

주행 시험대에서의 고속전철 개발대차의 주행안정성 평가

Running Stability Test of Developed Bogie for High Speed Train on the Roller Rig

김진태* 오형식* 정 훈*
Kim, Jin-Tae Oh, Hyeong-Sik Jung, Hoon

ABSTRACT

This research aims to test the running stability of the developed bogie with maximum operating speed of 350km/h, which of Korea TGV was 300Km/h. The running stability test has been executed in status of a dummy car with one developed bogie and one dummy bogie on the roller rig to embody similar operation condition. The test has been done in the two rail conditions, i.e. excitation and non-excitation, respectively. Running speed has been increased by the roller step by step. In consequence, the developed bogie was proven to be able to run upto 400 Km/h without any unstable point in the non-excitation. Vibration characteristics of carbody also was within the value specified on the UIC 515.

1. 서 론

산업 발달과 세계 무역환경의 급속한 변화로 인적, 물적자원의 원활하고 신속한 수송이 요구되고 있는 실정으로 교통의 혼잡이나 기후 변화에 민감하지 않는 철도를 이용한 고속운송이 수송요구 조건에 가장 적합하다고 할 수 있다. 이미 프랑스, 독일, 일본 등 선진 각국에서는 고속전철이 일반화되어 있으며, 우리나라도 서울-부산 구간을 2시간대로 단축시키는 경부고속전철 사업을 진행하고 있다.

한편, 현재까지 고속전철의 일반적인 상용화 속도는 300km/h이며, 이 보다 더 빠른 고속전철 개발을 위해 전세계적으로 많은 연구가 진행되고 있고, 당사에서도 G7 고속철도 개발사업의 일환으로 상용속도 350km/h인 고속전철 대차를 개발하기에 이르렀고 본 보고서는 본선 시운전 중 확인하기 어려운 개발 대차의 고속에서의 주행안정성 시험을 Roller Rig에서 행함으로써 얻은 시험과정과 결과에 대하여 기술하였다.

2. 본 론

개발대차의 주행안정성 평가는 최고 400Km/h까지 주행모의시험이 가능한 중국의 철도 과학연구원(China Academy of Railway Sciences)에 의뢰하여 실시 하였다. 실제 대차의 운행조건을 만족시키기 위하여 차량상태, 레일 불규칙상태, 하중 조건 등을 모두 고려하여 시험을 실시하였다.

*㈜ 로템, 비회원

2.1 시험 대차의 제원

시험대차는 볼스터레스 타입의 대차로서 H 형구조의 대차프레임에 Link Arm 방식의 1 차 현가 장치와 공기스프링의 2 차 현가장치로 구성되어 있고, 최고 운행속도를 350Km/h 로 설계되었다. 상세한 내용은 표 1 에서 볼 수 있다

표 1 시험대차 제원

구 분	제 원	구 분	제 원
대차 타입	Bolsterless Bogie	궤간	1435mm
1 차 현가	Double coil spring + Link arm + Vertical Damper	차축간 거리	3000mm
2 차 현가	Air springs with air reservoirs 2 ver. + 2 lat. + 2 Yaw damper	차륜 직경 (신조/마모)	920/850mm
차축 베어링	Double row tapered roller bearing	차륜 형상	1/40 (NF F 01112)
대차 프레임	Two side frames + A central cross bearer	공기스프링간 거리	2080mm
대차/차체 연결	An articulated pin	최고 운행속도	350 Km/h
제동장치	Two Wheel disk brakes	최고 설계속도	385 Km/h



그림 1 시험 대차

2.2 시험 장비의 제원

시험장비는 최고 400Km/h까지 주행이 할 수 있으며, 차량상태에서 시험이 가능하도록 되어 있다. 표2에서 시험장비의 상세한 내용을 나타내었고, 그림 2는 시험장비의 개략도이다.

