

영구 자석형 동기 전동기를 이용한 고속 엘리베이터 구동 시스템 개발

柳 炯 旻*, 金 成 煥, 薛 承 基, 權 泰 碩, 金 棋 洙, 沈 映 錫, 石 起 龍

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, and Ki-Riong Seok

요 약

본 논문에서는 영구 자석형 동기 전동기를 이용한 고속 엘리베이터 시스템용 무기어식 구동 시스템의 개발 사례를 소개한다. 엘리베이터 구동원으로서 영구 자석형 동기 전동기의 채택은 에너지 절약, 승차감 향상, 기계실의 하중 부담 감소 및 효율적인 공간 활용 등의 여러 장점을 지닌다. 전력 변환 장치로는 기존의 다이오드 정류기와 제어 저항 대신 직류단 전압 제어, 회생 운전, 그리고 낮은 고조파 함유율의 역률 1 제어가 가능한 승압형 PWM 컨버터를 채택하였다. 제어 시스템은 고속, 대용량의 단일 DSP를 사용하여 통합형 제어 시스템을 구축함으로써 전체 제어 시스템의 신뢰성 및 성능을 크게 향상시켰다. 시험 장치로는 고속 엘리베이터용 부하 시뮬레이터 시스템을 개발하여 운전 거리에 대한 제약 없이 구동 시스템의 다양한 시험이 가능해졌다.

ABSTRACT

In this paper, a gearless drive system using a permanent-magnet synchronous motor for high-speed elevators is addressed. This application of permanent-magnet synchronous motor to an elevator traction machine enables several improvements including higher efficiency, better ride comfort, smaller size and lighter weight, and so on. A PWM boost converter has been 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 the reliability and performance of overall control system, the unified control board, which can include the car and group controller as well as PWM converter/inverter controller, has been designed based on a DSP TMS320VC33. In addition, the dynamic load simulator system has been developed so that the drive system of high-speed elevator can be tested and evaluated without any limitation on ride distance. Some experimental results are given to verify the effectiveness of the developed system.

Key Words : Gearless, Permanent-magnet synchronous motor, High-speed elevators, DSP, Dynamic load Simulator

*서울대 대학원 전기·컴퓨터공학부 박사과정

E-mail : hmryu@eepel.snu.ac.kr

접수일자 : 2001. 8.24

1차심사요청일 : 2001. 8.27 2차심사요청일 : 2001. 9.21

심사완료일 : 2001.11. 2

1. 서 론

최근 영구 자석의 발달로 높은 에너지 집적도를 갖는 희토류의 자석 재료가 개발되면서 엘리베이터 시스템의 구동원으로 유도 전동기 대신 여자 전류가 불필

