

글로벌 기후기술 협력을 위한 주요국 수소공급 생태계 구축 동향 분석

박미라·손범석·한수현·오상진·이종열·김도형·최예빈·오지현



Contents

글로벌 기후기술 협력을 위한
주요국 수소공급 생태계 구축 동향 분석



I. 개요 03

- 1.1 분석 배경 03
- 1.2 분석 대상 및 범위 03



II. 수소공급분야 기술현황 및 혁신목표 05

- 2.1 기술의 정의 및 세부중점 기술 05
- 2.2 중점 기술별 이슈 및 혁신목표 06
- 2.3 특허분석 기반 수소분야 Top Player 11



III. 주요국 수소공급 생태계 구축 추진 현황 16

- 3.1 독일 16
- 3.2 미국 23
- 3.3 영국 30
- 3.4 일본 36
- 3.5 프랑스 42
- 3.6 호주 47



IV. 요약 및 시사점 53

I

개요

1.1 분석 배경

- 「탄소중립 녹색성장 기술혁신전략」 논의·발표('22.10.26 2050 탄소중립녹색성장위원회)
 - 기술혁신을 통한 2030 NDC 및 2050 탄소중립 실현을 위해 민·관이 함께 한국형 탄소중립 100대 핵심기술에 대한 명확한 임무 기반 R&D 로드맵 체계 구축, 탄소중립 R&D 투자 강화를 위해 선도국 중심의 전략적 국제협력 확대
- 「탄소중립 기술혁신 전략이행안」 심의·의결('22.11.21 제5차 탄소중립기술특별위원회)
 - 「탄소중립 녹색성장 기술혁신전략」의 후속조치로서 당면한 명확한 임무와 목표 설정을 통해 단계별 기술 획득이 성공할 경우 후속개발을 지원하여 현장까지 적용하는 각분(시나리오)방식으로 설계¹⁾
 - 수소공급, 무탄소 전력공급, 친환경차 분야, 이산화탄소 포집·저장·활용 기술을 포함한 총 4개분야에 대한 이행안을 수립하여 각 분야에 대한 R&D 기획·평가·예산배분·조정 등의 가이드라인으로 활용²⁾
- 탄소중립 이행을 위한 핵심 기술 분야인 ‘수소 공급’ 분야의 기술 확보를 위한 전략 방향 제시
 - 탄소중립 달성을 위한 기술 혁신을 위해서는 현재 기술 수준의 파악, 혁신 달성을 위한 목표 설정 및 국내외 관련 정책 추진 동향 등을 분석하여 국내에 비용 효과적으로 조속한 기술 확보가 추진될 수 있도록 기초자료 마련이 필요
 - 따라서 본 분석에서는 수소 공급 분야의 기술 혁신을 위한 기술 현황 진단 및 주요국의 수소 생태계 구축 이행 수단을 분석하여 우리나라 기술 혁신 정책 추진 방향에 대한 시사점을 제시하고자 함

1.2 분석 대상 및 범위

- 본 분석에서 다루는 수소공급 분야 기술의 범위
 - 본 분석에서는 2022년 11월에 발표된 ‘수소공급 분야 탄소중립 기술혁신 전략로드맵(안)’에서 제시한 수소 공급 분야 16개 세부기술 분류 중 12개 분야(표1-1)를 활용하여 분야별 기술 혁신을 위한 주요 목표, 현재 기술 성능 및 기술 개발 방향 등을 조사·분석 수행
 - 수소공급 분야 탄소중립 기술혁신 전략로드맵(안)에서 제시한 수소 공급 기술 개발의 단계별 목표 대비 현 기술수준을 정량적으로 진단하는 지표를 선정하고 이에 대한 성능을 조사
 - 기술 성능을 대표할 수 있는 지표를 문헌조사(전문매체, 기업 카탈로그, 기술보고서 등)를 통해 1차적으로 선정 후, 각 기술 분야별 전문가 협의체의 검증을 거쳐 최종 선정
- 주요국의 수소 생태계 구축 추진 관련 동향 분석에 대한 범위
 - 본 분석에서 다루는 주요국 수소 생태계 추진 동향 분석에서는 중앙정부(연방정부) 주도의 정책 추진 활동을 대상으로 하며 민간 또는 지방정부 차원의 이니셔티브 활동들은 제외함

1) 과학기술정보통신부 보도자료(2022.11), 「수소, 이산화탄소 포집·저장·활용 기술 등 탄소중립 기술혁신 전략이행안 마련」

2) 과학기술기획평가원(2023), 「임무지향적 탄소중립 기술혁신 전략로드맵 수립 연구」



- 또한 정부의 수소 관련 정책을 이행하기 위한 다양한 지원 프로그램에 대한 조사는 본 분석 보고서의 작성 취지에 따라 주로 R&D 관련 지원 프로그램을 대상으로 하며 일부 금융, 세제, 국제협력(파트너십 구축)에 대해서는 제외하였으나 R&D 프로그램에 관련 내용이 반영되어 있을 경우에는 일부 반영함

[표 1-1] 수소공급 분야 세부기술 분야

분야	중점기술	세부기술
수소 생산	수전해	알카라인수전해
		고분자전해질 수전해
		고온수전해
		음이온교환막수전해
	소재 부품	
차세대 생산 기술		
수소 저장 및 운송	저장 운송 핵심기술	액체수소충전소
		액체수소탱크트레일러
		액체수소저장탱크
	수소 액화	
	수소 배관망	
차세대 수소저장기술		
해외 수소 저장 및 운송	암모니아-수소	
	액체수소 운송선	
	액체수소 인수기지	
	차세대 기술	

※회색 음영의 세부기술은 본 분석의 대상 기술 범위에서 제외³⁾

3) (참고) 본 분석에서의 기술성능 조사 대상 기술 범위에서는 제외하였으나 분야별 차세대 기술은 다음의 기술적 사항들을 포함하고 있음.
 - (수소 생산) 현 수전해 기술의 한계를 극복하기 위한 차세대 기술(음이온 교환막 및 고체산화물 수전해, 메탄 열분해 및 광분해 등) 상용화가능성 검증 및 중소규모 실증
 - (저장·운송) 현 압축수소 저장기술의 한계를 극복하기 위한 차세대 기술(저비용 상온 금속 수소화물 등) 상용화 가능성 검증 및 중소규모 실증
 - (해외 저장·운송) 현 액체수소의 한계 극복을 위한 차세대 기술(청정암모니아 합성기술, LOHC 등) 상용화 가능성 검증 및 중소규모 실증

II

수소 공급분야 기술현황 및 혁신목표4)

2.1 기술의 정의 및 세부중점 기술

- **(수전해 수소생산) 전기로 물을 분해하여 양극에서 산소가 발생(산화)하고 음극에서 수소를 생산(환원)하는 기술**
 - **(알칼라인 수전해)** 고농도 알칼라인 액체 전해질(20~30 wt.% KOH 용액)을 이용하는 상용 수전해 기술로서 현재 기술성숙도가 높고 실증사례가 많으며 구조가 단순하고 대용량 및 장기운전 등에 유리하여 가격경쟁력이 높으나, 수소와 산소의 혼합 위험이 있고 수소 순도가 낮으며, 저전류밀도 작동으로 비교적 시스템 크기가 크다는 단점이 있음.
 - **(고분자전해질 수전해)** 양성자(H⁺) 교환 고분자 전해질막을 이용하는 상용급 수전해 기술로서 부하변동 운전에 유리하고 높은 전류밀도 작동으로 시스템 크기가 작으나 귀금속 촉매, 과불화탄소 전해질막, 티타늄 기반 확산체 등 고가 소재 사용으로 가격경쟁력이 낮다는 단점이 있음.
 - **(고온 수전해)** 세라믹 등의 이온전도성 고체산화물 전해질을 이용해 700℃ 이상의 고온 수증기를 전기분해하는 기술로 에너지 효율이 높으나, 고온의 작동환경에 따른 소재의 열화문제 해결 필요 (연구초기)
 - **(음이온교환막 수전해)** 음이온(OH⁻) 교환 고분자 전해질 막을 이용하는 수전해 기술로, 저렴한 소재 및 소형화가 가능하여 경제적이고 고전류밀도 운전으로 고압·고순도의 수소 생산이 가능하지만, 촉매/전극 및 전해질막의 내구성 개선 필요 (연구초기)
- **(수소저장·운송) 수소를 기체 상태로 저장·운송하거나, 액체상태(-253℃)로 저장·공급하는 기술**
 - **(액체수소 충전소)** 저장되어 있는 액체수소를 고압 기체수소나 저압 액체수소로 변환하여 공급하는 시스템
 - **(액체수소 탱크트레일러)** 액체수소 운반이 가능한 탱크로리 설계/제작 기술, 액체수소 증발로 발생한 수소가스(Boil Off Gas; BOG) 최소화를 위한 초저온 단열기술, 액체수소 탱크로리 안전·운영 기술 등을 포함
 - **(액체수소 저장탱크)** BOG 최소화를 위한 초저온 단열기술, 대용량 및 모빌리티용 액체수소 저장탱크 기술, BOG 재액화 기술 등을 포함
 - **(수소액화)** 극저온냉각을 통해 저압의 액체수소(-253℃)를 생산하는 기술이며 상용급(30톤/일) 수소액화공정 시스템 기술, 수소액화 핵심부품 개발, 플랜트 설계·건설·운영 기술을 포함
 - **(수소배관망)** 수소취성에 강한 수소배관망 설계, 정밀 시공, 운영기술, 누출, 파괴 등 실시간 이상상황 감지를 위한 안전관리 시스템 국내 광역 단위 수소이송을 위한 대용량 고압 배관망 및 제어설비 구축 기술
- **(해외 수소 저장·운송) 해외 생산 청정수소의 국내 도입을 위한 대용량 저장 및 장거리 운송, 국내 하역 및 공급기술**
 - **(암모니아-수소)** 청정수소를 대용량으로 저장하기 위한 기술로서 암모니아로 합성·저장하여 운송 후 다시 수소로 추출하는 기술까지 포함
 - **(액체수소 운송선)** 액체수소를 대용량으로 운송하는 선박으로 액체수소를 저장하는 화물창(Cargo Containment System; CCS), 수소 운용시스템, BOG 처리시스템으로 구성
 - **(액체수소 인수기지)** 수입된 수소를 적·하역 및 저장하였다가 수요에 따라 송출/불출하는 시설로 적·하역설비, 저장탱크, 송출/불출 설비, BOG 처리설비, BOG를 최소화하기 위한 고성능 대용량 단열탱크, 하역 기술 등 필요

4) 본 장에서 기술된 수소 공급분야 기술 정의와 중점기술 분야별 이슈 및 혁신 목표는 2022년 11월에 발표된 '수소공급분야 탄소중립 기술혁신 전략로드맵'에 제시된 내용을 요약·정리하였음.

2.2 중점 기술별 이슈 및 혁신목표

• 수전해 수소 생산기술

- (기술현황 및 주요 이슈) 알칼라인 수전해 및 고분자전해질 수전해 기술의 경우 국내 수준은 상용화에 근접해 있으나, 해외 선도국 대비 개발 스택 용량이 작고 생산 실증을 통한 대량 양산 시스템 기술이 부족하며, 차세대 수전해의 경우, 아직 초기단계의 연구로 상용화를 위한 연구개발 필요

[표 2-1] 수전해 세부기술별 국가별 최고 기술성능 수준

구분	성능지표	국가별 최고 기술성능 수준											
		한국		일본		미국		영국		프랑스		독일	
			보유 기관		보유 기관		보유 기관		보유 기관		보유 기관		보유 기관
알칼라인 수전해	수소생산전력량 (kWh/kgH ₂)	-		53.4 (추정)		51.3		-		55.6		53.4 (추정) /49.6-51.6 (계산)	Thyssenkrupp-Nucera /Sunfire
	스택효율 (% , HHV)	77.0	수소 에너지젠 (시작품 개발중)	82.0	Asahi Kasei	84.6	Aquahydrex (시작품)	-	-	76.3 (계산)	McPhy	82.0 (시스템) / 79.2-83.8 (계산)	
	시스템용량 (MW)	2.0		10		-		-		16		20 /10	
고분자 전해질 수전해	수소생산전력량 (kWh/kgH ₂)	53.25 (추정)		53.0		55.4		55.6		53.9		52.2	Siemens Energy
	스택효율 (% , HHV)	82.2	엘켄텍 (시작품)	82.5 (추정)	Toyota (시작품)	78.9	Plug-Power	82.0	ITM Power	80.4	Elogen	82.5 (추정)	
	시스템용량 (MW)	1.0		-		10		10		20		17.5	
고온 수전해	수소생산전력량 (kWh/kgH ₂)	40 (목표)		44.5 (200kW-50Nm ³ /h 설계연수)		41.9		<40		-		40 (계산)	sun fire
	스택효율 (% , LHV)	-	에기평 그린 수소 실증 사업	-	Toshiba (개발중)	87.4 (계산)	Bloom energy	-	Ceres Power	-	-	93.8 (계산)	
	시스템용량 (kW)	5 (단위 스택기준) /130		10 (test system)		1800		100		-		2680	
음이온 교환막 수전해	수소생산전력량 (kWh/kgH ₂)	-		-		-		-		-		53.3	Enapter
	수소발생량 (NL/h)		한화솔루션 (시제품)		-		-		-			500	
	단위스택용량 (kW)	250		-		-		-		-		2.4	
	수소발생압력 (bar)	-		-		-		-		-		35	

- **(목표 및 전략)** 알칼라인 및 고분자전해질 수전해 기술 등 상용 수전해 기술의 경우 2028년까지 10MW급 수전해 시스템 실증, 2030년까지 100MW급 시스템 개발을 목표(과학기술정보통신부 등, 2019)⁵⁾로 수전해 기술별 시스템 대용량화, 핵심 소재 개발 및 가격경쟁력 확보를 위한 단계별 기술개발 전략을 추진 중(관계부처 합동, 2022)⁶⁾이며, 차세대 생산기술의 경우, 초기의 연구단계로 현 수전해 기술의 한계를 극복하기 위한 상용화 가능성 검증 우선 필요(~'26)

[표 2-2] 수전해 세부기술별 혁신 목표 및 전략

구분	내용
알칼라인 수전해	<ul style="list-style-type: none"> • (성능 및 가격 목표) 스택 용량 2MW 이상, 스택 성능 52kWh/kgH₂ 이하, MW 당 시스템 가격 10억원 이하(~'28) • (소재·부품 개발방향) (셀) 고효율·고전류밀도화, (보리막) 오믹저항 및 기체투과도 감소, (전극) 비귀금속 사용을 통한 과전압 감소, 내구성 확보 등
고분자전해질 수전해	<ul style="list-style-type: none"> • (성능 및 가격 목표) 스택 용량 1MW 이상, 스택 성능 52kWh/kgH₂ 이하, MW 당 시스템 가격 10억원 이하(~'28) • (소재·부품 개발방향) (막전극접합체) 고효율·고내구화, 귀금속 사용량 감소, (전해질막) 막저항 및 기체투과도 감소 (촉매) 과전압 감소 등
고온수전해	<ul style="list-style-type: none"> • 차세대 수전해 및 저장 혁신 기술개발 실증사업을 통해 SOEC, AEMWE 등 1~2MW급 개발 실증('24~'29) • 경쟁력 있는 차세대 기술에 대한 기초·원천 연구 지원을 위해 복수 연구팀 대상 소규모 경쟁 방식의 연구수행을 시행하고, 단계별 투자 확대를 통한 스케일업(중소규모 실증추진, '27~)
음이온 교환막 수전해	

• 수소 저장 및 운송기술

- **(기술현황 및 주요 이슈)** 대량의 수소를 저장·운송하여 운송비를 절감할 필요가 있으며, 기체수소 압축·운송기술 뿐만 아니라 수소액화 기술 확보도 필요, 선도기업의 경우 액체수소 저장 및 운송기술을 보유하고 있고 우리나라의 경우 전반적으로 연구개발 초기단계인데, 저장탱크 기술의 경우 우리나라의 역량도 크게 부족하지는 않을 것으로 보임. 특히 국내 수소액화 플랜트 및 충전소는 모두 해외기술을 기반으로 설치되었다는 한계점이 있음.

[표 2-3] 수소 저장 및 운송 세부기술별 국가별 최고 기술성능 수준

구분	성능지표	국가별 최고 기술성능 수준											
		한국		일본		미국		영국		프랑스		독일	
			보유 기관		보유 기관		보유 기관		보유 기관		보유 기관		보유 기관
액체수소 충전소	탱크용량 (kL)	-	디엘, 효성중	-		-		-		-		5.6	LINDE
	충전용량 (kg/d)	-	공업, 하이 리움 산업	808 ~5908	Nikkiso	2400	VPE	-	-	1000 ~4000	Air Liquide	450 ~2400	
	펌프유량 (kg/h)	-		최대 120~560		-		-		-		28~140	
액체수소 탱크 트레일러	탱크용량 (L 또는 tonLH ₂)	2.5tonLH ₂	크리 오스	45600L	가와 사키 중공업	45425 ~64352L (개선)	Air Products	-	-	56600L	CRYOL OR	56000L	LINDE
	증발율 (BOR, %/d)	1		-		-		-		<0.8		-	

5) 과학기술정보통신부 등(2019.10.31.), 「수소 기술개발 로드맵(안)」, 과학기술관계장관회의

6) 관계부처 합동(2022.11.21.), 「수소공급 분야 탄소중립 기술혁신 전략로드맵」, 탄소중립기술특별위원회



구분	성능지표	국가별 최고 기술성능 수준											
		한국		일본		미국		영국		프랑스		독일	
			보유 기관		보유 기관		보유 기관		보유 기관		보유 기관		보유 기관
액체수소 저장탱크	저장용량 (L)	5600~300000	디엘. 하이 리움 산업	-	-	11356~113562	Gardner Cryogenics	-	-	55850	Air Liquide	3000~100000	LINDE
	저장압력(bar)	6		-		-		-	-	9.9~12		18~36	
수소액화	수소액화 용량 (톤/일)	0.5	한국 기계 연구원/ 한국 과학 기술원	5	이와 타니 산업/ 가와 사키 중공업	35	Air product / NASA	-	-	30	Air Liquide	30	Linde
	수소액화 효율 (kWh/kgLH ₂)	14.3		11.4		12.5		-	-	9.5		10.2	
	저장탱크 용량 (m ³)	18		2,500		3,425		-	-	360		360	
	저장탱크 증발률 (BOR, %/일)	1.0		0.1		0.03		-	-	0.3		0.25	
수소 배관망	배관망 압력(bar)	16~20	포스코 (안산시 적용)	10	가와 사키시 (지자체)	≤ 100	-	-	80	GRTgaz, Teréga	80	ASCADE, ONTRAS	
	배관망 크기(inch)	6		3.9		8	-	-	≤ 48		48		

- (목표 및 전략) 공동연구 등을 통한 기술개발 및 보유를 위한 기간 단축 및 조기상용화 추진을 위하여 선도국과의 '기술 도입형' 국제협력이 필요한데 디엘, 하이리움산업, 크리오스 등 비교적 활발하게 활동하고 있는 국내기업들이 혁신기술을 보유할 수 있도록 하는 '세계 선도형' 국제협력 프로그램을 기획할 필요성이 있음. 한편 이와 병행하여 액화수소 저장·운송에 대한 안전기준 정비가 필요(관계부처 합동, 2022)⁷⁾한데, 2024년에 액화수소 생산·유통·활용을 위한 전주기 안전기준 개발 이후 국내 기업들의 기술개발활동이 보다 활발해질 것으로 예상됨⁸⁾

[표 2-4] 수소 저장 및 운송 세부기술별 혁신 목표 및 전략

구분	내용
액체수소 충전소	<ul style="list-style-type: none"> • (목표) 액체수소충전소 구축·운영과 병행한 국산화 계획 구체화 및 실증 등 지원 - 중·단기적으로 민간기업 중심으로 상용화급 제품 개발
액체수소 탱크트레일러	<ul style="list-style-type: none"> • (목표) 극저온(-253℃)의 액체수소 탱크트레일러 상용화⁹⁾ - 현재 3톤급 탱크트레일러 개발 중으로 2026년경 액화플랜트 활성화되면 상용화 추진
액체수소 저장탱크	<ul style="list-style-type: none"> • (목표) 수소액화플랜트저장탱크 핵심기자재 국산화 개발·실증 - '30년까지 액체수소 저장탱크 용량1000 입방미터 달성 및 저장탱크 기화율 0.3% 달성 - 핵심기자재 개발은 정부 중심으로, 플랜트 설계 및 구축은 민간 중심으로 추진
수소액화	<ul style="list-style-type: none"> • (목표 및 전략) 수소액화플랜트의 스케일업 및 실증 위한 핵심기술 개발 - '30년까지 상용급 5톤 수소액화플랜트 핵심기자재 개발 및 실증 - '30년 이후부터는 민간주도 대규모(수십 톤 급 이상) 플랜트 실증단지 구축
수소배관망	<ul style="list-style-type: none"> • (목표 및 전략) 도시용 수소배관망(100기압) 핵심기술 개발 - '30년 까지 지자체 연계 10톤/일 소규모 실증시설 구축 및 모니터링 추진 - '30년 이후 민간 중심 광역 단위 공급망 구축

7) 관계부처 합동(2022.10.26.), 「탄소중립 녹색성장 기술 혁신 전략」

8) 현재 우리나라 내 구축 중인 액화수소 시설은 규제샌드박스 승인받은 사업자에 한하여 '임시 안전기준(27종)'을 적용하여 추진 중(산업통상자원부(2023), 「수소 안전관리 로드맵 2.0」)

• 해외 수소 저장 및 운송 기술

- (기술현황 및 주요 이슈) 해외 수소 저장 및 운송 부문에서는, 미국, 유럽(프랑스, 독일)이 세계에서 가장 앞선 수준의 수소액화 능력을 보유하고 있는 한편, 일본이 '22년 2월 세계 최초의 액화수소의 장거리 운송 실증에 성공함으로써 기술실용화에 박차를 가하고 있음. 우리나라는 수소 가격 안정화, 그린수소 확대를 위한 해외의 수소 도입 필요성이 높으나 해외의 수소 저장·운송 인프라는 미흡한 상황

[표 2-5] 해외 수소 저장 및 운송 세부기술별 국가별 최고 기술성능 수준

구분	성능지표	국가별 최고 기술성능 수준											
		한국		일본		미국		영국		프랑스		독일	
			보유 기관		보유 기관		보유 기관		보유 기관		보유 기관		보유 기관
암모니아-수소	그린 암모니아 합성 시스템 규모 (kg/day)	-	-	1400 (계산)	Tsubame BHB	1000	RTI International 외 13개 단체	-	-	-	-	30	Simens
	암모니아 해상 운반선 규모 (ton 또는 m³)	23,000m³	현대미포 조선	86,700m³	가와사키 중공업	-	-	-	-	-	-	13 ton	Aurubis, RWE, GETEC, STEAG
	수소 추출량 (Nm³/h 또는 ton/day)	0.2 ton/day	원익머트리얼즈	10 Nm³/h	히로시마 대학 등	39.16 Nm³/h	Starfire Energy	-	-	-	-	-	-
액체수소 운송선	단일 화물창(m³)	-	-	1,250	HySTRA	-	-	-	-	-	-	-	-
액체수소 인수기지	액체수소 저장탱크(m³)	-	-	2,500	Kawasaki Heavy Industries	4,700	CB&I, NASA	-	-	-	-	-	-
	BOR(%/일)	-	-	-	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-
LOHC	통합시스템 규모 (Nm³/h)	2.3 (MCH, BT)	KIST	300 (MCH)	치요다	-	Honeywell					100 / 2000 (BT, 수소 추출)	Hydrogenious Tech
	수소저장용량 (wt%)	6.9 (BPDM)		6.1 (MCH)		6.1 (MCH)					6.2		
	수소저장-추출효율(%)	-		-		-					-		

9) 수소기술 미래전략 (2022.11.9. 관계부처 합동)



- **(목표 및 전략)** 해외에서 생산된 청정수소의 국내 도입에 필요한 기술(대용량 저장, 장거리 운송, 국내 하역 및 공급)의 개발을 위해, 우리나라의 기존 인프라 및 기술을 기반으로 한 해외협력을 통한 조기상용화(수소-암모니아)와, 한국형 모델 설계 및 공동기술을 중심으로 기술개발 지원 필요(액체수소 운송선 및 액체수소 인수기지)

[표 2-6] 해외 수소 저장 및 운송 세부기술별 혁신 목표 및 전략

구분	내용
암모니아-수소	<ul style="list-style-type: none"> • (목표 및 전략) 소규모(1,000 Nm³/h) pilot 시스템 실증 스케일업 가능성 검증 - '25년까지 기존 인프라 기술을 활용하여 해외협력 등을 통한 조기 상용화 추진
액체수소 운송선	<ul style="list-style-type: none"> • (목표 및 전략) 소용량 pilot 화물창 및 시험선 해상실증 추진 - '24년까지 운송선 및 시험선 국산화 모델 설계 - '26년까지 화물창 핵심기술 개발 및 육상검증
액체수소 인수기지	<ul style="list-style-type: none"> • (목표 및 전략) 액체수소 인수기지 관련 기술개발 및 실증 추진 - '27년까지 액체수소 인수·저장·활용 핵심기술 개발 - '27년 이후 액체수소 인수기지 소규모 Pilot 실증 추진

