



특허분석을 통한 세계 수소 연료전지 기술개발 동향과 시사점¹⁾

김영호 대신특허사무소 변리사 lian05@naver.com

김재경 에너지경제연구원 연구위원 fisherkjk@keei.re.kr

1. 서론

2019년 1월 정부는 「수소경제 활성화 로드맵」을 발표하였다. 이러한 「수소경제 활성화 로드맵」은 수소경제 활성화를 위한 국가 비전으로서 먼저 “수소차 및 연료전지 세계시장 점유율 1위 달성”을 목표로 수소 연료전지 자동차(수소전기차)와 발전용·자가용 수소 연료전지 등 주로 ‘수소 연료전지’ 활용 부문의 시장창출과 육성에 우선적인 중점을 두고 있다(김재경, 2018). 물론 수소 연료전지를 활용하는 제품은 수소차나 (발전용, 자가용)연료전지 외에도 선박, 열차, 드론 등 광범위하지만, 그러나 현 시점에서 기술성숙도 측면에서 이미 상용화되었으며 일정 정도 정부의 지원노력이 있을 경우 바로 시장창출이 가시적으로 가능한 세 가지 부문을 중심으로 우선적으로 육성하고, 기술개발 지원을

통해 기술적 성숙도를 높이는 한편, 추후 충분히 성숙할 경우 선박, 열차, 드론 등 기타 활용산업으로 지원범위를 확대한다는 것이 수소경제 활성화 로드맵의 해명이다(김재경, 2018). 이로 인해 이와 같은 「수소경제 활성화 로드맵」은 현 문재인 정부의 혁신성장 정책의 일환인 일종의 첨단산업인 수소 연료전지 제조업을 육성하는데 무게 중심이 있다고 평가된다(김재경, 2018).

한편 「수소경제 활성화 로드맵」발표 이후 로드맵의 이행을 위한 후속조치들이 잇따라 시행되었다. 가령 국가기술표준원은 「수소경제 활성화 로드맵」을 기반으로 국제표준화 동향, 산업계 표준화 수요 등 대내외 표준화 동향을 고려해 수소 연료전지 등에 대한 「수소 표준화 전략 로드맵」을 수립, 2019년 4월에 발표하였다(김재경, 2020). 이와 함께 수소 연료전지 등의 국제 기술경쟁력 제고를 통해 수소경제

1) 본고는 김재경, 수소경제 활성화 로드맵 수립 연구, 산업통상자원부(2019)의 일환으로 수행된 연구를 부분적으로 수정·보완한 것이다.



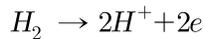
이행을 뒷받침하고자, 관계부처 합동으로 「수소경제 활성화 로드맵」의 기본방향을 토대로 수소 연료전지를 포함 5개 대분류를 마련하고 각각의 과학기술적 산업적 특성을 고려하여 세부기술별 개발계획을 담은 「수소 기술개발 로드맵」을 수립, 2019년 10월 발표하였다(김재경, 2020). 이처럼 작년 한해는 수소경제의 핵심 축인 수소 연료전지 제조업 분야가 재차 굴기하는 발판을 마련하기 위해 숨 가쁘게 달려온 한해로 평가된다. 그러나 이같이 희망찬 이행실적에도 불구하고, 아직 해야 할 추가적인 과제는 많이 남아있다. 앞서 언급한 바와 같이 「수소경제 활성화 로드맵」이 추구하는 수소 연료전지 수출상품화를 위해서는 국내 시장창출과 함께 기술개발 지원을 통해 기술적 성숙도 향상 및 국제 경쟁력 강화가 필수적이다. 본고는 특히 출원특허 분석을 통해 세계 수소 연료전지 분야의 기술개발 동향을 진단하고 향후 국내 수소 연료전지 기술개발 정책 마련에 기여할 수 있는 시사점을 도출하고자 한다.

2. 수소 연료전지의 개요와 기술개발 로드맵

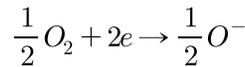
가. 수소 연료전지의 개요

수소 연료전지는 종류가 다양하지만, 수소 연료 전지차(수소전기차)에 주로 탑재되는 고분자전해질막 연료전지(PEMFC)를 중심으로 전기발생 기본원리를

살펴보자. 먼저 기체 확산 층을 통해 양극에 공급된 수소 기체는 다음과 같은 반응식과 같이 백금과의 촉매반응 작용을 통해 이온으로 분리되어 전자를 방출한다(김재경, 2017).



이렇게 생성된 전자들은 외부 회로를 통해 음극으로 보내지고, 다시 음극에서 다음 반응식에 따라 산소를 이온화시키게 된다(김재경, 2017).



그리고 대전된 산소 및 수소 이온은 일정 수준 이상의 열에너지를 통해 결합하여 전기적으로 중성인 물을 생성하게 된다(김재경, 2017).



이처럼 산소와 수소를 결합하여 물을 생성하고 직류 전기를 발생시키는 반응으로서의 연료전지의 기본 원리는 이미 1838~39년대에 발견된 바 있으며, 직류 전기를 사용해 물을 산소와 수소로 분리하는 물 분해 과정(즉 수전해(水電解))의 역반응 과정으로 이해될 수 있다(Shell, 2017; 김재경, 2017). 연료전지는 효율이 낮은 열 엔진과는 달리, 열-전력 공정²⁾에 의존하지 않고 전적으로 화학적 반응 작용만으로 수소에 잠재되어 있는 화학에너지를 직접 전기와

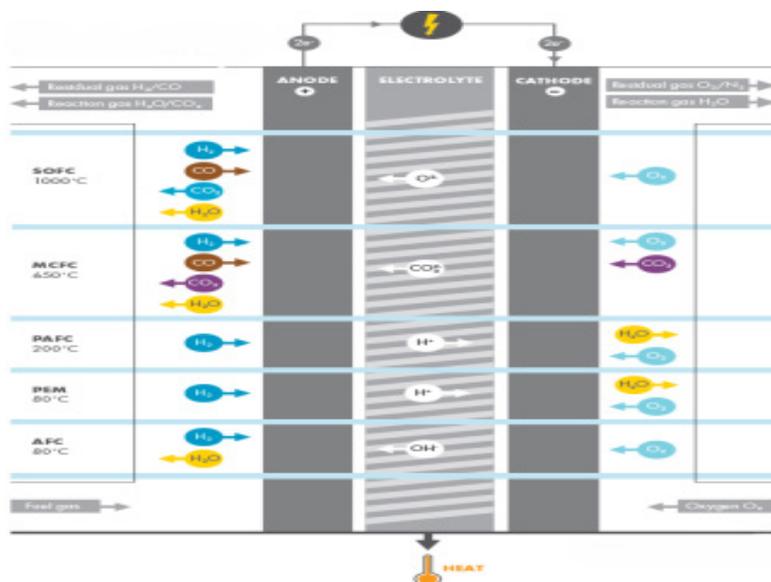
2) 연료전지 대신 열 엔진으로 전기를 생산하는 에너지 전환 공정이 열-전력 공정이며, 주로 화력 발전기에 적용된다.



열에너지³⁾⁴⁾로 전환하여 효율이 높다는 장점이 있다⁵⁾(Shell, 2017; 김재경, 2017). 연료전지를 통해 수소 1mole당 286kJ의 에너지가 생산되는데, 이 에너지를 전기에너지로 전환할 경우, 이론상 연료전지의 전지 최대 효율은 80% 이상⁶⁾으로 알려져 있다(Shell, 2017; 김재경, 2017).

