



연료전지용 전력변환장치 관련 최신 동향

수소 경제 활성화 로드맵, 수소경제법 제정 등 최근 수소연료전지 시스템이 이슈가 되고 있는 점에서, 본 기고문은 연료전지 시스템의 주요 운용 및 제어 장치인 전력변환장치에 대한 기술 및 특허 동향을 살펴본다.

1. 개요

연료전지 시스템은, 독자들도 잘 아는 바와 같이, 수소(천연가스, 메탄올 등)가 가진 화학에너지를 전기화학반응에 의해 전기에너지로 직접 변환하는 발전 시스템으로서, 현존하는 가장 높은 발전 효율을 가질 뿐 아니라, 공해물질 배출을 줄이면서 전기와 열을 동시에 생산하는 점에서 최근에 국내·외에서 관심이 집중되고 있다.

미국 TEF(Transportation Energy Futures, 수송 에너지 미래 전략, '13년), 일본 '수소기본전략' 채택('17년), 독일 NOW 설립(국립 수소연료전지 기구, '08년) 등 주요 선진국은 수소경제 육성을 위해 다양한 정책을 추진하고 있다. '19년 우리 정부도 수소전기차와 더불어 수소연료전지를 핵심산업으로 선정하고 국내 수소/연료전지산업을 집중 육성하기 위하여 수소 경제 활성화 로드맵을 시작으로, 수소경제 표준화 전략 로드맵, 수소경제 기술개발 로드맵, 수소 공급 및 인프라 구축 방안 등 다양한 정책을 수립/발표하였다. 나아가, '20년 1월 9일에는 수소경제 이행 추진 체계, 수소 전문 기업 육성·지원, 수소 충전소 및 연료전지 설치·촉진, 기반조성, 전담기관, 안전관리 규정을 포함하고 있는 수소경제 육성 및 수소 안전관리법이 제정되어, 수소전기차 및 연료전지발전을 포함한 수소산업시장의 급성장이 예상된다. 본 기고문은 수소연료전지차 및 연료전지발전용 전력변환장치에 대한 최근 동향을 살펴본다.

1.1. 기술 동향

연료전지 시스템은 연료전지 스택, 기계적 주변 보조기인 M-BOP(Mechanical Balance of Plant), 전기적 주변 보조기인 E-BOP(Electrical Balance of Plant)로 구성되며, M-BOP는 연료 공급 시스템, 공기 공급 시스템, 열 관리 시스템, 물 관리 시스템을 포함하고, E-BOP는 전력변환기(AC-DC 컨버터(인버터), DC-DC 컨버터), 필터, 변압기, 스위치·차단기, 각

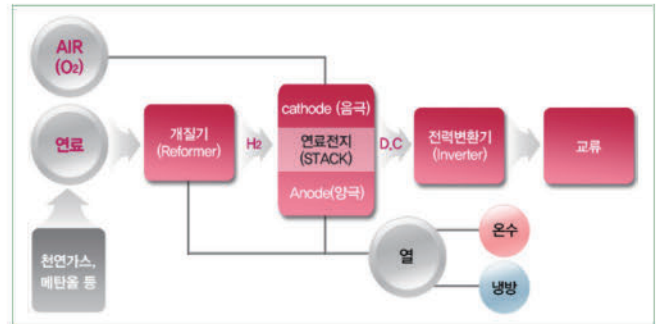


그림 1 연료전지 시스템 구성도 (출처 : 에너지 관리공단 신재생에너지센터)

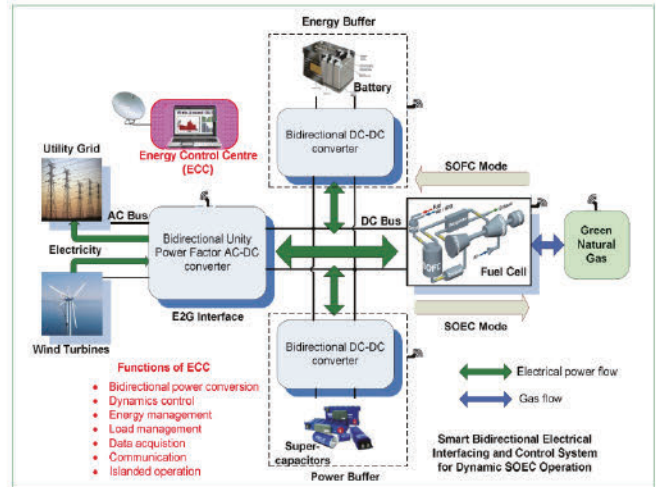


그림 2 연료전지 시스템에서 전력변환기 구성도^[1]

