

한국형 고속열차 성능 시험 및 평가

Test and Evaluation of Performances of Korea High Speed Train

박춘수*, 김기환*, 서승일*, 김석원*

* 한국철도기술연구원

1. 서 론

고속열차는 세계철도협회(UIC)에서 정의하기를 "시속 250km 이상으로 상업운행하는 열차"라고 한다. 새로이 건설된 고속선로에서 고속열차가 운행하는 국가는 일본(64년) 프랑스(81년) 독일(91년) 스페인(92년)과 지난 4월 1일 고속철도가 개통된 우리나라이다. 이로서 우리나라도 고속철도 보유국이 되었으며, 철도 선진국의 대열에 합류하였다고 말할 수도 있다.

그러나, 경부·호남선에 동시 개통된 고속열차는 우리 기술로 개발되지 못하고 프랑스에서 설계된 프랑스 열차이다. 제작과정에서 많은 부분이 국내 관련 업체에 기술이 이전되었다고 하나, 이는 제작과 관련된 기술에 제한되어 실질적으로 독자적 기술을 보유하기에는 한계를 보인다. 이러한 상황에서 고속철도 기술을 우리 기술로 만들기 위한 연구개발사업이 추진되었는데 이를 고속전철기술개발사업(1996~2002)이라고 한다. 이 사업을 통해 KTX를 통해 들어온 프랑스의 TGV 기술을 완전히 소화하고 독자적인 기술 보유국으로 자리매김하기 위해 많은 연구진이 참여하였으며, 지금도 개발된 기술의 안정화 연구인 고속철도기술개발사업(2002~2007)이 진행되고 있다.

본 연구에서는 개발된 한국형 고속열차의 특성과 성능시험에 대하여 개괄적으로 살펴보고자 한다. 특히, 고속열차의 기계적 특성들에 대해 성능시험 및 평가 측면에서 기술의 특성을 기술하고자 한다.

2. 한국형 고속열차의 기술적 특성

한국형 고속열차는 KTX의 이전기술을 기반으로 하였으므로 KTX와 비교하여 기술적 특성을 살펴보면 Table 1과 같다. Table 1에서 볼 수

있듯이 많은 부분에서 차이가 있다. 이는 최고속도 향상에 따른 성능향상과 유도전동기 채택에 따른 추진·제어시스템의 변경에 기인한다.

Table 1 Main features of KHST and KTX

주요 항목	경부고속철도	한국형 고속철도
최고 속도	300 km/h	350 km/h
열차 편성	20량 1편성	20량, 11량 가변 편성
추진장치	동기전동기방식	유도전동기 추진시스템 독자 개발
객차 차체	Mild Steel	알루미늄 압출재
전두부	프랑스 설계	한국형 고유 형상
제동시스템	마찰 + 전기제동	와전류제동 추가 개발
여압장치	없 음	독자개발 적용

2.1 기계분야 특성

고속열차는 고속주행을 위해 동력학적으로 안정해야하고, 구조적으로는 안전에 무리가 없는 범위에서 중량을 최소화하고, 공력적으로 저항이 적으며, 소음과 진동을 줄일 수 있어야 한다. 이러한 기술적 요구조건에 부응할 수 있도록 한국형 고속전철에서는 설계사양을 정리하였다. 동력학적으로는 윤축과 대차, 대차와 차체를 연결하는 1·2차 현수장치의 각 방향 계수를 재 설계하였으며, 고속주행에 따른 공기역학적 성능을 개선하기 위해 열차의 전두부 형상 (Nose shape)을 해석적 결과에 근거하여 변경하였다. 또한, 중량을 줄이기 위해 동력개차 및 객차의 재질을 연강(Mild steel)에서 알루미늄으로 변경하였다. 현재 신간선, ICE를 비롯한 세계 여러나라의 고속열차는 알루미늄을 기본적으로 채용하고 있다. 이외에도 제동부분에서는 기계 및 전기제동 이외에 와전류제동을 채용하였으며, 기계제동에서도 휠디스크 제동을 사용하였다.

