

2021. 06

유망시장 Issue Report

수소



목 차

I . 개요	01
--------	----

II . 정책 동향	08
------------	----

III . 기술 동향	19
-------------	----

IV . 시장 동향	30
------------	----

V . 산업 동향	33
-----------	----

I. 개요

1. 아이템 개요

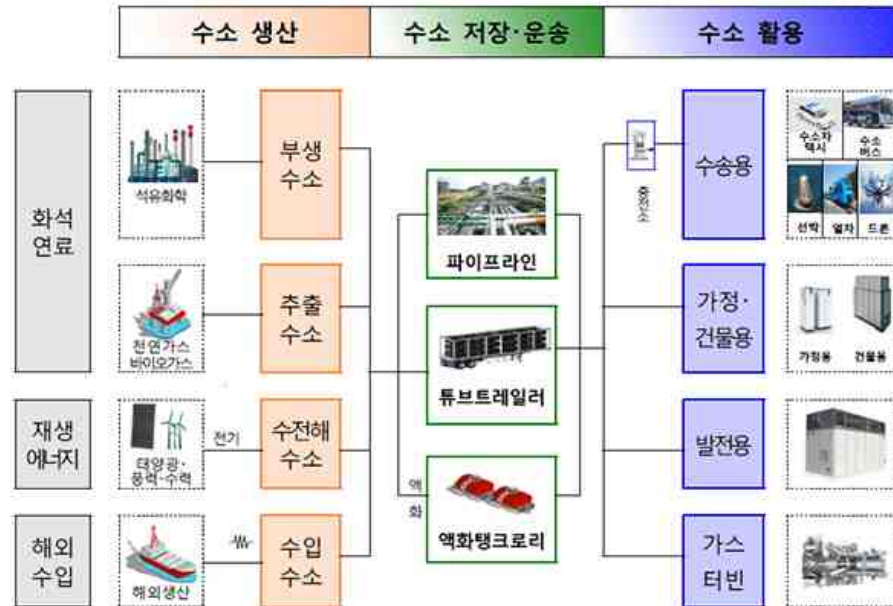
- 수소는 가장 가벼운 원소로 우주의 75%를 차지하며, 물에는 11%가 존재
 - 수소는 전기와 같이 자연 상태에서 직접 얻을 수 없는 전환된 에너지 형태이며, 에너지 운반체로 쓰임
- 수소를 주목해야 하는 가장 큰 이유는 지역적 편중이 없는 보편적인 자원이며, 화학적으로는 탄화수소 연소과정에서 발생하는 온실가스 배출 문제로부터 자유로움
 - 수소는 어디에나 존재하는 공기 중 산소와 단순한 (촉매)화학반응을 통해 최종에너지인 전기와 열을 생산
 - 부산물은 단지 물(H₂O)만을 만들기 때문에 활용에 기술적 난이도는 높지만, 지정학적 리스크로부터 상대적으로 자유롭게, 그리고 친환경적으로 거의 영구적으로 쓸 수 있는 자원임



[그림] 수소 생산 방법

※ 출처 : 에너지포커스, 에너지경제연구원, 2019

- 수소에너지는 물, 유기물, 화석연료 등의 화합물 형태로 존재하는 수소를 연소시켜 얻어내는 에너지를 통칭
 - 수소에너지는 연소 시 극소량의 질소가 생성되는 것을 제외하고는 공해 물질이 배출되지 않으며, 직접 연소를 위한 연료 또는 연료전지 등의 연료로 사용이 간편



[그림] 수소 경제 개념도

※ 출처 : 세계 최고 수준의 수소경제 선도국가로 도약, 산업통상자원부, 2019

- 세계적으로 온실가스, 미세먼지 등 에너지 환경 변화가 가속화됨에 따라 환경규제가 강화되고 화석연료의 고갈 문제가 대두되면서, 친환경성이 매우 높은 수소가 부상
 - 화석연료 중심의 에너지 시스템에서 벗어나 수소를 에너지원으로 활용하는 기술 및 경제 개발로 확보
 - 수소 수요량 대응, 화석연료 수준 가격의 경쟁력 확보, 기후변화 대응을 위한 단계별 기술개발을 통해 친환경 수소로 점진적 전환
- 수소는 특성상 폭발 범위가 넓고 확산성과 환원성이 뛰어나 전자, 화학, 금속, 유리, 식품, 유지 등 다양한 산업 분야에 광범위하게 활용 가능
 - 수소는 지역에 편중되지 않고 풍부한 자원으로 에너지 고효율성, 장기간 ·

대용량 저장이 가능하고 다양한 용도로 사용 가능

- 수소는 성장 가능성이 높은 분야로서 친환경성 및 경제성이 담보된 에너지원으로 생산-운반-저장-활용 부문 등에 잠재력이 있을 것으로 전망
 - 지구상에 풍부하게 존재하고 있는 물을 원료로 생산하고 다양한 1차 에너지를 사용하여 제조할 수 있어 자원량 등의 제약을 거의 받지 않음
 - 수소는 터빈을 돌리는 발전에 직접 사용하기보다는 연료전지를 통하여 발전하는 방법으로 사용

[표] 수소의 다양한 이용 분야

분류	내용
에너지 저장P2G (Power to Gas)	▪ 수소는 연료전지를 통해 전력과 열 모두 이용 가능 ▪ P2G는 에너지 저장 및 사용 시스템 ▪ 신재생에너지와 기존 전력 시스템 간의 조화로운 통합을 위한 수단으로 적용
에너지 생산V2G (Vehicle to Grid)	▪ 수소전기차를 전력분야에 적용 ▪ V2G는 수소전기차의 전기에너지를 전원으로 활용 ▪ 전력수급 불안정에 대응 가능
난방용	▪ 건물용 연료전지 시스템 ▪ 연료전지를 차세대 주택용 동력원으로 개발 ▪ 도시가스 등의 연료에서 추출한 수소와 공기 중의 산소 간 화학 반응을 일으켜 전기와 열에너지를 생산하는 열병합 발전 장치
수송용	▪ 수송용 수소연료전지 ▪ 36%의 고효율(천연가스 차량 16%) ▪ 유해물질 배출이 거의 없으며 소음도 적음

※ 출처 : 수소 경제 사회 준비를 위한 국내외 정책 동향, 융합정책연구센터, 2017

○ 수소는 다른 에너지에 비해 다양한 장점을 지님

- **(생산)** 수소는 화석연료 및 바이오매스로부터 메탄가스 등을 개질하여 얻거나 정유 및 제철 공장 등의 부생수소 활용, 신재생에너지를 활용한 물의 전기분해 등 다양한 방식을 통해 생산 가능
- **(소비)** 다양한 방식으로 생산된 수소는 연료전지를 이용하여 가정 · 산업 부문의 분산형 에너지 시스템 및 수송용 기기 등 모든 소비 부문의 에너지원으로 이용 가능
- **(저장 및 운반)** 수소는 기체, 액체 및 고체의 다양한 형태로 대규모 저장 및 운반이 가능

- **(효율성)** 연료전지는 수소와 공기 중 산소와의 전기화학 반응을 통해 전기에너지를 직접 생산하기 때문에 발전효율이 높음
- **(친환경성)** 수소는 수소를 원료로 사용하기 때문에 사용과정에서 물만 배출되며 화석연료 사용 시 분출되는 일산화탄소(CO)등 환경에 유해한 부산물은 발생하지 않음

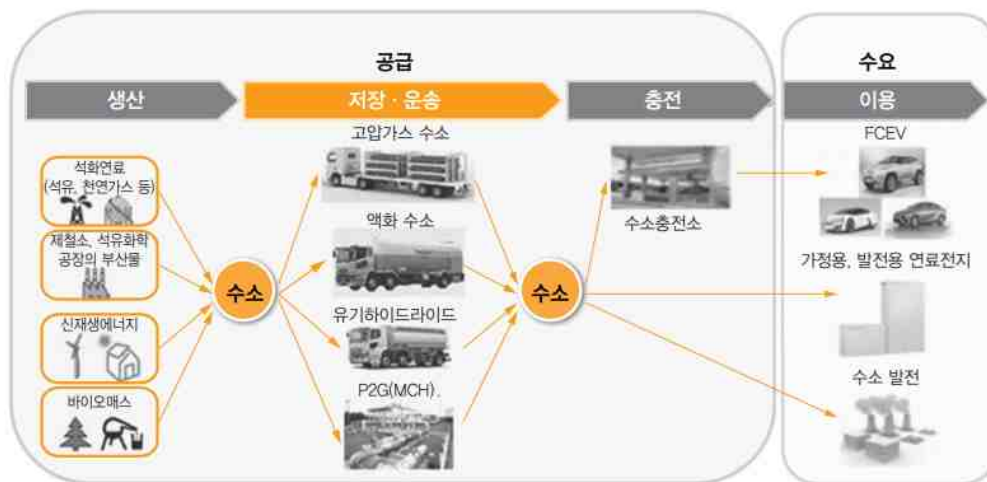
[표] 수소의 장점

분류	내용
생산	▪ 수소는 다양한 에너지원 및 방식으로 생산 가능
소비	▪ 연료전지를 통해 가정용, 산업용, 수송용 등 모든 소비 부문에서 수소 이용이 가능 ▪ 사용과정에서 전력과 열 모두 이용가능
저장 및 운반	▪ 수소는 액화 압축시켜 고압 탱크에 저장 가능 ▪ 탱크 및 파이프라인을 통해 운송
효율성	▪ 발전소로부터의 전기에너지 이용 효율은 35%인데 반해 수소를 이용하는 연료전지의 종합에너지효율은 80%에 달함. (전기와 열 이용 시)
친환경성	▪ 화석연료와 달리 사용과정에서 유해한 부산물을 전혀 배출하지 않음 ▪ 수소의 생산과정에서 CCS(이산화탄소 포집·저장기술)을 사용하거나 신재생에너지로부터 얻은 전력을 이용할 경우, CO₂ 배출량 삭감 및 제로시대 가능

※ 출처 : 한국 수소산업 생태계 분석과 발전과제, 산업연구원, 2019

2. Value Chain

- 수소의 가치사슬 구조는 수소의 생산, 저장·운반과 관련된 공급 부문과 수소의 이용 용도에 따른 수요 부문으로 구성
 - 공급 부문은 수소를 생산하고, 생산된 수소가 최종 구매자에 의해 활용되기 전까지의 과정으로 저장, 운송 등의 활동으로 정의되며 이동 및 운반을 위해 필요한 저장 용기 등 다양한 장치 및 인프라를 포함
 - 수요 부문은 수소를 연료로 활용하는 부문으로 수소자동차(이하 수소차), 수소선박, 수소드론 등 수소모빌리티와 연료전지(건물용, 발전용, 산업용, 생활용품용 등) 관련 산업이 중심



[그림] 수소의 가치사슬 구조

※ 출처 : 수소경제체제 로드맵, 산업자원부, 2019

가. 수소 생산

- 수소 밸류체인을 위한 공급을 위한 생산설비는 그레이수소의 일종인 부생 수소에 집중
 - 부생수소는 석유화학 공정에서 부산물로 생산되고, 생산된 물량은 대부분 자체 이용되거나 석유화학 단지 내에서 소비
 - 그 외 추출수소는 주로 일본 수입산이 이용되고, 블루수소와 그린수소는 실증 플랜트 운영 단계에 머물러 상업화에 시간이 필요

[표] 수소의 종류와 분류 기준

구분	세부내용
추출수소	▪ 천연가스를 개질시키거나 석탄을 고온에서 가스화시켜 추출
부생수소	▪ 석유화학, 제철 공정에서 발생하는 혼합가스를 정제하고 순도를 높여 생산
수전해수소	▪ 전해질에 전력을 공급하여 물을 수소와 산소로 분해하는 기술
그레이	▪ 수소의 생산 과정에 화석연료가 이용 (추출수소와 부생수소 해당)
블루	▪ 그레이수소에 CCS(탄소포집·저장) 기술을 적용하여 탄소배출 저감
그린	▪ 전기분해 과정에 신재생에너지 전력을 이용한 수전해수소

