

퍼지제어에 의한 전동 휠 체어의 경로속도 보정에 관한 연구

이창훈 · 문철홍 · 홍승홍

= Abstract =

A Study on Phase Velocity Correction of Motorized Wheelchair Based on Fuzzy Control

C. H. Lee, C. H. Moon, S. H. Hong

In this study, Fuzzy control algorithm to generate a change of locomotion condition according to an outer environment is introduced on a motorized wheelchair control. An optimal control rule for conquering the less of safety and system inefficiency in the past are given to this motorized wheelchair. And dynamic analysis is also adopted to it.

Using those rules, a proportional control was possible when the vehicle changed its moving direction. The proposed method which considers the relationship between a moving velocity and the command from the joystick shows better performance in the change of moving direction.

1. 서 론

현재 이동로봇 분야는 크게 산업용, 의료용 그리고 가정용으로 구분할 수 있으며, 이중 재활공학의 한분야로 장애자의 자주이동을 목적으로한 전동휠체어를 중심으로 활발한 연구가 진행되어지고 있지만 실용화되어 있는 로봇의 경우 주어진 정보 혹은 명령에 따라 단순 반복동작을 하는 등으로 환경변화에 적응할 수 없는 문제점들을 가지고 있다.

이러한 문제점들을 보완하기 위해 이동로봇에 인공지능을 부여하는 연구가 진행되어 위험한 비상사태의 발생시 또는 현재의 위치에서 목적하는 위치로의 이동명령 발생시 스스로 주행상태를 인

식하여 새로운 주행경로를 결정하는등의 작업에 적용되어지기 시작했다.

이와같은 과정에서 요구되어지는 지능작업을 행하기 위해서는 주행상의 경로를 추정하는 문제가 우선되어지게되고 경로속도의 보정에 관한 알고리즘의 제시가 필요하게된다. 따라서 본 연구에서는 기존의 로봇트 팔등에 적용하였던 경로 추정 알고리즘을 장애자용 전동 휠 체어의 현재 위치로부터 목적하는 위치로의 이동시 현재 전동 휠 체어가 초기속도를 가지고 있을때 전동 휠 체어의 위치를 추정하여 경로를 수정하는 알고리즘을 제시하였다.

2. 본 문

1. INMEL-VI의주행 알고리즘

이미 개발하여 발표된 바 있는 INMEL-VI는 주행중 수동모드에서 전동모드로 전환할 경우 장애자를 위한 보조기에서 우선되어야하는 안전성의

확보와 기동성을 위하여 주행모드에서는 저속과 고속, 평지와 비탈길에 따른 정상주행과 비상주행으로 구분하고 정지모드에서는 전진후 정지와 후진후 정지모드로 구분되어져 제어되고 있다. 이의 주행 알고리즘을 살펴보면 그림 1과 같다[1-5].

2. 퍼지 제어에 의한 주행 알고리즘

(1) 제어 규칙

본 논문에 적용한 퍼지제어 알고리즘은 전동 휠 제어에 부착되어 있는 좌우측의 모터로부터 들어오는 엔코더의 신호와 조이스틱에 의한 다음위치로의 이동시 조이스틱에 의한 방향벡터를 \vec{J} , \vec{J} 와 현재의 진행 방향과의 각을 WA로 정하고 있다. 따라서 속도(velocity)의 개념은 속력(speed)과 각도(angle)로 이루어진다. 이를 도시하면 그림 2.과 같다.

다음 제어간격 동안의 전동 휠 제어의 속도는 다음의 경험적 규칙에 의해 계산되어진다. 이의 경험적 규칙을 살펴보면 다음과 같다.

경험 1 : 전동 휠 제어의 속도가 느리면 각도 보정은 커야 한다.

경험 2 : 전동 휠 제어의 속도가 빠르면 각도 보정은 작아야 한다.

경험 3 : 조이스틱의 입력이 크면 전동 휠 제어의 속도는 감소되어야 한다.

경험 4 : 조이스틱의 입력이 작으면 전동 휠 제어의 속도는 증가되어야 한다.

경험 5 : 각도 보정과 속도는 제한값을 가져야 한다.

