(t) = \text{PB} \quad \text{AND} \quad \alpha(t) = \text{PB} \quad \text{Then Control\_U} = \text{NB}$
- ⋮
- $R_l : \text{IF } \eta(t) = \text{NB} \quad \text{AND} \quad \alpha(t) = \text{NB} \quad \text{Then Control\_U} = \text{PB}$

단,  $l$  : 퍼지규칙의 개수

이상을 토대로 퍼지 로직을 이용한 경로추종제어기를 포함하는 이동로봇의 경로 제어 시스템의 구성은 그림4.5와 같다. 이때 퍼지추론(Fuzzy Inference) 방법은 Sup-min의 방법을 사용하였고 비퍼지화(Difuzzification)방법은 무게중심은 구하는 것으로 하였다.<sup>[10]</sup>

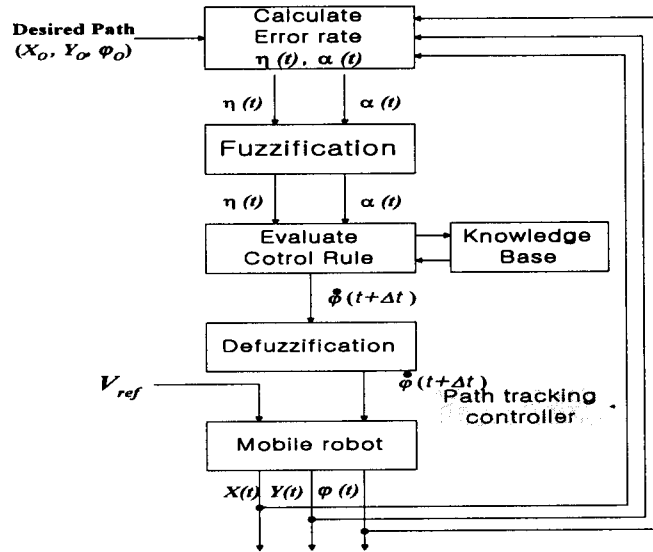


Fig 4.5 Path control system based on a FLC

## 제 5 장 시뮬레이션 및 검토

### 5.1 시뮬레이션

#### 5.1.1 파라미터의 결정

본 연구에 있어서 시뮬레이션 이용된 차륜형 이동로봇의 파라미터를 표5.1에서 나타낸다.

그림 3.1과 같이 경로 제어 시스템을 구성할 시 시스템의 제어성능은 경로추종제어기

Parameters	values
Size L x W x H	410 x 370 x 500 [mm]
Weight of Body	10.2 [kg]
Radius of Wheel	50 [mm]
Distance Between Left and Right Wheel	300 [mm]
Reduction ratio of Gear	1/25

Table 5.1 Parameters and variables of the mobile robot

뿐만 아니라 각 차륜의 속도제어기의 성능에도 관계된다. 따라서 본 논문에서는 순수한 경로추종제어기만의 성능을 비교하기 위하여 그림 3.2의 차륜속도제어시스템에 대해서는 표 5.1과 같이 파라미터를 고정하는 것으로 한다. 단 파라미터의 결정에 있어서 좌우 시스템의 전달함수는 인디셜응답으로

부터 구하여졌고 피이드백 계인은 MATLAB상에서 하중행렬 Q, R을 변경하면서 모터

정격을 고려하여 입력범위( $0V \leq u \leq 12V$ )를 만족하는 것으로 선택하였다. 그림 5.1은 표 5.2의 피드백 계인을 갖는 차륜 속도제어시스템에 계단상의 목표입력(rad/sec)을 주었을 때에 응답특성을 나타내는 것이다.

	$\alpha$	$g_1$	$g_2$
Left Controller	1.01	3.68	0.361
Right Controller	1.04	3.298	0.312

