

# 한국형 고속전철 개발과 발전 전망

송 달 호\*

(한국철도기술원 원장)

## 1. 머리말

올해 4월 1일부터 우리나라도 21세기 철도기술의 꽃으로 불리는 고속철도가 승객들을 위한 상용 서비스에 들어갔으며, 우리나라 교통의 대 변혁을 예고하고 있다. 또한 경부고속철도 건설로 다진 노하우는 향후 한국 철도 산업의 중흥을 다지는 기반이 될 것이며 시속 350km의 속도를 보유한 차세대 한국형 고속철도 차량의 제작을 성공시킨 우리의 기술진들은 앞으로 중국대륙과 유라시아 대륙으로의 진출을 꿈꾸며 고속철도의 개통을 기다려 왔다.

필자는 1992년부터 직·간접적으로 고속철도 사업에 간여하면서 “고속전철기술개발사업”을 기획하고, 순수 우리기술로 개발한 차세대 한국형 고속전철로 작년 9월 17일 경부고속철도 시험선구간(대전~천안구간 52.7km)에서 시속 300km를 돌파하기까지 전 과정을 지켜본 한 사람으로서, 그 소감을 간략하게 기술하고자 한다. 또한 4월 1일부터 운행하는 KTX와 지난 7년간 각고의 노력과 우리 엔지니어의 꿈과 자존심으로 개발한 차세대 한국형 고속전철에 대하여 간단히 소개하고 그동안 수행되었던 각종 시험평가 결과에 대하여 개략적으로 설명하고자 한다.

## 2. 차세대 한국형 고속전철기술개발의 배경

필자는 1996년 7월에 경주에서 개최된 APCFS '96(1996년도 아태 피로강도학술대회)에서 “An Engineer's Dream - Korean Next Generation High Speed Railway System”이라는 제목으로 keynote 강연을 한 바 있다. 이 강연에서는, 당시 정부에서 착수 여부로 논란이 있던, 독자 개발에 의한 차세대 한국형 고속전철 시스템에 대해서 설명하였다. 논란은 있었지만, 어쨌든 한국형 고속전철시스템 개발은 “고속전철기술개발사업”이라는 이름하에 G-7 선도기술 개발사업의 일환으로 1996년 12월에 착수되었다.

필자는 1992년 초부터 시작된 경부고속철도에 채택될 차량형식의 선정에 참가하여 국내 기술진의 책임자 역할을 하였다. 선정평가에서 일본의 신간선, 프랑스 TGV, 독일 ICE 중에서 TGV가 선정되었다. 선정평가 항목은 크게 재무성, 경제성, 기술성, 기술이전의 네 가지이었다. 이 중에서 기술성 및 기술이전의 평가가 기술진의 몫이었다. 일본의 신간선은 막 운행을 시작한 도카이도(東海道) 신간선의 “노조미”이었는데, 최고운전속도가 270 km/h로서 TGV나 ICE에 비해서 속도가 낮았다. 또한, 당시 한일 무역역조가 100억불을 넘고 있었음에도 불구하고 기술이전에 매우 소극적이라고 판단되었다. 따라서 기술성 및 기술이전에 미흡하다고 판단되어 일찍 경쟁대열에서 제외되었다. 기술진이 평가한 기술성 및 기술이전에서는 ICE가 우위를 보였다. 그러나 재무성과 경제성에서 우위를 보인

\* 한국철도기술연구원장

E-mail : dhsong@krii.re.kr

Tel : (031)460-5100, Fax : (031) 460-5109

TGV가 결국 경부고속철도의 차량형식 우선협상대상 기종으로 선정되었다.

