

TMS320F240 칩을 이용한 전동차의 퍼지 주행 제어기에 대한 연구

손진우*, 최석민*, 송동국*, 김종건**, 배종일***, 이만형****

*부산대학교 지능기계 대학원, **삼성중공업, ***부경대학교 전기공학과 교수, ****부산대학교 기계공학부 교수

Study on Fuzzy Control of Electric Car via TMS320F240

J. W. Son*, S. M. Choi*, D. K. Song*, J. K. Kim**, J. I. Bae***, M. H. Lee****

*Pusan National University, **Samsung, ***PuKyoung University, ****P.N.U

Abstract - 직류직권모터는 전동지게차와 같은 물류용 전동차에서 사용되는데, 우수한 기동 토크를 가지는 반면에 파라미터의 열적, 변화가 심하고 마찰과 부하의 비선형성이 존재해 기존의 제어기로는 만족할 만한 성능을 내지 못한다. 본 논문에서는 이를 해결하기 위해 퍼지제어기를 사용한다. 퍼지제어기는 변수의 애매성에 바탕을 두고 제어하기 때문에 이러한 비선형성에 대해 강인하나, 소속함수의 결정과 퍼지규칙의 선정이 어려우며, 체계적인 방법이 존재하지 않는다. 이러한 퍼지제어의 결점을 해결하기 위해 소속함수는 유전 알고리즘을 통해 자기동조 시키며, 퍼지규칙은 오차와 오차변화율의 위상평면을 이용하여 결정한다. 실용성을 검증하기 위해 TI사의 DSP TMS320F240을 이용해 실시시스템에 적용했으며, 이를 통해 부하의 변동 및 기준 속도의 변화에도 잘 대처함을 알 수가 있었다.

자 한다.

2. 전체 시스템 구성

2.1 하드웨어 구성

직류 직권 모터의 속도를 제어하기 위한 전체 시스템의 구성도는 그림 1과 같다.

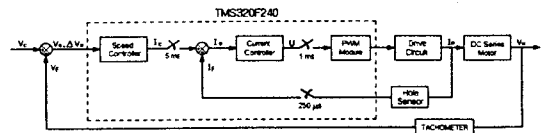


그림 1. 직류직권모터의 속도제어를 위한 전체 하드웨어 구성도

1. 서 론

직류 직권 모터(DC Series Wound Motor)는 그 자체의 우수한 기동 토크 발생특성으로 인하여 속도 제어용으로 물류산업 계에서 널리 사용되고 있으며 구동관성 및 부하특성의 광범위한 변화 등과 같은 사용자의 가혹한 요구가 주어짐에 의하여 빠른 응답특성과 시스템 파라미터 변동과 외란 등에 둔감한 강인성이 요구되고 있다. 직류 모터의 제어방법으로서 산업현장에서 가장 많이 사용되고 있는 것은 비례-적분(PID) 또는 비례-적분-미분(PID)제어이다.

선형제어시스템에서 PI, PID제어기의 이득(gain)은 대부분 일정하며 제어기의 이득이 적절히 선정될 경우에는 좋은 제어특성을 얻을 수 있다. 하지만 직류직권 모터제어에서 파라미터의 열적 변화, 마찰과 부하의 비선형특성을 고려한다면 이득이 일정한 선형제어기만으로는 고성능의 제어특성을 기대하기 어렵다.

이와 같은 문제점을 해결하기 위해 퍼지제어기를 사용하는데, 퍼지제어는 인간의 판단 등의 애매성을 포함한 제어알고리즘을 if-then형식으로 표현하고 퍼지추론을 이용하여 제어기의 출력값을 결정하는 것이다. 그러나, 퍼지제어기의 설계시, 전문가의 경험과 지식을 정성적인 언어로 표현하는 제어규칙, 소속함수의 형태, 추론방법 등에 따라 제어성능이 달라지기 때문에 시행착오를 통한 반복적인 실험을 통해 이것들을 조정해야 하는 어려움이 있다.

본 논문은 퍼지제어기에 유전알고리즘을 접목하여, 소속함수를 자기동조(self-tuning)시키는 방식을 적용하였으며 e- Δe 위상평면을 기초하며 퍼지규칙을 설정하였다. 또한, 일치형 소속함수와 퍼지상자(fuzzy box) 개념을 도입하여 퍼지 계산에 소요되는 시간을 줄이고자 한다.

