

도시형자기부상열차의 주행성능시험(II)
- 부상시스템 -

이정석, 이서우, 김봉섭*
한국기계연구원 신교통기술연구부 자기부상열차개발그룹

The Study on the Running Test of Urban Transit Maglev (II)
- Levitation System -

Jeong-Seok Lee, Seo-Woo Lee, Bong-Seop Kim*
KIMM New Transportation Depart. Maglev Project Group

Abstract - In this paper deals with running test for the UTM(Urban Transit Maglev)-01, that is test and evaluation for the maglev. We will predict about the test value for running maglev vchicle. In this time we tested rms gap fluctuation and peak to peak air gap for levitation system of UTM-01. And then we preedit for the upgrade Maglev System.

Keyword : Tets & Evaluation, UTM-01, RMS Gap Fluctuation, peak to peak

1. 서 론

도시형 자기부상열차(Urban Transit Maglev)의 기술개발사업은 1994년 5월에 시작되었다. 총 3개년 사업으로 구성된 자기부상열차실용화 기술개발사업은 1단계에서는 요소성능기술개발이 추가 되었고, 2단계에서는 Prototype인 시험차를 제작하여 성능이 확인된 각 시스템을 부상 및 주행시험을 개시하였다. 현재 3단계에서는 TCMS(Total Control Monitoring System) 및 신호 통신과 무인자동운전 등으로 구성되어있다. 또한 종합 주행성능시험을 수행함으로써 차량의 부상 및 주행 특성을 파악하여 도시형 자기부상열차의 실용화를 위한 자료로 활용되어야 할 것이다.

지금까지의 도시형 자기부상열차기술은 각 요소 별로 정리되어져 있다. 요소기술이라 함은 부상계 및 부상제어기술, 추진계 및 추진제어기술, 전력변환기술 등으로 분리할 수 있다. 이와 같은 요소기술들이 종합적으로 차량으로 구성되어짐으로서 차량 단위의 성능시험을 거치는 종합주행성능시험이 필요하게 된다.

본 논문에서는 종합주행성능시험이 성능개선 및 실용화를 위하여 각종 시험방법 및 시험기준, 시험평가 확보를 목적으로 하고 있다. 그 첫 번째로 부상계통의 핵심 요소기술을 정리하고 시험 방법, 시험 기준 및 평가를 도출하므로써 도시형 자기부상열차의 실용화 기준과 차량 성능을 확보하는데 있다. 직선 주로 상의 속도 별 gap fluctuation과 곡선 주로 상의 부상 전류의 변화를 계측하여 RMS 값으로 환산하여 부상상태를 확인하였으며, 차량의 속도 증가에 따른 예측을 함으로서 시험선로의 증설 및 실용화를 위한 귀중한 자료가 될 수 있다고 판단된다.

2. 부상시스템 개요

도시형 자기부상열차의 부상시스템은 1차량에 3개의 보기(bogie)로 되어있다. 1대의 bogie는 2대의 side frame이 tie beam에 의하여 수평배치로 구성되어있다. Side frame은 4대의 부상전자석과 1대의 추진용 선형 유도전동기가 side frame의 길이 방향으로 배치되어있

다. 그림 1은 부상시스템의 개요를 보여주고 있다.

그림 1에서 나타내었듯이 부상용 전자석은 side frame의 측면에 부착되어 부상 및 착지 시 차체를 들어 올리거나 내릴 수 있게 한다. 따라서, 주행 중 부상실패와 같은 문제가 발생하여도 바퀴식 열차와 같이 열차의 탈선이 있을 수 없다. 추진용 선형유도전동기의 앞뒤에 착지용 보조바퀴가 장착되어있어 비상 착지 시에 보조바퀴로 주행이 가능하다.

