

협궤용 준고속 대차 개발

Development of Semi-High Speed Bogie for Narrow Gauge

양헌석* 이원상* 남학기*
Yang, Hun-Suk Lee, Won-Sang Nam, Hak-Gi

ABSTRACT

Upon demands for the requests of rapid, safe and comfort transit, the proven high speed bogie having not only high-quality but also good running performance is required by customer all over the railway vehicle for narrow gauge. Hereupon, it's the fully necessity to develop semi-high speed bogie for narrow gauge.

This paper describe the procedure, principal object and verification of performance in the process of development. In order to verify the running performance against bogie assembly, the dynamic simulation and roll-rig test were carried out.

1. 서론

최근 협궤용 전동차의 고속화 고급화 추진 경향에 따라, 유럽의 엄격한 규격을 적용한 고품질, 고수준의 주행성능 및 안전성이 입증된 대차를 요구하고 있는 바, 고속 주행이 가능하며 승차감 및 주행성능이 향상된 전동차용 대차의 자체 고유모델의 확보가 요구되어 진다.

본 개발에서는 협궤용 대차 프레임의 설계에서부터 준고속 주행에 적합한 단품 및 현수장치를 선정을 위해 동적 거동을 시뮬레이션을 통해 구현하였으며 이는 설계된 대차 구조물과 현수장치에 대한 성능 확인을 위한 수단으로 활용되었다. 또한, 대차 구조물에 대한 하중/피로 시험을 통하여 협궤용 대차 구조물의 내구성을 검증하였으며, 완성 조립 대차는 주행 성능 시험을 통하여 협궤용 대차의 주행 안전성 및 동적 거동에 대한 성능 검증을 실시하였다.

* (주)로템 주행장치개발팀, 비회원

2. 개발 추진 내역

개발 대차는 준고속 주행에서의 승차감 및 안전성에 적합한 현수장치를 선정 및 구성하여, 동특성 해석을 통하여 이에 대한 성능 검증을 실시하였다. 또한 개발된 대차 프레임 구조물의 하중/피로 시험을 통하여 내구성 검증 시험을 실시하였으며, 완성 조립 대차는 Roller rig 시험으로 주행 안전성 및 동적 거동에 대한 성능 검증하였다. 협궤용 개발 대차의 개발 절차는 그림 1과 같은 추진 절차로 진행되었다.

