

리니어 모터 기술 및 응용전망 ①

글/장 석 명
 충남대학교 전기공학과 교수

목 차

- 1. 서 론
- 2. 리니어 모터의 구동원리 및 개요
 - 2.1 구동원리 및 개요
 - 2.2 3상 유도형 리니어모터와 회전능형모터를 각각으로 리니어 드라이브를 하는 경우의 성능 비교
- 3. 리니어모터의 종류에 따른 구조와 특징
 - 3.1 구분과 종류
 - 3.2 지지기구의 종류와 응용 예
 - 3.3 종류별 원리 및 특성, 응용
 - 3.3.1 유도형 리니어 모터
 - 3.3.2 직류형 리니어 모터
 - 3.3.3 동기형 리니어 모터
 - 3.3.4 리니어 펄스모터
 - 3.3.5 리니어 진동 액츄에이터
 - 3.4 종류에 따른 특성비교
- 4. 리니어 모터의 응용, 전망 및 기술체계
 - 4.1 응 용
 - 4.2 최근의 연구동향 분석
 - 4.3 기술체계
 - 4.4 응용에 따른 기종선정을 위한 예
- 5. 결 론
- 6. 참고문헌

1. 서 론

리니어 모터는 18세기 중반에 발명되어 초기에는 섬유공업에서의 방적기 복으로 개발되어 사용되었다. 그 후 1946년 미국 웨스팅하우스에서 리니어모터를 이용하여 항공모함에서 비행기 이·착륙 보조장치인 electropult를 개발한 이래로 여러 분야에의 응용이 확산되기 시작되었다. 그러나 이론을 통한 체계적이며 합리적인 연구는, 1950년대에 들어서면서부터 영국의 Laithwaite 교수에 의하여 시작되어 현재까지 괄목할 만한 성과를 거두며 발전해왔다. 지금은 많은 연구결과를 토대로 하여 자기부상열차, 리니어 모터카 등의 수송기관과 OA, HA, FA 기기 등 각종 자동화 시스템분야의 핵심구동장치로 응용개발이 날로 확대되고 있다.

아래와 같이 리니어 모터에 관한 전반적인 참고사항을 소개하여 관련기술자들의 이해를 돕고자 하였다. 즉

- 개념, 구동원리 및 개요
- 장단점 및 특징
- 분류 및 종류
- 기술체계 및 응용성
- 종류에 따른 특성비교
- 응용분야에 따른 기종선정을 위한 자료로 나누어 간단히 설명을 하기로 한다.

2. 리니어모터의 구동원리 및 개요

2.1 구동원리 및 개요

리니어 모터는 그림 1과 같이 일반 회전형 모터를 축방향으로 잘라서 펼쳐 놓은 형태이므로, 기

존의 일반 모터가 회전형의 운동력을 발생시키는 것에 비해 직선방향으로 미는 힘인 추력을 발생시키는 점이 다르나 그 구동원리는 근본적으로 같다고 볼 수 있다. 그림에서(a)와 같은 회전형 모터를 (b), (c)와 같이 잘라 펼쳐 (d),(e)와 같이 선형운동을 하게 한다. 또한 아래측의 그림은 원통형 리니어모터의 원리에 관한 개념도이다.

회전형 모터는 회전방향으로 무한연속운동을 하지만 리니어모터는 구조적으로 길이가 유한하여 길이방향으로 길이가 유한하여, 입구단(entry end)과 출구단(exit end)이 구조적으로 존재하므로 누설자속과 에너지의 왜형 및 손실을 유발하여 특성을 악화시킨다. 이러한 효과를 길이방향으로의 단부효과(longitudinal end effect)라 한다. 또한 측면 모서리방향으로도 에너지의 누설이 발생하는데, 이를 횡방향 모서리효과(transverse edge effect)라 하며 이것에 의한 모터의 추력 및 수직력 등의 손

실은 물론 그 분포를 왜형시켜 운전특성을 나쁘게 하는 등의 큰 영향이 있다. 따라서 구동원리는 회전형 모터와 동일하나 단부효과와 모서리효과에 의하여 그 특성이 매우 달라진다.

회전형 모터에서의 공극은 축방향으로 대칭이기 때문에 문제가 되지 않으나, 리니어모터는 수직력이 전자석이나, 바퀴 등의 지지장치에 크게 작용하여 부하의 중량이 증가된 것으로 나타난다. 따라서 이 문제를 해결하기 위하여 근본적으로 공극을 크게 한다. 이에 따라 회전형 모터에 비하여 누설자속의 증가, 자화전류의 증가, 역률 및 효율의 악화 등은 필연적이다.

