

협궤용 준고속 전동차 개발 대차의 주행 성능 시험

Roller Rig Test of Semi-High Speed EMU Bogie Developed for Narrow Gauge

양현석* 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, the running test on roller testing rig for developed semi-high speed bogie for narrow gauge was carried out in order to verify the running performance and safety. The aim of the test is to assess the dynamic behaviour of the bogie on straight track including the running stability, ride quality, modal frequency and dynamic response.

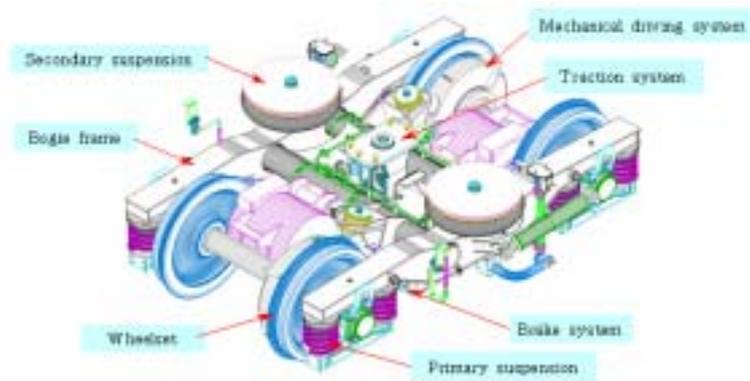
1. 서론

협궤용 전동차의 고속화 고급화 추진 경향에 따라, 유럽의 엄격한 규격을 적용한 고품질, 고수준의 주행성능 및 안전성이 입증된 대차를 요구하고 있는 바, 이에 현차 시험을 대신하여 롤러 리그 시험(Roller Rig Test)을 통하여 자체 개발한 협궤용 준고속 전동차 대차에 대한 주행 안전성 및 동적 거동에 대한 성능 검증을 수행하였다. 레일의 불규칙도에 기인한 가진 조건에 의한 주행 안전성, 승차감, 모드 해석 및 동적 응답성을 포함한 개발 대차의 전반적인 동적 거동 평가에 주안점을 두었다.

* (주)로템 주행장치개발팀, 비회원

2. 주행 성능 시험

2.1 개발 대차 사양



개발 대차의 주행 성능 평가를 위해 중국 TPL(Traction Power State Key Laboratory)에서 roller testing rig를 이용하여 주행 성능 시험을 실시하였다. 표 1과 2는 주행성능 시험에 적용된 협궤용 준고속 전동차 개발 대차의 주요 사양을 보여주고 있다.

그림 1. 협궤용 준고속 전동차 개발 대차

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 설계 사양

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 전동차 개발 대차

2.2 시험 조건

Roller testing rig에 장착된 개발 대차에 가해지는 차체 하중은 다음 두 하중 조건을 적용하였다. 개

발 대차에 가해지는 하중은 roller rig에 설치된 하중 측정 센서를 이용하여 측정되어진다.

- 공차 하중, Tare load condition(AW0) : 25,108kg ± 5%
- 만차 하중, Crush load condition(AW2) : 41,385kg ± 5%

그림 2~5은 시험에 사용된 궤도 조건을 보여주고 있다. Roller rig에 가해지는 가진 조건은 협궤 궤도에서 측정된 궤도 불규칙도를 이용하였으며, 이는 주행 속도에 따라 시간 함수로 좌우/상하 방향의 가진 조건으로 변환하였다. $L_T(s)$, $V_T(s)$, $C_T(s)$, $G_T(s)$ 는 거리(s)의 함수로서 lateral alignment, vertical profile, cross level and gauge irregularity를 나타내고 있다. 이는 시간 함수로서 좌우 각 roller에 가해지는 수직/좌우 입력 가진 함수 $y_l(t)$, $y_r(t)$, $z_l(t)$, $z_r(t)$ 로 변환되어진다.

$$\begin{cases} y_l(t) = L_T(s/v) + G_T(s/v) & y_r(t) = L_T(s/v) - G_T(s/v) \\ z_l(t) = V_T(s/v) + C_T(s/v) & z_r(t) = V_T(s/v) - C_T(s/v) \end{cases}$$

여기서, v 는 주행 속도를 나타낸다.