2.3 특허분석 기반 수소분야 Top Player

• 분석개요

- (분석범위 대상 및 범위) 수소생산분야 2000년 이후 23년 10월까지 WIPS ON 데이터베이스에 출원 공개 및 등록된 KIPO(한국), USPTO(미국), JPO(일본), EPO(유럽) 특허를 포함한 16개국 특허청 대상
- (기술분류체계) 수전해분야를 상용수전해와 차세대 수전해로 구분하고, 수소저장 및 운송과 해외수소 저장 및 운송 분야로 구분하여 분석

[표 2-7] 수소 공급 분야 기술분류체계

번호	분야	중점기술	세부기술
1	수소생산: 상용 수전해	수전해	알카라인수전해
2			고분자전해질 수전해
3	수소생산: 차세대 수전해		고온수전해
4			음이온교환막수전해
5	수소 저장 및 운송	저장 운송 핵심기술	액체수소충전소
6			액체수소탱크트레일러
7			액체수소저장탱크
8		수소 액화	
9		수소 배관망	
10		차세대 수소저장기술	
11		암모니아-수소	
12	해외 수소 저장 및 운송	액체수소 운송선	
13		액체수소 인수기지	
14		차세대 기술	

- **(도출과정)** 세부기술 분류체계를 기반으로 검색식(표 2-11 참고)을 도출하고, 건수를 기준으로 key Players를 선정¹⁰⁾하였고, 정량분석의 한계보완을 위해 패밀리 특허와 피인용건수를 기반으로 한 시장지배력지수(Cite Per Patent, CPP)와 기술영향력(Patent Family Size, PFS)지수를 추가분석

[표 2-8] 특허 분석을 위한 검색식 도출 과정 및 방법

도출 과정	도출 방법
검색식 도출 단계	<ul style="list-style-type: none"> • (키워드) 각 세부기술별 전문가 검토를 통해 키워드를 확정하고, 이를 바탕으로 동의어, 유사어 등의 확장을 통해 키워드 조합 • (특허분류코드) 특허주요 선행기술 조사를 하여 주요 특허분류코드를 도출 및 활용하여 최종 검색식 도출
keyPlayer 선정기준	<ul style="list-style-type: none"> • 출원인 대표명을 기준으로 다수의 특허를 보유한 출원인 순

10) 정량분석을 기반으로 하여 도출하였으며, 검색된 특허의 노이즈 제거 및 정성분석은 미 실시

• 분석결과

- 각 분야별 검색된 특허는 중복분류를 포함하여 다음과 같음

[표 2-9] 수소공급 분야별 특허 건수

분야	상용 수전해	차세대 수전해	수소 저장 및 운송	해외 수소 저장 및 운송
건수	6,530	3,591	6,295	3,635

- (수전해) 수전해분야는 일본국적의 출원인 비중이 높게 나타났으며, 주요플레이어로, 상용수전해의 경우, 삼성SDI는 기술영향력(CPP)이 높으나 시장지배력(PFS)은 낮은 것으로 분석되었고, 데노라는 시장지배력, 기술영향력 측면에서 모두 영향력이 높은 것으로 분석

- 차세대 수전해의 경우, 블룸에너지가 기술영향력(CPP) 측면에서 압도적으로 뛰어나며, 프랑스CEA는 시장지배력(PFS)과 기술영향력(CPP) 모두 상위인 것으로 분석

[표 2-10] 특허 기반 수전해 분야 Top Players

분야	출원인	특허건수	시장지배력 (PFS)*	기술영향력 (CPP)**
상용수전해	삼성SDI(주)(SAMSUNG SDI CO.,LTD.)	221	0.75	4.48
	데노라(DE NORA)	112	2.77	2.38
	파나소닉 홀딩스 주식회사(PANASONIC HOLDINGS CORPORATION)	111	0.92	5.36
	혼다모터(HONDA MOTOR)	94	0.58	4.98
	도요타모터(TOYOTA MOTOR CORP)	86	0.72	7.47
	(주)LG화학(LG CHEM LTD.)	82	1.31	5.26
	달리안 인스티튜트 오브 케미컬 피직스(DALIAN INSTITUTE OF CHEMICAL PHYSICS CHINESE ACADEMY OF SCIEN)	80	0.34	1.82
	(주)엘지에너지솔루션(LG ENERGY SOLUTION LTD.)	71	1.40	0.46
	닛산모터(NISSAN MOTOR)	57	0.59	8.15
차세대 수전해	아사히케미칼인더스트리즈(ASAHI CHEMICAL IND)	54	1.31	3
	블룸 에너지 코퍼레이션(BLOOM ENERGY CORPORATION)	105	1.7	27.31
	프랑스 원자력 및 대체에너지 위원회(COMMISSARIAT A L' ENERGIE ATOMIQUE (CEA))	99	1.72	1.55
	TOPSOE HALDOR	79	2.79	2.07
	도시바(TOSHIBA CORP)	77	0.52	3.81
	도토기키 가부시카가이샤(TOTO LTD.)	75	0.72	2.84
	오사카가스(OSAKA GAS CO LTD)	72	1.14	2.58
	엔티티(NIPPON TELEGRAPH & TELEPHONE CORP(NTT))	60	0.29	5.23
	파나소닉 IP 매니지먼트(PANASONIC IP MANAGEMENT CORP)	56	0.85	1.54
사우디 아라비안 오일 컴퍼니(SAUDI ARABIAN OIL COMPANY)	51	1.72	3.46	
닛폰소쿠바이(NIPPON CATALYTIC CHEM IND)	51	0.58	2.67	

* 시장지배력(PFS) = 특정 주체의 평균 패밀리 국가 수 / 전체평균 패밀리 국가 수, PFS가 높을수록 상업적 가치가 큰 기술을 의미하며, PFS가 높은 출원인은 다수의 세계 시장을 확보하고 있는 것으로 해석

** 기술영향력(CPP) = 특정 주체의 등록특허의 피인용 횟수 / 해당 주체의 등록특허 수, 피인용지수가 해당 출원인 기술개발의 측면에서 다수의 세계시장을 확보하고 있는 것으로 해석

- (수소 저장 및 운송(국내외)) 수소저장 및 운송 관련된 기술의 주요 플레이어로, 도요타는 기술영향력(CPP)측면에서 에어리퀴드는 시장지배력(PFS) 측면에서 우수한 것으로 나타났고, 해외저장 및 운송분야에서는 HD한국조선해양, 한화오션, 삼성중공업 등 한국기업이 상위를 차지하고 있으나, 시장지배력(PFS) 측면에서는 낮은 것으로 분석

[표 2-11] 특허 기반 국내 및 해외 수소 저장·운송 분야 Top Players

분야	출원인	특허건수	시장지배력 (PFS)	기술영향력 (CPP)
수소 저장 및 운송	도요타	268	1.01	5.8
	에어 리퀴드(프랑스)(AIR LIQUIDE SA)	182	2.17	3.58
	혼다모터(HONDA MOTOR)	150	0.71	8.7
	린데(LINDE AG)	121	1.79	1.88
	현대자동차(주)(HYUNDAI MOTOR COMPANY)	100	0.91	1.55
	로베르트보쉬(ROBERT BOSCH)	84	1.22	0.25
	카와사키 주코교(KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES LTD)	81	1.21	4.06
	기아(주)(KIA CORPORATION)	79	0.97	0.88
	중국석유화학주식회사(SINOPEC CORP)	74	0.6	1.74
해외 저장 및 운송	프랑스 원자력 및 대체에너지 위원회(COMMISSARIAT A L' ENERGIE ATOMIQUE (CEA))	58	2.55	0.8
	에이치디한국조선해양(주)(HD KOREA SHIPBUILDING & OFFSHORE ENGINEERING CO.,LTD.)	117	0.38	1.7
	한화오션(주)(HANWHA OCEAN CO.,LTD.)	104	0.33	2.76
	삼성중공업(주)(SAMSUNG HEAVY INDUSTRIES CO.,LTD.)	66	0.23	2.35
	BASF SE	56	2.12	3.62
	카와사키 주코교(KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES LTD)	41	0.87	0.5
	닛폰소쿠바이(NIPPON CATALYTIC CHEM IND)	39	0.92	5.65
	에이치디현대중공업(주)(HD HYUNDAI HEAVY INDUSTRIES CO.,LTD.)	37	0.59	1.13
	히타치조오센 가부시카가이사(HITACHI ZOSEN CORP.)	37	1.05	5.78
	이스트만케미컬(EASTMAN CHEM CO)	35	2.15	2.7
한국과학기술연구원(KIST CORP.)	34	0.83	2.93	



[표 2-12] (참고) 세부기술별 특허검색식

번호	분야	세부기술	검색식
1	수소생산 - 상용	알카라인수 전해	(((수소* 하이드로젠* 하이드로겐* 히드로젠* hydrogen* 하이드로전* 하이드로겐* 하이드로젠* 히드로겐* 히드로젠* "H2") near2 (생산* 발생* 생산* 형성* 제너레* 크리에* 만드* 만들* 제조* 만들기용* 생성* 제작* mak* produc* generat* manufact* creat*)) or ((수전해* 물전해* 수분해* 물분해* water-electroly*) or ((물* water*) adj2 ((전기 adj 분해*) or (전기분해* 전기-분해* 전해* electroly*)))) and ((alkali* 알카리* alkari* 알칼리인* 알칼리* alkalin* alkary* 알카라인*) adj2 (용액* 전해질* 전해수* 전해용액* liquid* electrolyte*))))).ti,ab,cla. and (B01J* C01B* C07F* C10G* C10J* C10K* C22* C25B* F17C* F25B* B01D* B63H* C01C* C02F* C10L* C07C* F25J* H01M* F23R* F02C* F24H*).ipcm.
2		고분자전해질 수전해	(((수소* 하이드로젠* 하이드로겐* 히드로젠* hydrogen* 하이드로전* 하이드로겐* 하이드로젠* 히드로겐* 히드로젠* "H2") near2 (생산* 발생* 생산* 형성* 제너레* 크리에* 만드* 만들* 제조* 만들기용* 생성* 제작* mak* produc* generat* manufact* creat*)) or ((수전해* 물전해* 수분해* 물분해* water-electroly*) or ((물* water*) adj2 ((전기 adj 분해*) or (전기분해* 전기-분해* 전해* electroly*)))) and (((고*) adj (분자* 파티클* 입자* 파이티클*)) or (고분자* 폴리머* 중합체* 폴리머* 폴리마* 폴리머* polymer* polylymer* polyem* polmer* macromolecul*)) adj2 (전해질* 일렉트로라이트* 전해액* 전해용액* 전장액* 전해물* 전해층* 일렉트롤라이트* 일렉트롤리트* 전해막* electrolyte* electrolyt* electrolyte*)) or ("PEM"))).ti,ab,cla. and (B01J* C01B* C07F* C10G* C10J* C10K* C22* C25B* F17C* F25B* B01D* B63H* C01C* C02F* C10L* C07C* F25J* H01M* F23R* F02C* F24H*).ipcm.
3	수소생산 - 차세대	고온수전해	(((수소* 하이드로젠* 하이드로겐* 히드로젠* hydrogen* 하이드로전* 하이드로겐* 하이드로젠* 히드로겐* 히드로젠* "H2") near2 (생산* 발생* 생산* 형성* 제너레* 크리에* 만드* 만들* 제조* 만들기용* 생성* 제작* mak* produc* generat* manufact* creat*)) or ((수전해* 물전해* 수분해* 물분해* water-electroly*) or ((물* water*) adj2 ((전기 adj 분해*) or (전기분해* 전기-분해* 전해* electroly*)))) and (((고온* 높은온도* 높은-온도* high-temperature* ((높은* high*) adj (온도* temperature*))) adj2 (스팀* 증기* 수증기* steam* vapor*)) or ((스팀* 증기* 수증기* steam* vapor*) near2 (분해* decompos*))))).ti,ab,cla. and (B01J* C01B* C07F* C10G* C10J* C10K* C22* C25B* F17C* F25B* B01D* B63H* C01C* C02F* C10L* C07C* F25J* H01M* F23R* F02C* F24H*).ipcm. not (탄화수소* hydrocarbon*)
4		음이온교환 막수전해	(((수소* 하이드로젠* 하이드로겐* 히드로젠* hydrogen* 하이드로전* 하이드로겐* 하이드로젠* 히드로겐* 히드로젠* "H2") near2 (생산* 발생* 생산* 형성* 제너레* 크리에* 만드* 만들* 제조* 만들기용* 생성* 제작* mak* produc* generat* manufact* creat*)) or ((수전해* 물전해* 수분해* 물분해* water-electroly*) or ((물* water*) adj2 ((전기 adj 분해*) or (전기분해* 전기-분해* 전해* electroly*)))) and (((고체* 솔리드* solid*) adj (옥사이드* oxid* 산화* 옥사이드* 옥사이드* 옥사이드*)) or (고체산화* 고체-산화* solid-oxide*)) or ("SOEC") or (고온* adj 수전해*))).ti,ab,cla. and (B01J* C01B* C07F* C10G* C10J* C10K* C22* C25B* F17C* F25B* B01D* B63H* C01C* C02F* C10L* C07C* F25J* H01M* F23R* F02C* F24H*).ipcm. not (전고체* (all adj solid*))
5	수소저장 및 운송	액체수소충전소	(((액체* 액화* 리퀴드* liquid*) near (수소* 하이드로젠* 하이드로겐* 히드로젠* hydrogen* 하이드로전* 하이드로겐* 하이드로젠* 히드로젠* 하이드로젠* "H2")) and (변환* convers* 가압* 고압* 저압* 높은압력* 높은-압력* 낮은압력* 낮은-압력* ((높은* high* 낮은* low*) adj (압력* 프레스* 프레스* pressure*)) 펌프* pump* 기화* 기체화* 가스화* gasficati* vapor*) and (운송* 충전* 서플라이* 공급* 이송* 수송* 운반* supply* carry* carrier* fuel* charge* convey* cargo* 트럭* 철도* 선박* 비행기* 모빌리티* 이동수단* 운송수단* 운반수단* 스테이션* 플랜트* 플랜트* truck* train* ship* airplane* mobility* transport* station* plant*))).ti,ab,cl. and (B01J* C01B* C07F* C10G* C10J* C10K* C22* C25B* F17C* F25B* B01D* B63H* C01C* C02F* C10L* C07C* F25J* H01M* F23R* F02C* F24H*).ipcm.
6		액체수소탱크 트레일러	((수소* 하이드로젠* 하이드로겐* 히드로젠* hydrogen* 하이드로전* 하이드로겐* 하이드로젠* 히드로젠* 히드로젠* "H2") ((액체* 액화* 리퀴드* liquid*) near (수소* 하이드로젠* 하이드로겐* 히드로젠* hydrogen* 하이드로전* 하이드로겐* 하이드로젠* 히드로젠* "H2"))).ti,ab,cl. and (((증발* 기화* vapor*) near2 (천연 가스* 천연가스* (natur* adj gas*)) (boil adj off adj (gas* vapor*)) BOG* 트레일러* 트럭* 특장차* 화물차* ((화물 하역) adj 차량*)) truck* trailer* 탱크로리* 탱크롤리* 모빌리티* 이동수단* 운송수단* 운반수단* 운송* 운반* 이송* 수송* mobility* transport* carry* carrier* convey* ((tank* 탱크*) adj (로리* 롤리* lorry*))).ti,ab,cl. and (A62C* F17C* B67D*).ipcm. not (수소수* 불화수소* (hydrogen adj fluoride*) (hydrogen adj water*))
7		액체수소저장탱크	(((수소* 하이드로젠* 하이드로겐* 히드로젠* hydrogen* 하이드로전* 하이드로겐* 하이드로젠* 히드로젠* 히드로젠* "H2") ((액체* 액화* 리퀴드* liquid*) near (수소* 하이드로젠* 하이드로겐* 히드로젠* hydrogen* 하이드로전* 하이드로겐* 하이드로젠* "H2")) near2 (저장* 스토리지* 스토어* 보관* 베슬* 탱크* 용기* 컨테이너* vessel* container* storage* store*))).ti,ab,cl. and (F17C* B63B*).ipcm.

번호	분야	세부기술	검색식
8		수소액화	((액체* 액화* 리퀴드* liquid*) near (수소* 하이드로젠* 하이드로겐* 하이드로젠* 하이드로젠* hydrogen* 하이드로젠* 하이드로젠* 하이드로젠* 하이드로젠* H2)) near2 (생산* 발생* 생산* 형성* 제너레* 크리에* 만드* 만들* 제조* 만들* 만들* 만들* 만들* mak* produc* generat* manufact* creat*)),ti,ab,cla. and (저온* 낮은온도* 극저온* 냉온* 냉열* ((low* freez* 낮은* 냉동* 냉결*) adj (온도* temperature*)) cryogenic* 크라이오제닉* 콜드박스* 콜드-박스* ((콜드* cold) adj (박스* 상자* box*))).ti,ab,cla,dsc. not (탄화수소* 탈수소화* hydrocarbon* dehydrogen*)
9		수소배관망	((수소* 하이드로젠* 하이드로겐* 하이드로젠* 하이드로젠* hydrogen* 하이드로젠* 하이드로젠* 하이드로젠* 하이드로젠* H2)) ((액체* 액화* 리퀴드* liquid*) near (수소* 하이드로젠* 하이드로겐* 하이드로젠* 하이드로젠* hydrogen* 하이드로젠* 하이드로젠* 하이드로젠* 하이드로젠* H2)))).ti,ab,cl. and (배관* 파이프라인* 파이프* 도관* 강관* 유체관* 이송관* 공급관* 운반관* 운송관* 이송관* ((이동* 이송* 운반* 운송* 공급* supply* carry* carri* transport* convey*) near2 (관* 파이프* 튜브* 튜브* 케이블* 라인* 네트워크* 네트워크* 네트워크* pipe* piping* line* tube* cable* hose* plumb* channel* (fluid adj flow*) network*))).ti,ab,cl. and (F17D* F17C* F16L* F16K* F28G* C22C* C22F*).ipcm. not (불화수소* 황화수소* (hydrogen adj (fluoride* sulfide*)))
10		차세대수소 저장기술	((수소* 하이드로젠* 하이드로겐* 하이드로젠* 하이드로젠* hydrogen* 하이드로젠* 하이드로젠* 하이드로젠* 하이드로젠* H2)) near2 (저장* 스토리지* 스토어* 보관* storage* store*)),ti,ab,cl. and (지하* 땅속* 땅밑* 지층* 땅아래* 물속* 수중* 물밑* 물아래* 바다밑* 해저* 언더그라운드* 터널* 갱도* 해저* underground* basement* subterranean* tunnel* underwater* undersea* seabed* ((under* bottom*) near2 (sea* water* ground* ocean*))).ti,ab,cla. and (B01J* B65D* H02J* F17C* E21B* E21F* H02G* F03B*).ipcm.
11		암모니아-수소	((수소* 하이드로젠* 하이드로겐* 하이드로젠* 하이드로젠* hydrogen* 하이드로젠* 하이드로젠* 하이드로젠* 하이드로젠* H2)) near2 (생산* 발생* 생산* 형성* 제너레* 크리에* 만드* 만들* 제조* 만들* 만들* 만들* 만들* mak* produc* generat* manufact* creat*) and ((암모니아* ammoni* 안모니아* 암모늄* 암모니움* ammonium* "NH3") adj2 (추출* 추출* 취출* extract* 채취* 획득* 크래킹* 크랙킹* crack* 디컴퍼지션* decompos* 디컴포지션* 분해* 분리* oxidat* 산화* 탈수소* 개질* reform*))).ti,ab,cla. and (B01J* C01B* C07F* C10G* C10J* C10K* C22* C25B* F17C* F25B* B01D* B63H* C01C* C02F* C10L* C07C* F25J* H01M* F23R* F02C* F24H*).ipcm.
12		액체수소운송선	((수소* 하이드로젠* 하이드로겐* 하이드로젠* 하이드로젠* hydrogen* 하이드로젠* 하이드로젠* 하이드로젠* 하이드로젠* H2)) ((액체* 액화* 리퀴드* liquid*) near (수소* 하이드로젠* 하이드로겐* 하이드로젠* 하이드로젠* hydrogen* 하이드로젠* 하이드로젠* 하이드로젠* 하이드로젠* H2)))).ti,ab,cl. and (선박* 운송선* 이송선* 운반선* 공급선* cargo* ship* 화물선* 하역선*).ti,ab,cl. and (B63B* F17C* F17D*)
13	해외수소 저장 및 운송	액체수소인수기지	((수소* 하이드로젠* 하이드로겐* 하이드로젠* 하이드로젠* hydrogen* 하이드로젠* 하이드로젠* 하이드로젠* 하이드로젠* H2)) ((액체* 액화* 리퀴드* liquid*) near (수소* 하이드로젠* 하이드로겐* 하이드로젠* 하이드로젠* hydrogen* 하이드로젠* 하이드로젠* 하이드로젠* 하이드로젠* H2)))).ti,ab,cl. and (적하역* 이송* 운반* 수입* 수출* 운송* 수송* convey* transport* carry* carri* loading* offloading*).ti,ab,cla. and (저장* 보관* 스토어* 스토리지* store* storage*).ti,ab,cla. and (배분* 분배* 송출* 분출* 분별* distribut* send* dispens*).ti,ab,cla. and (허브* 네트워크* 기지* 거점* 중심지* 스테이션* 사이트* hub* station*).ti,ab,cla. not ((한국산업기술원*).ap. (폐기물* 연료전지* (fuel adj cell)).ti. (A* G* H04* H02*).ipcm.)
14		차세대기술	((수소* 하이드로젠* 하이드로겐* 하이드로젠* 하이드로젠* hydrogen* 하이드로젠* 하이드로젠* 하이드로젠* 하이드로젠* H2)) near2 (생산* 발생* 생산* 형성* 제너레* 크리에* 만드* 만들* 제조* 만들* 만들* 만들* 만들* mak* produc* generat* manufact* creat*)),ti,ab,cl. and (LOHC* ((liquid* 액상* 액체* 리퀴드*)) adj (organic* 유기* 오가닉* 오르가닉* 올가닉*) adj (hydrogen* 수소*) adj (carrier* 캐리어* 운반체*)) 액상유기물수소운반체* "MBT" 모노벤질톨루엔* Monobenzyltoluene* C14H14* "MCH" 메틸시클로헥산* 메틸사이클로헥산* 메틸시클로헥산* 메틸사이클로헥산* 메틸시클로헥세인* 메틸사이클로헥세인* 메틸시클로헥세인* 메틸사이클로헥세인* methylcyclohexane* ((메칠* 메틸* methyl*) adj (사이클로헥세인* 시클로헥세인* 사이클로헥산* 시클로헥산* cyclohexane*)) cyclohexylmethane* 사이클로헥실메탄* 시클로헥실메탄* 사이클로헥실메테인* 시클로헥실메테인* CH3C6H11* C7H14* "BPDM" (biphenyl* adj2 eutectic*) (biphenyl* near2 diphenylmethane*)),ti,ab,cla.