그러나 리니어모터는 일반 회전형 모터에 비해 직선 구동력을 직접 발생시키는 특유의 잇점이 있으므로 직선구동력이 필요한 시스템에서 회전형에 비해 절대적으로 우수하다. 즉 직선형의 구동시스템에서, 회전형 모터에 의해 직선구동력을 발생시

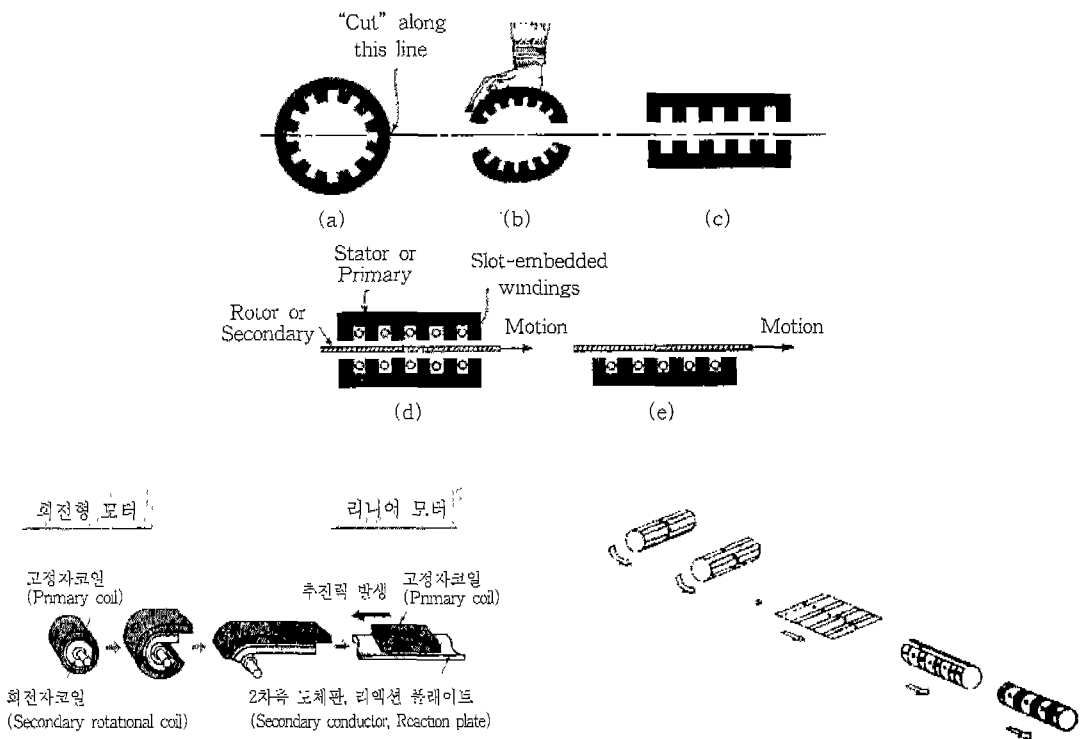


그림 1 리니어 모터의 개념도 및 원리

키고자 하는 경우에는 그림 2와 같이 스크류, 체인, 기어시스템 등의 기계적인 변환장치가 반드시 필요하게 되는데, 이때 마찰에 의한 에너지의 손실과 소음발생이 필연적이므로 매우 불리하게 된다.

그러나 리니어모터를 응용하는 경우는 직선형의 구동력을 직접 발생시키므로 기계적인 변환장치가

전혀 필요치 않아, 복잡하지 않으며 에너지 손실이나 소음을 발생하지 않는 것은 물론이고 운전속도에도 제한을 받지 않는 등의 특유의 이점이 있게 된다. 따라서 계통의 효율적인 운전과 기능에 있어서 회전형에 비하여 절대적으로 유리하다.

그림 3은 리니어 모터의 실제 제작된 모습을 찍은 사진이다. 이로부터 리니어 모터는 평평한 형태이므로 회전형 모터에 비하여 높이가 매우 낮음을 확실하게 알 수 있다. 따라서 그림 2와 같이 평평한 모양의 리니어 모터로 추진하는 경우에 높이가 현저하게 감소하여 기구의 저상화(低床化)를 실현할 수가 있다.

실제로 직선추진력을 직접 발생하는 리니어 모터로 구동하는 차량으로 지하철을 건설하는 경우에는 회전형 모터로 건설하는 경우에 비하여 건설비의 70% 이상을 차지하는 터널의 단면적이 68%



