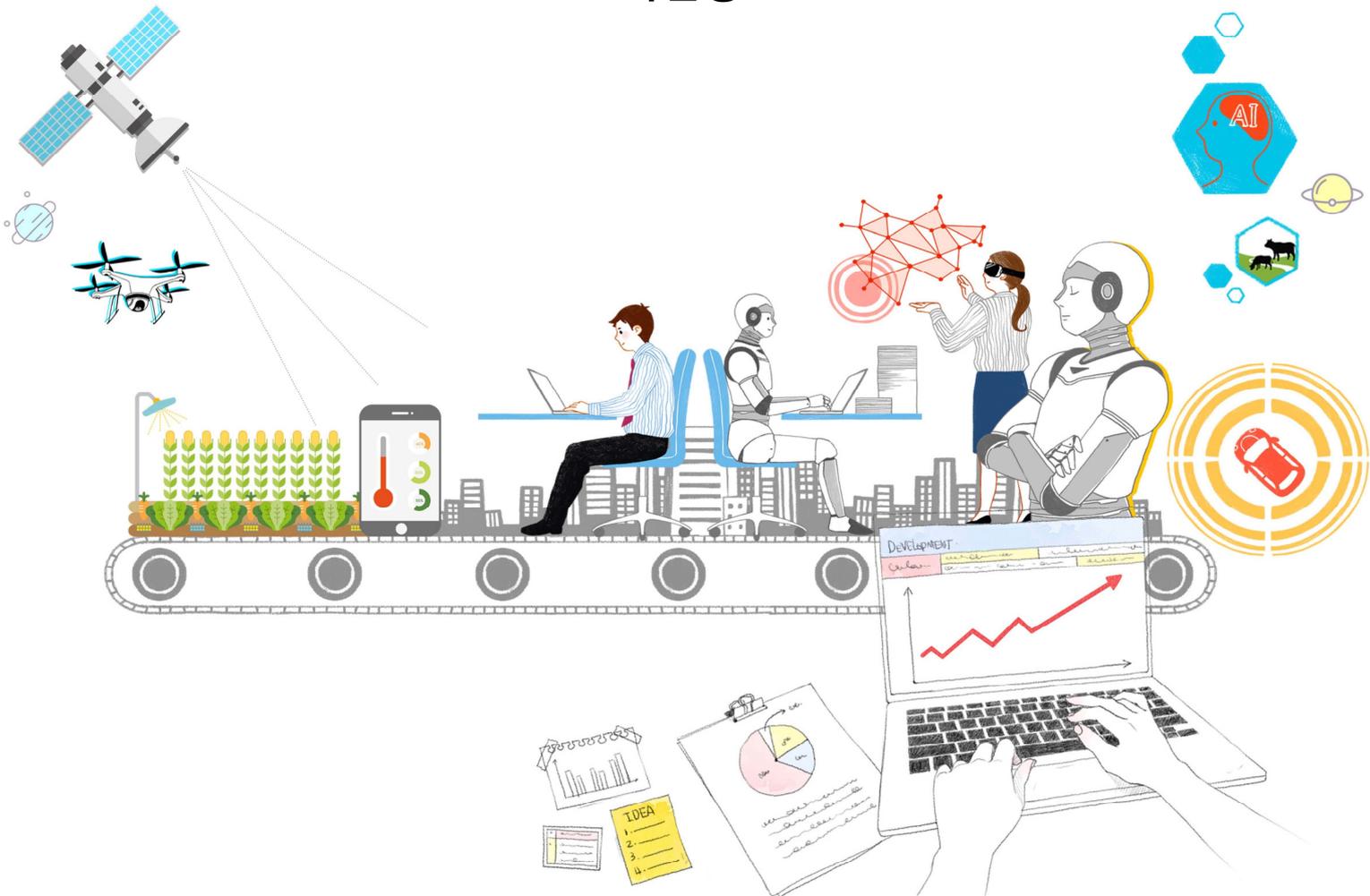
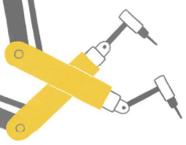


# 연료전지

이선명





# Contents

 제1장 개요 .....	1
 제2장 산업동향 .....	4
 제3장 정책동향 .....	11
 제4장 R&D 동향 .....	18
 제5장 결론 .....	23



# 제1장 개요

## 1.1. 작성 배경

- ▣ 최근 주요국을 중심으로 잇따른 탄소중립 선언과 함께 수소경제로의 전환기조가 이어지고 있어 이에 대응하기 위한 기술로써 수소와 연료전지에 대한 관심 증가
  - 탄소중립은 배출되는 온실가스를 최대한 줄이고, 남은 온실가스를 산림 등을 통해 흡수하거나 제거하는 기술을 통해 실질적으로 배출량을 0으로 만드는 개념
  - 탄소중립 실현을 위해서는 재생에너지의 확대가 필수적이며, 재생에너지의 간헐성과 부하 변동이라는 내생적 한계를 보완하기 위해 에너지 운반체(energy carrier)로써 수소를 이용할 수 있음
- ▣ 연료전지는 수소의 생산, 저장·이송, 활용 단계로 구분되는 수소경제에서 활용 단계에서 핵심적인 역할을 하는 기술로 수송, 발전 등 다양한 용도로 적용
  - 연료전지를 통해 재생에너지로 생산된 수소를 운반하여 이용가능한 에너지 형태인 열 또는 전기로 변환



[그림 1] 수소경제 개념도 및 연료전지의 역할<sup>1)</sup>

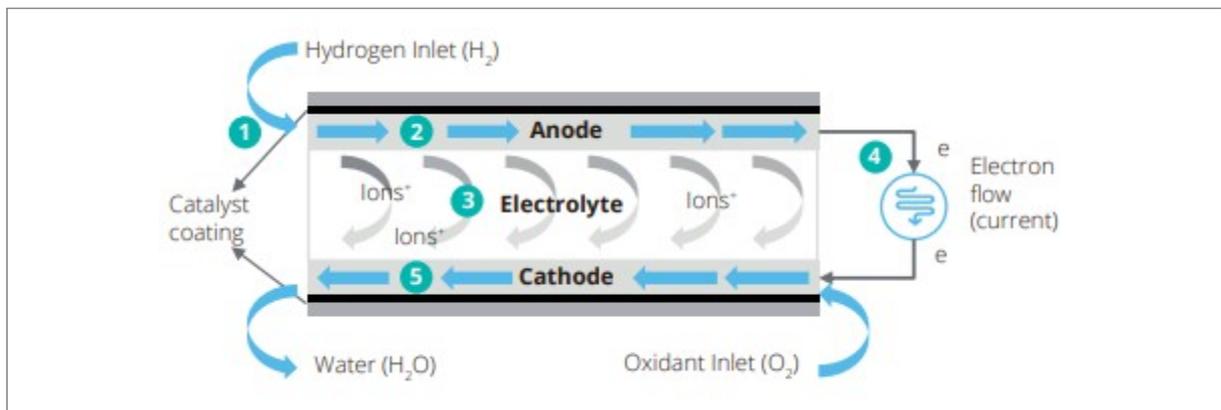
1) 강원도의회 정책 Letter vol.10, 저자 수정(2020.06)

이와 같은 관심으로 환경기술의 주요 대안인 연료전지에 대한 정부 투자의 효율성 제고와 실효성 있는 목표 달성을 위해 점검 필요

- 연료전지를 포함한 신재생에너지에 대한 관심과 산업 발전 배경에는 탄소 중심 에너지의 전환과 심화되는 환경문제 해결의 목표가 내재
- 특히 환경규제 심화와 자립적 에너지 안보 달성을 위해 우리나라를 비롯한 주요국에서 수소 경제에 주목하고 있는 추세
- 신재생에너지와 수소경제에서 주요한 대안이자 역할인 연료전지의 동향을 살펴봄으로써 정책적 시사점을 도출하고자 함

## 1.2. 기술의 정의

연료전지는 수소, 메탄올 등 연료의 화학에너지를 전기화학반응을 통해 전기 에너지로 변환시키는 장치



※ 수소기체를 연료극에 공급하면 연료극의 촉매 층에서 수소이온(H<sup>+</sup>)과 전자(e<sup>-</sup>)로 산화되며, 공기극에서 공급된 산소와 전해질을 통해 이동한 수소이온과 외부 도선을 통해 이동한 전자가 결합하여 전류를 형성, 전기를 발생시킴

[그림 2] 연료전지 개념도<sup>2)</sup>

- 연료전지는 연료(LNG, LPG, 메탄올, 가솔린 등) 및 공기 중 산소의 화학에너지를 전기화학적 반응에 의해 전기에너지 및 열을 생산하는 능력을 갖는 전지

(기술 구성) 연료극, 전해질층, 공기극으로 접합된 셀과 이 셀들이 적층된 구조의 스택이 주요 구성요소이며, 이 외 전기적(E-BOP), 기계적(M-BOP) 주변기기(Balance of Plant, BOP)로 구성

2) Deloitte, KOTRA(2020.06.15.)

