

차세대 고속철도기술개발사업 추진방향

A progressive course of the Next Generation High-Speed Rail Development Project

김기환* 박찬경** 김석원**
Kim, Ki Hwan Park, Chan Kyoung Kim, Suk Won

ABSTRACT

Since 1996, the G7 R&D and High-Speed Rail development project have been accomplished and it will be completed in 2007. During that time, we have achieved the origin design technique based on technique development experience. However, in order to magnify and to promote the growth of the origin design technique for railway industry to be a growth motive industry in future from intensive speed elevation and new technique competition of advanced nations, we need to prepare the next generation high-speed rail technique and to sustain expansion of the technique with getting hold of new technique tendency of the world. Therefore, this paper make research into necessity of the next generation high-speed rail development project, making an analysis of foreign countries cases and forward plan.

1. 서 론

경부고속철도 건설과 함께 1994년 프랑스로부터 핵심부분의 기술이전 계약이 체결됨으로서, 이전 자료와 기술을 국내에서 효과적으로 소화 흡수하고 이를 기반으로 고속철도시스템을 독자 개발하기 위해 '96년 12월부터 건설교통부를 주관부처로, 산업자원부와 과학기술부를 협조부처로 하는 G7 선도기술개발사업인 고속전철기술개발사업이 착수되었다. 이 사업을 통해 7량 1편성의 한국형 고속열차 시제열차가 개발·제작되었고, 후속으로 2002년 12월부터 5년간 한국형 고속열차의 신뢰성을 확보하고 실용화에 대비해 성능을 안정화시키기 위한 고속철도기술개발사업이 철도기술연구원의 총괄아래 진행되고 있다. 한국형 고속열차는 국내에서는 최초로 최고속도인 352.4km/h를 달성하고, 15만km 시험주행을 실시하고 있다. 이러한 성과를 바탕으로 한국철도공사의 호남선·전라선 신규 고속열차 구매사업에서 계약이 체결되는 등 가시적인 성과를 거두게 되었다. 따라서, 개발된 기술을 바탕으로 더욱 발전시켜 향후 국내외 시장에서의 주도권을 확보하기 위해 노력해야 한다. 우리 고속철도기술 분야도 한국형 고속열차 개발을 통해 원천설계기술이 이미 확보되었으므로 더욱 확대 발전시키고 선진 철도국들의 치열한 속도향상과 신기술 경쟁환경에서 철도산업을 지속가능한 미래 성장동력산업으로 발전시키기 위해서는 세계의 고속철도 기술발전 동향을 파악하고 국가철도경쟁력을 향상시킬 수 있는 차세대 고속철도 기술의 개발 및 확보가 과거 어느 때보다 시급히 요구되고 있다.

