산업테마 2019-17

2019. 7.25

이 보고서는 코스닥 기업에 대한 투자정보 확충을 위해 발간한 보고서입니다.

산업테마보고서

연료전지

청정에너지원에 대한 관심 증가로 시장 성장



요약

산업 생태계 분석

업계 환경 분석

기술 심층 분석

작성기관	한국기업데이터(주)	작 성 자	이금현 선임전문위원

■ 본 보고서는 「코스닥 시장 활성화를 통한 자본시장 혁신방안」의 일환으로 코스닥 기업에 대한 투자정보 확충을 위해, 한국거래소와 한국예탁결제원의 후원을 받아 한국IR협의회가 기술신용평가기관에 발주하여 작성한 것입니다.

■ 본 보고서는 투자 의사결정을 위한 참고용으로만 제공되는 것입니다. 또한 작성기관이 신뢰할 수 있는 자료 및 정보로부터 얻은 것이나, 그 정확성이나 완전성을 보장할 수 없으므로 투자자 자신의 판단과 책임하에 종목선택이나 투자시기에 대한 최종 결정을 하시기 바랍니다. 따라서 본 보고서를 활용한 어떠한 의사결정에 대해서도 본회와 작성기관은 일체의 책임을 지지 않습니다.

■ 본 보고서에 대한 자세한 문의는 한국기업데이터(주)(TEL.02-3215-2411)로 연락하여 주시기 바랍니다.

한국IR협의회

청정에너지원에 대한 관심 증가로 시장 성장

- ▶ 다양한 산업의 특징을 복합적으로 갖는 융복합 산업
- ▶ 청정에너지원에 대한 관심 증가로 시장 성장
- ▶ 배터리를 능가하기 위한 고에너지 밀도화, 저가격화, 소형화, 고내구화 노력 집중 필요

다양한 산업의 특징을 복합적으로 갖고 있는 융복합 산업

연료전지는 수소를 포함한 연료와 공기 중의 산소가 전기화학 반응에 의해, 화학에너지를 전기에너지로 직접 변환하는 장치를 말한다. 연료전지 산업은 다양한 산업의 특징을 복합적으로 갖고 있는 융복합 산업으로 연료전지 스택, 전기적 BOP(Balance Of Plant), 기계적 BOP(Balance Of Plant) 등으로 구성되며, 기계・화학・전기・전자・재료 등 다양한 전문기술과 지식의 융합이 요구되는 산업이다.

청정에너지원에 대한 관심 증가로 시장 성장

일본의 시장조사기업인 후지경제에 따르면, 전 세계 연료전지 시장은 2017년 1,757억 엔(약 1조 7,720억 원), 2018년 2,184억 엔(약 2조 1,759억 원)에서 연평균 29.65% 성장하여 2030년 4조 9,275억 엔(약 49조 912억 원)에 이를 것으로 전망된다. 용도별로는 수송용(차량, 선박)과 정치형(발전, 주택)이, 종류별로는 PEMFC(Proton Exchange Membrane Fuel Cell)이 수송용과 주택용으로 PAFC(Phosphoric Acid Fuel Cell), SOFC(Solid Oxide Fuel Cell), MCFC(Molten Carbonate Fuel Cell)는 발전용으로 시장 확대를 주도하고 있다. 최근 주요국들은 2025년 혹은 2030년 연료전지 보급 목표 실현을 위해 기술 지원을 추진하고 있어, 에너지 다양화나 저탄소사회 실현을 위한 연료전지 시스템 보급 촉진이 이루어지고 있다. 또한, 연료전지 시스템 시장이 확대되면서 비용이 낮아지고 있어, 향후 보조금에 의존하지 않는 산업자립화가 실현될 것으로 보인다.

배터리를 능가하기 위한 고에너지 밀도화, 저가격화, 소형화, 고내구화 노력 집중 필요

연료전지는 작동온도와 전해질의 종류에 따라 분류된다. 대표적으로 1세대 연료전지는 순수소 및 순산소를 사용한 AFC(Alkaline Fuel Cell), 2세대는 반고체 전해질을 사용한 MCFC, 3세대는 고체 전해질을 사용한 SOFC, 4세대 연료전지는 고분자 전해질을 사용한 PEMFC가 있다. PEMFC는 국내에서는 두산퓨얼셀, 에스퓨얼셀 등의 업체에서 생산하고 있으며, 해외는 캐나다 업체인 Ballard Power Systems 등이 대표적이다. MCFC는 미국 Fuel Cell Energy와 포스코에너지가, SOFC는 미국의 Bloom Energy가 주도하고 있으며, 국내는 ㈜미코 등이 관련 기술을 보유하고 있다.

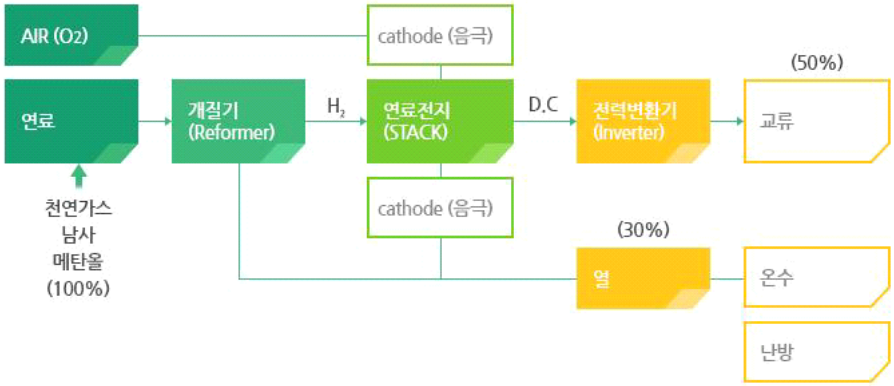
연료전지 기술적 이슈는 PEMFC는 백금전극의 사용량을 줄여 원가를 낮춰야 하고, MCFC는 동작온도가 높아 고온에서 전해질 휘발에 따른 수명 단축 문제를 해결해야 하며, SOFC는 고온 동작에 따른 초기 시동시간 단축 및 on-off에 따른 열사이클 충격에 대한 세라믹 소재의 파손 문제를 개선해야 한다.

Ⅰ. 산업 생태계 분석

연료전지의 정의

연료전지는 수소를 포함한 연료와 공기 중의 산소가 전기화학 반응에 의해, 화학에너지를 전기에너지로 직접 변환하는 장치로, 공해 없이 전기를 생산하는 친환경 청정 발전기를 의미한다.

[그림1] 연료전지시스템 구성



*출처: 연료전지, 신재생에너지 시장의 다크호스를 꿈꾸다, IBK 투자증권(2019.05.28.)

연료전지 기본 구성은 연료극/전해질층/공기극으로 접합되어 있는 셀(cell)이며, 다수의 셀을 적층하여 스택을 구성함으로써 원하는 전압 및 전류를 얻을 수 있다. 양극(연료극)에 주입된 수소가 수소 이온과 전자로 분리되고 음극에서 주입된 공기로부터 산소이온과 전자가 분리된다. 이때 분리된 전자의 이동으로 전기가 발생하게 되고 수소와 산소가 만나 물이 생성되면서 열을 발생시킨다. 전기발전효율은 30~40%, 열효율은 40% 이상으로 총 70~80%의 높은 효율을 갖는다.

연료전지의 종류

연료전지는 전해질의 종류에 따라 알칼리 연료전지(AFC), 인산형 연료전지(PAFC), 용융탄산염 연료전지(MCFC), 고체 산화물 연료전지(SOFC), 고분자 전해질 연료전지(PEMFC), 직접 메탄올 연료전지(DMFC) 등으로 구분된다.

이들은 작동온도에 따라 다시 고온형과 저온형으로 구분된다. 고온형 연료전지인 MCFC와 SOFC는 고온에서 반응성이 우수하기 때문에 전극촉매로 니켈을 비롯한 일반 비귀금속계 촉매를 쓸 수 있고, 높은 발전효율의 장점이 있다. 그러나, 기동 및 정지 시간이 길며 열충격에 취약한 단점이 있어 장기운전에 적합한 발전소나 대형건물 등에 적합하다.

PEMFC, DMFC, PAFC, AFC는 저온형 연료전지로 분류되며 시동시간이 짧고 부하변동성이 뛰어난 장점이 있으나, 고가의 백금촉매의 사용이 필요하며 비교적 낮은 효율이 단점이다. 기동/정지가 용이한 수송용, 이동전원, 백업전원, 가정용 열병합발전 시스템으로 사용되고 있다. 아래 표는 연료전지의 종류에 따른 특성을 나타내었다.