III

주요국 수소공급 생태계 구축 추진 현황

3.1 독일

3.1.1 독일의 수소 정책 추진 현황

- **2020년 6월 ‘국가수소전략 (NWS 2020, The National Hydrogen Strategy 2020)’ 발표**
 - 수소를 재생에너지 저장 및 수송용 연료로 활용하여 산업의 중요한 원료로 만드는 것을 핵심목표로 설정하고 수소 생산, 활용, 공급·인프라, R&D 촉진, 국제협력 등에 대한 실행계획(Action Plan)을 제시
 - 동 전략에서는 그린 수소만을 대상 수소로서 고려
 - 2030년 수소 수요를 90~100TWh로 예상하여 5GW의 수전해 시설 및 필요한 육·해상 발전시설 건설을 추진하며 기존 가스 인프라를 활용해 수소 수송 및 유통 인프라를 강화하여 수소 전용 네트워크를 구축할 것을 명시
 - 독일 경제·산업 강화 및 독일 기업들이 수소와 PtX 개발 등 국제 시장에서 중요한 역할을 할 수 있는 기회를 확보하고 국제 수소 시장 및 국제협력 체계 구축, 특히 북아프리카 국가와의 협력을 추진하여 중장기적 수소 수입 계획 제시
- **2023년 7월 ‘국가수소전략 업데이트 (NWS 2023)’ 발표**
 - 기존의 ‘국가수소전략(2020)’은 원칙적으로 유지하면서도 경쟁적인 유럽 내 수소 생산과 국제 수입의 다양화 및 보안을 통해 높은 수준의 공급 보안을 달성한다는 목표를 위해 보안 정책을 업데이트하고 독일이 수소 기술의 선도시장이 되도록 산업 측면에서 강화 방안을 규정
 - 그린수소 시장을 성장시키기 위해 블루수소, 청록수소, 오렌지수소를 제한된 범위로 사용할 것임을 명시, 다만 직접적 재정 지원은 재생에너지 발전으로 생산된 그린수소에만 한정
 - 2030년까지 수전해를 통한 수소 생산능력 목표치를 기존 5GW에서 10GW로 2배 확대하고, 기존 예상치보다 늘어난 2030년 수소 수요량 95~130TWh의 2/3 이상을 해외 수입으로 충당하기 위해 별도의 국가 수소 수입 계획 마련을 추진하며 수소를 산업 현장은 물론 버스나 트럭, 항공 및 해상 교통에 점점 더 많이 투입할 것을 제시
 - 2027~2028년까지 독일에 1,800km에 달하는 수소 파이프라인 건설 예정

[표 3-1] 독일 국가수소전략 (2020) 주요 내용

항목		내용
목표와 포부		<ul style="list-style-type: none"> ①글로벌 책무의 이행, ②수소의 경제성 확보, ③내수시장 발전, ④대체에너지원으로 활용, ⑤지속가능한 산업원료로 활용, ⑥수송 및 유통 인프라 강화, ⑦과학 및 전문 인력 육성, ⑧에너지 전환으로 인한 변화 적응, ⑨글로벌 시장 진출 기회 확보, ⑩국제시장 및 파트너십 구축, ⑪글로벌 협력 기회, ⑫수소 인프라 구축 및 품질 확보, ⑬정책·전략의 지속적 개선 및 보완
실행 계획	수소 생산	<ul style="list-style-type: none"> 에너지가격 구성요소 공정 설계, 재생 전력 효율적 사용을 위한 프레임워크, 화석연료에 대한 탄소가격제 시행 등 녹색수소 생산 확대 여건 마련(탄소가격제 시행, 수소생산 전력에 대한 세금·부과금 면제 검토 등) 수소 생산 업체와 가스·전기 전력망 업체 간 새로운 비즈니스 및 협력 모델 구축 추진 전해조에 대한 투자 자금을 제공하여 산업 부문(철강 및 화학 산업 등)에서 수소로의 전환 지원 녹색수소 생산을 위한 해상풍력에 대한 투자 확대
	수송	<ul style="list-style-type: none"> EU의 재생에너지지침을 독일 연방법제화함으로써 녹색수소 생산 및 기존연료 대체 확대 국가혁신프로그램(NIP) 및 에너지기후펀드(ECF) 등을 통한 수소 기술 개발 자금 지원 지속 전기기반 연료, 특히 전기기반 케로센 및 첨단 바이오 연료 등의 생산 확대 화물운송, 대중교통 및 지역 철도 등에 수요 기반 수소 충전 인프라 설치 연료전지차의 유럽 내 국경 간 이동을 보장하기 위한 유럽 인프라 구축 및 개선을 위한 방안 마련 연료전지시스템의 경쟁적인 공급망 개발을 위한 각종 지원활동 추진 지역내 제로배출 차량 확대를 위해 유럽연합 청정자동차 지침 이행 EU 회원국 간 화물차에 대한 도로통행료 지침에 의거, 기후친화적인 차량에 대한 통행료 우대 운송 부문 수소연료전지 시스템 표준의 국제적 동조화 추진(수소 품질, 검증방식, 수소 차량 승인 등)
	산업	<ul style="list-style-type: none"> 산업계의 기존 화석연료 기술을 저탄소 배출 또는 탄소 제로 기술로의 전환 지원 철강 및 화학 산업의 탄소 배출 공정을 대상으로 한 '탄소차액보전계약제도' 시범 운영 실시 저탄소 배출 공정 및 수소를 활용하여 생산된 제품에 대한 수요 확대 화학, 철강 물류, 항공 등 업계 이해당사자와 더불어 중장기적인 수소기반 탈탄소화 전략 구축
	별	<ul style="list-style-type: none"> '에너지효율인센티브프로그램(APEE, '16)'을 통한 건축 부문 고효율 연료전지 가열장치 사용 권장 및 자금 지원 복합난방전력법(열병합발전법)에 따라 수소기반 난방장치 관련 자금 지원 근거 마련
	인프라/공급	<ul style="list-style-type: none"> 수소 인프라 구축 관련 이해관계자 협의 및 규제기반 마련 전기, 난방 및 가스 인프라의 상호 연계성 확대 신규 인프라 구축 시 수요에 따라 도로운송 포함 철도 네트워크 및 수로 수소충전소 설치
	연구, 교육, 혁신	<ul style="list-style-type: none"> 녹색 수소 기술 글로벌 선도를 위한 독일 수소 경제 로드맵 구축 및 로드맵 기반 구체적 연구혁신 방향 수립 단기적으로 글로벌 공급망에 대한 연구를 토대로 녹색수소 시범 프로젝트 추진 새로운 연구 이니셔티브 '수소기술 2030' 추진을 통해 핵심수소기술 연구계획 수립* * PtX 기술 상용화 촉진, 제철 및 화학 산업의 수소 활용 관련 대규모 연구 프로젝트 수행, 수소기술 비용 절감을 위한 운송 부문 연구개발 및 혁신 프로젝트 시행, 미래 녹색 수소 경제 중심 지역(국가) 탐색을 위한 타당성 조사 추진, 독일의 기술 수출을 위한 글로벌 네트워크 및 연구개발 협력 채널 발굴, 산학 참여 수소기술 연구 네트워크 구축 수소 기술의 상용화 토대 마련을 위한 연구 및 실험 여건 조사, 법적 프레임워크 개발 등 항공 부문 수소기술 연구개발 지원(연료전지 기반 엔진, 수소 동력 기반 항공기 테스트 등) 녹색해운 연구프로그램을 위한 자금 지원 지속(2020-2024 해양연구프로그램 내 수소 관련 지원) 국내외 수소기술분야 전문 교육 및 훈련 강화, 우수인력 양성을 위한 연구기관·대학 간 협력 촉진 등
	EU 공동조치	<ul style="list-style-type: none"> 유럽 차원에서의 각종 규정 및 표준 개발, 수소 기술 관련 품질·인증 기준 확립 등 유럽 공동 관심 분야 주요사업(IPCEI)에 수소 기술 포함 및 수소 기술 관련 프로젝트 이행 지속적 지원 촉구 EU 수소이니셔티브 가속화 유럽수소공사(European hydrogen company) 설립을 통해 공동 생산과 인프라 확충 방안 강구
	국제수소 시장 및 대외 협력	<ul style="list-style-type: none"> EU 외 전략적 수소 수출입국과의 새로운 파트너십 구축(독일기술 호러용 수소관련 제품 수출) EU 이니셔티브와 공조를 통해 하트너국가들과의 협력 추진 IPHE 등 수소 관련 다자기구에 적극 참여 독일기업을 개입시킨 개발원조(ODA) 지원을 통해 녹색 수소와 다운스트림 제품의 경쟁력과 지속가능성 시연 화석연료 수출국과의 협력 강화를 통해 전기기적 에너지이전 도모 및 새로운 기회 포착

[표 3-2] 독일 국가수소전략 업데이트 (2023) 주요 내용

주요 업데이트 항목		내용
충분한 수소 가용성 보장	수소 및 수소 유도체 생산 확대	<ul style="list-style-type: none"> 2030년까지 수전해 목표를 기존 5GW에서 10GW로 확대 - 전해조 공개입찰, IPCEI Hydrogen 자금 지원, 유럽재생에너지지침(RED II) 운송부문 투자 인센티브, NIP 전해조 프로젝트 승인 등 수단 활용
	수소 및 수소 유도체 수입	<ul style="list-style-type: none"> 2030년 수요 예측 95~130TWh 중 약 50~70%를 해외로부터 수입 총당
효율적 수소 인프라 구축	국가 수소 인프라	<ul style="list-style-type: none"> IPCEI 수소네트워크를 통한 수소네트워크 구축
	유럽 수소 백본 네트워크	<ul style="list-style-type: none"> 유럽 전역의 IPCEI 수소 인프라 프로젝트를 통해 4,500km(신규건설 1,500km, 천연가스 파이프라인 전환 3,000km) 건설
	제3국으로부터의 수입 인프라	<ul style="list-style-type: none"> 독일 연안에 수소 및 수소 파생물로 전환할 수 있는 수입 터미널 개발 가속화 및 안전하고 지속가능한수입운송 인프라 구축(암모니아, 메탄올, LOHC 등 양륙)
수소 응용 프로그램 구축	산업	<ul style="list-style-type: none"> 기후중립 생산공정 전환에 필요한 수소 확대 및 전환 관련 투자 촉진, 재정 지원
	교통	<ul style="list-style-type: none"> 항공 및 해상 운송, 탱크 등 특수 응용 분야 연구개발 및 규제·표준화 개발, 대체 연료 인프라 규정에 따른 수소 충전 인프라 확장
	전기	<ul style="list-style-type: none"> 가스화력발전소, 열병합발전소에 대한 신규 투자를 수소 및 수소유도체를 사용하는 발전소로 전환 운영하는데 사용될 수 있도록 규정
	열(건물 부문)	<ul style="list-style-type: none"> 공간 난방 공급을 위해 가스그리드 탈탄소 옵션(바이오메탄과 결합된 수소 유도체 사용 등), 수전해 폐열을 활용한 열공급 등 검토
효과적 프레임 워크 조건 생성	계획 및 승인 절차	<ul style="list-style-type: none"> 수소 및 수소유도체 관련 인프라의 생산 확대 가속화를 위한 '수소 가속화 법안' 발표, 수소 인·허가 및 충전소 건설 승인 절차 간소화를 위한 테스트 절차 개발
	지속 가능성 표준 및 인증	<ul style="list-style-type: none"> 유럽 수준 및 비유럽 수입 지역과 수소 및 수소유도체의 생산, 운송, 유통에 대한 표준 및 인증 체계 구축
	연구, 혁신 및 교육 전문가 강화	<ul style="list-style-type: none"> 응용 중심, 시장성숙 및 실제 구현에 초점, 수소 생산/저장/운송 및 사용에 대한 기존 연구이니셔티브의 지속·통합적 발전(수소선도프로젝트, NIP 등 포함), 독일 내 연구 및 산업에 장기적이고 지속적 지원을 통해 '메이드 인 독일'에 대한 국제적 수요 확대 추진

3.1.2 독일의 수소 관련 R&D 및 실증 프로그램 추진 현황

• 정부 주도의 수소 R&D 및 실증 프로그램 지원 체계

- 독일의 수소 생태계 구축을 위한 R&D 추진과 관련한 임무에 관여하는 주요 정부 부처는 '국가수소전략'을 주관하는 연방경제에너지부(BMWK)를 비롯하여 연방교통디지털인프라부(BMDV), 연방교육연구부(BMBF) 등이 있음
- BMWK와 BMDV는 주로 수소 경제 및 산업과 직접적으로 관련있는 TRL이 높은 기술 실증, 인프라 구축 단계의 사업을 지원하며, R&D 사업은 주로 BMBF가 큰 역할을 수행하나 BMWK도 일부 자금을 지원하고 두 부처가 공동으로 자금을 지원하기도 함

• BMBF의 ‘수소 선도 프로젝트’

- (플래그십 프로젝트) BMBF는 국가 수소전략 이행을 위해 H2Giga, H2mare, TransHyde 등 3개의 플래그십 프로젝트를 출범하였으며 2021년 4월부터 2025년 3월까지 4년간 총 7억4천 유로의 예산 투입 예정

[표 3-3] BMBF의 수소 플래그십 프로젝트 추진 현황

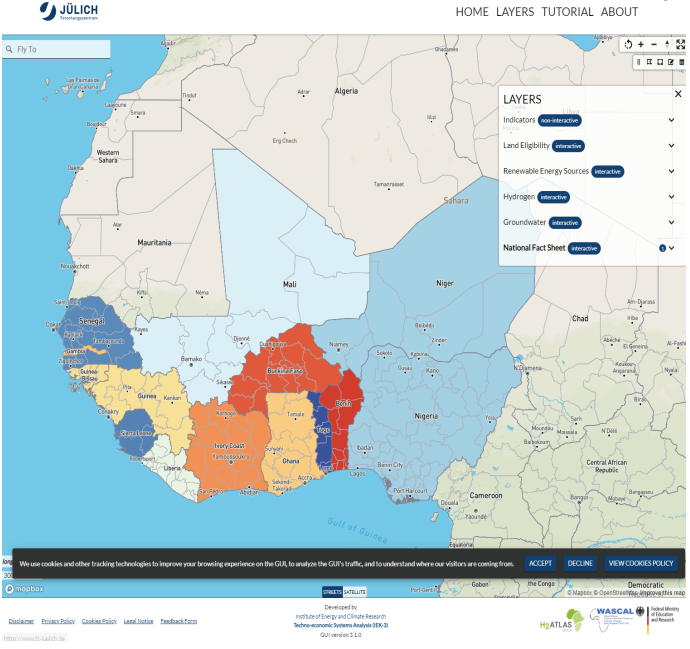
프로젝트명		주요 연구개발 내용
플래그십 프로젝트	H2Giga (수소생산)	<ul style="list-style-type: none"> • (전해조 대형화 및 양산) 2030년까지 가능한 5GW의 전기분해용량을 구축 - 수전해설비의 경쟁력 향상과 생산오류 최소화 - 전해조 양산 방법론 개발을 위해 기존의 전해조 제조업체, 연구소 및 대학교를 포함한 다양한 파트너 참여 - PEM, AEL, 고온 전기분해(HTEL), 이온 전도막(AEM) 전기분해 기술에 집중
	H2Mare (해상수소)	<ul style="list-style-type: none"> • (전력망 없는 해상 수소 생산) 풍력 터빈과 전해조 직접 결합으로 수소 생산비용 최소화 - 전기 분해기술 확대 보급을 통한 전력 네트워크의 분리로 기존 전력망 부담 경감 - 녹색 메탄올 또는 녹색 수소를 사용하는 녹색 암모니아와 같은 부산물을 직접 생산할 수 있는 기술 개발(예: 해양 Power-to-X)
	TransHyDE (수소 운송 및 인프라)	<ul style="list-style-type: none"> • (수소 수송 기술) 단·중·장거리별 수소 운송 연구에 집중 - 적절한 (국제) 표준, 안전 규정을 고려한 운송 및 저장 기술 개발 (고압 용기(저장소)를 통한 수소 운반, 수소 액화 후 운송, 기존 및 신규 가스 파이프 인프라를 통한 수소 운송, 암모니아 또는 LOHC 변환과정을 거친 운송 기법 개발 - 단거리 및 중·장거리 운송 인프라 도입을 위한 프로젝트 진행

- (수소기초연구) 생산, 저장, 운송, 시스템 연구 등과 관련하여 2020년 12월부터 현재까지 총 36개 프로젝트 착수

- * 각 분야별 예시 프로젝트: ① (생산) AEMready: 귀금속 없는 AEM 전기분해 기술 개발
 ② (저장) HyPoKo: 복합재료를 사용한 100℃미만의 수소 저장
 ③ (사용) CFD4H2: 효율적 수소 엔진을 위한 직접 수소 주입
 ④ (운송) HyCat: 수소 액화를 위한 개선된 촉매 개발
 ⑤ (시스템연구) HYPAT: 수소 수입을 위한 파트너 국가 식별·분석

- (파트너프로젝트) BMBF는 수소선도프로젝트 외 다양한 이해관계자들과의 파트너십을 기반으로 수소 경제로의 진입을 주도하는 프로젝트들을 수행 중

[표 3-4] BMBF의 파트너프로젝트 추진 현황

프로젝트명	주요 연구개발 내용
<p>H2Atlas Afrika</p> <p>파트너 프로젝트</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 불충분한 재생에너지로 인해 독일 내 그린수소 수요가 충족되지 않음에 따라 서부 및 남부 아프리카 국가들과 그린수소의 생산 및 수출 가능성을 분석하고 사회적 요인도 검토하는 파트너십 프로젝트 추진 <ul style="list-style-type: none"> - '수소기초연구' 중 HYPAT 프로젝트의 글로벌 H2 아틀라스 개발을 통해 아프리카 31개국(서부 15개, 남부 16개)에서 그린 수소 생산 및 수출 가능성 분석 - 그린수소를 아프리카에서 독일로 운송하는 경우에 대한 방법 또한 아틀라스 내에서 검토·제시되는데 LOHC 등 운송 선박이나 '플래그십프로젝트'의 TransHyDE에서 개발 중인 수소 운송을 위한 고압·극저온 컨테이너 등이 고려되며 수송 인프라 구축을 위한 최적 기술도 시범사업을 통해 검증 예정 
<p>H2-Kompass</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 독일 국가 수소 로드맵 작성을 위한 도구 개발 (어플리케이션 시나리오 연구) <ul style="list-style-type: none"> - 연구 및 혁신 정책 관점에서 독일의 수소 경제를 위해 가능한 행동 방침을 개발하여 로드맵 작성의 기초 자료를 제공하기 위한 연구 프로젝트로서 BMWK가 공동으로 자금을 지원
<p>HySupply</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 후주의 과학 및 산업계 컨소시엄과 함께 수소 공급망을 구축하기 위해 극복해야 할 전체 수소 가치 사슬의 기존 규제, 기술 및 경제적 장벽을 파악하기 위한 공동타당성 조사 연구 프로젝트 <ul style="list-style-type: none"> - 향후 재생 수소에 대한 수요가 크게 증가하는 독일의 주요 산업에서 관심을 보이며 독일의 기계 및 플랜트 제조 업체가 기술을 수출할 수 있도록 하는 것이 목표
<p>Kopernikus-Project: P2X</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 코페르니쿠스 프로젝트는 에너지 전환을 주제로한 BMBF의 가장 큰 연구 이니셔티브 중 하나이며, P2X는 이 프로젝트의 일부로서 생산부터 운송, 사용까지 친환경 수소를 위한 기술을 연구하며 현재 두 번째 자금지원 단계(2019~2022)까지 진행

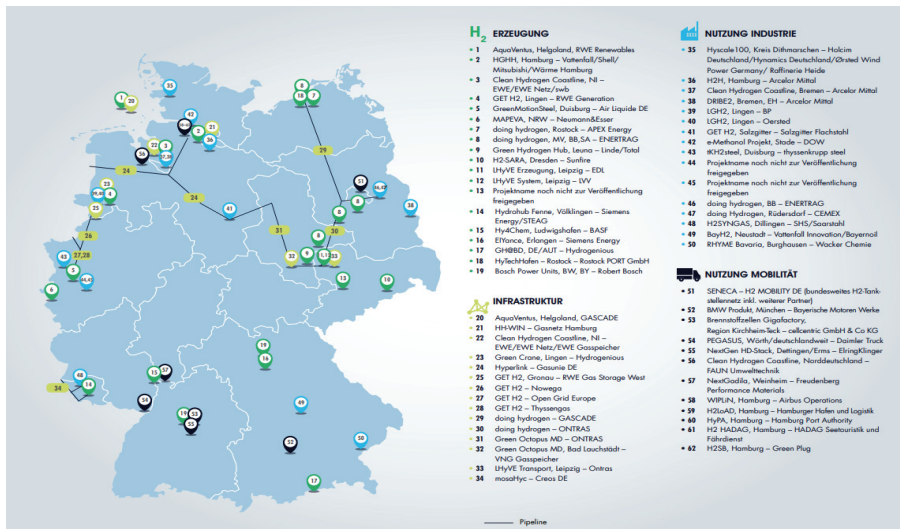
• 국가혁신프로그램 (NIP 2016~2026)

- 7차 에너지연구 프로그램의 일환으로 국가수소에너지및연료전지기술기구(NOW GmbH)가 BMDV의 자금을 위탁받아 수소 기술 시장 활성화와 인프라 구축을 목표로 수소 및 연료전지 산업의 시장성 개선 및 연구개발 프로그램을 운영 중

- 교통 부문 연료전지 장착, 수소 공급 및 유지를 위한 프로젝트 추진 및 공공 수소 연료 보급 기반 시설 투자 보조금 등을 지원

• **수소에 대한 유럽 공동 이해 프로젝트(IPCEI, Important Projects of Common European Interests)¹¹⁾**

- IPCEI는 EU 집행위원회가 주관하는 유럽 공동 이해 프로젝트로서 독일 정부는 국가수소전략과 수소에 대한 IPCEI를 근거로 하여 독일에서 수소 연구개발 및 실증을 위한 62개 프로젝트를 선정하여 지원 추진
- BMWK는 일명 ‘AquaVentus 이니셔티브’를 통해 북해 해상풍력발전을 통한 2GW급 그린수소 생산 및 1,700km에 이르는 수소 배관 연결 인프라 구축 사업 등을 포함하여 50개 사업 추진을 위해 국가 수소 R&D 프로젝트 자금으로 약 44억 유로 이상 투입
- BMDV는 독일 전역의 수소 충전 인프라 구축 사업을 포함하여 연료전지시스템, 수소 차량 개발 및 제작 과정에 초점을 맞춘 이동성 부문의 12개 프로젝트를 추진하며 최대 14억 유로 지원



[그림 3-1] BMWK와 BMDV가 추진하는 독일 내 IPCEI 기반 62개 수소프로젝트 추진 지역 현황

• **해외 수소 수입 지원을 위한 국제 그린수소 프로젝트**

- (칠레 Haru Oni 프로젝트¹²⁾) 국가수소전략의 일환으로 녹색수소 생산을 위한 최초 해외 프로젝트로서 2020년 12월 BMWK가 823만 유로의 자금을 지원하고 지멘스 에너지(Siemens Energy)가 사업을 수행하는 프로젝트이며 칠레 남부 하루오니에 풍력을 활용해 수전해 방식으로 그린수소 및 수소 기반 탄소중립 합성연료를 생산하고 독일 포르쉐(Porsche AG)가 이를 구매
- (사우디아라비아 Element One 프로젝트¹³⁾) 2020년 12월부터 사우디 미래도시 NEOM 내 4GW의 태양광 및 풍력 에너지를 기반으로 하루 650톤의 그린수소 및 3,000톤의 암모니아 생산 시설 구축 추진, 2025년 완공 계획

11) 출처: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2021/05/20210528-bmwi-und-bmvi-bringen-wasserstoff-gross-projekte-auf-den-weg.html> (2023.11.27. 최종접속)

12) 출처: <https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Hydrogen/Examples/haru-oni-chile.html> (2023.11.27. 최종접속)

13) 출처: <https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Hydrogen/Examples/element-one.html> (2023.11.27. 최종접속)

3.1.3 독일의 수소 시장 및 산업 현황

• 수소 시장규모

- 독일은 EU 국가 중 최대의 수소경제 시장 규모를 보이고 있으며, 향후에도 가장 큰 시장을 형성할 것으로 기대
- (생산) 독일의 수소 생산 부문 시장은 연평균 9.6%(’20~’25) 성장하여, 시장규모는 ’25년에 약 95억 달러에 달할 것으로 전망됨

[표 3-5] 독일의 수소 생산부문 시장 전망

연도	2020	2021	2022	2023	2024	2025
규모 (단위: 억 달러)	60	66	72	77	85	95

출처: MarketsandMarkets, 지식산업정보원(2022) 재구성

- (저장·운송) 독일의 수소 저장부문 시장은 연평균 약 6.6%(’19~’24) 성장하여, ’24년에는 약 11억 달러의 시장 형성 전망

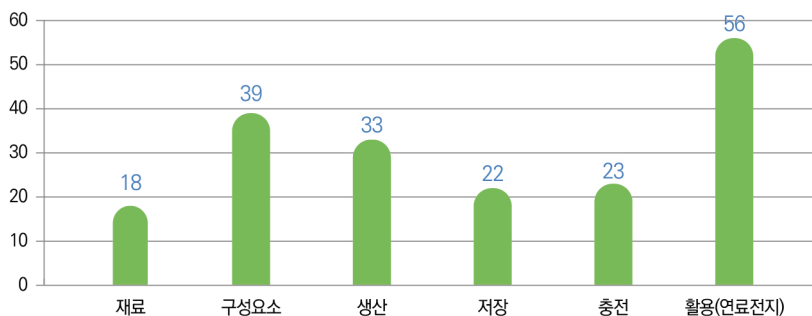
[표 3-6] 독일의 수소 저장부문 시장 전망

연도	2017	2018	2019	~	2024
규모 (단위: 억 달러)	7.1	7.4	7.8	~	10.7

출처: MarketsandMarkets, 지식산업정보원(2022) 재구성

• 수소 관련 산업체 현황

- 2023년 10월 기준 독일의 수소 관련 기업은 총 119개로 파악됨
- 활용, 구성요소, 생산 부문 순으로 산업체 비중이 높은 것으로 확인됨.
- 활용 부문의 산업체 수가 월등히 많으나, 전체적으로 밸류체인별 산업체가 수가 고르게 분포되어 있으며 수소 관련 소재·부품 부문의 산업 경쟁력이 있는 것으로 판단됨



[그림 3-2] 독일의 밸류체인별 수소 산업체 수

출처: Enerdata H2 companies database

※밸류체인별 산업체 수는 중복을 포함하며 밸류체인 중 수소상변화(액화, 기화) 및 활용(기타)는 제외하고 작성함

3.2 미국

3.2.1 미국의 수소 정책 추진 현황

- 2023년 6월 ‘국가 청정수소 전략 및 로드맵(U.S. National Clean Hydrogen Strategy and Roadmap)’ 발표
 - 초당적 인프라법(BIL)을 근거로 2022년 9월 초안 작성 후 대중 의견을 반영하여 최종안 발표
 - 경제 전반의 과감한 탈탄소화를 목표로 청정 수소의 대규모 생산, 처리, 전달, 저장 및 사용을 촉진하기 위한 포괄적인 국가 프레임워크로서 청정 수소 비전 실현을 위한 세 가지 핵심 전략 제시
 - 2030년까지 연간 1,000만톤, 2040년까지 연간 2,000만톤, 2050년까지 연간 5,000만톤의 청정 수소 국내 생산을 목표로 하며 2035년까지 달성할 단기, 중기, 장기 목표를 생산, 운송, 도입 기준으로 선정
 - 2030년까지 청정수소 인프라 및 엔지니어링, 생산, 원자재 공급망 등 가치사슬 전반에서 10만 개의 직간접적 신규 일자리 창출을 목표

