연료전지 기술의 연구개발과 산업 동향

2018. 8. 16.

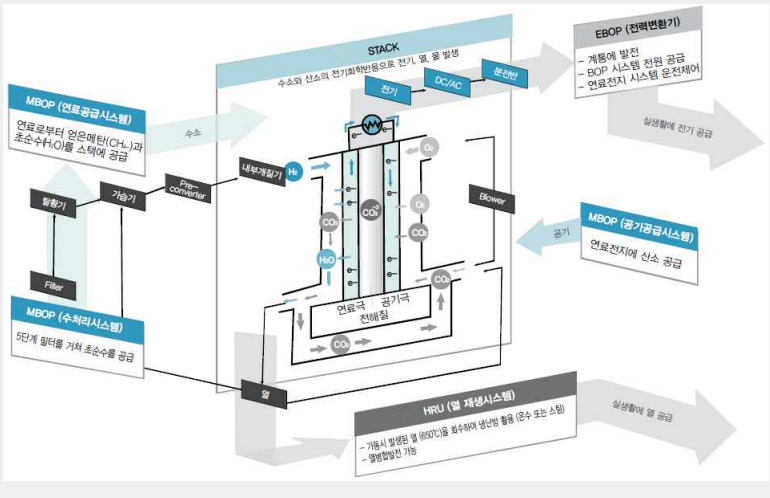
GTC 녹색기술센터
GREEN TECHNOLOGY CENTER

Ⅰ. 기술개요

01 기술의 정의

- 연료 (수소, 메탄올, 석탄, 천연가스, 석유, 바이오매스가스, 매립지 가스 등)의 화학에너지를 전기화학반응에 의한 전기에너지 직접 변환 발전하는 장치로서, 높은 발전효율과 공해물질 배출이 적으면서 전기와 열 동시 생산기술
  - 기본적으로 연료전지는 연료극, 전해질층, 공기극이 접합되어 있는 셀(Cell)과 다수의 셀을 적층한 스택(Stack)으로 이루어진 전기 생산기기와 전기적, 기계적 주변기기(Balance of Plant, BOP)로 이루어져 있음

연료전지의 원리 및 구성[1)]



1) 메리츠종금증권 리서치센터 (2014) 연료전지(Overweight)

- BOP는 시스템제어, 전력변환기 등 전기적 주변기기(E-BOP)와 연료 및 공기 공급, 열회수 및 열교환기, 수처리 시스템 등 내구성 향상과 운전 최적화를 위한 기계적 주변기기(M-BOP)로 분류됨

- (작동원리) 연료를 연료극에 공급하면 수소는 연료극의 촉매층에서 수소이온과 전자로 산화되어, 전자는 외부 도선을 통해 이동하고 수소이온은 전해질을 통해 공기극으로 이동한 뒤, 공기극으로 공급되는 공기 중의 산소와 반응하여 물을 생성시키며 전기와 열을 발생시키는 원리
  - 일차(건전지) 또는 이차전지 등과 같은 기존의 전지는 에너지 저장 장치로서, 저장한 화학물질을 소모하면서 전기를 공급하는 원리지만, 연료전지는 화학물질의 저장이 아닌 수소와 공기(또는 산소)를 외부에서 공급받아 전기를 발생시키는 발전 장치임
  - 현재 연료전지는 화석연료를 직접 개질하여 사용하거나 개질한 수소를 이용하는 형태이지만, 향후 태양광, 풍력 등과 같은 재생에너지와의 하이브리드 또는 Power-to-Gas 컨셉으로 물 분해를 통하여 생산되는 수소를 이용하는 방식을 추진 중

02 기술의 종류 및 장단점

기술의 종류

- 연료전지에서 생산되는 전류는 반응 면적에 비례하며 전압은 셀 적층 개수에 따라 자유롭게 조절이 가능하여 다양한 분야에 사용될 수 있고, 용도에 따라 고정형(Stationary), 수송형(Transport), 휴대형(Portable)으로 구분할 수 있음

연료전지 용도별 분류

용도 (Application)	내 용	포함 기술
고정형 (Stationary)	– 물리적으로 이동하지 않고 한 곳에 고정으로 설치되는 용도 (평균전력: 0.5kW~100kW) – 대형/분산발전용, 가정용, 건물용, 백업전원(Uninterruptible Power Supply, UPS) 등이 포함	PEMFC PAFC MCFC SOFC
수송형 (Transport)	– 이동 수단에 직·간접적으로 추진력을 제공 또는 이동거리를 늘릴 수 있게 보조하는 용도 (평균전력: 1kW~100kW) – 개인 자동차, 2·3륜 차량, 대중교통(버스, 트램 등), 물류운반(지게차, 트럭) 및 선박용 등에 이용됨	PEMFC MCFC DMFC SOFC
휴대형 (Portable)	– 손쉽게 휴대할 수 있는 장치에 내장되거나, 이의 충전용도로 사용되는 제품 (평균전력: 1W~20kW) – 이동 수단 외(레저용 차량 및 보트 등)의 보조전원(Auxiliary Power Unit, APU), 휴대형 전자기기(휴대폰, 노트북 등), 군사용 등이 포함됨	PEMFC DMFC

- 연료전지 기술은 전해질 종류에 따라 고분자 전해질 연료전지(Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell, PEMFC), 직접 메탄올 연료전지(Direct Methanol Fuel Cell, DMFC), 인산형 연료전지(Phosphoric Acid Fuel Cell, PAFC)와 용융탄산염 연료전지(Molten Carbonate Fuel Cell, MCFC), 고체 산화물 연료전지(Solid Oxide Fuel Cell, SOFC) 등으로 다양함

연료전지 기술별 분류 및 특징

종류	연료	전해질	촉매	전하 전달 이온	운전온도	주용도
PEMFC	수소	고분자막	백금 (Pt)	H^+	50~80°C (저온)	● 고정형(가정용, 분산형발전) ● 수송형 ● 휴대형
DMFC	메탄올	고분자막	백금 – 루테늄 (Pt – Ru)	H^+	20~70°C (저온)	● 휴대형 ● 수송형
PAFC	LNG, LPG, 메탄올, 석탄가스	인산	백금 (Pt)	H^+	~220°C (저온)	● 고정형(분산형발전)
MCFC	LNG, LPG, 메탄올, 석탄가스	용융탄산염	니켈 (Ni)	CO_3^{2-}	~650°C (고온)	● 고정형 (대형 및 분산형발전) ● 수송형(선박 등)
SOFC	LNG, LPG, 메탄올, 석탄가스	안정화 지르코니아	니켈(Ni)	O^{2-}	500~ 1,000°C (고온)	● 고정형 ● 수송형(보조전원)

– (PEMFC) Polymer Electrolyte Membrane 또는 Proton Exchange Membrane으로, 수소 이온에 대한 전도성이 있는 고분자막을 이용하며 촉매로 백금을 사용함

- PEMFC 연료전지는 MEA(Membrane Electrode Assembly, 막-전극 접합체), GDL (Gas Diffusion Layer, 기체 확산층), 분리판(Bipolar Plate, BPP), 가스켓(Gasket) 등의 부품과 스택 및 BOP 등으로 이루어짐
- 시동시간이 짧고, 부하 변동 특성이 우수하며, 출력밀도가 높음
- 연료 내 CO가 백금에 악영향을 미치므로 10ppm 이하로 유지되어야 하여 연료 개질이 복잡함
- 저가 촉매 개발, 촉매, 전해질 및 GDL의 국산화, 고성능 저가 MEA 제조기술, 저가 분리판 양산기술 개발 등이 필요

– (DMFC) 비교적 저온에서 작동하며 PEMFC와 마찬가지로 고분자막을 이용하여 메탄올의 직접적인 전기화학적 반응으로 발전함

- 메탄올을 직접적인 연료로 사용하여 개질기가 필요 없어 시스템의 간소화 및 부하 응답성 향상이 가능함

– (PAFC) 70% 이상의 수소 순도를 가진 연료를 사용하며, 백금 또는 백금 혼합물을 촉매로 사용하고 전해질로는 인산(Phosphoric Acid)을 이용

- 비교적 저온에서 작동하며 시동시간이 짧고 높은 부하변동성을 갖고 있어 주로 열병합발전(Combined Heat and Power, CHP)용으로 사용됨

– (MCFC) 용융탄산염(Molten Carbonate)을 전해질로 사용하여 CO_3^{2-}에 전도성을 가지며, 백금 대신 니켈을 전극재료로 사용하고 높은 열효율과 전기효율을 갖고 있어 주로 대형 발전용으로 사용됨

- 공기극 반응물로 일산화탄소를 사용할 수 있어 일산화탄소 및 이산화탄소에 내성이 있어 분리 공정이 따로 필요 없으므로 초기 투자비용이 낮고, 시스템 설계가 단순함
- 전극, 전해질 및 매트릭스, 분리판 소재의 국산화, 전해질 손실 저감, 분리판 신소재 개발 및 내구성 강화 기술이 필요

– (SOFC) 산소이온의 전도성을 지닌 금속산화물이 전해질로 이용되며, 이를 가운데 두고 두 개의 전극이 샌드위치를 이루는 형태임

- SOFC 연료전지 시스템은 셀 분말, 셀, 밀봉재, 집전체 및 분리판 등의 구성 부품 및 스택과 BOP로 구성됨
- 고온에서 작동하므로 가스 누출을 방지할 수 있는 세라믹 재료 기술 개발이 중요하며, 제조원가 저감과 신뢰성 향상을 극복하면 차세대 에너지 기술로 평가됨

기술의 장단점

- (장점) 연료전지는 전반적으로 에너지 효율이 높고 타 신재생에너지원에 비해 자연환경병화에 영향이 적어 가장 안정적이고 설치장소에 제약이 적으며 환경오염과 소음이 적은 장점을 갖고 있어 도시형 분산전원과 열병합발전(CHP)으로도 적합함

- (단점) 기존 발전방식 대비 초기설치 비용이 높고 기술적 신뢰성 및 내구성 문제, 수소공급 및 저장 등 인프라 구축문제의 단점이 있으며, 현재는 화석연료에 대한 의존도가 높아 운영비가 높음

- 기술별로는 PEMFC는 재료선택 및 셀 제작과 운전이 용이하다는 장점이 있으나, 수소의 불순물(CO) 제거가 어려우며 백금 촉매 함량이 높다는 단점이 있고, MCFC와 SOFC는 고가의 촉매가 불필요하며 폐열 이용이 가능하고 CO 함유율에 대한 영향이 없다는 장점이 있지만 고온에서 운전되는 만큼 재료의 선택이 까다로운 단점이 있음

연료전지 기술별 장단점

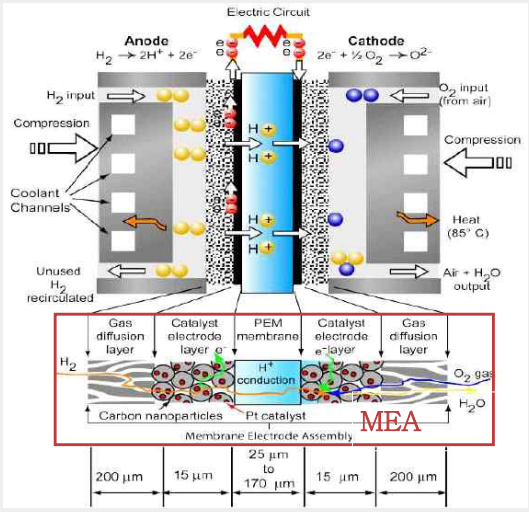
구분	단계		장점	단점
	국내	해외		
PEMFC	상용	상용	- 재료선택이 용이 - 전해질의 비휘발성 - Cell 제작 및 운전이 용이 - 저온작동 및 고출력 밀도	- 수소 불순물 제거 어려움 - 높은 백금촉매 함량 - 연료 개질이 복잡함
DMFC	실증	상용	- 장치가 간단하여 소형화 가능 - 높은 연료에너지 - 연료보충 용이 - 저온작동 및 고출력 밀도	- 메탄올 산화에 대한 낮은 전극활성 - 과다한 백금 촉매 사용량 - 메탄올 Crossover에 따른 성능 감소
PAFC	상용	상용	- 높은 CO 내구성	- 낮은 전해질 전기전도도 - 느린 환원 반응속도
MCFC	상용	상용	- CO 함유율에 대한 영향 없음 - 고가 촉매 불필요 - 내부 개질 가능 - 복합발전 가능 - 높은 발전 효율	- 연료 중 유황성분 - 음극 반응에 CO_2필요 - 높은 재료 수명 필요
SOFC	실증	상용	- CO 함유율에 대한 영향 없음 - 고가 촉매 불필요 - 내부 개질 가능 - 복합 발전 가능 - 높은 발전 효율	- 고가의 제작 비용 - 재료 및 전해질 선택이 까다로움

03 제조공정

- 일반적으로 연료전지 제조 공정은 전극, 분리판 등을 제작하는 소재 제조공정 기술, 스택 설계 및 제작 기술, 시스템 설계 및 운전 기술 등을 포함함

  - PEMFC의 경우, 막전극접합체(Membrane Electrode Assembly, MEA)와 분리판 등으로 구성되는 셀과 이를 적층하여 구성된 스택을 제조하는데, MEA 제작 기법은 주로 CCG(Catalyst Coated Gas Diffusion Media)법과 CCM(Catalyst Coated Membrane)법이 사용됨
    - CCG법은 촉매층을 GDM(Gas Diffusion Media) 위에 만들어 전해질막을 두 개의 촉매층 사이에 끼워 넣는 방법으로, CCM법은 촉매층을 전해질 막의 양면에 코팅하는 방법임

MEA 요소 및 구성[2)]



2) 한국과학기술정보연구원 (2013. 12) 연료전지자동차의 기술경쟁력 분석

- MCFC의 경우, 니켈(Ni)를 주성분으로 하는 다공체 연료극과 NiO의 다공체 공기극 사이에 Li_2CO_3와 K_2CO_3의 혼합 용융탄산염을 함유하는 다공성의 $LiAlO_2$ 매트릭스 및 연료극 가스와 공기극 가스를 격리하고 공정 가스의 흐름을 형성하며 집전역할을 하는 분리판으로 구성되며, 코팅과 건조의 과정을 통해서 제조됨

04 Value Chain

- 연료전지의 기술에는 원료 전처리 기술과 소재 기술, 부품 기술, 시스템 분야 설계 및 운영 기술과 전략 제품·서비스 기술이 있음

연료전지 기술트리

- 연료전지 시스템은 촉매, 전극, 전해질, 밀봉재, 분리판 등의 소재로부터 최종 발전 시스템까지 다단계의 Value Chain으로 구성된 기술 집약적 산업으로, 전 세계 연료전지 핵심 소재 시장의 대부분은 미국, 일본 등의 몇몇 선진업체가 독점하고 있음
  - 국내의 경우 연료전지 기술은 기기 구성을 통합하는 제어 소프트웨어, 제어회로 등 시스템 설계 및 개발 위주로 진행되어 스택의 주요 부품 및 핵심 소재,

M-BOP에 대한 수입의존도가 매우 높은 실정

- 국내에서는 E-BOP, 일부 소재, 부품을 공급하고 있으며 대부분 중소기업이 담당하고 있고, 규모가 큰 시스템 제작 등은 대기업의 투자에 의존하고 있음

국외 연료전지 Supply Chain(소재)