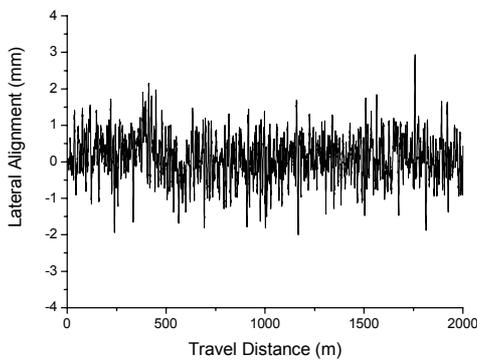


그림 2. Lateral alignment

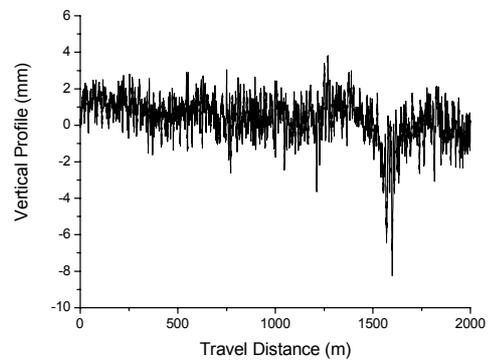


그림 3. Vertical profile

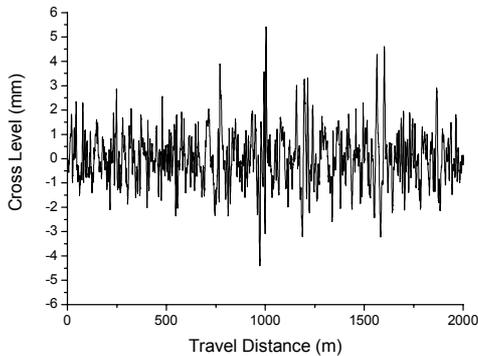


그림 4. Cross level

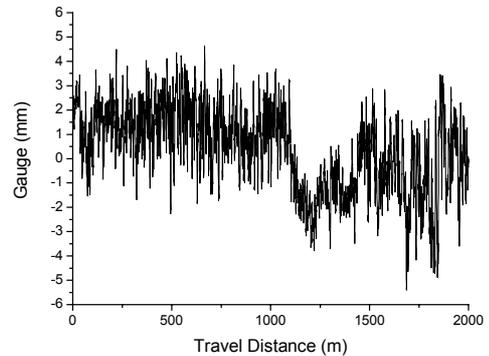


그림 5. Gauge irregularity

2.3 주행 성능 시험

시험에 사용된 측정 diagram을 그림6에서 보여주고 있다. roller의 회전 속도 및 가진을 controller를 통하여 feedback 제어함으로서 정확속도 제어 및 가진 조건을 구현할 수 있다.

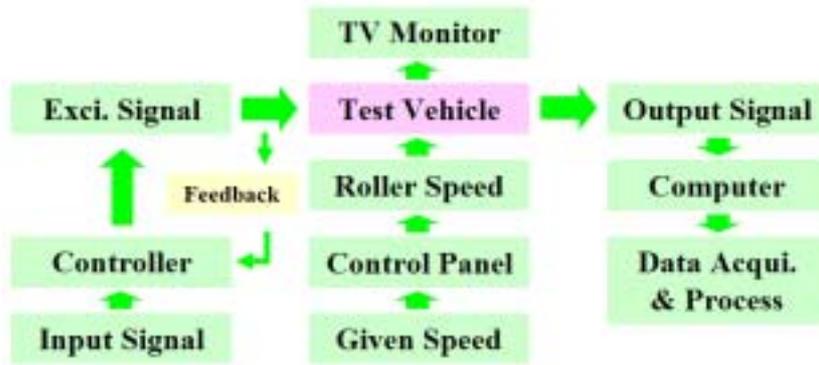


그림 6. 측정 시스템

시험은 개발 대차의 임계 속도, eigenfrequency 및 승차감 측정에 주안점을 두었으며 표 3의해 실시하였다.

