<학술논문> **DOI http://dx.doi.org/10.3795/KSME-A.2012.36.11.1413** ISSN 1226-4873

소형탈선시뮬레이터상에서의 1/5 축소대차 주행안정성 해석§

엄범규* · 강부병** · 이희성* · 송문석***†

* 서울과학기술대학교 철도차량시스템공학과, ** 우송대학교, *** 한국교통대학교 철도차량시스템공학과

An Analysis of Running Stability of 1/5 Small Scaled Bogie on Small-Scaled Derailment Simulator

Beom Gyu Eom*, Bu Byoung Kang**, Hi Sung Lee* and Moon Shuk Song***†

* Dept. of Rolling Stock System Engineering, Seoul Nat'l Univ. of Science and Technology,
** Woosong Univ.
*** Dept. of Railway Vehicle System Engineering, Korea Nat'l Univ. of Transportation

(Received April 25, 2012 ; Revised July 16, 2012 ; Accepted July 17, 2012)

Key Words: Small-Scaled Derailment Simulator(소형탈선시뮬레이터), 1/5 Small Scaled Bogie(축소대차), Running Stability(주행안정성), Numerical Analysis(전산해석), Critical Speed(임계속도)

초록: 철도차량의 동적 거동 및 안정성 등을 예측하고 물리적인 특성을 이해하기 위하여 철도선진국인 영국, 프랑스, 일본 등에서는 축소모델 제작 및 시험하는 방법과 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 해석적으로 접근하는 방법이 사용되고 있다. 실물 규모의 동특성 시험은 대규모의 시험설비 구축에 따른 많은 비용과 시간의 소요, 그리고 시험 환경 설정의 어려움 등의 문제점이 발생하게 된다. 이러한 단점들을 극복하고자 상사법칙을 적용한 축소대차 모델을 이용하여 동적 시험 및 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 해석적 연구를 수행하고 있다. 본 연구에서는 소형탈선시뮬레이터를 이용한 1/5 축소대차의 주행안정성 시험에서 신뢰성이 검증된 해석모델을 이용하여 주행안정성에 미치는 매개변수 중 주행속도, 차체 하중의 2가지 변수에 따른 1/5 축소대차의 주행안정성 해석을 수행하고, 그에 따른 동적특성을 검토하였다.

Abstract: To predict the dynamics behavior, running stability, etc. of a railway vehicle and to understand its physical characteristics, analytical methods are used for the testing and manufacturing of a scale model along with numerical simulations in developed countries (England, France, Japan, etc.). The test of the dynamics characteristics of full-scale models is problematic in that it is expensive and time-consuming because an entire large-scale test plant needs to be constructed, difficulties are involved in the test configuration, etc. To overcome these problems, an analytical study involving dynamics tests and computer simulations using a scaled bogie model that applies the laws of similarity was carried out. In this study, we performed stability analysis on a 1/5 small scaled bogie for parameters such as the running speed and carbody weight by using an analysis model. Furthermore, we verified the reliability by using a small-scaled derailment simulator and examined the dynamic characteristic of the 1/5 small scaled bogie.

1. 서 론

1.1 연구목적 및 필요성

철도차량 주행장치인 대차의 동적 특성은 차량의 주행안전성 및 승차감과 같은 차량의 성능을 결정하는 측면에서 매우 중요하며, 주행안전 확보 문제는 철도운영기관 및 시설기관 주요 현안 사항이다.

현재, 차량개발 및 주행안전성 연구 분야에서 실차 규모의 대차주행시험대(Roller rig)라는 동특성 시험기를 이용하는 것이 적합하나, 시험설비의 과대, 다양한 시험대차의 제작, 시험조건 설정, 그로 인한 시험비용 및 시험시간의 과대로 인한 어려움을 겪고 있다. 이에 실물크기의 시험의 단점을 해결하기 위하여 철도선진국의 영국 MMU 대학, 프

§ 이 논문은 2012 년도 대한기계학회 동역학 및 제어부문 춘계학술대회(2012. 4. 11.-13., 제주 KAL 호텔) 발표논문임.

† Corresponding Author, 9288km@hanmail.net

© 2012 The Korean Society of Mechanical Engineers

랑스 INRETS, 독일 DLR, 미국 FRA, 캐나다 NRC, 이탈리아의 Torino 대학 등에서 축소모델을 이용한 연구가 활발하게 진행되어 왔다. 또한, 상기의 관련 기관에서 발표되고 있는 연구결과에 따른 소형시뮬레이터의 운용 결과는 설계된 대차사양에 관하여 실차에서 획득되는 데이터와 상당부분이 유사하다고 보고되고 있다.