※ 출처 : 수소경제체제 로드맵, 산업자원부, 2019

나. 수소 저장 · 운반

- 현재 수소의 운송 · 저장 방식은 기체수소를 고압으로 압축하여 튜브 트레일러(특장차 위에 수소가스 저장 용기를 장착, 주로 중거리 이송용)나 파이프라인(단거리)을 통해 이송하는 방식이 보편적으로 활용
- 저장 · 운송은 외국 기술에 대한 의존도가 가장 높았던 분야이나 튜브 트레일러의 핵심 소재인 저장 용기의 국산화 개발이 빠르게 진행
- 기체수소를 운송 · 저장하는 기술은 저장 용기 압력을 높여 운송량을 늘리는 것이 핵심 경쟁력이나 고압용기는 높은 압력을 견딜 수 있도록 복합소재를 이용해 제조가 어렵고 원가부담이 높음

다. 수소의 수요

- 수소의 수요부문은 가정용, 발전용 및 수송용으로 구성되며 각 용도 별로 수소의 이용을 위한 연료전지가 필요
- 연료전지는 기존 발전 방식에 비해 효율이 높으며 소음 및 유해물질 배출이 적고 모듈 형태로 제작이 가능하기 때문에 발전 규모의 조절이 용이
- 수소 밸류체인에서 수요 분야에서 수소 활용에 가장 앞서 있는 산업은

자동차이며, 수소전기차의 생태계가 수소산업 생태계의 핵심

- 환경규제 강화로 전기동력화에 대한 노력이 일찍부터 시작되었고 하이브리드차, 이차전지 기반의 배터리전기차, 수소연료전기차 등의 다양한 전기동력차가 개발되었고 일부는 상용화가 진전
- 수소전기를 동력원으로 하는 모빌리티에는 승용차, 버스, 트럭 등 자동차 분야 외에도 지게차, 드론, 선박, 열차 등 여러 가지 종류가 존재

○ 수소 산업 생태계는 전·후방 연계 산업 활성화 및 경쟁력 강화의 필요성이 증대되고 있는 주력 제조업 부문에 활력을 주는 매개체로 신시장 개척



[그림] 에너지 시스템에서 수소 역할

※ 출처 : IEA 홈페이지, 2019

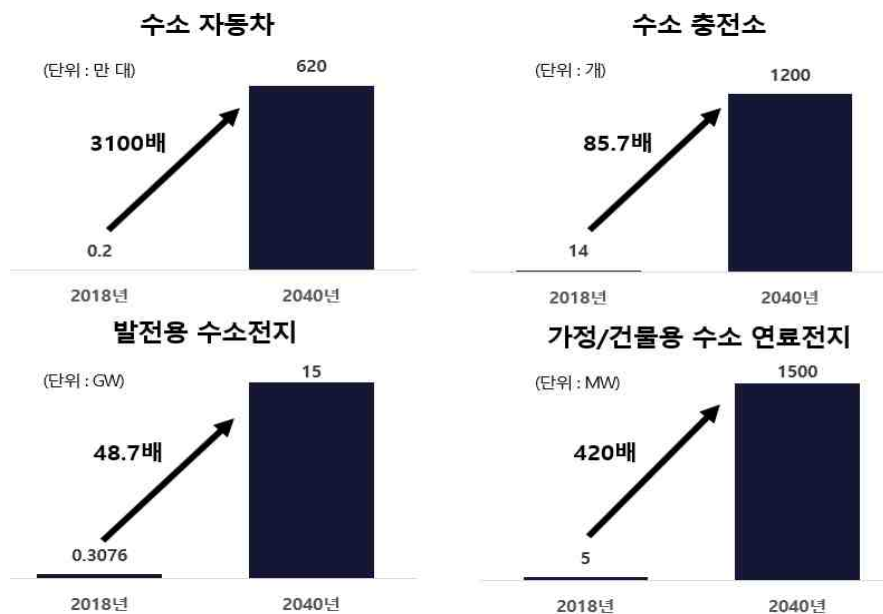
○ 장기적으로 수소경제 전 단계의 수요가 크게 늘어날 전망이며, 관련 산업계는 밸류체인 별로 새로운 사업기회를 모색할 필요성 증대

- 국산화 대체가 기대되는 핵심 소재와 기계설비 제조기업에 투융자 지원 확대 및 해외 수소 생산기지 발굴 참여 등의 기회 모색 가능

II. 정책 동향

1. 국내 정책 동향

- 한국은 '19년 1월 '수소경제 활성화를 위한 로드맵'을 발표하였고, '20년 2월 '수소경제 육성과 수소 안전관리법'을 통해 법적 기반을 마련한 데 이어, '20년 7월 '수소경제위원회' 출범을 통해 수소경제 정책을 수립·추진 중
 - 특히, 연료전지 및 수소전기차의 앞선 기술력을 바탕으로 활용산업 전반에서 글로벌 리더십을 강화하고자 하는 목표 제시
 - 또한, 선박, 열차, 드론 등 타 활용산업에 대해서도 중장기적 기술개발 지원을 통해 기술적 성숙도를 높여 시장 창출이 가능하도록 확대 육성
- 수소차와 연료전지를 양대 축으로 수소경제를 선도할 수 있는 산업 생태계 구축 예정
 - '40년 수소차 누적 생산량을 620만 대로 확대하여 세계시장 점유율 1위 달성
 - '40년까지 발전용 15GW 수소연료전지와 가정·건물용 수소연료전지 2.1GW를 보급하며, 수소 공급량 526만 톤/年, 가격 3,000원/kg 달성



[그림] 한국 수소경제 활성화 로드맵

※ 출처 : 앞으로 다가올 수소경제의 미래, 한국무역협회, 2020

[표] 수소경제 활성화 로드맵

분류		내용
모빌리티	자동차	▪ '18년 2천 대에서 '40년 620만 대(내수 290만 대, 수출 330만 대)로 확대하고, 세계시장 점유율 1위 달성 - 2025년까지 年 10만 대의 상업적 양산 체계를 구축하여 수소차 가격을 내연 기관차 수준으로 하락 유도
	대중교통	▪ '40년 수소택시 8만 대, 수소버스 4만 대, 수소트럭 3만 대 보급 - (택시) '19년 시범사업을 시작하고 '21년 주요 대도시에 보급, '40년 8만 대로 확대 - (버스) '19년 35대에서 '22년 2천 대, '40년 4만 대로 확대 - (트럭) '20년 개발 실증하고 '21년 공공부문에 보급, '40년 3만 대로 확대
	충전소	▪ '18년 14개에서 '22년 310개, '40년 1,200개소 구축 - 규제 완화를 통해 도심지, 공공청사(정부세종청사 등) 등 주요 도심 거점에 충전소 구축
연료전지	발전용	▪ '40년까지 발전용 수소연료전지 15GW(내수 8GW) 보급 - ('18) 307.6MW → ('22) 1.5GW(내수 1GW) → ('40) 15GW(내수 8GW)
	가정·건물용	▪ '40년까지 2.1GW(약 94만 가구) 보급 - ('18) 5MW → ('22) 50MW → ('40) 2.1GW
인프라	생산	▪ 18년 13만 톤 수준에서 '40년 526만 톤 이상으로 확대 - 수소 가격을 3,000원/kg 이하로 하락 유도
	저장·운송	▪ 안정적이고 경제성 있는 수소 유통체계 확립 - 수소 액화·액상 저장기술을 개발하고, 장기적으로 전국적인 파이프라인 공급망 구축

※ 출처 : 수소경제 활성화 로드맵, 산업통상자원부, 2019

○ 국내의 경우 세계 최고 수준의 수소경제 선도국가로의 도약을 목표로 생산, 저장·운송, 활용, 환경·안전·인프라 구축 분야별 핵심기술 개발 정책 마련

- 정부의 수소 R&D 투자규모는 꾸준히 증가하여 '15년 469억 원에서 '19년 936억 원으로 약 2배 확대

[표] 국내 수소 분야별 핵심기술 개발 전략

분야	기술 개발 전략 내용
수소 생산	- 수소 수요량(526만 톤/년('40)) 대응 - 화석연료 수준의 가격 경쟁력(3,000원/kg('40)) 확보 - 기후변화 대응(온실가스 저감)을 위한 단계별 기술 개발을 통해 친환경 수소로 점진적 전환
저장·운송	- 기체 저장·운송 기술을 고도화하여 수소 운송량을 증대하고, 수소를 대량으로 안정성 있게 저장·운송할 수 있는 액체수소·액상수소화물 저장·운송 기술개발 - 기술 실증 전 경제성·환경성 분석을 통한 국가 소수공급 전략 수립 후 인프라구축 목표
응용 및 활용	- 수송수단으로부터 확장성이 큰 연료전지시스템을 전략적으로 활용하여 중복 투자 방지 및 가격 절감을 유도하고, 독점성이 높은 부품의 국산화 추진 - 발전용 연료전지시스템의 경제성 확보를 통해 설치비와 발전 단가를 절감하고 수입의존도가 높은 주요 소재·부품의 국산화 및 고도화 추진
전 주기 안전·환경·인프라	각 분야에서 개발된 제품을 도시·클러스터 기반의 실증지에 적용하는 것을 목표로 '30년까지 완비 추진

※ 출처 : 수소 기술 개발 로드맵, 관계부처 합동, 2019

○ '20년 2월, 수소법(약칭)을 세계 최초로 제정하여 수소경제 이행을 위한 수소경제 육성 및 수소 안전관리법 제정

- 수소 전문기업 육성·지원, 인력양성·표준화 사업 지원, 산업진흥·유통 등 수소경제 기반조성을 위한 법적 근거 확보
- 제조사업 허가, 제조등록, 제조시설 검사, 안전관리 규정 등 수소용품 및 수소연료사용시설에 대한 안전확보를 위한 관리법 제정

○ '20년 7월, 수소경제 컨트롤타워 역할을 수행하기 위해 국무총리를 위원장으로 하는 수소경제위원회를 출범

- 수소경제위원회는 '수소경제 기본계획'을 수립·시행·점검·평가하고, 생태계 구축 등 수소경제로 도약하기 위한 주요 정책을 수립·추진·조정
- 전문인력 양성, 표준화 등 산업진흥 기반조성은 수소융합얼라이언스, 가격 안정화와 유통체계 확립은 가스공사, 수소용품과 사용시설 안전은 가스안전공사로 전담기관을 지정함

- 그린 리모델링·그린 에너지·친환경 모빌리티 등 3개 사업에 '25년까지 총 37조원을 투자할 계획이며, 이로 인해 수소 시장이 크게 확대될 전망
 - (그린 리모델링) 제로에너지 건축물 의무화(연면적 500㎡ 이상 공공 건축물)를 당초 '25년에서 '23년으로 조기 추진
 - (그린 에너지) 수소의 전주기 원천기술 개발 및 수소도시(울산, 전주, 안산) 조성
 - (친환경 모빌리티) '25년까지 수소차를 20만 대 보급하고 수소충전소도 450대 설치하며 수소차 연료 보조금 제도를 단계적으로 도입

2. 해외 정책 동향

가. 미국

- 미국은 캘리포니아주를 중심으로 수소 전략 정책 추진 중이며, 활용 분야 중심의 정책에서 생산·이송 경제성확보를 위한 인프라 구축 계획도 점차 구체화
- ‘13년 민관 파트너십인 ‘H2USA’와 ‘H2FIRST’를 설립하고, 민간 기업과 정부 기관이 함께 수소전기차 보급 확대 중
- ‘19년 기준 미국 전체 수소전기차 보급 대수는 약 7,937대(누적)로 세계 최대 규모이며, 차량 외 인프라 구축을 진행 중
- 특히 캘리포니아주에는 현재 45개 충전소가 운영 중이며, ‘23년까지 매년 240억 원을 투자해 ‘30년까지 1,000개 충전소를 구축할 계획

[표] 미국 캘리포니아주 수소전기차, 수소충전소 보급계획

수소전기차		수소충전소	
2019년	2023년	2019년	2023년
약 7,900대	100만 대	44기	1,000기

※ 출처 : 미국정부, 2019

- 미국 에너지부(DOE(Department of Energy))의 수소 및 연료전지 프로그램은 저비용 수소 생산, 수요 압축수송저장 및 분배를 위한 인프라 구축, 수소차 및 기타 응용 분야에서 적용 가능한 연료전지 기술 개발을 목표로 6개의 하위 프로그램을 구성하여 R&D 정책 제시

