

常電導 吸引式 磁氣浮上列車用 電磁石에 대한 實驗的 研究(II)

°金 鳳 涉° · 鄭 顯 甲° · 姜 丙 官** · 姜 萬 植**
 * 韓國機械研究院 ** 現代精工技術研究所

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

Bong-Seop Kim° · Hyun-Kap Chung° · Byung-Kwan Kang** · Man-Sic Kang**
 * Korea Institute of Machinery & Materials ** Hyundai Precision & Ind.Co.Ltd.

ABSTRACT : This paper deals with the magnet for Urban Transit Maglev-01 (Electro-Magnetic Suspension) which is experimented by the static magnet test bed. The test bed is developed for the hinge style.

This paper shows the levitation force vs magnet current and difference of the yoke depth.

KEYWORD : (Urban Transit Maglev), Static Magnet Test Bed

1. 序論

磁氣浮上列車는 低公害 大眾交通시스템으로 先進 各國에서 많은 연구가 深度있게 進行되고 있는 것은 널리 알려져 있으며, 그에 대한 大眾交通시스템으로서의 必要性 및 妥當性 또한 獨逸, 日本 등 先進國에서 立證되어 實用化 段階로 轉換 中에 있다. 獨逸의 경우 베를린과 함부르크간을 위한 常電導 吸引式 浮上, 線型 同期 電動機 推進방식인 TRANSRAPID-07을 개발 完了한 상태이다. 日本은 中部 HSSST社에서 중저속형 磁氣浮上列車인 常電導 吸引, 線型 誘導電動機 추진방식의 CHSST-100L을 개발하여 나고야 시험선로에서 시험이 完了 段階에 있다.

韓國의 磁氣浮上列車는 '89년부터 國策研究事業¹⁾²⁾³⁾이 産 · 學 · 硏에 의해 시작되었으며, 6년이 지난 현재 磁氣浮上列車 事業團은 '93 大田 EXPO에서 성공적인 전시 運營을 이룩한 現代精工과 總 5년('94~'98)에 걸쳐 都市型 磁氣浮上列車 (UTM-01 : Urban Transit Maglev-01) 開發事業⁴⁾을 수행 中에 있다.

韓國機械研究院 내에 건설 中에 있는 1.1Km 시험선로가 '95년 11월중에 格納庫를 비롯한 曲線 軌道, 直線 軌道を 完공하여 浮上 · 推進에 대한 본격적인 시험을 연말에 실시하게 된다.(台車에 대한 시험은 '95년 10월부터 進行 中에 있음)

實測 크기 吸引方式 電磁石의 靜特性시험에 있어 Core 素材면, 대향 Rail의 橫斷面 形狀면, 대향 Rail의 素材면에 대한 浮上力 變化를 第1報⁵⁾에서 提示한 바 있다.

本 論文에서는 1.1Km 都市型 磁氣浮上列車용 시험선로 요건에 맞는 電磁石을 現代精工과 사인단이 설계하여 現代精工에서 제작한 UTM-01형 浮上용 電磁石을 개선된 전자석의 靜特性 試驗機로 시험하였고, 그의 결과에 대한 고찰을 기술한다.

2. 改善된 靜特性 試驗機

2.1. 試驗機 構造 및 構成

UTM-01형 電磁石에 대한 특성시험을 고려한 試驗機를 그림 1에 구조를 나타내었다. 기존의 試驗機⁵⁾에 Single Magnet Semi

-Dynamic Test를 겸하기 위한 장치를 附加하였다. 本 試驗機는 上下 自由度를 제외한 Hinge Type로 電磁石의 浮上제이기 및 Chopper를 시험할 수 있도록 하였다. 사진 1에 Hinge Type Magnet Test Bed를 보여준다.

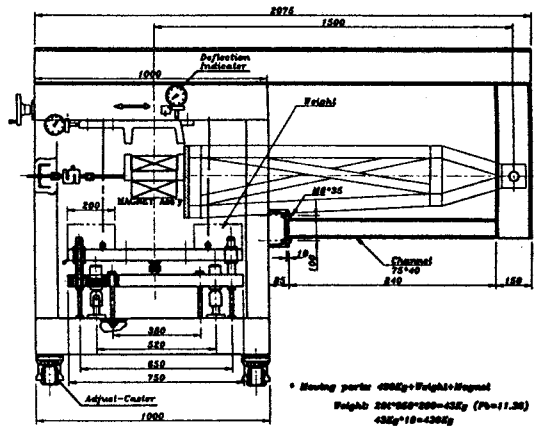


그림 1. 개선된 試驗機의 제작도(側面圖)