국내에서 상사기법을 적용한 축소대차, 축소트랙 등을 활용한 시험 및 해석과 관련하여 연구사례를 조사한 결과, 허현무 등[1,2]이 1/5 축소 규모의 축소대차 모델과 축소대차의 임계속도를 시험하기 위한 축소대차 제작 및 크립이론을 적용하여 축소대차에 대한 임계속도를 해석하였고, 1/5 축소 규모의 축소 곡선트랙을 설계, 제작하여 곡선 주행시험을 수행하였다. 그러나, 관련 연구들은 축소대차의 동적 특성에 영향을 크게 미칠 수 있는 대차내 현가장치의 물성치 및 관련 특성, 차륜/궤조륜의 형상, 차체 하중 등을 세밀하게 고려하지 않았다. 최근에는 엄범규 등[3]이 서울과학기술대학교 철도안전연구센타에 1/5 축소 규모의 소형탈선시뮬레이터를 개발하여 주행안정성 시험을 수행하고 있으며 시험결과 및 이론적 해석결과의 비교/검토가 가능한 시험 및 해석모델을 구축한 연구사례가 있다.

본 연구에서는 상기에서 제시된 소형탈선시뮬레이터를 이용한 1/5 축소대차의 주행안정성 시험에서 신뢰성이 검증된 해석모델을 이용하였다. 주행안정성에 미치는 매개변수 중 현재 구축되어 있는 소형탈선시뮬레이터와의 시험결과와 우선적으로 쉽게 비교할 수 있는 주행속도, 차체 하중의 2 가지 변수를 선정하여 1/5 축소대차의 주행안정성 해석을 수행하였고, 그에 따른 동적 특성을 검토하였다.

2. 축소모델

2.1 상사기법

축소모델 상사기법은 살펴보고자 하는 목적에 따라서 다양한 상사법칙이 제안되고 있다. 모든 특성에 완벽하게 상사법칙이 적용될 수는 없고 특정 파라미터에 대하여 상사법칙이 성립되고, 일부 변수는 적당히 조정하여 사용한다. Table 1 은 치수, 질량, 스프링 특성, 재질 등과 같이 설계 파라미터에 대하여 기존의 상사기법들에 상사지수(Scaling factor)가 어떻게 조정되는지 보여준다.

Iwnicki 는 차량의 안정성과 동적 거동 특성 연구를 주목적으로 하여 동일 재질을 사용하고 상사의 관점을 진동수에 맞추어 다른 파라미터에 대한 Scaling 을 시도하였고 Full scale 모델과 축소 모델간의 관계를 규명하였다. Pascal 은 크립이론과 차륜/레일 접촉역학 규명을 목적으로 궤조륜의 반경이 큰 축소 주행시험대를 구현하였으며 상사의 관점을 속도에 맞추었다. Jaschinski 는 철도차량 다물체 동역학 이론과 비선형 방정식의 타당성을 검증하고자 축소 모델을 활용하였으며 가속도에 상사의 관점을 맞추어 Scaling 을 시도하였다.

그러나 이들 상사기법은 중력가속도와 재질의 탄성계수와 같이 인위적인 축소 기법이 적용되지

Table 1 Comparison of similarity rules

Scaling factor	Iwnicki	Pascal	Jaschinski	Jaschinski modified
Φ_l length	Φ	Φ	Φ	Φ
Φ_t time	1	Φ	$\sqrt{\phi}$	$\sqrt{\phi}$
Φ_f frequency	1	$1/\Phi$	$1/\sqrt{\phi}$	$1/\sqrt{\phi}$
Φ_v velocity	Φ	1	$\sqrt{\phi}$	$\sqrt{\phi}$
Φ_a acceleration	Φ	$1/\Phi$	1	1
Φ_ρ density	1	1	1	0.6
Φ_m mass	Φ^3	Φ^3	Φ^3	$\Phi^3/2$
Φ_I inertia	Φ^5	Φ^5	Φ^5	$\Phi^5/2$
Φ_E elasticity	1	1	1	3
Φ_w weight	Φ^3	Φ^3	Φ_3	$\Phi^3/2$
Φ_F force	Φ^4	Φ^2	Φ^3	$\Phi^3/2$
Φ_k stiffness	Φ^3	Φ	Φ^2	$0.6\ \Phi^2$
Φ_c damping	Φ^3	Φ^2	$\Phi^{2.5}$	$0.6\ \Phi^{2.5}$
Φ_μ friction	1	1	1	1

않는 파라미터가 존재하고 이로 인한 축소모델 운동방정식의 구성요소 항 중에는 상사 기법이 적용되지 않는 현상이 발생하게 된다. 특히 상사 기법이 적용되지 않는 축소 모델의 윤중은 차륜/레일 접촉점에서의 크립 특성에 대한 상사과정에도 영향을 미치게 된다.