[표] 미국 에너지부의 수소 및 연료전지 R&D 프로그램

분야	R&D 프로그램 내용
연료전지	2030년까지 내연기관 경량급 차량 대비 비용 측면에서 경쟁력을 갖추기 위하여 내구성 향상, 비용 절감 및 연료전지의 성능 개선을 위한 R&D 추진
수소 연료	전통적인 메탄 개질 공법 이외의 탄소 부산물 및 천연 가스로부터 직접적 수소전환 기술을 포함하여 수전해를 통한 수소 생산 및 저장 기술 개발에 초점
수소 인프라구축	수소 인프라 구축을 위한 프로그램은 2019년 신설되었으며, 액화 펌프, 압축기, 저장 탱크, 냉각기, 디스펜서 및 기타 분배 장치, 충전소와 같은 수소 공급을 위한 인프라 시스템 구성 요소의 비용 절감을 목표로 하는 R&D 추진
시스템 분석	수소 및 연료전지 프로그램을 구성하는 하위 프로그램의 R&D 전략 수립·이행의 우선순위에 관한 의사결정을 위하여 기술적 기반을 제공하는 분석 기술개발 추진
안전 및 표준화	정부, 산업계, 표준개발 기관, 대학 및 국립 실험기관과 협력하여 규정 및 표준(RCS, Regulations, Codes, and Standards)을 협의·제정함으로써 수소 및 연료전지 기술 적용 시 안전성을 보장하는 우수 사례 개발 추진
기술 가속화	R&D를 통해 개발된 수소 및 연료전지 기술에 대하여 유효성 검증, 평가 및 실증 운영을 지원함으로써 상용화 단계로의 전환을 위한 기술적 가속화 추진

※ 출처 : Federal energy R&D: Hydrogen & fuel cells, ITIF, 2019

- 생산·이송 부문에서는 대표적으로 ‘WIND2H2’ 프로젝트가 진행 중이며, 풍력 발전으로 생산한 수소를 LNG 파이프라인으로 이송할 계획
- 신재생에너지로 수소를 생산해 친환경성을 극대화하고, 이송은 기존 공급망을 활용하여 경제성을 확보할 계획
 - 현재 1,600마일 이상의 수소파이프라인이 구축된 상태로 향후 4개의 신규 액체 수소플랜트구축 계획 수립

나. 독일

- 독일은 '50년까지 탄소중립국 실현을 위해 수소의 생산과 소비 확대를 유도하고 전략추진 기구 설립과 기술적인 지원을 담은 수소전략을 발표
- 독일은 '30년까지 최대 5GW의 수소 생산설비 설치를 추진하고, '40년까지 5GW 수소 생산설비를 추가 설치할 계획

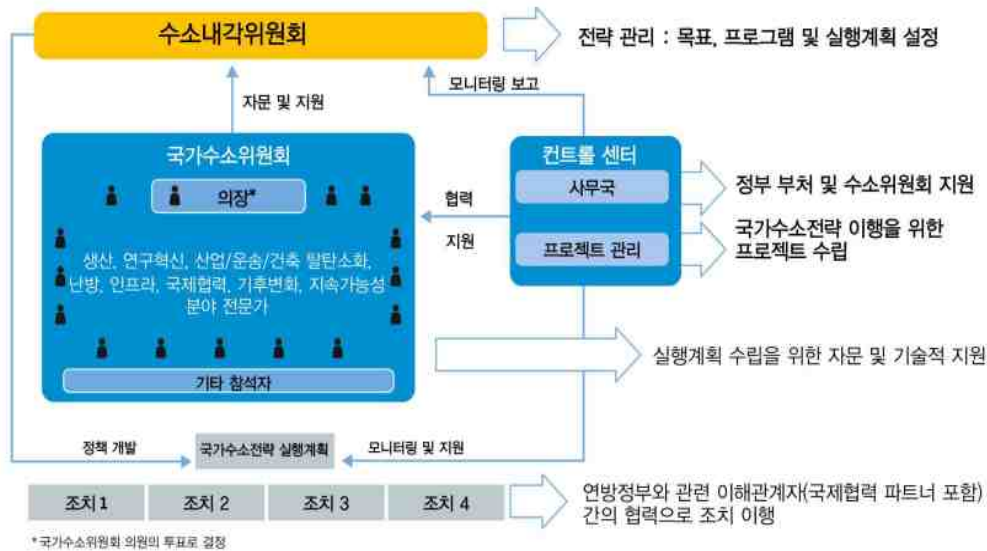
[표] 독일 수소전략의 주요 내용

구분	세부내용
기구 설치	▪ 수소내각위원회·수소위원회·컨트롤타워를 설치해 수소전략 수립과 이행 여부 모니터링 등 핵심역할을 수행
투자 확대	▪ 수소시장 확대를 위해 90억 유로(국내70+국제협력20) 투자 - 수소연료전지 기술 : 14억 유로(~'26년) - 수소 기초 응용연구 : 3.1억 유로(~'23년) - 수소 기술 응용연구 : 2억 유로(~'23년) - 수소 전환 실험실 구축 : 6억 유로 - 제조공장 탈탄소화 인프라 및 기술 : 10억 유로(~'23년)
생산설비 확대	▪ 5GW 수전해수소 생산설비 구축(~'30년) ▪ 5GW 수전해수소 생산설비 추가 구축(~'40년)
생산운송 인프라	▪ 산업계 수전해 설비 지원을 통한 수소 전환 촉진 ▪ 천연가스 인프라 활용 및 수소전용 인프라로 전환
국제협력 강화	▪ 글로벌 다자협력 에너지 파트너십을 통한 수소전략 목표 이행

※ 출처 : 독일정부, 2020

- 국가수소전략의 수립과 올바른 이행을 위한 거버넌스 조직을 구성, 수소내각위원회와 분야별 전문가로 구성된 수소위원회 및 컨트롤 센터를 수립
- 독일 연방정부는 26명의 기업, 연구소 및 민간단체 소속 전문가로 구성된 국가수소 위원회를 구성
- 국가수소전략 및 세부 실행계획을 수립 및 개선하고, 이행 여부를 모니터링하여 목표 성과 달성을 위한 핵심 역할 수행
- 독일은 지속 가능한 수소의 생산 및 소비를 촉진하여 내수시장을 확대하고, 그와 동시에 유럽연합 차원의 강력한 수소시장을 구축하여 유럽의 수소 생산 잠재력 및 인프라를 최대한 활용하고자 함

- 독일은 이미 광범위한 천연가스 인프라를 보유, 이 중 일부는 수소에 활용되어야 하며 필요시 추가 인프라 설치 추진
- 독일의 지리적 위치와 유럽 경유국으로서의 역할을 고려하여 인접국가 및 관련 제3국과의 협력 추진 진행



[그림] 독일 국가수소전략 거버넌스

※ 출처 : 독일 국가수소전략, 한국산업기술진흥원, 2020

다. 일본

- 일본은 수소를 생산·조달하는 글로벌 공급망을 구축하고 있으며, 에너지 정책과 연계된 산업 로드맵을 통해 주요 활용산업으로 정책 확장
 - 화석연료 수준의 수소 가격경쟁력 확보를 위해 수소 공급 부문에 초점을 두고 있으며, 국제 수소 공급망 개발과 국내 재생에너지 활용이라는 두 가지 방안 채택
 - 일본은 중동, 동남아, 러시아 등 다양한 국제협력을 진행하는 한편, NEDO(신에너지산업 기술종합개발기구)와 민간기업이 참여하는 실증 사업과도 연계 진행
- 일본은 '14년 4차 에너지 기본계획과 수소연료전지 로드맵을 통해 수소 사회로의 이행을 선언했고, '19년에는 선 수요저변 확대, 후 공급시스템 완성이라는 단계적 수소 전략을 발표

- 후쿠시마 원전사고 이후 미래 에너지원으로 수소를 지목하고, 우선 수소 이용을 확대하고 이후 발전 및 공급시스템을 마련하는 전략 채택
- **(1단계)** ‘20년부터 2030년까지 수소차와 가정용 연료전지 보급을 확대하면서 수요와 공급 인프라를 동시에 확대하는 단계로 ‘30년까지 가정용 연료전지를 530만 대 도입하고 수소차 80만 대와 수소 버스 1,200대를 공급하며, 충전소 900개를 설치할 계획
- **(2단계)** ‘30년부터 ‘40년까지 수소발전을 본격화하고 대규모 수소공급 시스템을 확립하는 단계
- **(3단계)** ‘40년부터 재생에너지를 활용해 이산화탄소 배출을 전혀 하지 않는 수소공급시스템을 완성 시키는 단계

[표] 일본의 수소전략 주요 내용

구분	세부내용
1단계 수소이용 확대	▪ (2020년) 가정용 수소연료전지 시장 자립화, 수소차 4만 대, 수소 버스 100대 공급, 충전소 160개 설치 ▪ (2025년) 수소차 20만 대 공급, 충전소 320개 설치 ▪ (2030년) 가정용 수소연료전지 530만 대 도입, 수소차 80만 대, 수소 버스 1,200대 공급, 충전소 900개 설치
2단계 수소발전·공급시스템	▪ (2030년) 호주 갈탄 등을 활용한 수소의 생산, 저장, 운송의 본격 시행, 발전사업용 수소발전기 도입
3단계 탄소프리 수소공급시스템	▪ (2040년) 재생에너지와의 결합을 통한 無 이산화탄소 수소 생산, 저장, 운송 본격화

※ 출처 : 일본 경제산업성 수소연료전지 전략 로드맵, 2019

- 일본은 수소차와 가정용 연료전지(에네팜)의 확대를 기반으로 저비용 수소 이용과 액화수소, P2G, 해외 생산 등 수소 공급 체인 개발에 주력
- 수소전략 이행을 위해 민간기업 참여 확대, 공급자 소비자간 원-원 모델창출, 해외 유희자원 활용 등의 방식을 활용

라. 중국

- 중국은 '17년 '연료전지자동차 발전로드맵' 과 '중국제조 2025' 를 통해 수소차 보급과 수소 관련 기술 상용화 중점으로 수소전략을 마련
- 중국은 '18년 2.7%에 그친 수소 비중을 2025년 4%, 2035년 5.9%로 그리고 '50년에는 10%까지 확대할 예정
 - 신재생에너지 및 원자력 이용, 메탄의 개질 등을 통한 수소 제조 기술 중점 개발

[표] 중국 수소연료전지 단계별 목표

구분	2019년	2025년	2035년	2050년
수소 비중(%)	2.7	4	5.9	10
수소전기차(천대)	3	50	1,300	5,000
수소충전소(개)	23	200	1,500	10,000
수소연료전지(천 세트)	10	60	1,500	5,500

※ 출처 : 중국 수소 및 연료전지산업백서, 중국정부, 2019

- 중국은 '50년까지 수소와 수소연료전지의 대규모 보급을 목표로 '중국 제조 2025' 정책에 따라 미래 수소연료전지 및 관련 기술개발을 지원 중임
- '20년 수소 관련 핵심기술을 개발하고, '30년에는 산업 가치사슬을 구축하는 한편, '50년에는 수소의 대규모 보급을 목표 하고 있음

[표] 중국 수소 관련 주요 내용

구분	세부내용
전략 방향	- 수소 생산·저장·운송 및 수소충전소 역량 확충 - 미래 수소연료전지 연구개발 - 수소생산과 연료전지의 일체화 설계 및 시스템 개발
주요 내용	(2020년) 수소의 생산·저장·운송 및 수소충전소 핵심기술 발전 (2030년) 수소의 대규모 생산·저장·운송 △수소연료전지 핵심 기술 확보 및 산업 가치사슬 구축 (2050년) 수소와 연료전지의 대규모 보급 실현

※ 출처 : 중국제조 2025, 2019년

마. 호주

○ 호주는 '18년 12월 수소산업 육성 비전으로 '2030년까지 전 세계 수소 산업 주요 국가로의 성장' 을 제시

- 호주의 수소 내수·수출산업 성장을 통한 경제·사회·환경적 지속성장 가능한 미래 추구
- 동 비전 달성을 위해 호주 정부는 국가수소전략 개발 및 도입, 수소 수출 시장 개척 및 주요 교역국 대상 투자유치

