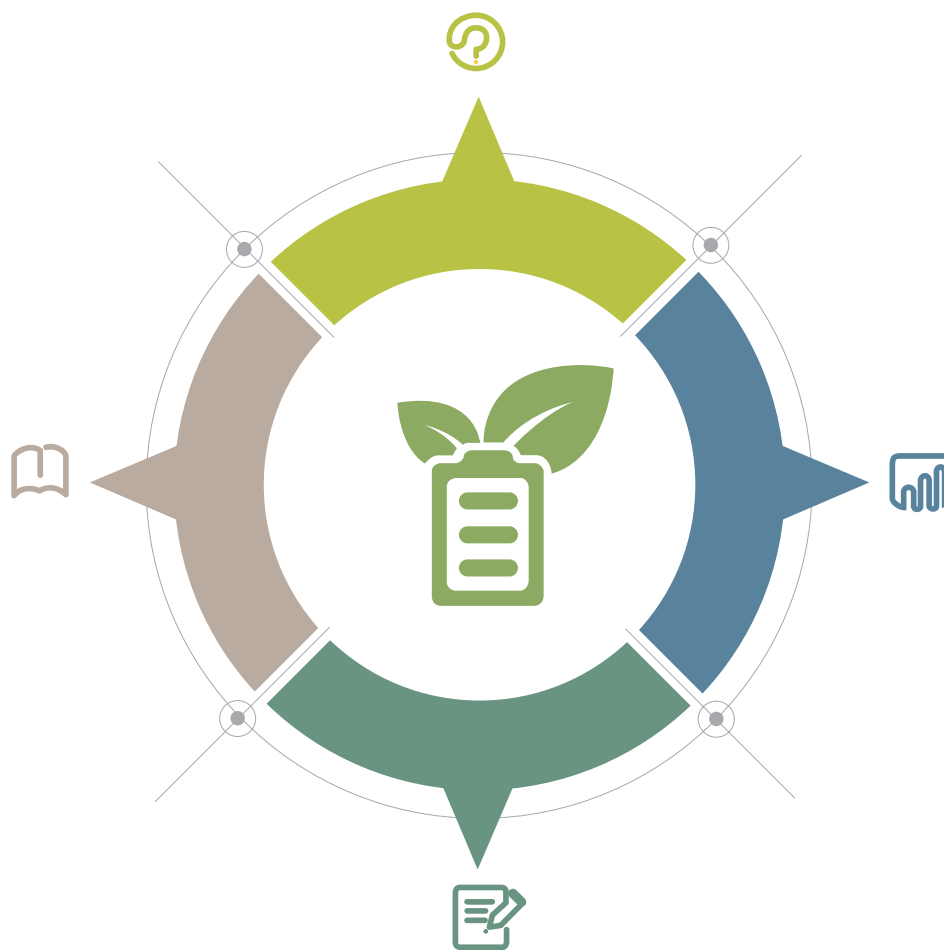


기후변화대응을 위한 해법

수소에너지 연료전지의 기회, 성장 그리고 과제

녹색기술센터 정책연구부 김기만 연구원, 정재형 연구원



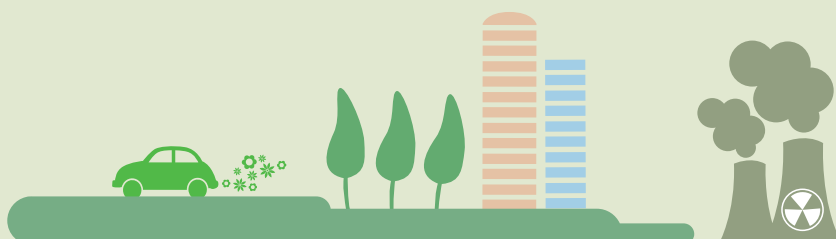
기후변화대응을 위한 해법

수소에너지 연료전지의 기회, 성장 그리고 과제



목 차

요약	01
1. 수소경제와 수소에너지	02
2. 연료전지의 특징과 성장	05
3. 지속가능한 에너지를 위한 연료전지의 환경적 패러다임	10
4. 기후변화대응을 위한 녹색기후기술 연료전지의 발전방향 제언 ...	14



| 요약 |

- 수소경제란 수소를 에너지원으로 사용하여 석탄, 가솔린, 가스 등의 화석연료를 대체하는 것을 의미함
- 수소를 에너지원으로 활용하는 것은 에너지의 탄소의 수가 적어지는 탈탄소화의 개념과 연동할 수 있으며, 2100년 경 수소가 주요 에너지원으로 시장을 차지할 것으로 예상되고 있음
- 수소는 결국 재생에너지와 연결하여 활용되며 이에 탄소연료는 막을 내릴 것으로 예상됨
- 수소에너지 기술의 활용을 위해 궁극적으로 재생에너지 전력을 기반으로 하는 수소의 생산과 이에 대한 대용량 장기에너지 저장기술의 활용이 중요함
- 특히, 연료전지 발전은 수소의 가장 중요한 이용방법 중 하나임
- 글로벌 연료전지 시장은 지속적인 상승세를 보이고 있으며, 2015년 기준 세계 연료전지 시장 규모는 약 36억 달러이며, 2015년 기준 전세계 연료전지 시스템 판매는 전년대비 약 12% 증가함
- 연료전지는 국가 온실가스 저감을 위한 기후기술로 분류되며, 이에 연료전지의 환경영향에 대한 면밀한 검토를 통해 지속가능한 기술개발 전략과 제반 정책을 강구하는 것이 중요함
- 국내 연료전지를 대상으로 연료전지 시스템의 환경영향을 분석한 결과 운영단계에서 약 99%에 가까운 환경영향을 보였으며 이는 수소생산을 위한 연료연소에 의한 것임
- 지속가능한 연료전지의 발전을 위해서 수소생산의 청정성을 확보하는 것이 중요하며, 단기적으로는 가능한 기술과의 접목이 필요하며 장기적으로는 재생 에너지를 활용하는 접근이 바람직함
- 재생에너지와의 조화를 통해 전기-열-연료를 아우르는 종합적인 에너지 생산 수단의 역할을 수행하며 저장수단, 연료전지와의 통합으로 분산에너지를 구축하는 경우 진정한 의미의 수소를 활용한 무탄소 사회의 구축이 가능할 것임

