

# 퍼지제어기를 이용한 엘리베이터용 영구자석형 동기전동기 벡터제어

柳在成\*, 黃善謨\*\*, 元忠淵†, 金相勳\*\*\*

## Vector Control of a Permanent Magnet Synchronous Motor for Elevators Using Fuzzy Controller

Jae-Sung Yu, Sun-Mo Hwang, Chung-Yuen Won, and Sang-Hoon Kim

### 요 약

본 논문은 퍼지제어기를 이용한 엘리베이터용 표면 부착형 영구자석 동기전동기의 벡터제어기법에 관하여 기술한다. PI제어기를 속도제어기로 사용하는 기존의 엘리베이터 시스템은 기계적 공진 때문에 계인값을 높은 값으로 선정하지 못하여 시스템의 성능이 떨어지는 단점이 있다. 이러한 점을 보완하기 위해 속도제어기에 가속도 피드백 루프를 추가하는 방법이 제안되었지만, 제어기의 구현을 위해 파라미터 정보가 필요하다는 단점을 가지고 있다. 본 논문에서는 속도제어기에 기존의 PI제어기 대신 퍼지제어기를 적용하여 벡터제어기법을 구현하였다. 퍼지제어기의 성능을 검증하기 위해 무부하 및 부하조건에서 시뮬레이션과 실험을 실시하여 PI제어기와 비교하였다.

### ABSTRACT

This paper proposes the fuzzy logic based vector control method for a Surface Mounted Permanent Magnet Synchronous Motor(SMPMSM) used in the elevators. The gain of a conventional PI speed controller in the elevator drive system can not be usually set high due to mechanical resonances, therefore its performance becomes deteriorated. There have been many methods to solve above problems such as an acceleration feedback in the speed controller. However, the above methods have defects that parameter information is demanded. In this paper, a Fuzzy controller(FC) is adopted in the elevator drive system. The performance of a fuzzy controller is compared with a PI controller in the no load and load conditions by simulation and experiments.

**Key Words** : PMSM, Vector control, Fuzzy controller

### 1. 서 론

엘리베이터는 건물 내의 중층 교통기관으로서 중요한 역할을 하고 있다. 기존의 엘리베이터 시스템의 구

동원으로는 유도전동기가 사용되었다. 그러나 유도전동기는 여자전류로 인해 효율이 낮고 출력 토크가 작기 때문에 기어의 사용이 불가피하며, 이로 인하여 기계적 부피와 소음이 커지는 문제점이 있다.

이와 같은 이유로 최근에는 영구자석형 동기전동기가 엘리베이터 시스템의 구동원으로 바뀌고 있다<sup>[1]</sup>. 영구자석형 동기전동기는 유도전동기에 비해 효율 및 역률이 비교적 높고, 출력대 중량비가 크며, 제어 알고리즘이 간단하고, 과도응답특성이 우수한 특징을 갖는다. 엘리베이터 구동 시스템에서 구동전동기의 속도제어는

†교신저자 : 정회원, 성균관대 정보통신공학부 교수

E-mail : won@yurim.skku.ac.kr

\*정회원, 성균관대 메카트로닉스공학과 박사과정

\*\*정회원, 삼성전자 메카트로닉스 센터 근무

\*\*\*정회원, 강원대 전기·전자 정보통신 공학부 부교수

접수일자 : 2005. 7. 26

1차 심사 : 2005. 8. 25

심사완료 : 2005. 9. 13

기계적 공진이 발생하는 주파수 대역 이하에서 이루어진다. 일반적으로 속도제어기의 대역폭은 1[Hz] 이하로 제한된다. 기존의 벡터제어 시스템의 속도제어에 사용되는 PI제어기는 대역폭이 낮은 경우 제어기의 이득을 충분히 크게 선정하지 못하기 때문에 속도응답특성이 만족스럽지 못하다<sup>[2]</sup>. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 속도제어기에 가속도 피드백 루프를 추가하는 방법이 제안되어 왔으나 이러한 방법들은 파라미터 정보가 필요하다는 단점을 가지고 있다<sup>[2,3]</sup>.

본 논문에서는 속도제어기에 PI제어기 대신 퍼지제어기를 적용하여 벡터제어기법을 구현하였다.

퍼지제어기는 기본적으로 비선형, 적응 제어기로서 정확한 수학적 모델을 필요로 하지 않으며, 파라미터 변동에 강인한 장점을 가지고 있다<sup>[4]</sup>. 또한 퍼지제어기를 사용하는 경우 기계적 공진으로 인한 속도제어기 대역폭의 제한에 영향을 받지 않아 우수한 속도제어 특성을 얻을 수 있다. 제안된 기법은 시뮬레이션과 실험에서 일정부하 및 시스템 파라미터인 관성의 변동에 대해서 강인함을 검증하였다.

## 2. 영구자석형 동기전동기의 제어알고리즘

### 2.1 PI속도제어기의 이득선정

그림 1은  $d-q$ 좌표계로 구성된 동기전동기의 속도제어계 블록도이다.

속도제어루프는 전류제어루프를 내부 루프로 하는 직렬구성의 형태가 많이 사용되고 있다.

