

# 액체수소 저장탱크 및 적하역 시스템 기술개발

2025.04



국토교통부



# 목 차

I 사업 추진배경 및 필요성 .....	1
1절 사업 추진 배경 .....	1
2절 사업 추진 필요성 .....	7
3절 사업추진 근거 .....	17
II 환경분석 .....	22
1절 메가트렌드 분석 .....	22
2절 정책 동향 .....	30
3절 시장·산업 동향 .....	59
4절 기술동향 .....	71
5절 특허 분석 .....	74
III 사업 여건 분석 .....	98
1절 정부 R&D 투자동향 .....	98
2절 유사사업 분석 .....	112
IV 사업 개요 .....	122
1절 사업 방향 설정 .....	122
2절 사업비전 및 목표 .....	126
3절 사업 추진전략 .....	131
4절 사업 추진체계 .....	135
V 사업 추진 과제 .....	144
1절 (구성기술 1) 액체수소 인수기지 평저형 저장탱크 건설 기술 개발 .....	144
2절 (구성기술 2) 액체수소 인수기지 적하역 시스템 기술 개발 .....	168
VI 예산 산출 내역 .....	190

VII 사전 타당성 분석 .....	194
1절 과학기술적 타당성 .....	194
2절 정책적 타당성 .....	200
3절 경제적 타당성 .....	207
4절 파급효과 및 기대효과 .....	219

## 사업개요 및 주요 개념

- 1절. 추진배경 및 필요성
- 2절. 사업 정의 및 범위
- 3절. 사업 추진근거 및 추진경위

# I 사업 추진배경 및 필요성

## 1절 사업 추진 배경

- 국제사회의 기후위기 대응과 지속가능한 에너지로의 전환을 위한 핵심 수단으로 수소가 주목받으며 차세대 에너지원으로 추진력을 얻고 있음
  - 기후 변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC)는 범지구적 탄소중립 목표 달성을 위한 핵심 에너지원으로 수소를 제시하며, 탄소중립 달성 성패를 좌우할 전략적 에너지원임을 강조
    - ※ IPCC Climate Change Report
  - 국제에너지기구(IEA)는 기후위기 대응을 위해 탄소배출이 없는 청정 에너지원인 수소를 에너지 수요와 공급 사슬 전반에서 에너지 운반체(carrier)로서의 활용을 기대
    - ※ IEA Hydrogen Report
    - 수소는 지구상에서 가장 가볍고 동시에 가장 풍부한 원소로, 에너지원으로 이용하기 위해서 연소할 때 온실가스를 배출하지 않아 차세대 친환경 에너지원으로 주목
    - 수소에너지는 전기나 열 등 최종 에너지원으로 변환이 자유롭고 전기와 달리 대용량 장기간 저장이 가능하다는 이점을 지니며 친환경 에너지 시장의 핵심으로 자리매김
  - 차세대 에너지원으로 수소가 주목받으며, 수소를 주 에너지원으로 활용하여 국가경제, 사회 전반, 국민 생활 등 경제사회 전반의 변화를 초래하는 수소경제가 형성되기 시작
    - 수소경제는 경제사회 전반에 있어 수소를 주 에너지원으로 삼아 기존 화석연료에 기반한 산업 및 에너지 분야에 근본적인 변화가 일어날 것으로 전망

〈표 1-1〉 탄소경제와 수소경제의 비교

구분	탄소경제	수소경제
에너지 패러다임	탄소자원(석유, 석탄, 가스 등)중심	탈탄소화 수소 중심
	수입 의존(95%)	국내 생산으로 에너지 자립 기여
에너지 공급	대규모 투자가 필요한 중앙집중형 에너지 수급	소규모 투자 기반 분산형 에너지 수급
	입지적 제약이 크고 주민 수용성이 낮음	입지적 제약이 적고 주민 수용성이 높음
경쟁 양상	자원개발 및 에너지 확보 경쟁	기술경쟁력 확보 및 규모의 경제 경쟁
환경성	온실가스, 대기오염물질 배출	온실가스 배출이 적어 친환경적

자료: 수소경제 종합정보포털, “수소경제 소개”

□ 수소경제가 본격 태동함에 따라 산업·에너지 등 다방면으로 수소 수요가 증대될 것으로 전망되며, '50년 글로벌 에너지 소비량의 18%까지 그 비중이 확대될 것으로 예측

※ 수소 수요는 현재 10EJ 수준에서 2050년 78EJ(석유 약 132억 배럴)까지 성장하여, 전 세계 에너지 수요의 18% 차지 전망(Mckinsey)

○ 국제에너지기구(IEA), 국제재생에너지기구(IRENA) 등 글로벌 에너지 전망보고서에 따르면, 국제사회가 목표한 2050년 넷제로 달성까지 수소 비중이 전체 에너지 수요 중 22%까지 성장할 것으로 예측

※ 각 기관은 넷제로 시나리오를 설정하고, 넷제로 달성 목표 시점인 '50년을 기준으로 연간 수소 수요량을 추정, 전체 최종에너지에서 수소가 차지하는 비중을 제시

- 기관별 전망치 편차는 있으나, 연간 수소 수요량 500백만 톤을 상회할 것으로 예측되며, 최대 1,318백만 톤까지도 수요량은 증대될 것으로 전망

〈표 1-2〉 글로벌 주요 기관별 수소에너지 수요 전망('50년)

		IEA (2021c)	IRENA (2022a)	BNEF (2021b)	ETC (2021)	Hydrogen Council (2021)	McKinsey (2022)	Wood MacKenzie (2021)
전망 시나리오		Net Zero Emissions	1.5°C	Green (1.9°C)	Supply side Decarbonisation	Hydrogen for Net Zero (1.5-1.8°C)	Further Acceleration (1.9°C)	Accelerated Energy Transition (1.5°C)
수소 수요 (연간)	30년	212백만톤	154백만톤	165백만톤		140백만톤	177백만톤 ('35년)	
	40년			814백만톤		385백만톤		
	50년	528백만톤	614백만톤	1,318백만톤	813백만톤	660백만톤	536백만톤	530백만톤
최종에너지 대비 비중		13%	348EJ의 21%	391EJ의 22%	493EJ의 17%	340EJ의 22%	10%	
생산 비중 ('50년)	그린 수소	61%	66%	100%	85%	60~80%	95%	
	블루 수소	37%	34%	-	15%	20~40%		
	그레이 수소	2%	-	-	-	-	5%	
CO <sub>2</sub> 감축비중			10%	19%		11%		
국제무역			154백만톤 (614Mt의 25%)					150백만톤

자료: 각 기관 보고서를 기반으로 인용 및 계산

- 한편, 우리 정부도 청정수소 공급망 구축 및 세계 1등 수소산업 육성을 목표로 청정수소 생산 확대와 함께 대규모 수소 수요 창출 계획을 마련하는 등 수소경제로의 이행을 본격화
  - 「청정수소 생태계 조성방안(’22)에 따르면 수송·발전·산업 부문의 수소 활용 확대를 말미암아 대규모 국내 수소 수요를 창출할 계획

〈표 1-3〉 청정수소 생태계 조성방안 수소 수요 창출 방안

(단위: 대, 기, %)

구분	2022	2025	2035
수소상용차 보급	211	5,000	30,000
액체수소 충전소 구축	0	40	70
청정수소 발전 비중	0	2.1	7.1*

\* 청정수소 발전 비중 목표치인 7.1%는 '30년이 아닌 '36년으로 달성 목표연도 설정  
 자료: 대한민국 정책브리핑, “청정수소 생태계 조성방안” (2022)

- 「제1차 수소경제 이행 기본계획(’21)」에 따르면 국내 수소 수요는 '50년 2,790만 톤에 도달할 것으로 예측되며 수소경제로의 이행을 본격화

〈표 1-4〉 제1차 수소경제 이행계획 주요 내용

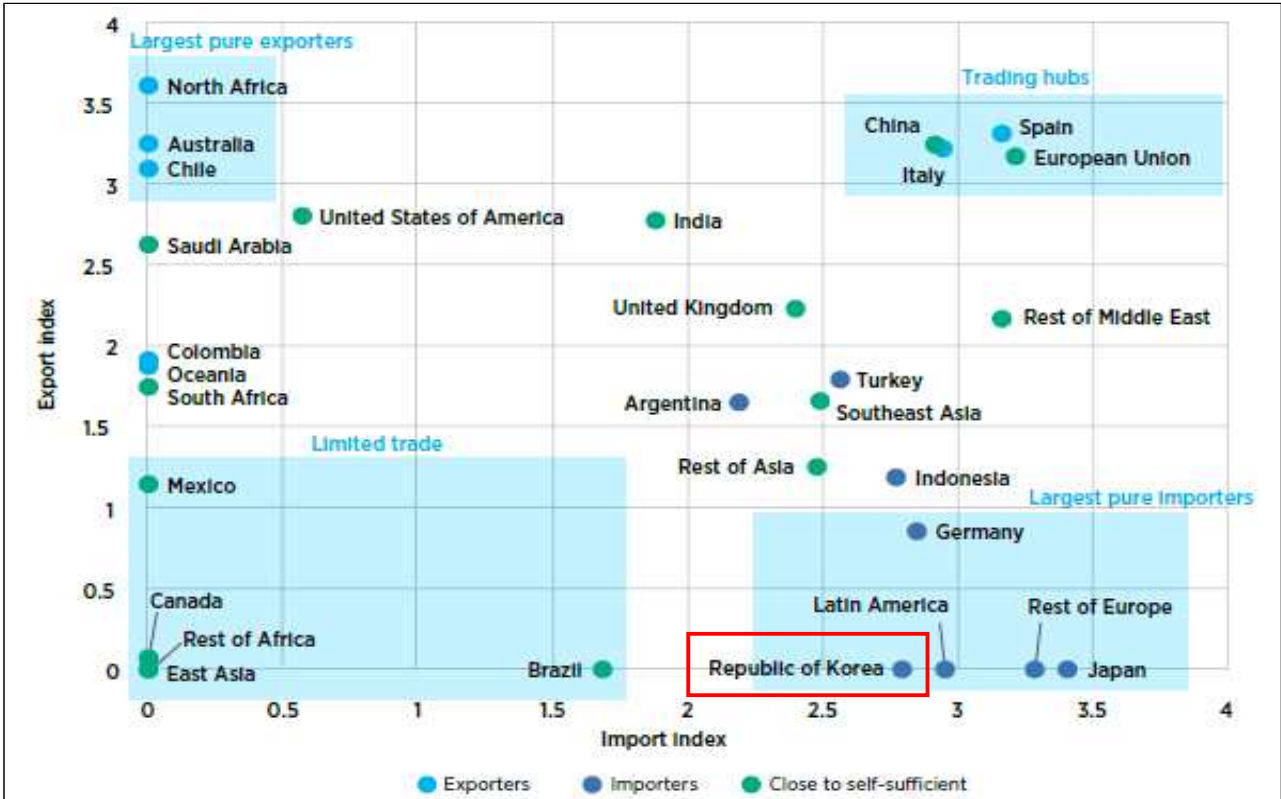
(단위: 대, 기, TWh)

구분	2020	2030	2050
수소차 생산	10,000	880,000	5,260,000
수소충전소 설치	70	660	2,000
수소 발전	3.5	48.2	287.9



자료: 수소경제 종합정보포털, “제1차 수소경제 이행 기본계획” (2021)

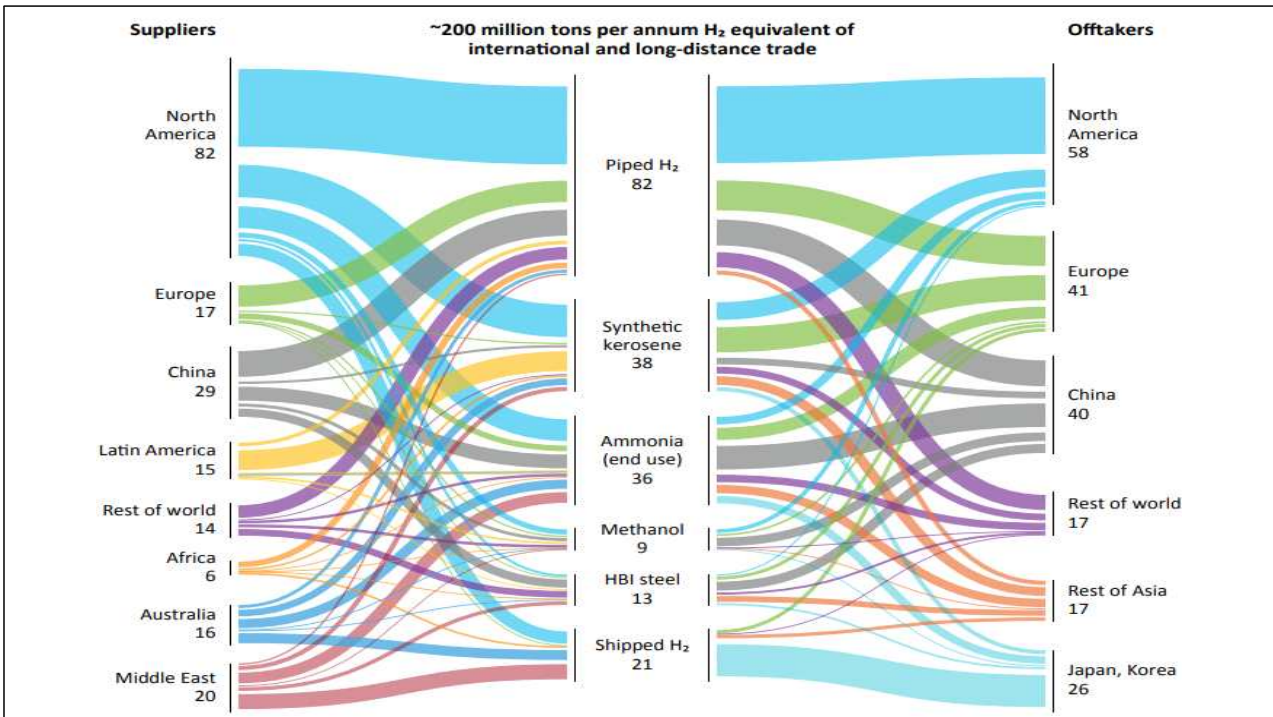
- 전 세계적으로 수소에 대한 잠재적 수요가 지속 확대될 것으로 전망됨에 따라 수요 충족을 위한 수소 무역이 글로벌 에너지 무역 시장을 새롭게 재편할 것으로 기대
  - IEA 2050 넷제로 시나리오에 따르면, '30년까지 수소 사용량의 20% 이상은 무역을 통해 공급이 가능한 상황으로, 주요 수출국과 수입국이 명확하게 구분될 것으로 예측
    - '30년까지 1,600만 톤, '40년까지 2,500만 톤 규모의 수소 무역이 발생, '50년에 이르면 6억 톤의 수소 중 4.2억 톤은 무역을 통해 거래가 이루어질 것으로 전망
    - 국제재생에너지기구(IRENA)는 호주, 캐나다, 노르웨이 등 재생에너지가 풍부한 국가를 글로벌 수소 수출국으로 상정하였고 우리나라를 일본, 독일, 라틴 아메리카, 유럽 일부 국가\* 등과 함께 글로벌 수소 수입국으로 정의
      - \* 대표적인 무역 허브인 이탈리아, 스페인 등을 제외한 유럽 국가
    - 우리나라는 자체 생산만으로 국내 수소 수요를 완전히 충족하기 어려운 여건을 갖추고 있어 해외로부터의 수소 수입이 불가피한 상황
      - ※ 한국은 일사량, 풍속, 국토 면적 등의 제약으로 태양력, 풍력 등 재생에너지를 활용한 수소 생산(수전해) 여건이 열악하며, 신재생 에너지 전력 공급 안정성이 세계 42개국 중 최하위 (Nature(2021), Geophysical constraints on the reliability of solar and wind power worldwide)



자료: IRENA, "Global Hydrogen Trade 2022" (2022)

〈그림 1-1〉 전 세계 지역의 수소 수출 및 수입량('50년 시나리오)

- 이를 방증하듯 최근 다양한 운송 방식을 적용한 수소 무역이 전개되고 있으며, 수소 수출입을 위한 수소 운송·저장 인프라 건설이 활발히 추진
  - '20~'23년 진행된 수소무역 시범사업의 80%가 암모니아를 주요 운반체로 사용하였으나, 암모니아의 경우 수입 후 활용을 위한 수소 분리 시 30.6KJ/mol의 에너지가 필요하여 장기적으로는 기화를 통해 즉시 활용가능한 액체수소를 중심으로 변화할 것으로 예측
    - ※ 액체수소 기화 시 필요한 에너지는 0.899KJ/mol
  - 일본은 호주와의 협력을 통해 액체수소 운송·저장을 위한 인프라 구축 프로젝트\*를 진행 중이며, 액체수소를 기반으로 한 수소 수입을 통해 자국의 수소 수요를 충족할 것으로 전망
    - \* HySTRA(Hydrogen Energy Supply-chain Technology Research Association)



자료: IEA, "Global Hydrogen Review 2023" (2023)

〈그림 1-2〉 2050년 국가별 수소 수입방식

- 특히, 우리나라는 2050년 탄소중립 목표에 따라 대규모 수소 수입이 계획되어 있으나 설정된 수소 공급량과 수요량 간 간극이 존재, 대량의 수소를 안정적으로 공급하기 위한 기술과 인프라가 필요한 시점
- 2050년 국내 수소 수요량은 27.9백만 톤인데 반해, 국내 생산량 수준은 500백만 톤으로 약 2,300백만 톤의 수급차가 존재하며, 이 중 22.9백만 톤이 수입을 통해 충당될 계획

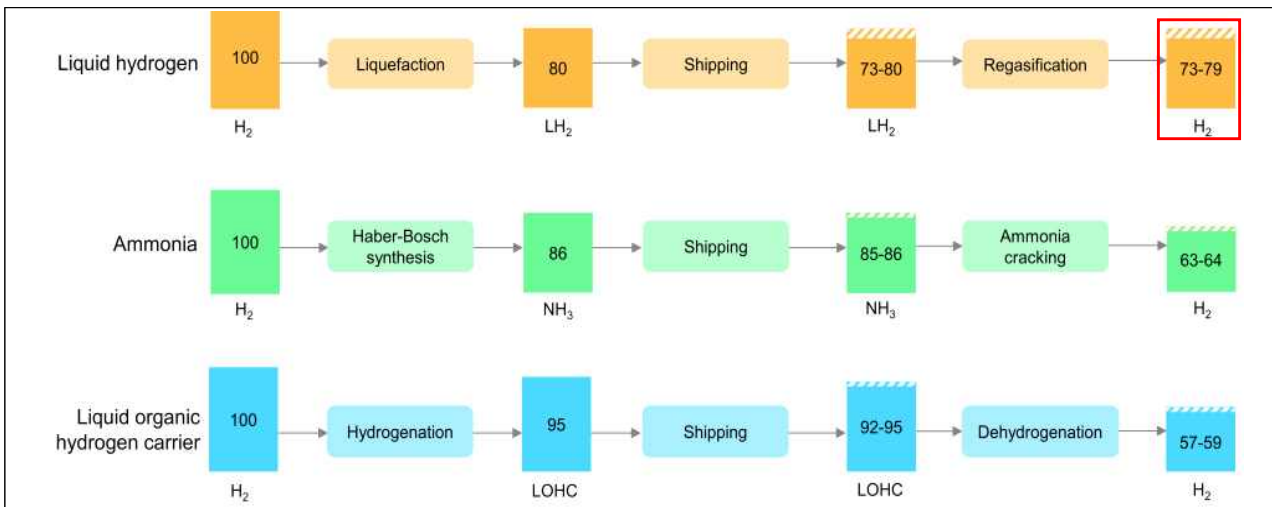
- 대용량의 수소를 수입하기 위해서는 수소 운송 방식 중 체적 밀도가 높아 경제적이고 폭발 위험성이 낮아 상대적으로 안전성이 높은 “액화 방식” 이 유리
  - 상온에서 기체 상태로 존재하는 수소를 액화하면 1/800 수준으로 부피가 줄어들어 부피 효율이 높아지고 대기압과 유사한 수준에서 더 많은 수소를 저장, 운송하는 것이 가능
  - 또한 액체수소는 암모니아, LOHC 등 운반 방식에 비해 거리당 비용이 높으나, 여타 운송방식 대비 자연 손실이 적고, 기화 후 즉각적으로 사용할 수 있어 경제성이 높음

〈표 1-5〉 수소운송 방법에 따른 비용

(단위: 달러/kg)

구분	액체수소	파이프라인	튜브 트레일러
생산 비용	2.21	1.00	1.30
이송 비용	0.18	2.94	2.09
총 비용	3.66	5.00	4.39

자료: 자기냉각 액화물질 융합연구단



자료: IEA, “Global Hydrogen Review” (2022)

〈그림 1-3〉 수소 운송 방식별 손실량(%)

- 현재 국내 액체수소 산업은 태동 단계로, 낮은 기술력과 인프라 미비로 액체수소를 활용한 대규모 수소 수입이 불가능한 실정
  - 국내 수소 활용 산업은 상대적으로 경쟁 우위에 있으나, 대규모 수소 수입과 공급을 위한 산업 여건은 매우 취약한 상황으로 관련 기술과 인프라 부재가 한계로 작용
    - 국내 연구개발 사업 및 정책은 수소·연료전지 산업 활성화에 집중되어 있고, 기체 튜브 트레일러 방식의 수소 충전소 보급에 치중된 상황
    - 대용량 수소 수입이 계획된 '30년 이후의 핵심 인프라로 기능할 대규모 저장이 가능한 액체수소 인프라는 전무하고, 관련 기술 개발은 초기 단계에 머물러 있음

## 2절 사업 추진 필요성

### 1. 필요성 및 시급성

대규모 수소 운송과 저장을 위해 효율성·안정성이 높은 액체수소 기술은 필수

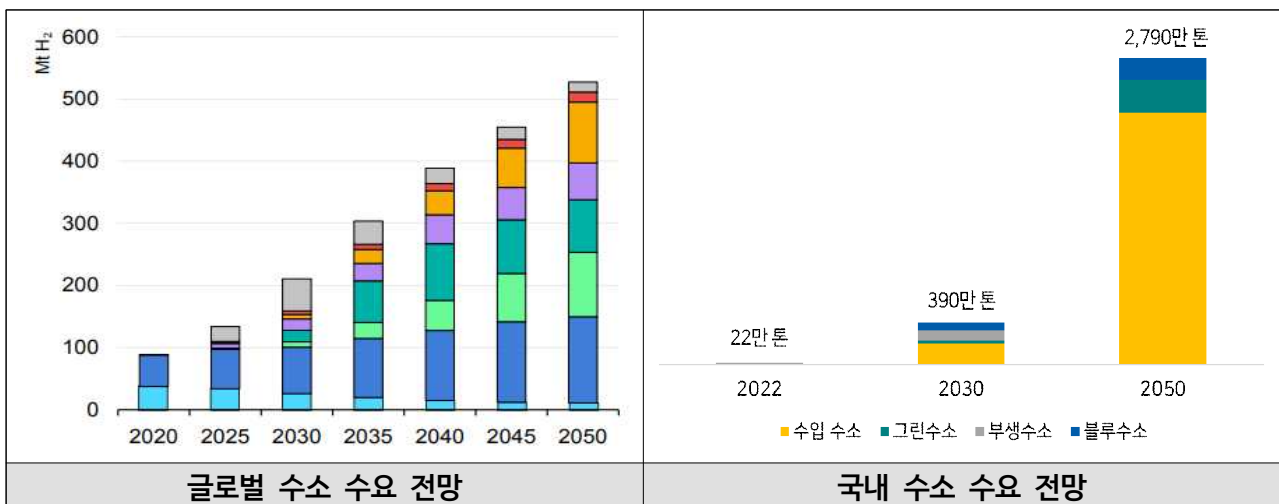
□ 전 세계적인 탄소중립 움직임과 중장기 국내 수소 수요 증가에 대응하기 위한 대규모 해외 수소 수입이 필요한 상황

○ 범국가적 탄소중립 요구와 친환경 에너지로의 전환이 촉구되는 상황에서 국내외 수소 수요는 지속 확대될 것으로 예측

- (글로벌) 글로벌 수소 수요는 수송, 발전, 산업 분야 등에서의 수요 증가에 힘입어 '50년까지 연평균 5.16% 성장할 것으로 전망되며, 이에 생산 시장도 동반 성장할 것으로 전망

- (국내) 국내 수소 수요는 '20년 22만 톤에서 '50년 2,790만 톤까지 급성장할 것으로 예측되며, 수소차 보급 확대, 발전 용량 증대 등이 시장 성장을 견인

※ (수소차 보급) ('21) 1.2만 대 → ('40) 290만 대, (수소 발전) ('22) 1.55GW → ('40) 17.1GW



자료: IEA, "Global Hydrogen Review" (2021)(좌), 수소경제 종합정보포털, "제1차 수소경제 이행계획" (2021)(우)

〈그림 1-4〉 글로벌 수소 수요 전망(좌) 및 국내 수소 수요 전망(우)

○ 특히, 수소 생산에 있어 불리한 환경을 보유하고 있는 우리나라의 여건을 고려할 때 수소 수입은 불가피한 상황이며, '50년 정부의 수소 수입 목표 이행을 위해 대규모 기반 시설구축이 필요

- 「수소경제 이행 기본계획」, 「수소기술 미래전략」, 「12대 국가전략기술」 상에 명시된 액체수소 저장·공급 요구 수준에 대응, 40,000m³급 저장탱크 건설이 필요

〈표 1-6〉 액체수소 연구개발(R&D) 추진을 명시한 주요 정책

정책명	주요 내용
12대 국가전략기술 (‘23.12)	○ 수소 저장·운송 세부 기술로 생산된 수소를 기체 상태로 저장·운송하거나 극저온 액화(-253℃)하여 저장, 공급하기 위한 기술 개발 명시
수소기술 미래전략 (‘22.11)	○ 수소 공급을 위한 저장·운송 기술 고도화를 통해 ‘30년까지 국산 액화플랜트 규모 10배* 확대, 해외 수소 운송을 위한 40,000㎥급 액체수소 화물창 개발 등 인수기지 기술 개발 명시 * 현재 일 0.5톤급 플랜트 개발 중 → ‘30년까지 일 5톤급 플랜트 개발
수소경제 이행 기본계획 (‘21.11)	○ 국내 수소 사용량은 ‘30년 390만 톤, ‘50년 2,790만 톤에 달할 것으로 예측

- 국내 수소 공급량 중 액체수소로 도입하는 비중을 27%로, 비축 일수는 60일로 가정할 때, 40,000㎥급 저장탱크는 ‘30년, ‘50년 각 61기, 438기가 필요
- 특히, 수소경제가 본격 활성화되면 국내 수소 수요량 증가에 대응, 저장탱크 용량은 지속 커질 것이며, 이에 따른 저장탱크의 대용량화는 필연적

〈표 1-7〉 액체수소 수입·비축 시나리오에 따른 저장탱크 수량 도출(안)

구분	주요 내용
가정	○ 국내 수소 수요량의 27%를 액체수소로 도입 - 수소를 수입하는 방식은 액체수소, 암모니아, 그린 메탄올, LOHC 등의 형태로 이루어지며, 이 중 액체수소의 비중을 약 27%로 가정한 것임 ○ 액체수소 비축 물량은 60일로 설정 - 비축 물량은 전략적으로 설정하여야 하는 수치로, 보통 6개월간 소비되는 양을 비축하며, 최근 유럽의 경우 100% 규모로 비축하는 추세임
결과	○ 수소경제 이행 기본계획에 따라 ‘30년, ‘50년 국내 수소 사용량 27%를 액체수소로 도입할 때, 40,000㎥급 저장탱크는 각 61기, 438기가 필요 - 동 기본계획(‘21.11)에 따르면, ‘30년까지 약 196만 톤(전체 공급량의 50%) → 2050년까지 2,290만 톤(전체 공급량의 82%) 수입이 계획

- 액체수소 및 인프라 수요 증가에 따라 민간기업을 중심으로 해외 기술을 도입하여 ‘22년부터 액체수소 생산 기술을 도입한 수소액화 플랜트 설계·구축이 이루어지고 있으며, ‘24년 상반기를 기점으로 본격 가동되어 액체수소를 공급하기 시작

〈표 1-8〉 국내 수소액화 플랜트 구축 현황

구분	SK E&S	효성-린데	두산에너지빌리티
생산 규모	일 90톤(연 3만 톤)	일 15톤(연 5,200톤)	일 5톤(연 1,700톤)
설치지역	인천광역시 (SK 인천석유화학 공장)	울산광역시 (효성화학 용연3공장)	창원특례시 (두산에너지빌리티 공장)
가동 시기	’24.05 ~	’24.01 ~	’24년 연중 내

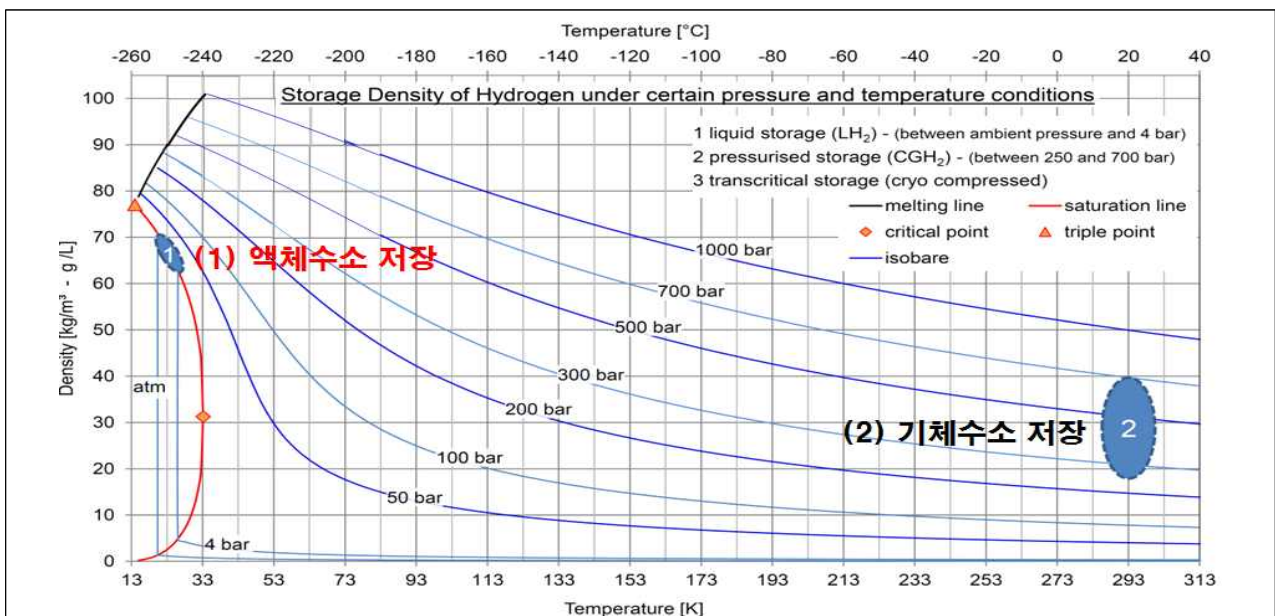
- 한국가스공사 등은 우수한 LNG 기술을 바탕으로 한 수소 터미널 건설 계획을 발표, 국내 액체수소 인프라 시장이 태동

〈표 1-9〉 국내 수소 터미널 구축 계획

구분	한국가스공사	울산항만공사
생산 규모	연간 10만 톤	연간 32만 톤
설치지역	경기 평택	울산 북신항
생산 시기(예정)	'29년	'30년
인수 방식	액체수소	암모니아

□ 대규모 수소 수입에 대비한 비용 효율적이고 안정성 높은 액화 방식의 운송·저장 기술 확보가 시급히 요구

- 액체수소는 기체수소의 부피를 약 1/800로 감소시킬 수 있어 동일 압력에서 기체 수소 대비 800배의 체적에너지 밀도 보유
  - 액체수소는 대기압에서 저장이 가능하고, 이에 따라 저장용기의 안전성 부분에서 장점을 가지고 있으며, 낮은 온도로 기존 고압 기체수소에 비해 폭발 위험성이 낮음
  - 단위부피, 단위 무게당 에너지 저장밀도가 가장 높고, 활용을 위해 다른 공정 필요 없이 단순 기화만으로 즉시 활용이 가능하다는 점이 강점



〈그림 1-5〉 온도와 압력에 따른 수소 저장량 비교

□ 액체수소는 타 에너지 대비 효율성 및 안전성이 높아 대용량 공급 측면에서 활용 비율이 지속 확대될 것으로 예상

- 수소 교역 80%가 암모니아를 주 운반체로 하나, '22년 수소에너지 공급망(HESC) 프로젝트를 통해 '22년 75톤에서 '30년 225톤으로 확대되는 등 액체수소 방식의 운송이 활성화될 것으로 예측
- 이는 액체수소의 활용성에서 기인한 것으로 액체수소는 암모니아, LOHC 대비 운송 시 손실량이 적고, 별도의 분리 과정이 필요없으며, 고순도의 수소에 대한 수요가 높은 연료전지 및 항공우주 등 산업에 공급하기 용이
  - 액체수소는 전용 극저온 인프라가 요구되어 초기 비용이 높으나, 별도 에너지 분리 과정이 불필요하여 인프라가 구축될 시 규모의 경제를 통해 장기적으로 타 운송방식 대비 효율이 높음
  - 암모니아의 경우 수소 운송 시 12.7 MJ/L의 에너지 밀도를 보이나, 수소 활용을 위해 별도의 크래킹 과정이 필요하며 이 과정 중 발생하는 손실량으로 인해 실질적으로 가용 가능한 수소 에너지의 효율성은 감소

〈표 1-10〉 수소 운송방법별 비교

구분	액체수소	암모니아	LOHC
에너지 밀도 (부피 기준)	8.5 MJ/L	12.7 MJ/L	6.2MJ/L
저장/운송 조건	극저온(-253℃) 환경 필요	고압(10~20bar)	상온, 대기압
안전성	액체 상태에서 안전성 높음	독성 및 부식성 존재	상온-대기압 상태에서 액체 상태를 유지하여 누출 및 폭발 위험 낮음
인프라 호환성	극저온(-253℃) 인프라 필요, 별도 인프라 구축 필요	기존 LNG 탱크선, 저장탱크 개조 후 활용 가능	화학적 안정성 확보 시 기존 유류 저장탱크 활용 가능
환경적 영향	CO <sub>2</sub> 배출 無	CO <sub>2</sub> 배출은 없으나 NOx(질소화합물) 발생 우려 존재	수소 분리 후 화학물 폐기 필요
수소 분리 시 필요 에너지	-	30.6 kJ/mol	55~65kJ/mol**
순 에너지 회수량*	73~79%	63~64%	57~59%

\* 운송 시 발생하는 BOG 및 별도 수소 분리 과정 이후 잔존한 에너지량

\*\* 서영웅 외 “탄소-코팅된 지지체 기반의 촉매를 이용한 수소 저장 및 방출 방법”(2017) (특허번호: KR101950701B1)  
자료: IEA, “Global Hydrogen Review” (2022)

**적기 기술 개발 미추진 시, 기술·시장 경쟁력 약화로 대외 의존도 심화 우려**

- 국내외 수소 시장이 빠르게 성장하고 있는 가운데, 국내 액체수소 기술은 여전히 낮은 수준에 머물러 있어 핵심기술 부재로 인한 대외 의존도 심화가 우려되는 상황
  - 국제사회의 탄소중립 요구와 친환경 에너지로의 전환이 가속화되는 상황 속에서 국내외 수소 수요는 지속적 성장이 예측
    - '50년까지 글로벌 수소 시장은 12조 불, 미국 수소 시장은 7,500억 불까지 확대될 것으로 전망되고 있고, 美 Mckinsey는 한국의 수소 시장이 '50년 590억 불까지 성장할 것으로 예측
  - 수소경제 전환에 대응하여 대규모 수소 공급 밸류체인 구축 시, 낮은 기술성숙도로 인해 해외 기술에 의존할 수밖에 없는 실정
    - 국내 수소 저장·운송 분야 기술 수준은 미국이나 유럽 등 선도국 대비 75% 수준에 그치고 있으며, 현재 국내 기술은 수소를 원료로 사용하기 위한 활용에 국한되어 있어 에너지 전달체(Carrier)로서 수소 생산, 저장 등을 위한 공급 기술은 미흡한 상황
      - ※ 수소 분야 국내 기술 수준은 선도국 대비 75% 수준으로 37년의 기술격차 존재(「수소기술 미래전략」, '22.11.)
    - 액체수소 저장·운송 기술은 주요국(미국, 유럽, 일본 등)을 중심으로 상용화 단계 기술 개발이 활발하게 추진되고 있으며, 적기 기술 미확보 시 기술격차는 더욱 심화
      - 주요국은 수소액화 플랜트 설계·실증을 통한 상용화 단계에 진입하고 있고, 수소 기술 선도국인 일본은 세계 최초 액체수소 해상 운송 실증과 인수기지 건설에 성공하는 등 가시적 성과를 창출

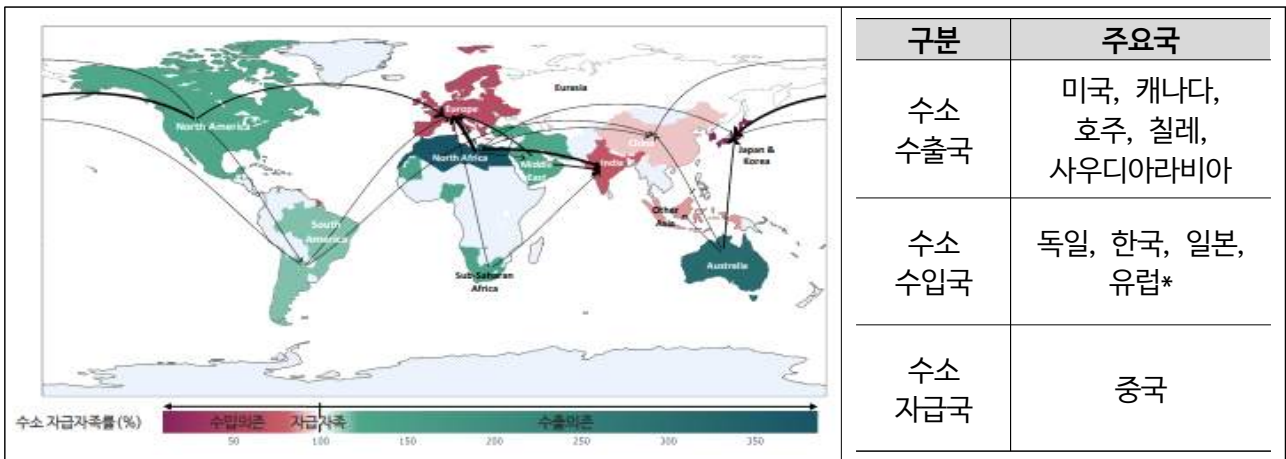
**〈표 1-11〉 국내외 액체수소 인프라 개발 수준 비교**

구분	주요국	국내
수소 액화플랜트	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ (미국) 캘리포니아, 앨라배마, 인디애나, 뉴욕, 텍사스 등에 일 30톤 생산 가능한 수소액화 플랜트 시설 보유</li> <li>○ (독일) 로이나 지역 내 세계 최대 규모의 수전해 시설을 통해 수소 생산 후 액화하여 지역 내 공급</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ (효성-린데) 일 15톤 생산 능력 보유</li> <li>○ (SK E&amp;S) 세계 최대인 일 최대 90톤 생산능력 보유(해외 기술 도입)</li> </ul>
액체수소 터미널 (인수기지)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ (일본) 고베항에 액체수소 터미널을 구축하고 액체수소 저장탱크 실증을 진행 중</li> <li>○ (네덜란드) 로테르담 항구에 암모니아를 기반으로 한 수소터미널 구축</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ (한국가스공사) 연간 10만 톤 규모의 액체수소 수입 터미널 '29년까지 구축 계획</li> </ul>

**미래 신시장 선점을 위한 액체수소 핵심기술 확보 및 인프라 구축이 시급**

- 글로벌 수소 시장은 급증하는 자국 수요를 뒷받침하기 위한 수소 수입 움직임이 포착되고 있으며, 안정적인 수소 수급을 위한 무역 및 관련 인프라 건설시장이 활성화
- 글로벌 수소 수요 전망이 긍정적이라는 관측 아래 안정적 수소 공급망 확보를 위한 국가 간 교역이 활발해지고 있고, 수소 최대 수출국으로는 호주가, 주요 수입국으로는 독일과 한국, 일본이 유력

※ IRENA(2022)는 '50년 한국이 일본에 이은 세계 2위 수소 수입국이 될 것으로 전망



\* 주: 스페인, 이탈리아를 제외한 유럽 국가

자료: Deloitte, “그린수소(Green Hydrogen): 넷제로(Net Zero) 실현 가속화 동인”(2023)

**(그림 1-6) 2050년 글로벌 수소 수출입국 전망(좌) 및 주요 수출입국 전망(우)**

- 정부는 지속가능한 수소 공급망 확보를 위해 칠레, 캐나다, 호주 등 주요 수출국과의 국제협력을 적극 추진\*하고 있으며, 국내 플랜트 기업 또한 글로벌 수소 프로젝트에 참여\*\*하는 등 시장진출에 지속 노력 중

\* 주요 수소 수출국(칠레, 캐나다, 호주, 사우디아라비아 등)과 장관급 회담을 통해 수소 부문 협력 강화 방안을 논의(SK ecoplant, “여기는 팔고, 저기는 사고, 드러나는 수소무역 윤곽. 주도권은?”, '24.7.16.)

\*\* (SK에코플랜트) 캐나다 대규모 그린수소 프로젝트(뉴지오호닉 프로젝트) 1단계 사업 참여 중으로, 기본설계(FEED), 고체산화물수전해기 공급·설치, 그린암모니아 플랜트 설계·조달·시공 담당

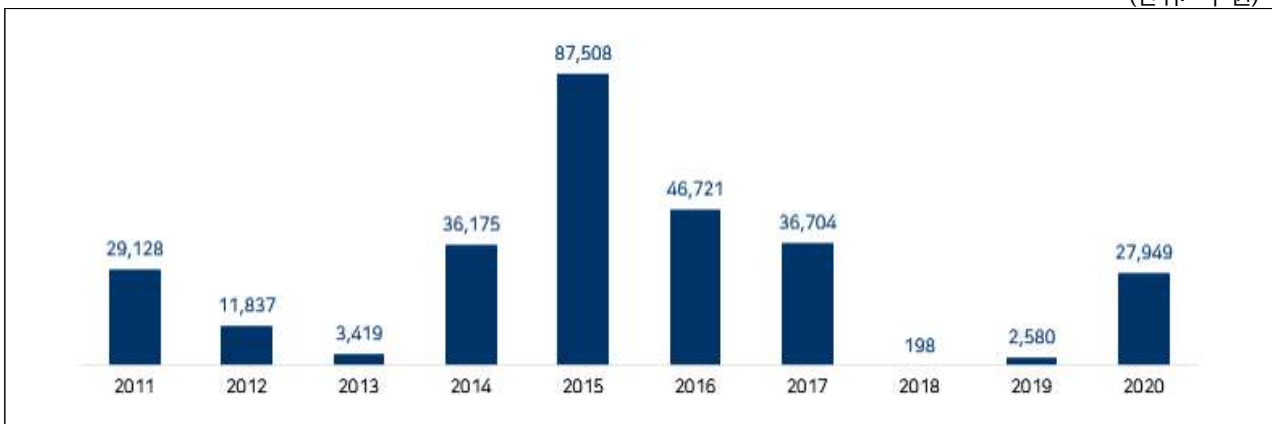
○ 수소 무역이 확대됨에 따라 글로벌 수소 시장 내 수소 액화시설 및 수출입 터미널은 '50년까지 4,500억 달러 규모\*로 확대될 것으로 전망되어 인프라 구축 시장 또한 크게 확대될 것으로 예상됨

- '50년 예상되는 수소 수출입 물량 액체수소 3,000만 톤과 이에 대응하는 규모의 수출입 터미널 구축을 위해서는 관련 인프라, 운송 선박 등에 대한 투자가 필수적

\* Deloitte(2022), “수소에너지의 화려한 귀환”

- 그럼에도 그간 정부의 액체수소 지원 정책은 생산이나 활용 측면에서 파편적으로 이루어져, 수입 수소를 인수하고 저장하는 저장 부문 지원은 상대적으로 미흡한 편이며, 산업부에서 既 추진 중인 액체수소 운반선과의 실증 연계를 위해 저장 인프라 구축 시급
  - 수소 산업 생태계를 조성하기 위해서 안정적인 생산-저장·운송-활용 체계의 온전한 작동이 요구됨에도, 현재의 기술 개발 초점은 저장·운송 부문에 상대적 공백이 존재
    - 액체수소 관련 정부 R&D 사업은 액화플랜트(생산)나 액체수소 충전소용(활용) 기술 개발이 주류를 이루고 있으며, 수소 수입을 위한 기지(base)로서 인프라 개발은 전무
      - ※ 상용급 액체수소 플랜트 핵심기술 개발('19~'23, 국토부), 상용급 액체수소 플랜트용 압축기 핵심 기술 개발 및 실증('22~'23, 국토부), 액체수소 충전소용 저장용기 및 수소 공급시스템 기술 개발 및 운영실증('22~'25, 산업부), 액체수소 충전 핵심 부품 시설 안전 기술 개발('22~'25, 산업부)
    - 그간 정부가 지원해 온 수소 관련 R&D 투자에서도 생산(4,792.74억 원), 활용(7,618.92억 원) 부문 대비 저장·운송(2,822.22억 원) 지원은 상대적으로 미진
      - ※ 최근 5년간('19~'23년) 수행된 “수소” R&D 과제 분석 결과, 전체 정부 연구비 중 생산 29.34%(4,792.74억 원), 저장·운송 17.31%(2,828.22억 원), 활용 46.64%(7,618.92억 원)가 투자
  - 산업부에서 추진 중인 액체수소 운반선(2,000m<sup>3</sup>급) 상용화 기술개발 사업이 ‘28년 종료됨에 따라 운반선과의 실증 연계를 위해 수소 저장 및 공급하기 위한 인프라 구축 및 실증을 추진하는 등 사업의 조속한 수행이 필요
- 무엇보다 과거 해외 기술에 의존하던 LNG 인수기지 기술을 정부 지원을 통해 국산화에 성공하고, 나아가 글로벌 시장에 진출한 성공 사례에 비추어 볼 때, 적기 정부 지원을 통한 기술 선제적 확보가 매우 중요함을 시사
  - 과거 해외에 의존했던 LNG 인수기지 구축 기술은 지속적인 정부 투자를 통해 핵심 기술 국산화를 이루어냈고, 이를 기반으로 '15년 8.7조 규모의 LNG 인수기지 건설 수주에 성공하며 글로벌 시장에 성공적으로 안착

(단위: 억 원)



〈그림 1-7〉 국내 기업 LNG 인수기지 수주 현황(2011~2020)

## 2. 사업추진의 당위성

### 1) 정부 지원의 필요성

- 에너지자원을 둘러싼 전 세계적 갈등과 위기가 심화되는 상황에서 에너지 자원의 안정적인 공급망 구축과 기술을 확보하는 것은 국가의 책무
  - 선제적으로 액체수소 공급인프라 건설기술의 기반을 마련하여 해외로의 기술 수출 등 국제적 차세대 에너지 확보 기술 경쟁 선점 이점을 취하는 것이 중요
    - ※ 에너지는 자원 안보로 대변되며 국제사회에서 정치 외교의 공격수단으로 활용되어 국가의 전면적 대응이 요구되는 新안보 영역

〈표 1-12〉 에너지자원 안보 불안정성 사례

시기	사건	자원유형	상세 내용
2022.7	우크라이나-러시아 사태	석유자원	○ 우-러 전쟁으로 인한 러시아산 가스/원유 수출 감소로 석유화학 원가 상승 및 수요 감소
2021.11	중국 비료 원료 수출통제	요소수	○ 화학비료의 생산원료(천연가스, 유황, 석탄 등) 가격 급등 및 수급 불균형으로 인한 요소 생산 위축

- 정부의 수소경제 이행 목표와 정책적 의지 등에 따라 마련된 계획 등을 고려할 때 국고지원이 적합
  - 수소경제 활성화를 위한 법적·제도적 기반을 '19년부터 마련하고 수소경제를 육성하기 위한 법률 「수소경제 육성 및 수소안전관리에 관한 법률」 제정
  - 이에 따라 액체수소 공급인프라 기술 개발은 국가의 수소경제 이행에 대비하기 위한 필수 영역으로 국고지원을 기반으로 한 사업 추진 근거를 명확히 확보
    - ※ 세계 최초 「수소법」 제정을 통해 수소경제 선도국을 목표로한 정부의 적극적 의지 표명
  - 장기적 연속성과 일관된 목표를 가지고 수소전략 목표를 달성하고자 노력 중
    - 기술 개발(R&D), 인력양성, 표준화 등을 국가의 투자를 바탕으로 수소경제 생태계 기반을 확충하는 전략 제시
      - ※ 「제1차 수소경제 이행 기본계획」은 인수기지 개발이 국토부의 영역임을 R&R 역할로 명시
    - 상용급 수소액화 플랜트, 수소 저장시스템 및 배관망 확대 등 수소 공급인프라 구축 등을 강조
      - ※ 「제2차 국토교통과학기술연구개발 종합계획」은 기술과제로 친환경 플랜트 및 신공간 건설을 제시 ('23.9.)

## 2) 국토교통부 추진의 타당성

- 「제1차 수소경제 이행 기본계획」 등 정부 상위계획은 액체수소 저장탱크, 적하역 기술을 포괄하는 인수기지 개발을 국토부 영역으로 명시
  - 「제1차 수소경제 이행 기본계획」 및 「수소기술 미래전략」 등은 부처별 수소 경제 과정(생산-정보·운송-활용)에 필요한 기술 개발 범위와 역할을 정립
    - 특히, 액체수소 저장탱크, 운송선으로부터의 적하역 기술 등 인수기지 기술 개발은 국토부의 역할로 명확하게 구분

부처별 수소 R&D 영역									
구분	생산			저장·운송			활용		
통합실증	범부처 공동 사업								
상용화 기술개발 실증	산업부 (추출·블루수소, 수전해, P2X)	해수부 (해양 바이오메스 기반)	환경부 (폐자원 기반)	산업부 (대용량 수소 저장, 액화수소 운송)	국토부 (액체수소 플랜트, 해상운송 인수기지)	해수부 (해상충전)	산업부 (수송·건물·발전용 연료전지 시스템)	국토부 (수소철도, 수소드론/무인항공기, 수소도시)	해수부 (수소선박)
기초·원천 기술개발	과학기술정보통신부 (수전해 등 그린수소 생산)			과학기술정보통신부 (LOHC, 암모니아, 고체 흡착 저장)			과학기술정보통신부 (차세대 연료전지)		

자료: 산업통상자원부, “제1차 수소경제 이행 기본계획” (2021)

〈그림 1-8〉 부처별 수소 R&D 영역

- 액체수소 인수기지는 수소 생산-수송-저장-공급을 연결할 핵심 기반시설로 이를 위한 액체수소 저장탱크 및 적하역 기술 개발은 국토부의 역할
  - 수소 수입-저장-송출 등 일련의 활동 기점이 되는 근거지로 기능하는 액체수소 인수기지 기술 개발은 건설 및 시스템 R&D 영역으로 국토부의 사업 당위성이 충분
    - 특히, 인수기지 내 액체수소 저장탱크, 적하역 시스템은 핵심 설비로, 국토부의 R&D 영역
      - ※ 인수기지에는 저장탱크 뿐 아니라 수소 하역을 위한 로딩암 및 저장탱크로 수소를 운반하기 위한 배관망, 밸브 등 각종 시설물을 구축하여 하나의 액체수소 보관·송출 인프라 시스템 구축

**【국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 (국토교통부훈령 제1449호, 2021.11.17. 시행)】**

제3조(연구개발사업의 범위) 국토교통부 소관 연구개발사업의 범위는 다음과 같다.

1. 건설분야의 기술력을 높이기 위한 연구개발
2. 플랜트분야의 기술력을 높이기 위한 연구개발 (중략)
7. 국토교통자원과 에너지활용분야의 기술력을 높이기 위한 연구개발 (이하 생략)

- 국토부는 해외건설지원 및 시장개척 등을 주관하는 주무부처로 동 사업이 지향하는 액체수소 공급인프라의 해외건설시장 진출 및 개척 등 내용과 부합
  - 국토부는 「해외건설촉진법」\*을 비롯, 해외 플랜트 건설 시장진출을 위한 활동\*\* 추진 중
    - \* 해외건설촉진법 제15조의4 해외건설 시장개척을 위한 연구사업 지원 등
    - \*\* KIND업무(한국해외인프라도시개발자원공사), 해외건설 수주지원, 시장개척 지원사업 등
  - 국토교통부의 주요 업무 범위에는 해외건설과 관련하여 통합 플랫폼 구축을 통한 해외 건설 수주를 지원한다는 내용이 포함
  - 수소 인프라 관련 수소 전략이 국가별로 마련되는 상황에서 수소경제 선도를 위한 건설 인프라의 기술적·외교적 경쟁력 확보가 중요

〈표 1-13〉 주요국의 수소 인프라 지원 현황

국가명	주요 동향
EU	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 대규모 수소 수입(1천만 톤, '30년)을 위한 인수기지 3개소 건설 추진('23.10)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 로테르담, 안트워프, 함부르크 등 역내 3대 항구에 수소 저장 터미널을 건설 중임</li> <li>- 로테르담항은 10~15기 터미널을 추가로 구축할 예정이고, 안트워프항은 '27년 운영을 목표로 암모니아 터미널 건설을 계획 중이며, 함부르크항은 '26년부터 사우디-아랍에미리트산 암모니아 터미널 운영을 목표</li> </ul> </li> </ul>
일본	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 탱크, 파이프라인 등 수소에너지 인프라 개발에 보조금 지원 계획('23.6)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 지난 6월 새롭게 발표한 “신수소전략”을 통해 일본의 수소 전략을 정비하고, 특히 수소 공급 확대 및 수요 창출, 공급망 구축 등을 위한 지원을 확대</li> <li>- 각종 수소에너지 인프라 개발을 촉진을 위해 대도시 3개, 중소도시 5개 지역 지원 계획 발표</li> </ul> </li> </ul>
독일	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 광범위한 파이프라인 네트워크 구축을 통해 국내외 수소 인프라 개발('23.8)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- '28년까지 1,800km가 넘는 대규모 수소 파이프라인 네트워크 구현을 목표로 하고 있으며, 기존 가스 파이프라인을 확장한 수소 네트워크로의 전환을 지원</li> <li>- 또한, 수소와 부산물 처리를 위해 전용 터미널 건설을 계획, 인프라 수입을 통해 실현 추진</li> </ul> </li> </ul>
칠레	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 역대 최대규모의 그린수소 인프라 개발 추진('23.8)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 글로벌 6개 에너지 기업과 그레고리오 해양 터미널을 그린수소 산업단지로 탈바꿈하는 조치로 새로운 터미널과 저장, 수출시설 개발을 위한 건설 등 타당성 조사 추진</li> </ul> </li> </ul>

자료: (EU) 전기신문, “미국 수소허브 지정, EU 수소 인프라 구축...韓과 비교되네” (2023)  
 (일본) The Diplomat, “A Look at Japan’s Latest Hydrogen Strategy” (2023)  
 (독일) Energy Trend, “German Government Embraces an Ambitious National Hydrogen Strategy, Doubling Domestic Development Goals by 2030” (2023)  
 (칠레) FuelCellsWorks, “Chile’s Largest Green Hydrogen Infrastructure Development: ENAP Joins Forces With Six Energy Companies” (2023)

### 3절 사업추진 근거

- 동 사업의 사업추진 근거는 「건설기술진흥법」, 「해외건설촉진법」 등 관계 법령과 「제5차 과학기술기본계획」, 「수소기술 미래전략」 등 상위계획을 근거로 추진

〈표 1-14〉 동 사업 추진 근거 유관 법령 및 주요 정책

구분		주요 내용
관계 법령	건설기술진흥법	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 제7조(건설기술 연구·개발 사업) ① 국토교통부장관은 (중략) 대통령령으로 정하는 기관 또는 단체와 협약을 체결하여 건설기술 발전에 필요한 건설기술 연구·개발 사업을 할 수 있음</li> <li>○ 제9조(공동 연구·개발 등) 국토교통부장관은 (중략) 인력·자금·시험시설 및 기술정보의 효율적 활용과 선진 건설기술 획득을 위해 관계 중앙행정기관의 장과 공동연구를 추진하거나 건설기술연구기관의 건설기술 연구·개발을 지원</li> <li>○ 제10조(연구시설 및 장비의 지원 등) 국토교통부장관은 (중략) 건설기술연구기관 연구시설 및 장비의 확보·관리·공동사용 등을 지원하거나 필요한 시책을 수립·추진</li> </ul>
	해외건설촉진법	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 제15조의4(해외건설 정책 및 연구개발 등 지원) 국토교통부장관은 해외건설의 진흥을 위하여 해외건설 시장개척을 위한 연구·조사사업을 지원</li> </ul>
	국토교통 과학기술 육성법	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 제8조(연구개발사업의 추진) 국토교통부장관은 종합계획을 효율적으로 추진하기 위하여 국토교통과학기술연구개발사업을 할 수 있음</li> </ul>
	기계설비법	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 제8조 (기계설비산업의 연구·개발 등) 국토교통부장관은 기계설비산업 발전을 위한 시책을 추진하기 위하여 공공기관, 대학, 민간단체 및 기업과 협약을 체결하여 기계설비산업 발전에 필요한 연구·개발 사업을 실시할 수 있음</li> </ul>
	과학기술기본법	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 제11조(국가연구개발사업의 추진) 1항 중앙행정기관의 장은 기본계획에 따라 맡은 분야의 국가연구개발사업과 그 시책을 세워 추진</li> <li>○ 제16조의5(성장동력의 발굴·육성) 정부는 과학기술에 기반을 둔 성장동력을 발굴·육성하기 위하여 필요한 시책을 세우고 추진</li> <li>○ 제16조의6(과학기술을 활용한 사회문제의 해결) 정부는 과학기술을 활용한 삶의 질 향상, 경제적·사회적 현안 및 범지구적 문제 등의 해결을 위하여 필요한 시책을 세우고 추진</li> </ul>
	수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 제3조(국가·지방자치단체 및 사업자의 책무) 국가 및 지방자치단체는 수소산업 육성, 청정수소의 개발·생산·보급 및 수소의 안전관리에 필요한 시책을 수립하고 추진</li> </ul>
	신에너지 및 재생에너지 개발·이용· 보급 촉진법	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 제1조(목적) 신에너지 및 재생에너지의 기술 개발 및 이용·보급 촉진과 (중략) 에너지 구조의 환경친화적 전환 및 온실가스 배출의 감소를 추진함으로써 환경의 보전, 국가경제의 건전하고 지속적인 발전 (이하 생략)</li> </ul>

구분		주요 내용
국 정 과 제	정부 120대 국정과제('22)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 에너지수요관리 혁신과 함께 재생에너지, 수소 등 다양한 에너지원의 확대를 통해 에너지 자급률 제고 및 산업·일자리 창출의 기회로 활용</li> <li>○ 수소, CCUS 등 탄소중립·미세먼지 대응 에너지산업 조기 상용화</li> </ul>
정 부 상 위 정 책	제5차 과학기술 기본계획('22)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 2050 탄소중립 목표 달성을 위해 12대 국가전략기술로 “수소”를 선정하고 상용급 액화플랜트(일 5톤) 건설 등 미래 원천기술 확보를 명시</li> </ul>
	제1차 국가전략기술 육성 기본계획('24)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 수소를 포함한 12대 국가전략기술 육성을 위한 구체적인 전략으로 “수소” 분야에서는 기존 정부 R&amp;D 지원 공백 분야에 대한 지원 확대와 수소 저장·운송 기술, 연료전지 등 세부 기술 개발 지원을 강화</li> </ul>
정 부 정 책 및 투 자 방 향	2024년도 국가연구개발 투자방향 및 기준 ('23.3)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 수소 생산, 저장·운송, 활용 전주기에 걸쳐 핵심기술 국산화 및 차세대 기술 개발 등 글로벌 경쟁력 확보를 위한 전략적 투자 지원</li> </ul>
	제1차 국가연구개발 중장기 투자전략 ('23.3)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 대용량 수소 이송·저장 및 무탄소 발전 전환 등 투자 확대</li> <li>○ 친환경 전환을 위한 수소액화 플랜트 기술 확보 지원 강화</li> </ul>
수 소 유 관 정 책	제2차 국토교통 과학기술 연구개발 종합계획('23.9)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 상용급 수소액화 플랜트, 수소 저장시스템 및 배관망을 통해 안정적으로 대용량 수소를 공급하기 위한 인프라 구축 계획</li> </ul>
	한국형 탄소중립 100대 핵심기술 선정(안) ('23.05)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 탄소중립 실현을 위해 필요한 에너지 전환 기술로 수소 생산, 해외 수소 저장·운송, 액체수소 인수기지 등 수소 기술 선정</li> </ul>
	청정수소 생태계 조성방안 ('22.11)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 해외에서 대규모 수소 수입을 위해 발전기 밀집 지역을 고려하여 액체수소 인수기지 및 수소항만 구축 추진</li> <li>- (액화플랜트) '23년까지 약 4만 톤 규모의 액화플랜트 구축</li> <li>- (인수기지) '29년까지 약 10만 톤 규모 인수저장설비 구축, 수도권에 수소 공급 예정</li> </ul>
	제1차 수소경제 이행 기본계획 ('21.11)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 수소 액화·액상 등 유통과정 지원, '30년까지 민간 중심으로 LNG 인수기지 유희부지, 규제 샌드박스 등을 활용하여 액화플랜트 조기 구축 추진</li> <li>○ 액체수소 생산시설 실증 결과 기반 안전기준 마련, 수소 운송 확대 및 해외 수입 고려 수소 배관 안전관리 강화 및 액체수소 ISO 탱크컨테이너 안전기준 마련</li> </ul>
	수소경제 활성화 로드맵 ('19.1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ (공급) 수전해 및 해외 생산·수입 등 그린수소 비중을 확대</li> <li>○ (저장·운송) 액화·액상 등 원천기술 확보가 시급한 분야는 해외 선진기업과 공동개발 등 유연한 기술 획득 전략 추진</li> </ul>



## || 환경분석

- 1절. 메가트렌드 분석
- 2절. 정책동향
- 3절. 시장 · 산업동향
- 4절. 기술동향
- 5절. 특허동향

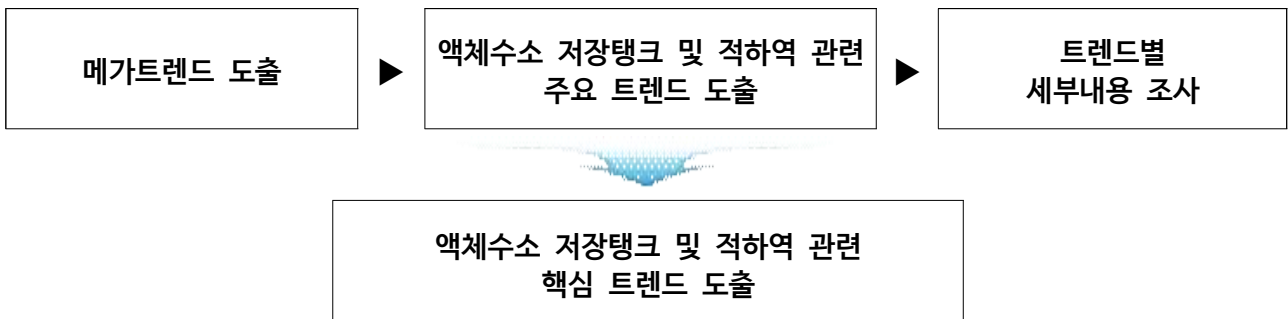


## II 환경분석

### 1절 메가트렌드 분석

#### 1. 메가트렌드 분석절차 및 방법론

- 액체수소 저장탱크 및 적하역 기술 관련 전망 및 기술 개발 필요성 도출을 위해 거시적 환경변화를 파악, 기술 개발에 미칠 파생되는 메가트렌드 현안이슈를 조사
  - (메가트렌드 분석) 메가트렌드 분석을 위해 STEEP(사회, 기술, 경제, 환경, 정치)의 5개의 변수에 대한 거시적 환경분석을 실시하고, 다양한 이슈를 탐색
    - (목적) 정책적 이슈에 대해 영향을 끼칠 수 있는 거시적 환경요인을 파악하고 의사결정을 위한 객관적이고 중요한 동향 정보 제공
    - (범위) 동 사업의 핵심 키워드인 ‘액체수소’, ‘액화플랜트’, ‘인수기지’ 등 기술적 범위와 연관하여 각종 문헌을 검토하여 분석함
  - ※ Gartner, KISTEP 등 기관 발간자료 등
- 주요 이슈 도출, 이슈별 세부내용 조사의 프로세스에 따라 조사 분석을 실시
  - (메가트렌드 도출) 메가트렌드 분석을 위해 STEEP 분석 틀을 활용하여 사회, 기술, 경제, 환경, 정치 관점의 이슈를 국내외 각종 과학기술혁신기관 선행연구, 보고서 등 문헌조사 및 국내외 웹사이트, 기사 등 조사를 통해 도출
  - (액체수소 공급인프라 건설 R&D 관련 주요 이슈 도출) STEEP 분석을 통해 도출된 사회·환경변화 내용을 구조화하여 동 사업과 관련성이 높다고 판단되는 주요 이슈를 선정
    - 메가트렌드 분석 결과를 토대로 액체수소 공급인프라 건설 R&D 관련 기회, 위협, 영향, 해결해야 할 문제 등을 조사하여 공통이슈 도출



〈그림 2-1〉 메가트렌드 도출 프로세스(안)

## 2. 메가트렌드 분석 결과

### 1) 미래사회 전망

- 미래사회 전망보고서와 미래기술 기술예측 보고서 등 문헌 분석을 통해 글로벌 메가트렌드 주요 내용 도출
  - 발굴된 메가트렌드 키워드들을 검토하고 동 사업과 관련성이 높은 이슈들을 도출

〈표 2-1〉 STEEP 분석에 활용한 국내외 보고서 및 연구자료

구분	보고서/연구명	기관명	기준년도
국내	10대 미래유망기술	KISTEP	2024
	2024년 미래유망기술 선정에 관한 연구	KISTEP	2024
	10대 미래유망기술	KISTI	2023
	대한민국 과학기술 미래전략 2045	과학기술정보통신부	2020
국외	10 Breakthrough Technologies 2024	MIT	2024
	Top 10 Emerging Technologies	WEF	2023
	Top 10 Strategic Technology Trends for 2024	Gartner	2024
	Tech Trends 2024	Deloitte	2024

〈표 2-2〉 메가트렌드(STEEP) 분석 결과

분석관점	메가트렌드	상세내용
사회 (S)	에너지 소비 문제	인구 증가로 인한 에너지 소비 가속화
		소득 수준에 따른 에너지 배분 불평등 문제 발생
기술 (T)	환경친화적 기술경쟁 심화	에너지 수확 기술 등 에너지 재활용의 필요성 증가
	에너지 효율적 사용기술 개발	친환경 에너지 및 에너지 효율 향상 기술 필요
경제 (E)	글로벌 밸류체인 변화	질병, 자연재해로 인한 공급망 위기 등으로 GVC 재편
환경 (E)	기후변화 문제	이상기후로 생태계 파괴 및 멸종위기종 증가
		자연재해로 인한 발전소 중단, 전력망 손실
	탄소중립 추세	수소에너지 등 탈탄소 사회를 위한 국제 규제
	신재생에너지로의 전환	화석연료 중심에서 친환경 재생에너지로 에너지 시스템 전환
정치 (P)	자국 중심주의 강화	자국민 이익과 산업 보호를 위한 리쇼어링 정책 시행
	환경문제로 인한 국가 간 갈등	국가 간 에너지 확보 경쟁 심화
		자국 중심의 보호 무역 강화

자료: 주요기관 (국가과학기술혁신기관KISTEP, STEPI 등) 미래전망보고서 참고

## 2) STEEP 관점의 메가트렌드 도출

### (1) 사회적 트렌드

□ (에너지 소비 문제) 세계 인구 증가에 따른 에너지 소비 과용 및 지속적인 수요 발생

- (에너지 소비 과용) 세계 인구수 증가\*로, 전 세계 에너지 소비량은 '15년 575 Quadrillion BTU에서 '30년 663 Quadrillion BTU, '40년엔 736 Quadrillion BTU로 연평균 1% 증가 예상

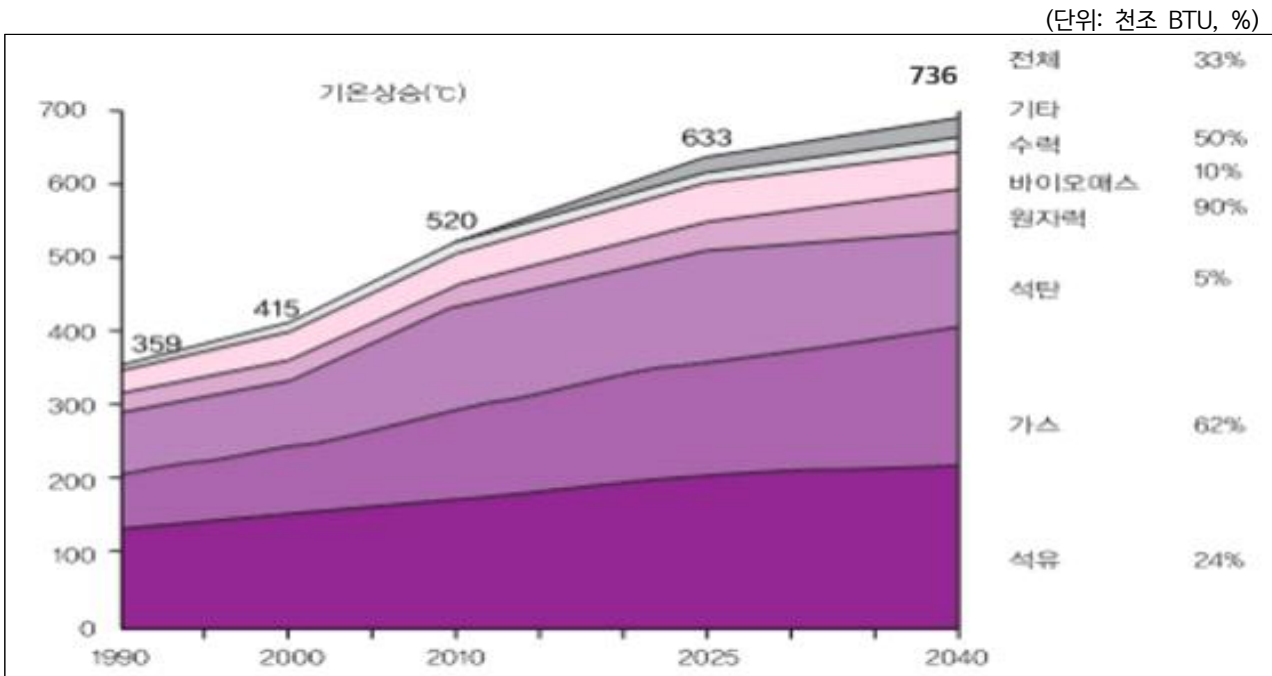
\* 세계 인구는 '15년 약 73억 명에서 '40년대에는 약 90억 명까지 증가할 것으로 전망

- 세계 인구의 14%를 차지하는 고소득 국가가 지구 생태 수용력의 52%를 사용하며 한정된 자원을 과용하는 상황
- 선진국 중심의 에너지 과잉소비는 기후위기를 초래하여 식량 불안, 생계 박탈, 건강 문제 등 심각한 사회적 문제로 전개

- (에너지 수요 증가) 세계에너지기구(IEA)에 따르면, 세계 에너지 수요는 '10년에 비해 '40년에 33% 증가할 것으로 예상되며, 해당 수치는 인구증가분(+28%)을 상회

- 특히 인도와 중국과 같이 인구성장과 더불어, 경제성장이 활발하게 이루어지고 있는 非OECD 국가에서 대부분의 에너지 수요 발생

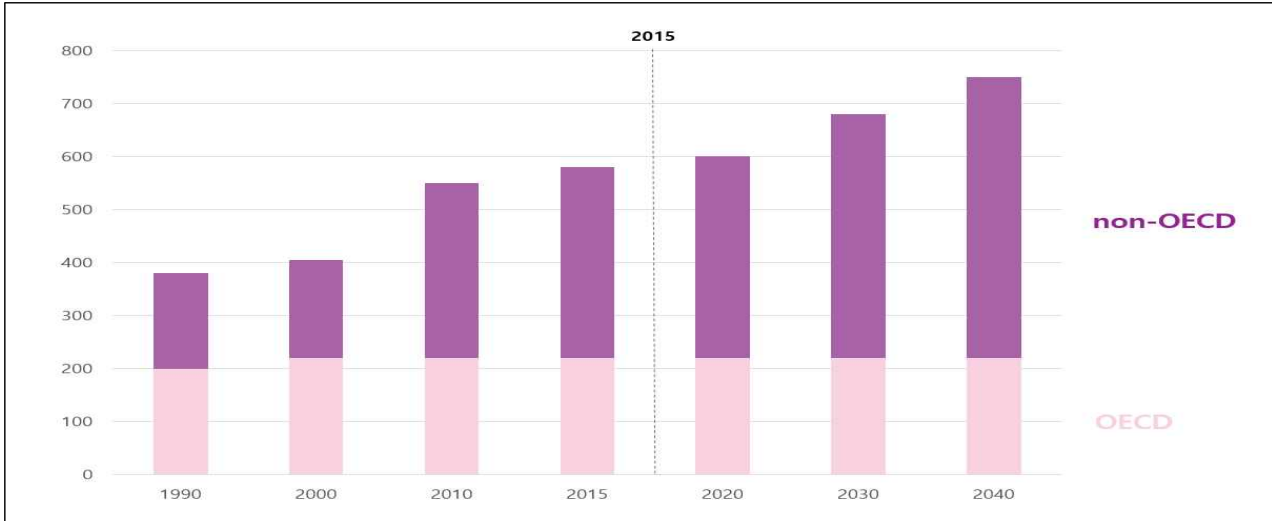
※ '15년~ '40년(예상치) 사이에 OECD 국가에선 에너지 수요가 9% 정도 증가하는데 반해, 非OECD 국가에선 약 41% 증가할 것으로 전망



자료: 농어촌연구원, “[에너지/환경] 에너지 소비 동향” (2018)

〈그림 2-2〉 세계 에너지 수요 1990~2040

(단위: Quadrillion BTU)



자료: IRS Global, “[에너지/환경] 에너지 소비 동향” (2018)

〈그림 2-3〉 OECD와 非OECD국의 에너지 수요량 비교

## (2) 기술적 트렌드

- (환경친화적 기술경쟁 심화) 청정생산기술, 환경지능기술, 전통산업의 친환경화 지원 기술 등의 환경친화적 기술경쟁 심화 전망
  - 기후변화, 환경오염 등에 따른 사회적 문제가 대두되면서 기존 제품 및 서비스 생산에서의 친환경적 기술 개발 필요성 증대
    - 지구 차원의 자원고갈 이슈가 부상하면서, 자원의 순환활용을 위한 3R(Recycle, Reuse, Reduce) 기술의 중요성 대두
      - ※ 소재의 자원순환을 위한 재활용 가능 소재, 희소금속을 회수 활용하기 위한 폐가전 활용(City Mining) 기술, 설계 단계부터 재활용을 고려한 제품설계 및 개발 등
    - 청정생산기술에서는 환경친화적인 제품설계, 청결공장, 바이오에너지 관련 기술, 신재생 에너지 등을 중심으로 전개 예상
- (에너지 효율적 사용기술 개발) 화석에너지 고갈 및 단가상승, 온실가스로 인한 이상기후·환경오염 등에 대응하여 친환경 에너지 및 에너지 효율 향상 기술 필요
  - 안정적으로 에너지를 공급하기 위해 각국은 수소 등 신재생에너지로의 전환을 추진하며 에너지 저장·활용 기술 개발 중
    - 청정수소를 확보하고 전기·수소차 활용을 위해 리튬이온전지, 수소연료전지 등 개발
    - 안정적 도시 수소공급인프라와 효율적 전력관리 시스템 구축 및 모빌리티 연료의 수소화 추진

### [3] 경제적 트렌드

- (글로벌 밸류체인 변화) 코로나19 이후, 공급망 안정성에 대한 관심이 높아져 고부가가치·친환경 중심의 새로운 글로벌 밸류체인(GVC) 체제 구축 노력
  - 팬데믹 위기 극복을 위한 유동성 확대, 러-우 전쟁에 따른 글로벌 공급차질이 발생하여 국제유가, 원자재, 소비재 등 물가 급등
  - 단일 또는 소수 국가에 집중된 경직된 밸류체인에서 자국 중심 또는 여러 공급국가로부터 안정적인 공급이 가능한 체제로 변화
- 환경규제 등으로 인해 기존 GVC에 제약이 발생하면서, ICT 기술을 보유한 선진국은 고부가가치 기술 중심의 새로운 GVC 체제를 구축
  - \* 글로벌 기업들은 환경오염 물질 배출을 줄이기 위해 중간재 아웃소싱 교역을 줄이고 자국 중심의 공급망 체제로의 전환을 고려하기 시작(KOTRA, '20)
- 환경, 공정무역, 기업의 사회적 책임(CSR) 등을 고려하는 소비풍조 확산
  - 환경기준이 무역장벽으로 작용하는 등 사회적 가치를 중시하는 소비가 세계 무역 흐름에도 영향

### [4] 환경적 트렌드

- (기후변화 문제) 기후변화로 인하여 지구 생태계 문제 및 전례 없는 복합재난화 발생
  - OECD(2012)에 따르면, 이상기후로 멸종위기종 증가 등 생물다양성 파괴가 심화되어 '50년대에는 최대 10%의 생물이 멸종할 것으로 전망
  - 기존에 없던 재난·재해 발생 및 단순 화재가 경제·사회를 마비시키는 사례 등 거대 자연의 복합재난화에 따른 피해 확대
    - ※ 후쿠시마 원전사고('11), 동일본 대지진('18), KT아현지사 화재('18), 울진·삼척 산불('22)
    - 일본은 지진으로 인한 후쿠시마 원전 폭발사고가 발생하였으며, 후속 처리비용이 약 200조 원 넘게 투입되었으며, '50년까지 최소 약 319조 원이 지출될 전망
    - 우리나라는 지진·태풍 등으로 인한 핵발전소 가동 중단 일수는 '23년 기준, 지난 10년간 460여 일에 달하는 등 안전·경제 차원에서 문제 발생 가능성 농후

□ (탄소중립 추세) 지속가능한 생활·산업환경 마련이 국가적으로 중요한 의제로 대두되며 이에 대한 실천방안으로 주요 국가들은 ‘탄소중립’을 선언하는 추세

※ 우리나라도 기후문제 심각성에 현실적으로 대응하기 위해 '50년까지 국가 온실가스 배출량(NDC)을 제로화하기 위한 추진전략을 마련

○ 주요국 정부는 파리협정에 따라 ‘2050 장기 저탄소 발전전략(LEDSt)’을 유엔에 제출하고 장기적 목표 달성을 위한 구체적 실행 전략을 수립 중

※ (EU) 신재생에너지 사용비율 '30년 27%로 향상, (독일) '22년까지 원전 폐지 등

- 글로벌 기업들 역시 RE100 선언\*, ESG 투자 확산 등 선제적으로 대응책을 실행해 오고 있으며, 동참 비율은 점점 더 높아질 것으로 전망

\* 기업이 사용전력의 100%를 재생에너지로 사용하겠다고 선언하는 자발적 캠페인

○ 탄소중립 선언 배경은 환경오염, 각종 질병, 기후변화, 기대수명의 연장, 도시화의 급진전 등 다양한 이슈와 맞물려 있으며, 이를 해결하기 위한 대책과 전략 마련이 중요

○ 한편, 우리나라는 높은 제조업 비중의 산업구조\*, 수소 등 대체에너지 기술적 제약, 기업 및 산업계의 높은 부담 등의 요인들로 인해 탈탄소화 추진이 쉽지 않은 상황

\* '21년 기준 이산화탄소 배출량 세계 7위이며, 철강·정유, 시멘트 등 대형플랜트 배출 비중이 높음

**[예시] 국내 대체에너지 기술적 제약**

○ 오염물질 배출을 거의 하지 않는 그린수소(수전해 수소)가 필요하나, 관련 설비비용이 높아 그레이수소와 블루수소에 비해 비용·기술력 측면에서 열위임

□ (신재생에너지로의 전환) 국가 간 상호적 환경영향 확대 및 안전한 사회 구현 니즈 증가로 세계적 차원에서의 신재생에너지 설비 지속 확장

○ 탄소중립에 대한 대응으로, 온실가스 배출 저감을 위한 신재생 에너지기술과 에너지 효율 기술이 확대될 전망

○ '23년 기준 전 세계 재생에너지 발전설비 총용량은 3,870GW 규모로, '28년까지 지속적인 성장 전망

※ 세계재생에너지기구(International Renewable Energy Agency, IRENA) ‘재생에너지 설비용량 통계 2024(Renewable Capacity Statistics 2023)’ ; SK ecoplant (2024.04.) ‘세계 재생에너지 시장, 우상향 유지 위한 숙제는?’

