



유도형 리니어 모터

조 윤 현*, 손 영 대**

(*동아대 전기공학과 교수, **동서대 정보통신공학부 교수)

1. 구동원리 및 특성

리니어모터는 19세기 중반에 발명되어 초기에는 섬유공업에서 방적기의 북으로 개발되어 사용되다가 1946년 미국 웨스팅하우스에서 리니어모터를 이용하여 항공모함 등에서의 비행기 이착륙보조장치인 electropult를 개발한 이후부터 여러 분야에서 리니어모터의 응용이 시작되었다. 그러나, 이론을 통한 체계적이며 합리적인 연구는 1950년대에 들어서면서 영국의 Laithwaite 교수로부터 시작되어 현재까지 괄목할 만한 성과를 거두며 발전해 왔으며 자동화 시스템 분야 등에서 핵심 구동장치로의 응용개발이 날로 확대되고 있다.

리니어모터는 회전운동을 하는 일반 회전형 모터에 비해 직선 구동력을 직접 발생시키는 특유의 이점이 있으므로, 직선 구동력이 필요한 시스템에서 절대적으로 유리하다. 즉, 직선형의 구동시스템에서, 회전형 모터에 의해 직선 구동력을 발생시키려고 하는 경우 스크류, 체인, 기어시스템 등의 기계적인 에너지 변환장치가 반드시 필요하게 되는데, 이 때 마찰에 의한 에너지의 손실과 소음발생이 필연적으로 수반되므로 매우 불리하다. 그러나, 리니어모터를 응용하는 경우에는 직접 직선형의 구동력을 발생시키므로 기계적인 변환장치가 전혀 필요치 않아 복잡하지 않으면서도 에너지 손실이나 소음을 발생하지 않고 운전속도에서도 제한을 받지 않는 등 특유의 이점이 많다. 따라서, 회전형에 비해 계통의 효율적인 운전과 기능에 있어서 절대적으로 유리하다.

그러므로, 오늘날에는 육상운송계통에서의 자기부상열차나 리니어모터카, 대규모의 공장이나 산업시설에서의 컨베이어 시스템, 승강기, 크레인, 자동문 등 광범위한 분야에서 산업 시스템에 필수적인 직선형 구동장치로 응용·개발되고 있다. 한편, 오늘날 인간생활의 편리성 추구로 인하여 HA, OA, FA 등의 각 분야에서 자동화가 활발하게 진행되고 있는 바, 이 경우의 각종 서보시스템에서 직선형 구동장치로 리니어모터의 응용이 필수가 되고 있으며 장치 그 필요성은 더욱 커질 것이다.

1.1 구동원리

코일과 금속판 사이에 일정 거리를 두고 코일에 교류전류를 흘리면 렌즈의 법칙에서 알고 있듯이 오른나사의 법칙에 따라 자속이 발생되고 금속판의 표면에서는 이 자속에 의해 와전류가 흐르게 된다. 일반적으로 와전류는 유도전류라고도 하며 금속판의 표면을 환류하여 최종적으로는 열로 변한다. 유도형 리니어모터(Linear Induction Motor; LIM)는 시간과 함께 이동하는 자속, 즉 진행자계와 이 자속변화에 의한 와전류가 추력발생원이 된다. LIM은 그림 1과 같이 회전형 유도전동기의 고정자와 회전자를 중심축 방향으로 한부분을 절개하여 직선형태로 펼친 직선운동을 하는 모터를 말한다.

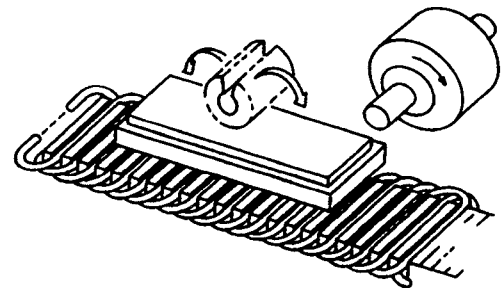


그림 1. 유도형 리니어모터의 원리

LIM은 일차측과 이차측으로 구성되고, 일차측은 회전형 유도전동기의 고정자에 상당하며, 철심과 권선으로 구성된다. 철심은 전기철판에 치와 슬롯 형태의 구멍을 내어 적층시키며, 슬롯에는 여러 겹의 권선을 감아 배치한다. 이 권선은 상권선이라고 하며 동일한 구조의 일정간격 즉, 공간적으로 일정 극간격(pole pitch)을 갖는 여러 개의 코일들로 구성된다. 이에 반해, 이차측은 회전형 유도전동기의 회전자에 상당하며 LIM의 형태에 따라 비자성도체인 알루미늄이나 구리 등의 단일 도체나 또는 강자성체와 조합시킨 복합 도체로 구성된다.

유도형 리니어모터의 구동원리는 근본적으로 일반 회전형

유도전동기와 같으며, 그림 1과 같이 회전형 유도기를 축방향으로 절단하여 펼쳐 놓은 형태로 길이방향으로 입구단과 출구단의 단부(end)가 있는 점이 다르다. 일차측에 의하여 시간적, 공간적으로 이동하는 자속이 발생하여 공극을 가로질러 이차측에 도착하게 되면 변압기 기전력과 속도기전력이 발생하여 도체판에 와전류가 발생되어 분포되는데, 이 와전류와 공극자속이 로렌츠의 힘방정식으로 표현되는 상호작용에 의하여 일차측과 이차측 간에 미는 힘인 추력을 발생하게 된다.

