

뉴로-퍼지 제어를 이용한 교류 서보 전동기의 속도제어

김종현, 김상훈, 곽봉운, 김낙교
건국대학교 전기공학과

Speed control of AC Servo Motor with Neuro-Fuzzy Controller

Jong Hyun Kim, Sang Hoon Kim, Bong Un Ko, Lark Kyo Kim
Department of Electrical Engineering KonKuk University

Abstract - In this study, a Neuro-Fuzzy Controller which has the characteristic of Fuzzy control and Artificial Neural Network is designed.

A fuzzy rule to be applied is automatically selected by the allocated neurons. The neurons correspond to Fuzzy rules are created by an expert. To adapt the more precise modeling is implemented by error back propagation learning of adjusting the link-weight of fuzzy membership function in the Neuro-Fuzzy controller. The more classified fuzzy rule is used to include the property of dual mode method. In order to verify the effectiveness of an algorithm designed above, an operating characteristic of a AC servo motor is investigated

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 속도 지령 추종면에서 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]. 최근에 많은 연구자들은 이러한 문제점을 해결하기 위해서 지능형 제어기(Intelligent controller)를 연구하였으며 그 중에서도 전문가의 지식이나 경험 및 언어적 변수를 사용하는 퍼지제어와 학습능력을 가진 신경회로망제어가 대표적이다.

그러나 퍼지제어와 신경회로망 제어기법은 많은 장점을 가지고 있으나, 퍼지제어에 있어서는 적절한 제어 규칙과 소속함수를 결정 한 후에도 시스템의 특성이 바뀌는 경우 그때마다 새로운 제어규칙과 소속함수를 결정해야 한다는 단점이 있다[3]. 또한 신경회로망에 있어서도 학습시 전역최소치(global minimum)가 아닌 국소최소치(local minimum)에 빠지기 쉽고 시스템의 복잡성과 비례해서 증가하는 수많은 뉴런을 학습시키는데 많은 학습시간이 필요하다는 단점이 있다[4].

최근에는 두 제어의 이러한 단점을 보완하기 위해서 신경회로망과 퍼지 제어에 융합에 대한 연구가 많이 진행되고 있다. Iwata는 오차역전달학습알고리즘을 사용하여 퍼지 제어규칙으로 다층신경회로망에 학습시키고 이것을 퍼지 제어에 이용하는 방법을 제시하여 하였으며, 또한 Horikawa는 전문가의 경험을 이용하여 자동적으

로 퍼지 규칙을 찾아내어 소속함수를 찾아내고 이를 미세 조정하기 위하여 신경회로망을 이용하는 새로운 퍼지 논리 제어를 제안하였다.

두 제어시스템을 병렬로 운전하는 이러한 제어기들은 부하외란의 변동 같은 이유로 시스템의 특성이 바뀌게 되면 제어를 위한 모든 제반 파라미터 및 퍼지 규칙은 생성하는데 많은 시간이 필요로 하기 때문에 On-Line 동조작업이 불가능하다는 단점이 있으며 퍼지 제어나 신경회로망이 자체적으로 갖는 속응성 및 안정성에 대한 각각의 단점을 완전히 보완하지 못했다.

본 논문에서 설계한 뉴로-퍼지 제어기는 기본적인 형태를 퍼지 제어로 유지하면서 그 세부적 요소들을 신경회로망으로 구성함으로써 퍼지 제어 및 신경회로망 제어가 갖는 장단점을 서로 보완할 수 있도록 하였으며 On-Line상태에서 동조가 이루어지도록 하였다.

본 제어기의 성능을 평가하기 위해서 교류 서보 전동기의 속도제어에 적용시켰으며 가장 보편적인 제어기인 PID제어기와 비교실험 함으로써 제어기로서의 기본특성을 입증하였다.