따라서 Full scale 대차 모델과 Scale model 대차 모델 간에는 완벽한 상사가 불가하다고 할 수 있다. 이에 대한 대안으로 Jaschinski 는 재질의 물성을 변경하여 상사 기법을 적용함으로서의 Full scale 대차 모델에서의 차륜/레일 접촉 특성에 대한 근사화된 상사를 시도하기도 하였다.(4)

2.2 1/5 축소모델

1/5 축소모델에 있어, 본 연구에서는 볼스타레스(Bolsterless) 타입의 새마을호 동력차 대차인 MAN 대차)를 대상으로 된 상사기법이 적용된 1/5 축소대차를 선정하였다. 참고로, 상기의 상사기법 중 대차의 안정성과 동적 거동 특성 연구를 주목적으로 하는 MMU 의 S. D. Iwnicki 의 상사 기법을 준용하였으며, 관련된 1/5 축소대차의 주요사양, 물성치, 각 파라미터에 대한 제원은 Table 2 와 같다.

선정되어 제작한 1/5 축소대차는 Fig. 1 과 같으며, 이를 활용하여 주행안정성 시험이 가능한 소형탈선시뮬레이터 시험장비는 현재 서울과학기술

Table 2 Design specification of small scaled bogie

Description	Full scale bogie	Similarity index	Small scaled bogie (1/5)
Length of bogie frame [m]	3.606	1/ Φ	0.7212
Width of bogie frame [m]	2.268	1/ Φ	0.4536
Height of bogie frame [m]	0.897	1/ Φ	0.1794
Wheelbase [m]	2.5	1/ Φ	0.500
Diameter of wheel [m]	0.914	1/ Φ	0.1828
Mass of carbody [kg]	54,970	$1/\Phi^3$	439.76
Mass of bogie [kg]	3,500	$1/\Phi^3$	28
Mass of wheelset [kg]	2,650	$1/\Phi^3$	21.2
Gauge [m]	1.435	1/ Φ	0.287
Bogie_ mass moment of inertia, I_{xx} [mgm^2]	1.58	$1/\Phi^5$	0.0005056
Bogie_ mass moment of inertia, I_{yy} [mgm^2]	1.6	$1/\Phi^5$	0.000512
Bogie_ mass moment of inertia, I_{zz} [mgm^2]	3.01	$1/\Phi^5$	0.0009632
Wheelset_ mass moment of inertia, I_{xx} [mgm^2]	0.865	$1/\Phi^5$	0.0004352
Wheelset_ mass moment of inertia, I_{yy}[mgm^2]	0.003	$1/\Phi^5$	0.00000096
Wheelset_ mass moment of inertia, I_{zz} [mgm^2]	0.865	$1/\Phi^5$	0.0004352
Primary suspension_spring constant, K_x [MN/m]	0.379	$1/\Phi^3$	0.003032
Primary suspension_spring constant, K_y [MN/m]	0.379	$1/\Phi^3$	0.003032
Primary suspension_spring constant, K_z [MN/m]	0.758	$1/\Phi^3$	0.006064
Primary suspension_vertical damper_damping coefficient [MNs/m]	0.03	$1/\Phi^3$	0.00024
Primary suspension_bushing, K_x [MN/m]	16.0	$1/\Phi^3$	0.128
Primary suspension_bushing, K_y [MN/m]	4.0	$1/\Phi^3$	0.032
Primary suspension_bushing, K_z [MN/m]	0.142	$1/\Phi^3$	0.001136
Young's modulus [N/m^2]	2.07E11	1/1	2.07E11
Wheel thread profile	KNR40 Wheel (1/5scale)		
Roller head profile	KS60 Rail (1/5scale)		

Fig. 1 1/5 small scaled bogie

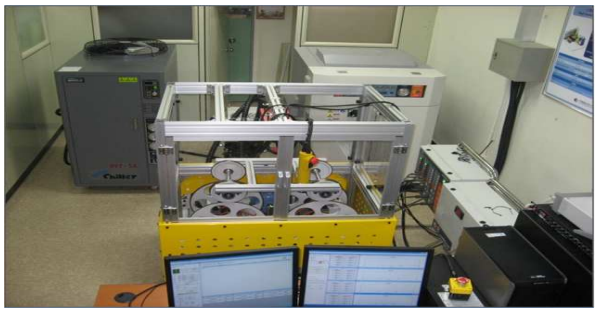


Fig. 2 Small-scaled derailment simulator

대학교 철도안전연구센타에 Fig. 2 와 같이 구축하였다.

