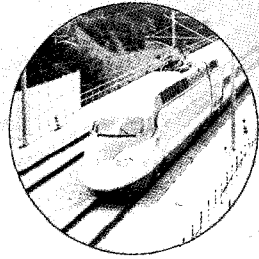
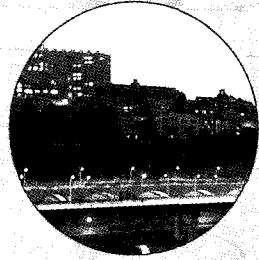


특별Session

# 자기부상철도 전력시스템 검토

이형우 \_ 한국철도기술연구원





# 자기부상열차의 급전시스템 검토

## Analysis of the Power Supply System of a Maglev Train

이형우\*  
Lee, Hyung-Woo

권삼영\*\*  
Kwon, Sam-Young

박현준\*\*  
Park, Hyun-June

---

### ABSTRACT

This paper presents the comparison and analysis of the power supply system of a Maglev train and conventional electric railway. Even though all Maglev trains have batteries on their vehicles, electric power supply from the ground side is necessary for levitation, propulsion, on-board electrical equipment, battery recharging, and so on. At low speeds up to 100~150[km/h], the Maglev train, generally, uses a mechanical contact, a current collector as same as conventional electric railway. However, at high speeds, the Maglev train can no longer obtain power from the ground side by using a mechanical contact. Therefore, high speed Maglev trains use their own way to deliver the power to the vehicle from the ground. In this paper, the power supply systems of the german, japanese, and korean low- and high-speed Maglev trains have been reviewed.

---

### 1. 서론

인구의 증가와 생활영역의 확대에 따라, 대중교통의 혁신적인 수단에 대한 요구가 증가되어 왔다. 차세대 교통시스템은 고속, 내구성, 안정성등과 같은 여러 요구사항을 만족하여야 한다. 또한, 편리하고 환경 친화적이며 유지보수가 간단하고, 경량화되어야 대량 운송수단으로서 적합하다. 자기부상열차는 이러한 요구조건을 만족하는 가장 적합한 후보 중 하나라고 할 수 있다. 기존의 열차가 바퀴와 레일사이의 마찰을 이용하여 추진하는 반면, 자기부상열차는 전자석을 이용하여 바퀴를 대체하고 안내 선로에 부상하여 어떠한 접촉도 없이 전자기적으로 추진력을 발생한다. 자기부상열차의 역사는 독일의 Hermann Kemper가 1934년 특허를 출원한 이래, 60년대의 도약기, 70~80년대의 성숙기, 90년대의 시험기를 거쳐 마침내 2003년 중국 상하이에서 실용화가 이루어졌다. 이러한 자기부상열차는 기존의 점착구동방식 열차에 비하여 많은 장점들을 가지고 있다. (1) 바퀴와 선로에서 발생하는 마모의 제거는 유지보수 비용의 감소를 가져온다. (2) 열차 무게의 분산은 선로의 공사비용을 절감시킨다. (3) 선로의 구조적 특성상, 탈선의 위험이 없다. (4) 바퀴의 부재로 인하여 접촉에서 발생하는 소음과 진동을 제거한다. (5) 비접촉 방식은 운행 중 미끄러짐을 방지한다. (6) 기존의 점착구동방식 열차에

---

\* 이형우, 정회원, 한국철도기술연구원, 전기신호연구본부  
E-mail : krhwlee@krri.re.kr

TEL : (031)460-5426 FAX : (031)460-5459  
\*\* 정회원, 한국철도기술연구원, 전기신호연구본부

비해 높은 경사를 오를 수 있으며, 보다 작은 반경에서의 곡선 주행이 가능하다. (7) 빠른 가감속이 가능하다. (8) 기어, 커플링, 축, 베어링과 같은 기계적 구조물을 필요로 하지 않는다. (9) 날씨의 영향을 받지 않는다. 표 1은 자기부상식과 차륜식 열차시스템의 비교를 나타내며, 표에서 보듯이 모든 면에서, 자기부상열차가 일반열차보다 우수함을 알 수 있다.

