

한국형 고속전철의 연구개발계획

김 용 주* · 신 판 석**

(*한국전기연구소 전력기기 연구실장 **연구원)

1. 개 요

19세기초 영국에서 개발된 증기 기관차로 인하여 육상교통이 큰 변혁을 맞은 이래 열차의 속도, 승차감, 신뢰도 및 안전도, 경제성의 제고 등에 대한 계속적인 기술발전과 개량으로 철도 교통은 대량수송수단의 주역으로 경제발전과 인류역사에 크게 공헌하여 왔다. 산업발전에 따른 고속화와 전철화로 철도차량의 최고속도는 프랑스의 고속전철(TGV)이 300km/h까지 도달했으나 고속주행시의 소음, 공해 등으로 인하여 21세기 인류에게 제공될 지상의 대중교통수단으로서는 여러가지의 제한점을 보이고 있다. 최근 우리나라에서도 지속적인고도 급속한 산업발전과 사회복지의 향상으로 국내의 산업물동량과 산업인구의 이동이 급격하게 증가하여 우리나라 산업동맥의 중추인 경부선의 경우 일일 수송능력은 120회/일 이르렀고 철도교통수요의 증가율('84년 예측치 5.9%/년)과 특급이상의 승객증가율('84년 예측치 12.5%)에 비추어 볼 때, 1995년경에는 완전포화 상태에 도달할 것으로 예상되고 있다[1,2]. 이러한 산업교통량의 증가와 전국교통망의 교통포화를 대비하여 제2의 경부선 건설이 불가피하게 됨에 따라 교통부는 1983~1985년에 경부선 교통투자의 필요성과 고속전철 타당성 조사를 실시하였고[1], 수송능력의 확대 및 지속적인 경제발전을 위해 정부는 서울-부산 고속전철건설계획을 수립하여 현재 상세기술 조사가 진행되고 있어 1991년 중에 경부간 고속전철

공사를 착공하게 될 것으로 발표하였다.

한편, 과학기술처에서는 산·학·연 협동으로 “고속전철 기술개발 전략수립을 위한 조사연구”[3]를 실시하여 한국형 고속전철 기술개발을 위한 방향을 제시해 주고 있으며 '89년도 부터 한국형 자기부상열차 개발을 위한 기반기술에 대한 연구를 출연 연구기관을 통해 시작하였고 이와 더불어 EXPO '93에 자기부상열차 시험 모델을 개발하여 전시은행할 계획을 가지고 있다. 산업화에 따른 대도시의 심각한 교통난의 해소방안이 다각도로 모색되고 계획되는 시점에서 자기부상열차는 일본, 독일 등 선진외국에서 이미 20여년전부터 연구개발에 착수하여 현재 실용화 단계에 도달하였으며, 21세기에는 산업화와 인류사회의 복지화에 상응하는 육상 대중 교통수단의 주역을 담당하게 될 것이다.

본 소고에서는 21세기 고도사회 진입에 대비하고 국민의 생활수준향상에 부응하는 빠르며, 쾌적하고, 안전한 고속 대중 교통수단으로써 관심을 불러 일으키고 있는 고속전철을 소개하고, 현재 운행하거나 개발중인 외국의 기술현황을 기술적인 면과 운용면에서의 고찰을 통하여 한국의 교통체계, 지형, 미래의 교통구조 등을 고려한 한국형 고속전철의 개발방향을 제시하고자 한다.

