

한국형 고속전철 개발 현황 및 성능평가

• 김기환, 박춘수, 이태형 / 한국철도기술연구원 고속철도기술개발사업단

서 론

얼마전 4월 1일에 우리나라에도 고속철도가 개통되었다. 이는 세계 5번째의 시속 300Km급 고속전철을 운영하는 국가가 된 것을 의미한다. 고속철도 건설은 1970년대 경제개발을 시작하면서 건설된 경부고속도로와 견줄 만한 대단한 사건이라 할 수 있을 것이다. 이 고속철도의 개통으로 현재의 도로 위주 교통 체계에 많은 변화가 일 것이며, 국민들의 생활 행태에도 영향을 미칠 것이다.

현재 운행되고 있는 고속전철 차량 KTX는 알려진 바와 같이 프랑스의 TGV 차량이다. 프랑스의 TGV는 1981년부터 운행을 시작한 고속전철로 프랑스 외에 스페인에서도 AVE라는 이름으로 운영되고 있다. 정부에서는 KTX를 도입하면서 막대한 비용을 외국에 지불하는 것에 따라 관련 기술을 국내로 이전시켜 향후 국내 시장 및 해외시장 진출에 대해 중요하게 생각하였다. 그러나, 기술기반이 갖추어지지 않은 상태에서 고급기술을 준다하여도 그것을 소화시키는데는 한계가 있다. 국내 연구계는 이러한 상황에서 이전기술을 소화시키고 향후 기술발전에 대응하기 위해서는 독자적인 고속전철 기술개발을 추진하는 것이 필요하다는 결론에 도달하게 된다. 1996년 12월부터 G7(선도기술개발사업) 고속전철기술개발사업은 이렇게 시작되었다. 사업의 목표는 “시속 350Km 급 한국형 고속전철시스템 개발”이었으며, 산학연이 참여하여 6년동안 추진되었으며, 시스템의 개발이 외에도 이를 입증하기 위한 7량 1편성

의 시제열차가 제작되었다. 이후에 개발된 시스템의 안정화와 신뢰성 확보를 위한 사업이 5개년에 걸쳐 추진되고 있다.

이 글에서는 한국형 고속전철(HSR 350x)의 기술적 특성을 차량 중심으로 살펴보고 시운전 시험을 통해 밝혀진 한국형 고속전철의 성능에 대하여 기술하고자 한다.

한국형 고속전철과 KTX의 주요특성 비교

한국형 고속전철은 KTX의 기술을 활용하여 독자적으로 개발되었으며, Table 1에 나타낸 바와 같이 주요 시스템에 대해서는 기술적인 차이를 갖고 있다. Fig. 1은 두 차량의 전두부 외형을 보여주는 사진으로, 이들 차량에 대한 주요 특성을 비교해 보면 KTX는 주행 속도 300 km/h(최고속도 330 km/h)의 영업운전을 위해 개발된 차량으로 편성은 20량 고정편성이이고, 추진장치로는 동기식 전동기, 객차 차체 재질은 철재(Mild steel)로 되어 있는 반면에 한국형 고속전철은 주행 속도 350 km/h(최고속도 385 km/h)의 영업운전을 위해 알루미늄 압출재를 이용한 차체, 유도전동기에 의한 추진장치, KTX에는 적용되어 있지 않는 와전류 제동 장치와 여압장치 등의 새로운 기술을 적용하였다. 또한, HSR 350x는 고정편성이 아닌 20량, 11량 가변 편성을 할 수 있도록 설계하여 차량 편성의 유연성을 확보하도록 하였다. Table 2는 두 차량에 대한 상세 성능을