1.2 특성

LIM은 리니어 모터중에서도 비교적 속도 및 이송거리 등에 크게 제한받지 않으며 또한 제작상의 경제성이 높아 광범위하게 이용될수 있는 장점이 있다. LIM은 구조상으로 볼 때 다음 사항을 고려해야 한다. 그 첫째로는 LIM은 기계적 공극을 유지하기 위해 필연적으로 공극이 크므로 여자전류가 증가하게 되어 역률 및 효율이 저하된다. 둘째로는 LIM의 기계적인 구조에 의해 이동자계의 불연속으로 인한 단부효과가 존재하는데, 특히 속도가 증가함에 따라 그 영향이 커지게 되어 모터의 성능을 저하시킨다. 셋째로는 2차측 리액션 플레이트에 발생하는 횡방향 효과가 존재하여 등가적으로 이차측 저항이 증가하는 효과가 나타나서 추력, 역률, 효율이 나빠지게 되고, 전자적으로 불평형 원인이 발생할 때에는 횡방향 힘이 작용하는 원인이 되며, 이외에도 일차측 및 이차측의 상호작용에 의한 수직력이 흡인력으로 발생하는 경우 등가적으로 이동자의 하중이 증가하는 효과가 발생하게 된다.

리니어모터의 주요특성은 그림 2에서와 같이 공극자속밀도, 와전류, 추력이 된다. 이들 특성은 리니어모터에만 있는 단부/모서리 효과(end/edge effect)에 의하여 그 분포가 정현적 분포에서 심하게 왜형되며, 공극도 커서 기자력이 크게 소요되는 등의 이유로 회전형의 경우와는 다른 경향을 보이는데 이들이 응용에 큰 영향을 준다. LIM의 주요특성을 검토하면 아래와 같다.

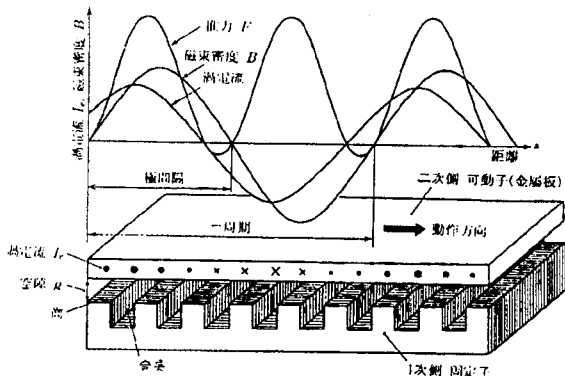
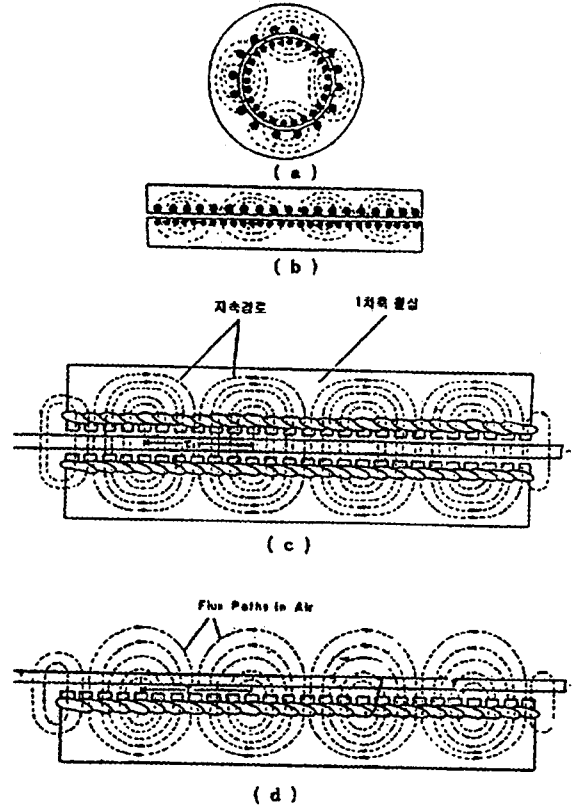


그림 2. 유도형 편축식 리니어모터의 자속밀도, 와전류, 추력 분포 특성



(a) 회전형 (b) 리니어모터 (c) 양측식 (d) 편축식
그림 3. 유도형 모터의 공극자속밀도

1.2.1 공극자속밀도

그림 3(a)는 4극 회전형모터의 공극자속분포이고 그림 3(b)는 4극 유도형 리니어모터의 자속분포를 나타내고 있다. 그러나 실제 공극자속의 분포는 그림 4와 같으며 단부효과(end effect)로 인하여 입구단(entry end)과 출구단(exit end)에서 심하게 왜형되어 불균일한 상태가 되므로 다음에서 설명하는 와전류와 추력의 발생에 결정적인 영향을 주게 된다.