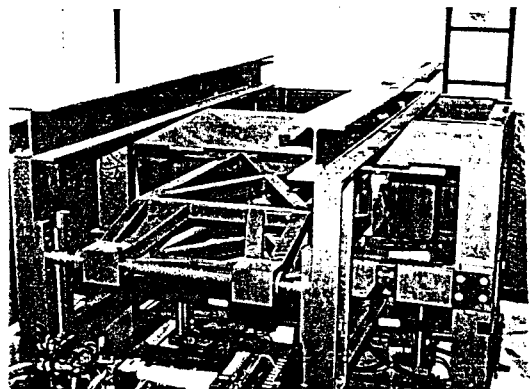


사진 1. MAGNET TEST BED (Hinge Type)

2.2. UTM-01형 電磁石

UTM-01형 電磁石은 1차 시제품 1대(이하 UTM-01-MC)와 1.1Km 시험선로 2 Bogie 시험용 16대중의 한대(이하 UTM-01-16)를 시험하였다. 두 電磁石의 區分은 표 1에 設計 辭讓은 표 2와 같다.

표 1. 試驗 電磁石의 區分

	시제품(UTM-01-MC)	BOGIE용(UTM-01-16)
CORE 材質	CMI ⁺ -B 50% CMI ⁺ -C 50%	CMI ⁺ -C 100%
COIL材質 및 斷面積	Al 각선, 21mm ²	Al 각선, 21mm ²

* CMI : 電磁石 Core 계 제작사

표 2. UTM-01형 電磁石의 主要 設計 辭讓

SPECIFICATION	UNIT	CONTENTS
Vehicle Total Weight	TON	29
No. of Magnet per Vehicle	EA	24
Magnet Pole Length	mm	680
Initial Air Gap	mm	19
Normal Air Gap	mm	11
Stagger Separation	mm	2.5
Magnet Pole Width	mm	32
Coil Width	mm	168
Slot Depth	mm	125
Yoke Length	mm	440
Yoke Depth	mm	70
No. of Coil Turn	TURN	680
Total Mass	Kg	175
Resistance	Ω	1.03
Inductance	H	0.46

2.3. 對向 RAIL

試驗機에 사용된 對向 RAIL은 鎔接構造형이며 材質은 SS41이다. SS41은 鎔接 후 熱變形을 수정하기 위하여 熱處理하여 機械加工한 것을 사용하였다. 제작은 1.1Km 시험선로 시공회사인 韓國重工業에서 가공 제작하였다.⁹⁾

3. 磁氣浮上의 基本 構造 및 試驗 方法

3.1. 基本 構造

磁氣浮上의 基本 構造는 그림 2와 같이 電磁石과 레일간이 일정한 空극을 유지한 상태에서 浮上原理를 보여주고 있다.⁹⁾

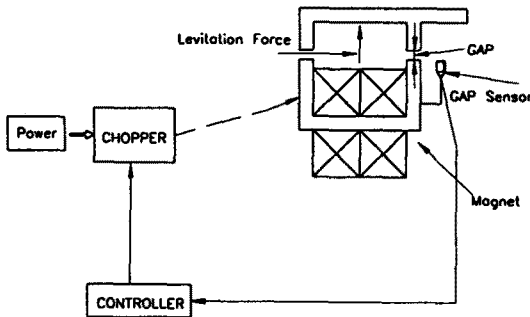


그림 2. 常電導 吸引式 磁氣浮上 基本 構造圖

浮上力을 F_L , 案內力을 F_G 라 하면

$$\text{浮上力은 } F_L = \frac{\mu_0 (AT)^2 S}{(2\delta)^2} \left(1 - \frac{\gamma}{2\omega}\right) [N]$$

$$\text{案內力은 } F_G = -\frac{\gamma}{2\omega} \cdot \eta \cdot F_L [N]$$

과 같다.

여기서 μ_0 : 眞空透磁率, AT : 氣磁力[AT]

ω : 磁極幅, γ : 橫變位時 偏位

δ : 空極, S : 橫쪽 磁極 斷面積

η : 磁石形態에 따른 案內力 係數(通常 0.8-1)

3.2. 試驗方法

그림 2에서와 같이 Main Power는 600 VDC이며, DC/DC Converter에 의해 300 VDC로 變換하여 Chopper에 공급된다. Magnet Driver인 Chopper(300 VDC, 定格 21[A], IGBT素子 使用)는 10kHz의 Switching 周波數로 動作된다.

