

## 특허분석을 통한 철도차량용 추진제어장치 기술 분석

한영재\*, 이수길<sup>2</sup>, 박찬경<sup>1</sup>, 김영국<sup>1</sup>, 배창한<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국철도기술연구원 형식승인팀, <sup>2</sup>한국철도기술연구원 추진시스템연구팀

### The Trend Analysis of Propulsion System for Railway Vehicle Using Patent Analysis

Young-Jae Han<sup>1\*</sup>, Su-Gil Lee<sup>2</sup>, Chan-Kyoung Park<sup>1</sup>, Young-Guk Kim<sup>1</sup>,  
Chang-Han Bae<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Railroad Type Approval Team, Korea Railroad Research Institute

<sup>2</sup>Propulsion System Research Team, Korea Railroad Research Institute

**요약** 본 연구에서는 철도차량 추진제어장치와 관련된 주요 국가의 기술개발 동향을 살펴보았다. 추진제어장치는 철도차량의 핵심장치로, 기술개발에 많은 시간이 들어가고, 대규모 투자비용이 투입된다. 따라서, 선진국들은 안전성, 신뢰성, 유지보수 편리성 등을 갖춘 기술개발을 위해 최대한 노력하고 있으며, 개발 후에도 타국으로의 기술 이전을 최대한 기피하고 있었다. 예를 들어, 일본 Toshiba는 3,300V/1,500A급 IGBT 소자를 새로 개발하였지만, 기술보호를 위해 외국에 수출도 꺼리고 있었다. 국내의 기술개발 동향 파악을 보다 정확하게 수행하기 위해, 추진제어장치에 대한 특허분석을 수행하였다. 먼저, 철도차량 인버터, 컨버터 등 전력변환장치에 대한 핵심기술을 Thomson Innovation DB를 이용하여 특허를 분석하였다. 이를 위해, 국가별, 연도별, 주요출원인별 특허 건수에 대하여 살펴보았다. 분석결과, 국가별 특허 출원 비중은 중국이 48%, 유럽 16.6%, 미국 14.9%의 순으로 파악되었다. 상위 10개 주요 출원인에 대한 특허현황 분석 결과, ABB 14%, GE 13%, CRRC 12% 순으로 조사되었다. 이와 함께, 시장확보력, 인용도, 영향력지수와 같은 질적 분석을 통해 기술개발 수준도 분석하였다. 특허분석 결과, 국내 출원인은 국외에서 실질적으로 특허를 보호받기 위한 노력이 상당히 저조하였다. 또한, 현재 국내에서 적용되고 있는 전동기의 대부분이 유도전동기이다. 선진국에서는 새로 발주되는 영업노선에서는 영구자석전동기를 이용하고 있기 때문에, 국내에서도 이에 대한 집중적인 투자가 필요할 것으로 판단된다.

**Abstract** In this study, we investigated the trend of technological development in major countries related to the propulsion equipment of railway vehicles. The propulsion system is the main equipment of electric vehicles. A lot of time and investment are required in order to ensure the development of technology. Therefore, developed countries have maximized their effort to develop technologies with safety, reliability, and convenience of maintenance. They have also done their utmost to prevent technology transfer to other countries after the development of new technologies. For example, Toshiba of Japan developed a new 3,300V/1,500 A class IGBT power device, but was reluctant to export it to foreign countries in order to protect this technology. In this study, we analyzed the patents applied for related to propulsion control systems and presented the direction of development during the technical development of these systems. The patent analysis of the core technologies was conducted using the Thomson Innovation DB. We examined the number of patents applied for by country, year and major applicant. As a result of the analysis, it was found that the proportion of patent applications per country was in the order of China, 48%, Europe 16.6%, and the United States 14.9%. The patent situation of the top 10 principal applicants revealed that (the top three were?) ABB 14%, GE 13%, and CRRC 12%. At the same time, we also conducted a qualitative analysis of the level of technical development by evaluating such factors as the influence index, quotation, market securing power and citation. Based on the result of the patent analysis, we presented the direction of technical development of the propulsion control equipment of railway vehicles. Based on the analysis results, it was found that domestic applicants considerably reduced their efforts to protect their patents from foreign companies. Nowadays, most of the electric motors used in Korea are induction motors. In advanced countries, permanent magnet electric motors are employed in new railway lines. Therefore, intensive investment is needed in new developments.

**Keywords** : Electric Vehicle, Inverter, Motor, Patent analysis, Technology classification, Technology trend, Traction System

본 논문은 한국철도기술연구원 “철도차량 형식승인검사 사업”으로 수행되었습니다.