공급망 단계	국가	기업명	주요영역	기술 분류	용도 분류
소재	일본	Tanaka	촉매	PEMFC DMFC	전분야
	영국	Johnson-Matthey	촉매, MEA	PEMFC	전분야
	미국	Premetek	촉매	PEMFC	
	미국	Gore	전해질	PEMFC	전분야
	미국	Dupont	전해질, MEA	PEMFC DMFC	전분야
	미국	Entergris	분리판	PEMFC	전분야
	일본	니신보	분리판	PEMFC	수송형 고정형
	일본	신에츄	분리판	PEMFC	
	일본	쇼와덴코	분리판	PEMFC DMFC	고정형
	일본	신일본제철	분리판	PEMFC	수송형 고정형
	일본	Sumitomo	분리판	PEMFC	
	미국	Dana	분리판	PEMFC	
	미국	Graftech	분리판	PEMFC	
	미국	TreadStone	분리판	PEMFC	
	독일	ElringKlinger	분리판	PEMFC	
	벨기에	Borit	분리판	PEMFC DMFC	
	핀란드	ELCOGEN	탄소분리판	SOFC	
	독일	SGL	기체확산층	PEMFC DMFC	전분야
	일본	Toray	기체확산층	PEMFC DMFC	전분야
	대만	CETECH	기체확산층	PEMFC	
	일본	Akita Oil Seal	가스켓	PEMFC, DMFC	
	대만	Yangtze Energy	MEA	PEMFC	
	미국	3M	분리막, MEA	PEMFC	
	일본	Asahi Kasei	분리막	PEMFC	
	일본	Asahi Glass	분리막	PEMFC	
	독일	Fuma-tech GMBH	분리막	PEMFC	

국외 연료전지 Supply Chain(스택, 시스템)

공급망 단계	국가	기업명	주요영역	기술 분류	용도 분류
스택, 시스템	일본	Panasonic	스택	PEMFC	전분야
	일본	Eco-Energy Technology Co., Ltd..	스택	PEMFC	
	미국	Horizon	스택		
	스웨덴	Powercell	스택, 개질기	PEMFC	전분야
	미국	Plug Power	스택, 개질기	PEMFC	전분야
	미국	GM	스택, 운전장치	PEMFC	수송형
	독일	Mercedes-Benz	스택, 운전장치	PEMFC	수송형
	일본	Toyota	스택, 운전장치	PEMFC	수송형
	일본	Nissan	스택, 운전장치	PEMFC	수송형
	일본	Honda	스택, 운전장치	PEMFC	수송형
	캐나다	Ballard	스택, 운전장치	PEMFC	수송형
	캐나다	Ballard	스택, 시스템	PEMFC	전분야
	캐나다	Hydrogenics	스택, 시스템	PEMFC	전분야
	중국	Sunrise Power	스택, 시스템	PEMFC	
	미국	FuelCell Energy	시스템	MCFC	
	미국	Bloom Energy	시스템	SOFC	
	일본	미쓰비시중공업	시스템	SOFC	
	덴마크	IRD	시스템		
	덴마크	Serenergy	시스템	PEMFC	
	캐나다	Oorja	시스템	DMFC	
	캐나다	Hydrogenics	시스템		
	독일	SFC Energy	시스템	DMFC	
	독일	eZelleron GMBH	시스템	PEMFC, RMFC	
	대만	M-Field Energy	시스템	PEMFC	
	일본	MIURA	시스템	SOFC	
	일본	Sumitomo	시스템, 수소공급장치	SOFC	

국외 연료전지 Supply Chain(BOP, 공정평가/분석/설비)

공급망 단계	국가	기업명	주요영역	기술 분류	용도 분류
E-BOP	미국	GM	전력변환장치	PEMFC	수송형
	독일	Mercedes-Benz	전력변환장치	PEMFC	수송형
	일본	Toyota	전력변환장치	PEMFC	수송형
	일본	Nissan	전력변환장치	PEMFC	수송형
	일본	Honda	전력변환장치	PEMFC	수송형
	캐나다	Ballard	전력변환장치	PEMFC	수송형
	일본	Shinko-technos	전력변환기	PEMFC, DMFC	
M-BOP	미국	GM	공기/수소/열및물관리	PEMFC	수송형
	독일	Mercedes-Benz	공기/수소/열및물관리	PEMFC	수송형
	일본	Toyota	공기/수소/열및물관리	PEMFC	수송형
	일본	Nissan	공기/수소/열및물관리	PEMFC	수송형
	일본	Honda	공기/수소/열및물관리	PEMFC	수송형
	캐나다	Ballard	공기/수소/열및물관리	PEMFC	수송형
	미국	GARGNER DNEVER	블로워	PEMFC, DMFC	
	스위스	Busch Clean Air S.A	블로워, 공기재순환장치	PEMFC	
	일본	HUTABA	연료공급장치	SOFC	
	독일	MANN+HUMMEL GMBH	이온교환필터	PEMFC, DMFC	
	프랑스	KNF	펌프	전분야	
	대만	CurieJet	펌프	DMFC	
	대만	FINE TEX Machine	수소공급장치	PEMFC	
	일본	Air liquid Japan LTD	수소공급장치	PEMFC	
	대만	FINE TEX Machine	수소공급장치	PEMFC	
	대만	GOC energy	수소발생장치	PEMFC	
공정 평가/ 분석/설비	미국	Arbin Instrument	평가장치	PEMFC, DMFC	
	미국	NF Corporation	평가장치	PEMFC	
	미국	Scribner Associates INC	평가장치	PEMFC, DMFC, SOFC	
	일본	GTR Tec	평가장치	PEMFC	
	일본	PTT	평가장치	PEMFC	
	일본	Fukuda	수소 리크 발생 측정기		
	캐나다	Greenlight Innovation	분석장비	PEMFC, SOFC	
	대만	Hephasenergy	분석장비	PEMFC	

국내 연료전지 Supply Chain(소재)

공급망 단계	기업명	주요영역	기술분류	용도분류
소재	RTX	촉매	PEMFC DMFC	전분야
	오덱	촉매	PEMFC	
	비나텍	촉매	PEMFC	휴대형 수송형
	코오롱	전해질	PEMFC	수송형 고정형
	코멤텍	전해질	PEMFC	수송형
	시노펙스	전해질	PEMFC	수송형 고정형
	대주 정밀화학	전극촉매	PEMFC	
	선텔	전극촉매	PEMFC	
	현대제철	분리판		
	승림카본금속	분리판		
	에이스산업	분리판	PEMFC	
	오토엔	분리판	MCFC, SOFC	
	보림파워텍	분리판	MCFC	
	포스코	분리판		
	일도F&C	분리판, 탄소복합체	PEMFC, DMFC	전분야
	한국타이어	분리판, 탄소복합체	PEMFC	수송형
	에이스산업	탄소복합체	PEMFC, DMFC	휴대형 수송형
	JNTG	기체확산층	PEMFC	전분야
	동아화성	밀봉재, 가스켓	PEMFC	전분야
	동아공업	밀봉재, 가스켓	PEMFC	전분야
	평화오일씰	밀봉재, 가스켓	PEMFC	전분야
	LG화학	고분자막	PEMFC	
	코오롱인더스트리	고분자막	PEMFC	
	동진세미켐	고분자막, MEA	PEMFC	
	SDI	MEA	PEMFC	

국내 연료전지 Supply Chain(스택, 시스템)

공급망 단계	기업명	주요영역	기술분류	용도분류
스택, 시스템	미코	스택	SOFC	
	프로파워	스택, 시스템	PEMFC, DMFC	전분야
	현대자동차	스택, 시스템	PEMFC	수송형
	현대제철	스택, 시스템	PEMFC	휴대형 고정형
	CNL Energy	스택, 시스템	PEMFC	휴대형
	현대하이스코	스택, 시스템	PEMFC	
	현대자동차	스택, 시스템	PEMFC	수송형
	CNL Energy	스택, 시스템	PEMFC	휴대형
	현대제철	스택, 시스템	PEMFC	고정형
	경동나비엔	시스템	SOFC	고정형
	에스퓨얼셀	시스템	PEMFC	고정형
	두산퓨얼셀	시스템	PEMFC	
	현대모비스	시스템	PEMFC	수송형
	오선텍	시스템		고정형(건물용)
	효성중공업	시스템		고정형(건물용)
	LIG넥스원	시스템	DMFC	휴대형(군용)

국내 연료전지 Supply Chain(BOP, 공정평가/분석/설비)

공급망 단계	기업명	주요영역	기술분류	용도분류
E-BOP	엠케이프리시젼	기타 주변기기	PEMFC	
	다쓰테크	기타 주변기기	PEMFC	
	현대모비스	제어기	PEMFC	수송형
	케피코	제어기	PEMFC	수송형
	한빛전자	제어기	PEMFC	전분야
	이진스	제어기, 전력변환기	DMFC	전분야
	그린테크	전력변환기	PEMFC	수송형
	LS산전	전력변환기	PEMFC	수송형
	지필로스	전력변환기	PEMFC	고정형
	폴라스포	전력변환기, 전력 제어시스템(PCS)	PEMFC	
	포스코	전력 제어 시스템(PCS)		
	CNL Energy	전자회로	PEMFC	휴대형
M-BOP	동일브레이징	열교환기	PEMFC	
	황해전지	에어블로워	PEMFC, DMFC	고정형, 수송형
	청석	블로워, 펌프	PEMFC	
	디에이치엠	블로워, 압축기류		
	한라공조	블로워, 압축기류		
	씨에스이	BLDC모터, 펌프	PEMFC	
	현대모비스	수소공급 시스템	PEMFC	수송형
	명화공업	냉각펌프, 열회수 모듈	PEMFC	수송형
	세종공업	수소센서	PEMFC	수송형
	한온시스템	공기공급 시스템	PEMFC	수송형
	동희산업	공기공급 시스템 수소저장 시스템	PEMFC	수송형
	거봉한진	밸브류		
	코오롱인더스트리	막가습기	PEMFC	
	H&POWER	개질기	PEMFC	
	일진복합소재	수소탱크	PEMFC	
공정 평가/ 분석/설비	피엔피에너지텍	평가장치	PEMFC	
	CNL Energy	평가장치	PEMFC	
	나라셀텍	평가장치	DMFC, SOFC	
	원아테크	평가장치	PEMFC, DMFC	
	싸이텍코리아	평가장치	PEMFC,DMFC	
	삼덕엔지니어링	평가장치	PEMFC	
	오션텍	평가장치	SOFC	
	그린파워	평가장치		
	씨에이치피테크	평가장치		
	푸른기술에너지	평가장치	PEMFC	

국내 MCFC Supply Chain

품목	연료 공급	연료전지 시스템	발전소 운영	전력 공급
기업체	가스공사, 도시가스사업자	포스코에너지	발전공기업 및 민간발전사	한국전력

구분	Stack Module	MBOP	EBOP	용역 및 주변기기
내용	셀, 스택, 모듈 일체	공기, 연료공급, 배가스처리 및 구조물	변압기, 제어기, 통신기기 등	설계, 설치, 정비용역, 정압설비, 용수공급 등

품목	RC	연료처리	변압기	설치
기업체	포스코 에스원 글로벌, OCI	이노엔, 수국, 씨스코, 대흥쿨러 동화엔텍 코헥스 코레드 코텍엔지니어링	선도전기주식회사 태영산전 세원엔테크 금오기전 일렉콤, 엘에스산전, 산일전기, H.K.T전기	바텍에스이씨 솔루션안전, 일신안전컨설팅 한국산업안전관리원㈜ 연 엔지니어링 에스티엔지니어링 고려엔지니어링, 벽산엔지니어링 도화엔지니어링 대명기술단 디투엔지니어링 벽산파워 경민건축사사무소 플랜에이건축사사무소 현대연합건축사사무소 휴먼텍코리아엔지니어링 한국종합기술 포스코엔지니어링 포스코에이앤씨 세원이엔아이 우원씨앤이 한신기연 연합개발 강우기업 메인테크플랜트 신원이엔에스 영동에너지

품목	NRC	공기처리	제어기	정비
기업체	오토엔, 로드캠, 경동공업, 한국보싸드, 신일건업, 백산이앤씨	삼원이앤비, 뉴로스, 서원풍력, 영진블루텍 연합개발 백산이엔씨	이지파워, 와이피피	코레드 멤테크 한수 코텍엔지니어링 에이티이엔지 신성그린엔지니어링 에어비젼 에이알 넥스브레인 주식회사 에이드 다인시스템

품목	소재 등	구조물 등 보조설비	통신	주변기기
기업체	포스코, 모간세라믹, 칼텍실링테크,	기흥금속, 동신플랜텍, 유림 엘제이, 대종산업 백산이엔씨, 금호, 미진, ㈜창광, 필드, 모간 세라믹, OK산업, 경성엔지니어링, 대아통상, 신화이앤씨, 케이피엘밸브공업, 월드하이테크, 금오에스앤티	창명제어기술 ㈜해광제어 파워이앤씨, 코릭스교역, 하니웰, 유엔아이시스템, 대정에이앤지, 제이씨인터내쇼날 명인테크, 대산티에스, 하솜정보기술,	제이비에너텍 케이에프엔지에스 부영CST 삼양산업 대웅씨티 대성산업가스 인화엠이씨 태진에프티 남성기계산업 현대엠지 한국고벨

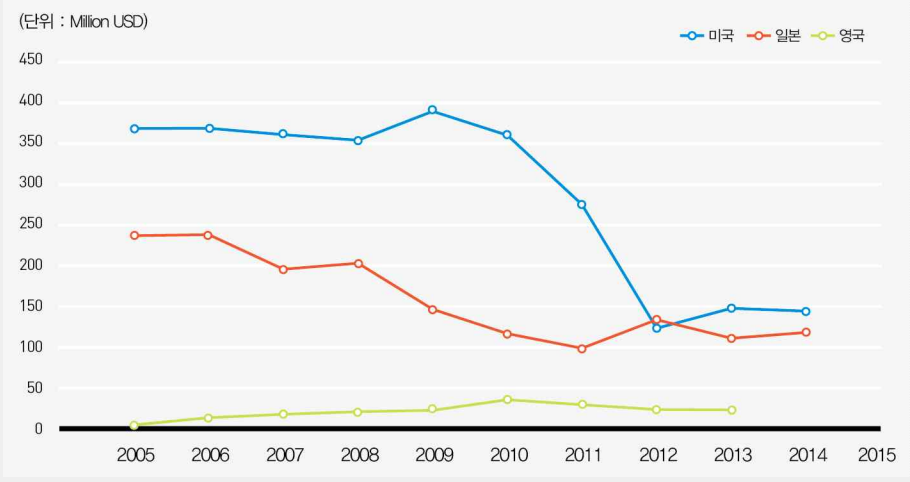
Ⅱ. 기술개발동향

01 해외 기술개발 현황

해외 R&D 투자 현황

- 전반적 OECD 국가의 연료전지 R&D 예산은 2005년 753 M$에서 약 28% 증가하여 2008년 963 M$의 예산에 달했으나, R&D 기술의 발달과 보급 및 기반시설 확충에 집중된 정책 강화 등으로 이후 연평균 약 14% 씩 감소하여 2014년에는 396 M$ 수준
  - 미국의 경우 2005년부터 2010년 사이 수소 및 연료전지 분야 R&D에 351 M$ ~ 386 M$의 예산이 투자되었으나, 오바마 정권('09) 이후 전기자동차에 대한 투자 확대로 인해 연료전지의 연구개발에 대한 투자가 대폭 감소하여 2014년에는 143 M$에 그침

연료전지 국가별 R&D 투자추이



- 영국은 2005년 이후 수소 및 연료전지 분야에 점차 투자율을 늘리면서 2008년 이후 20 M$ ~ 30 M$를 유지 중
- 일본은 2005년 ~ 2006년 사이에 235 M$의 수소 및 연료전지 R&D 예산을 유지했으나, 2011년 98 M$로 대폭 감소. 2011년 후쿠시마 재난 이후 전력공급에 대한 대안으로 연료전지 기술 개발 투자가 소폭 증가하여 2014년 수소 및 연료전지 R&D 예산은 117 M$에 달함