- 특히, 수소 생산용 재생에너지 용량은 '23년부터 '28년까지 45GW 확대될 것으로 전망

- 중국, 사우디아라비아, 미국이 '28년까지 수소 생산용 재생에너지 용량의 75% 이상 점유할 것으로 예상

## (5) 정치적 트렌드

- (자국 중심주의 강화) 국제적으로 경제의 저성장 기조가 장기화되면서 경제 불확실성 증가로 인한 자국 우선주의 확산이 가속화
  - (글로벌 체제 재편) 환경오염 등 국제적 공조가 필요한 글로벌 이슈의 국가적 협력의 중요성이 증대에도 불구하고 국가 간 합의보다는 자국의 이익을 우선하는 체제로 전환
    - ' 17년 미국의 환태평양경제동반자협정, 파리기후변화협약, 유네스코 기구 탈퇴 및 과거
    - 영국은 60년 이상 지속된 대표적 국제협력 EU를 ' 20년에 탈퇴(브렉시트)
  - (국제협력 약화) 국가 중심주의가 강화되는 동시에 주요 국가의 전략적 자율성이 늘어나고 지역적·국제적 협력의 구심력은 약화
    - 이에 국제사회는 국제협력에 필요한 다자주의 공간이 줄어들어가는 상황에서 국제협력을 더욱 필요로 하는 복잡한 상황에 직면
- (환경문제로 인한 국가 간 갈등) 에너지 자원, 기술·무역 등 다차원적인 영역에서 국가 간 분쟁 및 갈등 심화
  - (자원·에너지 확보 경쟁) 글로벌 경제성장과 인구증가로 총 에너지 수요는 꾸준히 증가하는 데 비해 전통 화석연료의 채굴가능량은 한정적으로, 국가 간 에너지 및 자원 확보 경쟁 심화
    - ※ 현재 채굴 기술 수준 감안 시 주요 에너지 자원인 석유 53년, 석탄 113년, 천연가스 55년 이후 고갈 전망
  - 선진국들은 각종 광물자원이 풍부한 아프리카와의 교역량 증가 및 자원개발 착안(着眼) 등 자원조달처 확보 경쟁 양상으로 에너지 위기 대비 추진

### [사례] 핵심 광물 보유 아프리카 국가와의 파트너십 체결 및 개발 프로젝트 시행

- 재생에너지 전기차에 핵심이 되는 흑연, 코발트, 니켈, 리튬 등 4대 주요 광물에 대한 수요가 '40년까지 크게 증가 전망 → 日, EU, 美 등은 아프리카 자원부국들과 앞다투어 파트너십 체결 및 탐사 프로젝트 수행

- (무역분쟁) 자원을 둘러싼 수출규제, 보호무역주의 등 국가 간 정치적 이해관계에 따른 무역분쟁 발생

### [사례] 中, 희토류 수출 규제(무기화)

- 中, '08~'18년 전 세계 희토류 수출량 42.3%에 해당하는 408,000 메트릭 톤을 美, 日, 韓, EU 등에 공급 → 높은 대중 수입 의존도를 통해 센카쿠 열도 분쟁('10) 및 미국의 제재('20) 등 타 국가와의 갈등 상황 시 희토류 수출 규제 시행

### 3. 시사점

- 미래 전망과 현안, 문제점, 미래 이슈 등을 통해 사업핵심 유관 이슈를 도출하여 사업 및 기술 구성에 반영

〈표 2-3〉 메가트렌드 분석

메가트렌드		연관 이슈
사회 (Society)	○ (에너지 소비 문제) 소득수준 및 인구수 증가로 에너지 소비량 지속 상승, 생활 수준 변동에 따라 자원소비량 급증 및 탄소 불균형 심화	○ 에너지 소비 및 수요 증가 ○ 소득 수준에 따른 에너지 배분 불균형 문제 발생
기술 (Technology)	○ (환경친화적 기술경쟁 심화) 청정생산기술, 환경지능기술 등을 중심으로 개발 경쟁 전개 ▶ ○ (에너지 효율적 사용기술 개발) 자원의 고갈 및 단가 상승, 이상기후·환경오염에 대응하기 위한 친환경 에너지 및 에너지 효율 향상 필요	○ 환경친화적 에너지기술 경쟁 심화 ○ 신재생에너지 전환 추진을 위한 관련 기술 개발
경제 (Economy)	○ (글로벌 밸류체인 변화) 공급망 안정성을 위해 새로운 GVC 체계로 변화 도모	▶ ○ 지속가능한 공급망 확보를 위해 새로운 글로벌 밸류체인 구축
환경 (Environment)	○ (기후변화 심화) 글로벌 차원의 이슈인 기후변화, 환경오염 해결을 위해 국제적 노력 요구 ▶ ○ (탄소중립 추세) 기후변화 대응을 위해 주요국들은 탄소중립을 선언하고 구체적 실행 전략 수립 ○ (신재생에너지로의 전환) 기존 화석연료에서 청정에너지로의 전환을 위해 신재생에너지 지속 확장 추세	○ 국가 간 에너지 및 자원확보 경쟁 심화 ○ 세계 신규 신재생에너지 확장 및 탈탄소화 기조
정치 (Politics)	○ (자국 중심주의 강화) 국제적으로 저성장 기조가 장기화됨에 따라 자국 중심주의가 강화되는 동시에 지역적·국제적 협력 구심점 약화 ▶ ○ (환경문제로 인한 국가 간 갈등) 국가 간 에너지·자원 확보 경쟁 및 무역분쟁 발생	○ 자국 중심의 에너지안보 확보 ○ 정치적 이해관계에 따른 무역분쟁 발생

구분	시사점
사회·경제적	○ 세계적으로 급증하는 에너지 소비 및 수요를 충족하기 위해 첨단기술을 접목한 액체수소 터미널을 건설하여 안정적 신재생에너지 자원 확보에 기여 ○ GVC 구축을 통한 액체수소를 안정적으로 확보하여 국내 관련 산업의 글로벌 경쟁력 강화
기술적	○ 액체수소 터미널 건설에 ICT 기반 정보기술들을 융복합하여 환경친화적인 신재생에너지 관련 기술 개발 확보 ○ 액체수소 공급인프라 건설을 통한 신재생에너지의 효율적 사용기술 확보 필요
정치·환경적	○ 액체수소를 수입해야 하는 상황에서 관련 기술의 국산화를 통해 국가 간 분쟁·갈등에 선제적으로 대응하고 에너지안보 보호하기 위한 수출입 터미널 확보, ○ 대용량 수소 저장을 위한 액체수소 터미널 건설 추진을 통해 탄소중립 실현, 새로운 에너지 변동성이 미치는 영향 최소화


## 2절 정책 동향

### 1. 주요국 정책 동향

- 주요국은 장기적으로 수소의 활용을 확대하기 위해 이를 지원하는 정책을 수립하였으며, 장거리 운송과 활용에 유리한 액체수소 유관 정책 지원 또한 전개

〈표 2-4〉 주요국 수소 관련 정책 현황

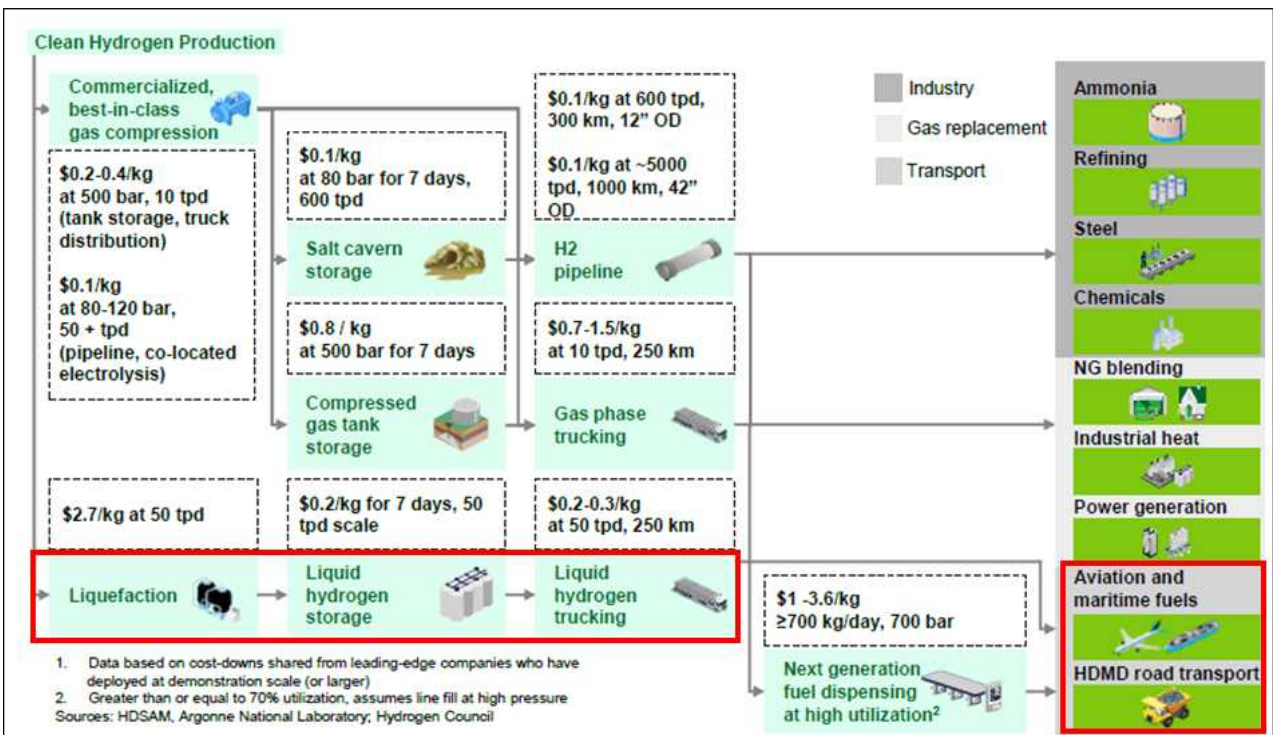
구분	주요 정책	정책 내용
 미국	청정수소 전략 로드맵 ('23)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ '50년 탄소중립 달성을 위한 청정수소 전주기 전략</li> <li>○ 액체수소의 저장·운송 측면에서의 이점을 살려 규모의 경제를 구축하고 이를 지원하는 정책 및 계획 수립</li> </ul>
	수소 사업 계획 ('20)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 중장기적 수소 기술 개발을 위한 단계별 R&amp;D 프로그램</li> <li>○ 액체수소의 운송·저장 효율성을 강조하며 기술 개발 추진하여 기존 수소 운송·저장 문제점 해결을 위한 방향성 제시</li> </ul>
 EU	수소전략 ('20)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ '50년 탄소중립 달성을 위한 수소에너지 활용 청사진</li> <li>○ 에너지 전환 효율이 높은 액체수소에 대한 미래 시장 형성을 지원하기 위해 EU 및 범유럽 정책 추진</li> </ul>
 독일	수소 실행 계획 ('21~'25)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 해외 국가로부터 수소 수입을 추진하여 비용 효율 추진</li> <li>- 수소 수입에 유리한 해상 운송 기술 개발과 터미널 등 인프라 구축 추진</li> </ul>
	국가수소전략 ('20)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 전략 수립을 통한 수소 수입국으로서 이행계획 제시</li> <li>○ 자국 외 생산거점 확보 및 수입을 위한 기반 마련</li> <li>- 액체수소를 강조하며 기술 개발 및 투자 지원</li> </ul>
 중국	수소에너지 산업 발전 중장기계획 ('21~'35)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 국가에너지시스템의 주요 에너지로 수소를 채택하여 수소에너지산업 혁신시스템 구축 및 고도화 추진</li> <li>○ 인프라 부문에서 액체수소 저장·수송 시스템 구축을 추진</li> </ul>
	수소 산업 발전 계획 (~'25)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 하이난성, 간쑤성 등 지방정부의 주도로 수소산업 성장 계획</li> <li>○ 세계 최대 수소생산력을 바탕으로 액체수소 등을 활용한 공급인프라가 빠르게 확산</li> </ul>
 일본	기본 수소 전략 개정안 ('23)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ '수소 전략'('17)을 개정하여 해외에서 수소를 생산, 저장·운송하는 시스템을 통한 저비용 수소 조달 실현 목표</li> <li>- 액체수소의 효율성을 바탕으로 인프라 개발 추진</li> </ul>
	그린이노베이션 수소 프로젝트 ('20)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 프로젝트 중 일부로 액체수소의 저장, 운송 기술 개발 진행</li> <li>- 국제 수소 공급망 구축을 위한 합동 R&amp;D 등에 지속 투자</li> </ul>

구분	주요 정책	정책 내용
 호주	수소 공급망 사업 ('23)	○ 일본과의 시범 프로젝트로 수소 생산, 운송 및 수출 공급망 구축 및 실증 - 호주로부터 생산된 액체수소를 선적하여 일본 고베에 위치한 인수기지 및 저장시설로 운송
	퀸즐랜드 수소 프로젝트 ('23)	○ 전략에 따른 세부 이행을 주 차원에서 실시하며 실증사업 및 연구 확대 - 글래드 스톤(Gladstone)의 입지를 바탕으로 수소 생산 후 액화하여 수출하는 실증 프로젝트를 진행
	국가수소전략 ('19)	○ 아시아 시장의 수소 3대 수출국 및 선진 수소 국가 목표 - 호주 정부는 수소 산업 육성을 위한 투자를 지속하며 생산 증가 및 기술 향상, 생산 단가 절하로 선순환을 예상

# 1) 미국

## (1) 청정수소 전략 및 로드맵 (US National Clean Hydrogen Strategy and Roadmap)<sup>23)</sup>

- 2050년 탄소중립 달성을 위하여 청정수소 전주기(생산·운송·저장·사용)에 대한 현황과 청정수소경제 진입을 위한 중장기 전략 발표
    - 산업 공정, 대형 운송, 고열 처리, 고압 저장 등 탈탄소화가 어려운 부문에 지원을 집중하고, 비용을 절감하며, 지역 네트워크 구축을 제시
      - 단기적으로 R&D 촉진 및 안전 기준을 마련하고, 중기적으로 국내 공급망 개발 및 인프라 시설 실증, 장기적으로 국내 수소 규모 확대 및 수출 증진을 목표로 설정
  - 액체수소는 저장·운송 측면에서 규모의 경제를 이루는 장점을 기반으로 운송 분야의 핵심 에너지원으로 설정
    - 액체 탱크, 운반체(암모니아, 메틸시클로hex산, 톨루엔) 형태로 에너지를 변환할 예정
      - 특히, 장기적인 관점에서 액체수소를 활용한 원거리 수출을 고려하며, 현재 초기 단계인 기술에 대하여 상용화를 위한 RDD&D\* 노력으로 데이터 수집, 수소 수출을 위한 시장 구조 및 지침 마련 등 계획
- \* 연구·개발·실증·확산(RDD&D, Research, Development, Demonstration and Deployment)



자료: DOE, "U.S. National Clean Hydrogen Strategy and Roadmap" (2023)

〈그림 2-4〉 수소 인프라 및 비용 추정

## (2) 수소 사업 계획 (Hydrogen Program Plan)(’ 20)

□ 국가 주도의 중장기적 수소 기술 개발을 위한 단계별 RDD&D\* 프로그램을 통합하여 전략 이행을 위한 목표를 설정

\* 연구·개발·실증·확산(RDD&D, Research, Development, Demonsration and Deployment)

- 에너지부를 통해 발표된 수소 전략으로, 산하 기관이 사업 추진에서 겪는 기술적, 운영적 문제점 등을 보완할 수 있는 포괄적 방향 제시
  - 에너지효율 재생에너지(Energy Efficiency and Renewable Energy), 화석에너지(Fossil Energy), 원자력에너지(Nuclear Energy), 전력(Electricity), 과학(Science), 선진에너지연구사업(ARAP-E) 등 기관별 통합 사업 계획을 제시하여 다양한 부문에 걸친 수소 경제 이행을 가속화
- 산학연과 주(洲) 정부와의 긴밀한 협력의 중요성을 강조하여 미국 내에서의 수소 경제 달성을 위한 확대 의지를 표명

□ 액체수소는 에너지 운송·저장에서의 효율을 지닌 방식으로, 기존 문제인 안정성·편리성·신뢰성·효율성을 해결할 수 있는 연구개발 방향성 제시

- 액체수소는 기술적 성숙 단계에 접어들었으나 대규모 운송·저장을 위한 상업화는 불가능한 상황으로, 기초 수준에서의 연구개발을 위한 전략적 프레임 제시

〈표 2-5〉 수소 관련 문제점 및 해결 과제

구분	문제	과제
운송 (Delivery)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 용량 확대 필요</li> <li>○ 비용 절감 필요</li> <li>○ 액체연료 기반 시설 보급 필요</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 다양한 형태의 수소 운송을 위한 기술 및 인프라 구축</li> <li>○ 액화·액체수소 부문의 기술 혁신</li> <li>○ 수소 저장 및 운송을 위한 수소 운반체 개발</li> </ul>
저장 (Storage)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 대용량 저장 필요</li> <li>○ 목적·시점에 따른 저장 필요                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 생산, 운송, 활용</li> </ul> </li> <li>○ 장기적 저장 필요</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 저비용·고밀도 수소 저장 시스템</li> <li>○ 액체수소 및 고압수소 저장을 위한 R&amp;D</li> <li>○ 수소 터빈에 활용 가능한 화학수소운반체(chemical hydrogen carriers) 형태의 저장 기술</li> <li>○ 수소 저장의 안전성·효율성 고려한 기술 및 시스템 구축</li> </ul>
<b>최종 목표</b>		

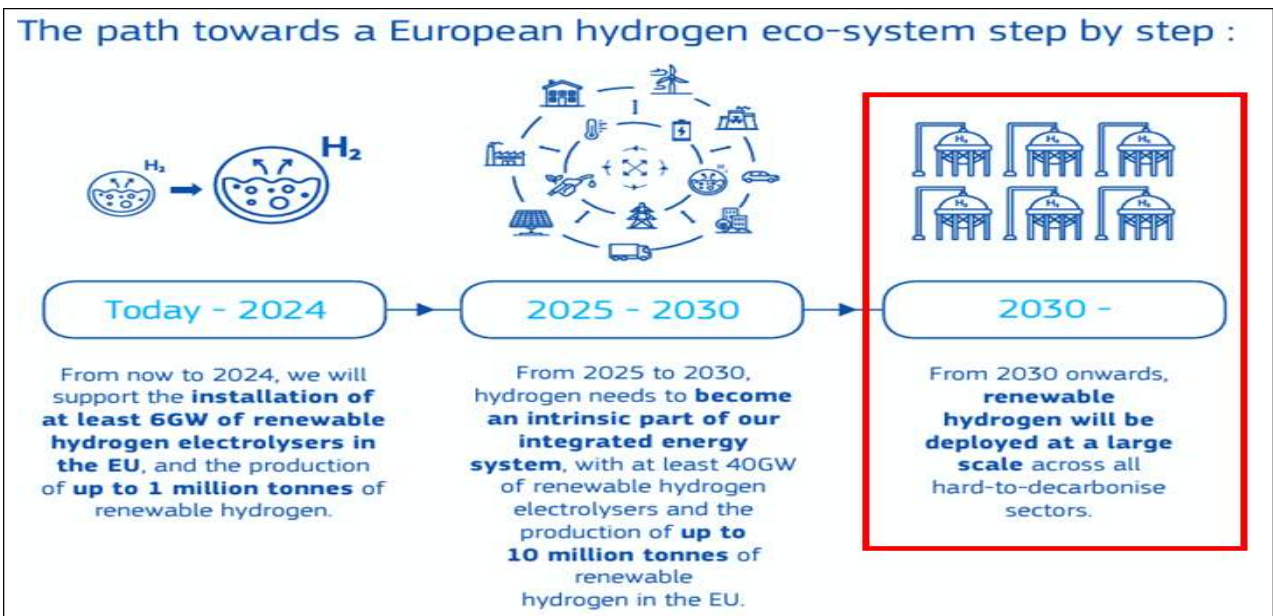
- 고압 및/또는 저온에서 호환성
- 액화 방식의 혁신 (수소 저장, 운송 및 활용을 위한 화학 물질 및 촉매 등)
- 저비용을 위한 인프라 (압축기, 저장 용기, 분사기, 노즐 등)

자료: U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, “Department of Energy Hydrogen Program Plan” (2020); KEIT, “수전해 기술고도화를 위한 주요국 정책 현황 및 시사점” (2021)

## 2) EU

### (1) 수소 전략 (A Hydrogen Strategy for a Climate-Neutral Europe)' 20

- EU는 수소를 유럽 그린딜과 청정에너지 전환을 위한 핵심 요소로 평가하며, 수소에너지를 유럽 내에 단계별로 적용하여 2050 탄소중립을 달성하는 청사진 제시
  - 수소가 에너지믹스에서 차지하는 비중은 2% 미만이지만, '50년에는 13~14%까지 확대될 것으로 기대하며, 생산된 합성연료를 위한 40여개 P2G 수소 플랜트 운영·추진 계획
    - 단기와 중기에는 재생 수소의 생산, 저탄소 수소를 활용한 탄소배출 감축 및 자생력 있는 시장 형성을 목표로 하며, 장기적으로 재생 수소가 활용되는 산업 범위 확대 추진
  
- EU 내 액체수소는 에너지 전환 효율에서의 이점을 기반으로 개방적·경쟁적으로 시장이 형성될 것으로 기대하며 범유럽 차원보다 국가 개별 정책을 추진하는 상황
  - 독일, 네덜란드 등 개별 국가 단위에서 신규 인프라를 활용한 액체수소 활용 시도
    - 액체수소 공급은 해안 지역의 생산 기지로부터, 수요는 산업 클러스터로 '포인트-투-포인트' 연결하는 인프라 구축 지원
    - 액체수소 인프라 구축에 대한 규제를 완화하고, 트럭, 선박, 화합물 등 다양한 운송 수단을 통해 대규모 에너지 수요를 충족하고, 계절 변화에 대응 가능한 이점을 활용할 수 있는 가이드라인 설정



자료: EUROPEAN COMMISSION, "A Hydrogen Strategy for a climate neutral Europe" (2020)

〈그림 2-5〉 유럽 수소 전략 목표 체계도

### 3) 독일

#### (1) 수소 실행 계획(Hydrogen Action Plan Germany)(2021~2025) 21

- 독일은 수소 수입에 유리한 해상 운송 기술을 보유하여 해외 장거리 국가로부터 수입을 추진하여 비용효율성을 도모
  - 미래 수소를 공급하기 위하여 액체수소, 혹은 다른 에너지 운반체(암모니아, LOHC 등)를 수입하는 위한 터미널과 해상 운송 방식 기술을 강조
    - ※ 국가수소전략(NWS)이 채택됨에 따라 독일 정부는 국가수소위원회를 설립하고 수소경제 진입을 위한 단계적 목표를 수립
  - 액체수소는 독일 내 수소 에너지 전환 및 재전환이 해상 운송 비용의 대안을 제공하여 수소 네트워크 확장과 수소 수입을 위한 터미널과의 연계·통합 필요성 강조
  - 기존 천연가스 파이프라인을 수소로 전환하는 방안도 고려하여 단시간 내에 비용 효율적으로 수소 인프라를 구축하고자 하는 의지 표명

〈표 2-6〉 ‘수소 실행 계획’ 주요 영역과 조치

실행 영역	조치
수소 가용성 확보	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 자국 내 수소 생산량이 제한적이므로 수소 및 파생물 수입을 통해 수요 대부분 충당</li> <li>- 연방 정부의 예측 시나리오에 따르면 '30년 예상 수요 95~130TWh 중 약 50~70% (45~90TWh)를 해외 수입으로 충당</li> </ul>
고성능 수소 인프라 확보	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 전기·가스·수소 네트워크 조정 계획에 따라 유럽공동이해 관계프로젝트(IPCEI)를 통해 국가 수소 네트워크를 개발</li> <li>○ 유럽수배관망(European Hydrogen Backbone)을 EU 회원국의 신규 네트워크로 연결</li> <li>- 독일 내 1,800km('27년), 유럽 전역에 약 4,500km('28년)의 수소 배관망 신설·개조</li> </ul>
수소 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 수소 생산 증대·혁신 촉진을 위한 중단기적 재정 지원</li> <li>○ 신규 투자되는 가스 화력 발전소가 수소 또는 그 파생물을 기반한 발전으로 개조 준비 (H2-readiness)</li> </ul>
제도 수립	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 수소 생산-운송-수입 인프라 구축 간소화 및 가속화를 위한 법적 요건을 검토하고, 규제 장애물 제거</li> <li>○ 수소 시장의 지속가능한 확대를 위해 수소 및 파생 제품, 국내 생산·해외 수입 관련 표준과 인증 시스템 확립</li> <li>○ 국내 수전해 용량 구축을 위한 연구 및 산업에 대한 장기적이고 지속가능한 지원 제공, 연구에서 생산 역량으로의 이전 가속화</li> </ul>

자료: 한국산업기술진흥원, “독일 국가수소전략 업데이트 (獨 BMWK)” (2023)

## (2) 국가수소전략(Nationale Wasserstoff Strategie, NWS)(’ 20)

- ‘국가수소전략’ 을 발표하며 대표적인 수소 수입국으로서 이행계획을 제시하고, 자국 외 생산 거점을 확보하고 수입을 위한 기반 계획 마련
  - 독일은 수소전략 이전부터 “수소·연료전지 국가혁신프로그램(NIP, ’ 06~’ 26년)” 을 시행하는 등 일찍이 수소의 중요성을 인식하고 수소 로드맵을 준비
    - 수소 수요는 액체수소와 LOHC(Liquid Organic Hydrogen Carrier)를 수입하여 충족하며, 특히 액체수소는 선박을 통해 저장 및 운송하는 방식으로 이루어질 예정으로 이에 따른 인프라와 연구개발을 중·장기적으로 계획

〈표 2-7〉 독일, “수소·연료전지 기술 혁신프로그램(NIP)” 주요 내용

구분	주요 내용
제1차 (’06~’16)	<b>[수소 인프라 기반 마련]</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 수소 모빌리티와 연료전지 시스템 등의 R&amp;D 진행</li> <li>○ 실증 765개 프로젝트, 총 7억 1,000만 유로 투자 단행</li> <li>○ 독일의 수소 및 연료전지 산업 상용화에 기여</li> </ul>
제2차 (’16~’26)	<b>[수소 기술 개발과 인프라 구축]</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 수소기술 시장의 활성화와 수소 인프라 구축에 초점</li> <li>○ 독일 수소·연료전지 산업의 시장경쟁력 강화를 위한 시장성 개선 R&amp;D, 상용화 등에 대한 프로젝트 진행</li> </ul>

자료: 한국무역협회, “수소산업 경쟁력 강화를 위한 정책 연구: 친환경 수소생산을 위한 주요국 정책 비교”(2023);한국무역협회, “앞으로 다가올 수소경제의 미래: 주요국 정책 동향과 시사점을 중심으로” (2020)

- 국가수소전략에서 액체수소는 ‘섹터 커플링’ 의 핵심으로 등장하여 이를 위한 수소 기술의 필요성과 잠재력을 강조하고, 향후 미래사회의 수소 생산, 운송과 활용을 위한 프레임워크를 정의하고 이에 따른 기술과 투자 계획 제시
  - (생산) 자국 생산으로는 신규 수요를 감당하기 어려워 북유럽 및 발트해 지역 국가와의 협력 채널을 구축하여 수소 생산 기반을 확보할 전망
  - (운송) 1,800km 이상의 파이프라인 전환 및 추가로 수소 스타트업 네트워크 구축(’ 28), 4,500km의 수소 파이프라인을 유럽 전역에 추가하여 모든 수소 생산·저장·활용 센터를 연결하고 분야별 38개\* 세부 이행계획 제시(’ 30)
    - \* 생산, 운송, 산업, 난방, 인프라, 연구개발, 국제협력 등 38개 분야
  - (활용) 화석연료를 대체할 수 있는 재생 기반 대체 에너지원으로 수소 및 수소 기반 PtX(Power to X) 적용 상품(commodities)을 사용
- 이에 따라 연방정부는 90억 유로를 전략에 배정하고 이 중 20억을 수소 수입 인프라 구축 및 제3국에서의 수소 생산 등을 위한 파트너십을 위해 사용할 계획을 발표

- 70억 유로는 국가 차원의 수소 경제 확산에 활용하여 향후 기술 시장 성장에 따른 법·제도적 규제를 갖추고 자국 기업의 수출을 증진하는데 초점

〈표 2-8〉 독일 수소전략의 주요 내용

구분	전략 내용
기구 설치	○ 수소 내각 위원회·수소위원회·컨트롤타워 설치로 수소 전략 수립과 이행 여부 모니터링 등 핵심 역할을 수행
투자 확대	○ 수소 시장 확대를 위한 90억 유로(국내 70억 + 국제협력 20억 유로) 투자 - 수소연료전지 기술: 14억 유로(~'26)      - 수소에너지 전환 실험실 연구 구축: 6억 유로 - 수소 기초 응용연구: 3.1억 유로(~'23)      - 제조공장 탈탄소화 인프라 및 기술: 10억 유로(~'23) - 수소 기술 응용연구: 2억 유로(~'23)
생산설비	○ 5GW 수전해수소 생산설비 구축(~'30) ○ 5GW 수전해수소 생산설비 추가 구축(~'40)
생산운송 인프라	○ 산업계 수전해 설비 지원을 통한 수소 전환 촉진 ○ 천연가스 인프라 활용 및 수소 전용 인프라로 전환
국제협력	○ 글로벌 다자협력 에너지 파트너십을 통한 수소전략 목표 이행

자료: 한국무역협회, “앞으로 다가올 수소경제의 미래: 주요국 정책 동향과 시사점을 중심으로” (2020)

- 또한 북아프리카, 중동 등 33개 수소 수입국 후보를 전수 조사하여 해외 생산 거점 확보
  - 연방경제에너지부(BMWK의 전신)의 의뢰로 파트너십 혹은 에너지 관련 추진국을 대상으로 구분하여 수소 수입 전략을 마련
  - 중소기업이 해외, 특히 개발도상국을 중심으로 그린수소 생산 플랜트 시장을 선점할 수 있도록 관련 기술을 지원하고, 현지에서의 안정적 수소 생산, 자국으로의 공급이 이루어질 수 있도록 민관 파트너십 형태의 지원사업(H<sub>2</sub>UPPP) 추진

〈표 2-9〉 독일, “국제 수소 증산 프로그램(H<sub>2</sub>UPPP)” 주요 내용

구분	주요 내용
국제 수소 증산 프로그램 (H <sub>2</sub> UPPP)	○ (기간) '22 ~ '23 ('26까지 연장 검토 중) ○ (주체) 독일 국제협력공사(GIZ) ○ (목적) 중소기업의 개도국 그린수소 생산 플랜트 시장을 선점을 위한 관련 기술 지원, 현지 그린수소 생산을 안정적인 수준으로 확보함으로써 독일 내 수소 수요를 충당 ○ (내용) 10개 우선순위국가(인도, 태국, 칠레, 멕시코 등) 수소프로젝트 발굴을 지원하고, 프로젝트 추진을 위한 컨설팅 서비스와 컨소시엄 구성 등 지원

자료: 한국무역협회, “수소산업 경쟁력 강화를 위한 정책 연구: 친환경 수소생산을 위한 주요국 정책 비교“ (2023)

## 4) 중국

### (1) 수소에너지산업 중장기 발전계획(氢能产业发展中长期规划 2021-2035)[’ 22]

- 중국은 국가에너지시스템의 주요 에너지로 수소를 채택하고, 2060 탄소중립 목표 달성 수단으로 활용하는 동시에 수소에너지산업 혁신시스템 구축 및 고도화를 추진
  - 14차 5개년 경제계획(2021.3.11.)에서 제시한 수소 종합계획 수립 목표에 근거하여 수소에너지의 생산, 저장, 운송, 사용의 각 단계별로 발전 계획과 수소의 안정 및 공공서비스 확대를 위한 계획을 제시
    - 핵심 내용은 수소에너지산업의 혁신 시스템 구축, 수소에너지 인프라 건설, 수소에너지의 안정적인 시범 응용사업 추진, 수소에너지 관련 정책과 제도 완비 등
- 인프라 부문에서는 액체수소 저장·수송 시스템 구축을 상세하게 추진하여 저온액화의 상업화를 추진하고, 산업 부문에서 수소에너지를 적극적으로 활용
  - 극저온 압축저장(Cryo-compressed Storage), 액상유기물 수소 저장체 기술(Liquid Organic Hydrogen Carriers, LOHC) 등 다양한 액체수소 저장·수송방식 모색
    - 그 외에도 기존 인프라를 활용한 천연가스 파이프라인에 수소 혼합 등 시범사업 추진
  - 화학업종에서 수소에너지의 활용을 확대하고, 수소를 환원제로 사용하는 수소합금\* 기술을 연구·개발하여 에너지다소비 업종의 저탄소 녹색 성장 촉진
    - 산업 공정에서 수소에너지를 열에너지원으로 활용하고, 암모니아, 메탄올, 정제, 석탄액화, 석탄가스 등 화석 연료를 수소로 대체하는 규모를 확대

〈표 2-10〉 수소에너지 사용 부문별 시범사업(’21~’35)

구분	내용
수송	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 광산, 항구, 산업단지 등 지역에 수소화물차 수송 시범사업 및 70MPa 수소 튜브트레일러 검증 추진</li> <li>○ 주요 지역의 환경보호 필요성과 전력인프라 여건에 따라 선박, 항공기 등 부문의 수소연료전지 시범사용 방안 모색</li> </ul>
저장	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 재생에너지를 활용한 그린수소 시범공정을 추진, 재생에너지-수소에너지저장의 비즈니스 모델 개발</li> <li>○ 수소차 시범노선 등 수소 수요가 높은 지역을 대상으로 분산형 재생에너지발전, On-site 수소충전소 건설</li> </ul>
발전	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 수소와 전력을 융합한 마이크로그리드 시범사업 및 수소연료전지 열병합 발전 추진</li> <li>○ 통신기지국 대상으로 수소연료전지 비상전원 시범사업을 추진, 향후 금융·병원·학교 등 확대</li> </ul>
산업	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 화학업계 내 암모니아·메탄올 합성, 정제, 석탄 액화·가스화 등의 업종을 대상으로 그린수소 활용 시범사업 추진</li> </ul>

자료: KEA, “세계 에너지시장 인사이트” (2022)

## (2) 수소 산업 발전 계획(~' 25)

- 중국은 청정·저탄소의 수소에너지 공급 면에서 거대한 잠재력을 갖고 있으나, 지방정부 주도로 수소산업을 성장시켜 전반적 수소 기술은 아직 초기단계로 평가
  - 산업 성장을 뒷받침하는 기본 제도와 중앙정부 차원의 종합계획이 낙후되어 있어 글로벌 수준보다 산업 혁신 역량이 취약한 문제점이 존재
    - 하이난 등 8개 부처는 ‘하이난성 수소산업 성장 중장기 계획(’23~’35년)’ 을 통해 단계별 수소산업 육성 계획을 수립하고, 선박, 자동차, 항공, 화학 등 부문에서 수소에너지 산업을 중점적으로 활성화할 계획
    - 신장자치구는 ’ 25년까지 그린수소 생산-저장-수송-충전-소비를 통합한 공급망 및 산업체계를 구축하며, 수소산업 시범지역을 건설하여 그린수소 생산량을 연간 10만 톤으로 확대할 계획
    - 간쑤성은 ‘간쑤성 수소산업 지도의견’ 을 통해 2025년까지 그린수소 생산능력이 연간 약 20만 톤에 달하는 수소 생산 및 저장 기지를 구축할 계획
    - 네이멍자치구는 ’ 25년까지 그린수소 생산량을 연간 50만 톤으로 확대한다는 계획으로 관련 기업 및 과학연구기관과의 협력을 추진하며 가치사슬을 구축할 계획
  - 중국은 액체수소 기술 개발은 미진한 실정이지만, 세계 최대 수소생산국이자 최대 재생에너지 설비 보유국으로 수소 생산에 대한 인프라가 빠르게 보급되는 상황
    - 수소에너지 생산, 저장·수송, 연료전지 및 시스템 통합 등 부문에서 초기 단계의 주요 기술과 시스템을 보유하며 글로벌 대비 기술 수준이 낮은 실정

〈표 2-11〉 수소에너지 사용 부문별 시범사업(’21~’35)

(단위: 연간)

지역	’25년 목표	’30년 목표
하이난성	수소 생산량 20만 톤 이상 (그린수소 10만 톤)	수소 생산량 50만 톤 이상 (그린수소 40만 톤)
신장자치구	그린수소 생산량 10만 톤	-
간쑤성	그린수소 생산능력 20만 톤	-
네이멍자치구	그린수소 생산량 50만 톤	-

자료: KEA, “세계 에너지시장 인사이트” (2022)

## 5) 일본

### (1) 기본 수소 전략 개정안(Basic Hydrogen Strategy)' 23)

- 일본은 ‘수소 전략(’ 17)’ 을 규제·지원 일체형으로 구체화하기 위해 개정하여 해외 미사용 에너지에서 수소를 생산, 저장·운송하는 시스템을 구축해 저비용 수소 조달 실현을 목표
  - 대규모 수소 공급망 구축과 초기 수요 창출을 위한 실증 프로젝트를 명시하여 자원국과의 협력관계 강화 및 해외 거점을 통한 수소 산업의 방향성 제시
    - 해상운송 경험을 토대로 더욱 크고 효율적인 운송 수단 개발과 함께 해외시장 수소 공급망 구축에 초기 참여하여 자국의 액체수소 공급망 확대 지원
    - 항만 및 연안 지역을 중심으로 산업 수요가 많은 수도권 지역에 대규모 수소 공급 기지를 건설하고, 탱크, 파이프라인 등 인프라 개발을 촉진
  - 특히 기체수소 대비 부피가 작고 운송 효율이 높은 액체수소 도입을 긍정적으로 평가
    - 액체수소 기반의 수소 운송 효율성을 높이기 위해 액화 비용 절감 목적의 고효율 액화기, 기화를 효과적으로 억제하는 용기 등 다양한 기술 개발 지원을 명시

〈표 2-12〉 ‘기본 수소 전략’ 개정안 주요 요점

구분	발표
저비용의 안정적 수소 공급	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 수소 목표를 새롭게 설정하여 수소 사회 실현 가속화                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 최대 300만 톤(’30), 2,000만 톤(’50)인 현재 수준에서 1,200만 톤 (’40)을 추가</li> </ul> </li> <li>○ 수소 공급 단가 목표 30엔/Nm<sup>3</sup>(’30), 20엔/Nm<sup>3</sup>(’20) 제시                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 목표 가격 달성을 위한 공급망 구축, 수요 창출을 통해 수요를 환기하고 민간 투자 확대</li> </ul> </li> </ul>
저탄소 수소로의 이행	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 청정 수소로의 이행을 명확히 하고 글로벌 기준 선도                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 국제 평가 기준을 참고하여 LCA(수명주기평가) 배출량을 최대한 감축하여 글로벌 환경 과제 해결에 공헌</li> </ul> </li> <li>○ 규제·지원 일체형으로 저탄소 수소 이행 추진</li> </ul>
자국 내 수소제조 생산 기반 및 공급망 확립	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 대규모 공급망 및 거점 구축을 위한 지원 제도 정비                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- ’30년 상용화를 목표로 15년 간 15조 엔의 공급망 투자 계획 검토</li> </ul> </li> </ul>
국제 수소 공급망 구축	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 지원국과의 관계를 강화하고 호주, 중동, 북미, 아시아를 연계하는 국제 공급망 구축 및 거점 정비 가속화</li> <li>○ 에너지 안전 보장과 산업 정책을 양립함으로써 수소 공급국과 수요국의 윈-윈 관계를 구축해 수소 사회의 선순환 창출</li> </ul>

자료: 한국산업기술진흥원. “일본 수소기본전략 개정안 요점 분석 (日 경제산업성)” (2023)

## (2) 그린이노베이션 수소 프로젝트(’20)

- 11개의 수소 프로젝트 중 하나인 ‘대규모 수소 공급망 구축 프로젝트’ 는 액체수소의 저장, 운송 기술 개발에 주력하는 핵심 사업
  - 대규모 수소 공급망 실증 및 혁신적인 수소 수송 기술 개발을 목표로하며 수소 분야에 대한 기술 개발을 포괄
    - 국제 수소 공급망 기술 확립, 액체수소 기술 평가 기반 정비, 수소 발전 기술 확립 등을 수행
  - 액체수소 단가를 현재 대비 약 80% 절감을 목표로 액화, 액상 수소 기술 개발 계획
    - 운송단가는 단계적으로 82%(’30년), 88%(’50년)로 정하고, 액화(’30년) 및 액상(’25년) 기술의 상용화 목표를 수립
    - 또한 수소를 대량 수입할 수 있도록 액화 탱크 용량 확장 및 액상화 효율성 향상 주력
      - \* 액체수소 탱크 규모 확대(수천m<sup>3</sup>→50,000m<sup>3</sup>), 액상화 기술 효율성 향상(13.6kWh/kg→6kWh/kg)
  - 국제 수소 공급망 구축을 위한 민관 합동 R&D 및 파일럿 프로젝트에 지속 투자
    - 국내 인프라(터미널, 대형 탱크 등)를 설치하고, 대형 액체수소 운송선을 개발해 원활한 수소 수입 공급망을 구축하고자 다양한 프로젝트 진행
    - 해외 수소 수입을 목적으로 한 수소 저장·운송 기술 개발에 민관이 집중적으로 투자

〈표 2-13〉 일본 수소 공급망 구축 프로젝트

시작	국가	프로젝트명 / 내용	지원기관	단계
’15	브루나이	SPERA	NEDO	실증
		브루나이 LNG 플랜트에서 발생하는 가스에서 추출한 수소를 톨루엔과 화학반응 시켜 액상 형태로 일본 가와사키시로 운송		
’17 (’22)	호주	HySTRA(HESC)	NEDO	실증 (1차 성공)
		호주 빅토리아의 미이용 갈탄에서 수소를 추출·액화시켜 전용 선박을 이용하여, 고베시로 운송·저장하고 이용까지 가능한 액화 수소 공급망을 구축		
’20	사우디	Zero CO2 사우디 수소 프로젝트	경제산업성, JOGMEC	실증
		사우디에서 생산된 수소를 액상 형태로 변환/저장해 국내 운송		

자료: 한국무역협회, “수소산업 경쟁력 강화를 위한 정책 연구:수소 저장·운송 산업 육성 현황과 정책과제” (2023)

## 6) 호주

### (1) 수소 공급망 사업(Hydrogen Energy Supply Chain) 23)

- 호주-일본은 ‘수소 공급망 사업(HESC: Hydrogen Energy Supply Chain)’의 시범 프로젝트(Pilot Project)로 컨소시엄을 통해 수소 생산, 운송 및 수출 공급망 구축
  - 세계 최초로 수이소 프론티어호(Suiso Frontier)를 이용해 액체수소 운송선에 액체 수소를 선적하여 일본 고베에 위치한 인수기지 및 저장시설로 운송
    - 국가가 협력하여 주도한 프로젝트로 호주 연방정부와 빅토리아 주 정부가 1억 달러, 일본 정부와 프로젝트 파트너 기업이 4억 달러를 부담하여 수소 전 범위 기술 실증
  - 수소 튜브 트레일러(hydrogen tube trailer)를 통해 헤이스팅스(Hastings)시설에서 액화
    - 호주 빅토리아주 라 트로브 벨리에 위치한 소규모 가스화 및 정제 공장(gasification and refining plant)에서 J-Power의 운영 아래 수소 생산
  - 실증 사업 이후 상용화를 위한 국가적 합의와 인증·수요 확보 등 예정
    - 액체수소 운송선 추가 운행과 동시에 상업적 규모 사업 추진과 관련된 규제 승인 획득 절차를 준비하고, 호주와 일본 내 잠재 구매자 확보 중
    - 수소 생산 방식 추가 개선·시험, 공급망 전반에 걸친 비용·탄소집약도 감축 기술 향상, 사업지 주민수용성 제고를 위한 포괄적 이해당사자 관계 프로그램 시행 등 추진

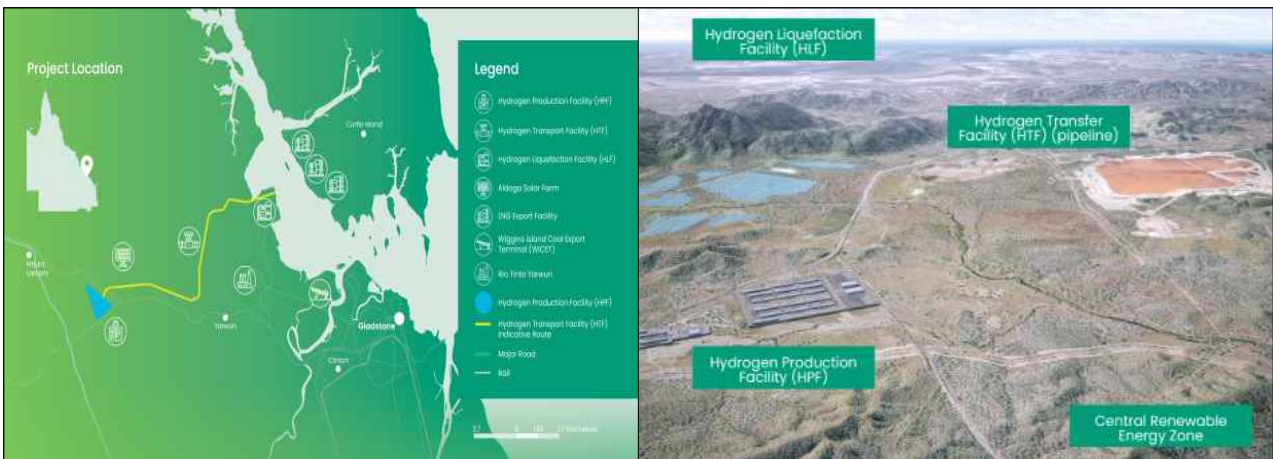


자료: Reuters, “Safety improved on world’s first liquid hydrogen carrier after malfunction” (2023)

〈그림 2-6〉 액체수소 운송선(수이소 프론티어 호)

## (2) 퀸즐랜드 수소 프로젝트(Central Queensland Hydrogen Project)(’ 23)

- 호주 퀸즐랜드주에서는 국가 전략에 따른 세부 이행으로 수소 생산·저장·운송·활용 등 전반적인 분야의 효율성 제고를 위한 실증사업 및 연구를 확대
  - 글래드 스톤(Gladstone)의 유리한 입지 조건을 바탕으로 수소 프로젝트를 진행하여 그린수소를 생산하고 액화한 뒤 일본 수출을 목표하는 실증 사업을 추진
    - 목표 생산량은 하루 100톤(’ 26)에서 800톤(’ 31)으로 목표하고 있으며, 연간 28만 톤의 수출 물량을 계획 중
    - 그 외 지원금 보조 강조, 지역사회 신뢰 제고, 제도적 문제의 신속한 개선 등 포함



자료: stenwell, “CENTRAL QUEENSLAND RENEWABLE HYDROGEN PROJECT” (2021)

〈그림 2-7〉 퀸즐랜드 수소 프로젝트 위치(좌) 및 조감도(우)

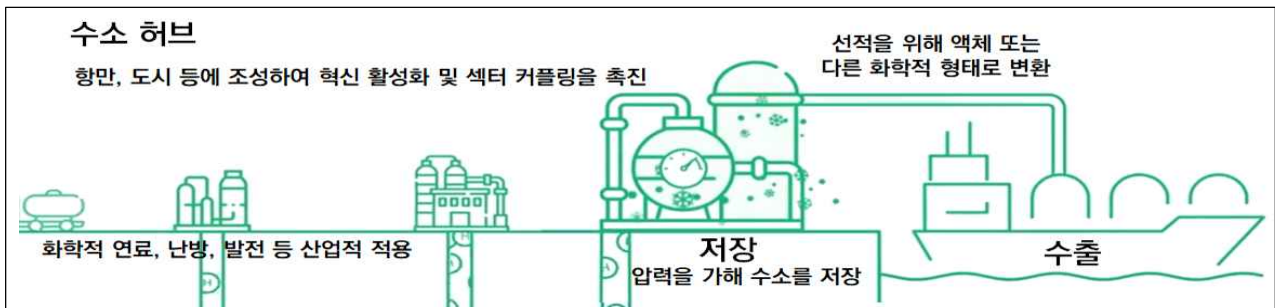
〈표 2-14〉 호주 주정부 수소 정책

주(州)	주요 내용	
뉴사우스 웨일즈	계획명	○ 뉴사우스웨일스주 수소전략 (NSW Hydrogen Strategy)(’21)
	내용	○ 수소 생산에 필요한 수전해 설비 건설
빅토리아	계획명	○ 빅토리아주 그린수소 산업개발계획(Victorian Renewable Hydrogen Industry Development Plan)(’21)
	내용	○ 수소운송용 선박을 포함하는 통합 수소 공급망 구축
노던준	계획명	○ 노던준주 그린수소전략 (Northern Territory Renewable Hydrogen Strategy)
	내용	○ 산업용 수소 유통기반 구축

자료: 대외경제정책연구원, “한-호주 공급망 협력 방향 핵심광물과 수소를 중심으로” (2022)

### (3) 국가수소전략(National Hydrogen Strategy)' 19)

- ‘30년까지 아시아 시장의 수소 3대 수출국 및 선진 수소 국가가 되는 목표를 포함
  - 호주 정부협의회(COAG)는 수소 산업 육성을 위한 투자를 지속하며 생산 증가 및 기술 향상, 이에 따른 생산단가 절하로 선순환을 예상
    - ‘25년 전후를 기점으로 수소 인프라 구축과 실증 시기, 시장 활성화 시기로 나누어 각 단계별 수소경제 구축 전략을 제시
  - ‘수소허브 구축’ 을 통해 산업경쟁력에 필요한 규모 달성을 목표로 추진
    - 수소허브는 다양한 수소 사용자를 하나의 지역으로 집적함으로써 송전망, 배송관, 저장탱크, 충전소, 항만·도로·철도 등의 인프라 구축 비용을 절감할 뿐만 아니라 최종사용자를 위한 수소 생산 및 전달에 있어서도 규모의 경제 실현
    - 수소 생산-활용을 통합하는 섹터 커플링을 이룸으로 편익을 극대화하는 목표 설정



자료: KIAT, “EU·독일·호주 수소전략의 주요 내용 및 시사점” (2020)

〈그림 2-8〉 호주 수소허브 구상

## 2. 국내 정책동향

- 한국은 미래 핵심기술로 수소를 선정하고 수소경제 활성화를 위한 정책 지원을 확대하고 있으며, 수소의 안정적 공급을 위한 액체수소 관련 인프라 구축 지원 정책 수립
  - 미래 핵심기술로 수소를 선정하고 수소의 생산·저장·운송 기술 개발에 전주기적 지원을 확대하며 수소 산업 내 글로벌 경쟁력 제고를 위한 정책 시행
  - 안정적 수소 공급에 있어 핵심적인 액체수소의 생산·저장·운송 기술 개발 및 해외 수소 수입 대응을 위한 인프라 구축 지원 정책 수립
    - 액체수소 대용량 저장 기술은 기술 개발 초기 단계로 이를 지원하기 위한 국내 수소액화 플랜트 구축 및 수소 수입 인프라 구축 정책 추진
    - 향후 수소의 해외 수입을 고려하여 저장·운송이 용이한 액체수소 인수기지 등 기초 인프라 구축 지원 정책 수립

〈표 2-15〉 국내 액체수소 관련 정책 현황

정책명		주요 내용
정부 상위 정책	제5차 과학기술기본 계획 ('22.12)	<b>【과제 3-1】 탄소중립 선도 및 지속가능한 환경으로 전환</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 2050 탄소중립 실현 및 지속가능한 환경시스템으로의 전환을 위한 혁신 기술 확보와 과학적 대응체계 구축</li> <li>○ 12대 국가전략기술 분야 중 미래도전 기술로 수소를 제시, 세부기술 (수전해 수소생산, 수소 저장·운송, 수소연료전지 및 발전) 설정</li> <li>○ 민간협업 기반 시장 스케일업 및 임무지향 R&amp;D를 추진하여 중장기(5~10년) 수소 기술 개발로 상용급 액화플랜트(일 5톤) 구축 계획</li> </ul>
국정 과제	120대 국정과제 ('22)	<b>【20】 산업경쟁력과 공급망을 강화하는 新산업통상전략</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 산업-통상간 연계 협력으로 글로벌 수소 에너지 공급망 위기 선제적 대응</li> </ul> <b>【21】 에너지안보 확립 및 에너지 新산업 新시장 창출</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 에너지수요관리 혁신과 함께 재생에너지, 수소 등 다양한 에너지원의 확대를 통해 에너지 자급률 제고 및 산업·일자리 창출의 기회로 활용</li> </ul> <b>【75】 초격차 전략기술 육성으로 과학기술 G5 도약</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 수소를 전략기술로 지정하여 초격차 선도 및 대체불가 기술 확보를 목표</li> </ul>
정부 정책 및 투자 방향	제1차 국가연구개발 중장기 투자전략 ('23.03)	<b>【추진전략 2】 미래도전, 민간협업 기반 맞춤형 투자</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 대용량 수소 이송·저장 및 무탄소 발전 전환 등 투자 확대</li> <li>○ 친환경 전환을 위한 수소액화 플랜트 기술확보 지원 강화</li> </ul>
액체 수소 유관	수소도시 2.0 추진전략 ('24.10.)	<b>K-수소도시 원천기술 R&amp;D 추진을 통해 수소도시 해외진출 전략 모색</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ (수소액화 플랜트, 수소 적하역 터미널 등 수소도시 패키지 내 “수소 터미널” 포함</li> </ul>

정책명	주요 내용
수소산업 소부장 육성 전략 ('23.12)	<p><b>【추진과제 2】 개발된 기술의 사업화 촉진</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 초기 수요 창출 및 규제개선을 통해 사업화 여건 조성 및 특화단지 등 국내 사업화 지원 기반 마련</li> </ul> <p><b>【추진과제 3】 글로벌 소부장 공급망 강화</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 액체수소 등 국내 대규모 인프라 구축시 국내 소부장 기업 참여 비율 확대</li> </ul>
제2차 국토교통과학기술연구개발 종합계획 ('23.09)	<p><b>【기술과제 8】 친환경 플랜트 및 신공간 건설</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 상용급 수소액화 플랜트, 수소 저장시스템 및 배관망을 통해 안정적으로 대용량 수소를 공급하기 위한 인프라 구축 계획</li> </ul>
청정수소 생태계 조성방안 ('22.11)	<p><b>【전략 2】 수소 유통 인프라 구축</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 해외에서 대규모 수소 수입을 위해 발전기 밀집 지역을 고려하여 액체수소 인수기지 및 수소항만 구축 추진</li> <li>○ (액화플랜트) '23년까지 약 4만톤 규모의 액화플랜트 구축</li> <li>○ (인수기지) '29년까지 약 10만톤 규모의 인수저장설비 구축</li> <li>○ (수소 배관망) 액체수소 인수기지에서 수도권 LNG 발전소까지 단계적 배관망 구축</li> </ul>
수소기술 미래전략 ('22.11)	<p><b>【추진과제 2】 수소 공급을 위한 저장·운송 기술 고도화</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ '30년 대규모 해외 수소 수입을 위해 효율적으로 수소 운송 가능한 기술 및 차세대 저장 기술 개발 추진</li> <li>○ (수소 액화) 효율적인 운송을 위한 극저온 기반 수소 액화기술 관련 소부장 개발</li> <li>○ (장거리 운송기술) 해외 수소 운송 시 손실 감축 및 효율 향상 기술 개발</li> <li>○ (인수기지 수소 적하역) 수입 수소 인수기지 하역 및 저장 기술 개발</li> <li>○ (액체수소 운반차) 액체수소 탱크트레일러 상용화 및 관련 부품 국산화</li> </ul>
제1차 수소경제 이행 기본계획 ('21.11)	<p><b>【추진과제 2】 빈틈없는 인프라 구축</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 수소 액화·액상 등 유통과정 지원, '30년까지 민간 중심으로 LNG 인수기지 유희부지, 규제 샌드박스 등을 활용하여 액화플랜트 조기 구축 추진</li> </ul> <p><b>【추진과제 4】 생태계 기반 강화</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 액체수소 생산시설 실증 결과 기반 안전기준 마련, 수소 운송 확대 및 해외 수입 고려 수소 배관 안전관리 강화 및 액체수소 ISO 탱크컨테이너 안전기준 마련</li> </ul>
제5차 신·재생에너지 기본계획 ('20.12)	<p><b>【추진과제 2】 기술한계 돌파 및 에너지 안보 강화</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 수소 저장·추출(액체수소, LOHC 등)을 통해 안정적인 수소공급 시스템 구축</li> </ul> <p><b>【추진과제 3】 전력계통 대전환</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 수소가스, 액상 연료 저장 등 기술 개발을 통한 長주기 저장수단 확보</li> </ul>
수소 기술 개발 로드맵 ('19.10)	<p><b>국내 실정에 맞는 수소 전환을 추진하기 위한 단계별 기술 개발 전략 수립</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ (저장·운송) 수소를 대량으로 안정성 있게 저장·운송할 수 있는 액체수소·액상수소화합물 관련 기술 개발 로드맵 마련</li> </ul>
수소경제 활성화 로드맵 ('19.01)	<p><b>세계 최고 수준의 수소경제 선도국가로 도약하기 위한 '로드맵' 발표</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ (공급) 수전해 및 해외생산·수입 등 그린수소 비중을 확대</li> <li>○ (저장·운송) 액화·액상 등 원천기술 확보가 시급한 분야는 해외 선진기업과 공동개발 등 유연한 기술획득 전략 추진</li> </ul>

## 1) 120대 국정과제( 22)

- 정부는 수소를 국가전략기술로 지정하고, 에너지 안보 범위로 편입하는 등 국가 차원의 수소 기술 확보와 수급 안정화를 강조
  - (과제 21) 자원안보의 범위를 수소, 핵심광물 등으로 설정하고 수소 에너지 공급 안정성 제고를 위한 수입국 다변화, 재자원화 확대
    - 민간 중심으로 해외자원 산업생태계를 회복하고 자원공기업 경영 개선추진
  - (과제 75) 수소를 전략기술로 지정하여 초격차 선도 및 대체 불가 기술 확보 목표로 집중육성
- 특히, 글로벌 환경 이슈에 대응하며 수소 교역 기반을 확대하고, 국내 생산·공급 기반 마련을 통해 세계 1등 수소산업 육성 의지를 표명
  - (과제 20) 청정수소 교역의 기반을 확대하기 위하여 “(가칭)디지털 통상 로드맵(’22년 수립)” 을 토대로 환경조치(EU CBAM) 대응 및 WTO·APEC·OECD·G20 등 그린 논의 참여 확대
  - (과제 21) 에너지 안보 기반 위에 수소 등 4차산업 기술과 연계한 신산업 육성 추진

〈표 2-16〉 「120대 국정과제」

국정목표	약속 및 국정과제
<p>[목표 2] 민간이 끌고 정부가 미는 역동적 경제</p>	<p><b>약속 4. 경제체질을 선진화하여 혁신성장의 디딤돌을 놓겠습니다.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 20. 산업경쟁력과 공급망을 강화하는 <b>신산업통상전략</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 각국 환경조치 대응, 환경보호 협력 등을 위한 그린 논의에 적극 참여하고, <b>청정수소 교역 기반을 확대</b></li> </ul> </li> <li>○ 21. 에너지안보 확립 및 에너지 <b>신산업·新시장 창출</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 글로벌 자원 수급 불확실성에 선제적으로 대응하여 에너지 안보 확립을 목표로 하며, 특히, <b>자원 안보 범위를 수소 등으로 확대하여 수입국 다변화, 비축확대 등 수급 안정성 제고에 노력</b></li> <li>- 태양광, 풍력 산업 고도화와 함께 청정수소 생산·공급 기반을 마련함으로써 <b>세계 1등 수소산업 육성을 목표</b></li> </ul> </li> </ul>
<p>[목표 4] 자율과 창의로 만드는 담대한 미래</p>	<p><b>약속 14. 과학기술이 선도하는 도약의 발판을 놓겠습니다.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 75. 초격차 전략기술 육성으로 과학기술 G5 도약                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 필수 전략기술 육성에 국가적 역량을 결집함으로써 과학기술 5대 강국 도약을 목표, 수소를 국가전략기술로 지정하여 초격차 선도 및 대체불가 기술 확보에 집중 지원</li> </ul> </li> </ul>

## 2) 제5차 과학기술기본계획(2023~2027, ' 22.12)

□ 2050 탄소중립 목표 달성을 위하여 12대 전략기술로 ‘수소’ 를 선정하여 국가 차원에서 중점적으로 육성할 계획을 발표

○ 균형적 에너지 믹스에 근거하여 탄소중립 실현이라는 도전적인 목표 달성을 추진하기 위해 미래도전 분야\*에 ‘수소’ 를 선정

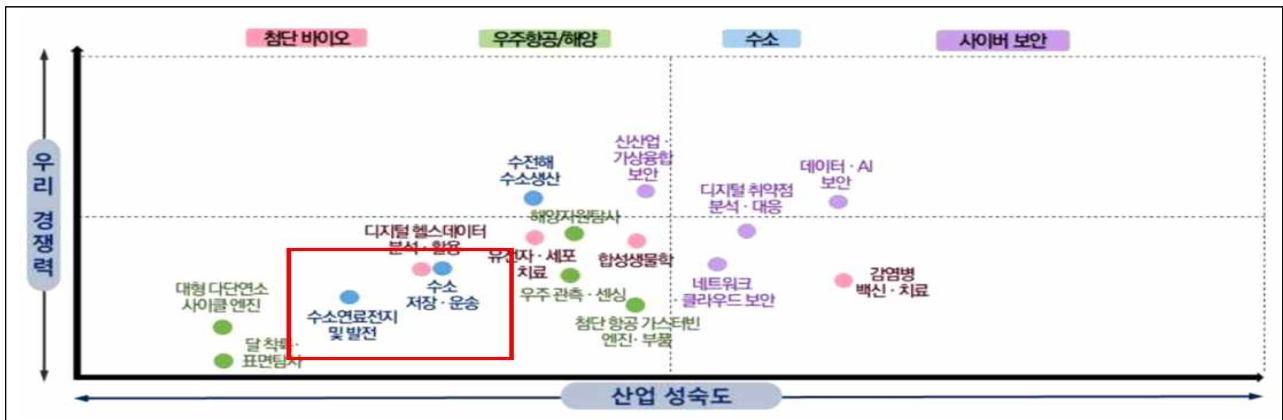
\* 미래도전: 민관협업 기반 시장 스케일업 및 임무지향 R&D로 대체불가 원천기술 확보

- 수소의 3개 세부 중점기술(수전해 수소생산, 수소 저장·운송, 수소연료전지 및 발전 기술 개발) 추진하여 에너지간 연계성 강조

〈표 2-17〉 「제5차 과학기술기본계획」 12대 국가전략기술

단기(~5년)	중장기(5~10년)
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 수전해 수소 생산 원천기술 확보 (1~2W급)</li> <li>○ 기체수소 저장·운송 및 수소발전 핵심 기술 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 준상용급(10MW) 수전해 시스템 실증 및 핵심 소재·부품 국산화</li> <li>○ 상용급 액화플랜트(일 5톤) 구축</li> </ul>

자료: 관계부처 합동, “제5차 과학기술기본계획” (2022)



자료: 관계부처 합동, “제5차 과학기술기본계획” (2022)

〈그림 2-9〉 「제5차 과학기술기본계획」 ‘수소’ 미래도전형 추격기술 선정

○ (과제 3-1) 수소 분야 혁신 기술 확보와 과학적 대응체계 구축을 위한 중장기 목표 설정, 전략적 R&D, 인력양성, 국제협력, 성과관리 등 추진

〈표 2-18〉 「제5차 과학기술기본계획」 주요 내용

정책목표	주요내용
과제 3-1-1 탄소중립 기반의 에너지 전환기술 확보 및 정책 추진체계 구축	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 미래 원천기술 확보 및 사용후 핵연료 저장·처리·처분 기술 고도화                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 원전연계 수소생산 등 기술 개발 확대</li> </ul> </li> <li>○ 미래 핵심 에너지원으로 부상한 그린수소 생산·저장·이송 능력을 확보, 수소활용 분야의 글로벌 경쟁력 제고를 위한 기술 확보                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수소전기차, 수소선박, 수소터빈, 연료전지</li> </ul> </li> </ul>

### 3) 제1차 국가전략기술 육성 기본계획(2024~2028, ' 24.8)

- 수소를 포함한 12대 국가전략기술을 선도 분야, 추격·경쟁 분야, 미래도전 분야로 세분화하여 사업화 지원, 혁신도전 프로젝트 등 맞춤형 정책 지원을 추진
  - (선도 분야) 반도체·이차전지 등 국내 주력 산업과 직결되는 선도 분야에 초격차 기술 선점과 국제 공급망 주도권 유지를 위한 전략적 지원 전개
  - (추격·경쟁 분야) 인공지능, 첨단생명공학, 차세대 원자력 등 기술분야의 세계 선도 수준의 도약 추진 및 해당 전략기술의 조기상용화를 추진하며 연구 기반 확충 지원
  - (미래 도전 분야) 수소, 양자, 우주항공·해양 등 기술 분야에 대한 ‘기술력 대도약’ 을 목표로 기술선도국과의 기술격차 해소를 위한 공공 주도의 혁신도전적 과제 지원
    - (수소) 12대 전략기술 분야 중 수소를 포함한 공백 분야에 대한 R&D 과제 지원 강화 및 추가 발굴 추진
      - 수소 기술 분야 내 수소 저장·운송, 수전해 수소생산, 수소 연료전지 등 세부 중점기술에 대한 지원 강화
      - 글로벌 R&D 플래그십 프로젝트를 본격화하고 수소 분야 ‘Net-Zero Korea’ 프로젝트를 우선 추진하여 글로벌 R&D 전략성 강화

### 4) 제1차 국가연구개발 중장기 투자전략(2023~2027, ' 23.3)

- 수소 생산·저장·운송 관련 핵심 소재·부품 개발, 차세대 수소생산 및 저장 원천기술 확보
  - (추진전략 2, 미래도전, 민간협업 기반 맞춤형 투자) 민관협업 기반 시장 스케일업 및 임무지향 R&D로 대체불가 원천기술 확보에 수소를 명시
    - (수소 수입 기술) 청정수소 생산 기술 국산화 및 차세대 생산기술 발굴, 대용량 수소 이송저장, 해외 수소 도입 기술 개발 및 무탄소 발전으로의 전환 등에 투자 확대
    - (플랜트 기술) 친환경 전환을 위한 바이오메스플랜트와 수소액화 플랜트 및 에너지 안보 확립을 위한 비전통 오일 플랜트 기술확보 지원 강화

## 5) 수소도시 2.0 추진전략( 24.10)

※ 정식 명칭은 「Next Level 수소도시(2.0)로 도약을 위한 수소도시 추진전략」 임

- 동 추진전략을 통해 기존 수소도시의 생활권 단위 범위를 도시 전체로 확대하고, 단위시설 조성 수준이었던 사업을 △수송, △산업, △건물, △발전 등 도시 구성요소 **전 분야로 확대 추진**
  - 보다 많은 지역에서, 보다 다양한 형태로, 보다 깨끗한 에너지로 활용하는 수소도시 청사진을 제시하며 도시 생활 전반에 수소를 활용하는 수소특화도시로의 전환을 촉진
  - 그간 축적한 시범사업 운영 경험과 변화된 여건을 반영하여 새로운 수소도시 미래상을 제시하고, 수소 생태계 확산과 K-수소도시 모델 확립 등 수소경제 이행 발판을 마련
    - 국토부는 ' 20년부터 ' 24년까지 울산, 전주·완주, 안산 3곳을 수소 시범도시로 지정하고, 수소 생산시설부터 이송을 위한 배관, 활용을 위한 연료전지 등 도시 기반시설 설치 사업을 진행한 바 있음