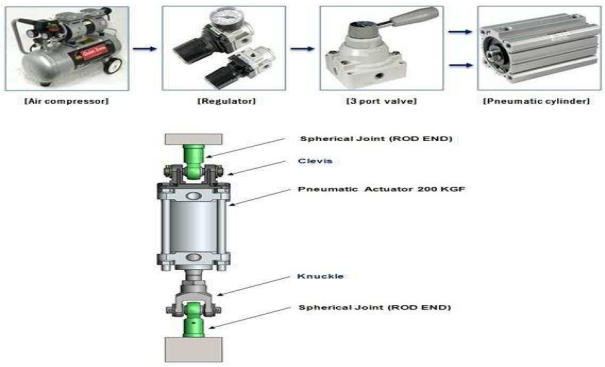
상기에서 언급된 1/5 축소대차를 소형탈선시뮬레이터의 궤조륜 상부에 고정하고, 차체 하중인가장치를 통한 하중을 가하여 시험이 가능하도록 하게 하였다. Fig. 3(a)와 같이 에어 콤프레샤를 이용하여 공압을 발생 시킨 후 레귤레이터를 통하여 압력 조절(하중조절가능)이 가능하게 하였으며, 3 Port 핸드 벨브를 이용하여 압력의 방향을 조절하여 실린더를 통한 대차에 하중을 인가시키는 방법을 사용하였다. 또한, 공압실린더 상·하부에 구면조인트를 사용하여 축소대차의 동적거동에 구속에 영향을 미치지 않게 하였고, 상사기법이 적용된 차체의 하중에 맞게 각각의 공압실린더(지름 : 63mm)에 0.4MPa 압력을 가하였다.

이에 따른 차체 하중에 대한 장치는 Fig. 3(b)와 같으며, 차체의 하중을 축소대차 상에서의 좌우방향의 양 끝단에 지지하고 공압을 가하여 표현하였다.[3]

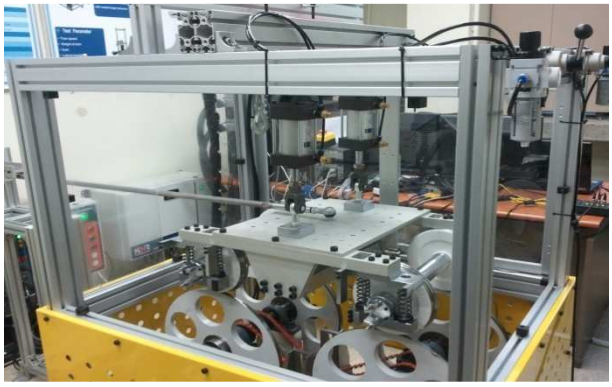
3. 주행안정성 해석

3.1 해석모델

본 연구에서는 주행안정성 해석모델 개발에 있어, 초기에는 철도차량 전용 해석 프로그램인 VI-Rail[5]을 사용하고자 하였으나, 차륜/궤조륜의 접촉상태를 구현하지 못하는 단점이 있어, 차륜/궤조륜 모델링이 가능한 ADAMS/View[6] 해석 프로그램을 사용하였다.



(a) Pneumatic cylinder



(b) Actual photos of pneumatic cylinder

Fig. 3 1/5 scaled bogie designing considering weight

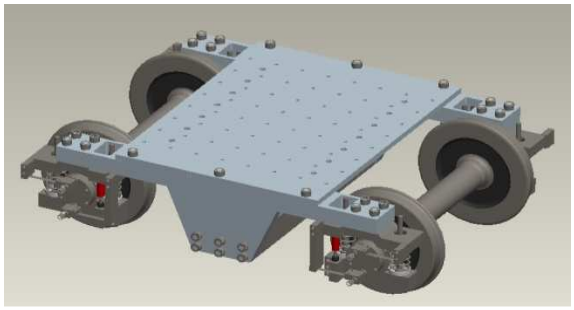


Fig. 4 3D model of 1/5 small scaled bogie using Pro-E program

그러나, ADAMS/View 해석프로그램에서는 소형탈선시뮬레이터의 차륜 답면구배, 궤조륜의 답면형상, 현가장치의 기본 프레임 및 구성 등에 대한 3D 모델링에서의 세밀한 표현에 대해서는 적합하지 않기 때문에, 3D CAD 프로그램인 Pro/E[7] 프로그램을 통하여 1/5 축소대차 모델링을 하였고, 가져오기(Import) 작업으로 기하학적 형상을 불러들여 모델링을 진행하였다. Fig. 4 는 Pro/E 로 완성한 3D 모델(확장자명:igs 파일)이다.