산업 동향 및 연구 동향

- (고정형 연료전지) 고정형 연료전지는 발전용과 건물용 및 가정용이 주를 이루고 있으며, 그 외에 Uninterruptible Power Supply(UPS)로의 이용 및 개발이 두드러짐
  - (발전용) 대형 발전용은 FuelCell Energy(FCE, MCFC) 사가 대표적이며 주요 시장은 한국과 미국임
    - 2000년대 초반 일본의 IHI사가 기술 격차를 극복하지 못하여 MCFC 개발을 잠정 보류한 이후, 2012년 이태리의 Ansaldo사도 MCFC 개발을 중단하였으며 독일의 MTU사도 자체 스택 개발에 실패하면서 현재 MCFC 발전시스템을 개발, 생산 및 판매하고 있는 업체는 미국의 FCE사, 독일의 Fuel Cell Energy Solution 그리고 한국의 POSCO Energy사 만이 남아 있는 상태
    - 미국의 FCE사는 MCFC 스택의 수명을 늘리기 위한 새로운 구성요소와 스택을 개발 중이며 현재 5년의 수명을 갖고 있는 MCFC 스택의 수명을 7년으로 늘리기 위해 구성요소의 미세구조 제어, 신재료의 개발, 스택 구조 및 운전 조건의 개선 등에 주력 중
    - 이외에도, 이산화탄소 포집을 위한 화력발전소 연계형 및 MCFC 시스템 내에서 발생하는 가스로부터 순수한 수소를 분리하여 산업용 및 차량용으로 공급하기 위한 융합 시스템 등 MCFC를 활용한 다양한 Hybrid 시스템을 통해 수요 확대 중
    - 2014년부터 미국 내 생산능력 증가를 위해 한국의 POSCO Energy와 Full Fuel Cell System을 생산 협정
    - Bloom Energy사는 SOFC 상용화 선도기업으로, 미국 내 100MW 판매 실적을 올리고 있으며, 차세대 에너지 시장의 판도를 바꿀 Bloom Box 개발하였고 100~200KW SOFC 제품을 보유하고 있음

      ※ 또한, 일본의 Soft Bank와 함께 JV(Joint Venture)을 설립

NASA에 설치된 Bloom Energy의 Boom Box[3)]

– (건물용/가정용) 전체 시장의 80% 이상을 일본 업체들이 점유하고 있으며, 일본은 2009년부터 가정용 연료전지 Ene-Farm의 본격적 발매를 시작하여 2011년 이후 동일본 대지진의 영향에 의한 전력 공급력 부족 우려로 수요가 크게 증가함

- 일본에서는 2014년 태양광과 함께 더블발전 형식으로 스마트 하우스 및 분산전원 형태로의 보급이 확대되고 있으며, 주요 업체로는 도쿄가스, 오사카가스 등이 있음
- 일본의 NEDO는 25개의 BOP 제작업체가 참여한 '소형 건물용 연료전지 시스템의 주변기기 기술개발' 과제를 25억 엔 예산으로 정부주도하에 수행하여 시스템 가격저감을 이루고 2014년 기준으로 약 5만대의 가정용 연료전지를 보급

※ 또한, NEDO는 소용량(~수 kW)에서 중용량(수십~수백 kW)급 SOFC 시스템을 개발하기 위한 로드맵을 수립하여 시행하고 있음

- 미국의 Plug Power사는 주택용 PEMFC 연료전지 분야에서 선도적 연구를 주도해왔으며, 20가구를 대상으로 미국 뉴욕주에서 7kW 출력 고분자 연료전지 시스템의 현장 실험 중

※ 또한, 미국의 GE와 합작하여 GE Microgenerator를 설립하고, 독일의 Valliant와도 합작하여 주택용 PEMFC 연료전지의 상용화 연구에 앞장서고 있음

3) 출처: Bloom Energy

- 이탈리아의 대표적 스택 제조업체인 De-NOra와 미국의 개질기 제조업체인 Epyx는 공동 출자하여 Nubera를 설립하였고, 미국의 H-Power도 역시 주택용 연료전지 시장의 진입을 선언
- EU는 FCH(Fuel Cell and Hydrogen) 주도하에 6kW급 연료전지 부품[4] 개발 프로젝트인 FluMaBack을 2015년 6월까지 수행하였으며, Ene-Field[5] 프로젝트를 통해 PEMFC 및 SOFC 가정용 연료전지를 2017년 6월까지 실증 중

– (UPS용) 통신업계의 Backup 전원으로써 연료전지의 이용이 증가하고 있으며, Ballard Power Systems, Altergy 등이 아시아 및 중국 시장을 공략 중

● (수송형 연료전지) 수송형 연료전지는 자동차용으로의 개발이 단연 돋보이며, 지게차 등과 같은 물류운반용(Material Handling Vehicle, MHV)과 무인기 등의 실증 및 상용화 노력도 가속화되고 있음

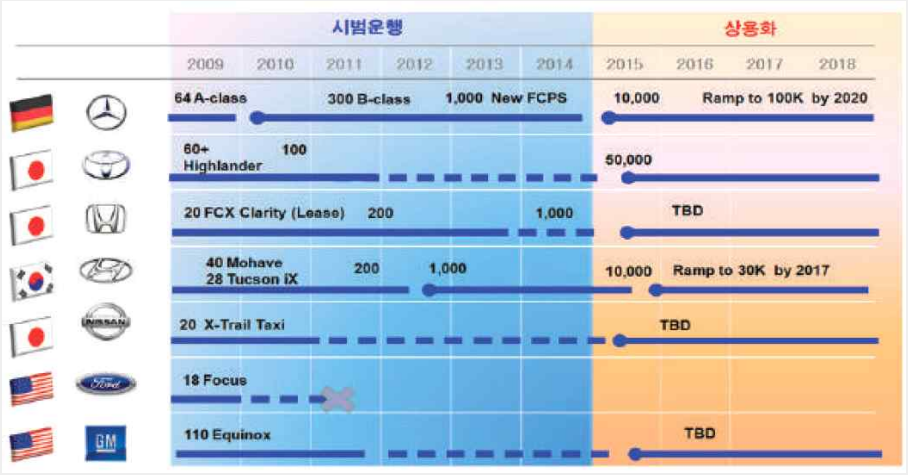
– (자동차용) 전세계 자동차 업계의 친환경차 시장조기 선점을 위한 수소연료전지자동차 개발과 상용화 경쟁이 점점 치열해지고 있으며, 주요기업 간의 원가절감 및 양산화를 위한 협업이 증가하는 추세

- 해외에서는 현재 내구수면 20만 km와 영하 30도 시동기술이 확보되어 기술적으로는 상용화 수준에 있으나, 시장진입의 걸림돌인 7천만원 이상의 차량가격을 낮추는데 연구를 진행 중
- 일본의 Toyota는 친환경 개발에 현재 확보된 하이브리드차 기술을 접목하여 수소연료전지차(Fuel Cell Vehicle, FCV) 가격을 저감시키고자 노력 중이며, 신차 주행 시 배출 CO_2를 90% 저감시키고, 2050년까지 재생 및 수소 에너지를 활용하여 글로벌 공장에서 배출되는 CO_2를 zero 수준으로 감축 예정
- 일본의 Honda는 2016년 3월 자체개발한 세단형 수소연료전지자동차 양산품 출시를 발표 예정이며, 2020년에는 GM과 합작한 수소연료전지차를 출시할 계획
- 원가절감과 연료전지 시스템의 대량 생산을 위한 협업은 2013년을 기점으로 활발히 전개되어, 2013년 1월 BMW와 Toyota는 2020년까지 연료전지 시스템, 수소 탱크, 전기 모터 등 핵심기술을 공유하고 양산효과에 의한 가격경쟁력 확보차원으로 연료전지 자동차 플랫폼을 공동개발하기로 협약함

4) 블로워, 개순환펌프, 가습기, 열교환기 등
5) 2012년 10월부터 시행되었으며, 9개의 유럽 기업 등을 포함한 27개의 프로젝트 파트너로 구성

- 수 십년간 연료전지 기술을 개발해온 Daimler와 Ford는 2013년 1월, 2017년부터 상용 연료전지 시스템 개발의 기술 파트너결합 동맹에 합류
- 이어 2013년 7월, Honda와 GM은 소형경량화한 고성능의 차세대 연료전지 시스템과 고압수소저장 기술의 공동 개발을 위한 기술 제휴 발표
- Ballard Power Systems(PEMFC)은 연료전지 전문기업 가운데 세계 최고의 기술을 보유한 곳으로 완성차 업체와의 협업이 가장 왕성하여 Daimler, Ford, Nissan을 포함해 대략 10개 기업에 연료전지를 제공 중
- Volkswagon은 실증 프로그램에 사용되는 연료전지의 개발을 위해 2013년 Ballard Power Systems와 Engineering Service 협약을 체결하고, 하반기에 연료전지를 장착한 Audi A7을 공개함

업체 별 연료전지 차 양산 계획[6)]



– (무인기용) 미국 정부와 보잉사는 미연방항공우주국 드라이덴에서 2012년 6월 1일 고고도 장기 체공 무인항공기인 '팬텀아이(HALE)'의 첫 자동 비행을 실시했으며, 4,080 피트 상공까지 상승해 62 노트의 속도로 순항 완료

– (물류운반용) Plug Power가 2015년 현재 북미에 공급한 물류운반차용 연료전지가 8500대 이상이며, 2015년 4월부터 2년간 Memphis 국제공항에서 15대의 GSE[7)](Ground Support Equipment)를 대상으로 연료전지적용 차량의 실증을 진행중임

– (선박용) EU, 일본 등도 다양한 용도의 선박용 연료전지 개발로 차세대 선박엔진

6) 출처: 현대자동차

7) 물류운반차량 종류의 하나로, tow tractor 및 비행 전후에 비행기에 서비스를 제공하는 다른 vehicle을 총칭

기술 선정에 주력하고 있으며, FCShip, ZEMShip, FellowShip, Methapu Project를 2000년도 초반부터 진행하여 현재 선박해양용 MCFC와 SOFC시스템 개발의 기초 기술력을 확보

- (휴대형 연료전지) 휴대형 연료전지의 산업은 시장의 확대를 위해 미국의 H Power사의 선도로 비상전원, 군용전원으로 응용분야 확대 중
  - (비상전원용) 일본에 있는 Bio Coke Lb Co.는 휴대형 전원을 개발하는 환경기술회사로 비상용 전원 시장을 위한 33W 휴대형 연료전지를 개발
  - (군용) H Power사는 30W급 병사용 휴대전지를 개발하였고, Giner Electrochemical사는 미육군 통신용 휴대전지를 개발 중
    - 캘리포니아의 micro fuel cell 개발업체인 UltraCell은 XX55 fuel cell과 CliC-It methanol filling station을 가지고 있으며, 2012년부터 2013년 5월까지 New Zealand Defence Forces(NZDF) Battle Lab에 의하여 검증받음
  - (레저용) 유럽에서는 야외활동을 기반으로 한 레저문화가 발달하여 레저용 연료전지 개발이 상대적으로 활발하며 일부 제품은 상용화되어 판매 중
    - 독일의 Smart Fuel Cell사는 휴대용 연료전지를 상업적으로 판매하는 유일한 회사이며, SFC A50이라는 연료전지를 개발하여 주로 요트 등 레저용을 판매 중
  - 그 외에도, 미국의 Ooja Fuel Cel과 독일의 SFC Energy가 휴대형 연료전지 시장 공략 중에 있으며, 미국의 MTI Micro Fuel cells 사는 미국 에너지부(Department of Energy, DOE)와 국방부(Department of Defense, DOD)의 재정 지원으로 DMFC 휴대형 연료전지를 개발 중
    - DMFC 시스템 주변기기(BOP)에 모세관력을 이용한 passive 형 물 재활용 및 이산화탄소 제거 기술을 적용한 Mobion Fuel Cell 기술을 개발 중이며, 기존 배터리팩보다 출력이 2~10배 높음
- 그 밖의 연구동향
  - '14년에 미국 DOE에서는 연료전지의 부품 및 시스템의 양산 기술 제고를 통해 내구성 향상과 가격 저감을 목적으로 MEA 생산 공정, 촉매, 막 등에 대한 연구가 활발히 진행됨
  - SOFC 발전기술은 상용화에 근접한 기술이며 가격 절감과 신뢰성 향상을 위한 연구 개발이 진행 중으로 미국, 일본, EU 등에서 지속적으로 개발 연구를 지원 중

- SOFC는 백금촉매를 사용하지 않고 일반촉매를 사용하며 효율이 높은 장점이 있어 건물용 및 가정용으로 상업화가 진행되고 있으나, 생산단가가 PEMFC 보다 비싸며 내구성이 검증이 되지 않아 대용량(수백 kW) 발전시스템 개발은 기술적 이유로 지연되고 있어 기술력 선점을 위해 전 세계적으로 연구개발에 주력
- 미국에서는 SECA Program의 Core Project를 통하여 발전용 저비용 SOFC 시스템 개발을 추진 중이며 나노입자의 LSM(Lanthannum Strontium Manganite), LCC (Lanthanum Calcium Chromite)를 분산한 공기극과 저가 중저온 IC(Interconnector) 및 공정 기술 개발 중이고, 일본에서는 NEDO를 통하여 SOFC 전해질, 전극, 연결재개발을 지원하고 있는 상황
- EU는 FZJ, Topsoe, Rolls-Royce 등 26개 기관이 참여한 'Real SOFC Project'를 통하여 SOFC 스택의 열화현상 및 내구성 개성을 위해 연구 중인 한편, DESTA 프로젝트를 통해 AVL, Eberspaecher 등이 SOFC 기반의 디젤연료형 3kW급 트럭용 보조전원 실증함

– 유럽에서는 풍력을 사용하여 연료전지의 연료로 사용되는 수소를 수전해하는 Power-to-Gas 컨셉을 실증 중

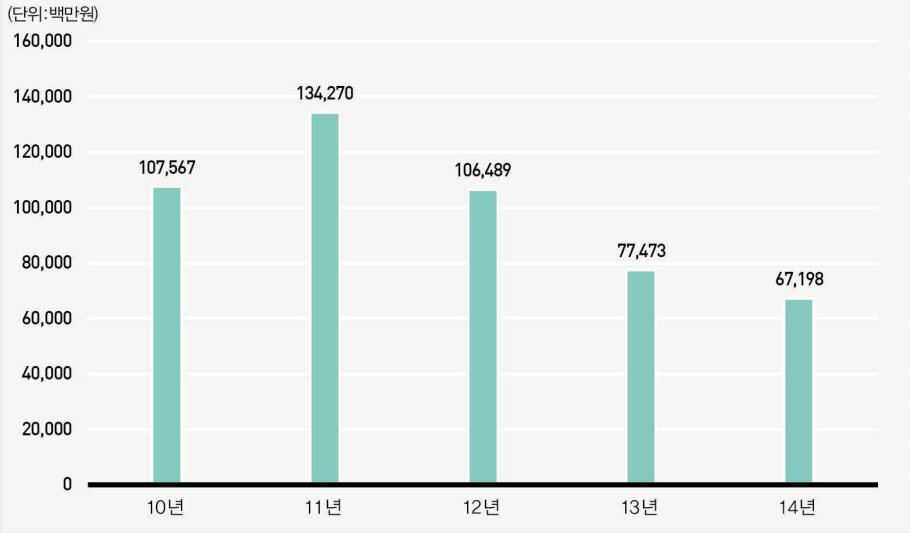
02 국내 기술개발 현황

국내 국가 R&D 투자 현황

- 친환경적 에너지원에 대한 수요 증가로 국내에서는 미래 경제성장 동력으로써의 중점 지원분야[8] 중 하나로 연료전지의 개발 및 확산에 주력하였으며, 연료전지 관련 R&D 투자는 2011년에 2010년 대비 약 24.8% 증가한 1,342.7억 원에 달해 최근 5년 이내 가장 높은 투자 규모를 보였고, 이후 기술의 고도화에 따라 R&D에 대한 투자가 대폭 감소하여 2014년에는 약 672억 원에 그침

