

자기부상열차모형 開發에 관한 研究

한 규 환 성 오 경 최 규 칠 김 국 진\*  
현대정공(주) 기술연구소

A Study on Development of Maglev for Demonstration

Kyu Hwan Han, Ho Kyung Sung, Keu Chul Choi, Kuk Jin Kim\*  
HYUNDAI PRECISION & INDUSTRY CO. TECHNICAL INSTITUTE

ABSTRACT

In recent years, Levitated transportation systems have been studied in many countries. Most vehicles used for these systems are driven by linear motors and are levitated magnetically.

The magnetic train HDMAG-01 is a proto-type vehicle for low-speed in the range of 100cm/S.

This paper presents an outline of the drawing, the testing and its results, describes theoretical models used and compares between computer simulation and test result.

積 및 그 파급효과(電氣, 電子, 機械, 土木, 金屬 등)를 얻는 동시에 가까운 장래 도입지의 새로운 交通手段으로 開發하기위해 1980년대 초반부터 外國의 자기부상열차 관련 자료등을 통해 나름대로 이론을 정리, 정립하기 시작하였다.

그리고 1988년 그동안 理論적으로 습득한 지식을 토대로 실제와의 초차있는 기술을 숙적하고자 영구자석 및 전자석을 이용하여 浮上·案内등 다각적인 시험을 거쳐 그 결과 1차 Proto-type(이하 HDMAG-01로 칭함)을 위한 設計에 들어가 급년 중순에 제작, 시험을 完了하였다.

1. 開發의 経緯

중래의 鐵道車兩은 車輪과 Rail과의 접촉력을 이용하여 車輪을 회전시켜 推進하는 방식이 대부분이었다. 이러한 방식은 鐵과 鐵의 접촉에 의해 騒音과 진동을 발생시키고, 또 접촉력은 열차의 속도상승과 더불어 감소하기 때문에 그 속도에는 한계가 있다. 이러한 속도의 한계를 극복하고, 快速한 大量交通輸送機關의 實現을 위해 영국, 서독, 일본등지에서는 이미 1960년대 후반부터 磁氣技術과 Power Electronics의 進歩를 배경으로 磁氣浮上の 적용도 구채와 되어, 현재 여러가지 Proto-type의 車兩에 의한 走行試驗이 한창 진행중에 있으며, 400km/h 이상의 磁氣浮上열차의 실용화가 실현될 단계이다.

그러나 國內에서의 磁氣浮上열차에 관한 研究는 1980년대 왔어야 그 필요성과 기대효과(社會, 經濟, 技術的)를 인식하게 되었고, 學界에서나 産業體研究所 등에서 基礎理論을 研究, 定立하고, 실험실 규모로 추진시스템과 부상시스템을 별도로 製作, 試驗하고 있는 실정이다.

한편, 열차관련 分野에 오랫동안 증사해온 본 研究所에서는 자기부상열차에 관한 자체의 技術蓄

2. 浮上式鐵道 시스템의 種類

서독, 일본등지에서 實用化 단계에있는 부상식 철도의 浮上, 案内, 推進시스템은 각각 다음과 같이 크게 分類된다.

- 浮上방식 { EDS - 초전도 유도반발식  
EMS - 상전도 흡인식
- 案内방식 { 吸引력에 의한 방식 - 부상, 안내분리  
NULL Flux 방식 - 추진검용  
Stagger 배치 방식 - 부상검용
- 推進방식 { LIM - 중 저속용에 주로사용  
LSM - 고속용에 주로사용

3. HDMAG-01의 特徵

본 연구에서 製作, 試驗한 HDMAG-01의 특징은 다음과 같으며 그 시스템의 断面圖는 그림1과 같다.

