

# 소속함수 파라미터 동조 퍼지제어에 의한 선형 서보 시스템

(Linear Servo System by Fuzzy Control using Parameter  
Tuning of Membership Function)

嚴基煥\* · 孫東嵩\*\* · 李鎔求\*\*\*

(Ki-Hwan Eom · Dong-Seol Son · Yong-Gu Lee)

## 요 약

본 논문에서는 가동코일형 선형 직류 전동기를 이용한 선형 서보 시스템의 퍼지제어를 위하여 소속함수 파라미터 동조에 의한 새로운 퍼지제어방식을 제안한다. 제안한 퍼지제어방식은 오차가 규정치보다 클때는 적절한 제어입력 신호를 가질 수 있도록 소속함수의 파라미터를 동조하고, 오차가 규정치보다 작을 때는 일반퍼지규칙을 이용하는 제어방식이다.

제안된 퍼지제어방식의 유용성을 확인하기 위해 시뮬레이션 및 실험을 통하여 일반적인 퍼지 제어방식과 특성을 비교한다.

## Abstract

In this paper, for fuzzy control of linear servo system using the moving coil type linear DC motor, we propose a new fuzzy control method using parameter tuning for membership functions. A proposed fuzzy control method tunes parameters of membership function to have an appropriate control input signal for system when error exceeds predefined value and makes an inference using conventional fuzzy control rules when error reduces to a predefined value. To verify usefulness of a proposed fuzzy control method, making simulation and experiment, we compare with characteristics for conventional fuzzy control method.

## 1. 서 론

1965년 zadeh교수에 의해 제안된 퍼지이론은 인류가 원하는 인공지능 세계를 실현하는 하나의 방안으로 응용분야 또한 매우 다양하며, 주된 용

용은 전문가 시스템, 데이터베이스, 제어, 영상처리, 패턴인식, 의료진단 시스템등 여러분야에서 널리 이용되고 있다.<sup>1~3)</sup>

이러한 응용분야 중에서 Mamdani에 의해 모형 증기기관의 제어에 처음 적용한 퍼지제어는 가장 성공적으로 이용되고 있는 분야이다.<sup>4)</sup>

퍼지제어는 제어하고자 하는 시스템의 출력과 원하는 기준입력과의 차인 오차(error)와 오차의 변화분(change of error)만을 이용하여, 언어변수

\*正會員 : 동국대학교 전자공학과 부교수

\*\*正會員 : 유한전문대 전자과 교수, 강사

\*\*\*正會員 : 동국대학교 대학원 전자공학과 박사과정

接受日字 : 1995年 3月 28日

인 퍼지집합으로 퍼지화를 수행하고, 추론을 하여, 다시 실수값으로 변환하는 비퍼지화를 하여, 시스템의 제어 입력 신호로 보냄으로서, 시스템 모델에 크게 구애받지 않는 장점으로 시스템 모델링이 부정확한 시스템, 파라미터가 부분적으로 알려져 있거나 알려지지 않은 시스템, 비선형 시스템 등에 많이 연구응용되어 왔다.<sup>5~7</sup>

특히 퍼지 하이브리드 제어, 동조를 위한 퍼지 적응제어, 가변구조 퍼지제어등에 대하여 많은 연구가 진행되고 있다.<sup>8~11)</sup>

응용분야로서 로보트 매니플레이터 제어, 각종 모터 제어 및 모든 산업 분야의 인공지능 자동화 등에 성공적으로 실용화되고 있다.<sup>12~15)</sup>

그러나 퍼지제어 방식에는 아직도 전문가의 경험적 지식에 바탕을 두어 여러번의 시행착오를 거듭한 뒤에 원하는 응답을 얻는 단점이 지적되고 있으며, 특히 적절한 퍼지제어 규칙의 선정, 소속함수(membership function)의 최적 파라미터 탐색등은 해결되어야 할 연구과제로 대두되고 있다.<sup>10, 16)</sup>