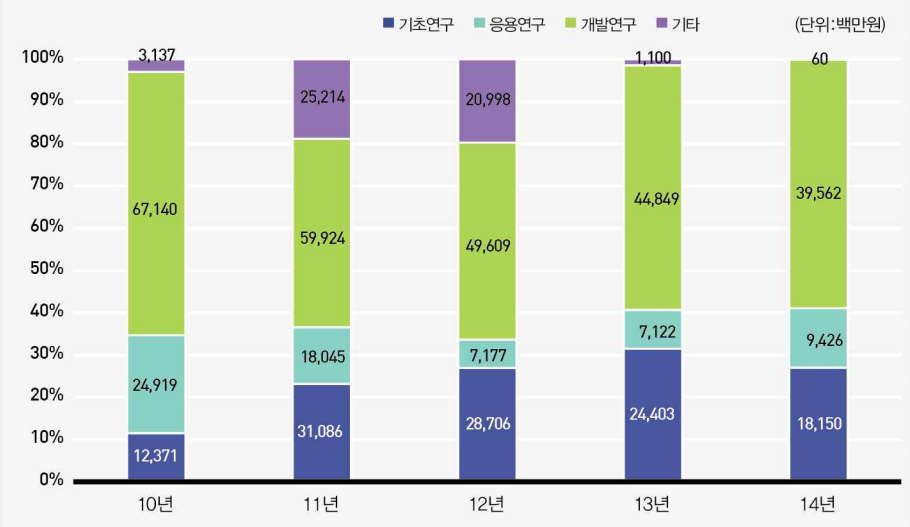
8) 태양광, 풍력, 수소연료전지, 석탄이용(IGCC)

연료전지 R&D 투자추이



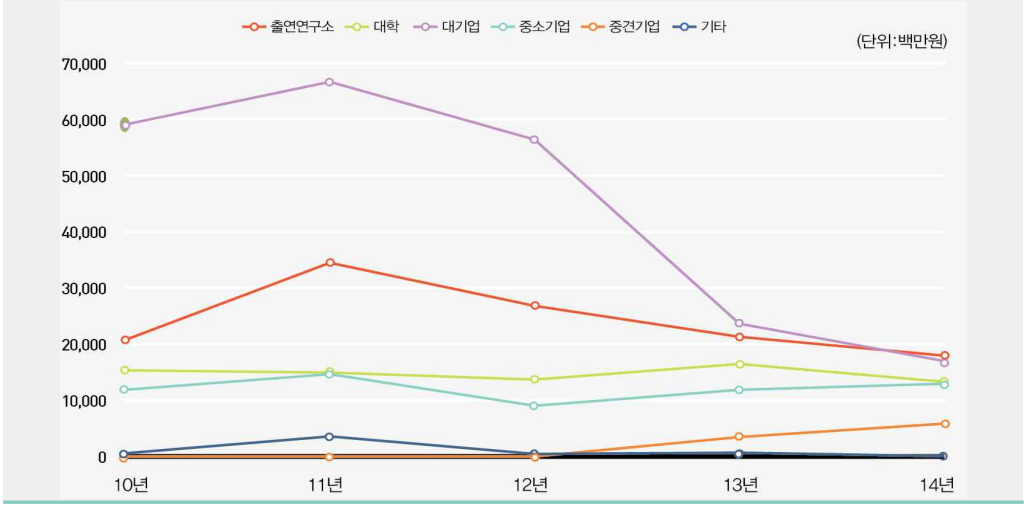
- 연구개발 단계별로 보면, 2010년에는 개발연구에 대한 투자가 전체 연구개발의 62.4%를 점유하며 기초연구, 응용연구, 개발연구, 기타연구 부문 중 1위를 차지하였고, 이 투자 추세는 2014년까지 이어짐
  - 산업통상자원부의 지속적 투자 및 민간 투자 유치와 지역 사업의 부상으로 인해 개발연구에 대한 투자는 가장 큰 규모로 나타남
  - 핵심소재 및 부품의 국산화 노력에 따라 기초연구에 대한 투자는 2011년부터 크게 증가하여 2013년에는 전체 투자액의 31.5%에 달함
  - 반면, 기초연구에 대한 투자 증가 및 중복 연구 배제와 기술 상용화에 대한 경제성 논리로 인해 응용연구에 대한 투자는 2010년 249.2억 원의 규모에서 점차 하락하여 2014년에는 94.3억 원에 그침

연료전지 연구개발단계별 R&D 투자추이



- 연구수행 주체로는 대기업이 가장 큰 R&D 투자율을 보이며 대기업 위주로 대규모의 연구가 진행되었으며, 그 다음으로는 정부출연연구소, 대학, 중소기업 순으로 높은 투자율을 보임
  - 대기업은 2010년 약 590.4억 원의 규모로 전체 연료전지 R&D 투자액의 약 54.9%의 높은 투자율을 보였으나, 2011년 666.5억 원의 투자 이후 급격히 규모를 축소하여, 2014년에는 전체 R&D 투자액의 25.3%에 머물렀음
    - 부품 및 요소 기술 개발에 대한 정책적 지원이 중소기업 위주로 전환됨에 따라 대기업의 투자는 감소하는 추세를 보임
  - 정부출연연구소는 2010년과 2014년 사이에 전체 R&D 투자액의 약 20~27%를 유지하였으며, 그 규모는 2011년 이후 점차 감소하는 추세

연료전지 연구수행주체별 R&D 투자추이



- '08년 이후부터 미래창조과학부, 산업통상자원부 등을 중심으로 연료전지에 대한 연구개발을 지속적으로 투자하였으며, 부처별 국가 R&D 투자 규모를 보면 산업통상자원부가 개발연구 부문에 약 290.6억 원의 가장 큰 투자를 하고 있는 것으로 나타남
  - 미래창조과학부가 기초연구와 개발연구에 각각 95.5억 원과 70.6억 원의 투자를 하였으며, 핵심연구 분야는 수소 제조기술, 수전해방법, 수조저장 방법 등임

연료전지 부처별 국가 R&D 투자추이('14)

국내 기술 수준

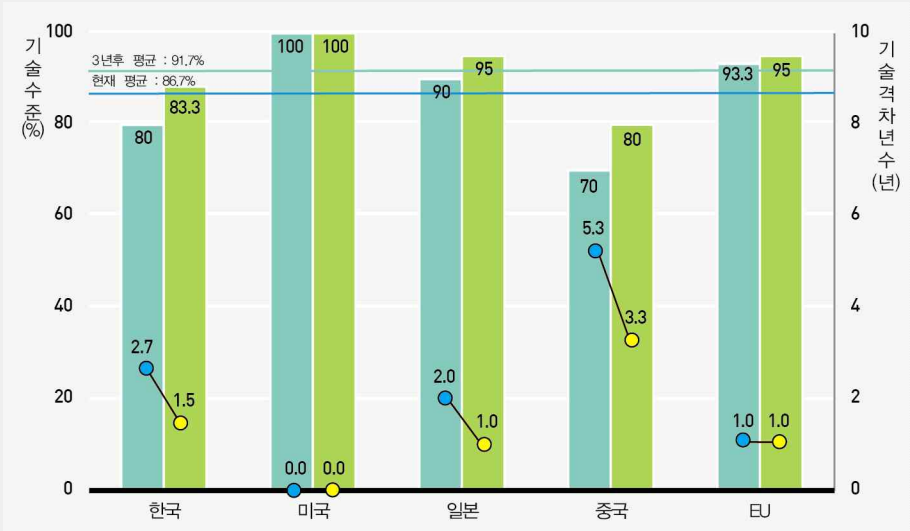
- '15년 현재 우리나라의 기술수준은 중 세계최고기술보유국(일본) 대비 한국

87.6%로 주요 5개국 중 4위를 차지

※ 주요 5개국의 기술수준은 세계최고기술보유국(미국, 100%) 대비 일본(95.4%), EU(89.6%), 한국(81.2%), 중국(66.4%) 순으로 나타남

- '15년 현재 주요 5개국간의 기술격차년수는 세계최고기술보유국(미국)대비 일본(0.7년), EU(1.6년), 한국(3.1년), 중국(5.0년) 순으로 추정

주요 5개국별 '15년도 기술수준 및 기술격차 비교



- (전략 제품 · 서비스 기술 수준) 5개의 전략 제품·서비스 기술별 한국의 기술수준은 73.4%~83.8% 사이에 분포(평균 81.2%)
  - 기술수준이 상대적으로 높은 전략 제품·서비스 기술은 'PEMFC 시스템(83.8%)'인 반면, 기술수준이 상대적으로 낮은 기술은 'SOFC 시스템(73.4%)'으로 나타남

전략제품·서비스별 주요 국가의 기술수준 비교

(단위 : %)

전략품 서스	최고 기술 보유국 ('15)	최고 기술 보유국 ('18)	한국			미국			일본			중국			EU		
			15년 (A)	18년 (B)	B-A	15년 (A)	18년 (B)	B-A	15년 (A)	18년 (B)	B-A	15년 (A)	18년 (B)	B-A	15년 (A)	18년 (B)	B-A
MCFC 시스템	미국	미국	81.3	92.5	11.3	100.0	100.0	0.0	85.0	90.0	5.0	57.5	69.5	12.0	80.0	86.3	6.3
SOFC 시스템	미국	미국	73.4	83.8	10.3	100.0	100.0	0.0	97.5	96.8	△0.7	60.8	75.0	14.2	91.1	95.0	3.9
PEMFC 시스템	일본	일본	83.8	90.0	6.3	92.5	95.0	2.5	100.0	100.0	0.0	68.8	81.3	12.5	90.0	95.0	5.0
DMFC 시스템	미국	미국	81.3	90.0	8.8	100.0	100.0	0.0	92.5	95.0	2.5	70.0	80.0	10.0	91.3	93.8	2.5
PAFC 시스템	미국	미국	80.0	87.5	7.5	100.0	100.0	0.0	95.0	95.0	0.0	70.0	80.0	10.0	88.8	90.0	1.3
평균	미국	미국	81.2	89.6	8.5	100.0	100.0	0.0	95.4	96.3	0.9	66.4	77.9	11.5	89.6	92.9	3.4

- 요소기술별 기술진입장벽에 대한 전문가 응답 현황을 살펴보면, MCFC, SOFC, DMFC 분야의 소재기술에 대한 진입장벽이 높은 것으로 인식되는 반면, PEMFC와 PAFC는 시스템 분야 설계 및 운영에 대한 기술의 장벽이 높은 것으로 인식됨
  - MCFC와 SOFC는 고온에서 운전되는 만큼, 고온에서 견딜 수 있는 소재 개발에 대한 어려움이 있음
  - DMFC는 전해질 막을 통한 메탄올의 투과현상(crossover) 문제 해결을 위한 소재 기술 개발이 필요
  - PEMFC와 PAFC는 부품 및 소재에 대한 기술이 고도화 되었으나, 아직 보급 확산이 되지 않아, 운전·운영에 대한 경험이 부족해 생산 설계 및 운영 기술 확보가 어려운 상황으로 판단됨
  - MCFC와 SOFC 관련 원료전처리 기술과 PEMFC과 DMFC 분야의 부품 기술은 상대적으로 기술장벽이 보통인 것으로 평가됨

요소기술별 기술진입장벽에 대한 전문가 응답 현황

(단위 : %)

요소기술		낮은 편	보통	높은 편
MCFC	원료전처리 기술	26.4	52.4	21.2
	소재 기술	5.4	15.2	79.3
	부품 기술	2.5	38.5	59.0
	시스템 분야 설계/운영 기술	7.5	29.7	62.9
SOFC	원료전처리 기술	3.1	59.5	37.4
	소재 기술	1.1	8.2	90.7
	부품 기술	1.0	23.0	76.0
	시스템 분야 설계/운영 기술	1.0	34.8	64.2
PEMFC	원료전처리 기술	11.9	38.6	49.5
	소재 기술	21.1	20.5	58.4
	부품 기술	7.9	71.0	21.2
	시스템 분야 설계/운영 기술	9.7	25.7	64.6
DMFC	원료전처리 기술	19.0	59.5	21.4
	소재 기술	8.2	28.9	62.9
	부품 기술	6.9	72.5	20.6
	시스템 분야 설계/운영 기술	9.6	53.8	36.5
PAFC	원료전처리 기술	18.3	79.6	2.2
	소재 기술	9.1	57.6	33.3
	부품 기술	8.5	61.7	29.8
	시스템 분야 설계/운영 기술	10.2	19.6	70.2

산업 동향 및 연구 동향

- (고정형 연료전지) 국내는 발전용(사업용)의 고정형 연료전지 위주의 산업이 형성되고 있으며, 분산발전용으로 포스코에너지(MCFC)와 두산퓨얼셀(PAFC)이 세계 우위를 차지하고 있음
  - (발전용) 발전용의 대표적인 업체로는 포스코에너지(MCFC), 두산퓨얼셀(PAFC) 등이 있으며, MCFC 발전시스템의 국산화 완료
    - 포스코에너지는 FCE사와 제휴를 맺고 2015년 포항에 세계 최대규모인 연 100MW 이상의 생산능력을 갖추어 100kW~11.2MW급의 MCFC 시스템을 판매 중
    - 두산퓨얼셀은 2012년 수소타운 시범사업에 따라 1kW, 10kW급 수순 수소형 연료전지 설치에 따른 수소 공급, 설치, 안전, 운영에 걸쳐 기술 개발이 이루어 졌으며, 2014년 ClearEdge Power에 매각된 UTC의 PAFC 기술을 매각함
  - (건물용/가정용) 국내에서는 여러 기업 및 연구소를 중심으로 다양한 용량의 건물용 연료전지 시스템 연구가 진행되어 왔으나, 부품 공용화 및 모듈화 기술개발 연구는 매우 미흡한수준이며 기술력 또한 선진사에 비해 낮음
    - 현재 국내 건물용 연료전지 시장규모는 미미하지만, 1kW급 PEMFC 위주로 국산화 개발과 모니터링 사업을 완료하여 500기 이상을 민간에 보급하였으며, 10kW급 상업용의 상용화로 해외에 수출 중에 있음
    - 두산은 최근 퓨얼셀파워 인수합병을 발표하였고, 코오롱워터앤에너지는 미국의 Hydrogenics와 코오롱하이드로제닉스를 설립하였으며, 현대하이스코는 Plug Power와 합작법인 양해각서 체결
    - 에스퓨얼셀은 5kW급 연료처리기 국내 기술 개발을 목표로 연료처리기 기술 개발에 대해 전력을 다하고 있으며, 현재 가정용 연료전지 모니터링 사업에 참여 중
    - 포스코에너지는 포항산업과학연구원과 공동으로 SOFC 시스템 개발에 착수하여 현재 10kW급 SOFC 시스템을 개발하고 있으며, 2015년 건물용 시스템 상용화를 목표로 함

국내 시판중인 에스퓨얼셀 가정용 및 건물용 연료전지 시스템[9]

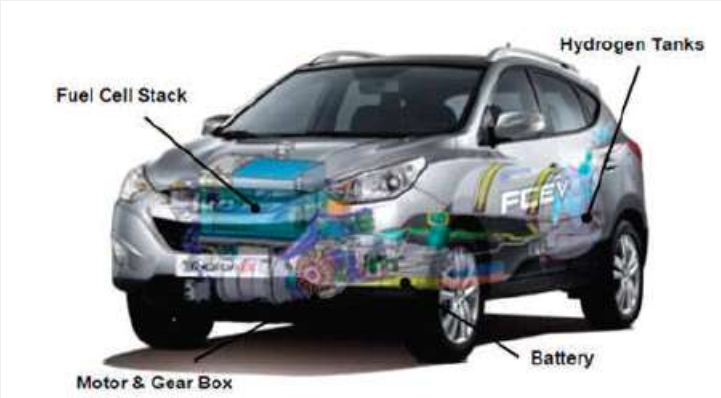
※ 내부적으로는 연료처리장치를 개발하고 있으며, 자체 개발품을 시스템에 장착하여 운전해본 경험이 있고, 현재 국외 연료처리장치를 기술 이전 받아, 5 kW 연료처리장치의 경우 시스템에 적용하여 실증사업을 진행 중에 있음

