

수소경제 관련 주요국 추진현황 및 정책 비교연구

- 2022. 09. 01. -

이 연구는 국회예산정책처의 연구용역사업으로 수행된 것으로서,
보고서의 내용은 연구용역사업을 수행한 연구자의 개인 의견이며,
국회예산정책처의 공식 견해가 아님을 알려드립니다.

연구책임자

(주)에코플러스이앤씨 양정목

2022년도 연구용역보고서

수소경제 관련 주요국 추진현황 및 정책 비교연구

2022 · 09



국회예산정책처

제 출 문

국회의산정책처장 귀하

본 보고서를 「수소경제 관련 주요국 추진현황 및 정책 비교 연구」의 최종보고서로 제출합니다.

연구책임자 : 양 정 목 (에코플러스이앤씨)

목 차

I. 서론	1
1. 연구 배경 및 목적	1
2. 연구 대상, 범위 및 방법	8
II. 국내·외 수소경제 시장 및 기술 현황	15
1. 시장 현황	15
2. 기술 현황	20
가. 수소생산 기술	24
나. 수소저장 기술	27
다. 수송기술	30
라. 수소 활용 기술	33
마. 수소 인프라 기술	39
III. 주요국 수소경제 정책 추진현황	40
1. 미국	40
2. 독일	59
3. 중국	71
4. 일본	81
5. 호주	94
6. 우리나라	104
IV. 수소경제 생태계별 비교·분석	127
1. 수소경제 생태계별 특허 기술 분석	127
2. 수소경제 생태계별 국가전략 비교	131
3. 수소경제 관련 지원현황	144
가. 미국	145
나. 독일	149
다. 일본	151
라. 우리나라	153
V. 결론 및 시사점	160

요 약

- **全 세계적으로 기후 변화에 대응하기 위하여 글로벌 탄소중립 흐름에 맞춰 수소경제 정책 중요성 확대**
 - **에너지전환 정책 중 하나인 수소경제에 대한 관심 증가**
 - 에너지 체계 전환 과정에서 수소는 특정 지역에 편중되지 않고 확보할 수 있는 원료로 온실가스 및 미세먼지 배출이 적거나 전혀 없으며 부산물로 물만 발생하는 장점 보유
 - 안정적인 경제 성장과 에너지 안보 확보가 가능한 수소는 2020년 기준 에너지 수입의존도 92.8%¹⁾인 우리나라에서 자원 확보 과정 시 발생하는 피해 방지 및 미래 에너지 체계에 유리한 원료
- **수소경제 생태계 선도를 위한 정책 방향 고찰 필요**
 - **국제사회에서 탄소중립 선언 국가 증가에 따라 수소경제 사회 선도를 위해 수소경제 생태계 구성 요소별 정책 현황 비교·분석 필요**
 - 수소경제 생태계는 생산, 운송, 저장을 포함하는 공급과 수소차, 연료전지를 포함하는 수요를 포괄한 다양한 산업 범위를 포함하고 있으며 생태계별 성장 기반 및 경쟁력 평가 필요
- **본 연구에서는 탄소중립을 추진하는 해외 주요국과 우리나라 수소 정책·기술을 비교·분석하여, 향후 우리나라의 수소 정책 방향을 제시하고자 함**
 - **해외 주요국의 정책과 기술 수준을 확인하여 글로벌 협력 전략 마련**
 - 해외 기술 수준이 높은 분야, 지원 규모가 큰 분야 등을 고려하여 우리나라의 정책이 효과적으로 수립·운영하는데 기여

1) 에너지 온실가스 종합정보플랫폼(https://tips.energy.or.kr/statistics/statistics_view0210.do)

□ 수소경제 생태계 전반을 대상으로 조사

- 공급(생산, 저장 및 운송)과 수요(활용, 인프라 구축) 전반을 모두 고려하는 수소경제 생태계를 연구 대상으로 포함
 - 우리나라 수소법에서 정의하는 수소산업 정의를 고려하여 수소경제 생태계 범위 설정
 - 수소생산은 사용 원료, 에너지원/화학반응에 따른 분류 적용
 - 생산된 수소의 안전성 및 경제성 확보를 위해 기체, 액체, 액상 및 고체 상태로 변환시키는 방법을 반영한 저장 및 운송
 - 수소차, 선박, 열차, 발전기 등 기존 화석연료 기반을 벗어나 수소를 주요 에너지원으로 하는 상품, 제품을 수소 활용 대상으로 조사
 - 수소의 효과적 사용을 위해 연료전지, 수소차 등에 수소 원료를 공급하는 핵심적인 구축 시설인 수소충전소 등을 수소 인프라로 반영하여 조사

□ 수소 산업 관련 주요국을 연구 범위로 선정

- 수소 전략을 조기에 수립한 **한국, 일본**
- 세계 경제 대국으로 기술을 선도하는 **미국, 중국**
- 자원 부국으로 거대 수소생산 시장 잠재력을 보유하여 향후 우리나라 주요 수소 수입국으로 예상되는 **호주**
- 수소경제 생태계의 부문별 주요 기술을 보유한 **독일**

□ 수소경제 생태계 자료조사

- 조사 대상으로 선정된 주요국의 관계부처 공식자료 조사
- 국제기구 자료조사
 - 에너지 관련 국제기구인 IEA, OECD 발표 보도자료 및 발간 보고서
- 주요 수소 기술 보유 기업 자료 수집

□ 신재생 및 수소에너지 사용 비중 확대로 시장 성장

- 주요 선진국은 탄소중립 목표 달성을 위해 수소에너지 비중 확대 정책 실시
 - 탄소 배출 감축을 위한 주요 기술은 그린 수소로, 발전 및 자동차 부문 등 다양한 분야에 적용하여 탈탄소화 가능
- BNEF(Bloomberg New Energy Finance)에 따르면 2020년 글로벌 에너지 중 수소에너지 비중은 2%를 차지하나 2050년 25%로 증가할 것으로 예상
 - 수소는 발전과 교통수단을 위한 연료로 사용될 수 있으며 화석연료를 대체하여 탄소 배출이 없는 에너지원으로 활용 가능
- 글로벌 수소경제 규모는 2020년 1,200억 달러로 연평균 5.5% 성장하여 2028년 1,842억 달러에 이를 것으로 기대

□ 이산화탄소 배출량을 고려한 수소생산 기술 분류

- 수소생산 과정 중 이산화탄소 배출량에 따라 색 표시를 이용한 분류
 - 일반적으로 수소는 색 분류를 적용하여 생산 방법 및 환경성 정도에 따라 그린, 핑크, 블루, 그레이, 브라운 등의 분류체계 활용
 - 그레이, 브라운 수소는 다량의 이산화탄소 배출이 발생해 탄소중립 달성을 위한 에너지원으로 부적합

□ 수소를 활용하기 위한 저장 및 운송 기술

- 수소는 단위 부피당 밀도가 매우 낮은 특징을 가지고 있어 수소 저장을 위해서는 고압 압축 또는 액화 기술 선행 필요
 - 기체 상태 수소는 고압으로 압축하여 제한된 체적 용기에 저장하는 방식으로 압력용기 종류에 따라 금속재료 용기 또는 복합재료 용기로 구분

- 대기압 상태에서 극저온인 액체 수소를 저장하기 위해 복합진공 단열 기술을 이용하며, 기체 저장방식과 비교하여 약 1.75배 더 많은 수소 저장 가능
- 액상 저장 기술은 액상 유·무기 화합물을 이용하여 상온, 상압 수준에서 대용량의 수소를 안전하게 저장하는 방법
- 고체 저장 기술을 수소를 고체 물질의 내부 또는 표면에 고체 형태를 유지하여 낮은 압력으로 안전하게 저장
- 수소운송은 기체 운송과 액체 운송으로 구분
 - 기체 운송은 트레일러를 이용한 고압 상태 기체 운송과 파이프라인을 이용한 저압 상태 기체 운송으로 구분
 - 액체 운송은 액화 수소운송, 액상 수소운송으로 구분되며 주로 탱크 로리를 통해 운송

□ 수소 활용 및 인프라 구축

- 수소는 화석연료를 대체하며 생활 전반에 활용될 에너지
 - 수소 연료전지는 수소를 연료로 전기에너지를 생성하는 발전장치로 일반 화학전지와 다르게 공해물질을 발생하지 않는 친환경 에너지
 - 발전에 활용되는 수소 기술은 석탄 또는 액화천연가스(LNG) 발전을 대체하여 수소와 암모니아(NH_3)를 기존 석탄 발전기와 LNG 발전기에 연소해 전력을 생산하는 기술
- 수소 공급을 위한 충전시설 등 제도적 인프라 구축
 - 수소경제로의 전환을 위한 주요 인프라인 수소충전소는 수소 연료 전지차에 수소를 공급하는 장치를 보유한 시설
 - 수소경제 활성화를 위해 정부에서 관련 기술 지원 정책 및 안정성을 위한 규제를 통해 국가 주도 수소경제 정착 지원

□ 주요국 수소경제 생태계별 중점 전략 분석

○ 주요국 국가 차원의 수소 전략을 통해 수소경제 생태계별 중점 전략 분석²⁾

- 국가 수소 전략에 생태계별 상세 기술 언급* 여부 확인

* ○: 주요국 수소 전략 보고서에 기술 용어가 포함된 경우

-: 주요국 수소 전략 보고서에 기술 용어가 포함되지 않는 경우

<표 1> 주요국 수소경제 생태계별 전략 수립 여부

구분	생산		저장				운송			활용			인프라	
	그린	블루	기체	액체	액상	고체	파이프라인	튜브 트레일러	탱크로리	모빌리티	발전	산업	충전소	안전, 인증 및 표준화
미국	○	○	○	○	○	-	○	○	○	○	○	○	○	○
독일	○	○	○	○	○	-	○	-	○	○	○	○	○	○
중국	○	-	○	○	○	-	○	-	-	○	○	-	○	○
일본	○	○	○	○	○	-	○	-	○	○	○	○	○	○
호주	○	○	○	○	○	-	○	-	○	○	○	○	○	○
우리나라	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

자료: 미국 『Road map to a US Hydrogen Economy』(2020.03.), 독일 『The national hydrogen strategy』(2020.06.), 중국 『Medium and long -term plan for the development of hydrogen energy industry (2021-2035)』(2022.03.), 일본 『Basic Hydrogen Strategy』(2017.12.), 호주 『Australian's National Hydrogen Strategy』(2019.11.), 우리나라 『수소경제 활성화 로드맵』(2019.01.)을 바탕으로 재작성

2) 국가별 수소경제 생태계는 우리나라 기준에 따라 구분하였으며, 주요국 국가 수소 전략 보고서에 해당 기술이 포함되어 있는지 확인

□ 주요국 수소경제 생태계별 주요 특징

○ 본 보고서를 통해 분석한 주요국 수소경제 생태계별 주요 정책 및 전략, 기술 등 도출

<표 2> 주요국별 수소경제 생태계별 특징

구분	생산		저장				운송			활용			인프라	
	그린	블루	기체	액체	액상	고체	파이프라인	튜브트레일러	탱크로리	모빌리티	발전	산업	충전소 ³⁾	안전, 인증 및 표준화
미국	높은 기술 수준 + 저렴한 그린 수소 생산 목표	화석연료 + CCUS기술 활용 블루 수소생산	소금 동굴 활용	대용량 압력-압축 저장	-	금속 물질에 수소 흡착·저장	세계 최장 수소 파이프라인 분포	단거리 운송	장거리 운송	수소차 상용화	청정수소 대량 사용, 하이브리드 형태 에너지원	온실가스 다배출 분야 적용	인프라법 통과로 대규모 투자 계획 (78개소)	수소 관련 국제 표준 선도
독일	신재생 에너지 활용 그린 수소 생산 + 해외 그린수소 공급망 확보	그린 수소 보편화 전 단계 활용	P2G 프로젝트	-	PtX 공정 다양한 운반체에 수소저장	-	기존 천연가스 파이프라인 활용	자국 내 생산한 그린 수소 운송 프로젝트	항공 및 해상 운송 가능성 검토	국가혁신 프로그램으로 수소 모빌리티 활성화	-	건축 부문 고효율 연료전지 사용	유럽 최다 충전소 보급 및 확장 (101개소)	그린 수소 국제 무역 시장 구축 프로젝트 운영
중국	높은 그린수소 생산 잠재력	-	기술력 부족 + 고압가스 저장 효율 향상 연구 진행	극저온 액화 수소저장 확대 전망	-	고체 상태 수소저장 기술 연구	기술개발 진행 중	상용화된 고압기체 운송 방식	-	중점지역 중심의 수소차 확대·보급 정책	기반 시설 건설 중	-	주요 도시에 수소충전소 보급 계획 (105개소)	수소 관련 세계 최다 ⁴⁾ 국가 표준 수립

구분	생산		저장				운송			활용			인프라	
	그린	블루	기체	액체	액상	고체	파이프라인	튜브트레일러	탱크로리	모빌리티	발전	산업	충전소	안전, 인증 및 표준화
일본	해외 그린수소 확보를 위한 공급망 확보	CCUS기술 활용 블루 수소생산	-	저장탱크 대형화	-	-	단거리·대용량 수소운송 프로젝트	-	액화수소, MCH 기술 활용 + 해외 수소 도입용 수소운송 기술개발	수소차 상용화 및 수익성 확보	암모니아 혼소 발전 및 수소 가스터빈 발전 실증	다양한 산업 분야에 청정수소 활용	높은 기술 수준 + 확대 정책 실시 (105개소)	청정수소 인프라 형성을 위한 Hy24 수소 플랫폼 지원 (with. 유럽)
호주	풍부한 신재생 에너지 기반 그린수소 생산 + 그린수소 수출 목표	화석연료 + CCUS기술 활용 블루 수소생산	압축 수소 및 가스 혼합 기술개발	효율 향상 연구개발 및 실증화	암모니아를 활용한 수소저장 기술개발	-	기구축된 파이프라인 활용	압축 수소 저장탱크 활용	일본과 협업하여 수소 수출 목적 해상 운송 실증	수소차 보급 확대를 위한 보조금 지원	수소를 천연가스와 혼입하여 발전	천연가스 대체 분야 발굴	인프라 확대 추세 (4개소)	수소 관련 다양한 분야에 표준개발
우리나라	수전해 시스템을 활용한 그린 수소 생산 계획	온실가스 다배출 분야 + CCUS기술 활용 블루수소 생산	차량용 저장용기 등 소규모 저장 기술개발 진행	-	-	고체 흡착 수소저장 기술개발	수소생산 지역 중심 수소 배관망 구축	수소충전소 공급용 특수 차량 개발	극저온 단열기술로 액화수소 운반선 및 추진선 개발	정부 보조금 지원으로 수소차 보급 확대	세계 최초 부생수소 에너지 활용 상업용 발전소 준공	가정용·건물용 연료전지 시스템 연구	정부 주도 수소충전소 설치 및 인프라 마련 (95개소)	세계 최초 수소법 제정 + 수소 관련 국제표준화 계획 수립

3) 2021년 12월 기준

4) 2022년 7월 기준

□ 미국 수소경제 생태계

<표 3> 미국 수소경제 생태계 요약

구분		특징
개요	정의	- 저탄소 에너지 중 하나로 " 환경과 건강에 이로운 중요 에너지원
	범위	- 생산, 운송, 저장, 활용으로 구분
	추진 체계	- 연방정부 기관인 에너지부를 중심으로 수소경제 추진
생태계 정책	생산	- 수소생산 특허를 바탕으로 높은 기술력 보유 - 풍부한 화석연료에 CCUS 기술을 결합한 블루 수소 생산과 태양광, 풍력 등 신재생에너지를 바탕으로 그린 수소생산 능력 우수(원자력을 활용한 수소생산 포함) - 세계 두 번째 그레이 수소 생산 국가
	저장	- 수소저장 및 운송에 관해 높은 기술력 보유 - 뛰어난 수소저장 기초 연구를 바탕으로 소금 동굴을 활용한 대규모 수소저장 시설 조성 계획 수립 - 액화수소 운반 기술은 일본에 비해 낮은 수준
	운송	- 전 세계 수소 파이프라인 절반 이상이 분포되어 있으며 수송운송 기초 연구 우수
	활용	- 수소 활용 부문 중 연료전지에 대한 기초기술 우수 - H2@Scale을 통해 수소 산업 활용 분야 발굴하고, 발전 분야에 저렴한 가격에 생산한 청정수소를 대규모로 활용하여 국가 수소경제 선순환 체계 구축 계획 - 수소 모빌리티 중 수소 자동차 부문보다는 전기차에 대한 투자 집중
	인프라	- 수소 인프라 및 안전에 대한 높은 기초기술 수준 - 수소 관련 국제 표준 선도 및 충전 기술 특허 다수 보유 - 인프라 법 통과로 수소 충전 인프라 확대 및 대규모 투자 계획 수립
전략		- 미국 수소경제 전략 핵심은 수소생산과 발전 분야 활용 - 에너지부 중심의 R&D 연구로 수소경제 전반에 대한 기초 연구 우수

□ 독일 수소경제 생태계

<표 4> 독일 수소경제 생태계 요약

구분		특징
개요	정의	- 재생에너지를 공급 기반으로 유연하게 저장할 수 있는 에너지 저장 매체
	범위	- 수소생산, 운송, 저장, 활용
	추진 체계	- 연방정부는 정부 기관 및 기업 연구소와 민간단체 전문가 등으로 국가 수소 위원회를 구성
생태계 정책	생산	- 북부 독일의 풍부한 풍력 발전을 활용한 그린 수소생산 - 호주, 중동, 아프리카 등 글로벌 투자로 청정수소 공급망 확보 계획 - 탄소중립을 위해 그레이 수소 대신 청정수소 확보 노력
	저장	- 미국, 일본과 함께 수소저장 및 운송 관련 높은 기술력 보유 - P2G(Power to Gas) 프로젝트를 통해 독일 수소저장 시스템 구축 계획 - 수소의 안전한 저장 및 수소 모빌리티 활성화를 위한 경제성이 확보된 수소저장 장치 개발 중
	운송	- 기존 천연가스 파이프라인을 통해 수소운송 프로젝트 진행 - 유럽 에너지 공급망의 중심으로 유럽 내 수소운송 잠재력 보유
	활용	- 연료전지 기술 국가혁신 프로그램을 통해 연료전지를 활용한 건물 및 발전 부문에 사업화 진행 중 - 보조금 지급을 통해 수소 모빌리티 활성화를 위한 지원 정책 실시
	인프라	- 오랜 기간 수소 충전 인프라 구축을 위한 대규모 투자로 유럽 최다 수소 인프라 구축 - 미국·일본과 함께 수소 기술 국제 표준 주도
전략		- 독일 수소경제 전략 핵심은 청정수소생산과 수소 공급망 확보 - 2050 탄소중립 달성을 위해 장기적으로 수소 관련 대규모 투자 진행으로 수소 기술 선도 계획 수립

□ 중국 수소경제 생태계

<표 5> 중국 수소경제 생태계 요약

구분		특징
개요	정의	- 풍부한 자원을 바탕으로 저탄소 원료로 넓은 범위에 활용할 수 있는 2차 에너지
	범위	- 수소에너지 안전 감독 시스템, 표준과 수소에너지 생산 저장 운송 산업계 활용
	추진 체계	- 연방정부는 정부 기관 및 기업 연구소와 민간단체 전문가 등으로 국가 수소 위원회를 구성
생태계 정책	생산	- 석탄 및 천연가스 개질 수소 생산이 대부분으로 향후 신재생에너지 바탕으로 청정수소생산 잠재력 보유 - 청정수소생산 기술 수준은 낮으며, 세계 최대 그레이 수소생산 국가
	저장	- 아직까지 수소저장 효율과 안정성 기술력 부족 - 액화·고체를 활용한 수소저장 기술은 소규모 실증 단계 - 수소 산업 성장에 따라 액화 수소저장 방식 확대 전망으로 관련 표준 및 법 제정 완료
	운송	- 튜브 트레일러를 활용한 수소운송 기술은 상용화 단계이나 전반적으로 낮은 수소운송 기술 수준 - 파이프라인을 통한 수소운송 사업은 투자 단계
	활용	- 정부 정책에 따라 자동차산업을 중심으로 빠른 성장세 - 연료전지를 활용한 부문은 지속적인 연구개발 단계
	인프라	- 수소 인프라 및 안전 관련 높은 기술 수준 보유 - 수소 자동차 보급 확대 정책에 따라 수소충전소 개수 꾸준히 증가 - 2020년 7월, 90개의 수소 관련 국가 표준을 수립하였으며, 이를 바탕으로 국제 표준화 작업 진행
전략		- 중국 수소경제 전략 핵심은 수소 모빌리티, 연료전지 등 활용 분야 - 정부 주도의 수소 전략 수립 및 계획 추진으로 수소경제 급속히 성장

□ 일본 수소경제 생태계

<표 6> 일본 수소경제 생태계 요약

구분		특징
개요	정의	- 탄소를 포함하지 않아 사용 시 이산화탄소를 배출하지 않으며, 저장성, 휴대성 및 유연성이 우수한 특징의 원료
	범위	- 수소생산에서 저장, 운송 및 활용에 이르기까지 모든 부문 포괄
	추진 체계	- 일본 경제산업성(METI) 산하의 자원에너지청 중심으로 추진
생태계 정책	생산	- 일찍부터 해외 청정수소 확보를 위한 공급망 확보 계획 수립 - NEDO ⁵⁾ 와 기업 간 협력을 통해 그린 수소 상용화를 위한 연구 진행
	저장	- 액화수소 저장탱크 대형화를 통해 수소 액화 운송 효율 향상을 위한 기술개발 추진
	운송	- 해외 수소 도입을 위한 해양 운송에 대한 연구개발 및 실증 진행
	활용	- 수소 모빌리티 및 연료전지 분야를 중심으로 상용화 및 수익성 확보 가능 전망 - 수소와 암모니아를 혼합하여 발전 부문에 활용하는 사업화 진행
	인프라	- 높은 수소충전소 구축 기술을 보유하고 있으며, 세계 최다 수소충전소 보급 국가 - 미국·독일과 함께 국제 수소 관련 표준화 선도
전략		- 일본 수소경제 핵심은 저렴한 수소 공급 확보를 위한 국제 수소생산 및 공급망 개발을 위한 저장 및 운송 기술개발과 수소 모빌리티 및 발전분야 활용

5) 신에너지산업기술종합개발기구: New Energy and Industrial Technology Development Organization

□ 호주 수소경제 생태계

<표 7> 호주 수소경제 생태계 요약

구분		특징
개요	정의	- 우주에서 가장 흔한 화학물질로 지속가능한 에너지로 생산 및 저장하는 방법으로 활용
	범위	- 수소생산, 운송 및 활동을 비롯하여 규제 프레임워크 설정과 에너지 가격 및 안보
	추진 체계	- 경제 및 일자리 창출 운영 부처인 Department of Industry, Science, Energy and Resources에 별도 실무 그룹 설립
생태계 정책	생산	- 수소 수출국으로 발돋움하기 위하여 신재생에너지를 통한 청정수소 생산에 집중 투자 - 풍력, 태양광 등 신재생에너지를 바탕으로 청정수소 생산 능력 확보 - 풍부한 석탄(갈탄)에서 추출한 수소를 액화하는 사업 진행 중
	저장	- 연방과학산업연구기구는 암모니아에 저장된 수소에서 수소를 추출하는 고순도 수소 전환 기술개발 성공 후 실증 단계 돌입 - 암모니아를 매개체로 한 수소저장 기술개발 진행
	운송	- 액상 암모니아를 활용한 운송 방법에 주목하여 기술개발 진행 - 일본과 협업하여 해양 운송 기술개발 추진
	활용	- 생산과 운반에 집중해 수소경제 산업을 이끌겠다는 전략으로 여타 주요국에 비해 낮은 수준의 기술과 투자 비중 차지 - 생산한 청정수소를 암모니아, 천연가스 등에 혼입하여 발전 분야 활용
	인프라	- 호주기준청(Standards Australia)을 중심으로 안전, 생산, CCUS, 수소 차량 및 충전 설비 등 다양한 분야 표준 개발 - 수소충전소 등 인프라 구축 비율은 낮은 수준
전략		- 호주의 수소경제 전략 핵심은 신재생에너지를 기반 그린 수소생산 - 생산한 청정수소를 해외에 공급하여 수소 수출국 지위 확보

□ 우리나라 수소경제 생태계

<표 8> 우리나라 수소경제 생태계 요약

구분		특징
개요	정의	- 수소의 생산 및 활용이 국가, 사회 및 국민 생활 전반에 근본적 변화를 선도하여 새로운 경제 성장을 견인하고 수소를 주요한 에너지원으로 사용하는 경제산업구조
	범위	- 생산·저장·운송·충전·판매 및 연료전지, 수소 가스터빈 등 수소를 활용하는 장비와 이에 사용되는 제품·부품·소재 및 장비의 제조 등 수소와 관련한 산업
	추진 체계	- 국무총리를 위원장으로 8개 관계부처에서 협업하는 형태의 수소경제 컨트롤타워인 수소경제위원회 출범
생태계 정책	생산	- 낮은 신재생에너지 보급률로 청정수소 관련 투자 및 기술 확보 필요 - 현재 대부분 석유화학 공정에서 부산물로 발생하는 부생수소 활용 - 향후 기본전략 및 정책을 통해 고효율·대용량 수전해 시스템 개발로 신재생에너지를 통한 수소 생산 계획 수립
	저장	- 수송운송에 대한 기본전략 및 정책은 수립한 상태이나 관련 연구개발 - 차량용 저장 용기 등 소규모 저장 관련 기술개발로 대규모 저장 관련 기술 취약
	운송	- 산업부, 과기부 등 범부처로 수송운송 기술개발 전략 수립 - 기업 중심으로 수소 파이프라인과 튜브 트레일러를 활용한 수송운송 사업 진행 중
	활용	- 정부 보조금 지급으로 수소 택시, 버스, 선박 드론 등 수소 모빌리티 부문에 대해 사업화 진행 - 발전용 연료전지 보급 확대를 위한 실증화 사업 수행
	인프라	- 정부 주도의 수소충전소 설치 및 인프라 마련 정책 실시 - 세계 최초 수소법 제정과 「수소경제 표준화 전략 로드맵」을 통해 국제 표준 제안 계획을 수립하여 표준화 추진
전략		- 우리나라 수소경제 전략 핵심은 수소 모빌리티와 연료전지를 중심으로 수소경제 생태계 구축

□ 주요국 수소경제 목표 및 현황

- 미국은 친환경 에너지정책을 확대하면서, 청정수소 생산가격을 낮추기 위한 기술개발 진행 중
- 독일은 최대 수소생산 국가로 발돋움하고, 자국 내 생산 및 해외에서 도입한 청정수소를 산업 전반에 활용한다는 목표
- 일본은 해외 수소 생산기지 확보를 통해 향후 수소 수요에 대응하고자, 수소저장·운송(해양)에 대한 연구개발 및 실증 추진 중
- 중국은 2022년 수소 관련 정책을 마련하였으며, 수소차 도입과 충전소 설치를 통한 생태계 구축 계획
- 호주는 연방·주정부 수소 전략으로 지역 특성에 맞는 청정수소 생산-운송-수출하는 인프라 구축을 위한 연구 진행 중

□ 우리나라 수소경제 관련 시사점

- (수소생산) 우리나라는 제조업 중심 국가로 에너지 소비가 많은 산업을 중심으로 그린 수소 생산·도입을 위한 노력 필요
- (수소저장·운송) 수소저장·운송은 수소경제 전주기를 연계하여 다양한 기술이 적용 가능하므로, 수소생산·공급 방식, 활용 분야, 경제성 등을 고려한 기술 선택 필요
- (수소 활용·인프라) 우리나라 수소경제 산업은 수소차·연료전지 등 활용 부문과 충전소 구축 등 인프라 부문에 집중
- 기후변화 대응 및 탄소중립 달성을 위해 수소 전략 수립 필요

I. 서 론

1. 연구 배경 및 목적

□ **全 세계적으로 기후 변화에 따른 이상기후 현상 발생**

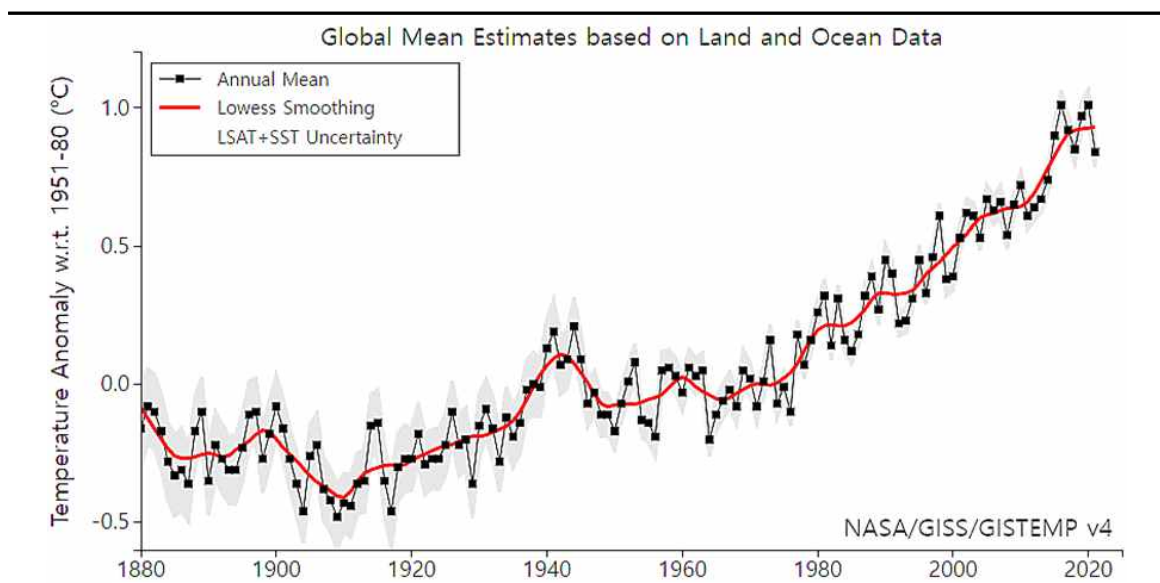
○ **산업화 진행으로 전 지구적으로 지구온난화 현상 발생**

- 산업혁명 이후 다량의 온실가스 배출로 인해 대기 중 이산화탄소 농도는 48.6%⁶⁾(산업화 이전 278.0ppm→2020년 413.2ppm) 증가하였으며, 지구 평균 기온이 상승하는 지구온난화* 현상 발생

* 지구온난화: 대기를 통과한 지구 복사 에너지가 지표면에서 반사되고, 온실가스가 지구 밖으로 빠져야 하는 열의 일부를 가두어 지구 평균 기온이 상승하는 현상

- 기후 변화에 관한 정부 간 협의체⁷⁾(IPCC⁸⁾, Intergovernmental Panel on Climate Change) 「제5차 종합 평가 보고서」에 따르면 21세기 기후 변화가 가속화될 전망

[그림 1] 연도별 지구 기온 변화⁹⁾



자료: NASA GISS(NASA Goddard Institute for Space Studies) 웹페이지(2022.07.)

6) 전지구: 온실가스세계자료센터(WDCGG, World Data Centre for Greenhouse Gases)

7) 국제 연합의 전문 기관인 세계 기상 기구와 국제 연합 환경 계획에 의해 1988년 설립된 조직으로, 인간 활동에 대한 기후 변화의 위험 평가

8) 국제 연합의 전문 기관인 세계 기상 기구와 국제 연합 환경 계획에 의해 1988년 설립된 조직으로, 인간 활동에 대한 기후 변화의 위험을 평가

9) https://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs_v4/

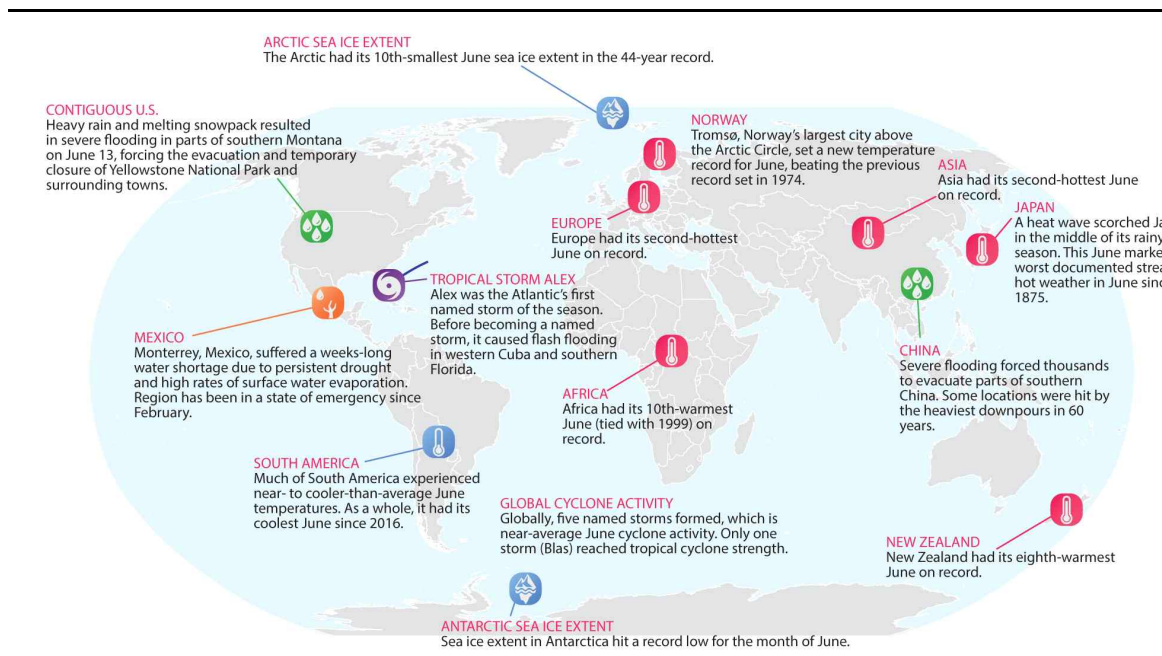
○ 지구온난화에 따라 세계 곳곳에서 이상기후 현상 발생

- 지난 130여 년간(1880~2012년) 지구 연평균 기온은 0.85℃ 상승하였으며, 지구 평균 해수면은 19cm 상승
- 지구 평균 기온 상승으로 인해 남극 빙하가 녹으며 해수면이 상승하고 폭염, 열대야, 폭우, 산불, 한파, 폭설, 우박 등 이상기후 발생
- 전 세계적 이상기후로 인해 농수산물 수확량이 감소하고 식중독, 온열 질환, 한랭 질환 등 인명 피해 발생과 동시에 건물을 비롯한 기반 시설 피해 등 다양한 재산 피해 발생

○ 화석연료는 생산·사용을 포함한 전 주기에서 다량의 온실가스 배출로 지구온난화 현상의 주요 원인

- 화석연료를 대체하는 친환경 에너지 생산을 위한 기술 수요 증가

[그림 2] 전 세계 주요 이상기후 피해 발생 사례¹⁰⁾



자료: National Centers for Environmental Information 웹사이트(2022.06.)

10) <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202206>

□ 글로벌 탄소중립 흐름에 맞춰 수소경제 정책 중요성 확대

○ 국제사회에서 탄소중립 선언 국가 증가

- 1992년 6월 유엔환경개발회의¹¹⁾(UNCED: United Nations Conference on Environment & Development)에서 채택된 유엔 기후 변화 협약¹²⁾(UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change)은 선진국과 개도국이 각자 능력에 맞게 온실가스를 감축할 것을 약속
- 1997년 12월 당사국총회(COP3, Conference of the Parties)¹³⁾에서 기후 변화에 관한 국제 연합 규약인 교토의정서를 채택하여 선진국을 중심으로 온실가스 감축 노력
- 2015년 12월 COP21¹⁴⁾에서 교토의정서 한계 극복을 위해 2020년부터 모든 국가가 참여하는 신기후체제의 근간이 되는 파리협정(Paris Agreement) 채택
 - 지구온난화 방지를 위해 온실가스를 줄이자는 전 지구적 합의안으로 국제사회가 함께 공동으로 노력하는 최초의 기후 협약
 - 파리협정을 근거로 195개 당사국은 장기 저탄소 발전전략¹⁵⁾(LEDS, Long-term low greenhouse gas Emission Development Strategies) 발표
 - LEDS와 함께 파리협정에 따라 2020년부터 국가 온실가스 감축목표¹⁶⁾(NDC, National Determined Contribution) 5년 주기 제출 의무화
- 파리협정에서 “전 지구 평균 지표 기온상승을 산업혁명 이전 대비 2℃ 이내로 유지하며, 1.5℃ 이하 억제를 위해 노력해야 한다”는 탄소중립 정책의 기반 마련

11) 개발 위주 경제 성장 및 산업화의 지속으로 자연생태계의 자정능력이 저하되어 지구 전체의 환경이 급속히 악화하고 있으며 이에 따라 환경보전과 경제개발을 동시에 조화시키면서 지속 가능한 경제성장을 달성하기 위한 국제적 논의

12) 온실 기체에 의해 벌어지는 지구온난화를 줄이기 위한 국제 협약으로 선진국들이 이산화탄소를 비롯하여 각종 온실가스 방출을 제한하고 지구온난화를 막는 게 주요 목적

13) 1997년 일본 교토에서 개최된 제3차 유엔기후변화협약(UNFCCC) 당사국총회(COP3)에서는 선진국들의 수량적인 온실가스 감축의무를 규정한 교토의정서(Kyoto Protocol) 채택

14) 지구온난화를 대비하여 온실가스 배출에 대한 지속적인 관리와 책임 이행 약속

15) 파리협정 2조 1항, 4조 19항과 COP 결정문 1/CP.21 35항을 근거로 수립되었으며, 지구온도를 산업화 이전 대비 2℃ 이하로, 나아가 1.5℃까지 억제하기 위한 2050년까지의 당사국의 전략

16) 우리나라 탄소중립 달성을 위해 2030 NDC를 2018년 대비 40% 감축 목표 제시

<표 9> 교토의정서와 파리협정 비교

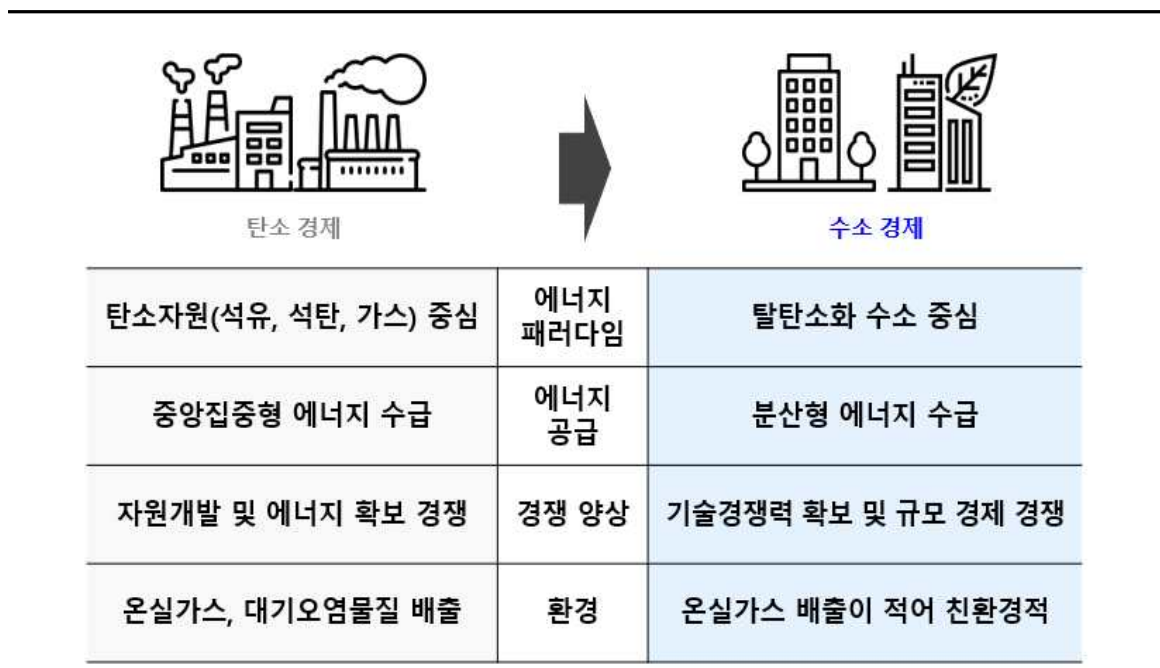
구분	교토의정서	파리협정
목표	온실가스 배출량 감축 (1차: 5.2%, 2차 18%)	산업화 이전 대비 지구 평균 기온상승 2°C 이하, 1.5°C 제한 권고
범위	온실가스 감축	온실가스 감축, 적응, 재원, 기술이전, 역량배양, 투명성 등 포괄
감축 대상	주로 선진국	모든 당사자(197개국)
설정 방식	하향식	상향식
징벌 여부	징벌적	비징벌적
목표 기준	-	진전 원칙
지속 여부	공약기간에 종료 시점 명시로 지속성 미확보	종료시점이 지정되지 않아 지속가능한 대응 가능
참여 대상	국가 중심 활동	다양한 이해관계자 참여 독려

자료: 외교부 '기후 변화에 관한 파리협정 비준' 보도자료(2016.11.3.)

○ 에너지전환 정책 중 하나인 수소경제에 대한 관심 증가

- 2021년 130여 개 국가에서 탄소중립¹⁷⁾ 목표를 수립하였으며 에너지 전환 중요성 강화
- 에너지경제연구원 「한국의 2050 탄소중립 시나리오: 내용과 과제」 보고서에 따르면 탄소중립 목표 달성을 위한 에너지전환은 효율 개선, 소비감축으로는 부족
- 전통 에너지원인 화석연료와 원전의 비중을 줄이고 친환경 에너지원으로 확보할 수 있는 재생에너지 비중을 늘리는 등 체계 전반의 변화 필요
- 에너지 체계 전환 과정에서 수소는 특정 지역에 편중되지 않고 확보할 수 있는 원료로 온실가스 및 미세먼지 배출이 적거나 전혀 없으며 부산물로 물만 발생하는 장점 보유
- 안정적인 경제 성장과 에너지 안보 확보가 가능한 수소는 2020년 기준 에너지 수입의존도 92.8%¹⁸⁾인 우리나라에서 자원 확보 과정 시 발생하는 피해 방지 및 미래 에너지 체계에 유리한 원료

[그림 3] 수소경제 전환의 특징



17) 배출량은 최대한 감소시키고, 흡수량은 증대하여 순 배출량이 '0'이 된 상태

18) 에너지 온실가스 종합정보플랫폼(https://tips.energy.or.kr/statistics/statistics_view0210.do)

□ 수소경제 생태계 선도를 위한 정책 방향 고찰 필요

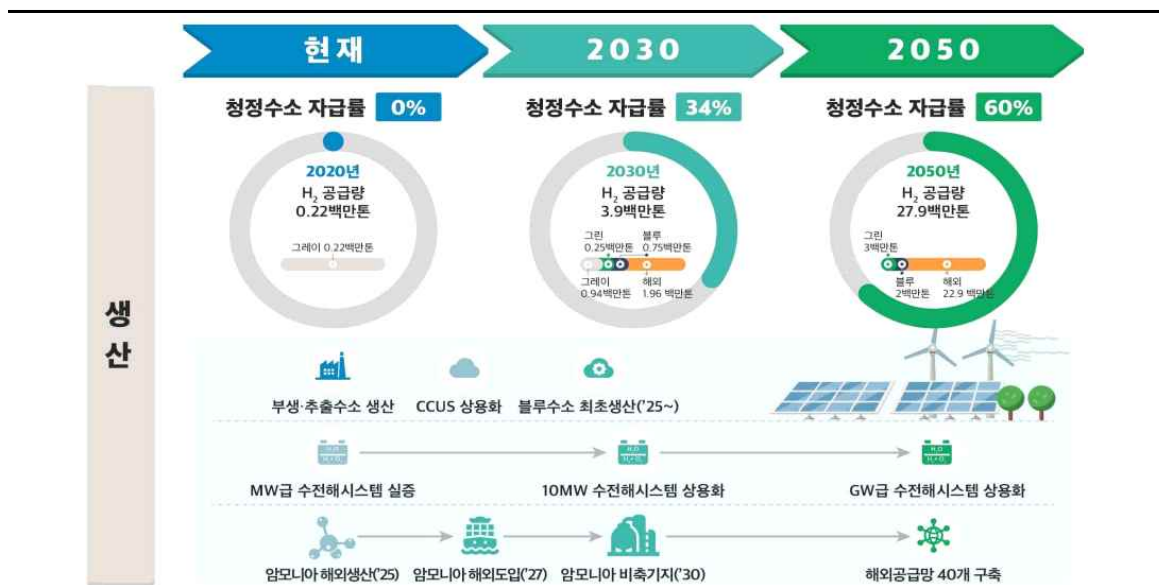
○ 탄소중립을 위한 에너지원인 수소 기본 정책 수립

- 수소는 질량 1g당 발열량이 석유 1g보다 3배 이상 높은 효율적인 에너지원
- 우리나라는 2020년 12월 「2050 탄소중립 추진전략」에서 에너지전환 및 산업 구조 전환을 위한 신재생에너지 중 하나로 수소에너지원을 선정하여 안정적인 공급체계 구축 목표 수립

○ 수소경제 사회 선도를 위해 수소경제 생태계 구성 요소별 정책 현황 비교·분석 필요

- 2021년 11월 발표한 「제1차 수소경제 이행 기본계획」 청정수소 확보 계획에 따르면 2030년 50%, 2050년 80% 이상을 해외수입에 의존하는 것으로 전망됨으로 해외 주요국의 수소경제 생태계 파악 필요
- 수소경제 생태계는 생산, 운송, 저장을 포함하는 공급과 수소차¹⁹⁾, 연료전지를 포함하는 수요를 포괄한 다양한 산업 범위를 포함하고 있으며 생태계별 성장 기반 및 경쟁력 평가 필요

[그림 4] 우리나라 수소생산 자급률 계획

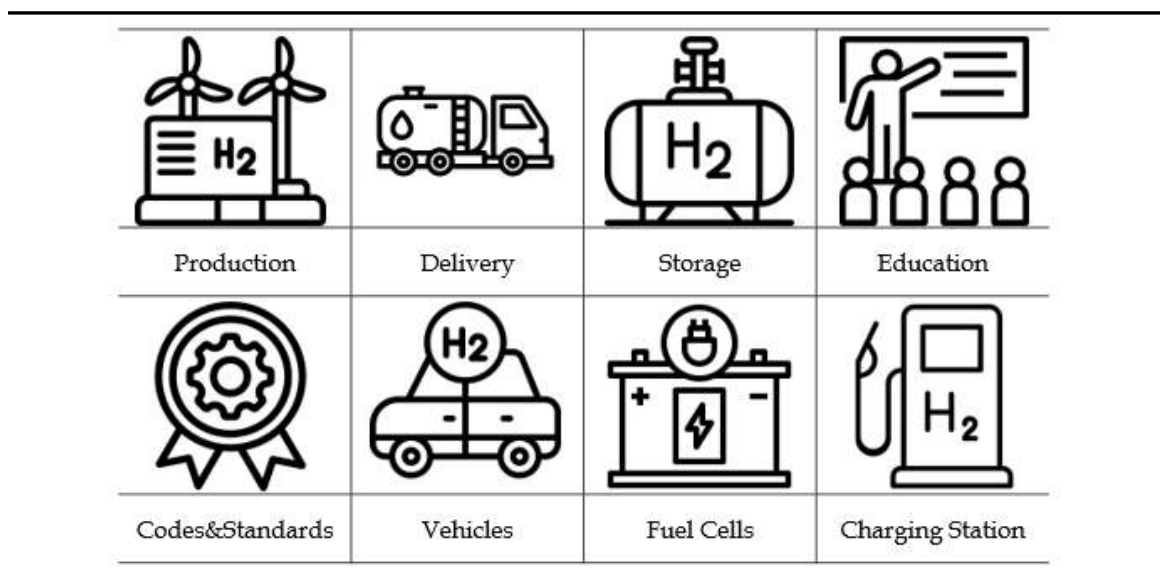


자료: 제1차 수소경제 이행 기본계획(2021.11.)