본 논문에서는 최근 輸送機關, 搬送機器, 産業機器, 情報機器등에 많이 응용되고 있는, 비교적 구조가 간단하고 신뢰성이 높은 선형 전동기에 대한 선형 서보 시스템의 퍼지제어를 한다. 선형 서보 시스템은 직선 운동을 필요로 하므로 회전 전동기에 직선운동으로 변환하기 위한 변환장치를 부가하는 것보다 직접 선형 전동기를 사용하는 것이 바람직 하므로 선형 전동기 중에서 速應性과 高速性이 우수한 가동코일형 선형 직류전동기(Moving Coil Type Linear DC Motor : MC-LDM)를 이용한 多點(multi-point) 위치제어를 한다.

제어대상인 MC-LDM은 속도와 추력은 좋은 특성을 갖고 있으나, 多點 위치 제어를 오버슈트(overshoot)와 이에 수반되는 늦은 整定時間(settling time)이 발생하는 단점이 있다.

따라서 MC-LDM의 과도응답특성을 개선하기 위하여 빠른 응답특성과 동시에 오버슈트를 억제시키도록 미리 원하는 응답 특성을 지정하고, 이 응답특성에 부합하도록 오차와 오차의 변화분에 대한 소속함수의 파라미터를 동조하고 나서 퍼지

추론을 하며, 정상응답에서는 소속함수의 파라미터를 변화시키지 않고 일반적인 퍼지제어를 하는 알고리즘을 제안한다.

제안한 퍼지제어 방식의 유용성을 입증하기 위하여 시뮬레이션 및 실험을 통하여 일반적인 퍼지제어 방식과 특성을 비교 검토한다.

## 2. 퍼지제어기

### 2.1 일반적인 퍼지제어기

MC-LDM의 多點 위치 제어를 위한 일반적인 퍼지제어기는 퍼지화, 지식베이스, 제어규칙부, 퍼지추론, 비퍼지화로 구성된다.<sup>4), 5)</sup>

퍼지화는 시스템의 출력과 기준입력을 비교하여 오차와 오차의 변화량을 퍼지제어기의 입력으로 이용하고, 이 값은 실수값이므로 아래의 그림 1과 같이 7개로 구성된 퍼지집합(NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB)중 인접한 2개의 퍼지집합에 0~1 사이의 소속도를 가진다.

이용된 퍼지집합의 형태는 삼각형 퍼지집합

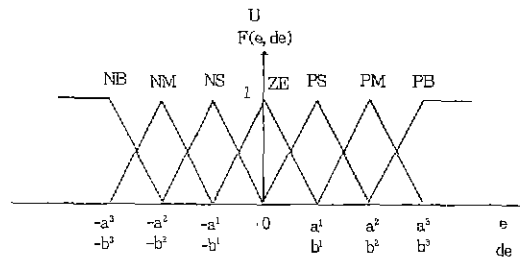


그림 1 제어규칙에서 사용된 퍼지집합의 소속함수  
Fig. 1. Membership functions for fuzzy sets used in the control rules

표 1. 퍼지제어기에서 사용된 퍼지제어규칙

Table 1. Fuzzy control rules used in the Fuzzy Logic Control

e \ de	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZE
NM	NB	NB	NM	NM	NS	ZE	PS
NS	NB	NM	NM	NS	ZE	PS	PM
ZE	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
PS	NM	NS	ZE	PS	PM	PM	PB
PM	NS	ZE	PS	PM	PM	PB	PB
PB	ZE	PS	PM	PB	PB	PB	PB

NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB로 되며, 인접한 퍼지집합은 50[%]겹침을 갖는다.

지식베이스부는 입력 변수 전체 집합에 대한 정규화(normalization)를 정의하고, 삼각형 퍼지집합의 소속함수를 사용하며, 49개의 제어규칙을 사용한다.

