

# 마이크로프로세서를 이용한 유도 전동기의 퍼지제어

## Fuzzy control of Induction motor using microprocessor

김 동 회\*, 오 시 창, 이 증 화, 신 위 재

Dong-Hee Kim\*, Shi-Chang Oh, Jeung-Hwa Lee, Wee-Jae Shin,

### Abstract

In this paper, we designed the speed controller with high accuracy and speedy steady-state response, in Induction motor control system. Fuzzy P-I controller of Induction motor using Microprocessor have an appropriate fuzzy rule matrix (which is 2-separate Look-up Table). The usefulness of proposed fuzzy P-I controller will be confirmed by experiments which we compare with conventional P-I controller.

### 1. 서 론

유도 전동기는 외란과 부하의 변동에 대해서 강인성을 가진 제어기가 요구된다<sup>[1]</sup>. 이에 따라 여러 방향으로 많은 연구가 진행되고 있으며<sup>[2]</sup>, 일반적으로 유도 전동기의 제어는 P-I (Proportional Integral)제어기를 많이 이용하고 있으나 제어변수의 설정에 많은 어려움이 따르게 된다. 이러한 문제점을 퍼지논리 제어기를 사용하여 극복을 할 수 있는 방법이 많이 연구되어져 왔다.<sup>[3]</sup> 본 연구에서는 P,I 각각의 이득계수를 오차와 오차의 변화분을 이용하여 마이크로프로세서의 메모리에 저장되어 있는 2개의 Look-up Table로 변화시켜 최적한 계수를 빠른 시간에 결정할 수 있도록 하여 실시간 제어에 유리하도록 하였으며,<sup>[4]</sup> 최근에 산업현장에서 이용률이 날로 증가되고 있는 유도 전동기의 속도제어<sup>[5]</sup>에 이 방법을 적용하여 모터의 속도 응답 특성을 재래의 P-I제어기와 비교하여 고찰함으로써 그 제어 성능이 우수함을 확인하였다.

### II. 유도 전동기의 해석적 모델링

유도 전동기의 전압 및 운동방정식은 다음과 같다.

$$v_d = -\frac{R_s}{L_s} i_d + \omega i_q + \frac{1}{L_s} v_a \quad (2.1)$$

\* 경남대학교 대학원 전자공학과

$$di_d = -w i_d - \frac{R_s}{L_s} i_q + \frac{1}{L_s} v_d - \frac{\phi}{L_s} w \quad (2.2)$$

$$dw = \frac{P^2 \phi}{J} i_q - \frac{B}{J} w - \frac{P}{J} T_L \quad (2.3)$$

단,  $i_d, i_q, v_d, v_q$ 는 d축 및 q축분 전류, 전압을 나타내고 있으며,  $w$ 는 전기각속도,  $P$ 는 극대수,  $\phi$ 는 계자자속,  $R_s, L_s$ 는 전기자 저항 및 인덕턴스,  $T_L$ 은 부하를 나타낸다. 식 (2-1)의 전압 방정식에서 상태변수는  $i_d, i_q$ 가 되고 제어입력은  $v_d, v_q$ 가 된다.

### III. 퍼지 제어행렬

본 연구에서는 Macvicar-Whlan의 퍼지제어 행렬을 이용하고 Tzafestas 제어행렬을 변형시켜 P,I 각각의 Look-up Table을 구성한다.

※ 퍼지 제어규칙

- 1) 출력이 설정치 와 같고, 오차의 변화분이 “0”이면 제어기의 출력을 그대로 한다.
- 2) 출력이 설정치로 부터 벗어나면, 오차와 오차변화분 값의 부호에 따라 동작시키고, 오차가 신속히 설정치로 변화할 수 있으면 제어기의 출력을 그대로 유지한다. 그렇지 않으면 제어기의 출력을 만족하는 결과가 나올 때까지 변화시킨다.

이러한 논리는 기존의 다른 퍼지제어기 보다 인간논리에 좀더 가까이 접근되어 있다.

Tzafestas는 위에서 언급한 퍼지논리 제어행렬을 이용하여 기존의 이득조정 기술에서 얻은 P-I제어기의 적절한 이득값을 기준으로, 시스템응답이 과도상태에 있을 때 시스템이 안정한 범위 내에서 이득값을 조금씩 조정하여 시스템의 응답특성을 향상시켰다.

