

자기부상열차 시험용 1/2차량 대차제작과 주행성능 실험  
**Manufacturing and Dynamic Performance test  
for Prototype Bogie of half Maglev vehicle**

이남진†      한형석\*      이원상\*\*      김철근\*\*  
Lee, Nam-Jin   Han, Hyungsuk   Lee, Wan-Sang   Kim, Chul-Geun

---

**ABSTRACT**

Maglev vehicle has two kinds of suspension system such as a secondary suspension with air-spring and a primary suspension as electromagnetic suspension which composed of electromagnet, magnet driver, controller and sensors. The interaction between each dynamic component of vehicle and track effects the stability and running performance. To achieve the specified performance of vehicle, many various approaches of research were tried, then as the result of these efforts, the first commercial operating with Maglev will start soon. The bogie for revenue service from 2012 has some significant modifications compared to the previous one, and to verify the changes the half prototype vehicle was manufactured and took the running performance test. In this report, we will introduce the stage of manufacturing and report results of dynamic performance tests to verify new concept of bogie mechanism.

---

**1. 서 론**

자기부상차량은 공기스프링으로 구성된 2차 현가장치와 전자석과 전원공급장치, 그리고 제어기로 구성된 자기현수장치인 1차 현가장치로 구성된다. 각 구성품 간의 상호작용과 차량 궤도와의 관계를 통해 차량의 안정성과 주행성능이 작용된다. 현재까지 수요측의 차량 요구성능을 만족하는 자기부상 차량을 설계하기 위해 다양한 연구가 다각적 측면에서 진행되고 있으며(1~6), 이러한 연구의 결실로 국내에 도시형 자기부상 교통시스템의 실용화가 목전에 있다.

2012년 상용화를 목적으로 개발중인 자기부상차량의 대차는 기존 개발차량대비 주요한 개선사항이 있고, 이 개선사항의 기능을 확인하기 위해 1/2 시험용 부상차량을 제작하여 성능시험을 수행하였다. 본 논문에서는 시험용 자기부상차량 대차 제작과정과 수행된 주행성능 성능시험 결과를 제시하고, 이를 통해 개선된 대차 구성품을 검증하고자 한다.

---

† 이남진 : 비회원, 현대로템(주), 주행장치개발팀, 선임연구원  
E-mail : njlee@hyundai-rotam.co.kr  
TEL : (031)596-9062    FAX : (031)596-9062  
\* 정회원, 한국기계연구원, 신교통시스템그룹, 선임연구원  
\*\* 비회원, 현대로템(주), 주행장치개발팀, 수석연구원

## 2. 시험차량용 대차의 제작 및 차량 시험

자기부상시험차량의 대차 메커니즘은 기존 차량 대비 주요한 개선사항이 있으며, 이러한 개선사항을 시험적으로 확인할 수 있도록 시험차량 제작을 추진하였다. 주요한 개선사항으로는 량당 대차수량 변경, 대차당 공기스프링 개수 추가, 대차내 양 사이드 프레임간 독립운동 허용, 급곡선상 대차배열개선을 위한 LM Guide 및 조향실린더 적용, 3 레벨링시스템과 하중재분배 기능 추가(8), 궤도~전자석간 횡방향 스톱퍼 형식변경 등이 있으며, 각 개선은 자기부상차량의 주행 및 부상안정성 향상에 초점을 두었다. 시험차량은 시험의 편의성과 제작비용적 측면에서 1/2 크기로 제작하였으며, 부상용 대차는 시험 선로의 환경에 부합하도록 몇 가지 추가적인 수정이 요구되었다. Fig 1~5는 주요 제작과정과 관련한 사진이다.



