

# 최종보고서 제출양식

결표지 양식 : (4×6배판(가로19cm×세로26.5cm))

(뒷 면)

(옆면)

(앞 면)

	수 소 기 술 개 발 로 드 맵 2.0 수 립  과 학 기 술 정 보 통 신 부	<table border="1"><tr><td>2022R2A1A 1080903</td></tr></table> <p>수소 기술개발 로드맵 2.0 수립 (Establishment of Hydrogen Technology Development Roadmap 2.0)</p> <p>연구기관 : 한국에너지기술연구원 연구책임자 : 양 태 현</p> <p>2023. 2. 6</p> <p>과 학 기 술 정 보 통 신 부</p>	2022R2A1A 1080903
2022R2A1A 1080903			

## 안 내 문

본 연구보고서에 기재된 내용들은 연구책임자의  
개인적 견해이며 과학기술정보통신부의 공식견  
해가 아님을 알려드립니다.

과학기술정보통신부 장관 이 종 호

# 제 출 문

과 학 기 술 정 보 통 신 부 장 관 귀 하

본 보고서를 “ 수소 기술개발 로드맵 2.0 수립에 관한 연구 ”의 최종보고서로 제출합니다.

2022 . 12 . 27 .

연구기관명 : 한국에너지기술연구원

연구책임자 : 양태현

연 구 원 : 김혜진

연 구 원 : 박민희

연 구 원 : 성민아

※ 연구기관 및 연구책임자, 연구원은 실제 연구에 참여한 기관 및 자의 명의임.

# 요 약 문

과제번호	2022R2A1A1080903	연구기간	2022년 6월 13일 ~ 2023년 1월 12일		
과제명	(한글) 수소 기술개발 로드맵 2.0 수립 (영문) Establishment of Hydrogen Technology Development Roadmap 2.0				
연구책임자 (주관연구기관)	양태현 (한국에너지 기술연구원)	참여 연구원수	총 4명	연구비	100,000천원
요약					
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 수소 활용 분야가 점차 확대되는 가운데 우리의 기술주도권을 확보하고 민·관 협력 시너지를 창출하여 지속성을 확보할 수 있는 기술개발 로드맵 마련</li> <li>○ 과학기술정보통신부 등 관계부처와 협의하여 2019년 수소 기술개발 로드맵 수립 당시 구성한 추진체계를 기반으로 「수소 기술개발 로드맵 2.0」 수립을 위한 전문가 위원회 구성·운영</li> <li>○ 국내·외 정책·시장·산업·기술개발 동향을 심층적으로 분석하였고, 현황 및 시사점 도출하여 기술분류체계 재정비 및 우선순위 선정</li> <li>○ 탄소중립 실현 및 수소경제 이행을 체계적·지속적으로 지원하고자 중점 추진과제별 기술개발 전략과 달성 목표를 제시</li> <li>○ 기술개발 목표를 달성하기 위해 필요한 법·제도 개선 방안, 인력양성, 국제협력, 인프라 구축 방안 등을 함께 도출</li> <li>○ 기술개발 전략 및 목표를 점검하고 기업의 의견을 수렴하고자 산업계 간담회를 개최하였고, 산·학·연 전문가들의 의견 청취 및 전략 홍보를 위한 포럼 개최</li> <li>○ 수소 활용(발전, 수송, 산업) 부문의 수소 수요 및 신규 투자비를 도출, 산업연관표를 이용하여 산업별 부가가치 유발효과, 생산유발효과, 취업 및 고용효과를 도출*하는 경제적 파급효과를 분석</li> <li>○ 초격차 기술 확보로 2050 글로벌 수소시장 선도를 위해 수소 전주기 기술 혁신으로 글로벌 경쟁력을 확보할 수 있는 3가지 전략 제시 및 9개 추진방향 제시</li> </ul>					
비공개 사유		비공개 기간			

## 목차

1. 연구 개요 .....	1
1.1. 연구 배경 .....	1
1.2. 연구 목표 .....	3
2. 국내·외 환경 동향 .....	4
2.1. 정책 동향 .....	4
2.2. 시장 동향 .....	7
2.3. 기술개발 동향 .....	9
2.4. 산업 동향 .....	31
2.5. 국내 R&D 투자 현황 .....	44
2.6. 현황 및 시사점 .....	45
3. 수소기술 미래전략(수소 기술개발 로드맵 2.0) 수립 .....	46
3.1. 추진체계 .....	46
3.2. 기술분류체계 정립 .....	47
3.3. 기술개발 전략 방향 도출 .....	52
3.3.1. 중점추진과제 .....	52
3.3.2. 분과별 세부 추진전략 .....	54
3.3.3. 수소기술 파급효과 분석 .....	60
3.4. 수소기술 미래전략(수소 기술개발 로드맵 2.0) .....	68
4. 결론 .....	74
5. 참고문헌 .....	76

# 1. 연구 개요

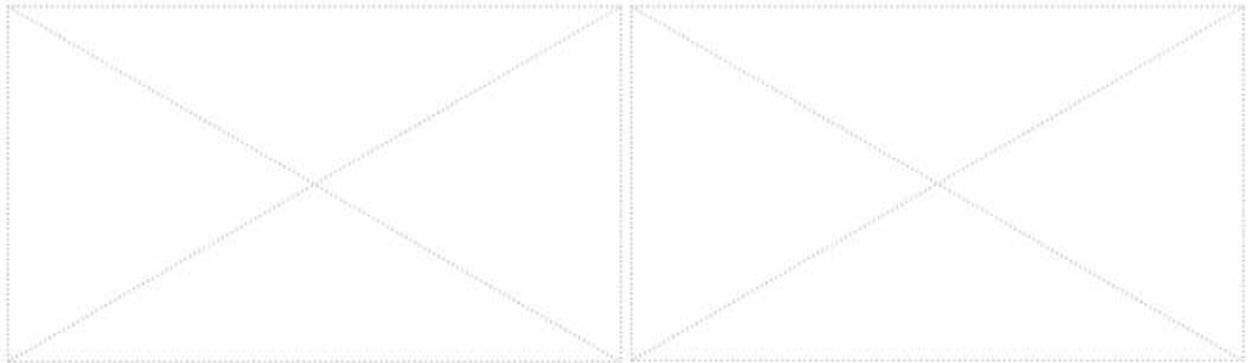
## 1.1. 연구 배경

- 기후변화 위기 대응을 위한 글로벌 아젠다로 전 세계에서는 탄소중립을 선언
  - 기후위기가 현실화됨에 따라 기후변화 위기대응을 위해 국제사회는 글로벌 아젠다로 “2050 탄소중립” 선언 및 관련 정책수립 가속화 진행
    - 2019년 9월, 기후정상회의에서 65개국이 탄소중립을 선언, 유럽·중국·일본의 탄소중립 동참 및 미국 바이든 대통령의 취임으로 인해 전 세계적으로 탄소중립 체제 본격화
      - ※ (EU) 2050년 탄소중립('19.12), (中) 2060년 탄소중립('20.9), (日) 2050년 탄소중립('20.10), (韓) 2050년 탄소중립('20.10)
    - 2021년 10월 기준, 전 세계 140개 국가가 탄소중립을 선언하였으며, 그에 따른 법 제·개정, 국가 전략 및 계획 수립, 중·장기 R&D 예산 편성 등 다수의 정책을 발표
      - ※ 탄소중립 목표 법제화 국가는 한국을 포함한 14개국, 입법화 제안 중인 국가 2개국, 그 외 정책 수립 국가 43개국, 정책 수립 논의 국가 79개국
- 新기후체제 출범 이후 글로벌 탄소중립의 지속적인 추세에 따라 변동성 재생에너지 안정화, 탈탄소화, 무탄소 에너지 측면에서 수소 가치 재정립
  - 전 세계적으로 탄소중립 실현을 위한 脫화석연료로 에너지 패러다임으로 전환되면서 수소경제 시장 규모 확대와 기술경쟁에서 우위 선점을 위한 수소경제 정책 수립 및 연구개발이 활발히 진행 중
    - 우리나라는 2050년 탄소중립을 목표로 탄소중립을 공식 선언하고, 이후 주요 범부처의 관련 정책 수립 및 발표
    - 탄소중립 실현을 위해 에너지 전환 요구가 강화됨에 따라 온실가스 감축 이행 의무화, 새로운 성장동력 창출 등 수소경제에 대한 관심이 고조되어 관련 정책 및 계획 수립 추진

국내 탄소중립 정책, 전략 및 계획
2050 탄소중립 추진전략('20.12)
장기저탄소발전계획(LEDs)('20.12)
탄소중립 기술혁신 추진전략('21.3)
탄소중립 연구개발 투자전략('21.3)
탄소중립·녹색성장 기본법('21.9, 제정)
2050 탄소중립 시나리오안 ('21.10)
탄소중립 산업·에너지 R&D 전략 ('21.11)
에너지 탄소중립 혁신전략 ('21.12)
탄소중립 산업 대전환 비전과 전략 ('21.12)

수소 관련 정책, 전략 및 계획
수소경제 활성화 로드맵('19.1)
수소 기술개발 로드맵('19.10)
수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률 ('20.2, 제정, '21.2, 시행)
제1차 수소경제 이행 기본계획('21.11)

- 2050 탄소중립 달성을 위해 에너지 공급과 수요(산업, 수송 등)까지 전 밸류 체인에서 전기화 뿐만 아니라 무탄소 또는 저탄소에너지원의 확대 필수
  - 재생에너지의 생산단가 하락과 유연성을 확보하는 보완적인 에너지 운반체로 전기화가 어려운 산업 부문의 원료, 수송 부문의 연료로 청정 수소 급부상



[에너지원별 총 수요량(EJ/년)]<sup>1)</sup>

[석탄, 가스와 재생에너지 발전단가(LCOE) 비교]<sup>1)</sup>

- 태양광, 풍력 등 확대 보급되는 재생에너지의 간헐성과 변동성 문제 극복을 위하여 많은 잉여전력의 장주기 저장·활용수단으로 수소는 가장 이상적인 옵션
  - 기존 석탄 및 가스복합화력 발전소의 친환경성 강화 조치로 수소 혼소발전, CCUS 결합 수소 생산 등 무탄소 신전원의 활용은 선택이 아닌 필수.
- 최근 러-우크라 사태로 인한 글로벌 에너지 공급망 불안과 가격 상승으로 국가별 에너지 안보 확립을 위한 에너지 정책 재설정 및 청정 수소에 주목
- 기존 화석연료 소비 대체를 통한 에너지 수입 의존도 감축 및 친환경 에너지 전환 가속화 관련 정책 추진 등 에너지 위기 해결 및 당위성 마련
  - 국내 재생에너지 발전과 수소 생산 기술 역량을 활용한 해외 국가와의 전략적 협업 추진을 통해 안정적 수소 공급망 확보 및 국가 에너지 자립 비중 확대 필요
- 수소는 발전, 저장, 수요까지 산업 전반\*에 걸쳐 다양하게 활용될 수 있어, 신산업 창출과 더불어 전통 산업의 재도약 기회 제공 가능
- \* (발전) 연료전지, 가스터빈, (저장) ESS, (수송) 수소차·열차·선박, 산업공정(원료·연소)
- 한국을 포함한 16개 국가에서 탄소중립 달성과 신산업 육성을 목적으로 국가수소전략을 발표하고 있으며, 안정적인 청정수소 생산·공급을 기반으로 수소 산업 활성화
  - 수소산업 육성을 위한 공동 기술개발 및 투자 기획을 통한 글로벌 수소산업 발전 및 정부간 국제협의체 및 민간 수소기업간 협력 필요

1) Deloitte Insights, 2050 탄소중립 로드맵, 2021. NO.19

- 수소에너지 전분야 기술경쟁력 제고와 탄소중립 실현 및 수소경제 이행을 위해 수소 기술개발 로드맵 보완 필요
  - 2019년 정부는 「수소경제 활성화 로드맵」 과 「수소 기술개발 로드맵」 을 발표, 세계 최고 수준의 수소 기술력 기반의 수소기술 강국으로의 도약을 목표로하였지만 국내 기술 수준은 아직 미흡한 상태
  - 수소에너지의 기술 국산화 조기 확보를 통한 청정수소경제 사회 및 2050 탄소중립 실현을 위해 수소 기술개발 로드맵 2.0 현행화가 필요
    - 기존 수소 기술개발 로드맵 1.0 수립('19.10) 이후 제1차 수소경제 이행 기본계획('21. 11) 발표와 또한 10대 국가필수전략 기술에 선정('21.12)됨에 따라 수소 기술 육성·보호를 위한 세부 전략 재정비 필요성 증대
    - 탄소중립 실현을 위한 수소 생산, 저장·운송, 활용(수송, 발전·산업), 안전·표준 등 전 주기 분야별 탄소중립 이슈 기반의 중점 기술 도출
    - 중점 기술별 기술개발 목표치, 상용화 시기 등 수정·보완 작업, R&D 지원과 정책 지원을 연계하여 상위 계획 목표를 달성하는 시나리오 최종 제시 필요

## 1.2. 연구 목표

- 수소 기술개발 로드맵 2.0 수립 추진 방향
  - 「수소 기술개발 로드맵('19.10)」 수립 이후 2050 탄소중립 선언('20.10) 등 국내·외 수소경제 정책이 크게 변화함에 따라, 탄소중립 실현 및 필수전략기술 육성·보호를 위한 수소 기술개발 로드맵 2.0 수립
    - 2050 탄소중립을 실현할 수 있는 수소 전 주기 기술분류체계 및 기술개발 전략 도출
    - 국내·외 시장·산업·정책·기술개발 동향에 관한 기초자료를 수집하고 심층적으로 분석하여 필수전략기술로 선정된 수소의 육성·보호 전략 수립 기반 마련
- 수소 기술개발 로드맵 2.0 수립 추진전략 및 방법
  - 2019년 수소 기술개발 로드맵 수립 당시 구성된 추진체계를 기반으로 전문가위원회를 구성 및 운영하고 국가 상위계획과의 정합성을 고려한 기술분류체계 도출
  - 관계부처 및 연구관리 전문기관들과의 지속적인 소통을 통해 로드맵(안) 수립

## 2. 국내·외 환경 동향

### 2.1. 정책 동향

□ (한국) “수소경제 활성화 로드맵” 발표('19) 후 세계 최초로 수소법을 제정('20)하였으며, 2050 탄소중립을 위해 수소 활용 분야 확대 및 청정수소 확보를 위한 지원 활발

- (국가필수전략기술, '22) 12대 국가필수전략기술에 수소 포함, 청정수소 생산부터 이송·저장·활용 전주기 기술경쟁력 확보 필요성 강조
- (수소경제 이행 기본계획, '21) 수소경제 전주기 생태계 구축으로 청정수소경제 선도를 위해 청정수소 공급체제로 전환, 효율적 저장·운송 수단 확보, 수소 활용처 다변화, 수소 산업 육성 저변 강화를 목표로 제시

- 국내·외 청정수소 생산주도 : 대규모 그린수소 생산기반 구축, 그린수소 생산 핵심 소재부품 기술력 확보, 블루수소 클러스터를 조성하여 블루수소 생산기반 마련
  - \* 수소 생산단가 / 공급량 : ('30) 3,500원/kg / 25만톤, ('50) 2,500원/kg / 300만톤
- 빈틈없는 인프라 구축 : 수소 유통 인프라 구축, 수소 액화플랜트 및 암모니아-수소 변환 플랜트 기술 확보, 수소 배관망 구축, 수소 충전소 보급 확대
- 모든 일상에서 수소 활용 : 발전·수송·산업에서의 수소 활용분야 확대를 위한 기술 확보
- 생태계 기반 강화 : 기술개발, 인력양성, 표준화, 안전성 확보 등 추진

- (탄소중립 산업·에너지 R&D 전략, '21) 2050 탄소중립 이행을 위해 무탄소발전, 수소화, 수소환원제철, 무탄소 수송선 상용화 기술 확보

- (무탄소발전) 무탄소발전 보편화 및 시스템 효율 최적화
  - 발전용 가스터빈 연료를 무탄소 연료인 수소 및 암모니아로 100% 전환
  - 발전효율 65% 이상을 갖는 연료전지 기반 MW급 복합발전 상용 시스템
  - 재생에너지 연계 연료전지 가동율을 극대화하는 전력변동 대응형 연료전지 개발
- (수소화) 그린수소 생산기술 및 장거리·대용량 운송기술 확보
  - 재생에너지 연계 100MW급 그린수소 생산 및 대규모 장주기 수소 저장기술 확보
  - 수소 액화 시스템 기술 및 50톤급/일 수소 액화플랜트 상용화, 액체수소 운송선개발
- (철강) 탄소계 공정을 수소환원제철로 100% 대체
  - 분광 수소 유통환원, 수소환원용 전기로 기술 등 코크스를 100% 대체하는 비고로방식 수소환원 제철 기술 상용화
- (수송) 수소·암모니아 추진 무탄소 선박 상용화

- (수소경제 활성화 로드맵, '19) 강점이 있는 수소차·연료전지를 양대축으로 세계 최고수준의 수소경제 선도국가로 도약
  - 수소차·연료전지 세계시장 점유율 1위 달성, 화석연료 자원 빈국에서 그린수소 산유국으로 진입

□ (EU) “유럽 그린딜” 목표인 2050 기후중립을 달성하고자 “기후중립 유럽을 위한 수소 전략(Hydrogen Strategy for a Climate-Neutral Europe)” 발표('20.7), 『RePowerEU Plan』 ('22.5)에서는 2030년까지 2천만톤 수소 공급을 목표

- 수소에너지를 유럽의 에너지시스템에 단계별로 편입시키기 위한 구체적 전략을 제시, 2050년까지 에너지믹스 중 수소 비중 23%까지 확대
  - (1단계, 2020~2024) 6GW 수전해 설비 확충, 1백만톤의 재생에너지 기반 수소 생산
  - (2단계, 2025~2030) 40GW 수전해 설비 확충, 1천만톤의 재생에너지 기반 수소 생산
  - (3단계, 2030~2050) 탈탄소화가 어려웠던 화학, 철강 분야에서 그린수소 대규모 활용 가능

□ (미국) 연방정부 차원의 국가 로드맵 발표(‘국가 수소에너지 로드맵('02)’, ‘수소·연료 이니셔티브('03)’) 이래 관련 정책 지속 추진

- (Hydrogen Earth Shot) 10년 안에 청정수소 생산단가를 80% 감축해 \$1/kg 수준으로 감소

- (Hydrogen Program Plan '20.11) 미국 에너지부의 수소 연구개발·실증(RD&D) 활동의 전략 프레임워크 제시
  - (생산) 바이오매스/폐수자원 활용 수소 등 광범위한 수소 생산 기술 포트폴리오 탐색 및 개발
  - (이송) 수소의 광범위한 활용을 위해 기존 기체 튜브트레일러, 액체 탱커, 파이프라인, 화학수소 운반체 등 다양한 수단을 수소 운반 인프라에 통합
  - (저장) 수소에너지 물리적 기반(physical based) 및 물질 기반(material based) 저장
  - (변환) 수소에너지를 전기 또는 열에너지로 변환하는 수소 유용성 확보
  - (활용) 운송, 발전, 제조 등 다양한 산업에서의 수소 활용 실현
- (DOE, HFTO) 수소 생산, 저장·운송, 활용 등 수소 및 연료전지 기술의 연구, 개발 및 시연에 초점

□ (일본) 재생에너지 이용 수소 생산, 未이용 자원 활용 확대를 통한 수소사회 기반 구축

- (2050 탄소중립에 따른 녹색성장전략, '21.6) 수소공급량 2030년 최대 300만톤, 2050년 2,000만톤으로 확대하고, 수소공급가격을 2030년 30엔/Nm<sup>3</sup>, 수소발전비용을 2050년 20엔/Nm<sup>3</sup>으로 저감
  - 수소 관련 분야 : 수소산업, 연료암모니아산업, 모바일·배터리산업, 선박산업, 물류·토목인프라산업, 항공산업
  - 연료암모니아산업 : 2050년까지 혼소 비율 확대 및 100% 암모니아 연소기술 개발, 1억 톤 공급
  - 선박산업 : 2050년까지 선박 연료를 무탄소 대체연료(수소, 암모니아 등)로 전환
- (수소 기본전략, '17)
  - (1단계, ~2025) CCS 연계 화석연료 유래 수소 및 재생에너지로부터 생산된 수소의 수입으로 수소 공급
  - (2단계, ~2030년대) 대규모 수소공급망 도입, 연간 30만톤 수소 수입, 수소가격 30엔/Nm<sup>3</sup> 실현
  - (3단계, ~2040년대) CO<sub>2</sub>-free 수소공급 시스템 확립, 수소가격 20엔/Nm<sup>3</sup> 실현

□ (독일) 정부는 수소를 2050년 탄소중립을 위한 핵심요소로 판단하였고, 국가수소전략을 발표하여 수소 인프라 및 기술개발을 집중 추진

- (2030년) 90~110TWh(270~330만톤)의 수소가 필요할 것으로 전망, 5GW의 수전해 설비를 구축하여 14TWh(42만톤)의 그린수소 생산(총 수소 수요의 12.7%~15.6%에 해당) (현재 연간 55TWh, 165만톤)
- (2035~2040년) 5GW 수전해 설비 추가 구축

□ (영국) 탄소중립 실현을 위해 저탄소 수소를 개발하고자 수소 전략(Hydrogen Strategy)을 발표하였고, 주요 산업부문에서 저탄소 수소를 활용하는 것도 계획

- (UK Hydrogen Strategy, '21.8) 2050년 영국 수소 수요는 250-460TWh로 전망하며 이는 최종에너지 수요의 1/3에 해당, 2030년까지 저탄소 수소 생산 용량을 5GW 확충
  - 재생에너지 연계 수전해와 SMR/CCUS의 'Twin track' 중심으로 수소 생산
  - 이외에 개발 중이며 향후 활용이 기대되는 다양한 수소 생산 기술을 제시
    - \* low temperature nuclear electrolysis, high temperature nuclear electrolysis, BECCS, thermochemical water splitting 등
  - 현재 영국 수소 생산량은 10-27TWh로 추정

□ (중국) 탄소중립 목표를 달성하고 전략적 신흥 산업을 육성하기 위해 2035년까지의 “수소에너지 산업발전 중장기 계획” 발표

- (수소에너지 산업발전 중장기 계획 '22.3) 수소 생산, 저장, 운송 및 사용 등 각각의 핵심 단계와 수소 안전 및 공공 서비스 등을 중심으로 4대 분야의 과제를 제시
  - (1단계, 2022~2025) 수소전기차 5만대, 재생에너지 이용한 수소 생산 연간 10~20만 톤
  - (2단계, 2026~2030) 수소에너지 산업기술 혁신 시스템 구축, 청정에너지 활용한 수소 생산 및 공급시스템 구축
  - (3단계, 2030~2035) 교통/에너지저장/산업 등 기타 분야를 아우르는 수소에너지 용융생태계 구축

□ (호주) 2022년까지 수소 생태계 조성, 2023년~2030년까지는 수소 단가 절감, 성장 역량 강화 및 CCUS(이산화탄소 포집·저장·활용) 기술 개발, 2030년 이후에는 수소 경제 규모 확대 및 호주 수소 수입국의 수요 충족을 위한 생산력 확보를 단계적으로 설정

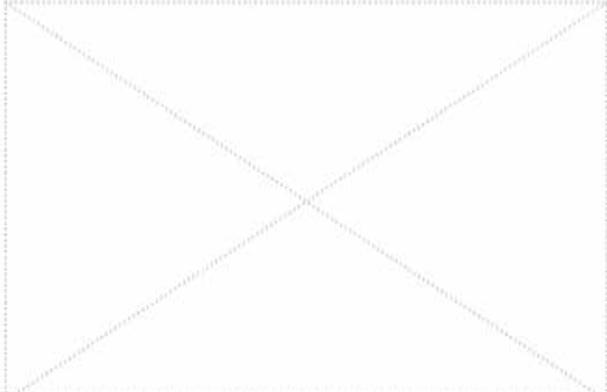
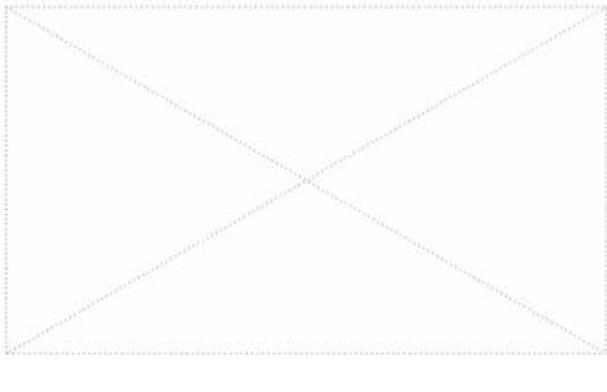
- (호주 국가 수소 전략 '19) 수소 허브 구축 및 청정 수소 내수 수출 산업 육성을 통한 추가적인 경제성장 및 일자리 창출, 수입 연료 의존도 감소, 탄소 배출 감축 등의 성과 창출
- (호주 기술 투자 로드맵 '20) 연방예산안을 통해 기후변화 대응을 위한 미래 저탄소 기술에의 투자 발표, 그린 수소, 에너지 저장, 이산화탄소 포집·저장·활용에 집중
- (호주 미래 연료 전략 논의 '21.2) 전기/수소차 등 친환경 차량 보급 확대를 골자로 하는 논의

□ (칠레) 에너지부는 그린수소 국가전략을 발표하고 투자 유치를 위한 홍보 중

- (그린수소 국가전략 '20.11) 그린수소 생산 및 그린 암모니아 수출계획 수립('30년 25억 달러, '40년 160억 달러, '50년 240억 달러), '25년 5GW 수전해 시설로부터 그린 수소 연간 20만톤 생산, '30년 25GW 수전해 설비 구축 및 그린수소 생산 단가 \$1.5kg/H<sub>2</sub> 목표 제시

## 2.2. 시장 동향

- 석탄·LNG 발전 연료, 철강, 시멘트 등 산업에서 수소 사용이 점차적으로 확대될 것이고, 이로 인해 세계 수소 시장은 증가할 것으로 예상
- (IEA) 2050년 글로벌 수소 수요는 2020년 8,700만톤에서 6배 증가한 5억 2,800만톤에 달할 것으로 전망('21)
  - 2050년 전 세계 최종에너지 소비에서 수소 기반 연료(수소, 암모니아, 합성 탄화수소 원료)가 13% 차지
  - 글로벌 수소 수요 중 50%는 철강 및 석유화학 등 산업 및 수송부문에서 활용되며, 30%는 합성연료 생산, 17%는 재생에너지의 간헐적 발전특성을 보완하는 유연성 자원으로 활용될 전망<sup>2)</sup>
  - 수요량의 30%는 수송부문, 20%는 합성항공유 생산, 10%는 암모니아 전환 선박연료 생산용이며, 15%는 철강 및 석유화학 등 산업수요, 15%는 유연성 자원으로써 발전 산업에서 활용 전망
  - 건물 난방용으로의 활용이 5% 정도를 차지하는데, 95%가량이 수소전용 파이프라인 또는 기존 파이프라인을 활용하여 순수 수소형태로 공급되어야 함
  - 천연가스 및 바이오메탄 등과 혼입 형태로 기존 파이프라인을 통한 공급은 5%에 불과할 것

2050년 순 무배출 시나리오의 전 세계 수소 및 수소 기반 연료 사용	2050년 순 무배출 시나리오의 전 세계 연료별 수소 생산량 및 부문별 수소 사용 비중
	

출처 : 한국에너지기술연구원, 2050년 전 세계 에너지 부문 순 무배출 로드맵(IEA, 2021) 주요내용 및 시사점

- (IRENA) 1.5도 시나리오에서 2050년 수소 수요는 6억1300만톤(74EJ)로 전망하며, 2/3이 그린수소로 총당

2) 한국과학기술기획평가원, 과학기술&ICT 정책·기술 동향 NO 195, 2021.07.23.

