

부하의 영향에 적응하는 퍼지 제어기 구현

김 재욱\*, 정 영창\*\*, 홍 철호\*\*, 장 철훈\*  
 호서대학교 전자공학과\*, 호서대학교 전기·전자·제어공학부\*\*

Implementation of Fuzzy Controller Applying Load influence

Kim Jae-Wook, Jung Young-Chang, Hong Chul-Ho, Chang Chul-Hoon  
 Hoseo University

**Abstract** - This paper presents experimental results of the fuzzy controller for DC servo motor. The fuzzy controller consists of 9 quantized levels and 25 fuzzy rules. The fine Controller is employed in the fine control mode when the value of error is between -0.03 and +0.03, whereas the coarse controller is used in the coarse control mode when the value of error is in the outside range of -0.03 and +0.03. The experimental results show that the fuzzy controller provides a better performance (lower overshoot and error) than the PID controller regardless of the load applied.

1. 서 론

서보 모터는 프린터, 테이프 레코더, 그리고 로봇 매니퓰레이터 등을 구동하는 자동화 시스템에 많이 사용되고 있다. 1970년대에 마이크로 프로세서가 개발된 이래로 마이크로 프로세서를 기초로 하는 서보 모터 제어기가 아날로그 제어기의 특성보다 우수하여 더 널리 사용되고 있다. 한 가지 분명한 이유는 마이크로 프로세서가 부하 변화, 공정의 비선형성, 그리고 플랜트 파라미터의 변화와 같은 가변적인 환경에 적용할 수 있는 지능 제어 알고리즘을 적용하기에 유용하다는 것이다. 마이크로 프로세서를 기초로 하는 제어기는 지난 사실을 기억하고 현재의 입력으로부터 미래의 결과를 예측할 수 있다. 디지털 제어기의 이런 점이 아날로그 제어기의 능력보다 월등한 것이다[1,2].

재래의 디지털 제어 알고리즘은 공정의 전달함수를 구함으로써 적용할 수 있었다[3]. 그러나 실제의 경우에 있어서 시스템의 동특성에 관한 상세한 정보를 시스템에서 찾아내어 전달함수를 사용하여 공학적으로 기술하는 것이 항상 쉽지만은 않다. 많은 시스템의 상태 변수 표현에는 동적 시스템과 같은 비선형 특성, 불확정성, 시간지연 특성과 시스템 변수의 변동 등의 동특성 정보들이 존재하게 된다. 따라서, 서보 모터는 대개 PID 제어를 사용하여 제어한다. 제어 능력을 최적화하는 일반적인 방법은 PID의 파라미터를 적절하게 조정하는 것이나, 이 경우는 가변적인 제어 환경이나 시스템의 비선형성에는 대응할 수 없다는 문제점이 있다.

이러한 문제의 해결방법으로서, 인간의 직관 및 전문가의 경험적 지식과 종래의 제어기법을 결합한 퍼지 제어 알고리즘은 수학적 모델이나 파라미터 값을 알지 못하더라도 제어가 가능하다[4].

그러나, 퍼지 제어를 할 경우 PID등의 고전적 제어기에 비해 비선형 시스템에서는 유연한 제어성능을 발휘하고 있으나, 최적규칙 선정 및 제어변수의 양자화 준위 선정 등에 있어서 문제점이 지적되고 있다. 특히 서보 모터를 PID 제어하는 경우에는 정상편차가 적지만 부하변동에 의한 과도응답이 악화되는 문제점이 있다. 이에 비해 퍼지 제어는 부하변동에 대한 과도특성은 양호하지만

정상편차가 존재하는 결점이 있다[5].

본 논문에서는 이런 두 문제점을 상호 보완하기 위하여 두 제어기를 병렬로 구성함으로써 불확실한 부하영향을 갖는 직류전동기의 위치제어에 적용하였다.

2. 본 론

2.1 퍼지 논리 제어기

퍼지 제어기는 기능상 디지털 제어기와 유사한 구조를 가지고 있다. 디지털 제어기는 소프트웨어인 제어규칙과 하드웨어인 계산장치로 구성되는데, 퍼지 제어기는 제어기의 내부에서 처리되는 정보량의 형태가 다를 뿐이다.

퍼지 논리 제어기는 퍼지이론의 응용분야로서 시스템 특성이 복잡하여 입출력관계의 정량적인 분석이 어려운 경우 기존의 제어기들보다 우수한 제어 결과를 보이지만 설계하는 데에 있어서 일반적인 체계가 정립되어 있지 않다.