2. 고속전철의 국외 기술현황

산업화로 인하여 인구가 도시에 집중됨에 따라 독

일, 프랑스, 일본, 영국, 캐나다 등 산업 국가들은 1960년대부터 도시간 여객의 고속 및 대량수송을 위하여 200~500km의 중장거리 도시간 철도의 고속화를 추진하게 되었다. 화석에너지 자원의 소비에 따른 환경공해문제가 전세계의 사회문제로 등장하면서 전기철도는 대량수송성, 안전성, 고속성, 에너지 절약성, 안락성 등과 아울러 저공해성의 대중 교통수단으로 부상되고 있다. 고속전철은 크게 Wheel-on-rail방식과 자기부상 방식으로 대별되며 현재 Wheel-on-rail방식은 일본과 프랑스에서 상업운행을 하고 있다. 또한 자기부상 방식은 20여년전부터 연구가 진행되어 시험 운전중에 있으며 일부 중저속 단거리용 열차는 상업운전을 하고 있다.

일본의 고속전철인 신간선은 1960년대초에 개발되어 최고운행속도 210km/h를 기록하였고 고속화, 경량화, 성에너지화 및 고급화 등의 연구개발을 계속하고 있으며 1990년대에는 신간선의 대부분의 구간에서 운행속도를 250~270km/h로 향상시켜 궁극적으로는 300km/h대로 고속화 시킬 계획을 가지고 있다. 프랑스에서는 1980년대초에 파리와 리용간을 최고속도 270km/h로 운행하는 세계 최고속도의 고속전철인 TGV(Train a Grande vitesse)-PSE(Paris South East)가 상업운전을 개시하게 되었다. 1980년대 후반부터 이들 고속전철 보유국들은 보다 빠르고 안락한 21세기의 고속전철을 위하여 집전성능의 향상, 환경소음저감, 경량화 및 에너지 절약, 터널형상 설계개선, 공기 역학적인 차체설계, 보수유지를 포함한 궤도의 개선등에 대한 연구를 계속하고 있다. 그 결과로 프랑스는 1988년 말에 TGV-A(Atlantique) 열차로 최고 시속 418km/h의 시험주행에 성공하였고, 독일은 ICE(Inter-City Experimental) 열차로 최고 시속 406Km/h의 시험주행에 성공하였으며, 일본은 동북 신간선에서 275km/h의 시험최고 속도를 기록하였다[3].

그러나 이들 Wheel-on-rail 방식의 열차는 경제속도의 한계가 300km/h로 알려져 있으며 환경소음문제와 집전성능향상 등의 문제점을 안고 있다[4].

물론 150여년동안 발전과 개발을 계속해온 이 방식은 간단하고 견고한 구조, 풍부한 운행경험, 트럭의 변형이 없이 차축이 견딜 수 있는 부하의 허용치가 높은 점 등의 장점을 가지고 있으며 동시에 Unsprung Primary Mass와 궤도와 결함의 견고해

승차감이 좋지 않은 점, 마찰에 의해 추진력과 제동력이 제한을 받으며, 바퀴의 플랜지의 단면모양에 의해 정현과적인 측면진동이 발생하며, 커브주행시 바퀴가 레일에 완전하게 접촉하지 않는 점, 적재량에 비해 차체무게가 비교적 무거운 점 등의 단점도 안고 있다. 특히 고속 주행시에 나타나는 특유의 문제점들은 다음과 같다.

- 추진력과 제동력이 마찰에 영향을 많이 받기 때문에 최급구배(gradient)가 제한을 받는다.
- 정현과적으로 발생하는 측면 진동과 커브 회전시 발생하는 바퀴의 요란은 바퀴와 레일의 급속한 마모를 초래하며, 또한 레일의 위치도 변경을 가져온다.
- 제어 불가능한 측면 발생힘에 의해 커브경사도(cant)가 제한을 받게 된다. 따라서 승차감을 향상시키기 위해서는 속도의 제공에 비례하여 열차의 회전반경을 증가시켜야 한다.
- 제한된 경사등판능력과 큰 회전반경으로 인해 지형적으로 어려운 구간이나 인구 밀집지역 등에서는 터널과 교량공사의 부담이 증가해 건설비용이 과도하게 늘어난다.
- 열차의 무게 및 용적은 속도의 세제곱에 비례하는데, 이로 인해 속도가 증가할 수록 적재량/차량무게 비율이 감소한다.
- Wheel-on-rail 시스템의 주행시 소음은 속도에 따라 급격히 증가하므로 소음방지를 위한 부가적인 설비가 필요하다.

