

**특집 : 전기 추진 시스템(II) - 전기철도**

# 전기철도차량용 추진시스템의 국내 기술 개발 동향 및 전망

이 형 우\*, 이 병 송\*\*

(철도기술연구원 고속철도연구본부 \*선임연구원, \*\*책임연구원)

## 1. 서론

최근 저탄소 녹색성장의 국가 정책과 맞물려, 기존의 내연 기관 기반의 철도 추진시스템에서 전동기를 이용한 추진시스템으로의 변화가 매우 빠르게 진행되고 있다. 따라서 전기철도 견인전동기, 전력변환장치, 에너지 활용장치 등 전기 동력 시스템에 대한 요소기술 확보 및 성능향상 연구개발의 필요성은 그 어느 때 보다 중요하다.

세계 철도시장은 2008년 연간 213조원 규모로 추정되며, 전 세계적인 녹색 성장 기조에 따라 시장 규모가 매년 4.5% 이상 증가하는 추세를 보이고 있다. 우리나라의 경우도 현재 선진국 대비 약 80%의 기술력을 확보하고 있으며, 정부의 적극적인 지원에 힘입어 2013년 세계 7위, 2018년 세계 5위의 철도시장 점유를 목표로 하고 있다.

하지만, 아직 여러 기술적 취약점을 내포하고 있는 것 또한 사실이다. 산업현장에서 고정식으로 사용되는 동력시스템과 달리 자동차 또는 전철을 견인하는 추진시스템은 이동하는 차량에 부착되어야 하므로 전체 시스템에 직접적인 영향을 미치고 있다. 현재 국내 교통수단용 전기 동력시스템 기술은 전기자동차(EV/HEV) 위주로 기술개발을 발전시켜 왔으며,

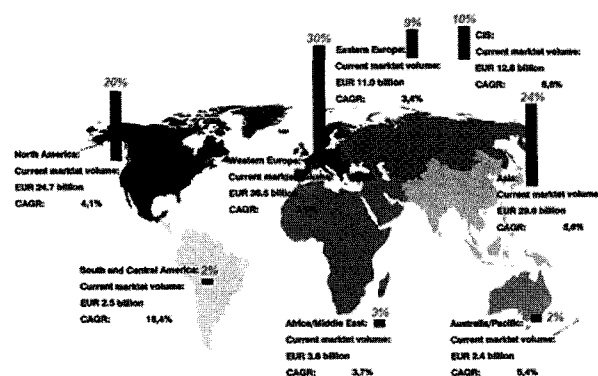


그림 2 세계 철도 시장 지역별 점유율(2008)<sup>1)</sup>

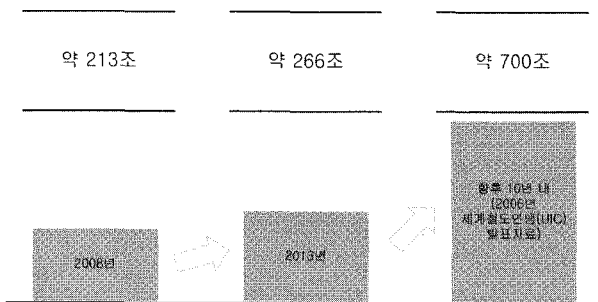


그림 1 세계 철도 시장의 총규모

표 1 세계 철도 시장 규모<sup>1)</sup>

(단위 : Billion of Euros)

구분	2008년	2013년	2023년 (10년 후)	2028년 (15년 후)	연평균 증가율
시장규모	125.5	157	243.8	303.8	4.5%

<sup>1)출처:</sup> The worldwide market for railway technology 2009-2013, SCI Verkehr, 2008