* 김기환, 회원, 한국철도기술연구원, 고속철도기술개발사업단

E-mail : khkim@krri.re.kr

TEL : (031)460-5601 FAX : (031)460-5649

** 한국철도기술연구원, 고속철도기술개발사업단

2. 세계 각국의 기술개발 현황

2.1 일본

일본은 고속철도의 선두주자로서 1964년 신간선이 개통된 이후 총 11종류의 차량이 개발되어 시속 200km/h 속도에서 300km/h로 끌어올려 운행하고 있다. 이를 위하여 일본의 고속열차 기술개발은 1960년대 이후 20여 년간의 경험과 기술축적을 바탕으로 1980년대 중반부터 신간선의 속도를 210km/h에서 270km/h대로 향상시켰듯이 궁극적으로는 최고운행 속도를 300km/h로 끌어올리기 위하여 많은 연구를 추진하여 현재는 상업 운행에 들어갔다. 신간선의 속도향상을 위한 주요 연구개발 분야는 차체 및 시스템의 경량화, 스프링하 질량의 경감, 차체의 공기역학 연구, 터널 형상개선, 판토틀라프 집전성능과 내마모성 향상과 소음의 감소, 부분 동력집중식의 채택 가능성 검토, 유도 전동기, 제동장치의 개선, 차륜의 진동소음 감소, 환경진동/소음 저감, 열차편성 및 운행편수의 최적화, 보수유지 주기의 연장방안 등이 주요한 연구 분야이며 현실적으로 가장 큰 애로기술은 환경소음 저감기술인 것으로 알려져 있다. 또한, 일본은 겨울철 눈이 많은 환경을 고려하여 설해대책에 관한 연구개발에도 힘을 기울이고 있다. 특히, 일본의九州 신간선 800계 신간선 열차와 별도로 JR-東日本이 2005년 6월 개발을 완료하여 현재 시험 중인 시험열차로 “FASTECH 360”이 있다. 신간선 고속화 프로젝트¹⁾로 고속성, 신뢰성, 환경적합성, 쾌적성 등에서 최고수준의 신간선을 목표로 하여 개발하여 지난해에는 400km/h까지 시험운행을 실시하였다.



그림 1 FASTECH 360 E954(측면)



그림 2 FASTECH 360 E955(정면)

2.2 프랑스

프랑스는 1981년 TGV-PSE 개발 이후 6종류의 차량이 개발되었으며, 속도도 초창기의 270km/h에서 300km/h로 증속하여 운행하고 있다. 2003년에는 그동안의 경험을 바탕으로 프랑스 동부 고속선 프로젝트에 투입이 가능한 320km/h 영업운행용 고속열차 TGV-POS(Paris~Ostfrankreich~Suddeutschland)를 개발 하였으며, 2007년 개통될 파리에 동 프랑스를 거쳐 독일에 이르는 LGV East 노선 투입을 위해 시험운행 중이다. 프랑스는 TGV의 최대장점인 관절형인 연결대차를 살려서 개발 중에 있으며, 최근에는 각각의 전동기가 독립구동으로 하고 있으며, 동력분산형 추진시스템을 갖는 관절형인 AGV 열차²⁾도 2004년 개발하여 시험운행 중이다.



그림 3 알스톰에서 개발중인 AGV

2.3 독일

독일은 1992년 ICE 고속철도의 개통이후 14년간 3종류의 차량이 진화되어 왔다. 독일도 지속적인 속도향상이 목표였으며, 프랑크푸르트~켈른 구간의 구배와 속도향상을 위하여 ICE 3가 개발되어 투입되었다. 또한 최근에는 미래형 ICE-3 성능향상 개발계획을 발표하여 350km/h의 최고속도를 갖는 그림 4와 같이 Velaro라는 차량을 개발 하여, 안락한 승객환경과 고급스런 인테리어를 자랑하며 전 세계 시장을 목표로 홍보에 열중하고 있다. Velaro E Version 고속열차는 스페인 RENFE로부터 마드리드-바르셀로나-프랑스 국경에 이르는 625km 노선을 2시간 30분 이내로 주행하기 위하여 16 편성을 2001년 7월부터 제작에 착수하였으며, Siemens는 ICE 3 기술을 이용하여 현존하는 전 세계 고속열차 상업차량 중 최고의 차량으로 개발 중에 있다. 이 차량은 동력 분산식을 채택하여 최대출력 8,800kW로 350km/h를 주행할 수 있으며 8량 1편성으로 제작되고 있다. 또한 GSM-R-Stanford에 기초한 유럽 신호 표준인 ETCS Level 2를 적용함으로써 전 유럽지역에 적용할 수 있다. 차량 제어신호는 가장 선진화된 표준인 2중 안전구조를 갖는 TCN(Train Communication Network)을 채택하고 있으며 중련 편성 운행에 대한 제어도 가능토록 설계 되었다.