[표1] 연료전지 종류(전해질 종류에 따른 분류)

구분	알칼리 연료전지 (AFC)	인산형 연료전지 (PAFC)	용융탄산염 연료전지 (MCFC)	고체 산화물 연료전지 (SOFC)	고분자 전해질 연료전지 (PEMFC)	직접 메탄올 연료전지 (DMFC)
전해질	수산화칼슘	인산염	탄산염	세라믹	이온교환막	이온교환막
촉매	니켈	백금	Perovskites	니켈	백금	백금
동작온도 (℃)	120이하	250이하	700이하	1,200이하	100이하	100이하
	저온형	저온형	고온형	고온형	저온형	저온형
효율(%) HHV	85	70	80	85	75	40
용도	우주발사체	중형건물	중대형건물	소·중·대용량	가정 · 상업용	소형이동
	전원	(200kW)	(100kW~MW)	발전(1kW~MW)	(1~10kW)	(1kW 이하)
특징	–	CO 내구성 큼, 열병합대응 가능	발전효율 높음, 내부개질 가능, 열병합대응 가능	발전효율 높음, 내부개질 가능, 복합발전 가능	저온작동, 고출력 밀도	저온작동, 고출력 밀도
과제	전해질에서 누수현상 방지	재료부식, 인산유출	재료부식, 용융염휘산	고온열화, 열파괴	고온운전 불가, 재료비/가공비 높음 (고가의 촉매 및 전해질), 낮은 효율	고온운전 불가, 재료비/가공비 높음, 메탄올 크로스오버 문제
국내기업		두산, 에스퓨어셀	포스코에너지	STX중공업, 미코, 경동나비엔	두산, 에스퓨어셀	프로파워

*주: AFC(Alkaline Fuel Cell), PAFC(Phosphoric Acid FC), MCFC(Molten Carbonate), SOFC(Solid Oxide),PEMFC(Polymer Electrolyte Membrane), DMFC(Direct Methanol)→ 순서대로 기술발전 단계임
*출처: 연료전지, 신재생에너지 시장의 다크호스를 꿈꾸다, IBK 투자증권, 2019.05.28

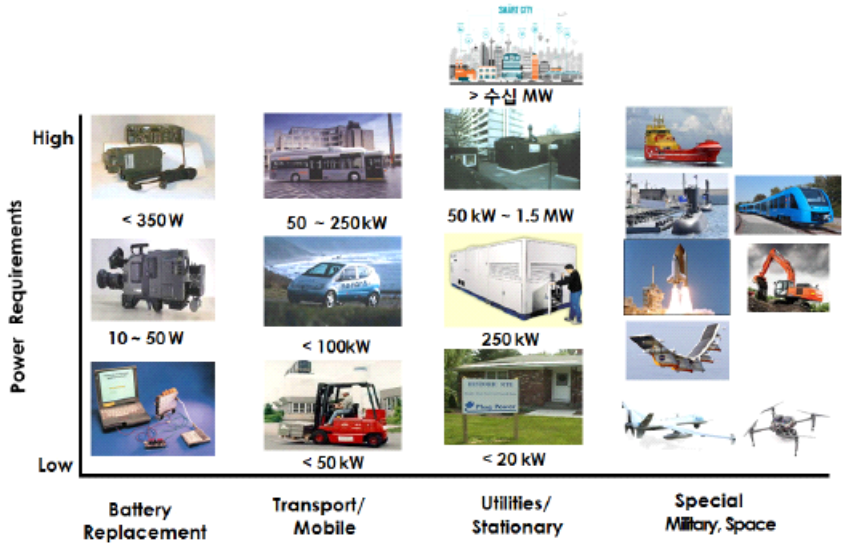
연료전지는 수 W급 휴대용 전원에서부터 수십 MW급 분산발전까지 다양한 분야에 적용이 가능하다. 다음은 연료전지 종류별 응용제품을 구분한 것이다.

[표2] 연료전지 종류별 응용제품

제품종류		용량	연료전지				
			PAFC	MCFC	SOFC	PEMFC	DMFC
정치형	발전용	수십kW-수십kW	●	●	●	○	○
	주택 · 건물용	수kW-수십kW	○	○	●	●	○
수송용	차량용	수kW-수백kW	○	▲	●	●	○
	선박용	수백kW-수십MW	○	●	●	○	○
휴대용		수백W-수kW	○	○	●	●	●
		수W-수백W	○	○	○	●	●

*출처: 2018 신·재생에너지 백서, 산업통상자원부, 2018.12, 한국기업데이터 재가공
● : 적용, ▲ : 일부 고려, ○ : 적용가능성 희박

[그림2] 연료전지 응용분야



*출처: 2018 신·재생에너지 백서, 산업통상자원부, 2018.12

연료전지의 산업특징 및 구조

연료전지 산업의 특징은 1) 융복합산업, 2) 높은 정책 민감도, 3) 지속적인 유지보수 필요, 4) 기술집약적 산업, 5) 환경친화적 특성, 6) 도입기 산업 등으로 요약할 수 있다.

[표3] 연료전지 산업 특징

산업 특징	세부 내용
융복합산업	연료전지 산업은 시스템 생산자를 정점으로 다수의 부품 및 소재 생산자가 참여하는 융복합산업으로 고용 창출 효과가 크게 기대되는 산업임.
높은 정책 민감도	연료전지 등 신재생에너지 사업은 가정용연료전지 구매 보조금 지급, 신재생에너지 공급의무화(RPS) 제도와 같이 정부 주도에 의해 시장이 형성되는 특성을 보유함.
지속적인 유지보수 필요	연료전지 시스템 설치 후, 지속적인 유지보수와 관리를 필요로 하는 경우가 많으며, One-Stop 융합 서비스가 이루어지는 경향이 높은 산업임.
기술집약적 산업	새로운 촉매 개발, 내구성 확보를 위한 기술, 효율 향상, 원가 절감 등 다양한 분야에서 높은 수준의 기술력을 필요로 함.
환경친화적 특성	연소과정이 없으며, 배출되는 것은 전기, 물, 열이어서 친환경적임.
도입기 산업	발전 등 일부 분야에 도입되는 초기단계이며, 범용화를 위해 수소 제조단가개선, 저가의 핵심부품 개발, 연료 인프라 증대 등 연료전지 상업화의 핵심인 경제성 확보가 필요함.

*출처: 한국기업데이터 작성

연료전지는 모듈형태로 제작되어 수송용, 이동전원, 백업전원, 가정용 열병합발전 시스템으로 주로 사용된다. 따라서 후방산업은 연료전지의 부품소재인 금속 및 세라믹 분말 소재, 금속 박판 소재, 전해질막, 전극촉매, 분리판, 연료변환촉매, 스택, 연료변환기, 센서, E-BOP, M-BOP, 제어프로그램 관련 산업으

로 규정할 수 있고, 전방산업은 발전산업, 주택산업, 수송산업 등의 다양한 용도로 활용하는 산업을 포함한다.

[표4] 연료전지 분야 산업연관구조

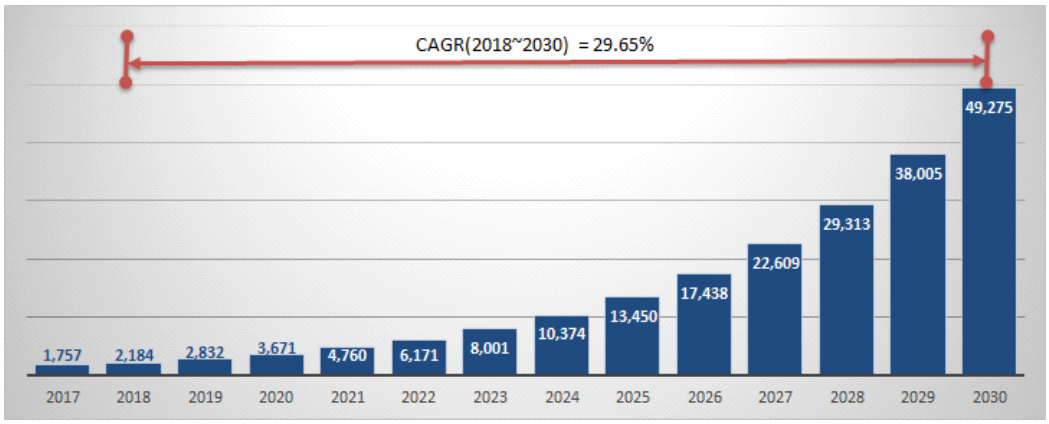
후방산업	연료전지	전방산업
부품 소재 산업 금속 및 세라믹 분말 소재, 금속 박판 소재, 전해질막, 전극촉매, 분리판, 연료변환촉매, 스택, 연료변환기, 센서, E-BOP, M-BOP, 제어프로그램, 블로어, 펌프 관련 산업	연료전지	발전 산업 주택 산업 수송 산업

*출처: 한국기업데이터 작성

해외시장 현황

일본의 시장조사기업인 후지경제에 따르면, 전 세계 연료전지 시장은 2017년 1,757억 엔(약 1조 7,720억 원), 2018년 2,184억 엔(약 2조 1,759억 원)에서 연평균 29.65% 성장하여 2030년 4조 9,275억 엔(약 49조 912억 원)에 이를 것으로 전망된다.

[그림3] 연료전지 세계 시장 규모(단위: 억 엔)

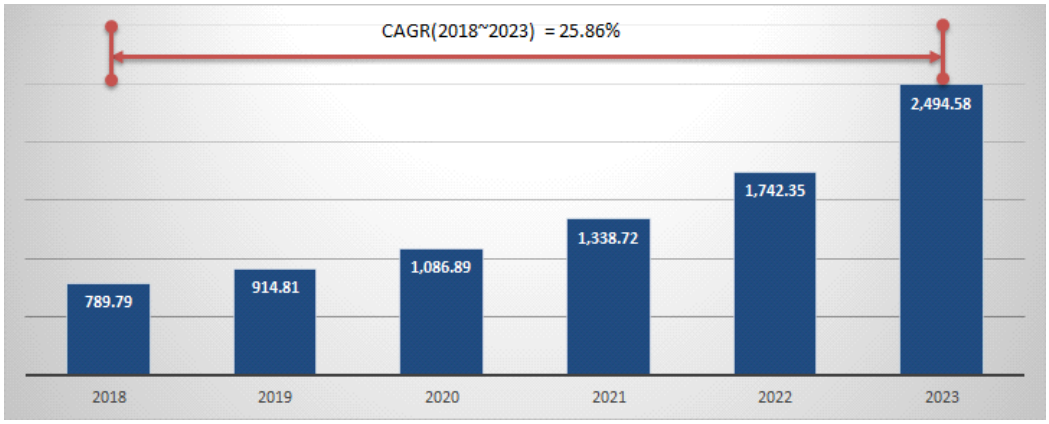


*출처: 2018年版 燃料電池関連技術・市場の将来展望, FUJI KEIZAI CO., LTD., 2018.11.05

최근 주요국들은 2025년 혹은 2030년 연료전지 보급 목표 실현을 위해 기술 지원을 추진하고 있어, 에너지 다양화나 저탄소사회 실현을 위한 연료전지 시스템 보급 촉진이 이루어지고 있다. 또한, 연료전지 시스템 시장이 확대되면서 비용이 낮아지고 있어, 향후 보조금에 의존하지 않는 산업자립화가 실현될 것으로 보인다.