차량형식 선정평가에 참여했던 나로서는 오히려 TGV의 선정이 우리에게만 잘 되었다고 생각하였다. 왜냐하면, ICE의 기술은 당시 국내 기술수준으로는 따라가기에 너무 벅찬 일면이 있었다. 일례로, ICE 전두부에는 전두부의 내부로 공기 유입구들이 있는데, 이들은 전두부의 형상과 내부 전장품들에서 발생하는 열을 동시에 고려하여 설계된 것이라는 설명으로, 국내에 들여올 ICE 차량의 전두부를 수정하기가 거의 불가능해 보였다. 그에 비해서 TGV의 전두부는 전두부 형상의 공기역학적인 면만 고려하면 설계할 수 있어서 전두부 형상의 설계를 수정할 수 있을 것이라는 판단이었다. 그리고 기술이전에 있어서 TGV가 폐쇄적이고, ICE가 개방적이란 점에서 ICE가 좋은 점수를 받았지만, TGV가 선정된 마당에는 기술개발의 입장에서는 TGV가 더욱 낫다고 생각하였다. 왜냐하면 기술이전의 국내 주체에 국내 연구진이 거의 배제되어 있었고, TGV의 폐쇄성을 고려하면, 국내에서의 기술개발 필요성이 더욱 중요시될 것이라는 판단이 있었기 때문이다.

기술개발의 필요성을 과학기술부에 개진하여 지원을 얻어 “고속전철 설계기술 개발”을 위한 기획사업을 1993년 9월에 착수하였고, 정부출연연구원의 연구원을 중심으로 산학연의 약 200명이 참여한 연구기획보고서를 1994년 8월에 과기부에 제출하였다. 이를 기본으로 하여 12월에는 조그만 규모이지만 과기부 특정연구개발사업으로 “고속전철 설계 기술개발”에 착수할 수 있었다.

1995년에 들어와서는 1992년에 시작한 G-7 사업을 추가 선정한다는 정부 방침에 따라 고속전철 기술개발사업을 G-7 사업으로 추진하기 위하여 노력하였다. 그러나, 추진 주관부서 문제로 G-7사업으로의 선정이 늦어지다가 1996년 9월경에 건설교통부와 상공부가 공동주관하고, 과기부가 협조부서로, 한국고속철도건설공단이 총괄주관기관으로 추진체제로 정리되면서 1996년 12월에 G-7사업으로 착수하게 되었다. 이 G-7 사업의 개발 목표는 필자가 2년 전에 작성한 연구기획보고서에서 결정한 설계사양을 갖는 차량을 개발하는 것이었다. 목표가 설계기술개발에서 차량 개발 및 인프라 시스템 기술개발까지 확대된 것이다. G-7 사업에서 개발하려는 차량의 설계사양을 검토함에 있어서는 일부분에서 차량을 동력집중식이 아닌 동력분산식으로

해야 한다거나 대차를 관절형이 아닌 재래식으로 하여야 한다는 등의 개발 목표 사양에 대해서 이견이 있었으나, 시간이 지나면서 이들 제안이 비현실적이라는 점에서 고려하지 않게 되었다. 이외에도 연구추진 상에 많은 논란이 있었으나 국내 각 분야 전문가로 구성된 전문위원회와 사업의 최고 의사결정기구이었던 총괄운영위원회에서 사업의 현실적 성공 가능성을 판단하여 신속히 정리하여 효율적으로 추진될 수 있도록 하였다.

필자는 G-7 사업이 착수되면서 설계만을 담당하게 되었으나, 차량 개발과제에도 위탁과제의 형태로 참여하였다. 구조강도설계, 차량동역학적설계, 공력설계, 실내소음저감설계, 충돌안전도해석 및 설계 등이 나의 과제에서 수행되었다. 공력설계는 이동호 교수님께서 위탁과제 책임자로서 수고하셨고, 충돌안전도 해석 분야에서 한동철 교수님께서 많은 도움을 주셨다.

이후에 2002년 1월 필자가 한국철도기술연구원 에 원장으로 부임할 무렵에는 거의 차량 개발이 완료된 상태이었고, 고속전철시스템 개발의 마지막 단계인 시운전을 앞에 두고 있었다. 많은 분들이 필자가 철도연의 원장으로 부임한 것에 대해서 “G-7 사업의 성공적인 마무리를 하라는 운명”이라고 격려해 주셨고, 나로서도 연구원의 여러 가지 업무중에서 G-7 고속전철사업에 대해서 최우선적인 고려를 하였던 것도 부인할 수 없다. 이는 내 개인이 시작한 연구개발 사업이었다기보다는 철도 기술의 최상위 기술개발에 도전하는 것이었기 때문이다. 그리고, 이 당시에는 철도기술연구원에서도 G-7사업의 성공이 연구원을 포함한 전 직원 모두의 꿈이 되어 있었기 때문이다. 또한, TGV를 선정할 때에 역사문서 등에서 보는 것처럼, 기술이 없으면 무한한 수모를 무릅써야 한다는 현실을 TGV를 능가하는 한국형 고속전철을 우리 기술인의 손으로 보란듯이 개발하여 국가적 수모를 조금이나마 만회하고 싶다는 자존심 때문이었다.