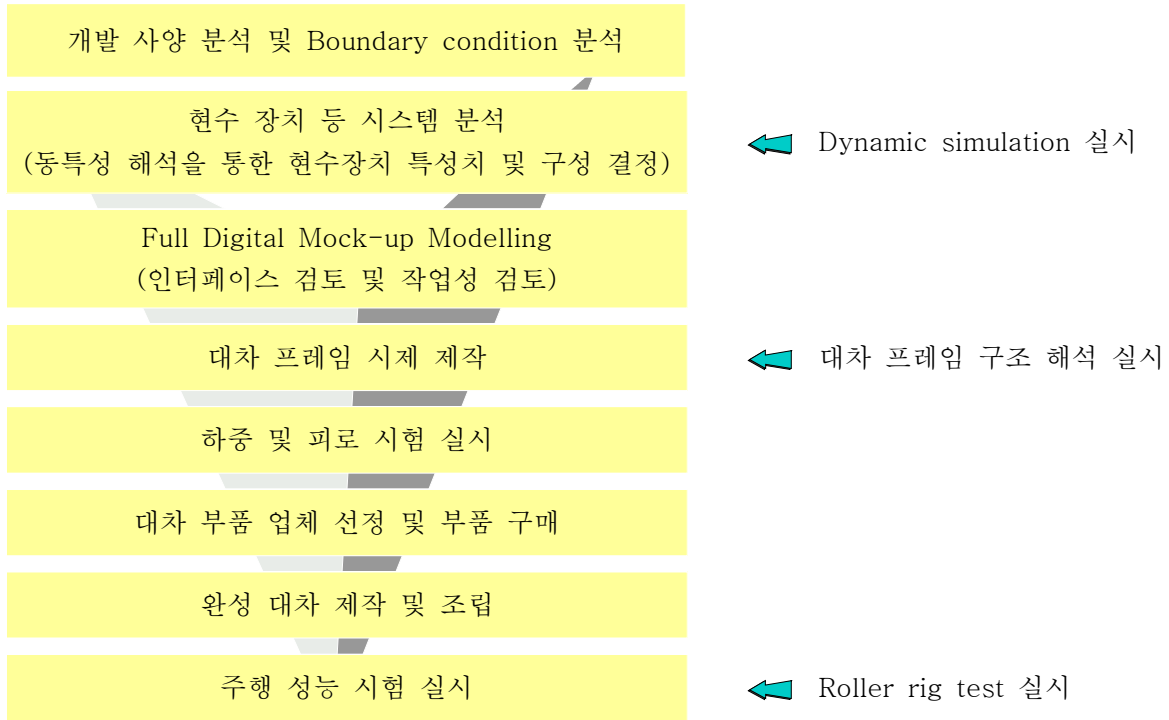


그림 1. 협궤용 준고속 대차의 개발 절차

2. 개발 내용

본 개발 대차는 경량 구조의 볼스터레스 형식으로 용접 구조형의 프레임, 코일 스프링 구조의 1차 현수 장치, 공기 스프링이 적용된 2차 현수 장치, 모노 링크 타입의 견인장치, 유니트화 된 답면 제동 장치 및 안티 롤 장치 등으로 구성되어 있으며 개발의 주된 방향은 아래와 같다.

- √ 엄격한 유럽 규격(EN)의 성능 만족
- √ 승차감 및 곡선 주행 성능 향상
- √ 보수 유지 작업용의

표 1은 협궤용 준고속 개발 대차의 주요 사양을 나타내고 있다.

구 분	내 용	비 고
Track gauge	1,067 mm	
Max. axle load	14.0 ton	
Max. design speed	160 km/h	
Approx. bogie weight	4.6 ton	구동장치 제외

표 1 개발 대차 주요 사양

2.1 개발 대차의 주요 장치별 특징

그림 2와 표 2는 협궤용 준고속 개발 대차의 형상과 이에 적용된 주요 장치별 특징을 보여준다. 일반적으로 협궤 궤도를 고속으로 주행하는 차량의 경우, Stability가 현저하게 떨어지는 현상을 보여준다. 이러한 협궤 차량에서 보여주는 여러 문제점 개선을 위해 현수 장치 개발에 중점을 두었다. 1차 현수 장치는 차량의 주행 안정성, 승차감 및 곡선 통과 성능향상을 위하여 고속용 철도 차량에 적합한 현수 장치를 개발/적용하였다. 특히, 유럽 EN 규격에서 제시된 안전성 고려와 승차감 향상에 개발 중점을 두었다. 또한, 차륜 답면의 형상 결정을 위하여, 기존 운행 중인 협궤용 차량의 신조 및 마모 차륜/레일의 형상 분석 및 접촉 해석을 통해 최적 차륜 답면 형상을 선정하였다.[3]

구 분	내 용	비 고
Bogie frame structure	·Fabricated frame with two side frames connected by two seamless pipe transom	
Primary suspension	·Advanced coil spring system	
Secondary suspension	·Air springs ·Leveling system ·Anti-roll and anti-yaw device	
Traction system	·Single linkage with rubber bush ·Lateral damper & buffer	
Wheelset	·Monobloc type wheel ·Solid axle	
Brake system	·Tread brake unit	
Mechanical driving system	·Single stage gearbox with flexible gear coupling	