위의 5가지 경험규칙에 의하여 이는 IF(전건부) THEN(후건부)의 제어규칙을 형성하게 된다. 전건부는 휠 제어의 엔코더로부터 들어오는 입력신호와 조이스틱으로부터 정해지는 방향벡터에 의하여 이루어지고, 후건부는 속도 보정과 각도 보정의 두개의 퍼지집합으로 이루어진다. 퍼지집합은 퍼지 멤버쉽 함수에 의해 정의되어지는 소속정도의 값으로 표현되어진다. 이의 제어규칙을 살펴보면 다

표 1 속도 보정을 위한 결정표

Table 1 Determination table for velocity correction

VEL\AGL	NM	NS	ZO	PS	PM
NS	ZO	PS	PS	PS	ZO
ZO	NS	ZO	PS	ZO	NS
PS	NS	NS	ZO	NS	NS

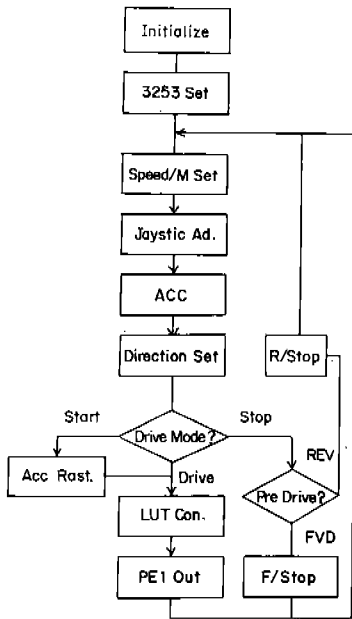
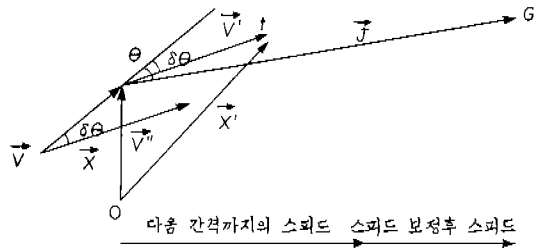


그림 1. INMEL-IV의 제어 알고리즘

Fig. 1 Control algorithm of INMEL-IV



- \vec{X} : 현재의 위치 벡터
- \vec{V} : 현재의 속도
- \vec{J} : 조이스틱의 방향 벡터
- θ : WA
- t : 제어 간격 시간
- $\delta\theta$: 각 보정
- \vec{V}' : 다음 간격까지의 속도
- \vec{X}' : 다음 위치까지의 위치 벡터
- O : original position
- G : goal position

그림 2 이동 위치 해석

Fig. 2 Analysis of moving position

음과 같다.

- 제어규칙 1 : 속도가 느리고 각도가 매우 작다면, 속도 보정은 ZO, 각도 보정은 NM로 한다.
- 제어규칙 2 : 속도가 느리고 각도가 작다면, 속도 보정은 PS, 각도 보정은 NS로 한다.
- 제어규칙 3 : 속도가 느리고 각도가 0° 이면, 속도 보정은 PS, 각도 보정은 ZO로 한다.
- 제어규칙 4 : 속도가 느리고 각도가 약간 크다면, 속도 보정은 PS, 각도 보정은 PS로 한다.
- 제어규칙 5 : 속도가 느리고 각도가 매우 크다면, 속도 보정은 ZO, 각도 보정은 P로 한다.
- 제어규칙 6 : 속도가 정상속도이고 각도가 매우 작다면, 속도 보정은 NS, 각도 보정은 NM로 한다.
- 제어규칙 7 : 속도가 정상속도이고 각도가 작다면, 속도 보정은 ZO, 각도 보정은 NS로 한다.
- 제어규칙 8 : 속도가 정상속도이고 각도가 0° 이면, 속도 보정은 PS, 각도 보정은 ZO로 한다.
- 제어규칙 9 : 속도가 정상속도이고 각도가 크면, 속도 보정은 ZO, 각도 보정은 PS로 한다.
- 제어규칙 10 : 속도가 정상속도이고 각도가 매우 크면, 속도 보정은 NS, 각도 보정은 PM로 한다.
- 제어규칙 11 : 속도가 최대속도이고 각도가 매우 작다면, 속도 보정은 NS, 각도 보정은 NM로 한다.
- 제어규칙 12 : 속도가 최대속도이고 각도가 약간 크다면, 속도 보정은 NS, 각도 보정은 NS로 한다.
- 제어규칙 13 : 속도가 최대속도이고 각도가 0° 이면, 속도 보정은 ZO, 각도 보정은 ZO로 한다.
- 제어규칙 14 : 속도가 최대속도이고 각도가 약간 크면, 속도 보정은 NS, 각도 보정은 PS로 한다.
- 제어규칙 15 : 속도가 최대속도이고 각도가 매우 크면, 속도 보정은 NS, 각도 보정은 PM로 한다.

