

세계 고속철도의 과거, 현재, 미래 및 당면과제 (2)



서사범

(주)서현기술단 부사장
공학박사 · 철도기술사
suh7484@hanmail.net

IV. 세계의 주요 고속열차

1. The Hyperloop

급진적으로 혁신적인 열차 디자인은 일반적으로 새로운 기술에 대해 보수적인 태도를 갖고 있으며 철도산업에서 흔히 있는 일은 아니다. 그래서 억만장자 사업가 Elon Musk가 가압튜브를 통해 캡슐을 수백 마일 발사하는 교통시스템에 대한 디자인 개요를 2013년에 발간했을 때 세계 언론의 관심을 끌었다.

Musk가 제안한 샌프란시스코~로스앤젤레스 간의 'Hyperloop'는 철탐에 현수되고 공기의 대부분이 진공인 대형 철강튜브이다. 그 튜브 안의 캡슐은 1 mm의 얇은 공기 층(bed) 위를 부유하여 1,200 km/h의 최고속도까지 가속하고 감속할 것이다. Hyperloop는 오늘날 자기부상열차를 추진하는 데에 사용되는 것과 유사한 유

형의 선형유도모터를 사용할 것이다. 캡슐은 각각 28명의 승객을 수송하며, 캡슐의 전방에서 후방으로 고압 공기를 전달하기 위해 팬(fan)과 공기압축기가 장착될 것이다. 시스템은 철강튜브의 상단에 탑재된 태양열 패널과 배터리를 연료로 사용할 것이다. 두 도시 간의 555 km를 여행하는 데에 단지 35분이 걸릴 것이다.

남아프리카 태생의 물리학자로서 산업기업가로 변신한 Musk가 2013년 8월에 초기 Hyperloop 디자인을 공표한 이후로 아마추어와 몇몇의 전문 엔지니어들이 미디어와 온라인에서 그 계획의 약점과 장점을 논의해왔다. Ansys의 전산 유체역학 전문가들과 수학적 컴퓨팅 공급자 Mathworks를 포함한 소프트웨어 회사들은 컴퓨터 시뮬레이션을 실행한다.

아이디어와 함께 근본적인 공학적 과제는 통상적으로 튜브 내의 잔존공기의 이동으로 생성된 열의 처리와 그 열이 장비에 어떻게 영향을 줄 것인가를 중심으로 다룬다. 또한, 시스템이 얼마만큼의 에너지양을 필요로 하며 강풍이 튜브와 철탐 구조에 어떻게 영향을 미치고 캡슐의 이동에 어떻게 영향을 미치는지에 관하여 의문이 있다.

2. Maglev

현실적으로 세계에서 가장 빠른 열차인 일본 JR Central의 MLX01은 580 km/h를 유지하고 있다(2015.4.21의 시험운행에서 603 km/h 기록). 2020년 올림픽 때에 Tokyo에서 Kofu까지의 100 km 노선에서 열차가 주행하기를 기대하고 있다. 장기계획은 2025년까지는 나고야까지, 2047년



〈그림 23〉 The Hyperloop is at the very early stages of design



〈그림 24〉 The MLX01 at the Railway Park exhibition



〈그림 25〉 Shanghai Maglev, 2014.4

까지는 오사카까지의 선로를 2단계로 건설하는 것이다.

MLX01은 열차 양쪽의 가이드웨이에 내장된 코일에 전류를 유도하기 위해 대차(bogies)에 초전도 자석을 이용한다. 열차는 처음에 고무바퀴로 주행하지만 속도가 150 km/h 이상으로 증가되면 전류가 열차를 가이드웨이 위의 공중으로 100 mm 뜨게 하기에 충분하다. 이것은 차륜과 레일의 마찰에 제약받지 않고 속도를 증가시킬 수 있게 한다. 리니어모터는 가이드웨이의 2차 코일 세트를 작동하기 위해 사용된다. 코일은 열차 아래 궤도에도 함께 링크되어 있다. 이들의 링크는 열차의 위치를 바로잡기 위해 사용된다. MLX01은 실험열차이다.