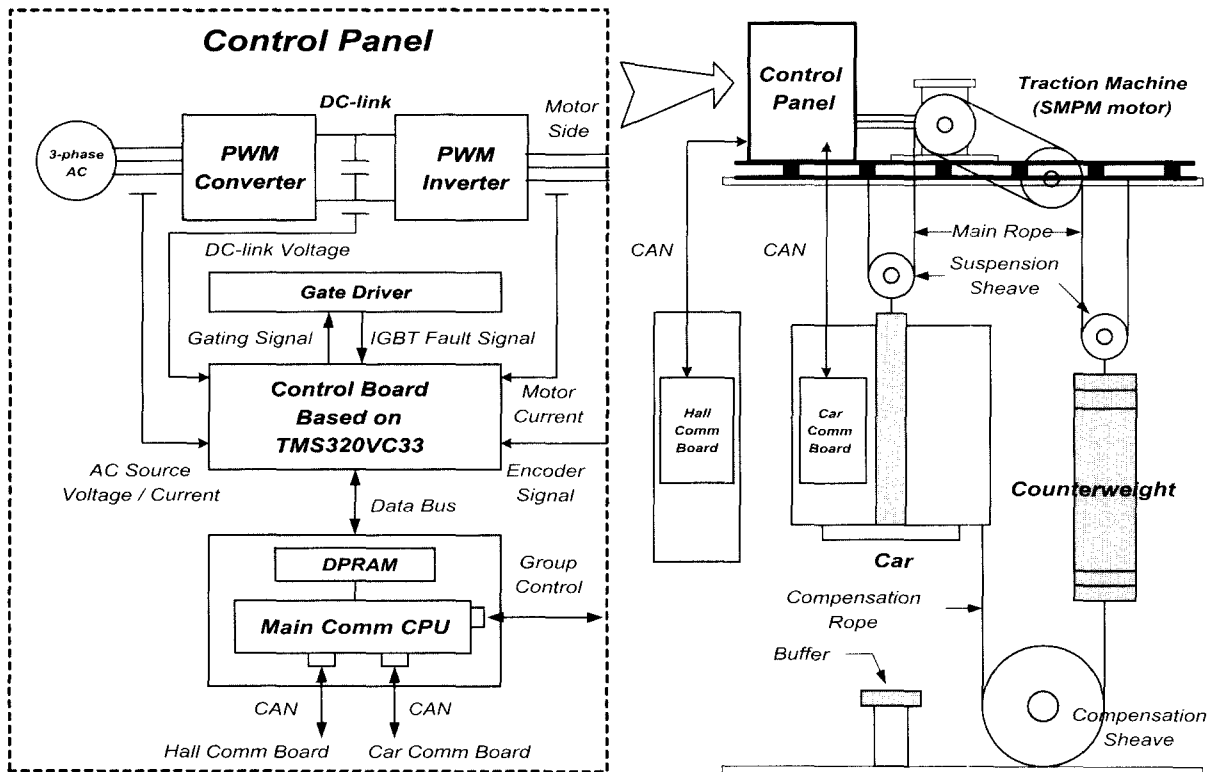


그림 1 전체 고속 엘리베이터 시스템 구성
Fig. 1 Configuration of overall high-speed elevator system

요한 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 다극수 방식을 채택하여 기존의 기어 방식을 무기어식 직접 구동 방식으로 교체하여 에너지 효율 및 승차감을 극대화 할 수 있다. 결과적으로 영구 자석형 동기 전동기의 적용은 엘리베이터 시스템이 요구하는 고효율화, 승차감 향상, 소형화 및 경량화 측면에서 기존의 유도 전동기를 사용한 구동 방식에 비해 우수한 특성을 나타낸다¹¹⁾.

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

1. 엘리베이터 구동원으로 영구 자석형 동기 전동기 채택

- 다극수 방식을 통한 무기어식 직접 구동 방식
- 고효율, 승차감 향상, 소형화 및 경량화

2. 단일 프로세서를 사용한 통합 제어 시스템 구축

- 전체 제어 성능 및 신뢰성 향상
- 호환성을 고려한 Mother & Daughter 보드 방식

3. 절대 위치 엔코더가 불필요한 초기값 추정 방식

- 고주파 영역에서의 전기적인 불극성(Electrical Saliency) 및 히스테리시스 현상(Hysteresis Phenomenon) 이용
- 저 가격 및 엔코더 설치의 용이성

4. 새로운 부하 시험 장치 개발

- 기존의 기계적인 관성 대신 전기적으로 엘리베이터 시스템의 동적 부하 구현
- 거리에 대한 제약 없이 소프트웨어적으로 손쉽게 다양한 부하 조건 및 기종에 대한 시험 가능

2. 고속 엘리베이터 시스템 구성

고속 엘리베이터 시스템의 구성은 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(Main Sheave) 및 브레이크 장치를 포함한 권상기, 승강기(Car), 카운터웨이트(Counterweight), 그리고 이를 연결하는 로프(Rope)로 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 백동 저감을 통한 승차감 개선, 소형화 및 정량화, 그리고 이를 통해 궁극적으로는 전체 시스템의 신뢰성 향상을 시도하였다.

셋째는 통신 시스템으로 상층부 기계실의 주 제어기와 승강기 및 각 층을 연결한다. 기존의 통신 방식은 RS485를 사용한 Polling 방식으로 고속 엘리베이터와 같이 층수가 증가하여 슬레이브(Slave)의 수와 선로의 길이가 증가하는 경우 원하는 응답성을 얻기 위해서는 통신 속도가 증가해야 하므로 신호 지연 및 노이즈에 취약해지는 단점을 지닌다. 따라서, 본 개발 시스템은 Event 처리가 가능하여 동일한 응답성을 유지하면서도 통신 속도를 낮출 수 있으므로 노이즈에 보다 강한 CAN(Controller Area Network) 통신 방식을 채택하였다.