- (Hydrogen Council) 2050년 수소는 글로벌 에너지 18% 차지, 시장 규모는 연 2조 5천억 달러로 성장 전망('21.5)
  - 2030년까지 전 세계 수소 사업 투자규모는 5,000억 달러, 수소 생산규모는 1,100만톤 예측
  - 2030년 그린수소 생산단가를 \$1.4~2.3/kg으로 전망
- (골드만삭스) ·2050년 글로벌 수소시장 12조 달러로 전망('20.9)\* 및 2050년 수소 공급망 누적 투자액 약 5조 달러로 예측('22.2)\*\*
  - \* 2050년 EU 1,055GW, 미국 1,095GW, 아시아 3,129GW 규모의 수전해 설치
  - \*\* 수전해 \$1,669bn, 운송 및 글로벌 무역 \$962bn, 지역 배관망 \$638bn, 저장 \$414bn 등

수소 공급망별 투자액(10년 주기)	수소 공급망별 투자액
[Blank Chart Area]	[Blank Chart Area]

출처 : GoldmanSachs

- (Bloomberg) NEO2021 그린시나리오\*에서 2050년 수소 수요 약 13억톤 전망('21.7)
  - \* ('50년 수소 수요량) 13억1,800만톤(그린시나리오-재생에너지 중심), 7억6,600만톤(레드시나리오-원자력 중심), 1억9,000만톤(그레이시나리오-화석연료 중심)으로 제시
  - 2050년 최종 에너지 소비량에서 차지하는 수소 비중은 약 22%로 증가
  - 그린수소 가격 전망('22.6) : ('22) \$1.82~9.62/kg → ('30) \$0.96~3.32/kg  
→ ('50) \$ 0.54~1.57/kg
  - 수전해 누적(2022~2030) 설치용량 242GW, 2030년 그린수소 연간 생산량 2,500만톤으로 전망('22.10)

연간 수전해 설치 용량	수전해 종류별 연간 설치용량
[Blank Chart Area]	[Blank Chart Area]

출처 : BloombergNEF

⇒ 2050 탄소중립과 차세대 경제 패러다임의 수단으로 떠오른 수소기술에 대규모 투자가 이루어질 것이라 전망하며, 이는 글로벌 수소 시장 확대와 수소경제 구축을 견인

## 2.3. 기술개발 동향

- 각국 정부는 수소 기술 글로벌 주도권을 강화하고, 수소사회 선도국가로서의 위치를 공고히 하고자 공격적 투자 진행
  - (미국) 수전해 성능 개선, 생물학적 및 전기화학적 수소 생산 연구와 수소 저장용 소재 개선, 수소 혼입 등 수소 인프라 관련 기술개발 추진
    - 에너지부(DOE)는 2030년 수소생산 가격 \$1/kg 달성을 위한 기술개발에 중점 투자
      - ※ '26년까지 청정수소 허브 구축(\$80억), 수전해 프로젝트(\$10억) 등에 \$95억 투자('22.2)
      - (ARPA-E) 수전해, 메탄 열분해, 연료전지 복합발전 시스템 등 수소 및 연료전지 분야를 선도할 수 있는 차세대 혁신 기술개발 중점 추진

프로그램	프로젝트	연구내용	수행기간	예산
OPEN 2021	A Zero-emission Process for Direct Reduction of Iron by Hydrogen Plasma in a Rotary Kiln Reactor	· 탄소가 풍부한 천연가스, 코크스 대신 수소 플라즈마를 활용하여 회전식 킬른 용광로에서 철광석을 환원	2022.04.01.~ 2024.03.31	\$1,199,998
OPEN 2021	A Hybrid Electrochemical and Catalytic Compression System for Direct Generation of High-Pressure Hydrogen at 700 Bar	· 700bar에서 고압수소를 직접 생산하기 위한 전기화학 및 촉매 압축 시스템	2022.03.21.~ 2024.03.20	\$1,452,000
OPEN 2021	Ionomer-Free Electrodes for Ultrahigh Power Density Fuel Cells	· 이오노머 없는 PEMFC 개발 · FMC(Functionalized mixed conductors) 기반으로 하는 새로운 전기화학적 인터페이스 개발, Pt 함량을 줄이기 위한 새로운 ORR 촉매 개발	2022.05.02.~ 2025.05.01	\$1,570,309
Special Projects	Nanoionics Enabled Proton Conducting Ionomers	· 고온 양성자 전도성 이오노머 소재 개발	2020.04.28.~ 2022.12.31	\$500,000
REFUEL	Cost-effective, Intermediate-temperature Fuel Cell for Carbon-free Power Generation	· 암모니아를 연료로 사용하는 SOFC 개발 - 650oC 이하에서 작동 가능한 양극, 음극, 전해질 개발	2020.04.01.~ 2023.03.31	\$2,450,000
INTEGRATE	High Efficiency, Low Cost & Robust Hybrid SOFC/IC Engine Power Generator	· SOFC 스택 및 내연기관 엔진을 활용하는 하이브리드발전시스템 개발	2018.09.07.~ 2024.03.26	\$10,801,864
OPEN 2018	Efficient Hydrogen and Ammonia Production via Process Intensification and Integration	· 암모니아에서 고순도 수소 추출 기술, 낮은 압력과 온도에서 암모니아 합성을 위한 반응기 개발	2022.05.02.~ 2025.05.01	\$2,047,676
OPEN 2018	Modular UltraStable Alkaline Exchange Ionomers to Enable High Performing Fuel Cell and Electrolyzer Systems	· 알칼리 교환막 이오노머(Alkaline exchange ionomer) 개발	2019.03.29.~ 2022.09.28	\$1,700,000

프로그램	프로젝트	연구내용	수행기간	예산
REEACH	Extremely Lightweight Fuel Cell Based Power Supply System for Commercial Aircrafts	· 상업용 항공기에 적용 가능한 연료전지 스택 개발 - 2kW 단일 셀, 5kW급 이상 스택 셀 실증	2021.01.01.~ 2022.12.31	\$1,656,427
INTEGRATE	Adaptive SOFC for Ultra High Efficiency Power Systems	· 하이브리드 발전시스템에 적용하기 위한 가압 고체산화물 연료전지 개발	2018.08.15.~ 2024.03.05	\$11,099,612
REEACH	Fuel Cell Embedded Engine (FLyCLEEN)	· 하이브리드 발전시스템에 적용할 수 있는 고효율 SOFC 개발	2022.05.02.~ 2025.05.01	\$2,529,340
Special Projects	Electrothermal Conversion of Methane into Hydrogen and High-Value Carbon Fibers	· 메탄을 수소와 Graphitized carbon fiber로 열분해하는 반응기 개발	2020.05.01.~ 2022.10.30	\$1,500,000
OPEN 2018	Metal-Supported SOFCs for Ethanol-Fueled Vehicles	· 에탄올 수용액을 연료로 사용하는 고효율·고밀도 금속지지형 SOFC 스택 개발	2019.07.22.~ 2022.08.07	\$3,170,000
FLECCS	Process Integration & Optimization of an NGCC Power Plant W/CO <sub>2</sub> Capture, Hydrogen Production & Storage	· 천연가스 발전소에 연소 후 탄소포집 기술을 적용하여 수소를 생산 및 저장	2020.12.01.~ 2022.06.30	\$959,931
OPEN 2018	Stable Diacid Coordinated Quaternary Ammonium Polymers for 80-150°C Fuel Cells	· 80-230°C에서 수소 또는 디메틸 에테르 (DME) 연료를 사용하는 차량용 PEMFC 개발	2019.07.29.~ 2022.07.29	\$2,900,000
DIFFERENTIATE	Global Optimization of Multicomponent Oxide Catalysts for OER/ORR	· 산소 발생 반응(OER) 또는 산소 환원 반응(ORR)을 촉진하는 촉매 개발을 가속화하기 위해 기계 학습(ML) 강화 도구를 개발	2022.05.02.~ 2025.05.01	\$3,381,819
OPEN 2018	High Value Energy Saving Carbon Products and Clean Hydrogen Gas from Methane	· 천연가스를 고부가가치 탄소 재료인 Miralon®와 수소로 전환하는 공정 개발	2019.09.23.~ 2022.06.22	\$3,475,124
INTEGRATE	Advanced Solid Oxide Fuel Cell Stack for Hybrid Power Systems	· 하이브리드 발전 시스템에 적합한 초고효율 소형 고체산화물연료전지 스택 개발	2018.05.24.~ 2023.08.23	\$11,160,354
Special Projects	Engineering of Scalable Platinum-free Electrodes for Pure-Water AEM Water Electrolysis	· 백금 없는 고성능 수전해 전극 개발	2021.08.09.~ 2023.02.08	\$499,989
OPEN 2018	High-throughput Methane Pyrolysis for Low-cost, Emissions-free Hydrogen	· 용융 금속 촉매를 활용한 메탄 열분해 수소 생산	2019.06.21.~ 2022.12.20	\$3,946,540

프로그램	프로젝트	연구내용	수행기간	예산
OPEN 2021	Additively-Manufactured Electrochemical-Chip Based Scalable Solid Oxide Fuel Cells	-	2022.04.18.~ 2024.04.17	\$1,540,224
REEACH	SOFCS for Flight	· 고밀도 SOFC이 탑재된 항공기용 하이브리드 시스템 개발	2021.02.01.~ 2023.01.31	\$1,799,889
IONICS	Hydroxide Ion Exchange Polymers	· AEM용 음이온 교환막 개발	2017.01.20.~ 2022.07.19	\$2,445,327
OPEN 2018	From Hydrocarbon Feedstock to Recyclable Carbon-Based Automotive Bodies with Positive Hydrogen Output Transportation Vehicles, Transportation	· 수소 및 탄소나노튜브 생산하는 천연가스 열분해 공정 개발	2019.09.27.~ 2023.06.26	\$3,297,862
Special Projects	Co-Synthesis of Hydrogen and High-Value Carbon Products from Methane Pyrolysis	· 메탄을 탄소 나노튜브와 수소로 열분해하는 공정 설계 및 고성능 촉매 개발	2020.04.13.~ 2022.10.12	\$1,465,139
REEACH	High Power Density Carbon Neutral Electrical Power Generation for Air Vehicles	· 원통형(Tubular) SOFC와 가스터빈 연소기를 연계하여 고효율 및 고효율 항공기용 발전 시스템 개발, 1kW SOFC와 연소기 연계한 실증 수행 예정	2021.07.12.~ 2023.07.11	\$1,440,282
REEACH	High-Efficiency and Low-Carbon Energy Storage and Power Generation System for Electric Aviation	· 연료전지(SOFC), 배터리, 가스터빈을 통합한 하이브리드 시스템 - 가볍고 컴팩트한 스택 아키텍처, 스퍼터링 박막 증착 공정으로 만든 고효율 직접 메탄 전지 개발	2021.04.26.~ 2023.04.28	\$2,131,246
OPEN 2018	Advanced Alkaline Membrane H <sub>2</sub> /Air Fuel Cell System with Novel Technique for Air CO <sub>2</sub>	· 자동차 HEMFC 시스템의 셀을 손상시키는 CO <sub>2</sub> 제거하기 위한 펌프 개발	2018.12.19.~ 2022.03.18	\$1,979,998
REEACH	High Performance Metal-Supported SOFC System for Range Extension of Commercial Aviation	· 항공기 추진을 위한 고성능, 초저중량, 저가의 금속 지지형 고체산화물 연료전지(MS-SOFC) 개발 및 합성연료·바이오연료 개질을 위한 촉매 개발 - 1kW MS-SOFC 스택 개발 및 테스트, 5kW MS-SOFC 프로토타입 설계	2021.03.15.~ 2023.03.14	\$2,263,000
REEACH	Hybrid SOFC-Turbogenerator for Aircraft	· 소형 항공기용 하이브리드 SOFC-터보발전기 개발 · 저온, 고내구성, 고전력밀도를 갖는 내부 개질형 SOFC 개발(바이오메탄 연료 활용)	2021.03.16.~ 2023.03.15	\$2,798,489
REFUEL	Microwave-Plasma Ammonia Synthesis	· 저온, 저압에서 플라즈마를 사용하여 재생전기, 물 등을 암모니아로 전환	2017.04.01.~ 2022.08.31	\$2,900,000

- (H2@Scale) 수소 혼입을 위한 연구와 수소 배관망 등 수소 인프라 관련연구를 수행 하였으며, 전력원(재생에너지, 원자력)과 연계한 수소 생산 실증 연구도 함께 수행

구분	과제명	참여 연구소	기관
Hydrogen Production	· 메탄 열분해를 위한 촉매 개발 - 수소 생산단가 \$2/kg 달성에 기여	PNNL	C4-MCP, Southern California Gas Company, West Virginia University
	· 재생에너지 연계를 위한 MW급 PEM 수전해 개발	NREL	Giner ELX
	· 재생 수소 생산을 위한 수전해 시스템 개발 - 해상풍력과 연계하고자 하며, Pt족 금속 아닌 쉽게 구할 수 있는 소재 구성, 확장 가능한 멀티 MW 수전해 시스템 개발을 목표	NREL	GTA, Inc.
	· 스택 출력단 압력을 높이기 위한 수전해 시스템 - 별도 압축기 없이 수소 충전소에 적용 가능한 고압형 수전해 시스템(700bar)	NREL	Honda R&D Americas
Hydrogen Infrastructure	· 천연가스 파이프라인 인프라에 수소 혼입 타당성 평가를 위한 수소 호환성, 수명 분석에 대한 연구	NREL, SNL, PNNL, ORNL, ANL, and NETL	American Air Liquide, Inc, Chevron, DNV GL, Enbridge 등
	· 수소충전소 위험 평가 도구 개발	SNL	Air Liquide
	· Heavy-Duty Reference Station Design, Test Device Development, and Capacity Modeling	SNL, NREL	CA Governor's Office of Business and Economic Development(CA GO-Biz) 등
	· 수소 운반체로 톨루엔 사용 시 성능, 온실가스 배출, 가격경쟁력 등 조사·분석 - 톨루엔-MCH 운반체에 유리한 수소 공급 및 수요 시나리오 개발 및 분석	ANL	Chiyoda Corporation
	· 수소전기차 급속 충전을 위한 터보팽창기(Turbo Expander) 개발	NREL	Honda R&D Americas
	· 전기화학적 수소 압축을 위한 멤브레인 개발	LBNL	HyET Hydrogen B.V.
	· 전기화학적 수소 압축을 위한 MEA 제조 자동화 기술	NREL	HyET Hydrogen B.V.
	· 수소충전소용 호스의 안전성과 신뢰성을 높이기 위해 낮은 수소 투과성을 보이는 소재(고분자), 내구성 있는 극저온 복합재 개발	PNNL	NanoSonic, Inc.
	· 수소전기차 유지 관리 작업 중 수소 방출 시나리오 모델링, code 요구사항 개선 등	SNL	Quong & Associates, Inc. (QAI)
	· Tatsuno coriolis 유량계 성능 테스트 - Tatsuno의 70MPa 수소 디스펜서에 적합한지에 대해 테스트	NREL	Tatsuno North America
	· 수소전기차 및 수소충전소 최적화 모델 - 수소 디스펜싱 비용을 줄이는 시스템 개발 등	NREL, ANL, SNL	Frontier Energy, Inc.
	· Heavy-duty 스테이션 프리쿨링 최적화, 사이버 취약점 분석	SRNL, SNL, ANL	Nikola Motor Company
	· 상용차, 고정전력, 항만 복원력을 위한 수소 충전 및 연료전지 시스템 설계	PNNL	Seattle City Light, Port of Seattle, Northwest Seaport Alliance, and PACCAR/Kenworth
	· 고유량 수소충전소 개발 - 10kg/min, 60kg 이상 연료 공급을 위한 연구 개발 등	NREL	Shell Oil Products US; Air Liquide Advanced Technologies U.S., LLC; Toyota Motor North America; Honda R&D Americas, Inc.

구분	과제명	참여 연구소	기관
Hydrogen Infrastructure	· 천연가스 파이프라인 수소 혼입	SNL, PNNL, NREL, ANL	Southern Company Services, Inc
Safety, Codes and Standards	· 캘리포니아 수소 인프라 연구 컨소시엄	NREL	CA GO-Biz, CEC, CARB, SCAQMD
	· 수소 시설의 안전 평가	PNNL	CEC
	· Hydrogen Safety Outreach by the Hydrogen Safety Panel to Expedite Hydrogen Fueling and Energy Project Deployment	PNNL	Connecticut Center for Advanced Technology (CCAT)
	· 고유량 350bar 수소 충전 방법 개발	NREL	Frontier Energy, Inc.
Grid Integration	· Valuation of Hydrogen Technology on the Electric Grid Using Production Cost Modeling	NREL	Electric Power Research Institute (EPRI)
	· 원자력 수소 생산 가능성(잠재력)에 대한 기술경제성 분석 연구	INL, ANL, NREL	Exelon Corporation
	· 재생에너지와 수전해 시스템 연계 최적화	NREL	Pacific Gas and Electric Company (PG&E)
	· 용융염 원자로 원자력 발전소와 연계된 전기/열 수소 생산 공정	SRNL, SNL	Southern Company Services, Inc; Terrestrial Energy US
	· 청정수소에 대한 산업 수요를 확인하고, 지역별 원전 및 재생에너지 설비를 고려한 대규모 중앙집중식 수소생산설비에 대한 경제적 평가 수행	INL, ANL, NREL	Southern Company Services, Inc.; Xcel Energy; Exelon Corporation
	· Electrolytic Renewable Fuel Production Optimal Operation Investigation - 재생에너지 설비와 수전해 종류 및 크기별 조합 다양화로 그린수소 생산 최적화 연구	NREL	University of California, Irvine - Advanced Power and Energy Program
Hydrogen End Uses	· 바이오메탄용 수소 생산을 위한 수전해 시스템 가격 절감 및 효율 개선	NREL	Southern California Gas Company

- (DOE AMR 2021) 수전해 내구 향상, 광분해 및 메탄열분해를 위한 원천기술 확보, 수소 공급 인프라용 소재·부품 개발, 수소 저장 소재 다양화를 위한 연구 지원

구분	과제명	주요내용
수소 생산	HydroGEN Overview: A Consortium on Advanced Water-Splitting Materials	· 차세대 수소 생산 기술개발을 위한 협력 - 광전기화학(Photoelectrochemical), 태양열화학(Solar thermochemical), 저온 전기분해(Low-temperature electrolysis), 고온 전기분해(HTE)
	BioHydrogen(BioH2) Consortium to Advance Fermentative Hydrogen Production	· 목질계 바이오매스 자원을 수소로 전환하기 위한 미생물 전기분해 시스템 개발 - 대사공학을 통해 수소 생산 속도 및 몰 수율(moles of hydrogen/moles of sugar) 개선 등
	Binary Chloride Salts as Catalysts for Methane to Hydrogen and Graphitic Powder	· 메탄 열분해 공정 개발

구분	과제명	주요내용
수소 생산	Extremely Durable Concrete Using Methane Decarbonization Nanofiber Co-Products with Hydrogen	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 메탄으로부터 탄소나노섬유와 수소를 생산하는 CVD(chemical vapor deposition) 공정 개발</li> <li>- 480,000kg/day 수소 생산, CH<sub>4</sub>→ H<sub>2</sub> 전환효율 70% 달성하는 공정 개발</li> </ul>
	Scalable and Highly Efficient Microbial Electrochemical Reactor for Hydrogen Generation from Lignocellulosic Biomass and Waste	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 폐기물에서 수소 생산을 위한 하이브리드 미생물 전기분해 전지 개발</li> <li>- 미국 DOE 목표 \$2/kgH<sub>2</sub> 이하 달성</li> </ul>
	H2NEW Consortium: Hydrogen from Next-Generation Electrolyzers of Water	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 2025년까지 \$2/kgH<sub>2</sub> 이하를 달성할 수 있는 저렴하고 안정적인 수전해(PEM 수전해, 고온수전해) 개발</li> </ul>
	High-Performance Alkaline Electrolyte Membrane Low-Temperature Electrolysis with Advanced Membranes, Ionomers, and Platinum-Group-Metal-Free Electrodes	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 백금족 촉매를 사용하지 않은 알칼라인 수전해용 MEA 개발</li> <li>- 전류밀도 : 1A/cm<sup>2</sup>(@1.75V), 내구성 : &lt;4mV/1000시간 이하, 수소 생산 가격 : \$2/kgH<sub>2</sub> 이하</li> </ul>
	Performance and Durability Investigation of Thin, Low-Crossover Proton Exchange Membranes for Water Electrolyzers	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 성능 및 내구성이 향상된 고분자 전해질 수전해용 전해질막 개발</li> <li>- 얇고 강화된 PFSA 멤브레인 개발, 가스 교차를 줄이고 내구성 향상을 위한 가스재결합촉매(GRC), 라디칼 제거제 포함</li> </ul>
	Pure Hydrogen Production through Precious-Metal-Free Membrane Electrolysis of Dirty Water	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 백금족 금속이 없는 수전해 시스템 수명 개선, 불순물에 대한 내성 향상 및 가격 저감</li> </ul>
	Advanced Coatings to Enhance the Durability of Solid Oxide Electrolysis Cell Stacks	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 고체산화물 수전해 성능 향상을 위한 코팅 기술 개발(금속 부식, Cr 발생 방지)</li> </ul>
	Scalable High-Hydrogen-Flux, Robust Thin Film Solid Oxide Electrolyzer	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 박막, 다층, 양성자 전도성 전해질을 기반으로 하는 SOEC의 기술적 및 경제적 타당성 분석</li> </ul>
	A Multifunctional Isostructural Bilayer Oxygen Evolution Electrode for Durable Intermediate-Temperature Electrochemical Water Splitting	<ul style="list-style-type: none"> <li>· SOEC용 고효율, 크롬 내성을 보이는 산소극 개발</li> </ul>
	Perovskite-Perovskite Tandem Photoelectrodes for Low-Cost Unassisted Photoelectrochemical Water Splitting	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 페로브스카이트-페로브스카이트 탠덤 광전극을 사용하여 광전기화학(PEC) 수전해 장치 개발</li> </ul>
	Development of Composite Photocatalyst Materials That Are Highly Selective for Solar Hydrogen Production and Their Evaluation in Z-Scheme Reactor Designs	<ul style="list-style-type: none"> <li>· DOE 목표인 STH(solar-to-hydrogen)효율 3% 달성하기 위한 새로운 광촉매 개발(산화물 코팅된 광촉매 개발)</li> </ul>
	Highly Efficient Solar Water Splitting Using ThreeDimensional/Two-Dimensional Hydrophobic Perovskites with Corrosion-Resistant Barriers	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 할로젠화물 페로브스카이트(HaP) 태양전지와 수소 및 산소 발생 촉매를 결합하여 STH 효율 20% 및 500시간 내구성을 보이는 HaP-PEC 전지 시연</li> </ul>
New High-Entropy Perovskite Oxides with Increased Reducibility and Stability for Thermochemical Hydrogen Generation	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 열화학 수소 생산을 위한 페로브스카이트 산화물(HEPO) 개발</li> <li>- 산화물g당 400μmol 이상의 H<sub>2</sub> 수율을 제공할 수 있는 HEPO를 개발하고 최소 50cycle 후에 20% 미만의 분해로 높은 안정성을 입증</li> </ul>	

구분	과제명	주요내용
수소 생산	A New Paradigm for Materials Discovery and Development for Lower-Temperature and Isothermal Thermochemical Hydrogen Production	· 태양열 열화학 수소 생산을 위한 새로운 소재 개발 - 성공할 경우 STH 효율 26% 이상, 수소 생산가격 2달러/kg 이하 달성 가능
인프라	Innovating Hydrogen Stations: Heavy-Duty Fueling	· 대형 차량용 수소 급속 충전시스템 개발
	Hydrogen Materials Compatibility Consortium (H-Mat) Overview: Metals	· 수소 파이프라인 비용 절감을 위한 고강도 강철 관련 연구
	Hydrogen Materials Compatibility Consortium (HMat) Overview: Polymers	· 수소 저장용 소재 폴리머(고분자) 사용을 위한 프로토타입, 호환성 평가 등 수행
	Magnetocaloric Hydrogen Liquefaction	· 25kg/day의 수소를 액화시키는 PNNL 시스템 실증
	Free-Piston Expander for Hydrogen Cooling	· 수소 냉각을 위한 Free-piston 팽창기 개발
	Ultra-Cryopump for High-Demand Transportation Fueling	· 고유량, 고압 액체 수소 압축기 시스템 개발 - 버스 및 트럭에 수소 연료 공급을 위한 액체수소 펌프 설계 및 구축 등
	Self-Healable Copolymer Composites for Extended Service Hydrogen Dispensing Hoses	· 수소 디스펜서 호스 개발(수명 25,000회 이상, 현재 디스펜서 호스는 연료 1,000번 주입 후 미세 균열 발생)
	Microstructural Engineering and Accelerated Test Method Development to Achieve Low-Cost, High-Performance Solutions for Hydrogen Storage and Delivery	· 수소 공급 인프라용 저비용 고성능 강철 합금 개발
	Tailoring Carbide-Dispersed Steels: A Path to Increased Strength and Hydrogen Tolerance	· 수소 저장 및 운송을 위한 새로운 오스테나이트/페라이트 강을 개발 - 이 합금은 더 높은 강도와 수소 내성을 갖게 되어 수소 저장 장비의 수명 향상과 가격 저감에 기여
	Hydrogen Delivery Technologies Analysis	· 수소 연료 및 연료 공급 인프라 시설의 경제적, 환경적 비용 평가 분석 - Lifecycle 전반에 걸쳐 다양한 수소 기술을 분석하고 가격 효율성이 높고 환경에 미치는 영향이 가장 낮은 기술 도출
	Tailoring Composition and Deformation Modes at the Microstructural Level for Next-Generation Low-Cost, High-Strength Austenitic Stainless Steels	· 수소 취성 문제를 해결할 수 있는 새로운 저가격의 합금 설계, 수소 공급 인프라 시설 구축에 활용
	Reducing the Cost of Fatigue Crack Growth Testing for Storage Vessel Steels in Hydrogen Gas	· 수소 저장 용기의 피로 균열 성장 속도(Fatigue crack growth rate)를 측정하기 위한 테스트 수행
	Micro-Mechanically Guided High-Throughput Alloy Design Exploration toward Metastability-Induced Hydrogen Embrittlement Resistance	· 우수한 수소 취성 저항성을 보이는 새로운 합금 개발

구분	과제명	주요내용
저장	System-Level Analysis of Hydrogen Storage Options	· 자동차 수소 저장시스템의 온보드 및 오프보드 성능 분석
	Hydrogen Storage Cost Analysis	· 온보드 수소 저장 시스템 제조 및 조립 설계 비용 분석 수행
	Hydrogen Materials-Advanced Research Consortium(HyMARC) Overview	· 차량용 수소 저장을 위한 소재 개발을 위한 계산 모델링 등 개발
	Hydrogen Materials-Advanced Research Consortium(HyMARC) Seedling: Theory-Guided Design and Discovery of Materials for Reversible Methane and Hydrogen Storage	· 수소 저장용 MOF 촉매 개발 - 머신러닝 알고리즘을 사용하여 수소 흡착을 위한 소재 데이터베이스 구축하여 최적의 MOF를 개발, PT 스윙에서 테스트
	Hydrogen Materials-Advanced Research Consortium(HyMARC) Seedling: Methane and Hydrogen Storage with Porous Cage-Based Composite Materials	· MOF 개발
	Hydrogen Materials-Advanced Research Consortium(HyMARC) Seedling: Hydrogen Release from Concentrated Media with Reusable Catalysts	· 포름산 및 포름산 연료 혼합물로부터 수소 생산
	Hydrogen Materials-Advanced Research Consortium(HyMARC) Seedling: A Reversible Liquid Hydrogen Carrier System Based on Ammonium Formate and Captured Carbon Dioxide	· Ammonium formate 기반 수소 흡착 및 추출 시스템 개발
	High-Capacity, Step-Shaped Hydrogen Adsorption in Robust, Pore-Gating Zeolitic Imidazolate Frameworks	· 마일드한 조건에서 많은 양의 수소 저장하고 압력과 온도 작은 변화로도 수소를 수송 및 전달할 수 있는 다공성 흡착제 개발
	Cost Assessment and Evaluation of Liquid Hydrogen Storage for Medium- and Heavy-Duty Transportation Applications	· 대형 트럭을 위한 온보드 액체수소 저장 관련 비용과 성능 분석 실시, 최적화된 액체수소 저장 시스템 설계 - capacity, insulation and dormancy, refueling rate, and hydrogen venting loss
	Integrated Onsite Waste-Heat-Driven Hydrogen Carrier System for Steel and Renewables	· 철강공정에 수소를 공급하기 위한 MCH기반 수소 저장 시스템 성능 및 가격 분석하는 모델 개발
Determining the Value Proposition of MaterialsBased Hydrogen Storage for Stationary Bulk Storage of Hydrogen	· 금속수소화물 기반 저장시스템 적합성 검증을 위한 세부 모델 개발	

- (EU) 청정수소 파트너십(Clean Hydrogen Partnership)을 통해 청정수소 생산 비용 저감, 수소 밸리(Hydrogen Valley) 구축 등 수소사회 전환 가속화를 위한 프로젝트 추진
  - 차세대 수소 생산 기술 저가화와 내구성 확보, 대형 수송수단(상용차, 철도, 선박)용 고성능 연료전지 스택·시스템 개발 및 실증 추진

※ (독일) 수소 관련 IPCEI(Important Project of Common European Interest) 프로젝트 62개 선정 ('21.5)하여 80억 유로 지원, '30년까지 수전해 10GW 구축에 9억 유로 투자

프로젝트명	연구내용	수행기간	예산
MORELife (Material, Operating strategy and RELiability optimisation for LIFEtime improvements in heavy duty trucks)	· 상용차에 탑재하는 연료전지 스택의 내구성 및 신뢰성 향상을 위한 소재 개발 - 전력밀도 1.2W/cm <sup>2</sup> (0.675V/cell), PGM loading ≤0.3g/kW, 10% 미만 성능 손실로 30,000시간 이상 내구성 확보 - 수명검증을 위한 가속 스트레스 시험, 열화모델 등을 개발	2021.01.09.~ 2024.08.31	€3.499.910
HyUsPRe (Hydrogen Underground storage in Porous Reservoirs)	· 유럽의 다공성 저장소에서 재생가능한 수소의 대규모 저장을 구현하는 연구 - 대규모 수소 저장의 타당성, 위험, 잠재력 평가 등 수행	2021.01.10.~ 2023.12.31	€3.514.850 (EU €2.499.850)
WINNER (World Class Innovative Novel Nanoscale Optimized Electrodes And Electrolytes For Electrochemical Reactions)	· 수소 생산 등을 위한 PCC(proton conducting ceramic) 셀 기반 효율적이고 내구성 있는 기술 플랫폼 개발	2021.01.01.~ 2023.12.31	€2.931.790
StaSHH (Standard-Sized Heavy-duty Hydrogen)	· 상용차용 연료전지 모듈에 대한 표준 개발	2021.01.01.~ 2023.12.31	€15.167.500 (EU €7.500.000)
SO-FREE (Solid oxide fuel cell combined heat and power: Future-ready Energy)	· 열병합 발전을 위한 SOFC 시스템 개발, 스택-모듈-시스템 인터페이스 표준화 - 650°C에서 작동하는 음극 지지형 스택, 전해질 지지형 스택을 각각 개발, 6천시간(9개월간) 성능 테스트 시행	2021.01.01.~ 2024.08.31	€3.045.360 (EU €2.739.090)
SHERLOHCK (Sustainable and Cost-efficient Catalyst for Hydrogen and Energy Storage Applications based on Liquid Hydrogen Carriers : Economic Viability for Market Uptake)	· LOHC 기술 시스템 가격을 3€/kg 저감하는 것을 목표로 LOHC 성능, 효율성 개선 - PGM(Pt group metal)의 부분 또는 전체를 대체할 수 있는 고효율성 및 선택성 촉매와 촉매 지지체, 내부 열 손실을 최소화하고 시공수율(space-time-yield)을 높이는 시스템 개발	2021.01.01.~ 2023.12.31	€2.563.320
SH2E (Sustainability Assessment of Harmonised Hydrogen Energy Systems: Guidelines for Life Cycle Sustainability Assessment and Prospective Benchmarking)	· FCH(Fuel Cell and Hydrogen) 시스템의 LCSA(Life Cycle Sustainability Assessment) 지침 개발 - 환경(Environmental), 경제(Economic), 사회(Social) 수명주기 평가 지침 개발	2021.01.09.~ 2024.06.30	€2.142.780 (EU €1.997.620)
SH2APED (Storage Of Hydrogen: Alternative Pressure Enclosure Development)	· 70MPa급 수소저장시스템 개발 - 기술, 안전 성능 검증 실시(선박, 모듈시스템 수준에서), 안전 및 형식 승인 표준 개발 기여	2021.01.01.~ 2023.12.31	€1.993.550
REACTT (REliable Advanced Diagnostics and Control Tools for increased lifetime of solid oxide cell Technology)	· SOE 및 rSOE 스택 및 시스템을 위한 모니터링, 진단, 예측 및 제어 도구 개발 - SOLIDpower(SP) 5kWe SOE 시스템과 rSOC xkWe 시스템에 대한 테스트 실시	2021.01.01.~ 2023.12.31	€2.712.320