〈표 2-19〉 「수소도시 2.0 추진전략」 기존 수소도시와 수소도시 2.0 비교

구분	기존 수소도시	수소도시 2.0
개념	○ 생활권 단위(3~10km)에서 그레이 수소를 인프라를 통해 건물, 충전소 등 도시 내 단위사업 수준에서 활용	○ 도시 내, 또는 도시 간, 광역 단위에서 블루·그린수소를 차세대 인프라를 통해 수송, 산업, 건물, 발전 등 도시 구성요소 전 분야에 활용
대상	○ 시범도시 3곳 + 실증도시 1곳	○ 도시 역량과 시너지 가능한 12곳 + 확대
특징	○ 테스트베드 수준의 기반 구축	○ 다양한 형태의 수소 생태계 구현

- 특히, 세부전략으로 “수소도시 조성기반 강화” 를 설정, 수소 생산-저장·이송-활용 전주기에 걸친 수소 생태계 조성과 수소액화 플랜트, 수소 적하역 터미널로 대표되는 수소 터미널 원천기술 확보를 명시

### [3. 수소도시 조성기반 강화]

K-수소도시 원천기술 확보를 위한 R&D를 성공적으로 마무리, 이를 기반으로 수소도시 해외진출 전략 모색

#### < 수소도시 관련 패키지 해외진출 전략(안) >



〈그림 2-10〉 「수소도시 2.0 추진전략」 전략 3. 수소도시 조성기반 강화

## 6) 수소산업 소부장 육성전략<sup>1)</sup> 23.12)

□ 세계 1등 수소산업 육성을 위해 10개 분야\* 40개 핵심 품목을 중심으로 국내 소재·부품·장비 산업생태계 구축

\* ①수전해, ②수소 충전소, ③수소 운반차량, ④액체수소 운송선, ⑤모빌리티용 ⑥연료전지, ⑦발전용 연료전지, ⑧수소터빈, ⑨암모니아 합성분해, 수소 저장·배관, ⑩수소엔진

○ (추진과제 2, 개발된 기술의 사업화 촉진) 초기 수요 창출 및 규제 개선을 통하여 사업화 여건을 조성하고, 특화단지 등 국내 사업화 지원 기반 확충

- (규제 개선) 액체수소, 대용량 수소배관 등 안전기준이 아직 없는 新분야(액체수소 적하역 시설, 인수기지 설치 및 운영)에서 안전기준을 마련하여 제품개발 및 상용화 지원

○ (추진과제 3, 글로벌 소부장 공급망 강화) 수소산업 공급망 상시 관리 체계 도입 및 국내 기업이 글로벌 공급망(GVC) 참여 확대

- (국내 인프라 참여) 공공기관 주도로 암모니아·액체수소 등 국내 대규모 인프라 구축시 국내 소부장 기업 참여 비율 확대 추진

\* 암모니아 및 액체수소 인수기지, 수도권 수소배관 등

## 7) 제2차 국토교통과학기술연구개발 종합계획(2023~2032, ' 23.9)

□ 국토부는 액체수소 플랜트, 기자재, 시스템 등 인프라 관련 기술 개발을 통한 수소 대용량 생산·활용 계획을 발표하며 상용화 추진

○ (액체수소 인프라) 도시 내에서 대용량으로 안전하고 저렴하게 공급이 가능한 액체 수소 기술 확보 및 액체수소 보급으로 수소경제 활성화에 기여

- (상용급 수소액화 플랜트 핵심기술 개발) LNG 냉열 활용 파일럿급<sup>(일 0.5톤)</sup> 수소액화 플랜트의 시운전 및 성능평가, 상용급<sup>(일 5톤)</sup> 핵심설비 기본상세설계 추진, 액체수소 플랜트용 냉매 압축기 시스템 구성을 위한 핵심부품 및 성능평가용 실험설비 설계기술 개발 추진

- (연구내용 4 대용량 액체수소 저장 시스템 개발) 상용급 고효율 수소액화 실증 플랜트 적용 대용량 액체수소 저장탱크(1,000m<sup>3</sup>급) 개발 및 저장탱크로의 Loading & Unloading 기술 개발

## 8) 한국형 탄소중립 100대 핵심기술 선정(안) 23.5)

- 범부처 차원의 탄소중립 기술 개발 방향성 제시하며 탄소중립 실현을 위해 필요한 기술을 선정하여 에너지 전환 부문에서 수전해 기술, 해외 수소 저장·운송 등 수소 공급 전주기와 관련된 10개의 기술을 핵심기술로 선정
  - 우리나라의 탄소중립 달성을 위해 에너지 전환, 산업, 수송·교통, 건물·환경 부문과 관련된 17개 중점 분야를 대상으로 100대 핵심기술을 선정하였고, 에너지 안보 등을 고려하여 기술 내재화가 필요한 감격차 기술로 수소 공급 기술을 선정
    - (수소공급) 지리적 여건, 주민 수용성 등을 고려하여 에너지 전환의 고효율화, 대형화를 위해 수소를 핵심 분야로 선정하고 수소 공급 전주기 관련 10개 기술을 선정
    - (선정 기술) 수전해, 해외 수소 저장·운송, 액체수소 저장·운송, 액체수소 인수기지, 액체수소 운송선, 기체수소 저장·운송, 해외 수소·암모니아 대용량 저장·운송 등 10개 기술

〈표 2-20〉 「한국형 탄소중립 100대 핵심기술 선정(안)」 선정 수소 중점 기술

구분	정의	단기형 (~'30년 상용화)	중장기형 ( '30년 이후 상용화)
초격차	○ 세계 최고 수준 기술력을 보유하여 선두를 유지하고 격차를 확대해 나갈 기술	○ 기체수소 저장·운송	-
신격차	○ 세계적으로 기술 개발 초기 단계로 신시장 창출·선점이 가능한 기술	○ 해외 암모니아·수소 대용량 저장·운송	○ 차세대 수전해
감격차	○ 선도국과 다소 기술 수준 격차가 있어 격차를 해소해나가야 할 기술	○ 알칼라인 수전해	○ 차세대 해외수소 저장·운송 ○ 액체수소 인수기지 ○ 액체수소 저장·운송 ○ 액체수소 운송선

자료: 과학기술정보통신부, “한국형 탄소중립 100대 핵심기술 확정 본격적인 탄소중립 기술 개발 청사진 제시” (2023)

## 9) 제1차 기후변화 대응 기술 개발 기본계획(2023~2032, ' 22.12)

- 해외 대규모 수소를 확보 및 확대하기 위하여 액체수소를 안정적으로 저장·운송하는 기술 개발 추진
  - (전략 1-3-1. 수소(생산, 저장·운송, 활용 등)) 국내외 수소의 안정적 확보를 위한 수소 액화, 운송, 저장 기술 개발 추진
    - (수소 저장) 기체수소 대비 부피당 에너지 저장밀도가 높은 액체수소\*, 액상수소화물\*\* 등 고밀도 수소 변환 기술 및 저장 시스템 개발
      - \* (액체수소) 수소 액화를 위한 핵심 기자재(압축기, 열교환기, 팽창기, 밸브 등) 조기 확보 및 수소 액화 공정기술, 액체수소 인수기지 핵심기술 개발 지원
      - \*\* (액상수소화물) 액체 암모니아, LOHC에 효율적으로 수소 저장·운송·추출 가능한 촉매, 분리막 등 소재 개발 및 플랜트 기술 확보
    - (수소 운송) 국가 간 해상 운송량과 국내 육상 이송량을 확대할 수 있는 운송 용기와 운송 안전성 확보 기술 개발 지원

## 10) 청정수소 생태계 조성방안( ' 22.11)

- 수소 생태계를 고도화하기 위하여 기체수소를 액화하는 인프라(플랜트, 新충전모델, 인수기지 등) 구축을 강조
  - (추진과제 2, 수소 유통 인프라 구축) 해외 대규모 수소 수입을 위해 발전기 밀집 지역을 고려하여 액체수소 인수기지 및 수소항만 구축 추진
    - (액화플랜트) ' 23년까지 연간 4만 톤 규모의 수소를 액화할 수 있는 플랜트 구축
    - (액화 충전) 버스트럭 등 대용량 수소 공급을 위한 액화충전소를 확대하고 기체 충전소를 전환하는 등 액화 방식 운송 인프라 구축, 특히 지하매몰형, 이동형 등 유형과 목적을 고려한 新액화충전모델 개발·보급
    - (인수기지) 해외에서 대규모의 수소를 도입하기 위하여 액체수소별 인수기지 설비를 구축하여 LNG 발전 밀집 지역인 수도권에 수소 공급, 특히 항만 내 수소 생태계인 생산, 물류, 소비 시설을 갖춘 거점인 '수소항만' 구축 전략을 수립하고 관련 기업에 인센티브 지원
      - ※ (목표) '29년까지 약 10만 톤 액체수소 규모 인수·저장
    - (수소배관망) 액체수소 인수기지에서 수도권 LNG 발전소까지 단계적 배관망 구축
      - ※ (1단계, '25~'29) 당진-평택(배관망 29km) → (2단계, '26~'31) 평택-부천(배관망 230km)

## 11) 수소기술 미래전략( 22.11)

- 액체수소 기술 및 인프라 설계, 국산화 및 실증을 추진하며 수소의 생산-저장-공급을 위한 전반에 액체수소를 활용
  - (추진과제 2 수소 공급을 위한 저장·운송 기술 고도화) ' 30년경 대규모 해외 수소 수입을 위해 효율적으로 수소 운송 가능한 기술 및 차세대 저장 기술 개발 추진
    - (수소 액화) ' 30년까지 국산 액화플랜트 규모를 10배로 늘려 해외진출을 시도하고, 액체수소 생산-저장-공급에 필요한 핵심기자재 (액체수소 저장탱크, 압축기, 열교환기, 팽창기, 펌프, 기화기, 밸브 등)을 조기에 확보하여 액체수소 생산부터 적하역 시스템 전반에 활용
      - ※ (목표) 현재 일 0.5톤급 플랜트 개발 중 → '30년 일 5톤급 플랜트 개발
    - (장거리 운송기술) 극저온을 유지할 수 있는 소재, 패키징, 기자재를 포함한 단열기술, 장거리 운송 시 증발률을 줄이는 액체수소 화물창 기술 확보
      - ※ (목표) 액체수소 화물창은 '30년까지 40,000m<sup>3</sup>급 화물창 개발 및 실증
    - (인수기지 수소 적하역) 수소 운송선에 선적·하역하기 위한 카고펌프, 로딩암 등 액체수소 적하역 인프라에 대한 설계 및 상용화 기술 개발과 육상에서 안정적으로 저장 및 공급하기 위한 대용량 액체수소 저장탱크 설계, 제작 및 운영기술 확보
      - ※ (목표) '30년 4만m<sup>3</sup>(2,800톤) 규모 인수기지 및 일 2,800톤급 적하역 시스템 개발
    - (액체수소 운반차) 인수기지과 수소 거점 간 운송 효율성을 증진하기 위하여 극저온(-253℃)의 액체수소 탱크트레일러 상용화 및 안전밸브, 차단밸브, 배관 등 관련 부품의 국산화 추진
      - ※ (목표) 現 3톤급 탱크트레일러 개발 → '26년경 액화플랜트 활성화되면 상용화 추진



자료: 관계부처합동, “수소기술 미래전략” (2022)

〈그림 2-11〉 「수소기술 미래전략」 수소 저장·운송기술 개발 추진방향

## 12) 제1차 수소경제 이행 기본계획( 21.11)

- 「수소법」에 근거한 수소분야 법정계획을 발표하여 수소의 장거리·대용량 운송에 필요한 액화·액상 기술의 조속한 기술격차 해소 강조
  - (목표) 이동식 수소충전소, 액체수소 충전소·저장탱크 구축·운영 등 액체수소 저장·운송 수단을 상용화하고 용도별 안전기준, 인·검증 체계로 안전성 확보
    - 수소 저장·운송 기술 국산화를 위한 규제특구\*를 활용한 실증 추진
      - \* 강원(액체수소), 충남(수소에너지전환), 울산(그린모빌리티), 충북(그린수소), 부산(암모니아선박)
  - (추진과제 2. 빈틈없는 인프라 구축) 수소 액화·액상 등 다양한 형태의 유통과정 지원
    - (수소액화 플랜트) 민간은 '30년까지 LNG 인수기지 유희부지, 규제 샌드박스 등을 활용하여 액화플랜트 조기 구축 추진, 정부는 출하센터, 트레일러, 액화충전소 등 액체수소 유통과정의 전반을 지원하고, 기술 확보를 통해 국내외 건설시장 진출 지원
      - ※ 플랜트 기술 및 핵심 기자재 개발 일 0.5톤('19~'23) → 액체수소 생산을 위한 LNG 냉열 활용 일 5톤, 시스템 효율 11.4kWh/kg 액화플랜트 개발 및 실증 추진('24~'29)

〈표 2-21〉 「제1차 수소경제 이행 기본계획」 수소액화 플랜트 추진 계획

'23	'25	'30	'30~
안전기준 마련	민간투자 지원 (해외 기술)	국내기술 확보	해외시장 진출

자료: 산업통상자원부, “수소경제 이행 기본계획” (2021)

- (추진과제 4. 생태계 기반 강화) 다양한 수소 사용을 위한 전주기 안전기준 마련
  - (생산) 수소 생산 방식의 다양화에 따라 액체수소 생산시설, 암모니아 기반 수소 추출 설비 등 실증\* 결과에 기반하여 안전기준 마련
    - \* 액체수소 플랜트(규제 샌드박스, '21.9), 암모니아 기반 수소 추출(충북 규제자유특구, '21.7)
  - (저장) 액체수소 저장탱크 안전기준을 제도화하고, 수소 충전소 압력용기 전용 안전 기준 마련
  - (운송) 수소 운송 확대 및 해외 수입 등을 고려한 수소 배관\* 안전관리 강화 및 액체수소 ISO 탱크컨테이너\*\* 안전기준 마련
    - \* (배관) 저압(10bar 이하) 수소 배관은 안전기준 부재, 고압수소 배관은 수소취성 미적용
    - \*\* (ISO탱크) 대용량(약 2톤 이상) 저장·운송이 가능하고 적재가 용이하여 국제운송에 활용도가 높으나 암모니아, LNG, LPG 등 일부 가스만 허용 중(고압가스안전관리법)

### 13) 제5차 신·재생에너지 기본계획(2020~2034, ' 20.12)

□ 에너지 공급 안정화를 위한 열·산업 분야 등 섹터 커플링\*의 핵심자원으로 그린수소를 활용하며 저장·운송 효율이 높은 액체수소 기술 개발 목표 수립

\* 재생에너지 전력을 다른 형태의 에너지로 전환·저장하고, 에너지원(가스, 수소, 열 등) 간 연계를 통해 전체적인 에너지 사용의 효율성을 높이는 제반 기술

- (추진과제 2. 기술한계 돌파 및 에너지 안보 강화) 수소 저장·추출 시스템 구축 및 전력소비 효율 향상 추진을 위한 액체수소 등 수소화합물 투자 목표 수립

〈표 2-22〉 「제5차 신·재생 에너지 기본계획」 수소 관련 정책과제 (예)

중점 투자분야		R&D 목표
수소	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 액체수소, LOHC 등 수소화합물 공급</li> <li>○ 수전해 시스템(알칼라인/PEM)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 수소저장 및 추출(액화, LOHC 등) 효율 ↑ (현재) 13.6kWh/kg-H2 → ('50) 5kWh/kg-H2</li> <li>○ 수전해 시스템 효율 ↑ (현재) 60kWh/kg-H2 → ('50) 40kWh/kg-H2</li> </ul>

자료: 산업통상자원부, “제5차 신·재생에너지 기술 개발 및 이용·보급 기본계획” (2020)

- (추진과제 3. 재생에너지의 주력 전원화를 위한 전력계통 대전환) 수소가스, 액상 연료 저장 등 기술 개발을 통한 장주기 저장수단의 수급균형 기여 의무 대응
  - 전력수급균형 고도화를 위한 전력수요 및 저장자원의 유연성 강화 도모
- (추진과제 4. 그린수소 확대·에너지시장 통합) 그린수소 활용 의무화에 따른 분야별 방안 마련 및 안정적 공급능력 확보를 위한 대내외 노력 강화
  - (수송) 수송용 수소에 그린수소 혼합의무제 도입 검토
  - (산업) 원료 및 연료 산업분야 R&D 지원, 탄소→수소 전환 인센티브 검토, 향후 공정별 그린 수소 사용 의무화 도입
  - (도입) 그린수소 해외사업단을 통해 주요 수소경제 선도국(독일, 유럽, 일본 등)의 가격 등을 감안하여 해외 그린수소 대량 도입 본격적으로 추진

※ 타당성 조사(1단계, 1년) → 생산·공급 실증(2단계, 4~5년) → 민간투자 유도(3단계, 3~4년)

〈표 2-23〉 「제5차 신·재생 에너지 기본계획」 수소 관련 목표

구분	분야	내용
수소	생산	○ 개질 수소 생산 시스템 효율 78% 상승 (HHV) 및 단가 하락 3,500원/kg-H2
	운송	○ 튜브트레일러, 3.5톤급 탱크로리 등 육상 운송 1,500L-450bar 효율 향상
	활용	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 분산발전용 연료전지시스템 효율 90% 상승</li> <li>○ 대규모 발전용 연료전지 발전단가 141원/kWh 유지</li> <li>○ 승용 연료전지 시스템 단가 5만원/kWsys (승용, 80만대/년) 유지 및 효율 70% (LHV, 승용차)</li> </ul>

자료: 산업통상자원부, “제5차 신·재생에너지 기술 개발 및 이용·보급 기본계획” (2020)

### 14) 수소 기술 개발 로드맵( 19)

- 국내 실정에 맞는 친환경 전환을 추진하기 위한 주요 기술로 액체수소 저장·운송 기술을 선정하여 수소 에너지 기술경쟁력 제고
  - (저장·운송) 수소를 대량으로 안정성 있게 저장·운송할 수 있는 액체수소·액상 수소화물 저장·운송 기술 개발 추진
    - 기술에 대한 실증 전 경제성·환경성 분석을 통해 국내 현실을 반영한 전략적 수소공급 시나리오를 수립하여 국내 수소 기술의 현 수준을 직시하고 미래 전망을 예측

〈표 2-24〉 「수소 기술 개발 로드맵」 액체수소 저장·운송 기술 개발 전략

\*    : 정부 집중지원 기간

분류	현 수준	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'28	'30	'35	'40	목표
기술 개발 현황 / 보급 실적 / 경제성·환경성 분석 이후 ↓ 국가수소공급 전략 및 기술 개발 재정비												
저장·운송	물리적 저장	일 0.1톤 3m³/탱크1기	수소액화 플랜트 및 저장 기술									일 50톤 80,000m³/탱크1기
	화학적 저장	유기수소화물 신소재 개발	액상수소화물 저장 및 추출 기술 (유기수소화물 / 암모니아(추출))									1,000Nm³ -H2./h급 수소추출시스템
	수소운송	200bar 튜브트레일러 단거리 배관망	육상 운송비용 저감 기술 (대용량 기체/대용량 액체/수소 배관망)									1,500L·450bar 튜브트레일러 3.5톤급 탱크로리
		원천기술 개발, 기본설계	해외생산 수소 이송용 선박 기술									160,000m³급 액체수소운송선

자료: 수소융합얼라이언스, “수소 기술 개발 로드맵” (2020)



자료: 수소융합얼라이언스, “수소 기술 개발 로드맵” (2020)

〈그림 2-12〉 생산·저장 분야 중장기 전략 도출 시 고려 사항

## 15) 수소경제 활성화 로드맵( ' 19)

- 수소 관련 최초의 기술로드맵으로서 액체수소의 기술 개발 및 인프라 건설을 통해 운송·저장 안정성 및 경제성 강조
  - (수소 공급) 수전해 및 해외 생산·수입 등 그린수소 비중을 확대하여 ' 18년 13만 톤 수준에서 ' 40년 526만 톤 이상으로 확대
    - 추출수소를 핵심 공급원으로 활용하기 위하여 천연가스 공급망에 대규모·거점형 수소생산기지, 수요처 인근에 중·소규모 수소생산기지 구축 확대
    - 해외생산 수소를 활용하여 그린수소 확대와 연계하기 위한 해외 거점 구축 및 수소 생산·수입을 통해 안정적 수소 수급과 가격 안정도모
  - (수소 저장·운송) 현재의 저용량기체에서 고효율액체 등으로 다양화하고, 전국적 파이프라인 공급망 구축
    - 고압기체 저장과 관련된 규제를 완화하고, 안전성·경제성이 우수한 수소 액화·액상 저장기술 개발 (충전압력 35MPa → 45MPa 이상, 내부용적 150L → 450L 으로 상향)
    - 튜브트레일러 및 파이프라인 활용을 확대하기 위하여 고압기체수소 튜브트레일러 경량화를 통해 운송비를 절감하고, 장기적으로 전국을 연결하는 수소 주배관 건설

## 16) 제1차 국토교통과학기술진흥 기본계획(2018~2027, ' 18.4)

- 수소액화 플랜트 기술 개발 및 설계·건설 등을 통한 수소사회 인프라 구축
  - (실천과제 5, 고부가가치 건설기술 창출) 新자원 에너지 생산·가공 및 재활용을 위한 액체수소 플랜트 설계·건설·운영 기술 개발 추진
    - 4대 전략 스마트 자원플랜트의 가공 부문(천연가스·수소액화 플랜트)에 수소액화 플랜트 실증을 통한 수소사회 인프라 구축 내용을 포함

〈표 2-25〉 동 사업 관련 「제1차 국토교통과학기술진흥 기본계획」 주요내용

기술구성 요소	주요내용
가공 (천연가스·수소 액화플랜트)	○ 액체수소와 같은 가스에너지의 생산·액화·활용을 위한 플랜트 설계·건설·운영 기술 개발로 新산업 분야 진출 - 저급자원 등에서 고순도 수소를 제조하고 촉매반응을 통해 합성유를 제조하는 GTL(Gas to Liquid) 기술 등 개발 - 합성가스에서 수소가스를 분리 후 냉각시켜 액체수소를 생산하는 수소액화 플랜트 실증 등으로 수소사회 인프라 구축 및 경제성 향상

### 3절 시장·산업 동향

#### 1. 국내외 시장 동향

- 수소 수요 확대에 따른 수소 무역의 증가로 수소 시장은 국내외 모두 크게 성장할 것으로 전망되며, 국내의 경우 장기적으로 수소 수입이 필수적인 상황으로 무역을 중심으로 수소 시장이 성장할 것으로 예상됨

〈표 2-26〉 국내외 시장 동향(요약)

구분	주요 동향
글로벌	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 글로벌 수소 수요는 '50년 4.3억톤으로 확대될 것으로 전망되며, 이에 따라 수소 무역이 확대될 전망</li> <li>- (수소) 수소 생산 시장에서 '30년까지 3,556억 달러 규모로 크게 성장할 전망이며, 저장·운송 시장은 상대적으로 작은 217억 달러 규모로 확대될 것으로 보이나, 수소 무역 및 기술발전에 따라 관련 시장이 크게 성장할 것으로 전망</li> <li>- (액체수소) 무역에 유리한 액체수소의 특성을 기반으로 무역 확대와 함께 확대될 전망</li> </ul> <p style="text-align: right;">단위: 백만 달러</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>글로벌 수소 생산 시장('21~'30)</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>글로벌 수소 저장시장('21~'30)</p> </div> </div>
국내	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 국내 수소 수요는 '50년까지 2,790만 톤으로 확대될 전망이나, 생산 여건의 한계로 인해 향후 예상되는 수소 수요의 충족을 위해서는 무역을 통한 수소 수입이 필수적인 상황</li> <li>○ 한국은 향후 주요 수소 순수입국이 될 것으로 전망되나, 수입을 위한 인프라는 현재 부재한 상황으로 수소 수입을 위한 관련 인프라를 구축할 필요</li> <li>- (수소) 현재 공장 가동시 발생하는 부생수소를 중심으로 시장이 이루어져 소규모에 그치나 수소경제 형성이 시작되며, 시장 또한 초기의 형태를 보이고 있고 본격적으로 성장할 것으로 전망</li> <li>- (액체수소) '24년 국내 최초의 수소액화 플랜트가 구축되어 관련 시장이 형성되고 있으며, 유관 시장 및 산업의 형성됨에 따라 동반 성장할 것으로 전망</li> </ul>

# 1) 글로벌

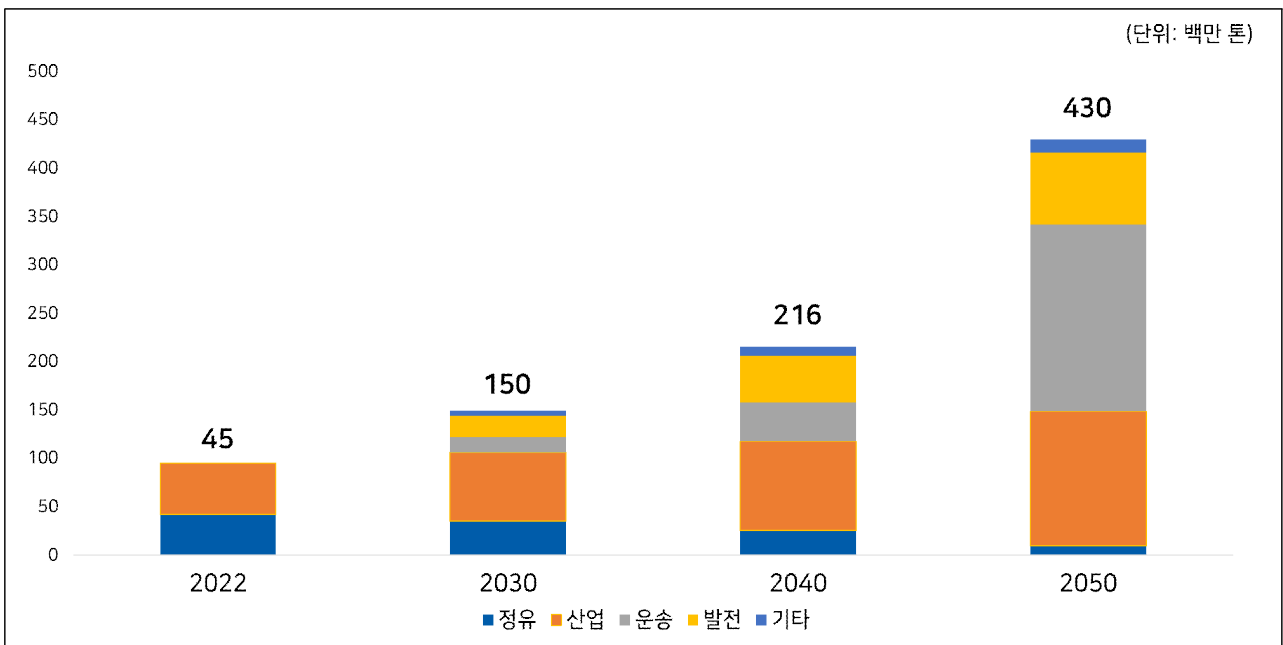
## (1) 수소 시장

- 글로벌 수소 수요는 ' 22년을 기준으로 정유와 산업 부문에 국한되어 나타나, ' 50년 운송, 발전 분야로 수요가 확장되어 총 4.3억 톤 규모의 수소 수요가 발생할 것으로 전망
  - 수소는 ' 22년을 기준으로 정유 및 산업 분야에 국한되어 사용되고 있으나, 탄소 중립 목표연도 ' 50년에 이르러서는 운송(44.88%), 발전(17.2%) 등 다양한 분야에서 수소 수요가 확대될 것으로 전망
    - 글로벌 수소 수요 증가에 따라 전체 에너지 소비량 내 비중 또한 ' 20년 0.1%에서 ' 50년 10%로 확대 예상
    - 주요국의 총 에너지 사용량 중 수소 비중은 ' 50년 기준 EU 23%, 미국 17%, 중국 10%, 한국 20% 수준으로 예측

〈표 2-27〉 분야별 수소 수요 전망(2022~2050)

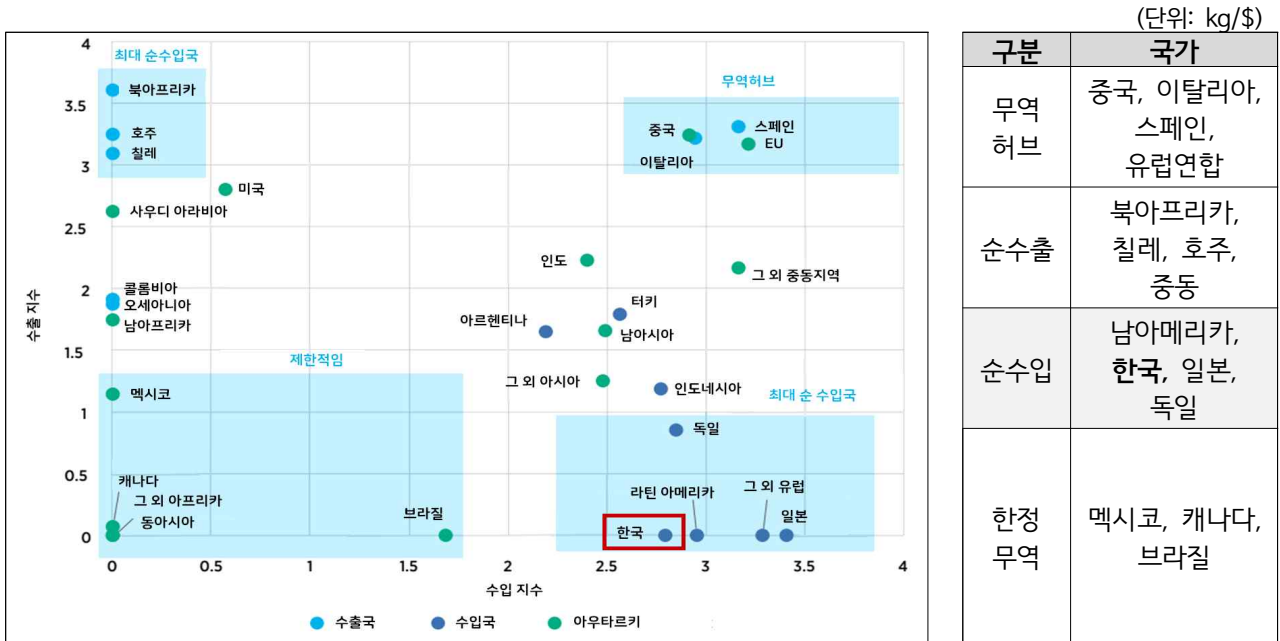
(단위: 백만 톤)

구분	2022	2030	2035	2050
정유	42(44%)	35(23.3%)	26(12%)	10(2.3%)
산업	53(56%)	71(47.3%)	92(42.59%)	139(32.32%)
운송	0	16(10.7%)	40(18.51%)	193(44.88%)
발전	0	22(14.7%)	48(22.2%)	74(17.2%)
기타	0	6(4%)	10(4.6%)	14(3.3%)
계	95(100%)	150(100%)	216(100%)	430(100%)



자료: IEA, "Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5C Goal in Reach" (2023)

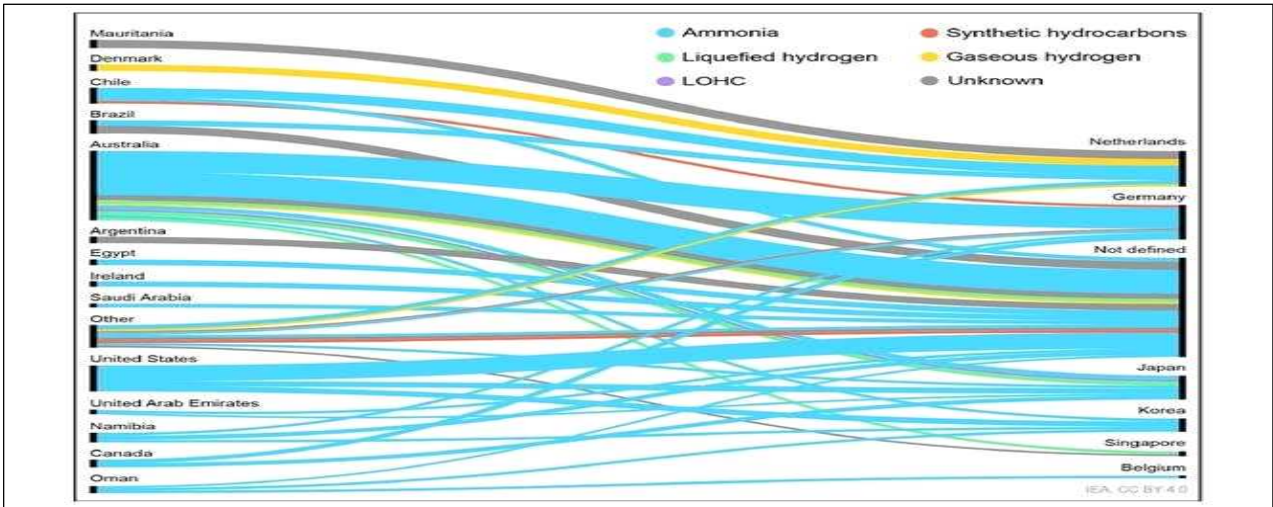
- 현재 수소는 정유 및 산업 분야에 국한되어 생산·활용되고 있으나, 수소 수요 증가에 따라 향후 교역을 중심으로 수요 충족 및 시장 성장이 일어날 것으로 전망
  - 현 수소 시장은 정유·산업 분야 활용에 국한되어 형성되어 있고 생산지에서 전량 활용되고 있는 형태이나, 수소 수요 증가에 따라 수소 교역이 활성화될 전망
    - 주요 수소 수출국으로는 수소 생산에 유리한 여건을 보유한 호주, 스페인, 중동 지역 등이 유력하며, 해당 국가들은 수소 수출을 위해 '20년부터 수소교역 시범사업을 진행
    - 주요 수소 수입국으로는 수소 생산 여건이 불리한 한국, 일본 등이 유력하며, 해당 국가들은 미래 수소 수요 충족을 위해 수소 수입을 위한 터미널, 저장탱크 등에 대한 기술 개발과 수입경로 다각화 시도



자료 : IRENA, "Global hydrogen trade to meet the 1.5°C climate goal: Trade outlook for 2050 and way forward.(3.17)" (2022)

〈그림 2-13〉 2050년 국가별 수소 수출입 포지셔닝

- 수소 무역은 미국, 유럽, 인도, 일본 등 전 세계적으로 확대될 것으로 보이나, 무역 시 사용하는 수소 운송 방식에 있어서는 국가별로 상이한 형태를 보일 것으로 전망
  - 수소 수요 증가에 따라 수소 교역은 크게 확대될 것으로 전망되며, 미국, 유럽 등의 주요국들은 지역 간 수소 교역을 확대할 것으로 전망됨
    - 미국은 자체 수소 생산으로 자국 수요량을 감당할 수 있을 것으로 예측되어 파이프라인을 통한 수소 무역을 주로 수행할 것으로 예측
    - 암모니아, 메탄올, 액체수소 등 다양한 기술을 활용한 수소 교역의 확대가 예상
  - ※ 최대 수소 수출국으로 전망되는 호주는 주로 암모니아를 활용한 수소 교역 수행 전망

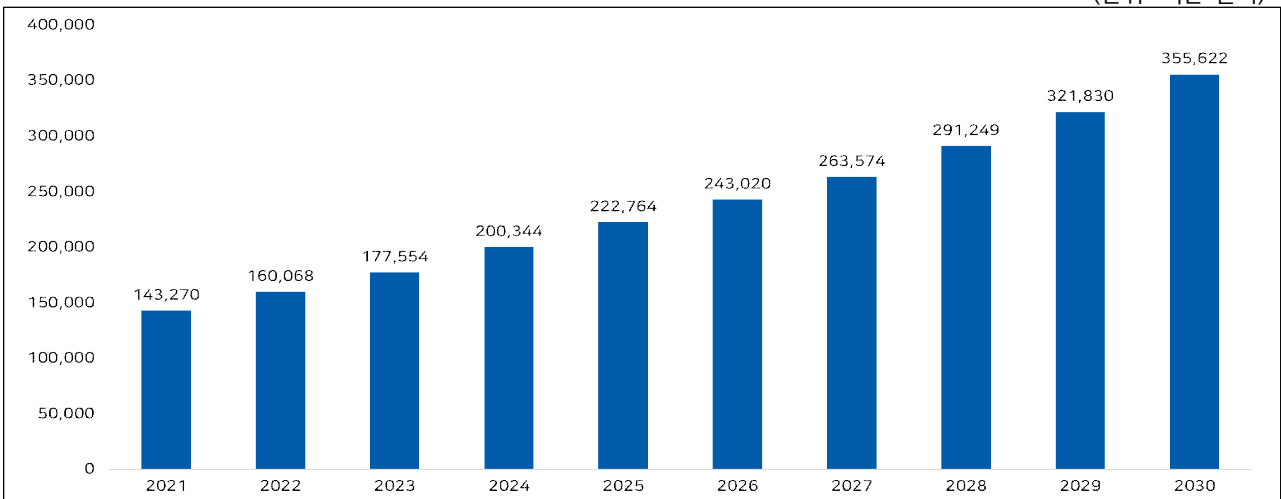


자료: IEA, “Global Hydrogen review” (2023)

〈그림 2-14〉 2030년 운송 방식별 글로벌 국가 간 무역 흐름

- 수요 증가와 이에 따른 교역 증가로 글로벌 수소 시장은 생산 시장에서 ' 30년 3,556억 달러, 저장·운송 시장에서 217억 달러 규모로 성장 전망
- (생산) 수소 수요 증가에 따라 글로벌 수소 생산 시장은 ' 21년 1,433억 달러 규모에서 10.5%의 높은 연평균 성장률을 보이며 ' 30년 3,566억 달러 규모로 성장할 전망
  - 현재 수소 생산 시장 내 수증기 개질(SMR)을 통한 수소 생산이 가장 큰 시장을 구성하고 있으나, 향후 수전해를 통한 수소 생산이 확대되어 생산 시장 전체가 확대될 전망

(단위: 백만 달러)

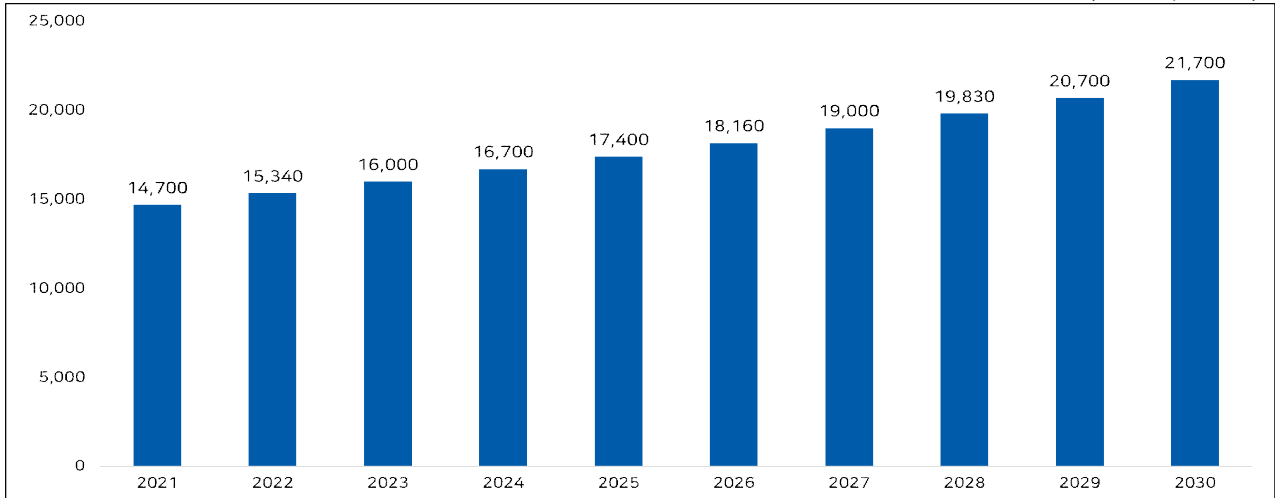


자료: ASTI, “ASTI Market Insight 수소 생산시스템” (2022)

〈그림 2-15〉 글로벌 수소 생산 시장(2021~2030)

- (저장·운송) ' 21년 기준 147억 달러에서 4.4%의 연평균 성장률을 보여주며 ' 30년에 217억 달러 규모로 시장이 확대될 것으로 예상
  - 현재 운송 시장은 유통 범위가 생산지 근방으로 한정되어 있으며, 저장 기술 발전과 교역 확대에 따라 향후 비약적 성장이 기대

(단위: 백만 달러)



자료: 한국무역협회, “Trade Focus 수소산업 경쟁력 강화를 위한 정책연구: 수소저장·운송 산업 육성 현황과 정책 과제” (2023)

〈그림 2-16〉 글로벌 수소 저장 시장(2021~2030)

## (2) 액체수소 시장

- 저장 및 운송에 유리한 액체수소의 수요는 수소 교역에 따라 증대될 것으로 보이며, 주요 수소 수입국인 한국과 일본이 위치한 아시아 지역 내에서 수요가 급증할 전망
  - 저장 밀도, 안전성, 활용성에 있어 타 에너지 대비 우월한 액체수소는 향후 수소 교역이 확대됨에 따라 관련 수요 및 시장이 확대될 것으로 전망
    - 액체수소는 단위 부피당 에너지 저장밀도가 가장 높으며, 활용을 위해서 액체 상태로 사용하거나 단순 기화를 통해 활용할 수 있는 효율성을 보유
  - 액체수소가 가격경쟁력을 가지게 될 '50년\*에는 글로벌 수소 수요의 약 30% 이상을 수소 무역을 통해 충족할 수 있을 것으로 전망

\* '50년 액체수소 최저 생산 비용: (낙관적 전망) USD 0.65/kgH<sub>2</sub>, (비관적 전망) USD 1.15/kgH<sub>2</sub>

〈표 2-28〉 지역별 액체수소 수요 전망('18~'28)

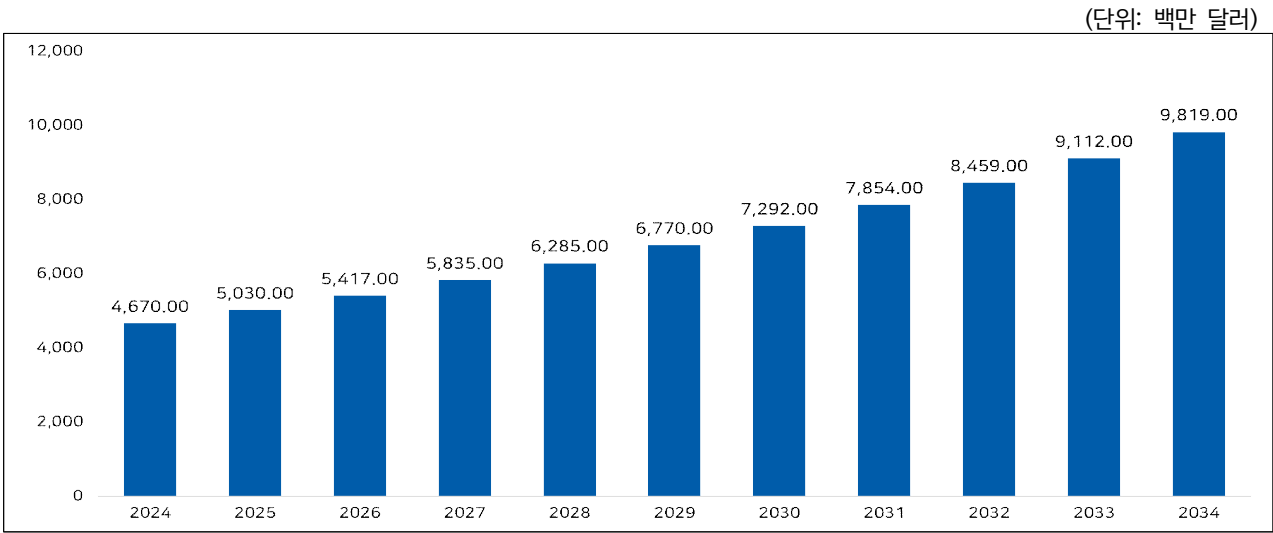
(단위: 천 톤, %)

구분	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2028	'23~'28 CAGR
아시아	30.3	27.6	28.1	39.3	48.5	57.3	100.9	12.0
북미	17.4	18.2	22.0	33.3	47.9	58.8	98.0	10.8
유럽	13.6	11.4	10.9	13.1	14.7	16.7	24.4	7.9
그 외	1.5	1.0	1.9	0.6	2.3	2.2	3.6	10.3
합계	62.8	58.2	62.8	86.2	113.4	135.0	226.9	10.9

자료 : Morder Intelligence, “Global Liquid Hydrogen Market” (2023)

□ 글로벌 액체수소 시장은 수소액화 플랜트 등 수소 액화 시스템을 중심으로 시장이 형성되어 있으며, '34년 96.2억 규모로 성장할 것으로 전망

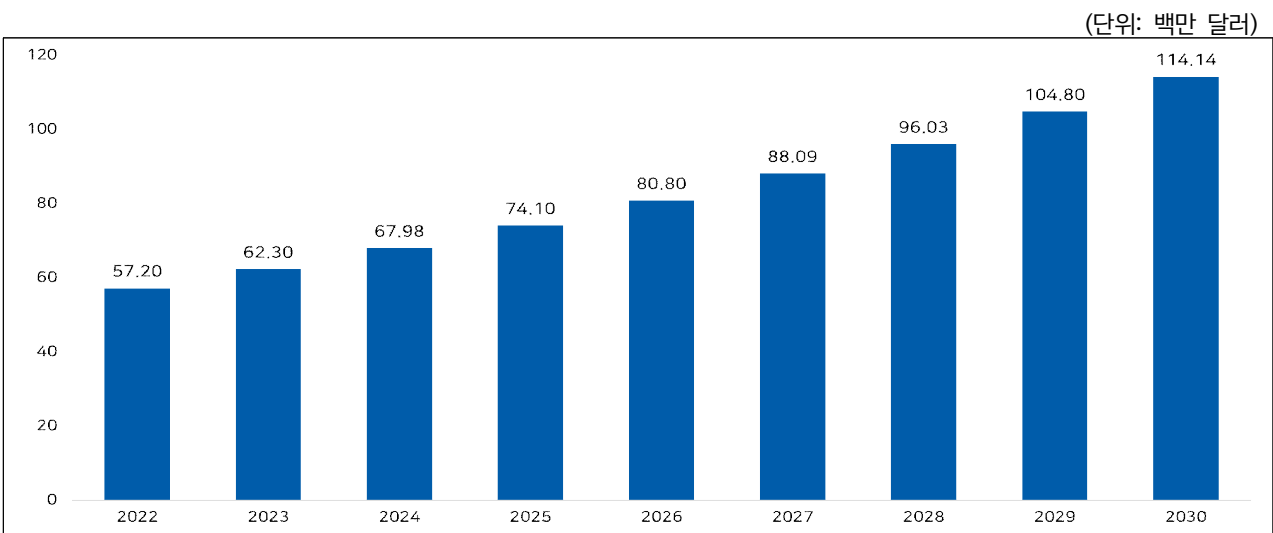
- (생산) 액체수소 생산 시장은 수소액화 플랜트를 중심으로 형성되어 있으며, 관련 시장은 '24년 46.7억 달러 규모에서 '34년 98.2억 달러로 연평균 7.71% 성장할 전망
  - 모빌리티 분야 활용성 및 경제성이 높은 액체수소는 관련 산업 성장에 따라 크게 확장될 것으로 예상되며, 수소의 수요 증가 또한 액체수소 시장의 성장을 추동할 것으로 예상



자료: Global Information, "Global Hydrogen Liquefaction System Market, 2024~2034" (2024)

〈그림 2-17〉 글로벌 수소 액화 시스템 시장 전망(2024~2034)

- (저장) 액체수소 저장 관련 시장은 극저온 저장탱크를 위주로 형성되어 있으며 '22년 5,720만 달러 규모로 소규모이나, '29년 1.4억 달러 규모로 시장이 확대될 전망



자료: QYResearch Korea, "액체수소탱크(Liquid Hydrogen Tank) 시장 전망" (2024)

〈그림 2-18〉 글로벌 액체수소 저장탱크 시장 전망(2022~2030)

## 2) 국내

### (1) 수소 시장

- 국내 수소 수요는 수소경제 활성화에 따른 수소차, 충전소 등의 확산을 통해 ' 30년 390만 톤, ' 50년 2,790만 톤으로 급증할 것으로 전망
  - 수소차, 혼소 기술을 활용한 발전, 수소충전소 보급 등 수소경제 활성화에 따라 국내 수소 수요량은 급증할 것으로 전망
    - 국내 수소 수요량은 ' 30년 390만 톤, ' 50년 2,790만 톤으로 확대될 것으로 전망되며 수소 충족을 위해 2,790만 톤 중 2,290만 톤을 해외 수입을 통해 확보할 예정

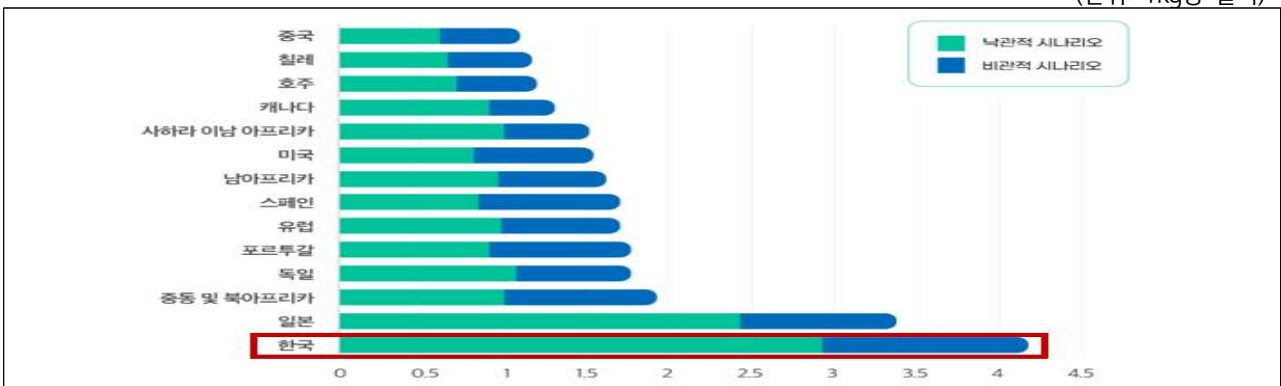


자료: 산업통상자원부, “제1차 수소경제 이행 기본계획” (2021)

〈그림 2-19〉 국내 수소 수요 전망

- 국내 생산은 환경 여건, 생산 비용 등의 문제로 수요량 충족에 있어 한계점 내포
  - 우리나라는 국토의 87%가 도시 및 산악 지형이고 수소 생산을 위한 물이 부족한 환경적 여건으로 인해 수소 생산의 잠재력이 낮아 수소 생산 단가가 여타 국가들에 비해 높음
    - ' 50년 국내 수소 생산 단가는 kg 당 3~4달러로 예측되며 이는 호주(\$1.2/kg), 칠레(\$1.1/kg) 등 수소 수출국에 비해 높은 수준

(단위: 1kg당 달러)



자료 : IRENA, “Global Hydrogen Trade to Meet the 1.5°C Climate Goal” (2022)

〈그림 2-20〉 2050년 국가별 수소 생산비용 전망

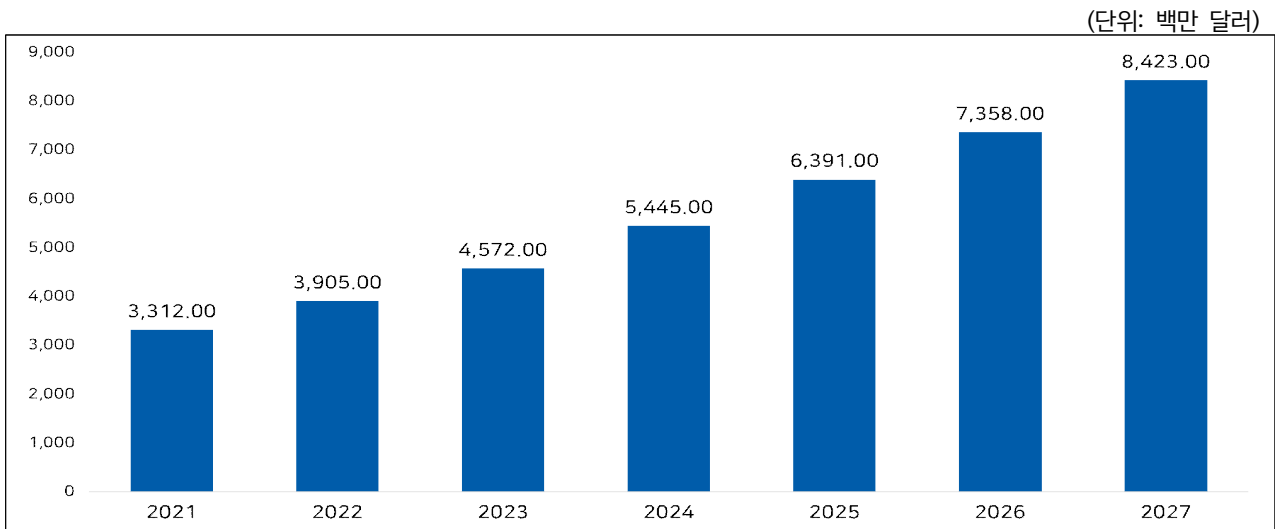
- 정부는 안정적 수소 공급 및 가격 안정을 위해 ' 50년까지 해외 공급망 40개 구축 및 예상 수요량 2,790만 톤의 60% 이상을 수입할 예정
  - 대규모 수소 수입을 통해 수소 공급 비용을 ' 40년 3천 원/kg 수준으로 인하하고, ' 50년 수소 자급률 60% 달성 목표
  - 향후 대규모 수소 수입을 위한 인수기지, 저장탱크 등의 인프라 구축이 시급한 상황

〈표 2-29〉 2050 제1차 수소경제 이행 기본계획

구분	수소 자급률	H2 공급량	비고
2020	0%	0.22 백만톤	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 부생·추출수소 생산, CCUS 상용화</li> <li>○ MW급 수전해시스템 실증</li> </ul>
2030	34%	3.9 백만톤	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 블루수소 최초 생산</li> <li>○ 10MW 수전해시스템 상용화</li> </ul>
2050	60%	27.9 백만톤	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ GW급 수전해시스템 상용화</li> <li>○ 해외공급망 40개 구축</li> </ul>

자료 : 관계부처 합동, “제1차 수소경제 이행 기본계획” (2021)

- 국내 수소 시장은 수소경제 형성이 시작됨에 따라 성장 초기의 형태를 보이며, ' 21년 33억 달러 규모에서 ' 27년 84억 달러 규모의 시장을 형성할 것으로 전망
  - 국내 수소 시장은 수소 생산 시스템을 중심으로 형성되기 시작했으며, 연평균 16.6%의 높은 성장률을 보이며 ' 27년 84억 달러 규모의 시장을 형성할 것으로 전망
  - 수소 시장은 현재 수소액화 플랜트의 형성에 따라 형성되기 시작하여 본격 성장이 전망
  - 국내 수소 시장은 현재 산업 공정에서 발생하는 가스를 기반으로 한 부생수소를 중심으로 관련 수소의 생산, 저장·운송, 활용 시장이 형성되어 있는 상황



자료: ASTI, “ASTI MARKET INSIGHT 수소 생산 시스템” (2022)

〈그림 2-21〉 국내 수소 생산시스템 시장(2021~2027)

## (2) 액체수소 시장

- '24년 상반기 국내 첫 수소액화 플랜트와 액체수소 충전소가 도입되어 액체수소 시장이 형성되기 시작하였으며, 교역 및 기술발전에 따른 액체수소 시장 확대 전망
- '24년 1월 창원 액체수소 플랜트가 준공되고(두산에너지빌리티), 뒤이어 인천(SK E&S)과 울산(효성-린데) 내 수소액화 플랜트가 구축되어 국내 액체수소 생산 시장이 본격적으로 형성
- 액화플랜트 및 해외 수소 수입계획을 통해 '28년까지 연간 3,500톤의 액체수소가 생산되는 시장이 형성될 것으로 전망

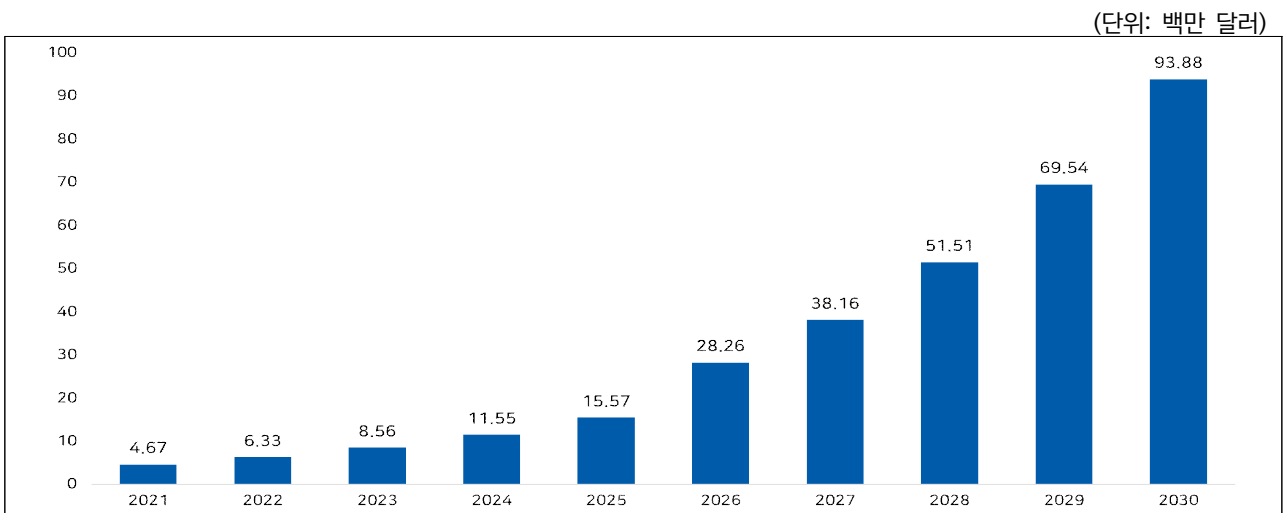
〈표 2-30〉 아시아 태평양 액체수소 시장 전망('18~'28)

(단위: 천 톤)

구분	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2028	CAGR(%)
중국	21.2	19.6	20.2	28.7	35.9	42.4	73.3	11.6
인도	3.9	3.1	2.7	3.2	3.2	4.1	8.9	16.9
일본	3.4	2.8	2.5	3.0	3.2	3.6	5.2	7.6
한국	0.1	0.2	0.2	0.4	0.6	1.3	3.5	21.8
기타	1.7	2.0	2.4	4.0	5.7	5.9	9.9	10.9
총합	30.3	27.6	28.1	39.3	48.5	57.3	100.9	12.0

자료: Morder Intelligence, "Global Liquid Hydrogen Market" (2023)

- 국내 액체수소 저장탱크 시장은 관련 산업이 형성되고 있는 시기로, 수소 저장탱크 시장은 '21년 467만 달러에서 연평균 35% 성장하여 '30년 9,388만 달러 규모로 확대 전망
- 현재 국내 수소 저장탱크 시장은 모빌리티용이 대부분을 차지하고 있으며, 액체수소 저장탱크는 '24년 첫 수소액화 플랜트가 구축되며 시장이 형성되고 있는 상태



자료: ASTI, "ASTI Market Insight 수소 생산 시스템" (2022); ASTI, "수소 모빌리티용 수소저장 용기" (2022)

〈그림 2-22〉 국내 수소 저장탱크 시장(2021~2030)

## 2. 국내외 산업 동향

### 1) 글로벌

- 수소 저장·운송 산업은 항공우주 분야에서 주로 사용되었던 산업 배경을 바탕으로 미국, 독일 등 주요국과 이에 위치한 기업들을 중심으로 형성
  - (수소) 초창기 수소가 로켓연료로 사용되었던 배경에 기반하여 미국과 같은 항공·우주 분야 주요국과 관련 기업이 성장하여 현재의 수소 저장·운송 산업을 선도
    - 미국의 경우, 항공·우주 분야에서의 경험을 바탕으로 수소 분야 전반에 대한 기술 우위를 가지고 저장·운송 산업 내 파이프라인, 튜브 트레일러, 저장탱크 분야를 선도
    - Linde(독일), Air Products, Plug Power(미국), Air Liquide(프랑스) 등의 기업이 수소 저장·운송 분야 산업을 선도하고 있으며 기체 수소 저장 및 운송 상용화에서 나아가 액체수소 저장·운송 산업 내 주요 플레이어로 자리매김
  - (액체수소) 글로벌 수소 저장·운송 기업들은 액체수소의 경제성에 주목하여 저장·운송 산업 전반에 있어 액체수소를 활용하기 위한 기술 개발 및 실증 수행 중
    - 액체수소는 안정성, 경제성, 효율성 측면에서 기체수소 대비 우월하여, 저장·운송 산업
      - (Linde, 독일) 기존 LNG 저장탱크 기술에 기반한 액체수소 저장탱크를 개발하여 수소액화 플랜트 규모에 따라 3,000L에서 100,000L 규격별 저장탱크를 양산 중
      - (Air Products, 미국) 수소 산업 전반을 주도하고 있는 기업으로 수요처에 맞는 파이프라인, 트레일러를 통한 액체수소 대량 운송 등의 서비스를 제공 중
      - (Plug Power, 미국) 액체수소 저장탱크 및 운반용 탱크를 생산 중이며, J2601 기준을 준수한 디스펜서, 원격 모니터링을 위한 원격 측정기를 탑재한 액체수소 운송 서비스 제공 중
      - (Kawasaki, 일본) 세계 최초 액체수소 운송선 ‘수이소 프론티어’ (Suiso Frontier)를 통해 일본 고베항 내 액체수소 인수를 위한 터미널과 대용량 액체수소 저장탱크 실증 진행 중



자료: PWC, “수소 사업 전략 수립을 위한 제언” (2024) 참고 집필진 재구성

〈그림 2-23〉 글로벌 수소 저장·운송 산업 주요 기업

## 2) 국내

- (수소 저장·운송) 석유·화학공장에서 발생하는 부생수소를 기체 저장·운송하는 부문에 국한되어 산업이 형성되어 있으며, 액체수소를 기반으로 하는 산업으로 기술 개발과 변화가 이루어지고 있는 단계
  - (수소) 국내 수소 저장·운송 산업은 주로 모빌리티 및 충전소, 정유 산업에 공급하기 위한 고압 기체 저장·운송이 주된 형태를 이루고 있음
    - 저장 산업의 경우 모빌리티 및 충전소에 활용되는 모빌리티용 수소 저장탱크 산업이 주도하고 있으며, 수소차 보급 확대에 따라 관련 산업이 크게 성장할 것으로 예상
    - 현재의 국내 수소 운송 산업은 배관을 통한 수소 공급을 중심으로 형성되어 있으며, 부생수소 생산이 가능한 울산, 여수 등의 석유화학단지를 중심으로 형성
      - ※ 현재 국내 수소 저장·운송 산업은 배관 93%, 튜브 트레일러 7%의 비중으로 형성되어 있으며, 튜브 트레일러의 경우 중·장거리 소규모 공급에 국한되어 활용 중
  - (액체수소) 액체수소 저장운송 산업은 형성 초기 단계로 향후 수소 수요와 활용이 급증할 것으로 예상됨에 따라 액체수소의 높은 경제성에 주목한 기업들이 관련한 기술 개발을 진행 중
    - 저장 시 필요한 압력이 낮고, 기체 수소 대비 안전성을 보유한 액체수소에 기반하여 수소 저장·운송 산업이 확대될 것으로 전망되며, 이를 위한 기술 개발 및 관련 소부장 산업 형성 움직임이 포착되고 있는 점이 특징적
    - 기체 수소에 집중하던 기존의 수소 저장·운송 기업\*들과 삼성, 효성 등의 대기업들이 액체수소 저장·운송 산업 관련 기술 개발에 적극적인 참여 중
      - \* 일진하이솔루스, 제이엔케이히터
    - 관련 기술 개발은 모빌리티에 국한되지 않고, 대규모 지상저장과 운송을 목적으로 진행되고 있어 향후 국내 수소 저장·운송 산업은 기체 수소에 기반한 소규모에서 액체수소 중심의 대규모 저장·운송이 이루어지는 산업으로 변화할 것으로 예상됨
    - 그러나, 액체수소 전주기에 대한 국내 인프라 구축이 미진한 상황이며, 액체수소 생산 또는 수입의 경제성이 선제적으로 확보되어야 하여 다소 시간이 소요될 것으로 전망

〈표 2-31〉 액체수소 저장 산업 국내 주요 플레이어

주요 기업	주요 개발 내용
일진하이솔루스	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 액체수소를 150L까지 저장가능한 액화 수소탱크 개발</li> <li>○ 700bar 고압을 견딜 수 있도록 설계한 ‘타입4’ 탱크 자체 개발 및 현대자동차에 독점 납품</li> <li>○ 상용차 액체수소 모빌리티 과냉각 액체수소 연료저장 모듈 기술 개발·사업화 진행</li> </ul>
포스코	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 고망간강 재질(고강도 316LH 강과 티타늄 적용)을 적용한 액체수소 저장탱크 제작 및 실증실험 추진</li> </ul>
에스탱크 엔지니어링	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 300m³, 약 20L 액체수소를 저장하는 횡형 액체수소 탱크 개발</li> </ul>
삼성물산	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 영국 에너지 저장시설 전문 설계 업체인 웨쏘(Whesoe)*와 국제인증기관(DNV) 인증을 획득한 4만m³, 약 2,800톤 저장 가능한 액체수소 저장탱크 설계 인증 획득</li> </ul>
효성	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 수소 저장탱크 제작에 필수적으로 사용되는 ‘초고강도 탄소섬유(TANSOME®)’ 국내 최초 자체개발</li> <li>○ 효성티앤씨는 수소 저장·누출방지에 필요한 핵심 부품인 라이너 소재용 나일론 개발</li> </ul>
하이리움	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 국내 최초 극저온 액체수소 제조 및 저장기술 자체 개발</li> <li>○ 수소액화기, 액체수소 저장탱크, 이동식 수소충전소, 수소 드론 파워팩 등 개발</li> <li>○ HD현대중공업과 공동으로 선박용 액체수소 저장·운영 실증시설 기술 개발 추진 등 액체수소 선박으로 영역 확장 중</li> </ul>
크리오스	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 국내 LNG 저장탱크 시장점유율 1위 기업이자 초저온 분야 저장탱크, 수송 탱크 전문기업</li> <li>○ '23년 9월 액체수소용 탱크 트레일러 국내 최초 개발</li> </ul>
디엘	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 가스기술공사와의 공동 개발로 국내 최대 용량인 3톤 액체수소 탱크 트레일러 개발</li> </ul>

자료: 라이선스뉴스, “수소 산업 먹거리, 기체에서 액화 수소로 바뀔까?” (2023); Fashion Post, “효성티앤씨, 수소 연료탱크의 ‘라이너’ 소재로 나일론 개발 및 활용 성공” (2022); 월간수소경제, “삼성물산, 세계 최대 액체수소 탱크 설계 인증 획득” (2023); 하이리움, “하이리움산업, 포스코와 ‘액체수소 저장탱크’ 개발” (2024)

## 4절 기술동향

### 1. 적하역

- 세계 유일무이 액체수소용 로딩암 설계·실증 기술은 일본이 보유하고 있으며, 日 경제산업성 지원 프로그램(HySTRA)을 통해 성과를 창출
  - (HySTRA, 일본) 정부 지원 프로그램 일환으로 추진되어 도쿄무역엔지니어링(TEN), 가와사키중공업 등이 참여, 세계 최초 액체수소용 로딩암 개발에 성공
    - ※ '23.3월 고베항에 설치된 Rigid Type Loading Arm System(LAS)을 사용하여 액체수소 이송 테스트를 성공적으로 수행
    - 수소의 액화 온도(-253℃)보다 산소 액화 온도(-118℃)가 훨씬 낮아 기존의 LNG용 로딩암을 활용할 경우, 배관 표면에 액체산소가 생성되어 화재 위험이 증가, 이를 해결하고자 진공 이중 단열구조를 적용
    - 또한, 자유도가 높은 스위블 조인트를 적용하여 선박 정박 위치 변동이나 갑작스러운 흔들림에도 안정적인 접합이 가능하고, 미세한 수소 분자 크기를 고려하여 실(seal) 성능을 향상한 액체수소 맞춤형으로 개발



〈그림 2-24〉 HySTRA, 세계 최초의 액체수소용 로딩암

- 현재 액체수소용 로딩암 실증은 일본이 유일하나, 네덜란드 DEMACO는 극저온 액체수소 로딩암, 로딩 베이 등을 개발하여 현 최대 8인치 직경의 로딩암 기술을 보유
  - (DEMACO, 네덜란드) 주로 선박이나 항공기 등 운송 수단 급유 용도로 진공 단열 소재가 부착된 스테인리스 스틸 소재로 제작되어 최대 8인치 직경까지 제작 가능

## 2. 저장




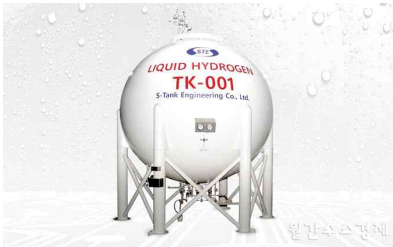
- 이중 벽체 구조의 구형 탱크 기술 등 액체수소 저장탱크 기술은 미국, 일본 등 소수의 선진국에서 독점하고 있으며, 최근 한국이 액체수소 저장탱크 개발을 통해 주요국들과의 기술격차를 추격 중
  - (NASA, 미국) 1960년도부터 액체수소 저장탱크(170m<sup>3</sup>) 개발을 시작하여 액체수소 저장탱크 세계 최고 수준의 기술을 보유하며 2022년부터는 대용량 10만m<sup>3</sup> 액체수소 저장탱크를 개발 중
    - IRAS 기술을 개발하여 2018년 세계에서 가장 큰 4,700m<sup>3</sup>급 액체수소 저장탱크를 개발
    - 2022년에는 셸(shell), 젠(GenH2), 휴스턴 대학 등과 협력하여 10만m<sup>3</sup> 액체수소 저장탱크 공동연구 진행 중
  - (가와사키중공업, 일본) 2,500m<sup>3</sup>급 액체수소 저장탱크를 이미 개발, 운용하고 있으며, 최근 4만m<sup>3</sup> 규모의 액체수소용 저장탱크 개발을 위해 실증시험 및 검증 추진
    - CC61H타입의 시험용 탱크 1기를 실물에 가까운 규모로 설계·제작하여, 조립 용접 단열재 시공의 용이성 검증과 시험용 탱크에서의 냉각·승온 시험을 통해 단열 성능을 확인
    - HySTRA의 세계 최초 액체수소 운송선인 SUIISO FRONTIER호 내 1,250m<sup>3</sup>급 액체수소 저장탱크를 장착
  - (하이리움산업, 한국) 50L·250L 다양한 용량의 액체수소 저장탱크 및 극초저온 기술을 접목하여 차량용 저장탱크를 개발, 국내외 주요 회사에 모빌리티용 액체수소 탱크 시제품 납품
    - '24년 포스코와 STS316LH, 티타늄을 적용한 액체수소 저장탱크 개발을 위한 MOU를 체결하여, 액체수소 저장탱크 제작 및 실증실험 및 관련 다양한 응용 제품 개발 예정
    - 모빌리티용 액체수소 저장탱크 개발에 매진하여 미국 UAM 기체 개발 알라카이(Alakai), 프랑스 ISAE Supaero, 영국 무인선박 개발사 아쿠아오션(Acuia Ocean), 이스라엘 무인기 개발사 IAI 등에 액체수소 저장탱크 공급
  - (에스탱크엔지니어링, 한국) 1m<sup>3</sup> 소용량부터 150,000m<sup>3</sup>에 이르는 대용량 각종 액체수소 저장탱크\* 제작 기술 보유

\* 이중 압력용기(Double Vessel Type) 저온 저장탱크, 이중 구형 용기(Double Wall Spherical Type), 평저형 용기(Flat Bottom Wall Type) 등 제작 가능

- 액체수소 저장탱크에 특화된 글라스 마이크로스피어를 적용하여 단열 성능 확보한 300m<sup>3</sup>의 대용량 액체수소 저장탱크를 미국 표준 및 국내 KGS 안전기준에 맞추어 개발·제작 완료

※ 내조 탱크에는 다층단열(Multi Layer Insulation, MLI) 필름을 시공하여 열전도 최소화

〈표 2-32〉 국내외 액체수소 저장탱크 기술 개발 사례

기업명	주요 개발 내용	대표 이미지
NASA (미국)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ IRAS* 기술을 개발하여 '18년 세계에서 가장 큰 4,700m<sup>3</sup>급 액체수소 저장탱크를 개발</li> <li>* 'Active Boil-off gas control'을 위해 필요한 기술로서, 제로 보일오프 달성에 기여</li> </ul>	
가와사키중공업 (일본)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 액체수소 운송선에 탑재될 직경 약 43m, 4만m<sup>3</sup>의 세계 최대 용량의 구형 탱크를 개발, 일본해사협회로부터 설계기본승인(AIP) 취득</li> <li>- 약 1만 톤의 액체수소 수송 가능</li> </ul>	
하이리움산업 (한국)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 소·대형의 다양한 크기와 용도에 맞는 액체수소 탱크, 초경량 탱크 제작기술 보유</li> <li>- 수소드론용 초경량 액체수소 저장탱크 기술을 개발하여 연료전지 기술과 접목하여 세계 최고의 체공 성능 실현</li> </ul>	
에스탱크 엔지니어링 (한국)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 국내에서 제작된 액체수소 저장탱크 규모로는 최대인 약 300m<sup>3</sup> 용량의 저장탱크 개발</li> <li>- 미국 표준, 국내 KGS 안전기준에 맞추어 제작 완료, SK 에코플랜트에 납품</li> </ul>	