반면에 전자력을 이용하여 부상하고 추진되는 자기부상열차 250km/h이상의 속도에서 기술적, 경제적 그리고 환경적인 면에서 Wheel-on-rail방식에 비해 다음과 같은 장점을 가지고 있어 절대적인 우위를 점하고 있다.

- 비접촉 방식에 의해 지지안내(Support guide), 추진, 제동 등이 이루어 지므로 마찰에 의한 마모가 없다.
- 모든힘이 면적부하의 형태로 전달되기 때문에 guideway에 미치는 기계적 스트레스의 강도가 낮다. 이는 고속 Wheel-on-rail방식의 1/1,000~1/10,000정도에 불과해 구조물이 상대적으로 경량화되고 승차감이 좋다.
- 선형추진(Linear Propulsion)방식은 비접촉식이고 마찰이 없어 이론적으로는 수직으로도 상

승할 수 있다. 그러나 승차감 및 경제적인 이유에서 최대 허용경사도는 10%이다. (일본 신간선 : 1.5%, 프랑스 TGV-A : 3.5%)

- 측면에서 발생하는 안내력이 제어가능 하므로 커브 경사도를 높일 수 있어 승차감 및 안정성을 유지하면서 회전반경을 대폭 줄일 수 있다.
- 높은 경사도 및 짧은 회전반경이 허용되기 때문에 공사비를 절감할 수 있다.

이상과 같은 이유들로 해서 자기부상 시스템의 선로 건설비는 속도에 비례해서 증가하는 추세가 Wheel-on-rail방식에 비해 급격하지 않으므로 250 km/h이상의 속도에서는 자기 부상열차의 건설이 더 적합하다. 본고에서는 대표적인 자기 부상열차인 독일의 TRANSPRAPHID와 일본의 MLU를 소개코져 한다.

2.1 독일의 TRANSPRAPHID

1960년대 말경에 독일에서는 독일과학기술처(BMFT)의 지원하에 미래의 고속 육상 운송시스템에 사용될 새로운 운송수단에 대한 연구가 시작되었다. 1974년에 개발방향은 EDS(Electrodynamic Suspension) 방식과 EMS(Electromagnetic Suspension)방식으로 초점이 모아졌으며, EDS방식에 대한 장단점을 비교 검토하고 EDS방식의 시험용 차량인 EET 01을 제작해 시험한 후 개발방향은 최종적으로 EMS방식으로 결론지워졌다. 현재는 TRANSPRAPHID 06이 '83년에 제작 완료되어 Emsland지방에 31.5km 구간의 시험 가이드웨이를 건설하여 제반시험중이다(그림1). Emsland시험구간에서 주행시험 및 특성시험을 실시하여 1984년 6월에 300km/h의 속도를 기록했고, 1988년 1월에는 412.6km/h까지 달성하였으며, 현재는 400km/h이상의 속도로 주행할 수 있는 TR07을 개발중에 있다.

TRANSPRAPHID는 2개의 동일한 차량으로 구성되어 있으며 각 차량에는 8개의 자기 지지 보기(magnetic suspension bogie)가 장착되어 있다. 부상높이는 약 0.8~1.5cm정도이며, EDS와는 달리 속도에 무관한 부상력을 얻을 수 있어 별도의 지지구가 필요없지만 불안정시스템이기 때문에 능동 동적 귀환제어(active dynamic feedback control)를 이용하여 안정상태를 유지시켜야 한다. 현재까지 독일

