

고속철도 기술개발의 세계 동향과 향후 우리나라의 기술개발 방향



ㅣ 김 기 환 ㅣ
한국철도기술연구원
차세대고속철도
기술개발사업단장

1. 서론

미국, 중국 유럽 등 선진국들은 국제적인 경제위기의 극복을 위해 투자의 필요성을 인식하고 도로 투자에 비해 생산 및 고용의 유발효과가 큰 철도교통 투자에 집중된 경기 부양을 모색하고 있다. 또한, 이와 함께 21세기에 불어 닥친 저탄소 녹색성장시대에 부응하는 국가 발전을 위한 교통 체계 구축의 패러다임이 변화하여 도로보다는 철도로의 투자를 확대하려는 공감대가 전 세계적으로 형성되고 있다. 이와 때를 같이하여 우리나라도 지난해 9월 1일 미래 녹색국토 구현을 위한 ‘KTX 고속철도망 구축전략 보고회의’에서 2020년까지 전국을 일상 통근대인 1시간 30분대로 연결하는 목표가 발표되었다. 또한, 지난해에는 경부고속철도 2단계 공사가 마무리됨에 따라 명실 공히 서울에서 부산까지 전체 구간이 신선으로 연결되었기 때문에 철도의 수요가 폭발적으로 증가하고 있는 추세이다.

국내외적으로 고속철도의 건설 및 기술수요가 증가하는 추세에 발맞추어 국내에서 개발했거나 개발 중인 고속철도와 관련된 개발 기술을 해외에 수출하려는 노력이 필요하다. 이를 위해 본고에서는 고속철도 선진국들과 국내의 고속철도 기술개발 동향을 살펴보고 우리나라의 향후 고속철도 기술개발 방향에 대한 몇 가지의 제언을 하고자 한다.

2. 해외고속철도의 기술동향

2.1 일본

일본은 1964년 세계에서 최초로 도쿄~오사카 구간의 고속철도 운영을 시작으로 현재까지 2,387km 구간에 신간선을 운영 중에 있다. 또한, 1,173km 구간의 고속철도를 건설 중에 있거나 계획 중에 있으며, 특히 도쿄~오사카 구간은 2020년 초고속 자기부상 열차를 적용한 고속철도의 운영을 계획하고 있다.

일본의 고속철도기술은 일본의 지역 특성을 고려하여 초기부터 동력분산식으로 개발하였다. 고속열차는 사용 환경과 운영조건에 따라 개발의 방향을 달리하기도 하였으나, 기본적으로는 기술의 발전을 반영한 열차의 성능을 향상시키는 방향으로 고속철도의 기술개발이 진행되었다. 일본의 고속철도 기술은 지역 특성상 터널이 많기 때문에 터널에서의 미기압과 대책에 대한 많은 연구개발이 이루어졌으며, 잦은 지진의 발생으로 인해 인명의 손실을 막기 위한 지진대책으로 탈선검지 및 경보 시스템(EQAS) 등의 연구가 수행되고 있다. 또한, ATS-P 신호시스템에 IT 및 통신기술접목, 환경친화형 기술개발(하이브리드, 전차선-충전지, 연료전지 기술 등), 레일과 도로를 동시 주행을 위한 차량시스템, 열차의 성능을 향상하기 위한 기술(점착력 향상, Active Suspension 적용 등) 및 유지보수 기술 등에 중점적인 투자가 이루어졌다.

최근 개발된 일본의 열차는 “FASTECH 360S”로서 이는



그림 1. efSET 모형

동일본 철도기술연구소가 주도하여 개발하였다. 동일본 철도는 2002년 4월 사내에서 『신간선 고속화 추진 Project』로 350km/h급 시제차량의 개발을 추진하였다. 2005년 6월부터 2008년도까지 동북 신간선 센다이~기타무라 구간을 중심으로 시험운행을 하였으며, 최고속도 398km/h를 수립하고 각종 성능시험을 거쳐 2011년 최고운영속도를 320km/h로 상업 운행하는 것을 계획하고 있다. 이 열차는 주행속도의 향상, 안전성 및 신뢰성의 확보, 환경과의 조화, 쾌적성의 향상을 기본 개념으로 하여 개발되었다. 일본에서 고속철도의 개발은 고속철도 운영회사가 주도하고 있으며, 기업은 단지 제작만 수행하는 독특한 기술개발 체계를 유지하고 있다. 그러나, 최근 가와사키(Kawasaki) 중공

업에서는 고속철도의 해외진출을 목표로 차세대고속열차인 efSET(그림1 참조) 차량을 개발하고 있다. 이 열차는 가와사키 중공업의 신간선 열차의 설계 및 제작한 경험을 바탕으로 에너지 효율이 높고 환경 친화적이며, 국제 표준인 ISO(International Organization for Standardization) 규격, IEC(International Electrotechnical Commission) 규격 및 유럽 고속철도관련 기술사양인 TSI(Technical Specifications for Interoperability)에 적합하도록 개발하고 있다.