실제 소형탈선시뮬레이터상에는 레일역할인 궤

조륜 상부에 1/5 축소 대차가 올라가 있는 형태로 구성되어 있다. 이를 바탕으로 ADAMS/View 해석 프로그램상에서 궤조륜이 회전을 하면, 접촉하고 있는 차륜이 회전을 하게 되고, 차륜이 회전을 하게 되면 앞으로 전진하는 것은 구속(Constraints)를 주어 궤조륜 위에서만 운동을 할 수 있게 하였다

또한, 1/5 축소대차의 현가장치 모델링에 있어, 1 차 현가장치 경우 2 개의 판스프링과 1 개의 코일 스프링으로 모델링 하였으며, 상사지수가 적용된 스프링요소와 부싱스프링값을 합하여 1/5 축소대차의 현가장치 특성값을 부여하였다.

Fig. 5 는 제작된 1/5 축소대차의 현가장치 실제 모습을 나타내고 있으며, Fig. 6 은 ADAMS/View 해석 프로그램에서의 스프링 요소를 이용한 1 차 현가장치 구현 방법 및 각 방향의 조인트 조건을 나타내고 있다. 상기의 언급된 방법을 진행하여 소형탈선시뮬레이터 상에서의 1/5 축소대차의 주행안정성 해석을 위한 해석모델을 완성하였으며 Fig. 7 과 같다. 참고로 상기에서 언급한 1/5 축소대차의 주요제원이 반영되었다.

ADAMS/View 해석프로그램을 이용하여 개발한 1/5 축소대차 해석모델은 소형탈선시뮬레이상에서의 주행안정성 시험결과의 비교를 통하여 신뢰성이 검증된 바 있다.[3] 1/5 축소대차의 이론 및 주행안정성 시험결과에 따른 사행동 운동주파수와 유사한 주파수에서 사행동이 발생하였다는 점을 참고로 하여 본 연구인 소형탈선시뮬레이터 상에서의 1/5 축소대차의 주행안정성 해석에서 신뢰성있는 해석모델이라고 판단하여 연구를 수행하였다.

Fig. 5 Actual photos of 1/5 small scaled bogie primary suspension

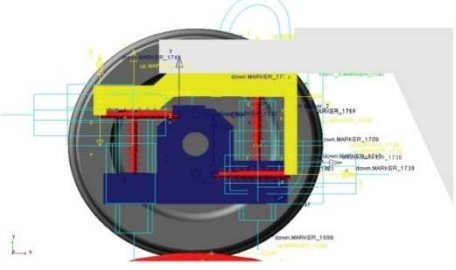


Fig. 6 3D model of 1/5 small scaled bogie primary suspension using ADAMS/View program

3.2 해석조건

본 소형탈선시뮬레이터상에서의 1/5 축소대차 주행안정성 해석에 있어, 먼저, 주행속도에 따른 임계속도를 확인하고자 하였다.

1/5 축소대차 상에서 새마을호 동력차 대차인 MAN 대차의 대차 최대 설계속도인 200km/h 와 실제 새마을호의 열차 운행속도를 참고하였다. 임계속도 영역을 살펴보기 위하여 40km/h(1/5 scale) 에서부터 2km/h(1/5 scale) 씩 속도향상에 따른 Case 1 과, 주행속도 0~40km/h(1/5 scale)로 속도변화에 따른 Case 2 의 주행안정성 해석을 수행하였다.

또한, 소형탈선시뮬레이터상에서는 1/5 축소대차 상부에 차체 하중인가장치[8]를 장착하여 하중을 부가하게 되는데, 상기의 차체 질량 439.76 kg 을 참고한 영차(Loaded car), 1/2 영차(Half of Loaded car), 공차(Empty car), 3 가지 조건으로 하여 Case 3 의 주행안정성 해석을 수행하였다. Table 3 과 같이 주행속도와 차체하중에 따른 주행안정성 해석을 수행하고, 그에 따른 동적특성을 살펴보고자 하였다.

