

축소 주행시험대상에서의 축소대차 안정성 해석

The Stability Analysis of The Scale Bogie Model on The Scale Roller Rig

*#허현무¹, 박준혁¹, 유원희¹, 박태원²

¹H. M. Hur(hmhur@krri.re.kr), ¹J. H. Park, ¹W. H. You, ¹T. W. Park²

¹ 한국철도기술연구원 주행추진연구실, ²아주대학교 기계공학과

Key words : scale roller rig, scale bogie, stability

1. 서론

철도차량 주행장치인 대차의 동적 특성은 차량의 주행성능, 승차감과 같은 차량의 성능을 결정하는 한다면 측면에서 매우 중요하다. 따라서 차량개발 단계에서는 대차에 설계 검증측면에서 대차 주행시험대(roller rig)라는 동특성시험기를 이용한 성능 시험 과정이 수반된다. 그러나 차량개발 단계 및 차량 동역학 연구 분야에서는 이와 같은 full scale 규모의 대차 주행시험대를 이용함이 적합하다고 할 수 있으나 시험설비의 과대, 다양한 시험 대차의 제작, 시험조건 설정, 그로인한 시험비용 및 시험 시간의 과대로 인한 어려움을 겪게 된다. 따라서 full scale 규모 시험으로 인한 단점을 해결하기 위한 대안으로 축소 형태의 scale model에 대한 연구가 철도 선진국에서는 활발히 진행되고 있다.

따라서 본 논문에서는 1/5 scale 규모의 축소형 대차의 안정성 해석을 위하여 축소 주행시험대상에서의 임계속도 해석에 대한 연구를 수행하였다. 이를 위하여 축소 주행시험대상에서 윤축, 대차프레임으로 구성된 축소대차 모델에 대한 동역학적 모델을 구성하였으며 그 동적 특성을 독자 개발한 S/W를 이용하여 해석하였다. 또한 다물체 동역학 해석 S/W인 ADAMS/VIEW를 이용한 해석결과와 비교함으로써 축소대차 모델의 안정성 해석을 위한 범용 S/W 적용 가능성에 대하여 검토하였다.

2. 축소대차 동역학 모델

Fig. 1과 같이 축소대차가 축소 주행시험대의 궤조륜상에서 접촉한다고 가정하여 동역학적 모델을 구성하였다. 축소대차의 윤축, 대차는 횡방향과 yaw방향으로만 운동이 허용되며 그 외 운동은 구속하였다. 이 때 차륜/레일 접촉 조건에 비하여 상이한 점은 레일에 비하여 일정 반경을 가지는 궤조륜상에서의 차륜이 접촉하고 있다는 점이다. 즉 차륜/궤조륜간 크리퍼지(creepage) 산출시 접촉점에서의 궤조륜 구름반경의 영향이 반영되어 크립력, 크립모우멘트에 궤조륜 구름반경의 영향이 추가되며 또한 궤조륜상에서 윤축의 yaw 운동에 의한 불안정 모우멘트 성분이 추가된다(1).

차륜/레일간의 기하학적 접촉특성 해석은 실물 차륜과 레일의 1/5 축소형상을 적용하였고 크립력 계산시 활용되는 크립계수는 비선형적으로 모델링하여 활용하였다(2). 안정성 해석은 윤축 외란에 대한 시스템의 안정성을 판별하는 방법으로 수치해석을 수행하였으며 Table 1은 축소대차 안정성 해석에 적용한 물성 및 특성치를 나타낸다.

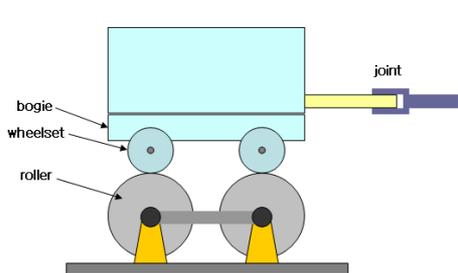


Fig. 1 Scale bogie model on the scale roller rig

Table 1 Simulation parameters

parameter	description	value
m_i	wheelset mass(kg)	15.18
M_b	bogie mass(kg)	18.9
I_i	wheelset moment of inertia(kg·m ²)	0.3334
I_b	bogie moment of inertia(kg·m ²)	1.0683
r_0	wheel radius(m)	0.086
R_0	roller radius(m)	0.15
b	half of the primary spring(m)	0.2
c	half of wheel base(m)	0.21
g	gage	0.287
K_x	longitudinal stiffness of spring(N/m)	5.27E4
K_y	lateral stiffness of spring(N/m)	3.83E4
N	wheel load(N)	120.8
G	modulus of rigidity(N/m ²)	84E9
λ	wheel conicity	0.1
	rail profile	60kg

