

상사기법을 이용한 차량시물레이터 기초 설계

Preliminary design of a scaled railway vehicle simulator

김홍찬† · 김정태* · 이희성** 오세빈***

Hongchan Kim, Jeungtae Kim, Hisung Lee and Sebeen Oh

Key Words : Vehicle simulator(차량 시물레이터), Scaled bogie(축소대차), similitude method(상사기법)

ABSTRACT

The study is to develop a foundation design for a railway vehicle simulator using a scaled model. Although a scaled simulator is limited to manipulate the dynamics of a full-size railway vehicle, it has been known to have an advantage, since a scaled model could provide the fundamental dynamic behavior within a limited space of a laboratory facility and with a low operation cost while an experiment is conducted. This study is to propose a design strategy for a simulator so that a small scaled roller rig could be fabricated in a laboratory based on the design philosophy. The data obtained from the scale model is also experimentally investigated in conjunction with appropriate non-dimensional analysis so that the output results should be interpreted to the railway vehicle.

1. 서 론

현재 전 세계에서 철도차량을 개발 생산해 오고 있는 국가는 매우 제한적이다. 그리고 고속철도와 같이 고속으로 주행하는 열차의 개발이전에는 전통적인 경험과 기존 공학기술로 적용이 가능한바 있었다. 그러나 철도의 고속화와 경량화가 추구되면서 차량의 주행안전성과 승차감이 중요한 이슈가 되었다. 이후, 차량의 동특성문제는 차량개발시마다 검토되어야 할 과제로 등장하였다. 동특성문제를 접근하는 유용한 수단으로 자리를 잡은 것이 소형으로 차량을 제작, 실제 차량의 주행상황을 시물레이션 하는 방법이라 할 수 있다.

본 연구에서는 실차실험에서 발생하는 현실적인 어려움을 극복하기 위한 대안으로 축소차량에 대한 모델실험법을 사용하고자 한다. 1:1 실차실험에 비해, 물리적 정밀도에 있어서 부족한 면이 발생하긴 하나, 소규모 실험실 공간에서 실험비용과 경비를 절약하면서, 또한 실차모델 부재 시

등의 경우에는 축소모델을 제작하여 제한된 범위 내에서 수행하게 된다. 이때에는 제작된 축소모델이 원래의 실차와 동역학적인 물성치가 물리적으로 등가가 되도록 상사법칙을 활용한다. 해외의 여러 철도차량 연구기관에서도 1:3, 1:4, 1:5, 1:6 등 1:n 축소모델 실험 장치를 개발하여 필요한 실험평가를 실시하여 오고 있다.

외국에서 철도차량을 실험실에서 모의 시물레이션하고 있는 기관으로는 영국 맨체스터 대학교의 MMU 그룹, 유럽 INRETS의 차량 실험동, 독일 DB, 프랑스 SNCF, 미국 FRT, 캐나다 NRC, 중국 VRC, 이탈리아의 Torino 대학 등이 있다. 이들 기관은 실차모델과 함께 축소모델실험장치 등을 일부 가동하고 있다. 가동하고 있는 소형시물레이터 모델은 1:n 규모로 차량을 축소하는 장치가 일반적이다. 관련 학계에 발표되고 있는 연구결과에 따르면, 설계목적에 따라 모델별로 구현 가능한 실험항목이 존재하며, 소형시물레이터의 운용결과는 설계된 사양에 관한한, 실차에서 획득되는 데이터와 상당부분 유사하다고 보고되어 있다. 따라서 소형시물레이터를 이용한 실험적 접근방법은 실험장치의 설계단계에서 필요한 실험항목을 올바르게 규정하기만 하면 철도차량의 동특성해석을 구현시키는 유용한 장치로 자리를 잡은 실정이라고 할 수 있다.