01 수소경제와 수소에너지

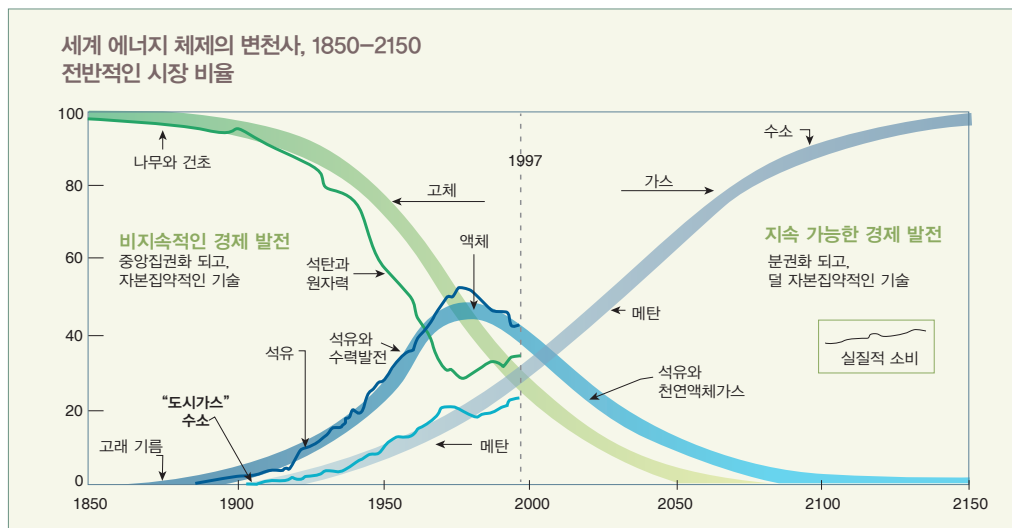
수소에너지는
기후변화 문제에 따른
청정에너지원의
활용에 있어 가장
부각되고 있는 에너지
종 하나

2100년 경 수소가
주요 에너지원으로
서 시장을 차지할
것으로 예상

수소혁명

- 수소경제란 수소를 에너지원으로 사용하며 기존의 화석연료인 석탄, 가솔린, 가스 등을 대체하는 것을 의미함
 - 화석연료는 근대 산업발전을 이끌어온 주된 에너지원으로 많은 이점을 가지고 있으나 자원보존량의 감소, 오염물질의 배출 및 지구온난화를 비롯한 기후변화 등의 문제를 야기함
 - 이의 극복방안으로 청정에너지원의 활용에 대한 인식이 높아지고 있으며 이에 가장 부각되고 있는 에너지원 중 하나가 수소에너지임
- 수소를 에너지원으로 활용하는 것은 에너지의 탈탄소화의 개념과 연동하여 생각할 수 있음
 - 탈탄소화는 석탄, 석유, 천연가스 순으로 단위 질량당 탄소의 수가 적어지는 것을 의미함(제레미 리프킨, 2003)
 - 고형연료인 목재에서 화석연료인 석탄, 석유, 천연가스로의 에너지원 변화에 따라 이산화탄소(CO₂)의 방출량이 적어짐
 - 1900대 말에 오일 등 액체연료, 2000년대는 가스의 시장점유가 독보적으로 상승하였으며, 2100년 경 수소가 주요 에너지원으로서 시장을 차지할 것으로 예상되고 있음

연료 유형에 따른 시장의 변화



출처: Dunn 외, 2001



- 미래학자 제레미 리프킨은 그의 저서 수소혁명(The hydrogen Economy)에서 수소는 결국 재생에너지와 연결하여 생산하게 되며 이에 탄소연료는 막을 내릴 것이라고 언급함

● 수소에너지 이용 기술

- 수소에너지 시스템 기술은 수소의 제조와 저장, 운반 그리고 이용기술로 나눌 수 있으며, 발전 및 수송산업을 포함한 타산업과 연관성이 높음
 - 수소 제조기술은 수소를 생산하는 기술로 물, 화석연료, 바이오매스 등으로부터 수소를 생산하는 기술임
 - 이중 상용화된 수소 생산기술은 수전해, 천연가스 수증기 개질, 석탄가스화 및 부생가스를 이용하는 방법이며, 천연가스 직접분해 기술, 열화학 분해 등의 개발이 진행 중임
 - 수소 저장기술은 고압 수소저장기술, 액체수소 저장기술, 금속수소 화합물에 의한 저장 방법이 있음. 이 밖에 활성탄소를 이용한 수소저장법 등이 개발되고 있는 상황임
 - 특히, 수소의 가장 중요한 이용방법 중 하나는 연료전지 발전이며, 전기화학적 에너지 변환 장치로서 전력생산 및 에너지 저장 등의 이용도 가능함
 - 수소 이용기술에는 수소를 연소용 연료소서 사용하기 위한 내연기관, 스팀터빈 및 로켓 엔진 연소기술이 있음

미래학자 제레미 리프킨에 의하면 수소는 결국 재생에너지와 연결하여 생산하여 사용

● 수소에너지 기술 활용

- 궁극적으로 재생에너지 전력을 기반으로 하는 수소의 생산과 대용량 장기 에너지 저장기술의 활용이 중요함
 - 수소에너지를 통해 생성하는 전기와 열, 그리고 과잉 재생전력의 조건에서 생산한 수소를 저장하고 재생전력 부족 시 연료전지를 통한 발전이 가능함
 - 이를 통해 수소가 전기-열-연료를 아우르는 종합적인 친환경에너지 체계의 구축에 기여하는 역할을 수행할 수 있음

연료전지 발전은 수소의 가장 중요한 이용방법 중 하나

■ 수소는 공기 중에서 연소 시 생성되는 극소량의 질소 물질을 제외하고는 공해물질이 전혀 배출되지 않음

- 또한, 가스, 액체의 형태로 손쉬운 저장 및 수송이 가능하며 직접연소, 연료전지 등의 연료로 사용하기에도 간편한 특징을 지님
- 특히, 수소에너지는 산업용 기초 원료부터 연료전지, 비행기 등 현재 에너지시스템에서 사용되고 있는 대부분의 분야에 응용이 가능하기 때문에 궁극적인 에너지원(매체)으로 손꼽힘