위의 제어규칙을 속도의 보정과 각도의 보정에 따른 결정표로 나타내면 다음과 같다.

제어규칙에 따른 퍼지 단어의 의미는 다음과 같다.

속도에서의 퍼지단어의 의미

NS : negative small : 0.0-1.0m/sec

ZO : approximately zero : 0.5-1.5m/sec

PS : positive small : 1.0-2.0m/sec

각도에서의 퍼지단어의 의미

NM : negative medium : -90-20°

NS : negative small : -30-0°

ZO : approximately small : -10-10°

PS : positive small : 0-30°

PM : positive medium : 20-90°

입력변수로 사용한 전동 휠 제어의 속도와 조이스틱 입력값의 멤버쉽 함수는 2개로 구성되어져 있다. 이를 도시화 하면 다음과 같다.

본 논문에서 사용한 속도 보정과 각도 보정을 위한 멤버쉽 함수는 다음과 같다.

(2) 제어방법

속도 보정과 각도 보정은 무게 중심법(center of area method)을 사용하였다. 파라미터 V 와 θ 는 속도와 각도에 대한 입력변수로 속도가 NS일때 IF(전건부)에서 퍼지집합의 퍼지 멤버쉽 함수를 μ_{vA} (V)로 표시고 각도가 0° 일때 IF(전건부)에서 퍼지집합의 퍼지 멤버쉽 함수는 $\mu_{\theta A}$ 로 표시되어져는 형태를 그림 3.(A)와 (B)에서 보이고 있다.

또한 속도와 조이스틱의 각도에 대한 관찰값을 $V=V_0$, $\theta=\theta_0$ 로 할때 IF(전건부)에서의 계산값 ω 는 다음의 식에 따라 구해진다.

$$\omega = \mu_{vA}(V_0) \times \mu_{\theta A}(\theta_0)$$

다음에서 δv 와 $\delta \theta$ 를 각각 속도 보정과 각도 보정에 관한 변수로 선언하고 THEN(후건부)의 형태에 따라 속도 보정과 앵글 보정을 위한 값은 앞에서 구해진 ω 값과 관계에 의하여 다음으로 구해질 수 있다.

$$\mu_{\delta v}(\delta v) = \omega \times \mu_{vA}(\delta v)$$

$$\mu_{\delta \theta}(\delta \theta) = \omega \times \mu_{\theta A}(\delta \theta)$$

위의 방법들을 적용하여 각각의 제어규칙에 따른 속도 보정값과 각도 보정값들을 구하게 된다. 즉,

$$\mu_{\delta v}(\delta v) = \sum_{i=1}^{15} \mu_{\delta v_i}(\delta v)$$

$$\mu_{\delta \theta}(\delta \theta) = \sum_{i=1}^{15} \mu_{\delta \theta_i}(\delta \theta)$$

구해진 값들에 대하여 제어량을 구하기 위해 무게 중심법을 사용하면 다음과 같다.

$$\delta v_o = \frac{\int \delta v \times \mu_{\delta v}(\delta v) d(\delta v)}{\int \mu_{\delta v}(\delta v) d(\delta v)}$$

$$\delta \theta_o = \frac{\int \delta \theta \times \mu_{\delta \theta}(\delta \theta) d(\delta \theta)}{\int \mu_{\delta \theta}(\delta \theta) d(\delta \theta)}$$

최종적으로 구해진 δv_o 와 $\delta \theta_o$ 가 속도 보정과 각도 보정을 위한 제어값이 된다.

표 2 각도 보정을 위한 결정표

Table 2 Determination table for angle correction

VEL\AGL	NM	NS	ZO	PS	PM
NS	PM	PS	ZO	NS	NM
ZO	PM	PS	ZO	NS	NM
PS	PM	PS	ZO	NS	NM

(3) 소프트웨어 처리

전동 휠 제어의 수행시 입력변수에 대한 퍼지규칙을 구하고 이에 따른 비퍼지화 과정과 이를 변환시키는 과정을 흐름도상에서 표시하면 그림 5., 그림 6., 그림 7.에서와 같은 과정을 경유하여 처리되어 진다.