† 교신저자; 홍익대학교
E-mail : hchank@empal.com
Tel : (02) 320-1438, Fax : (02) 326-1634

* 정희원, 홍익대학교 기계시스템디자인공학과
** 서울산업대학교,
*** (주)케이엔알시스템

2. 차량시뮬레이터 개발 개요

2.1 개발의 필요성

본 연구에서 개발코자 하는 목표는 철도차량의 탈선과 직접관련이 있는 차량동역학 현상을 실험, 측정하는 계측시스템을 구성하고자 한다. 시스템은 차량과 차량주행을 모사할 수 있는 구동장치의 설계, 제작가공, 계측기 설치, 실험데이터 획득 장치 등을 포함한다.

차량에서 발생하는 다양한 물리적 현상은 실제 차량과 동일한 물리적 제원으로 실험이 이루어 져야 한다. 그러나 현실적으로 차량의 물리적 크기가 무게는 30-40 여 톤, 길이는 20 여 m로, 여타 공산품에 비해 상대적으로 무거운 구조물이고 길이 또한 장대하다. 실차차량을 이용한 실험이 가장 이상적인 방법이지만 하나, 실제 차량의 동특성 실험을 수행하기에는 물리적, 경제적으로 제약이 따른다. 즉, 실차실험을 위해서는 실물크기에 준하는 물리적 대형 실험공간, 육중한 하중을 구동시키는 대단위의 실험설비, 그리고 실험과정에서의 경제적 비용이 수반된다.

실차실험에서 등장하는 현실적인 어려움을 대체시킬 수 있는 보완적인 실험기법이 축소된 차량을 이용한 소형 시뮬레이터라 할 수 있다. 본 연구에서 개발되는 시스템은 실차의 크기를 일정 비율로 축소 한 후, 실험과정에서 계측된 신호를 처리 하는 과정에서 공학에서 개발된 상사모의기법의 이론을 적용, 물리적으로 축소된 모델에 대한 물성치를 보정시키는 방법을 활용하게 된다.

2.2 축소모델의 상사이론 개요

상사법칙과 축소와 관련된 문제는 비례축소 모델부터 실제 스케일 모델까지의 실험적 결과들의 변환에 대해 특별한 관심이 있다. 초기 상사법칙의 적용은 레이놀즈에 의해 만들어진 점성 유체와 관련된 문제에 의해 시작되었으며 오늘날의 상사법칙 문제는 유체역학, 항공역학, 화학공학역학, 기계공학의 설계 작업등의 공학문제에 다양하게 적용되고 있다.

이러한 문제들은 상사이론에 다양하게 접목이 가능하다. 초기에는 연구자들은 몇 가지의 무차원 그룹을 확립하는 방식의 치수 계산방법을 이용하였다. 다른 방법으로는 운동방정식을 도출하고 이후에 축소 인자들을 각각 상사성이 유지되는 공통된 것들로 분류한다.

재료의 물성치의 선택하는 것은 중요한 요소 중 하나이고 또한 하중 조건 또한 상사성에 영향을 미친다. 영국 철도는 알루미늄 휠과 롤러들을 사용하며 일본(마즈시다)은 철재를 사용하고 또 한편에서는 플라스틱을 사용한다. 비록 모두 금속 휠과 레일을 사용하더라도 세 가지 예에서 각각 다른 접근 방법과 다른 하중 조건이 작용하게 된다.

축소된 시뮬레이터 모델은 실험단위에서 실차의 동역학 특성을 재현하기 위한 목적으로 개발된 장치이다. 따라서 모델은 실험을 편하고 재현성 있게 진행하면서 실차에서 나타나는 물리적 변화량을 감안해 줄 수 있는 기능을 갖추어야 한다. 실험실 모델로 운용되므로, 실차대비 운영경비의 절감 효과도 가지게 된다.

축소모델 이론은 Reynolds의 상사성 이론에 바탕을 두고 있다. 동역학 특성과 재료의 물성치가 정의되면 상사이론을 통해 물리적 현상의 등가이론이 정립될 수 있다는 것이 상사이론의 개요라고 할 수 있다. 상사모델은 다음과 같은 몇 가지 목적에 적용된다.

