

1 서 론

리니어모터는 마이크로프로세서 및 전력전자기술의 발전과 함께 수송, 반송시스템, 공작기계, 자기디스크 장치 등의 정보기기, 의료기기, 도어나 커튼의 구동에 까지 산업이나 일상생활에서 광범위하게 확산되고 있다.

국내 선형전동기 산업은 신성 ENG, 세우산전, 삼익 LM, 저스텍, 미래산업, 동진기전과 같은 중소 벤처기업, 소재 및 장비산업 등의 업체로 구성되어 있다. 미래산업은 BLDC전동기를 Chip-mount에 적용하여 세계 최고수준의 선형전동기를 개발하였으며, 세우산전, 삼익 LM, 저스텍이 기술개발과 상품화를 추진하였다.

선형전동기는 산업이 고도화, 첨단화됨에 따라 기여 없이 직선운동이 필요한 모든 분야에 적용가능하고 2002년 세계시장은 약 5.6억\$이 되는 미래 첨단 고부가가치 제품이다.

리니어모터는 일반 회전형 전동기에 비해 직선 구동력을 직접 발생시키는 장점이 있으므로 직선구동력이 필요한 시스템에서 회전형에 비해 유리하다. 리니어모터를 응용하는 경우는 직선형 구동력을 직접 발생시키므로 기계적인 변환장치가 필요하지 않다.

따라서 에너지 손실이나 소음을 발생하지 않고 운

전속도에도 제한을 받지 않는다[1].

그리고 리니어모터 혹은 선형동기전동기는 동일한 표현이므로 혼용하여 기술하기로 한다.

본 기술해설에서는 유도형 리니어모터, 동기형 리니어모터, 횡자속형 리니어모터, 리니어 펄스모터 및 리니어 진동 액추에이터에 대하여 간략하게 설명한다.

2. 리니어모터 구조와 종류

선형 전동기의 기본적인 구성은 그림1과 같이 회전형 전동기를 전개하여 평면상의 구조를 하고 있다. 직선운동을 필요로 하는 시스템에서 기계적 변환기구를 사용하지 않고 직접 직선 운동을 얻을 수 있다[1].

향후 공작기계, 반도체 분야에서 선형 전동기에 의한 위치 결정 용도 혹은 물류 반송용으로도 영구자석을 이용한 선형 동기 전동기의 사용이 증가하고 있다.



그림 1. 회전형 유도전동기의 형태

고정부와 가동부 사이에는 상대적으로 직선운동을 하도록 추력이 작용한다. 회전형 전동기와는 달리 구동하는 대상에 직접적으로 소요되는 방향으로 추진력이 주어지고 기어나 차륜등의 추진을 위한 전달기구를 필요로 하지 않는 다이렉트 드라이브(direct drive)의 기능을 가진다.

전동기 자속방향에 따라 종축형 또는 횡축형으로 나눌수 있는데 자속의 이동방향과 전동기의 이동방향이 같은 경우 종축형 기기라 하고 자속방향이 전동기의 이동방향과 횡방향인 경우 횡축형 기기라 한다.

그림 2는 영구자석 여자동기형 선형 전동기를 보여 준다.

여기에서 횡축형 기기는 전류의 방향과 이동자의 방향은 일치한다[1].

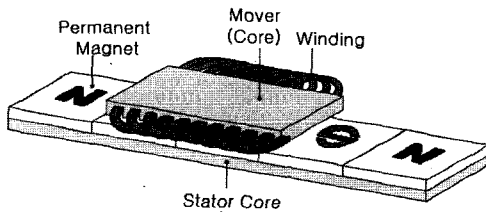


그림 2. 영구 자석 여자동기형 선형전동기

선형전동기의 구동원리는 회전형 전동기와 거의 같고 대표적인 종류는 아래와 같다.

① 유도형 선형전동기(LIM : linear induction motor) 유도형 선형전동기의 원리는 일반 유도전동기와 같다. 그러나 축을 중심으로 절단하여 펼쳐놓은 형태로 길이 방향으로 입구단과 출구단의 end가 있는 점이 다르다.