표 2. 협궤용 준고속 개발 대차의 주요 사양

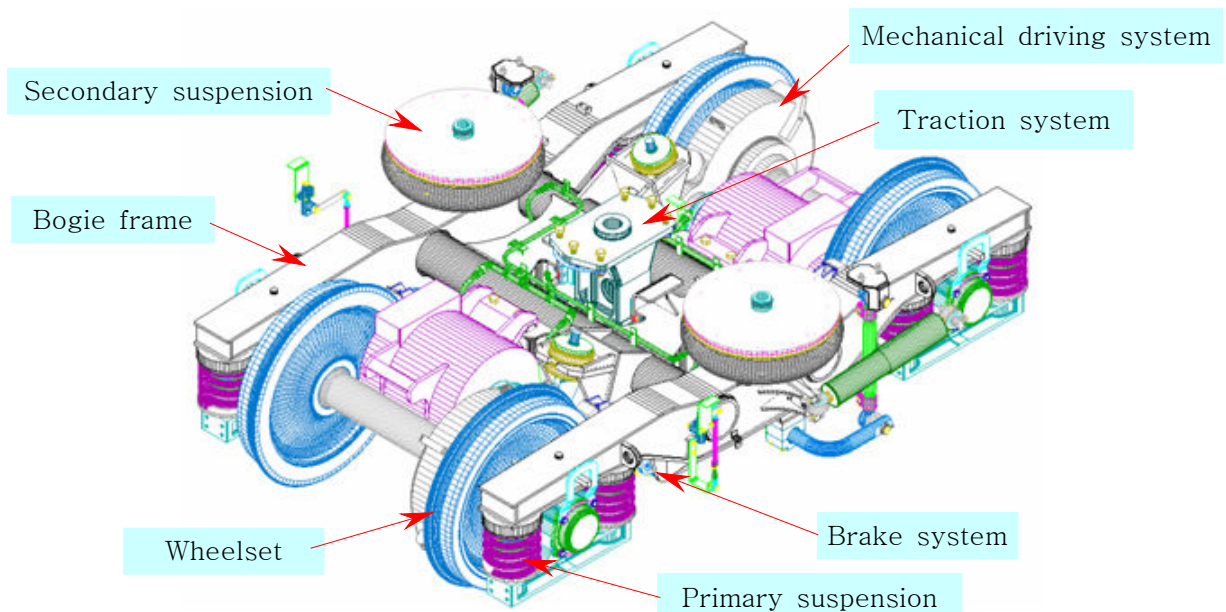


그림 2. 협궤용 준고속 개발 대차의 Isometric View

2.2 개발 대차의 동특성 해석

개발 대차의 설계안에 대한 주행 안전성, 승차감 및 동적 거동에 대한 해석 수행을 통하여 각 현수 장치에 대한 최적의 특성값을 선정하였다. 또한 대차 현수 장치 고려시, 엄격한 유럽 규격의 Safety 를 고려하였다. 이렇게 설계된 현수장치를 적용한 개발 대차에 대한 직선 및 곡선에서의 주행 성능에 대한 동특성 해석 결과는 그림 3과 4와 같이 UIC에서 요구하는 Limit 값을 넘어서지 않음을 알 수 있다.

