

엘리베이터구동용 영구자석형 동기전동기의 속도제어에 관한 연구

유재성, 김이훈, 최기준*, 윤관철*, 정무택*, 김연충**, 이상석**, 원충연
성균관대학교, (주)동양엘리베이터*, (주)팩테크**

A Study on the Speed Control of PMSM for Elevator Drive

J.S. Yu, L.H. Kim, G.J. Choi*, K.C. Yoon*, M.T. Jung*, Y.C. Kim**,
S.S. Lee**, and C.Y. Won

Sungkyunkwan University, Dongyang Elevator Ltd*, Pactech Ltd**

ABSTRACT

This paper presents the speed control of the surface-mounted permanent-magnet synchronous motors (SMPMSM) for the elevator drive. The elevator motor needs to be a compact and slim type. Essentially, the proposed scheme uses a vector control algorithm for a speed and torque control. This system is implemented using a high speed 32-bit DSP (TMS320C31-50), a high-integrated logic device FPGA (EPF10K10-T1144-3) to design compactly and inexpensively. The proposed scheme is verified through digital simulation and experiments for a three-phase 13.3kW SMPMSM as a MRL(MachineRoomLess) elevator motor in the laboratory. Finally, experiment of the test tower was performed with a 48kW PWM converter-inverter system for a high-speed elevator .

1. 서 론

엘리베이터는 건물내의 종축 교통기관으로 중요한 역할을 해내고 있다. 기존의 엘리베이터 시스템의 구동원으로는 주로 유도전동기가 사용되어 왔다. 그러나 유도 전동기의 특성상 여자전류로 인한 낮은 효율과 토크 부족 등의 문제점을 가지고 있으며 이로 인한 기어의 사용으로 기계실의 부피가 커지고 소음이 커지는 문제점이 있다.^[1]

MRL(MachineRoomLess Elevator : 기계실없는 엘리베이터) 엘리베이터용 구동부와 제어부는 엘리베이터 기계실을 없애기 위해서 각각 초소형 초박형으로 제작 해야만 한다.

따라서 기계실이 차지하던 높이만큼 건물이 낮아

져 건축비용을 절감하고, 고도제한의 극복과 건물 하층의 경감, 다양한 건물 지붕선(스카이라인)의 설계를 가능하게 한다는 장점이 있다.

또한 구동부에 유도전동기 대신 영구자석형 동기전동기를 적용함으로써 소음과 진동을 획기적으로 줄여 승차감을 높이고, 유압식 엘리베이터처럼 누유 및 폐유가 발생하지 않는 환경친화적인 장점을 가진다.

MRL 및 고속 엘리베이터의 구동을 위해서는 박형 타입 및 기어가 필요 없는 고효율 영구자석형 동기전동기를 채택해야만 한다.

이러한 박형 타입 기어리스 영구자석형 동기전동기는 승강로 및 건물의 상층부에 설치되므로 소형이면서 소음이 없어야 한다.

소음을 감소시키기 위해서는 기어리스화가 필요하며 소형이면서도 저회전 대토크라는 사양에 대응하려면 영구자석 동기전동기가 적합하다.^[2]

본 논문은 엘리베이터를 구동하기위한 구동 드라이브의 속도제어에 관한 연구로 시뮬레이션 및 실험결과와 시험 타워의 고속 엘리베이터용 영구자석형 동기전동기의 실험 결과를 제시한다.

2. 본 론

2.1 영구자석형 동기전동기의 속도 제어 알고리즘 및 구동시스템 구성

엘리베이터 구동 시스템은 승차감을 좋게 하기 위해서 정밀한 토크제어를 필요로 하기 때문에 벡터 제어 알고리즘을 사용하였다.