2.2 유럽

유럽은 대표적으로 환경 및 에너지 문제의 해결을 위해 철도교통의 중요성을 인식하고 정책을 펼쳐가고 있다. 유럽연합(EU)은 철도투자를 전체 교통 투자의 85% 수준으로 확대할 계획을 갖고 있으며, 'Marco-Polo' 프로그램에 의하면 도로에서 철도로 운송수단을 전환할 때에는 500km·ton당 1유로를 지원하고 있다. 유럽의 고속철도는 프랑스와 독일이 기술과 투자를 주도하고 있으며, 스페인, 이태리, 스위스 등에서도 활발히 고속철도에 대한 투자가 이루어지고 있다. 유럽의 2009년도 고속철도 총연장은 5,764km이나 2020년에는 21,180km 고속철도 확충을 계획하고 있다.

유럽연합은 국가의 통합으로 철도의 통합운행이 필요하게 되었다. 유럽철도의 규격화 계획(Modtrain EU Project)에서와 같이 유럽국가간의 상호간에 이용할 수 있도록 교차 수용을 위해 노력을 하고 있다. 이와 같이 유럽은 그동안의 국가체계 연구개발에서 유럽통합차원에서의 개발중심으로 이동하고 있다. 이에 따라 규격도 그동안의 국가체계규격을 바탕으로 유럽 및 세계 공용규격으로의 전환을 꾀하고 있으며, 더 나아가 이제는 유럽규격이 먼저 생성된 후에 국가규격이 만들어지는 추세이며, IRIS 인증제도 등을 도입하고 있다(그림2 참조). 이를 위해 유럽연합은 유럽철도연구자문위원회(ERRAC)를 설립하여 18개국 66기관에서 참여하고 있으며, 2007년부터 2013년까지 약 3억5천만 유로를 연구개발에 투자할 것이라고 'EU Program FP7'에서 밝히고 있다. 가장 중점을 두고 투자와 기술개발이 이루어지는 부분은 고속선과 기존선의 정보처

European Railway Agency From National visions to Interoperability

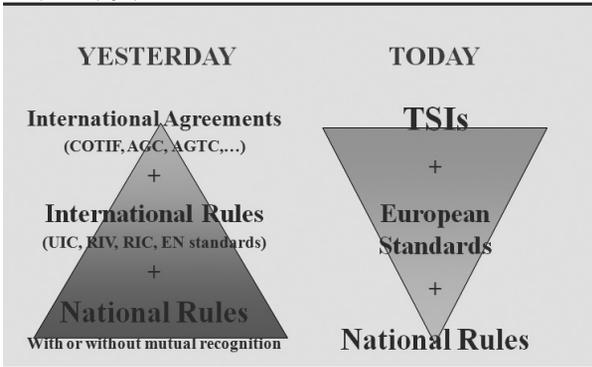


그림 2. 철도통합운영을 위한 규격정비 과정

리 상호운영 및 ERTMS라는 신호의 통일이며, Intelligent mobility(GPS, WiFi 인터넷, mooviTER 등 IT 기술의 접목), 안전, 환경(소음저감, 에너지소비량 표시, 연료전지 활용 등) 부분 등에 많은 투자가 이루어져 연구개발이 진행되고 있다.