표. 1. 자기부상식과 바퀴접촉식 열차시스템의 비교

항 목	자기부상열차	철제차륜열차
진동과 소음	기계적 무접촉 (60~65[dB])	바퀴와 선로의 접촉 (75~80[dB])
안 정 성	탈선의 위험 없음	작은 결함에 의해서도 탈선가능
선 로	경량차량과 분산하중 → 경량화가능	중량차량과 집중하중 → 강화구조
유 지 보 수	아주 약간	바퀴, 기어, 선로등 주기적인 보수요
경 사 주 행	약 80~100/1000	약 30~50/1000
곡 선 주 행	곡선반경 30[m]	곡선반경 150[m]

본 논문에서는 속도에 따른 자기부상열차의 급전시스템을 비교분석하였다. 모든 자기부상열차가 차량에 자체 배터리를 탑재하고 있다 할지라도, 부상과 추진, 전장설비, 배터리 재충전 등을 위해서는 지상으로부터 전력을 공급 받아야 한다. 일반적으로 중저속 도심형 자기부상열차는 경량전철이나 지하철에서 사용되어지는 급전시스템과 커다란 차이를 보이지 않으나, 고속 자기부상열차는 더 이상 기계적 접촉을 통하여 지상으로부터 전력을 공급받을 수 없으므로 기존의 전철과 달리 선형발전기에 의해서 에너지 전달이 이루어진다. 본 논문에서는 도시간 고속 자기부상열차보다 현재 한국에서 실용화를 눈앞에 두고 있는 도심형 중저속 자기부상열차의 급전시스템에 대하여 좀 더 깊은 고찰을 하였다.

## 2. 도시간 고속 자기부상열차의 급전시스템

고속 자기부상열차의 경우, 견인력은 지상에 설치된 3상 코일에 인가되는 전기에너지를 통하여 얻을 수 있다. 하지만, 그 외 부상, 전장설비, 배터리 재충전 등을 위해서는 지상으로부터 차상으로 전력을 공급 받아야 한다. 고속 운전 시, 자기부상열차는 더 이상 기계적 접촉을 통하여 지상으로부터 전력을 공급받을 수 없다. 그러므로 고속 자기부상열차는 지상으로부터 차량으로 전력을 전달할 자구책을 가지고 있어야한다[1-2].

### 2.1 독일의 Transrapid

독일의 Transrapid는 그림 1에 보여 진 바와 같이 부상용 전자석 안에 선형 발전기를 매입하는 방법을 사용한다. 이 선형발전기는 열차가 운행 중일 때, 이동자계로부터 전력을 유도한다. 발전기 권선의 주파수는 선형동기전동기 주파수의 약 6배가량 큰 주파수이다. 선형발전기는 기계적으로 비접촉이며, 고속운전에 아주 적합하지만, 공극 불균일로 인한 유기기전력의 맥동과, 상대적으로 소형화되어있는 유기코일 때문에 유기되는 기전력의 크기가 작은 문제점을 수반한다.

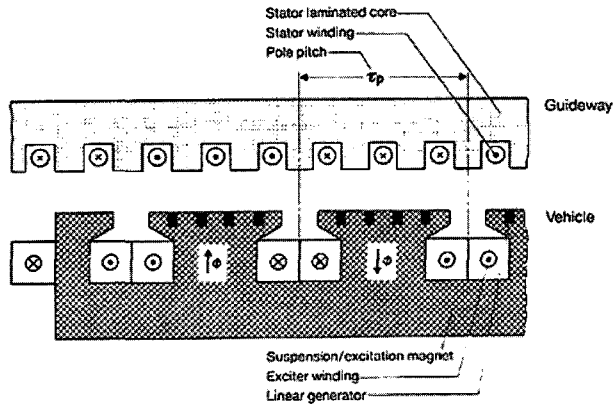


그림 1. 독일 Transrapid의 선형동기전동기 단면도  
(선형발전기가 부상용 전자석 안에 매입되어있다.)

## 2.2 일본의 MLX

일본 MLX의 경우, 가스터빈 발전기외에 두 개의 선형발전기가 고려되어졌다. 첫 번째는 일정량의 초전도 코일(500[kA])과 발전기 코일을 사용하는 것으로서 그림 2.(a)에서와 같이 차량의 위와 아랫부분에 권선을 시행한다. 두 번째는 그림 2.(b)와 같이 발전기 코일을 부상-추진코일과 초전도 코일사이에 위치시키는 방법이다. 속도가 증가함에 따라, 초전도 코일은 선로에 고정된 부상안내코일의 윗부분에 시변자속을 발생시키고, 따라서 아랫부분(발전기 코일)은 공극을 건너오는 시변자속을 보게 되며, 이 시변자속은 차량에 탑재된 발전기코일에 쇄교하게 된다. 다시 말하면, 차량 탑재된 초전도 코일에 의해 발생된 DC자속이 선형변환기를 통하여 차량 탑재된 AC자속으로 변환된다[3].