그림 3 제작된 LIM의 사진

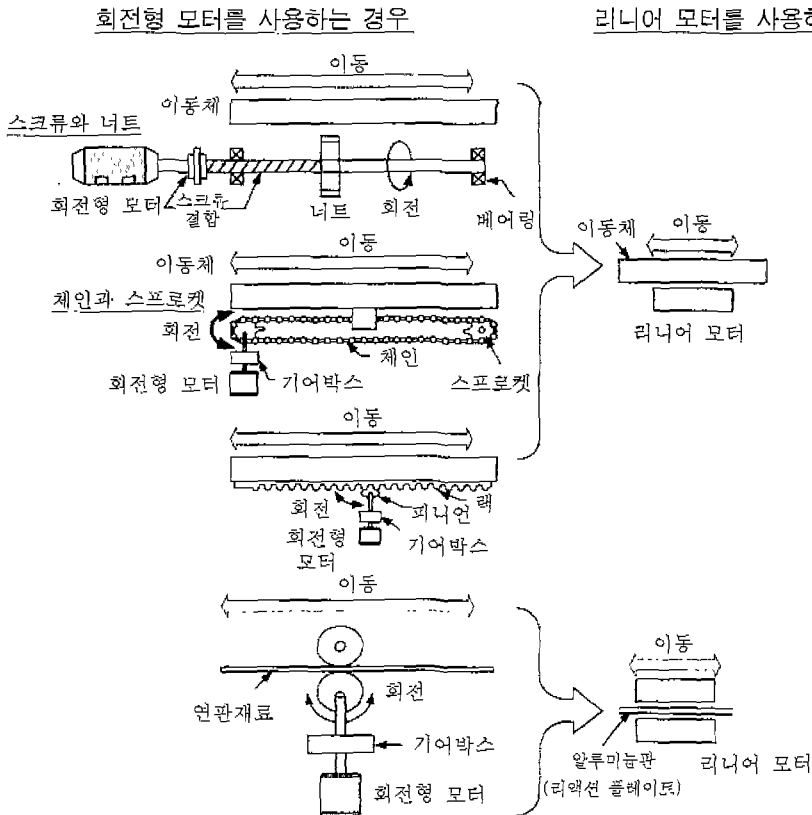


그림 2 회전형과 리니어 모터에 의한 직선구동력 발생 비교 (회전형 모터로 직선운동을 시키는 경우 복잡한 기계적 변환장치가 필요하나 리니어 모터의 경우는 그렇지 않으므로 장점이 크다)

정도가 감소되어 전체 전설비가 50%정도까지 저감되는 효과를 갖는다.

그러므로 오늘날에는 육상운송계통에서의 자기 부상열차나, 대규모의 공장이나 산업시설에서의 컨베이어 시스템, 승강기, 크레인, 자동문 등 광범한 분야에서의 산업시스템에 필수적인 직선형 구동장치로 응용·개발되고 있다. 또 한편으로 오늘날 인간생활의 편리함의 추구로 인하여 HA, OA, FA 등 각 분야에서 자동화가 활발하게 진행되고 있는 바, 이 경우의 각종 서보시스템에서 직선형 구동장치로 리니어모터의 응용이 필수적으로 되고 있으며, 장차 그 응용분야는 더욱 확대될 것으로 전망된다.

2.2 3상 유도형 리니어 모터와 회전능형 모터를 각각으로 리니어 드라이브를 하는 경우의 성능 비교

1) 성능비교 방안

일본전기학회 자기액츄에이터 조사전문위원회가 1982년에 보고한 자료에 의하면 아래와 같은 방법에 의하여 리니어모터와 회전형 모터 각각으로 차량을 추진하는 경우의 추진성능을 검토하였다. 즉 비교·검토하기 위하여 각각의 경우에 추진력/입력, 추진력/질량, 추진력/체적의 비를 조사하여 운전성능을 검토해보기로 한다. 각각의 비와 리니어 드라이브 운전성능과의 관계는 다음과 같다.

가. 효율화

전기적인 입력에 대한 출력인 추진력의 관계인 추진력/입력의 비로부터 효율을 파악할 수가 있다.

나. 경량화

모터의 질량에 따른 발생 추진력의 관계인 추진력/질량의 비로부터 경량화 정도를 파악할 수가 있다.

다. 소형화

체적에 따른 발생 추진력의 관계인 추진력/체적의 비로부터 소형화 정도를 파악할 수가 있다.

2) 회전력과 추진력의 환산특성식

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

$$T = \frac{P \times 10^3}{2\pi \frac{N}{60}} \text{ [N/m]} \quad \dots (1)$$

여기서 P : 3상 회전형 유도모터의 정격용량 [kW], N : 회전수[rpm]이다. 회전력을 직선형운동으로 환산하는 것은 아래와 같다.

$$F = \frac{D}{2T} \text{ [N]} \quad \dots (2)$$

여기서 D : 회전자 직경이다. 따라서 위의 두 식으로부터 회전형 모터의 회전력을 추진력으로 환산한 특성식은 아래와 같이 얻을 수가 있다.

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

3) 특성비교

특성값을 조사하기 위한 대상이 된 고압 농형유도전동기의 주요사양은 표 1과 같다.