세계유일의 상용운행 자기부상열차는 중국의 상하이 자기부상열차로서 Pudong 국제공항으로부터의 30.5 km를 8분 안에 주행하며 최고속도가 500 km/h에 달한다. 상하이 자기부상열차는 일본의 디자인과 다른 기술인 독일 Siemens와 ThyssenKrupp 간의 합작회사인 Transrapid가 개발한 기술을 사용한다. 열차는 가이드웨이 주위를 감싸며, 전력은 열차의 배터리로 공급된다. Transrapid의 시스템은 초전도자석, 관련 냉각시스템 및 저속용 차륜이 필요하지 않지만, 열차는 배터리 때문에 훨씬 더 무겁다.

Maglev 기술은 속도와 신뢰성의 장점 및 수십 년의 연구에도 불구하고 예상보다 매우 비싸기 때문에 명성을 올리는데 실패했다. 도쿄~오사카 자기부상열차 라인에 대한 최근의 비용추정치는 500 km 고속열차서비스에 대해 무려 900조 원이라고 하며, 전문가들은 2045년까지도 완성되지 않을 것으로 추정하고 있다.

3. TGV/AGV(Trains a Grand Vitesse/Advanced Trains a grand vitesse)

프랑스의 TGV(Train à Grande Vitesse)는 지상의 차륜-레일 열차 중에서 가장 많이 검증된 고속철도이다. 원래 GEC-Alstom이 1970년대에 개발한 TGV는 여러 가지 다른 유형과 변종이 개발되어 왔으며 설계의 성공에 대한 하나의 증거로서 세계적으로 이용되고 있다. TGV의 성공은 프랑스 철도시스템을 모방하려고 하는 다른 나라들과 함께 유럽전역에서 고속철도시스템의 개발을 고취시키는데도 도움이 되었다.

TGV 열차는 고속철도에 많은 기술혁신, 특히 관절대차(두 객차가 한 대차를 공유), 고속 브레이크 및 차상신호를 도입했다. 첫 번째 프로토타입은 가스터빈으로 추진하도록 설계되었지만, 고유가 때문에 폐기되었다. 후속의 전기버전은 동력차의 무게를 줄이는 차체장착 견인 모터와 2단 고속 팬터그래프를 포함하는 등 더 많은 혁신을 포함하였다.

TGV 열차는 오늘날 Alstom과 Bombardier가 제작한다.



〈그림 26〉 TGV Est in the Paris Est train station



〈그림 27〉 The AGV runs on high speed lines in Italy



〈그림 28〉 The CRH380A is the first independently developed Chinese train

TGV POS(파리~Ostfrankreich~Süddeutschland) 변종은 최고속도가 575 km/h로서 차륜-레일 철도의 세계속도기록을 갖고 있다. 상용서비스에서 가장 빠른 TGV 열차는 프랑스 東고속선로의 파리~스트라스부르 간과 지중해 고속선로의 리옹~마르세유 간에서 320 km/h로 주행한다.

많은 사람들은 Alstom의 AGV(Automotrice à Grande Vitesse)가 유럽에서 가장 진보된 열차라고 생각하며 이탈리아의 다른 고속선로에서 300 km/h의 최고속도로 운행되고 있다. 그러나 AGV는 360 km/h까지 주행하였다. TGV와 AGV 간의 주요한 차이는 구동하는 방식이다. TGV 열차는 ‘동력집중’ 열차이다.

AGV 열차는 동력분산 열차이며, 견인장치는 차대(underframe)에 위치한다. TGV 열차는 2층 ‘duplex’로 할 수 있는 반면에, AGV 열차는 1층 열차로만 구성할 수 있다. Alstom에 따르면, AGV는 보수비를 줄이도록 열차 당 더 적은 수의 대차를 갖고 있으며, 영구자석 동기모터를 사용하기 때문에 더 효율적이고 조용하며 더 큰 내부공간을 갖고 있다.

양 열차는 고속열차 전용선로와 ‘오래된’ 기존의 네트워크에서 운용할 수 있다. TGV 열차는 중앙유럽 전역, 한국, 미국, Acela Express에서 사용하고 있다. 또한, 아르헨티나와 모로코 고속철도에서의 사용이 계획되고 있다.

4. Harmony CRH380A

중국 자체브랜드의 재래차륜방식 고속철도는 486 km/h의 최고속도와 380 km/h의 영업최고속도를 달성하였다. 열차는 CSR Qingdao Sifang Locomotive and Rolling

Stock가 제작했으며 2010년 10월에 처음 투입되었다.