2. 본 론

2.1 시스템 구성

본 논문에서 사용된 뉴로-퍼지 제어기를 이용한 교류 서보 전동기 속도제어 시스템은 그림 2.1과 같이 크게 네 부분으로 구성되어 있다.

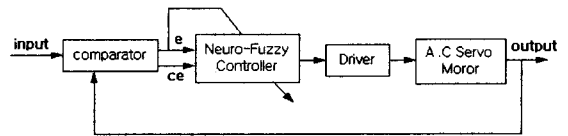


그림 2.1 교류 서보 전동기 속도제어 시스템
Fig 2.1 Speed control system of AC servo motor

2.2 뉴로-퍼지 제어기

2.2.1 뉴로-퍼지 제어기의 구조

본 논문에서 사용된 뉴로-퍼지 제어기의 기본적인 제어 구조는 퍼지 제어기의 형태를 취하고 있으며 그 세부적인 요소를 신경회로망으로 구성한 것이다. 따라서 본 제어기는 아래의 그림 2.2에서와 같이 퍼지화부, 추론부, 비퍼지화부의 구조로 되어 있다.

2.2.2 퍼지화부

본 논문에서 사용된 뉴로-퍼지 제어기는 입력신호로서 비교기에서 계산되어진 오차 E 및 오차변화를 ΔE 를 사용한다. 이 두 가지 입력신호를 정성화된 퍼지로 계산하기 위해서는 소속함수와 양자화 방법을 가지고 퍼지화 과정을 수행하게 되며 본 논문에서는 소속함수를 시그모

이드 뉴런으로 구성하였으며, 지도학습(supervised learning)을 기초로 한 역전달학습을 수행한 후 학습된 연결가중치(link weight)에 의해 정방화가 수행되게 함으로서 입력들이 갖는 비선형적 특징을 퍼지화 할 수 있도록 하였다.

$$u_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \mu(u_i) \cdot u_i}{\mu(u_i)} \quad (2.1)$$

2.3 실험 및 결과

2.3.1 실험장치

실험에 사용된 시스템은 PC를 이용하여 그림 2.3과 같이 구성되었다. DSP보드는 모터로부터 엔코더의 펄스를 세고, 서보팩으로 PC에서 계산되어진 제어입력을 전달해 주며, 그 외에 PC와 서보팩 간의 인터페이스를 제공한다.

교류 서보전동기의 속도제어 실험에 사용된 모터는 정격 출력 400W(LG기전 : FMA-CN04-AB00)이며 속도측정을 위해 2000[PPR]의 분해능을 갖는 엔코더를 사용하였으며 TI사의 TMS320C32를 CPU로 한 DSP 보드를 사용하여 실험하였다.

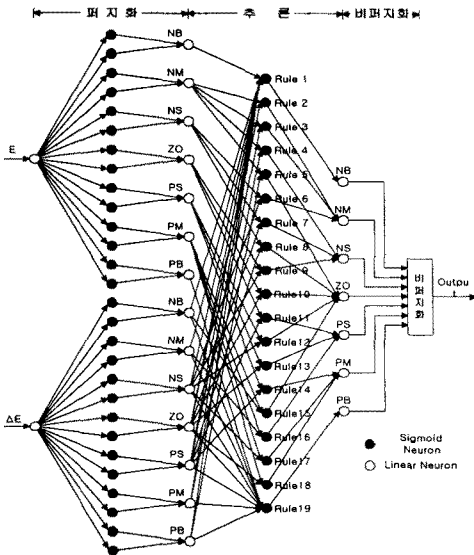


그림 2.2 뉴로-퍼지 제어기의 구조
Fig 2.2 Structure of Neuro-Fuzzy controller

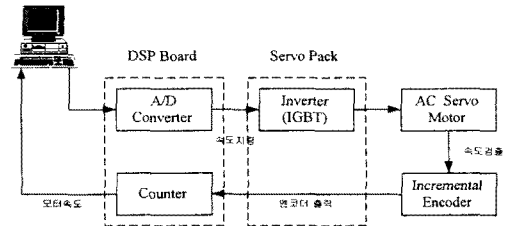


그림 2.3 실험장치 구성도
Fig 2.3 Experimental system configuration

2.2.3 퍼지 규칙 및 추론

본 논문에서는 퍼지 규칙의 형태를 조건부는 혼합명제로 결론부는 단일명제로 하였으며 그 일반식은 다음과 같다.