[표 3-기] 미국 국가 청정수소 전략 및 로드맵 (2023) 주요 내용

주요 사항		내용		
3대 핵심 전략	전략적이고 영향력이 큰 분야에 청정 수소 사용 집중	<ul style="list-style-type: none"> • (산업) 전체 에너지 수요의 38%를 차지하므로 수소연료 사용을 통한 탈탄소 노력 필요 <ul style="list-style-type: none"> - (화학원료) 암모니아, 메탄올 생산 시 사용되는 개질수소를 청정수소로 대체, (제강) 환원제로 코크스나 천연가스 대신 청정수소 이용, (공정열) 수소 혼소 또는 전소를 통한 저탄소 열원 사용 • (운송) 전체 운실가스 배출의 33% 차지('19)로 대형·장거리 수송 등에서 수소연료 공급 확대 <ul style="list-style-type: none"> - 중·대형 버스·트럭, 해운·항만, 항공, 철도 부문에서 수소 연료 및 연료전지 활용 확대 • (전력) 재생에너지 통합 등을 통한 전력망 탈탄소화 시 안정화를 위해 수소 이용 <ul style="list-style-type: none"> - 수소 및 연료전지를 이용한 예비전력과 정지형 발전, 에너지 저장으로 설비 탄력성 제공 • (수소생산 탄소집약도) 청정 수소 생산의 탄소집약도에 대한 초기 표준 개발 및 5년 내 갱신 추진 		
	청정수소 비용 절감	<ul style="list-style-type: none"> • (수전해) 청전전력 단가 감축, 수전해 효율 향상, 전해조 및 주변기기(BOP) 자문 비용 감축 등에 대한 RD&D를 통해 수소 단가를 Hydrogen Shot 목표인 1달러/kg까지 절감 • (CCS연계 화석연료 개질) SMR+CCS, CCS 연계 ATR(AutoThermal Reforming) 시스템의 성능향상을 위한 RD&D를 지원하며 저비용 가스 활용 등을 통해 Hydrogen Shot 목표달성 지원 • (바이오매스 및 폐기를 유래 수소 생산) CCS연계 바이오매스 가스화, 유기 • (기타 시스템 비용) 생산 뿐만 아니라 공급 시스템 전반에 걸친 기술 및 구성요소별 비용절감 노력 		
	지역 네트워크 집중	<ul style="list-style-type: none"> • (지역 생산 잠재력) 미국 내 다양한 자원을 이용한 생산 잠재력 추정 및 생산 설비 보급에 유리한 위치 식별 • (지역 저장 잠재력) 대규모 수소 저장을 위한 최적 접근법 및 부지선정 평가 추진 • (지역 최종 사용 잠재력) 원료공급 등 산업단지에 수소 조기 도입을 통한 탈탄소 허브 구축 및 민간저본 투자 촉진 		
3대 핵심전략에 대한 지원		<ul style="list-style-type: none"> • 기초연구, 응용연구, 실증 및 대규모 보급 등 DOE 전체 활동 수명 주기 전반 RD&D 지원하며, 지원에는 인재양성, 정책개발, 기술 및 에너지전환 지원, 시장 촉진 제도, 이해관계자 참여·교류 등 포함 		
주요 목표	부문	단기(2022~2023)	중기(2024~2028)	장기(2029~2036)
	생산	<ul style="list-style-type: none"> • Hydrogen Shot 달성을 위한 3개 이상의 경로 확인 • 고온 전해조 10,000h 실험 • 수소생산을 위해 1.25MW 전해조를 원자력과 통합 	<ul style="list-style-type: none"> • 재생E, 원자력, CCS+폐기물 및 화석연료 10건 이상 실증 • 2026년까지 대규모 수전해로 \$2/kg 청정수소 생산 • 저온 전해조 효율 51kWh/kg, 수명 8만h, 비용 \$250/kW 	<ul style="list-style-type: none"> • 2030년까지 연간 1,000만톤 이상 청정수소 생산 • 다양한 자원 기반 \$1/kg의 대규모 청정수소 생산 • 저온 전해조 효율 46kWh/kg, 수명 8만h, 비용 \$100/kW



주요 사항		내용	
		<ul style="list-style-type: none"> 고온 전해조 효율 44kWh/kg, 수명 6만h, 비용 \$300/kW 20MW 원자력 열 추출, 분배, 제어 수전해 설비 	<ul style="list-style-type: none"> 고온 전해조 수명 8만h, 효율 유지 또는 개선하며 비용 \$200/kW
인프라 및 공급사슬	<ul style="list-style-type: none"> 대형 어플리케이션에 평균 수소 연료 주입 속도 10kg/분 액체수소충전소 탄소발자국 40% 저감(2016년 규정 대비) 수소 서비스의 밀봉 및 금속 내구성 50% 향상(2018년 기준선 대비) 400kg/h 고압 컴프레서 및 크라이오펌프 최대 20kg/분 유량에서 수소 유량계 정확도 5% 이상 향상 	<ul style="list-style-type: none"> 수소 액화 효율 7kWh/kg 수소 저장 용기용 탄소 섬유 비용 50% 감축(2020년 대비) 재활용과 업사이클링을 통해 연료전지 막전극접합체(MEA) 멤브레인/이오노머 물질 회수율 50% 및 백금족 원소 회수율 95% 이상 미국 내 3GW 이상 전해조 제조 역량 보유 	<ul style="list-style-type: none"> 수소 단가(생산, 운송 및 충전소 충전 포함) \$4/kg 재활용 및 업사이클링을 통해 연료전지 MEA 멤브레인/이오노머 물질 회수율 70% 및 백금족 원소 회수율 99% 환경 및 에너지 정의 우선순위를 충족하면서 배출량 감소를 위해 검증된 3개 이상의 경로 확인
최종 사용 및 촉진	<ul style="list-style-type: none"> 대형 트럭 연료전지 비용 \$170/kW(기준선 \$200/kW) 버스용 연료전지 내구성 18,000h 데이터센터 회복탄력성을 위한 수소연료전지 1.5MW 이상 1MW급 전해조 및 선박 연료 공급용 어플리케이션 소외 지역에 15대의 연료전지 수소 트럭 운행을 통해 배출량 저감 및 일자리 창출 암모니아 생산 실증용 통합형 수소 설비 1개 이상 설치 	<ul style="list-style-type: none"> 대형 트럭 연료전지 비용 \$140/kW 연료전지 백금족 원소 비용 50% 감축(2020년 기준선) 수소로 철(iron) 1톤/주 감축 및 5,000톤/일 경로로 전환 2ppm의 선택적 촉매 저감으로 100% 수소 터빈 질소산화물 배출량 9ppm 연료전지 슈퍼트럭(Super Truck) 프로젝트 3건 완료 2개 이상 사회집단(tribes)과 시범 프로젝트 진행 지역사회 이익 협약 체결 4건 지역 청정수소 허브 4개 이상 구축 	<ul style="list-style-type: none"> 대형 트럭 연료전지 비용 \$80/kW \$900/kW 및 4만h 내구성을 갖춘 연료 유연형 고정식 연료전지 대규모로 최종 사용(철강, 암모니아, 저장 등) 실증 4개 이상 수행 국가수소전략 목표에 부합하는 대규모 전략적 시장에서 연간 10MMT 이상 청정수소 사용

3.2.2 미국의 수소 관련 R&D 및 실증 프로그램 추진 현황

- 정부 주도의 수소 R&D 및 실증 프로그램 지원 체계

- 미국의 수소 R&D를 지원하는 주요 연방 정부는 에너지부(DOE)로서 2004년부터 수소 및 연료전지 관련 프로그램들을 운영해오다가 2020년 11월, 그간의 수소 관련법과 계획, 이니셔티브 등을 포함하여 이전의 프로그램들을 업데이트 하고 확장하여 미국 내 수소 및 관련 기술의 연구개발 및 배포 등을 가속화하기 위한 'DOE 수소프로그램(DOE Hydrogen Program)' 계획을 발표

- 미국 에너지부의 수소프로그램(DOE Hydrogen Program)은 DOE 내 프로그램 사무국 중 하나인 에너지 효율 및 재생 에너지국(EERE) 내 기술 사무소 중 하나인 수소 및 연료전지 기술 사무소(HFTO)가 주도하여 수소 생산, 배송, 인프라, 저장, 연료전지, 운송·산업·고정 전력 애플리케이션 전반의 다양한 최종 용도에 대한 연구개발을

수행하며, 이 프로그램에는 기술 검증, 제조, 분석, 시스템 개발 및 통합, 안전, 코드 및 표준, 교육 및 인력 개발 활동이 포함됨

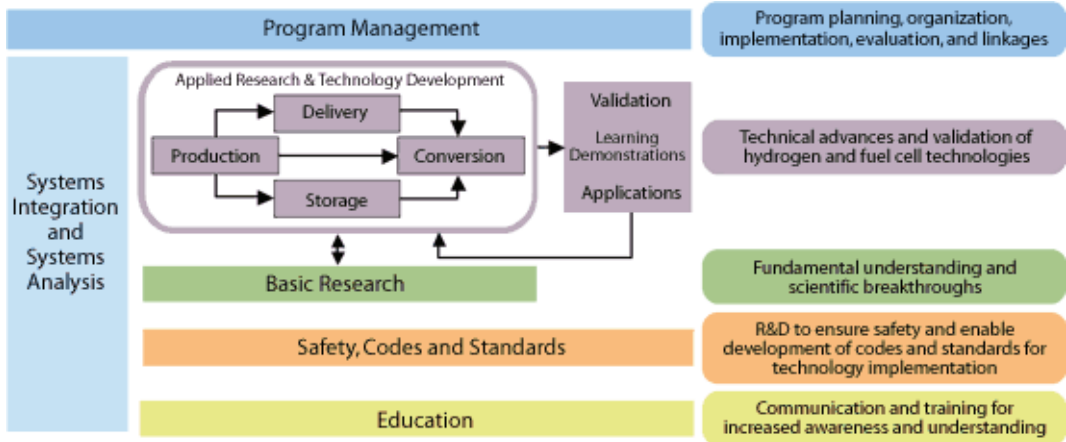
- 수소프로그램에 참여하는 DOE 산하 사무국은 에너지 효율 및 재생 에너지국(EERE), 화석 에너지국(FECM), 원자력 에너지국(NE), 전기국(OE), 과학국(SC), 청정 에너지 실증국(OCED), 고등 에너지 연구 프로젝트국(ARPA-E) 등이며 수소프로그램에 따라 각 사무국에서는 FOA(Funding Opportunity Announcements)를 실시하여 해당 사무국과 관련 있는 세부 프로그램 또는 프로젝트를 지원함
- DOE 수소프로그램은 수소 에너지 어스샷(Hydrogen Shot) 또는 H2@Scale 개념과 같은 광범위한 이니셔티브 활동의 일부이기도 하며, 그 외 DOE 연구 포트폴리오에 부합하는 독립형 R&D 프로젝트들과 함께 구성됨

• DOE 수소 프로그램 (DOE Hydrogen Program) 주요 내용

- (목표) 수소생산비용 \$2/kg, 수소 운송 및 분배 비용 \$2/kg
 산업 및 고품형 발전 장치를 위한 수소 단가 \$1/kg
 장거리 대형 트럭을 위한 연료전지 시스템 내구성 25,000 시간(h), 비용 \$80/kW
 8/kWh, 2.2kWh/kg, 1.7kWh/l의 온보드 차량용 수소 저장소
 전해조 자본 비용 \$300/kW, 8,000시간 내구성, 65% 시스템 효율
- (영역) 주요 활동 영역은 11개로 구성되어 프로그램에 참여하는 각 사무국이 관련 예산을 지원

[표 3-8] DOE 수소프로그램 주요 활동 영역

영역	주요 활동 내용	주관 사무국
수소 생산	• 다양한 공정 기술(열화학, 생물학, 전해 및 광분해)을 사용하여 다양한 에너지 자원(화석, 원자력, 재생에너지)에서 수소 생산	EERE, FE, NE, SC
수소 전달	• 충전소 및 고정식 발전소를 위한 수소 분배 시스템	EERE, FE, SC
수소 저장	• 차량 또는 유통 시스템 내에서 수소(또는 전구체) 저장	EERE, FE, SC
연료전지	• 수소를 전기 또는 화력으로 전환하고 고분자전해질막 연료전지(PEMFC)를 통해 차량의 보조 동력 장치 또는 고정식 어플리케이션에 수소를 사용하여 차량에 동력을 공급하는데 중점을 둔 연구	EERE
응용/기술 검증	• 현장 평가 및 실제 환경에서 시스템의 기술적 검증, R&D에 대한 피드백 및 재집중을 위한 학습 시연	EERE
안전	• DOE가 후원하는 R&D 활동 및 시장에서의 안전성	EERE
코드 및 표준	• 국내외 수소 생산, 유통, 저장 및 활용을 위한 모델 코드 및 표준 개발을 촉진하기 위한 기초 연구 수행	EERE
교육	• 대중에게 수소의 특성과 용도에 대해 알리고 수소 경제를 위한 개인 교육 실시	EERE
기초 연구	• 수소 저장, 연료 전지 부품, 바이오 소재, 태양 에너지 기반 수소 생산을 위한 첨단 소재에 대한 기초 연구, 주요 공정 및 메커니즘에 대한 모델링, 시뮬레이션 및 분석	SC
시스템 분석	• R&D 프로젝트의 선택 및 평가를 안내하기 위해 사실 기반 분석 프레임워크를 활용하여 여러 경로를 통해 기존 및 새로운 기술을 평가하고 연구 노력의 잠재적 가치를 추정할 수 있는 건전한 기반을 제공함으로써 프로그램 의사결정 프로세스 지원	EERE
시스템 통합	• 구성 요소, 시스템 비용, 환경 영향, 사회적 영향 및 시스템 트레이드 오프 간의 복잡한 상호 작용을 이해하여 잘 통합되고 최적화된 수소 및 연료 전지 시스템 개발	EERE



[그림 3-3] DOE 수소프로그램 주요 활동 영역

- (기술 중점 분야) 수소 생산, 전달, 저장, 변환, 활용 등 5대 중점 분야 관련 17개 중점 기술에 대해 구체적인 목표와 연구개발 요소들을 제시

[표 3-9] DOE 수소프로그램의 기술 중점 분야 및 주요 연구개발 추진 사항

기술 중점 분야		주요 연구개발 내용	
수소 생산 (Production)	<ul style="list-style-type: none"> 화석자원 바이오매스 및 폐기물 자원 수전해 	<ul style="list-style-type: none"> 다양한 국내 자원에서 생산되는 저렴한 수소 <ul style="list-style-type: none"> 운송 최종 용도의 경우 \$2/kg 미만 산업용 및 대량 발전/다중 발전 애플리케이션의 경우 \$1/kg 미만 	<ul style="list-style-type: none"> 백금족 금속이 감소된 새로운 촉매 및 전기 촉매 분산형 및 대량 전력 시스템을 위한 모듈식 가스화 및 전기분해 시스템 저렴하고 내구성이 뛰어난 멤브레인 및 분리 재료 새롭고 내구성이 뛰어나며 저렴한 열화학 및 광전기 화학 재료 내구성 향상을 위한 스트레스 테스트 및 열화 메커니즘에 대한 이해 가속화 자동 열 개질(ATR)을 포함한 개질 기술에 대한 자본 비용 절감 전력 전자 장치, 정화 및 온배수 정화 등 플랜트 구성 요소 및 하위 시스템의 균형 개선 확장성 및 대량 제조를 위한 구성 요소 설계 및 재료 통합 전기와 수소의 다중 생성을 포함한 가역 연료 전지 시스템 프로세스 강화를 포함한 시스템 설계, 하이브리드화 및 최적화
수소 전달 (Delivery)	<ul style="list-style-type: none"> 튜브트레이러 파이프라인 액체수소 화학수소운반체 수소 분배 및 연료공급 	<ul style="list-style-type: none"> 대규모 수소 공급, 유통, 분배: <ul style="list-style-type: none"> 초기 시장의 운송 최종 용도의 경우 \$5/kg 미만 고부가가치 제품을 위한 궁극적인 시장 확장의 경우: \$2/kg 미만 	<ul style="list-style-type: none"> 고압 및/또는 저온에서 수소와의 재료 호환성 수소 액화 분야의 혁신 수소 저장, 운송 및 방출을 위한 운반체 재료 및 촉매 저비용 분배 및 디스펜싱을 위한 혁신적인 구성 요소 (예: 압축기, 저장 용기, 디스펜서, 노즐)
수소 저장 (Storage)	<ul style="list-style-type: none"> 물리적 저장 재료 기반 저장 	<ul style="list-style-type: none"> 운송용 온보드 수소 저장 시스템: <ul style="list-style-type: none"> \$8/kWh(2.2kWh/kg 및 1.7kWh/L로 저장) 충전식 휴대용 전력 시스템: <ul style="list-style-type: none"> 1.0kWh/kg 및 1.3kWh/L에 저장된 0.5달리/kWh 탱크용 고강도 탄소 섬유 대량 생산 비용: \$13/kg56 	<ul style="list-style-type: none"> 재료 기반, 구성 요소 및 시스템 수준에서 비용 절감 고압 탱크용 저비용 고강도 탄소 섬유 내구성 및 안전성을 위해 수소와 호환되는 재료 액체 수소 및 저온/극저온 압축 저장을 위한 극저온 R&D 무게, 부피, 동역학 및 기타 성능 요건을 충족하는 수소 저장 재료의 발견 및 최적화 화학적 수소 운반체를 사용한 왕복 효율 최적화 수소 터빈에 사용할 수 있는 화학적 에너지 운반체 형태의 수소 저장 수소의 지질학적 저장에 대한 식별, 평가 및 실증 수소 및 수소 운반체 수출을 위한 시스템 분석 광범위한 저장 옵션 및 최종 용도에 대한 목표를 구체화하기 위한 분석 수소를 안전하고 효율적으로 저장하는 데 필요한 센서 및 기타 기술

기술 중점 분야		주요 연구개발 내용	
변환 (Conversion)	<ul style="list-style-type: none"> 연소 연료전지 	<ul style="list-style-type: none"> 단소 및 복합 사이클에서 허용 가능한 수소 농도 범위(최대 100%) 확대 연소 거동에 대한 이해도 향상 및 저 NOx 연소를 위한 구성 요소 설계 최적화 반응 유동에 대한 고급 전산 유체 역학 적용 및 개발 연소기를 위한 고급 제조 기술 개발 새로운 재료, 코팅 및 냉각 방식 개발 변환 효율 최적화 내구성과 수명을 개선하고 운영 및 유지보수를 포함한 비용 절감 시스템 수준 최적화 및 제어 체계 개발 열 전달 및 세라믹 후퇴에 대한 수분 함량 영향 평가 및 완화 수소 연소 개조 패키지 개발 및 테스트 탄소 중립 연료(예: NH3, 에탄올 증기)의 연소 활성화 	
		<ul style="list-style-type: none"> 장거리 트럭용 PEMFC <ul style="list-style-type: none"> - 시스템 비용 \$80/kW - 내구성 25,000시간 	<ul style="list-style-type: none"> 재료 R&D를 통한 백금족 금속 촉매 부하 감소 고온 내성, 저비용 및 내구성이 뛰어난 멤브레인 멤브레인 전극 어셈블리의 제조 및 확장 가능한 전극 구조 최적화를 위한 부품 설계 및 재료 통합 개선 직접 공급 연료 전지를 위한 탄소 중립 연료의 내부 개질 스트레스 테스트 가속화, 열화 메커니즘 및 완화 접근 방식에 대한 이해도 향상 컴프레서 및 전력 전자 장치를 포함한 플랜트 밸런스(BOP) 구성 요소 개선 여러 고강도 애플리케이션을 위한 표준화된 모듈식 스택 및 시스템 하이브리드화 개선 및 시스템 설계 최적화
		<ul style="list-style-type: none"> 고정식 발전용 SOFC <ul style="list-style-type: none"> - 시스템 비용 \$900/kW - 내구성 40,000시간 	<ul style="list-style-type: none"> 비용을 절감하고 고온 작동과 관련된 문제를 해결하기 위한 재료 R&D 스택 전반의 열 및 가스 흐름 관리 부하 추종 및 모듈식 애플리케이션을 위한 스택 및 BOP 시스템 통합, 제어 및 최적화 문제 해결 컴프레서 및 전력 전자 장치를 포함한 BOP 구성 요소 개선 표준화된 모듈식 스택 불소물이 재료 및 성능에 미치는 영향에 대한 이해도 향상 가역 연료 전지를 포함한 시스템 설계, 하이브리드화 및 최적화
활용 (Applications)	<ul style="list-style-type: none"> 수송 화학·산업 공정 고정식 및 발전 어플리케이션 통합 하이브리드 에너지 시스템 크로스커팅 도전 및 기회 	<ul style="list-style-type: none"> 수소 활용을 위한 엄격한 애플리케이션별 목표 개발 다양한 최종 용도에서의 재료 호환성 문제 산업 규모의 전해조, 연료 전지 시스템, 연소 터빈 및 엔진, 하이브리드 시스템에서 비용 절감 및 내구성 및 효율성 향상 플랜트 구성 요소 및 시스템의 균형을 포함한 구성 요소 및 시스템 수준의 통합 및 최적화 사이버 보안을 포함한 통합 시스템 제어 최적화 프로세스 강화를 포함한 제조 및 스케일업 금융 프로토콜을 포함한 코드 및 표준 조화 새로운 애플리케이션에서 수소 사용에 대한 가치 제안을 식별하기 위한 용량 확장 모델 	

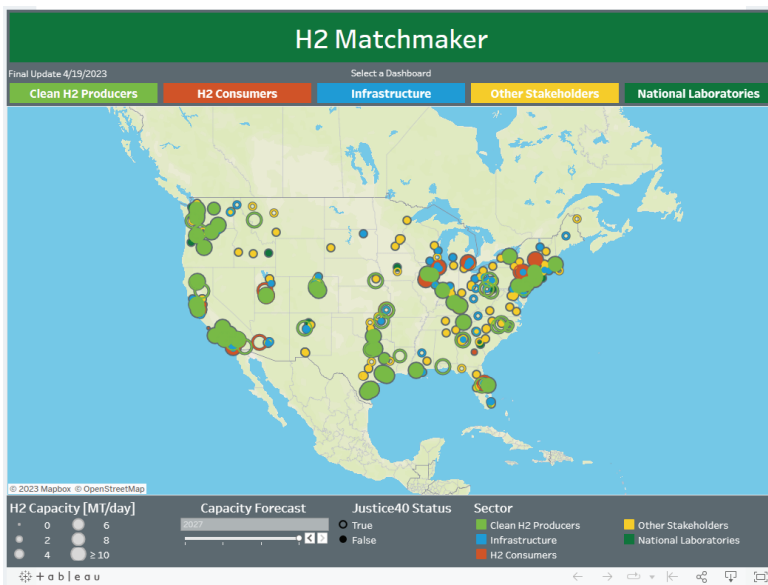
- **인프라 투자 및 일자리법(IIJA, Infrastructure Investment and Jobs Act)¹⁴에 따른 청정 수소 지원 프로그램**
 - IIJA에는 미국 내 수소 산업에 대한 대규모 투자 및 가속화를 촉진하기 위한 수소 관련 자금 지원 조항이 명시되어 있으며, 이에 따라 2022~2026 회계년도 동안 미국 전역의 청정수소 R&D, 생산, 유통 및 활용을 가속화하기 위한 청정 에너지 프로그램을 추진하고 있음
 - 현재 EERE에서 청정수소 제조 및 재활용과 관련한 프로그램 2개를 운영하며 OCED에서는 지역 청정수소 허브 개발을 위한 프로그램 1개를 운영 중

14) 정식 명칭은 IIJA이나, 초당적인프라법(BIL, Bipartisan Infrastructure Law)이라고 부르기도 하며 '청정 수소 전략 및 로드맵'에서는 주로 BIL로 표기

- 특히 지역 청정수소 허브 프로그램과 관련하여 OECD는 지역 수소 허브 실현을 위해 수소 공급업체와 사용자가 스스로 협력자를 발굴하고 허브 개발을 확대할 수 있도록 지원하는 온라인 정보 자원 'H2 Matchmaker' (그림3-4)를 제공하고 있는데 이를 통해 미국에서 추진 중인 청정수소 생산, 인프라 등에 관한 실증 현황 파악 가능

[표 3-10] IJA에 따른 청정 수소 지원 프로그램

프로그램명	주요 개발 내용	지원 기관
Clean Hydrogen Electrolysis Program	<ul style="list-style-type: none"> 수전해를 통해 청정 수소의 생산과 상용화를 입증하고 가속화할 프로젝트를 공모하며 약 10억 달러 투자 프로그램 목표: 수전해를 통해 청정 수소 비용을 2026년까지 \$2/kg 미만으로 절감 	EERE
Clean Hydrogen Manufacturing & Recycling	<ul style="list-style-type: none"> 청정수소 공급망 발전 및 수소기술의 재활용 추구하는 R&D 프로젝트에 5억 달러 투자 지원내용: <ul style="list-style-type: none"> - 재료 및 부품에 대한 국내 공급망 지원 구성 요소 및 장치에 안전한 대체 재료 식별 및 통합 - 전해조 및 연료전지와 같은 구현 기술을 포함한 시스템 - 회수 및 처리 과정에서 환경적 영향 최소화 - 청정수소 생산, 처리, 전달, 저장 및 사용 관련 장치의 분해 및 재활용을 위한 기술 및 공정 연구, 개발, 시연 및 상업화에 대한 모든 장벽 해결 - 청정수소 기술의 대체 재료, 설계, 제조 공정 및 기타 측면 개발 - 청정수소 기술의 비용 효율성 및 환경성을 고려한 분해 및 자원 회수 공정 개발 - 연료전지 재활용에 대한 소비자의 수용 및 암여를 늘리기 위한 전략 개발 	EERE
H2Hub (Regional Clean Hydrogen Hubs Program)	<ul style="list-style-type: none"> 청정수소의 생산, 처리, 전달, 저장 및 최종 사용을 위해 최소 4개의 지역 청정수소 허브 개발을 위해 2022~2026년 간 약 80억 달러 지원 지원내용: 청정수소 생산 표준 달성 지원, 청정수소 생산·처리·배송·저장·최종 사용 입증, 청정 수소 경제를 촉진하는 국가 청정수소 네트워크 개발 등 	OCED



[그림 3-4] 미국 전역의 청정수소 프로젝트 추진 현황 (최종 업데이트 2023.4.19.)

