

영구자석형 동기전동기를 이용한 Compact Gearless 엘리베이터 시스템

안준선*, 김일종, 배승형, 강석주, 이제필
 LG산전 빌딩시스템 연구소

Compact Gearless Elevator System Using PMSM

J.S. Ahn*, I.J. Kim, S.H. Bae, S.J. Kang, J.P. Lee
 LGIS Building System Research Laboratory

Abstract

The implementation of the compact gearless elevator system with Permanent Magnet Synchronous Motor is presented. For the purpose of the voltage suppression in the motor input side, the LRC filter is used. The automatic encoder alignment algorithm with rotor pole position is developed, and it is available in the full range of the load. The implemented system makes 11% energy savings comparing the system with the induction motor.

1. 서론

고층 건축기술의 발전과 더불어 건축물 내의 승강 시스템의 고속화에 대한 필요성이 대두되었고, 최근 십 수년간의 전력전자 기술의 발전에 힘입어 승강 시스템은 급속하게 고속화 되고 있다. 이러한 승강 시스템의 고속화에는 가변속 구동 시스템과 고 효율의 전동기 및 신뢰성있는 기계 시스템의 개발이 전제 조건이 된다. 이에 더하여 최근의 친환경적인 제품에 대한 요구는 에너지의 효율적인 사용 및 사용 에너지의 절감에 대한 요구로 이어졌고, 주거환경의 변화에 따라서 정숙하며 승차감이 좋은 승강 시스템에 대한 사용자의 요구 역시 증가되어온 것이 현실이다.

또한 최근의 전동기의 성능은 재료나 부품, 제어 기술의 진보로 현저하게 향상되고 있다. 특히 영구자석형 동기전동기(Permanent Magnet Synchronous Motor, PMSM)는 희토류(Nd-Fe-B) 영구자

석의 개발로 AC Servo Motor의 경우 주류를 이루고 있으며 고 출력, 고 토크가 요구되는 엘리베이터 시스템에까지 확대 적용되고 있다.

이러한 현실의 변화에 대응하여 기존의 유도 전동기에 비해서 여러 가지 장점이 있는 PMSM을 이용한 Compact Gearless 권상기를 이용한 분속 240m/min의 고속 엘리베이터 시스템을 개발하였다. 본 논문에서는 PMSM을 이용한 Compact Gearless 엘리베이터 시스템에 대하여 논하였다.

PMSM을 이용한 Compact Gearless 권상기를 통하여 고효율, 소형화 및 쾌적한 승차감 등을 이루었으며, 3상 PWM Converter를 채용하여 DC link 전압의 안정화, 회생에너지 이용, 전원 역률 조정 및 입력 전류의 고조파 왜율의 저감이 가능하였다. 또한 모터 절연의 신뢰성 향상을 위하여 최적화된 LRC 출력 필터를 사용하여 전동기 입력단의 전압 상승률을 억제하였다.[1]

2. 동기전동기 엘리베이터 시스템

그림 1에 PMSM을 이용한 엘리베이터 시스템의 구성을 나타내었다. 3상 PWM 컨버터와 3상

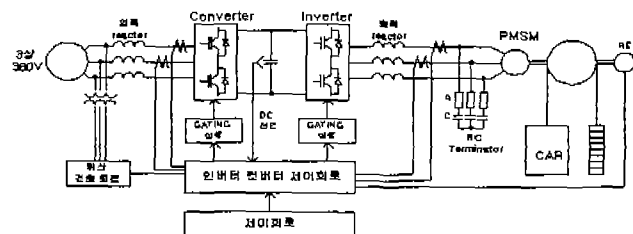


그림 1. PMSM을 이용한 엘리베이터 시스템

인버터를 사용하여 PMSM을 구동하며 3상 PWM 컨버터에서는 전원 입력단의 전압과 DC Link단의 전압을 검출하여 DC Link단의 전압을 제어하며 인버터부에서는 제어회로에서 받은 신호를 가지고 PMSM을 구동한다. 제어회로는 카의 실 위치 신호와 건물의 승강장에서 입력되는 카 부름 신호들을 입력받아 적절한 지령을 인버터부로 출력한다.

표 1에 240m/min PMSM Compact Gearless 엘리베이터의 제원을 나타내었다.

표 1. 동기전동기 E/L의 제원

입력 전원	380~400V(50/60Hz)
최대 행정거리	200m
최대 적재하중	1600kg(24인승)
TR M/C type	Compact Gearless
Roping	2 : 1
위치 검출기	RE 4096 P/R

3 영구자석형 동기전동기(PMSM)

3.1 회토티 영구자석

본 PMSM에 사용한 자석은 자속밀도가 높고 보자력이 큰 회토티 자석을 채용하였는데 일반적으로 회토티 자석에는 네오디뮴-철-보론(Nd-Fe-B), 사마륨 코발트(Sm-Co), 프라세오디뮴(Pr) 등의 재질이 있다. 각각은 서로 다른 특징을 가지고 있고 최대 에너지적(BH적)이 클수록 전동기의 소형화에 효과적이다.