프로젝트명	연구내용	수행기간	예산
PROMETEO (Storage Of Hydrogen: Alternative Pressure Enclosure Development)	· 고온 수전해를 통해 재생 가능한 열 및 전력 기반의 그린수소 생산 - 25kW급 SOE(약 15kg/일 수소 생산)과 열저장 시스템이 결합된 프로토타입 개발 및 검증	2021.01.01.~ 2024.06.30	€2.765.210 (EU) €2.499.530)
SH2APED (Offshore hydrogen from shoreside wind turbine integrated electrolyser)	· 해양 환경에서 작동할 수 있는 풍력터빈 및 수전해 연계 시스템 개발 * PEM 수전해 대표기업인 ITM Power와 풍력 관련 최고 기업 Ørsted, Siemens 참여	2021.01.01.~ 2024.12.31	€4.999.840
MultHyFuel (MULTI-FUEL HYDROGEN REFUELLING STATIONS(HRS))	· 수소충전소를 기존 충전소에 통합하기 위한 기준, 지침 등 개발 - 수소 공급 안전규칙, 안전요구사항(이격거리, 안전 장벽 검증, 허가 및 기술요구사항 등)	2021.01.01.~ 2023.12.31	€2.121.910 (EU) €1.997.410)
MegaSyn (Megawatt scale co-electrolysis as syngas generation for e-fuels synthesis)	· e-fuel 생산을 위한 고온 수전해 MW급 스케일업 기술 개발	2021.01.01.~ 2025.03.31	€17.409.400 (EU) €4.999.450)
IMMORTAL (Storage Of Hydrogen: Alternative Pressure Enclosure Development)	· 대형 트럭 연료전지 시스템에 적용 가능한 고성능 및 고내구성 MEA 개발 - 고성능 촉매, 고내구성 멤브레인, 내구성이 뛰어난 MEA, 스택 성능 저하 평가 및 수명 예측 * 전력밀도 1.2W/cm <sup>2</sup> (at 0.675V), 내구성 3만시간, 스택 내 셀 개수 줄여 연료전지 시스템 비용 절감 등 기여	2021.01.01.~ 2023.12.31	€3.825.930
HyStorIES (Hydrogen Storage In European Subsurface)	· 수소 지중저장을 위한 기술-경제적 타당성 연구 수행	2021.01.01.~ 2022.12.31	€2.499.910
HyShip (Storage Of Hydrogen: Alternative Pressure Enclosure Development)	· 액체수소 연료전지 선박 및 액체수소 공급망 구축 사업 - Topeka를 개발하며, 차량으로 화물을 하역하는 방식의 로로(RORO)화물선으로 3MW급 고분자 전해질 수소연료전지와 1,000kWh급 배터리 탑재, 일반 화물 뿐만 아니라 액체수소를 실은 탱크 컨테이너를 병커링 허브로 수송하는 역할도 수행	2021.01.01.~ 2025.03.31	€10.796.600 (EU) €7.993.940)
HYPSTER (Hydrogen pilot storage for large ecosystem replication)	· 그린수소의 지중 저장을 위한 기술적 타당성에 관한 연구 수행 - 수소 저장비용, 저장 위치, 저장소에서 추출한 수소 품질 수준 등 파악 가능	2021.01.01.~ 2023.12.31	€13.246.300 (EU) €5.000.000)
GREEN HYSLAND (GREEN HYSLAND - Deployment of a H2 Ecosystem on the Island of Mallorca)	· 유럽 최초의 H2 허브 구축(스페인 마요르카섬) - 태양광으로 수소 생산하여 섬에서 소비(운송, 산업, 에너지 등에서 수소 사용) - 7.5MW급 수전해 설치, 수소를 공급하기 위한 시설(파이프라인, 트레일러, 충전소) 보급 등	2021.01.01.~ 2025.03.31	€20.498.300 (EU) €10.000.000)
FCH2RAIL (Fuel Cell Hybrid PowerPack for Rail Applications)	· 철도에 적용할 수 있는 모듈식 연료전지 하이브리드 파워팩 개발, 구축, 테스트, 실증, 승인	2021.01.01.~ 2024.12.31	€13.341.600 (EU) €10.000.000)
e-SHyIPS (Ecosystemic knowledge in Standards for Hydrogen Implementation on Passenger Ship)	· 해상 여객 운송에서 수소의 도입을 위한 새로운 지침을 개발, 탄소 배출 제로 시나리오 달성	2021.01.01.~ 2024.12.31	€2.500.000

프로젝트명	연구내용	수행기간	예산
eGHOST (Establishing Eco-design Guidelines for Hydrogen Systems and Technologies)	· PEMFC 스택, SOE(Solid Oxide Electrolyser)에 대한 친환경 설계 지침(Guideline) 개발	2021.01.01.~ 2023.12.31	€1.133.540 (EU €998.991)
E2P2 (Eco Edge Prime Power)	· 데이터센터용 연료전지 개발 및 실증 - 데이터센터 전력 공급용 연료전지 표준 제정, 실증을 통해 데이터 수집 등	2021.01.01.~ 2023.12.31	€3.521.480 (EU €2.499.720)
COSMHYC DEMO (COMbined Solution of Metal HYdride and mechanical Compressors: DEMonstration in the Hysoparc green H2 MOBility project)	· 수소충전소용 하이브리드 압축기 개발 및 실증	2021.01.01.~ 2023.12.31	€3.773.860 (EU €2.999.640)
CoacHyfied (Coaches with hydrogen fuel cell powertrains for regional and long-distance passenger transport with energy optimized powertrains and cost optimized design)	· 지역 및 장거리 수송용 연료전지 버스 개발: 위탁 생산(OEM) 및 개조(retrofitting) - 세부 수행 내용: 연료전지 버스 운영 및 관리, 수소연료관리 및 열관리 시스템 개발, 연료전지 버스 실증(지역, 장거리), 차량 인증 관리, 비즈니스모델 및 시장전략 개발 등	2021.01.01.~ 2025.12.31	€7.329.180 (EU €4.999.440)
BEST4Hy (SustainaBIE SoluTions FOR recycling of end of life Hydrogen technologies)	· PEMFC, SOFC에 있는 PGM(백금족금속), 희토류 원소, 코발트 및 니켈 등 원자재 회수, 회수된 재료를 활용하여 SOFC 셀, PEMFC 스택을 제작하고 성능 평가도 실시 * SOFC 셀 제조 시 회수물질 최소 30% 포함, PEM 스택 제조 시 회수물질 최소 95% 포함 등	2021.01.01.~ 2023.12.31	€1.586.020
NewSOC (Next Generation solid oxide fuel cell and electrolysis technology)	· 고체산화물 셀 및 스택의 성능, 내구성 및 가격 경쟁력을 향상 - 면적 비저항 25% 감소, 셀 제조 비용 25% 절감, 열/부하 사이클링 안정성 25% 증가, 열화율 1%/1000h 미만에서 전류밀도 25% 증가 - 50cm <sup>2</sup> 이상 대면적 셀, 쏫스택 수준에서 검증 실시	2021.01.01.~ 2022.12.31	-
SWITCH (SMART WAYS FOR IN-SITU TOTALLY INTEGRATED AND CONTINUOUS MULTISOURCE GENERATION OF HYDROGEN)	· 전기분해 모드(SOE)와 고온 연료전지 모드(SOFC)를 변환하여 작동하는 가역 고체산화물 전지 개발 - 재생에너지 사용가능할 때는 전기분해 모드, 나머지는 연료전지 모드로 작동	2021.01.01.~ 2023.12.31	€3.514.850 (EU €2.499.850)
NEWELY (Next Generation Alkaline Membrane Water Electrolysers with Improved Components and Materials)	· 음이온교환막수전해(AEMWE) 비용절감을 위한 기술개발, 내구성 테스트(2천시간) 검증 수행 - 전도성 높고 안정적인 음이온 교환막, 내구성 있는 저비용 전극 개발, 고압에서 작동하는 2kW급 AEMWE 스택 실증 등 추진	2020.01.01.~ 2022.12.31	-
ShipFC (Piloting Multi MW Ammonia Ship Fuel Cells)	· 암모니아를 연료로 사용하는 모듈식 2MW급 연료 전지 개발, 최대 3천시간 운항 목표	2020.01.01.~ 2025.12.31	-
MultiPLHY (Multimegawatt high-temperature electrolyser to generate green hydrogen for production of high-quality chemical products)	· 바이오연료 정제를 위한 수소(~60kg/h)를 생산하고자 최대 2.4MW 규모의 고온수전해 시스템 설치 및 운영	2020.01.01.~ 2024.12.31	-

프로젝트명	연구내용	수행기간	예산
RUBY (Robust and reliable general management tool for performance and dUraBility improvement of fuel cell stationarY units)	· SOFC 및 PEMFC 관련 모니터링, 진단, 예측, 제어 등을 위한 알고리즘을 개발하여 연료전지 시스템 성능과 내구성 개선 추진	2020.01.01.~ 2023.12.31	-
VIRTUAL-FCS (VIRTUAL & physical platform for Fuel Cell System development)	· 연료전지 및 배터리 하이브리드 시스템 설계 최적화를 위한 툴킷 개발 - 시스템 수명, 신뢰성 및 성능을 정확히 예측하여 비용 절감, 모든 연료전지 응용분야에 대해 더 나은 하이브리드화 전략 등 추진	2020.01.01.~ 2022.12.31	-
RoRePower (Robust and Remote Power Supply)	· 가혹한 환경 조건에서 작동할 수 있는 고체산화물 연료전지시스템 및 핵심 구성 요소 개발, 제조 검증	2019.01.01.~ 2022.12.31	-
THyGA (Testing Hydrogen admixture for Gas Applications)	· 천연가스 내 수소 혼합에 대한 영향 평가, 프로토타입 개발	2020.01.01.~ 2022.12.31	-
OxiGEN (Next-generation Solid Oxide Fuel Cell stack and hot box solution for small stationary applications)	· 소형 고정 application용 All-ceramic 스택 설계 및 모듈식 핫박스 포함 혁신적인 SOFC 기술 플랫폼 개발	2019.01.01.~ 2022.12.31	-
FLAGSHIPS (Clean waterborne transport in Europe)	· 2023년까지 수소연료전지 선박 2척 개발하여 상업적으로 운영 - 200kW급 PEM 연료전지 2개 탑재된 선박과 PEM연료전지, 배터리 팩을 탑재한 선박 2척 운영	2019.01.01.~ 2022.12.31	-
H2Ports (Implementing Fuel Cells and Hydrogen Technologies in Ports)	· 연료전지 및 수소 모빌리티용 충전 기술을 적용한 항만 장비 개발 및 실증 - 스페인 발렌시아 항에서 연료전지 시스템을 적용한 리치 스택터 및 야드 트랙터를 2년간 실증	2019.01.01.~ 2022.12.31	-
HYDROSOL-beyond (Thermochemical HYDROgen production in a SOLar structured reactor:facing the challenges and beyond)	· 750kWth급 집광형 태양열 기반 열화학적 수소 생산 시스템 - 주요 목표: 기생손실 최소화(열회수율 60% 이상), 기존 Ni-ferrite foam 대비 내구성 3배 이상 향상, 수소 변환 효율 10% 이상, 실증 효율 5% 이상 등	2019.01.01.~ 2022.12.31	-
CHANNEL (Development of the most Cost-efficient Hydrogen production unit based on AnioN exchange membrane EElectrolysis)	· AEM 수전해 스택 및 BOP 개발 - 차세대 음이온 교환막과 이오노머, 비PGM 촉매, 저가 다공성 수송층, 집전체 및 양극판을 사용하여 AEM 수전해 개발, 개발한 AEMWE는 PEMWE와 비슷한 효율과 전류밀도를 보임	2020.01.01.~ 2022.12.31	-
ZEFER (Zero Emission Fleet vehicles For European Roll-out)	· 파리, 런던, 코펜하겐에 180대의 FCEV를 보급(택시, 경찰차로 활용)	2017.01.09.~ 2022.08.31	€25.883.000 (EU €4.998.840)
H2Haul (Hydrogen fuel cell trucks for heavy-duty, zero emission logistics)	· 4개 지역에 16대의 대형 수소 연료전지 트럭 개발 및 실증, 대용량 수소충전소 설치 - 다양한 환경에서 작동가능한 대형(24, 44톤) 연료전지 트럭 개발, 3가지 타입 연료전지 트럭 승인으로 안전성 입증, 수소 연료 보급 인프라 구축, 안정적인 수소공급장치 구축, 100만 km 이상 주행테스트 실시 등	2019.02.01.~ 2024.01.31	-
JIVE 2 (Joint Initiative for hydrogen Vehicles across Europe 2)	· 2017년 시작한 JIVE의 후속 프로젝트로 JIVE 및 JIVE2 프로젝트는 22개 유럽 도시/지역에서 약 300대 연료전지 버스 보급 및 운영(JIVE2에서 14개 도시에 152대 버스 보급) - 연료전지 버스 가격 625,000유로 달성, 최소 3년 이상 운행(15만 km), 대규모 차량 검증 등 실시	2019.01.01.~ 2022.12.31	€105.933.000 (EU €25.000.000)

프로젝트명	연구내용	수행기간	예산
CAMELOT (UNDERSTANDING CHARGE, MASS AND HEAT TRANSFER IN FUEL CELLS FOR TRANSPORT APPLICATIONS)	· 수송용 연료전지 시스템용 MEA 성능 향상을 위한 시뮬레이션 기반 물리화학적 특성 관찰 및 최첨단 MEA 디자인·개발 - 기존 FCH-JU 지원 프로젝트(GAIA 등)를 통해 개발된 MEA를 활용한 데이터를 기반으로 시뮬레이션 모델(FAST-FCTM) 개발, 이를 활용하여 최첨단 MEA 디자인 및 개발 수행	2020.01.01.~ 2022.12.31	-
REFHYNE (Clean Refinery Hydrogen for Europe)	· 독일 내 정유공장에 수소 생산을 위한 10MW급 수전해 설치(연간 1,300톤 수소 생산), 생산된 수소는 정유소 내 수소 파이프라인을 통해 공급	2018.01.01.~ 2022.12.31	-
EMPOWER (European methanol powered fuel cell CHP)	· 메탄올을 연료로 사용하는 고온 PEMFC 기반 5kW급 열병합 발전 시스템 개발 및 검증 - 시스템 효율 50% 향상, 메탄올 개질기 개발, 스택 효율 55% 이상 및 연료 활용도 95% 이상, 6개월 동안 2,000시간 검증 수행 등	2020.01.01.~ 2022.12.31	-
GrInHy2.0 (Green Industrial Hydrogen via steam electrolysis)	· 200Nm <sup>3</sup> /h 수소 생산율을 갖는 고성능·고내구성 고온수전해조(SOEC) 개발 - 주요 목표: 720kWe급 고온수전해조 개발, 변환효율 84% 이상, 시스템 열화율 5%/13,000시간 이하 등	2019.01.01.~ 2022.12.31	-
ANIONE (Anion Exchange Membrane Electrolysis for Renewable Hydrogen Production on a Wide-Scale)	· 고성능, 가격 효율적이고 내구성 있는 음이온 교환막 수전해 개발 및 2kW급 AEM 수전해 검증	2020.01.01.~ 2022.08.31	€2,000,000
HIGGS (Hydrogen In Gas GridS: a systematic validation approach at various admixture levels into high-pressure grids)	· EU 천연가스 그리드에 수소를 안전하게 주입하기 위한 연구하기 위한 법적, 규제 및 기술관련 연구 중점 수행	2019.01.01.~ 2022.12.31	€105,933,000 (EU €25,000,000)
DOLPHIN (Disruptive PEMFC stack with novel materials, Processes, architecture and optimized Interfaces)	· 100kW급 경량 및 소형 연료전지 스택 설계 기술 검증, 전력밀도(4.0kW/kg) 및 내구성(6천시간) 달성(under automotive application conditions)	2019.01.01.~ 2022.12.31	-
HEAVENN (Hydrogen Energy Applications for Valley Environments in Northern Netherlands)	· 수소 생산, 저장, 운송 및 최종 사용자에게 이르기까지 '수소 밸리(Hydrogen Valley)'구축을 위한 대규모 프로젝트	2018.01.01.~ 2025.12.31	-
Djewels (Delfzijl Joint Development of green Water Electrolysis at Large Scale)	· 그린 메탄올 생산을 위한 20MW 수전해 개발 및 실증	2020.01.01.~ 2025.12.31	-
EVERYWH2ERE (Making hydrogen affordable to sustainably operate Everywhere in European cities)	· 틈새시장(건설현장, 축제, 행사 등)용 수소연료전지 발전기 실증 - 총 8기(25kWe급 4기, 100kWe급 4기)의 이동형 수소연료전지 발전기 설계·실증 및 홍보·비즈니스 모델 개발 등 수행	2018.02.01.~ 2023.01.31	-
FURTHER-FC (Further Understanding Related to Transport limitations at High current density towards future ElectRodes for Fuel Cells)	· PEMFC의 병목 현상을 해결하고자 새로운 이오노머 및 전극구조 개발 - 촉매 효율 및 내구성이 향상된 CCL(catalyst coated layer, membrane or other susbstrate)의 구조 및 조성 제안 및 검증 등	2020.01.01.~ 2023.12.31	-
HEAVEN (High powEr density FC System for Aerial Passenger VEHicle fueled by liquid HydrogeN)	· 고효율 연료전지 및 극저온 기술을 기반으로 하는 파워트레인 설계	2019.01.01.~ 2022.12.31	-

- (일본) 수소의 안정적 공급을 위해 정부 주도의 국제 수소 공급망 구축 추진 중, 이전 기술을 능가하는 초고효율 발전 기술 확보에 집중
  - 수전해 시스템 고도화·대형화·모듈화 기술 확보에 중점을 두고 스택 안정성 확보를 위한 가속 열화 시험과 메탄 열분해 수소생산 기술도 지원
  - 액체수소·암모니아 활용 수소 공급망 구축 대규모 실증사업 추진, 수소를 효율적으로 저장·운반할 수 있는 에너지캐리어 확보 추진 중
  - 수소·암모니아 터빈, 제철산업 등 수소 활용분야 기술 확보 진행
  - (그린이노베이션기금) 첫 사업으로 수소 선정, 수소 생태계 구축에 3,840억엔 투자
    - ※ '30년 알칼리 수전해 구축비용 5.2만엔/kW, PEM 수전해 구축비용 6.5만엔/kW 달성을 목표로 수전해 대형화, 재생에너지 연계 수소 생산 실증 추진

사업명	주요내용		기타 (수행기관, 목표 등)
	연구개발항목	연구내용	
수소 이용 등 선도연구개발 사업 ('14~'22, '22년 12.6억엔)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 수전해 수소 제조기술 고도화를 위한 기반기술 연구개발</li> <li>· 수전해 성능, 내구성 향상 및 30엔/Nm<sup>3</sup> 가능한 수소 생산시스템 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 고온 수전해 시스템에 관한 연구</li> <li>· 변동 전원에 대한 비귀금속 촉매를 이용한 고체 고분자계 수전해의 열화, 안정성 향상 연구 개발</li> <li>· 알칼리 음이온 교환막을 이용한 저가·고성능 수전해 개발</li> <li>· 고성능·고내구성 고분자 전해질 및 고체알칼리수전해 셀 개발</li> <li>· 알칼라인 수전해 및 고분자 전해질 수전해 고도화</li> <li>· 고성능 음이온 수전해를 위한 소재 및 막전극 접합체 개발</li> <li>· 저가 AEM 수전해 시스템 실현을 위한 견고한 음이온막 소재 개발</li> <li>· 알칼리게 전해질 및 고체 고분자 전해질용 산소 발생 전극 촉매 소재 탐색 연구</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>도시바에너지시스템</li> <li>RIKEN</li> <li>AIST, 와세다대, 홋카이도대</li> <li>도쿄공과대학</li> <li>요코하마국립대학, 교토대학, 오사카 공립대학 등</li> <li>야마나시현 대학, 파나소닉, 도호쿠 대학 등</li> <li>일본촉매, 도쿄공과대학</li> <li>국립재료과학연구소</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 이전 기술을 능가하는 초고효율 발전 공통 기반 연구개발</li> <li>· 68%의 발전효율 달성할 수 있는 시스템 개발(고압연소 테스트 수행 가능한 수준)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 산소-수소연소터빈 발전용 공통기본기술 연구개발 (안정적인 산소-수소연소가 가능한 고온·고압 연소설비 개발 등)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>도쿄공과대, 오사카대, 가와사키 중공업, 도시바에너지시스템 등</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 에너지캐리어 시스템 조사·연구</li> <li>· 유기수소화물과 같은 수소를 효율적으로 저장 및 운반할 수 있는 에너지캐리어를 위한 고성능 및 저가 수소생산 기술 구축, 2030년 수소생산단가 30엔/Nm<sup>3</sup>달성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 톨루엔 직접 분해 수소 생산 시스템의 물 거동분석 및 전류 효율 향상</li> <li>· 유체 장비를 위한 내부 유량 예측 및 평가 기술 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>요코하마 대학, 도호쿠대학</li> <li>와세다대, 에바라코퍼레이션 등</li> </ul>

사업명	주요내용		기타 (수행기관, 목표 등)
	연구개발항목	연구내용	
수소 이용 등 선도연구개발 사업 (’14~’22, '22년 12.6억엔)	▶ 탄화수소 등을 활용하고 이산화탄소를 배출하지 않는 수소생산기술 개발 · 이산화탄소를 배출하지 않는 수소 생산 기술 등에 대한 요소 기술 및 시스템 개발	· 직접 메탄 개질 방법에 의한 철계 촉매를 이용한 고효율 수소 생산 시스템 연구 개발 · 메탄의 직접 분해에 의한 수소 생산기술 개발 · 메탄 열분해에 의한 수소생산기술 개발 · 메탄 활성화 및 탄소 침전 분리에 의한 수소 생산	토다워터, 에어워터 이하라산업, 도쿄과학대 AIST, IHI, 교토대 도쿄공과대, 시즈오카대, 타이요광공학
수소사회 구축 기술개발사업 (’14~’25, '22년 103.6억엔)	▶ 수소 에너지 시스템 기술 개발	· 후쿠시마 P2G 실증 프로젝트 · 수전해 시스템 부품 개선, 운영 및 관리 디지털화로 가격 저감	
	▶ 대규모 수소 에너지 활용 기술 개발 · 미사용 에너지 유래 수소 공급망 구축 · 수소에너지 이용 시스템 개발(가스터빈 등 새로운 발전시스템 개발)	· 미사용 갈탄계 탄화수소 기반 수소를 위한 대규모 해상운송 공급망 구축 시범사업 · 액체수소를 위한 대규모 수송 및 저장장비 개발 및 인수기지 설비 · 액체수소저장탱크 확대에 대한 연구개발 · 액체수소용 대구경 버터플라이 밸브 기술 개발 · 액체수소용 버터플라이 개발 · 액체수소용 대규모 밸브 기술 개발 · Dry Low NOx 고온 가스터빈 발전 장비 연구 개발 · 고효율 수소연소기관 발전시스템 관련 기술 개발	
	▶ 지역 수소 이익 활용 기술 개발	· 그린수소, 해외수소, 부생수소를 활용하는 수소사회 모델을 구축하기 위한 경제성, 온실가스 감축 효과 등 조사, 기술개발 실시	
	▶ 종합 조사 연구	· 수소 생산·저장·운송·활용에 관한 연구 · 수소 사회 실현을 위한 정보 공유 연구	
초고압 수소 인프라 본격 보급 연구개발 사업 (’18~’22, '22년 30.8억엔)	▶ 국내 규제 최적화 관련 기술 개발	· 수소 안전성 관련 연구개발, 새로운 수소 특성 기준 도입	2025년 수소 충전소 유지관리 비용 : 2억엔이하/시스템 (300Nm <sup>3</sup> /h 규모는 토지, 생산설비 가격 제외) 운영비 : 0.2억엔 이하/시스템
	▶ 수소 스테이션 비용 절감 등 관련 기술 개발	· 운영비 절감을 위한 기술 개발 - 복합 컨테이너, 서비스 중 검사 방법 · 고압 사용을 위한 고분자 소재 개발 - 실링 소재, 피팅 소재 · 차세대 수소발전소 연구개발 - 충전기술, 고압수소탱크, 수소가스 검출시스템, 대규모 수소스테이션의 계량 및 충전과 관련된 기술 등	
	▶ 국제 표준화 등에 대한 연구 개발	· 연료 품질 관련 ISO 14687 (ISO/TC 197/WG 27) 및 ISO 19880-8 (I SO/TC 197/WG 28)에 의해 개정된 새로운 사업 품목의 제안에 대한 국내 및 국제 심의를 지속 추진 · 파이프라인과 같은 수소공급인프라에 대한 기술 표준 수립 관련 조사분석연구 진행 예정(추가 공모)	
연료암모니아 이용·생산 기술 개발 (’21~’25, '22년 4억엔)	▶ 산업용 용광로에서 연료 암모니아 연소를 위한 기술 개발	· (~’23) 200kW급 암모니아 버너 제작, 200kW급 모델 연소로에서 낮은 NOx 연소조건에 대한 연구 검증 실시 · (~’25) 1MW급 암모니아 연소 버너, 요소 기술 개발	
	▶ 청색 암모니아 생산과 관련 기술 개발	· Haber-Bosch 방법을 대체하는 청색 암모니아 생산 기술 개발(CO <sub>2</sub> 90% 이상 회수, 에너지 소비 20% 절감), 향후 대규모 확장(6천톤-NH <sub>3</sub> /day)에 대비한 기술개발도 추진	

사업명	주요내용		기타 (수행기관, 목표 등)	
	연구개발항목	연구내용		
연료전지 등 활용분야 확대를 위한 산학관 협력 연구개발 사업 ('20~'24, '22년 79.1억엔)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 공통 문제 해결을 위한 기술 개발</li> <li>· 2030년 수소전기차, 업무·산업용 연료전지 활용을 목표로 PEMFC, SOFC 요소 기술 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 고효율 발전기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 귀금속(Pt) 양을 줄인 고효성 촉매, 고분자 전해질을 개발하여 전지전압 향상</li> </ul> </li> <li>· 고부하 작동 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 귀금속 양을 줄이는 고효성 촉매, 산소 투과성이 높은 이오노머 개발</li> </ul> </li> <li>· 극한 환경 아래 열화방지 등 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 낮은 ORR 활성 및 높은 HOR 활성을 가진 촉매, 내구성이 높은 전해질 및 분리막, 고온·고압 조건을 견딜 수 있는 소재, 피독 내성이 높은 촉매 등 고온·고전위·낮은 pH 등 환경에서 열화를 방지하는 기술 개발</li> </ul> </li> <li>· Cross-cutting 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 열화모델 분석 방법, 온도 분포 분석 방법, 가속 열화 프로토콜 등 개발</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· PEMFC : 거리 800km 이상, 최대전력밀도 6kW/L 이상, 최대부하지점 0.6V 이상, 수명 15년 이상, 최대 작동온도 10°C 이상, 연료전지 시스템 비용 4,000엔/kW 이하</li> <li>· SOFC : 130,000시간 이상, 65% 이상 발전효율</li> <li>· 열화 모델링 기술 수립</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 수소이용 등 고도화 첨단 기술 개발</li> <li>· 연료전지 시스템 저비용, 고성능, 고내구에 기여하는 수소저장 관련 기술 및 다양한 수소 관련 기술 고도화에 기여하는 기술 개발</li> <li>· 위 항목의 성능, 비용목표를 뛰어넘는 연료전지 실현에 도움이 되는 혁신기술개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 혁신적 수소저장기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>- CFRP(탄소 섬유 보강 폴리머) 수소탱크를 위한 설계 및 평가 분석 기술, 저가·고성능 탄소섬유 제조기술, 고압 수소용 고분자 소재 평가 기술 등</li> </ul> </li> <li>· 혁신적 연료전지 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 고성능 비백금 촉매, 고온·무가습 환경 대응하는 전해질막, 비약적 성능 향상 또는 가격 저감에 도움이 되는 연료전지 소재, 장치 개발</li> </ul> </li> <li>· 수소 관련 기술 발전을 위한 다양한 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 고효율, 내구성, 가역적으로 작동하는 SOFC 등의 성능과 작동률 개선 등 기술 개발 추진</li> </ul> </li> </ul>		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 연료전지 다용도 활용 실현 기술 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 선박용 고효율 연료전지 시스템, 내구성이 뛰어난 공랭식 연료전지 시스템 상용화</li> <li>· 연료전지 시스템 비용 절감을 위한 MEA, 전해질막 등 혁신 기술을 지속적으로 개발</li> </ul>		
그린 에너지 이노베 이션 기금 사업	수전해	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 대규모 알칼리 수전해 설비 개발, 그린 케미컬 실증</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 알칼리 수전해 시스템 비용 2030년까지 5.2만엔/kW까지 저감 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수전해 대형화·모듈화 기술개발, 암모니아 합성 등을 연계하는 공정 최적화 등 실시</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 아사히 카세히 JGC 코퍼레이션</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 대규모 PEM 수전해 개발, 열수요 탈탄소화 실증</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· PEM 수전해 시스템 비용 2030년까지 6.5만엔/kW까지 저감 <ul style="list-style-type: none"> <li>- PEM 수전해 대형화·모듈화, 내구성과 전도성이 뛰어난 막 실증, 수소 보일러 연소효율 향상 등 기술개발</li> <li>- 16MW급 모듈화, 수소 보일러 이용 열의 탈탄소화를 위한 실증 실시</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 도쿄전력홀딩스 도쿄전력 에너지 파트너 트레이, 히타치 조선 등</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 수전해 시스템 성능 평가 기술 확립</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 대형 수전해 스택(500kW급) 가속 열화 시험</li> <li>· 고압(1MPa) 상황에서의 수전해 스택(50kW급) 시험</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 국립 연구 개발 법인 산업 기술 종합 연구소</li> </ul>

