

퍼지 동조 기법을 이용한 교류 서보 전동기의 속도제어

윤 광호* 김 상훈 김 낙교 남 문현
건국대학교 전기공학과

Speed Control of AC Servo Motor Using Fuzzy-Tuning Method

Kwang-Ho Yun*, Sang-Hoon Kim, Lark-Kyo Kim, Moon-Hyun Nam
Department of Electrical Engineering Konkuk University

Abstract - A conventional PID controller does not provide a proper response in face of various kinds of load variation. In this paper, Fuzzy-PID Control scheme are proposed in order to improve the performance of the PID Controller. The proposed control schemes are applied to the speed controller of AC servo motor systems. The effectiveness of the proposed methods is shown by implementation and the advantage of each control scheme is discussed.

1. 서 론

최근 사용범위가 확대되고 있는 교류 서보 전동기는 브러쉬와 정류자가 없는 구조이므로 효율과 신뢰성이 높으며 무단 변속과 열악한 작업환경에서도 구동이 가능하고, 운전소음의 감소 및 정비비용이 저감을 가져올 수 있어 광범위한 분야에서 사용이 증가되고 있다[1]. 일반적으로 교류 서보전동기의 속도제어에는 비례제어기(P Controller)나 비례-적분 제어기(PI Controller) 또는 비례-적분-미분 제어기(PID Controller)를 사용하였다.

이것은 이러한 제어기들이 구현하기 쉽고 속도지령 추종 면에서 오차를 야기할 수 있으나, 그 오차의 양을 쉽게 예측할 수 있기 때문이다. 그러나 운전점이 달라지거나 시스템 매개변수가 변하는 등 시스템의 비선형적 요소가 발생할 경우에는 최적의 운전상태를 유지하기 위하여 제어상수 값을 적절히 변화시켜야 하는 문제가 발생한다.[2]

이러한 문제점을 개선하기 위하여 기준모델을 이용하는 기준모델 적응제어(Model Reference Adaptive Control) 기법이 많이 연구되어 왔다. 기준모델 적응제어는 원하는 동작특성을 갖는 기준 모델을 설정해 놓고 기준모델의 출력과 플랜트 출력 사이의 오차를 최소화시키는 제어기법이다.

그러나 이러한 기준모델 적응제어는 안정성의 문제점과 많은 계산량으로 인해 보다 정밀하고 빠른 응답이 요구되는 서보 시스템의 적용에 문제점이 발생한다[1].

최근 들어 이와 같은 기존의 제어방식의 문제점을 해결하기 위해서 많은 연구자들은 시스템의 비선형성에 대응할 수 지능형 제어기법을 연구, 개발하였으며 그 대표적인 경우가 수학적 모델이 필요없고 언어적 제어가 가능하며 전문가의 지식을 활용할 수 있는 퍼지제어(Fuzzy Control)이다.

퍼지 제어의 특징은 첫째, 복수개의 If-Then 형식을 가지는 제어규칙으로부터 제어입력 u 를 결정하는 병렬형

제어 구조를 가지므로 비선형성을 나타내거나 복잡한 플랜트의 제어에 효과적이며, 둘째, If-Then 형식의 조건부에 다양한 전제를 달수 있기 때문에 물리적인 방법으로 측정할 수 없는 현상까지도 처리할 수 있다. 셋째, 제어 알고리즘 자체가 일상언어에 대응되는 형태를 가지므로 언어 변수를 조작함으로써 쉽게 제어성능을 개선시킬 수 있다[3][4].

본 논문에서는 퍼지 제어기법을 사용하여 PID 제어기의 매개변수를 자동으로 조정할 수 있는 PID-퍼지 제어를 설계하였으며 설계된 제어기를 교류 서보 전동기의 속도제어에 적용하여 PID 제어기와 비교실험을 통해 제어기의 기본성능을 입증하였다. 또한 가변속 운전제에 적용하여 시스템의 운전점이 달라지는 경우에도 자동으로 매개변수를 조정하여 기존의 PID 제어기에 비해 양호한 특성을 나타낸다는 것을 입증하였다.

2. 본 론

2.1 PID 제어기

연속시간에서의 PID제어기의 출력은 식(2.1)과 같다.

$$U(t) = K \left\{ e(t) + \frac{1}{T_I} \int e(t) dt + T_D \cdot \frac{de(t)}{dt} \right\} \quad (2.1)$$

이 식을 샘플링 주기 T로 이산화(discrete)하면 식(2.2)와 같다.

$$U(n) = K \left\{ e(n) + \sum_{m=0}^n \frac{T}{T_I} e(m) + \frac{T_D}{T} (e(n) - e(n-1)) \right\} \quad (2.2)$$

이때 T_I 는 적분시간, T_D 는 미분시간, $U(n)$ 은 이산시간 n시점에서의 제어 입력이고 적분은 합으로, 미분은 1계의 퇴행차분으로 근사화 하였으며 K_P , K_I , K_D 는 각각 PID 제어기의 비례, 적분, 미분의 파라미터를 나타낸다.

