

## Speed Control of an Induction Motor using Fuzzy-Neural Controller

崔成大\* · 金洛教†  
(Sung-Dae Choi · Lark-Kyo Kim)

**Abstract** - Generally PI controller is used to control the speed of an induction motor. It has the good performance of speed control in case of adjusting the control parameters. But it occurred the problem to change the control parameters in the change of operation condition. In order to solve this problem, Fuzzy control or Artificial neural network is introduced in the speed control of an induction motor. However, Fuzzy control have the problems as the difficulties to change the membership function and fuzzy rule and the remaining error. Also Neural network has the problem as the difficulties to analyze the behavior of inner part. Therefore, the study on the combination of two controller is proceeded. In this paper, Fuzzy-neural controller to make up these controllers in parallel is proposed and the speed control of an induction motor is performed using the proposed controller. Through the experiment, the fast response and good stability of the proposed speed controller is proved.

**Key Words** : Speed Control, Fuzzy-Neural, Induction Motor, Indirect Vector Control

### 1. 서 론

교류 전동기는 구조가 간단하여 가격이 싼 반면에 구동을 실현하기 위해서는 필수적으로 전력 변환 장치가 요구되고 이에 따른 전체 구동 시스템의 가격 상승 및 관련 기술의 개발 부진 등의 이유로 종래에는 널리 사용되지 못하였다. 그러나 최근 전력용 반도체 소자의 발달과 고성능 프로세서의 등장으로 전력 전자 기술이 비약적으로 발전하여 저 가격, 고 신뢰성의 전압 및 주파수 변환 장치들이 개발됨에 따라 교류 전동기가 종전의 직류 전동기의 역할을 대신할 수 있게 되었다. 특히 구조가 간단하고 값이 싼 농형 유도전동기는 직류 전동기가 지닌 정기적인 보수 및 최대 회전수 제한 등의 구조적인 문제점들을 극복할 수 있고, 운전 특성도 직류 전동기에 상응하는 응답을 얻을 수 있어 빠른 가감속과 고속 운전이 요구되는 서보 시스템 및 공작기계 구동장치 등에도 적용이 확대되고 있는 추세이다[1][2].

유도전동기 속도 제어로 사용되는 PI 제어기는 제어 상수 값이 적절히 조정될 경우 좋은 운전 특성을 얻을 수 있으며 제어 알고리즘이 간단하여 손쉽게 구현할 수 있다. 그러나 운전점이 달라지거나 매개변수가 변하는 경우에는 최적의 운전 상태를 유지하기 위하여 제어 상수값을 변화시켜야 하는 문제가 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 퍼지 제어와 인경 신경 회로망 등을 이용한 제어기들에

관한 연구가 활발히 진행되고 있다[3]-[5].

퍼지 제어는 플랜트의 동특성 모델에 대한 상세한 지식이 없어도 경험적인 지식 및 정보를 이용하여 효과적인 제어를 수행 할 수 있는 반면 소속 함수 및 규칙 등의 변경이나 조정이 어렵고, 오차 및 오차 변화율을 입력으로 하여 제어함으로써 잔류편차를 갖는 등 PD제어기와 유사한 특성을 나타낸다. 또한 인공신경회로망은 과거 오차에 의해 뉴런의 연결 가중치 학습을 시행하므로 PI제어기와 유사한 특성을 보이나 그 내부적 동작을 해석하기 불가능하다는 단점을 지니고 있다.

따라서 본 논문에서는 이러한 문제점들을 개선하기 위하여 추론의 특성을 갖는 퍼지 제어와 학습의 특성을 갖는 신경회로망을 결합한 퍼지-뉴럴 제어를 제안하고 이를 이용하여 유도전동기 속도 제어를 수행하고자 한다.

