

기존선 구간에서의 KTX 차량 진동 및 소음 측정 결과 Vibration and interior noise measurement of KTX train in electrified conventional lines

최강윤*
Choe, Kangyoun

기호철**
Ki, Ho-Cheol

김상영***
Kim, Sang-Young

이진현***
Lee, Jin-Heon

ABSTRACT

Since May 2003, On-line test to validate the interface between electrified conventional track, rolling stock, power supply and signalling system. Main test items are the suitability of the system such as vibration of the rolling stock, noise, current collection, track and signal system. In this article, part of the vibration and noise related test results are introduced such as the vibration of the carbody and bogie, running stability, jerk, interior noise of the passenger car and driver's cabin.

1. 서론

2003년 5월부터 고양기지-서울-시흥 구간에서 차량, 시설, 전기, 신호 분야의 적합성을 검토하기 위한 기존선 인터페이스 시험이 시행되었다. 주요 시험 항목은 차량 진동, 소음, 집전, 궤도 및 신호장치의 적합성 등 고속철도 차량과 전철화된 기존설비와의 적합성을 검토하였다. 여기서는 KTX 차량의 진동 및 소음 시험과 관련된 기준의 정리와 차체 및 대차의 진동, 주행 안정성의 평가, 가속도 변화량 평가, 차내 소음 측정 결과 등 일부 시운전 시험 측정 결과에 대하여 소개한다.

2. KTX 차량의 진동, 소음 평가 및 기준

KTX 차량 도입과 관련하여 규정된 진동 및 소음에 관련된 평가 및 그 기준은 다음과 같다.

2.1. 차량 부품의 진동 및 충격 시험[1]

차축, 대차 및 차체에 부착된 부품은 다음 크기의 5~100 Hz 범위의 진동에 대하여 모든 방향으로 견딜 수 있어야 하며, 전기 부품은 IEC 77에 부합되어야 한다. 시험과 관련하여 차에 장착된 부품은 피로 또는 성능의 저하 없이 table. 1의 충격하중에 견뎌야 한다. IEC 77(Rules for electric traction equipment, 1968)에서는 전기적인 장치 및 부품의 전체적인 시험에 대하여 정의하며 진동 및 충격시험에 대하여 일부 정의하고 있다. IEC77은 1999년에 IEC 60077-1,2(Railway applications-Electric equipment for rolling stock)로 개정되었으며, 철도차량 부품의 진동 및 충격 시험 방법은 IEC 61373(Rolling stock equipment-Shock and vibration tests, 1999)에 자세하게 정의되어 있다.

* 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원

** 한국철도기술연구원 신진연구원, 정회원

*** 철도청 고속철도시운전단, 비회원

Table. 1 Vibration and shock limits

부품 부착위치	진동레벨, g peak to peak	충격, g, peak		
		수직방향	횡방향	진행방향
차체	0.4	2	2	3
대차	4.0	20	10	5
차축	10.0	50	20	10

2.2. 차체의 고유 진동수

차체의 구조와 차량 부품의 배치는 차체의 고유진동수가 동력차의 경우 8 Hz, 객차 13 Hz, 동력객차 10 Hz를 넘도록 설계되어야 한다. 차체의 고유진동수는 차체를 차체 지지점 또는 현가계 지지점에 지지하여 측정한다.

2.3. 고속선에서의 승차감

차량은 운행중의 승객(객석, 입석)에게 과도한 진동 또는 충격을 주지 않도록 설계되어야 한다. 승차감은 객차에서 수직 및 횡방향 가속도를 측정하여 평가하며, ISO 2631에 정의된 주파수별 가중치를 적용한다. 0.5~40 Hz 주파수대역을 적용한 승차감의 평가는 최고속도 300 kph에서 100 km 마다 평균한 값이 ISO 2631의 2시간 승차감 감소한계(Reduced comfort boundary) 이내이어야 하며, 이 값은 좌우방향 0.183 m/s^2 , 수직방향 0.257 m/s^2 (신호처리된 값)이다. 평가는 차체 바닥 중심선과 의자 높이에서 첫째 및 마지막 좌석열 및 중앙의 3점에서 측정한다. 또한 300 km/h 정상상태 주행시 가속도한계와 가속도변화량은 모든 방향으로 각각 1.0 m/s^2 , 0.5 m/s^3 이내이다.