사업명	주요내용		기타 (수행기관, 목표 등)
	연구개발항목	연구내용	
수소 공급망	▶ MCH 공급망 대규모 실증, MCH 저장·추출 기술 개발	· 2030년 30엔/Nm <sup>3</sup> 수소 공급 비용을 달성하기 위해 정유소 석유정제 설비 등을 활용한 수소 추출 기술 등을 확립하고자 MCH상용 공급 체인 구축을 위한 상용화 실증 사업	ENEOS
		· 2050년 20엔/Nm <sup>3</sup> 이하 가격 저감에 기여하는 저장·추출 기술 개발	ENEOS
	▶ 액체수소 관련 기기 연구 개발을 지원하는 평가 기반 기술	· 액체수소 제조, 운송·저장, 활용과 관련된 기기 등의 저가화를 위해 극저온 상태의 기계 특성을 평가하는데 기반이 되는 설비 정비	국립연구개발법인 물질· 재료연구기구
	▶ 수소 발전(혼소·전소) 실증	· 수소터빈 발전(혼소 30%)를 2030년 상용화하기 위해 개발한 연소기 등을 실제 발전소에 실증하여 연소 안정성 검증	
		대형 가스터빈 수소 혼소	JERA
		중형 가스터빈 수소 혼소·전소	간사이전력
	대형 가스터빈 수소 전소	ENEOS	
그린 에너지 이노베 이션 기금 사업	▶ 고로를 이용한 수소 환원 기술 개발	· 2030년까지 고로(소)내 수소를 활용하여 수소환 원기술 및 CO <sub>2</sub> 분리 회수 기술 등에 의해 CO <sub>2</sub> 배출량 30% 이상 저감(수소환원 10% 이상, CO <sub>2</sub> 분리 회수 20% 이상)	일본제철, JFE스틸, 고베제강소 등
		· 2030년까지 중규모 시험 고로(500m <sup>3</sup> 급 이상)에서 수소 또는 고로 배기가스의 CO <sub>2</sub> 를 활용한 저탄소 기술 개발, 바이오매스나 환원철 일부를 원료로 활용하는 등 고로에서 CO <sub>2</sub> 배출 50% 이상 저감하는 기술 실증	일본제철, JFE스틸, 고베제강소 등
	▶ 수소만으로 저품위의 철강석을 환원하는 직접수소환원기술 개발	· 직접 수소 환원 기술 개발 * 현재 고로법 대비 CO <sub>2</sub> 를 50% 이상 저감하는 직접수소환원기술	일본제철, JFE스틸 등
		· 직접환원철 이용 전기로의 불순물 제거 기술 개발	일본제철, JFE스틸, 고베제강소 등
	▶ 암모니아 공급 비용 저감	· 암모니아 합성 비용 저감을 위한 새로운 촉매 개발 · 저온·저압 공정 구축 및 실증 실시	지요다 화학 건설, 도쿄 전력 홀딩스, JERA
연료 암모 니아 공급망 (’21~ '30, 210.8 억엔)	▶ 암모니아 발전 혼소 및 전소화	· 석탄 보일러에서의 암모니아 고흡소 기술(전소 포함) 개발·실증 - 암모니아 고흡소 미분탄 버너, 암모니아 전소 버너 개발, 실증(50% 혼소)	IHI, JERA, 미쓰비시중공업
		· 가스터빈(2MW급) 암모니아 전소 기술 개발 실증	IHI, 도호쿠 대학 등
차세대 항공기 (’21~ '30, 210.8 억엔)	▶ 수소항공기용 핵심 기술 개발	· 수소항공기용 엔진 연소기·시스템 기술 개발 · 액체수소 저장탱크 관련한 기술 개발 · 수소 항공기 기체 구조 검토	가와사키중공업
		· 선박용 수소엔진 개발 및 실증운항 실시하여 신뢰성 확인	가와사키 중공업 등
차세대 선박 (’21~ '30, 210.8 억엔)	▶ 해양 수소 엔진 및 MHFS 개발	· 선박용 수소연료탱크 및 연료공급시스템 개발	가와사키 중공업
		· 암모니아 연료 태그 보트(내항선) 개발·운항, 2024년 개발 목표	니폰유센, IHI
	▶ 암모니아 엔진 탑재 선박 개발	· 암모니아 연료 기반 암모니아 수송선 개발·운항, 2026년 개발 목표, 암모니아 연료 하역, 배관 시스템 등 개발 추진	니폰유센, IHI 등
		▶ 암모니아 연료선 개발	· 암모니아 연료선 개발 등 통합형 프로젝트 추진

- (종합 분석) 유럽, 미국, 일본 등 수소기술 선도국은 앞선 기술력을 기반으로 글로벌 주도권을 강화하고, 수소사회 선도국가로서의 위치를 공고히 하고자 수소 기술개발 프로젝트에 공격적으로 투자
  - 청정수소 중심의 수소 생태계를 구축하기 위해 안정적 수소 공급과 경제성 확보를 위한 기술개발 투자 및 국가 간 협력 확대
  - 탈탄소화가 어려운 분야(수송, 발전, 산업)에서의 수소 활용을 촉진하고, 수소 사회 조기 정착을 목표로 혁신 제품 확보 및 新공정 개발에 주력
- (생산) 그린수소 공급체계로 전환을 위해 既 확보된 수전해 시스템의 대용량·고효율화 기술을 확보하고 차세대 기술(메탄 열분해 및 광분해 등)개발 프로젝트도 진행
  - (미국) 저가·고효율 수전해 시스템과 재생에너지 연계 기술과 함께 차세대 수소 생산(광분해, 열분해) 공정 및 시스템 개발에 지원
  - (유럽) 수소 생산율이 높은 고성능·고내구성 수전해 개발, 재생에너지 연계 시스템 개발 등 수소생산 가격경쟁력 향상을 위한 프로젝트에 다수 투자
  - (일본) 수소 생산단가 저감을 위해 수전해 성능 고도화와 시스템의 대용량화·모듈화 기술개발을 추진하고, 메탄 열분해 수소생산 시스템 연구개발도 지원
- (저장·운송) 지역 및 국가 간 수소를 안정적이고 경제적으로 저장·운송하는 방식에 대한 기술개발 및 실증 프로젝트 추진
  - (미국) 수소 공급 인프라(파이프라인 등) 저가화를 위한 소재 개발, 수소 혼입 타당성 평가 수행을 지원하고 있으며, 수소 저장 新소재(MOF 등) 개발에도 투자
  - (유럽) 수소 지중저장을 위한 타당성 연구와 수소 혼입을 위한 영향평가 수행
  - (일본) 수소의 안정적 공급을 위해 수소 공급망 구축에 투자하고 있으며, 에너지 캐리어 다양화, 암모니아 합성 기술개발 수소충전소 가격 절감 기술개발 등 지원
- (활용) 무탄소 연료(수소, 암모니아)의 활용 분야의 확대 및 전환을 위해 차세대 신기술 개발에 적극 투자하는 등 산업 영역 확장 중
  - (미국) 고출력 연료전지 발전시스템과 항공용 연료전지 시스템 개발에 집중 지원
  - (유럽) 수송용 연료전지 시스템 내구성 및 신뢰성 향상을 위한 기술개발 집중 지원
  - (일본) 연료전지 내구성 확대, 수소·암모니아 발전, 차세대 항공기·선박, 수소 환원기술 개발 등 대형 프로젝트 추진 중

- (한국) 그린수소 생산 기술력 제고, 안정적·경제적인 수소 저장·운송체계 다양화, 연료 전지 핵심 기술 국산화 및 내구성 확보에 집중 지원
- (생산) 그린수소 생산을 위한 수전해 시스템의 원천기술을 확보하고 화석연료, 폐자원 기반 고순도 블루수소 생산 공정 기술개발에 집중 지원

· (과기정통부) 알칼라인 및 PEM 수전해 셀·스택의 고효율화 및 고내구를 위한 원천기술을 확보하고 중저온 수전해(PCEC), 광분해 등 차세대 그린수소 생산 기술개발 지원

부처명	사업명	주요 내용
과기정통부	수소에너지혁신기술개발사업	· 단기간 상용화 가능한 알칼라인 수전해, 고분자전해질 수전해 핵심원천기술개발 지원 · 고체산화물 수전해 등 미래 유망 신기술 발굴·개발 지원
	미래수소원천기술개발사업	· 수소생산 3개분야(태양광, PCEC, 열화학) 원천연구 추진

· (산업부) 재생에너지 연계를 위한 수전해 시스템 안정성 확보와 대용량화 기술개발을 추진, 차세대 수전해(SOEC, AEM)의 핵심 기술 확보와 더불어 탄소배출 저감형 블루수소 생산 시스템 개발도 지원

부처명	사업명	주요 내용
산업부	신재생에너지 핵심기술개발사업	· 수전해 설비규모 스케일업 기술개발을 거쳐 상용화를 위한 수전해 실증 프로젝트 지원 · 대면적 고효율 고체산화물 수전해(SOEC) 평판형 셀, 스택 및 8kW급 시스템 개발 지원 · 폐자원을 이용한 무산소 분위기의 열적전환 기반 수소생산 기술 개발 · 30kg/hr급 가연성폐자원의 플라즈마 가스화 기술개발 및 합성가스의 수성가스전환과 PSA를 통한 수소생산, 연료 전지 연계활용 기술 개발
	그린수소생산및저장시스템 기술개발사업	· 그린수소 생산 시스템 및 운영 기술 개발 지원
	소재부품기술개발사업	· 수전해 핵심 소재·부품 및 스택 독자 기술 개발 지원
	신재생에너지융합원천기술 개발사업	· 폐자원의 합성가스 생산(35Nm <sup>3</sup> /hr급) 및 H <sub>2</sub> /CO 생산비 제어시스템 개발
	산업기술알키미스트 프로젝트	· 생물학적 발효 기반 고효율 고순도 바이오수소를 직접 생산을 위한 원천 기술 개발

· (국토부) 석유 코크스 활용 고순도 수소생산 실증 플랜트 구축·운영

· (환경부) 블루수소 생산을 위한 수소분리막 및 저비용 고효율 공정시스템 개발과 폐기물 가스화 기반 수소생산 시스템 기술 확보

부처명	사업명	주요 내용
환경부	폐자원에너지화기술개발사업	· 8톤/일급 가연성 폐자원 가스화 및 250kW급 합성가스 발전 공정개발
	폐플라스틱활용 연료·연료화 기술개발사업	· 혼합폐플라스틱의 가스화를 통한 합성가스기반 고순도 수소생산 기술개발
	야생생물유래친환경신소재및 공정기술개발사업	· 전발효 연계 생물전기화학 시스템 기반 고효율 바이오수소 생산 기술 개발 및 실증

- (해수부) 바이오수소 생산 실증플랜트 통합운영 및 고도화 기술을 개발하여 생산 시설 상용화 및 실증 추진

부처명	사업명	주요 내용
해양수산부	해양에너지 연계 고정식 그린수소 생산기술개발사업	· 대규모 수소에너지 자급모델 확보를 위한 해양에너지 연계 고정식 그린수소 생산시스템 개발 및 실증
	해양수산생명공학기술개발사업	· 총 부피 1m <sup>3</sup> 규모 반응기시스템 이용 해양미생물의 CO 전환반응 통한 제철소부생가스(LDG)로부터 바이오수소 5kg/일 연속생산 실증(2017년) · 서부발전 태안 IGCC 발전소 현장에 생물학적 수성가스 전환 반응시스템 (반응기 총부피 50m <sup>3</sup> ) 1식 설치 · 석탄가스화합성가스로부터 바이오수소 최대 200kg/일 생산 실증(2019년)
	해양바이오수소기술개발사업	· 서부발전 태안 IGCC 발전소 현장에 생물학적 수성가스전환 반응시스템 (반응기 총부피 50m <sup>3</sup> ) 1식 + PSA 연계 설치 · 석탄가스화합성가스로부터 바이오수소 장기(수개월) 연속 생산 실증: 500kg/일 생산 실증 목표(2023년말)

- (저장·운송) 수소 저장·운송 방식의 다양화를 위한 핵심기술을 개발하고, 고압수소 충전소 상용화를 위한 국산화 기술 개발 및 실증

- (과기정통부) 안정적이면서 대량의 수소를 저장할 수 있는 수소저장 물질과 LOHC 기반 수소저장·추출 시스템 원천기술 확보

부처명	사업명	주요 내용
과기정통부	수소혁신기술개발사업	· LOHC 원천기술개발 연구단을 통해, LOHC 소재 발굴, 수소추출 촉매 및 반응시스템 개발 지원
	기후변화대응기술개발	· 정치형 응용에 적합한 고용량 수소저장소재 발굴 및 탈수소화 촉매 개발 · 고효율 고체수소저장 소재로서 신규 Mg-Fe 및 Mg-Ni계 소재 발굴

- (산업부) 수소충전소 핵심 소재·부품의 국산화, 극저온 단열소재 기술 확보를 통한 액체수소 저장·운송 고도화, 암모니아 기반 수소 추출시스템 개발

부처명	사업명	주요 내용
산업통상자원부	신재생에너지핵심기술개발	· 암모니아 분해용 금속 구조체 촉매 개발 · 미분해 암모니아 제거를 위한 TSA 공정 기술 개발 · 수소 PSA 공정 기술 개발 · 통합 시스템 운전 기술 개발 · 수소배관용 배관 소재/강관 제조기술 개발
	소재부품기술개발	· 수소충전소용 Type 1 저장용기 개발
	자동차산업핵심기술개발	· 수소전기차용 저장용기 성능향상 및 가격저감 기술 개발

- (국토부) 고효율 수소액화 공정기술, 액체수소 저장탱크 등 수소액화를 위한 핵심 부품 (터보 팽창기, 밸브 등)과 설비의 국산화를 위한 기술 확보 지원

부처명	사업명	주요 내용
국토부	상용급액체수소플랜트 핵심기술개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 수소 액화 플랜트 공정기술 및 수소액화 핵심설비 등 개발</li> <li>- 고효율 수소액화 공정기술 개발</li> <li>- 수소액화용 극저온 터보 팽창기 개발</li> <li>- 수소 액화용 극저온 열교환기 개발</li> <li>- 수소 액화용 Cold Box 개발 등</li> </ul>

- (수송) 수소상용차부터 선박, 드론 등 다양한 모빌리티에 적용 가능한 연료전지 스택 고도화 및 경량화 기술과 시스템 설계 기술개발 및 실증

- (산업부) 수송용 연료전지 시스템 효율 및 내구성 확보를 위한 핵심 소재·부품의 성능 향상 기술을 확보, 시스템 신뢰성 검증을 위한 실증 추진

부처명	사업명	주요 내용
산업부	신재생에너지핵심기술개발사업	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 육상, 항공, 해상모빌리티용 연료전지시스템 기술개발 추진</li> <li>· 특수차량용 연료전지 파워팩 시스템 기술개발 추진</li> </ul>
	소재부품기술개발사업	· 차륜형 장갑차 수소연료전지 및 전동화 추진시스템 적용 기술개발 추진
	자동차산업핵심기술개발사업	· 차세대 xEV용 수소상용차 연료전지시스템 핵심 부품 개발 및 내구성 향상 기술개발 추진

- (국토부) 수소연료전지 기반 하이브리드 추진시스템 철도차량 최적 적용 및 운용 기술 확보

부처명	사업명	주요 내용
국토부	철도기술연구사업	· 수소연료전지를 적용한 철도차량 추진시스템 최적화 및 운용 기술개발 추진

- (해수부) 액체수소를 연료로 사용하는 소형 선박 기술개발 및 실증

부처명	사업명	주요 내용
해수부	내항선박 연료전환 및 효율향상 기술개발	· 액화수소 기반 레저어선 개발

- (발전) 연료전지 종류별 핵심 소재·부품의 저가·고내구화를 위한 기술과 분산발전 및 대용량 발전을 위한 시스템 신뢰성 향상 기술 개발

- (과기정통부) AEMFC용 비귀금속계 촉매 및 MEA 설계기술을 확보, 출력 변동성 대응을 위한 고응답·고내구 연료전지 원천기술 개발

부처명	사업명	주요 내용
과기정통부	기후변화대응기술개발사업	· 기후변화 위기에 대응하여 온실가스 감축효과가 큰 기술 분야에 대하여 세계 선도적 원천 기술 확보 및 미래 성장 동력 창출 지원

- (산업부) 건물 및 발전용 연료전지용 저가·고성능·고내구 핵심 소재·부품과 스택 모듈을 개발하고, 고효율·대용량 시스템 기술 확보 및 실증에 매진

부처명	사업명	주요 내용
산업부	신재생에너지핵심기술개발사업	· 태양광, 풍력, 수소·연료전지 등의 고효율 저가화 연구 및 분산발전 확대 등 에너지원의 융복합·다양화 추진
	소재부품기술개발사업	· 소재의 해외의존도 해소 및 미래시장 선점이 목표이며 촉매, 전해질, MEA 등 수소·연료전지 관련 과제 지원
	탄소중립 산업핵심기술개발사업	· 수소를 이용하여 췌물을 제조하는 수소환원제철 기술개발 지원
	철강분야 탄소중립을 위한 무탄소 연료전환 및 에너지 효율향상 기술개발	· 화석연료를 수소연료로 전환하기 위한 연소설비 기술개발 지원

- (안전·표준) 수소 전주기 기술의 안전과 표준을 개발하고, 재생에너지 연계 그린수소 생산 등 수소 공급·저장·활용 기술 개발 실증 추진

- (산업부) 재생에너지 연계 대규모 그린수소 생산·저장 실증, 수소모빌리티와 충전소 관련 소재·부품에 대한 안전 및 표준 개발

부처명	사업명	주요 내용
산업부	신재생에너지핵심기술개발사업	· 대규모 그린수소실증, 액체수소 용기, 탱크 및 소재 등 핵심부품 개발 지원 · 분산형 연료전지, 수소모빌리티 개발 지원 · 액체수소 저장탱크 성능평가, 충전소 등 안전성 검증 및 안전기준 개발

- (국토부) 수소 기반 에너지 공급-저장-활용 및 신재생에너지 연계 통합 시스템 개발 및 실증을 위한 수소 시범도시 구축, 도심형 수소 생산·충전 인프라 모델 개발 및 검증, 수소버스 안전성 평가기술 개발

부처명	사업명	주요 내용
국토부	수소 시범도시 인프라 기술개발	· 수소도시 타운하우스형 주거모델 개발

- (해수부) 선박용 수소 저장용기, 연료공급시스템, 적하역 관련 안전기준 개발

부처명	사업명	주요 내용
해수부	수소선박안전기준개발	· 수소연료 병커링 및 수소 적하역 안전기술 개발 · 선박용 수소 저장용기 및 연료공급시스템 안전기준 개발 · 수소 운송선박 적하역 및 수소추진선박 연료공급 통합제어 안전기준 개발 · 수소선박 누출예방 안전기준 개발

## 2.4. 산업 동향

- (생산) 유럽, 미국 등의 수전해 생산 기업들은 이미 MW급 수전해 시스템을 상용화, 풍부한 자원을 활용하여 산업 생태계 기반 구축 중이나 국내는 수전해 시스템 핵심 소재·부품 개발과 시스템 고효율화·저가화 기술개발 추진 중
- (물 전기분해) 수전해 시스템 효율과 내구성 향상을 위한 원천 연구, 대형 P2G 설치 등이 동시 진행 중이며, 고온 수전해, 음이온교환막 수전해 등 차세대 그린수소 생산 기술도 개발 중
  - (해외) 재생에너지 등 전력원과 수전해 시스템을 연계하여 대형 수소생산 프로젝트를 활발히 추진중이며, 고온수전해도 수백kW급의 시스템 개발 중
  - (국내) 엘컴텍, 수소에너지, 테크로스, 테크윈, KIER, KIST 등에서 수전해 소재부품, 시스템 개발을 진행하고 있으나 핵심소재, 시스템 기술은 해외 기술에 의존

< 물 전기분해 관련 국내의 주요 기업 >

국가	기업명	주요 현황
한국	수소에너지	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 MW급 알칼라인 수전해 스택 및 시스템 개발</li> <li>• 스택 효율 53 kWh/kg H<sub>2</sub>, 시스템효율 57 kWh/kg H<sub>2</sub></li> </ul>
	이엠솔루션	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 300 Nm<sup>3</sup>/h 알칼라인 수전해 시스템 상용화</li> </ul>
	테크로스	<ul style="list-style-type: none"> <li>• '23년 250 kW급 상용 알칼라인 수전해 (스택효율 82%) 기술 개발 중</li> </ul>
	테크윈	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 10 kW급 알칼라인 수전해 (스택효율 82%) 안전성 고도화 기술 개발 중</li> </ul>
	엘컴텍	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수백 kW급 PEM수전해 스택 및 시스템 개발 (시스템 효율, 60 kWh/kg-H<sub>2</sub>)</li> </ul>
	코오롱	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PEM수전해용 전해질막 및 MEA 개발 중</li> </ul>
	한화솔루션	<ul style="list-style-type: none"> <li>• '23년 AEM수전해 상용화 목표로 기술 개발 중</li> </ul>
	아크로랩스	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 250 kW급 AEM수전해 연구개발 진행 중</li> </ul>
	두산	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 영국 Ceres 스택기반 MW급 SOEC 시스템 개발 계획</li> </ul>
	FCI	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 이탈리아 SolidPower 스택기반 MW급 SOEC 시스템 개발 계획</li> </ul>
	미코	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국산 100kW급 스택 모듈기반 1MW급 SOEC 시스템 개발 계획</li> </ul>
	이엔코아	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국산 300kW급 SOEC 스택 모듈 개발 계획</li> </ul>
	케이세라셀	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국산 20kW급 SOEC 스택모듈 개발 중</li> </ul>
노르웨이	NEL	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3,800Nm<sup>3</sup>/h 알칼라인 수전해 시스템 상용화(스택효율 42-49kWh/kg H<sub>2</sub>)</li> <li>• Nel ASA는 수전해 수소 생산 시설 및 충전 시설을 판매하는 기업으로, 알칼라인 및 PEM 수전해 스택과 시스템을 상용화</li> <li>• 0.27 ~ 30Nm<sup>3</sup>/h 을 생산할 수 있는 소형 PEM 수전해부터 (Compact Scale, 모델C, H, S Series) 103 ~ 4,000 Nm<sup>3</sup>/h 생산이 가능한 대형 PEM수전해 (Large Scale, 모델M, MC series) 판매 중</li> </ul>
일본	Asahi Kasei	<ul style="list-style-type: none"> <li>• '20년 후쿠시마 지역 태양광 연계 10 MW급 알칼라인 수전해 설비 운영 중(FH2R)</li> <li>• 10 MW급 단일스택(스택효율 82%), '24년도 목표 35 MW급 기술 개발 중</li> </ul>
	Osaka Gas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 천연가스, LPG사용 5~300Nm<sup>3</sup>/h 추출 수소생산 시스템 상용화</li> <li>• 수소충전소 적용 및 실증</li> </ul>
독일	Siemens Energy	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Siemens Energy는 Silyzer 300의 PEM수전해 제품을 판매하고 있으며 수소생산 용량은 9~180 Nm<sup>3</sup>/h (100 ~ 2,000 kg/h)</li> </ul>
	Sunfire	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 150kW급 SOEC 시스템 양방향 운전</li> </ul>
미국	Cummins	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 캐나다 수전해 기업 Hydrogenics를 2019년 인수하여 PEM수전해 시스템인 HyLYZER 시리즈를 판매하고 있으며, 알칼라인 수전해 시스템인 HySTAT 시리즈를 판매 중</li> </ul>
	Plug Power	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MW 이상 급의 PEM수전해 시스템을 판매하고 있음.</li> </ul>
	6개 NRL FuelCell Energy	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 미국 National Lab. 컨소시엄으로 250kW급 SOEC 시스템 플랫폼 구성</li> <li>• 200kW급 SOEC 시스템 모듈 개발</li> </ul>
영국	ITM Power	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HGas 시리즈 등 PEM수전해 시스템을 판매 중</li> </ul>

- (물 광분해) 미국, 일본, 호주 등에서는 광분해 시스템의 상업적 가능성을 입증하기 위한 연구가 활발히 진행하고 있고, 현재 광전극 기반 시스템까지 연계된 실용화 기술 확보를 위한 연구개발을 추진 중
- (해외) 호주 ARENA 및 CSIRO를 비롯하여 일본 미츠비시 케미칼, INPEX 등에서는 기업과 정부 기관 주도로 광분해 기술 관련 소재 및 시스템 구성요소 및 연계 공정에 대한 전반적 기술개발에 수소생산 효율·경제성 제고 추진
- (국내) 물 광분해 기술을 상업적 제품으로 적용을 위한 시장이 아직 형성되어 있지는 않으며, 광전극 소재 개발에만 한정된 형태로 진행 중
- ※ 이엠코리아, 엘캠텍과 같은 수전해 기업과의 협력으로 물 광분해 반응기 설계/시스템 개발을 추진 하였으며, 소재 기술개발에 비해 시스템 연구는 아직 초기단계

< 물 광분해 이용 관련 국내외 주요 기업 >

국가	기업명	주요 현황
한국	엘캠텍	• 태양광-수소 생산효율 (STH) 10%, 고압수소 생산기술이 적용된 PEC 수소생산 시스템 기술개발 추진
일본	미츠비시 케미칼	• 광촉매 기반 대규모 직접 수소생산 시스템 실증

- (연료이용 수소생산) 해외는 상용 제품 개발을 추진중이나, 국내는 소형개질 반응기 설계 개발에 집중, 대형 수소생산 시스템은 해외기술에 의존
- (해외) 오사카가스(일본), 린데(독일), 칼로릭(독일) 등 주요기업은 소형 온사이트 수소 충전소(300~1,000Nm<sup>3</sup>/h) 및 중형(1,000Nm<sup>3</sup>/h 이상) 규모의 다양한 상용 제품 실증 및 보급 추진
- (국내) 제이엔케이히터, 온시스, KOGAS, KIER 등에서 개질반응기 설계 및 시스템 개발을 진행하고 있으나, 대형 수소생산 시스템은 해외 기술에 의존

< 연료 이용 관련 국내외 주요 기업 >

국가	기업명	주요 현황
한국	원일TNI	• 천연가스 사용 300Nm <sup>3</sup> /h 추출수소 생산 시스템 상용화 • 한국에너지기술연구원과 2,000kg/day급 수소 생산기술개발 추진
	제이엔케이히터	• 충전소용 개질기 250kg/day~1,000kg/day 출시(2019)
일본	Osaka Gas	• 천연가스, LPG사용 5~300Nm <sup>3</sup> /h 추출 수소생산 시스템 상용화 • 수소충전소 적용 및 실증

- (폐자원·바이오매스 가스화) 유럽, 일본 등이 선도하고 있으며, 국내는 국산기술 확보를 위한 기술개발을 진행 중
- (해외) 폐자원·바이오매스의 가스화 합성가스 생산기술은 유럽이 가장 선도하고 있으며, 일본은 실증화 단계에 진입한 상태

- (국내) Pilot 개발단계 수준으로 현재 국내 폐자원·바이오매스활용 지역 분산형 수소 생산 플랜트 시장은 해외기술을 도입하는 초기 단계

< 폐자원·바이오매스 가스화 관련 국내외 주요 기업 >

국가	기업명	주요 현황
한국	(주)대우건설	• 5톤/일급 Thermostelect 방식 가스화 용융시스템 국산화 기술 개발
	(주)유성	• 3톤/일급 난분해성 액상폐기물 가스화 용융시스템 개발
	대원 GSI	• 20톤/일급 왕겨 공기가스화 가스엔진 발전
	고등기술 연구원	• 3-5톤/일급 고정층 폐기물 가스화 용융시스템 개발 • 8톤/일급 생활폐기물 가스화 발전 시스템 개발
일본	JFE	• 1997년도 TS(Thermostelect) 기술과 제휴하여 전 세계 10여 곳에 폐기물가스화 설비를 건설, 가동 중 • 폐기물 가스화 합성가스 생산을 통해 300kW급 연료전지 발전 실증플랜트 가동
	EBARA · UEDE	• 200톤/일급 폐기물 가스화 시스템과 합성가스를 이용한 연료회수 플랜트가 상업 운전 중
독일	Lurgi	• 330톤/일급 고정층 폐기물 가스화기를 상용화하여, 100천 Nm <sup>3</sup> /h의 합성가스 공급 능력 확보 • SVZ Schwarze Pumpe에 50MW 가스화시설을 건설 운영 중
스위스	Thermostelect	• 1992년 다양한 종류의 폐기물로부터 합성가스를 생산하는 100톤/일급 가스화 용융 기술의 상용화 성공
영국	WGT	• 1993년 폐기물로부터 합성가스를 제조한 후 55kW의 가스엔진 발전기술 개발
네델란드	ECN/TNO	• 반탄화, 수열탄화 등 바이오매스 전처리기술을 접목한 고효율화 기술개발 및 바이오매스 유동층 가스화 MILENA기술, 가스정제 OLGA 기술 연계시킨 상용화 추진
스웨덴	Cortus Energy	• 바이오매스 가스화하여 60% 이상 수소 생산하는 WoodRoll 공정기술 개발, 6MW급 플랜트 건설 계획
오스트리아	Gussing	• 유동층 방식의 바이오매스 가스화 플랜트 50톤/일 규모로 2MWe, 4.5MWth 생산하는 열병합 발전설비 운영
캐나다	Enerkem	• 폐기물 대상 40톤/일 순산소 유동층 가스화 및 수증기 개질 기술개발 • 합성가스 이용 에탄올 및 메탄올 생산
미국	벨트란 · PRME	• 폐기물을 이용한 합성가스 생산을 통해 가스엔진 발전 및 스팀발전을 터키, 이태리 등에 보급하여 상업운전 중

○ (생물학적 발효) 바이오가스 활용 수소생산 시장은 도약기이나, 생물발효 기반 기업은 파일럿 규모 연구 진행 중

< 생물학적 발효 관련 국내외 주요 기업 >

국가	기업명	주요 현황
한국	바이오엑스	• 폐수 이용 미생물전해전지 기술 활용 고효율 수소 생산 기술 개발 추진
	고등기술 연구원	• 바이오가스 활용 500kg H <sub>2</sub> /d 수소 생산 플랜트 운영 중
	에코바이오 홀딩스	• 바이오가스 활용 수소생산 시스템 및 수소충전소 보급 중
미국	Southern Company Services, Inc.	• 폐바이오매스로부터 저비용 바이오수소 생산을 위한 미생물전해전지 기술 개발 중
오스트리아	Rouge H2 engineering	• 바이오가스 활용 1톤/d 급 수소 생산 (가격 5유로/kg)
일본	Air Products	• 바이오가스 활용한 수소 생산 및 충전 시스템 홋카이도에 실증