자료: 월간수소경제, “액체수소 ‘슬러시’로 저장·운송하는 길 열렸다” (2023) ; 하이리움산업, “<https://kr.hylium-industries.com/products/?idx=51500805&bmode=view> (2024); 가스신문, “수소 수입을 위한 액체 수소 인수기지 필요성과 역할” (2023.); 월간수소경제, “〈연속기획〉 수소경제 주목되는 기술·제품 54. 에스탱크 엔지니어링의 ‘액체수소 저장탱크’” (2023)

## 5절 특허 분석

### 1. 특허 분석 범위 및 방법

#### 1) 분석 개요

- 한국을 포함한 주요국의 액체수소 관련 기술 트렌드 파악 및 핵심 기술별 선도국 등을 분석하고자 특허분석을 수행, 사업 추진 방향성 설정을 위한 기초자료로 활용
  - 본 특허 동향 분석은 WIPSON에서 제공하는 DB를 이용, '04년 1월부터 '23년 12월까지 등록된 한국, 미국, 유럽, 일본, 중국의 공개된 등록 특허를 대상으로 실시
  - 본 분석은 액체수소 관련 연구개발 동향을 파악함으로써 국내외 연구개발 경향을 분석하고, 주요 플레이어 등을 탐색하여 동 사업 기획 방향성 수립에 활용하기 위함
- 특허분석은 분석 대상 기술의 검색 DB 확보 편의를 위해 분야별 대분류 수준의 기술분류체계를 활용하였고, 핵심 키워드 기반 검색 결과를 인용
  - 대상 기술 관련 핵심 키워드를 선정하고, 유의어 및 동의어를 추가 반영한 최종 검색식을 활용

〈표 2-33〉 특허 분석 개요

구분	내용
데이터베이스	WIPS
분석구간	2003. 01. 01. ~ 2022. 07. 31.
분석대상(국가)	한국, 미국, 유럽, 일본, 중국
분석범위	공개 및 등록특허 (공개/등록일 기준)

〈표 2-34〉 유효특허 선별 결과

기술분류	유효 특허 건수 (건)					
	한국	미국	일본	유럽	중국	합계
적하역	503	837	436	223	942	2,941
저장	323	675	431	362	908	2,699



## 2) 조사 항목

- 액체수소 기술 관련 개발 동향과 수준을 파악하기 위해 특허 동향과 기술 수준을 병행 분석, 종합적인 분석 결과를 도출
  - (특허 동향) 액체수소 분야 관련 기술 개발 동향을 탐색하기 위한 것으로 연도별, 국가별 특허출원 동향을 분석하여 기술 개발의 추세를 파악
    - 한국을 포함한 주요국의 특허출원 건수, 국가별 특허 점유율 및 성장률 등을 통해 각 국가가 지닌 특허경쟁력을 확인
    - 주요 출원인 분석, 기술수명주기(TCT) 등을 검토하여 각국의 특허 시장을 선도하는 핵심 플레이어를 도출하고, 기술 개발의 혁신성과 속도를 비교

〈표 2-36〉 특허 동향 조사 항목

구분	항목	정의 및 의미											
특허 동향 분석	연도별 특허출원 동향	○ 특허출원은 새로운 기술이 개발된 이후 사업화를 염두에 두고 취하는 권리화의 첫 단계로 국가별 연구개발활동이나 특허 시계열적 추세 파악이 가능한 지표											
	국가별 특허출원 점유율	○ 국가별 특허청에 공개·공고 및 등록된 전체 특허 중 특정 특허청에 공개·공고 및 등록된 특허 점유율을 의미 ○ 특정 국가에 특허가 많이 출원된다는 것은 해당 국가에서 관련 시장이 크거나, 향후 커질 가능성이 높은 것으로 해석											
	내외국인 특허출원 동향	○ 각국 특허청 출원인의 내/외국인 비율을 분석한 지표로 내국인 비율이 높은 경우 해당 국가의 특허 시장 규모가 작아서 시장성이 낮거나 외국인의 접근이 어려운 경우, 혹은 자국민의 해당 분야의 높은 관심도를 반영한 것으로 판단											
	기술의존도 (RD)	○ 내/외국인의 특허출원 건수 비율을 이용하여 기술 분야별 내국인의 기술 보호가 어느 정도 이루어지고 있는지를 살펴보는 지표											
	주요출원인	○ 각국 특허청에 공개·공고 및 등록된 특허에 대해 공개·공고 및 등록 건수가 가장 많은 출원인을 확인하기 위한 지표로 해당 기술시장 선도 플레이어 확인 ○ 글로벌 기업 플레이어를 중심으로 국가별 산업경쟁력을 간접적으로 가능할 수 있는 지표로 역할											
	기술성장단계	○ 기술 성장단계인 태동→성장→성숙→쇠퇴→회복을 출원인 수와 출원 건수를 통해 파악하기 위한 분석항목으로 대략적인 기술성장단계를 확인하는 데 활용 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td rowspan="5" style="text-align: center; vertical-align: middle;"> </td> <td>1. 태동</td> <td>- 신기술의 출현 - 특허 수와 특허출원인 수의 적은 증가</td> </tr> <tr> <td>2. 성장</td> <td>- R&amp;D의 급격한 증가, 경쟁 격화 - 특허 수와 특허출원인 수의 빠른 증가</td> </tr> <tr> <td>3. 성숙</td> <td>- 지속적인 연구개발 활동, 일부 도태 - 특허 수 정체, 특허출원인 정체 또는 감소</td> </tr> <tr> <td>4. 쇠퇴</td> <td>- 대체기술 출현, 기술발전의 불연속점 발생 - 특허 수 감소, 특허출원인 정체 또는 감소</td> </tr> <tr> <td>5. 회복</td> <td>- 기술 유용성 재발견, 대체기술 쇠퇴 - 특허 수와 특허출원인 수가 증가세로 전환</td> </tr> </table>		1. 태동	- 신기술의 출현 - 특허 수와 특허출원인 수의 적은 증가	2. 성장	- R&D의 급격한 증가, 경쟁 격화 - 특허 수와 특허출원인 수의 빠른 증가	3. 성숙	- 지속적인 연구개발 활동, 일부 도태 - 특허 수 정체, 특허출원인 정체 또는 감소	4. 쇠퇴	- 대체기술 출현, 기술발전의 불연속점 발생 - 특허 수 감소, 특허출원인 정체 또는 감소	5. 회복	- 기술 유용성 재발견, 대체기술 쇠퇴 - 특허 수와 특허출원인 수가 증가세로 전환
		1. 태동		- 신기술의 출현 - 특허 수와 특허출원인 수의 적은 증가									
		2. 성장		- R&D의 급격한 증가, 경쟁 격화 - 특허 수와 특허출원인 수의 빠른 증가									
3. 성숙		- 지속적인 연구개발 활동, 일부 도태 - 특허 수 정체, 특허출원인 정체 또는 감소											
4. 쇠퇴		- 대체기술 출현, 기술발전의 불연속점 발생 - 특허 수 감소, 특허출원인 정체 또는 감소											
5. 회복		- 기술 유용성 재발견, 대체기술 쇠퇴 - 특허 수와 특허출원인 수가 증가세로 전환											
기술수명주기 (TCT)	○ 특정 주체의 기술 발명 속도를 판단하는 지표로 기술혁신을 선도하는 출원인이 많을수록 더 짧은 기술수명주기를 갖기 때문에 기술 개발 속도를 확인하는 데 이용												

- (기술 수준) 특허 동향이 해당 분야의 기술 개발 동향을 파악하기 위함이라면, 기술 수준은 출원된 특허의 활용과 영향력에 대한 우수성을 판단하기 위한 분석 방법
  - 특허의 양적·질적 우수성을 확인하기 위해 특허 피인용도(CPP), 기술력 지수(TS) 등을 산출하여 특정 기술 혹은 특정 국가의 기술 수준을 확인
  - 특허출원 비중을 통해 시장 집중도나 특정 국가의 시장지배력 등을 파악하고 시장 확보도(PFS) 등의 지표를 활용하여 특허의 시장성을 판단하는 데 이용

〈표 2-37〉 기술 수준 조사 항목

구분	항목	정의 및 의미
기술 수준 분석	특허 피인용도(CPP)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 특정 특허가 다른 후속 특허에 의해 인용된 평균 횟수를 의미</li> <li>○ 논문의 경우와 마찬가지로 특허의 질적 우수성을 판단하는 지표로 주로 활용, 질이 높고 원천특허에 가까울수록 파생된 혹은 개선된 특허가 많이 출원되기 때문에 피인용도가 높게 나타남</li> </ul> $CPP = \frac{\sum_{i=1}^{n_t} C_i}{n_t} \quad (n_t \text{은 } t \text{연도에 등록된 특허건수, } C_i \text{는 } i \text{특허의 피인용수})$
	특허 영향력 지수(PII)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 특정 기술, 기업 및 국가 등의 특허피인용도(CPP)를 전체 특허인용도 평균에 대해 알기 쉽게 상대적으로 표현한 지수로 1.0 이상일 경우 전체 평균 이상의 피인용도를 가진 것으로 판단</li> <li>○ 특정 기업이나 국가 특허피인용도가 지나치게 높거나 낮은 경우 전체 평균이 영향을 받을 수 있기 때문에 분석에 유의할 필요가 있음</li> </ul> $PII_a = \frac{CPP_a}{CPP_t} = \frac{C_a}{N_a} / \frac{C_t}{N_t} \quad (C_a \text{는 } a \text{의 특허의 피인용수, } N_a \text{는 } a \text{의 특허수, } C_t \text{는 전체 특허의 피인용수, } N_t \text{는 전체 특허수})$
	기술력 지수(TS)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 특허영향력 지수에 특허 건수를 곱한 지수로 특정 기술, 기업 및 국가 등의 양적 기술적 수준을 포함하는 기술력을 평가하기 위한 지수</li> <li>○ 특허의 질적 수준만을 평가하기 때문에 양질의 특허를 얼마나 많이 가지고 있느냐를 분석하기 위해 개발된 지표로 높은 기술력을 보유한 국가일수록 질적으로 우수한 특허를 보유할 가능성이 높은 것으로 해석</li> </ul> $TS_i = PII_i \times N_i \quad (PII_i \text{는 해당연도의 } i \text{의 PII값, } N_i \text{는 해당연도의 } i \text{의 특허건수})$

<p>시장확보도(PFS)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 각 국가에 개별 출원된 특허를 Family Patent라 하며, 시장확보도는 특정 분야의 전체 평균 Family Patent 수에 대한 특정 국가의 Family Patent 수의 비율로 Family patent가 많을수록 시장성이 크다고 판단</li> </ul> $PFS = \frac{\text{특정기술분야에서 한국가의 평균 Family Patent 국가수}}{\text{특정기술분야에서 전체 특허의 평균 Family Patent 국가수}}$										
<p>시장지배도(PGI)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 특정 기업 및 국가에서 소유한 특허의 시장확보도와 피인용도를 이용하여 전 세계 시장지배력을 평가하기 위한 지수</li> <li>○ 양질의 특허를 많이 확보할수록, 다양한 국가에서 특허 권리를 많이 확보할수록 시장지배도는 높아짐</li> </ul> $PGI = \sqrt{PFS^2 + CPP^2}$										
<p>허핀달-허쉬만지수 (HHI)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 특정 분야의 모든 시장 참여 주체들의 특허점유율을 제곱한 값을 합산한 지수</li> <li>○ 점유율이 낮은 많은 주체가 모여있는 시장의 경우 HHI는 낮아지게 되어 시장을 지배하는 주요 주체가 없이 자유경쟁에 가까운 것으로 판단하며, 반대로 일부 주체가 대부분의 점유율을 차지하는 경우 HHI는 높아지게 되며, 이는 과점적 혹은 독점적 시장을 의미</li> </ul> $HHI = \sum_{i=1}^N \left( \frac{i\text{번째 출원인의 출원수}}{\text{전체 출원수}} \right)^2$ <table border="1" data-bbox="967 1084 1406 1312"> <thead> <tr> <th>HHI</th> <th>시장경쟁 특성</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1~1,000</td> <td>집중화가 거의 없음</td> </tr> <tr> <td>1,000~1,300</td> <td>경쟁적 시장</td> </tr> <tr> <td>1,300~4,000</td> <td>과점적 시장</td> </tr> <tr> <td>4,000~</td> <td>독점적 시장</td> </tr> </tbody> </table>	HHI	시장경쟁 특성	1~1,000	집중화가 거의 없음	1,000~1,300	경쟁적 시장	1,300~4,000	과점적 시장	4,000~	독점적 시장
HHI	시장경쟁 특성										
1~1,000	집중화가 거의 없음										
1,000~1,300	경쟁적 시장										
1,300~4,000	과점적 시장										
4,000~	독점적 시장										
<p>집중률지수(CR4)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ CR 4는 상위 4개 업체의 시장점유율 합계로 90%를 초과하면, 완전 독점적인 시장으로 판단하며, 40% 이하에서는 경쟁적 시장으로 간주</li> </ul> $CR4 = \text{상위 1~4위의 시장점유율 합계}$										
<p>기술영향지수(TII)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 질적으로 우수한 특허를 얼마나 보유하고 있는지에 대한 상대적 분석으로             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 국가 전체 특허에서 일정 횟수(상위 10%) 이상 인용된 특허가 해당 기술 분야에 미치는 영향력을 측정</li> </ul> </li> </ul> $TII = \frac{x\text{회 이상 인용된 대상국가의 특허비율}}{x\text{회 이상 인용된 전세계 특허비율}}$ <p>X: 인용된 횟수의 순위가 상위 10% 이상인 특허의 인용 횟수</p>										
<p>등록 청구항수</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 특허 등록과 관계되는 특허 공보에 기재된 청구항의 수로 특허에 포함되는 발명의 수를 의미</li> </ul>										

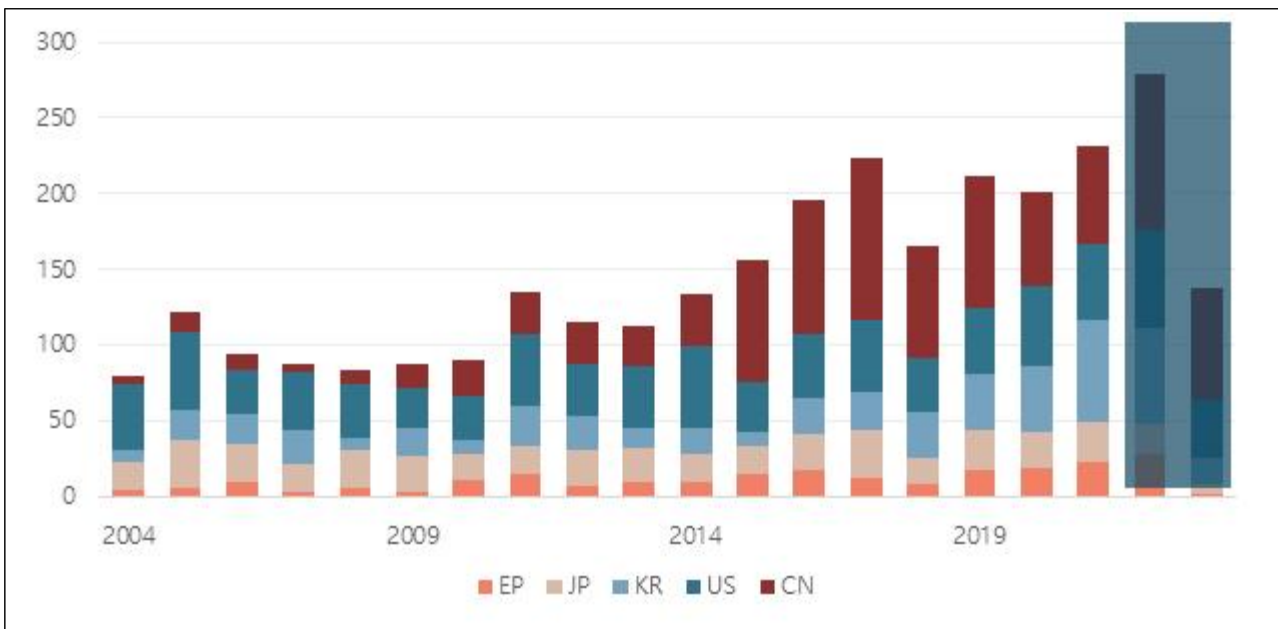
## 2. 주요 분석 결과

### 1) 적하역

#### (1) IP Landscape 분석

##### ① 연도별 전체 특허 동향

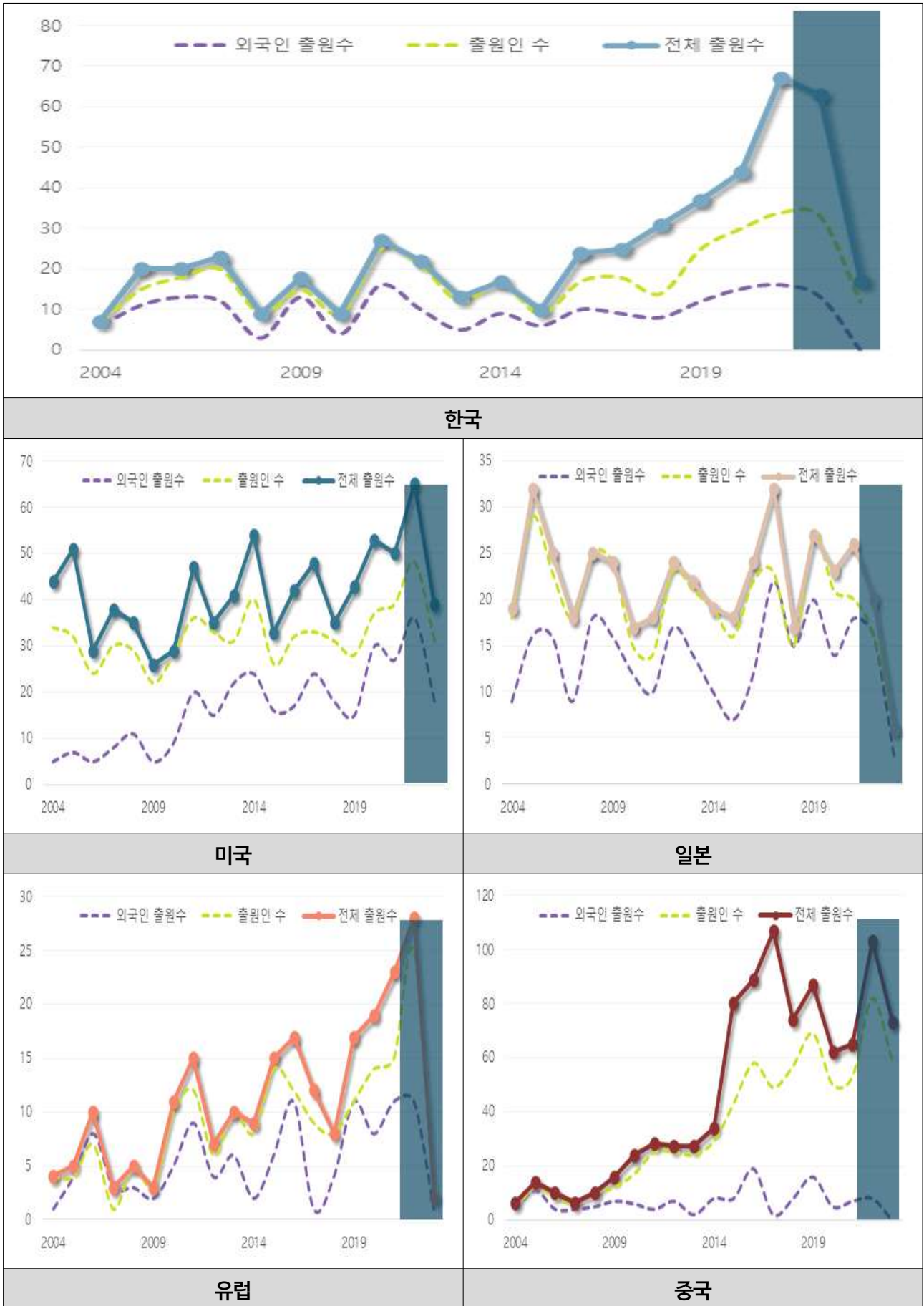
- 2010년대부터 특허출원이 지속적으로 증가하고 있으며 미국과 중국이 특허출원의 추세를 주도
  - 분석기간 초기에는 미국이 특허출원을 주도했으며 2010년대 중반부터 중국의 특허출원이 급격히 증가
  - 한국, 일본 및 유럽은 미국과 중국에 비해 출원건수는 미비하지만 꾸준히 관련된 출원이 증가하고 있음



〈그림 2-25〉 연도별 적하역 기술 출원특허 동향

## ② 국가별 특허동향

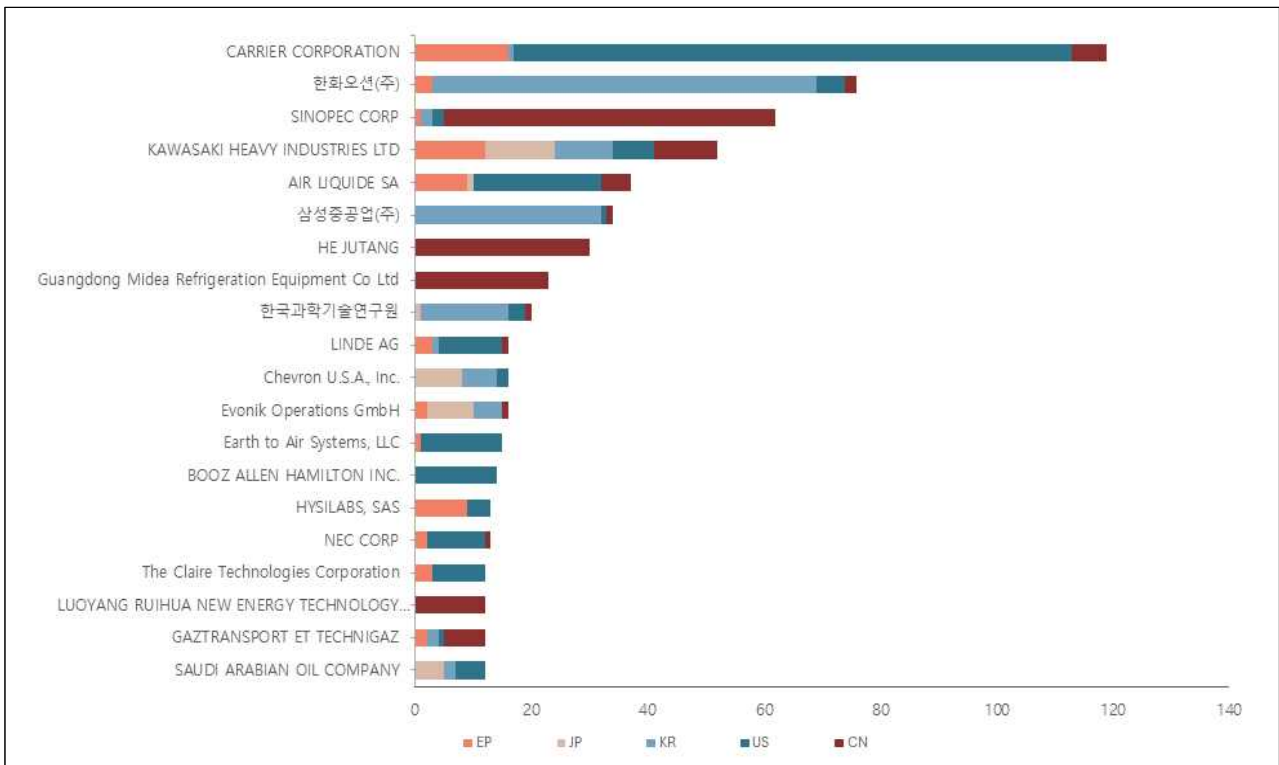
- 관련된 특허들의 출원이 꾸준히 증가하는 추세를 보이고 있으며, 출원인수도 출원건수를 따라 증가하는 모습을 보여, 성장기 초기로 들어선 것으로 판단됨
  - (한국) 2010년대 중후반부터 출원이 급격히 증가하고 있으며, 출원인수도 큰 폭으로 증가하고 기간으로 보아 성장기 초기로 판단됨
    - 외국인 특허출원건수는 출원인 수 증가 및 출원건수 증가에 비해 증가하고 있지 않아, 내국출원인에게 기술 개발을 의존하고 있음
  - (미국) 2004년부터 타 지역에 비해 많은 출원이 발생했고, 꾸준히 출원하며 조금씩 증가하고 있어 성장기 후기에 들어선 것으로 분석됨
    - 외국인 특허출원건수는 전체 특허건수보다 증가하는 추세로 변화하고 있어 외국출원인에게 관심이 증가하는 시장으로 판단됨
  - (일본) 분석기간 초기부터 증감을 반복하며 꾸준히 출원을 유지하고 있음
    - 외국인 특허출원건수는 전체 특허건수와 동일한 추세로 변화하고 있으며, 일정한 비율을 유지하고 있음
  - (유럽) 2010년대부터 특허출원건수가 증가하는 추세를 보이고 있으며 출원인수도 증가하는 추세
    - 외국인 특허출원건수의 동향 형태는 전체 특허출원건수의 흐름과 거의 동일하게 변화
  - (중국) 가장 많은 특허출원건수를 보이는 지역으로 2010년대 중반에 들어서며, 급격하게 출원이 증가하고, 출원인수도 아직 출원건수를 따라 증가하고 있음
    - 외국인 출원은 크게 증가하는 모습을 보이고 있지 않고, 출원건수 및 출원인수에 비해 최근으로 더 적은 비율을 보일 것으로 판단됨



〈그림 2-26〉 국가별 적하역 기술 출원특허 동향

### ③ 주요출원인 특허동향

- 최상위 출원인은 미국의 ‘CARRIER CORPORATION’ 이며 미국 자국 내에서 출원을 진행하고 추가로 유럽 및 중국에 특허출원을 진행하고 있음
  - 상위 20위 내의 출원인 중 중국 출원인은 중국에 출원을 집중하는 모습을 보이며, 기업으로 시장주도적인 기술 개발이 이루어지고 있음
    - 주요 상위 출원인들은 주로 자국 내에서 출원을 진행하고 일부 특허를 미국 시장에 출원을 진행하고 있는 것으로 판단됨
  - 미국의 ‘CARRIER CORPORATION’ 는 전체 출원의 약 4.05%를 차지하고 있으며 미국 내에서 가장 많은 출원을 진행하였고, 유럽 및 중국에 출원을 진행함
    - 상위 출원인들 모두 자국에서 출원을 중시하고 있지만, 미국 시장에 대한 출원은 대부분 진행하고 있어 미국 시장이 가장 매력적인 시장으로 판단됨
  - 상위 20개 출원인은 전체 특허의 약 20.54%를 차지하고 허핀달-허쉬만 지수(HHI)는 매우 낮은 것으로 판단됨



〈그림 2-27〉 적하역 기술 주요 상위출원인 현황

〈표 2-38〉 적하역 기술 주요 출원인 점유율 및 HHI

출원인	특허 출원건수						점유율 (%)	HHI
	한국	미국	일본	유럽	중국	총합		
CARRIER CORPORATION	1	96	0	16	6	119	4.05	16.37
한화오션(주)	66	5	0	3	2	76	2.58	6.68
SINOPEC CORP	2	2	0	1	57	62	2.11	4.44
KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES LTD	10	7	12	12	11	52	1.77	3.13
AIR LIQUIDE SA	0	22	1	9	5	37	1.26	1.58
삼성중공업(주)	32	1	0	0	1	34	1.16	1.34
HE JUTANG	0	0	0	0	30	30	1.02	1.04
Guangdong Midea Refrigeration Equipment Co Ltd	0	0	0	0	23	23	0.78	0.61
한국과학기술연구원	15	3	1	0	1	20	0.68	0.46
LINDE AG	1	11	0	3	1	16	0.54	0.30
Chevron U.S.A., Inc.	6	2	8	0	0	16	0.54	0.30
Evonik Operations GmbH	5	0	8	2	1	16	0.54	0.30
Earth to Air Systems, LLC	0	14	0	1	0	15	0.51	0.26
BOOZ ALLEN HAMILTON INC.	0	14	0	0	0	14	0.48	0.23
HYSILABS, SAS	0	4	0	9	0	13	0.44	0.20
NEC CORP	0	10	0	2	1	13	0.44	0.20
The Claire Technologies Corporation	0	9	0	3	0	12	0.41	0.17
LUOYANG RUIHUA NEW ENERGY TECHNOLOGY DEVELOPMENT Co.,Ltd.	0	0	0	0	12	12	0.41	0.17
GAZTRANSPORT ET TECHNIGAZ	2	1	0	2	7	12	0.41	0.17
SAUDI ARABIAN OIL COMPANY	2	5	5	0	0	12	0.41	0.17
<b>총합</b>							<b>20.54</b>	<b>38.09</b>

## (2) IP부상도 분석

### ① 최근 출원 증가율 및 점유율 분석

- 최근('19~'23년)과 이전구간('14~'18년) 대비 출원증가율을 살펴보면, 약 21.17%로 한국과 유럽이 가장 많이 증가함
  - 한국의 최근구간에서 특허출원건수가 매우 크게 증가하였고, 일본은 -7.27%로 감소함
    - 유럽에서는 최근구간에서 특허출원건수가 타지역에 비해 적은 것으로 분석됨
  - 전체구간대비 최근구간('19~'23년)에서의 출원 점유율은 약 36.01%로 일부 특허가 근래에 출원됨
    - 가장 최근 점유율이 높은 국가는 한국(45.33%)이며, 일본이 23.39%로 가장 낮은 최근구간 점유율을 가진 것으로 분석

〈표 2-39〉 적하역 기술 출원 증가율 및 점유율

구분	이전구간 건수 ('14~'18)	최근구간 건수 ('19~'23)	전체구간 건수 ('04~'23)	최근 출원 증가율(A) (%)	최근 출원 점유율(B) (%)
한국	107	228	503	113.08	45.33
미국	212	250	837	17.92	29.87
일본	110	102	436	-7.27	23.39
유럽	61	89	223	45.90	39.91
중국	384	390	942	1.56	41.40
총계	874	1,059	2,941	21.17	36.01

□ 최근 출원 증가율 (A)

$$= \left( \frac{\text{최근구간 특허출원건수} - \text{이전구간 특허출원건수}}{\text{이전구간 특허출원건수}} \right) \times 100 (\%)$$

□ 최근 출원 점유율 (B)

$$= \left( \frac{\text{최근구간 특허출원건수}}{\text{전체 건(전체구간)}} \right) \times 100 (\%)$$

## ② 특허 시장확보력 분석

- 각각의 주요국가에서 외국출원인의 특허 출원은 최근구간('19~'23년)에서 331건으로 이전구간('14~'18년) 276건에 비해 약 19.93% 증가
  - 외국인 점유율 변화량은 유럽이 75.00%로 특허출원건수가 증가함에 따라 외국인 출원건수가 증가한 것으로 판단됨
  - 한국은 최근 외국인 특허출원증가율이 소폭 증가하였지만, 유럽을 제외한 전체 2순위로, 한국은 외국출원인에게 최근에 관심이 증가하고 있는 시장으로 판단됨

〈표 2-40〉 적하역 기술 최근 외국인 특허출원 증가율 및 점유율

구분	이전구간 외국인 특허출원건수 ('14~'18)	최근구간 외국인 특허출원건수 ('19~'23)	최근구간 특허출원건수	최근 외국인특허 출원증가율(C) (%)	최근구간 외국인특허 비중(D) (%)
한국	42	56	228	33.33	24.56
미국	99	126	250	27.27	50.40
일본	66	71	102	7.58	69.61
유럽	24	42	89	75.00	47.19
중국	45	36	390	-20.00	9.23
총계	276	331	1,059	19.93	31.26

□ 최근 외국인 특허출원증가율(C)

$$= \left( \frac{\text{최근구간 외국인 특허출원건수} - \text{이전구간 외국인 특허출원건수}}{\text{이전구간 외국인 특허출원건수}} \right) \times 100 (\%)$$

□ 최근 출원 점유율 (B)

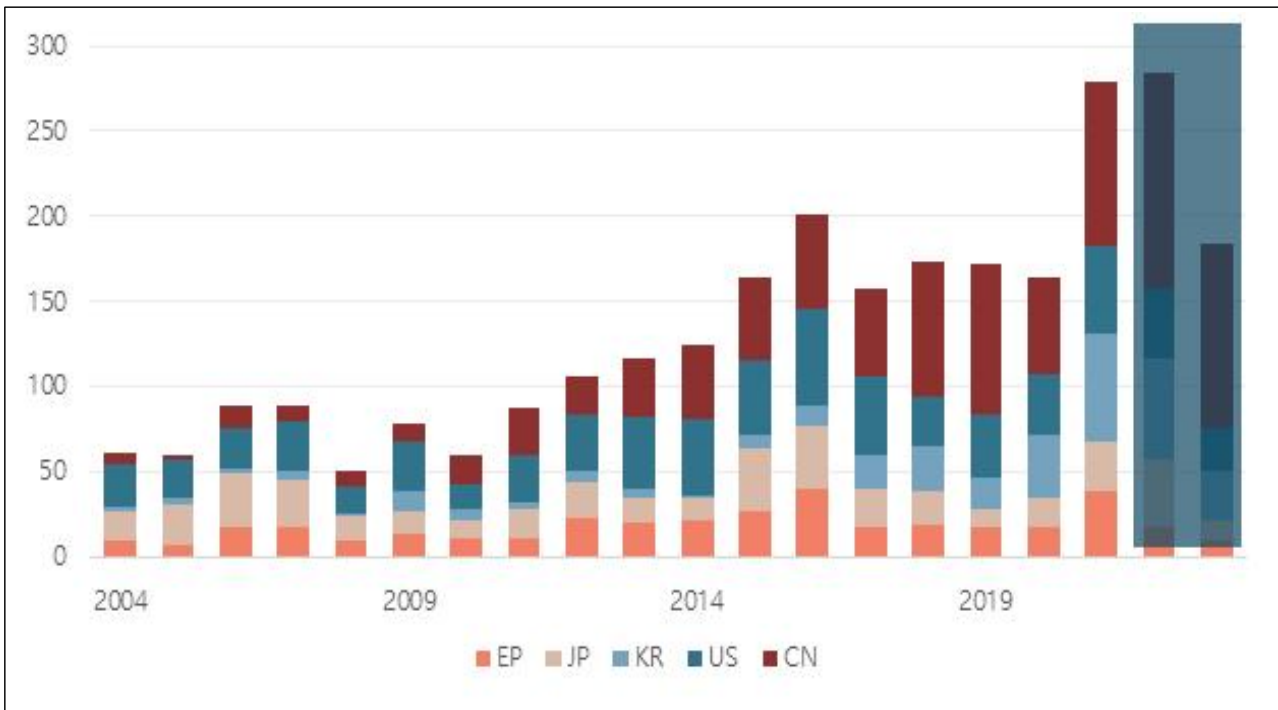
$$= \left( \frac{\text{최근구간 외국인 특허출원건수}}{\text{최근구간 특허출원건수}} \right) \times 100 (\%)$$

## 2) 저장

### (1) IP Landscape 분석

#### ① 연도별 전체 특허 동향

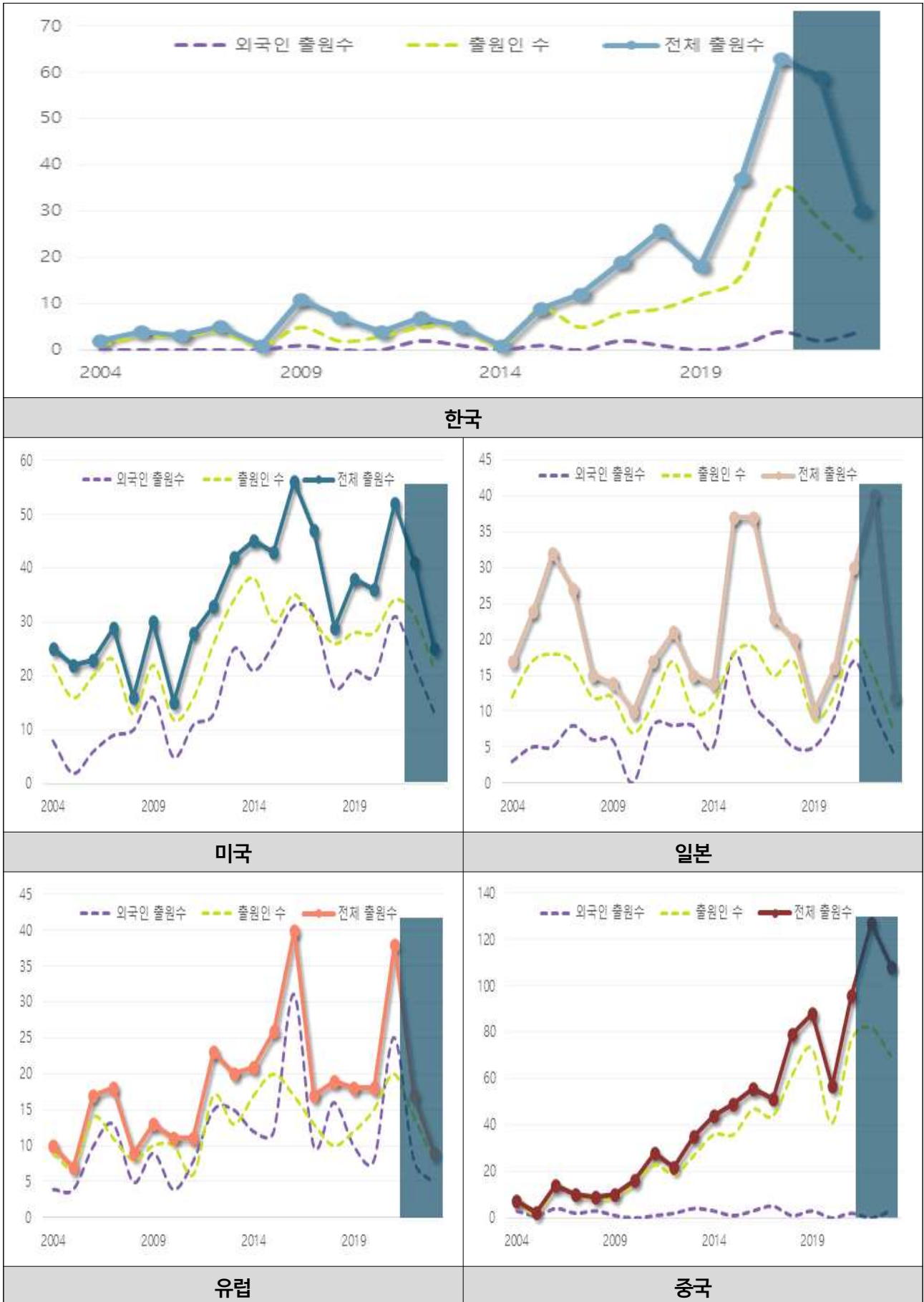
- 2010년대부터 지속적으로 특허출원이 증가하였으나, '15년 이후 한국과 중국에서 특허출원건수가 급속히 증가
  - 분석기간 초기 미국의 출원비중이 높았지만 최근 한국과 중국의 출원건수가 매우 크게 증가함
  - 분석기간 초기 관련 분야에 대한 출원은 미국과 일본에서 이루어졌지만, 미공개 구간을 제외한 가장 최근인 2021년에는 중국의 출원이 가장 많은 것으로 분석됨



〈그림 2-28〉 연도별 액체수소 저장 기술 출원특허 동향

## ② 국가별 특허동향

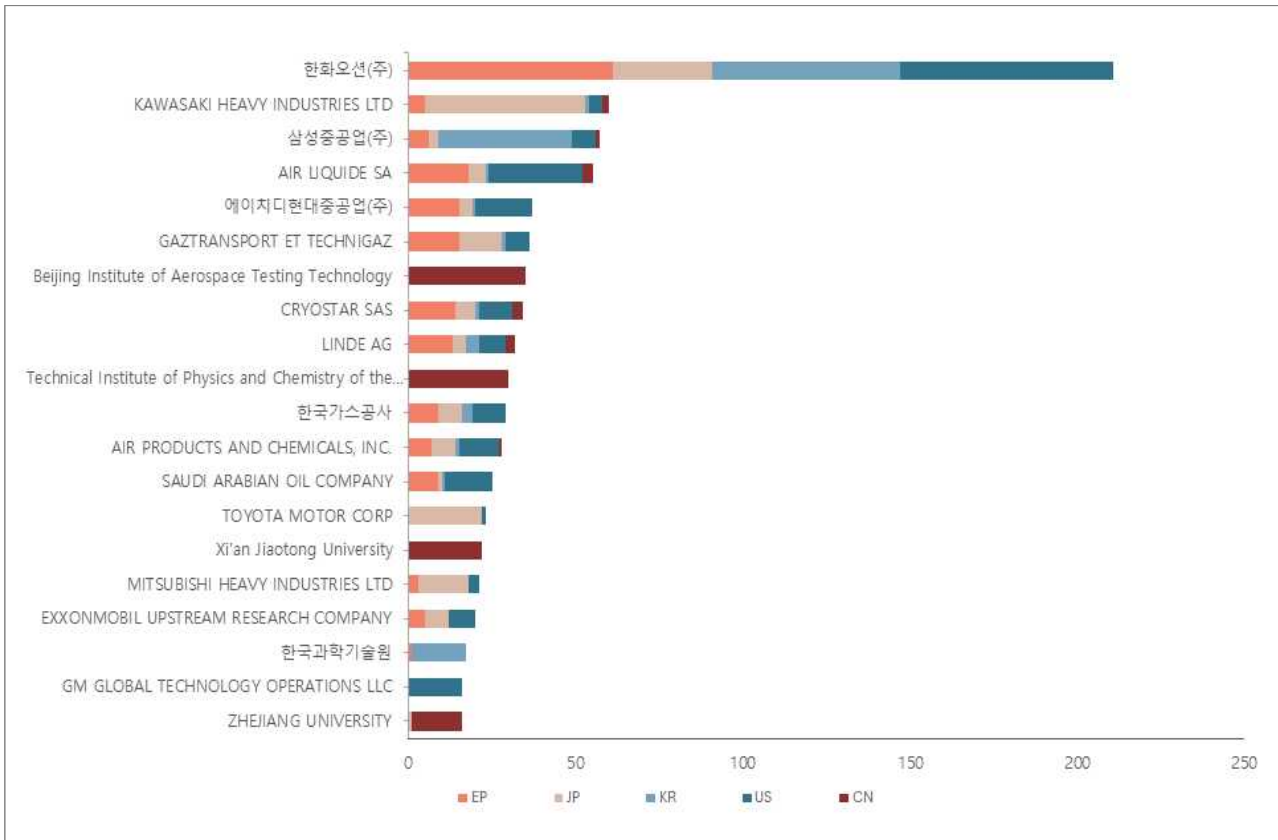
- 최근 모든 지역에서 출원건수가 크게 증가하고 있으며, 출원인수도 함께 증가하고 있어 성장기 초기에 있는 것으로 분석됨
  - 미국이 분석 기간 초기의 변화를 주도하고 2015년 이후에는 중국을 비롯한 한국이 특허의 양적 증가에 기여
  - **(한국)** '14년 이후 특허출원건수가 빠르게 증가하고 있으며 출원인수도 함께 증가하고 있음
    - 외국인 특허출원건수의 흐름은 일정하여 전체 출원인수 증가에 비해 매우 적은 상태
  - **(미국)** 분석 기간 초기부터 지속적으로 특허출원건수는 증가하였고, 출원인수도 꾸준히 증가하고 있음
    - 외국인 특허출원건수는 전체 특허건수와 동일한 추세로 변화하고 있으며, 일정한 비율을 유지하고 있음
  - **(일본)** 분석 기간 초기부터 특허출원건수 증감이 반복되는 모습을 보이며 꾸준히 출원이 발생하고 있음
    - 일본의 외국인 출원건수가 전체 특허건수와 동일한 추세로 변화하고 있어 외국출원인에게 꾸준히 관심받는 시장으로 판단됨
  - **(유럽)** 증감을 반복하고 있지만 출원은 증가하는 추세를 보이고, 출원인수가 출원건수와 거의 동일하게 발생하고 있어 태동기 및 성장기로 판단됨
    - 외국인 특허출원건수와 전체출원건수가 비슷하게 발생하고 있어 외국인 출원비중이 매우 높은 것으로 보여, 외국출원인에게 매력적인 시장으로 판단됨
  - **(중국)** 특허출원건수가 가장 많은 국가이며 2010년대부터 꾸준히 증가하는 추세를 보이고 있으며 출원인수도 함께 증가하고 있음
    - 출원인수는 지속적으로 증가하고 있으며 외국인 특허출원건수 동향은 전체 특허출원건수의 흐름과 다르게, 증가하지 않는 것으로 분석됨



〈그림 2-29〉 국가별 글로벌 액체수소 저장 기술 출원특허 동향

### ③ 주요출원인 특허동향

- 주요 상위 출원인에 한국의 기업이 다수 포함되어 있으며, 유럽의 기업도 출원이 활발한 것으로 분석됨
  - 상위 10위 내의 출원인 중 한국의 기업과 유럽의 기업이 많이 포함되어 있는 것으로 분석됨
    - 상위 20개 출원인 중 중국의 대학 및 연구기관은 대부분 중국 자국 내에서 출원을 진행하고 있는 것으로 분석됨
  - 상위 20개 출원인이 전체 특허출원건수의 29.79%를 차지하고 있으며 상위 3개 출원인의 점유율은 12.15%인 기술분야로 분석됨
  - 상위 20개 출원인의 허핀달-허쉬만 지수(HHI)는 매우 낮은 상태로 분석됨



〈그림 2-30〉 액체수소 저장 기술 주요 상위출원인 현황

〈표 2-41〉 액체수소 저장 기술 주요 출원인 점유율 및 HHI

출원인	특허 출원건수						점유율 (%)	HHI
	한국	미국	일본	유럽	중국	총합		
한화오션(주)	56	64	30	61	0	211	7.82	61.12
KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES LTD	1	4	48	5	2	60	2.22	4.94
삼성중공업(주)	40	7	3	6	1	57	2.11	4.46
AIR LIQUIDE SA	1	28	5	18	3	55	2.04	4.15
에이치디현대중공업(주)	1	17	4	15	0	37	1.37	1.88
GAZTRANSPORT ET TECHNIGAZ	1	7	13	15	0	36	1.33	1.78
Beijing Institute of Aerospace Testing Technology	0	0	0	0	35	35	1.30	1.68
CRYOSTAR SAS	1	10	6	14	3	34	1.26	1.59
LINDE AG	4	8	4	13	3	32	1.19	1.41
Technical Institute of Physics and Chemistry of the Chinese Academy of Sciences	0	0	0	0	30	30	1.11	1.24
한국가스공사	3	10	7	9	0	29	1.07	1.15
AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, INC.	1	12	7	7	1	28	1.04	1.08
SAUDI ARABIAN OIL COMPANY	1	14	1	9	0	25	0.93	0.86
TOYOTA MOTOR CORP	0	1	22	0	0	23	0.85	0.73
Xi'an Jiaotong University	0	0	0	0	22	22	0.82	0.66
MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES LTD	0	3	15	3	0	21	0.78	0.61
EXXONMOBIL UPSTREAM RESEARCH COMPANY	0	8	7	5	0	20	0.74	0.55
한국과학기술원	16	0	0	1	0	17	0.63	0.40
GM GLOBAL TECHNOLOGY OPERATIONS LLC	0	16	0	0	0	16	0.59	0.35
ZHEJIANG UNIVERSITY	0	0	1	0	15	16	0.59	0.35
총합							29.79	90.97

## (2) IP부상도 분석

### ① 최근 출원 증가율 및 점유율 분석

- 최근('19~'23년)과 이전구간('14~'18년) 대비 출원증가율을 살펴보면, 약 32.07%로 중국의 최근 구간 출원이 많은 것으로 분석됨
  - 한국의 출원 증가율이 가장 높으며, 최근구간에서 한국의 출원건수는 전체에서 두 번째로 높은 것으로 분석됨
  - 전체구간대비 최근구간('19~'23년)에서의 출원 점유율은 약 40.13%로 전체 특허의 절반 가까이 근래에 출원
    - 가장 최근구간 점유율이 높은 국가는 한국이며 같은 구간에서 일본이 가장 낮은 최근구간 점유율을 가진 것으로 분석

〈표 2-42〉 액체수소 저장 기술 출원 증가율 및 점유율

구분	이전구간 건수 ('14~'18)	최근구간 건수 ('19~'23)	전체구간 건수 ('04~'23)	최근 출원 증가율(A) (%)	최근 출원 점유율(B) (%)
한국	67	207	323	208.96	64.09
미국	220	192	675	-12.73	28.44
일본	131	108	431	-17.56	25.06
유럽	123	100	362	-18.70	27.62
중국	279	476	908	70.61	52.42
총계	820	1,083	2,699	32.07	40.13

□ 최근 출원 증가율 (A)

$$= \left( \frac{\text{최근구간 특허출원건수} - \text{이전구간 특허출원건수}}{\text{이전구간 특허출원건수}} \right) \times 100 (\%)$$

□ 최근 출원 점유율 (B)

$$= \left( \frac{\text{최근구간 특허출원건수}}{\text{전체 건(전체구간)}} \right) \times 100 (\%)$$

## ② 특허 시장확보력 분석

- 주요국 외국인의 특허 출원은 최근구간('19~'23년)에서 227건으로 이전구간('14~'18년) 274건에 비해 약 17.15% 감소
  - 한국은 최근 외국인 특허출원증가율이 높은 것으로 분석되지만, 이전구간의 출원이 너무 적은 것이 원인으로 한국 시장에 대한 외국출원인의 관심이 부족한 것으로 분석됨
  - 외국인 점유율 변화량은 한국에서 약 175.00% 증가하였고 최근구간에서 미국과 유럽의 외국인특허 비중이 55% 이상 넘어선 상황

〈표 2-43〉 액체수소 저장 기술 최근 외국인 특허출원 증가율 및 점유율

구분	이전구간 외국인 특허출원건수 ('14~'18)	최근구간 외국인 특허출원건수 ('19~'23)	최근구간 특허출원건수	최근 외국인특허 출원증가율(C) (%)	최근구간 외국인특허 비중(D) (%)
한국	4	11	207	175.00	5.31
미국	129	107	192	-17.05	55.73
일본	47	45	108	-4.26	41.67
유럽	81	56	100	-30.86	56.00
중국	13	8	476	-38.46	1.68
총계	274	227	1,083	-17.15	20.96

□ 최근 외국인 특허출원증가율(C)

$$= \left( \frac{\text{최근구간 외국인 특허출원건수} - \text{이전구간 외국인 특허출원건수}}{\text{이전구간 외국인 특허출원건수}} \right) \times 100 (\%)$$

□ 최근 출원 점유율 (B)

$$= \left( \frac{\text{최근구간 외국인 특허출원건수}}{\text{최근구간 특허출원건수}} \right) \times 100 (\%)$$

### 3. 소결

- 2010년대 초반부터 액체수소 관련 특허출원이 증가하다 2022년에 정점을 기록, 2010년대 중반까지는 미국이 선두를, 이후는 중국이 빠르게 추격 중
  - 분석 기간 내 전반적으로 특허출원건수와 출원인 수가 증가하고 있으며, 액체수소 공급인프라 기술의 경우 2010년대 중반 이후부터 본격적으로 특허출원이 시작
    - 분석구간 초기(2004년~2015년)에는 미국이 많은 특허를 창출하며 양적 성장 흐름을 주도하였고 이후에는 중국, 한국의 출원이 크게 증가
- 최근 출원 증가율 추이를 보면, 한국과 중국의 출원 증가율이 매우 높게 나타나 미래 액체수소 기술 시장에서 양국을 주축으로 영향력이 확대될 가능성이 높음을 시사
  - 출원 점유율 측면에서도 한국, 중국 비중이 높게 나타나 글로벌 액체수소 신흥 시장으로써 잠재력이 높게 평가
- 미국·일본·유럽의 외국인 출원 비중은 50%를 상회하고 있고, 한국은 상대적으로 낮은 비중을 보이고 있으나 이전구간 대비 최근구간 외국인 출원 증가율이 가장 높아 점진적 시장 개방 행태를 보임
  - 한국의 외국인 출원 비중은 17.63% 수준이나, 외국인 출원 증가율은 52.00%로 대상국 가운데 가장 높은 증가율을 기록하였고, 이는 점진적으로 한국 시장이 외국인에 개방 되고 있으며 글로벌 기업의 관심이 한국으로 쏠리고 있음을 설명
    - 미국(-13.67%)과 유럽(15.11%) 외국인 출원은 감소하였는데, 이는 이미 성숙된 시장으로 새로운 기술의 도입보다는 기존 강점 기술의 유지 전략을 취하는 것으로 분석
  - 대상국 중 가장 낮은 외국인 출원 비중을 기록한 중국(5.19%)은 외국인 출원이 매우 미미한 시장으로, 자국 중심 기술 보호 전략 경향이 짙어진 결과로 풀이
- 기술성장단계 측면에서는 특정 시장의 집중도를 나타내는 HHI(허핀달-허쉬만 지수)가 매우 낮게 나타나 시장 진입 장벽이 상대적으로 낮고, 다양한 기업에서 기술개발이 이루어지고 있음을 확인
  - ※ HHI 지수 1,500 미만은 자유경쟁시장으로 분류
  - 특정 국가(미국, 중국, 한국 등) 내에서도 여러 기업이 경쟁적으로 특허를 출원하고 있어 특정 기업이 독점적 우위를 차지하지 못하였고, 이는 지속 기술개발 경쟁이 진행되면서 전반적인 기술 혁신 잠재력이 높은 시장임을 의미

- 한국의 한화오션(주)이 최다 특허출원 기업이지만, 전체 점유율이 10%를 넘지 않고, 경쟁 기업이 다수 존재하고 있어 기술 선도 기업이나 독점적인 위치로 보기 어려움
- o 이러한 여건은 전략적인 연구개발(R&D)을 통해 기술 포트폴리오를 선점하는 기업이 나오면 과점 시장으로 전환될 수 있고, 기술 선점 기업은 기술적 우위 및 글로벌 시장지배력 확보가 가능

**〈표 2-44〉 상위 5개 출원 기업별 특허 동향, 시장점유율 및 특허집중도(HHI)**

(단위: 건, %)

기업명	전체구간 건수	주요 출원국	시장점유율	특허집중도 (HHI 지수)
한화오션(주)	517	한국, 미국, 유럽, 일본, 중국	3.40	11.58
AIR LIQUIDE	360	유럽, 미국, 일본, 중국	2.37	5.62
KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES	226	일본, 미국, 유럽	1.49	2.21
CARRIER CORPORATION	201	미국, 유럽, 중국	1.32	1.75
삼성중공업(주)	169	한국, 미국, 유럽	1.11	1.24

- ◇ 한국과 중국이 액체수소 적하역 및 저장기술의 신흥 강자로 부상할 전망이며, 동시에 미국과 유럽은 성숙 시장으로 자리매김
- ◇ 한국 기업이 글로벌 경쟁력을 갖추기 위해서는 미국과 유럽을 중심으로 적극적인 특허출원이 요구되며, 한국의 외국인 출원 비중이 증가하고 있지만 여전히 선도국 (미국·일본·유럽)에 비해 낮기 때문에 글로벌 특허 포트폴리오 전략이 필요
- ◇ 2010년대 이후부터 글로벌 기술 시장을 주도하고 있는 중국 시장은 외국 기업에 대한 장벽이 높아 장래 유망 시장 진출을 위해서는 현지 기업과의 협력 혹은 기술 협력 방안 마련이 요구
- ◇ 피인용도(CPP)와 특허 영향력 지수(PII)를 높여 양적 성장뿐 아니라 질적인 기술 우위 확보가 필요하고 원천기술 확보를 위한 대학·연구기관과의 협력도 필요
- ◇ 현재는 자유경쟁시장에 속하나, 과점 시장으로 전환될 경우를 대비한 전략적 기술 개발로 특허 포트폴리오를 확보하는 것이 필요



## ||| 사업 추진 역량 분석

1절. 정부 R&D 투자동향

2절. 유사사업 분석



### III 사업 여건 분석

## 1절 정부 R&D 투자동향

### 1. 국가 중장기 재정운용계획 및 R&D 투자전략

□ (국가재정운용계획\*) 수소 등 에너지 신산업 창출 지원 및 소주기에 걸친 지원 강화

\* 재정운용의 효율성과 건전성 제고를 위해 당해 회계연도를 포함한 5년간 재정운용 목표와 방향을 제시하는 재정운용 계획(2023~2027년)

- 글로벌 경제환경 변화에 대응하기 위한 원전산업 생태계 회복 및 수소 등 에너지 신산업 창출 지원 내용 포함
  - 핵심자원 비축 및 도입 다변화 등을 통해 안정적 에너지 공급망을 구축하고, 원전 및 신에너지 생태계 활성화 지원
- (산업·중기·에너지) 효율적 에너지 사용 지원 및 에너지 공급망을 안정화하고, 첨단산업 초격차 확보를 위한 인프라·인력양성 투자 확대
  - 2024년도 국가연구개발사업 예산(안)에 따르면, 산업·중소기업·에너지 분야 예산은 '24년 27.3조 원에서 '27년 29.3조 원으로 연평균 3.0% 증가
- (R&D) 국내 R&D 예산은 지속적으로 확대되고 있으며, 수소, AI, 반도체 등 12대 국가전략기술에 있어서 혁신기술 내재화에 집중 투자를 계획
  - R&D 분야 예산은 '24년 25.9조 원에서 '27년 31.6조 원으로 동기간('23~'27년) 연평균 0.7%로 정체 수준이나 '24~'27년 중에는 연평균 6.9%로 확대

〈표 3-1〉 국가재정운용계획 중 관련내용

- (산업·중소기업·에너지) 원전산업 생태계 회복 및 수소 등 에너지 신산업 창출 지원
  - 원전 기업역량강화, 맞춤형 수출지원, 기술 개발, 인프라 투자등 원전산업 생태계 재건 및 국제경쟁력 복원
  - 청정수소(그린·블루) 생산으로의 전환 추진, 상용차(버스 등) 중심의 수소 모빌리티 기반 구축 등 수소경제 소주기 지원
- (환경) 탄소중립을 新성장동력 확보 기회로 삼는 녹색경제 전환
- (R&D) 글로벌 경제환경 변화에 적극 대응하고 지속가능한 성장을 견인할 수 있는 기술주권 확립과 경제안보 확충을 위한 R&D 투자

□ (2024년 예산안) 에너지원의 안정적 확보를 위해 수소\*, 풍력 등 에너지 신산업 인프라 투자 확대

\* 소규모 수소생산기지 구축(4개소), 수소연료전지발전클러스터 조성(1개소)

〈표 3-2〉 에너지신산업 예산(안)

(단위: 억원)

구분	'23년	'24년(안)	비고
에너지신산업 육성	15,203	14,792	
수소생산기지 구축	88	81	수전해시설 4개소, 탄소포집형 1개소 구축
해외청정암모니아생산 지원	40	60	그린수소·블루수소 프로젝트 지원(각 30억원)
탄소포집활용실증센터구축	37	89	화학전환 실증(1개소), 생물전환 실증(1개소)

자료: 기획재정부, “2024년 예산안” (2023)

- 전기승용차·수소상용차를 중심으로 무공해차 보급을 지속하고, 급속 확대·미래형 충전기\* 도입 등 충전인프라 적극 확충

\* 노후아파트 등 충전사각지대에 설치하는 이동형 급속충전기 300기, 화재위험 최소화를 위한 화재예방 충전기 +10,000기 시범도입

〈표 3-3〉 저탄소를 위한 무공해차 보급 목표(안)

구분	'23년(안)	'24년 목표	전년대비
전기차	67만대	96.6만대	+29.6만대
수소차	4.7만대	5.8만대	+1.1만대
전기차 충전기	30만기	44만기	+14만기
수소차 충전소	320만기	385만기	+65만기

자료: 기획재정부, “2024년 예산안” (2023)

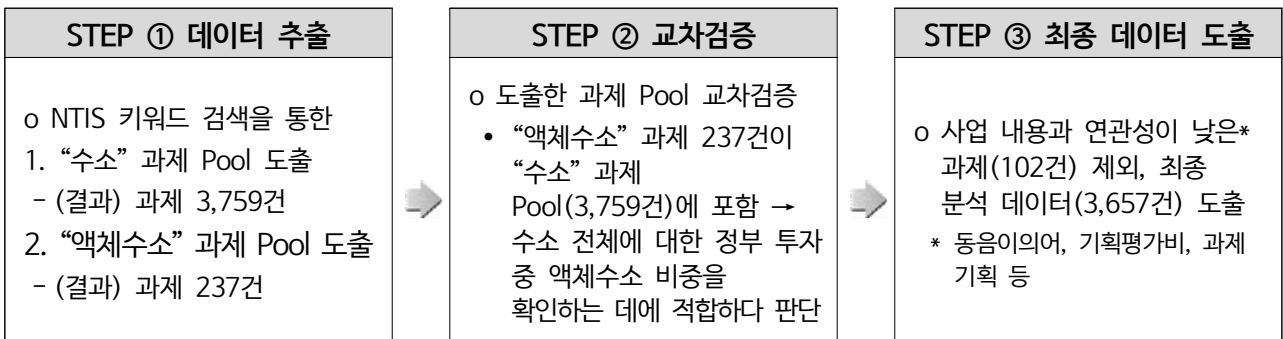
- 다회용기, 전자영수증 등 친환경적 소비와 전기·수도·가스 등 소비절약에 대한 캐시백 인센티브 확대(40 → 100만명)

\* 탄소중립실천포인트제 및 탄소포인트제 등(240 → 311억원)

## 2. 정부 R&D 투자 동향

### 1) 분석 개요

- 동 사업을 대표할 수 있는 핵심 키워드를 중심으로 국가과학기술지식정보서비스 과제 정보를 활용, 최근 5년간('19~'23년) 정부 R&D 투자 동향을 분석
  - (목적) 정부 R&D 투자 규모와 추이, 동향 등을 분석함으로써 장래 국가 차원의 수소 분야 핵심 기술경쟁력 확보를 위한 정부 연구개발 지원 방향성 수립 기초자료로 활용
  - (내용) 정부 R&D 투자 동향은 크게 “수소” 전반에 대한 기초분석과 동 사업의 핵심인 “액체수소” 관련 심층 분석으로 구분하여 단계적으로 수행
  - (범위) 국가과학기술지식정보서비스(이하 NTIS)를 활용하여 최근 5년간('19~'23년) 수행된 수소 및 액체수소 유관 연구개발 과제 Pool을 대상으로 동향 분석
    - ※ NTIS “상세 검색”을 활용하여 기준연도, 과제명(키워드) 검색값을 설정, 도출한 결과임 ('24.8.22. 데이터 추출)
- NTIS 과제 데이터를 기준으로 분석 대상 과제 Pool을 도출하였고, 수소 전체에 대한 정부 R&D 중 액체수소 유관 투자 규모를 분석하기 위해 교차검증을 수행
  - 키워드 검색을 통해 분석 기간 내 수행된 “수소” 유관 과제 3,759건, 별도 키워드 검색을 통해 “액체수소” 관련 237건의 과제가 수행되었음을 확인
  - 각각의 키워드 검색\*을 통해 도출한 데이터를 교차분석한 결과, 액체수소 관련 과제 237건이 수소 과제(3,759건)에 포함되어 있어 분석 데이터로서 정합성을 지니고 있음을 검증
- \* (수소 검색 키워드) “수소 | hydrogen | h2”, (액체수소 검색 키워드) “(액체 | 액화) 수소”
  - 도출한 분석 과제(3,759건) 중 사업 내용과 연관성이 낮은\* 과제(102건)는 제외하여 최종 분석 데이터는 3,657건임
- \* 동음이의어, 기획평가비, 예비타당성조사 기획연구 등 동 사업과 무관한 과제 배제



〈그림 3-1〉 정부 R&D 투자 분석 데이터 도출 프로세스

## 2) 주요 분석 결과

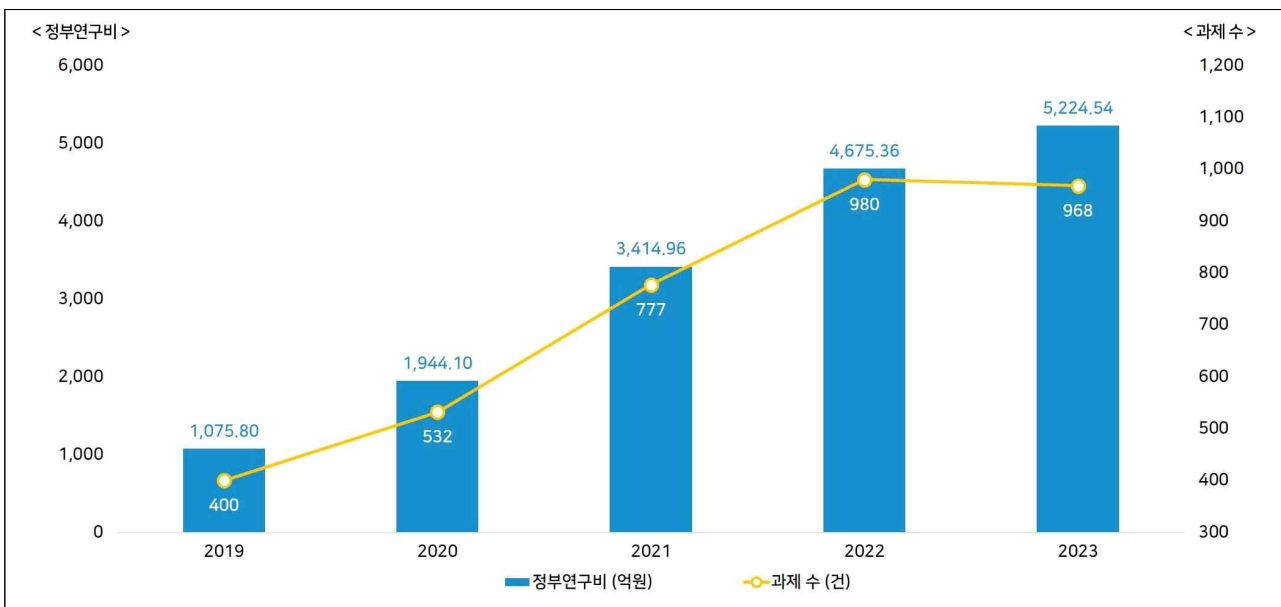
### (1) 총괄

- (수소) 최근 5년간(’19~’23년) 수소 분야 국가연구개발사업 투자 규모는 1조 6,334억 원 수준으로 총 3,657건의 과제가 지원, 과제당 평균 4.46억 원의 정부 재원이 투입
  - (정부연구비) 수소 분야 정부 투자 규모는 지난 5년간 지속 증가 추이를 보이고 있으며, ’20년 들어 전년 대비 80.7% 증가하는 등 대폭 상승세를 기록, ’23년 5천억 원 수준 까지 성장
  - (과제 수) 동기간 과제 수는 ’19년 400건 수준에서 ’23년 968건까지 증가
  - (과제당 연구비) ’19년 2.68억 원에 불과하던 평균 과제 연구비 수준에서 ’23년 5.39억 원으로 상승하였고, 최근 5년간 과제당 평균 연구비는 4.46억 원 수준

〈표 3-4〉 수소 분야 R&D 연도별 투자 현황(2019~2023)

(단위: 억 원, 건, %)

연도	정부연구비		과제 수		과제당 연구비
	투자액	증가율	건수	증가율	
2019	1,075.80	-	400	-	2.68
2020	1,944.10	80.7	532	33.0	3.65
2021	3,414.96	75.7	777	46.1	4.39
2022	4,675.36	36.9	980	26.1	4.77
2023	5,224.54	11.8	968	△1.2	5.39
<b>계(평균)</b>	<b>16,334.76</b>	<b>-</b>	<b>3,657</b>	<b>-</b>	<b>(4.46)</b>



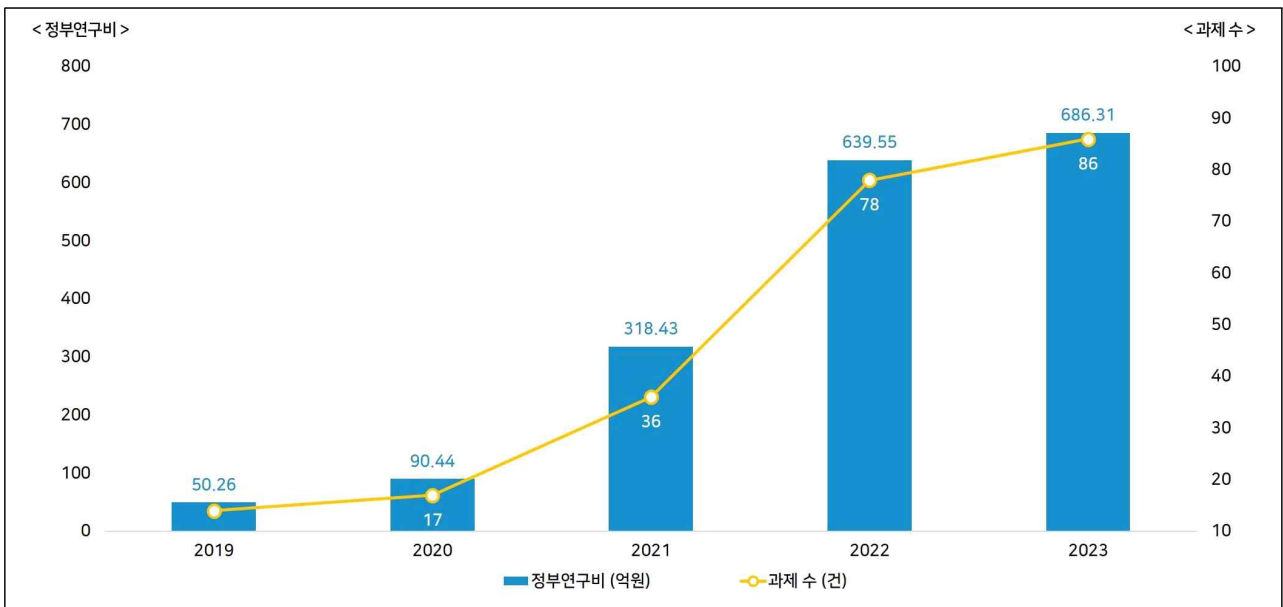
자료: 국가과학기술지식정보서비스(NTIS), 데이터 추출일 2024.08.22

- (액체수소) 이 중 액체수소 유관 과제는 231건으로 정부투자비는 총 1,784.99억 원, 과제당 평균 연구비 규모는 7.72억 원 수준으로 나타남
  - (정부연구비) 분석 범위 내 초기 기간(19~20년) 액체수소 유관 과제 연구비는 100억 원 미만에 머물렀으나, '21년을 기점으로 크게 상승하여 '23년 686억 원까지 확대
  - (과제 수) 정부연구비와 비슷한 추이로 분석 기간 초기 단계에서 액체수소 과제는 20건이 채 되지 않았으나 '21년 36건, '22년 78건, '23년 86건으로 증가
  - (과제당 연구비) 액체수소 유관 과제의 과제당 연구비는 상대적으로 높은 편이며, '21년 8.84억 원으로 정점을 기록하였고, 이후에도 8억 원 안팎의 높은 연구비 추세가 유지

〈표 3-5〉 액체수소 분야 R&D 연도별 투자 현황(2019~2023)

(단위: 억 원, 건, %)

연도	정부연구비		과제 수		과제당 연구비
	투자액	증가율	건수	증가율	
2019	50.26	-	14	-	3.59
2020	90.44	79.94	17	21.43	5.31
2021	318.43	252.09	36	111.76	8.84
2022	639.55	100.84	78	116.67	8.19
2023	686.31	7.31	86	10.26	7.98
<b>계(평균)</b>	<b>1,784.99</b>	<b>-</b>	<b>231</b>	<b>-</b>	<b>(7.72)</b>



자료: 국가과학기술지식정보서비스(NTIS), 데이터 추출일 2024.08.22

## (2) 분야별 분석 결과

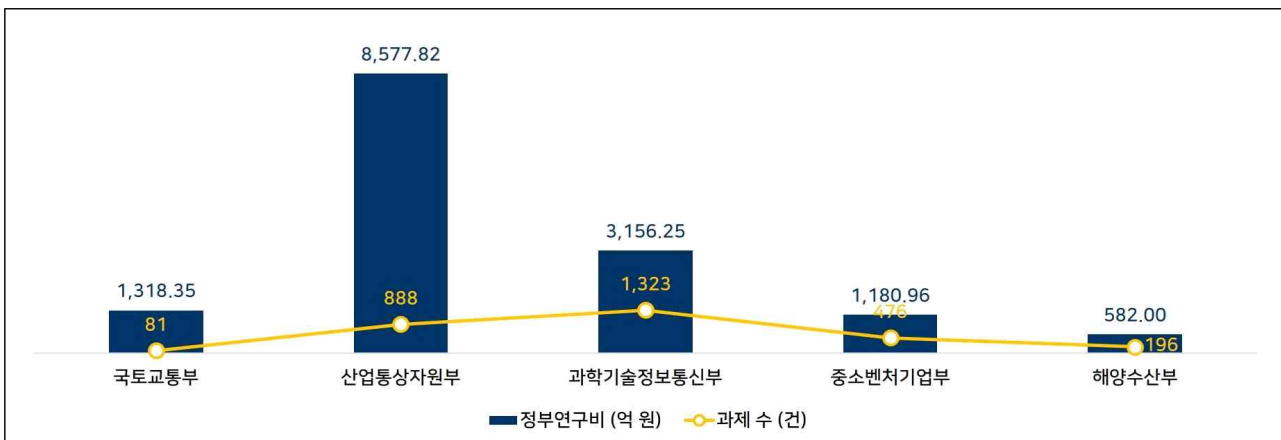
### ① 부처별 투자 동향

- (수소) 최근 5년간('19~'23년) 수소 분야 국가연구개발사업 누적 투자액은 1조 6천억 원 규모로 산업통상자원부의 집행 실적이 52.5%(8,577억 원)로 절반을 상회
  - (정부연구비) 수소 분야 연구비는 산업통상자원부(이하 산업부)가 전체 52.5%(8,577억 원)를 집행하며 가장 많은 투자를 추진 중이었고, 과학기술정보통신부(이하 과기정통부) 19.3%(3,156억 원), 국토교통부(이하 국토부) 8.1%(1,318억 원) 순으로 나타남
  - (과제 수) 최근 5년간 수행된 과제 수는 과기정통부가 누적 1,323건(36.2%)으로 가장 많은 연구과제를 수행하였고, 이어서 산업부 888건(24.3%), 중소벤처기업부(이하 중기부) 476건(13.0%) 순으로 많은 과제를 지원
  - (과제당 연구비) 과제당 평균 연구비 수준은 국토부가 16.27억 원 수준으로 가장 높았고, 산업부가 9.65억 원으로 뒤이어 높게 나타났으며, 이 외 타 부처는 3억 원 미만의 낮은 연구비 단가를 기록