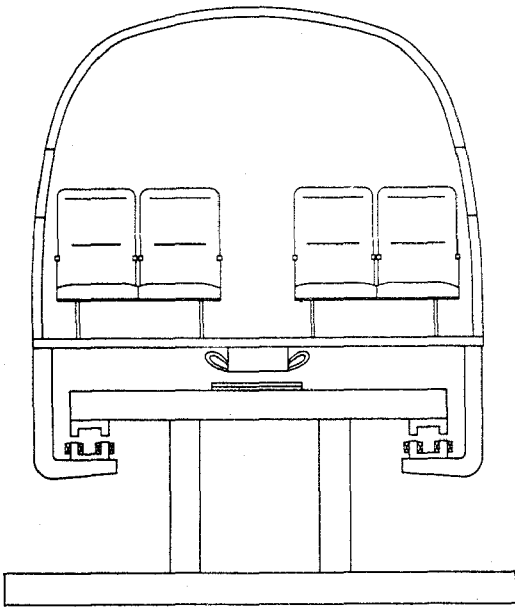


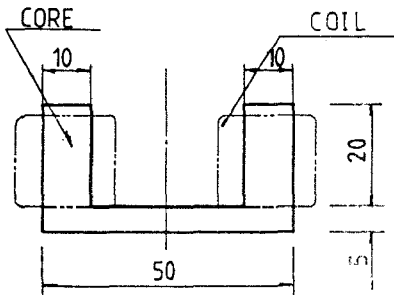
그림1. HDMAG-01 断面图

3-1. 浮上 및 案内시스템

HDMAG-01의 부상방식은 常電導吸引方式(EMS)으로, 그림1에서와 같이 車體의 하부에 부착된 magnet에 전류를 흐르게 하면 軌道(Track)의 철 Rail을 향해 밑에서 위로 吸引力이 발생한다. 이 힘을 이용해서 차체를 부상시키는 방식이다.

그리고 궤도의 철 Rail 형상을 逆U자모 하여, 이것에 magnet를 일치시키는 案内방식은 저속시 1개의 magnet로 부상 및 안내의 技能을 가질 수 있는 장점이 있다.

설계상의 magnet 형상과 제원, 그리고 자장분포해석은 Computer Simulation 통해 그림2, 그림3과 같은 결과를 얻게되었다.



- 차체무게 : 20Kg
- Core재질 : 저탄소강
- Magnet수 : 4 개
- Ampere-Turn/Magnet : 1450AT

그림2. magnet 형상 및 제원

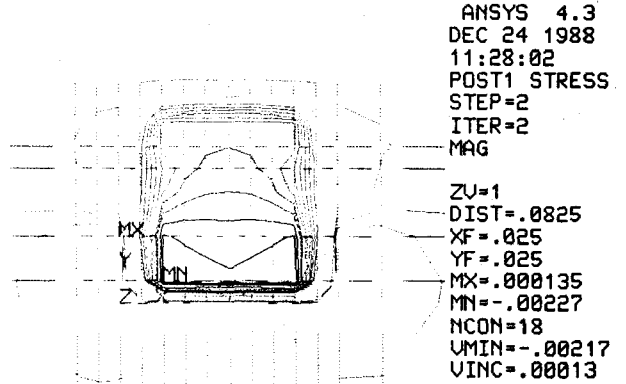


그림3. 자장분포해석

EMS 방식은 吸引力이 지지해야 할 차체의 荷重보다 크면 자석은 Rail에 吸着되고, 음인력이 부족하면 부상력을 잃게된다. 이러한 관계로 항상 전자석과 Rail사이의 空隙를 gap sensor로 감속하여 일정치를 유지하도록 자석에 흐르는 電流를 制御할 수 있는 능동 制御機(controller)를 필요로 하며, 본 연구에 사용된 제어기의 構成圖는 그림4와 같다.

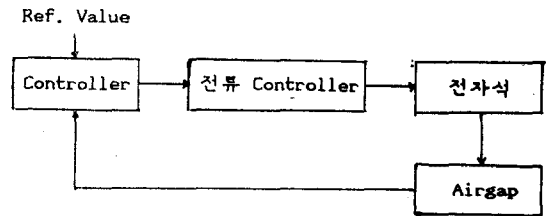


그림4. 제어기의 構成圖

3-2. 推進시스템

일반적으로 자기부상열차의 推進力은, 回轉形電動機를 직선상으로 展開한 것과 같은 線形電動機(Linear Motor)에 의해 얻어지는데, 본 HDMAG-01에 사용된 선형전동기는 표1과 같은 정격 및 제원을 갖는 片側式 선형유도전동기(SLIM)이다.

이것은 固定子(stator)에 해당하는 1차속에 3相交流를 인가하면 前後로 走行할 수 있는 移動자속이 생긴다. 回轉子(rotor)에 해당하는 2차속은 자속통로를 만들어주는 철심(철판)과 이동자속에 의해서 誘導電流가 흐르는 reaction plate(알루미늄)가 결합된 형태이며, 이 유도전류와 자속과의 상호작용에 의해 추진력이 얻어진다.

그리고 본 HDMAG-01에 사용된 SLIM은 한정된 Rail의 길이 때문에 低速用으로 설계되었으며 속

도제어는 다양한 V/f pattern 을 갖는 VVVF 인버터( 전압형, PWM)를 이용하였다.