종 센서, 제어기 등을 포함한다. 그림 1은 천연가스 등을 이용한 연료전지 발전 시스템의 일반적인 구성도의 일례를 나타내었고, 그림 2는 연료전지 시스템에서 전력변환기의 구성도를 나타내었다. 그림 2와 같이, 연료전지 발전 시스템은 연료전지 스택의 출력과 AC 계통 또는 AC 부하 사이에는 DC-DC 컨버터 및 컨버터(Cascade converter)를 구비하여 연료전지 스택의 출력 에너지를 계통 또는 부하에 전달한다. 연료전지의 출력은 기본적으로 연료전지 스택에 주입하는 연료량 및 공기량에 의해서 제어된다. 그러나, 일반적으로 부하의 요구

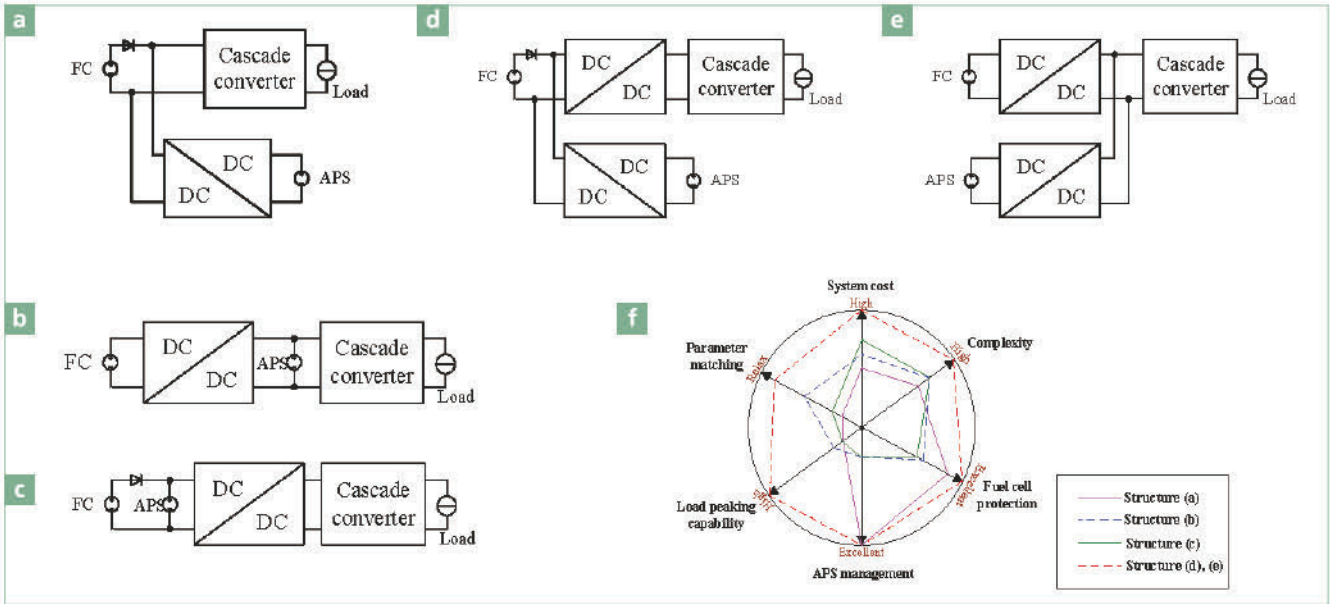


그림 3 다양한 시스템 연결 구성도 및 비교^[1]

전력량 변화에 비해서 주입 연료량 및 공기량의 조절이 느리기 때문에 에너지 흐름을 원활하게 제어하기 위해서 상기 DC-DC 컨버터를 이용하여 연료전지스택의 출력단 전압을 가변함으로써 연료전지스택의 출력을 제어하고, 나아가, 에너지 버퍼링 기능을 하는 APS(auxiliary power sources)를 채용하여 에너지 흐름 제어 안정성을 향상시킨다. 대표적인 APS로는 단시간 큰 파워를 충전하거나 방전시킬 수 있는 슈퍼 커패시터 및 상대적으로 긴 시간 동안 에너지를 충전하거나 방전시킬 수 있는 2차 전지가 있다. 그림 2와 같이, 양방향 DC-DC 컨버터를 통해서 APS를 DC-Bus에 연결하고, DC-DC 컨버터가 계통, 부하 및 APS의 상태를 기초로 충전 및 방전을 제어할 수 있다.

그림 3은 연료전지스택, APS, DC-DC 컨버터의 연결 구성에 따른 다양한 시스템 구조도 및 구조에 따른 특징을 나타내었다. APS 관리 측면 및 연료전지보호 측면에서는 구조(a), (d), (e)와 같이 APS 및 연료전지스택이 각각 DC-DC 컨버터를 통해서 DC-Bus에 연결되는 것이 유리함을 알 수 있다^[1].