Fig. 1 Frame Assembly

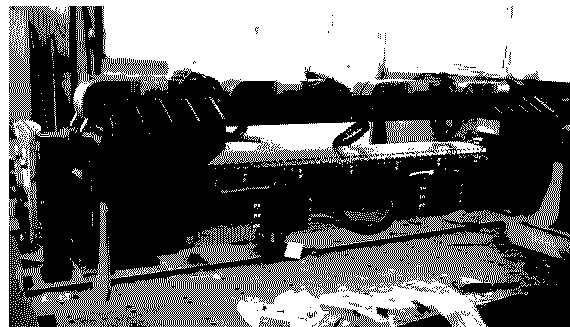


Fig. 2 Module assembly

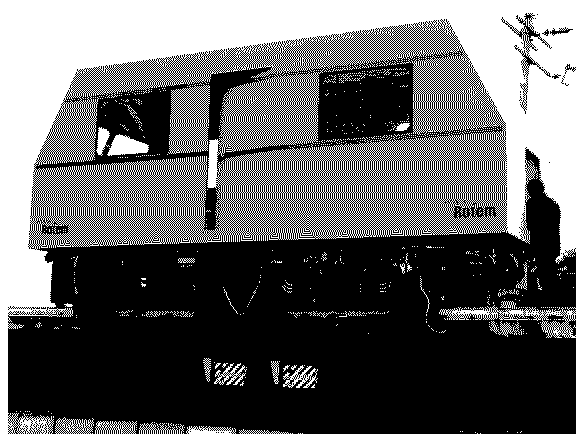


Fig. 5 Trucking of car-body on two bogies

## 3. 시험차량 성능시험

### 3.1 2차현수장치 시험

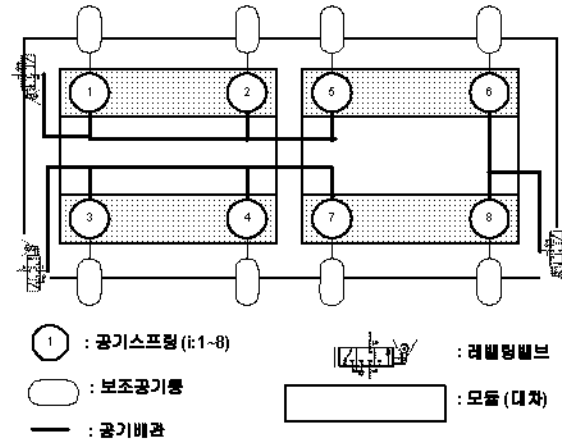
시험차량의 2차현수장치는 8개의 공기스프링과 3개의 레벨링 밸브로 구성되며, 시험차량의 공압 다이아그램은 Fig. 6과 같다. 시험차량내 각 배관에는 test fit을 설치하여 압력을 측정토록 하였으며, 1번 공기스프링과 8번 공기스프링에는 하중 재분배용 vent valve를 설치하여, 부상시스템의 부분적 고장시 차량 가용성을 높일 수 있도록 구성하였다.

공기압 측정은 정지상태의 정상차량과 6번 공기스프링에 장착된 vent valve를 작동하였을 때 2가지 case에 대해 수행하였으며, 그 결과는 Table 1과 같다.

Table 1 Measurement of air-spring inner pressure

Test case	Airspring 1,2,5	Airspring 3,4,7	Airspring 6,8	차체중량	계산된 차량 무게 중심	
					$\Delta x$	$\Delta y$
정상	4.2 kgf/cm <sup>2</sup>	4.5 kgf/cm <sup>2</sup>	3.8 kgf/cm <sup>2</sup>	7509 kg	87mm	-37mm
6번 배기	5.4 kgf/cm <sup>2</sup>	3.2 kgf/cm <sup>2</sup>	7.6 kgf/cm <sup>2</sup>	7502 kg	55mm	-21mm

현재 시험 차량의 중량은 7505kg 내외이며, 무게중심이 배기에 따라 변형진행방향으로 71mm, 횡방향으로 29mm 편심이 있으며, 배기된 부분의 공기스프링은 차량의 중량을 전자식으로 전달하지 않는것을 확인하였다. 향후, 배기상태에서 증가된 하중에 대한 부상안정성을 확인한다면, 하중 재분배를 통한 차량 가용성 개선이 검증할 수 있다.



### 3.2 차량 주행시험

시험차량의 주행시험은 최소반경 180mR, 왕복 Fig. 6 Air diagram of suspension for half vehicle 거리 800mm 정도의 한국기계연구원의 시험선로에서, 부상 착지 상태에서 20km/h, 부상 상태에서 30km/h의 두 case에 대한 비교시험을 수행하였다.

차량과 대차 각각의 x, y, z, roll, pitch 그리고 yaw방향의 거동을 확인하게 위해 Fig.7과 같은 위치에 가속도 센서를 부착하였다.

