

# STI Brief

수소저장운송

**Top** Premier international  
**ier** research Consortium



## I 서론 1

- 1. 배경 및 필요성 ..... 1
- 2. 기술의 정의 및 범위 ..... 4

## II 해외 동향 7

- 1. 정책 동향 ..... 7
- 2. 시장·산업 동향 ..... 16
- 3. 기술개발 동향 ..... 22
- 4. 국제협력 동향 ..... 28

## III 국내 동향 32

- 1. 정책 동향 ..... 32
- 2. 시장·산업 동향 ..... 37
- 3. 기술개발 동향 ..... 41
- 4. 국제협력 동향 ..... 45

## IV 결론 48

- 1. 시사점 ..... 48

## 참고문헌 52



# I 서론

## 1. 배경 및 필요성

### ❖ (배경) 탄소중립 실현의 핵심 전략으로 수소경제가 부상하며, 주요국의 청정수소 생산·유통·교역 체계 구축으로 글로벌 에너지 전환 가속화

- (탄소중립 이행 확산) 2050년 탄소중립 목표 달성을 위해 각국이 화석연료를 대체할 청정 에너지 체제로 전환하며 수소경제 구축을 전략적으로 추진 중
  - 파리협정에서 온실가스 감축 및 2050년 탄소중립 달성 국제 공조 기반 형성
  - EU 'Fit for 55' 패키지와 'CBAM(탄소국경조정제도)' 도입을 통해 탄소 감축 공론화 및 청정 에너지 전환 정책 가속화
  - 제26차 유엔기후변화협약 당사국총회(COP26)를 기점으로 120여 개국 탄소중립 목표 공식 선언 및 핵심 전환 에너지원으로 수소 채택
- (수소기술 투자) 2030년까지 필요한 수소 관련 투자 규모는 총 6,800억 달러로 추산, 기존 LNG 시장(연 4,000억 달러) 수준의 거대 시장 형성 전망
  - 수소위원회(Hydrogen Council)에 따르면, 글로벌 수소 프로젝트 수는 2020년 228개에서 2024년 5월 기준 1,572개로 증가하며 약 7배 확대<sup>1)</sup>
- (주요국 수소 공급 확대) 선진국 중심 대규모 수소 도입 목표 및 관련 정책 추진
  - (EU) 'REPowerEU 계획'을 통해 2030년까지 청정수소 2,000만 톤 확보 목표(국내 생산 1,000만 톤 + 해외수입 1,000만 톤)<sup>2)</sup>
  - (일본) 2030년 300만 톤, 2050년 2,000만 톤 공급 목표 및 15조 엔 규모의 공공·민간 투자 계획 수립<sup>3)</sup>
  - (중동 지역) 청정수소 생산 용량을 2배 이상 확대(80 GW 이상)하고, 2030년까지 주요 수출국으로 부상 전략 추진<sup>4)</sup>

1) 수소위원회, "Hydrogen Insights 2024", 2024.5

2) 유럽연합 집행위원회, "REPowerEU Plan", 2022.5

3) 일본 경제산업성, "수소 기본전략 개정판", 2023.6

4) 중동 수소 협의체, "Middle East Hydrogen Strategy", 2024.3



- (글로벌 수소 교역 확산) 수소가 기존 산업용 가스에서 글로벌 에너지 교역 상품으로 전환되며 새로운 에너지 지정학적 구도 형성
  - 국제에너지기구(IEA)는 2050년 탄소중립 시나리오에서 수소 및 수소 기반 연료의 20% 이상이 국제적으로 거래될 것으로 전망<sup>5)</sup>
  - 현재 대부분 생산지 인근에서 소비되는 연간 9,500만 톤 규모의 수소가 향후 대륙 간 대규모 교역으로 확대되며, 석유·LNG 중심의 기존 교역 구조가 재편되고 새로운 공급국-소비국 관계가 형성되는 추세



출처 : Hydrogen Portal

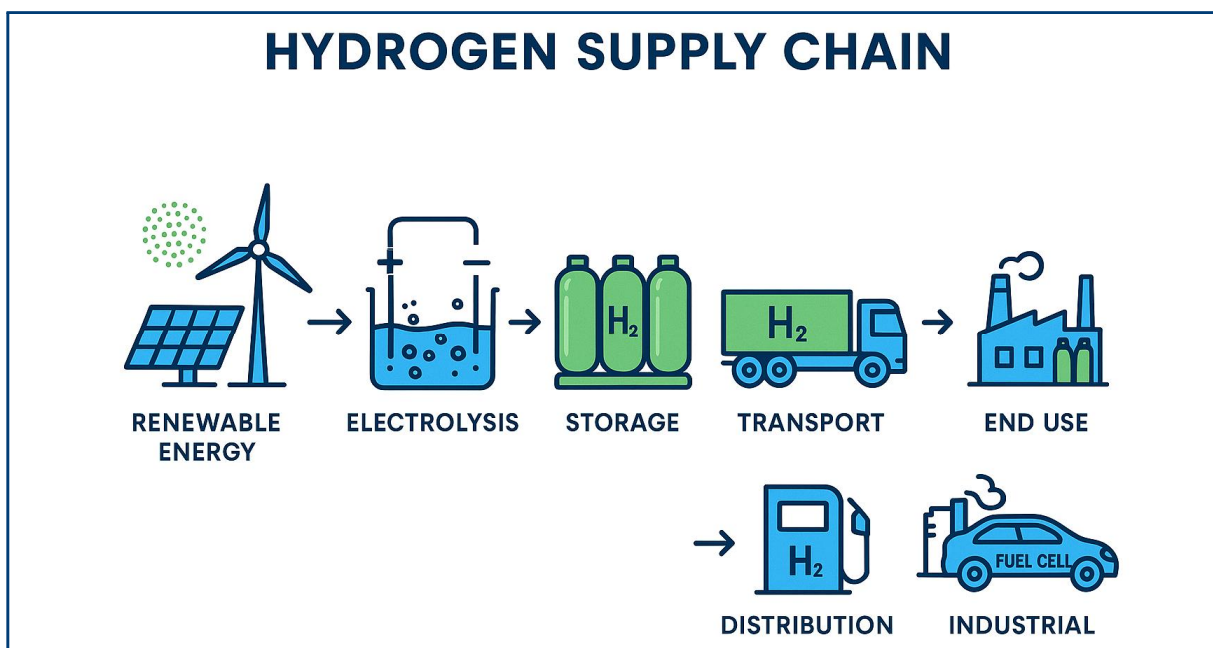
### | 글로벌 수소 경제 정책 동향 |

## ❖ (필요성) 수소경제 확산을 뒷받침할 핵심 요소인 저장·운송 기술의 한계가 산업 확장과 글로벌 공급망 구축의 주요 제약으로 작용

- (물리·화학적 제약) 수소의 높은 에너지 잠재력 대비 저장·운송 측면에서 근본적 한계 존재\*
  - \* 중량 대비 에너지밀도(120 MJ/kg)는 높으나, 부피 대비 에너지밀도(8 MJ/L)는 가솔린(32 MJ/L)의 1/4 수준
  - \* 상온·상압에서 기체 상태로 존재해 동일 에너지를 저장하기 위해 가솔린 대비 약 3,000배의 부피 필요
  - \* 분자 크기(0.289 nm)가 작아 철강 소재를 침투, 재료 취성화를 유발하는 수소 침투성 문제 발생

5) 국제에너지기구(IEA), "Global Hydrogen Review 2024", 2024.9

- (저장·운송 기술 한계) 기존 물리적 저장 방식의 높은 에너지 손실 및 비용 부담 수반
  - 압축수소(700 bar) : 압축 과정에서 에너지의 10~15% 소모, 고압 안전성 및 용기 중량 문제 존재<sup>6)</sup>
  - 액화수소(-253 ℃): 냉각 과정에서 25~40% 에너지 소모, 증발손실(일일 0.1~3%)로 장기 저장 시 손실 누적<sup>7)</sup>
  - 저장비용: 고압저장 0.16 \$/kg(일일), 액화수소 0.055~0.091 \$/kg(주간, 액화비용 1.2 \$/kg 별도), 염동굴저장 0.15 \$/kg(15일) → 1.2 \$/kg(120일)로 기간 증가에 따라 급등<sup>8)</sup>
- (대용량·장거리 운송 기술 개발 필요) 미래 수소사회 구현을 위해 대규모·초장거리 운송이 가능한 혁신 기술 확보가 시급
  - 2050년까지 글로벌 수소 교역량은 약 4억 톤에 달하며 이 중 2억 3천만 톤이 수소 유도체 형태로 운송될 전망<sup>9)</sup>
  - 소규모 지역 단위 중심의 공급망을 대륙 간 대규모 공급망으로 확장하기 위해 기존 저장·운송 기술의 한계를 극복할 혁신 솔루션 필요
  - 1만 km 이상의 초장거리 운송과 수백만 톤 규모의 대용량 처리가 가능한 경제적이고 안전한 기술 확보 요구



#### | 수소 공급망 |

6) 미국 재생에너지연구소(NREL), "Hydrogen Storage Cost Analysis", 2024.2

7) Air Liquide, "Liquid Hydrogen Technology Report", 2023.11

8) NREL, "Hydrogen Storage Economics and Technology", 2024.6

9) 미국 재생에너지연구소(NREL), "Hydrogen Storage Cost Analysis", 2024.2

## 2. 기술의 정의 및 범위

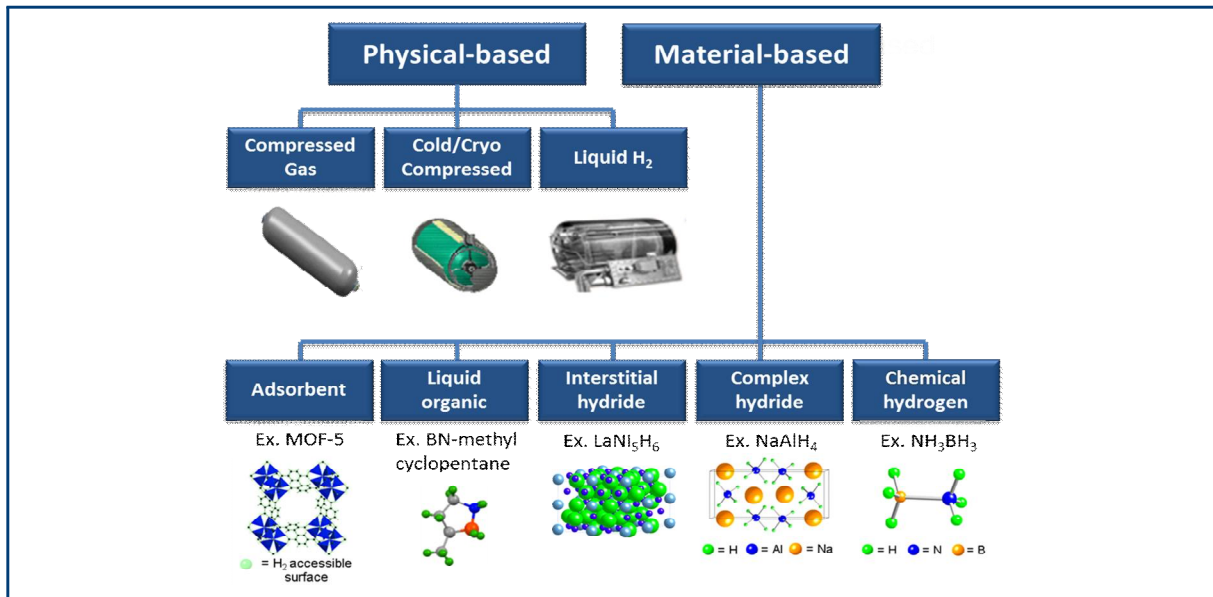
### 수소 저장·운반 기술 분류

- (물리적 저장 기술) 수소의 물리적 상태를 변화시켜 저장하는 방식으로 상업화 수준이 가장 높은 기술군
  - (압축수소 저장) 상온에서 200~700 bar의 고압으로 압축하여 기체 상태로 저장하는 방식으로 현재 TRL 9단계의 완전 상용화 기술
    - \* Type I(전강재), Type II(강재+섬유강화), Type III(알루미늄 라이너+탄소섬유), Type IV(플라스틱 라이너+탄소섬유) 등으로 세분화
    - \* 연료전지 자동차, 수소충전소, 산업용 소규모 공급 등에서 활용되며 단기 저장(일일 단위)에서 경제성 우수
  - (액화수소 저장) -253℃의 극저온으로 냉각해 액체 상태로 저장하는 방식으로 TRL 8~9 단계의 상용화 근접 기술
    - \* 압축수소 대비 3~4배 높은 체적 에너지밀도(약 8 MJ/L)를 제공해 대용량 저장 및 장거리 운송에 적합
    - \* 우주항공 분야 활용 경험을 바탕으로 상업적 활용이 확산 중이며 대륙 간 수소 교역의 핵심 기술로 부상
- (화학적 저장 기술) 수소의 화학적 결합을 통해 저장하는 방식으로 안전성과 저장밀도 측면 장점
  - (암모니아(NH<sub>3</sub>)) 수소와 질소의 화학적 결합으로 17.8 wt%의 높은 수소함량을 가지며 상온에서 8 bar 정도의 비교적 낮은 압력으로 액화 가능<sup>10)</sup>
    - \* 연간 1.8억 톤 규모로 생산·교역되는 기존 인프라 활용으로 초기 투자비 절감 효과 기대
    - \* 화력발전소의 석탄 혼소 또는 순수 암모니아 연소를 통한 무탄소 발전 연료로 주목
  - 메탄올(CH<sub>3</sub>OH) : 수소와 CO<sub>2</sub>의 결합으로 12.5 wt%의 수소함량을 보유하며 상온·상압에서 액체 상태 유지
    - \* 기존 연료 인프라와의 호환성이 높으나 탄소 순환을 위해 별도의 CO<sub>2</sub> 공급원 확보 필요
    - \* 선박 연료 및 연료전지용 연료로 활용 가능하며 기존 석유화학 인프라 연계 용이
- (차세대 저장 기술) 기존 기술의 한계를 극복하기 위해 연구·개발 중인 혁신형 기술군
  - (LOHC(Liquid Organic Hydrogen Carrier)) 불포화 유기화합물에 수소를 가역적으로 저장하는 방식으로 약 6 wt%의 수소함량 보유
    - \* 톨루엔/메틸시클로헥산(MCH), 디벤질톨루엔(DBT), N-에틸카바졸 등이 대표 물질
    - \* 상온·상압에서 취급이 용이하고 기존 인프라 활용이 가능해 안전성, 경제성 우수
  - (금속수소화물) 금속과 수소의 화학적 결합으로 형성된 고체 화합물로, 1~7 wt%의 수소 함량과 40~150 MJ/L의 높은 체적 에너지밀도 제공<sup>11)</sup>
    - \* 상온·저압에서 작동 가능하며 수소 누출 위험이 낮아 도심·실내 설치 적합
    - \* 폐열을 활용한 수소 방출이 가능해 에너지 자립형 시스템 구현 유리

10) 국제 암모니아 협회, "Ammonia as Hydrogen Carrier", 2024.7

11) NREL, "Metal Hydride Storage Systems", 2024.5





출처 : <https://hydrogeneurope.eu/hydrogen-storage>

### | 수소 저장 기술 분류 |

#### ❖ 운송 방법별 경제성 및 적용 범위 분석

- (파이프라인 운송) 대용량 연속 운송에 가장 경제적인 방식으로 장거리 수소 공급망 핵심 인프라
  - (현황) 현재 전 세계적으로 약 5,000 km의 수소 파이프라인이 운영 중이며, 대부분 정유·석유화학 공업 지역 집중<sup>12)</sup>
  - (비용) 신규 수소 전용 파이프라인의 건설비는 직경과 압력에 따라 km당 0.5~2.0백만 달러 수준이며 기존 천연가스 파이프라인 개조비는 10~50% 수준으로 절감 가능<sup>13)</sup>
  - (경제성) JRC(Joint Research Centre) 분석에 따르면 3,000 km 이하 구간에서는 파이프라인 기반 압축수소 운송이 가장 경제적이며 그 이상은 해상운송이 유리<sup>14)</sup>
  - (활용전략) 유럽 수소백본(European Hydrogen Backbone) 계획은 기존 천연가스 인프라의 60%를 개조 활용해 건설비를 대폭 절감할 수 있는 잠재력 제시
- (해상 운송) 대륙 간 장거리 수소 교역의 핵심 수단으로 운반체별 기술 경쟁 본격화
  - (액화수소 운반선) 일본 가와사키중공업의 'Suiso Frontier'가 세계 최초로 호주-일본 간 상업적 운송을 실증한 이후 급속 발전
    - \* 1,250 m<sup>3</sup>급에서 16만 m<sup>3</sup>급 대형선으로 확장 중이며, 1회 최대 9,000톤 운송 가능
    - \* 기체수소 대비 10배 이상의 운송 효율을 제공하나 액화비용 및 극저온 유지비용이 높은 단점

12) 가스 인프라 유럽(GIE), "European Gas Infrastructure", 2024.6

13) 유럽 수소백본 이니셔티브, "Hydrogen Infrastructure Report", 2024.10

14) JRC 유럽연합 공동연구센터, "Hydrogen Transport Economics", 2024.2

- (암모니아 운반선) 이미 120여 척이 운항 중인 성숙 시장으로 연간 1,800만 톤 운송 규모 형성
  - \* Oxford Energy Institute 분석에 따르면 10,000 km 이상 장거리에서는 암모니아, 5,000 km 이하 중거리에서는 액화수소가 경제적
  - \* 기존 인프라 활용으로 초기 투자비 절감이 가능하나, 수소 회수를 위한 크래킹 비용 추가 발생
- (육상 운송) 단거리 및 최종 수요처 공급에 주로 활용되며 파이프라인 대비 높은 비용 구조
  - (압축수소 튜브 트레일러) 가장 보편적인 방법으로 200~500 bar로 압축된 수소를 운송하며 100 km 기준 비용은 파이프라인 대비 2~5배 수준<sup>15)</sup>
  - (액화수소 트럭) 운송 효율은 높으나 극저온 유지를 위한 특수 장비가 필요해 초기 투자비와 운영비가 높음
  - 주로 수소충전소, 산업단지, 도서·오지 등 소규모 또는 특수 목적 수요처에 활용

| 해상 운송을 통한 수소 저장/운송 수단별 비용분석 |

항목			암모니아	LH2	LOHC
저장밀도 (Kg H2/m <sup>3</sup> of Carrier)			121.2	70.8	55.2
에너지 소요량 (MWh/ton H <sub>2</sub> )			17.0	12.6	15.5
기술 성 숙 도	Conversion		5.8	12.0	0.5
	Reconversion		11.20	0.6	15.0
	Conversion	Small	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>
		Large	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>
	저장		<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>
	운송	트럭	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>
		선박	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>
	Reconversion		<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>
특 징	장점		• 높은 저장 용량 • 밸류체인 기 확보 (크래킹 제외)	• 재전환 필요 없음 • 고순도 수소	• 용이한 운송 및 저장 • 기존 인프라 사용
	단점		• 추가 정제 공정 필요 • 크래킹에 높은 에너지 필요	• BOG 발생, 액화 시 에너지 높음 • 저장·운송 어려움	• 물질 재순환에 따른 영향 • 탈수소화에 높은 에너지 필요
	안전		• 급성 독성, 인화성, 폭발성 등 • 수생태계 독성	• 공기와 혼합 시, 폭발성	• 저독성, 비폭발성(DBT) • 수생태계에 유해

■ ■ ■ Proven & commercial / ■ ■ □ Prototype demonstrated / ■ □ □ Technology validated or under development