\*Corresponding Author : Young-jae Han(Korea Railroad Research Institute)

Tel: +82-31-460-5614 email: yjhan@krri.re.kr

Received February 28, 2018

Revised March 13, 2018

Accepted May 4, 2018

Published May 31, 2018

## 1. 서론

최근 들어 지구온난화로 인한 환경문제로 인해 철도 차량에 대한 수요가 급증하고 있다. 이 중에서도 추진제어장치는 핵심 전기장치로, 전력변환장치를 경량화하고 효율을 높이기 위한 연구가 세계적으로 활발하게 진행되고 있다[1-2]. 철도차량 추진제어장치는 차량이 주행할 수 있도록 가속 및 감속제어를 담당한다. 각국의 철도기술의 기술 수준을 결정하는 핵심 기술이다. 이 분야의 세계적 기업들은 최고 수준의 기술력을 확보하고 있다[3-4].

한편, 특허분석을 통해 시스템이나 장치 등에 대한 기술을 분석한 연구는 그동안 많이 수행되어왔다. 자동차, 항공분야를 포함하여 각 산업분야에 폭넓게 사용되어왔다[5]. 철도분야의 경우에도 여러 연구자들에 의해 관련된 수준을 파악하고 미래 기술방향을 제시하는데 특허가 폭넓게 활용되어왔다[6-7].

철도차량용 추진제어장치 기술 동향에 대하여 연구는 다음과 같은 순서에 의하여 수행하였다. 먼저, 추진제어장치와 관련하여 국내외 기술동향에 대하여 살펴보았다. 그리고, Thomson Innovation DB를 이용하여 한국, 미국, 유럽 등에 대한 특허를 분석하였다.

본 연구에서는 전동차, 고속철도 등 철도차량 추진제어장치에 관한 특허를 모두 검색한 후에 노이즈를 제거하였다. 출원건수, 출원일 등과 같은 양적 지표와 시장확보력, 인용도지수와 같은 질적 지표를 모두 이용하여 특허내용을 분석하였다.

## 2. 기술개발 동향

### 2.1 국외 추진제어장치 기술개발 동향

환경친화적인 철도차량은 안정성, 정시성, 신뢰성 확보가 중요하다. 아울러, 유지보수 편리성 및 제작비용과 소비전력량 절감 등도 기술개발시에 고려해야 할 주요 요소이다. 이러한 흐름에 따라 국외 철도차량 업체들은 추진제어장치와 관련된 기술개발을 위해 많은 노력을 기울여왔다[1-2,8].

초고속철도나 고속철도를 구동하기 위한 추진제어장치는 연구개발에 오랜 시간이 투입되고, 많은 투자비용이 들어가므로 기술개발 후에는 기술 이전을 최대한 기피하고 있다.

영구자석 동기전동기용 인버터는 독일 Siemens, 스위스 ABB, 프랑스 Alstom, 일본 Toshiba 등에서 이미 개발하여 철도차량에 고효율 인버터를 적용중이다[9-10].

독일 Siemens는 영구자석 동기전동기와 이를 제어하기 위한 전력변환장치를 개발하였다. 전동기의 고효율, 고정밀 제어를 구현하는 것도 중요해졌다. 이를 위해 높은 정밀도를 가진 피드백 센서를 이용하고, 고속화 제어 기술 및 반도체 기술이 크게 발전함에 따라 회전분해능이 고정도화되는 추세이다. 특히, 소형경량화, 유지보수의 편리성, 소비전력량 저감 등처럼 많은 장점을 가진 영구자석 동기전동기에 대한 연구를 활발히 수행하고 있다.

일본 도시바는 1992년부터 고속철도, 도시철도용 영구자석전동기를 개발하기 시작하였다. 제작된 영구자석전동기를 일본에서 운행중인 전동차에는 적용중이나, 미국, 브라질에 수출하는 철도차량에는 영구자석전동기가 아닌 유도전동기를 적용하여 핵심기술을 보호하고 있다.

Fig. 1(a)~(c)는 도시바 영구자석전동기를 실제 영업노선에 사용한 사례이다. Fig. 1(a)는 키타-오사카 큐코 철도 9000호대로 2014년부터 채택하였다. Fig. 1(b)의 전동기는 도쿄 메트로에 사용된 것으로, 2011년에 도입을 시작하였다. Fig. 1(c)는 도쿄 메트로 16000호대로 입력전압 DC 1,500V, 출력용량 205kW이다. Fig. 1(d)는 도쿄 급행 전철 7500, 7550호대에 적용된 유도전동기를 보여준다. 2012년부터 채용되었으며, 입력전압은 DC 1,500V이다. 2010년 이후 일본에서 새로 적용된 전동기 중 유도전동기가 채용한 곳은 도쿄 급행 전철밖에 없으며, 다른 곳은 모두 영구자석전동기를 적용하고 있다.