〈표 3-6〉 [수소] 부처별 정부연구비 및 과제 수, 과제당 연구비 현황

(단위: 억 원, 건, %)

부처	정부연구비		과제 수		과제당 연구비
	투자액	비중	건수	비중	
국토교통부	1,318.35	8.1	81	2.2	16.27
산업통상자원부	8,577.82	52.5	888	24.3	9.65
과학기술정보통신부	3,156.25	19.3	1,323	36.2	2.38
중소벤처기업부	1,180.96	7.2	476	13.0	2.48
해양수산부	582.00	3.6	196	5.4	2.96
기타	1,519.38	9.3	693	19.0	2.19
계	16,334.76	100.0	3,657	100.0	4.46



자료: 국가과학기술지식정보서비스(NTIS), 데이터 추출일 2024.08.22

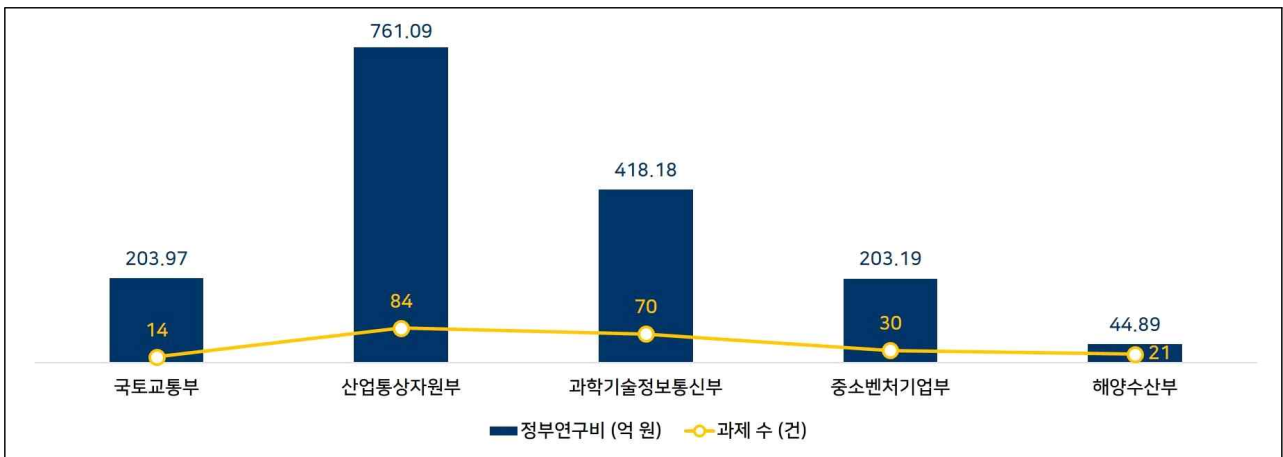
□ (액체수소) 액체수소 유관 과제 투자 추이는 전체 수소 분야와 비슷한 경향을 보이고 있으며, 전반적으로 과제당 연구비가 높게 형성

- (정부연구비) 최근 5년간('19~'23년) 액체수소 유관 과제에 투입된 정부연구비 중 42.6%(761억 원)가 산업부의 투자로, 수소 분야와 동일하게 과기정통부(23.4%, 418억 원), 국토부(11.4%, 203억 원) 순으로 많은 연구비를 투입
- (과제 수) 정부연구비 투입이 많은 산업부, 과기정통부의 비중이 전체 66.7%로 대다수를 차지하며, 중기부가 13.0%(30건)로 많은 연구과제를 지원
- (과제당 연구비) 국토부의 평균 과제당 연구비 수준(14.6억 원)이 압도적으로 높았고, 액체수소 유관 과제 지원이 활발한 산업부, 과기정통부는 각 9.06억 원, 5.97억 원 수준을 기록

〈표 3-7〉 [액체수소] 부처별 정부연구비 및 과제 수, 과제당 연구비 현황

(단위: 억 원, 건, %)

부처	정부연구비		과제 수		과제당 연구비
	투자액	비중	건수	비중	
국토교통부	203.97	11.42	14	6.07	14.56
산업통상자원부	761.09	42.63	84	36.36	9.06
과학기술정보통신부	418.18	23.42	70	30.31	5.97
중소벤처기업부	203.19	11.38	30	12.98	6.77
해양수산부	44.89	2.51	21	9.09	2.13
기타	153.67	8.64	12	5.19	12.80
<b>계</b>	<b>1,784.99</b>	<b>100</b>	<b>231</b>	<b>100</b>	<b>7.72</b>



자료: 국가과학기술지식정보서비스(NTIS), 데이터 추출일 2024.08.22

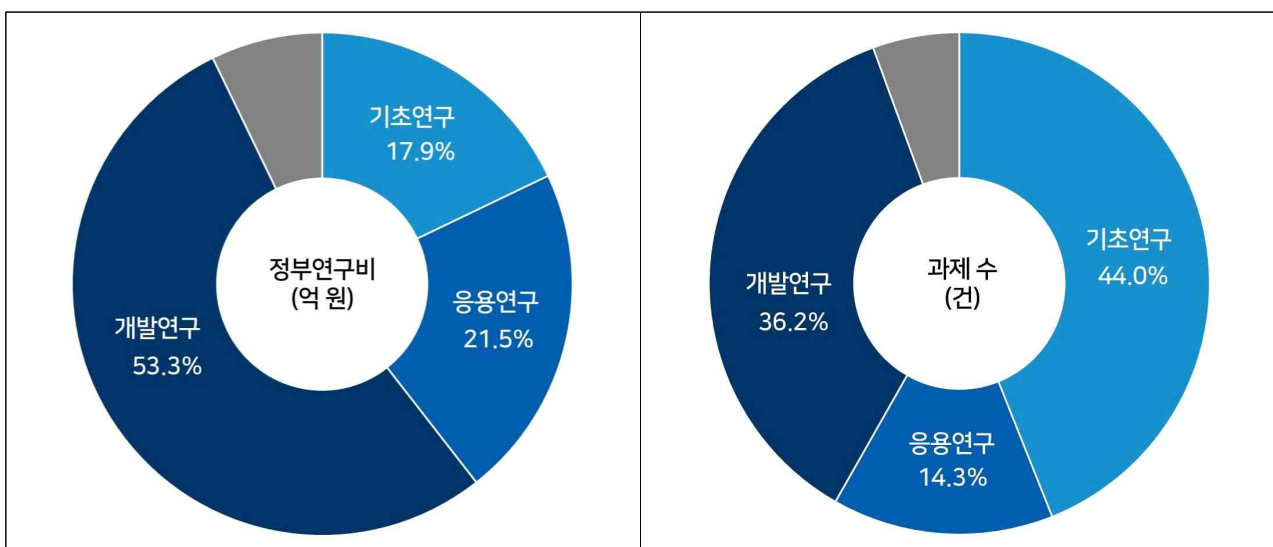
## ② 연구개발단계별 투자 현황

- (수소) 수소 분야 과제 중 53.3%가 개발연구 단계고, 응용연구, 기초연구 순으로 비중이 높게 나타난다는 점을 미루어 볼 때, 수소 분야 연구는 일정 수준 활용 단계에 도달하였음을 짐작할 수 있음
  - (기초연구) 최근 5년간('19~'23년) 정부연구비 2,928.77억 원이 투입되었고, 과제 수 또한 가장 많은 수(1,608건)를 보였으나, 과제당 평균 연구비는 1.7억 원으로 낮은 편
  - (응용연구) 가장 적은 수의 과제(524건)가 수행되었으나, 정부연구비는 3,511.47억 원 수준으로 연구 단계 중 가장 높은 과제당 평균 연구비(6.62억 원) 수준을 기록
  - (개발연구) 동 기간 개발연구에 투입된 정부연구비는 총 8,711.79억 원으로 53.3%로 절반을 상회하였고, 수행된 과제는 1,322건, 과제당 연구비는 6.08억 원 수준임

〈표 3-8〉 [수소] 연구개발단계별 정부연구비 및 과제 수, 과제당 연구비 현황

(단위: 억 원, 건, %)

구분	정부연구비		과제 수		과제당 연구비
	투자액	비중	건수	비중	
기초연구	2,928.77	17.9	1608	44.0	1.75
응용연구	3,511.47	21.5	524	14.3	6.62
개발연구	8,711.79	53.3	1322	36.2	6.08
기타	1,182.73	7.2	203	5.6	5.08
계(평균)	16,334.76	100.0	3,657	100.0	4.46



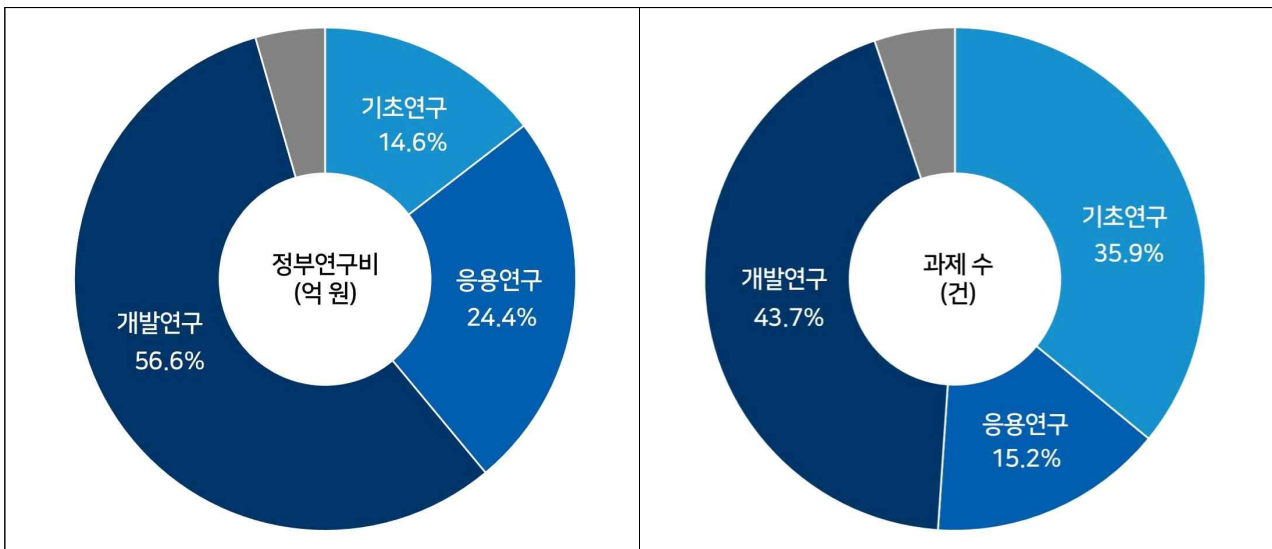
자료: 국가과학기술지식정보서비스(NTIS), 데이터 추출일 2024.08.22

- (액체수소) 최근 5년간('19~'22년) 개발연구 단계에 가장 많은 정부연구비가 투입되었고, 수소 분야와 동일하게 응용연구, 기초연구 순으로 나타남
  - (기초연구) 액체수소 분야 전체 정부연구비 중 14.6%(259.98억 원)가 집행되었고, 과제 수는 전체 35.9% 수준으로 높게 나타나 과제당 연구비가 3.13억 원 규모로 상대적으로 낮은 편
  - (응용연구) 가장 높은 과제당 연구비(12.44억 원) 수준을 보였고, 정부연구비 투입 비중이나 과제 수 모두 크지 않은 규모임
  - (개발연구) 동 기간 가장 많은 정부연구비(1,009.49억 원)가 투입되었고, 과제 수 대비 높은 투자로 과제당 연구비 또한 큰 축에 속함

〈표 3-9〉 [액체수소] 연구개발단계별 정부연구비 및 과제 수, 과제당 연구비 현황

(단위: 억 원, 건, %)

구분	정부연구비		과제 수		과제당 연구비
	투자액	비중	건수	비중	
기초연구	259.98	14.6	83	35.9	3.13
응용연구	435.50	24.4	35	15.2	12.44
개발연구	1,009.49	56.6	101	43.7	9.99
기타	80.02	4.5	12	5.2	6.66
계(평균)	1,784.99	100.0	231	100.0	7.72



자료: 국가과학기술지식정보서비스(NTIS), 데이터 추출일 2024.08.22

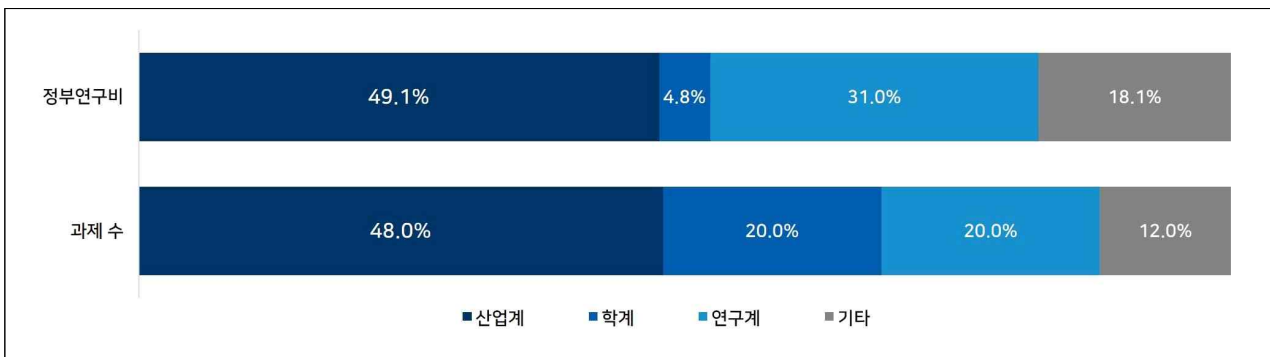
### ③ 연구수행주체별 투자 현황

- (수소) 수소 분야 과제는 산업계가 전체 49.0%(8,007.95억 원)로 절반에 가깝고, 연구계 2,921.32억 원(17.9%), 학계 2,443.78억 원(15.0%) 순으로 나타남
- (산업계) 산업계가 수행한 과제 연구비(8,007.95억 원) 중 대부분(57.7%)이 중소기업 (4,623.66억 원) 실적으로, 수소 분야 연구개발은 산업계 중에서도 중소기업 위주로 이루어 지고 있음을 확인
- (학계) 전체 연구비 중 15.0%(2,443.78억 원)가 학계에서 집행한 연구비로 과제 수 기준 가장 많은 과제를 수행하고 있다는 점을 견주어 볼 때, 비교적 소규모 과제를 다수 수행하는 경향이 있다고 판단됨
- (연구계) 출연연구소를 중심으로 수소 분야 연구과제가 수행되고 있으며, 이는 정부 연구비(97.6%)나 과제 수(95.7%) 규모에서 압도적인 비중이 방증

〈표 3-10〉 [수소] 연구수행주체별 정부연구비 및 과제 수, 과제당 연구비 현황

(단위: 억 원, 건, %)

구분	정부연구비		과제 수		과제당 연구비
	투자액	비중	건수	비중	
산업계	8,007.95	49.0	1,273	34.6	6.29
대기업	1,550.49	19.4	95	7.5	16.32
중견기업	1,833.79	22.9	202	15.9	9.07
중소기업	4,623.66	57.7	976	76.7	4.73
학계	2,443.78	15.0	1,593	43.6	1.53
연구계	2,921.39	17.9	485	13.2	6.02
국공립연구소	71.22	2.4	21	4.3	3.39
출연연구소	2850.16	97.6	464	95.7	6.14
기타	2,961.64	18.1	306	8.4	9.67
계	16,334.76	100.0	3,657	100.0	7.72



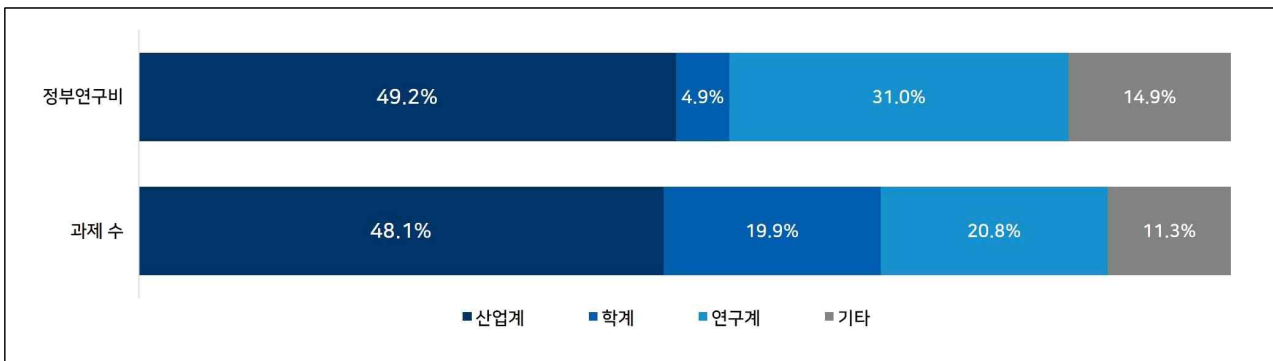
주: 기타는 정부부처, 기타 등을 포함  
 자료: 국가과학기술지식정보서비스(NTIS), 데이터 추출일 2024.08.22

- (액체수소) 수소 분야와 마찬가지로 산업계에서 가장 많은 연구비(878.2억원, 49.2%)가 투입되었고, 연구계(31.0%) 또한 적지 않은 비중으로 대다수 연구가 산업계와 연구계에 집중
  - (산업계) 전체 정부연구비의 49.2%(878.20억 원)를 집행하였고, 이 중 대다수가 중소기업(67.2%, 590.46억 원)이 수행한 것으로 수소 분야 정부연구비 추이와 비슷한 경향성을 보임
  - (학계) 정부연구비 및 과제 수 규모에서 가장 낮은 집행 실적을 보였고, 특히, 정부연구비 규모에서 전체 5% 미만의 매우 낮은 비중을 차지
  - (연구계) 과제 수(48건) 자체는 많지 않은 편이나, 높은 정부연구비 투입 규모로 과제당 연구비(11.53억 원)가 가장 높게 나타남

〈표 3-11〉 [액체수소] 연구수행주체별 정부연구비 및 과제 수, 과제당 연구비 현황

(단위: 억 원, 건, %)

구분	정부연구비		과제 수		과제당 연구비
	투자액	비중	건수	비중	
산업계	878.20	49.2	111	48.1	7.97
대기업	154.14	17.6	5	4.5	30.82
중견기업	133.60	15.2	17	15.3	7.85
중소기업	590.46	67.2	89	80.2	6.63
학계	86.64	4.9	46	19.9	1.88
연구계	553.62	31.0	48	20.8	11.53
국공립연구소	29.19	5.3	1	2.1	29.19
출연연구소	524.43	94.7	47	97.9	11.15
기타	266.52	14.9	26	11.3	10.25
계	1,784.99	100.0	231	100.0	7.72



주: 기타는 정부부처, 기타 등을 포함

자료: 국가과학기술지식정보서비스(NTIS), 데이터 추출일 2024.08.22

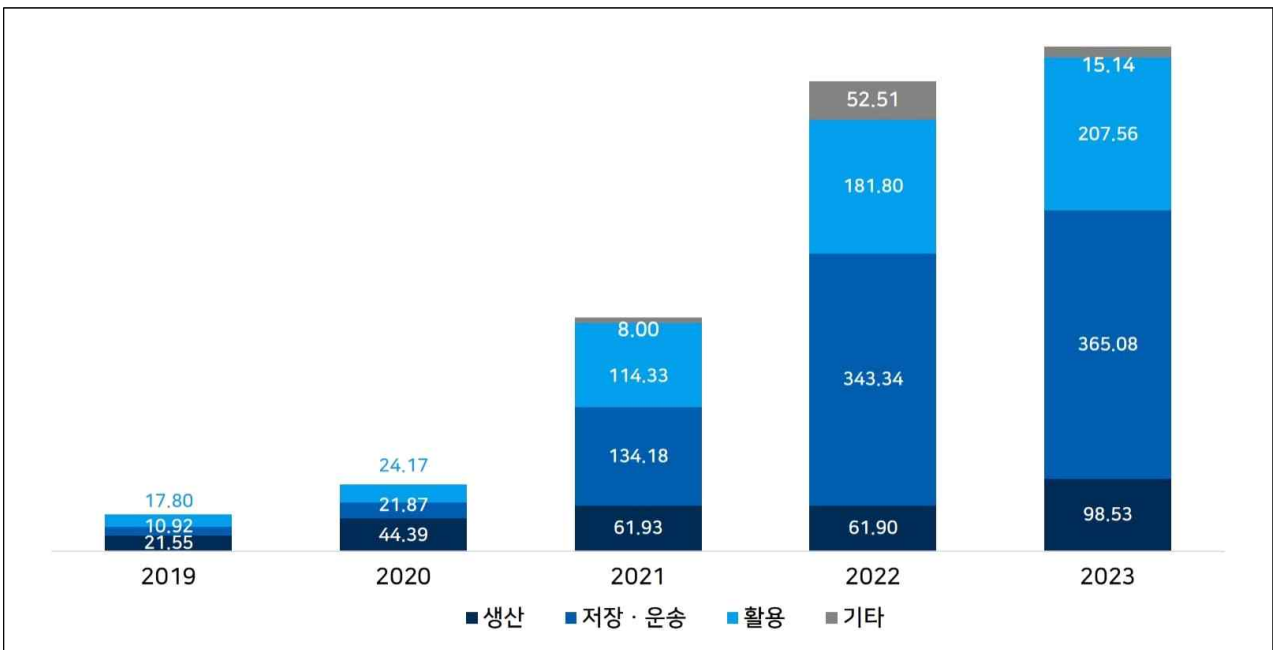
### (3) 액체수소 R&D 투자 심층 분석

- 액체수소 분야 정부 R&D 투자는 '19년 이후 매년 투자가 확대되고 있으며, ' 21년을 기점으로 정부 R&D 투자 규모가 큰 폭으로 증가
  - 액체수소 R&D 과제를 “생산, 저장·운송, 활용” 로 분류, 지난 5년간(' 19~' 23년) 정부 R&D 추이를 살펴본 결과, ' 20년 100억 원 미만이었던 투자 규모가 ' 21년 300억 원 이상으로 급증하고, ' 22년 640억 원을 기록하는 등 지속 확대
    - ' 21년 정부 R&D 투자 규모 확대는 ‘저장’ 및 ‘활용’ 분야 과제 수 증가에서 비롯
      - 수소 상용차· 선박용 액체수소 저장탱크 관련 소재· 부품 개발, 액체수소 수입을 위한 터미널 설계, 액체수소 공급시스템 핵심 기자재 개발 등 다수의 신규 과제 지원이 착수
      - 동시에 강원 액화수소산업 인프라 구축, 수소 기관차나 드론 등 모빌리티용 액체수소 활용 기술 지원이 확대

〈표 3-12〉 연도별 액체수소 전주기별 R&D 투자 현황(2019~2023)

(단위: 억 원)

구분	2019	2020	2021	2022	2023	계
생산	21.55	44.39	61.93	61.90	98.53	288.30
저장·운송	10.92	21.87	134.18	343.34	365.08	875.39
활용	17.8	24.17	114.33	181.8	207.56	545.66
기타	-	-	8.00	52.51	15.14	75.65
<b>계</b>	<b>50.26</b>	<b>90.44</b>	<b>318.44</b>	<b>639.55</b>	<b>686.31</b>	<b>1,785.00</b>



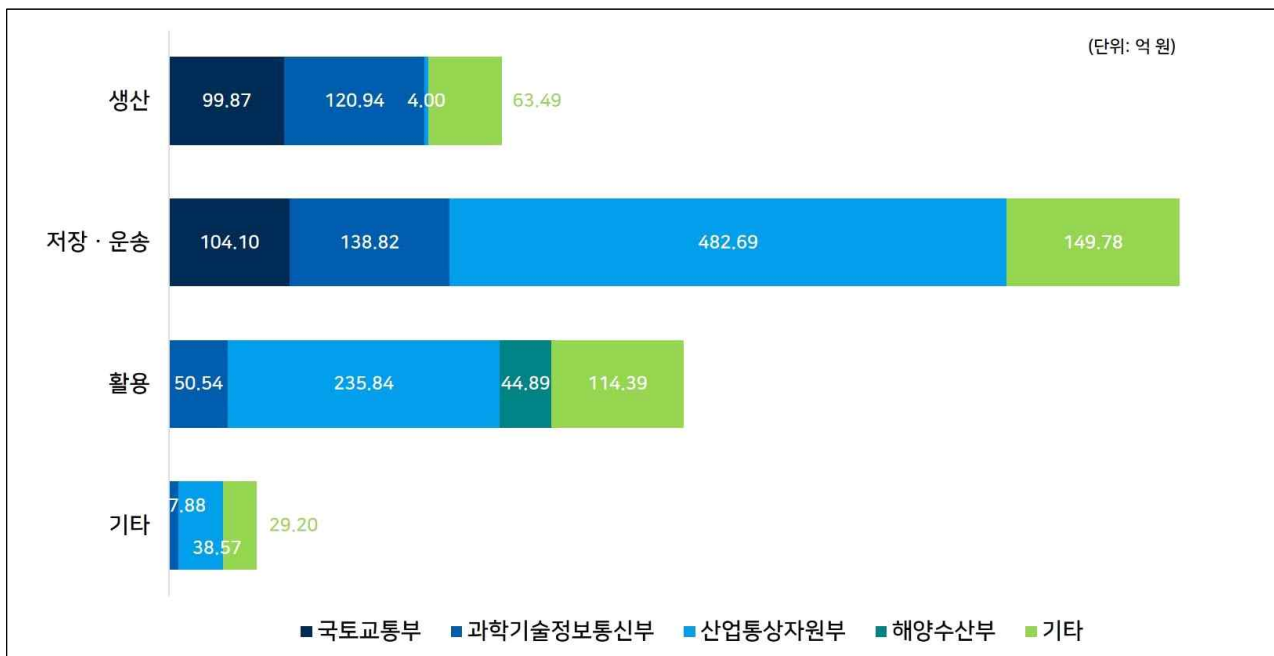
〈그림 3-2〉 연도별 액체수소 전주기별 R&D 투자 현황(2019~2023)

- 주요 부처별로 살펴보면, 동 사업의 핵심 영역인 ‘저장·운송’ 분야에서 가장 많은 정부 연구비를 지원한 부처는 산업부(482.69억 원, 63.4%)로 나타남
  - 생산 분야에서는 과기정통부의 투자 규모(120.94억 원, 42.0%)가 가장 크게 나타났고, 저장·운송의 경우, 산업부(482.69억 원, 55.1%)의 비중이 가장 크게 나타남
  - 활용 분야에서도 산업부의 비중이 압도적으로 크게 나타났는데, 액체수소 트레일러, 선박용 액체수소 탱크 등의 저장 기술뿐 아니라 충전소용 펌프 개발이나 액체수소를 연료로 사용하는 다양한 활용처를 지원하는 데에 기인

〈표 3-13〉 부처별 액체수소 전주기별 R&D 투자 현황(2019~2023)

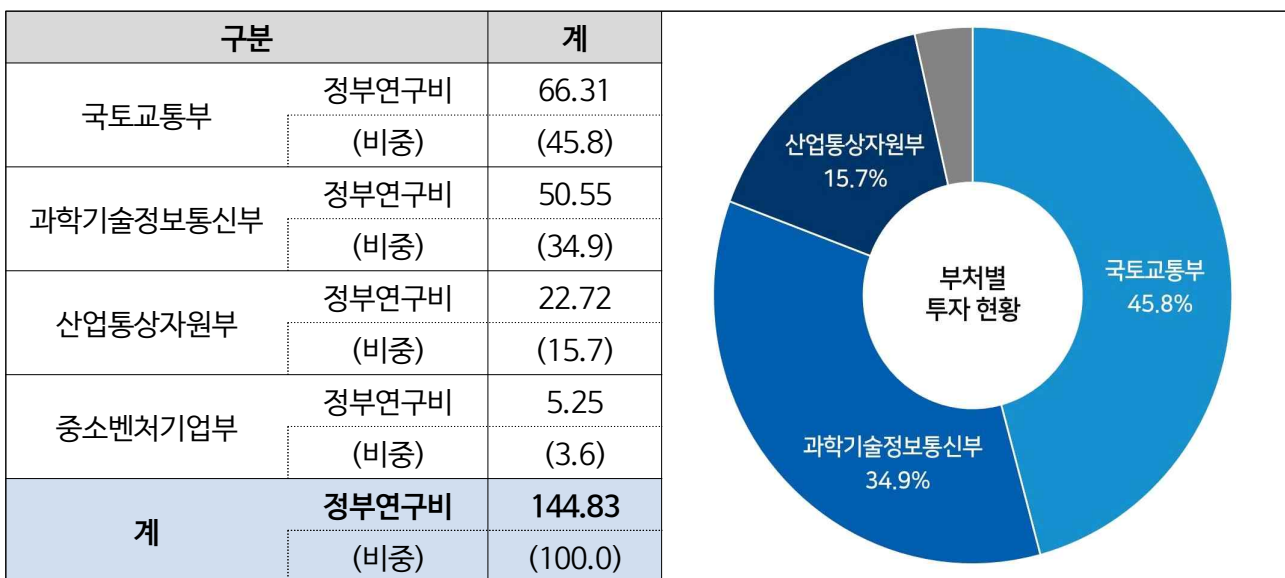
(단위: 억 원, %)

구분	국토부	과기정통부	산업부	해수부	기타	계
생산	99.87	120.94	4.00	-	63.49	288.30
(비중)	(34.6)	(42.0)	(1.4)	-	(22.0)	(100.0)
저장·운송	104.10	138.82	482.69	-	149.78	875.39
(비중)	(11.9)	(15.9)	(55.1)	-	(17.1)	(100.0)
활용	-	150.54	235.84	44.89	114.39	545.66
(비중)	-	(27.6)	(43.2)	(8.2)	(21.0)	(100.0)
기타	-	7.88	38.57	-	29.20	75.65
(비중)	-	(10.4)	(51.0)	-	(38.6)	(100.0)
<b>계</b>	<b>203.97</b>	<b>418.18</b>	<b>761.10</b>	<b>44.89</b>	<b>356.86</b>	<b>1,785.00</b>
(비중)	(11.4)	(23.4)	(42.6)	(2.5)	(20.0)	(100.0)



〈그림 3-3〉 부처별 액체수소 전주기별 R&D 투자 현황(2019~2023)

- 특히, 저장·운송 분야 과제(120건) 중 ‘국가전략기술’ 내 “수소 저장·운송” 으로 분류된 과제는 총 15건으로, 지난 5년간 총 144.83억 원의 정부 연구비가 투입
  - “수소 저장·운송” 기술로 구분된 15건의 과제에 대해 심층적으로 분석한 결과, 국토부(66.31억 원, 45.8%)의 연구비 규모가 가장 크게 나타났고, 액체수소 플랜트 및 플랜트용 압축기 기술개발 과제에 투입
  - 이어서 과기정통부(50.55억 원, 34.9%) 비중이 크게 나타났는데, 액체수소 운송선용 단열시스템 개발, 액체수소 저장을 위한 신소재 개발 등 기초연구 지원이 활발하게 나타남



〈그림 3-4〉 국가전략기술 “수소 저장·운송” 과제 부처별 투자 현황

## 2절 유사사업 분석

### 1. 분석 개요 및 대상 선정

#### 1) 분석 개요

- (목적) 연구개발사업 기획 시 기존 국가연구개발사업과의 중복투자를 사전검토하고 유사성을 내포한 사업(과제)과의 차별성·연계 방안을 제시
  - 예비타당성조사에서 유사사업 분석은 사업 단위에서 목적, 추진체계 및 방식, 기술 개발 활동 간 차별성 및 연계 방안을 검토하는 목적에서 수행
  - 기존 사업과의 차별성, 연계성 도출을 통해 동 사업의 추진 적절성과 타당성을 뒷받침하는 정책적 논거로 활용
- (방법) 국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침(KISTEP, '24.7)에서 제시하고 있는 판단 요소를 바탕으로 분석 대상 사업을 선정하여 비교, 분석
  - 국가과학기술지식정보서비스(이하 NIS) 국가 R&D 사업 및 과제 정보를 통해 동 사업의 목적, 내용, 기술 개발 등에 대해 유사성이 높다고 판단되는 사업을 선별

〈표 3-14〉 국가연구개발사업의 중복성 분석 기준틀

판단요소	분류기준	판단기준	비고
사업목표	① 사업목적 ② 경제사회적 목적(과학기술표준분류, 적용분야)	분류의 동일성	세부목표
지원대상	○ 연구수행 주체		지원자격, 선정기준
지원분야	① 과학기술표준분류(연구분야) ② 미래유망기술분류 ③ 국가기술지도분류		개발단계, 기술수명주기



종합판단	〈원칙〉 사업목표, 지원대상, 지원분야가 모두 유사한 사업은 중복가능성 있음 ① 개별 분석항목 (목표, 대상, 분야)에서 2가지 이상 유사하게 분류될 경우, 유사사업으로 판단 ② 지원분야의 경우 분류의 동일성이 가장 높은 분류체계를 중심으로 분석 〈예외〉 세부 자료가 존재하는 경우 구체적 사안에 따른 분석 수행
------	---

자료: 한국과학기술기획평가원, “국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침” (2024.07)

## 2) 분석 대상 선정

- 유사사업 검토 대상 선정은 관련 지침에 따라 △사업목적, △사업 내용, △지원 대상 관점에서 중복성 여부를 판단하고, 키워드 기반 검색을 통해 대상 사업을 선정
  - NTIS 내 등록된 사업(과제) 정보를 토대로 키워드 검색\*을 통해 유사·중복성 검토가 필요한 검토 대상 사업 후보군 사업(41개)을 도출
    - \* 분석 키워드는 “(액화 | 액체 | 수소 | 플랜트 | 적하역 | 인수기지 | 터미널 | 저장 | 송출 | 안전) 수소”로, 괄호 안의 키워드가 하나 이상 포함된 사업을 우선 탐색하고 이들 중 수소 키워드가 포함된 사업을 제시할 수 있도록 검색 연산자를 활용
  - 이에, 동 사업의 중점 영역인 액체수소 저장탱크, 적하역 시스템 등 관련성이 높은 대상 사업(5개)으로 압축하고, 상세 사업 내용을 기반으로 3개 사업에 대한 분석 수행
    - ※ 동 사업과의 관련성을 판단하기 위해 해당 사업을 통해 수행된 과제 목록을 검토, 수소 액화 플랜트나 액체수소 터미널 유관 연구개발 과제가 포함된 경우, 동 사업과 관련성이 높은 대상이라 판단하였음

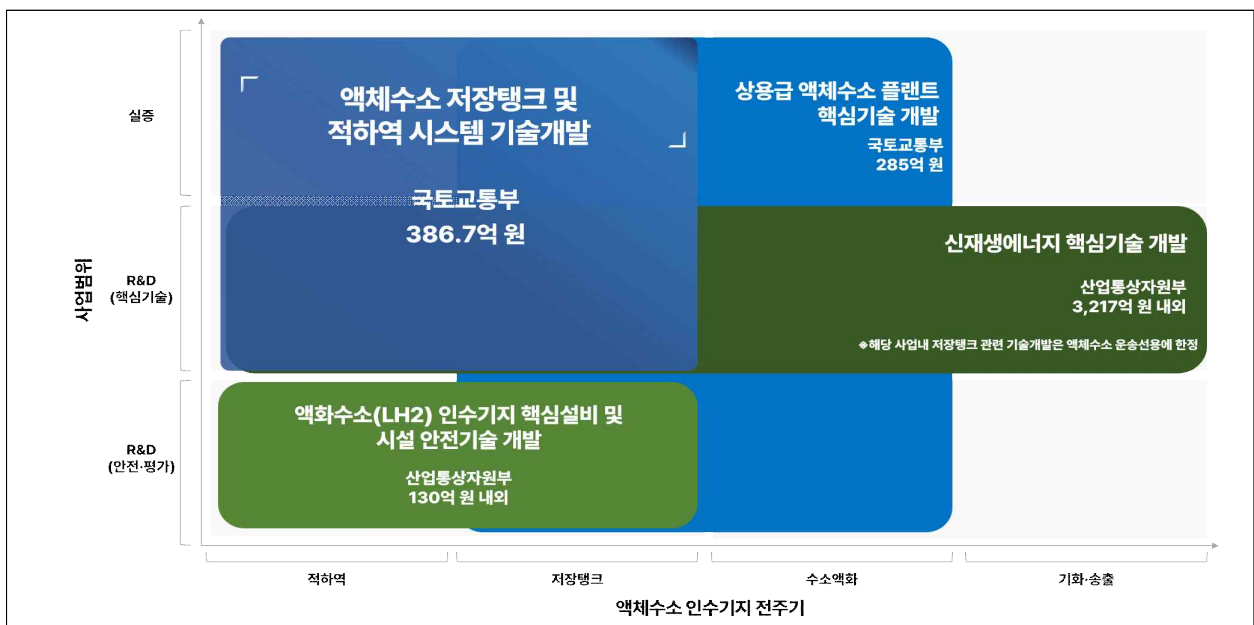
〈표 3-15〉 중복성 검토를 위한 검토 대상 사업 목록

부처명	사업명	사업 기간	사업비(억 원)	지원 대상	분석대상
국토부	수소 도시용 수소 배관망 건설 운영 기술 개발	'23~'26	280	대학, 기업, 출연연 등	
	상용급 액체수소 플랜트 핵심 기술 개발	'19~'25	290		✓
산업부	신재생에너지기술개발	'06~'29	3,217	기업, 대학, 연구소 등	✓
	액체수소 충전소용 저장용기 및 수소 공급시스템 기술 개발 및 운영실증	'22~'25	303		
	액화수소(LH2) 인수기지 핵심설비 및 시설 안전기술 개발	'25~'28	130		✓

자료: 국가과학기술지식정보서비스(NTIS), '25.4.29. 최종검색

## 2. 분석 결과

- 동 사업은 액체수소 인수기지를 위한 저장탱크 및 적하역 시스템 핵심 기술 개발을 목적으로 하여 기존 액체수소 관련 사업과 중복성 우려는 없으며, 既 수행된 사업 성과물과 연계함으로써 고도화가 가능할 것으로 사료
- (차별성) 분석 대상 사업은 액체수소 저장탱크, 적하역 시스템 등을 대상으로 기술 개발을 추진하는 점에서 일부 유사성이 존재하나, 상세 기술개발 및 실증 내용 상에서 상이하여 중복성 우려 없음
  - 「액화수소(LH2) 인수기지 핵심설비 및 시설 안전기술 개발」(국토부)은 액체수소 저장탱크 및 적하역 시스템의 단열 성능, 안전성 및 성능 평가 기술 개발에 집중
  - 「상용급 액체수소 플랜트 핵심기술 개발」(국토부)은 수소액화 플랜트 핵심기술 개발 및 실증을 목적으로 하며, 액화한 수소를 저장할 저장탱크 실증 또한 포함하나 저장용량과 형태 측면에서 동 사업과 상이
  - 「신재생에너지 핵심기술 개발」(산업부)는 수소 전주기 기술개발을 추진하나 저장탱크 측면에서는 운송선용 화물창 개발에 집중하여 동 사업과 대상 측면에서 차별적
- (연계방안) 유사사업의 성과인 기자재, 안전·성능평가 기준 등을 동 사업 실증 시 활용 하는 방향으로 연계 가능
  - 특히, 「액화수소 인수기지 핵심설비 및 시설 안전기술개발」(산업부)에서 수행 중인 액체수소 저장탱크 및 적하역 시스템 성능·안전평가 기술개발 성과물과 연계하여 동 사업 실증 시 활용



〈그림 3-5〉 동 사업 포지셔닝

〈표 3-16〉 유사사업 분석 결과 요약

사업명	액화수소(LH2) 인수기지 핵심설비 및 시설 안전기술 개발	상용급 액체수소 플랜트 핵심기술 개발	신재생에너지 핵심기술 개발
주관부처	산업통상자원부	국토교통부	산업통상자원부
분야	에너지(수소)	교통 및 물류	산업·중소기업 및 에너지
사업기간	'25~'28	'19~'23	'06~'29 (일몰관리혁신)
지원규모	○ (저장탱크 단열성능) 90억 원 ○ (적하역 시스템) 40억 원 내외	290억 원	3,217억 원('24년)
지원대상	대학, 출연연, 기업 등	기업, 대학, 연구소 등	기업, 대학, 연구소 등
사업목적	○ (저장탱크) 대용량 액체수소 저장탱크·이송 배관망 등에 대한 단열성능 평가 기술 및 시험장치 개발, 안전기준 제도화 ○ (적하역 시스템) 적하역 시스템 안전성 평가 및 평가기준 제도화	○ 수소액화 플랜트 공정기술 및 수소액화 핵심설비, 액체수소 저장탱크 기술 개발을 통해 수소의 대용량 생산·저장·운송·활용 기반 마련	○ 신재생에너지 핵심기술 고도화 및 미래기술 선점을 통한 신재생에너지·연관산업 글로벌 경쟁력 강화 및 자원안보에 기여
사업내용	○ (저장탱크) 저장탱크 단열성능 기술/기준 분석, 평가 시스템 개발 등 ○ (적하역) 공정, 기자재 안전성 평가, 안전 기준 개발	○ 도시 내 수소의 대용량 저장 및 운송, 활용을 위한 액체수소 플랜트 공정기술, 핵심설비 국산화 기술 개발 및 실증플랜트 구축·운영	○ 수소산업 생태계 조성 및 강화를 위한 수소생산, 수소저장·운송, 인프라 구축 및 안전성 확립을 위한 기술 개발
차별성/연계방안	○ 해당 사업은 액체수소 저장탱크 단열 성능 평가, 적하역 시스템 시스템 및 공정 설계 안정성 평가를 주목적으로 하며, 동 사업과 차별성 존재 ○ 해당 사업을 통해 개발한 단열 성능 평가 및 적하역 시스템 및 기자재 안전성 평가 기준을 동 사업 실증 시 활용하여 신속한 실증을 수행하는 방향으로 연계	○ 대상사업은 수소액화 플랜트 공정 및 핵심 기자재(Cold box, Turbo Expander, 밸브 등) 기술 개발에 주력하고 있으나, 동 사업은 액체수소 저장탱크 설계, 건설 및 적하역 시스템 등을 기술개발 및 실증하는 것을 목적으로 하여 차별성 존재	○ 대상사업의 액체수소 관련 기술 개발과제는 운송선 개발 및 부품·장비·소재 기술 개발에 한정되어 추진되고 있어 동 사업의 기술 개발 범위와 차별성 존재 ○ 적하역 설계 및 배관망 구축 등 액체수소 저장·운송 기술에 필요한 연구 성과물을 연계하여 동 사업에서 고도화 가능

## 1) 액화수소(LH2) 인수기지 핵심설비 및 시설 안전기술개발

- (검토 결과) 해당 사업은 액체수소 저장탱크 및 적하역 시스템 안전 기준, 성능평가 기술개발에 집중, 액체수소 저장탱크 및 적하역 시스템 핵심기술개발 및 실증을 추진하는 등 사업과 기술개발 목적 및 범위 측면의 차별성 존재
  - (유사성) 해당 사업은 액체수소 저장탱크 및 적하역 시스템 관련 안전·성능평가를 수행하여 대상 측면에서 동 사업과 일부 유사성 보유
  - (차별성) 해당 사업은 액체수소 저장탱크 단열 성능 평가, 적하역 시스템 시스템 및 공정 설계 안정성 평가를 주 목적으로 하며, 200m³급 액체수소 저장탱크 건설을 위한 금속 물성 연구, BOG 비상제어 시스템 등을 개발 및 실증하는 등 사업과 차별성 존재
  - (연계방안) 해당 사업을 통해 개발한 단열 성능 평가 및 적하역 시스템 및 기자재 안전성 평가 기준을 동 사업 실증 시 활용하여 신속한 실증을 수행하는 방향으로 연계 가능

〈표 3-17〉 「액화수소(LH2) 인수기지 핵심설비 및 시설 안전기술개발」 개요

사업명	액화수소(LH2) 인수기지 핵심설비 및 시설 안전기술개발
사업목적	액체수소 플랜트 주요 핵심설비인 냉매 압축기의 국산화 개발과 실증을 통해 액체수소의 생산효율 제고 및 대용량 수소 저장·운송 기반 확대
주관부처	산업통상자원부
사업기간	‘25~’28
지원규모	○ (액화수소 인수기지 저장탱크) 90억 원 내외 ○ (적하역 시스템 안전성 평가) 40억 원 내외
지원대상	대학, 출연연, 기업 등
사업내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ (저장탱크) 액화수소 인수기지 대용량(40,000m³) 저장탱크·이송 배관망 등에 대한 단열성능 평가 기술·시험장치 개발 및 현장 적용 실증을 통한 안전기준 제도화                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- (단열성능 기술/기준 분석 및 평가) 해와 액화수소 구조, 이송시스템 등 단열성능 기술/안전기준 개발 분석</li> <li>- (단열성능 평가 시스템 개발) 저장탱크·이송시스템별 BOG 계산법, 관리 시스템 개발</li> <li>- (시험장치/설비 및 시험방법 개발) 저장탱크·이송시스템 파일럿 시험장치 개발·제작 및 Test Bed 구축</li> <li>- (단열성능 평가 시스템 시제품 현장 적용 실증) 저장탱크·이송시스템에 단열성능 평가 파일럿 시험장치/설비 연계 현장적용 성능 확인 등</li> </ul> </li> <li>○ (적하역 시스템) 액화수소 육상 이송 적하역 시스템 공정 설계 안전성 평가, 기자재 구조 안전성 평가 등                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- (공정 설계 안정성 평가) 적하역 시스템 공정 시뮬레이션, 최적화 설계 개발, BOG 처리 기술 개발 등</li> <li>- (적하역 시스템 기자재 구조 평가) 적하역 시스템 기자재에 대한 구조 안전성 평가 틀 개발</li> <li>- (적하역 시스템 안전기준 개발) 적하역 시스템 위험성평가 기반 안전기준 개발</li> </ul> </li> </ul>

## 2) 상용급 액체수소 플랜트 핵심기술 개발

- (검토 결과) 해당 사업은 수소 경제·사회 실현을 위한 수소액화 공정, 수소액화 핵심 기자재, 액체수소의 저장 기술 개발을 강조하나 용량, 유형 등에서 동 사업과의 중복성 우려 없음
- (유사성) 수소액화 플랜트를 구축·실증하기 위해 수소 액화 및 저장을 위한 핵심 기자재 기술 개발을 추진하는 점에서 일부 유사성 존재
- (차별성) 수소의 저장 목적에 따라 액체수소 저장탱크 규모 및 유형의 차이가 존재
  - 해당 사업은 국내 수소액화 플랜트에서 생산된 액체수소를 저장하기 위한 저장탱크(소형(35m<sup>3</sup>) 및 대형(350m<sup>3</sup>)) 개발을 추진하고 있으나,
  - 동 사업은 해외에서 수입하는 수소까지 고려하여 대용량 액체수소 저장탱크(설계·실증(200m<sup>3</sup>, 4,000m<sup>3</sup>) 및 설계(40,000m<sup>3</sup>) 기술 개발을 추진
- (연계방안) 수소액화 설비 실증에 적용한 저장탱크 금속 소재 물성 데이터 등 기술 개발 시 활용가능한 기초자료 단계에서 연계 가능

〈표 3-18〉 「상용급 액체수소 플랜트 핵심기술 개발」 사업 개요

사업명	상용급 액체수소 플랜트 핵심 기술 개발	
사업목적	수소액화 플랜트 공정기술 및 수소액화 핵심설비, 액체수소 저장탱크 기술 개발을 통해 수소의 대용량 생산·저장·운송·활용 기반 마련	
주관부처	국토교통부	
사업기간	'19~'23년	
지원규모	총 사업비 285억 원	
지원대상	기업, 대학, 연구소 등	
사업내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 대용량 수소 생산·저장·운송·활용을 위한 수소액화 플랜트 공정기술 및 수소액화 핵심 설비(극저온 팽창기, 극저온 열교환기, Cold Box, 극저온 밸브 등), 액체수소 저장탱크 기술 개발을 지원</li> <li>○ 상용급(일 5톤) 고효율 수소액화 플랜트 설계기술 확보 및 핵심 기자재 개발, 일 0.5톤급 수소액화 플랜트 구축 운용</li> </ul>	
	핵심 기술 분야	내용
	고효율 수소액화 공정기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ (기술 개발) LNG 냉열을 활용한 고효율 수소액화 공정기술 개발</li> <li>○ (성능검증) Pilot급(일 0.5톤) 수소액화 설비 구축 및 운용</li> </ul>
	수소액화 핵심설비	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ (기술 개발) 수소액화 플랜트 핵심 기자재 개발 및 시제품 제작 (Pilot급(일 0.5톤), 상용급(일 5톤))</li> <li>※ -253℃ 극저온 열교환기, 팽창기, 밸브, Cold box</li> <li>○ (실증) Pilot급(일 0.5톤) 수소액화 설비에 적용하여 성능 검증</li> </ul>
액체수소 저장탱크	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ (기술 개발) 생산된 액체수소의 저장을 위한 저장탱크 개발, 시제품 제작(소형: 35m<sup>3</sup>, 대형: 350m<sup>3</sup>)</li> <li>○ (실증) Pilot급(일 0.5톤) 수소액화 설비에 적용하여 성능 검증</li> </ul>	

### 3) 신재생에너지 핵심기술 개발

- (검토 결과) 수소 생산(수전해 등)·저장(충전소, 수송 등)·활용(연료전지, 모빌리티 등) 등 광범위한 수소 분야 지원을 하고 있으나, 액체수소 관련 기술 개발 과제는 운송선 개발 및 부품·장비·소재 개발에 한정
  - (유사성) 액체수소 저장·운송 기술 개발에 필요한 부품·장비·소재 개발을 포함한다는 점에서 중복 가능성이 일부 존재
  - (차별성) 액체수소 공급을 위한 운송선 기술 개발을 중심으로 하고 있어 동 사업의 기술 개발 범위와 차이가 존재
    - 대상 사업은 재생에너지 연계 수전해 기술 개발을 통해 기체수소 생산 경제성 확보와 액체수소 저장·운송을 위한 액체수소용 화물창 설계 등 운송선 기술 개발에 주안점을 두고 있다는 점에서 액체수소 저장탱크 및 적하역 시스템에 주안을 둔 동 사업과 차별화
  - (연계방안) 적하역 시스템 설계 등 액체수소 저장·공급 기술에 필요한 연구 성과물을 연계하여 동 사업에서 고도화 가능

〈표 3-19〉 「신재생에너지 핵심기술개발」 개요

사업명	신재생에너지 핵심기술 개발
사업목적	신재생에너지 핵심기술 고도화 및 미래기술 선점을 통한 신재생에너지·연관산업 글로벌 경쟁력 강화 및 자원안보에 기여
주관부처	산업통상자원부
사업기간	'06~'29년(일몰관리혁신)
지원규모	3,217억 원('24년)
지원대상	기업, 대학, 연구소 등
사업내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 수소산업 생태계 조성 및 강화를 위한 수소생산, 수소저장·운송, 인프라 구축 및 안전성 확립을 위한 기술 개발</li> <li>○ 수소생산, 운송, 저장, 인프라, 융복합, 수소 발전기술 등 전주기 핵심 기술 확보를 위한 중점 R&amp;D 추진 및 안전한 수소사회 기반 조성을 위한 안전, 신뢰성 관련 기술 확보                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 재생에너지 연계 대규모·고효율 수전해 기술 개발을 통해 수전해 상용화 기술 확보 및 수소 생산 경제성 확보                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>※ ('19년) 11,000원/kg → ('30년) 3,000원/kg</li> </ul> </li> <li>- 수소 규모의 경제 확대를 위한 액체수소, 암모니아, 비금속 수소 배관 기술 등 대규모 수소 저장·운송 기술 확보                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>※ 수소 공급량 ('18년) 13만 톤/년 → ('30년) 19.4만 톤/년</li> <li>※ 액체수소 운송을 위한 용량 3,000kg 액체수소 탱크트레일러 개발 및 실증('22~'24)</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>



## IV 사업 개요

- 1절. 사업 방향 설정
- 2절. 사업 비전 및 목표
- 3절. 사업 추진전략
- 4절. 사업 추진체계



# IV 사업 개요

## 1절 사업 방향 설정

### 1. 문제 · 이슈 도출

□ 국내외 환경 동향, 국내 정부 투자 추이 등을 종합적으로 분석한 결과, 동 사업추진을 둘러싼 문제 · 이슈를 정책적 · 기술적 · 산업적 관점에서 접근

환경분석		정책 동향		정부 투자 동향	
<b>미래 전망</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 글로벌 수소경제 사회로의 진입이 가속화</li> <li>○ 기술보호주의 심화에 따른 핵심 기술 국산화 필요</li> </ul>	<b>국내</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 세계 최초로 수소법을 제정('20), 수소경제 선도국가로 도약하기 위한 발판 마련</li> <li>○ 수소 수입을 위한 수소 액화기술 및 저장·운송 기술(해외 → 국내), 배관망 등 전국 수송 이송 기술의 국산화 지원</li> </ul>	<b>R&amp;D 투자</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 최근 5년간('19~'23년) 액체수소 R&amp;D 과제 총 누적 과제수 216개, 투자액 1,777.3억원</li> <li>- 응용연구(40.3%) 중심</li> <li>- 연구비 집행 규모는 연구기관이 높고, 과제 수행건수는 기업, 대학이 높은 편</li> </ul>
<b>시장 / 산업 동향</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 글로벌 수소 수요 '50년 6.6억 톤으로 성장 예측</li> <li>- 국내의 경우, '30년 이후 발전/수송 분야에서 시장 성장 견인이 예측</li> <li>- 한국, 일본 등 재생에너지 빈국 중심으로 수소 수입 의존도 심화 전망</li> <li>○ 글로벌 수소 저장시장은 '26년 6,427억 달러로 연평균 7.6% 성장</li> </ul>	<b>해외</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 탄소중립의 실현 및 미래 신성장동력 육성의 수단으로 수소경제를 주목</li> <li>- (미국) 청정수소 활용 촉진 정책을 통해 수소 생산부터 활용까지 전주기 지원</li> <li>- (일본) 해외 수소 수입을 중심으로 수소 공급망 확보 지원책 강구</li> </ul>	<b>유사 사업</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 동 사업은 대용량 액체수소 저장, 공급 및 생산 기술 개발이라는 점에서 기존 소규모 기술 개발과 차별화되고 既 개발 성과물과 연계 가능</li> <li>○ 既 사업과 액체수소 인프라 요소(적하역, 저장탱크 등)와 기술 개발 범위(공정, 기자재, 운영/실증)에서 차별화</li> </ul>
<b>기술 동향</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 수소 액화 기술은 저장 용이성 낮은 폭발 위험성 등 기술적 우위 확보</li> <li>○ 전세계적으로 소수 기업이 액체수소 생산 및 저장 관련 기술을 보유</li> <li>※ 평저형 저장탱크는 아직 시도되지 않은 최초의 사례</li> </ul>				

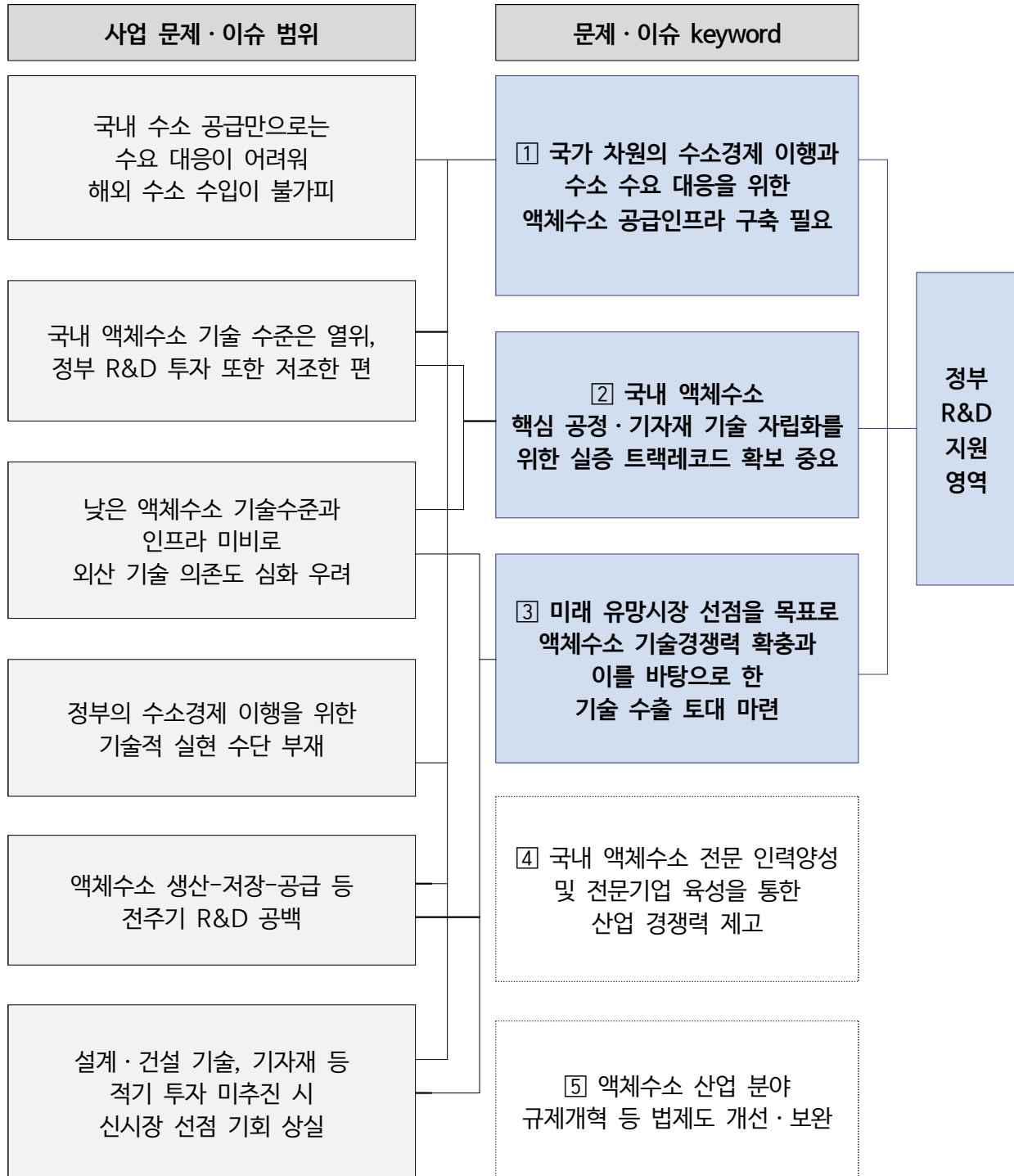
### 동 사업을 둘러싼 문제 · 이슈 범위

국내 수소 공급만으로는 수요 대응이 어려워 해외 수소 수입이 불가피	국내 액체수소 기술 수준은 열위, 정부 R&D 투자 또한 저조한 편	낮은 액체수소 기술수준과 인프라 미비로 외산 기술 의존도 심화 우려
정부의 수소경제 이행을 위한 기술적 실현 수단 부재	액체수소 생산-저장-공급 등 전주기 R&D 공백	설계·건설 기술, 기자재 등 적기 투자 미추진 시 신시장 선점 기회 상실

〈그림 4-1〉 종합 환경분석을 통한 사업 문제 · 이슈 도출(안)

## 2. 사업 영역 정의

- 도출한 문제·이슈 중 동 사업추진을 통해 해결해야 할 핵심 문제·이슈를 구체화하고 R&D 지원 범위를 동 사업의 영역으로 규정



〈그림 4-2〉 사업추진을 통해 해결해야 할 문제·이슈 정의

### 3. SWOT 분석 및 전략 수립

□ 사업추진 시 발생할 수 있는 대외적 기회요인과 위협요인, 사업 자체의 내재적인 강점·약점 요인을 진단하고, 이를 종합적으로 분석하여 사업추진 전략을 수립

내부 역량		강점(S)	약점(W)
		외부 환경	
기회(O)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 국정과제, 수소경제 활성화 로드맵 등 수소 기술 확보를 위한 정부의 정책 추진 의지</li> <li>○ 액체수소 운송 선박 기술 개발 등 타 부처 수소 기술 성과와 연계·활용 가능</li> <li>○ 액화플랜트, 액체수소 터미널 기술 개발 통한 글로벌 액체수소 인프라 시장 선점 기회 잔존</li> </ul>	<p><b>SO전략</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>① 액화플랜트 등 유관 기술 개발 경험을 바탕으로 스케일업 및 통합실증을 통한 기술경쟁력 확보</li> <li>② LNG 등 국내 우수 기술력을 응용, 액화플랜트, 액체수소 터미널 등 인프라 기술의 조속한 개발</li> </ul>	<p><b>WO전략</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>③ 연구개발과 실증을 함께 지원하는 통합형 R&amp;D 사업을 통해 정부 수소경제 목표 달성 기여 및 기술·산업경쟁력 제고</li> <li>④ 수소 생산·저장-운송 인프라 조성을 통해 既 추진 사업(운송선 등)과의 연계성 확보 및 수소 전주기 생태계 구축</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 청정수소 수요 증가에도 불구하고, 수소 생산 및 해외 수소 도입을 위한 인프라 미비</li> <li>○ 액체수소 생산·저장·송출 등 관련 안전기준 등 규제 미비</li> <li>○ 글로벌 소수 기업만이 액체수소 저장 기술 등 핵심 기술을 보유, 유관 시장 독점 우려</li> </ul>	<p><b>ST전략</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>⑤ 수소 생산·공급망 구축을 통해 국내 수소 수요산업으로 안정적인 수소 공급</li> <li>⑥ 액체수소 공급인프라 건설 및 실증을 통해 기술 미보유 국가로의 수출 가능성 타진</li> </ul>	<p><b>WT전략</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>⑦ 낮은 국내 액체수소 기술 수준을 고려, 외산 기술 도입과 reverse 개발을 통해 기술 추격</li> <li>⑧ 공정, 기자재 등 핵심 요소기술 병행 개발 및 실증을 통해 기술 자립화 전략 마련</li> </ul>

〈그림 4-3〉 SWOT 분석과 추진 전략(안)

## 4. 사업 기본 방향 설정

□ 사업 문제·이슈 및 사업추진 전략 간 매칭을 통해 이에 대응하는 동 사업추진의 기본 방향을 도출

문제·이슈	추진 전략	기본 방향
<p>① 국가 차원의 수소경제 이행과 수소 수요 대응을 위한 액체수소 공급인프라 구축 필요</p>	<p>① 액화플랜트 등 유관 기술 개발 경험을 바탕으로 스케일업 및 통합실증을 통한 기술경쟁력 확보</p>	<p>세계 최초 평저형 저장탱크 실증 및 설계 기술 확보</p>
<p>② 국내 액체수소 핵심 공정·기자재 기술 자립화를 위한 실증 트랙레코드 확보 중요</p>	<p>② LNG 등 국내 우수 기술력을 응용, 액화플랜트, 액체수소 터미널 등 인프라 기술의 조속한 개발</p>	<p>핵심 공정·기자재 국산화 및 실증 트랙레코드 확보</p>
<p>③ 미래 유망시장 선점을 목표로 액체수소 기술경쟁력 확충과 이를 바탕으로 한 기술 수출 토대 마련</p>	<p>③ 연구개발과 실증을 함께 지원하는 통합형 R&amp;D 사업을 통해 정부 수소경제 목표 달성 기여 및 기술·산업경쟁력 제고</p>	<p>수소 전주기 인프라 통합 기술 경쟁력 확보</p>
	<p>④ 수소 생산·저장-운송 인프라 조성을 통해 既 추진 사업(운송선 등)과의 연계성 확보 및 수소 전주기 생태계 구축</p>	
	<p>⑤ 수소 생산·공급망 구축을 통해 국내 수소 수요산업으로 안정적 수소 공급</p>	
	<p>⑥ 액체수소 공급인프라 건설 및 실증을 통해 기술 미보유 국가로의 수출 가능성 타진</p>	
	<p>⑦ 낮은 국내 액체수소 기술 수준을 고려, 외산 기술 도입과 reverse 개발을 통해 기술 추격</p>	
	<p>⑧ 공정, 기자재 등 핵심 요소기술 병행 개발 및 실증을 통해 기술 자립화 전략 마련</p>	<p>액체수소 인프라 해외시장 진출 기반 마련</p>

〈그림 4-4〉 사업 기본 방향 설정

## 2절 사업비전 및 목표

### 1. 사업 비전 체계도

비전	미래 수소경제를 선도할 액체수소 저장탱크 핵심기술 확보	
목적	대용량 수소의 국가 간 이송을 위한 액체수소 저장탱크 등 공급인프라 건설 기술 선제적 개발	
목표	세계 최초 200m³급 평저형 저장탱크 및 6인치급 적하역 시스템 기술개발-실증으로 액체수소 핵심 기술경쟁력 강화	
성과 목표 및 지표	성과목표	성과지표(단위)
	세계 최초 평저형 저장탱크 설계 및 실증	평저형 액체수소 저장탱크 설계 용량(m³) 평저형 액체수소 저장탱크 건설 용량(BOR)(m³,%)
	6inch급 인수기지 적하역 시스템 실증	로딩암 제작 및 적하역 시스템 실증
추진 전략	전략1] 도전적·혁신적 기술개발을 통한 액체수소 공급인프라 핵심기술 확보	
	전략2] 단계적 연구개발 및 실증을 통한 기술 완성도 및 실증 트랙레코드 확보	
	전략3] 수소도시 등 국내 수소 인프라 구축사업과의 연계를 통한 추진 효율성 강화	
	전략4] 글로벌 액체수소 인프라 시장 진출을 위한 기술경쟁력 기반 구축	
사업 구성	구성기술	세부기술
	액체수소 인수기지 평저형 저장탱크 건설기술 개발	1-1. 평저형 액체수소 저장탱크 설계 기술 개발
		1-2. 평저형 액체수소 저장탱크 건설 기술 개발
		1-3. BOG 비상제어·재액화 시스템 기술 개발
	액체수소 인수기지 적하역 시스템 기술 개발	2-1. 액체수소 적하역 시스템 설계·운영 기술 개발
2-2. 액체수소 적하역 시스템 기자재 기술 개발		

## 2. 사업 비전 및 목표

비전

미래 수소경제를 선도할 액체수소 저장탱크 핵심기술 확보

- 국제사회 내 탄소중립 달성 요구 증대, 수소에너지로의 전환 등 본격적인 수소경제 전환이 이루어짐에 따라 미래 수소경제를 이끌어 갈 액체수소 기술 확보가 중요
  - 전세계적인 탄소중립 움직임 속에서 수소에너지는 대표적인 청정 에너지원으로 각광 받고 있으며, 이를 방증하듯 주요국은 수소 기술 개발에 전폭적으로 투자 지원 중
    - ※ (美) 에너지 저장·운송에서의 액체수소의 기술적 이점을 강조하며 액체수소 운송 기술 혁신, 대용량 액체수소 저장을 위한 R&D 추진(수소 사업 계획, '20)
    - (獨) 해외 수소 생산거점 확보 및 수소 수입을 위한 수단으로 액체수소를 채택, 수소 수입 터미널 등 인프라 구축 지원(수소 실행 계획, '21)
    - (日) 글로벌 수소 공급망 구축을 위해 국제공동연구를 지원하며, 세계 최초로 고베항에 액체수소 터미널을 구축, 실증에 성공(그린이노베이션 수소 프로젝트, '20)
  - 액체수소는 우수한 저장밀도와 안정적인 성질을 지니고 있어 미래 에너지원으로써 경제성과 시장성을 높이 평가받으며 장래 탄소중립 달성과 수소사회 이행 핵심 기술로 그 역할이 주목
    - ※ 미국과 일본 등 수소 선진국은 이미 액체수소 도입을 적극 추진 중이며, 양국의 수소충전소 내 액체수소 공급 비율은 각각 87%, 63% 수준으로 기체수소 대비 압도적 이용률을 보임
- 우리나라는 낮은 수소 자급률로 인해 국내 수요를 충족하기 위한 수소 수입이 불가피한 실정이며, 국가 수소경제 달성을 위해서도 대용량 수소 인프라가 필요한 상황
  - 국내 수소 인프라는 충전소 등 활용 부문에 주로 포진되어 있고, 해외 수소 수입을 위한 터미널이나 대용량 수소 저장·공급을 위한 인프라는 부재
    - ※ (수소 생산) 수소 생산기지 7개, 수소 출하센터 2개로 총 9개
    - (수소 활용) 수소차, 수소연료전지 활용을 위한 배관망, 25만km 수소충전소 332개
    - ※ (액체수소 인프라) 액화플랜트 3개, 액체수소 터미널은 한국가스공사가 '30년까지 구축할 계획으로, 10만 톤의 액체수소 수입이 가능
  - 이에, 해외 액체수소 수입과 자체 생산을 위한 대규모 액체수소 공급인프라 구축이 요구되며, 동 사업을 통한 액체수소 핵심 기술 개발로 글로벌 기술우위를 선점



### 3. 성과목표 및 지표

- 동 사업의 성과지표는 사업 성과 목표 달성 여부를 측정하기 위한 구체적이고 정량적인 질적 지표 중심으로 총 6개 지표로 설정
- 사업 성과지표는 SMART 점검 기준에 따라 도출하고, 동 사업을 통해 산출되는 성과 중 질적 성과를 중심으로 발굴

〈표 4-1〉 성과지표 선정을 위한 SMART 점검 기준

Specific	명확성/구체성	○ 지표 개념과 측정방법이 명확하고, 데이터가 일관성 있게 수집되어야 함
Measurable	측정가능성	○ 측정을 위한 데이터가 존재해야 하며, 사용에 제약이 크지 않아야 함
Attributable	원인성	○ 사업내용의 범위 안에 있어야 하고, 외적 요인에 의해 왜곡되면 안됨
Reliable	신뢰성	○ 제3자가 검토하더라도 일관된 결과가 나와야 하며, 가급적 공식적이고 객관적인 정보를 활용해야 함
Timely	적시성	○ 성과측정 시기가 맞아야 함

자료: 한국과학기술기획평가원, 국가연구개발사업 표준 성과지표(6차) [성과목표 · 지표 설정 안내서] (2024.2)

〈표 4-2〉 사업 목표 및 성과 목표와 지표(안)

최종 성과목표	○ 액체수소 인수기지 건설을 위해, 대용량에 적합한 평저형 액체수소 저장탱크와 적하역 시스템 개발 및 실증	
	성과목표	성과지표
세계 최초 평저형 저장탱크 설계 및 실증		평저형 액체수소 저장탱크 설계 용량
		평저형 액체수소 저장탱크 건설 용량(BOR)
6inch급 인수기지 적하역 시스템 실증		로딩암 제작 및 적하역 시스템 실증

- 성과지표별 객관적인 측정산식을 마련하고, 달성 가능 범위 내에서 도전적인 목표치를 제시

〈표 4-3〉 성과 목표 및 성과지표별 목표치 설정

성과 목표	성과지표	측정방법 및 연도별 목표				
		정의	목표			
세계 최초 평저형 저장탱크 설계 및 실증	평저형 액체수소 저장탱크 설계 용량	정의	○ 개발 완료된 평저형 액체수소 저장탱크의 설계 기준 저장 용량(m³)			
		근거	○ 초기 200m³급 파일럿 저장탱크 실증을 통해 대형화(4,000m³급) 설계 기술로 스케일업 설계→제작→구축 순으로 단계 진행 가능성 고려하여 목표 설정			
		목표	(단위: m³)			
		2026	2027	2028	2029	계
		-	-	200	4,000	4,000



성과 목표	성과지표	측정방법 및 연도별 목표				
	평저형 액체수소 저장탱크 건설 용량 (BOR)	정의	○ 실증 구축된 평저형 저장탱크의 저장 용량(m³) 및 Boil-Off Rate(%) 성능 지표			
		근거	○ 액체수소 저장 시 기화율(Boil-Off Rate)을 기존 LNG 수준만큼 억제하는 것을 목표로 설정			
		목표	(단위: m³, %)			
			2026	2027	2028	2029
-	-	200(0.75)	200(0.5)	200(0.5)		
6inch급 인수기지 적하역 시스템 실증	로딩암 제작 및 적하역 시스템 실증	정의	○ 6인치급 로딩암, 연결·분리 커넥터(QCDC), 비상분리시스템(ERC) 등을 포함한 적하역 시스템의 통합 구축 및 실증 수준			
		근거	○ 해외 액체수소 인수기지 사례(고베항 등) 바탕으로 목표치 설정			
		목표	(단위: 개)			
			2026	2027	2028	2029
6인치 설계	6인치 제작	6인치 구축	6인치 실증	6인치 실증		

### 3절 사업 추진전략

#### 전략 1 도전적·혁신적 기술개발을 통한 액체수소 공급인프라 핵심기술 확보

◆ 12대 국가전략기술 확보 및 「수소경제 이행 기본계획」 등 국가 수소 정책의 신속한 이행과 실현을 위한 전략적 사업 구성

- 세계 최초 평저형 대용량 액체수소 저장탱크 및 적하역 시스템 개발·실증을 통해 수소경제 이행과 글로벌 시장 선도를 위한 핵심 기술 조기 확보
  - 「수소경제 이행 기본계획」, 「수소기술 미래전략」 등 정부 상위계획·전략에 명시된 “수소 생산·저장 인프라”와 연계성이 높은 공정 기술 중심으로 내역사업을 구성
    - ※ 안전성을 확보하기 위해 수소 생산, 저장을 포함한 전주기 안전기준 마련(제1차 수소경제 이행 기본계획, '21) '30년경 대규모 해외 수소 수입과 해외진출 시도를 위해 수소 운송 및 저장 기술 개발을 추진하고 국산 액화플랜트 규모를 10배로 늘릴 계획(수소기술 미래전략, '22)
  - 특히, 수소 분야가 12대 국가전략기술에 포함되어 있는 만큼 차세대 핵심 기술로써 글로벌 기술경쟁력 확보 가능성이 높고, 수소 전주기 인프라 구축이 가능한 요소기술 위주로 연구개발 범위를 설정
    - ※ 12대 국가전략기술 중 ‘수소’ 부문은 중점 기술로 ‘수소 저장·운송’을 선정
  - 대용량 액체수소 수입 이후 국내 수소 수요처까지로 공급하는 데에 필요한 인프라 요소를 사업 중점분야로 설정함으로써 액체수소 ‘공급’ 인프라로서의 역할을 명확히 제시
- 국제사회 내 액체수소 기술 경쟁 및 시장·산업 성장에 대응하기 위해 국내 액체수소 공급인프라 기술력 확보와 액체수소 활성화 기반 구축에 초점
  - 미국, 일본 등 주요국 및 선도기업의 수소경제 주도·선점을 위한 경쟁 심화에 따라 주요국과의 기술격차를 축소하면서 대외 기술 의존도를 낮출 수 있는 차세대 액체수소 기술경쟁력을 확보할 전략기술을 개발
  - 또한, 정부의 2050년 수소 수입과 생산 목표 수준에 근거하여 수소경제로의 전환을 지원하고, 국내 액체수소 활용 기반을 구축하기 위한 인프라 건설과 실증까지 포함한 사업 내용으로 구성