P-I제어기의 각 이득값은 식 (3-1)에 의해 구하여 진다.

$$\begin{aligned} P &= P' + CV\{E, \Delta E\} * k1 && \text{(비례이득값)} \\ I &= I' + CV\{E, \Delta E\} * k2 && \text{(적분이득값)} \end{aligned} \quad (3-1)$$

여기서  $CV\{E, \Delta E\}$  : 퍼지제어기 출력값,  $P', I'$  : 이득조정에 의해 얻어진 값,  
 $k1, k2$  : 각 이득의 변화율

### IV. 퍼지 P-I 제어기의 Look-up Table

Tzafestas에 의해 제안된 퍼지제어행렬은 하나의 Look-up Table에 P,I 변화를 모두 적용함으로써 이득 변화의 구분이 뚜렷하지 않다. 따라서 본 연구에서는 P,I 각각에 대해서 행렬을 구성한다. 또한 각 항목별 변화율  $k_1, k_2$  는 시스템의 안정도를 만족하는 범위 내에서 변화시켜 주어야 하므로 변화율 결정에 어려움이 있다. 따라서 변화율을 상승영역, 오버슈트영역, 정상상태 오

차영역의 3개 부분으로 나누고, 이러한 영역에 따라 값을 정한다.

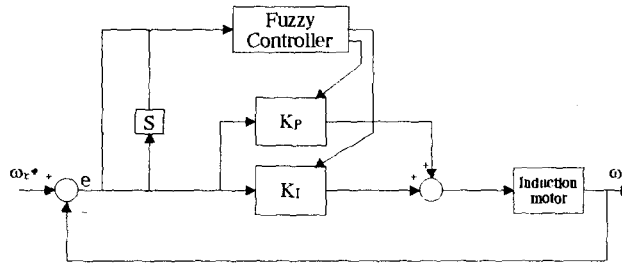


그림 1. 유도 전동기에 대한 퍼지 P-I제어기의 계통도.

#### 4.1 P-I제어기의 과도특성 분석

제어기의 일반적인 과도상태를 영역별로 분할 해서 분석하면 다음과 같다.

상승구간 : 빠른 상승시간을 요구하므로 비례이득과 적분이득을 증가시킴으로서 상승시간을 줄인다.

오버슈트 상승구간 : 오버슈트가 발생하였으므로 비례이득을 감소시키고 적분이득을 증가시킴으로써 오버슈트를 줄인다.

오버슈트 하강구간 : 오차변화의 기울기가 반대이고 오차가 줄어들고 있으므로 오버슈트 상승구간 부호만 반대로 하면 된다.

언더슈트 하강구간 : 이 영역은 설정치 보다 낮아지고 있는 언더슈트(undershoot)상태이므로 적분이득은 감소시킨다.

언더슈트 상승구간 : 오차변화의 기울기가 반대이고 오차가 줄어들고 있으므로 언더슈트 하강구간과 부호만 반대로 하면 된다.

#### 4.2 Look-up Table 구성 알고리즘

퍼지 P-I제어행렬은 앞에서 언급한 내용을 근거로 하여 P,I 각각에 대하여 Look-up table을 구성한다. 그리고 Macvicar-Whelan의 원칙 2에서와 같이 빠르게 오차가 수정될 수 있는 경우에는 제어기의 파라미터를 변화시키지 않는다. 퍼지 제어기의 입력변수는 각 샘플링 시간마다 설정치에 대한 오차(E)와 오차의 편차(ΔE)이며, 이것을 표 1에서와 같이 적당한 언어변수로 변환시킨다.

예를 들어 언어변수에 의한 비례이득 조정을 위한 P-I제어 알고리즘을 표현하면

R1 : IF E = PL AND ΔE = NL THEN CV{E, ΔE} = NL

R2 : IF E = PM AND ΔE = NM THEN CV{E, ΔE} = NM

Rn : IF E = PZ AND ΔE = NZ THEN CV{E, ΔE} = NL

위와 같은 규칙에 의하여 퍼지행렬을 P,I 각각에 대하여 구성하면 다음과 같다.