3. 전기적인 구동 시스템

3.1 영구 자석형 동기 전동기

구동 전동기는 표면 부착형 영구 자석 동기 전동기(Surface-mounted Permanent-magnet Synchronous Motor)로 유한 요소법(FEM : Finite Element Method)을 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 백동이 감소하고 기존의 기어 사용으로 인한 문제점들이 제거

되어 승차감이 크게 향상되었다. 유도 전동기의 경우는 극수에 비례해서 효율 및 역률이 크게 감소하므로 다극수 방식에 한계가 있다.

기존의 유도 전동기를 사용한 무기어식 구동 방식과 비교한 결과는 표 1과 같다.

표 1 영구자석형 동기 전동기와 기존 유도 전동기와의 비교

Table 1 Comparison of permanent-magnet synchronous motor with conventional induction motor.

항 목	유도기	동기	비 고
	무기어식 43kW	무기어식 40kW	
극수	8	24	다극수 방식 채택
정격 주파수	15Hz	54.6Hz	
정격 전류	112A	88A	22% 감소
효율	87%	94.7%	여차 전류 불필요
역률	70%	88%	
고정자 길이	535mm	337mm	37% 감소

3.2 승압형 PWM 컨버터

승압형 PWM 컨버터는 직류단을 일정한 전압으로 제어하고 회생 운전이 가능하여 기존의 다이오드 정류기와 제동 저항을 사용하는 방식에 비해 에너지 손실을 크게 줄일 수 있다. 또한 입력 전류의 고조파 함유율(THD : Total Harmonic Distortion)을 크게 감소시키며 역률 1 제어가 가능하다.

전체 시스템의 신뢰성 측면에서 입력 전원의 변동 시에도 안전한 승강기 운영을 가능하게 하기 위해서는 직류단의 일정 전압 제어가 필수적이다. 다이오드 정류기의 경우는 전동기가 역기전력이 큰 고속 운전할 때 입력 전원의 전압이 감소하면 직류단 전압이 감소하여 전류 제어기의 전압 마진이 감소하므로 안정된 전류 제어가 어렵게 된다. 반면에 승압형 PWM 컨버터는 입력 전원의 전압이 감소하더라도 전류 허용치 범위 내에서는 일정한 직류단 전압 제어를 통해 인버터 측의 안정된 제어 전압 마진 확보가 가능하다.

반대로, 입력 전원의 전압이 증가하면 컨버터의 유효 전력분 전류 제어기의 전압 마진이 감소하게 된다. 이 경우 무효 전력분 전류를 양으로 증가시키면 입력 리액터에 전압 강하가 발생하여 입력 전원의 전압이 감소하는 효과를 얻을 수 있어 안정된 유효 전력을 공급할 수 있게 된다^[2].

3.3 통합형 제어 보드

개발 시스템의 제어 보드는 고속/대용량의 프로세서를 사용하여 컨버터 및 인버터 시스템의 제어는 물론이고 기존에는 별도의 프로세서가 담당하던 상위 개념의 카 제이기 및 그룹 제어를 포함하여 전체 제어 시스템의 성능 및 신뢰성의 향상을 시도하였다.

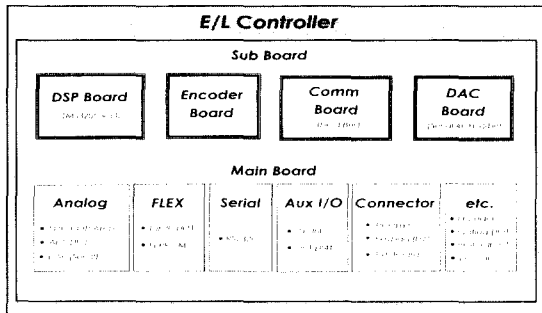


그림 2 통합형 제어 보드의 구성도
Fig. 2 Configuration of unified control board

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.