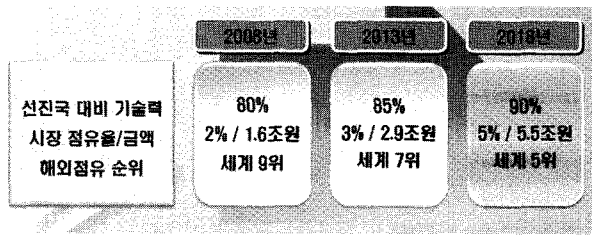


그림 3 국내 철도 기술 전망<sup>2)</sup>

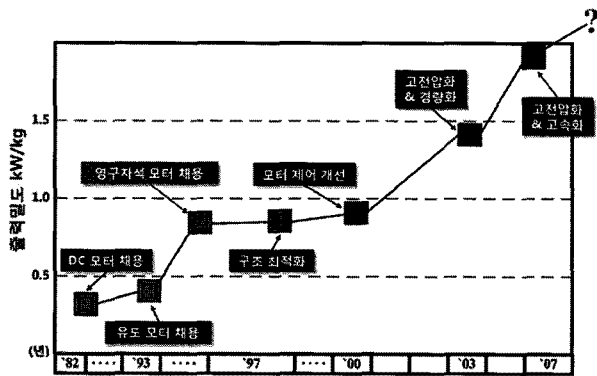


그림 4 전기자동차의 고출력밀도 추진시스템 기술개발 동향 (Toyota)

대부분이 소형용분야에 치우쳐 있고 기술력 또한 아직 일본, 프랑스, 미국 등의 선진 기술을 따라가는 추세이다. 철도와 같은 대용량 추진시스템의 경우, 선진국에 비해 선행 연구가 다소 부족한 점이 있으며, 기존 시스템을 새로운 철도차량에 적용하는 수준에 머물고 있다.

특히, 근래에 가장 이슈가 되고 있는 출력밀도 향상에 대해서 알아보면, 독립 운행 교통수단인 자동차, 선박, 항공 등에서는 이미 고출력밀도를 위하여 많은 연구를 수행하였으나, 국내 철도차량에 적용되는 견인전동기의 경우, 약 0.2 kW/kg에서 0.78 kW/kg까지의 출력밀도를 나타내며 이는 전기자동차의 최고 약 2.0 kW/kg에 크게 못 미치는 수준이다. 주 전력변환장치인 경우도 모듈화를 통한 소형화의 세계적인 추세가 지속되고 있으나 국내 철도의 경우, 이의 적용이 아직 미흡하다. 따라서 2층 열차, 저상 트램, 경전철 등의 확산에 따라 중량 및 점유공간을 최소화 할 수 있는 고출력밀도 추진시스템의 개발 및 전체 시스템의 효율 향상에 대한 기술 개발이 필요하다.

## 2. 광역도시철도의 기술 및 산업 동향

우리나라의 도시철도를 살펴보면, 1974년 저항제어방식의

차량이 일본 히타치 중공업에서 제작, 도입되어 처음으로 지하철 1호선이 개통되었다. 그 후 1977년부터 대우중공업에서 조립하기 시작하였고 일부부품은 일본 미쯔비(三菱)의 제품을 채용하였으며, 견인전동기로는 DC 직권전동기를 사용하였다. 그러나 초기저항차량은 2002년 116편성을 끝으로 퇴역하여 역사 속으로 사라졌다.

1983년 일본의 미쯔비(三菱) 기술을 사용한 초퍼제어방식의 차량이 운행되었는데 기존의 저항방식과는 달리 사이리스터 소자를 이용하여 DC 직권전동기를 구동하며, 가감속도의 원활화와 소비전력의 절감을 이룰 수 있었다. 이 차량과 비슷한 외관을 가졌으나 기계적으로는 약간 다른 유럽의 GEC Chopper방식의 차량도 1985년부터 운행 중이어서 유럽식의 초퍼방식과 일본식의 초퍼방식이 현재 2호선에 운행 중이다.

GEC 초퍼제어방식의 차량은 이 후 1984, 1985년에 3, 4호선에 도입되어 운행되었으며, 1993년을 시작으로 4호선의 VVVF차량의 도입과 과천, 안산선과의 직통운전으로 인해 필요 없어진 DC차량인 GEC 차량을 2, 3호선으로 분산 이동하여 사용하고 있는데, 광복확대차량이라고도 불리는 이 차량은 기존 차량보다 폭이 약간 넓은 것이 특징이다.

1993년 과천 4호선을 시작으로 적용되기 시작한 VVVF 인버터 제어방식은 현재 대부분의 전동차 제어 방식으로 적용되었으며 따라서 농형유도전동기를 사용하고 있다. 표준전동차 및 광주지하철 전동차의 경우는 이와 동일한 방식을 사용하나 차체가 알루미늄으로 제작된 차이점이 있다.