2.4. 차량의 주행 안정성

차량의 주행 안정성은 고속선로상에서 차량이 300 km/h의 주행에 문제가 없으며, 증속과 관련하여 대차의 주행 안정성을 판단하기 위함이다. 측정은 동력대차와 객차대차의 횡진동, 객차 및 동력차 바닥의 횡진동 및 수직진동을 측정한다. 안정성의 평가는 3~5 Hz 주파수 대역을 평가하며, 대차횡진동 6 m/s^2 , 차체 횡진동 2.5 m/s^2 , 차체 수직진동 3 m/s^2 이내이어야 한다.[2,3]

2.5. 차내소음

차량의 소음 측정은 5000 km 정도의 주행 후에 자갈도상 궤도에서 측정된다. 차량 내부 소음 기준은 300 km 주행시, 객실의 중앙에서 측정되며 동력객차 70 dBA, 객차 66 dBA, 운전실 78 dBA를 초과하지 않아야 한다. 정지시에는 모든 보조장치와 환기장치가 작동할 때 객실내에서 60 dBA이내이다. 터널 주행시에는 터널 단면적 100 m^2 를 기준으로 7dBA의 소음도 상승을 허용한다.

2.6. 차외소음

300 km/h 주행시 궤도 중심에서 25 m 거리, 1.2 m 높이에서 Leq 91 dBA 이내이며 최대소음 레벨은 93 dBA 이내이다.

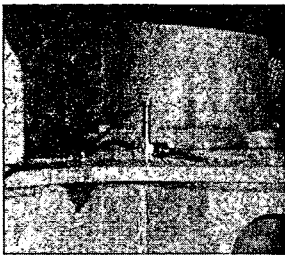
2.7. 순음

소음 측정 시 300~10000 Hz 주파수대역내에서 순음 성분을 포함하지 말아야하며, 순음은 1/3 옥타브 밴드 주파수 분석하여, 1/3 옥타브 밴드 레벨이 근접한 2개의 밴드 레벨 평균보다 5 dBA 높은 경우로 정의한다.

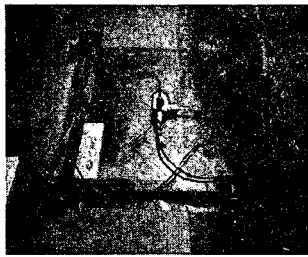
3. 기존선 구간에서의 차내진동 및 소음 측정

3.1. 시험방법

KTX 차량의 대차와 차체의 진동을 측정하기 위하여 Fig. 1(a)와 같이 4 대차에 상하, 좌우 방향의 가속도센서를 부착하고, Fig. 1(b)와 같이 4대차 위에 위치한 차체의 바닥에 철판을 놓고, 그 위에 블록을 고정시킨 후, 전후, 상하, 좌우 방향에 3개의 가속도센서를 부착하였다. 각각의 가속도센서에서 1 KHz로 샘플링하여 획득한 데이터들은 A/D 보드를 통해 수집되고, 200 Hz 로우 패스 필터를 거쳐 PC에 저장되었다. 위와 같이 저장된 데이터들의 평가를 위하여 진동크기 평가는 5~100 Hz 밴드 패스 필터를 거치고, 안정성평가는 3~5Hz 밴드 패스 필터를 거쳐 처리하였다. 가속도 변화량(Jerk) 측정을 위하여 ISO2631의 Wf 필터를 적용하여 처리하였다. 다음으로 소음측정을 위하여 Fig. 2와 같이 소음계를 각각 객실 중앙과 1/4 지점에 위치하고, 51200 Hz로 샘플링하여 PC에 저장하였다. 측정된 소음 데이터는 구간별 등가소음도와 1/3 옥타브 밴드 주파수 분석을 수행하였다. 측정된 데이터를 위치에 따른 값으로 표시하기 위하여 휠에 엔코더를 부착하여, KP값을 구하였다. 서울 기점을 0으로 서울에서 시흥까지 KP는 table. 2와 같다.