본 논문에서는 전동지게차에 사용되고 있는 직류직권 모터의 속도제어를 퍼지제어기에 의해 고효율 제어가 되도록 하며, TI사의 DSP TMS320F240을 이용한 bench test를 통하여 제시한 방법의 실용성을 검증하고

그림 1을 보면 2개의 루우프로 구성되어 있는데, 구동 드라이버의 전류를 제어하기 위한 내부 루우프는 전류 제어기, PWM 모듈, 모터 구동 회로 및 전류 센서로 구성되어 있으며, 직류직권모터의 속도를 제어하기 위한 외부 루우프는 속도 제어기, 직류직권모터 및 타코메타로 구성되어 있다.

2.2 TMS320F240 설정

TMS320F240 칩은 내부적으로 PWM 파형을 발생시키는 모듈을 포함하고 있다.

본 논문에서는 GPT(General Purpose Timer)1을 PWM 구동기로 사용하고 있으며, GPT3를 실험에 사용되는 기본 인터럽트인 250 μ s 인터럽트 발생기로 설정하였다. 여기서 설정된 값을 정리하면 표 1과 같다.

표 1. TMS320F240 설정

사용 변수	설정치
PWM 주파수	2kHz
PWM 정밀도	1/5000
Interrupt	250 μ s

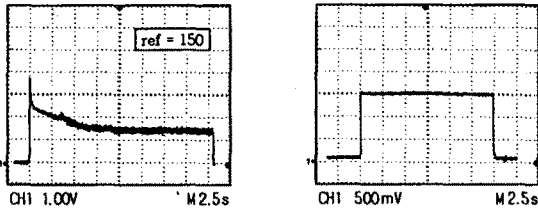
3. 전류 제어

전류제어는 PI제어기를 이용하여 구성하였다. 이는 전류제어가 모터제어를 하는 것이 아니라 구동 드라이브를 제어하는 것이므로, 모터의 비선형성의 영향을 받지 않기 때문이다.

전류제어기인 PI제어기의 입력은 구동 드라이브의 피드백 전류와 기준 전류와의 오차와 오차의 적분치가 되며, 제어 출력은 PWM 듀티비(2%~98%)가 된다.

본 실험에서는 제어 출력의 최소값을 2%로 제한하였다. 2%의 듀티비로는 모터를 구동하지 못하나, 예비 전류를 흘려주어 급격한 전류 변동을 방지할 수 있다.

그림 2는 기준 속도가 150A일 때의 응답을 나타내고 있는데 (a)는 최소 듀티비를 가지지 않을 때의 응답을 나타내고 있으며, (b)는 최소 듀티비를 가질 때의 전류 제어를 나타내고 있다.



(a) 최소듀티비가 없을 때 (b) 최소듀티비가 있을 때
그림 2. 계단 입력에 대한 전류 응답(150A)

4. 유전 알고리즘에 의한 소속함수의 자기 동조

4.1 하드웨어 구성

본 논문에서는 IBM 586 PC를 주 제어기로 하고 전류 제어기는 DSP로 하여, 유전 알고리즘을 이용해서 퍼지제어의 소속함수를 동조하였다. 그림 3은 자기 동조에 사용된 시스템의 하드웨어 구성을 나타내고 있다.

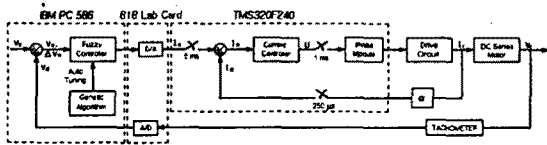


그림 3. PC를 이용한 자기 동조 퍼지제어기의 전체 하드웨어 구성도

4.2 퍼지제어기

4.2.1 일치형 소속함수

유전 알고리즘을 사용하기 위해서는 진화시키는 변수를 염색체 코드화 해야 하는데, 여기서는 그림 4와 같은 일치형 소속함수를 사용하는데 이를 사용하므로써 코드화 해야 하는 변수가 줄어들고, 하나의 물리 입력에 대해 항상 2개의 퍼지입력을 가지므로 퍼지규칙 적용이 용이해져 계산상의 편의를 도모할 수 있다.

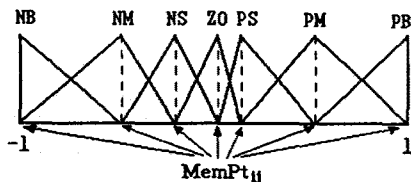


그림 4. 일치형 소속함수

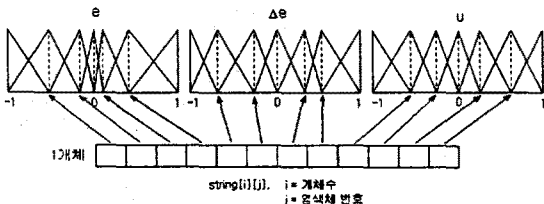


그림 5. 소속함수의 코드화

그림 5는 일치형 소속함수를 유전자로 코드화하는 것을 보여주고 있다. 계산상의 편의를 위해 NB는 -1에, PB는 1에, 그리고 ZO는 0에 고정하였다. 따라서 하

나의 퍼지변수는 4개의 변수를 가진다.