2.2.1 프랑스

프랑스는 1970년대 초 세계적인 오일쇼크로 고속철도 개발이 시작되어 1982년 TGV South-Est 노선을 개통하였다. 초기 운행속도는 260km/h이었으나 25년간 지속적인 속도향상에 힘입어 현재는 320km/h로 운행 중에 있다. 프랑스 고속철도의 가장 큰 특징은 관절형 대차의 사용과 끊임 없는 속도경쟁이라 할 수 있다. 관절형 대차는 초기모델부터 현재 개발되고 있는 동력분산형 AGV까지 모든 차량에 사용하고 있는 기술이다. 또한, 프랑스는 고속열차로 1990년 5월 515km/h를 주행하여 세계를 놀라게 하였고, 지난 2007년 4월에는 574.8km/h까지 주행함으로써 휠/레일 방식의 고속철도로는 최고 속도 기록을 갖고 있다. 이외에도 프랑스 고속철도는 2층 객차를 성공적으로 300km/h로 운행하고 있으며, 지속적인 연구개발로 전장품의 모듈화 및 경량화를 이루고 있으며, 프랑스 교통대학(ESTACA)의 '미래철도 2030'에는 2030년까지 경제성을 고려하여 350km/h로 고속철도가 운행될 계획이라고 분석하고 있다.



그림 3. 프랑스의 AGV 열차

프랑스 고속철도 차량의 기술적인 특징은 관절대차의 지속적인 개량과 동력집중식이라 할 수 있으나, 최근에는 관절대차는 유지한 반면에 동력집중식에서 동력분산식을 채택하여 고속철도 시장의 변화에 대응하고 있다. 프랑스는 1995년 말 TGV-EST 건설계획을 수립하고 1996년 TGV-NG 프로젝트를 시작하였다. AGV(Automotrice à Grande Vitesse, 그림3 참조) 열차의 경량화를 위해 차체는 길이를 량당 1.4m 줄였으며(TGV는 18.7m, AGV는 17.3m), 차량 단부에는 복합재를 사용하여 Steel 대비 700kg의 경량화를 달성하였다. 또한, 객차 하부에 취부하는 변압기, 추진시스템 및 견인전동기의 경량화에 중점을 두었다. 추진시스템은 수냉식 IGBT 시스템을 채택하였으며, 변압기는 경량화를 위해 Winding 방식을 적용하였고 견인전동기는 영구자석 동기전동기를 사용하였다. 특히, 전동기는 일반적인 유도전동기가 0.8kw/kg인 반면에, AGV의 전동기는 1kw/kg의 성능을 갖는 기술적인 진보를 이루었다. AGV는 속도 향상에 따라 증가하는 소음을 감소하기 위해 전두부 형상의 변경, 대차 덮개 채택, 차량간 연결부 차폐, 판토그래프 성능향상 등을 통해 소음을 낮추도록 노력하였다. 이 열차는 7, 8, 11, 14량으로 편성할 수 있도록 모듈화 개념을 적용하여 개발하였다. 기본적으로 3량(변압기 차량, 주전력변환장치 차량, 보조전원 차량)을 1개의 단위로 하여 운행노선의 수요에 따라 조합하여 운영할 수 있도록 하였다. 이러한 노력의 결과 AGV는 Italy의 Nuovo Trans- porto Viaggtori(NTV)에 11량 편성 25편성 수주하여 2011년부터 운행될 계획에 있다.

2.2.2 독일

독일 고속철도는 일본이나 프랑스와 달리 1991년에 화물과 승객이 동시에 운행할 수 있는 형태의 열차로 개발되었다. 따라서, 초기의 ICE-1은 다른 국가의 고속열차와는 달리 기존 동력차를 개조하였기 때문에 축중이 19톤이었다. 그러나, 지속적인 연구개발을 통하여 2000년 프랑크푸르트와 쾰른구간 신선에서 300km/h 운행이 가능한 동력분산형 고속열차인 ICE3까지 성능을 향상시켜 왔다. 독일 고속철도의 기술 개발의 특징은 초기에는 국가와 운영회사인 DB를 중심으로 개발되었으나 철도의 민영화 추진

이후에는 고속열차는 기업중심으로 연구개발이 진행되고 있다. 2006년에는 ICE3에 기술적 바탕을 두고 있는 'Velaro Series'가 차량 제작사인 지멘스(Siemens)에서 개발되었다. 독일 DB는 최근 더 이상의 고속철도에 대한 속도경쟁보다는 기존선과 고속선의 효율적인 운영을 증대하기 위한 연구 투자에 힘을 기울이고 있다.

