

연료전지 개요와 현황



CONTENTS

<요약>

I. 연료전지 개요와 원리

1. 연료전지 개요
2. 연료전지의 원리와 구성

II. 연료전지의 종류와 활용

1. 연료전지의 종류
2. 연료전지의 활용분야

III. 연료전지 시장과 국가별 경쟁력

1. 연료전지 시장동향
2. 연료전지 국가별 경쟁력

IV. 시사점

작성

산업경제팀

책임연구원 김호건 (02-6252-3610)

kim.hokun@koreaexim.go.kr

<요 약>

I. 연료전지 개요와 원리

연료전지는 수소를 연료로 사용하여 에너지(전기)를 생산하는 기술로, 수소경제 활용 분야에서 핵심적인 역할을 함

- 수소경제는 크게 수소의 생산, 수송, 저장, 활용으로 나누어지며 연료전지는 수소를 일상생활에서 사용가능하도록 변환해주는 수소 활용 장치
- 연료전지는 핸드폰, 자동차, 선박, 발전 등 개인 휴대용 디바이스부터 큰 규모의 발전까지 에너지가 필요한 거의 모든 분야에 적용 가능

연료전지는 수소와 산소의 전기화학 반응을 통해 전기 생성

- 연료전지의 음극(연료극)에서는 촉매에 의한 수소의 산화반응이 일어나고 그 결과로 만들어진 수소이온은 전해질을 통해 양극으로 이동. 양극(공기극)에서는 수소이온과 산소가 결합하며 물이 생성. 양극과 음극의 반응으로 전자가 이동하며 전류가 흐름.

연료전지는 크게 막전극접합체(MEA), 전해질막, 촉매층, 가스확산층, 가스켓, 분리판으로 구성

- MEA(Membrane-Electrode Assembly)는 음극과 양극을 전해질막에 부착한 것으로 연료전지의 핵심 부품. 산소와 수소의 전기화학 반응이 일어나며 전해질막, 촉매층, 가스확산층으로 이루어짐

II. 연료전지의 종류와 활용

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

- **PEMFC(Polymer/Proton Electolyete Membrane Fuel Cell):** 현재 가장 널리 쓰이는 연료전지로 비교적 낮은 온도(약 80°C)에서 작동하고 약 60%의 효율을 보임
- **SOFC(Solid Oxide Fuel Cell):** 연구개발이 활발하게 이루어지고 있는 연료전지로 매우 높은 온도(약 1000°C)에서 작동. 60%의 높은 효율을 보이며 발생하는 열도 활용하면 효율이 85%까지 향상
- **AFC(Alkaline Fuel Cell):** 1세대 연료전지 중 하나이며 미 우주 프로그램에서 전기와 물 생산을 위해 사용. 비교적 저온(약 100°C)에서 작동하며 약 60% 정도의 효율을 보임
- **MCFC(Molten Carbonate Fuel Cell):** 2세대 연료전지로 불리며 탄산이온이 전해질을 통해 이동. 비교적 높은 온도(약 650°C)에서 작동하며 효율은 65%, 발생하는 열까지 활용하면 85%까지 향상
- **PAFC(Phosphoric Acid Fuel Cell):** 기술이 가장 성숙한 연료전지로 평가. 비교적 저온(약 200°C)에서 작동하고 효율이 약 37~42% 정도지만, 발생하는 열까지 함께 이용하면 80%까지 향상 가능
- **DMFC(Direct Methanol Fuel Cell):** 연료로 메탄올을 이용하는 연료전지로 저온(약 100°C)에서 작동하고 약 40% 효율을 보임

연료전지는 활용분야별로 휴대형, 수송형, 고정형으로 나누어짐

- (휴대형 연료전지) 60V 직류 미만의 출력 전력을 공급하는 연료전지로 정의, 메탄올을 직접 사용하는 DMFC 방식이 대표적임
- (수송형 연료전지) PEMFC가 대표적이며 수소전기차, 버스, 트럭을 위주로 연료전지 중 가장 많은 사용량을 보임
- (고정형 연료전지) 주로 발전용 연료전지를 의미. 대표적인 제조사는 블룸에너지(Bloom Energy), 두산퓨얼셀, 퓨얼셀에너지(FuelCell Energy) 등이 있고 각각 SOFC, PAFC, MCFC 방식을 주로 사용

III. 연료전지 시장과 국가별 경쟁력

연료전지는 한국, 일본, 미국을 중심으로 초기 시장을 형성 중이며 연평균 30%씩 성장할 전망

- 수소를 활용하는 연료전지 수요는 꾸준히 증가하여 2018년 2조2천억원 수준의 시장이 연평균 30%씩 성장하여 2030년에는 약 50조원 규모가 될 것으로 추정
- 연료전지는 당분간 수소전기차 중심의 수송형 연료전지와 발전용 연료전지 위주로 성장할 전망

연료전지 기술 수준은 미국, 일본, EU, 한국 순으로 높으며 한국은 특히 연료전지 보급이 가장 활발한 나라 중 하나

- 미국, 일본, 독일은 연료전지의 핵심부품 기술력이 높은 것으로 평가. 연료전지 관련한 특허 출원 건수는 일본이 가장 많으며 일본과 미국이 전체 출원 건수의 50% 넘게 차지
- 연료전지 종류별 국가 경쟁력은 PEMFC를 제외한 PAFC, MCFC, SOFC, DMFC에서 미국이 가장 앞서 있음

IV. 시사점

경제성이 부족한 수소에너지 활성화를 위해서는 정부 주도의 기술개발과 정책지원이 필수적임

- 연료전지의 시장의 형성·발전을 위해서는 생산비용 절감, 관리 비용 감소, 내구성 향상, 인프라 구축 등 해결과제가 존재

수소연료전지 부품의 성공적인 국산화와 상용화를 위해서는 신뢰성 평가와 인증 제도를 마련하고 지원 방안을 모색해야 함

- 연료전지는 활용분야에 따라 요구하는 전력량, 크기, 적정가격 등이 다르므로 다양한 종류의 연료전지가 사용될 것으로 예상. 따라서 연료전지 종류별로 체계화된 안전성, 신뢰성 평가 시스템 확보 필요