### 2. 본 론

#### 2.1 퍼지-뉴럴 제어기

퍼지 제어는 시스템의 특성이 복잡하여 기존의 정량적인 방법으로는 해석할 수 없거나 얻어지는 정보가 정성적이고, 부정확하고, 불확실한 경우에 추론을 통하여 기존의 제어 방식보다 우수한 결과를 나타내고, 신경 회로망은 학습에 의한 보간 능력으로 인해 매우 복잡한 작업에 큰 장점을 가지며 시스템 특성이 서서히 변하는 경우에는 별도의 수정 없이도 스스로 제어 특성을 변형시키는 적응성을 가지고 있다. 따라서 각각의 단점을 보완하고 장점을 강화하기 위해서 추론의 특성을 갖는 퍼지 제어와 학습의 특성을 갖는 신경 회로망을 결합한 퍼지-뉴럴 제어를 사용하여 유도전동기 속도 제어를 수행하고자 한다.

† 교신저자, 正會員 : 建國大 工大 電氣工學科 教授 · 工博  
E-mail : lkkim@konkuk.ac.kr

\* 正會員 : 建國大 工大 電氣工學科 博士課程  
接受日字 : 2006年 9月 4日  
最終完了 : 2006年 9月 24日

퍼지-뉴럴 제어기에 사용된 퍼지 제어기는 기준 속도와 실제 속도의 오차와 그 오차의 변화를 입력으로 사용하여 유도전동기의 속도를 제어한다. 또한 신경 회로망은 오차 역전달 방법을 사용하여 오차와 오차 변화를 입력으로 하는 퍼지 제어기의 제어규칙을 학습시킴으로서 퍼지 제어기의 룰 베이스를 조정하여 퍼지 제어기가 가지는 문제점인 잔류 편차를 보완하고 목표치에 더 근접할 수 있는 제어 성능을 가지도록 한다. 퍼지-뉴럴 제어기의 구조를 그림 1에 나타내었다.

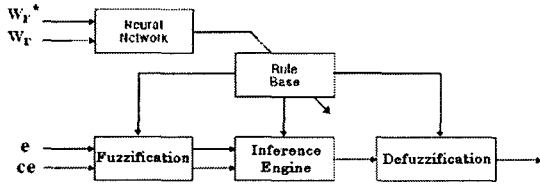


그림 1 퍼지-뉴럴 제어기의 구조  
Fig. 1 Structure of Fuzzy-Neural Controller

2.1.1 퍼지 제어

퍼지 제어는 퍼지화, 퍼지 추론, 비퍼지화의 3단계로 구성된다. 먼저 입력 변수가 언어 변수를 사용하는 소속함수와 정규화된 양자화 과정을 통하여 퍼지 값으로 변환되고, 언어 변수로 표현된 퍼지 규칙과 Mamdani의 min 연산을 추론 방법으로 사용하는 추론 과정을 거쳐 출력 값에 대한 퍼지 집합으로 만들어지며, 최종적으로 무게중심법을 사용한 비퍼지화 과정을 거쳐 제어기 출력으로 변환된다.

첫 번째 단계인 퍼지화 부분은 삼각형 소속함수와 양자화 과정을 통하여 퍼지 변수로 입력값을 변환한다. 속도의 오차와 오차변화를 입력신호로 하여 이 두 가지 입력신호를 정성화된 퍼지로 계산하기 위하여 소속함수와 양자화 방법을 사용하여 퍼지화 과정을 수행하였다. 상승시간을 빠르게 하고 설정치 근처에서 정밀한 제어를 하기 위하여 오차가 적은 범위에서는 소속함수의 폭이 좁고 오차가 넓은 범위에서는 그 폭이 넓어지는 형태의 삼각형 소속함수를 사용하였다. 각각의 퍼지 변수는 소속 정도를 가지고 퍼지 집합에 소속하게 된다. 이때 소속 정도는 소속함수로 결정되며 0에서 1사이의 값을 가진다. 또한 속도 오차와 오차의 변화를 각각 -1~1 사이로 정규화 하였으며 퍼지 시스템의 입력 구간을 -6~6의 13개 양자화 구간으로 나누고 모든 입력을 13개의 패턴으로 구분하여 사용하였다.

두 번째 단계인 퍼지 추론에서는 속도 오차와 오차 변화를 이용한 시스템의 성능 분석을 통하여 퍼지규칙을 설정하였고 이를 표 1에 나타내었다. 출력 퍼지 변수를 결정하기 위한 추론 방법으로는 Mamdani의 min 연산을 이용하였다.