- 모델의 검증과 평가
- 대차 개발과정에서 동특성 현상의 기초 연구
- 철도 차량 동역학의 교육과 Demo

차륜과 레일간 발생하는 접촉력 변화는 차량의 헌팅 현상에 중요한 역할로 작용한다. 최초로 개발된 독일 DLR의 축소모델로부터 차륜-레일간의 동특성에 대한 모델링과 실험에 대한 기초 지식을 얻을 수 있었다. 이후, 일반적인 2축 모델은 1992년에 개발되었다.

(1) 롤러의 구성

초기에 개발된 축소모델의 롤러는 20mm의 두께를 가진 튜브로 이루어져 있다. 각각의 튜브 끝에는 UIC 60 레일의 1/5 축소모델을 본뜬 디스크가 연결되어 있다. 롤러의 직경은 360mm이고, 레일 게이지 (1435mm)의 1/5 축소 모델인 287mm에 해당되는 길이를 가지고 각각의 디스크가 놓여지게 된다. 이렇게 제작된 롤러는 비틀림에 대한 강성이 대단히 크기 때문에 이상적인 역할을 수행하게 된다. 한편 롤러의 회전 관성 모멘트 역시 큰 값을 가지므로 롤러의 회전속도의 오차 영향을 피할 수 있게 된다.

롤러와 롤러간 거리는 대차 모델의 차축에 해당된다. 실차에서 대차의 차축 길이가 2000mm에서 2800mm 사이에서 변화하므로, 롤러간 거리는 400mm에서 560mm가 되도록 설계된다. 이 거리를 가변으로 유지하는 장치는 Schmidt-Coupling이 사용되고 있다.

모터의 축은 종방향으로 정해진 강성을 가진 벨트에 연결되어 있다. 미끄러짐을 방지하기 위해 이빨모양의 벨트가 사용되며, 최저속도 0에서부터 최대속도 900U/min에서 1100U/min으로 운동한다. 이 값은 실차로 환산하면 140km/h에서 168km/h에 해당된다.

(2) 대차모델의 구성

차량의 동특성 현상을 분석하기 위해 설계되는 대차는 질량과 회전관성 값이 축소비에 맞도록 설계되어야 한다. 대차의 설계 시에는

- 축 베어링과 4개의 질점을 연결하는 경량의 틀 구조물
- 축의 캠버각을 조절할 수 있는 틸팅 운동을 제공할 수

있도록 질점으로 설계

- 두 개의 차륜으로 구성된 각각의 틀 구조물은 조인트(homokinetical)로 연결
- 조인트와 조인트 사이에는 몇 가지 연결 조건이 등장을 고려하여야 한다.

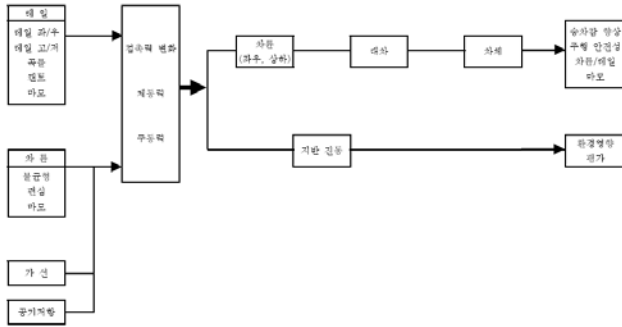


Fig. 1 철도 차량의 동특성 현상

3. 해외 차량시뮬레이터 모델 비교

3.1 영국 맨체스터 대학의 소형시뮬레이터

(1) 설계 목적

영국 맨체스터 대학 (MMU)의 철도기술 연구팀은 일반적인 철도차량의 서스펜션 설계의 위치 개선 방안을 연구하고 있다. MMU에서 운영하는 소형시뮬레이터의 주요 문제점은 차륜과 레일 사이에 정확하게 접하여 발생하는 접선 방향의 힘에 대한 정밀하고 재현 가능한 구현에 있다. 이 힘은 접선 방향에 강한 영향이 있으나 차량에 수직방향으로 작용하는 거동에는 적은 영향을 미친다. 그러므로 복잡한 현상을 가능하면 쉽게 풀기 위하여 구동부는 윤축과 롤러들의 요(yaw)현상과 측면의 움직임에 대하여만 고려하도록 설계되었다. 대차(Bogie)와 차체는 추가적으로 수직방향으로 움직이며 구르거나 앞뒤로 움직이는 거동에 자유롭게 하였다.

