



리니어 모터 기술

장 석 명*

(*충남대 공대 전기공학과 교수)

1. 서 론

리니어모터는 18세기 중반에 발명되어 초기에는 섬유공업에서의 방직기 복으로 개발되어 사용되었다. 그 후 1946년 미국 웨스팅하우스에서 리니어모터를 이용하여 항공모함에서의 비행기 이·착륙 보조장치인 electropult를 개발한 이후부터 여러 분야에의 응용이 확산되기 시작하였다. 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, 리니어모터카 등의 수송기관과 OA, HA, FA 기기 등 각종 자동화 시스템분야의 핵심구동장치로 응용개발이 날로 확대되고 있다.

아래와 같이 리니어모터에 관한 전반적인 참고사항을 소개하여 특집내용 전체의 이해를 돕고자 한다. 즉 리니어모터의 일반적인 개론으로

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

2. 리니어모터의 구동원리 및 개요

리니어모터는 그림 1과 같이 일반 회전형 모터를 축방향으로 잘라서 펼쳐 놓은 형태이다. 즉 기존의 일반 모터가 회전형의 운동력을 발생시키는 것에 비해 직선방향으로 미는 힘인 추력을 발생시키는 점이 다르며 그 구동원리는 근본적으로 같다고 볼 수 있다. 그림.1에서 (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.

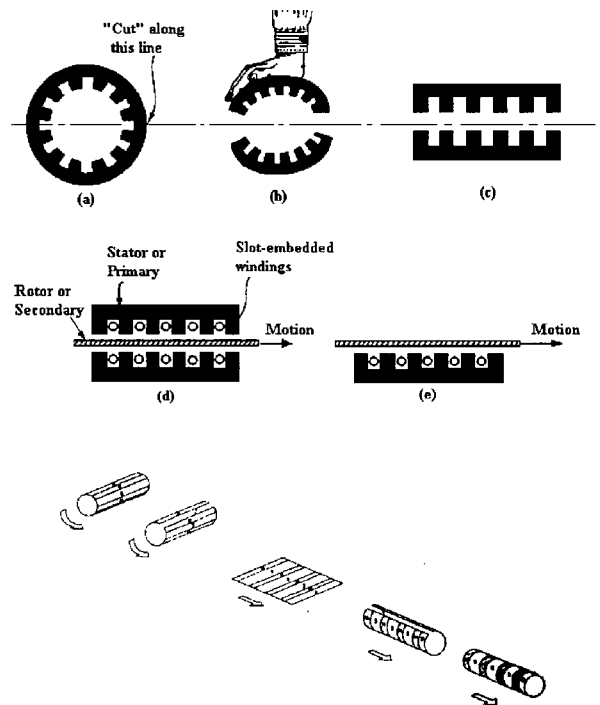


그림 1. 리니어 모터의 개념도 및 원리

회전형 모터는 회전방향으로 무한연속운동을 하지만 리니어모터는 구조적으로 길이가 유한하여 단부가 존재하므로 end effect가 있게 된다. 또한 공극이 커서 공극의 자속분포, 추력특성등에 있어서 영향을 크게 받아 單機로는 효율이 좋지 못하다. 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 발생시키고자 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 않다. 따라서 구조가 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. 그러므로 오늘날에는 육상운송계통에서의 자기부상열차나, 대규모의 공장이나 산업시설에서의 컨베이어시스템, 승강기, 크레인, 자동문 등 광범한 분야에서 산업시스템에 필수적인 직선형 구동장치로 응용·개발되고 있다. 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.