○ '19년 11월 말, 수소전략그룹 및 태스크포스*는 8대 원칙과 6대 중점** 사안을 토대로 국가수소전략을 수립을 전략

* 호주 연방·주 정부 에너지·환경·산업·혁신·과학 관련부처 및 산하기관, 수소 관련 협회 및 기업 관계자 등으로 구성된 전문 자문 조직

** 8대 원칙 : 포부, 안전·고객 중심, 명확한 목적과 목표, 민관협력, 기술중립성, 상업성중심, 광범위한 혜택 분배, 지속가능 환경정책과의 일관성

6대 중점사안 : 수출, 국내시장, 교차쟁점, 킥스타트 사업, 거버넌스, 이해관계자 협의

[표] 호주 주요 4개 수소생산 프로젝트

프로젝트	주요참여기업	연간 생산량	사업비	단계
크리스탈브룩 에너지파크	Neoen	9,000톤	6억 호불	인허가
툰슬리 수소파크	AGIG, 지멘스	200톤	11억 호불	건설
포트 링컨 수소·암모니아 생산 사업	Hydrogen Utility, Thysennkrupp	300톤	1.2억 호불	건설
H2GO (P2G)	Jemena	미정	15백만 호불	인허가

※ 출처 : 호주 수소산업 현황 보고서, KOTRA, 2019년

○ 호주는 갈탄에서 수소를 추출하여 액화수소 형태로 일본에 수출하는 등 지속적인 수소산업 개발 진행 중

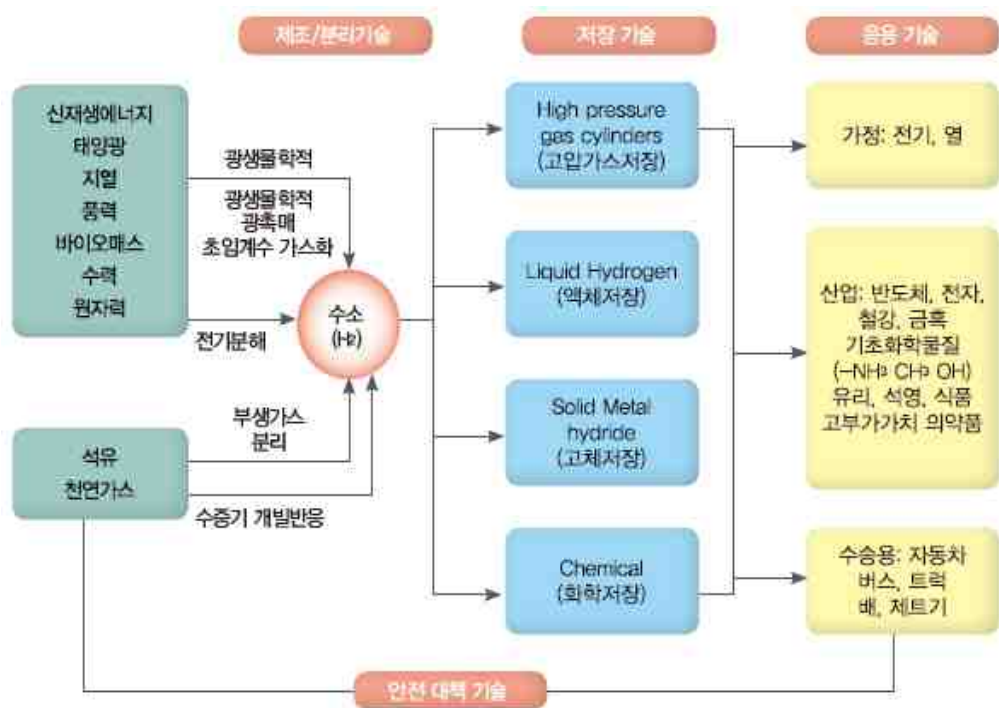
- 호주 재생에너지청(ARENA)는 수소 관련 기술 R&D 프로젝트 예산을 증액하여 '18년 8월부터 17개 사업에 약 240억 원 지원

Ⅲ. 기술 동향

1. 기술범위 및 특징

○ 수소 기술은 물, 유기물, 화석연료 등의 화합물 형태로 존재하는 수소를 분리, 생산해서 이용하는 기술로서 수소 기술은 수소의 제조, 저장 및 운송, 응용 3가지 범주로 분류*

* 국가기술표준원의 수소기술 국제표준화 동향 및 대응방향 참고 (2017.3월)



[그림] 수소 기술 분류

※ 출처 : 수소경제체제 로드맵, 산업자원부, 2019

○ 수소 핵심기술은 제조, 저장, 응용 기술에 따른 중분류, 세분류로 세분화할 수 있음

- 수소는 물과 화석원료, 수소정제로부터 얻을 수 있으며, 수소 저장기술은 물리적, 화학적 방법으로 나뉨

[표] 수소 핵심기술

대분류	중분류	세분류
제조	물	▪ 전기분해(SPE, 태양광, 풍력 등 대체전원이용 등)
		▪ 저온열분해(산화물, 유황화합물, 염화물, 불화물, 요드화물 등)
		▪ 광촉매(금속산화물, 페로프스카이트, 제올라이트 등)
		▪ 바이오(광합성 직·간접, 혐기 발효, 광합성 발효 등)
	화석연료	▪ 수증기 개질
		▪ 플라즈마 개질(반응기, 플랜트 건설)
		▪ 고온열 분해(이론 정립, 촉매, 반응기)
수소정제	▪ 고순도 수소 제조(PSA, MH 이용 등)	
저장	물리적	▪ 기체저장
		▪ 액체저장(저장 용기, 극저온 연구 등)
		▪ 고체저장(재료, 고용량저장, 무게 등)
		▪ CNT(재료, 합성, 공정기술 등)
	화학적	▪ 이산화탄소 이용 메탄올, 에탄올 합성
응용	응용	▪ 가정(전기, 열), 산업(반도체, 전자, 철강 등), 수송(자동차, 배, 비행기)
	안전대책	▪ 역화 방지 등

※ 출처 : 친환경 CO₂-free 수소생산 활성화를 위한 정책연구, 에너지경제연구원, 2019

○ 수소 생산, 저장 및 운송, 응용, 안전·환경·인프라 분야에 걸쳐 효율성 증진 및 안정적인 수소 보급·확대를 위한 기술개발이 활발히 진행되는 추세

- 수소 생산 분야에서는 AEM 수전해 기술을 중심으로 수소 생산량 증진 및 비용 절감 연구를 추진 중이며, 특히 그린수소 생산 시 활용 가능한 친환경 융복합 전지 개발에 집중
- 저장 및 운송 분야에서는 에너지 전환 과정의 손실을 최소화하기 위한 저장 용기 및 시스템개발과 수소운반체의 최적화를 위한 공정 간소화 기술 등 개발 추진
- 응용 분야에서는 수소연료전지 기술을 다양한 모빌리티에 전략적으로 활용하는 기술이 확대됨과 동시에 수소의 공급 안정성을 확보하기 위한 수소 충전 인프라 확충

2. 수소 분야별 주요기술

가. 생산 및 제조분야

- 수소는 화석연료, 공업 프로세스 부산물, 바이오매스, 신재생에너지 등 다양한 에너지원으로부터 생산
 - 수소 생산은 화석연료를 활용하는 기술과 비화석 연료를 활용하는 방식 등 다양한 형태로 이루어지고 있음



[그림] 수소 에너지 생산 방법

※ 출처 : 한국 수소산업 생태계 분석과 발전과제, 산업연구원, 2019

- 수소는 생산방식에 따라 대표적으로 부생수소, 개질수소, 전기분해 (수전해) 수소로 구분
 - 화석연료, 바이오매스 등으로부터 메탄가스 등을 추출(reforming)하여 얻거나, 석유화학 및 제철 공장 등 공업 프로세스의 부산물(부생수소)을 활용하여 생산할 수도 있고, 신재생에너지를 이용한 물의 전기분해 (수전해) 등 다양한 방식으로 수소를 생산
 - 석유화학 및 제철 산업등의 공정에서 부수적으로 발생하는 부생수소는 기존 에너지 산업체계에서 발생하는 수소로, 대중적인 방식이지만 부수적인 수소 생산과정이므로 장기적 수소사회를 이끌어 갈 주요

공급원으로는 부족

- 개질수소는 화석연료를 화학적 변환과정을 통해 생산되므로 이산화탄소 배출로 인해 환경 문제가 초래
- 최근 수소경제가 도래되면서 전 세계적으로 이산화탄소 배출이 없는 신재생 에너지를 활용한 수전해 방식이 주목받고 있으며, 이와 관련된 기술 개발이 활발히 진행
- 바이오매스, 열분해 및 광촉매 방식은 비교적 친환경적인 생산방식이나, 기술확립 및 기초 연구 개발 단계

[표] 수소 생산방식에 따른 경제성, 안정성, 환경성 비교

생산방식		개발 단계	경제성	안정성	환경성
부생수소		기존 방법 수소 생산량 많음	부산물 활용으로 경제적	생산량에 좌우됨	이산화탄소 배출
화석연료 개질		실용화 단계	제조비 저렴	안정적 대규모 생산 가능	이산화탄소 배출
물 전기 분해	화력	실용화 단계	개질에 비해 고비용, 비교적 염가	안정적 대규모 생산 가능	이산화탄소 배출
	재생 에너지	기술 확립 재생에너지 발전 비용 문제	재생에너지 고비용	재생에너지에 따라 출력 변동	이산화탄소 배출 X
바이오매스		기술 확립 단계 제조비 절감 문제	현 단계 고비용	공급자 분산	이산화탄소 배출 미약
열분해		연구개발 단계 (일부 실증)	열 공급 방식에 따라 상이	안정적 공급 가능	열원에 따라 상이
광촉매		기초연구 단계 (일부 실증 추진)	시스템 설계 비용 저렴, 생성물의 분리공정 등 추가 비용 소모	추가 비용 소모 생산 효율성 낮음	이산화탄소 배출 X

※ 출처 : 친환경 CO₂-free 수소생산 활성화를 위한 정책연구, 에너지경제연구원, 2019

- 친환경 자원이 주목됨에 따라 그린수소(Green Hydrogen)*의 생산 비중을 높이기 위해 전기 촉매를 통해 수소를 생산하는 기술 연구가 주로 이루어지고 있으며, 다양한 촉매를 통해 생산량을 높이고, 비용을 절감하기 위한 촉매 기술 연구가 활발히 진행

* 재생에너지와 수전해 기술을 활용한 친환경 수소

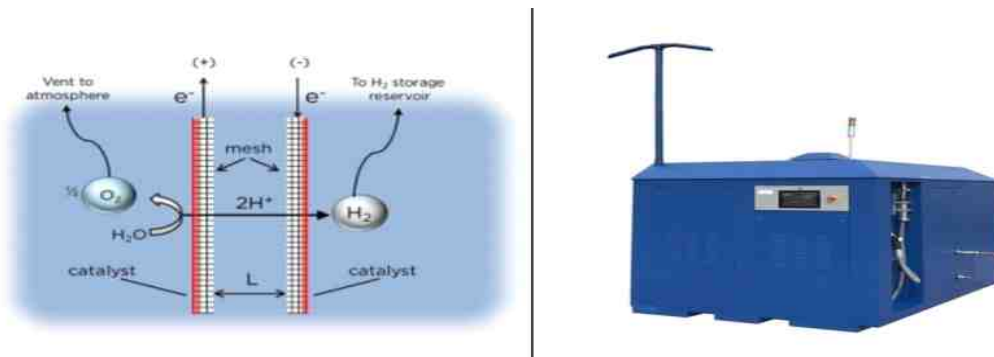
- (몰리브덴 텔루르화물(molybdenum telluride) 촉매) 전기화학적 방법으로 수소를 생산하는 방법에는 주로 전이금속 칼코겐화물을 촉매로 활용

했으나, 최근 층상 촉매를 통해 전류를 미세하게 제어함으로써 밀리볼트(millivolt)당 생산되는 수소의 양을 거의 두 배로 늘리는 방법 개발

- **(산화 티타늄 촉매)** 전기분해 시 백금, 금 또는 은과 같은 희귀 금속 사용으로 인한 비용 문제를 해결하기 위해 최근 티타늄을 사용하여 비용을 절감하고 전도성 및 효율성이 좋은 안정적인 촉매를 개발
- **(금 나노입자 촉매)** 광촉매 중점 연구로, 최근 금 나노입자를 이산화 티타늄으로 코팅하고 자외선이 아닌 가시광선과 적외선을 사용함으로써 기존 기술에 비해 물에서 수소를 4배 이상 생성하는 것을 발견, 비교적 전자들이 금속으로 더 효율적으로 전달