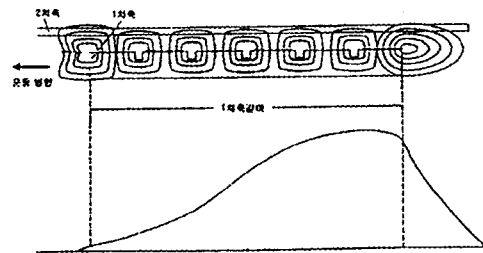


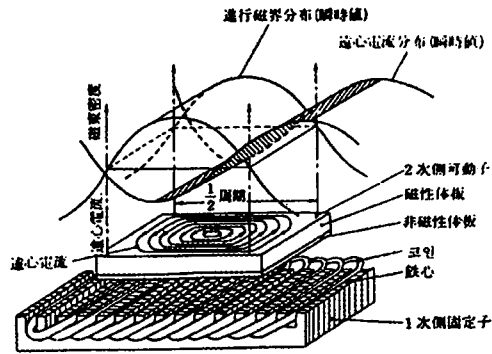
그림 4. 편축식 유도형 리니어모터에서의 실제 자속분포

1.2.2 와전류

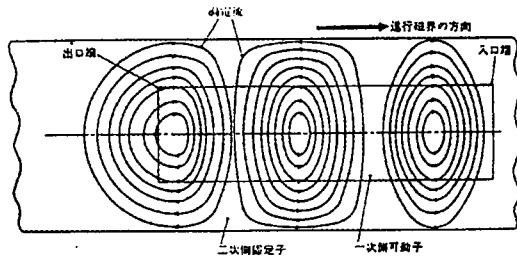
공극자속밀도가 공극을 건너 이차측에 도착하면 변압기 기전력과 운동기전력에 의하여 그림 5와 같은 2차측 도체판에 맴돌이형의 와전류를 유기시켜 분포시킨다. 그림 5(b)에서



단부효과로 인하여 리니어모터의 바깥에도 분포되고 있는 것을 볼 수 있다. 이것은 위 그림의 공극자속분포와 전적으로 관련되는 것으로 회전형에 비해 單機로서의 특성은 좋지 않아 불리하게 되는 원인이 된다.



(a) 실제모델에서의 분포



(b) 위에서 내려다본 경우의 분포

그림 5. 와전류 분포

1.2.3 추력 및 수직력

1.2.3.1 시동추력특성

시동추력(starting thrust)은 다음 식으로 정의되는 슬립 $s=1$ 일 때의 추력이다.

$$s = \frac{v_s - v}{v_s}$$

여기서, v 는 실제의 주행속도[m/s], $v_s=2\pi r$ 는 동기속도 [m/s]이다(단, r 는 극간격).

그림 6에 시동추력 측정방법의 일례를 보인다. 하중변환기를 사용한 경우이지만, 일차측 가동자에 일정한 전류를 흘린 상태에서 외력을 가하여 일차측 가동자의 이동방향과 반대 방향의 위치변위를 일으켰을 때 발생하는 추력을 측정한다. 일반적으로, 하중변환기에 의한 측정값에 마찰력을 더하여 나타낸다.

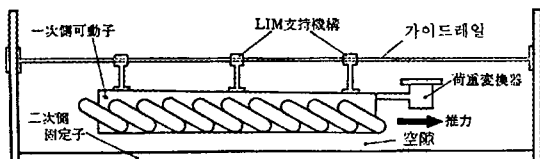


그림 6. 시동추력 측정장치

1.2.3.2 동추력특성

동추력(dynamic thrust)은 LIM이 움직이기 시작했을 때의 추력을 말한다. 정상운전시에 있어서의 측정방법은 리액션 플레이트라고 하는 회전원판의 회전축에 부하흡수용 발전기 등을 직결한다. 그림 7에 측정장치의 일례를 보이고, 그림 8은 그 동작범위이다.

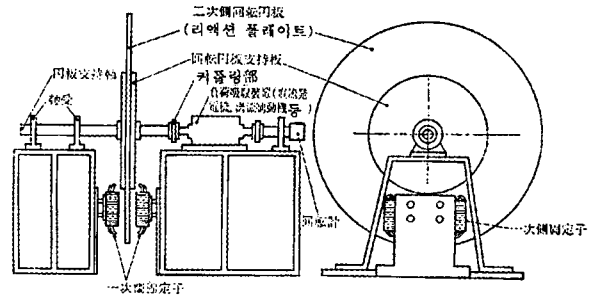


그림 7. LIM의 동추력 및 속도특성 측정장치

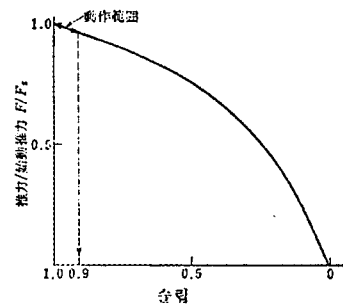


그림 8. 추력비와 슬립 특성

1.2.3.3 추력-속도특성

추력-속도특성은 LIM의 기본 특성의 하나이며, 일차측에 일정 전력을 공급하고 점점 부하를 증가시켰을 때의 추력과 슬립의 관계이다. 측정장치는 그림 7과 동일하다. 그림 9는 제어용 LIM과 고속용 LIM의 추력-속도특성을 비교한 일례이다. 고속용 LIM은 회전형 유도전동기와 마찬가지로 저슬립 영역에서 최대추력을 발생한다. 또한, 제어용 LIM은 $s=1$ 근방에서 최대추력이 얻어지며, 슬립이 작아짐에 따라 추력은 감소한다. 이러한 경향은 직선적인 수하성을 나타내며, 그 결과 제어하기 쉽다는 이점이 있다.

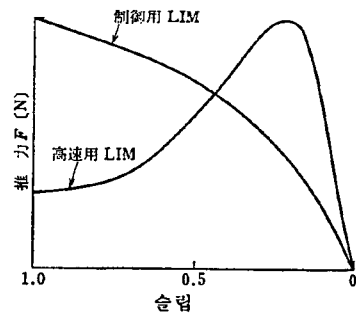


그림 9. 추력-슬립(속도) 특성 (제어용 LIM과 고속용 LIM의 비교예)

1.2.3.4 속도-시간특성

예를 들면, 반송장치의 추진원으로서 사용되는 LIM은 중속도에서 고속도의 장스트로크 기능이 요구된다. 그러므로, 최종속도에 도달할 때 까지의 속도의 시간적 변화, 즉, 속도-시간특성은 그림 10에 나타나 있듯이 지수함수적이다.

