

# 미래지향적 교통수단으로서의 磁氣浮上列車



●1950년생,  
●진동해석을 전공하였  
으며, 신교통시스템 분  
야에 관심을 가지고 있  
다.

한 규 환

현대정공(주) 기술연구소



●1953년생,  
●항공공학 전공하였으  
며, 유체역학 CAD응용  
에 관심을 가지고 있다.

김 재 홍

현대정공(주) 기술연구소

## 1. 머리말

우리나라는 급격한 경제성장과 산업발전으로 근래 대도시간 산업·경제인구의 이동이 대폭 증가하여, 도시인구가 과밀화되고 있으며, 승용차의 과도한 보급에 따라 교통량이 폭등하는 등 교통문제가 범국가적으로 해결되어야 할 심각한 과제로 대두되고 있다.

또한, 각종 교통수단에 의하여 발생하는 소음, 진동, 매연 등 환경공해 문제도 심각한 상태에 돌입하여 있다.

상기와 같은 문제점을 해결하고자 지하철의 증설, 도로망의 확충 등의 계획을 추진하고 있으나 재래식 교통수단으로는 과대한 토지수용비 부담 및 환경공해 방지 대책을 수립하는데 경제적, 기술적인 한계에 도달하고 있다. 이에 따라, 기존의 교통수단으로 한계에 이른 교통문제를 해결하고 나날이 심화되고 있는 환경공해 문제를 근본적으로 해결하기 위하여 최근 독일, 일본 등 일부 선진국에서 연구개발이 진행되고 있는 자기부상열차를 우리나라에서도 미래의 첨단 대중교통수단으로 개발해야 할 필요성이 있다.

## 2. 자기부상열차의 특징

기존의 열차는 철로 된 바퀴를 사용하여 차량이 궤도와 기계적인 접촉을 함으로써 주행하는데 비하여, 자기부상열차는 전자석의 힘을 이용하여 궤도 위를 일정한 높이로 뜨게 하고 선형전동기의 推進力을 이용하여 주행하는 미래지향적 열차이다.<sup>(2)</sup>

자기부상열차는 기존의 대중교통수단에 비하여 다음과 같은 이점이 있다.

1) 궤도 위를 일정높이로 떠서 주행하므로 소음 및 진동이 적으며, 매연 발생이 없어 환경공해 문제가 해결된다.

○차량실내 소음 : 300KPH에서 60dBA 이하

○환경소음 : 400KPH시 25m 거리에서 92 dBA 이하

○진동 : 300KPH 이하에서 0.12~0.18KB

2) 주행시 접촉부분이 거의 없으므로 보수유지비용이 저렴하다.

3) 5~10m 높이의 고가궤도방식을 채택하므로 토지점유율이 적고, 따라서 토지수용 부담비용이 저렴하다.

○토지점유율 : 기존열차에 비해 50% 이하

4) 최소 회전반경이 작고, 경사등판능력이 우수하여 산악지역에 유리하므로 터널공사 부

단이 적고 노선선정이 용이하다.

○최소회전반경 : 400KPH에서 4000m 이하

○궤도 최대 경사도 : 10%

5) 저속영역(50KPH 이하)으로부터 초고속 영역(400KPH 이상)까지 적용이 가능하다.

따라서 자기부상열차는 환경영향성, 안락성, 경제성, 고속성 등을 포함한 여러 측면에서 미래 지향적인 교통수단으로서 각광을 받을 것으로 기대된다.<sup>(4,5,6,13)</sup>

### 3. 자기부상열차의 개발동향

#### 3.1 외국의 자기부상열차 개발동향

##### (1) 일본

일본은 1960년대 초 자동차와 항공기의 증가로 철도의 수송분담이 둔화되어 재정난이 심화되고 신간선의 고속주행에 따른 소음 등 환경상의 문제가 대두되기 시작하자 신간선보다 더욱 고속의 대량 교통수단인 차세대 시스템을 도입하고자 1970년대부터 본격적으로 자기부상 시스템의 개발에 주력하였다.

JR社は 有人 2량 편성인 超電導 反撥式 자기부상열차 MLU001로 1987년 2월 400KPH를 주행하는데 성공하였으며, 초전도 반발식 자기부상열차 MLU002를 1량(44석)을 제작하여 1988년 12월에 380KPH의 주행속도에 도달하였다.