물론 앞서 언급한 바와 같이 연료전지의 종류는 다양하며, 주로 전해질 유형과 전지가 작동하는 온도에 따라 분류된다. 우선 전해질 유형에 따라 알칼리 연료전지(Alkaline Fuel Cell, AFC)⁷⁾, 인산염 연료전지(Phosphoric Acid Fuel Cell, PAFC)⁸⁾, 용융탄산염 연료전지(Molten Carbonate Fuel Cell,

[그림 1] 연료전지 유형별 전해질, 반응기체, 작동온도 비교



자료: Shell (2017)

- 4) 연료전지는 전기와 함께 열에너지, 즉 폐열을 발생시키는데, 이때 발생하는 폐열을 열병합발전에 이용할 수 있다. 특히 고체산화물 연료전지(SOFC)와 용융탄산염 연료전지(MCFC)와 같은 고온 연료전지가 대표적으로 열병합발전에 이용된다(Shell, 2017; 김재경, 2017).
- 5) 특히 연료전지가 자동차의 구동에너지 발생장치에 적용되었을 경우, 상대적으로 적은 부하에서도 높은 효율성을 달성할 수 있다. 부분 부하(部分負荷, part load)에서도 일반적인 내연기관보다 대략 두배 이상의 효율성 달성이 가능하다. 더구나 차량 내부 난방이 필요할 경우, 연료전지 스택에서 발생하는 열을 냉각재 회로를 통해 그대로 활용할 수 있기 때문에, 배터리 전기차와 비교할 경우, 보조적인 난방장치 사용으로 인한 전력손실을 최대 5kW 까지 줄일 수 있다(Shell, 2017; 김재경, 2017).
- 6) 만일 손실되는 전압을 고려하면 실제 달성할 수 있는 전지 효율은 80%를 밑돌게 된다(Shell, 2017; 김재경, 2017).
- 7) 알칼리 연료전지(AFC)는 100°C 이하에서 작동하는 저온형 연료전지로서, 저온에서 작동하기 때문에 시동이 빠르고, 크기가 작고, 단순 전해질(수산화 칼륨 용액)과 저렴한 촉매(비금속)를 사용해 제조비용이 저렴하다는 장점이 있다. 그러나 이산화탄소 내성이 매우 낮아 높은 순도의 기체, 특히 순수한 산소를 공급해줘야 한다는 단점도 있다. 우주선의 전원 공급장치로 사용되는 등 초창기 우주 산업에 최초로 사용된 바 있다(Shell, 2017; 김재경, 2017).
- 8) 인산염 연료전지(PAFC)는 중간 온도 범위(약 160°C-220°C)에서 작동하는 연료전지로서, MW대 범위에서 넓은 출력 범위를 갖으며, 고정형 전원으로는 높은 수준의 기술적 안정성을 갖는다. 주로 대형 고정형 연료전지(소형 발전소 등)에 사용된다(Shell, 2017; 김재경, 2017).



동향

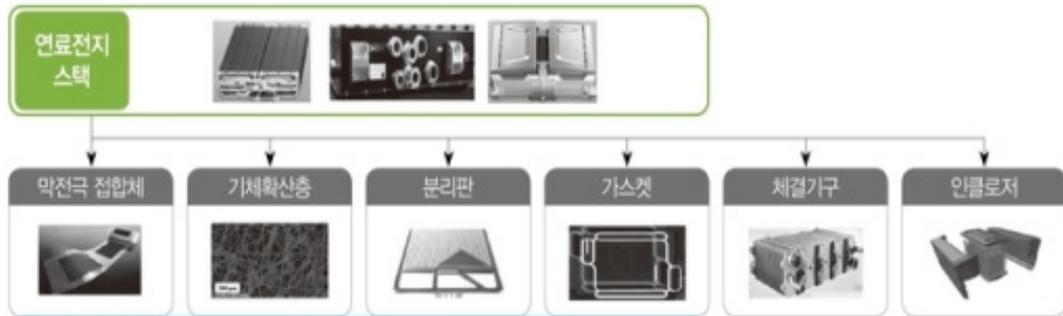
특허분석을 통한 세계 수소 연료전지 기술개발 동향과 시사점

MCFC)⁹⁾, 고체산화물 연료전지(Solid Oxide Fuel Cell, SOFC)¹⁰⁾ 그리고 고분자전해질막 연료전지 또는 양성자교환막 연료전지(Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell Fuel Cell or Proton-Exchange Membrane Fuel Cel, PEMFC) 등 다섯 종류로 분류된다. 작동 온도¹¹⁾에 따라서는 약 100℃ 이하에서 작동하는 저온형, 100℃ 이상의 중간 온도형, 500℃ 이상의 고온형 등 세 종류로 나뉜다. 전해질, 반응기체나 작동온도 등은 전지의 유형에 따라 달라진다(Shell, 2017).

한편 수소 연료전지의 구성을 수소전기차에 주로 활용되는 고분자전해질막 연료전지를 중심으로 살펴보면, 연료전지는 막전극접합체(Membrane Electrode Assembly, MEA), 가스확산층, 분리판, 가스켓(가스밀폐) 등으로 구성된다(김재경, 2017).

먼저 연료전지의 핵심 구성 요소이며, 중심에 위치하는 막전극접합체는 백금촉매와 탄소로 이루어진 다공성 전극(음극, 양극)과 양 극 사이에 배치된 전해질(이온 전도체) 막(membrane)¹²⁾이 일체형으로 접합되어 있는 구조이다(Shell, 2017).

[그림 2] 연료전지(스택)의 구성



자료: http://www.h2news.kr/data/photos/20171144/art_15096713672356_948e3f.jpg(검색일 : 2018.2.28.)

9) 용융탄산염 연료전지(MCFC)는 작동 온도는 600℃-700℃인 고온형 연료전지로, 탄산염 용융물을 전해질로 사용한다. MW대 범위에서 넓은 출력 범위를 갖고 있으며 많은 공간이 필요로 한 관계로 주로 발전소에서 사용된다. 고온에서 작동하기 때문에 내부 개질 공정을 거치면 수소뿐 아니라 수소 함유 기체(예: 천연가스, 바이오 가스), 메탄올 등도 이용할 수 있다(Shell, 2017; 김재경, 2017).

10) 고체산화물 연료전지(SOFC)는 고온전지(약 500℃-1,000℃)로서, 전해질이 다공성의 고체 산화 세라믹 물질로 이루어져 있는 관계로 산화 세라믹 연료전지(Oxide Ceramic Fuel Cell)로도 지칭된다. 주로 고정형으로 분산전원 시스템(kW대)에서 발전소(MW대)에 이르기까지 광범위하게 사용될 수 있다(Shell, 2017; 김재경, 2017).

11) 일반적으로, 필요한 수소의 순도는 온도가 상승함에 따라 감소한다. 이를테면, 온도가 가장 낮을 때 가장 순수한 수소가 필요하다. 연료전지의 효율은 주로 공기 또는 순수한 산소와의 작용에 좌우된다(Shell, 2017; 김재경, 2017).

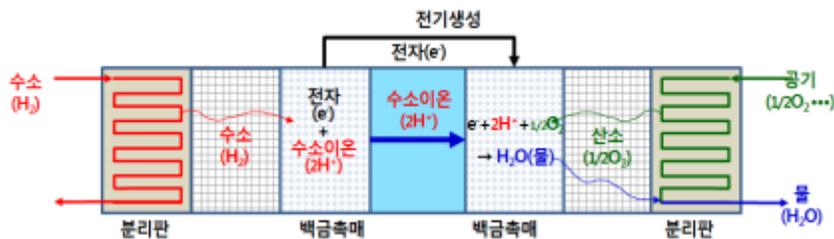
12) 전해질 막은 기체(수소, 산소)를 서로 분리하지만, 특정 이온(즉 전기 대전(帶電) 입자)은 투과할 있다(shell, 2017).



그리고 막전극접합체의 바깥부분, 즉 양극과 음극이 위치한 바깥에 수소 또는 공기(산소), 물을 공급 또는 배출시키는 역할을 하는 기체확산층¹³⁾과 분리판¹⁴⁾ 등이 위치하게 된다(김재경, 2017).

그리고 이 같은 연료전지를 차량의 동력 전달 장치(powertrain)로 사용하기 위해서는 최소 100kw 이상의 출력을 낼 수 있을 정도로 충분한 숫자의 연료전지들의 '묶음'이 필요하다. 앞서

[그림 3] 연료전기 내부에서의 전기발생 원리 개념도



자료: 수소차 보급 및 시장 활성화 계획(2015.12.15.)

살펴본 원리에 따라 전기를 생산하는 단일한 연료 전지를 '단위전지(Unit Fuel Cell)'라 하며, 이러한 단위전지를 여러 개 적층하여 묶음으로 만들어 차량의 구동에너지로 활용할 정도로 충분한 전기를 발생시키는 장치가 '연료전지 스택(Fuel Cell Stack)'이다. 이러한 연료전지 스택과 함께 수소전기차는 운전장치(수소공급 · 공기공급 · 열관리장치 등), 수소저장장치 및 전장장치 등으로 구성된 동력 전달장치(powertrain)를 장착하고 있다(이주영, 2017c). 이중 전장장치는 일반 전기차(Electric Vehicle)와 유사하여, 공유되는 구성품이다. 반면 연료전지 스택 및

운전장치(수소공급 · 공기공급 · 열관리장치 등)를 합친 '연료전지 시스템'과 수소저장장치가 기존 내연기관이나 전기차와 구별되는 수소전기차만의 특징적 구성품이라 할 수 있다(이주영, 2017c). 특히 연료전지 시스템은 수소전기차의 구동에너지(즉 전기에너지)를 생산하는 일종의 소형 발전기로서, 사실상의 엔진 역할을 한다.