1.2.3.5 추력-공극특성

LIM은 회전기에 비해 공극이 크므로 역률이나 효율이 낮은 편이다. 공극을 작게 하면 LIM의 특성은 향상되지만, 일차측과 이차측의 지지기구에 한계가 있다. 그림 11은 LIM의 추력-공극특성이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 공극이 커짐에 따라 추력은 감소해 간다.

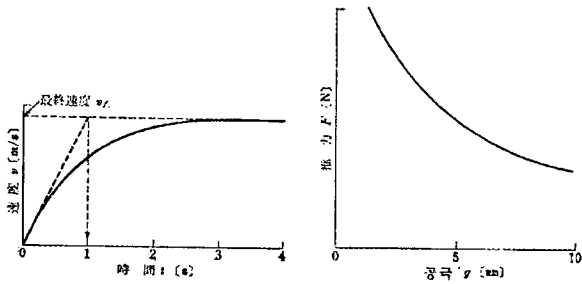
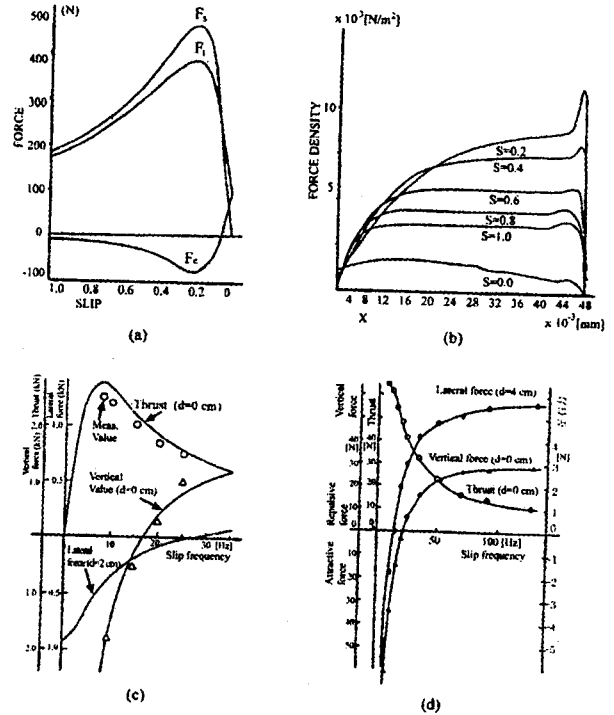


그림 10. 속도-시간특성

그림 11. 추력-공극특성



- (a) 슬립에 따른 추력(F_t :실체추력, F_s :단부효과가 없는이상적인 경우의 정상추력, F_e :단부효과에 의한 추력)
- (b) 1차측 길이방향으로의 슬립에 따른 추력 분포
- (c) 3차원력(저슬립주파수) (d) 3차원력(높은 슬립주파수)

그림 12. 유도형 리니어모터의 발생력 특성

1.2.3.6 추력-주파수특성

원통형 LIM 등과 같이, 구조상 스트로크가 길지 않은 경우 추력-속도특성을 측정하기가 곤란하다. 그러므로, 입력측의 주파수를 변화시켰을 때의 시동추력특성으로 부터, LIM이 가진 최대추력을 시동시에 발생시켜 추력에 수하성을 가지도록 하는 설계 파라미터를 결정할 수 있다. 이 특성을 일반적으로 추력-주파수특성이라고 한다.

그림 12는 LIM에서 발생하는 발생력 특성이며 이것은 앞에서 설명한 공극 자속밀도와 와전류가 로렌츠 힘방정식에 의해 발생하는 것이다. 즉, 그림 (a)에서 단부효과에 의한 힘은 반대방향으로 나타나 전체추력이 감소하는 등의 영향을 보이고 있으며, (b)에서는 단부효과에 의한 손실로 길이방향으로의 분포가 매우 불균일하며 슬립이 작을수록 그 정도가 심해짐을 볼 수 있다. 또한 (c), (d)는 리니어모터에서 발생하는 3차원력인 추력과 안내력, 수직력 특성을 슬립주파수가 작은 경우와 큰 경우를 그린 것이다.

1.2.4 분류

1.2.4.1 평판형(平板型) LIM

일차측과 이차측이 평판형으로 된 LIM을 말한다. 그리고, 일차측과 이차측이 양측에 있는 경우 양측식 LIM(Double-sided LIM:DLIM), 한쪽에만 있는 경우 편측식 LIM(Single-sided LIM:SLIM)으로 다시 분류된다. SLIM은 일차측과 이차측이 각각 한 개이지만, DLIM에서는 일차측은 이차측을 사이에 두고 대칭으로 배치된다. 또한, 이차측이 가동되는 단 이차방식(short secondary type), 일차측이 가동되는 단 일차방식

(short primary type) LIM으로 분류 된다. 한편, 그림 13과 같이 이차측의 재질에 따라 동이나 알루미늄, 강판으로만 구성되는 경우와 철로 된 Back iron과 알루미늄이나 동판으로 된 2층구조로 된 LIM이 있다. 물론 각 경우의 리니어모터의 특성은 매우 다르며 응용시에는 이를 고려해야만 한다.