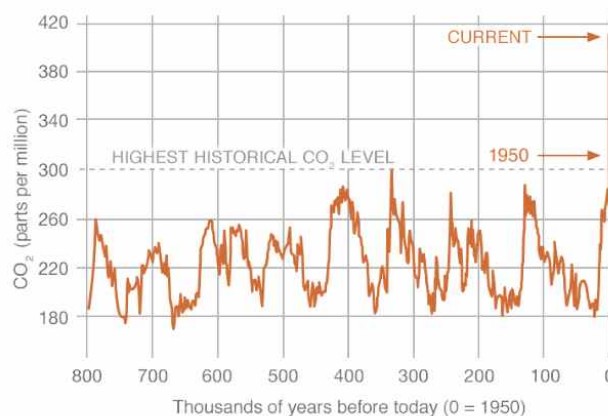
I. 연료전지 개요와 원리

1. 연료전지 개요

세계 주요국은 탄소 감축을 목표로 수소경제 활성화 정책을 강력하게 추진

- 근 50년간 대기 중 이산화탄소 농도는 가파르게 상승하였고, 이산화탄소는 지구 온난화의 가장 큰 원인으로 지목
- 대부분의 이산화탄소는 화석연료 사용으로 발생. 탄소배출을 줄이기 위한 대체 에너지원 필요
- 친환경적인 에너지 생산(풍력, 태양광 등)은 날씨, 계절, 시간에 따라 발전량 차이가 너무 크기 때문에 에너지를 저장할 수 있는 기술이 필요함
- 수소는 대체 에너지원과 에너지 저장용도로 큰 가능성을 보여주었으나 수소 관련 기술이 충분히 성숙하지 않아 경제성이 좋지 않음
- 그러나, 수소의 경제성과 무관하게 미국, 중국, 유럽연합, 일본, 한국 등에서 수소산업에 대한 정책지원을 발표
- 수소경제는 크게 수소의 생산, 수송, 저장, 활용으로 나누어지는데 수소를 일상생활에서 사용할 수 있도록 변환해주는 수소 활용 장치를 연료전지라고 함

연도별 대기 중 이산화탄소 농도 변화



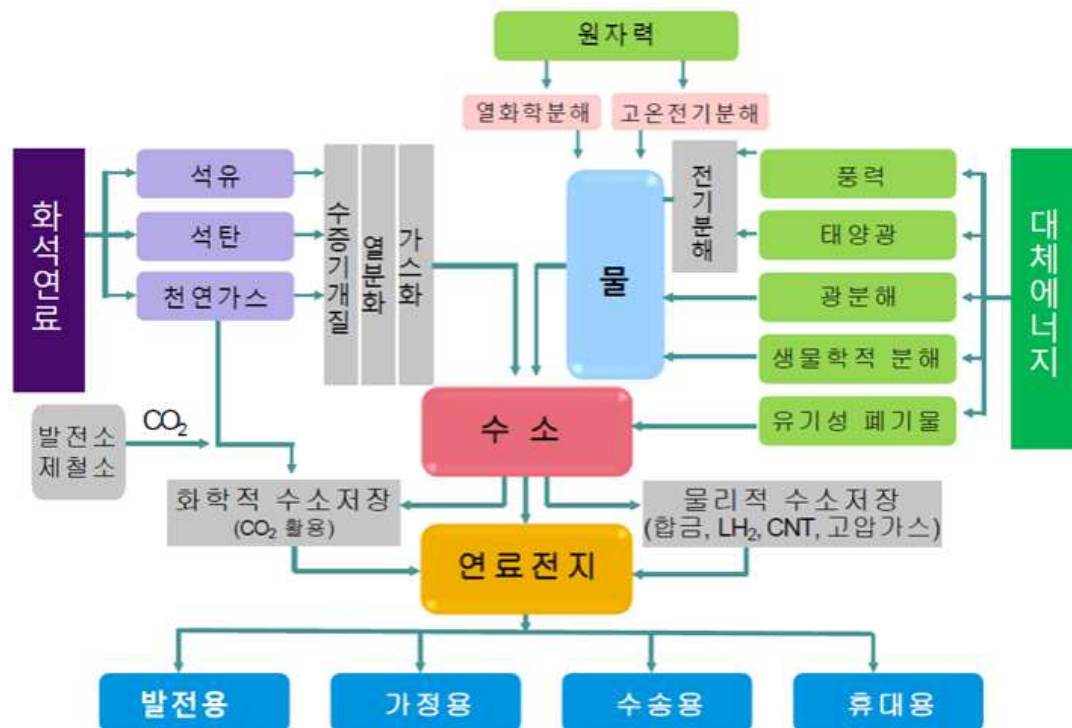
자료: NASA

연료전지는 수소를 연료로 사용하여 에너지(전기)를 생산하는 기술로, 수소경제 활용 분야에서 핵심적인 역할을 함

- 순수한 수소를 연료로 사용시 물, 열, 전기만 발생하여 친환경적인 전기 생산이 가능
- 연료전지는 핸드폰, 자동차, 선박, 발전 등 개인 휴대용 디바이스부터 큰 규모의 발전까지 에너지가 필요한 거의 모든 분야에 적용 가능

- 연료전지에는 여러 종류가 있으며 출력밀도, 작동온도, 내구성 등 특성에 따라 쓰이는 용도가 다르며 크게 휴대형, 수송형, 고정형으로 구분.
- 개인용 디바이스와 같은 소형기기는 휴대형, 수소전기차·선박과 같은 이동하는 용도는 수송형, 건물 예비전력 또는 발전소와 같은 용도는 고정형으로 구분
- 흔히 볼 수 있는 연료전지 사용의 예는 수소전기차로 현대자동차의 '넥쏘'가 있음
- 연료전지는 화력발전이나 원자력 발전과 같이 대형 발전 설비가 필요하지 않기 때문에 건물/가정에서 분산 발전이 가능하여 수요에 따른 전력 공급이 가능하다는 장점도 있음

수소경제에서 연료전지의 역할



자료: 삼성KPMG

2. 연료전지의 원리와 구성

연료전지는 수소와 산소의 전기화학 반응을 통해 전기 생성

- 수소이온(양성자)이 전해질을 통과하는 양성자 교환막 연료전지의 반응식은 아래와 같음
- 음극: $\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$
- 양극: $\frac{1}{2}\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$
- 연료전지의 음극(연료극)에서는 촉매에 의한 수소의 산화반응이 일어나고 그 결과로 만들어진 수소이온은 전해질을 통해 양극으로 이동. 양극(공기극)에서는 수소이온과 산소가 결합하며 물이 생성. 양극과 음극의 반응으로 전자가 이동하며 전류가 흐름.