수소에너지의 현재 및 미래의 이용



출처: 일본 자원에너지청

수소에너지는 산업용
기초 원료부터
연료전지 등 현재
에너지시스템에서
사용되는 대부분의
분야에 응용 가능



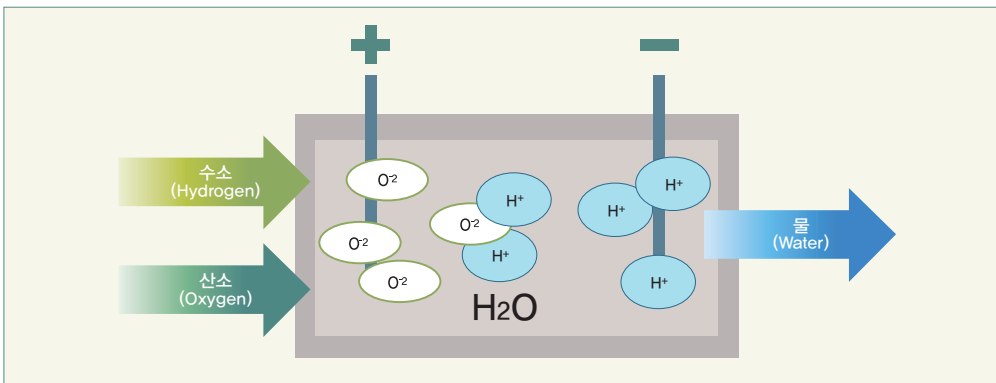
02 연료전지의 특징과 성장



연료전지의 개념 및 구성

- 연료전지는 산소와 수소의 전기화학적 반응을 통하여 화학에너지를 전기 에너지로 직접 변환시켜주는 장치임

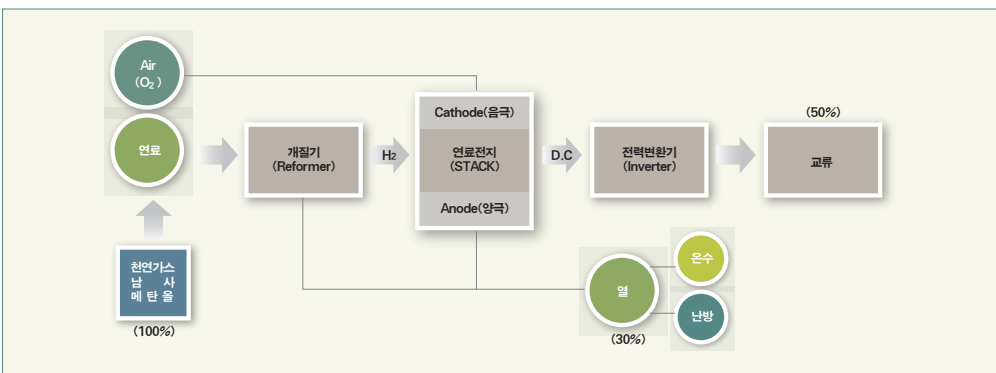
연료전지의 원리



연료전지는 산소와 수소를 이용하여 전기와 열을 생산하는 장치

- 연료전지 발전시스템은 개질기와 셀, 스택, 전력변환기 및 발전 등으로 구성됨
 - 개질기는 석탄, 석유, 메탄올, 천연가스 등의 화석연료를 수소연료로 변환하는 장치임
 - 셀은 전해질이 함유된 전해질 판과 공기극, 연료극을 분리하기 위한 분리판 등으로 구성됨
 - 스택은 셀을 수십, 수백 장 쌓아 올린 본체로 원하는 전기출력을 얻기 위해 사용됨
 - 전력변환기는 연료전지에서 나오는 직류전기를 교류로 전환시키는 장치임

연료전지 발전시스템 구성도



출처: 한국에너지공단 신·재생에너지센터



연료전지는
산업분야에 따라
발전용, 가정용,
수송용, 휴대용
4가지로 구분 가능

연료전지는 유형별
다양한 종류의 제품에
적용이 가능

연료전지의 역할 및 활용 분야

■ 연료전지를 실질적으로 응용되는 산업분야에 따라 구분하면 크게 발전용, 가정용, 수송용, 휴대용 4가지로 구분함

- 우리나라의 경우 현재 상용화 되어있는 연료전지는 발전용이 높은 비율을 차지하고 있으며, 발전용의 경우 가정용 열병합발전과 상업용 목적으로 다양한 연료전지가 개발되고 있음
- 특히, 중대형 발전의 경우 다양한 연료의 사용 가능성과 타 발전원과의 연계를 통해 전력변환 효율을 향상시킬 수 있기 때문에 고온 연료전지가 저온 연료전지에 비하여 적용하기가 수월할 수 있음(한국과학기술연구원, 2006)

연료전지별 종류별 특징

종류/특징	효율	주용도
고온형 연료전지	용융탄산염연료전지(MCFC) * Molten Carbonate Fuel Cell	대규모발전, 중소사업소설비
	고체산화물연료전지(SOFC) * Solid Oxide Fuel Cell	대규모발전, 중소사업소 설비, 이동체용전원
저온형 연료전지	인산염연료전지(PAFC) * Phosphoric Acid Fuel Cell	중소사업소설비, biogas plant
	알칼리연료전지(AFC) * Alkaline Fuel Cell	우주발사체 전원
	고분자전해질막연료전지(PEMFC) * Proton Exchange Membrane Fuel Cell	수송용 전원, 가정용 전원, 휴대용 전원
	직접메탄올연료전지(DMFC) * Direct Methanol Fuel Cell	휴대용 전원

출처: 한국에너지공단 신·재생에너지센터, 2014

연료전지 종류별 응용제품

제품종류		용량	연료전지				
			PAFC	MCFC	SOFC	PEMFC	DMFC
발전	분산발전	수십kW-수십MW	●	●	●	○	○
	건물용	수kW-수십kW	○	○	●	●	○
수송용	차량용	수kW-수백kW	○	▲	●	●	○
	선박용	수백kW-수십MW	○	●	●	○	○
휴대용		수백W-수kW	○	○	●	●	●
		수W-수백W	○	○	○	●	●