제어규칙부에서는 4입력(그림 1의 50[%] 겹침을 갖는 소속함수를 이용할 때) 1출력 형태의 퍼지제어규칙을 이용하며, 퍼지제어에서 사용된 퍼지제어규칙은 표 1과 같다.

퍼지추론은 Mamdani가 제안한 minimum-maximum 연산을 이용하여 퍼지추론을 하고, 비퍼지화 방법으로는 무게중심법을 이용한다.

## 2.2 제안한 소속함수 파라미터 동조에 의한 퍼지제어

일반적으로 시스템 제어특성은 빠른 응답과 정확성이 기대되지만 빠른 응답은 오버슈트 현상이 나타나고, 이것을 개선하기 위하여 다소 느린 응답특성을 갖도록 제어하고 있다.

특히 본 논문에서는 제어대상인 MC-LDM이 속도가 빠르고 스트로크가 짧으므로 이에 알맞는 多点 위치제어를 위하여 빠른 응답특성을 갖고 오버슈트 현상을 억제하도록 하는 퍼지제어기를 설계하기 위하여 표 2와 같이 미리 원하는 응답특성을 지정한다.

제어대상의 원하는 출력은 초기상태  $t=0$ 에서 정지된 위치에 있으므로 목표치(설정치)의 오차( $e$ )는 PB, 오차의 변화분( $de$ )는 ZE인 표 2의 ① 위치에 존재한다. 따라서 추론된 결과는 PB이

표 2 과도응답시 원하는 응답특성  
Table 2. Desired output characteristics for transient response

$e$ $de$	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB				NB③			
NM						ZE②	
NS			NM④				
ZE	NB⑥			ZE⑤			PB①
PS					PM⑨		
PM		ZE⑦					
PB				PB⑧			

되고 비퍼지화 되어 시스템의 제어입력신호가 된다. 이 큰 제어입력 신호에 의해 시스템의 출력은 빠른 속도로 목표치에 근접하므로 ②의 ZE 신호로 시스템의 제어입력 신호를 줄이게 되면 완만하게 시스템의 출력은 증가하게 된다. 시스템의 출력이 목표치에 도달할 때 ③의 신호로 출력을 줄이고 ④의 신호가 가해지면 오버슈트가 감소하는 방향으로 출력이 목표치에 도달하여 ⑤의 신호가 가해진다.

시스템 출력의 초기값보다 목표치가 작을 때에는 ⑥, ⑦, ⑧, ⑨, ⑤의 과정으로 신호가 가해져서 시스템의 출력은 목표값에 도달하게 된다.

따라서 과도응답시 원하는 응답특성은  $e$ 가 양으로 클때  $e$ 가 PB이고  $de$ 가 ZE인 ①에서 ②, ③, ④의 과정을 거쳐  $e$ 가 ZE이고  $de$ 가 ZE인 ⑤로 가도록 소속함수의 파라미터를 조정하고,  $e$ 가 음으로 클때  $e$ 가 NB이고  $de$ 가 ZE인 ⑥에서 ⑦, ⑧, ⑨의 과정을 거쳐  $e$ 가 ZE이고  $de$ 가 ZE인 ⑤로 가도록 소속함수의 파라미터를 조정한다.

이 조건에 부합할 수 있게 오차의 규정치( $e_{mm}$ )를 정하여  $e_{mm}$ 보다 클때는 그림 1의 삼각형 퍼지집합 소속함수 파라미터  $a_1, a_2, a_3$ 와  $b_1, b_2, b_3$ 를 동조시킨 후, 일반적인 퍼지제어규칙 표 1을 이용하여 추론을 한다. 또한  $e_{mm}$ 보다 작을때는 파라미터의 변동없이 미리 지정된 파라미터를 이용하고 일반적인 퍼지제어규칙 표 1을 이용하여 추론을 한다.