표 1. P,I 이득조정 제어행렬(부호의 순서 : P, I)

		$\Delta E$							
		+L	+M	+S	+Z	-Z	-S	-M	-L
E	-L	Z	--Z	--S	--S	++M	++M	++L	++L
	-M	+-Z	Z	--Z	--S	++S	++M	++M	++L
	-S	+-S	+-Z	Z	--Z	++S	++S	++M	++M
	-Z	+-S	+-S	+-Z	Z	++Z	++S	++S	++M
	+Z	+-M	+-S	+-S	+-Z	Z	--Z	--S	--S
	+S	+-M	+-M	+-S	+-S	+-Z	Z	--Z	--S
	+M	+-L	+-M	+-M	+-S	+-S	+-Z	Z	--Z
	+L	+-L	+-L	+-M	+-M	+-S	+-S	+-Z	Z

#### 4.4 비퍼지화 (Defuzzification)

본 연구에서는 비퍼지화 방법으로 무게중심(Center of Area)법을 사용하며, 제어 입력을 결정하기 위한 식은 (4-1)과 같다.

$$U_0 = \frac{\sum_{j=1}^n (\mu(U_j) * U_j)}{\sum_{j=1}^n \mu(U_j)} \quad (4-1)$$

$U_j$  : 비퍼지값,  $U_j$  : 이산화값,  $\mu$  : 소속함수,  $n$  : 제어변수 전체집합의 이산화 준위.

### V. 실험장치 구성

실험에 사용된 유도 전동기 정수는 표 2와 같으며, 전달함수의 입력신호는 토크 전류로 단위는 암페어이며, 출력 단위는 Radian/Second 이다.

표 2. 유도 전동기 정수(日本神鋼電氣 SSM-1040)

정격 출력	400 [W]	정격 토크	0.26 [Kg-m]	전기자 저항	5.7 [ $\Omega$ ]
정격 회전수	1500 [rpm]	최대 토크	0.78 [Kg-m]	전기자 인덕턴스	4.7 [mH]
전격 전류	2.5 [A]	토크 정수	0.104[Kg-m/A]	관성	10.2 [Kgcms <sup>2</sup> ]

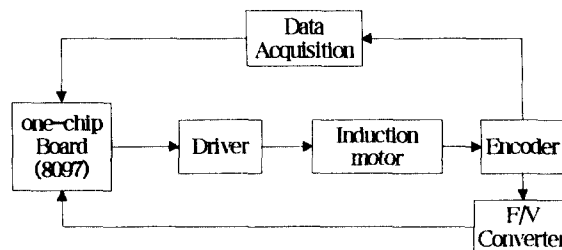


그림 2. 전체시스템 구성도.

실험을 위한 전제시스템은 그림 2와 같다.

data acquisition 은 PCL812 card를 사용하였으며, 단일 마이크로프로세서는 8097BH를 12MHz에 동작 시키고, 제어입력인 현재 모터 속도는 유도 전동기의 엔코더 출력을 F/V converter와 10Bit의 A/D converter를 통해 받아들였다. 마이크로프로세서로 부터의 제어출력은 12Bit의 digital 신호로서, 이 신호를 12bit의 D/A converter를 사용하여 0~10V의 제어신호를 만들었으며, 0~10V의 제어신호는 교류 서보모터의 driver 입력단자로 신호를 전송하여 속도제어를 수행하였다.

## VI. 실험결과 및 고찰

실험은 전통적인 P-I제어와 2개의 Look-up Table을 이용한 퍼지 P-I제어로 나누어서 결과를 비교 하였다. 또한 각각의 실험은 불평형부하를 이용하여 외란부하에 대한 제어시스템의 상태를 조사하였고, 이때 유도 전동기의 속도를 300[rpm], 1200[rpm]로 변화시켰다.