첫 번째 방식은 발전기 코일을 차량의 앞부분과 뒷부분에 집중적으로 위치시킴으로 집중형이라 부르고, 두 번째 방식은 차량전체를 따라 분포시켜 시행함으로 분산형이라고 부른다[3].

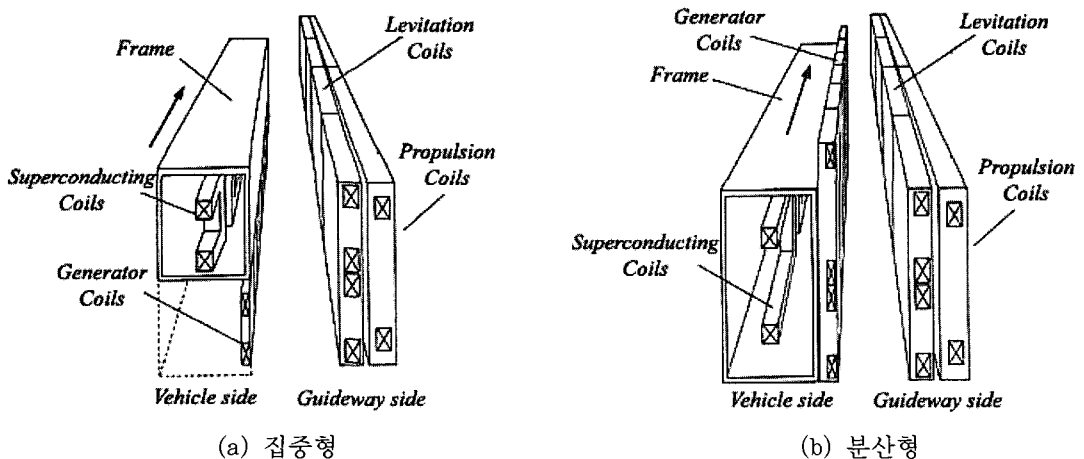


그림 2. 일본 MLX에 사용되어진 선형 발전기

### 3. 도심형 중저속 자기부상열차의 급전시스템

약 100~150[km/h]까지의 중저속에서는 일반적으로 팬터그래프와 같은 기계적 접촉에 의한 에너지 전달방식을 사용한다. 이것이 중저속에서 경제적인 단계자형 선형유도전동기가 일반적으로 사용되어지는 이유이기도 하다.

#### 3.1 일본의 HSST

##### (1) 급전시스템 개요 및 사양

차량의 전력 시스템은 탑재된 전력용 컨버터/인버터 장치(전력 공급 장치), 입력 스위치 그리고 축전지로 구성된다. 전력 공급 장치(PSU, Power Supply Unit)는 인버터/컨버터 복합체로서, 고전압 인버터(H-INV) 박스와 저전압 컨버터(L-INV) 박스로 구성되며, 집전기에 의해 추출된 고압의 직류(1500 VDC)를 다음의 3가지 타입의 전력으로 변환시킨다.

- 주 DC 전력 (275 VDC) : 부상, 에어컨 용
- AC 전력 (100 VAC 단상 60Hz) : 일반적 사용용도
- DC 전력 (100 VDC) : 제어와 커뮤니케이션용

주요한 DC 전력 설비는 고주파수 트랜지스터 인버터를 통해 1500 VDC에서 274 VDC로 변환된다. 또한 DC 전력 설비는 8.7 kW로 이것은 275 VDC에서 100 VDC로 전환된다. AC 전력 또한 2.6KVA 인버터에 의해 275 VDC로부터 만들어낸다.

- H-INV는 275 VDC 전력으로의 컨버터로서,
  - type-main 회로 : 다양한 양상을 띠는 고주파수 트랜지스터 인버터
  - 입력 전압 : 1,500 V DC
  - 출력 전압 : 275 V DC
  
- L-INV는 DC-DC 컨버터로서는 차량 제어와 비상시 통신수단 설비용 DC전류를 공급하며, DC-AC 인버터로서는 공공시설용 AC 전력을 공급한다.
  - 입력 전압 : 275 V DC
  - 출력 전압 : 100 V DC/8.7 KW 장치  
100 V AC/ 2.6KVA 장치

두개의 PSUs가 3량의 열차에 설치되며, 집전 장치를 통해 열차에 공급되는 1,500 V 직류를 고전압의 모선 와이어로 연결된 다음 PSU 자체 각 극성의 스위치를 통해 PSU로 공급된다.