중국의 고속열차는 중국의 대학들과 CRH2 출자 회사들의 컨소시엄이 개발했으며, 열차자체는 일본의 신칸센 디자인을 기반으로 하였다. CRH380A는 공기저항을 감소시키는 회전 포물면 썸기형 구조를 특색으로 하는 ‘저저항 유선형 선두’와 함께 新재료의 사용과 ‘선진 소음제어기술’ 덕분에 완전히 무진동의 CSR이라고 한다. 열차는 또한 회생제동시스템으로부터 더 많은 전력을 사용하는 ‘전기 공급 복합 브레이크 모드’도 갖고 있다.

지난 10년간 Siemens and Bombardier를 포함하는 국제 제조업체로부터 다수의 다른 고속열차를 구입했지만, 국내 철도부문을 발전시키려고 노력하고 있으며, 독자적으로 개발한 열차는 중국의 중요 상징이다.

5. ICE

독일철도(Deutsche Bahn)의 고속철도는 1980년대 동안에 개발되어 첫 번째 버전이 1991년에 서비스에 들어갔다. 가장 최근 버전의 열차 ICE 3은 Siemens와 Bombardier로 구성된 컨소시엄이 제작했으며, ICE 3은 407 km/h의 최고속도와 320 km/h의 영업최고속도를 갖고 있다.

ICE 열차는 거의 TGV만큼이나 많은 변종이 생겼고 주로 독일과 독일을 둘러싸고 있는 국가들뿐만 아니라 스페인, 중국 및 러시아에서 사용되며, 전적으로 Siemens가 제작한 ICE-변종 Velaro E(제3장 참조)는 350 km/h의 영업최고속도 주행한다.

ICE3은 처음 두 버전과 달리 가속도를 개선하고 승객에게 내부공간을 더 제공하기 위하여 프랑스의 AGV와 유사



〈그림 29〉 ICE3 class 407 / Velaro D

하게 견인모터가 열차 길이방향으로 열차 아래에 분포되어있는 점이 ICE 1, ICE 2와 다르다. 지멘스에 따르면, 열차가 20% 더 효율적으로 되도록 공기역학도 개선되었다. 열차는 無마찰 와전류 브레이크도 장착하고 있으며, 이 브레이크는 열차를 서행시키기 위해 반대 극에서 레일 내에 전류를 유도하는 전자석을 사용한다.

독일철도는 런던에서 브뤼셀을 경유하여 프랑크푸르트까지와 런던에서 암스테르담까지의 ICE 3 열차의 운영을 2015년에 시작할 계획이다.

6. Shinkansen

일본의 신칸센은 세계최초의 고속철도로서 1964년에 상용서비스를 시작하였다. 개발 이후 수십 년 동안 개량된 최신버전은 400 km/h의 최고속도를 갖고 있는 E5와 E6 시리즈의 신칸센 열차이다.

원래의 신칸센은 많은 기술혁신을 도입했다. 일본의 재래선로보다 더 넓은 표준궤간의 새로운 궤도는 고속열차 전용으로 건설되었다. 자동열차제어시스템은 선로연변 신호의 필요성을 제거하기 위해 개발되었다. 신칸센은 빠른 가속과 감속을 위해 총괄제어 전기열차와 경량차량들을 사용하였다.

수십 년의 개량과 기술적 진보의 후에 가와사키와 히타치가 제작한 E5와 E6 시리즈의 신칸센 열차는 여전히 최고성능의 일부 및 확실한 신뢰성과 안전성 기록을 제공한다. JR 東일본 철도회사에 따르면, E5와 E6는 팬터그래프와 차체 아래 대차의 소음을 감소시키는 소음절연 패널, 압력파와 소음을 줄이는 세련된 선두형상, 회생제동시스템으로부터 에너지를 더 얻기 위한 개량 및 고속으로 곡선을 통과할 때 원심력을 감소시키는 틸팅 시스템이 특징이다.



〈그림 30〉 The Shinkansen train latest version is the E6

신칸센기반 열차는 각각의 경우에 로컬 인프라트럭처의 요구에 맞춘 열차 디자인으로 중국, 영국 및 대만의 THSR 700T에 수출되었다.