그림 4 Siemens의 Velaro E 고속철도

3. 기술개발 방향

앞 절에서와 같이 해외철도는 2000년 이후 해외의 차량개발 동향은 수송용량 증대와 고속화에 초점이 맞추어져 있다. 속도향상이라는 기본 목표를 달성하기 위해 대부분의 국가에서는 그림 5와 같이 동력 분산식 추진시스템으로 갖고서 크게 3가지 방향으로 추진되고 있다³⁾.

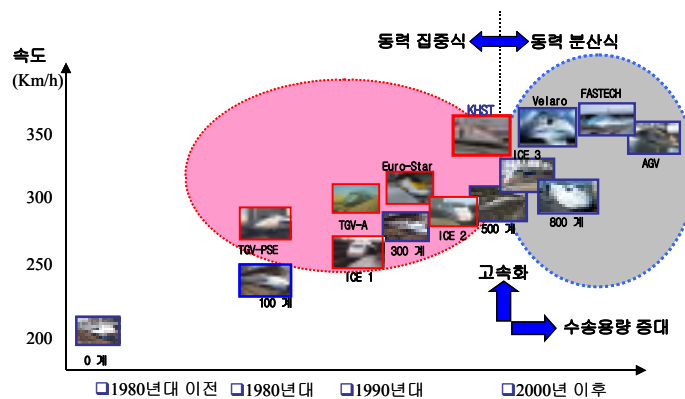


그림 5 국내외 고속차량의 기술개발현황

첫째는 속도증가에 따른 궤도 부담하중의 최소화를 위해 축중의 감소와 경량 차량의 개발에 노력하고 있다. 이는 차체 경량화를 기초로 대차, 전장품, 윤축 등의 경량화를 병행 추진함으로써 알루미늄 차체, 복합재료 적용의 확대, 소형 대용량의 부품개발, 구성부품의 단일화 등 복합적인 방안을 적용하고 있다. 둘째는 기존선 구간 운행을 위해서 현재까지는 Tilting시스템이 적용 가능한 대안으로 제시되고 있으나, 향후 틸팅 시스템보다 더욱 향상된 시스템 적용이 가능한 선로 최적 적응시스템의 개발, 도입이 예상된다. 고속철도는 고속 선선에서 최고속도로 주행하고 있지만, 기존에 구축된 선로를 최대한 이용하는 방안이 철도운용의 수익성 측면에서 뿐만 아니라 승객의 서비스 향상을 위하여 점차 확대되고 있기 때문에 고속선 운행속도 단축의 장점을 최대한 살리기 위해 기존선에서 선로 최적적응시스템을 도입함으로써 전체 노선의 속도향상을 도모하고 있다. 셋째로 차량의 유지보수 비용 최소화과 운용효율성 증대를 위한 동력장치 등의 표준화된 모듈시스템의 적용을 들 수 있다. 이는 ICE계열 차량은 ICE 3와 호환성을

위한 모듈시스템 도입이 있으며, 성능 향상을 위해 개발되는 차량은 기존 운용차량과 최대한 운용 및 유지보수를 위한 호환성이 강조되고 이를 만족하는 차량으로 개발하려는 특징을 볼 수 있다. 따라서 앞으로 당분간은 기존선과 고속선에서 속도향상이라는 기본 목표를 향하여 계속될 것으로 보인다.

대부분의 철도선진국들은 기존의 300km/h에서 350km/h까지 고속철도의 속도향상을 위하여 노력하고 있다. 일본의 JR동일본은 2002년 4월 신간선 고속화 프로젝트를 착수하여 2005년 6월 FASTECH 360이란 시제 시험열차를 개발하여 400km/h의 시험을 함으로서 속도 360km/h급 상업운행 고속열차 기술을 확보하였음을 발표한 바 있다. 또한 프랑스와 독일도 세계 고속철도 시장에서 확보한 경쟁력 우위를 유지하기 위해 기존 자국의 TGV 시스템 또는 ICE 기술과 경험을 기반으로 차세대 고속열차인 TGV-POS 또는 AGV 열차나 ICE-3 열차 등 다국 간 고속철도 시대에 대비하기 위한 신기술의 고속열차를 개발하는 등 고속철도의 속도 향상을 위한 연구개발에 지속적으로 투자하고 있다.