출처 : Roland Berger 2021년 보고서 재가공

15) 독일 수소 운송 협회, "Hydrogen Transport Cost Analysis", 2024.4

## II

## 해외 동향

## 1. 정책 동향

❖ 각국은 탄소중립 달성을 위한 핵심 수단으로 수소를 전략적 산업으로 육성하며 재생 에너지 기반 생산과 글로벌 인프라·공급망 구축 연계 추진

## | 주요국 수소 기반 탄소중립 실현 전략 |

국가	정책	주요 내용
 유럽연합	REPowerEU	<ul style="list-style-type: none"> <li>러시아 에너지 의존 탈피, 수소 활용을 통한 탄소중립 달성</li> <li>- '30년까지 청정수소 2,000만 톤 확보, 40GW 전해조 구축</li> <li>- EHB 기반 수소 파이프라인 네트워크 확장 및 PCI 지원 체계 운영</li> </ul>
 독일	국가 수소전략, H2Global	<ul style="list-style-type: none"> <li>국내 재생에너지 한계 보완을 위해 수입 중심의 수소공급 전략 채택</li> <li>- '30년 수소수요의 최대 90%를 수입으로 충당</li> <li>- H2 Core Network 구축 및 국제 경매 기반 조달체계(H2Global) 마련</li> </ul>
 일본	수소 기본전략	<ul style="list-style-type: none"> <li>정부·민간 대규모 공동 투자로 전주기 수소 공급망 구축</li> <li>- '30년 300만 톤, '50년 2,000만 톤 목표</li> <li>- 연료전지·액화수소·LOHC 등 원천기술 선도 및 산업·발전·모빌리티 부문 활용 확대</li> </ul>
 미국	수소허브 전략	<ul style="list-style-type: none"> <li>지역별 자원 기반 7개 청정수소 허브 구축(70억 달러 규모)</li> <li>- 세액공제와 보조금을 결합하여 민간 투자 촉진</li> <li>- 재생에너지·원자력·CCS 등 수소 생산 및 탄소 감축 기술 지원</li> </ul>
 사우디아라비아	NEOM 그린수소 프로젝트	<ul style="list-style-type: none"> <li>세계 최대 규모의 그린수소·암모니아 생산 허브 구축</li> <li>- 4G W 전해조 기반 하루 600톤 수소 생산. '30년까지 연간 400만 톤 목표</li> <li>- 아시아·유럽 장기 수출계약 추진</li> </ul>
 아랍에미리트	아부다비 수소동맹 (ADHA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>ADNOC·마스다르·ADQ 협력 통한 블루·그린 수소 생산</li> <li>두바이 중심의 글로벌 허브화 추진으로 물류·금융·기술 연계 강화</li> </ul>
 오만	국가 수소전략, 수출 허브 프로젝트	<ul style="list-style-type: none"> <li>Duqm, Dhofar, Sohar 중심의 수소 생산·수출 인프라 구축</li> <li>- 34.8 GW 재생에너지 연계 '50년 850만 톤/연 생산 목표,</li> <li>- 남북 1,000 km 파이프라인으로 생산지-수출항 연결</li> </ul>

## 유럽연합 - 통합 수소전략·인프라 구축

- (정책방향) REPowerEU를 통한 러시아 에너지 의존 탈피 및 탄소중립 달성을 위해 수소를 핵심 수단으로 활용하는 포괄적 정책 추진
  - 신재생에너지 비중 목표 상향 및 투자, 인프라 구축 가속화
  - 2030년까지 총 2,000만 톤(역내 1,000만 톤, 해외 1,000만 톤) 청정수소 확보<sup>16)</sup>
  - 총 40 GW 전해조 구축 계획(현 전 세계 제조능력(17 GW)의 2배 규모)
  - 재생에너지 지침(RED III)에 따라 운송 부문 RFNBO 비중 1% 의무화(연 250만 톤 수요 창출)<sup>17)</sup>

### | REPowerEU : 신재생에너지 투자 확대(Accelerating the roll out of renewables) |

분야	세부 내용
신재생 에너지 확대	신재생에너지 보급 목표 상향
	• 2030년 유럽(EU) 에너지 소비에서 신재생에너지가 차지하는 비중 목표를 45%로 상향 * 2021년 'Fit for 55'에서 40% 목표 제시
	EU Solar Strategy
	• 2025년까지 EU 역내 태양광 발전 용량(Capacity) 2배 확대 • 2030년까지 600GW 설비용량 설치 목표
	태양광 루프탑 이니셔티브
	• Solar Rooftop Initiative: 신규 공공, 상업, 주거용 건물에 태양광 패널 설치 의무화 • 히트펌프 보급률 2배 확대 및 지역난방시설의 지역네트워크 탈탄소화 조치 시행
신재생 에너지 확대	신재생에너지 프로젝트 허가 절차 간소화
	• Renewable Energy Directive 개정을 통해 신재생에너지 사업을 최우선 공공 이익 활동으로 지정 • 회원국은 신재생에너지 프로젝트 간에 허가 절차가 적용되는 'go-to' 지역 지정
	수소 프로젝트 지원
신재생 에너지 확대	• 2030년까지 EU 역내 1천만 톤의 수소 생산 및 1천만 톤의 수소 수입 확보 • 수소 운송·활용 인프라 구축 및 관련 기술 발전 지원
	바이오메탄 액션 플랜
신재생 에너지 확대	• 2030년까지 바이오메탄 생산량을 35 bcm으로 확대하기 위한 Bio Methane Action Plan 제안 • 바이오메탄 산업 파트너십 및 금융 인센티브 지원

- (인프라 구축) European Hydrogen Backbone(EHB) 중심으로 수소 파이프라인 네트워크 구축을 통한 에너지 안보 및 시장 통합 추진
  - 2030년 11,600km, 2040년 40,000km 규모로 단계적 확장<sup>18)</sup>
  - 전체 네트워크의 약 60%는 기존 천연가스 파이프라인 개조, 나머지 40%는 신규 건설(총 건설비 800~1,400억 유로 추산)
  - 동등한 용량의 전력망 구축 비용의 1/10 수준으로 높은 경제적 효율성 확보 가능
  - 북아프리카·중동 수입과 북해 해상풍력 기반 역내 생산 수소의 효율적 분배가 가능한 통합 네트워크 구축 예정

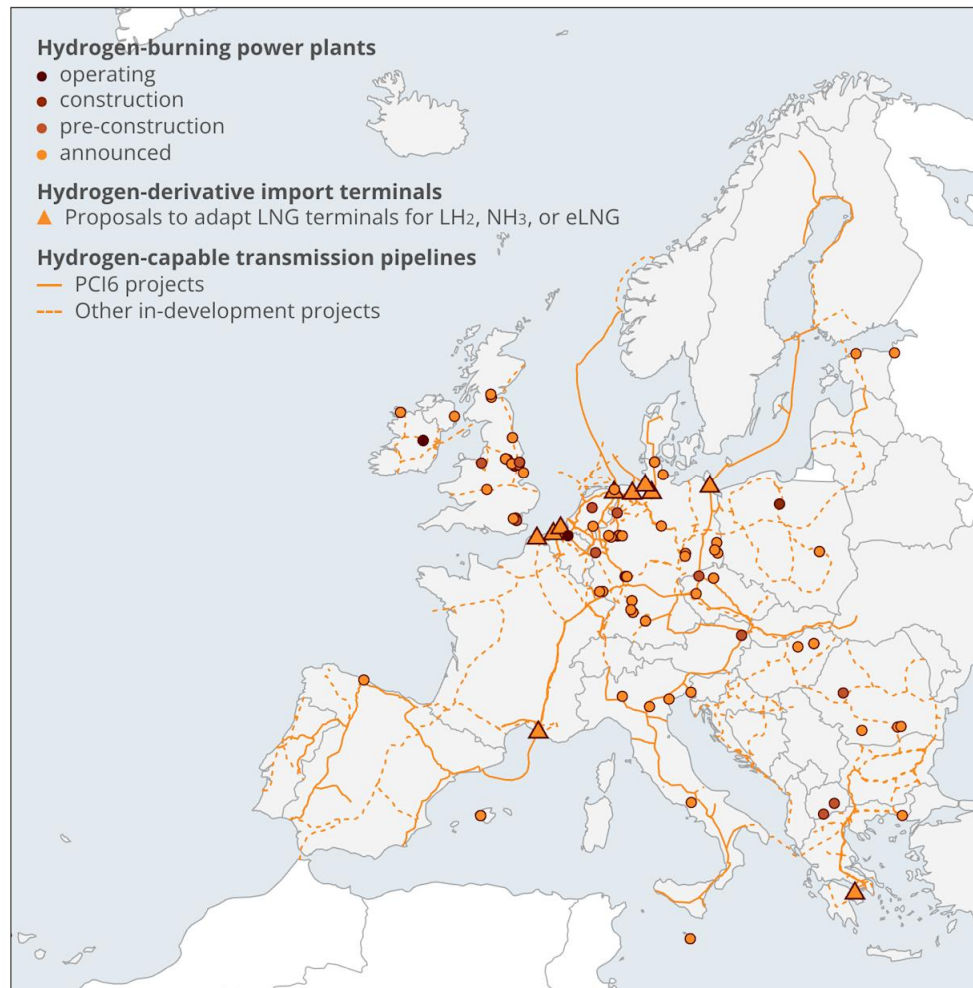
16) 유럽연합 집행위원회, "REPowerEU : Joint European Action for more affordable, secure and sustainable energy", 2022.5.18

17) 유럽연합, "Renewable Energy Directive (EU) 2023/2413", 2023.10.18

18) European Hydrogen Backbone, "A European hydrogen infrastructure vision covering 28 countries", 2024.4.15

## Europe's hydrogen buildout risks prolonging gas dependence

In-development infrastructure related to Europe's hydrogen buildout, including pipelines, import terminals, and power plants



Source: Europe Gas Tracker, January 2025 release, Global Energy Monitor



출처 : Global Energy Monitor

### | 유럽 Hydrogen Backbone(EHB) |

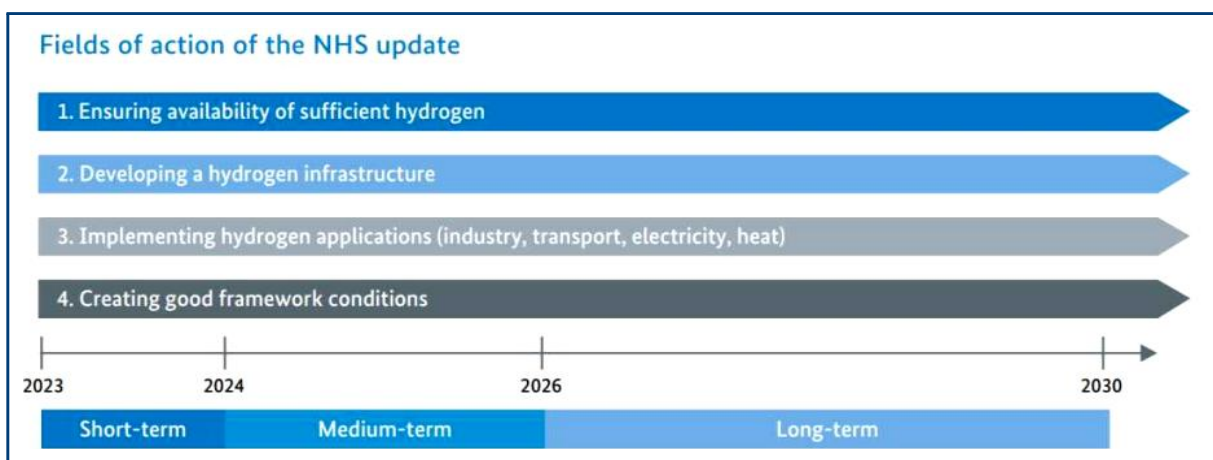
- (투자·지원체계) 공통이익프로젝트(PCI : Projects of Common Interest)를 통해 전략적 수소 인프라에 대한 재정·행정 지원 체계 마련
    - PCI 리스트에 총 22,394 km의 수소 파이프라인 프로젝트 포함
    - EU 재정 지원 및 승인 절차 간소화 혜택 부여<sup>19)</sup>
    - 기존 천연가스 인프라 재활용을 통한 건설 비용 절감 및 기간 단축
- \* 대표적 사례 : H2Med 파이프라인(구 Midi-Catalonia), SouthH2 파이프라인(GALSI 변경)

19) 유럽연합, "6th List of Projects of Common Interest", 2023.11.28



## 독일 - 수소 수입 전략 및 글로벌 파트너십

- (정책방향) 지속가능한 친환경 수소의 안정적 공급 및 국내 재생에너지 잠재력 한계를 고려해 수입 중심의 현실적 수소 공급 전략 채택
  - 2030년까지 수소 수요 95~130TWh(약 300~400만 톤) 중 45~90%를 수입으로 충당
  - 북해 해상풍력 전력으로는 연간 50~80TWh 수준의 수소만 생산 가능할 것으로 추정되어 상당한 공급 부족 예상<sup>20)</sup>
  - 수입을 통한 안정적 공급망 확보를 국가 전략 목표로 설정



출처 : BMWK(2023)

### | 국가 수소전략(독일) |

- (인프라 구축) H2 Core Network 구축을 통해 유럽 내 수소 인프라 허브 조성 추진
  - 2032년까지 9,040 km의 파이프라인을 완성, 총 190억 유로 투자<sup>21)</sup>
    - \* 북해 연안 수소 생산 거점, 북아프리카·중동의 수입 터미널, 루르 지역 등 주요 수요처 연결
  - 함부르크, 브레멘, 빌헬름스하펜 등 북해 연안 항만이 다양한 형태(액화수소, 암모니아, LOHC 등)의 수소 도입 거점 역할 수행 예정
  - 기존 천연가스관 개조를 통한 건설비 절감 및 조기 가동 실현
- (투자·지원체계) H2Global 이니셔티브를 통해 국제 수소 조달 및 시장조성 메커니즘 구축
  - 총 40억 유로 규모의 수입 지원기금 조성 및 남아프리카·칠레·호주 등과 장기 구매계약 체결
  - 경매 시스템 기반으로 경쟁력 있는 청정수소 공급업체를 선정하고 생산비와 시장가격 간 차액은 정부가 보전
  - 일본(JOGMEC)과 전략적 협력을 통해 공동 조달 규모 확대 및 구매력 강화, 리스크 분산 추진

20) 독일 연방경제기후보호부, "National Hydrogen Import Strategy", 2024.7.26

21) 독일 연방네트워크청, "Hydrogen Core Network Development Plan", 2024.8.15

## | 국가 수소전략 중점 추진 영역 및 주요 내용 |

추진 분야	주요 내용
수소 가용성 확보	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (생산 확대) '30년까지 녹색수소 생산 역량 강화를 통한 수전해 설비 용량 확대 추진(5 GW → 최소 10 GW) 및 국내 생산 기반 확충</li> <li>• (수입) 자국 내 생산 한계를 보완하기 위해 해외 청정수소 수입 다변화</li> <li>* 2030년 수요(95~130 TWh) 중 약 50~70%를 해외 조달로 충당 계획</li> </ul>
고성능 수소 인프라 구축	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (국가 수소인프라) 유럽공동이해관계프로젝트(IPCEI)와 연계하여 독일 내 주요 수소 네트워크 개발 추진</li> <li>• (유럽 연계망 구축) European Hydrogen Backbone 기반 EU 회원국 간 신규 네트워크 연계</li> <li>* 독일 내 1,800 km('27), 유럽 전역에서 약 4,500 km('28)의 수소 배관망 신설·개조</li> </ul>
수소 활용 분야 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (산업) 기후중립 전환을 위한 수소 생산·활용 기술 지원, 혁신 설비 투자 및 탄소저감 공정 확산을 위한 재정적 지원 강화</li> <li>• (교통) 수소 및 전기 기반 연료(e-연료) 생산·활용 확대를 위한 연구개발·표준화 추진 및 교통 부문 탈탄소화 인프라 구축</li> <li>• (전력) 신규 가스 발전소를 수소 연료 기반 발전(H<sub>2</sub>-readiness)으로 전환</li> <li>• (난방) 소규모 난방 네트워크의 수소 활용 실증 및 경제성 검증 추진</li> </ul>
효과적 제도 수립	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (계획 수립 및 허가 절차) 수소 생산·운송·활용 인프라 구축 절차를 간소화 및 법적 근거 강화, 규제 장벽 제거</li> <li>• (표준·인증체계) 수소 제품 및 연료의 표준·인증체계 마련 및 국내외 상호인증 시스템을 통한 시장 접근성 제고</li> <li>• (연구·산업 연계) 연구기관과 산업계 간 연계 강화로 지속 가능한 수소 생태계 조성. 전문인력 양성 및 장기적 지원체계 구축</li> </ul>

출처 : BMWK, Fortschreibung der Nationalen Wasserstoffstrategie(2023.07.26.)

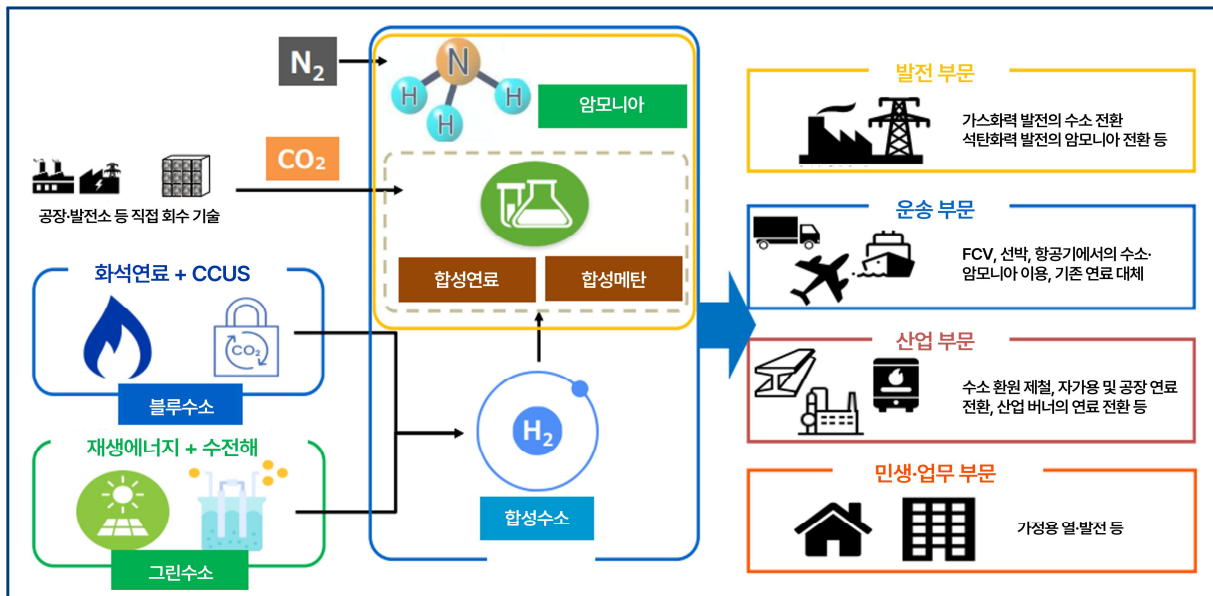
## ❖ 일본 - 수소사회 실현 전략 및 기술 선도

- (정책방향) 정부·민간 공동 대규모 투자 패키지 프로그램('23.6월 Basic Hydrogen Strategy (수소 기본전략) 명시)을 추진하여 수소경제 생태계 구축
  - (투자규모) 총 15조 엔(약 1,000억 달러) 규모의 중장기 투자 계획 발표<sup>22)</sup>
  - (투자방향) 생산·저장·운송·활용 전주기에 걸친 통합형 공급망 구축 전략 추진
  - (투자분야) 대규모 수소발전소 건설 5~6조 엔, 수소 인프라 3~4조 엔, 제조기술 2~3조 엔 등으로 배분
  - (공급목표) 2030년 300만 톤, 2050년 2,000만 톤(현 사용량 대비 10배 확대)
- (기술개발 및 실증) 수소 관련 핵심 기술 분야에서 세계적 특허 점유율 확보 및 대규모 실증 진행
  - (특허·원천기술) 수소 관련 핵심 분야에서 특허 우위 확보(연료전지, 액화수소, LOHC 중심)로 기술 리더십 강화<sup>23)</sup>
    - \* 전 세계 수소 관련 특허 약 24%를 차지. 특히 연료전지(40%), 액화수소 기술(35%), LOHC 기술(30%) 분야에서 높은 점유율 보유

22) 일본 경제산업성, "Basic Hydrogen Strategy (Revised Edition)", 2023.6.6

23) 일본 특허청, "Hydrogen Technology Patent Analysis Report", 2024.5.20

- (실증사례) 치요다 SPERA 수소 시스템, 가와사키의 액화수소 운반선, AHEAD LOHC 프로젝트 등이 대표적인 원천기술 및 실증사례로 평가
  - \* 호주-일본 액화수소 공급망 실증(HySTRA, '22년), 브루나이-일본 LOHC 공급망 실증(AHEAD, '20년)은 대용량 수소 해상운송의 기술적 가능성을 세계 최초로 입증
- (핵심기술) 액화·저장·운송 일체형 솔루션과 수소 전소 가스터빈·암모니아 혼소 발전기술 상용화 추진
- (산학연 연계) 대기업 주도 컨소시엄과 대학·연구기관 협력으로 TRL 고도화 및 양산 체제 전환 가속화
- (활용 및 시장 확대) 발전·산업·모빌리티 전반에서 수소 활용을 확대하며 수요 기반과 시장 생태계 고도화 추진
  - (수소발전) 2030년까지 10 GW 수소발전 용량 확보를 목표로 전체 전력 공급에서 수소 비중 확대(10% 이상) 및 발전 부문 탄소중립 가속화 추진<sup>24)</sup>
  - (산업) 정유·석유화학·제철 등 탄소다배출 산업 공정의 수소 전환 추진
  - (모빌리티) 연료전지차·수소상용차·수소기차·충전소 등 보급 확대
  - (인프라 연계) LNG 발전소의 수소·암모니아 혼소·전소 전환을 통해 수소 공급망과 전력 인프라의 연계를 강화
  - (시장확대) 공공부문 및 지자체 공공시설을 중심으로 초기 수요를 형성하여 민간으로의 확대 기반 마련



출처 : 水素を取り巻く国内外情勢と水素政策の現状について/資料4 (経済産業省, 2024.9.6.)