그림 4는 연료전지차량의 파워트레인 구성도 일례를 나타내었다. 그림 4(a)는 그림 3(a)와 같이, DC-Bus와 배터리 사이에 DC-DC 컨버터를 구비하되, 연료전지스택의 출력을 DC-Bus에 직접 연결하는 구조로서, 현대차의 투싼IX35, 넥소, 도요타 FCHV-ADV, 혼다 1세대(FCX-Clarity)에 적용되었다. 이 구조에서는 배터리에 연결된 DC-DC 컨버터가 배터리의 충방전 제어와 함께 DC-Bus의 전압을 제어하여 연료전지스택의 출력을 제어하는데, 그림 4(b)의 구조에 비해서 상대적으로 적은 수의 DC-DC 컨버터만을 구비하는 점에서 시스템

사이즈 및 무게를 줄일 수 있는 장점이 있다. 다만, 하나의 DC-DC 컨버터가 배터리 충방전 제어와 연료전지 출력을 동시에 제어해야 하는 점에서 제어 자유도가 낮아져 제어가 어려워지는 단점이 있을 수 있다. 그림 4(b)는 연료전지스택과 DC-Bus 사이에도 DC-DC 컨버터를 구비한 구조로서, 도요타와 혼다의 2세대 모델에 적용되었다. 그림 4(b) 구조는 그림 4(a)에 비해서 배터리 충방전 제어와 연료전지출력 제어를 독립적으로 수행할 수 있어서 제어 자유도가 높고, 구동용

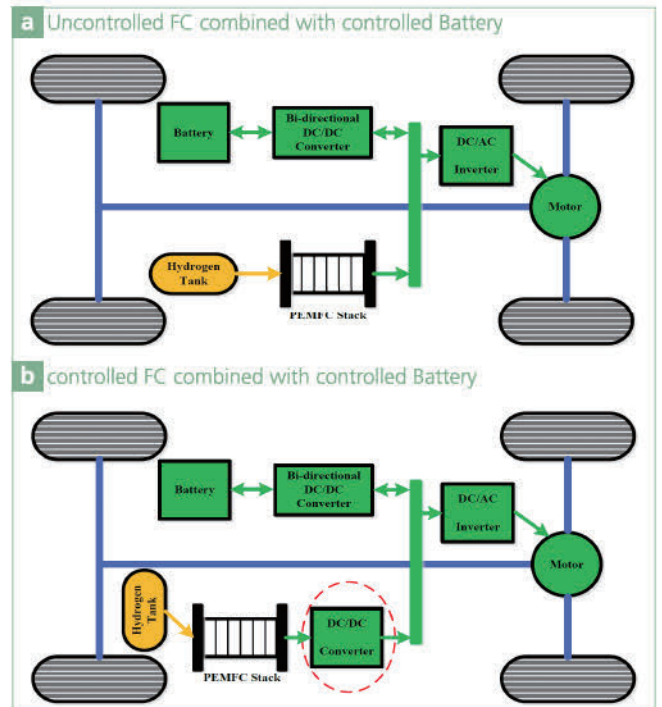


그림 4 연료전지 자동차의 파워트레인 구성도^[2]

표 1 연료전지 자동차별 시스템 사양 비교^[2]

구분	도요타		혼다		현대		
	FCHV-ADV	Mirai	1세대	2세대	IX35	넥소	
FC용 DC-DC 구비	×	○	×	○	×	×	
DC-Bus 전압[V]	-	650	330	500	400	400	
배터리	종류	Ni-MH	Ni-MH	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion
	전압[V]	288	245	288	358	180	240

인버터의 입력인 DC-Bus의 전압을 상대적으로 높게 유지하여 인버터 전류를 줄이고 시스템을 보다 효율적으로 운용할 수 있는 장점이 있다. 표1은 현대차, 도요타 및 혼다의 연료전지차의 시스템 사양을 비교하였다.

DC-DC 컨버터의 토폴로지는 비절연형과 절연형으로 나뉘는데, 특히 차량용의 경우에는, 구조가 간단하고, 사이즈 및 재료비가 낮으며, 고효율 달성이 가능하고, 제어가 간단하여 신뢰성이 높은 비절연형 토폴로지를 채용하는 것이 유리하다. 또한, 입력단 전류 리플량을 줄이기 위해서 다상(multi-phase) 병렬 토폴로지를 채용하는 경향이 있으나, 단상에 비해서 부품 수가 많아지고 구성이 복잡해지는 단점이 있다. 최근에는 고효율 달성을 위해서 SiC 등 Wide-Band Gap(WBG) 반도체 스위치를 채용하려는 연구가 활발히 이루어지고 있다.