경부고속선의 2020년도 1일 이용객은 15만 여명으로 추정되어 2005년도 현재 KTX의 1일 이용객의 2배에 달할 것으로 예상된다. 급증하는 여객 수요 해결을 위해서는 열차운행횟수의 증가가 필요하나 이는 선로용량으로 한계가 있다. 따라서 차세대 고속열차는 단계적인 속도향상과 대량 수송이 가능하도록 개발되어야 하며, 이용 승객수의 변화에 따른 유연한 대처가 가능한 편성으로 구성 가능하도록 하여야 한다. 이러한 요구 사항을 반영하기 위해서는 기존의 동력집중식 보다는 편성의 유연성이 큰 동력분산식 열차의 적용이 요구된다. 또한, 국내에는 2017년경 호남고속철도 건설이 완료될 예정이며 이에 따라 2016년경에 약 300량의 신규 고속차량 소요가 예측⁴⁾되고 있으며, 2020년 이후에는 현 KTX의 대체물량으로 최소한 920량 이상의 고속차량이 필요할 것으로 예측된다. 이와 함께 현재 고속철도건설을 추진 중이거나 혹은 계획 중인 중국, 미국, 브라질, 베트남 등 해외 고속철도 시장으로 진출하기 위해서는 프랑스, 독일, 일본 등 선진 철도국과 경쟁할 수 있는 신기술이 요구된다. 따라서, 국내 고속철도 기술개발을 위해 현재 개발된 한국형고속열차의 지속적인 성능 개량과 더불어 세계적인 기술발전 경향을 분석하고 국내의 시장 특성을 고려한 차세대 고속열차 기술의 개발은 동력분산식으로 추진하는 것이 필요하다.

4. 프로그램 및 추진체계

차세대 고속철도기술개발사업은 지금까지 개발한 경험과 연구개발사업의 추진체계에 따라 표 1과 같이 차세대 고속철도 시스템엔지니어링 기술개발, 차세대 고속철도 기반 기술개발, 분산형 차량 기술개발 그리고 선로구축물 유지보수 기법개발의 4개 연구과제로 구성³⁾하는 것이 바람직하다. 4개과제의 주요연구 내용을 살펴보면 다음과 같다.

표 1 차세대 고속철도 기술개발 프로그램 구성

분 야	중 분야
차세대 고속 철도 시스템 엔지니어링 기술개발	차세대 고속철도 기술 인터페이스
	시스템 엔지니어링 기술
	열차성능 및 안전성 평가 기술 개발
차세대 고속철도 기반기술개발	차량 설계 지원 기반기술 개발
	운용 효율화 기반기술개발
분산형 차량 차량기술 개발	차세대 고속철도 차량 시스템 엔지니어링
	분산형 차량 모듈 개발 및 시제차량 개발
	차세대 열차제어 시스템 개발
선로구축물 유지보수 기법 개발	고속철도 특수문제해결을 위한 선로구축물 기술개발
	차세대 저진동 궤도 및 특수 교량 통합설계 시스템 개발

먼저 시스템 엔지니어링기술개발과제에서는 기술적 인터페이스 구축이 요구되며, 그동안 개발된 각종 해석 tool을 통하여 개발할 차량과 시설물(전차선, 선로 등)과의 적합성을 검토하여야 한다. 이를 위해 각 세부 연구내용에 대한 전체적인 조정과 협조체계의 구축이 필요하다. 시스템엔지니어링 분야에서는 초기 차세대 고속철도 시스템에 대한 요구되는 기본사양을 종합적으로 검토하여 작성 및 결정하고, 설계 진행과정에서 필요로 하는 주행안전성과 전체 시스템에 대한 열차 성능 평가 검증을 위험요소 관리기법 체계 개발과 병행하여 수행토록 한다. 또한 각 개발 장치에 대한 설계를 초기부터 신뢰성을 기반으로 검증을 하도록 하며, 단위 부품 개발부터 시스템 조립 후 성능검증에 필요한 각종 성능시험을 주관하여 시행토록 하고 이에 대한 시험 절차서 종합 및 작성을 수행한다. 차량의 유지보수성을 확보하기 위해 초기 설계에서의 유지보수 개념이 확보되도록 설계에 반영하는 시스템적 접근을 연구하여 차량 제작 후 결함을 편리하게 확인할 수 있도록 한다.