## 전략 2 단계적 연구개발 및 실증을 통한 기술 완성도 및 실증 트랙레코드 확보

◆ 액체수소 공급인프라 핵심 기술 개발과 통합실증을 병행 추진하는 이원화 전략 채택  
 - 개발 기술을 적용한 프로토타입 제작, 파일럿 테스트를 통해  
 △연구 성과물 완성도 제고, △상용급 스케일업을 위한 트랙레코드 확보

- 200㎥급 파일럿 저장탱크 및 적하역 시스템 실증을 시작으로, 4,000㎥급 대형 저장탱크 설계 기술 확보를 목표로 단계별 연구개발과 통합 실증 추진
  - 동 사업은 연구개발(R&D)과 실증이 병행적으로 추진되는 사업으로 액체수소 공급 인프라 건설, 운영 핵심 기술 개발을 통해 단위공정에서의 연구개발 성과물을 실증하는 테스트베드로서 기능
  - 개발된 결과물을 동 사업 내 공급인프라를 활용하여 성능이나 안전성 등을 검증함으로써 현장 적용 가능성을 제고, 상용화 단계로의 전환을 촉진
    - 사업 내 총괄과제 격인 통합실증 내역에서 단위공정별 개발된 기술을 액체수소 공급인프라로 통합, 지원함으로써 개발 기술의 성능검증과 실증 트랙레코드를 확보
      - ※ 일반적으로 플랜트나 터미널 등 인프라 기술 특성상 일정 수준의 성능구현과 완성도 확보까지 장기간 소요되며, 반복적인 테스트를 통해 객관적으로 입증이 가능한 결과 확보가 중요
  
- 특히, 그간 시도된 바 없는 평저형 액체수소 저장탱크 핵심기술 확보와 성능검증을 위해 소규모 파일럿 테스트 기반 상용급 대용량 저장탱크로의 스케일업 지원
  - 200㎥급 액체수소 저장탱크 설계 기술 개발을 통해 실물 규모의 파일럿 타입을 제작, 다양한 환경 조건 아래 시뮬레이션을 반복적으로 수행하여 상용급(4,000㎥) 대용량 저장탱크 설계 기술 완성도 제고

### 전략 3 수소도시 등 국내 수소 인프라 구축사업과의 연계를 통한 추진 효율성 강화

- ◇ 수소 전주기(생산-저장-공급-활용)를 고려한 부처 간 협력을 통해  
 - △국가 차원의 수소 생태계 구축, △수소도시 등 기존 인프라와 연계 등 효율성 제고

- 국가 차원의 체계적·전략적 수소 산업경쟁력 확보 및 국내 액체수소 생태계 기반 마련을 위해 국토교통부를 중심으로 수소 유관 부처 사업과 연계
- 국가 주도의 수소경제로의 전환과 수소 사회 안착을 위해 견고한 수소 생태계 구축은 선결 요소이며, 이를 위한 수소 전주기 인프라 간 충분한 연계가 필요한 상황
    - 액체수소 운송선(산업부, 해수부), 액체수소 설비·시설 등 안전기준(산업부)\* 등 인프라 건설과 운영에 필요한 기술적·제도적 연계로 인프라 실효성 제고
      - \* 해외수소 도입을 위한 액체수소 운송기술 검증용 시험선 설계 및 실증기술 개발(조선해양산업 기술 개발사업, 산업부), 액체수소운송선 운송시스템의 극저온 배관 개발 및 실증(소재부품산업 기술 개발기반구축, 산업부), 수소 전주기 통합 위험성평가 프로그램 및 액체수소 설비 안전 기준 개발(수소충전인프라안전관리핵심기술 개발, 산업부), 선박용 수소 저장용기 및 연료공급 시스템 안전기준 개발(수소선박안전기준개발, 해수부) 등
  - 수소도시 조성사업 등 국내에서 추진 중인 수소 인프라 구축사업과의 연계를 통해 액체수소 저장·적하역·공급 인프라 실증 기반 확대 및 상용화 가능성 제고
    - '20년부터 4개 수소시범도시(울산광역시 등) 및 9개 수소도시(광양시 등)를 구축 중이며, 연내 「수소도시법」 제정이 예정된 바 '26년 이후 수소도시 완공에 따른 수소 공급 수요 급증 예상
    - 수소도시 내 수소 활용 거점(모빌리티, 발전 등)과 본 사업의 액체수소 공급인프라를 연결하여 수소 전주기 공급망을 실제 도시 단위에서 검증·운영하는 체계를 마련

## 전략 4 글로벌 액체수소 인프라 시장 진출을 위한 기술경쟁력 기반 구축

◆ 액체수소 시장 성장 전망에 힘입어 액체수소 공급인프라 핵심 기술 개발 및 실증을 통해 글로벌 액체수소 인프라 건설시장으로의 수출 경쟁력 확보

□ 평저형 액체수소 저장탱크 및 적하역 시스템 실증을 통해 트랙레코드를 확보하고, BOG 제어, 재액화 시스템 등 연계 기술 확보를 통해 기술 완성도 제고

○ 현재 글로벌 액체수소 관련 기술은 미국, 독일, 일본 등 주요국이 패권을 쥐고 있으며, 높은 기술 개발 수준으로 인해 일부 소수 기업과 국가만이 핵심기술을 보유

※ (미국) (NASA) 액체수소 4,700m<sup>3</sup>급 저장탱크 기술 개발 및 실증, (Air Liquide) 네바다주 세계 최대 규모 액체수소 생산 인프라 준공;  
 (일본) 고베항 내 2,500m<sup>3</sup> 액체수소 저장탱크 인수기지 구축, 세계 최초 호주-일본 간 액체수소 장거리 해상수송 실증사업 완수;  
 (EU) 'H2Sines.RDAM' 프로젝트를 통해 포르투갈-네덜란드 간 액체수소 공급망 기술 개발 추진

○ 동 사업을 통해 액체수소 공급인프라 건설 및 운영 핵심 기술경쟁력을 확보함으로써 액체수소 인프라 수요 시장\*으로 건설 기술 수출 등 잠재 시장 선점 기반을 마련

\* 2040년 동아시아 지역 수소 생산량 비중 전망치를 보면, 인도네시아 15%, 말레이시아 8%, 베트남 4% 수준으로 동남아시아 지역 수소 생산 비중이 높아지고 있으며, 특히 베트남은 '국가 수소에너지 개발전략'을 발표하며 2030년까지 연간 10~50만 톤 수소 생산을 목표로 제시

- 더욱이 액체수소 시장은 아직 초기 단계로, 핵심 기술 확보와 실증에 기반한 경쟁력 확충 시 인프라 건설시장으로의 진출뿐 아니라 시장 우위를 선점할 기회도 우선 확보할 수 있을 것임

□ 특히, 既 보유한 LNG 인프라 건설 기술력에 동 사업을 통한 액체수소 공급인프라 실증 트랙레코드 확보로, 글로벌 에너지 인프라 시장점유율 확대 등 중장기 해외 기술 수출 기반을 마련

○ 우리나라는 글로벌 LNG 터미널 수주 건수 세계 2위로, LNG 인프라 건설 기술력 보유

※ 한국은 LNG 터미널 프로젝트를 총 163건 수주하며 국제사회 내 LNG 터미널 건설 기술 및 시장경쟁력 확보(1위 중국 403건, 2위 한국 163건, 3위 미국 128건, 4위 호주 117건 등 순, 2007-2023)

○ 동 사업을 통한 액체수소 공급인프라 핵심 공정 기술 및 실증으로 개발 기술의 성능과 안전성을 검증, 지속적인 트랙레코드를 확보한다면 LNG를 포함한 액체수소 등 에너지 인프라 건설시장에서의 독보적 기술·산업경쟁력 강화 가능

## 4절 사업 추진체계

### 1. 사업 추진체계

□ 국토교통부 주관, 전문기관(국토교통과학기술진흥원)을 중심으로 산학연 협력을 통해 과제를 수행하며, 실증 지자체 후보 대상 선정 평가를 수행하여 실증지 확정

○ (실증지) 국내 수소도시 또는 참여의사를 표명한 지자체\*를 대상으로 후보지를 확보하고, 액체수소 저장탱크 건설 및 운영 등 관련 전문가를 통해 입지적정성을 검토, 최적후보자 선정 평가를 통해 확정

\* 충남 보령시, 경기 평택시, 경남 통영시, 전남 여수시, 강원 삼척시, 경북 울진군 등 6개 지역



〈그림 4-5〉 사업 추진체계(안)

〈표 4-4〉 사업 추진 주체별 역할(안)

주체	역할 및 기능
주관부처 (국토교통부)	○ 총괄 부처로 사업 기본·시행계획 수립, 정책적 판단 및 의사결정
전문기관 (국토교통과학기술진흥원)	○ 사업 전문관리기관으로, 총괄적 사업관리 역할 담당과 기획평가운영위원회 구성 및 운영, 연구단 선정, 평가, 진도관리 등 수행
추진위원회	○ 사업 세부시행계획, 주요 내용변경, 지원 우선순위 등 전문기관의 요청 사항에 대한 검토·심의·조정
연구단	○ 사업 수행을 총괄하고, 자체 진도관리, 성과 관리 및 사업화 지원, 세부 기술을 통합 구현하고 단계별 기술 검증 및 실증을 주도

## 2. 사업 추진 · 관리 방안

### 1) 사업 추진 프로세스

- 동 사업은 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원을 중심으로 기획→평가→관리→활용 4단계의 사업관리 체계를 구축하여 운영
  - 주관연구기관 선정 및 평가 등 사업 운영 전반적인 절차는 전문기관인 국토교통과학기술진흥원(KAIA) 중심으로 수행하며, 주요 사업 추진 절차는 아래와 같음

〈표 4-5〉 사업 추진절차

단계	프로세스	수행주체	내용
① 기획	사업시행계획	국토교통부   국토교통과학기술진흥원	○ 사업시행계획 수립 및 심의·확정
② 평가	사업시행 공고	국토교통과학기술진흥원	○ 사업시행 공고 (사업안내서 및 과제제안요구서(RFP)포함)
	과제신청 및 접수	국토교통과학기술진흥원	○ 연구기관 : 신규과제 연구개발계획서 작성 및 신청 ○ 국토교통과학기술진흥원 : 연구개발계획서 접수
	과제선정 및 평가	국토교통과학기술진흥원	○ 사전검토 → 전문가평가 (서면발표평가) → 조정 및 협의
	협약체결	국토교통과학기술진흥원	○ 협약체결 - 국토교통과학기술진흥원 ↔ 주관연구기관 - 주관연구기관 ↔ 참여기관, 위탁기관 등 ○ 사업비 지급
③ 관리	성과관리 / 사업관리	국토교통과학기술진흥원	○ 사업관리 ○ 단계평가 (진도점검 및 중간평가) ○ 최종평가
④ 활용	성과활용 / 성과연계 및 확산	국토교통과학기술진흥원   주관연구기관	○ 사업화 등 연구성과 활용 (과제별 상이) ○ 국토교통과학기술진흥원 : 성과현황 및 활용보고서 관리 및 추적평가실시 ○ 연구기관 : 성과보고 및 활용보고서 제출

## 2) 단계별 평가 및 관리(안)

### (1) 선정평가

- 연구개발 과제 평가단을 구성, 연구개발계획서를 토대로 과제 제안요구서(RFP)와의 부합성 평가, 既 추진 과제와의 차별성 등 평가를 통해 과제 선정
  - (평가기준) 연구개발과제의 창의성 및 수행 계획의 충실성과 연구자 또는 소속 기관·단체의 연구개발 역량을 바탕으로 연구개발계획서 평가
  - (평가방식) 사전검토를 통해 부합성·차별성 평가를 진행하고 과제 규모 및 세부 전문분야에 따라 위원장 1인 포함 5인 이상 15인 이내의 인원으로 이루어진 연구개발 과제 평가단을 구성하여 연구개발계획 평가
    - (사전검토) 연구개발계획서가 과제제안요구서(RFP)와 부합 여부를 판단하는 부합성 평가와 既 수행되었거나 수행중인 과제와 차별성이 있는지 판단하는 차별성 평가 수행
    - (연구개발 과제 평가단 평가) 대면평가를 원칙으로 발표평가(100점 만점)를 진행하여 ‘연구개발 목표 및 사전조사·분석’ (10점), ‘연구개발 내용’ (60점), 추진전략 및 계획(30점)의 항목 하에 연구개발 과제 평가단이 평가 후 선정
      - ※ 연구개발과제의 창의성 및 수행계획의 충실성, 연구자 또는 소속기관·단체의 연구개발 역량, 연구개발 과제의 학술적·기술적·사회적·경제적 파급효과 및 연구개발성과의 활용가능성을 기준으로 평가 진행
  - (평가결과) 연구개발 과제 평가단 종합평가 60점 이상, 최고 점수 획득 대상 선정 후 국토부, 주관연구개발기관에 결과 통보 후 전문기관과 선정 기관 간 협약 체결
    - ※ 종합평가점수가 60점 미만인 과제는 단독 신청일 경우도 탈락 조치

〈표 4-6〉 선정평가 연구개발계획 평가 항목

기준항목	세부 평가항목	배점
기술개발 추진계획 (10점)	○ 연구개발 목표의 적절성·타당성	5
	○ 최신 동향분석 등 사전조사·분석의 충실성	5
도전성과 창의성 (60점)	○ 조사 분석 방법론의 창의성 및 적절성	10
	○ 전문가 활용 방안의 타당성	5
	○ 연구절차, 추진전략 및 추진체계의 적절성·충실성	20
	○ 연구내용 구성 및 세부목표의 충실성·타당성	10
	○ 연구성과 활용 및 관리방안	15
주관기관 기술개발역량 (30점)	○ 연구책임자의 전문성 및 기획·관리 역량	10
	○ 연구팀 구성의 전문성 및 적정성	20
<b>계</b>		<b>100</b>

※ 과제 특성에 따라 기준항목(세부 평가항목) 및 배점 기준이 달라질 수 있음

〈표 4-7〉 선정평가 주요 절차 및 내용

주요 절차	내용
시행 공고	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 범부처통합연구지원시스템 및 진흥원 홈페이지를 통해 시행공고</li> </ul>
↓	
신청서류 접수 및 검토·보완(전문기관)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 주관연구개발기관 : 연구개발계획서 등 신청서류 온라인 접수 및 보완</li> <li>○ 전문기관(진흥원) : 신청서류 적합성 등 검토</li> </ul>
↓	
사전검토(전문기관)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 전문기관 : 연구개발기관과 연구자의 참여 제한 해당 여부, 연구개발과제 신청자격 적합 여부 등 검토</li> </ul>
↓	
연구개발 과제 평가단 선정평가(전문기관)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 연구개발목표의 명확성, 추진전략 및 방법의 구체성 등에 대한 발표평가</li> </ul>
↓	
평가결과 통보 및 협약 체결(연구과제 평가단)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 국토교통부 보고 및 확정</li> <li>○ 주관연구개발기관에 선정평가 결과 통보</li> <li>○ 전문기관 - 주관연구개발기관 간 협약 체결</li> </ul>

## (2) 단계 평가

- 단계 종료시 다음 단계의 연구 수행 여부를 결정하고, 성공적인 과제 수행을 지원하기 위해 단계평가 시행
  - (평가기준) 연구개발과제의 수행 내용 및 과정, 결과 및 목표 달성 정도를 중점 사항으로 평가 진행
    - 연구개발과제의 과정 및 결과 외에도 관련 분야에 대한 기여, 관리 및 활용계획, 향후 수행계획 또한 평가
  - (평가방식) 과제의 특성에 따라 정성평가와 함께 정량평가를 병행하고, 연구수행과정과 성과 등을 복합적으로 고려하여 ‘우수 ‘ - ‘보통 ‘ - ‘미흡 ‘ - ‘극히 불량 ‘ 단계로 평가
    - ‘우수 ‘(종합평가 결과 80점 이상), ‘보통 ‘(종합평가 결과 60점이상 80점미만), ‘미흡 ‘(종합평가 결과 60점 미만), ‘극히 불량 ‘(종합평가 40점미만)
  - (평가결과) 평가결과에 따라 과제의 계속 수행 여부 등을 결정할 수 있으며 과제의 보완·변경 또는 연구개발비 조정
    - ‘우수’, ‘보통’, ‘미흡’ 과제의 경우 과제의 보완 변경 연구개발비 감액 증액 등 조정, 특별평가 실시 등의 후속 조치
    - ‘극히 불량’ 과제의 경우 지원 중단

### (3) 최종 평가

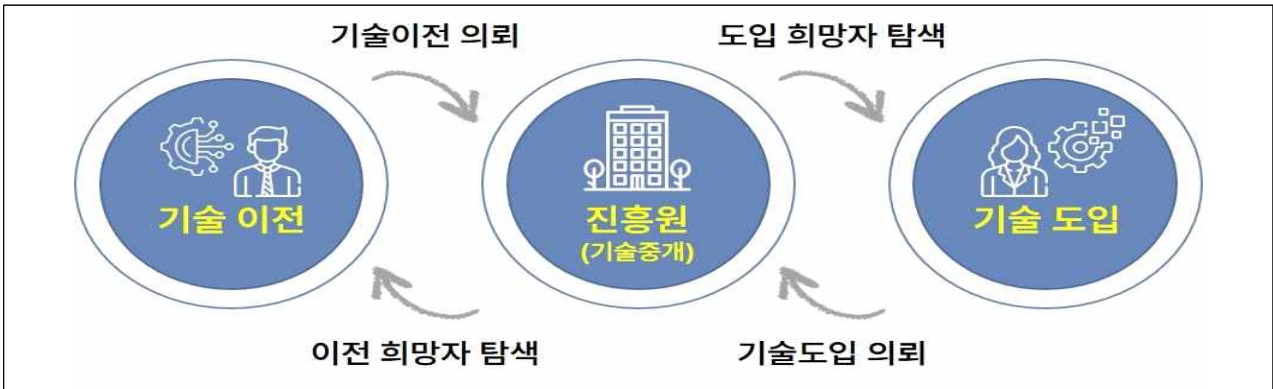
- 연구 종료 후 최종 목표의 달성 여부, 연구수행 과정 등을 종합적으로 평가하여 연구 결과의 의의 및 성과 활용·확산과 관련한 의견 제시
  - (평가기준) 연구개발과제의 수행 과정 및 내용, 결과 및 목표 달성 정도와 기여도 평가
    - 연구 종료 후 최종 목표의 달성 여부, 연구 수행 과정 등에 대한 종합적 기준 적용
  - (평가방식) 과정평가, 성과평가, 계획평가로 나누어 대면(발표)평가를 통해 최종평가 진행
    - 연구개발 과제 평가단 위원 별 점수를 통해 종합 평가 점수 산정하여 등급 산출
    - ‘우수’(종합평가 결과 80점 이상), ‘보통’(종합평가 결과 60점이상 80점미만), ‘미흡’(종합평가 결과 60점 미만), ‘극히 불량’(종합평가 40점미만)
  - (최종평가 결과) 최종평가 결과에 따라 인센티브 및 제재 등 후속 조치 실시
    - ‘우수’, ‘보통’, ‘미흡’ 과제는 최종보고서의 보완·변경
    - ‘우수’ 평가 과제는 후속 연구개발과제로의 연계 등 추가 지원 가능
    - ‘극히 불량’ 평가의 과제는 향후 과제 참여제한 또는 제재부가금 부과 등 제재 조치

## 3. 성과 활용계획

### 1) 연계·사업화 지원

- 액체수소 공급인프라 사업단에서 동 사업 성과의 연계·활용도 제고를 위한 지원 추진
    - 핵심 기자재 등 상용화 검증 시 시장진입 성공률 제고를 위한 맞춤형 컨설팅 제공 및 공공조달시스템 연계 컨설팅
    - 국내 수소 유관 인프라 및 타 국가연구개발사업을 통해 구축된 설비 등 인프라와의 연계 활용 지원
      - 공공 인프라 외 민간 수소 수요기업과의 협력을 통해 기술개발 효율성 제고 및 조기 상용화 촉진
    - 전문기관을 통한 기술거래 활성화로 연구개발 성과 공유 확산 지원
      - 전문기관의 역할은 국토교통과학기술진흥원(KAIA)이 수행하며, 개발된 기술의 기술평가를 통해 기술거래를 활성화함으로써 개발 성과물의 사회적·산업적 확산을 촉진
- ※ 국토교통과학기술진흥원(KAIA)은 「기술 이전 및 사업화 촉진에 관한 법률」 제10조에

다른 기술거래기관지정(산업통상자원부 고시 제2018-214호, 2018.11.30.)에 따라 기술거래 중개를 위한 전문기관 역할을 수행



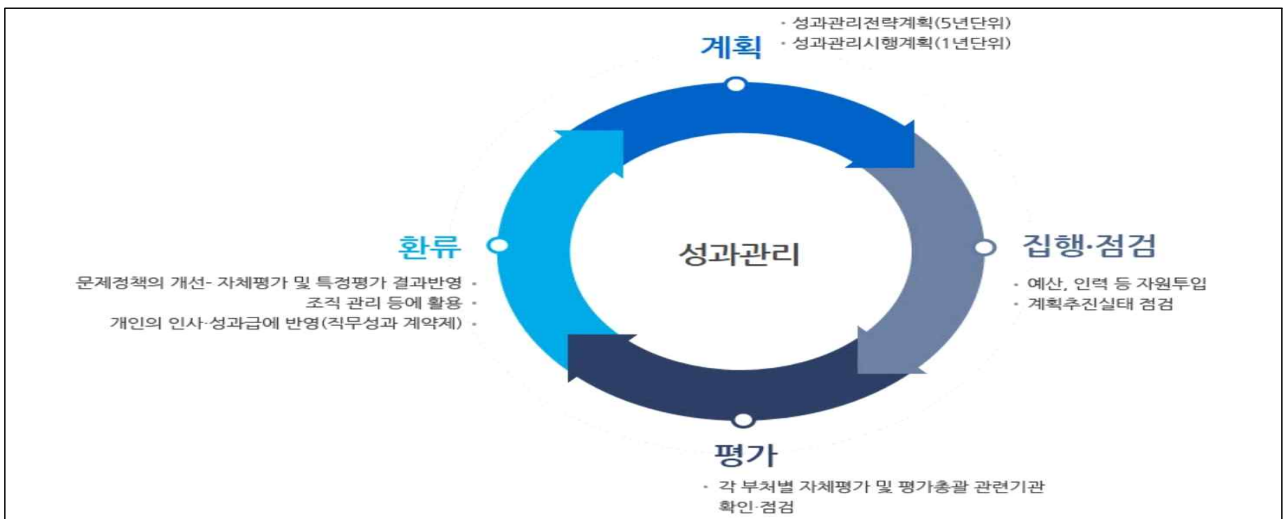
〈그림 4-6〉 연구개발 성과를 활용 계획 - 기술거래 지원

## 2) 성과관리계획

- 동 사업의 성과는 「정부업무평가기본법」에 명시된 성과관리 구조에 따라 계획 → 집행·점검 → 평가 → 환류'의 구조로 관리

※ 「정부업무평가기본법」 제2조 제6항에 따르면 성과관리란 정부 업무를 추진함에 있어 기관의 임무와 비전, 중장기 목표, 연도별 목표 및 성과지표를 미리 제시하고, 집행과정 및 결과를 경제성·능률성·효과성 등의 관점에서 관리하는 일련의 활동으로 정의

- 국토교통부는 매년 자체적으로 성과계획을 수립하고, 매년 당해연도 협약종료 1개월 전에 중간(연차)보고서, 주관기관 자체평가 의견서, 세부과제별 연구개발결과 활용 계획서(최종 연차)를 제출하도록 권고
- 세부과제 중점분야별 성과 활용유형 및 성과지표를 설정하고 체계적으로 관리하며, 기술이전 확산 및 우수사례 발굴 등을 위한 추적평가 시행



자료: 국무총리정부업무평가위원회

〈그림 4-7〉 성과관리 프레임워크

- 연구과제 성과모니터링, 과제 성과조사·분석, 과제 결과평가 등을 통해 확보한 성과 정보를 DB화하고 이를 바탕으로 성과 활용 및 확산 계획을 수립
  - (성과물 DB 구축) 성과모니터링, 성과조사분석, 성과평가단계에서 구축한 성과정보 DB와 과제별 보고서에 제시된 성과물 등록 증빙자료를 토대로 동 사업의 성과물 유형별 현황을 통합 정리
  - (성과 활용·확산 계획 수립) 성과물 유형별 등록·기탁기관과 효율적으로 성과물 위탁을 유도하기 위한 계획을 수립하고 성과물 유형별 활용을 위한 기본 방안을 수립
- 동 사업을 통해 개발된 성과물의 확산을 촉진하고자 우수성과 발굴, 기술이전 활성화, 우수과제 인센티브 부여 등을 위한 성과활용 추적평가 추진
  - 성과활용조사·평가 전문가가 성과평가 실무를 담당하고, (가칭)액체수소 공급인프라 사업단과 유기적으로 협력하여 성과활용 추적조사·평가
  - 성과활용 추적평가 시, 사업 특성을 고려한 중점분야별 평가 항목을 차별화하여 평가 기준의 형평성을 제고

〈표 7-1〉 성과활용 추적조사 평가 지표 및 배점(안)

항목		지표	배점		
			중점 분야1	중점 분야2	중점 분야3
사업화	추가 투자	○ 사업화를 위한 추가 투자의 적정성 ○ 활용 건수(실증과제의 경우)	10	20	50
	제품·공정 시장출시	○ 부품의 시장 출시 여부 ○ 부품의 시장 지배도	20	10	-
	매출실적	○ 투입대비 매출성과 규모 및 관련 매출의 증가 추이 ○ 수입대체 및 수출 효과	10	-	-
	인력고용	○ 사업화에 따른 추가인력고용 효과	30	20	-
지식 창출	특허출원 및 등록	○ 수행과제와의 관련성 및 투입 대비 특허 성과의 적정성 ○ 특허확보에 따른 기술선점 효과	15	-	-
	논문실적	○ 수행과제와의 관련성 및 내용의 우수성 ○ 투입대비 논문 성과의 적정성	5	20	-
활용 전망	사업화 잠재력	○ 향후 시장진입·확대 가능성 ○ 고용창출 효과, 시장규모, 수익성 투자 대비 효과	5	15	-
	추가 활용 가능성	○ 관련 분야에 추가 사업화 가능성 ○ 응용기술로서 타 분야 파급효과 ○ 시험 인증 건수(실증과제 경우)	5	15	50
배점 합계			100	100	100

## V 사업 추진 과제

- 1절. (구성기술 1) 액체수소 인수기지  
평저형 저장탱크 건설 기술 개발
- 2절. (구성기술 2) 액체수소 인수기지  
적하역 시스템 기술 개발



# V 사업 추진 과제

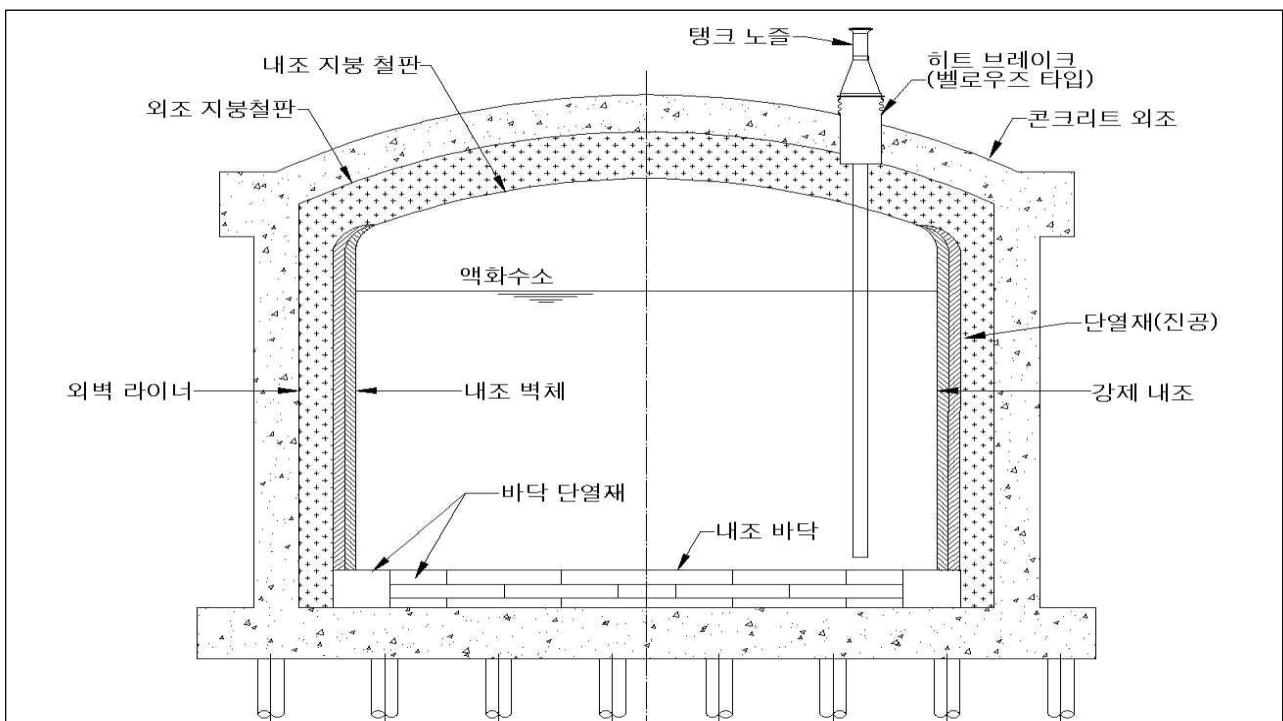
## 1절 [구성기술 1] 액체수소 인수기지 평저형 저장탱크 건설 기술 개발

### 1. 개요

추진 필요성	○ 해외 액체수소 수입 증가에 따라 액체수소의 대용량 공급·저장 및 안정적 이송을 위한 문제해결 방안으로 액체수소 인수기지 저장·운영 기술이 부각																												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>핵심 현안</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>                             ○ 해외는 대용량 액체수소 저장탱크에 대한 실증과 설계 기술을 확보 중이나, 국내는 부재한 상황                              ○ 대용량 액체수소 저장탱크에 적합한 소재에 대한 물성치 및 개념/상세 설계안 부재                              ○ 요소기술에 대한 시험 평가와 안전기준이 부족하여 기술개발이 제한적                         </td> </tr> </tbody> </table>	핵심 현안	○ 해외는 대용량 액체수소 저장탱크에 대한 실증과 설계 기술을 확보 중이나, 국내는 부재한 상황 ○ 대용량 액체수소 저장탱크에 적합한 소재에 대한 물성치 및 개념/상세 설계안 부재 ○ 요소기술에 대한 시험 평가와 안전기준이 부족하여 기술개발이 제한적	<table border="1"> <thead> <tr> <th>해결 방안</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>                             ○ 독자적으로 상업화가 가능한 평저형 액체수소 저장탱크 설계 및 건설 기술 확보                              ○ 대용량 액체수소 저장탱크에 대한 소재 평가 및 물성치 확보를 통한 개념/상세 설계안 확보                              ○ 요소기술에 대한 시험 평가와 안전기술 개발                         </td> </tr> </tbody> </table>	해결 방안	○ 독자적으로 상업화가 가능한 평저형 액체수소 저장탱크 설계 및 건설 기술 확보 ○ 대용량 액체수소 저장탱크에 대한 소재 평가 및 물성치 확보를 통한 개념/상세 설계안 확보 ○ 요소기술에 대한 시험 평가와 안전기술 개발																							
핵심 현안																													
○ 해외는 대용량 액체수소 저장탱크에 대한 실증과 설계 기술을 확보 중이나, 국내는 부재한 상황 ○ 대용량 액체수소 저장탱크에 적합한 소재에 대한 물성치 및 개념/상세 설계안 부재 ○ 요소기술에 대한 시험 평가와 안전기준이 부족하여 기술개발이 제한적																													
해결 방안																													
○ 독자적으로 상업화가 가능한 평저형 액체수소 저장탱크 설계 및 건설 기술 확보 ○ 대용량 액체수소 저장탱크에 대한 소재 평가 및 물성치 확보를 통한 개념/상세 설계안 확보 ○ 요소기술에 대한 시험 평가와 안전기술 개발																													
정의 및 개념	○ 육상에서 액체수소를 안정적으로 저장하고 공급하기 위한 대용량 저장탱크 및 안전시스템 설계·제작 기술 개발																												
중점분야 목표	<table border="1"> <thead> <tr> <th>전략목표</th> <th colspan="2">액체수소 저장탱크 설계·건설·안전 기술 확보</th> </tr> <tr> <th>성과목표</th> <th>성과지표</th> <th>목표</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">① 액체수소 저장탱크 설계 기술 개발</td> <td>① 평저형 액체수소 저장탱크 설계 용량</td> <td>200m<sup>3</sup>/4,000m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>② 평저형 액체수소 저장탱크 BOG</td> <td>0.5%/day</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">② 액체수소 저장탱크 건설 기술 개발</td> <td>① 평저형 모듈형 단열재 진공도</td> <td>55millitorr</td> </tr> <tr> <td>② 평저형 액체수소 저장탱크 실증 용량</td> <td>200m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">③ BOG 비상제어 시스템 기술 개발</td> <td>① 액체수소용 재액화 용량</td> <td>8 m<sup>3</sup>/day</td> </tr> <tr> <td>② 액체수소 저장 밀도</td> <td>75kg/m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">④ 긴급차단장치 및 안전밸브 설계 제작 기술개발</td> <td>① 파일럿 타입 안전밸브 규격</td> <td>4 inch</td> </tr> <tr> <td>② 긴급차단장치 규격</td> <td>6 inch/10 inch</td> </tr> </tbody> </table>	전략목표	액체수소 저장탱크 설계·건설·안전 기술 확보		성과목표	성과지표	목표	① 액체수소 저장탱크 설계 기술 개발	① 평저형 액체수소 저장탱크 설계 용량	200m <sup>3</sup> /4,000m <sup>3</sup>	② 평저형 액체수소 저장탱크 BOG	0.5%/day	② 액체수소 저장탱크 건설 기술 개발	① 평저형 모듈형 단열재 진공도	55millitorr	② 평저형 액체수소 저장탱크 실증 용량	200m <sup>3</sup>	③ BOG 비상제어 시스템 기술 개발	① 액체수소용 재액화 용량	8 m <sup>3</sup> /day	② 액체수소 저장 밀도	75kg/m <sup>3</sup>	④ 긴급차단장치 및 안전밸브 설계 제작 기술개발	① 파일럿 타입 안전밸브 규격	4 inch	② 긴급차단장치 규격	6 inch/10 inch		
	전략목표	액체수소 저장탱크 설계·건설·안전 기술 확보																											
성과목표	성과지표	목표																											
① 액체수소 저장탱크 설계 기술 개발	① 평저형 액체수소 저장탱크 설계 용량	200m <sup>3</sup> /4,000m <sup>3</sup>																											
	② 평저형 액체수소 저장탱크 BOG	0.5%/day																											
② 액체수소 저장탱크 건설 기술 개발	① 평저형 모듈형 단열재 진공도	55millitorr																											
	② 평저형 액체수소 저장탱크 실증 용량	200m <sup>3</sup>																											
③ BOG 비상제어 시스템 기술 개발	① 액체수소용 재액화 용량	8 m <sup>3</sup> /day																											
	② 액체수소 저장 밀도	75kg/m <sup>3</sup>																											
④ 긴급차단장치 및 안전밸브 설계 제작 기술개발	① 파일럿 타입 안전밸브 규격	4 inch																											
	② 긴급차단장치 규격	6 inch/10 inch																											
추진내용	<table border="1"> <thead> <tr> <th>세부기술</th> <th>주요 내용</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>평저형 액체수소 저장탱크 설계 기술 개발</td> <td>○ 액체수소 저장탱크 설계를 위한 금속 소재 물성 D/B 구축 등</td> </tr> <tr> <td>평저형 액체수소 저장탱크 건설 기술 개발</td> <td>○ 액체수소 저장탱크 내외부 구조체 건설 기술 개발 등</td> </tr> <tr> <td>BOG 비상제어·재액화 시스템 기술 개발</td> <td>○ BOG 비상제어·내장형 재액화 시스템 설계 및 제작 기술 개발</td> </tr> </tbody> </table>	세부기술	주요 내용	평저형 액체수소 저장탱크 설계 기술 개발	○ 액체수소 저장탱크 설계를 위한 금속 소재 물성 D/B 구축 등	평저형 액체수소 저장탱크 건설 기술 개발	○ 액체수소 저장탱크 내외부 구조체 건설 기술 개발 등	BOG 비상제어·재액화 시스템 기술 개발	○ BOG 비상제어·내장형 재액화 시스템 설계 및 제작 기술 개발																				
	세부기술	주요 내용																											
	평저형 액체수소 저장탱크 설계 기술 개발	○ 액체수소 저장탱크 설계를 위한 금속 소재 물성 D/B 구축 등																											
평저형 액체수소 저장탱크 건설 기술 개발	○ 액체수소 저장탱크 내외부 구조체 건설 기술 개발 등																												
BOG 비상제어·재액화 시스템 기술 개발	○ BOG 비상제어·내장형 재액화 시스템 설계 및 제작 기술 개발																												
기대효과	○ 액체수소 인수기지 구축 시 저장탱크 부지 효율성 극대화 및 저장탱크 개수 최소화를 통해 자본적 지출 및 운영비용 절감 ○ 액체수소 저장탱크를 구성하기 위한 고성능 소재, 설계, 제조, 유지보수 등 다양한 분야의 산업 생태계가 함께 성장하여 관련 국내 수소 산업 활성화 및 수출 경쟁력 확보																												

## 1) 구성기술 정의 및 범위

- (정의) 육상에서 액체수소를 안정적으로 저장하고 공급하기 위한 대용량 저장탱크 및 BOG 비상제어·재액화 시스템 설계·제작 기술 개발
  - (세부기술 1-1) 평저형 액체수소 저장탱크 설계 기술 개발
    - 200m<sup>3</sup>, 4,000m<sup>3</sup> 액체수소 저장탱크 구조 및 단열 설계 기술 개발
    - 액체수소 저장탱크 설계를 위한 금속 소재 물성 D/B 구축 및 표준화
    - 액체수소 저장탱크 구조유동·열전달 통합 시뮬레이터 개발
  - (세부기술 1-2) 평저형 액체수소 저장탱크 건설 기술 개발
    - 200m<sup>3</sup>급 액체수소 저장탱크 내외부 구조체 건설
    - 액체수소용 고성능 단열 시스템 및 시공 기술 개발
    - 200m<sup>3</sup>급 액체수소 저장탱크 건설 실증
  - (세부기술 1-3) BOG\* 비상제어·재액화 시스템 기술 개발
    - \* .BOG(Boil Off Gas) 액체에서 기체로 증발하는 수소
    - BOG 비상제어·내장형 재액화 시스템 설계 및 제작 기술 개발
    - 긴급차단장치·안전밸브 설계 및 제작 기술 개발
    - 설계 기반 정량적·정성적 위험성 평가 수행과 평가 결과의 설계 적용



〈그림 5-1〉 (구성) 기술개발 개념도

□ (목표) 세계 최초 평저형 액체수소 저장탱크 설계·건설 기술을 확보하고 저장 안정성 제고를 위한 BOG 비상제어시스템 등 안전 기술 개발

- 200m³급 액체수소 저장 시스템 설계, 건설 및 안전 기술 개발
  - 대용량 상업화가 가능한 평저형 액체수소 저장탱크 설계 기술을 확보하고, 200m³급 탱크 실증 기술을 확보, 장주기 안정적인 저장이 가능하도록 BOG 비상제어 시스템과 안전 시스템 개발을 확보

〈표 5-1〉 (구성1) 사업목표

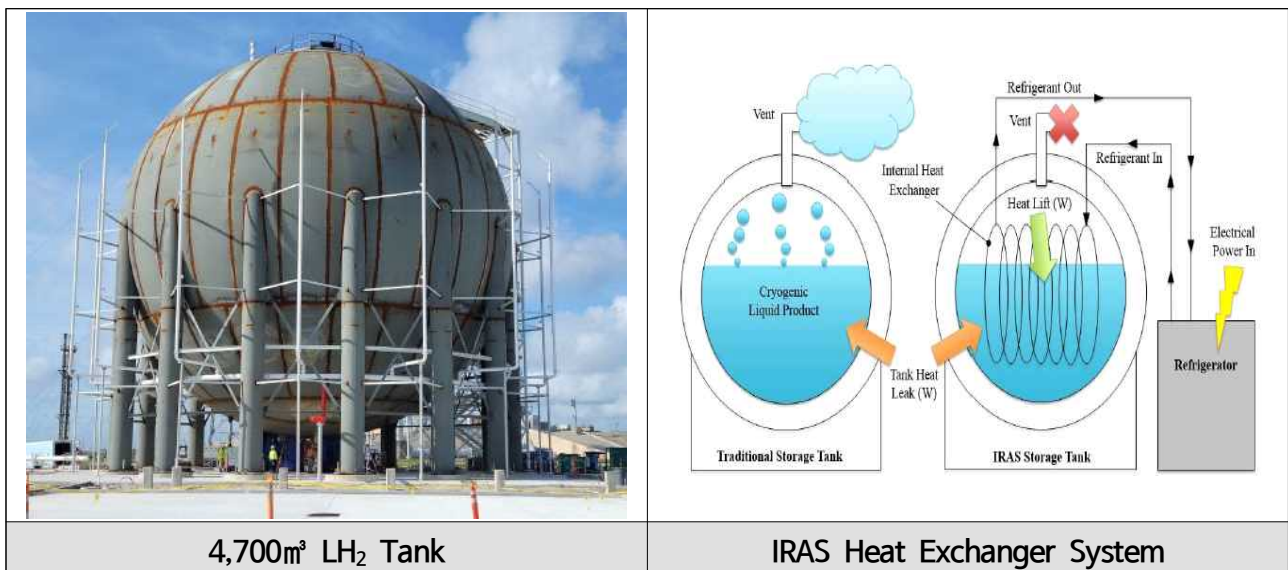
전략목표	4,000m³급 대용량 액체수소 저장탱크 설계·건설· 안전 기술 확보	
성과목표	성과지표	목표
① 평저형액체수소 저장탱크 설계 기술 개발	❶ 20K급 액체수소 저장탱크 금속 물성 데이터베이스 구축	3건
	❷ 평저형 액체수소 저장탱크 설계 용량	200m³/4,000m³
	❸ 평저형 액체수소 저장탱크 BOG	0.5%/day
	❹ 액체수소 저장탱크 BOG 예측율	>98%
② 평저형 액체수소 저장탱크 건설 기술 개발	❶ 평저형 모듈형 단열재 단열재 진공도	55millitorr
	❷ 평저형 액체수소 실증 용량	200m³
③ BOG 비상제어 시스템	❶ 액체수소용 재액화 용량	8 m³/day
	❷ 액체수소 재액화 설비 AIP 획득	1
	❸ 액체수소 저장 밀도	75kg/m³
	❹ 액체수소 재액화 시스템 성능	0.2%
④ 안전시스템 및 안전밸브 설계 제작 기술개발	❶ 파일럿 타입 안전밸브 크기	4 inch
	❷ 긴급차단장치의 크기	6 inch/10 inch
	❸ 긴급차단장치 KGS(KGS AA317) 인증 취득	1건

## 2) 주요 연구동향

### (1) 국내외 R&D 동향

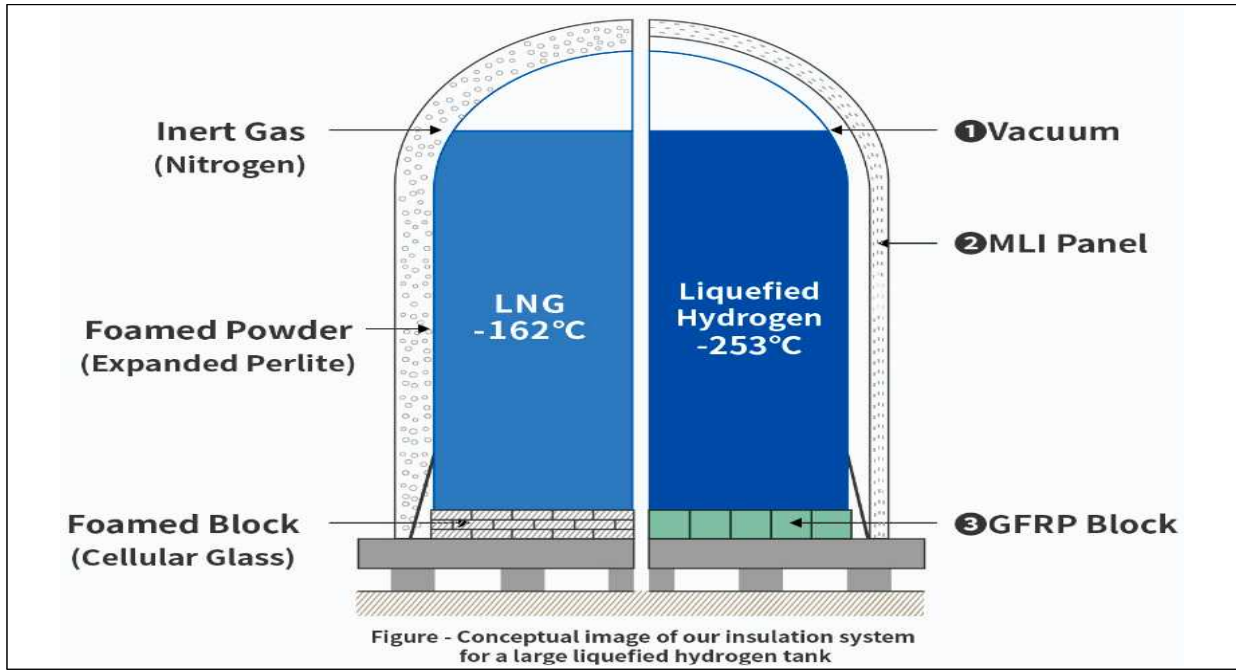
#### □ (해외) 주요 액체수소 저장 연구 개발 동향

- (CB&I, 미국) 현존하는 세계 최대 4,700m<sup>3</sup> 용량 액체수소 저장탱크 설계 및 건설실적을 보유한 저장 시설, 탱크 및 터미널을 설계하고 건설하는 세계 최고의 기업으로 100,000m<sup>3</sup> 용량의 초대용량 액체수소 저장탱크 개발을 추진
  - (NASA, 미국) 1960년대 중반 NASA 케네디 우주센터에 3,200m<sup>3</sup> 용량 액체수소 저장탱크 (진공 필라이트 단열탱크) 건설
  - (NASA, 미국) 2022년 NASA 케네디 우주센터 LC-39B에 세계 최대 4,700m<sup>3</sup> 용량 액체수소 저장탱크 건설완료 (진공 유리 버블 단열 시스템 적용으로 필라이트에 비해 증발을 46% 감소, IRAS 내부 탱크 열교환기를 통한 제로 증발율 시스템 개발)



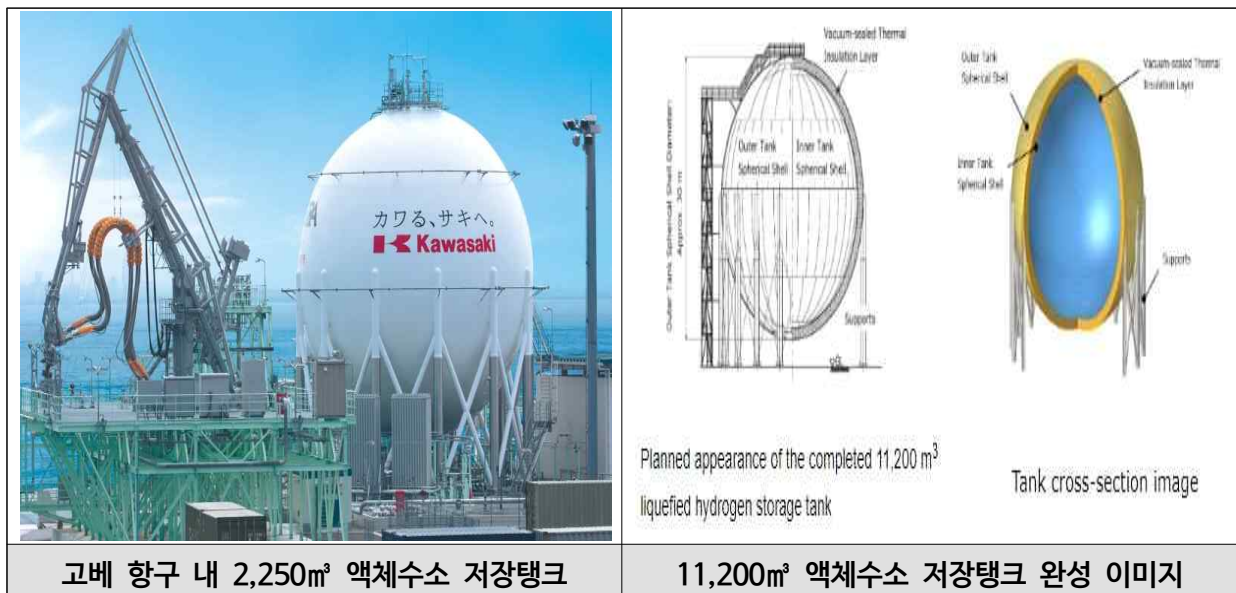
〈그림 5-2〉 (전략 4-1) CB&I LH<sub>2</sub> Tank

- (TKK, 일본) ‘30년 수소발전 상용화를 목표로 세계 최초의 50,000m<sup>3</sup> 용량의 대용량 액체수소 저장탱크 건설을 목표로 하고 있으며, 액체수소가 LNG보다 액화온도가 낮고 증발이 더 쉬움에 따라 기존 LNG 저장탱크와 다른 수소 저장탱크 단열 시스템에 대한 연구 개발을 진행하고 있음.



〈그림 5-3〉 TTK 평저형 액체수소 저장탱크 개념도

- (Kawasaki, 일본) 2020년 고베 공항선에 일본 최대 규모의 2,250m<sup>3</sup> 용량의 구형 액체수소 저장탱크를 건설하였으며, 이에 대한 설계 및 제작 기술을 기반으로 같은 해 12월 11,200m<sup>3</sup> 용량의 구형 액체수소 저장탱크 기본 설계를 완료했다고 발표함.(Kawasaki, 일본) 2020년 12월 11,200m<sup>3</sup> 용량의 액체수소 저장탱크 기본 설계를 완료했다고 발표함.



자료: Kawasaki

〈그림 5-4〉 Kawasaki 구형 액체수소 저장탱크

- **(글로벌)** 극저온 환경 금속소재의 역학물성/열물성 평가기술
  - 일본 NIMS에서 진공 단열된 튜브 내에 샤르피 충격시험편을 장착하고 액체헬륨을 지속적으로 흘려주며 4.2 K(약 -269 °C)에서 샤르피 충격특성을 평가함
  - 일본 NSSMC, NRIM을 필두로 액체헬륨을 이용한 극저온 환경 역학물성 평가기술 개발이 진행됨
  - 미국 NASA에서 저온 열물성 평가기술을 확보하여 로켓 내 액체수소연료 사용을 위하여 열물성 평가
  - US-Japan 프로젝트 및 VAMAS를 통해 1980년대부터 극저온 환경 역학물성 평가기술에 대한 표준화가 진행됨
- **(국내)** 액체수소 저장을 위한 소재 연구와 탱크의 단열 성능 개선을 위한 기술 개발
  - **(삼성물산)** ‘23년 국제인증기관 DNV(Det Norske Veritas)로부터 40,000m<sup>3</sup> 세계 최대 용량 액체수소 저장탱크 설계인증을 획득
  - **(에스탱크엔지니어링)** ‘23년 SK E&S의 SK인천석유화학단지 액체수소 플랜트에 횡형 압력용기 300m<sup>3</sup> 용량 액체수소 저장탱크를 납품하였으며, 대용량 액체수소 저장탱크 개발을 위해 소형 구형 목업(Mock-Up)용 저장탱크를 제작하여 기술확보를 추진중
  - **(한국철도기술연구원(KRRRI))** 고출력 수소기관차용 액체수소 저장탱크 개발
    - 단열 성능을 극대화하기 위해 다층 단열(Multi-Layer Insulation, MLI)과 유리 버블(Glass Bubbles)을 활용하는 기술이 개발
  - **(한국산업기술기획평가원)** 소재부품기술개발사업으로 연구개발 중인 액체수소 저장탱크용 진공단열시스템 소재와 장비 개발 및 실증에서 액체수소 저장탱크용 고성능 소재 개발
    - 분말형 단열 소재 및 진공단열복합패널 개발에서 기존 글라스버블보다 우수한 단열 성능과 시공 용이성을 갖춘 대입자 분말형 단열소재의 개발 진행 중
  - 크라이오스탯 및 헬륨냉동기를 이용한 극저온(-253 °C)의 극저온 환경에서 인장물성을 평가한 결과가 일부 있으나, 피로/파괴 등의 평가기술 및 시험장비는 전무함.
  - 헬륨냉동기를 이용하여 시험편의 온도를 극저온(-253 °C)으로 냉각한 후 충격물성을 평가하였지만, 시험편 온도의 급상승으로 정확한 충격물성 확보가 어려움
  - 액체수소용 저장탱크 및 단열소재 등의 주요소재들에 대해 액체질소 환경(-196 °C)에서 극저온 열물성 평가는 일부 수행, -253 °C의 극저온 온도에서의 평가기술 및 시스템은 부족

## (2) 국내외 시장 · 산업 동향

### □ (글로벌) 수소경제 전망

※ 자료: 한국무역협회

- 골드만삭스社は 2050년 세계 수소경제 시장 규모를 12조 달러 (약 1경 7천조 원)로 전망, 수소경제 관련 글로벌 최고경영자(CEO) 협의체인 수소위원회는 2조 5천억 달러 (약 2,750조원)로 예측



〈그림 5-5〉 수소 수요 및 시장규모 전망

- 미국, 독일, 일본 신에너지 개발에 적극적 투자 및 확대 추진 중

<p>①  미국</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1970년대 오일 파동을 계기로 에너지 안보 강화를 위한 신에너지 개발에 착수하여 에너지부(DOE) 주관의 정부 주도 수소에너지 연구개발 본격화('76~)</li> <li>• 탄소중립 경제실현을 위한 에너지 전환 정책 'Energy Earthshots'의 일환으로 청정수소 수요 확대를 위한 'Hydrogen Shot' 발표('21.6)</li> </ul>
<p>②  독일</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 국가혁신프로그램(NIP) 기반 수소 및 연료전지 분야 기술개발 지원 착수('06) → 국가 수소 연구소 'NOW' 설립('08)</li> <li>• 독일 연방 경제 및 에너지부(BMWi) 및 교육 연구부(BMBF)는 연간 6,000만 유로 지원금 투입('20) 및 관련 연구 269건 지원 중('21~)</li> </ul>
<p>③  일본</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 탈탄소를 위한 중점 분야로 수소를 선정하고 대규모 수소공급망 구축, 수소 수요 및 활용처 확대 등 추진</li> <li>• 수소·연료전지 전략 로드맵 2차 발표('19.3), 그린성장전략 수립 발표('20.12)</li> </ul>

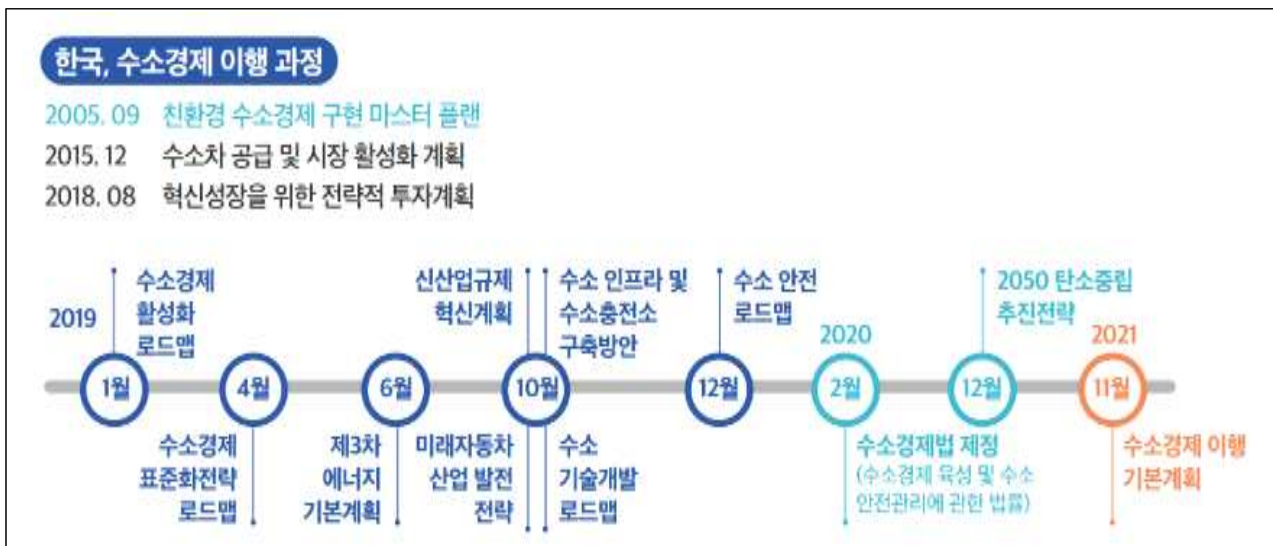
〈그림 5-6〉 주요국 수소경제 동향

- 일본의 미쓰비시 중공업, 독일의 린데, 미국의 에어프로덕트 등 글로벌 기업들의 액체수소 저장탱크 시장 경쟁력 강화
  - 미국, 일본, 유럽을 중심으로 대형 액체수소 저장탱크, 특히 Ball Type Storage Tank 기술이 활발히 연구되고 있고, 첨단 단열 기술 및 안전 설계에 대한 요구가 증가

## □ (국내) 수소경제 추진 현황

※ 자료: 한국무역협회

- (추진체계) 범부처 민관합동 수소경제 컨트롤타워인 ‘수소경제위원회’ 운영중
  - 국무총리(위원장), 8개 관계부처 장관 및 산업계·학계·시민단체 등 분야별 최고의 민간전문가로 구성
- (정부대책) ‘친환경 수소경제 구현 마스터 플랜 (’05.09)’ 을 시작으로 ‘수소경제 로드맵 (’19.01)’ , ‘수소경제 이행 기본계획 (’21.11)’ 등 다양한 대책 마련·발표
  - 수소차의 경우 국내기업의 전 세계 수소차 판매량이 ’20년 6,500여대, ’21년 8,557대를 기록하여 세계 수소차 시장점유율 50% 차지 (3년 연속 1위)
- (법·제도) 세계 최초로 수소경제 전반에 대한 추진체계, 지원정책, 안전관리 등의 내용을 포함하는 「수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률」 제정·시행(’21.02)



〈그림 5-7〉 한국 수소경제 이행 과정

- 수소 경제의 급성장 및 대형 액체수소 저장탱크 프로젝트
  - 한국의 수소 산업은 2030년까지 26.8조원 규모로 성장할 것으로 전망되고 있으며, 삼성물산은 세계 최대 규모의 구형 액체수소 저장탱크 설계에 대한 인증을 받았으며, 이는 40,000m<sup>3</sup> 용량으로, 최대 2,800톤의 액체수소를 저장할 수 있음

### 3) 기술개발 필요성

- 해외 액체수소 수입 증가에 따라 액체수소의 대용량 공급·저장 및 안정적 이송을 위한 문제해결 방안으로 인수기지 저장·운영 기술이 부각
  - ‘50년 수소가 글로벌 총 에너지 수요의 18%를 차지할 것으로 전망되며, 수소의 저장·운송 한계 극복을 통해 안정적인 수소 대량 공급과 저장을 위한 수소 시장 경쟁력 확보 필요
  - 수소 수요는 현재 10EJ 수준에서 2050년 78EJ(석유 약 132억 배럴)까지 성장하여, 전세계 에너지 수요의 18% 차지 전망 (mckinsey)
- 대용량 액체수소 저장탱크의 필요성
  - 수소는 현존하는 액체/가스 연료 중에서 가장 높은 중량 에너지 밀도(단위 질량당 가장 높은 발열량)를 갖는 반면, 가장 낮은 부피 에너지 밀도(단위 부피당 가장 낮은 발열량)를 가짐. 일례로, 같은 발열량의 에너지를 저장하기 위해서는 LNG 대비 액체수소는 약 3배의 저장 공간이 필요
  - 전 세계 현존하는 가장 큰 액체수소 저장탱크의 단위용량은 4,700m<sup>3</sup>로 유사한 벨류 체인을 가진 LNG의 270,000m<sup>3</sup> 보다 약 60배 작은 것이 현실로, 전문가들의 의견에 따르면 가압식 저장탱크 형식(Sphere type)은 기술적 한계로 최대용량이 1~4만m<sup>3</sup>로 제한되므로 10만m<sup>3</sup>급 이상의 대용량 액체수소 저장탱크는 전 세계적으로 공백 기술
  - 인수기지에서 저장탱크가 차지하는 공간 비율은 일반적으로 전체 인수기지 면적의 약 40~60%를 차지함. 작은 용량의 저장탱크 적용 시 인수기지 전체 면적의 증가로 부지 효율성이 저하되며 저장탱크 개수의 증가에 따른 유지보수 비용이 상승하기에 액체수소 인수기지 경제성 확보를 위해서는 대용량 액체수소 저장탱크 개발이 필수
- 액체수소 저장탱크 기술개발 글로벌 수준
  - 미, 일을 중심으로 정부 주도 대용량 액체수소 저장탱크(5만m<sup>3</sup>~10만m<sup>3</sup>) 개발 및 상용화 프로젝트 진행 중
    - (미국) 에너지부(DOE)주관 NASA를 포함한 산학연 컨소시엄에서 ‘24년까지 10만m<sup>3</sup>급 저장탱크 설계기술 개발 중
    - (일본) 신에너지 산업기술 종합개발기구(NEDO) 주도로 호주-일본 시범사업을 ‘22년에 완료하였으며, ‘30년까지 5만m<sup>3</sup>급 평저형 저장탱크를 건설하고 상용화 실증 예정

## □ 액체수소 저장탱크 기술개발 국내 현황 및 문제점

- 국내는 소용량 실린더 타입 상용화 완료
  - 국내는 소용량 실린더 타입 저장탱크만 상용화 되어있고 새로운 형태의 대용량 저장탱크 개발에는 막대한 자금과 인력이 투입되므로, 중소기업체에서 기술개발을 주도하기란 불가능한 실정
- 대용량에 저장탱크 개발에는 액체수소에 적합한 소재 및 물성 확보를 시작으로 개념설계 및 상세설계, 요소기술 시험 및 평가, 안전기준 확립, 시공성 확인 등 각 분야 전문 기관 및 민간기업, 학계의 공동 개발이 필수

〈표 5-2〉 (구성1) 문제/이슈 및 해결방안

문제/이슈	동 사업을 통한 해결방안
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 해외는 대용량 액체수소 저장탱크에 대한 실증과 설계 기술을 확보하고 있으나, 국내 기술 부재</li> <li>○ 대용량 액체수소 저장탱크에 대한 적합한 소재에 대한 물성치 및 개념/상세 설계안 부재</li> <li>○ 요소 기술에 대한 시험 평가와 안전기준이 부족하여 기술개발의 한계</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 독자적으로 상업화가 가능한 한국형 평저형 액체 수소 저장탱크 설계 및 건설 기술 확보</li> <li>○ 대용량 액체수소 저장탱크에 대한 소재 평가 및 물성치 확보를 통한 개념 /상세 설계안 확보</li> <li>○ 요소기술에 대한 시험 평가와 안전 기술 개발</li> </ul>

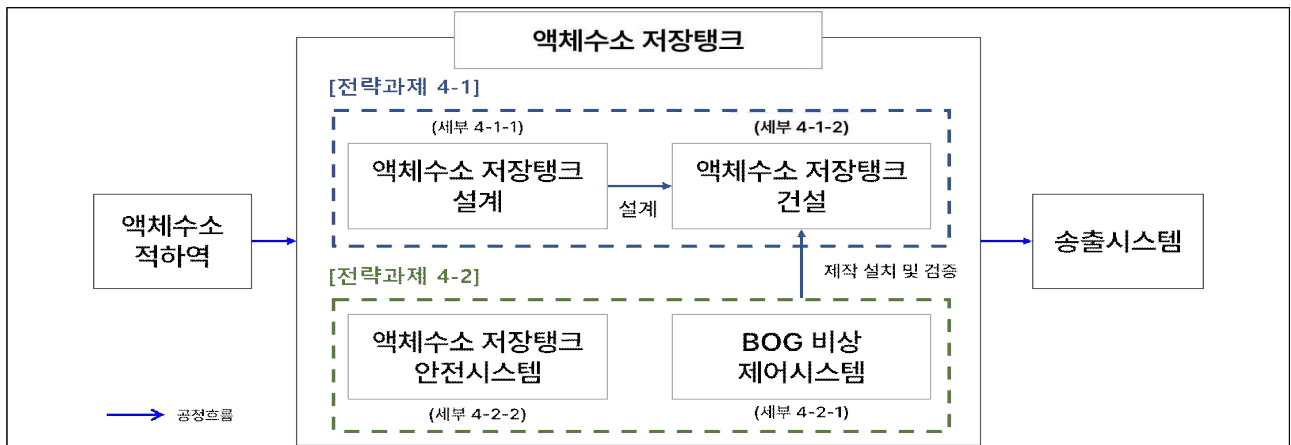
## 4) 구성기술 구성 및 연계 방안

- (사업구성) 평저형 액체수소 저장탱크 설계·건설 및 BOG 비상제어 시스템 기술 개발 등 3개 세부기술로 구성

〈표 5-3〉 (구성1) 사업의 구성

구성기술	세부기술	요소기술
[구성 1] 액체수소 인수기지 평저형 저장탱크 건설기술 개발	(세부 1-1) 평저형 액체수소 저장탱크 설계 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 액체수소 저장탱크 설계를 위한 금속 소재 물성 D/B 구축 및 표준화</li> <li>○ 평저형 저장탱크 구조 및 단열 설계 기술 개발</li> <li>○ 액체수소 저장탱크 구조·유동·열전달 통합 시뮬레이터 개발</li> </ul>
	(세부 1-2) 평저형 액체수소 저장탱크 건설 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 액체수소 저장탱크 내외부 구조체 건설 기술 개발</li> <li>○ 액체수소용 고성능 단열 시스템 및 시공 기술 개발</li> <li>○ 200m³ 액체수소 저장탱크 건설 실증</li> </ul>
	(세부 1-3) BOG 비상제어·재액화 시스템 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ BOG 비상제어·재액화 시스템 설계 및 제작 기술 개발</li> <li>○ 긴급차단장치·안전밸브 설계 및 제작 기술 개발</li> </ul>

- (세부기술 간 연계성) 세부과제별 평저형 액체수소 저장탱크 설계 및 건설기술 개발, BOG 비상제어·재액화 기술과제가 함께 유기적으로 연계하여 사업을 수행할 예정
  - △세부 1-1에서 도출된 설계안과 △세부 1-2에서 구축된 탱크에 △세부 1-3의 안전 시스템이 적용되어 안정적인 액체수소 저장이 될 수 있도록 개발될 예정
    - △세부 1-3에서 개발된 BOG 안전시스템 및 긴급차단장치 등을 활용 탱크 내압을 유지하고, 폭발 등이 발생되지 않도록 활용될 예정



〈그림 5-8〉 (구성1) 세부기술 간 연계도

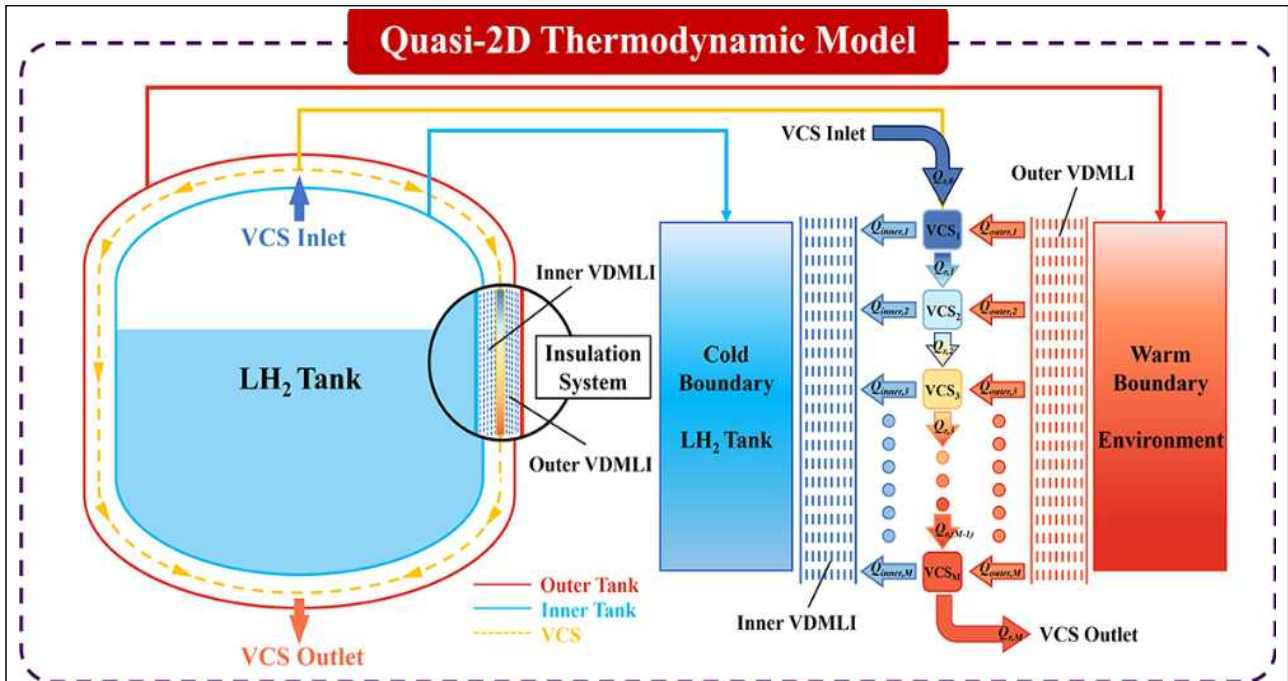
## 5) 기술개발 로드맵

세부기술	1단계		2단계	
	2026	2027	2028	2029
<b>[세부 1-1]</b> 평저형 액체수소 저장탱크 설계 기술 개발	액체수소 저장탱크 설계용 금속 소재 D/B 구축 및 표준화	200m <sup>3</sup> 급 평저형 저장탱크 설계 및 구조·유동·열전달 통합 시뮬레이터 개발	200m <sup>3</sup> 급 평저형 저장탱크 상세설계, 실증탱크 검증을 통한 Scale-up 설계	4,000m <sup>3</sup> 급 평저형 저장탱크 Scale-up 기본설계
<b>[세부 1-2]</b> 평저형 액체수소 저장탱크 건설 기술 개발	실증부지 확보 및 인허가 준비	인허가 및 단열 시스템 자재 구매, 시공 절차 확립	200m <sup>3</sup> 급 평저형 저장탱크 내외부 구조체 및 단열시스템 건설·평가	200m <sup>3</sup> 급 평저형 저장탱크 실증 기반 시공 방법 최적화
<b>[세부 1-3]</b> BOG 비상제어·내장형 재액화 시스템 기술 개발	BOG 비상제어·내장형 재액화 시스템 설계	BOG 비상제어·내장형 재액화 시스템 제작	BOG 비상제어·내장형 재액화 시스템 시험	주요 장비 개발 및 통합 테스트/개량, KGS인증 시험

## 2. [세부 1-1] 평저형 액체수소 저장탱크 설계 기술 개발

### 1) 기술개요

- (정의) 200m<sup>3</sup> 4,000m<sup>3</sup>급 평저형 액체수소 저장탱크의 구조 및 단열에 대한 설계 기술 개발
  - 고가의 화물인 액체수소의 운송과 저장은 침입 열을 최소화하여 액체수소의 기화 손실을 저감 기술이 매우 중요
  - 소규모 모빌리티 탱크를 사용하는 경우를 제외한 대용량 액체수소 저장탱크의 용도는 임무 전의 짧은 저장시간일 때 적용해 왔음
  - 전통적인 접근방식은 고진공과 다층구조의 단열재를 적용해왔으나, 10,000m<sup>3</sup> 이상의 대형 저장탱크에 직접 적용이 불가
  - 따라서, 대형 탱크에는 주로 펄라이트를 사용한 수동적 단열기술을 적용해왔으며, 최근 능동형 단열기술 - 증기 냉각 쉴드(Vapor Cooled Thermal Shield), 저온유체 자켓, 냉동사이클 장치를 사용한 재액화(Integrated Refrigeration and Storage) 기술 등을 적용하고 있음



〈그림 5-9〉 (세부 1-1) VCS 단열 해석 예시

- 극저온 및 액체수소 환경 소재물성 평가기술 국제 표준과의 부합화 및 국내규격 개발
  - 극저온 환경(파괴인성, 열물성) 및 액체수소 환경(인장, 충격) 물성 국제비교 수행
  - ISO 신규국제표준안 제안 및 KS 국내표준 규격 제정 추진



〈그림 5-10〉 (세부 1-1) 국제표준 개발 절차 (KSA 한국표준협회)