표 1 특성값을 조사하기 위한 대상이 된 고압 농형유도전동기의 주요사양(B종)

항 목	수 치[단위]
정격 용량	160~2,800 [kW]
전 원	3000[V], 50 [Hz] 3,300[V], 60 [Hz]
극 수	2극 18기종 4극 4기종 6극 17기종 8극 10기종 10극 13기종
원주 속도	15~100 [m/s]
추진력	6~70 [kN]
역률	0.8
효율	0.9

표 2 리니어모터와 회전형 모터의 특성값 비교

항 목	유도형 리니어 모터			3상 회전형 유도 모터
	편축식	양 축 식	원 틀 형	
스트로크	cm~∞	cm~∞	cm~∞	회전
속 도[m/s]	1~10	1~10	1~10	15~100
추 력[N]	100~450	50~800	5~320	6~70k
입력전력[kVA]	3~10	0.2~10	0.5~5	220~3,900
추력/입력[N/kVA]	30~50	30~130	30~80	8~45
추력/질량[N/kg]	9~18	10~20	2~30	5~14
추력/체적[N/L]	30~70	35~90	20~40	8~26

* 리니어모터는 DF=20%정도로 간헐운전시 기동추력, 회전형유도기는 연속정격운전시의 추진력. 표에서 L은 리터이다.

가. 효율화 정도를 파악하는 추진력/입력의 비교

그림 4는 정격용량 160~2,800 [kW]급의 3상 유도형 리니어모터와 회전형 유도 모터의 추진력/입력을 조사한 것이다. 회전형모터의 경우 정격용량이 커짐에 따라 감소하는 경향을 보이며, 그 값은 정격연속운전의 경우로 정격용량의 크기에 무관하게 8~45 [N/kVA]의 일정한 크기의 범위에 있음을 알 수 있다.

이에 비해 리니어 모터의 경우는 DF=20%의 기동추력으로 간헐운전의 경우이므로 불리한 입장임에도 불구하고 그 특성은 30~130 [N/kVA]의 범위가 되어 매우 크므로 리니어모터가 효율적인 것을 알 수가 있다.

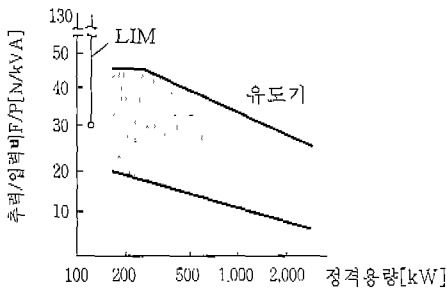


그림 4 3상 유도전동기와 리니어유도모터의 추력/입력비의 비교

나. 경량화 정도를 파악하는 추진력/질량의 비교

그림 5에서 회전형 모터의 경우 정격연속운전의 경우로 정격용량에 무관하게 추진력/질량의 비가

5~14 [N/kg]의 범위에 있음을 보인다. 반면에 리니어모터는 정격용량의 크기에 무관하게 2~30 [N/kg]의 넓은 범위에 걸쳐있음을 보인다.

물론 이 경우에도 리니어 모터의 경우는 DF=20%정도의 간헐 운전의 경우로 기동추력을 조사한 것이다.

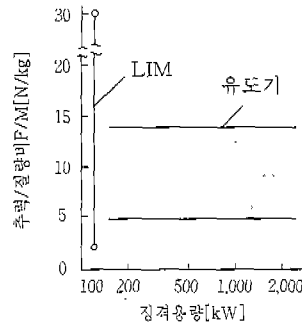


그림 5 3상 유도전동기와 리니어 유도 모터의 추력/질량비 비교

다. 소형화 정도를 파악하는 추진력/체적의 비교

그림 6의 추진력/체적은 연속정격운전을 하는 회전형 모터의 경우로 정격 500kW정도에서 최대가 되기는 하지만 그 값은 8~26 [N/L]이다. 여기서 L은 리터이다.

리니어 모터의 경우는 그 비가 20~90 [N/L]의 범위 내에 있으므로 매우 높아 소형화가 됨을 알 수 있다.