19) 수소차는 수소 연료전지를 통해 구동되는 수소 연료전지 자동차와 수소-산소를 연소시켜 구동력을 얻는 방식의 수소 내연기관 자동차가 있으나, 본 보고서에서의 수소차는 주로 출시하는 수소 연료전지차를 의미

- 본 연구에서는 탄소중립을 추진하는 해외 주요국과 우리나라 수소 정책·기술을 비교·분석하여, 향후 우리나라의 수소 정책 방향을 제시하고자 함
- 해외 주요국의 정책과 기술 수준을 확인하여 글로벌 협력 전략 마련
 - 글로벌 탄소중립 기조에 따라 수소경제 생태계에 대한 해외 주요 국가의 기술 경쟁 및 정책 지원이 활발히 진행 중이므로, 해외 수소경제 생태계 분석과 우수 사례 벤치마킹을 통해 우리나라의 수소 정책 보완점 도출
 - 해외 기술 수준이 높은 분야, 지원 규모가 큰 분야 등을 고려하여 우리나라의 정책이 효과적으로 수립·운영하는데 기여
 - 탄소중립 달성을 위한 수소경제 발전 전략 구체화 제언
 - 수소경제 생태계 특성에 맞는 용어, 범위 정리로 수소경제의 안정적인 정책을 위한 기반 조성 자료로 활용
 - 인센티브, 보조금 및 인증제도 추진에 적용할 수 있도록 구체적인 사례와 이행 근거 확보
 - 산업부문의 수요, 공급원별 비중을 통해 우선 지원 분야를 도출하여 수소경제 생태계 발전 전략 구체화 제언

[그림 5] 수소경제 생태계 구성 요소

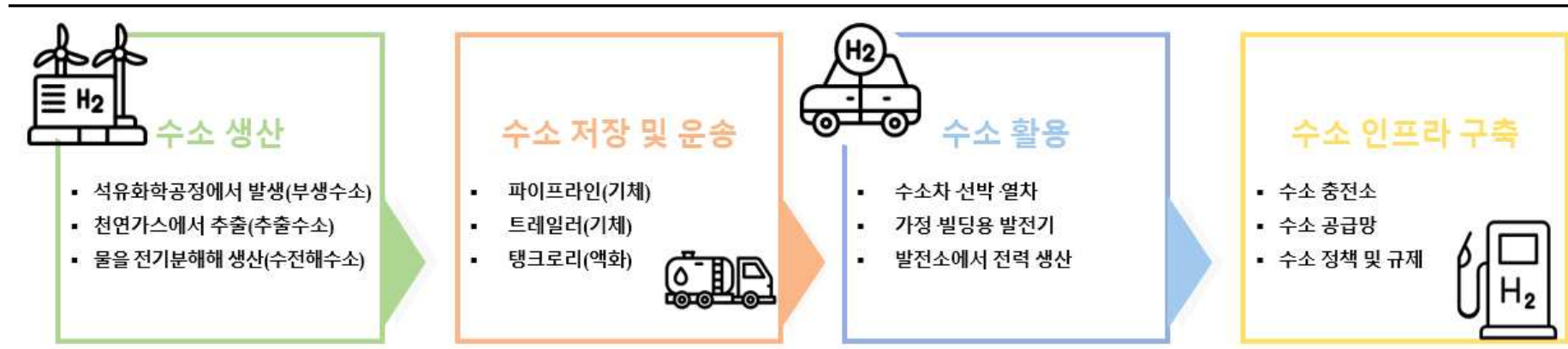


2. 연구 대상, 범위 및 방법

□ 수소경제 생태계 전반을 대상으로 조사

- 우리나라는 2020년 2월 제정된 「수소경제 육성 및 수소 안전 관리에 관한 법률(이하 수소법)」에서 수소경제·산업에 대해 정의
 - 수소경제는 화석연료 중심의 에너지 구조에서 벗어나 수소 중심의 에너지 생산-저장 및 활용-운송을 안정적으로 적용하는 경제·산업 구조를 의미
 - 수소산업은 수소의 생산·저장·운송·충전·판매 및 연료전지와 이에 사용되는 제품·부품·소재 및 장비의 제조 등 수소와 관련된 산업
 - 화석연료와 다르게 자원 고갈의 우려가 없고, 지역적 영향을 받지 않고 생산이 가능하며, 유일한 부산물이 물(H_2O)인 환경친화적(CO_2 Free) 특징을 반영하는 수소 원료 기술
- 공급(생산, 저장 및 운송)과 수요(활용, 인프라 구축) 전반을 모두 고려하는 수소경제 생태계를 연구 대상으로 포함
 - 수소법 내 수소산업 정의를 고려하여 수소경제 생태계 정의
 - 수소생산은 사용 원료, 에너지원/화학반응에 따라 분류하여 연구
 - 생산된 수소의 안전성 및 경제성 확보를 위해 기체, 액체, 액상 및 고체 상태로 변환시켜 저장 및 운송
 - 수소차, 선박, 열차, 발전기 등 기존 화석연료 기반을 벗어나 수소를 주요 에너지원으로 하는 상품, 제품을 수소 활용 대상으로 조사
 - 수소의 효과적 사용을 위해 연료전지, 수소차 등에 수소 원료를 공급하는 핵심적인 구축 시설인 수소충전소 등을 수소 인프라로 반영하여 조사

[그림 6] 전주기 수소경제 생태계 구성

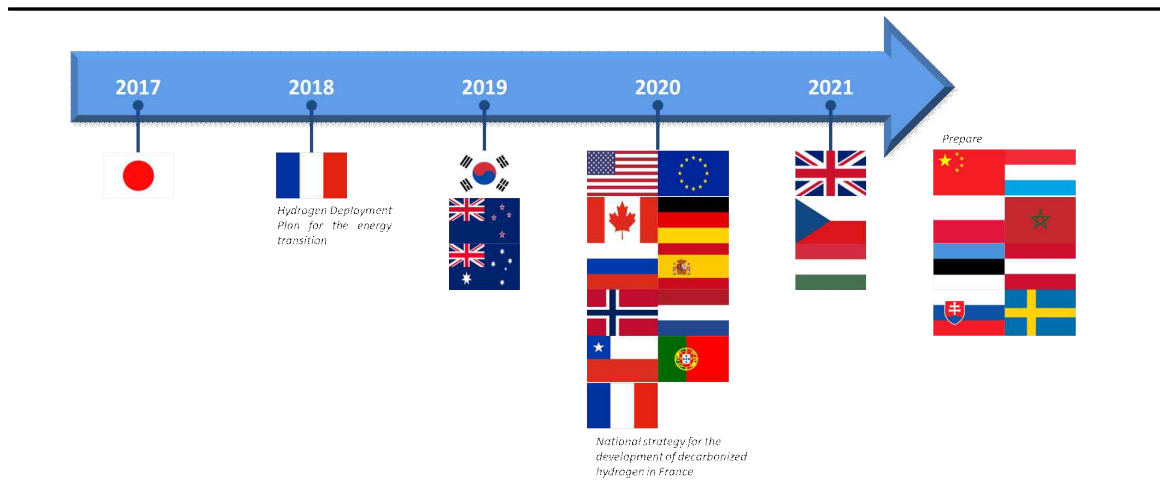


□ 수소 산업 관련 주요국을 연구 범위로 선정

○ 수소 전략을 조기에 수립한 한국, 일본, 프랑스

- 2019년 6월 IEA의 「The Future of Hydrogen」 보고서 발간 전 수소 전략을 수립한 우리나라, 일본, 프랑스 3개국 선정
 - * 미국은 2000년대 초부터 국가 차원에서 수소에너지 기술개발 및 수소 경제 전환을 위한 프로젝트를 실시하였으나, 수소 전략은 2020년 발표
- 2021년까지 17개 국가²⁰⁾가 수소 전략을 발표하였으며, 2022년, 8월 현재 20개 이상의 국가²¹⁾가 정부 주도의 수소 전략 발표

[그림 7] 주요국 수소 전략 수립 Time line



자료: Clean Hydrogen Monitor 2020 Hydrogen Europe, IEA Global Hydrogen Review 2021을 참고하여 당사에서 재작성

○ 세계 경제 대국으로 기술을 선도하는 미국, 중국

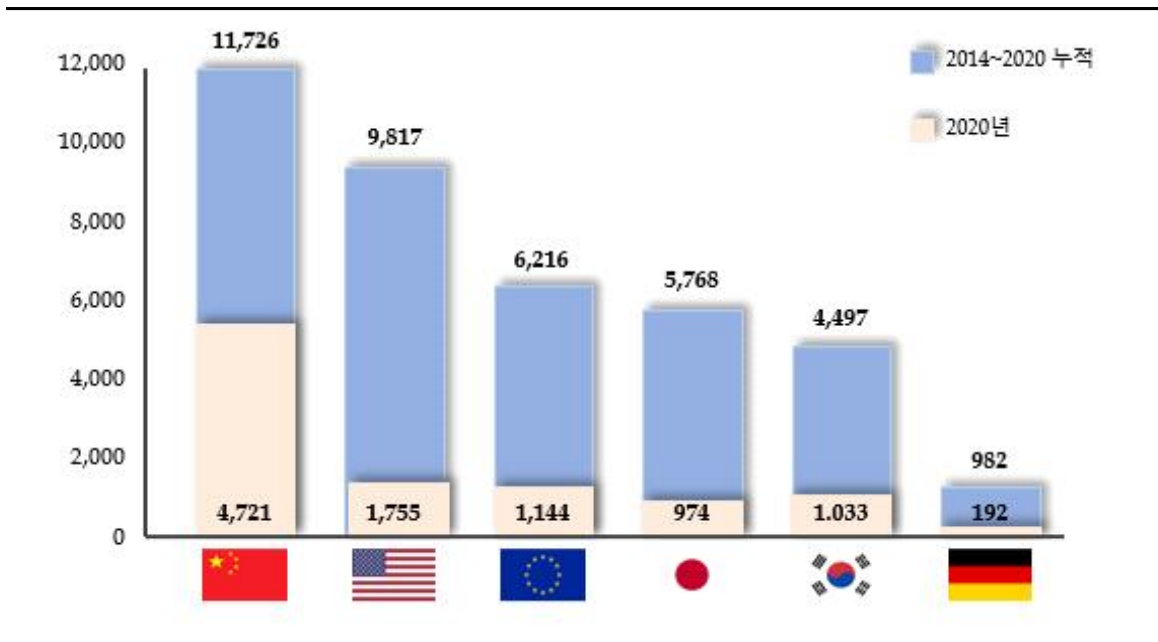
- 2020년 FCHO²²⁾(Fuel Cells and Hydrogen Observatory)에 따른 수소 산업 특허 출원 수는 중국(4,721건), 미국(1,755건), EU(1,144건), 한국(1,033) 순
- 2020년 기준, 국가 GDP 규모는 미국 20조 9,400억 달러, 중국 14조 7,200억 달러로 전 세계 GDP의 42%를 차지하며 G2 국가로서 경제 및 산업 등 다양한 분야에 영향

20) 일본, 프랑스, 한국, 호주, 뉴질랜드, 미국, EU, 캐나다, 독일, 러시아, 스페인, 노르웨이, 네덜란드, 칠레, 포르투갈, 영국, 체코, 헝가리

21) 17개국 + 중국, 룩셈부르크, 폴란드, 모로코, 에스토니아, 오스트리아, 슬로바키아, 스웨덴 등

22) 수소 부문에 대한 데이터(통계, 사실 및 분석)와 최신 정보를 제공과 기술 및 시장 통계, 사회경제적 지표, 정책 및 규제, 재정 지원

[그림 8] 국가별 수소 기술 관련 특허 수



자료: FCHO 데이터, 가공 작성

- 자원 부국으로 거대 수소생산 시장 잠재력을 보유하여 향후 우리나라 주요 수소 수입국으로 예상되는 호주, 사우디아라비아, UAE 선정
 - 호주는 석탄, 원유, 천연가스 등 풍부한 에너지 자원을 바탕으로 세계 최대 수소생산·수출국으로 성장하기 위한 계획을 수립하여 갈탄에서 추출한 수소를 액화수소 형태로 일본에 수출하는 프로젝트를 진행하고 있으며, 재생에너지에서 생산된 잉여전력을 이용해 수소를 생산하는 프로젝트 지속 확대
 - 세계 최대 원유 수출국인 사우디아라비아는 태양, 풍력 등을 활용한 그린 수소생산, 자프라(Jafurah) 가스전을 활용한 블루 수소를 생산을 통해 세계 최대의 수소 수출국 목표 수립

[그림 9] 주요 수소생산국가 및 관련 전략

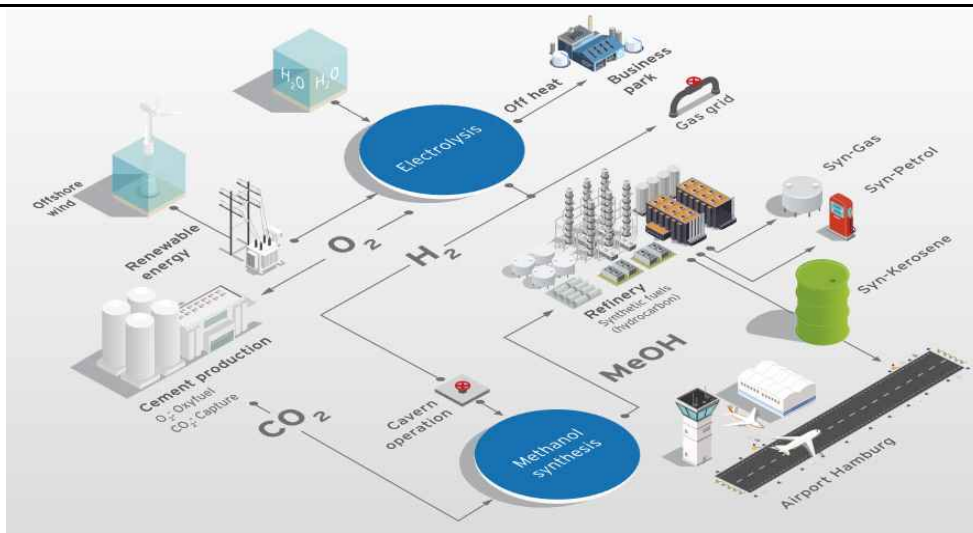
수소생산		수소운송		국내공급	
수소원	국가	변환	이송	인수기지	공급인프라
신재생 (태양광, 풍력, 수력)	미국·캐나다 호주 뉴질랜드	고압기체화	고압기체 이송	고압기체 인수 및 저장	튜브 트레일러
가스 (LNG, LPG, 유천가스+CCS+ ECR)	인도네시아· 브루나이 사우디·UAE 등	액상화 (톨루엔)	액상(톨루엔) 이송	액상(톨루엔) 인수 및 저장	파이프 라인
	노르웨이	액상화 (암모니아)	액상(암모니아) 이송	액상(암모니아) 인수 및 저장	탱크로리
석유		액화화	액화 이송	액화 인수 및 저장	

자료: 산업통상자원부 보도자료(2020.06.23.)

○ 수소경제 생태계의 부문별 주요 기술을 보유한 독일, 캐나다

- “TransHyDE(녹색 수소운송 솔루션) 프로젝트”를 통해 다양한 수소 운송 기술 테스트 및 국제표준과 규정을 마련해온 독일을 선정
- 캐나다는 Ballard社를 중심으로 고분자 전해질(PEM) 연료전지, 고체 산화물 연료전지(SOFC)에 세계 일류 기술을 보유하고 있으며, 연료 전지 기술개발, 부품 및 관련 장치 등 다수의 연료전지 기술 보유

[그림 10] 독일 수소경제 생태계 구축 계획²³⁾



자료: Westküste 100²⁴⁾(2022.06.)

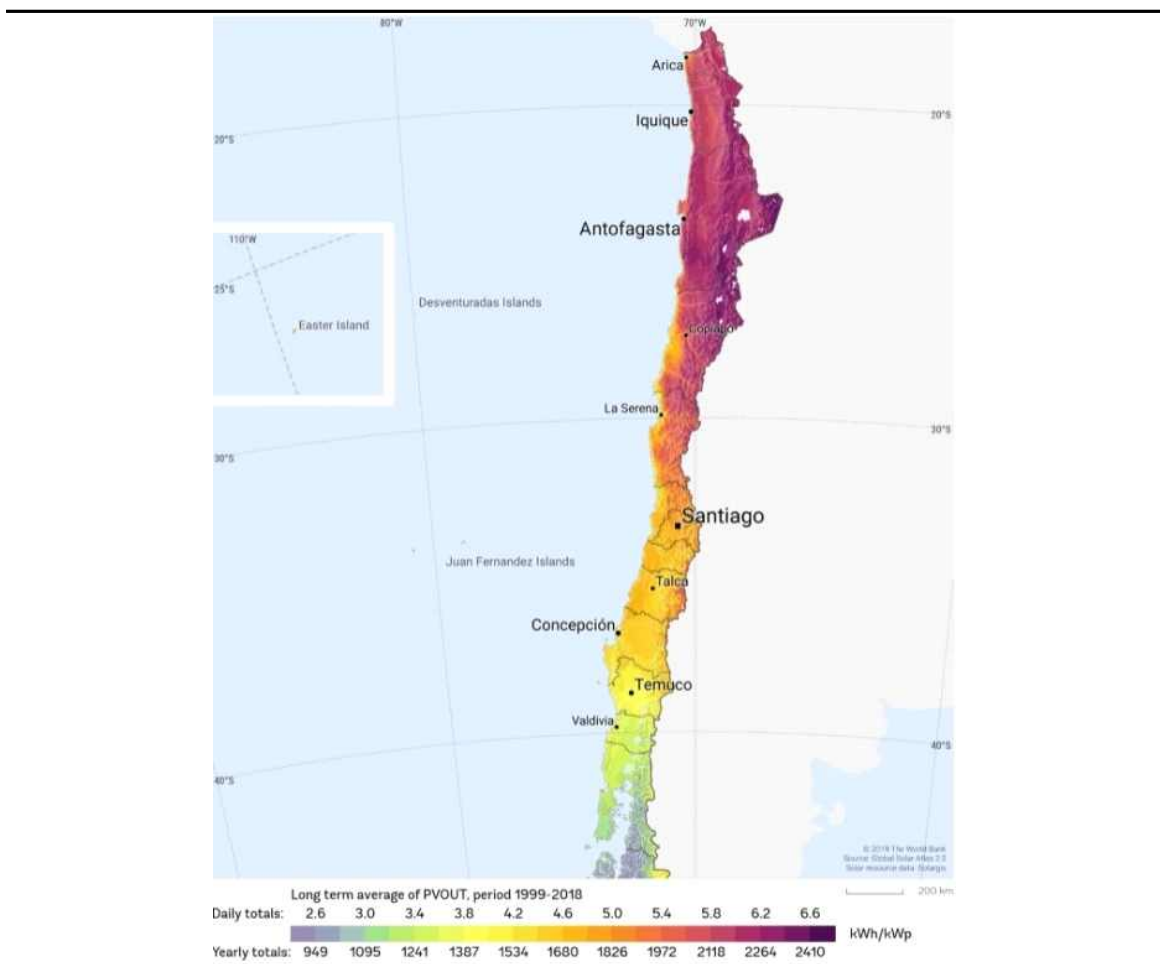
23) <https://oge.net/de/nachhaltig/projekte/unsere-wasserstoffprojekte/westkueste-100>

24) 산업적 규모로 지역 수소경제를 매핑하고 확장을 목표로 진행하는 프로젝트

○ 수소 전략을 실행하고 있는 기타 국가

- 2021년 영국 비즈니스·에너지·산업전략부(BEIS, Department for Business, Energy and Industrial Strategy)는 저탄소 수소 개발을 위한 「수소 전략(Hydrogen Strategy)」 발표
- 칠레는 신재생에너지 발전에 적합한 환경을 갖추고 있고 태양광, 풍력 등 적극적으로 청정에너지 투자를 진행하는 동시에 2030년까지 세계에서 가장 저렴한 그린 수소생산·수출계획 수립

[그림 11] 칠레의 태양광발전 잠재력²⁵⁾



자료: 세계은행그룹 웹페이지

25) <https://globalsolaratlas.info/download/chile>

□ 수소경제 생태계 자료조사

○ 조사 대상으로 선정된 주요국의 관계부처 공식자료 조사

- 수소 산업 정책을 주관하는 중앙정부 부처를 확인 및 선정 후 해당 부처 발표 자료, 공개 정보 중심으로 자료 수집
- 주요 언론 기관 보도자료를 통해 수집 자료 사실관계 조사 및 교차 검증 추진

○ 국제기구 자료조사

- 에너지 관련 국제기구인 IEA, OECD 등에서 발표한 보도자료 및 발간 보고서 수집·분석

○ 주요 수소 기술 보유 기업 자료 수집

- 공급·수요 전반을 고려한 수소 관련 기술 보유 기업 동향 조사

II. 국내·외 수소경제 시장 및 기술 현황

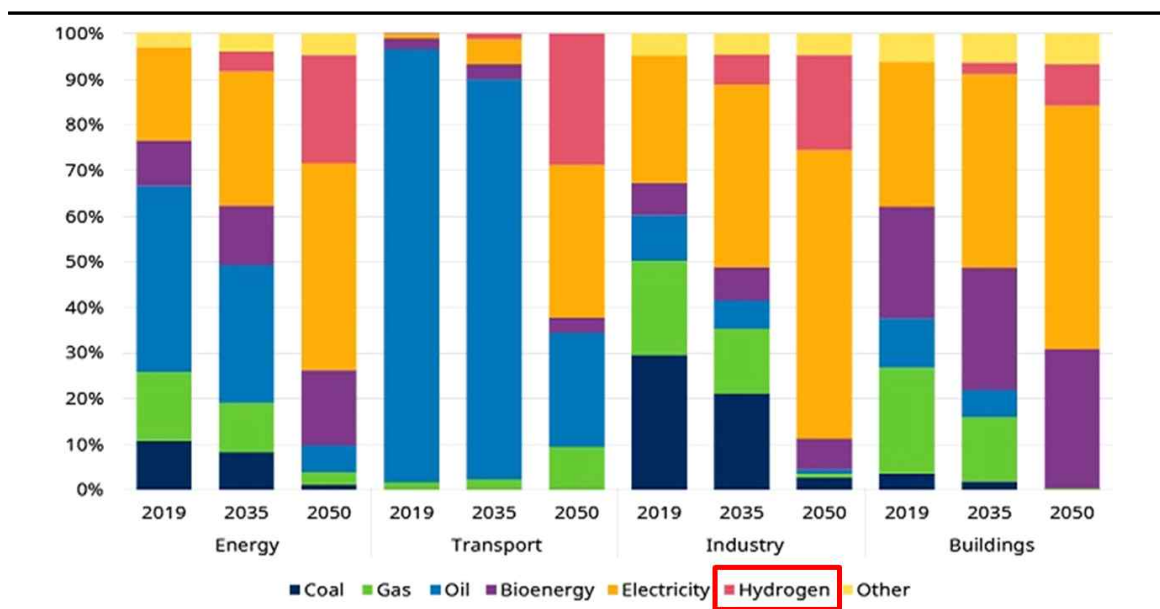
1. 시장 현황

□ 신재생 및 수소에너지 사용 비중 확대

- 주요 선진국은 탄소중립 목표 달성을 위해 수소에너지 비중 확대 정책 실시
 - 최근 유럽, 미국, 중국, 일본 등 주요국을 중심으로 탄소중립 달성을 위해 국가 기후 정책 마련
 - 탄소 배출 감축을 위한 주요 기술은 그린 수소로, 발전 및 자동차 부문 등 다양한 분야에 적용하여 탈탄소화 가능
 - 2020년 3월 BNEF(Bloomberg New Energy Finance)에 따르면 신재생 및 수소에너지가 현재 주요 원료인 석탄, 석유, 천연가스를 대체할 것으로 예상
 - BNEF에 따르면 수소에너지는 2050년 글로벌 에너지의 25%를 차지할 것으로 예상

[그림 12] BNEF's 시나리오에 따른 신재생 및 수소에너지 성장률

(단위: % of final energy consumption)

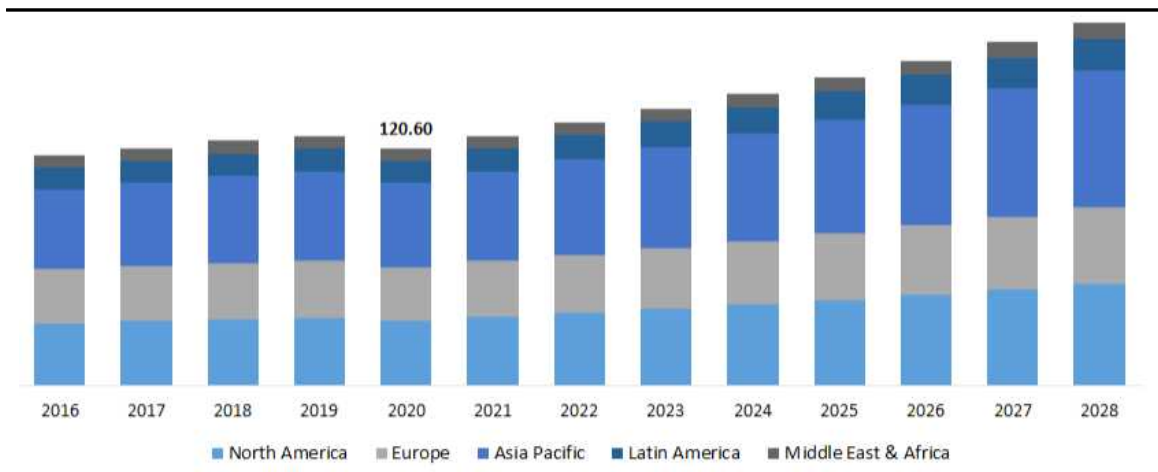


자료: Schroders, Bloomberg NEF(2021.01.)

- 글로벌 수소경제 규모는 2020년부터 연평균 5.5% 성장하여 2028년 1,842억 달러에 이를 것으로 기대
 - 2020년 글로벌 수소 시장은 1,200억 달러 규모로 북미, 유럽, 아시아를 중심으로 성장 중
 - 주요국은 수소에너지 사용에 대해 인센티브 및 세제 감면 등 다양한 정책을 통해 수소에너지 활성화 방안 마련

[그림 13] 대륙별 수소에너지 규모(2016~2028년)

(단위: 십억 달러)



자료: Polaris Market Research Analysis(2022.01.)

- 수소경제 활성화를 위해 정부-민간 협력 중요성 증대
 - 2022년 5월 미국, EU 등 18개국 수소 협회가 참가하여 세계수소산업 연합회²⁶⁾(GHIAA, Global Hydrogen Industrial Association Alliance) 출범
 - 산업 전반에 걸쳐 수소를 활용할 수 있도록 하여 신산업 창출 및 전통 산업의 재도약 기회 제공 기대

26) 국제적 민간의 견고한 파트너십 구축으로 건설한 글로벌 산업 생태계 조성은 물론 수소 분야 네트워크·정보·데이터 허브를 구축하고, 국제 수소산업 협력의 기틀 마련 예정

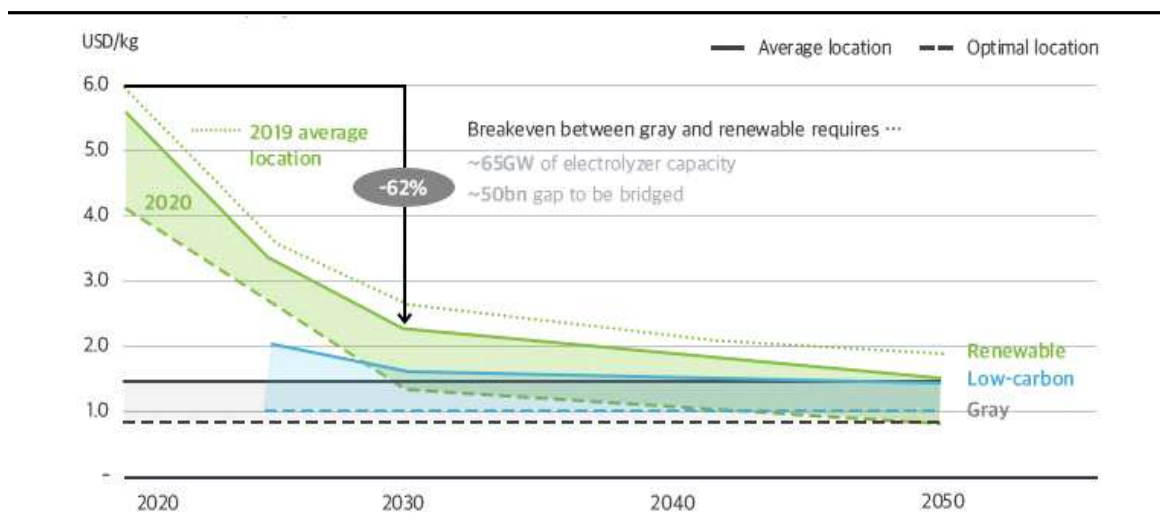
<표 10> GHIAA 참여기관

국가	소속
한국	H2KOREA
미국	FCHEA(Fuel cell & Hydrogen Energy Association)
EU	Hydrogen Europe
캐나다	CHFCA(Canadian Hydrogen and Fuel Cell Association)
네덜란드	NWBA(Nederlandse Waterstof en Brandstofel Association)
노르웨이	NHF(Norsk Hydrogenforum)
덴마크	Brintbranchen(Hydrogen Denmark)
독일	DWV(Deutsche wasserstoff-und brennstoffzellen-verband)
스웨덴	Vätgas Sverige(Hydrogen Sweden)
스페인	AeH2(Asociación Española del Hidrógeno)
프랑스	FH(France Hydrogène)
영국	UK HFCA(UK Hydrogen and Fuel Cell Association)
싱가폴	HFCAS(Hydrogen and Fuel Cell Association of Singapore)
중국	IHFCA(International Hydrogen Fuel Cell Association)
호주	AHC(Australian Hydrogen Council)
아르헨티나	H2ar Consortium
콜롬비아	Asociación Colombiana del Hidrógeno
칠레	H2CHILE(Asociación Chilena de Hidrógeno)

□ 시장 확대 및 기술 발전에 따라 그린 수소 가격 하락 전망

- 2020년 수소생산 규모는 약 1억 톤 수준으로 전 세계 1차 에너지²⁷⁾ 시장의 2% 차지
 - 신재생에너지를 통해 생산되는 그린 수소는 철강, 화학과 운송 등 다양한 분야에 활용함으로써 온실가스 배출 저감에 도움
 - 국제재생에너지기구²⁸⁾(IRENA, International Renewable Energy Agency) 「2020 재생에너지 발전 비용」 보고서에 따르면 지난 10년간 세계 태양광발전과 풍력 발전 비용은 각각 80%, 40% 감소하였으며, 추후 지속적인 감소 예상
 - * 신재생에너지 전력 비용 감소로 향후 그린 수소 비용 또한 감소할 것으로 전망
 - 미래 그린 수소로 전환에 시간·비용이 소모됨에 따라 탄소 포집 및 저장(CCUS) 기술을 활용한 블루 수소생산도 함께 진행
 - 현재 그린 수소 가격은 4~6달러/kg로 그레이 수소보다 2~4배 비싸지만, IRENA 분석에 따르면 단기적으로 40%, 장기적으로 80% 저렴해질 것으로 예상

[그림 14] 수소 종류에 따른 수소생산 비용 전망



자료: 「Hydrogen Insights Report 2021」(2021.02.)

27) 오랜 세월 동안 자연적으로 형성된 천연 상태의 가공되지 않은 에너지로 석탄, 석유, 천연가스, 원자력, 수력, 태양열, 태양광, 풍력, 바이오매스, 지열 등이 있음

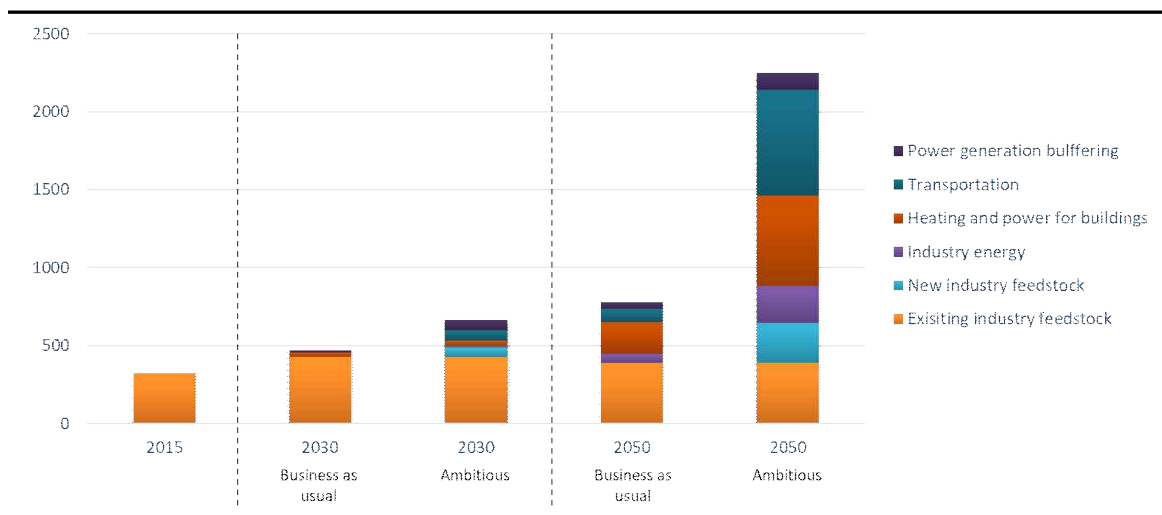
28) 재생에너지 기술의 지속적인 사용을 촉진하고 재생에너지 공조와 정보교환을 위해 만들어진 국제기구

□ 수소에너지 활용 확대 전망

- 2020년 글로벌 에너지 중 수소에너지 비중은 2%를 차지하나 2050년 25%로 증가할 것으로 예상
 - 현재 수소는 정유, 암모니아 생산 및 금속 가공 원료로 주로 사용
 - 수소는 발전과 교통수단을 위한 연료로 사용될 수 있으며 화석연료를 대체하여 탄소 배출이 없는 에너지원으로 활용 가능
- 우리나라, 중국, 일본의 수소 관련 정책에는 수소연료전지자동차(FCEV, Fuel-cell electric vehicles), 수소충전소 등이 포함
- 독일, 프랑스, 스웨덴 등이 포함된 유럽 위원회²⁹⁾(EC, European Commission)는 그린 수소를 유럽 그린딜(European Green Deal)과 유럽 청정에너지 전환 달성의 핵심 요소로 확인

[그림 15] 유럽 수소에너지 수요 전망

(단위: in TWh)



자료: FCH(Fuel Cells and Hydrogen) 「Hydrogen Roadmap Europe」(2019.01.)

29) 유럽연합의 집행기관으로 유럽 공동체의 법령 발의

2. 기술 현황

□ 수소경제 생태계별 기술 분석

○ 수소생산 과정 중 이산화탄소 배출량에 따라 분류

- 일반적으로 수소는 색 분류를 적용하여 생산 방법 및 환경성 정도에 따라 그린, 핑크, 블루, 그레이, 브라운 등의 분류체계 활용
- 그레이, 브라운 수소는 다량의 이산화탄소 배출이 발생해 탄소중립 달성을 위한 에너지원으로 부적합

<표 11> 수소생산 방법에 따른 분류

구분	주요 내용	생산 원료	CO ₂ 배출
그린	- 태양광, 풍력 등 재생에너지에서 나오는 전기로 물을 전기 분해(수전해)하여 생산 - 생산과정에서 CO₂를 전혀 배출하지 않아 이상적인 수소에너지 생산 방법 - 현재 생산단가가 높아 상용화시간 필요	재생에너지 발전 전력	0
핑크	- 원자력 발전에서 나오는 전기로 물을 분해(수전해)하여 생산 - 생산과정에서 CO₂를 전혀 배출하지 않는 생산 방법 - 원전 안전성과 핵폐기물 발생 문제 존재	원자력 발전 전력	0
블루	- 그레이 수소를 만드는 과정에서 발생한 CO₂를 포집, 저장해 탄소 배출을 줄인 수소생산 방법 - 그린 수소에 비해 환경성은 부족하지만, 뛰어난 경제성 보유	천연가스와 CO ₂ 포집	소량 배출
그레이	- 천연가스를 고온, 고압 수증기와 반응시켜 물에 함유된 수소를 추출하는 개질 방식 - 석유화학이나 철강 공정 등에서 부산물로 발생하는 부생수소 포함 - 수소생산을 위한 추가설비 등이 필요없는 경제적 장점 보유	천연가스	수소 1kg 생산당 CO ₂ 5~10kg
브라운	- 석탄이나 갈탄을 고온, 고압에서 가스화하여 수소 추출 - 수소생산과정에서 CO₂가 가장 많이 발생하여 친환경 에너지로 부적합한 방법	석탄, 갈탄	다량 발생

자료: H2 Bulletin 「Hydrogen Colours codes」(2011.11.)

○ 현재 대표적인 수소생산 방식으로 수전해, 개질 수소, 부생수소 등 존재

- 수전해 방식은 전기화학 반응을 이용하여 물을 분해하는 방식으로 물에 전기를 가하여 생성되는 수소로 전해질에 따라 알칼라인 수전해, 고분자 전해질 수전해, 고체산화물 수전해로 분류
- 개질 수소는 천연가스, 석탄 등의 화석연료를 촉매 반응을 통해 생성하는 수소로 수증기 개질, 부분 산화, 건식 개질, 열분해 반응을 통해 생성
- 부생수소는 석유화학, 제철 공정에서 화학반응에 의해 부수적으로 생산되는 수소이며, 공정 폐가스 활용을 통해 생산하기 때문에 추가 설비 투자 비용이 없어 경제성이 높은 장점 보유

□ 수소를 활용하기 위한 저장 및 운송 방법 개발

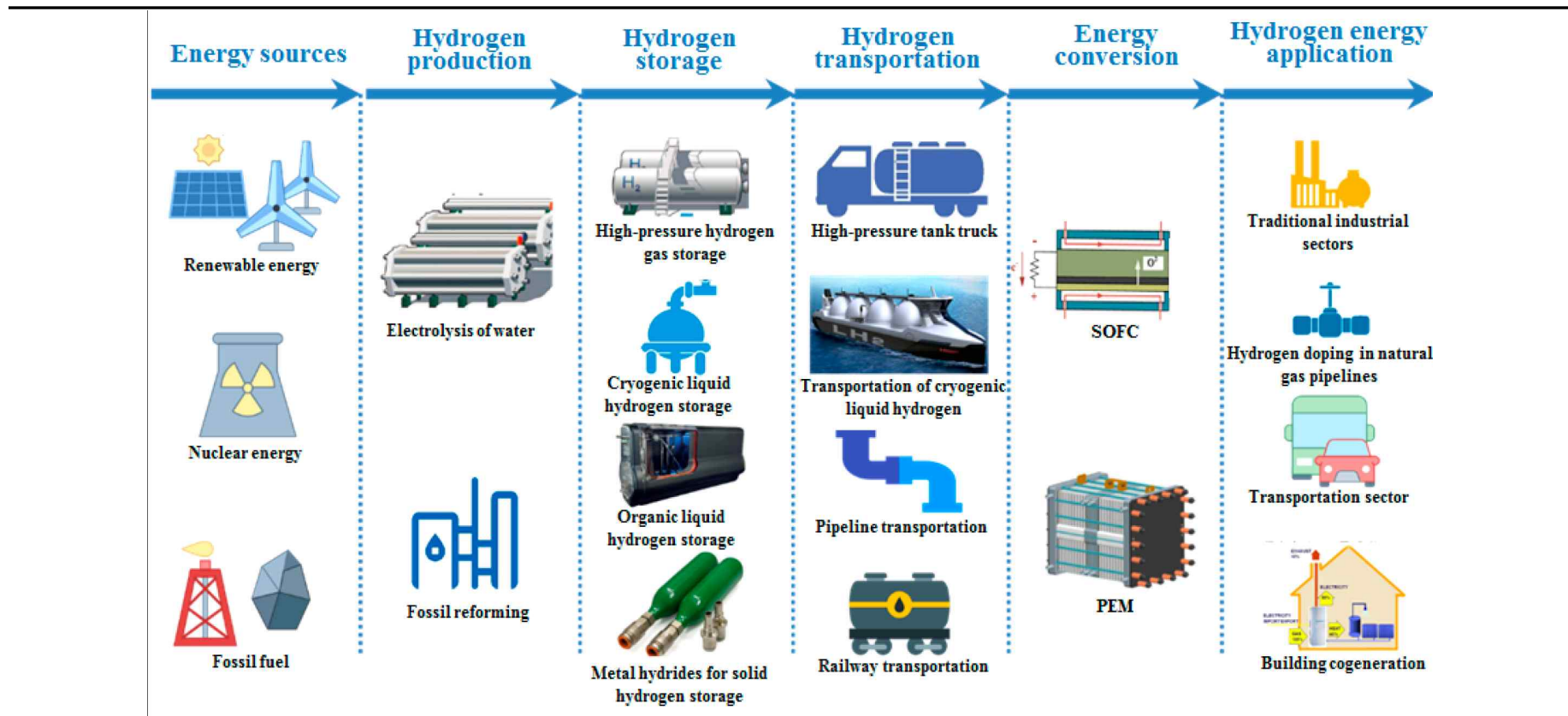
○ 수소는 단위 부피당 밀도가 매우 낮은 특징을 가지고 있어 수소 저장을 위해서는 고압 압축 또는 액화 기술 선행 필요

- 기체 상태 수소는 고압으로 압축하여 제한된 체적 용기에 저장하는 방식으로 압력용기 종류에 따라 금속재료 용기 또는 복합재료 용기로 구분
- 대기압 상태에서 극저온인 액체 수소를 저장하기 위해 복합진공 단열 기술을 이용하며, 기체 저장방식과 비교하여 약 1.75배 더 많은 수소 저장 가능
- 액상 저장 기술은 액상 유·무기 화합물을 이용하여 상온, 상압 수준에서 대용량의 수소를 안전하게 저장하는 방법
- 고체 저장 기술을 수소를 고체 물질의 내부 또는 표면에 고체 형태를 유지하여 낮은 압력으로 안전하게 저장

○ 수소운송은 기체 운송과 액체 운송으로 구분

- 기체 운송은 트레일러를 이용한 고압 상태 기체 운송과 파이프라인을 이용한 저압 상태 기체 운송으로 구분
- 액체 운송은 액화 수소운송, 액상 수소운송으로 구분되며 주로 탱크로리를 통해 운송

[그림 16] 수소저장-운송 후 사용까지 생태계



자료: Cost-Economic Analysis of Hydrogen for China's Fuel Cell Transportation Field(2020.12.)

□ 수소 활용 및 인프라 구축

○ 수소는 화석연료를 대체하며 생활 전반에 활용될 에너지

- 수소 연료전지는 수소를 연료로 전기에너지를 생성하는 발전장치로 일반 화학전지와 다르게 공해물질을 발생하지 않는 친환경 에너지
- 발전에 활용되는 수소 기술은 석탄 또는 액화천연가스(LNG) 발전을 대체하여 수소와 암모니아(NH₃)를 기존 석탄 발전기와 LNG 발전기에 연소해 전력을 생산하는 기술

○ 수소 공급을 위한 충전시설 등 제도적 인프라 구축

- 수소경제로의 전환을 위한 주요 인프라인 수소충전소는 수소 연료 전지차에 수소를 공급하는 장치를 보유한 시설
- 수소경제 활성화를 위해 정부에서 관련 기술 지원 정책 및 안정성을 위한 규제를 통해 국가 주도 수소경제 정착 지원

[그림 17] 지역별 수소경제 구축 추진 사례³⁰⁾



자료: 국토교통부

30) http://www.molit.go.kr/USR/NEWS/m_71/dtl.jsp?lcmepage=2&id=95083342

가. 수소생산 기술

□ 수소생산 기술은 1차, 2차 분류로 세분화하여 개발

- 수소생산을 위해 사용하는 원료로 1차 분류 진행하고, 사용된 에너지원을 기준으로 화학반응에 따라 2차 분류 진행
 - 1차 분류, 기준으로 구분되는 원료로는 화석연료, 물, 바이오매스, 폐자원 등
 - 2차 분류, 기준으로 구분되는 에너지원은 열, 전기 등

<표 12> 수소생산분류 방법

1차 분류	2차 분류	
원료	화학반응	에너지원
화석연료 이용	개질 반응	가스연료(LNG, LPG)
		부생가스
		합성연료(메탄올, DME)
	가스화	석탄/펄코크
	생물학적 전환	생물학적 CO 전환
바이오매스/폐자원 이용	가연성 폐자원 가스화	가연성 폐자원
	바이오매스 가스화	바이오매스
	생물학적 발효	생물학적 제재
물 분해	수전해(전기 분해)	알칼리(AEC)
		고분자 전해질(PEMEC)
		고체산화물(SOEC)
	광분해	광전기화학(PEC)
		광촉매
		광생물학
	열분해	열화학 사이클
		레독스 사이클
	원자력	초고온 가스로

자료: 수소 기술개발 로드맵(안)_범부처(2019.10.)

□ 현재 수소생산 기술은 부생수소, 개질 수소, 수전해 방식 위주

- 다양한 수소생산 기술 중 기술 기반이 확보된 부생수소와 개질 수소 기술력이 우세하나 친환경성을 확보를 위해 수전해 방식 기술개발 중
 - 부생수소는 석유화학 공정(나프타 분해), 제철 공정의 화학반응에서 부수적으로 생산되는 수소로 폐가스 활용한 방법
 - (장점) 생산공정에 추가설비 투자 비용이 필요 없어 경제성이 높음
 - (단점) 부산물로 발생하는 수소이므로 생산량에 한계가 존재하고 실제 활용을 위해 고순도화 공정 별도 필요
 - 개질 수소는 천연가스, 석탄, 석유 등 탄화수소계 화석연료를 촉매 반응을 통해 생성한 수소로 그레이 수소로 분류하고, 개질 수소에 CCUS³¹⁾ 기술과 결합하여 생산되는 수소는 블루 수소로 분류
 - 개질 반응은 수증기 개질, 부분 산화, 건식 개질, 열분해 등 반응 방법 중 수증기 개질 반응이 가장 널리 활용
 - 수전해 수소는 물을 전기화학 반응으로 분해하여 수소를 생산하는 방법으로, 전해질 종류에 따라 분류되며 대표적인 그린 수소의 일종

<표 13> 수소생산 방법별 특징

구분	정의	에너지원	특징	생산가격 (2018. 기준)
부생수소 (그레이 수소)	석유화학이나 제철 공정 화학반응에서 부수적으로 생산된 수소	주로 화석연료	- 폐가스 활용 - 정제 필요 - 생산량 확대 한계	~ 2,000원/kg
개질 수소 (그레이 수소)	화석연료를 활용하여 촉매 반응으로 생산된 수소	화석연료 (천연가스, 석탄)	- 대량생산 가능 - 저렴한 단가 - CO ₂ 발생 多	2,700 ~ 5,100원/kg
개질 수소 + CCUS (블루 수소)	개질 수소+CCUS 장치를 통해 발생된 CO ₂ 포집	화석연료 (천연가스, 석탄)	- CO ₂ 발생 少 - 포집된 CO ₂ 활용 필요	-
수전해 (그린 수소)	물 분해 방식으로 물에 전기를 가하여 수소, 산소 생성	신재생 에너지	- CO ₂ 발생 無 - 높은 단가 - 지역적 제한	9,000 ~ 10,000원/kg

자료: 관계부처 합동 「수소 기술개발 로드맵(안)」(2019.10.)

31) CCUS(Carbon Capture Utilization and Storage), 이산화탄소 포집·저장·활용

□ 주요국에서는 그린 수소생산을 위한 기술개발 진행 중

○ 대부분 국가에서 수전해 방법을 활용한 수소생산 기술개발 진행

<표 14> 주요국별 청정수소생산 기술개발 동향

국가	기업	기술	특징
미국	NREL	수전해 통합	- 물을 분해하여 수소를 추출하는 기술 - 재생에너지(태양광, 풍력) 및 수소, 연료전지 관련 기술 연구개발 선도 기관 - ESIF동 내 다수의 재생에너지 및 수소 이용 융복합 실증 연구 수행 · NREL은 Energy System Intergration Facility를 통해 재생에너지 연계 실증 플랫폼 연구 진행
	Giner	PEM 수전해	- 전해질 없이 순수한 물을 전기 분해하여 수소를 추출하는 기술로 전류 밀도가 높아 소형화 가능 - 미국 DOE의 R&D 지원하에 PEM 기반 연료전지 및 수전해 핵심 소재 기술 선도 기업 - kW-MW급 수전해 스택 및 시스템 개발 - NREL과 파트너십을 통해 재생에너지를 연계하는 P2G(~15MW) 실증 연구 수행
영국	ITM Power	PEM 수전해	- 전해질 없이 순수한 물을 전기 분해하여 수소를 추출하는 기술로 전류 밀도가 높아 소형화 가능 - 재생에너지 기반 수전해 수소 on-site 수소충전소 최초 설치(2015년, 로테르담) 후 다수 실증 설치 중 - Power to Gas(메탄화) 장치 실증(독일, 프랑크푸르트) - 다수 수전해, 연료전지 연구 및 실증 참여
프랑스	McPhy	PEM 수전해	- 전해질 없이 순수한 물을 전기 분해하여 수소를 추출하는 기술로 전류 밀도가 높아 소형화 가능 - 재생에너지 기반 수전해 수소 on-site 수소충전소 설치(2017년, Roland Roth) - 독보적인 고체 수소저장 기술 보유 - 다수 수전해, 충전소, Power to Gas 시스템 연구 및 실증 참여
독일	Juelich	알칼라인 수전해	- 전해질(알칼리성)을 이용해 물을 전기 분해하여 수소를 추출하는 기술 - 연구 센터의 헬름홀츠(Helmholtz) 협회 회원으로 유럽 최대 규모의 학제간 연구 센터 중 하나로 수전해, 연료전지 분야 전문 연구기관 - 수소에너지 연구 관련 다수 프로젝트와 연구 시설 평가 장비 보유
일본	Osaka Gas	개질 수소	- 도시가스 및 LPG를 수소로 개질하여 전기를 생산하는 기술 - 2000년대 초반부터 현장 생산방식의 수소생산유닛 개발을 진행하여 2014년 HYSERVE-300 개발 - 기존 HYSERVE-100의 용량을 3배 증가, 3대의 HYSERVE-100 대비 장치 가격 50%, 장치 크기 42% 절감

자료: 데이코산업연구소 「국내외 수소산업 전주기 밸류체인별 기술개발 동향과 사업화 전략」(2021.10.)