즉 오차가 규정치보다 양으로 큰 경우에는 ①~⑤, 음으로 작은 경우에는 ⑥~⑨, ⑤로 각각 수행된다면 오차가 규정치 보다 작게 되어 일반 퍼지제어 규칙을 적용하게 되는 경우 보다 整定時間이 빠르고, 오버슈트가 줄게 된다.

오차  $e$ 가 규정치보다 작을 때 까지 ①, ②, ③, ④, ⑤의 소속함수 파라미터 동조규칙을 수행하며, 동조규칙은 다음과 같다.

- ①  $a_3=e, a_1=0.2a_3, a_2=0.5a_3, b_1=2de, b_2=2.5b_1, b_3=5b_1$
- ②  $a_2=e, a_1=0.4a_2, a_3=2a_2, b_3=-de, b_1=0.4b_2, b_3=2b_2$
- ③  $a_1=10e, a_2=2.5a_1, a_3=5a_1, b_3=-de, b_1=0.2b_3, b_2=0.5b_3$

④  $a_1 = -e, a_2 = 2.5a_1, a_3 = 5a_1, b_1 = -de, b_2 = 2.5b_1, b_3 = 5b_1$

⑤  $a_1 = 10e, a_2 = 2.5a_1, a_3 = 5a_1, b_1 = 10de, b_2 = 2.5b_1, b_3 = 5b_1$

상태 ⑤ 이후에는 표 1의 퍼지제어 규칙에 의거하여 추론을 하게 되고, 목표치가 주어진 위치보다 음(negative)의 방향에 있을 때는 ⑥~⑨의 과정을 거쳐 ⑤의 동조를 하고 나서 표 1의 일반 퍼지제어규칙을 따른다. ⑥~⑨의 과정의 동조규칙은 아래와 같다.

⑥  $a_3 = -e, a_1 = 0.2a_3, a_2 = 0.5a_3, b_1 = 10de, b_2 = 2.5b_1, b_3 = 5b_1$

⑦  $a_2 = -e, a_1 = 0.4a_2, a_3 = 2a_2, b_2 = de, b_1 = 0.4b_2, b_3 = 2b_2$

⑧  $a_1 = 10e, a_2 = 2.5a_1, a_3 = 5a_1, b_3 = de, b_1 = 0.2b_3, b_2 = 0.5b_3$

⑨  $a_1 = e, a_2 = 2.5a_1, a_3 = 5a_1, b_1 = de, b_2 = 2.5b_1, b_3 = 5b_1$

⑤  $a_1 = 10e, a_2 = 2.5a_1, a_3 = 5a_1, b_1 = 10de, b_2 = 2.5b_1, b_3 = 5b_1$

오차가 양이나 음으로 규정이상으로 클때, 각각 ①~⑤, ⑥~⑨, ⑤의 동조를 수행하고 일반 퍼지제어규칙을 따르게 된다.

그림 2는 본 논문에서 제안한 퍼지제어기를 갖는 전체 제어계의 블럭선도를 나타낸다.

### 3. 시뮬레이션

빠른 속도와 짧은 스트로크를 갖는 MC-LDM은 작은 거리에서 多点(multi-point) 위치제어를

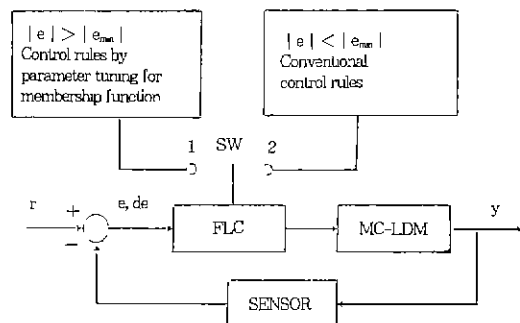


그림 2 제안한 퍼지제어기를 갖는 전체 제어계의 블럭선도  
Fig. 2. Block diagram for control system incorporating proposed Fuzzy Controller

하여야 하므로, 오버슈트와 이에 따른 整定時間이 문제가 되고 있다.