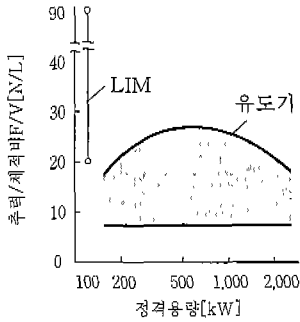


그림 6 3상 유도전동기와 리니어유도모터의 추력/체적비의 비교

4) 특성비교검토

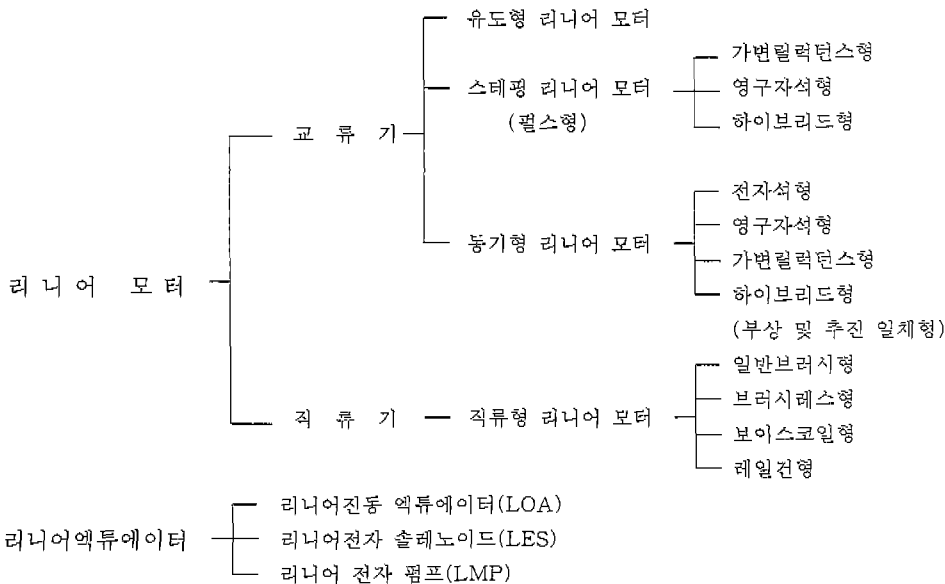
리니어 모터와 회전형 모터 각각으로 차량을 추

진하는 경우의 추진력 특성을 요약 정리한 것이 표 2이다. 이 비교결과 리니어모터의 특성값의 상한값이 어느 경우이건 회전형 모터에 비하여 높음을 볼 수가 있다. 따라서 리니어 모터로 차량을 추진하는 경우, 회전형 모터로의 추진에 비하여 효율화, 경량화, 소형화에서 크게 유리함을 볼 수가 있다.

3. 리니어 모터의 종류에 따른 구조와 특징

3.1 구분과 종류

리니어 모터는 그림 7에서와 같이 일반 회전형 모터를 펼쳐 놓은 형태이다. 따라서 그 원리적인 종류의 분류는 회전형의 경우와 거의 유사하게 되는데 이를 요약하면 그림 3과 같다.



- * 참고 : LIM : Linear Induction Motor(유도형)
- LDM: Linear DC Motor(직류형)
- LSM: Linear synchronous motor(동기형)
- LSHM: Linear Synchronous(Homopolar & Heteropolar) Motor(동기형)
- LSRM: Linear Synchronous Reluctance Motor(동기릴럭턴스형)
- LOA: Linear Oscillating Actuator(왕복운동 액츄에이터)
- LPM: Linear Pulse Motor
- DLM: Double Sided Induction Motor(유도형 양측식)
- SLIM: Single Sided Induction Motor(유도형 편측식)

그림 7 리니어 모터의 분류 및 종류

표 3 리니어 모터의 지지기구의 종류와 응용 예

지 지 기 구	방 식	기 종	응 용 예
기 계 식	롤 러 롤 러 리니어 슬라이드	LPM LIM LOA	전자프린터(일) 등 팔렛반송(일, 독) 등
공 기 식	정압슬라이더	LPM LIM LDM LSM	자동제도기 (미) 클린룸 반송(일) 공작물 운반(독)
자기부상식	흡인제어 초전도 반발	LSM LIM LDM	자기부상열차, 자기베어링 등

3.2 지지기구의 종류와 응용 예

회전형모터에서는 회전자와 가동자사이의 공극을 베어링으로 지지하고 있다. 마찬가지로 리니어 모터에서도 가동자와 고정자의 간격을 일정크기의 공극으로 지지하기 위한 시스템이 반드시 필요하다. 회전형 모터의 경우 베어링에 의하여 모터의 특성이 결정되는 바와 같이 리니어모터의 경우에도 리니어 모터 자체가 우수한 특성을 가진다 하더라도 지지특성이 나쁘면 제어성, 신뢰성, 가격 등의 경제상에서 결정적으로 불리해지게 되므로 지지방법은 매우 중요하다. 현재 일반적으로 채용되고 있는 방법은 롤러 등을 쓰는 기계식, 공기식, 자기부상방식 등이 있다. 이를 요약하여 나타낸 것이 표 3이다.

3.3 종류별 원리 및 특성, 응용

3.3.1 유도형 리니어 모터(LIM: linear induction motor)

(1) 원 리

유도형 리니어 모터의 원리는 근본적으로 일반 회전형 유도전동기와 같다. 그러나 축을 중심으로 절단하여 펼쳐 놓은 형태로, 길이방향으로 입구단과 출구단의 end가 있는 점이 다르다. 1차측에 의하여 시간적, 공간적으로 이동하는 자속이 발생하여 공극을 가로질러 2차측에 도착하게 되면 변압기 기전력과 운동기전력이 발생하여 도체판에 과전류를 발생하여 분포하게 되는데, 이 와전류와 공

극자속이 로렌츠의 힘방정식으로 표현되는 상호작용에 의하여 1차와 2차측간에 서로 미는 힘인 추력을 발생하게 된다.

(2) 특 성

리니어 모터의 주요 특성은 공극자속밀도, 와전류, 추력이 된다. 이들 특성은 리니어모터에서만 있게 되는 단부/모서리효과(end/edge effect)에 의하여 그 분포가 정현적분포에서 심하게 왜형되며, 공극도 커서 기자력이 크게 소모되는 등의 이유로 회전형의 경우와는 다른 경향을 보이는데 이들이 응용에 큰 영향을 준다.