Table 2 Technical Data of KHST and KTX

구분	KTX	KHST	
		20량 편성	시제차량 (HSR 350x)
차량수	20	20	7
열차중량(ton)	771	780	340
총길이(m)	387.2	393.5	147.4
전동기수	12	16	12
출력/1대(kW)	1,130	1,100	1,100
총출력(kW)	13,560	17,600	13,200
설계 균형속도(km/h)	354.7	389.2	463.1
최고속도에서	300km/h	350km/h	
전인력(kN)	158.4	176.5	132.4
주행저항(kN)	100.1	131.4	60.3
가속여력(m/s ²)	0.073	0.056	0.212

고속열차는 고속으로 터널을 통과하기 때문에 이로 인한 객실내 압력변동이 급격하다. 이를 막기 위해 통풍구를 밀폐하는 방식과 능동적으로 압력을 조절하는 방식이 사용되고 있는데, 한국형 고속열차에서는 능동 압력조절방식인 여압시스템을 채택하였다. 각 시스템의 성능결과는 3절의 성능평가에서 살펴보겠다.



Fig. 1 HSR 350x

2.2 전기분야 특성

한국형 고속열차는 유지보수 특성이 좋은 유도전동기를 채택하였으며, 이에 따라 전동기를 제어하는 주전력 변환장치 등 전체 전기시스템이 KTX와 다르다. 또한 열차 전반의 모니터링과 제어를 담당하는 열차제어시스템도 독자적으로 개발되었다. 전기장치의 특성을 비교하면 Table3과 같다.

Table 3 Technical Data of Traction System of KHST and KTX

구분		KHST	KTX
전인 전동기	형식	유동전동기	동기전동기
	정격 출력[kW]	1,100	1,130
컨버터	구성	2대 병렬 운전	2대 직렬 운전
	반도체소자	IGCT	Thyristor
	냉각방식	Heat Pipe식 Heat Sink	비등냉각
	제어방식	PWM (일정전압/역률제어)	위상제어
	스위칭주파수	540Hz	정류제어
인버터	방식	전압형	전류형
	반도체소자	IGCT	Thyristor
	냉각방식	Heat Pipe식 Heat Sink	비등냉각
	제어방식	VVVF 가감속제어, 회생제어	좌동
	스위칭주파수	480Hz	200Hz

3. 성능시험 및 결과

한국형 고속열차는 20량과 11량편성을 기본으로 설계되었다. 설계된 열차의 성능을 입증하기 위해 전체 편성의 특성을 살펴볼 수 있는 대표차량을 선정하여 7량 1편성의 시제열차(HSR 350x)를 제작하여 부품별 시험, 완성차 시험, 공장내 시험, 본선 시운전 시험을 통해 설계 사양의 타당성을 검증하고 개선사항을 도출하고 있다. 현재까지 총 70회, 15,000km 주행, 최고속도 300km/h에 도달하였으며, 지속적으로 시험을 진행 중에 있다. 본 논문에서는 여러 분야로 진행되는 시험 결과 중 기계 및 전기분야의 중요 항목별 시험결과에 대하여 간략하게 정리한다.

3.1 기계분야

알루미늄 차체는 압출재를 이용한 용접구조물로 UIC(International Union of Railways) 566OR에 의해 규정된 수직하중, 200톤 압축하중, 100톤 인장하중, 리프팅 하중, 재킹하중 등의 시험을 거쳤으며, 모두 허용응력 이내이었다. 본선 시운전 시험중에 계측된 대차 및 차체에서의 진동가속도를 열차의 주행속도와 함께 보이면 Fig. 3과 같다. 모두 안전한계보다 훨씬 낮은 영역에 있으면 알 수 있다. 고속열차에서는 저속시에 나타나지 않은 새로운 현상이 발생하는데,

고속으로 터널을 주행할 때 터널내에 압력변동이 급격히 발생하며, 이는 차체에도 영향을 미치는 것이다. Fig.4는 고속열차 외부에서 측정한 압력변동과 속도에 따른 압력변동값을 보이고 있다. 이외에도 가선과 접촉운동을 하는 판도그래프의 거동 특성 등 여러 항목에 대하여 시험이 실시되고 있다.