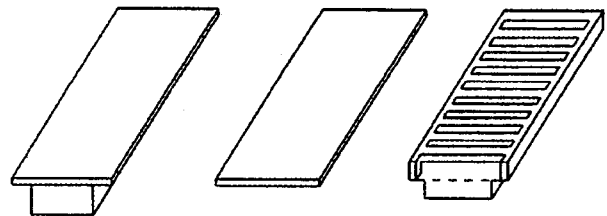


그림 13. LIM의 2차측 구조

1.2.4.2 원통형(圓筒型) LIM

LIM은 운전특성상 공극의 길이 변화에 매우 민감하게 영향을 받기 때문에 공극을 일정하게 유지해야 할 필요가 있다. 그러나, 운전상태 즉 슬립 및 공급주파수에 따라 일차측과 이차측 사이에 흡인력 또는 반발력이 발생하기 때문에 운전중 공극길이의 일정유지에 어려움이 있어 평판형의 경

우는 이에 대한 대비가 요구된다.

반면에 원통형의 경우는 구조적 대칭성으로 인하여 흡인력 또는 반발력이 발생하더라도 이에 의한 공극 변화가 거의 없고 횡방향 단부효과가 나타나지 않는 장점이 있다. 그러나, 이송거리 면에서 보면 평판형은 크게 제한을 받지 않으나 원통형은 길게 할 수 없다는 단점이 있다. 따라서, 이송거리가 짧은 저속 서보시스템에서는 원통형이 매우 효과적으로 응용될 수 있다. 특히, 엘리베이터와 같은 단거리 저속 전인 시스템의 경우에는 1980년대말 일본 OTIS사에서 원통형LIM을 이용한 엘리베이터를 개발함으로써 그 효율성이 입증되었으며 최근들어 원통형 LIM을 여러 방향으로 활용하려는 연구가 다각도로 시도되고 있다.

원통형 LIM은 LIM의 진행자계 방향에 대해 직각방향으로 코일을 감아서 축대칭 구조로 만든 것이다. 이 LIM은 흡인력(평판형 LIM에서는 수직력이나 횡방향 힘에 해당)을 상쇄시킬 수 있으므로 마찰이 작은 직선운동이 가능하게 된다. 그림 14는 평판형 리니어모터를 길이방향 축으로 하여 횡방향으로 말아 원통형으로 만드는 과정을 나타낸다. 그림 15는 원통형 LIM의 구조와 각부의 명칭을 나타낸다. 일차측은 전력이 공급되는 2개 이상의 권선과 요크 등으로 구성되며, 기수권선에서도 동작은 가능하다. 권선방법으로는 집중권이나 분포권이 사용되지만 2층권은 없고 모두 단층권이다. 이차측은 자속 귀로(return path)로서의 철과, 일차측에서 유겨된 유도전류의 전류로가 되는 구리 또는 알루미늄 등의 비자성도체로 이루어진 원주형태 혹은 원통 형태의 복합도체이다.

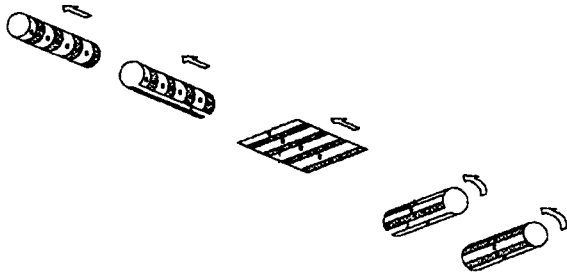


그림 14. 원통형(튜브형) 리니어모터를 회전형으로부터 개발하는 개념도

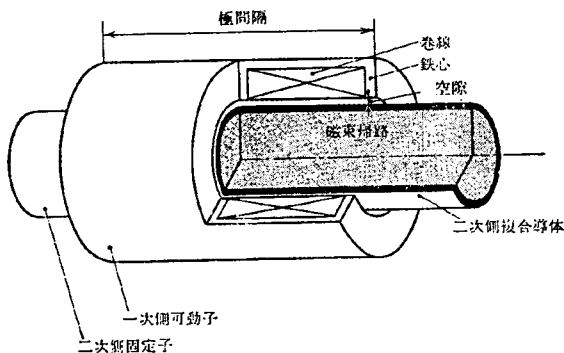


그림 15. 원통형 LIM의 구조도와 명칭

2. 용 용

리니어모터의 응용시스템은 교통수송, 공장내 반송, OA·FA 기기, 의료기기, 각종 시험장치 등 매우 광범위하게 적용되고 있다.

교통·수송 시스템으로는 400~500km/h의 초고속 철도가 독일과 일본에서 개발되었으며, 도시 교통용의 저속시스템이 영국, 캐나다, 미국 등에서 이미 실용화 되어 있으며, 일본에서도 1990년부터 오오사카시에서 리니어 지하철이 운행되고 있다. 리니어모터의 기종은 각 시스템의 특징에 적합한 것이 사용되고 있으며, 지지안내방식에 있어서도 초고속 철도는 자기부상을 이용하고 있지만 도시 교통용으로는 차륜식 시스템도 있다.

공장내 반송시스템으로는 중형기가 자동화 라인과 연결되어 중량물 반송, 입체반송, 고속반송, 크린룸내의 반송 등에 이용되고 있다. 최근에는 자기부상식과 조합시킨 시스템이나 공정에서의 위치결정 정도를 향상시키기 위한 개발이 진행되고 있다.

OA·FA, 의료기기의 구동용 액츄에이터로서는 소형기가 사용되고 있다. OA·FA기기에서는 고품답성, 고속성, 고정도 위치결정성, 내구성 등이 요구되며, 의료기기인 인공심장용에서는 신뢰성, 내구성, 소형대추력이 요구된다. 이는 제품의 소형·경량화, 특성향상 및 각종 메카트로닉스 기술에 대한 수요가 크게 변화하여 회전형이 반드시 유리하지 않다는 판단이기 때문이다. 일반적으로 각 분야에서 구동력 발생장치로 응용하는 경우에 요구되는 사항들은 아래와 같다.