Fig. 1. Synchronous Motor of Toshiba



Fig. 2. PWM Inverter of Toshiba

최근에는 SiC, GaN 등과 같은 차세대 전력소자를 철도차량에 적용하기 위한 시도들이 지속적으로 이루어지고 있다. Toshiba에서 개발한 PWM 인버터는 영구자석 동기전동기를 제어하기 위해 개발되었다. IGBT 소자의 고장률을 낮추고 안전성을 향상시키기 위해, 기존에 사용하던 3,300V/1,200A급이 아닌 3,300V/1,500A급 IGBT 소자를 개발하여 적용하였다. 새로 개발한 IGBT 소자는 일본의 핵심장치 경쟁력 강화를 위해 수출도 꺼리고 있다.

## 2.2 국내 추진제어장치 기술개발 동향

국내에서 운행되는 전동차의 인버터는 초기에는 사이리스터와 GTO 전력소자가 채용되었으나, 1990년대 후반부터는 IGBT 소자를 사용하고 있다. 1983년에 Mitsubishi 기술을 적용한 초퍼제어방식 차량이 운행되어 기존에 이용되었던 저항방식 차량을 대체하기 시작하였다. 이를 통해 가감속제어를 정밀하게 수행하고 소비전력을 절감할 수 있었다.

1984년과 1985년에는 GEC 초퍼방식 차량이 3호선과 4호선에 도입되었다. 현재 대부분의 전동차에 적용하고 있는 VVVF 인버터 제어방식은 과천 4호선부터 이용되었다. 최근에 영업노선에서 운영되기 위해 제작된 인버터는 2레벨 방식을 적용한 IGBT 소자를 채용하고 있다. 기존에 사용하던 GTO 소자와 비교하여 스위칭 속도가 10배 이상 빨라서 고속회전 시 응답특성이 높으므로 대부분 IGBT를 적용하고 있다[11-12].

## 3. 특허 현황 분석

### 3.1 기술분류 및 특허분석 범위

철도차량 변압기 기술은 차종, 부품 등에 따라 분류할 수 있는데, 여기서는 부품의 종류에 따라 5가지 기술로 구분하였다. Thomson Innovation DB를 통해 한국, 미국, 유럽, 중국, 일본에 출원 및 등록된 특허들을 Title과 Abstract를 검색범위로 하여 1990년 2017년까지 분석하

였다.

Thomson Innovation DB를 통해 한국, 미국, 유럽, 중국, 일본에 출원 및 등록된 특허들을 Title과 Abstract를 검색범위로 하여 1990년 2017년까지 분석하였다. 검색조합식은 전동차, 고속철도 등 철도차량에 취부된 추진 제어장치가 검색되도록 작성하였다.

기술개발 분석을 위하여 5개 국가의 출원건수, 증가율 등의 양적 지표를 사용하였으며, 국가별, 기업별 경쟁력 및 시장확보력 등을 조사하기 위하여 인용도 지수, 시장확보지수 등과 같은 질적 지표를 이용하였다.

## 3.2 특허 기술 동향

### 3.2.1 연도별 및 국가별 특허현황 분석

Fig. 3에서 보는 바와 같이, 철도차량 추진제어장치 기술과 관련하여 총 1,053건이 특허 출원되었고, 전반적으로 특허건수가 급속히 증가하였다. 또한, 2013년 이후부터는 약 100건 내외의 신규 특허가 출원됨을 볼 수 있었다. 국가별 특허출원 비중은 중국이 48%로 거의 절반을 차지하였고, 유럽 16.6%, 미국 14.9%, 일본 11.7%, 한국 8.8%의 순으로 파악되었다. 중국은 1990년부터 2009년까지는 특허 비중이 그리 크지 않지만, 2010년부터는 특허건수가 타국가보다 크게 앞서가는 것으로 분석되었다. 특히, 2015년 특허 119건 중 90건, 2016년 119건 중 106건이 중국에서 특허출원된 것으로 나타나 중국 특허 비중이 더욱 증가될 것으로 조사되었다. 한국의 경우에는 전체 특허건수도 93건으로 가장 적고, 2014년 이후에는 해마다 10건이 안될 정도로 적기 때문에, 추진제어분야의 경쟁력을 확보하기 위해서는 이 분야에 대한 기술개발이 시급히 이루어져야함을 확인할 수 있었다.