한편, TechNavio의 'Global Fuel Cell Market 2019-2023'에 따르면, 세계 연료전지 시장은 2018년 789.79MW에서 연평균 25.86% 성장하여 2023년 2,494.58MW의 시장규모를 형성할 것으로 전망된다.

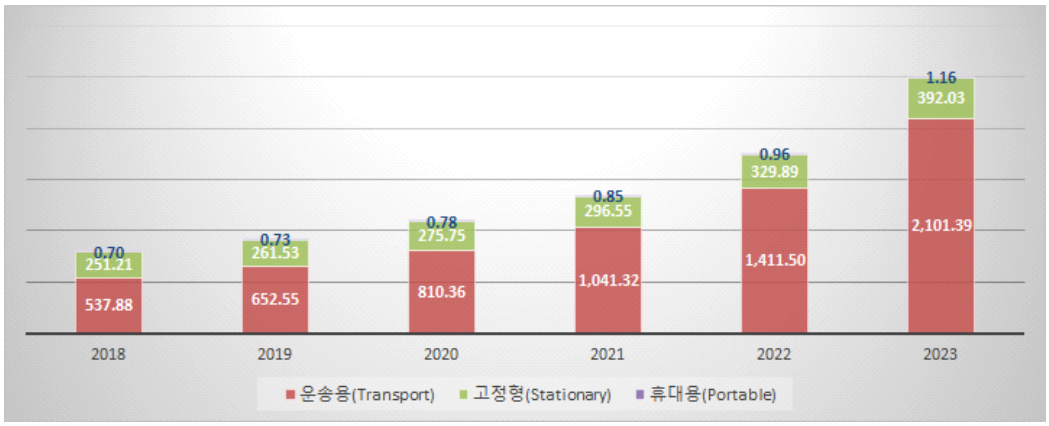
[그림4] 연료전지 세계 시장 규모(단위: MW)



*출처: 연구개발특구진흥재단 Global Fuel Cell Market 2019-2023, TechNavio, 2019.04

용도별로 분류할 때 운송용, 고정형, 휴대용으로 구분되며, 2018년 기준 운송용 연료전지가 537.88MW로 68.10%의 비중을 차지하였고, 고정형 연료전지 251.21MW(31.81%), 휴대용 연료전지 0.70MW(0.09%) 순으로 조사되었다.

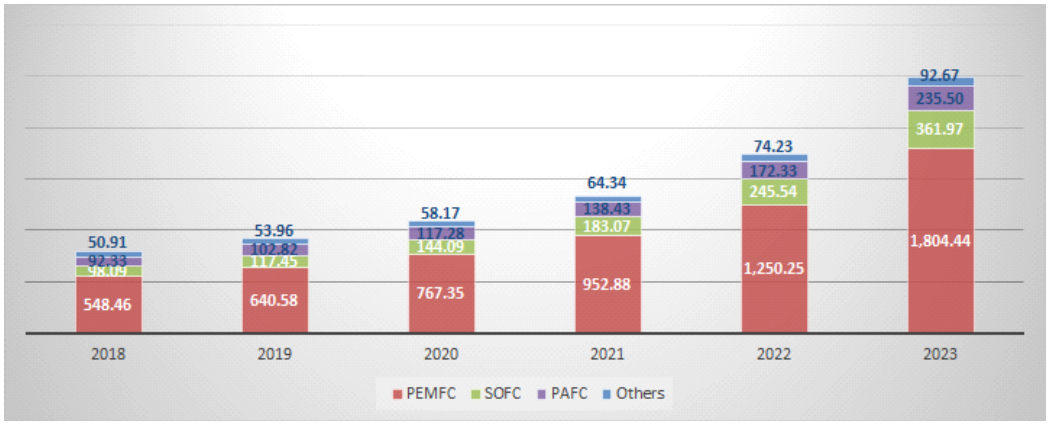
[그림5] 연료전지 용도별 시장 (단위: MW)



*출처: 연구개발특구진흥재단 Global Fuel Cell Market 2019-2023, TechNavio, 2019.04

제품별로 분류할 때 PEMFC, SOFC, PAFC, 기타(Others)로 분류되며, 2018년 기준 PEMFC가 548.46MW로 69.44%의 비중을 차지하였고, SOFC 98.09MW(12.42%), PAFC 92.33MW(11.69%), 기타(Others) 50.91MW(6.45%) 순으로 조사되었다.

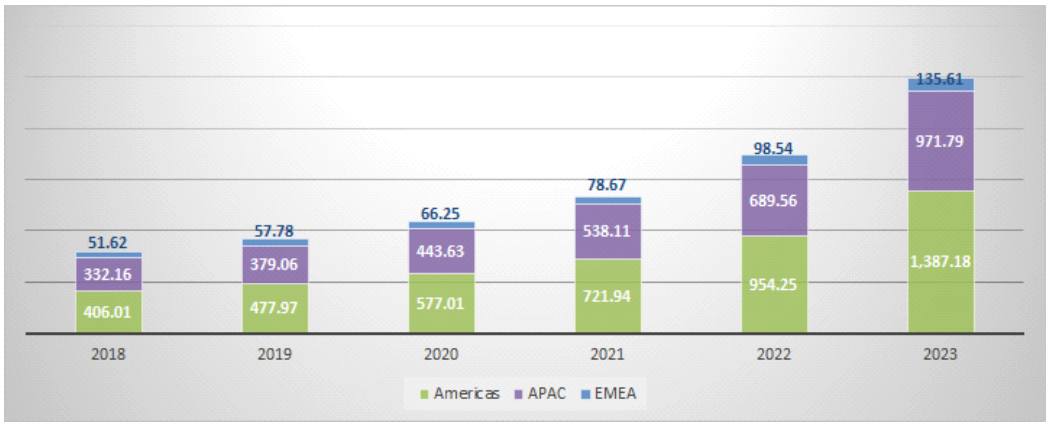
[그림6] 연료전지 제품별 시장 (단위: MW)



*출처: 연구개발특구진흥재단 Global Fuel Cell Market 2019-2023, TechNavio, 2019.04

또한, 지역별로 살펴볼 때, 2018년 기준 미주(Americas) 지역이 406.01MW로 51.41%의 비중을 차지하였고, 아시아태평양(APAC) 332.16MW(42.06%), 유럽, 중동 및 아프리카(EMEA) 51.62MW(6.54%) 순으로 조사되었다.

[그림7] 연료전지 지역별 시장 (단위: MW)



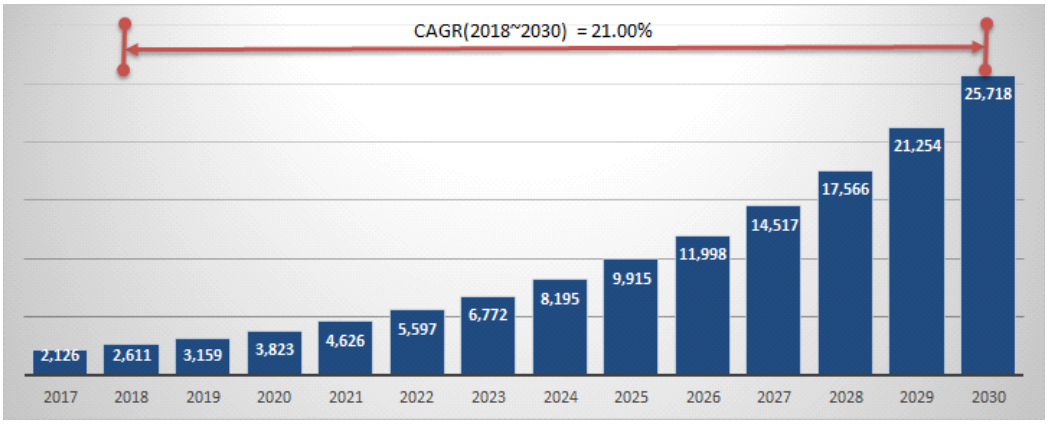
*출처: 연구개발특구진흥재단 Global Fuel Cell Market 2019-2023, TechNavio, 2019.04

국내시장 현황

TechNavio의 'Global Fuel Cell Market 2019-2023'에 따르면 2018년 기준 한국 시장은 세계 시장의 12~15% 수준이고, 2018년 이후 2023년까지 연평균 21~23% 성장할 것으로 전망된다.

이에 따라 국내 연료전지 시장을 추정하면, 2017년 2,126억 원, 2018년 2,611억 원 규모이고, 2018년 이후 연평균 21.00% 성장하여 2030년 2조 5,718억 원 규모로 성장할 것으로 전망된다.