1994년 12월부터 도입한 서울도시철도 5호선 차량은 1996년까지 모두 76개 편성을 도입하였다. 서울지하철 중 첫 번째 자동운전 도입차량으로서 주요부품은 ABB사, 차량제작은 현대정공이 담당하였다.

서울 지하철 6호선은 서울시 2기 지하철 중에서 가장 늦게 도입된 차종으로서, 현대정공에서 제작하였으며, 609편성 전동차의 경우 국산 부품을 종전보다 획기적으로 높여 적용시킨 전동차를 시범적으로 도입, 운영하고 있다.

그 외 지방의 경우, 대구 1호선은 서울도시철도 5호선과 거의 비슷하게 도입 된 전동차로서, 독일의 Siemens사에서 도입한 후, 한진중공업에서 제작하였으며, 현재도 매우 뛰어난 운용을 보이고 있다.

인천 1호선은 국내 최초의 VVVF-IGBT 시스템과 Siemens사의 Digital ATC(Automatic Train Control) 시스템을 도입한 차량으로서 대우중공업에서 제작하였으며, 수도권 전동차 중 유일하게 중형(中形)전동차이다.

다음 표 2는 우리나라 도시철도 추진시스템의 사양을 정리하였다. 보는 바와 같이, 앞으로는 대부분 유도전동기, VVVF-IGBT 인버터 제어방식을 채용할 것으로 보이며, 견



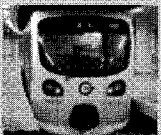
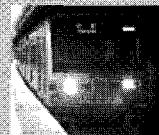
<sup>2)</sup>출처: 국토 해양부, "저탄소 녹색성장 시대를 이끄는 친환경 고효율 첨단철도", 방윤석

표 2 국내 도시철도의 추진시스템 사양

구분	1호선 저항차	1호선 VVVF	2, 3호선 Chopper	2, 3호선	4호선	5호선	6호선
전동기	직류 직권	3상 유도기	직류 직권	3상 농형 유도전동기 (VVVF)			
제조국가	한국	일본	한국	한국	한국	스위스	일본
제조사	대우중공업	MELCO	현대/대우	ROTEM	대우중공업	ABB	미쓰비시
도입년도	1974~1990	1995~2002	1981~1985	2005~2010	1994~1995	1994.12.23	1999
교각구분	직류	교류	직류	교류	직교류	교류	교류
정격출력(Kw)	120	200	150	210	200	200	210
단시간출력(Kw)		210	162	230	210		235
극수	4	4	4	4	4	4	4
정격전압(V)	375	1,100	375	1,100	1,100	1,170	1,100
정격전류(A)	360	130	440/480	136	142	132	135
토크(Nm)				911.4			
정격주파수(Hz)		66.5		75		71	74.8
슬립주파수(Hz)		2.3(%)			2.1(%)	1.0	1.9(%)
정격회전수(rpm)	1,650	1,945	1,980/1,900	2,200	1,945	2,100	2,200
최대회전수(rpm)	4,830	5,670	5,290/4,440	4,810	4,084	5,700	5,780
역률						0.815	0.89
효율(%)						92.2	92
공극(mm)	5.5	1.7	5.6/6.9	1.5	1.5	1.7	1.7
절연등급	F	H	F	200Class	200Class	C	H
고정자 권선저항 (Ω)		0.0876	0.0188/ 0.0113		0.128	0.142	0.140
인버터 소자		GTO		GTO	GTO	GTO	GTO
운행 차량							

인전동기의 경우, 출력밀도 향상을 위하여 영구자석형 동기

전동기의 연구 개발도 진행되고 있다.