벡터 제어 알고리즘은 회전자 자속의 위치를 검출하는 방법에 따라서 직접 벡터제어와 간접 벡터제어로 구분된다.^[3]

본 논문에서 제시한 시스템에서는 회전자 자속의 위치를 절대 엔코더로 직접 검출하는 직접 벡터제

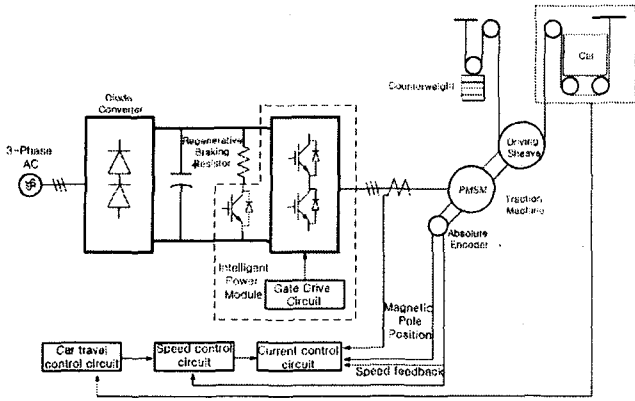


그림 1 MRL 엘리베이터 시스템 구성도

Fig. 1 MRL Elevator drive system configuration block diagram

어 알고리즘을 사용하였다. 벡터 제어는 전류제어가 필수적인데 이 시스템에서는 적분기의 Windup 현상을 제거하는 Anti-Windup 제어기 알고리즘을 사용하였고, 속도제어기에는 오버 슈트를 없앨 수 있는 IP-Pi 혼합 제어기를 추가하였다.

그림 1은 MRL 엘리베이터 시스템 구성도를 보여준다. 기계적구동부인 영구자석형 동기전동기를 보면 크게 shoe 브레이크, 절대 엔코더, 전동기 본체로 나눌 수 있다.

그 중에서 shoe 브레이크 및 절대 엔코더는 승강로 내에 설치되므로 고장시 수리를 하기 어렵기 때문에 고도의 신뢰성을 요구한다.

본 논문에서는 독일의 Wittur사의 기어리스 권상기인 13kW급인 WSG-06.3 및 48kW급 WSG-18.3 모델을 사용 하였다.

브레이크 시스템은 구동 전원을 인가하지 않으면 안전을 위하여 상시 닫힘 상태이다.

전동기가 정지 시에는 스프링의 힘에 의해서 브레이크가 열림 상태이고, 운전을 하기 위해서는 릴레이를 통해서 브레이크로 전원을 인가한다.

브레이크 힘 조절은 스프링의 힘을 조절하여 사용자가 원하는 힘으로 조절할 수 가있다. 고장일 경우나 비상시에 브레이크를 풀 수 있도록 수동 레버가 준비 되어 있다.

절대 엔코더로는 Heidenhain 사의 ECN1313 모델을 사용하였다. 이 모델은 SSI(Synchronous Serial Interface)형태의 엔코더이다.

기존의 절대 엔코더 형태의 엔코더는 분해능을 높이면 엔코더와 제어보드 사이의 인터페이스가 분해능에 비례해서 데이터선의 증가로 결선이 어렵게 된다.

SSI 형태 엔코더를 채택하게 되면 동기를 맞추어 주는 클럭선과 데이터선만으로 엔코더 데이터를 획득할 수 있다. 엔코더와 제어보드 서로 간의 통

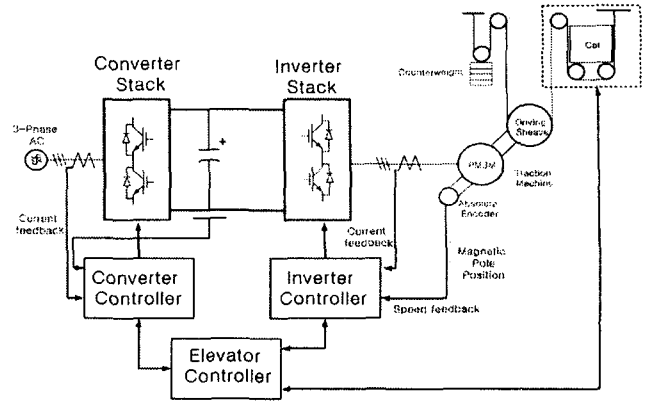


그림 2 48kW 고속용 엘리베이터 시스템 구성도

Fig. 2 48kW High-speed elevator system configuration block diagram

신방법은 ASIC화한 전용의 IC가 있으나 비용을 고려하여 FPGA에 클럭발생부, 데이터수신부 및 수신한 그레이 코드를 바이너리 코드로 변환해 주는 로직을 설계하였다.

노이즈에 강하고 장거리 전송할 수 있는 MAX485통신 IC를 사용하였다.