1.2. 시장 동향

전 세계 연료전지 시장은, 그림 5(a)와 같이, 최근 빠른 성장세를 보이고 있으며, 2017년 기준 50억 3,420만 달러를 기록하였다. 이는 2015년 총 17억 7,440만 달러 대비 184% 성장한 수치이다. 2013년부터 2019년까지 연평균성장률 46.1%를 기록할 것으로 보인다. 용도별로는 고정형과 수송형의 전체적인 성장세가 두드러진다. 특히, 2015년까지는 발전용 연료전지를 위주로 고정형이 전체 연료전지 시장의 약 68% 이상의 시장을 점유하였으나, 자동차용 시장의 급격한 성장으로 2017년 이후부터는 수송형의 시장 점유율이 크게 성장하여 고정형과 비슷한 규모로 시장이 형성되고 있는 추세에 있다(고정형 51.2%, 수송형 48.6%). 이에 비해 시장의 규모가 상대적으로 미미한 휴대형 연료전지 시장은 2013년 이후 빠른 성장세를 보이며 2015년에는 940만 달러로 전체 시장의 0.5%를 차지하였다. 국내 연료전지시장은, 그림 5(b)와 같이, 2013년 1억 9천만 달러 규모에서 2015년에는 4억 1,350만 달러로 약 117% 대폭 증가하였으며, 이러한 성장세가 계속되어 2019년에는 12억 5,400만 달러 규모가 될 것으로 보인다. 특히, 공공기관 신축 건축물에 대한 신재생에너지 설치 의무화

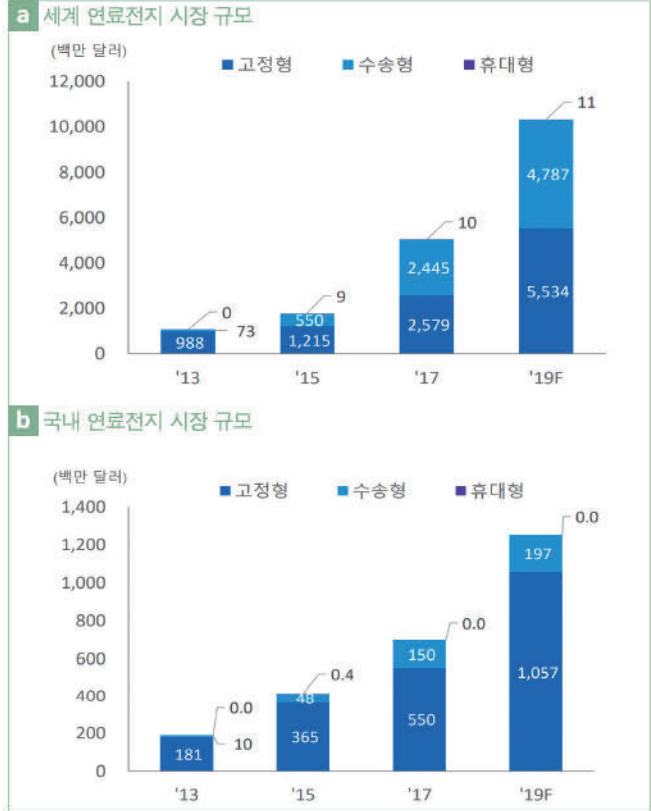


그림 5 연료전지 시장규모^[3]

사업과 친환경 건축물 인증제도, 신재생에너지 이용 건축물 인증 제도, 에너지 사용 계획 협의 등으로 잠재적 연료전지 보급시장 또한 매우 넓은 것으로 평가받는다. 국내 내수 시장은 발전용 연료전지의 규모확대로 인해 고정형을 중심으로 시장이 크게 성장하고 있으며('13-'19년 연평균 성장률 34.2%), 육상교통분야의 온실가스 배출 저감 요구에 따라 수송용 시장은 연평균성장률 64.3%를 기록하며 가장 큰 성장률을 보일 것으로 예상된다^[3].

2. 연료전지용 전력변환장치 관련 특히 동향

전력변환장치는 연료전지 시스템뿐 아니라 산업용, 전기자동차, 하이브리드자동차 등 여러 분야에 폭넓게 사용되고, 특히 전력변환장치의 회로 토폴로지에 대한 기술은 여러 분야에 공통으로 사용되는 점에서, 본 기고문은 전력변환장치 관련 특히 출원 중 명세서의 주요 부분에 연료전지 및 그에 해당하는 균등한 용어를 포함한 특허만을 대상으로 대략적인 추세를 살피기 위한 목적으로 특히 동향을 조사하였다.