출처: DOE H2 Matchmaker 웹페이지¹⁵⁾

15) 출처: <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/h2-matchmaker> (2023.11.27. 최종접속)

3.2.3 미국의 수소 시장 및 산업 현황

• 수소 시장규모

- 미국 내 수소 소비량은 점차 증가할 것으로 예상되고('20년 1,140만톤 → '30년 1,400만톤 → '50년 최대 4,100만톤), '50년에는 11조 달러 규모의 시장을 만들어 낼 것으로 전망됨
- (생산) 미국은 글로벌 2위 수소 생산시장으로서, 시장규모는 연평균 성장률 약 9.1%를 보이며 '25년에는 약 359억 달러에 달할 전망. 또한 생산량으로서는 현재 연간 총 1,000만 톤의 수소를 생산하고 있으며¹⁶⁾, 이는 '22년 1,200만 톤, '30년에는 총 1,700만 톤에 이르는 수소를 생산할 것으로 전망됨

[표 3-11] 미국의 수소 생산부문 시장 전망

연도	2020	2021	2022	2023	2024	2025
규모 (단위: 억 달러)	232	247	269	292	321	359

출처: MarketsandMarkets, DACO Intelligence(2023) 재구성

- (저장) 미국의 수소 저장시장 규모는 '24년까지 약 79억 달러로 연평균 6.7%('19~'24)의 성장률을 보일 전망이며, 저장방식으로는 단기적으로 기체 저장방식이 확대될 전망이다*

* 저장방식별 비중('24년 전망): 62.5%(기체), 34.2%(액체), 3.3%(고체)

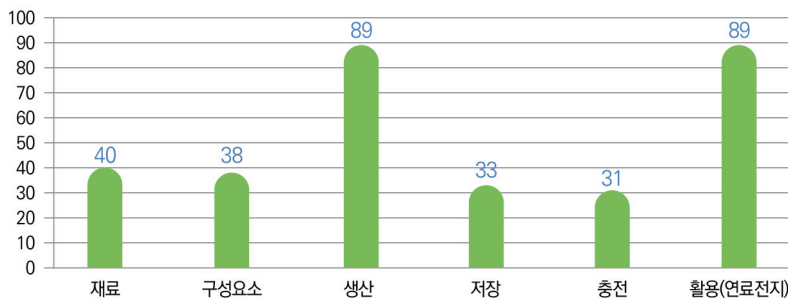
[표 3-12] 미국의 수소 저장부문 시장 전망

연도	2017	2018	2019	~	2024
규모 (단위: 억 달러)	52	54	57	-	79

출처: MarketsandMarkets, DACO Intelligence(2023) 재구성

• 수소 관련 산업체 현황

- 2023년 10월 기준 미국의 수소 관련 기업은 총 227개로 파악됨
- 활용, 생산, 재료 부문 순으로 산업체 비중이 높은 것으로 확인되며, 생산과 활용 부문의 비중이 압도적이나 전반적으로 모든 밸류체인에 대해 산업체 수가 절대적으로 많은 것이 특징



[그림 3-5] 미국의 밸류체인별 수소 산업체 수

출처: Enerdata H2 companies database

※밸류체인별 산업체 수는 중복을 포함하며 밸류체인 중 수소상변화(액화, 기화) 및 활용(기타)는 제외하고 작성함

16) 미국 전체 수소 생산능력의 약 3분의 1이 캘리포니아 지역에 집중



3.3 영국

3.3.1 영국의 수소 정책 추진 현황

- **2021년 7월 ‘영국수소전략 (UK hydrogen strategy)’ 발표, 2022년 7월 업데이트**
 - (개요) 2020년 발표된 ‘녹색산업혁명을 위한 10대 중점계획’에서 내세운 목표인 2030년까지 5GW의 저탄소 수소생산 능력 개발을 위한 접근방식을 제시한 전략으로서, 이 후 ‘에너지안보전략’이 발표됨에 따라 높아진 저탄소 수소 생산 능력 목표(5GW→10GW)의 달성을 위한 세부적인 조치사항들을 구체적으로 언급하며 업데이트 진행 중
 - 2050년까지 영국 에너지 소비의 최대 35%가 수소 소비로 예상됨에 따라 2030년까지 저탄소 수소 생산을 최대 10GW로 확대하는 것을 목표로 하며 최소 절반은 수전해 수소로 총당할 것을 제시하였고, 영국 파이프라인에서 확인된 20GW의 잠재적 수소 프로젝트를 추진하고자 함
 - 2억4천만 파운드의 넷제로 수소 펀드(Net Zero Hydrogen Fund, NZHF) 조성을 통해 CAPEX/DEVEX 지원을 제공하고, 넷제로 혁신 포트폴리오(Net Zero Innovation Portfolio, NZIP)에서 1억 5천만 파운드 이상을 수소 혁신에 투자할 예정이며, 영국 인프라은행으로부터 최대 180억 파운드의 민간 금융 지원 제공 추진

- **2022년 4월 ‘영국 에너지안보전략 (British energy security strategy)’ 발표**
 - ‘녹색산업혁명을 위한 10대 계획’과 ‘넷제로 전략’을 기반으로, 팬데믹 이후 수요 급증과 러우 사태로 인해 촉발된 글로벌 에너지 가격 상승을 고려하여 영국이 통제할 수 없는 국제 시장에 의해 결정되는 가스 가격 변동성에 영향을 받는 값비싼 화석연료에서 벗어나 장기적으로 에너지안보를 강화하기 위해 다양한 자체 생산 에너지 공급원을 늘리고자 수립(2022년 4월)하였으며, 석유·가스(북해 유전 사업 기반), 재생에너지, 원자력과 함께 수소를 핵심 에너지원으로서 다루며 2030년까지의 공급확대를 위한 주요조치를 소개
 - 2030년까지 저탄소 수소 생산능력을 10GW까지 두 배로 늘리고 이중 절반 이상을 수전해 수소로 생산한다는 목표를 세웠으며 잉여 재생전력을 효율적으로 사용하여 수소를 생산함으로써 전력시스템 비용 절감 추진
 - 매년 전해수소에 대한 할당 라운드를 운영하고 법규 및 시장 상황이 허용하는 대로 2024년까지 가격 경쟁 할당으로 전환하여 2025년까지 최대 1GW의 전해수소가 건설 또는 운영되는 것을 목표로 함
 - 2025년까지 수소 경제 성장에 필수적인 수소 운송 및 저장 인프라를 위한 새로운 비즈니스 모델 설계
 - 2025년까지 수소 인증체계를 구축하여 경쟁의 장을 표준화하여 수출용 영국산 고급수소를 입증하고 수입 수소가 영국 기업이 기대하는 것과 동일한 높은 기준을 충족하도록 보장

[표 3-13] 영국 수소 전략 (2021) 주요 내용

구분		내용	
비전		<ul style="list-style-type: none"> • 2030년까지 5GW¹⁷⁾의 저탄소 수소생산설비 구축을 통해 경제 전반의 탈탄소화 및 그린 뉴딜 성장 주도, 중장기적으로 6차 탄소예산 및 넷제로 달성을 위한 규모 확대 계획 수립을 통해 수소 분야 글로벌 리더 도약 	
2030년 목표		<ul style="list-style-type: none"> • 2030년까지 5GW 저탄소 수소 생산 설비 구축(2025년까지 1GW 구축) • 기존 영국 수소 공급의 탈탄소화(CCUS 및 수전해 수소 활용) • 수소 생산 비용 절감 • 수소 활용 분야 다각화 • 국민 수용성 확보 • 영국 경제 성장 및 일자리 창출 촉진 • 4차, 5차 탄소예산 달성 • 넷제로 달성 경로-2030년 이후 급격한 성장을 위한 수소 인프라 및 기술 전략 수립 • 증거기반 수소 정책 개발(에너지시스템 모델링) 	
실행방안 및 조치 이정표	2022~2024	<ul style="list-style-type: none"> • (생산) 소규모 수전해 생산 • (운송) 직접 파이프라인, 코로케이션(co-location), 트럭 운송 또는 현장(onsite) 사용 • (활용) 일부 교통수단(버스, 초기HGV, 철도 및 항공), 산업용, 난방 등 시험(trials) 	<ul style="list-style-type: none"> - 2022년 초 NZHF출시 - 2021년 CCUS클러스터1단계 결정 - 2022년 저탄소수소기준 확정 - 2022년 비즈니스 모델 확정 - 2023난방 시험 - 2022년 3분기 블렌딩을 위한 가성비 케이스
	2025~2027	<ul style="list-style-type: none"> • (생산) 한 개 지역 이상에서 대규모 CCUS지원 생산,전해 생산 규모 확대 • (운송) 소규모 클러스터 파이프라인 전용 네트워크, 트럭 운송 및 소규모 저장 확대 • (활용) 산업용, 수송용(HGV, 철도 및 해운), 난방용 시험 	<ul style="list-style-type: none"> - 2025년까지 1GW생산능력 목표 - 2025년까지 2개 이상의 CCUS클러스터 구축 - 2025년까지 난방 시험 추진 - 2026년까지 수소 난방 여부 결정 - 2020년대 중반까지 수소 상용 치량에 대한 결정
	2028~2030	<ul style="list-style-type: none"> • (생산) 다수 대규모 CCUS 지원 프로젝트 및 대규모 전해 • (운송) 대규모 클러스터 네트워크, 대규모 저장, 가스 네트워크와의 통합 • (활용) 산업에서 널리 사용, 발전, 수송 등 	<ul style="list-style-type: none"> - 2030년까지 5GW생산 능력 목표 - 2030년까지 4개의CCUS클러스터 - 2030년까지 잠재적 파일럿 수소 타운 - 2030년까지 해상풍력 40GW달성 목표
	2030~	<ul style="list-style-type: none"> • (생산) 생산규모 및 범위 확대 • (운송) CCUS, 가스 및 전기 네트워크와 통합된 지역 또는 국가 네트워크 및 대규모 저장시설 구축 • (사용) 최종 사용자의 전 분야로의 확대(철강, 전력 시스템, 해운 및 항공, 잠재적 가스 그리드 전환 등) 	<ul style="list-style-type: none"> - 6차 탄소 예산(Sixth Carbon Budget)

17) 2022년 초 에너지보안전략을 통해 2030년 수소 용량 목표를 5GW에서 10GW와트로 확대함.

[표 3-14] 영국 에너지안보전략 (2022) 주요 내용

구분		내용
주요조치		<ul style="list-style-type: none"> 수소생산 능력 최대 10GW로 두 배 확대 수소비즈니스모델에 대한 연간 할당 라운드 운영, 법규 및 시장 상황에 맞춰 2025년까지 가격경쟁할당으로 전환 2025년까지 최대 1GW의 수전해 시설 운영 또는 건설 목표, 최대 1GW의 CCUS 기반 수소 함께 추진 2025년까지 운송 및 저장 비즈니스 모델 설계
목표	'22말	<ul style="list-style-type: none"> 최종 수소비즈니스모델 완성 순제로수소펀드 개시 및 자금 배정 영국 저탄소 수소 표준 출시
	23	<ul style="list-style-type: none"> 천연가스그리드에 최대 20% 수소 혼합 결정 수전해 및 CCUS 기반 수소 프로젝트에 대한 첫 번째 비즈니스모델 계약 체결 수소난방지역 시범 사업 시작
	24	<ul style="list-style-type: none"> 수전해 수소프로젝트에 2차 비즈니스모델 계약 할당
	25	<ul style="list-style-type: none"> 2025년까지 최대 1GW의 수전해 그린수소와 최대 1GW의 CCUS 기반 블루수소가 운영 또는 건설 중 수소 운송 및 저장 비즈니스 모델 설계 수소 난방 마을 시범운영 시작 및 마을 시범계획 수립 수소 인증 체계 구축
	30	<ul style="list-style-type: none"> 저탄소 수소 생산능력 최대 10GW로 기존 목표 5GW에 비해 두 배로 확대 수소 운송 및 저장 비즈니스모델 구축
	50	<ul style="list-style-type: none"> 2050년까지 저탄소 수소 공급량 240~500TWh

3.3.2 영국의 수소 관련 R&D 및 실증 프로그램 추진 현황

• 정부 주도의 수소 R&D 및 실증 프로그램 지원 체계

- 2023년 2월 7일, 영국 내각이 개편되면서 기업 에너지 산업 전략부(BEIS, Department for Business, Energy & Industrial Strategy)로부터 에너지 안보 탄소 중립부(DESNZ, Department for Energy, Security and Net Zero)가 분리 신설되며 DESNZ가 기존에 BEIS¹⁸⁾에서 소관하던 에너지 정책을 관장하게 되었고 수소를 포함한 광범위한 영국 탈탄소화 전략에 대한 공공자금을 총괄 주관하는 역할을 수행
- 수소 R&D 프로그램에 대한 지원은 주로 BEIS의 자금을 지원받는 영국연구혁신기구(UKRI, UK Research and Innovation)에서 제공하는데, UKRI 내 9개의 하위 협의회(Councils) 조직별 프로그램에 따라 R&D 지원 분야가 구분되어 있으며 그 중 수소 관련 내용은 'Innovate UK'와 '공학자연과학연구회(EPSC)'에서 주로 제공
- 영국수소전략, 에너지안보전략의 이행을 위해 2023년 4월 영국 정부는 수소투자로드맵을 발표하였으며 해당 로드맵에서 제시한 정부의 주요 수소 프로그램은 넷제로혁신포트폴리오(NZIP), 넷제로수소펀드(NZHF), UKRI 사업 등임

18) 기업에너지혁신부(BEIS)는 현재 에너지안보탄소중립부(DESNZ), 과학혁신기술부(DSIT), 기업무역부(DBT)로 분리되었고 국가 안보 및 투자 정책에 대한 책임 역할은 내각실(Cabinet office)로 이관됨

• 넷제로혁신포트폴리오(NZIP, Net Zero Innovation Portfolio)를 통해 지원하는 프로그램

- 넷제로혁신포트폴리오는 BEIS의 에너지혁신프로그램(EIP, Eenergy Innovation Programme 2015~2021)의 후속 프로그램으로서 탈탄소화 비용을 줄이고 저탄소 기술 및 시스템의 상용화를 가속화하기 위해 '녹색산업혁명을 위한 10대 중점 계획'에서 제시한 10대 중점 영역에 투자를 지원하는 10억 파운드 규모의 기금이며, 중점 영역 중 하나인 수소 분야에 현재 4개의 프로그램을 개시

[표 3-15] NZIP 수소 혁신 지원 프로그램

기금	프로그램명	프로그램 목표	예산
NZIP	Low Carbon Hydrogen Supply 2 competition	<ul style="list-style-type: none"> 다양하고 혁신적인 저탄소 수소 공급 솔루션을 개발하는데 도움이 될 수 있는 프로젝트에 자금 지원 ※ 1단계 프로젝트사 시작될 때 혁신디 TRL 4-6단계에 있어야함 	<ul style="list-style-type: none"> 최대 6,000만 파운드
	Industrial Hydrogen Accelerator Programme	<ul style="list-style-type: none"> 엔드 투 엔드 산업용 연료의 수소 전환을 입증할 수 있는 혁신 프로젝트에 자금 지원, 2026년에 가스그리드에서 천연가스를 대체하는 저탄소 수소의 역할에 대한 전략적 결정 시 참고할 수 있는 증거 수집 ※ TRL은 지정되지 않았지만 시스템 또는 구성 요소 수준에서 혁신이 있음을 보여주고 제공 가능성에 대한 증거를 제출해야함 	<ul style="list-style-type: none"> 최대 2,600만 파운드
	Hydrogen Skills and Standards for Heat	<ul style="list-style-type: none"> 국내 및 비국내 수소 가스 설치에 대한 기술 표준과 설치자를 위한 관련 역량 프레임워크 및 교육 사양 개발을 지원하여 기존 천연가스 시스템의 용도 변경을 통해 비상제어밸브(ECV) 다운스트림에서 100% 수소를 사용할 수 있도록 하는 프로그램이며 동 프로그램은 4가지 요소로 구성 * 기술 연구 및 증거 수집 지원, 수소 가스 보조 장치 및 구성 요소 표준, 수소 가스 활성화 표준, 수소 역량 프레임워크 및 교육 사양 	<ul style="list-style-type: none"> •
	Hydrogen BECCS Innovation Programme	<ul style="list-style-type: none"> 바이오 원료에서 수소를 생산하고 탄소 포집과 결합할 수 있는 기술을 지원 프로그램은 2단계로 진행: <ul style="list-style-type: none"> - 1단계(500만 파운드)에서는 여러 프로젝트를 지원하여 실현 가능한 프로토타입 데모 프로젝트의 범위를 정하고 개발(2022년 8월, 22개의 프로젝트 선정) - 2단계(2,500만 파운드)에서는 혁신 설계부터 혁신 실증까지 프로젝트를 진행 ※ 1단계 프로젝트사 시작될 때 혁신디 TRL 4-6단계에 있어야함 	<ul style="list-style-type: none"> 3,000만 파운드

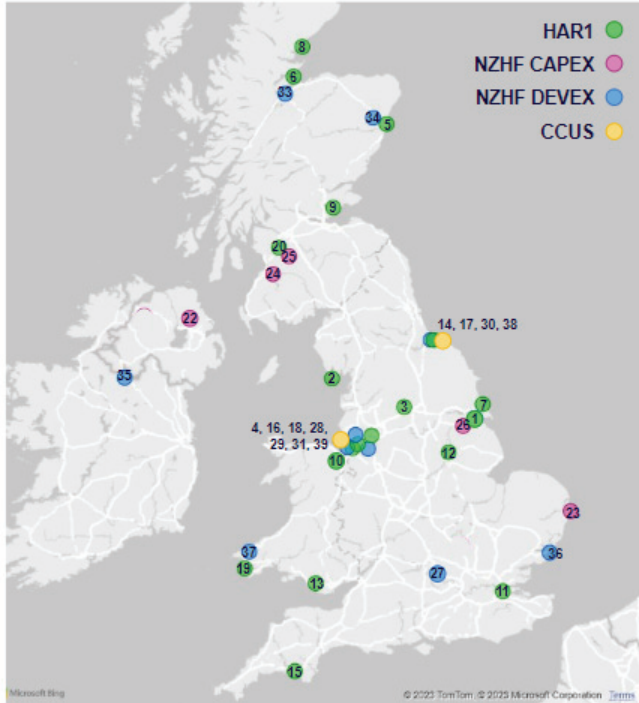
• 넷제로수소펀드 (NZHF, Net Zero Hydrogen Fund)

- NZHF는 투자 위험을 줄이고 평생 비용을 줄이기 위해 새로운 저탄소 수소 생산의 개발 및 배포(TRL 7수준)에 보조금을 지원하는 기금으로서 규모는 2022~2025년 동안 2억 4,000만 파운드이며 DESNZ가 UKRI Innovate UK를 통해 자금을 제공

- 보조금 지원 방식은 현재까지 두 개의 가닥(Strand)으로 구성되어 있고 적격성 기준을 충족하는 다양한 저탄소 수소 생산 기술을 지원하도록 설계됨

- Strand1은 프런트엔드 엔지니어링 설계(FEED) 및 사후 FEED 활동을 위한 개발 지출(DEVEX)을 제공하며, 수소 생산 프로젝트의 파이프라인을 구축하여 배포에 더 가까워지도록 하는 것을 목표로 함

- Strand2는 수소비즈니스모델(HBM)을 통해 수익 지원이 필요하지 않은 수소 생산 프로젝트에 대한 자본 지출(CAPEX) 지원을 제공하는데, 이 부문에 신청하기 위해서는 2025년까지 저탄소 수소의 대규모 생산에 기여할 신뢰할 수 있는 프로젝트를 어떻게 개발할 것인지 입증해야함
- 2023년 3월 기준 NZHF 1라운드(2022년 4월 공모)를 통해 수소프로젝트는 15개 추진 중



[그림 3-6] 영국 전역에서 추진 중인 수소프로젝트 현황
(NZHF 사업 15개 포함, 최종 업데이트 2023.3.)

출처: 영국 수소 투자 로드맵(2023)¹⁹⁾

- UKRI 수소 저장 및 유통 공급망 혁신 공모(Hydrogen storage and distribution supply chain innovation competition)
 - 수소 저장 및 유통 시스템 개발 지원을 통해 수소 공급망 관련 비용을 절감하며 영국 내 수소 저장 및 유통 혁신의 상용화 및 채택을 장려하는 규모 약 450만 파운드의 프로그램으로서 Innovate UK에서 운영
 - 공모 시 제안하는 프로젝트는 수소 생산, 저장, 배포, 사용 등 수소 가치 사슬의 두 개 이상의 부분 포함 필요
 - 수소 또는 수소와 같은 저탄소 운반체(저탄소 암모니아, 저탄소 메탄올, 저탄소 액체유기수소운반체) 등을 사용할 수 있고, 저탄소 수소 운송수단에 초점을 맞출 경우 영국의 수소 경제 발전에 도움이 된다는 것을 입증해야함
 - 수소 저장 및 유통 공급망에서는 물리적 인프라(탱크 및 파이프) 디지털 및 최적화 인프라, 밸브, 씰 등과 같은 구성 요소 및 지원 기술, 튜브트레일러와 같은 온로드 유통, 충전, 감지, 분리, 압축 재료, 블렌딩 등 다양한 부분에서 혁신 제안 가능

19) 출처: 영국 수소 투자 로드맵, <https://www.gov.uk/government/publications/hydrogen-net-zero-investment-roadmap/hydrogen-investment-roadmap-leading-the-way-to-net-zero#ftn-6> (2023.11.27. 최종접속)

3.3.3 영국의 수소 시장 및 산업 현황

• 수소 시장규모

- 영국은 수소전략(Hydrogen Strategy)에 따라 2030년까지 5GW의 저탄소 수소 생산능력 확보²⁰⁾ 후, 장기적으로는 영국의 강점인 해상풍력을 기반으로 그린수소 생산능력을 높여갈 것으로 기대 (KOTRA, 2021)
- (생산) 프랑스의 수소 생산 부문 시장은 연평균 8.1%(’20~’25) 성장하여, 시장규모는 ’25년에는 57억 달러에 달할 것으로 전망됨

[표 3-16] 영국의 수소 생산부문 시장 전망

연도	2020	2021	2022	2023	2024	2025
규모 (단위: 억 달러)	38	41	45	47	57	57

출처: MarketsandMarkets, 지식산업정보원(2022) 재구성

- (저장·운송) 영국의 수소 저장부문 시장은 연평균 약 4.9%(’19~’24) 성장하여, ’24년에는 약 5.4억 달러의 시장 형성 전망

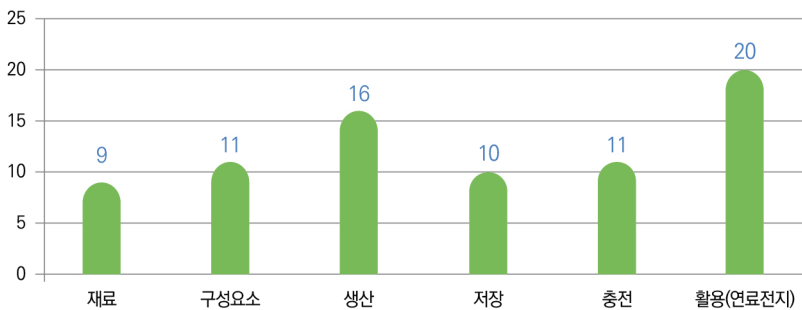
[표 3-17] 영국의 수소 저장부문 시장 전망

연도	2017	2018	2019	~	2024
규모 (단위: 억 달러)	4.0	4.1	4.3	-	5.4

출처: MarketsandMarkets, 지식산업정보원(2022) 재구성

• 수소 관련 산업체 현황

- 2023년 10월 기준 영국의 수소 관련 기업은 총 57개로 파악됨
- 활용, 생산 부문 순으로 산업체 비중이 높은 것으로 확인되며 그 외 밸류체인에 대해 전반적으로 산업체 수가 고르게 분포되어 있음



[그림 3-7] 영국의 밸류체인별 수소 산업체 수

출처: Enerdata H2 companies database

※밸류체인별 산업체 수는 중복을 포함하며 밸류체인 중 수소상변화(액화, 기화) 및 활용(기타)는 제외하고 작성함

20) 영국은 저탄소 수소 확보를 위해 그린수소(수전해)와 블루수소(천연가스+CCUS)를 동시에 추진하는 '트윈 트랙(Twin Track)' 접근방식을 채용