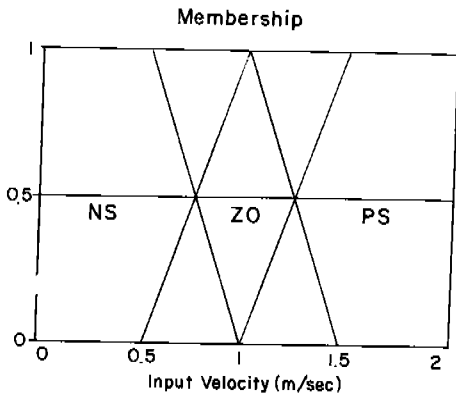


그림 3 A) 입력 속도 멤버십 함수
Fig. 3 A) The membership function of the input speed

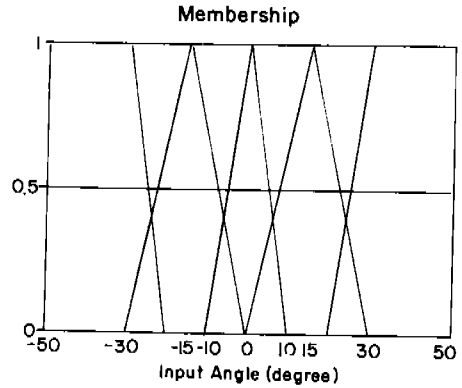


그림 3 B) 입력 각도 멤버십 함수
Fig. 3 B) The membership function of the input angle

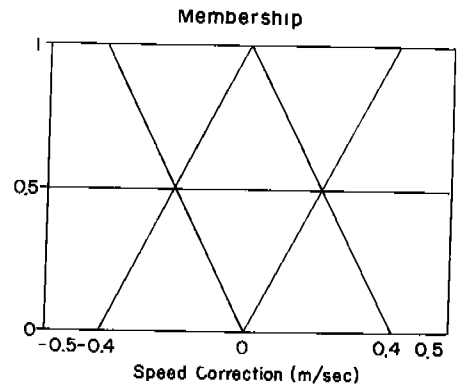


그림 4 A) 속도 보정 멤버십 함수
Fig. 4 The membership function of the velocity correction

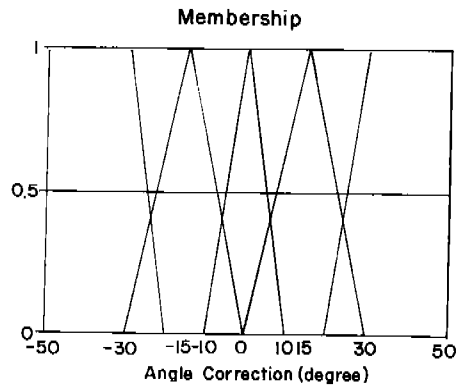


그림 4 B) 각도 보정 멤버십 함수
Fig. 4 B) The membership function of the angle correction

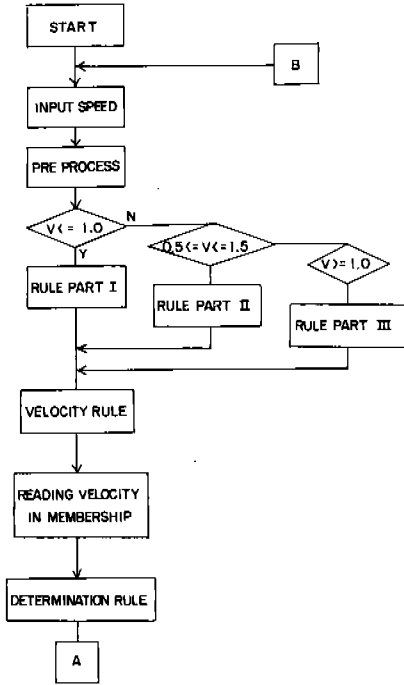


그림 5 속도 처리 흐름도
Fig. 5 Velocity processing flowchart

그림 7.의 비퍼지화 과정에서 DELTA VEL_SUM과 DELTA AGL_SUM은 각각 해당 규칙의 멤버쉽 함수의 정도에 따른 $\mu_{\delta v}(\delta v)$ 와 $\mu_{\delta \theta}(\delta \theta)$