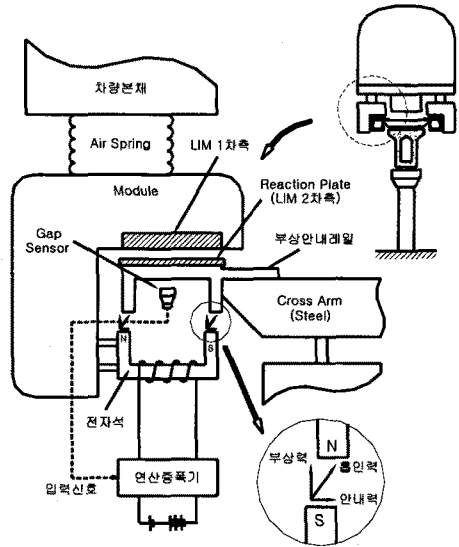


그림 1. 자기부상 원리도

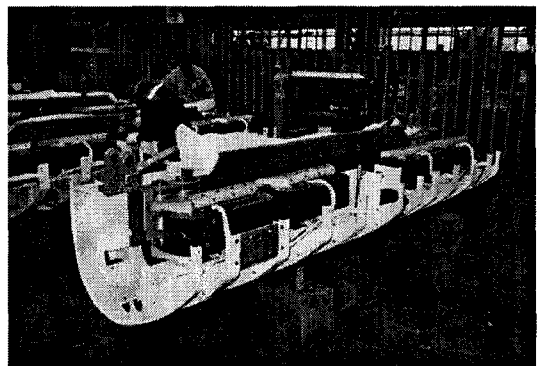


사진 1. Side frame에 부착된 전자석과 LIM

그림 1에는 나타나있지 않지만 side frame의 좌우측을 연결하는 tie beam이 있다. 이 tie beam은 보기

당 2대로 되어있으며, 곡선주행 시에 spring 역할을 하게 된다.

부상용 전자석은 1대의 보기에 8대가 장착되는데 side frame당 4대가 부착된다. 부상제어시에는 각 side frame에 2코너를 설정하여 보기당 4코너를 제어하게 된다. 각 코너는 2대의 전자석을 1대의 쇼퍼가 구동하게 되는데 1대의 쇼퍼에는 2대분의 쇼퍼가 내장되어 전자석 2대를 구동한다.

사진 2와 3은 부상용 전자석과 공극센서를 보여 주고 있으며, 그림 4는 쇼퍼를 보여주고 있다.

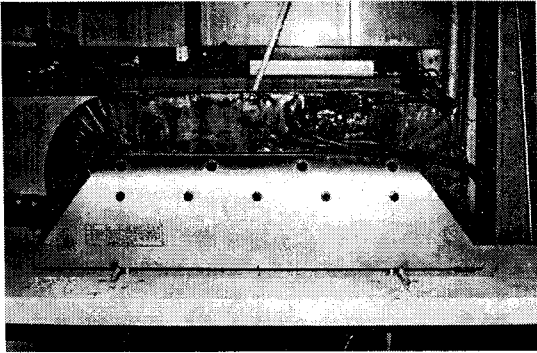


사진 2. 부상용 전자석

표 1은 UTM-01의 1호 차량용 전자석과 2호 차량용 전자석의 코일을 비교한 것이다. 1호차량의 경우 알루미늄 각선에 절연지를 감았기 때문에 산화피막을 사용한 2호 차량에 비해 부피가 커졌다. 중량의 경우 1호차에 비해 약 23% 감소를 보였다.

표 1. 전자석 코일 비교표

ITEMS	MAGNET COIL	
	Aluminum Rectangular	Anodized Sheet Coil
COIL SECTION (W×H)(mm)	3×7	80×0.25
COIL TURN	330 turn/1coil	330 turn/1coil
COIL MATERIAL	Aluminum	Aluminum
CONDUCTIVITY ($\Omega \cdot \text{cm}$) at 20°C	2.785×10^{-9}	$2.73 \sim 2.94 \times 10^{-9}$
RESISTANCE	1.76 [Ω]	1.58 [Ω]
INDUCTANCE	36.85 [mH]	64.36 [mH]
IMPEDANCE	2.91 [K Ω]	4.34 [K Ω]