Table 5.2 Feedback gain

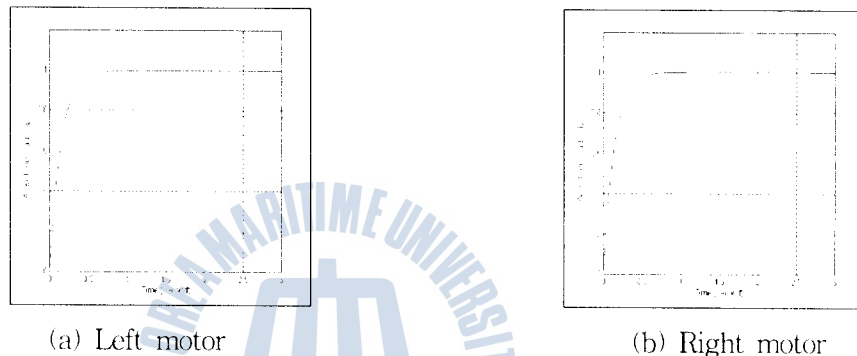


Fig 5.1 Step response of the wheel speed control system

### 5.1.2 선형레귤레이터에 근거한 경로 추종 시뮬레이션

그림 5.2의 (a)는 선형 레귤레이터에 근거한 경로추종제어기의 파라미터  $k_\gamma$ 와  $k_\alpha$  계인은 각각 0.872, 0.8인 시스템에 대한 직선경로 추종제어 시뮬레이션 결과로서, 속도는 10 cm/sec, 방위각은  $30^\circ$ 로 4초간 주행 후 로봇에 X축을 목표경로로 주었을 때의 응답을 나타낸다. 시뮬레이션 결과를 통해 목표직선을 비교적 잘 추종하고 있음을 알 수 있다. (b)는 초기속도 및 방위각이 10 cm/sec,  $45^\circ$ 로 4초간 주행 후 로봇에 임의의 직선목표경로 (x, y의 초기좌표를 (0, 0), 기울기  $\varphi_o = 30^\circ$ )를 주었을 때의 응답을 나타낸다. 시뮬레이션 결과를 통해 최적의 게인설정의 실패로 인해 움푹에러가 발생하고 있음을 알 수 있다. (c)는 초기속도 및 방위각이 10 cm/sec,  $60^\circ$ 로 4초간 주행 후 로봇에 X축을 목표경로로 주었을 때의 응답을 나타낸다.  $\eta(t)$ 와  $\alpha(t)$ ,  $k_\gamma$ 와  $k_\alpha$ 의 부호관계에 의해 이동로봇이 반대로 회전하여 주어진 경로를 추종함을 볼 수 있다. (d)는 초기속도 및 방위각이 10 cm/sec,  $110^\circ$ 로 4초간 주행 후 로봇에 임의의 직선목표경로 (x, y의 초기좌표를 (0, 0), 기울기  $\varphi_o = 30^\circ$ )를 주었을 때의 응답을 나타낸다.  $\eta(t)$ 가 매우 크고  $\varphi(t)$ 가 둔각일 경우의 시뮬레이션 결과로서부터

한 선형화에 따른 영향이 나타난 것으로 분석된다.

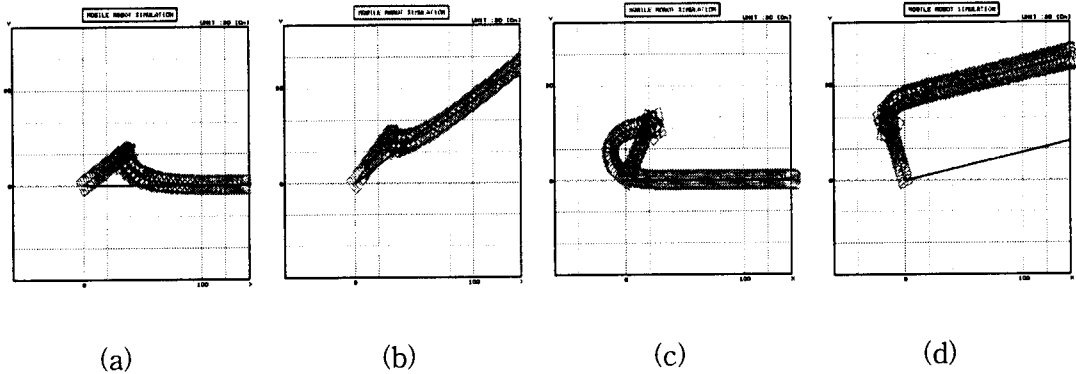


Fig 5.2 Result of the straight line tracking control using LQ

이상의 시뮬레이션 결과를 통하여 선형 레귤레이터에 근거한 경로추종제어 알고리즘은 다음과 같은 몇 가지의 문제점을 가지고 있다.

- (1) 로봇의 현재 위치에서 목표경로와의 거리  $\eta(t)$ 와 목표경로와 이루는 각도  $\alpha(t)$ 가 클 경우 제어입력 자체가 매우 커짐으로 구동모터에 무리를 줄 수도 있다.
- (2) 그림 5.2 (c)의 경우와 같이  $\eta(t) < 0$ ,  $\alpha(t) > 0$  이고,  $k_\eta > k_\alpha$  인 경우  $\dot{\varphi}(t + \Delta t) > 0$  가 되어 뒤로 한바퀴를 돌아서 추종하는 경우가 발생할 수도 있다.
- (3) 그림 5.2 (d)의 경우와 같이  $\eta(t)$ 가 매우크고  $\varphi(t)$ 가 둔각일 경우 무리한 선형화로 인한 영향으로 제어입력  $\dot{\varphi}(t + \Delta t)$ 를 신뢰할 수 없다.
- (4) 적절한 게인  $k_\eta$ 와  $k_\alpha$  를 결정하는데 여러번의 시행착오를 거쳐야 했다.

### 5.1.3 퍼지 로직을 이용한 경로 추종 시뮬레이션

그림 5.3 (a) ~ (d)는 퍼지 로직을 이용한 경로추종제어기를 갖는 시스템에 대해서 5.1.2 에서의 시뮬레이션과 같이 동일한 초기조건하에서 동일한 목표직선경로가 주어졌을 때의 시뮬레이션 결과를 나타낸다.

