

한국형 고속열차의 350km/h 주행조건 고찰

Study on the 350km/h Running Conditions for Korean High Speed Train(HSR-350x)

김기환¹ · 박춘수¹ · 김석원¹

Ki-Hwan Kim, Choon-Soo Park, Seog-Won Kim

ABSTRACT

The running test for the Korean High Speed Train(HSR-350x) was performed at operating maximum speed(350km/h) at December 16th, 2004. HSR-350x had been fabricated in June, 2002 and the on-line test for the performance fo HSR-350x was started with 60km/h at August 19th, 2002. The success of running test at 350km/h is recorded the 4th rank in the world.

In this paper, the measured results of the major performance(running behaviour, current collection, stability of rail and bridge) characteristics for HSR-350x are reviewed. All measured values are within the criteria.

1. 서 론

순수한 우리기술로 개발한 한국형 고속열차는 2002년 8월 19일부터 경부고속철도 시험선 구간(대전~천안 구간 57.2km)에서 주행시험을 시작하여 자체적으로 증속을 위한 안전성을 검토하고 준비하여 20~30km의 증속시험을 실시하였다. 지난 2004년 12월 16일에는 350km/h를 돌파함으로써, 우리나라 철도기술과 속도의 역사를 새로이 기록하게 되었다. 이는 시험속도로는 프랑스, 독일, 일본에 이어 세계에서 4번째 국가가 된다. 또한 우리나라에 도입된 KTX와 더불어 고속철도의 기술을 한 단계 진보시켰다고 평가할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 350km/h를 주행하기 위한 준비와 더불어 시설물에 영향을 미치는 진동특성, 집전성능, 궤도안정성, 교량안정성 등에 대한 최고속도 시험결과에 대하여 고찰하였다.

1. 정희원, 한국철도기술연구원 고속철도기술개발사업단

2. 본 론

중속시험은 차량과 시설물과의 문제점에 대하여 집중적으로 검토되었다. 차량진동에 의하여 노반이나 교량, 궤도 등에 미치는 영향과 전차선에 미치는 영향을 검토하고 문제가 없을 경우에는 다음단계로 중속을 실시하였다. 시험은 2002년 8월 19일부터 60km/h를 시작하여 특이사항을 발견하지 않을 경우에는 중속을 실시하여 2003년 8월 1일에는 300km/h를 주행하고 2004년 12월 16일에는 350km/h 중속시험을 실시하였다. 매년 중속시험을 수행하기 전에는 철도시설공단과 한국철도공사에 시험결과에 대한 발표회를 통하여 관련 전문가의 의견을 청취하였다.

2.1 중속시험

대전에서 천안까지 57.2km의 시험선 구간에서 시험을 위하여 한국형 고속열차는 공장 내 시험을 마무리하고 2002년 6월 28일 오송까지로 이동되었다. 본선에서의 운행경험이 없었으므로 KTX의 정비인원으로부터 시험운행을 하기 위한 각종 검사 및 지적된 사항을 수정 보완을 하고, 8월 19일 오후 철도시설공단의 도움으로 최초로 최고속도 60km/h로 본선에서 시험운행을 시작하였다.

2002년 8월 19일부터 약 1년 동안 KTX의 시운전이 끝나는 야간이나 혹은 토요일에는 한국형 고속열차의 시험운행이 실시되었으며, 그 결과를 바탕으로 1주일간 차량에서의 문제점을 보완하였다. 각종 성능을 검증하여 20~30km/h의 속도를 높여 그림 1에서와 [1] 같이 첫 시험운행을 실시한 이후 약 1년 이후인 2003년 8월 1일 300km/h의 첫 시험주행을 성공하기에 이르렀다. KTX의 관리와 운영을 철도시설공단에서 한국철도공사로 이관하고, 2004년 4월 1일 KTX 개통준비 등 주변의 환경이 많은 변화를 가져왔다. 따라서 300km/h이상의 중속은 한국철도공단(당시 철도청)의 도움으로 10km/h씩 중속 시험을 수행하였다.

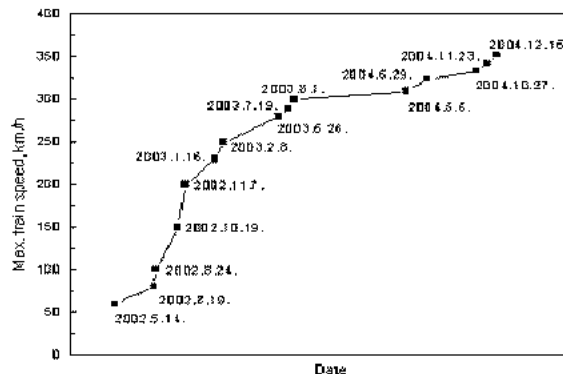


그림 1. 중속시험 현황

최고 주행속도 330km/h까지는 KTX가 시험선 구간에서 이미 시험운행을 수행하여 시설물이나 운전제에 대한 확인이 이루어졌으나, 340km/h의 시험부터는 국내에서는 최초이며 특히 국내기술진에 의하여 검토되어 수행하는 시험임으로 특별히 야간 KTX의 영업운행이 완료된 후에 시험을 수행하였다.