##### (2) 집전장치

3개의 열차는 4쌍의 집전장치로 설비되어져 있는데 이는 1,500V DC의 안정적인 전류 공급을 보장하기 위함이며, 스프링이 달린 집전기 판은 레일에 연속적인 접촉을 가능하게 하고 이들은 모두 600A 정격이다. 집전장치의 사양은 다음과 같다.

- 유형 : 측면 접촉 "Z" 타입, 분리불가능

- 용량 : 600A
- 압력 방법 : 접촉 브러쉬 패드를 가진 스프링 타입
- 집전 장치 : 4쌍 (8개의 장치)

### (3) 보조전원장치

짧은 간섭동안 전력을 유지하기 위해, 그리고 주요 전력 산출 동안 안전하게 정지 없이 시스템을 유지하기 위해 배터리 설비는 275 VDC 모선을 가진 선로에 존재한다. 275 VDC가 부상과 차량 제어에 필수적이기 때문에 275 VDC 전원은 탑재된 237 V, 20 Ah 배터리로 구성된 2개의 장치로 보조를 받는다. 트롤리 전력에서의 PSU 고장이나 손실의 경우 차량은 정지를 위해 감소할 때 까지 약 30초간 배터리 전원을 이용함으로써 부상을 지속시킬 수 있다. 배터리 전원은 대략 30초간 조명과 통신수단과 같은 안전과 응급 시스템을 위한 전력 또한 공급 가능하도록 되어 있다. 보조전원장치는 198 CELL, 20 Ah 고속 방전율을 가진 알카라인 전지로 구성되며, 30초간 열차를 부양하기 위한 충분한 커패시터를 제공한다. 전압은 매우 높은 방전 전류로 인해 200V까지 강해진다. 또한 배터리는 추진 시스템에 전력을 공급할 수 없다.

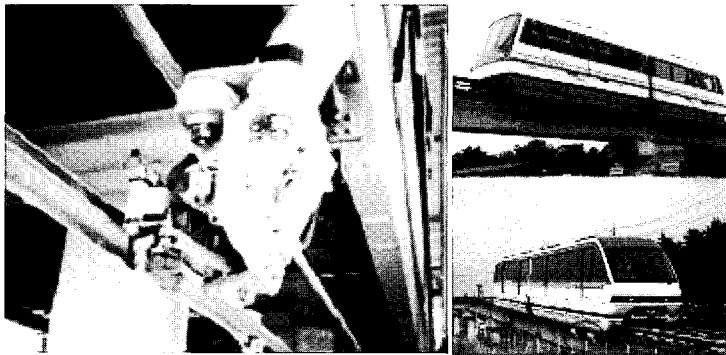


그림 3. 일본 HSST에 사용되어진 급전시스템

## 3.2 한국의 UTM

### 3.2.1 인천국제공항 PMS 노선 자기부상열차

#### (1) 급전시스템 개요 및 사양

차상에 필요한 전원은 궤도의 양측에 설치된 Power Rail(가선)로부터 차량의 대차에 취부된 집전장치를 통해 집전한다. 차상 전원공급시스템은 가선으로부터의 DC 1,500V를 수전 받아 차내에 필요한 각종 전원으로 변환하여 공급한다. 차상 전원공급시스템은 아래와 같이 두 가지로 대별되며, 차량의 경량화를 위해 편성 당 각 1 대의 추진용 전원장치와 보조용 전원장치를 탑재한다.

- MC1 : 추진용 전원장치(VVVF Inverter)
- MC2 : 부상용 및 각종 보조용 전원장치(Aux. Power Unit)

차상 전원공급시스템은 종합제어관리장치(TCMS)와 연계하여 자기진단 및 감시 등의 기능

을 갖도록 하며, 부상용 전력 및 제어전원은 정전과 같은 비상시에도 부상이 가능하도록 축전지를 보조전원으로 설치하고, 축전지는 상시 부동충전이 가능토록 한다.