〈표 5-4〉 (세부 1-1) 요소기술의 구성

요소기술명	연구내용	총 연구기간(년)	총 연구비(억 원)
액체수소 저장탱크 설계를 위한 금속소재물성 D/B구축 및 표준화	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 극저온 환경(-253 ℃)에서 금속소재 물성 평가 기술 개발(인장, 충격, 피로/파괴, 열물성)</li> <li>○ 수소열적장입된 금속소재 극저온 환경 수소취성 평가</li> <li>○ 극저온환경 소재물성 DB 구축 (고망간강, SUS304L, SUS316)</li> <li>○ 국제비교 수행 및 표준화 추진</li> </ul>	2026 (1년)	9.98
액체수소 저장탱크 구조(내외조 및 단열포함) 설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 동형 지붕을 가지는 내·외조 설계 기술 개발</li> <li>○ 증발가스량을 최소화 하기 위한 단열 설계 기술 개발</li> <li>○ 극저온 환경 단열재 물성 DB구축</li> <li>○ 저장탱크 Nozzle 구조 설계 개발</li> <li>○ 액체수소 Level, 온도 모니터링 System 개발</li> </ul>	2026~2028 (3년)	8.23
액체수소 저장탱크 구조/유동/열전달 통합 시뮬레이터 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 대용량 액체수소 저장탱크의 효과적인 설계 제작을 위한 모사 프로그램 개발 - 상용 프로그램과 연동을 위한 모듈 추가 (극저온 유체 저장으로 인한 냉온 진공단열 성능 평가 모듈)</li> <li>○ 구형, 실린더형 의 성능 해석을 위한 서포트와 능동형 구조를 포함한 기구해석</li> <li>○ 단열재와 탱크구조의 열전달 해석</li> </ul>	2026~2027 (2년)	5.49

## 2) 연구개발 목표

- (1-1-1) 4,000㎥급 액체수소 저장탱크 설계를 위한 금속소재물성 D/B구축 및 표준화
  - 극저온 환경 및 액체수소 환경 금속소재 물성 평가 기술 개발
    - 극저온 및 액체수소 환경 소재물성 측정 장비 설계 및 제작(인장, 충격, 피로/파괴, 열물성)
    - 극저온 및 액체수소 환경 소재물성 및 수소취성 DB 구축 (고망간강, SUS034L, SUS316)
    - 극저온 및 액체수소 환경 소재물성 측정기술 ISO 신규국제표준안 제안 및 KS 국내표준 규격 제정 추진
- (1-1-2) 4,000㎥급 액체수소 저장탱크 구조(내/외조 및 단열포함) 설계
  - 이중 돔형 지붕을 가지는 완전방호식 저장탱크 내·외조 설계 기술 개발
    - 진공단열 시스템 적용을 위한 이중 돔형 평저형 탱크 설계기술 개발
    - 증발가스량 최소화를 위한 단열 시스템 비교 및 개발
    - 내조와 외조의 상이한 열수축량을 고려한 노즐 시스템 개발
    - 저장탱크 내부 액체수소의 온도 및 수위를 측정하는 시스템 개발
- (1-1-3) 4,000㎥급 액체수소 저장탱크 구조/유동/열전달 통합 시뮬레이터 개발
  - 현재 가용한 상용프로그램의 해석 정확도(± 15%)를 ± 6%로 개선함
    - 시뮬레이터 모델 검증: 기존 발표된 모델들의 결과값 비교
    - 자체 목업 제작 후 이론, 시뮬레이터 및 실험값 비교

〈표 5-5〉 (세부 1-1) 연구개발 목표

요소기술명	구분	성능지표 (단위)	현재 성능 (Spec)	개발 목표(Spec)	
				1단계	2단계
액체수소 저장탱크 설계를 위한 금속소재물성 D/B구축 및 표준화	시험장비 온도범위	℃	-196	-253	-253
	액체수소 시험장비 환경	환경	LN <sub>2</sub>	LH <sub>2</sub>	-
	시험절차서 개발	건	-	4	-
	시험장비 측정불확도	%	-	< 5	< 3
	온도별 물성DB	건	-	1	2
	측정기술 국제비교	건	-	-	-

요소기술명	구분	성능지표 (단위)	현재 성능 (Spec)	개발 목표(Spec)	
				1단계	2단계
액체수소 저장탱크 구조 (내외조 및 단열포함) 설계	내·외조 설계	℃	-196	-253	-253
		kPa	29	300	300
	증발가스량	% ton/day	0.1	< 0.1	< 0.1
액체수소 저장탱크 구조/유동/열전달 통합 시뮬레이터 개발	해석정확도	해석정확도 (%)	지멘스 소프트웨어 비교 (±15)	±10	± 8

### 3) 유사과제 중복성, 차별성 및 연계 활용방안

- (기존 연구 및 성과) 소재, 평가기술 개발 측면에서 유사성이 존재하나 대용량 액체수소 저장탱크 개발 사례는 전무

〈표 5-6〉 (세부 1-1) 유사과제 개요

주관부처	과제명	연구기간/규모	주요성과
산업통상자원부	초저온 액체수소 화물창용 용접재료 및 용접부 건전성 평가기술 개발	3년('22-'24) /10.9억	○ 극저온(-253 ℃) 냉각을 위한 챔버 제작 ○ 극저온용 금속소재 용접 기술 개발

- (중복성 검토결과) 액체수소 전용 소재 및 평가기술 개발에서 유사성이 존재하나, 소재의 건전성 및 극저온 환경 평가 등 세부내용 측면에서 차별성 존재
- (차별성) 초저온 액체수소 화물창용 용접재료 및 용접부 건전성 평가기술 개발
    - 극저온 소재물성(인장, 충격, 피로/파괴, 열물성)을 평가하기 위해서 극저온 *in situ* 환경에서의 평가가 요구되므로, 시스템 및 시험절차 고도화 개발이 필수적임.
    - 액체수소 저장탱크용 소재의 건전성을 평가하기 위하여 극저온 환경에서의 수소취성을 평가하여 수소의 영향을 고려해야함.
  - (연계방안) 동 사업에서 구축한 *in situ* 시험장비와의 비교 속련도 시험으로 활용하고 *in situ* 시험 절차개발의 참고자료로 활용

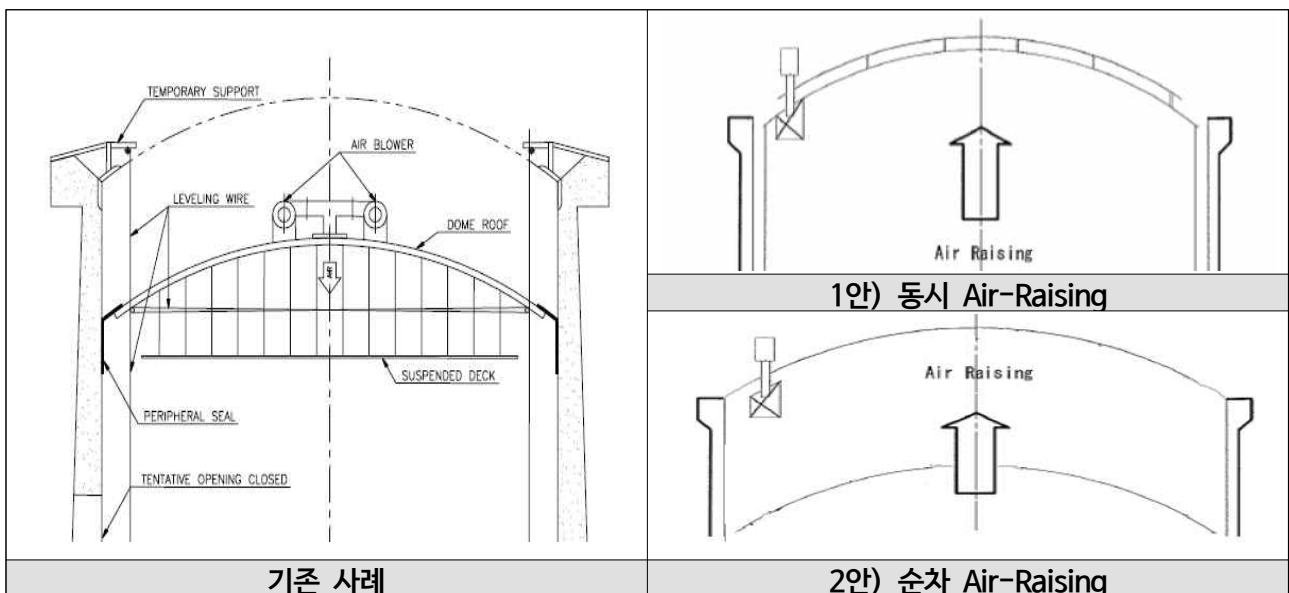
〈표 5-7〉 (세부 1-1) 유사과제 차별성 및 연계/활용방안

과제명	차별성	연계/활용방안
초저온 액체수소 화물창용 용접재료 및 용접부 건전성 평가기술 개발	○ 극저온 <i>in situ</i> 평가시스템 및 절차 고도화 필요 ○ 수소취성 평가 및 영향 고려 필요	○ 비교속련도 시험으로 활용 ○ 시험절차 개발의 참고자료로 활용

### 3. [세부 1-2] 평저형 액체수소 저장탱크 건설 기술 개발

#### 1) 기술개요

- (정의) 극저온 환경에서 액체수소를 안전하게 저장할 수 있는 대형 탱크를 건설하는 데 필요한 기술을 의미하며, 이 기술에는 기초 공사, 내/외부 구조체 설계, 단열 시공 등의 요소가 포함
  - 평저형 대용량 액체수소 저장탱크 건설 기술로 탱크의 안정적인 설치를 보장하기 위한 기초 공사 기술과 탱크의 내구성 및 구조적 안정성을 확보하기 위한 내/외부 구조체 건설 기술을 포함
  - 단열 시공 기술로 극저온 환경에서 탱크 내부의 열손실을 최소화하는 고성능 단열재 개발과 대용량 단열 시스템의 효과적인 공기 단축을 위한 모듈화된 단열 시스템 개발을 포함
  - 안전성 평가 및 인증으로 국내외 안전 규격과 표준을 충족하는 건설기술 개발과 탱크의 안전성 검증을 위한 실험 및 시뮬레이션 수행을 포함
  - 시공 및 실증 기술로 개발된 기술을 바탕으로 파일럿 탱크를 제작하고, 성능을 테스트하는 파일럿 제작 및 테스트와 파일럿 프로젝트를 통한 기술의 상업적 적용 가능성을 검증하는 실증 프로젝트로 구성됨
  - 액체수소 저장탱크 내/외부 구조체 건설 기술 개발
    - 액체수소저장을 위한 고압을 유지하기 위해 지붕판(Roof Plate)의 중량이 증가하며, 2중 지붕판으로 구성되어 있어 이를 설치하는 방법에 대한 개발



〈그림 5-11〉 (세부 1-2) 2중 Dome Roof Air-Raising 개발 개념도

〈표 5-8〉 (세부 1-2) 요소기술의 구성

요소기술	연구내용	총 연구기간(년)	총 연구비(억 원)
액체수소 저장탱크 내/외부 구조체 건설 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 2중 Dome Roof Air-Raising 기술개발</li> <li>○ 설계 결과에 따른 Roof 설치 기술 개발</li> <li>○ 내조/외조 건설 기술 개발</li> </ul>	2026~2027 (2년)	9.34
액체수소용 단열 시공 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 다층 단열 시스템 및 진공 단열 패널을 적용한 고성능 단열재 개발</li> <li>○ CFD 시뮬레이션을 통한 단열재의 배치와 두께의 최적화</li> <li>○ 고성능 단열 시스템의 모듈화를 통한 공사 기간 단축 및 비용 절감 기술 개발</li> <li>○ 실제 환경에서의 파일럿 테스트를 통한 실증 데이터 확보</li> </ul>	2026~2028 (3년)	40.40
200m <sup>3</sup> 급 액체수소 저장탱크 건설 실증	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 액체수소 저장탱크 개발 과제 실증               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 탱크 건설 기술 개발 실증</li> <li>- 구조체 건설 기술, 단열 시공 기술 개발 실증</li> </ul> </li> </ul>	2028~2029 (2년)	97.26

## 2) 연구개발 목표

### □ (1-2-1) 액체수소 저장탱크 내/외부 구조체 건설 기술개발

- 대용량 액체수소 저장탱크 건설 기술 개발
  - 2중 구조 액체수소 저장탱크의 벽체 시공 기술 개발
  - 2중 구조의 저장탱크 지붕판의 동시 제작 및 Air-rasing을 이용한 설치 기술 개발
  - 내조와 외조 사이에 배치되는 구조체들의 시공 기술 개발

### □ (1-2-2) 액체수소용 단열 시공 기술개발

- 액체수소용 고성능 단열 시스템 및 시공 기술 개발
  - 다층 단열 시스템과 진공 단열 패널을 통한 저장탱크의 열 손실 최소화
  - 모듈화된 단열 시스템을 통한 공사 기간 단축 및 비용 절감
  - 실증 데이터 확보를 통해 신뢰성 있는 기술 확보, 상용화 및 대규모 프로젝트 적용 가능성 탐색

### □ (1-2-3) 200m<sup>3</sup> 액체수소 저장탱크 건설 실증

- 액체수소 저장탱크 건설 실증
  - 실증을 통한 기술 신뢰성 확보 및 상용화 대형화 가능성 탐색

- 실증을 통한 액체수소 저장탱크 건설 기술 최적화 방안 탐색

〈표 5-9〉 (세부 1-2) 연구개발 목표

연구개발내용	구분	성능지표 (단위)	현재 성능 (Spec)	개발 목표(Spec)	
				1단계	2단계
액체수소 저장탱크 내/외부 구조체 건설 기술 개발	Roof 건설 기술	건설 실증	-	건설 중 구조	건설 실증 적용
	내/외부 건설 기술				
액체수소용 단열 시공 기술 개발	단열 시스템의 진공도	상온에서 단열 시스템의 진공압력(Warm Vacuum Pressure) (millitorr)	57	55	50
		극저온에서 단열 시스템의 진공압력(Cold Vacuum Pressure) (millitorr)	10	7	5
액체수소 저장탱크 건설 실증	평저형 액체수소 저장탱크	건설 실증 용량 (m³)	-	200	200

### 3) 유사과제 중복성, 차별성 및 연계 활용방안

□ (기존 연구 및 성과) 액체수소 저장탱크의 유형 등에서 차별성을 보유함

〈표 5-10〉 (세부 1-2) 유사과제 개요

주관부처	과제명	연구기간/규모	주요성과
한국가스공사	대용량 액체수소 저장탱크용 단열자재 및 단열시스템의 적용성 평가	2023.07.01.~2024.05.31./ 미확인	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 극저온용 단열자재의 성능 및 특성 데이터베이스 구축</li> <li>○ 진공도에 따른 최적 단열 방식 제안</li> <li>○ 저장탱크의 구조적 안정성과 단열 성능을 고려한 설계 모델 개발</li> </ul>
한국가스공사	극저온 저장탱크 설계에 필요한 기반기술 연구	2023.07.01.~2024.05.31./ 미확인	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 누설 시나리오 기반 안전 대책을 설계에 반영한 저장탱크의 안전성 강화</li> <li>○ 단열자재 적용성 평가 수행을 통한 효율적인 단열시스템 설계</li> </ul>
산업통상자원부	액체수소 저장탱크용 진공단열시스템 소재와 장비 개발 및 실증	2024.07.01.~2030.12.31./ 260억 원	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 분말형 단열소재의 개발을 통해 극저온 환경에서 우수한 단열 성능을 유지할 수 있는 소재 확보 및 국산화</li> </ul>

□ (중복성 검토결과) 실용성 제고를 통해 유사과제와의 차별성을 확보하고, 연계 방안을 도출

- (차별성) 실용적인 단열 시공 기술 개발로 차별화
  - 극저온 탱크의 설계, 단열 재료와 단열 시스템의 적용성 평가에 중점을 두는 반면, 본 연구과제는 구체적인 시공 기술 개발과 현장 적용을 목표로 함으로써, 대용량 탱크에 맞춘 실용적인 단열 시공 기술 개발을 중점으로 함
- (연계방안) 최적 단열 방식과 재료 선정, 시공성 향상을 위한 솔루션으로 활용
  - (성과 연계) 단열자재와 시스템의 평가 결과는 본 과제에서 실제 적용되어 성능을 극대화할 수 있으며, 극저온 저장탱크의 설계 개념은 4,000m<sup>3</sup> 급 저장탱크 단열 시공 기술 개발 과제의 설계와 구현에 기초 자료로 활용될 수 있음
  - (기술 연계) 유사과제의 결과는 액체수소 저장탱크 시공 기술 개발에 필요한 최적의 단열 방식과 자재 선정에 기여하며, 본 과제에서 안전성과 시공성 향상을 위한 기술적 솔루션으로 활용

〈표 5-11〉 (세부 1-2) 유사과제 차별성 및 연계/활용방안

과제명	차별성	연계/활용방안
대용량 액체수소 저장탱크용 단열자재 및 단열시스템의 적용성 평가	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 해당 과제는 열자재 및 시스템의 적용성을 평가하는 데 중점을 두고 있으며, 다양한 단열 방식(고진공, 중진공, 저진공)의 타당성을 검토</li> <li>○ 본 연구과제는 구체적인 단열 시공 기술의 개발과 실제 적용에 중점, 이를 활용해 효율적으로 시공할 수 있는 모듈화 기술을 개발하고, 현장 적용성 및 시공 기간 단축에 초점</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 단열자재의 성능 평가와 타당성 분석 결과는 동 과제의 단열 시공 기술 개발에 필수적인 기초 자료로 활용될 수 있음</li> <li>○ 평가된 단열자재와 방식은 액체수소 저장탱크 건설기술 개발 과제에서 실제로 적용되어 시공 효율성과 성능을 극대화하는 데 기여</li> </ul>
극저온 저장탱크 설계에 필요한 기반기술 연구	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 본 연구과제는 단열 시스템과 그 시공 기술에 집중하여 특정 용량 저장탱크에 적용될 수 있는 실용적이고 구체적인 시공 기술을 개발하는 데 중점을 두고 있어 시공 현장에서의 실제 적용성에 중점</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 극저온 저장탱크의 기본 설계 및 구조적 개념은 동 과제에서 저장탱크의 구조적 요건을 반영하는 데 중요한 참고 자료</li> <li>○ 특히, 단열시스템의 지지부 설계와 같은 요소는 대용량화에서의 시공성과 안전성을 높이는 데 활용</li> </ul>
액체수소 저장탱크용 진공단열시스템 소재와 장비 개발 및 실증	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 해당 과제는 시공성 및 공기 단축을 위해 입자 크기를 증가시킨 글라스 버블의 개발과 복합진공단열 패널의 개발을 목표로 하지만, 실제 탱크의 실증은 부재함</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 기존 글라스버블보다 단열 성능이 우수한 단열 재료를 사용하여 시공 기술 개발 및 실증 탱크 적용에 활용될 수 있음</li> </ul>

## 4. [세부 1-3] BOG 비상제어·재액화 시스템 기술 개발

### 1) 기술개요

- (정의) 액체수소 저장탱크 안전성 저하를 방지하기 위한 BOG 제어 기술 및 안전시스템 및 안전밸브에 대한 제작 개발
  - 액화천연가스에 비해서 약 90K 더 낮은 액체수소는 외부로부터 열손실로 인해서 상대적으로 많은 BOG가 발생, 정상상태에서 발생하는 Normal BOG외에 병커링 과정에서 발생하는 BOG를 제어하지 못하면 액체수소 탱크의 내부 압력 상승으로 위험성 증가
  - BOG를 제어하는 기술은 고성능 단열재를 이용한 수동적 보일오프제어 기술과 함께 능동적 보일오프 제어기술로 냉동사이클 장치를 사용한 재액화(Integrated Refrigeration and Storage) 기술 등을 적용하고 있음
  - BOG를 내부 열교환기를 통해서 응축/재액화 시킴과 동시에 고밀도로 저장할 수 있기 때문에 대용량 액체수소 저장탱크의 BOG 제어에 효과적



〈그림 5-12〉 (세부 1-3) 내부 Vertical 재액화 열교환기가 적용된 구형 탱크(NASA)

〈표 5-12〉 (세부 1-3) 요소기술의 구성

요소기술	연구내용	총 연구기간(년)	총 연구비(억 원)
액체수소용 내장형 재액화 시스템 설계 및 제작 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 4,000m<sup>3</sup>급 액체수소 저장탱크의 500kg 이상 액체수소용 재액화 시스템 개발</li> <li>○ 실시간 모니터링 및 자동 제어 알고리즘을 포함한 안전 제어 시스템 개발</li> <li>○ 재액화 시스템 에너지 소비 최적화와 에너지 효율 및 경제성 모델 개발</li> </ul>	2026~2029 (4년)	26.3
액체수소용 내장형 재액화 시스템 핵심기자재 설계 및 제작 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 액체수소 저장탱크 재액화 시스템의 주요 시스템(열교환기, 냉매, 제어) 개발</li> <li>○ 재액화 시스템 모듈화 개발</li> <li>○ 재액화 안전 시스템 개발</li> <li>○ 안전밸브 본체와 상부 플렌지와 스템 구조를 갖는 안전밸브 구조 개발</li> <li>○ 최대유량 구조의 밸브본체 기술개발</li> <li>○ 벨로우즈씰과 인서트의 관절 구조 기술 개발</li> </ul>	2026~2029 (4년)	50.3

## 2) 연구개발 목표

### □ 액체수소용 내장형 재액화 시스템 설계 및 제작 기술 개발

- 액체수소용 내장형 고효율 재액화 시스템 개발
  - 향후 Scale-up을 고려, 4,000m<sup>3</sup> 액체수소 저장탱크를 대상으로, 일 500kg (8m<sup>3</sup>/day) 이상의 수소 재액화 성능을 갖춘 내장형 재액화 시스템을 설계 및 개발
- 액체수소용 내장형 고효율 재액화 시스템 안전 제어 시스템 개발 및 AIP 및 위험성 평가 수행
  - 재액화 시스템의 안전 제어 시스템의 개발을 통한 안전성 강화
  - 액체수소용 내장형 고효율 재액화 시스템의 AIP 획득 및 위험성 평가 수행

### □ 액체수소용 내장형 재액화 시스템 핵심기자재 설계 및 제작 기술 개발

- 재액화 시스템의 핵심 기자재 및 모듈화 개발
  - 열교환기, 냉매, 제어 시스템 등 액체수소 재액화 시스템의 핵심기자재 제작 기술 및 신뢰성 확보
  - 재액화 시스템의 효율적인 유지보수와 운영 효율성 및 경제성 확보를 위해 시스템 내 모듈화 장치 개발

- 액체수소 저장기지의 대용량 저장을 위한 수소의 저장 밀도 개선
  - 액체수소 저장기지의 대용량 저장을 위한 저장 밀도를 단계별 개선
- 재액화 에너지 소비율의 최적화를 통한 액체수소 저장기지의 경제성 확보 및 상용화 검토
  - 재액화 시스템 에너지 소비 최적화 경제성 예측과 공정 분석 및 모델링 수행을 통해 상용화 가능성 평가 및 판별

〈표 5-13〉 (세부 1-3) 연구개발 목표

요소기술명	구분	성능지표 (단위)	현재 성능 (Spec)	개발 목표(Spec)	
				1단계	2단계
액체수소용 내장형 재액화 시스템 설계 및 제작 기술 개발	액체수소용 재액화 용량	m <sup>3</sup> /day	-	4	8
	액체수소 재액화 설비 AIP 획득	건	-	1건	1건
	재액화 시스템의 위험성 평가	건	-	1건	1건
액체수소용 내장형 재액화 시스템 핵심기자재 설계 및 제작 기술 개발	헬륨 브레이튼 사이클 효율 최적화	%	40	45	55
	재액화 시스템 성능	%	0.1	0.15	0.2
	재액화 에너지 소비율	kWh/kg	10.8	9	8.2
	파일럿 밸브의 내부실 누설률	mbar l/s	≤1.0*10 <sup>-3</sup>	≤1.0*10 <sup>-2</sup>	≤1.0*10 <sup>-3</sup>
	파일럿 밸브의 외부 누설률	mbar l/s	≤1.0*10 <sup>-4</sup>	≤1.0*10 <sup>-3</sup>	≤1.0*10 <sup>-4</sup>
	파일럿 타입 긴급차단장치 규격	inch	-	6	10

### 3) 유사과제 중복성, 차별성 및 연계 활용방안

- (기존 연구 및 성과) 기존 연구는 액체수소의 생산 및 이를 운송하는 선박에 대한 운송, 소용량 고밀도 액체수소 저장에 대한 기자재 개발에 국한되어 중복성 없음

〈표 5-14〉 (세부 1-3) 유사과제 개요

주관부처	과제명	연구기간/규모	주요성과
국토교통부	상용급액체수소플랜트 핵심기술개발	2019.04.12.~2024.12.31. /3,714백만원	○ 대용량 수소액화 플랜트 기술 상용화를 위한 핵심 기술 국산화 개발 및 성능 검증을 통한 수소경제 사회 인프라 구축
산업통상자원부	액체수소 운송선 핵심시스템 국산화 모델 개발	2021.05.01. ~ 2024.04.30. /3,186백만원	○ 액체수소 화물창 설계/검증 및 적하역 극저온 소재 개발
국토교통부	한국형 고밀도 액체/고체(slush)기반 1kg/day 수소 생산/저장 기술개발	2021.04.01.~2023.06.03. /210백만원	○ 1 kg/day급 액체/고체(slush) 수소생산 및 저장 기술을 개발 및 상용급(1 TPD 이상) 수소생산 및 저장 시스템의 설계 기술 구현
산업자원통상부	조선소부장, 선박용 6인치 제어밸브, 안전밸브	2024.9~2030.12 / 75억원	○ 6인치 유량제어밸브 개발 ○ 2인치 안전밸브 개발(스프링로드 타입)

- (중복성 검토결과) 기존 연구는 액체수소 생산과 소용량 저장에 국한되어, 대용량 액체수소 저장 사례는 부재하여 중복성 없음

- (차별성) 모빌리티/인수기지 설비에서 액체수소의 장주기 저장을 위한 재액화 설비 개발
  - 소형 수소 액화기와 수소액화 플랜트 간의 용량 차이가 크고 실증된 모빌리티 또는 인수기지용 재액화 시설이 부재
- (연계방안) 수소 액화 플랜트-BOG Handling System-고밀도 수소 저장 기술 연계를 이용한 한국형 모빌리티, 인수기지에 필요한 재액화 시스템 개발
  - (성과 연계) BOG/CHS 개발 시스템 활용 재액화 시스템 국산화 개발
  - (기술 연계) 재액화 시스템 외 내부 냉각을 통한 제로보일오프 및 수소 고밀도 저장 기술 구현

〈표 5-15〉 (세부 1-3) 유사과제 차별성 및 연계/활용방안

과제명	차별성	연계/활용방안
상용급 액체수소 플랜트 핵심기술 개발	○ 액체수소 플랜트 대비 장주기 저장이 필요한 시설에 적용이 필요	○ 수소 액화 시스템 기반 재액화
액체수소 운송선 핵심시스템 국산화 모델 개발	○ 육상 인수기지 액체수소 화물창 재액화 시스템 개발 필요	○ BOG처리 시스템 및 CHS시스템 국산화 기술 연계
한국형 고밀도 액체/고체(slush)기반 1 kg/day 수소 생산/저장 기술개발	○ 고밀도 수소 대용량화 실증 필요	○ 내부 냉각 기술 연계를 이용한 재액화 및 고밀도화 기술 개발

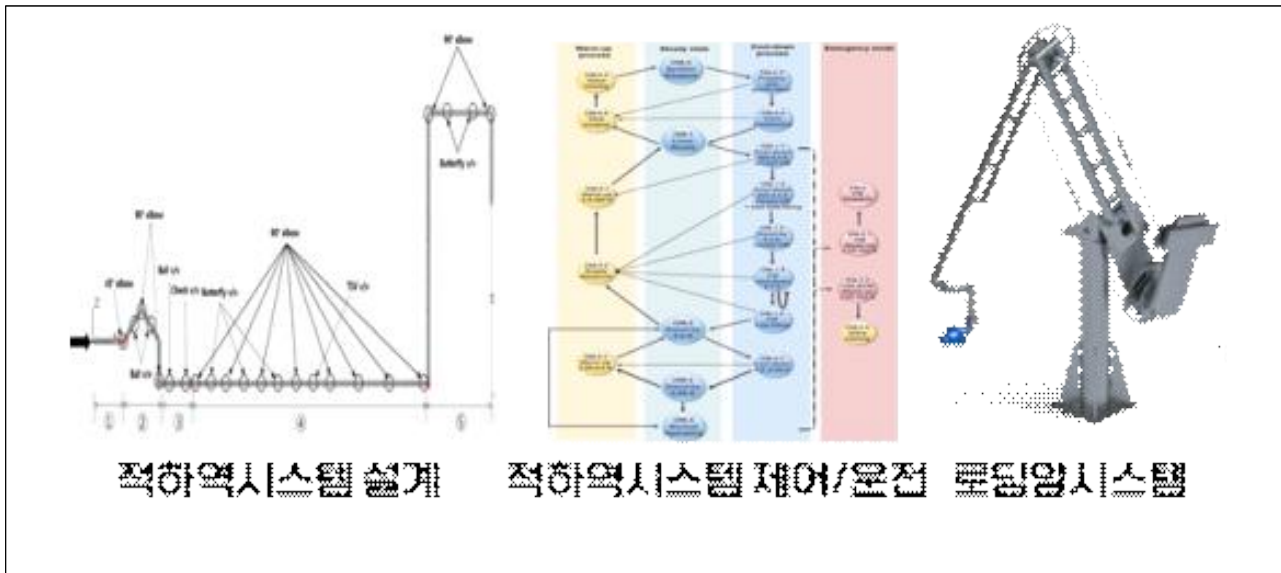
## 2절 [구성기술 2] 액체수소 인수기지 적하역 시스템 기술 개발

### 1. 개요

추진 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 국내 해외 청정수소 도입을 위해 액체수소 운송선 개발 및 건조가 추진 중이며, 안정적인 육상 공급을 위한 액체수소 적하역 시스템 및 기자재 기술개발이 필요하나 시장 불확실성이 커 민간 주도의 재정적 투자가 어려운 상황</li> </ul>		
	<b>핵심 현안</b>	<b>해결 방안</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 운송선으로부터 안정적으로 액체수소를 육상으로 공급하기 위한 적하역 기술 필요</li> <li>- 해외 선진국은 관련 기술개발을 수행 중이나 국내는 부족한 상황</li> <li>○ 로딩암 등 핵심 기자재 해외 의존도 심화 우려</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 액체수소 적하역 기술 확보를 통해 육상으로의 안정적 운송 지원</li> <li>○ 액체수소 적하역용 기자재 기술 개발을 통해 로딩암 시스템 등 핵심 기술 국산화</li> </ul>	
정의 및 개념	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 액체수소 운송선과 육상용 액체수소 저장탱크 간에 액체수소를 안전하고 효율적으로 이송하기 위한 적하역 시스템 및 로딩암 시스템 설계·제작 기술 개발</li> </ul>		
중점분야 목표	<b>전략목표</b>	액체수소 적하역 시스템 설계·운영 및 관련 핵심 기자재 기술 개발	
	<b>성과목표</b>	<b>성과지표</b>	<b>목표</b>
	① 적하역 시스템 통합설계 기술 개발	① 적하역 시스템 통합설계도	1건
		② 적하역 시스템 공정별 절차서	1건
	② 액체수소 로딩암 시스템 설계 및 제작 기술개발	① QCDC 내압성능	≥ 1.05MPa
② QCDC 내구성		≥ 5,000 Cycle	
③ ERC 내압성능		≥ 1.05MPa	
④ 로딩암 단열 성능		≤ 3W/m	
추진내용	<b>전략과제</b>	<b>주요내용</b>	
	액체수소 적하역 시스템 설계·운영 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 적하역 시스템 통합 설계 및 운영 기술 개발</li> <li>○ 적하역 시스템 구축 및 실증</li> </ul>	
	액체수소 적하역 기자재 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 액체수소 로딩암 시스템 설계 및 제작 기술 개발</li> </ul>	
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 액체수소 운송선으로부터 안정적인 육상 공급</li> <li>○ 액체수소 적하역 시스템 및 기자재의 국산화를 통해 해외 기술 의존 및 종속 탈피 기여</li> </ul>		

## 1) 구성기술 정의 및 범위

- (정의) 액체수소 운송선과 액체수소 인수기지 저장탱크 간에 액체수소를 안전하고 효율적으로 이송하기 위한 적하역 시스템에 대하여 설계와 운영 기술 개발
  - (세부기술 2-1) 액체수소 적하역 시스템 설계·운영 기술 개발
    - 적하역 시스템 통합 설계·운영 기술 개발
    - 적하역 시스템 구축 및 실증
  - (세부기술 2-2) 액체수소 적하역 기자재 기술 개발
    - 액체수소 로딩암 시스템 설계 및 제작 기술 개발
- (범위) 액체수소 운송선에서 육상 액체수소 저장탱크까지 액체수소를 안정적으로 이송하기 위한 적하역 시스템 및 핵심 기자재 개발
  - (세부기술 2-1) 액체수소 운송선에서 육상 액체수소 저장탱크까지 액체수소를 안정적으로 이송하기 위한 적하역 시스템 설계 및 운영 기술 등을 개발하는 기술 개발 과제
  - (세부기술 2-2) 적하역 시스템에 적용되는 6인치 로딩암 시스템을 개발하는 과제



〈그림 5-13〉 (구성2) 기술개발 개념도

□ (목표) 안전하고 효율적인 액체수소 적하역 시스템 및 기자재 개발을 통한 핵심 기술 확보

- 적하역 시스템 통합 설계 기술 개발
  - 고효율 및 신뢰성 있는 액체수소 적하역 시스템 설계 및 운영 기술 개발
  - 안전하고 효율적인 액체수소 적하역 시스템 개발을 위한 공정/제어/운영 등 설계 기술 확보
- 액체수소 로딩암 시스템 설계 및 제작 기술개발
  - 안전성을 확보한 6인치급 액체수소 로딩암 시스템 설계 및 제작 기술 개발
  - 액체수소 로딩암 시스템을 구성하는 신속분리결합장치(QCDC), 비상분리장치(ERC) 등 주요 기자재의 열 및 구조 설계와 제작 기술 개발

〈표 5-16〉 (구성2) 사업목표

전략목표	액체수소 적하역 시스템 설계·운영 및 관련 핵심 기자재 기술 개발	
성과목표	성과지표	목표
① 적하역 시스템 통합 설계 기술 개발	①-1 적하역 시스템 관련 규정분석 보고서	1건
	①-2 적하역 시스템 공정체계 구축(안)	1건
	①-3 적하역 시스템 통합설계도	1건
	①-4 적하역 제어 시스템 기술 및 설계 검토서	1건
	①-5 적하역 제어 시스템 최적화 (보고서)	1건
	①-6 적하역 시스템 운용기준 및 유지관리 지침서	1건
	①-7 적하역 시스템 공정별 절차서	1건
① 액체수소 로딩암 시스템 설계 및 제작 기술개발	①-1 QCDC 내압성능	≥ 1.05MPa
	①-2 QCDC 내구성	≥ 5,000 Cycle
	①-3 ERC 내압성능	≥ 1.05MPa
	①-4 로딩암 단열 성능	≤ 3W/m

## 2) 주요 연구동향

### (1) 국내외 R&D 동향

- 독일(Linde), 프랑스(Air Liquide), 미국(Air Products & Chemicals), 일본(가와사키) 등 액체수소 플랜트 전주기 기술개발 상용화를 통해 세계시장을 선도 중
- (일본) 다수의 기업 및 기관이 참여하는 액체수소 이송 실증 프로젝트인 HySTRA 프로젝트를 통하여 액체수소 이송을 위한 로딩암 시스템을 6 inch 진공단열배관을 구성한 세계 최초 액체수소 인수기지를 준공
  - 호주로부터 액체수소를 공급받아 건조한 액체수소 운송선(1,250m)을 통해 액체수소 적하역 실증 및 현재 운영 중



〈그림 5-14〉 일본의 HySTRA 실증 프로젝트

- (네덜란드) Demaco사는 최대 8 inch 크기의 액체수소용 진공단열배관 및 로딩암을 제작 판매하고 있으며, 엔지니어링을 포함한 맞춤형 솔루션을 제공하는 것으로 보아 단열성능, 유량-압력강하 성능 등에 대한 자료를 확보하고 있는 것으로 추측됨



진공단열배관

로딩암

〈그림 5-15〉 Demaco社 액체수소용 진공단열배관 및 로딩암

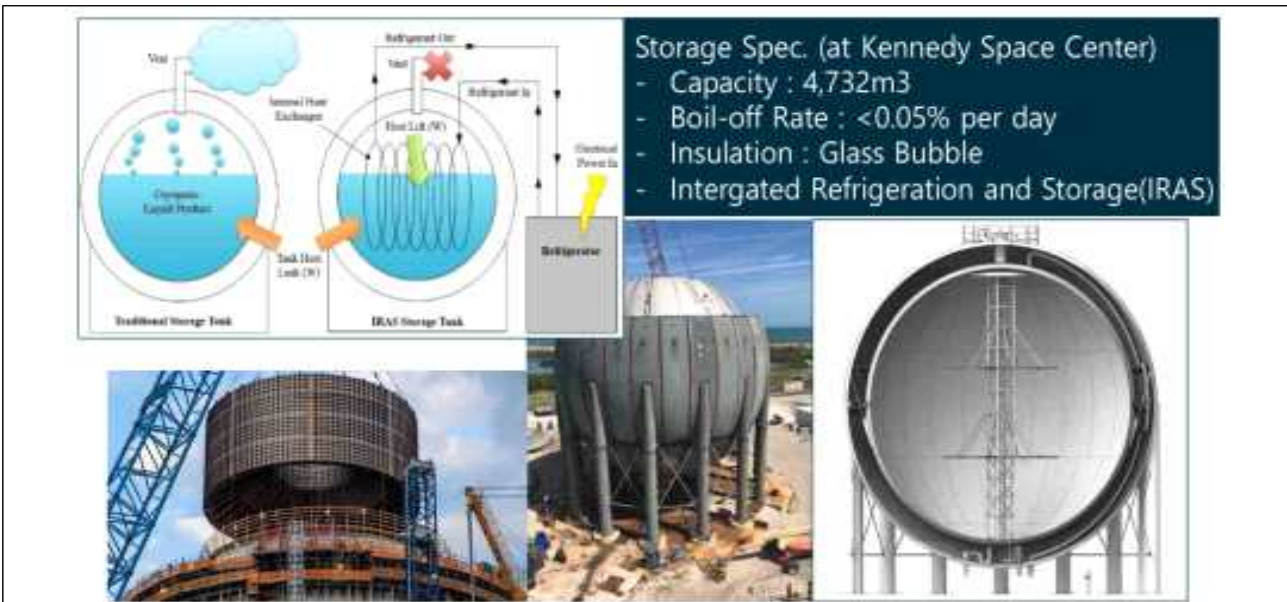
- (호주) 290MW 규모의 ‘H2OK 수소 프로젝트’ 를 Air Liquide(프랑스), Ardmore(미국)과 함께 추진 중이며 오클라호마주 아드모어 웨스트포트 산업단지 내에 구축하여 2025년에 첫 액체수소 생산 예정임



자료:Woodside (2022)

〈그림 5-16〉 호주 액체수소 생산 시설을 구축할 ‘H2 Perth 수소 프로젝트’ 컨셉 이미지

- (미국) NASA에서 액체수소 저장탱크(용량 4,700m<sup>3</sup>)를 개발하고 운영 중이며 대용량 저장탱크(용량 40,000m<sup>3</sup>) 설계기술을 확보, 대용량(100,000m<sup>3</sup>) 액체수소 저장탱크 개발을 계획 중임



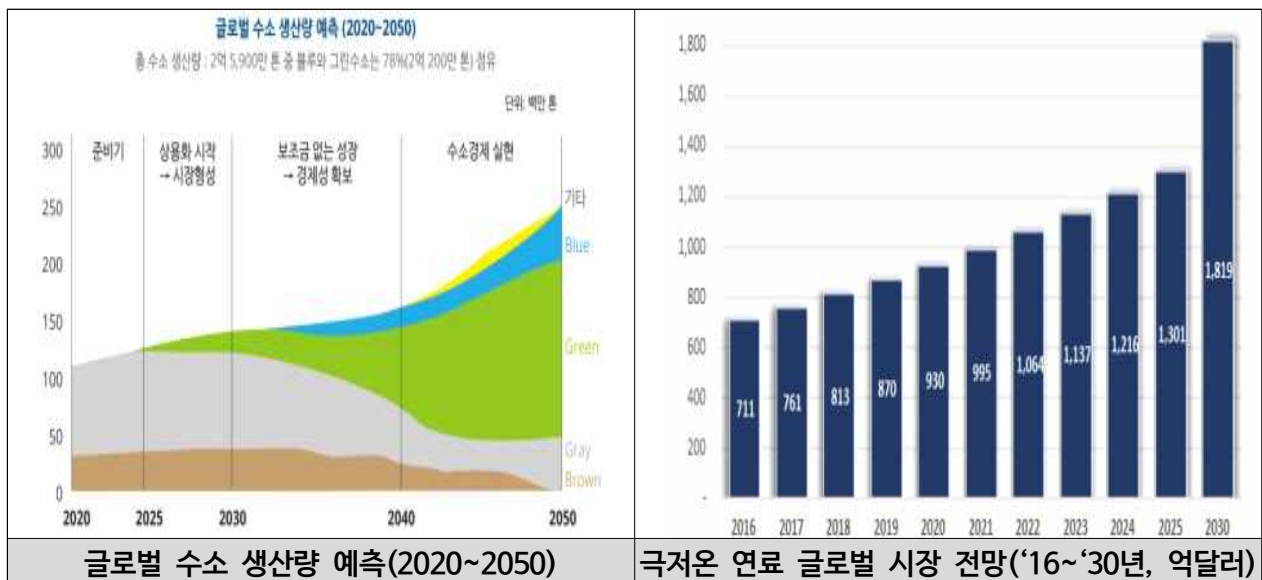
자료:LH2 Technologies workshop, NASA’s Kennedy Space Center

〈그림 5-17〉 〈Space Launch System〉에 들어가는 액체수소 저장 기술

- (국내) 국내 산학연에서 액체수소 유관 기술개발을 수행하고 있으나 액체수소 적하역 관련한 설계, 제작, 시공, 운전, 안전 등의 기술은 초기 단계
  - (한국기계연구원) 액체수소 생산을 위한 수소액화 플랜트, 액체수소 활용을 위한 액체수소 기반 고압기체 충전 및 액체수소 모빌리티 등과 관련한 기자재(압축기, Expander, Cold Box, 열교환기, 고압 펌프, 밸브 등) 국산화를 위해 기술 개발 및 시험 인프라 구축 중
  - (고등기술연구원) 에너지를 대용량 고밀도화하고 BOG 억제하기 위해 액체/고체기반 slush 수소를 활용한 안정적인 수소 저장 기술을 개발함
  - (한국전력) '16년부터 액체수소 운송선을 개발하기 위해 액체수소 운송선용 CCS 설계 및 검증 기술, 액체수소 운송선 핵심시스템 국산화 모델, 해외 수소 도입을 위한 액체수소 운송 기술 검증용 시험선 설계 및 실증 기술 등을 개발함
  - 액체수소 운반선 개발을 위해 센서, 탱크, 펌프, 밸브 및 배관 등의 소재부품 기술 개발 사업이, 건조를 위해 건조를 위해 액체수소 운반선 상용화 기반 기술 개발 사업이 추진 중

## (2) 국내외 시장 · 산업 동향

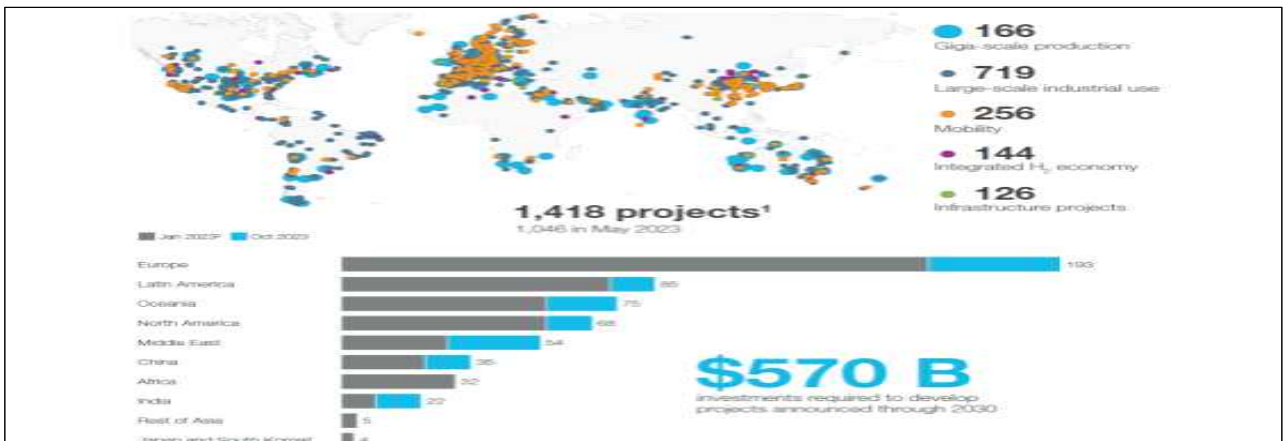
- (글로벌) 수소시장은 '50년까지 연간 약 2.7천조 원 규모로 성장이 예측되며, 전 · 후방산업에 걸쳐 우리의 미래 투자 기회로서 작용할 전망



자료: Deloitte, 2022(좌), TechNavio, Global Cryogenic Fuels Market, 2017 수소선박기술센터 재구성(우)

〈그림 5-18〉 글로벌 수소 전망

- '22년 대한무역투자진흥공사(KOTRA) 자료에 따르면 전 세계 수소 수요량은 '30년 1억 4,000톤에서 2050년 6억 6,000톤까지 증가할 것으로 전망됨
- 세계 수소 저장시장 규모는 '21년 147억 달러에서 연평균 4.4% 성장, '30년 약 217억 달러로 전망되며, 저장시장의 성장이 운송시장의 성장을 견인할 것으로 예상
- 전 세계 액체수소 시장은 '27년까지 503억 9,000만 달러 규모로 성장할 것으로 예상하며, 전기 자동차 및 전자 제조 수요 증가로 인해 기하급수적으로 확대될 것으로 전망(Emergen Research, '21 기반 추정)
- 액체수소는 북미 지역에 약 일 500톤급, 아시아 지역에 약 일 250톤급, 유럽 지역에 30톤/day 규모의 생산설비를 구축·운영 중이며, 미국, 유럽 등 글로벌 기업을 중심으로 연간 145천 톤을 생하여 세계시장을 선도 중임
- DNV(노르웨이선급)에 따르면 액체수소 운송선 발주량은 '30년 9척에서 '40년 51척으로 급증할 것으로 예상
- 일본은 '50년까지 40개의 수소에너지 공급체인 확보를 계획하고 있으며, 여기에 필요한 액체수소 운반선은 80척으로 예측되고 있으며 일본 단일시장 기준으로 400억 달러의 액체수소 운반선 수요가 잠재된 것으로 판단



자료: Hydrogen Insight (2023)

**〈그림 5-19〉 전세계 주요 수소 프로젝트**

- '22년 전 세계 43개국 중 15개국이 약 600개 이상의 대규모 수소 관련 프로젝트를 발표했으며, '30년까지 500여 개의 프로젝트가 부분적으로 완료될 예정
- 수소 관련 사업에 투자가 활발히 일어나고 있는 지역은 유럽(76b \$)과 북미(47b \$) 지역이며, 관련 프로젝트 또한 유럽 (64%)과 북미(28.8%)에서 다수 진행 중
- 호주의 경우 글로벌 수소 프로젝트의 약 40%를 보유하고 있으며 개발, 건설, 운영 순으로 프로젝트를 진행 중

- 선박 및 화물 시스템을 구축하기 위한 국제 협력을 진행 중이며 액체수소를 대량으로 운반하기 위한 선박 및 특수 컨테이너를 일본, 한국 및 노르웨이와 협력하여 건조 중
- 독일의 경우 국가수소전략에서 “액화 기반 수소 저장 기술 개발 촉진“을 선언하였으며 ‘24년 기준 89개의 수소충전소가 운용 중인 상태이며 추가 10개소가 계획 단계

#### □ (국내) 글로벌 수소산업 성장기 진입에 따른 미래 투자 기회로서 작용할 전망

- 우리나라 액체수소 산업은 민간기업(SK E&S, 효성중공업, 두산에너지빌리티 등)을 중심으로 태동되었으며, ’22년도부터 액체수소 생산 글로벌 기술을 국내에 도입하여 액체수소 생산 플랜트를 설계·구축하기 시작하였고, ‘30년 수소액화 플랜트 건설 시장은 약 4.6조원으로 예상
- ’23년 12월까지 인천에 연간 3만 톤 규모와 창원에 연간 1만 7천 톤 규모의 액체수소 생산 시스템 구축을 완료하고 ‘24년부터 본격적인 생산을 준비하고 있음



자료: SK E&S

#### 〈그림 5-20〉 SK E&S 액체수소플랜트

- 국내 수소 수요량은 ’20년 기준 약 22만 톤에서 2050년 2,790만 톤으로 2030년 이후 급격한 증가를 할 것으로 예측되며, ‘30년부터 ’50년까지 해외 수소 공급망 40개를 구축하여 수소 자급률 60% 이상 확보를 추진 중임
- 국내 수소시장은 ‘50년까지 연간 약 2.7천조원 규모로 성장이 예측되며, 전·후방 산업에 걸쳐 미래 투자기회로서 작용할 것으로 전망

### 3) 기술개발 필요성

- 전세계 탄소중립을 위한 에너지 밀도가 높은 액체수소 수요 증가 예상
  - ‘50년 수소가 글로벌 총 에너지 수요의 18%를 차지할 것으로 전망되며, 수소의 저장·운송 한계 극복을 통해 안정적인 수소 대량 공급과 저장을 위한 수소 시장 경쟁력 확보 필요
  - 수소 수요는 현재 10EJ 수준에서 2050년 78EJ(석유 약 132억 배럴)까지 성장하여, 전세계 에너지 수요의 18% 차지 전망
  - ‘40년까지 수소차 620만대 생산, 수소 충전소 1,200개소 구축, 연료전지 발전용 15GW, 가정 및 건물용 2.1 GW 보급하기 위한 수소경제활성화 로드맵(‘19.1)이 공표됨에 따라 대용량 수소 확보, 운송 및 저장 기술 및 인프라 구축이 필요
  - 국내 수소 수요를 대응하기 위해 해외에서 생산된 청정수소의 국내 도입에 필요한 대용량 저장, 장거리 운송, 국내 하역 및 공급 기술 개발에 대한 탄소중립 기술혁신 전략 로드맵(‘22.11, 관계부처 합동)이 공표
  - 액체수소는 기체수소에 비해 부피당 에너지 밀도가 매우 높고(약 800배) 대기압 저장이 가능하여 대규모 수소 저장 및 운송에 적합하여 향후 에너지 캐리어로 각광받을 것으로 예상



〈그림 5-21〉 (구성 2) 사업의 구성

- 해외 액체수소 수입 증가에 따라 액체수소의 대용량 공급·저장 및 안정적 이송을 위한 대규모 적하역 시스템 설계 및 제작 기술 필요
  - 액체수소의 상용화를 위해서는 규모의 경제가 필요하며 이를 위해서는 대용량의 액체수소를 저장·운영하는 기술 개발이 필요
  - 현재 전 세계에서 운영 중인 대용량 액체수소 인수기지는 존재하지 않으며, 대용량의 액체수소 인수기지의 기술 개발도 전무한 상황
  - 특히 해외에서 도입된 액체수소는 운송 선박 적하역 시스템을 통해 육상 액체수소 저장탱크로 이송되기 때문에 적하역 시스템 및 관련 기자재 국산화가 반드시 필요
- 액체수소 적하역 시스템 안전성, 효율성, 신뢰성 확보 필요
  - 액체수소 적하역 중 발생 가능한 안전사고(화재, 폭발 등)에 대비하기 위한 국내외 안전기준, 규정 등 분석과 제어시스템 기술 개발 필요
  - 적하역 시스템의 효율성 확보를 위한 공정체계 기술 개발, 최적화를 위한 통합설계, 운영 기술 개발 필요
- 액체수소 운반선과 육상 저장 설비 간 액체수소를 안전하고 효율적인 이송을 위한 로딩암 시스템 설계 및 제작 기술개발
  - 안정적인 액체수소 이송을 위하여 극저온 단열 설계 및 로딩암 제작 기술 개발 필요
  - 안전한 로딩암 개발을 위해 신속분리결합(QCDC), 비상분리 시스템(ERC/ERS) 등 주요 기자재 개발 기술 필요

〈표 5-17〉 (구성2) 문제/이슈 및 해결방안

문제/이슈	동 사업을 통한 해결방안
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 세계적으로 수소 경제가 빠른 속도로 성장하고 있으며, 국내 액체수소 플랜트, 인수기지, 운반선 등의 관련 개발 사업들이 추진되고 있는 가운데, 안정적 수소 공급망 확보를 위해서 적하역 시스템 기술 개발이 요구</li> <li>○ 액체수소 적하역 시스템 상용화를 위해 안전성 및 효율성이 확보된 운영 기술 개발 필요</li> <li>○ 액체수소 적하역 관련 기자재 해외 기술 종속 및 전량 해외 의존</li> <li>○ 안전한 액체수소 이송하기 위해 로딩암 시스템 등 적하역용 핵심 기자재 개발 필요</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 본 적하역 시스템 기술 개발사업을 통하여 액체수소 운반선과 인수기지 간 액체수소 적하역을 안전하고 효율적으로 이송할 수 있는 시스템 기술 개발</li> <li>○ 액체수소 적하역 시스템 공정, 제어 및 통합 설계 기술과 최적화 및 운영 기술 개발</li> <li>○ 액체수소 로딩암 시스템에 대한 기술 개발을 통하여 국내 기자재 기업의 기술경쟁력 확보</li> <li>○ 액체수소 적하역용 핵심 기자재 설계 및 제작 기술 개발 추진</li> <li>○ 안전성 및 신뢰성 있는 로딩암 시스템 국산화 개발</li> </ul>

## 4) 사업구성 및 연계 방안

- (사업구성) 적하역 시스템 설계·운영 기술, 적하역 시스템 기자재 기술개발 등 2개 세부기술로 구성

〈표 5-18〉 (구성2) 사업의 구성

구성기술	세부기술	요소기술
[구성 2] 액체수소 인수기지 적하역 시스템 기술 개발	(세부 2-1) 액체수소 적하역 시스템 설계·운영 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 적하역 시스템 통합 설계 및 운영 기술 개발</li> <li>○ 적하역 시스템 구축 및 실증</li> </ul>
	(세부 2-2) 액체수소 적하역 시스템 기자재 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 액체수소 로딩암 시스템 설계 및 제작 기술개발</li> </ul>

- (세부기술 간 연계성) 액체수소 적하역 시스템 설계·운영 기술 개발을 통하여 액체수소 적하역 시스템 구성 및 사양, 제어 및 운전 기술을 도출
  - 도출된 액체수소 적하역 기자재 사양을 바탕으로 액체수소 적하역 시스템에 필요한 로딩암 시스템 등을 개발
  - 개발된 액체수소 적하역용 기자재 및 시스템을 실증, 개발된 기자재의 성능 검증 및 Track record 확보를 추진



〈그림 5-22〉 (구성2) 세부기술 간 연계도

## 5) 기술개발 로드맵

세부기술	1단계		2단계	
	2026	2027	2028	2029
<b>[세부 2-1]</b> 액체수소 적하역 시스템 통합 설계 및 운영 기술 개발	적하역 시스템 관련 규정 분석 및 기본설계	적하역 시스템 통합 상세 설계 및 기자재 구매	적하역 및 제어 시스템 구축 및 최적화	적하역 시스템 실증 및 Scale-up 기본 설계
<b>[세부 2-2]</b> 액체수소 로딩암 시스템 설계 및 제작 기술 개발	QCDC 및 ERC 시스템 설계	QCDC 및 ERC 시스템 상세 설계	액체수소 로딩암 시스템 제작 및 QCDC, ERC 최적화	액체수소 로딩암 시스템 실증 및 Scale-up 기본설계

## 2. [세부 2-1] 적하역 시스템 통합 설계 및 운영 기술 개발

### 1) 기술개요

- (정의) 액체수소를 운송선에서 인수기지 내 저장탱크로(Ship to Port) 안전하고 효율적으로 이송하기 위한 적하역 시스템에 대하여 설계와 운영 기술 개발
  - 동 사업에서 의미하는 액체수소 적하역 시스템은 항만(터미널)에서 액체수소 운송선으로 액체수소 화물을 적재하거나, 액체수소 운반선에 적재된 액체수소 화물을 항만(터미널)로 하역하는 작업을 의미
  - 해당 적하역 시스템은 로딩암 시스템 등 극저온(-253℃)의 액체수소를 적하역하기 위해 필요한 기자재들과 이를 제어하고 모니터링 하기 위한 제어시스템 등으로 구성
  - 액체수소의 경우 LNG(-163℃) 적하역 작업과 많은 유사점이 있으나, 다음과 같은 특성들을 가지고 있으므로 이에 대비할 수 있는 기술이 필요
    - -253℃의 극저온 상태로써, 인체 혹은 선박의 구조, 배관 및 관련 장비들과 접촉 시 손상 위험
    - 액체수소의 낮은 온도로 인해, 퍼징 작업 혹은 시스템 내 다른 기체와 접촉 시 응축 가능성
    - 액체수소는 온도와 압력에 따라 액체에서 기체로 상변화가 용이하여 쉽게 증발함
    - 액체수소에서 발생하는 증발가스(BOG)는 폐위 혹은 반폐위된 구역에서 폭발 위험
  - 또한, 기화된 수소 증발가스는 확산 속도가 빠르고, 연소 시 화염 전파속도가 빠르며, 넓은 가연성 범위(4 ~ 75 vol%)의 특징이 있어, 화재와 폭발에 대비한 안전 기술이 필요
  - 따라서, 동 사업을 통하여 적하역 시스템의 효율성과 신뢰성, 안전성을 확보할 필요



〈그림 5-23〉 (세부 2-1) 기술개발 개념도

〈표 5-19〉 (세부 2-1) 요소기술의 구성

요소기술	연구내용	총 연구기간(년)	총 연구비(억 원)
적하역 시스템 통합 설계 및 운영 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Ship to Port용 액체수소 적하역 시스템 공정 및 설계 기술개발</li> <li>○ 액체수소 적하역 시스템 제어 및 운영 기술 개발</li> <li>○ 액체수소 적하역 시스템 실증</li> </ul>	2026~2029 (4년)	50.18

## 2) 연구개발 목표

### □ 액체수소 적하역 시스템의 설계와 운영에 대한 기술 확보

- 액체수소 적하역 시스템의 효율성, 안정성, 신뢰성을 확보를 위한 통합설계 기술과 운용을 위한 제어시스템 기술 및 운용 절차서 개발을 통한 원천기술 확보
  - (공정설계) 적하역 시스템의 안전하고 효율적인 공정 계획 수립을 위한 규정 분석 보고서, 공정 체계 구축(안) 도출
  - (통합설계) 안전성과 신뢰성, 효율성 확보를 위한 통합설계도 도출
  - (제어시스템) 적하역 운영 효율 극대화와 비상상황 신속대응을 위한 제어 알고리즘과 실시간 데이터 수집 및 모니터링이 가능한 제어 시스템의 기술 및 설계 검토와 최적화
  - (운영기술) 적하역 시스템의 안전하고 효율적 활용을 위한 운용기준 및 유지관리 지침서와 공정별 절차서 개발

〈표 5-20〉 (세부 2-1) 연구개발 목표

연구개발내용	구분	성능지표 (단위)	현재 성능 (Spec)	개발 목표(Spec)	
				1단계	2단계
적하역 시스템 통합 설계 및 운영 기술 개발	적하역 시스템 관련 규정분석 보고서	건	-	1건	-
	적하역 시스템 공정체계 구축(안)	건	-	1건	-
	적하역 시스템 통합설계도	건	-	1건	-
	적하역 제어 시스템 기술 및 설계 검토서	건	-	1건	-
	적하역 제어 시스템 최적화(보고서)	건	-	-	1건
	적하역 시스템 운용기준 및 유지관리 지침서	건	-	-	1건
	적하역 시스템 공정별 절차서	건	-	-	1건

### 3) 유사과제 중복성, 차별성 및 연계 활용방안

- (기존 연구 및 성과) 기존 연구들은 수소 운송선을 중심으로 기술개발이 이루어져 액체수소 적하역과는 차별성이 존재하나, 운송선에서 저장탱크로 액체수소를 이송하는 내역 특성상 연계방안은 다양할 것으로 사료

〈표 5-21〉 (세부 2-1) 유사과제 개요

주관부처	과제명	연구기간/규모	주요성과
해양수산부	수소연료 벙커링 및 수소 적하역 안전기술개발	2020.04. ~ 2024.12. / 64.42억원	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 선박용 수소연료 벙커링 및 수소 이송/적하역 시스템 GM</li> <li>○ 위험도 평가 기반 수소연료 벙커링 및 수소 이송/적하역 설비 안전운용 절차서, 시험평가절차서 및 선급 기술기준</li> <li>○ 수소연료 벙커링 및 수소 이송/적하역 설비 관련 국내 법령 제개정(안)</li> </ul>
해양수산부	수소운송선 적하역 및 수소추진선박 연료공급 통합제어 안전기준 개발	2020.04. ~ 2024.12. / 74.84억원	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 수소(액체·액상) CHS 및 수소(액체·기체·고체) FGSS 제어 시스템 및 액체수소 BOG 처리 제어 시스템 GM</li> <li>○ 수소 CHS, 수소 FGS 및 수소 BOG 제어 시스템 안전운용 절차서, 선급 기술기준 및 관련 국내 법령 제개정(안)</li> </ul>
산업통상자원부	액체수소 운송선 핵심시스템(화물창, BOG 처리시스템, CHS시스템) 국산화 모델 개발	2021.05. ~ 2024.04. / 60억원	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 액체수소운송선 규정 분석 보고서</li> <li>○ 운송선 핵심기술 국산화 모델 개념 설계</li> <li>○ 운송선 기본설계 인자 도출</li> <li>○ 액체수소 운송 전주기 공정 설계</li> <li>○ 운송선 핵심기술 평가/검증</li> </ul>
과학기술 정보통신부	액체수소 공급시스템 핵심 기자재 개발	2021.01. ~ 2025.12. / 139.95억원	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 액체수소 기반 대용량 수소공급 시스템 설계 및 안전기술 개발</li> <li>○ 액체수소 기반 대용량 수소공급 시스템용 기자재 국내산업 육성을 위한 핵심 기술 개발</li> <li>○ 액체수소 공급 핵심기자재 성능평가 시스템 구축 및 실증</li> </ul>

- (중복성 검토결과) NTIS (국가과학기술지식정보서비스) 데이터베이스 활용 유사과제 4건 검토 결과 중복성 없음으로 판단됨
- (차별성) 본 과제는 실제 적하역 시스템을 구축하기 위한 설계 기술과 제어 시스템 및 운용 기술을 개발하는 과제임

- 유사과제의 경우 적하역 시스템의 표준 모델 개발과 안전기준을 개발하고 국내 법제도 개정안을 도출하는 과제, 액체수소 운송선설계 주요 설계인자 도출 과제, 액체수소를 기체수소로 전환하여 공급하는 기술개발 과제
- (연계방안) 유사과제에서 적하역 시스템과 제어시스템의 개념 설계와 안전기준을 개발하고 법제도 개정안을 도출하였으므로, 이를 활용하여 설계 최적화와 안전성 및 신뢰성을 높일 수 있을 것으로 기대됨
- (성과 연계) 수소 이송 및 적하역 시스템 관련 국내 법 제도 개정안과 액체수소 적하역 제어 시스템 관련 국내 법 제도 개정(안)을 참고하여 적하역 시스템 설계 및 제어시스템 기술 개발에 활용
- (기술 연계) 적하역 시스템과 이를 위한 제어시스템의 표준 모델과 안전 기준 기술자료를 참고하여 적하역 시스템 설계 기술 개발 및 제어시스템 기술 개발에 활용함

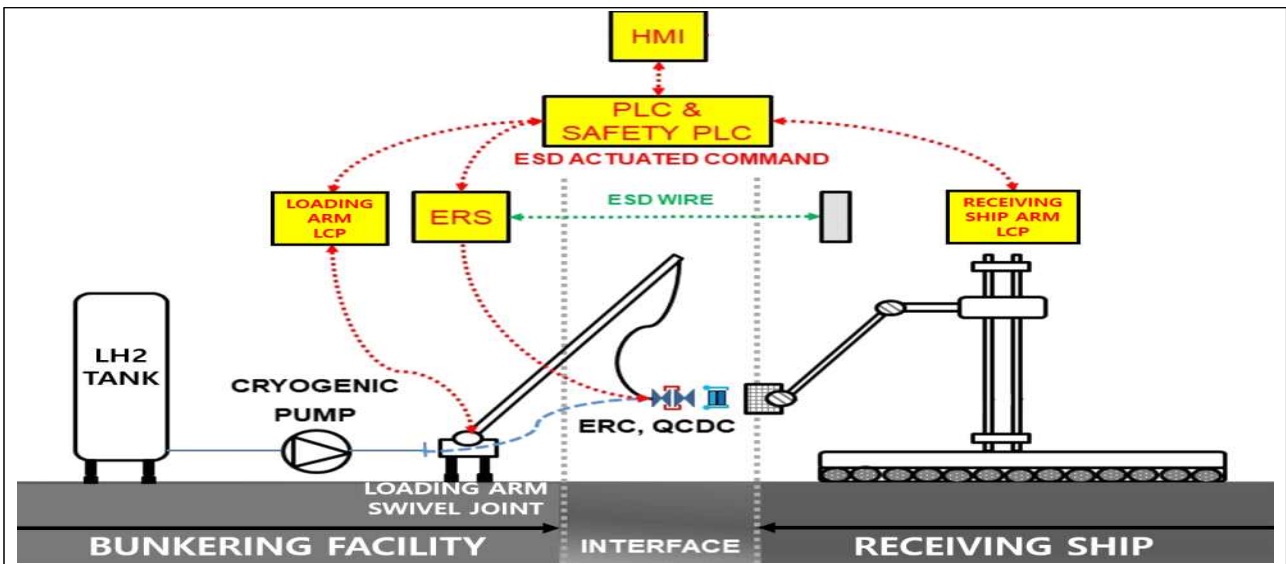
**〈표 5-22〉 (세부 2-1) 유사과제 차별성 및 연계/활용방안**

과제명	차별성	연계/활용방안
수소연료 벙커링 및 수소 적하역 안전기술개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 해당 과제는 수소연료추진선박의 수소연료(액체, 기체, 고체) 벙커링 및 수소 운송선의 수소(액체, 액상) 이송 및 적하역 안전성 평가 기술 및 안전 기준을 개발하는 사업임</li> <li>○ 반면 본 과제에서는 실제 적하역 시스템을 구축하기 위하여 설계와 운영 기술을 개발하므로 차별성이 있음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ (설계 활용) 적하역 시스템 표준모델 설계 자료</li> <li>○ (설계 활용) 수소 이송 및 적하역 시스템 안전기준 개발</li> <li>○ (공정, 설계 활용) 수소 이송 및 적하역 시스템 관련 국내 법제도 개정(안)</li> </ul>
수소운송선 적하역 및 수소추진선박 연료공급 통합제어 안전기준 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 해당 과제는 수소 적하역(CHS) 및 수소 연료공급시스템(FGSS) 제어안전 및 신뢰성 평가 기술을 개발하는 사업임</li> <li>○ 반면 본 과제에서는 실제 구축되는 적하역 시스템의 제어시스템 기술을 개발하는 것으로 차별성이 있음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ (활용) 수소 적하역(CHS) 제어 시스템 개념 모델 설계기술</li> <li>○ (활용) 수소 적하역(CHS) 제어 시스템 안전 기준</li> <li>○ (활용) 수소 적하역(CHS) 제어 시스템 관련 국내 법제도 개정(안)</li> </ul>
액체수소 운송선 핵심시스템(화물창, BOG 처리시스템, CHS시스템) 국산화 모델 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 해당 과제는 액체수소 운송선 건조를 위하여 핵심기술(운송용량, CCS, BOR) 국산화 모델 개발과 기본 설계 인자(CCS, CHS, BOG)를 도출</li> <li>○ 반면 본 과제에서는 실제 적하역 시스템을 구축하기 위하여 설계와 운영 기술을 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ (공정, 설계 활용) 액체수소운송선 규정 분석 보고서</li> <li>○ (공정, 설계 활용) 액체수소 적하역 시스템(CHS) 기본 설계 인자 도출</li> <li>○ (공정, 설계 활용) 위해도 분석</li> </ul>
액체수소 공급시스템 핵심 기자재 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 해당 과제는 모빌리티 또는 수요 건축물로의 액체수소 대용량 이송을 위한 공급시스템 핵심 기자재 기술 개발 및 실증 과제</li> <li>○ 반면 본 과제에서는 액체수소를 액체 상태로 적하역 하는 기술을 개발하는 것으로 차별성이 있음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ (설계 활용) 액체수소 이송에 사용되는 기자재 설계 인자 도출 참고자료</li> </ul>

### 3. [세부 2-2] 액체수소 로딩암 시스템 설계 및 제작 기술개발

#### 1) 기술개요

- (정의) -253℃ 극저온 액체수소를 운송선에서 육상 저장 설비로 안전하게 운송하는 로딩암 시스템
- 액체수소 로딩암 시스템에 필요한 이송 시스템을 구성하는 기자재를 설계하고 제작하는 기술 개발
  - 동 세부과제는 액체수소 로딩암을 제외한 운송선에서 선적하기 위해 6인치 로딩암 시스템 개발을 목적으로 함



〈그림 5-24〉 (세부 2-2) 기술개발 개념도

- (QCDC 및 ERC 설계기술 개발) 터미널과 운송용 선박 간 효율적인 이송을 위한 신속분리결합(QCDC) 및 액체 이송 시 발생하는 비상상황에 대하여 안전을 위하여 비상분리장치(ERC)를 극저온(-253℃) 환경에서 정상 작동할 수 있는 기술개발 및 기자재 설계
- (사고 발생 시 긴급 이탈시스템 기술(ERS) 개발) 액체수소 이송 과정에서 관련 기자재 오작동, 예상치 못한 환경변화 등으로 인하여 비상 상황 발생 시 위험 감지를 통한 자동 및 운영자의 판단에 의한 수동 조작으로 이탈 시스템의 작동으로 비상 분리장치(ERC)로 신호를 안정적으로 전달하는 시스템 개발
- (로딩암 단열 설계 기술 개발) 극저온(-253)의 액체수소를 이송하는 기자재의 경우 이송 중 BOG를 최소화 및 극저온에 의한 기자재 손상 방지를 위하여 이중 단열 진공 구조의 Insulation 기술 개발

- (액체수소 로딩암 시스템 제작 기술) 액체수소 적하역을 위하여 극저온(-253) 환경에서도 원활하게 작동하는 신속분리장치(QCDC), 비상분리시스템(ERC/ERS), 극저온 호스 등으로 구성된 로딩암 시스템 제작 기술 개발

〈표 5-23〉 (세부 2-2) 요소기술의 구성

요소기술	연구내용	총 연구기간(년)	총 연구비(억 원)
유압 구동식 QCDC 및 ERC 설계기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 터미널과 운송용 선박 간 효율적인 이송을 위한 신속분리결합(QCDC) 및 액체 이송 시 발생하는 비상상황에 대하여 안전을 위하여 비상분리장치(ERC)를 극저온(-253℃) 환경에서 정상 작동할 수 있는 기술개발 및 기자재 설계</li> </ul>	2026~2029 (2년)	13.83
사고 발생 시 비상분리 시스템	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 액체수소 이송 과정에서 관련 기자재 오작동, 예상치 못한 환경변화 등으로 인하여 비상 상황 발생 시 위험 감지를 통한 자동 및 운영자의 판단에 의한 수동 조작으로 이탈 시스템의 작동으로 비상분리장치(ERC)로 신호를 안정적으로 전달하는 시스템 개발</li> </ul>	2026~2027 (2년)	14.83
고정식 로딩암 기자재 단열 설계 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 극저온(-253)의 액체수소를 이송하는 기자재의 경우 이송 중 BOG를 최소화 및 극저온에 의한 기자재 손상 방지를 위하여 이중 단열 진공 구조의 Insulation 기술 개발</li> </ul>	2026~2028 (3년)	14.83
액체수소 로딩암 시스템 제작 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 극저온(-253℃) 환경에서도 원활하게 작동하는 신속분리장치(QCDC), 비상분리시스템(ERC/ERS), 극저온 호스 등으로 구성된 로딩암 시스템 제작 기술 개발</li> </ul>	2026~2029 (4년)	45.73

## 2) 연구개발 목표

- 액체수소 로딩암 시스템 및 관련 이송 기자재에 대한 설계 및 제작 기술 개발
  - 신속분리결합장치(QCDC) 및 비상분리장치(ERC) 설계 기술 개발
  - 사고 발생 시 비상분리 시스템(Emergency Release System) 기술개발
  - 로딩암 기자재 단열 설계 기술 개발
  - 액체수소 로딩암 시스템 제작 기술 개발

〈표 5-24〉 (세부 2-2) 연구개발 목표

요소기술명	구분	성능지표 (단위)	현재 성능 (Spec)	개발 목표(Spec)	
				1단계	2단계
유압구동식 QCDC 및 ERC 설계 기술 개발	QCDC 내압성능	MPa	-	기본설계	≥ 1.05
	QCDC 내구성	Cycle	-	기본설계	≥ 5,000
	ERC 내압성능	MPa	-	기본설계	≥ 1.05
고정식 로딩암 기자재 단열 설계 기술개발	로딩암 단열 성능	W/m	-	기본설계	≤ 3

※ 설계압력 : 1.05MPa 기준

## 3) 유사과제 중복성, 차별성 및 연계 활용방안

- (기존 연구 및 성과) 액체수소 기반 대용량 수소 공급시스템 핵심 기자재 기술, 안전 기준, 성능평가 시스템 구축 및 실증

〈표 5-25〉 (세부 2-2) 유사과제 개요

주관부처	과제명	연구기간/규모	주요성과
과학기술 정보통신부	액체수소 공급시스템 핵심 기자재 개발	2021.01. ~ 2025.12. / 140억 원	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 액체수소 기반 대용량 수소공급 시스템 설계 및 안전기술 개발</li> <li>○ 액체수소 기반 대용량 수소공급 시스템용 기자재 국내산업 육성을 위한 핵심 기술 개발</li> <li>○ 액체수소 공급 핵심기자재 성능평가 시스템 구축 및 실증</li> </ul>