- (수송형 연료전지) 국내에서는 현대차의 선도로 대기업 중심의 수송형 연료전지가 개발 중이며, 정부도 모니터링 사업 등을 통해 활성화에 노력 중
  - (자동차용) 국내 연료전지자동차의 기술은 현대자동차가 대표적이며, 그 수준은 완성차수준에서 세계 정상급으로 수소연료전지자동차 모니터링 사업 등을 통해 신뢰성을 확보하여, 북유럽 4개국에 시범보급, 독일, 미국 등에서 보급 및 실도 운영 중
    - 현대자동차는 '13년 세계 최초 수소연료전지차를 양산하였으며 지금까지 230대의 승용차와 버스를 실증하였고 470만km를 주행하였다고 발표하였고, 미국 자동차 전문 조사기관인 워즈오토는 "2015 10대 엔진"으로 투싼의 수소연료전지차를 뽑음
    - '13년 양산 수소연료전지차 투싼 ix35의 1충전 주행거리는 594km, 휘발유 환산 연비는 27.8km였으며, 운전장치 소형화와 대량생산 기법인 Die-casting[10]을 통하여 가격을 저감시킴
    - 2015년 약 1,000대의 연료자동차 생산라인을 구축하였으며, 2020년까지 연간 10,000대의 양산을 목표로 시설 증설을 추진

9) 출처: 에스퓨엘셀

10) Die-casting(다이캐스팅) : 필요한 제품을 CNC 가공 등을 통하지 않고 금속을 용융하여 제품을 만드는 정밀 주조법

현대 투싼ix 연료전지 자동차[11)]



- 차기 수소연료전지차 모델은 EV/HEV 공용부품을 이용하고 기존 2L급 엔진크기와 동등한 연료전지시스템을 개발할 계획
- 2016년까지 스택 부품 100% 국산화, 5,000시간 이상 스택 내구성 확보, 4시간 이내 Stacking으로 생산성 확보를 위한 자동화 기술개발이 진행 중
- 연료전지 스택의 핵심 부품인 MEA, GDL 등의 소재는 외국에 의존하고 있어, MEA 성능 향상과 가격 저감을 위해 스택 성능을 획기적으로 향상시키는 기술을 집중적으로 개발 중

● (휴대형 연료전지) 국내에서는 휴대용 전자제품에 적용할 연료전지의 개발시도가 있었으나 상업성 확보에 어려움을 겪고 있음

– (무인기용) CNL Energy는 2013년부터 국가지원을 통해 무인항공기용 연료전지 스택을 개발 중에 있으며 개발 중인 스택을 적용한 수송형 연료전지 적용 및 수출을 준비 중에 있음

– (물류운반용) 우리나라의 프로파워는 국내 처음으로 DMFC를 class Ⅱ에 적용하여 실내용 연료전지 지게차를 운전하였으며 현재는 PEMFC를 class Ⅰ에 적용하여 개발 완료 후 실증 중에 있음

– (전자기기용) 삼성SDI, LG화학과 같은 국내 이차전지업체들은 노트북용, 휴대폰용으로 휴대형 연료전지의 시제품 개발은 성공했으나 상업성 확보가 어려워 이후 개발이 지연됨

– (의료용) 새로운 용도로 의료용에 대한 개발도 진행 중이며 가능성을 높여가고 있는 상황으로, 연료전지의 모든 부품들을 생체 친화적 재료(고분자, 세라믹 및 탄소)로 구성됨

11) 출처: 현대자동차

- 그 밖의 연구동향
  - '15년 국내에서는 정부의 지원으로 PEMFC 고출력화를 위한 MEA 구조설계, 알칼리 환경에 대한 이온전도성 및 내성이 우수한 전해질막 개발, 차세대 수소제조 및 저장 기술과 고신뢰성 SOFC 스택모듈 개발, 자동차용 과불소계 강화막 국산화 등의 기술 개발에 집중
    - UNIST 백종범 교수 외 4인의 주도로 무한 재사용 그래핀 연료전지 촉매를 개발(기초연구사업) 하여 기업(덕양(주))에 기술이전 완료
  - '16년에는 차세대 연료전지 관련 기술 개발 외에 연료전지 경제성 향상을 위한 시스템 가격 저감과 수소 충전소 등의 인프라 구축 및 관련 핵심 기술 개발에 주력할 예정

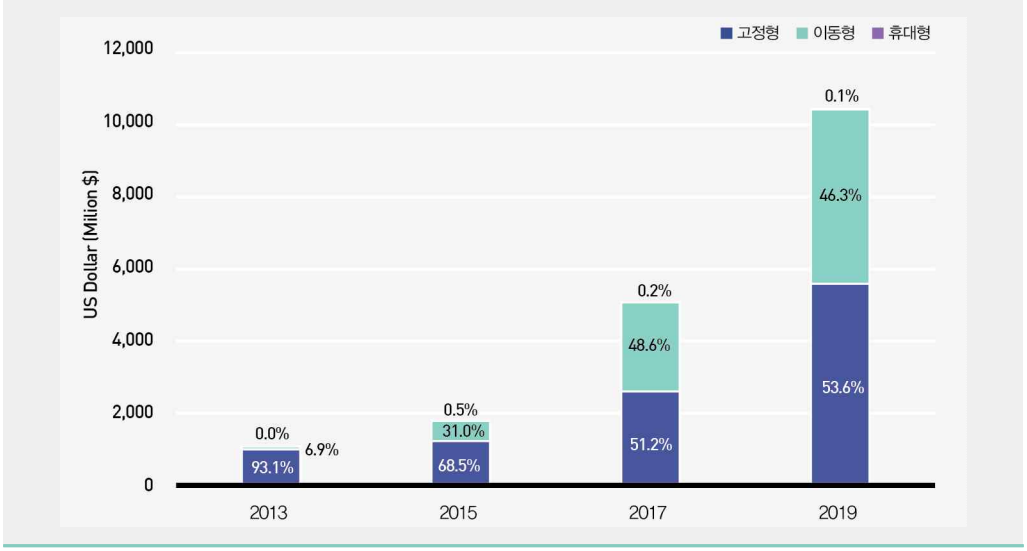
Ⅲ. 시장현황

01 세계시장 현황 및 전망

- '15년 세계 연료전지 시장 규모는 '13년 대비 약 67.3% 증가하여 1,775 M$로 추정

※ ('13년) 1,061 M$ → ('15년) 1,775 M$

연료전지 전체 세계시장 규모[12)]



- 전 세계 연료전지 시장은 최근 빠른 성장세를 보이고 있으며, '19년까지도 지속될 것으로 전망 (연평균성장률, CAGR '13~'19 : 46.1%)
  - 용도별로는 고정형(Stationary)과 수송형(Transport)의 전체적인 성장이 두드러지며, '15년까지는 발전용 연료전지로 인해 고정형이 약 68% 이상의 시장을 점유했으나, 자동차용 시장의 급격한 성장으로 '17년 이후 부터 수송형의 시장 점유율이 발전형과 비슷한 규모로 형성될 것으로 전망

※ (고정형) '13년 988.2 M$ → '15년 1,215 M$ → '17년 2,579 M$ → '19년 5,534 M$ (수송형) '13년 72.7

12) 출처: Navigant Analysis

M$ → '15년 550.2 M$ → '17년 2,445 M$ → '19년 4,787 M$

– 시장의 규모가 상대적으로 미미한 휴대형(Portable) 연료전지 시장은 '13년 이후 급격한 성장세를 보여 '15년에는 전체시장의 0.5%를 차지하였으나, 상대적으로 작은 시장규모에 의해 '19년 전체시장의 0.1%에 머물 것으로 예상

※ (휴대형) '13년 0.1 M$ → '15년 9.4 M$ → '17년 10.2 M$ → '19년 10.9 M$

(고정형 연료전지) 연료전지의 용도 중 현재까지 가장 상용화된 분야로 대형 발전이 큰 점유율을 보이며 근 미래에도 지속적으로 성장할 전망 (CAGR, '13~'19 : 33.3%)

- PEMFC의 경우 '13년 고정형 연료전지 시장에서 31.8%를 차지하였으며, 이후 꾸준한 기술 실용화와 보급분야의 확대[13] 및 양산화에 따른 가격 하락으로 시장 점유율이 계속적으로 증가하여 '19년에는 50% 이상을 보일 것으로 예상

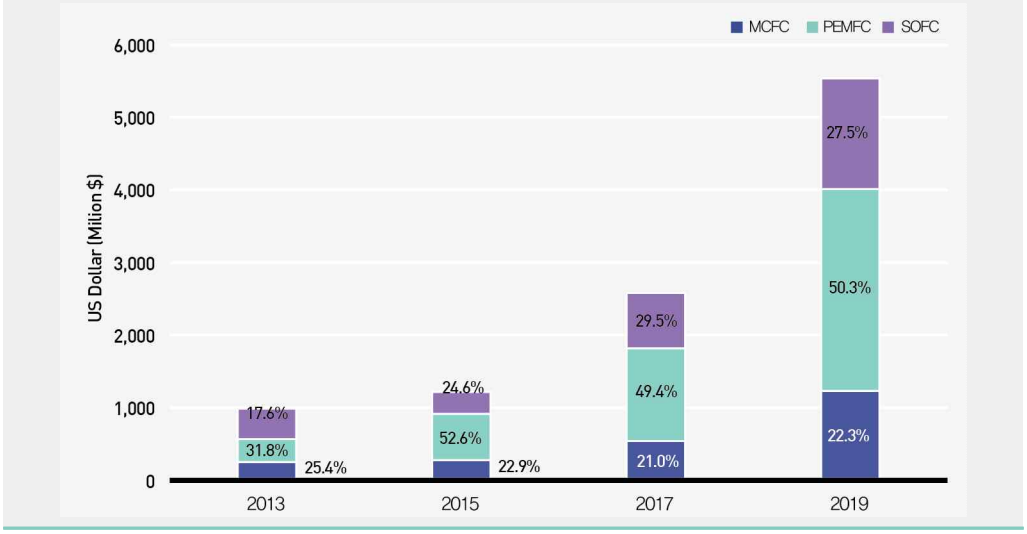
- 이와 동시에 SOFC는 기술의 신뢰성 확보, BOP의 최적화 및 가격 저감에 관한 노력의 필요로, 시장 점유율은 '13년 42.8%에서 '15년에는 24.6%로 시장의 축소가 나타나지만 2017년 이후 관련 이슈의 해결과 함께 시장 규모는 급격히 성장할 것으로 예상되며, MCFC는 꾸준히 20% 내외의 점유율을 보일 것으로 전망

※ 연평균성장률 (CAGR, '13~'19) : MCFC (30.4%), PEMFC (43.8%), SOFC (23.8%)

- 대형 발전용의 가장 큰 시장은 미국과 한국이고, 건물용 및 가정용은 일본이며 일본의 가정용 연료전지는 보급형 시장에서 자립형 시장으로 변환될 것

13) 군용, 농업용 등

고정형(Stationary) 연료전지 세계 시장 규모[14]



- (수송형 연료전지) '13년 이후 지속적으로 PEMFC가 전체시장의 100%에 달하는 규모를 차지하고 있으며, 전기자동차와 함께 온실가스 저감형 운송수단의 수요증가로 PEMFC의 규모는 급격히 증가할 것으로 예상 (CAGR, '13~'19 : 100.9%)

- SOFC의 시장은 고정형 시장에서의 규모 축소로 인해 수송형 시장에서의 점유율을 높일 것으로 예상되나, 그 규모는 소폭에 그칠 것으로 추정

  ※ 연평균성장률 (CAGR, '13~'19) : PEMFC (100.7%)

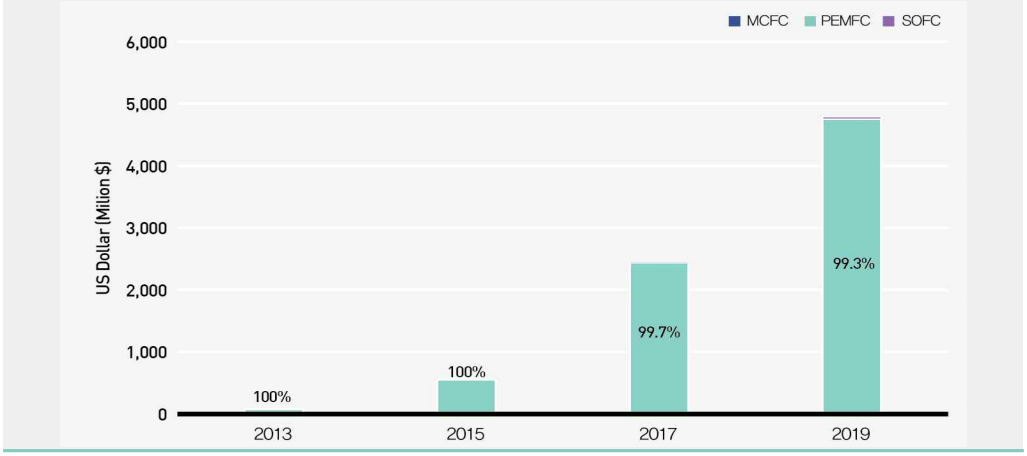
- EU는 2050년까지 육상교통부문의 온실가스를 95% 줄일 것을 발표하였고, 이와 더불어 Low-to-Zero-Emission 차량의 이용이 증가할 전망

- 현재까지 수송형 연료전지 중 가장 실용화에 근접한 분야는 지게차 등의 물류운반용으로, 앞으로도 크게 성장할 것으로 예상됨

- 연료전지 자동차 업체도 상용화를 앞당기기 위해 주력 중이며, 대중교통 수단 등의 대형 수송 차량 등은 각국 정부의 재정적 지원이 필요한 상황

14) 출처: Navigant Analysis

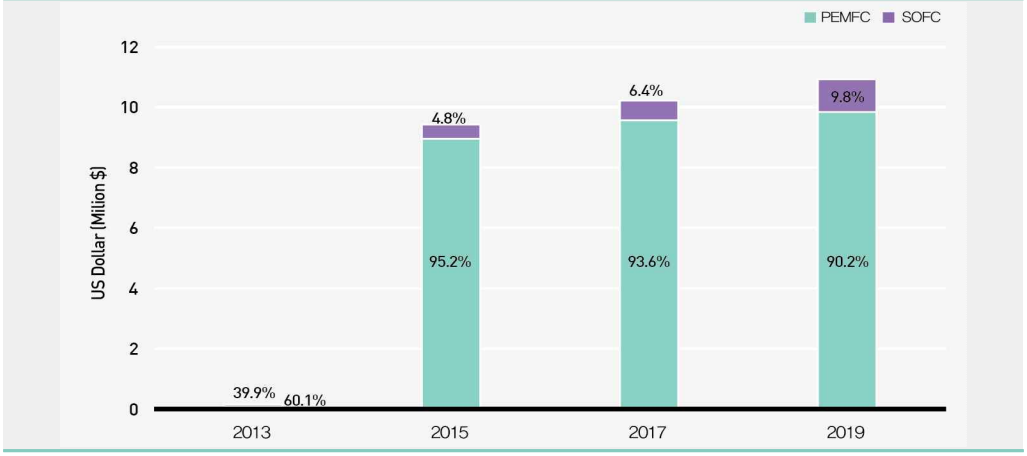
수송형(Transportation) 연료전지 세계 시장 규모[15]



- (휴대형 연료전지) 계속되는 시장진입의 실패로 전체시장 대비 규모가 매우 작으나 보조 배터리 및 군용 등의 수요증가로 시장규모는 확대될 전망 (CAGR, '13~'19 : 104.9%)
  - '13년에는 SOFC가 시장의 약 39.9%를 차지하였으나, 저온에서 동작하며 조작이 쉬운 PEMFC 기술의 성장 및 가격하락으로, '15년 이후에는 수송형과 마찬가지로 PEMFC가 시장의 대부분을 형성할 것으로 전망됨

※ 연평균성장률 (CAGR, '13~'19) : SOFC (62.1%)

휴대형(Portable) 연료전지 세계 시장 규모[16]