(2) 시스템의 구성

고속차량의 서스펜션이 조사가능하게 하기 위해서 250 mph의 상사된 속도로 구동을 하게 된다. 구동은 전기 모터와 구동 컨트롤러를 통해 각각의 롤러 샤프트에 연결된 벨트와 풀리를 가동하여 이루어진다. MMU에서 운영하는 소형시뮬레이터에 따르면, 윤축의 각각에 위치한 롤러들은 안전한 연결을 위하여 스플라인과 후크 조인트 샤프트(Hooked joint shaft)에 의해 연결된다. 트랙을 벗어나는 불규칙한 운동을 구현하기 위해서는 롤러가 측면방향으로 움직이고 수직 축선 주위로 회전하는 것을 적용한다. 이러한 움직임은 디지털 컨트롤러에 의한 서보 유압 액추에이

터에 의해 공급되고 정해진 과형 또는 일정한 데이터에 따라 제어되는 것으로 한다. 이것은 구동부가 차량이 운동하는 종류에 따라 쉽게 변경 가능해야 한다.

롤러 장치(Rig)는 압전형 가속도계 및 변위 센서를 설치하여 차체의 움직임을 측정한다. 스트레인 게이지 형의 외력 측정 센서는 롤러 샤프트의 끝에 고정한다. 이러한 방법을 이용하여 차륜과 레일에 작용하는 측면부의 힘 성분을 측정할 수 있다. 계측기에 대한 신호는 아날로그 디지털 컨버터와 PC와 연결된 소프트웨어에 입력된다.

(3) 활용

롤러 장치는 일반적으로 차륜과 레일의 내구성과 서스펜션 설계 그리고 독립적인 차륜들 사이에서 발생하는 차량의 다양한 거동을 평가하기 위해 이용된다. 또한 각종 능동 또는 반능동 서스펜션의 효과를 평가하기 위해 사용한다. 구동부가 회전하는 거동의 몇몇 조건을 만족하도록 개선되는 것이 좋다.

캔트의 결합 혹은 과잉은 롤러 프레임의 기울기에 의해 영향을 받을 것이다. 이것은 고정된 변경 커브의 정상상태의 회전에 대하여 적용될 것이나 그 다음 단계에서는 Yaw 현상과 동적 커브 테스트가 적용될 수 있도록 동적 틸팅 각도가 고려되어야 한다. 현재 중요한 과제는 축척과 롤러, 레일 위의 거동 간의 서로 다른 조건에 기인하는 롤러 rig의 원천적인 오류로 인해 발생하는 효과를 줄여 개선하는 것이다. 이러한 연구들은 현재 연구되고 있다.

3.2 독일 DLR의 소형시뮬레이터

(1) 설계 목적

독일 DLR의 동적 시스템은 1970년대 초 다물체 모델링 기술을 기반으로 하여 철도 차량 동역학을 위한 시뮬레이션 소프트웨어의 개발로 발전하였다. 특히 차륜-레일의 비선형 거동을 하는 차량들의 차륜 연구되었는데, 그 실험은 주기적인 해를 가진 시스템 방정식 응답의 분기로부터 발생하는 역학적 반응을 예측하고 모델링하는데 있었다. 따라서 축척된 롤러 장치와 축척된 대차 모델은 설계 검증과 소프트웨어를 적용하여 측정 하였다.

1984년부터 MAN의 대차(bogie)로부터 축소 축척된 데이터의 축척 대차(bogie)의 설계가 시작되었다. 이러한 연구를 통해 기초적인 지식과 차륜-레일 동역학의 요소를 획득하였다. 대차(bogie) 모델의 제한적 사이클 거동의 연구 이후에는 고정되지 않은 윤축의 기초 연구를 하였고 1992년에 시작되었다.