Fig. 2는 범용 다물체 동역학 S/W를 이용한 축소대차의 안정성 해석 가능성을 검토하기 위하여 ADAMS/VIEW를 이용하여 모델링한 축소 주행시험대와 축소대차 모델을 나타낸다. 축소대차의 대차프레임의 거동을 횡방향과 yaw방향으로 한정시키기 위하여 링크와 대차프레임 중심을 통과하는 센터핀으로 모델링하였다. 차륜과 궤조륜간의 접촉은 Hertzian contact theory를 이용하여 강성과 댐핑요소로 모델링하였다(3). 궤조륜을 구동시키기 위하여 ground/궤조륜간에는 revolute joint와 motion 요소를 이용하여 일정속도 간경으로 궤조륜 속도가 증가하도록 하였다. 그 외 각 part간 연결요소는 요소는 Table 2와 같다.

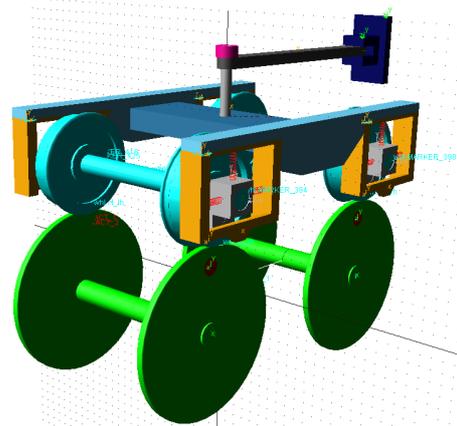


Fig. 2 ADAMS model

Table 2 ADAMS model element

description	element
wheelset/axlebox	revolute
bogie frame/suspension	fixed
suspension/axlebox	translational spring
link/center pin	cylindrical
ground/link	revolute
wheel/roller	contact
ground/roller	revolute, motion

3. 축소대차 안정성 해석

축소대차 모델의 운동방정식에 대한 수치해석을 수행하기 위해서는 먼저 차륜/궤조륜간의 기하학적 접촉해석이 선행되어야 한다. Fig. 3, Fig. 4는 윤축의 좌우 변위에 대한 좌우차륜 접촉점에서의 구름반경 변화와 접촉점에서의 접촉면적 변화를 나타낸다. 윤축의 좌우 변위에 따라 차륜플랜지 접촉에 의한 구름반경이 커지며 접촉면적이 작아지는 특성을 보이고 있다. Fig. 5는 차륜/궤조륜 기하학적 접촉특성 해석 결과를 활용하여 속도별로 윤축의 응답특성을 해석한 선도이다. 속도 11.0m/s에서는 안정적으로 수렴함을 보이고 있는 반면 속도 11.5m/s 이상에서는 수렴하지 않거나 발산하는 불안정한 특성을 보이고 있다. 따라서 축소대차 모델의 임계속도 영역은 약 11.5m/s 대역으로 해석할 수 있다.

Fig. 6은 ADAMS model에 대한 simulation 결과를 나타낸다. 궤조륜의 속도에 따른 윤축의 횡변위 특성을 나타낸 선도이다. 그림에서 볼 수 있듯이 저속구간에서는 윤축의 거동이 안정적으로 반응하고 있으나 11.0m/s 대역에서는 윤축의 횡변위가 증가하고 있으며 그 이상 대역에서는 차륜플랜지에 접촉하는 불안정한 거동특성을 보이고 있다. 따라서 ADAMS model에서의 임계속도 대역은 11.0m/s 대역으로 볼 수 있다. Fig. 7은 윤축 횡변위를 RMS값으로 표시한 결과이다. Fig. 8은 각 각의 해석에 대한 hunting 주파수를 나타낸다.