7. Talgo 350

Talgo 350의 최고속도는 354 km/h이지만, 스페인의 선로에서는 330 km/h로 제한된다. 열차는 2007년에 마드리드에서 바르셀로나까지 서비스에 들어갔으며 스페인 회사 Patentes Talgo와 Bombardier로 구성된 컨소시엄이 제작하였다. 열차는 고속에서 공기저항으로 생기는 소음을 줄이도록 설계된, 독특한 부리와 같은 평평한 선두형상 때문에 'el pato(오리)'라는 닉네임을 갖고 있다.

열차는 터널과 분기기를 통과할 때의 안락함을 향상시키기 위해 경량의 기밀가압 차체와 함께 레일과 보조시스템 간의 견인에 높은 수준의 여유를 갖도록 설계되어 있다. 열차는 또한 승차감을 개선하기 위해 중심(重心)이 매우 낮다.



〈그림 31〉 The Talgo 350 is nicknamed El Pato

견인장치는 수냉식 IGBT 기술을 사용하며 열차는 완화 곡선 구간에서 궤도에 평행을 유지하는 틸팅 서스펜션 시스템을 갖고 있다. 열차는 사우디아 아라비아에서 메카와 메디나 간의 Muslim pilgrim(회교도 순례자) 루트를 따라 주행하는 Haramain 고속철도 선로에 사용될 것이다. 중동 최초의 고속철도 선로가 될 이 철도는 2015년 개통될 것으로 예상된다.

8. ETR 500

이 이탈리아제 열차는 359 km/h의 최고속도를 갖고 있지만, 2009년에 볼로냐와 피렌체 간의 고속선로에서 362 km/h에 도달하는 속도를 달성하여 '터널에서 가장 빠른 열차'라는 세계기록도 보유하고 있다. ETR 500의 개발은 정부소유 철도회사 Ferrovie dello Stato의 관리 하에 1985년에 시작되었다. 원래는 TGV와는 다르게 기존의 열차가 사용하는 동일궤도에서 300 km/h 이상으로 주행할 수 있는 열차의 개발이란 까다로운 과업이 주어진 설계회사 Pininfarina와 엔지니어링회사 AnsaldoBreda가 개발했다. 설계자들은 광범위한 시험과 특별히 개발된 프로브(probe)들을 사용하는 측정을 통해 그리고 설계 프로세스를 돕도록 속도와 열차표면의 압력지도도를 만드는 데이터 기록기술을 사용해 낮은 항력계수를 가진, 공기역학적으로 유선형인 열차를 만들어냈다. 열차는 양단에 기관차가 있는 가압 총괄제어 전기열차이며, 알루미늄, 강 및 복합재료로 만들어졌다.

ETR 500은 1993년에 이탈리아에서 서비스에 들어갔다. 오늘날은 Alstom, Bombardier 및 AnsaldoBreda의 컨

소시엄이 열차를 제작한다. ETR 500은 Frecciarossa(영어로 Red Arrow-빨간색 화살표)라는 이름을 가진 업데이트된 버전의 열차가 주행하는 각각의 선로로 토리노, 밀라노, 볼로냐, 피렌체, 나폴리와 살레르노 등과 같은 주요 도시를 연결한다.

ETR 500를 계승한 Frecciarossa 1000은 AnsaldoBreda와 Bombardier가 개발하였으며 400 km/h의 설계속도를 갖고 있다. 또한 승차감을 개선하기 위한 액티브 측면 서스펜션이 특징이다. 이탈리아에서 50 열차가 주문되어 있고, 2015년 6월에 처음 서비스에 들어갈 것으로 기대되며, 그 때는 유럽에서 가장 빠른 열차로 될 것으로 예상된다.

V. 고속철도의 향후 50년

최초의 '현대적 고속철도의 개념'으로부터 약 50년의 역사를 거친 오늘날, 우리들은 이 동안에 어떤 것이 생겼냐에 대하여 전부를 이해하고 있다고 생각된다. 비행 자동차, 에어로트레인(Aero Train), 터보트레인(Turbo Train), 제펠린(Zeppelin)형 비행선, 부상차량, 진공수송 또는 상당히 공상적인 수송기관(대량수송 또는 개인차량) 등은 '과거에 있어서 미래의 수송기관'이었다. 그러나 지금으로서는 유용하게 쓰이고 있는 것이 거의 없다. 지금은 우리들이 상식적으로 알 수 있는 것을 50년 전에는 아무도 알 수 없었던 것이다. 마찬가지로 앞으로 50년 후에 무엇이 일어나고 있을까 등은 아무도 예측할 수 없다.