② 선형 동기전동기(LSM : linear synchronous motor) 선형동기 전동기는 회전형 동기전동기와 구동원리가 동일하다. 즉 계자와 전기자로 구성되며, 구동방법에 따라 종류가 달라진다. LSM은 철심에 코일을 감은 전자석형, 영구자석을 이용하는 영구자석형이 있다.

그림 3은 횡축형의 기본 형태로 자속 ϕ_a 의 진행 방향과 전동기의 이동방향과는 수직으로, 즉 횡방향(전류의 방향과 전동기의 진행 방향이 같음)이 된다. 횡축형 전동기의 장점은 자기회로와 전기회로가 분리되어 있기 때문에 단위 체적당 높은 출력과 높은 효율을 얻을 수 있다.

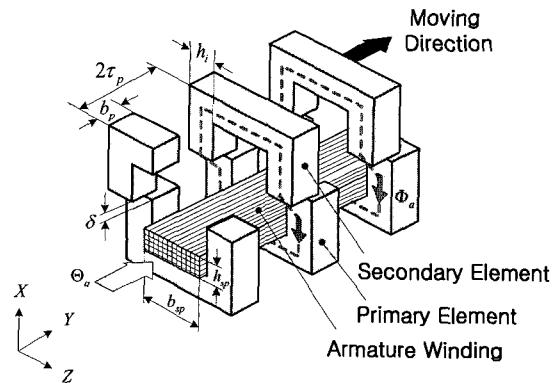


그림 3. 횡자속형 선형 전동기

③ 리니어 펄스모터(LPM : linear pulse motor 또는 linear stepping motor)

리니어 펄스모터는 입력전류 펄스신호에 따라 변위되기 때문에 반드시 치와 홈이 있어야 한다. 회전형 스텝모터와 같이 디지털 제어기에 위해 공급되는 입력 전류 펄스신호에 의해 1 스텝씩 직선운동을 하는 모터이므로 리니어 펄스모터라고 한다[2].

그림 4는 전체 인공심장을 위한 LPM의 기본적인 구조이다. LPM은 1차측의 고정자와 2차측의 가동자로 되어있고 치의 피치 $\tau=0.8$ (mm)이다. 여기서 x 는 변위이다.

그림 5는 LPM에 대한 휘드백제어 시스템의 구성을 보여준다.

이 시스템은 LPM, 서보구동기로 구성되어 있고 LPM 가동자의 위치신호는 서보구동기에 휘드백된다. 여자전류 I_a 와 I_b 는 코일 A와 B에 흐른다. 한상에 여

자되면 LPM의 정추력 F_s 는 다음과 같이 표현 된다.

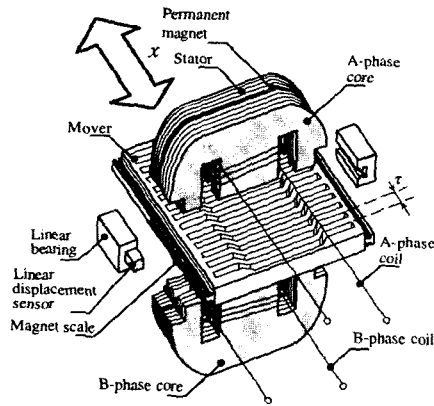


그림 4. 전체 인공심장용 LPM 구조

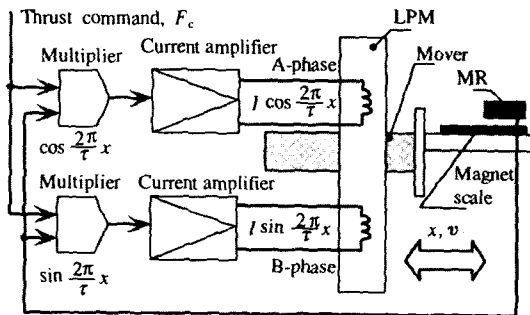


그림 5. LPM 후드백 제어시스템 블록도

$$F_s = \frac{2\pi NI}{\tau} \Delta\phi_m \sin\left(\frac{2\pi x}{\tau}\right) [N] \quad (1)$$

여기에서 \Rightarrow 는 전자기력, τ 는 LPM의 피치, $\Delta\phi_m$ 은 영구자석에 의한 자속증분, x 는 변위이다.

$$I_a = I \sin\left(\frac{2\pi x}{\tau}\right)$$

$$I_b = I \cos\left(\frac{2\pi x}{\tau}\right)$$

■ 리니어 진동 액추에이터(LOA ; linear oscillator actuator) 정현파 또는 직사각형 펄스전압 파를 교대로 공급하여 가동체에 임의의 직선적인 스트로크를 반복하여 왕복운동을 시키는 구동장치를 말한다.

