

대차 조향 특성 시험을 위한 축소 트랙 개발

Development of the Scale Track to Test Bogie Steering Performance

허현무* 박준혁** 유원희** 박태원***
Hur, Hyun-Moo Park, Jun-Hyuk You, Won-Hee Park, Tae-Won

ABSTRACT

The performance of the railway bogie is classified into the stability and the steering performance. Testing for the bogie stability is conducted on the roller rig. But testing for the bogie steering performance on test facility is very difficult, so the testing for the vehicle curving performance is conducted on the real curve track. And it is desirable to test on the full scale test rig, but it caused many problems relating to test costs, test time. To overcome these problems, the small scale test rig is actively used in the field of bogie stability.

Thus, in this paper, we have studied the scale track to test the bogie steering performance. For this, we designed the 1/5 scale test track equivalent to radius 200 curve and confirmed the validity of the testing for the bogie steering performance on the scale curve track through the testing using 1/5 scale bogie.

1. 서론

철도차량 주행장치인 대차의 성능은 안정성과 조향성능으로 구분된다. 대차의 안정성에 대한 시험은 대차 주행시험대가 활용되고 있다. 반면 곡선 주행성능과 관련된 조향성능을 모사하고 그 특성을 시험하기 위한 시험설비를 구축하는 것은 매우 어려운 일이며, 따라서 차량의 곡선주행성능 평가는 주로 실선로를 이용한 시험이 주류를 이루고 있다. 또한 full scale 규모의 주행시험설비를 이용하는 것이 실차량 운용조건에 근접한 시험조건이기는 하나 시험설비의 과대, 시험조건 설정의 어려움, 그로인한 시험비용 및 시험 소요시간의 과대와 같은 문제점을 초래한다. 따라서 full scale 규모 시험으로 인한 단점을 해결하기 위한 대안으로 축소 형태의 scale model에 대한 연구가 차량 안정성 시험분야를 중심으로 철도선진국에서는 활발히 진행되고 있다.

따라서 본 논문에서는 대차의 조향 특성을 효율적으로 시험하기 위한 축소 곡선 트랙 시험장치 개발에 대한 연구를 수행하였다. 이를 위하여 대차의 곡선주행을 모사할 수 있는 곡률반경 200m의 급곡선과 등가인 1/5 scale 규모의 축소 곡선 트랙을 설계, 제작하였으며 축소 곡선 트랙상에서 축소대차를 이용한 시험을 수행하였다.

2. 축소모델 제작

2.1 축소 곡선트랙

축소형 곡선 트랙은 철도차량이 곡선반경 200~250m의 급곡선을 주행할 때의 차량의 거동 특성을 모사 시험할 수 있는 그림 1과 같이 1/5 scale 규모의 축소형 곡선 트랙 구조로 설계하였다. 축소 곡선 트랙상에서 시험차량의 주행 속도를 부여하기 위하여 자유낙하 방식을 이용하였으며 곡선 중앙점에서의 최고속도 구현을 위하여 축소형 곡선 트랙의 높이차는 0.5m 이상 설정 가능하도록 하였다.

* 허현무, 회원, 한국철도기술연구원 철도시스템연구본부

E-mail : hmhur@krri.re.kr

TEL : (031)460-5245 FAX : (031)460-5289

** 한국철도기술연구원 철도시스템연구본부

*** 아주대학교 기계공학과

축소형 곡선 트랙의 구조는 그림 2와 같이 하부프레임, 고저설정지그, 레일부로 구성된다. 하부 프레임, 고저설정지그는 시험 트랙의 시험 목적에 부합할 수 있게 곡선 선형, 높이차를 부여할 수 있는 가변형 구조로 견고하게 설계하였다. 레일 형상, 곡선 트랙의 선형 치수는 KS R 9106 보통 레일 규격 중 60kg 레일을 참조하여 1/5 scale 상사조건을 충족할 수 있게 설계하였다. 또한, 레일 경좌는 실물 레일의 부설 경좌를 고려하여 1/40로 하였으며 캔트는 내외케의 높이차를 부여함으로써 설정 가능하도록 하였다. 그림 3은 60kg 레일 형상을 나타내며 그림 4는 제작된 축소 곡선트랙 시제품을 나타낸다.