$$R_i: IF E \text{ is } A_i \text{ and } CE \text{ is } B_i \text{ THEN } Z \text{ is } C_i; \quad \text{for } i=1,2,\dots,n$$

여기서 E는 오차이고 CE는 오차변화율이며 Z는 제어입력이다. 본 논문에서 사용된 퍼지 제어 규칙은 표 2.1과 같다.

표 2.1 퍼지 규칙
Table 2.1 Fuzzy rule

ce ^e	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
	NB			NB			
NM				NM	NM	NS	ZO
NS				NS	ZO		
ZO				NS	ZO	PS	
PS				ZO	PS	PM	
PM	ZO	PS					
	PB			PB			

2.2.4 비퍼지화

본 논문의 비퍼지화 방법은 일반적으로 가장 우수한 성능을 보이는 무게 중심법을 사용하였다. 이 방법은 합성된 출력부 퍼지 집합에서 무게중심을 구하는 방법으로 식 (2.1)과 같다.

2.3.2 실험 및 결과고찰

2.3.2.1 계단입력 실험

그림 2.4~2.5는 교류 서보 전동기의 무부하시 계단 입력에 대한 출력응답을 PID 제어기 및 뉴로-퍼지 제어기와 비교실험 한 것이며 실험결과는 표 2.2와 같다.

표 2.2에서의 결과와 같이 무부하 계단입력 시에 출력응답은 뉴로-퍼지 제어기가 PID 제어기에 비해 약 5(%)정도의 오차감소를 나타내었으며 정상상태 오차에서도 PID 제어기에 비해 약 1(%)정도 감소되었다. 또한 정착시간에서는 PID 제어기에 비해 약 0.04초 빠르게 나타났다.

