

常電導 吸引式 磁氣浮上列車用 電磁石에 대한 實驗的 研究

°金鳳涉°·鄭顯甲°

韓國機械研究院

An Experimental Study on Magnet for Electro-Magnetic Suspension MagLev Vehicle

Bong-Seop Kim · Hyun-Kap Chung

Office of MagLev Project Team, Korea Institute of Machinery & Metals

Abstract : This paper deals with characteristics of magnet that the levitation and guidance forces at static state and we tested and evaluated its. Also we compared to effect of levitation force with material and shape of guide way, focus on evaluation and method of test for the magnet of Urban Transit Maglev vehicle

Key word : magnet test, static state, urban transit maglev

1. 序 論

近年 들어 서울, 부산 등의 대도시의 극심한 交通難의 심각성은 既知의 사실이다. 이러한 교통난의 餘波는 지방의 큰 도시로 확산되어 가고 있는 실정에 있다. 이에 대한 해결책으로는 輕電鐵과 같은 軌道交通手段이 最適이라고 단언해도 무리가 없을 것이다.

輕電鐵은 수송량에 있어서 현재의 지하철과 대중교통인 버스의 중간 수준으로, 시스템의 輕量化 및 건설비의 감소, 自動 運行으로 인한 인건비의 절약, Maintenance free 등의 장점으로 대중교통수단으로서 脚光을 받을 것으로 전망이 된다. 이러한 장점을 모두 갖춘 시스템으로 평가되는 磁氣浮上列車가 産·學·研의 협동 하에 실용화를 위한 꾸준한 연구가 계속되고 있으며, '93 대전Expo에 성공적인 전시운행을 한 바 있으며, 또한 韓國機械研究院 내에 都市型 磁氣浮上列車 실용화 개발을 위한 1.1km 試驗線路가 금년 10월 경에 완공을 앞두고 있어 본격적인 연구가 이루어질 것이다.

磁氣浮上列車用 電磁石에 대한 研究는 1段階('89-'93) 國策 研究事業에서 電氣研究所가 電磁石의 設計, 解析 및 試驗^{1), 2)}을 하였으나, 電磁石 및 對向 Rail을 單一 材料를 사용하였다.

本 論文에서는 새롭게 開發되고 있는 都市型 磁氣浮上列車에 사용될 電磁石의 靜的인 상태에서 아래와 같은 내용에 대하여 檢討하였다

- i) 電磁石의 Core 素材를 電氣 軟鐵과 SS41
- ii) 對向 Rail의 橫斷面 形狀을 銲接 구조와 單一體 구조
- iii) 對向 Rail의 素材를 SS41, S10C

이러한 一連의 試驗 등은 電磁石의 性能 改善을 위한 最適化 設計 및 製作을 위함이며, 나아가서 都市型 磁氣浮上列車의 設計 標準化와 새로운 大衆交通手段으로서의 公認 등에 필요한 技術資料의 蓄積에 있다.

2. 試驗機

2.1 試驗機 구조 및 구성

浮上用 電磁石에 대한 성능시험을 위하여 사용된 시험기는 그림 1에 나타내었다. 본 試驗機에서 浮上力은 아래와 같이 각각의 總sum으로 산출하였다.

- i) SUS304 板材의 무게,
- ii) SUS304 板材와 電磁石을 조립해 주는 Bracket의 무게,
- iii) 電磁石의 自重,
- iv) Load Cell(1000[kgf], 4set)에 나타난 數值