나. 수소 연료전지 기술개발 로드맵

한편 이러한 수소 연료전지의 향후 기술개발을 지원하기 위해 2019년 10월 수립, 발표된 「수소

13) 기체확산층은 유입된 기체와 반응생성물을 균일하게 분포하게 하며, 전자와 반응과정에서 열이 제거하는 역할을 수행한다(Shell, 2017)

14) 분리판은 수소, 산소를 기체확산층으로 공급하거나 발생된 물을 배출시키는 역할을 한다. 주로 기체확산층 바깥에서 연료를 공급하고 반응에 의해 발생된 물을 배출하도록 유로의 기능을 하며, 탄소 또는 탄소복합재, 표면처리된 금속, 합금 등이 사용된다(김재경, 2017).



동향

특허분석을 통한 세계 수소 연료전지 기술개발 동향과 시사점

[그림 4] 수소 기술개발 로드맵의 수송수단 적용 연료전지시스템 개발 로드맵

중분류	단기					중기		장기		목표	
	~'20	~'21	~'22	~'23	~'24	~'25	~'28	~'30	~'35		~'40
최종목표	▶ 수소에너지를 사용하는 연료전지시스템 기반 육상/해상/항공용 수송 수단 저변확대 및 기술선도										
육상용 수송수단	① 승용 연료전지시스템 가격저감 기술 개발				① 수소택시						<ul style="list-style-type: none"> ■ 시스템 가격 - 5만원/kWsys. (승용, 80만대/년) ■ 시스템 효율 - 70%(LHV, 승용차) - 65%(LHV, 상용차, 철도) ■ 시스템 국산화 - 22년 100%(승용) - 30년 100%(상용)
	① 상용 연료전지시스템 및 전장장치 기술 개발					① 특장차, 중대형트럭					
	① 수소열차용 파워팩 및 시스템 기술 개발					① 고속철도용 파워팩 및 시스템 개발					
	① 중대형 건설기계 파워팩 및 전동장치 개발 (중형 건설기계 적용)					① 대형 건설기계 적용					
	② 웨어러블 로봇용 연료전지시스템 및 전력제어시스템 기술 개발										
해상용 수송수단	① 소형선박용 파워팩 및 시스템 기술 개발					① 연안선박용 시스템 기술 개발				<ul style="list-style-type: none"> ■ 시스템 가격 - 50만원/kWsys. ■ 시스템 내구 - 20년 	
						① 대양선박용 연료전지모듈 및 시스템 기술 개발					
항공용 수송수단	① 일반 및 특수목적용 수소드론 시스템 개발					① 대형물류 운송용 수소드론 시스템 개발				<ul style="list-style-type: none"> ■ 출력밀도 - 1kW/kg.sys(드론) - 2kW/kg.sys(유인기) 	
	② 1~2인승 유인항공기 원천기술 개발					② 유인항공기 시스템 설계 및 제어기술 개발					② 경량화

범례: 시제품 개발 원천기술 확보 ① 타겟형 ② 기술고도화형 ③ 미래형

자료: 관계부처 합동(2019b), 「수소 기술개발 로드맵」

기술개발 로드맵은 수소 전 주기(생산-저장·운송-활용-인프라) 분야별 목표 달성을 위해 필요한 핵심기술 개발, 2030년까지 수소산업 핵심소재·부품의 기술자립도 제고, 미래시장 개척 및 글로벌 시장 선도를 위한 미래 유망기술 개발 및 시장 확대형 기술개발 추진 등을 목표로 수립되었다.

특히 수소차 등 수송수단용 수소 연료전지에 대해서는, 수송수단에 모두 연료전지 시스템이 적용 가능하다는 점을 감안하여 타 수송수단 분야로의 확장성이 큰 연료전지 시스템을 전략적으로 활용하여 중복 투자 방지 및 가격 저감 유도하기로 하였다. 보다 구체적으로는 현재 상용화된 승용차 연료전지 시스템을 상용차용 연료전지 시스템으로 확장하고, 이를 기반으로 플랫폼 기술을 개발 및

응용하여 건설기계 적용(승용차용 확장)→연안 선박 정용(상용차용 모듈화)→유인항공기 적용(승용차용 경량화) 등 다양한 수송수단에 순차적으로 적용하기로 하였다. 이를 통해 철도차량·건설기계·선박용 연료전지 파워팩, 드론 연료전지시스템 등 각 제품의 상이한 운영 환경에 따른 성능을 구현하기 위한 기술 개발을 추진하기로 하였다.

또한 수소를 활용하여 열과 전기를 생산하는 고효율 발전 시스템에 적용하여 가정·건물용 및 발전용 연료전지는 가정·건물용이나 분산 발전용, 대규모 발전용 등으로 구분하여 핵심부품 모듈화, 양산화, 시스템 효율 향상 및 내구성 향상을 위한 기술 개발을 추진하여 경제성 확보를 통해 설치비와 발전단가 절감을 추구하기로 하였다.



[그림 5] 수소 기술개발 로드맵의 발전용 연료전지 기술개발 로드맵

중분류	단기					중기		장기		목표
	~'20	~'21	~'22	~'23	~'24	~'28	~'30	~'35	~'40	
최종목표	▶ 수소 발전 산업 글로벌 경쟁력 강화를 위한 고효율-저가화 시스템 기술 확보									
수소활용 공통기술	① 핵심 소재·부품·장치(촉해, 전해질, 분리판, 개질기 등) 국산화 및 고도화 ② 장애요인 극복을 위한 엔지니어링 기술 개발									■ 핵심소재 국산화율 100% 가격저감 및 수명향상 달성
고정형 연료전지		① 제품 경량화 및 고부가가치화				① 고효율-고신뢰성 시스템 모듈화				■ 연료전지 발전단가 - (30년) 141원/kWh - (40년) 131원/kWh
융·복합 발전			① 전기-열-수소 동시 생산 시스템 개발			① 대용량 스택 및 시스템 개발				■ 상용화 기술 개발 및 실증
수소터빈			① 50% 수소 혼소 중대형 GT 기술 개발 및 실증			① 100% 수소 전소 소형 및 중대형 GT 기술개발				■ 수소 혼소 및 전소 가스터빈 기술개발 및 실증

범례 시제품 개발 원천기술 확보 ① 타겟형 ② 기술고도화형 ③ 미래형

자료: 관계부처 합동(2019b), 「수소 기술개발 로드맵」

그리고 이러한 로드맵에 따라 수소 연료전지 기술개발을 주도하기 위해 과기정통부(주관), 산업부, 국토부, 해수부, 환경부, 특허청 등 6개 부처 및 소관 연구관리전문기관¹⁵⁾이 ‘범부처 수소 R&D 협의체’ 구성하여 부처별 R&D 추진현황 및 성과 공유, 신규 R&D 투자 수요 검토, 개발된 기술의 조기 적용을 위한 규제 개선사항 발굴 등을 추진하기로 하였다. 특히 이러한 ‘범부처 수소 R&D 협의체’는 성과 중심주의적으로 로드맵을 관리하는 차원에서 주기적으로 조정할 수 있도록 국내·외 기술개발

동향 및 기술 적용, IP R&D, 보급 현황 등을 상시 검토하고, 이를 토대로 5년을 주기로 로드맵 상의 기술개발 전략을 재검토하기로 하였다. 결국 수립된 수소 연료전지 기술개발 정책을 성과 중심주의적으로 관리하는 차원에서 주기적으로 조정할 수 있도록 특허분석을 통한 세계 수소 연료전지 기술개발 동향이 역시 주기적으로 이루어질 필요가 있다.

15) 연구재단, 에너지기술평가원, 국토교통과학기술진흥원, 해양수산과학기술진흥원, 환경산업기술원, 특허전략개발원 등 6개 기관이다.