CPU 보드는 진동기 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 지가의 고성능 DSP로서 개발 목표 엔리베이터 시스템이 요구하는 빠른 연산 속도를 만족한다. 내부 메모리의 크기는 기존의 TMS320C31에 비해 크게 증가하여 (34KWord) 내부 메모리만으로 진동기 제어를 수행할 수 있고 카 및 그룹 제어 프로그램을 수용하기 위해 별도로 15nsec의 access time을 갖는 256KWord 용량의 Fast SRAM을 사용하였다. 그리고 주프로그램을 저장하고 동작 중에 중요한 변수들을 변경 및 기억하기 위한 목적으로 비휘발성 메모리인 Flash Memory를 사용하였다. 시스템 Clock 주파수는 100MHz이며 외부 Oscillator에서 10MHz를 받아 DSP 내부의 PLL을 이용하여 50MHz의 HI Clock을 생성한다. I/O 보드와 달리 전체 CPU 보드는 3.3V를 전원 기반으로 하며 DSP 내부 연산을 위해서는 1.8V 전원이 요구된다. 따라서, I/O 보드로부터 5V를 공급받아 Dual Voltage Regulator를 이용하여 3.3V, 1.8V의 전원을 생성한다. 표 2는 앞서 언급한 CPU 보드의 전체 사양을 나타낸다.

표 2 CPU 보드의 전체 사양
Table 2 Specification of CPU board

CPU	TMS 320VC33	100MHz / 34KWord 내부 메모리
SRAM	KM616V4002BT 15	256KWord : 256K*16bit을 2개 사용
Flash Memory	AM29LV160DB 70EC	16Mbit (1M*16bit)
EPLD	EPM7064A	64개 Flip flop으로 구성
Power Supply	TPS767D318PWP	1.8V/3.3V Dual Voltage Regulator

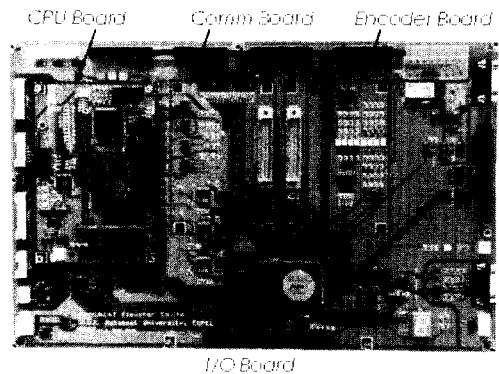


그림 3 DSP TMS320VC33을 사용한 제어 보드
Fig. 3 Control board based on DSP TMS320VC33

I/O 보드는 CPU 보드와 연결된 메인보드의 형태로써 CPU 보드에서 처리된 디지털 신호를 받아서 외부와 연결된 각종 아날로그 및 디지털 임출력 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 있고 각종 내부 변수를 모니터링 할 수 있는 직렬 방식의 DAC 보드가 별도로 연결될 수 있다.

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

3.4 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 기동 시에 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 토오크 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, 즉 UVW상 신호에 의존하지 않는 초기각 검출 방식으로 고주파 영역에서의 전기적인 돌극성(Electrical Saliency)과 히스테리시스(Hysteresis) 현상을 이용하여 각각 극의 위치와 종류를 추정하는 방식을 사용하였다. 제어 대상 전동기는 표면 부착형 영구 자석 동기 전동기로 자석은 투자율이 공기에 가깝기 때문에 자기적으로 대칭인 구조를 갖는다. 하지만 자석의 위치에 따라 부분적으로 자속 포화의 정도에 차이가 발생하므로 자속이 극소적으로 분포하도록 고주파의 신호를 주입하면 전기적으로 돌극성을 얻을 수 있다. 그림 4는 회전자가 정지된 상태에서 맥동하는 일정한 고주파의 전압 신호를 10초동안 전기각으로 360도만큼 충분히 느린 속도로 진행하면서 주입 주파수에 해당하는 전류 성분의 크기와 주입 주파수의 두배 주파수에 해당하는 전류 신호의 위상을 측정해 본 결과이다. 주입 위치에 따른 주입 주파수에 해당하는 전류 성분의 크기 변화를 통해 고주파 영역에서는 자속의 위치에서 임피던스가 최소이고 그와 90도 떨어진 위치에서 최대의 임피던스를 갖는 전기적인 돌극성이 발생함을 확인할 수 있다. 따라서, 주입 위치에서 양음으로 45도 떨어진 위치에서의 고주파 임피던스의 차이가 영이 되도록 하는 간단한 제어기를 사용하여 순시적으로 자속의 위치를 추정할 수 있다^[3].