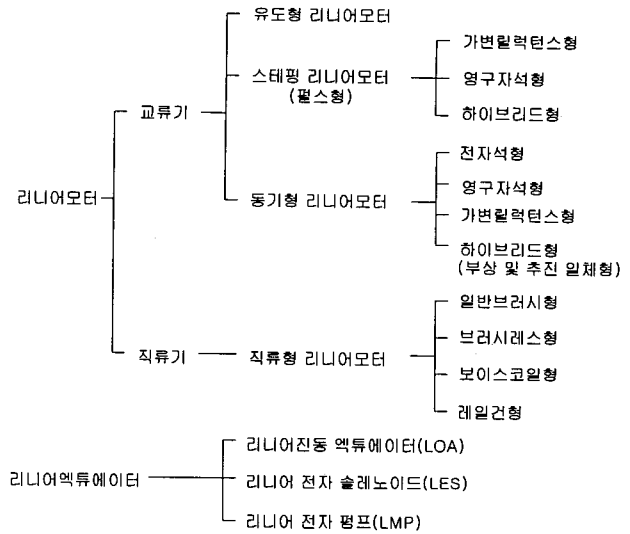


그림 3. 리니어모터의 분류 및 종류

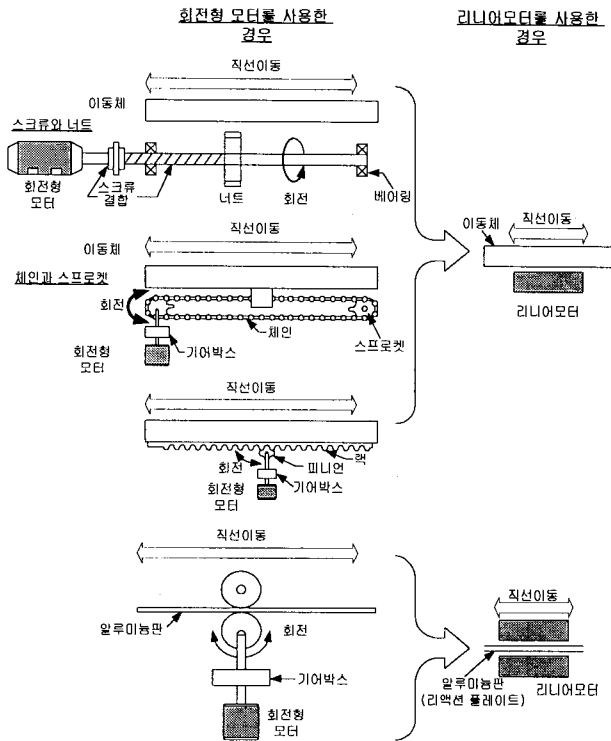


그림 2. 회전형과 리니어모터에 의한 직선구동력 발생비교 (회전형모터로 직선운동을 시키는 경우 복잡한 기계적 변환장치가 필요하나 리니어모터의 경우는 매우 간결하므로 장점이 크다)

3 종류에 따른 구조와 특징

3.1 리니어모터의 구분과 종류

리니어모터는 그림 1에서와 같이 일반 회전형 모터를 펼쳐 놓은 형태이다. 따라서 그 원리적인 종류의 분류는 회전형의 경우와 거의 유사하게 되는 데 이를 요약하면 그림 3과 같다.

3.2 리니어모터 지지기구의 종류와 응용 예

각종 리니어모터를 구동시스템에 응용하는 경우 가동자와 고정자의 간격을 일정크기의 공극으로 지지하기 위한 시스템이 반드시 필요하다. 리니어모터가 우수한 특성을 가진다 하더라도 지지특성이 나쁘면 제어성, 신뢰성, 가격 등의 경제성에서 결정적으로 불리해지게 되므로 지지방법은 매우 중요하다. 현재 일반적으로 채용되고 있는 방법은 롤러 등을 쓰는 기계식, 공기식, 자기부상방식등이 있다. 이를 요약하여 나타낸 것이 표 1이다.

표 2. 리니어모터의 지지기구의 종류와 응용 예

지지기구	방식	기종	응용예
기계식	롤러	LPM	전자프린터(일) 등 팔렛반송(일,독) 등
	롤러	LIM	
	리니어 슬라이드	LOA	
공기식	정압슬라이더	LPM	자동제도기 (미) 클린룸 반송(일) 공작물 운반(독)
		LIM	
자기부상식	흡인제어 초전도 반발	LSM	자기부상열차, 자기베어링 등

4. 리니어모터의 응용 및 전망

4.1 리니어모터 응용

로봇을 포함한 FA, OA, HA, 정보 단말기 등의 구동력 발생장치로 리니어모터의 응용이 활발해지고 있다. 이는 제품의 소형, 경량화, 특성개선 등의 관점에서, 각종 메카트로닉스기술에 대한 수요가 크게 변화하여 회전형이 반드시 유리하지 않다는 판단이기 때문이다. 즉 각 분야에서 구동력발생 장치로 응용하는 경우에 요구되는 사항들은 아래와 같다.

- 1) 구조가 간단하고 소형, 경량화가 가능해야 한다.
- 2) 유지보수가 간단해야 한다.
- 3) 출력이 크고 부하에 대한 특성값의 변동이 적어야 한다.
- 4) 응답성이 좋고 신뢰성이 커야 한다.
- 5) 위치결정제어가 가능하며, 또한 제어회로가 간단해야 한다.
- 6) 정역운전 또는 왕복운전에 위치의 엇갈림이 없어야 한다.
- 7) 가격이 저렴해야 한다.

