

# 세계 고속철도의 최근 기술동향과 시사점

방윤석 | 국토해양부 항공철도국 철도차량기술과장 (bys71@mltm.go.kr)

목진용 | 철도연 차세대고속철도기술개발사업단 책임연구원 (iymok@krri.re.kr)

## I. 서론

철도는 1830년 영국 리버풀-맨체스터 간 세계 최초로 운영을 시작한 후 지속적인 발전과 경쟁을 통하여 성장하여 왔으며, 1964년 일본이 동경~오사카 간 신간선 고속열차를 운행하면서 고속철도가 처음 탄생하였다. 고속철도는 UIC 776-2R에 200km/h 이상 속도로 운행하는 철도로 정의하며 우리나라도 지난 2004년 4월 서울-부산 간 경부고속철도의 개통과 함께 본격적인 고속철도 시대를 열게 되었다. UIC의 2008년 통계에 의하면 현재 전 세계에서 영업운행 중인 고속철도 선로는 5,214km로서 전체 고속철도망의 44% 수준이다. 건설중인 노선 23%, 계획중인 노선이 33%임을 고려할 때 앞으로 세계 고속철도는 더욱 빠르게 확장될 것으로 예상되며 계획 노선의 최고속도가 종래의 보편적 최고운행속도 300km/h를 넘는 속도향상을 계획하고 있어 고속철도 차량의 성능향상과 고속화 기술이 계속 요구되고 있다.

## II. 세계적인 고속철도망 확장 추세

세계적인 고속철도 노선의 현황을 더 상세히 분석해 보면 대륙별로 유럽과 아시아 지역의 고속철도가 전 세계 노선의 97% 이상을 차지하며 이중 유럽 56%, 아시아는 41% 규모로서 미국, 캐나다, 러시아 등의 계획 노선까지 감안하면 세계의 고속철도노선망은 더욱 확대될 전망이다(표 1 참조).

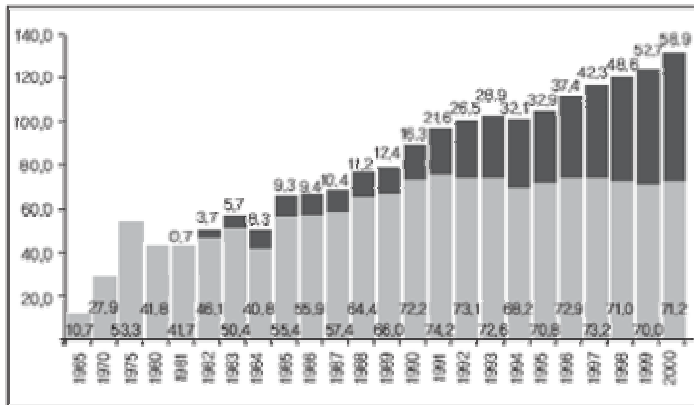
특히 프랑스, 일본, 독일, 이태리 등 선발 고속철도 국가들이 건설중이거나 계획중인 노선이 기존의 고속철도 노선 못지않게 많은 비중을 차지하고 있어, 세계적으로 고속철도가 각국의 국가적, 사회적 요구에 부응할 수 있는 매우 경쟁력 있는 교통수단으로 확고하게 자리잡고 있음을 보여준다. 또한 UIC가 조사한 연도별 세계 고속철도 이용객 통계의 추이를 보면 <그림 1>에 보인 것처럼 일본 중심의 고속철도 이용객은 1990~2000년대 이후 유럽지역 이용객의 급격한 증가로 전체 이용객이 빠르게 증가하고 있으며, 세계의 고속철도는 앞으로도 지속적으로 확장, 발전할 가능성을 시사하고 있다. 한편 <그림 2>의 UIC 통계자료에서 보면 2006년 세계 각국의 고속철도 수송량 중 한국의 고속 철도는 단일 노선으로 노선 연장이 짧고 개통 4년의 짧은 역사에도 불구하고 세계 4위권의 수송량 규모를 가지며 빠르게 발전하는 고속철도 운영국가임을 알 수 있다.