구 분	7.8호선 1차분	7.8호선 2차분	도시철도 SR-001	인천1호선	대구1호선	대구2호선
전동기	3상 농형 유도전동기 (VVVF)					
제조국가	프랑스	일본	한국	프랑스	독일	한국
제 조 사	GEC	도시바	한성정공	알스톰	SIMENS	ROTEM
도입년도	1994.1.26	1998.11.16	2011	1999	94.7~96.7	2004
교격구분	교류	교류	교류	교류	교류	교류
정격출력(Kw)	210	210	210	210	250	210
단시간출력(Kw)			230	350	275	230
극 수	4	4	4	4	4	4
정격전압(V)	1,100	1,100	1,100	1,100	1,127	1,100
정격전류(A)	155	135	136	143	150	136
토크(Nm)			908.46	912	1,256	869
정격주파수(Hz)		75	75	75	64.2	75
슬립주파수(Hz)	2.1(%)	1.8(%)	0.9(1.3%)		1.3(%)	2.2(%)
정격회전수(rpm)	2,200	2,210	2,209	2,200	1,900	2,200
최대회전수(rpm)	4,575	5,780	5,780	4,810	4,806	4,810
역률			0.88	0.78	0.91	0.88
효율(%)			92		92.9	92
공극(mm)	1.5	1.8	1.8	1.5	1.5	1.5
절연등급			C	200Class	H	H
고정자 권선저항( $\Omega$ )			0.113	0.128	0.170	0.191
인버터 소자	GTO	GTO	IGBT	국내 최초 IGBT	GTO	IGBT
운행 차량						

### 3. 고속철도의 기술 및 산업 동향

우리나라는 일제 강점기인 1989년에 제물포~노량진 간 철도가 처음 도입된 후 친숙한 대량 수송수단으로 인식되어 왔

다. 산업화가 고도화된 70년대에 들어서며 육상 교통수단으로서 우위를 자동차에 넘겨주고 90년대 초까지 국내 철도기술은 해외기술에 의존하며 현상 유지에 머문 채 철도 기술이 낙후된 시기를 보내야 했다. 그러나 90년대 초반부터 국책사