최고속도 350km/h의 시험운행을 위하여 중속구간의 시설분야에 대한 안전성 점검이 필요하여 가속과 감속이 예상되는 고등교~노장2교 사이에 설치된 교량의 LFT와 패드슈를 점검하기 위하여 교량의 점검기록부 및 관리대장을 검토하였다. Fig. 2에서와 같이 산정교에서는 교량의 특성을 측정하고 최고속도 주행이 예상되는 운주터널과 노장 1터널 사이에는 전차선의 최대압상량을

고속카메라로 촬영하고, 궤도의 각종 특성을 측정하였다. 또한 노장 2교부터 시작되는 곡선반경 7,000m의 곡선은 330km/h로 통과하여도 무리가 없는 것으로 판단되었다.

이상의 사전 검토 결과를 바탕으로 350km/h 증속시험을 2004년 12월 16일 새벽으로 수행하기로 결정하고, 증속운행 구간은 분기기 통과속도를 감안하여 천안~오송 구간으로 확정하였다.

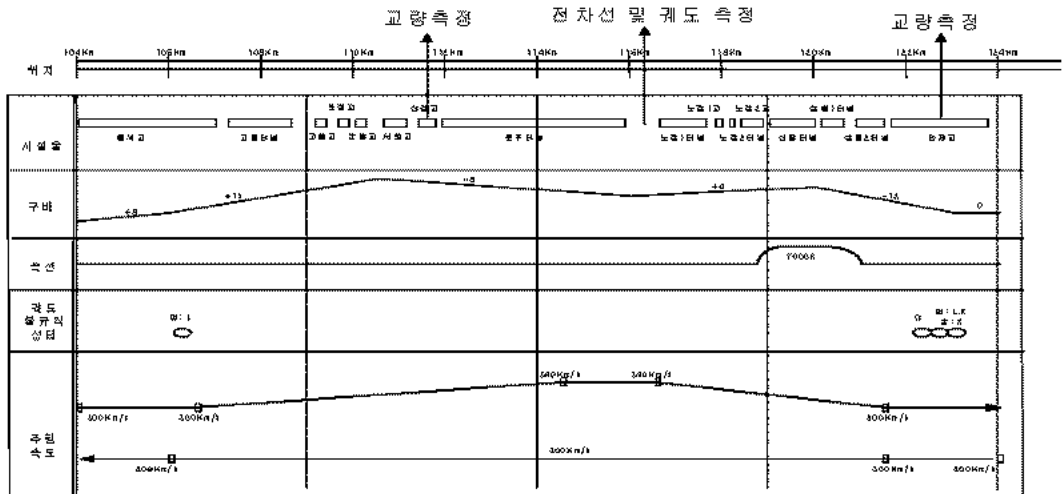


그림 2. 계측위치 및 주행 시나리오

2.2 시험결과

350km/h 증속시험은 대부분이 차량과 시설물과의 영향을 미치는 진동특성(주행안전성), 집전성능, 궤도안정성, 교량안정성 등의 항목에 대하여 평가하였다. 이외에도 차량성능 및 신호 등에 대하여 최고속도에서의 특성을 측정을 하였다. 상세한 내용은 각 분야별로 정리를 하였으나, 본고에서는 요약하여 정리하였다.

(1) 진동특성

차체의 진동가속도는 UIC 518[2]의 Simplified Method를 참조하여 진동가속도 수준으로 판단하였다. 주행안전성 측면에서 차체의 횡가속도는 Max. 6Hz Low Pass Filter를 적용할 경우 $3m/s^2$ 이하여야 한다. 분석의 정밀성을 위하여 350km/h 주행구간 전후의 측정데이터를 기준에 따라 분석한 결과 대차 및 차체의 주행거동과 안전성 측면에서는 표 1과 같이 모두 기준치 이내였다.

표 1. 진동특성 기준 및 측정값

항목		기준 (m/s^2)		결과 (m/s^2)	
안전성	대차 횡 가속도	10.44		4.58	
	차체 횡 가속도	3.0		0.57	
	차체 상하 가속도	3.0		0.70	
		Max.	R.M.S.	Max.	R.M.S.
주행 거동	차체 횡 가속도	2.5	0.5	0.53	0.23
	차체 상하 가속도	2.5	0.75	0.67	0.33
	차체 정상 횡 가속도	1.5		0.41	

(2) 집전성능 특성

집전성능 측정 항목 중에서 평균접촉력은 198.9N으로 측정되어 기준치에 근접하였으나, 순간최대 접촉력, 최대압상량 등은 양호하였다. 350km/h 이상의 중속을 위하여는 평균접촉력 및 가선과 판토히스트의 특성에 대하여 재검토가 필요한 것으로 판단된다.