3. 리니어모터 응용분야

표1은 리니어모터의 특성을 비교하여 나타내었다. 대변위(장거리), 대추력을 필요로 하는 수송용으로 리니어 유도모터(LIM), 리니어 동기모터(LSM)가 유리하다. 개루프 제어에서 위치 결정을 위한 제어에는 리니어 펄스모터(LPM)이 적당하다[3].

리니어 진동 액추에이터(LOA)는 비교적 소변위의 왕복운동용 펌프에 이용된다.

그림 6은 Cartoon 씨에 의해 제시된 응용범위를 나타내고 있으며 수송기계, 컨베어, 엘리베이터 자동 창고등 자동화시스템까지 광범위하게 실현되고 있다.

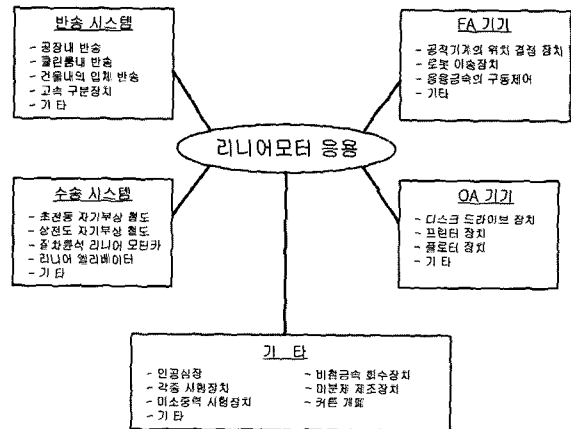


그림 6. 리니어모터의 응용분야

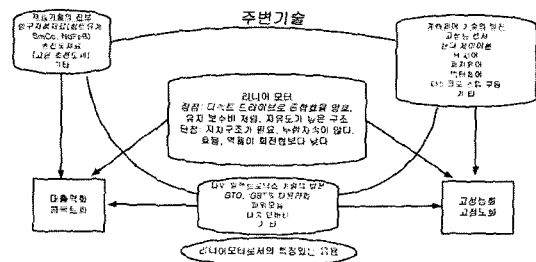


그림 7. 리니어모터 기술의 체계도

표 1. 리니어모터의 특성 비교.

	연속직선운동	간헐직선운동	소변위 왕복운동	대변위 왕복운동	고속운전	저속운전	대추력화	위치결정밀도	고응답성	서보성능	개루프이득	수직구동	구조의간이성	전원제어회로의간이성	지지구조에의부담	에너지저감	개요
LIM	◎	△	△	◎	◎	○	◎	○	◎	○	○	◎	◎	◎	◎	△	대출력 연속운전, 고속반송
LSM	◎	○	△	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	◎	△	○	△	◎	고속 연속운전, 반송용
LPM	○	◎	◎	○	△	◎	○	◎	◎	◎	◎	◎	△	○	△	△	저속 대출력운전, 간헐운전, 위치결정 제어용
LOA	■	■	◎	■	■	△	△	■	△	■	○	-	○	○	○	△	소변위 왕복운동

◎: 최고 ○: 적 △: 약간 부적합 ■: 부적합

리니어모터기술은 그림 7과 같이 리니어모터의 설계, 해석, 제작기술, 재료기술, 전력전자를 포함한 구동기술, 계측제어기술로 분류된다.

그림 8에서 200(Km/h)의 속도로 운전되는 U형 LIM을 사용하는 U자형 긴 레일이 전자기적인 버팀 장치용 페로 자성체 레일 2개 사이에 있는 트랙의 중앙에 놓여있다[4].

단축식 LIM으로 구성된 엘리베이터가 그림 9에 보여진다.

이러한 LIM으로 구동되는 엘리베이터는 아래의 장점을 가진다.

