

초고속 자기부상열차 기술개발 동향과 시사점



한형석
한국기계연구원
도시철도차량시험인증센터장
T.042.868.7814
hshan@kimm.re.kr

1. 서론

초고속 자기부상열차란 바퀴 대신에 자석과 선형전동기를 이용하여 선로로부터 부상하여 400~500km/h 로 빠르게 달리는 열차를 말한다. 바퀴와 선로 사이에 접촉이 없어 진동과 소음이 낮고 전동기가 지상에 설치되어 있어서 초고속주행이 가능하며 추진에너지효율이 높은 장점을 갖는다. 이러한 친환경적 장점들 때문에 미래 고속철도의 한 방식이 될 것으로 전망되고 있다. 최근 일본의 아베신조 총리는 이 초고속 자기부상열차 관련하여 흥미로운 계획 2가지를 발표했다. 하나는 약 91조 원을 투자하여 도쿄 - 나고야 - 오사카를 최고운행속도 505km/h 로 잇는 초고속철도를 건설하겠다는 것이다. 다른 하나는 일본이 미국 워싱턴 - 뉴욕을 잇는 고속철도 건설에 일본 초고속 자기부상열차를 적용한다면 총 사업비 10조 원 중 5조 원의 자금과 기술을 무상으로 제공할 것이라고 제안한 것이다. 한편으로 독일에서 개발한 Transrapid가 중국에서 상업운행을 시작한지 10년이 지났으며 그동안 인사고 없이 약 37백만의 승객을 수송했다. 일본의 이러한 적극 투자와 중국에서 10년간의 상업운행의 경험은 지난 40년간에 걸쳐 이어온 초고속 자기부상열차 기술개발에 새로운 전기가 될 것으로 전망한다. 이러한 전환기적 시점에 해외 초고속 자기부상열차 기술개발 현황을 살펴보고 국내에서의 기술개발 방향 설정을 위한 시사점을 찾는 것은 의미가 있다고 할 수 있다. 이를 위하여 지난 9월 28~10월1일 까지 브라질에서 열렸던 자기부상열차 학술 대회 Maglev 2014에서 발표된 논문을 중심으로 독일,

중국 및 일본의 기술개발 및 상업화 동향을 소개하고 시사점을 정리해본다.

2. 해외 현황

2.1 독일

독일은 전자석(EMS)과 선형동기전동기(LSM)를 이용하는 Transrapid를 1960년대 후반부터 개발하여 2004년에 상하이에서 상업운행을 시작해 이제 10년이 경과했다.[1, 2] Transrapid의 기술적 특징은 선로와 열차의 간격을 10mm로 유지하는 정밀제어기술을 적용한다는 것이다. 정밀 위치제어 덕분에 위치제어가 없는 방식에 비하여 승차감이 좋고 선로의 곡선반경을 상대적으로 작게 건설할 수 있는 장점을 갖는다. Transrapid의 최근 기술개발 현황을 3가지로 요약할 수 있다. 첫째, 10년간의 성공적 상업운행을 통하여 자기부상열차기술이 안전한 철도교통 방식의 하나임을 증명했다는 것이다. 둘째, Transrapid 기술개발 방향의 핵심은 시장에서 구매할 수 있는 타 산업분야 즉 전기자동차와 자동화 시스템의 최신 구성품들을 채택하여 제조원가와 유지보수 비용을 절감하고자 하는 것이다. 셋째, 상용화 확산을 위하여 스페인 Tenerife 섬에 추진 중인 노선 건설을 적극적으로 지원하는 것이다. 이들을 상세히 소개하면 다음과 같다. 상하이 노선에서 지난 10년간 극한 날씨의 영향을 받지 않으면서도 인명피해 없이 12.3 백만 km의 누적 주행거리와 36.7백만명의 승객수송을 달성했다는 것이다. 이를 통하여 초고속 자기부상열차의 정시운행성, 초



<그림 1> 상하이에서 운행 중인 초고속 자기부상열차 Transrapid



Figure 1: Island of Tenerife with route corridors

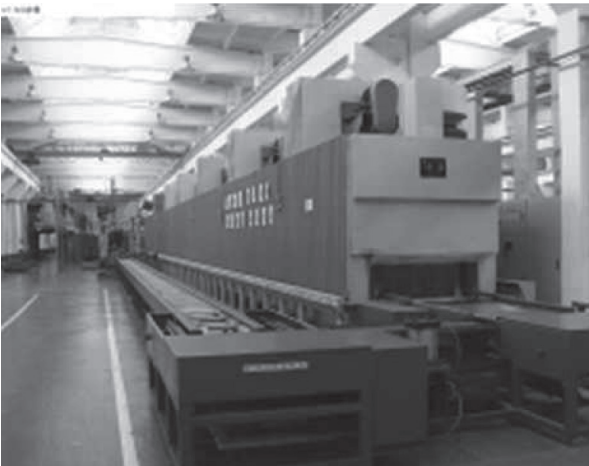
<그림 2> Transrapid 설치 추진 노선

고속주행 및 승객수송용량의 성능을 실증하였다. 2004년 운행시작 이래 평균운행정시성이 99.93%에 도달했다고 한다. Transrapid의 최근 기술개발 전략의 핵심은 제조