따라서 과도현상시 속도가 빠르고 개선된 응답 특성을 가질수 있도록, e 및 de에 대한 소속함수 파라미터를 동조시키고 이를 기반으로 추론을 하는 2-2절에서 제안한 퍼지제어방식에 대하여 시뮬레이션을 수행하였다.

본 연구에 사용된 MC-LDM의 상태공간 모델은 식 (1)로 된다.<sup>17)</sup>

$$\begin{bmatrix} \dot{X}_1 \\ \dot{X}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -\frac{1}{T} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ K_m \end{bmatrix} V \dots\dots\dots(1)$$

$$T = \frac{RM}{K_e K_t}, K_m = \frac{1}{K_e}$$

여기서  $X_1$ 은 MC-LDM의 출력인 거리,  $X_2$ 는 속도를 나타내는 상태변수이고, R, M,  $K_e$ ,  $K_t$ 는 각각 가동자 코일의 저항, 질량, MC-LDM의 역기전력 상수, 추력상수를 나타낸다.

MC-LDM의 사양은 표 3과 같고, 시뮬레이션을 위해 사용된 샘플링시간은 1.33(ms)이고, 오차의 규정치  $e_{min}$ 은 0.003으로, 기준 궤적은 0~0.666 [sec]에서 3[cm], 0.667~1.334[sec]까지는 1[cm], 1.335~2[sec]에서는 2[cm]로 MC-LDM의 多点 기준 위치를 정하였다.

제안한 소속함수 파라미터 동조에 의한 多点 위치퍼지제어 응답 특성을 일반 퍼지제어 응답 특성과 비교하기 위하여 시뮬레이션을 수행한 결과가 그림 3의 (a)와 (b)이다.

일반 퍼지제어의 과도 응답 상태에서 오버슈트 현상을 볼 수 있으나 제안한 퍼지제어의 응답 특성은 오버슈트가 현저히 감소하고(거의 없으며) 整定時間이 줄어드는 개선된 과도응답 특성을 얻

표 3. 가동 코일형 선형 직류 전동기의 사양  
Table 3. Specification of Moving-Coil type LDM

전원전압 V	6 [V]
추 력 F	0.7 [N]
속 도 V	2 [m/s]
자속밀도 B	0.12 [Wb/m <sup>2</sup> ]
가동거리 X	0.4 [m]
가동자의 질량 M	0.03 [kg]
가동자코일의 저항 R	6.73 [ $\Omega$ ]
역기전력 상수 $K_e$	1.5 [Vs/m]
추력상수 $K_t$	0.152955 [kgf/A]

### 4. 실험

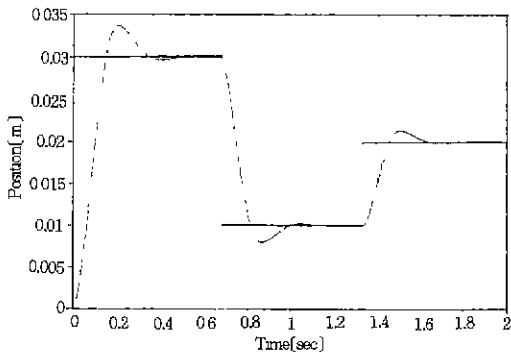
#### 4.1 실험장치의 구성

제한한 소속함수 동조에 의한 퍼지제어 알고리즘은 C-언어를 이용하여 IBM-PC 486으로 구현하였고 샘플링 시간은 1.33[ms]로 하였다.