(3) 분 류

○ 평 판 형 : 1차측과 2차측이 평판형으로 된 LIM을 말한다. 또한 1차측이 2차측의 양측에 있는 경우를 양측식(double sided) LIM, 한쪽에만 있는 경우를 편측식(single sided) LIM으로 다시 분류된다. 또한 2차측이 가동되는 短2차방식(short secondary type), 1차측이 가동되는 短1차방식(short primary type) LIM으로 분류도 되고, 한편 2차측의 재질에 따라 동이나 알루미늄, 강판으로만 구성되는 경우와 철로 된 back iron과 알루미늄이나 동판으로 된 2층 구조로 된 LIM이 있다. 물론 각 경우의 리니어 모터의 특성은 매우 다르며 응용시에는 이를 고려해야만 한다.

○ 원통형: 평판형 리니어 모터를 길이방향을

축으로하여 평방향으로 말아 원통형으로 한 형태이다.

(4) 유도형 리니어 모터(LIM)의 최신 응용예

- 편축식: pallet반송장치(日), 대형편기(英 : 110rpm, 4m/s), 고속수조(美 : 900m, 180km/h), screw 프레스(소련, 일본), 사격표적이동장치(英), 공항과 역간의 수송차량(英 : 900m, 30km/h, 49인), 고속분쇄장치(日)
- 양축식: 자동문개폐장치(소련 : 40N, 2m, 3s), 2차축 파라미터의 실측(日), 콘베어장치의 cost계산(소련), X-Y테이블(日)
- 원통형: 위치결정장치(미국 : 0.25 μ m, 공기부상)

3.3.2 직류형 리니어 모터(LDM: linear direct current motor)

(1) 원 리

구동원리는 플레밍의 왼손법칙을 기본으로 한다. 즉 평판형의 영구자석이 같은 N극(혹은 S극)이 서로 향하는 구조로된 계자사이에 있는 전기자 코일에 전류가 흐르면, 플레밍의 왼손법칙

$$F = I \times B$$

(F: 힘[N], I: 전류[A], B: 자속밀도[wb/m²])에 의해 두 코일면에는 같은 방향으로의 힘이 발생한다. 이때 계자가 양쪽에 있으면 양축식, 한쪽에만 있으면 편축식이 된다.

(2) 특 징

직류형 리니어 모터의 장점으로는 구조가 간단하고 추력/질량의 비가 크며, 고속동작이 가능하고 서보성이 좋은점 등이다. 반면에 단점으로는 모우터 자체적으로 위치결정 기능이 없어 반드시 위치결정센서, 속도센서와 결합하여 응용을 해야 하는데, 이 경우 높은 정도의 위치결정, 속도제어가 가능하다. 따라서 LDM의 경우는 추력특성 뿐 아니라 제어시스템의 고려가 매우 중요하다. 다음과 같은 직류형 리니어모터의 우수한 특성에 의해 FDD, CD, 각종 로봇, 레코드, 광학기기 등에서의 응용이 되고 있다. 즉 LDM은 아래와 같은 특징이 있다.

- 1) 위치결정 정도가 좋다.
- 2) 고속 및 저속으로의 왕복운동이 가능하다.
- 3) 간결 직선운동이 가능하다.
- 4) 소변위(小變位) 왕복운동이 가능하다.
- 5) 제어는 위치검출기에 의하지만 용이하다.
- 6) 지지기구는 비교적 간단하다.
- 7) 가동자의 구조를 간단히 할 수 있다.
- 8) 수직운전이 곤란하다.
- 9) 비교적 저렴하다.

(3) 분 류

코일이 감긴 전기자가 가동되는 경우는 전기자 가동형 리니어 직류모터(moving armature type LDM), 전기자가 없이 코일만 가동되는 경우는 코일가동형 리니어 직류모터(moving coil type LDM), 또한 계자자석과 전기자코일의 위치를 서로 바꿔, 전기자코일이 고정이고 계자자석이 가동되게 하면 자석가동형 리니어 직류모터(moving magnet type LDM)으로 분류된다.

(4) 응용 및 전망

1) 종류에 따른 직류형 리니어모터(LDM)의 최신 응용예

- 각 형: 직교좌표형 로봇(日 : X-Y축용, 1-8 μ m), 리코더(英 : 120mm)
- 환 형: 결함검출용 센서추종장치(일 : 20N), 3차형 궤환제어(日 : 1 μ m), 광디스크용 focusing(日), 플로피(日: 높이 30mm이하), 자기디스크(日)
- 특수형: 전자 launcher(美 : 20km/s, 10KN), 선박추진용 리니어 초전동기(英 : 3T, 200rpm), 초전도선(日 : 15N, 0.6m/s, 45T), 결정구조 해석용 레일건(日 : 15km/s)

2) 각 국가별로의 응용개발현황

- 미 국: Hewlett-Packard사에서 대용량의 디스크 구동장치로 보이스 코일형을 응용개발하고 있으며, IBM에서는 자기헤드 구동용 보이스 코일형 모터를 개발하고 있다.
- 유 럽: 영국은 1976년 Foster Cambridge社에서 일찌기 스캔 100mm의 기록계를 개발하

여 시판하고 있다. 서독에서는 자기회로나 급전방식에 관한 연구가 되고 있고, 프랑스는 자석가동형이 개발되어 Koll-morgan社에 의해 시판 될 단계이다.