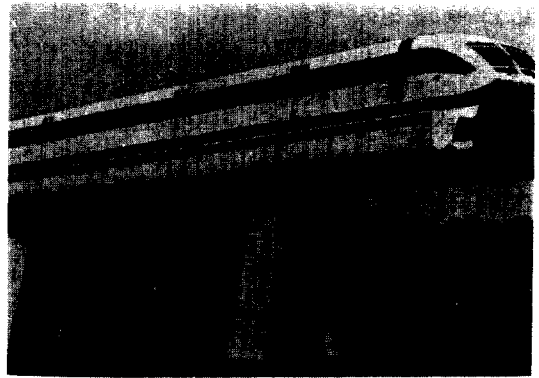


그림 1. TRANSPRAPHID 06

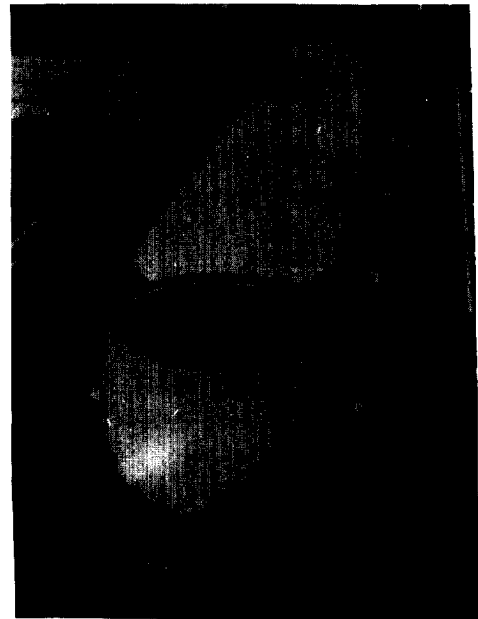


그림 2. 일본의 MLU-002

국내 및 유럽, 북미의 여러 교통축의 건설 타당성 조사가 진행되어 왔고, 이 중에서 미국 남부 캘리포니아의 로스앤젤리스-라스베가스 교통축에의 타당성 검토는 상당한 진척을 보았으며[8], 우리나라에도 경부축에의 건설타당성조사를 제의한 바가 있다[5].

2.2 일본의 MLU

일본에서는 자기부상시스템에 관한 연구가 1962년부터 일본 국철에서 시작되었으며, 부상방식은 초전도 자석을 이용한 EDS방식을 채용하였는데, 이는

안전을 고려하여 트랙에 충분한 에어갭의 여유를 두기 위한 것이라고 여겨진다. 실제크기의 시제품은 1972년 철도기술연구소에서 첫 선을 보였으며, 이때의 모델은 가이드웨이가 역T자형인 ML-500이었다.

1974년에 규슈의 미야자키에 시험 트랙을 설치하기 시작하여 1979년에 7km의 시험구간을 설치 완료했다. 1980년에 들어서는 새로운 차량인 MLU-001을 1량, 2량 또는 3량을 1조로 하여 주행시험을 실시해 왔다. 2량만으로 주행시 최고속도 400km/h를, 3량 주행시는 352km/h를 기록했다. 이상적인 속도에 이르지 못한 것은 트랙의 옆에 설치되어 있는 전원 공급장치의 사이클로컨버터(cycloconverter)의 전압제한 때문이었고, 이의 개량이 진행중이다.

MLU-001의 가장 큰 특징은 4K 온도하에서 동작하는 초전도 자석인데 큰 부상높이(약10cm)를 유지하기 위해서는 막대한 자장이 필요하며 이를 위해서는 초전도 자석이 필수적이다. 그러나 극저온상태 유지를 위해서 액화 헬륨을 사용해야 하고, 동작중 기화하는 액체헬륨을 다시 액화시키는 장치 등이 필요해 시스템의 유지, 보수가 까다로우며 자장이 막대해 차량내로 유입되는 것을 차폐시키는 방안도 마련해야 할 것이다. 따라서 상업적 운용을 염두에 둔 시험차량의 제작을 위해서는 아직 미진한 부분이 많으며, 독일의 TRANSRAPID에 비해 기술적으로 5년정도 뒤져 있다고 보고 있다.

