

**퍼지-Pi 제어기법을 이용한
유도전동기의 벡터제어**

이동빈* 유창완 홍대승 고재호* 임화영
광운대학교 제어 계측 공학과, (주)한국이아티*

**Speed Control of a Vector Controlled
Induction Motor using Fuzzy-Pi controller**

Lee Dong-Bin*, Ryu Chang-Wan, Hong Dae-Seung, Ko Jae-Ho, Yim Wha-Yeong
Dept. of Control and Instrumentation Engineering KwangWoon Univ., EIT Korea Co.,Ltd

Abstract - When linear PI controller is used in speed control of induction motor, there happen some weak which is very difficult to find optimal control gain at time of changing speed and load. In this paper, Fuzzy system incorporated with PI controller is proposed in order to that defects. PI gain is calculated by theoretical basis and fuzzy control is translated human expert's knowledge and experiences into rules numerically. Also it modifies and compensates PI gains in realtime. As comparing the motor characteristics of proposed fuzzy-Pi speed controller to PI speed controller of a Vector controlled induction motor system in the increasing load torque and speed change during start and stop, The simulation results show robust and good performance.

특성을 가지고 제어하는 직류 전동기보다 복잡한 제어기 구성을 갖는다. 플랜트인 벡터제어 유도 전동기의 전압식과 자속식^[5]은 고정자와 회전자에 대해 dq축 해석을 하였고 블록도를 그림 1에 나타내었다.

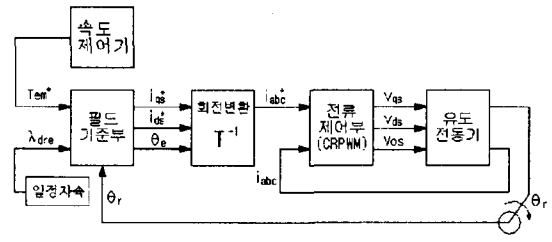


그림 1 유도전동기의 벡터제어 시스템

1. 서 론

벡터제어 유도전동기의 속도 제어기는 산업현장에서 선형 제어기를 많이 사용하고 있는데 이는 구조가 간단하고 구현하기가 쉬운 장점이 있기 때문이다. 그러나 PI, PID제어기의 효율적인 제어는 적절한 이득선정에 있으나 이론적 바탕위에서 선정하더라도 경험에 의존하거나 최적성능을 위한 이득의 튜닝은 쉬운 일이 아니다. 특히 속도의 변화, 부하의 변동시에는 적절한 조정을 필요로 한다. 최근에는 지능 제어 기법으로서 퍼지나 뉴럴, 유전자 알고리즘등을 이용한 비선형 제어^[1,2] 또는 선형 PI 또는 PID와 결합된 형태로 제어하는 연구가 진행되고 있다.^[3,4] 본 논문에서는 퍼지시스템에 PI를 결합한 2중 제어기로서 유도 전동기의 속도를 제어하는 기법을 적용한다. 첫 번째 루프는 이론적인 바탕위에서 설계한 선형 PI제어기이고 두 번째 루프인 퍼지시스템은 경험적으로 얻은 룰로 구성되어 PI제어기를 감독하고 realtime으로 PI 이득을 조정한다. 제안한 퍼지-Pi 제어알고리즘을 검증하기 위하여 부하를 일정하게 가해진 상태에서 부하를 변화시켜 플랜트의 파라미터가 변화하도록 하였다. PI 제어기만 사용할 경우보다 퍼지시스템은 PI 이득을 보상하며 속도오차가 적은 성능이 우수한 상태를 유지하는 강한 운전 특성을 보였다.

2. 퍼지-Pi를 이용한 벡터제어 유도전동기의 속도제어

2.1 벡터제어 시스템^[5]

플랜트인 유도 전동기의 벡터 시스템은 그림 5와 같이 크게 3개의 부분으로 구성되었다. 첫째는 필드 기준(Field Orientation)부, 두 번째는 전류 제어 PWM 인버터부 그리고 유도 전동기의 기계적인 모델링부이다. 유도 전동기는 변수 및 파라미터들이 상호 결합된 다변수 비선형 시스템으로서 복잡한 상호 간섭과 과도적인 응답 특성을 나타낸다. 그러므로 독립적인 자속, 토오크

유도전동기 벡터시스템에서 필드 기준부는 q축 회전자 자속 λ_{qr} 을 0으로 만드는데 목적이 있고 이를 유지하기 위해 회전자 자속각 θ_r 를 출력 한다. 전류 제어 PWM 인버터부는 비교적 오차가 작으며 실현이 용이한 히스테리시스 전류 제어기를 적용하였다. 실제 전류 i_{abc} 가 기준 전류 i_{abc}^* 를 추종할 수 있도록 순시 전류를 제어하고 히스테리시스 폭에 의해 PWM 전압 파형을 출력한다. 유도전동기의 모델링부는 d축과 q축 그리고 회전자의 토오크 및 속도를 발생시키는 구조로 구성하였다.