3.4 일본

3.4.1 일본의 수소 정책 추진 현황

- **2023년 6월 ‘수소기본전략(水素基本戦略, 2017년 12월)’ 개정안 발표**
 - 2017년 12월 세계 최초로 수립한 ‘수소기본전략’에서 새로운 목표 도입과 산업 및 보안 전략을 추가·보완
 - 2030~2050년 사이 중간 목표로 2040년까지 수소 사용량을 현재의 약 6배인 1,200만톤으로 확대 계획 명시
 - 2030년 세계 수전해장치 도입 전망의 약 10%에 해당하는 15GW 규모 수전해 생산 기반 확립 추진 계획 제시
 - 대규모 공급망 구축 및 거점 형성을 위한 지원제도를 정비하고 향후 15년 동안 15조엔 이상을 공급망에 투자 예정
 - 청정수소의 세계 기준 설정을 일본이 주도하고 청정수소로의 이행을 위한 규제적 조치 마련
 - 탄소중립, 안정적 에너지 공급, 경제 성장을 목표로 기술적 강점을 살려 세계 수소 시장을 선도할 산업전략 제시
 - 대규모 수소 이용을 위해 공급망 전체를 포괄하는 법령의 적용 관계 등을 검토하여 보안전략 제시
- **수소·연료전지전략로드맵 (2019년 3월 업데이트)**
 - 수소의 제조, 저장, 수송, 활용 등 수소 공급망 전체를 포괄하는 로드맵으로서 2015년 6월 최초 수립 이후 수소기본전략(2017.12)과 제5차 에너지기본계획(2018.7)을 반영하여 2019년 3월 개정·발표
 - 2020년 6월 ‘수소연료전지전략로드맵 달성을 향한 대응현황’을 발표하며 현재까지의 수소 공급과 이용 측면에서의 기술 사양 및 비용 목표에 대한 구체적인 추진 사항을 정리하여 제시한 바 있음
- **수소·연료전지기술개발전략 (2019년 3월 발표)**
 - 수소연료전지전략로드맵에서 제시한 목표를 달성하기 위해 중점적으로 기술개발을 추진해 나가야 할 3대 분야 10대 기술개발 항목을 선정하고 구체적인 기술개발 방안을 제시

[표 3-18] 일본 수소·연료전지기술개발전략 (2019) 내 주요 기술개발 내용

3대 분야	10대 기술개발 항목	주요 기술개발 사항
연료전지	차량용 연료전지 정차용 연료전지 보조장비(기기)·탱크 등 관련 시스템	<ul style="list-style-type: none"> • 저백금화, 비백금 촉매의 개발 • 발전 효율 65% 이상의 연료전지 셀 개발
수소 공급망	대규모 수소 제조 수송·저장 기술 수소 발전 수소 충전소	<ul style="list-style-type: none"> • 단일 시스템 개발 • 역화, 연소 진동 대책과 환경성(저NOx) 동시 달성 • 수소충전소 설치비·운영비 저감에 기여하는 획기적인 충전 프로토콜 개발
수전해·기타	수전해기술 산업 이용 등 애플리케이션 비연속적 혁신 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 전해질 재료 등의 열화 메커니즘 규명

[표 3-19] 일본 수소기본전략 개정안 (2023) 주요 내용

구분		프로그램명	주요 연구개발 내용
기본 전략	공급	수소 도입 및 공급 비용 목표	<ul style="list-style-type: none"> 2030년 최대 300만톤/년, 2050년 2,000만톤/년으로 설정, 중간목표로서 2040년 1,200만톤 설정 (개정안) 2030년 30엔/Nm³(약334엔/kg), 2050년 20엔/Nm³(약 222엔/kg)
		국내 수소 공급망 구축	<ul style="list-style-type: none"> 일본 내 수소 생산 제조기반 구축: 일본 기업의 수전해장치 15GW 도입 저탄소 수소 도입 목표 설정 및 규제적 유도 조치 마련 방향 명시 CCUS 및 탄소재활용을 결합한 수소제조에 관한 사업 환경 정비
		국제 수소 공급망 구축	<ul style="list-style-type: none"> 다양한 수소 자원국과의 관계 강화 및 공급망 구축·거점 정비 조기 공급망 구축 리스크에 대한 민간 보험 창설, 투자 사업 등 금융 확충
	수요	수요 창출	<ul style="list-style-type: none"> 수소·암모니아 활용 가스터빈의 폭넓은 혼소 실현을 위한 기술개발 및 실증 다양한 어플리케이션(철도, 선박, 항공기 등)에 연료전지 스택기술 적용 산업 내 수소·암모니아 연료(열) 이용 촉진, 철강·화학 분야 원료 활용기술 개발
		비화석E로의 전환을 위한 수요 촉 규제 정비	<ul style="list-style-type: none"> 에너지다소비 주요 업종 대상으로 에너지전환 목표 설정 및 사업자 노력 촉진
		수소 화합물로서의 수소 이용	<ul style="list-style-type: none"> 연소시 CO2 배출 취급 관련 국제·국내 제도 정비를 통해 합성 메탄 및 합성 연료 활용 확대
	기타	대구모 공급망 구축을 위한 지원 제도 마련	<ul style="list-style-type: none"> 대규모 탄탄한 공급망 구축 지원 제도 창설(기존 연료와의 가격차이 지원) 수요 창출에 기여하는 효율적 공급 인프라 정비 지원(거점정비 지원)
		지역 내 수소 활용 촉진 및 지자체와의 연계	<ul style="list-style-type: none"> 지역 내 자원 및 수요 특성을 고려한 다양한 수소 수급 실증 모델 구축, 지역 내 기업·관계단체 또는 국내외 타 지자체와의 협력, 수소마을만들기 등
		혁신적인 기술개발 추진	<ul style="list-style-type: none"> 고효율·고내구·저비용 수전해 및 메탄 열분해·광촉매 등 기반 수소제조 수소액화, 수소저장합금 등 수소·저장기술, 수소캐리어 비용 절감 및 크래킹 고효율·고내구·저비용 연료전지, 합성 메탄·연료 등 탄소재활용 제품 제조 기술
		국제협력	<ul style="list-style-type: none"> 표준화 및 다자간프레임워크에서의 활동 등
국민 이해 증진		<ul style="list-style-type: none"> 국민, 지자체에 정보 제공 및 대화 촉진, 수소·암모니아 관련 교육 및 보급 활동, 박람회 개최 등 민간협력 하 홍보를 통한 국민 사회적 수용성 제고 	
산업 전략	공급	수소 제조	<ul style="list-style-type: none"> 수전해 비용 절감, 수전해 장치 및 관련 부품소재 생산설비 증설 지원 신기술(고온수전해, AEM) 개발 추진
		수소 운송	<ul style="list-style-type: none"> 국내 수송 저비용화를 위한 기술개발 및 환경정비 추진 선박에 의한 해상수송 공급 기반 구축
	활용	탈탄소형 발전	<ul style="list-style-type: none"> 90% 혼소·전소에 의한 고효율 연소기 개발, 공급망 전체 비용 절감 등
		연료전지	<ul style="list-style-type: none"> 보급을 위한 비용절감 및 수요 확대(산업화, 세계시장 염두, 내수 확대)
		수소 직접이용	<ul style="list-style-type: none"> 탈탄소형 철강, 탈탄소형 화학제품, 수소연료선박
		수소화합물 활용	<ul style="list-style-type: none"> 연료 암모니아, 탄소재활용 제품
보안전략	과학적 데이터-거거에 기반한 대응	<ul style="list-style-type: none"> 과학적 데이터 등 전략적 획득 및 공유, 원활한 실험·실증 환경 구축 	
	수소사회 단계적 구현을 위한 규칙 합리화·적정화	<ul style="list-style-type: none"> 공급망에서 우선 추진분야 설정, 향후 경로의 명확화, 수소 노하우 및 경험을 집약한 제3자 인증·검사기관 정비·육성·활용, 지자체 등과의 협력 	
	수소 이용 환경 정비	<ul style="list-style-type: none"> 리스크커뮤니케이션, 수소안전 인력양성 추진, 각국 동향·국제표준 수립 대응 	

3.4.2 일본의 수소 관련 R&D 및 실증 프로그램 추진 현황

• 정부 주도의 수소 R&D 및 실증 프로그램 지원 체계

- 국가 '그린성장전략' 및 '수소기본전략' 등 수소 관련 국가 계획 및 자금 관리 등 주요 정책 활동을 총괄하는 정부 기관은 경제산업성(METI)이며, METI가 추진하는 수소 계획 이행을 위한 수소 관련 프로젝트에 대한 공공 자금 지원은 신에너지산업기술종합개발기구(NEDO, New Energy and Industrial Technology Development)에서 주로 담당
- METI 외에 주로 이해관계자들 간의 협력을 기반으로 수소 실증과 관련된 프로젝트를 수행하는 환경성(ME)에서 추진하며, 기초과학 연구 등에 대한 R&D 지원은 문부과학성(MEXT) 및 산하의 과학기술진흥기구(JST, Japan Science and Technology Agency)에서 관여함

• NEDO의 R&D 및 실증 프로그램 추진 현황

- (NEDO 자체 사업) 정부로부터 기관에 출연된 NEDO의 자금을 의해 6개의 수소 관련 R&D 프로그램 운영
- (그린혁신기금사업) 2020년 10월에 발표된 '그린성장전략(グリーン成長戦略)'에 의해 조성된 '그린혁신기금*'에 따른 기금사업을 통해 수소 관련 기술개발 및 실증 사업을 지원 중

* 탈탄소화 촉진 프로젝트를 지원하기 위해 경제산업성(METI)가 조성한 약 2조 규모의 기금

[표 3-20] NEDO에서 지원하는 수소 관련 R&D 프로그램

프로그램명		주요 연구개발 내용	기간 및 예산
NEDO 지원 사업	수소이용 등 선도연구개발 사업 (종료)	<ul style="list-style-type: none"> 전해수소 제조기술 고도화를 위한 기반기술 연구개발 대규모 수소이용기술의 연구개발 종래 기술을 능가하는 초고효율 발전 공통 기반 연구 개발 에너지 캐리어 시스템 조사·연구 탄화수소 등을 활용한 이산화탄소를 배출하지 않는 수소 제조 기술 조사 	<ul style="list-style-type: none"> 2014-2022 12.6억엔 ('22)
	수소사회 구축 기술개발 사업	<ul style="list-style-type: none"> 수소 에너지 시스템 기술 개발 (재생에너지 전력 기반 수소제조, 수송·저장 및 이용 기술을 조합한 에너지 시스템 개발) * 후쿠시마 수소에너지분야 연구 필드(FH2R) 완공('20.4), 그린수소 상용화 및 액화수소·MCH 연구 추진 대규모 수소 에너지 이용 기술 개발 (해외 미이용 자원 활용 수소 제조·저장·수송 및 수소 연료 가스 터빈 등을 이용한 발전 시스템 등) * 호주 미이용 갈탄 유래 수소 대규모 해상수송공급 체인 구축 실증사업(수소 운반선 반복 항행 원료 브루나이 유기화학수소화물법에 의한 미활용 에너지 유래 수소 공급망 실증사업) 지역 수소 이익 활용 기술 개발 : 훗카이도 타당성조사 종합 조사 연구 (수소 제조·수송·저장·이용 등에 관한 조사 연구, 수소 사회 실현을 향한 정보 발신에 관한 조사 연구) 	<ul style="list-style-type: none"> 2014-2025 74억엔 ('23)
	초고압 수소 인프라 본격 보급 기술 연구 개발 사업	<ul style="list-style-type: none"> 국제 규제 적정화에 관련된 기술 개발 (금속 재료의 수소 특성 판단 기준, 리스크 평가에 의한 설비 구성 검토 등) 수소 스테이션의 비용 절감 등에 관련된 기술 개발 (고압 수소 대응의 고분자 기술, 전기 화학식 펌프, 기기의 패키징화 검토 등) 국제 확산, 국제 표준화 등에 관한 연구 개발 (ISO, IEA, IPHE, HFCV-GTR 등 관련 국제 표준과의 조화, 해외 시책·시장·연구개발 동향 파악) 	<ul style="list-style-type: none"> 2018-2023 0.8억엔('23)

프로그램명		주요 연구개발 내용	기간 및 예산
그린 혁신 기금 사업	연료전지 등 활용의 비약적 확대를 위한 공통과제 해결형 산화연관 협력 연구개발 사업	<ul style="list-style-type: none"> 공통 과제 해결형 기반 기술 개발 (고체 고분자 연료전지, 고체 산화를 연료전지 등에 관한 요소기술 개발) 수소 이용 등 고도화 첨단 기술 개발 (수소 저장 기술 또는 수전해 기술 등 기타 다양한 수소 관련 기술의 고도화) 연료전지의 다용도 활용 실현 기술 개발 (다용도 확산을 목표로 한 실증사업 및 연료전지·수전해 시스템 비용절감을 위한 혁신적 생산기술 개발) 	<ul style="list-style-type: none"> 2020~2024 79억엔('23)
	경쟁력 있는 수소 공급망 구축을 위한 기술개발 사업 (신규)	<ul style="list-style-type: none"> 대규모 수소 공급 체인 구축에 관련된 기술 개발 수요지 수소 공급 체인 구축에 관련된 기술 개발 수소 스테이션의 저비용화·고도화에 관련된 기술 개발 공통 기반 정비에 관련된 기술 개발 종합조사연구 (수소 제조·수송·저장·이용 등에 관한 조사 연구, 수소 사회 실현을 향한 정보 발신 등에 관한 조사 연구) 	<ul style="list-style-type: none"> 2023~2027 66억엔('23)
	청정에너지 분야 혁신기술 국제공동 연구개발 사업	<ul style="list-style-type: none"> 해당 사업의 2021년도 채택 과제인 '미래 수소사회 실현을 위한 수소 이용의 대폭적인 촉진 및 확대에 기여할 수 있는 혁신적 기술 개발'을 통해 현재 6개국의 연구기관들과 수소 관련 공동연구* 수행 중 * (주제) 포름산을 활용한 화학적 송압에 의한 고압-고순도 수소 공급 기술 국제공동연구개발 (위탁연구기관) AIST(국가연구개발법인 산업기술종합연구소) (공동연구기관) 네덜란드 델프트 공과대학교, 프랑스 파리동부재료화학연구소, 한국과학기술원, 사우디 킹 압둘라 과학기술대학교, 영국 런던대학교 퀸메리캠퍼스, 노르웨이 오슬로대학교 	<ul style="list-style-type: none"> 2021~2024 (수소 프로젝트)
	대규모 수소 공급망 구축	<ul style="list-style-type: none"> 국제 수소 공급 체인 기술의 확립 및 액화 수소 관련 기기의 평가 기반의 정비 (액화 수소 공급망의 상용화, MCH 공급망 실증 등) 수소발전기술(혼소, 전소)을 실현하기 위한 기술의 확립 	<ul style="list-style-type: none"> 상한 3,000억엔 2021~2030 (세부과제별 상이)
	재생에너지 유래 전력을 활용한 수전해 수소 제조	<ul style="list-style-type: none"> 수전해 장치의 대형화 기술 등의 개발, Power-to X 대규모 실증 수전해 장치의 성능 평가 기술의 확립 	<ul style="list-style-type: none"> 상한 700억엔 2021~2030 (세부과제별 상이)

• 환경성(ME)에서 추진하는 탈탄소화를 위한 수소 공급망 구축 실증 사업

- 환경성은 일본 전역의 각 지역에서 지역 자원을 활용해 수소 공급망을 구축할 수 있는 방법을 실증하는 '수소 공급망 프로젝트'를 운영하며 탈탄소화를 촉진 중
- 프로그램은 크게 '지역연계·저탄소 수소 기술 실증사업'과 '기존 인프라를 활용한 수소 공급 저비용화를 위한 모델 구축 및 실증사업'으로 나뉘며 각각 8개 및 4개의 프로젝트가 수행됨
- (지역연계·저탄소 수소기술실증사업) 8개 세부 프로젝트 목록:
 - ① 게이한 해안 지역에 연료전지 지게차 도입 및 청정수소 활용 모델 구축 실증
 - ② 가족분뇨를 활용한 수소 에너지 공급망 실증 사업
 - ③ 가성소다 생산 시 발생하는 고순도 폐수소를 활용한 지역 협력 및 지역 에너지생산/소비 모델 구축 프로젝트
 - ④ 폐플라스틱 지역순환모델 저탄소 수소 실증사업
 - ⑤ 소수력 발전소의 수소 이용 확대 및 홋카이도 지역 특성에 적합한 수소 활용 모델 구축
 - ⑥ 미야기현 도미야에서 연료전지와 기존 물류 네트워크를 활용한 저탄소 수소 공급망 실증 프로젝트
 - ⑦ 풍력을 이용한 전기분해를 통한 수소 생산과 천연가스와 혼합된 수소 공급 및 사용 실증 프로젝트
 - ⑧ 건물 및 도시 인프라에서 수소 사용을 촉진하기 위한 저압 수소 공급 시스템 실증 프로젝트

- (기존 인프라를 활용한 수소 공급 저비용화를 위한 모델 구축 및 실증 사업) 4개 세부 프로젝트 목록:
 - ⑨ 기타큐슈시 지역 재생 에너지를 활용한 그린 수소 생산 및 공급 실증 프로젝트
 - ⑩ 운영 최적화 시스템을 활용한 저비용 재생 수소공급망 구축 및 실증 프로젝트
 - ⑪ 도시지역 재생수소 및 음식물쓰레기 바이오가스 활용 메탄화 수소 공급망 실증사업
 - ⑫ 기존 가스 공급망을 활용한 소규모 소비자를 위한 저압 수소 공급 모델 구축 및 실증 프로젝트



[그림 3-8] 환경성에서 운영하는 일본 전역의 수소공급망 구축 사업 추진 현황 (2023년 4월 기준)

출처: 환경성 수소 서플라이 체인 플랫폼²¹⁾

• JST의 'ALCA-Next' 프로그램

- 첨단 탄소중립 기술개발 'ALCA-Next' 프로그램은 탄소중립 실현을 위한 기술 시드(Seeds)를 창출하는 연구개발 프로그램으로서 탄소중립에 기여하는 출구를 명확하게 바라보면서 개별 연구자의 자유로운 발상을 바탕으로 과학기술 패러다임을 크게 전환하는 게임 체인징 기술 창출을 목표로 함
- 수소 관련 연구개발은 프로그램 내의 '에너지 변환' 영역에서 수소에너지 활용 관련 기술 혁신을 지원함
- 2023년 공모 주제는 '에너지 절약·저비용으로 수소 에너지 캐리어 합성·이용 기술'이었으며 해당 연구 범위는
 - ① 암모니아와 같은 수소 에너지 담체의 합성 및 탈수소에서 고성능, 저렴한 촉매 및 신규 공정의 탐색 및 ②수소 에너지 캐리어의 직접 이용 기술 개발로 제시됨

21) 출처: https://www.env.go.jp/seisaku/list/ondanka_saisei/lowcarbon-h2-sc/company/index.html (2023.11.27. 최종접속)

3.4.3 일본의 수소 시장 및 산업 현황

• 수소 시장규모

- 일본의 수소 경제 규모는 약 1억 5천만 달러(175억엔, 2020년 기준)으로 추산되며 일본은 발전분야의 급격한 성장*으로 인해 '35년까지 '20년 대비 260배 가량 성장할 전망**

* 암모니아 혼소발전, 수소가스터빈 발전 등의 실증이 '24년부터 개시되어, 특히 발전분야에서 수소 수요가 대폭 증가할 전망

** (2020) 1.5억 달러 → (2021) 1.6억 달러 → (2035) 409억 달러 (후지경제그룹, 2021)

- (생산) 일본의 수소 생산시장 규모는 '25년 약 119억 달러로, 연평균 10.1%('20~'25)씩 성장할 전망

[표 3-21] 일본의 수소 생산부문 시장 전망

연도	2020	2021	2022	2023	2024	2025
규모 (단위: 억 달러)	74	80	87	96	105	119

출처: MarketsandMarkets, 지식산업정보원(2022) 재구성

- (저장) 일본의 수소 저장시장 규모는 '24년에 약 4.5억 달러로, 연평균 5.1%('19~'24)성장할 전망

[표 3-22] 일본의 수소 저장부문 시장 전망

연도	2017	2018	2019	~	2024
규모 (단위: 억 달러)	3.3	3.4	3.5	-	4.5

출처: MarketsandMarkets, 지식산업정보원(2022) 재구성

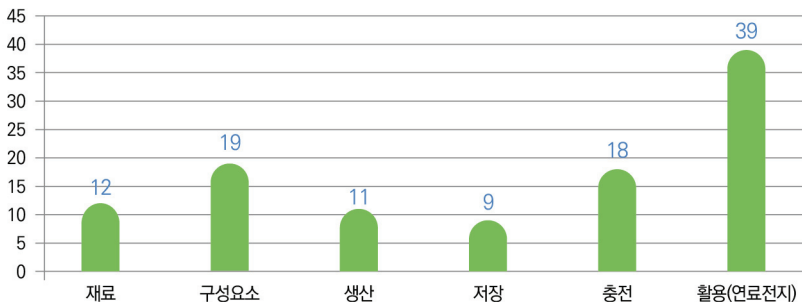
• 수소 관련 산업체 현황

- 2023년 10월 기준 일본의 수소 관련 기업은 총 69개로 파악됨

- 활용, 구성요소, 충전 부문 순으로 산업체 비중이 높은 것으로 확인됨

- 활용 부문의 비중이 월등히 높고 충전 부문의 비중이 다소 높은 것이 다른 주요국들과 차별되며, 이는 일본 정부의 지속적인 가정 및 수송용 연료전지 보급 및 활용 활성화 정책의 영향이 있는 것으로 사료됨.

- 비교적 소재·부품에 대한 산업 경쟁력이 높은 것으로 보임



[그림 3-9] 일본의 밸류체인별 수소 산업체 수

출처: Enerdata H2 companies database

※밸류체인별 산업체 수는 중복을 포함하며 밸류체인 중 수소상변화(액화, 기화) 및 활용(기타)는 제외하고 작성함

3.5 프랑스

3.5.1 프랑스의 수소 정책 추진 현황

- 2020년 8월 ‘프랑스의 저탄소 수소 개발을 위한 국가전략 (Stratégie nationale pour le développement de l’hydrogène décarboné en France)’ 발표
 - 저탄소 및 재생 수소 개발을 지원하기 위해 프랑스 정부는 2030년까지 70억 유로를 투자하여 (i) 산업 탈탄소화(2050년 탄소 중립 목표), (ii) 수소 모빌리티 개발, (iii) 프랑스의 연구 역량 지원 및 개발이라는 세 가지 우선순위 과제를 지원할 것을 명시
 - 2050년까지 2015년 대비 탄소 배출량 81% 감축 목표를 제시하면서 프랑스 장비 산업을 발전시켜 전해조 6.5GW 설치 목표 설정, 탄소 집약적 산업 용도 전환 및 대형 차량 개발을 통한 탄소배출량 5백만톤 저감 목표 설정, 15만개의 새로운 직간접 일자리 창출 등을 제시