15) 출처: Navigant Analysis
16) 출처: Navigant Analysis

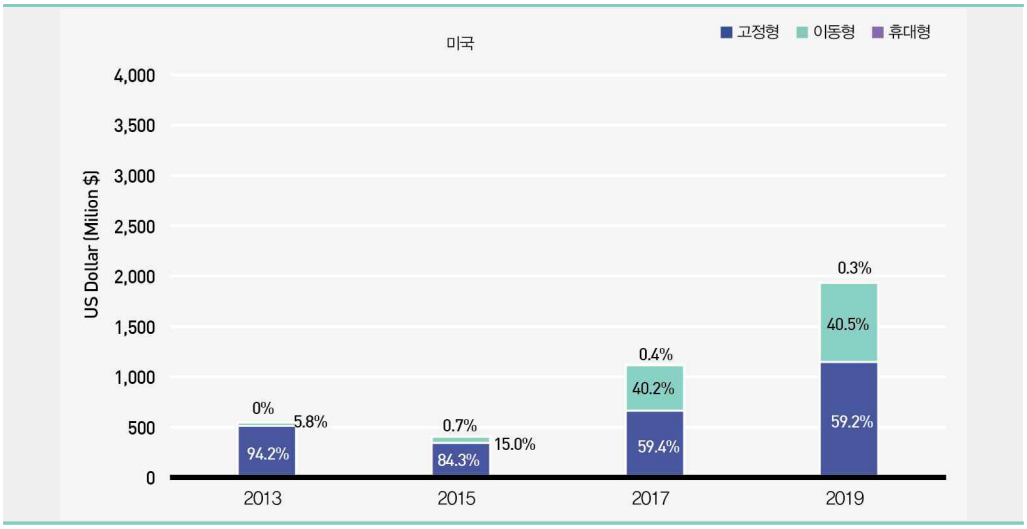
02 국외시장 현황 및 전망

- (미국) 내수 시장은 '15년도 409.9 M$의 규모로 '13년 546.4 M$ 대비 약 25%의 하락세를 보였지만, 이후에는 시장의 규모가 계속 커질 것으로 전망

※ ('13년) 546.5 M$ → ('15년) 409.9 M$ → ('17년) 1,122 M$ → ('19년) 1,940 M$

- 일본, EU 등의 시장 성장으로 인해 미국의 전체 세계 시장 점유율은 '13년도의 51.5%에서 점차 줄어들어 '19년에는 약 18.8%에 그칠 것으로 예상
- 미국 내 연료전지 시장은 모든 용도에서 큰 성장세를 보이며, 특히 수송형과 휴대형의 연평균성장률('13~'19)은 각각 70.6%와 96.4%로 높을 전망

미국 연료전지 시장 규모[17]



17) 출처: Navigant Analysis

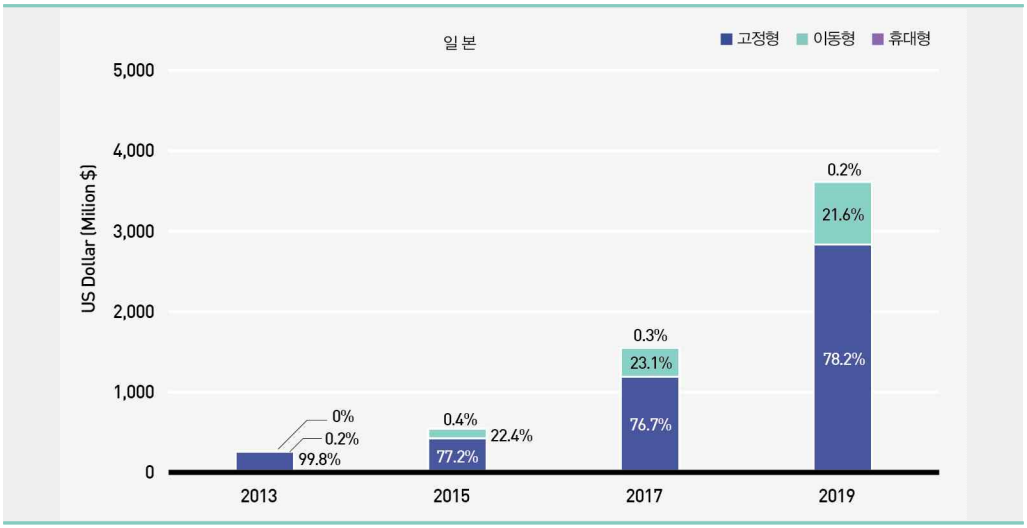
- (일본) 내수 시장은 '15년 기준으로 546.7 M$의 규모로 추정되며, 이는 '13년 257.3 M$ 대비 약 112%의 증가로, 이후에도 시장 규모는 대폭 정장할 것

※ ('13년) 257.3 M$ → ('15년) 546.7 M$ → ('17년) 1,553 M$ → ('19년) 3,621 M$

- 일본의 세계 연료시장 점유율은 '13년 24.2%에서 꾸준히 증가하여 '19년에는 35%에 육박할 것으로 예상

- 아시아 태평양은 연료전지의 가장 큰 생산지역으로, 그 중 일본은 가정용 연료전지의 가장 큰 시장임
  - 일본의 내수 시장은 국가적 차원의 가정용 및 건물용 연료전지의 보급 확대노력으로 인해 고정형 위주로 시장이 크게 성장할 것으로 전망 (고정형 CAGR, '13~'19 : 49.2%)

일본 연료전지 시장 규모[18]



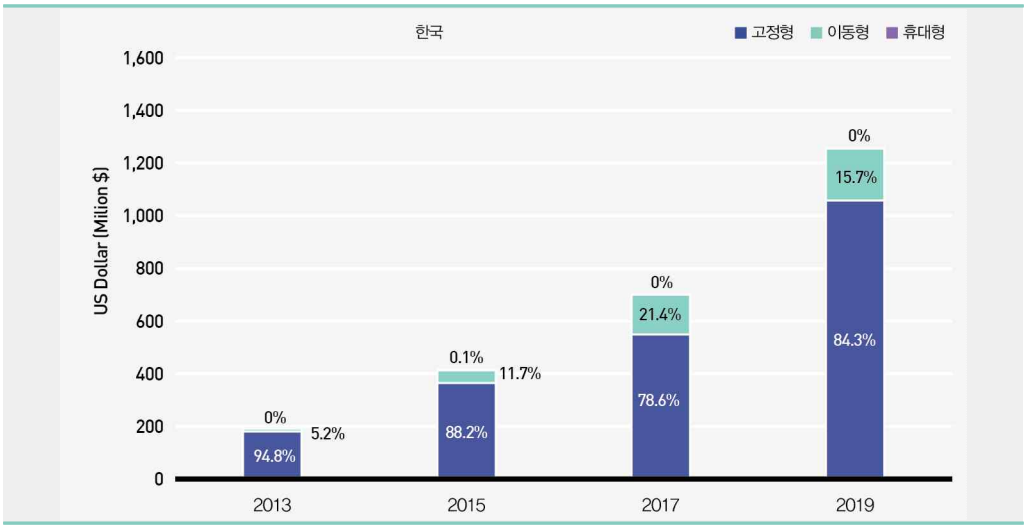
18) 출처: Navigant Analysis

03 국내시장 현황 및 전망

- 한국 내 연료전지 시장은 ’13년 190.9 M$ 규모에서 약 117% 대폭 증가하여 ’15년도에는 413.5 M$에 달할 것으로 추정되며, 이러한 성장세가 계속될 것으로 전망

※ (’13년) 190.9 M$ → (’15년) 413.5 M$ → (’17년) 699.2 M$ → (’19년) 1,254 M$

국내 연료전지 시장 규모[19)]



- 한국의 세계 연료시장 규모는 ’13년 18% 대비 ’15년에는 23.3%로 증가 추세를 보였으나, 타국(미국, 일본 등) 시장의 급격한 성장으로 ’17년 이후 소폭 줄어들 것으로 예상
  - 국내 연료전지 시장은 공공기관 신축 건축물에 대한 신·재생에너지 설치의무화 사업과 친환경 건축물 인증제도, 신·재생에너지 이용 건축물 인증제도, 에너지 사용계획 협의 등으로 연료전지 보급 잠재량이 높은 것으로 전망
  - 한국의 내수 시장은 발전용 연료전지의 규모 확대로 인해 고정형을 중심으로 시장이 크게 성장할 것으로 전망되며(고정형 CAGR, ’13~’19 : 34.2%), 육상교통 분야의 온실가스 배출저감 요구에 따라 수송형은 가장 큰 성장률을 보일 것으로 예상 (수송형 CAGR, ’13~’19 : 64.3%)

19) 출처: Navigant Analysis

04 주요 Key Player 시장 점유율

- (고정형 연료전지) 세계 3대 Major 업체인 FCE/POSCO Energy(MCFC), Eneos Celtech(SOFC), Toshiba(PEMFC)가 전체 시장의 50% 이상을 점유

고정형(Staionary) 연료전지 Key Player 시장 점유율[20]

- '13년을 기준으로 고정형 연료전지의 가장 큰 시장을 점유한 업체는 2003년부터 파트너쉽을 형성해 온 미국의 FCE와 한국의 POSCO Energy로, 세계 시장의 약 25%를 차지하였으며 '19년까지도 세계 1위를 유지할 것으로 예상

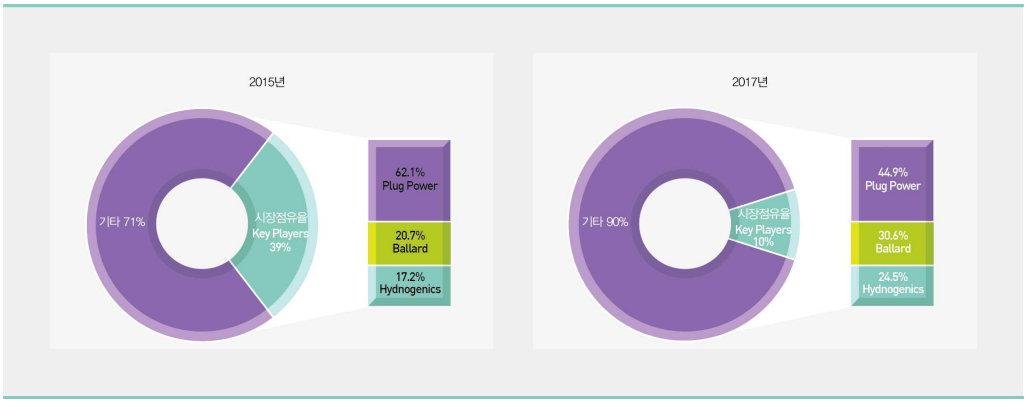
※ 전체 고정형 연료전지 시장 점유율 순위 ('13년 기준)
: [MCFC] FCE/POSCO (25.3%) > [PEMFC] Toshiba (15.0%) > [SOFC] Panasonic (15%)

전체 고정형 연료전지 시장 점유율 순위 ('15년 기준)
: [MCFC] FCE/POSCO (22.9%) > [PEMFC] Toshiba (22.1%) > [SOFC] Panasonic (12.3%)

20) 출처: Navigant Analysis

- (수송형 연료전지) '13년을 기준으로 세계 PEMFC 3대 Major 업체(Plug Power, Ballard, Hydrogenics)가 전체 시장을 형성하였으나, '15년부터 타 업체의 기술 개발 및 성장으로 인해 전체 시장 점유율이 대폭 감소

수송형(Transport) PEMFC 연료전지 Key Player 시장 점유율[21]



- '15년을 기준으로 수송형 연료전지의 가장 큰 시장을 점유한 업체는 미국의 Plug Power로, 전체 시장의 약 18%를 점유하였으며, 캐나다 기업인 Ballard가약 6%의 전체 시장을 점유하며 2위를 차지
- '15년 이후에도 여전히 3대 Major 기업의 매출의 증가세를 보이지만, 시장 점유율의 측면에서는 하락세를 보일 것으로 전망

※ 전체 수송형 연료전지 시장 점유율 순위 ('15년 기준)
: [PEMFC] Plug Power (18.0%) > [PEMFC] Ballard (6.0%) > [PEMFC] Hydrogenics (5.0%)

- (휴대형 연료전지) '13년을 기준으로 휴대형 연료전지 시장의 크기는 약 0.14 M$로, 싱가포르의 Horizon, 스웨덴의 MyFC와 최근 Protonex를 인수한 캐나다의 Ballard가 전체 시장의 92%를 점유하였으나, '15년부터는 휴대형 시장의 전반적인 성장으로 3대 기업의 전체 시장 점유율이 크게 감소할 것이며, 이와 같은 하락세는 계속될 전망

21) 출처: Navigant Analysis

휴대형(Portable) 연료전지 Key Player 시장 점유율[22]

- '13년을 기준으로 Ballard-Protonex가 전체 시장의 31.9%를 점유하였고, Horizon과 MyFC가 전체 시장의 약 30.1%를 동일하게 점유하였으나, '15년부터는 Ballard -Protonex의 전체 시장 점유율이 대폭 축소되어 3.6%에 그칠 것으로 추정

- '13년부터 '19년까지 Horizon과 MyFC의 매출액은 크게 증가하여 연평균성장률이 140% 이상을 보일 것으로 전망

※ 전체 휴대형 연료전지 시장 점유율 순위 ('13년 기준)
: [SOFC] Ballard-Protonex (31.9%) > [PEMFC] MyFC (30.1%) > [PEMFC] Horizon (30.1%)

전체 휴대형 연료전지 시장 점유율 순위 ('15년 기준)
: [PEMFC] MyFC (19.0%) > [PEMFC] Horizon (13.3%) > [SOFC] Ballard-Protonex (3.6%)

22) 출처: Navigant Analysis

Ⅳ. 저탄소화

01 국외 정책

● (미국) 미국 내 화석연료 사용을 근절시킬 수 있는 기술 개발을 위하여 미국 정부와 에너지부(Department of Energy, DEO)의 강력한 지원과 에너지 효율 및 신재생에너지부(Energy Efficiency and Renewable Energy, EERE)의 활동으로 연구보조금 지원, 설치 및 활용 장려를 위한 인센티브 제공 등 제도적인 지원을 지속 중

- (종합계획) 경기부양법 (American Recovery & Reinvestment Act, ARRA)
  - 미국 DOE의 주관으로 2009년부터 시행된 ARRA는 2019년까지 에너지 효율 향상과 재생에너지 연구를 목적으로 연료전지 기술 보급 지원 분야에 42 M$ 규모의 예산으로 11개 주 발전사, 기업 및 대학에 8개 프로젝트를 지원 중

- (종합계획) 무배출가스 자동차 시행 계획 (Zero Emission Vehicle Action Plan)
  - 캘리포니아주에서 2013년부터 시행하여 2025년에 완료되는 계획으로, 추진 예산 1.5 M$로 2025년 150만대의 무공해 차량 보급을 목적으로 함
  - 전체 판매차량 중 일정부분을 무공해차로 판매할 것을 규정하여 2016년에 연간 6만대 이상을 판매하는 완성차 제조업체[23]는 판매량 중 14%는 저공해차[24] 일 것을 의무화하고 이중 연료전지 또는 전기 자동차를 최소 3%로 강제화함

- (프로그램) 고체상 에너지 전환 프로그램 (Solid State Energy Conversion Program, SECA)
  - 999년부터 시작된 SECA는 발전용 SOFC 시스템 개발을 위해 산업체, 연구기관, 정부가 연계하여 총 예산 516.9 M$를 투자하였고, 2015년까지 SOFC 가격을 kW당 $400 목표를 달성하기 위한 기술개발을 진행중

23) Chrysler, Ford, Toyota, Nissan, Honda, 현대, 기아, BMW, Volkswagen, Volovo, Land Rover, Daimler, Fuji-HI, Matsuda 등

24) 전기자동차(Electric Vehicle, EV), 연료전지자동차(Fuel Cell Vehicle, FCV), 플러그인 하이브리드자동차(Plug-in Hybrid Vehicle, PHEV)

- (프로그램) 수소 및 연료전지 프로그램 계획 (Energy Hydrogen and Fuel Cells Program Plan)
  - 2013년부터 시작되어 2020년에 완료 예정으로 2.5 M$ 규모의 예산을 투입하여 수소 및 연료전지 기술발전활동 지원하고, 연료전지 및 수소연료 R&D과 교육 지원을 통한 시장전환을 추진

