시속 350㎞로 달린다 '철도 르네상스' 이끌 고속철 KTX

글 _ 박춘수 한국철도기술연구원 고속철도기술개발사업단 신뢰성평가팀장 cspark@krri.re.kr

철도의 역사는 그리 길지 않다. 1825년 영국의 스톡턴과 달링턴 사이에 지구상의 최초 열차가 시속 20㎞로 달리면서 시작되었으며, 우리 나라에서는 1899년 노량진과 인천 사이를 달리는 경인선이 최초였다. 그로부터 139년이 지난 1964년 일본에서 시속 210㎞로 달리는 철도가 탄생되었으며, 이것이 세계 최초의 고속철도인 신간선이다. 이후 프랑스, 독일, 이탈리아 등 세계 여러 나라에서 철도의 고속화를 위해 끊임없는 노력이 경주되고 있으며, 프랑스의 TGV 시험열차가 1990년 시속 515.3㎞를 달려 바퀴식 열차의 신기록을 갖고 있으며, 2003년 12월에는 일본의 자기부상열차가 시속 581㎞ 주행시험에 성공하였다.

근대 혁신정부 수립을 목표로 갑신정변이 일어난지 120년이 지난 올해 단군 이래 최대 사업이라는 경부고속철도사업의 1단계가 완료되어, 우리 나라에도 4월부터는 고속철도가 운행을 시작한다. 고속철도시대의 시작은 교통·물류 및 사회전반에 많은 변화가 초래될 것으로 보인다.

국내 고속철도에 관련된 기술은 경부고속철도사업으로부터 시작되었다. 1994년 프랑스의 TGV를 기반으로 하는 KTX(Korea Train eXpress, 한국 최초의 고속열차 공식 이름) 도입계약시 고속철도 기술이 전무한 국내 상황을 감안하여 기술이전을 포함하도록 하였으며, 많은 부문의 제작기술이 국내 관련기업에 전수되었다. 그러나, 설계 및 해석과 관련된 기술이전은 제한적이어서 고속철도 전반에 대한 기술자립에는 한계가 있었다. 따라서, 국내에서는 이전되는 기술을 활용하여 '한국형 고속전철시스템 개발'을 통한 고속철도 기술 자립을 위한 사업이 1996년부터 시작되어, 2002년

에는 7량 1편성의 시제열차가 제작되었으며, 지난해 시속 300㎞까지의 시험 주행이 성공적으로 이루어졌다.

한국형 고속전철시스템은 최고속도를 시속 350㎞로 설계 및 해석에서부터 제작까지 국내 기술진에 의해 개발됨으로써 차량을 구성하는 주요 핵심장치가 국산화되어 명실상부한 고속전철기술 자립국의 대열에 진입하는 기반을 갖추었다. 고속전철의 핵심기술의 일부에 대하여 기술적 특성을 살펴본다.

세계 최초로 IGCT 소자 적용

고속전철의 견인전동기는 동기방식과 유도방식의 두 가지가 사용되고 있으며, 1980년대까지 대용량 전동기 구동용 소자의 한계로 비교적 용량이 작은 일본의 신간선에서만 유도전동기를 사용하였으며, 대용량 집중식인 TGV에서는 주로 동기전동기를 사용하였다. 그러나, 90년대 이후 대용량 고속스위칭 소자의 발달로 집중식 고속열차용 견인전동기와 같은 대용량 유도전동기 구동 및 제어가 가능해짐에 따라 독일 및 프랑스에서 고속전철용으로 유도전동기가 사용되었으며, 현재는 제작 및 유지보수의 우수성으로 대부분의 전기철도에 유도전동기가 쓰이고 있다. 한국형 고속전철에도 1.1MW급 유도전동기가 채택되었으며, 독일, 프랑스에 이어 세계 3번째로 국내 기술에 의해 개발되었다.

주전력변환장치는 견인전동기에 공급되는 전압과 주파수를 제어하여 전동기를 구동시키는 장치로 여기에 적용되는 소자가 제어특성을 좌우하게 된다.