MLU001의 주행시험은 약 5,000회 정도 실시되어 40,000Km 이상의 주행거리와 약 10,000명 정도의 탑승을 실시하였고, MLU002는 1989년 8월까지 3,400회, 15,000Km, 8,000명의 탑승을 실시하였고 '91년 10월 3일 주행시험 도중 비상탈주용 고무타이어에서 발화되어 차량이 전소되는 비운을 당하였으며 다시 제작중에 있다. 또한 JR社は 수송능력이 한계에 도달한 東海道 新幹線을 보완하기 위하여 東京과 오사카 구간을 최고속도 500KPH로 연결하고자 "Chuo Linear Express"라 칭하는 고속 초전도 자기부상열차 시스템(14량 편성, 950석)을 계획하고 있으며 2000년대 초에 완성

할 계획으로 있다. 한편 1989년에 설립된 HSST (High Speed Surface Transport)社は '91년 7월 부터 주행시험을 수행중에 있으며 나고야市에 常電導 吸引式 자기부상열차(HSST-100)의 실용화를 위한 약 1.5Km의 시험선로를 완성하고 현재 100KPH의 주행시험을 실시중이다. 이 시험을 통하여 정부의 허가를 취득하면, 나고야市 외곽에 10Km의 상업운전노선을 설치할 계획으로 있다. 상업운전은 2005년을 목표로 하고 있다.<sup>(1,3,7,8,9,10,12)</sup>

##### (2) 독일

독일은 1960년대 초 자동차에 의한 교통사고의 증가, 소음, 배기가스, 교통 체증의 문제가 크게 대두되었고, 차륜식 고속전철의 속도 등의 제약을 극복하고자 근거리 국내공항 연결을 전기철도 시스템으로 전환하기 위하여 1960년대 말부터 자기부상에 대한 연구를 착수한 이래 超電導 反撥式과 常電導 吸引式을 비교, 검토하여 기술적으로나 경제적으로 유리한 상전도 흡인식의 자기부상열차를 채택하고, 1970년부터 1977년까지 TR01~TR04를 개발하여 최고속도 253.2KPH를 달성하였다. 1979년에는 함부르크에서 개최된 국제교통 박람회에 68인승 모델인 TR05를 출품하여 시범운전을 성공리에 실시하였고, 1983년에는 TR06 2량편성(192석)을 개발하여 1988년까지 시험주행 1500회 이상, 주행거리 60,000Km 및 412.6KPH의 기록적인 주행속도를 실현하였다. 1986년에는 그 동안 여러가지 시험에서 나타난 문제점을 해결한 실용 시제 차량인 TR07 2량편성(200석)을 제작하여 1988년 6월 함부르크 국제교통박람회에 출품하여 한 달 동안 18회/일, 총운행거리 14,300Km, 16,700명을 수송하였으며 1988년 가을에 최고속도 460KPH를 기록하였다. 상업운전은 1990년대 후반을 목표로 하고 있으나, 정부에서의 정책이 확정되지 않아 불확실한 상태로 있다.<sup>(6~9,11~17)</sup>

##### (3) 영국

저속 자기부상열차인 People Mover 3량으로 1984년 8월부터 버밍검 공항과 국립 종합전시

장 부근의 국철역간 610m 거리를 영업운행하고 있다.

이 차량은 1량 혹은 2량 단위로 운행하며, 1량당 정원은 40명(좌석 8, 입석 32)이다.

### 3.2 국내의 자기부상열차 개발동향

현대정공(주)에서는 1986년부터 自社의 기술진에 의한 순수 자체기술로 자기 부상열차의 연구개발에 착수하였고, 1989년 6월에 모형 자기부상열차(HML-01)를 개발하고, 1991년 1월에 8인승 자기부상열차(HML-02)를 개발하여 공개적으로 시승회를 가진 바 있다. 현재는 지금까지 축적된 자기부상열차 기술을 바탕으로 실용화된 교통수단으로서의 40인승 자기부상열차(HML-03)를 개발중에 있으며, 93년도 8월에 개최되는 대전세계박람회를 통하여 국내외에 공개할 예정으로 있다. HML-03의 일반 제원은 최대시속 50KPH, 승차정원은 40명, 자중이 25톤, 차량길이 17.6m, 폭 3m, 높이 3.8m로서, 선로길이는 약 560m이다.