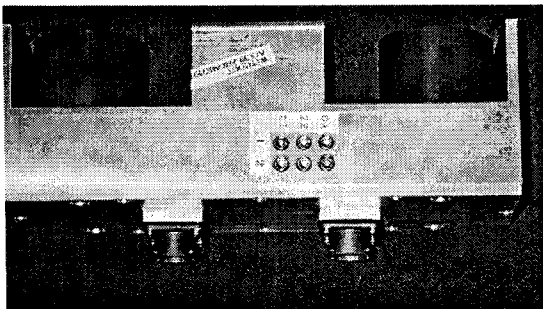


사진 3. 부상 공극 센서 (가속도센서 내장)

그림 3은 도시형 자기부상열차의 공극의 길이 및 수

직방향 가속도신호를 발생시키는 장치로서 보기 당 4대가 달려있다. 공극센서는 0~25mm의 측정 범위를, 가속도센서는 $\pm 15g$ 까지 측정이 가능하다.

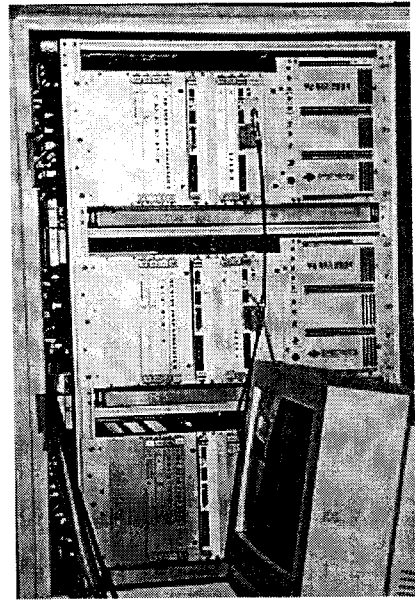


사진 5. 부상 제어기(1차량 분)

사진 5는 UTM-01용 부상제어기를 보여주고 있다. Digital 방식을 사용하고 있으며, 제어기의 우측은 전원 부로서 센서의 전원과 제어보드의 전원을 공급하고 있다. 중앙부는 main CPU 보드가 들어가 있으며, 좌측은 analog 보드로서 measuring을 담당하고 있다. 쇼퍼의 전류, 공극센서, 가속도센서 등의 값을 측정하는데 사용한다. 주요 제원은 표 2와 같다.

3. 부상 및 주행시험

도시형 자기부상열차의 부상, 주행시험은 서론에서 언급하였듯이 정지 시의 부상전류 및 부상 공극의 변동값과 속도 별 주행시의 부상 전류 및 부상 공극의 변동값을 측정한다. 자기부상열차의 주행 시 승객하중은 실험상의 어려움 때문에 여기서는 고려하지 않았다.

부상시험의 경우 외란이 적은 자기부상열차 궤널과 내에서 진행되었으며, 전체 차량 부상 시 24대의 전자석의 부상전류를 측정하여 RMS 값과 peak to peak 값으로 분류하였다.

정지 부상시험 결과, 부상 공극의 RMS 값은 10.606 mm로서 부상제어기의 reference gap인 10.5mm에 상당히 근접하고 있다. Peak to peak의 경우 $\pm 0.121\text{mm}$ 로서 잔진동이 없이 부상하고 있음을 알 수 있다. 물론 주행태일의 불균일에 의한 공극센서의 값은 장소에 따라 다르기 때문에 고려하지 않았다.

주행 시험의 경우 속도에 따라 gap fluctuation이 커지는 경우가 있는데 UTM-01의 주행 속도를 7km/h, 17km/h, 28km/h, 36km/h로 구분하여 시험하였다.

주행속도 7km/h의 경우 공극의 RMS 값은 10.62mm로 계속되었고, 17km/h의 경우 공극의 길이는 10.64mm, 28km/h의 경우 10.66mm, 36km/h의 경우 공극의 RMS 값은 10.68로 측정되었다.