그림 2는 분당 240m의 고속용 엘리베이터 시스템 구성도 이다.

이 시스템에서는 PWM 컨버터를 추가함으로써 영구자석형 동기전동기가 전동기 모드 및 회생 모드 일 때 직류단의 전압을 일정하게 유지할 수 있고, 회생 모드 일 때는 발생된 전력을 저항으로 소비하지 않고 전원측으로 환원할 수 있어 에너지 절약 효과가 있다. 또한 전원측 전류의 고조파 함유율을 낮출 수 있고 역율을 단위 역율로 유지할 수 있다.^[4]

2.2 제어 보드

그림 3은 실험 시스템 및 제어 보드의 구성도를 나타낸다. 엘리베이터 구동을 위한 제어보드는 부동소수점 처리할 수 있는 TI사의 고속 DSP인 TMS320C31-50을 사용 하였다.

엘리베이터의 속도 지령을 생성하기위해 제어보드와의 통신을 위하여 IDT사의 2K*8 bit DUAL PORT STATIC RAM(IDT7132SA/LA)를 사용하였고, 외부와의 직렬 통신을 하기 위해서 ZILOG사의 Z85230을 채택하였다.

전류 검출과 DC링크단 전압을 검출하기 위하여 ANALOG DEVICE사의 동시에 2채널을 변환할 수 있는 AD7862를 사용하였고, 내부 파라미터를 관찰할 수 있는 DA 컨버터는 AD664를 사용하였다.

엔코더의 신호 처리는 세 가지로 나눌 수 있다. 첫째는 엔코더와 동기를 맞추는 클럭발생 회로가 있고, 둘째는 직렬 데이터를 병렬 데이터로 변환 시키는

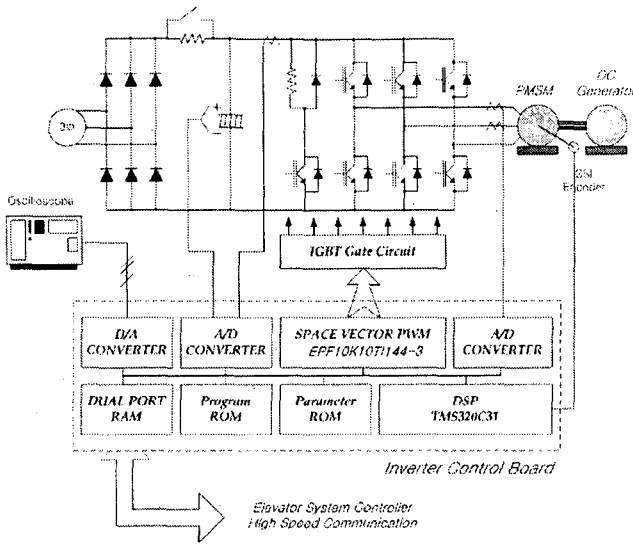


그림 3 실험 시스템 및 제어부 구성도

Fig. 3 Experimental system and control configuration block diagram

쉬프트 레지스터이고, 셋째는 병렬로 변환된 그레이 코드를 바이너리 코드로 변환해주는 부분이다. 이러한 처리와 엘리베이터 설치시 스위칭 소음을 조절할 수 있도록 자동으로 스위칭 주파수를 변경할 수 있는 로직을 설계하여 ALTERA사의 고집적 FPGA인 EPF10K10T1144-4에 프로그램 하였다.

2.3 시뮬레이션

MRL 및 고속용 엘리베이터의 영구자석형 동기전동기의 구동 드라이브 시스템을 검증하기 위하여 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션을 수행하였다.

제어 보드의 벡터제어 알고리즘을 C언어로 구현하기 때문에 시뮬레이션도 PSIM6.0의 DLL파일을 이용하여 실험에 구현한 프로그램과 동일하게 비주얼 C++로 코딩하였다.

시뮬레이션에 사용한 영구자석형 동기전동기의 사양은 표 1과 같다. 실험과 동일하게 하기 위해서 전류제어기는 150 μ s로 설정하였고, 속도제어기는 2ms로 설정하였다.

영구자석형 동기전동기의 속도제어 성능을 검증하기 위하여 스텝입력 응답과 램프입력 응답특성을 확인하였다.