자기부상열차개발 국책연구사업단에서는 '89년부터 연구에 착수하여 '90년 말 KIMM-01과 6인승 KOMAG-01을 개발완료하였으며 '97년까지를 목표로 100KPH급 도시형 자기부상열차의 개발을 추진하고 있다. 기타 철도차량 제작사 및 대학교에서도 자체 예산을 확보하여 자기부상열차의 실용화를 앞당기고자 노력을 기울이고 있다.

## 4. 자기부상열차의 종류 및 원리

### 4.1 자기부상열차의 종류

자기부상열차는 磁氣力(磁石의 힘)에 의하여 궤도 위를 일정한 높이로 떠서 주행한다. 이와 같이 자기력에 의해 물체가 공중에 뜨는 현상을 "磁氣浮上"이라고 하며, 자기력을 얻기 위해서는 영구자석이나 電磁石을 사용하는데, 영구자석은 얻을 수 있는 자기력이 약하기 때문에 실제의 자기부상열차에서는 강한 자기력을 얻을 수 있고 그 자기력의 크기를 제어할 수

있는 전자석을 적용하고 있다.

부상방식의 종류는 일반 전자석을 사용하는 上電導 吸引式과 초전도 자석을 이용하는 超電導 反撥式으로 대별된다.

1) 상전도 흡인식은 그림 1과 같이 궤도에 설치된 鐵로 만든 레일과, 차량에 설치된 전자석 간에 서로 잡아당기는 흡인력을 이용하여 차량을 약 10mm 정도 부상시킨다. 이 방식은 독일의 트랜스래피드(Transrapid), 일본의 HSST(High Speed Surface Transport) 및 현대정공의 HML(Hyundai Maglev)과 같은 자기부상열차에 적용되고 있다.<sup>(7,8,11)</sup>

2) 초전도 반발식은 그림 2와 같이 차량에 설치된 초전도 자석이 궤도에 설치된 誘導코일을 차량의 진행방향으로 움직이게 되면 유도코일이 電磁誘導현상에 의하여 電磁石化되므로 초전도 자석과 유도코일간 서로 밀어내는 강력한 반발력이 생기게 되어 차량을 약 100mm 정도 부상시킨다.