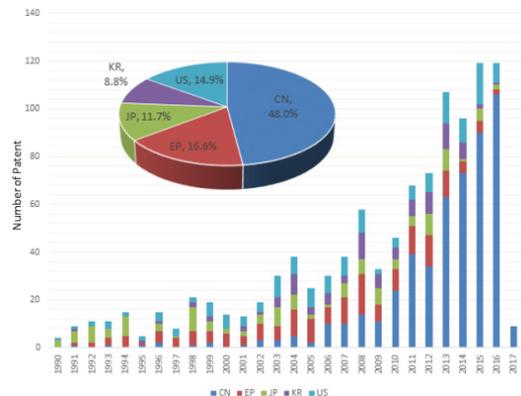


Fig. 3. Patent status for each country

### 3.2.2 주요 출원인 특허현황 분석

Fig. 4와 Fig. 5를 통해, 철도차량 추진제어장치와 관련된 상위 10개 주요 출원인에 대하여 알아보았다. ABB 14%, GE 13%, CRRC 12% 순으로 높게 나타났다. 유럽에 기반을 둔 ABB는 49건 중 28건을 유럽에서, 미국 GE은 52건 중 11건을 미국에서, 중국 CRRC는 51건 중 47건을 중국에 출원하였다. 이를 통해 개발된 기술을 자국에서 먼저 보호받고, 타국에 출원하려는 경향이 있음을 알 수 있었다. KRRI와 UNIV SOUTHWET JIAOTONG의 경우에는 특허 31건과 30건을 모두 자국에 출원한 것으로 파악되었다.

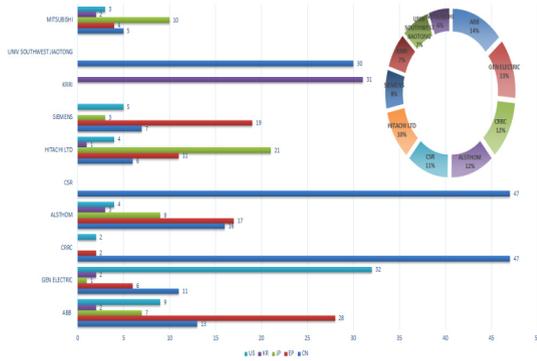


Fig. 4. Patent status for main applicants

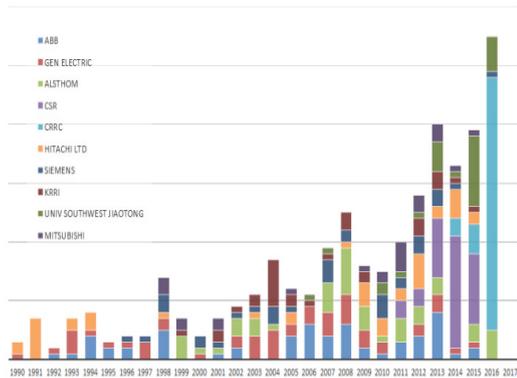


Fig. 5. Patent status of main applicants for each year

Fig. 6에서 IPC 대표 코드에 의한 국가별 기술분야에 대하여 상위 10개 대표 코드를 중심으로 살펴보았다. B60L 코드 309건, H02M 코드 152건, H02J 코드 82건의 순으로 나타났다. B60이 차량일반, H02가 전력의 발

진, 변환, 배전과 관련된 내용을 다루고 있으므로 차량에 탑재되는 전력변환장치와 관련된 특허가 가장 많이 특허 출원된 것을 확인할 수 있었다.

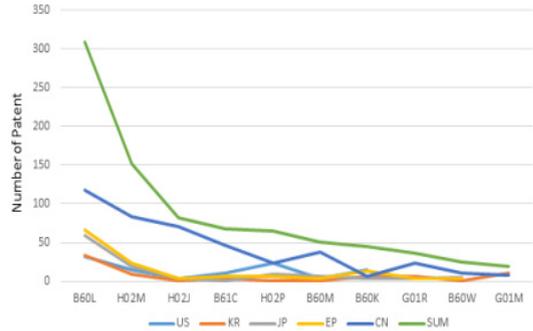


Fig. 6. Patent status of 10 IPC code for each country

### 3.2.3 시장확보력 및 인용도지수

Fig. 7은 국가별 특허분포 시장확보지수를 보여준다. 특정 국가에서 기술경쟁 관계나 상업적 이익이 있을 때 국외 특허출원을 하므로, 패밀리 특허 건수가 많다면 특허를 통한 시장성이 크다고 볼 수 있다. 유럽이 9.48로 가장 높게 조사되었으며, 그 다음은 미국 7.28, 일본 5.78의 순이었다. 한국은 특허 건수와 비교하여 시장확보력이 가장 낮은 것으로 파악되었다.