세 번째 단계인 비퍼지화 과정에서 주로 사용되는 방법은 최대값 방법, 최대 평균법, 무게중심법 등이 있다. 이 중 최대 평균법은 과도기간의 응답이 좋다고 보고된 바 있고, 무게중심법은 다른 방법들에 비해서 우월한 성능을 보이는 경향이 있고 일반적인 PI 제어기와 비슷한 특성을 나타낸다. 본 논문에서는 일반적으로 가장 유연한 값을 출력시키는 무게중심법을 사용하였으며, 이 방법은 합성된 출력 퍼지 집합의 무게 중심을 구하여, 그 해당하는 제어 값을 제어기 출력으로 사용하는 방법이다.

2.1.2 신경 회로망

신경 회로망은 오차와 오차 변화를 입력으로 하는 퍼지 제어기의 퍼지규칙을 오차 역전달 방법을 사용하여 학습시킴으로서 퍼지 제어기의 퍼지규칙 ZE의 적합도를 조정하여 기준 속도와 실제 속도 사이에 잔류 편차가 발생하였을 경우 이 부분을 보상하게 된다. 기준 속도와 실제 속도 사이에 오차가 발생하면 그 오차는 신경 회로망에 역전파되어 학습시킴으로써 신경회로망의 출력인 퍼지 규칙 ZE의 적합도를 잔류 편차를 감소시키는 방향으로 변화시킨다. 신경 회로망의 은닉층의 개수는 시행착오를 통하여 5개로 설정하였으며 활성 함수는 시그모이드 함수를 사용하였다.

2.2 실험

2.2.1 실험 장치

실험에 사용된 유도전동기 제어 시스템은 슬립 각속도를 계산하고 이 값과 회전자의 속도를 가지고 간접적으로 회전자 자속각의 위치를 계산하는 회전자 자속 기준 간접 벡터 제어 방식을 기반으로 하였으며, 그 구성을 그림 2에 나타내었다. 표 2에 실험에 사용된 유도전동기의 정격 및 파라미터를 나타내었으며, 실험 장치를 그림 3에 나타내었다.

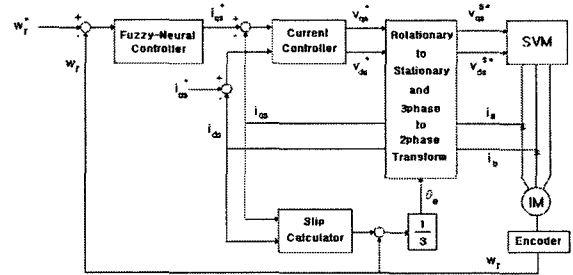


그림 2 유도전동기 제어 시스템의 구성  
Fig. 2 Configuration of Control System of an induction motor

표 1 유도전동기의 정격 및 파라미터

Table 1 Ratings and Parameters of an induction Motor

정격 전압	230 [V]	R <sub>s</sub>	0.041 [Ω]
정격 주파수	50 [Hz]	R <sub>r</sub>	0.024 [Ω]
정격 전류	1.7 [A]	L <sub>s</sub>	0.01365 [H]
정격 속도	2800 [rpm]	L <sub>r</sub>	0.01395 [H]
정격 토크	1.3 [Nm]	L <sub>m</sub>	0.01328 [H]
극수	2	J	3.5×10 <sup>-4</sup> [Kg·m <sup>2</sup> ]

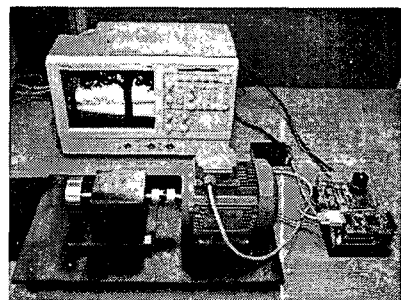


그림 3 실험 장치  
Fig. 3 Experimental equipment

2.2.2 결과 및 고찰

실험은 무부하시와 부하시로 나누어 정격 속도에 대하여 정속 운전과 정역 운전을 시행하였고, 그 결과를 표 2에 정리하여 나타내었다. 실험 결과에서 알 수 있듯이 정착 시간은 무부하시 207-289[ms], 부하인가시 508-625[ms]로 빠른 응답 특성을 보이고 있으며, 기준 속도에 대한 오차도 무부하시 0.54-0.71[%], 부하인가시 0.89-1.04[%]로 우수한 성능을 나타냄을 알 수 있다.