(a) 2 accelerometers on the bogie



(b) 3 accelerometers on the floor of the car body

Fig. 1 Measurement of the vibration

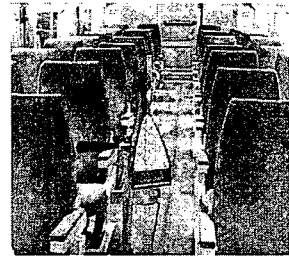


Fig. 2 Measurement of the Interior noise

Table 2. KP value of stations between Seoul and Siheung

	서울	남영	용산	한강철교	노량진	대방	신길	영등포	신도림	구로	가리봉	독산	시흥
KP (km)	0	1.7	3.2	4.1 ~ 5.1	5.8	7.3	8.0	9.1	10.6	11.7	14.1	16.4	17.2

3.2. 진동 크기 측정 결과

진동 한계 평가를 위하여 차체와 대차에서 측정된 5채널의 진동 신호를 5~100 Hz 밴드 패스 필터를 거친후, KP 신호에 대한 진동신호를 분석한 결과는 Fig. 3과 같다. Table. 3에서 보여지는 바와 같이, 차체의 진동은 상하 방향의 진동이 가장 크게 나오나 4 m/s^2 이내의 값으로 양호한 결과를 보이고 있고, 대차의 진동 또한 40 m/s^2 이내에 들어오고 있음을 알 수 있다. 차량의 진동 크기와 관련하여 시운전시험에서 진동 기준을 정하고 있지 않으며, 2.1절의 진동시험 기준을 참고하여 비교하였다.

3.3 차량의 주행 안정성 평가

주행 안정성 평가를 위하여 차체 상하, 좌우방향과 대차 좌우 방향 진동 데이터를 3~5 Hz 밴드 패스 필터로 처리하여 분석한 결과는 Fig. 4와 같고, 이 때에 각 구간에서 최대 값의 피크 투 피크를 취한 것이 table. 4와 같다.

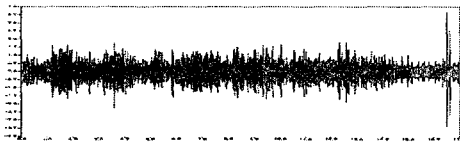
3.4. 가속도 변화량 측정

가속도 변화량 측정을 위하여 ISO2631의 Wf 필터를 적용하여 처리하여 피크값을 취한 결과를 table. 5에 나타내었고, 이 때의 서울에서 시흥구간의 가속도 변화량은 Fig. 5와 같다.

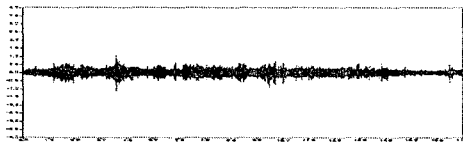
Table 3. Vibration levels of KTX between Seoul and Siheung

		서울 - 남영	남영 - 용산	용산- 한강 철교	한강 철교	한강 철교- 노량진	노량진 - 대방	대방 - 신길	신길 - 영등포	영등포 - 신도림	신도림 - 구로	구로 - 가리봉	가리봉 - 독산	독산 - 시흥
차체* (4m/s ²)	상하	3.15	3.32	3.08	2.24	2.55	2.51	2.55	3.12	3.25	3.00	3.67	1.97	7.00
	전후	1.24	2.83	2.24	0.79	0.94	1.11	0.93	1.16	1.51	0.88	1.18	0.65	1.01
	좌우	0.64	0.79	1.15	0.57	0.60	0.93	0.48	0.84	1.10	0.57	0.66	0.40	2.28
대차* (40m/s ²)	상하	25.33	26.41	31.66	25.93	22.39	27.92	22.26	33.72	39.74	18.01	20.65	14.45	14.43
	좌우	15.57	21.82	27.33	16.28	15.58	27.06	14.62	28.96	29.96	10.81	16.96	7.80	15.30

