1999년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 1999. 7.19-21

# 가변부하를 갖는 직류 서보 전동기의 속도제어를 위한 뉴로-퍼지 제어기 설계

김상훈* 강영호 남문현 김낙교
건국대학교 전기공학과

# Design of Neuro-Fuzzy Controller for Velocity Control of DC Servo Motor with Variable Loads

Sang Hoon Kim* Young Ho Kang. Moon Hyun Nam. Lark Kyo Kim
Department of Electrical Engineering. Kon-Kuk University

**Abstract** - In this paper, Neuro-Fuzzy controller which has the characteristic of Fuzzy control and artificial Neural Network is designed A fuzzy rule to be applied is selected automatically by the allocated neurons. The neurons correspond to Fuzzy rules which are created by the expert. In order to adaptivity, the more precise modeling is implemented by error back propagation learning of adjusting the link-weight of fuzzy membership function in Neuro-fuzzy controller. The more classified fuzzy rule is used to include the property of Dual mode Method. To test the effectiveness of the algorithm designed above the experiment for DC servo motor with variable load as variable load plant is implementation.

## 1. 서 론

현대제어에서는 플랜트의 수학적 모델링이 매우 중요한 역할을 한다. 그러나, 매우 복잡한 프로세서나 비선형 동적 시스템에서는 수학적 모델링 자체가 매우 어렵고 그에 따르는 적절한 제어기를 설계하기는 쉽지 않다. 또한, 가장 보편적이고 현재 많이 사용되는 PID제어기인 경우에도 각 파라미터를 적절하게 조정하는 것이 쉽지 않다.

최근 들어 이와 같은 기존의 제어방식의 문제점을 해결하기 위해 많은 연구자들은 시스템의 비선형성에 대응할 수 있는 지능형 제어기를 개발하였으며, 그 대표적인 경우가 언어적 변수 및 전문가의 지식을 활용할 수 있는 퍼지제어와 학습능력을 갖는 인공신경회로망이라 할 수 있다.[1]

퍼지제어 이론은 복수개의 IF-THEN 형식을 가진 제어규칙으로부터 제어입력을 결정하는 병렬형 제어로서 과도상태에서 커다란 오버슈트 없이 목표치에 도달하는 속응성이 좋은 제어기법이다.

그러나, 퍼지제어는 소속함수 및 퍼지규칙 등의 변경이나 조정이 어렵고 잔류편차가 남는다는 단점을 가지고 있다.[2]

인공신경회로망은 환경이나 시스템에 대한 사전지식 없이도 변화하는 제어환경에 적응하는 학습능력 및 보간능력을 가지고 있다. 또한, 병렬분산처리에 의해 임의의 데이터 매핑을 수행하여 잡음에 대한 강건성을 지니는 제어기법이다.

그러나, 신경회로망 제어는 내부적 동작을 해석하기가 어려우며 시스템의 복잡성과 비례하여 증가되는 수많은 뉴런을 학습시키는데 많은 시간이 소요된다는 단점이 있다.[3]

최근에는 두 제어의 이러한 단점을 보완하기 위하여 신경회로망과 퍼지제어의 융합에 대한 연구가 많이 진행되고 있다.

Iwata는 오차역전달학습알고리즘(back-propagation learning algorithm)을 사용하여 퍼지제어규칙으로 다층신경회로망(multilayered neural networks)에 학습시키고 이것을 퍼지 제어에 이용하는 방법을 제시하여 하였다.[4]

Horikawa는 전문가의 경험을 이용하여 자동적으로 퍼지규칙을 찾아내어 소속함수를 찾아내고 이를 미세 조정하기 위하여 신경회로망을 이용하는 새로운 퍼지논리제어기를 제안하였다.[5]

두 제어시스템을 병렬로 운전하는 이러한 제어기들은 부하외란의 변동 같은 이유로 시스템의 특성이 바뀌게 되면 제어기를 위한 모든 제반 파라미터 및 퍼지 규칙은 생성하는데 많은 시간이 필요로 하기 때문에 On-Line 동조작업이 불가능하다는 단점이 있다.