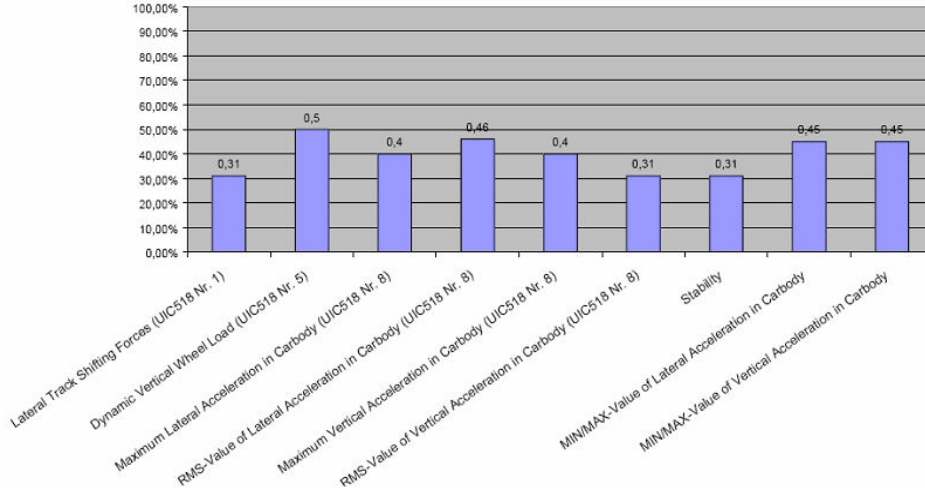


그림 3. 직선 구간에서의 Limit 기준(UIC518 & 513) 해석 결과

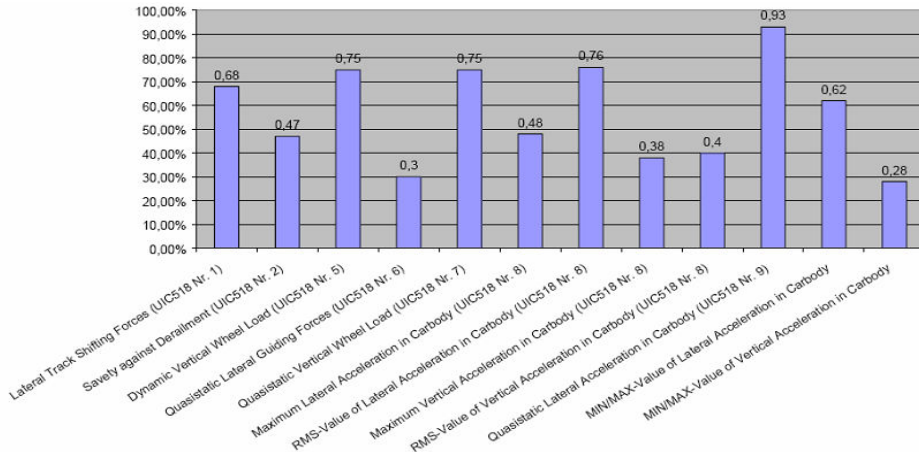


그림 4. 곡선 구간에서의 Limit 기준(UIC518 & 513) 해석 결과

2.3 대차 프레임 정하중 및 피로 시험



그림 5. 개발 대차 정하중 및 피로시험

개발 대차 프레임의 내구성 검증을 위해 정하중 시험 및 피로 시험을 실시하였다. 그림 5는 개발 대차의 정하중 및 피로시험을 보여 주고 있다. 총 81개소에서 측정된 Strain data의 최대 응력값을 표 3에서 보여주고 있다. 각 방향으로의 정하중 조건에서 측정된 응력은 대차 프레임 재료의 최대 허용 강도 범위를 넘어서지 않으며, 1.4~2.5 정도의 Safety factor가 확보됨을 확인 할 수 있다. 또한 10백만회 cycle의 피로 시험 후 Dye penetration 실시 결과, 프레임의 모재 및 용접부에 어떠한 결함도 발견되지 않음을 확인할 수 있

었다.[2]

Load Case	Max. Stress (Mpa)	Allowable Stress (Mpa)	Safety Factor
Vertical load	237.4	346	1.46
Twist load	135.8		2.55
Longitudinal load	220.3		1.57
Lateral load	232.3		1.49

표 3 정하중 조건에 따른 대차 프레임의 측정 최대 응력

2.4 완성 조립 대차 주행 성능 시험



그림 6. 개발 대차의 주행 성능 시험

완성 대차에 대한 주행 안정성 및 동특성 평가를 위해 Roller rig 시험을 실시하였다. 그림 6은 Roller rig 시험 중인 개발 대차를 보여주고 있다. Roller rig에 의해 차륜에 가해지는 진동에 의한 대차 및 Cabody에서의 동적 거동을 측정함으로써 대차의 주행 성능 및 안정성을 간접적으로 확인할 수 있다.[1]

주행 안전성 시험 평가 결과, 최고 주행 속도 230 km/h 까지 사행동 현상이 발생하지 않았다. 이는 주행 임계 속도가 230 km/h 이상임을 보여 준다. 표 4는 대차의 Eigen-frequency 시험에 대한 결과 중 1차 모드에 대한 결과를 정리하였다.

Load condition	Lateral	Vertical	Roll	Pitch	Yaw
Tare	5.57 Hz	4.93 Hz	6.92 Hz	6.60 Hz	5.18 Hz
Crush	6.05 Hz	4.94 Hz	6.68 Hz	6.48 Hz	5.77 Hz

표 4. 개발 대차의 Eigen-frequency 시험 결과

가진 조건에 대한 대차의 동적 거동 및 진동 가속도 측정 결과, UIC 518의 사양을 만족함을 확인하였으며, 각 지점에서 측정된 진동 가속도를 이용해 계산된 승차감 지수(N & Wz)는 160km/h의 속도에서 2.5이하로 승차감에서도 만족 할만 한 결과를 보여주고 있다.