- (프로그램) SGIP 제도 (Self-Generated Incentive Program, SGIP)\
  - 미국 캘리포니아 주에서 시행하는 제도로, 2000년 대 정전 이후 2001년 피크부하저감을 목적으로 시행
  - 최근에는 온실가스 저감과 종합효율에 초점을 두고, 전력 수요처에서 On-Site 발전을 하는 형태로 2016년까지 온실가스 저감 효과, 재생에너지 대비 이용률 향상 효과, 분산발전 이용률 등에 따라 인센티브 적용

※ 단 몇 분의 단전으로도 큰 영향을 미치며 전력의 절대 안정성을 요구하는 데이터 센터, 병원, 대형마트 등을 포함

- (일본) 1980년에 창립된 신에너지산업기술 종합개발기구(New Energy Development Organization, NEDO)를 통하여 연료전지 기술과 수소이용 기술을 꾸준히 개발하였으며 '신수소프로젝트'를 수립하여 가정용 연료전지 도입과 자국의 자동차산업 경쟁력 강화를 위해 판매지원 및 수소스테이션 정비 진행 중

일본의 가정용 연료전지(Ene-Farm)[25]

- (종합계획) 신수소 프로젝트 (New Hydrogen Project, NHP)
  - 2020년까지 가정용 연료전지(Ene-Farm)의 경우 60만대를, 수송용 연료전

25) 가스신문 1141호 (2014. 01) [2014 신년특집]일본의 가정용 연료전지 현황

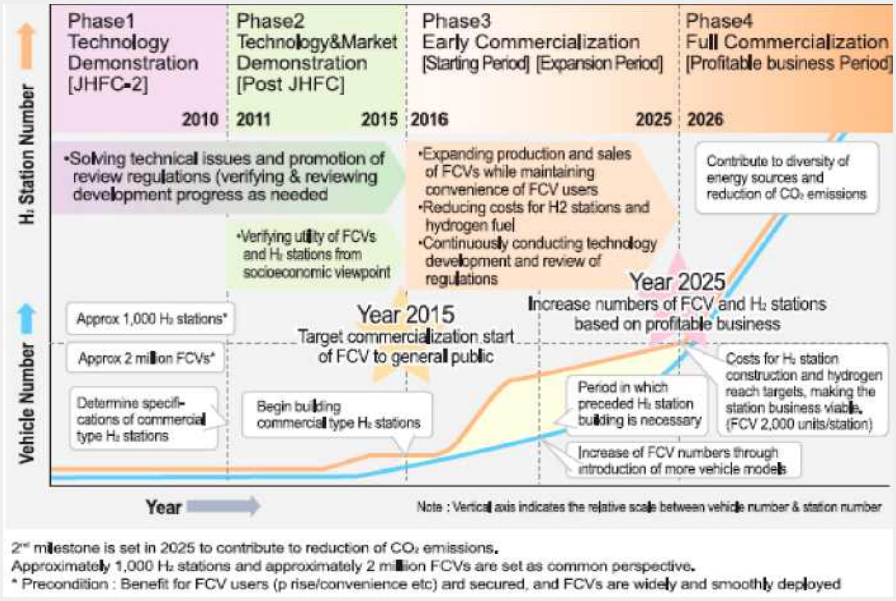
지는 500만대를 보급할 계획

- 경제산업성(The Ministry of Economy, Trade and Industry, METI)에서는 2013년까지 가정용 연료전지 시스템 단가의 30~40%의 정부보조금 지원

● (종합계획) The Next-Generation Vehicle and Fuel Initiative

- 2050년 이산화탄소 감출을 위한 부문별 기여도에서 연료전지 자동차, 전기자동차, 바이오연료 등 차세대 그린카에서 11%를 감당해야 하며, 이를 달성하기 위한 구체적인 방안으로 추진됨
- 2030년 수송분야 석유 의존도 20% 감소와 에너지효율 30% 향상 및 2015년 연료전지자동차의 상용화 시나리오를 발표하였고, 2015년까지 4개의 대도시권 내에 수소충전소 100곳 이상의 설치를 추진

일본의 연료자동차 상용화 계획[26)]



26) Fuel Cell Commercialization Conference of Japan (2010) 연료전지자동차의 상용화 시나리오

- (영국) 영국 정부는 국제적인 리더십 강화를 위해 1990년대 수준에 비교하여 2020년까지 온실가스 배출량을 34% 감축, 2050년까지 80% 감축을 목표로 설정하고, 수소연료전지 효율화와 이슈해결에 주력 중

  - (프로그램) 수소연료전지 허브 (The Hydrogen and Fuel Cell Research Hub, H_2FCsupergen)
    - 수소연료전지 관련 중점 이슈를 해결하기 위해 기술 및 시스템부터 정책/사회적 측면까지의 전반적 내용을 다루고 있으며, Research Councils Energy Programme에서 지원을 받고 있음

  - (프로그램) 영국 H_2 Mobility 프로그램 (UK H_2 Mobility Phase Programme)
    - 2012년부터 시작되어 수소연료전지 전기자동차(Hydrogen Fuel Cell Electric Vehicle, FCEVs)의 상업화 및 수소연료전지 사회기반시설과 교통체계의 건립을 목표로 둠
    - FCEVs의 CO_2배출량이 디젤 자동차보다 75% 낮도록 하고 2050년까지 제로 CO_2 배출율과 20~50%의 시장 점유율 달성 계획

02 국내 정책

- 신재생에너지 장려 정책과 신성장동력산업으로 연료전지 산업을 육성하고자 1989년부터 지원을 시작하여 2004년부터 수소 연료전지 관련 연구개발 투자규모를 확대하였으며, 신재생에너지공급의무화제도 등으로 보급 확대 중

- (종합계획) 신재생에너지 기술개발 및 이용·보급 기본계획
  - 2009년 국무회의에서 2020년까지의 온실가스 감축목표 (배출전망치 대비 30% 감축)를 정하고 국제사회에 공표. 그간 제1, 2차 녹색성장 5개년 계획('09), 녹색기술R&D종합대책('09), ICT기반 에너지 수요관리 新시장창출방안('13), 온실가스 감축목표 달성 로드맵('14) 등 온실가스 감축과 신산업육성을 위한 정책을 추진

※ 2015년 온실가스 감축 및 신산업창출을 위한 6개 핵심기술 개발과 2개 신사업모델 선정. (6대 기술) 태양전지, 연료전지, 바이오에너지, 전력IT, 이차전지, 이산화탄소포집·저장 및 (2대 모델) 에너지저장시스템(ESS) 및 전력망연결자동차(V2G)

  - 2014년 9월에 제4차 신재생에너지 기술개발 및 이용·보급 기본계획을 발표하여 2035년까지 1차 에너지의 11%, 전체 전력량의 13.4%를 신재생에너지로 공급하고자 하는 목표를 수립하고, 화석연료 경제성 수준 확보 및 신재생에너지를 신성장동력산업으로 육성하기 위한 전략 및 원천기술개발과 이에 따른 인프라 구축을 목표로 신재생에너지 기술개발 사업을 적극 추진 중

- (세부계획) 신재생에너지공급의무화제도(RPS)
  - 2012년부터 시행중인 대표적인 시장정책으로 2022년까지 발전량의 10%를 신재생에너지로 대체할 계획으로, 정부가 의무대상자(500MW이상)를 정하면, 의무대상자는 일정 기간 내에 목표를 완수해야 함

※ 의무대상자는 신재생에너지 분야에 직접 투자하거나 REC(Renewable Energy Certificate)를 거래하여 의무이행 가능하며, 발전 유형별 가중치 부여 검토 중

- (세부계획) 주택건물용 연료전지 지원사업
  - 2020년까지 주택건물용 연료전지 지원사업을 통해 신재생에너지 설비 설치시 정부가 비용 일부를 지원
- (세부계획) 공공건물 신재생에너지 이용 의무화제도
  - 2011년 4월 이후 공공기관이 신축, 증축 또는 개축하는 연면적 3천㎡이상의 건축물에 대해 총 에너지 사용량의 10% 이상을 신재생에너지로 설치 의무화
- (세부계획) 그린카 발전전략
  - 2010년 12월에 발표된 그린카 발전 로드맵은 범부처 차원에서 마련되었으며, 2015년 국산화된 스택을 탑재한 중형차 양산과 2018년 버스 개발 및 2019년 양산을 목표로 함
  - 수소인프라 구축을 위해 2020년까지 수소스테이션 168기 설치 목표

V. 요약 및 시사점

● 전 세계적 에너지와 환경문제 등의 영향으로 연료전지 시장은 최근 2년 동안 67.3%의 빠른 성장세를 보이고 있으며, R&D 지원과 인센티브 제공 정책을 통해 가격저감 및 경쟁력 확보를 위한 기술개발이 활발히 진행 중

- (기술 및 시장동향) 연료전지 시장은 고정형을 중심으로 급격한 성장을 보이고 있으며, 현재 수송형과 휴대형 시장은 고정형에 비해 약세를 보이고 있으나, 연료전지 자동차 기술의 발전에 따른 경쟁력 확보와 상용화로 인해 수송형 시장은 추후 급격히 증가할 전망
  - (고정형) 분산 발전원으로의 사용이 한국을 중심으로 두드러지게 나타나고 있으며, 건물용의 경우 일관성 있는 정책을 펴 나가는 일본을 중심으로 크게 성장하고 있음
    - 또한, 이동통신 중계기의 전원용으로 전력이 부족한 인도와 아프리카 등에서 빠르게 성장 중
  - (수송형) 수소 인프라 구축의 어려움과 높은 가격의 장벽에 부딪힌 자동차용 보다 북미를 중심으로 물류운반차용의 상용화의 기틀을 마련하였으며, 현재 유럽시장을 겨냥하여 대거 유럽으로 이동 중
  - (휴대형) 각종 전자기기 충전용 및 군용 등으로 활용이 점차 증가하는 추세
- (정책동향) 미국, 일본, 유럼(영국), 한국 등을 중심으로 기술의 고도화 및 신뢰성 확보를 위해 R&D 지원과 신재생에너지 보급을 추진하고, 인센티브 제공 등으로 제도적 지원 중
  - (미국) 경기부양법(ARRA), 무배출가스 자동차 시행 계획(ZEV Action Plan), SGIP 제도 등을 통해 기술혁신 및 연료전지 설치와 활용 장려
  - (일본) 신에너지산업기술 종합개발기구(NEDO)를 설치하고 신수소프로젝트 등을 활용하여 연료전지를 꾸준히 개발하였으며, 가정용 연료전지(Ene-Farm) 보급을 위해 정부보조금 지원

- (영국) 온실가스 배출량 감축을 위해 수소연료전지 허브 및 UK H_2 Mobility 프로그램 등을 시행하여 연료전지 효율화와 이슈해결을 위해 노력 중
- (국내) 신재생에너지 장려 정책과 신성장동력산업으로 연료전지 산업 육성 및 기술개발을 위한 투자를 확대하였으며, 신재생에너지공급의무화제도를 통해 연료전지 보급에 주력

현재 연료전지 관련 업체들은 가격 저감과 기술의 신뢰성확보를 위해 노력하고 있으며, 이에 도달하기 위한 정책적 뒷받침이 필요한 상황

- 연료전지 시장은 대부분 국제유가의 영향을 많이 받으며, 현재 단가가 높은 점 때문에 각 시스템 기업들은 가격 저감과 기술의 신뢰성확보에 주력하고 있는 실정
  - 연료전지의 경쟁력 확보를 위해 일관성 있는 연료전지 육성정책과 그 후속으로 연료전지 시장 확대를 위한 가스가격의 지원정책 등의 필요성이 대두되고 있음
- 소규모 연료전지 수요가 증가하고 있으나 아직까지 큰 시장을 형성하지 못하는 가장 큰 이유는 기술수준 보다 어떻게 시장을 창출할 것인가에 대한 비즈니스 모델이 존재하지 않기 때문임
  - 국내 대부분의 업체가 해외에서 추진한 사례를 기반으로 이를 국내에 적용하고자 하고 있으나 환경이 다른 국가의 모델 보다는 국내 환경에 적합한 비즈니스 모델의 발굴이 시급
  - 해외와 같은 자전거, 비상전원, 장애인용 휠체어 등 시장진입에 필요한 비즈니스 모델을 설계하여 업계의 경제활동이 가능한 프로그램 지원 필요

PEMFC 기술 고도화에 따라 양산으로 인한 가격저감 효과가 예상되며, 연료전지 전 분야에서 가장 많은 시장 창출이 전망됨

- 특히, 수송형 연료전지는 지금까지 소형시장이 주를 이루고 있었으나 2013년 현대자동차, 2014년 Toyota에서 연료전지자동차를 시판하면서 자동차 시장을 중심으로 시장이 증가할 것으로 전망
  - 국내 PEMFC 연료전지 완성차 제조 기술은 세계 우위를 차지하고 있으나, 핵심 소재 및 부품은 해외 제품에 의존하고 있음

- 연료전지차의 급격한 세계시장 성장 전망에 따라 국내 연료전지차 기술의 국산화가 시급함

- 연료전지차 상용화를 위한 가장 큰 장벽은 수소충전소에 있으며 이를 위한 보급계획과 기술개발이 필요
  - 수소충전소 국산화율 향상을 위한 기술개발 및 안전성 향상을 위한 기술개발 필요

www.gtck.re.kr

2015년도
녹색기술 심층분석
보 고 서

Ⅵ. 심 층 동 향

GREEN
TECHNOLOGY
CENTER
녹색기술센터

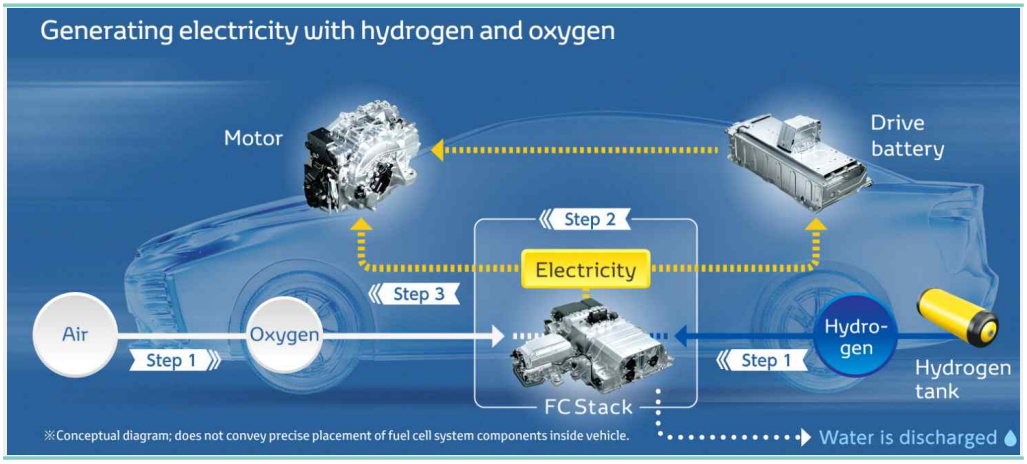
Ⅵ. 시스템

01 PEMFC

세부기술개요

- PEMFC는 수송형 연료전지의 주 기술로, 다른 연료전지 기술에 비해 보다 상업적인 목적으로 긴 연구 개발의 역사를 갖고 있으며, 가장 널리 알려져 있는 기술로, 수송형 뿐만 아니라, 고정형과 휴대형 부문의 광범위한 이용을 목표로 연구개발 활동이 확대되고 있음
  - PEMFC는 수송형이 주력 분야로, 자동차, 물류운반(지게차 등), 수송(버스, 트럭, 선박, 기차, 항공 등) 등의 추진력을 요구하는 부분의 동력 또는 보조전원으로 사용됨

PEMFC 연료전지 자동차의 개념도[27]



  - 고정형에 사용되는 연료전지 유형은 대부분 연료의 개질을 사용할 수 있고, 더 높은 시스템 효율을 위해 폐열을 활용할 수 있으며 신속한 스타트업(startup)을 필요로 하지 않는 고온형 연료전지(MCFC, SOFC)에 초점을 두고 있는 한편,