단, 이때 발생하는 자기력은 차량이 움직이

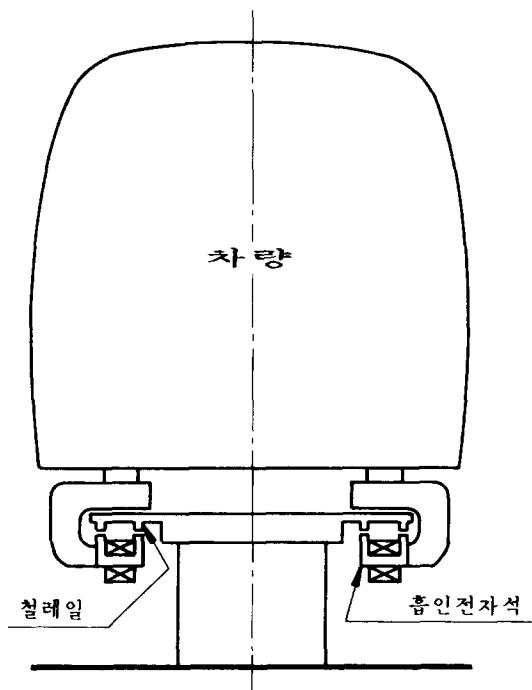


그림 1 상전도 흡인식 자기부상열차

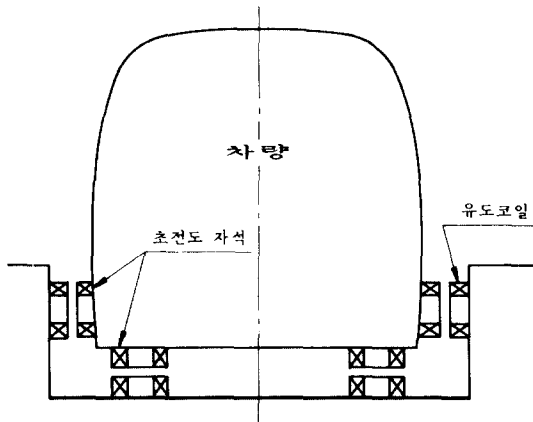


그림 2 초전도 반발식 자기 부상열차

는 속도에 비례하므로 어떤 속도 이하에서는 열차가 부상하기에 충분한 반발력을 확보할 수 없다. 따라서 저속주행시에는 보조적으로 바퀴가 필요하다. 또한 초전도 자석에서 발생하는 강력한 자장에 의하여 객실내 승객에게 나쁜 영향이 미치지 않도록 磁場遮蔽(magnetic shield) 설비가 필요하다.

지진 등에 의해 지각요동이 많은 일본에서는

차량의 안전운행을 기하기 위하여 부상높이가 큰 초전도 반발방식의 연구, 개발을 진행하고 있으며 MLU라고 부르는 자기부상열차에 적용하고 있다. (7,8,10)

#### 4.2 자기부상열차의 원리

앞의 설명과 같이 부상방식에는 상전도 흡인식과 초전도 반발식이 있으나 각국에서는 기술적, 경제적인 측면을 고려하여 주로 상전도 흡인식을 채택하고 있다. 그 주된 이유는 상전도 흡인식이 다음과 같은 이점을 갖고 있기 때문이다. (7,14,15)

- 초전도체와 같은 고도의 기술개발 노력이 불필요하다.
  - 개발소요기간이 짧고 투자비용이 저렴하다.
  - 객실내 자장의 세기가 낮아 人體에 안전하다.
  - 저속시(초기에 부상할 때 및 주행완료후 着地할 때) 보조바퀴가 불필요하다.
- 그러므로 독일의 트랜스라피드, 일본의

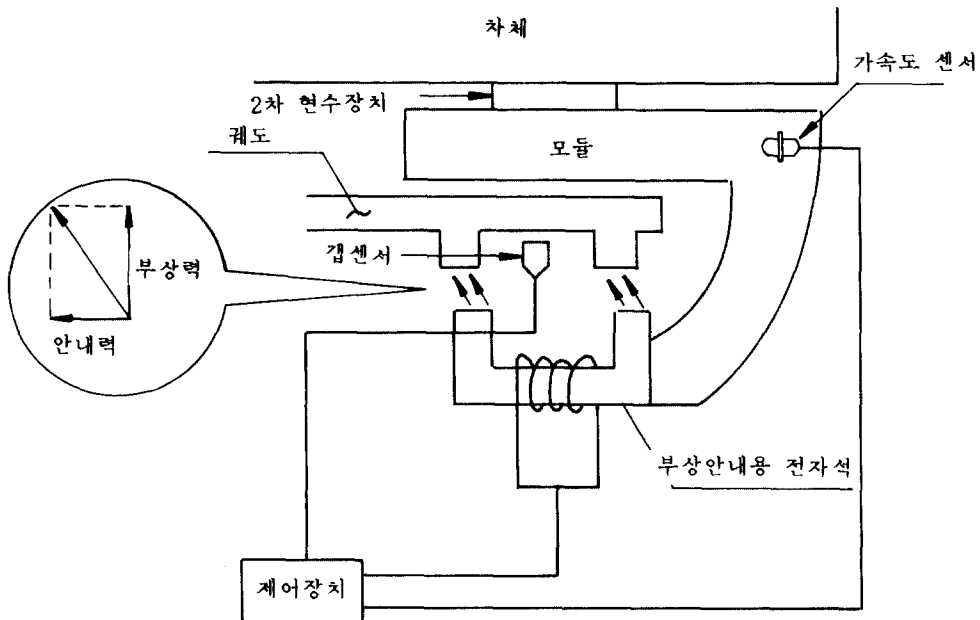


그림 3 부상안내시스템의 개요

HSST, 우리나라의 HML, KIMM, KOMAG 등에서 채택하고 있는 상전도 흡인식 자기부상열차를 중심으로 원리를 소개하기로 한다.