- ① 구조가 간단하고 소형, 경량화가 가능해야 한다.
- ② 보수유지가 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.

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

- ① 공극을 사이로 하여 가동부와 고정부가 비접촉식 구동을 하므로 마찰과 소음이 없다.
- ② 기어, 벨트 등 기계적인 변환장치가 필요 없다.
- ③ 보수점점이 유리하다.
- ④ 큰 가감속도의 운전이 가능하다.
- ⑤ 원심력에 의한 가속제한이 없고 초고속 운전이 가능하다.
- ⑥ 가동부와 고정부 사이의 공극을 일정하게 유지하기 위한 지지기구가 필요한데, 구조적으로는 비교적 까다로우면서도 매우 중요하다.
- ⑦ 단기(單機)로서는 회전형에 비해 역률, 효율이 낮다.

그런데, 리니어모터 자체의 구조가 간단하여 소형, 경량화가 가능할 뿐 아니라 비접촉상태에서의 직접구동이 가능하므로 특성의 경년변화가 적고 보수성, 신뢰성이 매우 우수하다. 따라서, 장차 자동화 기술의 향상에 따라 모터의 변화, 개조나 새로운 모터의 등장이 급격히 많아질 것으로 예상되며, 점점 리니어모터 제품에의 응용은 매우 활발해질 것이다. 아래의 내용과 표 1에 유도형 리니어모터에 관한 성능과 응용에 및 현황을 간략히 소개한다.

(1) 편축식

Pallet반송장치(일본), 대형 編機(英:110rpm, 4m/s), 고속수조(美:900m, 180km/h), Screw 프레스(소련, 일본), 사격표적 이동장치(영국), 공항과 역간의 수송차량(영국:900m, 30km/h, 49인), 고속분쇄장치(일본)

(2) 양축식

자동문개폐장치(소련:40N, 2m, 3s), 2차축 파라미터의 실측(일본), 콘베어 장치의 비용계산, X-Y 테이블(日)

(3) 원통형 : 위치결정장치(미국:0.25 μ m, 공기부상)

표 1 LIM의 성능과 응용에

LIM의 종류	장점	단점	주요응용분야
편축식	<ul style="list-style-type: none"> · 평면구조가 가능 · 일정공극의 유지가 쉽다 · 被구도체의 일부를 이차축으로용용가능 · 구조물, 레일 등을 이차도체로 용용가능 	<ul style="list-style-type: none"> · 편축식은 양축식에 비해 추력이 작다 · 이차축이 자성체로 구성되면 추력의 10배이상의 흡인력 발생 	각종반송장치, 자동문, 권선차는 장치, 압출기, 스크류, 프레스, 고속열차
평판형 양축식	<ul style="list-style-type: none"> · 편축식에 비해 추력이 크다 · 이차축이 AI란으로도 가능하여 간단 · 관성을 작게 할 수 있음 · 교류기와 같은 제어가 가능함 	<ul style="list-style-type: none"> · 양축식은 편축식에 비해 구조가 복잡하다 · 공극을 일정크기로 유지해야 함 	
원통형 (tubular, cylindrical)	<ul style="list-style-type: none"> · 대출력, 대기전력 발생 · 보수 유지가 용이 · 고속 운전이 가능함 	<ul style="list-style-type: none"> · 서보성이 양호하지 못함 · 위치결정 정도가 낮다 · 위치결정시 발열이 된다 · 변위의 제환이 필요하다 	

또한, 리니어모터의 설계·제작기술의 향상과 함께 시스템을 구성하는 전력전자기나 센서류의 고성능화, 영구자석이나 초전도체 등의 재료면에서의 진보, 자기부상·자기지지기술의 도입에 의한 지지기구의 고도화 등에 의해 리니어모터를 응용한 시스템의 범위도 점점 확대되고 있다. 아래에 LIM의 응용분야 몇가지를 추가로 소개하고, 국내에서 연구 개발되고 있는 응용분야도 몇가지 예로서 소개한다.

(1) HSST

LIM의 승객수송시스템의 응용의 하나로서 자기부상철도의 일종인 HSST가 있다. 그림 16에 1989년 요코하마 박람회에서의 장내 관객수송에 사용된 HSST-05의 외형사진을 보인다.

HSST는 "High Speed Surface Transport"의 약칭이지만 기술방식으로서의 상전도 흡인식 자기부상과 유도형 리니어모터를 조합시킨 것이다. HSST도 다른 상전도 자기부상 시

스템과 동일하며 주행중에는 집전목적 이외에는 지상측과 접촉하지 않는다. 이에 따라 주행에 따른 소음, 진동이 작고 궤도 및 차량의 보수비용이 작다는 특징이 있다. 그림 17은 HSST형 차량 및 궤도의 단면도이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 좌우 각 레일의 아랫쪽에 부상안내결용 전자석이 마주 보고 있으며 레일의 윗쪽에 LIM이 있다. 말하자면 이 부상안내추진결용 레일을 이용한 것이 HSST 방식의 최대 특징이다. 레일 아랫쪽은 역U자형 단면을 가지고 있지만, 그 레일에 U자형 철심을 가진 부상용 전자석을 마주보게 해두면 차량측 전자석이 좌우측 어딘가로 변위했을 경우 레일중심으로 돌아가려는 힘, 즉 복원력이 자석에 작용한다. 이와 같이 부상전자석은 안내기능을 가지게 된다.