Table 3 Analysis conditions of running stability

Category	Parameters	Analysis conditions	Remarks
Case 1	Running speed	+2 km (1/5 scale)	from 40km/h (1/5 scale)
Case 2		0~32km (1/5 scale)	
Case 3	Carbody weight	Full load (100%)	carbody weight : 439.76kg (1/5 scale)
		Half load (50%)	
		Empty load (0%)	

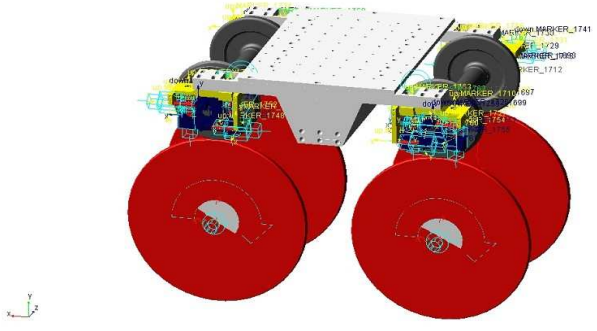
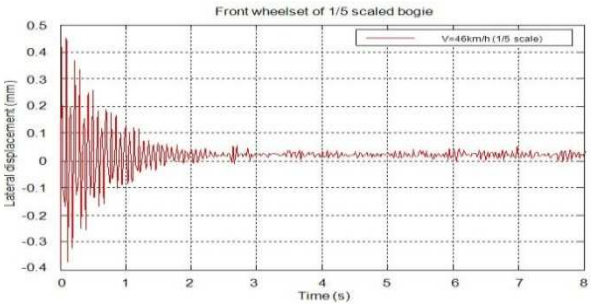
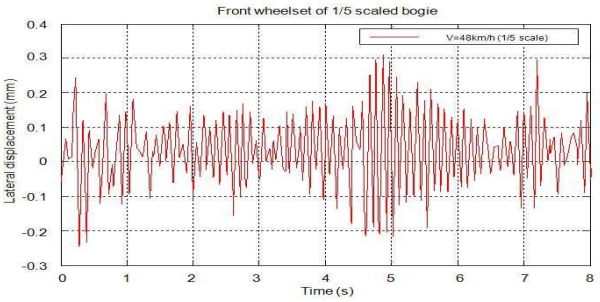


Fig. 7 Analysis model using ADAMS/View program



(a) V=46km/h (1/5 scale)



(b) V=48km/h (1/5 scale)

Fig. 8 Lateral displacement of front wheelset of 1/5 small scaled bogie – Case 1

3.3 해석결과

상기의 해석조건에 따라 1/5 축소대차의 주행안정성 해석을 수행하였고, 대차의 안정성을 살펴보기 위해 윤축과 대차의 좌우방향에 대한 변위량 가속도를 중점으로 살펴보았다. 이에 따른 해석결과는 다음과 같다.

3.3.1 Case 1

임계속도 영역을 살펴보기 위하여 Case 1 의 해석조건인 40km/h(1/5 scale)에서부터 +2km/h(1/5 scale) 씩 속도향상을 시킨 주행안정성 해석결과, Fig. 8 과 같이 일정 주행속도에서의 1/5 축소대차의 전위윤축 좌우 방향 변위량을 살펴보았다. 주행속도 46km/h(1/5 scale) 상에서는 시간에 따라 전위윤축의 좌우방향 변위량이 수렴하다가, 주행속도 48km/h(1/5 scale) 상에서는 전위윤축 좌우방향 변위량이 감쇠하지 않고, 불규칙적인 변화가 지속되었다. 이는 상기의 주행속도인 48km/h(1/5 scale)에서는 해석적으로 1/5 축소대차의 임계속도임을 확인할 수 있었다.

해석모델의 신뢰성을 재입증하기 위하여 참고문헌 (3)에서 제시된 축소대차의 주행안정성 시험결과의 비교결과, 해석결과의 임계속도는 시험에서의 임계속도 44km/h (1/5 scale)와는 10% 이내로 약간의 차이가 발생하였다. 이 결과는 해석 모델이

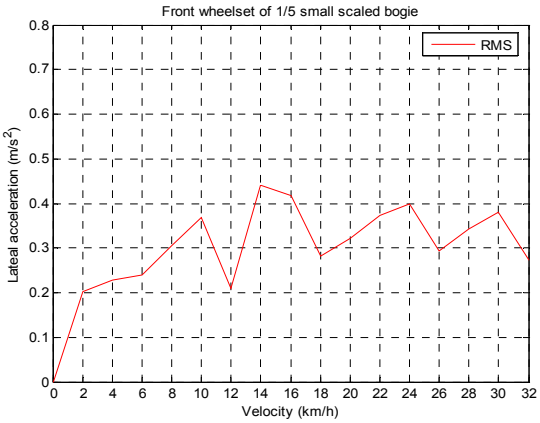


Fig. 9 Lateral acceleration of front wheelset of 1/5 small scaled bogie – Case 2

임계속도 및 차륜/레일 인터페이스 특성이 관련되는 주행안정성 평가 관련하여 신뢰성 있는 결과를 줄 수 있음을 판단하였다.