2.2 퍼지 제어시스템의 구성

PI제어기는 고정된 값으로서 간단하게 구현하였고 시스템의 변화에 대응하도록 퍼지 제어기를 추가함으로써 제어입력이 가변되게 하였다. 그림 2에서는 벡터제어 유도전동기의 속도제어에 적용된 퍼지-Pi제어기의 블록도를 나타내었다.

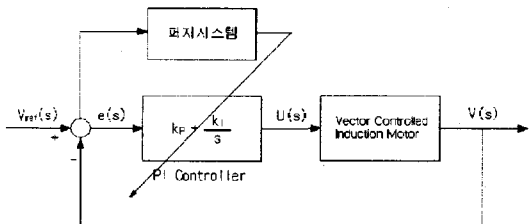


그림 2 벡터제어시스템의 퍼지-Pi 속도제어기의 블록도

이 때 퍼지제어기는 선형제어기의 감독역활을 하고 플랜트의 환경변화에 따라 제어입력 u를 조정시켜주도록 하였다.

2.2.1 퍼지 시스템의 입·출력 소속함수

퍼지시스템은 기준속도와 실제속도의 오차와 오차의 변화율을 상태변수로 하였다. 그림 3에 조건부 소속함수를 나타내었다.

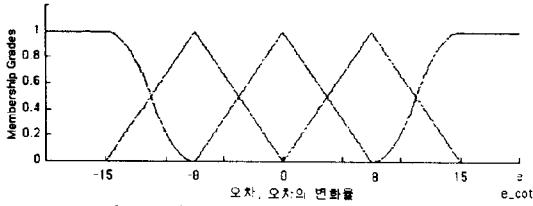


그림 3 퍼지시스템의 조건부 소속함수

결론부 소속함수의 멤버십 함수는 7개로 설정하였고 PI제어기와 퍼지 시스템의 출력과 상태를 보면서 경험으로 선정하였다.

이 때 출력 \bar{y} 의 멤버십 함수의 값은 그림 4와 같이 룩업 테이블화하여 나타내었다.

(XS VS S M L VL XL)=[5 8 12 15 18 22 27]

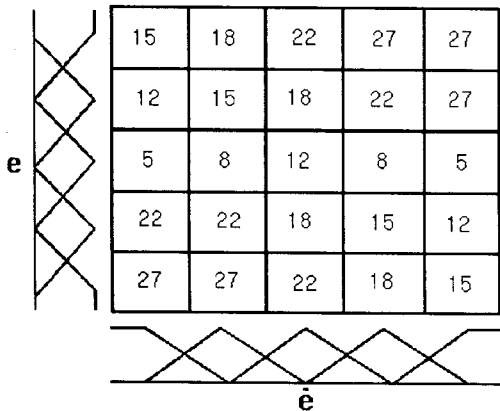


그림 4 퍼지시스템의 결론부 소속함수의 룩업테이블

2.3 선형 속도 PI제어기의 설계

선형 PI 속도 제어기는 그림 5와 같이 간단히 설계하였다.

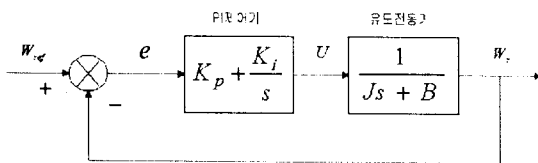


그림 5 선형 PI 제어시스템의 전달함수 블록도

기준 속도 대 속도 응답에 대한 시스템의 전달 함수를 구하면 식(1)과 같다.

$$M(s) = \frac{W_{ref}}{W_r} = \frac{\frac{K_p}{J} + \frac{K_i}{s}}{s^2 + \frac{(K_p + B)s}{J} + \frac{K_i}{J}} \quad (1)$$

이는 2차계 시스템의 전형적인 전달 함수의 분모와 같고 표 1에 제어기의 내역을 나타내었다.

Max.overshoot	5% 이하	ζ	0.707
Rising Time	0.5 sec	ω_n	25
Settling Time	0.6sec	K_p	2.5
Inertia Monent	0.06	K_i	9

표 1 선형 PI 제어기의 파라미터

2.4 모의 실험

실험에 사용된 유도전동기의 파라미터를 표 2에 나타내었다.