그림 6 연료전지용 전력변환장치 관련 주요국의 연도별 특허출원 동향

2.1. 연도별 기술별 특허출원 현황

연료전지용 전력변환장치 관련 기술 분야에 대한 연도별 출원동향을 살펴보면, 그림 6에 나타난 바와 같이, 2008년부터 현재까지 특허 출원이 지속적으로 이어지고 있다. 2010년에 출원이 감소하여 2016년까지 증감을 반복하는 듯하였으나, 2017년에 다시 출원 건수가 335건으로 증가했다.

2.2. 국가별 출원 현황

국가별 출원 동향을 살펴보면, 대상특허의 국가별 점유율을 살펴보면 중국이 41%로 가장 높은 점유율을 나타내며, 이어서 일본 25%, 미국 18%, 한국 10%, 유럽 6% 순으로 조사되었다. 한국 출원동향을 살펴보면, 그림 8에 나타난 바와 같이, 2008년부터 2016년까지 등락을 반복하는 형태로 특허출원이 이루어졌다. 2016년에 최저치를 기록하였으나 2017년 다시 출원이 반등하였으며, 최근 연료전지시장 활성화에 따라 향후 출원이 크게 증가할 것으로 기대된다. 참고로, 일반적으로 특허출원 후 1년 6개월이 경과된 때에 출원 관련 정보를 대중에게 공개함에 따라 아직 미공개 상태의 데이터가 존재하는 2018년-2019년 자료는 일부 유효하지 않을 수 있다.

일본, 유럽, 미국 출원동향을 살펴보면, 그림 9-11에 나타난 바와 같이, 약 2010년 전후를 시작으로 출원량이 3 내지 5년간 완만한 상승 후 출원량이 저하되다, 2015년 내지 2016년경부터 전반적으로 출원량이 다시 증가하는 경향이 나타난다.