〈표 1〉 발전용 연료전지의 기술 구성

	기술 개요	주요 기술 이슈
스택 (Stack)	• 원하는 전기출력을 얻기 위해 단위전지를 수십~수백장 직렬로 쌓아 연결한 시스템	• 단위전지 제조, 단위전지 적층 및 밀봉, 수소 공급과 열회수를 위한 분리판 설계 제작 등
전력변환기 (Inverter)	• 연료전지에서 나오는 직류전기(DC)를 우리가 사용하는 교류(AC)로 변환시키는 장치	• 분산형 발전 시스템에 적용하기 위한 스마트 인버터 등
주변보조기기 (BOP, Balance of Plant)	• 연료, 공기, 열회수 등을 위한 펌프류, blower, 센서 등을 의미	• 연료전지 시스템에 적합한 형태의 기술은 개선 필요
개질기* (Reformer)	• 화석연료로부터 수소를 발생시키는 장치	• 시스템에 악영향을 주는 황, 일산화탄소 제어 및 시스템 효율향상을 위한 소형화, 집적화가 핵심

\* 발전용 연료전지에는 연료전지 시스템과 개질기가 함께 구성되어 on-site 개질이 가능하도록 설계 가능

본 브리프는 발전용 연료전지 시스템을 중심으로 작성되었으며, 이는 다음과 같은 이유에 근거

- 우선, 연료전지 기술의 적용과 시장 확장은 발전용과 수송용을 중심으로 전개될 전망이며,
- 수송용 연료전지인 수소전기차는 KISTEP 기술동향브리프 2018-20호를 통해 소개된 바 있어 본 브리프에서 발전용 연료전지 중심으로 서술

(연료전지 종류) 사용되는 전해질에 따라 다양한 종류가 있으며, 종류별로 운전 온도, 효율, 용도 등의 특징에서 차이를 보임

〈표 2〉 연료전지 종류별 특징

세대	2세대			3세대	
	1세대	인산형 (PAFC)	용융탄산염형 (MCFC)	고분자전해질형 (PEMFC)	고체산화물형 (SOFC)
종류	알칼리형 (AFC)	인산형 (PAFC)	용융탄산염형 (MCFC)	고분자전해질형 (PEMFC)	고체산화물형 (SOFC)
연료	수소	LNG, LPG, 메탄올, 석탄가스	LNG, LPG, 메탄올, 석탄가스	수소	LNG, LPG, 메탄올, 석탄가스
전해질	KOH	인산염	용융탄산염	이온교환막	세라믹
운전 온도	0~230℃	150~250℃	550~700℃	50~100℃	550~1000℃
주용도	우주선 등 특수목적	중형건물 분산전원 (200kW)	중대형 건물 복합 발전, 열병합발전 (100kW~MW)	가정·상업용 수소전기차 (1~10kW)	소중대용량 복합 발전, 열병합발전 (1kW~MW)
전기 화학적 반응 효율	60~70%	45~55%	45~55%	40~60%	40~60%
특징	이산화탄소에 민감, 제거장치 필수	CO 내구성 큼, 열병합 대응 가능	발전효율 높음, 내부개질 가능, 열병합 대응 가능	저온작동, 고출력밀도	발전효율 높음, 내부개질 가능, 복합발전 대응 가능

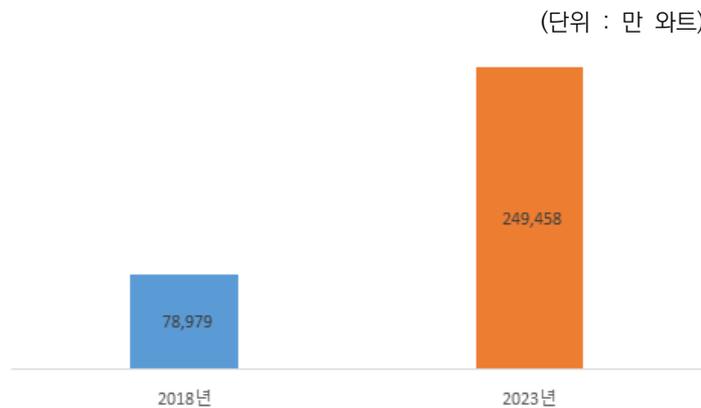
본 브리프를 통해 연료전지의 다양한 종류에 따른 특성과 상호보완이 필요한 기술분야와의 연계 등을 포함한 정책 제언을 도출하고자 함

## 제2장 산업동향

### 2.1. 시장전망

전 세계 연료전지 시장은 2018년부터 2023년까지 연평균 25%이상 성장할 것으로 전망되며, 주로 수송용 연료전지를 중심으로 성장할 것으로 전망

- 2018년 기준, 수송용이 전체 시장의 68.1%, 고정형이 31.8%, 휴대용이 0.1% 순
- 수소전기차로 확장된 연료전지 시장은 선박, 가정·건물용 연료전지, 중대형 발전용 연료전지 등 다양한 활용을 통해 성장할 것으로 기대

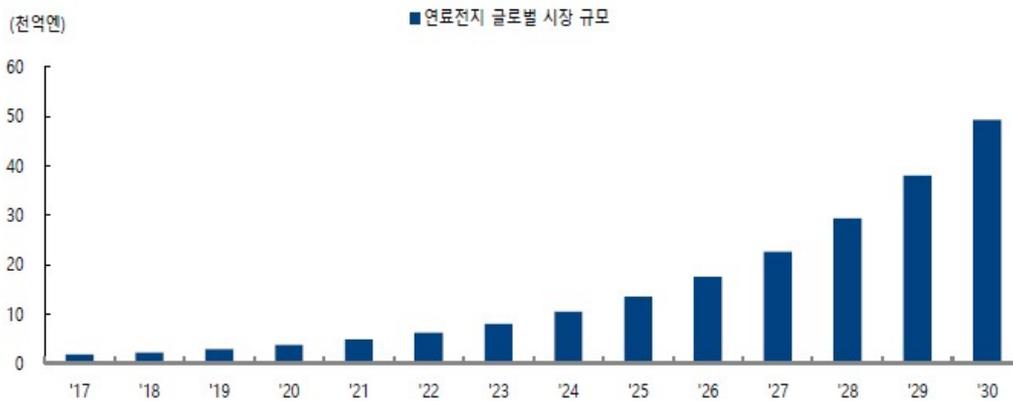


[그림 3] 연료전지 시장 규모 및 전망<sup>3)</sup>

2016년 매출액 기준 시장규모는 1조 3,000억원이며, 2030년에는 약 41조원까지 성장할 것으로 전망<sup>4)</sup>

3) 연구개발특구진흥재단(2020)

4) 후지경제(2018)