한편 리니어모터가 구동시스템에서 응용되는 경우 회전형 모터에 비해 매우 유리한 이점을 갖는데, 단점과 함께 이를 요약하면 아래와 같다.

- 1) 공극을 사이로 하여 가동부와 고정부가 비접촉식 구동을 하므로 마찰이 없으며, 소음도 없다.
- 2) 추진력을 직접 발생하므로 기어, 벨트, 체인등 기계적인 변환장치가 필요없다.
 - 가) 변환장치에서의 마찰, 소음, 마모가 없다.
 - 나) 시스템의 구조가 간단하며, 중량이 가벼워 에너지 소모가 적으며, 신뢰성이 높다.
 - 다) 보수점검, 유지관리가 크게 필요하지 않다.
 - 라) 큰 가속도 도로의 운전이 가능하다.
 - 마) 원심력에 의한 가속제한이 없으며 초고속 운전이 가능하다.
- 3) 가동부와 고정부사이의 공극을 일정하게 유지하기 위한 영구자석, 전자석, 리니어 베어링 또는 소형마퀴 등의 지지기구가 필요하다.
- 4) 單機로서는 회전형에 비해 공극이 크므로 역률, 효율이 낮으나 시스템의 종합효율은 양호하기 때문에, 시스템을 고성능화 시킨다.

그런데 리니어모터 자체가 구조가 간단하여 소형, 경량이 가능할 뿐 아니라 비접촉 상태에서의 직접구동이 가능하므로, 특성의 정년변화가 적고, 보수성, 신뢰성이 매우 우수하다. 따라서 장차 자동화기술이 향상됨에 따라 모터의 변화, 개조나 신원리 모터의 등장이 급격히 많아 질 것으로 예상되는데, 이에 따라 점점 리니어모터의 제품에의 응용은 매우 활발해질 것이다. 그림 4는 리니어모터의 응용분야를 분류한 자료이다.

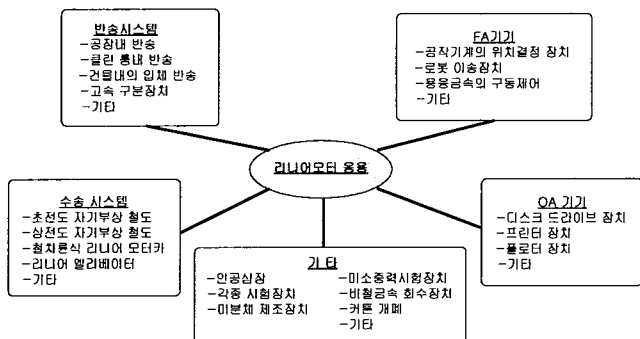


그림 4. 리니어모터의 응용분야 분류도

일본전기학회의 경우는 리니어모터의 중요성을 일찌기 인식하고 1983년 6월부터 학회가 중심이 되어 리니어 액츄에이터 조사전문위원회를 구성하여 리니어모터의 해석기법, 최적구성, 응용기술, 설계기술 및 특성평가는 물론 리니어모터나 자기부상장치 등의 분야에 관한 집중적인 조사활동을 하여 큰 성과를 거둔 바 있다. 이 위원회에서 현재 연구되고있는 종류별 연구동향을 조사 발표한 자료를 분석하여 보면 LIM, LDM, LPM이 리니어모터의 주종을 이루고 있는데, 이는 일본 산업계는 물론 우리나라 국내외의 향후 동향을 분석할 수 있는 좋은 참고 자료가 될 수 있을 것으로 판단된다.

그림 5로부터 LIM이 20.8%, 측정법, 센서 특성값에 관한 분야가 19.9%, LPM이 15.9%, 자기부상 및 자기 베어링에 관한 분야가 13.6%, LDM이 7.5%가 됨을 볼 수 있다. 자기부상에 관련된 기술도 초고속열차에의 응용에서 그치지 않고 소형 서보시스템 분야까지도 활발히 응용 개발될 전망이다. 일본 전기학회에서는 이 분야의 기술개발 및 응용을 위한 조사 위원회를 아래와 같이 1980년 이래 10년간 계속 3차례에 걸쳐 구성하여 연속활동을 하였던 바, 우리나라에서도 이를 참고할 필요가 있을 것 같아 소개하면 아래와 같다.