하지만 추정 자속각의 초기값에 따라 추정 자속각은 N극이 아닌 S극으로 수렴할 수 있으므로 극의 종류를

판별하기 위한 별도의 알고리즘이 요구된다. 본 논문에서는 극의 종류를 판별하기 위해서 자속의 방향에 따른 히스테리시스 현상에 의한 우수 고조파 전류 성분의 위상 차이를 이용한다^[4]. 측정 결과 위상값이 N극의 위치에서 양, S극의 위치에서는 음을 나타내었다.

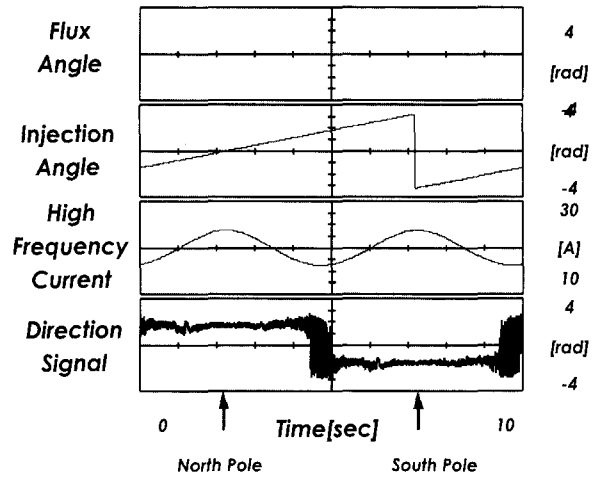


그림 4 고주파 영역에서의 전기적인 돌극성과 히스테리시스 현상에 기인한 우수 고조파 성분의 위상 변화 측정

Fig. 4 Measurement of electrical saliency in high frequency region and phase difference of odd-order harmonics due to hysteresis phenomenon

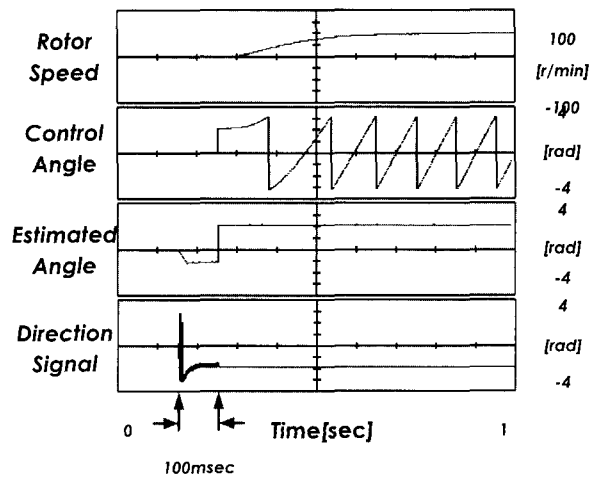


그림 5 표면부착형 영구자석 동기 전동기의 초기 자속 위치 추정

Fig. 5 Initial flux position detection of surface-mounted permanent-magnet synchronous motor

그림 5는 초기 기동시 가속도의 추정 결과를 보여준다. 실험 결과를 통해 추정 가속도가 100msec이내에 전기각으로 각 오차가 $\pm 5^\circ$ 이내로 안정하게 수렴함을 확인할 수 있다.

4. 시뮬레이터 시스템 개발^[5]

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 그림 6의 (a)와 같이 구동 전동기, 중력 방향의 일정 부하를 구현하기 위한 직류 전동기, 그리고 전체 시스템의 등가 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 그림 6의 (b)와 같이 기존의 기계적인 관성체 대신 전기적으로 관성을 구현하여 부피 및 무게를 크게 감소시키고 간단한 소프트웨어적인 조작만으로 다양한 기종에 대한 시험을 가능하게 하였다. 전기적인 부하 구현 방법으로 다음의 두 가지를 제안하였다.

1. 로프의 탄성을 무시한 등가 1관성계 시스템으로의 구현 방법
2. 로프의 탄성을 고려하여 승강기, 카운터웨이트, 그리고 권상기를 각각 독립적인 관성체로 모델링한 3관성계 시스템으로의 구현 방법

첫 번째 방법은 속도의 미분인 가속도 정보에 의존하므로 시뮬레이터의 응답성에 근본적인 제약이 따른다. 반면에 두 번째 방법은 미분의 영향이 작고 대부분 속도의 적분을 통해 구현되기 때문에 보다 안정적이고 빠른 응답 특성을 나타낸다.