[그림8] 연료전지 국내 시장 규모(단위: 억 원)



*출처: FUJI KEIZAI CO., LTD.(2018.11.05.), 연구개발특구진흥재단 Global Fuel Cell Market 2019-2023, TechNavio, 2019.04

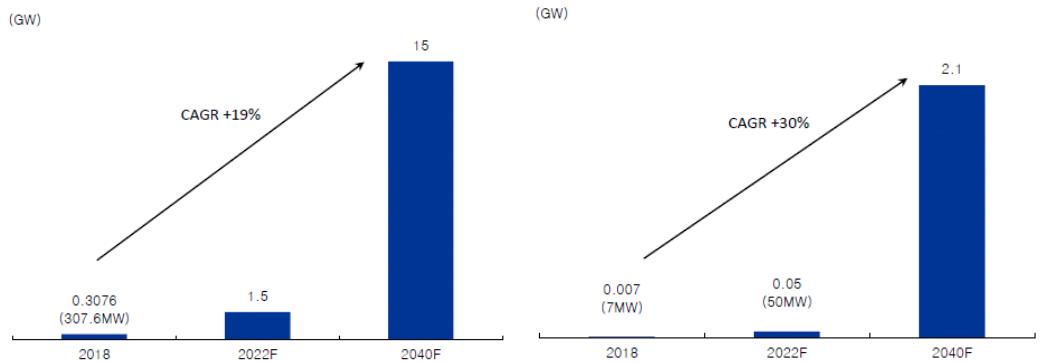
*2017~2018년은 세계 시장×한국 점유율(12%) 2019~2030년은 성장률 21%(TechNavio 예측) 적용 추정

*환율 100엔 = 1,008.52원('17), 996.27원('18)

한편, 2019년 1월 발표된 한국 정부의 수소경제활성화 로드맵에 따르면 발전용 연료전지는 2018년 307.6MW(41개소)가 보급되었고, 2022년 1.5GW(내수 1GW) 보급으로 규모의 경제를 달성하고, 2025년까지 중소형 LNG 발전과 대등한 수준으로 발전단가를 하락시켜 중장기적으로 설치비 65%, 발전단가 50% 수준으로 하락을 목표, 중장기로는 2040년까지 15GW(내수 8GW)를 목표로 하고 있다.

가정·건물용의 경우 2018년 7MW(3,167개소)가 보급되었고, 2022년과 2040년 보급목표는 각각 50MW와 2.1GW를 목표로 하고 있다. 보급 활성화를 위해 공공기관, 민간 신축 건물에 연료전지 의무화를 검토 중이다.

[그림9] 국내 발전용 연료전지 보급 계획 **[그림10] 국내 가정/건물용 연료전지 보급 계획**



*출처: 연료전지, 신재생에너지 시장의 다크호스를 꿈꾸다, IBK 투자증권, 2019.05.28, 한국기업데이터 재가공

포트폴리오 분석

연료전지 산업 관련 종목군으로 포트폴리오를 구성하였을 때의 주식 수익률 변화를 살펴보기 위해, 주택건물용, 발전용, 수송용 연료전지 관련 코스닥 상장 대표

기업을 5개사 선정하였으며, 2019년도 수익률은 2019.7.19. 종가를 기준으로 산정하였다.

KOSDAQ 지수를 벤치마크 지수로 분석한 결과 최근 4년간 연료전지 관련 종목의 평균 수익률의 변동성이 심한 편이고, 2019년 들어 전년대비 개선된 수익률을 보이고 있다.

[표5] 수소에너지 관련 주식 연도별 수익률 현황

단위: %

구분	2016년	2017년	2018년	2019년
연료전지 관련 종목 평균	5.11	27.58	-4.00	8.06
코스닥 평균	-6.8	26.3	-16.8	8.0

출처: 한국기업데이터

Ⅱ. 업계 환경 분석

해외업체 동향

후지경제(2017년) 분석에 의하면 발전용 시장은 Bloom Energy(40%), 두산(30%), 포스코에너지(18%), Fuel Cell Energy(FCE)(10%)4개사가 주도하고 있다. 수송용 시장은 Toyota(87%), Honda(9%), 현대자동차(4%) 순이다. 건물용 시장은 일본의 Panasonic(50%), Aisin Seiki(36%), Toshiba(12%) 3사가 독점하고 있다. 연료전지 구동용 시장은 미국의 Plug Power가 자국 시장을 선점하여 최대 시장 점유율(91%)을 유지하고 있으며 캐나다 Ballard Power Systems, 일본의 Toyota가 시장에 진입하고 있다.

[표6] 연료전지 분야 세계 주요 업체 현황

업체	상세 내용
Bloom Energy (미국)	• 글로벌 SOFC 상용화 선도기업으로 300MW 판매
FuelCell Energy(FCE) (미국)	• MCFC 분야에서 독보적 기술을 보유 • 프로젝트의 설계 및 설치에서부터 연료전지 시스템의 장기간 작동 및 유지보수에 이르는 포괄적인 턴키 솔루션 제공
Toyota (일본)	• 세계 최초로 3D fine mesh 분리판을 적용하여 스택 소형화 • 운전장치의 부피와 가격을 저감시키기 위해 가습기를 제거하고 Water balance를 위해 수소재순환 블로워를 탑재시키는 기술을 확보
Honda Motor (일본)	• 2013년 7월 GM/혼다 협업구도 형성 • 2015년 수소연료전지차 Clarity 공개, 2016년 시판
Panasonic (일본)	• 2009년 5월 세계 최초로 천연가스 개질 방식의 가정용 연료전지 시스템 에너팜(Ene-farm) 판매 개시 • 2016년에는 에너팜을 통해 얻은 연료전지 관련 기술 및 노하우를 활용해 시즈오카형 수소타운 프로젝트에 참가, 순수소 연료전지시스템 개발 및 실증에도 나섰음.
Aisin Seiki (일본)	• 주요 부품(스택, 개질기, 탈황 장치 등)의 최적화, 부품의 생산 공정 개선, 가격 저감 개발에 주력
Ballard Power Systems. (캐나다)	• FCgen® 및 FCvelocity® 연료전지 스택을 OEM 및 시스템 통합 업체에 제공하여 다양한 애플리케이션에서 연료전지 시스템에 전력을 공급함.
SFC Energy AG (독일)	• 고정형 및 휴대용 발전 시장에 하이브리드 솔루션 제공 • 41,000개 이상의 연료전지를 판매 • 모바일, 방위 및 보안, 석유 및 가스, 산업용 시장에서 다양한 애플리케이션 제공

*출처: 연구개발특구진흥재단 Global Fuel Cell Market 2019-2023, TechNavio, 2019.04, 각사 홈페이지, 한국기업데이터 재가공

미국의 Bloom Energy는 미국 캘리포니아주 산호세에 본사를 두고 있는 상장회사로 2001년 태양전지판에서 생성된 전기로 공기와 연료를 생산할 수 있는 NASA용 연료전지 프로젝트가 끝난 후 설립되었다. 동사는 고체산화물 연료전지(SOFC) 선도기업으로 2008년 7월 최초의 상업용(100kW) 제품을 Google에 공급하였으며, 2018년 현재 약 300MW 상당의 연료전지 설치실적을 보유하고 있다.

미국의 FuelCell Energy(FCE)는 MCFC 분야에서 독보적 기술을 보유하고 있는 발전용 연료전지 주요 업체로, 1969년 창립 후 전력발전을 위한 연료전지 발전소를 개발 및 상용화하고 있다. 동사는 연료전지 프로젝트의 설계 및 설치에서부터 연료전지 시스템의 장기간 작동 및 유지보수에 이르기까지 포괄적인 턴키 솔루션을 고객에게 제공하고 있다. 동사의 SureSource™ 발전소의 시설은 3개 대륙에 걸쳐 있으며 수백만 메가와트의 초청정 전력을 생산하여 업계를 선도하고 있다.

일본의 Toyota는 세계최초로 3D fine mesh 분리판을 적용하여 스택을 소형화하였으며, 운전장치의 부피와 가격을 저감시키기 위해 가습기를 제거하고 Water balance를 위해 수소재순환 블로워를 탑재시키는 기술을 확보하였다.

일본의 Honda Motor CO., Ltd.는 2013년 7월 GM과 차세대 연료전지 시스템과 수소 저장 기술 개발을 위한 공동개발 협약을 진행하였다. 동사는 2010년대 수소연료전지차 FCX 클라리티 콘셉트를 선보인바 있으며, 이를 꾸준하게 발전시켜 2015년 도쿄 모터쇼를 통해 수소연료전지차 클라리티(Clarity)를 공개하였다. 2016년부터 일본을 시작으로 본격 판매에 돌입하였다.

[그림10] 혼다의 2019 Clarity Fuel Cell



*출처: https://automobiles.honda.com/clarity-fuel-cell

일본의 Panasonic Corporation은 1935년 설립된 업체로 2009년 5월 세계 최초로 천연가스 개질 방식의 가정용 연료전지 시스템 에너팜(Ene-farm) 판매를 개시한 이후 내구성 향상, 컴팩트화, 고효율화, 비용 저감 등을 통해 2018년 6월 기준 누계 생산 대수 14만 대를 돌파하였다. 2016년에는 에너팜을 통해 얻은 연료전지 관련 기술 및 노하우를 활용해 시즈오카형 수소타운 프로젝트에 참가, 순수소연료전지시스템 개발 및 실증에도 나섰다. 주로 수소충전소나 상업시설 등에서 활용될 것으로 보이며, 2021년 순수소연료전지시스템 제품화를 목표로 하고 있다.

일본의 Aisin Seiki Co., Ltd.는 1965년 8월 31일 설립된 업체로 자동차 부품(파워트레인, 샤시 & 차량 안전 시스템, 차체, ICT & 전자) 제조 판매 사업을 영위하고 있다. 동사는 자동차 부품 기술을 활용하여 가스 엔진에 의한 가정용 열병합 발전 시스템, 가스 히트 펌프 에어컨 등을 공급하고 있다. 동사의 가정용 열병합 발전 시스템은 발전시 발생하는 열을 급탕이나 난방에 이용하는 에너지 절약 시스템으로, 발전 효율이 높은 SOFC(고체 산화물 연료전지)를 채용한 '가정용 연료전지 열병합 발전 시스템'과 가스 엔진에 의한 '가정용 가스엔진 열병합 발전 시스템'의 2종류의 유닛을 구비하고 있다. 동사는 주요 부품(스택, 개질기, 탈황장치 등)의 최적화, 부품의 생산 공정 개선, 부품의 표준화를 통하여 가격 저감 개발에 주력하고 있다.