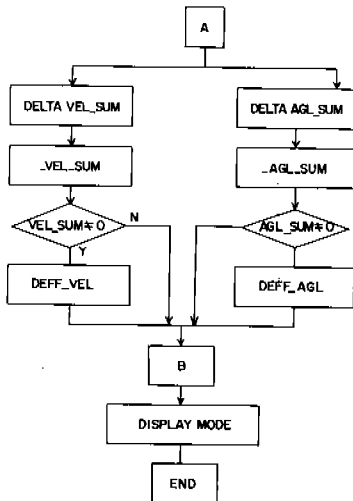


그림 7 비퍼지화 과정의 흐름도
Fig. 7 Flowchart of defuzzification processing

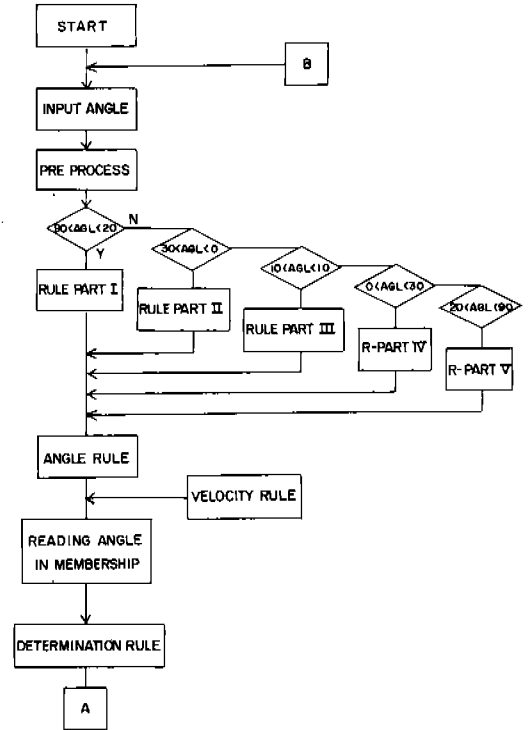


그림 6 각도 처리 흐름도
Fig. 6 Angle processing flowchart

에 해당 되어지며 VEL_SEM과 VEL_AGL은 그때의 평균값으로 DEFF_VEL과 DEFF_AGL은 제어입력 값인 δv_0 와 $\delta \theta_0$ 으로 규정되어 진다.

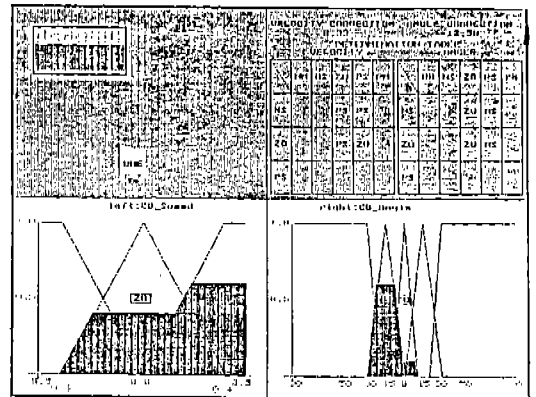


그림 8 속도와 각도입력에 따른 δv , $\delta \theta$ 의 추출과정
Fig. 8 Extraction processing of δv , $\delta \theta$

3. 실험 및 고찰

1. 전동 휠 체어의 시스템 역학

전동 휠 체어의 시스템 역학은 일반 이동 로봇에서와 마찬가지로 이산형 선형시변방정식으로 표현한다. INMEL-VI는 두개의 후륜구동형 wheel과 2개의 캐스터로 이루어진 일반형태를 하고 있다. 따라서 좌측구동륜에서의 속도를 V_L , 우측구동륜에서의 속도를 V_R 이라고 하고 두휠사이의 폭을 B 라고 하면 이의 평균속도 V_a 와 경로상의 곡률 ρ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_a = \frac{V_L + V_R}{2}$$

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

위에서와 같은 일반적인 파라미터를 구하고 이를 2차원 공간으로 확대하여 적용경로를 구하기 위한 목적으로 벡터표현에 의한 주행상의 위치를 해석한다(1-4).

2. 전동 휠 체어의 경로해석

전동 휠 체어의 경로 보정에 적용한 퍼지제어 알고리즘에서 요구되어지는 파라미터들을 구하고 이를 해석하였다. 현재의 전동 휠 체어의 위치벡터

를 \vec{x} , 현재의 속도를 \vec{v} , 조이스틱의 방향벡터를 \vec{j} , 목적위치와 진행방향에 의한 각을 θ , 제어간격 시간을 t 로하면 속도 보정값 δv_0 와 각도 보정값 $\delta \theta_0$ 일때 다음 제어시간후의 \vec{v}' , \vec{x}' 는 다음과같이 적용되어진다.