표2. 시험장비 제원

구 분	제 원	구 분	제 원
최고속도	400 Km/h	총 중량	253 ton
축 중	≤ 25 Ton	Rail irregularity	0 ~ 30 Hz, ± 10mm, 5g
총 길이	30 m	Gauge	1435 ~ 1676 mm

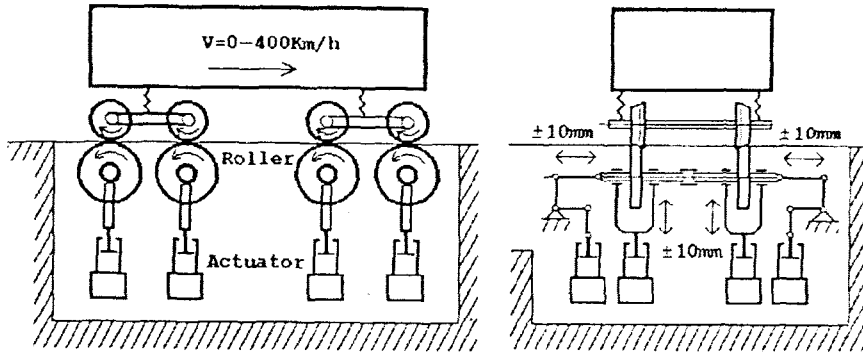


그림 2 시험 장비

2.3 하중조건

주행안정성 시험은 그림3에서 보는 바와 같이 Dummy 차체, 개발대차 및 dummy 대차로 구성된 차량상태로 시험을 실시하였으며, 대차의 하중조건은 차량의 공차/만차 조건을 만족시키기 위하여 차체 바닥에 모래주머니를 적재하였다. 상세 하중 조건은 표 3에 나타내었다.

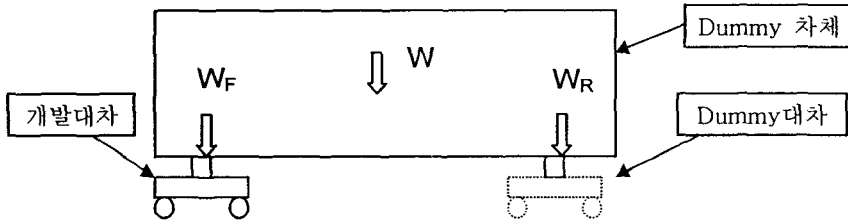


그림 3 시험 차량 구성

표 3. 하중조건

구 분	개발 대차 (W_F)	Dummy 대차(W_R)
공차 조건 W_0 (Kg)	24,067	20,832
만차 조건 W_2 (Kg)	25,000	20,832

2.4 시험 방법 및 측정부위

시험방법은 표 4와 같이 하중의 변동과 외란(rail irregularity)의 유무의 조합으로 4가지의 경우로 시험을 실시하였으며, 외란은 개발대차 동특성 해석에 사용되었던 VAMPIRE 270KPH의 레일형상 불규칙도를 적용하였다. 각 시험방법에서 속도 증가는 0~200Km/h 구간에서는 50km/h씩, 200~300km/h는 20km/h씩, 300~385km/h에서는 10km/h씩 단계별로 속도를 증가시켰다. 또한, 각 속도 단계마다 대차가 충분히 그 속도를 유지하면서 주행하도록 몇 분동안 속도를 유지시킨 상태에서 데이터를 저장하였고, Case 1과 Case 5는 시험장비의 속도 능력 한계로 인하여 385km./h에서 400km/h까지 속도증가 시킨 후 주행 유지 없이 바로 감속하여 정지되도록 하였다. 표4의 최고속도는 각 시험방법이 종료된 후 대차의 최고 속도를 나타내었다.