캐나다의 Ballard Power Systems.는 1979년 Geoffrey Ballard, Keith Prater, Paul Howard 등이 고에너지 리튬 배터리의 연구개발을 수행하기 위하여 설립한 업체로 캐나다 버너비(Burnaby)에 본사를 두고 있다. 동사는 헤비 듀티 모듈(중형 차량용 FCveloCity® motive modules), 연료 전지 스택(FCgen®, FCvelocity®), 백업 전원 시스템(FCgen®-H2PM) 등의 연료전지 발전 제품을 공급하고 있다. 동사의 모듈형 FCveloCity® 플랫폼은 30kW에서 200kW에서 지게차, 버스 및 경전철 등에 낮은 수명주기 비용으로 최적의 성능을 제공하는 솔루션이다.

독일의 SFC Energy AG는 2000년 2월 설립된 업체로 정치형(stationary) 및 휴대용(portable) 발전 시장에 하이브리드 솔루션을 제공하는 선도업체이다. 동사는 현재까지 41,000개 이상의 연료전지를 판매하는 주요 연료전지 공급업체로 청정에너지 및 모바일, 방위 및 보안, 석유 및 가스, 산업용 시장에서 다양한 애플리케이션을 제공한다. 동사는 독일 Brunnthal/Munich에 본사를 두고 있으며, 네덜란드, 루마니아, 캐나다에 생산시설을 운영하고 있다. 동사의 전기 발전기 및 완전 통합형 에너지 솔루션은 싱가포르에서 남극에 이르기까지 전 세계적으로 사용되고 있으며, 전력 솔루션은 측정 및 조기경보소, 방위 애플리케이션, 교통 모니터링 시스템, 이동식 주택, 요트 등을 위한 전기에너지를 제공한다.

국내업체 현황

국내 발전용 연료전지 시장은 포스코에너지(주), ㈜두산퓨얼셀, ㈜미코 등이, 주택·건물용 연료전지 시장은 ㈜두산퓨얼셀(구 퓨얼셀파워), 에스퓨얼셀(주)(구 GS퓨얼셀) 등이, 수송용 연료전지 시장은 현대자동차(주)가 선도하고 있다.

[표7] 연료전지 분야 주요 제품의 국내 업체 현황

분류	업체	
발전용	포스코에너지(주)	• 연 100MW MCFC 일관생산체계 구축(2008년 BOP, 2011년 스택, 2015년에 Cell공장 준공) • 국내 170MW보급, SOFC 상용화 개발 중
	㈜두산퓨얼셀	• 2017년 7월 ClearEdge 및 퓨얼셀파워 인수, PEMFC 및 PAFC 시장진입 • 2007년부터 MCFC 독자개발 추진, 2013년 조직 해체 및 사업철수 이후 사업 재진입, 600MW급 공장 완공 • 국내 800MW 보급, 영국 2MW 수출
	㈜미코	• 2.5kW SOFC 시스템 개발 실증 중
주택 · 건물용	㈜두산퓨얼셀	• 1kW 가정용 연료전지 시스템을 그린홈 100만호 보급사업을 통하여 보급(2010년부터) • 5kW, 10kW 시스템을 개발하여 보급 중 • 보급현황: 1kW 1,000대 이상, 5kW, 10kW 37대
	에스퓨얼셀(주)	• 에스에너지에서 2014년 에스퓨얼셀을 설립하였고 현재 5kW 연료전지 시스템을 개발 보급 중 • 경북도청에 5kW 연료전지시스템 12대 60kW 설치 완료 • 보급현황: 180kW(36대)
수송용	현대자동차(주)	• 2013년 세계 최초 수소전기차(FCEV, Fuel Cell Electric Vehicle) 양산 성공 • 2018년 차세대 수소전기차 넥쏘 출시

*코스닥 기업에 대해서는 굵은 글씨 및 밑줄 별도 표시 하였음
*출처: 한국기업데이터 작성

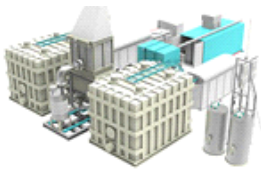
포스코에너지(주)는 연료전지 발전시스템(MCFC)을 국산화 및 상용화 완료하여 2012년 세계 최대 규모인 100MW/년 생산설비를 구축하였고, BOP공장(2008), 스택공장(2011)에 이어 2015년 셀 공장을 완공하여 MCFC 제조공정의 100% 국산화를 달성하였다. 동사는 연료전지 발전시스템의 기술개발, 제조, 설치 및 시공, 유지보수 등 토털 솔루션을 제공하고 있다.

(주)두산퓨얼셀은 발전용 수소연료전지산업의 개척자로, 2014년 주택용 연료전지 업체인 퓨얼셀파워를 합병한 뒤 미국 클리어엣지파워(ClearEdge Power, CEP)를 인수하면서 연료전지 발전시장에 진출하였다. 동사는 인산염 연료전지(PAFC) 기술 기반 글로벌 1위 발전사업자로 스택(수소와 산소를 결합해 에너지를 생성하는 장치)을 포함해 연료전지 시스템 전체를 만들고 있다. 동사는 연료전지 사업부를 인적 분할해 2019년 10월 두산퓨얼셀로 재상장할 계획이며, 이후 투자와 수주를 더해 사업을 키울 방침이다. 두산 연료전지 사업부는 2018년 매출 3,600억 원, 수주 1조 2,000억 원을 기록하였으며, 2019년 발전용 수소연료전지 사업에서 매

출 5,000억 원, 신규 수주 1조 3,000억 원 달성을 목표로 하고 있다.

(주)미코는 1996년 창립해 반도체 장비 부품·소재 분야에서 첨단 세라믹 기술력을 확보한 기업으로, 신산업 창출을 위해 2008년부터 SOFC 기술 개발을 추진해 2015년 시스템의 핵심부품인 스택(상표명:QubePower) 제조기술을 확보하는 등 국내 유일의 SOFC 부품소재부터 시스템까지 기술력을 갖춘 전문기업이다. 동사의 자체 기술로 개발한 2㎾급 SOFC시스템(상표명:TUCY)이 2018년 9월 한국가스안전공사 가스기기인증(KGS AB934)을 획득한 바 있다.

[표8] 발전용 연료전지 대표제품

제조사	포스코에너지/FuelCell Energy	두산	Bloomenergy	후지전기
사진				
정격출력	2.5MW	400kW	250kW	100kW
유형	MCFC	PAFC	SOFC	PAFC
발전효율	47%	42%	53-65%	42%
특징	RPS 정책, 국내점유율 1위, FCE 와 기술 제휴	미국 CEP로부터 원천기술 인수	미국 CA주 SGIP 정책으로 급성장, SOFC 발전시장창출	유럽 산업용 발전 시장진출 확대

*출처: 2018 신·재생에너지 백서, 산업통상자원부, 2018.12, 한국기업데이터 재가공

(주)두산퓨얼셀은 연료전지 사업을 선도해온 미국의 CEP사와 국내 주택용 연료전지 사업을 선도해온 퓨얼셀파워를 2014년 합병하여 새롭게 출범한 회사로 소형인 600W급부터 중대형 제품인 400kW까지 제품 라인업을 구축하여, 국내시장에서는 주택 연료전지 보급사업을 지속적으로 추진할 예정이며 정부의 신재생 에너지 보급 정책에 발맞추어 대형 발전소에 연료전지 보급을 확대 중에 있다.

에스퓨얼셀(주)은 2014년 설립, 2018년 코스닥 시장에 상장된 국내 건물용 연료전지 시스템 1위 사업자로 시장 점유율은 약 60~70%로 파악된다. 2018년 기준 부문별 매출 비중은 아파트, 빌딩 등 건물용 연료전지(1~10kW급) 66.3%, 전력계통에 연결하여 전력발전을 목적으로 하는 발전용 연료전지(100kW급) 31.7%, 기타 2.0%로 구성된다. 2019년에는 지스퀘어 개발사업(1월), 제주 드림타워 신축공사(3월), KT송파지사 개발사업(5월) 등 대형 프로젝트 수주가 잇따르고 있으며, 향후 건물 및 발전용 시장 뿐 아니라 선박, 전기지게차, 드론 등 연료전지 적용분야를 다변화할 것으로 기대된다.

[표9] 주택, 건물용 연료전지 대표제품

제조사	에스퓨얼셀	두산	도시바	파나소닉	아이신
사진					
정격출력	1kW	1kW	700W	750W	700W
크기	600 x 600 x 1,600 (576ℓ) (온수저장용기 일체형)	500 x 700 x 1,550 (542ℓ) (온수저장용기 일체형)	1,000 x 780 x 300 (234ℓ) (온수저장용기 분리형)	1,800 x 315 x 480 (272ℓ) (온수저장용기 분리형)	195x780x330 (50L) (온수저장용기 분리형)
유형	PEMFC	PEMFC	PEMFC	PEMFC	SOFC
발전효율	36%	35.2%	39%	39%	51%
가격(만원)	2,700	2,700	1,700	1,700	
특징	건설회사와 협력 규제시장개척	국내점유율 1위 6000대/년 공장완공	최고 종합효율 94% BAXI 와 제휴	독일 Viessmann 과 제휴	최고 발전효율 BOSCH 와 제휴
누적보급 (2017년말)	약 3,000		223,000		

*출처: 2018 신·재생에너지 백서, 산업통상자원부, 2018.12, 한국기업데이터 재가공

현대자동차(주)는 2013년 세계 최초로 수소전기차(FCEV, Fuel Cell Electric Vehicle) 양산에 성공한 이후 2013년부터 연료전지 자동차 연간 생산 규모 1,000대의 준양산라인을 세계 최초로 구축하였으며 향후 생산 규모를 연간 10,000대 이상으로 계획하고 있다. 현대차는 2018년 차세대 수소전기차 넥쏘를 출시하였다. 동사의 수소전기차는 수소가 탱크 외부로 새어 나오지 않는 내투과성, 차량 화재 발생 시 탱크가 폭발하지 않는 내화염성, 주행 중 충돌 사고 등에도 탱크가 안전한 내충격성 등 주요 안전항목 뿐 아니라 국내는 물론 유럽을 넘어 가장 가혹하다는 UN의 세계 통합 규격까지 만족시키고 있다.