3.2 전동기의 소형화

전동기에 있어서 다극화는 전동기 소형화에 흔히 쓰이는 방법이지만, 종래의 권상기에 사용되고 있는 유도전동기에서는 극수를 증가시키면 효율과 역률이 저하되고 따라서 소형화에 한계가 있었다. 하지만, PMSM에서는 극수와 상관없이 고효율 운전이 가능하고 따라서 다극화 소형화를 실현할 수 있다. 표 2에 유도 전동기와 PMSM의 특성을 비교 하였다.

3.3 맥동 토크의 저감

엘리베이터에 사용되는 권상기에는 맥동이 적은 완만한 토크 특성이 요구되며 전동기의 구동전압에 고조파 성분이 포함될 경우 정현파 전압과의 차이에 의해서 고조파 전류가 흘러 토크에 리플이 생길 우려가 높다. 이를 방지하기 위해서 고정자에 skew를 두고 최적화된 자극형상 설계를 통하

여 토크 리플의 감소를 꾀하였다.

이상의 특징을 가지는 PMSM을 적용하고, 권상기 자체를 Compact하게 설계한 결과 동급의 유도전동기 권상기에 비하여 체적대비 60%, 중량대비 61%의 절감효과가 있었다. 그림 2에 PMSM을 이용한 권상기의 사진을 나타내었다.

표 2. 유도전동기와 PMSM의 비교

항목 \ 모델	유도전동기	동기전동기	주요 시방 비교
극 수	8 극	24 극	
정격 주파수	15Hz	55.6Hz	
무부하 전류	70A	10A	여자전류 없음
정격전류	112A	81A	
효율	87%	94%	회전자손실 적음
역률	70%	91%	

4. 전동기 구동 시스템의 특징

4.1 고효율의 구동 시스템

일반적인 엘리베이터 시스템의 경우 상시 구동 시에는 적재 하중의 약 절반 정도를 적재한 상태에서 운행하게 된다. 왜냐하면 엘리베이터는 모터의 구동능력을 고려하여 카 무게의 절반 정도에 해당하는 counter weight를 이용하여 무게를 나누기 때문이다. 뿐만 아니라 유도 전동기의 경우 저속으로 구동하거나 정격 토크의 절반 이하로 구동할 시에는 전동기의 효율이 나빠지게 된다. 또한 부하 조건에 상관없이 유도전동기의 경우 여자전류를 흘려줘야 하는 단점이 있고 고효율 운전을 위하여 여자 전류가 변화시키게되면 전동기의 토크 특성의 과도 응답이 문제가 되어 전동기를 안정적으로 구동하기가 어렵게 된다. 반면에

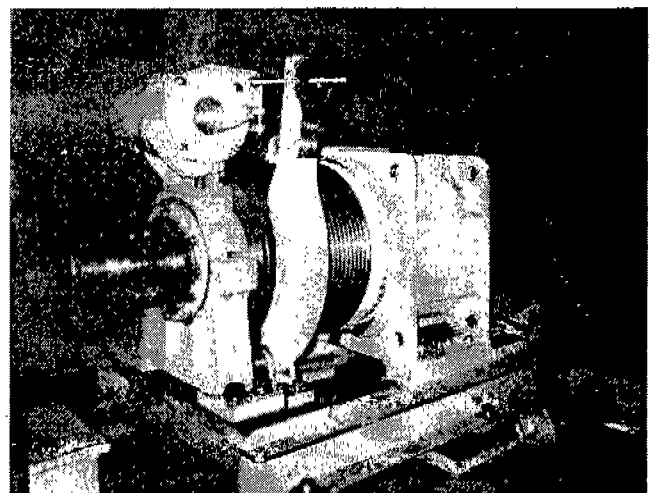


그림 2. PMSM을 이용한 권상기

PMSM의 경우 여자 전류가 필요 없기 때문에 부하 상태와는 상관없이 전동기를 고 효율로 안정되게 동작시킬 수 있다.

이에 더하여 PWM 컨버터를 사용하기 때문에 전원단의 역률을 거의 1에 가깝게 유지할 수 있고 회생 전력을 저항부하를 이용하여 소모시키지 않고 전원단으로 회생시킬 수 있기 때문에 더 효율 좋은 시스템을 구축할 수 있다.

표 5에 유도전동기 시스템과 동기전동기 시스템의 효율 및 소비에너지를 비교하여 보았다.