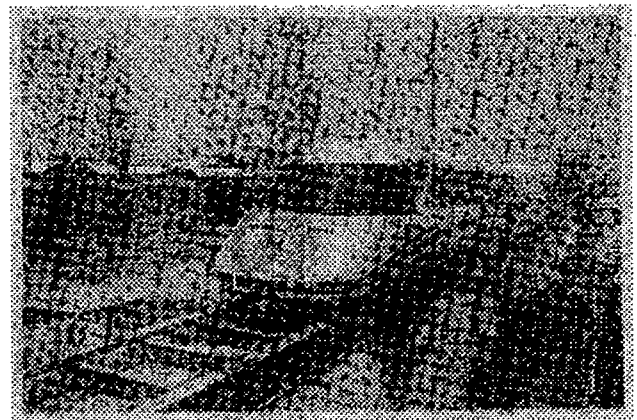
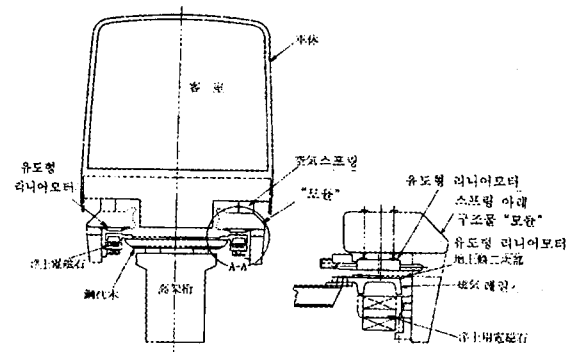


그림 16. HSST-05



(a) 개략도 (b) 그림 (a)의 A-A부 확대도

그림 17. HSST 차량궤도 단면도

(2) 철륵지지 리니어모터카

철륵지지 리니어모터카는 차량의 추진은 리니어모터를 채용하고 차체의 지지·안내에는 종래의 철도와 마찬가지로 철차륵과 철레일을 이용하는 방식이다. 리니어모터로는 회전형 유도전동기를 반경방향으로 절개하여 직선 형태로 펼친 편축식 LIM을 사용한다. 회전형의 고정자에 해당하는 일차



측의 3상 권선을 차량에 탑재하고, 회전자에 해당하는 이차측의 리액션 플레이트(자속이 통과하기 쉬운 자성재료인 철과 와전류가 흐르기 쉬운 양도체인 알루미늄, 구리와 복합체)(그림 18)를 지상의 레일사이에 설치하여, 3상권선에 공급한 교류전압에서 발생하는 이동자계로 리액션 플레이트상에 와전류를 발생시켜 자계진행방향으로 발생하는 추력을 차량의 추진에 이용한다. 그림 19에 차량의 개략도를 나타낸다.

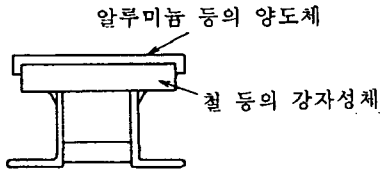


그림 18. 리액션 플레이트 단면도

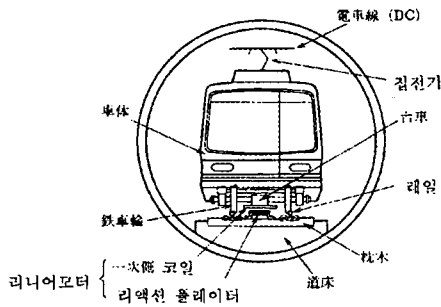


그림 19. 철륵지지 리니어모터카 시스템 단면도

(3) 리니어모터 엘리베이터

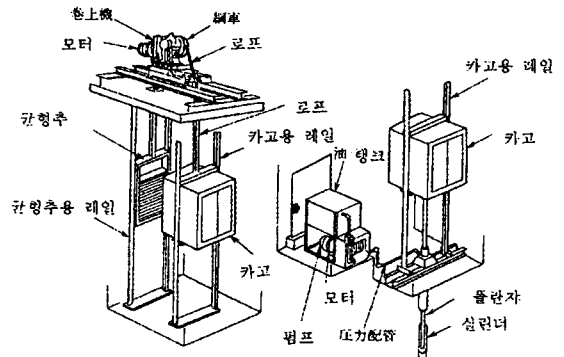
엘리베이터의 구동방식은 그림 20과 같은 2개의 방식이 주류를 이룬다. 그림 20(a)는 건물 꼭대기에 권상기를 설치하고 권상기의 綱車와 로프사이의 마찰력을 이용하여 카고를 상하이동 시키는 트래션 방식이다. 그림 20(b)는 유압력을 이용하여 풀렌자를 상하이동시켜 그 풀렌자에 직결된 카고를 상하이동시키는 유압방식이다.

엘리베이터는 건물속을 직선운동하므로, 전기에너지를 이용하여 직선운동을 하기에 적합한 리니어모터를 사용한 엘리베이터의 전체 구조를 그림 21에 나타낸다. 카고와 균형추를 두레박식으로 로프로 연결하고, 균형추를 설치한 리니어모터의 추력에 의해 균형추를 상하이동시켜 로프로 연결된 카고가 상하이동하게 된다. 이 상하운동에 의해 카고는 목적하는 층에 이동할 수 있다.

엘리베이터의 구동부인 균형추의 구성은 구동추력을 발생하는 리니어모터의 일차측과 엘리베이터를 기계적으로 목적하는 층에 유지시키기 위한 제동기로 구성된다. 리니어모터의 이차측은 엘리베이터 승강로 전체 높이에 걸쳐 고정되어 있다. 리니어모터 엘리베이터와 종래방식의 엘리베이터의 특징 비교를 표 2에 나타내었다. 이 표에서 알 수 있듯이 리니어 엘리베이터는 성능면에서는 트래션 방식 엘리베이터와 동등하며, 제어기기의 설치장소에 제한이 없으므로 건물설계의 자유도면에서 우수하다.