주1: ●: 적용, ▲: 일부고려, ○: 적용가능성 희박

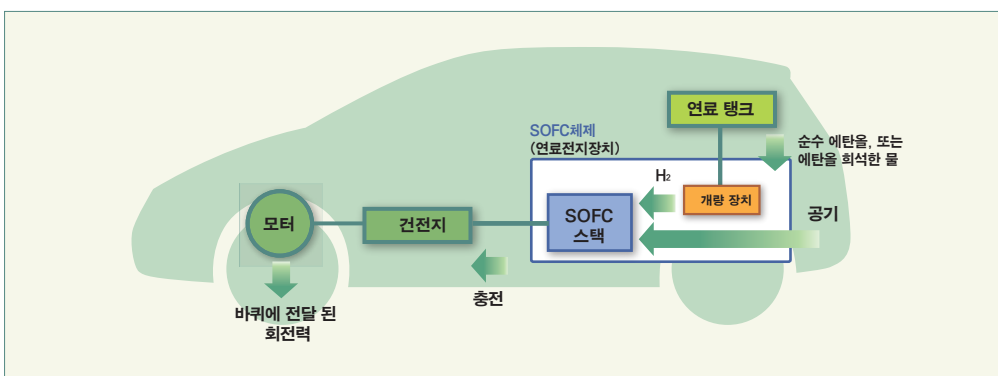
출처: Gelman 외, 2003의 자료를 신·재생에너지백서(2014)에서 재인용



- 가정용의 경우 일반 가정 등에 필요한 전력 등 에너지를 공급하는 소규모 열병합 발전과 관련됨
- 현재까지는 화석연료를 활용한 보일러시스템이 주류이나 연료전지 시스템이 전기와 열을 동시에 생성하는 열병합발전용으로서 실용화되고 안정화되면 활용도가 높아질 것으로 예상됨
- 수송용의 대표적인 적용분야는 자동차이며 기존 내연기관을 대체하는 연료전지 자동차는 시동이 간편하고 성능이 높은 고분자전해질막연료전지(PEMFC)가 적합하다고 알려져 있음(한국과학기술연구원, 2006)
- 한편 최근 타 연료와의 하이브리드 형태의 고체산화물연료전지(SOFC) 활용의 가능성도 관심을 받고 있으며, 닛산(Nissan)은 최근(2016.6) “e-Bio Fuel Cell Electric Vehicle”을 발표함
- 이는 수송용 차량의 전기화 추세 속에서 충전인프라 부족 등의 극복을 위해 적정 주행거리를 확보하기 위한 연료전환의 다각화에 대한 시사점을 제공하는 것임
- ※ e-bio 연료전지 차량은 전통적인 연료 탱크에 액체인 순수 에탄올 또는 에탄올이 함유된 물을 주입하며, 이의 개질을 통해 수소를 생산함
- ※ 개질된 수소와 공기로부터 연료전지의 스택은 전력을 생산하며 생산된 전력이 차량의 배터리와 모터를 구동함

최근 바이오 연료와 연료전지의 하이브리드 형태를 통해 전기차의 주행거리를 확대

Nissan의 e-bio 연료전지 시스템



출처: 관련 기사(<https://newsroom.nissan-global.com/releases/160614-01-e>)

- 휴대용의 경우 연료의 공급체계가 간단한 직접메탄올연료전지(DMFC)가 적합하며 최근 미세가공기술을 적용하여 부피 및 무게를 줄이는 연료전지 기술개발이 진행되고 있음
- 휴대용 연료전지의 경우 정보통신 산업의 발전으로 인해 휴대폰 배터리 등에 활발하게 적용될 수 있음



📍 연료전지의 글로벌 시장 확대 및 국내 보급

■ 글로벌 연료전지 시장은 연료전지의 가격하락과 국가 정책 지원 강화로 지속적인 성장세를 보임

– 2015년 기준 세계 연료전지 시장 규모는 약 36억 달러이며, 2024년에는 255억 달러 규모의 시장 확대가 예상됨(Global Market Insights, 2016)

■ 2015년 전세계 연료전지 시스템 판매는 전년대비 약 12% 증가한 71,500기로 집계됨

– 정치형(stationary) 연료전지 시스템은 판매량과 발전용량 모두 타 연료전지 시스템과 비교해 가장 큰 비중을 차지함

■ 지역별로는 최근 아시아 연료전지 시장이 강한 성장세를 보이며 글로벌 연료시장을 선도하고 있는 것으로 나타남

– 2015년 연간 연료전지 시스템 판매 실적을 기준으로 아시아 지역은 전세계 연료전지 시장의 65%, 전용량을 기준으로는 전세계의 50%를 차지함

– 2015년까지의 연료전지의 판매량과 출하량의 증가추세를 고려하였을 때 연료전지의 성장은 지속될 것이라고 전망되며, 수년 내로 기가와트의 생산용량에 도달할 것으로 예상됨

2015년 전세계
연료전지 시스템
판매는 전년대비 약
12% 증가

아시아 지역의
연료전지 판매량은
전세계 연료전지
시장의 65% 차지

🏠 연료전지의 활용유형 및 지역에 따른 판매량

연료전지 판매량		연도					
활동유형에 따른 판매량	유형 (1,000기)	구분	2011	2012	2013	2014	2015
		휴대용	6.9	18.9	13.0	21.2	17.6
		고정형	16.1	24.1	51.8	39.5	49.0
		수송용	1.6	2.7	2.0	2.9	4.9
		합계	24.6	45.7	66.8	63.6	71.5
	Megawatts (MW)	휴대용	0.4	0.5	0.3	0.4	0.7
		고정형	81.4	124.9	186.9	147.8	203.2
		수송용	27.6	41.3	28.1	37.2	138.7
		합계	109.4	166.7	215.3	185.4	342.6
	지역에 따른 판매량	지역별 (1,000기)	유럽	3.9	9.7	6.0	5.6
북아메리카			3.3	6.8	8.7	16.9	15.7
아시아			17.0	28.0	51.1	39.3	46.6
그 외			0.4	1.2	1.0	1.8	0.9
합계			24.6	45.7	66.8	63.6	71.5
Megawatts (MW)		유럽	9.4	17.3	17.3	9.9	28.5
		북아메리카	59.6	61.5	74.7	69.8	139.7
		아시아	39.6	86.1	122.9	104.5	172.2
		그 외	0.8	1.8	0.4	1.2	2.2
		합계	109.4	166.7	215.3	185.4	342.6