1964년에서 2014년에 이르는 동안에 사회는 극적으로 변화되었다(최초는 라디오와 텔레비전, 계속해서 통신, 인터넷, 휴대전화, 텔레비전카메라 등이 보급되었다. 약



〈그림 32〉 Frecciarossa 1000



〈그림 33〉 HEMU-430X(오송역 인근)

품, 의료기술, 신소재 기술, 환경에 대한 새로운 니즈, 수송에 대한 새로운 니즈와 요구항목 등도 변화되었다.

2065년까지도 더욱 변화가 계속되어 수송기관의 요건도 확실히 달라져 있을 것이다. 50년 전과 마찬가지로 지금으로부터 50년 후에 여러 가지 일이 어떻게 되어 있을까, 그것이 어떻게, 언제, 어디에서 일어날 것인가 등을 지금은 아무도 알 수 없을 것이다. 또한, 그 때문에 50년 전부터 지금까지와 마찬가지로 누군가가 무엇인가를 해야 하는 것이다. 그것은 구체적으로 누가, 무엇을, 언제, 어디에서, 어떻게 실행하는가가 문제로 되는 것이다. 그리고 그들의 모두에 대하여 어떻게 자금조달을 하는가가 과제로 될 것이다.

UIC(Union Internationale des Chemins de fer)가 주최하는 제9회 세계고속철도회의는 ‘과거를 축하하고, 미래를 그린다.’를 테마로 하여 2015년 7월에 도쿄에서 개최될 예정이다.

철차륜계 철도는 앞으로도 우리들의 요구를 만족시킬 수 있는 수송기관이라고 생각되지만, 개량을 더해 가야만 하는 것도 확실하다. UIC가 이것에 입각하여 ‘미래의 철도’를 찾아내는 활동을 계속해 갈 것이라고 생각된다.

VI. 고속철도사업자의 과제

끝으로, 고속철도사업자가 직면한 비용, 경쟁 및 환경 등의 세 가지 주요과제를 논의한다.

먼저 환경에서의 최대문제는 소음이라고 생각한다. 방음벽은 고가이고 승객에게는 경치를 가로막는 장애로 될 수 있다. 극단적인 경우는 물론 가장 비싼 선택이지만, 소음을 차단하기 위해 터널을 만든 예도 있다. 소음배출의 감소는 중요한 기술적 도전이다.

경쟁은 또 하나의 관심사이다. 우리나라의 실정과는 다소 다른 면이 있기는 하지만, 유럽에서는 Ryanair와 Easyjet 등과 같은 저가항공사가 국내·국제선 모두 철도업계의 시장점유율을 빼앗아갔다. 저가항공사는 철도와 직접적인 경쟁 이외에도 기존의 항공회사 요금도 인하했기 때문에 그것이 도시 간 철도이동 대하여 더욱 심각한 위협이 될 것이다. 유럽의 철도회사는 이 위협에 반응하는 것이 너무 늦었다고 한다. 그러나 그 중에는 운임체계를



〈그림 34〉 Comparison of ticket prices for different modes between Paris and Marseille

개선하고, 항공업계와의 경쟁력을 높여온 회사도 있다. 프랑스 SNCF는 항공회사를 모방한 저가형 TGV 서비스 idTGV를 시행하고 있다. 젊은 고객층을 타깃으로 한 이 서비스는 초저가 여비나 인터넷 예약 및 차내 특별 어트랙션(Attraction)을 시행하고 있다. SNCF는 이 서비스를 타 노선에서도 시범적으로 실시하여 성공을 거두었기 때문에 2006년에는 이 개념을 다른 노선에도 확대하였다. 이탈리아에서 이와 유사한 서비스는 TrenOK라고 불리고 있다.