### | 수소에너지 공급원 및 수요처 |

24) 일본 에너지전략연구소, "Hydrogen Power Generation Roadmap", 2024.3.12

미국 – 수소허브 전략 및 청정수소 지원 체계

- (정책방향) 지역별 자원과 산업 특성을 활용한 수소허브 구축으로 효율적 청정수소 생태계 조성
  - (허브구축) 총 70억 달러 규모의 연방 지원으로 7개 지역 특성에 맞는 차별화된 전략을 추진 및 수소 생태계 구축<sup>25)</sup>

| 청정수소허브의 지역별 차별화 전략 |

허브명	위치	핵심 내용 및 차별화 전략	수소 유형(기반 기술)
California Hydrogen Hub (ARCHES)	캘리포니아 주 전역	• 운송 부문 중심(중형·대형 트럭, 버스, 항만 장비), 재생에너지 기반 수소 생산 확대	그린수소 (태양광·풍력 전해조)
Gulf Coast Hydrogen Hub (HyVelocity)	텍사스 루이지애나	• 천연가스+CCS 기반 블루수소 생산, 정유·석유 화학 산업과 연계한 대규모 공급망 • 멕시코만 연안 중심 1,600마일(약 2,600 km) 이상의 수소 파이프라인 운영 기반으로 새로운 청정수소 생산시설 연계를 통한 시너지 효과 기대	블루수소 (천연가스+CCS)
Appalachian Hydrogen Hub (ARCH2)	웨스트버지니아 오하이오 펜실베이니아	• 천연가스 기반의 블루수소 생산 및 기존 파이프라인·저장 인프라 활용, 일자리 창출 중심	블루수소 (천연가스+CCS)
Midwest Hydrogen Hub (MachH2)	일리노이 인디애나 미시간	• 제철, 유리, 화학 등 산업 공정 탈탄소화 중심, 농업용 암모니아 생산 연계	그린/블루 혼합형 (재생+CCS)
Heartland Hydrogen Hub	미네소타 노스다코타 사우스다코타	• 비료·농업 중심의 수소 활용, 지역 에너지 자립형 허브 구축	그린수소 (풍력 중심)
Pacific Northwest Hydrogen Hub (PNWH2)	워싱턴 오리건 몬태나	• 항공 연료 및 항만 중심의 수소 활용 (지속가능항공연료(SAF) 개발 포함)	그린수소 (수력·풍력 기반)
Mid-Atlantic Hydrogen Hub (MACH2)	델라웨어 펜실베이니아 뉴저지	• 항만·운송 중심의 수요 창출과 기존 석유화학 인프라 전환	블루/그린 혼합형

출처 : U.S. Department of Energy, “Regional Clean Hydrogen Hubs (H2Hubs) Program,” 2023.10 발표 / Hydrogen Strategy & Roadmap, 2023.6

- (청정수소 기준) Well-to-Gate 기준 4 kg CO<sub>2</sub>e/kg H<sub>2</sub> 이하를 청정수소로 정의(한국·EU와 동일한 기준 적용)하여 국제 상호 인정 기반 마련
- (탈탄소 연계) 재생·원전·CCS 등 다양한 생산경로 활용으로 공급 안정성 및 경제성 확보
- (공공투자) 세액공제, 보조금 결합으로 민간 투자 레버리지 확대 및 시장 활성화

25) 미국 에너지부, “Regional Clean Hydrogen Hubs Program Update”, 2024.10.18

## 중동 - 수소 수출전략 및 에너지 전환

- (사우디아라비아) 석유 의존 탈피 및 수출형 수소경제 전환을 통한 신성장 동력 확보
  - (국가전략) NEOM 그린수소 프로젝트를 중심으로 세계 최대 규모의 그린수소, 암모니아 생산·수출 허브 구축<sup>26)</sup>
  - (생산능력) 4GW 전해조를 기반 하루 최대 600톤(연 22만 톤) 규모의 그린수소 생산, 연간 약 120만 톤의 그린 암모니아(수소 환산 약 21만 톤) 제조·수출
    - \* 동부 지역 대규모 태양광(25 GW) 및 풍력(9.5 GW) 단지와 연계한 수소 생산 클러스터를 조성하여 2030년까지 연간 400만 톤의 수소 생산 목표
  - (수출시장) 아시아·유럽 주요 수입국과 장기 공급계약 체결로 안정적 수출시장 확보
- (아랍에미리트) 블루·그린 수소 병행 전략으로 리스크 분산 및 글로벌 허브화 추진
  - (국가전략) 아부다비 수소동맹(ADHA)을 통한 ADNOC·마스다르·ADQ 3대 국영기업 협력으로 수소 사업의 시너지 효과 창출<sup>27)</sup>

### | UAE 주요 수소 관련 프로젝트 |

프로젝트명	주요내용	개발주체	규모 (단위 : 백만USD)	예상 완공시기
Green Ammonia Plant (1단계)	KEZAD 내 연간 4만 톤 규모의 그린 수소 플랜트 및 관련 시설 건설	Helios Industry	750	28년 12월
Ruwais Green Hydrogen Plant	루와이스 지역 암모니아 생산 플랜트, 150 MW 규모의 수소 플랜트와 관련 시설 건설	Masdar, Fertigllobe, Engie	5,000	26년 11월
Green Ammonia Plant	KEZAD 내 그린 수소 암모니아 플랜트 건설	AD Ports, TAQA	250	27년 1월
Ruwais Blue Ammonia Plant	연산 1000킬로톤 규모의 블루 암모니아 생산 플랜트 건설	Taziz, Fertigllobe, GS Energy, Mitsui	1,496	25년 12월
Low Carbon Blue Hydrogen Project	저탄소 블루수소 가공 및 저장시설 건설	ADNOC, BP, Masdar	1,000	27년 3월
Blue Hydrogen and MCH Plant (2단계)	연 15만t 규모 수소 생산 플랜트 및 저장, 운송시설 건설	ADNOC, ENEOS Corp, Mitsui & Co	1,500	28년 6월
MBR Green Hydrogen Project	두바이 MBR 솔라파크에 그린 수소 플랜트 건설	DEWA, Siemens	400	27년 12월

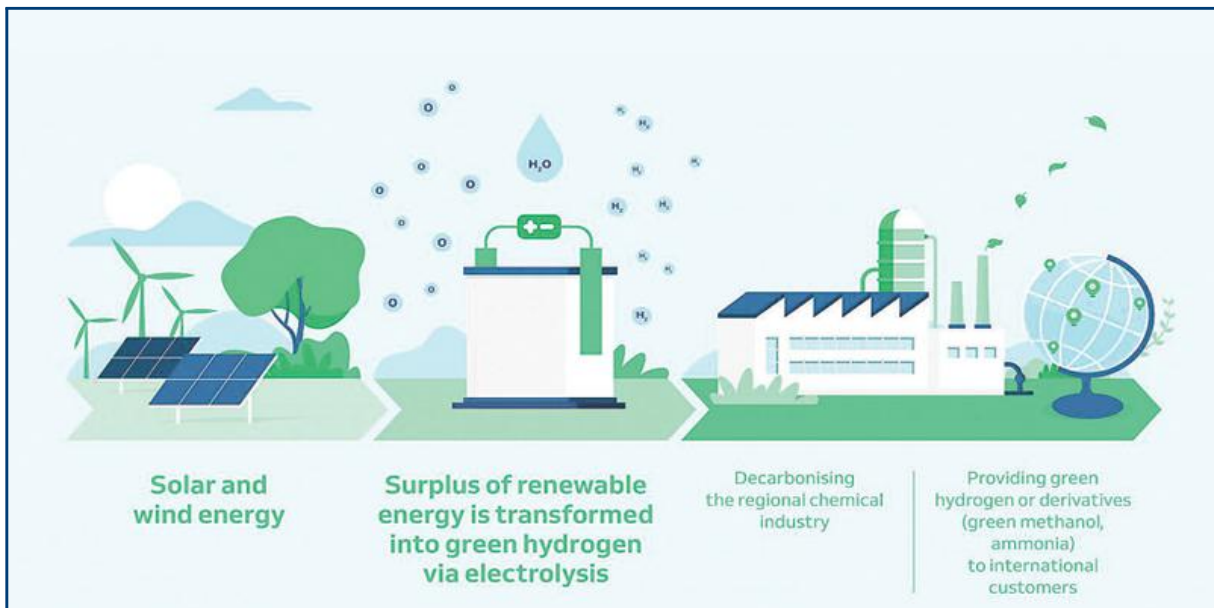
출처 : KOTRA 해외시장 뉴스(UAE, 국가 수소전략 통한 수소경제 전환 가속화, 23.08.09) / 자료: Meed Projects

26) 사우디 NEOM, "Green Hydrogen Project Implementation Report", 2024.6.8.

27) UAE 에너지부, "UAE Hydrogen Leadership Roadmap", 2024.2.28.



- (생산체계) 태양광 기반 그린수소, 천연가스+CCS 기반 블루수소 투트랙 생산체계 구축
- (허브화 전략) 두바이를 거점으로 물류·금융·기술 서비스를 통합한 수소 생태계 조성 계획 추진
- (오만) 국가 차원의 장거리 수송 인프라 구축과 교역 허브화 전략 추진
  - (국가전략) Duqm, Dhofar, Sohar 등 3대 에너지 허브, 대규모 재생에너지 단지와 국책 파이프라인을 통한 수소 수출 인프라 구축
    - \* 2050년까지 연간 850만 톤의 그린수소 생산, 34.8GW 재생에너지 집적, 약 1400억 달러 투자, GDP의 20% 이상을 수소산업에서 창출 목표
  - (인프라) 남북 1,000km 규모의 수소 파이프라인 구축으로 생산지-수출항 연계
  - (재생에너지 연계) 남부 도파르 지역 대규모 재생에너지 단지(14 GW 태양광 +풍력) 기반 대규모 그린수소 생산 및 북부 수하르(Sohar) 항구 운송·해외 수출<sup>28)</sup>
  - (경제효과) 2050년까지 연간 850만 톤 생산을 목표로 GDP의 20% 이상을 수소 산업에서 창출



출처 : Oman Observer(major 'green hydrogen' project planned in Oman, 2020.03.04.)

### | 재생에너지를 활용한 그린수소 생산·활용 프로세스 |

28) 오만 에너지수자원부, "National Hydrogen Strategy 2040", 2024.1.15

## 2. 시장·산업 동향

### 시장 규모 및 투자 동향

- (시장 규모 및 투자) 각국의 탄소중립 정책과 인프라 투자 확대로 수소 저장·운반 시장이 급격히 성장
  - (성장 배경) ① 글로벌 탈탄소화 정책, ② 수소경제 로드맵 실행, ③ 대규모 청정수소 프로젝트 본격화

구분	주요내용	대표 사례
탈탄소화 정책 강화	<ul style="list-style-type: none"> <li>탄소중립 이행 가속을 위한 법·제도적 기반 강화</li> <li>수소를 청정에너지 전환의 핵심 수단으로 지정</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>EU : Fit for 55, REPowerEU, CBAM 도입</li> <li>일본 : 수소 기본전략 개정('23년)</li> <li>중동 : Middle East Hydrogen Strategy</li> </ul>
수소경제 로드맵 실행	<ul style="list-style-type: none"> <li>생산-저장-운송-활용 전주기 인프라 및 제도 정비 (비전→실행 단계로 전환)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>EU : Hydrogen Strategy for a Climate- neutral Europe, EHB(2040년 40,000 km 수소 네트워크 구축 추진)</li> <li>일본 : SPERA·Suiso Frontier 실증, 수소 전주기 로드맵 실행</li> </ul>
대규모 청정수소 프로젝트 본격화	<ul style="list-style-type: none"> <li>국가 간 대형 인프라 프로젝트 및 해상운송 실증 확대</li> <li>산업 공정 연료 → 국제 교역 에너지원 전환</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>호주-일본 : HySTRA 액화수소 해상운송</li> <li>유럽: SouthH2 Corridor(알제리-이탈리아-독일 3,300 km), H2Med 해저관</li> <li>사우디 : NEOM 프로젝트</li> </ul>

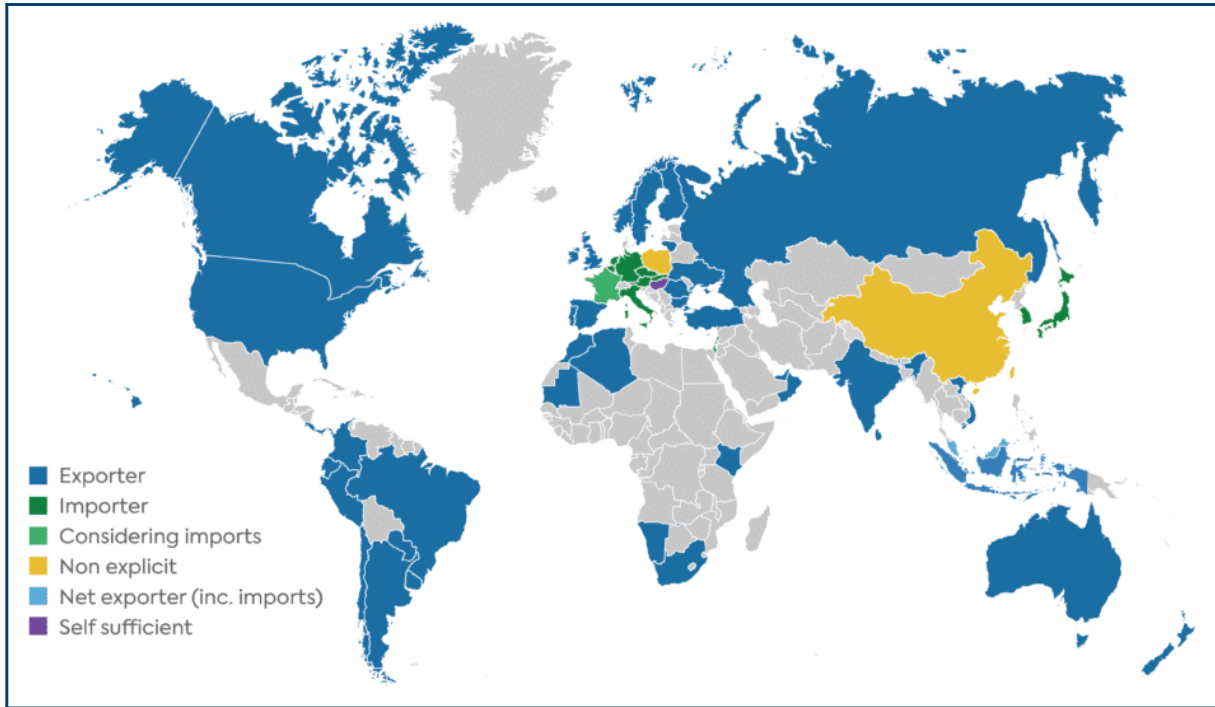
- (시장 규모) 글로벌 수소 저장·운반 시장이 각국의 탄소중립 정책과 인프라 투자 확대로 빠르게 성장<sup>29)30)</sup>
  - \* 2024년 125억 달러 → 2033년 357억 달러로 연평균 12.8% 성장 전망
- (투자 전망) IEA는 2050년까지 수소 인프라 및 운송 분야에 약 1.5조 달러 투자가 필요할 것으로 예측, 관련 산업의 신성장 시장 형성 전망
- (기술별 성장 추세) 수소 저장·운반 기술군별로 성숙도·경제성·적용 분야에 따라 성장률 전망 상이
  - (압축수소) 시장 비중은 가장 크지만 기술 성숙도가 높아 연평균 8~10% 수준의 완만한 성장 예상<sup>31)</sup>
  - (액화수소) 대용량·장거리 운송 수요 급증 및 대륙 간 교역 확대로 연 15~20% 고성장 전망

29) MarketsandMarkets, "Hydrogen Storage Tanks and Transportation Market Global Forecast to 2033", 2024.11.15

30) 국제에너지기구(IEA), "Global Hydrogen Review 2024: Towards a Clean Energy Future", 2024.9.26

31) Verified Market Reports, "Hydrogen Storage and Transportation Market Analysis by Technology", 2024.12.3

- (암모니아 기반 수소 운송) 기존 인프라 활용성과 안전성으로 연 20~25% 최고 성장률 예상
- (LOHC·MOF 등 차세대 기술군) 현재 시장 규모는 제한적이나 2030년대 이후 기술 성숙도 향상에 따른 본격적으로 상업화될 전망



출처 : Center for Global Energy Policy at Columbia/SIPA

#### | 글로벌 수소 전략 국가별 분류 지도 |

### ❖ 해상 운송 동향(수소 운반선)

- (액화수소 운반선 기술 발전) 일본이 주도하는 액화수소 해상운송 기술이 실증 단계를 넘어 상업화 단계로 진입
  - (현황) 세계 최초 액화수소 운반선 'Suiso Frontier'(1,250 m<sup>3</sup>)의 호주-일본 간 실증 경험을 바탕으로 16만 m<sup>3</sup>급 이상의 대형 액화수소 운반선 개발 진행
    - \* 2027년 상업 운항을 목표, 한 번에 9,000톤의 액화수소 운송 가능
    - \* 기존 LNG 운반선(17만 m<sup>3</sup>)과 유사한 크기로 규모의 경제 실현을 통해 운송비용을 현재의 1/10 수준까지 낮출 수 있을 것으로 기대
  - (시장 전망) IEA는 2050년까지 200척 이상의 액화수소 운반선 수요를 예측하여 조선업계 신성장 분야로 부상<sup>32)</sup>

32) 국제에너지기구(IEA), "The Future of Hydrogen Transport: Shipping Requirements to 2050", 2024.6.25



출처 : Kawasaki

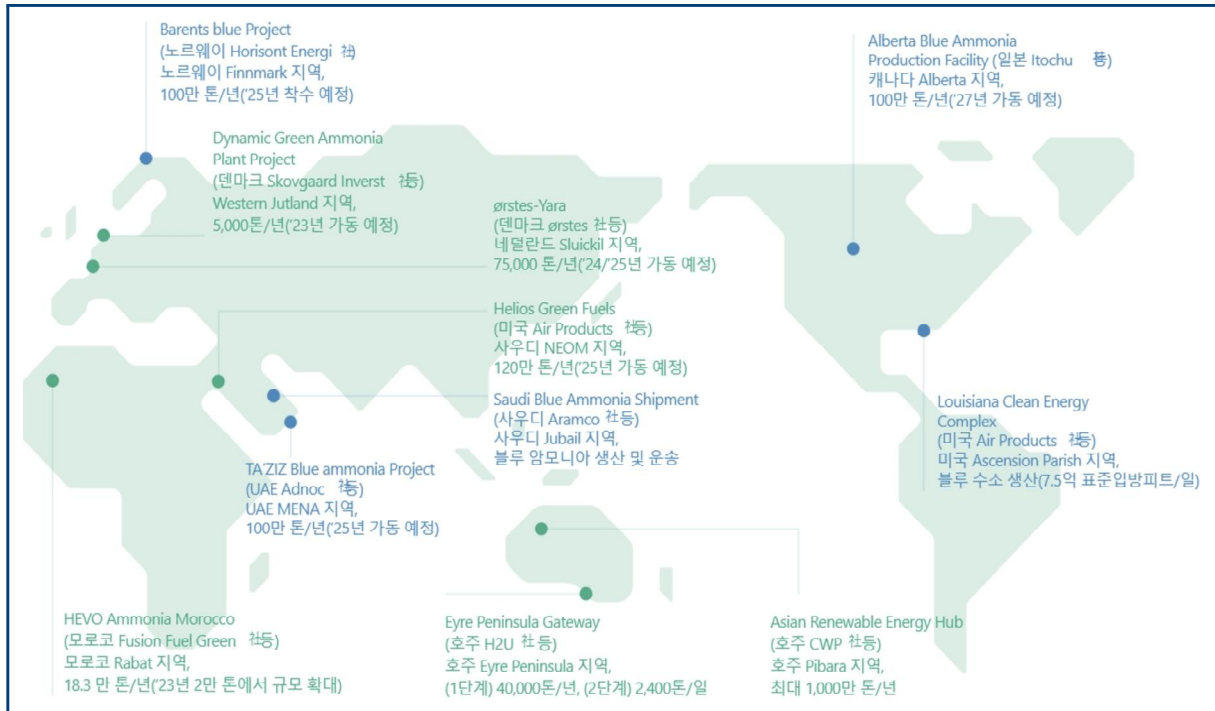
### | 日가와사키 중공업의 액화수소 운반선 Suiso Frontier |