MLU에서 사용하고 있는 EDS방식의 가장 큰 특징이자 장점은 주행시 열차와 가이드웨이간의 부상높이가 10~15cm에 이르러 기후나 미세한 지진, 가이드웨이의 표면상태에 큰 지장을 받지 않는다는 점이다. 또 다른 장점은 지지원리가 완전히 수동적이며 시스템의 안전성과 신뢰성이 높다는 점이다. 그러나 부상력이 속도에 비례하기 때문에 저속에서는 부상할 수가 없어서 보조적인 지지기구가 필요하다는 결점에 있어서 EDS방식의 차량은 설계에 의해 차이는 있겠지만 적어도 60~80km/h의 속도가 되어야 자기부상력을 얻을 수 있다. 일본 국철에서는 현재까지의 MLU-001의 시험결과 및 축적된 기술을 통해 MLU-002를 개발하였으며(그림2), 이를 이용하여 연구개발을 계속하고 있고 장래 상업운용에 투입될 자기부상열차의 체계를 산정하였으며, 실제크기의 시험용차량은 90년대에 완성될 것으로 예상하고 있다.

3. 국내 기술 현황

지난 10여년간 국내의 고속전철 관련 기술개발은 기존 경부선의 속도향상과 철도교통의 발전을 위하여 철도청을 중심으로 철도 차량 제작회사들이 연구소와 학계 공동으로 연구개발을 주도해 왔으며 차량의 구조해석, 주행성능을 비롯한 차량 동역학적 해석 및 Computer Simulation, 주행 안정성 해석, 차체의 공기 역학적 해석, 소음저감, 동력전달 및 제어장치, 대차 설계기술 등 다양한 분야에 걸쳐 기초 및 응용연구를 수행하여 왔다. H사의 연구소에서는 1987년~88년 사이에 디젤동차 제어장치 개발, 차륜공전 제어장치 개발, 전동차용 chopper 및 전장품 개발, 차량용 보조전원장치(SIV)개발 등을 수행하였으며, G사의 연구소에서는 미국의 GRS사의 기술도입으로 CTC시스템을 개발하였으며, 현재 ATC/ATO 장치 관련 기술자료조사 및 개발 가능성 조사와 DTS(Data Transmission System)연구도 진행중에 있다.

이러한 연구를 기본으로 1986년부터 87년까지 한국형 고속열차(신형 새마을열차)를 개발하였고, 경부선의 선로보강과 레일의 용접을 통하여 경부간 주행시간을 약30분 정도 단축하는 데 성공하였다. 현재 국내 업계의 기술수준은 최고 150km/h의 속도의 전동차와 객차, 그리고 제반 전기통신 제어기술을 보유하고 있지만 200km/h이상의 고속전철에 대한 기술은 전무한 상태이다.

최근에는 국내에서도 자기부상열차 기술에 대한 연구가 시작되어 한국전기연구소는 자체연구를 통하여 자기부상열차의 서울-부산축에의 적용 가능성에 대한 기초연구를 수행하였고[5], 1990년부터는 과학기술처의 특정연구인 21세기 교통기술 개발을 위한 조사사업의 일환으로 자기부상열차의 기반기술 개발을 위한 연구를 시작하였다. 이에 발을 맞추어 국내 업계에서도 자기부상열차에 대한 기초 연구가 수행되고 있다[6,7].

또한 정부에서는 1993년에 대덕연구단지에서 개최될 EXPO '93에서 박람회장내의 승객운송수단으로 자기부상형 고가열차를 설치하여 전시운영하기로 결정하여 관련부처, 연구기관 및 관련 업계가 공동으로 기본연구에 착수해 한국형 자기부상열차 개발을

단으로 선보이게 될 것이다.