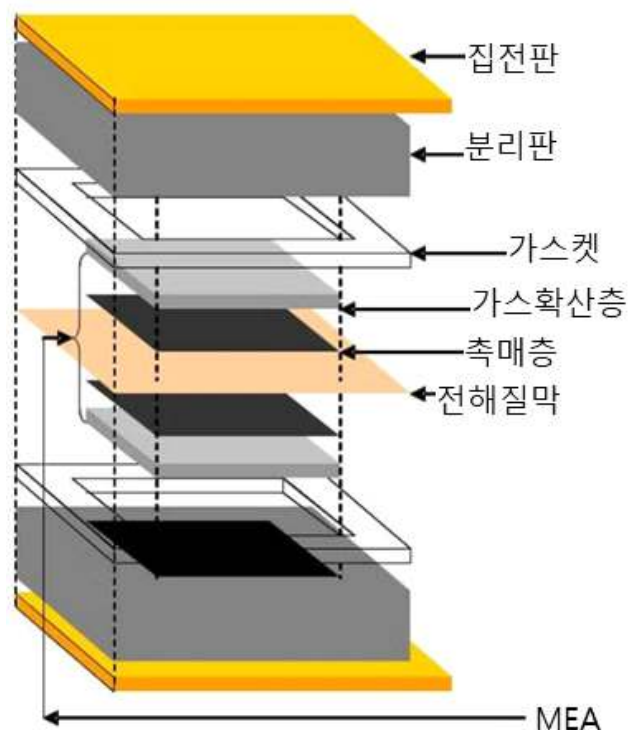
- 반면, 음이온이 이동하는 방식의 음이온 교환막 연료전지도 있으며 이 경우 이온이 양성자 교환막 연료전지와 반대 방향으로 움직임
- 음극: $\text{H}_2 + 2\text{OH}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$
- 양극: $1/2\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{OH}^-$
- 음이온 교환막 연료전지의 양극에서는 산소기체가 촉매에 의해 환원되어 수산화이온이 만들어짐. 수산화이온이 전해질을 통과하여 음극으로 이동하고 수소 기체와 결합. 이 과정에서 물이 생성되고 전류가 흐름
- 연료로 순수한 수소가 아닌 천연가스를 사용하는 경우 개질공정을 거쳐 수소를 생산하고 활용
- $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2$

연료전지는 크게 막전극접합체(MEA), 전해질막, 촉매층, 가스확산층, 가스켓, 분리판으로 구성

- 연료전지는 안쪽부터 전해질막-촉매층-가스확산층-분리판 순으로 구성되어 있으며 이렇게 만든 한 단위를 연료전지 단위 셀이라고 함
- 단위 셀은 약 0.7V의 전압을 생성하며 출력을 높이기 위해 직렬로 쌓아(스택) 사용. 이를 '연료전지스택'이라고 부름
- **MEA(Membrane-Electrode Assembly):** 음극과 양극을 전해질막에 부착한 것으로 산소와 수소의 전기화학 반응이 일어나는 연료전지의 핵심 부품. 전해질막, 촉매층, 가스확산층으로 이루어짐
- (과제) 접착 과정에서 기체 확산층의 구조를 유지하고 전극과 전해질의 접착을 좋게 하는 것이 중요
- **전해질막(Electrolytic membrane):** 이온을 전달하고 반응기체(산소, 수소)를 분리하여 접착을 막는 역할을 함.
- (과제) 높은 이온 전도성이 필요하고 이온 외의 전자 등의 통과는 막아야 하며 화학적으로 안정성이 우수한 소재 필요
- **촉매층(Catalyst layer):** 수소의 산화반응, 산소의 환원반응을 촉진하는 역할.
- (과제) 음극과 양극에서 수소와 산소의 반응속도가 다른 문제를 해결하기 위한 방안으로 촉매량을 조절. 또한, 일산화탄소 등에 의해 손상이 가지 않는 소재 개발 필요.
- 가격이 비싼 백금 촉매를 사용할 경우 백금 사용량은 줄이면서 효과는 늘리기 위해 나노사이즈의 백금 입자를 뿌리는 기술로 비용 절감.
- **가스확산층(Gas diffusion layer):** 반응기체를 촉매층에 전달하고 물을 제거하는 역할.
- (과제) 높은 기체 확산성, 배수성, 강성을 요구하며 두께를 얇게하는 노력 등으로 가격을 낮추는 중

- **가스켓(Gasket):** MEA 주변을 감싸 가스가 새지 않도록 막는 역할을 하며 주로 고무 폴리머로 만들어짐
 - (과제) 내열성과 탄성이 좋고 압축변형에 저항성이 높은 소재 필요
- **분리판(Separator/Bipolar plate):** 연료전지스택에서 단위셀을 분리하는 역할. 전기전도체 역할을 하기도 하고 생성된 물을 외부로 배출하는 역할도 함. 연료전지 무게의 약 60%를 차지
 - (과제) 높은 전기전도도, 열전도율, 기계적 강도를 가져야 하고 부식에 강하고 가벼운 소재 필요
- **집전판(Current Collector Plate):** 연료전지에서 만들어낸 전류를 흘려주는 역할
 - (과제) 형상에 따라 저항값이 달라지기 때문에 최적화 디자인 필요

연료전지 주요 부품과 역할 (PEMFC)