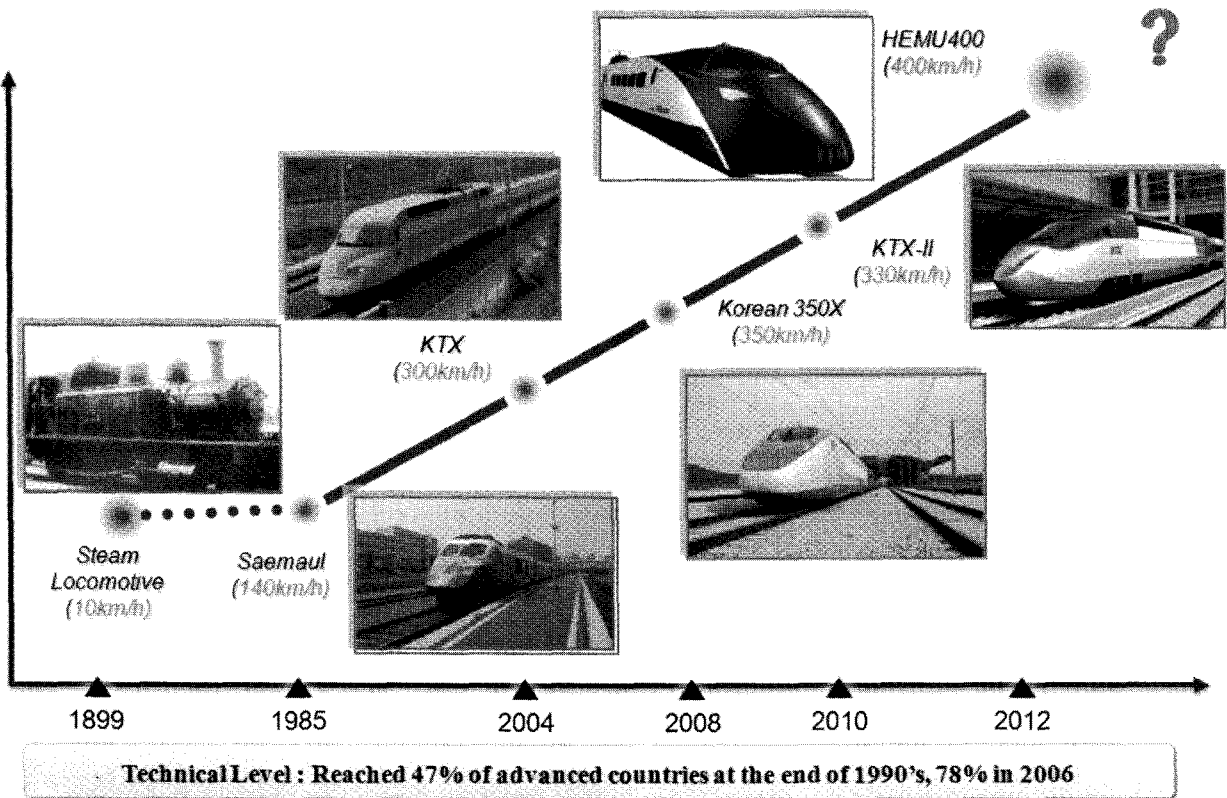


그림 5 국내 고속철도의 발전

업인 경부고속철도 건설계획의 확정과 함께 우리 철도기술은 혁신적 발전의 계기를 맞이하였다. 고속철도 건설과 함께 1994년 프랑스 알스톰사와 차량도입이 확정됨으로서 고속열차 총 46편성(총 920량, 20량 1편성)이 도입되었고 이중 12편성은 프랑스에서, 34편성은 프랑스로부터 제작 기술을 이전받아 국내에서 제작하였다. 그러나 원천 설계기술은 보유하지 못한 채 제한된 분야의 기술만이 이전되었다. 프랑스 TGV를 도입한 KTX는 GTO Thyristor 인버터와 권선형 동기전동기를 채용하였다.

이전 자료와 기술을 국내에서 효과적으로 흡수하고 이를 기반으로 고속철도시스템을 독자 개발할 수 있는 원천 설계기술을 확보하기 위해 1996년 12월부터 현재의 국토해양부를 주관부처로, 산업자원부와 과학기술부를 협조부처로 하는 G7 선도기술개발사업인 고속전철기술개발사업을 착수하였고, 2002년 10월까지 6년간 총 사업비 2,100억원을 민간과 정부가 각각 50%씩 투자해 최고속도 350km/h급 핵심설계기술 확보와 한국형 고속열차 개발을 목표로 추진한 이 사업을 통해 7량 1편성의 한국형 고속열차 시제열차가 개발·제작되었고, 이 후 현대 로템에서 한국형 고속열차 KTX II (KTX-산천)를 개발하여 현재 상용화 되고 있다. KTX-산천

은 IGBT 소자 방식의 인버터와 유도전동기를 채용하고 있다. 이 후 한국철도기술연구원에서는 차세대 고속철 (HEMU400)을 기술개발 중이며, 1단계 사업이 완료되는 2012년 이후 시운전을 통하여 동력분산식 열차의 개발을 완료할 예정이다. HEMU400은 견인전동기로서 유도전동기와 영구자석 동기전동기를 병용하여 채용하고 있다.

고속열차의 독자개발 능력을 보유한 철도 선진국들은 자국이 개발한 고속열차의 운영경험 축적과 함께 보다 빠르고 쾌적한 고속철도시스템을 개발하기 위해 치열하게 신기술 경쟁을 벌이고 있다. 일본은 2000년 4월 큐슈 신간선 개발사업에 착수하여 2003년 6월 신형 고속열차 1편성을 개발·제작하였고, 이와 별도로 JR동일본은 2002년 4월 신간선 고속화 프로젝트를 착수하여 2005년 6월 FASTECH 360이란 시제 시험열차를 개발함으로써 속도 360km/h급 상업운행 고속열차 기술을 확보하였음을 발표한 바 있다.

또한 프랑스와 독일도 세계 고속철도 시장에서 확보한 경쟁력 우위를 유지하기 위해 기존 자국의 TGV 시스템 또는 ICE 기술과 경험을 기반으로 차세대 고속열차인 TGV-POS 또는 AGV 열차나 ICE-3 열차 등 다국 간 고속철도 시대에 대비하기 위한 신기술의 고속열차를 개발하는 등 고속철도의 속도

향상을 위한 연구개발에 지속적으로 투자하고 있으며, 신규 고속철도 건설이 국내외에서 지속적으로 이루어지고 있다. 국내에는 2017년경 호남고속철도 건설이 완료될 예정이며 이에 따라 2016년경에 약 300량의 신규 고속차량 수요가 예측되고 있으며, 2020년 이후에는 현 KTX의 대체물량으로 최소한 920량 이상의 고속차량이 필요할 것으로 예측된다. 이와 함께 현재 고속철도건설을 추진 중이거나 혹은 계획 중인 중국, 미국, 브라질, 베트남 등 해외 고속철도 시장으로 진출하기 위해서는 프랑스, 독일, 일본 등 선진 철도국과 경쟁할 수 있는 신기술이 요구된다.