- (국내 기술개발 및 진출전략) 조선기술·극저온 운송 경험을 기반으로 선진국 대비 기술격차 축소 및 시장 선점 추진
  - (현황) 현대중공업·대우조선해양·삼성중공업이 'K-수소 드림팀'을 구성, 20만 m<sup>3</sup>급 액화수소 운반선 공동 개발<sup>33)</sup>
    - \* 2025년 기본설계 완료, 2028년 실선 건조 목표 및 상업화 추진
  - (시장 전망) LNG 운반선 건조 경험을 활용해 극저온 저장·운송 기술 경쟁력 확보 및 국내 수소 수입 수요와 연계한 조선산업 고도화
- (암모니아 운반선 전환·활용) 기존 암모니아 해상운송 인프라를 수소 운반에 활용하는 방향으로 시장 전환 가속
  - (현황) 전 세계 약 120척의 암모니아 운반선이 운항 중이며, 연간 1,800만 톤 규모의 운송 인프라 보유
  - (전환 가능성) 기존 선박 개조 시 비용이 신조 대비 1/3 수준으로 경제성이 높아 초기 투자 부담 완화

33) 한국조선해양공업협회, "K-수소 드림팀 액화수소 운반선 개발 현황", 2024.11.8



- (시장 전망) 노르웨이 Equinor, 사우디 SABIC, 일본 미쓰이 등이 대규모 개조 및 신조 발주를 통해 글로벌 수소 해상운송 시장 진입 본격화



### | 암모니아 기반 수소저장 글로벌 대형 프로젝트 |

## ❖ 수소 파이프라인 인프라 동향

- (유럽) 대륙 전역에 걸친 50,165 km 수소 파이프라인 개발을 통해 통합 네트워크 구축의 글로벌 표준 모델 제시<sup>34)</sup>
  - \* 각국의 수소 전략과 지정학적 위치를 반영, 독일(9,154 km), 스페인(6,020 km), 불가리아(4,476 km) 순으로 파이프라인 계획
- SouthH2 Corridor : 알제리, 튀니지 등 북아프리카에서 생산된 수소를 이탈리아 시칠리아를 거쳐 독일 바바리아까지 연결하는 3,300km 규모의 파이프라인<sup>35)</sup>
  - \* 연간 163 TWh(약 500만 톤)의 수소 운송 능력으로 이 중 55 TWh는 독일로 공급 예정
  - \* 전체 구간의 2/3는 기존 천연가스 파이프라인을 개조하여 건설비 절감 및 공사 기간 단축 효과
- H2Med 프로젝트 : 스페인(바르셀로나)에서 프랑스(마르세유)까지 해저 파이프라인을 건설하여 연간 200만 톤의 그린수소 운송<sup>36)</sup>
  - \* 유럽 수소 소비 목표의 10%에 해당하는 물량으로 2030년 운영 개시 후 독일까지 연장 검토

34) European Hydrogen Backbone, "Five Pillars of the European Hydrogen Infrastructure", 2024.4.30

35) SouthH2 Corridor, "North Africa to Europe Hydrogen Pipeline Project Update", 2024.8.9

36) H2Med Project Office, "Barcelona-Marseille Hydrogen Pipeline Development", 2024.7.4



- (아시아) 지정학적 특성과 수소 수입 의존 구조로 인해 단계적·연계형 파이프라인 전략 추진
  - (중국) 대규모 재생에너지 단지와 화학공업단지를 직접 연계하는 내수 중심 구조로 '지역 클러스터형 공급망' 구축<sup>37)</sup>
    - \* 총 950 km 규모의 파이프라인(울란차브-베이징 400 km, 산둥성 연결망 300 km, 닝샤 자치구 순환망 250 km)을 구축 중
  - (일본-한국) 해상운송 중심 전략 채택으로 장거리 파이프라인보다는 국내 배관망 확충 및 수입 거점 중심의 분산형 네트워크 구축에 집중
    - \* 일본은 항만 중심 수소 허브(요코하마·고베), 한국은 산업단지 중심 수소 배관망(울산·평택) 확충 병행으로 아시아 역내 연계 기반 확대
  - (IMEC) 중동의 수소 생산과 인도·유럽의 수요를 연결하는 전략적 인프라 구축
    - \* IMEC(인도-중동-유럽 경제회랑) 내 그린 수소 수출 및 파이프라인 계획, EU·인도 간 수소 협력, 사우디 및 UAE가 직접 생산한 그린 수소의 유럽 수출에 대한 추진 검토

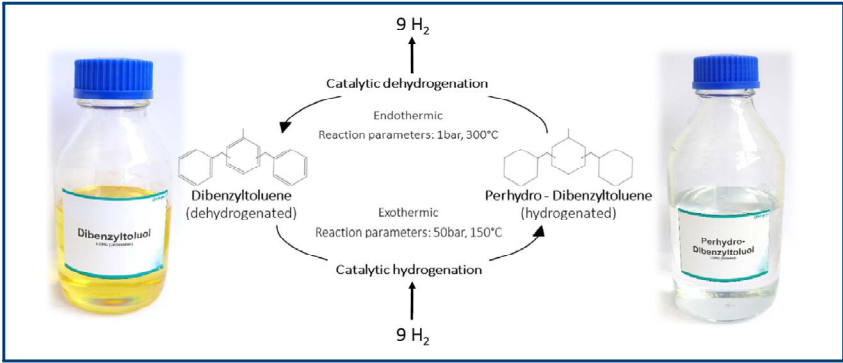
## ✦ 주요국 기업 동향(시장 진출, 기술 차별화)

- (일본) LOHC·액화수소 기술 전주기 선도
  - 치요다 코퍼레이션 : MCH 기반 SPERA LOHC 시스템 상용화, 브루나이-일본 간 세계 최초 공급망 구축<sup>38)</sup>
    - \* 연 21만 톤 규모 확장 추진 및 다른 동남아(말레이시아, 인도네시아) 국가와 공급망 구축 협상 진행
    - \* 프랑스(Axens)와 협력을 통한 유럽 시장 진출 추진으로 글로벌 LOHC 시장 선점
  - 가와사키중공업 : 액화수소 기술에서 독보적 위치를 차지하며 호주, 노르웨이, 중동 등 다양한 지역과 액화수소 공급망 프로젝트 동시 추진
    - \* 'Suiso Frontier' 실증 성공을 바탕으로 16만 m<sup>3</sup>급 대형 운반선 개발과 함께 액화 플랜트, 저장 터미널 등 전주기 기술 보유
    - \* 2027년부터 호주-일본 간 상업적 액화수소 공급망 운영 개시 예정으로 글로벌 액화수소 시장의 표준 설정 역할 수행
- (독일) 액상유기수소운반체(LOHC) 상용화 및 효율 향상 기술 주도
  - Hydrogenious LOHC Technologies : 도르마겐 지역에 디벤질톨루엔(DBT) 계열 LOHC 저장 플랜트 건설 중<sup>39)</sup>
    - \* 열 회수 시스템을 적용, 전체 시스템 효율이 80~90%까지 향상된 차세대 LOHC 기술 보유
    - \* 암스테르담 항구에 대규모 LOHC 수소 방출 플랜트 운영하고 있으며 북해 풍력 및 북아프리카에서 생산된 수소를 안전하게 저장, 수송, 공급함에 해당 플랜트를 활용하는 전략 추진 중

37) 중국 국가발전개혁위원회, "国家氢能产业发展中长期规划实施情况", 2024.10.12

38) Hydrogenious LOHC Technologies, "European LOHC Infrastructure Development Report", 2024.8.21

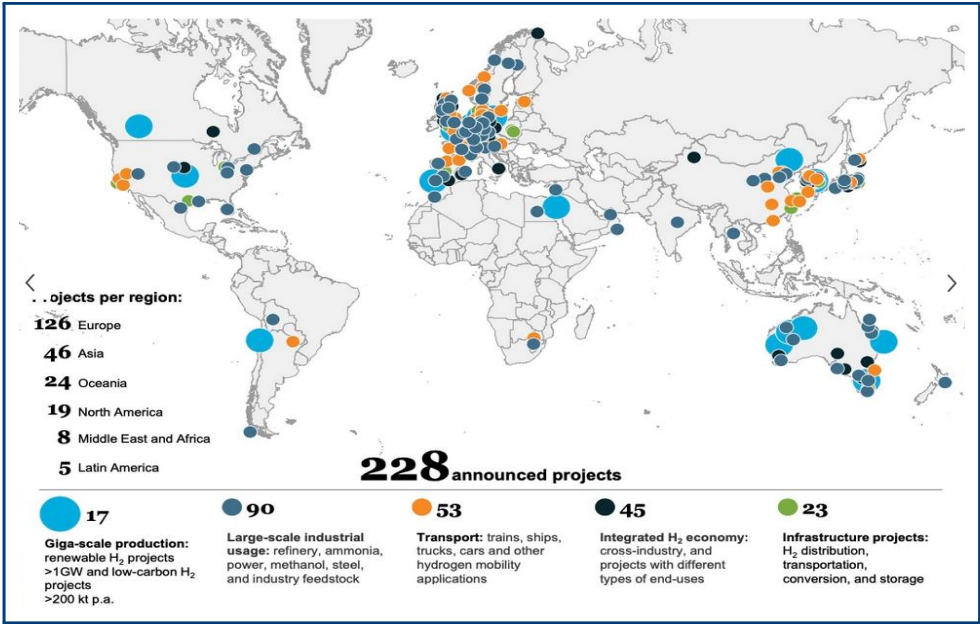
39) Hydrogenious LOHC Technologies, "European LOHC Infrastructure Development Report", 2024.8.21



출처 : Hydrogenious社

| 액상유기수소 운반체(LOHC) 수소 저장 기술 |

- (미국) 압축 수소·금속수소화물 분야 기술 고도화로 시장 확대 전략 추진
  - Hexagon Purus : Type IV 탄소섬유 복합재료 탱크 분야에서 세계 최고 수준의 기술력 보유 (수소 모빌리티, 대규모 저장 인프라 핵심기술)<sup>40)</sup>
    - \* 700 bar 이상의 안전성을 확보한 경량(기존 강재 탱크 대비 70% 절감), 내구성 높은(수소 침투율을 연간 3% 이하) 수소 용기 개발·제조
    - \* 유럽, 아시아 시장 진출을 위해 현지 파트너와 합작법인 설립 및 생산시설 구축 계획
  - GKN Hydrogen : NREL과 협력하여 메가와트급 금속수소화물 기반 수소 저장시스템 실증 및 저장 수소 방출 시 폐열 활용으로 80~90% 효율 달성<sup>41)</sup>
    - \* 재생에너지 연계 장기 에너지 저장 수단으로 관심 확대. 일본과 독일에서 실증 프로젝트 진행 중
    - \* 안전성이 특히 요구되는 도심지 및 실내 환경에서도 설치 가능한 유일한 대용량 수소 저장 기술로 차별화됨



출처 : Hydrogen Council

| Key hydrogen projects that have been announced globally |

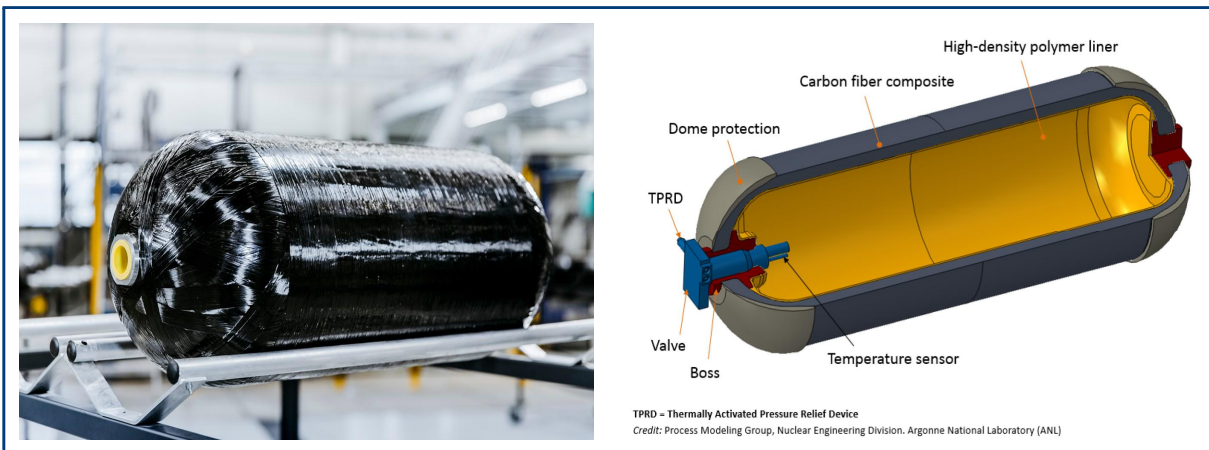
40) Hexagon Purus, "Advanced Composite Hydrogen Storage Solutions", 2024.10.7

41) GKN Hydrogen, "Metal Hydride Storage Systems for Grid-Scale Applications", 2024.12.1

### 3. 기술개발 동향

#### ❖ 압축수소 저장 기술

- (Type IV 복합재 탱크 성능 혁신) 700 bar급 고압 환경에서도 안정성을 유지하면서 경량화·경제성을 동시에 달성한 기술개발
  - Hexagon Purus가 개발한 최신 Type IV 탄소섬유 복합재 탱크는 기존 강재 대비 중량 70% 절감, 수소 침투율 연 3% 이하, 15년 이상 수명 확보<sup>42)</sup>
  - 급속 충전 시 온도 상승 억제 내장형 열교환 시스템으로 충전시간 30% 단축
  - 대량생산 체계 구축으로 2019년 대비 제조비용 40% 절감, 상업 경쟁력 확보



출처 : DOE

#### | 복합 압축 수소 용기 구성 |

- (AI·센서 기반 안전관리 체계 고도화) 실시간 위험 감지·예측 기술 상용화로 수소 저장 안전성 강화
  - 새로운 광섬유 기반 수소 센서는 ppm 수준의 미세 누출도 실시간으로 감지할 수 있으며 -40℃에서 85℃까지 다양한 환경에서도 정확한 측정 가능<sup>43)</sup>
  - AI 기반 예측 진단 시스템의 탱크 피로도·잔여 수명 실시간 관리로 사고 사전 예방
  - 블록체인 기반 이력 관리 체계로 제조~폐기 전주기 안전성 추적 가능
  - EU HyTunnel-CS 프로젝트를 통해 터널·도심 환경에서의 수소 안전기준 정립<sup>44)</sup>

42) Hexagon Composites, "Long-term Performance of Composite Hydrogen Tanks", 2024.9.22

43) SINTEF, "Advanced Hydrogen Leak Detection Systems", 2024.7.11

44) 유럽연합 집행위원회, "HyTunnel-CS Project Final Report", 2024.6.18

- (국제표준 제정 가속화) 고압 저장기술 확산에 대응한 국제 표준·평가체계 정비
  - ISO 15869 시리즈 개정으로 700bar급 탱크의 장기 신뢰성·침투성 평가 기준 신설<sup>45)</sup>
  - UN/ECE GTR No.13이 연료전지차용 저장시스템의 국제 통합기준으로 확립<sup>46)</sup>
  - 수소 충전용 대용량 저장탱크(10톤 이상) 안전기준 제정으로 메가급 충전 인프라 구축 기반 마련

#### ❖ 액화수소 전환 기술 - 고효율화 및 증발 손실 최소화

- (액화효율 증대 기술) 하이브리드 공정 도입으로 기존 25~30% 수준의 효율을 40~45%로 개선(기존 25~30%)<sup>47)</sup>
  - 브레이튼-클로드 복합 사이클, 혼합냉매, 다단 냉각, 고효율 열교환기 적용으로 에너지 효율 향상
  - Air Products와 Linde의 공동 개발 차세대 액화 공정은 2025년부터 상업적 적용을 시작하여 액화수소의 경제성을 혁신적으로 개선될 것으로 예상
- (제로 보일오프 시스템) 액화수소 증발 손실 최소화 장기 저장기술 실증 단계 진입
  - NASA-Air Liquide가 30일간 손실 0% 실증, 재액화·재순환 구조로 손실을 저감 기술 검증<sup>48)</sup>
    - \* 이론적으로 증발 수소의 액화 및 재순환 방식으로 증발손실을 완전히 차단, 상업적 규모에서 일일 증발 손실률 0.05% 이하 목표
  - 고진공 단열, 다층 반사막, 능동 냉각 기술을 결합한 대규모 저장시설 착공 예정
    - \* 일본 JXTG와 독일 Linde가 '26년 상업적 적용을 목표로 메가톤급 제로 보일오프 저장시설 건설 추진
- (오르토-파라 전환 기술) 수소 이성체 전환 과정의 열 발생 문제를 해결하여 액화수소 품질 안전성 향상 및 장기 저장 시 일정 품질 유지 가능<sup>49)</sup>
  - 금 나노입자를 이용한 촉매적 전환 기술과  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  기반 흡착재를 이용한 물리적 전환 기술이 개발로 전환 시간을 기존 수개월에서 수 시간으로 단축
  - 독일 막스플랑크 연구소가 개발한 자기장 이용 스핀 전환 기술은 에너지 소모 없이도 99% 이상의 전환율을 달성하여 차세대 기술로 주목

45) 국제표준화기구(ISO), "ISO 15869-1:2024 Gaseous hydrogen - Tanks for land vehicles", 2024.4.25

46) UN/ECE, "Global Technical Regulation No. 13 on Hydrogen Vehicles", 2024.5.14

47) Air Products, "Breakthrough in Hydrogen Liquefaction Efficiency", 2024.10.9

48) NASA-Air Liquide, "Zero Boil-off Liquid Hydrogen Storage Demonstration", 2024.8.27

49) Max Planck Institute, "Ortho-Para Hydrogen Conversion Technology", 2024.9.15



## ❖ 극저온압축수소(CcH<sub>2</sub>) 기술

- (기술 개요) 극저온 상태(약 -240 ℃)에서 압축 수소를 저장하는 방식으로, 기존 압축·액화 기술의 한계를 보완하는 차세대 기술로 부상
  - 액화수소 대비 약 27%, 700 bar 압축수소 대비 약 77% 높은 체적 에너지밀도 확보
  - 고압과 극저온을 병행해 저장 효율을 극대화하며 증발 손실 최소화
- (핵심 기술) 극저온·고압 복합 환경을 견디는 신소재와 단열 구조 개발
  - 탄소섬유-금속 복합 하이브리드 구조와 진공 단열재를 결합한 고강도 경량 탱크 개발<sup>50)</sup>
  - 내부 열교환기와 다중 안전밸브를 적용한 모듈형 탱크 설계로 운용 안정성 확보
  - 시스템 표준화 및 모듈화 기술을 통해 복잡한 구성 단순화 및 제작비 절감
- (성능 및 실증 결과) 고밀도 저장과 충전 효율에서 우수한 성능 입증
  - 美 LLNL-Verne 공동연구에서 세계 최고 수준의 체적 에너지밀도(10MJ/L 이상) 달성<sup>51)</sup>
  - BMW가 CcH<sub>2</sub> 기반 차량으로 650마일(약 1,046 km) 주행 실증, 액화수소 대비 약 30% 주행거리 향상
  - 700 bar 시스템 대비 충전 시간 40% 단축, 보일오프 지연으로 장기 저장 안정성 개선
- (상용화 전망) 주요 글로벌 기업을 중심으로 실증에서 상용화 단계로 진입
  - (Chart Industries-Air Products) '27년 시범 적용을 목표로 상업용 CcH<sub>2</sub> 시스템 개발
  - (Toyota-Hyundai) 2025년부터 CcH<sub>2</sub> 기술을 적용한 차세대 수소차 개발 착수, '28년 상용 모델 출시 목표

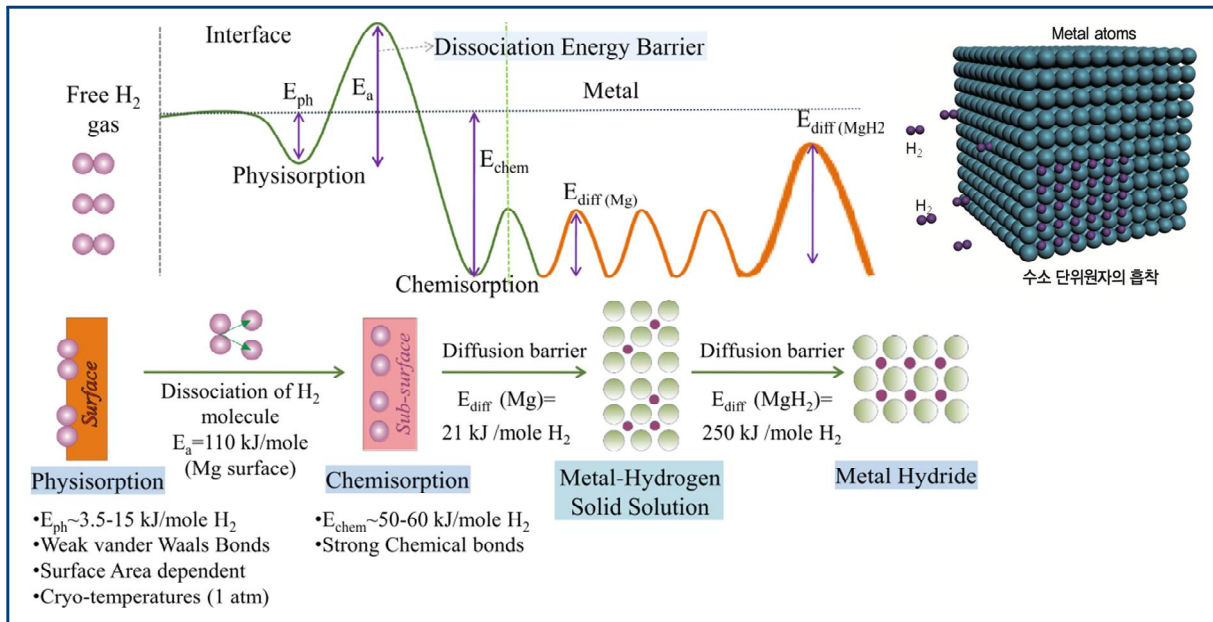
## ❖ 금속수소화물 기술

- (기술 개요) 금속과 수소의 화학적 결합을 이용한 고체 저장 방식으로 높은 안전성과 체적 에너지밀도 동시 확보
  - 작동압력 1~10 bar, 온도 25~200 ℃ 조건에서 안정적 운용이 가능하며 체적 에너지밀도 40~150 MJ/L 수준으로 도심지 및 실내 설치에 적합

