

# 벡터제어를 적용한 엘리베이터 도어용 유도전동기 구동 시스템 개발

박내춘\*, 조영훈\*\*, 이용규\*\*\*, 목형수\*\*\*\*, 김상훈\*  
\*강원대학교, \*\*현대모비스, \*\*\*성암전기, \*\*\*\*건국대학교

## Development of Induction Motor Drive system for the Elevator door using Vector control

N.C. Park\*, Y.H. Cho\*\*, Y.G. Lee\*\*\*, H.S. Mok\*\*\*\*, S.H. Kim\*  
\*Kangwon National Univ. \*\*Hyundai MOBIS \*\*\*Sungam, \*\*\*\*KonKuk Univ.

### ABSTRACT

스칼라 제어에 속하는 V/F 방식은 기본과 전압의 실효값과 주파수를 독립변수로 하여 평균적인 토크를 제어함으로써 제어가 쉽고 구현이 간단하여 산업계에서 널리 쓰이고 있다. 그러나 주파수의 변화에 따라서 전동기 내부 임피던스도 변화하기 때문에 단순히 주파수만을 가변 하는 것만으로는 약제자에 의한 토크 부족이나 과여자에 의한 여자 포화 등에 의해 역률과 효율이 떨어진다. 또한 순시적인 토크 제어가 불가능하여 전동기의 고성능 제어가 어렵다. 본 논문에서는 벡터제어를 적용한 엘리베이터 도어용 유도전동기 구동 시스템을 제안하고 실험을 통해 그 성능을 확인하였다.

### 1. 서 론

최근 엘리베이터의 성능 향상과 더불어 도어 기능의 중요성이 새롭게 인식되고 있다. 도어는 승객과 직접적으로 접하는 부분으로서 엘리베이터 전체의 성능을 평가하는 데 높은 비중을 차지한다. 그러므로 고품질의 엘리베이터를 실현하기 위해서는 도어의 개폐성능이 가장 중요한 관건이 되고 있다.

엘리베이터 도어는 소음이 없어야 하고, 동작회수가 엘리베이터의 가동회수의 2배 이상이 되므로 견고하고 보수가 용이해야 하며, 가능한 기구설비 비용이 저렴해야 한다.

이와 같은 이유로 최근에는 인버터제어방식의 유도 전동기의 사용이 점차 증가하고 있다. 현재 국내의 엘리베이터 도어 제어시스템은 유도전동기의 스칼라 제어방식인 V/F 일정제어 방식이 많이 사용되고 있다. 하지만 V/F 일정제어 방식은 주파수의 변화에 따라서 전동기 내부 임피던스도 변화하기 때문에 단순히 주파수만을 가변 하는 것만으로는 약제자에 의한 토크 부족이나 과여자에 의한 여자 포화 등에 의해 역률과 효율이 떨어진다. 또한 순시적인 토크 제어가 불가능하여 전동기의 고성능 제어가 어렵다. 반면, 고성능 유도전동기 구동에 사용되는 벡터제어는 정지 상태에서부터 저속 및 고속영역에까지 빠른 순시 토크제어가 가능하다.

본 논문에서는 유도전동기의 벡터제어기법의 도어시스템에 적용에 대하여 연구하였다.

### 2. 엘리베이터 도어용 구동기의 설계

### 2.1 도어 구동기

엘리베이터 도어는 전동기의 회전을 감속하고 벨트 또는 체인을 구동하여 도어를 개폐시키는 장치이다. 감속장치로는 워 감속기가 주류를 이루고 있으나 최근에는 풀리(pulley)로 감속하는 방법이 쓰이고 있다.

그림 1은 엘리베이터 도어를 나타낸 것이다.