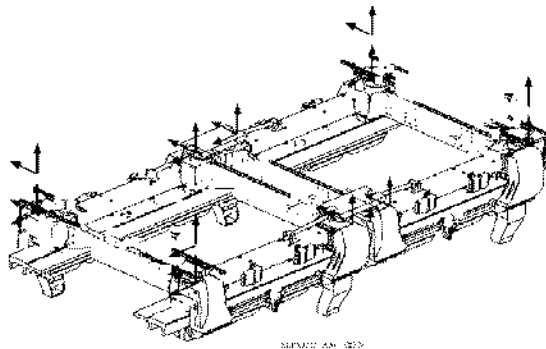


Fig. 7 location of acceleration sensor

#### 3.2.1 부상 주행

30km/h 부상주행 시험을 수행하였으며, Fig. 8과 Fig. 9는 x, y, z, roll, pitch, yaw 각각 3축의시간과 주파수에 대한 결과 그래프이다. Fig.9에서와 같이 차량은 1.2Hz/13Hz 근방에서 6축 모두 주요한 공진을 가지고 있으며, roll/pitch/yaw는 2Hz에서 공진을 확인된다. 이러한 경향은 2량 1편의 차량에서 interface damper의 적용으로 개선될 것으로 판단되며, 상세 공진분석을 통해 개선사항을 현수장치 설계에 반영할 필요가 있다.

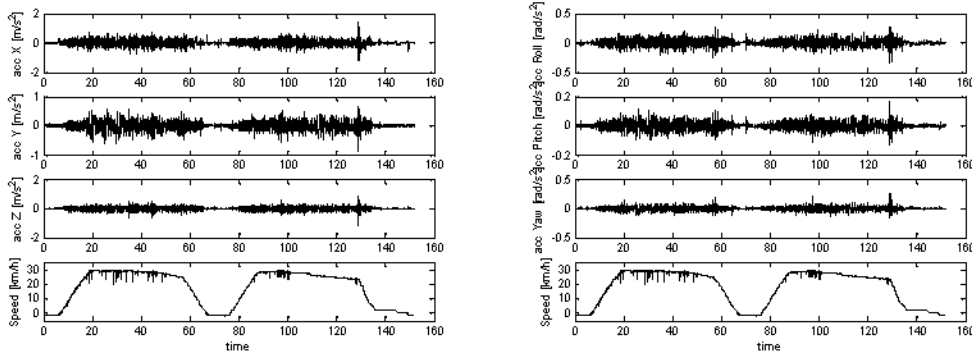


Fig. 8 accelerations of carbody on six axes (x, y, z, roll, pitch, yaw)

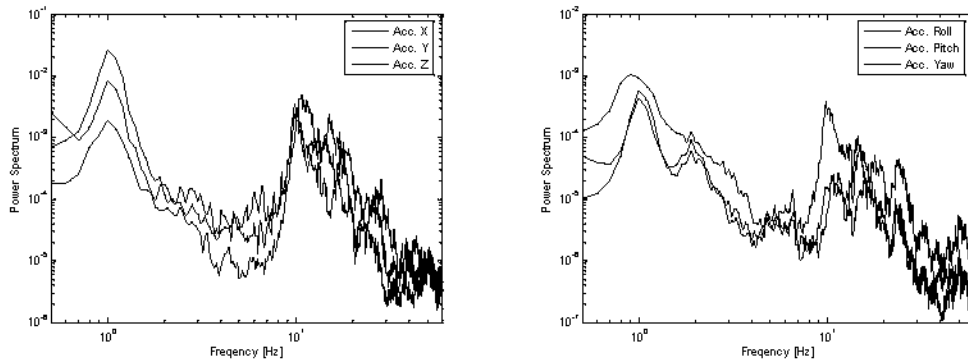


Fig. 9 Power Spectrum of accelerations of carbody on six axes

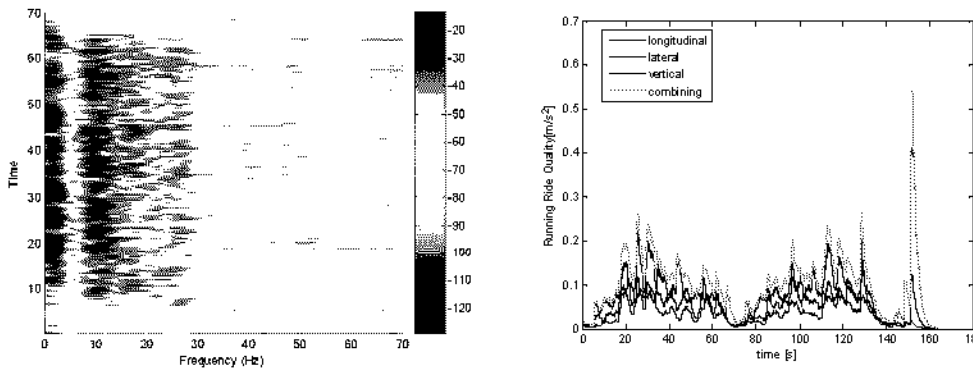


Fig. 10 Spectrogram of y accelerations of carbody

Fig. 11 Ride quality of carbody

Fig.10은 주행에 따른 횡방향 진동 경향을 Spectrogram으로 표현하였으며, Fig.11은 ISO2631-1을 기반으로 한 running ride quality를 1초단위로 표현하였다. 차량의 진동은 곡선 진출입구간에서 높게 관찰되며, 150sec 구간에 보이는 급격한 진동은 기계 제동의 문제로 발생한 것으로 판단된다.