□ (저장·운송) 지역 및 국가 간 수소를 안정적이고 경제적으로 저장·운송하는 방식에 대한 기술개발 및 실증 프로젝트 추진

- (물리적 수소저장) 국내·외에서 기체수소 저장 기술개발은 상용화 기술을 확보하였고, 액체수소 저장은 플랜트 건설을 위한 핵심 기술 확보 중
  - (해외) 전 세계적으로 40여개 (395 ton/day)의 상용급 수소액화 플랜트가 건설 운영되고 있으며, 현재 세계 최고 용량은 30톤/일 규모로 3대 Major 회사만 상용화 기술 확보
  - (국내) 기체수소 튜브트레일러, 차량 및 충전소용 탱크는 국내 기업이 제작하고 있으나, 충전소용 고압용기(90MPa 이상)는 해외기술에 의존하고 있고, 국내 지자체와 대기업은 외국기술을 도입하여 국내에 수소액화플랜트 건설을 계획 중

< 물리적 수소 저장 관련 국내외 주요 기업 >

국가	기업명	주요 현황
한국	일진하이솔루스	• 자동차 및 상용차용 Type 4 저장용기 제작(현대자동차 납품)
	㈜NK	• 충전소용 Type 1 중압(50MPa) 압력용기 제작
	SK E&S	• 부생수소 활용 액화수소 플랜트를 SK인천석유화학 공장 내 건설('23)하여 국내에 액체수소 3만톤 공급, 5조원을 투입하여 보령 LNG 터미널 내 세계 최대 블루수소 생산플랜트를 건설('25)하여 청정수소 25만톤 공급 예정
	린데수소에너지	• 2023년 5월 연산 1만 3천톤 규모의 액화수소 플랜트를 가동하고, 3만 9천톤까지 확대하고자 5년간 1조원 투자
	두산에너지빌리티	• 창원에 5톤/일급 액화수소 플랜트 2022년 준공, 2023년 상업운전 돌입
일본	Samtech	• 고강도이며 경량인 알루미늄 라이너를 적용한 Type 3 압력용기 개발 • 경량과 저비용을 강점으로 소형 수소충전시스템에 적용
	JSW	• Type 1의 고내구화 사양인 'HyST300 model R'을 출시, 기존 스트레이트 구조의 압력용기에서 바디 양끝을 좁힌 구조로 길이 약 10%, 중량 약 40% 저감
미국	CPI	• Type 1 압력용기 제작
	FIBA	• Type 2 압력용기 제작
유럽	Faber	• Type 1, 2, 3 압력용기 제작
	Luxfer Gas Cylinders	• 차량 적재용 Type 3 압력용기 제작
	Hexagon Composites	• 차량용 Type 4 저장용기 제작(Audi, Daimler 납품)

- (화학적 수소저장) 국내외에서는 액상화합물(암모니아, LOHC) 기반 대량 수소 이송을 위한 기술 개발 중이며, 대량 그린 수소 저장을 위한 수전해 연계 금속 및 복합수소 화물 수소 저장 기술 개발 중

- (해외) 일본, 호주, 미국, 유럽 등은 수소 공급망 구축을 위해 암모니아, LOHC 기반 저장기술을 확보하고 있으며, 검증을 거쳐 상용화 단계에 돌입
- (국내) 암모니아-수소 추출 플랜트(1,000Nm<sup>3</sup>/h급) 실증화 기술 개발 중이나, 저온·저압 및 전기화학적 암모니아 합성, LOHC 소재 개발 등은 기초·원천기술 단계

< 화학적 수소 저장 관련 국내외 주요 기업 >

국가	기업명	주요 현황
한국	롯데정밀화학, 롯데케미칼, 삼성엔지니어링	• 한국에너지기술연구원은 분해 반응시스템, 암모니아 연소기, 미분해 암모니아와 질소 동시제거를 위한 PSA 공정 기술 개발 중이며, 한국화학연구원은 고성능 암모니아 분해 촉매 기술 개발 중
	POSCO 미래기술연구원, RIST	• 포스코 미래기술연구원 및 (재)포항산업과학연구원은 대용량 암모니아 수소추출 플랜트 개발을 위한 촉매, 반응기, 및 관련 시스템 기술 개발 중
	KIER	• 저가 그린 암모니아 생산을 위한 저압·저온 열화학적 암모니아 합성 촉매 및 공정 기술 개발 • 물과 질소를 원료로한 저압·저온 전기화학적 암모니아 합성 전극 촉매 및 공정 기술 개발
	KIST	• 다양한 LOHC 소재 개발 중 (NRF, LOHC 원천기술개발 연구단) • 2.5 Nm <sup>3</sup> /h 급 연속 LOHC 수소저장 및 추출 반응기 개발 ('21) • 국내 최초 암모니아 수소추출 시스템 실증 (1 Nm <sup>3</sup> -H <sub>2</sub> /h, '17) • 20 Nm <sup>3</sup> -H <sub>2</sub> /h 급 암모니아 수소추출 시스템 실증 (주관: CES; 참여: KIST, KIER, 현대차, 젠스엔지니어링)
	전력연구원	• LOHC로 Dibenzyltoluene 사용, 20 Nm <sup>3</sup> /h 급 batch-type 수소저장 및 추출 반응기 개발
	이수화학	• 헤테로고리형 LOHC 소재 개발 중
	원일TNI	• AB2계 금속수소화물 360톤/년 급 양산설비 구축 • 삼척 주거모델 실증사업, 120 kg-수소 저장시스템 개발 중
호주	CSIRO	• 15 kg/day 수소 생산이 가능한 분리막 반응기 기반 암모니아 분해 수소
독일	GKN	• 3,500 사이클 후 99 % 성능의 내구성 확보 • 120 kg-H <sub>2</sub> 의 HY2MEDI, 260 kg-H <sub>2</sub> 의 HY2MEGA 저장시스템 개발
일본	AHEAD	• 브루나이에서 생산된 수소를 톨루엔과 반응시켜 MCH로 전환한 후, 선박을 이용하여 액상 MCH를 일본까지 장거리 운송하는 실증 추진

○ (수소 운송) 해외는 기술개발 완료 후 해외 생산 수소의 해상 운송 및 국내 육상 운송 실증을 추진 중이며, 국내는 액체수소운송선 기본설계 포함 액체수소 인수·공급을 위한 요소 기술·제품개발 단계

- (국내) 액체수소 운송선 개념설계 기본인증(AIP)을 획득, 0.5 ton/day급 수소 액화 플랜트 기술개발 및 실증 추진 중이며, 국내에 유통되는 수소는 대부분 고압기체 방식\*

\* 유통량은 약 73만톤으로 산업단지 중심의 배관망(410km) 및 튜브트레일러(950대)로 운송

- (해외) 호주(해이스팅스 항)에서 액체수소 선적 후, 일본(고베항)에 입항하여 1,250m<sup>3</sup>급 액체수소 화물창 운용 실증 수행(일본 가와사키중공업)

< 수소 운송 관련 국내외 주요 기업 >

국가	기업명	주요 현황
한국	삼성중공업	• 16만m <sup>3</sup> 급 액체수소 운송선(멤브레인 타입) 개념설계 기본인증(AIP) 획득
	한국조선해양	• 2만m <sup>3</sup> 급 상업용 액체수소 운송선 기본인증(AIP) 획득
	한국기계연구원	• 0.5ton/day급 수소 액화플랜트 기술개발 및 실증 추진
	덕양	• 국내 최대규모 수소 배관망 운영
	(주)NK	• 튜브트레일러용(20MPa) Type 1 고압용기 제작
	한화솔루션	• 45MPa 튜브트레일러용 Type 4 저장용기 실증
일본	가와사키 중공업	• 세계 최초의 액체수소 화물창을 탑재한 운송선 건조 • HySTRA 프로젝트를 통한 호주-일본 간 액체수소 화물창 운용 실증 • 770톤/일('30년), 3만톤/일('50년) 액체수소 공급 목표 (선상인도 기준)
유럽	Air Liquide	• 전 세계 최대 수소배관망 운영(약 2,000km)
미국	Air Products	• 약 1,200km의 수소배관망 운영

- (수소 충전) 해외는 액체수소 운송선 및 수소추진선박의 액체수소 공급을 위한 터미널 실증을 완료(일본)하였고, 2,500m<sup>3</sup> 급 액체수소 저장 설비 보유 중이며, 국내는 육상 모빌리티의 수소 충전을 위한 1,000kg/day 규모의 고압수소 충전소 실증 완료

< 수소 충전 관련 국내외 주요 기업 >

국가	기업명	주요 현황
한국	광신기계	• 다이아프램식 수소압축기 개발 및 상용화 • 수소충전소 구축 업체
	GTC	• 유압 피스톤식 압축기 개발 업체
	발맥스	• 수소충전소 디스펜서 개발 업체 • 수소충전소 구축 업체
	효성	• 수소충전소 디스펜서 개발 업체 • 수소충전소 구축 업체
	제이앤케이	• 수증기 개질방식 수소제조장치 개발 업체 • 수소충전소 구축 업체
	삼정이엔씨	• 수소충전소 냉각기 개발 업체
유럽	Linde	• Ionic 방식 수소압축기 개발 및 상용화 • 수소충전소 구축 업체
	Nel	• 수전해식 수소제조장치 개발 업체 • 수소충전소 구축 업체
	mossmaritime (노르웨이)	• 세계 최초 액체수소 병커링 선박 AIP 획득(DNV-GL) • 500톤의 액체수소 저장 가능한 격납 설비 설계 기술 확보 • Loading capacity : 600m <sup>3</sup> /h, Unloading capacity : 300m <sup>3</sup> /h
미국	Hydro Pac	• 유압 피스톤식 수소압축기 개발 업체
	Fiba	• 고압 수소저장용기 개발 업체
	Haskel	• 피스톤식 수소압축기 개발 업체
	PDC	• 다이프램식 수소압축기 개발 업체
일본	Tastuno	• 수소충전소 디스펜서 개발 업체
	Tokyo Boeki	• 12인치 액체수소용 로딩암 시스템 개발 완료
	가와사키 중공업	• 세계최초 해상 액체수소 터미널 실증 • 2,500m <sup>3</sup> 급 액체수소 저장 설비 실증

□ (수송) 내연기관차 판매 금지 등 탄소배출 규제 강화 흐름에 따라 수소 모빌리티 포트폴리오 다양화를 위한 전용 플랫폼 기술 개발 추진

○ (수소전기차) 자동차 제조업체들은 수소승용차에서 수소상용차 및 지게차 등 모빌리티 적용 분야를 확대, 현대차는 수소전기차 분야에서 세계적으로 높은 수준의 기술력 보유

※ Nikola(Nikola two), Toyota(Beta truck), Daimler and Volvo(Actros), Mercedes-Benz(GenH2 Truck), JMC(truck), D Cummins(truck) 등

< 수소전기차 관련 국내외 주요 기업 >

국가	기업명	주요 현황
한국	현대자동차	<ul style="list-style-type: none"> <li>2005년부터 독자시스템 개발을 시작하여 2013년 2월 세계 최초 수소전기차 ix35 FCEV 양산</li> <li>2018년 최대 주행거리(1회 충전시 609km) 넥쏘 출시</li> <li>연료전지 전용 부품(스택, 운전장치, 수소저장, 제어 부품 등) 99% 이상 내제화</li> <li>택시 및 카셰어링 업체와의 수소전기차 협업 및 서울시와 수소전기하우스 구축</li> </ul>
일본	도요타	<ul style="list-style-type: none"> <li>2014년 12월 양산형 수소연료전기차인 미라이(Mirai)의 일반판매를 개시해 현재 연간 3,000대 가량 생산</li> <li>2017 도쿄모터쇼에서 2020년 도쿄올림픽에 출시할 수소연료전지 FC버스인 '소라(SORA)'를 공개</li> <li>수소연료전지 트럭을 개발하여 편의점 브랜드인 세븐일레븐과 협업</li> <li>2020년부터 수소연료전지와 수소탱크의 대량생산을 시작하여 연간 수소전기차 3만대 판매 목표</li> <li>2025년 수소연료전지차 가격을 하이브리드 수준까지 낮출 계획</li> </ul>
	혼다	<ul style="list-style-type: none"> <li>2008년 세계 최초로 미국과 일본 내에서 FCX 클라리티의 리스 판매 시작</li> <li>2016년 3월 양산형 수소차인 클라리티 퓨얼 셀(Clarity Fuel Cell) 출시</li> <li>수소전기차 기술개발과 동시에 수소 스테이션 SHS(Smart Hydrogen Station) 기술 보유</li> <li>GM과 2013년부터 수소연료전지차 개발을 위해 협업하여 2,000개이상의 특허 보유</li> </ul>
미국	GM	<ul style="list-style-type: none"> <li>1964년 자동차 업체 최초로 수소전기차(FCEV) 개발 시작</li> <li>혼다와 연료전지 시스템을 대량생산하기 위한 합작회사 '퓨얼셀시스템스매뉴팩처링'을 설립('17.01)</li> <li>신형 수소 연료전지 플랫폼 '서러스(SURUS, Silent Utility Rover Universal Superstructure)'를 공개('17.10)</li> <li>수소차 개발을 위해 항공기술개발업체인 Liebherr Aerospace의 프랑스지사와 파트너십을 체결('18.06)</li> <li>군용이나 항공우주 용도의 수소연료전지기술 개발을 하면서 일반 소비자용 모델 확대</li> </ul>
	Plug Power	<ul style="list-style-type: none"> <li>일본 토요타 산업기계를 중심으로 물류지게차용 수소파워팩을 개발, 지게차 상용 및 실증에 도입</li> </ul>
	볼보	<ul style="list-style-type: none"> <li>볼보는 2톤급 수소굴착기, JCB는 22톤급 수소굴착기 굴착기를 개발완료하고 실증 중</li> </ul>
독일	아우디	<ul style="list-style-type: none"> <li>캐나다 연료전지 전문기업인 Ballard Power Systems와 연료전지 공동 개발 프로젝트 진행</li> <li>2014년 11월 'LA모터쇼' 에서 아우디 A7 스포트백 'h-트론 콰트로' 공개</li> <li>아우디, 올해 3월 '수소차용 밸브' 등 수소차 관련 부품을 공급받기 위해 현대차 1차 벤더사들과 접촉</li> <li>아우디와 현대차그룹과 수소전기차 관련 연료전지 기술 파트너십 협약 체결</li> </ul>
	다임러	<ul style="list-style-type: none"> <li>1980년부터 FCEV 관련 연구 개시</li> <li>포드와 13년 1월 파트너십을 체결, Automotive Fuel Cell Cooperation Corp. 합작회사 설립</li> <li>수년간의 연구 및 개발에도 불구하고 수소차 시장진입은 아직 이르다고 판단하여 파트너십 해지를 결정</li> <li>메르세데스-벤츠는 2017년 9월 프랑크푸르트 모터쇼에서 수소엔진을 탑재한 SUV인 GLC F-셀 공개</li> </ul>

○ (철도차량) 유럽, 미국에서는 수소철도차량을 개발하고 현재 일부 지역에서는 상업 운행에 본격 돌입, 주행거리 향상을 위한 기술개발도 병행하여 추진 중

※ Nikola(Nikola two), Toyota(Beta truck), Daimler and Volvo(Actros), Mercedes-Benz(GenH2 Truck), JMC(truck), D Cummins(truck) 등

< 철도차량 관련 국내외 주요 기업 >

국가	기업명	주요 현황
한국	한국철도 기술연구원	<ul style="list-style-type: none"> <li>「수소연료전지 하이브리드 동력시스템(1.2MW 이상)을 적용한 철도차량 추진시스템 최적화 및 운용 기술개발」 과제가 '18.4월부터 경유 철도차량 대체를 목표로 개발 진행 중으로 '22년까지 기술개발 후 실증 추진</li> </ul>
	현대로템	<ul style="list-style-type: none"> <li>2021년 수소전기트램 성능시험 플랫폼 개발</li> </ul>
프랑스	Alstom	<ul style="list-style-type: none"> <li>2018년 9월 독일에서 수소열차 Coradia iLint 세계 최초 상용화</li> <li>2량 1편성, 최대 600km 주행, 최고속도 140km/h</li> <li>2021년부터 자국 내 수소열차 인증을 위한 시험주행을 진행하고, 2022년 영업 시운전 계획</li> </ul>
	SNCF	<ul style="list-style-type: none"> <li>2035년까지 경유철도차량 운영 중단을 목표로 수소-전기 듀얼모드 TER 개발 진행 (최고속도 160km/h, 최대 600km 주행)</li> </ul>
독일	LNVG	<ul style="list-style-type: none"> <li>2021년까지 수소열차 Coradia iLint를 14개 편성 도입('18년 14개 편성 계약 완료), 향후 경유 철도차량 120대를 모두 수소철도차량으로 대체 계획,</li> </ul>
	Siemens· Aachen공대 HeiterBlick GmbH	<ul style="list-style-type: none"> <li>수소철도차량 개발지원 기관으로 선정하여 Mireo Plus H 프로젝트 진행</li> <li>2량(3량) 1편성, 최대 600km (1,000km) 주행, 최고속도 160km/h,</li> <li>정부에서 210만 유로를 지원받아 향후 4년 이내에 유럽 최초로 수소전기트램 개발 예정</li> </ul>
영국	Porterbrook· Birmingham	<ul style="list-style-type: none"> <li>2040년까지 경유철도차량 퇴출을 목표로 HydroFLEX 프로젝트를 통해 수소철도차량 개발 수행</li> </ul>
중국	CRRC Qingdao	<ul style="list-style-type: none"> <li>수소연료전지 추진 트램 Skoda15T(3량) 발표(2015.3), 2019.12월 영업운행 시작 * 3분 충전하여 최고운행속도 70km/h 속도로 100km 주행할 수 있고 최대 380명 까지 탑승 가능</li> </ul>
	CRRC Datong	<ul style="list-style-type: none"> <li>2021년 1월 최대 속도 80km/h, 연속출력 700kW급, 최대 견인하중 5,000톤의 수소전기기관차 생산</li> </ul>
일본	RTRI	<ul style="list-style-type: none"> <li>2001년부터 세계 최초로 수소철도차량 연구를 시작하여 관련 기술을 확보</li> </ul>
	JR East· Hitachi· Tovota	<ul style="list-style-type: none"> <li>2020년 10월 수소철도차량 개발에 착수하여, 2022년 시험운행을 실시하고 2024년까지 실용화 계획 목표(70MPa 고압수소, 최대 140km 주행)</li> </ul>
미국	BNSF	<ul style="list-style-type: none"> <li>국방부 지원을 받아 1.2MW급 연료전지 기관차 개발하였으며, 최대 속도 64km/h, 35MPa 고압수소, 납축전지와 연료전지 하이브리드 구성, 민간 재난구조에 차량의 예비 동력원으로 사용할 계획</li> </ul>
	Stadler	<ul style="list-style-type: none"> <li>2019년부터 수소연료전지 하이브리드 철도차량 개발에 착수하여 '24년 캘리포니아에서 14.5km 주행시험 예정</li> </ul>
오스트리아	Zillertal	<ul style="list-style-type: none"> <li>2022년까지 Tyrol 지역에 수소철도차량(Coradia iLint) 5개를 도입하고자 2018년 발주 완료, 2020년 09월부터 3개월 동안 시범운행 완료하여 영업운전이 가능하도록 인증 받음</li> </ul>
캐나다	Canadian Pacific	<ul style="list-style-type: none"> <li>수소연료전지 화물 기관차 개발 착수 발표(2020.12), 자사의 Line-haul 기관차의 동력 공급 장치를 수소연료전지와 배터리로 개조할 예정</li> </ul>
스페인	Talgo	<ul style="list-style-type: none"> <li>2023년 시험운행 목표로 수소연료전지 하이브리드 철도차량 개발 착수, 2021년~2022년까지 수소연료전지 기술검증 수행 예정</li> </ul>

○ (수소선박) 유럽을 중심으로 다수의 연료전지 적용 프로젝트가 실증되고 있으며 해외 연료전지 제조사 및 전기추진 시스템 공급업체를 중심으로 선박용 연료전지 제품을 출시('21~)하고, 선급의 형식승인(type Approval) 진행 중

※ 연료전지 제조사(Ballard Power Systems, PowerCell, NedStack)에서 선박용 제품을 출시하였고, 그 외 Bloom Energy, Solid Power, Corvus Energy, 두산퓨얼셀 등에서 선박용 제품 개발 중

- (해외) Ballard Power Systems(캐)사는 선박용 시스템인 FCWave™ 출시 (200kW PEMFC), PowerCell(스)은 PowerCellution(200kW PEMFC), Curvus Energy는 320kW(스택 모듈은 토요타 제공)급 선박용 제품 출시
- (국내) 조선3사는 SOFC를 대양선박에 적용하기 위한 기술개발을 진행 중이며, 범한산업이 빈센, 에이치엘비와 함께 “울산규제특구사업”으로 수소연료전지 시스템 공급, 소형선박 실증 중

< 수소 선박 관련 국내외 주요 기업 >

국가	기업명	주요 현황
한국	두산퓨얼셀	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ceres Power(영) 스택을 이용한 선박용 SOFC 개발 중임</li> <li>• 한국조선해양과 MW급 기술개발을 위한 MOU체결('21)하고 선박용 SOFC 시스템 개발 착수</li> </ul>
	현대자동차	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 넥쏘에 적용한 연료전지(95kW급)모듈을 선박에 적용하기 위해 한국선급과 리스크 분석 및 개념승인(AIP) 수행('22)</li> </ul>
	범한산업	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 울산규제특구 사업으로 소형선박*에 연료전지시스템 적용(30kW급) 후 실증 중</li> <li>* 빈센(하이드로제니아), 에이치엘비(블루버드)</li> </ul>
	에프씨아이	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solid Power社(미) SOFC를 이용한 선박용 시스템 개발 중임</li> </ul>
북미	Ballard Power Systems	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ABB와의 기술 제휴로 200kW급 PEMFC FC Wave™ 출시, 노르웨이선급(DNV)의 형식승인 획득('22)</li> <li>• 3MW급 선박용 PEMFC 설계 완료</li> </ul>
	Corvus Energy	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 토요타의 스택모듈을 사용하여 320kW급 선박용 PEMFC 시스템 출시('22), 상용화는 '24년 예정</li> </ul>
EU	PowerCell	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 200kW PEMFC 시스템인 Powercellution 출시('22), 노르웨이 선급(DNV) 형식 승인 진행 중</li> </ul>
	NedStack	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PEMFC 500kW 기준, 선박용 대용량화(~3MW급) 시스템 개발 진행 중</li> </ul>
	Solid Power	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SOFC(BlueGen)를 대용량화, 선박용 제품으로 개발 계획 중</li> </ul>

- (드론·유인항공기) 항공용 연료전지 파워팩은 개발 초기 단계로서 아직 산업구조가 확립되지 않은 상태
  - (해외) 항공용 시장이 본격화되지 않았으나, BVLOS(비가시권) 규제 완화가 예상되는 '24년 기점으로 수소 연료전지 드론의 활용이 점차 증가할 것으로 전망
    - ※ (프랑스) 드론 제조사 Delair가 프랑스 정부의 Hyport 프로젝트(공항의 탄소배출 문제 해결 프로젝트)의 일환으로 수소 연료전지 드론 개발 및 출시
    - (영국) Intelligent Energy가 드론용 연료전지 시스템을 개발하여 세계 드론 제조사에 납품 중
  - (국내) 두산모빌리티이노베이션은 공랭식 2.6kW급 연료전지 파워팩을 상용화하였고, 양산화 단계에 진입한 유일한 기업으로 현대자동차, 한화시스템 등에서 대규모로 투자하고 있으나 아직은 개발 초기 단계
    - ※ (DMI) 2.6kW급 양산제품은 수kg Payload에 해당하며 10kg 이상의 고중량 Payload 임무 수행을 위한 수소드론용 연료전지 파워팩은 전무하며 국가 프로젝트를 통해 개발 중

< 드론·유인항공기 관련 국내외 주요 기업 >

국가	기업명	주요 현황
한국	두산모빌리티 이노베이션	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 25kg 미만 드론용 2.6kW급 수소연료전지 파워팩 시스템 상용화</li> <li>• 태양광 모니터링, 물류 배송 등 다양한 유저케이스 실증 추진 중</li> </ul>
	현대모비스	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2023년 하반기부터 수소 UAM용 연료전지파워팩 생산 계획으로 현대차가 개발한 수소연료전지를 기반으로 50kW급 파워팩 개발 완료</li> </ul>
	한화시스템	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2018년 UAM사업 검토에 착수 이후 2019년 오버에어(美)에 투자하여, 국내 주요 도시('26), 해외 주요도시('30) 서비스 개시를 목표로 사업 추진 중</li> </ul>
영국	Intelligent Energy	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 드론용 연료전지 시스템 개발 및 여러 드론 제조사에 납품 중으로, 아직 상용화에는 미치지 못함</li> </ul>
미국	Joby Aviation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5인승, 최대시속 200마일, 비행거리 150마일, 2020년 12월 미국 공군의 감함인증 획득(군용), 2024년 민간 상용 서비스 런칭 계획</li> </ul>
	Wisk Aero	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2인승, 최대시속 180km, 비행거리 100km, 2018년 시험 비행, 2020년 1월 1,000회 이상, 현재 키티호크-보잉의 벤처 WiskAero로 이관</li> </ul>
독일	Lilium	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5인승, 최대시속 300km, 비행거리 300km 2019년 이착륙 시운전 성공</li> <li>• 2024년 에어택시 상용서비스 런칭 계획</li> </ul>

- (우주발사체) 대형 수소엔진부터 상단 수소엔진까지 다양한 엔진이 필요하며, 상단 엔진의 경우 팽창기사이클(expander cycle)을 이용한 저비용 엔진 개발 추진 중
  - (해외) 1990년대 이후 수소엔진의 개발은 팽창기사이클 상단 액체수소 로켓엔진 개발 위주로 진행
  - (국내) 액체수소를 활용한 액체로켓 엔진에 대한 이론적 연구와 pilot-scale 수소/산소 엔진 개발이 학계를 중심으로 진행

< 우주발사체 관련 국내외 주요 기업 >

국가	기업명	주요 현황
한국	한국항공우주연구원	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 액체수소 엔진에 대한 개념연구</li> <li>• 상단 액체수소 엔진 선행기술개발 계획 수립</li> </ul>
미국	NASA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1950년대 이후 액체수소 발사체 다수 발사</li> <li>• 현재 달탐사를 위한 SLS 액체수소 발사체를 개발 중</li> </ul>
	Blue Origin	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Blue Origin이 상단 액체수소 엔진 탑재 New Glenn 개발 중</li> </ul>
일본	MHI	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1단과 상단에 액체수소 엔진을 탑재한 H2 시리즈 발사체 다수 발사</li> <li>• 현재 발사체 제작비를 대폭 감소시킨 H3 액체수소 발사체 개발 중</li> </ul>
중국	CALT	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 상단에 액체수소 엔진을 탑재한 장정 시리즈 엔진 개발 및 다수발사</li> <li>• 현재 달 및 화성탐사를 위한 고추력의 상단 액체수소 엔진 개발 중</li> </ul>
유럽	ESA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1단과 상단에 액체수소 엔진을 탑재한 아리안 시리즈 발사체 다수 발사</li> <li>• 현재 발사체 가격을 대폭 절감한 Arian 6 액체수소 발사체를 개발 중</li> </ul>
인도	ISRO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 현재 2단형 발사체로 GSLV M3를 개발하여 운용중이며 액체수소 상단엔진 적용 중</li> </ul>

- (발전·산업) 무탄소 연료 활용 분야의 확대 및 전환을 위한 신기술 개발에 적극 투자하고 있고, 산업 공정의 연·원료를 수소로 대체하기 위한 대형 프로젝트 추진
  - (연료전지 발전) 발전용에서는 SOFC의 보급이 크게 증가, 가정/건물용으로 사용하는 중소 규모의 발전은 대부분 PEMFC 제품이 시장을 점유해 왔으나 2019년 이후 수십kW이하 용량의 건물용 SOFC 시스템이 출시되어 시장 확대 중
    - (국내) 건물용 연료전지는 수~수십kW급 시스템에 대한 기술 혁신 및 시장 확대 진행 중이며, 최근 미래 수소 인프라를 고려하여 수소를 직접 연료로 사용하는 시스템을 각 연료전지 종류별로 활발히 개발 중
    - (해외) 유럽은 가정용과 건물용으로 주로 개발 중이며 미국의 경우 대규모 쇼핑몰이나 IT 기업의 수요가 많은 편이고 일본은 기존의 가정용 위주에서 건물용이나 비상발전용으로 점차 확대

< 연료전지 발전 관련 국내외 주요 기업 >

국가	기업명	주요 현황
한국	두산퓨얼셀	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PAFC NG 모델(발전효율 43%, 440kW급) 및 수소 모델(발전효율 49%, 440kW급) 상용화. Ceres Power와 기술협약을 통한 SOFC 모델 개발 중. 연 90MW 생산공장 운영('22년말 275MW로 확충 예정)</li> </ul>
	블룸SK퓨얼셀	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SOFC 국내 생산공장 구축(연간 50MW 규모, 경북 구미)</li> </ul>
	미코파워	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2kW, 8kW급 SOFC 시스템(발전효율 50%이상)을 건물용 시장에 상용 출시, 국내 최초 연산 2MW의 스택 공장 운영. (22년 10M 스택공장 증축 투자 예정)</li> </ul>
	에스퓨얼셀	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PEMFC 건물용 연료전지(1, 5, 10, 25 kW급) 및 50kW급 PEMFC 수소발전시스템 개발, 유럽에서 건물용 연료전지 실증 중</li> </ul>
미국·캐나다	퓨얼셀에너지	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 상용 MCFC시스템을 포스코에너지와 협업으로 국내 발전용 시장에 진출하였으나, 현재는 SOFC 기술에 집중하여 200kW급 실증, 차세대 스택, 수소생산 기술 개발 진행 중</li> </ul>
	블룸에너지	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 전해질 지지형, 평판형 SOFC 기술 상용화 완료(발전효율 53~65%, 용량 300kW급). 국내기업과 협업을 통해 국내 시장 진출. 수소전용 연료전지 및 수소생산 제품에 대한 실증도 진행 중</li> </ul>
	플러그파워	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수소 및 연료전지를 생산하는 기업으로 작년 SK 그룹으로부터 투자를 받음. 현재 국내 진출을 위한 논의 진행</li> </ul>
유럽	세레스파워	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kW급 SOFC 스택 기술 전문업체로 스택기술을 해외 시스템업체와 협업 및 기술이전 형태로 사업 전개 중</li> <li>• 독일의 보쉬사가 지분투자, 보쉬는 현재 10kW급 SOFC 시스템 실증중이며 2024년부터 양산 진입 예정</li> </ul>
	솔리드 파워	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 유럽의 실증프로젝트를 기반으로 kW급 SOFC 시스템 전개 중, 국내업체와 협력하여 제조공장 및 시장 진입 노력 진행 중</li> </ul>
일본	미쯔비시파워	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 미쯔비시파워는 250kW SOFC 가스터빈 하이브리드 발전 시스템 개발, 실증 중</li> </ul>
	파나소닉	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5kW 건물용 수소연료전지 발전기 출시, 독일 지역에 가정용 연료전지 R&amp;D 센터 설립</li> </ul>
	후지전기	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 90년대에 개발한 100kW급 PAFC 시스템 공급 중</li> </ul>