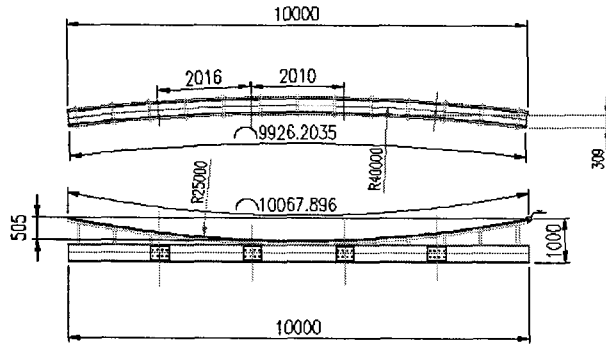


그림 1 축소 곡선 트랙 설계안

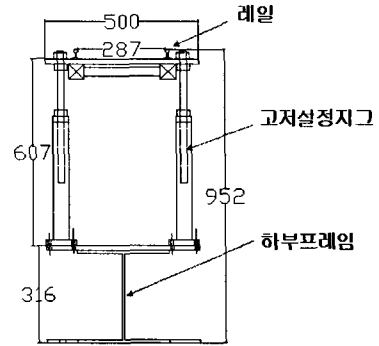


그림 2 축소 곡선트랙 구조

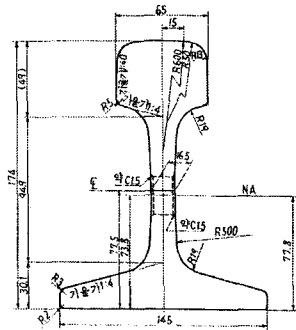


그림 3 60kg rail



그림 4 1/5 축소 트랙 시제품

2.2 축소 대차

축소 대차는 그림 5와 같이 2개의 운축, 대차프레임, 1차 현가장치로 구성된다. MMU의 S.D. Iwnicki 의 상사기법에 의거하여 full scale 대차에 대하여 1/5 scale 규모로 설계하였다. 주요 사양 및 물성치는 국내 운용 도시철도 전동차 사양을 참조하였으며 각 파라미터에 대한 scale factor는 표 1과 같다. 차륜답면형상은 그림 6과 같이 1/20 2단구배의 차륜답면형상을 적용하였다.