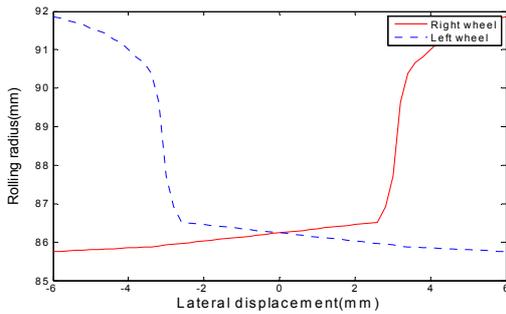


Fig. 3 Rolling radius

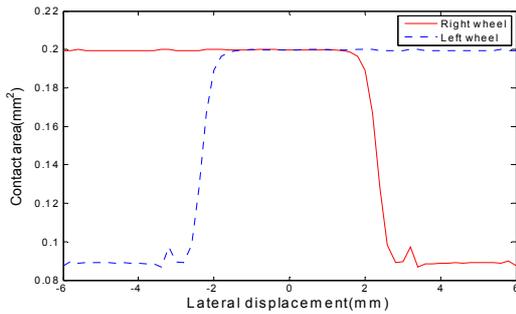


Fig. 4 Contact area

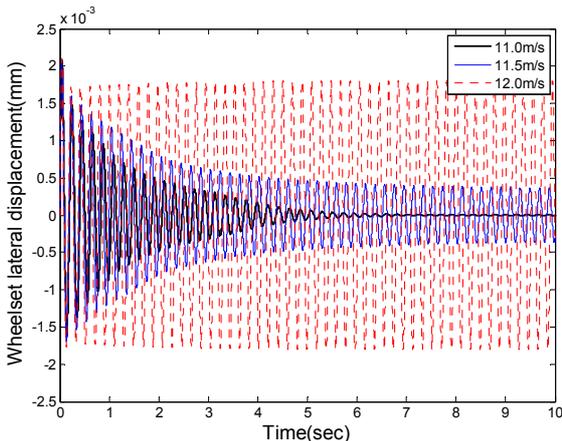


Fig. 5 Results of the critical speed analysis

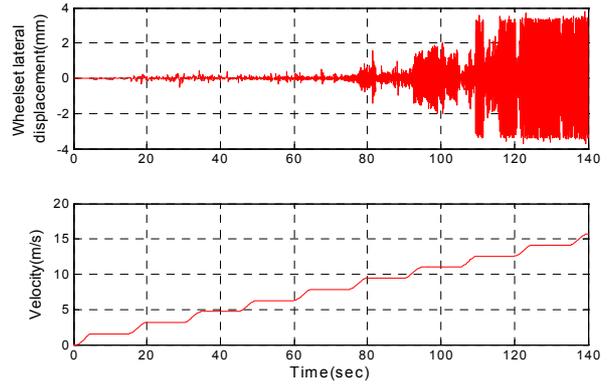


Fig. 6 Wheelset lateral displacement along with the roller speed

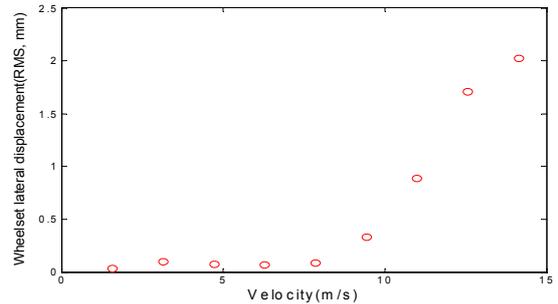


Fig. 7 Wheelset lateral displacement (RMS.)

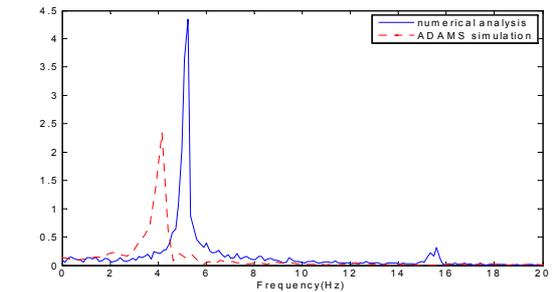


Fig. 8 Hunting frequency of wheelset

4. 결론

축소 주행시험대상에서 1/5 scale 규모의 축소형 대차의 임계속도 해석 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

차륜/궤조륜간의 기하학적 접촉특성 해석결과를 활용한 축소대차 모델과 범용 다물체 동역학 S/W인 ADAMS/VIEW 모델간의 임계속도 해석결과는 비교적 잘 부합하고 있음을 알 수 있다. 따라서 다양하고 복잡한 메카니즘을 가진 대차의 동역학 해석 분야에 있어서 모델링이 용이하고 다양한 거동을 모사 할 수 있는 다물체 동역학 S/W 활용에 대한 가능성을 확인 할 수 있는 연구가 되었다고 사료된다.

이에 대한 후속 연구로서는 실물 축소 주행시험대를 이용한 축소대차 안정성 시험 연구를 통하여 임계속도 해석기법에 대한 검증 및 보완 연구가 계획되고 있으며 또한 다양한 메카니즘이 적용된 대차 모델에 대한 동적 거동특성 분석 연구도 수반 될 계획이다.

참고문헌

1. 허현무, 박준혁외, "1/5 스케일 축소대차 모델 임계속도에 관한 연구", 한국철도학회논문집 제10권 제6호, 2007
2. H.M. Hur, "A Study on the Characteristics of the Wheel/Roller Contact Geometry", J. of KSR, Vol.9, No.5, 2006
3. K.L. Johnson, "Contact Mechanics", Cambridge University Press, 1985