이와 같이 제어계를 구성하면 내부 루프응답이 외부 루프보다 훨씬 높아지므로, 외부 루프의 응답성과 안정성을 향상시킬 수 있다.

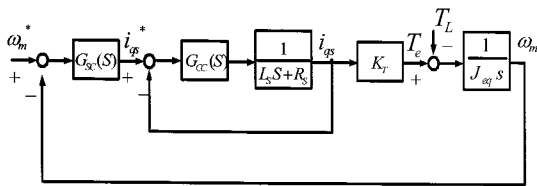


그림 1 비례적분 속도제어기  
Fig. 1 A speed controller of PI

그림 1과 같은 속도제어계에서 전류제어기의 교차각 주파수를 속도제어기의 교차각 주파수보다 5배이상 되도록 설계하면, 전류제어기  $G_{cc}(s)$ 의 특성이 속도제어계의 응답에 미치는 영향을 무시할 수 있다.

비례적분 속도제어기의 전달함수는 다음과 같다.

$$G_{sc}(s) = K_{ps} + \frac{K_{is}}{s} \tag{1}$$

여기서, 비례이득과 적분이득은 식 (2)과 식 (3)로 주어진다<sup>[5]</sup>.

$$K_{ps} = \frac{J\omega_{sc}}{K_T} \tag{2}$$

$$K_{is} = K_{ps} \times \omega_{pi} \left( \omega_{pi} \leq \frac{\omega_{sc}}{5} \right) \tag{3}$$

식 (2)과 (3)에서 알 수 있듯이 속도제어기의 대역폭이 크면, 속도제어기의 이득 값은 큰 값으로 선정되고 구동시스템의 성능은 향상된다.

하지만, 엘리베이터 구동시스템에서 속도제어기의 대역폭은 1[Hz]이하의 낮은 값으로 제한되고, 제어기의 이득을 큰 값으로 선정할 수 없기 때문에, 구동시스템의 속도응답특성이 떨어지게 된다<sup>[2]</sup>.

## 2.2 퍼지제어기의 구현

### 2.2.1 입출력 변수

퍼지제어기의 설계를 위하여 먼저 퍼지제어기의 입출력변수를 결정해야 한다. 본 논문에서는 입력변수로서 동기전동기의 속도오차  $\Delta\omega_r(n)$ 와 속도오차의 변화량  $\Delta e(n)$ , 출력변수로서  $q$ 축 전류의 변화량  $\Delta i_{qs}^e(n)$ 을 선정하였다<sup>[6]</sup>.

$$\Delta\omega_r(n) = \omega_r^*(n) - \omega_r(n) \tag{4}$$

$$\Delta e(n) = \Delta\omega_r(n) - \Delta\omega_r(n-1) \tag{5}$$

$$i_{qs}^{e*}(n) = i_{qs}^e(n-1) + G_3 \times \Delta i_{qs}^e(n) \tag{6}$$

$G_3$  : 퍼지제어기 이득값

그림 2는 퍼지제어기의 블록도이다.

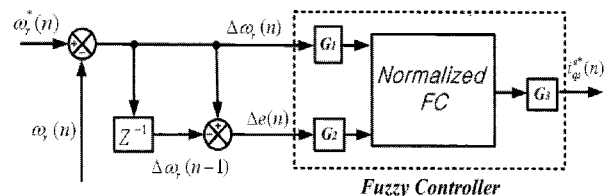


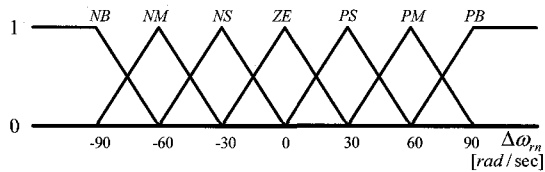
그림 2 퍼지제어기 블록도  
Fig. 2 Block diagram of a fuzzy controller

2.2.2 소속 함수

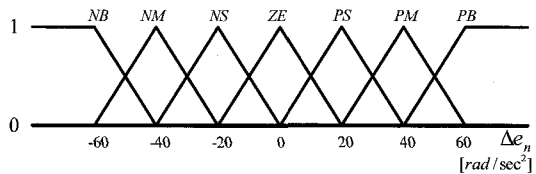
퍼지제어기에서 입출력 변수는 언어 값으로 표현된다. 언어 값은 퍼지부분집합으로 정의되며, 소속 함수로 표현된다. 본 논문에서는 입출력 변수를 위하여 다음과 같은 7개의 퍼지부분집합을 선택하였다.

- NB : Negative Big      PB : Positive Big
- NM : Negative Medium    PM : Positive Medium
- NS : Negative Small     PS : Positive Small
- ZE : Zero

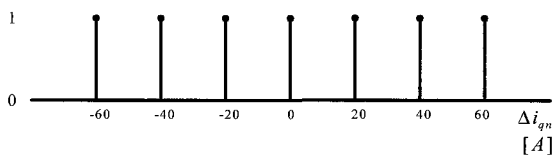
그림 3은 본 논문에서 사용된 소속함수이다. (a)와 (b)는 입력변수의 소속함수로서 이등변 삼각형 형태의 소속함수를 채택하였다. (c)는 출력변수의 소속함수로서 Singleton 소속함수를 나타낸다. 각 소속함수의 x축의 값은 표 2에 보인 전동기의 정격속도와 전류를 기준으로 하여 선정하였다.