표 2. 집전성능 기준 및 측정값

항목	기준	결과
평균접촉력	KTX QT 기준 : 200N 이하	198.9N
순간최대 접촉력	EN 기준 : 350N SNCF 기준 : 300N	275.6N
집전(이선)특성($F_{mean}-3\sigma$)	EN/UIC 기준 : $0 < F_{mean} - 3\sigma$	154.7N
최대압상량	KTX QT 기준 : 200mm 이하	145mm

(3) 궤도안정성 측정결과

측정위치에서 최대속도를 기대하였으나 당일 기후의 변화로 인하여 측정지점에서의 통과속도는 348km/h로 측정되었다. 표 3과 같이 궤도안정성 측면에서 횡압, 윤중, 변위 등은 모두 기준치 이내로 매우 안정적이었다.

표 3. 궤도측정 결과 및 기준

구 분	KTX 중속시 기준 (독일기준)	한국형 고속열차 (348km/h 속도)	
	KTX기준	Site 1	Site 2
윤중(최대치)	200kN	7.496	8.912
횡압(최대치)	40kN	0.916	-(1)
레일수직변위 (mm)	1.5mm	0.330	0.281
레일수평변위 (mm)	3mm 이하	0.399	-(1)
침목수직변위 (mm)	1mm 이하	0.288	0.404
레일응력 (N/mm ²) (편진폭)	70N/mm ²	43.84	43.94

※ 주 (1) : 센서 이상으로 측정치 못함.

(4) 교량 안정성 측정결과

교량안정성은 고속철도 신정교에서 측정하였으며, 이 지점의 열차통과속도는 318km/h이었으며, 이때 측정한 결과는 표 4와 같이 기준치 이내였다.

표 4. 교량 측정결과 및 기준

측정항목		기준	측정값
수직가속도 (g)		BMRD(Systra, 1995) 기준 : 0.35	0.21
경간중양부처짐 (mm)		L/1700 기준 : 23.5	0.613
단부격입각 ($\times 10^{-4}$ rad)		경부고속철도기준 : 5	1.0296
Deck 종방향 변위 (mm)	Pad Shoe	경부고속철도기준 : 10	0.2
	LFT		0.01

(5) ATC 속도정보 및 차량

최고속도 시험을 위하여 차량의 각종 전장품의 상태와 승차감, 소음, 압력변동, 고조파 등을 측정하였다. 또한 차량속도 330km/h 이상의 운행구간인 궤도번호 TC2237B에서 TC2247B까지 ATC 지상 연속정보와 불연속정보를 정상적으로 수신하였으며, 전체 구간에서 다섯 번의 사구간 제어(ACCT, ECCT) 및 ATC 제한속도 등을 정상적으로 수신 처리하였다.

3. 결 론

2004년 12월 16일 새벽 한국형 고속열차(HSR-350x)를 이용하여 최고속도에 도전한 것은 우리나라 철도의 속도 기록적인 측면에서 매우 의미 깊은 날이었다. 특히 국내기술에 의하여 속도향상이 없었으므로 기존의 최고 운행속도에서 속도향상을 검토한다는 것은 매우 위험한 일이며 조심스러운 일이었다. 이러한 성공은 산학연 연구진의 노력과 건교부, 철도공사 및 시설공단 관계자 모두의 희망이 결집된 결과라고 할 수 있다. 그러나 단 한번의 결과로서 350km/h 주행가능성을 논하는 것은 매우 어려운 문제이다. 350km/h 시험운행 결과를 분석하면 다음과 같은 결론에 도달하였다.

- (1) 진동특성, 집전성능, 교량안정성, 궤도 안정성 및 차량과 신호 등 모든 측정결과는 350km/h 주행시에 양호한 것으로 판단하였다.
- (2) 단지, 집전성능 중 평균접촉력은 기준치인 200N에 근접하였다.
- (3) 따라서, 향후 속도 증속이나 혹은 재시험을 위하여 평균접촉력의 측정 방법, 가선과 판트그래프 사이의 특성에 대하여 면밀한 검토가 필요하다.

참고문헌

1. 김기환(2004), "고속철도기술개발 통합 및 총괄", 고속철도기술개발사업 2차년도 연차보고서
2. UIC Code 518(2003), "Testing and approval of railway vehicles from the point of view of their dynamic behaviour-Safety-Track fatigue-Ride quality"