- (무탄소 연료 발전) 가스터빈 OEM 사들을 중심으로 대형 가스터빈에 수소 혼소 뿐만 아니라 전소가 가능한 기술 개발이 진행 중이며, 암모니아를 연료로 사용하기 위한 가스터빈 및 보일러 기술 개발 추진 중
- (해외) 해외 OEM 사들은 대형혼소 및 소형전소 연소기술 보유 또는 개발 진행 중이며 2030년 이후 수소 시장을 대비하여 대형전소 연소기술 개발 진행 중이며, 일본을 중심으로 암모니아 발전기술에 대한 연구개발이 추진 중
- (국내) 국내 독자 모델 수소 가스터빈 개발과 기존 가스터빈을 수소 혼소가 가능하도록 하는 retrofit 기술을 개발 중이며, 암모니아 사용을 위한 가스터빈용 암모니아 연소기와 암모니아 혼소 보일러 개발 추진 중

< 무탄소 연료 발전 관련 국내외 주요 기업 >

국가	기업명	주요 현황
한국	두산 에너지	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 자체 개발한 국산 대형 가스터빈에 수소 연료 사용이 가능한 연소기 개발 중이며 향후 실증 추진 예정</li> <li>• 포스코와 암모니아 가스터빈용 연소기 개발 중</li> </ul>
	한화임팩트	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 서부발전과 대형가스터빈 20% 수소 혼소 기술 개발 및 실증 추진 중</li> </ul>
미국	GE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 궁극적으로 모든 대형가스터빈에서 100% 수소전소를 목표로 개발 중</li> <li>• 현재 15~20% 수소혼소가 가능하며(B/E class에서는 100% 수소전소 가능) 50~60%의 혼소가 가능한 연소기 개발 중</li> </ul>
	Baker Hughes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 30%까지 수소혼소 가능한 모델 68대가 공급·운영 중</li> <li>• 100% 수소 전소가 가능한 5/12/16MW NovaLT 모델을 개발 완료하여 판매 중이며 추가로 NOx 배출량 감소가 가능한 모델 개발이 진행</li> </ul>
	Capstone	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기존 시스템의 HW나 SW 변경 없이 70% 수소혼소가 가능함을 확인</li> <li>• 수소용 인젝터에 대한 특허를 취득, 이를 적용한 시험이 최종 100% 수소 전소 목표로 시행될 예정</li> </ul>
독일	Siemens	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 중 소형 가스터빈 기종 50% 이상, 대형 가스터빈 기종에서 30% 이상 수소혼소 성능 달성</li> <li>• 소형 기종 수소혼소 비율은 단기적으로 75%에 달할 전망</li> </ul>
이탈리아	Ansaldo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• H급 가스터빈 50% 수소혼소 및 F급 가스터빈 대상으로는 30~45%까지 수소혼소 성능 확보</li> </ul>
일본	MHI	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Multiple injection dry low NOx 연소기를 이용해 G급/J급 가스터빈 수소혼소 30% 실증</li> <li>• 100% 수소 전소를 목표로 하는 연소기 개발 중</li> <li>• 암모니아 직접 연소하는 소형 가스터빈 개발 중이며, 암모니아를 cracking하여 수소, 질소, 잔류 암모니아가 혼합된 형태의 연료를 대형가스터빈에 사용하는 기술 개발도 추진 중</li> </ul>
	Kawasaki	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NEDO 프로젝트를 통해 천연가스-수소 혼소 발전 요소기술 개발 및 실증 추진 중</li> </ul>
	JERA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2050년까지 탄소배출 제로를 목표로 암모니아 보일러 보급 추진 중이며, 초초임계압(USC) 발전소를 대상으로 화석연료 대비 무탄소 연료의 혼소 비중 향상 진행 중</li> <li>• 1,000MW급 헤키난 화력발전소 암모니아 혼소 20% 실증 중</li> </ul>
	IHI	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 10MWth급 석탄 전소, 암모니아 20% 혼소 조건에서 단일버너 테스트 연구 수행</li> </ul>

- (산업 연·원료 대체) 산업 공정에서의 수소 연·원료 전환을 위한 기술개발이 실험실 및 Pilot 수준에서 국내외에서 경쟁적으로 진행 중이며 상용 기술 확보는 2040년으로 전망
- (해외) 유럽 정부와 개별기업이 연계한 수소환원제철 기술 프로젝트가 진행 중에 있으며 철강사 외 엔지니어링사, 전력, 에너지 및 바이오 전문 기관과 협업하는 컨소시엄 체제를 구축, 일본은 정부와 철강사 및 관련 기관이 협업하여 대형 국가 프로젝트로 제철공정에서의 수소 활용 프로젝트를 착수하였으며, 중국은 국영기업인 대형 철강사가 기술개발을 주도하는 형태로 추진 중
- (국내) 국내 철강사가 유일하게 보유하고 있는 유동층 기술을 기반으로 하여 수소를 활용하여 철을 제조하는 수소환원제철 기술개발 전략 수립을 하였으며 개별기업이 아닌 범산업계가 참여하는 형태로 수소환원제철 기술 및 수소 연소 설비 기술개발 추진 예정

< 산업 연·원료 관련 국내외 주요 기업 >

국가	기업명	주요 현황
한국	포스코, 현대제철, 동국제강 등	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수소환원제철 년산 100만톤급 설비 엔지니어링 및 공정 기술개발 추진 전략을 수립하였으며 산학연이 협업하는 대형 프로젝트로 진행 예정</li> <li>• 철강사 및 연소 설비 전문 기관과 협업하여 수소기반 연소설비 및 가열시스템 개발 착수 예정</li> <li>• 2040년까지 수소환원제철 공정 상용 기술 확보 예정</li> </ul>
유럽	SSAB	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 스웨덴 정부 R&amp;D 비용 지원 下 광석사, 전력사와 조인트벤처를 구성하여 3개의 핵심 프로젝트(수소저장, 무화석연료 이용 펠렛 제조 및 수소환원제철 기술) 추진 중, 원료~반제품까지 화석연료 제로화 목표로 파일럿 진행 중</li> <li>• 2025년 이후에 년산 100만톤 규모에서 실증 예정</li> </ul>
	잘즈기타	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수소환원제철 공정인 SALCOS 프로젝트를 중심으로 친환경 전력, 수소공급, 수소환원제철 프로젝트 추진 중</li> </ul>
	아르셀로미탈	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 설비 엔지니어링사와 협업하여 그린수소 활용 환원철 제조 기술 및 수소 환원철 용해를 위한 전기로 기술 개발 프로젝트 착수</li> </ul>
	티센크룹	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 설비 엔지니어링사와 협업하여 수소기반 환원철 제조 기술개발 진행 중</li> </ul>
	베스트알피네	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 재생에너지 이용 수소생산 및 플라즈마 이용 철광석 환원 기술 개발 진행 중</li> </ul>
	TATA steel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 신제선프로세스인 Hisarna Scale-up에 집중하여 수소환원제철 기술개발에 대응 중</li> </ul>
일본	일본제철, JFE, 고베제강 등	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 일본 정부와 주요 철강사가 협업하여 수소환원제철 기술개발을 포함한 제철공정에서의 수소활용 대형 프로젝트 착수</li> <li>• 2030년까지 기술 검증 완료, 2040년까지 상용기술 확보 예정</li> </ul>
중국	보무그룹	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기존 LNG를 활용한 환원철 제조 공정을 기반으로 유럽 설비 엔지니어링사와 협업하여 100% 수소를 활용하는 수소환원제철 기술개발 착수</li> </ul>
	하강그룹	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 유럽 설비 엔지니어링사와 협업하여 Shaft 방식의 수소환원제철 기술개발 착수</li> </ul>

## 2.5. 국내 R&D 투자 현황

### □ 2018~2022년 수소에너지 분야 국가 R&D 투자 현황 분석

- (총괄) 2018~2022년 간 5개 부처\*의 수소 R&D 투자규모는 8,004.8억원(281개)
  - \* 과기정통부, 산업부, 국토부, 해수부, 환경부
  - 저장·운송(1,971.1억원), 수송(1,808.9억원), 발전·산업(1,527.3억원), 생산(1,390.9억원), 안전·표준·융합·실증(1,306.6억원)
- (부처별) 산업부(5,590.0억원), 국토부(1,143.4억원), 과기부(866.4억원), 해수부(311.0억원), 환경부(94.0억원)
  - (산업부) 수송(1,569.7억원), 저장·운송(1,478.2억원), 발전·산업(1,316.6억원), 안전·표준·융합·실증(629.6억원), 생산(595.9억원)
  - (국토부) 안전·표준·융합·실증(442.2억원), 저장·운송(351.7억원), 수송(220.0억원), 생산(129.5억원)
  - (과기정통부) 생산(514.5억원), 발전·산업(210.7억원), 저장·운송(141.2억원)
  - (해수부) 안전·표준·융합·실증(234.8억원), 수송(19.2억원), 생산(57.0억원)

전체	부처별
산업부	과기정통부

< 2018~2022년 수소에너지 분야 국가 R&D 투자 현황 분석 >

## 2.6. 현황 및 시사점

- 수소경제를 선도하기 위해 세계 최고 수준의 수소 기술력을 확보하기 위한 세계의 경쟁이 점차 치열해지고 있는 중
  - 수소기술 선도국들은 앞선 기술력을 기반으로 글로벌 주도권을 강화하고, 수소사회 선도국가로의 위치를 공고히 하고자 공격적 투자를 진행
    - 청정수소 중심의 수소 생태계를 구축하기 위해 안정적 수소 공급과 경제성 확보를 위한 기술개발 투자 및 국가 간 협력 확대
    - 탈탄소화가 어려운 분야(수송, 발전, 산업)에서의 수소 활용을 촉진하고, 수소사회 조기 정착을 목표로 혁신 제품 확보 및 新공정 개발에 주력
- 국내는 수소경제 및 수소산업 활성화를 위해 수소 생산부터 공급에 이르는 수소산업 생태계 기반을 강화하고자 정부의 지원을 대폭 확대 중
  - 청정수소 공급체제로 전환하고자 수소 생산 기술력을 제고하고 해외수소 수입을 위한 안정적인 공급체계 구축하는데 적극 투자
  - 수송·발전·산업 부문에 수소가 활용되는 새로운 생태계 구축에 전력을 다하고 있음
- 탄소중립을 위해 여러 분야에서 수소를 활용하면서 수소 공급량도 증가할 것으로 예상되며 청정수소의 공급 및 활용 확대와 글로벌 기술주권 확보에 기여 가능한 기술개발 전략 수립 필요

	현황	시사점
생산	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 현재 수소 생산 과정에서는 다량의 CO<sub>2</sub> 배출</li> <li>· 국내 수전해 시스템의 기술력은 선진국 대비 미흡</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 초기 수소 수요 대응을 위해 블루수소 생산 시스템 조기 확보</li> <li>· 수전해 시스템의 대용량 고효율화 기술을 확보하여 그린수소 공급체제로 점진적 전환</li> </ul>
저장·운송	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 수소 저장 운송 인프라 기술은 해외에 의존</li> <li>· 수소 배관망 부족, 대용량 충전 인프라 부재</li> <li>· 해외수소 생산 저장 이송 공급망 구축 필요성 확대</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 국내 수소 수요에 대응하는 대규모 수소 공급 인프라 구축</li> <li>· 대용량 해외 수소를 안정적으로 운송할 수 있는 저장 물질과 운송선, 인수기지 관련 핵심기술 확보</li> </ul>
수송	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 모빌리티 관련 온실가스 배출 규제 강화</li> <li>· 수소 승용차의 기술력은 세계적으로 높으나 그 외 분야는 아직은 기술력이 부족</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 내연기관과 동등한 수준의 내구성, 주행거리, 가격 경쟁력을 보유한 수소상용차용 연료전지 시스템 확보</li> <li>· 대량 운송용 모빌리티(철도, 선박 등)의 운행 특성 및 환경을 고려한 추진시스템 개발 필요</li> </ul>
발전·산업	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 도시가스 기반 연료전지 발전 시스템 위주 및 연료전지 핵심 소재 부품 수입의존도 높음</li> <li>· 석탄발전 및 철강 시멘트 산업 등에서 화석연료 사용으로 온실가스를 배출</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 연료전지 소재 부품의 국산화, 전력변동 및 고품질 열 요구 대응성이 뛰어난 연료전지 발전시스템 확보</li> <li>· 무탄소 연료(수소, 암모니아) 활용 발전시스템 개발</li> <li>· 수소환원제철 기술 확보</li> </ul>
안전·표준·융합·실증	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 수소시설의 고압·대용량화 및 수소혼입, 이중 연료 연계기술 개발에 따라 안전 및 표준개발 시급</li> <li>· 에너지 전환 대응 및 안정적 공급체계 마련을 위해 사용화를 위한 실증기술 개발 필요</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 수소 인수기지 및 혼입·혼소 대응 안전기술 마련 시급</li> <li>· 수소산업 글로벌 경쟁력 강화를 위한 표준개발 추진</li> <li>· 규모의 경제 실현과 수요처 연계를 위한 수소 도시 실증</li> </ul>

### 3. 수소기술 미래전략(수소 기술개발 로드맵 2.0) 수립

#### 3.1. 수립방향 및 추진체계

□ 「수소 기술개발 로드맵 2.0」 수립 방향

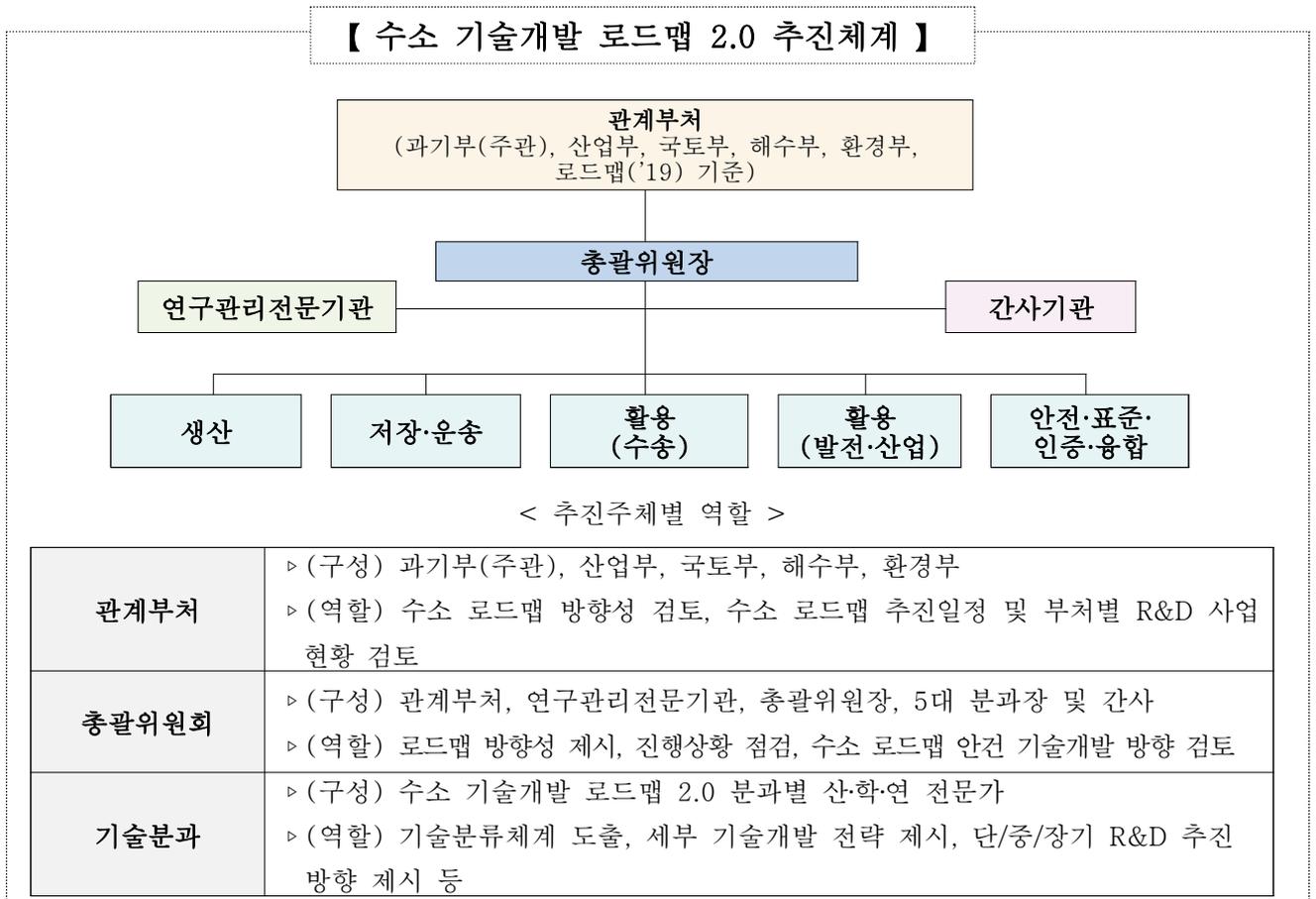
- 기존 「수소 기술개발 로드맵」 수립('19) 이후 외부 환경적·정책적 변화에 대응하여 수소 R&D 정책을 새롭게 제시할 필요성 존재

\* 2050 탄소중립 선언('20), 2030 NDC 상향('21), 수소경제 이행 기본계획('21) 등

- 탄소중립 실현 및 수소경제 이행을 위해 수소 전주기 기술개발 방향성을 설정하고 이를 체계적·지속적으로 지원할 수 있는 기술분류체계 및 기술개발 전략과 목표를 도출
- 수소 활용 분야가 확대되고 있는 상황에서 우리의 기술주도권을 확보와 민·관 협력 시너지를 창출하여 지속성을 확보할 수 있는 기술개발 로드맵 마련

□ 「수소 기술개발 로드맵 2.0」 수립 추진체계

- 과학기술정보통신부 등 관계부처와 협의하여 2019년 수소 기술개발 로드맵 수립 당시 구성한 추진체계를 기반으로 「수소 기술개발 로드맵 2.0」 수립을 위한 전문가 위원회 구성·운영



### 3.2. 기술분류체계 정립

□ 기존 공급자 중심의 기술 분류에서 나아가 기술 수요자 중심으로 재분류하여 수소 생태계를 완비하는데 핵심이 되는 수소 기술을 우선 확보하는데 중점 지원

2019년 수소 로드맵			→	2022년 수소 로드맵		
1. 생산	연료이용 수소생산	개질 반응 가스화 반응 생물학적 전환 반응	1. 생산	물 전기분해	알칼라인 수전해 고분자 전해질 수전해 고온수전해 광분해	
	폐자원/바이오매스 이용 수소 생산	가연성 폐자원 가스화 생물학적 발효 바이오매스 가스화		연료이용	개질 반응 생물학적 전환	
	물분해 수소생산	전기 분해 광 분해 열 분해		폐자원/바이오매스 이용	가연성 폐자원 가스화 바이오매스 가스화 생물학적 발효	
2. 저장·운송	물리적 수소 저장	기체 수소저장 액체 수소저장 물리흡착 수소저장	2. 저장·운송	물리적 수소 저장	기체 수소저장 액체 수소저장 융합 수소저장	
	화학적 수소 저장	액상 수소화물 저장 금속 및 무기 수소화물 저장		화학적 수소 저장	LOHC 암모니아 금속 및 복합수소화물	
	수소 운송	육상 수소 운송 해상 수소 운송		수소 운송	육상 수소 운송 해상 수소 운송 해외수소 공급 인프라	
3. 활용(수송)	육상용 수송수단	승용차 상용차 철도차량 건설기계 개인이동	3. 모빌리티	수소 충전	기체수소 충전 액체수소 충전	
	해상용 수송수단	연안선박 대양선박		육상용 수송수단	수소전기차 철도차량 건설기계	
	항공용 수송수단	드론 유인항공기		해상용 수송수단	연안선박 대양선박	
4. 활용(발전)	수소활용 공통기술	연료전지 소재 연료전지 엔지니어링	4. 발전·산업	항공·우주용 수송수단	드론·무인기(UAS) 항공기· 첨단항공모빌리티(AAM) 우주발사체	
	고정형 연료전지	마이크로 열병합 분산발전용 대용량 발전용		연료전지 발전	저온형 연료전지 고온형 연료전지	
	융·복합 발전	융합(연계) 플랫폼 기술 연료전지 네트워크		무탄소 연료 발전	수소·암모니아 가스터빈 암모니아 보일러	
	수소터빈	중대형 발전용 소형 발전용		산업 연·원료 대체	수소·암모니아 열공급시스템 수소환원제철	
5. 안전·환경·인프라	안전 기술	소재·부품·시스템 안전 시설 및 설치 안전 사고 예방 기술 품질 및 측정 기술	5. 안전·표준·인증·융합	안전 기술	소재·부품 안전 시설 및 설치 안전 사고예방	
	표준화 및 인증 기술	수소 모빌리티 표준화 수소 에너지 표준화 수소 공급 및 계량 표준화 시험인증 기술 표준화		표준 및 인증 기술	생산 및 저장 표준화 운송 및 활용 표준화 품질인증/계량 표준화	
	환경 및 경제성	환경성 평가 경제성 평가		융합실증	수소 도시 수소 항만	
	수소 공급 인프라	수소충전기술				
	수소사회 기반 구축	수소도시 실증				

□ 세부기술별 정의 및 기술범위

○ 생산

중분류	소분류	주요 내용
물 분해	알칼라인 수전해	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (정의) 알칼라인 용액을 전해질로 이용하는 전기화학반응기를 사용하여, 전기에너지로 물을 분해하여 수소를 생산하는 기술</li> <li>· (기술 범위) 알칼라인 수전해 소재, 부품, 스택, 시스템 및 운전, 설계, 전력 연계 기술 등을 포함</li> </ul>
	고분자전해질 수전해	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (정의) 고분자전해질막을 이용하는 전기화학반응기를 사용하여, 전기에너지로 물을 분해하여 수소를 생산하는 기술. 양성자전도성 고분자막을 사용하는 PEM(proton exchange membrane)수전해 와 음이온(OH-) 전도성 고분자막을 사용하는 AEM(anion exchange membrane) 수전해 등을 포함</li> <li>· (기술 범위) PEM수전해의 양이온교환막 수전해 소재, 부품, 스택, 시스템 및 운전, 설계, 전력 연계 기술 등과 AEM수전해의 음이온 교환 폴리머 합성 및 제막 기술, 수소발생 및 산소발생 촉매합성 기술, 전극막 접합체 제조기술; 스택제조기술, BoP 제작기술; 수전해조 운용기술 등</li> </ul>
	고온수전해	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (정의) 전기에너지와 열에너지를 이용하여 500°C 이상에서 전기화학반응을 통하여 물로부터 수소/(산소)를 생산하는 기술</li> <li>· (기술 범위) 산소이온전도성 고온수전해(SOEC), 프로톤이온 전도성 산화물 전해질 이용 고온수전해(PCEC) 및 이를 고온연료전지모드와 가역적으로 변환하며 사용할 수 있는 고온수전해 시스템을 구성하기 위한 셀/스택 소재 부품, 스택 및 BOP 제조기술, 시스템 제조 및 운용기술, 열/전력원 연계기술</li> </ul>
	광분해	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (정의) 태양광 조사에 의하여 일어나는 광촉매화학, 광전기화학 또는 광생물학 등 반응에 의하여 물을 분해하여 수소를 생산하는 기술</li> <li>· (기술 범위) 광전극, 광촉매 기반 물 광분해 시스템 등을 이루는 모든 소재·부품과 미생물의 direct photolysis, indirect photolysis 및 이를 모사하는 생물유래 시스템을 포함</li> </ul>
연료 이용	개질 반응	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (정의) 화석연료 기반 연료로부터 개질·가스화 반응을 통한 청정수소 생산</li> <li>· (기술 범위) 개질 반응 시스템을 이루는 촉매, 반응기 구성 소재 및 부품과 CCUS 연계 기술을 포함</li> </ul>
	생물학적 전환 반응	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (정의) 미생물의 생물학적 수성가스전환 반응을 통하여 일산화탄소로부터 바이오수소를 대량 생산하는 기술</li> <li>· (기술 범위) 화석연료 유래 CO함유 혼합가스(석탄가스화 합성가스, 산업부생가스 등)로부터 생물학적 수성가스전환 바이오수소 대량생산 기술과 CCUS 연계 기술을 포함</li> </ul>
폐자원·바이오매스 이용	가연성폐자원 가스화	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (정의) 가연성 폐자원을 가스화하여 합성가스를 생산한 후 수성가스전환 반응을 통해 수소를 생산하는 기술</li> <li>· (기술 범위) 가연성 폐자원의 가스화를 위한 전처리 기술, 합성가스를 생산하는 가스화 반응기술, 합성가스 정제기술, 수성가스전환 반응기술 및 수소분리기술 등의 단위공정으로 이뤄진 CCS 연계 통합 플랜트 기술</li> </ul>
	바이오매스 가스화	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (정의) 유기성슬러지, 축산분뇨, 농림부산물 등 유기성폐자원을 포함한 바이오매스를 가스화하여 합성가스를 생산한 후 수성가스전환 반응을 통해 수소를 생산하는 기술</li> <li>· (기술 범위) 바이오매스의 건조 및 투입기술, 합성가스를 생산하는 가스화 반응기술, 합성가스 정제기술, 수성가스전환 반응기술 및 수소분리기술 등의 단위공정으로 이뤄진 통합 플랜트 기술과 바이오매스가스화 합성가스로부터 생물학적 수성가스전환 바이오수소 대량생산 기술을 포함</li> </ul>
	생물학적 발효	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (정의) 바이오매스 및 바이오매스 유래의 유기화합물로부터 미생물 발효를 통해 수소를 생산하는 기술</li> <li>· (기술 범위) 바이오가스 개질, 암발효, 광발효, 미생물전해전지 기술 등</li> </ul>

○ 저장·운송

중분류	소분류	주요 내용
물리적 수소저장	기체수소 저장	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (정의) 수소를 기체 상태로 압축하여 고압으로 저장하는 기술</li> <li>· (기술 범위) 단위부피당 저장량 증대를 위한 다양한 모빌리티용(자동차, 버스, 트럭, 드론, 건설기계, 철도, 선박 등) 저장용기 및 시스템 기술을 포함</li> </ul>
	액체수소 저장	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (정의) 수소의 대용량 저장, 운송을 위하여 기체수소를 액체 상태로 전환하여 저장하는 기술</li> <li>· (기술 범위) 수소액화플랜트 기술, 액체수소 저장탱크 기술</li> </ul>
	융합수소 저장	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (정의) 액체, 기체, 물질흡착 등 2개 이상의 수단이 융합된 방식의 수소 저장 기술로 소재 및 저장시스템 기술 등이 포함</li> <li>· (기술 범위) 극저온압축수소(극저온/고압의 초임계상태 수소를 장시간 저장하기 위한 저장용기 및 부대장치 제작 기술) 및 흡착수소저장(흡착소재, 저장용기 및 부대장치 제작 기술) 기술 등</li> </ul>
화학적 수소저장	LOHC	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (정의) 액상유기화합물을 이용하여 화학반응을 통해 가역적으로 수소를 저장하고 추출하는 기술</li> <li>· (기술 범위) LOHC 수소저장 및 추출을 위한 LOHC 소재, 촉매, 반응시스템</li> </ul>
	암모니아	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (정의) 수소를 질소와의 화학적 반응을 통해 암모니아로 저장하고 재추출할 수 있는 기술</li> <li>· (기술 범위) 암모니아 수소저장 및 추출을 위한 합성 및 분해 촉매, 반응시스템을 포함</li> </ul>
	금속 및 복합수소화물	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (정의) 수소와 금속 또는 복합 금속간의 화학적 결합 성질을 이용하여 많은 양의 수소를 낮은 압력에서 저장할 수 있는 고 에너지 밀도 저장기술</li> <li>· (기술 범위) 고밀도 저장소재, 열역학 및 동력학 개선, 부품 및시스템 설계, 안전 및 응용 기술 포함</li> </ul>
수소 운송	육상 수소 운송	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (정의) 육상의 육로를 통하여 생산지로부터 수요처까지 효율적이며, 안전하게 수소를 저장하여 운송하는 기술</li> <li>· (기술 범위) 대용량 튜브(기체) 트레일러, 액화수소 운송 탱크로리, 수소 배관망 기술을 포함</li> </ul>
	해상 수소 운송	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (정의) 수소의 대량 운송을 위한 액체수소 운송선 화물창 기술 및 항해 중 발생하는 증발(기화) 가스를 활용한 운송선 추진시스템 또는 증발가스 처리 시스템 기술</li> <li>· (기술 범위) 화물창 단일 소재/시스템 기술, 안전운송기술, 증발가스(BOG) 활용/재액화 기술</li> </ul>
	해외수소 공급 인프라	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (정의) 해상 액체수소운송선과 육상 인수기지 간 수소 적하역 기술 및 육상 수소공급 인프라 연계기술</li> <li>· (기술 범위) 액체수소 대용량 육상 저장, 운송선·배관·차량 대상 수소 공급(인수)을 위한 모든 소재·부품·시스템을 포함</li> </ul>
수소 충전	기체수소 충전	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (정의) 수소를 차량에 일정한 시간내 안전하게 압축하여 저장하고 충전하는 기술로, 충전프로토콜은 선진국표준에 따름</li> <li>· (기술 범위) 고압 기체수소 충전기술, 액체수소의 가압/기화를 통한 고압 기체수소 충전기술, 충전을 위한 핵심 기자재 기술</li> </ul>
	액체수소 충전	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (정의) 항만 및 해양, 내륙 충전소에서 액체수소를 저장하며, 선박과 항만 설비, 수소모빌리티 등에 액체수소를 직접 공급/충전하는 기술</li> <li>· (기술 범위) 해양 터미널, 항만 병커링, 선박-선박 간 병커링, 액체수소 모빌리티 충전을 위한 엔지니어링 및 요소공정 등 시스템 기술을 포함</li> </ul>