다. 2019년 수소 연료전지(수소차, 발전용·자가용 연료전지) 보급실적

먼저 수소차는 당초 2019년 보급목표인 당초 4,000대를 넘어선 5,467대(수소버스 35대 포함)가 보급된 것으로 추정된다. 특히 수소택시가 2019년 9월 국회 수소충전소 준공에 맞추어 총 10대 규모로 서울 소재 택시 업체2곳에 5대씩 배정하여 시범운행에 들어갔으며, 향후 실도로 환경에서 내구한계(20만km) 이상 운행함으로써, 핵심부품 성능 실증 및 분석을 통해 개선을 추진할 예정이다. 또한 연료전지 보급을 위한 「수소경제 활성화 로드맵」이행 차원에서 그 동안 발전용 연료전지용 가스에 적용된 “열병합용 요금” 대신 2019년 5월 1일부터 “연료전지 전용 가스요금”이 신설, 적용되었다. 이에 따라, 발전용·가정용·건물용 연료전지에서 사용하는 가스요금이 현행 메가줄(MJ)당 13.16원에서 12.30원으로 6.5% 인하(서울시 소비자요금 기준, 부가가치세 제외)함으로써 연료전지 사업의 수익성 개선 및 운영부담 완화에 기여함으로써 연료전지 보급 촉진을 도모하였다. 2019년 한 해 동안 발전용 연료전지는 2018년 설비용량 308MW 대비 70% 증가한 512MW가 보급된 것으로 추정된다. 또한 가정·건물용 연료전지는 2019년 설비용량 기준 보급목표인 6.5MW를 달성할 수 있을 것으로 보이며, 여수혁신센터 등 공공기관(5MW)을

중심으로 공중목욕탕, 타운하우스 등 다양한 민간 건물·주택(1.5MW)에도 연료전지 설치 확대를 추진 중이다.

3. 특허분석을 통한 세계 수소 연료전지 기술개발 동향 분석

가. 수소 연료전지 출원특허 분석의 개요

앞서 언급한 바와 같이 「수소경제 활성화 로드맵」이 추구하는 수소 연료전지 수출상품화를 위해서는 국내 시장창출과 함께 기술개발 지원을 통해 기술적 성숙도 향상 및 국제 경쟁력 강화가 필수적이다. 본 장에서는 한국, 미국, 일본, 유럽, 중국 및 국제 출원특허 분석을 통해 세계 수소 연료전지 분야의 기술개발 동향을 진단하고자 한다.

우선 수소 연료전지 기술과 관련된 출원특허를 수집하였다.¹⁶⁾ 이때 활용된 IPC (International Patent Classification) 기술 분류는 <표 1>와 같으며, 검색을 위해 활용된 keyword(발명 명칭 기준) 검색식은 <표 2>과 같다.

수집된 32,514건의 특허에서 및 중복제거 및 노이즈(noise)를 제거하는 필터링(filtering) 작업을 수행해서 얻은 25,630건의 유효특허를 대상으로 분석을 수행하였다.

16) 수집은 2019년 3월 8일까지 출원 공개된 한국 공개특허와 2019년 3월 8일까지 등록 된 한국 등록특허를 대상으로 실시하였다. 단, 출원일 기준으로 분석하며, 일반적으로 특허출원 후 18개월이 경과된 때에 출원 관련정보를 대중에게 공개하고 있음. 따라서 아직 미공개 상태의 데이터가 존재하는 2017년 이후에 출원된 특허는 그 정량적 의미가 유효하지 않으므로 정량분석에서 유효한 의미를 갖는 구간은 2016년까지로 한정된다.



〈표 1〉 출원특허 분석에 활용된 수소 연료전지 관련 IPC기술 분류 해당 항목맵

분류	기술 내용	주요 IPC
수소분리	가스 또는 증기의 분리, 기체로부터 회수 관련 기술	B01D-053
가스 발생장치	가스 발생장치 기술	B01J-007
연료처리장치	유체 및 고체입자의 존재 하에서 행하는 화학적 또는 물리적 공정, 또는 이를 위한 장치 기술	B01J-008
연료전지 금속산화물 촉매	금속 또는 금속산화물 또는 금속수산화물로 된 촉매 관련 기술	B01J-023
전력공급 보조 장치	전기 추진차량의 보조 장치에 전력공급 관련 기술	B60L-011
혼합 기체 수소 정제	수소를 함유하는 혼합물로부터의 그의 분리, 수소의 정제 관련 기술	C01B-003
수소흡수용 탄소질재료	수소흡수용 탄소 포함 화합물 관련 기술	C01B-031
전해질막	고분자 물질을 포함하는 성형품의 제조 기술	C08J-005
전해질	무기화합물 또는 비금속의 전해질 제조 기술	C25B-001
수소공급, 충전방법	압력용기에 액화, 고화 또는 압축가스를 충전하기 위한 방법 또는 장치	F17C-005
가스(수소)센서	재료의 화학적 또는 물리적 성질의 검출에 의한 재료의 조사 또는 분석	G01N-027
전기에너지 변환장치	발전요소 이외의 부분의 구조의 세부 또는 그의 제조방법	H01M-002
연료전지 전극	연료전지 전극 관련 기술	H01M-004
연료전지 시스템	연료전지 및 시스템 전반의 제조 관련 기술	H01M-008
충전 장치	축전지의 충전 또는 감극 또는 축전지로부터 부하에의 전력급전을 위한 회로장치 관련 기술	H02J-007

〈표 2〉 검색을 위해 활용된 keyword(발명 명칭 기준) 검색식

대분류	검색식
수소 연료전지 제품 관련 기술	(연료전지* or "연료 전지*" or (연료 within/1 전지*) or fuelcell* or fuel-cell* or fuel_cell* or "fuel cell" or (fuel within/1 cell*) or PEMFC or PAFC or MCFC or SOFC) and (수소* or hydrogen*)



〈표 3〉 IPC 기술 분류별 유효특허 건수

대분류	기술 분류	유효건수
수소 연료전지 제품 관련 기술	연료전지 시스템	18,787
	혼합 기체 수소 정제	2,531
	연료전지 전극	1,810
	연료전지 금속산화물 촉매	466
	전력공급 보조 장치	396
	전해질	258
	전기에너지 변환장치	240
	수소분리	202
	연료처리장치	168
	가스(수소)센서	155
	충전 장치	149
	가스 발생장치	138
	수소흡수용 탄소질재료	117
	전해질막	107
수소공급, 충전방법	106	
합계	25,630	

나. 수소 연료전지 특허출원 동향

수소 연료전지 기술은 1971년부터 출원되기 시작해서 1987년에는 50건 이상 출원되기 시작했으며, 이후 점진적으로 증가하여 2001년부터 2012년 구간에서는 한 해 1,500건 이상으로 특허 출원량이 크게 증가되었다가 2009년 이후 현재까지 연간 1,000건 정도의 특허는

꾸준히 출원되고 있다.

누적 건수로는 1982년부터 100건 이상 출원되었고, 1991년부터 500건 이상이 출원되었으며, 1994년에는 1,099건, 2002년에는 5,799건, 2018년에 25,630건으로 현재까지는 약 30,000건의 특허가 출원되었다. 앞으로 향후에도 당분간은 매년 약 1,000건 정도씩 증가할 것으로 예상된다. 다만,

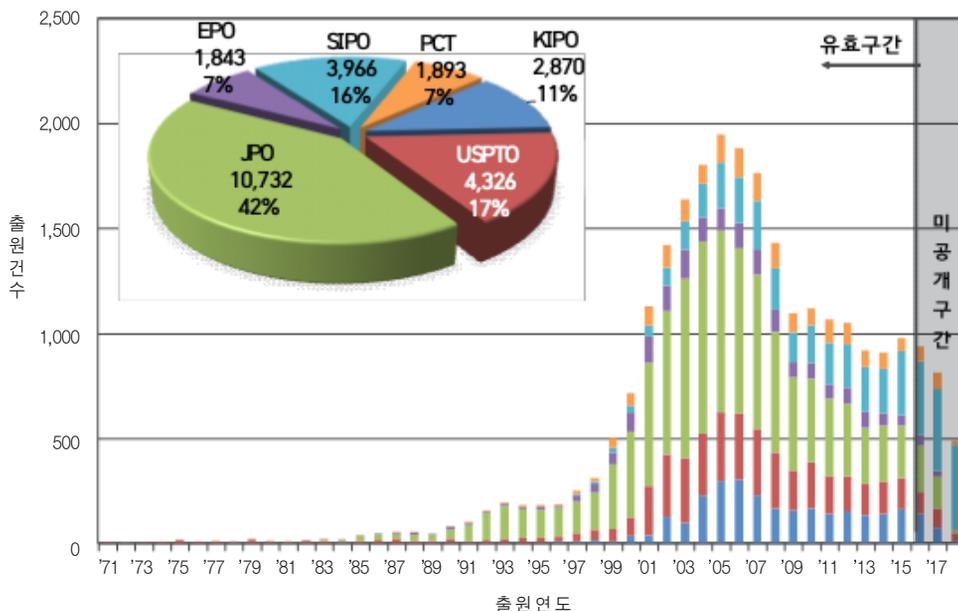


중국특허(SIPO)의 경우에는 2000년대부터 최근까지 꾸준히 증가하는 추세인데, 중국에서의 특허제도와 R&D 연구가 2010년 이후에 본격적으로 이루어졌기 때문인 것으로 판단된다.