$$\|\vec{v}'\| = \|\vec{v}\| + \delta v_0 \quad (1)$$

식 (1)에 K 를 도입하여 표시하면

$$\|\vec{v}'\| = K \|\vec{v}\| \quad (2)$$

$$\vec{v}' = \nu + L\vec{J} \quad (3)$$

$$\vec{v}' \cdot \vec{J} = \|\vec{v}'\| \times \|\vec{J}\| \cos(\theta - \delta \theta_0) \quad (4)$$

식 (3)을 식 (4)에 적용하면

$$(\nu + L \cdot \vec{J}) \cdot \vec{J} = \|\nu + L\vec{J}\| \|\vec{J}\| \cos(\theta - \delta \theta_0) \quad (5)$$

$$\|\nu\| \cos(\theta) + L \|\vec{J}\| = \|\nu + L\vec{J}\| \cos(\theta - \delta \theta_0) \quad (6)$$

식 (6)의 양변을 제곱하여 전개하면

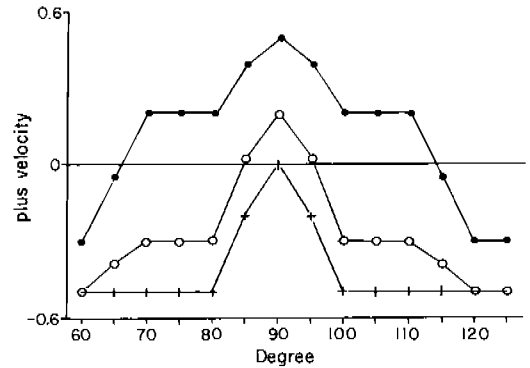


그림 9 해당 결정표와 전동 휠 체어의 궤적의 형태

Fig. 9 The determination table and te trace of motorized wheelchair

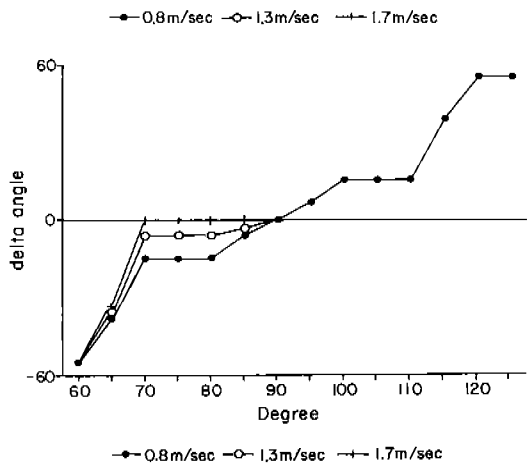


그림 10 속도 고정에 따른 δv , $\delta \theta$ 의 변화

Fig. 10 Variation of δV , $\delta \theta$ to velocity fixing

$$\begin{aligned}
 & 2 \|\vec{v}\|^2 \cos^2(\theta) + 4 \|\vec{v}\| \|\vec{J}\| \cos\theta L + 2L^2 \|\vec{J}\|^2 \\
 & = \|\vec{v}\|^2 + \|\vec{L}\vec{J}\|^2 + 2 \|\vec{v}\| \|\vec{J}\| \cos\theta L + \\
 & \quad \|\vec{v}\|^2 \cos^2(\theta - \delta\theta_0) + \|\vec{L}\vec{J}\|^2 \cos^2(\theta - \delta\theta_0) + \\
 & 2 \|\vec{v}\| \|\vec{L}\vec{J}\| \cos\theta \cos 2(\theta - \delta\theta_0) \quad (7)
 \end{aligned}$$

식 (7)에 (8), (9)식에 따른 삼각함수의 변환공식을 적용하고 L에 관한 2차식으로 정리하면 식 (10)과 같이 된다.

$$\begin{aligned}
 & \|\vec{L}\vec{J}\|^2 \cos^2(\theta - \delta\theta_0) = \|\vec{L}\vec{J}\|^2 (1 - 2\sin^2(\theta - \delta\theta_0)) \\
 & = \|\vec{L}\vec{J}\|^2 - 2 \|\vec{L}\vec{J}\|^2 \sin^2(\theta - \delta\theta_0) \quad (8) \\
 & \|\vec{v}\| \|\vec{L}\vec{J}\| \cos\theta \cos 2(\theta - \delta\theta_0) \\
 & = 2 \|\vec{v}\| \|\vec{L}\vec{J}\| \cos\theta (1 - 2\sin^2(\theta - \delta\theta_0)) \\
 & = 2 \|\vec{v}\| \|\vec{L}\vec{J}\| \cos\theta - 4 \|\vec{v}\| \|\vec{L}\vec{J}\| \cos\theta \sin^2(\theta - \delta\theta_0) \quad (9) \\
 & \|\vec{J}\|^2 \sin^2(\theta - \delta\theta_0) L^2 + 2 \|\vec{v}\| \|\vec{J}\| \cos\theta \sin^2(\theta - \delta
 \end{aligned}$$