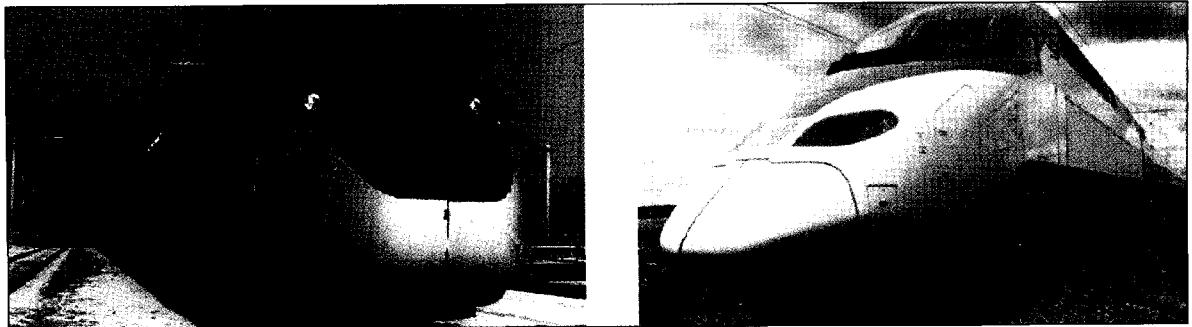


Fig. 1 HSR 350x proto-type and KTX

Table 1 Main features for HSR 350x 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 설	한국형 고유 형상
제동시스템	마찰 + 전기제동	와전류제동 추가 개발
여입장치	없 음	독자개발 적용

Table 2 Detailed performances for HSR 350x and KTX

구분	KTX	HSR-350x	
		20량 편성	시제차량
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
설계최고속도(km/h)	354.7	389.2	463.1
최고속도에서	300km/h	350km/h	
견인력(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

비교한 것이며, HSR 350x의 기술적 특성을 기계분야와 전기 분야로 나누어 살펴본다.

기계분야

HSR 350x는 고속으로 주행하는 특성상 공기저항과 운동에너지가 증가하게 되므로 Fig. 1에서 보여준 바와 같이 공력해석과 충돌해석을 통해 공기저항을 줄이고 차량의 안전성을 확보함과 동시에 고유 형상을 갖도록 전두부 형상이 설계되었다. 또한, Fig 2와 같이 객차의 차체는 알루미늄 압출재를 사용하여 차량을 가볍게 하였으며, 제동시스템은 350 km/h의 영업속도에서 안전하게 정차할 수 있도록 기계제동(디스크, 담면), 전기제동(회생, 저항)에 훨 디스크제동과 와전류 제동 장치를 추가하였다. 판토그래프는 KTX에서 적용한 GPU 판토그래프와 비슷한 형식으로 국내에서 자체 설계 제작되었다. 또한, 터널에서 승객에게 발생할 수 있



Fig. 2 Aluminum Carbody for HSR 350x

는 이명현상을 방지하기 위한 객실 압력을 능동적으로 제어하는 예압장치가 추가되었다.

차량 전기

HSR 350x는 주전력 변환장치의 전력소자로 최첨단 IGCT를 세계최초로 철도분야에 적용하였고, 차량의 유지보수의 원활히 하도록 유도전동기를 사용하였다. 제어분야는 PWM제어와 VVVF제어를 통해 유도전동기가 최적의 성능을 발휘할 수 있도록 설계되었다. Table 3은 HSR 350x와 KTX의 주전력 변환장치인 컨버터와 인버터의 성능을 비교한 것이며, Fig. 3은 HSR 350x에 사용된 유도전동기를 보이고 있다. 또한, 운전자가 열차상태 및 운전상태를 쉽게 판단하도록 국제표준인 TCN(열차통신네트워크)을 통해 열차의 모든 정보를 운전자가 모니터링할 수 있도록 되어있다.



Fig. 3 Motor for HSR 350x

Table 3 Detailed performances of converter and inverter for HSR 350x and KTX

구 분	HSR-350x	KTX
컨버터	구성	2대 병렬 운전
	반도체소자	IGCT
	냉각방식	Heat Pipe식 Heat Sink
	제어방식	PWM (일정전압/역률제어)
	스위칭 주파수	540Hz
인버터	방식	전압형
	반도체소자	IGCT
	냉각방식	Heat Pipe식 Heat Sink
	제어방식	VVVF 가감속제어, 회생제어
	스위칭 주파수	480Hz
		200Hz