○ 최근 수소의 경제성 확보와 대중적인 에너지로서의 전환을 위하여 대량생산 및 가정용 생산 장치 기술 개발 활발

- **(바닷물 전기 분해 부유형(floating) 수소 연료 생산 장치)** 태양광 발전 전력을 활용한 수소 제조 방식 장치로 막이나 펌프 없이 단순한 구조로 낮은 비용과 높은 지속성을 유지, 부력에 따른 기체 분리가 가능하여 99%까지 높은 순도의 수소생산이 가능
- **(수소 생산 가능한 차세대 원자로)** 기존 원자력 발전기와 구조를 변경하여 안전성을 높이고 발전 후 잔여 고열을 활용하여 이산화탄소 배출 없이 수소를 대량생산하는 기술이 개발, 수소제조법(IS 프로세스)을 이용한 수소의 연속제조 가능
- **(가정용 수소 생산기(Refueller))** 물과 전기의 연결만으로 하루 여러 대의 차량에 수소공급이 가능한 올인원(All-in-one) 수소생산 장치 개발



[그림] 바닷물 전기분해 부유형 수소 연료 생산 장치 및 가정용 수소 생산기

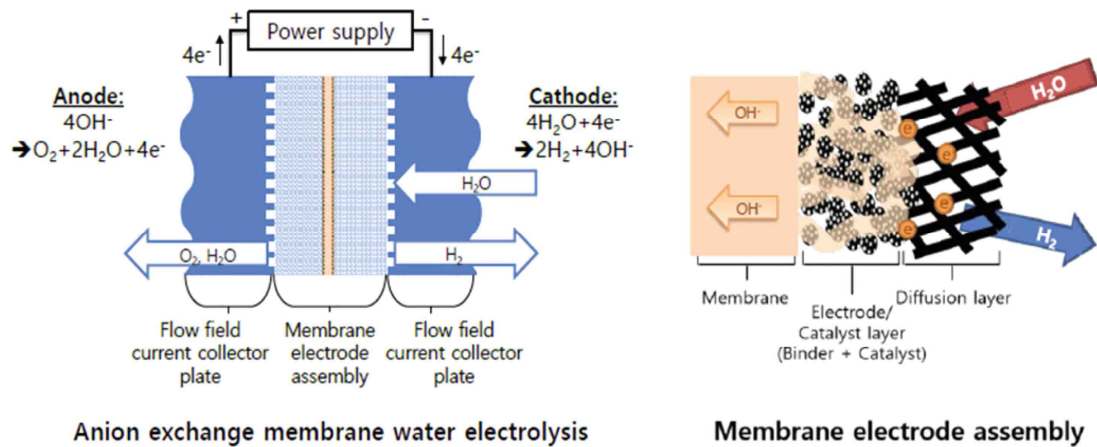
※ 출처 : RENEWABLE ENERGY MAGAZINE(2018)-좌, 수소지식그룹(월간수소경제)(2019)-우

- 국내에서도 수소추출기 국산화 및 상용화를 위한 노력이 이루어지고 있으며 최근 250~500kg/day급 수소 추출기 국산화 개발 및 공급이 진행, 또한 마이크로파 플라즈마 복합 개질기 설계 기술을 보유
 - 본 기술을 통해 수소생산 방식의 수소충전소 및 수소생산기지 구축 전망
 - 미국 에너지부(DOE)와 일본 NEDO(신에너지·산업기술종합개발기구)가 제안하는 수소추출 기술 수준 실현에 중점을 둔 개발이 진행
- 국제적으로 청정 수소 수요가 증가함에 따라 고효율·저비용의 다양하고 지속 가능한 기술 및 공정을 활발히 연구하고 있으며, 기술 혁신을 통한 수소의 상용화를 추진
 - 수전해 방식은 크게 알칼라인(Alkaline), 고분자전해질(PEM; Polymer Electrolyte Membrane), 고체산화물 전지(SOEC, Solid Oxide Electrolysis cells), 음이온교환막(AEM; Anion Exchange Membrane)으로 구분되며, 전 세계적으로 알칼라인(Alkaline)과 PEM방식이 주로 사용
 - (AEM 수전해 기술) 최근 알칼라인(Alkaline)과 PEM방식의 단점을 극복할 수 있는 AEM 수전해 기술이 핵심기술로 주목, 저가 촉매 사용으로 비용을 낮추고 압축기 없이 고압에서 작동 가능해 효율 및 순도가 높음
 - (미생물을 활용한 수소) 유전자 변형을 통해 광합성 세균에 도입하고 기존 화학반응을 제거함으로써 수소를 생산하는 과정만을 남기는 기술, 바이오테크를 활용하여 세균과 녹조류에 응용하는 공정을 개발하면 태양광을 통해 알코올과 탄화수소 화합물로 전환 가능 높음

[표] 수전해 방식별 기술-경제적 특성

생산방식	설계용량 대비 가용 가동범위	전기 효율	투자비용 (CAPEX)	설비 수명 (가동 시간)	기술성숙도
Alkaline 수전해	10~110%	63~70% (LHV)	500~1,400 USD/kW	60,000~ 90,000 시간	성숙
PEM 수전해	0~160%	56~60% (LHV)	1,100~1,800 USD/kW	30,000~ 90,000 시간	조기 시장진입
SOEC 수전해	20~100%	74~81% (LHV)	2,800~5,600 USD/kW	10,000~ 30,000 시간	상용화 추진

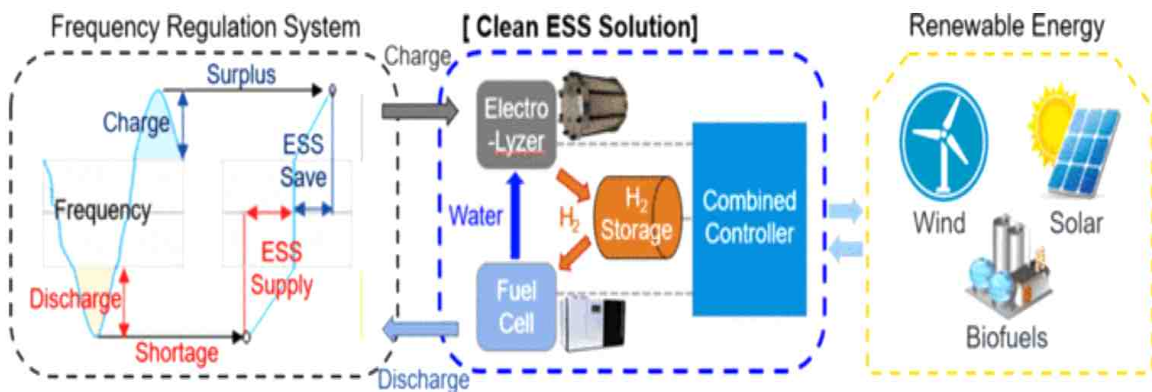
※ 출처 : The future of hydrogen, Seizing today's opportunities, IEA, 2019



[그림] AEM(Anion Exchange Membrane)원리 개념도

※ 출처 : 에너지 기술정책 BRIEF, 한국에너지기술평가원, 2020

- 국내에서도 AEM 수전해 기술을 활용한 친환경 융복합전지 개발에 집중하고 있으며, 친환경 융복합전지는 계통전원이나 재생에너지 잉여전력을 활용하여 수소를 생산하는 AEM 수전해스택과 연료전지스택, 각종 BOP, 컨버터 및 통합제어기로 구성된 장치로 비상전원, 재생에너지 전력저저장, 데이터센터 백업 전원 등으로 활용 가능



[그림] 친환경 융복합 전지 개념도

※ 출처 : 수소지식그룹(월간수소경제), 2019

나. 저장 및 운송분야

- 수소의 저장 및 운송 측면에서 수소경제(Hydrogen Economy) 초기에는 기체수소 압축방식이 주로 사용되었으나, 중·장기적인 수소 수요 증가에 대응하기 위하여 액화·액상 및 고체수소를 포함하는 다양한 수소 운반체(carrier)를 활용하여 저장·운송 효율성을 높이는 기술 개발 추세
- (수소 저장 용기 및 시스템) 수소의 금속 표면 흡수 방지를 위한 특수 코팅, 부피당 에너지 밀도가 작은 수소의 저장을 위한 고용량·고압 FRP 탱크, 극저온 저장 용기 등 수소의 물질적 특징으로 인한 공급 인프라 구축에 필요한 비용이 높은 편임

[표] 수소 운반체별 저장·운송 기술 성숙도

수소 운반체	저장성	운반성	공급망 구축 수준	운반체 전환 시 에너지소모
액화수소	높음	▪ 운송선: 낮음 ▪ 파이프라인, 트럭: 높음	중간/높음	▪ 현재: 25~35% ▪ 잠재: 18%
암모니아	높음	▪ 운송선: 높음 ▪ 파이프라인, 트럭: 높음	높음	▪ 결합(전환): 7~18% ▪ 분리(재전환): < 2
LOHC(MCH)	높음	▪ 운송선: 높음 ▪ 파이프라인, 트럭: 높음	중간	▪ 현재: 35~40% ▪ 잠재: 25%

※ 출처 : "The future of hydrogen, Seizing today's opportunities", IEA, 2019

- 생산된 수소의 압축·액화, 저장 및 운송 과정에서 에너지의 30~50%가 손실, 이에 따라 수소의 저장 및 운송 기술 개발 역시 비용 및 효율 측면에서 필수적임
- 수소운반체로는 기체수소의 상변화를 통해 얻어지는 액화수소 및 수소를 다른 물질로 변환 또는 결합하여 운송할 수 있는 암모니아, 액상유기 수소운반체(LOHC, Liquid Organic Hydrogen Carriers) 등이 고려되고 있음

[표] 기체 수소 저장용기 분류

구분	분류 내용
Type 1	▪ 용기 전체가 금속재질 라이너
Type 2	▪ 금속 재질 라이너+유리섬유 복합재료로 몸통 보강
Type 3	▪ 알루미늄 라이너 전체+탄소섬유 복합재료 보강
Type 4	▪ 비금속 라이너 전체+탄소섬유 복합재료 보강

※ 출처 : 에너지 기술정책 BRIEF, 한국에너지기술평가원, 2020

다. 응용 및 활용 분야

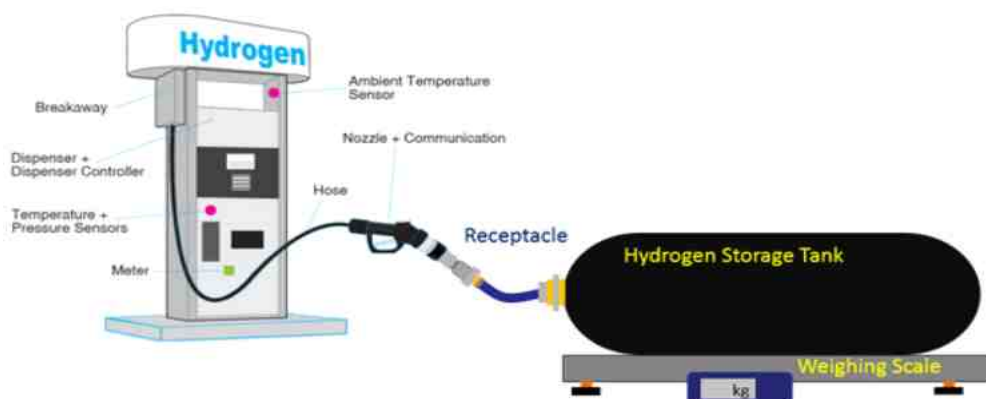
- 수소연료전지 기술을 기반으로 승용차 중심에서 상용차, 건설기기, 선박, 항공기 등으로 기술이 확대되고 있으며 다양한 모빌리티에 관련 시스템을 전략적으로 활용하는 기술이 주목
 - (수소 건설 중장비) 수소 건설기기 분야는 미국이 선도하고 있으며, 주로 상용화 지게차(Linde Still), 연료전지 모듈(Plug Power) 및 활용 등의 단계로 최근 국내에서도 지게차용 연료전지 파워팩을 개발하고 실증 운전을 완료
 - (수소 운송선) 수소는 폭발 위험성 때문에 장거리 운송이 불가했으나 최근 일본에서 갈탄 추출 수소를 영하 253도로 액화하여 운반하는 세계 최초의 수소 운송선이 개발, 2년 이내 액화천연가스(LNG)운반선 수준으로 16만㎥ 수소를 한 번에 운송하는 선박의 상용화를 목표
 - (수소 항공기) 액체수소를 활용하여 20kg 완충 시 2,000km를 비행할 수 있는 세계 최초의 수소 연료전지 항공기가 개발되었으며, 날개 항력은 약 50% 감소시키고 연료 소비량을 약 10% 이상 감소
- 국내의 경우, 수소 기술개발 로드맵('19.1월)을 통하여 기존 계획들과의 정합성을 고려하여 수소 생산, 저장·운송, 활용(수송수단), 활용(발전·산업), 안전·환경·인프라 각 분야의 기술개발 진행
 - (생산) 수소 수요량(526만 톤/년('40))에 대응, 화석연료 수준의 가격 경쟁력 확보, 기후변화 대응(온실가스 저감)을 위한 단계별 기술개발을 통해 친환경 수소로 점진적 전환
 - 온사이트 수소충전소를 위한 소형(300~1,000Nm³/h) 천연가스 개질 시스템과 거점형 수소생산기지를 위한 중형(1,000Nm³/h 이상) 천연가스 개질 시스템을 개발하여 저가 수소 대량 생산기술을 확보
 - 수전해 수소 생산량을 늘리기 위해 '30년까지 고효율·대용량 수전해 시스템 기술을 개발하고, 태양광·풍력 등 다양한 재생에너지원과의 연계를 위한 기술개발 및 실증을 통해 친환경 수소 생산 확대
- 국내는 기체저장·운송 기술을 고도화하여 수소 운송비를 절감하고, 특히 해외에서 생산한 수소를 수입할 때 수소를 대량으로 안정성 있게 저장·