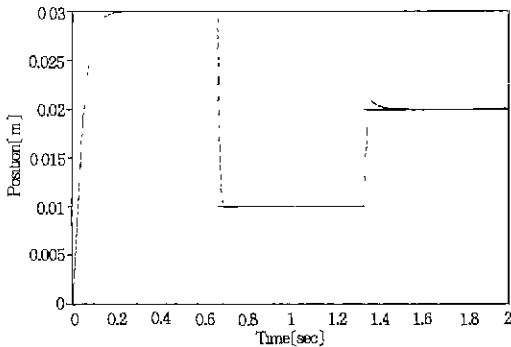
IBM-PC 486과의 인터페이스(Interface)를 통해 간단한 하드웨어(Hardware)로 제작한 실험장치의 구성도는 그림 4와 같다.

그림에서 인터페이스 카드는 2개의 8255를 사용하여 병렬 입·출력 포트가 최대 6개를 사용할 수 있게 하였고, 하드웨어 인터럽트를 3개까지 사용 가능하게 했으며, 시스템 클럭을 4분주하여 사용할 수 있게 제작하였다.

IBM-PC 486의 퍼지제어기에서 나오는 제어입



(a) 일반적인 퍼지 제어  
(a) Conventional Fuzzy Control



(b) 제한된 퍼지 제어  
(b) Proposed Fuzzy Control

그림 3 시뮬레이션에 의한 가동코일형 선형 직류 전동기의 多点 위치제어 특성

Fig. 3. Multi-point control characteristics for MC-LDM by simulation

력신호는 인터페이스 카드를 거쳐 모터 구동회로로 가해진다. 모터 구동회로는 PWM방식을 사용하였고, 범용성을 높이기 위해 PWM 펄스를 소프트웨어(Software)로 처리할 수 있게 하였으며, 드라이버(Driver)는 Dual full-bridge driver IC L298N을 사용하였다.

위치센서로서는 적외선 발광 & 수신 센서인 일본 광전자사의 EL492를 사용하였고, 적외선 센서로 부터 검출된 신호는 LP-filter를 통해 Sample and Hold를 거쳐 A/D컨버터를 통해 인터페이스카드로 간다.

Sample and Hold는 LF398을, AD 컨버터는 ADC0802를 사용하였고, 변환시간을 줄이기 위해 PC에서 나오는 클럭을 사용하였다. 데이터는 약 4kHz의 속도로 PC쪽으로 입력되게 하였다.

그림 5는 이에 대한 실험장치도이다.

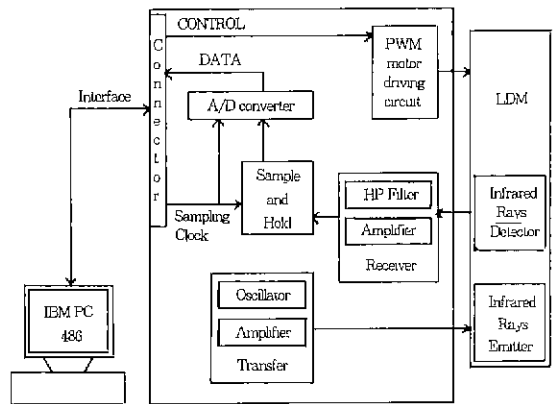


그림 4 실험장치의 구성도  
Fig. 4 Configuration for Experimental unit

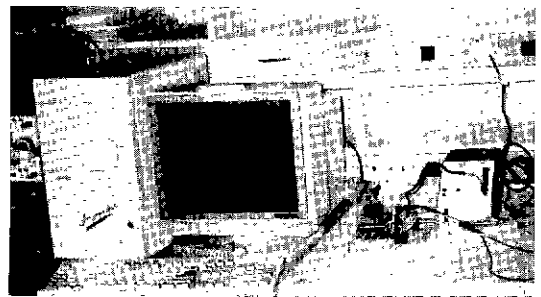


그림 5. 실험장치도  
Fig. 5 Experimental unit

#### 4.2 실험결과 및 검토

시뮬레이션을 위해 C-언어를 이용하여 프로그래밍 한 프로그램에서 제어대상인 MC-LDM을 위해 사용하였던 미분방정식 대신에 MC-LDM으로 대체시키고, 4-1절에서 설명한 실험장치를 이용하여 실험한 결과는 그림 6이다.