성능시험 및 결과

시제차량의 기능과 성능이 설계 요구사항에 만족되는지를 판단하기 위해서는 일반적으로 공장 내 시험과 실제 운행구간에서 실시하는 본선시운전시험이 실시된다. 7량 1편성으로 제작된 HSR 350x도 이러한 절차에 따라 성능시험이 실시되었다. 공장 내 시험은 각 구성부품의 단품 및 조립시험, 편성시험 등으로 Fig. 4에서 보는 바와 같이 각종 차량에 대해 총 4,386 항목의 시험이 실시되었으며, Fig. 5와 같이 이중 약 67%가 기능동작 시험으로 가장 큰 비중을 차지하였다.

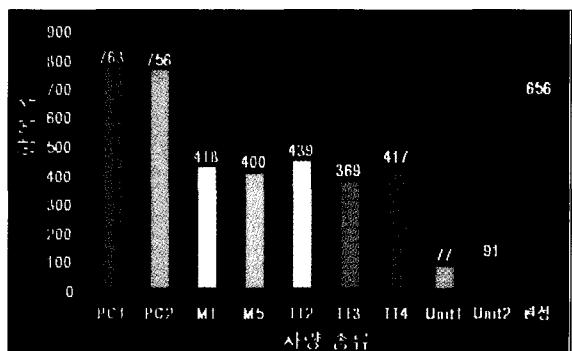


Fig. 4 Test items in the factory

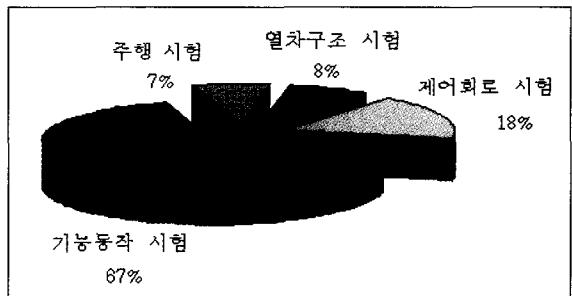


Fig. 5 Percentage for each test performance in the factory test items

본선시운전 시험은 경부 고속철도 시운전 구간에서 주로 수행하였으며, 동대구-부산, 서대전-목포 구간에서 기존선 연계 시험도 실시하였다. 현재까지 총 70회의 시험이 있었으며, 주행거리는 15,000 km, 최고속도는 310 km/h까지 실시되었다. 시운전 시험에서는 주