- 회전형 전동기와 비교할정도의 성능을 가진다.
- 유지보수면에서 유리하다.
- 전력 사용면에서 에너지 절약이 높다.
- 신뢰성이 증가된다.

반면에 LIM은 수직구동력이 가해져서 큰 공극에 기안하여 낮은 역률, 전자기적인 추력 맥동, 전동기 특성을 조정하는 공극의 변화로 부정적인 영향을 야기한다.

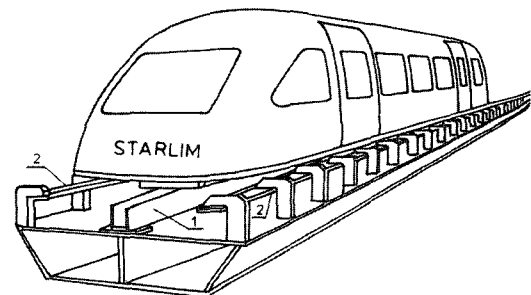


그림 8. 200(km/h)급 STARLIM 자기부상열차
1:U자형 2차축
2:전자기적 버팀용 페로 자성체판

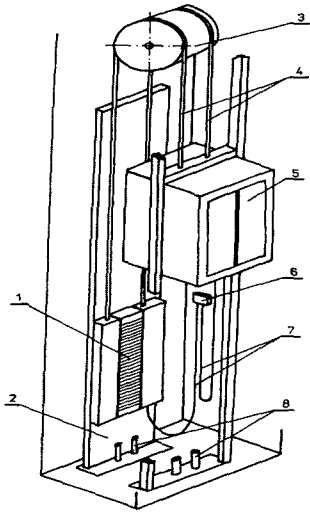


그림 9. 단축식 LIM으로 구성된 엘리베이터

- 1-primary(counterweight), 2-reaction rail,
- 3-overhead sheaves, 4-suspension ropes,
- 5-car, 6-junction box to controller,
- 7-travelling cables to car and counterweight,
- 8-car and counterweight buffers.

4. 외전력과 추진력의 환산 관계

유도형 모터의 정격특성과 추진력의 관계는 아래의 식과 같다. 이로부터 회전형 모터의 차량추진성능을 계산할 수 있다. 즉 정격토크는

$$T = \frac{P \times 10^{-3}}{2\pi \frac{N}{60}} \quad [N/m]$$

여기서 : 3상 회전형 유도모터의 정격용량[kW], 회전수[rpm] 이다.

회전력을 직선형운동으로 환산하는 것은 아래와 같다.

$$F = \frac{D}{2T} \quad [N]$$

여기서 : D는 회전자 직경이다.

따라서 위의 두 식으로부터 회전형 모터의 회전력을 추진력으로 환산한 특성식은 아래와 같이 얻을 수가 있다.

$$F = \frac{P \times 10^{-3}}{\pi D \frac{N}{60}} \quad [N]$$

5. 선형 유도전동기와 동기전동기 구동기술에

가변주파수 변환기는 전원과 유도전동기 사이에 인터페이스 역할을 하며 방법면에서 다음과 같다.

- ① 원하는 출력속도에 따라 주파수를 조정한다.
- ② 일정 토크 영역내에서 일정 공극자속을 유지하기 위하여 출력전압을 조정한다.
- ③ 연속적인 임의의 주파수를 기준하여 정격 전류를 공급한다.

가변 주파수 컨버터는 간접적인 방법(ac-dc-ac)과 직접적인 방법(ac-ac)이 있다.

그림 10은 간접적인 개념을 보여주며 정류기와 인버터로 되어 있으며 분류는 그림 11과 같다.[5]

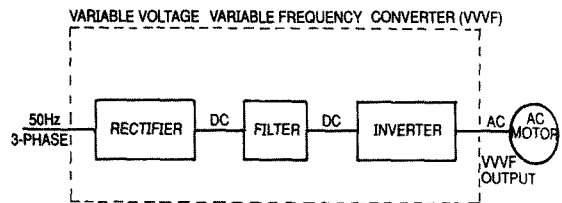


그림 10. 간접식 컨버터 블록도

그림 11의 (a)는 다이오드 정류기를 가진 PWM 전압형 인버터이고 (b)는 다이리스터 정류기를 가진 구형과 전압형 인버터이다. (c)는 다이리스터 정류기를 가진 전류형 인버터이다.