- 1) 1980년 6월~1983년 5월 : 자기액츄에이터 조사전문위원회(위원 26명)
- 2) 1983년 6월~1986년 5월 : 리니어 자기액츄에이터 조사전문위원회(28명)
- 3) 1986년 6월~1989년 3월 : 리니어 자기구동시스템 조사전문위원회(30명)

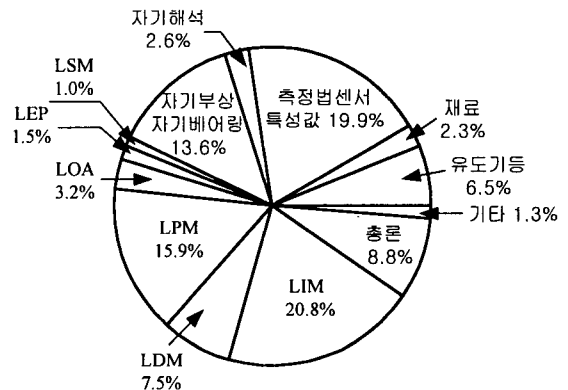


그림 5. 일본전기학회 리니어액츄에이터 조사전문위원회가 일본에서의 연구동향을 분석한 종류별 연구분포도

4.2 리니어모터 기술체계

리니어모터 기술은 그림 6과 같이 리니어모터의 설계, 해석, 제작기술, 재료기술, 전력전자기술, 계측제어기술로 분류된다. 따라서 시스템의 대출력화, 컴팩트화를 통한 고성능, 고정도화를 실현 할 수가 있다.

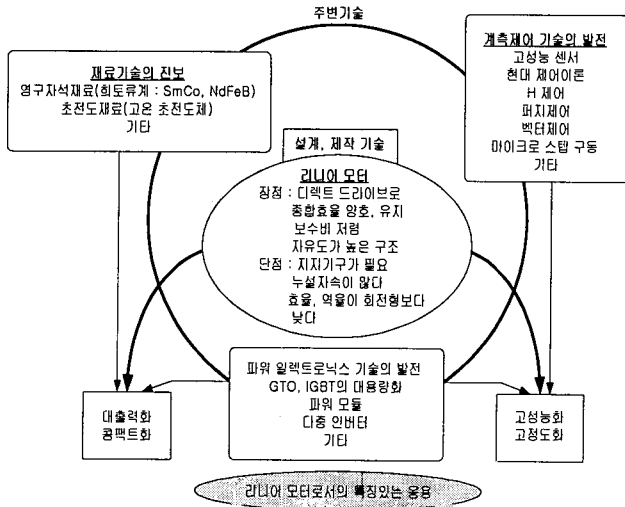


그림 6. 리니어모터 기술의 체계도

4.3 리니어모터의 응용에 따른機種선정을 위한 예

리니어모터를 각종 자동화를 위한 기본 구동장치로 선정하는 경우, 다양한 종류로부터 선정을 하기 위한 조건은 아래와 같다. 즉 다음에 선정조건항목의 예를 유도형과 펄스형의 경우를 예로 소개한다.

1) 리니어모터의 선정조건 예

(a) 유도형 리니어모터의 경우;

- | | |
|----------|-----------|
| 가) 정격전압 | 나) 정격전류 |
| 다) 相 수 | 라) 주파수 |
| 마) 動 推 력 | 바) 최종주행속도 |
| 사) 靜 推 력 | 아) 스토르크 |
| 자) 停止精度 | 차) 부하시간을 |
| 카) 부하시간을 | 타) 寸 法 등 |

이외에도 여러가지가 있을 수 있다.

(b) 펄스형 리니어모터의 경우;

- | | |
|--------------|----------|
| 가) 정격전류 | 나) 스텝 량 |
| 다) 靜 推 력 | 라) 動 推 력 |
| 마) 최대 自起動주파수 | 사) 스토르크 |
| 아) 停止精度 | 자) 質量 |

다음의 그림 7과 그림 8은 리니어모터의 여러 특성을 고려하여 각 응용분야에 구동장치로서의, 리니어모터의 적합한 기종을 선정하기 위한 자료를 제시한 것이다. 즉 리니어모터에는 일반적으로 회전형 전동기에 대응하여 동기형, 유도형, 펄스형, 직류형 리니어모터가 있다. 그런데 각機種에 따라 특별한 성질이 있으므로 그에 따라 분류한 것이 아래의 두 그림이다.機種선정의 경우 추력-스토르크, 추력-동작속도 특성을 주로 고려하게 된다.