기술의 변화는 GTO 싸이리스터(Gate Turn-off Thyristor)에서 IGCT(Integrated Gate Commutated Thyristor) 및 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor) 소자로 변천되고 있으며, 용량과 스위칭 속도 및 고주파 발생 등의 기술 특성을 갖는다. 한국형 고속전철에는 세계 최초로 IGCT가 철도에 적용되었으며, 현재는 대용량 기술의 발달로 IGBT 소자가 철도차량에 널리 사용되고 있다.

철도차량용 차체 재료는 압연강판, 스테인리스 강판, 알루미늄 압출재가 주로 사용된다. 그 중 스테인리스 강판인 경우 연속용접이 곤란하여 스폿용접으로 구체를 제작하여야 하므로 실내기밀을 요하는 고속철도 차량용에는 부적합하다. 따라서 경부고속철도에서는 압연강판으로 차체를 제작 사용하고 있으나, 한국형 고속전철은 속도향상에 따라 출력증대와 궤도부담력 감소, 실내소음감소 등을 위하여 알루미늄 차체를 채택하였다. 강재의 탄성계수는 알루미늄 합금에 비해 약 3배로 높은 값을 갖고 있어 강도 측면에서는 유리하나 경량화 측면에서는 불리하다. 강성으로 표현되는 탄성계수(E)와 단면 2차 모멘트(I)곱을 같은 조건으로 강재와 알루미늄을 비교하면 $E_{AL} \cdot I_{AL} = E_{ST} \cdot I_{ST}$로서 단면 2차 모멘트를 증가시키든지 중립면 거리를 증가시키면 알루미늄으로 차체를 제작할 경우 동일한 강성으로 차체중량을 약 50% 정도 감소시킬 수 있다. 그러나 차체구조에서 승객의 안전성과 승차감을 고려하여 종합적인 중량감소는 30% 정도가 일반적

한국형 고속전철 운전대

이다. 세계적인 추세는 알루미늄의 채택이 보편화되었으며 국부적으로 복합재를 사용하거나 전체를 복합재로 하는 연구가 추진되고 있다.

알루미늄 차체로 중량 30% 감소

철도차량의 제동시스템은 대차의 제동슈를 차륜 답면에 눌러 붙여 제동력을 얻는 답면제동과 차륜과는 별도로 차축에 디스크를 설치하여 디스크에 제륜자를 눌러 붙여 제동력을 얻는 디스크제동, 견인전동기를 발전기로 사용하여 발생하는 전력을 차량에 탑재한 저항기에서 열로 반환하여 제동력을 얻는 발전제동 및 위 전력을 전원으로 되돌리는 전력회생제동으로 구분되어 사용되고 있다.

그러나, 답면제동과 디스크제동은 유지보수를 필요로 하므로 최소화시키고 전기제동의 사용을 최대화하는 노력이 세계적으로 추진되고 있다. 이러한 노력의 일환으로 와전류 제동장치의 개발과 장착이 추진되고 있다. 와전류 제동장치는 궤도의 레일을 따라 대차프레임에 연결된 긴 막대모양의 장치에 코일을 설치한 다음 코일에 전류를 흐르게 하여 자계(磁界)를 만들면 코일과 레일의 상대운동에 의한 전자유도로 레일에 와전류가 흐르게 되어 제동력이 발생하도록 하는 비접촉식으로 최첨단 제동기술이다.

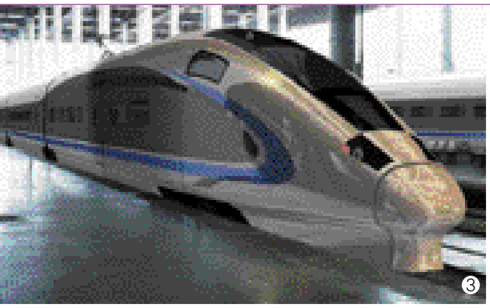
한국형 고속전철에는 기계제동(답면 및 디스크), 전기제동(발전 및 회생) 및 와전류 제동장치를 개발 · 장착하였다.