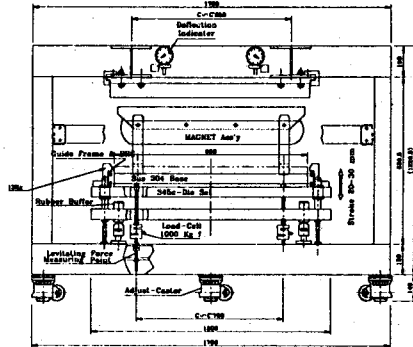


그림 1. 試驗機의 構造

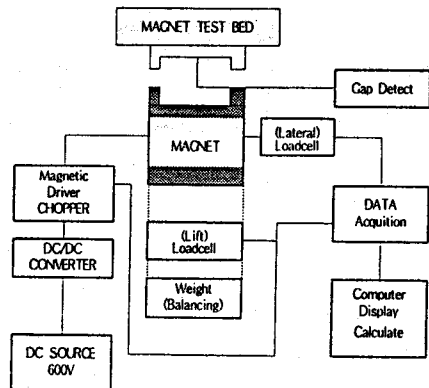


그림 2. 試驗機의 構成圖

2.2 試驗에 使用된 電磁石

시험에 사용된 電磁石은 '91년도 國策研究事業에서 설계, 제작하여 1st Module用 磁氣浮上列車에 應用되었던 것으로 1st Module用 電磁石이라 稱한다. 電磁石에 대한 設計 仕様을 표 1에 나타내었다.

표 1. 1st Module用 電磁石의 設計 仕様

SPECIFICATION	UNIT	CONTENTS
Initial Air Gap	mm	20
Normal Air Gap	mm	11
Stagger Separation	mm	5
Magnet Pole Length	mm	940
Magnet Pole Width	mm	28
Coil Width	mm	160
Slot Depth	mm	93
Yoke Length	mm	751
Yoke Depth	mm	35
Bottom Pole Depth	mm	34
Ampere Turn	AT	13,652
Maximum Ampere Turn	AT	22,770
No. of Coil Turn	Turn	506
Total Mass	kg	140
Lift to Weight		6.67
Maximum Temperature	℃	180
Area of Al Coil	mm ²	21
Current Density	A/mm ²	1.2
Resistance	Ω	1.11
Inductance	H	0.32
Conductor Material		Al

2.3 磁氣浮上列車用 對向 RAIL

Rail은 그림 3에서와 같이 2종류의 橫斷面 形狀을 銲接 구조와 單一體 구조를 使用하였으며, Rail의 材質은 SS41(銲接 구조, 單一體 구조)과 S10C(單一體 구조)로 하였다.

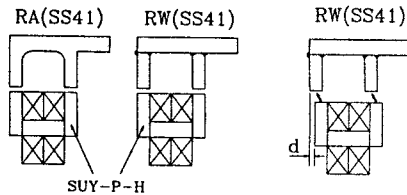


그림 3. Rail의 橫斷面 形狀

3. 試驗 方法

3.1 靜的 狀態의 定格 浮上力

浮上用 電磁石은 CHOPPER(100VDC~250VDC, 정격 25A, IGBT소자, PWM제어방식)³⁾로 구동되며, 靜特性 시험기에 시험용 電磁石을 杼부하고, 空腔을 初期 浮上 상태인 20[mm]에서 定格 浮上 상태인 11[mm] 까지 변화(17[mm], 15[mm], 13[mm])를 주면서 CHOPPER의 電流를 증가시키 가며 각각의 浮上力을 측정하였다. Force 측정의 精化도를 높이기 위하여 一定 空腔을 유지하는데 畵점을 두었다. 그림 4에 空腔 변화에 따른 電流 대 浮上力의 관계를 나타내었다.