ICE3는 2000년 5월 개통되어 설계최고속도는 330km/h이며, 최대 축중은 15톤으로 8량 1편성으로 구성되어 있으며, 총 출력은 8000kW이다. ICE는 초기부터 알루미늄을 사용하여 차체를 제작하였으며, 열차제어시스템에 첨단 IT 기술을 적용하여 왔다. 이러한 ICE3 기술은 러시아(Velaro-RUS), 중국(Velaro-CN), 스페인(Velaro-E)의 요구사항에 맞도록 다양한 차량의 제작에 기본적으로 사용되었다. Velaro는 기본적인 동력분산식 모듈화 열차로 운영자의 요구사항에 맞도록 다양한 조합을 통해 세계시장으로 진출하고 있다.

2.3 중국

중국은 최근에 가장 활발하게 고속철도망을 확충하고 있다. 중국의 '중장기 철도 네트워크 계획'에 따르면 2020년까지 남북과 동서를 잇는 각 4개의 여객노선(4종 4횡)을 근간으로 주요 도시를 연결할 계획이다(그림4 참조). 고속철도 총 연장은 25,000km에 달하며 운영속도는 200km/h~350km/h를 목표로 하고 있다. 특히, 2012년까지는 총 연장 약 17,000km의 고속철도 노선을 완성할 계획이고 이를 위해 중국 정부는 2009년 고속철도 건설에 총 500억 달러를 투자하였으며, 이후 3년간 360조원을 투자할 계획이다. 중국철도의 급성장은 위와 같이 충분한 시장의 뒷받침이라고 판단된다. 즉 중국은 '시장중개 기술다오(以市場換技術)'이라는 정책 아래 '시장을 이용한 기술도입' → '기술추격을 통한 국내시장 장악' → '해외시장진출'이라는 정책을 추구하고 있다. 중국은 베이징(北京)~톈진(天津) 115.3km 구간에서 2008년 6월 24일 CRH-3으로 최고속도 394.3km/h를 기록하고 우한(武漢)-광저우(廣州) 968km 구간에서 2009년 12월 9일 394.2km/h 최고속도 시험운행을 하였으며, 항주(杭州)~상해(上海) 202km 구간에서 2010년 9월 28일 416.6km/h 최고속도 시험운행에

성공하였다. 이와 같이 중국은 고속철도 후발주자이지만 가장 최선의 기술로 분류되는 슬래브 궤도, CTCS-3(ERTMS-Lev.3급) 신호시스템 및 Siemens SiCat1.0을 기반으로 하는 전차선을 고속철도에 적용하였고 고속철도 차량은 독일, 일본, 캐나다의 기술을 바탕으로 단시간에 기술의 습득을 추구하고 있다.

중국고속철도의 특징은 지역 특성을 고려하여 수송인원 증대와 운영 속도향상으로 요약할 수 있다. 중국 고속철도는 길게는 1,000km 이상임으로 350km/h 이상의 속도향상이 필요하다. 기술을 도입한 국가에 따라 고속열차가 CRH-2, 3(그림5 참조), 5로 구분하고 있으며, 380km/h의 운



그림 4. 중국고속철도망 계획



그림 5. 중국 고속철도 CRH-3

영속도를 목표로 하는 고속철도는 CRH380A(일본의 미쯔비시 기술바탕)와 CRH380B(독일 Siemens 기술바탕) 그리고 CRH380C(Bombardier 기술바탕으로 일명 Zefiro380)가 있다. 이들은 고속운행을 위해 기존의 CRH (China Railway High-speed)에서 전동기의 출력향상이나 동력대차의 수를 늘려 구성하였을 뿐만 아니라 승객의 수송 용량의 극대화를 위해 차량의 폭을 3265~3360mm를 채택함으로써 차체내의 의자배치가 3*2로 가능하게 되어 열차길이가 200m인 한량에 600석 이상의 승객을 태울 수 있다.

3. 우리나라의 기술개발

우리나라 고속철도기술은 1992년 경부고속 철도건설을 위해 프랑스와 기술이전을 실시하면서 시작되었다. 1992년 경부고속철도를 건설하기 위해 토목기술을 제외한 핵심기술로 분류된 차량, 전차선, 신호 및 유지보수 기술에 대한 기술이전 계약을 프랑스와 체결하였다. 이에 따라 1994년부터 프랑스에서 KTX에 대한 기술이전이 시작되었다. 그러나 당시 기술이전만 받아서는 기술이전의 극대화를 이룰 수 없기 때문에 이전된 기술을 더욱 발전시키기 위한 기술 개발이 요구되었다. 따라서, 1996년 12월부터 산학연 129개 기관이 선도기술개발사업(G7)으로 한국형고속열차 개발사업을 추진하게 되었다. 이후 개발된 한국형고속

열차 시스템의 신뢰성 확보를 위한 시험운행을 통해 실용화 기반 마련됨에 따라 현대로템은 철도공사의 KTX-II(이후 KTX-산천으로 변경됨.) 사업에 참여하게 되어 240량의 고속차량 도입계약을 체결함으로써 상용화에 이르는 결과를 낳게 되었다.