국가별로는 일본특허(JPO)는 10,732건으로 유효특허 중 42%를 차지하고 있으며, 미국특허(USPTO)는 4,326건(17%), 중국특허(SIPO) 3,966건(16%), 국제특허(PCT) 1,893건(7%), 유럽특허(EPO) 1,843건(7%) 그리고 한국특허(KIPO)는 2,870건으로 11%를 차지하고 있는 것으로 나타났다. 본 특허기술의 양적 흐름은 중국 및 미국에 비해서도 2배 이상 많은 편이며, 한국, 유럽 및 국제 특허에 비해서는 3배 이상 출원한 것으로 나타나, 그 동안 수소 연료전지 분야의 연구개발은 일본에서 가장 활발했음을 확인할 수 있다.

일본과 중국 특허출원인 중 내국인 비중은 각각 89%, 62%로서, 양국 모두 외국인의 출원 비중이 2000년대 이후에 점차 감소하고 있다. 반면 미국과 유럽 특허는 오히려 외국인의 출원 비중이 각각 63%, 68%가 높지만, 미국 및 유럽 특허 외국인 출원인 중 일본 국적자가 가장 많다는 점에서 이러한 결과는 사실상 미국과 유럽 지역의 연구개발 실적마저도 일본이 주도하고 있는 것으로 보인다. 한국의 경우 내국인 77%(2,213건), 외국인 23%(657건)로서 역시 내국인 중심으로 연구개발이 이루어지고 있으며, 국내 타 기술 분야에서도 통상적으로 내국인 출원 비율이 약 70~75%인 것을 감안하면, 수소 연료전지 기술개발도 아직까지는 자국 중심의 연구개발 수준인 것으로 나타났다.

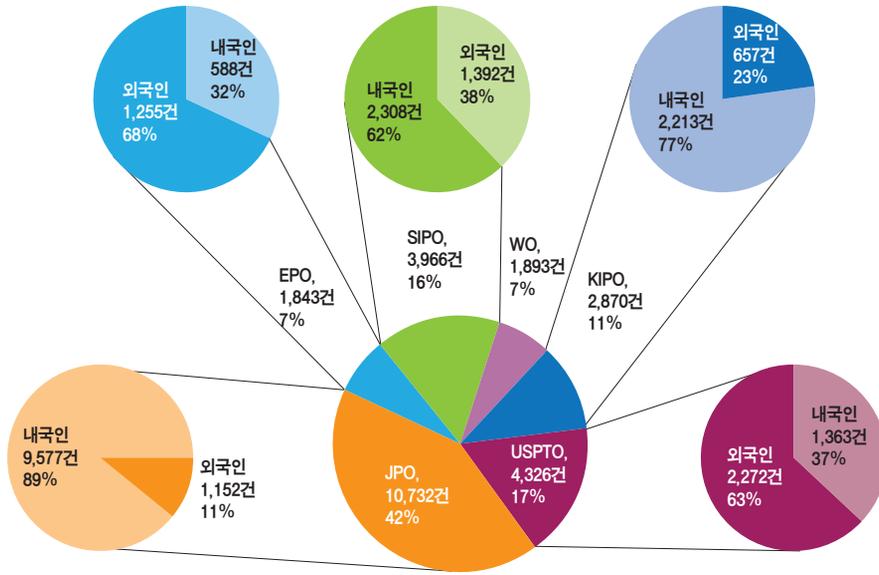
[그림 6] 국가별 점유율 및 특허출원 동향



자료: 저자 작성



[그림 7] 국가별 특허출원인 중 내·외국인 점유율 비교



자료: 저자 작성

다. 특허분석을 통한 수소 연료전지 기술 성장단계

한편 본고는 이처럼 수집된 출원특허 정보를 기초로 수소 연료전지 기술 성장단계를 분석하였다. 특허 분석을 통한 기술 성장단계 분석에서는 출원 건수의 증가가 기술개발이 활발한 것을 의미하며, 출원인수의 증가가 기술시장에 신규 진입자가 증가하는 것을 의미하고, 종합적으로 출원건수와 출원인수의 동시 증가는 해당 기술 시장이 확대되고 있다는 것을 의미한다.

이때 특허기술 성장단계 중 태동기 단계는 출원인과

출원건수의 증가가 시작되는 형태로 이후 연구개발 활동이 활발해질 것으로 예상할 수 있는 단계이며, 성장기 단계는 출원인과 출원건수가 급격하게 증가하는 형태로 본격적으로 해당 기술 분야의 연구개발 활동이 이루어지고 있는 단계로 해석할 수 있다.¹⁷⁾ 또한 성숙기 단계는 출원건수의 증가가 다소 주춤하고 출원인수가 감소하는 형태로 일부 선진 출원인만이 출원을 유지하고 그 외 진입자들은 도태가 되는 단계이며, 쇠퇴기 단계는 출원건수 및 출원인수 모두 감소하는 형태로 해당 기술의 시장이 위축되는 단계로 해석할 수 있으며, 회복기 단계는 원천기술을

17) 태동기와 성장기의 구분은 분석 데이터의 모수 대비 해당 구간의 증가 건수, 기술 분야의 특성 및 출원인의 성격 등을 고려하여 판단할 수 있다.



[그림 8] 특허분석을 통해 확인 가능한 기술 성장단계



자료: 저자 작성

이용하여 최근 기술 트렌드 및 신규 아이디어 등에 부합하는 기술이 개발되어 시장이 재형성되는 단계로 판단할 수 있다.

본고는 수소 연료전지 기술의 특허기술 성장단계를 분석하고자, 전체 분석구간을 7년 단위 5개 구간으로 구분하여, 1구간(1977년~1984년), 2구간(1985년~1992년), 3구간(1993년~2000년), 4구간(2001년~2008년), 5구간(2009년~2016년)을 설정하였다.¹⁸⁾ 또한 전체 분석구간의 출원인수와 출원건수를 각각 X와 Y그래프로 하여 구간별로 국내의 포트폴리오를 분석하였다.

분석결과, 특허기술을 기반으로 한 수소 연료전지 기술의 성장단계는 1구간(1977년~1984년)부터 4구간(2001년~2008년)까지 큰 폭으로 증가되다가, 5구간(2009년~2016년)은 다소 감소하고 있어 전체적으로

출원건수와 출원인수가 증가했다가 다소 감소하는 성숙기 초기에 속하는 것으로 보인다. 국가별로도 중국을 제외한 한국과 미국, 일본, 유럽은 역시 마찬가지로 성숙기에 접어든 것으로 보이지만, 중국만은 여전히 출원건수와 출원인수가 모두 증가하는 성장기인 것으로 나타났다.