원 가, 유비보수비용을 낮추기 위하여 자기부상열차용으로 주문생산해야 하는 부품을 시장에서 저가로 구매할 수 있는 부품으로 대체한다는 것이다. 소량생산에 따른 비싼 가격과 생산중단을 피하면서도 향상된 성능을 얻는 것이다. 한 예로, 전기자동차에서 개발된 고용량 배터리나 연료전지 기술을 Transrapid 차상배터리에 적용하여 현재 일부 구간에서 열차에 전력을 공급하는 접촉 또는 비접촉 전력공급장치를 제거하는 것이다. 다른 예로, 현재 여러 개의 부상용 자석(10여개의 pole)을 하나의 제어기로 제어할 때 문에 주문제작된 최대 440V, 80A 용량의 전력증폭기가 사용된다. 이를 개선하기 위한 개념으로 제어기를 전자석 각 폴(pole)에 분산시켜서 전력증폭기 용량을 줄여 자동차에서 표준으로 사용되는 전력증폭기를 사용할 수 있도록 하는 것이다. 이러한 개념을 “mechatronic magnet poles”이라고 한다. 그렇게 하면 자동차에서 사용되는 제품을 사용할 수 있어 구매비용과 부피를 현격하게 줄일 수 있는 것이다. 이 접근법의 효과를 Transrapid 기술자들은 “옷가방 트렁크를 주머니책 크기로 줄일 수 있다”고 표현했다. “mechatronic magnet poles”을 적용하면 안내제어기를 제동용으로도 사용할 수 있어 비상용 전기제동장치를 제거할 수 있는 효과도 있다. 또 다른 예로 1~2km마다 선로변에 설치되는 추진용 20kV 고용량 인버터를 1kV용으로 분산시켜 시장에서 통용되는 산업용 인버터를 사용하는 것이다. 그러면 부피가 작아져 가이드웨이에 내재화시킬 수 있다. 그 결과 인버터 구매비용과 설치비용을 크게 줄일 수 있다. 궁극적으로는 자기부상열차 초기투자비용과 유지보수 비용을 바퀴식보다 낮출 수 있는 것이다. 마지막으로 Transrapid의 신규노선 설치 노력이다. 카나리아 제도에 있는 Tenerife 섬은 화산섬으로 최대 고도는 3,718m, 넓이는 2000m², 상주인구는 100만명이고 년 방문객은 500만명인 섬이다.[3] 현재의 교통수단은 승용차와 버스이며 하나의 트램이 운행되고 있다. 인구의 약 45%는 북쪽에 살고 있는데 관광객이 주로 찾는 남쪽에는 전체 인구의 15%만 살고 있다. 2개의 공항이 있는데 북쪽과 남쪽에 각각 있으며 65km 떨어져 있다. 이러한 상황으로 남북을 잇는 유일한 도로는 북쪽에 살면서 남쪽으로 출퇴근해야 하는 주민과 관광객으로 인하여 도로혼잡이 일어나고 있다. 이를 철도로 해결하고자 하는데 Transrapid가 후보로 고려되고 있다. 그 이유는 지리적으로 급경사가 많고 총노선길이 120km



<그림 3> 중국에서 제작한 Transrapid



<그림 4> 선형전동기 생산라인 구축

중 41 km가 터널이기 때문이다. 이러한 지리적 환경에 유리한 방식이 바로 자기부상열차이기 때문이다. 선형계획, 운영개념, 수송용량 및 환경영향을 종합적으로 분석할 결과 Transrapid가 빠르면서도 안전하게 모든 요구조건을 만족함을 보였다고 한다. 이 신규노선의 건설여부는 유럽에서의 초고속 자기부상열차 상용화 기회로 관심있게 지켜볼 필요가 있다.