식 (2.2)로부터 이산시간 PID제어기에서 1샘플링 주기의 변화분인 제어기 출력값은 식 (2.3)으로 나타낼 수 있다.

$$\Delta u(n) = u(n) - u(n-1) = K_P(e(n) - e(n-1)) + K_I(e(n) + e(n-1) - 2e(n-2) + e(n-3)) \quad (2.3)$$

2.2 퍼지 제어기

퍼지 제어기는 "IF-THEN"으로 표현된 퍼지규칙 및 퍼지추론에 기반을 둔 제어로서 비선형 시스템에 적용이 용이하고, 병렬형, 논리형 제어기로서 그림 2.1과 같이 퍼지화부(fuzzifier), 퍼지규칙 베이스(fuzzy rule base), 퍼지 추론부(fuzzy inference engine), 비퍼지화부(defuzzifier)로 구성되며 그림 1에 나타내었다. 제어 입력 변수의 값을 측정하여 입력 변수 값의 영역(range)을 이에 상응하는 전체집합(universe of discourse)으로 크기를 변환시켜 이 입력 값을 퍼지화시키는 퍼지화부, 각각의 입력변수들을 퍼지판계와 퍼지추론의 규칙을 도입하여 퍼지 제어 입력을 구해주는 퍼지 추론단계, 또한 추론 후에 계산된 퍼지값을 실제 제어입력으로 사용할 수 있게 이를 명확한 값으로 변환시키는 비퍼지화 단계로 수행한다.

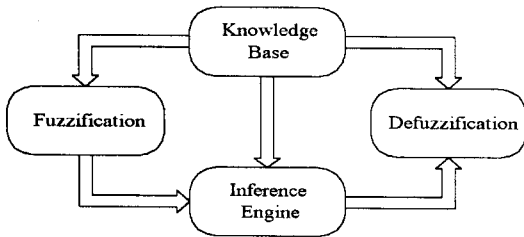


그림 1. 퍼지제어 시스템의 구성

2.3 퍼지-PID 제어기

본 논문에서 사용된 퍼지-PID제어기를 이용한 교류 서보 전동기 속도제어의 시스템 구성은 그림 2와 같이 크게 세 부분으로 구성되어 있다.

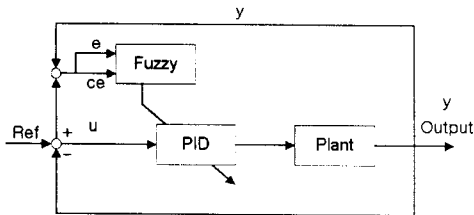


그림 2. 시스템의 구성도

여기서 u 는 플랜트에 입력되는 PID제어기의 제어입력이며 y 는 플랜트의 실제출력이다.

본 논문에서는 퍼지 동조기법을 이용하여 PID 제어기의 매개변수를 조정하였다. 기준입력과 플랜트 출력 사이의 오차 e 와 오차변화율 Δe 은 퍼지 동조기의 입력변수로 사용되며 퍼지 동조기는 오차 e 와 오차변화율 Δe 에 따라 PID 제어기의 매개변수의 변화율을 결정하며 이를 다시 적분기를 통해 PID 제어기의 매개변수를 만들어 낸다. 이러한 퍼지동조 기법에 의해 PID 제어기의

매개변수들은 플랜트의 출력이 기준입력을 추종하도록 매개변수를 계속해서 갱신하게 된다.

본 논문에서 사용한 퍼지 동조기의 규칙은 PID 제어기의 매개변수들(K_p, K_i, K_d)의 특징에 따라 7×7 로 작성되었으며 추론방법으로는 Mamdani의 Min-Max 연산법을 사용하였으며 이러한 퍼지 값들을 실제 적용하기 위하여 비퍼지화 방법으로 무게중심법(The center of Gravity)을 사용하였다. 비퍼지화된 값은 다시 비선형 양자화 과정을 통하여 PID 제어기 매개변수의 변화율로 적용하였다.

2.4 실험장치

실험에 사용된 시스템은 PC(Pentium-II 233)을 이용하여 그림 3 과 같이 구성되었다. DSP보드는 모터로부터 엔코더의 펄스를 세고, 서보팩으로 PC에서 계산되어진 제어 입력을 전달해 주며, 그 외에 PC와 서보팩 간의 인터페이스를 제공한다.

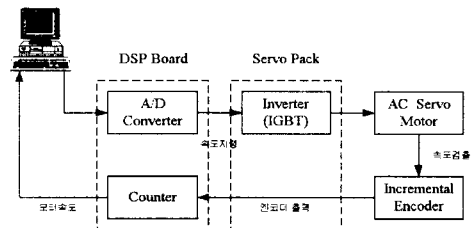


그림 3. 실험장치 구성도

교류 서보전동기의 속도제어 실험에 사용된 모터는 정격 출력 400 W (LG기전 : FMA-CN04-AB00)이며 속도 측정을 위해 $2000[\text{PPR}]$ 의 분해능을 갖는 엔코더를 사용하였으며 TI사의 TMS320C32를 CPU로 한 DSP보드를 사용하여 실험하였다. 측정되어진 출력 데이터는 병렬 포트를 통하여 PC와 통신하므로 고속의 전송이 가능하고, 회전속도는 엔코더의 위치신호를 계수하여 얻어 낸다. 제어기의 샘플링 주기는 $1[\text{msec}]$ 이다.

