

영구 자석형 동기 전동기를 이용한 고속 엘리베이터 구동 시스템 개발

류형민*, 김성준*, 설승기*, 권태석**, 김기수**, 심영석**, 석기룡**
*서울대학교 전기·컴퓨터 공학부, **현대 엘리베이터(주)

Development of High-speed Elevator Drive System using Permanent-magnet Synchronous Motor

Hyung-Min Ryu*, Sung-Jun Kim*, Seung-Ki Sul*, Tae-Seok Kwon**, Ki-Su Kim**,
Young-Seok Shim**, Ki-Riong Seok**
SoEE SNU*, Hyundai Elevator Co. Ltd.**

ABSTRACT

In this paper, the gearless traction machine drive system using a permanent-magnet motor for high-speed elevators is addressed. This application of permanent-magnet motor to the elevator traction machine enables several improvements including higher efficiency, better ride comfort, smaller size and weight, and so on. PWM boost converter is also adopted so that DC-link voltage regulation, bi-directional power flow, and controllable power factor with reduced input current harmonics are possible. To increase reliability and performance, the control board, which can include the car and group controller as well as PWM converter and inverter controller, is designed based on TMS320VC33 DSP. The simulator system for high-speed elevators has been developed so that the drive system of high-speed elevator can be tested without any limitation on ride distance and the load condition. Some experimental results are given to verify the effectiveness of the developed system.

1. 서 론

최근 영구 자석의 발달로 높은 에너지 집적도를 갖는 희토류의 자석 재료가 개발되면서 엘리베이터 시스템의 구동원으로 유도 전동기 대신 여자 전류가 불필요한 고효율의 영구 자석형 동기 전동기를 사용할 수 있게 되었다.

영구 자석형 동기 전동기를 채택할 경우 소형화에 따른 효율적인 공간 활용이 가능해지고 경량화에 따른 건물 상단부의 기계실 하중 부담을 줄일 수 있다. 또한 기존의 기어 방식을 무기어식 직접 구동 방식으로 교체하여 에너지 효율을 극대화할 수 있다.

결과적으로 영구 자석형 동기 전동기의 적용은 엘리베

이터 시스템이 요구하는 고효율화, 승차감 향상, 소형화 및 경량화 측면에서 기존의 유도 전동기를 사용한 구동 방식에 비해 우수한 특성을 나타낸다^[1].

본 논문은 이러한 장점을 지닌 영구 자석형 동기 전동기를 적용한 고속 엘리베이터 시스템의 개발 사례를 전기적인 구동 시스템을 중심으로 소개한다.

2. 본 론

2.1 고속 엘리베이터 시스템 구성

고속 엘리베이터 시스템의 구성은 대략적으로 그림 1과 같고 크게 세 가지로 분류될 수 있다. 물론 각 시스템들은 상호간에 유기적으로 연결되며 전체 엘리베이터 시스템의 신뢰성 확보를 위해서는 각 역할에 대한 충분한 이해가 필요하다. 첫째는 전기적인 구동 시스템으로 PWM 인버터 및 PWM 컨버터로 구성되며 각각 승강기의 속도 제어와 직류단 전압 제어를 담당한다.

둘째는 기계 시스템으로 구동 전동기, 주 시브 및 브레이크 장치를 포함한 권상기, 승강기, 카운터웨이트, 그리고 이를 연결하는 로프로 구성된다. 구동 전동기는 전기 기계로서 전기 시스템과 기계 시스템을 연결하는 중요한 에너지 변환 장치이다. 본 개발 시스템은 영구 자석형 동기 전동기를 구동 전동기로 채택하여 고효율, 토크 맥동 저감을 통한 승차감 개선, 소형화 및 경량화, 그리고 이를 통해 궁극적으로는 전체 시스템의 신뢰성 향상을 꾀하였다.

셋째는 통신 시스템으로 상층부 기계실의 주 제어기와 승강기 및 각층을 연결한다. 기존의 통신 방식은 RS485를 사용한 Polling 방식으로 고속 엘리베이터와 같이 층수가 증가하여 슬레이브(Slave)의 수와 선로의 길이가 증가하는 경우 통신 속도 증가로 인해 노이즈에 취약해지는 단점을 지닌다. 따라서 본 개발 시스템은 Event 처리가 가능하여 동일한 응답성을 유지하면서도 통신 속도를 낮출 수 있어 노이즈에 강인한 CAN 통신 방식을 채택하였다.