4.2.2 위상 평면에 의한 퍼지규칙

제어 규칙은 그림 6에 나와 있는 $e-\Delta e$ 위상 평면에 나타난 계단입력응답에 의하여 작성되었으며, 표 2는 이렇게 작성된 퍼지규칙을 나타내고 있다.

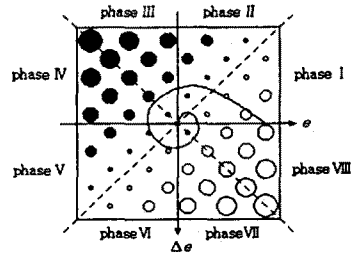


그림 6. $e-\Delta e$ 위상 평면에서의 응답 궤적

표 2. 퍼지규칙

$e/\Delta e$	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZO
NM	NB	NB	NB	NM	NS	ZO	PS
NS	NB	NB	NM	NS	ZO	PS	PM
ZO	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
PS	NM	NS	ZO	PS	PM	PB	PB
PM	NS	ZO	PS	PM	PB	PB	PB
PB	ZO	PS	PM	PB	PB	PB	PB

4.3 소속함수의 동조를 위한 유전 알고리즘

표 3은 유전 알고리즘을 수행하기 위한 조건을 보여주고 있다.

표 3. 유전 알고리즘 조건

변수	조건
최고 세대수	100세대
1세대 개체수	10개
1개체 염색체수	12개
교배 확률	0.8
돌연변이 확률	0.05

여기서 적합도는 상승시간과 정상상태 오차를 고려하도록 설정되었으며 식(1)에 나와 있다.

$$fitness = \frac{1}{RiseTime} + \frac{a}{SumAbsError} \quad (1)$$

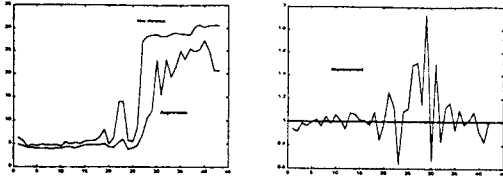
여기서 a 는 상승시간과 정상상태의 비중을 나타내고 있어서 a 에 따라 각각의 중요도가 달라진다.

동조의 수렴은 세대수가 100세대에 도달하거나 성장률이 1.0에서 1.005사이 에 올 때인데, 여기서 성장률은 지난 세대의 평균 적합도에 대한 현 세대의 적합도를 말한다.

그림 7은 기준 속도가 1500rpm이고 부하가 100A일 때에 소속함수가 동조되는 것을 보여주며, 표 4는 동조된 소속함수를 보여주고 있다.

4.4 실험 결과

실험 결과는 속도의 계단 응답을 나타내고 있으며,



(a) 최대와 평균 적합도 (b) 성장률
그림 7. 세대별 적합도 변화와 수렴

표 4. 동조된 퍼지 소속함수

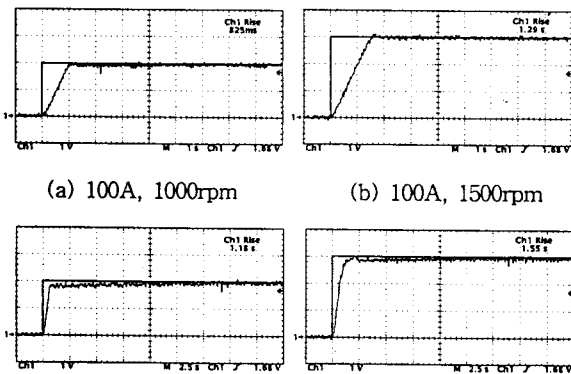
종류	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
e	-1.00	-0.42	-0.08	0.00	0.03	0.21	1.00
Δe	-1.00	-0.61	-0.25	0.00	0.31	0.74	1.00
u	-1.00	-0.62	-0.35	0.00	0.32	0.57	1.00

1V에 500rpm을 나타내고 있다. 그리고, 부하가 100A일 때는 지계차 차체 중량에 의한 부하를 의미하고, 160A일 때는 지계차와 짐의 무게에 의한 부하를 의미한다.

4.4.1 PI 제어기를 이용한 속도 제어

그림 8은 PI 속도제어기에 의한 속도 응답을 나타내고 있다.

비례이득과 적분이득은 부하가 100A이고 기준속도가 1500rpm일 때를 기준으로 조절하였다. (a)를 보면, 기준 속도가 1000rpm으로 변하면 정상상태로의 접근 기울기가 생기는 것을 알 수 있다. (c)와 (d)를 보면, 부하가 160A로 증가하면 정상상태로의 접근 기울기는 더욱 증가 하는 것을 알 수 있다.