### 3. 한국형 고속전철과 KTX의 주요특성 비교

한국형 고속전철은 KTX의 기술을 활용하여 독자적으로 개발되었으나, Table 1에 나타낸 바와 같이 상당히 많은 부분에서 기술적인 차이를 갖고 있다. Fig. 1은 두 차량의 전두부 외형을 보여주는 사진으로, 이들 차량에 대한 주요 특성을 비교해보면 KTX는 주행속도 300 km/h(최고속도 330

km/h)의 영업운전을 위해 개발된 차량으로 편성은 20량 고정편성이고, 추진장치로는 동기식 전동기, 객차 차체 재질은 마일드 스틸(Mild steel)로 되어 있는 반면에 한국형 고속전철은 주행속도 350 km/h(최고속도 385 km/h)의 영업운전을 위해 알루미늄 압출재를 이용한 차체, 유도전동기에 의한 추진장치, KTX에는 적용되어 있지 않는 와전류 제동장치와 여압장치 등의 새로운 기술을 적용하였다. 또한, HSR 350x는 고정편성이 아닌 20량, 11량 가변 편성을 할 수 있도록 하여 차량 편성의 유연성을 확보하도록 하였다. Table 2는 두 차량에 대한 상세 성능을 비교한 것이며 HSR 350x와 KTX의 차이점을 좀더 세부적으로 살펴보기 위하여 차량기계와 전기 분야로 나누면 다음과 같다.

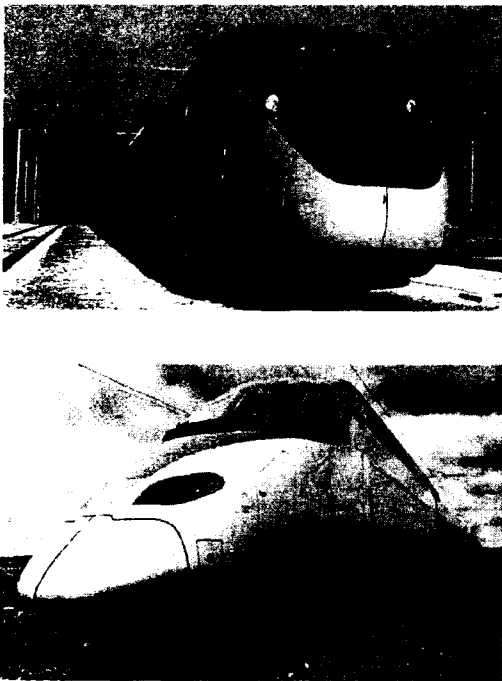


Fig. 1 HSR 350x proto-type and KTX

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 설계	한국형 고유 형상
제동시스템	마찰 + 전기제동	와전류제동 추가 개발
여압장치	없음	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 <sup>2</sup> )	0.073	0.056	0.212

### 3.1 차량 기계

HSR 350x는 Fig. 1에서 보여준 바와 같이 공력 해석과 충돌해석을 통해 차량의 안전성을 확보함과 동시에 고유 형상을 갖도록 전두부 형상이 설계되었다. Fig 2와 같이 객차의 차체는 알루미늄 압출재를 사용하여 차량의 경량화를 추구하고였고 제동시스템은 350 km/h의 영업속도에서 안전하게 정착할 수 있도록 KTX에서 채택하고 있는 제동장치(기계제동: 디스크, 답면, 전기제동: 회생, 저항)에 휠 디스크제동과 와전류 제동장치를 추가하였다. 판토그래프는 KTX에서 적용한 GPU 판토와 비슷한 형식으로 국내에서 자체 설계 제작되었다. 또한, 터널에서 승객에게 발생할 수 있는 이명현상을 방지하기 위한 여압장치가 추가되었다.