운송할 수 있는 액체수소 · 액상 수소화물 저장 · 운송 기술 개발

- 기체저장 · 운송 및 액체수소 저장 · 운송의 경우 제품화에 주력하고, 세계적으로도 연구개발이 진행 중인 액상 수소화물 분야는 저에너지 · 고효율 수소 저장 · 추출을 위한 신소재 개발 등과 같은 원천기술 확보
- 수소전기 버스 및 수소전기 트럭을 개발하여 관련 부품 및 기술을 국산화하기 위해 노력하고 있으며, 이와 관련한 수소전기 버스 충전소 실증 및 충전 속도 개선 진행 중

라. 안전 · 환경 · 인프라 분야

- 수소는 산소와 결합하여 폭발 가능성이 있어 대기 누출을 최소화해야 하고 정밀한 누출방지 및 센서 기술이 필수적, 수소로의 전환 단계에서 안정성 및 신뢰성 확보 연구 활발
- **(하프늄 수소센서)** 광학 수소센서로 주로 사용되는 팔라듐(palladium)은 낮은 수소 압력감지에는 부족, 최근하프늄(hafnium)이 최소 6기압의 압력에서도 수소를 감지할 수 있으며, 섭씨 120도 정도의 온도에서 잘 작동될 수 있는 하프늄 수소센서 기술 개발이 진행
- **(수소 유량 현장 교정시스템)** 수소 충전기에 달린 유량계의 오차를 검증하거나 교정하는 장치로, 수소충전기 디스펜서 노즐을 수소 전기차 연료 주입구에 꽂고 수소를 충전하는 방식과 동일하여 부품이나 소재의 내구성을 테스트하는 시스템 개발 기술 연구가 활발



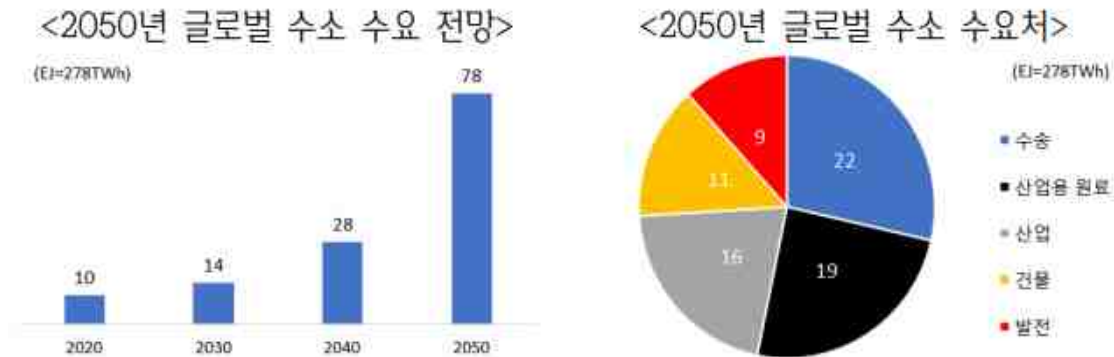
[그림] 수소 유량 현장 교정시스템 연결 도식도

※ 출처 : 수소지식그룹, 월간수소경제, 2020

- (수소 디스펜서 및 1,000bar(100Mpa) 초고압 안전밸브) 수소 충전소 확대에 따라 수소 디스펜서를 포함한 충전설비 부문의 기술경쟁력을 확보하기 위한, 압력상승에 따른 기기 파손 및 폭발을 방지하는 역할의 안전밸브 개발
- 국내 시중 안전밸브는 300bar 이하 수준으로, 그동안 전량 수입에 의존했으나 최근 국내에서도 개발 및 인증 완료

IV. 시장 동향

- 수소경제의 핵심인 수소 생산과 운송에서도 민간의 투자가 지속되며 수소 인프라가 속속 확충될 전망
 - 2050년 글로벌 수소 수요는 수송이 28%로 가장 크고, 뒤를 이어 산업용 원료(24%), 산업(21%), 건물(14%), 발전(12%) 순으로 나타날 전망
 - 2050년 수소경제는 전 세계적으로 수소 및 관련 장비에서 연간 2조 5,000억 달러(한화 3,000조 원)의 시장과 3,000만 개 이상의 누적 일자리를 창출할 전망



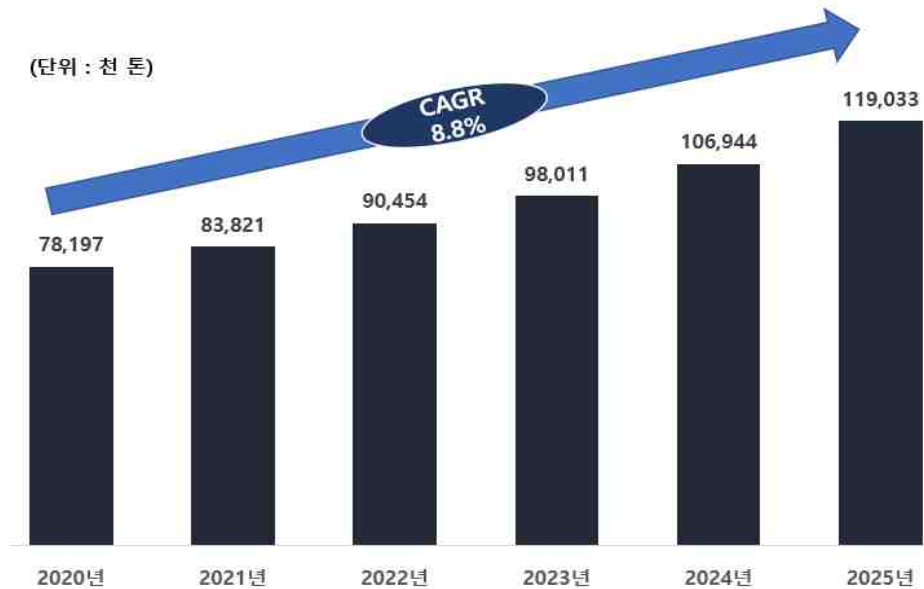
[그림] 글로벌 수소 수요전망 및 수소 수요처

※ 출처 : 앞으로 다가올 수소경제의 미래, 한국무역협회, 2020

- 글로벌 수소 생산의 약 96%(천연가스:49%, LPG:29%, 석탄:18%)가 화석 연료를 사용하는 열화학적 생산 방식
 - 현재 상업용 수소 생산의 90% 이상은 천연가스, 석탄, 석유 등 탄화수소계 화석연료를 촉매 반응으로 생산
 - 잉여 재생에너지를 활용하여 수소를 생산할 수도 있지만 친환경적인 신재생에너지의 낮은 보급과 효율 문제로 비중은 매우 낮음
 - 수소는 상온에서 기체상태로 에너지 밀도가 낮아 액체연료에 비해 저장과 운반이 불편하고, 잘 새어나가 생산/저장/운송 단계에서 약 10~20% 누출
 - 국가별로 다양한 여건을 고려하여 수소충전소 구축 중(민간기업 SPC는 독일 수소모빌리티, 일본 JHyM(수소 인프라 컨소시엄))

1. 글로벌 시장

- 전 세계 수소 생산량은 2020년 7,819만 톤에서 연평균 성장률 8.8%로 증가하여, 2025년에는 1억 1,903만 톤에 이를 것으로 전망됨



[그림] 글로벌 수소 생산량 시장 규모 및 전망

※ 출처 : Hydrogen Generation Market, MarketandMarkets, 2019

- 전 세계 수소 생산 시장을 지역별로 살펴보면, 2020년을 기준으로 아시아-태평양 지역이 13%로 가장 높은 점유율을 나타내었음
- 아시아-태평양 지역은 2020년 599억 달러에서 연평균 성장률 13%로 증가하여, 2025년에는 1,105억 달러에 이를 것으로 전망됨
 - 북아메리카 지역은 2020년 330억 달러에서 연평균 성장률 12%로 증가하여, 2025년에는 582억 달러에 이를 것으로 전망됨
 - 유럽 지역은 2020년 288억 달러에서 연평균 성장률 12.3%로 증가하여, 2025년에는 515억 달러에 이를 것으로 전망됨
 - 남아메리카 지역은 2020년 54억 달러에서 연평균 성장률 7.7%로 증가하여, 2025년에는 78억 달러에 이를 것으로 전망됨
 - 중동 지역은 2020년 48억 달러에서 연평균 성장률 9.0%로 증가하여, 2025년에는 73억 달러에 이를 것으로 전망됨

2. 국내 시장

- 국내 수소 생산량은 2020년 316만 톤에서 연평균 성장률 5.7%로 증가하여, 2025년에는 416만 톤에 이를 것으로 전망됨
- 수소의 대부분은 산업용 원료로 사용되며, 극히 일부가 발전 분야에서 소비



[그림] 국내 수소 시장 규모 및 전망

※ 출처 : Hydrogen Market, McKinsey, 2018

- 국내는 수소 시장은 현재 총 발전량의 60%를 화석 연료로 충당하고 있는데, 탈탄소 및 탈원전 정책에 따라 향후 수소를 활용한 발전 시스템이 대안이 될 것으로 예상
- 수소 연료전지 발전 상용화에 성공했고, 여기 더해 수소 터빈 발전까지 도입된다면 2050년 국가 전체 발전량의 약 10%에 해당하는 전력을 생산
- 막대한 열 에너지를 소비하고 그에 상응하는 탄소를 배출하는 산업 부문 역시 시류에 따라 점차 친환경 에너지로의 전환
- 건물용 연료전지에 수소를 사용하게 되면 효율 높은 난방용 열과 전력을 동시에 공급이 가능
- 수소 인프라 구축 및 수소 가격 하락을 가정할 때, 향후 경제성 충분한 에너지원이 될 수 있을 것으로 기대