(a) 100A, 1000rpm (b) 100A, 1500rpm
(c) 160A, 1000rpm (d) 160A, 1500rpm
그림 8. PI 제어기에 의한 속도 응답

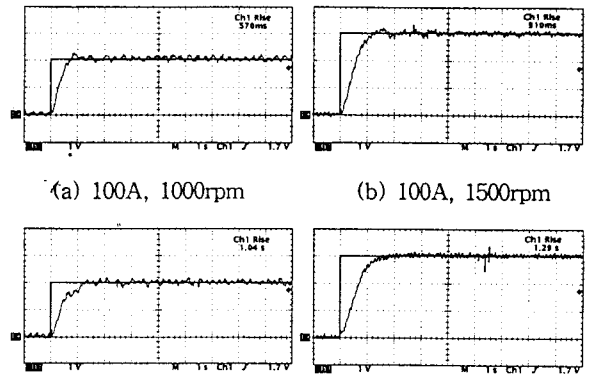
4.4.2 동조된 퍼지제어기를 이용한 속도 제어

그림 9는 동조된 소속함수를 가지는 퍼지제어기를 이용하여 속도를 제어한 것이다.

동조는 4.3절에 기술된 것처럼 기준속도가 1500rpm이고, 부하가 100A일 때 이루어 졌다. 퍼지제어기는 모터가 가지는 비선형성에도 불구하고 기준속도의 변화나 부하의 변동에 대해 안정적인 것을 알 수 있다. 속응성의 관점에서 보면 PI제어기와 같이 부하가 증가하며 속응성도 느려지는 것을 할 수 있다.

5. 결 론

실험에서 알 수 있듯이 퍼지제어기는 직류직권모터 파라미터의 심한 열적 변화와 마찰과 부하의 비선형성에도



(a) 100A, 1000rpm (b) 100A, 1500rpm
(c) 160A, 1000rpm (d) 160A, 1500rpm
그림 9. 퍼지제어기에 의한 속도 응답

불구하고 입력에의 추종성이 뛰어나다. PI제어나 퍼지 제어 모두 부하가 증가하거나 속응성이 나빠진다는 것을 알 수 있으나, 퍼지제어기의 속응성이 일반적으로 PI제어기보다 빠르다는 사실을 알 수 있다. 표 5는 PI제어기와 퍼지제어기에 의한 결과를 보여주었고 있다.

표 5. PI제어기와 퍼지제어기

제어기	PI제어기				퍼지제어기			
	100A		160A		100A		160A	
부하(A)	100A	1500	1000	1500	1000	1500	1000	1500
기준속도 (rpm)	1000	1500	1000	1500	1000	1500	1000	1500
속응성 (sec)	0.83	1.29	1.18	1.55	0.57	0.91	1.04	1.31
접근기울기 (rpm/s)	3.78	0	9.30	5.62	0	0	0	0
Ess(rpm)	0	0	20	30	0	0	0	0

(참 고 문 헌)

- [1] 채석, 오영식, "퍼지이론과 제어", 청문각, 1995
- [2] 부산대 컴퓨터응용기술산학공동연구소, "퍼지제어를 이용한 직류모터용 속도 제어기 개발", 1996
- [4] "TMS320C24X DSP Controllers Reference Set", Texas Instruments, Vol1, 1997
- [5] "TMS320C24X DSP Controllers Reference Set", Texas Instruments, Vol2, 1997
- [6] Dimiter Driankov, Hans Hellendoorn and Michael Reinfank, "An Introduction to Fuzzy Control", Springer, 1996
- [7] Rainer Palm, Dimiter Driankov and Hans Hellendoorn, "Model Based Fuzzy Control", Springer, 1997
- [8] David B. Fogel, "Evolutionary Computation", IEEE PRESS, 1996
- [9] B. Kosko, "Neural Networks and Fuzzy Systems", Pentice Hall, 1992
- [10] Y. F. Li and C. C. Lau, "Development of Fuzzy Algorithm for Servo Systems", IEEE Control System Magazine, pp. 65-71, April, 1989
- [11] G. C. D. Sousa and B. K. Bose, "A Fuzzy Set Theory Based Control of a Phase Controlled Converter DC Machine Drive", Conf. Rec, IEEE IAS Ann. Meeting, pp. 854-861, October, 1991
- [12] Sang-Rae Lee and Kwang-Won Lee, "A New Variable Structure Position Control for DC Motor Using Fuzzy Logic", IEEE Trans, Vol. 41, No. 6, pp. 625-632, 1992