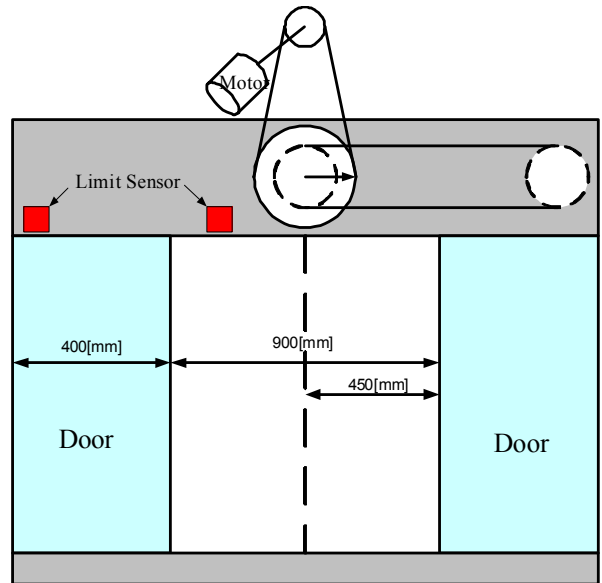


그림 1. 엘리베이터 도어  
Fig.1 Elevator door

그림 1에서 보는 것과 같이 전동기에 의해 전달된 토크는 타이밍 풀리의 커플 토크로 작용하여 엘리베이터 도어를 이동시킨다. 즉, 가해진 타이밍 풀리의 토크를 입력으로 타이밍 풀리의 회전운동이 풀리에 연결되어진 타이밍 벨트를 통해 병진운동으로 전환된다. 또한 엘리베이터 도어의 좌측은 하단 와이어와 연결되고 엘리베이터 도어의 우측은 상단 와이어와 연결되어 타이밍 풀리가 정방향으로 회전할 경우 좌측 도어는 좌측으로 이동

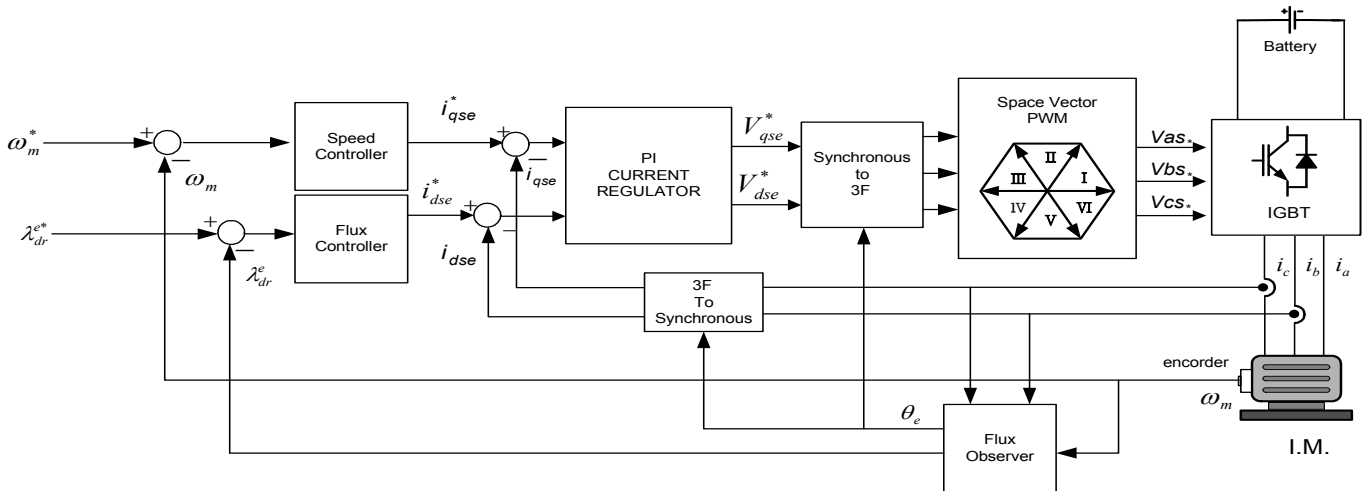


그림 2. 제어 시스템 블록도  
Fig. 2 Control system block diagram

하고 우측 도어는 우측으로 이동한다. 역방향의 경우 위와 반대 방향의 운동을 한다.

1차 폴리는의 반경은 160[mm], 2차 폴리는 23.4[mm]이고, 3차 폴리는 60.39[mm]이다. 엘리베이터 도어 구동용 모터는 400[w]의 유도 전동기를 사용하였고 사양은 표 1과 같다.

표 1 400W 유도전동기의 사양  
Table 1 specifications of 400W Induction Machine

Power	400 [W]
Number of Poles	4
Frequency	60 [Hz]
Rated Speed	1695 [rpm]
Torque	2.22 [Nm]
Voltage	220 [V]
Current	1.78 [A]

## 2.2. 엘리베이터 도어용 유도전동기 제어

그림 2는 엘리베이터 도어용 유도전동기의 벡터제어 블록도를 나타내고 있다. 본 연구에서는 직접벡터제어 기법을 사용하였고, 자속각을 얻기 위하여 전류 모델을 이용한 자속 추정 방법을 사용하였다. 전류제어를 위해서는 역기전력을 전향보상한 동기 좌표계 PI 전류제어기를 사용하였고, 전압변조방식으로는 공간전압벡터 PWM (SVPWM)기법을 사용하였다.