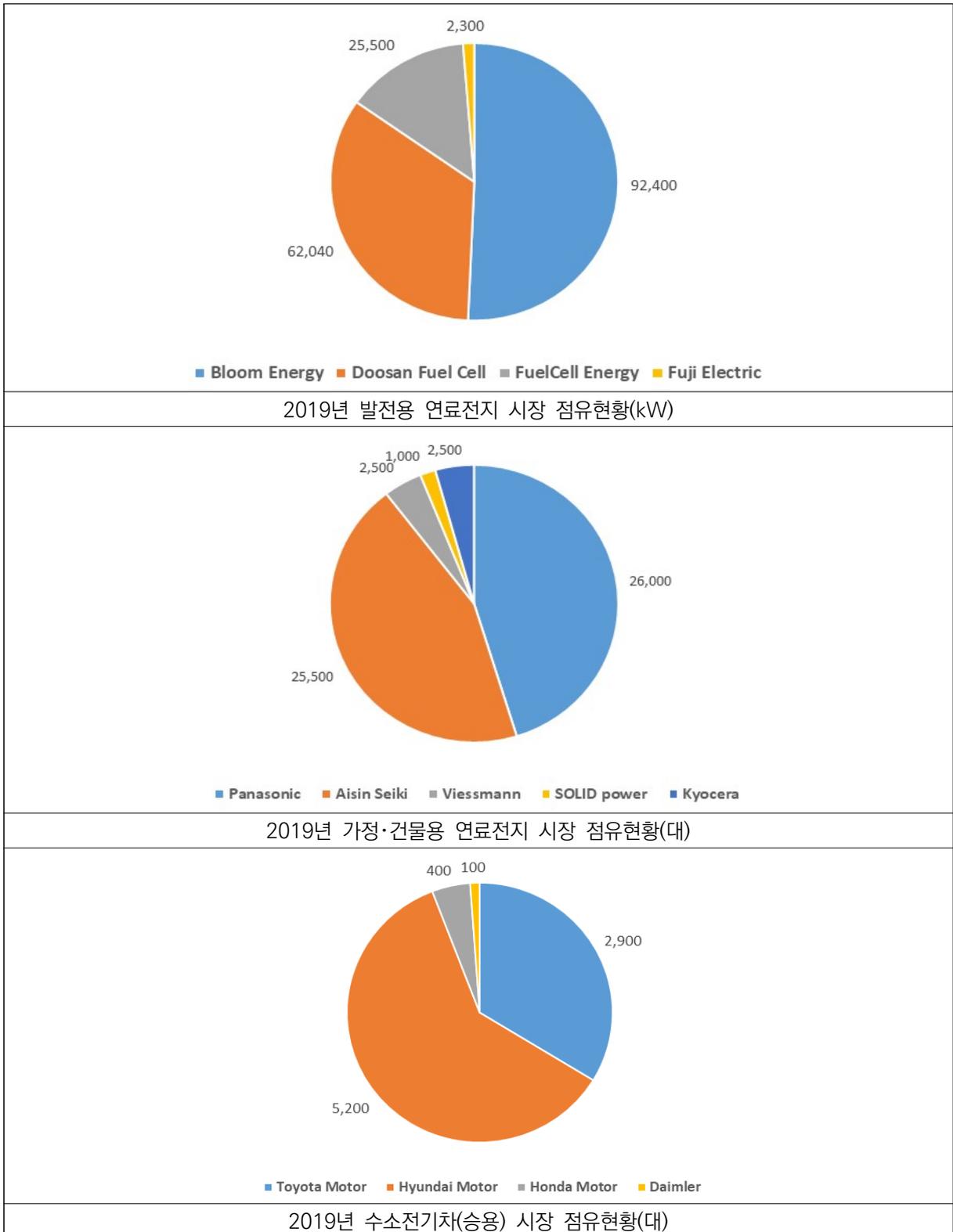
[그림 4] 연료전지 시장전망<sup>5)</sup>

- 특히, 2016년 1,537억원이던 수소전기차 시장이 2030년 26조 3,000억원 규모로 급격한 시장 규모의 확장이 예상됨
- 향후 10여년간 연료전지 시장의 확장은 주로 수소전기차를 중심으로 한 모빌리티 산업이 견인할 것으로 예상

 주요 시장은 한국과 일본을 중심으로 확장되고 있으며, 일본, 미국, 한국 3국의 기업들이 주로 점유하며 경쟁

- 2019년 세계 발전용 연료전지 시장 점유율은 Bloom Energy(50.1%), 두산 퓨얼셀(33.6%), Fuel Cell Energy(13.8%) 순
- 2019년 세계 가정건물용 연료전지 시장은 일본기업인 Panasonic(45.2%), Aisin Seiki(44.3%)이 약 90%를 점유하고 있음
- 2019년 세계 수소전기차 시장은 우리나라의 현대자동차(60.5%)와 일본의 Toyota(33.7%)가 90% 이상을 점유하며 제한적인 경쟁이 이루어지고 있음

5) 후지경제, 하이투자증권(2019)



[그림 5] 2019년 분야별 연료전지 시장 현황

## 2.2. 글로벌 산업동향

 (미국) Fuel Cell Energy, Bloom Energy 등 독보적 기술을 바탕으로 시장을 선도

 (Fuel Cell Energy) 1969년 창립 후 MCFC 분야에서 독보적 기술을 보유하고 있으며, SOFC 분야에서도 협업을 통한 차세대 기술개발

- 독일 내 MCFC 생산 및 판매법인 운영
- Versa Power System의 SOFC 스택을 이용하여 시스템을 개발하여 2019년부터 실증 진행
- Exxon Mobil과 CCS 기술을 공동개발

● (Bloom Energy) SOFC 분야의 선도적 기업으로 국내기업과 협업도 활발히 진행

- 미국 내 IT, 물류, 전력회사 등에 350MW 이상의 연료전지를 판매
- 국내기업과의 판매계약 체결로 RPS 시장에도 진출한 바 있음
- 삼성중공업과 공동으로 SOFC 탑재 선박의 설계 및 건조 진행

 (일본) 시장에서의 입지는 크지 않으나, 다수의 기업이 기업간 협력을 통해 연료 전지 발전 시장에 대비

● (후지전기) PAFC 기술을 토대로 글로벌 시장에 진출하였으며, SOFC 기술개발 및 실증 또한 진행

- (PAFC) 100kW 제품을 열수요가 높은 일본 내 자가발전 사업자를 대상으로 판매중이며, 한국, 남아공, 미국, 독일 등에 120대 이상의 제품을 판매
- (SOFC) 고효율 SOFC를 이용한 열병합 시스템을 개발 중이며, 50kW급 시스템 실증 완료(발전효율 55%, 종합효율 85%, 운전시간 4,000시간 이상)

● (MHPS\*) 미쓰비시 중공업과 히타치 제작소의 합작회사로 2014년 설립 이후 SOFC 복합 발전 시스템을 판매 중이며, 차세대 대규모 발전시스템 개발

\* Mitsubishi Hitachi Power Systems, 2020년 9월 '미쓰비시파워주식회사'로 사명 변경

- 2017년부터 250kW급 SOFC-가스터빈 복합발전시스템 판매
- 1.2MW급 시스템의 실증 및 조기 상용화 추진 중이며, SOFC-가스터빈-증기터빈 삼중 복합시스템 개발

- (Bloom Energy Japan) Bloom Energy와 소프트뱅크 간 조인트벤처로 설립되었으며, 자사 건물 내 SOFC 발전을 실증 중이며, 향후 적용 확대 예정
- (Toshiba) Ene-Farm 연료전지 기술을 활용하여 수소 전용 열병합 발전 시스템을 출시하여 미래 수소 시장에 대비

### (중국) 시스템 단위 시장에서의 입지는 크지 않으나, 다수의 기업이 기업간 협력을 통해 연료전지 발전 시장에 대비하며, 소재부품 기업이 다수 존재

- (시스템) 캐나다의 연료전지 선도 기업 발라드 사, 일본의 토요타 등이 중국 연료전지 시장에 진출하였으며, 최근 이 외 글로벌 기업들 또한 적극적으로 진출<sup>6)</sup>
  - 중국 정부의 수소전기차 보급 정책에 힘입어 토요타와 중국 내 베이치푸텐, 이화통 등 기업 간 협력관계\*를 통해 수소버스 개발과 2022년 동계올림픽 투입 계획
    - \* 버스 생산(베이치푸텐)-연료전지 시스템(토요타)-연료전지 동력시스템(이화통)
  - 또한 토요타는 중국 디아동차그룹(FAW)와 쑤저우진룽에서 생산되는 수소버스에도 연료전지 스택을 공급할 예정
  - 발라드 파워 시스템(BLDP)은 2015년 중국 2개 지역에 수소버스 제품과 함께 기술솔루션을 제공한 바 있으며, 2017년 광둥성에 합자회사를 설립하여 연료전지 스택을 현지 생산
  - 최근 독일의 보쉬(Bosch), SFC 에너지(SFC energy), 영국 세레스파워(Ceres Power), 네덜란드의 네드스택(Nedstack) 등이 중국 연료전지 시장 진출을 발표
- (소재 및 부품) 연료전지 내 쌍극, 막전극, 촉매, 기체확산층 등 소재, 부품을 생산하는 기업들이 다수 포진하고 있으며, 연료전지용 압축기, 펌프 등 분야기업도 다수 존재<sup>7)</sup>

6) KOTRA(2020.7.17.)