2.2 중국

중국의 기술개발 동향은 두 가지로 요약할 수 있다. 그것은 Transrapid 기술의 국산화와 운영기술의 축적이다. 우선 향후 신규노선을 대비하여 기술의 국산화 목적으로 National Maglev Transportation Engineering R&D Center를 설립하였다. 그러한 노력의 결과로 <그림 3>과 같이 중국 자체적으로 열차를 제작하여 2011년부터 실제 운행하고 있다. 부상, 안내제어 구성품 이외의 대부분은 중국에서



<그림 5> 고속 분기기 개발

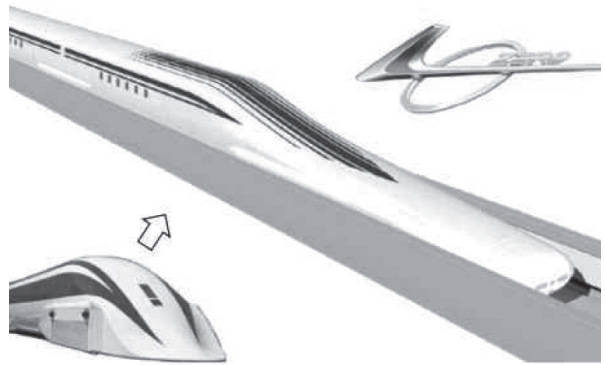
자체 제작하였다고 한다.<그림 3> 중국에서 제작한 열차는 기존 Transrapid 대비 실내소음을 5dB(A)까지 낮아졌다고 한다. 차량 이외에도 선형전동기 양산라인 구축, 저속/고속 분기기 및 경량 거더를 자체적으로 개발하였다. 이러한 노력의 결과로 중국이 초고속 자기부상열차 기술의 선두로 등장하고 있는 것에 주목할 필요가 있다. 특히, 유일하게 상업운영 노선을 보유하고 있어 기술발전 속도는 가속될 전망이다. 그러나 추가 노선이 미정여서 기술개발 성과물의 적용에 있어서 어려움에 처해있다고 할 수 있다. 그러나 중국은 거대한 철도 네트워크가 구축되고 있어 자기부상열차가 유리한 노선이 있을 것으로 예상된다.

2.3 일본

일본의 초고속 자기부상열차는 독일 Transrapid와 다르게 초전도자석과 선로 측벽에 설치된 8자형 코일에의 유도전류에 의한 부상원리를 사용하고 있다. 이 방식은 부상제어가 필요 없다는 것이 장점이다. 1997년 이래 야마나시 시험선에서 최고속도 581km/h와 누적 주행거리 874000 km를 달성하면서 실용화 준비를 해왔다. 2013년부 터는 시험선의 길이를 42.8km로 연장하고 실용화차량 L0 모델을 개발하여 시험운행 중이다. 이 일본은 기술개발과 상용화에 있어서 가장 주목할 만한 것은 “Chuo Shinkansen” 건설계획 발표이다. Chuo Shinkansen의 노선 도와 개요는 <그림 6>과 <표 1>에서 보여주고 있다. 도쿄와 오사카를 최고속도 505km/h로 잇는 자기부상열차 노선을 2014년도



<그림 6> Chuo Shinkansen 노선도

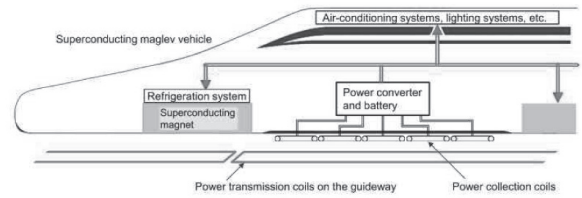


<그림 7> 상용화 모델 L0

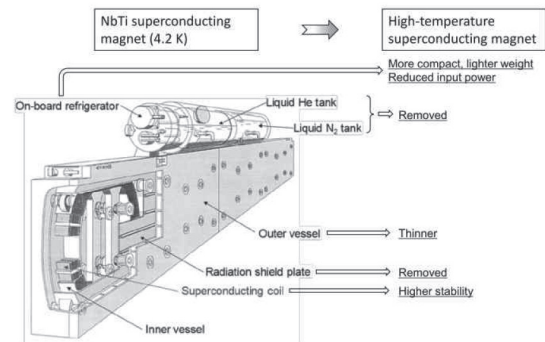
<표 1> Chuo Shinkansen 개요

Items	Chuo Shinkansen(2027~)	Chuo Shinkansen(2045~)
Route	Tokyo-Nagoya	Tokyo-Osaka
Length	286km	438km
Journey time	40min.	67 min.
Max. speed	505km/h	505km/h
Total cost	5.5 trillion yen	9 trillion yen