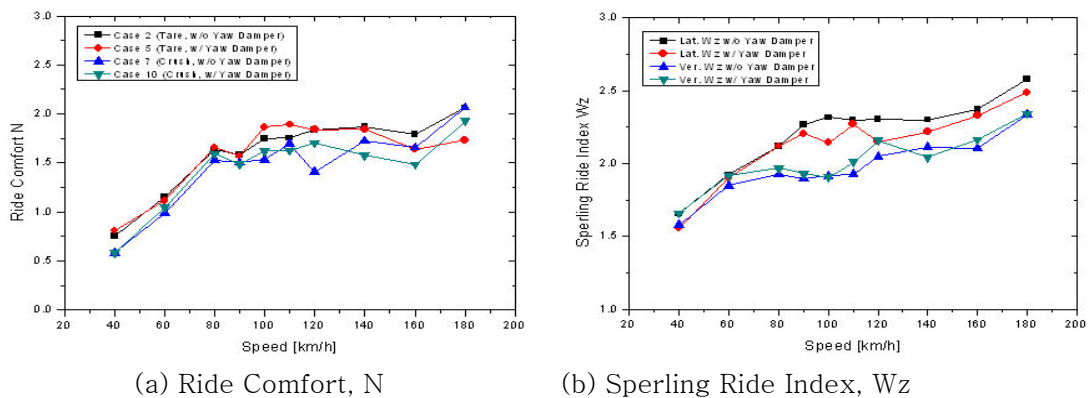
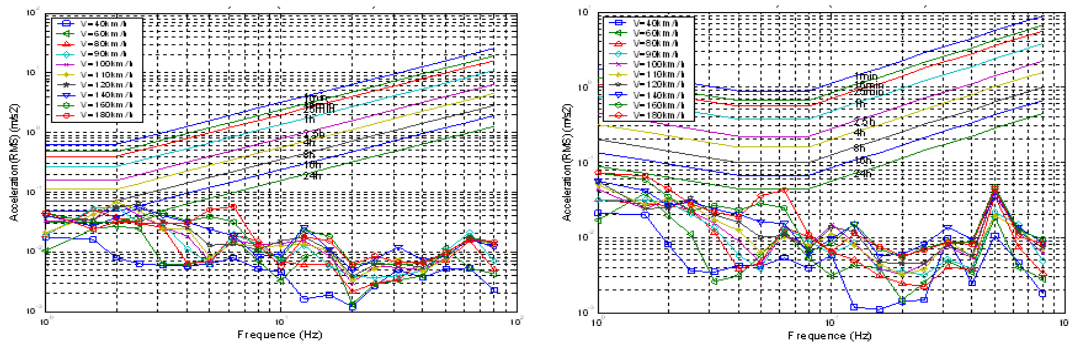


그림 7. Carbody 중심에서의 승차감



(a) Carbody 횡방향 가속도

(b) Carbody 수직방향 가속도

그림 8. Carbody에서의 Reduced Comfort Level

3. 결론

협궤용 대차의 고속화 및 고급화에 대비하여 승차감 및 주행성능이 향상된 고유 모델을 사전에 확보하고자 개발 추진한 협궤용 준고속 대차 개발의 완료에 대하여 다음의 결과를 얻을 수 있다.

- ① 협궤용 준고속 주행에 적합한 현수장치 선정 및 성능 입증
- ② 엄격한 유럽 규격을 만족하는 협궤용 준고속 대차의 개발 및 성능 입증
- ③ 준고속 주행에 적합한 1차 현수장치 개발로 주행 안정성 및 승차감 향상 도모
- ④ 최고 운행 속도 160km/h에서 협궤용 개발 대차의 주행 성능 및 승차감 검증
- ⑤ 협궤용 준고속 대차 개발을 통한 협궤 대차에 대한 설계 기술력 향상

참고문헌

1. TPL, "Dynamic performance test for Korean EMU bogie using roller testing rig(Rept. No. TPL2005-25A)", 2005
2. KIMM, "Load test of the TRA700 EMU bogie frame(Rept. No. BSI702-1134.M), 2004
3. 양현석, 이원상, 남학기, "휠-레일 접촉 해석을 통한 협궤용 전동차 차륜 답면 분석", 한국철도학회 학술대회, 2005