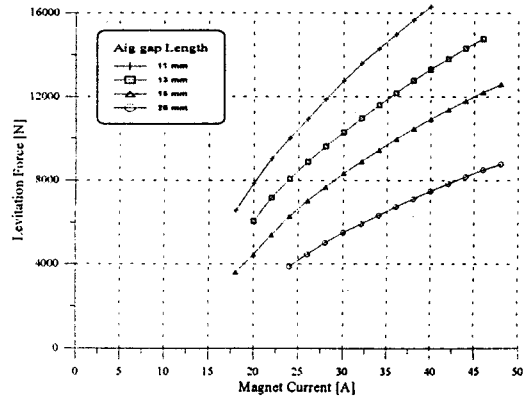


그림 4. 浮上用 電磁石의 空腔 變化에 따른 浮上力

3.2 靜的 狀態의 定格 案内力

電磁石의 案内力(Guidance Force)을 계측하기 위하여 電磁石의 한쪽 측면에 Load Cell(500[kgf])을 2개를 杼부하였다. 시험 방법은 定格 浮上 상태(Air Gap : 11[mm])에서, 電磁石과 對向 Rail이 垂直 方向으로 一直線上(電磁石이 浮上力을 발휘하면 自然히 一直線 상태에 到達함)에 이르도록 한 후 案内力 측정용 Load Cell의 값이 0이 되도록 調整하였다. 一定 電流를 흘린 상태에서 對向 Rail을 橫方向으로 變位를 증가시키면서 浮上力 및 案内力의 變化를 계측하였다.

4. 試驗 結果

4.1. 浮上用 電磁石의 對向 Rail 材質 別 浮上力 變化

電磁石의 Core材는 電氣軟鐵(日本 太平洋 金屬製, SUY-P-H)로, 對向 Rail의 材質은 SS41과 S10C를 使用하였고, 對向 Rail의 橫斷面 形狀은 SS41 板材를 切斷, 銲接하여 제작한 銲接 구조(RW: Welded Rail)와 두꺼운 板材를 形削 加工하여 제작(실제 대량 생산일 경우는 Roll Forming에 의한 加工으로 제작함)한 一體형인 RA와 RB의 경우에 대하여 浮上力 시험을 하였다. 여기서 RA는 材質이 S10C로 코너部가 R60 [mm]이며, RB는 材質이 SS41로 코너部로 R60 [mm]인 경우이다.

對向 Rail의 材質 別 浮上力 變化를 보면 그림 5에서와 같이 電流가 增加함에 따라 SS41 보다 S10C 쪽이 적은 양이지만 약간 높은 것을 알 수 있으며, 形狀 構造에 따른 差異는 그다지 없는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에 의해 對向 Rail의 材質을 SS41로하더라도 浮上力에는 그다지 影響을 미치지 않는다는 것이 確認되었다.

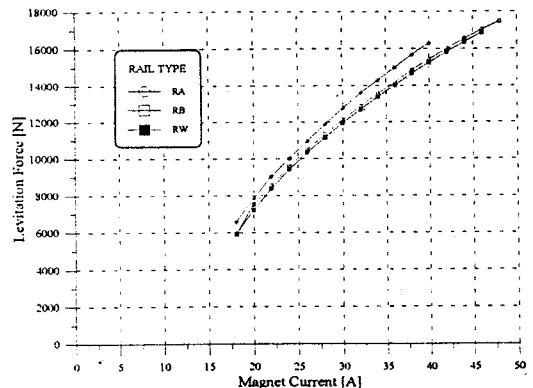


그림 5. 浮上用 電磁石의 對向 RAIL 材質 別 浮上力 變化

4.2. 浮上用 電磁石의 橫方向 變位에 따른 案内力 變化

그림 2에서 보는 바와 같이 電磁石을 對向 Rail에 대하여 橫方向으로 d[mm] 만큼 변위를 주었을 때의 案内力의 變化를 계속하였다. 시험 조건은 定格 浮上 空際(空際 11[mm])이며, 電磁石의 Core재는 SUY-P-H이고, 對向 Rail의 形狀은 銲接 構造(RW)이고 材質은 SS41이다.

그림 6에서 보는 바와 같이 1st Module용 電磁石의 定格 電流가 27[A], 定格 浮上空際 11[mm]이며, 이때의 定格 浮上力은 9,500[N]이다. 이때 橫方向 변위 d = 2[mm]일 경우 案内力은 500[N]으로 定格 浮上力의 약 5% 정도 임을 알 수 있다. 이는 磁氣浮上列車의 橫方向 制御時 도움이 될 것이다.