그림 3은 浮上용 電磁石(시제품)의 初期浮上상태인 19[mm]일 때와 定格浮上상태인 11[mm]에서의 浮上力을 보여주고 있다.

試驗機의 개선된 구조상 상하자유도만 허용되어 案內力 측정은 Hinge를 부착하기 전에 측정하였다. 평면위에 따른 浮上力과 案內力의 관계를 그림 4에 나타내었다.

시제품 電磁石과 BOGIE용으로 구분하여 材質의 차이에 따른 浮上力의 차이를 검증하였으며, 電磁石의 YOKE 부분을 70[mm]에서 65[mm]로 전삭 가공하여 浮上力의 차이를 살펴보았다. 또한 FLUX-2D로 磁通密度 分布와 레일간의 空極 變化에 따른 浮上力의 Simulation을 해보았다. 常時 停止 浮上時 電磁石의 溫度상태를 파악하기 위하여 溫度特性試驗을 하였다.

4. 試驗結果

4.1. UTM-01-MC 電磁石의 浮上力 特性

都市型 磁氣浮上列車(UTM-01) 개발계획에 따라 시험용 電磁石 1대를 제작하였다. 본 電磁石은 표 1에서와 같이 UTM-01-MC로 하였고, 1.1Km 시험선로의 BOGIE #1, BOGIE #2에 조립되어질 電磁石 중 1대를 추가 시험하였으며, 이를 UTM-01-16으로 하였다. 각 대차에는 8대의 電磁石이 취부된다.

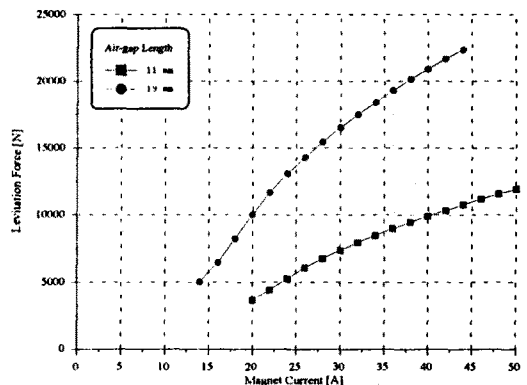


그림 3. 初期, 定格浮上에서의 浮上力(UTM-01-MC)

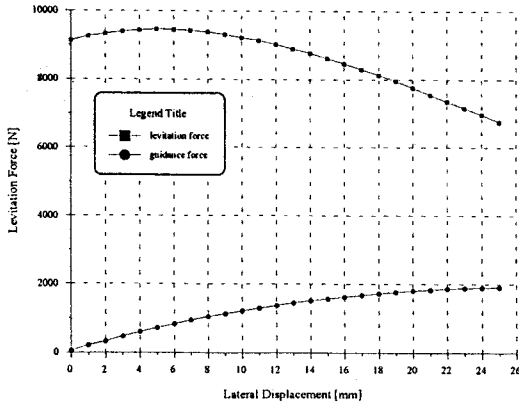


그림 4. 橫變位에 따른 浮上力과 案内力

그림 5에 2가지 電磁石에 대한 浮上力을 나타내었다. 電流增加에 따른 浮上力의 差는 표 2에서 나타내었듯이 Core 材質의 差異에 의한 影響으로 分析되었다.

4.2. 電磁石의 YOKE 두께 加工에 따른 浮上力 特性

UTM-01-MC 電磁石의 YOKE 두께를 제작시 70[mm]와 切삭 가공후 65[mm]로 구분하여 시험하였다. 그림 5에서 點線으로 표시한 것이 解析(FLUX-2D) 缺誤, 實線으로 표시한 것이 試驗結果이다. 解析의 경우 定格浮上の 11[mm]에서, 시험은 11[mm], 19[mm] 두 경우를 나타내었다.

定格浮上 공극 11[mm]에서 試驗値와 解析値를 비교해 보면, 電流가 18[A] 이하의 낮은 電流에서는 시험치와 解析결과가 비교적 잘 일치하고 있으나 20[A] 이상 높은 電流상태에서는 차가 있음을 알 수 있다. 解析결과에서는 20[A]의 높은 電流상태에서 浮上力의 增加曲線이 현저하게 꺾임을 보이다 40[A]에서 부더는 飽和상태를 보이지 않고 있어 試驗値와 解析結果 差를 보이고 있다. 이는 解析조건的 설정과 解析방법의 差異에 기인된 결과라 생각되어 解析방법에 대한 연구가 더욱 이루어져야 될 것으로 사료된다.