[표10] 승용 수소전기차 사양 비교

	현대차	도요타	혼다	Daimler Car
모델명	넥쏘	미라이	클래러티	GLC F-CELL
사진				
연료전지 출력	113kW	114kW	130kW	147kW
최고속력	179km/h	178km/h	170km/h	160km/h
주행거리 (1충전)	609km	501km	589km	437km
출시년도	2018	2015	2016	2017
가격 (만원)	7200-7500	7500 (723만엔)	7900 (766만엔)	?
특징	세계최초 2세대 모델 출시 내구성 20만km	2018년1월 미국 3000대 판매추정	스택크기33%축소, 출력 60% 향상	플러그인 연료전지 하이브리드차

*출처: 2018 신·재생에너지 백서, 산업통상자원부, 2018.12, 한국기업데이터 재가공

Ⅲ. 기술 심층 분석

연료전지의 특징 및 발전원리

연료전지는 수소와 산소의 전기화학반응을 통해 전기와 열에너지를 생산하는 고효율 · 친환경 발전시스템으로, 기존 발전기와 달리 연료의 연소를 통한 에너지변환과정을 거치지 않고, 바로 전기를 생산하기 때문에 에너지 손실이 적어 발전효율이 높고, 친환경적이며 분산전원으로 활용이 가능한 차세대 에너지원으로 주목 받고 있다. 연료전지는 아래와 같은 특징을 갖고 있다.

[표11] 연료전지의 특징

구분	특성
고효율	• 연료전지의 발전 효율은, 운전 장치 사용 전력 또는 열 손실 등을 감안하더라도 35~60% 이상이며, 열병합 발전까지 고려하면 전체 시스템 효율은 80% 이상으로 현존 발전설비 중 최고 수준임. • 디젤 엔진, 가솔린 엔진, 가스터빈의 경우 출력 규모가 클수록 발전효율이 높아지는 경향이 있으나 연료전지의 경우 출력 크기에 상관없이 일정한 높은 효율을 얻을 수 있음.
친환경	• 연료전지는 기본적으로 수소와 산소를 전기화학적으로 반응시켜 전기를 발생하는 발전 장치이기 때문에 화력 발전이나 디젤 발전기에서와 같이 연소과정이 없으며, 전기와 물, 열만 발생함. • 현재는 천연가스, 석탄 등의 화석연료로부터 수소를 얻고 있으나 궁극적으로 풍력, 태양광 등의 재생에너지를 사용하여 물을 전기분해하여 수소를 얻게 되면 연료전지는 이산화탄소와 질소산화물(NOx), 황산화물(SOx) 배출이 전혀 없는 무공해 에너지 시스템으로 자리매김할 전망임.
높은 가동률	• 연료전지는 1년 365일, 하루 24시간, 쉬지 않고 전기를 생산함. • 운용 신뢰도가 높아 비상전원, 무정전 전원 및 보조전원장치 등으로 적합하며, 90% 이상의 높은 가동률로 운용조건에 제약이 많은 재생에너지의 약점을 보완함.
확장성 (공간효율성)	• 연료전지는 모듈 형태로 제작이 가능하기 때문에 발전규모 조절이 용이하고, 최고의 공간효율성을 갖추고 있어서 옥외, 지하, 옥상 등 설치 조건에 제약이 없음. • 일반적으로 연료전지는 규모에 따른 에너지 전환 효율의 변화가 크지 않아 소형에서도 높은 에너지 전환 효율을 기대할 수 있음. • 이 때문에 연료전지는 수W급에서 수십 MW급까지 다양한 용도로 사용하는 것이 가능함.

*출처: 2018 신·재생에너지 백서, 산업통상자원부, 2018.12, 포스코에너지 홈페이지, 한국기업데이터 재가공

연료전지 시스템은 MBOP, Stack, EBOP로 구성된다. MBOP(Mechanical Balance of Plant)는 연료 공급기로서 LNG/바이오가스 등으로부터 생성된 수소와 공기 중의 산소를 Stack에 공급하는 역할을 한다. MBOP는 필터, 탈황기, 가습기, Pre-Converter, 내부 개질기 등으로 구성된다. Stack은 연료극/전해질/공기극으로 구성되며 수소와 산소의 전기화학 반응으로 전기, 열, 물을 발생시키는 핵심 파트이다. 다수의 단위전지(Cell or MEA)를 직렬로 적층하여 구성되며 발생되는 전

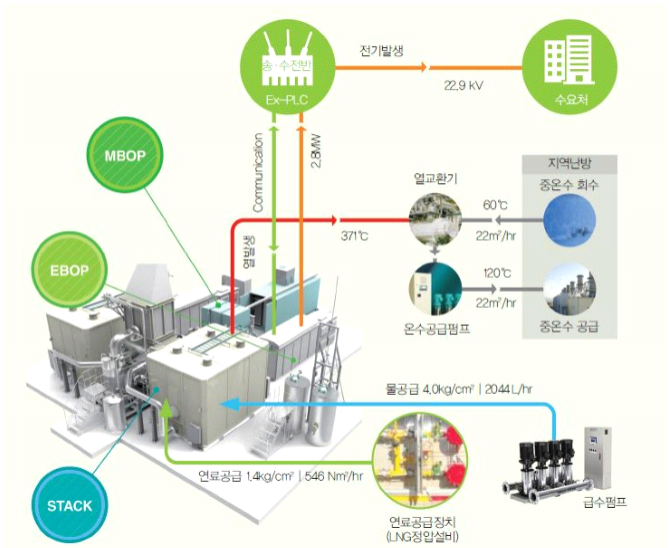
류는 셀의 면적에 비례하고 전압은 셀의 적층 수에 비례한다. EBOP(Electrical BOP)는 전력변환기로서 Stack에서 발생된 직류전기를 교류전기로 변환해서 수요처에 전기를 공급하는 역할을 한다.

[표12] 연료전지 기술분류

구분	기술 분류	설비
연료전지	MBOP	필터, 탈황기, 가습기, Pre-Converter, 내부 개질기 등
	Stack	연료극, 전해질, 공기극 등
	EBOP	AC/DC 인버터, DC/DC 컨버터, 수소 센서, 제어 프로그램

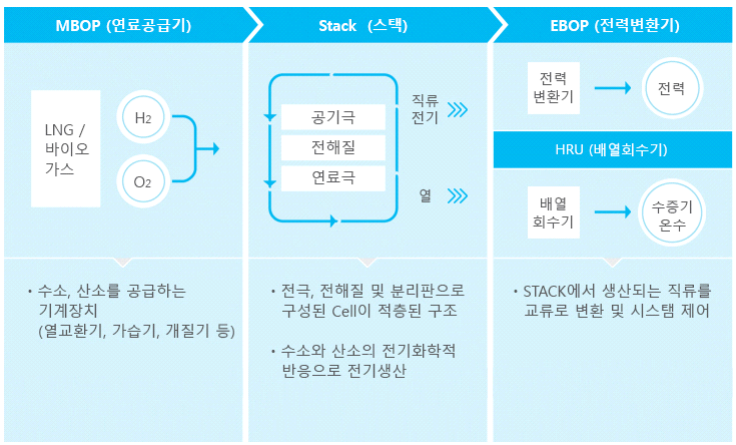
*출처: 연료전지(Fuel Cell), 메리츠종금증권, 2014.03.24, 한국기업데이터 재가공

[그림11] 포스코에너지의 2.8MW 연료전지 발전시스템 구성도



*출처: 포스코에너지

[그림12] 연료전지 발전원리



*출처: 포스코에너지

연료전지 제품의 대부분은 에너지원보다는 백업 전원 및 보조전원으로 설치, 적용되는 제품이 다수이다.

연료전지 기술개발 동향

연료전지는 전해질의 종류에 따라 고분자 전해질 연료전지(PEMFC), 인산형 연료전지(PAFC), 용융탄산염 연료전지(MCFC), 고체 산화물 연료전지(SOFC), 알칼리 연료전지(AFC), 직접 메탄올 연료전지(DMFC) 등으로 구분된다.
연료전지는 휴대용, 가정용, 수송용, 발전용으로 응용 분야가 매우 광범위하며 이에 따라 각 연료전지에 요구되는 성능 조건, 상업화를 위한 가격, 기준치 등을 정의하고 다양한 시장수요를 만족시키기 위한 연구개발이 지속되고 있다.

DMFC는 메탄올이 연료극을 통과할 때 촉매와 반응해서 전기를 발생하는 전지로 노트북, 휴대전화 같은 모바일기기용 전원으로 사용되는 리튬이온전지나 리튬-고분자전지와 달리 직접 충전은 할 수 없지만, 메탄올만 공급해주면 쓰는 시간을 크게 늘릴 수 있다. 직접메탄올연료전지는 고농도 메탄올을 쓸수록 더 작은 크기의 전지와 똑같은 출력을 얻을 수 있고 더 낮은 온도에서 쓸 수 있다. 하지만 메탄올 농도를 높이면 메탄올을 흡수해서 부풀어 오르는 현상이 생기고 연료전지 효율이 떨어지는 문제가 있다.

PEMFC는 촉매로 귀금속인 백금을 사용하며, 100℃ 미만의 저온 범위, 연료로는 수소를 사용하나 경우에 따라서 메탄올이나 천연가스를 사용한다. 반응물로 물만을 생성해 공해를 일으키지 않는 장점이 있으나 충전 시 많은 시간을 요구하고 에너지밀도가 낮아 자동차 동력원으로 사용할 경우 주행거리가 짧으며 배터리 수명이 짧아지는 단점이 있어 휴대기기용 전원으로 활용이 가능하다. PEMFC의 경우 가장 큰 걸림돌은 화학적으로 안정적이고 뛰어난 성능을 발휘하는 백금을 사용하게 된다는 점이다. 100℃ 정도의 저온에서 작동되는 PEMFC에선 백금이 압도적인 성능을 보이기 때문에 비싼 가격에도 사용될 수밖에 없는데 백금의 가격이 비싸 경제성 확보에 어려움을 겪고 있다. 그래서 이를 극복하고자 백금을 대체하거나 사용량을 최소로 하는 기술이 개발되고 있다. 백금과 유사한 전자구조를 구현하도록 여러 금속을 혼합하는 합금 방법과 그래핀(Graphene) 등의 비금속 계열 신소재를 대체물로 연구하는 노력이 최근 논의되고 있다.