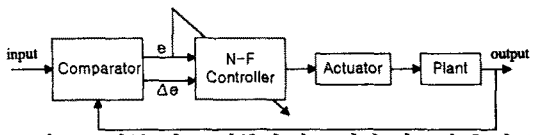
본 논문에서 설계된 뉴로-퍼지 제어기는 기본적인 형태는 퍼지제어를 유지하면서 그 세부적 요소들을 신경회로망으로 구성함으로서 퍼지제어 및 신경회로망 제어가 갖는 장·단점을 서로 보완할 수 있도록 하였다. 특히 Iwata 및 Horikawa의 제어기와는 달리 On-Line상태에서 동조가 이루어지도록 하였다.

본 제어기의 성능을 평가하기 위해서 직류 서보 전동기의 속도제어에 적용시켜 가장 보편적인 제어기인 PID 제어기와 비교실험 함으로써 제어기로서의 기본특성을 입증하였다. 또한, 비선형 제어기로서의 타당성 검토를 위해 가변부하를 인가하여 퍼지 제어기 및 PID 제어기와 그 특성을 비교실험 함으로써 플랜프 자체가 갖는 비선형성에 대해서도 안정하다는 것을 입증하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 시스템 구성

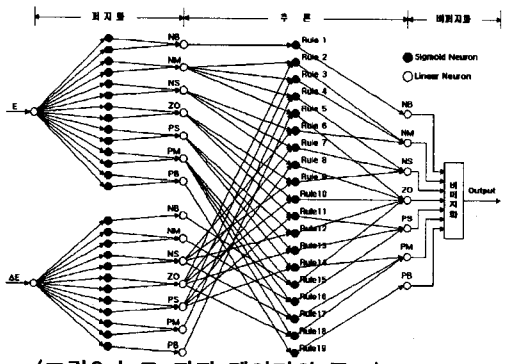
본 논문에서 사용된 뉴로-퍼지 제어기를 이용한 가변부하를 갖는 직류 서보 전동기의 속도제어 시스템의 구성은<그림 1>과 같다.




<그림 1> 직류 서보 전동기 속도제어 시스템 구성도

### 2.2 뉴로-퍼지 제어기 설계

본 논문에서 사용된 뉴로-퍼지 제어기는 기본적인 제어 구조는 퍼지 제어기의 형태를 취하고 있으며 그 세부적 구성요소를 인공신경회로망으로 구성한 것이다.
따라서, 본 제어기는 아래의 <그림2>에서와 같이 퍼지화부, 추론부, 비퍼지화부의 구조로 되어 있다.




〈그림2 뉴로-퍼지 제어기의 구조〉

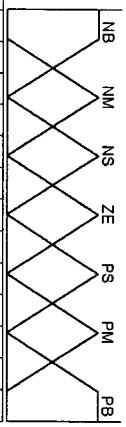
#### 2.2.1 퍼지화부

본 논문에서 사용된 뉴로-퍼지 제어기는 입력신호로서 비교기에서 계산되어진 오차 E 및 오차변화율 ⊿E를 사용한다. 이 두 가지 입력신호를 정성화된 퍼지로 계산하기 위해서 퍼지화 과정에서는 소속함수가 필요하다.

본 논문에서는 <그림3>에서와 같이 Dual Mode제어방식이 적용되도록 오차가 적은 범위에서는 소속함수의 폭이 좁고 오차의 값이 커질수록 소속함수의 폭이 넓어지는 새로운 형태의 소속함수 및 비선형 양자화방법을 사용하였다. 그리고, 이 소속함수를 시그모이드 뉴런으로 구성하였으며, 역전달학습을 수행한 후 학습된 연결가중치(link weight)에 의해 정량화가 수행되게 한다.