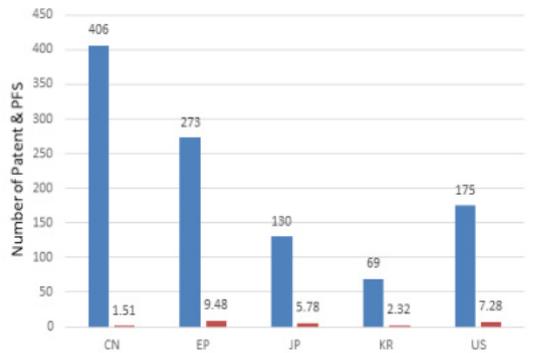


Fig. 7. PFS(Patent Family Size) for each country

Fig. 8은 국가별 특허분포 인용도지수를 분석한 결과이다. 어떤 국가의 특허들이 나중에 등록되는 특허들에 의해 인용되는 건수가 많을수록 기술경쟁력이 커지게 되는데, 이 값이 클수록 원천 및 핵심특허가 많다는 것을 의미하게 된다. 인용도지수는 미국 15.45, 일본 5.13, 유

럽 1.91의 순으로 나타났다. 이를 통해 미국 특허가 가장 많은 핵심 특허를 보유하고 있는 것을 알 수 있었다.

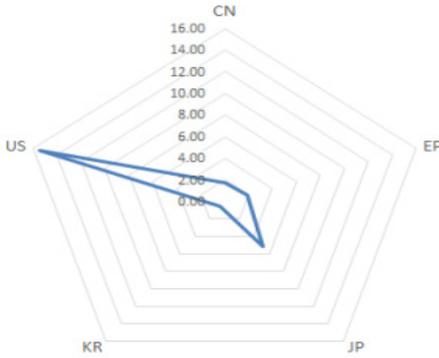


Fig. 8. CPP(Cites Per Patent) for each country

### 3.2.4 영향력지수

국가별 특허분포 영향력지수를 Fig. 9에서 볼 수 있다. 영향력지수는 어떤 국가가 소유하고 있는 기술의 질적 수준을 나타내는 지수이다. 따라서, 이 지수가 높을수록 특허의 질적 수준이 높다는 것을 의미한다. 영향력지수는 미국이 3.12, 일본이 1.04로 조사되었다.

한국의 영향력지수는 0.12에 불과하여 특허의 질적 수준이 가장 낮게 나타났다. 따라서, 한국의 영향력지수를 높이기 위한 대책마련이 시급하다고 판단된다.

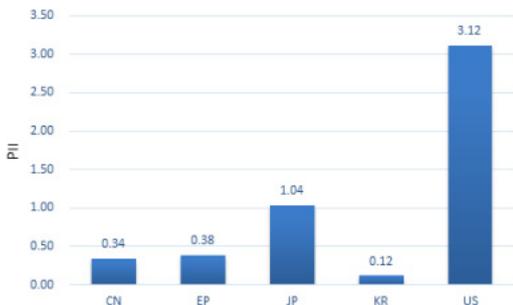


Fig. 9. PII(Patent Impact Index) for each country

### 3.2.5 국가별 특허출원과 우선권 보유건수 비교

Fig. 10에서는 국가별 특허출원과 우선권 보유건수를 비교하여 각 국가의 해외진출 수준을 살펴본 것이다. 유럽은 우선권 보유건수 273건, 국가별 특허출원건수가 175건으로 더 높게 파악되어 해외시장 진출을 위해 노력을 기울인다는 것을 알 수 있었다. 한국과 중국의 경우

에는 우선권 보유건수보다 국가별 특허출원건수가 적은 것으로 나타나 해외시장 개척에 대한 생각이 상대적으로 낮게 조사되었다.

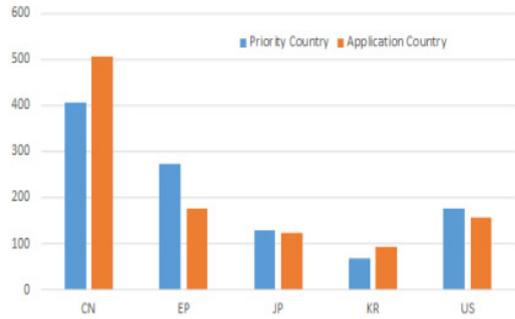


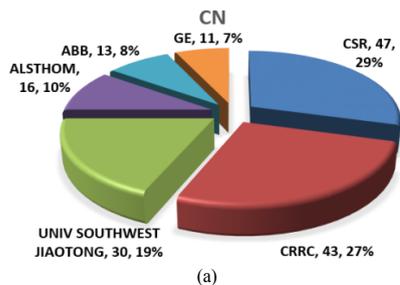
Fig. 10. Patent status for Priority country and application country

### 3.2.6 국가별 주요출원인 분석

Fig. 11은 한국, 중국, 유럽 등의 주요 출원인의 비중을 살펴본 것이다. 중국의 경우, CSR 47건, CRRC 43건, Univ. Southwest Jiaotong 대학 30건의 순으로 조사되었다. 가장 높게 나온 3개 기관의 합이 23.8%에 불과할 정도로, 중국에서는 많은 출원인이 존재함을 확인하였다.