제2단계라 할 수 있는 도시형 중저속 자기부상열차 실용규모시스템의 개발은 EXPO '93의 전시 모델을 발전시켜 운행 최고속도 150km/h급의 열차를 개발하여 장거리 시험선로에서 시험 운전하게 될 것이며, 초고속 부상열차의 모델개발도 병행하게 될 것이다. 이 단계에서는 소재기술을 이용하여 차체의 내구, 경량화 및 공력설계에 중점을 두고, 이에 따른 고속운행을 위한 제어통신기술, guideway관련기술, 주요부품의 국산화 개발, 장거리 시험선로의 건설, 시험용 고속열차 모형제작 및 시험 등이 이루어지게 될 것이다. 중저속부상열차는 대도시에서의 고가열차, 도심-공항공간 고가열차, 대도시-위성도시간 고속열차 등으로 활용될 수 있을 것이다.

제3단계에서 개발되는 초고속 자기부상열차는 기반기술과 중저속 부상열차 개발기술을 토대로 시속 400~500km의 장거리 도시간의 초고속 열차가 될 것이다. 이 단계에서는 초고속화에 따른 제반설비의 성능 및 안전도 향상을 위한 기술개발과 운행구간간 수변전설비, 제어기술, guideway의 건설기술개발이 이루어져야 하며, 21세기에 일대 변혁을 가져오게 될 고온 초전도 재료 및 가공기술에 대한 연구도 병행되어야 할 것이다.

5. 결 론

21세기의 교통체계를 주도하게 될 자기부상열차는 고속성, 안전성, 무공해성, 경제성 등에서 우수한 평가로 크게 각광을 받아 대중 교통수단으로 널리 운용될 것이다. 한국형 자기부상열차 개발은 첨단 기초과학기술, 신소재 개발 등 복합재료기술, 제어 및 통신기술 개발 등에 큰 파급효과를 기대할 수 있으며 공해 없는 고속 수송수단의 확보로 대도시 교

통체증의 해소와 대중 교통체계를 구축할 수 있고 대도시와 중장거리 거점 및 위성도시와의 고속대량 수송체계를 확보할 수 있으며, 초고속화로 인한 인구분산 효과와 전국을 일일 경제 활동권으로 묶을 수 있을 것이다. 또한 자기부상열차의 기술은 무공해 초고속 수송수단을 필요로 하는 세계시장에의 진출을 기대할 수 있을 것이다.

상기와 같은 기술적 및 경제적인 면에서의 파급효과는 관련 부처와 산·학·연이 긴밀한 과학기술 협력체제를 이루고 민족의 백년대계를 바라보는 큰 안목에서 자기부상열차에 대한 인식과 평가가 국민적 차원에서 이루어져 미래의 첨단 교통 수단으로 채택 되었을 때 더욱 극대화 될 것이다.

참 고 문 헌

- [1] "경부선 교통투자 필요성 검토 및 고속전철 타당성 조사", 교통부, 1985.
- [2] "경부선 수송능력 증강 필요성과 일본 및 프랑스의 고속철도 건설배경에 관한 연구", 이진영·허일도, 국토개발연구원, 1985.
- [3] "고속전철 기술개발 전략 수립을 위한 조사 연구", 한국기계 연구소, 1989.5.
- [4] 김용주, "초고속 자기부상 시스템우리 세계적 기술 현황과 실용화 타당성", 전기학회지, Vol.38, no. 6, 1986.
- [5] "자기부상 시스템의 수도권 교통수단 및 서울-부산 축의 적용 가능성에 대한 검토연구", 한국전기연구원, 1989.10.
- [6] "외국의 자기부상 System의 현상 및 개발동향", 현대정공(주), 1988.9.
- [7] "현대정공(주) 자기부상 열차개발", 동아일보, 1989.5.15.
- [8] "Super Speed Ground Transportation System LasVegas/Southern California Corridor Phase II", CIGGT Report no.86-10, 86-16, 86-19, 1986.