자료: 엠필드

II. 연료전지의 종류와 활용

1. 연료전지의 종류

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

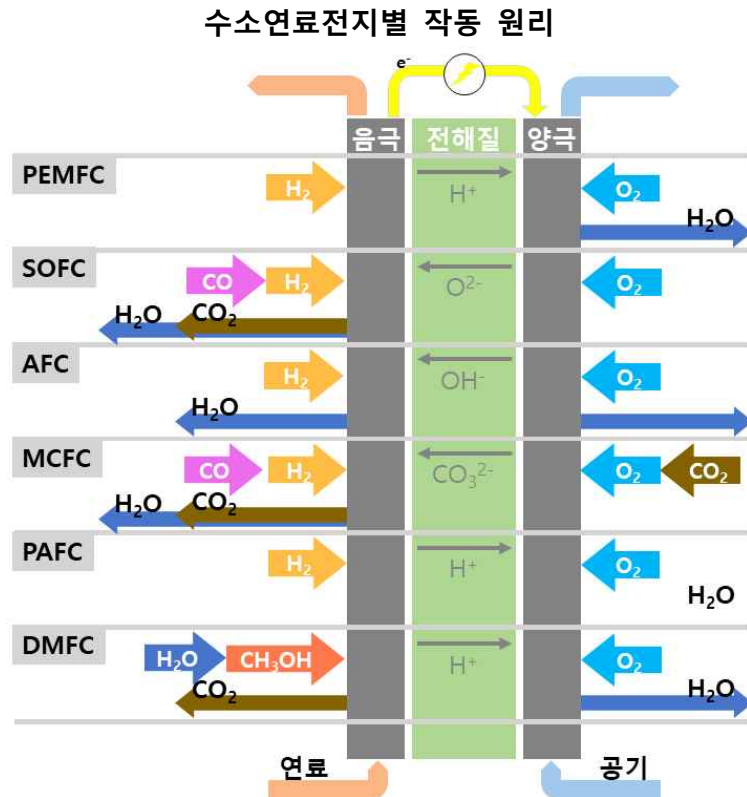
- **PEMFC(Polymer/Proton Electolyte Membrane Fuel Cell):** 현재 가장 널리 쓰이는 연료전지로 비교적 낮은 온도(약 80°C)에서 작동하고 약 60%의 효율을 보임
 - (장점) 작고 가볍게 만들 수 있으며 낮은 온도에서 작동하기 때문에 시동 시간이 짧음
 - (단점) 산성조건(H⁺)을 견딜 수 있는 값비싼 백금촉매를 사용해야 하는데 일산화탄소(CO)가 백금을 손상시키는 문제가 있음. 또한, 고온 저습 조건에서 이온전도도가 감소하여 습도와 온도 조절이 필수적임
 - (과제) 가격이 비싼 촉매와 전해질막의 단가를 낮추기 위한 노력 필요. 성능유지를 위해 가습을 과하게 할 경우 물이 넘쳐 산소의 공급을 막을 수 있어 적당량의 습도를 조절하는 기술이 중요
- **SOFC(Solid Oxide Fuel Cell):** 산소이온이 투과되는 세라믹 고체 전해질을 사용하는 연료전지. 연구개발이 활발하게 이루어지고 있는 연료전지로 매우 높은 온도(약 1000°C)에서 작동. 60% 정도로 높은 효율을 보이며 열을 이용하는 시스템까지 활용하면 효율이 85%까지 향상
 - (장점) 작동온도가 높아 귀금속 촉매를 사용하지 않고 외부장치(개질기) 없이 LNG, LPG 등을 연료로 사용 가능. 또한, 소형화가 가능하다는 장점도 있음
 - (단점) 시동 시간이 길어 자주 전원을 차단해야 하는 용도로는 부적합하며 높은 온도로 인해 제조와 유지 비용이 비싸짐
 - (과제) 높은 온도에서 내구성을 갖는 재료 개발과 시동 시간을 줄이는 연구가 진행 중
- **AFC(Alkaline Fuel Cell):** 1세대 연료전지 중 하나이며 미 우주 프로그램에서 전기와 물 생산을 위해 사용. 비교적 저온(약 100°C)에서 작동하며 약 60% 정도의 효율을 보임
 - (장점) 귀금속 촉매를 사용하지 않아서 단가를 낮출 수 있음
 - (단점) 전극이 이산화탄소에 매우 취약하여 이산화탄소에 노출 시 크게 손상되는 단점이 있음
 - (과제) 이산화탄소에 의한 손상을 줄이고 액체 전해질 누수를 막아야 함
- **MCFC(Molten Carbonate Fuel Cell):** 2세대 연료전지로 불리며 탄산이온이 전해질을 통해 이동. 비교적 높은 온도(약 650°C)에서 작동하며 효율은 65%, 발생하는 열까지 활용하면 85%까지 향상
 - (장점) 높은 온도에서 작동하여 SOFC와 비슷한 장점을 가짐. 귀금속 촉매를 사용하지 않고 내부개질로 LNG, LPG를 연료로 사용 가능
 - (단점) 높은 온도에 의해 부식이 빨리 일어나고 내구성이 약함
 - (과제) 고온작동에 의해 액체전해질이 증발. 전해질을 보충하기 위해서 연료전지의 작동을 멈춰야 하는 문제가 있음. 고온에서의 내구성 향상이 필요

- **PAFC(Phosphoric Acid Fuel Cell):** 1세대 연료전지 중 하나로 기술이 가장 성숙한 연료전지로 평가. 비교적 저온(약 200°C)에서 작동하고 효율이 약 37~42% 정도지만, 발생하는 열까지 함께 이용하면 80%까지 향상 가능
 - (장점) 구조가 단순하고 화학적 안정성이 높으며 전해질로 사용하는 인산의 가격이 저렴함
 - (단점) 다른 연료전지 방식에 비해 크고 무거우며 촉매로 백금을 사용하기 때문에 일산화탄소 노출에 취약
 - (과제) 백금사용량을 줄이거나 대체하는 소재를 개발해야 하며 전해질 유출을 막아야 함
- **DMFC(Direct Methanol Fuel Cell):** 연료로 메탄올을 이용하는 연료전지로 저온(약 100°C)에서 작동하고 약 40% 효율을 보임
 - (장점) 연료로 기체인 수소 대신 액체인 메탄올을 사용하기 때문에 연료공급이 쉽고 소형화에 유리
 - (단점) 출력밀도가 낮고 비싼 백금촉매를 사용
 - (과제) 메탄올이 전해질막을 통해 산소전극으로 침투하는 문제를 해결해야 하며 촉매 가격을 낮추는 연구 필요

수소연료전지 종류

연료전지 종류(전해질 종류에 따른 분류)						
구분	알카리 (AFC)	인산형 (PAFC)	융융탄산염형 (MCFC)	고체산화물형 (SOFC)	고분자전해질형 (PEMFC)	직접메탄올 (DMFC)
전해질	수산화칼슘	인산염	탄산염	세라믹	이온교환막	이온교환막
촉매	니켈	백금	Perovskites	니켈	백금	백금
동작온도 (°C)	120이하	250이하	700이하	1,200이하	100이하	100이하
	저온형	저온형	고온형	고온형	저온형	저온형
효율(%) HHV	85	70	80	85	75	40
용도	우주발사체	중형건물	중·대형건물	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, 융융염회산	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

자료: 에너지공단, H2World, IBK투자증권



2. 연료전지의 활용분야

(휴대형 연료전지) 60V 직류 미만의 출력 전력을 공급하는 연료전지로 정의, 메탄올을 직접 사용하는 DMFC 방식이 대표적임

- 마이크로 연료전지라고도 하며 2019년 한국이 국제전기표준회의(IEC)에 제안한 '마이크로 연료전지 파워시스템' 표준안이 국제 표준으로 등록
- 휴대형 연료전지의 전력의 안전성과 호환성 기준도 규정
- (군용) 장비의 무게는 병사의 기동성과 피로도에 직접적인 영향을 주고 작전시간에 비례하여 그 영향이 커지므로 소형 연료전지가 주목받고 있음
- 미국은 이라크전을 통해 전지의 수명 연장, 소형화, 경량화 필요성이 대두되어 연료전지 개발 가속화
- UltraCell 사의 군용 연료전지는 모델에 따라 출력이 25W~80W이고 중량은 약 3kg, 사용가능시간은 약 11~18시간 수준
- (레저) 독일의 Smart Fuel Cell은 캠핑에서 활용할 수 있는 레저용 연료전지를 판매 중으로 모델에 따라 6.5kg~6.9kg, 출력은 40W~75W 수준
- (가전) 2003년 도시바, 2006년 삼성이 연료전지를 이용한 노트북 출시
- (드론) 2020년 4월 두산모빌리티이노베이션이 개발한 20kg의 수소연료전지 드론을 통해 마라도 등에 마스크 전달