전압 범위 : 63-220 V  
 전류 범위 : 2.8-5 A  
 주파수 범위 : 18-60 Hz  
 속도 범위 : 25-85 cm/S  
 슬립 : 0.79

표1. SLIM의 정격 및 제한

입력 전압 : 3 $\phi$  0-220 V  
 입력 주파수 : 0-60 Hz  
 고정자 길이 : 0.421m  
 고정자 폭 : 0.05 m  
 slot 폭 : 0.0025 m  
 slot 길이 : 0.015 m  
 tooth 폭 : 0.003 m  
 극 pitch : 0.033 m  
 극수 : 12  
 권선수/ 매상 : 100 회  
 coil 지름 : 0.0003 m  
 공극 길이 : 0.01 m  
 2 차도체 두께 : 0.0025 m  
 2 차철심 두께 : 0.0025 m  
 2 차도체 저항률 :  $2.65 \times 10^{-5}$

4. HDMAG-01의 試驗結果 및 검토

그림1 과 같은 構造를 가지는 HDMAG-01를 구성 시험한 결과, 浮上 및 推進시스템에 있어서 다음과 같은 결과를 얻었다.

4-1. 浮上시스템

부상시스템의 결과는 표2 와 같다.

표2. 부상시험 결과

차체무게 : 20 Kg  
 DC 전압 : 80 V  
 정상상태 전류/ magnet : 4 A  
 정상상태 부상 gap : 3 mm  
 Ampere-Turn/magnet : 2000 AT  
 Controller 응답시간 : 0.15 mS

시험결과에서 magnet당 Ampere-turn 은 2000 AT 로써 설계치 1450 AT 보다 크다. 이것은 설계시 고려했던 누설자속 보다 실제 시스템에서 발생하는 누설자속이 더 크기 때문인 것으로 생각된다.

4-2. 推進시스템

SLIM에 의한 추진시스템의 시험결과는 표3 과 같다.

표3. 추진시험 결과

공극 길이 : 0.01 mm

5. HDMAG-01 開發의 成果 및 과제

이미 開發의 経緯에서 서술한바와 같이, 그동안 각종자료들을 통해 얻은 지식은 어느정도의 한계성이 있으므로, 비록 小形이지만 실제로 설계, 제작하여 그 시험을 통해 이론과 서로 並行할 수 있는 연구의 필요성을 느꼈다.

아직 다양한 시험은 못해 보았으나 현재까지의 시험을 통해 다음과 같은 成果와 대규모의 高速시스템 설계시 해결해야 할 과제를 나름대로 얻게되었다.

< 성과 >

- 1) 부상시스템 및 추진시스템의 설계 능력 숙적
- 2) 부상용 magnet의 core재질에 따르는 영향
- 3) 부상용 controller 및 gap sensor가 갖 추어야 할 조건
- 4) Track 및 차체의 Stiffness 에 의한 영향

< 과제 >

- 1) 고속운전시 부상, 안내 및 추진시스템의 特性해석
- 2) 車體의 構造 및 安全性
- 3) 보다 정밀한 gap sensor 및 controller 개발
- 4) 진동 및 소음, 열발생에 대한 대책
- 5) 制動裝置
- 6) 集電裝置

6. 結論

磁氣浮上열차는 부상식 鐵道의 特徵인 高速性, 低空害性등을 살린 대량수송기관으로서 세계적으로 도입의 움직임이 활발하다. 특히 우리나라와 같이 지형이 험악한 곳에서는 장거리 交通手段으로서 보다는 도심지내의 大量交通手段으로서 활용되는 것이 더욱 바람직 하리라 생각되며, 이러한 관점에서 자기부상열차의 도입은 긴급한 당면과제인 것

으로 사료된다.

본 연구소에서는 이러한 관점에서 다양한 기술속도를 위해, 현재 HDMAG-02,03 호기의 Prototype을 구상·설계중에 있다.

#### 참 고 문 헌

1. 正田英介, 權丙一, "자기부상철도의 現象과 展望," 전기학회지, Vol.37, No. 4, pp.58-70, 1988
2. 山田一, "Linear Motors 의 応用技術," 実教出版 株式会社, pp.10-34, 1976
3. B.V. Jayawant, "Electromagnetic Levitation and Suspension Techniques," Edward Arnold Ltd. , pp. 80-126, 1981
4. S.A. NASAR, I. BOLDEA, "Linear Motion Electromagnetic Systems," A Wiley-Interscience Publication, pp.23-128, 1985
5. S.A. NASAR, "Electromagnetic Energy Conversion Devices and Systems," Prentice Hall, pp. 9-146, 1970
6. G.F. Nix, and E.R. Laithwaite, "Linear Induction motors for low speed and standstill application," Proc. IEE, Vol.113, No. 6, pp. 1044-1056, 1966
7. 최규철, "外國의 자기부상System의 現象 및 開發 動向," 現代精工(株) 研究報告書 213-002-8807, 1988
8. HERBERT P. NEFF, JR, "Basic Electromagnetic fields," HAPPER & ROW, pp34-452, 1981