PAFC의 전해질은 인산염, 전극은 카본지(Carbon Paper), 촉매는 백금을 사용한다. 전해질인 인산은 전도성이 낮지만 안정도가 높고, 연료전지에 적합한 수명을 갖는 유일한 물질로 알려져 있다. 또한 증기압이 낮아 40℃에서 응고되기 쉬우므로 운전 온도는 150~200℃ 정도이며, 순수 발전 시 40% 내외, 열병합발전 시 최대 85%까지 효율을 높일 수 있다. 인산의 가격이 싸고 매장량이 많아 오래전부터 사용해 기술의 발전이 많이 이루어져 장시간 사용 시에도 안정된 성능을 보장한다. 그러나 지속적으로 공급되는 액체 전해질의 부식성, 고가의 백금촉매 등을 사용해야 하는 단점이 있다.

MCFC는 융용탄산염을 다공 세라믹 매트릭스에 녹인 것을 전해질로 사용한다. 백

금촉매 대신 니켈촉매 사용으로 경제성이 높고 열병합발전에 유리하다. 그러나 전해질이 액체이기 때문에 장시간 운전하는 경우 용융탄산염이 증발하여 전해질의 양이 줄어들어 장기적으로 성능을 저하시키는 원인으로 작용한다.

SOFC는 산소 이온에 대한 전도성이 있는 금속산화물을 전해질로 사용하며, 작동온도는 금속산화물이 산소 이온에 대해 충분한 전도성을 가질 수 있도록 800℃ 이상이다. 전해질은 지르코니아 등 수소 혹은 산소 이온이 통과 가능한 고체산화물을 활용하며, 연료의 융통성, 비귀금속 촉매, 완전한 고체상의 전해질 등의 장점이 있다. 그러나 가장 큰 단점은 작동온도가 높아져 시동시간이 길어지고 기계 및 화학적 호환성 문제가 발생한다는 것이다.

기술발전방향

연료전지 기술의 최근 주요 기술 트렌드로는 가역성 연료전지(Reversible Fuel Cells), 복합 사이클(Combined Cycle), 연료 유연성(Fuel Flexibility) 등을 들 수 있다.

가역성 연료전지는 전력 생산(연료전지) 및 에너지 저장(전기분해) 모드에서 모두 작동하는 전지 능력으로 에너지 저장 애플리케이션에서 중요하며, 전력 요구량이 적은 기간 동안 과잉 에너지를 저장 하여 수요가 많은 피크 시간대에 사용할 수 있게 한다.

복합 사이클은 최근 등장한 3세대 전원 공급 기술로, 연료전지 기술과 가스 및 스팀 터빈의 통합을 기반으로 하여 복합 사이클은 에너지 시스템 효율을 크게 향상시키고 온실가스 배출을 감소시키는 효과가 있다.

연료 유연성과 관련하여, 수소는 기존 연료전지에 사용되는 기본연료이나, 최근 다양한 탄화수소 연료, 바이오가스, 석탄, 목재, 바이오매스를 연료로 사용하는 신기술을 통하여 연료 유연성이 입증되고 있다.

[표13] 상용 및 신흥 연료전지

구분	내용
상용 연료전지 (Commercial Technologies)	- Proton-exchange Membrane Fuel Cell(PEMFC) - Solid Oxide Fuel Cell(SOFC) - Phosphoric Acid Fuel Cell(PAFC) - Molten Carbonate Fuel Cell(MCFC) - Alkaline Fuel Cell(AFC) - Direct Methanol Fuel Cell(DMFC)
신흥 연료전지 (Emerging Technologies)	- Solid Acid Fuel Cell(SAFC) - Direct Carbon Fuel Cell(DCFC) - Zinc-air Fuel Cell(ZAFC) - Magnesium-air Fuel Cell(MAFC) - Protonic Ceramic Fuel Cell(PCFC) - Microbial Fuel Cell(MFC) - Enzymatic Biofuel Cell(EFC)

*출처: 연구개발특구진흥재단 Technological Advancements and Emerging Applications in Fuel cells, Frost&Sullivan, 2019.06, 한국기업데이터 재가공

기존 상용 연료전지 외에 신흥 연료전지와 관련하여, 최근의 연구개발 동향을 살펴보면 다음과 같다.
SAFC는 미국의 SAFCell Inc.에서 휴대용 및 원격 전원 애플리케이션용 최첨단 SAFC 스택을 제공하고 있다. 혁신적인 solid acid cell 설계로 인하여, 전력 시스템의 연료 효율이 높고, 비교적 조용하며, 저렴한 비용으로 기존의 연소 기술보다 훨씬 적은 유지보수가 필요한 것이 강점이다. 또한, 연료유연성, 확장가능성, 극한의 온도에서도 우수한 작동성을 나타낸다.

DCFC는 미국 아이다호국립연구소(Idaho National Laboratory) 연구팀에서 전기를 생산하기 위해 solid carbon에 의해 구동되는 새로운 연료전지 기술을 개발하였다. DCFC는 높은 출력 밀도(325㎽/㎠) 특성을 지니고 낮은 온도(500~600℃)에서 작동할 수 있고, 연구진은 산화 세륨 및 탄산염으로 덮인 신규 전해질과 저온에서 성능을 유지할 수 있는 고도의 전도성 물질을 개발하였다. 현재 실험실 규모로 운영되기 때문에 상용화되기 전에 더 많은 개선이 필요할 것으로 판단된다.

ZAFC는 캘리포니아에 본사를 둔 NantEnergy에서 원격 전원 애플리케이션용 충전식 zinc-air 배터리 저장 시스템을 개발하였다. 개발된 zinc-air 배터리는 간단하고 가역적인 화학반응을 이용하여 에너지를 저장 및 방출한다. 독특한 디자인과 아키텍처로 인하여 zinc-air 배터리는 고성능과 저비용을 특징으로 한다.

MAFC는 미국의 MagPower Systems Inc.에서 청정 전기 생산을 위해 독점적인 Mg-air 해수 기술을 이용하고, MAFC는 제작이 비교적 간단하고 경제적이며 조작이 용이하고, 연료와 전해액을 쉽게 교체할 수 있는 기능적 설계를 특징으로 한다. 개발된 연료전지는 이동성이 좋고 가벼우며 환경 친화적인 장점이 있다.

PCFC는 미국의 콜로라도 광업대학(Colorado School of Mines) 연구팀에서 연료 생산 및 전기 생성을 위한 가역성 양성자 세라믹 전기화학전지를 개발하였다. 개발된 가역성 연료전지는 총 11가지의 다른 연료로 테스트되었으며, 8,000시간 이상의 작동 시간 동안 모든 연료 유형에서 뛰어난 성능, 탁월한 연료 유연성 및 장기 내구성이 확인되었다. 또한 높은 패러데이 효율(Faradaic efficiency)(90~98%)을 나타내며 전기-수소 에너지 변환 효율이 97% 수준으로 파악되었다.

MFC는 영국 웨스트잉글랜드 대학교(University of the West of England)의 브리스톨 대학 바이오에너지 센터(Bristol BioEnergy Centre) 연구팀에서 소변 및 기타 유형의 폐수를 전기로 전환시키는 미생물 연료전지 기술을 개발하였다. 이 기술은 분사된 Robial을 통해 PEE POWER® 상표로 상용화되었다. 개발된 MFC는 멤브레인리스(membrane-less)이며, 세라믹 물질과 일반 탄소 기반 전극으로 만들어졌다. MFC 스택에는 90% 효율로 직접 전기를 발생시키기 위하여 소변이 공급되며, 연료전지는 조명을 가동하거나 휴대전화를 충전할 수 있을만큼 전기를 생산한다. 셀은 소변을 소독하는 동시에 식물성 비료를 천연 부산물로 생산한다.

EFC는 일본 쓰쿠바대학(University of Tsukuba) 연구팀에서 고성능의 웨어러블 효소 바이오 연료전지를 개발하였다. 고성능 바이오 음극 및 바이오 양극 설계에 산화마그네슘(MgO) 계열의 탄소섬유 복합재료가 사용되었다. 개발된 효소 바이오 연료전지는 이전에 보고된 바이오 연료전지와 비교하여 2㎽/㎠의 높은 출력 밀도를 나타내며, 웨어러블 바이오 디바이스로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

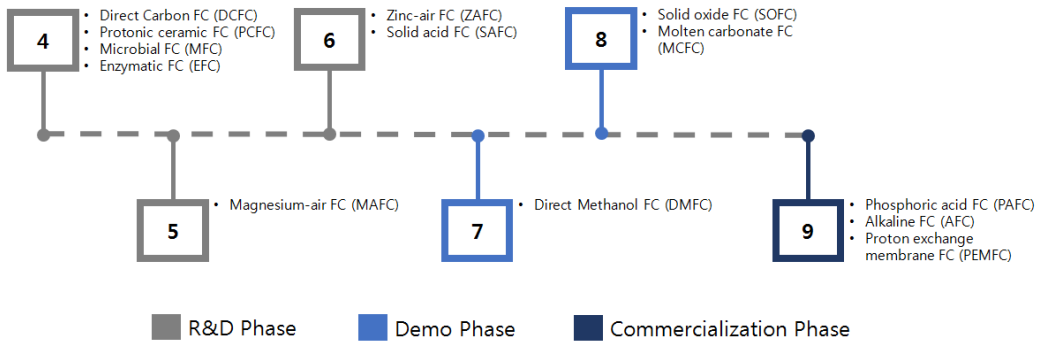
상용 및 신흥 연료전지의 기술적 완성도를 살펴보면, 현재 PAFC, AFC, PEMFC 기술은 상업적으로 이용 가능한 기술로, 주요 연구개발 초점은 이러한 기술의 비용 절감이며, SOFC, MCFC, DMFC 기술은 시스템 프로토타입 시연단계에 있으며, 실제 조건에서의 고성능 작동이 확인된 바 있다.