나. 수소저장 기술

□ 수소에너지를 다양한 분야에 활용하기 위해 안전하고 경제적인 저장 기술 필요

○ 안전하고 경제적인 방법 확보를 위해 기체, 액체, 액상, 고체 수소저장 기술개발 진행

- 기체 저장 기술은 수소 기체를 고압으로 압축하여 제한된 체적의 용기에 저장하는 방식

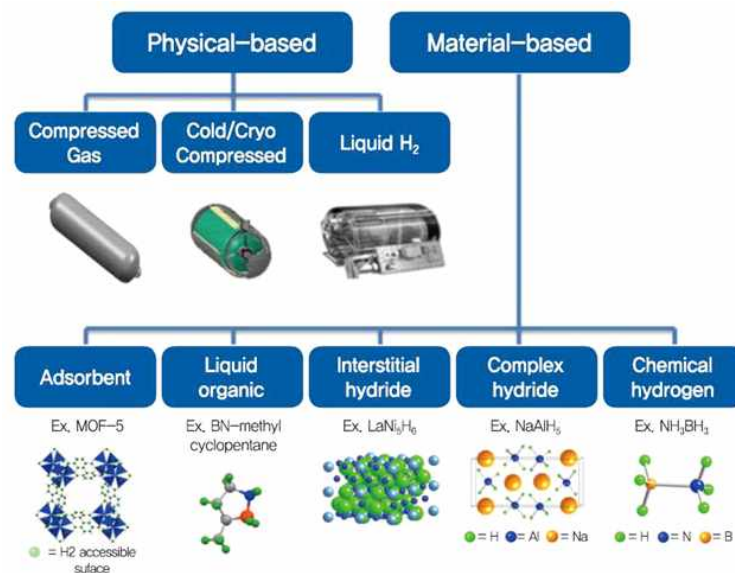
- 액체 저장 기술은 대기압에서 20K³²⁾(-253℃)의 극저온인 액체 수소를 저장하기 위하여 복합진공 단열 기술을 이용하는 기술

- 액상 저장 기술은 액상 유·무기 화합물을 이용하여 상온, 대기압 수준에서 대용량의 수소를 안전하게 저장하는 기술

- 고체 저장 기술은 수소를 고체 물질의 내부 또는 표면에 고체 형태, 낮은 압력으로 안전하게 저장하는 기술

○ 수소저장 기술은 수소차의 핵심 장치로 수소 충전·공급을 위해 필수적인 기술

[그림 18] 수소저장 기술 분류



자료: U.S. DOE(미국 에너지부, Department of Energy)

32) 1K=-272℃

□ 주요국에서는 안정적인 수소저장을 위한 기술개발 진행 중

○ 주로 액체, 액상, 고체 수소저장 기술에 대한 개발 진행 중

<표 15> 주요국별 수소저장 기술개발 동향

국가	기업	기술	특징
미국	Praxair	수소 액화 플랜트	- 수소 온도를 액체 상태인 -253°C까지 냉각하는 기술(액체 수소는 기체 수소에 비해 862배의 저장밀도, 고압 수소 가스의 2.8배의 높은 에너지 함량 보유) - 상용화된 수소액화기술 보유 - 6~35ton/d 급 플랜트 5기 이상 설치 실적 보유
	Air product & Chemicals	수소 액화 플랜트 N-heterocycles	- 수소 온도를 액체 상태인 -253°C까지 냉각하는 기술(액체 수소는 기체 수소에 비해 862배의 저장밀도, 고압 수소 가스의 2.8배의 높은 에너지 함량 보유) - 상용화된 수소액화기술 보유 - 30~35ton/d 급 플랜트 4기 이상 설치 실적 보유
독일	Linde	수소 액화 플랜트	- 수소 온도를 액체 상태인 -253°C까지 냉각하는 기술(액체 수소는 기체 수소에 비해 862배의 저장밀도, 고압 수소 가스의 2.8배의 높은 에너지 함량 보유) - 상용화된 수소 액화 기술 보유(전세계 충전 시장 진출) - 유럽, 미국, 일본에 약 150개 수소충전소 보급
	Hydrogenious Technologies	LOHC 수소화 및 탈수소화 시스템	- 액상 화합물에 수소를 저장하고 이 화합물에서 다시 수소를 분리하여 에너지원으로 이용하는 기술 - LOHC 기반 수소화 및 탈수소화 시스템 상용화 - 수소저장 플랜트: $5,000\text{Nm}^3/\text{h}$ 급 수소저장

국가	기업	기술	특징
프랑스	Air Liquide	수소 액화 플랜트	- 수소 온도를 액체 상태인 -253°C까지 냉각하는 기술(액체 수소는 기체 수소에 비해 862배의 저장밀도, 고압 수소 가스의 2.8배의 높은 에너지 함량 보유) - 세계 최대 수소저장 시설 운영(미국 텍사스주 버몬트 인근 수소저장 동굴) - 캘리포니아주 전역의 FEF 민간 충전소에 액화수소 공급 예정
호주	CSIRO	암모니아 분해 가스 수소 정제	- 멤브레인을 이용한 암모니아 분해가스 정제 기술
일본	Iwatani	수소 액화 플랜트	- 수소 온도를 액체 상태인 -253°C까지 냉각하는 기술(액체 수소는 기체 수소에 비해 862배의 저장밀도, 고압 수소 가스의 2.8배의 높은 에너지 함량 보유) - 일본 内 수소생산의 60%, 생산량의 50%를 LH₂로 공급
	치요다	LOHC 저장, 운송	- 액상 화합물에 수소를 저장하고 이 화합물에서 다시 수소를 분리하여 에너지원으로 이용하는 기술 - MCH를 수소 운반체로 활용, 선박을 이용하여 브루나이(수소화)와 일본(탈수소화)간 수소운송 실증 예정
	다이요 닛산	암모니아 분해 가스 수소 정제	- JST, 히로시마 대학 등과 PSA 기반 20Nm³/h 급 수소 정제 시스템 개발
	JSW	고체 저장 소재 기술	- 수소저장 합금에 고체상태로 수소를 저장하는 기술로 10기압 이하 낮은 기압에서도 안전하게 수소저장 가능(주변 온도와 압력 조절을 통해 저장된 수소 방출) - AB5 계열 소재를 이용한 고체 수소저장 시스템 개발

자료: 데이코산업연구소 「국내외 수소산업 전주기 밸류체인별 기술개발 동향과 사업화 전략」(2021.10.)

다. 수소운송 기술

□ 다양한 형태의 수소저장 및 운송 방식이 있으나, 현재 상용화된 기술은 고압 기체 수소 및 액체 수소운송 방식

○ 우리나라 수소 공급체계는 대규모 수요에 맞춰 공급하는 파이프라인 방식과 중·소규모 수요처를 대상으로 하는 실린더(용기) 또는 튜브 트레일러(카트리지) 방식으로 구분

- 파이프라인 방식은 주로 수소생산 시설과 인접하고, 파이프라인 연결 비용이 사용량 대비 효율성이 확보될 경우 주로 사용되는 방법

- 실린더 또는 튜브 트레일러 방식은 소량의 수소(실린더: 0.5~50kg, 튜브 트레일러: 200~300kg)를 응축시켜 강제로 만들어진 실린더 또는 카트리지에 저장하여 중·소규모 단위 공급

○ 수소충전소의 수소 공급방식에 따라 경제성 차이가 크게 발생하며, 부생수소 사용방식 중 튜브 트레일러 방식이 가장 저렴

<표 16> 수소 공급방식별 특징

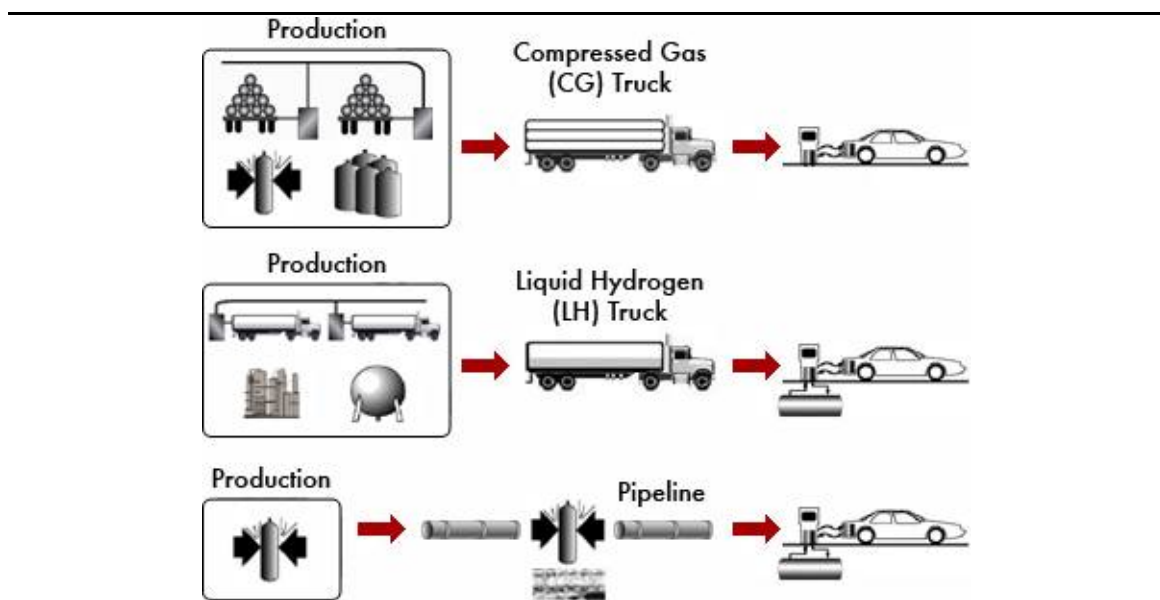
공급방식	생산·운송 형태	경제성				
		시설비	운송비	부대비용	가격 변동성	안전성
on-site (직접 생산)	개질	중	하	상	안정	상
	수전해	중	-	상	안정	상
off-site (부생수소)	파이프라인	상	하	하	불안정	중
	튜브 트레일러	하	상	하	불안정	하

자료: 광주과학기술원 「국내 수소 생산, 소비 및 유통 현황에 대한 분석 연구」(2018.01.)

○ 우리나라 수소 공급업체는 덕양, SPG, 린데코리아, 에어리퀴드 등이 있으며, 대용량 수소충전소 상용화 방식으로는 on-site 방식이 적합

- 에너지경제연구원에 따르면 2021년 우리나라에서 활용되고 있는 수소는 대부분 부생수소로 수소 파이프라인(93%) 또는 튜브 트레일러(7%) 등으로 유통
 - 우리나라 수소생산 능력은 2021년 기준 연간 약 192만 톤(울산 50%, 여수 34%, 대산 11%, 기타 5%) 정도지만 실제 생산량은 약 164만 톤 (정유, 석유화학 업체 자체 소비 141만 톤 + 외부 활용 23만 톤)
 - 외부 유통물량은 제강산업(철강 압연 시 표면처리, 비철금속 환원용 가스, 스테인리스 냉연 가공 시 표면처리)이나 반도체(실리콘 반도체, 디스플레이 제조 공정) 등에 사용
 - 수소 파이프라인은 약 193km로 울산·여수·대산 등 석유화학단지 내에서 산업체 사용에 외부 활용 수소의 93%(약 21만 톤) 공급
 - 외부 유통 물량 중 7%(약 1만 7,000톤)가 총 500여 대의 튜브 트레일러를 통해 공급
 - 2023년 액체 수소를 통한 운송 실증 예정

[그림 19] 수소운송 기술 분류



자료: U.S. DOE(미국 에너지부, Department of Energy)

□ 주요국에서 안정적인 수소운송을 위한 기술개발 중

○ 운송 형태별 세분화된 핵심 기술개발 진행 중

<표 17> 주요국별 수소저장 기술개발 동향

국가	기업	기술	특징
미국	CPI	저장탱크	- 고압 수소 가스를 안전하게 저장하는 기술 - 수소 충전용 수소저장탱크 공급
	Haskel	고압 밸브	- 수소 가스의 유량, 압력 등을 제어(약 700bar)하여 고압으로 공급되는 수소 가스를 제어하는 기술 - 수소용 고압 밸브류 공급
일본	Fujikin	고압 밸브	- 수소 가스의 유량, 압력 등을 제어(약 700bar)하여 고압으로 공급되는 수소 가스를 제어하는 기술 - 수소용 고압 밸브 공급
스페인	Butech	고압 피팅류	- 수소의 누설을 방지하는 이음 도구 - 수소용 고압 피팅류 공급
스위스	Rheonics	수소 계량기	- 수소 충전 및 사용 시 점도 및 밀도를 정확하게 측정하는 기술 - 현재 사용 중인 수소 계량기 공급
독일	WEH	수소 주입기	- 고압의 수소 가스를 안전하고 빠르게 주입해주는 장치로 주입 시 질소를 넣어 노즐 결빙 문제 해결 - 수소충전소용 디스펜서의 주입기 공급

자료: 데이코산업연구소 「국내외 수소산업 전주기 밸류체인별 기술개발 동향과 사업화 전략」(2021.10.)

라. 수소 활용 기술

□ 수소 활용의 한 분야로 수소 기반 에너지를 발생하는 연료전지 존재

- 수소 연료전지는 수소를 포함한 연료와 공기 중 산소의 전기 화학반응을 통해 화학에너지를 전기에너지로 직접 변환하는 장치
 - 연료전지 전기 발전효율은 30~40%, 열효율 40% 이상으로 총효율 70~80%으로 높은 수준
- 연료전지 시스템은 MBOP(Mechanical Balance of Plant), Stack, EBOP(Electrical Balance of Plant)로 구성
 - MBOP는 연료공급 시스템, 공기공급 시스템, 수처리 시스템으로 구분
 - Stack은 연료극/전해질/공기극으로 구성되며 수소-산소의 전기화학 반응으로 전기, 열, 물을 발생시키는 핵심부품
 - 연료전지 본체 Stack은 단위 셀(Unit cell)을 적층한 것으로 전해질 (Membrane) 중심으로 전극(연료극, 공기극)이 양쪽에 위치
 - EBOP는 전력 변환기로 Stack에서 발생한 직류전기를 교류 전기로 변환해서 최종적으로 전기를 공급하는 역할로 변압기, 차단기로 구성

<표 18> 연료전지 구성

기술 분류	세부 분류	구성 부품
MBOP	연료공급 시스템	개질기, 액체펌프, Prox 펌프, 블로워, 냉각수 펌프, 열 교환기, 온도 센서, 방열 팬, 배열회수 펌프 등
	공기공급 시스템	저온 블로워, 고온 블로워, 공조기, 마이크로 필터, 온도 센서 등
	수처리 시스템	개질수 펌프, 냉각수 펌프, 가습기, 습도 센서 등
Stack		연료극, 전해질, 공기극 등
EBOP	전력변환 시스템	DC-AC 인버터, 스위칭 소자, 압전 소자, 변압기, 전력 변환기
	신호처리 시스템	센서, 릴레이, 차단기
	전압 및 전류제어 시스템	DC-AC 컨버터, 과전류 보호 장치, 과전압 제어 장치, PCS 출력제어

자료: 메리츠증권증권

□ 수소 연료전지는 전해질 종류에 따라 분류

○ 전해질 종류에 따라 크게 6종류로 분류하여 개발

<표 19> 연료전지 종류

세대	1세대	2세대		3세대		
분류	알칼리 연료전지 (AFC)	인산형 연료전지 (PAFC)	용융탄산염 연료전지 (MCFC)	고체산화물 연료전지 (SOFC)	고분자 전해질 연료전지 (PEMFC)	직접 메탄올 연료전지 (DMFC)
전해질	수산화칼슘	인산염	탄산염	세라믹	이온교환막	이온교환막
촉매	니켈	백금	페로브스카이트	니켈	백금	백금
동작온도	120℃ 이하	250℃ 이하	700℃ 이하	1,200℃ 이하	100℃ 이하	100℃ 이하
	저온형	저온형	고온형	고온형	저온형	저온형
효율(%) HHV	85	70	80	85	75	40
용도	우주발사체	중형 건물	중대형 건물	소·중·대용량	가정·산업용	소형 이동 수단
	전원	200kW	100kW~MW단위	발전(1kW~MW)	1~10kW	1kW이하
특징	-	- CO 내구성 큼 - 열병합 대응 가능	- 발전효율 높음 - 내부개질 가능 - 열병합 대응 가능	- 발전효율 높음 - 내부개질 가능 - 복합발전 가능	- 저온 작동 - 고출력 밀도	- 저온 작동 - 고출력 밀도
국내 기업	-	- 두산 - 에스퓨어셀	- 포스코 에너지	- STX 중공업 - 경동나비엔	- 두산 - 에스퓨어셀	- 프로파워

자료: 한국과학기술기획평가원(KISTEP), 한국에너지공단, H2World 웹사이트

□ 수소 연료전지 종류별 특징 보유

○ 장점을 극대화하고 단점을 보완하는 기술개발 필요

<표 20> 수소 연료전지 종류별 특징

종류	단계		내용	장점	단점
	국내	해외			
PEMFC	상용	상용	- 고분자 막을 전해질로 사용하는 연료전지	- 희소금속 소량 사용으로 재료선택 용이 - 전해질 비휘발성 성분 - Cell 제작 및 운전 용이 - 저온 작동 및 고출력 밀도	- 수소 불순물 제거 어려움 - 높은 백금 촉매 함량 필요 - 연료 개질이 복잡
DMFC	실증	상용	- 고분자 막을 전해질로 사용하며 연료처리장치 없이 메탄올을 직접 사용하는 연료전지	- 장치가 간단하여 소형화 가능 - 높은 연료 에너지 보유 - 연료 보충 용이 - 저온 작동 및 고출력 밀도	- 메탄올 산화에 대한 낮은 전극 활성 발생
PAFC	상용	상용	- 인산을 전해질로 사용하는 연료전지	- 높은 CO(일산화탄소) 내구성	- 과다한 백금 촉매 사용량 요구 - 느린 환원 반응 속도
MCFC	상용	상용	- 용융탄산염을 전해질로 사용하는 연료전지	- CO 함유율에 대한 영향 없음 - 고가 촉매 불필요 - 높은 발전 효율	- 연료 중 유황성분 존재 - 음극 반응에 CO ₂ 필요 - 높은 재료 수명 필요
SOFC	실증	상용	- 고체산화물을 전해질로 사용하는 연료전지	- CO 함유율에 대한 영향 없음 - 고가 촉매 불필요 - 높은 발전 효율	- 고가의 제작 비용 - 재료 및 전해질 선택이 상대적 까다로움

자료: 한국수출입은행, 녹색기술센터

□ 주요국별 수소 연료전지 기술 동향

○ 주요국별 프로젝트 프로그램을 기반으로 기술개발 진행 중

<표 21> 주요국별 수소 연료전지 기술³³⁾

(단위: 백만 달러)

국가	프로그램	대상 분야	내용	투자 기간	예산
미국	Hydrogen and Fuel Cell	수송용	수소 제조·운송·저장 기술, PEFC 기술, 기술 타당성 검증, 안전 표준, 법제화 등	2020	160
	Basic Science	수송용	수소, 연료전지 기초 원천기술		15
	SECA (Fossil Energy)	발전용	SOFC 기술		53
	Nuclear	수소 제조	열화학 수소 제조 기술		11
	APPA-E	수소 연료전지	혁신 기술		36
일본	연료전지를 활용 R&D 기술개발	연료전지	가정·수송·건물용 연료전지 실용화 기술개발	2020	120
	수소 공급망 구축 실증 프로젝트	에너지	국내외 미사용 에너지를 활용한 수소 공급망 구축		141
	수소 공급 인프라 구축 R&D	인프라	수소 충전소 등 인프라 구축		30
유럽	FCH 2 JU	수송, 발전, 건물용	2050 탄소중립 경제로 전환을 목표로 수소 연료전지 실증	2014~2020	1,500
독일	NIP II	수송, 발전, P2G	수소차, 수소 버스, 수소충전소, 가정용 연료전지 실증, 시장 확대	2016~2026	1,600

자료: 한국과학기술기획평가원(KISTEP)

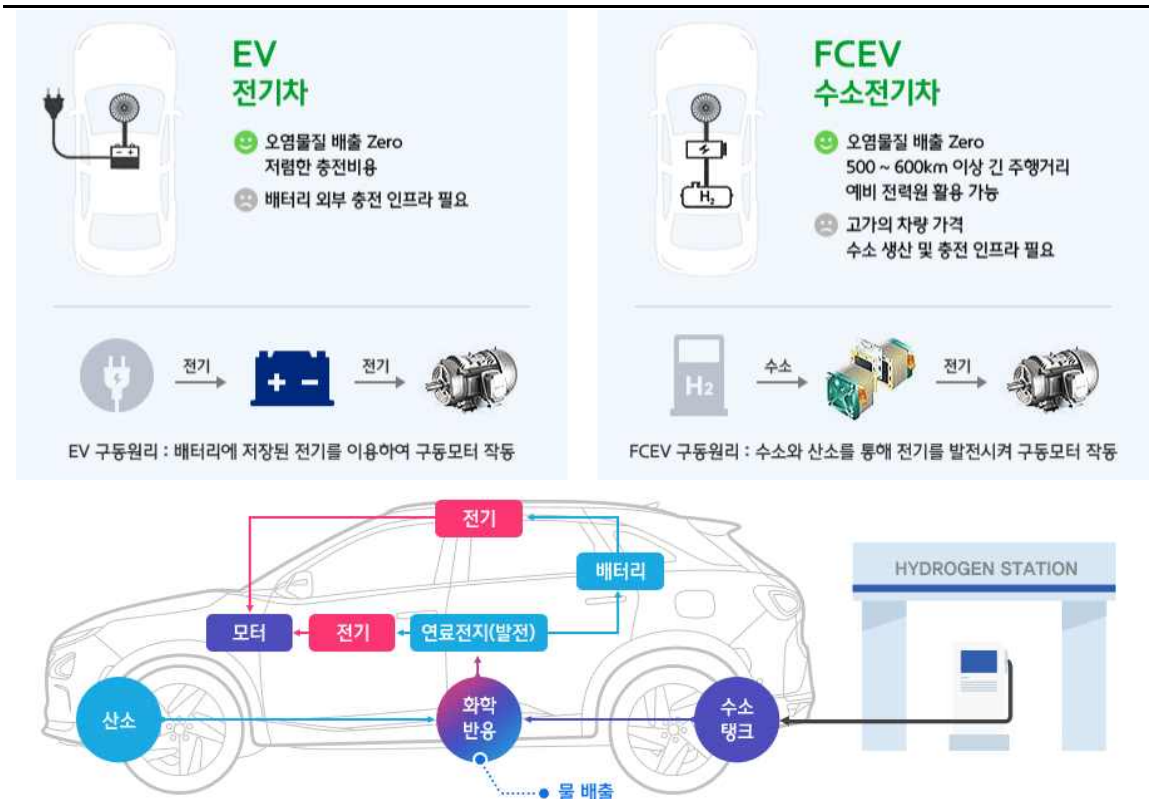
33) 우리나라와 분류체계 등이 다를 수 있으므로 비교 시 유의할 필요

□ 수소 연료전지 활용이 가장 활발한 수소차 기술

○ 탄소중립 목표 달성을 위해 무공해 자동차 기술개발 진행

- 온실가스 多 배출 분야인 수송부문에서 온실가스 감축을 위해 전기차 및 수소차가 대안으로 부상
- 수소차는 수소를 수소탱크에 충전하여 수소와 산소를 연료전지에서 반응시켜 전기를 발생시켜 모터를 구동하여 운행하는 차량
- 수소차는 기존 내연기관 차량과 다르게 온실가스·배기가스가 발생하지 않고, 운행 중 물만 배출하며 미세먼지를 포집하여 정화하기 때문에 친환경성이 매우 뛰어난 특징 보유

[그림 20] 전기차 및 수소차 작동 원리³⁴⁾



자료: 현대자동차

34) <https://www.kbchachacha.com/public/magazine/detail.kbc?magazineSeq=11869&etc9=>

○ 동력원이 전기이며 모터에 의해 구동되는 기계적 구조

- 수소차와 전기차 모두 전기를 활용하는 공통점
- 수소차는 수소의 화학반응으로 생산된 전기를 사용하고, 전기차는 배터리에 충전된 전기를 사용한다는 차이점 존재
- 수소차는 1회 충전 주행가능거리와 충전 소요 시간에 장점이 있으며, 전기차는 차량, 연료 가격 및 충전 인프라 구축에 장점

[그림 21] 전기차와 수소차 특징 비교³⁵⁾

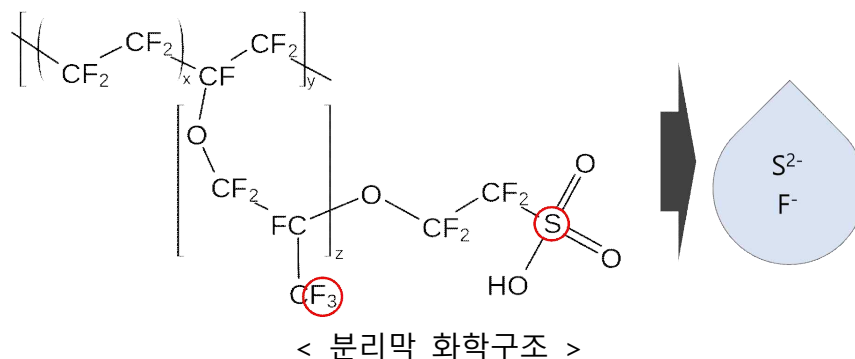
	아이오닉5	넥쏘	비고
가격	3,780만원 대	3,745만원 대	서울시 보조금 적용 기준
충전시간	18분	5분	아이오닉5 80% 충전 기준
완충 시 주행거리	최대 430km	최대 609km	아이오닉5 롱레인지 후륜 구동 기준
최대 출력	160kW	113kW	
충전 인프라	6만 2,789기	53기	
연료비	약 2,700원/100km	약 8,800원/1kg	

자료: 현대트랜시스

참고 : 수소차 배출물

○ 수소차는 수소와 공기(산소)의 화학반응을 통해 전기와 물 생산

- 공기 중 질소(N_2)로 인하여 불완전 연소 시 소량의 질소산화물(NO_x) 가스 발생
- 연료전지 스택 분리막의 재료를 구성하는 황(S)과 플루오린(F)이 이온 상태로 물과 함께 배출



35) <https://blog.hyundai-transys.com/144>

마. 수소 인프라 기술

□ 효율적인 수소 공급을 위해 수소충전소 인프라 구축 필요

- 수소충전소는 주로 수소차를 위한 인프라 기술로 연료전지와 수소차에 수소를 공급하는 시설
 - 수소 충전 방식은 LPG, CNG 충전소와 매우 유사한 구조로, 현재 수소 충전소 1개소당 설치 가격은 일반 충전소 기준 약 20~30억 원 수준
 - 충전소 수소 생산 방식은 화석연료(천연가스, 나프타, LPG) 개질형과 물의 전기 분해, 원자력 수소, 재생에너지로 수소를 제조하는 형태로 분류
 - 수소저장방식은 압축 수소, 액체 수소, 액상 수소 등으로 구분

<표 22> 수소 인프라 기술 분류

수소생산방식			충전 방식	비고
고정형 충전소	on-site (직접 생산)	수증기 개질	CGH ₂	천연가스/메탄/메탄올/LPG
		물 전기 분해	CGH ₂	풍력/태양력/일반전력
	off-site (외부 수급)	액체 수소 수급	IH ₂	액체 수소 직접 충전
			IGH ₂	압축기체 수소로 변환 후 충전
		기체 수소 수급	CGH ₂	실린더 수급
			CGH ₂	트레일러 수급
			CGH ₂	파이프라인 수급
이동형 충전소	on-site (직접 생산)	수증기 개질	CGH ₂	천연가스 등
	off-site (외부 수급)	액체 수소 수급	IH ₂	액체 수소 직접 충전
			ICGH ₂	압축기체 수소로 변환 후 충전
		기체 수소 수급	CGH ₂	실린더 수급

자료: 포스코경영연구원

Ⅲ. 주요국 수소경제 정책 추진현황

1. 미국

<표 23> 미국 수소경제 생태계별 특징

구분		특징
생산	그린	- DOE 기초기술 연구를 통한 높은 기술 수준 보유 - 신재생에너지 자원을 바탕으로 청정수소 생산 능력 우수 - 지속적인 투자를 통해 그린 수소 생산가격 저감 목표 - 원자력 기반 청정수소 생산 프로젝트 실시
	블루	- 풍부한 화석연료로 산업계에서 CCUS 기술로 블루 수소생산
저장	기체	- 소금 동굴을 활용한 대규모 수소저장 시설 조성 계획 수립
	액체	- 저장 효율을 높이기 위해 수소 압력-압축을 통한 저장 기술개발
	액상	-
	고체	- 금속 수소화물 및 화합물질에 수소저장·흡착 저장 기술개발 중
운송	파이프라인	- 전 세계 수소 파이프라인 절반 이상이 분포되어 있으며 수소운송 기초 연구 우수
	튜브 트레일러	- 단거리 운송을 위한 운송 기술개발 중
	탱크 로리	- 장거리 운송을 위한 운송 기술개발 중
활용	모빌리티	- 화물 트럭 등 상용차에 연료전지 적용 프로젝트 실시
	발전	- 발전 분야에 저렴한 가격에 생산한 청정수소를 대규모로 활용 계획 - 다양한 설비에서 하이브리드 형태의 에너지원으로 활용
	산업	- H2@Scale을 통해 수소 산업 활용 분야 발굴 - 탄소중립 달성을 위해 온실가스 다배출 분야에 에너지원으로 적용
인프라	충전소	- 인프라 법 통과로 수소 충전 인프라 확대 및 대규모 투자 계획 수립
	안전, 인증 및 표준화	- 수소 관련 국제표준 선도 및 충전 기술 특허 다수 보유
전략		- 미국 수소경제 전략 핵심은 수소생산과 발전 분야 활용 - 에너지부 중심의 R&D 연구로 수소경제 전반에 대한 기초 연구 우수

□ 미국 수소경제 개요

- 2020년 3월 발표한 「Road map to a US Hydrogen Economy」를 통해 수소경제에 대해 정의
 - 해당 자료에서 “수소는 저탄소 에너지 중 하나로 환경과 건강에 이로운 중요 에너지원”³⁶⁾으로 정의
- 해당 자료에서 연료전지와 수소 기술을 포함하여 수소 산업을 미래 국가 에너지 중심축으로 언급
 - 미국은 1969년 연료전지와 수소 기술에 대한 중요성을 인식하였으며, 그 범위를 생산, 운송, 저장, 활용으로 구분³⁷⁾

[그림 22] 미국 수소 전략 및 계획



자료: Department of Energy Hydrogen Program Plan(2020.11.12.)

36) Hydrogen is critical for a lower carbon energy mix. Hydrogen gas significant environmental and health benefit

37) commercializing a wide range of technologies that produce, deliver, store, and utilize hydrogen across applications and sectors.

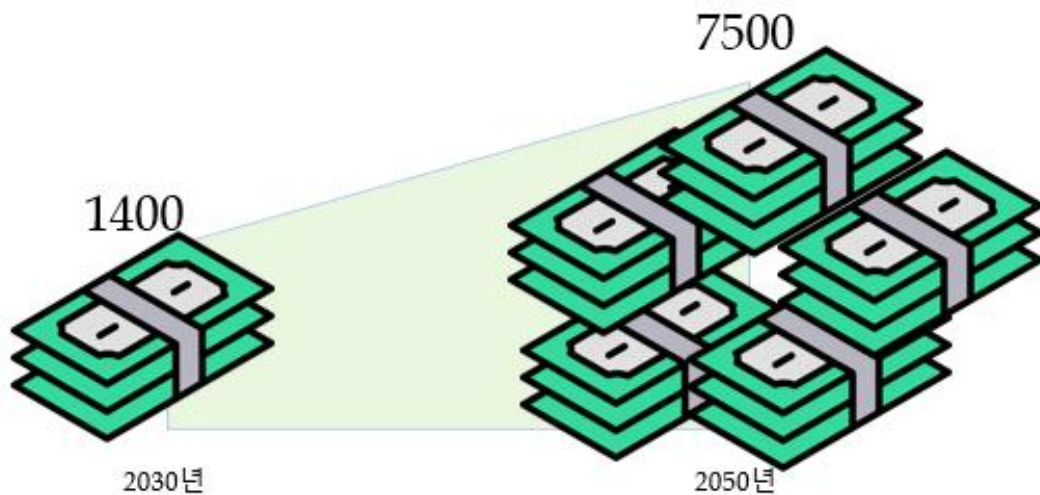
□ 미국 수소경제 시장 규모

○ 미국 수소경제 규모는 2020년 기준 450억 달러 이상

- 미국 내 수소 소비량은 지속 증가³⁸⁾(2020년 1,140만 톤→2030년 1,400만 톤 → 2050년 4,100만 톤) 예상
- 친환경 정책을 바탕으로 미국은 거대 수소 시장으로 성장이 예상

[그림 23] 미국 연방정부 수소경제 조성 목표

(단위: 억 달러)



자료: 미국 연료전지 및 수소 협회(2021.04.)

- 미국 투자은행 골드만삭스는 수소 산업 관련 제품까지 고려하는 경우 2050년까지 12조 달러 규모의 시장을 형성할 전망

○ 기술 분야별 규모

- 수소생산 부문에서 미국은 2020년 기준 글로벌 2위 수소생산시장으로 규모는 2025년 359억 달러를 달성할 것으로 예상
- 수소저장 부문에서 미국은 2024년까지 약 79억 달러 규모로 전망되며, 연평균 6.7% 수준으로 성장할 전망
- 수소운송 부문에서 미국은 2020년 기준 약 2,608km 규모의 파이프라인이 구축되어 있으며, 미국 내 파이프라인은 쉰 세계 수소 파이프라인 중 절반 이상(57.4%) 차지

38) 미국 수소경제 중장기 목표

- 수소 활용 부문에서 미국은 현재 세계 최대 원유 생산국 위치를 유지하고 있어, 정유 분야에 수소 수요가 집중된 구조

<표 24> 미국 수소경제 생태계 주기별 규모³⁹⁾

(단위: 백만 달러, %)

주기	금액	점유율	연평균 성장률
생산 (2020년)	23,225	17.9	9.1
저장 (2019년)	5,702	41.4	6.7
소비 (2020년)	17,600	13.0	2.1

자료: IEA, FCHEA, MarketsandMarket

39) 우리나라와 분류체계 등이 다를 수 있으므로 비교 시 유의할 필요

□ 미국 수소경제 관련 주요 법안

- 에너지 강국인 미국은 향후 수소경제 체제에서 지속 성장을 위해 적극적인 기술 투자 및 정책 마련
 - 1992년 10월 Energy Policy Act에 따라 DOE는 수소 및 연료전지 관련 연구 및 개발 권한 담당 기관으로 지정
 - 2001년 5월 National Energy Policy를 통해 DOE를 수소에너지를 포함하는 차세대 기술개발 권한 담당 기관으로 지정
 - 2005년 8월 Energy Policy Act에 따라 DOE는 타 부처와 협력해 수소·연료전지 연구 및 개발 프로그램 진행 권한 확보
 - 미국은 현재 DOE 주관으로 수소경제로 전환을 위한 “H2 Scale*” 프로젝트 진행
 - * 미국이 수소생산, 활용에 어떤 자원을 이용하고 효과적으로 활용할지에 관한 연구
 - 2020년 DOE를 중심으로 청정 수소에너지 기술 상용화와 관련 기술을 산업 전반에 융합하는 목표로 「Road map to a US hydrogen economy」 발표

<표 25> 미국 수소경제 관련 주요 법안

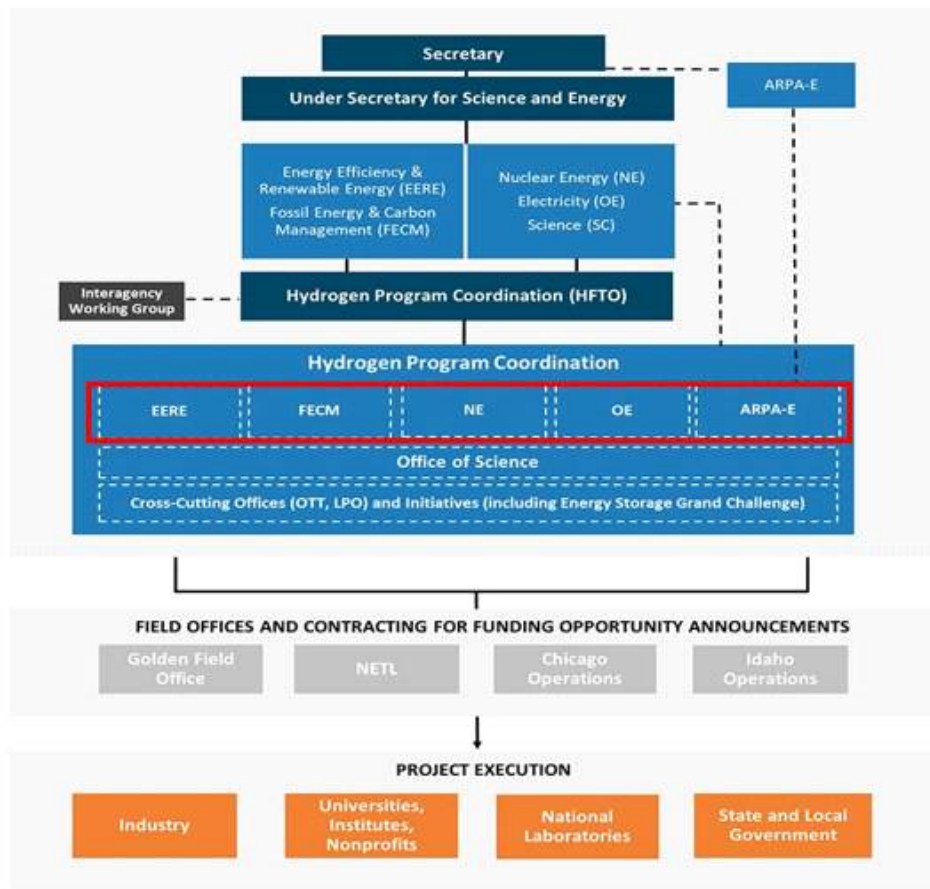
연도	법안 명	주요 내용
1976	Electric and Hybrid Vehicle Research, Development, And Demonstration Act of 1976	- 전기차 및 하이브리드 차량 연구, 개발, 시연
1990	Spark M. Matstunaga Hydrogen Research, Development and Demostration Act of 1990	- 5개년 수소 R&D 프로그램 및 관련 자문위원회인 HTAP(Hydrogen Technical Advisoty Panel) 설립 및 운영
1992	Energy Policy Act(EPAct) of 1992	- 1992년 에너지 정책법
1996	Hydrogen Future Act of 1996	- 1996년부터 2001년까지 16억 달러를 수소의 생산, 저장, 이용 등에 관한 연구 및 실증사업 투자
2001	National Energy Policy	- 신재생에너지 관련 법제, 국가 에너지 법
2005	Energy Policy Act of 2005	- 2005년 에너지 정책법
2007	Energy Independence and Security Act of 2007	- 2007년 에너지 독립과 안보법

자료: U.S. DOE(미국 에너지부, Department of Energy)

□ 미국 수소경제 정책 추진 체계

- 미국은 연방정부 기관인 DOE를 중심으로 수소경제 추진

[그림 24] 미국의 수소경제 추진 조직



<표 26> 주요 부처별 역할

부처 명	역할
EERE(Department of Energy Efficiency and Renewable Energy)	- 청정수소 생산 및 저장 관련 프로젝트 진행
FECM(Office of Fossil Energy and Carbon Management)	- 기술적 영역에 초점을 맞춘 프로젝트 지원
NE(Nuclear Energy)	- 고온 전기 분해에서 핵연료 생산을 지원하는 첨단 수소생산프로젝트
SC(Science)	- 수소저장 및 저장 기초 연구 지원
ARPA-E(Advanced Research Program Agency-Energy)	- 수소용 및 에너지 저장용 이차전지 R&D 등 혁신 기술개발 지원

자료: U.S. DOE(미국 에너지부, Department of Energy)

□ 미국 수소경제 예산

- DOE에서 수소 관련 프로그램을 관리하며, 예산은 지속 증가하는 추세
 - DOE의 EERE(에너지효율 신재생에너지부)는 미국의 에너지 효율화 및 신재생에너지 전담 사무국으로 에너지 효율화 및 신재생에너지 연방 정부 프로그램을 운영하고 있으며 Strategic Management system을 통해 효율적인 프로그램 관리 시도
 - 2020년 DOE는 수소·연료전지 개발 및 연구를 위해 DOE 각 부서에 약 27억 달러 편성, 지원
 - 2021년 11월 「초당적 인프라 투자법(Bipartisan Infrastructure Law)」 통과로 수소 분야에 5년간 약 95억 달러* 예산 확보
 - * 청정수소 허브 구축 80억 달러, 수전해 프로그램 10억 달러, 청정수소 제조 및 재활용 이니셔티브에 5억 달러 등으로 편성

<표 27> 미국 수소 관련 예산 편성 현황⁴⁰⁾

(단위: 천 달러)

회계연도	EERE	FECM	NE	SC	ARPA-E	총 계
FY14	89,518	25,000	0	19,922	-	134,440
FY15	94,830	30,000	0	18,499	-	143,329
FY16	98,479	30,000	0	25,749	39,300	193,528
FY17	98,115	30,000	1,255	25,699	47,000	202,069
FY18	110,804	30,000	4,000	20,552	19,700	185,056
FY19	115,870	30,000	11,200	20,900	24,200	202,170
FY20	160,880	53,000	11,000	15,485	36,400	276,765

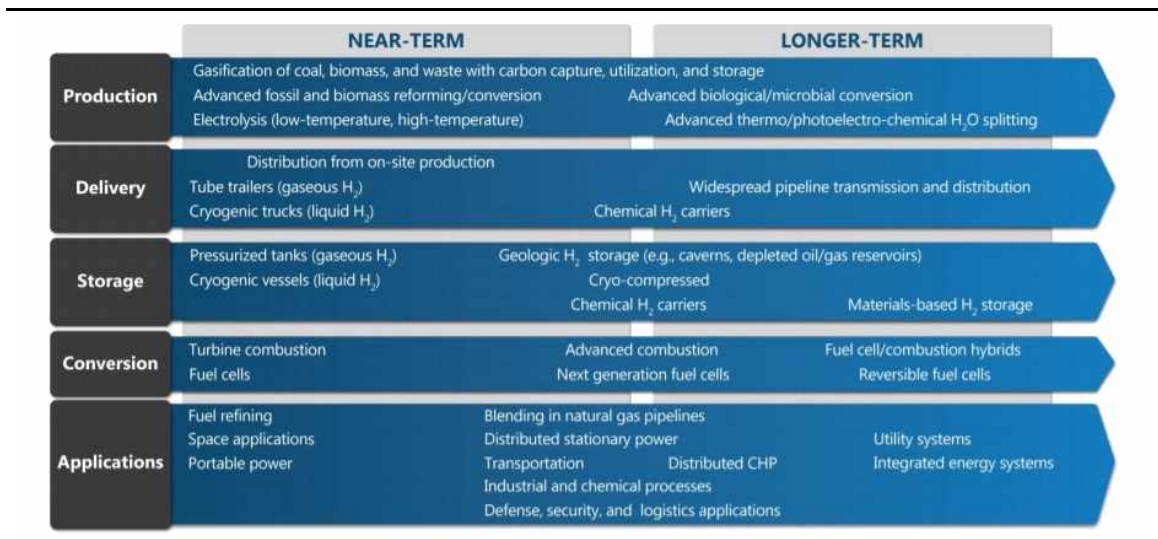
자료: U.S. DOE(미국 에너지부, Department of Energy)

40) 우리나라와 분류체계 등이 다를 수 있으므로 비교 시 유의할 필요

□ 미국 수소경제 정책 동향

- 미국은 수소경제 실현을 위한 과정을 4단계로 구분하여 단계별 과제와 행동계획 발표
 - 1단계(2000~2015) 기술개발 단계: 본격적인 인프라 투자에 앞서 애로 기술의 해결과 안정성 확보 및 교육 홍보, 기술 및 제품 평준화
 - 2단계(2010~2025) 초기시장침투 단계: 휴대용, 가정·상업용, 수송용 시스템 사업화와 정부 주도 인프라 투자 개시
 - 3단계(2015~2035) 시장 확대 및 인프라 정비 단계: 발전용, 수송용 연료전지의 상업화 및 인프라의 상업적 운영
 - * 트럼프 행정부 시기의 반기후 정책 이후, 바이든 행정부 시기에서 수소 경제 정책 방향을 트럼프 행정부 이전 시점으로 회복하는 단계로 진행
 - 4단계(2025~진행 중) 수소경제의 실현 단계: 연료전지 시장 성숙과 수소 공급 인프라 완비로 수소경제 정착

[그림 25] 분야별 미국 단, 장기 계획

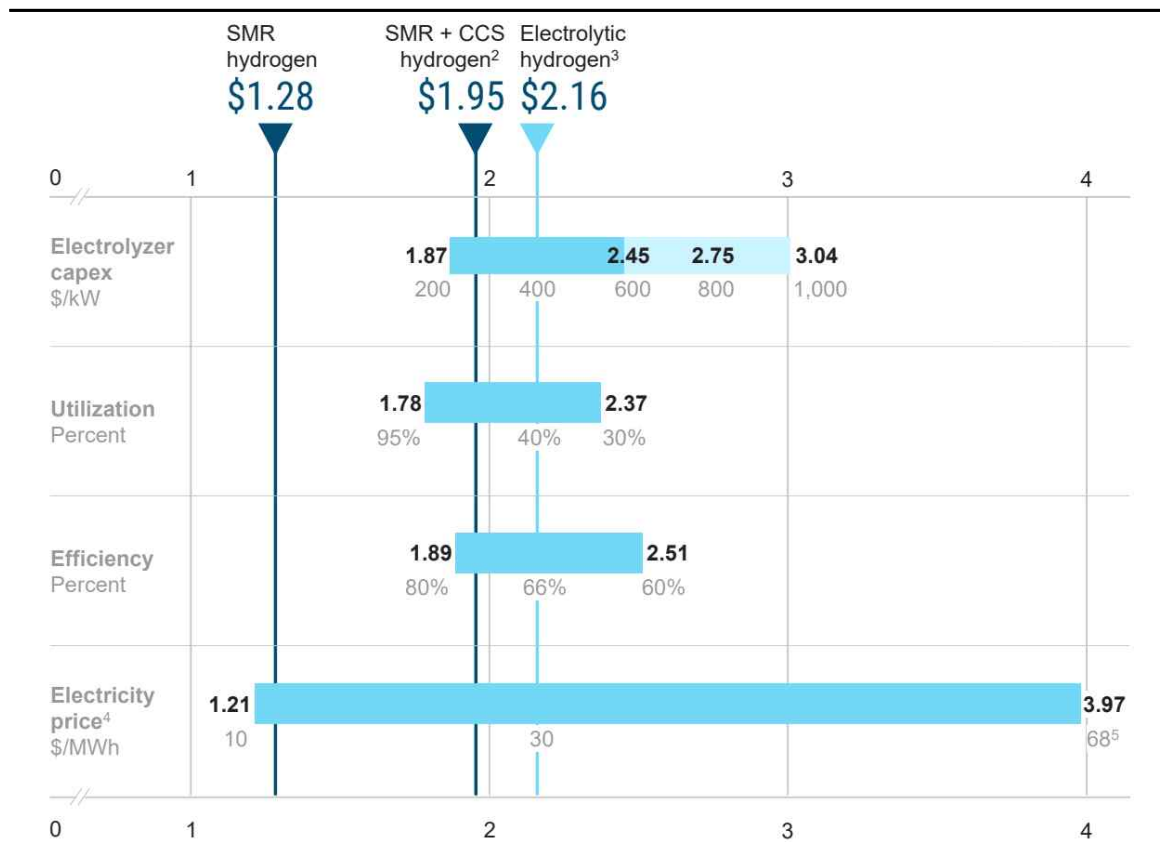


자료: U.S. DOE 「Department of Energy Hydrogen Program Plan」(2020.11.)