표2 시뮬레이션 파라미터

모터정격	5hp	고정자저항(r_s)	1.9 Ω
정격전압	440V	회전자저항(r_r)	2.31 Ω
극 수	4p	고정자인덕턴스	0.3mH
회격전류	13.5	회전자인덕턴스	0.3mH
회 전 수	1748rpm	공극인덕턴스	0.29mH
주 파 수	60Hz	고정자누설인덕턴스	0.01mH
관 성	0.06	회전자누설인덕턴스	0.01mH

본 논문에서 제안하는 퍼지-PI와 PI제어기를 이용한 벡터제어 시스템의 속도제어응답을 그림 6에 나타내었고 기동과 정지를 포함한 속도패턴을 가지고 있다. 부하를 정격 토크만큼 일정하게 가하였고 0.9~1.1sec에서 정격토크의 3배로서 부하의 변화를 인가하였다.

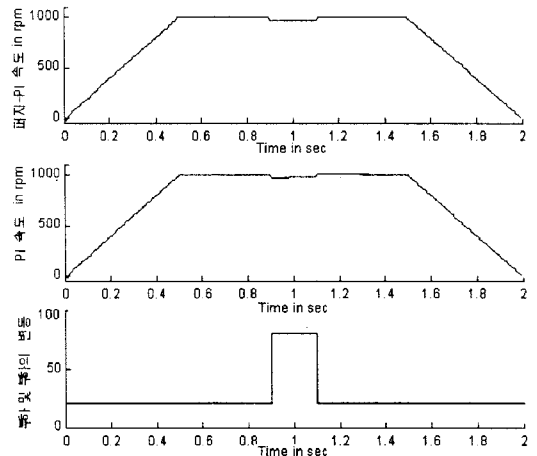


그림 6 퍼지-PI제어기 및 PI제어기의 속도응답과 부하

속도제어기에서 출력 u 값은 유도전동기 벡터제어시스템에 공급되는 토크로서 그림 7에 나타내었다.

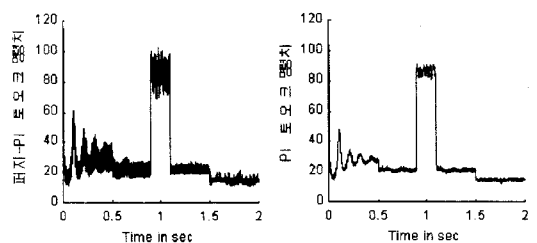


그림 7 퍼지-PI 및 PI제어기의 출력(토크 명령치) 유도전동기에서 실제로 출력되는 토크를 그림 8에 나타내었고 명령치에 잘 부합하고 있음을 알 수 있다.

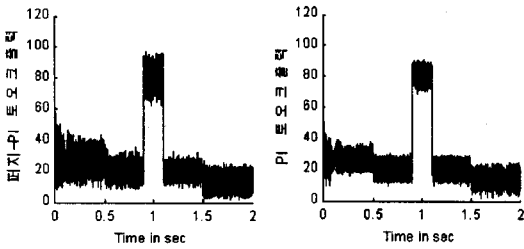


그림 8 퍼지-PI 및 PI제어기의 유도전동기의 출력

벡터제어시스템에서 토크는 q축전류에 의해 독립적으로 제어하므로 q축 전류는 중요하다. 그림 9에는 토크 명령치에 따라 유도전동기에서 출력되는 q축전류를 나타내었다.

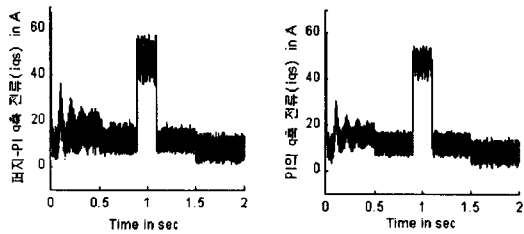


그림 9 퍼지-PI 및 PI제어기의 유도전동기의 출력

본 논문의 벡터제어시스템의 회전자 자속의 설계치는 0.6으로서 그림 10의 퍼지-PI제어기인 경우 부하의 지속과 변동에도 회전자 자속의 크기는 잘 유지된다.