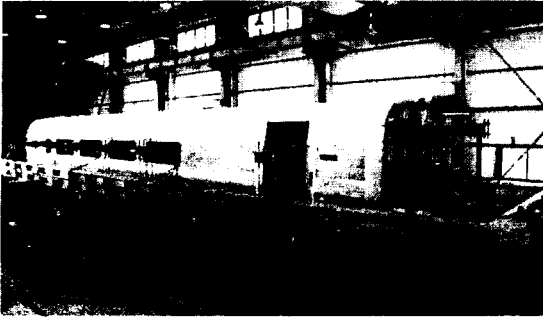


Fig. 2 Aluminum Carbody for HSR 350x

### 3.2 차량 전기

HSR 350x는 주전력 변환장치의 전력소자를 위해 최첨단 IGCT를 세계최초로 철도분야에 적용하였고, 차량의 유지보수를 원활히 하도록 유도전동기를 사용하였다. 제어분야는 PWM제어와 VVVF 제어를 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, Table 4는 HSR 350x와 KTX의 전동기를 비교한 것이다. 또한, 운전자가 열차상태 및 운전상태를 쉽게 판단하도록 국제표준인 TCN (열차통신네트웍)을 통해 열차의 모든 정보를 운전자가 모니터링할 수 있도록 되어있다. Fig. 4는 HSR 350x의 운전실을 나타낸 것이며, Table 5와 Table 6은 HSR 350x와 KTX의 제어시스템과 컨트롤러 패널을 비교한 것이다.

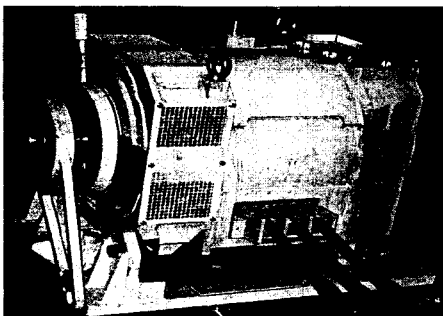


Fig. 3 Motor for HSR 350x

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

구분	HSR-350x	KTX	
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	탱크 침전식
	제어방식	VVVF 가감속제어, 회생제어	좌동
	스위칭주파수	480Hz	200Hz

Table 4 Detailed features of motor for HSR 350x and KTX

구분	HSR-350x	KTX
형식	유도전동기	동기전동기
정격[kW] (전압, 전류)	1,100 (2,183V, 349A)	1,130 (1,352V, 631A)
극수	6극	6극
회전수[rpm]	4,300	3,937
기어비	2.012	2.179



Fig. 4 Driver's desk for HSR 350x

Table 5 Detailed features of control system for HSR 350x and KTX

구분	HSR-350x	KTX
Network	- 차량내 MVB Network, - 차량간 WTB Network로 구성된 TCN적용	TORNAD Network 적용
열차상태 및 고장기록	SCU Memory	MPU Memory 및 별도의 Tape Record

Table 6 Detailed features of control panel for HSR 350x and KTX

구분	HSR-350x	KTX
고장진단모니터	고장진단 모니터 현시	
열차상태	열차상태 모니터 현시	가선전압계, 견인/전기제동 전류계 등 개별 현시
ATC/ATS	ATC/ATS 모니터 현시	열차속도, 제한속도 등 개 별현시

#### 4. 시험 및 결과

7량 1편성으로 제작된 HSR 350x 시제차량의 기  
능과 성능이 설계 요구사항에 만족되는 지를 판단  
하기 위해 공장 내 시험과 열차 시운전 시험이 수  
행되었다. 공장 내 시험은 각 구성부품의 단품 및  
조립시험, 편성시험 등으로 Fig. 5에서 보는 바와  
같이 각종 차량에 대해 총 4,386 항목의 시험이 실  
시되었으며, Fig. 6과 같이 이중 약 67%가 기능동  
작 시험으로 가장 큰 비중을 차지하였다.