표 2. 인천국제공항 PMS 노선 자기부상열차의 급전시스템 사양

항 목		부 하
입 력	전압 : 1,500VDC(1,000~1,900 V)	
출력 1	전압 : 교류 3상 220V(+5%, -10%), 60Hz(±2%)	냉난방장치, 전동 공기 압축기, 조명 등
	용량 : 연속 100kVA(직류 출력 미포함) 이상	
	왜율 : 5% 이하	
	역율 : 0.85(지상) 이상	
출력 2	전압 : 직류 300V(±5%)	부상용 Chopper (전자석)
	용량 : 연속 72kW(과부하 3초간 300%) 이상	
	리플 : ±5% 이하	
출력 3	전압 : 직류 100V(±5%, -10%)	각종 제어기
	용량 : 연속 20kW 이상	
	리플 : ±3% 이하	
	효율 : 94% 이상	
제 어	제어기 : 32bit DSP TMS320C31	
	제어방식 : 순시 전압제어	
	제어대상 : 출력전압 일정, 전류제한, 입력전압에 부하대응	

### (2) 집전장치

본 선로에서는 빠른 속도로 급 곡선을 주행할 필요가 없으므로 경제성을 고려하여 집전장치는 차량 당 2 세트씩 설치한다. 자기부상열차의 집전장치는 차량의 좌우 대차 하부에 취부되며, 종합제어관리장치(TCMS)에 의해서 제어되는 주회로 차단기의 투입으로 차내까지 가선의 전압이 전달된다. 열차의 운행 시 일반 철도차량처럼 집전장치를 상승/하강할 필요가 없으므로 부속 설비(보조 공기 압축기 등)가 필요하지 않다. 집전장치는 기계적으로 견고하고, 추종성 및 집전성능을 향상시키기 위하여 적당한 정수의 Damper를 설치한다.

### (3) 보조전원장치

보조전원장치는 추진용 전원을 제외한 차내 각종 전원을 공급하는 장치이다. 보조전원장치는 차량의 신뢰성, 보수성 및 에너지 효율의 향상 등 본 시스템이 갖는 특성을 최대한 발휘할 수 있도록 한다. 보조전원장치는 입력 접촉기, Filter Reactor, Filter Condenser, 주 인버터, 보조 인버터, 주 변압기, 보조 변압기, 주 정류기, 보조 정류기, 초퍼 및 역 도통 억제 다이오드 등으로 구성된다. 보조전원은 2량 편성 당 1대의 장치에 의해 공급되며, 종합제어관리장치(TCMS)와 연계하여 차상 자기진단 기능 및 고장의 감시 등을 위한 모니터링 기능을 갖는다. 또한 통신, 신호 및 기타 제 설비와의 유도장애 및 차량 내 다른 장치와의 상호 동작 장애가 없도록 충분히 고려하고 선로 연선에 대한 전차방해도 생기지 않도록 한다.



### 3.2.2 대전 국립 과학관 자기부상열차

#### (1) 급전시스템 개요 및 사양

급전 시스템은 표준전압 DC 단상 2 라인 1500V 급전선 레일로 전원은 양쪽의 측면의 측면부에 나란히 설치된 급전레일(conductor rail)에 의해 차량에 공급하며 급전레일은 제 3궤조에 커다란 전압강하와 그에 따른 에너지 손실 없이 전류를 차량에 공급할 수 있도록 고전도성 알루미늄 합금으로 설계하였다. 급전 레일은 몸체는 알루미늄 인발체이며 표면에 전차선 Copper가 인입 되어있어 알루미늄 인발체로부터 이탈방지 되도록 되어있으며 전차선은 레일의 내구성(내마모성)향상을 위해 전차선 표면을 주석 도금 하여 레일 급전면의 이물질 부착방지 역할을 할 수 있도록 하였다.

연결 조인트는 급전 레일을 전기적 및 기계적으로 견고하게 연결하고 급전레일과의 연결부 위에는 접촉저항을 줄이고 부식을 방지하기 위하여 도전성 컴파운드 처리를 하였으며, 신축연결부는 온도에 의한 급전레일의 신축을 흡수하는 것뿐만 아니라 급전 레일을 전기적으로 견고하게 잡아 주도록 설계 하였다. 신축연결부 사이의 길이는 200m가 넘지 않도록 설계하였다. 또한, 중앙 고정 장치는 급전 레일이 레일 방향에 따라 움직이는 것을 방지하기 위한 레일의 한 지점을 레일 서포트에 고정시키는 장치로 급전레일의 최대 단락사고 등에 의하여 일어날 수도 있는 신축 연결부의 고착 혹은 다른 이유로부터 발생하는 힘(최소 2000N)에 충분히 견딜 수 있도록 설치하였다. 인슐레이터는 3m 간격으로 구조물 측면부의 인서트에 설치되어 급전레일을 지지하며 영업운전 중에 급전 레일에 가해지는 모든 정적, 동적 그리고 진동하중에 견디며 급전레일과 주변의 선로사이를 전기적으로 절연 될 수 있도록 설계 하였다.