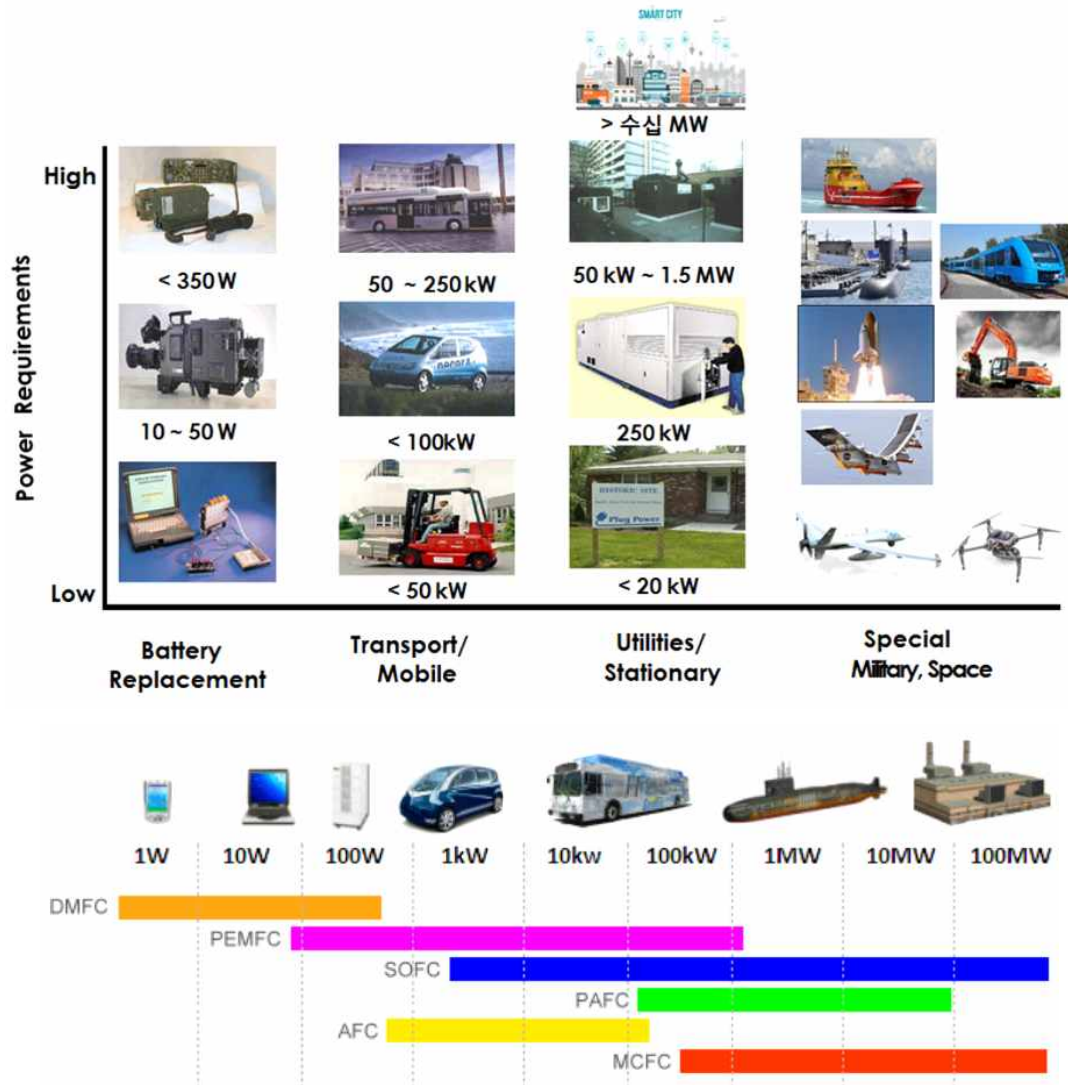
(수송형 연료전지) PEMFC가 대표적이며 수소전기차, 버스, 트럭을 위주로 연료전지 중 가장 많은 사용량을 보임

- (자동차) 수소연료전지를 사용한 현대자동차의 '넥쏘'와 토요타의 '미라이'가 시장을 주도하고 있으며 2022년 BMW의 수소전기차 출시 예정
- (트럭) 현대자동차는 2020년 수소연료전지 대형트럭인 '엑시언트(Xcient)' 10대를 스위스로 수출하고 2025년까지 1,600대 공급계획. 토요타는 자회사인 상용차 전문 기업 히노와 북미를 겨냥하여 수소전기트럭 '클래스8' 공동 개발
- (버스) 토요타의 수소전기 버스 '소라' 상용화, 현대자동차의 연료전지버스 '일렉시티(Elec City)' 중동시장 첫 진출
- (지게차) 월마트와 아마존 물류창고에서 수소연료전지 지게차를 운용 중이며 미국에서만 2018년 2만대 넘는 수소연료전지 지게차 사용
- (트램,기차) 울산시는 현대로템이 개발한 수소트램을 2027년부터 단계적으로 개통 목표(약 48km 구간). 현대로템은 2030년까지 기차와 고속철에 수소연료전지 적용 계획
- (선박) 2021년 중소벤처기업부와 울산시는 수소연료전지로 운항하는 소형 수소 선박의 상용화를 위한 실증 착수. 한국조선해양과 두산퓨얼셀은 대형 선박용 SOFC 시스템 공동연구개발 MOU 체결
- (우주선) 최초의 달에 간 아폴로11에 AFC를 사용하여 우주선 시스템에 전력 공급

(고정형 연료전지) 주로 발전용 연료전지를 의미. 대표적인 제조사는 블룸에너지(Bloom Energy), 두산퓨얼셀, 퓨얼셀에너지(FuelCell Energy) 등이 있고 각각 SOFC, PAFC, MCFC 방식을 주로 사용

- (발전) 2024년 경기도 화성시에 약 18만5천 가구에 전력공급이 가능한 80MW급 수소연료전지 발전소 건립 예정. 2019년 미국 캘리포니아 주는 전역에 걸쳐 289MW 규모의 연료전지가 설치됨
- (백업전력) 마이크로소프트는 자사 클라우드 데이터센터 백업용 전원을 수소연료전지로 사용하기 위해 250kW 시스템 구축.
- (건물용) 공공기관 신재생에너지 이용 의무화 등으로 2020년 말 서울시 338개소 7.2MW 연료전지 보급
- (가정용) 일본은 동일본 대지진 이후 정부의 분산발전시스템 정책으로 가정용 발전 연료전지 에네팜(Energy와 Farm의 합성어) 보급