7) 중국연료전지산업발전백서(2018)

## 2.3. 국내 산업동향

- ▣ 국내 주요 대기업은 PAFC, MCFC 제품을 중심으로 글로벌 시장에서의 입지를 구축하였으며, 시장지위를 유지하기 위한 차세대 연료전지 개발에도 적극적
- ▣ (두산퓨얼셀) 2014년 두산이 미국의 클리어엠티파워(CEP)를 인수하며 시장에 진출하였으며, PAFC기술을 중심으로 발전용 연료전지 사업을 영위
  - 주력제품은 PAFC로 국내외 연료전지 보급 성과 창출하였으며, PEMFC, SOFC 등 제품군을 다양화하기 위한 기술개발 진행
    - 60MW급 공장을 국내 완비하였으며, 2014년 인수합병을 통해 PEMFC 사업에도 진출
    - 국내 300MW 이상 보급하였으며, 영국 1.4MW 수출 등 해외 진출에도 적극적
    - 영국의 Ceres Power와 SOFC 공동개발 중이며, 200kW급 제품 개발 중
- ▣ (한국퓨얼셀) 포스코에너지에서 분할 설립한 연료전지 전문 자회사로 MCFC 제품을 중심으로 사업 영위 중
  - 연 100MW MCFC 일관 생산체계를 구축하는 등 양산성 확보
    - 2008년부터 BOP, 스택(2011년), Cell(2015년) 공장을 준공하여 시스템 전부분의 생산 능력을 확보하였으며, 국내 보급량은 170MW 이상
- ▣ (SK건설) 미국 Bloom Energy와의 협력으로 국내 SOFC 시장에 진출하여 국내 생산 본격화
  - 2020년 1월 Bloom Energy와 SOFC 연료전지 국산화를 위한 합작법인 블룸SK퓨얼셀을 설립하고 같은 해 10월 구미공장 준공
    - LNG를 연료로 하는 SOFC 제품을 생산할 예정이며, 2021년 50MW 생산을 시작으로 2027년 400MW까지 생산량을 점진적으로 확대할 계획
  - 또한 기술개발 측면에서 SK어드밴스드, Bloom Energy와 부생수소 활용 SOFC 상용화 검증에 대한 MOU 체결
    - SK어드밴스드 울산 공장에서 발생하는 부생수소를 활용하여 SK건설이 SOFC EPC, Bloom Energy가 SOFC 운영을 맡아 운영비 절감을 위한 실증 진행 계획

 (에스퓨얼셀) 2014년 에스에너지가 GS칼텍스 수소연료전지 연구개발팀을 중심으로 설립한 연료전지 전문기업

- 소규모 열병합 발전기 형태의 PEMFC 건물용 연료전지 시스템이 주력제품이며, 아파트 단지, 대형 건물, 관공서, 대학 등 다양한 건물에 설치 및 운영

 (FCI\*) 2018년 한국-사우디 합작투자자로 설립한 SOFC 대형 발전용 연료전지 전문기업

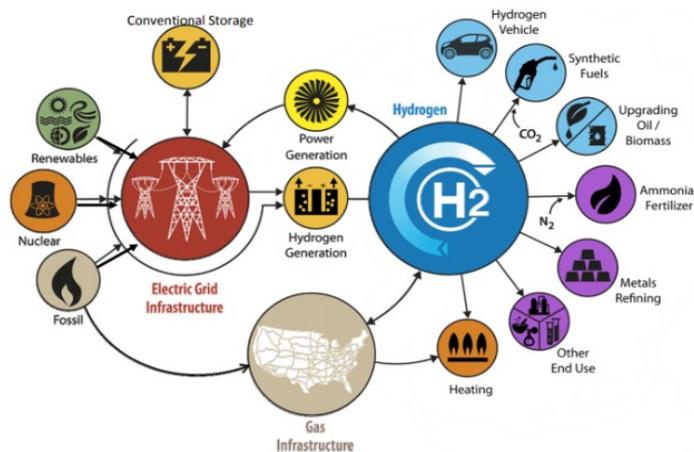
\* Fuel Cell Innovations

- 2018년 3월 설립된 연료전지 전문 기업으로 1.5kW SOFC 연료전지를 이용한 대용량 발전소 설계 및 운영기술 보유
- 2020년 5월 포항시, S-OIL, 포항TP 등과 연간 50MW 규모 생산이 가능한 SOFC 생산 공장 건립 추진 MOU 체결
- 이탈리아의 솔리드파워와 연료전지 시스템 대형화 관련 공동 기술개발을 수행 중이며, 최근 S-OIL로부터 2027년까지 1천억 규모의 투자 유치하여 100MW 이상 생산 시설 구축과 그린수소 사업 진출 계획

## 제3장 정책동향

### 3.1. 글로벌 정책 동향

- ▣ (미국) 에너지부(DOE)의 주도 하에 연료전지 R&D가 추진되며 2019년 3월 H2@Scale을 통해 수소경제 전반의 지원과 함께 H2USA로 자동차 중심의 활용산업 지원
  - (H2@Scale) 2019년 3월 발의되었으며 수소 전주기 이해당사자들이 합리적인 가격 수준의 수소경제를 구축할 수 있도록 최대 3100만 달러를 지원



자료 : 미국 에너지부(DOE)

[그림 6] H2@Scale 개념도

- (H2USA) 수소 활용산업의 첨병역할이 기대되는 수소전기차 보급 확산을 위한 인프라 문제를 해결하기 위한 자동차 OEM과 정부 간 민관협력 기구
- ▣ (미국) 주정부 차원에서는 캘리포니아주의 자가발전 인센티브 제도(Self-Generation Incentive Program, SGIP)가 대표적인 정책
  - SGIP 제도는 피크부하 저감을 목적으로 하는 자가발전 분산전원 보급 제도
    - SGIP는 최저효율, 온실가스 배출량, 오염물질 배출량 등 기준 추가를 통해 연료전지 보급 촉진을 기대

### ☞ (일본) 가정용 연료전지 중심의 활용산업 보급활성화가 정책의 주된 목적이며, 이를 통한 수소경제 시장 자립화를 목표

- 2014년 4월 “신에너지 기본계획”을 통해 수소경제 실현을 위한 정책을 제안한 이후 후쿠시마 원전 사고 이후 자립형 에너지 공급을 위한 2017년 12월 “수소기본전략”을 채택하여 2050년까지의 방향성 제시
- 2020년 “수소연료전지 전략로드맵”을 발표하며 2030년까지 가정용 연료전지 530만대와 수소 발전단가 17엔/kWh라는 목표를 제시
  - 동 로드맵은 수소전기차와 가정용 연료전지 확대를 기반으로 수소가격 저감 및 수소경제 활성화에 주력할 계획
- 일본의 수소경제 정책의 특징은 가정용 연료전지 보급확산을 통해 연료전지와 수소 시장의 조속한 자립화를 목표로 하는 것
  - ※ 가정용 연료전지 설치 목표 : 140만대(2020년) → 530만대(2030년)
- 민생용 연료전지 도입 지원사업은 주택용 연료전지를 대상으로 설치 보조금(300~400만원/대)을 지원하는 정책으로 가정용 연료전지 보급에 큰 효과를 보임
- 발전용 연료전지의 경우 2020년경 자가발전용 수소발전의 본격적 도입을 시작으로 2030년 발전 사업용 수소 공급시스템을 도입할 계획

### ☞ (독일) 재생에너지 확대 정책 아래 에너지 운반체로서 수소 생산을 중심으로 정책이 전개되고 있으며, 활용 단계의 연료전지 기술에 대한 총체적 정책은 현재 부재

- 2020년 6월 국가수소전략을 채택, 수소를 재생에너지를 저장하는 다목적 에너지 운반체로 판단하여 재생에너지 정책과 연계하여 추진
  - 수소경제 선도를 위해 재생에너지 활용을 극대화하고 이와 연계할 수 있는 수소 융합기술 개발에 주력할 계획
  - 태양광·풍력의 잉여전력을 활용하여 2030년에 5GW, 2035년부터 5년간 추가로 5GW의 수전해 수소기반 생산시설 구축을 목표

### ☞ (중국) 연료전지 및 수소기술에 대한 정책적 지원이 시작된 것은 비교적 최근이며, 기술개발과 동시에 적극적인 보급확산 위주의 정책 추진<sup>8)</sup>

8) KOTRA(2020.07.17.)