(표 1) 대륙별 고속철도 노선 현황

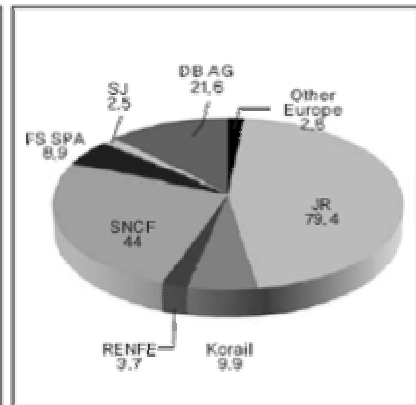
지역 구분	고속선 총 연장(km) (2025년까지)	노선 구분		
		운영 중	건설 중	계획 중
World	36,967	9,919	8,295	18,753
Europe	17,573	5,598	3,474	8,501
Asia	16,637	3,959	4,821	7,857
Others	2,757	362	-	2,395

※ 자료 : UIC(International Union of Railways) 철도 통계 (2009년 6월)

참고자료로 [표 2]에 UIC가 최근 발표한 통계자료 중, 현재 250km/h 이상 속도로 운행 중인 세계 각국의 고속철도 노선의 현황을 나타내었다.



◻ 그림 1) 연도별 고속철도 이용객 추이  
(2006년 기준, UIC 철도통계)



◻ 그림 2) 국가별 고속철도 수송량  
(1 Billion Pass. km 2006, UIC 철도통계)

(표 2) 세계 각국의 250km/h 이상 고속철도 운행 현황

국가	운행구간	개통년도	노선길이(km)	최고 영업속도(km/h)
일본	Tokyo~Osaka	1964	515	270
	Osaka~Okayama	1972	161	270
	Okayama~Hakata	1975	393	300
	Omiya~Morioka	1982	465	275
	Omiya~Niigata	1982	270	240
	Takasaki~Nagano	1997	117	260
	Morioka~Hachinohe	2002	97	260
	Yatsushiro~Kagoshima	2004	127	260
프랑스	TGV Paris Sud EST	1981	418	300
	TGV Atlantique	1989	294	300
	TGV Contournement Lyon	1992	121	300
	TGV Nord-Europe	1994	346	300
	TGV Interconnexion IDF	1994	104	300
	TGV Mediterranee	2001	257	320
	TGV Est	2007	300	320
독일	Fulde~Würzburg	1988	90	280
	Hannover~Fulde	1991	248	280
	Mannheim~Stuttgart	1995	109	280
	Hannover~Berlin	1998	189	250
	Köln~Frankfurt	2002	197	300
	Köln~Duren	2003	42	250
	Rastatt~offenburg	2004	44	250
	Leipzig~Göbbers	2004	24	250
	Hamburg~Berlin	2004	253	230
	Nürnberg~Ingolstadt	2006	300	89
한국	Seoul~Daegu(Busan)	2004	330	300
스페인	Madrid~Seville	1992	471	270
	Madrid~Leida	2003	519	300
	Zaragoza~Huesca	2003	79	200
	La Sagra~Toledo	2005	21	250
	Cordoba~Antequera	2006	100	300
	Leida~Camp de Tarragona	2006	82	300
	Madrid~Valladolid	2007	179	300
	Antequera~Malaga	2007	55	300
Camp de Tarragona~Barcelona	2008	88	300	
대만	Taipei~Kaohsiung	2007	345	300

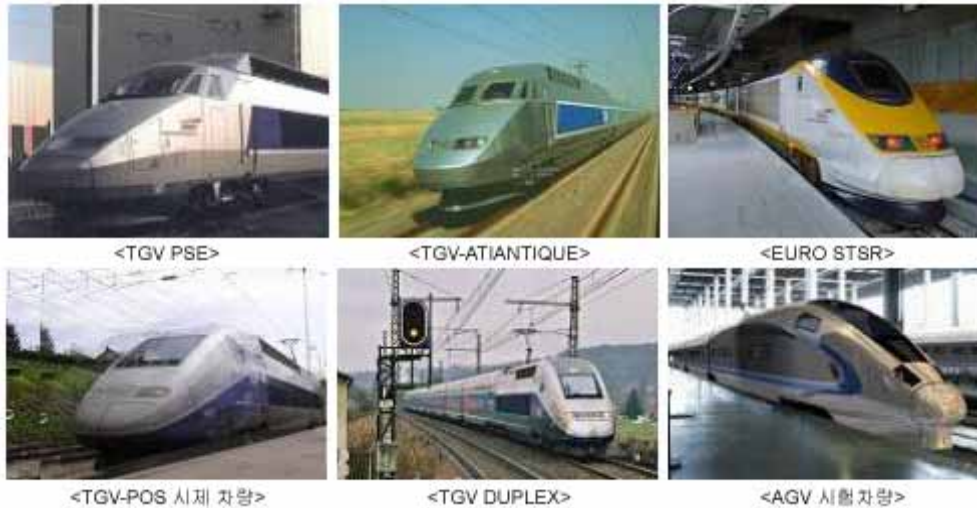
※ 자료 : UIC(International Union of Railways) 철도통계 (2006년 6월 발표)