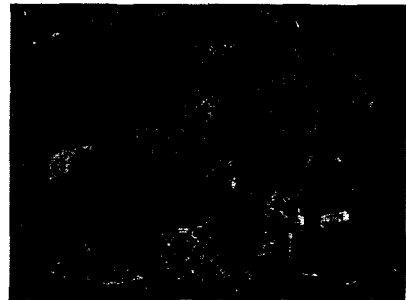
표 4 시험방법 및 시험 속도

경우	하 중		가 진		요댐퍼		속도 단계(Km/h)							최고속도 (km/h)	
	W0	W2	유	무	취부	탈거	0	200	200	300	300	385	385		400
1		●		●	●			50		20		10		15	400
2		●	●		●			50		20		10			350
3		●		●		●		50							200
4		●	●			●		50							190
5	●			●	●			50		20		10		15	400
6	●		●		●			50		20		10			350
7	●			●		●		50							190
8	●		●			●		50							190

개발대차의 주행안정성(임계속도, 진동특성 및 변위)을 측정하기 위하여 축상, 프레임과 차체에 변위 센서 13개소 및 가속도 센서 6개소를 설치하였다. 측정항목과 센서의 취부상태를 그림 4에서 간략하게 볼 수 있다.



(3위 축상)



(1위 축상)

그림 4. 측정용 센서 취부상태

2.5 주행안정성 시험 결과

(1) 임계속도

대차의 임계속도는 레일불규칙도 보다 레일, 차륜 답면 형상 및 현가장치의 특성에 민감하기 때문에 정상상태의 CASE 1, CASE 5와 요댐퍼 파손상태인 CASE 3, CASE7과 같이 외란이 없는 직선 선로에서 대차의 속도를 증가시켜 대차의 자려사행동 현상이 발생하는 속도를 판단하여 임계속도를 확인하였다.

아래의 표 6에서 보는 바와 같이 임계속도의 시험결과는 정상상태에서는 설계 기준 속도인 385Km/h를 초과한 400Km/h에서도 사행동 현상이 없었으며, 매우 안정적으로 주행함을 확인하였다. 또한, 요 댐퍼가 파손이 되었을 경우는 190Km/h정도에서 사행동이 발생되어 이를 감속하여 150Km/h에서 차량이 안정화됨을 알 수 있었다. 이는 요 댐 퍼 특성이 대차의 속도 200 Km/h를 초과하는데 필수 요건임을 입증하고 있다

표 6 임계속도 시험 결과

구 분		시험속도(Km/h)	평 가	비 고
정상 상태	공차(CASE 5)	400	사행동 없음	
	만차(CASE 1)	400	사행동 없음	
요댐퍼 파손	공차(CASE 7)	190	사행동(190Km/h)	감속 후 안정된 속도 150Km/h임
	만차(CASE 3)	200	사행동(190Km/h)	

(2) 진동특성

진동특성은 레일의 조건이나 차량의 하중조건, 현가장치 이상유무에 영향이 있기 때문에 정상상태 CASE 6, CASE 2와 현가장치 이상유무인 요 댐퍼 파손의 경우 CASE 8, CASE 4에서 진동의 특성을 확인하였다. 표 7은 각 시험방법에 대한 속도별 차체 진동 특성 결과를 나타내었으며, 각 시험방법에 대한 차체의 수직 및 좌우의 진동가속도가 최고 0.8m/s² 및 0.55 m/s²로서 모두 UIC 513의 0.1g(0.98 m/s², Weighted)이내임을 알 수가 있다. 그림 5와6은 정상상태 CASE2의 수직 및 좌우 진동가속도를 나타내었다.

표 7 진동 특성 결과

(단위 : m/s²)

구 분				150 (Km/h)	200 (Km/h)	300 (Km/h)	350 (Km/h)	평 가
정상 상태	공차 (CASE 6)	차 체	수직	0.55	0.5	0.7	0.75	0.1 g 이내
			좌우	0.28	0.35	0.55	0.42	
	만차 (CASE 2)	차 체	수직	0.45	0.55	0.8	0.7	
			좌우	0.25	0.45	0.55	0.55	
요댐퍼 파손	공차 (CASE 8)	차 체	수직	0.4	0.4	-	-	0.1 g 이내
			좌우	0.4	0.4	-	-	
	만차 (CASE 4)	차 체	수직	0.5	0.6	-	-	
			좌우	0.45	0.4	-	-	