解析결과 그림에서 보는 바와 같이 YOKE와 70[mm]일 경우와 65[mm]일 경우 浮上力의 차가 그다지 없는 結果를 보이 YOKE의 두께 加工을 斷行, 試驗하였다. 結果를 보면 낮은 電流에서 YOKE의 두께차에 대한 浮上力의 차가 별로 보이지 않지만 電流가 증가함에 따라 그의 差는 커짐을 알 수 있다.

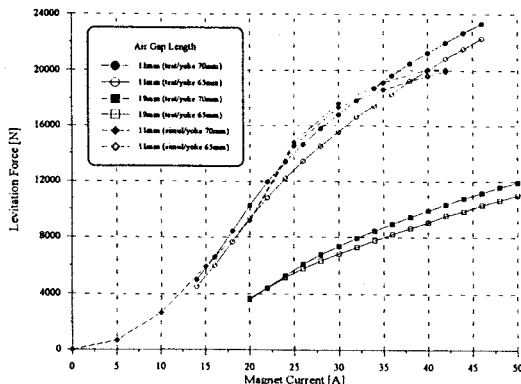


그림5. UTM-01-MC와 UTM-01-16의 浮上力 비교와 Yoke 두께 加工에 의한 電磁石의 浮上力 變化

4.3. 電磁石의 溫度特性試驗

운전시의 浮上力을 높일수 있는지의 여부를 판단 하기 위하여 電磁石의 溫度 特性 시험을 하였다.

시험 結果를 그림 6에 표시한다. 시험은 定格 電流인 21[A] 보다 높은 24[A]에서 4시간 정도 電流를 흘려 Coil의 溫度 變化를 계속하였다. 電流가 24[A]일때 浮上力은 YOKE = 70[mm]에서 13,200N, YOKE = 65[mm]에서 12,050N이다. 시험시의 大氣溫度는 약 11℃이고, 시험 결과 168℃에서도 溫度의 포화점이 보이지 않으나 走行時에는 自然 空氣 冷却 效果가 있어 Coil의 溫度 上昇率이 상당히 減少하므로 H種 絶緣상태로는 安진한 것으로 判斷된다.

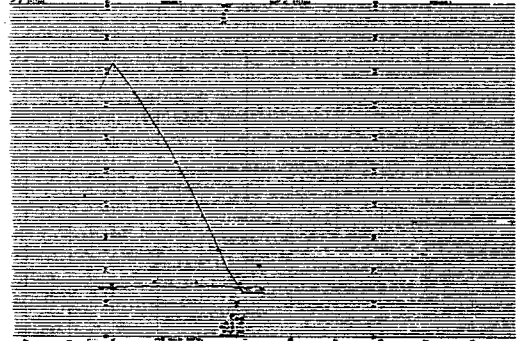


그림 6. UTM-01-16의 溫度特性 曲線

5. 結論

1차로 92-93년도에 개발된 Prototype 1st Module용 電磁石을 시험한 바 있으며, 2차로 UTM-01형 電磁石에 대하여 試驗機를 改善하여 시험하여 보았다. 試驗結果에 나타남과 같이 충분한 시험을 하지는 못했지만 차기년도에 車輛用 電磁石을 製作할 시에는 輕量化, Coil 改善 部分에서 試驗 檢討될 것이다.

都市型 磁氣浮上列車용 電磁石은 시험신의 Rail 構造, 形態, 曲線半徑으로 인한 台車(BOGIE)의 길이가 制限되는 관계로 電磁石의 性能改善, 效率向上, 製作費低感 등에 限界가 發生된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 電磁石의 最適 설계·제작 못지 않게 電磁石을 구동하는 Chopper의 性能 向上, 浮上제어기의 信頼性을 향상시키는 研究 또한 進行되어야 할 것이다.

본 시험을 통하여 靜的인 狀態에서의 電磁石 성능 시험 기법을 熟知 하게 되었고, 都市型 磁氣浮上列車의 실용화를 위한 資料 蓄積을 할 수 있었다. 또한 試驗機의 개선점을 알게 되어 次期 연구에서는 이를 補充할 계획이다.

<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.
- 4) “都市型 磁氣浮上列車 開發事業 I”, 韓國機械研究院 研究報告書, 1995. 5.
- 5) 鄭顯甲, 金鳳涉, “常電導 吸引式 磁氣浮上列車용 電磁石에 대한 實驗的 研究”, 大韓電氣學會 夏季學術大會, 1995. 7.
- 6) 正田 英介, 藤江 柊治, 加藤 純郎, 水間 毅, “磁氣浮上鐵道の 技術”, オーム社, 1992.