50) Chart Industries, "Advanced Cryogenic Pressure Vessel Design", 2024.10.18

51) LLNL, "Cryo-compressed Hydrogen Storage Density Achievement", 2024.11.3





출처 : Energy Storage Materials 41(2021) 69–107

### | 금속수소화물 수소 저장 기술 |

- (에너지 효율성 향상) 폐열 활용 고효율 시스템 개발로 금속수소화물 실용성 강화
  - 美 NREL과 GKN Hydrogen이 공동 개발한 메가와트급 시스템은 인근 설비의 폐열을 활용하여 별도 가열 에너지 없이 수소 방출 가능<sup>52)</sup>
  - 시스템 전체 효율 80~90% 수준으로 향상, 압축수소 대비 에너지 손실 최소화로 산업단지 및 발전소 인근 분산형 저장소로 활용성 확대
- (신소재 개발) 금속수소화물 상용화 장애요인인 높은 작동 온도와 제조비용 해결을 위한 신소재 개발, 상용화 수준 접근
  - 한국생산기술연구원의 Mg-Ni-Al 계열 합금은 3.5 wt% 수소저장 용량과 80 °C 작동온도 구현<sup>53)</sup>
  - 포항공대의 Ti-V-Cr-Mn 계열 합금은 4.2 wt% 저장 용량 확보와 함께 희토류 미사용으로 제조비용 1/3 수준 절감
  - 불밀링 기반 나노구조화 공정으로 반응속도 10배 향상, 작동온도 100 °C 이하 달성
- (상용화 전망) 대규모 실증을 통한 기술 신뢰성 확보와 응용 분야 다변화 추진
  - 日 도쿄가스-獨 Linde가 2024년부터 수소충전소 연계 금속수소화물 저장시스템 실증을 시작하여 현재 실용성 검증 단계

52) NREL, "Megawatt-Scale Metal Hydride Storage System", 2024.12.5

53) 한국생산기술연구원, "Mg계 금속수소화물 저온화 기술 개발", 2024.9.28

- TRL(기술성숙도) 6~7단계 진입으로 2025년 상업 적용 가능 수준에 도달하였으며 도심형 수소 스테이션 및 비상전원용 저장시스템 등으로 적용 영역 확대
  - \* 상온·저압에서 작동하면서도 높은 체적 저장밀도(40~150 MJ/L)를 제공하여 안전성이 중요한 도심지나 실내 설치에 최적화된 기술로 평가

## ❖ MOF 기반 수소 저장 기술

- (기술 개요) 금속-유기 골격체(MOF, Metal-Organic Framework)를 활용한 고체 흡착형 수소저장 기술이 상온 작동 영역으로 발전하며 차세대 저장 대안으로 부상
  - 기존 극저온 흡착 방식의 한계를 극복하고 실온 근처에서 안정적 저장 가능
  - 높은 비표면적과 기공 구조를 활용하여 수소 분자의 선택적 흡착 효율 향상
- (핵심 기술) 상온에서도 높은 저장밀도와 안정성을 확보한 고성능 MOF 물질 개발
  - NU-2100 Cu(I) 기반 MOF는 공기 중에서도 안정하며 233 K(-40 °C)에서 100 bar 조건으로 10.4g/L의 수소 저장밀도 달성<sup>54)</sup>
    - \* 32 kJ/mol 수준의 흡착열 확보로 상온 작동 안정성 향상, 개방형 금속 사이트 구조가 핵심 역할
  - 아연 촉매 기반 합성법 적용으로 제조비용 50% 절감 및 대량생산 가능성 확보
- (기술 응용) 금속 중심 구조의 한계를 극복하기 위한 비금속 다공성 물질 연구
  - 염화이온 기반 비금속 다공성 구조 개발로 비용 절감 및 화학적 안정성 향상<sup>55)</sup>
    - \* 계산화학과 머신러닝을 활용한 결정 구조 예측으로 최적 성능 물질의 효율적 선별 가능
    - \* 저비용 원료 활용과 간단한 공정으로 대량 합성 가능, 상용화 공정의 단순화 기대
- (상용화 전망) 경제성과 내구성 향상에 따라 점진적 응용 확산
  - 연간 30회 이상의 빈번한 사용을 위해서는 5g/L 이상의 저장용량 향상이 필요하며, 현재 개발 속도로는 2027년경 목표 달성 가능 전망
  - 제조비용을 현재 10-70 \$/kg에서 5~10 \$/kg 수준으로 낮춰야 상업성 확보 가능하며, 대량 생산 시설 구축으로 2025년부터 단계적 비용 절감 예상
  - 수소 정제, 동위원소 분리, 가스 센서 등 고부가가치 특수 용도에서 먼저 상용화된 후 점진적으로 대용량 저장 분야로 확장될 것으로 전망

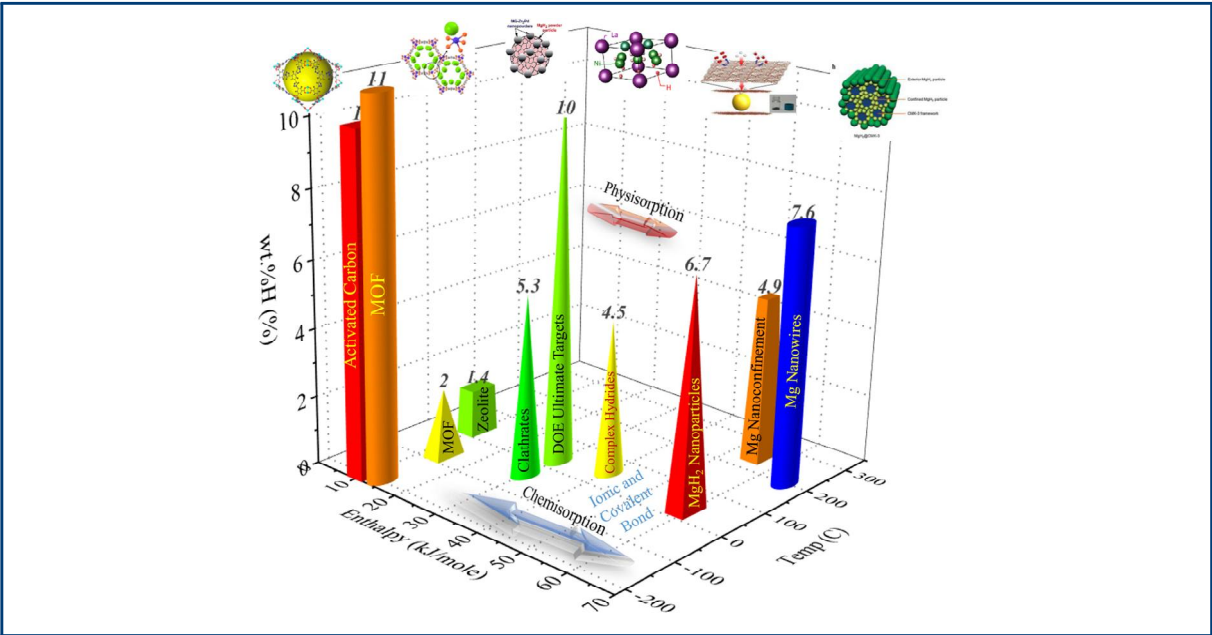
54) Northwestern University, "Room-Temperature Hydrogen Storage in MOFs", 2024.11.15

55) University of Southampton, "Metal-Free Porous Materials for Gas Storage", 2024.8.31

| 수소 저장/운반 기술 |

기술명	수소 함량	저장 온도/압력	저장 용량/부피 밀도	장점	단점	적용 분야	기술 성숙도
압축수소	약 100 wt%	200~700 bar	저밀도, 부피 크기	성숙도 높음, 운송 간편	안전성 문제, 중량 증가	차량용, 산업단지	9
액화수소	약 100 wt%	-253 ℃	높은 부피 밀도	대용량 저장 적합	에너지 소모, 증발손실	장거리 운송	8~9
극저온 압축수소	약 100 wt%	-253 ℃, 250 bar 이상	가장 높은 용량	높은 밀도, 장거리	복잡한 설계, 비용 ↑	미래 차세대	6~7
암모니아	17.8 wt%	-33 ℃, 8~10 bar	높은 저장밀도	기존 인프라 활용 가능	독성, 부식	해상운송, 발전	7~8
메탄올	12.5 wt%	상온, 상압	매우 낮은 부피	안전성, 수송 용이	재생 가능성 문제	선박, 연료전지	6~7
LOHC	6.2 wt%, 약 1.9 vol%	상온, 상압	낮은 밀도, 재활용	안전성 높음, 인프라 활용	낮은 저장 용량	도시, 분산	6~7
금속 수소화물	1~7 wt%	상온, 1~10 bar	매우 높은 밀도	안전성, 재사용 가능	무게, 제조 비용	고정 저장, 수송	7~8
MOF	1~10 wt%	-196 ℃	고밀도 흡착	온도 범위 유연성	낮은 적용 범위, 비용	휴대용, 빠른 충전	3~4

자료 : 각 기술별 개발 기관 및 최신 연구자료 참고



출처 : Energy Storage Materials 41(2021) 69-107

| 소재기반 화학적 수소 저장 기술 |

## 4. 국제협력 동향

- ❖ 유럽, 일본, 호주, 미국 등 주요국이 핵심 기술·표준·공급망 협력을 기반으로 다층적 글로벌 네트워크를 구축하고 청정수소 상용화와 시장 주도권 확보 가속화

### | 주요국 수소 공급망 및 기술협력 사업 현황 |

협력국가	협력프로그램	주요내용
유럽-일본	EU 청정수소 파트너십-NEDO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (추진배경) EU·일본 최대 수소시장 및 기술 강국 간 전략적 협력구축</li> <li>• (목표) 고효율 전해조 등 수소 핵심기술 상용화</li> <li>• (협력내용) 공동연구·실증, 국제표준 공동제안 및 조기 기술사업화</li> </ul>
독일-일본	에너지 파트너십 (공동조달·공급망)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (추진배경) 글로벌 수소공급망 안정 및 조달 리스크 분산</li> <li>• (목표) 공동조달·대규모 투자로 비용절감, 공급안정성 확보</li> <li>• (협력내용) 생산국 공동구매, 액화수소 공급망 구축, 그린수소 공동투자</li> </ul>
일본-호주	액화수소 공급망 (HESC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (추진배경) 국제 수소 해상 공급망 최초 상업화 추진</li> <li>• (목표) 대규모 상업운송 및 블루수소 생산시설 구축</li> <li>• (협력내용) 갈탄 가스화+CCS 기반 블루수소 생산 및 액화수소 해상운송 실증 및 상업화 추진</li> </ul>
미국-EU	청정수소 프로그램	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (추진배경) 대서양 횡단 수소기술·시장 연계 촉진</li> <li>• (목표) 기술·표준 조화 및 글로벌 공급망 구축</li> <li>• (협력내용) 공동 투자·실증·표준화, 공급망 실증 프로젝트 진행</li> </ul>
미국-독일	액화수소 공급망 협력	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (추진배경) 양국 장거리 액화수소 공급망 구축 필요</li> <li>• (목표) 초저탄소 대서양 공급망 구축 및 경제성 검증</li> <li>• (협력내용) 대량 액화수소 운송, 민간·공공 공동 투자 및 정책 지원</li> </ul>
캐나다-EU	그린수소·암모니아 수출협력	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (추진배경) 캐나다 재생에너지 기반 유럽 친환경 에너지 공급</li> <li>• (목표) 유럽 핵심 항구 대상 그린수소·암모니아 안정적 공급</li> <li>• (협력내용) 대규모 전해조 설치, 항로 개설, 정기 운송·투자</li> </ul>

### ❖ 유럽-일본 협력(기술표준화 및 공동연구)

- (EU 청정수소 파트너십-일본 NEDO) 세계 최대 수소 시장인 유럽과 기술 선도국 일본 간 전략적 협력체계 구축 56)
  - (목적) 유럽의 시스템 통합 역량과 일본의 부품·소재 기술을 결합하여 고효율 전해조, 안전한 수송 인프라, 고온 연소 시스템 조기 상용화 기반 마련
  - (주요 내용) 전해조, 수소충전 인프라, 수소 연소기술 등 주요 분야에서 공동 연구개발 및 실증을 통한 기술 상용화 추진

56) EU 청정수소 파트너십, "EU-Japan Hydrogen Cooperation Agreement Implementation Report", 2024.9.14

- (세부 협력 내용) 전해조 효율 향상 및 대형화, 수소 인프라의 안전·경제성 강화, 고효율 수소 연소기술 상용화를 중심으로 기술협력 확대
  - (고온 수전해(SOEC)) 일본의 세라믹 기술과 유럽의 시스템 통합 기술을 결합하여 85% 이상의 효율을 목표로 한 차세대 전해조 개발
  - (알칼라인 전해조(AEL) 대형화 기술) 일본의 제어 기술과 유럽의 대규모 제조 경험을 융합하여 100 MW급 대형 시스템 상용화 추진
  - (수소 연소 기술) 가스터빈·내연기관 분야에서 일본의 정밀 연소제어 기술과 독일의 터빈·배출저감 기술을 결합한 고효율·무탄소 연소 시스템 공동 개발
    - \* (가스터빈 수소 혼소·전소 기술) 미쓰비시 파워(일본)와 지멘스 에너지(독일)가 2025년 상용화 목표로 수소 전소 가스터빈공동 개발<sup>57)</sup>
    - \* (수소 내연기관 기술) 토요타의 수소 엔진 기술과 독일의 배출가스 후처리 기술을 결합하여 상용차용 대형 수소 엔진 개발 추진
- (국제표준 개발) ISO·IEC 등 국제표준화 기구에서 공동 제안을 통해 수소 관련 글로벌 표준 주도권 강화
  - (수소기술) ISO/TC 197(수소기술위원회)에서 수소 품질 기준, 수소충전소 안전 기준, LOHC 성능 평가 방법 등에서 EU-일본 공동 제안이 국제표준으로 채택<sup>58)</sup>
  - (연료전지) IEC/TC 105(연료전지위원회)에서 연료전지 시스템 성능 평가, 내구성 시험, 안전성 검증 방법 등에서 양 국가 공동연구 결과가 표준화
  - (저장·운송) 압축수소 탱크·액화수소 운반선·LOHC 시스템 성능기준 등 국제표준화 공동 주도

## ❖ 독일-일본 에너지 파트너십(공동 조달 및 공급망 구축)

- (공동조달 체계 구축) 양국의 수소 수입지원 메커니즘을 연계하여 산업 활성화 및 리스크 분산
  - H2Global(독일) 이니셔티브와 JOGMEC(일본)이 전략적 협정 체결로 공동 조달시스템 구축<sup>59)</sup>
  - 호주·칠레·사우디 등 주요 생산국의 청정수소 공동 구매로 규모의 경제 및 공급 안정성 확보
  - 연간 500만 톤 조달 목표로, 단독 조달 대비 비용 10~15% 절감·공급 리스크 50% 감소 효과
  - 남반구 재생에너지 기반 그린수소 프로젝트 공동투자를 통해 초기 리스크 분담 및 안정적 공급망 구축

57) 미쓰비시 파워-지멘스 에너지, "Hydrogen Gas Turbine Joint Development Progress", 2024.10.15

58) ISO/TC 197, "International Standards for Hydrogen Technologies: Annual Report", 2024.11.8

59) 독일 H2Global-일본 JOGMEC, "Strategic Partnership for Global Hydrogen Procurement", 2024.7.19



- (액화수소 공급망 공동개발) 독일 북해의 그린수소와 일본 액화 기술을 연계한 유럽-일본 간 공급망 실증 추진
  - Linde(독일)-가와사키중공업(일본)이 연간 50만 톤 규모의 액화수소 공급망 프로젝트를 공동 추진<sup>60)</sup>
    - \* 독일 북해 해상풍력으로 생산된 그린수소를 함부르크에서 액화해 일본으로 수출하는 최초의 대서양 횡단 수소 교역 사례
  - 2026년 시범 운송(월 1만 톤), 2029년 상업 운송(월 4만 톤)으로 점진적 확대를 통해 기술적·경제적 검증 및 상용화 위험 최소화

### ❖ 일본-호주 수소 파트너십(액화수소 공급망 파트너십(HESC))

- (일본-호주) 세계 최초 국제 수소 공급망 실증 완료 후 상업화 단계 진입
  - HySTRA(수소에너지 공급망 기술연구조합) 컨소시엄이 추진한 호주-일본 액화수소 공급망 실증(2022년) 이후 상업화 계획 구체화<sup>61)</sup>
    - \* '22년 세계 최초로 호주 빅토리아 주 Latrobe Valley에서 생산된 수소를 고베까지 9,000 km 해상 운송 실증에 성공, 상업화 기반을 마련
    - \* 수소 공급체인 구축 실증사업의 주체 HySTRA는 KHI, J-POWER, Iwatani, Shell Japan, Marubeni, 호주 측의 AGL Energy 등으로 구성되고, 양국 정부가 대규모 보조금·정책 지원
  - 호주 라트로브밸리 갈탄가스화 및 CCS 결합으로 연 22만 톤 규모 블루수소 생산시설 구축
  - 2027년 가와사키 16만m<sup>3</sup>급 수에즈마루(Suiso Frontier)급 액화수소 운반선으로 월 2만 톤 정기 운송 예정
  - 일본 정부는 총 5,000억 엔(약 33억 달러) 지원을 통해 수입단가 30엔/Nm<sup>3</sup> 수준으로 경제성 확보 목표

### ❖ 대서양 횡단 협력(미·EU 중심 글로벌 연계)

- 미국-EU 공동 청정수소 프로그램
  - (주요내용) 기술 개발, 실증 프로젝트, 표준화, 인력 양성 등 4대 핵심 분야 기술 개발 협력<sup>62)</sup>
  - (목표) 기술과 규제 조화, 안정적인 수소 공급망 구축 및 시장 진입 장벽 완화
  - (현황) 20억 달러 규모의 공동 투자, 20건 이상의 공동 프로젝트가 진행 중이며, '26년은 대서양 횡단 수소 공급망 실증에 착수하여 상업 가능성 검증 예정
  - (기대효과) 글로벌 수소 공급망 경쟁력 강화 및 기후변화 대응 촉진

60) Linde-가와사키중공업, "Europe-Japan Liquid Hydrogen Supply Chain Project", 2024.6.25

61) HySTRA, "Australia-Japan Hydrogen Supply Chain Commercialization Plan", 2024.4.18

62) 미국 에너지부-EU 에너지총국, "Transatlantic Clean Hydrogen Partnership Program", 2024.8.7

● 미국-독일 액화수소 공급망 협력

- (주요내용) Air Products(미국)와 Linde(독일)가 공동으로 연간 100만 톤 규모 액화수소 공급망 구축 및 운영<sup>63)</sup>
  - \* 휴스턴-함부르크 구간 월 5천 톤 시범 운송, 2029년 월 8만 톤 상업 운송 예정
- (목표) 경제적이고 안정적인 장거리 액화수소 공급망 조성, IRA 및 H2Global 정책 지원과 민간 투자를 통한 경제성 확보
- (현황) 총 150억 달러 이상이 투입되어 민간-공공 협력 모델로 확산 중
- (기대효과) 미국과 유럽 간 초저탄소 에너지 교역 활성화, 탄소중립 실현 가속화