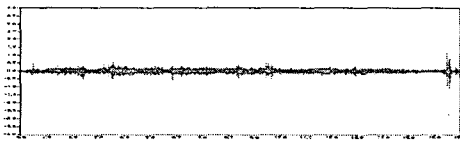
* 부품 진동 시험 기준



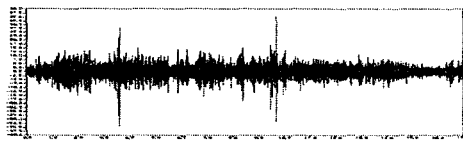
(a) Vertical vibration of car body



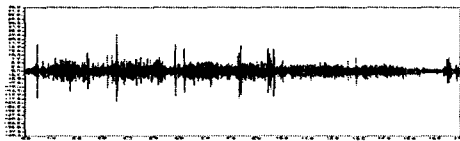
(b) Longitudinal vibration of car body



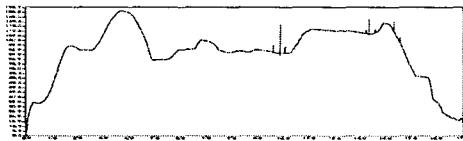
(c) Lateral vibration of car body



(d) Vertical vibration of bogie



(e) Lateral vibration of bogie



(f) Driving speed curve

Fig.3 Vibrations measurement and speed of KTX between Seoul and Siheung

Table 4. Running stability of KTX between Seoul and Siheung

		서울 - 남영	남영 - 용산	용산- 한강 철교	한강 철교	한강 철교- 노량진	노량진 - 대방	대방 - 신길	신길 - 영등포	영등포 - 신도림	신도림 - 구로	구로 - 가리봉	가리봉 - 독산	독산 - 시흥
차체	상하 (3 %)	0.27	0.32	0.35	0.28	0.16	0.12	0.14	0.21	0.30	0.18	0.26	0.28	0.28
	좌우 (2.5 %)	0.14	0.32	0.23	0.29	0.17	0.24	0.28	0.23	0.20	0.15	0.18	0.19	0.48
대차	좌우 (6 %)	1.13	1.30	1.81	1.31	0.98	1.32	0.99	1.17	1.58	1.23	1.48	0.86	0.92

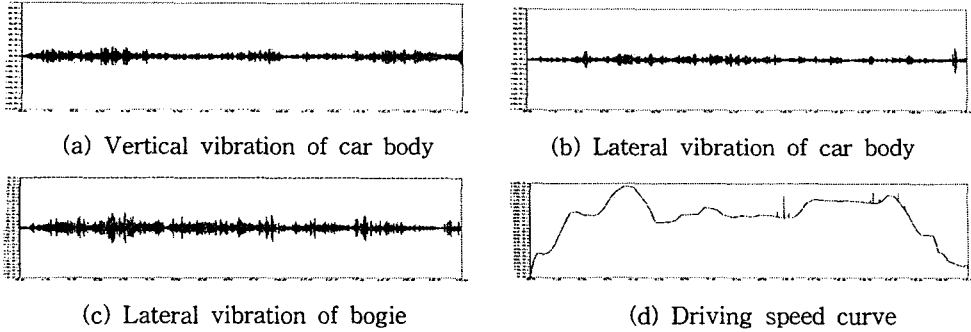


Fig.4 Running stability of KTX between Seoul and Siheung

Table 5. Jerk of KTX between Seoul and Siheung

	서울 - 남영	남영 - 용산	용산- 한강 철교	한강 철교 - 노량진	노량진 - 대방	대방 - 신길	신길 - 영등포	영등포 - 신도림	신도림 - 구로	구로 - 가리봉	가리봉 - 독산	독산 - 시흥	
Jerk (0.5 m/s ³)	0.014	0.026	0.016	0.039	0.063	0.045	0.023	0.018	0.015	0.015	0.094	0.044	0.010