그림 4는 시뮬레이션 회로도를 보여준다. 그림에서 두개의 DLL블록도를 볼 수 있는데 A부분이 벡터제어를 프로그램 한 DLL파일이 링크되어있고, B부분은 SVPWM을 구현한 DLL파일이 링크되어있다. 그림 5, 6은 각각 스텝, 램프입력을 인가했을 때 응답 파형이다. 그림 5, 6의 (a)파형은 무부하인 경우의 파형이고, (b)파형은 1/2정격토크인 경우의 파형을 나타낸다.

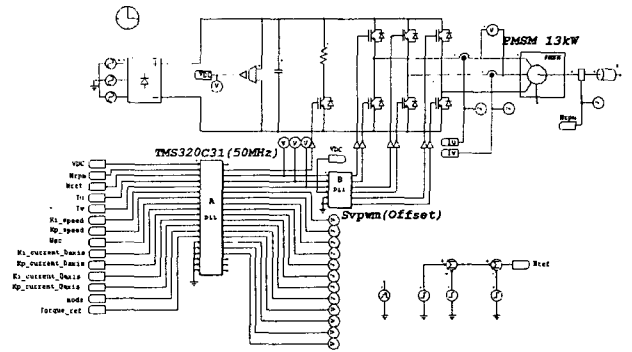


그림 4 시뮬레이션 회로도

Fig. 4 simulation schematic

표 1 13.3kW SMPMSM 사양

Table 1. Specification of 13.3kW SMPMSM

파라미터 항목	값
Rated Power	13.3 kW
Torque	670 Nm
Speed	190 rpm
Current	27.2 A
Efficiency	87 %
Frequency	38 Hz
Pole	24 극
Rs	0.466 Ω
Ls	8.65 mH
Ke	2135 Vpk/krpm
Jm	2.8 Kg-m ²

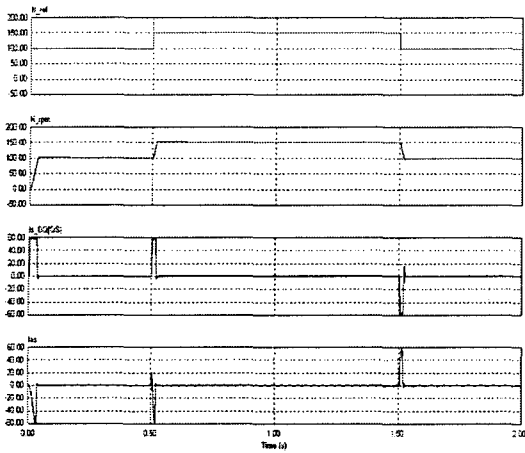
표 2 절대 엔코더 사양

Table 2. Specification of sample encoder

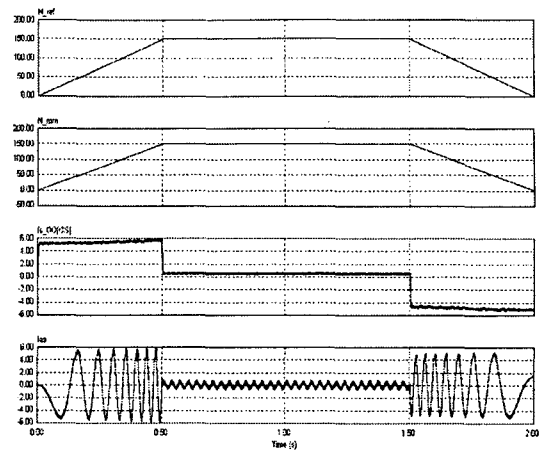
Encoder model	ECN 1313
Parameter	
Incremental signals	ac 1 Vpp
Line count	2048
Data interface	EnDat(synchronous-serial)
Absolute position values	8192(13bits)
Power supply	5 V
Operating temperature	Max 115 degree