- 에너지정책의 범위에서 제도적으로 수소에너지를 다루고 있으며 연료전지 기술은 해외 선도 기업과의 협력을 통해 공동 개발 및 도입을 추진
  - 2020년 초 국가발전개혁위원회와 사법부에서 “녹색생산과 소비법규정책체제에 대한 의견”을 발표하며 수소산업 등 신에너지 산업 집중 육성을 발표
  - 2020년 4월 국가에너지국에서 “에너지자원법”을 통해 기존 위험화학품으로 분류되던 수소를 주요 에너지원으로 편입
- 중국의 지방정부 차원에서는 상하이, 장쑤성 루가오시, 후베이성 우한시 등이 중앙정부의 정책에 부응하여 수소차를 중심으로 한 정책을 적극 추진

### 3.2. 글로벌 주요 R&D 정책 동향

- ▣ 미국, 일본, 유럽 등 주요국에서는 연료전지 원천기술 확보는 물론이며, 전주 기적 관점에서 수소생산, 인프라까지 포함하는 다양한 R&D 프로그램을 지원
- 각국의 R&D 프로그램의 추진 배경에는 국가별 상황이 반영된 고유의 로드맵이 근간이 되고 있으며, 연료전지 기술개발과 함께 수소 공급, 표준 및 법제도에 대한 지원도 병행되고 있음

〈표 3〉 국가별 로드맵 및 주요 내용

국가	주요 수소 로드맵	주요 내용
미국	<ul style="list-style-type: none"> <li>• National Hydrogen Energy Roadmap (2002)</li> <li>• Hydrogen Fuel Initiative(2003)</li> <li>• Hydrogen Posture Plan(2006)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수소 생산, 제조, 저장, 운송, 활용, 응용, 교육 전반에 대한 계획</li> </ul>
일본	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수소 연료전지 전략 로드맵(2014, 2019 개정)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1단계 : 연료전지 사회의 본격 도입을 통한 수소 이용 확대</li> <li>• 2단계 : 수소발전 본격 도입 및 대규모 수소 공급 시스템 확립</li> <li>• 3단계 : 그린수소 공급 시스템 확립</li> </ul>
유럽	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hydrogen Energy and Fuel Cells : A vision of our future(2003)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1차에너지로부터 청정 수소를 생산하여 고효율 에너지 전환기구인 연료전지를 이용하여 수소 경제를 준비하고 기후변화에 대응</li> </ul>
독일	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수소 및 연료전지 기술을 위한 국가혁신프로그램(NIP)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수소모빌리티 투자 확대 및 건물용 연료전지 보급 확대를 위한 지원</li> </ul>

- ▣ (미국) 수송용 연료전지를 우선적으로 원천기술 확보를 위한 지원하고 있으며, 타당성 조사, 표준 및 법제화 등 제도적 인프라 구축 병행

-  (일본) 가정용 연료전지와 수송용 연료전지 기술의 실용화 관점에서 기술개발을 진행 중이며, 해외 수소 도입과 일본 내 저장·이송 등 전주기적 기술개발 지원
-  (유럽) 저탄소 정책 내에서 수송, 발전, 건물용 연료전지의 실증 중심으로 기술 개발 추진
-  (독일) 2016년부터 10년 계획을 통해 수소차, 충전소, 가정용 연료전지 등 연료 전지 활용 분야의 기술 실증과 P2G를 통한 수소 공급까지 전 분야 지원
-  (중국) 수소전기차를 중심으로 연료전지 핵심기술 확보와 실증 지원

〈표 4〉 국가별 주요 기술개발 프로그램

국가	프로그램명	대상	내용	예산	
미국	Hydrogen and Fuel Cell(EERE)	수송용	수소 제조, 운송, 공급기술 연료전지(PEFC) 기술 기술 타당성 검증 안전 표준, 법제화 등	\$150M	\$210M
	Basic Science	수송용	수소, 연료전지 기초원천	\$19M	
	SECA(Fossil Energy)	발전용	SOFC 기술	\$30M	
	Nuclear	수소제조	열화학수소제조기술	\$11M	
	ARPA-E	수소 연료전지	혁신기술	미정	
일본	연료전지 실용화 연구개발	건물용 수송용	수송용, 가정·건물용 연료전지 실용화 기술 개발	\$222M	
	수소 supply chain 구축	수소	해외 수소 공급망 구축		
	수소제조 운송 저장 기술 개발	수소 연료전지	CO2 free 수소제조 운송 저장 기술 개발		
	초고압 수소 이용 수소 공급 인프라 기반 기술	수소 인프라	수소충전소, 국제표준, 규제완화		
유럽	FCH 2 JU	수송용 발전용 건물용	기간 : 2014-2020 2050년 저탄소경제로 전환을 목표로 수소연료전지 실증	\$1.5B	
독일	NIP II	수송용 건물용 P2G	기간 : 2016-2026 수소차/수소버스, 수소충전소, 가정용 연료전지 실증, 시장 확대, Power to Gas	\$1.6B	
중국	New Energy Vehicle	수송용	수소 연료전지 핵심기술 수소전기차, 버스 실증	\$41M	

\*EERE : Energy Efficiency & Renewable Energy

\*SECA : Solid State Energy Conversion Alliance

\*FCH JU : Fuel Cell & Hydrogen Joint Undertaking

\*NIP : National Innovation Programme Hydrogen and Fuel Cell Technology

### 3.3. 국내 정책 동향

☞ 국내 연료전지 정책은 크게 탄소중립, 재생에너지로 대표되는 에너지 관점의 정책과 수소경제 활성화 로드맵 등 수소경제 관점의 정책 두 축으로 전개

☞ (재생에너지 3020) 연료전지 친환경성 확보에 필수적인 그린수소 생산의 근간이 될 정책으로 재생에너지 발전비중 확대 계획

※ 재생에너지 3020 이행계획(안)(산업부, 2017.12.)

- 2016년 7%에 불과한 재생에너지 발전비중을 2022년 105%, 2030년 20%로 제고시킬 계획
- 계획의 주요 재생에너지 발전원은 주로 태양광, 풍력을 중심으로, 연료전지는 다수의 발전원 중 하나로 평가
- 다만 연료전지에 대한 기대와 목표인 궁극적 친환경성 확보를 위한 재생에너지 연계 수소 생산의 측면에서 주목해야 할 정책

	2016	2022	2030
재생에너지 발전비중(%)	7.0	10.5	20
재생에너지 설비용량(GW)	13.3	27.5	63.8
주요 원별 설비용량 및 비중	2017	2018-2030 증설	2030
태양광	5.7GW(38%)	30.8GW(63%)	36.5GW(57%)
풍력	1.2GW(8%)	16.5GW(34%)	17.7GW(28%)
바이오	2.3GW(16%)		3.3GW(5%)
폐기물	3.8GW(25%)		3.8GW(6%)

자료 : KIET 산업포커스

[그림 7] 재생에너지 3020 실행계획의 보급목표

☞ (수소경제 활성화 로드맵) 수소생산부터 활용단계까지 보급목표를 제시하고 있으며, 2040년까지 단계적 목표를 제시

※ 수소경제 활성화 로드맵(관계부처 합동, 2019.1.)

- 수소경제 활성화 로드맵은 2040년까지 발전용 연료전지 15GW(내수 8GW), 가정·건물용 연료전지 2.1GW(94만 가구) 보급 목표
- 수소모빌리티는 620만대(내수 290만대, 수출 330만대)를 생산하는 계획을 포함

		2018년	2022년	2040년
<b>수 소 차</b> (수출) (내수)		1.8천대 (0.9천대) (0.9천대)	8.1만대 (1.4만대) (6.7만대)	620만대 (330만대) (290만대)
<b>연 료 전 지</b>	<b>발전용</b> (내수)	307MW (전체)	1.5GW (1GW)	15GW (8GW)
	<b>가정·건물용</b>	7MW	50MW	2.1GW
<b>수 소 공 급</b>		13만톤/年	47만톤/年	526만톤/年 이상
<b>수 소 가 격</b>		-	6,000원/kg	3,000원/kg

[그림 8] 수소경제 활성화 로드맵 상 목표

**☞ (탄소중립 추진전략) 탄소중립 대전환 시대에 대응하기 위해 2020년 12월 발표된 정책으로 연료전지는 에너지 공급 측면에서 핵심 기술**

※ 2050 탄소중립 추진전략(관계부처 합동, 2020.12.7.)