○ 수송

중분류	소분류	주요 내용
육상용 수송수단	수소전기차	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (정의) 수소연료전지시스템이 적용된 수소승용차, 수소상용차 및 특수 차량</li> <li>· (기술 범위) 승용차 및 상용차 가격 저감과 수명 향상(100만km확보)을 위한 100kW~200kW급 이상의 연료전지 소재, 부품 및 스택, 시스템 제어기술</li> </ul>
	철도차량	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (정의) 선로를 운행할 목적으로 제작된 철도차량으로 고속철도차량, 일반 철도차량, 도시철도차량, 특수차 등이 포함</li> <li>· (기술 범위) 수소저장용기 시스템(기체/액체), 철도차량용 수소연료전지 시스템, 연료전지 기반 통합 제어시스템, 전기추진시스템, 안전성 평가기술 등</li> </ul>
	건설기계	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (정의) 건설공사용, 화물하역용 및 광업, 농업에 사용되는 기계와 유사장비 중 수소를 사용하는 기기</li> <li>· (기술 범위) 5~20kW급 연료전지시스템 가격저감 및 모듈확장 기술, 제품 다변화를 위한 파워팩 설계 및 제어기술, 건설기계 내환경(진동, 충격 등) 기술</li> </ul>
해상용 수송수단	연안선박	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (정의) 주로 국내 연안에서 수백kW의 수소연료전지를 사용하여 운항하는 중소형 선박(관광선, 차도선, 여객선 등)으로 국내 선박안전법의 적용을 받는 선박</li> <li>· (기술 범위) 수소저장시스템(압축/액체), 선박 주추진용 연료전지 시스템(~수백kW), 연료전지 기반 통합제어 시스템, 전기추진시스템 등</li> </ul>
	연안선박	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (정의) 대용량의 암모니아 엔진이나 수소연료전지를 선박의 추진/발전동력으로 사용하는 국제항해 선박(컨테이너선, 유조선 등)으로 국제해사기구(IMO)의 규정에 적용을 받는 선박</li> <li>· (기술 범위) 선박용 암모니아 엔진(~수MW), 암모니아 공급시스템(FGSS), 암모니아 개질시스템, 선박 주추진/발전용 연료전지 시스템(MW급~), 액체수소 저장시스템, 연료전지 기반 통합제어 시스템, 대용량(MW급) 전기추진시스템, 선급승인 기술 등</li> </ul>
항공·우주용 수송수단	드론	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (정의) 수백W ~ kW급 PEM 연료전지를 사용한 무인이동체 및 무인비행체</li> <li>· (기술 범위) 해당 드론의 전력 공급을 위한 연료전지 시스템</li> </ul>
	항공기	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (정의) 수십~수백kW급 연료전지시스템에 의한 전기추진 비행이 가능한 1-5인승 유인항공기 및 유인항공기</li> <li>· (기술 범위) 해당 항공기의 주·보조전력공급을 위한 연료전지 시스템</li> </ul>
	우주발사체	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (정의) 액체수소를 연료로 사용하는 엔진의 추진력을 활용하여 탑재체를 우주궤도에 진입시키거나 행성에 운송하는 수송시스템</li> <li>· (기술 범위) 액체수소 연료 엔진 및 액체수소 탱크, 액체수소 공급계통, 액체수소 엔진 시험설비 및 발사대 포함</li> </ul>

○ 발전·산업

중분류	소분류	요소 기술
연료전지 발전	저온형 연료전지	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (정의) 다양한 재생에너지의 간헐성 및 출력변동성에 대응하고 건물 및 소규모 분산전원에 적용할 수 있으며 전기와 함께 온수, 난방에 열을 활용할 수 있는 연료전지</li> <li>· (기술 범위) 연료전지 스택, 시스템 및 이에 필요한 핵심 소재/부품 기술 등</li> </ul>
	고온형 연료전지	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (정의) 중대규모 이상의 분산전원에 적용할 수 있고 전기 이외에 산업용 열공급이나 열병합 발전이 가능한 연료전지 및 이중의 연료전지 연계 시스템</li> <li>· (기술 범위) 연료전지 스택, 시스템 및 이에 필요한 핵심 소재/부품 기술 그리고 이중의 연료전지 연계 기술</li> </ul>

중분류	소분류	요소 기술
무탄소 연료 발전	수소·암모니아 가스터빈	· (정의) 수소/암모니아 연료 사용이 가능한 가스터빈 기술 · (기술 범위) 수소-천연가스 혼합 연료(체적 기준 수소 50% 이상) 또는 100% 수소 연료사용이 가능한 가스터빈 기술, 암모니아-천연가스 혼합 연료(체적 기준 암모니아 50% 이상) 또는 100% 암모니아 연료사용이 가능한 가스터빈 기술
	암모니아 보일러	· (정의) 무탄소연료 암모니아 연소 발전 보일러 모델 및 전용 버너 개발, 설계 및 제작 기술 · (기술 범위) 석탄-암모니아 혼소(열량 기준 암모니아 20% 또는 50%이상) 또는 100% 암모니아 연료사용이 가능한 암모니아 연소 버너 및 보일러 모델 개발, 보일러 핵심설비(암모니아 저장·공급 시스템, 환경오염물질 제거 설비 등) 개발
산업 연·원료 대체	수소·암모니아 기반 열공급 시스템	· (정의) 수소 및 암모니아를 이용한 연소 및 가열 설비 기술개발 · (기술 범위) 래들/턴디쉬 가열 시스템 개발, 가열로 연소 시스템 등
	수소환원제철	· (정의) 수소를 활용하여 철광석을 환원시켜 고체철을 제조하고, 전기에너지로 용해하여 쇳물을 생산하는 기술 · (기술 범위) 수소예열기술, 수소유동환원기술, 수소환원철 용해위한 新전기로 기술

○ 안전·표준·인증·융합

중분류	소분류	요소 기술
안전 기술	소재·부품 안전	· (정의) 기체·액체 수소용 금속·비금속소재 안전기술 · (기술 범위) 액체·기체수소에 대한 소재적합성(금속 및 폴리머), 용기 및 부품에 대한 안전기술
	시설 및 설치 안전	· (정의) 수소생산, 저장, 운송, 이송 및 공급설비에 대한 시설·설치 안전기술 · (기술 범위) 수소생산, 저장, 운송, 이송 및 충전에 대한 시설·설치 안전기준
	사고예방	· (정의) 수소생산, 수소저장·운송, 활용분야 시험 및 평가 기술 · (기술 범위) 수소생산, 수소저장·운송, 활용분야 안전성 평가 및 위험예측 기술
표준 및 인증 기술	생산 및 저장 표준화	· (정의) 수소 생산 및 저장에서 설비의 안전, 성능 등의 공급 프로토콜에 대한 표준화 · (기술 범위) 천연가스(수증기개질, 플라즈마개질, 고온열분해) 및 물분해(전기 분해, 광화학, 열화학) 등을 이용해 생산되는 수소 등의 생산품질, 안전, 성능 및 기체·액체 및 화학적저장 등 수소저장 방식 등에 대한 표준개발
	운송 및 활용 표준화	· (정의) 수소 운송 및 수소 산업 생태계 조성을 위한 연료전지 및 연료전지 활용 제품과 시설에 대한 표준화 · (기술 범위) 가정용, 건물용, 발전용, 수송용, 휴대용의 연료전지 분야 생태계 조성을 위한 제품규격, 안전 및 성능평가, 설치 등에 대한 표준개발 및: 수소 전기차, 선박, 열차, 드론 및 건설기계 등 연료전지 모듈 응용분야 생태계 조성을 위한 제품규격, 안전 및 성능평가 등에 대한 표준개발
	품질인증 및 계량 표준화	· (정의) 수소의 생산, 저장, 운송 과정에서 품질인증 및 계량 정확도 향상을 위한 측정기술·장치, 소급성 구축 및 표준개발 · (기술 범위) 품질인증: 등급별 수소연료의 품질인증을 위한 SI-소급성 표준 데이터, 자동소급 분광측정기술·장치 개발, 수소품질 관리·인증체계 표준개발 및 계량: 기체·액체 수소 계량을 위한 측정기술·장치, 소급성 구축용 기반시설 개발 및 표준화. 충전 프로토콜 인증평가를 위한 제품요건, 안전 및 성능평가 등 표준개발
융합실증기술	수소 도시	· (정의) 수소를 도시와 산업의 주요 에너지원으로 활용하는데 필요한 생산·공급·이송망과 물류체계를 구축하고 수소도시에 활용하기 위한 실증기술
	수소 항만	· (정의) 수소 생산기술의 국내외 실증 및 기체·액체 수소 공급기지/인수기지/분배 기지의 국내외 실증기술

### 3.3. 기술개발 전략 방향 도출

#### 3.3.1. 중점 추진과제

분과	전략	소분류	중점 추진과제
생산	CO <sub>2</sub> -free 수소생산 시스템 조기 국산화	알칼라인 수전해	▶ 알칼라인 수전해 소재·부품과 스택·시스템 저가·고효율화
		고분자전해질수전해	▶ PEM 및 AEM 수전해 소재·부품과 스택·시스템 저가·고효율화
		고온수전해	▶ 고온수전해 시스템 고효율화·대용량화 기술개발
		광분해	▶ 광전기화학 및 광화학 수소생산 고효율·대면적화 ▶ 광 미생물 수소생산 효율 향상
	탄소배출 저감 블루수소 생산 기술 구축	개질 반응	▶ 중·소형 블루수소 생산시스템 실증 ▶ 탄소배출 저감형 청록수소 생산 기술 개발
		생물학적 전환반응	▶ 바이오수소 대량생산기술 개발 및 실증
	탄소자원 재활용 지역분산형 청정수소 생산 플랜트 확보	가연성폐자원가스화	▶ 가연성폐자원 가스화 수소생산 플랜트 개발 및 실증
바이오매스가스화		▶ 바이오매스 가스화 수소생산 플랜트 개발 및 실증	
생물학적 발효		▶ 고효율 바이오수소 생산 공정 기술 개발	
저장·운송	국내 수소 수요에 대응 가능한 저장·운송 기술 조기 상용화	기체수소 저장	▶ 수소전기차 저장시스템 가격저감 기술 개발 ▶ 모빌리티 및 충전소용 고효율 저장용기 개발
		액체수소 저장	▶ 수소액화플랜트 및 액체수소 저장탱크 개발
		융합수소 저장	▶ 고밀도·고안전 수소 저장 시스템 개발
	해외 수소의 대량 및 장거리 운송을 위한 경제적·안정적 저장 기술 확보	LOHC	▶ CO <sub>2</sub> -free 연속 LOHC 수소 저장·추출 통합 시스템 개발
		암모니아	▶ 저온·저압 암모니아 합성기술 개발 ▶ 고효율 암모니아 분해 플랜트 운영 기술 개발
		금속 및 복합수소화물	▶ 고내구성·고용량 고체수소저장 소재 개발
	국내·외 생산 수소의 효율적 운송을 위한 체계 구축	육상 수소 운송	▶ 대용량 튜브트레이러 및 탱크로리 기술 개발 ▶ 중장거리 수소 이송 배관망 구축
		해상 수소 운송	▶ 액체수소 운송선 화물창 및 추진시스템
		해외수소 공급 인프라	▶ 액체수소 적하역 및 수소 공급을 위한 인프라 연계 시스템 개발
	모빌리티 확대에 대비한 고속 및 직접 충전 기술 확보	기체수소 충전	▶ 수소 충전 국산 기술 확보 ▶ 저온/고속/직접 방식의 수소 충전시스템 개발
		액체수소 충전	▶ 대용량 액체수소 저장/공급 해상터미널 설계 ▶ Ship-to-Ship 병커링 실증기술 개발
	수송	장거리·대용량 운송을 위한 육상 수소 모빌리티 성능 고도화	수소전기차
철도차량			▶ 철도 운행 환경 및 주행 특성을 고려한 연료전지 부품·시스템 기술개발
건설기계			▶ 수소연료전지 파워팩 저가화·양산화 핵심 기술개발
온실가스 배출규제 대응을 위한 무탄소 연료 활용 고효율 선박 시스템 개발		연안선박	▶ 수백 kW급 선박용 연료전지시스템 기술 개발 및 실증 ▶ 해양환경에 대응 가능한 부품·스택 내구성 확보
		대양선박	▶ 대용량(MW급) 연료전지 시스템 효율 향상 ▶ 무탄소 연료 기반 선박추진시스템 기술 확보
비행체용 동력원의 경량화 및 신뢰성·성능 향상 기술 확보		드론	▶ 드론용 연료전지 시스템 경량화 기술 확보
		항공기	▶ 항공기용 연료전지 시스템 고효율화 기술 확보
	우주발사체	▶ 우주발사체 상단용 액체수소 엔진 개발	

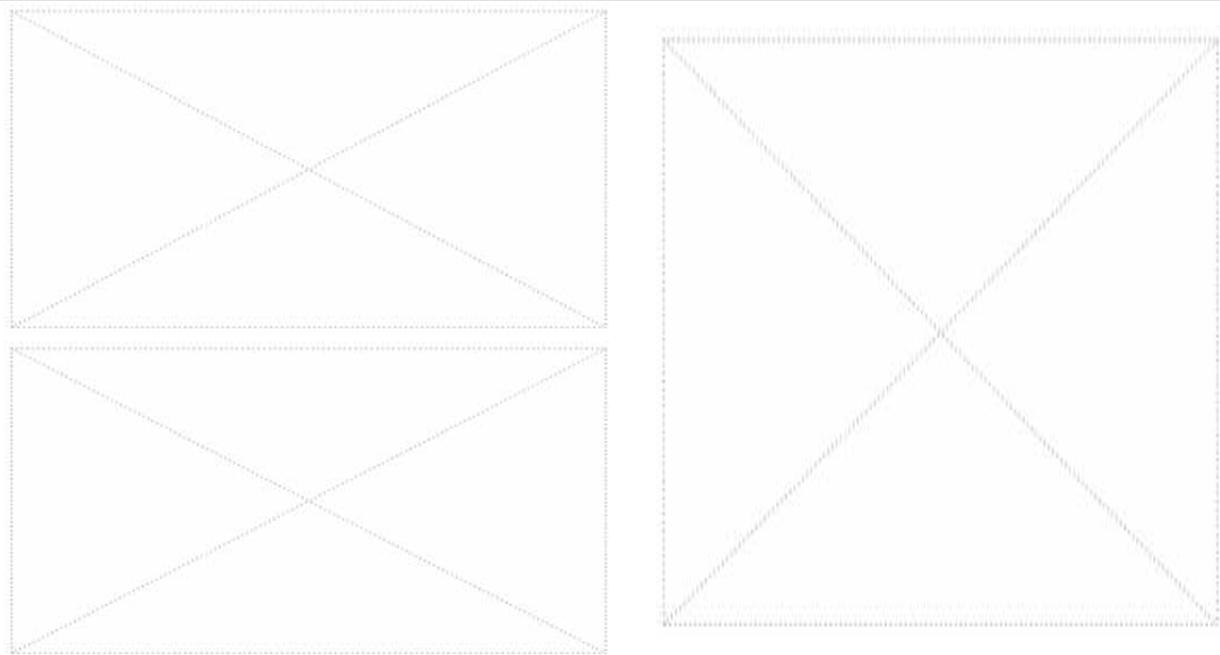
분과	전략	소분류	중점 추진과제
발전산업	고효율, 부하변동대응형 열병합 발전 시스템 개발	저온형 연료전지	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 핵심소재/부품 국산화 기술 확보</li> <li>▶ 전력변동 대응 고응답성 연료전지 개발</li> <li>▶ 연료전지 시스템 신뢰성 확보, 가격저감, 내구성 증대 등 품질 향상 기술 확보</li> </ul>
		고온형 연료전지	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 초고효율 복합발전 구현 기반 기술 개발</li> <li>▶ 청정수소 기반 고효율 열병합 시스템 개발</li> <li>▶ 연료전지 시스템 고효율화 핵심 BOP 및 시스템 기술 개발</li> </ul>
	온실가스 배출 규제 대응을 위한 무탄소 연료 발전 시스템 개발	수소·암모니아 가스터빈	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 발전용 수소 혼소/전소 가스터빈 개발 및 실증</li> <li>▶ 수소 가스터빈 개발 인프라 구축</li> <li>▶ 발전용 암모니아 혼소 및 전소 가스터빈 개발</li> </ul>
		암모니아 보일러	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 암모니아 혼소/전소 연소 기술 및 보일러 모델 개발</li> <li>▶ 발전용 암모니아 공급인프라 구축 및 안전기술 개발</li> <li>▶ 암모니아 혼소/전소 발전소 실증 및 운영</li> </ul>
	탄소연료 대체위한 무탄소 연·원료 산업 공정 기술 개발	수소·암모니아 기반 열공급 시스템	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 수소연료 기반 래들/턴디쉬 가열 시스템 개발</li> <li>▶ 수소·암모니아 연료 가열로 연소 시스템 개발</li> </ul>
		수소환원제철	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 수소 예열 기술</li> <li>▶ 수소 유동로 기반 환원철 제조 및 엔지니어링 기술</li> <li>▶ 수소 환원철 용해위한 新전기로 공정 및 엔지니어링 기술</li> </ul>
안전·표준·인증·융합	수소산업 전주기 안전성 확보와 시나리오 기반 위험 예측을 위한 예방적 안전관리 기술 확보	소재·부품 안전	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 기체수소·액체수소 금속재료 취성 및 수소적합성</li> <li>▶ 액체수소 용기·부품 안전성 평가 기술 개발</li> </ul>
		시설 및 설치 안전	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 수소생산시설 안전검사기술</li> <li>▶ 수소저장·운송 및 이송시설 안전검사기술</li> <li>▶ 수소발전시설 안전검사기술</li> </ul>
		사고예방	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 수소사고발생 예측기술</li> <li>▶ 이종연료 연계 수소화재폭발 사고예방</li> </ul>
	국내 수소기술 국제표준화 및 원천인증기반 구축	생산 및 저장 표준화	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 수전해 수소생산 표준기술 개발</li> <li>▶ 암모니아 추출기 부품의 성능·안전 표준기술 개발</li> <li>▶ 액화수소 저장 용기/충전소의 성능 및 안전 표준</li> <li>▶ 수소충전소 안전 및 부품 성능 표준개발</li> </ul>
		운송 및 활용 표준화	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 선박, 드론, 건설기계용 연료전지 파워시스템의 성능 및 안전 표준기술 개발</li> <li>▶ 융·복합발전 연료전지 시스템의 성능 및 안전 표준</li> </ul>
		품질 인증 및 계량 표준화	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 수소 불순물의 SI-소급성 표준데이터 개발</li> <li>▶ 등급별 수소품질 표준 인증체계 개발</li> <li>▶ 표준유량 기반 구축 및 국가 측정소급성 확보</li> </ul>
	수소를 도시와 산업의 주요 에너지원으로 활용하기 위한 국내외 실증기술 확보	수소 도시	
수소 항만			

### 3.3.2. 분과별 세부 추진전략

□ 중점 추진과제별 기술개발 전략과 달성 목표를 제시하였고, 기술개발 목표를 달성하기 위해 필요한 법·제도, 인력양성, 실증·상용화 지원, 국제협력 방안을 함께 도출

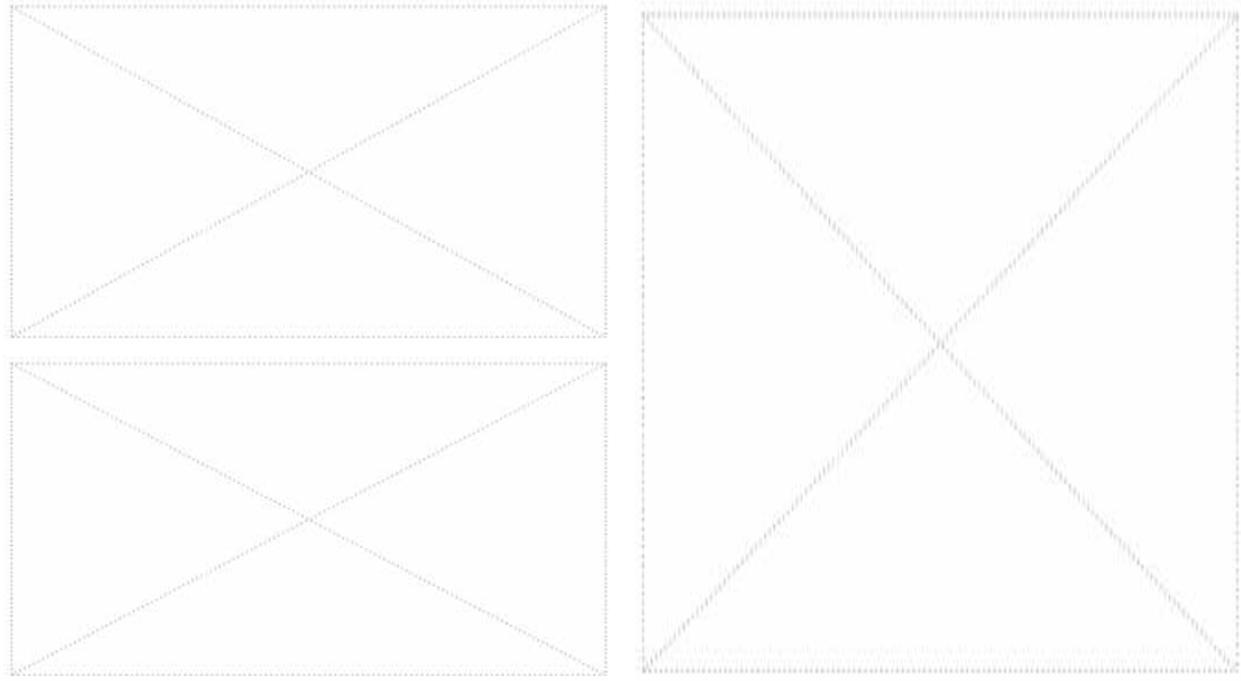
○ 생산분과 세부 추진전략

<b>기술개발 전략</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (물분해) 고효율·저가·고내구성 수전해 핵심 소재 및 부품 기술의 국산화 및 대면적화 기술 개발, 수전해 스택·시스템 설계 및 제작 기술, 운전 특성 및 열화분석, 가속열화 및 수명예측 기술 개발, 광전극·광촉매 기반 수소생산 시스템 고효율화·대면적화 등</li> <li>· (연료 이용) 메탄 직접분해 반응을 이용한 저탄소 수소생산 기술 개발, CCS 연계 블루수소 생산 시스템 실증, 생물학적 CO전환 반응 및 CCS연계 통합 플랜트 기술 확보 등</li> <li>· (바이오매스·폐자원) 가연성폐자원·바이오매스 가스화 반응 기술 개발, 수소분리 기술 개발, 가스화 수소생산 상용화를 위한 통합 플랜트 개발, 미생물전해전지 시스템 구축 등</li> </ul>
<b>법·제도 개선</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 수전해 방식으로 생산하는 수소의 생산단가에 가장 결정적인 인자인 피드스톡(열/전기) 가격을 최소화 할 수 있는 수전해용 에너지 공급관련 법·규제 개선</li> </ul>
<b>국제협력</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 초기시장에는 선진기술국들과의 협업을 통해 시스템기술을 조기에 확보하는 전략으로 대응</li> </ul>
<b>기타</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 소재, 부품 개발과 스택, 시스템 개발을 동시에 진행하여 개발되는 소재, 부품을 스택과 시스템에 적용하면서 점진적으로 고도화</li> <li>· 산/학/연 협동연구, 융합연구를 통하여 기술 간의 간극 극복</li> <li>· 개발한 소재·부품을 스택·시스템에 적용하여 검증할 수 있는 테스트베드 인프라 구축·지원을 통한 기업지원 강화</li> <li>· 생물학적발효 전문가 양성 및 교육 프로그램 추진</li> <li>· 생물학적발효 수소 생산 공정에 대한 인센티브 추진</li> <li>· 수전해 시스템 제조사들이 공유할 수 있는 소재·부품, 장비 공급 생태계를 구축할 수 있는 구축·지원사업을 통한 기업지원 강화</li> </ul>



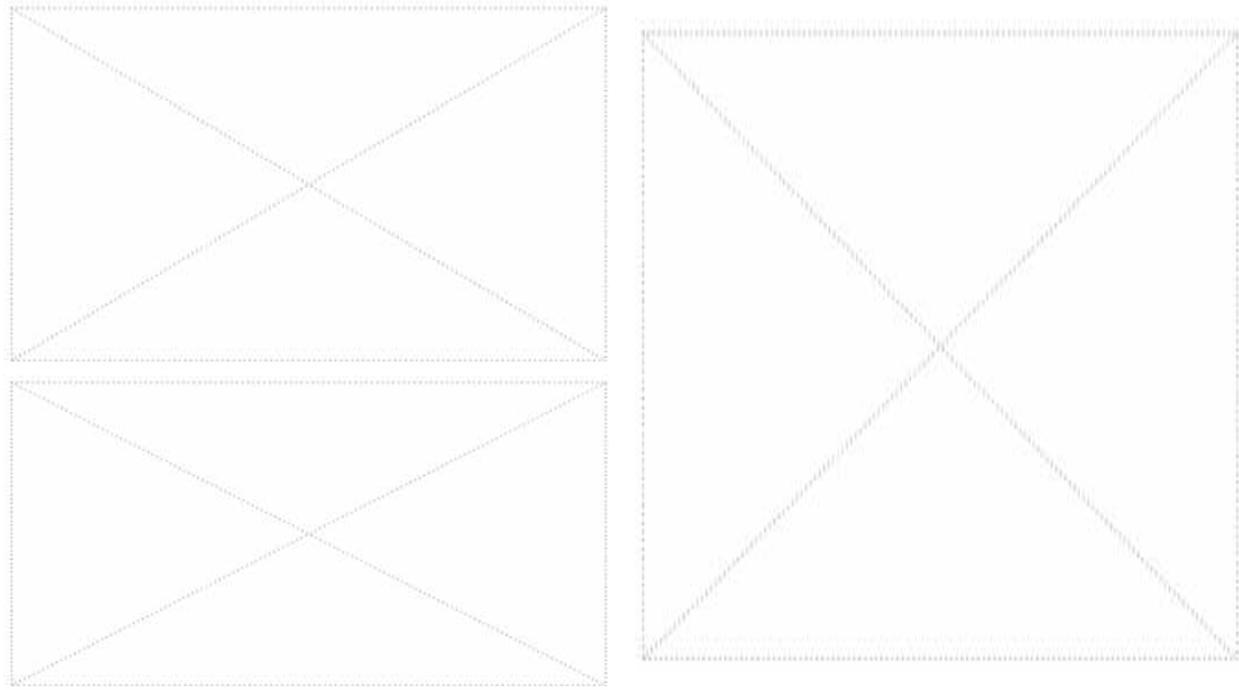
○ 저장·운송 분과 세부 추진전략

기술개발 전략	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (물리적 수소저장) 차량용·수소충전소용 기체수소 저장 용기 개발, 수소액화 공정 및 핵심기자재 개발, 극저온 압축수소 저장기술 개발, 고효율 흡착 수소 저장기술 개발</li> <li>· (화학적 수소저장) LOHC 저장·추출 통합 시스템(공정, 반응기 구축) 등 개발, 신규 LOHC 소재 개발, 저온·저압 암모니아 합성 촉매 및 공정 기술 개발, 수전해 연계 저압 암모니아 합성 시스템 기술개발 등</li> <li>· (수소운송) 고압기체 운송용 대용량 복합재료 용기 제조 기술, 비금속재료 수소 배관 재료 기술 및 배관망 운영기술 개발, 운송차량 탑재용 극저온 저장탱크 및 관련 기자재, BOG 처리장치 개발, 액체 수소 운송선 화물창 소재/단열시스템/ 설계 및 제작기술 개발, 적하역 관련 시스템 개발 등</li> <li>· (수소충전) 수소 충전시간 단축을 위한 능동형 충전시스템 개발, 고압용 수소충전소 소재 및 부품 국산화, 액체수소 기반 기체수소 충전소 설계 및 운영기술 개발 및 실증</li> </ul>
법·제도 개선	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 국내 액체수소 생산, 저장, 이용에 대한 법·제도가 미비한 상황이며, 현재는 규제 샌드박스를 활용한 법적 사각지도를 해소하고 있으나, 상용화 지원을 위하여 관련 법·제도 수립을 신속히 추진</li> <li>· 현재 자동차로 한정된 모빌리티 충전 및 안전기준의 적용분야를 다양한 모빌리티 분야로 확대 적용할 수 있도록 규제특구 및 규제샌드박스를 통한 안전성 실증으로 법·제도 개선</li> <li>· LOHC는 기존 화석연료(가솔린,디젤)와 유사한 LOHC의 물리 화학적 특성으로 인해 기존 석유 산업과 관련된 법·제도를 그대로 활용할 수 있는 가능성이 있으며 신규 발굴될 LOHC의 경우는 상용화를 위해 해당 LOHC 기반 촉매/시스템 개발 초기부터 관련 법·제도 검토하며 R&amp;D 진행</li> <li>· 암모니아 사업화 추진을 위하여 암모니아 분해 수소 관련 고압 가스법과 수소법 및 관련 제도 개선안 마련 후 기술 표준화 추진</li> </ul>
기타	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 저장시스템 부품 국산화율 제고를 통한 가격 저감을 위해 국내 개발 소재·부품의 실증을 위한 테스트 베드 인프라 활용을 통한 Track Record 지원으로 개발 제품의 신뢰성 확보</li> <li>· 기술개발 중반부터는 실증 및 상용화에 지장이 생기지 않도록 RCS(regulation, code and standard) 개발을 적극 지원</li> <li>· 실증 운전을 통한 track record 확보 및 암모니아 수소 시험 인증기관의 인증 획득을 통해 국내외 시장 진출 추진</li> <li>· ISO/TC197(수소기술)분야 국제표준 활동 전개 및 국제네트워크 구축으로 국내 개발 우수기술의 국제표준화 추진으로 국제적 신뢰성 확보</li> </ul>