□ 미국 수소경제 전략 동향

- 2020년 12월 DOE에서 발표한 「Department of Energy Hydrogen Program Plan」에서 수소경제 생태계별 R&D 계획 발표
- 수소경제 활성화를 위해서는 청정·저탄소(low-carbon) 수소를 낮은 가격(low-cost)으로 생산 필요
 - 수전해 기술 중 알칼라인(alkaline) 또는 PEM 수전해 기술을 활용하여 저탄소 수소생산 활동 진행 중
 - 2030년까지 수전해 효율을 60~80% 수준으로 상승시키며, 상용화된 SMR 기술을 통해 수소생산에서 발생하는 비용을 저감하는 전략 수립
 - 미국이 보유한 풍부한 자원을 활용한 철강, 정유, 화학 및 플라스틱 산업에서 CCS 기술을 활용한 수소생산
 - 향후 수전해 기술 발전을 통한 수소와 SMR 기술로 생산한 수소의 가격이 비슷하게 형성되도록 노력

[그림 26] 미국의 수소생산 비용 시나리오 2030



자료: U.S. DOE 「Road map to a US Hydrogen Economy」(2020.11.)

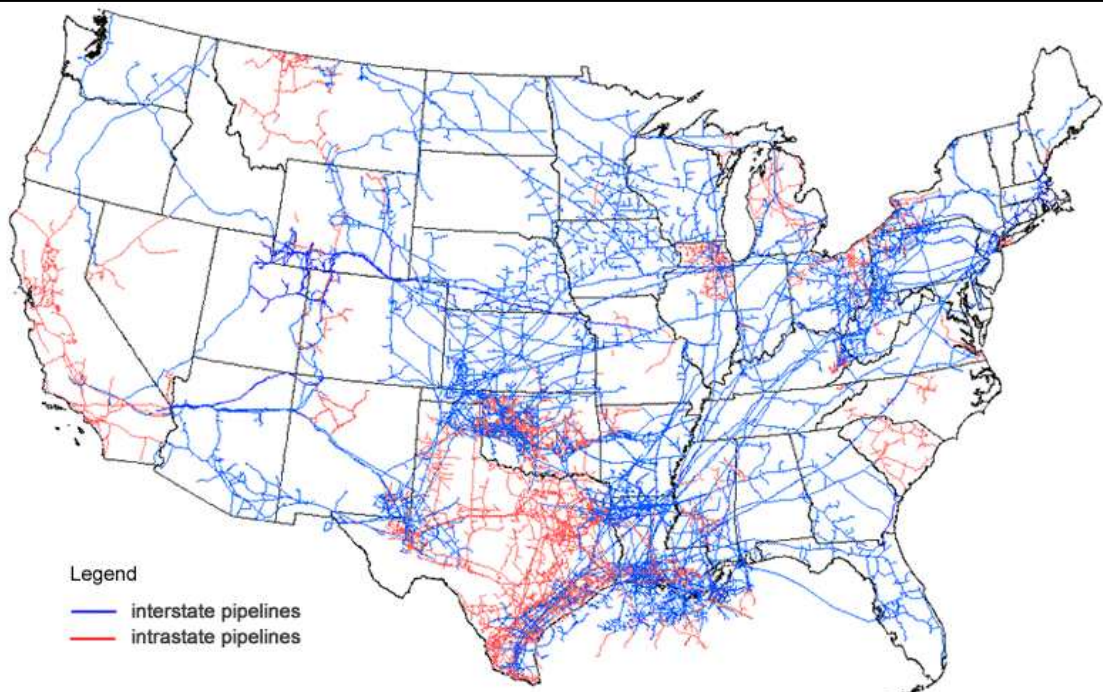
- 저장 및 운송 부분은 파이프라인과 liquid and gaseous trucking을 통해 운송 계획을 수립하였으며 수소저장 분야를 Physical-based*와 Material-based**로 구분하여 기술개발

* Physical-based: 가장 발달한 수소저장 기술로 압력-압축을 통해 탱크에 수소를 저장하는 기술

** Material-based: 금속 수소화물 및 화학 물질에 수소를 저장·흡착시켜 수소를 저장하는 기술

- 국토 면적이 넓은 미국에서 수소를 효과적으로 운송하기 위해서는 파이프라인을 통해 2,000~3,000kg/day 규모를 운송하는 것이 가장 효율적
- 장거리로 많은 양의 수소를 운송하기 위해서는 액체 형태 수소를 트럭을 통해 운송하고, 단거리로 소량의 수소를 저렴한 가격으로 운송하기 위해서는 기체 트럭을 통해 운송하는 것이 효과적
- Physical-based의 고압 기체, 액상, 액체를 통한 저장 기술 및 Material-based의 가역 반응과 비가역 반응을 통한 수소저장 기술을 연구개발 중

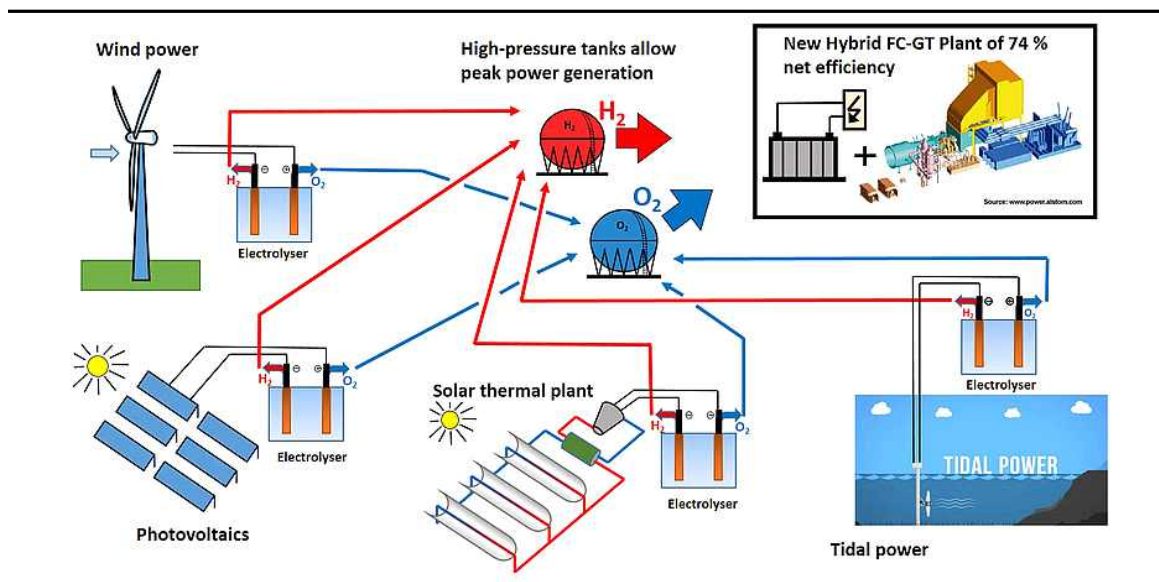
[그림 27] 미국 천연가스 파이프라인 공급망



자료: U.S Energy Information Administration(2021.11.)

- 수소 활용과 관련하여, 수소를 수송(항공, 선박, 트럭 등), 발전, 산업 및 제조업 등 다양한 분야에서 에너지원으로 사용되도록 추진
- 수송 부문은 미국에서 온실가스를 세 번째로 많이 배출하는 부분으로, 수소 연료전지를 통해 온실가스 배출을 저감하여 탄소중립 달성 계획의 수단으로 적용되도록 추진
- 발전 부문의 다양한 설비에서 사용될 계획이며 하이브리드 (Hybrid) 등 다양한 형태 도입 고려
- 화학 산업을 비롯한 산업계의 자발적인 온실가스 多 배출 분야에서의 저감을 위한 RE100 프로젝트 등의 탄소중립 달성에 수소 에너지를 적용하는 계획 수립

[그림 28] 하이브리드 형태 수소발전(Hybrid Hydrogen energy system 예시)⁴¹⁾



자료: TU Graz University of Technology

41) <https://www.tugraz.at/tu-graz/services/news-stories/planet-research/einzelansicht/article/contributions-to-a-future-energy-system-based-on-renewable-energy-and-hydrogen/>

- 바이든 행정부는 2021년 11월 「인프라 투자 및 일자리 법안 (Infrastructure Investment and Jobs Act)」에 서명하며 수소경제 안착을 위한 인프라 구축 활성화 추진
 - 미국은 법안을 바탕으로 대규모 투자를 통해 유타 주(州) 등에 4개 이상 수소 산업 허브를 조성할 계획 수립
 - 주요 도로에 수소충전소 설치 의무화를 통해 다양하게 수소 활용을 유도할 계획

[그림 29] 미국 내 수소충전소 현황(78개소)

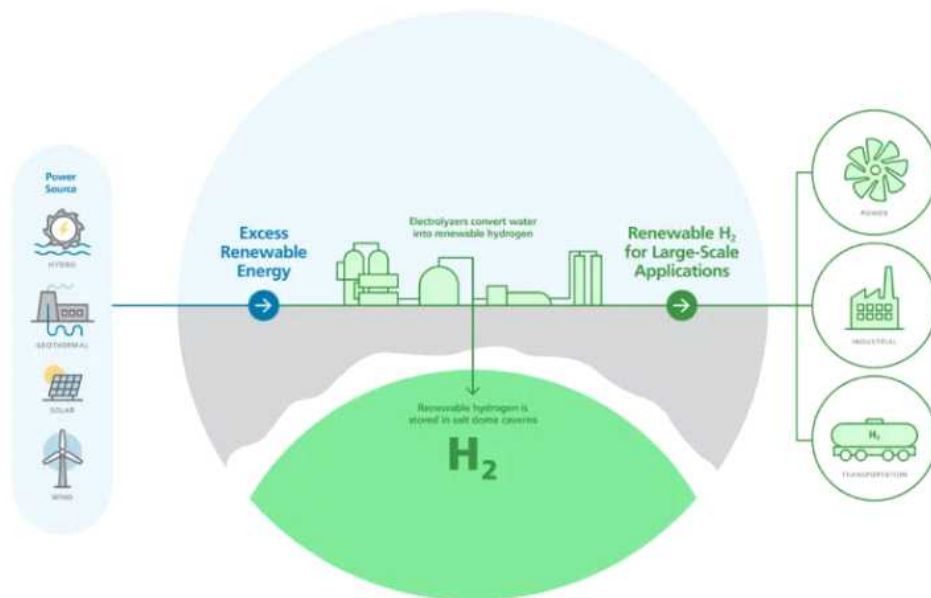


자료: H2Station 웹페이지(2021.12.)

□ 미국 수소경제를 위한 자금 지원 동향

- 미국 DOE에서 수소 및 연료전지 관련 새로운 연구소 설립을 위해 5년간 1억 달러 투자 발표(2020년 1월 23일)
 - 생산 부문에서는 수전해 방식을 통해 대용량 수소를 생산하는 연구 진행
 - 활용 부문에서는 화물 트럭을 포함하여 상용차에 연료전지를 장착·사용하는 방안에 대한 연구 진행
- 로스앤젤레스 수력발전부(LADWP, Los Angeles Department of Water and Power)는 19억 달러를 투자하여 그린 수소생산 단가를 낮추는 전략 수립(2020년 4월 13일)
 - LADWP는 글로벌 147개 기관과 공급망을 구축하여 그린 수소생산 단가를 낮추기 위한 협력을 강화하고 생산-저장-운송을 아우르는 그린 수소 에코 시스템 구축 목표 수립

[그림 30] LADWP 청정에너지 저장 프로젝트⁴²⁾

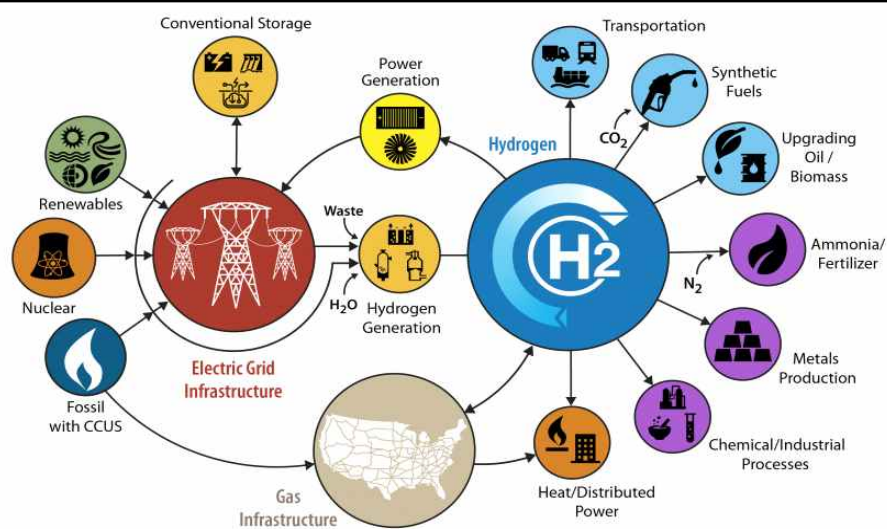


자료: FCH(Fuel Cells and Hydrogen)

42) <https://h2v.eu/analysis/best-practices/aces-advanced-clean-energy-storage-project>

- 미국은 H2@Scale의 수소 산업 관련 18개 프로젝트 진행을 위해 6,400만 달러 규모의 펀드 조성(2020년 7월 20일)
 - 수소생산·저장·운송·활용 부문을 포괄하여 프로젝트를 진행하며 낮은 가격으로 수소생산, 안정성을 갖춘 수소저장 탱크 개발, 내구성 있는 연료전지 시스템 구축 프로젝트 수행 중
 - 중·대형 트럭 등 상용차에 대한 연료전지 적용 기술개발 프로젝트 실시

[그림 31] DOE의 Initiative H2@Scale⁴³⁾



자료: U.S. DOE(미국 에너지부, Department of Energy)

43) <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/h2scale>

<표 28> H2@Scale New Markets Funding Opportunity Announcement⁴⁴⁾

Topic	Selectee	Project Title	Federal share
Electrolyzer manufacturing R&D	3M Company	Advanced Manufacturing Processes for Gigawatt-Scale Proton Exchange Membrane Water Electrolyzer Oxygen Evolution Reaction Catalysts and Electrodes	\$4,854,808
	Giner ELX Inc.	Integrated Membrane Anode Assembly & Scale-up	\$4,592,664
	Proton Energy Systems Inc	Enabling Low Cost PEM Electrolysis at Scale Through Optimization of Transport Components and Electrode Interfaces	\$4,400,000
Advanced carbon fiber for compressed hydrogen and natural gas storage tank	Collaborative Composite Solutions Corporation	Melt Spun PAN Precursor for Cost-Effective Carbon Fiber in High Pressure Compressed Gas Tankage	\$2,700,540
	Hexagon R&D LLC	Carbon Composite Optimization Reducing Tank Cost	\$2,599,945
	University of Kentucky	Low-Cost, High-Strength Hollow Carbon Fiber for Compressed Gas Storage Tanks	\$2,415,576
	University of Virginia	Low-Cost, High-Performance Carbon Fiber for Compressed Natural Gas Storage Tanks	\$2,701,552
Fuel cell R&D for heavy-duty applications; subtopic 3A: Membranes for heavy-duty application	3M Company	Extending PFSA Membrane Durability Through Enhanced Ionomer Backbone Stability	\$999,889
	The Lubrizol Corporation	Antioxidant Functionalized Polymers for Extended HD Polymer Electrolyte Membrane Lifetimes	\$1,000,000
	Nikola Corporation	Advanced Membrane and MEA for HD Fuel Cell Trucks	\$998,376
	University of Tennessee: Knoxville	A Systematic Approach to Developing Durable, Conductive Membranes for Operation above 120 °C	\$1,000,000

44) 우리나라와 분류체계 등이 다를 수 있으므로 비교 시 유의할 필요

Topic	Selectee	Project Title	Federal share
Fuel cell R&D for heavy-duty applications; subtopic 3B: Domestically manufactured fuel cells for heavy-duty application	Cummins	Cummins PEM Fuel Cell System for Heavy Duty Applications	\$3,000,000
	Plug Power	Domestically Manufactured Fuel Cells for Heavy-Duty Applications	\$2,987,181
H2@Scale new markets R&D-Hysteel	Missouri University of Science & Technology	Grid-Interactive Steelmaking with Hydrogen (GISH)	\$4,000,000
	University of California: Irvine	Solid Oxide Electrolysis Cells (SOEC) integrated with Direct Reduced Iron plants (DRI) for the production of green steel	\$4,043,993
H2@Scale new markets demonstrations; subtopic 5A: Maritime demonstration	Hornblower Yachts	Marine Hydrogen Demonstration	\$7,994,208
H2@Scale new markets demonstrations; subtopic 5B: Data center demonstraion	Caterpillar Inc.	System Demonstration for Supplying Clean, Reliable and Affordable Electric Power to Data Centers using Hydrogen Fuel	\$6,000,000
Training and workforce development for emerging hydrogen technologies	Electric Power Research Institute, Inc.	Developing a Workforce for a Hydrogen Technology Economy	\$2,000,000

자료: U.S. DOE(미국 에너지부, Department of Energy)

- DOE 부서 FE는 수소생산·운송·저장·활용 등에 화석연료 대체 발전 인프라 구축을 위한 1억 6,000만 달러 펀드 조성(2021년 1월 15일)
 - 수소생산, 저장, 운송, 활용에 탄소중립을 위하여 CCUS 기술을 적용한 수소경제 생태계 연구개발 진행
 - 수소 활용 부문에 화물 트럭을 포함한 상용차에 대한 연료전지 적용 방안 연구 진행
- 바이든 행정부는 유타 주(州)에 수소에너지 플랜트 구축을 위해 5억 440만 달러 지원(2021년 1월 15일)
 - 세계 최대 산업용 그린 수소생산 시설 구축을 통해 하루 100Mton 규모의 수소생산
 - 지하 수소저장 비용 및 성능(효율, 안전성, 무결성) 개선을 위한 기술 개발
- DOE는 수소에너지 어스샷⁴⁵⁾(Hydrogen Energy Earthshot)을 지원하는 31개 프로젝트에 5,250만 달러 펀드 조성(2021년 7월 7일)
 - 값싸고 용이하게 청정수소를 개발하기 위한 프로젝트를 중심으로, 수소 생산-저장-운송-활용 부문별 기술격차를 완화하고 연계하는 과제 진행
 - 수소생산 부문에 수전해 제조 방식 개선 및 공정 간소화 등을 통해 비용 절감 프로젝트를 진행하며 수소에너지 어스샷 이니셔티브 지원
- DOE EERE는 Nikola社에 수소차 및 수소충전소 구축을 위해 200만 달러 보조금 조성(2021년 8월 12일)
 - 수소 활용, 인프라 부문에 수소 트럭 및 수소 충전 기술개발 등 충전 인프라 기술개발 진행에 대한 보조금 진행

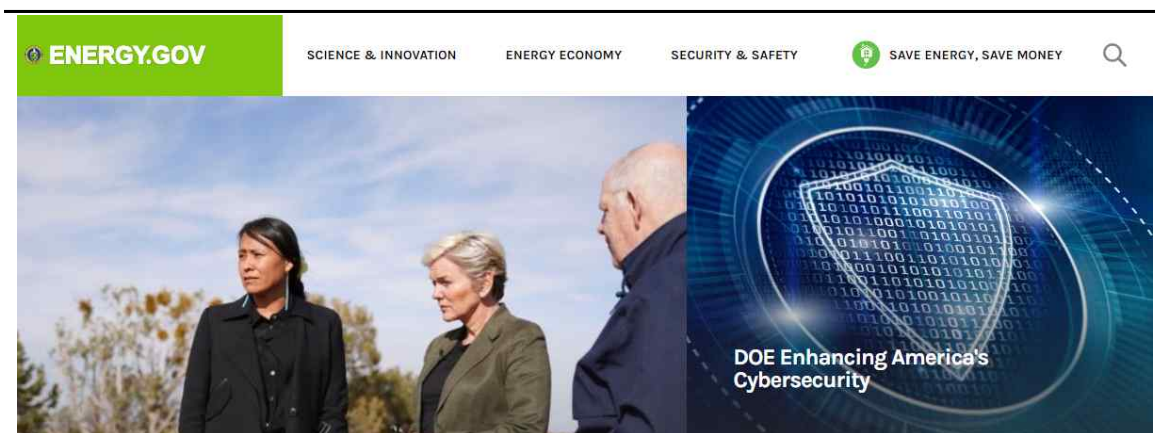
45) DOE의 Energy Earthshot Initiative는 10년 이내에 보다 풍부하고 저렴하며 신뢰할 수 있는 청정 에너지 솔루션의 돌파구를 가속화하는 것을 목표로 2021년 6월 7일에 출시된 첫 번째 Energy Earthshot인 Hydrogen Shot은 10년 동안 1kg당 1달러로 깨끗한 수소 비용을 80% 절감 계획

- Intermountain Power Project를 통해 천연가스 플랜트 설비의 수소 플랜트 설비 전환 프로젝트 실시(2021년 10월 5일)
 - 2025년 운영이 종료되는 유타 주(州) 최대 석탄 에너지 플랜트를 풍력, 태양열 설비로 전환하여 100% 청정수소로 전원 공급하는 설비 개발 프로젝트 실시
- DOE는 민간업체와 협업하여 Hydrogen shot 목표 달성을 위해 800만 달러 지원(2021년 10월 6일)
 - 수소생산 비용 감축을 목표로 9개 프로젝트(4 testing/validations, 3 risk assessment and modeling, 2 sensor technologies) 지원
- DOE에서 원자력 기반 청정수소생산을 위해 2,000만 달러 (HFTO: 1,200만 달러, NE: 800만 달러) 투자(2021년 10월 7일)
 - 애리조나 주(州) 지역에 친환경 수소생산을 위해 10년內 수소생산 단가 1\$/kg를 목표로 원자력 기반의 수소생산 투자 발표
- DOE에서 차량 및 트럭에서 발생하는 온실가스 배출 감축을 위해 2억 달러 투자 발표(2021년 11월 1일)
 - 전기차, 수소차 사용차와 수소충전소 인프라 구축에서 25개 프로젝트 진행 계획 발표
- DOE는 청정수소 개발에 2,800만 달러 투자 계획 발표(2022년 2월 7일)
 - DOE FECM은 청정수소 개발 R&D, FEED⁴⁶⁾ 지원, 폐기물 및 바이오 매스 기반 등 청정수소(CCUS 활용) 생산 기술 투자 지원
- 미국 행정부는 「초당적 인프라 투자법」을 근거로 청정수소 이니셔티브를 위해 95억 달러 기금 조성(2022년 2월 15일)
 - 새로운 수소 허브 및 청정수소 제조 프로그램을 통해 탄소중립 목표 달성과 일자리 창출을 동시에 확보하는 계획 발표

46) Front-End Engineering Design: 기본 공학 설계로 플랜트 시공 전 물량 등 공사의 기본 토대를 마련하는 설계

- DOE는 산업계 탄소중립 달성 지원을 위해 1억 5,000만 달러 투자 결정(2022년 2월 22일)
 - 에너지 기술 및 제조 설비로부터 배출되는 탄소를 포집하고, 에너지 효율성을 증가시키는 등 수소저장과 함께 탄소 포집 및 감축 연구 지원
- DOE는 수소 관련 6개 연구개발 프로젝트를 위해 2,490억 달러 보조금 지원(2022년 5월 20일)
 - 탄소 포집을 포함한 터빈에서 사용되는 수소 효율성 강화를 위한 기술개발 차원의 지원
- 유타 주(州) 지역에 청정에너지 저장 프로젝트 강화를 위해 대출 지원(2022년 6월 8일)

[그림 32] 미국 수소 전략의 핵심인 DOE



자료: U.S. DOE(미국 에너지부, Department of Energy)

2. 독일

<표 29> 독일 수소경제 생태계별 특징

구분		특징
생산	그린	- 잉여 신재생에너지를 활용한 그린 수소생산 - 호주, 중동, 아프리카 등 해외 투자로 청정수소 공급망 확보 계획 수립
	블루	- 그린 수소 보편화 전 탄소중립 달성을 위한 역할 수행
저장	기체	- P2G(Power to Gas) 프로젝트를 통해 독일 수소저장 시스템 구축 계획
	액체	-
	액상	- PtX(Power to X)공정을 통해 다양한 에너지 운반체에 수소저장
	고체	-
운송	파이프라인	- 기존 천연가스 파이프라인을 통해 수소운송 프로젝트 진행
	튜브 트레일러	- 생산한 그린 수소를 지속적으로 운송하기 위한 프로젝트 실시
	탱크 로리	- 항공 및 해상 운송에 대한 가능성 검토
활용	모빌리티	- 연료전지 기술 국가혁신 프로그램을 통해 연료전지를 활용한 수소 모빌리티 활성화 계획 수립
	발전	-
	산업	- 건축 부문에 고효율 연료전지 사용 계획
인프라	충전소	- 유럽 최다 수소충전소 보급 국가로 수소충전소 확장 정책 실시
	안전, 인증 및 표준화	- 그린 수소 국제 무역을 위한 시장 구축 프로젝트 운영 - 수소 관련 국제 표준 선도 및 충전 기술 특허 다수 보유
전략		- 독일 수소경제 전략 핵심은 청정수소생산과 수소 공급망 확보 - 2050 탄소중립 달성을 위해 장기적으로 수소 관련 대규모 투자 진행으로 수소 기술 선도 계획 수립

□ 독일 수소경제 개요

- 독일 수소 전략은 EU 집행위원회의 전략을 구체화하는 형태
 - EU 회원국은 EU 집행위원회에서 설정한 수소 전략 방향성에 대해 회원국별로 상세 전략을 수립하는 구조
 - EU 집행위원회는 「유럽 그린딜(European Green Deal)」 정책 중 하나로 2020년 7월 「유럽 기후 중립을 위한 수소 전략(A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe)」 발표

[그림 33] EU 수소 전략



자료: 유럽 집행위원회(2020.07.)

- 독일의 수소 개념은 2020년 6월 독일 연방 경제 에너지부 (BMWi)가 발표한 「The national hydrogen strategy」를 통해 정의
 - “수소는 재생에너지를 (공급)기반으로 유연하게 저장할 수 있는 에너지 저장 매체로, 에너지 수요-공급 균형 유지에 기여”로 명시⁴⁷⁾

47) Hydrogen is an energy storage medium that allows for renewable energy to be stored in a supply-based and flexible manner and therefore helps balance energy supply and demand)

- 독일 수소경제 범위는 「The national hydrogen strategy」에서 언급된 수소경제 생태계로 설정
 - “독일 수소 전략은 수소생산, 운송, 저장, 활용 및 신뢰 구축”으로 명시⁴⁸⁾

[그림 34] 독일 수소 전략



자료: Germany the Ministry's agencies(2020.06.)

□ 독일 수소경제 규모

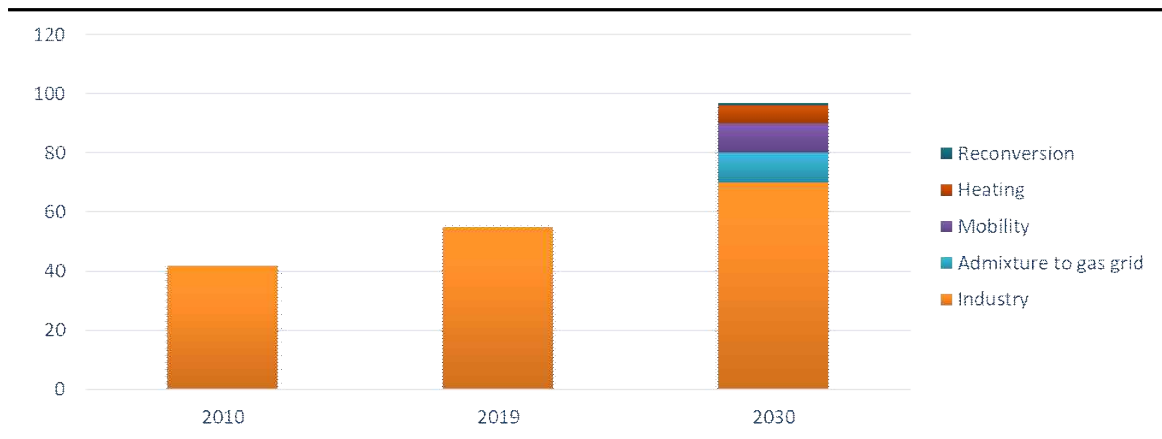
- EU 집행위원회 조사에 따르면 EU 회원국 수소 규모는 2020년 20억 유로로 추산되며, 독일은 최대 시장 보유
 - EU는 전세계 환경 정책을 선도하는 지역이며, 그중 독일은 COVID-19 회복으로 100억 달러 규모 수소 시장으로 성장 예상
 - 독일은 EU 역내 최대 수소경제 규모를 차지하고 있으며, 독일의 자국 수소 소비량은 2020년 55TWh에서 2030년 110TWh 수준으로 성장할 전망
 - 수소생산 부문에서 독일의 수소생산은 연평균 9.6%로 성장하고 있으며, 2025년 약 95억 달러에 도달할 것으로 예상
 - 수소저장 부문에서 독일은 2024년까지 약 11억 달러로 연평균 6.6%로 성장 예상

48) Building up and securing the quality assurance infrastructure for hydrogen production, transport, storage and use, and building trust

- 수소운송 부문에서 독일은 기존의 천연가스 파이프라인을 활용하여 기체 수소운송을 추진 중이며, 수소운송 네트워크는 총 1,200km 규모 예상
- 수소 활용 부문에서 독일은 저탄소 정책 추진 기조에 따라 현재 생산된 수소 대부분을 주로 산업용으로 사용하고 있으며, 수송 분야에도 활용 방안 마련 중

[그림 35] 독일 산업 부문별 수소 활용 전망

(단위: TWh)



자료: Germany BMWi(2020.)

<표 30> 독일 수소경제 생태계 주기별 규모⁴⁹⁾

(단위: 백만 달러, %)

주기	금액	점유율	연평균 성장률
생산 (2020년)	6,032	4.7	9.6
저장 (2019년)	778	5.7	6.6

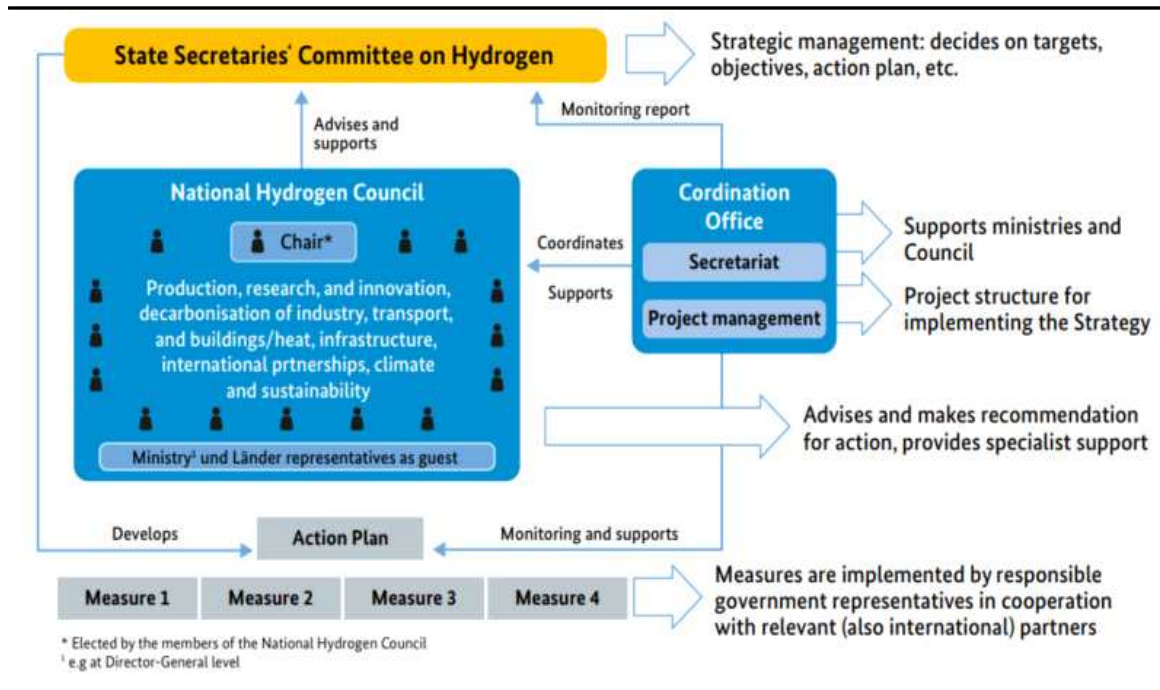
자료: MarketsandMarkets

49) 우리나라와 분류체계 등이 다를 수 있으므로 비교 시 유의할 필요

□ 독일 수소경제 추진 체계

- 독일은 부처 및 민간 전문가로 수소 내각 위원회를 구성하여 국가 수소 전략 진행상황 모니터링
- 연방정부는 정부 기관 및 기업, 연구소와 민간단체 전문가 등으로 국가 수소 위원회를 구성

[그림 36] 독일의 수소경제 추진 조직



자료: 「National Hydrogen Strategy」(2020.06.)

□ 독일 수소경제 예산

- 수소 정책, 생태계별 예산 편성
- 독일 수소 정책은 연방 경제 에너지부에서 주관하고 있어 관련 예산도 해당 기관 위주로 구성

<표 31> 독일 수소 관련 정책별 예산⁵⁰⁾

(단위: 십억 달러)

Category	Policy name	Sector	Energy type	Value Committed	Date of announcement
Other Energy	Hydrogen foreign trade partnership	Multiple Sectors	Hydrogen	2.28	2020.6.3.
Clean Unconditional	National Hydrogen Strategy(part of the economic stimulus package)	Multiple Sectors	Hydrogen	10.27	2020.6.3.
Fossil Unconditional	1 billion EUR for truck scrappage scheme(part of a 3billion euros renewed pledge by the German Government to support the crisis-hit automotive sector)	Mobility	Multiple Energy type	1.14	2020.11.17.
Clean Unconditional	Germany and Saudi Arabia sign Declaration of Intent to cooperate on green hydrogen	Power Generation	Hydrogen	-	2021.3.12.
Clean Unconditional	Germany and Canada agree to explore green hydrogen development	Power Generation	Hydrogen	-	2021.3.16.
Clean Unconditional	Launch of the Northern Germany Regulatory Sandbox	Multiple Sectors	Hydrogen	0.059	2021.4.14.
Clean Unconditional	Government defines "green hydrogen" and decides rules for rapid market ramp-up	Power Generation	Hydrogen	-	2021.5.20.
Clean Unconditional	Germany invests 8 billion euros in 62 EU-backed hydrogen projects	Power Generation	Hydrogen	9.13	2021.5.28.

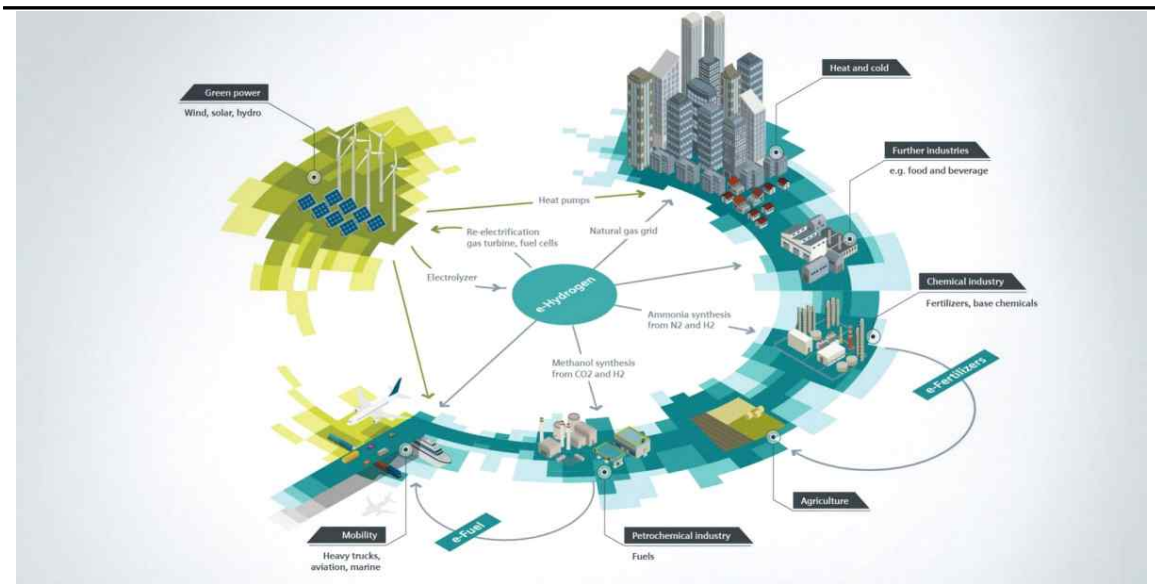
자료: Energypolicytracker.org

50) 우리나라와 분류체계 등이 다를 수 있으므로 비교 시 유의할 필요

□ 독일 수소경제 전략 동향

- 독일은 EU 수소 전략과 별도로 자국의 「The National Hydrogen Strategy」 수립
- 수소생산 부분 실행계획에서 4가지 계획 발표
 - 잉여 신재생에너지 등을 활용한 그린 수소생산 기술을 바탕으로 그린 수소 가격을 낮춰 탄소중립 사회로의 전환 계획 발표
 - 현행 규제 체계를 개선하여 저렴한 가격을 바탕으로 수소 시장을 선도할 수 있는 계획 및 프로젝트 수립
 - 다양한 분야에서 투자된 펀드를 통해 수소생산에 투자함으로써 탄소 다 배출 산업인 철강, 시멘트 산업의 에너지원으로 사용
 - 독일 정부는 장기적으로 그린 수소의 활용 확대와 가치사슬 구축 및 시장 확대를 촉진하고, 탄소중립 과정에서 블루 수소의 역할이 클 것으로 전망

[그림 37] 잉여 신재생에너지 기반 그린 수소생산계획⁵¹⁾

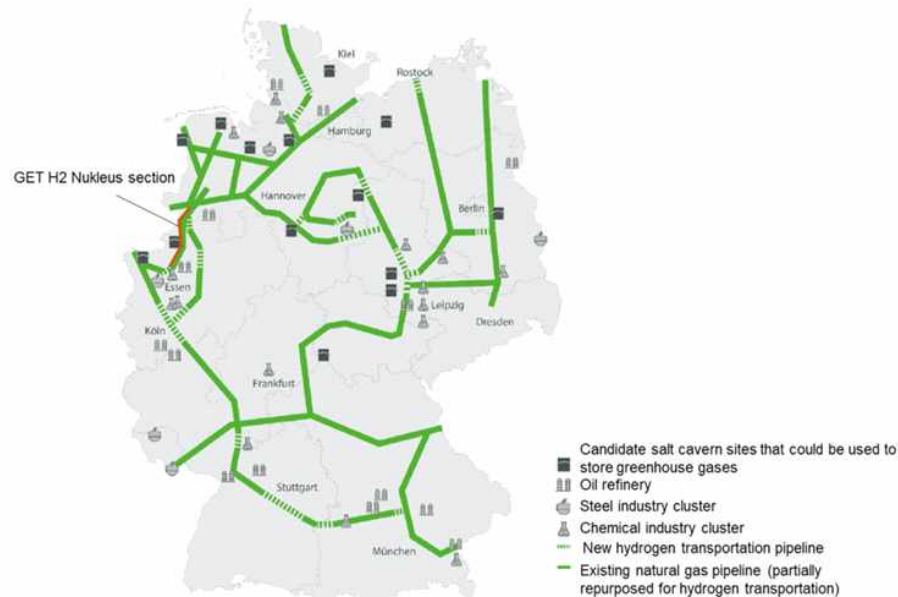


자료: Clean Energy Wire(2020.07.)

51) <https://www.cleanenergywire.org/news/europe-vies-china-clean-hydrogen-superpower-status>

- 수소운송 및 저장 부문에서 독일은 수소 가치사슬 전반에 대한 장기적인 연구 및 혁신 프로그램 개발
 - 독일은 기존에 보유하고 있는 천연가스 저장 및 가스 공급망을 기반으로 수소 기체 운송 및 저장 계획이 수립되어 있으며, 기술적·법적 조건에 대한 검토 진행 중
 - 현재 항공 및 해상 운송의 경우 탄소중립 연료원에 대한 수요가 지속적으로 증가하고 있어, PtX공정*을 통해 생성된 수소 기반 에너지원 사용이 가능한 분야 중 하나로 검토
- * PtX(Power-to-X): 신재생에너지 설비를 통해 생산된 잉여전력을 그린 수소, 암모니아, 메탄올 등 다양한 에너지 운반체와 연료를 생산하는 기술

[그림 38] 독일 수소 네트워크 개념도⁵²⁾



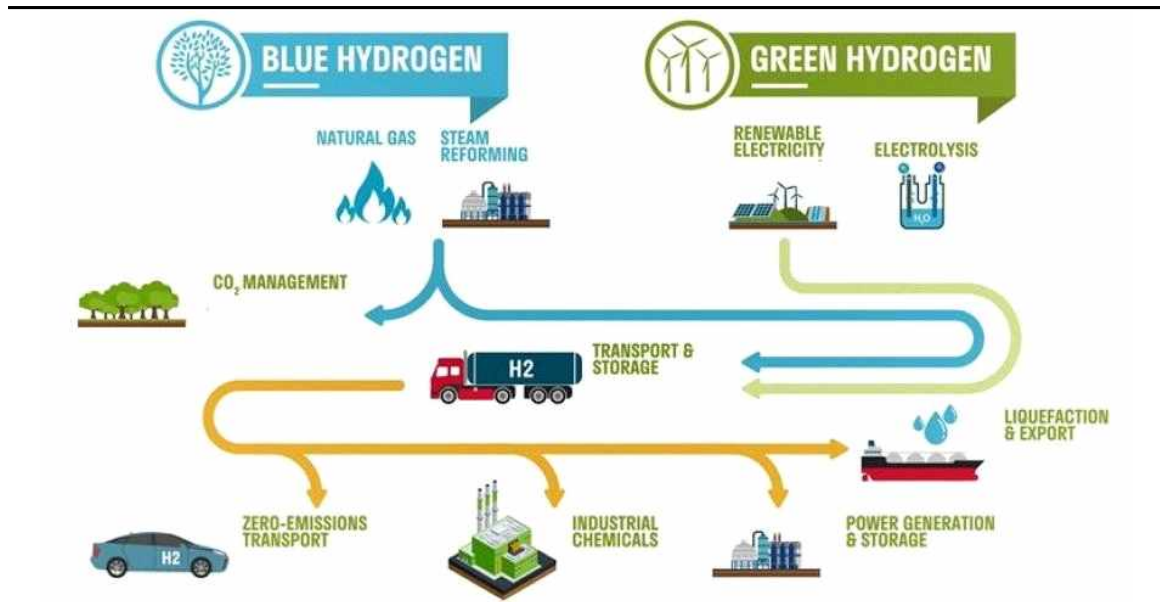
자료: FNB Gas H2 Network

- 독일은 기후 보호 및 재생에너지 사용 목표 달성을 위해 다양한 분야에 수소 적용 계획 수립
 - 독일은 수소를 활용한 연료전지를 대중교통, 화물 차량 등 다양한 차량에 적용해 이산화탄소 등 온실가스 감축 추진

52) <https://fnb-gas.de/wasserstoffnetz/h2-startnetz-2030/>

- 국가 혁신 프로그램을 위해 조성된 펀드 중 일부를 연료전지 관련 기술 발전에 투자하여, 기계·플랜트 분야에 대한 지원 강화와 연료전지 구조 및 성능 향상 연구개발 추진
- 건축 부문에 고효율 연료전지 사용을 통해 “Energy Efficiency Incentive Programme” 지속 추진

[그림 39] 독일 수소 활용 계획



자료: H2&Fuel Cell

- 수소 인프라 부문에서 독일은 운송 부문에 대한 수소 활용 확대를 위해 수소충전소 등의 인프라 구축을 필수적인 요소로 인식하여 적극적으로 수소충전소 건설 추진
- 그린 수소 사용 확대의 일환으로 차량 및 철도를 위한 수소충전소 및 네트워크 확장 정책(Hydrogen Readiness) 실시
- 국제표준 및 지침 제·개정을 통해 수소 사회로 빠른 전환 진행 계획
- 수소경제와 관련하여 새로운 이니셔티브인 “hydrogen technologies 2030” 추진을 통하여 수소 기술 연구계획을 수립하고, 연구혁신 및 교육을 위한 글로벌 네트워크 강화

[그림 40] 독일 수소충전소 현황(101개소)



자료: H2Station 웹사이트(2021.12.)

참고 : 독일 수소충전소 여건

- 독일은 정부 차원에서 수소를 미래 핵심 에너지원으로 육성하기 위해 오래전부터 장기 로드맵을 수립하고 체계적으로 준비
 - 2004년부터 2015년까지 진행된 '클린에너지파트너십'에 따라 수소충전소를 확충하고 수소차 시범주행 등을 실시
 - 2017년부터 수소충전소 사업계획 책정과 보급지역 분석, 운영 등을 위해 에너지업체 6개社가 공동 출자회사 형태로 참여하는 'H2 모빌리티 프로젝트'가 추진
 - * 수소 인프라 조기 구축으로 글로벌 기업들도 독일을 테스트베드로 삼고 적극 투자 및 지원

□ 독일 수소경제를 위한 지원 동향

- EU 집행위원회의 「Package for the future」 채택에 따라 연방 정부 차원에서 수소 전략 수립(2020년 6월 3일)
 - 독일 수소 시장 활성화를 목적으로 70억 유로, 국제 파트너십 강화 목적으로 20억 유로 지원 계획
- 그린 수소 공급망 확대를 위해 사우디아라비아와 MOU 체결(2021년 4월 14일)
 - 사우디아라비아에 50억 달러를 투자하여 풍력 및 해수 발전을 이용하여 수소를 생산하는 MOU 체결
- 독일 국가 수소 전략에 따라 첫 번째 그린 수소운송 프로젝트 승인(2021년 7월 29일)
 - 그린 수소생산을 위한 20MW 전해조 설비를 건설하고, 지속적으로 운송하기 위한 “The trailblazer” 프로젝트 실시
- 그린 수소 발전 설비의 국제적 구축 지원을 위한 지원 실시(2021년 10월 5일)
 - Federal Ministry of Education and Research와 협력하여 국제 수소 프로젝트(그린 수소생산, 저장, 운송 및 사용과 연구) 재정 지원을 위한 펀드 조성
- German Development and Resilience Plan(DARP)⁵³⁾에 따라 친환경 모빌리티를 위한 투자 지원(2021년 10월 22일)
 - 기후 변화에 대응하기 위해 수송 부문을 포함한 친환경 모빌리티 관련 분야 투자 계획(2021~2025년까지 수소차 공급을 위해 5억 4,600만 유로 지원)

53) Deutscher Aufbau- und Resilienz Plan

- The German Federal Ministry of Economic Cooperation and Development(BMZ)에서 남아프리카에 그린 수소경제 발전을 위해 예산 투자(2022년 1월 20일)
 - BMZ에서 이니셔티브 지원 예산 4,500만 달러 중 1,420만 달러를 남아프리카 그린 수소경제 발전을 위한 설비 지원에 투자 결정
- H2Global(국제 그린 수소 시장 확장 지원 프로젝트)를 위해 9억 유로 지원(2022년 1월 28일)
 - 독일연방경제기술부에서는 그린 수소 국제 무역(수입, 탄소 프리, 수소 기반 운반)을 위한 시장 구축 프로젝트 운영
- 호주-독일 그린 수소 협력 플랫폼인 HyGATE⁵⁴⁾(수소 혁신 및 기술 인큐베이터)에 5,000만 유로 자금 조달(2022년 4월 11일)
 - 2024년까지 최대 5,000만 유로를 지원하여 에너지 조달원 다변화 관련 기술 제품 수출, 호주는 에너지 수출 기회 획득
- 호주-인도 간 105억 달러 규모의 친환경 에너지 협약 체결(2022년 5월 10일)
 - 독일은 신재생에너지, 수소 등 친환경 에너지 공급망 확장을 위한 협약 체결(카타르, 이스라엘 등 수소 공급망 확대를 위한 협약 체결)

54) 수소 공급망에 따라 실제 파일럿, 시험 및 시연 프로젝트를 지원하고 호주와 독일 파트너 간의 협력 촉진

3. 중국

<표 32> 중국 수소경제 생태계별 특징

구분		특징
생산	그린	- 신재생에너지(태양광, 수력 등) 바탕으로 청정수소생산 잠재력 보유
	블루	-
저장	기체	- 수소저장 효율·안정성 기술력이 부족하며 고압가스 저장 향상 연구 진행 중
	액체	- 수소 산업 성장에 따라 극저온 액화 수소저장 방식 확대 전망
	액상	-
	고체	- 고체 상태의 수소저장 기술 연구
운송	파이프라인	- 파이프라인을 통한 수송기술 연구 진행 중
	튜브 트레일러	- 현재 고압기체 저장을 통한 튜브 트레일러 운송 방식 활성화
	탱크 로리	-
활용	모빌리티	- '신에너지차 확대보급' 정책에 따라 중점지역을 중심으로 수소 활용(모빌리티, 발전) 보급 계획 수립
	발전	- 발전 분야 활용을 위해 기지국, 데이터 센터 등 기반 시설 건설 중
	산업	-
인프라	충전소	- 주요 도시에 수소충전소 다수 보급 계획
	안전, 인증 및 표준화	- 2022년 7월, 90개의 수소 관련 국가 표준을 수립하였으며, 이를 바탕으로 국제표준화 작업 진행
전략		- 중국 수소경제 전략 핵심은 수소 모빌리티, 연료전지 등 활용 분야 - 정부 주도의 수소 전략 수립 및 계획 추진으로 수소경제 급속히 성장

□ 중국 수소경제 개요

- 중국은 비교적 가장 최근 2022년 3월 최고 경제 기획부서인 국가발전 개혁 위원회(NDRC, National Development and Reform Commission) 및 에너지 규제 당국인 국가 에너지국(NEA, National Energy Administration)에서 국가 차원의 수소 정책 지침 제시
- 중국의 수소경제 개념은 2022년 3월에 발표한 정부 문서인 「Medium and long-term plan for the development of hydrogen energy industry (2021-2035)」에서 수소에 대해 정의
 - “수소는 풍부한 자원의 녹색 저탄소 원료로 넓은 범위에 활용할 수 있는 2차 에너지”로 정의⁵⁵⁾
- 「Medium and long-term plan for the development of hydrogen energy industry (2021-2035)」에서 수소경제 범위에 응용 분야를 포함하여 언급
 - “중국은 수소에너지 산업 분야로 수소에너지 안전 감독 시스템, 표준과 수소에너지 생산, 저장, 운송, 산업계 활용”로 언급⁵⁶⁾

[그림 41] 중국 제14차 5개년 계획과 수소에너지 산업 중장기 계획 문서



자료: 「중국 14차 5개년 계획(2021~25)」(2020.11.), 「Medium and long-term plan for the development of hydrogen energy industry (2021-2035)」(2022.03.)