[표 3-23] 프랑스의 저탄소 수소 개발을 위한 국가전략 (2020) 주요 내용

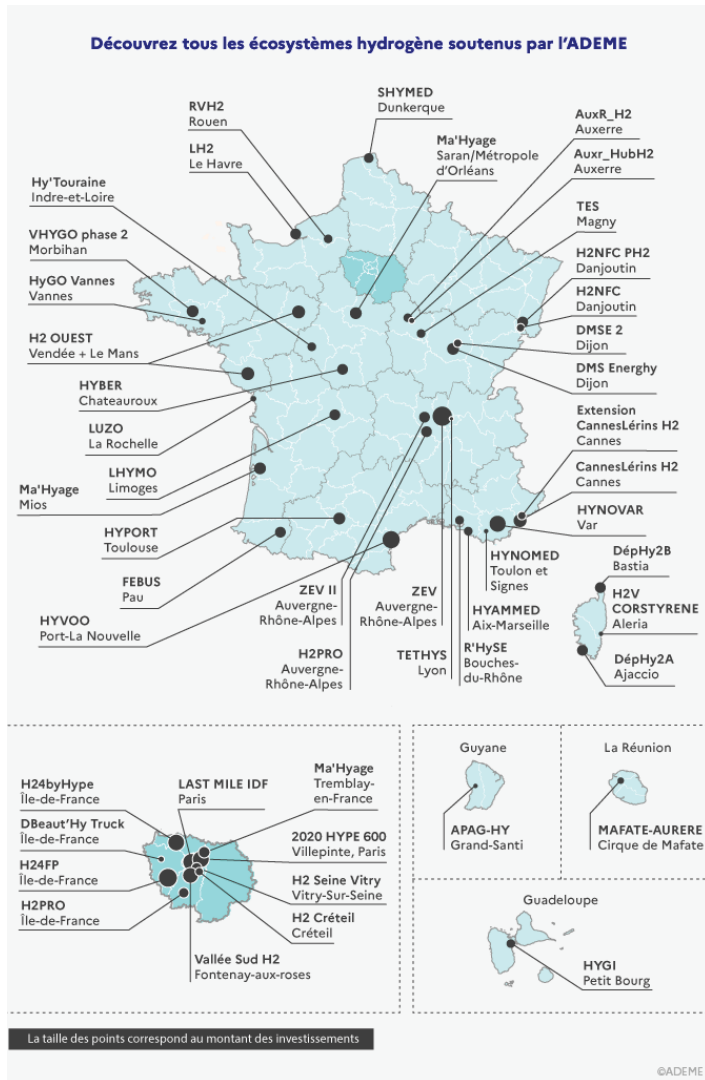
항목	내용		
목표	<ul style="list-style-type: none"> • 경제 탈탄소화에 크게 기여할 수 있는 충분한 전해조 설치 (2030년까지 6.5GW) • 대형 차량을 위한 클린 모빌리티 개발 (탄소집약 산업 전환 및 대형 차량 개발을 통해 CO2 6백만톤 저감) • 프랑스 내 일자리 창출 및 프랑스의 기술력을 보장하는 산업 부문 구축 (일자리 5만개, 직간접적 15만개 창출) 		
우선과제	1. 프랑스 수전해 부문 개발을 통한 산업 탈탄소화	1) 프랑스 수전해 산업 발전	<ul style="list-style-type: none"> • (조치) 수소에 대한 유럽 공동 관심사 중요 프로젝트(PIIEC/IPCEI)-수전해 R&D 및 산업화 지원-구축, 15억 유로 예산 책정
		2) 탄소 기반 수소 대체를 통한 산업 탈탄소화	<ul style="list-style-type: none"> • (조치) 경쟁력있는 수소 공급 가능 시 다양한 메커니즘(규제, 세금 등) 점진적 마련 (정유 부문 수소 그린화 프로젝트 지원, 화석연료 기반 수소 대비 무탄소 수소 가치를 높이기 위한 원산지 보증 도입, 입찰 후 투자 및 운영을 지원하는 ‘추가 보수’ 형태 지원 시스템 개발 등)
	2. 저탄소 수소를 이용한 대형 모빌리티 개발	3) 강력한 수소 모빌리티 서비스 개발	<ul style="list-style-type: none"> • (조치) 환경에너지관리청(ADEME)의 ‘수소 기술 벵돌 및 시연’을 위한 프로젝트(수소 생산, 운송, 에너지 공급 애플리케이션 등 수소 사용 관련 구성요소 및 시스템 개발·개선을 위한 혁신 지원) 공모, 실증프로젝트 지원, 2023년까지 3억 5,000만 유로 책정
		4) 사용 공유를 장려하여 대규모 지역 프로젝트 개발	<ul style="list-style-type: none"> • (조치) 규모의 경제 극대화를 위해 다양한 용도(산업 및 모빌리티)를 결합한 대규모 지역생태계 구축을 위해 지자체와 산업체가 참여하는 컨소시엄을 통해 환경에너지관리청(ADEME)의 ‘지역 수소 허브’ 프로젝트 공모 시작, 2023년까지 2억 7,500만 유로 지원
	3. 미래의 사용을 촉진하기 위한 연구, 혁신 및 기술 개발 지원	5) 연구 및 혁신 지원 - 국제적 선두 유지 노력 - 신기술 산업화 혁신 지원	<ul style="list-style-type: none"> • (조치) 국립연구청(ANR)이 운영하는 ‘수소 응용 분야에 대한 우선 연구 프로그램(PPR)을 통해 업스트림 연구 지원, 차세대 수소기술(연료전지, 탱크, 재료, 전해조 등) 준비, 약 6,500만 유로 투입
		6) 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> • (조치) 기술 및 직업 고등학교, 대학, 선도적 엔지니어링 학교 등의 조직 또는 캠퍼스 개발 지원(지역 발전 시너지 효과 기여), 3천만 유로 투입

3.5.2 프랑스의 수소 관련 R&D 및 실증 프로그램 추진 현황

- 정부 주도의 수소 R&D 및 실증 프로그램 지원 체계**
 - '저탄소 수소 개발을 위한 국가 전략'의 수립을 주관한 부처는 경제재정부 및 생태전환부이지만 이러한 전략 이행을 지원하기 위한 수소 관련 연구 전략을 수립하고 실행하는 등의 연구 관련 정책 활동은 연구 부문을 총괄하는 부처인 고등교육연구부(MESRI)가 담당함
 - MESRI 산하의 자금 지원기관인 국립연구청(ANR), 환경에너지관리청(ADEME) 및 프랑스공공투자은행(BpiFrance) 등에서 수소 R&D 및 실증 관련 프로젝트를 지원하는데 ANR은 주로 기초연구, ADEME는 응용 및 실증 연구, BpiFrance는 TRL이 높은 프로젝트에 대한 자금 조달을 포함하여 민간 부문에 주로 지원
 - ADEME가 '저탄소 수소 개발을 위한 국가 전략'에 따라 추진하는 수소 R&D 지원 프로그램 중 일부는 프랑스의 국가 혁신을 위한 프로그램인 '제4차 미래투자프로그램(PIA4, Programme 'Investissements d'avenir')'의 하위 프로그램으로서 PIA 자금은 총리실 산하의 투자총괄사무국(SGPI)에서 배정함
- 환경에너지관리청(ADEME)의 수소 R&D 프로그램 지원 현황**
 - ADEME에서는 수소 전략 이행을 위한 R&D를 지원하기 위해 SGPI를 통해 배정된 PIA의 수소 R&D 이니셔티브로서 운영하는 2개의 수소 프로그램과 자체 프로그램 1개 등 총 3개의 프로그램을 지원

[표 3-24] ADEME의 수소 프로그램

프로그램명		내용
PIA4 수소 R&D 이니셔티브	지역 수소 생태계 프로젝트 -EcosysH (Écosystèmes territoriaux hydrogène)	<ul style="list-style-type: none"> • 재생가능하거나 저탄소의 수소를 생산, 유통 및 사용하기 위한 인프라 구축 프로젝트에 투자 지원 - 지역 사회와 제조 업체 간 파트너십을 기반으로 지역 수소 프로젝트 추진에 중점 - 2023년까지 2억 7,500만 유로 투자 (공모기간: 2020.10~2021.9)
	수소 기술 벽돌 및 시연 (Briques technologiques et démonstrateurs hydrogène)	<ul style="list-style-type: none"> • 수소의 생산 및 운송, 산업 또는 에너지 공급 애플리케이션과 같은 수소 사용과 관련된 구성요소 및 시스템의 개발 또는 개선하는 혁신 프로젝트에 지원, 두 가지 섹션으로 구성 - 기술구성요소 섹션: 수소의 생산 및 산업 응용, 운송 또는 에너지 공급과 같은 수소 사용과 관련된 구성 요소 및 시스템을 개발하거나 개선 - 시연자 섹션: 프랑스 내 실증, 파일럿 또는 상업적 초연을 위한 프로젝트를 지원하여 업계가 새로운 솔루션과 구조를 개발할 수 있도록 지원 - 2023년까지 3억 5천만 유로 투자(공모기간: 2020.10~2022.12)
특정 지역에 수소를 배치하기 위한 기회 및 타당성 조사 (Études d'opportunité et de faisabilité du déploiement de l'hydrogène sur un territoire)		<ul style="list-style-type: none"> • 재생 가능 또는 저탄소 수소의 필요성에 대한 성찰을 시작하거나 심화하는 것을 목적으로 수소 애플리케이션 및 인프라에 대한 투자 결정의 전 단계인 예비 연구를 지원



[그림 3-10] 프랑스 전역의 ADEME가 지원하는 46개 수소 프로젝트 현황

출처: ADEME 웹페이지²²⁾

- 국립연구청(ANR)의 '우선연구프로그램및장비-탈탄소화수소(PEPR-H2)'

- 우선연구프로그램및장비(PEPR²³⁾, Programmes et équipements prioritaires de recherche)는 기술, 경제, 사회 건강 또는 환경 변화와 관련이 있고 국가 또는 유럽 차원에서 우선순위로 간주되는 과학 분야에서 프랑스의 리더십을 구축하거나 강화하는 것을 목표로 추진하는 연구 프로그램(TRL 1~4)으로서 2023년 3월 출범, 'France 2030'²⁴⁾ 계획의 지원을 받으며 총 30억 유로가 배정되었고 ANR이 관리함

22) 출처: <https://agirpourlatransition.ademe.fr/entreprises/potentiel-hydrogene-bas-carbone-renouvelable> (2023.11.27. 최종접속)

23) PIA3에 있던 '우선연구프로그램(PPR)' 과 '연구용장비 구조화' 두 가지 선행프로그램을 결합하여 'France 2030' 발표 이후 PIA4에 따라 출범

24) 2021년에 시작된 540억 유로 규모의 프랑스 2030 투자계획으로서 앞에서 언급한 PIA4(200억 규모)가 동 계획의 일부임

- ANR은 '저탄소 수소 개발을 위한 국가 전략'의 일환으로 2021년 11월 'PEPR-H2'라는 새로운 프로그램을 시작
- 'PEPR H2'는 수소 관련 업스트림 R&D 활동(TRL1~4)을 지원하는데 8년간(2022~2030) 8,310만 유로 배정
- 해당 프로그램은 무탄소 수소의 생산, 저장, 운송과 대형 이동수단에서의 수소 사용을 포함하며 수명 주기 분석, 기술 및 사회 경제적 연구, 안전 측면을 통해 수소 시스템의 배치를 지원하기 위한 연구도 함께 수행
- 3가지 주요 분야의 과제 해결을 위한 7개의 타겟 프로젝트를 지원 중*
 - * 고온전기분해생산(2개), 고체 또는 기체 고압 저장(2개), 고분자막연료전지(PEM형) 또는 세라믹막 연료전지(SOFC형)를 사용하여 대형 이동성에 사용(3개)

- **수소에 대한 유럽 공동 이해 프로젝트(IPCEI)**

- 2021년 말 경제부는 프랑스 기업에 도움이 될 15개의 유럽 공동 수소 프로젝트에 30억 유로 투자할 것을 발표
- 2022년 초 프랑스는 수전해 장치에 대한 연구와 시장 확대를 지원하고 무탄소 수소를 생산하며 이러한 솔루션을 산업에 배치하고 차세대 수전해 장치와 기타 기술구성 요소(연료전지, 탱크, 재료 등)의 산업화를 위한 '기가팩토리' 프로젝트 추진
- 2022년 11월까지 첫 10개의 IPCEI 수소 프로젝트를 선정하고 21억 유로 투자

3.5.3 프랑스의 수소 시장 및 산업 현황

• 수소 시장규모

- 프랑스는 '23년 1월, 원자력 기반 수소(핑크 수소)의 친환경 수소 인정에 합의함으로써, 당분간 유럽 내 수소시장 확대에 강력한 한 축을 담당할 것으로 기대 (한국무역협회, 2023)
- (생산) 프랑스의 수소 생산 부문 시장은 연평균 8.9%('20~'25) 성장하여, 시장규모는 '25년에는 69억 달러에 달할 것으로 전망됨

[표 3-25] 프랑스의 수소 생산부문 시장 전망

연도	2020	2021	2022	2023	2024	2025
규모 (단위: 억 달러)	45	49	53	57	62	69

출처: MarketsandMarkets, 지식산업정보원(2022) 재구성

- (저장) 프랑스의 수소 저장부문 시장은 연평균 약 6.0%('19~'24) 성장하여, '24년에는 약 8.5억 달러의 시장 형성 전망

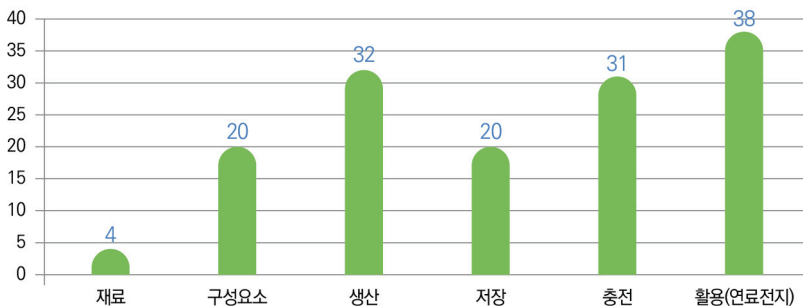
[표 3-26] 프랑스의 수소 저장부문 시장 전망

연도	2017	2018	2019	~	2024
규모 (단위: 억 달러)	5.9	6.1	6.4	-	8.5

출처: MarketsandMarkets, 지식산업정보원(2022) 재구성

• 수소 관련 산업체 현황

- 2023년 10월 기준 프랑스의 수소 관련 기업은 총 104개로 파악됨
- 활용, 생산, 충전 부문 순으로 산업체 비중이 높은 것으로 확인되며 재료 부문을 제외하고 전반적으로 전체 밸류체인에 대한 산업 경쟁력이 우수한 것으로 판단됨



[그림 3-11] 프랑스의 밸류체인별 수소 산업체 수

출처: Enerdata H2 companies database

※밸류체인별 산업체 수는 중복을 포함하며 밸류체인 중 수소상변화(액화, 기화) 및 활용(기타)는 제외하고 작성함

3.6 호주

3.6.1 호주의 수소 정책 추진 현황

• 2019년 ‘호주 국가 수소 전략 (Australia’s National Hydrogen Strategy)’ 발표

- 2018년에 12월에 발표한 국가수소로드맵(National Hydrogen Roadmap)에서 내세운 비전을 달성하기 위해 호주 정부협의회(COAG)가 세부적인 국가 전략을 마련하여 발표
- 2030년까지의 수소 생산, 운송 및 활용 등 수소에 대한 투자, 프로젝트 진행, 수출 준비, 인프라 구축, 규제 프레임워크 설정과 에너지 가격 및 안보포괄범위 등을 제시

[표 3-27] 호주 국가 수소 전략 (2019) 주요 내용

항목	내용		
비전	• 2030년까지 모든 호주인들에게 혜택이 될 수 있도록 깨끗하고 혁신적이면서 안전하고 경쟁력 있는 수소 산업 구축		
목표	• 2030년까지 글로벌 수소 경제의 주요국으로 성장 - 아시아 시장 내 3대 수소 수출국 지위 획득, 우수한 수소 관련 안전 기록 확보, 수소를 통한 호주 내 일자리 및 경제적 편익 창출, 엄격하고 국제적으로 인정받는 원산지 인증 체제 구축		
전략	• 기술적 불확실성 감소 / 국내 공급 체인 및 생산 역량 강화 / 수소의 상업화 가속화		
실행방안	• 국내 수요를 촉진할 최적의 허브에 수소 사용을 우선적으로 집중시킴으로써 수출 역량 강화 및 산업 경쟁력 확보		
기반 및 실증 (~2025)	<ul style="list-style-type: none"> • 스케일업 활동 - 우선순위 실험, 시도 및 실증 프로젝트 진척 - 공급 체인 인프라 필요사항 평가 - 실증 규모의 수소 허브 구축 - 유망한 수소 허브를 위한 공급 체인 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 스케일업 지원: 호주 청정 수소 공급체인의 창출, 테스트 및 입증, 세계 시장 장려 및 비용경쟁력 있는 생산 역량 개발 - 시범사업, 시연 및 실증 프로젝트에 대한 타겟 지원* <p>* 기술 개발, 산업 전문성 확보, 국제협력, 일정 규모의 수소 공급량 검증 등 추진</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 촉진 활동(Enabling activities) - 기존 규제 프레임워크 검토·개정, 효율적 공급 체인 및 시장에 대한 일관된 접근방식 개발, 지원하는 투자 환경 확립, 견고한 교육훈련 요건 및 안전 기준 - 주요 시장 타겟, 표준 부합, 세계적 무역 증진하는 전략적이고 조정된 국제활동 지원
대규모 시장 활성화 (2025~)	<ul style="list-style-type: none"> - 대규모 수소 시장 등장 신호 파악 - 수출 및 국내 필요사항 지원 프로젝트의 규모 확장 - 호주 수소 공급 체인 및 대규모 수출 산업 인프라 구축 - 견고하고 지속가능한 수출과 국내 시장 및 공급망의 구축·유지 - 명백한 공익과 함께 경쟁력 있는 국내 시장 국내 확보 지원 	<ul style="list-style-type: none"> - 청정수소 공급 체인 및 민간 투자 유치 정책에 대한 용자 - 광범위한 국내 수소 수요 육성을 위한 정책(공업 공급원료 및 난방에 청정수소 사용, 가스망에 수소 융합, 장거리 대량 운송 및 연료보급 인프라 개발) - 지역사회 안전 및 신뢰 확보, 모든 국민에게 혜택 제공 및 환경 보호 - 장기적 관리 구조 제공, 산업 성장과 경쟁력 조성을 위한 시장 환경 지원 	<ul style="list-style-type: none"> - 국제 거래 청정수소 원산지 추적 및 인증 제도를 타국가들과 개발 - 숙련된 기술 증진 및 교육훈련 제도 확립을 통한 산업 역량 및 생산 용량 구축 - 지역사회 우려 사항 해결을 통한 신뢰 획득 - 수소 연구개발 활동에 대한 타겟 지원을 통해 기술 증진, 안전 확보, 환경영향 최소화 유도, 프로젝트 규모 확대 및 정보 제공, 협력 및 지식 공유 촉발 - 기술 및 시장 개발의 세계적 지표 모니터링 - 성공 판단 기준에 입각하여 진척상태 추적



• 2020년 9월 ‘기술투자로드맵 (Technology Investment Roadmap)’ 발표

- 탄소 저감을 위한 5대 우선순위 기술을 선정하여 발표하였으며 이에 그린 수소를 포함하여 수소 생태계 및 인프라 조성에 투자하기 위한 계획안을 제시

[표 3-28] 호주 기술투자로드맵 (2020) 내 수소 분야 주요 내용

항목	내용
가격 목표	• 2023년까지 그린수소 생산 비용을 1kg 당 2AU\$ 달성
실행방안	• (~2022년) 수소 생태계 조성, 수소 허브 선정 및 글로벌 수소 공급망 최적화 • (2023~2030) 수소 단가 절감 및 성장 역량 강화, CCUS 기술 개발 • (2030~) 수소 경제 규모 확대 및 호주 수소 수입국의 수요 충족을 위한 생산력 확보

3.6.2 호주의 수소 관련 R&D 및 실증 프로그램 추진 현황

• 정부 주도의 수소 R&D 및 실증 프로그램 지원 체계

- 연방정부 차원의 수소 관련 자금 지원 프로그램은 기후변화 에너지 환경 수자원부(DCCEEW, Department of Climate Change, Energy, the Environment and Water)에서 총괄 관리하며, 관리되는 프로그램들의 주요 자금 지원 기관은 청정에너지금융공사(CEFC), 호주재생에너지청(ARENA), 호주연구협의회(ARC) 등임
- CEFC는 수소 산업 부문과 관련되어 수소 생산·발전, 수출 및 국내 수소 공급망 개발, 수소 허브 구축 등에 대한 프로젝트에 투자하며, ARENA는 청정수소에 대한 다양한 개발, 실증 및 상업화 전 배포 등에 대한 프로젝트에, ARC는 기초 및 응용 부분의 연구 및 연구 교육 부문을 지원함
- 수소프로젝트에 대한 펀딩은 크게 두 가지로 나뉘는데 ①수소특화지원(Hydrogen specific support)은 수소 프로젝트 및 자금 지원 신청을 특별히 대상으로 하는 프로그램을 뜻하며 ②수소적격지원(Hydrogen eligible support)은 수소 프로젝트 및 자금 지원 신청을 특별히 타겟팅 하지는 않지만 광범위한 탄소중립·청정에너지 전환 혁신 및 애플리케이션을 포괄하는 프로그램을 뜻하는데 CEFC, ARENA, ARC는 모두 수소특화 프로젝트를 지원
- 이 외, 연방정부 차원에서 추진하는 국내 민관 파트너십, 국제 파트너십 등에 대한 프로그램 수행을 위해 연방정부를 대신하여 호주 연방과학산업연구기구(CSIRO)에서 정부의 자금을 지원받아 관리함

• 수소특화지원(Hydrogen specific support) 프로젝트 현황

- 현재(2023년 8월 기준) DCCEEW에서 관리하는 연방 정부 주도의 수소 관련 프로그램은 41개로서 그 중 수소특화 지원프로그램이 31개로 파악되며 이중 CEFC, ARC 등 수소 프로젝트를 실행하는 기관에 지원되는 기금도 포함

[표 3-29] 호주 수소특화지원 관련 Funding 현황

프로그램명	지원 내용
Hydrogen Headstart	• 2030년까지 호주가 최대 1기가와트 규모의 전해조 용량을 확보하기 위한 프로그램으로서 대규모 재생 수소 생산 프로젝트에 20억 달러를 투자함으로써 초기 프로젝트의 상업적 격차 해소를 지원
Regional Hydrogen Hubs Program	• 호주 전역에 수소 허브 개발을 지원하기 위한 국가 자금 지원 프로젝트로서 7개의 수소 허브(Gladstone, the Hunter Valley, Bell Bay, Port Bonython, Kwinana, Pilbara에 위치)와 9개의 개발 및 설계 연구 프로젝트에 총 4억 4180만 달러 투입
CEFC Advancing Hydrogen Fund	• CEFC의 수소발전기금으로서 수소 생산 발전, 수출 및 국내 수소 공급망 개발, 수소 허브 구축 등이 지원 범위에 포함되며 수소 수출 산업을 위한 인프라와 국내 수소 수요 구축을 지원하는 프로젝트에 대한 투자도 고려
ARENA Advancing Renewables Program	• AREANA 재생에너지 발전 프로그램으로서 AREANA의 투자 중점 분야(재생가능한 전기로의 전환 최적화, 청정 수소 상용화, 저배출 금속으로의 전환)를 다루는 애플리케이션에 대한 지속적인 공모를 추진하며 청정 수소 프로젝트의 상용화 분야에는 약 1억5천달러 투자
REGIONAL RESILIENCE AND OPPORTUNITY	• 주요 공공 인프라 활성화 프로젝트로서 지역에서 수소를 사용할 수 있도록 지원하는데 1억 달러 투입
ARENA Renewable Hydrogen Deployment Funding Round	• 상업적 규모의 수소 생산 프로젝트에 자금 지원을 통해 호주에서 재생에너지 기반 수소 생산이 빠르게 진행되도록 촉진하며 현재 두 개의 프로젝트에 4,730만 달러 지원
DRIVING THE NATION: Hydrogen Highways Program	• 호주 내 3개 주에 수소연료 보급 네트워크 개발을 지원하며 AREANA의 미래 연료 프로그램을 통해 관리되는 자금을 포함하여 매칭방식으로 최대 8천만 달러 지원
Guarantee of Origin (GO) Scheme	• 호주에서 제조된 수소 및 기타 제품과 관련된 배출을 추적하고 검증하는 메커니즘을 제공하기 위한 제품 기반 배출 회계 프레임워크 설계 및 관련 법안을 개발하는 프로그램으로서 청정에너지규제기관(CER)에 자금을 제공
Hydrogen Energy Supply Chain (HESC) project	• Latrobe Valley에서 석탄 기반 청정 액체수소를 추출하여 일본 고베로 해외 운송하는 프로젝트로서 2022년 1월 시연을 완료하고 현재 타당성 단계 진행 중
Australian Research Council (ARC) grants	• ARC 보조금으로서 최고 수준의 연구에 자금을 지원하고 연구의 질, 참여도 및 영향력을 평가하여 ARC 목적 달성을 위해 수여되는 기금으로서 2018년 이래 수소 관련 프로젝트에 제공된 예산은 총 5,200만 달러 수준
HyGATE Initiative	• 독일 BMBF와 협력하여 수소 공급망 협력 사업을 촉진하는 프로그램
Modern Manufacturing Initiative: Green Hydrogen Gigafactory Electrolyser Manufacturing Facility	• 퀸즐랜드 주 글래드스톤의 알도가에 계획된 전해조 제조 시설에 대한 보조금 약 4,500만 달러 제공
Hydrogen Research and Development Round	• AREANA에서 재생가능한 수소 및 암모니아와 같은 수소 파생물의 생산 개선 및 최적화와 저장 및 유통 솔루션을 연구하는 두가지 연구 스트림에 총 2,500만 달러 지원
Hydrogen Ready Gas Generation	• 신규 가스 발전기의 수소 준비를 지원하는 패키지 프로그램으로서 약 2,500만 달러 지원



