

# 캡슐차량의 상하방향 주행동특성 실험용 축소모델 시뮬레이션 Simulation on Vertical Running Dynamics of Scale Model for Capsule Train

유원희\*<sup>†</sup>, 이진호\*, 이창영\*, 이관섭\*

Wonhee You\*<sup>†</sup>, Jinho Lee\*, Changyoung Lee\*, Gwansup Lee\*

**초 록** 캡슐차량은 대차에 부착되는 초전도 전자석과 측면의 8자형 코일의 상호작용에 의거하여 발생하는 부상력과 추진력을 이용하여 부상 주행을 하는 매우 빠른 차량이다. 차량의 하중과 부상력이 균형을 이룬 상태로 주행하게 되는데, 8자형 코일의 영향으로 인하여 속도에 비례하여 주파수가 바뀌는 고주파 정현파 형태의 힘을 상하방향으로 계속 받는다고 알려져 있다. 이에 대한 연구는 수학적 모델링을 통하여 이론적으로 시뮬레이션은 할 수 있지만 실제 하드웨어를 제작하여 그 현상을 알아보고 이러한 상하방향의 정현파 힘이 캡슐차량의 차체에 미치는 영향을 검토하는 것은 매우 어렵다. 이에 따라 실험용 축소모델을 제작하여 대차와 차체에 작용하는 힘(부상력)을 구현함으로써 캡슐차량의 속도에 따른 주행동특성의 특성을 파악하는 것이 가장 효과적이다. 본 연구에서는 실험용 축소모델을 제작하기에 앞서 다물체 동력학 프로그램을 이용하여 실험용 축소모델의 주행동특성을 우선 파악하고자 하였다.

**주요어** : 캡슐차량, 축소모델, 상하방향 동특성, 다물체 동력학

## 1. 서 론

캡슐차량은 초고속 주행을 위하여 기존의 철도차량이나 자동차와는 다르게 초전도 전자석에 의한 부상력을 이용하여 접촉에 의한 마찰을 최소화한다. 그러나 접촉에 의한 마찰이 없이 지상(가이드웨이)으로부터 부상하여 주행하는 것은 구름접촉이 있는 기존의 수송수단과는 다물체 동력학 측면에서 확실한 차이가 있다. 즉, 부상력에 의한 강성을 취급하는데 있어서 기존의 일반적인 스프링과는 달리 캡슐열차의 속도는 물론 열차와 가이드웨이 사이의 거리에 비선형적인 관계를 필수적으로 고려해야 한다. 또한 능동형 2차 현가장치를 적용하는 경우 액츄에이터의 작용력에 의해 발생하는 차량과 가이드웨이 사이의 거리의 변화로 인한 부상력의 변화를 고려해야 한다.

† 교신저자: 한국철도기술연구원  
(whyou@krri.re.kr)

\* 한국철도기술연구원

본 연구에서는 다물체 동력학 소프트웨어를 이용하여 이에 대한 검토를 수행하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 실험용 축소모델

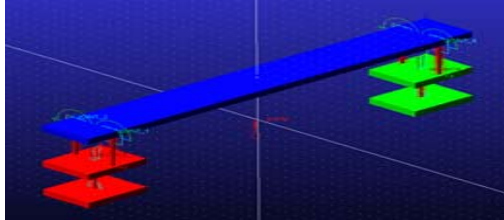
실험용 축소모델의 구성은 상사법칙에 따라 이루어진다. 철도차량에 있어서 상사법칙을 이용하여 축소모델을 설계하는 방법은 여러 연구자들에 의해 제안되어 왔는데[1][2], 본 연구에서는 Jaschinski의 방법에 따른 상사법칙에 의해 다음과 같이 1/10 스케일의 축소모델을 구성하였다.

**Table 1** Scaling Ratio

Element	Scale
Length	1/10
Time	1/√10
Acceleration	1
Mass	1/1,000
Force	1/1,000
Density	1

## 2.2 실험용 축소모델의 상하방향 동역학 모델

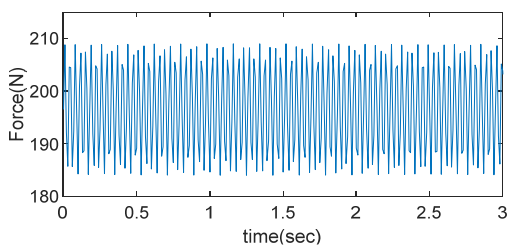
실험용 축소모델을 하드웨어로 제작하기 전에 상하방향 동특성을 검토하기 위하여 다물체 동역학 소프트웨어를 이용한 시뮬레이션을 수행하였다. 이 때 소프트웨어는 ADAMS/View를 사용하였으며, Scaling 법칙에 따라 다음 그림과 같이 모델을 구성하였다.



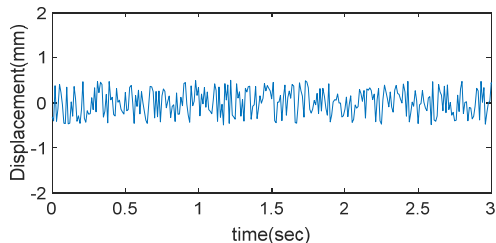
**Fig. 1** ADAMS/View model for scale model

Fig. 1에서 가장 윗부분에 위치한 두꺼운 플레이트는 캡슐차량의 차체를 나타내며 바로 그 아래에 위치한 플레이트는 대차를 나타낸다. 가장 아래쪽에 위치한 플레이트는 가이드웨이의 불규칙을 고려하기 위해 추가한 것이다. 이 축소모델은 실모델에 비하여 상하방향의 고유진동수가  $\sqrt{10}$  배 되도록 설계한 것이다.

아래에 보여주고 있는 그림은 각각 시뮬레이션을 위해 대차에 작용하는 부상력과 가이드웨이의 불규칙을 나타낸다.



**Fig. 2** Levitation force on bogie for simulation



**Fig. 3** Vertical irregularity for Simulation

이와 같은 다물체 동역학 모델을 구성하여 시뮬레이션을 수행하면 차체와 대차 사이의 2차 현가장치에 대한 사양과 아울러 능동현가장치에 대한 성능을 검토해 볼 수 있다.

## 3. 결론

본 연구에서는 실험용 축소모델을 제작하기에 앞서 다물체 동역학 소프트웨어를 이용하여 실험용 축소모델의 주행 동특성을 파악하고자 하였으며, 캡슐열차의 사양과 가이드웨이의 불규칙 및 자기부상력에 대한 검토를 수행하였다. 본 연구결과를 토대로 향후 실제 축소모델(하드웨어)을 구성하여 캡슐열차의 주행동특성에 대한 연구가 이루어질 것이다.

## 후 기

본 연구는 한국철도기술연구원의 주요사업 ‘아음속 캡슐트레인 핵심기술개발’ 과제의 연구결과임.

## 참고문헌

- [1] S. Iwnicki (2007) Handbook of Railway Vehicle Dynamics, CRC Press.
- [2] Y. J. Shin, W. H. You, H. M. Hur and J. H. Park, P. (2012) Semi-active control to reduce carbody vibration of railway vehicle by using scaled roller rig, *Journal of Mechanical Science and Technology*, 26(11), pp.1-9