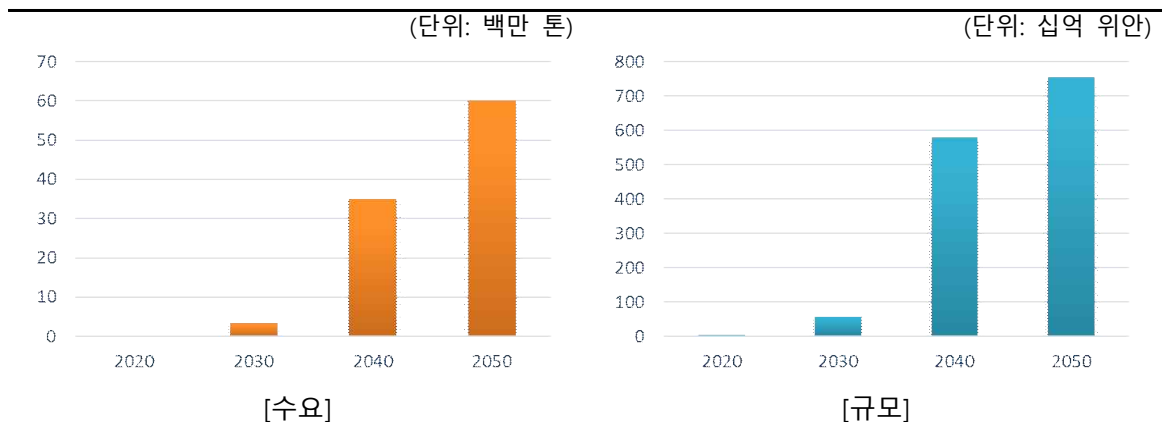
55) 氢能是一种来源丰富、绿色低碳、应用广泛的二次能源

56) 建立健全氢能安全监管制度和标准规范，强化对氢能制、储、输、加、用等全产业链重大安全风险的预防和管控

□ 중국 수소경제 규모

- 중국은 2020년 국가에너지국에서 발표한 「에너지자원법」을 통해 수소에너지를 에너지 범주로 포함
 - 중국은 수소 산업 육성을 위해 수소에너지를 주요 에너지원으로 편입시켜 범부처 합동으로 수소 연료전지 자동차 관련 보조금을 지방정부 및 참여기업 지원
 - 지방정부 차원에서 수소차 보급, 인프라 구축 확대 계획을 발표하고 수소 산업 육성을 추진하고 있으며 수소에너지 수요량은 연평균 3.7% 수준으로 성장 예상

[그림 42] 중국 수소 시장 전망



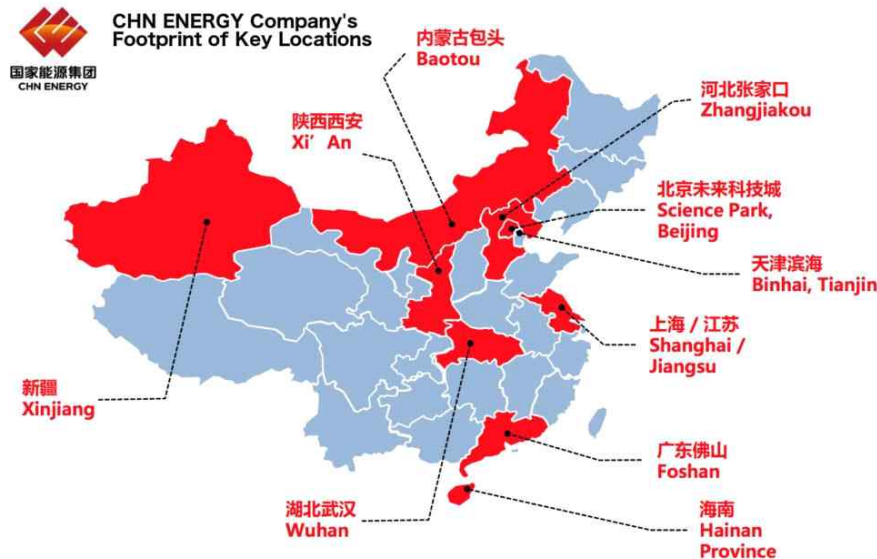
자료: China Hydrogen Alliance 「White Paper on China Hydrogen and Fuel Cell Industry」 (2018.10)

- 중국은 세계 최대 수소생산 국가로 2025년까지 그린 수소생산량을 20만 톤으로 확대할 계획
- 중국의 수소저장 기술은 선진국과 비교하여 효율 및 안정성에 약점이 존재하여 기술격차를 줄이기 위한 노력으로 연평균 8.1% 성장세
- 중국은 튜브 트레일러 기술을 상용화하여 활용 중이며, 최근 파이프라인을 통한 수소운송 기술 연구 진행
- 중국은 상용차를 중심으로 시장 규모 확대가 이루어지고 있으며, 2020년 5,000대에서 2030년 100만 대까지 보급할 계획

□ 중국 수소경제 추진 체계

- 국가발전개혁위원회를 비롯하여 중국 국무부, 재정부, 과기부, 국가에너지국 등 중앙정부 중심으로 수소 전략 수립이 이루어지며, 자치구별로도 개별적 수소 전략을 수립하는 경우 존재

[그림 43] 중국의 수소 전략 수립 지방 정부

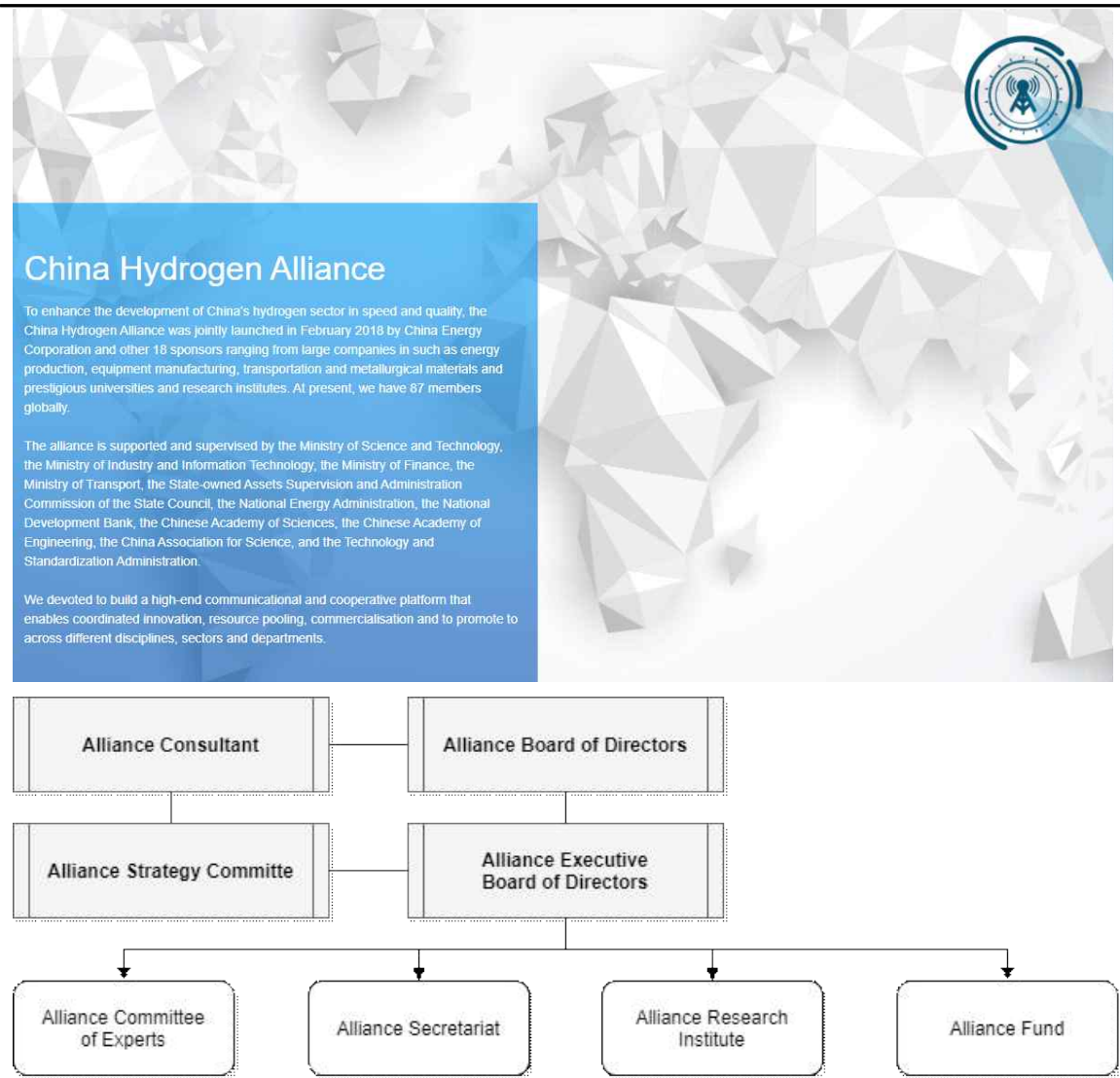


자료: China Energy(Clean Hydrogen Alliance)

- 중국은 수소에너지 산학연 협력을 추진하기 위하여 중국수소연맹(China Hydrogen Alliance) 출범
 - 중국전력망공사(SGCC, State Grid Corporation of China), 중국에너지 투자그룹(CHN Energy), Sinopec, CNPC 등 87개 수소 관련 기관으로 구성
 - 중국 국가발전개혁위원회(NDRC, National Development and Reform Commission) 등 관계부처* 아래 CHN Energy의 주도로 에너지 생산, 장비 제조, 원재료 관련 핵심 기업, 연구소, 금융기관 19곳과 공동 설립(현재 87개 참여기관)
- * 중국수소연맹에는 과학기술부, 산업정보기술부, 재정부, 교통부, 국무원 국유자산감독관리위원회, 에너지청, 국가개발은행, 주 위원회(중국과학원), 중국공학원, 중국과학협회, 기술 및 표준화 관리국 등이 지원 및 감독

- 2020년 12월 중국수소연맹이 발표한 「저탄소 수소, 청정수소 및 재생에너지원 수소의 표준과 평가」를 통해 수소 분류기준 시행

[그림 44] 중국수소연맹 구성

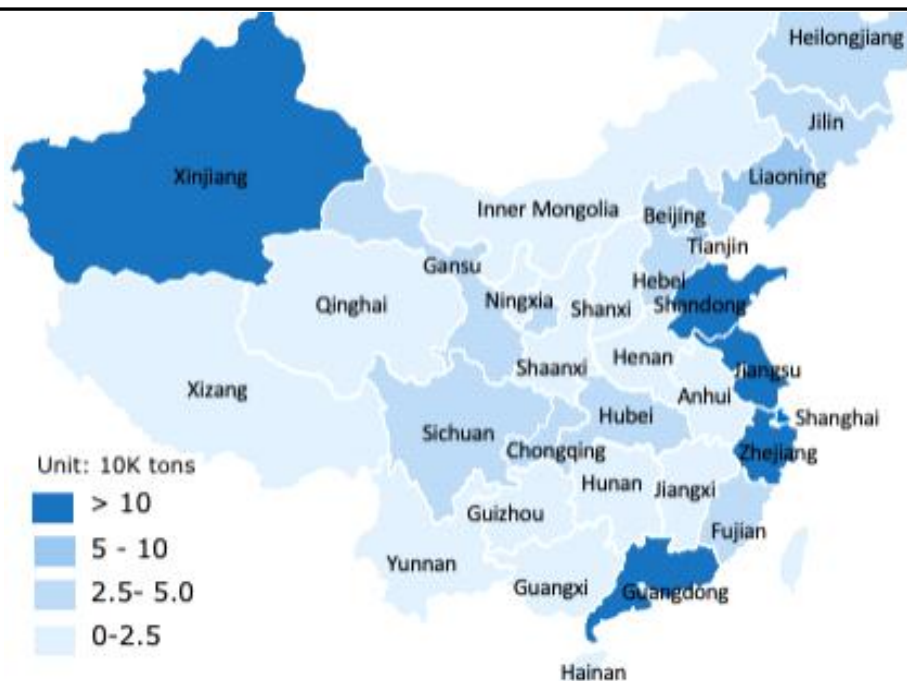


자료: China Hydrogen Alliance 웹사이트

□ 중국 수소경제 전략 동향

- 중국은 수소 정책은 「Medium, and long-term plan for the development of hydrogen energy industry (2021-2035)」에서 전반적인 수소에너지 계획 수립
- 수소생산 부문에서, 중국은 세계 최대 수소생산 국가 위치 유지와 동시에 재생에너지를 활용한 청정수소 에너지 공급 확대 목표 수립
 - 수소에너지를 미래 국가 에너지 시스템의 한 축으로 재생에너지의 대규모 및 효율적 활용을 통해 청정수소 에너지 공급체계 구축
 - 재생에너지를 통한 수소생산·발전에 중점을 두고 화석 에너지를 통한 수소생산을 엄격하게 통제하여 다각화된 수소생산체계 구축
 - 바이오 에너지를 통한 수소생산을 지원하여 탄소중립 목표 달성을 위한 수소에너지 산업기술 형성

[그림 45] 중국 지역별 부생수소 생산량 분포(2017년)⁵⁷⁾



자료: 「China Energy Transition Status Report 2021」(2021.06.)

57) <https://www.integralnewenergy.com/?p=30987>

- 수소운송 및 저장 부문에서 중국의 기술력은 선진국 대비 약세
 - 수소생산과 함께 수소에너지 운송 및 저장에 대한 기초기술 발전으로 시장 경쟁력 강화 추진
 - 수소운송 및 저장 방법 연구를 통하여 고압가스 운송·저장 효율성을 향상시키고, 수소저장 및 운송의 속도 향상 목표
 - 극저온 액화수소운송 및 저장 산업 육성을 위하여 화학 응용, 고체 상태와 극저온 고압·유기 액체 등과 같은 수소운송 및 저장 기술을 다양하게 연구

[그림 46] 중국의 재생에너지 저장 정책 수립 지역

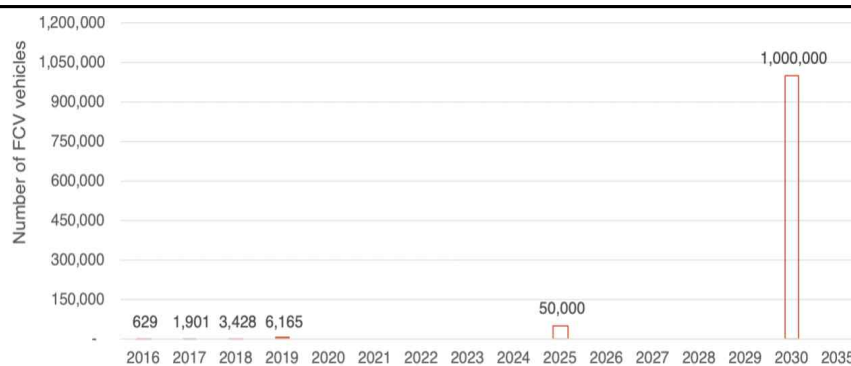


자료: 「China Energy Transition Status Report 2021」(2021.06.)

- 수소 활용 부문에서는 수소에너지 산업 전반에서의 체계 혁신 추진
 - 중국은 도로 운송 산업의 발전 특성에 맞추어 중형 및 대형 차량에 수소 연료전지 적용 촉진
 - 수소 연료전지 발전 분야 활용을 위해 통신 기지국, 데이터 센터, 철도통신국, 전력망 변전소 등 기반 시설 건설 중
 - 수소 연료전지 핵심 기술 및 핵심 소재 개발을 통해 신뢰성 및 안정성 향상에 중점

- 수소 인프라 부문에서는 수소에너지 생산 규모의 급격한 성장에 맞춰 대학, 연구기관 및 기업 지원을 통해 인프라 구축 추진
 - 중국은 현재 수소충전소가 다수 설치되어 있으며, 자치구별 계획을 수립하여 추가적인 수소충전소 설치 확대
 - 토지 자원의 효율적 사용을 위해 법규에 따라 기존 주유소 시설을 개조·증설하여 수소충전소 확충
 - 수소에너지 산업 발전을 위한 목적의 인력 교육 및 교육 매커니즘을 수립하고 수소에너지 혁신 및 R&D 인재 그룹 양성 추진

[그림 47] 중국의 수소 연료 자동차 생산 목표치⁵⁸⁾



자료: China Government(2020.08.)

[그림 48] 중국의 수소충전소 설치 현황(105개소)



자료: H2Station 웹사이트(2021.12.)

58) <https://theicct.org/ten-cities-thousand-fuel-cell-vehicles-china-is-sketching-a-roadmap-for-hydrogen-vehicles/>

□ 중국 수소경제를 위한 지원 동향

- 중국 허베이를 중심으로 수소생산 및 사용 프로젝트를 위해 12억 3,000만 달러 규모 투자 결정(2020년 4월 3일)
 - 중국 허베이 정부는 수소생산, 설비 제조, 충전소, 연료전지 등 43개 수소 프로젝트⁵⁹⁾ 지원 승인
- 광저우 수소 산업(수소생산, 저장, 운송, 활용)을 위해 20개 수소 에너지 프로젝트⁶⁰⁾에 5억 7,200만 달러 투자 결정(2020년 7월 30일)
 - 광저우 정부는 2030년까지 286억 달러 규모를 기대(2050년까지 858억 달러)하며 수소에너지 산업에 투자 결정
- 화능 그룹은 2021년 통과한 「제14차 5년 계획(2021~2025년)」에 따라 텐진에 수소 관련 500억 위안 투자 결정(2020년 11월 26일)
 - 화능 그룹-텐진 정부는 수소에너지 분야 기술혁신 촉진과 텐진 파워 플랜트 프로젝트 등을 위해 투자 결정
- 중국 신재생에너지 산업 투자 기금으로 100억 위안 조성(2021년 1월 22일)
 - 중국은 풍력, 태양광, 수소에너지 산업과 에너지 저장 및 에너지 통합 분야 프로젝트를 위해 투자 서명
- Great Wall Motor(GWM)는 수소에너지 R&D에 20억 위안을 투자 하고 향후 3년간 30억 위안 추가 투자(2021년 3월 29일)
 - GWM은 수소 기술 및 응용 프로그램 개발을 위해 캐나다, 일본, 독일 등지에 5개의 R&D센터 설립 후 회사 및 기관과 비즈니스 파트너십 형성

59) 수소생산, 수소에너지 장비, 수소충전소, 연료전지, 차량 생산, 응용 시연 및 기술 연구

60) 2020년 7월에 발표한 「Guangzhou Launched Hydrogen Industry Development Plan (2019-2030)」

- 중국은 2025년까지 베이징-톈진-허베이 지역 탄소 배출 감축을 위한 Hydrogen industry chain 구축 예정(2021년 8월 17일)
 - 2023년부터 베이징 지역에 수소차 3,000대 보급 및 수소충전소 37개를 설치하고, 2025년까지 수소차 10,000대 이상 보급 및 수소충전소 37개 추가 설치 목표
- 중국석유화공(Sinopec)은 수소 전략 강화를 위해 2025년까지 300억 위안 투자 결정(2021년 8월 31일)
 - 2025년까지 연간 100만 톤의 그린 수소생산을 목표로 하며 탄소중립 달성을 위해 청정에너지 생산을 위한 글로벌 기업으로 성장 목표
- 중국 최대 정유업체 중 하나인 Sinopec은 신장에 2026년까지 300억 위안 생산 설비 투자 계획(2021년 11월 30일)
 - Sinopec은 연간 2만 톤의 태양광 수소생산설비 구축을 위해 30억 위안 규모의 설비 투자를 지원하며 2026년까지 300억 위안 추가 투자 계획
 - Sinopec은 중국 최대의 수소생산회사로 중국 전체 수소생산의 11%를 차지하고 있으며 2025년까지 중국에 1,000개의 수소충전소 설치 목표
- 중국 수소 차량 분야 계획에 따라 수소차 및 기술개발 투자 계획 발표(2022년 3월 28일)
 - 2025년까지 중국의 재생에너지 기반 수소생산량은 10~20만 톤으로 예상하며 이에 따른 수소 기술 및 생산 능력 완비에 투자
 - 수소차 5만 대 이상 생산을 예상하며 중국 거대 SUV·트럭 제조업체인 GWM은 30억 위안 수소 개발 투자(수소차 적극 생산)
 - 2023년까지 상하이에 수소충전소 100개를 포함하여 수소 공원 조성 등 프로젝트 유치를 위해 100억 위안 투자 결정

4. 일본

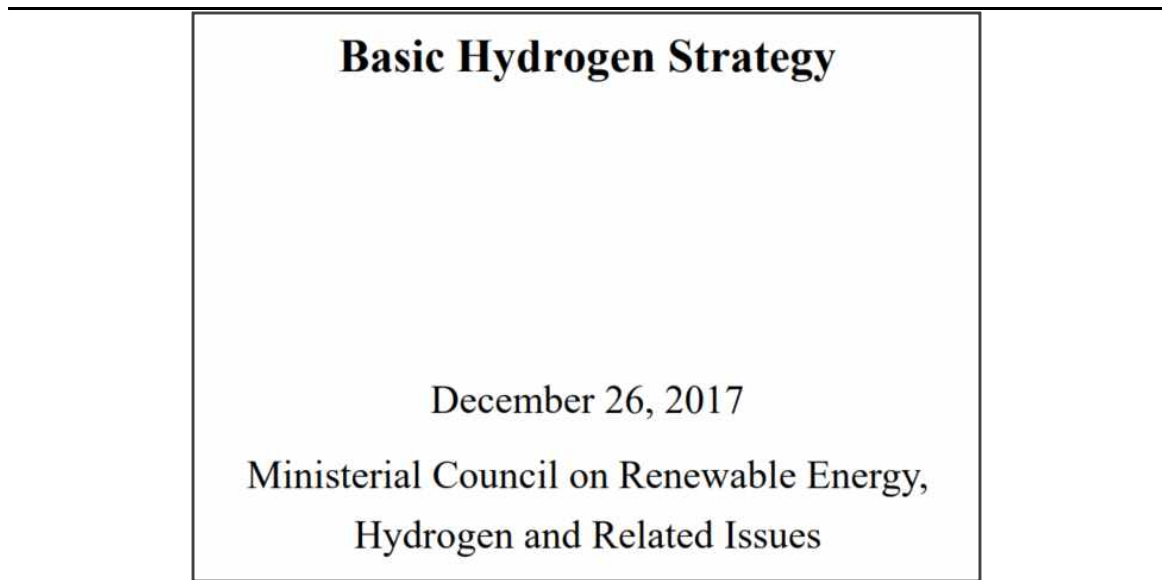
<표 33> 일본 수소경제 생태계별 특징

구분		특징
생산	그린	- 일찍부터 해외 청정 수소 확보를 위한 공급망 확보 계획 수립
	블루	- CCUS 기술을 활용한 저탄소 수소생산
저장	기체	-
	액체	- 액화수소 저장탱크 대형화를 통해 수소 액화 운송 효율 향상을 위한 기술개발 추진
	액상	-
	고체	-
운송	파이프라인	- 단거리·대용량 수송운송 프로젝트 실시
	튜브 트레일러	-
	탱크로리	- 액화수소, MCH 기술을 활용한 운송 기술 상용화 전망 - 해외 수소 도입을 위한 운송(해양) 기술 연구개발 및 실증 진행
활용	모빌리티	- 수소 모빌리티 및 연료전지 분야를 중심으로 상용화 및 수익성 확보
	발전	- 암모니아 혼소 발전 및 수소 가스터빈 발전 실증 중
	산업	- 다양한 산업 분야에 청정수소를 에너지원으로 활용
인프라	충전소	- 수소충전소 구축 기술을 보유하고 있으며 충전소 적극 확대 추진
	안전, 인증 및 표준화	- 유럽과 청정수소 관련 인프라 형성을 위한 Hy24 수소 플랫폼 지원
전략		- 일본 수소경제 핵심은 저렴한 수소 공급 확보를 위한 국제 수소생산 및 공급망 개발을 위한 저장 및 운송 기술개발과 수소 모빌리티 및 발전분야 활용

□ 일본 수소경제 개요

- 세계 최초로 제정한 2017년 12월 「Basic Hydrogen Strategy」을 통해 수소경제 선도국가 위치 확보를 목표로 기술 및 정책 개발
- 「Basic Hydrogen Strategy」에서 수소에 대해 정의
 - 수소는 “탄소를 포함하지 않아 사용 시 이산화탄소를 배출하지 않으며, 저장성, 휴대성 및 유연성이 우수한 특징”으로 정의⁶¹⁾
- 기본적으로 수소경제 생태계 전반을 아울러 수소경제 범위 정의
 - “수소생산에서 저장, 운송 및 활용에 이르기까지 모든 부문을 포괄하는 국제 수소 공급망”으로 수소경제의 모든 생태계 포함 범위 명시⁶²⁾

[그림 49] 일본의 “수소 기본 전략”



자료: METI 「Basic Hydrogen Strategy」(2017.12)

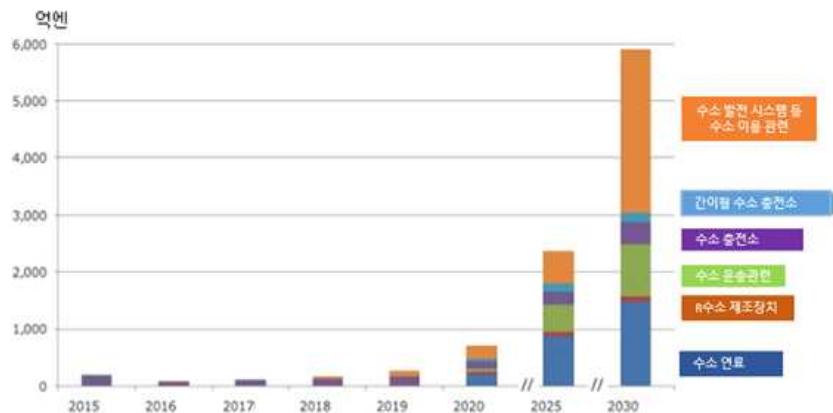
61) Hydrogen has favorable characteristics due to the fact that its use emits no carbon dioxide because it contains no carbon.~due to its storability, portability and flexibility

62) Japan will develop international integrated hydrogen supply chains covering everything from hydrogen production to storage, transportation and use

□ 일본 수소경제 규모

- 후지경제연구소에 따르면 일본 수소 관련 규모는 2020년 1억 5,000만 달러 규모에서 2035년 약 410억 달러 규모로 성장할 것으로 전망
 - 수소 관련 규모는 발전 분야를 중심으로 급격히 성장하고 있으며 2035년까지 2020년 대비 약 273배 성장할 것으로 전망
 - 암모니아 혼소 발전 및 수소 가스터빈 발전의 실증 실험 후 발전 분야에서 수소 수요가 급증할 것으로 전망
- 기술 분야별 수소 시장 규모
 - 수소생산 부문에서 일본 수소 시장 규모는 2025년 약 119억 달러로 연평균 10.1%(2020~2025년) 성장할 전망
 - 수소저장 부문에서 일본 수소 시장 규모는 2024년 약 4억 달러로 연평균 5.1%(2019~2024년) 성장할 전망
 - 수소운송 부문에서 2030년부터 액화수소, MCH(Methylcyclohexane) 등 대규모 저장기술 상용화로 급성장할 것으로 전망
 - 수소 활용 부문에서 일본 암모니아 발전 규모는 2035년 약 5억 8,000만 달러에 이를 전망이며, 수소차는 인프라 확대와 함께 2030년까지 100배 이상 성장할 전망

[그림 50] 일본 수소 관련 시장 전망⁶³⁾



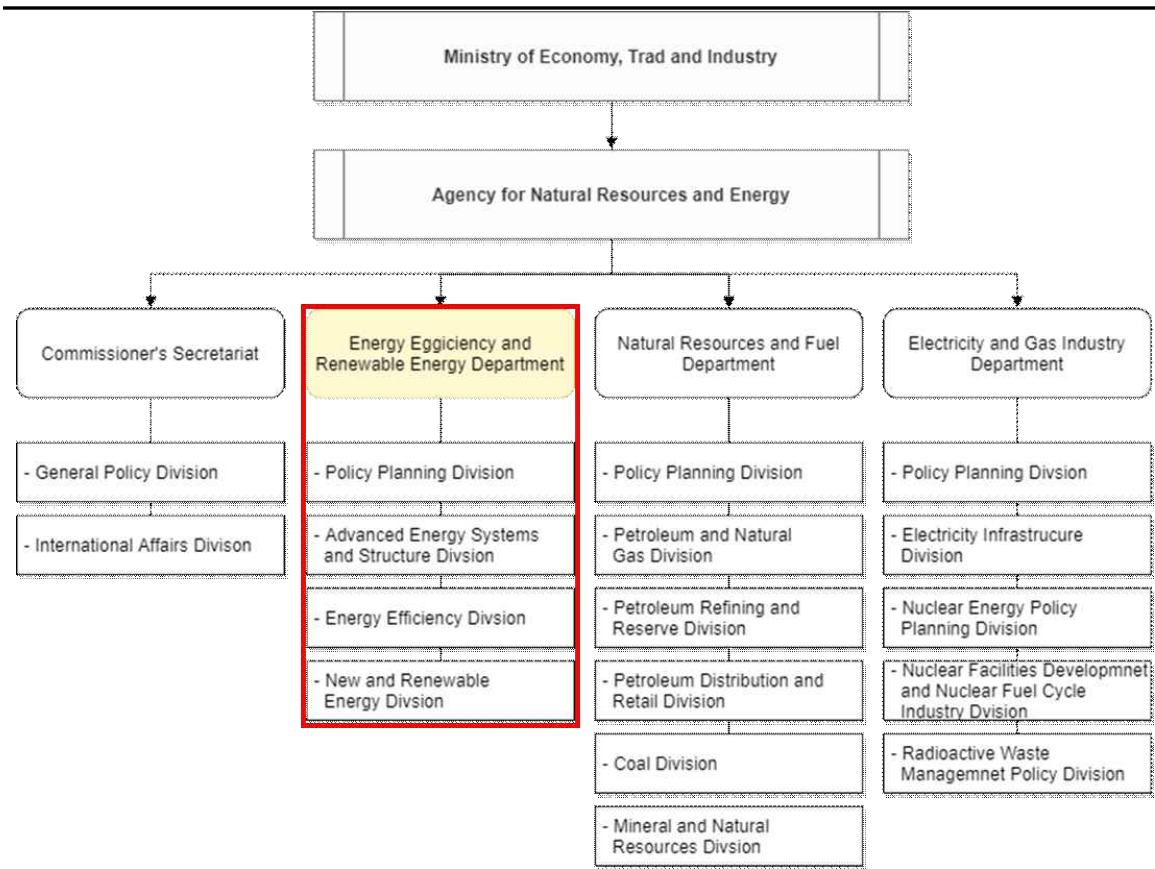
자료: 후지경제연구소

63) <http://www.amenews.kr/news/view.php?idx=34045>

□ 일본 수소경제 정책 추진 체계

- 수소경제 정책은 일본 경제산업성(METI) 산하의 자원에너지청(Agency for Natural Resources and Energy) 중심으로 추진
 - 자원에너지청의 하위 부서인 “Energy Efficiency and Renewable Energy Department” 에서 수소 및 연료전지와 관련된 업무 수행

[그림 51] 일본의 수소경제 추진 조직



자료: METI 웹사이트

□ 일본 수소경제 정책 예산

- 수소경제 정책 추진을 위해 경제산업성(METI)과 환경성(MOE) 각각 수소 관련 예산 편성

<표 34> 일본 수소 관련 정책별 예산⁶⁴⁾

(단위: 십억 엔)

정부 기관	분류	명칭	예산	총 예산
MOE	Toward a Decarbonized Society In the technological and social systems practice of innovation	Project to promote a hydrogen society using renewable energy	3.58	6.58
		Social infrastructure development project using hydrogen	3	
METI	Strengthening efforts to realize a hydrogen society	Subsidy for the introduction of clean energy vehicles	13	70
		Subsidies for hydrogen station construction projects to promote fuel cell vehicles	12	
		R&D projects to utilize innovative fuel cell technologies and other technologies to realize a hydrogen society	5.25	
		Demonstration project to build hydrogen supply chain using unused energy	14.12	
		R&D projects for the construction of low-cost hydrogen supply infrastructure utilizing ultra-high-pressure hydrogen technology	3	

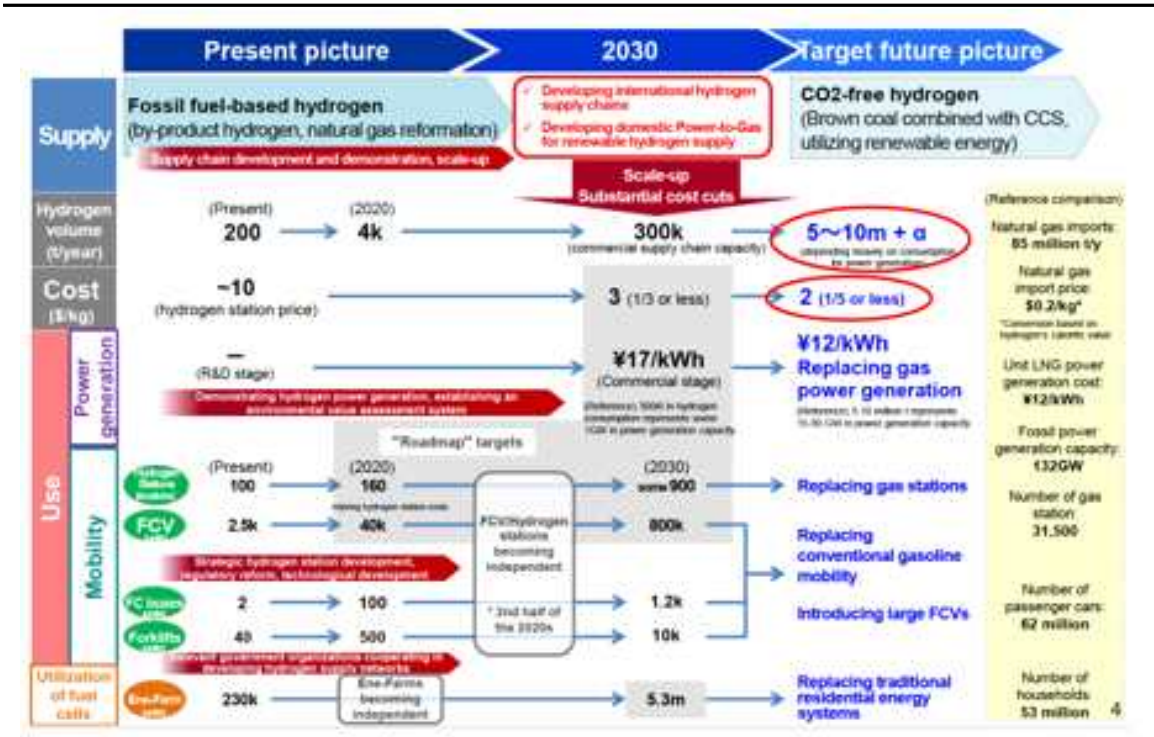
자료: METI

64) 우리나라와 분류체계 등이 다를 수 있으므로 비교 시 유의할 필요

□ 일본 수소경제 전략 동향

- 일본은 3년마다 발표하는 「에너지 기본계획」, 2018년 6월 발표한 「수소 기본 전략」과 2020년 6월 발표한 「수소·연료전지 전략 로드맵」으로 수소경제 전략 추진

[그림 52] 일본의 수소 기본 전략 로드맵

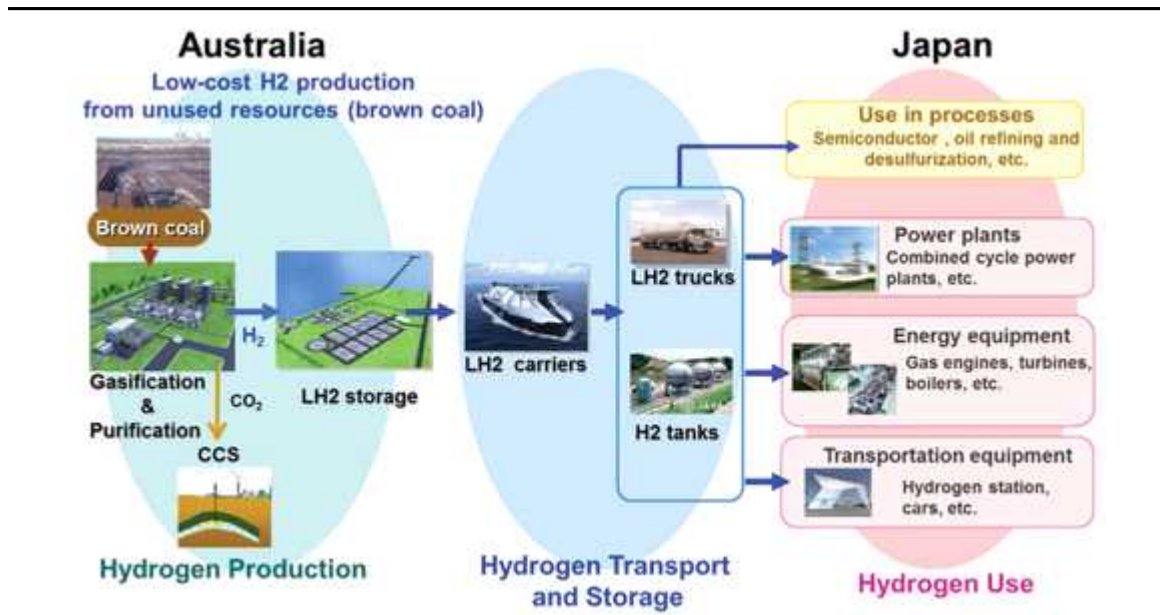


자료: METI Basic Hydrogen Strategy(2017.01)

- 수소생산 부문에서, 일본은 수소에너지를 주요 수단으로 하는 1차 에너지 공급 구조 다각화 추진
 - 일본에서 생산된 수소 대부분은 산업계로부터 발생한 부생수소 또는 LNG 및 LPG를 통한 개질 수소로 구성
 - 재생에너지 등을 활용하여 수소를 생산하고, 일본 자국 내뿐만 아니라 해외에서 생산된 수소를 적극 활용
 - 자원 부국으로부터 저탄소 수소를 수입하고 탄소 배출이 없는 수소 에너지 생산을 위해 CCS 기술 적용

- 수소운송 및 저장 부문에서 일본은 국제 수소 공급망 구축을 통해 해외 에너지를 활용하기 위한 기술개발 진행
 - 해외 재생에너지로부터 생산된 수소 등 수소 도입 범위 확장을 위한 저장 기술이 핵심 기술로 고려
 - 수소운송의 주요 방법의 하나로, 파이프라인으로 단거리·대용량 수소 운송 프로젝트 실시
 - 일본은 호주에서 수소에너지 수입을 위하여 세계 최초로 선박을 이용하여 액화 수소운송 실시

[그림 53] 일본과 호주의 수소경제 협력 체계



자료: Study on Introduction of CO2 Free Energy to Japan with Liquid Hydrogen

- 수소 활용 부문에서 일본은 수소차(FCEV) 및 수소 기반 발전에 대한 수소에너지 적용 계획 수립
 - 수소차와 연료전지를 적용한 수소경제 생태계 구축 계획 수립
 - 연료전지를 적용한 버스, 지게차, 트럭 및 선박 등을 생산해 폭넓게 연료전지 활용
 - 천연가스 발전과 같이 수소 발전을 통해 전력 생산뿐만 아니라 발전 용량 확대 계획 수립

[그림 54] 일본 수소 활용 계획



자료: METI

참고 : 일본 암모니아 발전소 건설 현황

- 일본은 무탄소 연료인 수소(H_2)와 암모니아(NH_3)를 발전 연료로 활용하기 위한 움직임 진행
 - 일본은 2019년 경제산업성 산하에 '암모니아 에너지 위원회'를 만들어 암모니아를 활용한 에너지 정책 추진
 - 일본은 발전 석탄, LNG, 연료전지 등 전 분야에서 암모니아 연소 기술에 대한 기초 실증을 완료하였으며 현재 암모니아로 전력을 생산하는 단계 도달
 - * 일본 중공업 회사인 IHI(Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd., 이시카와지마하리마)가 천연가스와 액체 암모니아를 3대7로 섞어 세계 최초 2,000kW급 가스터빈 운전에 성공하였으며, 발전기업 JERA(Japan's Energy for a new eRA)와 IHI가 협력해 1GW급 발전소를 개조해 석탄에 암모니아를 20% 섞어 운영하는 시범사업 진행 중
 - 2024년까지 1기가와트(GW)급 석탄발전소에서 암모니아와 석탄을 통해 전력을 생산하며 향후 암모니아로만 전력을 생산하기 위한 기술개발 추진 중

- 수소 인프라 부문에서 일본은 국제 공급망 차원에서 국내·외 운송 및 인프라 구축이 가능한 기술개발 추진
 - 액화수소 기반으로 유기 수소 화합물 방식을 이용하여 수소 운반체를 활용할 수 있는 인프라 구축 계획 수립
 - 수소 수입 항만 시설 등 관련 인프라 개발을 통해 기술, 안전, 환경 문제를 해결하기 위해 호주와 액화수소 공급망 구축 프로젝트 추진
 - 수소충전소 건설을 지속 증가하여 수소 인프라를 확장할 계획

[그림 55] 일본 수소충전소 설치 현황(105개소)



자료: H2Station 웹사이트(2021.12.)