시험 1, 4, 6 및 9는 개발 대차의 임계 속도 측정을 위해 230km/h 주행 속도까지 시험을 실시하였으며 roller를 가진/비가진 조건하에서 회전 속도를 점차적으로 증가시키면서 대차의 hunting 발생 여부를 확인하였다.

시험 1과 6은 개발 대차와 Dummy carbody의 eigenfrequency 측정을 위한 시험으로서 90초 동안 그림 7, 8에 나타난 가진 조건으로 roller를 가진하여 Dummy carbody와 개발 대차에 장착된 센서를 통해 주파수 응답 특성을 측정하였다.

Test Case	Load		Air Spring		Yaw Damper		Lat. Damper		Excitation		Speed km/h
	AW0	AW2	Inflate	Deflate	without	with	Type1	Type2	Yes	No	
1	*		*		*		*		*	*	40-230
2	*		*		*		*		*[*]		40-180
3	*			*	*		*		*		75
4	*		*			*	*		*	*	40-230
5	*		*			*	*		*[*]		40-180
6		*	*		*		*		*	*	40-230
7		*	*		*		*		*		40-180
8		*		*	*		*		*		75
9		*	*			*	*		*	*	40-230
10		*	*			*	*		*		40-180

표 3. Test case

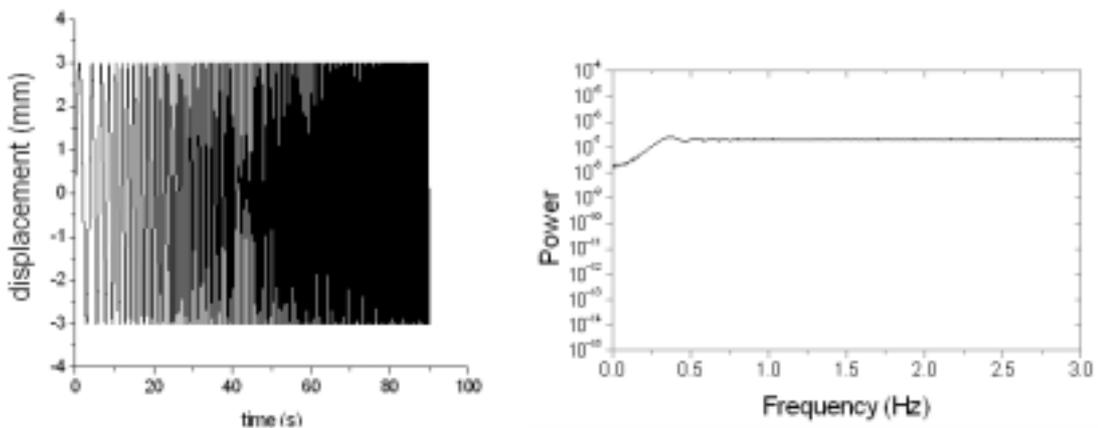


그림 7. Dummy Carbody eigenfrequency 시험을 위한 가진 조건

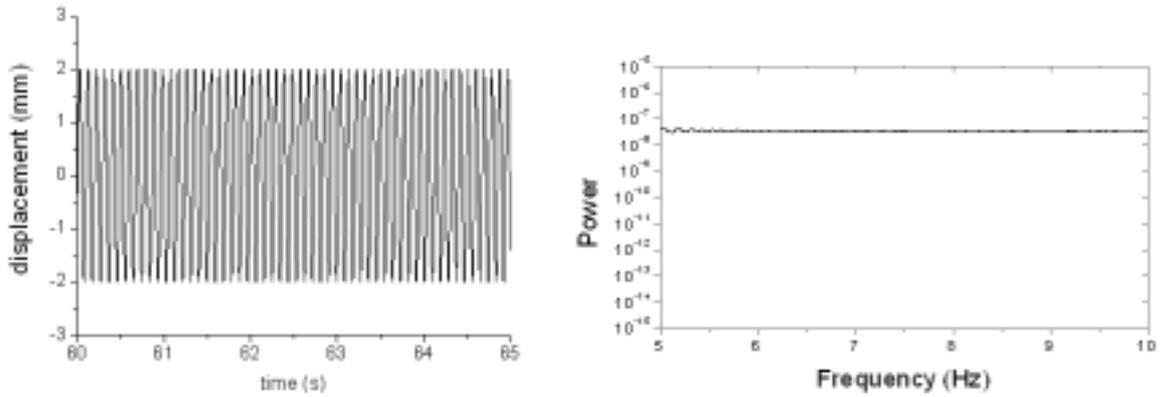


그림 8. 개발 대차 eigenfrequency 시험을 위한 가진 조건]