2) 추력과 스토르크를 고려한 應用機種선정을 위한 자료

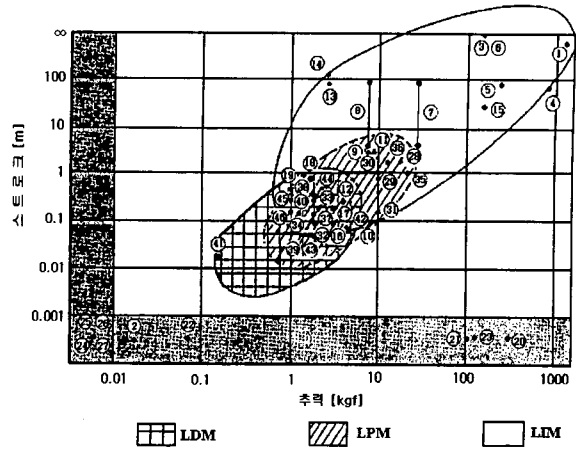


그림 7. 추력과 스트로크를 고려한 응용기종선정자료

1. 초고속철도 2. 레코드 플레이어 3. 고속철도 4. 자동차 가감속
5. 화차구분 6. 도시교통수송 7. 반송대차 8. pallet 반송장치 9. 形鋼, 강판의 반송장치 10. 진동 콘베어 11. 파이프feeder 12. 프레스feeder 13. 사격표적이동장치 14. 공항 수하물 15. 알미늄판 잡아늘리기장치 16. 고속실린더 17. 플레이어 18. 자동문 개폐장치 19. 절단기 20. screw 프레스 21. 권선감는장치 22. 회전광고압 23. 도체張力장치 24. 비철금속분리장치 25. 浴湯콘베어 26. 注湯機 27. stirler 28. 레이저빔 위치결정 29. 검인위치결정장치 30. X-Y 테이블 31. NC장치 32. marking 33. 자동配線機 34. 자동삽입장치 35. 자동제도시 36. 자동검색장치 37. 프린터 헤드이송장치 38. 그래프 플롯터 39. OCR헤드掃引 40. 팩시밀 41. 전자미싱 42. 자기헤드移送 43. miro fiche 44. 복사기 45. 펜 레코더 46. 지시기록계

3) 추력과 동작속도를 고려한 應用機種선정을 위한 자료

유도형 리니어모터(LIM)의 경우 중·대 추력, 중·고속도·장스트로크 기능을 요하는 경우, 직류형 리니어모터(LDM)는 小추력, 저속도·서보기능을 요하는 경우, 펄스형 리니어모터(LPM)는 小-中추력, 저속도·위치결정기능을 요하는 경우에 적합하다. 따라서 이를 고려하고 그림 8을 고려하여機種선정을 하면 된다.

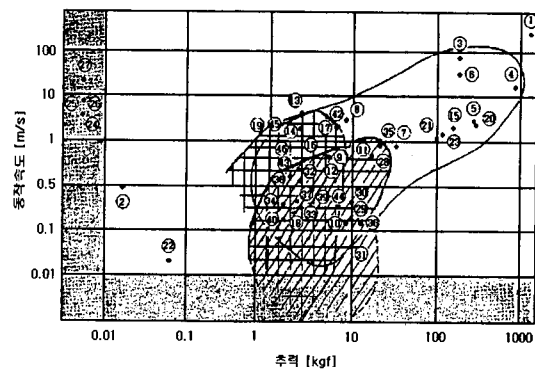


그림 8. 추력과 동작속도를 고려한 리니어모터의機種선정자료

- 1-2 : 동기형 리니어모터(LSM), 3-27 : 유도형 리니어모터(LIM), 28-40 : 펄스형 리니어모터(LPM), 41-46 : 직류형 리니어모터(LDM)

5. 결 론

리니어모터는 최근 수송기관, OA, HA, FA 등은 물론이고 다양하게 그 응용이 활발해지고 있다. 리니어모터의 구동원리 및 개요, 종류, 응용 및 기종 선정에 관한 자료 등 전반적인 참고사항을 소개하였다. 이 분야의 관련 연구개발자들에게 큰 도움이 되었으면 한다.

참고문헌

- [1] S. A. Nasar et al " Linear electric motors ; theory, design, and Practical Applications", Prentice-Hall, Inc, 1987.
- [2] "리니어모터 응용 핸드북" 일본공업조사회, 1988. 9.

- [3] 故 임달호박사 추모회 "전자에너지 변환기기의 해석과 응용", 한양대학교 출판원, 1987. 8



장석명(張錫明)

1949년 7월 3일생. 1976년 2월 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1978년 2월 동 대학원 졸업(석사). 1986년 2월 동 대학원 졸업(공학박사). 1978년-현재 충남대 공대 전기공학과 교수. 1990-1999년 현재 대한전기학회 평의원. 1999.1-현재 대한전기학회 편집이사 및 전기기기연구회 간사장