유럽의 상위 5개 출원인의 비중을 분석한 결과, ABB 28건, Siemens 19건, Alstom 17건으로 파악되었다. 일본의 경우에는 Hitachi 21건, Mitsubishi 10건, Alstom 9건 순이었다. 이를 통해 일본 기업들이 자국 내에 많이 특허를 출원하고 있음을 알 수 있었다.

한국은 KRRI가 31건, Alstom 3건, ABB 2건의 순으로 특허출원한 것으로 나타났다. 미국의 경우, GE 32건, ABB 9건, Ford 9건 순으로 파악되었다. 한국과 미국은 KRRI와 GE가 특허출원을 집중적으로 낸 것으로 분석되었다.



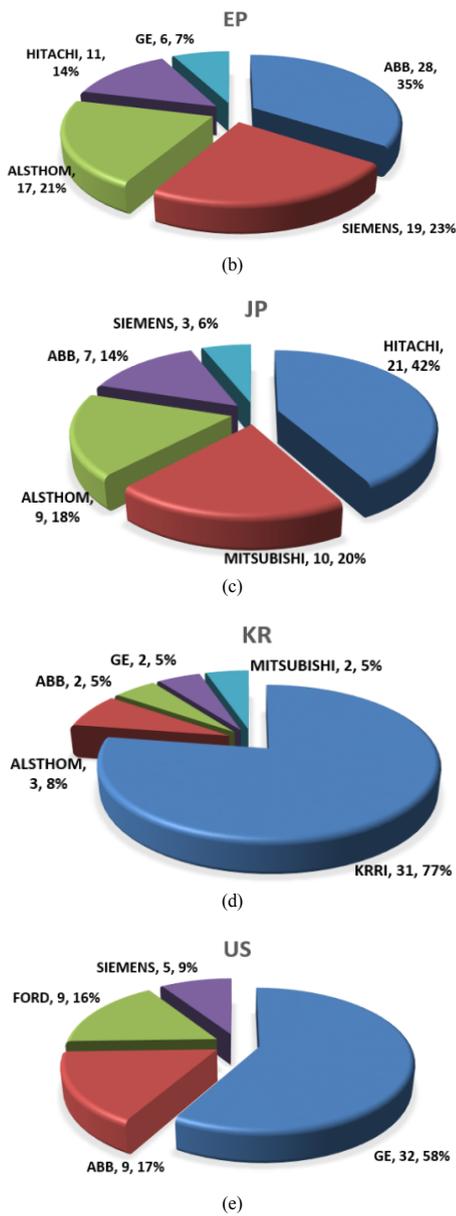


Fig. 11. Patent status for main applicants by countries (a) CN (b) EP (c) JP (d) KR (e) US

#### 4. 결론

본 논문에서는 철도차량 추진제어장치의 미래 기술 방향을 추정하기 위하여 국내의 추진제어장치 기술개발 현황을 분석하였다.

첫째, 국외 추진제어장치 관련 기업들의 경우, 추진제

어장치 연구개발에 많은 시간과 비용이 투입되므로 기술이 실용화된 후에는 기술 이전을 최대한 기피하고 있었다. 예를 들어, 일본 Toshiba는 일본에서 운행중인 전동차에는 영구자석전동기를 적용하고 있지만, 수출용 전동차에 취부되는 추진제어장치에는 유도전동기를 채용하여 핵심기술 유출을 최대한 막고 있었다.

둘째, 국외 기업들은 최신 전력소자에 대한 기술보호를 위해서도 노력하고 있었다. 일본 Toshiba의 경우 3,300V/1,500A급 소자를 새로 개발하였으나, 일본의 전력변환장치 기술력 강화를 위해 타국에 대한 수출도 하지 않고 있었다. 셋째, 국내의 경우, 예전에는 사이리스터와 GTO 소자를 이용하였으나, 최근에는 IGBT 소자를 채용한 전력변환장치가 주종을 이루고 있었다.

한편, 국내의 특허출원 분석을 통해서 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 첫째, 철도차량 추진제어장치와 관련된 특허는 총 1,053건, 2013년 이후부터는 약 100건의 새로운 특허가 출원되었다. 국가별 특허출원 비중은 중국 48%, 유럽 16.6%, 미국 14.9%의 순으로 조사되었다. 중국은 2010년부터 특허건수가 다른 국가보다 크게 앞서는 것으로 나타났다.