그림 12는 사이크로 컨버터에 의해 구동되는 리니어모터 시스템을 보여준다.

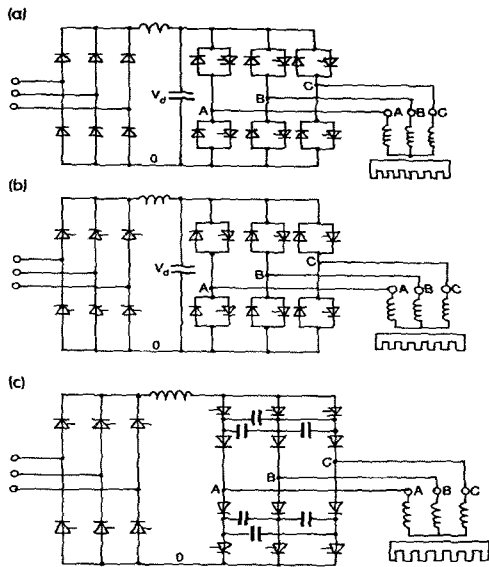


그림 11. 간접식 컨버터의 분류

- (a) 다이오드 정류기를 가진 PWM 전압형 인버터
- (b) 제어정류기를 가진 구형파 전압형 인버터
- (c) 제어정류기를 가진 전류형 인버터

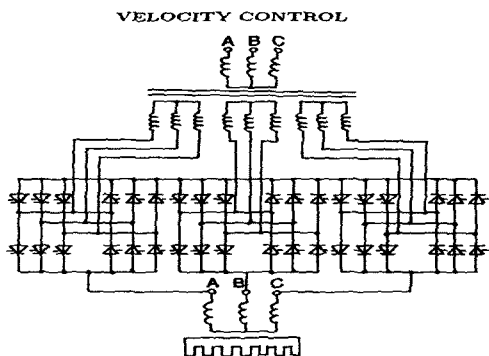


그림 12. 사이크로 컨버터에 의해 구동되는 리니어모터 구동장치

6. 결론

리니어모터 구동은 종래의 회전기와 운동변환 요소의 연결에 의한 직선 구동과는 달리 기어계가 없는 다 이렉트 드라이브이다.

중간에 메카니즘이 없어지고 완전히 기구 속에 장

착된 형태로 부하와의 결합이 일체화되므로 높은 강성과 고정밀도의 위치 결정이 가능하다.

리니어모터에 의한 구동기술과 응용은 재료기술, 전력전자기술, 센서·제어기술의 발전을 배경으로 전기기기를 사용하는 기술자로부터 컴팩트화, 유지보수의 간략화, 고속화, 힘의 절감 등을 실현하는 기기로서 영역이 장차 확대될 것으로 예상된다.

좀더 자세한 내용은 참고문헌에 자세히 언급되어 있으므로 참고하기 바랍니다.

본 연구는 2003년도 에너지관리공단 프로젝트형 사업에 의해 이루어진 위탁 연구(2003-E-EL12-P-07-3-040)의 일부로 지원되었으며 이에 감사를 드립니다.

참고 문헌

- [1] 김윤호외, 차세대 고효율 선형전동기 응용시스템개발, 2003년 에너지 자원기술개발 사업, 2003. 9.
- [2] Masayasu Yamamoto and kouki matsure, "Characteristics of Repetitive Positioning Control of a Linear Pulse Motor", pp 101~106, Proceedings ICPE'98 Seoul 1998.
- [3] 장석명, 리니어모터 기술 및 응용전망, 충남대학교.
- [4] Jacek F Gieras and Zbigniew J.piech, Linear Synchronous Motors, pp.123~148, CRC press, 1999.
- [5] Jacek F.Gieras. Linear Induction Drives, pp.174~193 Oxford Science Publications, 1994.

◇ 저 자 소개 ◇



원충연(元忠淵)

1955년 5월 10일생. 1978년 성균관대 공대 전기공학과 졸업. 1980년 서울대 공대 대학원 전기공학과(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1991년 12월~1992년 12월 미국 테네시 주립대학 전기공학과 방문교수. 현재 성균관대 전기전자 및 컴퓨터 공학과 교수. 본 학회 편수위원.