주행시의 공극의 peak to peak 값은 7km/h의 경우 $\pm 1.555\text{mm}$, 속도 17km/h의 경우 $\pm 1.583\text{mm}$, 속도

28km/h의 경우 $\pm 1.89\text{mm}$, 속도 36km/h에서 공극의 peak to peak은 $\pm 2.025\text{mm}$ 이었다.(하단 그림참조)

상기의 data는 1KHz의 sampling을 하였으며, data acquisition 장비는 미국의 Nicolet Data Acquisition(Odyssey)를 사용하였으며, 본 장비의 신뢰성은 maximum static err.에서 0.03% FS 이다. 본 주행시험은 1Km의 전구간을 주행하였을 경우이다. 시험선로의 직선구간 길이가 200m 증설되는 경우 열차의 속도는 약 70km/h 까지 향상시킬 수 있다. 열차의 속도가 70km/h로 가정하였을 때 gap fluctuation은 10.75mm 정도가 될 것이며, peak to peak의 값은 최소한 $\pm 3\text{mm}$ 정도는 될거라고 예측된다.(그림 6 참조)

따라서, 현재 부상 공극의 최대한의 peak to peak은 $\pm 4\text{mm}$ 라고 할 때 현재의 부상제어 gain은 stiffness를 강화해야 할 것으로 판단된다.

4. 결 론

도시형 자기부상열차의 장점은 저진동에 의한 쾌적한 승차감과 저소음에 의한 조용한 주행특성을 들 수 있다. 이러한 경우는 부상제어분야에서 충분히 연구되고 있으며, 자기부상열차 초기 개발보다 현 수준이 상당히 높아졌다.

따라서, 본 논문에서는 도시형 자기부상열차의 시험차를 이용하여 열차가 주행할 때 변동되는 gap을 실시간 측정하여 그 data를 분석하였다. 본 시험 결과는 우수한 장비를 활용하였음에도 불구하고, 시험 조건에 따라서 data의 신뢰성이 달라질 수 있으며, 특히 시험선로의 환경에 따라 좌우된다.

도시형 자기부상열차의 주행 시험선로는 직선과 곡선(60mR)과 4%, 6%의 구배를 포함하기 때문에 더욱이 시험 결과를 보고 예측하기는 어렵다. 그러나, 시험선로의 여건이 조성되는 시점에 속도 증가에 따른 예측이 필요하다. 시험 결과로 볼 때, 부상 gain 조정이 불가피하다고 판단된다.

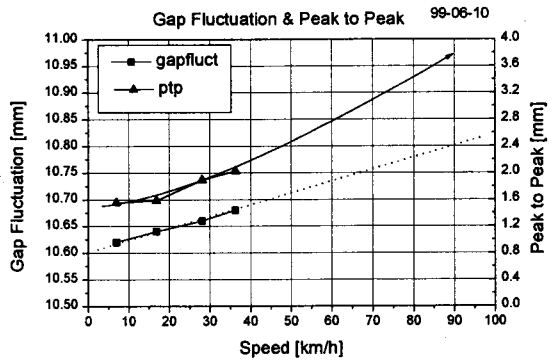


그림 6. 속도 대 공극 길이의 변동

(참 고 문 헌)

- [1] "도시형 자기부상열차의 부상 및 추진제어 기술개발", 국책연구(94.5~98.8)최종보고서, 과학기술부, 1998.8
- [2] "도시형 자기부상열차의 요소 성능시험 및 평가", 국책연구(94.5~98.8)최종보고서, 과학기술부, 1998.8
- [3] "도시형 자기부상열차의 주행 성능시험 및 평가", 국책연구(94.5~98.8)최종보고서, 과학기술부, 1998.8
- [4] "도시형 자기부상열차의 시스템 엔지니어링 및 시제품 개발", 국책연구(94.5~98.8)최종보고서, 과학기술부, 1998.8