2.4 MG 세트 실험 결과

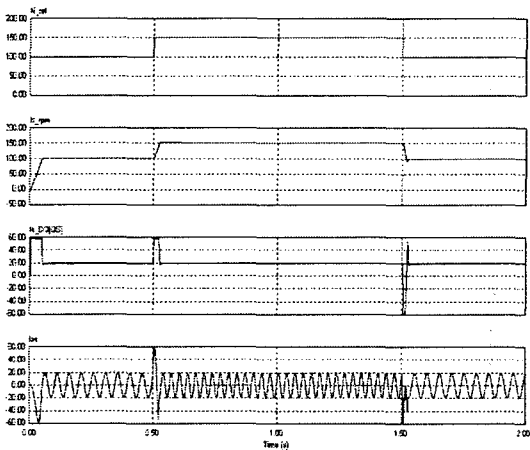
실험대상 영구자석형 동기전동기는 13.3kW로써 최대 탑승인원은 17명이고 20층 내외의 MRL 엘리베이터에 사용된다. 최대 토크는 670Nm이고, 정격 속도는 190rpm이다. 영구자석형 동기전동기를 구동하기 위해서는 초기회전자 위치 및 운전 중 에도



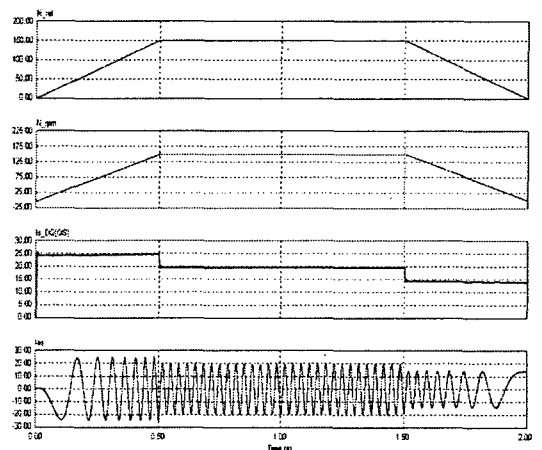
(a) 위로부터 w_r^*, w, i_q, i_a 파형(무부하)



(a) 위로부터 w_r^*, w, i_q, i_a 파형(무부하)



(b) 위로부터 w_r^*, w, i_q, i_a 파형(1/2정격토크)



(b) 위로부터 w_r^*, w, i_q, i_a 파형(1/2정격토크)

그림 5 기준속도 및 부하 변화에 대한 과도응답 특성

(기준속도 : 100 → 150 → 100[rpm])

Fig. 5 Transient characteristics for reference speed and load variation

(Reference speed : 100 → 150 → 100[rpm])

그림 6 기준속도 및 부하 변화에 대한 과도응답 특성

(기준속도 : 0 → 150 → 0[rpm])

Fig. 6 Transient characteristics for reference speed and load variation

(Reference speed : 0 → 150 → 0[rpm])

정확한 회전자 위치를 검출해야만 하기 때문에 전 기각을 0.5도의 분해능으로 검출할 수 있는 Heidenhain사의 ECN-1313 모델을 채택하였다. 엔코더의 사양은 표 2와 같다. 실험에 사용된 전류 제어기 및 속도제어기는 각각 150 μ s, 2ms이다.

그림 7은 실험실에서 사용된 영구자석형 동기전동기와 부하로 사용된 DC 모터의 MG 세트이다.

영구자석형 동기전동기의 속도제어를 검증하기 위해서 무부하 및 1/2정격토크 부하를 인가하여 시험 하였다. 그림 8은 무부하시의 램프기동 응답 특성을 그리고 그림 9는 1/2정격 토크를 인가했을 때의 응답 특성을 검증하였다.

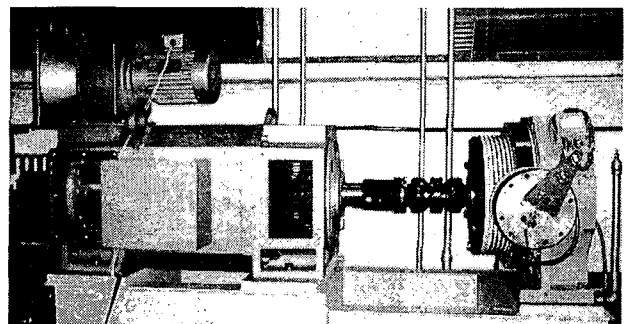
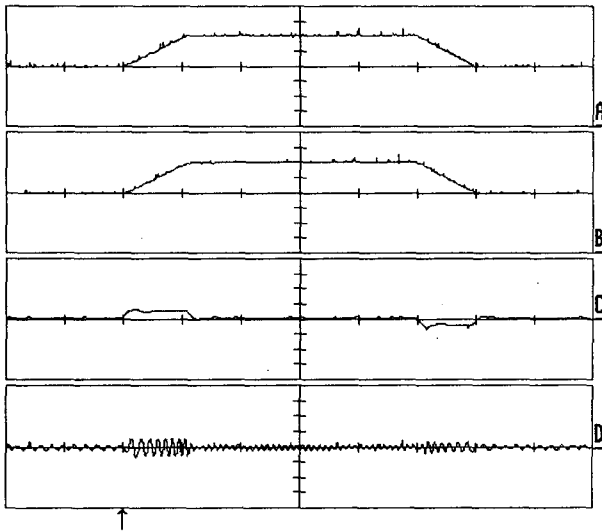