### 2.2.1 회전자 자속 기준 직접 벡터제어

공간상에서의 기준 자속의 위치는 측정 또는 계산에 의해 얻을 수 있고 얻어진 자속각의 위치에 따라 고정자 전류를 자속각과 일치하는 성분과 그와 직교하는 성분으로 분해하여 그 크기를 각각 제어함으로써 순시 토크와 자속을 제어할 수 있다, 이와 같이 자속추정기에서 자속의 위치를 직접 얻은 후 이를 통하여 제어하는 방법을 직접 벡터제어라고 한다.

### 2.2.2 전류모델을 이용한 자속 추정기

역기전력이 작은 저속 영역에서는 회전자 속도의 정보를 사용하는 회전자 회로를 이용한 전류 모델이 비교적 측정 신호의 오차에 강인하여 추정 특성이 우수하다.

회전자의 전압 방정식을 이용하면 회전자 속도와 고정자 전류의 정보로부터 회전자 자속을 구할 수 있다. 농형 유도 전동기에서 회전자의 전압 방정식은 식(1)(2)와 같다.

$$v_{dr}^{\omega} = R_r i_{dr}^{\omega} + \frac{d\lambda_{dr}^{\omega}}{dt} - (\omega - \omega_r) \lambda_{qr}^{\omega} = 0 \quad (1)$$

$$v_{qr}^{\omega} = R_r i_{qr}^{\omega} + \frac{d\lambda_{qr}^{\omega}}{dt} + (\omega - \omega_r) \lambda_{dr}^{\omega} = 0 \quad (2)$$

쇄교 자속식을 이용하여 회전자 전류를 구하면 식(3)(4)와 같다.

$$i_{dr}^{\omega} = \frac{\lambda_{dr}^{\omega} - L_m i_{ds}^{\omega}}{L_r} \quad (3)$$

$$i_{qr}^{\omega} = \frac{\lambda_{qr}^{\omega} - L_m i_{qs}^{\omega}}{L_r} \quad (4)$$

이 전류를 회전자 전압 방식에 대입하면 식(5)(6)과 같은 회전자 자속식이 얻어진다.

$$\frac{d\lambda_{dr}^{\omega}}{dt} = -\frac{R_r}{L_r} \lambda_{dr}^{\omega} + R_r \frac{L_m}{L_r} i_{ds}^{\omega} - (\omega - \omega_r) \lambda_{qr}^{\omega} \quad (5)$$

$$\frac{d\lambda_{qr}^{\omega}}{dt} = -\frac{R_r}{L_r} \lambda_{qr}^{\omega} + R_r \frac{L_m}{L_r} i_{qs}^{\omega} + (\omega - \omega_r) \lambda_{dr}^{\omega} \quad (6)$$

d-q축 쇄교 자속간에 상호 결합 성분을 제거하면 식(7)(8)과 같이 된다.

$$p\lambda_{dr}^r = -\frac{R_r}{L_r} \lambda_{dr}^r + R_r \frac{L_m}{L_r} i_{ds}^r \quad (7)$$

$$p\lambda_{qr}^r = -\frac{R_r}{L_r}\lambda_{qr}^r + R_r\frac{L_m}{L_r}i_{qs}^r \quad (8)$$

### 2.3 속도 패턴

도어 개폐시 속도패턴은 구간에 따라 속도 지령을 발생시키고 리미트 센서를 이용하여 구간을 판단하여 속도를 변화시키는 것이 일반적이다. 그림 3은 엘리베이터 도어의 속도 패턴을 나타낸다. 속도 패턴은 가속구간, 정속구간, 감속구간으로 구성되고 이동 시간은 3초, 이동거리는 450[mm]로 설정하였다.

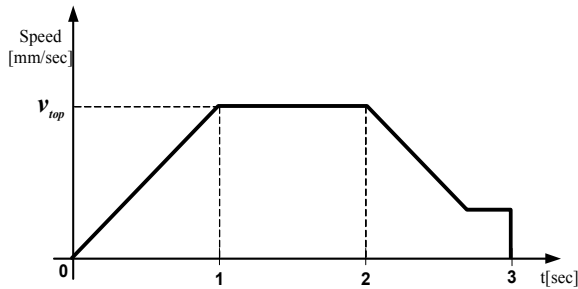


그림 3. 속도 패턴  
Fig. 3 Speed pattern

### 3. 시뮬레이션

Matlab/Simulink를 이용하여 엘리베이터 도어 시스템의 시뮬레이션을 수행하였다. 폴리비는 6.84이고 3차 폴리의 반경은 60.39[mm], 이동거리는 450[mm], 이동시간은 3[sec]로 설정하였다. 시뮬레이션에 사용된 유도전동기의 제정수는 표 2와 같다. 그림 4는 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 시뮬레이션 결과 가속시에 빠른 응답특성을 확인 할 수 있었다.