(2) 시스템의 구성

시험대는 구동체를 이루는 각각 두 롤러들(20mm의 두께를 가진 튜브)에 의해 구성된다. 튜브의 끝부분은 디스크와 연결되어 있고 UIC60 레일의 1/5 스케일의 측면도를

따라 구성되었다. 롤러의 지름은 360mm이며 이에 반해 디스크의 간격은 트랙 게이지(1435/5=287mm)에 상응하게 축척되었다. 이런 종류의 롤러 설계는 높은 비틀림 강성을 공급하고 회전방향 속도의 교란에 대한 영향을 받지 않는 많은 양의 관성 모멘트를 가지는 롤러와 결합되어 이상적인 트랙 거동을 구현한다.

두 롤러의 간격은 대차(bogie) 모델의 차륜 간격과 같다. 이 간격은 400mm~560mm 사이에서 연속적으로 변화하며 이것은 실제 스케일의 대차(bogie)의 차륜의 2000mm~2800mm에 적용한 것이다. 롤러 간격의 변화는 평행 크랭크 메커니즘에 의해 공급되며 이것을 Schmidt-Coupling이라고 한다.

롤러는 세로방향에 대해 강성 조건을 가진 벨트에 의해 연결되어 있고 DC 컨트롤러의 디스크 모터에 의해 구동된다. 롤러의 회전 속도는 차륜 모델의 구름 저항에 의존하고 900U/min~1100U/min 사이에 위치하여 (실제 모델에서는 140km/h~168km/h) 0부터 최고치까지 연속적으로 변화할 수 있다. 이 롤러는 레일의 모양이나 트랙 게이지를 변화하기 위해 원추 형태로 분해하거나 다시 조립이 가능하다.

(3) 활용

축소 차륜의 주행거동, 동적 상사와 관련된 스케일 인자들에 대한 축소, 실제 크기의 차륜에 대한 동적 유사성에 의해 스케일 된 차륜 모델의 혁신적인 윤축 설계 연구가 가능하다. 따라서 1/5 스케일의 일반적인 차량들에 적용된 두 축은 고전적인 강체에 대비된 독립적인 회전이 가능한 휠의 윤축과 캠버 휠을 가진 윤축, 성능이 좋은 부품들로 토크 컨트롤이 향상된 윤축으로 적용된다.

이러한 차량은 가볍고 변하기 쉬운 구조로 만들어진다. 그리고 이미 연구가 진행 중이며, 평가 방법은 비선형 수학적 증명법을 통하여 이루어진다. 설계는 질량들의 스케일 값과 경계조건에 의한 관성 모멘트를 고려한다. 그러나 관성 모멘트의 정확한 조절을 위해 질량이 바뀔 때 따른 관성 모멘트의 변화 되도록 하는 추가 질량이 고려된다.

윤차의 설계는 휠 캠버각에 맞추어지는 틸트 모션에 공급되는 4지점 조인트에 의한 차륜 베어링의 가벼운 프레임 구조로 이루어져 있다. 이러한 이유 때문에 각각의 구조물에서 가능한 한 캠버각도는 조인트(homokinetic)로 짝지어진다. 서로 다른 두 개의 조인트는 서로 연결이 가능하다.

3.3 소형 시뮬레이터간의 비교 분석

앞에서는 영국과 독일의 대표적인 축소모델을 기술하였고, 그 결과 소형 시뮬레이터의 제원을 비교한 표(Table 1)는 다음과 같다.

Table 1 각국의 축소모델 설계 비교

SCALING	MMU	DLR	비고
		??	
롤러의 개수	4개, 2개 연결 마주보기식	2개 비틀림 강체	
롤러 직경	0.25m	0.36m	
롤러 간격	0.4m ~ 0.6m	0.4m ~ 0.56m	
	특징		
최대 속도	400 km/h	250 km/h	실제 크기 상응
active steering	가능	있음	wheelset in closed loop
차륜 구동	가능	있음	
접촉력 측정	가능	가능	creepage control
트랙 요철	가능	불가	편안함
실제 차량	가능	불가	
게이지 변화	가능	불가	
곡선부	부분적	불가	동적, 정적 curving
소음	없음	불가	스컬 노이즈와 회전 노이즈
임계 속도	있음	가능	선형 응답
한계 사이클	가능	있음	비선형 응답

4. 소형 차량시뮬레이터 설계

차량 동역학의 상사 모델링을 진행하기 위해서는 역학적으로 차량에 작용하는 운동 방정식을 먼저 고려하여야 한다.