(a)  $\Delta\omega_r(n)$ 의 소속함수



(b)  $\Delta e(n)$ 의 소속함수



(c)  $\Delta i_q(n)$ 의 소속함수

그림 3 소속함수  
Fig. 3 Membership function

2.2.3 제어규칙

퍼지제어기의 제어규칙은 전문가의 지식이나 경험에 의하여 얻어진다. 퍼지제어기 설계에서 제어규칙을 작성하는 것은 매우 중요하다. 제어규칙은 합성에 의한

추론법을 사용할 때, 'If  $\Delta\omega_r$  is ZE and  $\Delta e$  is ZE then  $\Delta i_q$  is 0[A]'의 형식으로 기술된다. 이 때, 전제 조건 변수  $\Delta\omega_r$ ,  $\Delta e$ 는 속도오차와 속도오차의 변화량, 출력변수  $\Delta i_q$ 는 q축 전류의 변화량이 되며, ZE와 ZE는 언어 값이다.

표 1의 제어규칙은 다음의 기준에 의하여 작성하였다<sup>[7]</sup>.

- 1) 전동기의 속도가 지령속도를 추종하지 못하면, q축 전류의 변화량은 속도가 지령속도를 추종하도록 큰 값이어야 한다.
- 2) 전동기의 속도가 지령속도에 근접하면 q축 전류의 변화량은 작은 값이어야 한다.
- 3) 전동기의 속도가 지령속도에 거의 일치하며, 지령속도에 빠르게 접근하면, 오버슈트를 막기 위해 q축 전류의 변화량은 기존의 값을 유지해야 한다.
- 4) 전동기의 속도가 지령에 일치하며, 일정한 값으로 유지되지 못하면, q축 전류의 변화량은 작은 값이어야 한다.
- 5) 전동기의 속도가 지령에 일치하며, 일정한 값으로 유지되면, q축 전류의 값은 변하지 않는다.
- 6) 전동기의 속도가 지령속도보다 크면, q축 전류의 변화량의 부호는 음수가 되어야 한다.

표 1 퍼지룰 테이블  
Table 1 Fuzzy rule table

$\Delta i_q(n)$	$\Delta\omega_r(n)$							
	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB	
$\Delta e(n)$	NB	-60	-60	-60	-60	-40	-20	0
	NM	-60	-60	-60	-40	-20	0	20
	NS	-60	-60	-40	-20	0	20	40
	ZE	-60	-40	-20	0	20	40	60
	PS	-40	-20	0	20	40	60	60
	PM	-20	0	20	40	60	60	60
	PB	0	20	40	60	60	60	60

2.2.4 추론

그림 4는 퍼지제어기의 추론절차를 나타낸다. 각 제어규칙의 추론결과는 출력 값인 q축 전류의 가중치  $\omega_i$ 와 제어 규칙의 결과 값  $C_i$ 로 구성된다. 예를 들어

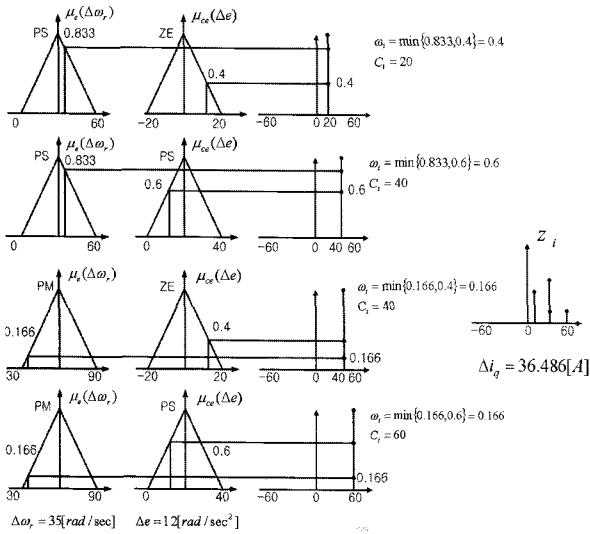


그림 4 퍼지제어기의 추론 절차  
Fig. 4 The inference mechanism of a fuzzy Controller

$\Delta\omega_r(n)=35[rad/sec]$ ,  $\Delta e(n)=12[rad/sec^2]$  라면  $\Delta\omega_r(n)$  는 PS/PM 에  $\Delta e(n)$ 는 ZE/PS 에 속하게 되며, 다음과 같은 네 개의 제어규칙을 작성할 수 있다.

- 1) IF  $\Delta\omega_r(n)$  is PS and  $\Delta e(n)$  is ZE, THEN  $\Delta i_q(n)$  is 20[A].
- 2) IF  $\Delta\omega_r(n)$  is PS and  $\Delta e(n)$  is PS, THEN  $\Delta i_q(n)$  is 40[A].
- 3) IF  $\Delta\omega_r(n)$  is PM and  $\Delta e(n)$  is ZE, THEN  $\Delta i_q(n)$  is 40[A].
- 4) IF  $\Delta\omega_r(n)$  is PM and  $\Delta e(n)$  is PS, THEN  $\Delta i_q(n)$  is 60[A].

$$\omega_i = \min\{\mu_e(\Delta\omega_r), \mu_{ce}(\Delta e)\} \quad (7)$$

$$Z_i = \omega_i C_i \quad (8)$$

각 제어규칙의 가중치는 식 (7)으로 계산되며, 최종적인 추론결과는 식 (8)로 구해진다.