Fig. 6 Monitoring system for wheel and rail

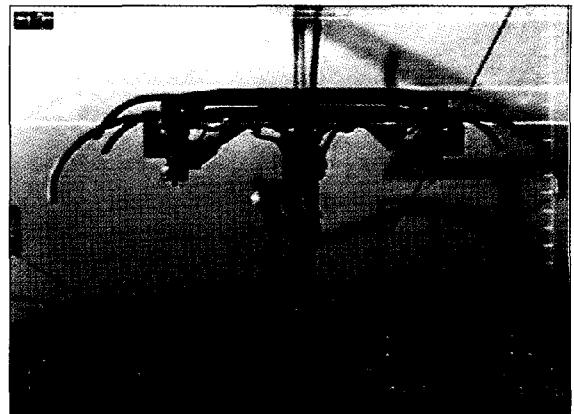


Fig. 7 Monitoring system for contact wire and pantograph

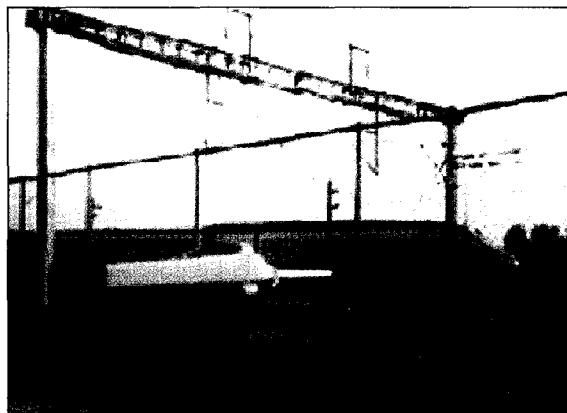


Fig. 8 Experimental set-up for external noise



Fig. 9 Experimental set-up for traction effort

행성능, 대차 및 차체진동성능, 제동성능 등이 포함된 16개의 성능(세부시험 45개)을 확인하기 위해 차상시험(열차 내부, 11개 성능의 31개 세부시험)과 지상시험(열차 외부, 5개 성능의 14개 세부시험)으로 구분되어 실시되었고, 전체적인 계측항목은 약 80개로 약 450개의 계측신호들이 측정되어 한국형 고속전철 시제차량의 성능평가에 사용되었다. 시운전 시험을 위한 계측은 상시계측과 비상시계측으로 분리되어 수행되었고, 상시계측용으로 차량에 전용 분산형 계측시스템을 설치 운영하였다. 또한, 시운전 동안에 훨파 레일, 전차선과 판토그래프의 운동상태를 Fig. 6 및 Fig. 7과 같이 실시간 모니터링을 할 수 있도록 차량에 카메라가 설치되어 있다. Fig 8은 차량 외부 소음을 측정하는 장면을, Fig. 9는 견인력을 측정하는 장비를 나타낸 것이다.

Fig. 10과 Fig. 11은 진동 측정 결과로서 차체 및 대차 횡가속도를 속도증가에 따라 분석한 결과이며 300Km/h 주행속도까지는 매우 안전하며 350Km/h의 속도에서도 안전성이 확보되는 것으로 예측할 수 있다.

간이 소음계를 이용하여 측정한 결과를 Fig. 12와 Fig. 13에서 보여주고 있으며 고속선 전체구간에서의 측정결과를 개활지와 터널로 구분하여 속도에 대한 소음레벨을 도식하였다. 전체적으로 300Km/h 속도까지는 기준을 만족하고 있는 것으로 나타나고 있다.

다음으로 Fig. 14에서는 경부 고속신선에서 측정된 UIC 513에 의한 승차감을 평가한 내용이며 Fig 15는 궤도분야에서 측정한 주행시의 레일에서 받는 하중을 평가한 내용을 보여주고 있다. 또한 Fig. 16에서는 차