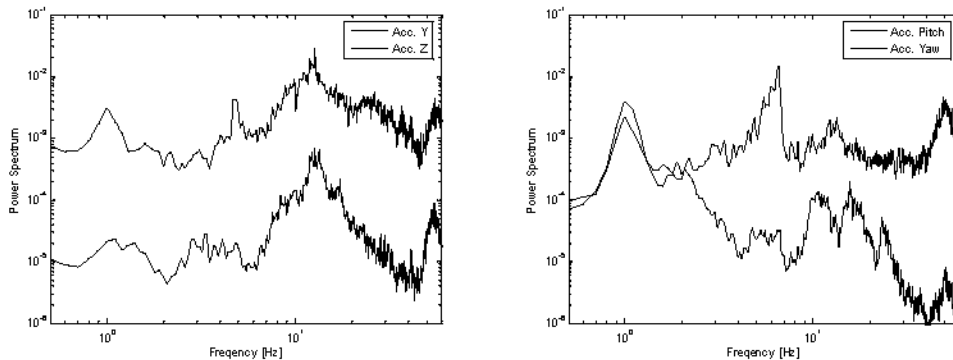


Fig. 12 Power Spectrum of accelerations of bogie on 4 axes ( y, z, pitch, yaw)

Fig.12는 대차의 y, z, pitch, yaw에 대한 결과이며, 차량과 동일한 주파수의 공진과 1.3Hz 부근의 공진과 5Hz 정도의 공진이 발견되며, 이는 각각 2차 현수장치와 부상시스템과 관련한 공진으로 기인된다.

### 3.2.2 착지주행

착지주행은 부상시스템의 고장시 적용되는 주행으로 대차하부에 장착된 비상착지륜으로 주행된다. Fig.13과 Fig.14는 x, y, z, roll, pitch, yaw 각각 3축의시간과 주파수에 대한 결과 그래프이다. 아래 Fig.14에서 차체의 공진주파수는 2~3Hz 부근으로 부상주행대비 상승하였으며, 이는 부상현수장치의 부재로 2차현수장치의 공진이 상승한 것으로 파악된다.

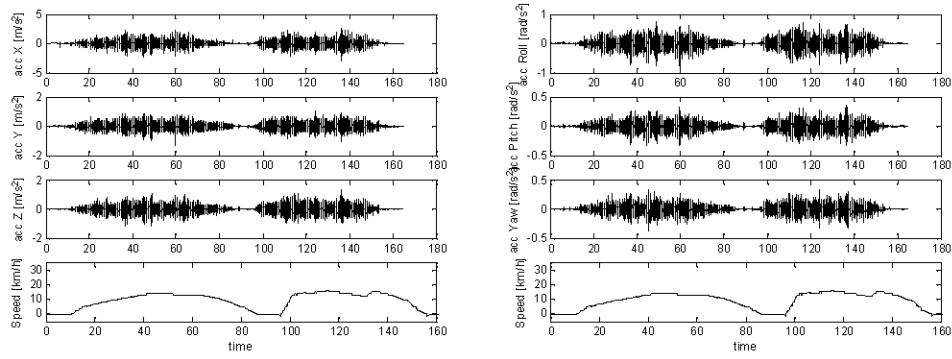


Fig. 13 Accelerations of carbody on six axes(x, y, z, roll, pitch, yaw)