● 캐나다-EU 그린수소 생산 및 수출 협력

- (주요내용) 캐나다 동부 해상풍력 기반 5 GW 규모 전해조 설치 및 연 150만 톤 이상의 그린 수소·암모니아 생산 추진<sup>64)</sup>
- (목표) 2030년까지 유럽 내 그린수소·암모니아 수요 대응과 공급망 다변화
- (현황) 노바스코샤, 뉴펀들랜드래브라도 주를 주요 생산 거점으로 인프라 구축이 진행 중이며 유럽 주요 항구의 정기 운송 항로로 2025~2026년부터 수출 개시 예정
  - \* 함부르크, 로테르담, 앤트워프 정기 운송 항로 개설을 통해 안정적 공급망 확보 및 운송비용 절감 추진
- (기대효과) 대서양 횡단 친환경 에너지 무역 기반 마련
- 주요 거점(노바스코샤, 뉴펀들랜드래브라도 주) 기반 2030년까지 총 5 GW의 전해조 설치와 연간 150만 톤의 그린암모니아 생산능력 구축
- 유럽 주요 항구(함부르크, 로테르담, 앤트워프)와의 정기 운송 항로 개설을 통해 안정적 공급망 확보 및 운송비용 절감 추진

63) Air Products-Linde, "Transatlantic Hydrogen Supply Chain Investment Decision", 2024.10.31

64) 캐나다 천연자원부-EU 에너지총국, "Canada-EU Comprehensive Hydrogen Cooperation Agreement", 2024.5.16

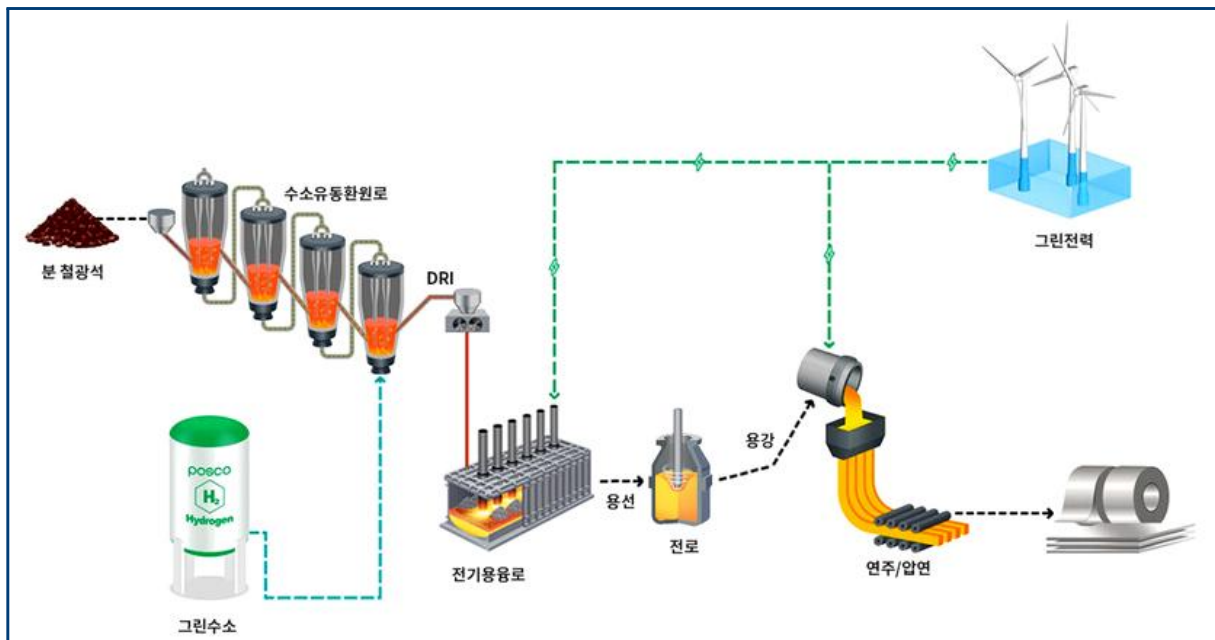
## III

## 국내 동향

## 1. 정책 동향

❖ 핵심 산업 인프라를 보유한 지역 중심으로 한국형 수소 글로벌 거점 도시 조성을 통한 기술집적 및 산업연계 시너지 강화 전략 추진

- (발전용 연료전지 특화단지) 수소 연료전지 발전 클러스터가 집중된 포항을 중심으로 수소 생산부터 활용까지 전주기 생태계 구축
  - 포항 블루밸리 국가산업단지 내 연료전지 실증 및 부품·소재 평가 인프라를 활용하여 연구 개발과 기업집적 강화
  - 포스코의 제철 공정 발생 부생수소(연 3,500 톤)와 영일만 해상풍력(2.46 GW) 연계로 연 13만 톤 그린수소 생산
- \* (수소환원제철 프로젝트) 제철 공정에서 석탄 대신 수소를 사용해 직접환원철(DRI)을 생산하고 발생하는 부생수소를 회수·정제해 그린수소 생산에 순환 활용



출처: 포스코

| 포스코 HyREX 방식 개요 |

- (수소 R&D 실증도시) 수소 R&D 실증단지 구축 및 친환경 주거단지와 융복합 에너지 시스템 운영 시범도시 지정
  - 삼척 '수소 R&D 특화도시 실증단지('23년 12월 준공)'의 수소 및 재생에너지, 친환경 건축 기술 간 융합 구현으로 주거 부문의 탄소중립 실증
- (액화수소 저장·운송 특화단지) 수소유통망 고도화를 위한 액화수소 산업생태계 육성 거점 조성
  - 동해 해상풍력 기반으로 액화수소 저장·운송 인프라 구축 및 시험·평가·실증 기반의 수소 산업 기업 유치와 산업 클러스터 육성
  - 삼척 LNG 인수기지 인근 부지를 활용한 수소액화플랜트 구축 추진

#### ❖ 수소 생산-저장-운송-활용 전주기적 산업 생태계의 체계적 확립으로 기술 자립과 시장 기반을 동시에 강화하는 전략 추진

- (생산) 포스코 수소환원제철(연 370만 톤 수소 소비 예정), SK E&S의 블루수소('25년 25만 톤), 효성의 그린수소('27년 3만 톤) 등으로 다변화<sup>65)</sup>
  - 재생에너지 및 부생수소 활용, CCUS 적용형 청정수소 생산체계 확립으로 국내 자급률 제고
  - 대형화·고효율 전해조 기술 국산화로 생산비 절감과 기술 경쟁력 강화
- (저장·운송·활용) 저장·유통 인프라·수요기반 확충을 통한 기술 상용화 가속화 및 산업 내 연계 활성화
  - 한국가스공사 LOHC 기술, 효성 액화수소 저장, 현대중공업 액화수소 운반선 기술 등 핵심 역할 수행
  - 전국 수소 배관망·저장기지·운반체계 통합으로 안정적 유통 네트워크 구축
  - 현대자동차의 차세대 수소차, 두산에너지빌리티의 수소 가스터빈, LS 일렉트릭의 연료전지 시스템 등 수요 기반 확충
  - 전주기 생태계 구축으로 '30년까지 수소 관련 기업 1,000개, 일자리 10만 개 창출

#### ❖ 인프라 및 교역망 확충으로 동북아 수소 생산·유통·거래 핵심 허브 도약

- (동해안 수소 클러스터 구축) 생산-저장-운송-활용이 연계된 국가 단위 수소 허브 벨트 조성
  - 삼척-포항-울산-부산을 연결하는 600 km 규모의 수소 배관망 구축으로 권역 간 연계 강화 및 유통 효율 극대화<sup>66)</sup>

65) SK E&S, "수소사업 중장기 전략", 2024

66) 산업통상자원부, "수소 배관망 구축 기본계획", 2024

- 해상풍력, LNG 터미널, 산업단지 등 기존 에너지 인프라와 결합해 수소 생산과 수입을 동시에 처리할 수 있는 복합 공급망 조성
- (글로벌 공급·교역망 강화) 안정적 수소 공급 기반 확보 및 글로벌 허브 체계 구축
  - 중국, 일본과의 수소 교역 확대를 위한 국제협력 강화로 동북아 수소 공급망의 핵심 허브 역할 수행
  - 호주, 중동, 동남아시아 등 수소 생산국과의 공급계약 체결을 통해 안정적 수소 도입 기반 구축 및 가격 경쟁력 확보
  - 2030년까지 해외 수소 도입량 300만 톤 중 70%를 동해안 수소항만을 통해 처리하여 물류 효율 및 경제성 확보

## ❖ 세계 최초 청정수소 인증제도 시행을 통한 국제 신뢰 기반 구축 및 글로벌 표준화 선도 전략 추진

- (인증체계) 청정수소 생산 단계별 온실가스 배출량을 정량화하여 등급별로 구분
  - Well-to-Gate 기준 4 kgCO<sub>2</sub>e/kgH<sub>2</sub> 이하를 청정수소로 정의하고 EU 「재생연료 지침 (REDⅢ)」과 미국 IRA 기준과 동일한 수준으로 국제 정합성 확보<sup>67)</sup>

### | 4등급 청정수소 인증체계 개요 |

등급	배출량 (kgCO <sub>2</sub> e/kgH <sub>2</sub> )	유형	특징
1등급	0~0.1	재생전력 기반 순수 그린수소	최고 수준 청정성
2등급	0.1~1	고재생전력·CCS 적용 블루수소	주요 공급원 전망
3등급	1~2	일반 블루수소	초기 시장 주력 수단
4등급	2~4	탄소 그레이수소	과도기적 수소 유형 <sup>68)</sup>

- (청정수소발전의무화제도(CHPS) 연계) 인증제도와 발전 의무화제도를 결합하여 청정수소 수요 창출 및 시장 신뢰성 확보
  - (제도 개요) 2030년부터 발전사업자는 발전량의 일정 비율을 청정수소로 충당해야 하며, 이때 인증 받은 청정수소만 인정받을 수 있어 시장 신뢰성 확보
  - (의무 비율) 2030년 2%, 2035년 5%, 2040년 10%로 단계적 확대되어 연간 60만 톤(2030년) → 300만 톤(2040년)의 안정적 수요 창출
  - (정책 효과) 청정수소 인증서(CHC) 거래시장 구축 및 시장 메커니즘에 의한 가격 형성과 효율적 자원 배분 유도
    - \* 발전용 청정수소 가격을 2030년 6,000 원/kg에서 2040년 4,000 원/kg까지 낮춰 경제성 확보와 보급 확산 동시 추진

67) 산업통상자원부, “청정수소 인증제도 운영 가이드라인”, 2024

68) 산업통상자원부, “청정수소발전의무화제도 세부 운영방안”, 2024



## ❖ 수요·공급·인프라·제도의 유기적 연계를 통해 2050 탄소중립 이행을 위한 수소경제 기본계획의 단계별 추진 전략을 통해 기술 확산·시장 성장·에너지 자립 달성

- (탄소 중립 로드맵) 수소를 탄소중립 달성의 핵심 에너지원으로 설정하고 장기적·단계별 목표를 통해 수요와 비중을 체계적으로 확대
  - 현재 1% 미만인 수소에너지 비중을 '50년 전체 에너지 소비의 27%를 수소에너지로 공급<sup>69)</sup>
  - 재생에너지 연계 수전해 수소 생산, 수소 저장 및 운송 인프라 확충, 수소차 및 연료전지 보급 확대, 수소환원제철 등 산업 공정 전환 등 구체적 실행 과제 추진
    - \* 수소 수요량은 2030년 390만 톤에서 2040년 1,900만 톤, 2050년에는 2,700만 톤으로 약 7배에서 최대 120배 증가할 것으로 예상
    - \* 청정수소 비중을 2030년 50%에서 2040년 75%, 최종적으로 2050년 100%까지 단계적으로 높여 완전한 청정수소 공급 체계를 완성
- (수소 모빌리티 확산) 충전 인프라 고도화와 차량 보급 확대를 병행하여 수소 모빌리티 생태계 조기 정착
  - (수소충전소 확대) 현재 150개소 → 2030년 660개소 → 2050년 2,000개소로 단계적 확산하여 전국 어디서나 30분 내 충전 가능한 네트워크 구축<sup>70)</sup>
  - (충전소 유형 다양화) 승용차 전용(70%), 버스·트럭 겸용(25%), 전용 상용차(5%)로 구분하여 차종별 특성에 맞는 최적화된 충전 인프라 제공
  - (수소차 보급) 승용차 300만 대, 버스 4만 대, 트럭 30만 대로 총 334만 대 보급하여 수송 부문 탄소배출 30% 감축 기여
  - 충전소당 평균 저장 용량을 현재 200 kg에서 2030년 500 kg으로 늘려 대기 시간 최소화과 운영 효율성 향상 추구
- (공급 다변화 및 자급률 제고) 국내 생산 확대와 해외 공급선 다변화를 통해 청정수소 자급률 60% 달성과 에너지 안보 강화
  - (국내 생산 확대) 재생에너지 기반 그린수소 생산을 2030년 75만 톤에서 2050년 300만 톤으로 확대하여 자급률 제고
  - (해외 공급 다변화) 호주(액화수소), 중동(암모니아), 동남아시아(LOHC) 등 지역·기술별 특화를 통한 안정적 공급망 구축
  - (부생수소 활용) 석유화학 공정에서 발생하는 부생수소(연간 190만 톤)의 정제·활용 기술 고도화로 국내 공급 기반 강화
  - (수입 인프라 구축) 동해안 수소항만(삼척, 포항), 서해안 수소항만(평택·당진, 보령) 등 권역별 수소 도입 터미널 조성으로 공급선 리스크 분산

69) 에너지경제연구원, “국내 수소경제 중장기 전망”, 2024

70) 상동

| 수소경제 이행 기본계획 단계적 실행 전략 |

단계	목표	주요내용
기반 구축 (’30)	초기 수요 창출 및 인프라 형성	<ul style="list-style-type: none"><li>• 수요 : 390만 톤</li><li>• 청정 비중 : 50%</li><li>• 인프라 : 수소충전소 660개소, 충전소당 평균 저장용량 500 kg</li><li>• 공급 : 재생에너지 기반 그린수소 75만 톤, 부생수소 회수·정제 확대, 해외 장기공급 계약</li></ul>
확산 단계 (’40)	수요 급증 대응과 공급 다변화 본격화	<ul style="list-style-type: none"><li>• 수요 : 1,900만 톤</li><li>• 청정 비중 : 75%</li><li>• 인프라 : 산업·발전·모빌리티 연계형 공급망 확대, 배관망·터미널 단계적 증설</li><li>• 공급 : 호주(액화수소)·중동(암모니아)·동남아(LOHC) 다원 조달 포트폴리오 정착, 부생수소 최대 활용 체계 고도화</li></ul>
완성 단계 (’50)	청정수소 100% 전환 및 시장 자립화	<ul style="list-style-type: none"><li>• 수요 : 2,700만 톤, 최종에너지 소비 중 수소 비중 27%</li><li>• 청정 비중 : 100%</li><li>• 인프라 : 수소충전소 2,000개소(전국 30분 이내 접근), 동해안·서해안 수소항만-배관-저장 일체형 물류체계 구축</li><li>• 공급 : 국내 그린수소 300만 톤, 청정수소 자급률 60% 달성, 국제 상호인정 기반의 인증·거래시장 정착</li></ul>

## 2. 시장·산업 동향

### 산업용 중심 기존 수소 시장이 에너지 전환과 탄소중립 추진에 따라 발전·수송·산업 전반 확장

- (수소시장 구조적 전환) 정유·석유화학 중심의 산업용 가스 시장이 발전·수송·산업 전반의 에너지원으로 전환
  - 연간 22만 톤 수준인 수소 소비량이 2030년 390만 톤, 2050년 2,700만 톤으로 확대될 전망으로, 최대 120배 성장 예상<sup>71)</sup>
  - 2050년 발전(55%), 운송(30%), 산업열원(15%) 등 전 부문에 걸친 활용 계획 수립
  - 수소 비중이 전체 에너지 소비의 27%에 이르며 기존 석유·LNG 기반 공급체계의 구조적 전환 유도
- (지역별 허브 전략의 다변화) 지역 자원과 산업 기반을 연계한 차별화된 수소 허브 발전 추진
  - 울산 : 부생수소(연 17만 톤) 활용 및 블루수소 생산시설(SK E&S·롯데케미칼) 중심 생산 거점
  - 여수 : GS칼텍스-남동발전 간 청정수소 공급 협력, LG화학의 수소 혼소 발전 실증
  - 서산 : 현대자동차의 수소트럭 실증 및 현대오일뱅크의 그린수소 생산으로 모빌리티 시범 지역 조성
  - 인천 : SK E&S의 세계 최대 액화수소 플랜트(연 3만 톤) 및 공항 연료 공급 거점 구축
    - \* 각 허브별 특화된 수소 저장·운반 기술과 인프라 구축으로 지역 간 시너지 효과 창출 및 전국적 수소 공급 네트워크 완성 목표
- (수소경제 규모 확대와 민간투자 확대) 시장 확대에 따른 대규모 민간투자와 신규 산업 창출
  - 저장·운반 부문 연 3조 원 규모로 확대, 2030년까지 총 43조 원 규모 투자 전망(민간 34조 원, 79%)<sup>72)</sup>
  - 압축·액화·LOHC·금속수소화물 기술 분야의 신기업 진출 가속화 및 안전·인증·검사·보험, 금융 등 수소 경제 지원 서비스 산업의 연 5,000억 원 규모 신시장 형성
  - 2030년까지 30만 개, 2050년까지 60만 개 일자리 창출로 지역경제 활성화 기대

71) 에너지경제연구원, “국내 수소경제 중장기 전망”, 2024

72) 상동

## ❖ 수소 저장·운반 기술의 상용화와 전주기 사업모델 구축 가속화로 민간 주도의 대규모 투자와 글로벌 기술협력을 통한 산업 경쟁력 강화

- (대기업 중심의 전주기 생태계 전략) 그룹별 핵심 역량을 기반으로 수소 저장·운반 전주기 사업 추진
  - SK그룹 : 인천 액화수소 플랜트(연 3만 톤) 건설 중(2025년 완공 예정), 저장-운송-충전까지 통합 공급망 구축<sup>73)</sup>
    - \* 수도권 충전소 안정 공급 및 향후 일본·동남아 수출 검토
  - 현대자동차그룹 : 극저온압축수소( $CcH_2$ ) 기술을 핵심과제로 선정하고 BMW와 공동 연구<sup>74)</sup>
    - \* 차세대 모델 주행거리 800 km 이상 목표, 수소 상용차 확대를 통한 대용량 저장기술 수요 창출
  - 포스코그룹 : 수소환원제철과 연계, 2030년까지 연 70만 톤 규모 저장 인프라 구축<sup>75)</sup>
    - \* 호주 도입 액화수소의 저장·공급 허브로서 국내 최대 규모 인프라 확보
  - 삼성물산 : 일본 치요다화학·싱가포르 LOHC 플랜트 사업 참여로 글로벌 운송기술 시장 진출
- (중견·신생기업 기술 상용화) 중견기업과 스타트업들도 차세대 수소 저장·운반 기술 개발과 상용화에 적극 도전
  - 효성 : 국내 최초 액화수소 플랜트(연 1,300 톤) 가동 후 5,000 톤 규모로 확장 중, Air Products 협력으로 대용량 기술 확보<sup>76)</sup>
  - 한국가스공사 : MCH 기반 LOHC 시스템 도입 및 LNG 터미널 전환 연구로 수소 수입 인프라 구축 비용 절감 추진<sup>77)</sup>
  - 엔케이 : 압축수소 저장 탱크 국산화(Type IV 복합재) 및 해외 수출로 시장 경쟁력 확보<sup>78)</sup>



출처 : 효성중공업

### | 세계 최초 수소 엔진 발전 기술 |

73) SK E&S, “인천 액화수소 플랜트 건설 현황”, 2024  
 74) 현대자동차그룹, “차세대 수소차 기술개발 로드맵”, 2024  
 75) 포스코, “수소환원제철 연계 수소저장 계획”, 2024  
 76) 효성, “액화수소 사업 확장계획”, 2024  
 77) 한국가스공사, “LOHC 기술개발 현황”, 2024  
 78) 엔케이, “국내 수소저장 기술 현황”, 2024

## ❖ 전국 단위의 배관망·항만·액화 인프라 구축을 통한 생산-운송-공급 전 과정의 효율성과 안정성 제고 및 권역별 거점 활용 국내 공급망과 국제 교역망 고도화

- (전국 단위 수소 배관망 확충) 산업단지 간 연계를 위한 1,000 km 규모 전용 배관망 구축 본격화
  - 현재 울산(63 km), 여수(27 km), 대산(15 km) 등 총 200 km 수준인 수소 배관망을 2030년까지 1,000 km로 확대하여 주요 산업단지 간 연결망 구축 <sup>79)</sup>
  - 서해안(대산-당진-보령-서산), 남동임해(울산-부산-여수-광양) 축 연결을 최우선 과제로 설정하고 주요 산업거점 직결
  - 압축기 스테이션, 중간 저장소, 안전시설 등 관련 인프라를 동시 구축으로 안정적이고 경제적인 수소 공급 체계 완성
- (수소항만 개발 및 해외도입 거점화) 해외에서 생산되는 청정수소의 안전하고 효율적인 도입을 위한 전용 항만 시설 구축
  - 5대 권역 항만 조성 : 인천(50만 톤), 평택·당진(80만 톤), 삼척(60만 톤), 포항(100만 톤), 부산(70만 톤)<sup>80)</sup>
  - 수소 저장 탱크, 기화 설비, 품질 검사 시설, 안전 관리 시설의 통합적 배치로 해외 수소의 안전한 도입과 국내 공급망 연결
    - \* 각 항만별로 액화수소, 암모니아, LOHC 등 다양한 형태의 수소 운반체를 처리할 수 있는 특화된 하역·저장·공급 시설 구축
    - \* 부산항의 경우 동남아시아 수소 허브 역할을 목표로 역내 수소 교역의 중계기지 기능 수행
- (액화수소 공급망 전국 확산) 액화수소 인프라가 전국 주요 거점에 구축되면서 효율적 공급망 형성
  - 효성 울산(연 1,300톤) 가동 중, SK E&S 인천(30,000톤), 린데코리아 여수(13,000톤), 에어리퀴드 군산(8,000톤) 추가로 연간 5만 톤 규모 달성 예정
  - 2030년 까지 총 연 5만 톤 생산 능력 확보 및 충전소 100개소 확대, 수소 상용차 충전 편의성 대폭 개선