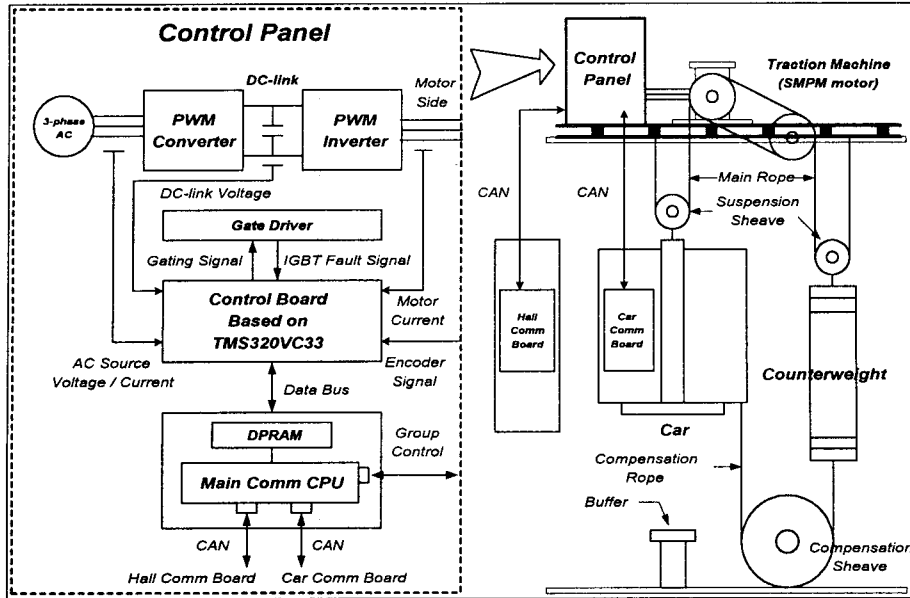


그림 1 전체 고속 엘리베이터 시스템 구성.

2.2 전기적인 구동 시스템

2.2.1 영구 자석형 동기 전동기

구동 전동기는 표면 부착형 영구 자석 동기 전동기로 유한 요소법을 통한 최적 설계 방식을 사용하여 자석의 모양을 기존의 유도 전동기에 비해 고조파 성분의 크기가 감소되도록 설계하였다. 또한 다극수 방식(24극)을 채택하여 회전자 코어의 효율과 발생 토크를 극대화하였으며 기어를 사용하지 않고 직접 승강기를 구동할 수 있게 되었다. 결과적으로 고조파 성분에 의한 토크 맥동이 감소하고 기존의 기어 사용으로 인한 문제점이 제거되어 승차감이 크게 향상되었다. 참고적으로, 유도 전동기의 경우는 극수에 비례해서 효율 및 역률이 크게 감소하므로 다극수 방식에 한계가 있다.

2.2.2 승압용 PWM 컨버터

승압용 PWM 컨버터는 직류단을 일정한 전압으로 제어하고 회생 운전이 가능하여 기존의 제동 저항을 사용하는 방식에 비해 에너지 손실을 크게 줄일 수 있다. 또한 입력 전류의 고조파 함유율을 크게 감소시키며 역률 1 제어가 가능하다.

전체 시스템의 신뢰성 측면에서 입력 전원의 변동시에도 안전한 승강기 운영을 가능하게 하기 위해서는 직류단의 일정 전압 제어가 필수적이다. 입력 전원의 전압이 증가하면 유효 전력분 전류 제어기의 전압 마진이 감소하게 된다. 이 경우 무효 전력분 전류를 양으로 증가시키면 입력 리액터에 전압 강하가 발생하여 입력 전원이 감소하는 효과를 얻을 수 있어 안정된 유효 전력을 공급할 수 있게 된다^[2].

2.2.3 제어 보드

개발 시스템의 제어 보드는 고속의 프로세서를 사용하

여 컨버터 및 인버터 시스템의 제어는 물론이고 상위 제어기 및 그룹 제어기를 포함하여 전체 제어 시스템의 성능 및 신뢰성의 향상을 꾀하였다. 제어 보드의 구성은 그림 2와 같이 I/O 보드를 Mother 보드로 하고 그 위에 CPU 보드, 통신 보드, 엔코더 보드, 그리고 직렬 방식의 DAC 보드가 Daughter 보드 형태로 연결되어 있다.