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F$$

$$I\ddot{\theta} + c_{\theta}\dot{\theta} + k_{\theta}\theta = M$$

본 연구에서 제안한 설계 모델은 영국의 MMU 모델과 같이 상사의 변수 중 시간단위를 1:1 모델로 하는 것이 축정값의 분석 처리 과정에서 가장 단순화 되고 있음을 알 수 있다. 따라서 운동 방정식에서 구하고자 하는 독립적인 물리량인 변위, 속도, 가속도 단위 모두 1:5 상사 단위로 정리 된다. 한편 재료의 물성치 역시 시간의 단위와 동일하게 사용되므로 밀도나 영율 등은 1:1의 범주에 놓이게 된다.

이제 철도 차량의 축소모델로 접근하여 보자. 길이의 단위가 1:5 scale 이므로 차량의 질량은 5³ 비로 유지된다. 이와 함께 회전 관성 질량은 여기에 길이의 자승이 추가되므로 5⁵의 비를 유지하게 된다.

Table 2 는 시간 축소 1:1, 길이 축소 1:5 모델에서 예상되는 실차와 축소 모형간의 상관관계를 보여주고 있다. 연구에서 제안된 축소비율을 이용하여 실제 차량에 적용한 경우를 분석하여 보면, 주어졌있는 실제차량의 제원에 대한 축소모델 비율을 보면 길이 단위는 모두 1:5 단위를 만족

시켜야 하며 물리적 단위가 질량과 회전 관성질량으로 표시되는 과정에서 보면 5^3 또는 5^5 비율로 축소됨을 알 수 있다. 따라서 축소모델을 이용한 시뮬레이터는 실제 차량이 34ton의 경우 실험실에서 다룰 수 있는 310kg 규모로 작아지게 됨을 알 수 있다.

Table 2 실차와 축소 모형간의 상관관계

항 목	실 차	축 소 모 델
	물리량	
변위, 속도, 가속도	1	1/5
시간	1	1
주파수	1	1
	재료비	
밀도	1	1
영율	1	1
포아송 비	1	1
마찰 계수	1	1

4.1 소형 차량시뮬레이터의 기술적 사양

(1) 모터

대형 동력인 경우, 속도변속을 위해 기어 박스(Gear Box)를 필요로 한다. 다만, 진동문제가 발생될 수 있으므로, 기어사용은 신중한 검토를 필요로 한다. 중소형 동력인 경우, 모터의 속도는 일반전기전원 사용 시 1750rpm까지 가능하므로, 직경대비 1:2로 축소하였을 경우, 900rpm이 최고 상승속도가 될 수 있다. 이때, 상승되는 최고 속도에서의 실제 속도는 약 320Km/hr 수준이다.

Table 3 시뮬레이터 구동축속도의 상사성

구동축속도 (rpm)	모델속도 (m/s)	모델시속 (km/hr)	실제시속 (km/hr)
300	6	21	100
500	10	36	180
700	14	50	250
1000	20	72	360

(2) 운동제어 메카니즘

차량 시뮬레이터의 레일(Rail)은 $\pm 2\text{mm}$, 10Hz의 상하운동을, $\pm 2\text{mm}$, 50Hz의 좌우운동을 제어해야 한다. 그러므로 유압장치를 통해서 운동제어 메카니즘을 구현할 경우, 동력을 충분히 발생 할 수 있으나 소음문제와 열 발생을 제어할 필요가 있으며, 유압장치의 구동을 측정하기 위하여 각 채널(Channel) 당 센서가 2개 정도 필요하다. 가능한 센서로는 LVDT 센서(변위측정), Load Cell등이 있으며, Vertical, Lateral, Rotational의 변위를 측정해야 한다.