#### (2) 집전장치

급전선은 T-Shape의 알루미늄 도체에 주석도금 처리된 전차선을 스테인리스 볼트, 너트로 고정시킨 분리형 구조로 이루어지며 연속 전류 정격은 DC1500V로 표준길이 단위는 10m이다. K.S D 3001의 기준에 적합하고 외관상 흠집, 표면 거칠기, 녹, 일그러짐, 갈라짐 등 사용상 유해한 결점이 없이 균일하고 매끈한 제품을 사용한다. 신축 연결부는 주위 온도 변화에 따라 도체레일의 팽창과 수축을 흡수하는 구조로 제작되며 주위 온도를 계산하여 설치하였다. 또한, 도체의 양 끝 면에 End Approach를 설치하여 집전자가 도체 레일에서 출입 시 충격이 없도록 하며 End Approach는 경사도를 주어 곡선면으로 제작하고 도체레일의 온도 팽창, 수축을 흡수할 수 있도록 하였다.

#### (3) 보조전원장치

300V 직류전원용 축전지가 설치되며, 100V 직류전원은 300V 직류전원용 축전지에서 분압하여 사용한다. 축전지 종류는 니켈-카드뮴 알칼리 축전지를 사용하고, 상시 부동충전이 가능하도록 한다. 축전지 용량은 보조전원장치의 전원공급이 없이 10분 이상 전력을 공급할 수 있도록 하며, 각 축전지는 분리 스위치가 있어 축전지를 각 회로로부터 차단할 수 있다. 축전지의 사양은 다음과 같다.

- 형식 : Ni-Cd 알칼리 축전지
- 전압 : 300 VDC (240 Shell), 100 VDC (80 Shell)
- 용량 : 45Ah/Set 이상

- 충전방식 : 상시 부동 충전
- 충전기 : 3상 전파정류 보조전원장치

#### 4. 결론

본 논문에서는 차세대 교통시스템으로서 기대를 모으고 있으며, 현재 국내 실용화를 눈앞에 두고 있는 자기부상열차의 급전시스템을 비교분석하였다. 고속 자기부상열차는 기계적 접촉을 통하여 지상으로부터 전력을 공급받을 수 없으므로 기존의 전철과 달리 선형발전기에 의해서 에너지 전달이 이루어지며, 중저속 도심형 자기부상열차는 경량전철이나 지하철에서 사용되어 지는 급전시스템과 커다란 차이를 보이지 않는다. 특히, 중저속 도심형 자기부상열차의 경우, HSST, 인천공항 PMS, 과학관 자기부상열차가 모두 1500 VDC, 제 3궤조 방식을 사용하고 있으며, 보조 장치로서 배터리를 사용하고 있다. 따라서 국내 실용화 시 현재 상업 운행되고 있는 HSST의 급전시스템에 대한 충분한 이해가 필요하며, 본 논문이 각 급전시스템의 비교분석에 도움이 되리라 사료된다.

#### 참고 문헌

1. Shibata M., Maki N., Saitoh T., Kobayashi T., Sawano E. and Ohshima H., "On-board power supply system of a magnetically levitated vehicle," IEEE Trans. on Magnetic, vol. 28, No. 1, pp. 474-477, Jan. 1992.
2. Andriollo M., Martinelli C., Morini A. and Tortella A., "Optimization of the on-board linear generator in EMS-MAGLEV trains," IEEE Trans. on Magnetic, vol. 33, No. 5, pp. 4224-4226, Sept. 1997.
3. Cassat A. and Jufer M., "MAGLEV projects technology aspects and choices," IEEE Trans. on Applied Superconductivity, vol. 12, No. 1, pp. 915-925, Mar. 2002.
4. 과학기술부, "인천국제공항 PMS 노선의 자기부상화를 위한 기획조사사업보고서," May. 1999.
5. U.S. Dept. of Transportation, "Chubu HSST Maglev System Evaluation and Adaptability for US Urban Maglev," Final raport, Mar. 2004.