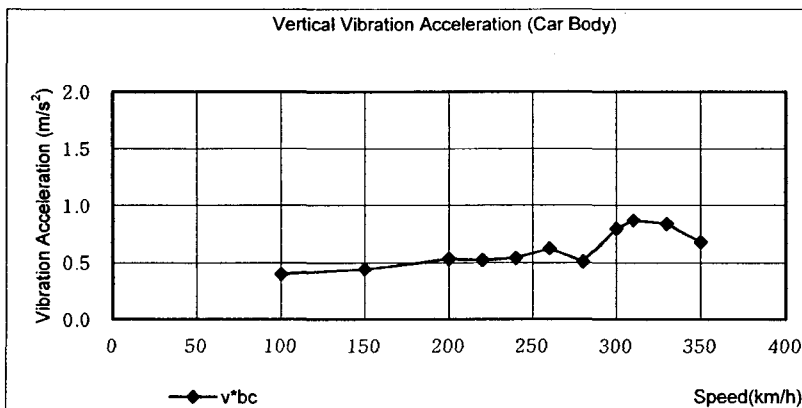


그림 5. 차체 수직 진동 가속도(CASE 2)

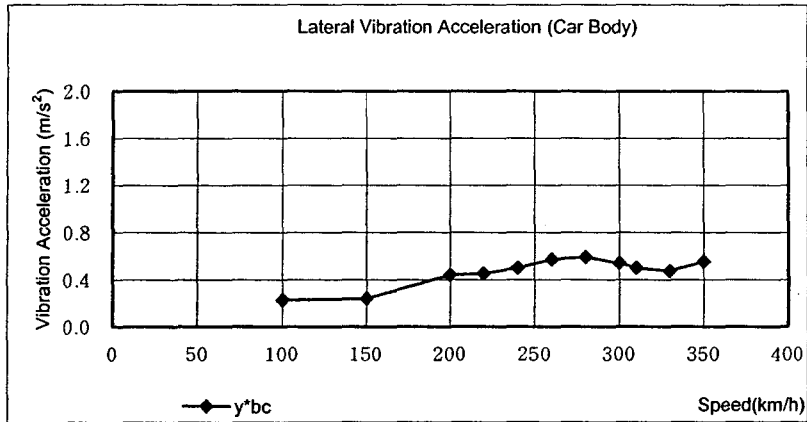


그림 6. 차체 좌우 진동 가속도(CASE 2)

3. 결 론

고속전철용 개발대차의 주행안정성 평가는 실제 차량 운행조건과 동일하도록 차량상태에서 차량하중 변화에 따른 요 댐퍼 유무 및 외란여부(rail irregularity, VAMPIRE 270KPH)를 적용하여 개발대차의 임계속도 및 차체의 진동 특성을 확인하였다. 개발대차의 임계속도는 400Km/h이상임을 확인하였고, 레일의 불규칙상태를 적용한 차체의 진동특성은 CASE2에서 수직 진동가속도가 최대 0.8m/s^2 , 좌우 진동가속도 최대 0.55m/s^2 로서 모두 UIC513에 명기된 $0.1\text{g}(0.98\text{m/s}^2)$ 을 만족함을 확인하였다. 또한, 개발대차 속도 200Km/h이상에서 요 댐퍼의 필요성을 재 확인하였고, 운행 시 요댐퍼의 파손에 의한 주행불안정에 대한 대책을 재 고려하게 되었다.

참고문헌

1. UIC 518 OR □ Testing and Approval of the railway vehicles from the point of view of their dynamic behavior-Safety- Track-Ride quality
2. UIC 513 R □ Guidelines for elevating passenger comfort in relation to vibration in railway vehicle
3. ISO 2631-1/1985 □ Mechanical vibration and shock evaluation of human exposure