라. 수소 연료전지 세부기술별 특허출원 현황 분석

1) 수소 연료전지 세부기술별 국가별 역점기술 및 공백기술 분석

한편 수소 연료전지 세부기술별로는 연료전지 시스템 18,787건(73%)이 가장 큰 비중을 차지하고

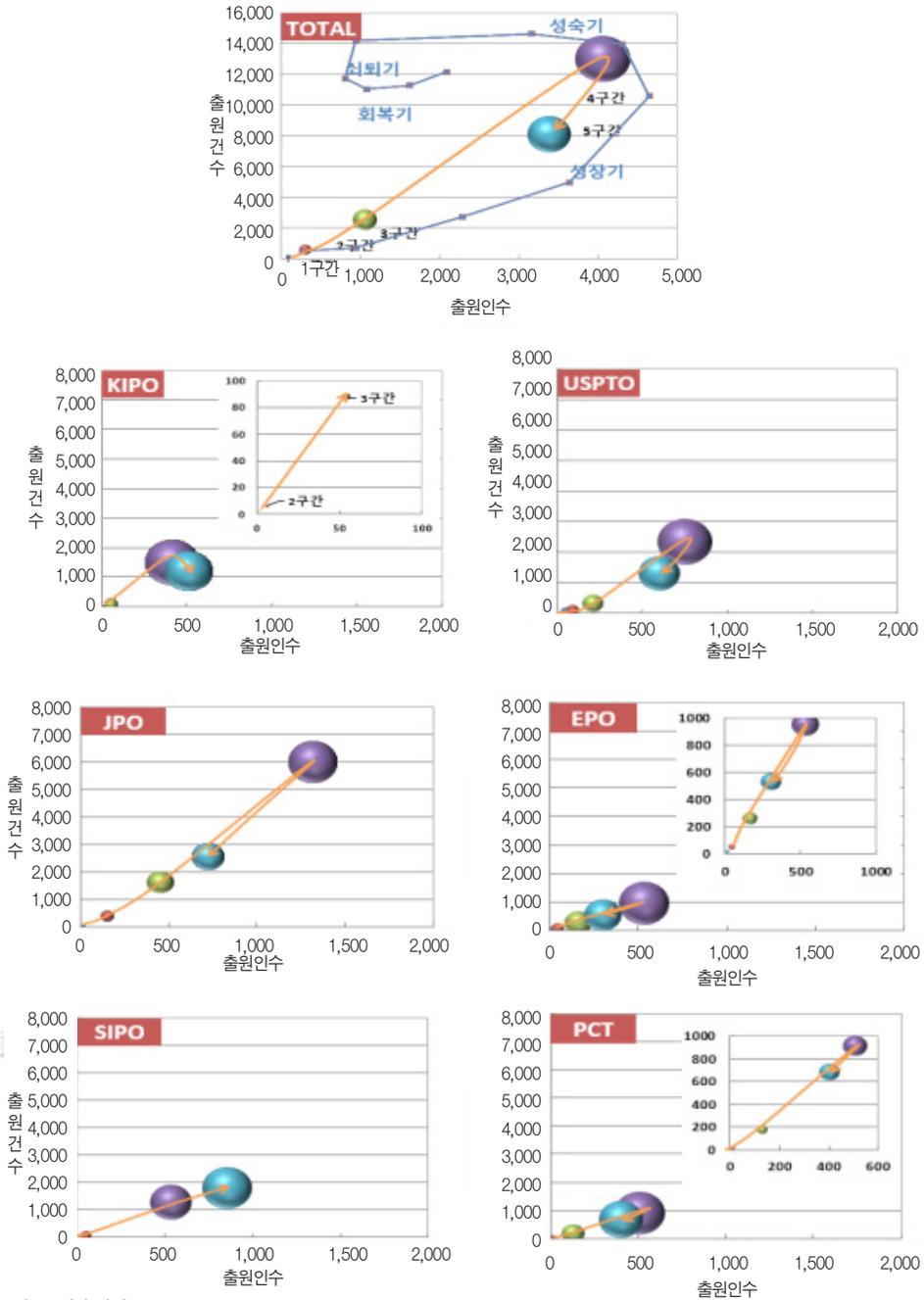
18) 특허분석을 통한 기술 성장단계 분석구간의 설정은 전체 기간을 일정한 연간 단위로 구간을 구분하되, 최근 급부상하거나 이슈가 있는 기술 분야의 경우, 최근 기간 등으로 한정하여 구간을 설정하여 분석하는 것이 유의미할 수 있다.



동향

특허분석을 통한 세계 수소 연료전지 기술개발 동향과 시사점

[그림 9] 특허분석을 통한 수소 연료전지 기술 성장단계



자료: 저자 작성



있으며, 혼합 기체 수소 정제 2,531건(10%), 연료전지 전극 1,810건(7%), 금속산화물 촉매 466건(2%) 등의 순으로 출원된 것으로 나타났다.

이중 분석대상 주요국들이 공통적으로 연료전지 시스템 기술과 혼합기체 수소 정제 기술을 역점기술로 개발하고 있으며, 다음으로 연료전지 전극 기술과, 금속산화물 촉매 기술과, 전력공급 보조 장치 기술에 대한 연구도 활발한 것으로 나타났다. 특히 상대적으로, 미국은 전기에너지 변환, 수소분리, 가스발생장치, 연료처리 장치, 전해질 기술 등에서도 고르게 특허 출원이 활발한 것을 알 수 있다.

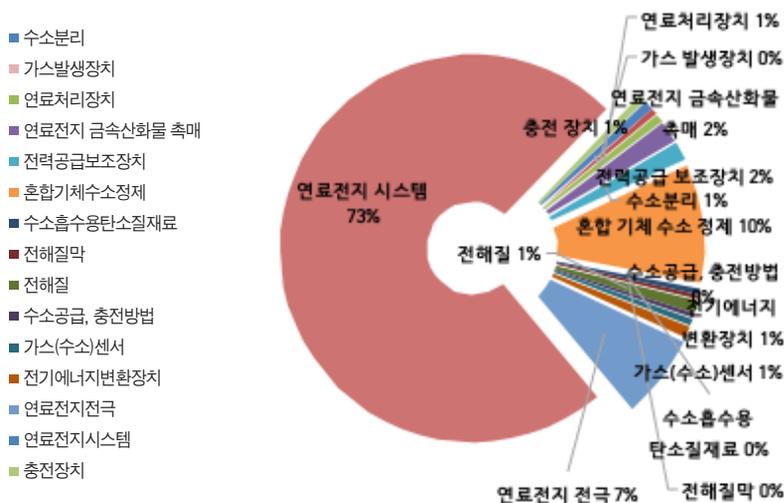
반면 연구개발이 시급한 공백기술분야는 주요국 공통적으로 수소 공급/충전, 가스(수소) 센서, 수소흡수 탄소, 전해질막, 충전장치 등인 것으로 나타나 해당

세부기술에 대한 연구개발도 투자가 요구된다고 할 수 있다. 특히 충전 장치 기술 또는 수소흡수용 탄탄소질 재료 관련 기술의 점유율이 극히 낮은 편인데, 그만큼 연구된 바가 크지 않기 때문에 새로운 특허를 발표할 가능성이 크고, 앞서서 개발을 시작한다면 기술적 우위를 선점할 수 있는 분야로 평가된다.

2) 수소 연료전지 세부기술별 특허점유율 및 증가율에 따른 포트폴리오 분석

한편 수소 연료전지 세부기술별로 과거대비 최근의 특허출원 증가율과 출원 점유율을 동시에 살펴볼 경우, 각 세부기술별 상대적인 출원 추세 특성을 파악할 수 있다. 특허점유율은 전체 기술의