### III. 세계 고속철도의 기술발전 추세

앞에서 살펴본 것처럼 세계적인 고속철도망의 확대와 이용객의 급격한 증가는 곧 고속철도의 시스템 기술과 차량의 고속화를 위한 기술의 발전에 힘입은 바가 크다고 볼 수 있다. 따라서 우리 한국의 고속철도 분야가 세계적인 선발국들과 기술력으로 경쟁할 수 있는 수준까지 도약하기 위해서는 세계적으로 고속열차 기술을 주도해 온 일본, 프랑스, 독일 등 선발 국가들이 최근까지 경쟁적으로 기술개발을 추진해 온 고속철도 기술의 특징을 분석하여 벤치마킹할 필요가 있다. 이러한 관점에서 최근까지 조사된 세계 각국의 고속열차 기술의 특징은 다음과 같이 정리할 수 있다.

#### 1. 프랑스

프랑스 TGV시스템의 기본 설계개념은 관절형 대차, 슬라이딩 커플링 동력전달 장치, 동력집중식, 공기식 현가장치의 적용 등이며, 주요 기술목표는 일정 출력에 견인전동기 단위질량2배감소, 제동디스크단위용량2배증가, 동일저항과 승차감에서 좌석당질량의 절반 감소, 동일 속도와 승객 용량에서 에너지 소비 20% 감소, 300km/h 속도 소음레벨의 기존 270km/h 운행 대비 8dB 감소, 유지비용 40% 절감, 단위 수송량 2배 증대 등의 혁신적이고 과감한 목표를 제시하고 도전하였다



< 3 >

<그림 3>에 보인 것처럼 1세대 TGV-PSE 이후 성능향상을 통해 태어난 2세대 TGV-A 열차는 동기전동

기 적용, 동력을 향상, 반도체 전자제어 기술 적용, 고성능 제동디스크 적용, 공기저항 저감형 2단 판토크래프 적용과 승차감 향상, 객실 공간의 인체공학적 설계, 승객용 통신설비 현대화와 유지보수성 향상, 기존선 주행 문제점 개선을 병행하였다. 3세대 Euro Star와 TGV-R은 유도전동기 적용, 다국적 노선 통과사양을 본격 적용하였고 이후 개발된 4세대 TGV-NG는 알루미늄 차체, 기존선에서 속도 향상을 위한 Tilting 시스템, 2층객차 등 360km/h급 영업운행 대비 기술을 개발하였다. 최근에 개발, 시험중인 AGV열차는 기존 TGV 기술에 동력분산식 기술을

접목시키고 능동 현가장치와 와전류 제동을 채택한 점 등이 특징이다. TGV의 추가적 특징은 바퀴식 고속열차의 세계 최고속도 주행 기록의 갱신인데, 380km/h (1981년 2월), 515km/h (1990년 5월), 574.8km/h (2007년 4월) 등 1981년 이후 바퀴식 철도의 세계 최고속도 기록을 계속 갱신하며 자국의 기술력을 과시하고 있다.

## 2. 일본

신간선은 초기 개념부터 화산과 구릉지형을 운행하는 노선 특성상 동력분산식으로 개발되었다. 초기 신간선 0계에서 100계까지 기술 변화는 승객 수송력 확대를 위한 2층 객차, 고속에서 공기저항 감소를 위한 전두부 형상 개선, 경량 알루미늄 차체의 적용 등이 특징이며, 300계부터는 기존선 속도향상을 위한 경량 고출력 유도전동기, 대차·차체의 중량 최소화를 추구하여 최대 축중을 11.3톤까지 낮추는데 성공하였다. 후속 400계 신간선은 기존 시설물 기반의 속도향상을 추진하였고, E1계 신간선은 전 차량을 2층 객차로 구성해 수송능력을 최대화하고 경량화를 추구하였다.