$$\theta_0) L + \|\vec{v}\|^2 (\cos 2\theta - \cos 2(\theta - \delta\theta_0)) = 0 \quad (10)$$

이를 L에 관하여 해를 구하면

$$\begin{aligned}
 L & = \frac{\|\vec{v}\| \sin \delta\theta_0}{\|\vec{J}\| \sin(\theta - \delta\theta_0)} \quad (0 \leq \delta\theta_0 \leq \theta) \\
 & = \frac{\|\vec{v}\| \sin \delta\theta_0 - 2\theta}{\|\vec{J}\| \sin(\theta - \delta\theta_0)} \quad (\theta \leq \delta\theta_0) \quad (11)
 \end{aligned}$$

가 된다. 실제 시스템 (11)식과 같은 형태를 가지므로

$$K = \frac{\|\vec{v}\| + \delta v_0}{\|\vec{v} + \vec{L}\vec{J}\|} \quad (12)$$

와 같이 표현된다.

이제 제어후의 전동 휠 제어의 다음 위치를 해석하면

$$\begin{aligned}
 \vec{x}' & = \vec{x} + \vec{v}t \\
 & = \vec{x} + K(\vec{v} + \vec{L}\vec{J})t \quad (13)
 \end{aligned}$$

같이 나타낼 수 있다.

3. 실험 결과

앞서 제시한 퍼지 제어 알고리즘에 의한 제어의 결과와 추론과정에 따른 제어의 진행상태를 나타내면 다음의 그림들에서와 같다.

그림 8.에서는 속도와 각도입력에 따른 δv , $\delta\theta$ 의 추출과정을 나타내고, 그림 9.에서는 그에 따른 해당 결정표와 전동 휠 제어의 궤적의 형태를 보이고 있다. 또한 속도 고정에 따른 δv , $\delta\theta$ 의 변화, 각도 고정시의 δv , $\delta\theta$ 의 변화를 각각 그림 10. 그림 11.에 나타내었다.

4. 결 론

전동 휠 제어에서는 일반 로봇트와는 다른 순간 순간의 주행을 위한 조정명령을 잘 추종하는 것이 바람직하다. 즉 방향변화 명령에 따른 최대속도를 추종해야 한다. 또한 이때의 방향 변화시 무리한 조정이 되지않아야 안정도를 고려한 제어가 될 수 있다. 따라서 앞의 실험에 의한 시뮬레이션 결과로 고찰할 때 어느 기준 이상에서의 가속, 속도의 상태 및 방향전환 명령은 퍼지 관계에 의한 제어가 효율적인 제어가 될 수 있음을 보이고 있다. 즉 실험 결과부분에서의 그림 10 및 그림 11과 같이 전동 휠 제어의 제어는 방향변화 부분이 적은 직진진행시 최대속도로 부드럽게 증가시키고 방향전환 명령을 갖는 좌우측 회전시 속도와 각도를 고려하

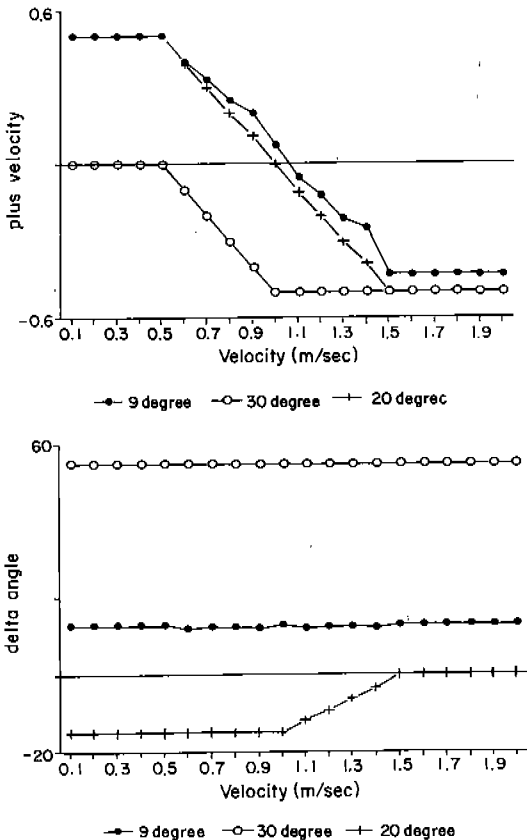


그림 11 각도 고정에 따른 δv , $\delta\theta$ 의 변화
 Fig. 11 Variation of δv , $\delta\theta$ to angle fixing