참고 : 일본 수소충전소 규제

- 2020년 도쿄올림픽에 맞춰 수소차 보급 및 인프라 확장 노력
- 일본의 수소충전소 구축은 정부 및 지자체의 경제적 지원과 낮은 규제 효과
 - 우리나라 수소충전소는 충전 압력 규제(고압가스안전관리법)로 인해 수소차 충전 후 압력이 차오르는 시간 존재
 - * 일본 「고압가스보안법」 및 「소방법」 개정으로 수소충전소 설치 용이(수소충전소와 도로 사이의 거리가 8m 이상 떨어져야 했지만 벽을 하나 설치함으로 도로 사이의 거리를 5m까지 허용)
 - 수소충전소 설치 위치에 제약이 없고, 상용 주유소와 병행 설치 및 셀프 수소충전소를 설치할 수 있도록 규제 완화
 - * 일본은 수소충전소 설치 단계부터 민간단체의 의견 적극 수렴

□ 일본 수소경제를 위한 지원 동향

○ New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO)은 수소 클러스터를 통한 일본 내 자원 활용 정책 실시 (2019년 3월 26일)

- NEDO 수소 클러스터는 수소경제 관련 R&D, 정보교류, 교육, 신사업 지원 등을 위한 프로젝트 수행

<표 35> NEDO 수소 클러스터

프로그램	주요 내용
후쿠오카 수소 전략	- (R&D) Long life, Anti-high pressure 수소 밀봉, 결합, 장착 - (Demonstration project) 수소 파이프라인 공급, 공공주택 연료전지, 하수 슬러지를 통해 수소생산 - (Development of new industries) Hydrogen visualization sheet, 금속 패키징, 수소 가스 불순물 분석
야마나시 연료전지 밸리	- (R&D) 고분자 전해질 연료전지(PEFC) 평가 및 분석 향상 R&D, 새로운 소재의 PEFC 개발 - (Demonstration project) 1.5MW 수전해설비를 위한 Power to Gas 프로젝트 실시 - (Development of new industries) 소형 연료전지 전원 공급 시스템, GDL, CCM 생산-처리를 위한 금속 분리 기술
후쿠시마 에너지 사회	- (R&D) 수소저장 및 운송을 위해 MCH 연구개발, 10MW전력과 20MW PV를 위한 Power to Gas 기술개발 - (HR Development) HRS의 트레이닝 코스 개발

자료: New Energy and Industrial Technology Development Organization

- FH2R(The Fukushima Hydrogen Energy Research Field)에서 수소 생산(2021년 3월 22일)
 - 태양, 풍력, 바이오 등을 활용한 그린 수소생산 및 수소차, 에너지 펌, 수소버스 등 다양한 활용처 발굴
- 기술개발을 통해 탈탄소 목표 달성을 위해 일본-호주 파트너십 체결(2021년 6월 13일)
 - Hydrogen Energy Supply Chain(HESC) 수립 및 Japan-Australia Energy and Resources Dialogue(JAERD) 성명
 - 저배출 LNG, 암모니아 및 청정수소 사용 확대를 초점으로 상호 간 기술개발 협력
- 일본 2020년 RDD&D(Research, Development, Demonstration and Deployment ; 연구, 개발, 시연 및 배치) 예산을 살펴보면 수소 및 연료전지 관련 약 6억 5,000만 달러 규모(2021년 10월 21일)
 - 해외 수소 공급망 지원을 위해 1억 4,100만 달러 규모 지원
 - 수소 공급망 형성을 위한 기반 시설 조성 및 연구개발을 위해 3,000만 달러, 수소생산-저장-활용을 위해 1,500만 달러 지원
 - 청정에너지 교통수단(수소 및 연료전지) 활용 대상 2억 4,700만 달러, 가정용 연료전지 대상 4,000만 달러, 연료전지 대상 R&D를 위해 5,250만 달러 지원
 - 수소충전소를 위해 1억 2,000만 달러 지원
- NEDO는 수소 관련 200억 달러 규모 Green Innovation Fund 조성 (2021년 10월 21일)
 - 수소 관련 프로젝트의 일환으로 대규모 수소 공급망 조성을 위해 27억 달러, 그린 수소생산을 위해 7억 달러 규모 펀드 조성 등

- 세계 최초로 액화수소를 선박으로 운송하기 위한 3억 5,500만 달러 규모의 HESC(Hydrogen Energy Supply Chain) 프로젝트 완료(2021년 12월 6일)
 - 호주에서 생산한 수소를 액화시켜 일본으로 운송함으로써 세계 최초로 국제간 거래를 위한 액화수소의 장거리 해상 운송 성공
- 세계 최초로 수소 하이브리드 열차 시범 운영 실시(2022년 2월 21일)
 - 히타치와 토요타가 40억 엔을 투자하여 공동 개발한 수소 하이브리드 열차를 시범 운영하기 시작하였으며 2030년 상용화 예정
- 일본-인도 간 수소 관련 공공 파트너십 추진을 목적으로 논의 실시(2022년 2월 28일)
 - “CII JETRO Green Hydrogen Dialogue” 인도에서 일본 기업의 수소 생산 가능성을 논의하는 등 인도 수소 사업을 위해 일본의 기술개발 협력 논의실시
 - 2022년 4월 인도는 일본의 기술 이용 검토 논의 등 수소 세미나를 개최하는 등 일본-인도 간 수소 파트너십 체결
- 일본의 2022년 수소 관련 예산은 2021년 대비 11% 증가한 75억 8,600만 달러 규모(2022년 2월 28일)
 - CCUS 등 수소 사용, 저장, 재활용 관련 예산에 6억 5,200만 달러 지원
 - 수전해 및 연료전지 기술개발에 1억 6,660만 달러, 암모니아 이용 분야에 1억 8,700만 달러 지원
 - 수소차에 6억 9,000만 달러 지원
 - 전기차 및 수소차 충전소 설치를 위해 4억 4,500만 달러 규모 예산 지원

- JBIC(The Japan Bank for International Cooperation)는 유럽과 Hy24 수소 플랫폼 투자를 위해 1억 870만 달러 규모 투자(2022년 5월 8일)
 - 청정수소 관련 인프라 형성을 위한 수소 플랫폼 지원
- 미국, 인도, 일본, 호주 4개국 정상은 쿼드(Quadrilateral Security Dialogue: Quad) 리더 회의에서 수소에너지를 포함한 에너지 공급망 논의(2022년 5월 24일)
 - 2022년 1월 수소 공급망 확보를 위한 Australia-Japan Clean Hydrogen Trade Partnership 발표

5. 호주

<표 36> 호주 수소경제 생태계별 특징

구분		특징
생산	그린	- 신재생에너지(풍력, 수력, 태양광 등)를 바탕으로 청정수소 생산 - 청정수소 수출국으로 발돋움 목표
	블루	- 화석연료에 CCUS 기술을 적용하여 청정수소 생산
저장	기체	- 압축 수소와 가스 혼합한 청정에너지 혁신 허브 구축
	액체	- 효율적 수송을 위한 액체 수소 기술 연구개발 및 실증화
	액상	- 암모니아를 매개체로 한 수소저장 기술개발 진행
	고체	-
운송	파이프라인	- 기존 형성된 파이프라인을 통한 자국 내 운송 기술 실증 연구 중
	튜브 트레일러	- 압축 수소 저장탱크를 활용한 운송 실시
	탱크 로리	- 수소 수출을 목적으로 해상 운송 실증 연구 - 일본과 협업하여 해양 운송 기술개발 추진
활용	모빌리티	- 수소차 보급 확대를 위해 보조금 등 혜택 지원
	발전	- 생산한 청정수소를 천연가스 등에 혼합하여 발전 분야 활용
	산업	- 천연가스를 대체하여 가스 네트워크를 갖춘 분야에 활용
인프라	충전소	- 수소차 시장 확대를 위한 수소충전소를 포함한 인프라 확대
	안전, 인증 및 표준화	- 호주기준청(Standards Australia)을 중심으로 안전, 생산, CCUS, 수소 차량 및 충전 설비 등 다양한 분야 표준 개발
전략		- 호주의 수소경제 전략 핵심은 신재생에너지를 기반 그린 수소생산 - 생산한 청정수소를 해외에 공급하여 수소 수출국 지위 확보

□ 호주 수소경제 개요

- 호주는 2050 탄소중립 달성과 함께, 수소 및 재생에너지 생산을 통해 주요 수소·재생에너지 수출국으로 발돋움할 목표 수립
- 호주 정부 산하 기관인 “Australian Renewable Energy Agency”에서는 수소에너지(Hydrogen Energy)를 아래와 같이 정의
 - “수소는 우주에서 가장 흔한 화학물질로 지속가능한 에너지로 생산 및 저장하는 방법으로 활용” 으로 정의⁶⁵⁾
- 2019년 11월에 발표한 호주 에너지협회의 「Australian's National Hydrogen Strategy」에서 수소경제 범위 언급
 - “수소생산, 운송 및 활동을 위한 규제 프레임워크 설정과 에너지 가격 및 안보” 포괄범위 언급⁶⁶⁾

[그림 56] 호주 에너지협의회 국가 수소 전략



자료: Department of Industry, Science, Energy and Resources(2019.11.)

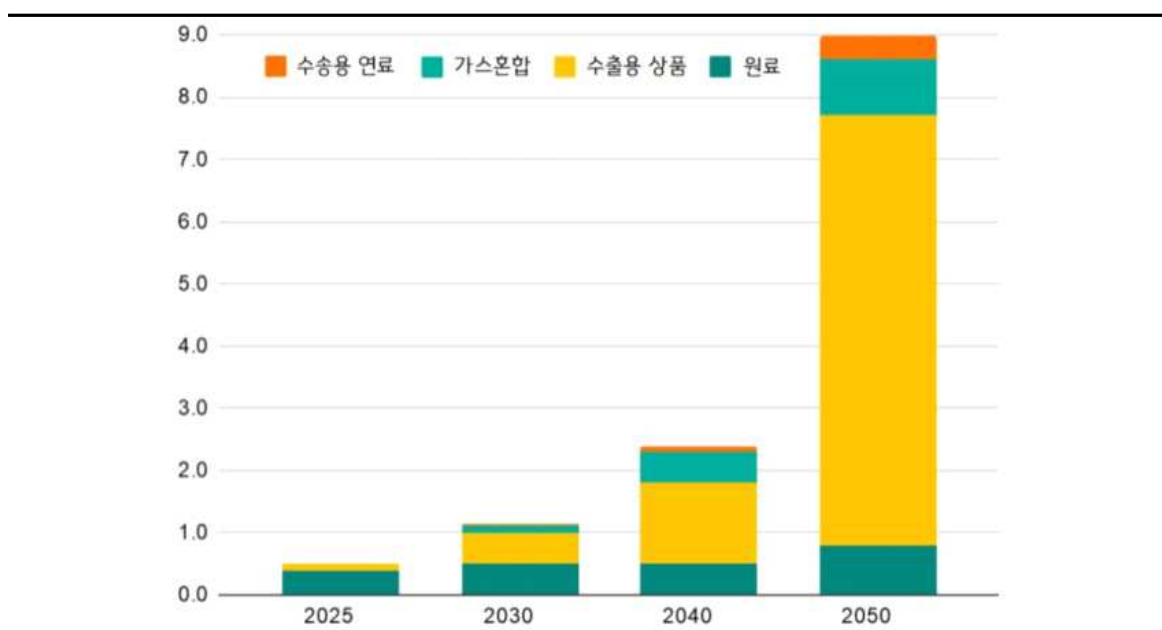
65) When it is produced using renewable energy or processes, hydrogen becomes a way of storing renewable energy for use at a later tie when it is needed

66) Building and demonstrating broad capability in making, moving, and using clean hydrogen is only part of the story

□ 호주 수소경제 규모

- 호주 수소 산업은 생산 분야를 중심으로 형성되어 있으며, 2030년부터 국제적인 경쟁력을 가질 것으로 예상
 - 전통적인 자원 수출국으로서의 강점을 활용하여, 수소생산과 수출 부문에서도 선도국가가 되려는 목표
 - 한국, 일본 등 동아시아 국가에 2030년에 22억 달러, 2040년에 57억 달러 규모의 수소를 수출할 것으로 전망
- 기술 분야별 수소 시장 규모
 - 수소생산 부문의 호주 시장 규모는 2020년 약 44억 달러에서 2025년에는 71억 달러 규모로 연평균 10% 성장 전망
 - 수소저장 부문의 호주 시장 규모는 2019년 약 2억 달러에서 2024년에는 3억 달러 규모로 연평균 5% 성장 전망
 - 호주 주요 도시를 중심으로 형성된 파이프라인을 활용한 기체 수소 운송 및 일본과 협업하여 액화수소 해상 운송 실증 중
 - 대부분 암모니아 생산 및 정유 목적으로 소비되며 탄소중립 방식인 그린 암모니아 생산 시도 중

[그림 57] 호주 수소 주요 사용처



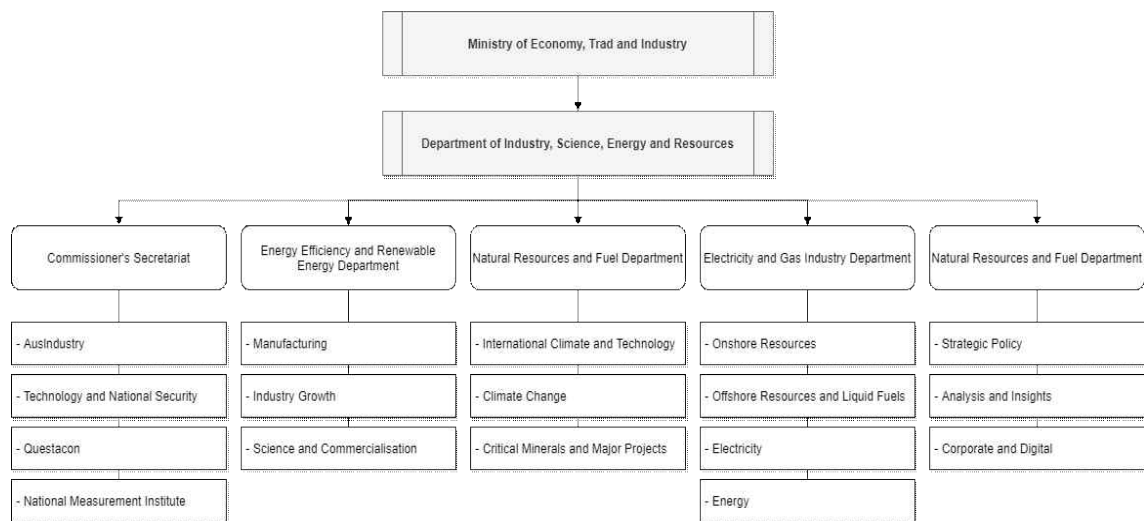
자료: COAG Energy Council

□ 호주 수소경제 추진 체계

○ 호주는 국가 수소 전략 개발을 위해 별도의 수소 실무 그룹 (Hydrogen Working Group) 설립

- 경제 및 일자리 창출 운영 부처인 “Department of Industry, Science, Energy and Resources” 에서 수소 관련 전략 추진

[그림 58] 호주 수소 실무 그룹

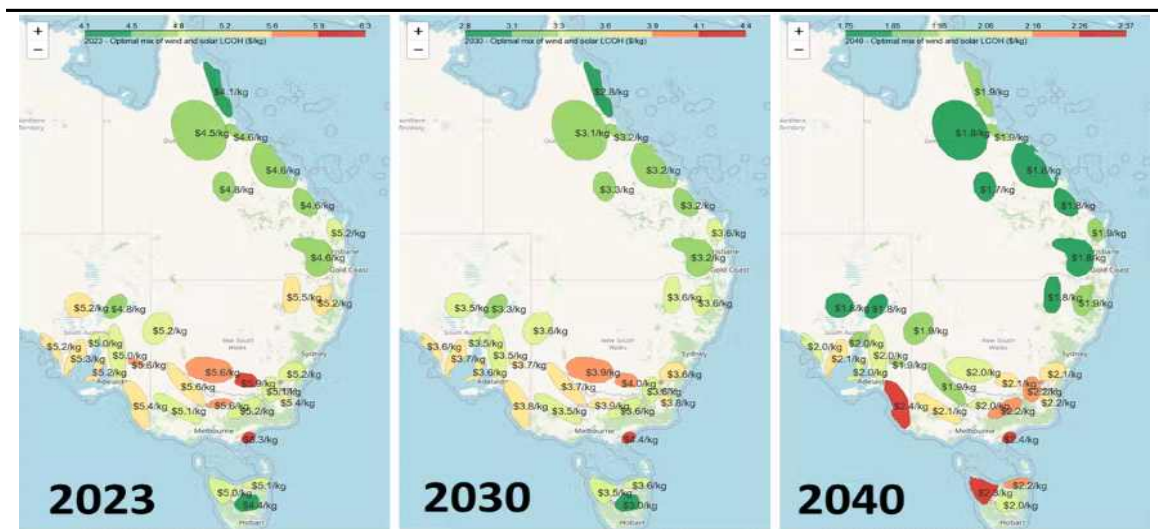


자료: Department of Industry, Science, Energy and Resources

□ 호주 수소경제 전략 동향

- 호주 정부에서 주별 수소 전략인 「State of Hydrogen 2021」 과 호주 에너지협의회에서 발표한 「Australia's National Hydrogen Strategy」 에서 수소 전략 공개
- 호주에서는 수소를 생산하는 방식을 3가지로 구분하여 제시
 - 신재생에너지 등을 활용하여 물을 전기 분해(수전해)하여 수소를 생산하는 방법으로 탄소 배출이 없는 청정수소생산
 - 열화학적 반응을 이용하여 석탄을 가스화하거나 천연가스를 SMR 공정을 통해 수소를 생산하며, 현재 수소를 가장 많이 생산하는 방법
 - 화석연료를 통해 수소를 생산할 경우 탄소를 배출하므로 탄소포집 기술을 적용하여 청정수소생산
 - 호주는 풍력, 태양, 수력 자원을 활용하여 높은 품질의 신재생 수소를 대량으로 생산하는 것을 주요 목적으로 설정

[그림 59] 호주 재생에너지 기반 수소생산계획⁶⁷⁾

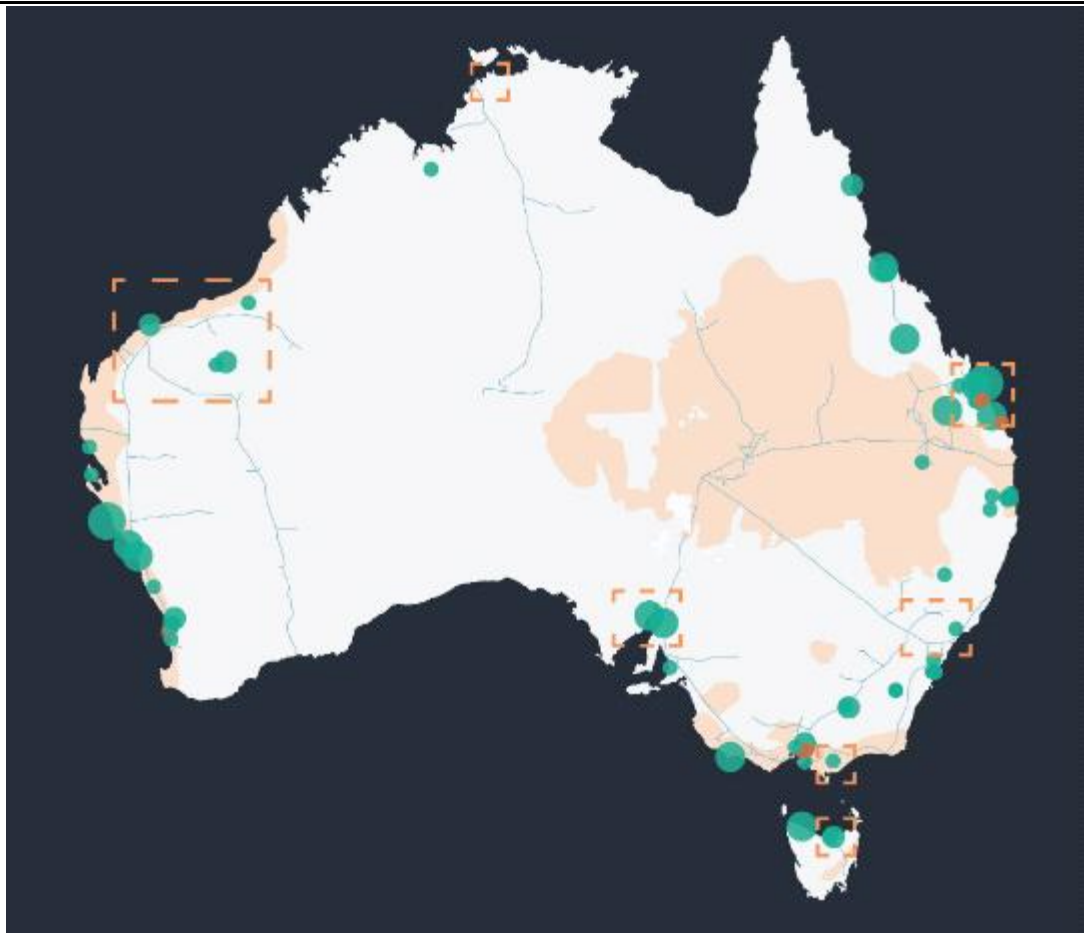


자료: Victorian Hydrogen Hub

67) <https://theconversation.com/green-hydrogen-is-coming-and-these-australian-regions-are-well-placed-to-build-our-new-export-industry-174466>

- 호주는 이미 형성된 파이프라인을 통한 국내 운송, 해외 수출을 목적으로 액화수소 해상 운송에 대한 실증 연구 실시
 - 암모니아(40% 이상)와 액화수소(80% 이상)를 활용한 효율 향상과 대용량 저장 시설 가격 안정화를 위한 노력
 - 압축 수소 저장탱크와 가스 혼합 파이프라인을 바탕으로 청정에너지 혁신 허브 구축

[그림 60] CCS 잠재력 및 가스 파이프라인⁶⁸⁾



자료: CSIS 「Australia's Hydrogen Industrial Strategy」(2021.10.)

68) <https://www.csis.org/analysis/australias-hydrogen-industrial-strategy>

- 수소를 다른 자원을 활용하는 경우처럼 저렴하게 공급하여 다양한 분야에 적용
 - 수소 연료전지를 사용하는 소비자(수소차 운전자)에게 보조금 등 추가적인 혜택 지원
 - 천연가스와 같이 수소를 난방, 산업, 차량 등 가스 네트워크를 갖춘 다양한 분야에 적용
 - 수소 연료전지를 활용한 자동차, 트럭, 버스, 기차 등을 빠른 충전 시스템을 갖춘 교통수단으로 활용
- 비용효율적인 수소경제 생태계 구축을 위한 인프라 설비 개발
 - 파이프라인, 저장탱크, 충전소, 항구, 도로 등 수소 공급망을 통해 대규모 수소 수출 산업을 위한 인프라 조성
 - 수소차 시장 확대를 위해 수소충전소 등을 포함한 인프라 확대
 - 북호주를 포함한 다양한 주에서 펀드 및 이니셔티브를 조성하여 수소 관련 투자를 위한 맞춤형 지원 실시

[그림 61] 호주 수소충전소 현황(4개소)



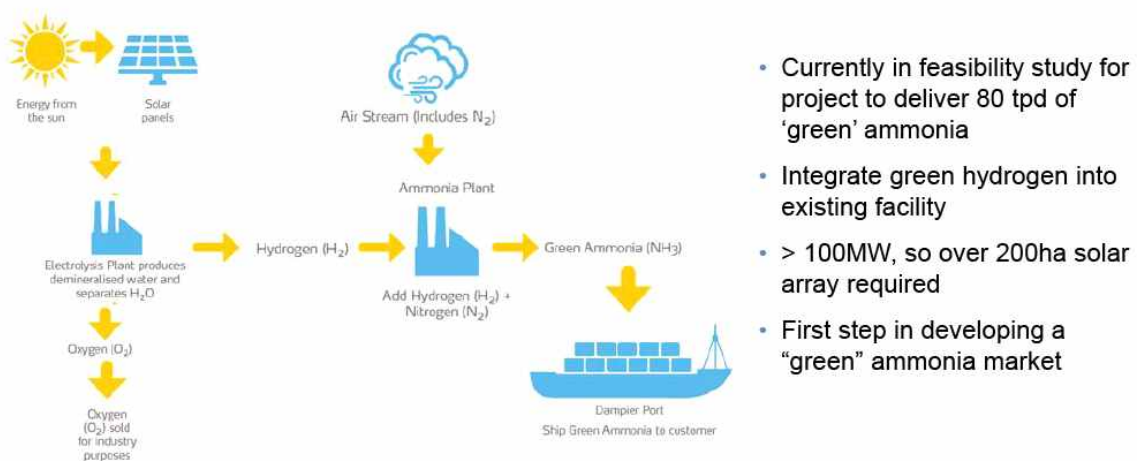
자료: H2Station 웹사이트(2021.12.)

□ 호주 수소경제를 위한 지원 동향

- 호주 재생에너지기구(ARENA, The Australian Renewable Energy Agency)는 청정수소 수출을 목표로 16개 수소 관련 프로젝트 수행을 위해 2,210만 달러 펀드 조성(2018년 9월 6일)
 - 2017년 ARENA 수소 R&D 관련 기금 조성 후, 수소에너지 공급망 조성을 위한 연구로 호주 9개 대학과 연계한 연구 수행
- ARENA, 서호주 및 Victoria 지역 호주 수소센터 설립을 위해 128만 달러 지원(2020년 2월 21일)
 - 호주 가스 네트워크(AGN, Australian Gas Networks Limited)에 기존 천연가스 파이프라인에 수소 혼합 가능성에 대한 타당성 연구 수행
- Pilbara 지역 재생가능 수소생산 연구에 99.5만 달러 지원(2020년 2월 21일)
 - Yara 社の 기존 암모니아 생산시설을 활용한 산업적 규모의 녹색 수소생산 가능성에 대한 타당성 연구 수행

[그림 62] Pilbara 재생 수소 프로젝트⁶⁹⁾

Yara Pilbara's Renewable Ammonia Project



자료: Yara Corporate 웹사이트

69) <https://www.yara.com.au/siteassets/about-yara/pilbara-documents-other/renewable-ammonia-factsheet-ver-01.pdf/>

- Queensland 중부지역의 재생 가능 수소생산시설 설립에 125만 달러 지원(2020년 3월 11일)
 - Stanwell 社 발전소 부근 재생가능 수소 시범 공장에 대한 타당성 평가 연구 진행
- 서호주 Geraldton 지역 재생 가능 수소 및 암모니아 생산시설 건설에 171만 달러 지원(2020년 5월 8일)
 - BP Australia 社 지원을 통해 가정용 재생 가능 암모니아 연 20,000톤 생산 목표 설정
- 상업적 규모 재생 수소 프로젝트에 대해 1억 330만 달러 조건부 승인(2021년 5월 5일)
 - Engie 社에 기존 암모니아 재생 시설을 활용한 10MW 전해조 프로젝트 지원 및 ATCO, AGIG 社에 가스 혼합을 위한 10MW 전해조 프로젝트 지원
- 알루미늄 정제 공정 내 재생 수소 활용 연구에 58만 달러 지원 (2021년 6월 16일)
 - Rio Tinto 社 알루미늄 정제 공정의 부분적 탈탄소화 가능성에 대한 타당성 검토
- 일본 수소 공급을 위한 수출 프로젝트에 최대 217만 달러 지원 (2021년 9월 15일)
 - 일본 Iwatani 社와의 협력을 통해 연 36,500톤 규모의 수소생산 시설 개발 및 액체 수소 선박을 통한 수출 추진
- 호주 FFI(Fortescue Future Industries) 계획에 따라 아르헨티나에서 84억 달러 규모의 그린 수소 프로젝트 실시(2021년 11월 1일)
 - 호주 FFI 계획에 따라 2030년 연간 2.2Mton 규모의 그린 수소를 수출하는 것을 목표로 아르헨티나 지역에 그린 수소생산을 위한 건설 프로젝트 실시

- Newcastle 항에 위치한 40MW 규모의 수소 허브 타당성 연구에 150만 달러 지원(2021년 11월 8일)
 - 국내·국제 공급망 연결을 활용하여 40MW 규모의 전해조를 향후 연 150,000톤 생산이 가능한 1GW 규모까지 확장 추진
- Geelong 지역 수소충전소 건설에 2,280만 달러 지원(2022년 3월 1일)
 - 수소차(FCEV) 공급을 위해 수소 압축, 저장 및 충전 인프라에 2MW 규모 전해조를 통합하고 FCEV 구매 및 사용에 대한 보조금 지급
- 독일-호주 수소 혁신 및 기술 인큐베이터(HyGATE)를 통한 재생 수소 프로젝트에 5,000만 달러 지원(2022년 3월 10일)
 - 수소 기술혁신, 비용 절감, 공급망 개발 등 재생수소 기술개발 지원
- 북서부 호주를 중심으로 역사상 가장 혁신적인 에너지 사업 중 하나인 국가를 가르는 수소 파이프라인 프로젝트 지원(2021년 4월 20일)
 - 수력 발전을 통한 그린 수소생산을 위해 1,880억 달러, 암모니아를 이용한 수출을 위해 300억 규모 프로젝트 실시
- 호주 정부는 새로운 수소 허브 조성을 위해 2억 1,700만 달러 규모의 예산 투자 결정(2021년 4월 20일)
 - 호주 연방 정부는 CCS를 포함한 저탄소 수소생산 허브를 신속히 조성하기 위해 노력

6. 우리나라

<표 37> 우리나라 수소경제 생태계별 특징

구분		특징
생산	그린	- 고효율·대용량 수전해 시스템 개발로 신재생에너지를 통한 수소 생산 계획 수립
	블루	- 시멘트·석유화학 분야에 CCUS 기술을 활용한 청정수소 생산
저장	기체	- 현재 차량용 저장 용기 등 소규모 저장 관련 기술개발로 대규모 저장 관련 기술 취약
	액체	-
	액상	-
	고체	- 고체 흡착 수소저장 기술개발
운송	파이프라인	- 수소생산 지역 중심으로 수소 배관망 구축 - 기구축된 LNG 파이프라인에 수소 혼입 실증 연구 실시
	튜브트레일러	- 수소충전소 공급을 위한 전용 특수 차량 개발 지원
	탱크로리	- 극저온 단열 기술로 액화수소 운반선 및 추진선 핵심 기술개발
활용	모빌리티	- 정부 보조금 지원을 통해 수소 모빌리티 보급 확대
	발전	- 세계 최초 부생수소를 에너지원으로 활용하는 상업용 발전소 준공 - 석탄에 암모니아를 혼소한 발전기술 확보 및 실증 연구
	산업	- 가정용·건물용 수소 연료전지 시스템 실증 중
인프라	충전소	- 정부 주도의 수소충전소 설치 및 인프라 마련 정책 실시 - 수소차 소재 국산화율 향상을 위한 R&D 실시
	안전, 인증 및 표준화	- 세계 최초 수소법 제정과 수소 표준 및 인증에 대한 구체적 계획 수립 - 산업통상자원부는 수소 기술 안전기준 및 규제 개선 종합 계획 수립
전략		- 우리나라 수소경제 전략 핵심은 수소 모빌리티와 연료전지를 중심으로 수소경제 생태계 구축

□ 우리나라 수소경제 개요

- 수소경제 법률인 「수소경제 육성 및 수소 안전 관리에 관한 법률」에서 수소경제 개념 정의
 - 우리나라에서 “수소경제란, 수소의 생산 및 활용이 국가, 사회 및 국민 생활 전반에 근본적 변화를 선도하여 새로운 경제 성장을 견인하고 수소를 주요한 에너지원으로 사용하는 경제산업구조”로 정의
- 「수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률」에서 수소경제 범위 설정
 - 수소 산업을 “수소의 생산·저장·운송·충전·판매 및 연료전지, 수소 가스터빈 등 수소를 활용하는 장비와 이에 사용되는 제품·부품·소재 및 장비의 제조 등 수소와 관련한 산업”으로 수소 산업 범위 설정
 - 해당 정의에 따라 수소경제 범위는 생산-저장-운송-인프라(충전) 및 활용(판매, 연료전지, 수소 가스터빈)을 포함

수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률

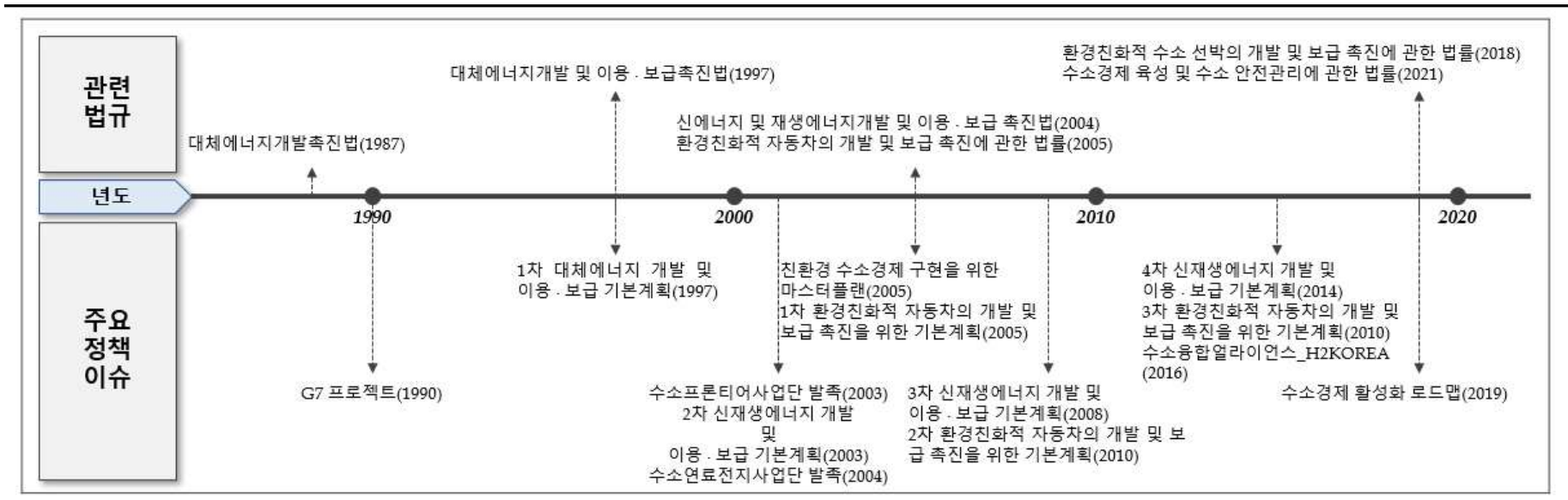
- **제1조(목적)**이 법은 수소경제 이행 촉진을 위한 기반 조성 및 수소 산업의 체계적 육성을 도모하고 수소의 안전관리에 관한 사항을 정함으로써 국민경제의 발전과 공공의 안전 확보에 이바지함을 목적으로 한다.
- **제2조(정의)** 이 법에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다. <개정 2022. 6. 10.>
 1. “수소경제”란 수소의 생산 및 활용이 국가, 사회 및 국민생활 전반에 근본적 변화를 선도하여 새로운 경제성장을 견인하고 수소를 주요한 에너지원으로 사용하는 경제산업구조를 말한다.
 2. “수소 산업”이란 수소의 생산·저장·운송·충전·판매 및 연료전지, 수소가스터빈 등 수소를 활용하는 장비와 이에 사용되는 제품·부품·소재 및 장비의 제조 등 수소와 관련한 산업을 말한다.
 6. “연료전지”란 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급촉진법」 제2조 제1호에 따른 신에너지의 하나로서 수소와 산소의 전기화학적 반응을 통하여 전기와 열을 생산하는 설비와 그 부대설비를 말한다.

자료: 산업통상자원부, 국가법령정보센터

□ 우리나라 수소 관련 법안 동향

- 2019년 1월 수소경제 선도국가로의 도약을 목표로 재생에너지 정책 계획을 아우르는 「수소경제 활성화 로드맵」 수립
 - 1987년 12월 「대체에너지개발촉진법」 시행으로 대체 에너지에 대한 관심이 증가하였으나, 현실성 및 경제성이 떨어지는 이유로 현행 대비 소극적으로 정책활동 진행
 - 1990년 이후, 2000년대까지 대체에너지 및 재생에너지를 개발하여 청정에너지(수소)에 대한 연구개발 지속 수행
 - 「수소경제 활성화 로드맵」” 수립, 발표를 통해 수소경제 전반에 대한 정책 및 계획 마련
 - 2020년 2월 「수소경제 육성 및 수소 안전관리」에 관한 법률이 국회를 통과한 후 2021년부터 시행되었으며, 수소 산업 기반 조성에 대한 법적 근거 확보
 - 2022년 제 20대 대통령직 인수위원회는 수소생산 방식의 다양화, 해외 수소생산기지 확보 등 국내·외 청정수소 공급망 구축과 수소 관련 기술 R&D를 통해 경쟁력 강화 발표

[그림 63] 우리나라 수소 법안 및 정책 Time line

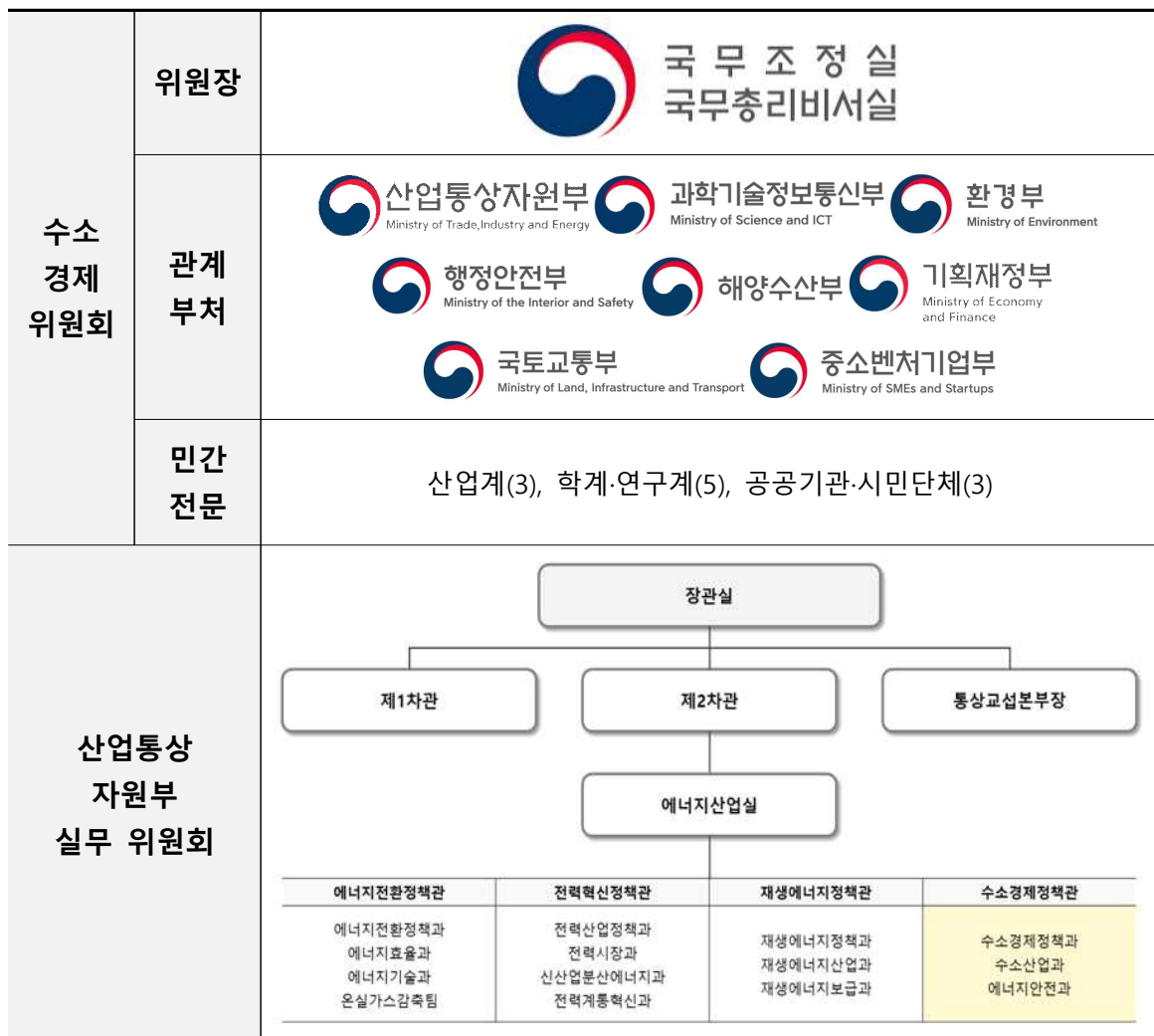


자료: 한국과학기술기획평가원

□ 우리나라 수소경제 추진 체계

- 국무총리를 위원장으로 8개 관계부처에서 협업하는 형태의 수소경제 컨트롤타워 “수소경제위원회” 출범
 - 정부 부처인 산업통상자원부, 기획재정부, 행정안전부, 과학기술정보통신부, 환경부, 국토교통부, 해양수산부, 중소벤처기업부와 산업계, 학계, 시민단체 등 전문가를 포함해 구성
 - 2021년 산업통상자원부는 수소경제위원회 하위 조직으로 실무 위원회 출범
 - 산업통상자원부 제2차관 산하 수소경제 정책관(수소경제 정책과, 수소산업과, 에너지안전과) 신설

[그림 64] 국내 수소경제 운영 조직도



자료: 수소경제위원회, 산업통상자원부

□ 우리나라 수소경제 예산

○ 우리나라 정부는 부처별 수소 관련 예산 별도 편성

- 과학기술정보통신부 보도자료⁷⁰⁾에 따르면 수소 관련 예산은 2021년 8,545억 원에서 2022년 1조 3,000억 원 수준으로 50% 이상 증가
- 수소 연료전지, 수소차, 액화수소 제조 등 수소 산업 관련 주요 기술에 대한 R&D 세액 공제 적용

70) msit.go.kr/bbs/view.do?sCode=user&bbsSeqNo=86&nttSeqNo=3179850

<표 38> 국내 수소 관련 부처별 예산(2022년)⁷¹⁾

관계 부처	주요 내용	생태계	소요예산(억 원)
산업통상자원부	수소 유통 기반 구축사업	운송	128
	액화수소 검사 기반 구축사업	저장	42
	수소 모빌리티 2.0(수소 상용차 핵심부품) 사업	활용	90
	수소 모빌리티 확대를 위한 개방형 연료전지시스템 설계검증 플랫폼 기술개발	활용	48
	도시철도 회생전력 유희에너지 활용방안 기술실증	활용	42
	수소·암모니아발전 로드맵 마련	활용	400
환경부	수소충전소 설치 예산	인프라	2,133
	수소차 보급 예산	활용	6,795 (4,545억 원으로 삭감)
국토교통부	안산·전주·울산 등 수소 시범도시 구축	활용	245
해양수산부	민간 외항선, 내항선 등에 친환경 선박 보급 지원	활용	265
	수소·암모니아 선박 기술개발을 위한 ‘친환경선박 전주기혁신기술개발’ 사업	활용	2,540
	중소선박 보급형 온실가스 등 저감장치 개발	기타	34
과학기술정보통신부	수소생산과 저장 분야의 선도기술개발을 지원하는 R&D사업	생산·저장	76
	탄소포집·활용·저장분야의 핵심기술개발	생산	409

자료: 2020년도 예산안 위원회별 분석 자료

71) 우리나라와 분류체계 등이 다를 수 있으므로 비교 시 유의할 필요

□ 우리나라 수소경제 정책 동향

- 2021년 11월 「수소법」에 근거하여 수소 수급 계획, 제도 운영, 자원 조달, 기반 조성 방안을 포괄하는 「제1차 수소경제 이행 기본계획」 발표
- 수소경제 생태계별 단기, 중기, 장기 계획을 수립하여 진행

[그림 65] 국내 중장기 전략 동향

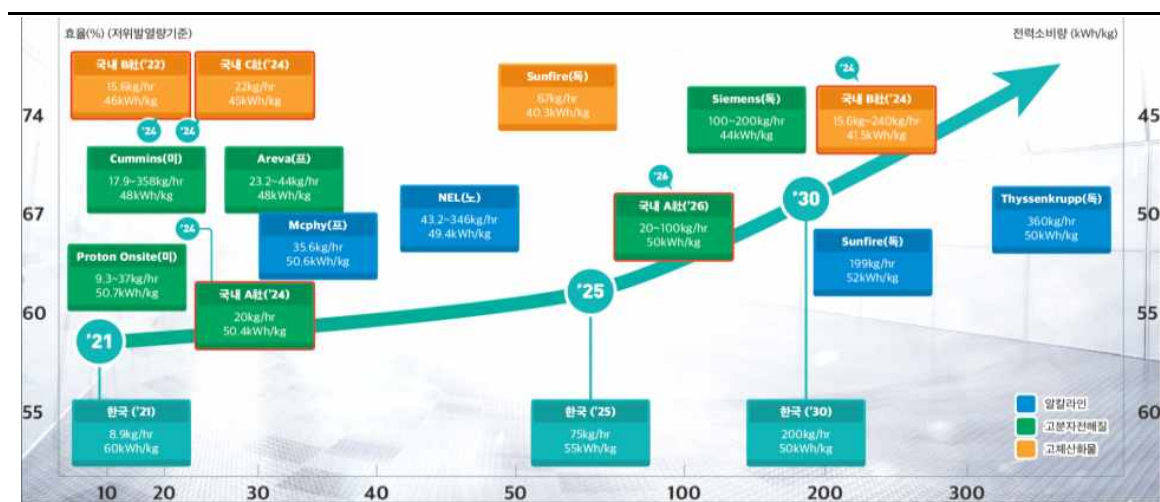
		기반 구축(~'25년)	경제성 확보(~'30년)	수소사회진입('30년~)
주요 특징		- 정부지원 기반 성장 - 민간 참여 확대	- 민간 주도 성장 - 자생적 시장성장 진입	- 비약적 성장 - 글로벌화
수소 이용	수소충전소	보급 기반 구축 - 410기	대용량화, 국산화, 표준화 - 구축 비용 절감, 520기	전국적 보급 확산
	수소전기차	초기 보급 - 10만대	본격 보급 - 가격경쟁력 확보, 신차시장 10%	모터리제이션(자동차화) 진입
	연료전지	기술개발, 실증사업, 상용화	상용화 및 규모 확대	규모 확대
	수소발전	기술개발 및 실증 - 실증 단지 구축	규모 확대 및 상용화 - 내구 확보 및 비용 절감 - 신재생에너지 발전량 10%	분산발전 본격 확산
수소 생산		- 부생수소 중심 - 천연가스 개질 수소 생산 - 수전해 기술개발/실증	- 개질 생산설비 확대 - 수전해 생산 대형화	수전해 중심성장 (CO₂-free 수소 주도)
수소저장		수소 ESS 기술개발/실증	수소 ESS 대형화, 거점확대 - 15만 톤 규모 확대	전국적 공급 기지 구축
수소운송		- 튜브 트레일러 중심 - 파이프라인 실증	- 대용량 운송, 신소재 용기 적용 - 파이프라인 길이 확대	전국 수송비용 평준화

자료: 수소융합얼라이언스추진단 「수송용 수소연료의 가격 설정 및 수급체계 구축 방안」(2017.12.)

○ 수소생산 부문에서 그린 수소, 블루 수소, 해외 청정수소생산의 3 가지 분야에 대해 세부 전략 수립

- 2030년까지 MW급 실증을 통해 대용량, 고효율 및 저비용 그린 수소 생산단가 3,500원/kg 수준 달성
 - 국내 그린 수소생산 기술은 실증 단계 수준으로 재생에너지를 활용한 그린 수소 대량생산 기술력 확보 필요
 - 제주, 전북, 전남 등 재생에너지 단지를 중심으로 대규모 그린 수소생산 및 출력제한 전력을 활용한 초기시장 창출 및 상용화 추진

[그림 66] 국내·외 기업의 기술 수준 비교



자료: 제1차 수소경제 이행 기본계획(2021.11.)

- CCUS 기술 상용화를 통해 신규 수소 클러스터를 추가하고, 블루 수소경제 생태계 조성을 위한 기반 마련
 - LNG 개질과 CCS 기술을 활용한 블루 수소생산
 - 온실가스 多 배출 업장을 중심으로 CCUS 제품을 상용화하여 온실가스 배출 저감
- 에너지 교역국을 중심으로 해외 수소 공급망 단계별 확대
 - 중동지역의 천연가스를 활용한 블루 수소와 호주 등 재생에너지를 활용하여 생산한 그린 수소를 수입
 - ‘H₂ STAR 프로젝트’ 등 국내 자본 및 기술을 해외 재생에너지 개발에 투자하여 청정수소를 생산하는 등 에너지 자립 비중 확대 전략 수립

* STAR: Supply Transportation Application Relationship

<표 39> H₂ STAR 프로젝트(안)

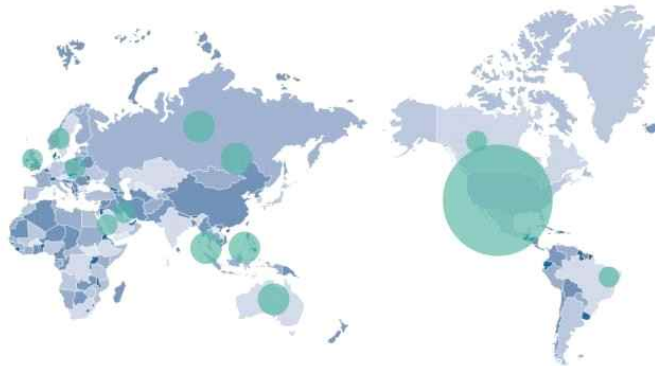
국내거점	후보국가	도입대상	수요처	도입규모('30)
당진/태안	호주	그린·블루 암모니아	석탄발전, 승용·상용차	암모니아 300만톤
영흥/인천	칠레, 사우디, 호주 등	그린 암모니아, 그린·블루 수소	석탄발전, LNG발전	암모니아 87만톤
삼척	호주, 러시아, 사우디, 오만 등	그린·블루 암모니아	석탄발전	암모니아 440만톤
동해	UAE	블루 암모니아	석탄발전, LNG발전, 수소충전소, 연료전지	암모니아 100만톤

자료: 제1차 수소경제 이행 기본계획(2021.11.)

○ 수소운송 및 저장 부문에서, 해외 시장 발굴을 위한 전략 발표

- CCUS를 통한 탄소포집을 위해 국내·외 탄소 저장소 발굴 실시
 - 국내 대륙붕 탐사를 통해 국내 탄소저장 가능 저장소 확보
 - 한중 중간수역, 동남아 및 호주 등과 연계하여 국제 공동 활용 가능한 저장소 확보 노력
- 청정수소 해외 도입을 위한 선박 및 인수기지 구축
 - 대규모 암모니아 운송 및 IMO 온실가스 감축 규제 대응을 위해 암모니아 운송선 건조 검토
 - 석탄-암모니아 혼소발전 등을 위해 수입 터미널을 개·보수하고 발전소 인근 항만에 신규 인수기지 구축
 - 급변하는 수요에 대응하기 위해 암모니아 비축기지 구축

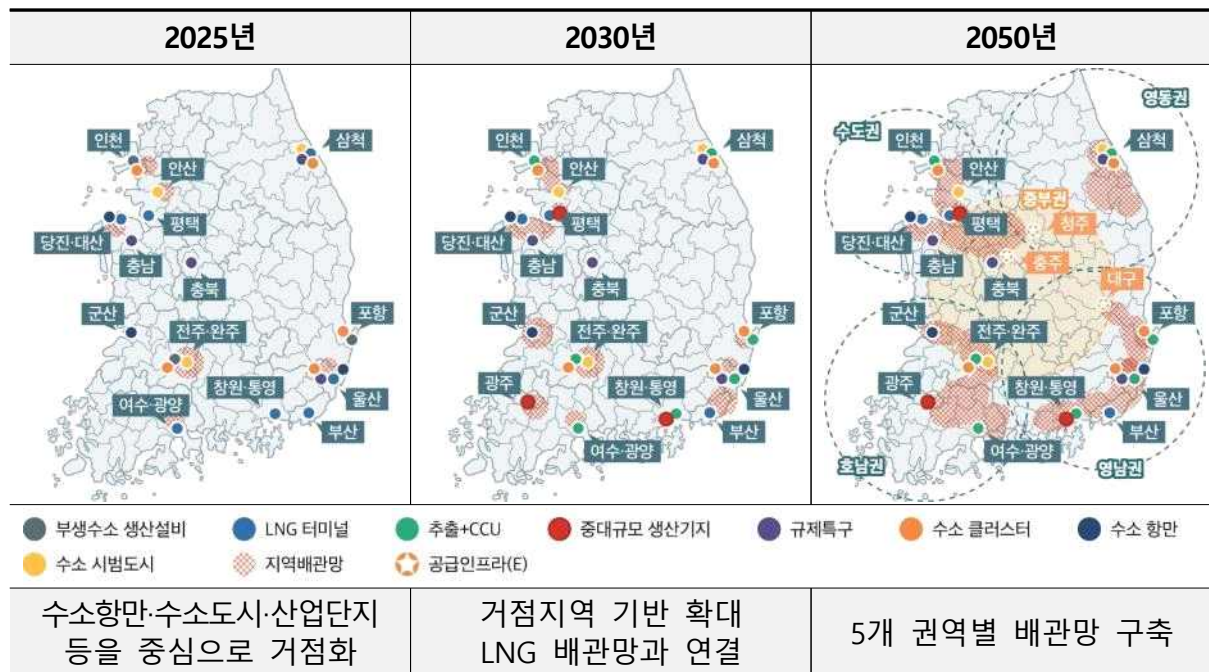
[그림 67] 해외 주요 수소저장소 현황



자료: 제1차 수소경제 이행 기본계획(2021.11.)