### 2.2.5 비퍼지화

퍼지추론한 결과를 제어기에 입력하기 위해서는 보통집합(Crisp set)값으로 변환해야 한다.

본 논문에서는 비퍼지화 방법으로 식 (8)과 같은 삼각형의 무게 중심법을 사용하였다<sup>[8]</sup>.

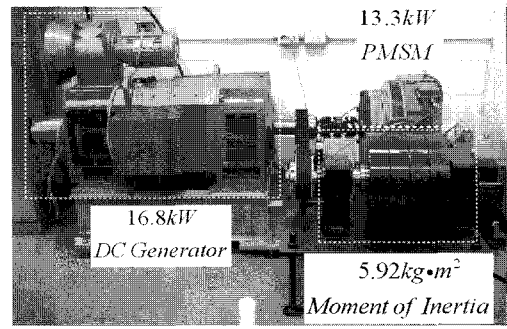
$$\Delta i_q(n) = \frac{\sum_{i=1}^4 \omega_i C_i}{\sum_{i=1}^4 \omega_i} \quad (9)$$

$\omega_i$  : 가중치

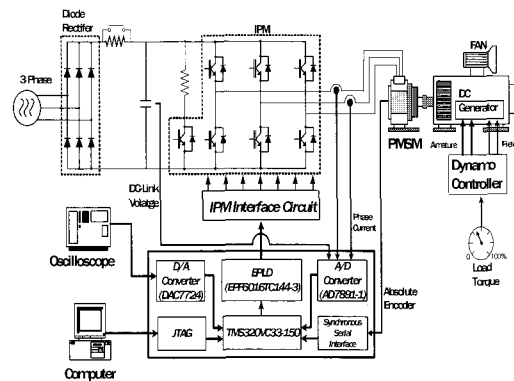
$C_i$  : 제어규칙의 결과 값

식 (9)를 이용하여 위의 추론결과를 비퍼지화하면 식 (10)과 같다.

$$\Delta i_q(n) = \frac{20 \times 0.4 + 40 \times 0.6 + 40 \times 0.166 + 60 \times 0.166}{0.4 + 0.6 + 0.166 + 0.166} = 36.486[A] \quad (10)$$



(a) MG set



(b) Block diagram of an experimental system

그림 5 MG 장치 및 실험 장치 블록도  
Fig. 5 MG set and Block diagram of an equipment

### 3. 시스템 구성

그림 5(a)는 실험에 사용된 PMSM (13.3kW) 및 DC Generator (16.8kW)이고, 관성변화를 시험하기 위해서 MG시험장치에 추가로 5.92 [kg · m<sup>2</sup>]를 제작

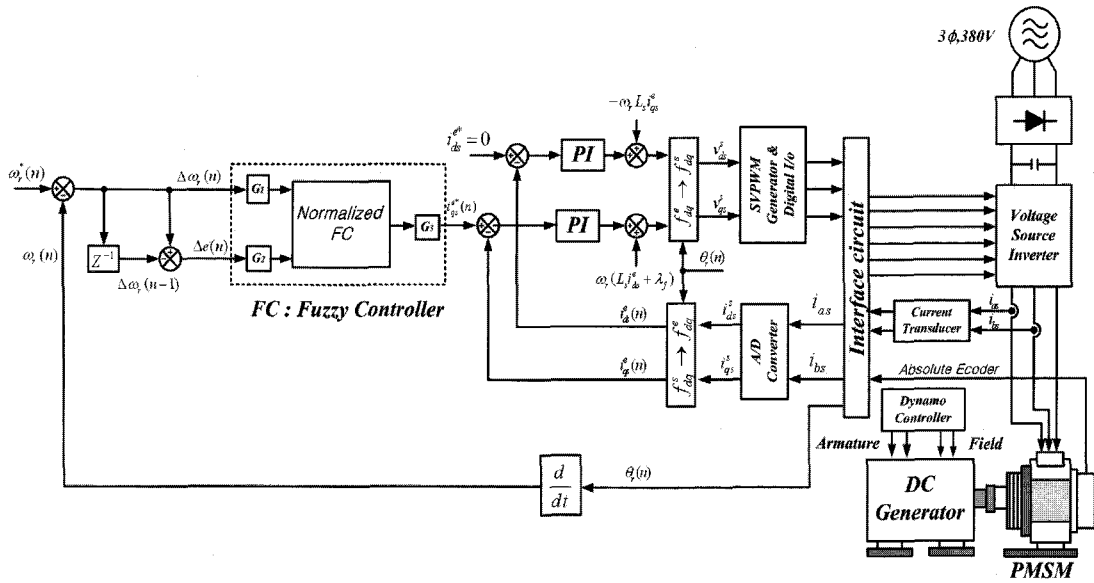


그림 6 PMSM 제어 블록도  
Fig. 6 Control block diagram of PMSM

하여 설치한 사진이다.