퍼지 논리 제어기는 전문가의 경험적 지식에 기초한 언어적 제어전략을 기계적인 시스템에 구현할 수 있는 수단을 제공한다[6,7].

2.1.1 퍼지 제어 알고리즘

퍼지 제어를 만들기 위해서는 경험에 근거한 법칙들을 이용하여 관련된 상황에 대한 제어기의 입출력값을 주는 테이블을 만들 필요가 있다. 퍼지 알고리즘은 상황을 나타내는 내용과 그때 어떤 기능을 수행해야 하는지를 설명하는 내용으로 제어규칙을 만든다. 또한 연속된 값들을 언어변수로 만들기 위해서 다음과 같은 언어집합들을 사용한다.

표 1. 퍼지 변수

LN	Large Negative
SN	Small Negative
ZE	ZZero
SP	Small Positive
LP	Large Positive

제어규칙을 퍼지형태로 표시한 후에 소속함수를 이용하여 언어집합들을 나타낸다. 소속함수의 모양은 여러 가지가 있는데 본 논문에서는 다음의 그림 1과 같이 구성하였다.

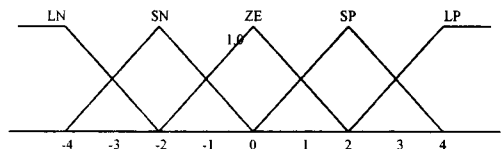


그림 1. 소속 함수

표 2. 이산화 변수 (개략적 제어)

Level	오차 (E)		오차변환 (CE)	
-4	~ -0.4		~ -1.0	
-3	-0.4	~ -0.2	-1.0	~ -0.5
-2	-0.2	~ -0.1	-0.5	~ -0.25
-1	-0.1	~ -0.03	-0.25	~ -0.1
0	-0.03	~ 0.03	-0.1	~ 0.1
1	0.03	~ 0.1	0.1	~ 0.25
2	0.1	~ 0.2	0.25	~ 0.5
3	0.2	~ 0.4	0.5	~ 1.0
4	0.4 ~		1.0 ~	

표 2에서는 임의의 소속함수에 대한 퍼지집합을 보여 주고 있다. 여기서는 오차[rad], 오차변환[rad/sec], 그리고 제어 입력 변수들이 포함되어 있다. 제어 입력 변수는 LN, SN, ZE, SP, LP 등 5개의 언어집합으로 이루어지며 각 집합은 9등분으로 이산화되어 있다.

각각의 규칙은 퍼지 명제들로 구성되고 이 명제는 소속 함수로 나타낼 수 있다.

즉,  $\mu_{A_{11}} \leftrightarrow "x_1 \text{ is } A_{11}"$ 이고, 위의  $i$  번째 규칙에 해당하는 소속 함수  $\mu_{M_i}$ 는 3차원 상에서 [0,1]의 수치적 원소로 표시된다.

$$\mu_{M_i}(x_1, x_2, u) = \mu_{A_{11}}(x_1) \wedge \mu_{A_{2i}}(x_2) \wedge \mu_{B_i}(u) \quad (1)$$

그리고, 전체의 규칙을 고려한 퍼지 메모리의 소속 함수  $\mu_M$ 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \mu_M &= \bigvee_{i=1..n} \mu_{M_i}(x_1, x_2, u) \\ &= \bigvee_{i=1..n} (\mu_{A_{11}}(x_1) \wedge \mu_{A_{2i}}(x_2) \wedge \mu_{B_i}(u)) \end{aligned} \quad (2)$$

표 3. 퍼지 제어 규칙

CE \ E	LN	SN	ZE	SP	LP
LN	LN	LN	LN	SN	ZE
SN	LN	SN	SN	ZE	SP
ZE	LN	SN	ZE	SP	LP
SP	SN	ZE	SP	SP	LP
LP	ZE	SP	LP	LP	LP

수 회 실험에 의해 시행착오를 거쳐 최적이라 판단된 25개의 퍼지규칙이 만들어졌는데 표 3과 같다.