둘째, 상위 10개 주요 출원인에 대한 특허현황 분석 결과, ABB 14%, GEN ELECTRIC 13%, CRRC 12% 순이었다. ABB는 49건 중 28건을 유럽, GE는 52건 중 11건을 미국, CRRC는 51건 중 47건을 중국에 출원하여 개발된 기술을 자국 내에 먼저 출원하여 보호받고 타국에 출원하려는 경향이 있는 것을 볼 수 있었다.

셋째, IPC 대표 코드에 의한 국가별 상위 10개 대표 코드를 살펴본 결과, B60L 코드 309건, H02M 코드 152건, H02J 코드 82건의 순으로 파악되었다. 넷째, 국가별 특허분포 시장확보지수는 유럽 9.48, 미국 7.28, 일본 5.78의 순으로 조사되었다. 우리나라는 특허출원 건수와 비교해 시장확보력이 가장 낮게 나타났다.

다섯째, 국가별 특허분포 인용도지수를 살펴본 결과, 미국 15.45, 일본 5.13, 유럽 1.91의 순이었다. 이 결과를 통해, 미국 특허가 핵심 특허를 가장 많이 보유하고 있음을 확인하였다. 여섯째, 국가별 특허분포 영향력지수는 미국 3.12, 일본 1.04, 유럽 0.38의 순으로 분석되었다.

일곱째, 국가별 특허출원과 우선권 보유건수를 비교하여 각 국가의 해외진출 수준을 살펴본 결과, 유럽은 우선권 보유건수 273건, 국가별 특허출원건수가 175건으로 파악되어 해외시장 진출을 위해 많은 노력을 기울임

을 볼 수 있었다. 한국과 중국은 우선권 보유건수보다 국가별 특허출원건수가 더 적게 나타나 해외시장 개척의 지가 상대적으로 낮게 나타났다.

여덟째, 국가별 주요출원인을 분석해 보았다. 중국의 경우, CSR 47건, CRRC 43건, Univ. Southwest Jiaotong 대학 30건의 순으로 파악되었다. 3개 기관이 모두 합쳐 23.8%에 불과하여 다수의 출원인이 활발하게 특허를 출원하고 있음을 볼 수 있었다. 일본은 Hitachi 21건, Mitsubishi 10건, Alstom 9건 순이었으며, 일본 기업들이 자국 내에 특허를 많이 출원함을 볼 수 있었다. 한국과 미국의 경우, KRRI와 GE가 집중적으로 특허를 출원하고 있는 것을 볼 수 있었다.

특허 출원 분석을 통해, 중국, 일본, 유럽국가들은 특허를 자국뿐만 아니라 다른 국가에도 출원하여 자국 기술을 보호받기 위해 노력하고 있다. 그러나, 국내 출원인은 대부분 한국을 중심으로 특허출원을 할 뿐, 국외에서 실질적으로 특허를 보호받기 위한 노력이 상당히 저조함을 확인하였다.

본문에서 살펴본 바와 같이, 철도차량 선진기업들은 추진장치에 대한 기술노출을 꺼리고 있다. 일본은 추진 제어장치에 대한 경쟁력 강화를 위해 최신 기술을 적용한 영구자석전동기가 아닌 유도전동기를 외국에 수출하고, 새로 개발된 3,300V/1,500A급 IGBT 소자 수출도 하지 않고 있다.

특히, 일본은 도쿄 급행 전철을 제외하면, 2010년 이후에 제작된 모든 열차에 영구자석전동기를 채용하고 있다. 현재 국내에서 발주되고 있는 전동기의 대부분이 유도전동기인 점을 고려하면, 국내에서도 기술개발에 대한 투자가 대폭적으로 진행되고, 개발된 영구자석전동기와 이를 제어하기 위한 추진제어장치를 실제 영업노선에 적용하기 위해 정부와 산학연이 힘을 모아야 할 것으로 판단된다.

## References

[1] David Briginshaw, "AGV : the next generation", *International Railway Journal*, pp. 23-36, 2008.

[2] Yoshiaki Mizuguchi, Junji Kawasaki, "Development of main circuit system for FASTECH360", *JR EAST Technical Review*, no. 16, pp. 13-16, 2010.

[3] A. Kocalmis, and S. Sunter, "Simulation of a space vector PWM controller for a three-level voltage-fed inverter motor drive", *IECON*, pp. 1915-1920, 2006.