- 연료전지 발전 외에도 수소전기차, 건물용 연료전지 등의 대안을 포함하고 있으며, 수소 에너지원의 안정적인 공급을 위해 동북아 그리드 등 보완적 수단도 검토 예정

**☞ (수소경제 표준화 전략 로드맵) 글로벌 시장 우위를 점하기 위한 표준을 선점하고, 성능과 안전이 확보된 제품 보급으로 산업생태계 조성을 지원**

※ 수소경제 표준화 전략 로드맵(산업부, 2019.4.)

- 수소산업은 시장형성 초기단계로 국제표준 제정에 적극 참여함과 동시에 표준을 통한 신뢰성 확보로 시장 선점효과를 기대할 수 있음
- 2030년까지 모빌리티 분야와 발전·가정·건물용 연료전지 분야를 포함하여 국제표준 15건과 KS인증 30건 이상을 목표

〈표 5〉 연료전지 관련 표준화 로드맵<sup>9)</sup>

		완료	진행 중	목표(~'30)
국제표준	열차, 선박, 드론, 기계	2건 (산업용 트럭)	-	6건 이상 (드론, 건설기계 등)
	발전, 가전, 건물용 등	14건 (성능, 안전, 설치 등)		4건 이상 (트라이젠 시스템 등)
KS 인증	열차, 선박, 드론, 기계	-	-	9건 이상
	발전, 가전, 건물용 등	1건 (PEMFC 연료전지)	2건 (지게차용(DMFC) 등)	10건 이상 (대용량 연료전지 등)

9) 산업부(2019.4.)

## ☞ (수소 기술개발 로드맵) 수소경제 활성화 로드맵 달성을 위해 요구되는 기술개발 로드맵

※ 수소 기술개발 로드맵(안)(과기장관회의, 2019.10.31.)

- 수소에너지 분야 국내 기술력제고를 통해 수소경제 이행을 위해 5개 분야의 기술개발 로드맵 수립
  - 생산, 저장·운송, 활용(수송수단), 활용(발전·산업), 안전·환경·인프라 분야
- 연료전지 기술개발 로드맵은 활용산업 분야에서 제안되고 있으며, 연료전지시스템 기반 수송 수단 저변 확대, 발전용 연료전지시스템의 고효율·저가화 기술 확보를 최종목표로 함

〈표 6〉 수소 기술개발 로드맵 내 연료전지 가격 목표<sup>10)</sup>

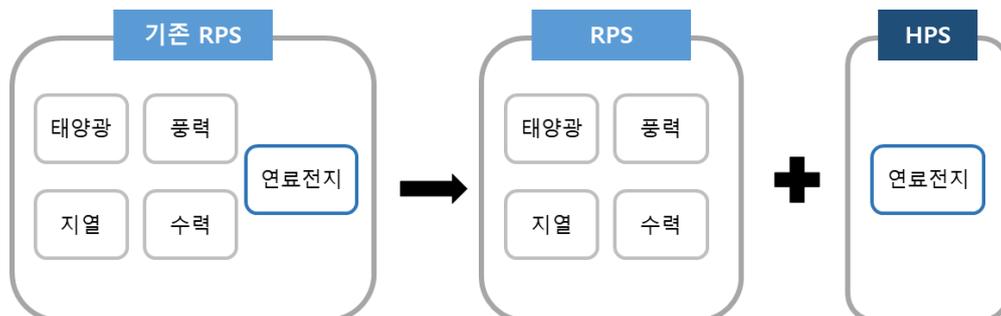
	현재	2030년	2040년
발전용 발전단가(원/kWh)	241	141	131
가정·건물용 설치비(만원/kW)	2700	800	600

## ☞ (HPS) 기존 RPS\* 내에서 연료전지의 성격이 상이, 가격 불안정성 등 고려하여 제안된 제도로 HPS\*\*를 통해 안정적 연료전지 시장 형성 기대

\* RPS(Renewable Portfolio Standard, 신·재생에너지 의무화 제도)

\*\* HPS(Hydrogen Portfolio Standard, 수소발전 의무화 제도)

- HPS 제도의 확대 방안으로 그린수소 판매 의무제도\*, 대형건물 연료전지 의무화\*\* 등이 거론되고 있으며, 이를 통한 조속한 시장 안정화 기대
  - \* 향후 차량 충전용 수소의 일정 비율을 그린수소로 혼합할 수 있도록 제도 개선
  - \*\* 일정 규모 이상 대형건물 신축 시, 에너지 사용량의 일정 비율을 연료전지로 공급 의무화 하는 방안



[그림 9] HPS 시장 도입기본 방향<sup>11)</sup>

10) 과기장관회의(2019.10.31.)

11) 관계부처 합동(2020.10.15.), 저자 재작성

## 제4장 R&D 동향

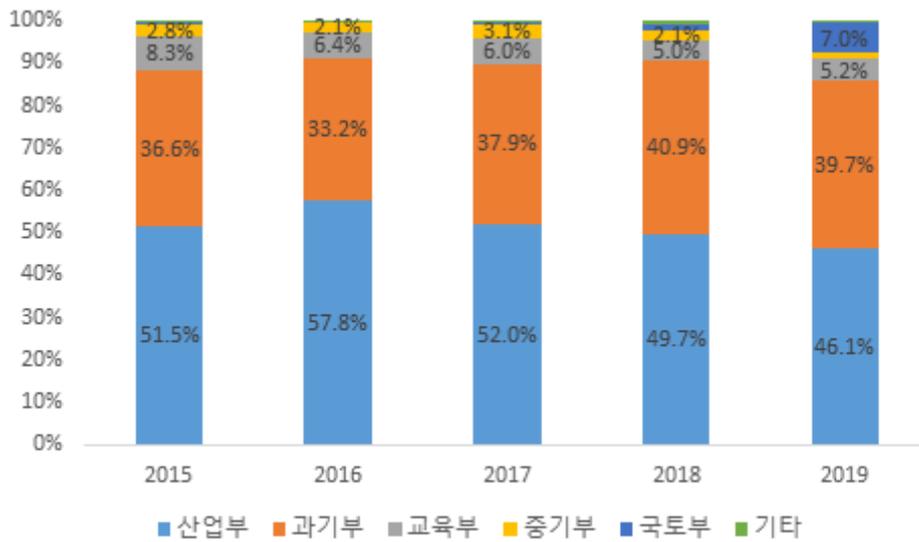
### 4.1. 정부 R&D 동향

- ▣ 지난 5년간 연료전지 분야 정부 R&D는 약 1,200억원 수준의 투자규모를 유지하며 큰 변화를 보이지 않음
- 2015년 1,201억원의 투자가 2017년 1,331억원으로 소폭 증가추세를 보였으나, 최근 2년간은 다시 1,200억원대를 유지하며 특별한 증감 추세를 보이지 않음