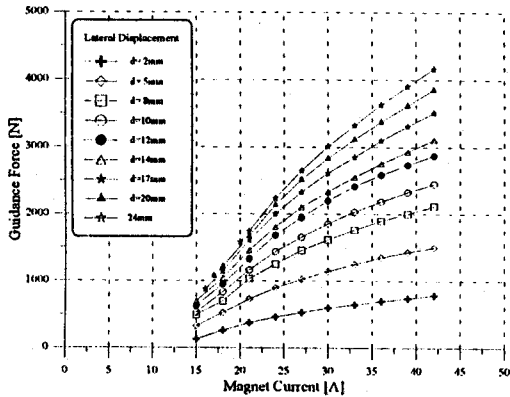


그림 6. 浮上用 電磁石의 橫變位에 따른 案内力 變化

4.3. 浮上用 電磁石의 Core 材質 및 浮上力 변화

電磁石의 Core재는 일반적으로 電氣軟鐵 즉 純鐵에 가까운 材質을 사용하였다. 그러나 電氣軟鐵은 국내 생산이 되지 않고 수입에 의존하는 실정이다. 이를 해결하기 위한 하나의 방법으로 표 2에서와 같이 電磁石의 Core재를 여러 가지로 바꾸어 浮上力을 시험해 볼 수 있을 것이다. 본 論文에서는 가격이 低廉하고 시중에서 손쉽게 購入이 가능한 SS41을 Core材로 선택하였다. 여기서 電磁石의 Core라 함은 Core = Yoke + Pole을 의미하며, 構成은 그림 7과 같다.

표 2. 電磁石의 Core材의 構成

YOKE	POLE
電氣軟鐵	電氣軟鐵
SS41	SS41
電氣軟鐵	SS41

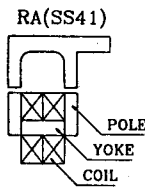


그림 7. 電磁石 Core 材 構成

電磁石의 對向 Rail은 RA(SS41) Type을 대상으로 시험을 하였고 試驗 結果는 그림 8과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 2 種類 모두 各各의 空際에서 電流가 增加 함에 따라 浮上力의 差가 낮은 電流에서는 작은 差를 보이지만 大略 一定한 差를 가지면서 增加 하는 것을 알 수 있으며, 그의 差는 그다지 크지 않음을 보이고 있다. 1st Module 用 電磁石에서 設計仕樣을 보면 浮上力이 速度가 零일때 定格 電流 27[A], 空際 11[mm]에서 浮上力을 9,500[N]으로 豫想하고 있다. 그러나 試驗 結果 같은 條件에서 浮上力이 Core材 SUY-P-H 일 境遇 11,540[N], SS41일 境遇 11,050[N] 으로 設計 値 보다 높게 나타나고 있다. 이러한 結果를 보아 1st

Module用的 電磁石일 境遇에는 Core材를 SS41로 할 수 있다는 것을 알 수 있다.

試驗 結果를 가지고 評價할 수 있는 것은 Core材가 SS41일 境遇에는 性能上 最適化에 가까이 接近하였고, SUY-P-H 材에서는 아직도 많은 最的化가 이루어져야 할 것으로 判斷된다. 다시 말해 SS41일 境遇는 浮上力/電磁石自重比 = 6.67로 限界 값에 가까운 것으로 생각되며, SUY-P-H 일 境遇는 電磁石 自重을 줄이기 위한 努力, 即 最適化에 더욱 努力할 必要가 있다고 말할 수 있다.