수소연료전지 종류별 응용 분야



자료: 신재생 에너지 백서 2020, Ating 재구성

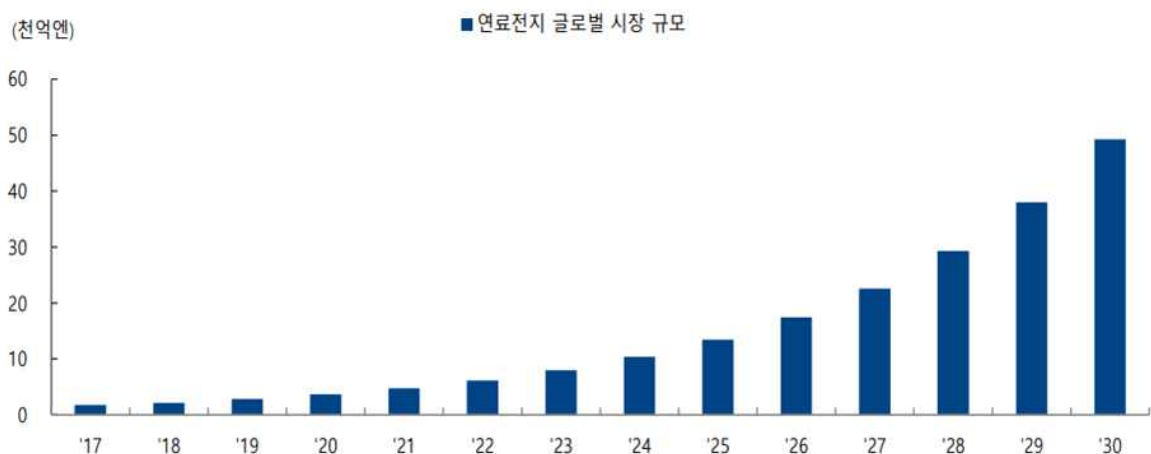
III. 연료전지 시장과 국가별 경쟁력

1. 연료전지 시장 동향

연료전지는 한국, 일본, 미국을 중심으로 초기 시장을 형성 중이며 연평균 30%씩 성장할 전망

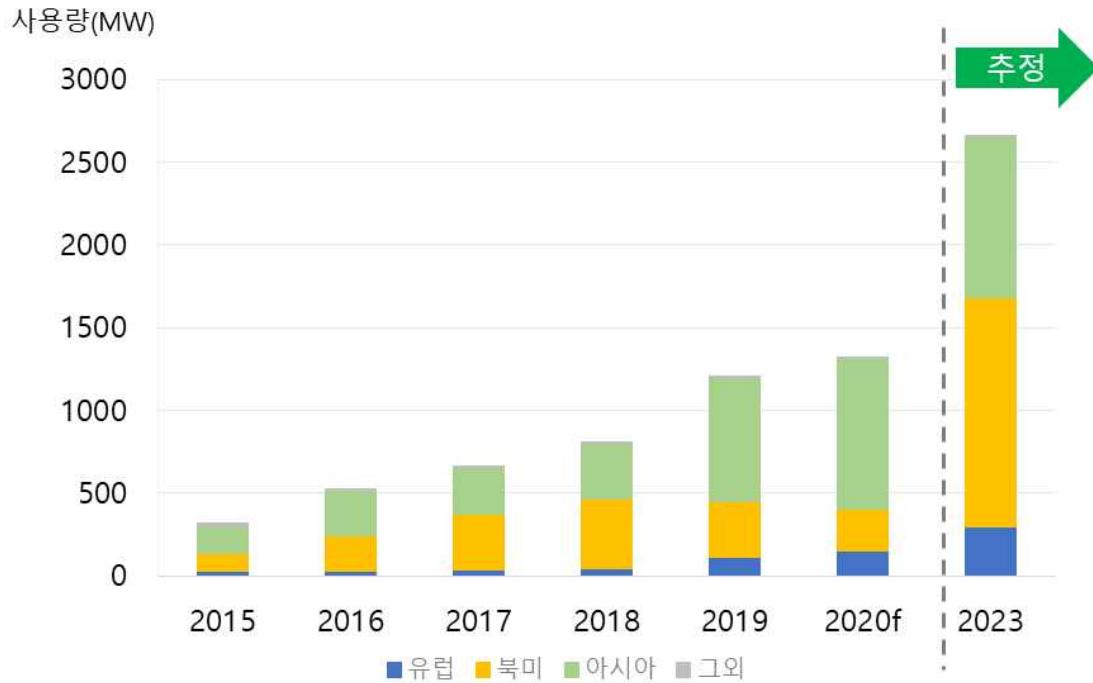
- 2020년 90Mt 미만의 사용량을 보이는 수소 수요는 2030년에는 200Mt을 넘기고, 2050년에는 530Mt에 이를 전망
- 따라서, 수소를 활용하는 연료전지 수요도 꾸준히 증가하여 2018년 2조2천억원 수준의 시장이 연평균 30%씩 성장하여 2030년에는 약 50조원 규모가 될 것으로 추정
- 국내 연료전지 시장은 연평균 21% 성장세를 보일 것으로 추정하며 2018년 2천 6백억원 규모의 시장이 2030년에는 2조 5천억원 규모가 될 전망
- 2018년 사용량을 기준으로 전세계 연료전지 시장에서 한국, 중국, 일본 등 아시아의 비중은 약 42%를 차지하며 큰 시장을 형성하고 있음
- 국가별로 진행되는 수소산업 지원 정책으로 수소시장이 커짐에 따라 민간 기업의 투자가 활성화 되는 중
- 한국의 경우 2021년 수소산업에 SK, 포스코, 현대차, 한화, 효성에서 총 43조원 규모 투자