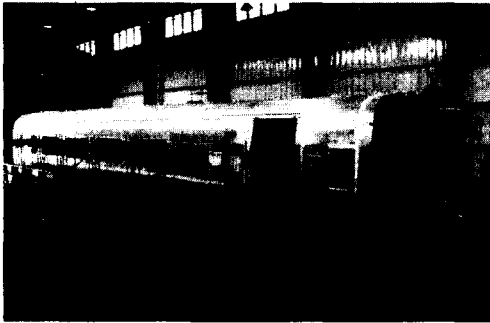


Fig. 2 Static Load Test for Al Carbody

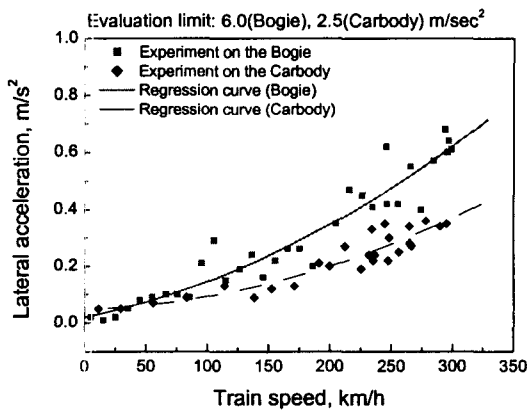


Fig. 3 Lateral Acceleration on the Bogie and Carbody

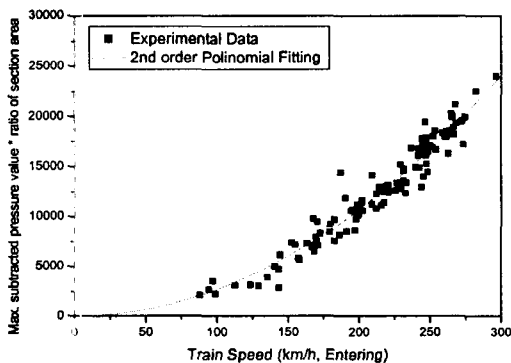


Fig. 4 Max. Pressure Fluctuation on the Carbody

3.2 전기분야

전기분야에서도 각종 전기장치의 성능시험이

이루어지고 있다. 모터, 추진제어장치, 보조전원 장치 등의 정상작동여부와 고조파 발생 등에 대해서도 지속적으로 시험이 이루어지고 있다.

3.2 계측시스템

한국형 고속열차의 성능을 평가하기 위해 시제 열차에는 많은 센서가 설치되었다. 이러한 많은 센서에서 취득한 각종 값들은 상호 비교할 수 있도록 동기화 할 필요가 있으며, 취득 위치별 분산배치가 필요하였다. 이를 위해 7개의 모듈로 하드웨어를 구성하고 각 모듈간에는 네트워크를 이용하여 동기화 할 수 있도록 하였다. 또한, 계측된 자료는 전용의 후처리 프로그램으로 각종 자료를 상호 비교하거나 분석할 수 있도록 하였다.

4. 결 론

고속열차는 기계·전기 등 여러 분야의 기술이 집약되어야 만족하는 성능을 발휘할 수 있다. 그러한 점에서 한 나라가 고속열차를 독자적으로 설계·제작·성능시험을 할 수 있다는 것은 저변의 기술이 충분히 축적되어 있음을 간접적으로 알 수 있다. 우리 나라는 이제 고속열차 운행국이 되었으며, 더불어 독자적인 기술보유국으로 첫발걸음을 디디고 있다. 개발된 한국형 고속열차는 앞으로 시스템의 안정화와 신뢰성을 확보하여 국내는 물론 해외로 진출하기 위해 많은 연구진이 꾸준히 기술개발을 추진해 나갈 것이다.

후 기

본 연구 고속철도기술개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 한국철도기술연구원: "고속철도시스템 신뢰성 및 운영 효율화 기술개발", 2003.10
2. 한국철도기술연구원: "고속전철시스템 기본사양", 1998
3. 한국철도기술연구원: "고속전철 열차시험 및 성능평가 기술개발", 2002. 10
4. 박춘수, 서승일 외: "한국형 고속전철 터널주행시의 압력변동 및 빈도의 분석", 한국철도학회 추계학술대회논문집, 2003
5. 한국고속철도건설공단: "경부고속철도 차량시스템 계약 사양", 1994