[그림 10] 수소 연료전지 세부기술별 비중



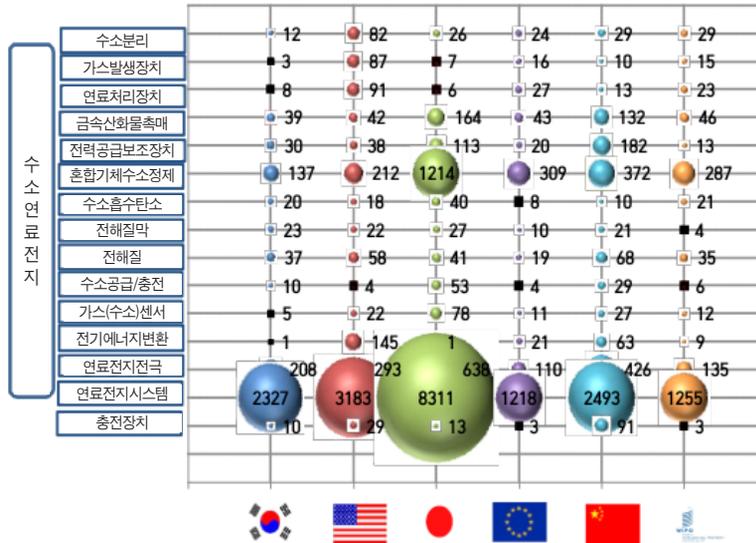
자료: 저자 작성



동향

특허분석을 통한 세계 수소 연료전지 기술개발 동향과 시사점

[그림 11] 수소 연료전지 세부기술별 국가별 역점기술 및 공백기술



자료: 저자 작성

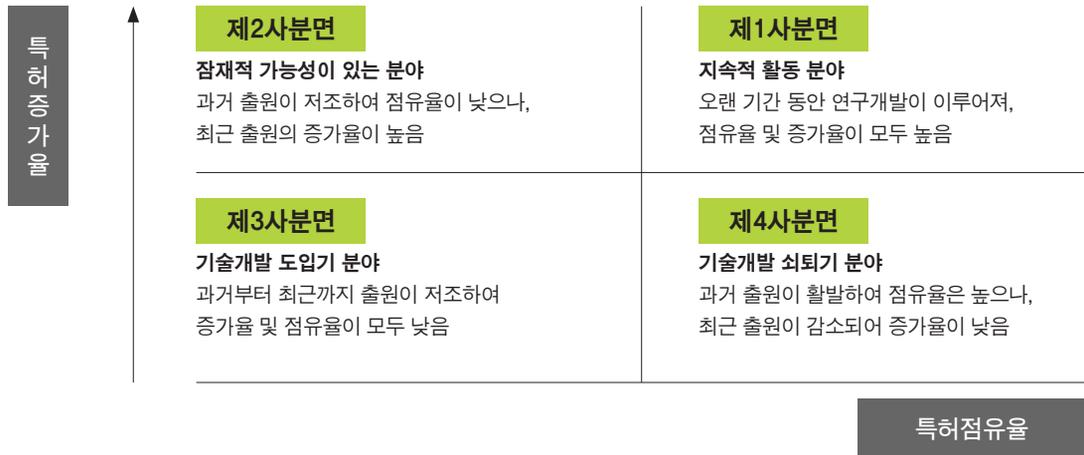
특허건수 대비 세부기술별 특허건수의 비율이며, 특허증가율은 10년 단위 기준 최근까지의 특허 연평균 성장률(CAGR)의 평균값으로, 세부기술별 특허점유율 및 증가율 각각의 값을 X축, Y축에 표시하여 해당 세부기술의 위치에 따라 특허출원 경향 및 기술의 특성을 가늠할 수 있다. 이때 특허점유율 및 증가율이 그래프의 제1사분면에 위치하면 해당 세부기술은 지속적으로 특허출원이 활발한 것으로 판단하며, 제2사분면에 위치하면 최근 특허출원이 활발해진 것으로 판단한다. 반면 제3사분면에 위치하면 해당 기술은 도입기의 기술로 판단하며, 제4사분면에 위치하면 최근 특허출원이 감소 추세에 있는 것으로 판단한다.

수소 연료전지 세부기술별 특허점유율 및 증가율에

따른 포트폴리오 분석결과, 점유율과 증가율이 모두 높은 분야는 과거와 현재에 '지속적인 활동분야'에 해당하는 기술은 현재까지는 없는 것으로 나타났다. 대신 특허점유율이 가장 높은 연료전지 시스템 분야는 오히려 특허증가율은 낮은 경우로서, 상대적으로 '기술개발 쇠퇴기'에 접어들었다고 평가된다. 반면 특허점유율은 낮고 특허증가율도 낮은 기술개발 초기 분야로는, 가스 발생 장치, 수소흡수용 탄소질재료, 연료처리장치, 금속산화물 촉매, 수소분리 등의 기술이 '기술개발 도입기'에 속하는 것으로 나타났다. 그리고 특허점유율은 낮지만 증가율이 높은 '잠재적 가능성'이 있는 분야인데, 전력공급 보조 장치, 충전장치, 가스(수소) 센서, 수소 공급/충전 방법, 전해질, 전해질막 기술이 미래에 유망한 것으로 나타났다.

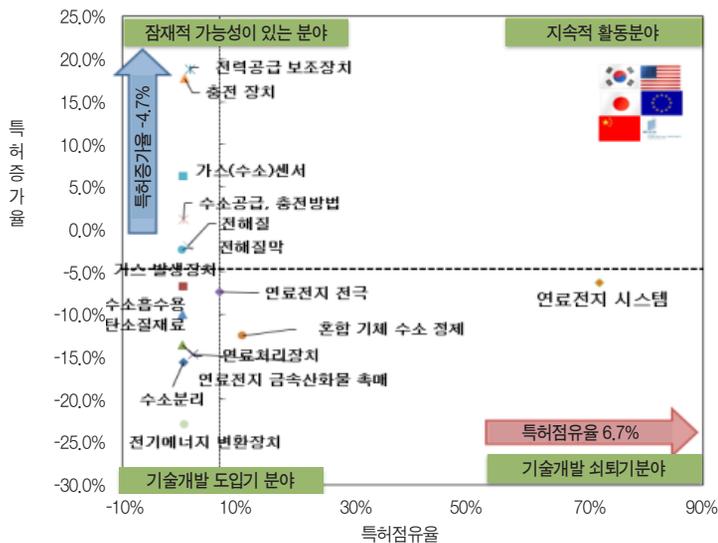


[그림 12] 특허점유율 및 증가율에 따른 포트폴리오 분석 해석



특허증가율: 세부기술별 특허 연평균 성장률(CAGR)의 평균값
특허점유율: 전체 특허출원 건수 대비 세부기술별 특허출원 건수의 비율

[그림 13] 수소연료전지 세부기술별 특허점유율 및 증가율에 따른 포트폴리오 분석결과





동향

특허분석을 통한 세계 수소 연료전지 기술개발 동향과 시사점

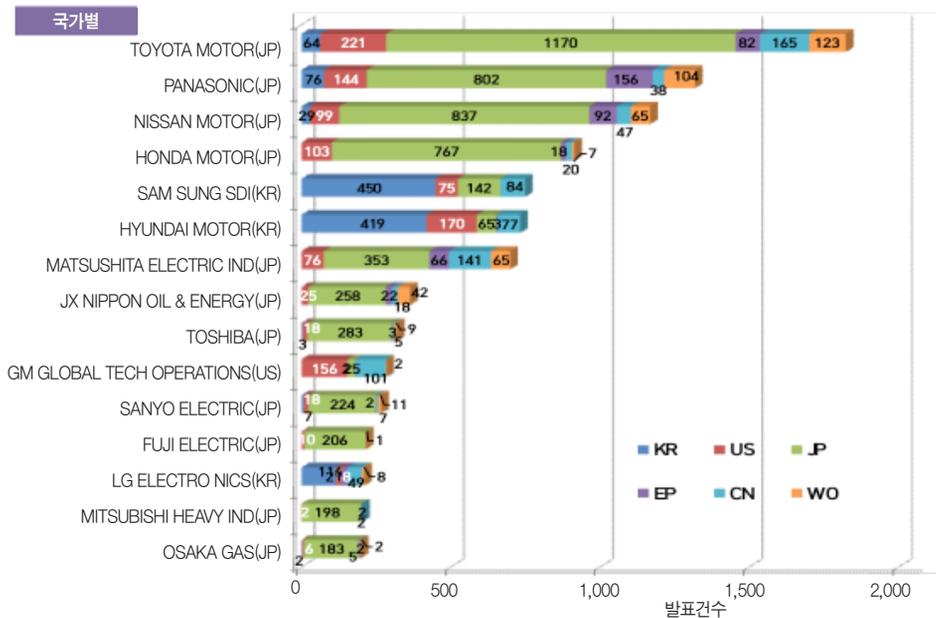
마. 수소 연료전지 특허 주요 출원인 분석

특허출원인 수준에서 분석대상 유효특허를 가장 많이 출원한 출원인은 1,825건을 출원한 일본 TOYOTA MOTOR이며, 일본 PANASONIC 1,320건, 일본 NISSAN MOTOR 1,169건, 일본 HONDA MOTOR 915건, 한국 SAMSUNG SDI 751건, 한국 HYUNDAI MOTOR 734건, 일본 MATSUSHITA ELECTRIC IND 701건 등으로 다출원 상위 출원인 15위 중 일본 국적 출원인이 11인으로 나타났다. 특히 최다 출원인은 일본 TOYOTA MOTOR는 1,825건의 특허 중 일본 1,170건, 미국 221건, 중국 165건, 국제 123건, 유럽 82건, 한국 64건의 특허를 출원하였으며, 2위인 일본 PANASONIC는 1,320건의 특허 중

한국 76건, 미국 144건, 일본 802건, 유럽 156건, 중국 38건, 국제 104건의 특허를 국가별로 고르게 보유하고 있어서, 세계 시장에서 기술 확보를 위한 의지가 높은 것을 확인할 수 있다.