위 결과를 비교해 볼 때, 퍼지 로직을 이용한 경로추종제어기를 갖는 경로 제어 시스템의 경우 게인 결정의 문제를 생각해 주지 않아도 선형 레귤레이터에 근거한 경로 제어 시스템보다 좋은 응답을 얻을 수 있고, 선형 레귤레이터를 이용한 경우에 생기는 전술의 몇 가지의 문제점들을 개선하고 있음을 보여 준다고 할 수 있다.

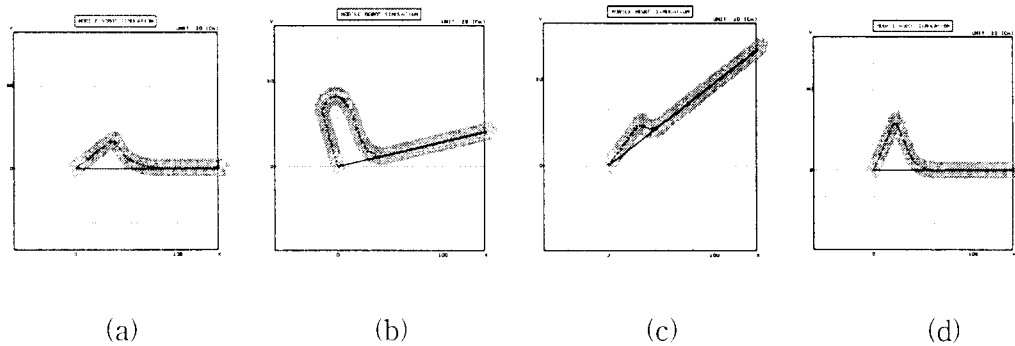


Fig5.7 Result(1) of the straight line tracking control using FLC

## 제 6 장 결 론

본 논문에서는 PWS기구학(Power Wheeled Steering Kinematics)를 갖는 차륜형 이동로봇의 경로 제어 시스템을 구성함에 있어, 경로추종제어방법으로 기존의 선형 레귤레이터에 근거한 방법을 이용했을 때의 문제점을 가시화했다. 또한 이를 해결할 수 있는 방법으로 퍼지 로직을 이용한 방법을 제안하였다. 이에 대한 타당성을 검증하기 위하여 기존의 방법과 본 논문에서 제안한 방법에 대하여 시뮬레이션을 실시한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 기존의 방법의 경우, 간단한 계산식에 의해 제어입력을 구할 수 있는 장점이 있지만 적절한 게인 설정을 위해서는 여러번 시행착오를 겪어야 하는 번거로움이 있다. 또한 로봇의 현재 방위와 목표경로의 방위의 차가 큰 경우 비선형특성으로 인한 영향이 나타남을 알 수 있다. 한편 퍼지 로직을 이용한 방법의 경우에 있어서는 게인설정 번거로움이 없고 기존의 선형레귤레이터에 근거한 경로추종방법에서의 문제점들을 개선하고 있음을 알 수 있었다.

## 참 고 문 헌

- [1] Hemami, H. and Wyman, B. F. "Modeling and control of constrained dynamic system with application to biped locomotion in the frontal plane", *IEEE Trans. on Automatic Control*, vol. AC-24, no. 4, pp.526-535, August 1977.
- [2] Borenstein, J. and Feng, L. "Where am I? Sensors and Methods for Autonomous Mobile Robot Positioning-1996 Edition". 1995.c
- [3] Borenstein, J, et al. 1987 "Motion control Analysis of a Mobile Robot", J. of

- Dynamic Systems, Measurement and Control vol. 109/73, 1897.
- [4] Borenstein, J. Koren, Y. and Feng, L. "A cross-coupling Controller for a Differential-drive Mobile robot", *IEEE Control systems Magazine*, Dec. 1993, pp 35-43.
- [5] Dote, Y. "Servo motor and motion control using digital signal processing", *Prentice Hall*. 1996.
- [6] Yun-su, Ha. and Shin'ichi, Yuta. "Trajectory Tracking control for Navigation of Self-contained Mobile Inverse Pendulum", *Pro. IEEE/RJS Int. conf. Intelligent Robots and Systems.*, pp.1875-1882, 1994.
- [7] Kanga A, Simeu. and E. "A Straight Lines Path Following Strategy Applied to a tricycle Vehicle", *Pro. of the 3rd IFCA Int. symposium on Intelligent Components and Instruments for Control Applications (SCICA 97), Annecy, France*, pp 339-344, 1997
- [8] Shingeki, Iida. and Shin'ichi, Yuta. "Vehicle Command System and Trajectory Control for Autonomous Mobile Robot", *In to Pro. of IEEE/RJS Int. Workshop on Intelligent Robots and Systems*, pp.212-217, Osaka, Japan, 1991
- [9] Kanayama, Y. Kimuro, Y. Miyaziki, F. and Noguchi, T, "A Stable Tracking control Method for a Autonomous Mobile Robot", *IEEE Trans. Robotics and Auto.* pp. 384-389, 1990.
- [10] Tso, S.K. Fung, Y.H. and Chung, Y.P. "Fuzzy-Logic Control for Differential-wheel-drive AGVs Using Linear Opto-sensor Arrays", *Pro. of the 1996 IEEE Int. Conf. on Robotics and Auto.* pp. 2816-2821, 1996.