79) 한국가스공사, “전국 수소 배관망 마스터플랜”, 2024

80) 해양수산부, “수소항만 개발 종합계획”, 2024



## | 국내 수소산업의 구조적 변화와 지역별 전략 및 인프라 구축 현황 |

구분	주요내용	세부내용 및 전망
수소시장 구조적 전환 및 지역별 허브 구축	<ul style="list-style-type: none"> <li>수소시장 확대(발전·수송·산업 전반)</li> <li>지역 자원 및 산업 기반 연계 수소 허브 발전</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>연간 소비량 22만 톤 → 2030년 390만 톤 → 2050년 2,700만 톤, 최대 120배 성장 전망</li> <li>울산(부생수소 및 블루수소), 여수(청정수소 공급), 서산(수소트럭 실증·그린수소), 인천(세계 최대 액화수소 플랜트 및 연료 공급) 등</li> </ul>
전주기 생태계 전략	<ul style="list-style-type: none"> <li>대기업 중심 저장·운반 등 전주기 사업 추진</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>SK(인천 액화플랜트), 현대차(BMW와 공동 연구), 포스코(수소환원제철 연계 저장 인프라), 삼성물산(글로벌 운송기술 등)</li> </ul>
중견·신생기업 상용화	<ul style="list-style-type: none"> <li>중견·스타트업의 저장·운반 기술 개발과 상용화</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>효성(국내 최초 액화수소 플랜트), 한국가스공사(LOHC 시스템 도입 및 LNG 터미널 전환 연구), 엔케이(국산 압축수소 탱크)</li> </ul>
전국 공급망 및 인프라	<ul style="list-style-type: none"> <li>배관망, 항만, 액화 인프라 구축으로 생산-운송-공급 전 과정 효율성 증대</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2030년까지 1,000km 수소 전용 배관망 구축</li> <li>5대 권역 수소항만(인천, 평택, 당진, 삼척, 포항, 부산) 중심 수소 운반체 하역·저장 시설 구축</li> <li>2030년까지 연 5만 톤 액화수소 생산 능력 확보</li> </ul>

### 3. 기술개발 동향

#### ❖ 연구기관의 핵심기술 개발과 기업의 상용화 성과를 통해 수소 저장·운송 기술 경쟁력 강화

| 국내 수소 저장·운송 기술 개발 동향 |

구분	기관	기술 분야	핵심기술 및 성과
대학·정부출연연	KIST	LOHC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 세계 최초 LOHC 수소추출 성능평가 플랫폼 구축(20여 개 기관 활용)</li> <li>• 바이페닐계 LOHC 개발로 수소 추출속도 20% 향상</li> <li>• 나노촉매로 부산물 1/20 저감 및 촉매 수명 향상</li> </ul>
	KRICT	피리딘계 LOHC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MBP 기반 6.2 wt% 고밀도 저장 및 280℃ 저온 탈수소화</li> <li>• 700bar 대비 5배 체적 저장밀도로 운송 효율 개선</li> <li>• 전기화 추출로 수소 생산 효율 증대 및 비용 절감</li> </ul>
	POSTECH	MOF·금속수소화물	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ti-V-Cr-Mn 합금(4.2 wt% 저장, 저비용 구조)</li> <li>• MgH<sub>2</sub> 나노구조화(반응속도 10배, 온도 100℃ 저감)</li> <li>• MOF-금속 복합 및 AI 설계 기반 신소재 탐색</li> </ul>
기업	현대자동차	극저온압축 수소	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BMW·프라운호퍼와 CcH<sub>2</sub> 공동개발</li> <li>* 주행거리 800 km, 충전시간 40% 단축, 도로시험 진행 중</li> </ul>
	효성중공업	액화수소	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Air Products와 협력, 1,300톤급 울산 플랜트 가동</li> <li>* 2027년 5,000톤 확장 및 부품 국산화, 효율 25% → 35% 개선</li> </ul>
	한국가스공사	LOHC 수송	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 치요다와 MCH 기반 SPERA 시스템 실증(울산-인천)</li> <li>• 천연가스 인프라 활용으로 투자비 절감, 해외 LOHC 공급망 구축</li> </ul>

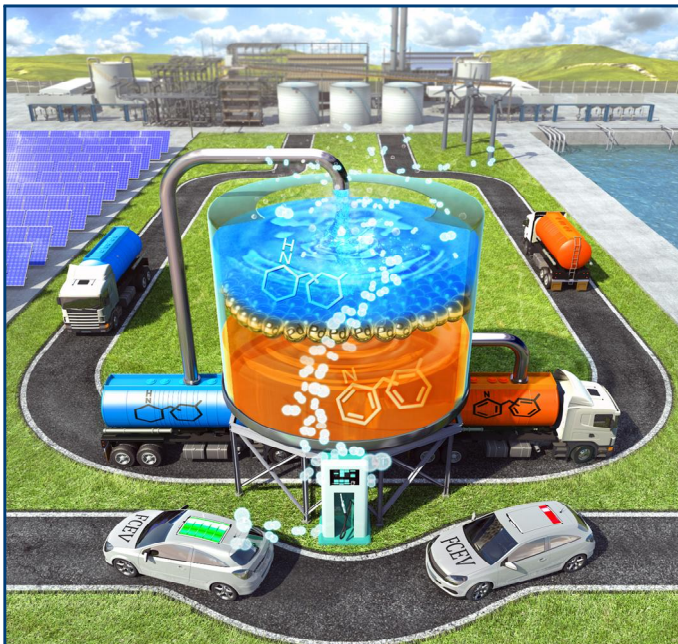
#### ❖ LOHC·MOF·금속수소화물 등 핵심 기술 분야에서 국내 대학·출연연의 세계 수준의 연구 성과 창출로 수소 저장·운반 기술 경쟁력 강화

- (LOHC 기술) 세계적 수준의 LOHC 촉매 및 시스템 기술을 선도하며 관련 분야 연구를 주도 (KIST)
  - (LOHC 수소 추출성능 평가 플랫폼) 세계 최초 평가 플랫폼을 구축하여 다양한 LOHC 물질 성능을 정량적 비교·평가, 국내외 20여 개 연구기관에 개방<sup>81)</sup>
  - (바이페닐 기반 LOHC(BPDM) 개발) 기존 톨루엔/MCH 시스템 대비 수소 추출 속도 20% 향상, 독자 물질로 기술 경쟁력 확보
  - (나노촉매) 탈수소화 부산물 생성을 기존의 1/20 수준으로 감소시켜 촉매 오염 문제 해결 및 상용화 가능성 제고<sup>82)</sup>

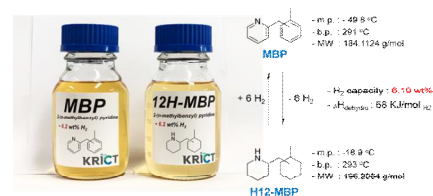
81) KIST, "LOHC 기술개발 성과보고서", 2024

82) KIST, "나노촉매 기술개발 현황", 2024

- (피리딘계 LOHC 기술) 세계 유일의 피리딘계 화합물 기반 LOHC 기술을 개발하며 국제 경쟁력 확보(KRICT)
  - (2-(N-methylbenzyl)pyridine(MBP) 개발) 수소 결합 친화적 구조 설계를 통해 6.2 wt%의 고밀도 수소저장 구현 및 열적 안정성에서 우수한 성능 입증<sup>83)</sup>
  - (탈수소화 온도 저감) 기존 350 °C에서 280 °C로 낮춰 에너지 효율성을 크게 개선하고 상용화 가능성 제고
  - (고밀도 저장) 700 bar 압축수소 대비 5배 이상의 체적 저장밀도로 운송 효율성 개선
  - (전기화 기반 추출) 전기 에너지 활용 탈수소화 제어를 통해 반응 효율과 수소 생산 속도 극대화 및 비용 절감
- (차세대 수소저장 소재 기술) MOF·금속수소화물 등 차세대 소재 기반의 수소 저장 기술 혁신 성과 창출(POSTECH)<sup>84)</sup>
  - (Ti-V-Cr-Mn 합금) 희토류 무함유 합금으로 4.2 wt%의 수소저장 용량 확보, 제조비용 1/3 수준 절감
  - (MgH<sub>2</sub> 나노구조화) 볼밀링 기반 나노구조화로 반응속도 10배 향상, 작동온도 100 °C 이하
  - (MOF-금속 하이브리드) 안정성과 흡착량을 동시에 개선한 MOF-금속 복합재료 개발
  - (기계학습 기반 소재 설계) AI 활용 MOF 소재 설계 기법으로 MOF 구조 중 최적 성능 물질을 효율적으로 탐색하는 기술 확보



"2-(N-Methylbenzyl)pyridine: A Potential Liquid Organic Hydrogen Carrier with Fast H<sub>2</sub> release and Stable Activity in Consecutive Cycles"  
J.H. Park et al, *ChemSuschem*, 2018



### | 한국화학연구원(KRICT) LOHC 소재 기술 |

83) 한국화학연구원, "MBP 기술개발 및 상용화 계획", 2024

84) 포항공과대학교, "차세대 수소저장 소재 연구", 2024

## ❖ 기업의 극저온압축수소·액화수소·LOHC 등 핵심 저장·운송 기술의 상용화와 대량생산 체계 확립으로 수소산업 경쟁력 강화

- (극저온압축수소 기술 실용화) 현대자동차가 BMW, 프라운호퍼 연구소 등과 공동연구를 통해 차세대 수소차 핵심기술인 극저온압축수소 시스템 실용화 추진
  - 차세대 수소차에 CCH<sub>2</sub> 기술 적용으로 주행거리 확대(현재 609 km → 800 km 이상)
    - \* 실증차량 개발 : 2024년부터 CcH<sub>2</sub> 적용 시험 차량을 제작하여 실도로 주행 시험을 진행 중이며, 2026년 양산 모델 적용 예정
  - 기존 700 bar 압축수소 대비 충전시간 40% 단축, 증발손실 최소화로 충전 효율 및 안전성 향상
- (액화수소 기술 자립 및 대량생산 체계 확립) 효성중공업이 미국 에어 프로덕츠(Air Products)와 협력하여 핵심 액화 기술 국내 도입, 국산화 및 상용화 추진
  - (국내 최초 상업 플랜트 가동) 2022년 울산에 연간 1,300톤 규모의 액화수소 플랜트를 가동하여 국내 액화수소 시대의 출발점 마련<sup>85)</sup>
    - \* 2단계 확장 계획: 2027년까지 연간 5,000톤 규모로 확대하여 전국 액화수소 수요의 50% 이상 공급 능력 확보
  - (기술 도입 및 국산화) 대용량 액화수소 기술을 도입한 후 핵심 부품의 국산화 추진
    - \* 액화효율 개선 : 기존 25% 수준인 액화효율을 35% 이상으로 향상시켜 경제성 확보와 에너지 손실 최소화 동시 달성
- (LOHC 기술 상용화 기반 구축) 한국가스공사가 일본 치요다 코퍼레이션과 협력하여 MCH 기반 SPERA Hydrogen 시스템을 국내 실증 및 상용화<sup>86)</sup>
  - (실증 프로젝트 추진) 2025년부터 울산-인천 구간 LOHC 실증을 통해 장거리 수송 안전성과 경제성 검증
  - (LOHC 전환) 천연가스 저장·운송 인프라를 LOHC에 응용하여 초기 투자비 절감 및 조기 상용화 실현
    - \* 동남아(말레이시아·브루나이 등)에서 생산되는 수소를 LOHC 형태로 도입하는 공급망 구축을 통해 수소 수입 사업 진출

## ❖ 정부 주도의 전략적 R&D 투자와 협력 네트워크를 기반으로 LOHC·MOF·금속수소 화물 등 핵심 분야 원천기술 확보 및 상용화 기반 강화

- 과학기술정보통신부가 주도한 ‘수소에너지혁신기술개발사업’은 2019~2023년 5년간 총 486억 원을 투입하여 핵심 분야별 연구성과를 창출
  - (LOHC 수소저장 원천기술) KIST, KRICT, KAIST, POSTECH 등 주요 연구기관의 차별화된 LOHC 기술 개발 성과 창출<sup>87)</sup>

85) 효성, “액화수소 기술 독립 현황”, 2024

86) 한국가스공사, “LOHC 기술 도입계획”, 2024

- \* KIST : 세계 최초 LOHC 수소 추출 성능 평가 플랫폼 구축 및 바이페닐계 LOHC 개발로 수소 추출 속도 향상, 나노촉매로 부산물 대폭 감소
- \* KRICT : 피리딘계 기반 LOHC 독자 개발, 6.2 wt% 고밀도 수소 저장 구현과 저온 탈수소화, 전기화 추출 기술 개발
- \* KAIST·POSTECH : MOF, 금속수소화물 기반 차세대 고효율 수소저장 소재 연구와 AI 기반 소재 설계 혁신
- (국가수소중점연구실 운영) LOHC 차세대 기술 및 기술 실증 개발
  - \* KRICT 주관 과기부 지정 국가수소중점연구실을 중심으로 KIST·한양대·포항공대·서울대·고등기술연구원이 공동 참여
- (고체 수소저장 기술) MOF·금속수소화물 분야에 대한 집중 투자로 서울대, 연세대, 성균관대가 고성능 MOF 물질 및 대량생산 기술 확보
- (수전해 기술 혁신) 알칼라인 및 PEM 수전해 분야에서 세계 최고 수준 성능 달성으로 청정 수소 생산 기술의 글로벌 경쟁력 강화
- (기술사업화 지원) 개발된 연구 성과의 실용화를 위해 기업 연계 프로그램과 스핀오프 지원을 통한 사업화 촉진
- 차세대 수소 기술의 원천특허 확보로 미래 수소경제 선도 및 기술 자립 기반 강화
  - (특허 출원) 5년간 247건의 특허 출원을 통해 핵심 기술의 지식재산권 확보와 해외 시장 진출 기반 마련<sup>87)</sup>
  - (국제 공동연구 확대) 국가수소중점연구실과 글로벌탑 전략연구단을 중심으로 미국, 일본, 독일, 호주 등과 공동연구를 추진하여 글로벌 기술 트렌드 선도
  - (산학연 협력 강화) 대학·연구소·기업 간 협력과 기초연구-실증-상용화로 이어지는 연구 개발 연계 구조 강화로 R&D 효율성 극대화

87) 과학기술정보통신부, “수소에너지혁신기술개발사업 성과”, 2024

88) 과학기술정보통신부, “수소 R&D 특허 성과분석”, 2024



## 4. 국제협력 동향

- ❖ 일본, 호주, 중동 주요국과의 양자 협력을 제도화하고 ASEAN+3 등 지역 협력체를 통한 다자 협력을 통해 글로벌 수소 공급망과 기술·표준 네트워크를 강화

### | 한국의 글로벌 수소 협력 현황 및 주요 내용 |

구분	주요 내용	핵심기술 및 성과
한-일본	<ul style="list-style-type: none"> <li>4개 분야(공급망, 인증, 표준, 안전) 워킹그룹 운영</li> <li>민간주도 협력 플랫폼 구축 및 정부 차원 정례협력</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>현대차-토요타 수소 기술 공동개발</li> <li>SK E&amp;S-JXTG 액화수소 공급망 구축</li> <li>포스코-JFE 수소환원제철 협력</li> <li>동남아, 호주, 중동 청정수소 공동 도입 검토</li> <li>한-일 수소 비즈니스 포럼 정례 개최</li> </ul>
한-호주	<ul style="list-style-type: none"> <li>'21년 MOU 기반 청정수소 협력</li> <li>대규모 그린암모니아 및 액화수소 공급망 실증</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>포스코-Fortescue 5GW 태양광·2.5 GW 전해조 기반 공급 프로젝트</li> <li>연구기관 공동기술 개발 및 제3국 진출 협력 추진</li> </ul>
한-중동	<ul style="list-style-type: none"> <li>중동 에너지자원과 한국 기술 연계 강화</li> <li>대형 블루암모니아 프로젝트 및 그린수소 협력 확대</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>삼성엔지니어링-SABIC 300만 톤 규모 블루암모니아 ('25년 착공)</li> <li>ADNOC, 마스다르와 그린수소 생산·수출 협력</li> </ul>
다자협력 (ASEAN+한·중·일)	<ul style="list-style-type: none"> <li>지역 내 수소 생태계 구축 위한 협력 강화</li> <li>공동 표준·인증체계 구축 주도</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>인도네시아, 말레이시아 등 그린수소 생산 프로젝트</li> <li>역내 수소 교역 활성화 위한 인증 체계 구축</li> </ul>

- ❖ 주요국과의 양자 협력 제도적 고도화와 기술·공급망·시장 연계를 중심 공동 프로젝트 추진으로 실질적 협력체계 강화

- (한-일 수소 협력) '한-일 수소·암모니아 협력 대화'를 바탕으로 정부 차원의 정례적 협력 체계 확립<sup>89)</sup>
  - (4개 분야 워킹그룹 구성) ① 공급망 개발, ② 탄소집약도 인증, ③ 표준화, ④ 안전 분야로 세분화하여 전문성과 실효성 제고
    - \* (공급망 개발) 동남아시아, 호주, 중동 등에서 생산되는 청정수소의 공동 도입 방안 검토. 액화수소 운반선, LOHC 시스템 등에서 양국의 기술적 강점을 결합하여 최적의 수소 운송 솔루션 개발
    - \* (탄소집약도 인증) 한국의 청정수소 인증제도와 일본의 수소 품질 기준의 상호 연계로 국제적 상호 인정 체계 구축
    - \* (표준화) 수소, 암모니아 관련 기술 및 제품의 국제적 표준 마련
    - \* (안전) 수소, 암모니아의 생산·저장·운송·활용 전 단계에서 안전관리 기준 상호 조율

89) 한-일 수소협력 대화, "공급망 개발 워킹그룹 보고서", 2025

- (민간 주도 협력 플랫폼 구축) 정부 차원 협력을 바탕으로 민간 기업과 연구기관 간 실질적 협력 사업 발굴·지원 체계 구축
  - \* (현대차-토요타 수소차 기술 협력) 차세대 연료전지 기술과 수소저장 기술에서 공동 연구개발을 통해 기술 발전 속도 가속화<sup>90)</sup>
  - \* (SK E&S-JXTG 수소 공급망) 일본 JXTG와의 협력을 통해 액화수소 공급망 구축과 수소 수입 사업에서 전략적 파트너십 구축
  - \* (포스코-JFE 수소환원제철) 양국 철강업계의 협력을 통해 수소환원제철 기술 개발과 대용량 수소 저장 기술의 공동 개발 추진
  - \* (한국수소산업협회-일본수소협회) 2024년 서울, 2025년 도쿄에서 개최되는 한-일 수소 비즈니스 포럼을 통해 양국 기업 간 협력 기회 확대
- (정책 조화) 한국의 청정수소 인증제도와 일본의 수소 품질 기준 간 상호 연계 방안을 논의로 양국 간 수소 교역 활성화 기반 마련
- (한-호주 수소 협력) 2021년 체결된 한-호주 수소 MOU 이후, 청정수소 생산·공급 중심의 양자 협력으로 발전
  - (포스코-Fortescue 그린수소 프로젝트) '27년부터 연간 50만 톤의 그린암모니아를 한국에 공급하는 대규모 프로젝트로 호주 필바라 지역에 5 GW 태양광 발전소와 2.5 GW 전해조 건설<sup>91)</sup>
  - (액화수소 공급망 실증) 호주 생산 수소를 액화하여 한국으로 운송하는 공급망의 경제성과 기술적 안정성을 검증하는 실증 프로젝트 추진
  - (기술 협력 확대) 호주의 풍부한 재생에너지 자원과 한국의 수소 기술력을 결합하여 제3국 수소 프로젝트 공동 진출 방안 모색
  - (연구개발 협력) 양국 연구기관 간 수소 생산, 저장, 운송 기술 공동연구를 통해 차세대 수소 기술 개발 가속화
- (한-중동 수소 협력) 중동 지역의 풍부한 에너지 자원과 한국의 수소 기술 및 수요를 연결하는 포괄적 협력 추진
  - \* 한국의 수소 저장·운송 기술을 중동 지역에 수출하고, 중동의 자원을 활용한 한국 내 수소 인프라 투자 유치
  - (한-사우디 협력) 삼성엔지니어링과 SABIC의 연간 300만 톤 규모 세계 최대 수준 블루 암모니아 프로젝트 추진(2025년 착공, 2028년 생산) <sup>92)</sup>
  - (한-UAE 그린수소 협력) ADNOC, 마스다르 등 UAE 국영기업과 한국 기업 간 그린수소 생산과 수출 협력으로 다양한 수소 공급망 확보