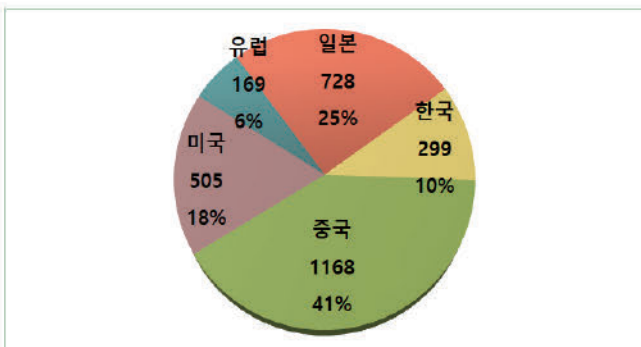


그림 7 국가별 특허출원 동향

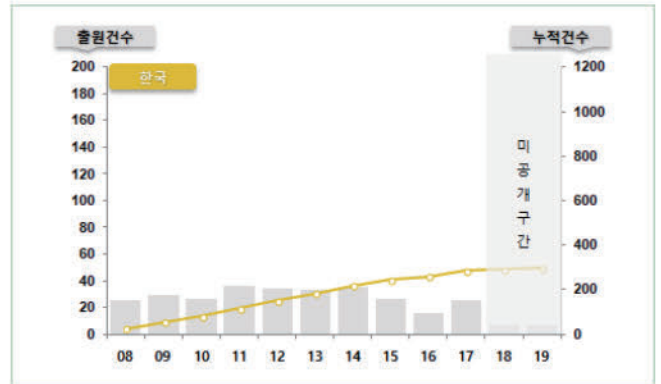


그림 8 한국 연도별 특허출원 동향

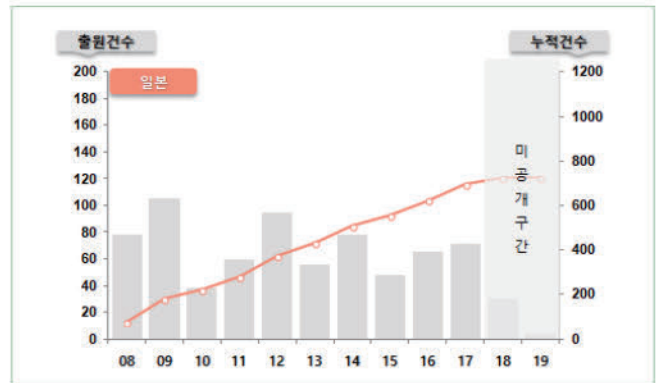


그림 9 일본 연도별 특허출원 동향

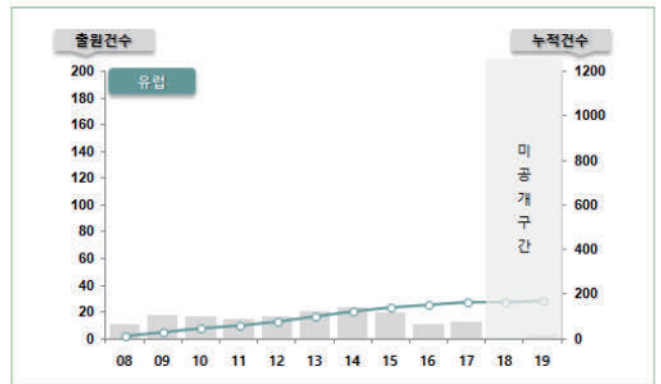


그림 10 유럽 연도별 특허출원 동향

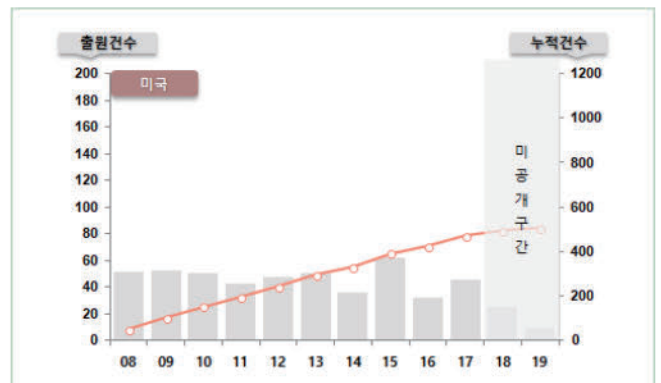


그림 11 미국 연도별 특허출원 동향

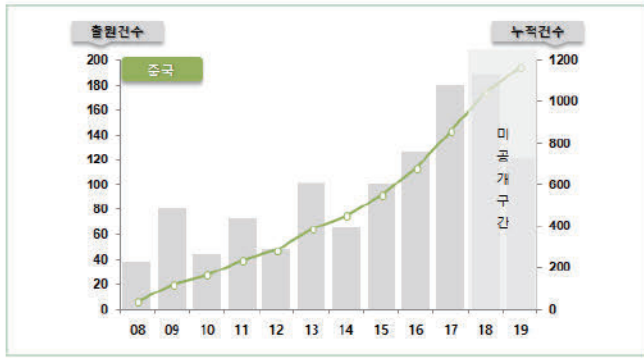


그림 12 중국 연도별 특허출원 동향

이는 연료전지차 및 연료전지 발전 시스템에 대한 세계 주요 각국 정부의 지원 정책 등과 연계된 것으로 보인다.

한편, 중국 출원동향을 살펴보면, 그림 12에 나타난 바와 같이, 일부 등락이 있으나 전반적으로 출원량이 지속적으로 증가하는 등 중국의 약진이 눈에 띈다.

2.3. 주요 다출원인 현황

연료전지용 전력변환장치 관련 기술 분야의 주요 다출원인 현황을 살펴보면, 표2에 나타난 바와 같이, 공통적으로 도요타, 혼다, 현대·기아차, 닛산, GM, 한온시스템, 파나소닉,

보쉬 등 자동차 제조사 또는 부품사가 높은 순위에 랭킹되어 있는 것으로 조사되었다. 이는 연료전지차용 전력변환장치에 대한 자동차 관련 업체의 특허 출원이 상대적으로 많았던 것으로 해석된다. 한편, 연료전지 스택 또는 연료전지발전 시스템 사업과 관련된 삼성SDI, Bloom energy사, Intelligent energy사, 지필로스, 도시바 등 에너지 관련 업체 및 에너지 기술연구원 등의 연구소 등이 적극적으로 출원한 것으로 파악된다.

2.4. 특허 기술분류(IPC)로 본 기술 동향

연료전지용 전력변환장치 관련 특허의 세부 기술 분야 및 그 용도를 살펴보기 위해서, 각 특허들에 각각 할당된 기술분류 코드(IPC)를 분석해보면, 연료전지의 출력 전력을 계통에 급전하거나 배터리 등에 충전하는 장치 및 시스템(H02J)에 대한 특허가 전체의 약 55%를 차지하였고, 연료전지용 AC-DC 또는 DC-DC 컨버터 자체에 대한 특허(H02M)는 약 20%를 차지하였으며, 연료전지 시스템의 배터리 관련 특허(H01M)가 약 10%, 연료전지자동차 운행 및 제어 관련 특허(B60L)가 약 5%를 차지하였다. 국가별 다소 차이는 있으나 전반적인 경향은 동일한 것으로 파악된다.