(1) 浮上の 원리

상전도 흡인식 자기부상열차에서는 그림 3에서와 같이 궤도에 설치된 철로 만든 레일과, 차량에 설치된 전자석간에 서로 잡아당기는 흡인력을 이용하여 차량을 부상시킨다. 그러나 차량의 중량보다 흡인력이 큰 때에는 전자석과 레일간의 간격(gap)이 작아져 심한 경우 전자석이 레일 아랫부분에 달라 붙게 되고, 반대로 차량의 중량이 흡인력보다 더 큰 때에는 전자석과 레일간의 간격이 커지게 되어 차량의 모듈과 궤도의 윗부분이 접촉하게 된다. 이 간격을 일정히 유지하기 위해 전자석과 레일간의 간격을 검출하는 갭센서(gap sensor)를 설치한다. 갭센서에서 측정된 전자석과 레일간의 간격이 기준치보다 큰 경우에는 전자석에 흐르는 전류를 증가시켜 흡인력을 크게하고, 반대로 작은 경우에는 전자석에 흐르는 전류를 감소시켜 흡인력을 작게하도록 제어장치가 동작함으로써 차량이 궤도위를 일정한 간격을 유지하게 된다.

(2) 案内의 원리

일반적인 열차에서는 바퀴에 플렌지(flange)

가 있고, 곡선 궤도를 만나면 플렌지가 궤도의 레일로부터 벗어나는 것을 방지함으로써 안내(차량이 궤도 위를 따라 움직이는 것)가 이루어진다.

그러나 자기부상열차는 레일과 물리적인 접촉이 없으므로 별도의 안내장치가 필요하다. 즉, 차량이 주행할 때 곡선 궤도를 만나면 차량은 관성에 의해 직진하려 하므로 차량에 설치된 전자석의 중심이 궤도의 중심을 벗어나게 되어(전자석의 중심 위치가 원래의 위치에서 왼쪽 또는 오른쪽으로 이동하므로 횡변위라고 부른다.) 이를 궤도의 중심쪽으로 다시 복귀시키도록 하기 위해서는 차량에 설치되는 전자석들을 특별하게 배치하여야 한다.

즉, 차량에 설치되는 전자석은 정상상태에서 그림 4의 좌측 그림과 같이 전자석 한 개는 궤도의 중심보다 약간 오른쪽으로 배치하고, 다음의 전자석 1개는 궤도의 중심보다 약간 왼쪽으로 배치하여 1쌍을 이루게 한다. 이렇게 1쌍으로 된 전자석을 차량의 길이방향(즉 궤도의 길이방향)으로 복수로 배치하는 것을 스테거(stagger) 배치 혹은 엇갈림 배치라고 한다.

전자석은 磁路(자속이 흐르는 통로)의 길이를 가능한 한 짧게 하려는 특성이 있다. 차량이 궤도 위를 정상적으로 직선 주행할 경우, 1쌍의 전자석이 엇갈림 배치됨에 의해 자로의

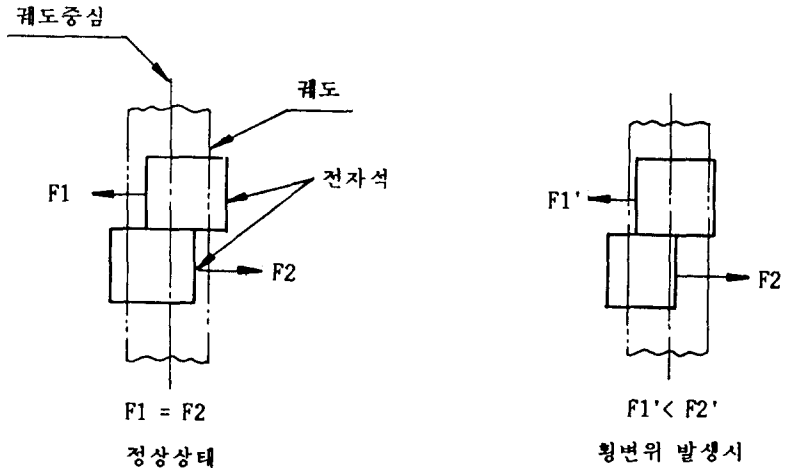


그림 4 전자석의 스테거 배치에 의한 안내제어

길이를 짧게 하려는 즉, 전자석의 위치를 궤도 중심쪽으로 끌어당기는 힘(안내력)이 작용하며 그 크기는 서로 같다(안내력  $F_1=F_2$ ). 차량이 곡선궤도를 만나는 경우, 그림 4의 우측 그림과 같이 1쌍의 전자석중 앞쪽의 전자석은 궤도 중심에 가까워져 자로의 길이가 짧아져서 안내력은 감소되고, 뒷쪽의 전자석은 궤도중심과 더욱 멀어져 자로의 길이가 증가하므로 안내력도 증가하게 되어 ( $F_1' < F_2'$ ) 뒷쪽 전자석의 위치가 궤도의 중심쪽으로 복원되려는 힘이 더