- (중복성 검토결과) NTIS (국가과학기술지식정보서비스) 데이터베이스 활용 유사과제 1건 검토 결과, 일부 중복되나 연계를 통해 고도화 가능

- (차별성) 본 과제는 액체수소의 효율적이고 안전하게 적하역 하기 위하여 로딩암 시스템 및 관련 기자재를 설계, 제작하는 기술개발 과제임
  - 유사과제의 경우 액체수소 기반 대용량 수소공급 시스템 설계 및 안전 기술 개발, 액체수소 기반 대용량 수소공급 시스템 핵심 기자재 국산화 기술 개발, 액체수소 공급시스템 핵심기자재 성능평가 시스템 구축 및 실증 과제임
- (연계방안) 유사과제에서 액체수소 공급시스템 설계, 핵심 기자재 기술 개발, 성능평가 시스템 구축 및 실증을 수행하였으므로, 이를 활용하여 관련 로딩암 시스템의 기자재 개발 및 성능평가를 통하여 액체수소 로딩암 시스템의 안전성과 신뢰성을 높일 수 있을 것으로 기대됨
  - (성과 연계) 액체수소 공급 시스템 핵심 기자재 성능평가 구축 및 실증 결과를 토대로 하여 액체수소 로딩암 시스템 구성 기자재의 설계 및 기술 개발에 활용
  - (기술 연계) 액체수소 기반 대용량 수소공급 시스템용 기자재 국내산업 육성을 위한 핵심 기술자료를 참고하여 QCDC, ERC/ERS 등 로딩암 시스템 구성 기자재에 대한 설계 및 기술 개발에 활용

〈표 5-26〉 (세부 2-2) 유사과제 차별성 및 연계/활용방안

과제명	차별성	연계/활용방안
액체수소 공급시스템 핵심 기자재 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 해당 과제는 모빌리티 또는 수요 건축물로의 액체수소 대용량 이송을 위한 공급시스템 핵심 기자재 기술 개발 및 실증 과제로, 액체수소 기반 대용량 고압 기체 수소 공급 시스템 설계기술과 핵심기술(저장탱크, 가압시스템, 기화기, 안전밸브)을 개발하는 사업임</li> <li>○ 반면 본 과제에서는 액체수소를 액체 상태로 적하역에 필요한 로딩암 시스템 개발하는 것으로 차별성이 있음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ (설계 활용) 액체수소 이송에 사용되는 기자재 설계 인자 도출 참고자료</li> </ul>

## VI | 예산 산출 내역

- 1절. 총사업비 산출 근거
- 2절. 연도별 예산산출 근거 및 내역



## VI 예산 산출 내역

### 1. 총사업비 산출 근거

□ (지원조건) ‘26~’ 29년(4년 간) 총 386.70억 원(국비 290억 원)

- (재원별) 액체수소 저장탱크 및 적하역 시스템 기술개발 사업의 총사업비는 386.70억 원으로 국고 290억 원, 민간 96.7억 원(잠정)으로 총당할 계획
  - 민간부담금의 경우, 관련 규정을 준수하여 과제 공모 시 참여기업의 참여형태별 기업부담금을 매칭하여 추진할 계획
  - 국고·민자 비율은 국가연구개발사업 연구개발비 산정 기준을 준용 국고 70~75% 민자 25~30%로 설정하여 총사업비 재원 산출

〈표 6-1〉 연도별 신규사업 예산 규모

(단위: 백만 원)

예산규모	구분	‘26	‘27	‘28	‘29	합계
[구성 1] 액체수소 인수기지 평저형 저장탱크 건설 기술 개발	정부	2,200	5,430	6,580	5,290	19,500
	민간	730	1,400	1,700	1,400	5,230
	소계	2,930	6,830	8,280	6,690	24,730
[구성 2] 액체수소 인수기지 적하역 시스템 기술개발	정부	1,800	2,570	2,420	2,710	9,500
	민간	600	1,270	1,300	1,270	4,440
	소계	2,400	3,840	3,720	3,980	13,940
합계	정부	4,000	8,000	9,000	8,000	29,000
	민간	1,330	2,670	3,000	2,670	9,670
	총계	5,330	10,670	12,000	10,670	38,670

### 2. 연도별 예산산출 근거 및 내역

〈표 6-2〉 연도별 예산산출 근거

연도	사업비	산출근거
2026	[구성 ①] 액체수소 인수기지 평저형 저장탱크 건설 기술 개발 (총 2,930백만 원)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ (세부 1-1) 평저형 액체수소 저장탱크 설계 기술 개발(998백만 원)</li> <li>○ (세부 1-2) 평저형 액체수소 저장탱크 건설 기술 개발(730백만 원)</li> <li>○ (세부 1-3) BOG제어·재액화 시스템 기술 개발(1,202백만 원)</li> </ul>

연도	사업비	산출근거
	[구성 ②] 액체수소 인수기지 적하역 시스템 기술개발 (총 2,400백만 원)	○ (세부 2-1) 적하역 시스템 통합 설계 및 운영 기술 개발(1,116백만 원) ○ (세부 2-2) 액체수소 로딩암 시스템 설계 및 제작 기술 개발(1,284백만 원)
2027	[구성 ①] 액체수소 인수기지 평저형 저장탱크 건설 기술 개발 (총 6,830백만 원)	○ (세부 1-1) 평저형 액체수소 저장탱크 설계 기술 개발(1,072백만 원) ○ (세부 1-2) 평저형 액체수소 저장탱크 건설 기술 개발(4,244백만 원) ○ (세부 1-3) BOG제어·재액화 시스템 기술 개발(1,514백만 원)
	[구성 ②] 액체수소 인수기지 적하역 시스템 기술개발 (총 3,840백만 원)	○ (세부 2-1) 적하역 시스템 통합 설계 및 운영 기술 개발(1,915백만 원) ○ (세부 2-2) 액체수소 로딩암 시스템 설계 및 제작 기술 개발(1,925백만 원)
2028	[구성 ①] 액체수소 인수기지 평저형 저장탱크 건설 기술 개발 (총 8,280백만 원)	○ (세부 1-1) 평저형 액체수소 저장탱크 설계 기술 개발(300백만 원) ○ (세부 1-2) 평저형 액체수소 저장탱크 건설 기술 개발(5,720백만 원) ○ (세부 1-3) BOG제어·재액화 시스템 기술 개발(2,260백만 원)
	[구성 ②] 액체수소 인수기지 적하역 시스템 기술개발 (총 3,720백만 원)	○ (세부 2-1) 적하역 시스템 통합 설계 및 운영 기술 개발(900백만 원) ○ (세부 2-2) 액체수소 로딩암 시스템 설계 및 제작 기술 개발(2,820백만 원)
2029	[구성 ①] 액체수소 인수기지 평저형 저장탱크 건설 기술 개발 (총 6,690백만 원)	○ (세부 1-2) 평저형 액체수소 저장탱크 건설 기술 개발(4,006백만 원) ○ (세부 1-3) BOG제어·재액화 시스템 기술 개발(2,684백만 원)
	[구성 ②] 액체수소 인수기지 적하역 시스템 기술개발 (총 3,980백만 원)	○ (세부 2-1) 적하역 시스템 통합 설계 및 운영 기술 개발(1,087백만 원) ○ (세부 2-2) 액체수소 로딩암 시스템 설계 및 제작 기술 개발(2,893백만 원)

## VII 사전 타당성 분석

- 1절. 과학기술적 타당성
- 2절. 정책적 타당성
- 3절. 경제적 타당성
- 4절. 파급효과 및 기대효과



## VII 사전 타당성 분석

### 1절 과학기술적 타당성

#### 1. 문제 · 이슈 도출의 적절성

- ◆ 국가적 차원에서 해결해야 할 문제 · 이슈를 식별하기 위한 과정과 별도의 사업으로 추진할 필요가 시급히 요구되는지를 분석하여 사업계획이 추진되어야 하는 당위성을 점검
  - 문제 · 이슈 식별 과정 및 결과의 적절성
  - 과학기술 기반 문제 · 이슈 해결의 중요성 및 필요성

- ‘50년 탄소중립 사회로의 대전환을 위해 국가 차원에서 시급하게 해결해야 할 핵심 문제 · 이슈를 도출하고, 이를 해결하기 위한 사업 구성(안) 마련
  - 액체수소 관련 국내외 정책 · 기술 · 시장산업 등 동향 분석과 정부 R&D 투자동향 및 유사사업 분석 등을 토대로 동 사업을 둘러싼 문제 · 이슈를 식별하고,
  - 정의한 문제/이슈를 해결하기 위해 SWOT 분석 기반의 사업 추진전략(안)을 제시

##### (STEP ①) 주요 현안 및 해결과제 도출

- 동 사업을 통해 해결해야 할 과제가 무엇인지 종합 환경분석과 의견수렴, 전문가 검토 등을 통해 다각적으로 분석
  - 미래 이슈 탐색과 환경분석 및 사업추진 역량분석 등 종합적 대내외 이슈를 점검
  - 수요 · 설문조사, 전문가위원회 운영 등을 통해 수요자가 체감하는 사업 주요 현안을 조사

##### (STEP ②) 문제/이슈 정의

- 도출한 문제/이슈 중 정부 R&D 지원 영역은 무엇인지, 국가적 차원의 지원 필요성이 있는지 검토
- 현안으로부터 도출한 핵심 문제/이슈를 바탕으로 동 사업에서 중점적으로 다루고자 하는 문제/이슈를 정의

##### (STEP ③) SWOT 분석을 통한 사업 추진전략(안) 마련

- 국가 수소 기술 역량의 강점과 약점, 외부 환경변화로 인한 기회와 위협요인을 식별하고 정의된 문제/이슈를 해결하기 위한 사업 추진전략(안)을 제시

〈그림 7-1〉 문제/이슈 도출 프로세스(안)

## 2. 사업 목표의 적절성

- ◆ 문제·이슈의 해결과 사업목표가 잘 부합되는지를 검토하고, 달성하고자 하는 목표의 구체화 및 이를 측정하기 위한 지표의 적절성을 검토
  - 식별된 문제·이슈와의 연관성
  - 사업목표 설정의 적절성

### 1) 문제·이슈 ↔ 사업 목표 간 연관성

- 동 사업은 미래 수소경제를 선도할 액체수소 인프라 기술우위 확보를 비전으로 200㎥ 저장탱크 및 6인치 적하역 핵심기술 개발 및 실증을 목표로 설정
  - (문제/이슈 ①) 국가 차원의 수소경제 이행과 수소 수요 대응을 위한 대규모 액체수소 공급인프라 부재 ⇨ (해결 방안 ①) 200㎥ 저장탱크 개발 및 4,000㎥ 스케일업 설계를 통한 생산 역량 확충 및 대규모 수소 수입을 통한 국내 공급인프라 기반 구축 필요
  - (문제/이슈 ②) 수소 활용 대비 생산·저장·공급 부문 기술 수준 열위로, 액체수소 핵심 공정·기자재 기술 대외의존도 심화 우려 ⇨ (해결 방안 ②) 액체수소 전주기(생산-저장-공급)를 고려한 액체수소 저장탱크, 기화기 등 핵심 기술개발 및 실증으로 기술경쟁력 강화
  - (문제/이슈 ③) 글로벌 액체수소 시장 고성장 예측에 힘입어 전세계 수소 인프라 건설 시장이 확대될 것으로 전망 ⇨ (해결 방안 ③) 개발 기술 성과물 실증으로 트랙레코드를 확보, 해외 기술 수출을 위한 레퍼런스를 마련하고, 중장기 기술 수출 토대를 마련

〈표 7-2〉 문제/이슈 - 해결 방안 - 사업 목표 간 연계성

(문제/이슈①) 국가 차원의 수소경제 이행과 수소 수요 대응을 위한 대규모 액체수소 공급인프라 부재	(해결 방안 ①) 200㎥ 저장탱크 개발 및 4,000㎥ 스케일업 설계를 통한 생산 역량 확충 및 대규모 수소 수입을 통한 국내 공급인프라 기반 구축 필요	<b>[사업 목표]</b> 세계 최초 200㎥급 평저형 저장탱크 및 6인치급 적하역 시스템 기술개발-실증으로 액체수소 핵심 기술경쟁력 강화
(문제/이슈②) 수소 활용 대비 생산·저장·공급 부문 기술 수준 열위로, 액체수소 핵심 공정·기자재 기술 대외의존도 심화 우려	(해결 방안 ②) 액체수소 전주기(생산-저장-공급)를 고려한 액체수소 저장탱크, 기화기 등 핵심 기술개발 및 실증으로 기술경쟁력 강화	
(문제/이슈③) 글로벌 액체수소 시장 고성장 예측에 힘입어 전세계 수소 인프라 건설시장이 확대될 것으로 전망	(해결 방안 ③) 개발 기술 성과물 실증으로 트랙레코드를 확보, 해외 기술 수출을 위한 레퍼런스를 마련하고, 중장기 기술 수출 토대를 마련	

## 2) 사업 목표 ↔ 성과 목표 간 부합성

<b>목표</b>	세계 최초 200m³급 평저형 저장탱크 및 6인치급 적하역 시스템 기술개발-실증으로 액체수소 핵심 기술경쟁력 강화	
	액체수소 전주기 핵심 기술경쟁력 제고	인프라 실증 통한 트랙레코드 확보
▼		
<b>성과 목표</b>	세계 최초 평저형 저장탱크 설계 및 실증	6inch급 인수기지 적하역 시스템 실증

- 사업 성과 목표로 액체수소 생산·저장 핵심기술 개발 및 액체수소 공급인프라 실증 환경 구축, 이를 활용한 실증 트랙레코드 확보를 설정하고, 국내 액체수소 기술경쟁력 강화를 통한 글로벌 액체수소 인프라 건설시장 진출을 도모
  - (극저온 액체수소 생산·저장 핵심 기술개발) 세계 최초로 시행되는 평저형 저장탱크 설계 및 핵심 기자재 기술개발을 통한 액체수소 기술경쟁력 강화 및 선도기술 우위 확보
  - (공급인프라 설계 기술 확보 및 실증 환경 조성) 액체수소 공급인프라 설계 기술개발을 통해 공정별 개발된 기술·기자재의 성능과 안전성을 포함한 기술을 확보하고, 실증을 위한 환경 조성
  - (공급인프라 기반 실증 트랙레코드 확보) 동 사업을 통해 구축한 액체수소 공급인프라 기반 실증을 통해 트랙레코드를 확보함으로써 개발된 기술이나 기자재의 상용화를 촉진하고, 이는 국내 액체수소 기술·기자재의 자립화를 가속화
- ☞ 액체수소 공급인프라를 구성하는 액체수소 저장탱크 등 핵심기술 확보 및 실증 기반 구축을 통해 액체수소 기술경쟁력 제고 및 핵심 기자재 개발을 촉진하고, 액체수소 공급인프라 실증 운영 방안 마련을 통한 트랙레코드 확보

### 3) 성과 목표 ↔ 성과지표 간 정합성

- 동 사업은 △액체수소 생산·저장 핵심기술개발, △액체수소 공급인프라 설계 기술 확보 및 실증, △공급인프라 운영 방안 마련을 목표로하며, 목표 달성 여부를 객관적이고 정량적으로 측정할 수 있는 성과지표로 설정

〈표 7-3〉 성과 목표 및 성과지표별 목표치 설정

성과 목표	성과지표	측정방법 및 연도별 목표					
		정의					
세계 최초 평저형 저장탱크 설계 및 실증	평저형 액체수소 저장탱크 설계 용량	정의	○ 개발 완료된 평저형 액체수소 저장탱크의 설계 기준 저장 용량(m <sup>3</sup> )				
		근거	○ 초기 200m <sup>3</sup> 급 파일럿 저장탱크 실증을 통해 대형화(4,000m <sup>3</sup> 급) 설계 기술로 스케일업 설계→제작→구축 순으로 단계 진행 가능성 고려하여 목표 설정				
		목표	(단위: m <sup>3</sup> )				
		2026	2027	2028	2029	계	
		-	-	200	4,000	4,000	
평저형 액체수소 저장탱크 건설 용량 (BOR)	평저형 액체수소 저장탱크 건설 용량 (BOR)	정의	○ 실증 구축된 평저형 저장탱크의 저장 용량(m <sup>3</sup> ) 및 Boil-Off Rate(%) 성능 지표				
		근거	○ 액체수소 저장 시 기화율(Boil-Off Rate)을 기존 LNG 수준만큼 억제하는 것을 목표로 설정				
		목표	(단위: m <sup>3</sup> , %)				
		2026	2027	2028	2029	계	
		-	-	200(0.75)	200(0.5)	200(0.5)	
6inch급 인수기지 적하역 시스템 실증	로딩암 제작 및 적하역 시스템 실증	정의	○ 6인치급 로딩암, 연결·분리 커넥터(QCDC), 비상분리시스템(ERC) 등을 포함한 적하역 시스템의 통합 구축 및 실증 수준				
		근거	○ 해외 액체수소 인수기지 사례(고베항 등) 바탕으로 목표치 설정				
		목표	(단위: m, 제작, 구축, 실증)				
		2026	2027	2028	2029	계	
		6인치 설계	6인치 제작	6인치 구축	6인치 실증	6인치 실증	

### 3. 전략과제 및 추진 전략의 적절성

- ◆ 연구개발 과제(세부활동)가 구체적으로 제시되고, 효과적·유기적으로 서로 연계되어 있는지를 관리 가능성의 관점에서 분석하여 사업 목표를 효과적으로 달성하기 위한 추진전략 및 추진체계의 적절성을 판단
  - 세부활동 구성 및 내용의 구체성과 연계성
  - 사업목표 달성을 위한 추진전략의 적절성

목표	세계 최초 200m³급 평저형 저장탱크 및 6인치급 적하역 시스템 기술개발-실증으로 액체수소 핵심 기술경쟁력 강화	
	액체수소 전주기 핵심 기술경쟁력 제고	인프라 실증 통한 트랙레코드 확보
과제 구성	연구개발(R&D)	실증
추진 전략	(1) 도전적·혁신적 기술개발을 통한 액체수소 공급인프라 핵심기술 확보	
	(2) 단계적 연구개발 및 실증을 통한 기술 완성도 및 실증 트랙레코드 확보	
	(3) 수소도시 등 국내 수소 인프라 구축사업과의 연계를 통한 추진 효율성 강화	
	(4) 글로벌 액체수소 인프라 시장 진출을 위한 기술경쟁력 기반 구축	

- 사업 목표 달성을 위해 기술경쟁력 제고를 위한 연구개발(R&D)과 트랙레코드 확보를 위한 인프라 실증의 병행 추진이 필요하고, 이에 액체수소 전주기(생산-저장-공급)를 고려한 단위공정별 과제 및 통합실증 과제로 내역사업을 구성
  - (전략1. 도전적·혁신적 기술개발을 통한 액체수소 공급인프라 핵심기술 확보) 12대 국가전략기술 확보 및 「수소경제 이행 기본계획」 등 국가 수소 정책의 신속한 이행과 실현을 위한 전략적 사업구성
    - 12대 국가전략기술 중 하나로 “수소” 기술이 명시되어 있는만큼 차세대 핵심 기술로서 경쟁력 선점을 꾀할 수 있도록 수소 전주기를 고려한 기술개발 범위를 설정
    - 정부가 설정한 ‘50년 수소 수입량과 생산 목표 수준에 근거하여 이를 적기 실현할 액체수소 공급인프라 구축을 사업 범위로 제시하여 인프라 건설과 실증을 아우르는 통합형 사업으로 기획

- (전략2. 단계적 연구개발 및 실증을 통한 기술 완성도 및 실증 트랙레코드 확보) 액체 수소 공급인프라 핵심 기술개발과 통합실증을 병행 추진하는 이원화 전략을 채택, 연구 성과물의 완성도 제고 및 기술 수출을 위한 실증 트랙레코드 확보를 지원
  - 동 사업은 연구개발과 실증이 병행적으로 추진되는 사업으로, 수소 전주기 단위공정별 개발된 연구 성과물을 검증, 실증함으로써 현장 적용 가능성을 높이고, 장래 기술 수출을 위한 트랙레코드를 안정적으로 확보
- (전략3. 수소도시 등 국내 수소 인프라 구축사업과의 연계를 통한 추진 효율성 강화) 수소 전주기(생산-저장-공급-활용)를 고려한 부처 간 협력을 통해 국가 차원의 수소 생태계 구축과 공급인프라 활용 촉진 등 효율성을 제고
  - 액체수소 운반선(산업부, 해수부), 액체수소 설비·시설 등 안전기준(산업부) 등 유관 부처와 연계를 통해 수소 전주기 공급망 안정화 및 인프라 효율성 극대화 추진
- (전략4. 글로벌 액체수소 인프라 시장 진출을 위한 기술경쟁력 기반 구축) 액체수소 공급인프라 핵심 기술개발 및 실증을 통해 글로벌 액체수소 인프라 건설시장으로의 수출 경쟁력 확보
  - 액체수소 시장은 아직 형성 중인 초기 시장으로 중장기 글로벌 인프라 건설시장으로의 진출이 가능하도록 액체수소 전주기 기술개발 및 실증을 통합적으로 지원

## 2절 정책적 타당성

### 1. 정책의 일관성 및 추진체제

#### 1) 상위계획과의 부합성

- 동 사업은 과학기술기본계획을 포함한 정부의 수소 관련 중장기 계획·전략과의 부합성을 지니고 있음을 확인
  - 정부 상위계획의 목적, 목표, 내용 간 부합성을 검토한 결과, 「제5차 과학기술기본계획」, 「수소기술 미래전략」 등 필수계획과 수소 유관 상위계획과 높은 부합성을 지님

〈표 7-4〉 상위계획과의 부합성 검토 결과

구분		부합도		
		낮음	보통	높음
필수	제5차 과학기술기본계획 ('22.12)			✓
선택군	120대 국정과제('22)		✓	
	제5차 과학기술기본계획 ('22)			✓
	제1차 국가연구개발 중장기 투자전략 ('23)			✓
	수소산업 소부장 육성 전략 ('23)			✓
	제2차 국토교통과학기술연구개발 종합계획 ('23)			✓
	청정수소 생태계 조성방안('22)			✓
	수소기술 미래전략('22)			✓
	제1차 수소경제 이행 기본계획('21)			✓
	제5차 신·재생에너지 기본계획('20)			✓
	수소 기술개발 로드맵('19)			✓
	수소경제 활성화 로드맵('19)			✓

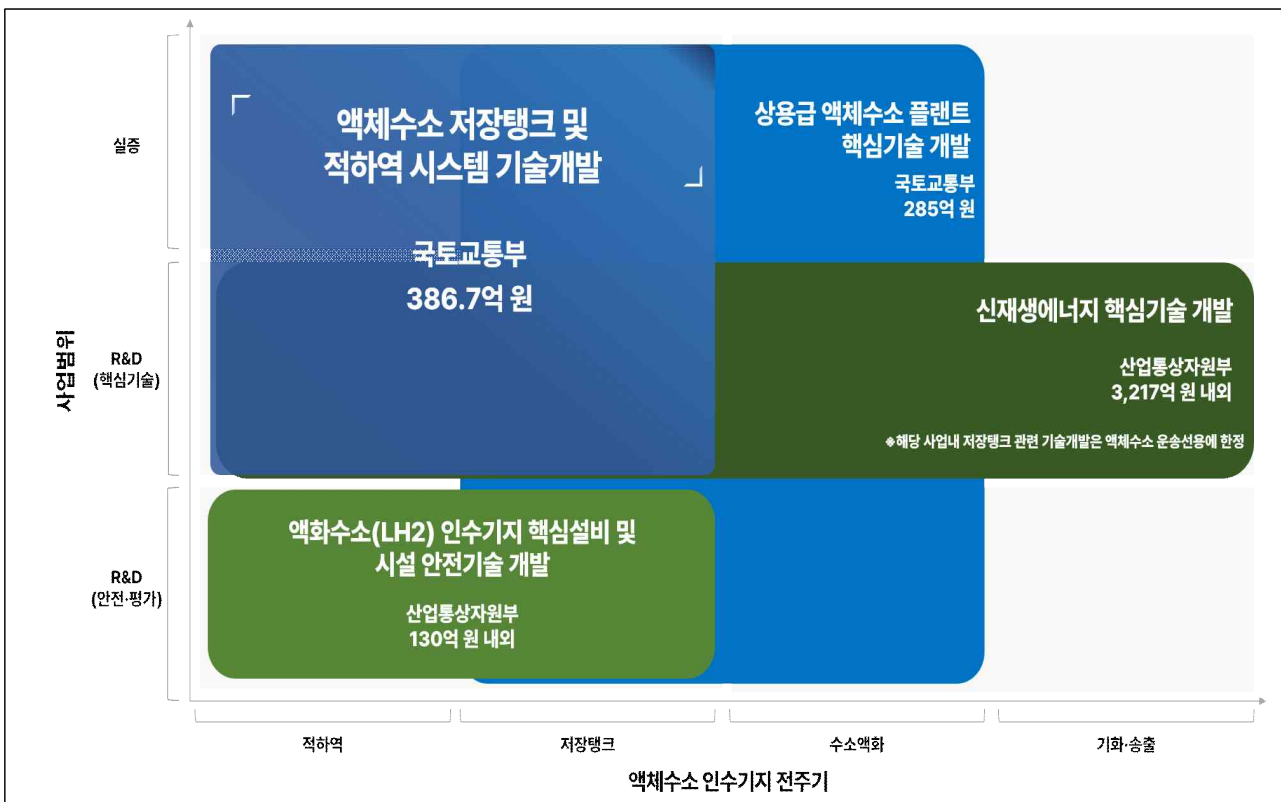
〈표 7-5〉 상위계획과의 부합성 검토 평가 틀

선택 \ 필수	부합도 낮음	부합도 보통	부합도 높음
부합도 높음	보통	대체로 적절	적절
부합도 보통	대체로 부적절	보통	대체로 적절
부합도 낮음	부적절	대체로 부적절	보통

## 2) 사업 추진체제 및 추진의지

### (1) 타 사업과의 차별성

- 타 사업과의 중복성 검토 결과, 동 사업은 액체수소 인수기지를 위한 저장탱크 및 적하역 시스템 핵심 기술 개발을 목적으로 하여 기존 액체수소 관련 사업과 중복성 우려는 없으며, 既 수행된 사업 성과물과 연계함으로써 고도화가 가능
- (차별성) 분석 대상 사업은 액체수소 저장탱크, 적하역 시스템 등을 대상으로 기술 개발을 추진하는 점에서 일부 유사성이 존재하나, 상세 기술개발 및 실증 내용 상에서 상이하여 중복성 우려 없음
- (연계방안) 유사사업의 성과인 기자재, 안전·성능평가 기준 등을 동 사업 실증 시 활용하는 방향으로 연계 가능
  - 특히, 「액화수소 인수기지 핵심설비 및 시설 안전기술개발」(산업부)에서 수행 중인 액체수소 저장탱크 및 적하역 시스템 성능·안전평가 기술개발 성과물과 연계하여 동 사업 실증 시 활용



〈그림 7-2〉 타 사업과의 차별성 - 동 사업 포지셔닝(안)

## 2. 사업 추진상의 위험 요인

### 1) 자원 조달 가능성

- ‘23~ ‘27년 국가재정운용계획에 따르면 ‘23년부터 ‘27년까지 R&D 부분 및 산업·중소기업·에너지 부문의 예산은 각각 매년 0.7% 및 3.0%의 증가율로 확대될 계획으로 동 사업비 중 국고 자원 조달 위험성은 낮을 것으로 보임

〈표 7-6〉 2023~2027년 국가재정운용계획 분야별 자원배분 계획

(단위: 조 원)

구분	2023	2024	2025	2026	2027	CAGR (‘23~‘27)
<b>총 지출</b>	<b>638.7</b>	<b>656.9</b>	<b>684.4</b>	<b>711.1</b>	<b>736.9</b>	<b>3.6</b>
1. 보건·복지·고용	226.0	242.9	252.2	262.5	273.4	4.9
2. 교육	96.3	89.7	95.7	99.8	104.1	2.0
3. 문화·체육·관광	8.6	8.7	8.9	9.1	9.4	2.1
4. 환경	12.2	12.6	12.8	13.2	13.5	2.5
5. R&D	31.1	25.9	27.6	29.5	31.6	0.7
6. 산업·중소기업·에너지	26.0	27.3	27.6	28.4	29.3	3.0
7. SOC	25.0	26.1	26.2	27.3	28.0	2.9
8. 농림·수산·식품	24.4	25.4	25.7	26.2	26.7	2.3
9. 국방	57.0	59.6	61.6	63.6	65.8	3.6
10. 외교·통일	6.4	7.7	7.8	7.9	8.0	5.8
11. 공공질서·안전	22.9	24.3	24.9	25.8	26.7	3.8
12. 일반·지방행정	112.2	111.3	120.1	124.8	129.3	3.6

자료: 기획재정부, 2023-2027 국가재정운용계획

- 국토교통부의 R&D 분야 내 첨단전략산업 부문 예산, 중기 재정계획 검토 결과 예산조달 위험성은 낮을 것으로 판단
  - ‘24년도 기준 국토교통부 R&D 예산은 새 정부의 재정건전성 강화 기조 속에서도 ‘23년 55조 원 대비 9.3% 증가한 60조 9,439억 원 규모로 편성
    - 물류 등 기타 부문에서 “건설·기술 정책”에 대한 정부 지원이 크게 확대되었고, 해외 수주지원 활성화 등 미래 신시장 진출을 위한 국토교통 분야 투자를 확대

## 2) 법·제도적 위험 요인

- ◆ 사업추진 근거법령, 타 법령과의 충돌 가능성, 국가연구개발사업의 일반적인 절차적 문제 발생 가능성, 연구개발사업의 성과물을 둘러싼 분쟁 소지 등을 분석
  - 추진 근거법 및 하위규정 기초자료 확보, 사업추진 관련 규정 탐색 및 확정, 위험 식별 및 분석

### (1) 국가연구개발사업 관련 법·규정 검토

- 예비타당성조사와 관련된 법령은 「국가재정법」, 「과학기술기본법」, 「국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정」으로 압축할 수 있고, 상기법에서 규정한 정의와 추진 절차를 준용하여 기획
  - 동 사업은 총사업비 500억 원 이상, 국가재정지원 300억 원 이상인 예비타당성조사 대상 사업이며, 이는 「국가재정법」, 「과학기술기본법」상 정의에 따른 것임
    - 「국가재정법」 제38조에 따르면, 총사업비 500억 원 이상이고, 국가의 재정지원 규모가 300억 원 이상인 신규사업을 예비타당성조사 대상으로 규정
    - 「과학기술기본법」 제11조는 중앙행정기관의 장은 과학기술기본계획에 따라 맡은 분야의 국가연구개발사업과 그 시책을 세워 추진하도록 명시
  - 「국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정」에 근거하여 사업 계획서(안) 마련

〈표 7-7〉 관련 규정에 근거한 사업기획 이행 사항

순번	관련 사항	보고서 반영 내역
1	○ 국가연구개발사업의 목표, 세부추진내용 및 추진체계	V장, VI장, VII장
2	○ 다른 중앙행정기관의 소관업무와 관련되는 사항에 대한 조정 방안	VIII장
3	○ 국가연구개발사업의 평가계획	VII장
4	○ 필요한 자원의 규모 및 인력 확보 방안	VI장, VIII장
5	○ 정부지원의 타당성 검토 결과	VIII장
6	○ 연구개발성과의 활용방안 및 기대효과	VI장, VIII장
7	○ 국내외 특허 동향, 기술 동향, 표준화 동향 및 표준 특허 동향	III장



- 동 사업추진 근거 법령은 「건설기술진흥법」으로, 동법 제7조에서는 건설기술을 향상하고 기본계획을 효율적으로 추진하기 위하여 건설기술 발전에 필요한 건설기술 연구·개발 사업을 할 수 있음을 명문화
  - 「건설기술진흥법」은 건설기술의 연구·개발과 친환경 건설기술의 보급을 위한 시범사업 추진의 근거를 적시하고 있으며, 동 사업은 동법 제7조, 제9조에 근거
    - ※ 건설기술정책 및 관련 계획의 수립·시행에 관한 기본적인 사항을 제시
    - (제7조) 국토교통부장관은 건설기술을 향상시키고 기본계획을 효율적으로 추진하기 위하여 대통령령으로 정하는 기관 또는 단체와 협약을 체결하여 건설기술 발전에 필요한 건설기술 연구·개발 사업을 할 수 있음
    - (제9조) 국토교통부 장관은 건설기술 연구·개발과 관련된 공공기관·법인·단체·대학(이들의 부설연구소 등 포함)의 인력·자금·시험시설 및 기술정보의 효율적 활용과 선진 건설기술 획득을 위해 관계 중앙행정기관의 장과 공동 연구를 추진하거나 건설기술연구기관의 건설기술 연구·개발을 지원

## (2) 액체수소 안전기준 관련 검토

- 동 사업 추진 시 선행되어야 하는 법·제도적 선결 요소 중 하나가 액체수소 관련 안전기준 준수 여부로, 현재 국내 액체수소 관련 설비나 인프라 성능 평가, 안전기준 등은 부재한 상황
- 이에, 동 사업의 산업부 액체수소 안전기준 관련 국가연구개발사업과의 연계를 통해 사업 추진의 법·제도적 기반을 확충하여 안정적으로 사업을 추진할 계획임

### (3) WTO 보조금협정 등 검토

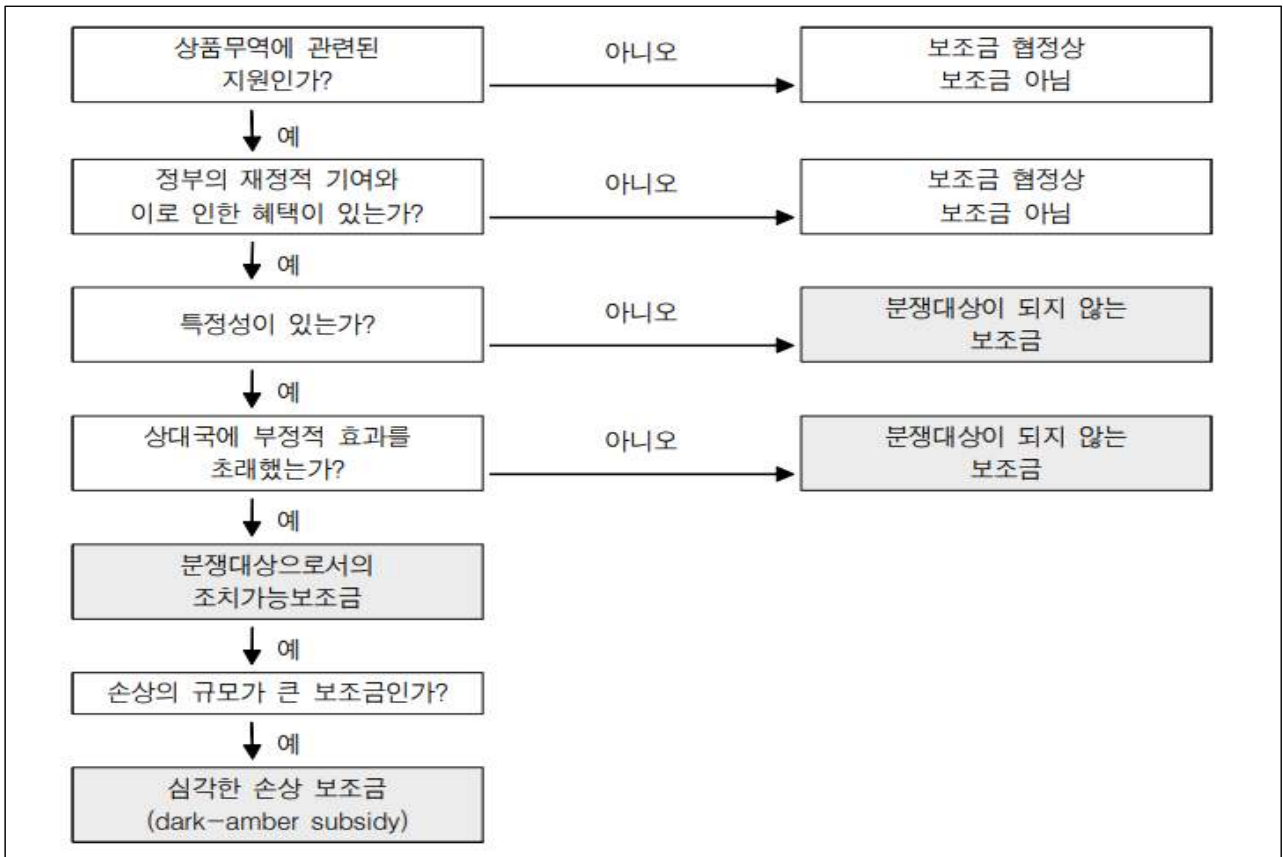
- 사업 산출물이 국제 교역재에 사용될 때의 고려 사항으로 국가연구개발사업의 지원이 WTO “금지보조금” 및 “조치가능보조금”에 해당하여 교역상대국과의 마찰 가능성이 있는지 검토
  - 보조금이란 정책당국이 특정한 정책목표를 달성하기 위하여 산업 및 기업활동에 제공하는 각종 지원을 의미하며, 보조금으로 인정되는 요소는 △정부 또는 공적 기관에 의한 △재정적 기여로 인해 △수혜자에게 혜택이 발생하는 경우임
  - 「WTO 보조금 및 상계조치협정(Agreement on Subsidies and Countervailing Measures)」 제2조에 따라 “특정성” 있는 보조금만을 규제 대상으로 하고 있음
    - ※ 특정성이란 보조금 지급의 대상이 법률상 또는 사실상으로 특정 기업(군)이나 산업(군) 또는 특정 지역 안에 위치한 일정한 기업으로 제한되어 있는 경우를 의미
  - 현재 보조금은 크게 “금지보조금”과 “조치가능보조금”으로 구분되며, 예비타당성 조사에서의 보조금에 대한 사항은 이를 기준으로 검토함이 원칙

〈표 7-8〉 WTO 보조금의 유형(2000년 1월 1일 이후)

구분	내용
금지 보조금	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 그 자체로 특정성이 있는 것으로 간주되어 특정성 존재 여부와 관계없이 WTO 차원에서의 신속하고 직접적인 제재의 대상이 되거나, 수입국이 자국법에 의해 상계관세를 부과할 수 있음</li> <li>○ WTO 보조금 협정상 금지보조금의 운용은 회원국의 경제개발 정도에 따라 적용 시점이 달리 규정되어 있으나, 일부 예외를 제외하면 유예기간이 종료되어 거의 모든 회원국의 수출보조금과 수입대체보조금이 예외없이 금지되고 있음</li> <li>○ 유형               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수출보조금(export subsidies): 법률상 또는 사실상 수출실적에 따라 공여되는 보조금</li> <li>- 수입대체보조금(local content subsidies): 수입품 대신 국산품의 사용을 조건으로 하여 공여되는 보조금</li> </ul> </li> </ul>
조치가능 보조금	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ ① 정부 또는 공적 기관에 의한 재정적 기여로 인해, ② 혜택이 부여되고, ③ 특정성이 있을 경우의 3가지 요건이 모두 충족되면 그러한 재정적 기여는 조치가능 보조금에 해당</li> <li>○ 다른 회원국의 이익에 부정적인 효과(adverse effect)*를 초래하였을 경우에는 WTO 제소 또는 피해국으로부터의 직접적인 상계조치를 받을 수 있음</li> <li>* 다른 회원국의 국내 산업에 대한 피해(injury), 1994년 GATT협정에 의한 양허혜택의 무효화 또는 침해, 다른 회원국의 이익에 대한 심각한 손상(serious injury) 등</li> </ul>

자료: 한국과학기술기획평가원, “국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침” (2024.7)

- 동 사업은 금지보조금 및 조치가능보조금 대상으로 간주하기 어렵다는 점에서 무역협정 위배 소지는 낮을 것으로 보임
  - (금지보조금) 동 사업은 액체수소 인프라 핵심 기술개발을 통해 궁극적인 기술 수출 목표나 수입 대체와 같은 기대효과를 인식하고 있으나, 명시적이거나 강제성이 없다는 점에서 관련 위험 발생 가능성은 낮다고 판단
    - (수출보조금) 동 사업 추진을 통해 장기적 관점에서 액체수소 인프라 건설기술 수출을 목표하나, 명시적으로 수출 성과와 연계한 연구개발 지원 사업은 아님
    - (수입대체보조금) 연구개발 성과물을 실증함으로써 기존 수입품을 국산 기술이나 제품으로 대체할 수 있으나 이는 기대효과 측면이며, 국산품 사용에 대한 강제성을 지닌 연구개발 사업은 아님
  - (조치가능보조금) 금지보조금은 아니지만 특정성이 인정되고 교역상대국 산업에 피해를 유발한 경우 조치가능보조금에 해당하나, 동 사업은 조치가능보조금 분쟁 대상 여부에 부합하지 않은 것으로 보임



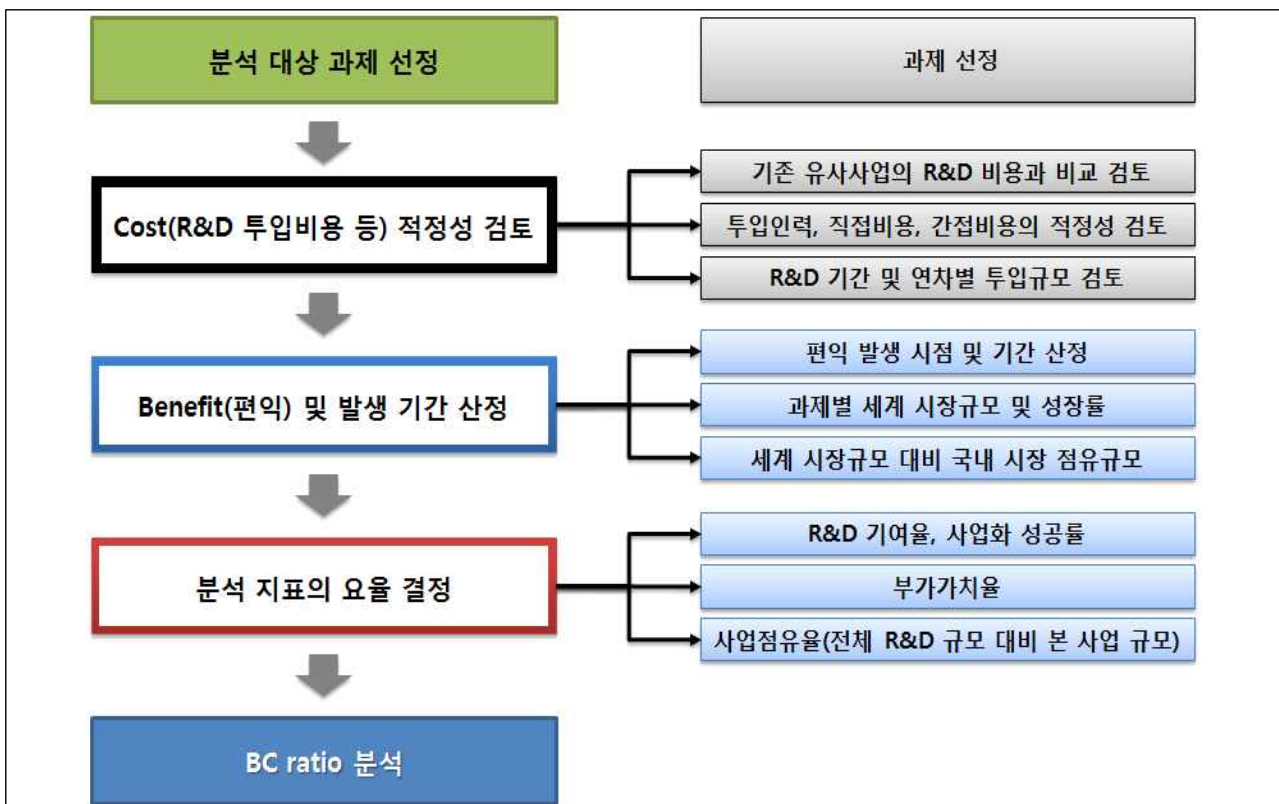
자료: 한국과학기술기획평가원, “국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침” (2024.7)

〈그림 7-3〉 조치가능보조금 분쟁 대상 여부 판단 요건

### 3절 경제적 타당성

#### 1. 경제적 타당성 분석 개요

- 동 사업의 목표와 부합되는 예상 성과로부터 기대되는 직접적인 경제적 편익을 분석하여 사업의 전반적인 타당성 여부 판단
  - 동 사업 수행을 위해 소요되는 총사업비를 추정하여 총비용 산정
  - 편익 발생 시점과 편익 발생 기간 등을 설정한 후, 편익 유형 및 추정 방법 결정
  - 편익 산정을 위한 분석 지표 설정 후, 경제성 분석 실시



〈그림 7-4〉 경제적 타당성 분석 프로세스

- 예비타당성조사 운용지침 및, 예비타당성조사 수행총괄지침, 예비타당성조사 수행 세부지침에 의거하여 편익 및 비용 항목 추정
  - 「국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침(KISTEP, 2024)」이 국가연구개발사업 예비타당성조사의 지침으로 활용 중
  - 본 연구에서는 이러한 국가연구개발사업의 예비타당성조사 분석 틀을 준용하여

분석의 정확성과 신뢰도를 제고

- **(비용)** 「국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침(KISTEP, 2024)」에서 제시하고 있는 비용 추정 절차에 따라 비용 추정의 적절성 검토
  - 연차별·과제별 예산 내역 및 비용 산정 근거, 예산 과다 산정 여부 등 확인
  - 정확한 비용 산정이 중요하며 예산 과다산정은 편익/비용비율(B/C ratio)의 하향 원인
- **(편익)** 사업목표를 근거로 편익항목을 도출하고 시장 수요 추정 가능 여부에 따라 계량화가 가능한 경우 비용편익분석을, 불가능할 경우 비용효과분석을 실시
  - 직접효과 : 부가가치 창출, 비용절감 편익
  - 간접효과 : 생산·고용·취업 유발, 연구 능력 향상 등

□ 편익 분석

- ‘성장형’ 사업유형의 경우, 비용편익분석을 우선적으로 실시하도록 함에 따라 동 사업은 비용편익분석을 통해 경제성 분석을 수행함

〈표 7-9〉 사업유형별 경제성 분석방법

사업유형	정의 및 사업의 특징	경제성 분석방법
도전·혁신형	과학기술선도를 목표로 하며 영향력과 파급효과가 크지만 실패 및 불확실성이 높은 연구개발	E/C 기본 (예외적 B/C)
성장형	산업지원 목적의 공정·제품·서비스 개선, 기업 역량강화 목적의 연구개발	B/C 기본 (예외적 E/C)
기반조성형	연구인력양성, 연구시설·장비구축, 공익증진을 목적으로 하는 공공기술 연구개발	B/C 또는 E/C (사업별 선택)

□ 경제성 판단 기준

- **(편익/비용비율)** 운영 후 연도별 발생하는 편익과 투입되는 비용을 적정 할인율로 할인하여 기준연도 가격으로 환산한 금액의 비율을 말하며, 일반적으로 (편익/비용 비율) ≥ 1이면 경제성이 있다고 판단
- **(순현재가치, Net Present Value)** 사업에 수반된 모든 비용과 편익을 기준연도의 현재가치로 할인하여 총 편익에서 총 비용을 제한 값이며 (순현재가치) ≥ 0 이면 경제성이 있다고 판단

$$\text{편익·비용비율}(B/C) = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}}$$

$$\text{순현재가치}(NPV) = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

여기서  $B_t$  : 시점  $t$ 에서의 편익  
 $C_t$  : 시점  $t$ 에서의 비용  
 $r$  : 할인율(이자율)  
 $n$  : 내구연도(분석연도)

## 2. 경제성 분석의 전제조건

### □ 기준연도

- 각기 다른 연도에 발생하는 비용과 편익을 비교 분석하기 위해서는 기준연도를 기준으로 불변가격으로 전환해야 함
- 「국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침(KISTEP, 2024)」에서는 분석이 시행되는 시점의 전년도 기말을 기준연도로 설정
- 따라서 본 분석에서는 2024년도 기말을 기준연도로 정하며, 분석에 사용되는 모든 수치는 2024년 기준의 불변가치로 환산

### □ 편익발생 기간

- 부가가치 창출편익은 투자 완료 후 기술수명주기(TCT) 동안 발생하는 것으로 가정
- 「국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침(KISTEP, 2024)」에서는 특허 분석을 통해 도출된 개별 기술별 기술수명주기를 활용할 것을 권고
- 다만, 별도의 특허조사를 실시하기 어려운 관계로 본 분석에서는 「기술평가 실무가이드 (산업통상자원부, 2021)」가 제시하는 기술수명주기 11년을 동 사업의 편익발생 기간으로 정의
  - 동 사업과 연관성이 높은 IPC F17C(압축, 액화 또는 고화(固化) 가스의 수용 또는 저장용 용기; 일정용량의 가스탱크; 압축, 액화 또는 고화가스의 용기에의 충전 또는 용기로부터의 방출)과 F25J(기체 또는 기체혼합물의 가압 및 냉각처리에 의한 액화, 응고 또는 분리) 모두 기술수명주기를 11년으로 제시

□ 회임기간

- R&D 사업의 특성상 사업종료 후 회임기간을 거쳐 편익이 발생하며, 동 사업의 TRL 등을 감안하여 3년의 회임기간 적용

□ 사회적 할인율

- 장기간에 걸쳐 발생하는 비용과 편익을 기준연도를 기준으로 합산하기 위해서는 각 연도별 비용과 편익을 사회적 할인율을 통해 현재가치화해야 함
- 사회적 할인율은 기준이자율, 사회적 시간선호율, 재무적 할인율 등을 종합적으로 고려하여 도출
- 가장 최근에 발간된 예비타당성조사 운용지침에서는 이를 4.5%로 정하고 있어 본 연구에서도 이를 동일하게 적용

### 3. 편익 정의 및 변수

□ 국가연구개발사업의 편익은 가치창출편익과 비용저감편익으로 구분됨

- (가치창출 편익) 새로운 제품·서비스 개발을 통해 시장에서 해당 제품·서비스가 실제 거래되며 매출 및 부가가치가 발생하는 사업에 반영
- (비용절감 편익) 기존 기술의 개선 및 개량, 새로운 생산공정 기술의 개발, 대체요소 투입을 통해 생산의 효율성이 증가하여 산출비용이 감소하여 발생

〈표 7-10〉 연구개발부문 예비타당성조사의 편익항목 구분

구분	세부편익항목	설명
가치창출 편익	소비자 중심 편익	연구개발사업의 효과가 소비자에게 영향을 주는 경우, 후생경제학에 근거하여 추정
	생산자 중심 편익	연구개발사업 효과가 생산자에게 영향을 주는 경우, 시장수요 접근법이 대표적인 방법
비용저감 편익	생산비용저감 편익	자원비용, 공정비용, 연구장비 사용비용, 출장비용 등 각종 생산비용의 저감 규모를 산정
	피해비용저감 편익	재난, 재해, 사고, 질병 등으로 인해 발생하는 피해 비용의 저감 규모 산정

자료: KISTEP(2024) 「국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침」

- 동 사업의 편익은 ‘수소 액화시스템 시장 부가가치 창출편익’ 과 ‘액체수소 저장탱크 시장 부가가치 창출편익’ 으로 정의
- 내역사업 중 저장탱크 기술개발 과제는 ‘액체수소 저장탱크 시장 부가가치 창출편익’ 을 적하역 시스템 개발은 ‘수소 액화시스템 시장 부가가치 창출편익’ 을 발생시키는 것으로 정의함

〈표 7-11〉 동 사업 편익

구성기술	세부과제	편익
액체수소 인수기지의 평저형 저장탱크 건설기술 개발	1-1. 평저형 액체수소 저장탱크 설계 기술 개발	액체수소 저장탱크 시장 부가가치 창출편익
	1-2. 평저형 액체수소 저장탱크 건설 기술 개발	
	1-3. BOG 비상제어·재액화 시스템 기술 개발	
액체수소 인수기지의 적하역 시스템 기술 개발	2-1. 액체수소 적하역 시스템 설계·운영 기술 개발	수소 액화시스템 시장 부가가치 창출편익
	2-2. 액체수소 적하역 시스템 기자재 기술 개발	

## □ 부가가치 창출편익 산식

- 동 사업을 통해 수소 액화시스템 시장에서 추가적으로 창출되는 부가가치는 다음 산식으로 추정

**수소 액화시스템 시장 부가가치 창출편익**

$$= \text{글로벌 수소 액화시스템 시장규모} \times \text{한국의 시장점유율} \times \text{사업기여율} \\ \times \text{부가가치율} \times \text{사업화 성공률} \times \text{R\&D기여율}$$

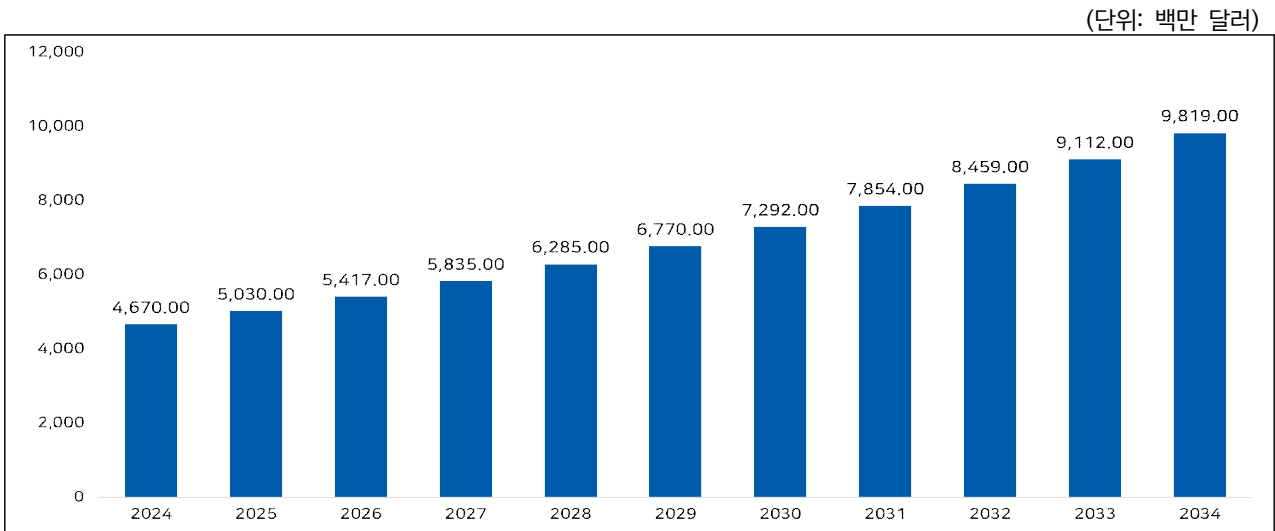
- 동 사업을 통해 액체수소 저장탱크 시장에서 추가적으로 창출되는 부가가치는 다음 산식으로 추정

**수소 저장탱크 시장 부가가치 창출편익**

$$= \text{글로벌 액체수소 저장탱크 시장규모} \times \text{한국의 시장점유율} \times \text{사업기여율} \\ \times \text{부가가치율} \times \text{사업화 성공률} \times \text{R\&D기여율}$$

□ 글로벌 수소 액화시스템 시장규모

- Global Information(2024)의 「Global Hydrogen Liquefaction System Market, 2024~2034」에 따르면, 글로벌 수소 액화 시스템 시장은 2024년 4,670백만 달러에서 2034년 9,819백만 달러로 성장할 것으로 전망
- 본 경제성 분석에서는 2030년 이후에도 해당 시장이 선형 추세로 증가하는 것으로 가정하여 2047년 16,162백만 달러까지 성장하는 것으로 가정



자료: Global Information(2024), Global Hydrogen Liquefaction System Market, 2024~2034

〈그림 7-5〉 글로벌 수소 액화 시스템 시장 전망(2024~2034)

□ 글로벌 액체수소 저장탱크 시장규모

- Global Information(2024)의 「세계의 액체 수소 탱크 시장(2024년)」에 따르면, 글로벌 액체수소 탱크 시장은 2023년 61.55백만 달러에서 2030년 108.16백만 달러로 연간 8.23%씩 성장할 것으로 전망
- 본 분석에서는 액체수소 저장탱크 시장이 2031년 이후에도 동일한 성장률로 성장하여 2047년 415백만 달러에 달할 것으로 가정
  - 시장이 어느 정도 성숙한 수소 액화 시스템 시장과 달리 액체수소 저장탱크 시장은 성장 잠재력이 큰 초기 단계라는 점을 감안하여 2031년 이후 선형 추세가 아닌 CAGR(8.23%)로 미래 시장규모 산정

### □ 글로벌 수소 액화시스템 시장에서 한국의 시장점유율

- 수소 액화시스템 시장에서의 한국의 시장점유율에 대한 가용한 자료가 없는 것으로 판단되어 대리지표를 통해 해당 수치를 파악함
- 「극한지 오일생산 플랜트건설 핵심기술 개발사업 예비타당성조사 보고서(KISTEP, 2019)」의 경제성 분석에서 국내 기업의 수주 실적을 고려하여 시장점유율을 보수적 6%, 중도 8%, 낙관적 10%로 적용한 바 있음
- 동 사업의 수소 액화시스템이 극한지 오일생산 플랜트와 유사한 성격을 가지고 있고, 한국이 수소/LNG 부문의 기술력이 높다는 점을 감안하여 2037년 한국의 시장점유율을 극한지 오일생산 플랜트의 낙관적 시나리오에 해당하는 10%를 적용함
- 한편, 액체수소 공급인프라 건설 수소(재)액화 부문에서 2019~2023년 간 한국의 특허 출원 점유율이 25.9%에 달하는 등 기술적 우위를 가지고 있음
- 따라서 한국의 시장점유율은 2037년 10%에서 매년 2%p씩 성장하여 2045년에 26%까지 성장하고, 이후에는 동일한 점유율을 유지하는 것으로 가정함

〈그림 7-6〉 수소(재)액화 기술 특허출원 건수 및 점유율

구분	특허출원 건수 ('19~'23)	비중 (%)
한국	339	25.9%
미국	188	14.4%
일본	121	9.3%
유럽	101	7.7%
중국	558	42.7%
총계	1,307	100.0%

### □ 글로벌 액체수소 저장탱크 시장에서 한국의 시장점유율

- Global Information(2024)의 「세계의 액체 수소 탱크 시장(2024년)」에 따르면, 글로벌 액체수소 탱크 시장은 2023년 61.55백만 달러임
- 국내 액체수소 저장탱크 제조업체는 하이리움산업, 크리오스(Cryos), 디엘(Dalim) 3개 업체이며, 이 중 하이리움산업이 가장 선두업체로 세계 10대 기업 안에 포함됨

- 하이리움산업은 국내 최초 극저온 액화수소 제조 및 저장기술을 자체 개발하여 보유하고 있으며, 미국 차트인더스트리(Chart Industries)와의 합작회사 ‘하이리움차트’ 를 설립하여 CJ대한통운에 액화수소 탱크 트레일러를 납품한 바 있으며, 현재는 선박용 액화수소 화물창 개발을 추진 중임
- 크리오스는 2023년 3톤급 액화수소용 탱크 트레일러를 국내 최초로 개발했으며, 2024년 1톤급 수소충전소용 액화수소 저장탱크 개발에 성공
- 디엘은 창원 액화수소 사업의 실증특례로 3톤 액화수소 탱크 트레일러를 개발하는데 성공
- 수소 부문에 특화된 하이리움산업과 달리 크리오스와 디엘은 현재는 LNG 저장탱크 생산이 주력인 점을 감안하여 편익이 발생하는 2037년 한국의 시장점유율은 보수적 관점에서 하이리움산업의 생산액만을 반영하여 계산
  - 2023년 기준으로 글로벌 액체수소 탱크시장 규모 61.55백만 불(841억 원) 대비 하이리움산업의 매출액 110억 원의 비중인 13.1%를 2037년의 시장점유율로 가정
- 편익발생이 종료되는 2047년에는 크리오스와 디엘의 매출 비중의 50%가 액체수소 저장탱크 관련 매출로 채워지는 것으로 가정하여 시장점유율 산정
  - 2023년 기준으로 글로벌 액체수소 탱크시장 규모 61.55백만 불(841억 원) 대비 국내 생산량 387억 원의 비중인 46.0%를 2047년의 시장점유율로 가정

〈표 7-12〉 국내 액체수소 저장탱크 생산규모 (2023년 기준)

구분	하이리움 산업	크리오스	디엘
2023년 매출액(억 원)	110	264	290
액체수소 관련 매출 비중	100%	50%	50%
매출액(억 원)	110	132	145
합계(억 원)		387	

- 상기 논의를 종합하여 액체수소 저장탱크 시장에서의 한국의 시장점유율은 2037년 13.1%에서 2047년 46.0%까지 매년 3.3%p씩 증가하는 것으로 가정

## □ 사업기여율

- 사업기여율은 미래 시점 기준의 연구개발활동 중 조사 대상사업이 차지하는 비중만을 적용하며, 관련 분야 전체 R&D투자 중에서 동 사업 R&D투자가 차지하는 비중으로 정의
  - 사업기여율은 기존 투자 대비 해당 사업으로 인한 순효과를 파악하기 위한 일종의 기준선 역할을 함

$$\text{사업기여율} = C / (A+B+C)$$

- A : 유사 정부 R&D 투자
- B : 유사 민간 R&D 투자
- C : 동 사업 연구비

- (유사 정부 R&D 투자) NTIS에서 과학기술표준분류별 2019~2023년 간 유사 분야 R&D 투자의 연평균 투자액인 357억 원 적용
- (유사 민간 R&D 투자) ‘제1차 국가연구개발 중장기 투자전략(과학기술정보통신부·KISTEP 2023)’ 에서 제시하는 ‘청정연료·수소’ 의 민간/정부 투자비율 4.7과 ‘융합·실증·인프라’ 의 민간/정부 비율인 2.6의 평균인 3.65을 유사 정부 R&D투자에 곱하여 간접적으로 산정하면 1,303억 원임
- (동 사업 연구비) 동 사업 연평균 투자액인 601억 원 적용
- 상기 수치를 적용하면 동 사업기여율은 0.266임

## □ 부가가치율

- 생산액을 부가가치로 전환하기 위해 2020년 실측 기준 산업연관표 기초가격 기본부문에서 부가가치/총투입액 비중으로 부가가치율 산정
- (수소 액화시스템) 신에너지의 부가가치율 0.518, 산업플랜트의 부가가치율 0.490의 평균인 0.504에 국내 유입률 0.656을 곱한 0.331을 적용
  - 수소 액화시스템의 경우, 해외 플랜트 건설에 해당하여 국내 유입분만 부가가치 창출편익에 해당하여, 본 분석에서는 「극한지 오일생산 플랜트건설 핵심기술 개발사업 예비타당성조사 보고서(KISTEP, 2019)」 에서 적용한 국내유입 비율 0.656을 활용

- 신에너지와 산업플랜트의 부가가치율 평균 0.504에 국내유입률 0.656을 곱한 0.331을 수소 액화시스템 시장의 부가가치율로 적용

〈표 7-13〉 해외건설 주요공종 국내유입 및 해외유출 비율 (2014~2018)

	국내 유입	해외 유출
산업설비	65.6%	34.4%

자료: KISTEP(2019), 극한지 오일생산 플랜트건설 핵심기술 개발사업 예비타당성조사 보고서

- (액체수소 저장탱크) 액체수소 저장탱크는 플랜트 건설과 달리 국내 유입분을 별도로 고려할 필요가 없기 때문에 신에너지와 산업플랜트의 부가가치율의 평균인 0.504을 부가가치율로 적용
- 사업화 성공률
  - 국가연구개발사업을 통한 기술개발 결과가 시장에서의 경제적 효과 창출로 이어지는 과정에서 존재하는 불확실성을 반영하기 위해 R&D 사업화 성공률 변수 고려
  - 본 조사에서는 ‘2022 성과활용현황 조사분석 보고서 (산업통상자원부·한국산업기술기획평가원, 2022)’에서 제시하는 ‘기계/소재’ 부문 사업화 성공률 0.453 적용
- R&D기여율
  - ‘국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침 (KISTEP, 2024)’에서 제시하는 R&D 기여율 35.4%를 활용

#### 4. 편익 추정 결과

- 동 사업은 2030~2040년 간 총 1,712억 원의 편익 창출
  - (수소 액화시스템 시장 부가가치 창출편익) 2030~2040년 간 연 213~454억 원씩 총 1,648억 원의 편익 창출
  - (액체수소 저장탱크 시장 부가가치 창출편익) 2030~2040년 간 연 7~19억 원씩 총 64억 원의 편익 창출

〈표 7-14〉 동 사업 편익 추정결과

(단위: 억 원)

연도	수소 액화시스템 세계 시장규모	한국 시장점유율	수소 액화시스템 시장 부가가치 창출편익 (A)	액체수소 저장탱크 세계 시장규모	한국 시장점유율	액체수소 저장탱크 시장 부가가치 창출편익 (B)	편익 합계 (A+B)
2030	107,332			1,600			
2031	115,600			1,731			
2032	124,524			1,874			
2033	134,185			2,028			
2034	137,019			2,195			
2035	144,006			2,376			
2036	150,994	10.0%	213	2,571	13.1%	7	220
2037	157,981	12.0%	267	2,783	16.4%	10	277
2038	164,969	14.0%	326	3,012	19.7%	12	338
2039	171,956	16.0%	388	3,260	23.0%	16	404
2040	178,944	18.0%	454	3,528	26.3%	19	474
합계	1,945,309	-	1,648	32,191	-	64	1,712

## 5. 비용 추정

□ 동 사업의 총비용은 총사업비와 동일한 386.7억 원으로 추정됨

○ 2026~2029년 간 총 386.7억 원의 연구개발비가 투입될 예정

〈표 7-15〉 동 사업 비용 추정결과

(단위: 억 원)

연도	비용 합계
2026	53.3
2027	106.7
2028	120.0
2029	106.7
합계	386.7

## 6. 비용편익분석 결과

- 동 사업의 비용편익분석 결과 동 사업의 B/C ratio는 2.774로 매우 높게 나타났고, 액체수소 저장탱크·적하역 시스템 산업의 시장성·유망성을 고려할 때, 동 사업의 경제성은 충분히 확보하였다고 판단됨
- 동 사업의 비용은 386.7억 원이며, 이를 2024년 기준 현재가치로 변환하면 329억 원임
- 동 사업은 2030~2040년 간 총 1,712억 원의 편익이 발생하며, 이를 2024년 기준 현재가치로 전환하면 911억 원임
- B/C ratio는 2.774, 순현재가치는 583억 원으로 충분한 경제성을 확보하였고, 액체수소 시장이 초기 단계에 있다는 점을 감안하면 향후 동 사업의 경제적 가치는 더욱 높아질 것으로 판단

〈표 7-16〉 동 사업 경제적 타당성 분석 결과 요약

구분	현재가치 합계(억 원)		편익/비용비율 (B/C ratio)	순현재가치(NPV) (억 원)
	편익	비용		
값	1,712	387	2.774	583

## 4절 파급효과 및 기대효과

### 1. 파급효과 분석

#### □ 분석방법

- 정부 및 다양한 지역에서 시행되고 있는 각종 개발이나 투자사업의 생산, 소득 및 고용 등 경제적 파급효과를 분석하는 등 다양한 용도로 활용되고 있는 산업연관분석을 통해 분석
  - 산업연관분석은 생산 활동을 통해 이루어지는 산업 간 상호연관관계를 수량적으로 파악하는 분석방법으로 투입산출분석(Input-Output Analysis)이라고도 함
  - 산업연관분석은 산업연관표\*로부터 산출되는 투입계수를 기초로 한 산업간 상호의존관계를 분석하는 것이라고 할 수 있음
    - \* 산업연관표란, 일정기간 동안 경제 내에서의 재화와 서비스의 생산 및 처분과정에서 발생하는 모든 거래를 중간재거래 부문과 본원적 생산요소(primary input)의 구입을 나타내는 부가가치부문, 그리고 최종소비자에게로 생산물이 판매된 부문을 나타내는 최종수요부문의 세 가지 부문으로 구분하여 기록
- 동 사업의 투입예산을 기준으로 산업연관분석을 통해 생산유발효과, 부가가치유발효과, 고용유발효과를 분석
  - 산업연관분석은 소비, 투자, 수출 등의 최종수요의 변동이 각 부문의 생산 및 수입에 미치는 파급효과에 대하여 투입계수를 이용하여 분석하게 만들어 경제·산업정책이 생산, 고용, 수입, 물가 등에 미친 파급효과 측정에 유리
  - 동 사업을 통해 발생하는 최종수요의 파급효과는 해당 재화나 서비스의 생산에 그치지 않고 관련되는 모든 산업제품의 생산에까지 미치게 되는데 이러한 최종수요에 의한 생산유발효과를 계측·분석하는 것이 산업연관 분석의 기본원리

#### □ 한국은행 2020년 산업연관표를 활용하여 동 사업 유관 분야 유발계수 평균 값을 산정하여 동 사업 추진 시 예상되는 사회경제적 파급효과를 산정

- 동 사업 생산유발계수 1.020, 부가가치유발계수 0.822, 고용유발계수 10억 원당 6.583명으로 도출하였고,
- 이를 동 사업 총사업비에 대입한 결과, 동 사업 추진 시 예상되는 생산유발효과는 394억 원, 부가가치유발효과는 318억 원, 고용유발효과는 255명으로 나타남

〈표 7-17〉 동 사업 유관 분야 산업연관표

구분	분류코드	생산유발계수	부가가치유발계수	고용유발계수 (10억 원 당)
구조용 금속제품 및 탱크	301	1.222	0.789	5.829
펌프 및 압축기	382	1.037	0.722	5.933
전력 및 신재생에너지	450	0.947	0.796	2.145
산업시설 건설	513	0.966	0.870	8.384
기타 건설	519	0.939	0.834	8.233
연구개발	700	1.013	0.918	8.976
<b>평균</b>	-	<b>1.020</b>	<b>0.822</b>	<b>6.583</b>

자료: 한국은행, “2020년 기준년 산업연관표”(2024)

〈표 7-18〉 동 사업 파급효과 분석

(단위: 억 원, 명)

생산유발효과	부가가치유발효과	고용유발효과
394.02	318.02	255

## 2. 기대효과

### □ 과학기술적 기대효과

- **(선도국과의 기술격차 해소)** 세계 최초 평저형 액체수소 저장탱크 개발 등 액체수소 인프라 관련 기술의 선제적 개발과 실증을 통해 선진국과의 기술격차를 해소
- **(액체수소 기술 역량 제고)** 액체수소 저장·공급 등 핵심 기술개발과 실증 활성화를 통해 그간 시도된 바 없는 평저형 액체수소 저장탱크 기술 선점, 기화기 등 핵심 기자재 국산화 등 국가 액체수소 기술 혁신을 가속화
  - 대용량 액체수소 저장, 공급 기술 및 실증을 통한 트랙레코드 확보로 개발된 기술 혹은 시제(작)품의 성능과 안정성을 검증하고, 누적된 트랙레코드는 향후 기술 수출에 필요한 레퍼런스로 활용
  - 동 사업은 기술개발과 실증을 병행적으로 지원함으로써 실제 산업 환경에서 액체수소 공급인프라가 정상적으로 작동하기 위한 기술적 보완이나 개선이 가능
- **(글로벌 액체수소 강국으로 도약)** 대용량 액체수소 공급인프라 건설 기술개발 및 실증을 통한 기술경쟁력 강화로 글로벌 액체수소 시장을 선도하여 수소 강국으로 도약

### □ 정책적 기대효과

- **(탄소중립 목표 달성에 기여)** 국제사회는 ‘50년 온실가스 순 배출량 0인 탄소중립 목표’를 제시하고 있으며, 수소에너지는 탄소중립 실현의 열쇠로 탄소중립 이행에 기여할 수 있음
- **(정부 정책 실현 수단 확보)** 정부는 탄소중립으로의 전환, 국가전략기술로서 “수소” 기술 육성 등을 강조하고 있으며, 국가 정책의 실현 수단이자 국내외 탄소중립 추구에 대응한 핵심 정책으로 역할
  - 「제5차 과학기술기본계획」, 「수소기술 미래전략」 등 수소 저장·공급 관련 기술개발을 강조하고 있는 상위정책과 부합성이 높음
- **(국가 에너지 안보 강화)** 대용량 액체수소 공급인프라 건설 등 수소에너지 활용을 위한 인프라 조성은 에너지 자급률 향상 및 에너지 공급망 다변화를 통한 에너지 안보 강화에 기여

- 대부분의 에너지를 해외에서 수입하고 있는 국내 여건을 고려할 때, 저장탱크와 적하역 시스템을 활용한 수소 생산 자립화, 대용량 수소를 안정적으로 공급하기 위한 인프라 구축은 중요성이 높고,
- 특히, 수소는 국내 생산이 가능한 에너지원이자 다양한 친환경 에너지(태양광, 풍력 등)를 활용해 생산할 수 있다는 점에서 에너지 안보를 크게 강화할 수 있음

□ 경제 · 산업적 기대효과

- (차세대 기술시장 선점) 차세대 핵심 친환경 연료로 떠오르는 수소를 장거리 운송하기 위해서는 액화 방식이 가장 효율적이고, 이에 발맞춰 액체수소 저장 · 운송에 필요한 핵심 기술개발로 미래 신시장 조기 선점 효과 기대
  - 200m<sup>3</sup>, 4,000m<sup>3</sup> 저장탱크 개발을 통해 대용량 액체수소 수입을 위한 공급인프라 건설 및 실증 등 액체수소 전주기 지원을 통해 기술우위를 확보
- (전후방산업으로 파급효과 확산) 액체수소 산업은 모빌리티, 우주/항공, 조선/해양 등 국가기간산업 혹은 차세대 전략산업과 연계성이 높아 액체수소 산업 성장은 국가 경제에 긍정적 파급효과를 창출할 것임
  - ※ 현존하는 가장 오래되고 가장 큰 액체수소 저장탱크는 美 NASA가 개발한 것으로, 우주 왕복선 프로그램을 위해 개발된 것임
- (신규시장 창출 및 고용효과) 수소경제 활성화를 통해 새로운 산업을 창출하고, 제조업, 에너지산업 등 연계된 다양한 산업 발전을 견인할 원동력으로 작용
  - 특히, 수소가 전통적인 에너지원에 대한 대안으로 수소를 활용한 새로운 기술과 제품이 개발되고, 운송이나 저장 측면에서 가장 효율성이 높다 평가되는 액체수소는 수소 연료 전지, 에너지 저장 등 기존 산업의 기술 혁신을 촉발할 것으로 기대