2.4 실험결과

2.4.1 sine 응답특성

(1) PID 제어기

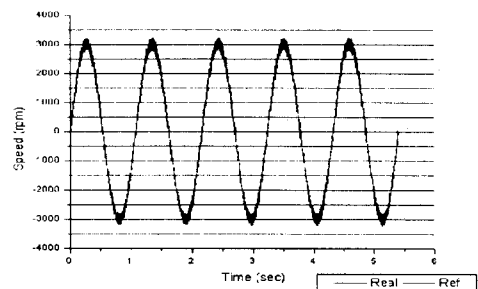


그림 4. PID 제어기 응답

(2) 퍼지-PID 제어기

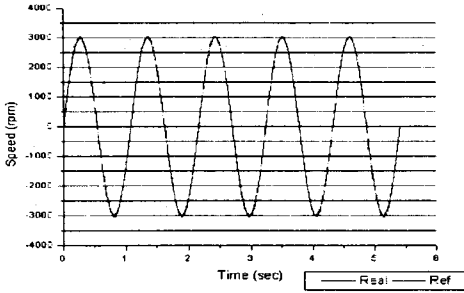


그림 5. 퍼지-PID 제어기 응답

그림 4~5는 교류 서보 전동기의 sine 입력시의 출력 응답을 PID 제어기, 퍼지-PID 제어기와 비교실험 한 것이며 실험결과는 표 1과 같다.

표 1 실험결과

	출력응답 [rpm]	기준입력과 실제출력간의 오차(%)
PID제어기	3207 ~ 2819	6.67
퍼지-PID 제어기	3024 ~ 2977	0.83

2.4.2 가변속운전

(1) PID 제어기

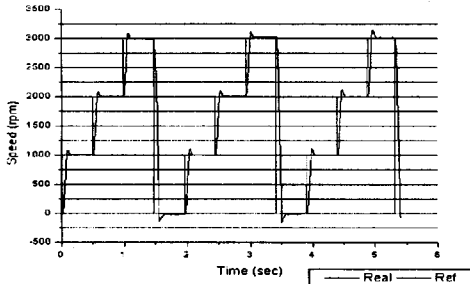


그림 6. PID 제어기 응답

(2) 퍼지-PID 제어기

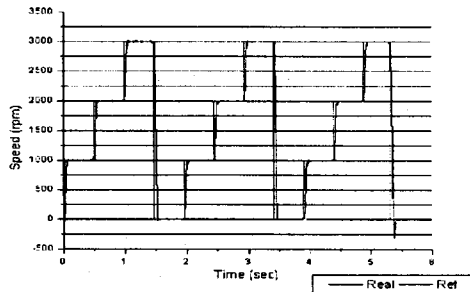


그림 7. 퍼지-PID 제어기 응답

그림 6~7는 교류 서보 전동기의 가변속운전시의 출력 응답을 PID 제어기, 퍼지-PID 제어기와 비교실험 한 것이며 실험결과는 표 2과 같다.

표 2 실험결과

	1st	2nd	3rd	오차(%)
PID 제어기	1089	1097	1105	3
	2088	2097	2121	3.4
	3090	3150	3183	6
퍼지-PID 제어기	1013	1015	1012	0.43
	2011	2011	2011	0.36
	3014	3112	3008	0.43

3. 결 론

본 논문에서 설계된 퍼지-PID 제어기는 시스템의 비선형적 요소가 발생하는 경우나 운전점이 변화하는 경우에 기존의 PID 제어기로는 제어가 어려운 매개변수의 조정을 퍼지동조기법을 사용하여 매개변수를 자동으로 동조하였다.

설계된 제어기의 성능을 평가하기 위하여 교류 서보전동기의 속도제어에 적용하여 sine 입력 및 가변속 운전시의 응답특성을 실험한 결과 기존의 PID 제어기에 비해 퍼지-PID 제어기가 우수한 추종성 및 안정성을 나타내는 것을 입증하였다.

향후에 퍼지 동조기법의 퍼지 규칙이 갖는 특성을 개선한다면 현장에서도 적용이 가능하리라고 생각된다.

[참 고 문 헌]

[1] K. Kenzo, O.Tsutomu, and S.Takashi, "Application Trends in AC Motor Drives" IEEE IECON'92 Proc., pp.31-36, 1992

[2] K. ASTROM AND T. HAGGLUND " PID Controllers: Theory, Design, and Tuning, pp 59-70, 1989.

[3] 이광형, 오목길 공저, " 퍼지 이론 및 응용" 홍릉과학출판사, pp5.4-5.5, 1992.

[4] JANG, SUN, MIZUTNI "Neuro-Fuzzy and Soft Computing" pp 47-92, 1997.