표 2. 각 방식의 특징비교

	리니어모터 방식	유압 방식	트래션 방식
제어기기의 설치장소	자유	건물의 최하부	건물의 꼭대기부
소비전력	중	대	소
엘리베이터 속도	105m/분	60m/분	105m/분
着床精度	양호	나쁨	양호
승차감	양호	나쁨	양호



(a) 트래션 방식 (b) 유압방식

그림 20. 종래의 엘리베이터 구동방식

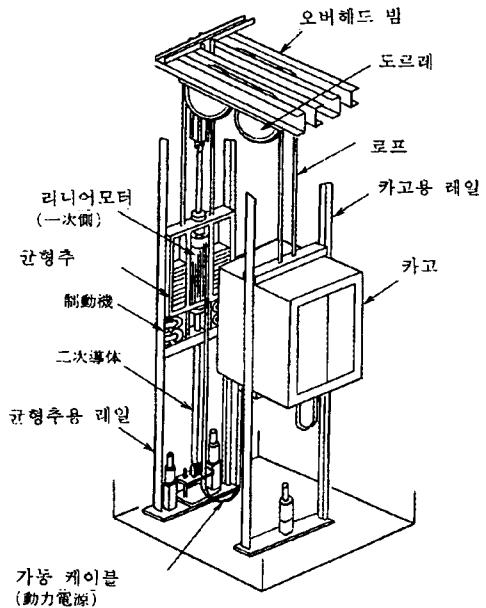


그림 21. 리니어모터 엘리베이터 구조도

(4) 도시형 자기부상열차 전자기시스템의 국내개발에

자기부상방식을 이용한 운송시스템은 기존 철도와는 달리 차체부상과 리니어모터를 이용한 비접촉 구동방식으로 부상 및 안내장치가 궤도에 접촉되지 않는 상태의 주행특성을 가지고 있기 때문에 무공해, 소음저감, 안락한 승차감 등의 장점을 가지고 있다. 이러한 자기부상(Magnetic Levitation: Maglev)시

시스템은 최첨단 운송기관으로서 대도시간의 초고속 철도, 공항 Access 및 도시내의 운송시스템으로 적용하기 위한 연구를 활발히 하고 있다.

국내의 자기부상열차 추진시스템의 동력원은 일본의 HSST 형과 유사하며 리니어모터를 동력장치로 개발하여 왔다. 국내 개발예로서 표 3과 같이 1990년부터 한국 전기연구소에서 실험실 규모의 4인승 자기부상열차 추진시스템과, 1992년도부터 한국기계연구원 및 한국전기연구소 등의 연구원들로 구성된 자기부상사업단이 개발한 도시형 자기부상열차의 동력시스템(그림 22), 현대정공(주)이 개발한 대전 EXPO'93의 전시용 자기부상열차 시스템 등을 들 수 있다.

표 3. 국내개발된 자기부상열차 추진시스템용 SLIM사양

항 목	KOMAG-01 (한국전기연구소)	도시형 자기부상열차 2nd모델 (자기부상사업단)	대전EXPO'93 (현대정공)
정격전압	220[V]	220[V]	440[V]
용량	9[kVA]	37[kVA]	198[kVA]
정격속도	40[km/h]	40[km/h]	50[km/h]
추력	240[N]	1300[N]	2440[N]
일차축 길이	470[mm]	1792[mm]	2836[mm]
일차축 폭	140[mm]	200[mm]	235[mm]
공극	9[mm]	10[mm]	14[mm]
이차축 두께	4[mm]	5[mm]	6[mm]

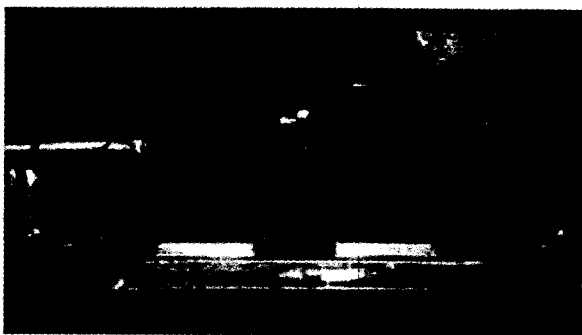


그림 22. 개발된 자기부상열차용 리니어모터



그림 23. 전기연 자기부상열차에 장착된 리니어모터

참고문헌

- [1] 자기부상 및 추진시스템 개발, 한국전기연구소 보고서, 1993. 7
- [2] '93EXPO 자기부상 고가열차를 위한 자기부상 시스템의 모델 개발연구 및 설계사업, 한국기계연구원 보고서, 1990. 12
- [3] 正田英介 編著, 리니어드라이브 기술과 그 응용, 오음사, 1991.
- [4] 日本 電氣學會 磁氣액츄에이터 조사전문위원회편, 리니어모터와 그 응용, 平成 3年.
- [5] 故입달호박사 추모회編著, 전자에너지 변환기기의 해석과 응용, 한양대학교 출판원, 1997.

저 자 소 개



조윤현 (曹允鉉)

1960년 2월27일생. 1984년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1986년 한양대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1986년~1987년 삼성종합기술원 전자기기연구소 근무. 1991년 한양대 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1990년~1995년 한국전기연구소 전력기기부 선임연구원. 1995년~현재 동아대학교 공대 전기, 전자, 컴퓨터공학부 조교수



손영대 (孫永大)

1963년 3월 16일생. 1985년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 1993년 동대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1993년~현재 동서대학교 정보통신공학부 조교수.