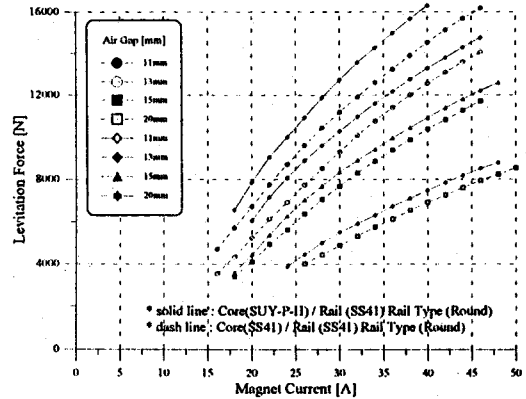


그림 8. 浮上用 電磁石의 Core 材質 및 浮上力 변화

4.4. 浮上用 電磁石의 對向 Rail 橫斷面 形狀 및 浮上力 변화

對向 Rail의 橫斷面 形狀을 2가지로 하였을 때의 浮上力 變化에 대하여 알아보았다. 그림 2에서와 같이 Rail의 제작을 SS41의 판재를 切斷, 銲接하여 제작한 RW형과 SS41의 厚板(두께 약 125[mm])을 하나의 素材로 하여 Rail의 Leg 부분을 形削 加工하여 제작한 RA형으로 銲接부위가 없는 一體形으로 하였다.

試驗 結果를 그림 9에 표시한다. 그림에서 보는 바와 같이 電流가 27[A]에서 RW와 RA Type 間의 浮上力의 差가 約 650[N] 程度이며, 電流의 增加에 따라 浮上力 差도 작은 값이기는 하지만 差가 벌어지는 傾向을 알 수 있다. 이것은 앞에서 記述한 바와 같이 Leg와 翼板材와의 銲接時 Leg와 翼板材 사이에 작은 空際이 發生하여 磁束 漏洩이 있었기 때문과 또 코너部가 角으로 形成되어 磁束 흐름이 圓滑하지 못하기 때문에 RW Type 쪽의 浮上力이 작게 나타나는 것으로 豫測된다.

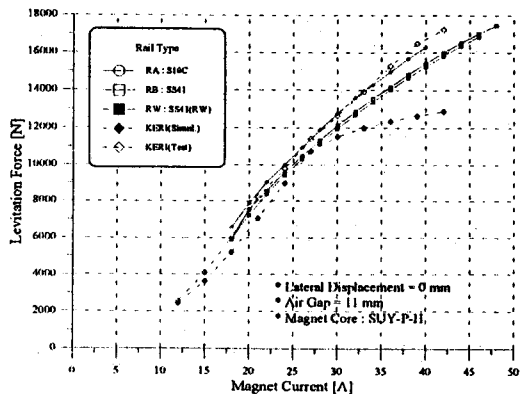


그림 9. 浮上用 電磁石의 Core 橫斷面 形狀 別 浮上力 變化

5. 結 論

여러 종류의 電磁石에 대하여 靜的인 狀態의 각종 試驗을 하였다. 試驗을 통하여, 1) 電磁石의 對向 Rail에 대한 形狀과 材質 等의 選定 基準을 提示할 수 있었고, 2) 電磁石 Core材를 여러 가지로 바꾸어 가며 試驗을 해 봄으로서 Core材에 따른 浮上力 變化를 알 수 있어 電磁石 最適 設計에 必要性을 再 強調하는 機會를 만들었고, 3) 橫方向 變位에 따른 案內力 측정을 함으로서 橫方向 制御에 관한 資料를 提供할 수 있게 되었다.

以上の 結果 외에 靜的인 狀態에서의 電磁石 性能 試驗 技法을 熟知하게 되었고, 試驗을 통하여 試驗機의 改善點을 알게 되어 이를 補完 할 계획이다.

또한 向後 走行 速度의 增加에 따른 電磁石의 浮上力 減少와 所要 電力量의 影響 등을 考慮한 電磁石 動特性 試驗 機를 開發하여 관련 試驗을 할 豫定이다.

<參考文獻>

- 1) “磁氣浮上 및 推進 시스템 技術開發”, 韓國電氣研究所 研究報告書, 1991. 9.
- 2) “韓國型 磁氣浮上列車 모듈 開發”, 韓國電氣研究所 研究報告書, 1991. 12.
- 3) “磁氣浮上 및 推進 시스템 技術開發”, 韓國電氣研究所 研究報告書, 1992. 7.