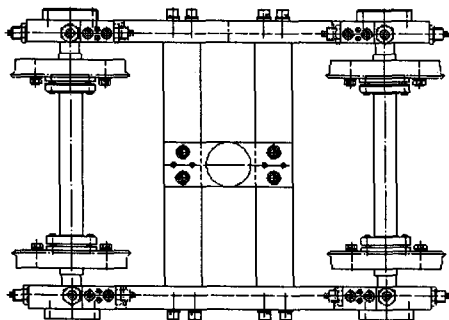


그림 5 1/5 스케일 축소 대차

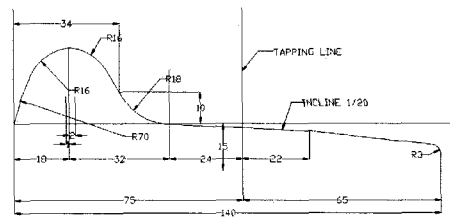


그림 6 1/20 wheel profile

3. 곡선 주행특성 시험

축소 곡선 트랙상에서의 곡선 주행특성 시험에 앞서 축소 모델에 등가인 full scale 모델에 대한 곡

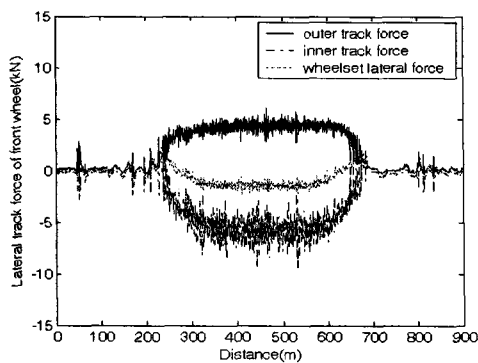
선주행특성을 분석하고자 곡선주행해석을 수행하였다. 해석프로그램은 철도차량 동특성해석 분야의 대표적인 S/W 인 영국 AEAT사의 VAMPIRE(Vehicle dynAmic Modelling Package In a Railway Environment)를 사용하였다.[7] 차량 모델은 full scale 대차 모델을 대상으로 하였으며 물성치는 표 1과 같다. 궤도 모델은 곡률반경 200m, 캔트 150mm인 급곡선을 대상으로 모델링하였으며 궤도틀림은 VAMPIRE track library file을 적용하였다. 주행속도는 축소 곡선 트랙 주행시의 최고속도에 등가인 속도조건을 적용하였다.

그림 7은 곡선주행특성 해석결과를 나타낸다. (a)는 전위 윤축에 대한 궤도 내외궤의 횡압을 나타내며 (b)는 후위 윤축에 대한 궤도 내외궤의 횡압을 나타낸다. (c)는 대차프레임의 좌우 진동가속도와 정상횡가속도 성분을 나타낸 결과이다. 곡선 주행시 원심력에 의하여 대차프레임이 횡방향으로 이동하는 특성이 나타나고 있다. (d)는 전위 윤축의 좌우방향 진동가속도를 나타내며 (e)는 전, 후위 윤축의 횡압을 나타낸다.

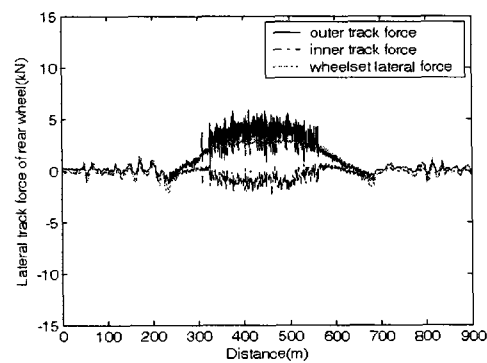
축소 곡선트랙상에서의 차량 곡선주행특성 시험의 적합성 여부를 확인하기 위하여 축소대차를 이용한 주행시험을 수행하였다. 측정량은 대차의 곡선 주행특성 해석결과와 관련된 인자를 반영하는 외궤 진동가속도, 대차프레임 진동가속도, 내외궤 궤도횡압, 대차 주행속도로 하였다. 시험시스템 구성 및 측정량은 표 2와 같다. 그림 8은 진동 및 횡압 측정을 위하여 주행속도가 최대가 되는 축소트랙의 중간지점에 취부한 센서를 나타내며 그림 9는 축소 곡선트랙상에서의 축소 대차 주행시험 전경을 나타낸다.