(1) 계단입력시의 PID 제어기의 출력응답

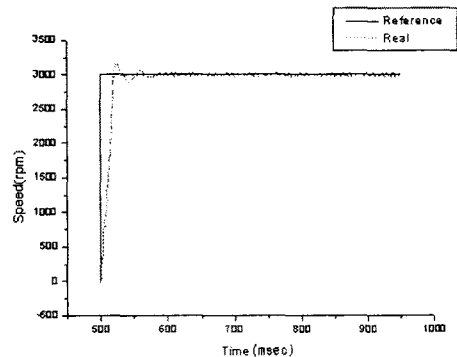


그림 2.4 PID 제어기 응답
Fig 2.4 Response of PID controller

(2) 계단입력시의 뉴로-퍼지 제어기의 출력응답

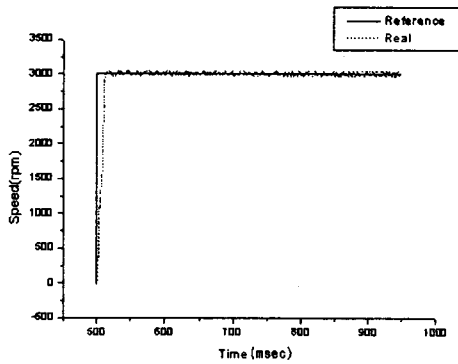


그림 2.5 뉴로-퍼지 제어기 응답
Fig 2.5 Response of Neuro-Fuzzy controller

(2) 정역운전시의 뉴로-퍼지 제어기의 출력응답

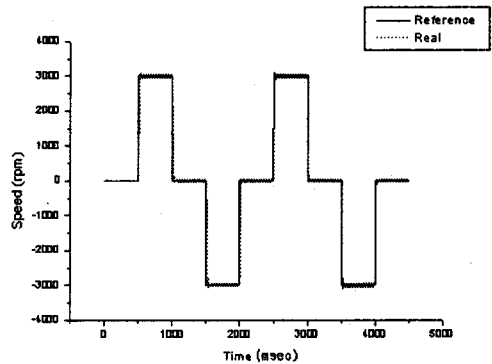


그림 2.7 뉴로-퍼지 제어기 응답
Fig 2.7 Response of Neuro-Fuzzy controller

표 2.2 실험결과

Table 2.2 Experimental result

	초과량(%)	정상상태오차(%)	정착시간(sec)
PID 제어기	6.67	0.54	0.08
뉴로-퍼지 제어기	1.68	1.65	0.035

2.3.2.2 정역운전실험

그림 2.6 ~ 2.7은 교류 서보 전동기의 무부하시 계단 입력에 대한 출력응답을 PID 제어기 및 뉴로-퍼지 제어기와 비교실험 한 것이며 실험결과는 표 2.3과 같다.

표 2.3 에서의 결과와 같이 정역운전에 출력응답은 첫번째 정역운전에서는 뉴로-퍼지 제어기가 PID 제어기에 비해 약 1.5(%)정도의 오차감소를 나타내었으며 두번째 정역운전에서는 뉴로-퍼지 제어기가 PID 제어기에 비해 약 1.3(%)정도의 오차가 감소되었다.

(1) 정역운전시 PID 제어기의 출력응답

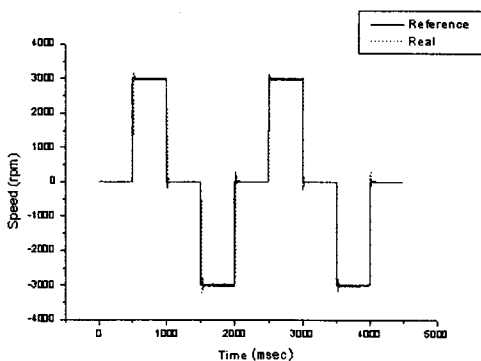


그림 2.6 PID 제어기 응답
Fig 2.6 Response of PID controller

표 2.3 실험결과

Table 2.3 Experimental result

	기준입력과의 오차(%)			
	1 st		2 nd	
	정회전	역회전	정회전	역회전
PID 제어기	4.16	4.15	4.14	4.20
뉴로-퍼지 제어기	2.78	2.80	2.74	2.75

3. 결 론

본 논문은 퍼지 제어와 신경회로망 합성시에 발생하는 문제점 즉 많은 학습시간의 소요로 인한 Off-Line 동조 작업 및 퍼지규칙 생성의 문제 등을 해결하기 위하여 뉴로-퍼지 제어기를 설계하는데 있다. 본 제어기는 기본적인 구조는 퍼지 제어의 구조를 가지면서 그 세부적 요소를 신경회로망으로 구성하여 신경회로망의 연결가중치를 On-Line 상태에서 조정하여 제어기를 동조시켜 퍼지 제어와 신경회로망이 가지는 각각의 장단점을 보완하였다. 또한 새로운 제어기의 성능을 입증하기 위하여 교류 서보 전동기의 무부하시 계단입력실험 및 정역운전실험을 수행하여 추종성 및 안정성을 PID 제어기와 비교실험을 하여 뉴로-퍼지 제어기의 우수성을 입증하였다.

본 제어기의 실용화를 위해서는 빠른 상승시간과 학습 회수의 경감 및 더욱 안정된 퍼지규칙에 대한 연구가 필요하다고 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] E.H.Mamdani, "Application of Fuzzy Logic to Approximation Reasoning Using Linguistic Synthesis", IEEE Trans. Vol. c-26 No.12, pp.1182-1199, 1997
 [4] MaureenCaudill, Charles Butler, "Understanding Neural Networks", The MIT press, pp. 3-8, 1992