90) 현대자동차-토요타, "수소차 기술협력 현황", 2024

91) 포스코-Fortescue, "그린수소 프로젝트 협약서", 2024

92) 삼성엔지니어링-SABIC, "블루암모니아 프로젝트", 2024

## 다자 협력 플랫폼을 기반으로 역내 수소 기술·표준·교역망을 확장하여 아시아 수소경제 네트워크 구축 가속화

- (ASEAN+3 수소 이니셔티브) 동남아시아의 풍부한 재생에너지 자원과 동북아시아의 수소 기술 및 수요를 연결하는 지역 협력 강화
  - (다자간 협력) ASEAN 10개국과 한·중·일이 참여하는 수소 협력 이니셔티브를 통해 지역 내 수소 생태계 구축<sup>93)</sup>
    - \* 인도네시아 : 지열 발전(18 GW 잠재력) 기반 그린수소 생산과 한국의 LOHC 기술을 결합한 수소 공급망 구축 프로젝트
    - \* 말레이시아 : 수력 발전(25 GW 잠재력)을 활용한 그린수소 생산과 팜오일 부산물을 이용한 바이오매스 수소 생산 협력
  - (기술 표준) 역내 수소 교역 활성화를 위한 공통 기술 표준과 인증 체계 구축에 한국이 주도적 역할 수행

## 국제표준화 주도 및 글로벌 기술 거버넌스 참여

- (ISO/IEC 국제표준화 참여) 수소 관련 국제표준 개발에서 주요국과 함께 선도적 역할 수행<sup>94)</sup>
  - ISO/TC 197(수소기술), IEC/TC 105(연료전지) 등 국제표준화기구의 핵심 의장국과 간사국으로 참여
  - 압축수소·액화수소·LOHC 등 저장·운송 관련 기술표준을 제안하며 글로벌 표준화 선도
  - 한국표준과학연구원(KRISS)을 중심으로 아시아 표준 협력을 통해 지역 표준을 국제표준으로 발전시키는 전략 추진

93) ASEAN+3 수소 이니셔티브, “지역협력 기본계획”, 2024

94) 한국표준과학연구원, “ISO/IEC 수소표준 개발현황”, 2024

## IV

## 결론

## 1. 시사점

✚ 글로벌 수소 저장·운반 기술은 단일 기술로는 전 세계의 다양한 수요와 조건을 충족할 수 없으며, 기술 간 상호 보완이 핵심 대응 방향으로 부상하고 있음

- 실증 프로젝트를 통해 각 기술의 한계와 장점이 명확히 드러났으며 지역·거리·용도별 특성에 맞춘 기술 조합 전략 필요함
- 암모니아, LOHC, 액화수소 등 여러 운반체 기술이 상호 보완적으로 활용되면서 단일 기술 경쟁에서 통합적 인프라 운영 역량 경쟁으로 전환 진행 중
- 특정 기술에 대한 집중보다는 시장 경쟁을 통해 효율적 기술이 선택될 수 있는 기술 중립적 환경 조성이 필요함

✚ 암모니아, 메탄올, LOHC 등 화학적 수소 저장 기술은 국가 간 에너지 교역 구조와 공급망 안정성에 영향을 미치는 전략적 핵심기술로 평가되고 있음

- 이들 기술은 수소의 장거리 운송과 대규모 저장에 적합하여, 생산지와 소비지를 연결하는 국제 수소 공급망의 기반을 형성하고 있음
- 암모니아·메탄올은 기존 인프라를 활용할 수 있어 초기 상용화와 시장 진입이 용이, LOHC는 상온·상압에서 취급 가능하고 안전성·재사용성 측면에서 우수하여 중장기 활용 잠재력이 큼
- 이에 따라 각국은 기술 효율화와 탈탄소 전환 촉진을 위한 연구개발 및 국제협력 투자를 확대하는 추세임

#### ❖ 수소 저장·운반 기술은 에너지 효율 향상, 안전성 확보, 비용 절감을 핵심 축으로 한 기술 혁신과 경쟁력 제고가 향후 개발 방향의 최우선 과제임

- (에너지 효율성) 액화·압축·LOHC 등 기술별 에너지 손실 최소화와 공정 간 열·전력 통합을 통한 시스템 효율 극대화 필요
- (안전성 강화) AI 기반 예측진단, 고강도 복합소재, 실시간 누출 감지 등 차세대 안전 기술 확보가 대용량 상용화의 전제조건으로 부상
- (비용 경쟁력 확보) 저장·운반 공정이 공급비용의 30~50%를 차지함에 따라, 설비 대형화·공정 표준화·인프라 전환을 통한 경제성 제고(20% 이하로 절감) 필요

#### ❖ 수소 시장의 급성장은 산업 구조 변화와 함께 경쟁 체계의 전환을 촉진, 에너지·화학 중심 산업에서 고부가 기술 산업으로의 이행을 가속화하고 있음

- 저장·운반 시장은 2030년대 상용화를 앞두고, 촉매·소재·제어시스템 등 핵심 부품 기반의 기술집약형 신산업 생태계로 진화 중
- 기존 에너지·화학 기업은 수소 인프라 및 공급망 중심의 사업 구조로 전환하고 혁신 스타트업의 부상으로 산업 간 융합이 가속화되는 양상
- 기술표준·인증·서비스 등 파생 산업의 확산이 수소경제 전반의 부가가치 창출과 고용 확대를 동반하며 산업 생태계가 본격적으로 활성화되고 있음

#### ❖ 수소 저장·운반 정책은 기술 중립성, 시장 중심성, 국제 표준화를 축으로 한 균형적이고 단계적인 추진이 요구됨

- 특정 기술에 대한 선별적 집중보다 실증과 경쟁을 통한 기술 발전 환경을 조성하고 공정하고 투명한 지원 체계를 마련해야 함
- 수소 운반체별 품질·안전·성능 기준의 국제 규격화를 선도하며 ISO·IEC 등 국제표준 주도권 확보를 통해 글로벌 시장 진출 기반을 강화
- 단기적으로는 경제성이 검증된 압축수소·암모니아 인프라를 활용하고 중장기적으로는 LOHC·액화수소 등 차세대 기술에 대한 전략적 투자와 단계적 확산 필요



### ✚ 글로벌 수소경제 전환 가속화에 대응해 국제협력은 다자 협력 기반 확대와 공급망 안보·기술 표준의 고도화 중심으로 협력 전략이 요구됨

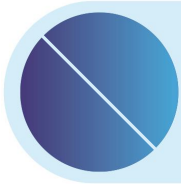
- 중동·호주·남미 등 주요 생산국과의 다자 실증·기술협력을 통해 안정적 공급망 구축과 기술 표준 연계를 병행해야 함
- G20, IEA, ASEAN+3 등 국제 플랫폼을 활용한 공동 연구와 인력 교류를 강화하여 글로벌 기술 경쟁력과 협력 네트워크를 확립해야 함
- 수소 공급 차질에 대비한 전략비축, 공급선 다변화, 비상 대응체계를 국제 공조 하에 구축하여 공급망 안정성을 제도적으로 확보해야 함

### ✚ 미래 전략은 2030년대 상용화 시대를 대비해 기술·시장·인력·표준이 유기적으로 연계된 국가 대응 체계 구축이 요구됨

- 핵심 기술 우위 확보와 표준화 선점을 통해 시장 진입 기회를 확대하고 주요 시장에서의 조기 진출전략으로 주도권을 확보해야 함
- AI·IoT·빅데이터 등 디지털 기술을 수소 공급망 운영 전반에 통합해 예측 기반 관리와 운영 효율성을 제고해야 함
- 수소 저장·운반 시스템을 순환경제 원리에 따라 설계하여 자원·에너지·인프라의 지속 가능성을 확보하고 사회적 수용성을 고려한 산업 생태계를 조성해야 함

### | 시사점 요약 |

구분	주요 내용
기술 다양성의 필연성	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 단일 기술로는 모든 요구사항 충족 불가</li> <li>• 거리별 최적화 : 3,000 km 이하 파이프라인, 이상 해상운송</li> <li>• 용도별 특화 : 암모니아(장거리), 액화수소(중거리), LOHC(도심)</li> <li>• 기술 중립적 정책 지원을 통한 시장 경쟁 유도 필요</li> </ul>
파이프라인 인프라 중요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2050년 수소 운송의 최대 비중 차지 전망</li> <li>• 기존 천연가스관 개조로 건설비 1/3~1/2 절감</li> <li>• 유럽 40,000 km 통합 네트워크 구축</li> <li>• 한국 : 국내 배관망과 대륙 연결 파이프라인 검토</li> </ul>
수소 운반체 기술 부상	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 암모니아 : 17.8% 수소함량, 1.8억 톤 기존 인프라 활용</li> <li>• LOHC : 상온·상압 취급, 도심 지역 압도적 우위</li> <li>• 메탄올 : 기존 화학 운송 인프라 활용 가능</li> <li>• 전환 효율, 촉매 성능 등 기술 발전 가속화</li> </ul>
기술개발 우선순위	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 에너지 효율성 : 액화수소 25~30% → 40%, LOHC 80% 이상 목표</li> <li>• 안전성 혁신 : AI 기반 예측, 수소 침투 차단 소재 개발</li> <li>• 비용 절감 : 저장·운반 비용 30~50% → 20% 이하 목표</li> <li>• 시스템 통합 : 재생에너지-생산-저장-활용 전주기 최적화</li> </ul>
시장 성장 전망	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2024년 125억 달러 → 2033년 357억 달러(연 12.8% 성장)</li> <li>• 2030년대 이후 연 20% 이상 초고속 성장 가능</li> <li>• 신산업 생태계 : 촉매, 소재, 센서, 제어시스템</li> <li>• 2050년 전 세계 4,200만 일자리 중 30% 저장·운반 분야</li> </ul>
지역별 특화 전략	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 유럽 : 파이프라인 중심 역내 통합, 북아프리카 수입 허브</li> <li>• 아시아 : 해상운송 중심, 일본 기술+한국 제조+중국 수요</li> <li>• 중동·북아프리카 : 세계 최대 수소 생산·수출 지역</li> <li>• 호주·남미 : 그린수소 전문 생산국</li> </ul>
정책적 시사점	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기술 중립성 : 다양한 기술에 균형잡힌 지원</li> <li>• 국제 표준화 : 청정수소 인증제도 성공 기반 확장</li> <li>• 인프라 투자 : 거점 중심 집중 투자, 민간 투자 유도</li> <li>• 규제 혁신 : 새로운 기술 상용화 환경 조성</li> </ul>
국제협력 방향	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 다자 협력 확대: 한-일, 한-독 양자 → 다자간 확장</li> <li>• 공동 실증 : 대용량 공급망 다국가 공동 추진</li> <li>• 공급망 안보 : 전략비축, 공급선 다변화, 비상 대응</li> <li>• 기술 표준화 : 생산국-소비국 공동 표준 개발</li> </ul>
미래 대응 전략	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2030년대 임계점 대비 : 기술 우위, 표준화 선점, 시장 선점</li> <li>• 융복합 기술 : 하이브리드 시스템, 디지털 통합, 자동화</li> <li>• 순환경제 : 자원 순환, 인프라 다목적화, 환경 영향 최소화</li> <li>• 인력 양성 : 상용화 시대 전문 인력 대량 양성 체계 구축</li> </ul>
결론	수소 저장·운반 기술의 다양성 확보, 국제표준화 선도, 전략적 국제협력, 미래 변화 선제 대응을 통해 글로벌 수소경제 주도권 확보 필요



## 참고문헌

1. 수소위원회, “Hydrogen Insights 2024”, 2024.5
2. 유럽연합 집행위원회, “REPowerEU Plan”, 2022.5
3. 일본 경제산업성, “수소 기본전략 개정판”, 2023.6
4. 중동 수소 협의체, “Middle East Hydrogen Strategy”, 2024.3
5. 국제에너지기구(IEA), “Global Hydrogen Review 2024”, 2024.9
6. 미국 재생에너지연구소(NREL), “Hydrogen Storage Cost Analysis”, 2024.2
7. Air Liquide, “Liquid Hydrogen Technology Report”, 2023.11
8. NREL, “Hydrogen Storage Economics and Technology”, 2024.6
9. 수소위원회, “Global Hydrogen Flows Study”, 2022.11
10. 국제 암모니아 협회, “Ammonia as Hydrogen Carrier”, 2024.7
11. NREL, “Metal Hydride Storage Systems”, 2024.5
12. 가스 인프라 유럽(GIE), “European Gas Infrastructure”, 2024.6
13. 유럽 수소백본 이니셔티브, “Hydrogen Infrastructure Report”, 2024.10
14. JRC 유럽연합 공동연구센터, “Hydrogen Transport Economics”, 2024.2
15. 독일 수소 운송 협회, “Hydrogen Transport Cost Analysis”, 2024.4
16. 유럽연합 집행위원회, “REPowerEU: Joint European Action for more affordable, secure and sustainable energy”, 2022.5.18
17. 유럽연합, “Renewable Energy Directive (EU) 2023/2413”, 2023.10.18
18. European Hydrogen Backbone, “A European hydrogen infrastructure vision covering 28 countries”, 2024.4.15
19. 유럽연합, “6th List of Projects of Common Interest”, 2023.11.28
20. 독일 연방경제기후보호부, “National Hydrogen Import Strategy”, 2024.7.26
21. 독일 연방네트워크청, “Hydrogen Core Network Development Plan”, 2024.8.15
22. 일본 경제산업성, “Basic Hydrogen Strategy (Revised Edition)”, 2023.6.6
23. 일본 특허청, “Hydrogen Technology Patent Analysis Report”, 2024.5.20
24. 일본 에너지전략연구소, “Hydrogen Power Generation Roadmap”, 2024.3.12
25. 미국 에너지부, “Regional Clean Hydrogen Hubs Program Update”, 2024.10.18
26. 사우디 NEOM, “Green Hydrogen Project Implementation Report”, 2024.6.8.

27. UAE 에너지부, “UAE Hydrogen Leadership Roadmap”, 2024.2.28.
28. 오만 에너지수자원부, “National Hydrogen Strategy 2040”, 2024.1.15
29. MarketsandMarkets, “Hydrogen Storage Tanks and Transportation Market Global Forecast to 2033”, 2024.11.15
30. 국제에너지기구(IEA), “Global Hydrogen Review 2024: Towards a Clean Energy Future”, 2024.9.26
31. Verified Market Reports, “Hydrogen Storage and Transportation Market Analysis by Technology”, 2024.12.3
32. 국제에너지기구(IEA), “The Future of Hydrogen Transport: Shipping Requirements to 2050”, 2024.6.25
33. 한국조선해양공업협회, “K-수소 드림팀 액화수소 운반선 개발 현황”, 2024.11.8
34. European Hydrogen Backbone, “Five Pillars of the European Hydrogen Infrastructure”, 2024.4.30
35. SouthH2 Corridor, “North Africa to Europe Hydrogen Pipeline Project Update”, 2024.8.9
36. H2Med Project Office, “Barcelona-Marseille Hydrogen Pipeline Development”, 2024.7.4
37. 중국 국가발전개혁위원회, “国家氢能产业发展中长期规划实施情况”, 2024.10.12
38. 치요다 코퍼레이션, “SPERA Hydrogen Global Supply Chain Expansion Plan”, 2024.9.25
39. Hydrogenious LOHC Technologies, “European LOHC Infrastructure Development Report”, 2024.8.21
40. Hexagon Purus, “Advanced Composite Hydrogen Storage Solutions”, 2024.10.7
41. GKN Hydrogen, “Metal Hydride Storage Systems for Grid-Scale Applications”, 2024.12.1
42. Hexagon Composites, “Long-term Performance of Composite Hydrogen Tanks”, 2024.9.22
43. SINTEF, “Advanced Hydrogen Leak Detection Systems”, 2024.7.11
44. 유럽연합 집행위원회, “HyTunnel-CS Project Final Report”, 2024.6.18
45. 국제표준화기구(ISO), “ISO 15869-1:2024 Gaseous hydrogen - Tanks for land vehicles”, 2024.4.25
46. UN/ECE, “Global Technical Regulation No. 13 on Hydrogen Vehicles”, 2024.5.14
47. Air Products, “Breakthrough in Hydrogen Liquefaction Efficiency”, 2024.10.9
48. NASA-Air Liquide, “Zero Boil-off Liquid Hydrogen Storage Demonstration”, 2024.8.27
49. Max Planck Institute, “Ortho-Para Hydrogen Conversion Technology”, 2024.9.15.
50. Chart Industries, “Advanced Cryogenic Pressure Vessel Design”, 2024.10.18
51. LLNL, “Cryo-compressed Hydrogen Storage Density Achievement”, 2024.11.3
52. NREL, “Megawatt-Scale Metal Hydride Storage System”, 2024.12.5
53. 한국생산기술연구원, “Mg계 금속수소화물 저온화 기술 개발”, 2024.9.28
54. Northwestern University, “Room-Temperature Hydrogen Storage in MOFs”, 2024.11.15
55. University of Southampton, “Metal-Free Porous Materials for Gas Storage”, 2024.8.31
56. EU 청정수소 파트너십, “EU-Japan Hydrogen Cooperation Agreement Implementation Report”, 2024.9.14
57. 미쓰비시 파워-지멘스 에너지, “Hydrogen Gas Turbine Joint Development Progress”, 2024.10.15

58. ISO/TC 197, "International Standards for Hydrogen Technologies: Annual Report", 2024.11.8
59. 독일 H2Global-일본 JOGMEC, "Strategic Partnership for Global Hydrogen Procurement", 2024.7.19
60. Linde-가와사키중공업, "Europe-Japan Liquid Hydrogen Supply Chain Project", 2024.6.25
61. HySTRA, "Australia-Japan Hydrogen Supply Chain Commercialization Plan", 2024.4.18
62. 미국 에너지부-EU 에너지총국, "Transatlantic Clean Hydrogen Partnership Program", 2024.8.7
63. Air Products-Linde, "Transatlantic Hydrogen Supply Chain Investment Decision", 2024.10.31
64. 캐나다 천연자원부-EU 에너지총국, "Canada-EU Comprehensive Hydrogen Cooperation Agreement", 2024.5.16
65. SK E&S, "수소사업 증장기 전략", 2024
66. 산업통상자원부, "수소 배관망 구축 기본계획", 2024
67. 산업통상자원부, "청정수소 인증제도 운영 가이드라인", 2024
68. 산업통상자원부, "청정수소발전의무화제도 세부 운영방안", 2024
69. 에너지경제연구원, "국내 수소경제 증장기 전망", 2024
70. 에너지경제연구원, "국내 수소경제 증장기 전망", 2024
71. 에너지경제연구원, "국내 수소경제 증장기 전망", 2024
72. 에너지경제연구원, "국내 수소경제 증장기 전망", 2024
73. SK E&S, "인천 액화수소 플랜트 건설 현황", 2024
74. 현대자동차그룹, "차세대 수소차 기술개발 로드맵", 2024
75. 포스코, "수소환원제철 연계 수소저장 계획", 2024
76. 효성, "액화수소 사업 확장계획", 2024
77. 한국가스공사, "LOHC 기술개발 현황", 2024
78. 엔케이, "국내 수소저장 기술 현황", 2024
79. 한국가스공사, "전국 수소 배관망 마스터플랜", 2024
80. 해양수산부, "수소항만 개발 종합계획", 2024
81. KIST, "LOHC 기술개발 성과보고서", 2024
82. KIST, "나노촉매 기술개발 현황", 2024
83. 한국화학연구원, "MBP 기술개발 및 상용화 계획", 2024
84. 포항공과대학교, "차세대 수소저장 소재 연구", 2024
85. 효성, "액화수소 기술 독립 현황", 2024
86. 한국가스공사, "LOHC 기술 도입계획", 2024
87. 과학기술정보통신부, "수소에너지혁신기술개발사업 성과", 2024
88. 과학기술정보통신부, "수소 R&D 특허 성과분석", 2024
89. 한-일 수소협력 대화, "공급망 개발 워킹그룹 보고서", 2025



90. 현대자동차-토요타, “수소차 기술협력 현황”, 2024
91. 포스코-Fortescue, “그린수소 프로젝트 협약서”, 2024
92. 삼성엔지니어링-SABIC, “블루암모니아 프로젝트”, 2024
93. ASEAN+3 수소 이니셔티브, “지역협력 기본계획”, 2024
94. 한국표준과학연구원, “ISO/IEC 수소표준 개발현황”, 2024