크게 작용하므로 전자석을 취부하고 있는 차량도 궤도를 따라 안전하게 주행하게 된다.

(3) 推進의 원리

자기부상열차의 추진에는 선형전동기를 사용한다. 선형전동기의 동작원리는 회전형 전동기와 같으나 구조적인 형상을 회전형 전동기를 잘라 펼친 것과 같다. 이로써 회전운동이 직선운동으로 바뀌어 진다. 여기서 회전자를 2차측이라 하고 고정자를 1차측이라 하면 그림 5에서와 같이 회전자와 고정자를 설치한 위치에

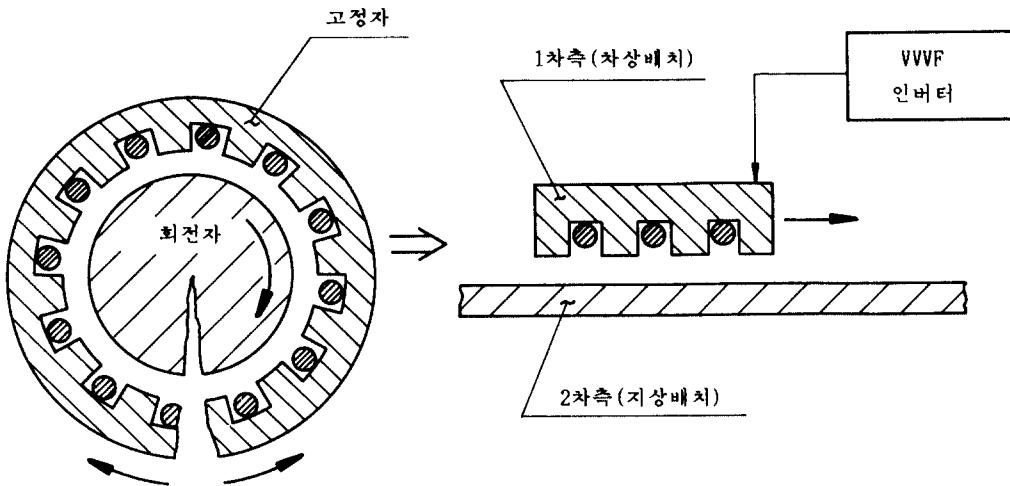


그림 5 선형 전동기의 차상 1차 배치방식

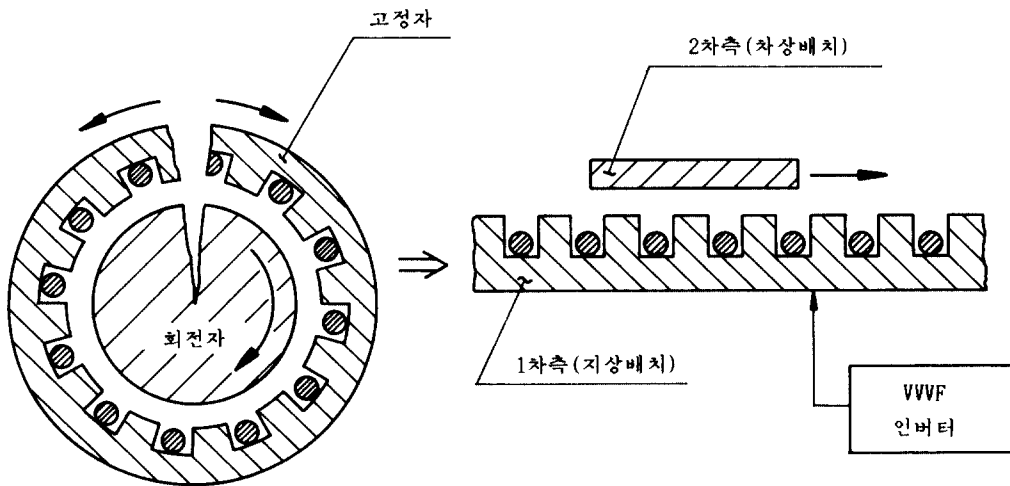


그림 6 선형전동기의 지상 1차 배치 방식

따라 두 가지 경우를 생각할 수 있다. 중단 거리용으로는 주로 그림 5와 같은 車上 1차방식(차량에 고정자를 설치하는 방식)을 사용하고 장거리 고속용으로는 그림 6과 같은 地上 1차방식(지상의 궤도에 고정자를 설치하는 방식)을 채택한다. 선형전동기의 추진특성을 제어하기 위하여 VVVF 인버터(전압 및 주파수 변환기)가 선형전동기에 전원을 공급한다.

### 5. 맺음말

앞에서 살펴본 바와 같이 자기부상열차는 환경영향성, 안락성, 경제성, 고속성 등을 포함한 여러가지 측면에서 미래 지향적인 교통수단으로 각광을 받을 것으로 기대된다.

외국에서는 약 20년에 걸친 개발을 통하여 약 500KPH 기량의 시험속도를 달성하고 실용화를 위해 주행시험을 계속하고 있다. 국내의 개발현황으로는 아직 저속(50KPH 이하)에 머물고 있으나 지속적인 연구개발을 추진하여 새로운 교통수단의 실용화를 앞당기고자 하는 노력이 관련 국가연구소 및 기업을 중심으로 이루어지고 있다. 이와 더불어, '93년 대전세계 박람회에서 운행될 자기부상열차의 성공여부가 후속의 자기부상열차 실용화에 중요한 轉機가 될 것으로 사료된다.

### 참고문헌

(1) Akio Seki, Tetsuo Simomae, 1989, "Electric Equipments of The Chuo Linear Express," 11th International Conference on Maglev '89, pp. 287~290.  
 (2) 자기부상열차개발국책연구사업단, 1991, "자기부상열차란?", NEWSLETTER 磁氣浮上, '91.5월호, p. 2.  