앞 절의 해외사례에서와 같이 고속철도는 고속화와 수송수요의 증가로 인해 동력분산식 개발이 요구됨에 따라 동력집중식인 KTX-산천(그림6 참조)과 다른 형식인 동력분산형 고속열차를 개발하는 차세대 고속철도 기술개발사업이 지난 2007년부터 시작되어 현재 설계가 마무리되어 제작이 진행되고 있다. 본 사업을 통해 개발되는 HEMU-400x(차세대 고속열차, 그림7 참조)의 최고속도는 430km/h를 목표로 설정되었으며, KTX-산천과 비교하여 약 16%의 승객 수송능력이 증가할 것이다. 또한, 개발 고속열차에는 전기/제어기술, 정보통신기술 및 IT기술들을 접목하기 위해 노력하고 있다.

4. 향후 우리나라 고속철도 기술개발 방향에 대한 제언

차세대 고속철도기술개발사업에서 개발되는 동력분산형 고속열차는 고속화라는 관점에서는 해외에 뒤지지 않는 성능을 가지고 있다. 그러나, 아직도 많은 부분이 개선되고 발전되어야 할 것이다. 차세대 고속철도기술개발사



그림 6. 운행중인 KTX-산천



그림 7. HEMU-400x 모형

업은 2012년 최고속도 증속시험으로 종료될 것이며, 이에 따라 후속사업이 논의되고 있는 현 시점에서 증속에 따라 장기간의 시험 운영을 통한 개발 시스템의 안정성 검증과 국내외 상용화를 위한 기반 기술들이 확보되어야 한다. 앞 절의 해외동향을 참고하여 그동안 KTX-산천과 한국형고속열차개발 및 차세대고속철도기술개발사업의 경험을 접목하여 향후 기술개발의 방향을 도출하고자 한다.

4.1 원천기술개발

KTX 도입과 KTX-산천의 개발을 통해 어느 정도 고속철도 기술이 확보되었다고 판단한다. 또한, 차세대 고속철도 기술개발사업을 통해 동력분산형 고속열차에 대한 기술력도 확보할 수 있으리라 생각한다. 그러나 아직도 우리에게 가장 기본이 되고 고속철도의 원리를 근본적으로 이해하는 '원천기술'의 확보가 필요하다. 특히, 속도의 증속에 따라 원활한 집전을 위한 기술개발이 필요하다. 집전장치는 가선시스템과 인터페이스를 고려하여 개발되어야 하며, 속도 증속에 따른 추종성을 더욱 좋게하는 기술개발이 필요하다. 또한, 각종 제어장치에 대한 최적화와 신뢰성 확보가 필요하다. 제어장치는 하나의 장치를 제어하는 것 보다는 여러 장치에 연관되어 있는 Slip/Sleide 제어, 대차 Hunting 제어 등은 수많은 시험을 통하여 확보될 수 있다. 이러한 원천기술의 확보가 이루어져야 해외 진출시에 기술이전이 원활할 것으로 판단된다. 또한, '고부가가치 부품분야' 및 '인터페이스분야'에 대한 기술개발도 향후에는 관심을 갖고 중점적으로 추진되어야 할 것이다.

4.2 해외진출을 위한 준비

팽창하는 고속철도의 세계시장 선점을 위해서는 보다 공격적인 해외진출이 필요하다. 해외시장의 발굴 및 진출을 위해 타당성 조사에서부터 전체 시스템의 패키지에 이르기까지 여러 분야에 대한 전문가의 육성과 체계적인 기술의 완성이 필요하다. 개발된 제품이나 기술의 완성도를 더욱 확고히 하는 노력도 필요하지만 시장의 요구사항에 능동적으로 대처하기 위해 차내의 공간 활용을 최적화하여 좌석수를 증가시키는 것도 고려해야 될 항목이다. HEMU-400x의 차체폭은 3.1m이나 차량한계 내에 더욱