이 방법은 퍼지 제어기를 programming하는 과정에서 생기는 수많은 IF문을 제거함으로서 짧은 시간내에 보다 정확한 소속함수값을 생성할 수 있게 한다.

| 양자화단계 | 양자화의 범위 |
|---|---|
| -6 | $x \le -1.0$ |
| -5 | $-1.0 < x \le -0.6$ |
| -4 | $-0.6 < x \le -0.3$ |
| -3 | $-0.3 < x \le -0.1$ |
| -2 | $-0.1 < x \le -0.05$ |
| -1 | $-0.05 < x \le -0.01$ |
| 0 | $-0.01 < x \le -0.01$ |
| 1 | $0.01 < x \le 0.05$ |
| 2 | $0.05 < x \le 0.1$ |
| 3 | $0.1 < x \le 0.3$ |
| 4 | $0.3 < x \le 0.6$ |
| 5 | $0.6 < x \le 1.0$ |
| 6 | $1.0 \le x$ |




<그림3 소속함수 및 양자화>

#### 2.2.2 퍼지규칙 및 추론

본 논문에서는 퍼지규칙의 형태를 조건부는 혼합명제로 결론부는 단일명제로 하였으며, 그 일반식은 다음과 같다.

$Rule_k$ : $IF$ ($E$ $is$ $A_1$ and $\Delta E$ $is$ $A_2$)
$THEN$ ($Z$ $is$ $B$)

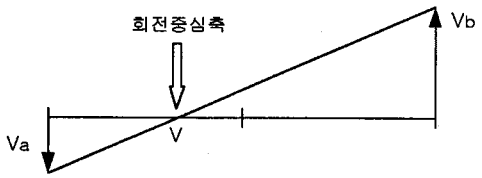
| e \ ce | NB | NM | NS | ZO | PS | PM | PB |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| NB | NB | | | | | | |
| NM | | | | NM | NM | | |
| NS | | | MM | NS | ZO | | |
| ZO | | | NS | ZO | PS | | |
| PS | | | ZO | PS | PM | | |
| PM | | PS | PM | PM | | | |
| PB | PB | | | | | | |

<그림4 퍼지 규칙>

E : 오차 ⊿E : 오차변화율
Z : 제어입력
$A_1$, $A_2$, B : 각각의 변수에 대한 정량적 언어값

#### 2.2.3 비퍼지화부

퍼지값으로 되어 있는 추론 결과를 비퍼지한 제어 조작량으로 바꾸기 위한 것으로 본 논문에서는 <그림 5>에 나타낸 것과 같은 회전모멘트에 의한 무게중심법을 사용하였다. 이 방법은 무게중심법의 한 종류로서 하나의 직선형 회전체를 가정하고 출력집합을 이 회전체의 양 끝단에 걸리는 정방향과 역방향의 회전모멘트로 계산함으로써 회전 중심축을 찾고 그에 해당하는 퍼지값을 제어 조작량의 전체집합에 대해 크기변환(scaling mapping)을 행하는 방법이다. 이러한 방법은 기존의 무게중심법보다 속응성면에서 더욱 우수한 성능을 나타낸다.




<그림 5 회전 모멘트에 의한 무게중심법>

$$V = \frac{V_a - V_b}{V_a + V_b} \times \text{양의 방향 최대정격전압}$$

$V$ : 제어 조작량
$V_a$ : 양의 방향의 제어조작량 퍼지값
$V_b$ : 음의 방향의 제어조작량 퍼지값

### 2.3 플랜트

본 논문에서 사용되는 뉴로-퍼지 제어기는 비선형 시스템을 제어하기 위한 것으로 플랜트 자체가 비선형적 요소를 가져야 한다. 그러나, 플랜트 자체가 비선형적 요소를 가질 경우 시스템의 모델링이 어려워 질 뿐 아니라 부하외란과 같은 비선형적 요소의 개입에 따른 제어기의

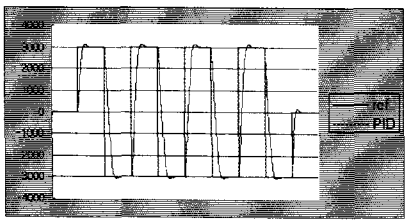
성능을 평가하기가 어려워진다. 따라서 본 논문에서는 플랜트로 선형시스템으로 모델링이 잘 되어 있는 직류 서보 전동기를 사용했으며 전기자 전압 제어방식을 이용한 속도제어를 목표로 하였다. 그리고 나서 이 전동기의 축에 발전기를 사용하여 부하를 가변 시킴으로서 선형플랜트를 이용한 시스템에서의 비선형을 확보하였으며 그러한 비선형성에 대해 본 제어기의 추종성능을 평가하도록 하였다.