표 1 축소대차 사양

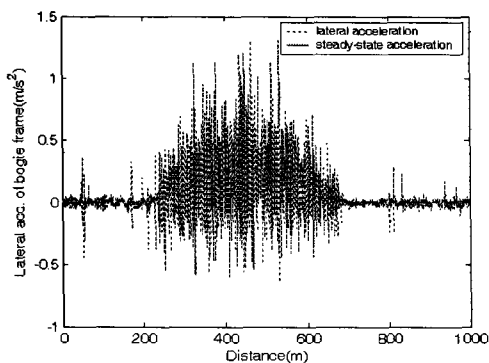
parameter	model	Full	scale factor	1/5 scale
대차프레임 길이(m)		2.97	$1/\varphi$	0.594
대차프레임 폭(m)		1.97	$1/\varphi$	0.394
대차프레임 높이(m)		0.75	$1/\varphi$	0.150
고정축거(m)		2.10	$1/\varphi$	0.420
차륜직경(m)		0.86	$1/\varphi$	0.172
차륜내면거리(m)		1.356	$1/\varphi$	0.2712
궤간(m)		1.435	$1/\varphi$	0.287
축상스프링간 거리의 반(m)		1.0	$1/\varphi$	0.2
차륜답면형상		1/20	$1/\varphi$	←
레일두부형상		60kg레일	$1/\varphi$	←
윤축 질량(kg)		1,600	$1/\varphi^3$	12.8
대차프레임 질량(kg)		2,400	$1/\varphi^3$	19.2
윤축 yaw moment of inertia(kg·m ²)		550	$1/\varphi^5$	0.176
대차 yaw moment of inertia(kg·m ²)		2100	$1/\varphi^5$	0.672
1차원가장치 전후/좌우 방향 강성(N/m)		6.6e6/ 4.8e6	$1/\varphi^3$	5.28e4/ 3.84e4
윤중(N)		13,734	$1/\varphi^3$	110
Young's modulus(N/m ²)		2.07e11	1/1	2.07e11



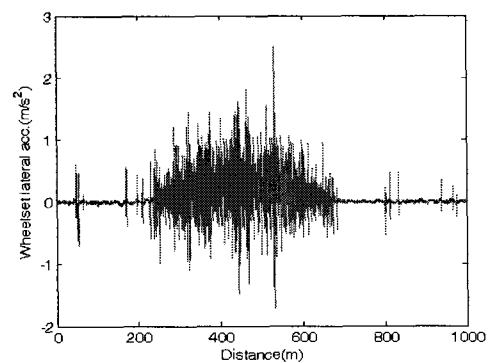
(a) 전위윤축 궤도 횡압



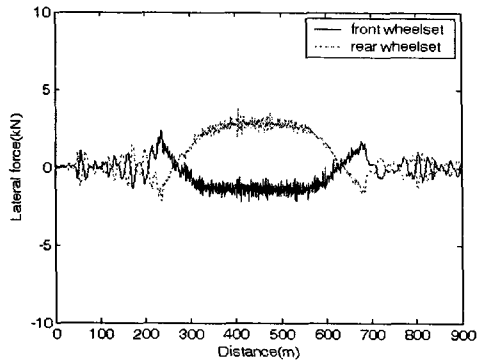
(b) 후위윤축 궤도 횡압



(c) 대차프레임 좌우 진동가속도



(d) 전위윤축 좌우 진동가속도



(e) 윤축 횡압

그림 7 곡선주행특성 해석 결과

표 2 시험 개요

구분	내역
시스템 구성	-1/5 scale 축소 트랙, 축소 대차 -Data Acquisition system
측정량	-외궤 진동가속도 : 좌우, 상하 -대차프레임 좌우진동가속도 -내외궤 궤도 횡압 -대차 주행속도