DOI: <https://doi.org/10.1109/IECON.2006.347442>

[4] D. Serrano-Jimenez, L. Abrahamsson, S. Castano-Solis, J. Sanz-Feito, "Electrical Railway Power Supply Systems : Current Situation and Future Trends", *Electrical Power and Energy Systems*, vol. 92, pp. 181-192, 2017.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2017.05.008>

[5] Si-Young Chang, Byoung-Chul Lee, Yun-Bae Kim, "A Study on the Emerging Technology Detection in the Field of LED Using Scientometrics", *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, vol. 12, no. 3, pp. 1213-1222, 2011.  
DOI: <http://doi.org/10.5762/KAIS.2011.12.3.1213>

[6] Young-Jae Han, Jeong-Min Jo, Jin-Ho Lee, Chul-Ung Lee, "The trend analysis of technology development for auxiliary power supply of electric vehicle", *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, vol. 16, no. 11, pp. 7957-7963, 2015.  
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.11.7957>

[7] Seok-Moon, Oh, Inmook, Lee, "A Study to Develop a Multiple Container Transportation System", *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, vol. 15, no. 2, pp. 638-645, 2014.  
DOI: <http://doi.org/10.5762/KAIS.2014.15.2.638>

[8] R. Lindsey, "Positive Train Control in North America", *IEEE Veh. Technol. Mag.*, vol. 4, no. 4, pp. 22-26, 2009.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/MVT.2009.934666>

[9] "Permanent Magent Synchronous Motor for Propulsion System", Toshiba Catalog, 2012.

[10] Kenji Sato, "Traction Systems using Power Electronics for Shinkansen High-speed Electric Multiple Units", *The 2010 International Power Electronics Conference*, pp. 2859-2866, 2010.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/IPEC.2010.5542320>

[11] Chan-Bae Park, Hyung-Woo Lee, Byung-Song Lee, "Technology Trends for Electric Equipment of Railway Propulsion", *The Magazine of Korean Institute of Power Electronics*, vol. 21, no. 4, pp. 27-34, 2016.

[12] "Technological Development of Propulsion System for Improvement of Stability and Weight Reduction of Railway Vehicles", KRRI Research Report, 2016.

## 한 영 재(Young-Jae Han)

[정회원]



- 1994년 2월 : 홍익대학교 전기제어 공학과 (공학학사)
- 1996년 2월 : 홍익대학교 전기제어 공학과 (공학석사)
- 2004년 2월 : 홍익대학교 전기정보 제어공학과 (공학박사)
- 2013년 2월 : 성균관대학교 경영학과 (경영학석사)
- 2016년 8월 : 고려대학교 기술경영학과 (공학박사)
- 1995년 12월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 책임연구원

<관심분야>

추진제어시스템, 시험평가-인증, 기술경영

**이 수 길(Su-Gil Lee)**

[정회원]



- 1995년 2월 : 숭실대학교 전기공학과 (공학학사)
- 1997년 2월 : 숭실대학교 전기공학과 (공학석사)
- 2010년 2월 : 숭실대학교 전기공학과 (공학박사)
- 1997년 1월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 책임연구원

<관심분야>

추진제어시스템, 전기철도차량제어, 톨팅시스템제어

**배 창 한(Chang-Han Bae)**

[정회원]



- 1996년 2월 : 아주대학교 제어계측공학과 (공학학사)
- 1998년 2월 : 아주대학교 제어계측공학(공학석사)
- 2002년 8월 : 아주대학교 제어계측공학 (공학박사)
- 2002년 8월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 책임연구원

<관심분야>

전기철도, 전력전자, 제어계측공학

**박 찬 경(Chan-Kyoung Park)**

[정회원]



- 1987년 2월 : 한양대학교 기계설계학과 (공학학사)
- 1989년 2월 : 한양대학교 기계설계학과 (공학석사)
- 2004년 2월 : 한양대학교 정밀기계공학과 (공학박사)
- 2007년 1월 ~ 2007년 12월 : Central Queensland Univ. 방문연구원

- 1995년 2월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 수석연구원
- 2018년 3월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 철도시험인증센터장

<관심분야>

철도동역학, 시험평가인증, 고속철도 인터페이스

**김 영 국(Young-Guk Kim)**

[정회원]



- 1984년 2월 : 아주대학교 기계공학과 (공학학사)
- 1986년 2월 : 한국과학기술원 기계공학과 (공학석사)
- 1986년 6월 ~ 1996년 3월 : 대우중공업중앙연구소 선임연구원
- 1997년 5월 : 건설기계기술사
- 1997년 12월 : 차량기술사

- 1996년 4월 ~ 1997년 12월 : 한국고속철도건설공단 차량연구실 선임연구원
- 1997년 12월 : 한국철도기술연구원 수석연구원
- 2000년 12월 : 소음진동기술사
- 2003년 2월 : 아주대학교 기계공학과 (공학박사)

<관심분야>

철도동역학, 시험평가인증, 고속철도 인터페이스