이외에도 한국형 고속전철에는 여러 가지 신기술들이 개발 · 채택되었다. 특히 차량간 및 장치간을 연결하는 신경망은 세계적으로 표준으로 장착하고 있는 TCN(Train Communication Network) 방식을 사용하여 국내에서 독자 개발하였다. 또한, 터널 진 · 출입시에 터널내 압력 변동으로 인한 승객의 이명현상 방지를 위해 실내 압력조절시스템이 개발되었으며, 감속구동장치 등 많은 장치가 국내 기술진에 의해 개발 · 장착되었다.

이러한 장치 및 부품들은 세계 고속철도기술 수준과 비교하여 손색이 없으며, 어떠한 부분은 앞서고 있는 것도 있다. 이와 같은 한국형 고속전철시스템 개발의 성공은 그 동안 축적된 기술의 접목과 해외 선진 기술을 적극적으로 수용하는 노력이 어우러져 가능하였으며, 이제는 한국의 고속철도 기술도 세계와 견줄 수 있는 수준에 도달하였음을 보여주었다.

실내압력조절시스템, 감속구동장치 장착

그러나 고속철도의 모든 부문이 세계기술과 견주어 손색이 없는 것은 아니다. 특히, 국내 철도산업 규모가 작기 때문에 관련부품 산업이 영세하고 기술개발 투자 여력이 작다는 것이 가장 큰 문제점이며, 이러한 영세성으로 인한 부품의 성능 저하 및 신뢰성 확보에 많은 어려움을 갖고 있다.



❶ 한국형 고속전철 객실내부
❷ 한국형 고속전철
❸ 프랑스 AGV
❹ KTX
❺ 이탈리아의 ETR 500
❻ 독일의 ICE 3
❼ 일본 신간선 500계 전차

또한, 국내 철도시장 규모가 작기 때문에 관련산업에 기업의 투자가 미력하고 기술개발 동기 부여가 작은 것과 이에 따른 기술인력의 양성이 이루어지지 못하는 것이 기술발전의 저해 요인이라 할 수 있다.

고속전철은 대량수송능력과 환경친화성, 안전성 등 철도 고유의 장점에 신속성까지 갖추고 있어 일본과 유럽을 중심으로 새로운 교통수단으로 각광을 받고 있으며, '철도 르네상스'를 만드는 주역이다. 현재 금년에 개통하는 우리 나라를 포함하여 미국, 중국, 호주, 대만, 러시아 등이 고속전철을 건설중이거나 계획하고 있는 등 세계 전지역에서 고속철도 도입을 위한 노력이 확산되고 있다.

이러한 추세에 맞추어 국내 철도기술도 한국형 고속전철을 중심으로 개발된 기술을 안정시키고 신뢰성을 확보하여 국내는 물론 미국 등 해외시장에 진출하기 위한 노력을 경주하고, 금년부터 고속철도 운영에 대한 노하우까지 더하여 세계 철도 르네상스 시대에 동참하기 위한 적극적인 기술개발 노력이 필요하며 이를 위한 기업과 국가의 투자가 있어야 할 것이다.

〈세계의 고속철도 현황〉

국가 / 시스템 / 항목	프랑스		독일	이탈리아	일본	한국형
	TGV Duplex	AGV	ICE 3	ETR 500	500계	고속전철
최고 속도(km/h)	300	350km/h	330km/h	300km/h	300km/h	350km/h
추진시스템 제어 소자	SCR Thyristor	IGBT	GTO Thyristor	GTO Thyristor	IGBT	IGCT
차체 재질	알루미늄	알루미늄	알루미늄	알루미늄	알루미늄	알루미늄
전동기 방식	동기전동기	유도전동기	유도전동기	유도전동기	유도전동기	유도전동기
대차형태	관절대차	관절대차	독립대차	독립대차	독립대차	관절대차
비고(개통연도)	1996	시험중	2000	1995	1997	시험중