또한, 상기의 결과는 실물대차일 경우 속도 상사지수 Φ 를 반영하면 240km/h(full scale)의 임계속도영역임을 확인할 수 있었다.

해석조건에서 언급된 바와 같이 새마을호 동력차 대차인 MAN 대차의 대차 최대 설계속도인 200km/h 와 비교결과, 약간의 차이가 발생하였다. 이는 축소시의 완벽한 상사가 불가한 것을 재확인할 수 있었고, 실제 차륜/레일 접촉과 차륜/궤조륜 접촉에서의 동적특성 차이를 확인할 수 있었다.

3.3.2 Case 2

일정 속도에서의 1/5 축소대차의 동적특성을 살펴보기 위하여 Case 2 의 해석조건인 주행속도 0 ~32km/h(1/5 scale)로 속도변화에 따른 주행안정성 해석결과, Fig. 9 와 같이 전위 윤축 좌우 방향 가속도의 RMS 결과값을 그래프로 나타내었다.

해석결과를 살펴보면 10km/h(50km/h-full scale)에서 0.356 m/s^2, 14km/h(70km/h-full scale)에서 0.43 m/s^2, 24km/h(120km/h-full scale)에서 0.4 m/s^2, 30km/h (150km/h-full scale)에서 0.38 m/s^2 피크치가 나타났다. 이는 속도변화에 따른 주행안정성 해석적인 결과이므로, 추후 소형탈선시뮬레이터를 이용한 주행안정성 시험결과와 비교시 유용한 자료이라고 판단되며, 시험시에 높은 피크치에서의 속도를 참고하여 유의있게 시험 진행을 하여야 할 것으로 판단된다.

3.3.3 Case 3

소형탈선시뮬레이터상에서의 1/5 축소대차 상부에 부가되어지는 하중변화에 따른 주행안정성

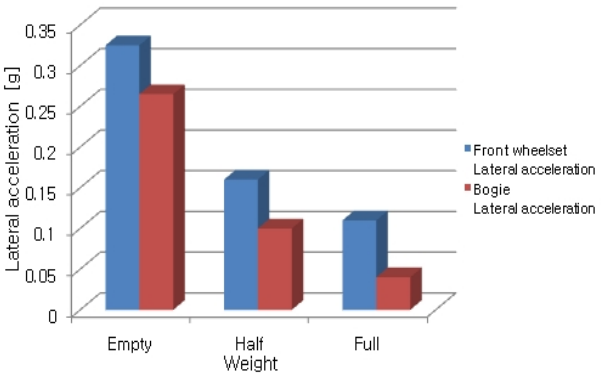


Fig. 10 Lateral acceleration of front wheelset and bogie of 1/5 small scaled bogie – Case 3

해석결과, Fig. 10 에 전위 윤축과 대차의 좌우방향 가속도 RMS 값의 비교 결과를 나타내었다. 그래프에서 나타난 거와 같이 하중이 공차(Empty car), 1/2 영차(Half of Loaded car), 영차(Loaded car)순으로 가속도 RMS 값이 작아는 것을 확인할 수 있었다. 이는 차체하중 및 인가장치가 1/5 축소대차의 동적특성에 영향이 미치고, 하중의 크기가 작아질수록 1/5 축소대차가 불안정한 상태로 주행한다는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 1/5 축소대차의 주행안정성 시험에서 신뢰성이 검증된 해석모델을 이용하여 주행안정성에 미치는 매개변수 중 주행속도, 차체 하중의 2 가지 변수를 선정하여 1/5 축소대차의 주행안정성 해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 임계속도 영역을 살펴보기 위한 주행안정성 해석결과, 주행속도인 48km/h(1/5 scale)에서의 1/5 축소대차 임계속도 영역을 확인할 수 있었다.

(2) 이는 실험적으로 구한 임계속도인 44km/h (1/5 scale)와도 유사한 값을 보여주고 있는 것을 알 수 있다. 개발한 해석 모델이 임계속도 및 차륜/레일 인터페이스 특성이 관련되는 주행안정성 평가 관련하여 신뢰성 있는 결과를 줄 수 있음을 판단하였다.