예상되는 유압장치 구동 채널은 Lateral 가진 Actuator, Yawing 가진 Actuator로 구동하며 필요한 센서(Sensor)로는 LVDT - 3 Set, 보완측정용 가속도/ Yaw rate가 있으며 Frame Vertical제어는 불필요하다.

4.2 기초 개념설계

(1) 레일과 휠의 개념도

레일과 휠의 개념도는 실제 차량의 1/5스케일로 상사법칙을 적용하여 설계하였으며, 시험대의 레일과 축소 차량의 휠은 실제 제품의 단면형상을 그대로 설계하도록 한다. 철도차량의 축소 대차(Bogie)는 시험대의 레일위에 올라타고 있으며, 레일(Rail)의 움직임에 따라 움직이도록 설계한다. 상사법칙으로 계산된 레일의 제원은 지름 400mm, 좌우 폭 287mm, 레일 앞뒤간격 500mm이며, 휠의 제원은 지름 200mm, 좌우 폭 287mm, 휠 앞뒤간격 500mm이다.

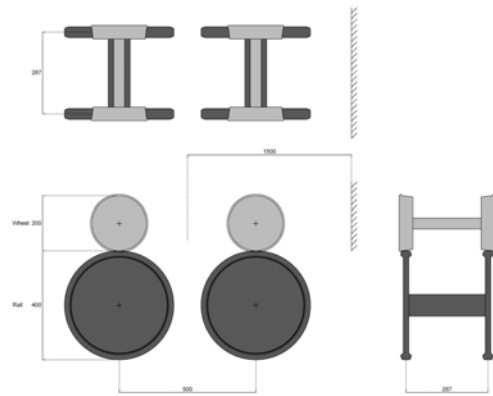


Fig. 2 상사법칙이 적용된 레일과 휠의 개념도

(2) 레일(Rail)의 종속구조물

실제 철도차량은 주행 중 상하운동과 좌우운동이 동시에 일어나기 때문에, 본 차량시뮬레이터는 레일의 상하, 좌우운동을 고려하여 설계하였다. 모터로부터 동력을 전달받은 레일은 상하운동 종속구조물과 베어링으로 물려있고, 이는 상하운동을 보조하는 스프링에 의해서 레일의 좌우운동 종속구조물에 물려있는 구조로 되어있다. 또한 레일의 좌우운동 종속구조물은 운동을 보조하는 스프링에 의해서 지지되는데, 좌우의 운동이 동일하도록 설계하였다.

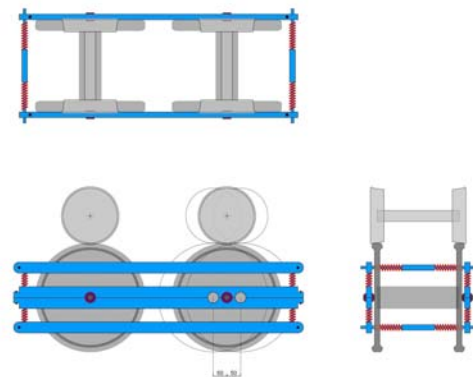


Fig. 3 레일의 종속구조물 개념도

(3) 축소대차(Bogie)와 시험대

실제 철도차량은 주행 중 레일을 따라서 회전운동이 일어나기 때문에, 본 시뮬레이터는 레일의 구동 중 메인 구조물이 회전운동이 가능하도록 설계하였다. 레일의 종속구조물들을 지지하는 시험대는 회전운동이 가능하도록 되어있으며, 회전운동은 핸들로 수동 제어하도록 설계되었으며, 움직임을 체크할 수 있는 치수가 표시되어있다.