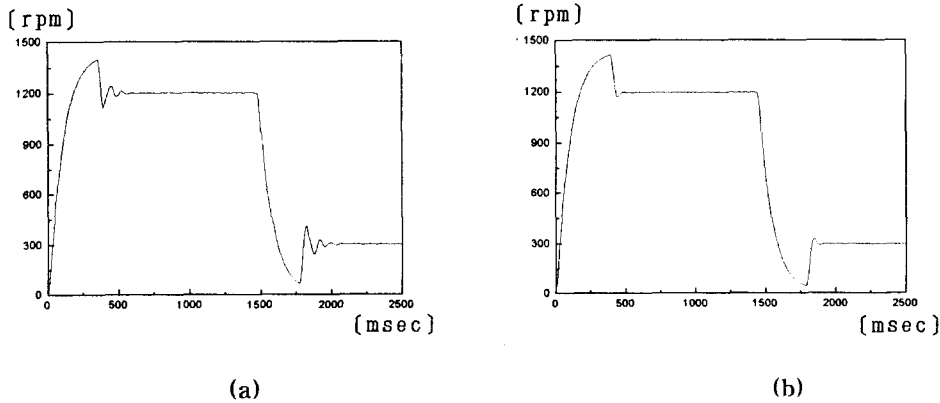


그림 3. 무부하 응답특성. (a) P-I제어, (b) 퍼지 P-I제어

그림 3의 (a)는 일반적인 P-I제어기를 이용한 실험의 결과로서 이득은 ITEA 테이블을 이용하여 얻은 이득을 사용하였고, 실험결과는 상승시간은 180[msec]이고, 최대오버슈트는 200[rpm]이고, 정상상태 도달시간은 562[msec]이다. 그림 3의 (b)는 퍼지 P-I제어기를 이용한 실험결과로서 상승시간 182[msec], 최대오버슈트 215[rpm], 정상상태 도달시간 472[msec]로 나타났다. 불평형부하(240g)를 달았을때의 그림 4의 (a)는 일반적인 P-I제어의 상승시간은 184[msec]이고, 최대 오버슈트는 182[rpm]이고, 정상상태 도달시간은 800[msec]이다. 그리고 그림 4의 (b)는 퍼지 P-I제어기의 경우 상승시간 182[msec], 최대오버슈트 210[rpm], 정상상태 도달시간 526[msec]로 나타났다.

이와 같이 불평형부하를 달았을때 P-I제어기의 경우 또다시 제어기의 이득을 조정해야 하지만, 퍼지 P-I제어기는 자동으로 상황에 적응하여 이득이 조정되는 것을 알 수 있었다. 따라서 퍼

지 제어기의 경우 강한 적응성을 가지고 있음을 알 수 있다.

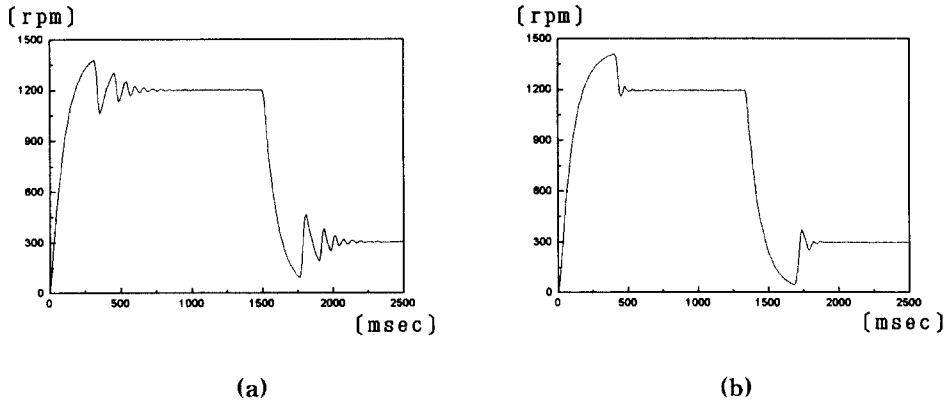


그림 4. 불평형부하(240g)에 대한 응답특성. (a) P-I제어, (b) 퍼지 P-I제어

## VII. 결 론

본 연구에서는 유도 전동기의 속도제어 특성을 개선하기 위해 종래에 이용해 오던 P-I제어 기 대신 퍼지제어기를 사용해서 빠른 정정시간을 갖도록 설계하였다. 퍼지 P-I제어 규칙은 P,I 각각에 대한 Look-up Table을 만듦으로서 정확하고 신속하게 이득 계수들을 결정 할 수 있었 기 때문에 수렴시간이 단축되었다. 그리고 마이크로프로세서를 사용함으로 P-I제어기의 구성을 하드웨어가 아닌 소프트웨어로 구성함으로써 비용과 시간의 절감을 꾀할 수 있었고, 시스템의 변경이 용이하였다. 또한 실험을 통하여 확인된바에 의하면 부하시와 무부하시의 응답특성을 비교하였을 때 부하와 외란에 강인함을 나타내었다.

## VIII. 참고문헌

- [1] "AC서보모터와 마이컴제어", 동일 출판사, pp22, pp167, 1995.3
- [2] H.-J. Zimmerman. "FUZZY SET THEORY-and Its Applications, second edition.". Kluwer Academic Publishers. pp187-191, 1991.
- [3] D.Dubois and H.Prade,"Fuzzy Sets and Systems : Theory and Application," Academic Press, pp260-279, 1980.
- [4] P. K. Nandom and P. C. Sen, "Analog and digital speed control of AC drives using proportional-integral and integral-proportional control techniques", IEEE Trans. Indust. Electron., vol. IE-34, no. 2, pp.227-233, 1987.
- [5] J. Michael Jacob, "INDUSTRIAL CONTROL ELECTRONICS", Prentice-Hall, pp245, pp279-554, 1989.