그림 7은 3관성계 시스템으로의 구현시 전동기 속도, 토크 지령치, 토크 궤환치, 그리고 승강기 가속도의 파형을 보여준다.

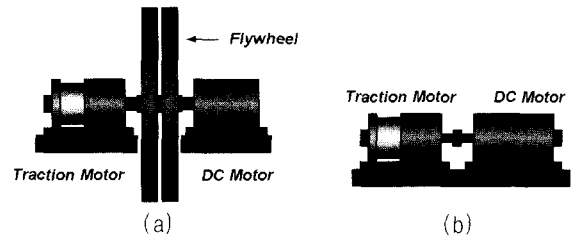


그림 6 시뮬레이터 시스템의 기계적인 구조
(a) 기존의 방법 (b) 제안된 방법
Fig. 6 Mechanical structure of simulator system
(a) conventional method (b) proposed method

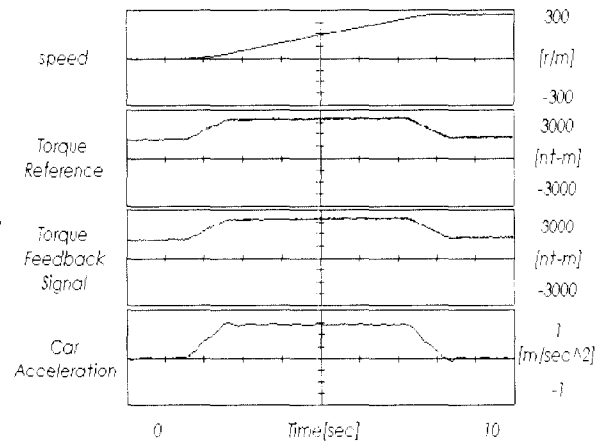


그림 7 시뮬레이터를 사용한 3관성계 시스템의 부하 구현
Fig. 7 Implementation of 3-mass system using simulator

여기서, 승강기의 가속도에 존재하는 리플을 통해 시스템에 기계적으로 2.3Hz부근의 공진 주파수가 존재함을 알 수 있다.

5. 타워 시험 결과

시험 대상 고속 엘리베이터 시스템은 기어리스(Gearless) 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 자세한 사양은 표 3과 같다. 속도 정보를 얻기 위해 10,000ppr의 광학식 엔코더가 부착되어 있고 속도 계산을 위해 M/T 방식이 사용된다.

PWM 컨버터/인버터의 스위칭 소자로는 400A/1200V급 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)가 사용되었으며 전원 전압은 380Vrms이고 직류단 전압

은 660V로 승압 제어된다. 스위칭 주파수는 5kHz이고 샘플링 주기는 100usec이다. PWM 인버터/컨버터의 전류 제어기 연산 시간은 60usec이다.

표 3 영구 자석형 동기 전동기의 사양
Table 3 Specification of permanent-magnet synchronous motor

RATINGS	
Power	40 kW
Torque	1399 nt-m
Speed	273 r/min
Voltage	315 Vrms
Current	88.1 Arms
Efficiency	94.7 %
PF	88.0 %
PARAMETERS	
Pole	24
Rs	0.0681 Ohm
Ls	2.85 mH
Kemf	977.30 Vrms/krpm
Jm	5.01 kg-m ²

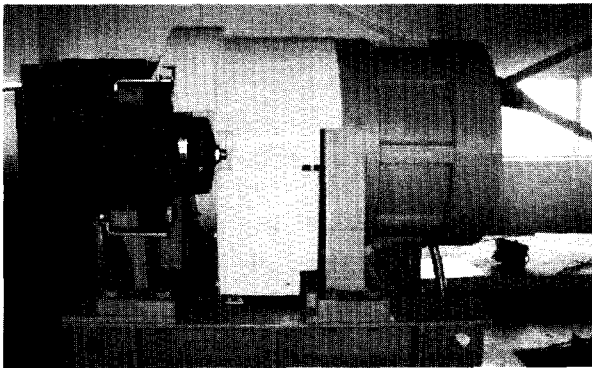


그림 8 영구 자석형 동기 전동기를 사용한 권상기
Fig. 8 Traction machine using permanent-magnet synchronous motor

그림 8은 실제 테스트 타워에 설치된 개발 시스템의 권상기를 보여준다.