연도별 연료전지 시장규모



자료: 후지경제, 하이투자증권

권역별 연료전지 사용량



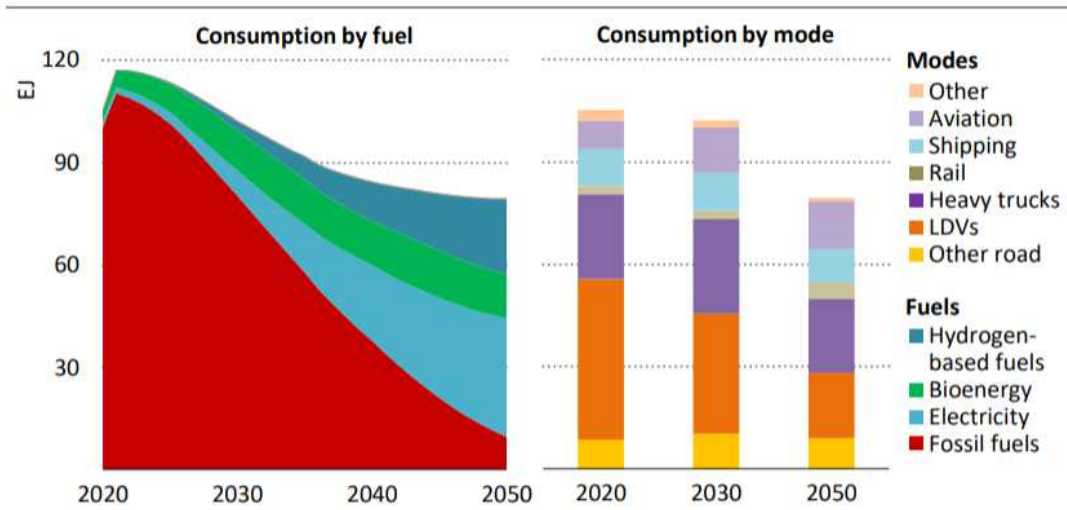
자료: E4tech, TechNavio, 연구개발특구진흥재단 재구성

연료전지는 당분간 수소전기차 중심의 수송형 연료전지와 발전용 연료전지 위주로 성장할 전망

- 2020년 상반기 전세계 연료전지 사용량 기준으로 휴대형은 0.03%, 수송형은 75.34%, 고정형은 24.63% 비율을 차지
 - 연료전지 종류별로는 수송용으로 주로 이용되는 PEMFC의 사용량이 가장 많고 그다음으로는 발전에 많이 사용하는 SOFC, PAFC 순으로 사용량이 많음
 - 국가별로 발표된 정책에 따라 수소전기차와 발전용 연료전지 보급은 더 늘어날 예정
 - 사용량 기준으로 PEMFC, SOFC는 약 30%, PAFC는 약 20%의 성장세를 보일 것으로 추정
- 전세계 수소전기차 판매 대수는 연평균 58.6%의 빠른 성장세를 보이며 2030년에 수소전기차 시장은 100만대를 돌파하고 누적 350만대에 이를 전망
 - 2020년도에는 전세계 자동차의 90%가 화석연료에 의존하였으나, 2050년에는 자동차의 45%는 전기, 28%는 수소연료를 사용할 것으로 예상
- 전세계 발전용 연료전지 시장은 2030년까지 연평균 25~32% 성장 전망
 - 발전용 연료전지는 한국과 미국이 주요 시장으로 2020년 한국은 세계보급량의 약 40%를 차지하는 것으로 추정
 - 일본은 에네팜 보급정책으로 가정/건물용 연료전지에서 큰 시장을 보유



전세계 연료 사용량과 사용처

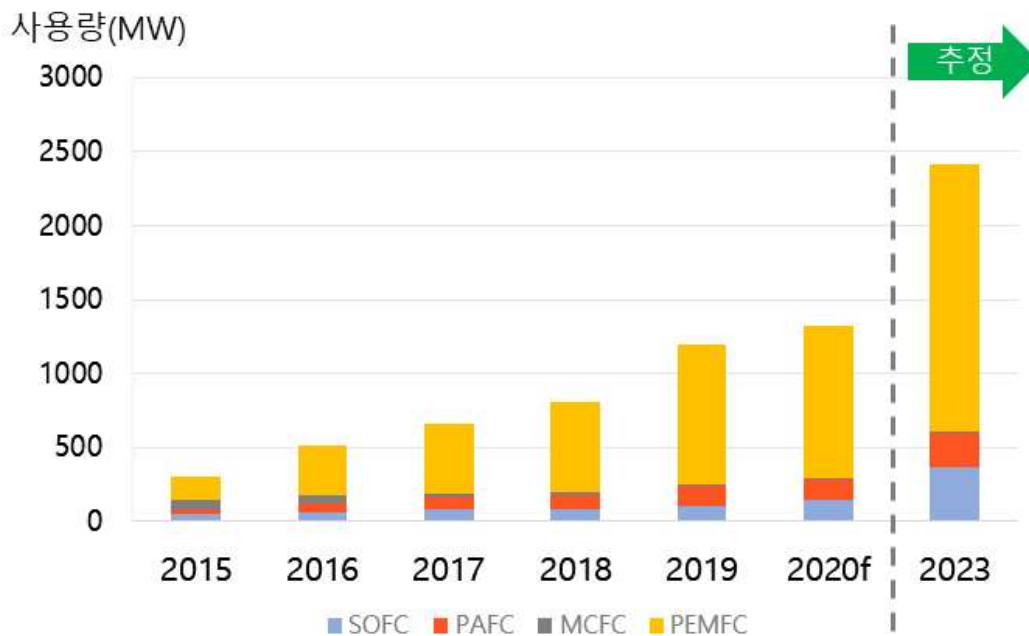


IEA. All rights reserved.

LDV: 승용차(Light-Duty Vehicles); Other road=버스, 오토바이 등

자료: IEA

연료전지 제품별 사용량



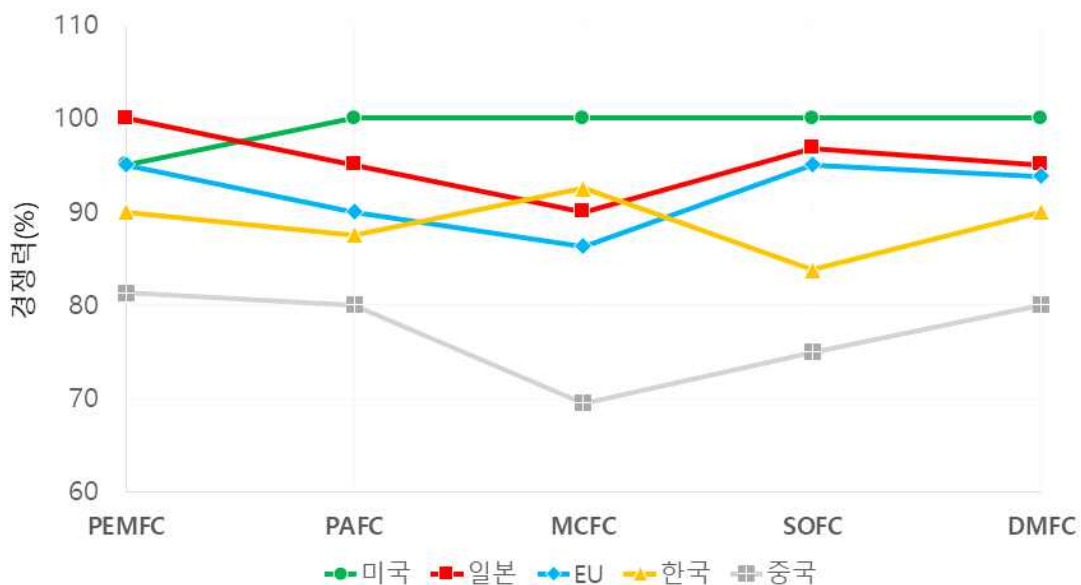
자료: E4tech, techNavio, 연구개발특구진흥재단 재구성

2. 연료전지 국가별 경쟁력

연료전지 기술 수준은 미국, 일본, EU, 한국 순으로 높으며 한국은 특히 연료전지 보급이 가장 활발한 나라 중 하나

- 한국은 2년 연속 수소차 판매와 발전용 연료전지 보급 세계 1위 달성
- 2021년 1분기 수소전기차 판매량 기준으로 현대자동차와 토요타의 시장점유율이 97%를 넘기며 세계시장 양분 중
 - 2020년 현대자동차의 수소전기차는 70%를 넘는 시장점유율을 보였으나 2021년 토요타의 미라이2가 출시되면서 점유율 역전.
 - 2021년 1분기 현대자동차와 토요타의 수소전기차 시장점유율은 각각 46.2%와 51.3%
- 중국은 수소연료전지 자동차보다 상용차(트럭, 버스) 보급에 초점. 그러나 아직 연료전지 기술 수준이 낮고 인프라가 부족하여 수입의존도가 높음
 - 현대자동차는 수소연료전지 브랜드 'HTWO' 설립, 중국 광저우에 생산기지를 건립 중이며 2022년 하반기 완공 목표
 - 토요타와 중국 5개사는 연료전지 개발 합작회사 설립 (FCRD: United Fuel Cell System R&D)
- 미국에서는 대형 발전용 연료전지 SOFC에서 가장 앞서있다는 평가를 받는 블룸에너지(Bloom energy) 외에도 퓨엘셀에너지(FuelCell Energy), 플러그파워(Plug Power)등 우수한 기업이 경쟁하며 성장 중
- 미국, 일본, 독일은 연료전지의 핵심부품 기술력이 높은 것으로 평가. 연료전지 관련한 특허 출원 건수는 일본이 가장 많으며 일본과 미국이 전체 출원 건수의 50% 넘게 차지
- 연료전지 종류별 국가 경쟁력은 PEMFC를 제외한 PAFC, MCFC, SOFC, DMFC에서 미국이 가장 앞서 있음