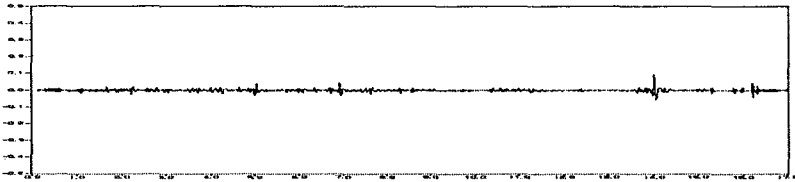


Fig. 5 Jerk of KTX between Seoul and Siheung

3.5. 차내 소음 측정 결과

Fig. 6은 서울에서 시흥역까지 주행하는 중에 측정된 동력차(PC1), 동력객차(TR1) 및 객차 (TR4, TR7)의 중앙과 1/4 위치에서 측정된 등가소음도이다. KTX 차량이 300 km/h로 주행시의 기준 소음치(동력객차 70 dBA, 객차 66 dBA, 운전실 78 dBA)를 적용한 결과 기준선에서의 실내 소음은 양호한 결과를 보였다.

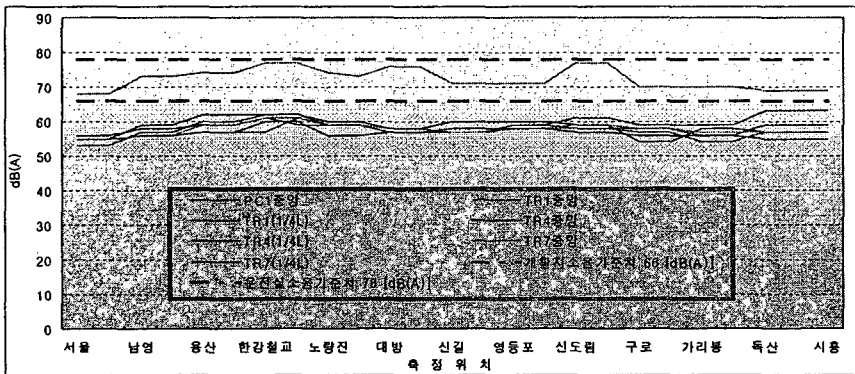


Fig. 6 Sound measurement between Seoul and Siheung station

4. 결 론

시운전 시험 중에 시행된 차량의 진동, 주행 안정성, 가속도 변화량, 차량 소음 측정 결과를 소개하였다. 차량의 진동 평가와 관련하여는 승차감 평가의 경우 ISO 2631 또는 UIC 518에 승차감 평가를 정의하고 있으나 진동 크기에 대하여는 시운전 시험과 관련되어 정의된 내용이 없으며, 여기서는 진동시험 기준과 참고로 비교하였으며, 분기기 통과시를 제외하고 진동시험 기준치보다 상당히 낮은 값을 보여준다. 차량의 주행 안정성과 관련하여는 계약자의 시험절차서를 적용하여 평가하였을 때, 기준보다 상당히 낮은 값을 보여주고 있다. 또한, 소음 측정 결과도 기존선 구간에서 낮은 운행 속도 관계로 소음기준치보다 상당히 낮은 값을 보여주고 있다.

진동 시험 및 주행 안정성 기준과 관련하여는 기존선 및 고속선 구간의 속도, 선로상태, 신호 처리 방법, 평가 방법 등에 대하여 추가적인 검토 및 연구를 수행하여, 우리 실정에 맞는 절차와 기준을 정립할 필요가 있다.

참고문헌

1. '경부고속철도 계약서', 1994
2. 'Progressive increase of test procedure', Alstom transport. S.A. 2000. 6
3. 'Inter-office memorandum 2002.022', Korea high speed rail project, 2002.5.6

후 기

본 시험 평가는 철도청에서 추진하는 “고속철도 운영을 위한 철도시설 정비 및 기존선 전철화 사업”의 일환으로 수행되었습니다.