그림 6의 (a)는 실험에 의한 MC-LDM의 일반적인 퍼지제어 특성을 나타내고 있으며, 과도응답시 큰 오버슈트를 보이고, 1.335[sec]이후의 심한 떨림 현상이 지속되고 있다.

(b)는 제안된 퍼지제어 특성으로 정상응답에 이르는 整定時間이 (a)의 특성보다 개선되었고, 오버슈트도 (a)에 비해 억제되었으며, 마지막 구간인 2[cm]의 위치제어에서 (a)의 일반적인 퍼지제어방식에 비해 우수한 응답특성을 나타낸다.

실험결과는 일반적인 퍼지제어 방식에 비하여

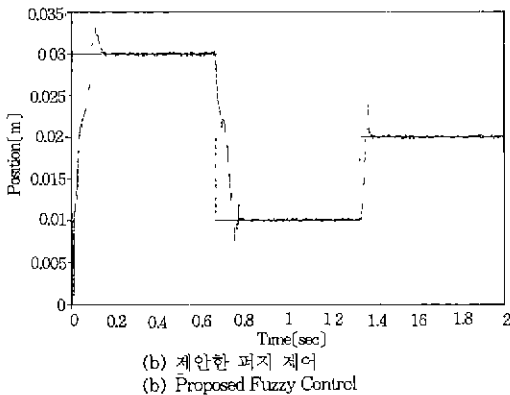
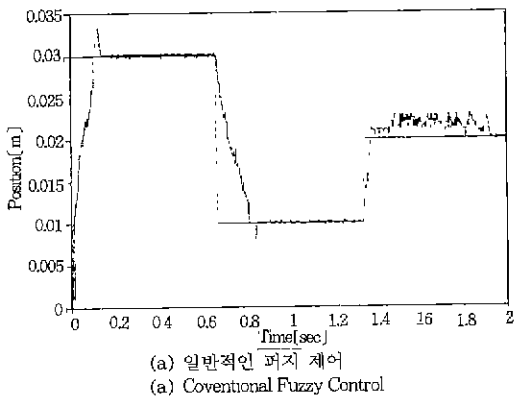


그림 6. 실험에 의한 가동코일형 선형직류전동기의 多点 위치제어 특성

Fig. 6 Multi-point control characteristics for MC-LDM by Experiment

제안한 퍼지제어방식이 빠른 整定時間과 감소된 오버슈트를 갖는다.

이와 같이 제안한 퍼지제어방식은 MC-LDM의 多点 위치제어에 유용함을 확인하였으므로, X-Y 구동장치, 디스크구동장치 제어등에 응용될 수 있을것으로 사료된다.

#### 5. 결 론

본 연구에서는 MC-LDM의 多点 위치제어를 위하여 새로운 퍼지제어방식을 제안하였다.

제안한 퍼지제어방식은 MC-LDM의 多点 위치제어에서 나타나는 오버슈트를 억제하고 整定時間을 빠르게 하기 위하여, 미리 특성에 맞는 응답을 정하여 오차값을 설정하고, 오차가 설정치보다 클 때는 소속함수의 파라미터를 동조하고 설정치보다 작을 때는 소속함수의 파라미터를 변화시키지 않고 일반적인 퍼지제어를 하는 방식이다.

제안한 퍼지제어방식의 유용성을 입증하기 위하여 시뮬레이션 및 실험을 하였다.