IV. 산업 동향

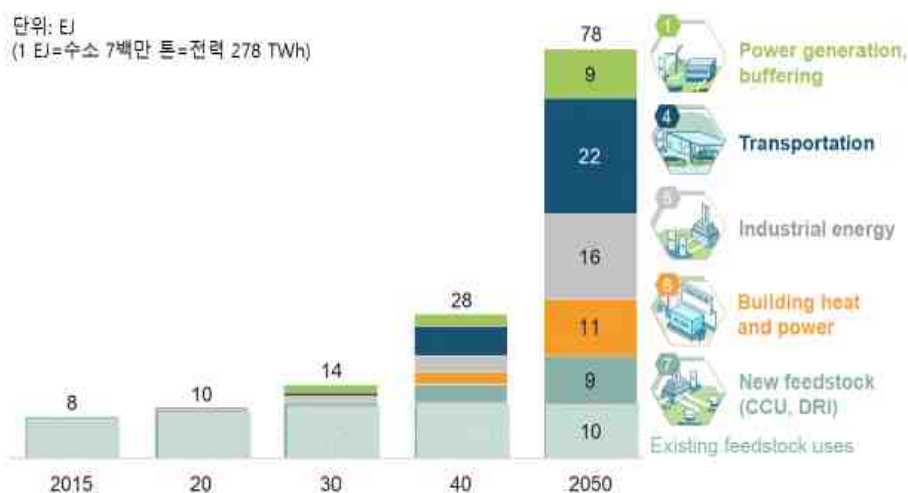
1. 글로벌 산업 동향

가. 주요 산업 동향

○ 수소위원회의 전망에 따르면 세계 수소 시장 가치는 수소의 수요 증가에 따라 2050년 2.5조 달러까지 확대될 것으로 예측

- 수소 수요는 지속적으로 증가하여 2050년에는 현재 7천만 톤의 약 8배에 달하는 54.6천만 톤까지 증가할 것으로 예측
- 현재 생산되는 수소의 약 90%는 산업용 원료*로 사용되고 있으나 향후 수송·건물·발전 부문으로 수소의 활용처가 확대되고, 특히 수송 부문은 수송용 연료전지 수요 증가에 따라 전체 수소 시장에서 가장 큰 비중을 차지할 것으로 전망

* 화학산업의 암모니아 생산(약 55%), 정유산업(약 25%), 메탄올 생산(약 10%)

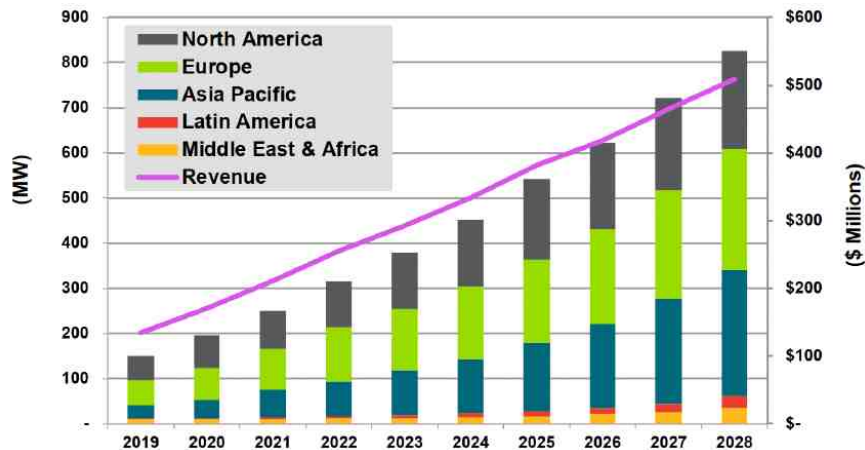


[그림] 수소·연료전지 수요 전망 추이

※ 출처 : "Hydrogen scaling up, A sustainable pathway for the global energy transition", Hydrogen Council, 2017

○ 수소의 수전해 생산을 위한 에너지원으로 태양광 및 풍력 등 재생 에너지 잉여전력을 활용하려는 움직임이 증가하는 추세

- 재생에너지의 간헐성에 대한 한계점을 보완하기 위하여 잉여전력을 장기간, 대용량으로 저장하는 데 있어 수소를 효율적으로 활용 가능
- 모빌리티 산업에서의 수소 활용 확대를 기반으로 2028년까지 재생 에너지의 잉여전력을 활용한 수전해 수소생산이 연평균 16% 성장하고 북미, 유럽 및 아시아 지역 시장이 전체 시장의 95% 이상을 주도할 것으로 전망



[그림] 지역별 수전해 수소 생산 용량 및 전망

※ 출처 : "Electrolyzers, Water electrolysis units for industry, mobility and energy storage" Navigant Research, 2019

- 수소 대부분이 산업용 원료로 사용되고 있지만 지속적으로 세계 수소의 수요가 급증할 것으로 예측
 - 연료전지 분야와 수소모빌리티, 즉 수소택시, 버스, 트럭, 드론 등의 분야로부터 촉발될 것으로 전망
 - 산업 공정에서의 원자재, 열원, 동력원, 발전용과 저장 등 다양한 형식에서의 수소 사용 증가가 예상
- 수소 수요원인 세계 수소차 시장은 2020년 38만 대에서 2030년 780만 대로 확대될 것으로 예상
 - 2030년까지의 수소차에 대한 국가별 보급 목표는 독일의 경우 180만 대, 미국 100만 대, 일본 80만 대, 중국 100만 대, 한국은 63만 대 보급 예상



[그림] 세계 수소전기차 시장 전망

※ 출처 : 각국 수소전기차 로드맵 기준, 2019

- 수소 산업 전주기에 글로벌 기업이 존재하며 수소 이용뿐 아니라 생산·운송 분야에도 지원을 확대 중
 - 수소위원회는 운송 및 산업 분야 기업이 에너지 전환을 장려하기 위해 모인 조직으로 수소 및 연료 전지 분야의 개발 및 상용화에 대한 투자 가속화
 - 기업 간 협업을 통해 수소산업 생태계를 한 단계 도약시키고 글로벌 수소경제 선도 추진



[그림] 수소위원회 기업

※ 출처 : FuelCellsWorks 홈페이지, 2020

- 주요국은 수소 생산기술 개발, 해외 수입 등을 통한 수소 확보와 충전소, 파이프라인 등 인프라 구축에 주력
- EU는 친환경 수소생산 기술개발에 주력하고 있으며, 태양광, 풍력 등 재생에너지를 활용해 생산 과정에서 탄소가 발생하지 않는 그린수소 개발에 집중
 - 일본은 2030년까지 호주, 브루나이에서 생산하는 수소를 수입하는 국제 수소수입망을 구축해 충분한 수소를 확보 예정
 - 미국은 풍력 발전 기반 수소생산 기술 개발을 추진하고(Wind2H2 프로젝트), 캘리포니아를 중심으로 수소 인프라 확산에 주력
 - 중국은 수소산업 육성을 위한 4대 권역(베이징, 상하이, 광둥성, 대련)을 조성하고 기술 개발과 상용화 추진



[그림] 주요국 수소산업 기술력 평가

※ 출처 : 수소산업 생태계 경쟁력 강화 방안, 산업연구원, 2019

- 4차 산업혁명의 핵심기술인 AICBM(AI, IoT, Cloud, Big Data, Mobile)은 에너지 플랫폼 효율 향상 등 수소경제로의 전환을 가속하는 동인으로 작용할 것으로 예상
- 수소 공급사슬 운용을 위해 고도화된 플랫폼 유무선 융복합 통신 등의 기술 지원이 필수적으로 요구
 - 개별 국가의 기술적·지리적 한계를 극복 및 기술 적용성 확대를 위한 국가적 협력 진행

나. 주요 기업 현황

- 글로벌 수소 시장의 주요 기업은 Air Liquide, Linde, EWE, Rhineland, Sunfire 등이 있음
- (Air Liquide) 세계 산업용 가스 시장의 30%를 점유하고 유럽 수소에너지 인프라 구축에 독보적인 역할을 담당하는 대표기업임
 - Air Liquide는 수소에너지 생산·저장에서부터 유통 및 최종 사용자를 위한 애플리케이션 개발까지 수소에너지 밸류체인 전반을 구축하고 운영
 - 2001년 연료전지 발전사업, 2003년 수소충전소, 2009년 공급사슬 자산을 각각 확보하기 시작했고, 나아가 수전해, 화석연료 개질, 충전센터 구축 뿐만 아니라 최근 각광받는 액화수소 부문에 대해서도 미국 및 일본 시장 등지에서 현재 사업을 진행
 - 2022년까지 수소충전소 100개소를 구축하기 위해 특수목적 법인 설립
- (Linde) 산업용 가스 및 엔지니어링 회사로 산소에서부터 전자제품 제조를 위한 고순도 및 특수가스 및 청정연료로 사용되는 수소를 제조하며 온실가스 감축을 위한 최고의 가스 프로세싱 솔루션을 제공
 - 2021년 한국에 15억 달러(한화 약 1조 7천억 원)를 경기도에 투자해 수소충전소와 산업용 가스시설을 신·증설 예정
- (EWE) 에너지·통신 및 정보 기술의 세 가지 핵심 부문을 통합하여 물 관리, 재생가능한 전력, 전기, 가스 생산 가능 기업
 - 지속가능한 지능형 수소 에너지 시스템을 소비자에 공급하는 서비스 제공
- (Rhineland) 실증 프로젝트(2018년~2022년)를 통해 100MW급 규모의 고분자전해질 수전해 시스템을 구축할 예정
 - ITM Power사의 10MW급 수전해 장치를 빌딩 블록 방식으로 설계하여 세계에서 가장 큰 100MW급 수전해 시스템을 구축 예정이며, 완성 시 매년 1,300톤의 수소 생산 가능

- (Sunfire) 고온 전기분해를 이용하여 재생 가능한 전력으로 작동되는 증기에서 수소를 생산하는 업체
 - 가역 고체산화물 연료전지-수전해 시스템인 RSOC(Reversible Solid Oxide cell) 시스템 개발하여 45%의 가역 운전 효율을 보이고 있으며, BOEING사와 공동으로 실증 운전 추진

2. 국내 산업 동향

가. 주요 산업 동향

○ 국내 수소 시장 가치는 수소의 수요 증가에 따라 2050년 70조 원까지 확대될 것으로 예측

- 수소 수요는 지속적으로 증가하여 2050년에는 현재 7천만 톤의 약 8배에 달하는 54.6천만 톤까지 증가할 것으로 예측

구분	글로벌	국내
시장 규모	2,940조원(2.5조 달러)	70조원
고용창출 효과	3천 만 명	60만 명
최종 에너지소비량 대비 비중	18%	20%
수소 차량	승용차 4억대 트럭·버스 2000만대	승용차 700만대 트럭·버스 100만대
전체 발전량 대비수소 발전량비중	9%	10%
연간 CO ₂ 감축 효과	60억톤	1.5억톤

[그림] 2050년 수소경제 전망

※ 출처 : Hydrogen Council('17), 맥켄지('18)

○ 국내에서는 연간 165만 톤의 수소가 생산되고 있으며, 수소 전기차를 연간 820만 대 운행할 수 있는 양임

- 수소는 울산, 여수, 대산지역 등에서 생산되며 울산은 연간 82만 톤이 생산되며, 여수에서 연간 55만 톤(전국 생산량의 33.8%), 대산지역에서는 18만 톤(11.0%)이 생산되고 있음

[표] 국내 수소 생산현황

지역명	생산량(톤/년)	비율(%)	외부유통(톤/년)	비율(%)
울산지역	816,167	49.7	95,883	42.0
여수지역	554,862	33.8	96,627	42.4
대산지역	180,668	11.0	31,126	13.6
기타지역	91,755	5.6	4,466	2.0
합계	1,643,452	100.0	228,102	100.0

※ 출처 : 수소경제 활성화 로드맵, 산업통상자원부, 2019

- 국내 수소 경제는 활용(수소전기차, 연료전지발전 등) 분야에서 경쟁력 확보
 - 국내는 2019년 승용부문 수소전기차 보급 대수가 4,194대로 전 세계 1위를 기록
 - 현대자동차는 세계 최초로 수소트럭 양산 체계를 갖추고 2025년까지 10톤급 수소트럭 1,600대를 스위스에 수출하는 계약 체결
- 국내 수소 관련 사업은 지역별 공공기관을 중심으로 수소 관련 사업들이 활발히 추진 중
 - 정부는 수소시범도시, 수소 클러스터 및 규제자유특구 등을 통해 수소 기반 도시 실증 및 지역 산업 육성을 함께 추진

[표] 지역별 주요 공공기관 현황

지역	기관명	주요 수소 정책 추진현황
전북(나주)	한국전력공사	재생에너지 연계 수전해 그린수소 생산 R&D 및 실증
대구	한국가스공사	중규모 수소 추출시설 구축
경기(성남)	한국지역난방공사	소규모 수소 추출시설 구축
울산	한국동서발전	100% 부생수소 이용 수소연료전지발전소 구축
충남(보령)	한국중부발전	재생에너지 연계 수전해 그린수소 생산 R&D 및 실증