## 3. 실험 및 결론

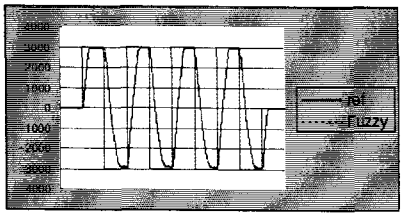
### 3.1 실험

본 제어기의 성능을 평가하기 위해 전동기의 무부하 상태에서 구형파입력에 의한 정·역회전 실험을 실시하여 PID제어기 및 Fuzzy제어기와 비교하였고, 시스템의 비선형성 발생에 대해 본 제어기가 갖는 추종성능을 평가하기 위해 전동기 축에 연결된 발전기에 병렬로 백열전구를 설치하여 전구의 On-Off로 가변부하를 인가하여 PID제어기 및 Fuzzy제어기와 비교실험 하였다.

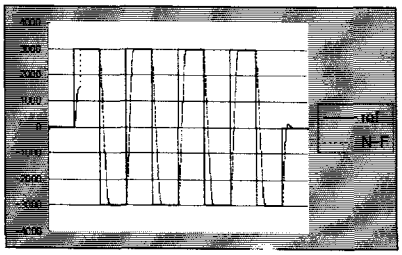
#### 3.1.1 구형파입력에 의한 정·역회전시 속도 응답




〈 그림 6 PID 제어기〉

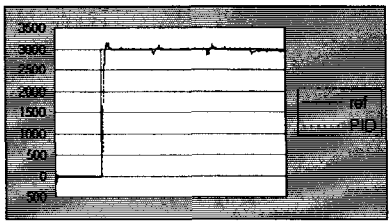



〈그림 7 Fuzzy 제어기〉

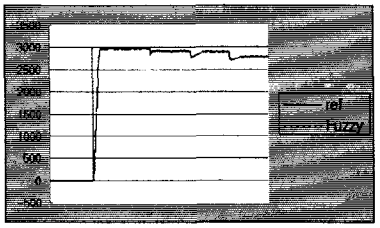



〈그림 8 Neuro-Fuzzy 제어기〉

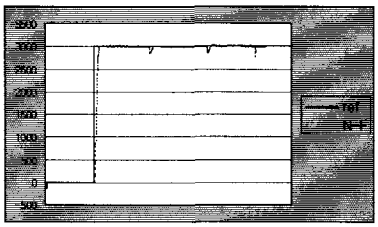
#### 3.1.2 부하 가변시 속도 응답




〈그림 9 PID 제어기〉




〈그림 10 Fuzzy 제어기〉




〈그림 11 Neuro-Fuzzy 제어기〉

### 3.2 결 론

위의 실험에서 보는 바와 같이 무부하시에는 본 논문에서 설계된 뉴로-퍼지 제어기가 PID제어기와 비슷한 성능을 보이지만 부하를 가변시키면서 목표값에 대한 추종성능을 비교해 본 결과 뉴로-퍼지 제어기가 PID제어기 및 퍼지제어기에 비해 양호한 추종성능을 보였다. 이로써 퍼지특성에 의한 속응성 및 신경회로망 특성에 의한 안정성이 융합이 된 뉴로-퍼지 제어기가 기존의 다른 제어기에 비해 속응성 및 적응성이 우수하다는 것이 입증되었다.

#### (참고 문 헌)


[1]변증남 "퍼지추론에 의한 동적 제어시스템",자동제어측사, pp 23-29. 1991.1

[2] 이광형, 오길록 공저 "퍼지이론 및 응용",홍릉과학출판사, pp 5.3-5.6 1992

[3] Maureen Caudill, Charles Butler,"Understanding Neural Networks" The MIT press pp. 3-8 1992

[4]T.Iwata, K.Machida, Y.Toda,"Fuzzy Control Using Neural Networks Techniques",Proceeding of the International Joint Conference on Neural Networks, volII, pp 461-465 1990

[5]S.Horikawa, T.Furuhashi, S.Okuma, Y.Ukikawa, "Capabilityto learn Expert's Contol Rules", Proceeding of the International Joint Conference on Fuzzy Logic & Neural Networks pp. 103-106 1990