승차감 시험을 위해 시험 2~5, 7~8 및 10을 실시하였으며 ISO2631과 UIC513에 따라 dummy carbody와 개발 대차에 대한 수직/수평 방향의 가속도를 측정하였다. 20km/h씩 속도를 증가시켜 180km/h 주행 속도까지 각 주행 속도에서의 가속도 값을 측정하였다.

각 시험조건에서의 Dummy carbody와 개발 대차의 동적 거동을 측정하기 위하여 총 30개의 변위 및 가속도 측정 센서를 부착하였으며 설치 위치는 표 4와 같다.

Items	No	Location	Remark
Displacement	1	Lateral Displacement of wheelset 1 and 2	2 points
	2	Lateral Displacement between wheelset 1, 2 and Bogie frame	2 points
	3	Longitudinal Displacement between wheelset 1, 2 and bogie frame	2 points
	4	Vertical Displacement between axlebox and bogie frame	4 points
	5	Lateral Displacement between carbody and bogie frame at the place of side beam center of bogie frame	1 points
	6	Longitudinal Displacement between carbody and bogie frame at the place of side beam center of bogie frame	1 points
	7	Vertical Displacement between carbody and bogie frame at the place of side beam center of bogie frame	2 points
	8	Lateral Displacement of Lateral Damper	1 points
Acceleration	9	Vertical accelerations of axlebox for wheelset 1, 2	2 points
	10	Lateral accelerations of axlebox for wheelset 1, 2	2 points
	11	Longitudinal accelerations of axlebox for wheelset 1, 2	2 points
	12	Vertical accelerations of bogie frame at the place of axlebox	2 points
	13	Vertical acceleration of center of side frame	1 points
	14	Lateral acceleration of bogie frame at the place of axlebox	2 points
	15	Lateral and vertical accelerations of carbody floor at the place of bogie center	2 points
Dynamic strain	16	Strain gauges on the bogie frame (Bracket for Lateral damper)	1 points

표 4. Location of the measuring point

그림 7은 시험 중인 개발대차와 시험에 사용된 각종 장비들을 보여주고 있다.



그림 7. roller rig 시험 중인 개발 대차 및 시험 장비

2.5 주행 성능 시험 결과

Roller rig를 통하여 차륜에 가해지는 진동에 의한 대차 및 Dummy Cabody에서의 동적 거동을 측정함으로써 대차의 주행 성능 및 안정성을 간접적으로 확인 할 수 있다.

주행 안전성 시험 평가 결과, 최고 주행 속도 230 km/h 까지 차량 및 대차의 사행동 현상이 발생하지 않았다. 이는 개발 대차의 주행 임계 속도가 230 km/h 이상임을 의미한다. 표 5와 6은 개발 대차 및 Dummy Carbody의 Eigen-frequency 시험에 대한 결과 중 1차 모드에 대한 결과를 정리한 것이다.

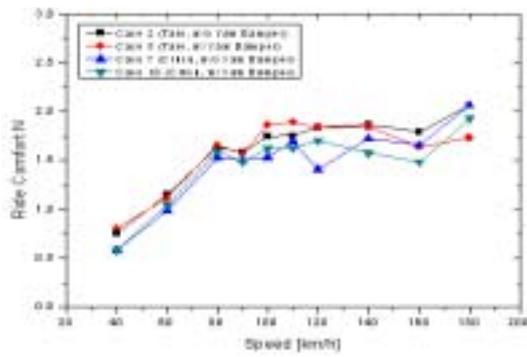
Load condition	Lateral	Vertical	Roll	Pitch	Yaw
Tare(AW0)	5.57 Hz	4.93 Hz	6.92 Hz	6.60 Hz	5.18 Hz
Crush(AW3)	6.05 Hz	4.94 Hz	6.68 Hz	6.48 Hz	5.77 Hz