그림 9는 정격 부하 조건에서 정격 속도까지 하강 운전할 때의 속도, 컨버터 상 전류, 전동기 상 전류, 그리고 토크 파형으로 안정된 제어가 수행됨을 보여 준다.

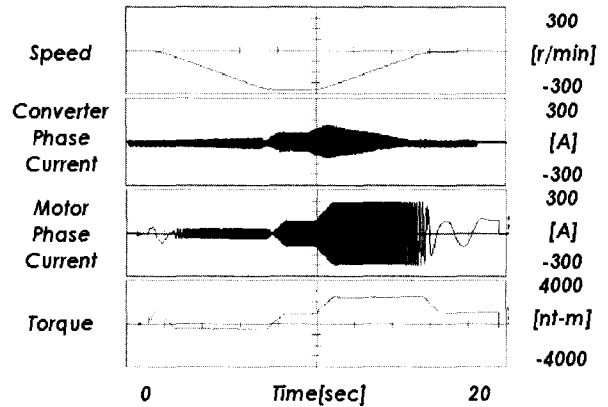


그림 9 정격 부하 조건에서 하강 운전
Fig. 9 Down operation under full-load condition

6. 결 론

본 논문에서는 영구 자석형 동기 전동기를 이용한 고속 엘리베이터 시스템용 무기어식 구동 시스템의 개발 사례를 기술하였다. 엘리베이터 구동원으로 기존의 유도 전동기 대신 영구 자석형 동기 전동기를 채택하여 에너지를 절약하고 승차감을 개선하며 기계실 공간 및 하중을 크게 줄일 수 있었다. 제어 시스템은 고속, 대용량의 단일 DSP를 사용하여 통합형 제어 시스템을 구축함으로써 전체 제어 시스템의 신뢰성 및 성능을 크게 향상시켰다. 시험 장치로는 고속 엘리베이터용 부하 시뮬레이터 시스템을 개발하여 운전 거리에 대한 제약 없이 구동 시스템의 다양한 시험이 가능해졌다. 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] Jung Ik Ha, and Seung Ki Sul, "Sensorless Field Orientation Control of an Induction Machine by High Frequency Signal Injection," IEEE Trans. on IA, vol. 35, no. 1, pp. 45~51, January/February 1999.
- [4] Dae-Woong Chung, Jun Koo Kang, and Seung Ki Sul, "Initial Rotor Position Detection of PMSM at Standstill Without Rotational Transducer," Electric Machines and Drives, International Conference IEMD, pp. 785~787, 1999.
- [5] 류형민, 김성준, 설승기, 권태석, 김기수, 심영석, 석기룡, "고속 엘리베이터 시스템용 시퀀스레이터 개발," 대한전기학회 춘계학술대회 논문집, pp. 332~334, 2001.

저 자 소 개



류형민(柳炯旻)
1975년 3월 11일생. 1997년 서울대학교 전기공학부 졸업. 2000년 동 대학원 전기공학부 졸업(석사). 2000년~현재 동 대학원 전기·컴퓨터공학부 박사 과정.



김성준(金成俊)
1970년 11월 28일생. 1994년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년~1999년 현대정공 기술연구소 주임연구원. 1999년~현재 서울대학교 제어계측신기술연구센터 주임연구원.



설승기(薛承基)
1958년 3월 25일생. 1980년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1986년 동 대학원 졸업(박사). 1986년~1988년 University of Wisconsin-Madison 연구원. 1989년~1990년 LG 산전 책임연구원. 1991년 ~ 현재 서울대학교 전기·컴퓨터공학부 교수.



권태석(權泰碩)
1973년 2월 22일생. 1995년 한양대학교 전기공학과 졸업. 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년~현재 현대엘리베이터 기술연구소 주임연구원.



김기수(金棋洙)
1968년 10월 5일생. 1993년 건국대학교 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년~1998년 효성중공업 자동차사업부 근무. 2000년~현재 현대엘리베이터 기술연구소 주임연구원.



심영석(沈映錫)
1959년 11월 22일생. 1988년 인하대학교 전기공학과 졸업. 1988년~현재 현대엘리베이터 기술연구소 책임연구원.



석기룡(石起龍)
1951년 6월 15일생. 1975년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1985년~현재 현대엘리베이터 기술연구소 연구소장.