표 2 실험 결과  
Table 2 Experimental Results

		기준속도 [rpm]	실제속도 [rpm]	오차 [%]	정착시간 [ms]
무부하	정속운전	2800	2785	0.54	289
부하	정속운전	2800	2775	0.89	625
무부하	정역운전	2800	2783	0.61	207
부하	정역운전	-2800	-2780	0.71	226
무부하	정역운전	2800	2774	0.93	514
부하	정역운전	-2800	-2771	1.04	508

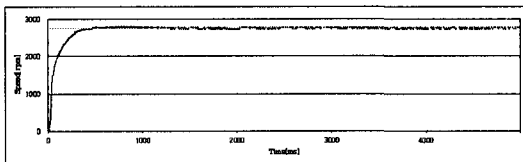


그림 4 무부하 정속운전  
Fig. 4 Constant speed control without load

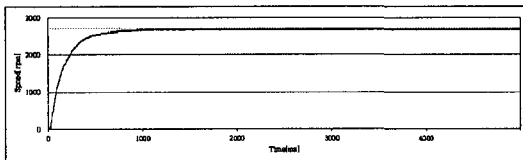


그림 5 부하 정속 운전  
Fig. 5 Constant speed control with load

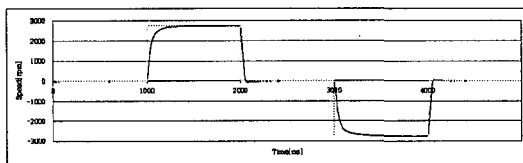


그림 6 무부하 정역 운전  
Fig. 6 Variable speed control without load

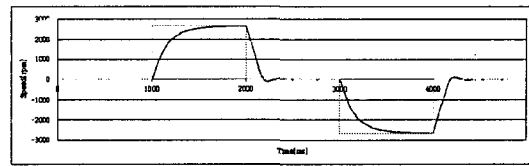


그림 7 부하 정역 운전  
Fig. 7 Variable speed control with load

3. 결 론

본 논문에서는 유도 전동기의 속도 제어시 퍼지 제어나 인공 신경회로망을 속도 제어로 사용하여 발생하는 문제점을 개선하기 위하여 퍼지 제어와 인공 신경회로망을 결합한 퍼지-뉴럴 제어를 제안하였고, 제안한 제어를 사용하여 유도전동기 속도 제어를 수행하였다. 실험 결과에서 알 수 있듯이 제안한 제어기는 빠른 응답성과 안정성을 가지고 있음을 알 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] B. K. Bose, "Technology Trends in Microcomputer Control of Electrical Machines", IEEE Trans. Ind. Elect., vol.35, No.1, pp. 160-177, 1988.
- [2] K. Kenzo, O. Tsutomu and S. Takashi, "Application Trends in AC Motor Drives", IEEE IECON'92, pp. 31-36, 1992.
- [3] Sun Wei, "An Adaptive Fuzzy Control for AC Servo Motor", Proceedings of the Fifth International Conference on Electrical Machines and Systems, Shenyang, China, pp. 782~786, 2001.
- [4] Liaw, C.-M. Wang, J.-B. "Design and implementation of a fuzzy controller for a high performance induction motor drive", Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on Volume 21, Issue 4, July-Aug. Page(s):921 - 929, 1991
- [5] Young-Ho Kang, Lark-Kyo Kim, "Speed Control of AC Servo Motor with Loads Using Neuro-Fuzzy Controller", 전기학회 논문지, 제51권 제8호, pp.352-359, 2002.