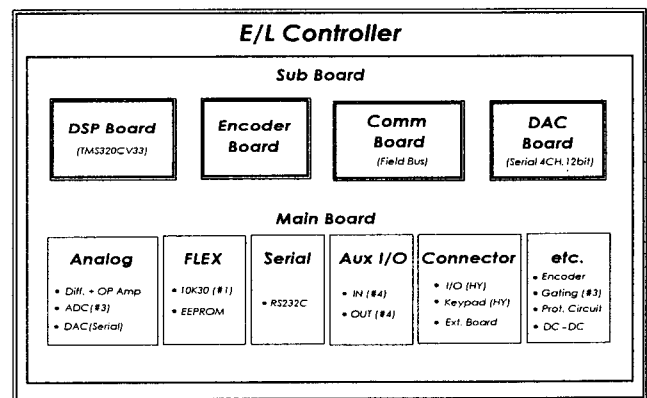


그림 2 제어 보드 구성도.

CPU 보드는 전동기 제어와 카 및 그룹 제어를 모두 수행할 수 있도록 빠른 연산 속도의 DSP와 충분한 크기의 메모리를 요구한다. TMS320VC33은 TI사에서 개발된 3X Series 계열 중 가장 최근에 개발된 저가의 고성능 DSP로서 개발 목표 엘리베이터 시스템이 요구하는 빠른 연산 속도를 만족한다. 내부 메모리의 크기는 기존의 TMS320C31에 비해 크게 증가하여(34k 워드) 내부 메모리만으로 전동기 제어를 수행할 수 있다. 시스템 Clock 주파수는 100MHz이며 외부 Oscillator에서 10MHz를 받아 DSP 내부의 PLL을 이용하여 50MHz의 H1 Clock을 생성한다. I/O 보드와 달리 전체 CPU 보드는 3.3V를 전원 기

반으로 하며 DSP 내부 연산을 위해서는 1.8V 전원이 요구된다. 따라서, I/O 보드로부터 5V를 공급 받아 Dual Voltage Regulator를 이용하여 3.3V, 1.8V의 전원을 생성한다.

I/O 보드는 CPU 보드와 연결된 메인 보드의 형태로서 CPU 보드에서 처리된 디지털 신호를 받아서 외부와 연결된 각종 아날로그 및 디지털 입출력 신호를 처리하는 회로를 담당한다. I/O 보드는 기본적으로 인버터와 컨버터를 각각 1대씩을 구동할 수 있도록 설계되었으며 다양한 종류의 엔코더 신호를 처리할 수 있도록 별도의 엔코더 보드를 부착할 수 있다. 또한, 각종 산업용 통신 프로토콜을 구현할 수 있도록 통신 보드와의 인터페이스용 보드를 부착할 수 있다.

I/O 보드의 구성은 크게 외부의 센서에서 받아들이는 아날로그 신호를 처리하는 아날로그 회로부, 외부와의 디지털 입출력을 처리하는 I/O 처리부, 그리고 게이팅 발생기, 에러 검출기, 속도 계산을 위한 엔코더 신호 처리기 등이 디지털 논리 회로로 구현된 FLEX부 등으로 나눌 수 있다.

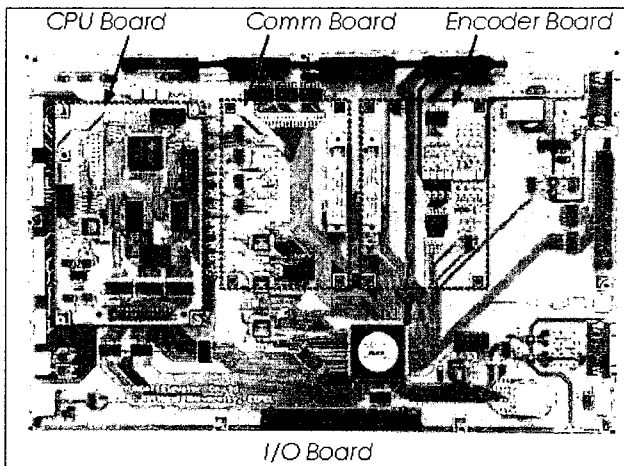


그림 3 DSP320VC33을 사용한 개발 제어 보드

2.2.4 동기 전동기 제어 알고리즘

영구 자석형 동기 전동기는 회전자 회로가 등가 전류원으로 모델링되므로 고정자 전류와 회전자 자속간에 1차 지연이 발생하는 유도 전동기에 비해 제어 알고리즘의 구현이 간단하다. 반면에 초기 기동시에 자석의 위치를 검출하는 알고리즘이 요구된다. 유도 전동기의 경우는 회전자 자속이 고정자 전류에 의해 생성되므로 자속의 위치를 임의로 설정할 수 있다. 물론 유도 전동기는 동기 전동기와 달리 초기 자속 형성을 위한 시간이 소요된다는 단점을 지닌다.