수송수요를 확보할 수 있는 방법도 강구되어야 한다. 또한, 속도의 증가를 위해서는 주행저항 감소와 경량화는 필수적이라 할 수 있다. 고속철도가 초기에는 강재를 차체에 사용하였으나, 최근의 모든 고속열차가 경량 소재인 알루미늄 합금을 주재료로 사용하고 있으며, 아직까지는 제한적으로 사용되고 있기는 하나 복합소재의 적용을 늘리려는 노력도 지속적으로 시도되고 있다. 차체의 경량화는 기술개발의 측면에서 획기적인 새로운 재질이 채택되기 전에는 지속적인 발전에 한계가 있다. 최근에는 차체 이외에 전장품 등의 성능향상을 시도하면서 이러한 각 장치의 경량화 연구에도 적극적으로 관심을 기울이고 있다. 앞에서 언급한바와 같이 편성 당 AGV는 약 20톤을 줄였으며, 축중은 일본 신간선의 경우 약 12톤 이하이다. 세계고속철도의 단위 길이 당 무게는 1.8~2.0ton/m, 좌석 당 무게는 0.53~1.12ton/seat이다. 이에 비하여 HEMU-400x는 축중이 14ton 이하로 많은 부분에서 경량화가 이루어져야 한다. 차체 자체의 감량뿐만 아니라 각종 부품에 대한 최적 설계와 경량화 기술개발이 지속적으로 필요하다.

4.3 운영유지보수 분야

우리나라 고속철도인 KTX가 운영된 지도 약 10년이 되었다. 이제부터는 그동안 경험하지 못한 장기간의 운행에 따른 내구성 등 여러 가지 문제가 도출될 것이다. 또한, 최근 세계적으로 진행되는 철도분야 입찰은 궤도, 교량, 차량, 신호, 전차선 등 분야별로 이루어지지 않고 일괄하여 (Package화) 진행되고 있으며, 특히 BOT 혹은 BTO 등 운영유지보수를 요구하고 있다. 따라서, 고속철도 운영유지보수기술에 대한 체계화와 기술적인 접근이 요구되기 때문에 보다 많은 전문인력 양성과 확보가 시급히 이루어져야 한다.

4.4 미래기술에 대한 대응

중국은 항공기의 속도에 맞먹는 600km/h 초고속 열차 개발 및 시험을 2011년 실시한다고 발표하였으며, 지난해 청두비행기 유한공사는 독일 자기부상기술을 바탕으로 500km/h급 중국고유 자기부상열차를 제작하여 상하이 박람회에 전시하여 운영하였다. 일본도 도쿄~오사카 구간에

자기부상열차를 2020년 이후에 상용화 한다고 밝혔다. 이와 같이 세계 각국은 미래초고속열차의 기술에 대한 구체적인 계획을 세우고 진행하고 있다. 미래 세계 시장의 선점을 위해서는 우리도 현재의 고속철도 기술수준에 머물러서는 안 될 것이다. 한편으로는 현재의 고속철도에 대한 지속적인 성능향상도 필요하지만 미래기술 선점을 위해 새로운 기술개발을 준비할 단계로 휠/레일 방식의 장점은 살리고 단점은 최소화하는 무가선 급전, 자기부상 등에 대한 기술개발의 장기적인 계획이 필요할 것으로 생각된다. ♪

♣ 참고 문헌

1. 제 8회 JR East R&D Symposium
2. 일본 철도기술의 오늘(2008, RTRI)
3. WCRR 발표자료(2008, 한국 Seoul)
4. Innotrans 발표자료(2010.9.21-24 독일 Berlin)
5. ESTACA(프랑스 교통대학)의 "미래철도" 중 2030 기술
6. Interoperability of the Trans-Euro-pean High Speed Rail System, (2008), "Technical Specification for Inter operability(TSI) Rolling Stock Sub-system"
7. Kenichi Nakamura, et,(2005), "The technical trend of traction transformer", 三菱電氣技報, Vol79, No12
8. 한국철도기술연구원(2010), "분산형 고속철도 시스템 통합 및 총괄"
9. 박춘수 등(2008), "세계 고속열차 기술 개발 동향과 시사점", 한국철도학회 춘계 학술대회 논문집
10. 알스톰 홈페이지(<http://www.alstom.com>)
11. 지멘스 홈페이지(<http://www.siemens.com>)
12. Wikipedia 홈페이지(<http://www.wikipedia.or>)