- 수소생산 지역을 중심으로 수소 배관망 구축을 통해 수소산업 벨트 구축
 - 수소생산 지역별(창원·광주, 인천, 부산, 당진, 보령, 울산, 군산 등) 수요 특성*에 맞는 배관망 구축
- * 발전용 및 산업용 배관은 30~100km 이내, 수송용 배관은 10km 이내에서 경제성 확보 가능
- 기구축된 LNG 배관에 수소 혼입 실증을 통해 수소 공급 확대

[그림 68] 단계별 수소 배관망 구축 로드맵



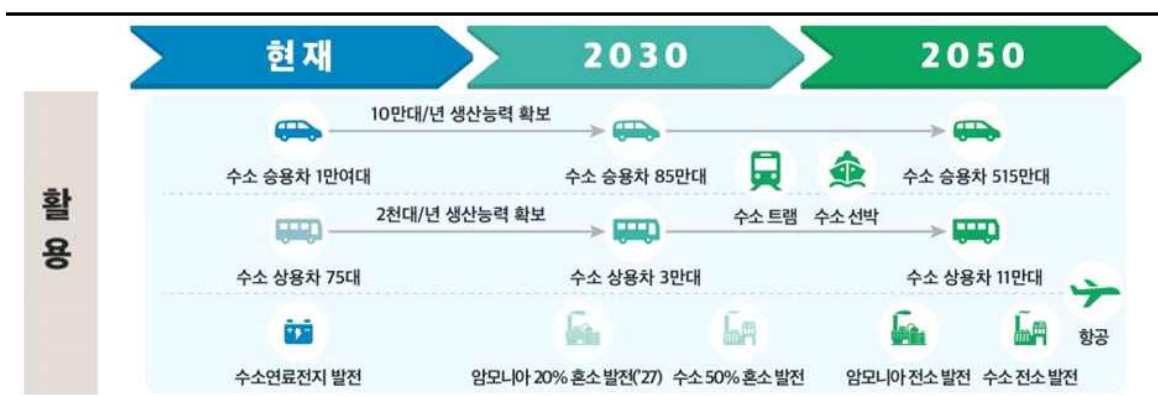
자료: 제1차 수소경제 이행 기본계획(2021.11.)

○ 발전, 모빌리티, 산업 등 다양한 분야에 수소에너지를 적용하는 로드맵 발표

- 연료전지, 석탄+암모니아, LNG+수소를 혼소하여 발전량 확대
 - 초기 그레이 수소를 활용한 발전에서 향후 청정수소를 도입한 발전제도 마련
 - 석탄에 암모니아를 혼소한 발전기술 확보 및 실증을 통해 석탄발전단지로부터 발생하는 탄소 배출을 저감시키며, 향후 암모니아 혼소 비율 증대하여 국가 탄소중립에 기여
 - LNG 터빈에 수소를 50% 혼소한 기술개발과 실증을 수행하고, 가스터빈에 수소를 혼소한 기술 상용화
 - 청정수소 발전 의무화 제도 도입으로 수소에너지를 통한 발전 활성화

- 수소 모빌리티 종류 다양화와 보급 확대
 - 승용차 및 상용차를 중심으로 수소차 다양화 및 생산 능력 확대를 통한 경제성 확보
 - 수소 청소차, 지게차, 살수차 등 10톤급의 수소 특수차 **제조** 기술개발 및 실증 검증
 - 지속적인 연구개발을 통해 내연기관 자동차와 동등한 수준의 내구성 및 주행거리 확보
 - 수소 선박 관련 핵심 기술개발을 통해 대형 암모니아 엔진·공급시스템 등 암모니아 운반선 및 추진선 개발
 - 극저온 단열 기술 등 액화수소 운반선 및 추진선 핵심 기술개발 후 실증 및 제품화
 - 수소 연료전지의 모빌리티 분야 확장성 확보를 위해 트램·드론·항공 등 다양한 수소 모빌리티 개발 지원
- 철강, 석유화학, 시멘트 등 온실가스 다배출 산업을 중심으로 수소 활용 기반 마련
 - 신규 산단에 수소에너지를 연·원료로 공급하고, 노후 산단에는 설비 교체 시 LNG+수소 혼소 발전을 활용하여 무탄소 산단 조성 유도
 - 철강 분야에 기존 고로 공정을 수소환원제철 공정으로 전환하여 탄소 중립 사회로 전환 기여
 - 석유화학 공정의 주 연료인 중유를 수소 또는 바이오매스 등으로 대체하여, 부생 가스 또는 청정수소를 활용한 고부가 그린 화학제품 생산
 - 현재 시멘트를 생산하는 소성로 연료인 석탄을 ‘바이오+수소연료’로 대체하여 수소 하이브리드형 무탄소 신열원 기술개발

[그림 69] 수소에너지 활용 로드맵



자료: 제1차 수소경제 이행 기본계획(2021.11.)

- 인프라 부문에서 수소충전소 설치를 확대하고 글로벌 수소 시장 선도를 위한 인·검증체계 구축
 - 수소차 보급에 맞춰 수소충전소 또한 전국 지역별 균형적 배치 후 수요지 중심으로 집중 설치
 - 공공주도 전국 권역별 균형 배치 후 지역별 수요량을 고려하여 충전소 균형 배치 완료
 - 기존 내연기관 주유소와 LPG 충전소에 수소 충전기를 병행 설치하여 융복합형 충전소 설립

[그림 70] 국내 수소충전소 설치 현황(95개소)



자료: H2Station 웹사이트(2021.12.)

- 수소 국제거래소 설립 및 청정수소 인증제 도입을 통해 글로벌 수소 거래 활성화 기인
 - 글로벌 주요국별 수소거래 활성화를 위해 수소 가격 공시 및 글로벌 인덱스화를 진행하고, 국제 현물거래 플랫폼 운영
 - 국가별 상이한 청정수소 기준을 통일화하기 위하여 수소생산과정에서 발생하는 CO₂ 발생 기준 그린 또는 블루 수소 인증제 도입
 - 수출국의 수소생산정보, 공정별 적합성평가 결과를 공유하여 청정수소 원산지 검증체계 구축

□ 우리나라 수소경제를 위한 지원 동향

- 정부는 수소경제 관련 주요 이슈를 관계부처 및 대한민국 정책브리핑 보도자료 등을 통해 발표
- 춘천휴게소에 강원도 첫 수소충전소 구축(2020년 1월 15일)
 - 수소충전소 구축비 총 30억 원 중 한국도로공사(국토교통부)가 10억 원, 춘천시가 5억 원을 부담하고 수소에너지네트워크가 15억 원 부담
- 세계 최초 부생수소 상업용 발전소 준공을 통해 발전용 연료전지 15GW 생산(2020년 7월 28일)
 - 대산 수소 연료전지 발전소는 부생수소를 에너지원으로 활용하는 상업용 발전소
 - 석유화학 공정에서 발생한 부산물인 부생수소를 직접 투입해 추가적인 온실가스를 배출하지 않는 친환경 발전소로 연간 40MWh 전력 용량을 안정적으로 생산 및 공급
- 산업통상자원부는 수소차 전용 유통 기반 시설 구축을 위해 총 63억 원 국비 투입(2021년 3월 23일)
 - 수소생산공장에서 생산된 수소를 저장 후 수소 전용 특수 차량인 튜브 트레일러에 적재해 수소충전소에 공급
 - 새로 발굴된 부생수소 생산지 등에 수소 출하센터 시설 2개소 이상 구축 및 지원(1개소 당 최대 31억 5,000만 원) 예정
- 과학기술정보통신부는 미래 선도형 수소생산 및 저장 원천기술 개발을 위해 4개 분야에 대해 2026년까지 253억 투입 결정(2021년 4월 8일)
 - 국내 수소생산 및 저장 기술은 국제 기술 수준과 비교하여 낮은 수준으로 향후 수소경제 선도를 위해 기술개발 실시
 - ▲광전기 화학적 고효율 수소생산 기술 ▲프로톤 기반 고효율 중온 수전해 수소생산 기술 ▲재생에너지 연계 열화학적 수소생산 기술 ▲ 고체 흡착 수소저장 기술개발에 6년간 253억 투입 예정

- 국토교통부는 법 개정을 통해 그린벨트 내 수소·전기차 충전소 설치 허용(2021년 5월 4일)
 - 국토부는 「개발제한구역의 지정 및 관리에 관한 특별조치법 시행령」 일부 개정안을 통해 그린벨트 내 수소·전기차 충전소 설치 허용
- 산업통상자원부는 자동차 부품기업을 대상으로 미래차 전환을 위한 전략 발표(2021년 7월 1일)
 - 2030년까지 자동차 부품기업 1,000개를 미래차 기업으로 전환해 국내 부품산업의 생산·고용·수출 규모 유지 및 확대 발표
 - 현재 70% 수준인 전기·수소차 국산화율을 2025년까지 95%로 상향하기 위해 자동차 소재 R&D 부분에 329억 원 예산 투입
- 중소벤처기업부는 수소 연료전지 선박 상용화 및 선박용 수소 충전소 구축 실증 착수(2021년 7월 1일)
 - 울산 수소 그린모빌리티 특구에서 수소 선박 및 충전소 구축 실증 후 성과를 활용하여 제도 개선으로 이어지도록 지원 예정

[그림 71] 수소 연료전지 선박 운행 및 선박용 수소충전소 구축 실증⁷²⁾



자료: 대한민국 정책브리핑(2021.07.)

72) <https://www.korea.kr/news/policyNewsView.do?newsId=148889420>

- 과학기술정보통신부는 수소 연료전지용 소재 연구개발에 5년간 720억 원 지원(2021년 8월 3일)
 - 185대 R&D 핵심 품목 자립화를 위한 8개 “국가핵심소재연구단” 과 65대 미래선도 품목 등 미래 첨단소재 확보를 위한 4개 “미래기술 연구실” 이 2021년 신규 출범
 - 한국과학기술원은 초저백금 연료전지 촉매 개발을 통해 기존 방식 보다 10분의 1수준으로 백금 양을 줄이면서 동일 성능을 발휘하는 신촉매 소재 개발 목표
- 산업통상자원부는 탄소중립을 위한 CCUS 기술개발 및 실증 관련 7개 과제에 950억 원 투입 계획 발표(2021년 9월 9일)
 - 7개 지원과제는 시멘트 산업 CCU(2개), 석유화학 산업(1개), LNG 발전 이산화탄소 포집(2개), 이산화탄소 저장(2개)로 구분하여 구성
 - 탄소 포집 및 활용의 경우 시멘트·석유화학 분야의 이산화탄소 포집 및 활용, LNG 발전 배가스 포집 기술 격상 실증에 역점
 - 저장의 경우 이산화탄소 저장 운영관리 기술 고도화 및 효율 향상을 위한 기술 실증 및 고도화 집중 추진
- 산업통상자원부는 128억 원 규모를 투자한 수소·연료전지 R&D 과제 추진(2021년 9월 9일)
 - 산업통상자원부는 사업비 전체 720억 원 중 신재생에너지 핵심 기술 개발(570억 원)과 그린 수소생산 및 저장 시스템 기술개발(150억 원) 사업 9개 과제에 대해 1차년도 사업비로 128억 원 지원 예정
 - 음이온 교환막 수전해 기술 확보 및 암모니아에서 수소를 대량으로 추출하는 기술개발 목표
- 산업통상자원부는 수소 트램 상용화를 위해 424억 원을 투자하여 실증사업 착수(2021년 9월 23일)
 - 산업통상자원부는 2023년까지 총 사업비 424억 원(정부 282억 원)을 투자하여, 수소 연료전지를 통해 전력을 공급하여 운행되는 수소 전기 트램 실증사업 착수

- 한-호 핵심 광물 공급망 · 탄소중립 기술 협력 방안 모색(2021년 12월 14일)
 - 한-호 정상회담 후 호주 산업 · 과학 · 에너지 · 자원부와 탄소중립 기술 이행계획 및 청정수소경제 협력 양해각서(MOU) 작성
 - 산업통상자원부는 이와 관련해 정부예산 54억 원(3년간 수소 30억 원, CCUS 24억 원) 규모의 프로젝트 추진 예정

[그림 72] 한-호 핵심 광물 공급망 간담회⁷³⁾



자료: 대한민국 정책브리핑(2021.12.14)

- 정부는 2022년 무공해차 보급 목표를 누적 50만 대로 설정하고 2조 4,000억 원 투입(2021년 12월 21일)
 - 정부는 실증사업을 거쳐 수소 트럭 보급을 추진하고, 수소를 활용한 청소차, 냉동차 등 특장형 대형 트럭 실증사업 추진을 위해 보조금 지원 추진

73) <https://www.korea.kr/news/policyNewsView.do?newsId=148896802>

- 기획재정부는 전기·수소차 중심 세제지원 방안 추진(2022년 2월 24일)
 - 2022년말까지 적용 예정인 하이브리드·전기·수소차에 대한 개별 소비세 감면 등 세제지원을 2024년말 또는 2025년말까지 2~3년간 연장하는 방안 검토
- 중소벤처기업부는 충남 수소 특구에서의 수소 연료전지 발전 시스템 실증 착수(2022년 3월 21일)
 - 가정용·건물용 수소 연료전지 발전시스템 실증을 시작으로 순차적으로 실증 착수, 규제법령 정비를 위한 안전성 입증 추진 계획 수립

[그림 73] 충남 지역 수소 인프라 기반 3개 실증 특례 과제⁷⁴⁾



자료: 대한민국 정책브리핑(2022.03.21.)

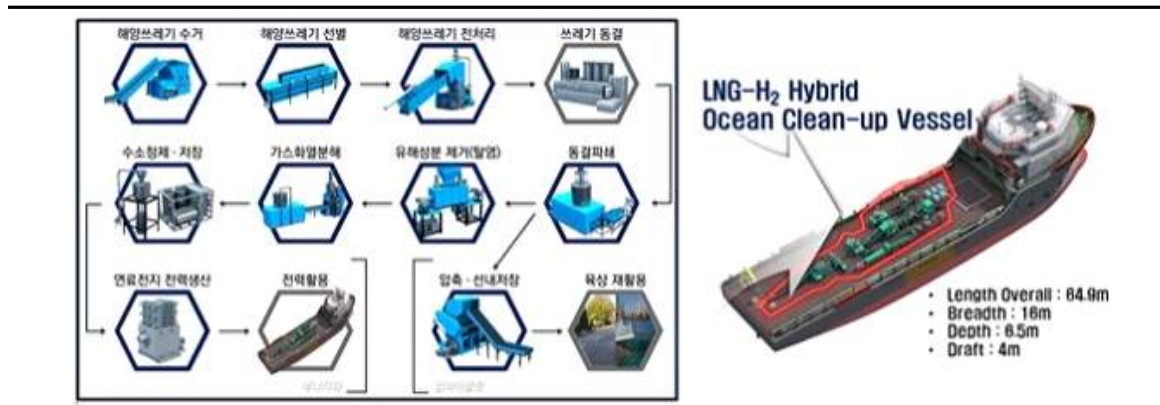
- 환경부는 「수소 대중교통 선도도시 조성을 위한 업무협약」 체결(2022년 3월 30일)
 - 환경부는 산업통상자원부, 인천광역시, 현대자동차, SK E&S, 플러그 파워의 협약 체결을 통해 2030년까지 인천 시내버스를 수소 버스로 전환 추진
- 산업통상자원부는 경남 창원에 2020년부터 사업비 194억 원을 들여 버스노선 연계형 수소충전소 준공(2022년 4월 14일)
 - 실제 노선에서 운행하는 수소 버스 충전 실증을 위해 수소 버스용 표준 모델 확립 및 버스노선 연계 운영 계획 수립

74) <https://www.korea.kr/news/policyNewsView.do?newsId=148900031>

○ 해양수산부는 LNG-수소 연료 기반 친환경 하이브리드 선박 개발 착수(2022년 5월 23일)

- 해양수산부, 산업통상자원부, 지자체는 450억 원을 투입하여 해양 쓰레기 동결 파쇄, 플라즈마 열분해 처리 기능을 탑재한 2,500톤급 수거·처리 선박 개발 및 실증사업 착수

[그림 74] 해양 부유 쓰레기 수거·처리용 친환경 선박 개념도⁷⁵⁾



자료: 대한민국 정책브리핑(2022.05.23.)

○ 산업통상자원부는 수소 기술 안전기준 및 규제 개선을 통한 종합 계획 수립 추진(2022년 6월 8일)

- 2022년 11월까지 청정수소, 액화수소 및 도시가스 수소 혼입 등 수소 신기술 활용의 안전기준 마련을 위한 「수소 전주기 안전관리 종합 계획」을 수립하여 다양한 수소 사용을 위한 전주기 안전기준 마련 및 법령 일원화

75) <https://www.korea.kr/news/policyNewsView.do?newsId=148901859>

□ 우리나라 수소경제 지원 성과

- 우리나라는 2019년 이후 「수소경제 활성화 로드맵」 발표 이후 정부 R&D 예산 비중을 확대하는 등 수소경제로 전환을 위해 노력
 - 2019년 1월 관계부처 합동으로 「수소경제 활성화 로드맵」을 발표 하였으며, 2018년, 2022년, 2040년 수소경제 관련 비전 발표
 - 수소 모빌리티, 수소에너지, 수소 공급 및 가격 등 세 분야에 대해 비전 제시하였으며, 그 성과는 2022년 상반기 기준을 성과 분석 실시
 - 「제1차 수소경제 이행 기본계획」은 2021년 11월 발표되어, 성과를 확인하기에 시간이 짧아, 2019년 발표한 「수소경제 활성화 로드맵」을 기준으로 성과 분석
- 「수소경제 활성화 로드맵」에 따르면 2022년까지 수소 모빌리티 분야에서 수소차는 79,000대(내수 65,000대), 수소 버스 2,000대, 수소충전소 310개소 목표 제시

[그림 75] 수소 모빌리티 분야 비전

□ 수소 모빌리티 (누적)

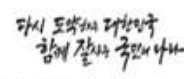
* () : 내수

		2018년	2022년	2040년
수 소 모 빌 리 티	수소차	1.8천대 (0.9천대)	8.1만대 (6.7만대)	620만대 이상 (290만대)
	승용차	1.8천대 (0.9천대)	7.9만대 (6.5만대)	590만대 (275만대)
	택시	-	-	12만대 (8만대)
	버스	2대 (전체)	2,000대 (전체)	6만대 (4만대)
	트럭	-	-	12만대 (3만대)
	수소충전소	14개소	310개소	1,200개소 이상
	열차·선박·드론	R&D 및 실증을 통해 '30년 이전 상용화 및 수출프로젝트 추진		

자료: 수소경제 활성화 로드맵(2019.01.)

- 2022년 7월 16일 산업통상자원부 보도자료(2022년 상반기 및 6월 자동차산업 동향)에 따르면 수소차 누,적 보급 대수는 24,000대

[그림 76] 2022년 상반기 수소차 누적 보급 대수

 산업통상자원부 http://www.motie.go.kr		보 도 자 료			
2022년 7월 16일(토) 조간부터 보도하여 주시기 바랍니다. (인터넷, 방송, 통신은 7.15.(금) 오전 11시 이후 보도 가능)					
배포일시	2022. 7. 15.(금)		담당부서	자동차과	
담당과장	남경모 과장(044-203-4320)		담당자	김영숙 주무관(044-203-4323)	
2022년 상반기 및 6월 자동차산업 동향(잠정) - 어려운 대외 여건에서도 상반기 자동차 수출물량·금액 모두 증가 - 상반기 친환경차 내수수출 최고 기록, 수출액은 최초 70억불 돌파 - 올해 상반기 판매된 신차 4대 중 1대는 친환경차					
○ 친환경차 누적 보급 대수는 금년 상반기 기준 1,364,489대로 전 자동차 등록 대수(2,522만대)의 5.4%를 차지 * 연료별 누적 보급대수 : 하이브리드차(플러그인 포함) 104.2만대, 전기차 29.9만대, 수소차 2.4만대					

자료: 산업통상자원부(2022.07.15.)

- 2020년 이후 해외 수출 및 내수 시장에 보급된 수소 버스는 200여 대
- 2022년 6월 10일 기준 환경부 수소충전소 현황을 살펴보면, 환경부가 115개소, 국토교통부가 18개소, 민간에서 36개소를 설치하여 총 169개소 설치
- 2022년 6월 기준 목표 달성률은 수소차 37%, 수소충전소 55%
- 2022년까지 수소에너지 분야에서 발전용 1.5GW, 가정·건물용 50MW 목표 제시

[그림 77] 수소에너지 분야 비전

□ 수소 에너지 (누적)

			2018년	2022년	2040년
에너지	연료전지	발전용	307.6MW	1.5GW (1GW)	15GW 이상 (8GW)
		가정·건물용	7MW	50MW	2.1GW 이상
	수소가스터빈		'30년까지 기술개발 완료 → '35년경 상용 발전		

자료: 수소경제 활성화 로드맵(2019.01.)

- 전력통계정보시스템에 따르면 2022년 6월 기준 국내 발전용 연료전지 공급은 806MW(0.8GW)로 목표 달성률은 약 80%

[그림 78] 발전용 연료전지 공급 현황⁷⁶⁾

기간	회원구분	급전방식	사업구분	지역	신재생							
					연료전지	석탄가스화	태양	풍력	수력	해양	바이오	폐기물
2022/06	합계	합계	합계	합계	806	346	19,882	1,754	1,812	256	1,447	0
2022/05	합계	합계	합계	합계	807	346	19,541	1,735	1,820	256	1,446	0
2022/04	합계	합계	합계	합계	794	346	19,324	1,727	1,820	256	1,446	0
2022/03	합계	합계	합계	합계	790	346	19,194	1,727	1,838	256	1,446	0
2022/02	합계	합계	합계	합계	782	346	18,709	1,727	1,840	256	1,446	0
2022/01	합계	합계	합계	합계	783	346	18,561	1,727	1,841	256	1,446	0

자료: 전력통계정보시스템(EPSIS, Electric Power Statistics Information System)

- 2022년 7월 한국에너지공단 수소경제추진단의 「건물용 연료전지 지원 정책」 발표에 따르면 가정·건물용 연료전지 보급은 약 8MW로 목표 달성률 16% 기록
- 수소 공급 및 가격 분야에서 2022년 기준 수소 공급량 47만 톤/연, 수소 가격 6,000원/kg 목표 제시

[그림 79] 수소 공급 및 가격 분야 비전

□ 수소 공급 및 가격

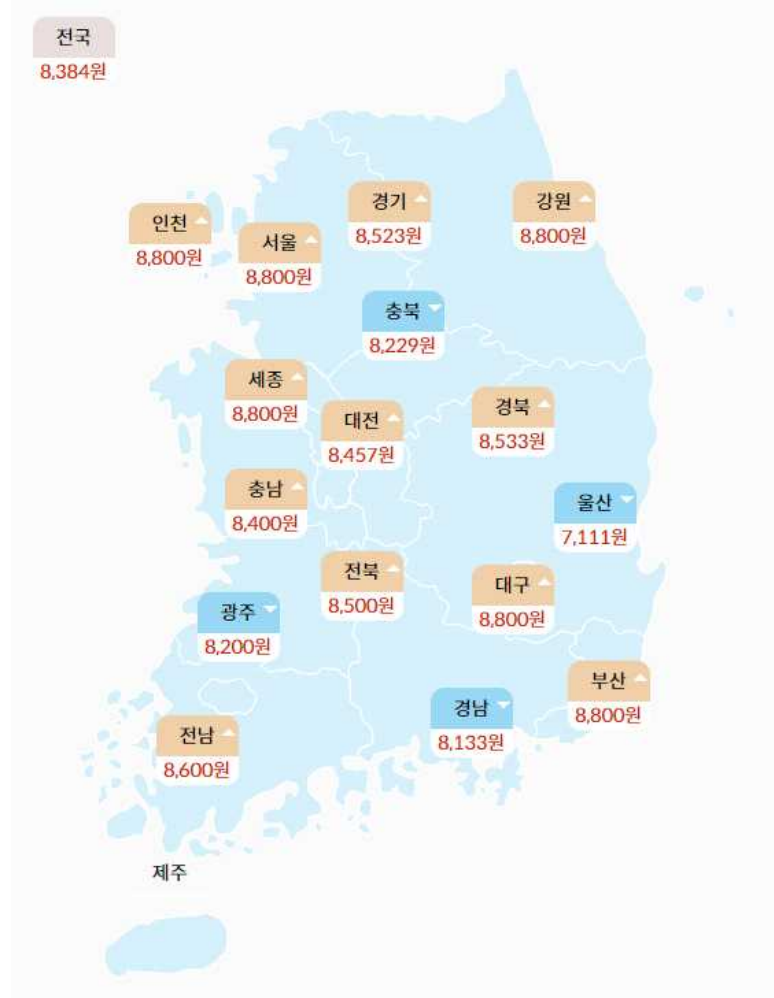
		2018년	2022년	2030년	2040년
공급 · 가격	공급량 (=수요량)	13만톤/年	47만톤/年	194만톤/年	526만톤/年 이상
	공급방식	①부생수소(1%) ②추출수소(99%)	①부생수소 ②추출수소 ③수전해	①부생수소 ②추출수소 ③수전해 ④해외생산 ※ ①+③+④ : 50% ② : 50%	①부생수소 ②추출수소 ③수전해 ④해외생산 ※ ①+③+④ : 70% ② : 30%
	수소가격	- (정책가격)	6,000원/kg (시장화 초기가격)	4,000원/kg	3,000원/kg

자료: 수소경제 활성화 로드맵(2019.01.)

76) <https://epsis.kpx.or.kr/epsisnew/selectEkpoBftChart.do?menuId=020100>

- 에너지경제연구원에 따르면 2022년 외부 유통되는 수소는 대부분 부생수소로 연간 24만 톤이 공급되고 있어, 목표 달성률은 약 51%
- 수소유통정보시스템에 따르면 2022년 6월 기준 수소충전소의 수소 가격은 7,000~8,800원/kg에 형성

[그림 80] 수소충전소 가격 현황⁷⁷⁾



자료: 수소유통정보시스템(수소유통전담기관)

- 2022년 하반기에 보급되는 수소 모빌리티와 신규 설치 예정인 수소충전소를 고려하더라도 「수소경제 활성화 로드맵」의 목표에는 미치지 못하는 실정

77) <https://www.h2nbiz.or.kr/sym/mnu/mpm/EgovMainMenuIndex.do?menuNo=20300&chkURL=/rt/sts/pce/rtAmountInfo.do>

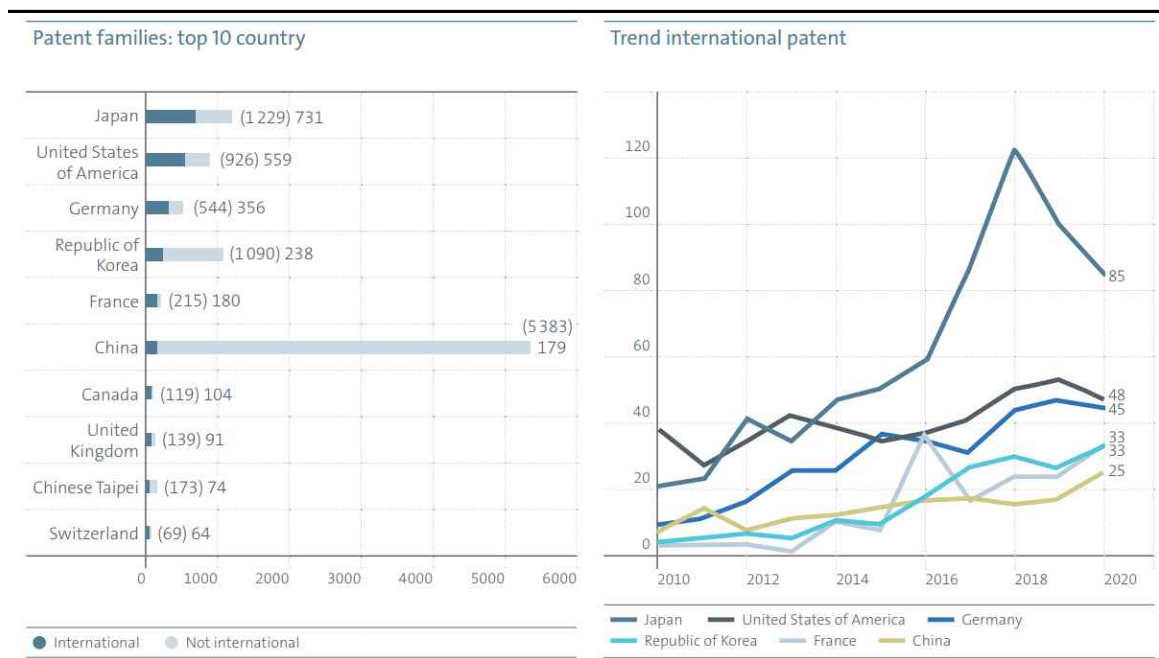
IV. 수소경제 생태계별 비교·분석

1. 수소경제 생태계별 특허 기술 비교·분석

□ 수소경제 생태계별 특허 데이터 분석

- 전 세계 수소 관련 특허 출원 수는 지속적인 증가(최근 20년간 약 3배) 추세로 수소생산 및 연료전지 분야에 출원 집중
 - 수소생산 관련 대표적인 특허 출원 국가는 일본, 미국, 독일, 한국, 프랑스, 중국, 캐나다, 영국으로 2005~2020년 동안 중국은 가장 많은 특허를 출원하였으나, 국제 특허 건수를 기준으로 6위 수준

[그림 81] 수소생산 관련 특허 건수

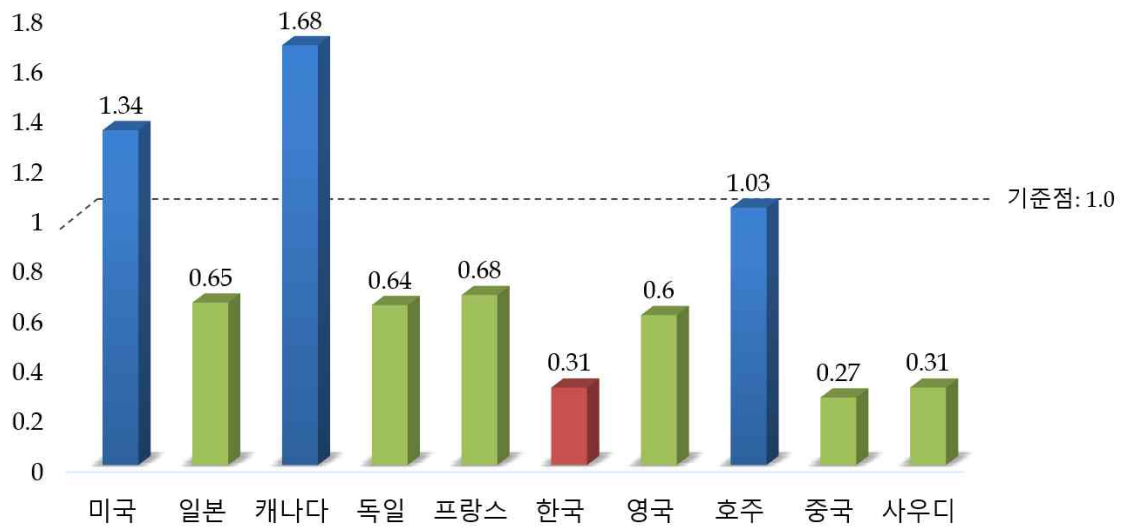


자료: IRENA(Innovation trends in electrolyzers for hydrogen production)

- 한국특허전략개발원에 따르면 수소 산업 특허 경쟁력은 캐나다-미국-호주 순으로 평가⁷⁸⁾
 - 1999~2018년 출원·공개된 한국, 미국, 일본, 유럽, 중국, PCT 특허를 조사 대상으로, 총 159,509건의 특허 분석

78) 본 보고서에서 분류하고 있는 생태계(생산·저장·운송·활용·인프라)와는 일부 차이가 있을 수 있으나 주요 국별 특허 분석을 통해 수소경제 생태계의 기술 수준을 직·간접적으로 분석하는 데 기여

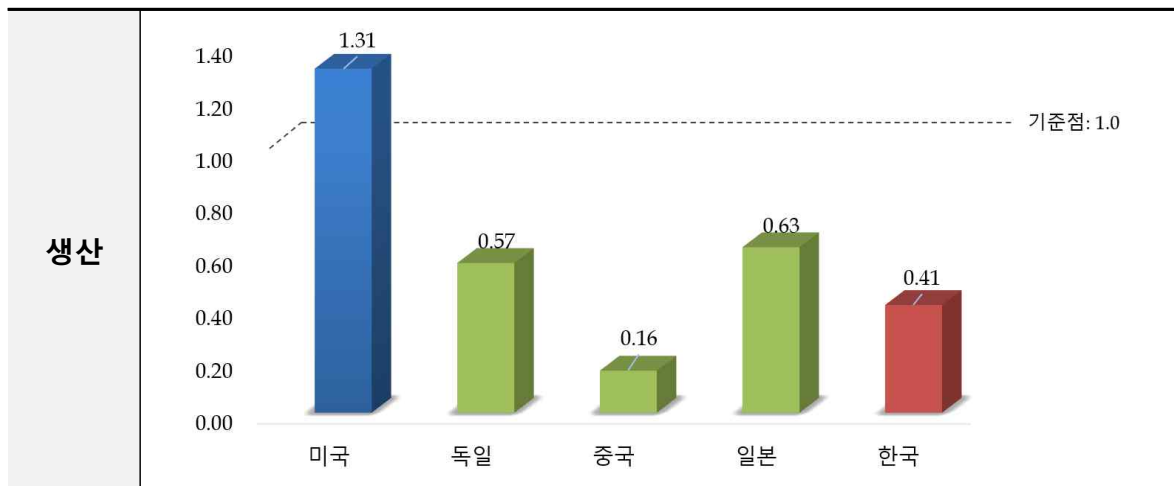
[그림 82] 수소 산업 특허 경쟁력 분석

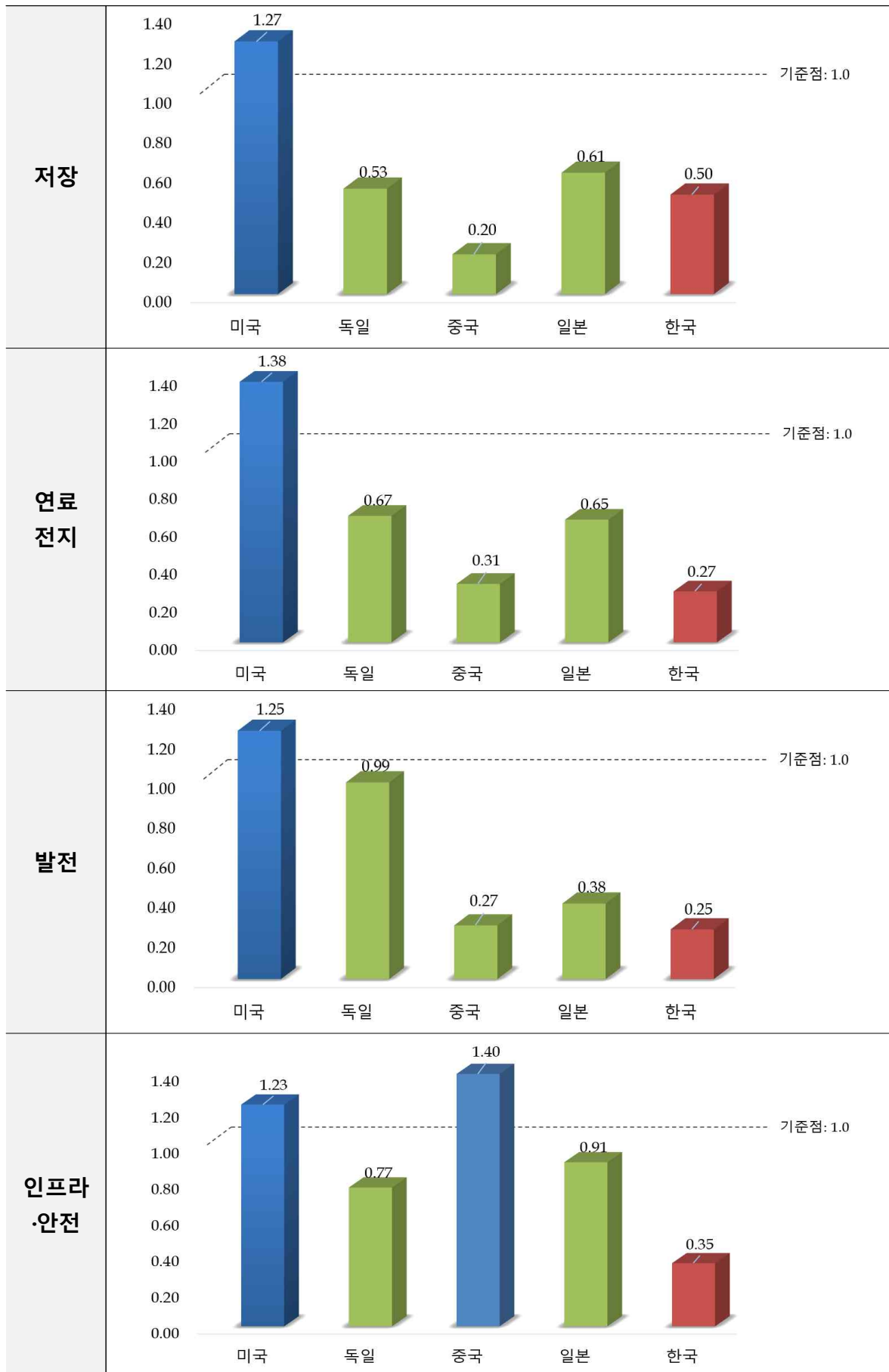


자료: 한국특허전략개발원(수소산업 특허 빅데이터 분석)

- 생태계 전반적으로 미국 수소 산업 관련 특허를 주도하고 있으며, 발전에서는 독일이, 인프라·안전에서는 중국이 높은 특허 경쟁력 보유

[그림 83] 수소경제 생태계별 특허 경쟁력 분석

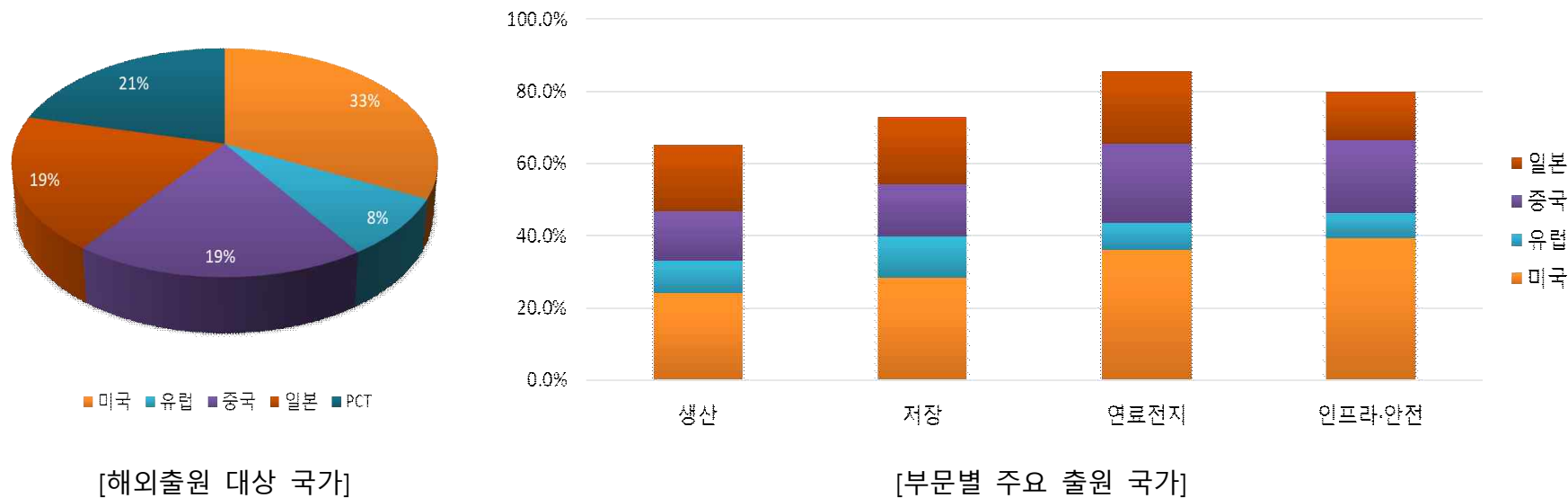




자료: 한국특허전략개발원(수소산업 특허 빅데이터 분석)

- 우리나라는 미국(USPTO)에 수소 관련 특허를 가장 많이 출원하였으며, 중국 시장 진출을 위한 전략적 출원 또한 필요

[그림 84] 우리나라 해외 출원 현황



자료: 한국특허전략개발원(수소산업 특허 빅데이터 분석)

- 우리나라는 전반적인 특허 경쟁력이 낮은 수준으로, 기초 연구 및 R&D 확대를 통해 특허 경쟁력 강화 필요

2. 수소경제 생태계별 국가전략 비교

□ 주요국 수소경제 생태계별 중점 전략 분석

○ 주요국별 수소생산 특징

- (미국) 수소생산 특허를 바탕으로 높은 기술력을 보유하고 있으며, 풍부한 화석연료에 CCUS 기술을 결합한 블루 수소 생산과 태양광, 풍력 등 신재생에너지를 바탕으로 그린 수소생산 능력 우수하며 세계 두 번째 그레이 수소 생산 국가
- (독일) 수소생산 기술력은 부족하나 풍부한 풍력 발전을 통한 그린 수소 생산과 글로벌 투자를 통해 해외 청정수소 수입 공급망 구축 진행 중이며, 지속적으로 탄소중립을 위해 그레이 수소 대신 청정 수소 확보를 위한 노력 중
- (중국) 풍부한 신재생에너지를 바탕으로 청정수소생산 계획을 수립하고 예산을 편성하였으나, 청정수소생산 기술 수준은 낮은 편이나, 세계 최대 수소생산 국가로 80% 이상이 개질 수소
- (일본) 수소생산 관련 예산을 살펴보면 해외 청정수소 공급망 확보를 위한 투자가 대부분으로 신에너지산업기술 종합 개발기구⁷⁹⁾(NEDO, New Energy and Industrial Technology Development Organization)와 기업 간 협력을 통해 그린 수소 상용화를 위한 연구 진행 중
- (호주) 호주는 수소 수출국으로 발돋움하기 위하여 신재생에너지를 통한 청정수소생산에 집중 투자하고 있으나 미국과 비교하여 기초 기술 수준은 낮은 편이며, 풍부한 석탄(갈탄)에서 추출한 수소를 액화하는 사업 진행 중
- (우리나라) 수소생산에 대한 기본전략 및 정책은 수립한 상태이나 낮은 신재생에너지 보급 비율에 따라 청정수소 보급에 대한 투자 및 기술 확보 필요하며, 현재 대부분 석유화학 공정에서 부산물로 발생하는 부생수소 활용

79) 일본의 에너지 환경분야와 산업기술을 담당하는 독립행정법인

○ 주요국별 수소저장 및 운송 특징

- (미국) 수소저장 및 운송에 관해 높은 기술력을 보유하고 있으며, 수소저장 및 운송에 대한 대부분 주요 기업을 보유하고 있으나 액화 수소 운반 기술은 일본에 비해 낮은 수준
- (독일) 미국, 일본과 함께 수소저장 및 운송 관련 높은 기술력을 보유하고 있으며, 신재생에너지로 생산된 전력으로 수소를 생산해 저장하는 P2G(Power to Gas) 사업을 세계에서 가장 적극적으로 추진
- (중국) 튜브 트레일러를 활용한 수소운송 기술은 상용화 단계이나 전반적으로 수소저장 및 운송 기술은 낮은 수준이며, 액화·고체를 활용한 수소저장 기술은 소규모 실증 단계이고, 파이프라인을 통한 수소운송 사업은 투자 단계
- (일본) 액체·액화 수소저장 및 운송에 대한 높은 기술력을 보유하고 있으며, 실제 실용화에 성공하여 사업화 진행 단계로 진화 중
- (호주) 최근 연방과학산업 연구기구는 암모니아에 저장된 수소에서 에너지 손실을 최소화하여 수소를 추출하는 고순도 수소 전환 기술 개발에 성공하여 실증 단계에 돌입하고 있으며, 수소 수출을 위해 운송에 대한 연구개발을 진행 중이며, 일본과 협업하여 액화수소 운반에 대한 사업화 진행 중
- (우리나라) 수소저장 및 운송에 대한 기본전략 및 정책은 수립한 상태이나 관련 연구개발 예산 비중은 낮은 수준이며, 기업 중심으로 수소 파이프라인과 튜브 트레일러를 활용한 수소운송 사업 진행 중

○ 주요국별 수소 활용 특징

- (미국) 수소 활용 부문 중 연료전지에 대한 기초기술이 뛰어나며, 청정수소를 대량 생산하여 발전 부문에 활용할 계획을 수립하여 연구 중에 있으며, 수소 모빌리티 중 수소 자동차 부문보다는 전기차에 대한 투자 집중
- (독일) 수소 연료전지에 대한 국가 혁신 프로그램으로 대규모 투자 예산을 편성⁸⁰⁾하여 연료전지를 활용한 건물 및 발전 부문에 사업화 진행 중이며, 보조금 지급을 통해 수소 모빌리티 활성화를 위한 지원 정책 실시 중
- (중국) 중국 수소 활용 부문은 자동차산업을 중심으로 빠른 성장세를 보이고 있으며, 연료전지를 활용한 부문은 지속적인 연구개발 단계
- (일본) 일본 수소 전략은 글로벌 기업을 중심으로 수소차와 연료전지 활용 부문에 집중하여 정부 정책에 호응하고 있으며, 수소와 암모니아를 혼합하여 발전 부문에 활용하는 사업화 진행 중
- (호주) 호주는 생산과 운반에 집중해 수소경제 산업을 이끌겠다는 전략으로 여타 주요국에 비해 낮은 수준의 기술과 투자 비중을 차지하고 있으며, 암모니아와 수소를 혼입하여 발전 분야에 활용하는 사업 진행 중
- (우리나라) 정부 보조금 지급으로 수소 택시, 버스, 선박 드론 등 수소 모빌리티 부문에 대해 사업화 진행하고 있으며, 발전용 연료전지 보급 확대를 위한 실증화 사업 수행 중

80) 2007년부터 2017년까지 10년간 7억 유로를 투입해 ‘수소·연료전지 국가혁신 프로그램’ 기술개발

○ 주요국별 수소 인프라 특징

- (미국) 수소 인프라 및 안전에 대한 높은 기초기술 수준을 갖추고, 수소충전소 확대 정책을 추진하고 있으며, 국제 수소 관련 표준화를 선도하기 위한 기술개발 지속 추진
- (독일) 오랜 기간 수소 충전 인프라 구축을 위한 대규모 투자로 유럽 최대 수소 인프라를 구축하고 있으며, 미국·일본과 함께 수소 기술 국제 표준 주도
- (중국) 중국은 수소 인프라 및 안전 관련 높은 기술 수준을 보유하고 있으며, 중국 내 수소 자동차 보급 확대 정책에 따라 수소충전소 개수도 꾸준히 증가하고 있으며, 수소 관련 국가 표준 개발
- (일본) 세계에서 수소충전소 보급이 가장 많이 된 국가이며 미국·독일과 함께 국제 수소 관련 표준화 선도
- (호주) 호주는 수소생산, 활용, 인프라 등 다양한 분야의 표준을 개발하고 있으나 수소충전소 등 인프라 구축 비율은 낮은 수준
- (우리나라) 국내 수소충전소 예산은 수소 관련 예산 중 수소 모빌리티 분야와 함께 가장 많은 비중을 차지하고 있으며, 세계 최초 수소법 제정과 「수소경제 표준화 전략 로드맵」을 통해 국제 표준 제안 계획을 수립하여 표준화 추진