500계 신간선은 회생제동력과 제어·추진력 향상에 주력하였다. 한편 최근 개발, 시험중인 FASTECH 360 시험열차는 최고속도 360km/h 주행을 목표하였으나 시험 과정에서 최고 운행속도 목표를 320km/h로 조정된 것으로 조사되었다. 참고로 <그림 4>에는 일본의 신간선 초기 고속열차부터 최근 개발열차까지 진화하는 과정을 보였다. 앞에서 살펴본 일본의 신간선 고속열차의 두드러진 기술적 특징을 정리해 보면, 곡선부 통과속도 향상을 위한 틸팅 기술 적용과 대차의 고속주행 안전성 향상, 추진 및 제동시 차륜-레일 간 점착력 향상, 고속 집전성능 향상, 신호보안장치 성능 향상, 차체 경량화, 차외소음 및 터널 미기압파 저감에 주력하였고 기존 시설물 기반으로 속도를 향상하기 위한 터널 미기압파 저감과 전두부 형상 개선에 중점을 두었다.

최근에는 준 능동형 댐퍼(Semi Active Damper)와 차체간 요우댐퍼 적용을 통한 승차감 향상과 차체 경사장치의 적용을 통한 곡선구간에서 통과시간 단축과 승차감 향상을 추구한 점이 특징이다. 또 환경문제를 고려하여 최고속도 320km/h에서 차외소음 수준을 75dB로 유지하되 350km/h까지 차외소음을 최소화하기 위한 소음대책을 집중적으로 연구중인 것으로 조사되었다.

## 3. 독일

독일은 초기 ICE-1 열차에서 ICE-2로 진화하며 특별한 성능변화가 없었으나 ICE-3 열차로 진화하는 과정에는 기술적으로 큰 혁신이 있었다. 열차의 동력방식을 집중식에서 분산식으로 변경하며 최대 축중을 줄였고, 차체의 알루미늄 소재 적용, 대차와 차륜의 경량화로 스프링 하중 질량 (Unsprung Mass)을 줄였다. ICT(틸팅차량) 개발과 병행하여 부품의 호환성 확대를 목표로 한 차량표준화를 적극 추진하였으며 승객의 안락감을 고려한 객실내부 인체공학적 설계로 승차감 향상을 추구하였다.



<그림 4> 일본 고속열차의 발전 과정

[표 3] 최근 개발중인 각국의 고속열차 특성

구분	일본 FASTECH 360	프랑스 AGV	독일 Velaro-E
최고 속도 (km/h)	405 (영업속도 320)	400 (영업속도 350)	400 (영업속도 350)
동력배치 형식	분산식	분산식	분산식
차량 제원 (객차 기준)	차량길이 : 25.0m 차량 폭 : 3.10m	차량길이 : 17.3m 차량 폭 : 3m	차량길이 : 25.2m 차량 폭 : 2.95m
객차 중량 (최대 축중)	50 ton (12.5 ton)	34 ton (17 ton)	53 ton (15ton)
공급 전력	25(20)kV, 50Hz	25kV, 50Hz	25kV, 50Hz
견인력(kW)	8,600	6,000~12,000 (22kW/ton)	8,800
대차 형식	단독 대차	연접(관절) 대차	단독 대차
제동 시스템	Electric command brake equipment with Regenerative brake	Regenerative, Rheostatic, Pneumatic	Regenerative, Rheostatic, Pneumatic
좌석 수	388석	250~650석	404석
외형			

<그림 5>에 초기 ICE-1 열차 이후 최근까지 개발된 독일 고속열차를 보였으며, 철저한 합리주의에 기초하는 독일 고속철도의 특징을 종합하면, 전철구간은 기존 ICE 차량을, 곡선구간이 많은 노선은 ICE-T(틸팅) 열차를 운행한다. 최근 개발된 독일 고속열차에 적용된 두드러진 특징으로는 유럽 고속철도망에 상호운전이 가능한 전동열차 (Motorized Coach Train)로 구성된 다중추진시스템 버전 (Multiple System Version)을 차별적인 특징으로 들 수 있다. 15kV 16.7 Hz, 25kV 50Hz, 1.5kV 및 3kV의 다양한 전력 공급방식으로부터 전력을 받아 처리할 수 있는 고압 전류변조장치 및 집전장치, 차상 안전설비를 가지므로 독일, 네덜란드, 벨기에, 프랑스 및 스위스 등 유럽지역 내의 어느 국가, 국경에서도 열차(동력차)의 특별한 조정 없이 국경을

통과하여 운행할 수 있는 특징을 가지고 있다.