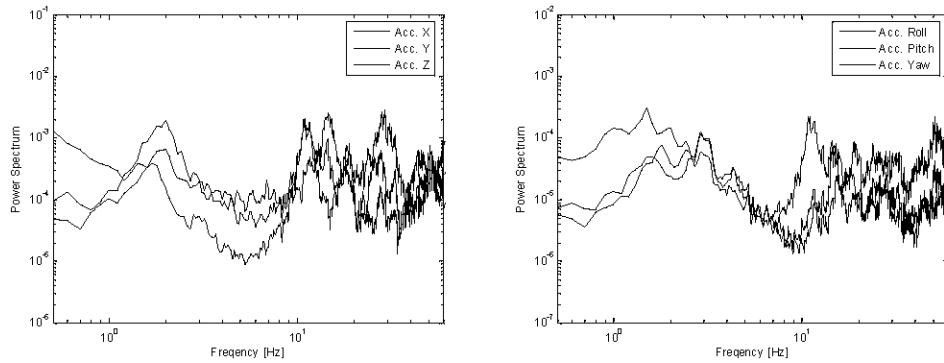


Fig. 14 Power Spectrum of accelerations of carbody on six axes

Fig.15는 착지주행시 프레임의 가속도 스펙트럼이며, 20Hz 상에서 여러 공진점들이 관찰된다.이는 대차프레임의 구조적 공진으로 파악되며, 구조물 피로와 관련된 검토가 요구된다.

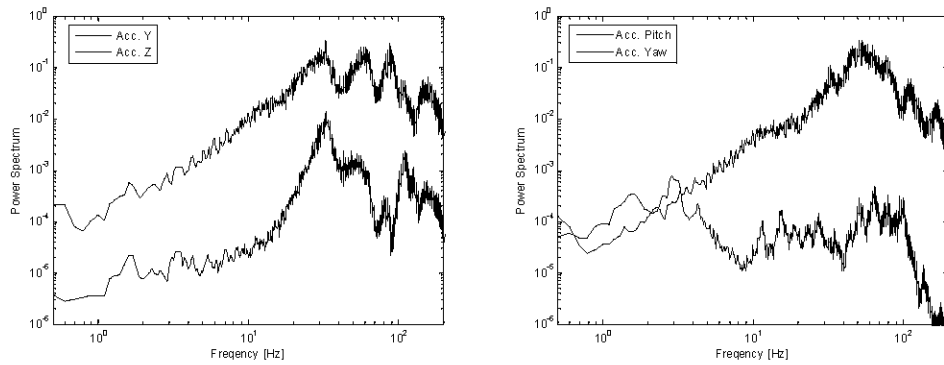


Fig. 15 Power Spectrum of accelerations of bogie

#### 4. 결과 및 향후 연구방향

개발중인 실용화 도시형 자기부상차량의 1/2 프로토타입 차량을 제작하여, 한국기계연구원의 시험선로에서 차량 성능시험을 수행하였으며, 본 시험을 통해 실용화 자기부상차량에 적용할 새로운 개념의 대차 시스템 성능을 대략적으로 확인할 수 있었다. 향후 2량 1편성의 자기부상열차를 제작하여 운영시험을 계획하고 있으며, 본 연구의 결과를 통해 보다 안정되고, 신뢰도 높은 상용화 자기부상열차의 대차 설계/제작할 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 국토해양부 도시형 자기부상열차 실용화 사업에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. Liu, Y., Sun, G., and Wei, R.(2006). "The developmental status and future prospects of Maglev technology," Maglev2006, Proceeding, Vol. I, September, pp.59-64.
2. Takahashi, M., Kwok, G., and Kubota, K.(2006). "Marketing strategy of the HSST system," Maglev2006, Proceeding, Vol. I, September, pp.53-57.
3. Han, H.S., Kim, Y.J., Shin, B.C., and Kim, B.H.(2006). "Simulation of dynamic interaction between Maglev and guideway using FEM,"Maglev2006, Proceeding, Vol. II, September, pp.599-604.
4. Huajie, H., Yungang, L.(2004). "The design of a magnetic levitation controller based on the study of coupling vibration," Maglev2004, Proceeding, pp.1012-1018.
5. Shi, X.H., Liu, H.K., She, L.H., and Chang, W.S.(2004). "Vibration analysis of elastic-rigid coupling EMS Maglev system," Maglev2004, Proceeding, pp.533-538.
6. Sinha, P.K.,(1987). Electromagnetic suspension dynamics&control, Peter Peregrinus Ltd., London, United Kingdom.
7. H.S. Han, B.H.Yim, N.J.Lee, Y.C.Hur, S.S.Kim, "Effects of guideway's vibrational characteristics on the dynamics of a Maglev vehicle,"Vehicle System Dynamics, Volume 47, Issue 3, Pages 309~324, 2009
8. 이남진, 양방섭, 김철근, "자기부상차량 현가시스템 설계에 대한 고찰,"한국철도학회, 2008년추계학술대회 논문집.