프로그램명	지원 내용
Program	
ARENA Renewable Hydrogen for Export R&D Funding Round	<ul style="list-style-type: none"> • 전 세계로의 재생 수소 수출 혁신을 촉진하기 위해 16개 연구 프로젝트에 보조금 지원
Daintree Microgrid project	<ul style="list-style-type: none"> • 퀸즐랜드 북부 데인트리에 수소를 통합한 재생에너지 마이크로그리드 구축을 지원하기 위해 2건의 보조금 지원: 1) 지역 및 원격 커뮤니티 신뢰성 기금에 따른 타당성 조사, 2) 태양광 및 수소 마이크로그리드 자본 사업
CSIRO Hydrogen Energy Systems Future Science Platform	<ul style="list-style-type: none"> • 낮은 단계의 수소 파일럿 프로젝트가 실용화 될 수 있는 수준으로 성장시키기 위한 프로그램
Miscellaneous funds	<ul style="list-style-type: none"> • 기타 자금으로서 국가 수소전략 이행, 수소 법적 프레임워크 검토 등 관리
CEFC Clean Energy Innovation Fund	<ul style="list-style-type: none"> • 호주의 탄소배출량을 줄일 수 있는 혁신적 비즈니스에 투자하는 프로그램으로서 첨단 전해조 기술 개발을 지원하기 위해 Hysata(수전해 수소 생산 기업)에 1,0745만달러 투자
Modern Manufacturing Initiative: Advanced Electrolysis and Thermal Storage > Low-cost Green Hydrogen project	<ul style="list-style-type: none"> • 제조 분야 전환 스트림에 따라 도시바 인터네셔널에 지급하는 보조금
Hycel Hydrogen Technology Testing Hub	<ul style="list-style-type: none"> • 수소를 사용하는 기술을 연구, 테스트, 최적화 및 확장하기 위한 지역 전문 클러스터를 구축하는데 자금 지원(디킨대학교 워남볼 캠퍼스에 위치한 허브 지원)
CSIRO Hydrogen Industry Mission	<ul style="list-style-type: none"> • 정부, 산업계 및 연구 커뮤니티와의 파트너십을 통해 CSIRO의 수소 연구 역량을 활용하는데 중점을 둔 프로그램
Hydrogen Research Development & Demonstration International Collaboration Program	<ul style="list-style-type: none"> • CSIRO는 호주와 국제 수소 연구 기관 간의 협력을 강화하기 위해 RD&D 프로그램을 제공하며 자금은 5DJR 6,580만 달러의 국제 기술 파트너십 기금에 따라 CSIRO에 지원
Central Queensland Renewable Hydrogen Ecosystem Development	<ul style="list-style-type: none"> • 수소 기술과 공급망 내 기술 통합을 테스트하고 재생 수소의 잠재적 경로에 대한 조연을 제공하는 컨소시엄 구축을 위한 파일럿 프로젝트 추진
HySupply	<ul style="list-style-type: none"> • 독일과 호주 정부, 산업계 및 학계 컨소시엄이 호주와 독일 간의 친환경 수소 수출 공급망을 평가하기 위해 공동으로 협력하는 프로젝트
Research Centre for New Energy Transition	<ul style="list-style-type: none"> • 지역 연구 협력 프로그램으로서 수소 연구를 발전시키고 지역의 다른 새로운 형태의 에너지를 탐구하기 위해 자금을 지원하는 프로그램으로서 첫 번째 라운드에 6개 프로젝트 추진 중이며 이 중 하나가 수소 관련 프로젝트로서 빅토리아주 발라랏에 위치한 페더레이션 대학교가 자금 수여
Whaleback Energy Park Feasibility Study	<ul style="list-style-type: none"> • 웨일백 에너지파크에 대한 타당성 조사를 위해 자금 지원
Development of Hydrogen Applications for Regional Industries project	<ul style="list-style-type: none"> • 수출용 친환경 수소 채택을 촉진하고 산업계에서 요구하는 무공해 기술을 개발하기 위해 자금 지원
First Nations Engagement	<ul style="list-style-type: none"> • 지역 주민과 기업이 수소 프로젝트 제안, 계획 프로세스 및 프로그램 설계에 참여할 수 있도록 지원하는 자금 조성에 200만 달러 투자
NERA Hydrogen Technology Clusters Australia (H2TCA)	<ul style="list-style-type: none"> • H2TCA는 호주 전역에 걸쳐 있는 수소 기술 클러스터 네트워크로서, 신형 수소 산업을 지원하기 위해 전국적으로 중요한 연결, 협업 및 조정을 지원
Understanding Hydrogen Dairy Industry Opportunities in Australia and Uruguay	<ul style="list-style-type: none"> • 호주와 우루과이의 낙농 산업에 대한 수소 기회 범위를 검토하고 협력하기 위한 연구에 수여된 보조금으로서 호주연방정부의 호주 중남미관계위원회(COALAR)기금에서 지급

• ARENA에서 지원하는 R&D 프로젝트 현황

- ARENA는 전체 수출 공급망을 포괄하는 다양한 수소기술과 관련된 프로젝트 16개를 2018년에 선정하여 지원²⁵⁾

[표 3-30] ARENA가 지원하는 수소 관련 R&D 프로젝트 요약

프로젝트 포커스	주관연구기관	공급사슬 유형	종료
Solar Thermochemical Hydrogen	CSIRO	생산	2023.9
Direct Water Electrolysis	Australian National University	생산	2023.7
Water Splitting Electrodes	Monash University	생산	2023.1
Hydrogen Generation by ElectroCatalytic Systems	Australian National University	생산	2022.12
Solar Hydrogen Generation	Australian National University	생산	2023.3
Photovoltaic Electrolysis to Generate Hydrogen	University of New South Wales	생산	2023.3
Biological Hydrogen Production M	Macquarie University	생산	2023.4
Waste Biomass to Renewable Hydrogen	University of New South Wales	생산	2023.4
Ammonia Production from Renewables	Monash University	운반체 및 운송	2023.4
Hydrogen Proces	Queensland University of Technology	운반체 및 운송	2023.4
Methane Fuel Carrier	CSIRO	운반체 및 운송	2021.7
Hydrogen to Ammonia	CSIRO	운반체 및 운송	2022.4
Hydrogen Storage and Transport	RMIT, University of Melbourne	운반체 및 운송	2022.1
Methanol from Syngas	University of Western Australia	운반체 및 운송	2023.1
Liquid Fuel Carrier	CSIRO	운반체 및 운송	2021.10
Hydrogen Fuelled Reciprocating Engines	University of Melbourne	활용	2023.3

• 호주 전역의 수소 실증 프로젝트 추진 현황

- 현재 호주 전역에 107개의 수소 관련 산업 프로젝트*가 추진 중²⁶⁾

* 운영 중 13개, 건설 중 16개, 개발 계획 중 76개, 완료 1개



[그림 3-12] 호주 전역의 수소 실증 프로젝트 추진 현황

출처: AusH2(Australia's Hydrogen Opportunities Tool)²⁷⁾

25) 출처: Summary of Arena-Funded Hydrogen R&D Projects (<https://arena.gov.au/assets/2023/05/summary-arena-funded-hydrogen-rd-projects.pdf>)

26) 출처: <https://research.csiro.au/hyresource/projects/facilities/> (2023.11.27. 최종접속)

27) 출처: <https://portal.ga.gov.au/persona/hydrogen> (2023.11.27. 최종접속)

3.6.3 호주의 수소 시장 및 산업 현황

• 수소 시장규모

- 호주의 수소산업은 주로 생산 분야에 특화되어 있으며, '30년부터 국제 경쟁력을 보유했을 것으로 전망됨
- (생산) 호주의 수소 생산시장 규모는 '20년에 약 44억 달러이며, '25년까지 연평균적으로 10%씩 성장하여 약 71억 달러에 이를 것으로 전망

[표 3-31] 호주의 수소 생산부문 시장 전망

연도	2020	2021	2022	2023	2024	2025
규모 (단위: 억 달러)	44	47	51	58	63	71

출처: MarketsandMarkets, 지식산업정보원(2022) 재구성

- (저장) 호주의 수소 저장시장 규모는 '24년까지 약 3억 달러로서, 연평균 5.0%의 성장세를 보일 전망

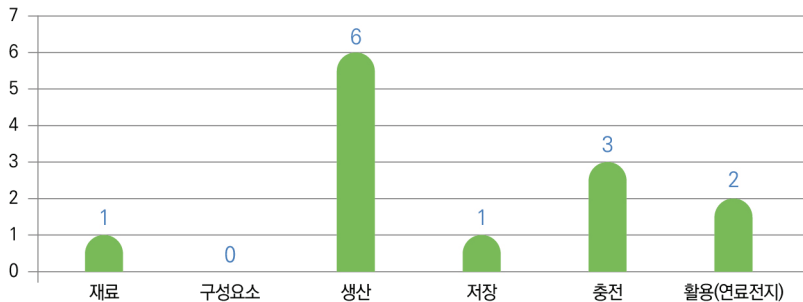
[표 3-32] 호주의 수소 저장부문 시장 전망

연도	2017	2018	2019	~	2024
규모 (단위: 억 달러)	2.3	2.4	2.5	~	3.2

출처: MarketsandMarkets, 지식산업정보원(2022) 재구성

• 수소 관련 산업체 현황

- 2023년 10월 기준 호주의 수소 관련 기업은 총 12개로 파악됨
- 생산, 충전, 활용 부문 순으로 산업체 비중이 높은 것으로 확인됨
- 아직 절대적인 수소 관련 산업체 수가 다른 주요국들에 비해 적고 수소 밸류체인 전반에 대한 산업 기반은 다소 형성되어 있다고 보기 어려우나, 그 중 수소 생산 산업체의 비중이 높은 것은 정부의 해외 수소 수출 정책 추진에 대한 영향력이 있는 것으로 판단됨



[그림 3-13] 호주의 밸류체인별 수소 산업체 수

출처: Enerdata H2 companies database

※밸류체인별 산업체 수는 중복을 포함하며 밸류체인 중 수소상변화(액화, 기화) 및 활용(기타)는 제외하고 작성함

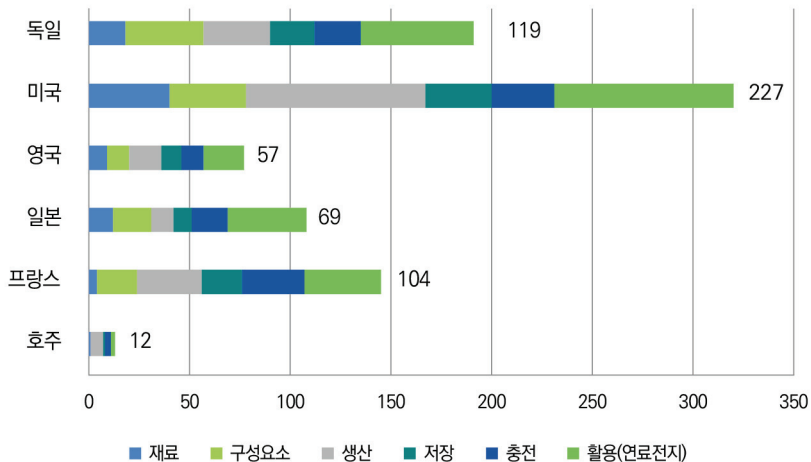
IV 요약 및 시사점

- 본 분석에서는 국내 탄소중립 달성을 위한 국내 수소기술 혁신 및 수소 사회 이행에 대한 정책적 활동을 지원하기 위한 목적으로 수소 공급분야의 중점기술별 이슈와 혁신 목표, 주요국 기술성능 등 기술현황을 종합적으로 검토함
 - (상용 수전해) 알칼라인 및 고분자전해질 수전해 등 상용 수전해 기술 성능은 일본, 독일, 프랑스 등이 선도하고 있는 것으로 확인되며, 양산 라인을 구축하고 있는 주요 선도국들과 달리 국내의 경우 실증 단계로서 단일 스택 규모 및 효율, 수명, 대용량 제조 관점에서 해외 선도국 대비 기술적 성숙도가 낮은 것으로 파악됨에 따라 향후 해외 수전해 기술과의 경쟁 가능한 기술개발 추진 필요
 - (차세대 수전해) 국내외를 포함하여 초기 단계에 있는 기술로서 고온 수전해의 경우 독일(Sun fire)의 수준이 다소 우위에 있는 것으로 판단되며 음이온교환막 수전해의 경우 독일 Enapter가 유일하게 상용 판매 시작 및 대량 제조 양산을 위한 공장을 구축 중으로, 향후 차세대 기술에 대한 기초·원천 연구 지원과 함께 기술 보유국과의 전략적인 국제협력에 대한 투자 지원을 고려할 필요가 있음
 - (국내 수소 저장·운송) 액체수소 총전소, 탱크트레일러, 저장탱크 등의 글로벌 기술 수준은 현재 기술 실증 및 사업화 단계로서 주로 독일의 Linde, 프랑스의 Air Liquide 등이 현재 최고 성능의 기술을 보유한 것으로 파악되며, 현재 국내에서도 액체 수소 관련 기술은 실증 수준에 있으나 모두 해외기술을 기반으로 실증이 추진되고 있는 한계가 있으므로 국내에서 민간 주도로 기술력 내재화를 위한 기술 도입형 국제협력 지원 방안을 검토할 필요가 있음
 - (해외 수소 저장·운송) 미국, 프랑스, 독일이 수소 액화 부분을 중심으로 세계에서 가장 앞선 기술 수준을 보유하고 있고, 일본은 호주와의 국제협력을 기반으로 액화수소 장거리 운송 실증 경험을 바탕으로 유일하게 기술사업화에 근접해 있는 것으로 파악되는데 반해, 국내의 경우 해외수소도입의 중요성이 강조 되는 것과 반대로 이와 관련한 실증 프로젝트는 미흡한 상황인 것으로 보이므로 향후 해외 청정수소 도입에 필요한 기술, 인프라를 중심으로 한 기술개발 및 국제협력 분야에 투자 강화를 추진해야할 것으로 보임
- 주요국은 탄소중립을 위한 우선순위 과제로서 수소 생태계 구축을 추진하고 구체적인 목표 및 실행방안을 제시하고 있으며, 정책 추진에 맞춰 각국의 관련 시장이 활성화되고 수소 산업 기반 경제로의 변화 양상이 보일 것으로 전망됨
 - 주요국들은 2017년 일본을 시작으로 국가수소전략을 수립·발표하며 수소 생산, 저장·운송, 활용 등 수소 공급 분야 전반에 대한 기술 및 시장 경쟁력 확보를 위해 R&D, 실증, 투자, 표준 및 인증, 국제협력 등 다양한 수단을 활용하여 수소 생태계 구축을 추진 중
 - 독일, 일본의 경우 자국의 그린수소 생산 확대, 수소 관련 자국 기업의 글로벌 시장 경쟁력 강화를 위한 지원과 더불어 전략적 국제협력을 위한 해외 수소 수입에 대한 구체적인 계획을 수소 전략에 명시하였고, 이에 따라 독일과 일본은 호주, 칠레 등과 같은 수소 생산 잠재력이 높은 국가들과의 수소 공급망 실증 프로젝트를 조속히 추진
 - 미국은 최우선 목표가 청정수소 생산비용 절감으로서 다양한 청정수소의 개발(재생에너지, 원자력, CCS 연계 기반 수소 생산)을 고려하여 비용절감과 더불어 대규모 생산에 대한 구체적인 목표를 제시하고 있음
 - 호주의 경우 다른 주요국들과는 차별적으로 대규모 수소 생산 및 해외 수출을 통한 자국의 경제 성장을 핵심 목표로 삼고 이를 위한 수소 인증, 공급망 실증, 상업화 및 국제적 활동에 매진 중
 - 현재 수소 시장 및 산업 규모가 가장 큰 국가는 미국이며 독일, 프랑스, 영국, 일본 등이 수소 밸류체인별 편차가 없이 골고루 산업 기반이 잘 갖추어져 있는 것으로 파악됨

- 향후 주요국들의 수소 시장 규모는 점진적으로 확대될 것으로 예상되며 정부 정책 추진과 맞춰 국가 내 산업체 생태계 기반이 잘 갖추어져 있는 국가를 중심으로 향후 글로벌 수소 시장이 폭발적으로 성장해감과 동시에 해당 국가가 시장을 선도해나갈 것으로 전망되므로, 해외의 수소 전략의 핵심 목표, 추진방향과 이에 따른 산업 현황의 변화 양상을 지속적으로 모니터링 할 필요가 있음
- 「제1차 수소경제 이행 기본계획」에 따르면 국내의 경우 2030년부터 청정수소 도입이 본격화되어 2050년 국내 수소 수요가 연간 2,790만 톤 수준으로 대폭 확대될 전망이고, 이 중 80% 이상을 해외 수소 도입을 통해 충당할 예정으로서 현재 오만, 호주 등과 수소 수입을 위한 프로젝트를 진행 중임. 향후 독일, 일본, 호주 등이 주도하여 형성하고 있는 대규모 글로벌 수소 공급망 구축 시장에 보다 적극적으로 참여하고 국내외 수소 도입 시 단가 경쟁력을 확보하기 위한 기술개발 및 전략적 국제협력에 투자가 필요할 것으로 판단됨.

[표 4-1] 국가별 수소 관련 산업체 보유 현황

국가	독일	미국	영국	일본	프랑스	호주
수소 관련 산업체 수	119	227	57	69	104	12



[그림 4-1] 국가별 수소밸류체인별 수소 산업체 보유 현황 비교

[표 4-2] 주요국 수소생태계 구축을 위한 정부 정책 추진 현황 비교

항목	독일	미국	영국	일본	프랑스	호주
주요 정책	<ul style="list-style-type: none"> • 국가수소전략(2020, 2023) 	<ul style="list-style-type: none"> • 국가 청정수소 전략 및 로드맵(2023) 	<ul style="list-style-type: none"> • 영국 수소전략(2021) • 영국 에너지안보전략(2020) 	<ul style="list-style-type: none"> • 수소기본전략(2017, 2023) 	<ul style="list-style-type: none"> • 프랑스의 저탄소 수소 개발을 위한 국가전략(2020) 	<ul style="list-style-type: none"> • 호주 국가 수소 전략(2019)
핵심 목표	<ul style="list-style-type: none"> • 30년까지 수전해 10GW 확보 • 30년 예상 수소 수요량 (95~130TWh) 3분의 2를 해외수소 도입을 위한 국제협력 	<ul style="list-style-type: none"> • 2030년 청정수소생산 1,000만톤/년 • 청정수소 생산비용 1\$/kg 	<ul style="list-style-type: none"> • 2030년까지 저탄소수소 생산 능력 10GW(절반은 수전해), 2025년까지 수전해 1GW 구축 • 4, 5차 탄소예산 달성(CO₂ 감축) 	<ul style="list-style-type: none"> • 2030년까지 수전해 15GW • 2040년 수소 도입 1,200만톤 • 2030년 수소 가격 30엔/Nm3 	<ul style="list-style-type: none"> • 2030년까지 수전해 6.5GW • 2030년까지 CO₂ 6백만톤 저장 	<ul style="list-style-type: none"> • 2030년까지 글로벌 수소 수출국 지위 획득, 수소 기반 일자리 및 경제적 편익 창출 • 2023년 그린수소 2AU\$/kg
추진 방향	<ul style="list-style-type: none"> • 그린수소 생산 확대 및 독일과 유럽 내 공급망 구축 • 해외수소 도입을 위한 국제협력 	<ul style="list-style-type: none"> • 청정수소의 전략적 사용 (영향력이 큰 분야에 집중) • 청정수소 비용 절감 • 지역 네트워크 활용 집중 	<ul style="list-style-type: none"> • 수소생산비용 절감 • 기존 영국 수소 공급 탈탄소화 • 수소 활용 분야 다각화 	<ul style="list-style-type: none"> • 국내 수소 생산 제조 기반 구축 및 자국 기업 저변 확대 • 해외 공급망 조기 구축 	<ul style="list-style-type: none"> • 프랑스 수전해 부문 개발 및 산업 탈탄소화 • 저탄소 수소 이용 대형 모델러티 개발 및 수소 활용 확대 • 연구, 혁신 및 기술개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 기술적 불확실성 감소(수소 안전성, 원산지 인증) • 국내 공급망 및 생산역량 강화 (수소 실증, 허브구축 등) • 수소 상업화 가속화
주요 이행수단	<ul style="list-style-type: none"> • 국내 및 해외 수소 인프라 프로젝트 추진 및 네트워크 구축 • 수소 생산, 운송, 유통에 대한 표준 및 인증체계 구축 • 응용-실증, 시장성 확보 초점을 맞춘 연구 이니셔티브 추진 • 수소 응용 분야 투자촉진 및 재정지원, 관련 규정 등 검토 	<ul style="list-style-type: none"> • RD&D 추진 (인력양성, 정책개발, 기술 및 에너지전환 지원, 시장촉진제도, 이해관계자 참여-교류 포함) 	<ul style="list-style-type: none"> • 넷제로수소펀드 조성을 통한 CAPEX/DEVEEX 지원 • 저탄소 기준 확정(영국산 고급 수소 인증체계 구축, 수입수소 기준 확정) • 수소비즈니스모델(저장-운송) 설계, 민간 활동 리운드 운영 • CCUS 클러스터 구축, 운영 	<ul style="list-style-type: none"> • 대규모 공급망 구축 지원 제도 신설-신설 장비 • 지자체 협력 기반 실증모델 구축(R&D 추진) • 국제협력(국제표준 및 다자간포럼임워크) 	<ul style="list-style-type: none"> • 수소 공급 관련 규제, 세제 등 제도 마련(원산지 보증, 무탄소 수소 가치 투자 지원) • 수소생태계 실증 및 지역 허브 구축(산업 및 지자체 컨소시엄) • 혁신 R&D 촉진, 기술 훈련 조직, 캠퍼스 개발 예산 투입 	<ul style="list-style-type: none"> • 규제프레임워크 검토, 개정 • 전략적 국제활동 지원 • 청정수소 원산지 인증 • 기술 중진 및 교육훈련 • 지역사회 협력, 신뢰 획득
대표적 R&D 프로그램	<ul style="list-style-type: none"> • Clean Hydrogen Electrolysis Program(청정 수소 전기분해) • Clean Hydrogen Manufacturing & Recycling(청정 수소 제조&재활용) • H2Hub(Regional Clean Hydrogen Hubs Program, 지역 청정 수소 허브 프로그램) 	<ul style="list-style-type: none"> • H2Giga(대형 수전해) • H2Mare(해상수소생산) • TransHyDE(운송 및 인프라) • H2Atlas AfriKa(아프리카 그린수소 생산 및 수입 검증) • HySupply(호주 공급망 구축) 	<ul style="list-style-type: none"> • Low Carbon Hydrogen Supply 2 competition(저탄소 수소 공급) • Hydrogen BECCS Innovation Programme(수소 BECCS 혁신) • Industrial Hydrogen Accelerator Programme(산업용 수소 액셀러레이터) 	<ul style="list-style-type: none"> • 수소사회 구축 기술개발 사업 (국내 연구클러스터, 해외 수소 도입, 지역 연계 수소 생산 등) • 그린혁신기금사업(국제 대규모 수소 공급망 구축, 수전해 대형화 등) 	<ul style="list-style-type: none"> • 지역 수소 생태계 프로젝트 • 수소 기술 베틀 및 시연 • 특정 지역에 수소를 배치하기 위한 기획 및 타당성 조사 • PEPR-H2(우선연구프로그램 및 장비-탈탄소화수소) 	<ul style="list-style-type: none"> • Hydrogen Headstart(수전해 수소생산) • Regional Hydrogen Hubs Program(수소 허브 개발) ※ 연방 정부 주도 • 수소특화지원프로그램 31개 중 펀딩 규모 1,2위에 해당
정부 지원 주요 거버넌스	<ul style="list-style-type: none"> • (정부) DOE(EERE, EERE-HFTO, OECD 등) • (정부) BMWK, BMD, BMBF 	<ul style="list-style-type: none"> • (정부) DESNZ • (편당) UKRI(Innovate UK, EPSRC) 	<ul style="list-style-type: none"> • (정부) 경제산업성, 환경성 • (편당) NEDO 	<ul style="list-style-type: none"> • (정부) 경제재정부, 생태전환부, 고등교육연구부 • (편당) ANR, ADEME 	<ul style="list-style-type: none"> • (정부) 경제재정부, 환경수자원부(DCCEEW) • (편당) CEFC, ARENA, ARC 	



[참고문헌]

수소공급 분야 탄소중립 기술혁신 전략로드맵(안), 2022, 관계부처 합동
 임무지향적 탄소중립 기술혁신 전략로드맵 수립 연구, 2023, 과학기술기획평가원
 탄소중립 녹색성장 기술 혁신 전략, 2022, 관계부처 합동
 수소기술 미래전략, 2022, 관계부처 합동
 The National Hydrogen Strategy, BMWI
 Nationales Innovationsprogramm: Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie, NOW GmbH
 U.S. National Clean Hydrogen Strategy and Roadmap, U.S. Department of Energy
 UK Hydrogen Strategy, HM Government
 Net Zero Innovation Portfolio and the Advanced Nuclear Fund Progress Report 2021-2022, DESNZ
 Hydrogen investment roadmap: Leading the way to net zero, UK GOV
 水素基本戦略(案), METI
 水素基本戦略の改定(案)について, METI
 水素・燃料電池戦略ロードマップ, METI
 2023年度実施方針, NEDO
 NEDOのご案内, 2023.4, NEDO
 戦略的創造研究推進事業 先端的カーボンニュートラル技術開発(ALCA-Next)「蓄エネルギー」領域 募集説明, JST
 Stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné en France., France GOV
 AUSTRALIA'S NATIONAL HYDROGEN STRATEGY, AU GOV
 State of Hydrogen 2022, DCCEEW gov.au
 Hydrogen RD&D Collaboration Opportunities, CSIRO
 KIAT 산업기술정책브리프 영국에너지안보전략, 2022, KIAT
 KIAT 산업기술정책브리프 EU·독일·호주 수소전략의 주요 내용 및 시사점, 2022, KIAT
 KOTRA Global Market Report 호주 수소경제 동향 및 우리기업 협력 방향, 2021, KOTRA
 탄소중립 대응 주요국 R&D 동향조사 및 분석, KISTEP
 수소산업 경쟁력 강화를 위한 정책연구, 2023, 한국무역협회

<https://www.bmwk.de/>
<https://www.wasserstoff-leitprojekte.de/>
<https://www.now-gmbh.de/>
<https://www.energy.gov/>
<https://www.gov.uk/>
<https://www.ukri.org/>
<https://www.iea.org/>
<https://www.nedo.go.jp/>
<https://www.jst.go.jp/>
<https://www.env.go.jp/>
<https://www.ecologie.gouv.fr/>
<https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/>
<https://anr.fr/>
<https://ademe.fr/>
<https://agirpourlatransition.ademe.fr/>
<https://expertises.ademe.fr/>
<https://www.pepr-hydrogene.fr/>
<https://www.csiro.au/>
<https://www.dceew.gov.au/>
<https://arena.gov.au/>
<https://www.cefc.com.au/>
<https://www.industry.gov.au/>
<https://research.csiro.au/>