※ 출처 : 수소산업 생태계 경쟁력 강화 방안, 관계부처 합동, 2020

- 2019년 6월 말 기준으로 우리나라 수소산업 분야에는 약 372개의 기업이 존재하는 것으로 파악되며, 수소연료전지 분야가 약 30%로 가장 높은 비중을 차지하고 있음
 - 수소의 생산과 저장 및 운송 등 공급 분야는 중소기업 비중이 높게 나타남
 - 수소모빌리티와 연료전지 분야는 대기업과 중소기업이 주요 구성원으로서 생태계 조성

[표] 국내 수소산업 생태계 구조와 경쟁력 수준

구분	수소생산	저장 및 운송	충전	수소모빌리티	수소연료전지
제품 및 방식	- 부생수소 - 추출수소 - 수전해수소	- 파이프라인 - 튜브트레일러 - 액화탱크로리	- 파이프라인 - 튜브트레일러 - 이동식 - 개질 - 수전해	- 수소차 - 수소버스 - 수소선박 - 수소열차 - 수소드론	- 수송용 - 건물용 - 발전용 - 휴대용
부품 소재	- 수소 제조 장치 (개질, 전기분해) - 개질기 - 탈황장치 - 수전해장치 - PSA - 압축기	- 수소저장용기 - 트레일러 - 수소공급배관 - 유량계, 촉매, 센서, 고압개관 밸브 등	- 압축기 - 고압용기 - 디스펜서	- 연료전지 - 수소저장장치 - 전장장치 - 운전장치	- 셀스택 - 연료변환기 - BOP - 전자장치
경쟁력 수준	- 원천기술 미흡 - 상용화실증 부족 (추출, 수전해)	- 핵심기술 미흡 - LNG부생수소 - 파이프라인 구축 경험	사업성 부족	- 수소차 양산(2013) - 부품 국산화 99% - 소재기술 미흡	- 시스템 운영기술 확보 - 전극, 촉매, 전해질 수입의존

※ 출처 : 한국 수소산업 생태계 분석과 발전과제, 산업연구원, 2019

나. 주요 기업 현황

○ 국내 수소 관련 기업은 주로 수도권·경상권에 위치하고 있으나, 지역별 수소 생산여건, 수소기업·기관 분포 등 인프라가 상이

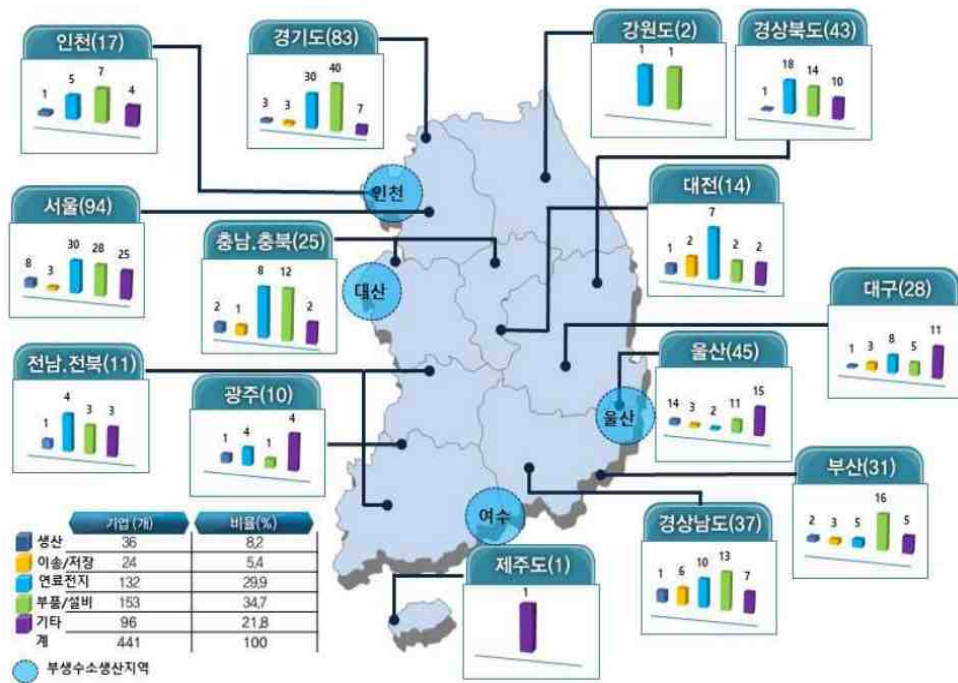
- 국내 수소 관련 기업은 수도권 44%, 경상권 42%, 중부권 9%, 호남권 5% 분포
- 부생수소 공급가능 지역은 해안선(당진, 울산 등) 따라 U자형이나, 수소 관련 기업은 주로 수도권, 경상권에 위치
- 대표기업으로는 SK에너지, S-OIL, 롯데케미칼, GS-칼텍스, 효성, 이수화학, 대한유화공업, 태광산업, (주)덕양(열화학공정), 롯데정밀화학, LG화학, 한화케미칼(전기분해공정) 등이 있음

○ (제이앤티지) 연료전지 부품인 기체확산층(Gas Diffusion Layer)을 자체 개발해 차량·발전용 연료전지 제조사에 공급

- ‘20년 수소 연료전지 소재부품인 카본페이퍼를 이용한 GDL과 흑연펠트(Graphite Felt), MGP(Molded Graphite Paper)를 국내 최초로 상용화하는데
- (일진복합소재) 비금속 라이너에 탄소섬유 복합소재를 감아서 700바의 높은 압력에도 견딜 수 있는 수소탱크 제조
 - 승용차, 상용차 외에도 지게차, 선박, 열차 등 다양한 분야에 활용 가능한 제품군 보유
 - ‘21년 수소를 생산지에서 압축·저장한 뒤 수소충전소로 운송·공급하는 수소 튜브트레일러용 ‘타입4’ 탱크가 국제표준화기구로부터 첫 인증
- (덕양) 국내 수소 공급량의 60~70%를 점유하고 있으며, 연료전지 부품인 기체확산층(Gas Diffusion Layer)을 자체 개발해 차량·발전용 연료전지 제조사에 공급
 - 덕양은 국내 산업가스 공급 업체 중 가장 먼저 산업단지에 파이프라인을 구축해 수소를 공급하는 시스템을 갖추고, 대용량 수소 운반 차량인 튜브트레일러도 국내에 처음 도입
 - 덕양은 ‘14년 1,000억원을 들여 수소를 생산하는 제3수소공장을 준공한 데 이어 ‘20년 9월에는 자회사 덕양케미칼이 에쓰오일 온산공장 인근에 1,000억원을 투자해 수소공장 건립 중
- (두산퓨어셀) 수소 연료전지 타입의 발전용 연료전지를 제작, 판매 및 유지 보수하는 사업 진행 중
 - ‘21년 하반기 내에 수소충전소에서 첫 발전용 연료전지 매출 확보 및 한국가스공사 등 수소충전소 설치 사업자에 Tri-gen 모델 납품 예상
- (한화솔루션) ‘21년 태양광 발전사업/ESS 등의 다운스트림으로 사업영역 확대와 ‘23년 태양전지 양산을 진행 중에 있음
 - ‘23년 수전해 수소 생산 상용화 예정이며, 수소 저장탱크 사업을 중심으로 첨단 소재 영역 확대 예정
 - 태양광/수소의 Green에너지 사업 매력도를 갖추었으며 태양광/수소의

Green에너지 사업 매력도를 갖춘 동사에 Buy 의견 유지

- (코오롱인더스트리) 코오롱인더스트리는 수소연료전지 핵심 소재 중 멤브레인의 기술력을 보유하고 있으며, 수소연료전지를 주력으로 향후 ESS용 산화환원 흐름 전지/수전해 기술에 적용되는 분리막으로 사용처가 확대될 전망
 - ‘20년 구미공장 내 수소전기차용 연료전지의 핵심 소재인 멤브레인(PEM, Poly Electrolyte Membrane) 양산 체제 구축
 - 수소전기차 생산이 본격화되는 ‘25년을 타겟으로 기술 우위에 있는 탄화수소계 PEM 조기 상용화 및 수소 및 친환경 사업 기회 확장 진행
- (비나텍) 수소연료전지 제조 업체로 연료전지용 탄소 지지체/촉매/막 전극 접합체(MEA, Membrane Electrode Assembly) 및 탈취제 양산 기업
 - 슈퍼 캐퍼시터(Super Capacitor) 제조분야 뿐만 아니라 수소연료전지 소재 부품의 성장동력으로 배전의 노력을 다해 영속기업으로 성장
 - ‘21년 완주에 수소연료전지와 커패시터를 제조하는 공장 착공 진행
- (에스퓨얼셀) ‘14년 GS칼텍스 연료전지 사업부에서 분사하여 설립된 연료전지 전문기업으로 ‘22년까지 건물용 연료전지 50MW를 설치할 계획
 - 에스퓨얼셀은 국내 건물용 연료전지 점유율 50% 이상 업체로, 수소 로드맵 이행에 대한 수혜를 전망
 - ‘20년 건물용 연료전지 구축은 20MW(누적) 수준으로 ‘21, ‘22년 각각 15MW 구축 예정이며, 발전용 1.5GW, 건물용 50MW를 설치할 계획
 - 수소 적용처 다변화를 위해 액화수소 드론, 수소지게차, 수소연료전지 선박 개발 중



[그림] 국내 지역별 수소기업 현황

※ 출처 : 수소산업 생태계 경쟁력 강화 방안, 관계부처 합동, 2020

[표] 국내 수소 저장·운송·연료전지 주요 기업

구분		국내기업 현황
기체수소	저장	제이앤티지, 일진복합소재, 태광후지킨
	운송	SPG, SDG, 덕양에너지, 에어리퀴드코리아(프), 린데코리아(독)
액체수소	저장	두산중공업, 하이리움산업, 메타비스타
	운송	-
파이프라인	운송	(주)덕양, SPG, SDG, 에어리퀴드코리아(프)
연료전지	-	두산퓨어셀, 한화솔루션, 코오롱인더스트리, 에스퓨어셀

※ 출처 : 수소산업 생태계 경쟁력 강화 방안, 관계부처 합동, 2020

[참고문헌]

- 주요국과의 비교를 통한 국내 수소산업의 발전 방안 도출, 에너지경제연구원, 2017
- 앞으로 다가올 수소경제의 미래, 한국무역협회, 2020 (국내, 해외 정책)
- 주요국의 수소경제 추진 전략, 대외경제정책연구원, 2019
- 주요국 수소전략의 추진 방향과 시사점, 대외경제정책연구원, 2020
- 대한민국 정책 브리핑(수소경제), 정부, 2020
- Industry Watch 뉴딜 인프라산업 밸류체인 검토 (수소경제), 우리금융경영연구소, 2020
- 에너지 기술정책 BRIEF, 한국에너지기술평가원, 2020
- 한국 수소산업 생태계 분석과 발전과제, KIET, 2020
- 수소에너지 · 수소경제 30문 30답, 수소융합얼라이언스추진단, 2020
- 수소 디지털과 만나다, 수소위원회, 2018
- 한국형 수소경제의 지속 가능한 실현을 위한 정부 연구개발 역할, 한국과학기술기획평가원, 2020
- 수소경제 활성화 추진 주요성과 둘러보기 1,2, 과학기술정보통신부, 2020
- 수소경제의 본격화 시점, 결코 먼 미래가 아니다, Deloitte, 2020
- 수소경제 활성화 로드맵, 산업통상자원부, 2019
- 수소경제 활성화 로드맵에 따른 2020년도 주요사업 및 향후 고려사항, 국회예산정책처, 2019
- 글로벌 청정 수소 연료 전지 시장 현황 및 전망, 한국환경산업기술원, 2020
- 에너지 포커스, 에너지경제연구원, 2019
- 주요국과의 비교를 통한 국내 수소산업의 발전 방안 도출, 에너지경제연구원, 2020
- 친디아 플러스 Issue special, 포스코경영연구원, 2019
- 융합 연구 리뷰, 융합연구센터, 2019
- 미래 에너지, 수소경제 시대는 오는가?, 포스코경영연구원, 2018
- 수소경제의 경제적 기술적 이슈, 포스코경영연구원, 2019
- 수소 경제 현황과 과제, 전국경제인연합회, 2020
- 수소에너지 산업의 활성화 방안, 산업연구원, 2019
- 수소경제, 주목되는 기술 · 제품, 월간수소경제, 2019
- 세계 최고 수준의 수소경제 선도국가로 도약, 산업통상자원부, 2019