특히 세계시장의 최근 동향은 과거 프랑스의 TGV를 기본으로 한 동력 집중식 계열의 차량이 스페인과 한국에 수출하여 상업화에 성공하였고 계속하여 세계시장을 석권할 것으로 예상되었으나, 스페인 2세대 고속열차 도입 계약, 중국의 고속철도 차량 도입, 러시아의 고속철도 해외차량 도입 계약 등이 모두 독일 Siemens사의 ICE3를 기본으로 한 동력 분산식 차량이 채택되었으며, 대만의 고속철도도 일본의 신간선 차량을 기본으로 한 동력 분산식 차량이 채택되어 곧 상업화가 개시될 예정에 있어 TGV의 해외시장 석권이라는 과거의 이상을 모두 뒤집어 놓고 있다. 이러한 추세는 Siemens사의 ICE3에서 보듯이 동력 집중식에서 동력 분산식으로 고속철도 차량 형태를 변경하였고 승객위주의 안락감과 쾌적성을 도모하는 등 꾸준한 연구개발을 통한 다양한 수요에 적극 대처한 결과로 나타나고 있다.

기술적으로 보면, 고속철도의 속도향상에 따른 레도 부담하중의 최소화를 위해 차량시스템의 축중 감소 기술 개발에 주력 중이며 일환으로 전장품을 비롯한 추진시스템의 경량화를 추진 중이고, 열차의 성능향상을 위해 신규 차량 개발 단계부터 표준화된 모듈시스템을 적용하고 있다. 일본의 경우, 300 Series부터는 기존선에서 속도 향상을 위한 제어기능 향상, 경량 고효율 유도전동기 적용 등 차체 중량 최소화에 주력하고 있으며, 프랑스는 TGV-D 3세대 차량부터 동기전동기 및

강제 순환식 냉각 방식을 채용하였다. TGV-POS의 견인전동기는 0.862 kW/kg의 출력밀도를 내는 유도전동기를 채용하였으며, 다음 세대 AGV는 영구자석형 동기전동기를 채용하여 1 kW/kg의 출력밀도를 달성하였다. 독일의 ICE 경우, 일본의 신간선과 같이 PWM 방식의 컨버터와 전압형 인버터 방식으로 견인전동기는 유도 전동기(농형)방식을 채택하며, 반도체 소자는 GTO Thyristor를 사용하였다.

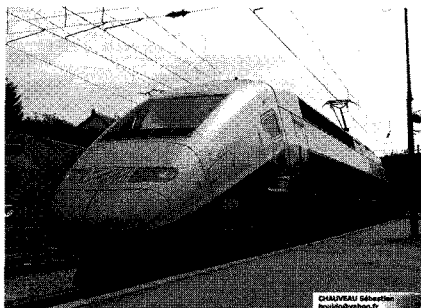
고속철도의 차량 관련 특허를 분석해 보면 다음과 같다.

히타치 社의 경우 주전력변환장치 관련 특허에 많은 출원이 나타나고 있다. 특히, 차체 관련 특허의 경우 다른 회사에 비해 독보적으로 많은 출원을 보이고 있으며, 그와 더불어 일본의 SUMITOMO와 함께 차체 특허 출원의 대다수를 차지하고 있는 등 일본기업의 차체 개발에 대한 연구개발이 활발한 것으로 분석되고 있다.

GE, TOYO ELECTRIC MFG 社도 주전력변환장치 분야에 많은 출원을 하고 있어 이 부분의 연구개발이 활발한 것으로 보이며, ALSTOM, SIEMENS AG, SUMITOMO METAL 社 등은 주행장치 분야에 상대적으로 많은 출원이 집중되어 있다.

기술별로 보면, 주전력변환장치 기술은 HITACHI, TOSHIBA, MITSUBISHI ELECTRIC이 1980년 이전부터 출원을 시작하여 현재까지 계속하고 있으며, 1980년대 후반부터 1990년대 초반까지 출원이 집중되어 있는 것을 알 수 있다. 한국철도기술연구원의 경우에는 1999년부터 주전력변환장치 관련 출원을 시작하여 현재까지 출원이 진행되고 있다.