기존의 초기각 검출 방식은 일반적으로 절대 위치 엔코더의 UVW상 신호를 이용하므로 초기각에 ± 30 도만큼의 오차가 발생한다. 따라서, 전동기는 초기에 토크 오차를 발생시키므로 기동시 승차감이 저하된다. 또한 제어 대상

전동기는 극수가 24극이므로 기계적인 1도의 오차는 전기적으로 12도 만큼의 큰 오차를 발생시킨다. 따라서 절대 위치 엔코더의 정확한 설치를 요구한다.

본 개발 시스템에서는 절대 위치 엔코더가 불필요한 초기각 검출 방식으로 고주파 영역에서의 전기적인 돌극성과 히스테리시스 현상을 이용하여 각각 극의 위치와 종류를 추정하는 방식을 사용하였다. 그림 4의 실험 결과를 통해 자속각 추정 시간이 100msec이내이며 전기각으로 각오차 ± 5 도 이내로 수렴함을 확인할 수 있다. 여기서 Direction Signal은 추정된 자속각이 S극임을 나타낸다.

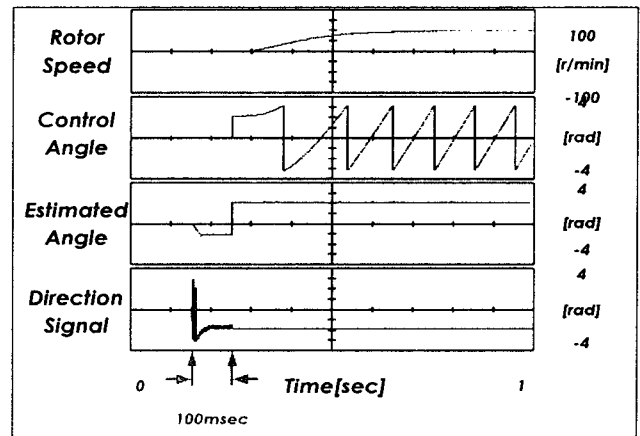


그림 4 동기 전동기 기동시 자속 위치 추정

2.3 시뮬레이터 시스템 개발^[3]

전동기 구동 시스템의 다양한 부하 변화 및 운전 거리 조건에 대한 시험을 수행하기 위해서 일반적으로 시뮬레이터를 사용하는데 이는 전체 엘리베이터 시스템을 등가 1관성계로 모델링하여 근사적으로 구현된다. 테스트 타워의 경우 탑승 인원에 따른 부하의 구현을 위해서는 매번 그에 상응하는 중량체로의 교체가 요구되며 유한한 타워 높이로 인해 운행 거리에 제약을 받는다. 기존의 시뮬레이터는 구동 전동기, 중력 방향의 일정 부하를 구현하기 위한 직류 전동기, 그리고 전체 시스템 관성에 해당하는 기계적인 관성체(flywheel)로 구성되어 있다. 이 기계적인 관성체는 승강기, 카운터웨이트, 각종 시브 및 로프의 관성을 전동기축에 대해 환산하여 등가적으로 구현되므로 그 직경과 질량이 매우 커서 시뮬레이터의 부피 및 무게의 증가를 초래한다. 또한 다양한 기종의 시스템을 시험하기 위해서는 기계적인 관성체를 매번 교체해야 하는 수고가 요구된다.

개발된 시뮬레이터 시스템은 기존의 기계적인 관성체 대신 전기적인 관성체를 구현하여 부피 및 무게를 크게 감소시키고 간단한 소프트웨어적인 조작만으로 다양한 시스템의 시험을 가능케 하였다. 또한, 본 시뮬레이터는 그림 5와 같이 로프의 탄성 계수를 고려한 3관성계 시스템을 구현하여 실제 승강기에 발생하는 종진동을 실현하였다.

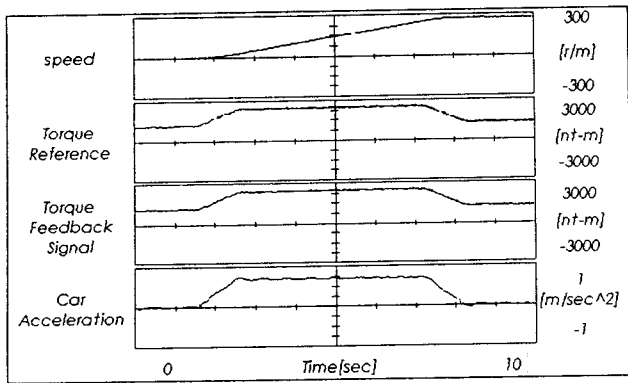


그림 5 3관성계 시스템 구현.