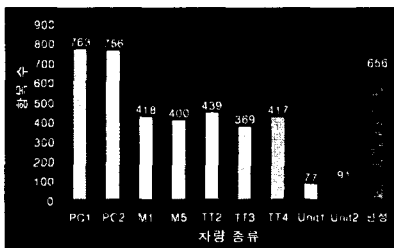


Fig. 5 Test items in the factory

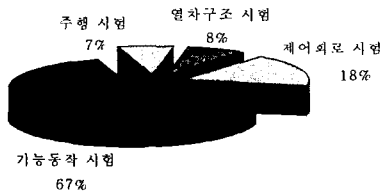


Fig. 6 Percentage for each test performance in the factory test items

시운전 시험은 경부 고속철도 시운전 구간인 동  
서울역 기점 95 km 지점 (천안역사) ~ 136 km  
지점 (문곡)의 총 41 km 구간에서 주로 수행되었  
으며, 동대구-부산, 서대전-목포 구간에서 기존선  
연계 시험도 실시되었다. 총 시험횟수는 70회, 주  
행거리는 15,000 km, 최고속도는 310 km/h까지 실  
시되었다. 시운전 시험은 주행성능, 대차 및 차체  
진동성능, 제동성능 등이 포함된 16개의 성능 (세  
부시험 45개)을 확인하기 위해 차상 시험 (열차 내  
부, 11개 성능의 31개 세부시험)과 지상 시험 (열  
차 외부, 5개 성능의 14개 세부시험)으로 구분되어  
실시되었고, 전체적인 계측항목은 약 80개로 약  
450개의 계측신호들이 측정되어 한국형 고속철도  
시제차량의 성능평가에 사용되었다. 시운전 시험을  
위한 계측은 상시계측과 비상시계측으로 분리되어  
수행되었고 상시계측용으로 차량에 전용 분산형  
계측시스템을 설치 운영하였다. Fig. 7은 분산형  
계측시스템의 개략도를, Fig. 8은 분산형 계측시스  
템의 일부를 보여준다.

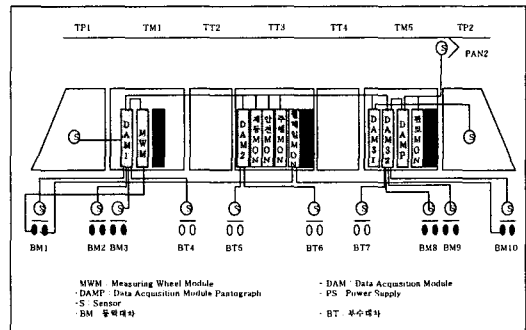


Fig. 7 Schematic diagram of measuring system for on-line test

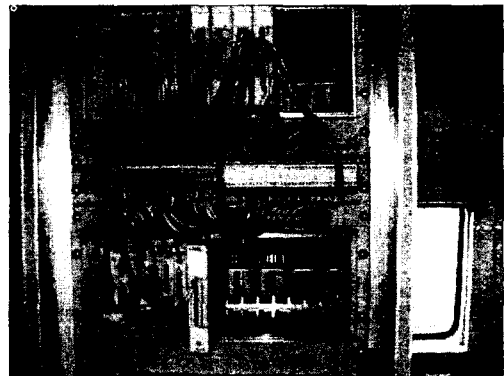


Fig. 8 Measuring system(DAM1) for on-line test

또한, 시운전 동안에 휠과 레일, 전차선과 판토그래프의 운동상태를 Fig. 9 및 Fig. 10과 같이 실시간 모니터링을 할 수 있도록 차량에 카메라가 설치되어 있다. Fig. 11은 차량 외부 소음을 측정하는 장면을, Fig. 12는 견인력을 측정하는 장면을 나타낸 것이다.