추가 관성질량은 296[kg]으로써, 한명의 몸무게를 60 [kg]으로 하여, 약 5명의 무게로 계산하였다.

그림 5(b)는 실험 시스템 구성도이다. 실험대상 영구자석 동기전동기는 13.3[kW]급으로서 최대 탑승인원은 17명이고 20층 내외의 MRL(MachineRoomless) 엘리베이터에 사용된다. 최대 토크는 670[Nm]이고, 정격 속도는 190[rpm]이다. 영구자석 동기전동기를 구동하기 위해서는 초기회전자 위치 및 운전 중에도 정확한 회전자 위치를 검출해야한다.

본 논문에서는 전기각을 0.5도의 분해능으로 검출이 가능한 Heidenhain사의ECN-1313(13bit) 모델을 사용하였다. 엔코더와 제어보드간의 통신 방법은 ASIC화한 전용의 IC가 있으나 비용을 고려하여 FPGA에 클럭발생부, 데이터수신부 및 수신한 그레이 코드를 바이너리 코드로 변환해 주는 로직을 설계하였다.

시스템 제어보드는 부동 소수점을 처리할 수 있는 TI사의 고성능 DSP인 TMS320VC33을 사용하였다. 또한 전류검출과 DC링크단 전압을 검출하기 위하여 ANALOG DEVICE사의 AD7891을, 내부변수 모니터링 하기위하여 DAC7724 D/A 컨버터를 사용하였다.

그림 6은 퍼지제어기를 적용한 영구자석 동기전동기 제어시스템 블록도이다. 제어시스템은 속도제어기, 전류제어기로 구성된다. 속도제어기는 속도오차를 입력으로 받아 토크지령치의 q축 전류를 출력한다.

전류제어기는 속도제어기의 출력 값과 실제 측정된 전류 값의 오차 값을 입력받아 영구자석 동기전동기에 인가할 수 있는 전압 지령치를 출력한다.

#### 4. 시뮬레이션 및 실험결과

##### 4.1 시뮬레이션

제안한 퍼지제어기를 이용한 구동시스템의 성능을 검증하기 위해 시뮬레이션과 실험을 통하여 성능을 검증하였다. 시뮬레이션은 PSIM6.0을 사용하였으며, 디지털로 구현되는 실제 시스템과 동일한 특성을 얻기 위하여 C언어로 프로그램 할 수 있는 DLL블록을 사용하여 시뮬레이션 하였다. 전력변환부는 회로도로 작성하고, 벡터제어 알고리즘은 DLL을 이용하여 C언어로 코딩하였다. 속도응답특성을 알아보기 위해 그림 7과 같은 실제 엘리베이터에 적용되는 가속도패턴을 사용하였다. 그림 8은 속도지령으로서 가속도 지령을 적분하여 얻는다. 시뮬레이션과 실험에 사용된 영구자석 동기전동기의 사양은 표 2와 같다.

속도제어기에서 PI제어기의 대역폭을 1[Hz]로 선정하여 식 (1)과 식 (2)를 이용하여 계산하였다. 속도응답특성을 비교하기 위해, 무부하 상태에서 그림 8의 속도지령을 인가하여 PI제어기와 퍼지제어기의 성능을 비교하였으며, 속도응답특성은 무부하일 때와 동일한 조건하에 정격의 50%부하를 인가하여 부하응답특성을

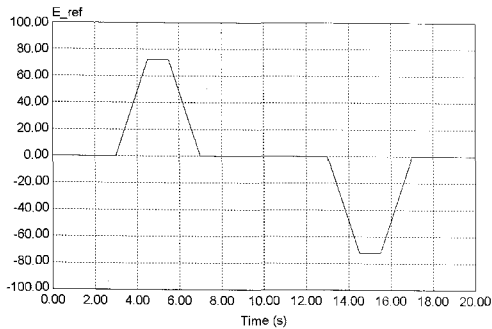


그림 7 가속도 지령  
Fig. 7 Acceleration command

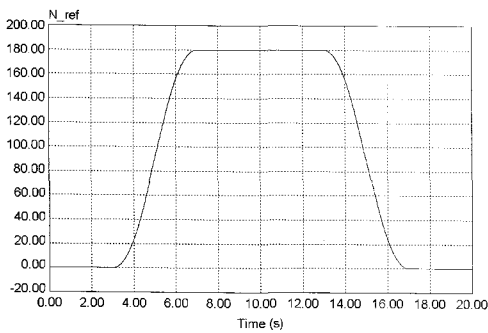
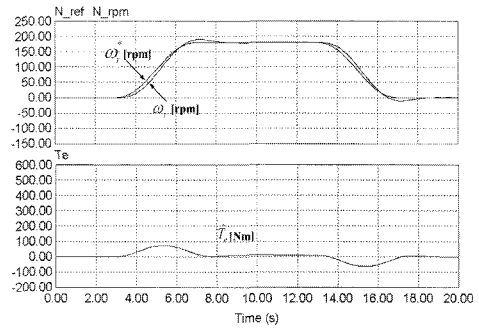
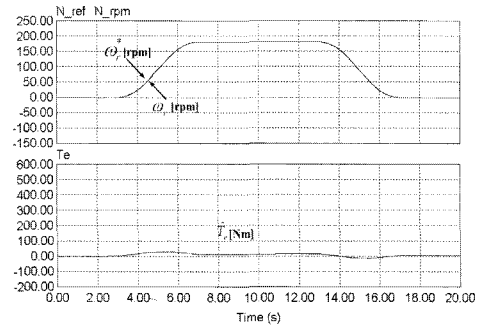