(3) 일정 속도에서의 1/5 축소대차의 동적특성을 살펴보기 위한 속도변화에 따른 주행안정성 해석결과, 속도에 따른 주요 전위윤축의 좌우방향 가속도의 RMS 피크치를 확인할 수 있었다. 이는 추후 소형탈선시뮬레이터를 이용한 주행안정성 시험시, 관련 주요속도에서는 유의있게 시험 진행을 하여야 할 것으로 판단된다

(4) 차체하중 변화에 따른 주행안정성 해석결과, 차체하중 및 인가장치가 1/5 축소대차의 동적특성에 영향을 미치고, 하중의 크기가 작아질수록 축소대차가 불안정성이 증가한다는 결과를 얻었다.

(5) 차륜/궤조륜 인터페이스 특성을 평가 할 수 있는 ADAMS/View 프로그램을 활용한 해석 모델을 구축하였으며 사행동 주파수에 대한 시험 결과와 해석 결과의 비교 분석을 통하여 해석 모델의 신뢰성을 입증하였고 향후 소형탈선시뮬레이터를 활용한 주행 성능 평가 및 대차의 주행안정성 평가에 효과적으로 사용될 수 있다는 결론을 얻었다.

후 기

이 논문은 2012 년도 한국교통대학교 교내학술연구비의 지원을 받아 수행한 연구임.

참고문헌

(1) Hur, H. M., Park, J. H., Kim, M. S., You, W. H. and Park, T. W., 2007, "A Study on the Critical Speed of 1/5 Scaled Bogie Model," *Journal of the Korean Society for Railway,* Vol. 10, No. 6, pp. 800~805.

(2) Hur, H. M., Park, J. H., You, W. H. and Park, T. W., 2007, "A Study on the Curving Performance of a Scaled Bogie on a Scaled Curve Track," *Journal of the Korean Society for Railway,* Vol. 10, No. 5, pp. 613~618.

(3) Eom, B. G., Kang, B. B. and Lee, H. S., 2012, "A Running Stability Test of 1/5 Scaled Bogie Using Small-Scaled Derailment Simulator," *Journal of the Korean Society for Railway,* Vol. 15, No. 1, pp. 9~16.

(4) Jaschinski, A. etc, 1999, "The Application of Roller Rig to Railway Vehicle Dynamics," *Vehicle System Dynamics,* pp. 345~392.

(5) VI grade, 2008, "ADAMS/Rail 2005 R2. 11.0 Documentation."

(6) MSC software, 2005, "MSC. ADAMS 2005 User's Manual."

(7) PTC, 2011, "Pro/Engineer Wide Fire 4.0 User's Manual."

(8) Eom, B. G., Kang, B. B. and Lee, H. S., 2011, "Design of Small-Scaled Derailment Simulator for Investigating Bogie Dynamics," *International Journal of Railway,* Vol. 4, No. 2, pp. 50~55.

(9) Eom, B. G. and Lee, H. S., 2010, "Assessment of Running Safety of Railway Vehicles using Multibody Dynamics," *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, Vol. 11, No. 2, pp. 315~320.

(10) Simon Iwnicki, 1996, "Handbook of Railway Vehicle Dynamics, " *CRC Press.*

(11) Hur, H. M.,You W. H., Kim, N. P. and Park, T. W., 2009, "Stability Evaluation of the Railway Bogie According to the Tread Inclination of Wheel Profile Using Scale Model," *Trans. of the KSME(A)*, Vol. 33, No. 10, pp. 1099~1107.

(12) Eom, B. G. and Lee, H. S., 2010, "Assessment of Running Safety of Railway Vehicles using Multibody Dynamics," *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, Vol. 11, No. 2, pp. 315~320.

(13) Bhatti, M. H. and Garg, V. K., 1984, "A Review of Railway Vehicle Performance and Design Criteria," *Int. J. Vehicle Design*, Vol. 5, No. 1~2, pp. 232~254.

(14) Wickens, A. H., 1998, "The Dynamics of Railway Vehicles-from Stephenson to Carter," *Proc. Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, Vol. 212, No. 3, pp. 209~217.

(15) Gilchrist, A. O., 1998, "The Long Road to Solution of the Railway Hunting and Curving Problems," *Proc. Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, Vol. 212, No. 3, pp. 219~226.

(16) Matsudaira, T., 1963, "Dynamics of High Speed Rolling Stock," *Japanese National Railways RTRI Quarterly Reports*, Special Issue.

(17) Weinstock, H., 1984, "Wheel Climb Derailment Criteria for Evaluation of Rail Vehicle Safety," *ASME Winter Annual Meeting*, Paper No. 84-WA/RT-1, pp. 1~7.

(18) Gilchrist, A. O. and Brickle, B. V., 1976, "A Re-examination of the Proneness to Derailment of a Railway Wheelset, " *J. Mech. Eng. Sci.*, Vol. 18, No. 3, pp. 131~141.