요금의 논의와 관련하여 비용과 그 결과의 검토도 중요하다. 해협 터널의 새로운 노선의 길이는 불과 109 km이



〈그림 35〉 ETR.450 trenOk low cost service

다. 그것에 소요된 비용은 54억 파운드이며, 즉 1 km당 5,000만 파운드 또는 7,000만 유로로서 대단히 고가이다. 다행히 다른 나라에서는 상황이 이것처럼 나쁘지 않다고 한다. 그러나 중요한 것은 국가정부는 학교와 병원 그리고 사회복지 등과 같은 타 분야에도 돈을 충당하여야 한다는 것이다. 따라서 철도회사는 고속철도에 정부의 자금이 투입된다면 철도가 국가에 높은 가치를 가져다준다는 것을 보여주어야 한다. 그리고 거기에는 기술자로서 더욱 도전이 있는 것이다. 철도기술자들은 안전, 속도 또는 수송능력을 양보하지 않으면서 보다 저렴한 고속철도 인프라스트럭처와 열차를 개발하여야 한다.

우리는 경쟁사회 속에 살고 있다. 고속철도가 경제발전의 촉매로서 중요한 역할을 수행하는 것을 포함하여 고속철도에 유리한 많은 논거들이 있다. 그러나 미래의 철도사업경영자와 기술자들은 이 경쟁을 의식하여야 한다. 지난 1월 미국 라스베이거스의 가전전시회에서 자동차에 IT를 접목시킨 무인(無人) 자동차가 소개되었지만, 앞으로 고속도로와 여객기의 기술자들은 연료비가 적게 들고 보다 효율적인 자동차와 비행기를 개발할 것이다. 그것들은 보다 조용하고 유해물질의 배출도 적으며 게다가 더욱더 진화될 것이다. 따라서 철도기술자들은 이 도전에 대적하여야 하는 것이다. 고객과 정치인 양쪽의 지지를 쟁취하여야 한다. 그렇게 하면 철도업계와 고속철도 비즈니스의 미래를 확실한 것으로 만들 수 있다고 생각된다.

VII. 맺음말

철도기술의 역사는 '안전과 속도에 대한 도전'이었다. 안전은 철도라고 하는 대량교통기관이 존재하는 원점이고 속도는 철도의 시장경쟁력과 기술의 심벌이라고 할 수

있으며, 고속철도는 이 두 개의 명제에 정면으로 도전한 새로운 철도의 모델을 나타내었다고 할 수 있다. 고속화에 대한 도전은 앞으로도 철도기술진에게 주요한 과제의 하나일 것이다. 한편, '성공체험의 매몰'을 조직식퇴에 이르게 하는 병의 하나라고도 한다. 고속철도의 성공이라는 큰 체험을 어떻게 살려 어떤 교훈으로 살려 가는가는 향후 고속철도기술 과제의 하나일 것이다.

한편, 도로차량과 여객기의 기술자들은 향후에 보다 효율적이고 보다 조용하며 유해물질의 배출도 적은 자동차와 비행기를 개발할 것이다. 철도기술자들은 이에 대해서도 대적할 준비를 해야 할 것이라고 생각된다. ☺

♣ 참고문헌

- [1] Murray Hughes : High Speed Trains-a Second Golden Age for Railways? 2006.3.
- [2] railway-technology.com : The 10 fastest high-speed trains in Europe, 2013.11.
- [3] Ben Sampson : World's top 10 fastest trains, 2014.10.
- [4] Wikipedia : List of high-speed trains in Europe, 2014.
- [5] European Commission : High-speed Europe, 2010.
- [6] railway-technology.com : Top ten fastest trains in the world, 2013.8.
- [7] railway-technology.com : Alstom AGV Very High Speed Trains, France, 2014.
- [8] Densha de Japan : MAX Series Shinkansen to Retire in 2016, 2011.10.
- [9] 서사범, "국제철도연합 및 고속철도의 과거와 향후 50년", 대한토목학회지, 제63권 제1호, 2015.1
- [10] 서사범 : 세계의 주요 고속철도와 기술, 삼표이앤씨(주), 2009.9.
- [11] 서사범 : 자기부상철도 기술(Maglev System Technology), 삼표이앤씨(주), 2010.10.
- [12] 서사범 : 철도공학(Railway Engineering), 도서출판 BG 북갤러리, 2006.9.
- [13] 서사범 : 철도공학 입문(Fundamentals of Railway Engineering), 도서출판 BG 북 갤러리, 2010.4.