출처: E4tech, 2015



■ 국내 연료전지 보급량 및 발전량은 2008년 이후 급속도로 증가하는 추세를 보임

– 2008년 대비하여 2014년의 연료전지 누적보급용량은 약 20배, 발전량은 약 46배 증가함

※ 발전용 연료전지의 보급량이 전체 보급량의 약 98.7%를 차지함

■ 국내 연료전지시장은 신재생에너지 공급의무화(RPS: Renewable Portfolio Standard) 제도 및 연료전지 발전소 설치 등의 효과로 시장의 확대가 기대됨

2008년 대비 2014년
연료전지의
누적보급용량은
20배, 발전량은 46배
증가

2005~2014 국내 연료전지 누적보급용량 및 발전량



출처: 국가통계포털

탄소저감 기술인
연료전지의 환경영향
검토를 통해 지속가능한
기술개발 전략과
제반정책을 강구하는것이
중요

● 연료전지의 성장과 국가 온실가스 감축 기여

■ 최근 정부는 국가 온실가스 감축을 위해 기후기술의 육성 계획을 발표하였으며, 연료전지를 탄소저감을 위한 기술로 분류함(관계부처 합동, 2016)

– 따라서, 연료전지의 환경영향에 대한 면밀한 검토를 통한 지속가능한 기술개발 전략과 제반 정책을 강구하는 것이 중요함

03 지속가능한 에너지를 위한 연료전지의 환경적 패러다임

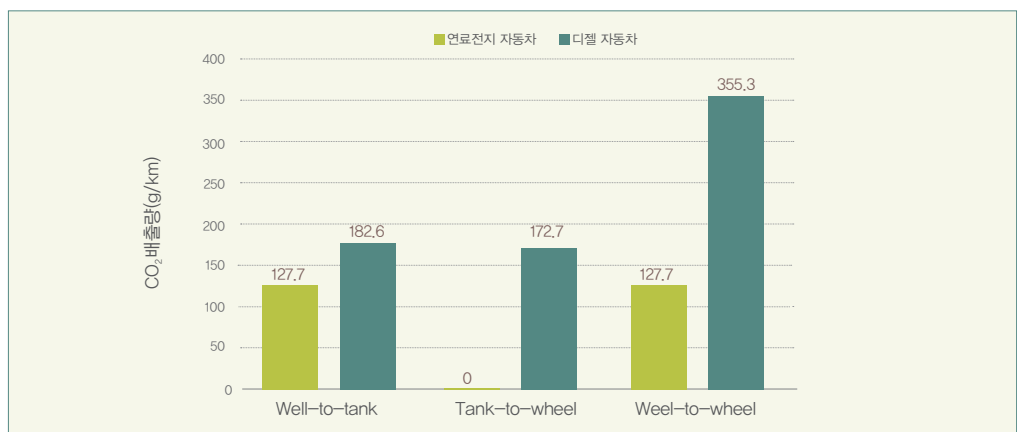
수소에너지는
친환경적이며
고효율인 미래
청정에너지 매체

수소에너지를
수송연료로 이용하게
되면 기존 화석연료
대비 환경영향이
현저히 적음

수소에너지의 환경적 패러다임

- 수소에너지는 친환경적이며 고효율인 미래 청정에너지 매체로써 물질 특성이 매우 우수함
 - 수소에너지는 화석에너지의 고갈과 환경오염에 대한 궁극적인 해결책으로서 중요한 에너지원임
 - 또한, 수소에너지의 기술 확보 여부는 국가의 미래 에너지 경쟁력을 결정할 중요한 요소임
- 국민 삶의 질이 향상됨에 따라 청정에너지 사용에 대한 관심이 증가하고 있음
 - 따라서, 수소에너지 사용의 편의성, 쾌적성 등을 확보하기 위한 기술개발이 중요한 과제가 될 것으로 예상됨
 - 특히, 수소생산 시 이산화탄소가 부산물로 발생되기 때문에 이에 대한 처리기술이 필요함
- 수소에너지를 수송연료로 사용하는 경우 기존의 화석연료 대비 환경영향을 고려할 필요가 있음
 - 온실효과 측면에서 기존 화석연료는 주행 시 이산화탄소가 대부분 배출되는 것에 반해 수소에너지는 제조 시 이산화탄소가 대부분 배출됨
 - 디젤자동차와 비교하여 연료전지 자동차는 이산화탄소 배출량이 현저히 적은 것으로 나타남

디젤자동차와 연료전지 자동차의 CO₂ 배출량 비교



출처: Mourad, M., 2014



■ 수소에너지의 제조 및 생산 등의 시스템적 관점에서 환경영향을 고려하는 것이 중요함

- 특히, 수소에너지를 제조할 때 발생하는 이산화탄소를 감축하는 것이 필요함
- 수소에너지는 원료물질인 물이 지구온난화에 미치는 영향은 거의 없다고 할 수 있지만, 전체적인 환경영향은 사용되는 에너지원의 지구온난화 영향 정도에 따른 의존성이 매우 큼
- 이에, 물의 전기분해를 통해 제조된 수소에너지는 에너지원으로 어떤 에너지원을 사용하는지에 따라 환경적 측면에서 경쟁력이 결정됨

수소에너지의
시스템적 관점에서
제조 시 높은
환경영향을 가짐

● 연료전지의 환경적 패러다임

■ 기존의 발전시스템과 비교를 통하여 연료전지 시스템의 환경영향을 고려하는 것이 필요함

- 연료전지에 공급하는 연료의 형태에 따라 그 환경적 영향은 다르게 나타남
 - ※ 현재 상용화되어 있는 대부분의 연료전지는 도시가스(LNG)를 이용하여 운영 중
- 연료전지 시스템은 기존 화석연료 발전원 대비 온실가스는 약 50% 수준이며, 대기 오염물질은 거의 배출하지 않는 것으로 알려져 있음