SAFC, ZAFC, MAFC 기술은 상용화 예비단계로, 값비싼 핵심 부품 및 재료, 설계 복잡성 및 셀 내구성 등을 해결하기 위한 추가 연구개발이 필요한 상황이다.

DCFC 및 PCFC 기술은 개발 초기 단계에 있다. 현재 실험실 테스트 규모(수 와트)에서 프로토타입으로 확장되는 과정에 있으며, 시스템 수명, 연료 품질, 연료 공급 및 시스템 비용을 포함하는 기술적 문제가 해결되어야할 과제로 남아있다.

MFC 및 EFC 기술은 개념 증명 단계에 있으며, 아직 시장에서 입지를 구축하지 못하였으나, 기술이 성숙되는 대로 저전력 디바이스를 넘어선 새로운 잠재적 애플리케이션으로 상용화될 것으로 전망된다.

[그림13] 연료 전지 기술: 기술성숙도 분석, 전 세계(2019년 기준)



*출처: 연구개발특구진흥재단 Technological Advancements and Emerging Applications in Fuel cells, Frost&Sullivan, 2019.06, 한국기업데이터 재가공

기술목표

Frost & Sullivan의 최근 보고서(2019.06)에 따르면, 연료전지의 기술 목표로는 1) 효율(Efficiency), 2) 전력 확장성(Power scalability), 3) 수명(Lifetime), 4) 비출력(比出力; Specific Power), 5) 비용(Cost), 6) 기술성숙도(Technological Maturity) 등을 들 수 있다.

[표14] 연료전지 기술목표

기술목표	세부 내용
효율(Efficiency)	• 에너지 전환 효율은 출력 전력과 입력 연료의 최저 발열량(예: 수소) 간의 비율로, 연료전지는 연료 에너지의 약 80% 이상을 사용할 수 있음.
전력 확장성 (Power scalability)	• 전력 확장성은 특정 연료전지로부터 실현될 수 있는 전력 출력을 의미하며, 넓은 출력 범위는 연료전지를 다양한 고전력 또는 저전력 애플리케이션에 사용할 수 있음. • 광범위한 애플리케이션은 연료전지의 상업화를 위한 결정적 기준 중 하나임.
수명(Lifetime)	• 수명은 교체가 요구되기 전, 연료전지가 효율적으로 작동하는 기간을 뜻하며, 이는 셀 내구성을 의미함. • 내구성(Durability)은 시스템 정격 전력이 20% 저하될 때까지의 시간으로 정의됨.
비출력(比出力; Specific Power)	• 비출력은 연료전지에 의해 생성된 전력의 양을 단위 질량/부피로 나눈 값으로, 전력원의 실제 성능을 측정한 것임.
비용(Cost)	• 연료전지의 높은 자본 비용은 기술의 상용화를 방해하는 가장 큰 요소임. • 연료전지는 자본비용과 설치비용(전력 시스템을 구입하고 설치하는데 필요한 킬로와트 당 비용)면에서 경쟁력이 있어야 함.
기술성숙도(Technological Maturity)	• 기술성숙도란 기술이 최종 형태와 예상 작동 조건에서 성능을 입증했음을 의미함.

*출처: 연구개발특구진흥재단 Technological Advancements and Emerging Applications in Fuel cells, Frost&Sullivan, 2019.06, 한국기업데이터 재가공

성공적인 연료전지 보급의 전제조건

연료전지는 경제성이 기존 기술 보다 아직 미흡한 신 · 재생에너지로, 국내의 경우 RPS 및 기타 정부 지원제도가 연료전지의 보급을 촉진하고 있다. 특히 분산 발전 및 건물용 소형 열병합 분야는 정부지원제도에 힘입어 빠른 속도로 보급을 늘려가고 있다. 수송용 분야도 전 세계적인 친환경차 보급 정책과 더불어 고유가에 의해 2015년부터 점차 시장을 늘려가기 시작하여 2020년 이후에는 폭발적으로 시장이 확대될 것으로 기대된다. 다만 이러한 성장 추세가 정부 지원의 축소 혹은 소멸 이후에도 계속되기 위해서는 다음의 사항들이 충족되어야 한다.

[표15] 성공적인 연료전지 보급의 전제조건

구분	내용
임계점을 넘는 양산규모 시장 확보 및 장기 보급 로드맵 수립	• 다른 신 · 재생에너지원 보다도 초기시장이 형성되어 있지 못하고 경제성이 취약한 연료전지 시장은 정부 정책에 크게 영향을 받음. • RPS 정책으로 국내 발전용 연료전지 초기시장 확보 • 수송용의 경우 수소전기차 및 수소충전소 장기 보급 로드맵 수립과 해외 보급시장의 확대로 초기시장이 형성되고 있음. • 주택 건물용 연료전지의 경우 기업들의 투자를 유도할 장기 보급 및 기술개발 장기 로드맵 수립이 시급함.
산업생태계 강화	• 수송용 및 건물용 PEMFC 및 발전용 MCFC는 시스템 제조사를 중심으로 Supply Chain 수직계열화가 구축이 잘되어 있으나 부품, 소재 중소·중견 기업 기술력은 취약한 상태임. • 내수시장을 넘어 수출시장 개척을 위한 기술경쟁력 확보에 정부의 지원 및 중소·중견 기업과 대기업 간 상생 협력 필요
원천기술의 확보 및 기술 고도화	• 시스템 기술 수준은 선진국 수준에 근접하였으나 선진국의 촉매, 전해질, MEA, 스택 등 부품 소재의 성능, 내구성, 가격저감 기술은 매년 발전되고 있어 해당 기술 격차가 커지고 있음. • 상용화 가능성 높은 원천기술들에 대한 중복지원 또는 경쟁성 사업 지원이 필요함. • R&D 성공 기술의 고도화 재지원과 산학연 역할 분담 등 체계적인 R&D 사업 전략 수립이 필요함.
신규 시장 창출과 인증, 규제 해소 지원	• 대형 건물용, 수송용 시장을 확대하기까지 초기 시장을 주도할 틈새시장 발굴과 인증, 규제 해소 지원이 필요함. • 현재 지게차, 건설 중장비, 백업전원, 이동용 전원 개발이 진행되고 있으나 고압가스법 규제, 관련 법규 및 안전규정 미비로 인하여 실증 및 인증 확보가 불가능함. • 부품 및 시스템 성능평가 센터를 구축하여 공인 트랙 레코드 제공 시 국내외 시장 확대에 도움을 줄 수 있음.
연료전지 기반 융 · 복합화를 통한 신규 BM 창출 및 수출성장동력 산업화	• 선진국에서는 수소인프라 투자효과가 높으며 공익성, 온실가스 저감효과가 우수한 연료전지 버스 시장 확대 • 미국, 유럽의 수소전기차 수출시장 개척을 위해서 국내 연료전지 버스 보급 확대 지원이 시급함. • 전기요금/가스요금 비가 높은 유럽의 발전용 및 주택건물용 열병합 연료전지 시장의 성장 가능성은 매우 높음. • 최근 독일 주도의 대규모 실증사업 후 본격 보급 지원 프로그램이 시작되고 있음. • 일본 기업은 현지 기업들과 협력하여 초기 시장 선점에 노력하고 있음. • 건물용 소형 열병합 발전 시장은 유럽이 세계 최대 규모이고 수출 시장 개척을 위한 현지 인증, 표준화와 연계된 수출 목표형 해외 실증 사업의 조속 착수 필요
수소경제에 대한 국민 인식 전환 유도	• 지금까지 보급과정에서 발생한 수소 안전에 대한 국민 걱정 불식 노력 강화 필요 • 적극적 능동적 수용 자세로의 전환을 위한 홍보 및 교육 프로그램의 강화 필요

*출처: 2018 신·재생에너지 백서, 산업통상자원부, 2018.12, 한국기업데이터 재가공

연료전지 시장은 친환경적 에너지원에 대한 수요 증가, 주거 및 상업 시설에 대한 공간 난방 수요 증가, 그리드 외 지역의 백업 전원 수요 증가, 휴대용 장치에 대한 수요 증가 등에 의해 지속적인 성장이 기대되고 있다. 그러나 연료 전지 가격 상승과 연료 전지 인프라 부족으로 인한 촉매의 가격 상승은 시장 성장을 저해하고 있다.

국내에서는 발전사업자 대상 신재생에너지 공급의무화 제도(RPS)와 신재생에너지 공급인증서(REC) 시행, 2023년까지 RPS 10%로 단계적 상향, 일정 규모 이상의 공공건물과 민간건물에 공급의무비율도 단계적으로 상향, 특히 수소경제법이 통과(9월 예상)되면 현재 민간 건축물 의무비율 적용이 서울, 부산, 세종시에서 전국으로 확대가 예상되고 있어 발전용 중심으로 폭발적인 성장이 기대된다.

최근 주요국들은 2025년 혹은 2030년 연료전지 보급 목표 실현을 위해 기술 지원을 추진하고 있어, 에너지 다양화나 저탄소사회 실현을 위한 연료전지 시스템 보급 촉진이 이루어지고 있다. 이에 대비하여 고에너지 밀도화, 소형화 및 저가격화 노력을 통해 배터리 이상의 성능과 활용도를 높이는 집중이 필요하다.