Fig. 9 Monitoring system system for wheel and rail

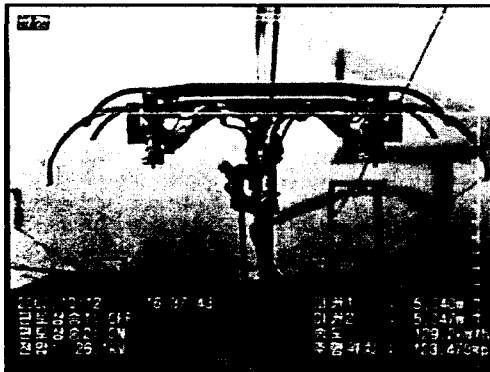


Fig. 10 Monitoring system system for contact wire and pantograph

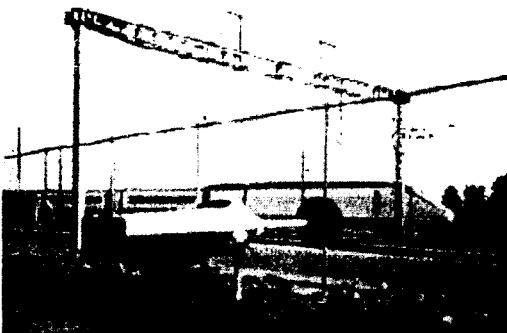


Fig. 11 Experimental set-up for external noise

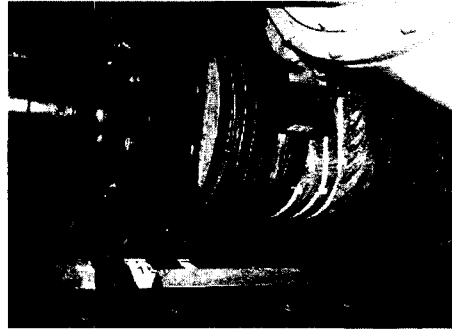


Fig. 12 Experimental set-up for traction effort

Fig. 13 ~ Fig. 24는 시운전시험에 대한 실제 측정결과와 일부의 일부를 나타낸 것으로 대부분의 측정결과가 기준치 이내로 현재까지의 주행속도에서는 HSR 350x가 열차 및 승객의 안전에 문제가 없는 것으로 판단되었다.

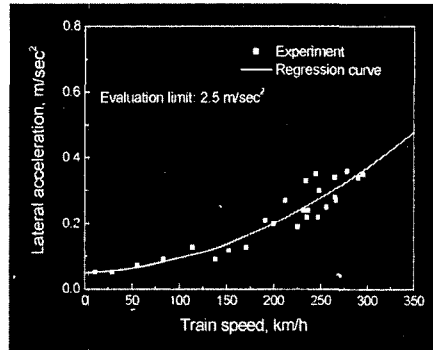


Fig. 13 Lateral acceleration on the bogie for HSR 350x

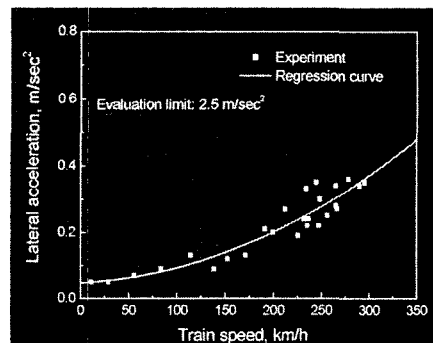


Fig. 14 Lateral acceleration on the body for HSR 350x

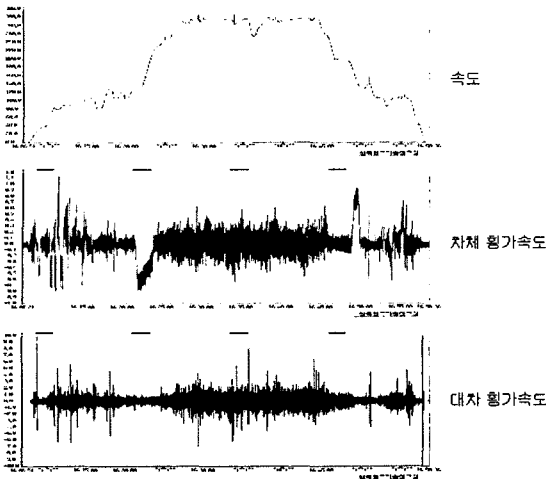


Fig. 15 Lateral acceleration on the body and bogie for KTX

Fig. 13 ~ Fig. 14는 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. 또한 Fig. 15는 광명-대전 구간에서 측정된 KTX 계측 결과를 보여 주고 있으며 역시 양호한 수준으로 판단되고 있다.