에 착공하여 2027년에는 나고야까지 2045년도에는 오사카까지 개통을 목표로 한다는 것이다. 91조원을 투자하여 5,000만 명을 단일생활권으로 만들고 50년간 107조원의 경제효과를 유발할 계획이라 밝혔다. 더 나아가 미국 뉴욕과 워싱턴을 잇는 고속철도에 무상으로 자기부상 기술을 주고 총 투자액 10조 원 중 5조원을 제공하겠다고 미국에 제안도 했다. 이러한 투자는 충분한 수요가 있고 초고속 자기부상열차를 신산업으로 키워 경제부흥을 이루겠다는 일본 정부의 강력한 의지가 담겨 있다고 할 수 있다. 특히, 미국 철도시장을 선점하려는 강력한 의지는 눈여겨볼만하다. 기술개발 측면에서는 중요한 것 3가지를 꼽을 수 있다. 하나는 공기역학적인 효과를 개선하고 선두차의 승객 공간을 늘리기 위하여 차량의 형상을 <그림 7>과 같이 변



<그림 8> 유도급전 시스템 원리



<그림 9> 고온초전도 코일 이용에 따른 장점

경하는 상용모델을 개발한 것이다. 선두차의 코(nose) 부분의 길이가 무려 15m로 늘어났다. 다음으로 차상 전력공급장치를 현재의 가스터빈에서 비접촉 유도급전방식으로 변경하기로 했다는 것이다. 고속 및 큰 공극에서도 충분한 용량의 전력공급이 가능하다는 것도 확인하였다고 한다. 유도급전의 원리를 <그림 8>에서 보여주고 있는데 선로

에는 급전용 코일을 깔고 차상에는 집전장치를 설치하는 것이다. 마지막으로 고온초전 도체를 이용하고자 하는 것이다. 현재 사용중인 NbTi 코일을 고온초전도체인 Bi2223, YBCO를 적용하는 것이다. 이러한 고온초전도를 이용하면 안정성, 전류밀도, 냉각장치 및 경량화 측면에서 상당한 개선이 되는 것이 확인돼 향후 채택을 고려하고 있다. 고온초전도체를 사용할 때의 부상 장치 개선효과를 <그림 9>에서 보여주고 있다. 그러나 비용을 포함하여 여전히 안전한 운영에 극복해야 할 난제가 남아있다고 한다. 일본의 경우 이렇게 장시간의 기술개발과 대규모 투자를 동반한 적용이 가능하게 되는 것은 운영 사인 JR Central의 열의가 있기 때문이다.

3. 시사점

이상과 같은 해외의 초고속 자기부상열차 기술개발과 상용화 계획을 통하여 얻은 시사점을 다음과 같이 요약할 수 있다. 첫째, 초고속 자기부상열차 기술은 이미 충분히 성숙되었다는 것이다. 둘째, 초고속 자기부상열차를 교통 수요 충족과 신산업창출에 의한 경제활성화의 한 대안으로 삼고자 한다는 것이다. 셋째, 연구개발에서 상용화에 이르기 위한 성공의 핵심 요인 중 하나는 운영사의 주도적 역할이라는 것이다. 넷째, 자동차와 같이 선행기술을 수용하여 원가절감과 신뢰성을 용이하게 확보하는 전략이다. 이러한 해외사례에 의한 시사점을 바탕으로 국내의 초고속

자기부상열차 기술개발 방향에 의견을 제시하고자 한다. 국내의 경우 국토교통과학기술진흥원에서 2012년부터 초고속 자기부상열차 핵심기술개발을 지원하고 있다. 현재, 실험차를 개발 중에 있다. 현재 절대 기술수준만으로는 해외와 국내를 비교한다면 국내는 후발주자라고 할 수 있다. 선발주자를 따라잡기 위한 전략으로 국내의 강점기술인 전기자동차와 ICT기술을 적극적으로 도입하는 것이다. 그래서 차량, 선로 분야에 있어서 초기투자비와 유지보수비를 줄이면서도 신뢰성을 확보한다면 오히려 Transrapid나 LO보다 경쟁우위를 점할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 중국이나 독일과 협력방안을 모색할 필요가 있다. 현재 초고속 자기부상철도 시장이 형성이 더딘 상황에서 경쟁보다는 협력을 통하여 바퀴식보다 경제적인 시스템이 되도록 해 시장을 창출한다면 각국에게 기회가 생길 수 있기 때문이다. ☺

♣ 참고문헌

- [1] Peter Becker, Juergen Frantzheld, Friedrich Loeser and Qinghua Zheng(2014), "Transrapid - Proven Solution Meeting Current and Future Transport Needs," Proceedings of Maglev 2014.
- [2] E. Fritz and Prof. P. Mnich(2014), "Maglev railway connecting airport and seaport infrastructure in Tenerife," Proceedings of Maglev 2014.
- [3] Lin Guobin and Sheng Xiongwei(2014), "Application and Development of Maglev Transportation in China," Proceedings of Maglev 2014.
- [4] Hiroyuki Ohsaki(2014), "Japanese Superconducting Maglev - Development and Commercial Service Plan -," Proceedings of Maglev 2014.