그림 8 속도 지령  
Fig. 8 Speed reference



(a) PI 제어기



(b) 퍼지 제어기

그림 9 무부하에서 속도응답  
Fig. 9 Speed responses under no load

표 2 13.3kW PMSM 사양  
Table 2 Specification of a 13.3kW SMPMSM

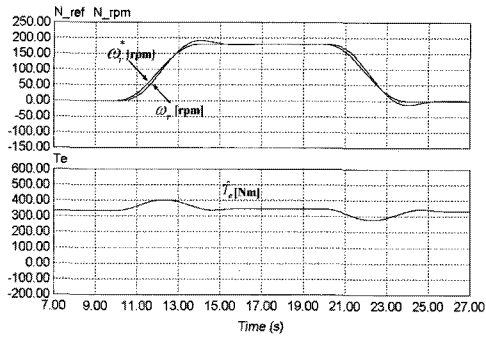
파라미터	값
정격 출력	13.3 [kW]
정격 토크	670 [N·m]
정격 속도	190 [rpm]
정격 전류	27.2 [A]
효율	87 [%]
주파수	38 [Hz]
극수	24 [pole]
고정자저항	0.466 [Ω]
고정자인덕턴스	8.65 [mH]
역기전력 상수	2135 [V <sub>pk</sub> /krpm]
관성	2.8 [kg·m <sup>2</sup> ]

비교하였다. 또한 관성변화 시에, 두 제어기의 성능을 비교하기 위해, 5명의 승객이 승차 할 경우를 가정하여 관성을 5.92[kg·m<sup>2</sup>]으로 변동하여 시뮬레이션 하였다. 결과과정의 첫 번째는 속도지령  $\omega^*$ 과 실제속도  $\omega_r$

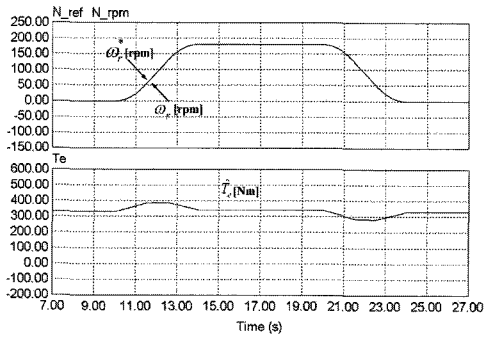
이고, 두 번째는 전동기의 토크  $\hat{T}_e$ 를 나타낸다.

그림 9와 10에서 볼 수 있듯이 PI제어기의 경우 낮은 이득 값으로 인하여 속도지령을 제대로 추종하지 못하는 것을 확인할 수 있다. 속도제어기의 주파수대역을 높은 값으로 선정하면 제어기의 이득 역시 높은 값으로 선정되어 제어기의 성능이 향상되나 엘리베이터 시스템의 기계적 공진으로 인하여 주파수대역은 1[Hz] 이상의 값으로 선정할 수 없다. PI제어기를 적용한 시스템 경우 가속하는 시점에서, 그림 10의 부하 응답특성을 비교하면, 더 큰 속도오차를 보였으며, 정상상태 도달 시점에서도 약 20[rpm]의 오버슈트가 발생하였다. 퍼지제어기는 속도, 부하, 관성변화 응답을 관찰한 결과 모두 속도지령을 정확히 추종하였다.

그림 11은 시스템의 관성이(PMSM : 2.8[kg·m<sup>2</sup>], DC generator : 4.6[kg·m<sup>2</sup>]) 7.4[kg·m<sup>2</sup>]에서 13.32[kg·m<sup>2</sup>]로 변동하였을 경우에 대한 시뮬레이션 결과이다. 시스템의 관성이 변동할 경우 PI제어기가 우수한 성능을 나타내기 위해서는 이를 추정하여 이에 따라 PI제어기의 이득도 함께 변동시켜주어야 하지만, 퍼지 제어기의 경우에는 관성 변동에 대한 별도의 제어기법을 추가하지 않아도 우수한 특성을 얻을 수 있다<sup>[2]</sup>.