표 2 국가별 다출원인 현황 (2008년~2019년)

순위	한국	출원	일본	출원	중국	출원	미국	출원	유럽	출원
	출원인		출원인		출원인		출원인		출원인	
1	현대자동차(한국)	35	TOYOTA MOTOR(일본)	120	STATE GRID CORP CHINA(중국)	41	TOYOTA MOTOR(일본)	52	Panasonic Corporation(일본)	14
2	포스코에너지(한국)	8	Panasonic Corporation(일본)	78	TOYOTA MOTOR(일본)	34	현대자동차(한국)	29	Kyocera Corporation(일본)	13
3	한온시스템(한국)	8	HONDA MOTOR CO LTD(일본)	70	SHANGHAI HYDROGEN MOBILE REFORMER INSTR CO LTD(중국)	19	Bloom Energy Corporation(미국)	25	Intelligent Energy Limited(영국)	10
4	동신대학교 산학협력단(한국)	7	Kyocera Corporation(일본)	64	GM Global Technology Operations LLC(미국)	17	HONDA MOTOR CO LTD(일본)	21	Nissan Motor Co., Ltd.(일본)	8
5	한국에너지기술연구원(한국)	7	TOSHIBA(일본)	46	GUANGDONG HYDROGEN ENERGY SCIENCE AND TECHNOLOGY CO., LTD.(중국)	16	GM Global Technology Operations LLC(미국)	15	HONDA MOTOR CO LTD(일본)	8
6	대구경북과학기술원(한국)	7	NORITZ CO(일본)	27	HUANENG CLEAN ENERGY RES INST(중국)	14	Kyocera Corporation(일본)	12	TOSHIBA(일본)	6
7	Nissan Motor Co., Ltd.(일본)	6	DAIWA HOUSE INDUSTRY CO LTD(일본)	24	KUNSHAN FUERSAI ENERGY CO LTD(중국)	14	Intelligent Energy Limited(영국)	12	TOYOTA MOTOR(일본)	5
8	삼성중공업(한국)	6	Nissan Motor Co., Ltd.(일본)	17	SOUTHWEST JIAOTONG UNIVERSITY(중국)	13	Panasonic Corporation(일본)	9	SIEMENS AG(독일)	4
9	삼성에스디아이(한국)	6	TOKYO GAS CO LTD(일본)	13	현대자동차(한국)	12	Nissan Motor Co., Ltd.(일본)	8	Robert Bosch GmbH(독일)	4
10	TOYOTA MOTOR(일본)	5	TOYOBO CO LTD(일본)	13	WUHAN TROOWIN POWER SYSTEM TECH CO LTD(중국)	12	Tai-Her Yang(대만)	8	Bloom Energy Corporation(미국)	4
	(주)지필로스(한국)	5			UNIV NORTH CHINA ELEC POWER(중국)	12	Chung-Hsin Electric & Machinery Mfg. Corp.(대만)	8	AIRBUS GROUP SAS(독일)	4
	현대제철(한국)	5								
	엘에스산전(한국)	5								
	대우조선해양(한국)	5								
	세종공업(한국)	5								

3. 결론

최근 국·내외에서 연료전지차 및 발전용 연료전지에 대한 관심이 급격히 높아지고, 세계 연료전지 시장이 2013년부터 2019년까지 연평균성장률 46.1%에 이를 만큼 급격히 성장하고 있으며, 세계 주요 선진국을 비롯해 우리 정부도 다양한 지원 정책과 법 제정을 통해 연료전지 관련 산업 육성을 지원하고 있는 점에서, 향후 연료전지 시장의 급격한 성장이 예상된다.

연료전지 시스템에서 전력변환장치는 에너지 흐름을 제어하는 부품으로서, 시스템의 안정성, 신뢰성 및 효율에 직접적인 영향을 주고, 전력변환장치를 포함한 시스템 구성에 따라 각 부품의 사양 및 운용의 범위가 결정되어 시스템을 최적화하는 데 있어서 중요한 핵심 부품에 해당하는 점에서, 향후 제어 성능, 신뢰성, 효율 향상, 부품 공용화, 표준화 및 토폴로지 개발 측면에서 적극적인 연구가 필요하다고 사료된다.

연료전지용 전력변환장치 관련 기술에 대한 특허 동향을 살펴본 결과, 한편으로는 자동차 제조사 및 부품사가 고신뢰성, 고효율, 컴팩트화, 및 시스템 최적화가 필요한 연료전지차용 전력변환장치에 대한 특허를 적극적으로 출원하고 있고, 다른 한편으로는 에너지 회사들이 신재생에너지 연계 발전용 연료전지 시스템에 대한 특허를 활발하게 출원하고 있는 것으로 파악된다.