 (3) 자기부상열차개발국책연구사업단, 1991, "해외동향-일본편," NEWSLETTER 磁氣

浮上, '91.8월호, pp. 1~2.  
 (4) 장석명, 1992, "자기부상열차의 특징 및 전망," NEWSLETTER 磁氣浮上, '92.4월호, p. 4.  
 (5) 장석명, 1992, "자기부상시스템과 기존교통시스템과의 비교," NEWSLETTER 磁氣浮上, '92.7월호, pp. 3~4.  
 (6) Magnet Schnellbahn AG, "Magnetic Levitation Train Transrapid, The Technology and the System," pp. 2~15.  
 (7) 교통개발연구원, 1989, "자기부상시스템 기술," 정부고속전철 기술조사, Vol. 2, pp. 375~388.  
 (8) 교통개발연구원, 1989, "Maglev," 고속철도 국제심포지움, Vol. 1, pp. J103~223, pp. G701~735.  
 (9) 田中壽, 1988, "浮上式鐵道の開發經緯と展望," 日本鐵道施設協會誌, pp. 11~15.  
 (10) 藤江泡治, "超電導磁氣浮上式鐵道の開發," 日本鐵道施設協會誌, pp. 21~25.  
 (11) Sinha, P.K., "Magnetic Suspension for Low-Speed Vehicles," Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, Vol. 100, pp. 333~342.  
 (12) 澤田一夫, 1988, "浮上式鐵道開發の近況," JR がゼット, pp. 134~137.  
 (13) MVP, 1985, "Riding or Flying?," pp. 36~41.  
 (14) Thyssen Henschel, 1988, "New Transportation Technologies, The Maglev System," pp. 33~40.  
 (15) Transrapid International, "Transrapid," pp. 8~40.  
 (16) RGI, 1984, "Transrapid Halfway to Target Speed," Railway Gazette International, pp. 538~539.  
 (17) 吉田芹二郎, 1986, "西ドイツの磁氣浮上式鐵道の開發動向," 電氣學會誌, pp. 37~44. 