■ 연료전지의 산업 활성화를 위해서는 정확한 환경영향 인벤토리 구축이 필요함

- 미국 정부는 연료전지 시스템의 온실가스 배출량을 직접배출량(scope 1), 간접배출량(scope 2), 기타 배출량(scope 3)으로 구분하여 인벤토리 구축 프로젝트를 수행하고 있음
 - ※ 직접배출원은 천연가스 또는 화석연료에 의해 발전(운영) 시의 온실가스 배출량, 간접배출원은 전력 및 열 등의 구매에너지에 의한 온실가스 배출량, 기타배출량은 직접배출량과 간접배출량을 제외한 것으로 폐기물처리 등과 관련한 온실가스 배출량을 의미

연료전지 시스템의
환경영향은
공급연료와 물질,
제품, 촉매물질 등의
재활용이 크게 작용함

■ 고분자전해질막연료전지(PEMFC) 재활용 시스템에서 연료공급, 주변기계장치(BOP: Balance of Plant), 스택(Stack)의 3가지 고려사항이 있으며, 물질재활용과 제품재활용 2가지 재활용 시스템으로 구분됨

- 특히, 연료전지의 환경영향은 백금(Pt), 니켈(Ni), 루테튬(Ru), 팔라듐(Pd), 로듐(Rh) 등의 촉매물질이 크게 작용함



연료전지 재활용 분류

재활용 순위	카테고리	설명
1	재사용	제품에 포함되어 있는 물질의 일부를 제거하여 적절한 형태로 재사용
2	제품재활용	브레이크 실린더, 펌프, 모터 등과 같은 제품에 대해 분리 후 다시 제조하여 사용
3	재활용	금속, 촉매 등 물질의 일부분 또는 전체를 분리하여 재활용
4	기술적 타당성	폴리프로필렌, 유리 등의 제품에 대해 인프라 및 경제성이 아직 상용화 되지 않은 기술을 이용하여 분리 후 재활용
5	에너지회수	타이어 등과 같은 혼합물질의 일부 또는 오염된 물질을 소각하여 에너지를 생산
6	기타	세라믹, 미네랄 함유 등과 같은 열량이 없는 물질

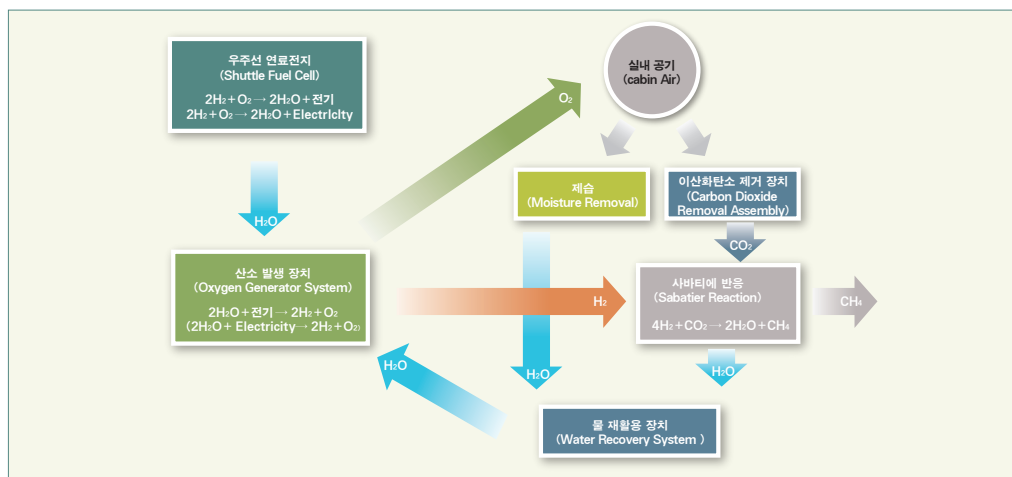
출처: SAE, 2003

■ 주요국에서는 연료전지의 환경영향을 향상시키기 위해 연료전지 시스템의 재활용에 대한 연구를 활발히 진행하고 있음

- (영국) 닫힌 고리 연료전지 부품 재활용 시스템(closed-loop fuel cell component recycling system)은 막전극접합체(MEA: Membrane Electrode Assembly)로부터 연료전지의 고분자 물질 회수기술의 상용화에 이루어짐
- (영국) Axion consulting은 폐연료전지 회수 연구개발 프로젝트를 통하여 연료전지 시스템 부품을 재활용하고 있음
- (미국) 미국항공우주국 나사(NASA: National Aeronautics and Space Administration)는 우주정거장에서 물과 공기를 연료전지를 이용하여 재이용하는 시스템을 적용하고 있음

주요국에서는
연료전지 시스템의
재활용에 대한 연구가
활발히 진행되고 있음

💡 물과 공기를 이용한 우주에서의 연료전지 재활용 시스템



출처: NASA



■ 전과정평가를 이용한 연료전지의 시스템적 관점에서 단계별 환경영향을 고려할 필요가 있음

- 국내 상용화된 연료전지를 전과정 관점에서 분석한 녹색기술센터(2015)에 따르면 운영단계에서 약 99%에 가까운 가장 높은 환경영향을 보였으며, 이는 수소생산을 위한 LNG 연료연소에 의한 것임
- ※ 전과정평가는 시스템적 관점의 환경영향(지구온난화)으로 에너지(전기와 열)생산에 의한 온실가스 배출량을 정량화한 분석기법
- 연료전지의 환경영향이 가장 큰 공정은 스택이며, 물질은 니켈(Ni), 백금(Pt), 루테튬(Ru)과 같은 촉매에 의한 환경영향이 가장 큼
- 연료전지의 운영시간, 열이용률, 재활용률이 높아질수록 환경영향은 감소함