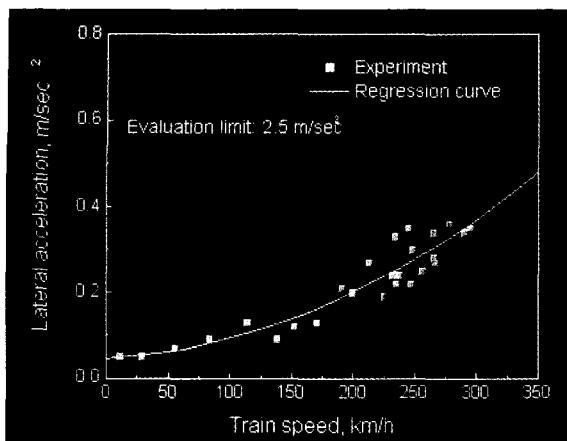


Fig. 10 Lateral acceleration on the bogie for HSR 350x

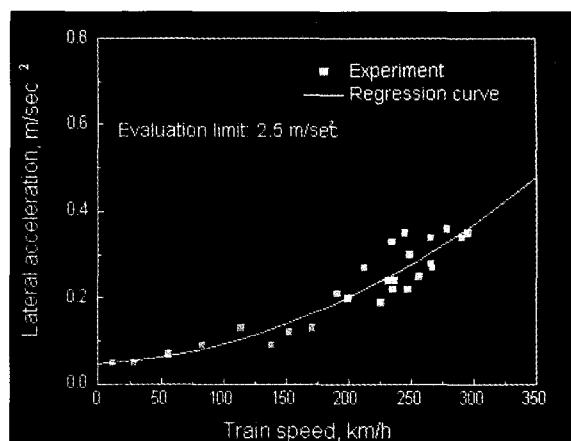


Fig. 11 Lateral acceleration on the body for HSR 350x

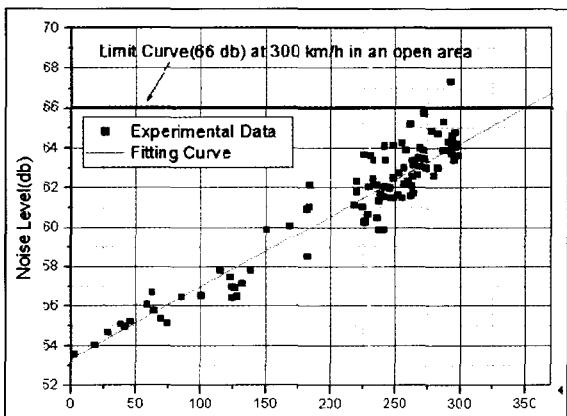


Fig. 12 Internal noise in the open areas for HSR 350x

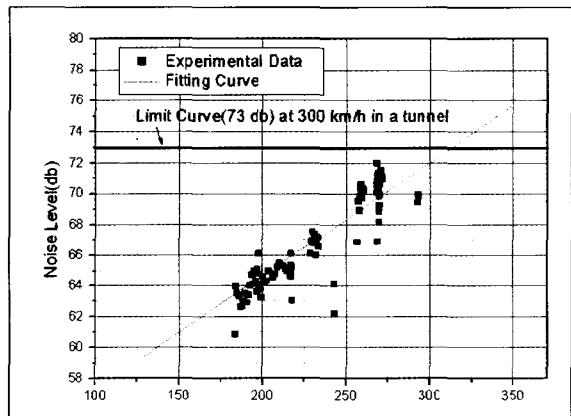


Fig. 13 Internal noise in the tunnels for HSR 350x

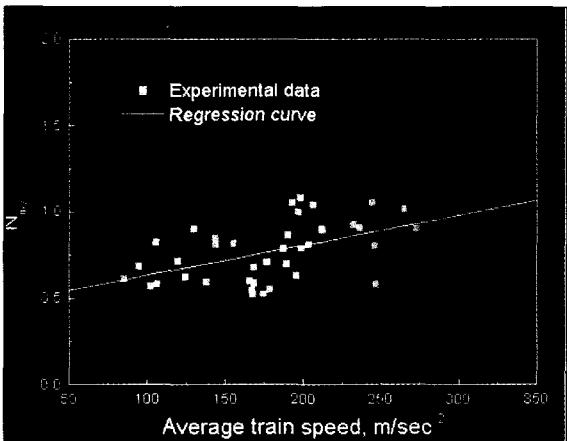


Fig. 14 Ride comfort for HSR 350x

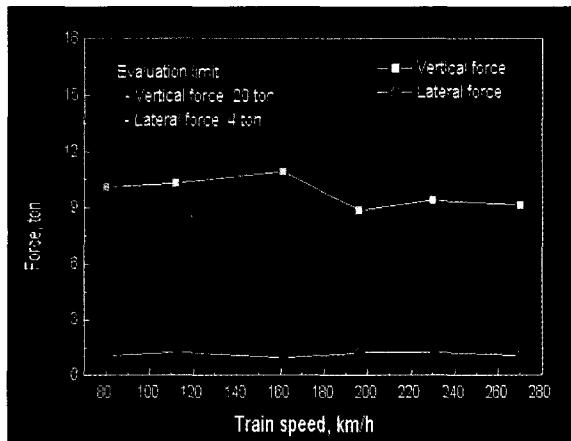


Fig. 15 Lateral and vertical forces on the rail for HSR 350x

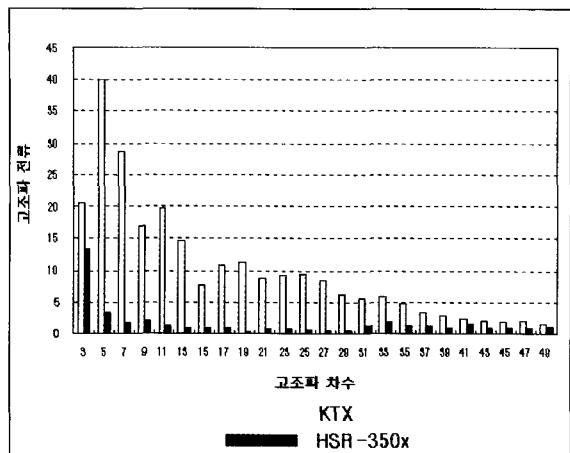


Fig. 16 Harmonic currents

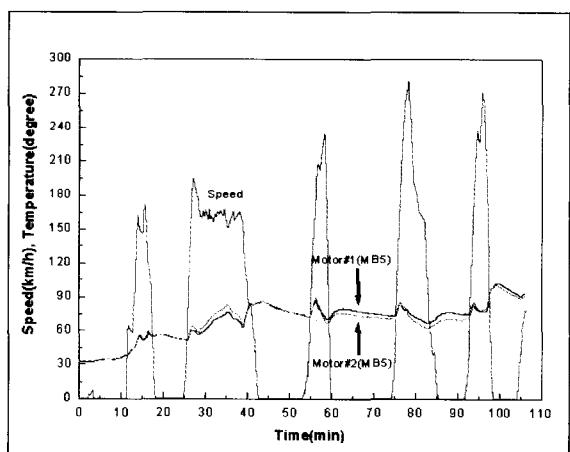


Fig. 17 Temperature of Traction motor

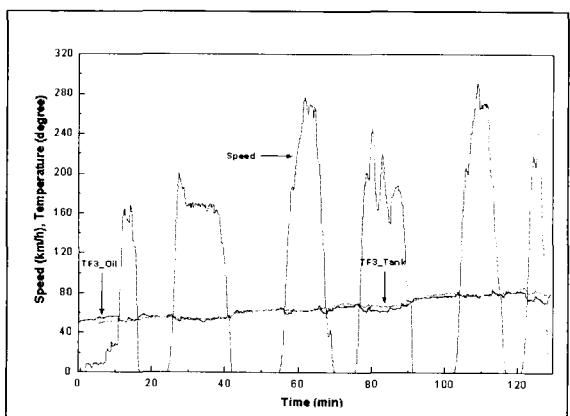