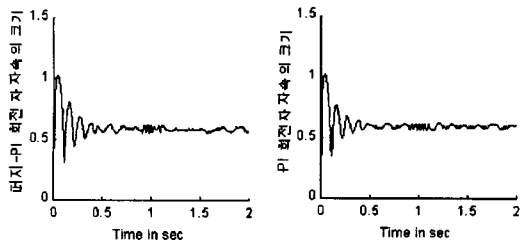


그림 10 퍼지-PI 및 PI제어기의 유도전동기의 출력

이와같이 설계한 벡터제어시스템의 퍼지-PI와 PI제어기의 속도응답에 따른 오차를 그림 11에 나타내었다. 퍼지-PI제어기는 부하의 변동에 강인함을 알 수 있다.

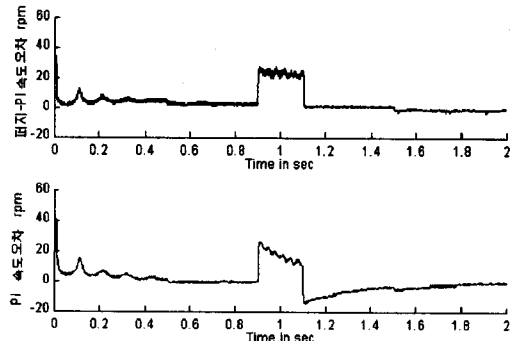


그림 11 퍼지-PI 및 PI제어기의 유도전동기의 출력 그림 12에서는 본 논문에서 제안하는 퍼지-PI제어기 각각의 응답을 나타내었다. 각 응답은 합하여져서 결국 유도전동기 시스템의 토크 명령치가 된다.

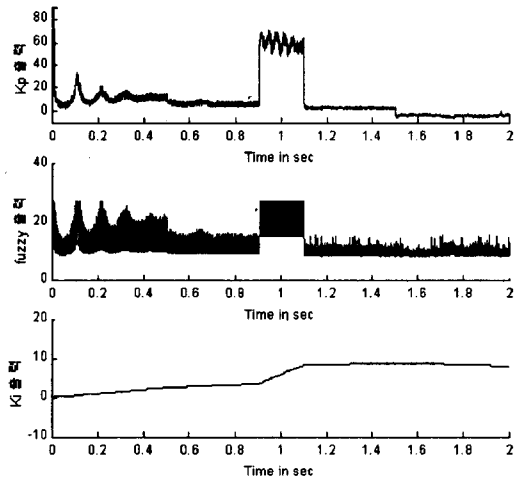


그림 9 퍼지-PI 및 PI제어기에서의 유도전동기의 출력

3. 결 론

본 논문에서는 비선형성의 대표적인 플랜트인 유도전동기의 속도제어에 대해서 기존의 선형 제어기에 단점을 극복하기 위해 퍼지 시스템을 도입하였다. 퍼지시스템은 플랜트의 응답 특성을 잘 알 경우 적용하기가 용이하고 강인한 특성을 갖는 비선형 제어기이므로 외부 환경의 변화에 대해서 고정 PI제어기의 이득을 가변적으로 보상하는 역할을 하도록 설계하였다. 따라서 본 논문에서는 기동과 정지를 포함한 유도전동기의 가변속 동작과 일정 부하가 있는 상태에서 부하의 변화를 가하여 속도 추적의 강인성을 확인하였다.

(참 고 문 헌)

- [1] Peter Vas, "Artificial-Intelligence-Based Electrical Machines and Drives", Oxford Press, 1999
- [2] 김세찬, 원충연, "신경회로망을 이용한 유도전동기의 속도 제어", KIEE, Vol.45, No.1, p42~p53, 1996
- [3] 조순봉, 현동석, "부하관성모멘트 변화를 고려한 유도전동기의 퍼지 PI 속도제어기", KIEE, Vol.43, No.2, 1994
- [4] S.Omatu, Y.Kishida, M.Yoshioka, "Neuro-Control for Single-Input Multi-Output systems, International conference on knowledge-based Intelligent Electronic Systems, Vol.1, p202~205, 1998
- [5] 이동빈, 유창완, 홍대승, 임화영, "뉴럴네트워크방식의 벡터제어에 의한 유도전동기의 벡터제어", 한국퍼지 및 지능시스템학회, Vol.9, No.5, 1999
- [6] L.X. Wang, "A course in Fuzzy systems and Control", Prentice-Hall, 1997
- [7] J.S.R. Jang, C.-T. Sun, E. Mizutani "Neuro-Fuzzy and Soft Computing" Prentice Hall, 1997.
- [8] D.W.Novotny, T.A.Lipo, " Vector Control and Dynamics of AC Drives", Clarendon Press Oxford, 1996
- [9] C.M.Ong, "Dynamic simulation of Electric Machinery", Prentice Hall PTR, 1998
- [10] B.K Bose, "Power Electronics and AC Drives", Prentice Hall, 1986