다음은 간이 소음계를 이용하여 측정한 결과를 Fig. 16 ~ Fig. 17에서 보여주고 있으며 전체 고속선에서의 측정결과를 개활지와 터널로 구분하여 속도에 대한 소음레벨을 도식하였다.

전체적으로 300Km/h속도까지는 기준을 만족하고 있는 것으로 나타나고 있으며, 참고로 Fig. 18에서 KTX에서 측정한 소음수준을 속도 프로파일과 함께 도식하였다.

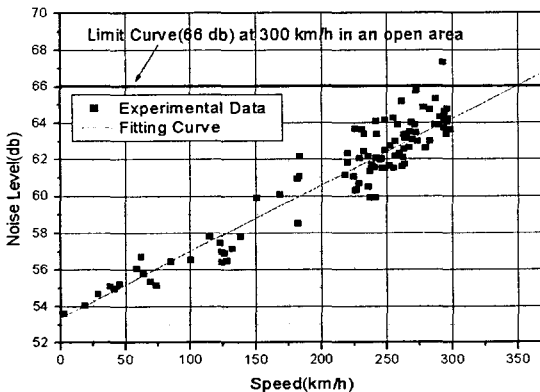


Fig. 16 Internal noise in the open areas for HSR 350x

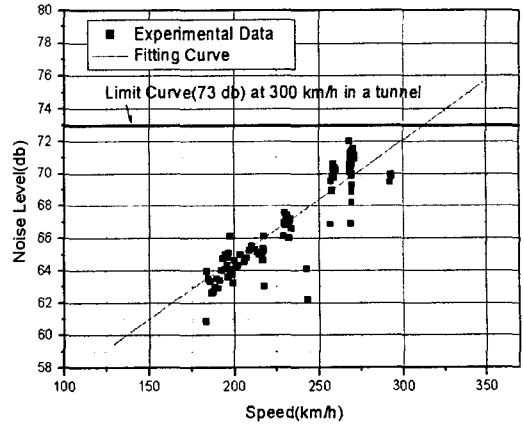


Fig. 17 Internal noise in the tunnels for HSR 350x

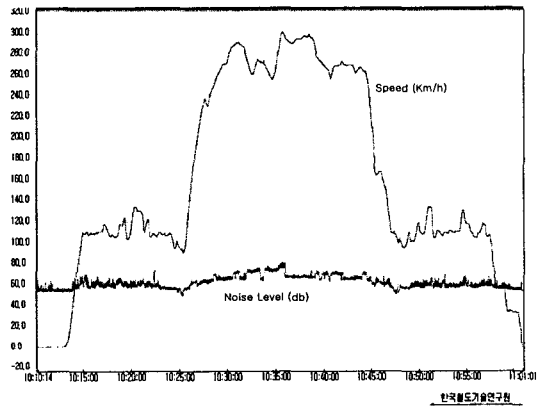


Fig. 18 Internal noise level for KTX

다음으로 Fig. 19에서는 경부 고속신선에서 측정된 UIC 513에 의한 승차감을 평가한 내용이며 Fig 20은 레일분야에서 측정한 주행시의 레일에서 받는 하중을 평가한 내용을 보여주고 있다. 또한 Fig. 21에서는 차량 고조파의 특성을 계측한 결과로 KTX와 비교하여 도식하였다. Fig. 22 ~ Fig. 23은 전기장치의 핵심부품인 전동기와 Transformer의 온도를 측정한 결과이며 속도에 따른 변화를 계측한 결과를 보여주고 있다. Fig. 24는 고속전철의 집전장치의 측정결과를 보여주는 그래프로서 판토품과 가선간의 압상력을 속도에 따라 도식하였으며 판토품의 진동특성도 함께 보여주고 있다.





## 5. 한국형 고속전철의 발전전망

한국형 고속전철은 KTX의 이전기술을 바탕으로 시작하였으나, 앞절에서와 같이 거의 모든 부분이 개량 발전되었다. 그동안 국내에서는 200km/h급의 기술력이 없이 곧바로 300km/h 고속철도로 가면서 놓쳤던 기술력을 중간진입단계 기술전략에 의하여 개발에 성공함으로써 이제는 우리나라도 국내외 고속철도 시장에 참여 할 수 있는 길을 열어놓았다.