27) 출처: Toyota

PEMFC는 고정형 분야에서 가정용 열병합발전과 비상전원(데이터센터, 통신업체 등)으로 시장을 확대하는 추세

- 휴대형으로는 보조 배터리 충전기, 원격 조종 시스템(기상 관측소, 모니터링 등), 군용 등의 응용 분야에 대한 연구개발 중

● PEMFC의 특성은 다음과 같음

- PEMFC의 발전 효율은 40~60% 정도이며, 열병합 발전을 하는 경우 종합효율은 90% 이상으로 높아짐

※ 일본의 가정용 연료전지(Ene-Farm)는 LPG를 연료로 사용하고 개질기를 통해 연료를 수소로 전환하는 형태로 전기효율성은 39% 정도이나, 열병합발전(CHP)의 전체 시스템으로 볼 경우 90~95%의 효율성을 나타냄

- 작동 온도는 저온(50~100˚C)과 고온(120~190˚C)의 두가지 형태로 나뉘며, 저온 형태가 일반적으로 알려져 있는 PEMFC이나, 다른 연료전지 기술들과 비교하여 두 가지 형태 모두 저온에 속함
  - 저온에서 작동하는 PEMFC는 연료전지 작동을 빠르게 시작할 수 있도록 하여, 비상 시 즉각적인 전원으로 이용될 수 있어 다양한 응용 분야에 적용할 수 있으며 특히, 부하응답성이 높은 분야(지게차 등의 운송수단)에 활용 가능
- 일반적 저온(Low Temperature, LT) PEMFC는 수소의 불순물(CO)에 대한 내성이 낮아 이러한 문제를 해결하기 위해 고온(High Temperature, HT)에서 작동하는 HT-PEMFC의 개발이 이루어지고 있음
  - LT-PEMFC는 수소연료의 개질이 복잡하고, 순도가 높은 수소의 가격이 고가임
  - HT-PEMFC는 LT-PEMFC에 비해 고온에서 작동하므로 연료의 개질이 불필요하므로 시스템을 단순화 시킬 수 있고, 연료의 불순물에 대한 강한 내성을 지니고 있으며 폐열을 열병합발전(CHP)에 활용할 수 있는 장점이 있음
- 전기를 생산하는 수소와의 반응을 위해 촉매로 백금을 사용하며, 이로 인한 가격 저감의 노력이 필요함
  - 지난 10여 년간 자동차 업체들은 가격 경쟁력 상승을 위해 촉매로 사용되는 백금의 양을 줄이는 노력을 해온 한편, 그 외 부분(연료, BOP 등)에서의 가격저감 요소를 찾고 있는 중임

세부기술동향

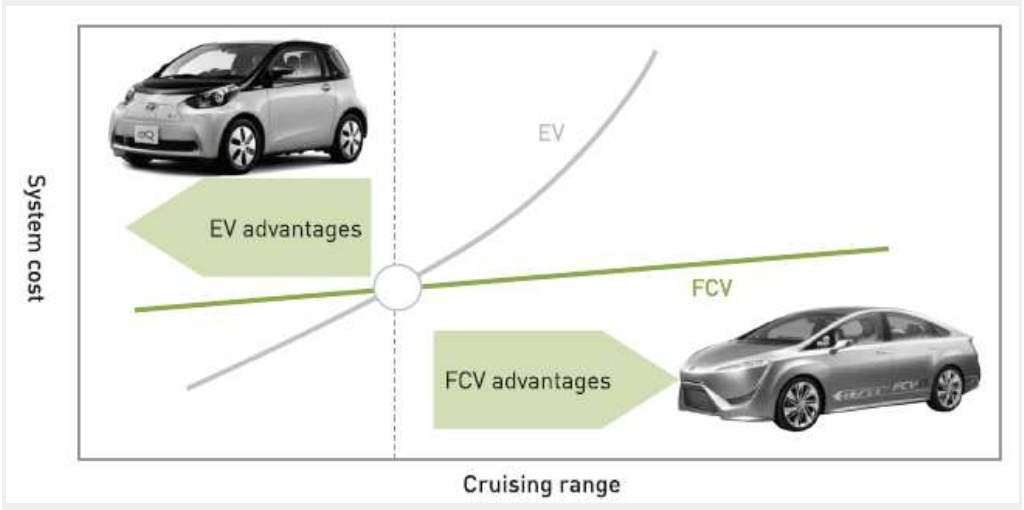
- 순수 연료전지 업체인 Ballard Power Systems, Hydrogenics, Horizon Fuel Cell Technologies, Intelligent Energy, MyFC, Altergy, GS Fuel Cells 등과, 다국적으로 연료전지를 개발하는 Toshiba와 Panasonic 등과 많은 자동차 업체들이 PEMFC 연구에 대거 참여 중임
  - PAFC와 MCFC와 같이 몇몇 업체에 의존하고 있는 기술들과 달리, PEMFC는 여러 업체가 기술개발에 참여하고 있어 시장 붕괴 위험이 적음
- 미국의 ClearEdge Power사는 HT-PEMFC의 선두적인 기술 개발 업체였으나 2012년 UTC Power의 PAFC 기술을 구입한 뒤, HT-PEMFC 개발을 중단하였고, 2014년에 파산을 선언한 뒤 두산에게 인수됨

※ 이 후 두산은 PAFC 기술에 집중하고 있음

- HT-PEMFC의 MEA 기술 개발을 하는 소수의 업체 중 하나인 BASF는 HT-PEMFC에 사용되는 MEA의 생산을 중단하고 IP를 매각함
- (수송형 동향)최근 Toyota와 현대가 첫 상업용 FCV를 발표하여 주목을 받아 PEMFC 개발에 박차를 가했으며, 일본과 미국 캘리포니아에서 연료전지 자동차의 연료 인프라에 대한 많은 투자가 이루어짐
  - Daimler와 Honda는 2017년을 목표로 FCV의 상용화에 주력하고 있으며, BMW와 GM은 2020년 이 후를 목표로 함
  - LDV(Light Duty Vehicle)에 대한 시장의 잠재력은 거대하지만, 상업화가 이루어지기는 어려우며, 상업화가 이루어지기 까지 EV(Electric Vehicle, 전기차)와 경쟁을 피할 수 없는 상황
    - FCV가 EV 보다 나은 장점은 주행 가능거리와 연료공급의 신속성으로 수소충전소의 인프라가 공급되면 EV와의 경쟁이 가능할 것으로 예상
- 최근 FCV의 하이브리드 형태인 FCEV(연료전지전기자동차)를 개발하여 연료전지를 EV의 주행거리 연장을 위한 장치(range extender)로 사용함으로써 FCV의 원가 절감에 대한 어려움을 해결
  - 연료전지 배터리로 리튬이온 배터리를 주로 사용하며, Toyota는 니켈수소 전지를 사용

- FCV 공급망이 실제로 존재하지 않아, 제조업체들은 낮은 생산량에 맞추어 부품 생산 및 공급자를 찾아 초기의 FCV를 제작하였으며, 이로 인해 제작 단가가 매우 높음
  - OEM 개발 활동이 지속적으로 이루어져야 하며 양산화를 위한 기술 및 설비가 이루어져야 함
    - 양산화가 이루어질 경우 특히 스택의 원가 절감이 클 것으로 예상
  - 우리나라의 경우, 해외 업체의 기술을 사들이거나, 연료전지 기술을 갖고 있는 해외 업체와 파트너쉽을 형성하거나, 인수하는 형식으로 연료전지 제품을 제작하고 있는 상태
    - 가격 경쟁력을 높이기 위해 핵심 소재, 부품에 대한 국산화가 시급한 상황

EV와 FCV의 주행거리 대비 시스템 가격 비교[28]



시장전망

- PEMFC 연료전지는 연료전지의 전체시장과 비례하게 성장할 것으로 전망
  - PEMFC 연료전지 산업은 지난 5년간 견고한 성장궤도를 달렸으며, 2014년 출하량은 약 8,400 유닛이지만 전체적으로 상용화의 전단계에서 머무르며, 상용화에 도약

28) 한국산업기술평가관리원 (2014. 3) KEIT PD 이슈 리포트: 수소연료전지차 기술 현황 및 전망

하기 위해 노력 중

※ PEMFC 연료전지의 출하량은 자동차용 기술개발과 함께 급격히 성장할 것으로 전망됨

※ 고정형에 대한 시장 규모도 점차 확대될 것으로 전망되나, 휴대형은 전력의 규모가 작고 시장 진입의 어려움 등의 이유로 전체 시장 대비 소규모에 미칠 전망

- PEMFC 연료전지에 공통적으로 사용되는 주요제품들 또한 시장과 비례하여 성장할 것이며, 양산화와 함께 가격은 하락할 것으로 전망
  - 연료전지의 부품 중, MEA의 촉매잉크 및 어플리케이션과 분리판 가격은 양산 후에도 가장 큰 비중을 차지할 것으로 예상됨

※ 2013년도 1,000 유닛 기준으로 MEA의 촉매잉크 및 코팅 공정과 분리판 가격은 유닛 단가의 각각 약 16%와 14%를 차지하여 제품군별 최대 규모로 나타났음

※ 유닛의 다른 부분은 양산화와 함께 가격이 하락할 것으로 전망되나, MEA의 촉매잉크 및 코팅 공정과 분리판 가격 하락에는 한계가 있어 500,000 유닛을 생산할 경우에는 각각 49%와 22%로 유닛 단가 중 가장 큰 비중을 차지할 것으로 예상

80kW 출력 자동차 PEMFC 스택 부품 비용 내역(2013년 기준)[29]

스택 부품		유닛 생산량별 단가 ($)			유닛 생산량별 단가 (%)		
		1,000	10,000	500,000	1,000	10,000	500,000
MEA	막	$4,530	$1,251	$236	32%	29%	11%
	촉매 잉크 & 어플리케이션	$2,242	$1,168	$1,051	16%	27%	49%
	MEA Cutting & Slitting	$533	$55	$4	4%	1%	0%
	MEA 프레임과 가스켓	$1,493	$265	$130	10%	6%	6%
	GDL	$2,661	$795	$102	19%	18%	5%
분리판		$1,976	$572	$486	14%	13%	22%
가스켓, 기타 & 스택 어셈블리		$933	$255	$155	6%	6%	7%
총 스택 비용		$14,368	$4,361	$2,164	100%	100%	100%

29) 출처: Navigant Analysis

정책동향

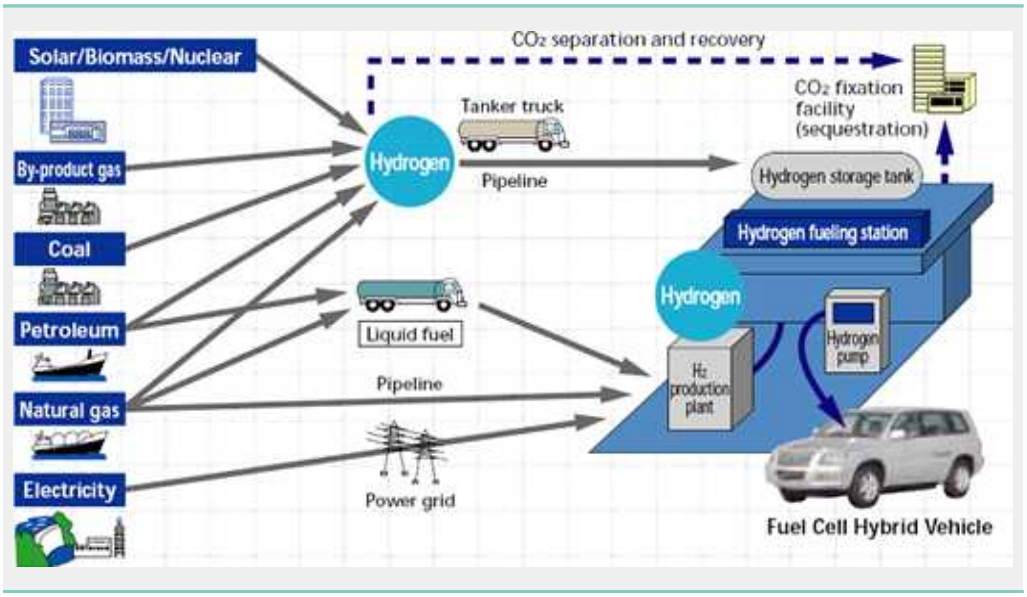
- 정책은 연료전지 산업의 성장 동력이자 추진 주체로서 재정적 지원 등 매우 중요한 역할을 하고 있으며, 투자에 대한 시장 기반 수익을 지원할 수 있는 정책이 강화된 지역에 연료전지 응용 분야들이 모이는 형태를 가짐
  - 예를 들면, 일본은 NEDO를 중심으로 가정용 CHP 연료전지 모듈의 조기 도입을 전파하기 위해 Ene-Farm 프로그램을 도입하여 가정용 CHP 연료전지의 명백한 선두주자가 됨
    - 2011년 후쿠시마 재난 이후 분산전원을 이용한 전력공급에 주력하면서 연료전지 개발에 대한 지원을 강화시킴
    - 이로 인해, 일본의 PEMFC 제조사들은 현재까지 12만 유닛의 가정용 연료전지를 설치하였고, 2020년까지 140만대 이상, 2030년까지 530만대 이상의 유닛 판매를 목표로 함
  - 하지만, 12개의 EU 국가가 참여한 유럽의 Ene-Field 프로그램은 1천개의 가정용 CHP 연료전지의 설치를 계획하고 기술개발을 하였으나, 프로그램 지연 등으로 아직 목표에 도달하지 못한 상태
    - 유럽의 제조업체들은 PEMFC 보다 SOFC 기술 개발에 중점을 두고 있으며, SOFC 기술 실증 및 내구성에 대한 신뢰성 확보가 어려워 기술 개발이 지연되고 있음
  - 또한, 미국 캘리포니아의 SGIP 역시 가정용 연료전지 도입에 실패함
    - 미국은 가정에 공급되는 전력의 양과 가격에 큰 문제가 없어 대체적으로 연료전지의 설치가 불필요한 환경임

- 현재 연료전지를 지원하는 일부 정책들은 PEMFC의 시장에 영향을 미칠 가능성이 높지 않으며, PEMFC 연료전지 도입을 위한 재정적 지원 필요
  - 분산전원 시스템에 인센티브를 제공하는 한국의 RPS 프로그램과 미국의 인센티브 프로그램들은 MCFC, SOFC, PAFC 등의 발전용 수요에 영향을 미칠 확률이 높으며, 이 외에 비상전원과 물류운반용 시장에 영향을 미칠 것으로 예상됨
    - 미국의 ARRA는 연료전지 시스템의 kW 당 3,000 $까지 시스템 설치비용의 30%를 융자로 제공하며, 2016년 12월까지 실행되는 프로그램에 한해 세금공제 혜택을 줌
    - 재정지원은 FCV와 버스 시장의 확대를 위해 필수적이며, 미국 캘리포니아 주는 ZEV 프로그램을 통해 정책적으로 FCV 도입을 추진 중이며 100개의 수소 충전소 설치를 위해 연간 20 M$까지 지원 중

※ ZEV 프로그램은 온실가스 배출 저감 차량에 대해 융자 지원을 해주고 있으며, 융자는 차량의 주행거리를 기준으로 하기 때문에 FCV가 EV에 비해 더 많은 융자 지원을 받을 수 있음

- 일본 역시 FCV 한 대에 20,000 $의 장려금을 제공하고 수소 충전소 설치에 대한 지원 중으로, 이로 인해 일본 FCV의 가격 하락이 예상되어 EV와의 경쟁력이 높아질 것으로 예상

일본의 수소 충전소 Portfolio[30)]



30) 출처: Toyota

연료전지 분과위원

이름	소속
강 인 용	에이치앤파워
구 영 모	자동차부품연구원
김 준 범	울산대학교
김 한 상	서울과학기술대학교
남 석 우	한국과학기술연구원
양 태 현	한국에너지기술연구원
전 희 권	에스퓨얼셀
조 은 애	한국과학기술원
황 상 문	프로파워