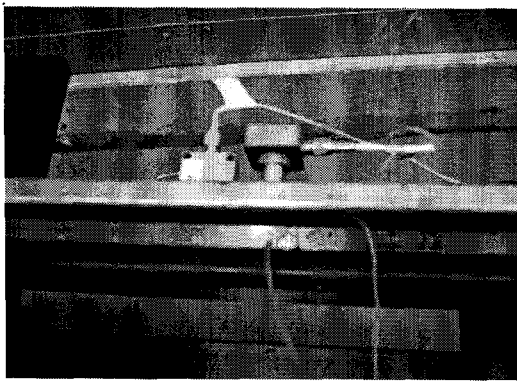


그림 8 Accelerometer and strain gage

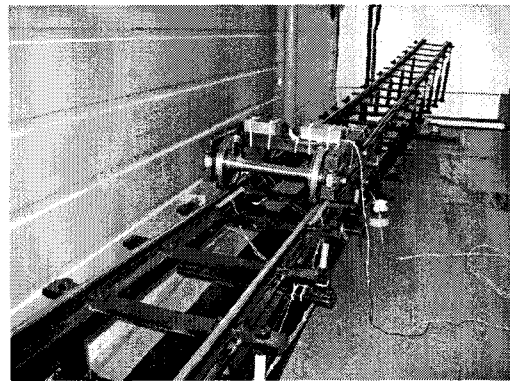
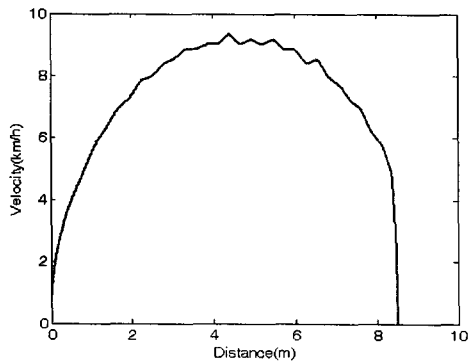
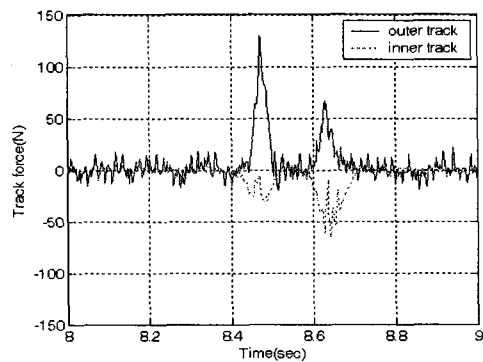


그림 9 축소 곡선트랙상에서의 주행시험

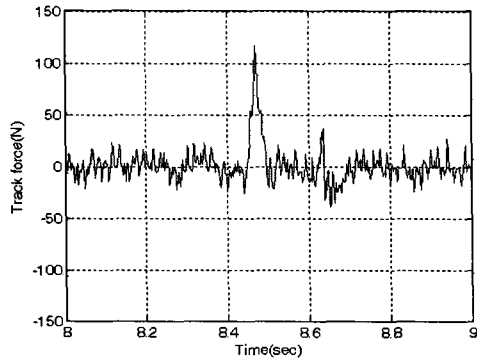
그림 10은 축소 곡선트랙상에서의 축소대차 곡선주행시험 결과를 나타낸다. (a)는 축소트랙상에서의 축소대차의 주행속도로서 최대 9.35km/h의 속도를 나타냈다. 자유낙하방식을 이용한 설계 최대속도는 약 11km/h였으나 윤축 회전부의 마찰의 영향으로 주행속도는 다소 저하하고 있다. (b)는 최고속도로 통과하는 궤도 중앙점에서의 내외궤에서의 좌우방향 힘을 측정된 결과로서 2개의 윤축이 통과함에 따라 2개의 피크가 발생하고 있음을 알 수 있다. (c)는 내외궤의 차로서 윤축에 작용하는 횡압을 나타낸다. (d), (e)는 각 각 궤도 중앙 외궤에서의 좌우방향, 상하방향 진동가속도를 나타낸다. (f)는 대차 프레임의 좌우방향 정상횡가속도 성분을 나타낸다. 곡선주행시 대차프레임에 작용하는 원심력 성분을 볼 수 있다.