그림 7 실험용 MG 장치

Fig. 7 Experimental MG setup

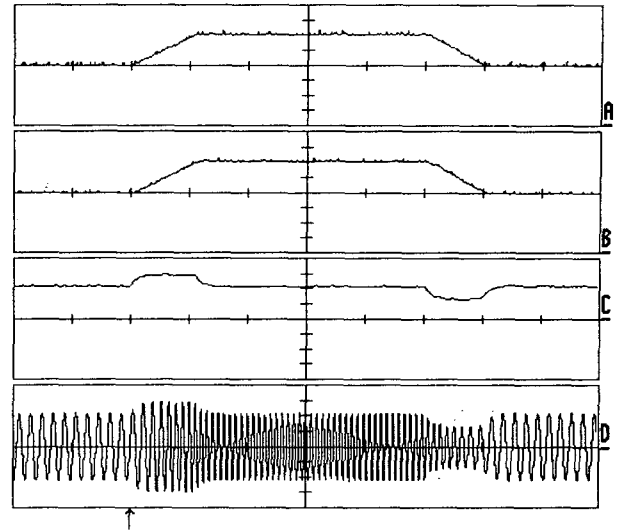


(a) 위로부터 w_r^* , w , i_q , i_a 파형
(x축 : 0.5sec/div, y축 : 25rpm/div, 7A/div)

그림 8 속도응답 특성(무부하)

(무부하, 기준속도 100 → 150 → 100[rpm])

Fig. 8 Speed response characteristics for no load



(a) 위로부터 w_r^* , w , i_q , i_a 파형
(x축 : 0.5sec/div, y축 : 25rpm/div, 7A/div)

그림 9 속도응답 특성(1/2정격토크)

(기준속도 : 100 → 150 → 100[rpm])

Fig. 9 Speed response characteristics for 1/2 of rated torque

2.6 타워 시험 결과

그림 10은 157m 높이의 시험 타워에 설치된 27인승급인 48kW급 권상기의 사진이다. 이 시스템은 기어리스 구동 방식으로서 정격속도는 분당 240m이고 회전자의 정확한 위치를 검출하기 위하여 절대 엔코더를 채택하였다.

PWM 컨버터 및 인버터 스택은 세미크론사의 600A/1200V스택을 사용하였고, 표 3은 시험 타워 권상기의 사양이다. 시험은 타워의 환경을 고려하여 20명이 승차하였을 경우를 시험하였다.

그림 11은 시험 타워에 설치된 권상기를 운전하였을 경우의 시험 결과 파형이다.

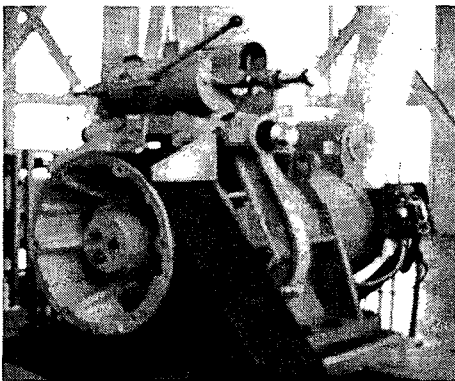


그림 10 48kW 타워 시험용 SMPMSM
Fig. 10 SMPMSM for a 48kW test tower

표 3 48kW SMPMSM 사양

Table 1. Specification of 48kW SMPMSM

파라미터 항목	값
Rated Power	48 kW
Torque	1600 Nm
Speed	288 rpm
Current	124 A
Efficiency	89.9 %
Frequency	57.6 Hz
Pole	24 극
Rs	0.0475 Ω
Ls	0.8 mH
Ke	1102 Vpk/krpm
Jm	10.65 Kg-m ²