여 현재속도에서 속도를 증가시키면서 회전방향을 추종할 것인지 아니면 속도를 감소시키면서 회전 방향을 추종해야 할것인지를 결정하고 있으며 또한 각도입력에 대하여는 입력각을 그대로 추종할 것인지 아니면 다단계의 변화를 거쳐가면서 추종할것인지를 결정하게 된다. 따라서 인간의 의사명령을 추종하는데 적합함을 잘보이고 있다.

본 연구에 적합한 퍼지 제어알고리즘은 조정자의 조작명령에 따른 비례적 속도 변환 부분과, 조정자의 조작 횟수의 감소를 기대할 수 있으며 최적의 제어를 위한 제어 알고리즘의 수정, 변환시 그에 따른 결과를 용이하게 얻을 수 있도록 본 연구실에서 개발된 시뮬레이터를 통하여 시뮬레이션을 가능토록하고 있다. 또한 환경요소의 다변화에 대응할 수 있는 각종 센서의 개발과 이의 시스템적 인터페이스 기술의 발전 및 실시간 처리를 위한 기술이 요구되어 진다.

참 고 문 헌

- 1) 정동명, 홍승홍, "응답형 음성제어 전동휠체어 (INMEL-1)의 설계", 대한의용생체공학회, Vol. 8. NO.2, 1987.
- 2) 최창순, 정동명, 홍승홍, "단축 음성명령에 의한 전동휠체어(INMEL-3)제어시스템 설계", 대한 전자공학회 하계 종합학술대회 논문집, Vol. 12, NO. 1,26, 1988.
- 3) 권장우, 김지순, 정동명, 홍승홍, "차량 탑재용 전동휠체어(INMEL-5)의 설계", 대한의용생체공학회 춘계학술대회 논문집, 1990, pp.63-65.
- 4) 鄭東明, 張元碩, 洪勝弘, "應答型 音聲制御 시스템を用いた 電動車 椅子の 設計", 第 27回 日本 ME 學會 論文集, Vol. 26, 1988.
- 5) RICHARD L.MADARASZ, et al, "The Design of an Autonomouse Vehicle for the Disabled", IEEE JOURNAL OF ROBOTICS AND AUTOMATION, Vol. RA-2, NO. 3, 1986, pp 117-126.
- 6) K. Yasui, H. Itoh, "Fuzzy Control Methods for Path Velocity Correction", IFES '91, PART VII FUZZY LOGIC CONTROL, 10. 1991, pp 748-757.
- 7) 박민용 등 역저, "퍼지 시스템의 응용 입문", 대영사, 1990.
- 8) T.Arai, et al, "The Control and application of Omni-Directional Vehicle (ODV)", IFAC Control Science and technology, 8th Triennial World Congress, Kyoto, Japan, 1981, pp 1855-1860.
- 9) 田中一男 등, "言語による實用フアツイブツク" ラツセル社, 1989.
- 10) Sugeno : Fuzzy Control, Nikkan Kougyousya (1988) (in Japanese)
- 11) Mizumoto : Fuzzy Reasoning for Fuzzy Control, Journal of the society of Instrument and Control Engineers(1989) (in Japanese)
- 12) Richard M.Tong : A Retrospective view of Fuzzy control systems, Fuzzy sets and systems, 14, 199-210 (1984).
- 13) P.J.King and E.H.Mamdani: The application of Fuzzy control system to industrial process, Automatica, 13, 235-242(1977).
- 14) J.J.Buck ley and H.Ying: Fuzzy controller thery: Limit Theorems for linear fuzzy control rules, Automatica, 25-3, 469-472(1989).
- 15) 이창훈, 백승우, 한영환, 정동명, 홍승홍, "실용화를 위한 전동화 수동 휠체어(INMEL-VI)의 개발", 대한전자공학회 하계종합학술대회 논문집, Vol. 15, No. 1, 1992.