표 4. 이산화 변수 (미세 제어)

Level	오차 (E)		오차변환 (CE)	
-4	~ -0.03		~ -0.1	
-3	-0.03	~ -0.015	-0.1	~ -0.05
-2	-0.015	~ -0.0075	-0.05	~ -0.025
-1	-0.0075	~ -0.0025	-0.025	~ -0.01
0	-0.0025	~ 0.0025	-0.01	~ 0.01
1	0.0025	~ 0.0075	0.01	~ 0.025
2	0.0075	~ 0.015	0.025	~ 0.05
3	0.015	~ 0.03	0.05	~ 0.1
4	0.03 ~		0.1 ~	

다음으로 이러한 규칙들을 이용하여 제어를 수행할 경우에 오차가 0에 가까울 경우에는 최적의 제어조건을 주지 못할 경우가 있다. 이런 경우에는 오버슈트가 발생하여 원하는 위치 근방에서 흔들리는 경우가 발생하게

된다. 그러므로 표 2는 개략적인 제어의 경우에만 사용하며 미세하게 제어할 경우에는 다음의 표 4에 보여지는 미세 제어용 양자화 변수 및 소속함수표를 함께 사용한다.

본 실험에서는 미세 제어를 위하여 오차가 -0.03에서 0.03 사이일 경우에는 미세 제어용 표를, 이 범위를 벗어날 경우에는 개략 제어용 표를 사용하도록 하였다. 그림 2에서는 이에 대한 퍼지 제어기의 구성도를 보여주고 있다.

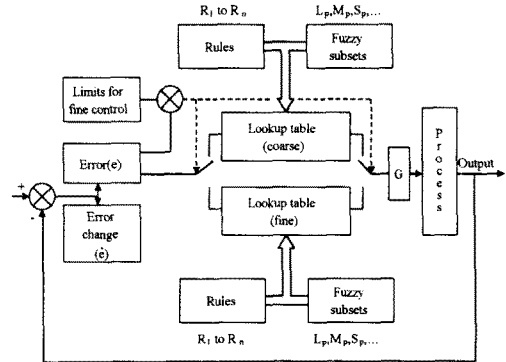


그림 2. 퍼지 제어기의 블록 다이어그램

이상과 같은 제어규칙을 이용하여 입력퍼지값을 출력 퍼지값에 사상하는 추론을 하게 되는데, 본 실험에서는 직접법중 Mamdani의 MAX-MIN 추론법을 사용한다. 추론에 의한 결과는 실제 출력이 아닌 퍼지출력이므로 실제 출력으로 변환하는 비퍼지화 과정을 거친다. 이 과정을 식으로 표현하면 다음 식 (3)과 같다.

$$U_0 = \text{defuzzifier}(U) \quad (3)$$

여기서,  $U_0$  : 제어 입력이 되는 비퍼지값

$U$  : 퍼지 추론의 퍼지 결과

비퍼지화 방법에는 최대값 방법, 최대평균법, 그리고 무게중심법이 있으나 여기서는 무게중심법을 이용하였다.

$$u_0 = \frac{\sum_{j=1}^n \mu(u_j) u_j}{\sum_{j=1}^n \mu(u_j)} \quad (4)$$

여기서,  $n$ 은 제어변수 전체집합의 이산화 준위

두 제어기를 병렬로 구성한 제어기의 블록다이어그램은 그림 3과 같다.

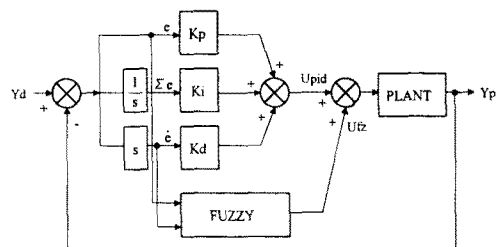


그림 3. PID 제어기에 퍼지 제어를 결합한 블록 다이어그램

## 2.2 실험 결과

본 논문은 6ms의 샘플링 시간, 500개의 샘플링 개수로 하여 sin함수를 입력하였다. 퍼지 제어기의 성능은 PID 제어기를 사용하여 실험한 결과와 비교하였다. 아래의 그림 4는 부하의 영향을 실험하기 위하여 사용한 모터와 파워더 브레이크의 세트이다.