- 소련, 중국 등: 새로운 형의 LDM이 개발되어 특허를 획득한 경우가 있고, 중국에서는 중국과학원이 중심이 되어 코일가동형의 LDM을 개발하였으며, 보이스코일형 LDM의 연구도 하고 있다.

3.3.3 동기형 리니어 모터(LSM: linear synchronous motor)

(1) 원 리

동기형 리니어 모터는 회전형 동기모터를 축방향으로 잘라펼친 형태이므로 회전형 동기모터의 구동원리가 동일하다. 즉 계자와 전기자로 구성되며 구성방법에 따라 종류가 달라진다.

(2) 분 류

앞에서 언급한 바와 같이 동기형 리니어 모터(LSM)은 철심에 코일을 감은 전자석형, 공심코일을 초전도상태에서 이용하는 초전도 코일형, 영구자석을 이용하는 영구자석형이 있고, 유도자형 LSM도 있다.

(3) 응 용

현재 LSM은 초고속열차의 구동시스템으로 독일등에서 응용개발이 되고 있으며, 일반 산업용으로는 반송장치정도로 개발되고 있으나 유도자형 LSM은 VR형 LPM과 거의 같으므로 앞으로 산업용으로서의 역할이 커질 전망이다.

3.3.4 리니어 펄스모터(linear pulse motor(LPM), 또는 linear stepping motor)

(1) 원 리

회전형 스텝모터의 경우와 마찬가지로 디지털 제어기에 의해 공급되는 매 입력전류 펄스신호에 대해 1스텝씩 직선운동을 하는 모터이므로 일명 리니어 펄스모터라고도 한다. 즉 리니어 스텝모터(Linear Stepping motor)는 약칭으로 LSM으로 되

어 동기형 리니어 모터와 동일하여 구별하기가 곤란하다. 따라서 이를 리니어 펄스모터(Linear pulse motor)로 하면 약칭을 LPM으로 할 수 있어 구분이 되므로 일반적인 명칭이 되고 있다.

리니어 펄스모터는 입력전류 펄스신호에 따라 변위되기 때문에 반드시齒와 홈이 있어야만 한다. 추력발생은 두齒사이의 퍼미언스가 변화하기 때문인 것으로 해석할 수도 있다. 따라서 LPM의 여자전류와 영구자석에 의한 추력특성의 해석은齒사이의 퍼미언스의 정확한 계산이 기본이 된다.

따라서 리니어 펄스모터가 추력을 얻기 위해서는 자기회로의 구성방법, 기하학적 형상, 여자방식을 적절히 해야 하는데 그 방식은 다양하다.

(2) 특 징

리니어 펄스모터는 그 종류에 따라 특성도 다양한데, 일반적으로 알려진 특성중에서 다른 모터의 특성과 비교하여 장점과 문제점 등을 분석하면 아래와 같다.

■ 장 점

- 1) 스스로의 위치 결정기능이 있기 때문에 페루프 시스템이 없이도 위치는 물론 속도, 가속도의 정확한 검지가 가능하므로 제어가 쉽다. 위치결정 정도는 미니스텝구동과 다상구동방식에 의해 영향을 받는다.
- 2) 직선운동계에서 구동와이어, 기어, 캠 등이 필요없으므로 구조가 간단하다.
- 3) DC모터와 같은 브러시가 없어서 수명이 길며 보수가 불필요하다.
- 4) 모터 자체가 직선왕복운동이 가능하다.

■ 문제점

- 1) 자기회로의 포화로 인한 추력의 한계가 불확실하다.
- 2) 코일선의 발열
- 3) 여자방식, 구동회로를 포함한 시스템전체의 특성의 명확화
- 4) 일시정지시의 추력의 적절한 값의 설정
- 5) 지지기구의 개량

표 4 리니어 펄스모터의 분류

항 목	분 류	항 목	분 류
자기회로구성	PM 형 VR 형	가 동 부	1차축 2차축
자기회로 상수	2상 3상 4상 5상 등	여 자 방 식	unipolar bipolar 정전압, 정전류 1상 2상 1.2상
齒의 재질	영구자석, 연철	권 선 방 법	유니파일터 감기 바이파일터 감기
혼의 형상	각형, 둥근모양	캡지 방 식	롤러지지, 자기 공기지지
형 상	평판형(편축식, 양축식) 원통형		

(3) 분 류

1966년 슈페리어회사(Superior Electric Co.)의 매드슨(Madsen)에 의해 PM형의 LPM이 개발되었으며, 4개월후 같은 회사의 후레데릭슨(Fredrickson)에 의해 VR형의 LPM의 개발이 완료되었다. 또 1968년 소이어(Sawyer)에 의해 3상 VR형 LPM을 사용한 공기부상식의 모터를 개발하여 이후 자동제도에 응용되었다.