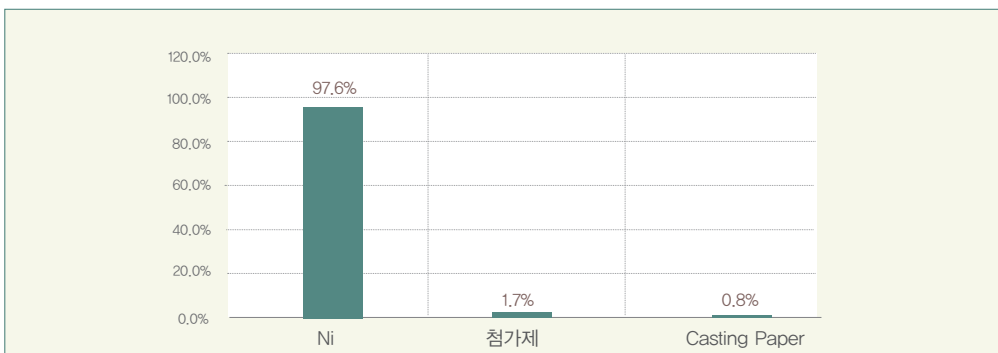
MCFC의 단계별 지구온난화 환경영향



녹색기술센터, 2015

전과정 측면에서
연료전지의
환경영향은 대부분
(약 99%) 운영단계에서
발생

MCFC 연료극(Anode)의 지구온난화 환경영향



출처: 녹색기술센터, 2015

04 기후변화대응을 위한 녹색기후기술 연료전지의 발전방향 제언

수소생산의 청정성 확보

■ 단기적으로는 수소생산의 청정성 확보를 위해 가능한 기술의 접목이 현실적이며, 장기적으로는 재생에너지를 활용하는 접근이 바람직함

- 재생에너지 또는 원자력 기반의 수소 생산이 가능하지만, 경제성과 신뢰성을 고려하면 단기적인 수소 인프라 구축과정에서 중심역할을 수행하기는 어려움
- 또한, 바이오 반응기 및 태양광전 반응기를 통한 수소생산은 다양한 연구개발이 이루어지고 있으나 가까운 미래에 수소 인프라에 기여할 가능성은 높지 않음(Curry-Nkansah 외, 2009; Ramsden 외, 2013)

■ 연료전지의 지속가능성 확보를 위해 청정한 수소를 생산하기 위해서는 장기적인 연구개발 투자가 필요함

- 현재 경제성을 확보할 수 있는 방안은 대부분 화석연료로부터 수소를 생산하는 기술임
- 따라서, 화석연료를 통한 수소생산에 이어 고효율 연료전지 시스템을 연계하면서 화석연료를 사용하는 내연기관 시스템을 대체해 나가는 것 전략적인 접근이 필요함

■ 수소의 생산을 위한 바이오가스의 활용

- 현재 국내 연료전지의 운영 방식인 천연가스 개질을 통한 수소의 확보는 온실가스 배출에 있어 직접적인 영향을 미치고 있음
- 이에, 바이오가스를 통한 수소 확보의 경우 생육과정에서 광합성 작용을 통해 포획한 이산화탄소를 배출하기 때문에 탄소중립적(carbon-neutral)이라고 할 수 있음
- ※ 미국의 자가발전 인센티브 프로그램 (SGIP: Self Generative Incentive Program)은 바이오가스를 연계하는 경우 보조금을 지급

■ 부생수소 및 재생에너지 활용 수전해를 통한 수소의 생산

- 일본은 미즈호(Mizuho)사와 도요타(Toyota)사의 공동연구결과로 미츠가성소다산업에서 발생하는 부생수소를 통해 수소를 생산함
- 유럽의 경우 전기에너지를 통해 물을 분해하고 수소를 얻는 수전해 방식에 재생 에너지의 전력을 활용함

수소생산의 청정성
확보를 위해
단기적으로는 타
기술과의 접목,
장기적으로는 비화석
연료의 활용이 바람직

바이오 가스,
부생수소,
재생에너지를 활용한
수소의 생산에 주목
필요





연료전지의 물질효율성 확보

■ 전과정평가 분석결과(녹색기술센터, 2015)에 따르면 가정용 연료전지에서 촉매로 사용되는 백금(Pt), 루테튬(Ru)과 발전용 연료전지의 셀 패키징을 위해 사용되는 니켈(Ni)의 환경영향이 큰 것으로 나타남

– 이러한 물질에 대한 환경영향을 줄이는 것에 의하여 연료전지 기술은 더욱 지속가능한 기술로 발전할 수 있음

■ 장기적인 관점에서 고려할 수 있는 개념이 최근 유럽연합(EU: European Union)를 중심으로 강조되고 있는 자원을 더욱 효율적으로 사용하는 물질효율성(material efficiency)임

– 물질효율성은 “더 적은 것으로, 더 많은 것을 하는”의 의미로 이해할 수 있으며, 전과정 관점의 자원효율성을 강조하는 것임

– 따라서, 연료전지의 물질효율성을 향상시키는 것은 연료전지에 포함되는 물질의 양을 줄이는 경량화 또는 생산 공정에 투입되는 물질의 양을 줄이면서 동 기능을 유지하는 것임

※ 예를 들면, 연료전지의 경우 대표적으로 사용되는 촉매물질인 백금(Pt)에 대한 저감 기술 확보를 통해 촉매의 기능을 유지하면서 촉매를 경량화하며 더 적은 환경영향을 미치도록 하는 것

– 장기적인 관점에서 연료전지 기술의 개발과 발전에 있어 시스템을 구성하는 전체 자원의 양은 줄이면서 동일한 기능을 수행하는 에코디자인(eco-design)에 대한 고려가 필요함

– 에코디자인의 개념은 환경적인 영향의 차원을 넘어 물질의 양을 줄이면서 원가를 절감하는 경제성의 측면과도 연관됨

– 특히, 연료전지를 유럽연합 시장에 진입하는 방안을 고려하는 경우 물질효율성을 더욱 중요하게 고려할 필요가 있음

연료전지의 지속적인 발전을 위해 물질효율성의 확보 노력 필요

연료전지에 대한 에코디자인은 환경적인 영향과 더불어 경제성의 측면과도 연관

물질효율성 영향 요인 및 제품수명주기와의 연관성

물질효율성 인자	원료추출/생산	제품 사용	폐기
전과정 물질 사용량	●	●	●
원료추출, 제품사용, 폐기단계 환경 영향	●	●	●
원료 물질	●		
재활용/재사용/회수 가능성		●	
제품/부품의 수리성 및 내구성			●