[그림 10] 연료전지 정부 R&D 투자현황

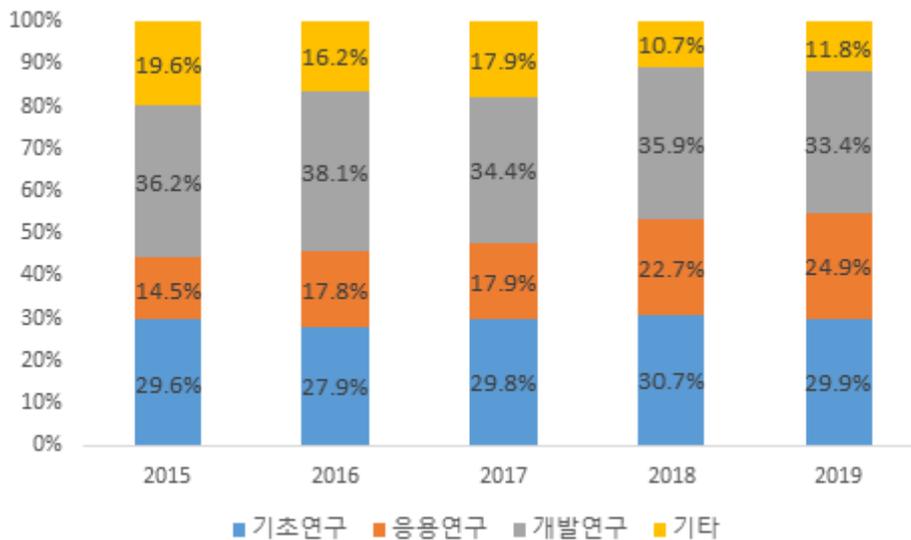
- ▣ 연료전지 R&D는 산업부와 과기부가 집중적으로 수행하고 있으며, 특히 산업부는 지난 5년간 약 50%, 과기부가 약 35%의 R&D 수행



[그림 11] 부처별 연료전지 R&amp;D 투자비중

### 연구개발단계에 따른 투자 역시 비교적 고른 분포를 보이고 있음

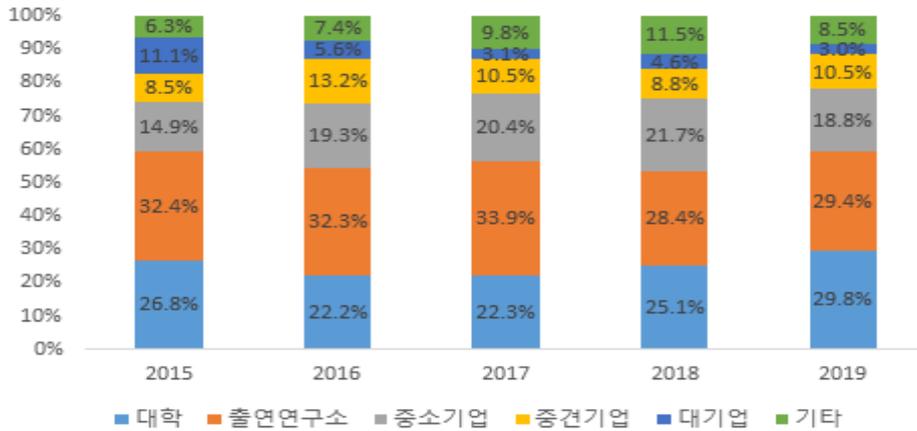
- 가장 큰 비중을 보이는 단계는 개발연구로 매년 약 35% 수준을 유지하고 있으며, 다음으로는 기초연구가 약 30% 정도를 차지
- 최근 2년간 응용연구의 비중이 약 5%p 가량 증가한 것으로 보임



[그림 12] 연구개발단계별 연료전지 R&amp;D 투자비중

### 주요 연구수행주체는 출연연과 대학으로 전체 연료전지 R&D 투자의 약 50% 이상을 수행하고 있음

- 이 외 주요 변화로는 2015년 10% 수준을 보이던 대기업의 참여가 최근 3% 수준으로 감소한 것이 관찰됨

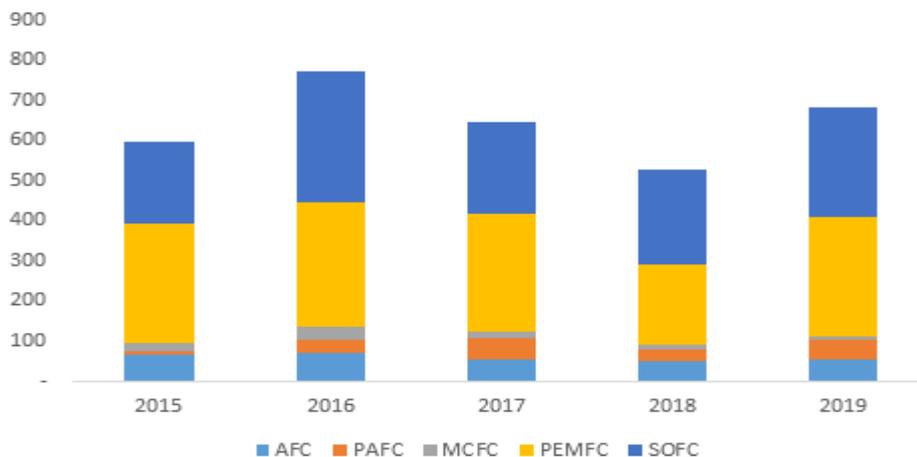


[그림 13] 수행주체별 연료전지 R&D 투자비중

특정 연료전지 종류 전용 R&D는 전체 연료전지 R&D의 약 절반정도로 관찰되었으며, PEMFC, SOFC에 많은 규모의 투자가 이루어짐

- 종류별 연료전지 전용 R&D 과제는 과제명, 키워드, 연구목적, 연구내용 등에 특정 연료전지 종류를 포함한 과제로 선정
  - 연료전지 종류를 특정할 수 없는 연료전지 R&D 과제 범위\*는 주로 개발된 연료전지를 활용한 시스템 개선, 공용 주변기기 R&D 등을 포함
  - \* 촉매 개발, 소재 개발 등의 과제에 대해서는 제한된 정보 내에서 저자의 자의적 판단을 최소화하여 도출된 보수적인 범위임을 밝힘

(단위 : 억원)



[그림 14] 연료전지 종류별 R&D 투자현황

〈표 7〉 연료전지 종류별 R&amp;D 투자규모

(단위 : 백만원)

	2015	2016	2017	2018	2019	합계
AFC	6,780	7,274	5,489	5,154	5,446	30,143
PAFC	705	3,174	5,320	2,866	4,917	16,981
MCFC	2,274	3,320	1,642	1,290	1,045	9,571
PEMFC	29,709	30,660	29,316	19,657	29,345	138,688
SOFC	20,022	32,861	22,719	23,838	27,432	126,872
합계	59,489	77,289	64,486	52,805	68,185	322,255
연료전지 전체 R&D	120,081	126,134	133,067	122,706	126,733	628,721

## 4.2. 출연연 기술동향

연료전지 분야 연구를 가장 활발히 수행하고 있는 출연연은 한국에너지기술 연구원과 한국과학기술연구원(KIST)

(에기연) 연료전지에 적용되는 소재부터 시스템 단위의 원천기술과 상용화 기술까지 연료전지 전주기 기술을 개발

- 수소에너지연구본부 내 수소연구단, 연료전지연구실, 에너지소재연구실, 연료전지실증연구 센터 등의 연구부서로 조직되어 있음
- 주요 연구분야는 수송용, 건물용, 발전용으로 적용되는 PEMFC와 건물용과 발전용도에 적용될 SOFC로 관련 기술의 기술이전 경험 다수 보유

(KIST) 주로 연료전지 소재, 부품의 원천기술 연구를 중심으로 수행

- 주요 연구부서는 청정신기술연구소 내 수소·연료전지연구단, 에너지소재연구단 등이 있으며, 수송용 PEMFC, 발전용 MCFC, 건물용 SOFC 분야의 연구를 수행
- 기술개발과 기술이전 성과는 주로 PEMFC 연료전지 소재 중심으로 창출

이 외에도 한국화학연구원, 한국기계연구원, 한국재료연구원 등에서 연료전지 원천기술에 대한 연구를 수행

- (화학연) 에너지소재연구센터, 계면재료화학공정연구센터 등에서 PEMFC 고분자 등 소재 중심의 연구개발
- (기계연) 주요 연구분야는 PEMFC, SOFC의 시스템 기술이며, 청정연료발전연구실을 중심으로 연구
- (재료연) 항공우주재료연구센터의 무인기용 연료전지 스택 개발, 전기화학연구실에서 대체 촉매 등의 연구를 수행