기반기술과제는 한국형 고속열차 기술개발을 통하여 획득된 기술개발 결과를 최대한 활용하여 설계 및 시스템 분석에 활용토록 하여야 한다. 분산형 열차 시스템 개발에 따른 위험요소로서 고려되어질 수 있는 소음 진동저감 및 공력부분은 차량의 설계 시에 반영될 수 있도록 검토가 요구된다. 또한, 한국형 고속열차 개발에서 고려하지 못하였던 운영 효율화를 위한 차량 설계 연구가 심도 있게 진행되어야 할 것이다. 이에 따른 연구내용으로는 승객과 승무원 및 기장들의 편의성과 쾌적성이 고려되는 인간공학적 차량 공간 디자인 및 설계 기술개발과 유무선 IT를 적용하는 각종 운용기술들의 효율적 활용 기술개발 등이 기반기술로서 수행되어야 한다.

분산형 차량개발 분야는 본 사업의 핵심으로서 개발해야 할 단위부품이 많고 이에 대한 엔지니어링이 요구되기 때문에 차량개발에 필요한 각종 인터페이스를 조정하여야한다. 또한, 차량 설계에 대한 확인 및 검토와 단위 구성품에 대한 시험평가의 관리를 하여야 한다. 차량 시스템 엔지니어링 분야에서는 차세대 고속철도시스템 사양결정 및 기본설계를 지원하며 차량 운용환경조건 인터페이스에 필요한 기술들을 개발토록 한다. 분산형 차량개발은 한국형 고속열차에서 개발하였던 각종 부품 개발기술들을 분산형 시스템에 적용하기 위한 성능개량 기술개발이 요구되며, 2015년 이후 사용될 수 있는 첨단 기술들을 적용할 수 있도록 한다. 이를 위하여 견인전동기, 변압기, 컨버터, 인버터 등 추진제어장치는 작은 공간에서 장착할 수 있도록 소형화하고 고효율을 요구한다. 1대의 컨버터에 1대의 전동기가 구동되어야 함으로 견인전동기는 최소한 1대 이상 영구자석형 전동기가 개발되는 것을 목표로 하였다. 세계적 발전 추세에 있는 주행 동적 진동을 능동적으로 제어하여 승객의 승차감을 최적화 할 수 있는 고속용 능동형 현가장치를 개발하여 장착토록 하며, 운행 속도와 차량 하중을 고려하고 감속도를 제어하여 제동 시 승객의 승차감을 확보할 수 있는 지능형 제동장치를 개발토록 한다. 또한 차량의 전원공급을 담당하는 집전 시스템의 판토품과 집전판을 성능 개량하여 350km/h 이상에서도 집전능력이 떨어지지 않으면서 소음을 최소화 하도록 하여 안정적인 전원 공급과 전기적 위험요소를 최소화 할 수 있도록 한다. 2009년 이후에는 기존선 운행구간 및 주요간선 전철화 구간에 ATP신호(ATP : Automatic Train Protection)시스템 으로 개선하고 있기 때문에 기존에 개발된 ATC시스템과 ATP시스템을 동시에 수용할 수 있는 ATC/ATP/ATS 통합 하이브리드 열차제어시스템 설계/개발이 요구된다.