향후 연료전지 시장이 급격히 성장할 것이 예상되고, 전력변환장치 등 E-BOP는 연료전지의 종류와 상관없이 공통된 기술이 많은 점에서, 발전용 연료전지 업체들 간, 연료전지 자동차 관련 업체들 간뿐 아니라 발전용 연료전지 업체들과 연료전지 자동차 관련 업체들 간의 특허 분쟁 가능성이 낮아 보인다. 따라서, 사전에 특허 침해분석 등의 RISK 분석을 통해 특허 분쟁에 대한 준비를 서두르고, 적극적인 특허 개발 및 지식재산권 확보를 통해 지식재산권 포트폴리오를 구축하는 것이 바람직하다고 사료된다. ■

참고문헌

- [1] Z. Zhang 외, "A review and design of power electronics converters for fuel cell hybrid system applications," Energy Procedia, Vol. 20, pp. 301-310, 2012.
- [2] H. Wang, "Design and control of a 6-phase interleaved boost converter based on sic semiconductors with EIS functionality for fuel cell electric vehicle," Jul. 2019.
- [3] 삼정 KPMG 경제연구원, "연료전지 시장의 현재와 미래," 2019. 8.

표 3 주요 관련 기술분류(IPC) 및 국가별 특허출원 동향

IPC	정의	한국	일본	중국	미국	유럽	전체
H02J	전력급전 또는 전력배전을 위한 회로 장치 또는 시스템; 전기에너지를 저장하기 위한 시스템	86	123	504	118	51	882
H02M	교류-교류, 교류-직류 또는 직류-직류변환장치 및 주요한 또는 유사한 전력공급장치와 함께 사용하기 위한 장치; 직류 또는 교류입력의 서지 출력변환; 그것을 제어 또는 조정(전기 또는 자기변량을 조정하기 위한 시스템일반, 예. 변압기, 리액터 또는 초크 코일을 사용하기 위한 것, 정지 변환기를 가진 이와 같은 시스템을 결합 G05F; 변성기 H01F; 유사 또는 기타 공급전원과 공동동작하는 변환기의 접속 또는 제어, H02J; 회전 변환기 H02K 47	28	92	158	18	14	310
H01M	화학에너지를 전기에너지로 직접 변환하기 위한 방법 또는 수단, 예. 배터리	31	45	53	27	4	160
B60L	전기 추진차량의 추진(차량의 공동 추진 또는 상호 추진을 위한 여러 다양한 견인차의 또는 전기 추진 장치의 설치 또는 배치 B60K-001/00, B60K-006/20; 차량에서 전기 기어링의 설치 또는 배치 B60K-017/12, B60K-017/14; 철도 차량에서 파위를 감소시킴으로 휠 슬립(wheel slip)을 예방하는 것 B61C-015/08; 전기 발전 기계 H02K; 전기자동차의 제어 또는 조정 H02P); 전기추진자동차의 보조 장치를 위해 전력을 공급	20	14	37	8	6	85
H02K	회전-전기 기계 (회전-전기 계전기 H01H-053/00; 직류 또는 교류입력을 서지 출력으로 변환하는 것 H02M-009/00)	17	4	14	12	2	49
H02P	전동기, 전기 발전기 또는 다이내모일렉트릭(역학적 에너지와 전기적 에너지를 서로 변환하는, Dynamo-electric) 변환기; 변압기를 제어하는 것, 원자로 또는 초크 코일(choke coil)의 제어 또는 규제	1	5	15	17	2	40
H02S	적외선, 가시광선 또는 자외선의 변환에 의한 전력의 발생, 예. 광전지[PV] 모듈을 이용하는 것 (방사원으로 부터 전기 에너지를 획득하는 것 G21H-001/12; 감광 무기 반도체 장치 H01L-031/00; 열전지 장치 H01L-035/00; 초전기 장치 H01L-037/00; 감광 유기 반도체 장치 H01L-051/42)	4	0	21	0	0	25
H02N	타류에 속하지 않는 전기	0	1	9	4	1	15
H02B	전력의 공급 또는 배치 또는 배전을 위한 변, 변전소, 또는 개폐장치 (기본전기소자, 그들의 조립, 기판상이나 틀레 또는 그 위에 취부하는 것을 포함하는 것은 각소스의 서브클래스를 참조, 예. 변성기 H01F; 스위치, 퓨즈 H01H, 전선접전기 H01R; 전기케이블 또는 전선 또는 조합된 광(optical)과 전기케이블 또는 전선 또는 부가장치에 관한 것 H02G))	1	0	8	4	0	13
H02H	비상보호회로장치(정상이 아닌 동작상태의 지시 또는 경보 G01R, 예. F01R 31/00, G08B; 선로에 따라서 고정점측정 G01R 31/08; 비상보호장치 H01H)	5	2	2	2	1	12