국가별 연료전지 경쟁력



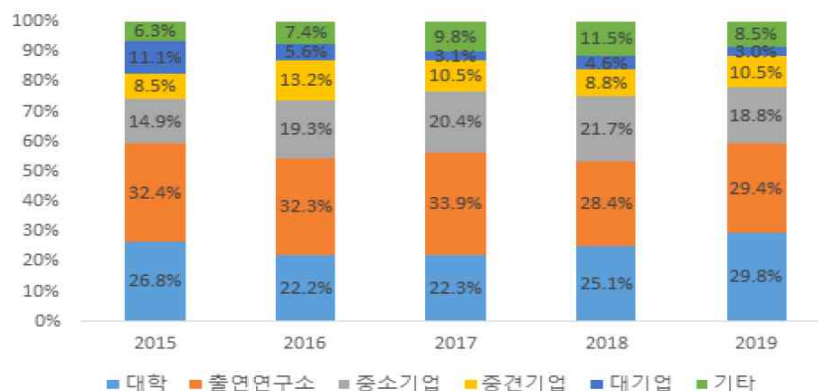
*가장 우수한 경쟁력을 가진 국가를 기준 100%로 설정

자료: 녹색기술센터 2018, 재구성

한국은 연료전지의 핵심 부품 수입의존도가 높아 국산화 추진 중

- 부품을 해외에서 조달 시 연료전지 가격 상승요인으로 작용하고, 관리 대응이 늦어지는 문제가 발생하며 무역분쟁과 국제정세에 취약하다는 약점도 있음
- 국내 연료전지 완성품은 높은 평가를 받으나 연료전지 핵심 부품은 수입에 의존
 - 전해질막, 기체확산층, 아이오노머, 탄소섬유 등 연료전지의 주요 부품과 소재는 주로 미국, 일본, 독일에서 수입
- (전해질막) 제조공정이 까다로워 미국의 소재업체 Dupont의 Nafion이 독점적 지위를 차지
 - Nafion은 높은 이온전도도를 가지고 기계적, 화학적 안정성이 뛰어나지만 높은 가격과 고온, 저가습 조건에서 성능이 저하 되는 문제 발생
- (촉매) 백금촉매는 미국 BNL, 일본 다나카 금속 등에 의존
- (기체확산층) 기체확산층 등에 사용하는 탄소섬유는 일본의 도레이, 토호, 미쓰비시레이온이 세계 시장의 50%를 넘게 차지
 - 현대자동차 넥쏘 연료전지는 독일 SGL사의 기체확산층 사용
- (분리판) 포스코와 현대제철이 생산하고 있으며 국산화가 된 부품. 연료전지의 무게의 대부분을 차지하는 만큼 경량화와 추가적인 가격 절감 필요
- (가스켓) 평화오일씰공업, 동아화성 등에서 가격 경쟁력을 갖춘 제품 생산 중
- 한국은 정부 주도로 연료전지 R&D가 이루어지고 있으며 한국에너지기술연구원, 화학연구원, KIST 등을 중심으로 핵심 부품 국산화 추진
- 국내 연료전지 기업은 해외 기업과 공동개발, 합작법인 등의 방법으로 기술 개발 노력
 - 두산퓨얼셀은 영국의 세레스 파워(Ceres Power)와 기술 협약을 체결하여 SOFC 개발 착수
 - SK건설은 미국의 블룸에너지와 합작법인인 '블룸SK퓨얼셀'을 설립, SOFC 국내 생산
 - 한국-사우디 합작기업 FCI(Fuel Cell Innovation)는 이탈리아의 솔리드파워와 공동 기술 개발

연도별 연료전지 투자 주체 비율



자료: 한국과학기술기획평가원

IV. 시사점

경제성이 부족한 수소에너지 활성화를 위해서는 정부 주도의 기술개발과 정책지원이 필수적임

- 연료전지의 시장의 형성·발전을 위해서는 생산비용 절감, 관리 비용 감소, 내구성 향상, 인프라 구축 등 해결과제가 존재
- 수소경제 초기에 투입되는 막대한 연구개발 비용은 높은 수소에너지 가격으로 이어져 기업과 소비자에게 부담이 됨. 따라서, 시장이 충분히 성장할 때까지 정부의 적극적인 정책과 효율적인 보조금 지원이 필요
- 연료전지 보급에 대한 정책과 구매 혜택뿐만 아니라 연료전지 이용과 관리에 대한 정책과 지원도 필수적임
 - 가정/건물용 연료전지 가동을 위해 들어가는 연료비용이 일반 전기요금보다 비싸 연료전지 사용률이 저조한 문제가 있음
 - 가정용 연료전지 현장 실태조사에 따르면 고장, 미사용, 철거의 이유로 보급된 연료전지를 사용하지 않는 비율은 64.4%에 이름
- 연료전지시스템을 완성하기 위해서는 다양한 부품과 기술이 필요하며 산업망을 촘촘하게 형성하기 위해서는 중소기업의 역할이 중요
 - 연료전지시스템 산업망 구축은 고용 유발 효과가 클 것으로 기대하며 수출시장 진입으로 경제 성장에 기여 할 것으로 예상

수소연료전지 부품의 성공적인 국산화와 상용화를 위해서는 신뢰성 평가와 인증 제도를 마련하고 지원 방안을 모색해야 함

- 신뢰성 테스트에는 많은 비용과 인력이 필요하기 때문에 기술개발 후에도 상용화까지 이어질 수 있도록 평가제도와 인증제도가 마련되어야 함
 - 기술의 국산화 성공 후에도 신뢰성이 확보되지 않아 상용화가 되지 않는 문제 발생
 - 신뢰성 확보 시스템이 체계적으로 마련되어 있으면 수출시장 진입도 용이해질 것으로 기대
- 새로 성장하는 기술인 만큼 선도적으로 안전성 기준안을 마련하고 안전평가 시스템 구축 필요
- 연료전지는 활용분야에 따라 요구하는 전력량, 크기, 적정가격 등이 다르므로 다양한 종류의 연료전지가 사용될 것으로 예상. 따라서 연료전지 종류별로 체계화된 안전성, 신뢰성 평가 시스템 확보 필요