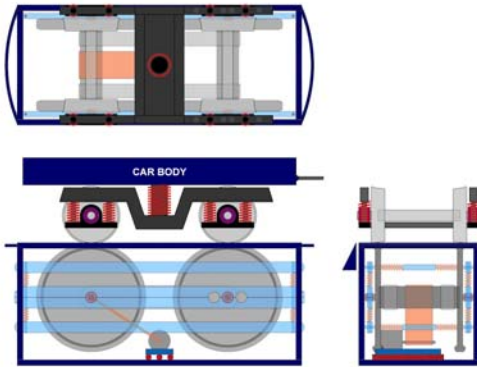


Fig. 4 축소대차(Bogie)와 시험대

결 론

소형으로 철도차량을 축소하는 모델 실험연구는 시제품 제작 시 많은 시간과 비용이 소요되는 대형구조물을 일정 규모의 축척으로 제작, 진동 크기를 예측 평가할 수 있는 기법이다. 축소 모델을 사용하여 실험적으로 현상을 확인하고 구조물의 응답을 예측하는 방법이 개발되고 비교검증한다면, 실차의 운용 시 유용한 결과를 제공하는 공학적 수단이 될 것으로 사료된다.

본 연구는 소형 차량을 이용한 실험실 모델의 실험을 바탕으로 실제 나타난 동적 응답을 규명함으로써 실제 구조물의 설계 및 내구성 확보에 적용할 수 있다. 축소모델의 실험과 무차원화 운동방정식의 유도 등을 통하여 소형 차량 동역학에 대한 보다 공학적 해결 방법을 제시함으로써 국내 산업 현장의 기술력 제고에 이바지할 것으로 예상되며 소형 철도차량의 실험에 적용할 수 있는 신호처리 기법을 개발 제시의 기술적인 성과가 있으며 또한 사회, 경제적으로 철도차량의 안정성과 신뢰성 평가를 소형차량에 이용하여 실험하고 재현함으로써 실험비용을 절감하고 상시 실험이 가능한 효과를 얻을 수 있다. 이러한 연구 개발을 통한 결과는 차량의 주행 안정성에 대한 평가, 철도 차량 이용 승객의 승차감에 대한 평가, 레일/차륜간의 마모 특성에 대한 이해의 세 가지 활용방안을 제시할 수 있을 것이다.

후 기

이 논문은 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 건설기술연구개발사업비에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

- (1) 김정태 등, 2007, 소형차량 탈선 시뮬레이터 개발을 위한 기초설계지원 연구, 한국건설교통기술평가원
- (2) A. Jaschinski, etc, 1999, " The Application of Roller Rig to Railway Vehicle Dynamics," Vehicle System Dynamics, 31, pp 345-392.
- (3) Tachibara, Ishii K., July, 1974, "Acoustic Scale Model Experiment Using Medium of Nitrogen Gas," Proceedings of the Eighth International Congress on Acoustics.
- (4) Lyon, Richard H., DeJong Richard, Cann, Richard G., Schaffer Fred, 1975, " Acoustical Modeling System for Site Evaluation," J. Acoust. Soc. Am. 58, 521-524.
- (5) Taylor, E., 1974, " Dimensional Analysis for Engineer", Clarendon Press, Oxford.
- (6) Fiswell, M. I., Gravey, S. D., 1995, Penny, J. E. T., " Model reduction using dynamic and iterated IRS techniques", Journal of Sound and Vibration, pp 311-323.
- (7) Watanabe, K., Sato, H., 1988, " Development of Nonlinear Building Block Approach", Journal of Vibration, Acoustic, Stress, and Reliability in Design, Vol. 110,
- (8) Noah, S. T., Alexander, R. M., Frank, C. G., 1993, " Parametric Identification of a Vibratory System With a Clearance", ASME, Journal of Vibration and Acoustics, Vol.115, pp.25-32.
- (9) Hurd, A., 1991, "Combining accelerated laboratory durability with squeak and rattle evaluation", Proceedings of the 1991 noise & vibration conference, pp. 107-118.
- (10) 양보석(역), 1998, 진동모형실험법, 시그마프레스.
- (11) Iwnicki S.D., 1998, "'Roller rig scaling'", European Roller Rig Meeting, Manchester
- (12) Jaschinski A., 1990, "'On the application of similarity laws to a scaled railway bogie model'", DLR Institut für Dynamik der flugsysteme, Oberpfaffenhofen
- (13) 홍용기 등, 1996. "철도 차량의 진동방지에 관한 연구", 철도청
- (14) 김기환, 2006. "철도차량 동역학 해석" 한국 소음진동 공학회 수송기계 소음진동 기술세미나.