## 제5장 결론

### 5.1. 요약 및 정리

- 전 세계적인 탄소중립과 수소경제로의 전환 기조에 따라 수소와 연료전지 기술의 중요성이 조명되며, 이에 대한 동향조사와 진단이 필요
  - 연료전지 종류별 현황과 동향을 조사하여 정부R&D 정책 제언을 도출
- 연료전지 시장은 수소전기차를 중심으로 급속한 성장이 기대되나, 여전히 정책적 지원에 크게 의존하고 있음
  - 발전용 연료전지 산업은 우리나라와 미국이 시장 규모, 기술력 등에서 우위를 점하고 있으며, 일본, 유럽 등도 기술개발과 보급을 추진
  - 가정건물용은 일본, 수소전기차 시장은 우리나라가 주도하고 있으나 자립적인 경제성을 확보한 시장에 도달하기까지는 정책적 지원이 여전히 요구됨
- 미국, 일본, 유럽, 독일 등 주요국에서는 각국 로드맵 하의 연료전지 활용 분야에 대한 원천기술 확보 노력이 이어지고 있음
  - 공통적으로 수소 공급부터 연료전지 활용까지 전주기적 접근에 대한 고민이 담겨있으나 우선 지원하는 활용분야에서 차이를 보임
  - 미국은 수송용, 독일은 수송 및 건물용, 일본은 가정용 및 수송용 등 미세한 차이
- 미국과 일본의 정책은 주로 보조금 지원 등을 통한 보급확대에 초점이 맞춰져 있으며, 차세대 연료전지보다는 상업화가 가능한 연료전지를 지원
  - 우리나라의 정책은 크게 재생에너지 확대 정책과 수소경제 관련 정책을 두 축으로 활용산업 중심의 보급이 주요 목표로 제시되고 있음

- ☞ 우리나라 정책은 에너지 정책과 수소 관련 정책을 두 축으로 하여 정책수단으로 보급·확산과 기술개발 전략 중심으로 전개
- ☞ 정부 R&D 투자는 지난 5년간 큰 변화는 발견되지 않았으며 비슷한 상태를 유지
  - 산업부, 과기부를 중심으로 PEMFC와 SOFC R&D 투자가 주요 투자 분야

## 5.2. 시사점

- ☞ 연료전지의 종류에 따라 기술개발 수준, 향후 과제, 산업적 성숙도 등이 상이하므로 R&D 정책 수립과 추진에 있어 다원적 접근이 필요
- ☞ 우리나라의 기술수준과 시장점유율은 우수한 편이나 제품 단위의 기술에서 부품, 소재 등 원천기술 단위에서의 수준에 대한 진단 필요
  - 현재 시장에 참여한 기업의 수와 양산 수준의 제품을 생산하는 기업과 국가가 제한적이나, 향후 경쟁은 심화될 것으로 예상되므로 대비 필요
  - 발전용 연료전지의 경우, 해당 기술의 원천이 인수합병 등을 통한 기술 획득과 단독 및 협력연구에 의한 기술 축적인지에 대한 진단 필요
- ☞ 상대적으로 시장성이 확보된 발전용 연료전지 기술은 중국 등 후발국가가 기술적 추격의 여지가 있는 것으로 우려
  - 글로벌 연료전지 전문기업과 중국 제조업 기업 간 협력을 통한 시장진출에 주목하여 시스템 기술의 내재화와 연료전지 핵심 기술 확보가 중요
  - 앞서 언급한 기술의 원천에 대한 진단을 통해 기술적 취약점 및 병목 기술을 도출하여 완결성 있는 기술 수준의 우위를 점하는 것이 중요
- ☞ 정부의 에너지정책, 수소경제 관련 정책 간 시너지를 유도할 수 있는 정책적, 기술적 연계 고도화 필요
  - 재생에너지 보급 확대 전략 내에서 연료전지 기술의 역할과 포지셔닝에 대한 고민 필요

- 연료전지 기술개발은 가정건물용, 수송용 연료전지 활성화를 위한 수소 공급 측면에서 재생에너지 연계 수소 생산, 수소 수급 시나리오 등과 보조를 함께 해야 함
- ☞ 차세대 연료전지 기술 선점, 산업생태계 활성화 등의 목표 달성을 도모해야 함
- SOFC 기술의 상용화와 시장 형성이 소원하므로 선제적 기술개발을 통한 기술·시장 리더십 확보 필요
  - 출연연 중심의 기초연구 성과가 시장에 진출한 기업으로 적절히 연계되어 점차 성장할 글로벌 시장에서 선도적 지위를 점할 수 있도록 정부 R&D의 주도적 역할 기대
- ☞ 정책 목표의 효율적 달성을 위한 연료전지 R&D 투자의 양적, 질적 성장이 요구되며, 연료전지 종류별 현황에 따른 지원이 필요
- 정책 기조에 부응하는 연료전지 R&D 추진과 핵심기술의 국산화, 내재화 등 기술고도화 지원도 요구됨
  - 시장과 산업의 성숙도에 따라 성숙한 분야는 보급·확산 중심, 요원한 분야는 핵심기술개발 전략을 중심으로 정책 전개 필요

## 참고문헌

- 연구개발특구진흥재단(2020), 연료전지시장, 2020.05.
- 녹색기술센터(2015), 녹색기술 심층분석 보고서(연료전지), 2015.12.
- 녹색기술센터(2018), 연료전지 기술의 연구개발과 산업 동향, 2018.8.16.
- 삼정KPMG(2015), 연료전지 시장의 현재와 미래, 2019.8.
- IBK투자증권(2019), IBKS Collabo Report, 2019.5.29.
- KIET(2018), 재생에너지 3020 이행계획과 정책적 시사점. 2018.1.
- 하이투자증권(2019), 그린뉴딜과 연료전지. 2020.07.13.
- Devin Fowler, Vladimir Gurau and Daniel Cox(2019), Bridging the Gap between Automated Manufacturing of Fuel Cell Components and Robotic Assembly of Fuel Cell Stacks. 2019.9.20.
- KOTRA(2020), KOTRA 해외시장뉴스, “미국 연료전지 시장동향”. 2020.06.15.
- KOTRA(2020), KOTRA 해외시장뉴스, “부상하고 있는 중국 수소차 시장”. 2020.07.17.
- KOTRA(2018), KOTRA 해외시장뉴스, “중국 수소연료전지 시장동향”. 2018.09.21.
- 관계부처 합동(2019), 수소경제 활성화 로드맵, 2019.1.
- 산업통상자원부(2019), 수소경제 표준화 전략 로드맵, 2019.4.
- 과학기술관계장관회의(2019), 수소 기술개발 로드맵(안), 2019.10.31.
- 관계부처 합동(2020), 제2차 수소경제위원회 안건 주요내용, 2020.10.15.
- 에너지경제연구원(2020), 특허분석을 통한 세계 수소 연료전지 기술개발 동향과 시사점. 2020.
- 천강·김진수, 주요국의 수소경제 지원 정책과 시사점, 한국자원공학회지, 2020.
- 김은영(2020), 수소경제 활성화 로드맵에 따른 2020년도 주요사업 및 향후 고려사항, 강원도의회 정책 Letter, vol.10, 2020.06.
- 대한민국 정책브리핑, 2050 탄소중립  
(<https://www.korea.kr/special/policyCurationView.do?newsId=148881562>)
- SolarConnect(<https://www.solarconnect.kr/insight/policy-issue/3467>)
- 국가과학기술지식정보서비스(<https://www.ntis.go.kr/>)
- 한국에너지공단 신재생에너지센터([https://www.knrec.or.kr/energy/fuelcell\\_summary.aspx](https://www.knrec.or.kr/energy/fuelcell_summary.aspx))
- 조선비즈(2020), “SK건설, 친환경 연료전지 국내 생산 본격화… 구미공장 준공”
- kharn(2021), “FCI, 50MW급 SOFC 생산공장 구축 추진”
- 한국세정신문(2021), “에스-오일, 수소사업 진출…차세대 연료전지기업 FCI에 투자”
- 월간수소경제(2018), “이태원 FCI 대표이사 인터뷰”



## | 저자 소개 |

이선명

한국과학기술기획평가원 성장동력사업센터 연구원

Tel: 043-750-2509 E-mail: sunmlee@kistep.re.kr

## | 편집위원 소개 |

류영수 선임연구위원

진영현 연구위원

강주현, 여준석 부연구위원

윤성용 연구원

한국과학기술기획평가원 사업조정본부

Tel: 043-750-2591 E-mail: chopper@kistep.re.kr

※ 본 KISTEP 기술동향브리프의 내용은 필자의 개인적 견해이며, 기관의 공식적인 의견이 아님을 알려드립니다.

KISTEP 기술동향브리프 | 2021-06호

# 연료전지