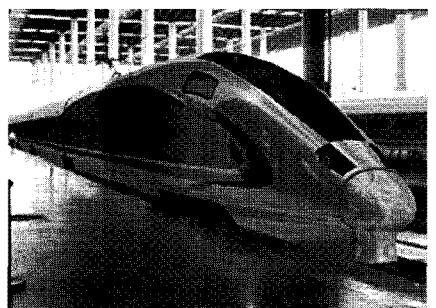
견인전동기 기술의 경우에는 연도별로 주요 출원인 동향이 다르게 나타나고 있다. 1990년 이전에는 TOSHIBA, MITSUBISHI 등의 일본 기업이 특허를 출원하는 양상을 보이다가 1990년 이후에는 ABB, RAILWAY TECHNICAL RES INST, GE 등이 출원을 주도하고 있으며, HITACHI가 1985년부터 1999년까지 타 출원인에 비해 오랜 기간 동안



<TGV-POS 시제 차량>



<TGV Duplex>



<AGV 시제차량>

그림 6 프랑스의 고속철도

	고속철도 시스템	시험형기	주변임기	주전력변환장치	주전동기	판토품레프	보조전원장치	냉난방환기장치	대차	윤축	감속구동장치	차체	제동장치	열차제어전단장치	Sum..
HITACHI LTD	3	16	7	126	9	14	7	67	41	27	16	141	69	15	558
WESTINGHOUSE AIR BRAKE CO		14		7	5		4		12	6	2	42	331	57	480
RAILWAY TECHNICAL RES INST	1	80	2	55	10	39		11	25	20	12	31	116	10	412
KNORR BREMSE AG		1		2				1	7	1		7	173	3	195
TOSHIBA	1	9	5	85	7		13	14	3	1	3	4	45	1	191
MITSUBISHI ELECTRIC		16	1	62	5		4	12	4	1	10	3	51	7	176
Alstom	1	5		26		2	2	13	40	4	1	23	26	2	145
SUMITOMO METAL IND LTD		5		1	1	8			15	30	5	52	21	4	142
한국철도기술연구원		57		15	1	8	1	3	7	7	1	10	20	3	133
CENTRAL JAPAN RAILWAY		19		15	1	25		3	3	9	2	12	36	4	129
JAPANESE NATIONAL RAILWAY		18	3	21		14	1	4		2	5	1	45	4	118
EAST JAPAN RAILWAY		24	1	11	2	12	2	4	1	7	7	9	29	4	113
New York Air Brake		3		3	1		1		2	5	2	2	76	5	100
GE		10		44	9			1	2	9	3	1	11	4	94

	고속철도 시스템	시험형기	주변임기	주전력변환장치	주전동기	판토품레프	보조전원장치	냉난방환기장치	대차	윤축	감속구동장치	차체	제동장치	열차제어전단장치	Sum..
AMERICAN STANDARD		3		2	1					3		1	66	1	77
KAWASAKI HEAVY IND		1		1		6		4	20	8	5	21	9	1	76
ABB		4	6	22	11			1	6	10	1	3	3	1	68
Siemens Aktiengesellschaft		6	2	12	3		1		13	4	4	11	8	2	66
NIPPON SHARYO SEIZO KAISHA LTD		4		2				7	5	4	2	36	5		65
TOYO ELECTRIC MFG CO		1		19	4	9	2	2	1	2	2		13	1	56
NABCO LTD		4								1		1	49		55
AKEBONO BRAKE	1			2	1								49		53
MITSUBISHI HEAVY IND		4				2		10	2	4	5	5	12		44
ABB DAIMLER BENZ	1	1	1	8	1		3	2	2	5	1	9	4	3	41
AMSTED		2		1					11	14		3	9		40
로템	0	2	1	10	0	1	7	0	5	0	0	2	10	0	34
현대중공업				5	2		2								9