표 2 400W 유도전동기의 제정수  
Table 2 Parameters of 400W Induction Machine

$R_s$	6.5606 [ $\Omega$ ]
$R_r$	5.0045 [ $\Omega$ ]
$L_{ls}$	12.3634 [ $mH$ ]
$L_{lr}$	18.3751 [ $mH$ ]
$L_m$	283.3135 [ $mH$ ]

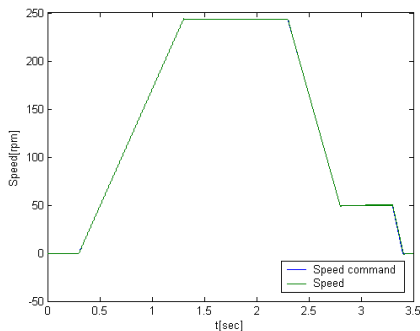


그림 4 시뮬레이션 결과  
Fig.4 Simulation result

### 4. 실험 결과

실험 조건은 시뮬레이션 조건과 동일하며 제어기는 TI사의 32bit 고정소수점 DPS인 TMS320F2808을 사용하였다.

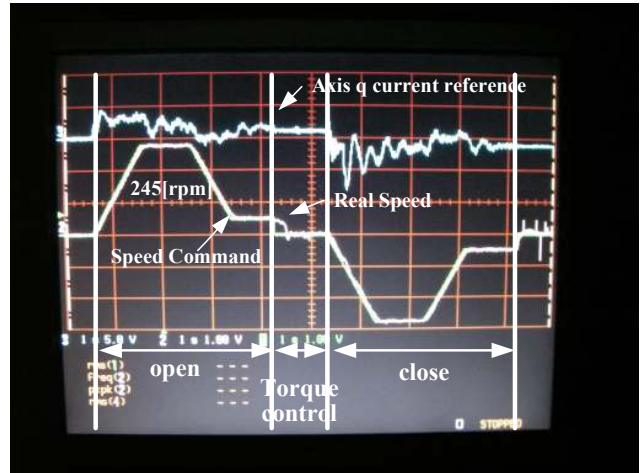


그림 5. 실험 결과  
Fig. 5 Experimental result

실험은 open, close 구간과 도어가 닫혔을 경우 임의적으로 도어를 열수 없게 하기 위한 토오크제어 구간으로 구분되어 있다. 개폐시에는 속도패턴지령을 받아 속도 제어를 하게 되고 문이 완전히 닫히게 되면 일정토오크로 토오크제어를 하게 된다. 그림 5는 속도지령치와 실제속도 그리고 q축 전류의 실험 결과를 나타낸다. 최고속도는 245[rpm]이고 3초 일정토오크제어 구간에서의 q축 전류는 0.2[A]이다.

### 5. 결론

본 논문에서는 벡터제어기법을 적용한 엘리베이터 도어용 유도전동기 구동시스템을 개발하고, 엘리베이터 도어 실험장치에 적용하여 실험하였다. 벡터제어기법을 적용함으로써 빠른 응답속도와 가속 구간에서 정밀한 제어가 구현됨을 확인하였다.

### 참고문헌

- [1] 김재윤, 김규식, "엘리베이터 도어 구동기의 개발", 서울시립대학교 산업기술연구소 논문집, 제6집, 2호, pp. 177~122, 1998.
- [2] 함년근, 최성호, 안규복, 최기수, 김용주, 한정희, "엘리베이터 도어제어용 인버터의 설계기법 및 속도제어방법에 대한 연구", 전력전자학회 2000년 학술대회논문집, pp. 564~567, 2000.
- [3] 김상훈, 배본호, 설승기, "벡터제어를 적용한 전동차 구동 시스템 개발", 전력전자학회논문지 제6권, 제2호, pp. 125~131, 2001
- [4] 배우리, 이원철, 김이훈, 원충현, 장봉안, 양하영, "드럼 세탁기용 유도전동기 벡터제어", 2004 한국 조명·설비학회 학술대회 논문집, pp. 391~396, 2004.