그 결과 제안된 방식의 퍼지제어기는 일반적인 퍼지제어기에 비해 오버슈트가 현저하게 줄어들었고 整定時間이 감소하는 개선된 응답특성을 얻을 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

- 1) Bezdek, J. C., Analysis of Fuzzy Information Vol II : Artificial Intelligence and Decision System, CRT Preee : Florida, p251, 1987
- 2) Bezdek, J. C., Analysis of Fuzzy Information Vol II : Applications in Engineering and Science, CRT Preee : Florida, p296, 1987.
- 3) Gupta, M. M., Kandel, A., Bandler, W., and Kiszka, J. B., Approximate Reasoning in Expert Systems, North-Holland : Amsterdam, p835, 1985
- 4) Mamdani, E. H., "Applicaton of Fuzzy algorithm for control of simple dynamic plant," IEEE Proc Control & Science, Vol. 121, No.12, pp.1585~1588, Dec., 1974
- 5) R JHONSTON, "FUZZY LOGIC CONTROL", GEC JOURNAL OF RESEARCH, VOL 11, NO.2, PP.99~109, 1994.
- 6) HAO YING, "Practical Design of Nonlinear Fuzzy Controllers with Unknown Mathematical Models", Automatica,

- VOL. 30, NO. 7, pp.1185~1195, 1994.
- 7) Ming Kun Gu, et al., "A Cascade Architecture of Adaptive Fuzzy Controllers For Inverted Pendulms" FUZZ - IEEE, VOL 2, pp 1514~1519, 1994.
  - 8) 松永信智, 川路茂休, "Hybrid Control for DC Motor", 일본전기학회논문집 D, Vol 111, No.3, pp.195~200, 1991
  - 9) Zdenko Kovaac, "Adaptive Fuzzy Control with Model Reference-Based Fuzzy Adaptation Mechanism", Second IEEE Conference on Control Application, pp.189~195, 1993.
  - 10) Ho Chung Lui, et al., "A Self-Tuning Adaptive Resolution Fuzzy Control Algorithm", FUZZ - IEEE, VOL. 2, pp.1508~1513, 1993.
  - 11) M Strefezza, H. Kobayashi, Y. F. Chen, "Variable Structred Robust Control by Fuzzy Logic and Stability for AC Drive System," Second IEEE Conference on Control Application, September, pp.177~182, 1993
  - 12) J. Y. Lai, J. J. Shieh, "ON THE DEVELOPMENT OF A FUZZY MODEL-BASED CONTROLLER FOR ROBOTIC MANIPULATORS", Proceeding of the 1992 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.286~292, 1992
  - 13) S Murakami, F. Takemoto, "Weld-Line Traking Control of Arc Welding Robot Using Fuzzy Logic Controller," Fuzzy Set and Systems, Vol.29, pp 221~235, 1989.
  - 14) M Sugeno, K Murakami, "Fuzzy Parking Control of Model Car", IEEE Proc. of 23rd Conference on Decision and Control, pp.901~903, 1984.
  - 15) Li, Y. F., Lau, C.C., "Development of fuzzy algorithms servo systems", IEEE Control System Magazine, pp.65~72, April 1989
  - 16) Dr. Tuan T. Ho, "STOCHASTIC FUZZY DIRECT ADAPTIVE CONTROL", FUZZ - IEEE, VOL. 2, PP.750~755, 1994
  - 17) 손동설, "선형직류전동기의 최적설계 및 제어", 동국대 박사학위논문, 1993

◆ 著 者 紹 介 ◆



엄 기 환(嚴基煥)

1949년 10월 8일생. 1972년 2월 동국대학교 공대 전자공학과 졸업. 1986년 2월 동국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 현재 동국대학교 전자공학과 부교수.



이 용 구(李鎔求)

1963년 7월 28일생. 1987년 2월 동국대학교 공대 전기공학과 졸업. 1993년 2월 동국대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 1993년 9월 ~현재 동국대학교 대학원 전자공학과 박사과정.



손 동 설(孫東高)

1952년 8월 18일생. 1978년 2월 동국대학교 전자공학과 졸업. 1981년 2월 동국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사), 1994년 2월 동국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1989년 3월 ~현재 유한전문대학 전자과 조교수.