세부기술별로는 최다 출원인인 일본 TOYOTA MOTOR가 연료전지 시스템에만 1,550건의 특허를 보유하고 있는 등 전반적으로 연료전지 시스템 기술에 대한 특허를 가장 많이 보유하고 있는 것으로 보인다. 다만, 2위인 일본 PANASONIC이 혼합 기체 수조 정제 기술에도 418건으로 상대적으로 가장 많은 특허를 보유하고 있어 이 기술에서는 가장 앞선 것으로 조사되었으며, 일본 MATSUSHITA ELECTRIC IND.은 연료전지 전극 기술에 125건으로 가장 많은 특허를 보유하고 있어서, 해당 분야에 기술적

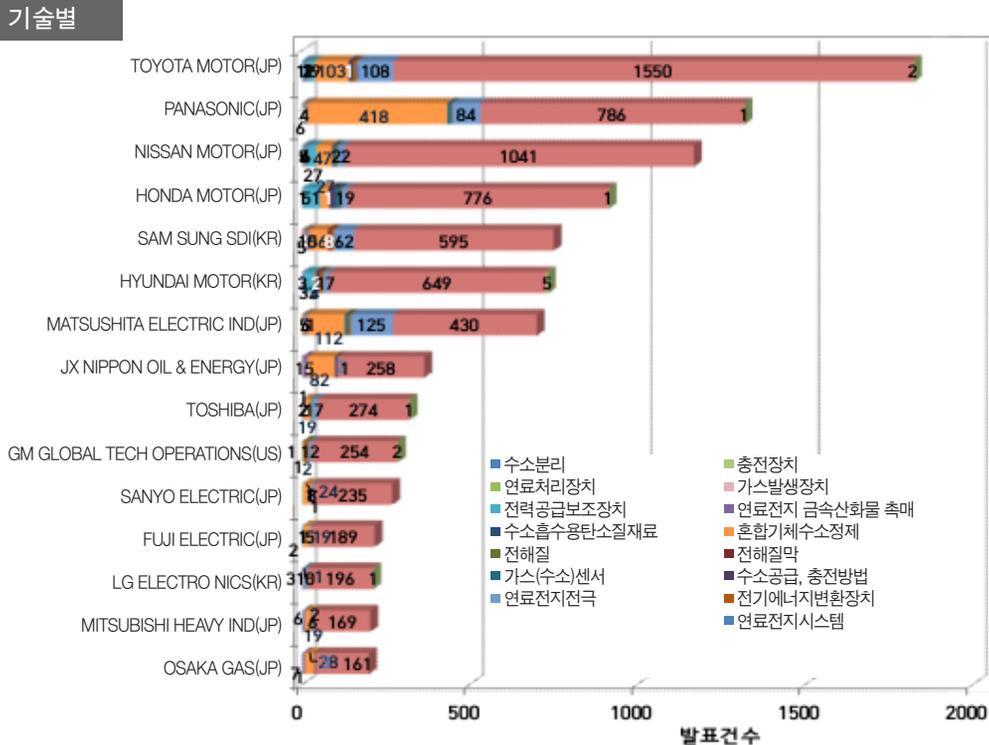
[그림 14] 수소 연료전지 특허 주요 출원인 국가별 특허출원 동향



자료: 저자 작성



[그림 15] 수소 연료전지 특허 주요 출원인 세부 기술별 특허출원 동향



자료: 저자 작성

선도성을 지니고 있는 등, 다출원 상위 출원인들 중에는 연료전지 전극, 혼합 기체 수소 정제 관련 기술을 역점기술로 삼고 있는 것으로 나타났다.

4. 요약 및 시사점

앞서 살펴본 특허분석을 통한 세계 수소 연료전지 기술개발 동향에 대한 분석결과를 종합하면 다음과 같다. 먼저 2019년까지 수소 연료전지 기술과

관련하여 출원된 전체 특허건수는 25,630건으로서, 1970년대부터 출원되기 시작해서 1990년대 하반기부터 크게 증가하다가, 2000년대에 가장 활발하게 출원되었으며, 2008년부터는 소폭 감소한 이후에 현재까지 꾸준히 출원되고 있다. 이중 특히 일본특허가 10,732건(42%)으로 가장 높은 점유율을 차지하고 있어 수소 연료전지 기술개발은 일본에서 가장 활발한 것으로 보인다. 이 같은 일본 주도의 수소 연료전지 기술개발 추세는 다출원 1위인 TOYOTA MOTOR 1,825건, 2위 PANASONIC 1,320건등



다출원 상위 출원인 15인 중 일본 국적 출원인이 11인인 것으로도 확인이 가능하다. 그리고 TOYOTA MOTOR 등 주요 일본 출원인들은 전반적으로 연료전지 시스템 기술개발에 역점을 두고 있지만, 연료전지 전극, 혼합 기체 수소 정제 기술에 대한 특허도 다수 보유하고 있으며, 특히 상대적으로 PANASONIC은 혼합 기체 수소 정제 기술에, MATSUSHITA ELECTRIC IND은 연료전지 전극 기술에 우세함을 확인할 수 있다. 반면 다출원 상위 출원인 중 국내 출원인은 SAMSUNG SDI, HYUNDAI MOTOR 및 LG ELECTRONICS 등이 있으며, 주로 연료전지 시스템 개발에 매진하고 있음이 확인되었다.

현재 전 세계적으로는 수소 연료전지 세부기술 분야 중 연료전지 시스템 출원특허가 18,787건(73%)으로 가장 높은 비중을 차지하고 있으며, 혼합 기체 수소 정제도 2,531건(10%)로서 주요국들은 공통적으로 연료전지 시스템 기술과 혼합기체 수소 정제 기술을 역점기술로 삼고 있음을 볼 수 있었다. 그러나 수소 공급/충전, 가스(수소) 센서, 수소흡수 탄소, 전해질막, 충전장치에 대한 특허가 적어서, 이 기술에 대한 연구개발이 공백기술로 평가되어 해당 세부기술에 대한 연구개발도 투자가 요구되며, 특히 충전 장치 기술 또는 수소흡수용 탄소질 재료 관련 기술의 점유율이 극히 낮은 편인데, 그만큼 연구된 바가 크지 않기 때문에 새로운 특허를 발표할 가능성이 크고, 앞서서 개발을 시작한다면 기술적 우위를 선점할 수 있는 분야로 평가된다. 또한 특허점유율은 낮지만 증가율이 높은 것은 잠재적 가능성이 있는 분야로서 전력공급 보조 장치, 충전장치, 가스(수소) 센서, 수소 공급/충전 방법, 전해질, 전해질막 기술이 미래에 유망할 것으로 나타났다.

앞서 살펴본 바와 같이 현재까지, 수소 연료 전지 기술은 발전용, 가정용, 수송용, 휴대용 연료전지 등의 다양한 분야에서 세계적으로 수소 연료 전지 관련 제품, 예를 들어, 수소연료전지 제조, 저장, 수송, 차량용/선박용 등 이동 제품, 고체산화물 연료전지, 전극/촉매, 분리막/전극접합체, 전해질/이온교환막 등 관련 기술 개발이 증가하고 있는 추세이다.

이와 관련하여 고효율의 수소 연료전지의 사용을 높이고 환경 문제의 대안을 해결할 수 있도록 연료전지, 부품에서 시스템에 이르기까지 연료전지 제조 방법에 대한 추가적인 연구 개발이 꾸준히 진행되어 왔으며 보다 더 확대될 것으로 예상됨에 따라 수소차 등의 운송 및 휴대용/소형화 관련 기술이 미래 유망 기술로 보인다. 따라서 국가적인 차원에서도 수소 연료전지 관련 생산, 제품 제조를 통한 정책 및 수출 확대를 위한 지원과 협업이 더욱 필요할 것으로 보인다.

앞서 언급한 바와 같이 이를 지원하기 위해 작년 10월 「수소 기술개발 로드맵」이 수립, 발표되었다. 그리고 로드맵에 따라 '범부처 수소 R&D 협의체'는 주기적으로 조정할 수 있도록 국내·외 기술개발 동향 등을 상시 검토하고, 이를 토대로 5년을 주기로 로드맵 상의 기술개발 전략을 재검토하기로 하였다. 본고를 통해 제시된 특허분석을 통한 세계 수소 연료전지 기술개발 동향 분석결과는 이러한 기술개발 전략 재검토를 넘어 전략을 상세기술별로 확장하여 보다 구체화하는데 일조할 수 있을 것으로 사료된다.



참고문헌

〈국내 문헌〉

- 관계부처 합동a, 「수소경제 활성화 로드맵」, 2019.1
관계부처 합동b, 「수소 기술개발 로드맵」, 2019.10.
김재경, 수소연료전지 자동차(FCEV) 충전용 수소
시장조성을 위한 정책연구, 2017
김재경, 친환경 CO₂-free 수소생산 활성화를 위한
정책연구, 2018
이주영, “수소전기차 바람이 분다 - ②수소전기차 부품,
어디에 어떤 제품 사용되나”, 「월간수소경제」
2017년 10,11월호, 2017. pp.28-32

〈외국 문헌〉

- Shell (Shell Deutschland Oil GmbH), Energy of
the Future?: Sustainable Mobility through
Fuel Cells and H₂, Shell Hydrogen Study,
2017.