앞에서 예시한 세계적인 고속철도 선발 국가들이 최근 들어서 개발중인 고속열차의 특징을 요약해 보면 [표 3]과 같이 정리할 수 있다.

#### IV. 세계 고속철도의 기술동향과 시사점

앞서 살펴본 것처럼 2000년대 초까지 세계의 고속철도의 발전 동향은 철도 수송 효율 향상이란 기본적인 목표를 만족하고자 몇 가지 공통적인 기술개발 경향을 보인다.

첫째, 열차의 꾸준한 속도향상에 수반되는 궤도의 정적, 동적 부담하중을 최소화하기 위해서 차량의 축중 감소에 주력하고 있다. 차량 경량화는 대차, 전장품, 윤축/차륜 경량화를 기본으로 경량 알루미늄 압출재와 복합소재의 차체 적용 확대, 각종 부품의 소형화, 대용량화, 구성품의 단일화를 적극적으로 시도하고 있다. 차량 경량화는 그 효과가 축중 감소에 따른 궤도부담력 저감 뿐 아니라 고유가 시대에 에너지 효율 증대까지 도모할 수 있으므로 앞으로 지속적인 기술개발과 연구가 시도될 분야로 판단된다.



<그림 5>독일 고속열차의 발전 과정

둘째, 속도향상과 더불어 좌석배치 개선, 2층 객차 편성의 증대 등 단위 수송력 증대를 위한 시도와 운행효율 향상에 유리한 동력분산 기술의 적용이 확대되고 있다. 기존 선로를 최대한 이용하면서 철도의 고속화와 수송력을 높이는 전략이 철도의 수익성 개선 측면 뿐 아니라 승객서비스 향상을 위한 전략으로 일층 확대되는 추세이며, 이는 고속선에서 어렵게 구현한 운행시간 단축 효과를 최대화하기 위해 기존선 구간에 속도향상에 유리한 동력분산 기술을 적용함으로써 전체적으로 운행속도를 향상할 수 있는 시스템으로 최적화 노력이 가속되는 추세이다.

세 번째 특징은, 차량 운영유지 단계의 유지보수 비용 최소화와 운용효율 증대를 위한 표준화, 모듈화된 시스템의 적용이다. 독일 ICE-3와 ICT열차의 호환성, TGV 및 AGV 간 운용효율성을 위한 모듈시스템 도입 등이 대표적 사례이며, 성능향상을 목표로 한 신규 개발차량과 기존 운용차량의 운용 및 유지보수 호환성도 한층 더 강조되며 요구되는 경향이 운영자의 입장에 나

타나고 있다. 끝으로, 독일에서 개최된 베를린 InnoTrans 2008 전시회 등에 보인 최근 세계의 철도기술 발전 동향은 350km/h급까지 고속열차의 운행 최고속도 목표가 보편화되고, 고유가 시대라는 환경 여건이 반영되어 철도시스템에 에너지 효율향

상 기술의 요구 확대, 다양한 수요자 요구사항을 만족시키는 맞춤형 차량 개발, 승객 편의성과 승차감을 높이기 위해 현대 감각의 디자인과 실내 설비의 편의성을 확대하는 추세이며, 유럽 연합의 철도 표준규격과 다국간 상호운행 규격(TSI) 완성에 후속한 기술 경쟁의 가속화 등이 최근에 나타난 기술 변화의 추세로 판단된다.

따라서 우리나라의 철도산업 분야가 해외 시장에 진출하여 세계수준의 선발국과 경쟁하기 위해서는 최근 세계 고속철도 분야의 기술발전 추세와 동향을 정확하게 분석하고 선발 국가들과 경쟁 가능한 상대적 틈새기술 분야에서 경쟁력을 확보하기 위한 집중적인 전략의 수립과 산학연 분야의 기술을 통합시키는 기술개발 전략을 적극 추진해야 할 것으로 사료된다.

#### 참 고 문 헌

- 1) UIC(2006), "UIC(International Union of Railways) Railway Statistics"
- 2) UIC(2008), "UIC(International Union of Railways) Railway Statistics"