2.4 타워 시험 결과

시험 대상 고속 엘리베이터 시스템은 기어리스 구동 방식으로 정격 속도가 240m/min이고 최대 탑승 인원은 24명이며 정격 토크는 1399nt-m이다. 구동 전동기는 24극/40kW의 표면 부착형 영구 자석 동기 전동기이고 그 사양은 표 1과 같다. 속도 정보를 얻기 위해 10,000ppr의 광학식 엔코더가 취부되어 있고 속도 계산을 위해 M/T 방식이 사용된다.

표 1 영구 자석형 동기 전동기 사양

Power	40 kW	PF	88.0 %
Torque	1399 nt-m	Pole	24
Speed	273 r/min	Rs	68.1 mOhm
Voltage	315 Vrms	Ls	2.85 mH
Current	88.1 Arms	Kemf	977.3 Vrms/kr/min
Efficiency	94.7 %	Jm	5.01 kg-m^2

PWM 컨버터/인버터의 스위칭 소자로는 400A/ 1200V 급 IGBT가 사용되었으며 전원 전압은 380V이고 직류단 전압은 660V로 승압 제어된다. 스위칭 주파수는 5kHz이고 샘플링 주기는 100usec이다. PWM 인버터/컨버터의 전류 제어기 연산 시간은 60usec이다.

그림 6은 실제 테스트 타워에 설치된 개발 시스템의 권상기를 나타낸다. 그림 7은 정격 부하 조건에서 정격 속도까지 하강 운전할때의 속도, 컨버터 상전류, 전동기 상전류, 그리고 토크 파형으로 안정된 제어가 수행됨을 보여준다.

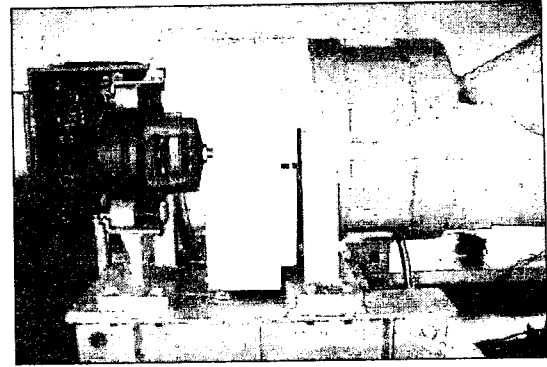


그림 6 영구 자석형 동기 전동기를 사용한 권상기

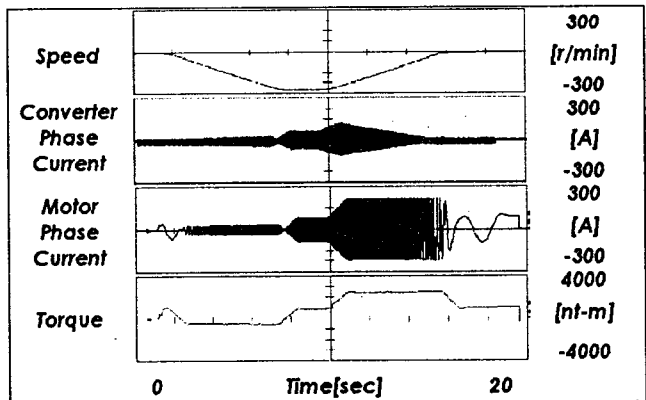


그림 7 정격 부하 조건에서 하강 운전

3. 결 론

본 논문에서는 영구 자석형 동기 전동기를 이용한 고속 엘리베이터 시스템의 개발 사례를 기술하였다. 향후 개발 및 연구 과제로는 전원 사고시의 효과적인 대책, 종진동 억제 알고리즘의 개발, 최적의 착상 알고리즘 개발 등이 있다.

참 고 문 헌

- [1] N. Mutoh, A. Oomiya, and M. Konya, "A Motor Driving Controller Suitable for Elevators," IEEE Trans. On Power Electron., vol. 13, no. 6, pp. 1123~1134, Nov., 1998.
- [2] V. Kaura, and V.Blasko, "Operation of a voltage Source Converter at Increasing Utility Voltage," IEEE Trans. On Power Eletron., vol. 12, no .1, pp. 132~137, Jan., 1997.
- [3] 류형민, 김성준, 설승기, 권태석, 김기수, 심영석, 석기룡, "고속 엘리베이터 시스템용 시뮬레이터 개발," 대한전기학회 춘계학술대회 논문집, pp. 332~334, 2001.