일반적으로 리니어 펄스모터의 종류는 자기회로의 구성, 기하학적 형상, 여자방식등에 따라 추력 특성의 발생이 달라지게 되는데 이를 표로 분류하면 표 4와 같다.

(4) 리니어 펄스모터(LPM)의 최신 응용 예

고정도의 자기위치 결정능력 등 자동화 구동요소로서의 여러가지 유리한 특성상의 이점에 의해 세계적으로 많은 분야에서 응용개발이 이루어지고 있는 바, 이를 평판형, 원통형 등의 구조상의 종류와, 각 국가에서의 개발현황 및 분야의 예를 아래에서 소개하기로 한다. 즉

- 평판형: 프린터(日 :250mm), 스폿 용접로봇(소련 :X-Y축용, 1000mm, ±0.2mm), pallet 반송방식(일 :스텝 1mm, 46N, VR형), micro stepping (美 :고응답), 스폿 용접시스템(美 : X-Y축용, VR형, 센서부착), 결함검출장치

(300N, 18m, 스텝 1mm, 30Hz), 집합형 LPM(日 :스텝 0.4mm, ±30μm), 생산공정간 반송장치(日)

- 원통형: 혈액순환기(소련 :제어계), 인공심장용 액츄에이터(日, 미)

3.3.5 리니어 진동(왕복운동)액츄에이터(LOA: linear oscillator actuator)

(1) 원 리

정현파 또는 직사각형 펄스전압파를 교대로 공급하여 가동체에 임의의 직선적인 스트로크를 반복하여 왕복운동을 시키는 구동장치를 말한다.

고정자 코일에 직류전류가 흐르면 고정자철심이 자화되어 전자석이 된다. 그러면 철심으로 이루어져 베어링으로 공극을 지지하고 있는 가동자는 자화되어 흡인력에 의해 이동하게 된다. 다시 다음 순간 고정자의 전류방향을 바꾸어 주면 가동자에 작용하는 흡인력의 작용방향은 바뀌며 반대방향으로 가동자가 움직인다.

이렇게 고정자의 여자전류방향을 교대로 계속 바꾸어 주면 가동자는 왕복운동을 계속하게 된다. 이것은 리니어 진동모우터의 일반적인 구동원리가 된다.

단지 철심이나 코일로 이루어지는 가동자의 종류에 따라 분류된다.

표 5 리니어 진동액츄에이터(LOA)

항 목	코일가동형	철심가동형	영구자석 가동형
가동체	코일(도체)	철심(강자성체)	영구자석(페라이트, 희토류 등)
전자력	전류력	자기력	자기력
관성	작다	크다	크다
응용	전자기기, 자기 헤드위치 결정 장치	펌프, 가진기 에어콤프레사	자극센서

(2) 분류

리니어 진동 액츄에이터(LOA)에는 현재까지 코일가동형, 철심가동형 및 영구자석가동형으로 대별되며, LIM을 이용한 액츄에이터를 구성할 수도 있다(표 5).

1) 코일가동형 LOA

리니어 직류모터(LDM)라고 볼 수 있으며, 세계적으로는 보이스코일형 모터, 소음계, 자기헤드 위치결정장치, 동전형 진동발생기(일 :20KN), 2방향 수중진동기(日 :2KN), 소형 저온냉동기(美 :10K)등에 응용개발되고 있다.

2) 영구자석 가동형 LOA

가동체인 자석에 에너지가 축적되어 있기 때문

에 에너지 절약형이 되며 진동기, 인공위성용 냉동기의 스텔링 사이클 냉동기(미), 리니어 진동발전기, 에어콤프레사(日 :50W), 소형교반기(日 :20Hz, 30N, 20mm, 25W) 등에 응용개발되고 있다.

3) 철심가동형 LOA

평판형과 원통형으로 구성할 수 있으며 펌프, 인공심장용 휴대용 공기압 구동장치, 광학용 전자셔터, 액체분리 추출기, 자기베어링을 이용한 극저온 냉동기와 선박의 초전도 전기추진용 헬륨 냉동기등의 액츄에이터(미), 전기 해머, 選炭用장치(체코 :2KN, 16mm, 20Hz, 1kW, 70%), 심폐보조펌프(美 :80 ppm, 희토류자석), 에어 콤프레셔(日, 美, 볼, 체코) 등에서의 응용개발이 되고 있다.

● 다음호에 계속 됩니다