궤도하부의 궤도틀림 진전으로 인하여 열차가 고속주행하면서 심한 동요가 발생하고 이로 인하여 서행이 발생하고 있으며 이로 인한 유지보수가 크게 증가하고 있는 것이 현실이다. 따라서 선로구축물은 기존 선로의 유지보수기술개발에 중점을 두어야 한다. 특히, 고속주행시의 장파장 궤도틀림관리를 통해 선로의 진동과 유지보수비를 절감할 수 있는 기술개발과 이로 인한 궤도틀림 저감 및 관리가 필요하다. 그리고 2단계 고속철도 및 호남고속철도에 부설되는 콘크리트 궤도 부설구간에서 급격한 레일의 비정상 마모와 열화가 예측되고 있다. 그리고 궤도구조의 침하를 억제하고 궤도틀림 진전을 신속하게 보수하여 주행안전성 및 구조안전성을 확보 할 수 있는 급속 보강기술이 필요한 실정이다. 또한 고속철도의 주행시 발생하는 소음, 진동 저감을 위해 적합한 플로팅 슬래브 궤도기술을 국내 독자 개발 적용하여 원천기술 및 핵심 기술을 개발하고 한 차원 성능을 높인 시스템의 구현이 필요하다. 고속철도용 특수교량에 대한 통합설계 시스템 개발은 철도 토목구조 기술의 척도가 되는 장대 철도교량에 대한 기술력 확보라는 측면에서 국제 건설 환경변화에 대한 적극적 대처와 고속철도의 해외 진출 시 반드시 필요한 기술이다.

5. 결 론

철도의 선진국은 고속철도의 속도향상을 위하여 꾸준히 노력하고 있다. 기술개발동향에서 보는바와 같이 속도향상을 위하여 일본, 독일, 프랑스는 물론 스페인도 동력분산식 차량으로 변화되고 있다. 따라서 우리도 이러한 추세와 국내의 수요를 고려하여 동력분산식 차량기술의 자립이 시급하다고 할 수 있다. 이를 위하여 그동안의 경험과 연구개발의 추세에 따라 차세대 고속철도기술개발사업을 추진하기 위한 차세대 고속철도 시스템엔지니어링 기술개발, 차세대 고속철도 기반 기술개발, 분산형 차량 기술개발 그리고 선로구축물 유지보수 기법개발 4개의 연구과제를 도출하였다. 특히 동력분산식 차량의 개발을 위하여는 추진장치의 경량화와 소형화가 필요하고 소음과 진동을 최소화하기 위한 기술개발 등도 필요하다. 이를 위하여 분산형 차량개발과제를 핵심과제로서 하고 기반기술은 기반과제에서 수행하여 차량개발과제에서 설계에 반영되도록 지원하며 이들의 인터페이스와 차세대 운영성을 고려하는 기술개발을 담당하는 전체적인 시스템 엔지니어링 과제가 필요하다. 또한 선로구축물은 현재 선로의 유지보수기술개발과 저진동 슬래브레도의 개발에 초점을 두고 추진되어야 한다. 이러한 연구개발은 그동안 고속철도기술개발사업으로 축적된 연구인력과 장비를 최대한 활용하여 추진될 필요가 있다. 이리하여 해외의 지속적인 기술혁신 노력을 거울삼아 필요한 경쟁력 높은 기술을 개발하여 향후 국내 철도산업을 지속 가능한 우리의 미래성장동력 산업으로 발전시켜 나가야 할 것이다.

후 기

본 연구는 고속철도기술개발사업의 “고속철도개발 통합 및 총괄” 과제의 일환으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. JR 동일본 information system <http://www.jeis.co.jp>
2. Alstom transport <http://transport.alstom.com/alstom/alstom.nsf/HTLM/Home>
3. 차세대고속철도기술개발사업 기획보고서(2006. 5), 한국철도기술연구원
4. 호남고속철도 건설기본계획(2006. 7), 건설교통부