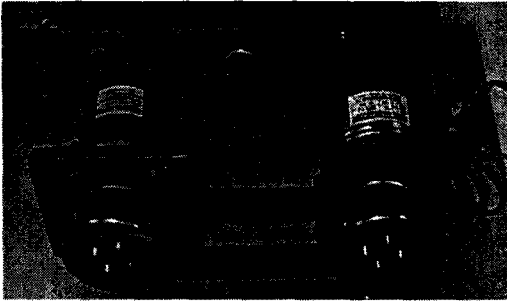


그림 4. 모터-브레이크 세트

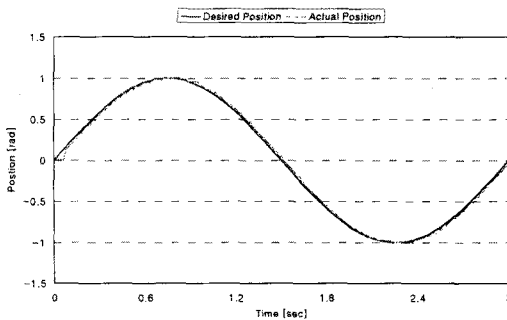


그림 4. PID 제어기의 위치 궤적

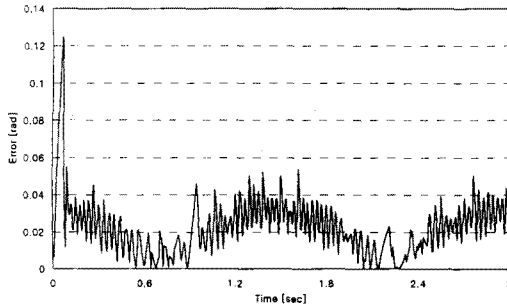


그림 5. PID 제어기의 오차

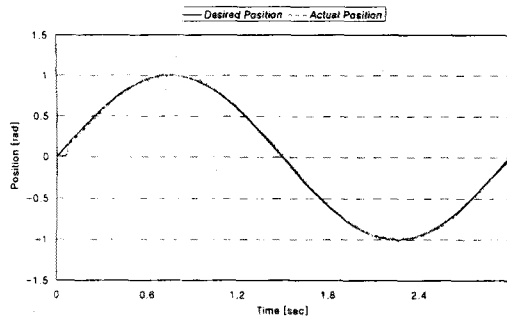


그림 6. 퍼지 제어기의 위치 궤적

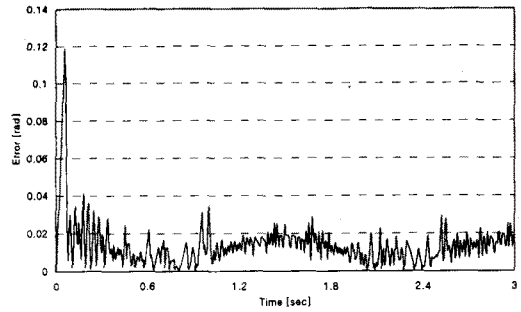


그림 7. 퍼지 제어기의 오차

## 3. 결 론

본 논문의 실험 결과를 통해, PID 제어기에 퍼지 제어를 결합한 퍼지 PID 제어기는 정상편차가 존재하는 퍼지 제어기의 문제점과 부하의 영향에 대한 과도특성이 악화되는 PID 제어기의 문제점을 보완하였음을 확인할 수 있다.

본 논문에서는 퍼지 PID 제어기를 모터라는 비교적 간단한 시스템에 적용하였으나, 더욱더 복잡하고 비선형적인 시스템에 적용한다면 더 좋은 결과를 얻을 수 있으리라 사료된다.

### (참 고 문 헌)

- [1] Y. F. Li and C. C. Lau, "Development of Fuzzy Algorithms for Servo Systems", IEEE Control System Magazine, vol. 9, no 3, pp. 65-72, 1989.
- [2] Kishan Kumar Kumbha, Mo Jamshidi, "Hierarchical Fuzzy Control of Robotic Manipulators", Journal of Intelligent and Fuzzy systems, vol. 3, pp. 21-29, 1995.
- [3] Raven, "Automatic Control Engineering", International Student Edition, McGraw-Hill, 1968.
- [4] 이오걸, "퍼지 기법으로 구동되는 직류 서보 시스템의 위치 제어", 동아대학교 전기공학과 박사 학위 논문, 1992.
- [5] Earl Cox, "Adaptive Fuzzy Systems", IEEE SPECTRUM FEBRUARY, pp. 27, 1993.
- [6] L. Boullart, A. Krijgsman, R. A. Vingerhoeds, "Application of Artificial Intelligence in Process Control", Pergamon Press, 1992.
- [7] E. H. Mamdani, "Application of Fuzzy Logic to Approximate Reasoning using Linguistic Synthesis", IEEE Trans. on Comput., vol. C-26, pp. 1182~1191, Dec. 1997.