표 5. 개발 대차의 Eigen-frequency 시험 결과

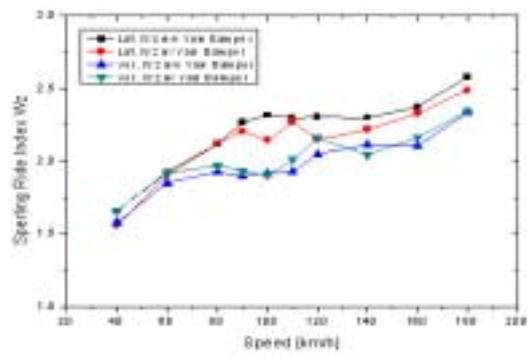
Load condition	Lateral	Vertical	Roll	Pitch	Yaw
Tare(AW0)	0.61 Hz	1.09 Hz	0.60 Hz	1.07 Hz	1.01 Hz
Crush(AW3)	0.49 Hz	1.03 Hz	0.48 Hz	1.00 Hz	0.97 Hz

표 6. Dummy Carbody의 Eigen-frequency 시험 결과

그림 8과 9는 ISO2631 및 UIC513에 따라, Dummy carbody의 각 지점에서 측정된 진동 가속도를 이용해 계산된 승차감 지수(N & Wz)를 보여주고 있으며 160km/h의 주행 속도까지 승차감 지수가 2.5 이하로 UIC에서 규정한 "comfortable"한 승차감 결과를 나타내었다.

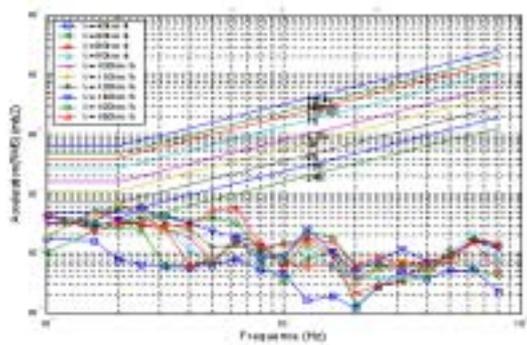


(a) Ride Comfort, N

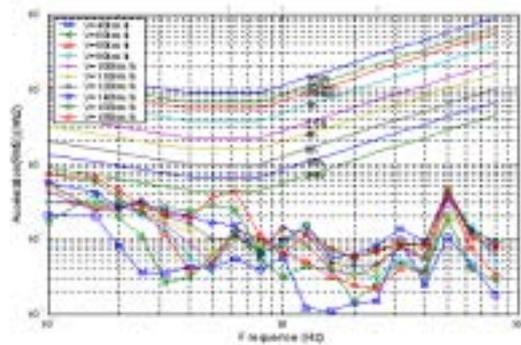


(b) Sperling Ride Index, Wz

그림 8. Carbody 중심에서의 승차감



(a) Carbody 횡방향 가속도



(b) Carbody 수직방향 가속도

그림 9. Carbody에서의 Reduced Comfort Level

3. 결론

협궤용 전동차 대차의 고속화 및 고급화에 대비하여 자체 개발한 협궤용 준고속 전동차 대차의 승차감 및 주행성능을 roller rig 시험을 통하여 입증하였다. 즉, 개발 대차에 대한 주행 안전성 및 승차감은 설계 속도에서 만족할 만한 결과를 보여 주었으며, 이는 향후 협궤용 철도 차량 시장에서 적용 가능한 당사 고유 모델을 확보하였음을 의미한다.

참고문헌

1. TPL, "Dynamic performance test for Korean EMU bogie using roller testing rig(Rept. No. TPL2005-25A)", 2005
2. 양헌석, 이원상, 남학기, "협궤용 준고속 대차 개발", 한국철도학회 학술대회, 2006
3. 양헌석, 이원상, 남학기, "휠-레일 접촉 해석을 통한 협궤용 전동차 차륜 답면 분석", 한국철도학회 학술대회, 2005