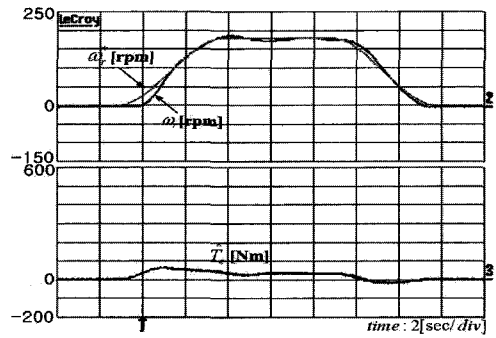


(a) PI 제어기

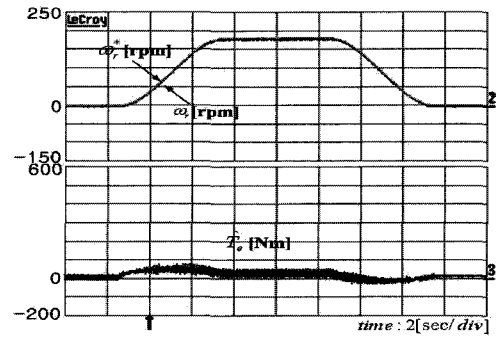


(b) 퍼지 제어기

그림 10 정격의 50%부하에서의 속도응답  
Fig. 10 Speed responses under 50% rated load condition

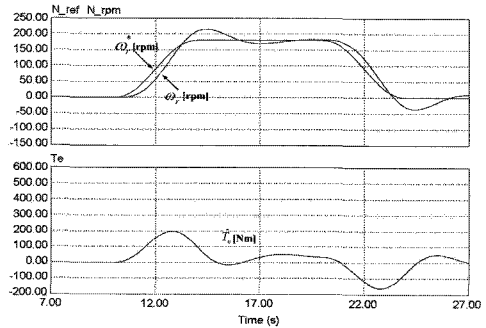


(a) PI 제어기

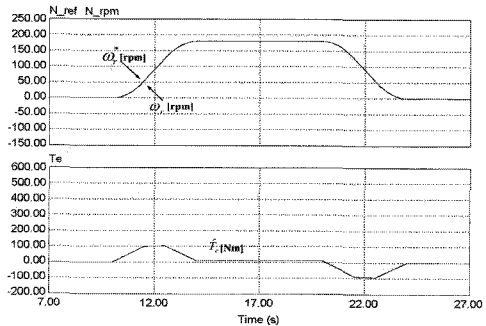


(b) 퍼지 제어기

그림 12 무부하에서 속도응답  
Fig. 12 Speed responses under no load

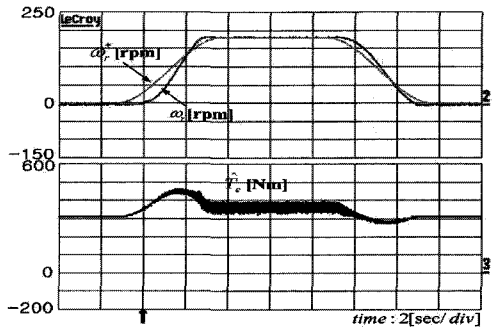


(a) PI 제어기

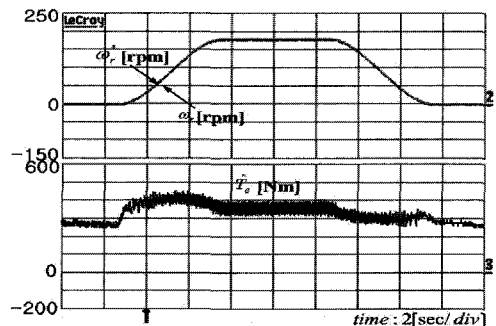


(b) 퍼지 제어기

그림 11 관성변동에서의 속도응답  
Fig. 11 Speed responses under the moment of inertia change



(a) PI 제어기



(b) 퍼지 제어기

그림 13 정격의 50%부하에서의 속도응답  
Fig. 13 Speed responses under 50% rated load condition

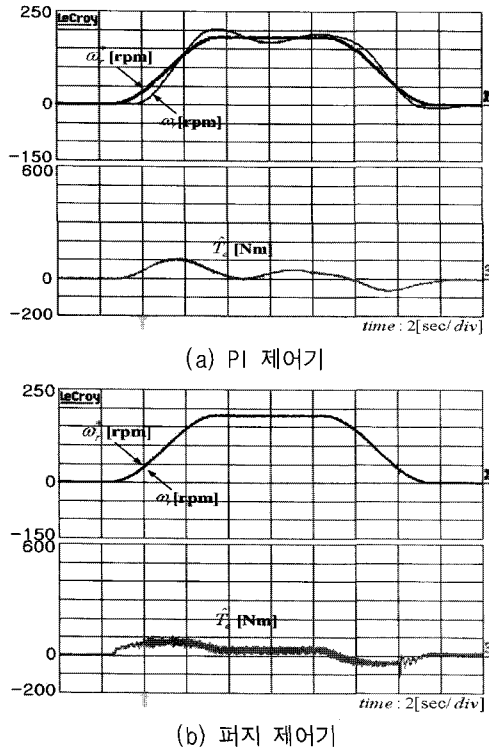


그림 14 관성변동에서의 속도응답  
Fig. 14 Speed responses under the moment of inertia change

#### 4.2 실험결과

실험을 통하여 본 논문에서 제안한 퍼지제어기의 우수성을 PI제어기와 비교 검증하였다. 그림 12는 속도 응답특성을 그림 13은 부하응답특성을 나타낸다. 실험 조건은 시뮬레이션과 동일하다. 결과과정의 첫 번째 그림은 속도지령과 실제속도를 두 번째 그림은 전동기의 토크를 나타낸다. 실험결과 역시 시뮬레이션과 동일한 결과를 보여주었다. 퍼지제어기 경우 무부하 및 부하실험시 속도지령을 잘 추종하였다. 하지만 PI 제어기를 적용한 시스템은 PI제어기의 낮은 이득 값으로 인하여, 무부하 조건시 가속하는 시점에서 지령 값을 빠르게 추종하지 못하였으며, 정상상태에 이르는 시점에서는 오버슈트가 발생하였다. 부하실험인 경우 가속 시점에서 무부하 실험보다 더 큰 속도오차를 보였다.