출처: Mudgal, 2013



재생에너지와의
조화를 통한
종합적인 에너지
생산과 재생에너지
이용률 향상

전기-열-연료를
아우르는
분산에너지원으로서의
역할을 통한
무탄소 사회 구축
가능

● 연료전지의 활용과 다 기술과의 조합적인 접근

■ 전기와 열 생산, 고효율 등 연료전지 기술적 특징을 최대한 활용

- 연료전지는 전기와 열을 모두 활용하는 경우 효율이 약 80~85%에 이르는 매우 높은 효율의 에너지원임
- 따라서, 경제성, 환경성 등 지속가능성 측면에서 전기와 더불어 열에 대한 활용이 중요하며 이는 연료전지 발전의 입지선정에 있어 고려해야할 사항임

■ 재생에너지와의 조화를 통한 종합적인 에너지 생산 수단의 역할 수행

- 재생에너지원으로 많은 주목을 받고 있는 태양광과 풍력의 경우 운영환경에 대한 고려사항이 발생할 수 있음
 - ※ 태양광의 경우 날씨의 영향으로 인한 안정적인 전력수급의 불확실성이 있으며, 풍력의 경우 에너지원의 확보를 위해 충분한 바람이 필요
- 태양광이나 풍력과 같은 재생전력을 기반으로 한 수소 에너지의 생산과 저장 수단, 연료전지가 통합될 때 종합적인 에너지 생산이 가능하며, 재생에너지의 이용률을 증대시킬 수 있음
 - ※ 재생에너지를 통한 수전해 방식은 기술 연계를 통한 궁극적인 수소사회의 확보 방안

■ 분산발전을 넘어 전기-열-연료를 아우르는 분산에너지 역할 수행

- 안정적인 전력공급을 위해 중앙 집중식 전력 공급체계의 한계 극복을 위한 전력 수요자 근처에 설치하여 사용하는 소규모 발전설비인 분산발전의 개념이 주요하게 인식되고 있음
- 궁극적으로, 재생에너지와의 하이브리드 형태를 통해 전기와 열을 생산하며, 수소 연료를 저장한 후 필요 시에 활용하는 분산에너지를 구축하는 경우 연료전지를 활용한 무탄소 사회의 구축이 가능할 것임

💡 분산발전의 종류에 따른 특징 비교

구분	특징	비고
연료전지	▶ 전기+열 복합효율은 약 85% ▶ 공해물질의 배출이 적음	효율 및 친환경성 (오염물질) 우수
디젤엔진	▶ 저렴한 비용과 높은 열효율 ▶ 높은 유지보수 비용과 악한 환경친화성	비용측면 우수
마이크로터빈	▶ 간단한 구조로 유지보수 편리 ▶ 낮은 열효율	
가스터빈	▶ 저렴한 설치비용과 환경친화성 우수 ▶ 낮은 열효율	
태양광 · 풍력	▶ 전력생산의 품질이 기후조건에 좌우 ▶ 장소 선정에 제약	

출처: 지식경제부, 2011



참고문헌

- 관계부처 합동. (2016). 기후기술 확보·활용 촉진 로드맵(CTR) 수립 방안(안).
- 녹색기술센터. (2015). 녹색기술 정책·정보 지속가능 전략기획 연구 - LCA 기반 기후변화대응 기술의 지속가능 발전전략 도출.
- 제레미 리프킨. (2003). 수소혁명.
- 지식경제부. (2011). 그린에너지 전략로드맵.
- 한국과학기술연구원. (2006). 신재생에너지산업 III - 연료전지산업(2).
- 한국에너지공단 신·재생에너지센터. (2014). 2014 신·재생에너지 백서.
- Curry-Nkansah, M., Driscoll, D., Farmer, R., Garland, R., Gruber, J., & Gupta, N. (2009). Hydrogen production roadmap, technology pathways to the future. Freedom CAR & fuel partnership hydrogen production technical team.
- Dunn, S., & Peterson, J. A. (2001). Hydrogen futures: Toward a sustainable energy system (Vol. 157). Washington, DC: Worldwatch Institute.
- E4tech. (2015). The Fuel cell Industry Review 2015.
- Mourad, M. (2014). A proposed fuel cell vehicle for reducing CO₂ emissions and its contribution to reducing greenhouse gas emissions. International Journal of Engineering & Technology, 3(2), 252-261.
- Mudgal, S., Tinetti, B., Prado Trigo, A. D., Faninger, T., Schischke, K., Proske, M., ... & Teubler, J. (2013). Material-efficiency ecodesign report and module to the methodology for the ecodesign of energy-related products (MEErP): working document for stakeholder consultation; report to the European Commission.
- Ramsden, T., Ruth, M., Diakov, V., Laffen, M., & Timbario, T. A. (2013). "Hydrogen Pathways : Updated Cost, Well-to-Wheels Energy Use, and Emissions for the Current Technology Status of Ten Hydrogen Production, Delivery, and Distribution Scenarios", National Renewable Energy Laboratory(NREL).
- SAE. (2003). "Development of Recycling Guidelines for PEM Fuel Cell Systems".

웹사이트

- 일본 자원에너지청. (<http://www.enecho.meti.go.jp/>)
- 한국에너지공단 신·재생에너지센터. (<http://www.knrec.or.kr/knrec/index.asp>)
- KOSIS(Korean Statistical Information Service) 국가통계포털. (<http://kosis.kr/>)
- Global Market Insights, Inc. (2016). Fuel Cell Market size worth \$25.5bn by 2024. (<https://www.gminsights.com/pressrelease/fuel-cell-market>)
- NASA(National Aeronautics and Space Administration). (<http://www.nasa.gov/>)
- Nissan announces development of the world's first SOFC-powered vehicle system that runs on bio-ethanol electric power. (<https://newsroom.nissan-global.com/releases/160614-01-e>)



기후변화대응을 위한 해법

수소에너지 연료전지의 기회, 성장 그리고 과제