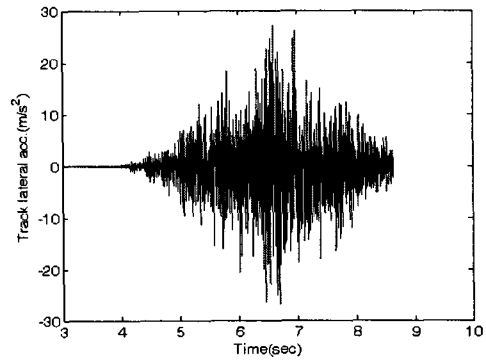
(a) 축소대차 주행속도



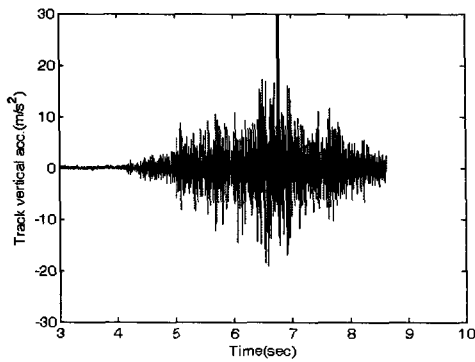
(b) 궤도 횡압



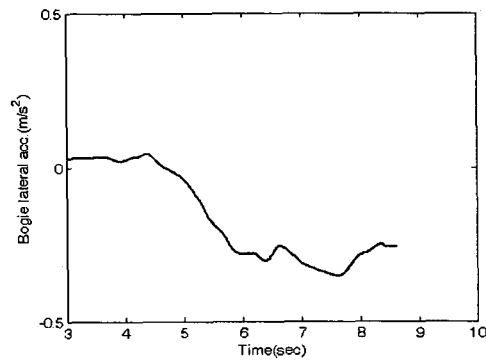
(c) 윤축 횡압



(d) 궤도 좌우 진동가속도



(e) 궤도 상하 진동가속도



(f) 대차프레임 정상 횡가속도

그림 10 축소 트랙상에서의 곡선주행시험 결과

5. 결론

본 논문에서는 차량의 곡선주행특성을 시험하기 위한 축소 곡선 트랙에 대한 연구를 수행하였다. 이를 위하여 차량의 곡선 주행을 모사하기 위한 1/5 scale 규모의 축소 곡선트랙을 설계, 제작하였으며 1/5 scale 축소 대차를 이용한 곡선 주행시험을 수행하였고 다음과 같은 결론을 얻었다.

축소 대차를 이용하여 축소 곡선 트랙상에서 주행시험을 수행한 결과 full scale 대차를 대상으로 한 곡선주행 해석 결과와 같이 곡선주행시 나타나는 특성을 보이고 있음을 알 수 있다. 각 분석 항목별로 유형이 일부 차이가 있기는 하나 이는 해석시 궤도의 상하구배를 고려하지 않은 점, 축소 대차의 상사 과정에서 인위적으로 상사가 불가한 항이 존재한다는 점 등에서 비롯된 결과라 추정된다. 전반적으로 차량의 곡선주행특성이나 대차의 조향특성을 시험하기 위한 축소 모델로 활용하기에는 무리가 없다고 판단되며 실모델에 근사한 연구 결과 도출을 위해선 상사과정에서의 오차를 최소화하기 위한 시험적 연구가 지속적으로 진행되어야 할 부분이라 사료된다. 또한 본 시험장치는 향후 차량 개발 시 대차 축소 모델 시제를 활용한 곡선주행성능 검증 시험장치로 적절히 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

1. Iwnicki, S.D., Wickens, A.H.(1998), "Validation of a MATLAB railway vehicle simulation using a scale roller rig", *Vehicle System Dynamics*, Vol. 30, No. 3, pp. 257-270
2. N. Bosso, A. Gugiotta, A. Soma(2006), "Dynamic Identification of a 1/5 Scaled Railway Bogie on Rolling Rig", *Sc. and Tech. Bull. of the "Aurel Vlaicu" Univ. Arad, Mech. Eng.* Vol. 2, No.1, pp. 5-15
3. Moritz Gretzschel, Alfred Jaschinski(2004), "Design of an Active Wheelset on a Scaled Roller Rig", *Vehicle System Dynamics*, Vol. 41, No. 5, pp. 365-381
4. Yohei Michitsuji, Yoshihiro Suda(2004), "Evaluation of Running Motion for Railway Vehicle with Controlled Single-Axle Bogies", *Proceeding of ACMD*, pp. 377-382