그림 7 출원인별 기술별 분포

	80년 이전	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05
HITACHI LTD																											
TOSHIBA																											
MITSUBISHI ELECTRIC																											
RAILWAY TECHNICAL RES INST																											
GE																											
Alstom																											
MEIDENSHA CORP																											
ABB																											
JAPANESE NATIONAL RAILWAY																											
TOYO ELECTRIC MFG CO																											
CENTRAL JAPAN RAILWAY																											
한국철도기술연구원																											
FUJI ELECTRIC																											
Siemens Aktiengesellschaft																											
EAST JAPAN RAILWAY																											

그림 8 주전력변환장치 기술 주요 출원인별 연도별 동향

	80	81	82	83	85	86	87	88	89	90	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	03	04	05
ABB																							
RAILWAY TECHNICAL RES INST																							
GE																							
HITACHI LTD																							
TOSHIBA																							
MITSUBISHI ELECTRIC																							
WESTINGHOUSE AIR BRAKE																							
TOYO ELECTRIC MFG																							
한국철도기술연구원																							

그림 9 견인전동기 기술 주요 출원인별 연도별 동향

연구개발을 지속적으로 한 것으로 보인다. 그러나 2000년 이후로는 각 기업들이 견인전동기 기술의 별다른 성과를 나타내고 있지 않다.

### 3. 결론

본 고에서 살펴본 바와 같이, 전 세계적으로 친환경 운송 및 교통수단에 대한 관심 고조로 전기철도차량에 대한 기술개발이 더욱 심화될 것으로 판단되며, 이에 따라 추진시스템 기술의 고효율화, 고�출력밀도화, 소형화 등이 지속적으로 이루어질 것으로 예상된다. 또한 친환경 녹색성장을 위한 교통수단의 에너지 소모 감소 노력이 세계적으로 이루어질 것으로 보이며, 이를 위하여 전기동력시스템의 출력밀도를 향상시키는 기술이 관련 산업을 좌우하는 핵심기술로 자리매김할 것으로 전망되고 있다. 특히 기술의 세계화로 인하여 관련 시장이 더욱 확대될 것이며, 보다 체계적인 기술개발 방법론을 도입하여 확보된 사용자 및 사용 환경, 유지보수, 기술이전 등 시스템 엔지니어링 패키지를 보유한 기술이 각광을 받을 것으로 보인다.

이를 위하여 견인전동기는 현재 가장 출력밀도가 높은 영구자석매입형 동기전동기(IPMSM, Interior Permanent Magnet Synchronous Motor)를 채용하여 유도전동기를 대체하고, 철손 저감을 위한 소재응용 기술을 개발하여야 할 것으로 사료되며, 전력변환장치는 고속스위칭이 가능한 IGBT를 채용하여 모듈화하고, 고속운전이 가능한 제어기술을 개발하여야 한다. 또한 권선의 전류밀도 증대 및 감자특성을 고려하여 기존의 강제송풍 냉각방식보다 우수한 쿨링재킷의 개발이 시급하다. 이상의 전기 동력시스템은 추진장치 전용 시험능 평가시스템을 통하여 성능을 검증하여야 하며, 차량 시스템(제동, 기어, 대차 등)과의 연계 방안에 대해서도 고려하여야 할 것으로 사료된다. ■

### 참고문헌

- [1] The worldwide market for railway technology 2009-2013, SCI Verkehr, 2008.
- [2] 국토 해양부, "저탄소 녹색성장 시대를 이끄는 친환경 고효율 첨단철도", 2008.
- [3] 한국철도기술연구원, "차세대 전동차 기획보고서", 2010.
- [4] 한국철도기술연구원, "차세대 고속철도 기술개발 사업 기획보고서", 2006.

### 〈 필 자 소 개 〉



#### 이형우(李衡雨)

1974년 1월 11일생. 1998년 한양대 전기공학과 졸업. 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2003년 미국 텍사스A&M대 전기공학과 졸업(공학박사). 2004년~2005년 미국 코넬대 이론 및 응용기계공학과 박사후과정. 2005년~2006년 한양대 BK교수. 2006년~현재 철도기술연구원 선임연구원.



#### 이병송(李炳松)

1960년 6월 13일생. 1988년 서울과학기술대 전기공학과 졸업. 1991년 중앙대 전기공학과 졸업(석사). 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1996년~1997년 고속철도건설공단 근무. 1998년~현재 철도기술연구원 책임연구원.