표 4. 유도전동기와 동기전동기의 효율 비교

	유도전동기	PMSM	비 고
전동기 효율	87%	94%	
소비 에너지	100%	88.6%	

4.2 자극 위치 검출 및 엔코더 정렬

PMSM을 제어하기 위해서는 회전자 자극의 위치를 정확히 알아야 한다. 이러한 회전자의 자극 위치 검출에는 회전자의 위치검출용 A, B상 신호와 회전자 1회전당 1 pulse 씩 출력되는 Z상 외에 전원 투입시 초기위치를 판별하기 위해서 전기각마다 1 pulse 씩 출력되며 서로가 120° (전기각)의 위상 차이를 갖는 U,V,W 신호가 출력되는 엔코더를 사용한다.

엔코더를 초기에 권상기에 부착시킬 때 또는 엔코더의 보수시에는 엔코더 출력위치가 회전자 자극위치와 오차가 발생할 수 있다. 본 시스템에 사용된 전동기는 24극을 가지므로 기계적으로 1°의 오차가 생길 경우 전기적으로는 12배 즉, 12°의 오차가 생기게 된다. 이러한 자극 검출위치의 오차는 토오크 제어성능을 악화시켜 엘리베이터의 승차감에 영향을 줄 뿐 아니라 오차가 커지게 되면 초기 기동시에 탈조의 위험마저 있다. 따라서 최초 부착시나 보수시에 발생할 수 있는 자극 검출위치의 오차를 보정해주는 알고리즘이 필요하다. 오차 보정 알고리즘은 엘리베이터의 부하가 어떠한 상태이든지 정확하게 동작할 수 있어야 한다. 따라서 부하상태에 관계없이 엘리베이터 주행 중에 자극위치를 추정하여 보정해주는 알고리즘을 개발하여 엔코더의 정렬을 자동화 하였으며 제어 성능의 향상과 설치 및 보수의 편리성을 도모하였다.

엔코더 정렬 실험 결과 무부하/전부하시에도 자극의 위치를 전기각 3° 이내의 오차로 추정해 내었다. 이 오차가 토오크에 미치는 영향은 0.2% 이내이다.

4.3 제어회로의 특징과 주행 파형

그림1에 도시한 바와 같이 PMSM의 구동 시스템은 모터의 속도를 이용한 속도제어와 출력전류 신호를 이용한 전류제어를 이용하여 PMSM의 속도와 토오크를 고정밀도로 제어하여 정밀한 착상과 쾌적한 승차감을 제공하고 있다. 컨버터와 인버터의 주 스위칭 소자는 정격전압 1200V, 정격전류 400A의 IGBT 모듈을 사용하며 스위칭 주파수는 5kHz이다. 그림 3은 전부하 조건에서의 운행 파형이다.

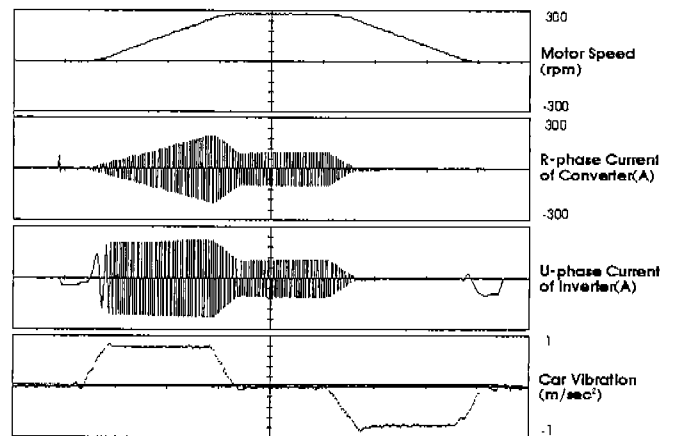


그림 3 전부하시 주행 파형(2sec/div)

5. 결론

영구자석형 동기전동기를 이용한 240m/min급 엘리베이터 시스템을 개발하였다. 영구자석형 동기전동기는 유도전동기와는 달리 여자전류 성분이 필요없기 때문에 고 효율의 시스템을 구축할 수 있다. 또한 전동기의 극수를 증가시켜도 효율에 미치는 영향이 거의 없기 때문에 전동기의 크기를 대폭 줄일 수 있다.

또한 전동기의 신뢰성을 높이기 위해서 인버터 출력단에 출력 LRC filter를 사용하여 전동기에 인가되는 서지 전압을 감소시켰다.

PMSM을 제어하기 위해서는 회전자 자극의 위치를 정확히 아는 것이 필요한데 이를 위해서 전부하 조건에서도 적용가능한 엔코더 정렬 알고리즘을 개발하였다.

참고 문헌

- [1] 김한중 외, '전동기 과전압 억제용 OUTPUT REACTOR의 최적설계', 1999, 전력전자학회 하계학술대회