○ 주요국의 수소 전략 분석을 통해 도출된 결과를 바탕으로 수소경제 생태계별 중점 전략 분석⁸¹⁾

- 국가 수소 전략에 생태계별 상세 기술 언급* 여부 확인

* ○: 주요국 수소 전략 보고서에 기술 용어가 포함된 경우

-: 주요국 수소 전략 보고서에 기술 용어가 포함되지 않는 경우

<표 40> 주요국 수소경제 생태계별 전략 수립 여부

구분	생산		저장				운송			활용			인프라	
	그린	블루	기체	액체	액상	고체	파이프라인	튜브트레일러	탱크로리	모빌리티	발전	산업	충전소	안전, 인증 및 표준화
미국	○	○	○	○	○	-	○	○	○	○	○	○	○	○
독일	○	○	○	○	○	-	○	-	○	○	○	○	○	○
중국	○	-	○	○	○	-	○	-	-	○	○	-	○	○
일본	○	○	○	○	○	-	○	-	○	○	○	○	○	○
호주	○	○	○	○	○	-	○	-	○	○	○	○	○	○
우리나라	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

자료: 미국 『Road map to a US Hydrogen Economy』(2020.03.), 독일 『The national hydrogen strategy』(2020.06.), 중국 『Medium and long -term plan for the development of hydrogen energy industry (2021-2035)』(2022.03.), 일본 『Basic Hydrogen Strategy』(2017.12.), 호주 『Australian's National Hydrogen Strategy』(2019.11.), 우리나라 『수소경제 활성화 로드맵』(2019.01.)을 바탕으로 재작성

81) 국가별 수소경제 생태계는 우리나라 기준에 따라 구분하였으며, 주요국 국가 수소 전략 보고서에 해당 기술이 포함되어 있는지 확인

□ 주요국 수소경제 생태계별 주요 특징

○ 본 보고서를 통해 분석한 주요국 수소경제 생태계별 주요 정책 및 전략, 기술 등 도출

<표 41> 주요국별 수소경제 생태계별 특징

구분	생산		저장				운송			활용			인프라	
	그린	블루	기체	액체	액상	고체	파이프라인	튜브트레일러	탱크로리	모빌리티	발전	산업	충전소 ⁸²⁾	안전, 인증 및 표준화
미국	높은 기술 수준 + 저렴한 그린 수소 생산 목표	화석연료 + CCUS기술 활용 블루 수소생산	소금 동굴 활용	대용량 압력-압축 저장	-	금속 물질에 수소 흡착·저장	세계 최장 수소 파이프라인 분포	단거리 운송	장거리 운송	수소차 상용화	청정수소 대량 사용, 하이브리드 형태 에너지원	온실가스 다배출 분야 적용	인프라법 통과로 대규모 투자 계획 (78개소)	수소 관련 국제 표준 선도
독일	신재생 에너지 활용 그린 수소 생산 + 해외 그린수소 공급망 확보	그린 수소 보편화 전 단계 활용	P2G 프로젝트	-	PtX 공정 다양한 운반체에 수소저장	-	기존 천연가스 파이프라인 활용	자국 내 생산한 그린 수소 운송 프로젝트	항공 및 해상 운송 가능성 검토	국가혁신 프로그램으로 수소 모빌리티 활성화	-	건축 부문 고효율 연료전지 사용	유럽 최다 충전소 보급 및 확장 (101개소)	그린 수소 국제 무역 시장 구축 프로젝트 운영
중국	높은 그린수소 생산 잠재력	-	기술력 부족 + 고압가스 저장 효율 향상 연구 진행	극저온 액화 수소저장 확대 전망	-	고체 상태 수소저장 기술 연구	기술개발 진행 중	상용화된 고압기체 운송 방식	-	중점지역 중심의 수소차 확대·보급 정책	기반 시설 건설 중	-	주요 도시에 수소충전소 보급 계획 (105개소)	수소 관련 세계 최다 ⁸³⁾ 국가 표준 수립

구분	생산		저장				운송			활용			인프라	
	그린	블루	기체	액체	액상	고체	파이프라인	튜브트레일러	탱크로리	모빌리티	발전	산업	충전소	안전, 인증 및 표준화
일본	해외 그린수소 확보를 위한 공급망 확보	CCUS기술 활용 블루 수소생산	-	저장탱크 대형화	-	-	단거리·대용량 수소운송 프로젝트	-	액화수소, MCH 기술 활용 + 해외 수소 도입용 수소운송 기술개발	수소차 상용화 및 수익성 확보	암모니아 혼소 발전 및 수소 가스터빈 발전 실증	다양한 산업 분야에 청정수소 활용	높은 기술 수준 + 확대 정책 실시 (105개소)	청정수소 인프라 형성을 위한 Hy24 수소 플랫폼 지원 (with. 유럽)
호주	풍부한 신재생 에너지 기반 그린수소 생산 + 그린수소 수출 목표	화석연료 + CCUS기술 활용 블루 수소생산	압축 수소 및 가스 혼합 기술개발	효율 향상 연구개발 및 실증화	암모니아를 활용한 수소저장 기술개발	-	기구축된 파이프라인 활용	압축 수소 저장탱크 활용	일본과 협업하여 수소 수출 목적 해상 운송 실증	수소차 보급 확대를 위한 보조금 지원	수소를 천연가스와 혼입하여 발전	천연가스 대체 분야 발굴	인프라 확대 추세 (4개소)	수소 관련 다양한 분야에 표준개발
우리나라	수전해 시스템을 활용한 그린 수소 생산 계획	온실가스 다배출 분야 + CCUS기술 활용 블루수소 생산	차량용 저장용기 등 소규모 저장 기술개발 진행	-	-	고체 흡착 수소저장 기술개발	수소생산 지역 중심 수소 배관망 구축	수소충전소 공급용 특수 차량 개발	극저온 단열기술로 액화수소 운반선 및 추진선 개발	정부 보조금 지원으로 수소차 보급 확대	세계 최초 부생수소 에너지 활용 상업용 발전소 준공	가정용·건물용 연료전지 시스템 연구	정부 주도 수소충전소 설치 및 인프라 마련 (95개소)	세계 최초 수소법 제정 + 수소 관련 국제표준화 계획 수립

82) 2021년 12월 기준

83) 2022년 7월 기준

○ 미국 수소경제 생태계

<표 42> 미국 수소경제 생태계 요약

구분		특징
개요	정의	- 저탄소 에너지 중 하나로 " 환경과 건강에 이로운 중요 에너지원
	범위	- 생산, 운송, 저장, 활용으로 구분
	추진 체계	- 연방정부 기관인 에너지부를 중심으로 수소경제 추진
생태계 정책	생산	- 수소생산 특허를 바탕으로 높은 기술력 보유 - 풍부한 화석연료에 CCUS 기술을 결합한 블루 수소 생산과 태양광, 풍력 등 신재생에너지를 바탕으로 그린 수소생산 능력 우수(원자력을 활용한 수소생산 포함) - 세계 두 번째 그레이 수소 생산 국가
	저장	- 수소저장 및 운송에 관해 높은 기술력 보유 - 뛰어난 수소저장 기초 연구를 바탕으로 소금 동굴을 활용한 대규모 수소저장 시설 조성 계획 수립 - 액화수소 운반 기술은 일본에 비해 낮은 수준
	운송	- 전 세계 수소 파이프라인 절반 이상이 분포되어 있으며 수송운송 기초 연구 우수
	활용	- 수소 활용 부문 중 연료전지에 대한 기초기술 우수 - H2@Scale을 통해 수소 산업 활용 분야 발굴하고, 발전 분야에 저렴한 가격에 생산한 청정수소를 대규모로 활용하여 국가 수소경제 선순환 체계 구축 계획 - 수소 모빌리티 중 수소 자동차 부문보다는 전기차에 대한 투자 집중
	인프라	- 수소 인프라 및 안전에 대한 높은 기초기술 수준 - 수소 관련 국제 표준 선도 및 충전 기술 특허 다수 보유 - 인프라 법 통과로 수소 충전 인프라 확대 및 대규모 투자 계획 수립
전략		- 미국 수소경제 전략 핵심은 수소생산과 발전 분야 활용 - 에너지부 중심의 R&D 연구로 수소경제 전반에 대한 기초 연구 우수

○ 독일 수소경제 생태계

<표 43> 독일 수소경제 생태계 요약

구분		특징
개요	정의	- 재생에너지를 공급 기반으로 유연하게 저장할 수 있는 에너지 저장 매체
	범위	- 수소생산, 운송, 저장, 활용
	추진 체계	- 연방정부는 정부 기관 및 기업 연구소와 민간단체 전문가 등으로 국가 수소 위원회를 구성
생태계 정책	생산	- 북부 독일의 풍부한 풍력 발전을 활용한 그린 수소생산 - 호주, 중동, 아프리카 등 글로벌 투자로 청정수소 공급망 확보 계획 - 탄소중립을 위해 그레이 수소 대신 청정수소 확보 노력
	저장	- 미국, 일본과 함께 수소저장 및 운송 관련 높은 기술력 보유 - P2G(Power to Gas) 프로젝트를 통해 독일 수소저장 시스템 구축 계획 - 수소의 안전한 저장 및 수소 모빌리티 활성화를 위한 경제성이 확보된 수소저장 장치 개발 중
	운송	- 기존 천연가스 파이프라인을 통해 수소운송 프로젝트 진행 - 유럽 에너지 공급망의 중심으로 유럽 내 수소운송 잠재력 보유
	활용	- 연료전지 기술 국가혁신 프로그램을 통해 연료전지를 활용한 건물 및 발전 부문에 사업화 진행 중 - 보조금 지급을 통해 수소 모빌리티 활성화를 위한 지원 정책 실시
	인프라	- 오랜 기간 수소 충전 인프라 구축을 위한 대규모 투자로 유럽 최다 수소 인프라 구축 - 미국·일본과 함께 수소 기술 국제 표준 주도
전략		- 독일 수소경제 전략 핵심은 청정수소생산과 수소 공급망 확보 - 2050 탄소중립 달성을 위해 장기적으로 수소 관련 대규모 투자 진행으로 수소 기술 선도 계획 수립

○ 중국 수소경제 생태계

<표 44> 중국 수소경제 생태계 요약

구분		특징
개요	정의	- 풍부한 자원을 바탕으로 저탄소 원료로 넓은 범위에 활용할 수 있는 2차 에너지
	범위	- 수소에너지 안전 감독 시스템, 표준과 수소에너지 생산 저장 운송 산업계 활용
	추진 체계	- 연방정부는 정부 기관 및 기업 연구소와 민간단체 전문가 등으로 국가 수소 위원회를 구성
생태계 정책	생산	- 석탄 및 천연가스 개질 수소 생산이 대부분으로 향후 신재생에너지 바탕으로 청정수소생산 잠재력 보유 - 청정수소생산 기술 수준은 낮으며, 세계 최대 그레이 수소생산 국가
	저장	- 아직까지 수소저장 효율과 안정성 기술력 부족 - 액화·고체를 활용한 수소저장 기술은 소규모 실증 단계 - 수소 산업 성장에 따라 액화 수소저장 방식 확대 전망으로 관련 표준 및 법 제정 완료
	운송	- 튜브 트레일러를 활용한 수소운송 기술은 상용화 단계이나 전반적으로 낮은 수소운송 기술 수준 - 파이프라인을 통한 수소운송 사업은 투자 단계
	활용	- 정부 정책에 따라 자동차산업을 중심으로 빠른 성장세 - 연료전지를 활용한 부문은 지속적인 연구개발 단계
	인프라	- 수소 인프라 및 안전 관련 높은 기술 수준 보유 - 수소 자동차 보급 확대 정책에 따라 수소충전소 개수 꾸준히 증가 - 2020년 7월, 90개의 수소 관련 국가 표준을 수립하였으며, 이를 바탕으로 국제 표준화 작업 진행
전략		- 중국 수소경제 전략 핵심은 수소 모빌리티, 연료전지 등 활용 분야 - 정부 주도의 수소 전략 수립 및 계획 추진으로 수소경제 급속히 성장

○ 일본 수소경제 생태계

<표 45> 일본 수소경제 생태계 요약

구분		특징
개요	정의	- 탄소를 포함하지 않아 사용 시 이산화탄소를 배출하지 않으며, 저장성, 휴대성 및 유연성이 우수한 특징의 원료
	범위	- 수소생산에서 저장, 운송 및 활용에 이르기까지 모든 부문 포괄
	추진 체계	- 일본 경제산업성(METI) 산하의 자원에너지청 중심으로 추진
생태계 정책	생산	- 일찍부터 해외 청정수소 확보를 위한 공급망 확보 계획 수립 - NEDO ⁸⁴⁾ 와 기업 간 협력을 통해 그린 수소 상용화를 위한 연구 진행
	저장	- 액화수소 저장탱크 대형화를 통해 수소 액화 운송 효율 향상을 위한 기술개발 추진
	운송	- 해외 수소 도입을 위한 해양 운송에 대한 연구개발 및 실증 진행
	활용	- 수소 모빌리티 및 연료전지 분야를 중심으로 상용화 및 수익성 확보 가능 전망 - 수소와 암모니아를 혼합하여 발전 부문에 활용하는 사업화 진행
	인프라	- 높은 수소충전소 구축 기술을 보유하고 있으며, 세계 최다 수소충전소 보급 국가 - 미국·독일과 함께 국제 수소 관련 표준화 선도
전략		- 일본 수소경제 핵심은 저렴한 수소 공급 확보를 위한 국제 수소생산 및 공급망 개발을 위한 저장 및 운송 기술개발과 수소 모빌리티 및 발전분야 활용

84) 신에너지산업기술종합개발기구: New Energy and Industrial Technology Development Organization

○ 호주 수소경제 생태계

<표 46> 호주 수소경제 생태계 요약

구분		특징
개요	정의	- 우주에서 가장 흔한 화학물질로 지속가능한 에너지로 생산 및 저장하는 방법으로 활용
	범위	- 수소생산, 운송 및 활동을 비롯하여 규제 프레임워크 설정과 에너지 가격 및 안보
	추진 체계	- 경제 및 일자리 창출 운영 부처인 Department of Industry, Science, Energy and Resources에 별도 실무 그룹 설립
생태계 정책	생산	- 수소 수출국으로 발돋움하기 위하여 신재생에너지를 통한 청정수소 생산에 집중 투자 - 풍력, 태양광 등 신재생에너지를 바탕으로 청정수소 생산 능력 확보 - 풍부한 석탄(갈탄)에서 추출한 수소를 액화하는 사업 진행 중
	저장	- 연방과학산업연구기구는 암모니아에 저장된 수소에서 수소를 추출하는 고순도 수소 전환 기술개발 성공 후 실증 단계 돌입 - 암모니아를 매개체로 한 수소저장 기술개발 진행
	운송	- 액상 암모니아를 활용한 운송 방법에 주목하여 기술개발 진행 - 일본과 협업하여 해양 운송 기술개발 추진
	활용	- 생산과 운반에 집중해 수소경제 산업을 이끌겠다는 전략으로 여타 주요국에 비해 낮은 수준의 기술과 투자 비중 차지 - 생산한 청정수소를 암모니아, 천연가스 등에 혼입하여 발전 분야 활용
	인프라	- 호주기준청(Standards Australia)을 중심으로 안전, 생산, CCUS, 수소 차량 및 충전 설비 등 다양한 분야 표준 개발 - 수소충전소 등 인프라 구축 비율은 낮은 수준
전략		- 호주의 수소경제 전략 핵심은 신재생에너지를 기반 그린 수소생산 - 생산한 청정수소를 해외에 공급하여 수소 수출국 지위 확보

○ 우리나라 수소경제 생태계

<표 47> 우리나라 수소경제 생태계 요약

구분		특징
개요	정의	- 수소의 생산 및 활용이 국가, 사회 및 국민 생활 전반에 근본적 변화를 선도하여 새로운 경제 성장을 견인하고 수소를 주요한 에너지원으로 사용하는 경제산업구조
	범위	- 생산·저장·운송·충전·판매 및 연료전지, 수소 가스터빈 등 수소를 활용하는 장비와 이에 사용되는 제품·부품·소재 및 장비의 제조 등 수소와 관련한 산업
	추진 체계	- 국무총리를 위원장으로 8개 관계부처에서 협업하는 형태의 수소경제 컨트롤타워인 수소경제위원회 출범
생태계 정책	생산	- 낮은 신재생에너지 보급률로 청정수소 관련 투자 및 기술 확보 필요 - 현재 대부분 석유화학 공정에서 부산물로 발생하는 부생수소 활용 - 향후 기본전략 및 정책을 통해 고효율·대용량 수전해 시스템 개발로 신재생에너지를 통한 수소 생산 계획 수립
	저장	- 수소운송에 대한 기본전략 및 정책은 수립한 상태이나 관련 연구개발 - 차량용 저장 용기 등 소규모 저장 관련 기술개발로 대규모 저장 관련 기술 취약
	운송	- 산업부, 과기부 등 범부처로 수소운송 기술개발 전략 수립 - 기업 중심으로 수소 파이프라인과 튜브 트레일러를 활용한 수소운송 사업 진행 중
	활용	- 정부 보조금 지급으로 수소 택시, 버스, 선박 드론 등 수소 모빌리티 부문에 대해 사업화 진행 - 발전용 연료전지 보급 확대를 위한 실증화 사업 수행
	인프라	- 정부 주도의 수소충전소 설치 및 인프라 마련 정책 실시 - 세계 최초 수소법 제정과 「수소경제 표준화 전략 로드맵」을 통해 국제 표준 제안 계획을 수립하여 표준화 추진
전략		- 우리나라 수소경제 전략 핵심은 수소 모빌리티와 연료전지를 중심으로 수소경제 생태계 구축

3. 수소경제 관련 지원현황

□ 주요국 2020년도 수소경제 관련 예산 편성 현황

- 주요국들은 수소경제를 주도하는 관련 부처를 중심으로 수소 예산을 편성하여 운용
 - 미국 에너지부와 우리나라 정부 부처는 수소 관련 상세 프로그램 (사업내용)에 따른 예산 공개
 - 독일과 호주는 정부 주도의 수소 프로그램을 운영하고 있으며, 이와 별도로 탄소중립 등 기후 대응, 친환경 또는 신재생에너지에 수소 경제 관련 예산 편성
 - 중국은 정부 예산을 공개하지 않아 수소경제 관련 예산 편성 현황에서 제외
- 주요국별 수소 예산 검토를 위해 2022년 관계부처에서 편성된 내용을 바탕으로 수소 관련 예산 분석
 - 주요국별 수소경제 생태계 범위 및 추진체계에 차이가 있어 본 절에서 수록한 예산 규모를 기준으로 국가별 비교 시 한계 존재
 - 주요국별 수소경제 규모를 직·간접적으로 파악하기 위한 하나의 지표로서 수록
 - 이에, 본 절에서 제시한 국가 간 수소경제 관련 예산 규모 비교에는 유의할 필요가 있음

가. 미국

- 미국 수소·연료전지 주무 부서는 DOE로, 2022년 에너지 R&D 프로그램 예산으로 전년 대비 10% 증가한 금액을 행정부에 요청
- DOE는 청정에너지와 관련된 기술 및 비용 문제를 해결하기 위한 이니셔티브인 “Energy Earthshot” 을 추진하기로 발표하였으며, 첫 번째 과제인 수소 샷(Hydrogen shot)⁸⁵⁾으로 청정수소생산 비용을 줄이는 것을 목표
- 바이든 행정부는 일자리 계획을 통해 소외된 지역사회를 중심으로 15개 신규 수소 시범 프로젝트를 구성할 것을 제안

<표 48> 미국 DOE 수소 관련 예산⁸⁶⁾⁸⁷⁾

(단위: 백만 달러)

부서		프로그램	2022(requested)
DOE	EERE	수소&연료전지 기술	197.5
		첨단 제조	20
		태양 에너지	4
		자동차 기술	0
		풍력 에너지	5
	FECM	청정 석탄&탄소 관리	111
		원유&천연가스	30
	NE		13
	Science		20
	ARPA-E		TBD
총합			400.5

자료: 미국 DOE 「Department of Energy FY 2022 Congressional Budget Request」(2021.06.)

85) 재생에너지를 활용한 청정수소 생산비용을 킬로그램 당 약 5달러에서 10년 내 1달러로 낮춰 현재 수소 생산비용의 약 80%까지 절감하는 것을 목표

86) <https://www.energy.gov/cfo/articles/fy-2022-budget-justification>

87) 우리나라와 분류체계 등이 다를 수 있으므로 비교 시 유의할 필요

- 부서별 수소 프로그램에 따라 예산을 편성하고 있으며, 2022년 4억 달러로 2021년 2억 8,460만 달러 대비 40% 증가
 - DOE 부서 중 EERE를 중심으로 수소·연료전지 관련 프로그램 운용
 - EERE의 수소 및 연료전지 기술 프로그램에 대한 예산으로 전체의 1/3인 1억 9,750만 달러 요구
 - FECM에서는 화석 자원에서 수소를 생산(청정 석탄&탄소 관리 1억 1,100만 달러, 원유&천연가스 3,000만 달러)하기 위해 2021년 대비 59% 증가한 1억 4,100만 달러 요구
 - DOE는 온실가스 배출 감소와 탄소중립 목표 달성을 위하여 청정수소 생산에 집중할 것을 제안하였으며, 이에 따라 화석연료를 바탕으로 한 블루 수소생산과 풍력 에너지를 통한 수소생산 및 저장을 위한 노력 실시
 - 미국의 수소경제 생태계별 예산을 살펴보면, 수소생산에 1억 7,400만 달러, 저장 1,350만 달러, 활용 8,200만 달러, 인프라 3,000만 달러, 기타(수소경제 생태계 전체) 1억 100만 달러 규모
- 미국은 DOE에서 편성한 예산 외 2021년 11월 통과한 「초당적 인프라 법」을 바탕으로 청정수소생산 인프라에 대한 투자를 실시하고 있으며, 주(州) 정부에서 별도 수소 예산을 편성

<표 49> 미국 DOE 부처별 수소 관련 상세 예산⁸⁸⁾

(단위: 백만 달러)

부서	분야	세부분야	상세 내용	생태계	금액	
EERE	수소·연료전지 기술	연료전지 기술	재료, 소재 연구개발(핵심부품 연구개발)	활용	18	197.5
			시스템 통합(기술 적용)	활용	17	
		수소 기술	생산 연구개발	생산	45	
			저장 연구개발	저장	13.5	
			인프라 연구개발	인프라	20	
		시스템 개발·통합	하이브리드 시스템·그리드 통합 (수소 기술 전 분야 통합)	기타	71	
			법규·표준	인프라	10	
		데이터, 모델링·분석	기대효과 분석 및 예측	기타	3	
	첨단 제조	제조 혁신	제조 과정 개선(산업 분야 그린 수소 활용)	활용	20	
			제조 신기술(수소 기반 제조 기술)	활용		
		에너지 시스템	열병합(수소·재생에너지 기반 열병합(Combined Heat and Power) 기술 연구개발)	활용		
	태양 에너지	태양광 발전 기술 집약	산업 적용 연구개발 (태양열 기반 암모니아 및 수소생산)	생산	4	
	풍력 에너지	그리드 통합·분석	그리드 통합(수소·연료전지 개발 부서 지원 -풍력 기반 수전해 기술개발)	생산	5	

88) 우리나라와 분류체계 등이 다를 수 있으므로 비교 시 유의할 필요

부서	분야	세부분야	상세 내용	생태계	금액	
FECM	CCUS·파워 시스템	첨단 에너지·수소 시스템	가스화 시스템(수소생산)	생산	48	82
			첨단 터빈(수소 연소 터빈)	활용	25	
			가역 고체산화물 연료전지 (연료전지 개발)	활용	2	
			첨단 에너지 소재 (수소 효과 평가 모델 개발)	기타	7	
		횡단연구	폐기물 관리 RDD&D(수소생산)	생산	29	
			에너지 분석(수소생산·탄소 제거)	생산		
			에너지 저장 RDD&D (수소저장·운송, 생산·활용 기술 통합)	기타		
		탄소 포집	연소 전 포집 시스템 (탄소중립 수소생산 RDD&D)	생산		
	천연 가스 기술	천연 가스 수소 연구	천연가스 기반 수소생산 연구	생산	30	
NE	원자로 RDD&D	경수로 지속가능성	수소생산	생산	13	
Science	기초 에너지 과학	청정 에너지 연구	수소 연구(주기별)	기타	20	
ARPA-E	-	-	-	-	TBD	
총합					400.5	

출처: Department of Energy FY 2022 Congressional Budget Request(2021.06.)

나. 독일

- 독일은 「EU 수소 전략」(2020년 7월)과 「독일 수소 전략」(2020년 6월)을 바탕으로 수소 예산을 편성하는데, 주로 다년간에 걸쳐 예산 편성
 - 독일은 수소 시장 확대를 위해 70억 유로, 수소 공급망 확보를 위한 글로벌 파트너십 구축에 20억 달러 투자 계획
- 2021년 10월 발표한 「German Draft Budgetary Plan 2022」을 살펴보면 수소 관련 다양한 프로그램 실시
 - DARP⁸⁹⁾(Germany's recovery and resilience plan) 총 지출의 최소 42%를 기후 목표 달성을 위해 지원하는데, 그 중 그린 수소, 지속 가능한 투자 및 에너지 효율성 개선 사업 포함
 - REACT-EU 복구 기금으로 19억 유로를 투자하여 그린 수소와 연료 전지, 교육 및 의료, 관광 및 문화 등 중소기업 및 신생 기업 지원
 - 수소에 관한 IPCEI⁹⁰⁾의 일환으로 독일 연방정부는 그린 수소생산 및 인프라 산업과 수송 수단에서의 수소 사용을 위한 통합 프로젝트에 자금 지원 계획
 - 약 230개 프로젝트에 330억 유로가 투자될 예정이며, 2022년에는 62개 프로젝트에 105억 유로 투입 예정

89) Deutscher Aufbau- und Resilienz Plan

90) IPCEI(Important Project of Common European Interest): 독일 주도로 유럽 23개국(22개 EU회원국 및 노르웨이)은 유럽의 그린 수소, 생태계 구축, 핵심 기술 개발에 수십억 유로 투자하는 프로젝트

- 독일의 수소 관련 예산의 경우 「Immediate climate action programme for 2022」에 포함된 수소 예산을 중심으로 수록

<표 50> 독일 즉각적인 기후 행동 프로그램⁹¹⁾⁹²⁾

(단위: 백만 유로)

Sector	Financial planning	Budget	2022
Industrial	철강 산업 투자 자금 조달 프로그램 (Investment funding programme for the steel industry)	Energy and climate fund	100
Energy	그린 수소생산을 위한 자금 조달(전해조) (Funding for green hydrogen production(offshore electrolyzers))	Energy and climate fund	50
	Hydrogen Global (H2Global)	Departmental budget 09	15
Transport	하이브리드 전기 항공 (Hybrid electric aviation)	Energy and climate fund	40
총합			205

자료: Federal Ministry of Finance 「Immediate climate action programme for 2022」(2021.06.)

- 철강 산업 투자 자금 조달 프로그램을 통해 IPCEI의 일환으로 자금을 지원하여 철강업체가 수소 기반 생산 공정으로 전환하여 온실가스 배출량을 신속하게 감축할 수 있도록 하는데 1억 유로 지원
- 해상 전해조를 통한 그린 수소생산 자금 조달을 통해, 해상 풍력을 통한 그린 수소생산 및 독일 중심지에서의 수소 사용을 위한 해상 및 육상 인프라 구축에 5,000만 유로 지원
- H2Global은 국제 수소 시장 활성화를 통해 생산된 수소와 수소 관련 상품 구매 계획으로 독일 기술이 글로벌 공급망에서 입지를 다질 수 있도록 1,500만 유로 추가 자금 제공
- 전기 항공 분야의 경우, 독일 연방정부 차원의 하이브리드 전기 항공 및 탄소 배출이 없는(탄소중립) 항공(파일럿/시범 프로젝트)을 목표로 하는 수소 기반 시스템에 대한 R&D 강화를 위해 4,000만 유로 지원

91) <https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/EN/Standardartikel/Topics/Priority-Issues/Climate-Action/immediate-climate-action-programme-for-2022.html>

92) 우리나라와 분류체계 등이 다를 수 있으므로 비교 시 유의할 필요

다. 일본

- 2021년 9월 METI는 2022 회계연도(2022.04.~2023.03.)에 국가 친환경 에너지, 특히 수소로 전환을 가속화하기 위해 7,586억 엔으로 증액 요청
- 2022 회계연도 수소 관련 예산 정보 부족으로 2021 회계연도 자료 활용

<표 51> 일본 수소 및 연료전지 사업⁹³⁾⁹⁴⁾

(단위: 십억 엔)

부서	사업명	2021 Budget	Total ⁹⁵⁾
MOE	탄소중립을 위한 신재생에너지 등 수소 사용 촉진 (1) Project to build decarbonized regional hydrogen supply chain (2) Support for decarbonization in the transportation sector through the use of hydrogen	6.58	6.58
METI	산업 활동 탈탄소화를 위한 수소사회 모델 구축	7.31	70.7
	잉여 에너지를 활용한 수소 공급망 구축	4.75	
	친환경 제강공정 기술 개발	2.8	
	친환경 에너지 자동차 도입을 위한 보조금 지급	15.5	
	수소 연료전지 자동차 보급을 위한 수소충전소 건설사업 보조금 지급	11	
	초고압 수소 기술을 활용한 저비용 수소 공급 인프라 구축을 위한 R&D	3.2	
총합		77	

자료: METI 「Summary of Japan's Hydrogen Strategy」(2020.12.)

93) chrome-extension://efaidnbmnnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.meti.go.jp/main/yosan/yosan_fy2022/pdf/meisai_ene.pdf

94) 우리나라와 분류체계 등이 다를 수 있으므로 비교 시 유의할 필요

95) 2050 탄소중립 달성을 목적으로 혁신 기술에 대한 기금 포함

- 일본의 2021 회계연도 수소 관련 예산을 살펴보면, 주로 수소 활용과 인프라 구축을 위한 자금으로 구성
- 2050년 탄소중립 달성을 위한 혁신 기술개발 지원을 위한 기금(10년간 2조 엔)을 통해 추가 예산 마련
- 2022년(令和4년⁹⁶⁾) 내각부, 문부과학성, 경제산업성 및 환경성이 공동으로 발표한 「에너지 대책 특별 회계 세입 세출 예정액 각목 명세서(エネルギー対策特別会計歳入歳出予定額各目明細書)」에 따르면 에너지 수급 구조 고도 대책비에 수소 관련 예산 3개 도출
 - 초고온을 이용한 수소 대량 제조 기술 실증 사업 위탁비(超高温を利用した水素大量製造技術実証事業委託費) 7억 엔
 - 연료전지 자동차 보급 촉진을 위한 수소충전소 정비 사업비(燃料電池自動車普及促進水素ステーション整備事業費) 90억 엔
 - 재생가능한 에너지를 활용한 수소 사회 추진 사업비(再生可能エネルギー等活用水素社会推進事業費) 33억 5,000만 엔

96) 영화 4년(일본 연호)로 서기 2022년 의미

라. 우리나라

- 우리나라는 부처별 「예산 및 기금운용계획」을 통해 재정 투입 계획을 발표하고 있으며, 그중 수소 관련 예산 조사
 - 2022년 산업통상자원부 수소에너지 관련 직접 사업은 26개로 2021년 대비 127억 700만 원이 증가한 2,757억 7,900만 원 편성
 - 산업통상자원부의 2022년 수소 관련 사업은 크게 생산, 운송 및 저장, 활용의 3가지 분야로 구분
 - (생산 분야) 수소 생산기지 구축 사업, 그린 수소생산 및 저장 시스템 개발 사업 등 생산에 필요한 기술개발 사업으로 총 389억 5,000만 원
 - (저장 및 운송 분야) 액화수소 충전 핵심부품 및 시설안전 기술개발, 액화수소 충전소용 저장용기 및 수소 공급 시스템 기술개발 및 운영 실증, 액화수소 검사기반 구축 사업 등 생산된 수소를 충전소 등에 유통 하는데 필요한 기반 구축과 기술개발이 포함되며 총 428억 2,00만 원
 - (활용 분야) 안전기반 소형 수소 추진 선박 기술개발 및 실증사업 등 연료전지, 수소 선박 분야, 연료전지 분야 등으로 수소를 에너지원으로 사용하는 차량 및 선박의 개발, 연료전지 시스템 개발 등을 포함하며 총 1,326억 8,300만 원으로 가장 많은 비중 차지

<표 52> 산업통상자원부 수소 관련 예산⁹⁷⁾

(단위: 백만 원)

구분	사업명	2022 예산안
생산	수소생산기지구축	23,440
	재생에너지 장주기 저장 및 전환을 위한 Powertogas 기술개발	7,362
	그린 수소생산 및 저장 시스템 기술개발	8,148
저장·운송	수소 유통 기반 구축	12,846
	수소 안전기반 구축 및 안전관리 강화	8,759
	수소 충전 인프라 안전관리 핵심 기술개발	8,169
	액화수소 검사기반 구축	4,246
	액화수소 충전 핵심부품 및 시설 안전 기술개발	4,500
	액체수소 충전소용 저장용기 및 수소 공급 시스템 기술개발 및 운영실증	4,300

97) 우리나라와 분류체계 등이 다를 수 있으므로 비교 시 유의할 필요

구분	사업명	2022 예산안
활용	수소 산업 전주기 제품 안전성 지원 센터 구축	0
	고분자 연료전지 신뢰성 평가 센터 건립	1,725
	신재생에너지 보급 지원 (주택·건물지원 연료전지 보급)	19,140
	자동차산업 기술개발(수소 자율버스 시범 운행)	0
	자동차산업 기술개발(수소 전기트램 실증)	9,632
	조선 해양산업 기술개발 (친환경 수소 연료 선박 R&D 플랫폼 구축)	3,550
	권역별 신산업 육성사업 (수소 연료전지차 부품 실용화 및 산업기반 육성)	0
	신재생에너지 핵심 기술개발(연료전지)	57,872
	수소차용 차세대 연료전지 시스템 기술개발	5,790
	수소 연료전지 기반 탑재중량 200kg급 카고 드론 기술개발	5,754
	수소 모빌리티 확대를 위한 개방형 연료전지 시스템 설계 검증 플랫폼 기술개발	4,815
	수소 연료전지 인증센터 구축지원	4,000
	수소 트럭 전기동력 부품 국산화 기술개발	4,605
	수소 트럭 개조 기술개발 및 실증	5,100
	안전기반 소형 수소 추진 선박 기술개발 및 실증	2,820
	해양 부유 쓰레기 수거 처리용 친환경 (LNG-수소) 선박 개발 및 실증	2,180
	수소 버스용 충전소 실증	630
	전기차 플랫폼 공용화 기반 수소차용 비정형 수소저장장치 개발	4,230
	동남권 그린 수소 항만 조성	840
기타	수소 산업 진흥 기반 구축	5,100
	신재생에너지 핵심 기술개발(수소)	56,226
총합		275,779

자료: 국회예산정책처, 「2022년도 예산안 위원회별 분석_산업통상자원중소벤처기업위원회」, 2021.10.

- 환경부는 2050 탄소중립 목표 달성을 위해 무공해차 보급 확대와 재생 에너지 사용 확대를 위한 예산을 편성하고 있으며, 2022년 기준으로 관계부처 중 가장 많은 8,958억 4,900만 원의 예산을 편성
- 환경부는 2022년도 수소차 보급 및 수소충전소 설치사업으로 2021년 4,416억 원 대비 4,512억 원 증가한 8,928억 원 편성
 - 수소차 2만 8,000대 보급 및 수소충전소 100대 설치
- 2022년 기준 신재생에너지를 활용한 그린 수소생산 시설 및 연결관 구축사업에 30억 8,000만 원 편성

<표 53> 환경부 수소 관련 예산⁹⁸⁾

(단위: 백만 원)

구분	사업명		2022 예산안
활용	수소차 보급 및 수소충전소 설치사업	수소차 보급	270,644
인프라		수소충전소 설치사업	622,125
생산	재생에너지 그린수소 전환		3,080
총합			895,849

자료: 환경부, 「2022년도 환경부 소관 예산 및 기금운용계획」, 2022.01.

98) 우리나라와 분류체계 등이 다를 수 있으므로 비교 시 유의할 필요

- 국토교통부는 수소경제 활성화를 위해 2022년 기준으로 수소 도시, 대중 교통체계, 물류 시스템, 내압용기 검사소 등에 약 500억 원의 예산을 편성
 - (수소도시 지원) 수소 활용 기술·시스템을 실제 적용한 수소도시 조성을 목표로 수소시범도시를 선정하여 통합운영시스템, 수소추출기, 연료전지, 배관망 등 수소 인프라 구축 및 설계비 등 지원
 - (수소 대중교통체계 구축 지원) 교통거점에 대용량 수소 충전소 및 부대시설을 갖춘 수소교통 복합기지 구축을 지원하여 수소차 이용자 편의를 개선하고, 수소차 보급 확대 및 수소 친환경 교통체계 구축 기반 마련
 - (수소 물류 시스템 구축) 교통거점에 대용량 수소 충전소 및 부대시설을 갖춘 수소 교통 복합기지 구축을 지원하여 수소차 이용자 편의를 개선하고, 수소차 보급 확대 및 수소 친환경 교통체계 구축 기반 마련
 - (내압용기 검사소 구축사업) 급속하게 보급되는 수소전기차 내압용기 전용검사소를 구축하여 파열사고를 예방하고 운행안전 확보

<표 54> 국토교통부 수소 관련 예산⁹⁹⁾

(단위: 백만 원)

구분	사업명	2022 예산안
활용	수소 도시 지원	24,500
인프라	수소 대중교통체계 구축 지원	14,800
활용	수소 물류 시스템 구축	9,000
저장	수소전기차 내압용기 검사소 구축사업	2,602
총합		49,902

자료: 국토교통부, 「2022년도 예산 및 기금운용계획」, 2022.01.

99) 우리나라와 분류체계 등이 다를 수 있으므로 비교 시 유의할 필요

- 과학기술정보통신부에서는 2022년도 R&D 사업 중 다부처 공동사업 등을 통해 수소경제 관련 기술개발 진행
 - (그린 수소생산 액상 저장 일체화 기술개발) 기후체제 대응과 에너지 문제 해결을 위한 새로운 에너지 패러다임 제시 및 구현을 위한 에너지 전환 및 저장 기술 개발 및 적용
 - (수소 도시 기반 시설 안전 및 수용성 확보) 도시 블루 수소 플랫폼 기술은 생분해 플라스틱의 블루수소로 활용대책 확보 지역 내 분산형 기반 시설에 통합 구축하여 공간 및 민원 문제 저감
 - (수소 공급 및 활용 기술) 수소경제 사회 선도를 위한 수소공급 및 활용 기술개발
- 기획재정부는 2022년도 예산에서 신기후체제 대응 기계기술 개발을 위해 과학기술정보통신부 R&D 사업 수행
 - (CCU 3050) 블루 수소생산을 위한 CO₂ 포집기술 고도화를 통해 수소생산 규모 공정별 발생하는 이산화탄소를 효과적으로 포집할 수 있는 포집 고도화 기술개발
 - (차세대 수소 혁신기술) 알칼라인 고분자전해질 수전해 액상유기화합물 수소저장 기술개발
 - (미래 수소 혁신기술) 연구자의 창의 혁신적 생각을 토대로 미래기술 발굴 경쟁형
 - (수소 국제협력 네트워크 운영) 연구기반 보강 및 공동연구 기반 마련을 위한 세미나 등 운영

<표 55> 과학기술정보통신부 수소 관련 예산¹⁰⁰⁾

(단위: 백만 원)

구분	사업명		2022 예산안
생산	그린 수소생산 액상저장 일체화 기술개발		2,800
활용	수소도시 기반시설 안전 및 수용성 확보 기술개발		2,000
활용	수소연료전지용 철계 저백금 촉매소재 및 전극 개발		450
활용	수소연료전지용 측정고감도 백금대체 철계 촉매소재 및 전극 개발		450
활용	저온 연료전지용 고순도 수소생산을 위한 저감용 고효율 고안정성 나노촉매 소재 실용화 기술개발		450
활용	수소공급 및 활용 기술		9,761
인프라	수소에너지 첨단 연구동 건설사업		1,000
생산	고효율 수소생산을 위한 초고온 시스템 구현에 필요한 핵심 요소기술		3,517
생산	CCU 3050(R&D)		9,000
저장	수소에너지 혁신 기술개발	차세대 수소 혁신 기술	8,200
기타		미래 수소 혁신 기술	2,100
기타		수소 국제협력 네트워크 운영	100
총합			39,378+α

자료: 과학기술정보통신부, 「2022년도 예산 및 기금운용계획」, 2022.01.

100) 우리나라와 분류체계 등이 다를 수 있으므로 비교 시 유의할 필요

- 해양수산부는 2022년 예산에서 해양 재생에너지 및 바이오 에너지를 활용한 수소생산과 수소 선박을 위한 기술개발 사업 진행
 - (해양 재생에너지 연계 그린 수소생산 기술개발) 탄소중립 실현과 수소 경제 활성화를 위해 파력 등 해양에너지를 활용하여 고정식 해양플랜트에서 수전해를 통하여 수소생산 실증 지원
 - (바이오수소 플랜트 운영 최적화 시스템 개발) 국내 원천기술로 개발된 해양 바이오 수소 실증플랜트 상용화를 위한 플랜트 운영 최적화 시스템 구축 및 시운전, 기술 상용화
 - (내항선박 연료전환 및 효율향상 기술개발) 연안 여객 분야의 탄소중립 사회 구현지원을 위해 재생에너지 활용 연료 소모량 절감 기술 및 표준 모델 개발을 지원
 - (소형 수소 추진 선박 기술개발 및 실증) 40인승 350kW급 소형 수소 추진 선박 건조·운항, 육상 실시간 모니터링, 정량화된 안전기준 마련 등 수소 선박 쉐 주기 표준 모델 제시
 - (수소 선박 안전기준 개발) 국제해사기구(IMO, International Maritime Organization)의 온실가스 감축 규제에 대응한 미래형 수소 추진 운송 선박의 안전기준 개발 추진

<표 56> 해양수산부 수소 관련 예산¹⁰¹⁾

(단위: 백만 원)

구분	사업명	2022 예산안
생산	해양 재생에너지 연계 그린 수소생산 기술개발(R&D)	3,120
생산	해양 바이오 수소생산 상용화 기술개발(R&D)	2,200
활용	내항 선박 연료전환 및 효율 향상 기술개발(R&D)	4,354
활용	안전기반 소형 수소 추진 선박 기술개발 및 실증	2,352
인프라	수소 선박 안전기준 개발(R&D)	5,110
총합		17,136

자료: 해양수산부, 「2022년도 예산 및 기금운용계획」, 2022.01.

101) 우리나라와 분류체계 등이 다를 수 있으므로 비교 시 유의할 필요

V. 결론 및 시사점

□ 주요국 수소경제 관련 정리

- 미국은 친환경 에너지정책을 확대하면서, 청정수소 생산가격을 낮추기 위한 기술개발 진행 중
 - 미국 내 수소 산업 허브 조성을 위해 청정수소 생산-운송-저장 분야에 집중투자(CCUS를 활용한 블루 수소생산과 원전을 활용한 핑크 수소 생산 포함)하여, 청정수소 생산가격을 그레이 수소 수준으로 낮추는 것을 목표로 정책 시행 중
- 독일은 최대 수소생산 국가로 발돋움하고, 자국 내 생산 및 해외에서 도입한 청정수소를 산업 전반에 활용한다는 목표
 - 수전해 기술 활성화를 통해 자국의 청정수소 생산기술을 해외에 수출하고, 이를 활용해 해외에서 생산된 청정수소를 수입하는 전략을 구상하고 있으며, 유럽연합 수소전략¹⁰²⁾에 따르면 수소생산에 투자하는 금액은 수소저장-운송-인프라(충전소) 등에 투자하는 금액의 3~8배
- 일본은 해외 수소 생산기지 확보를 통해 향후 수소 수요에 대응하고자, 수소저장·운송(해양)에 대한 연구개발 및 실증 추진 중
 - 일본은 우리나라와 마찬가지로 자국 내 청정수소 생산 역량이 부족하며, 이를 위해 블루 수소생산, 그린 수소의 해외 도입 등으로 전략 다각화를 진행 중이며, 해외 청정수소 도입을 위해 저장 시설 구축 및 운송 실증 추진 중
- 중국은 2022년 수소 관련 정책을 마련하였으며, 수소차 도입과 충전소 설치를 통한 생태계 구축 계획
 - 탄소중립 달성을 위한 정책 및 규제를 발표하고 있으며, 수소 관련 특허 출원 등 기술 확보를 위한 연구개발 중이며, 수소차 및 충전 인프라 구축을 위한 예산을 마련하여 사업화 진행 중

102) 「유럽 기후 중립을 위한 수소 전략(A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe)」(2020.07.)

- 호주는 연방·주정부 수소 전략으로 지역 특성에 맞는 청정수소 생산-운송-수출하는 인프라 구축을 위한 연구 진행 중
- 호주는 생산한 청정수소를 수출하기 위하여 해외 투자 유치에 적극적이며, 기존 에너지 인프라를 수소산업에 활용하여 일자리 창출 등 인력 육성에 나서고 있으며, 유럽·일본과 MOU 체결을 통해 수출시장 확보에 적극적인 움직임

□ 우리나라 수소경제 관련 시사점

- (수소생산) 우리나라는 제조업 중심 국가로 에너지 소비가 많은 산업을 중심으로 그린 수소 생산·도입을 위한 노력 필요
- 수소 기술·산업 역량·수요 예측에 대한 검토를 기반으로 수소공급 정책을 수립하여, 그린 수소 확보를 위한 수소 생산기지과 수소 수송 인프라 확충 필요
- 수소생산 부문은 높은 재생에너지 가격 부담으로 경쟁력 확보에 많은 시간이 걸릴 전망으로 미국과 같이 원전을 에너지원으로 수소를 생산하는 정책 고려 필요
- 산업통상자원부 「제1차 수소경제 이행 기본계획」 그린 수소 확보 계획에 따라 2030년 50%, 2050년 80% 이상을 해외수입에 의존하는 것으로 전망됨에 따라 독일, 일본과 같이 그린 수소 해외 도입을 위한 공급처 확보 노력 필요
- (수소저장·운송) 수소저장·운송은 수소경제 전주기를 연계하여 다양한 기술이 적용 가능하므로, 수소생산·공급 방식, 활용 분야, 경제성 등을 고려한 기술 선택 필요
- 향후 대량의 그린 수소를 안정적·효율적으로 공급하기 위해 일본과 같은 해상 운송을 통한 저장·운송 기술개발 필요
- 독일과 일본 사례를 참고하여 국토교통부 시범도시 사업에서 수소를 다양하고, 효과적으로 활용할 수 있는 운송 시스템 구축 필요
- 생산, 저장, 운송 등 국내 수요 부문에 있어 전반적 경쟁력은 미국, 일본 등 주요국과 비교하여 미흡하므로 적극적인 R&D 투자 필요

- (수소 활용 · 인프라) 우리나라 수소경제 산업은 수소차 · 연료전지 등 활용 부문과 충전소 구축 등 인프라 부문에 집중
 - 국내 수소 활용 부문은 수소경제 생태계에서 가장 큰 비중을 차지하고 있으며 수소차와 연료전지를 중심으로 글로벌 경쟁력 보유
 - 지속적인 연구개발을 통해 수소차에 대한 경제성 · 기능성을 확보하여 해외 수출을 통한 글로벌 시장 점유율 확보 및 기술 선도해 나갈 필요
 - 수소 시범도시 운영을 통해 공동주택 · 스마트팜 등 다양한 분야에 수소를 활용할 수 있는 경험과 노하우를 축적하여 실제 사업화 사례 발굴 노력 필요
 - 일본 충전소 규제에서 볼 수 있듯이 국내 기업이 수소경제 산업 활동 추진과정에서 발생하는 규제애로에 대응하기 위해 기존 규제와 상충성, 유지관리, 안전 등을 고려한 법안 및 표준 마련 필요
 - 현재 글로벌 수소경제 시장은 초기 단계로 향후 주요국과의 경쟁에서 수소 시장을 선점하기 위해 국내 수소 기술을 국제표준에 반영되도록 노력 필요
- 기후변화 대응 및 탄소중립 달성을 위해 수소 전략 수립 필요
 - 주요국을 중심으로 수소경제의 중요성을 인식하고 수소생태계를 조성하는데 노력하는 가운데, 기술 선진국과의 협력도 주요한 수단으로서 고려해볼 필요 있음
 - 수소경제 관련 적극적인 투자를 진행하고 있는 주요국과 협력관계를 통해 효율적 · 효과적 수소경제 생태계 마련 노력 필요
 - 최종적으로 수소경제 생태계 구축이라는 미시적 관점에서 벗어나 탄소중립 달성이라는 거시적 관점에서 경제 · 환경 · 사회적 영향을 고려한 정책 및 전략 수립 구성 필요