Fig. 18 Temperature of Main transformer

량 고조파의 특성을 계측한 결과로 KTX와 비교하여 도식하였다. Fig. 17과 Fig. 18은 전기장치의 핵심부품인 전동기와 Transformer의 온도를 측정한 결과이며 속도에 따른 변화를 계측한 결과를 보여주고 있다.

결 론

지금까지 한국형 고속전철의 기술적 특성 및 성능평가 결과를 KTX를 기준으로 비교 설명하였다. 이어지는 글에서 고속전철을 구성하는 몇몇 장치들의 특성에 대해서 좀더 자세하게 살펴볼 것이다. 고속전철에는 많은 기술이 깃들어져 있으나, 여러 장치들을 자세하게 살펴보지 못하여 아쉬움이 있다.

한국형 고속전철의 개발은 자동차나 가전제품으로 세계에 알려져 있는 우리의 기술이 철도기술도 세계적인 수준과 도달하였음을 보여주는 결과이다. 철도는 100년의 긴 역사에도 불구하고 낙후된 기술수준을 보이고 있었으나, 이제는 KTX 개통과 더불어 미국보다 앞서 고속철도 보유국이 되었으며, 우리 기술로 고속전철을 설계하고 제작할 수 있는 기술 자립국에 도달함으로써, 이제는 우리나라의 철도기술을 세계에 선보일 시기가 다가오고 있음을 실감한다. 한국형 고속전철은 KTX의 이전기술을 바탕으로 시작하였으나, 앞에서 살펴본 바와 같이 많은 부분이 개량 발전되었으며, 꾸준한 안정화 연구를 통해 기술을 완성하면 국내외 고속철도 시장에 참여 할 수 있을 것이다. 아울러, 우리나라의 철도기술도 반도체 기술과 같이 선진 대열에서 기술을 이끌어 갈 수 있도록 참여하고 있는 기술진의 지속적인 노력과 정부·기업체 등의 연구에 대한 과감한 투자가 있어야 할 것이다.