그동안 철도에는 관심이 없었던 미국은 9.11테러 이후에 Fig 25와 같이 14개 노선의 고속철도 건설을 계획하고 있다. 또한 작년 10월 미국의 Florida 고속철도에서 우리나라가 참여한 Global Rail 컨소시엄의 선전은 앞으로 미국시장에서의 경험을 축적하였으며, 무한한 우리의 참여가능성을 볼 수 있었다.

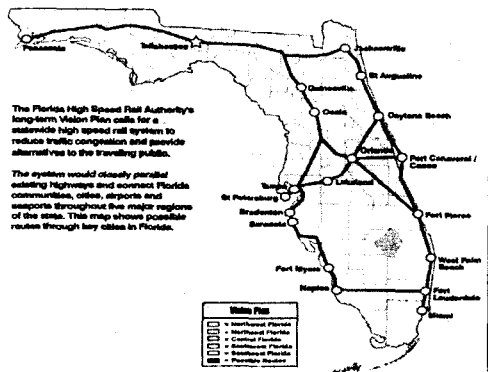
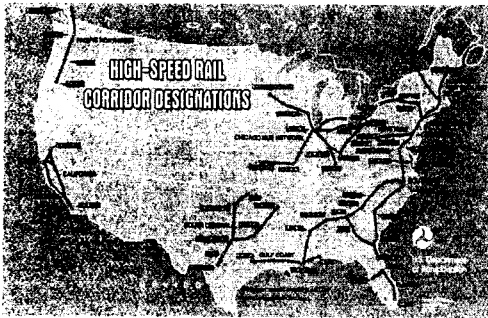


Fig. 25 High Speed Rail Plan of USA and Florida

중국은 북경에서 상하이까지 1,200km의 고속철도 건설을 2010년까지 건설하기 위한 계획이 막바

지 작업에 있다. 그리고 터키와 말레이시아 등도 고속철도 건설계획의 타당성을 조심스럽게 확인하고 있으므로 앞으로 고속철도 시장은 더욱 넓혀질 것이 자명하다.

고속철도의 해외시장 참여를 위하여 우리는 가장 먼저 우리나라에서 개발된 HSR 350x가 국내에서 적용되어야 해외에서도 신뢰할 것이다. 그러므로 국내에서도 호남선이나, 전라선 등이 검토되고 있으므로 조만간 이러한 계획은 현실로 나타날 것이다. 이를 위하여 기술적으로 더욱 신뢰성을 확보하고, 안전성을 검증하는 하는 것이 우리로서는 가장 시급한 일이다. 그럼으로 앞으로 2007년까지는 현재의 기술개발 프로그램에 따라서 착실히 진행하여야 한다.

## 결 론

벌써 4월이 되어 TGV를 기반으로 한 KTX가 개통되었다. 또한 우리의 손으로 개발한 한국형 고속전철도 속도를 더욱 증속하여 올 상반기 중에는 350km/h 이상으로 질주할 것이다. 우리나라는 경부고속철도 건설로 얻어진 고속철도 건설, 운영 및 유지보수기술에 더해 원천설계기술과 핵심부품 개발 및 차량제작기술 등을 자체 개발함으로써 명실상부하게 세계 5번째 고속철도 기술 보유국으로 자리매김 하는 성과를 이루었다. 이에 자만하여 기술개발을 게을리 하면 자칫 실용화를 보지 못하고 그동안의 개발된 기술은 사장될 수도 있다. 그러므로 우리 철도기술연구원은 우리 손으로 개발한 한국형 고속전철 HSR 350x의 시운전을 계속하여, 2007년까지는 국내에서 실용화하도록 노력할 것이다. 우리 철도기술연구원 모든 임직원의 꿈의 결실인 HSR 350x을 끝까지 잘 마무리할 것을 약속드리며, 앞으로 저희의 꿈이 실현될 때까지 지속적인 지도편달과 성원을 부탁드립니다.