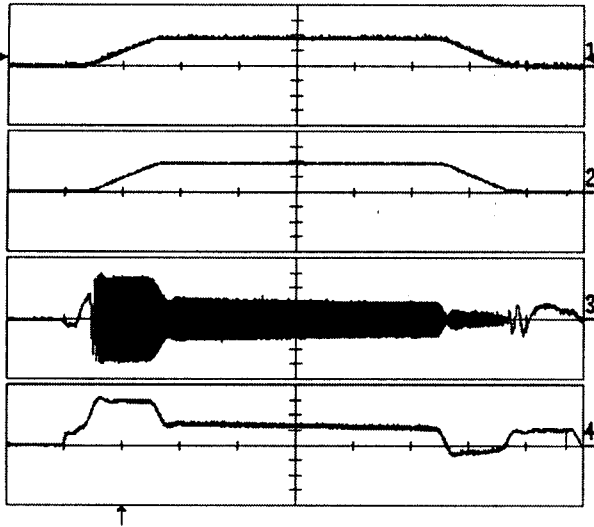
3. 결 론

본 논문에서는 MRL 엘리베이터 및 고속용 엘리베이터 SMPMSM의 구동 드라이브 시스템을 제시하였고 시뮬레이션 및 실험으로부터 타당성을 검증하였다.

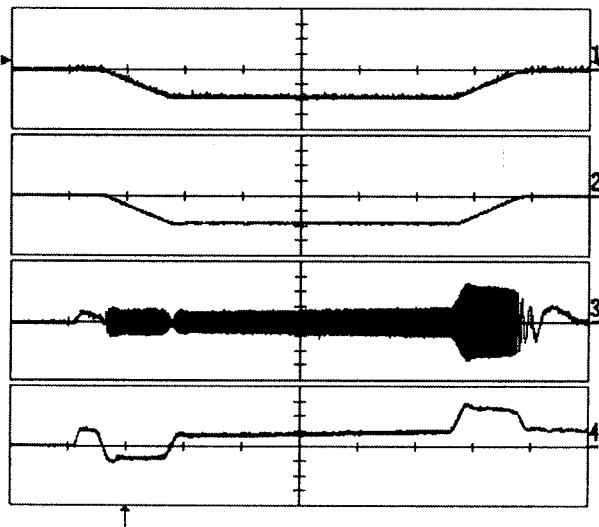
시험 타워에서는 고속용 엘리베이터 구동드라이브를 시험하여 실제 엘리베이터 시스템에 설치하여도 문제가 없음을 검증하였다.

앞으로는 더욱더 승차감을 좋게 하는 착상 알고

리즘 및 중진동 억제 알고리즘에 대한 연구가 필요하다.



(a) 1층 → 36층 (위로부터 w_r^* , w_r , i_a , T_e)



(b) 36층 → 1층 (위로부터 w_r^* , w_r , i_a , T_e)

(x축 : 5.0sec/div)

(y 축 : w_r^* → 144rpm/div, w_r → 144rpm/div,

i_a → 100A/div, T_e → 750Nm/div)

그림 11 타워 시험 결과 파형

Fig. 11 Tower test results

이 논문은 동양엘리베이터의 연구비 지원에 의하여 연구되었습

참 고 문 헌

- [1] 류형민, 김성준, 설승기, 권태석, 김기수, 심영석, 석기룡, "영구자석형 동기전동기를 이용한 고속 엘리베이터 구동 시스템 개발", 전력전자 학술대회 논문집, pp. 385-388, 2001.

- [2] (주)첨단, "모터 드라이브 & 제어의 최신기술동향 - 엘리베이터용 모터의 박형화 기술", 월간 전자기술 2002, 11월.
- [3] 윤덕용, "공간전압벡터 PWM기법을 이용한 영구자석형 동기전동기의 속도제어", 단국대학교 박사학위논문.
- [4] V. Kaura, and V.Blasko, "Operation of a voltage Source Converter at Increasing Utility Voltage", IEEE Trans. on Power Electron, vol. 12, no .1, pp. 132~137, Jan. 1997.