그림 14는 시스템의 관성이 시스템의 관성이(PMSM :  $2.8[kg \cdot m^2]$ , DC generator :  $4.6[kg \cdot m^2]$ )  $7.4[kg \cdot m^2]$ 에서  $13.32[kg \cdot m^2]$ 로 변동하였을 경우에 대한 실험 결과이다. 시뮬레이션과 마찬가지로, PI제어기는 관성변화 시에, 우수한 성능을 얻기 위해서는, 가속도 피드백 루프를 추가해야 한다<sup>[2]</sup>. 퍼지 제어기의 경우에는 관성이 변화 할 때, 별도의 제어기를 추가하지 않

아도 된다.

### 5. 결 론

본 논문에서는 엘리베이터를 구동할 때 사용하는 동기전동기의 벡터제어 제어 블럭도내에 PI 속도제어기 대신에 퍼지제어기를 사용하여 다음의 결과를 얻었다.

실제 엘리베이터 시스템과 동일한 가속도 지령을 인가하여 PI 속도제어기 및 퍼지제어기의 속도제어 성능을 비교하였다. 제안한 퍼지제어기는 비선형, 적응 제어기로서 동작조건 변동에 강인하고 안정한 제어 성능을 보여주었다. PI 속도제어기는 시스템의 관성이 변동 하였을 경우에 속도제어 성능에 영향을 받지만, 제안한 퍼지 속도제어기는 시스템 파라미터인 관성변동에 강인함을 확인할 수 있었다.

이 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업 인프라 구축 지원 사업으로 수행된 논문입니다.

### 참 고 문 헌

- [1] D. W. Chung, H. M. Ryu, Y. M. Lee, S. K. Sul, S. J. Kang, J. H. Song, J. S. Yoon, K. H. Lee, J. H. Seo, "A new configuration of drive system for high speed gearless elevator," in IEEE IAS Annu. Rec., pp.307-310, 1999.
- [2] Y.M. Lee, J.K. Kang, S.K. Sul, "Acceleration Feedback Control Strategy for Improving Riding Quality of Elevator System," IEEE IAS Conf. Rec., pp.1375-1379, 1999.
- [3] J.K. Kang, S.K. Sul, "Vertical Vibration Control of Elevator Using Estimated Car Acceleration FeedBack Compensation," IEEE Trans on Ind. Elec, Vol. 47, No. 1, pp.91-99, February, 2000.
- [4] Bimal K. Bose, "Modern Power Electronics and AC Drives," Prentice Hall PTR, 2002.
- [5] 小山正人の 2인 저, 이용중, 유우중, 송승호 역, 산업용 서보모터의 제어시스템 설계, 大英社, pp.157-174, 2000.
- [6] M.Nasir Uddin, Tawfik S.Radwan, M.Azizur Rahman, "Performances of Fuzzy-Logic-Based Indirect Vector Control for Induction Motor Drive," IEEE Trans on Industry Applications, Vol. 38, No. 5, pp. 1219-1225, Sep/Oct. 2002.
- [7] Wing-Chi So, Chi K, Tse, Yim-Shu Lee, "Development of a Fuzzy Logic Controller for DC/DC Converters : Design, Computer Simulation, and Experimental



Evaluation," IEEE Trans on Power Electronics, Vol. 11, No. 1, pp.24.

- [8] H.D. Lee, S.K. Sul, "Fuzzy-Logic-Based Torque Control Strategy for Parallel-Type Hybrid Electric Vehicle," IEEE Trans on Industrial Electronics, Vol. 45, No. 4, pp 625-632, Aug. 1998.

## 저 자 소 개



### **유재성(柳在成)**

1975년 9월 2일생. 2002년 서울산업대 전기공학과 졸업. 2004년 성균관대 대학원 에너지시스템공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 메카트로닉스공학과 박사과정.



### **황선모(黃善謨)**

1977년 10월 20일생. 2003년 성균관대 정보통신공학부 졸업. 2005년 동 대학원 전자·전기공학과 졸업(석사). 현재 삼성전자 메카트로닉스 센타 근무.



### **원충연(元忠淵)**

1955년 5월 10일생. 1978년 성균관대 전기공학과 졸업. 1980년 서울대 공대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1991년 12월~1992년 12월 미국 테네시 주립대학 전기공학과 방문 교수. 현재 성균관대 정보통신공학부 교수.



### **김상훈(金相勳)**

1964년 9월 11일생. 1987년 서울대 전기공학과 졸업. 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1994년~1996년 대우중공업 철도차량 연구소 선임연구원. 2002년~2003년 미국 San Francisco State University 방문교수. 1997년~현재 강원대 전기·전자정보통신공학부 부교수.