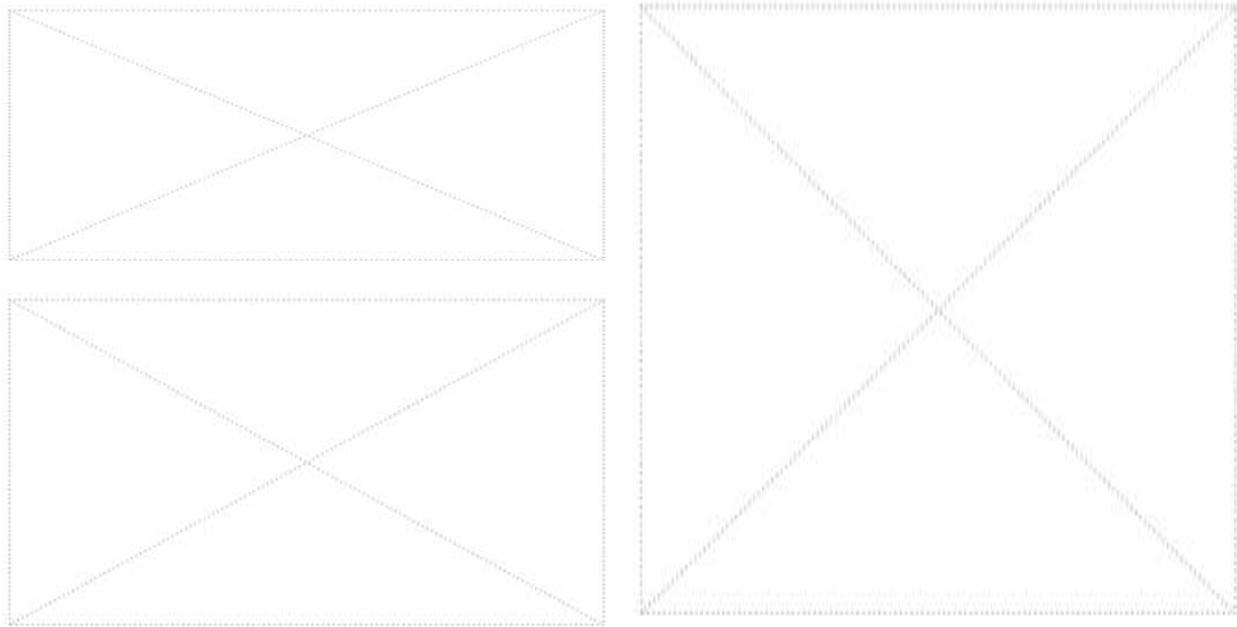
○ 수송 분과 세부 추진전략

기술개발 전략	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (육상용 수송수단) 수소전기차 소재·부품 국산화, 귀금속 촉매 사용량 저감, 스택 효율향상, 부품 소비전력 저감 기술개발, 연료전지 전해질막 소재 열화방지, 분리판 부식 방지, 기체확산층 구조 유지, 철도용 연료전지 시스템 및 수소저장용기 시스템, 통합제어 시스템 등 기술개발 추진</li> <li>· (해상용 수송수단) 선박용 연료전지 시스템 및 수소저장 시스템, 통합제어시스템 개발, 해양환경 대응가능한 연료전지 부품 내구성 확보, 선박용 암모니아 엔진 기술개발, MW급 대양선박용 시스템 인테그레이션 설계</li> <li>· (항공용 수송수단) 수소드론용 고성능 MEA 기술개발, 스택 경량화 구조 개발, BOP 부품 소형화, 경량화 기술 개발, 항공기용 수소연료를 이용한 추진시스템 개념설계 및 개발, 우주발사체 상단 액체수소 엔진 핵심부품 및 탱크 개발</li> </ul>
법·제도 개선	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 철도안전법에는 수소/LNG 등의 고압가스를 연료(동력원)으로 사용하는 것에 대한 정의는 없으며 ‘운송취급주의 위험물’로만 규정되어 있으며, 철도 분야 규제/법령에서 수소에 대한 정의 필요</li> <li>· 수소연료 선박 사용, 수소연료전지 승인 및 시험 검사 규정 제정 등과 관련한 수소법 및 선박 안전법 개정</li> <li>· 엔진의 부속으로서 1회용 비행으로 소진되며, 원격시험으로 인명의 안전에 위해될 가능성이 없는 발사체 비행용 탱크에 대해서는 고압가스안전관리법법규의 규제 완화가 필요</li> </ul>
인력양성	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 수소연료전지 추진선박의 운항을 담당하는 선원 교육, 전기추진에 대한 기술교육 강화</li> </ul>
기타	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 연료전지 스택 및 시스템(수소공급·공기공급·열관리· 수소저장) 부품 내구시험·검증 장비구축 및 기술개발 지원(승용/상용)</li> <li>· 철도는 공공교통수단으로 승객/화물의 안전성 확보를 위하여 정부 주도의 실증을 통한 검증 필요, 실증용 시험차량 적용 통합 시스템 기술검증 및 성능평가(완성차시험, 예비주행, 시운전시험)</li> <li>· 연안선박(관공선 및 공공 수송분야)를 중심으로 실증 확대, 대양선박에 적용 가능한 트랙레코드 확보 후 민간으로 확대하는 전략을 수립</li> <li>· 선급에 등록된 공인시험기관의 인프라 활용, 선박용 수소연료전지 및 기자재에 대한 신뢰성 확보 지원</li> </ul>



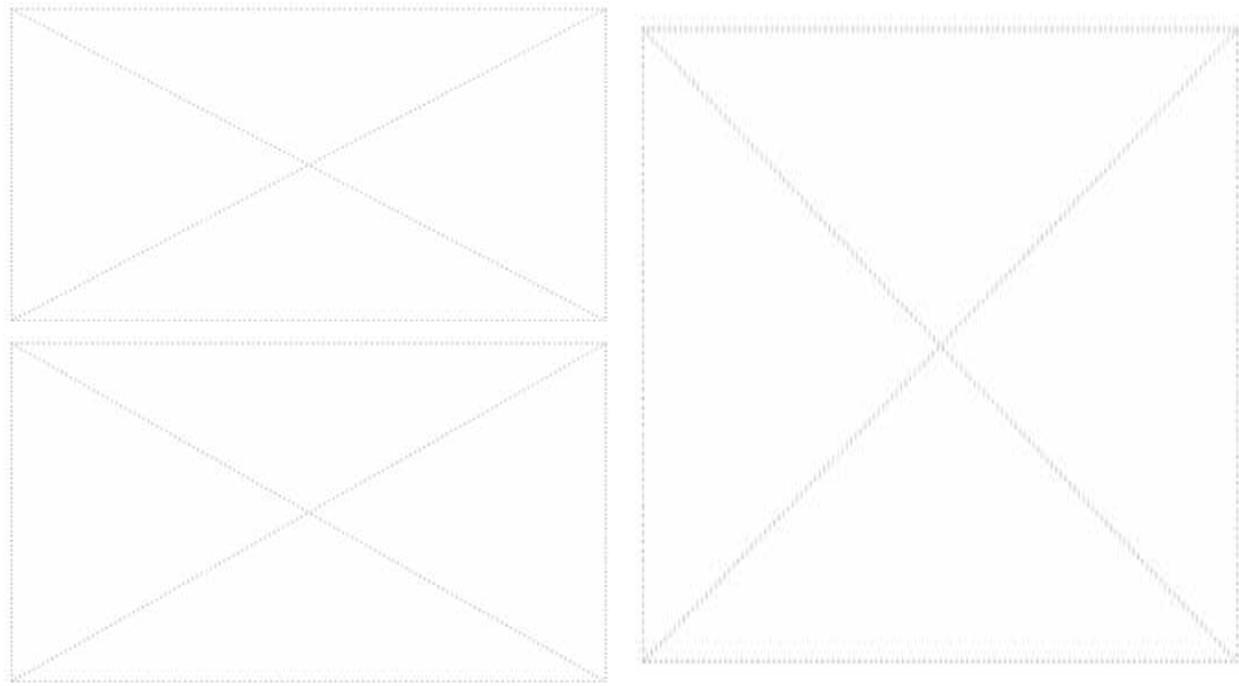
○ 발전·산업 분과 세부 추진전략

기술개발 전략	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (연료전지 발전) 저가·고내구성 촉매, 전해질막, GDL, 분리판 등 개발, 고효율 저온형 연료전지 스택 개발, 고응답성 연료전지 시스템 개발, 연료전지 스택 수명예측 기술, 연료전지 고장진단 기술 개발, 초고효율 발전 구현을 위한 시스템 모듈화 기술 개발, 고온형 연료전지 핵심 소재 부품 개발</li> <li>· (무탄소 연료 발전) 수소혼소 전환 리트로핏 기술개발 및 실증, 중대형 가스터빈 수소전소 연소기 개발 및 수소전소터빈 실증, 소형 수소전소 열병합·복합 발전 시스템 개발 및 실증 평가, 암모니아 혼소·전소를 위한 버너, 보일러 모델과 발전소 실증 및 운영기술 개발</li> <li>· (산업 연·원료 대체) 수소 및 암모니아 연료 기반 가열로 핵심 부품 요구 성능 도출, 연소제어 기술 및 로체 설계, 수소 예열시스템 엔지니어링 기술 개발, 수소유동환원 전기로 공정 최적화 기술개발</li> </ul>
법·제도 개선	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 수소법 개정안에 대한 법제화 완성을 통해, 수소 및 연료전지 산업에서 규모의 경제가 구현되어 자연스러운 비용절감 목표 달성에 기여, 안전측면의 강조 및 지원을 통해 생활 밀착형으로 수소 경제사회 조기 달성</li> <li>· 신제품 시장 진입을 위한 각종제도의 적시 합리화 필요(KS 표준, 보급제도 및 보조금 책정), 수소 전용 시스템의 신속한 상용화를 위한 제도(KGS code AH 371, FU 551)의 개정 및 합리화 병행</li> <li>· 수소/암모니아 생태계 산업 육성을 위한 법·제도 및 금융지원 정책 마련</li> </ul>
국제협력	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 우수 선진기술 도입을 위한 국제협력(미국 LANL, 일본 야마나시대) 뿐만 아니라, 산업 확산을 위한 기술 공유형 국제협력 진행</li> <li>· 수소환원제철 기술개발 리스크 저감 및 조기 상용화를 위해 정부의 일관된 목표 하에 장기 대형 과제로 전폭적인 R&amp;D 지원과 국제협력(유럽: Primetals, Linde, SMS, Tenova, 캐나다: HATCH 등)을 통한 기술 확보 병행 필요</li> </ul>
인력양성	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 미취업자 취업지원 프로그램 수준을 상회하는, 석사 및 박사급 고급인력 양성 프로그램 및 주요 대학의 적극적인 산학연 연구과제 수행</li> </ul>
기타	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 국내에 축적된 가스터빈 기술을 활용하여 발전사가 주도하고 산·학·연이 연계하여 개발 추진, 산학연 공동 운영체 조직을 구성하여 설비 구축 및 시험평가 추진</li> <li>· 철강, 시멘트의 수요 산업 및 연소 설비 전문업체, 연구기관, 학계 등 산/학/연 협업체계 구축하여 R&amp;D 추진</li> <li>· 조기 상용화를 위해 중장기의 정부 국책사업 추진 필요하며, 참여 기업의 적극적인 기술개발을 위해 기업 민간부담금 부담 경감 제도 개선 필요</li> <li>· 무탄소 연료 수송에 대한 영향성 평가를 위한 탄소중립 시범 단지 구축 및 테스트 베드 인프라 구축 실증 연구 지원</li> </ul>



○ 안전·표준·인증·융합 분과 세부 추진전략

<p>기술개발 전략</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· (안전 기술) 기체수소·액체수소 저장탱크/압력용기 금속재료 안전성 검증을 위한 검사기술 및 안전 기준 개발, 폴리머 적합성 평가 기술 개발, 수소생산·저장·운송·이송·발전 시설 안전검사 기술 개발</li> <li>· (표준 및 인증 기술) 수전해용 분리막 성능표준 개발, 재생전력 연계 수전해 시스템 성능 표준 개발, 초고압 튜브트레일러, 액체수소 설비 등 분야 안전 표준개발, 드론용 액체수소 저장용기 성능·안전 표준 개발, 수소충전소 안전성 평가 표준 개발, 수소충전소용 밸브류 인증평가 기술개발, 선박·드론·건설기계·고정형 연료전지 분야 성능·안전 표준 개발, 액체수소 및 고압수소 표준 유량발생 기반시설 및 측정소급성 구축 추진, 등급별 수소품질규격 확립 및 국제표준화, 고압수소 요구 유량별 수소 유량센서 국산화 개발 및 국제표준화 등 추진</li> <li>· (융합실증 기술) 천연가스 주배관망 연계 10MPa급 고압 수소 혼입설비 파일럿 설계·제작, 도시 가스 공급설계 연계 1MPa 이하 급 저압수소 공급 및 사용시설 안전성 검증 및 인증기준 마련, CO<sub>2</sub>-Free 수소공급도시 설계를 위한 청정수소 사용량 예측기술 개발</li> </ul>
<p>법·제도 개선</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 액체수소 등 관련분야 활성화를 위한 규제샌드박스 활용</li> <li>· 액화수소 및 암모니아 인수기지의 설치 시 규제샌드박스 신청, 실증기준안 도출 및 기준안 보완 추진</li> </ul>
<p>기타</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 수소버스 검사지원센터(음성), 액체수소 시험평가센터 등 액체수소관련 시험 인프라 구축</li> <li>· R&amp;D를 활용한 액체수소관련 소재 평가, 제품 개발시험, 제품실증 및 DB 축적</li> <li>· 기체수소 및 수소혼입 분야 주요 수요자와 연계를 통한 파일럿 실증, 소규모 실증 및 고압배관 실증 수행을 통한 사용안전성 검증</li> <li>· 수소 재료분야 비파괴 검사 방법 개선을 위한 국내외 실태조사 및 의견수렴과 다양한 검사장비, 표준 블록 등을 활용하여 검증하고 RT검사와 비교를 통한 기준 마련</li> <li>· 수전해 기반 수소생산기지 구축사업(전북 부안 등) 및 수전해 관련 정부 R&amp;D 사업 참여 국내 기업·기관 및 수전해 관련 중소·중견 기업과의 표준협력 체계 구축을 통해 수전해 관련 최신 표준화 동향을 공유하고, 국내 기업·기관의 수전해 기술의 표준화 추진</li> <li>· (수소저장 및 운송 표준개발체계 마련) 저장 용기 및 초고압(700bar) 튜브 트레일러, 액체수소 설비, 드론용 저장 용기 등의 표준안 개발 → 제안 → 등록까지 쏠주기 지원</li> <li>· 수소 전주기 기술에 대한 표준기술 개발을 위한 국제표준 관련 인프라 및 네트워크 구축</li> <li>· (기업 표준화 활동 지원) 국제표준 제안 시 표준안별로 관련 업계를 매칭하여 업계의 기술적 의견이 표준안에 반영되도록 추진</li> </ul>



□ 2050 탄소중립 선언 등 대내·외 환경변화에 따라 기술분류체계를 보완하면서 현재 기술개발 수준을 고려하여 기술개발 목표를 실현 가능한 수준으로 수정 및 구체화하였으며, '19년에 발표된 수소 기술개발 로드맵과 비교·분석 진행

\* 안전·표준·인증·융합 분야의 기술개발 목표는 비교분석을 진행하지 않음

2019년 수소 로드맵			→	2022년 수소 로드맵		
1. 생산	연료이용 수소생산	'30년 수소생산 플랜트 시스템 효율 78%(HHV)	1. 생산	물 전기분해	'30년 시스템 효율 저온수전해 : 52kWh/kg 고온수전해 : 40kWh/kg (스팀공급조건)	
	폐자원/바이오매스 이용 수소 생산	'30년 가연성폐자원 가스화 수소생산 16톤/일		연료이용	'30년 수소생산 플랜트 2톤/일급 개발, 시스템 효율 80%(HHV)	
	물분해 수소생산	'30년 시스템 효율 50kWh/kg (100MW급 이상)		폐자원/바이오매스 이용	'40년 가연성폐자원 가스화 수소생산 4톤/일	
2. 저장·운송	물리적 수소 저장	'28년 수소액화저장효율 10kWh/kg	2. 저장·운송	물리적 수소 저장	'30년 수소액화저장효율 11.4kWh/kg BOR 0.3%	
	화학적 수소 저장	'28년 수소추출시스템 2톤/일(1,000Nm <sup>3</sup> /kg)		화학적 수소 저장	'27년 암모니아-수소 추출 플랜트 40톤/일급 개발	
	수소 운송	'28년 액체수소운송선 실적선 28,000m <sup>3</sup> 급 개발		수소 운송	'30년 액체수소화물창 40,000m <sup>3</sup> 급 개발 '30년 저장탱크, 적하역 시스템 40,000m <sup>3</sup> 급, 2,800톤/일	
3. 활용(수송)	육상용 수송수단	'30년 상용차 내구 80만km	3. 모빌리티	수소 충전	'30년 저온·고속·직접 방식 수소충전 기술 10.8kg/분	
	해상용 수송수단	'30년 수소선박 내구성 20년		육상용 수송수단	'30년 상용차 내구 80만km 연비 17km/kg 이상	
	항공용 수송수단	'30년 드론 연료전지 시스템 출력밀도 내구 1.0kW/kg		해상용 수송수단	'40년 수소선박 내구성 3만시간 이상	
4. 활용(발전)	수소활용 공통기술	'30년 핵심소재 국산화율(수입소재 제외) 100% 달성	4. 발전·산업	항공·우주용 수송수단	'30년 드론 연료전지 시스템 출력밀도 내구 1.0kW/kg	
	고정형 연료전지	'30년 발전효율 90% 이상		연료전지 발전	'30년 종합발전효율 86% 이상	
	융·복합 발전	-		무탄소 연료 발전	'27년 270MW급 수소 50% 혼소 기술개발	
	수소터빈	'30년 중대형 가스터빈 50% 혼소 설계 및 실증		산업 연·원료 대체	수소환원제철 공정기술 개발	

### 3.3.3. 수소기술 파급효과 분석

□ 수소 활용(발전, 수송, 산업) 부문의 수소 수요 및 신규 투자비를 도출, 산업연관표를 이용하여 산업별 부가가치 유발효과, 생산유발효과, 취업 및 고용효과를 도출\*하는 경제적 파급효과를 분석

○ 수소 산업(발전, 산업, 수송) 부문 파급효과 분석

- (총 파급효과) 2050년 생산유발효과는 246.6조원, 부가가치유발효과는 81.5조원이며, 직접고용효과는 295,055명, 간접효용효과는 1,234,695명 도출

구분	총 파급효과 <sup>3)</sup> -연간	
	2030	2050
생산유발효과	667,921	2,466,433
부가가치유발	216,529	815,057
취업유발효과	281,095	1,467,978
고용유발효과	237,531	1,234,695
취업효과	106,485	333,534
고용효과	105,803	295,055

- (설비 수요의 파급효과) 2021~2050년 생산유발효과는 855.3조원, 부가가치유발효과는 323.3조원이며, 직접고용효과는 595,065명, 간접효용효과는 3,164,443명 도출

구분	CAPEX 투자의 파급효과			
	'21-'30 누적	'31-'50 누적	2030 연간	2050 연간
생산유발효과	1,453,172	7,099,841	145,317	354,992
부가가치유발	473,107	2,760,108	47,311	138,005
취업유발효과	458,542	2,211,110	45,854	110,555
고용유발효과	369,130	2,795,313	36,913	139,766
취업효과	96,463	1,275,002	9,646	63,750
고용효과	89,642	505,423	8,964	25,271

- (발전설비 수요 파급효과) 2021~2050년 생산유발효과는 250.8조원, 부가가치유발효과는 102.5조원이며, 직접고용효과는 217,485명, 간접효용효과는 653,783명 도출

구분	CAPEX 투자의 파급효과			
	'21-'30 누적	'31-'50 누적	2030 연간	2050 연간
생산유발효과	649,267	1,859,126	64,927	92,956
부가가치유발	246,837	778,919	24,684	38,946
취업유발효과	223,592	604,160	22,359	30,208
고용유발효과	178,630	475,153	17,863	23,758
취업효과	67,888	171,997	6,789	8,600
고용효과	61,067	156,418	6,107	7,821

3) 설비투자의 연간 균등화 효과와 연간 수소 및 암모니아 수요를 1년 기준으로 파급효과를 산정함.

- (수송설비 수요 파급효과) 2021~2050년 생산유발효과는 574.1조원, 부가가치유발효과는 160.4조원이며, 직접고용효과는 202,140명, 간접효용효과는 1,347,600명 도출

구분	CAPEX 투자의 파급효과			
	'21-'30 누적	'31-'50 누적	2030 연간	2050 연간
생산유발효과	803,905	4,937,731	80,391	277,563
부가가치유발	226,270	1,378,135	22,627	77,883
취업유발효과	234,950	1,427,090	23,495	80,790
고용유발효과	190,500	1,157,100	19,050	65,505
취업효과	28,575	173,565	2,858	9,826
고용효과	28,575	173,565	2,858	9,826

- (철강설비 수요 파급효과) 2031~2050년 생산유발효과는 59.8조원, 부가가치유발효과는 17.6조원이며, 직접고용효과는 174,000명, 간접효용효과는 928,000명 도출

구분	CAPEX 투자의 파급효과			
	'21-'30 누적	'31-'50 누적	2030 연간	2050 연간
생산유발효과	0	598,560		29,928
부가가치유발	0	176,320		8,816
취업유발효과	0	1,160,000		58,000
고용유발효과	0	928,000		46,400
취업효과	0	174,000		8,700
고용효과	0	174,000		8,700

○ 수소 활용(연료전지) 부분 신규 투자비 및 수소 수요 도출

- (연료전지 설비 투자) 2021~2050년 총 425.3조원 투자(누적)될 것으로 전망

구분	수소연료전지 발전 부문			
	2021-2030		2031-2050	
수소연료전지	1.94GW	61,300억	12.4GW	364,000억
수소 수요	88.5만톤	53,100억	502만톤	150,639억
소계		114,400억		514,639억

- (CAPEX 투자 파급효과) 2021~2050년 생산유발효과는 101.9조원, 부가가치유발효과는 51.3조원이며, 직접고용효과는 63,642명, 간접효용효과는 216,903명 도출

구분	CAPEX 투자의 파급효과			
	'21-'30 누적	'31-'50 누적	2030 연간	2050 연간
생산유발효과	146,875억원	872,144억원	14,687억원	43,607억원
부가가치유발	73,989억원	439,348억원	7,399억원	21,967억원
취업유발효과	41,500명	246,428명	4,150명	12,321명
고용유발효과	31,263명	185,640명	3,126명	9,282명
취업효과	9,721명	57,725명	972명	2,886명
고용효과	9,173명	54,469명	917명	2,723명

\* 수소 기술개발 로드맵의 발전용 발전단가 저감 전망 적용('50년은 '40년도의 수치 적용)

- (수소 수요 파급효과) 2050년 생산유발효과는 10.5조원, 부가가치유발효과는 5.7조원이며, 직접고용효과는 37,660명, 간접효용효과는 128,043명 도출

구분	연료전지 부문 연간 수소수요의 파급효과	
	2030 연간	2050 연간
생산유발효과	37,223억원	105,597억원
부가가치유발	20,284억원	57,544억원
취업유발효과	53,631명	152,145명
고용유발효과	45,135명	128,043명
취업효과	13,275명	37,660명
고용효과	13,275명	37,660명

**【 연료전지 파급효과 계산 참고 자료 】**

수소 생산 및 공급단가	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 2020년 평균 공급가격 6,000원/kg</li> <li>· 2030년 평균 생산단가 3,500원/kg, 평균 공급가격 4,000원/kg</li> <li>· 2050년 평균 생산단가 2,500원/kg, 평균 공급가격 3,000원/kg (로드맵의 '40년 수치 적용)</li> </ul>																			
수소연료전지 보급 목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 2020년(~'20) : 660MW(그레이 연료전지 제외)</li> <li>· 2030년('21~'30) : 1,940MW ⇒ 6.13조, 수소 수요 68.67만톤 ⇒ 2.747조</li> <li>· 2050년('31~'50) : 12,400MW ⇒ 36.4조, 수소 수요 417.9만톤 ⇒ 12.536조</li> </ul> <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">(천원/MW)</th> <th colspan="3">단위 투자비</th> </tr> <tr> <th>2020</th> <th>2030</th> <th>2050</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CAPEX</td> <td>5,400</td> <td>3,160</td> <td>2,935</td> </tr> </tbody> </table> <p style="font-size: small;">주) 수소기술개발로드맵의 발전용 발전단가 저감 전망 적용('50년은 '40년도의 수치 적용)</p>	(천원/MW)	단위 투자비			2020	2030	2050	CAPEX	5,400	3,160	2,935								
(천원/MW)	단위 투자비																			
	2020	2030	2050																	
CAPEX	5,400	3,160	2,935																	
파급효과 계산	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 발전부분의 CAPEX 투자 및 수소 수요(연료 투입)의 합으로 총 투자비 산출</li> <li>· 연료전지 CAPEX 비용 2030, 2050년 비용 적용</li> </ul> <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">구분</th> <th colspan="4">유발계수</th> </tr> <tr> <th>생산</th> <th>부가가치</th> <th>취업</th> <th>고용</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>연료전지</td> <td>2.396</td> <td>1.207</td> <td>6.77</td> <td>5.1</td> </tr> <tr> <td>수소</td> <td>0.701</td> <td>0.382</td> <td>10.1</td> <td>8.5</td> </tr> </tbody> </table> <p style="font-size: small;">1) 재생에너지 확대의 국민경제파급효과(2/4)의 2020년도 연료전지 파급효과 계수를 적용</p>	구분	유발계수				생산	부가가치	취업	고용	연료전지	2.396	1.207	6.77	5.1	수소	0.701	0.382	10.1	8.5
구분	유발계수																			
	생산	부가가치	취업	고용																
연료전지	2.396	1.207	6.77	5.1																
수소	0.701	0.382	10.1	8.5																

○ 수소 활용(암모니아 석탄발전) 부분 신규 투자비 및 수소 수요 도출

- (암모니아 석탄발전 설비 투자) 2021~2050년 총 18조원 투자(누적)될 것으로 전망

구분	석탄암모니아 발전 부문 CAPEX 투자			
	2021-2030		2031-2050	
혼소20%	24기	6조원	9기	기 투자
혼소20%초과	-	-	21기(추가 6기)*	1조 5000억
전소	-	-	7기	10조 5000억
소계	24기	6조원	37기	12조

\* 혼소 20%초과 설비와 기존 20% 혼소설비 투자비가 같다는 가정으로 추가 투자비가 더 들지 않는 것으로 가정

- (암모니아 수요) 2050년 총 4.9조원 투자(누적)될 것으로 전망

구분	석탄암모니아 발전 부문 연간 암모니아 수요			
	2030		2050	
암모니아 수요	1,000만톤	57,600억	1,300만톤	49,920억
소계		57,600억		49,920억

\* 석탄암모니아 혼소에 필요한 설비 투자 부문은 일반 목적용 기계 부품을 적용, 석탄암모니아 발전에 사용되는 연료 로써의 암모니아는 무연탄의 파급효과 계수 적용

- (CAPEX 투자 파급효과) 2021~2050년 생산유발효과는 37.5조원, 부가가치유발효과는 12.9조원이며, 직접고용효과는 38,748명, 간접효용효과는 110,034명 도출

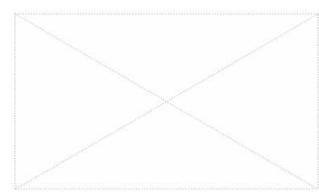
구분	석탄암모니아- CAPEX 투자의 파급효과			
	'21-'30 누적	'31-'50 누적	2030 연간	2050 연간
생산유발효과	125,040	250,080	12,504	12,504
부가가치유발	43,020	86,040	4,302	4,302
취업유발효과	45,321	90,641	4,532	4,532
고용유발효과	36,678	73,356	3,668	3,668
취업효과	14,477	28,954	1,448	1,448
고용효과	12,916	25,832	1,292	1,292

\* 수소 기술개발 로드맵의 발전용 발전단가 저감 전망 적용('50년은 '40년도의 수치 적용)

- (수소 수요 파급효과) 2050년 생산유발효과는 13.4조원, 부가가치유발효과는 4.0조원이며, 직접고용효과는 63,398명, 간접효용효과는 98,342명 도출

구분	연간 암모니아 수요의 파급효과	
	2030	2050
생산유발효과	155,520	134,784
부가가치유발	46,310	40,136
취업유발효과	130,176	112,819
고용유발효과	113,472	98,342
취업효과	73,152	63,398
고용효과	73,152	63,398

**【 암모니아 석탄발전 파급효과 계산 참고 자료 】**

<p>석탄화력발전소 국내 현황 및 암모니아 혼소용 설비 가정</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 현 57기 운영 중 4기 건설 중('22.05), 2030년까지 18기 폐지 예정, 총 석탄화력발전기 43기</li> <li>· 2030년, 총 석탄화력 43기 중 24기에 20% 암모니아 혼소 적용 (6기 폐지 후, 총 37기에 대한 20% 이상 혼소와 전소)</li> <li>· 2050년, 총 37기 중 7기는 전소(100%), 21기는 20%초과 혼소 설비, 9기는 20% 혼소 설비 가정</li> </ul>																										
<p>암모니아 석탄발전 전환 계획 및 예상 수소 수요량</p>																											
<p>CAPEX 설비 투자액 계산</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 일본 경산성(NEDO 홈페이지) 기준 : 1기당 2,500억원(혼소), 1.5조원(전소) 소요.</li> <li>· 2030년 24기 적용, 10년간 누적 Capex 투자비는 6조원, 2030년 연간 암모니아 수요는 약 1,000만톤 (57,600억원)</li> <li>· 2050년에는 혼소 27기와 전소 7기, 20% 초과 혼소 중 6기에 투자 : 1.5조원(추가 혼소 투자)과 10.5조(전소 발전기 부문 투자). 연간 암모니아 1300만톤 수요(약 5조 시장)</li> </ul>	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">구분</th> <th colspan="4">유발계수</th> <th rowspan="2">취업계수</th> <th rowspan="2">고용계수</th> </tr> <tr> <th>생산</th> <th>부가가치</th> <th>취업</th> <th>고용</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>일반 목적용 기계 부품</td> <td>2.084</td> <td>0.717</td> <td>7.6</td> <td>6.1</td> <td>2.4</td> <td>2.2</td> </tr> <tr> <td>암모니아</td> <td>2.7</td> <td>0.804</td> <td>22.6</td> <td>19.7</td> <td>12.7</td> <td>12.7</td> </tr> </tbody> </table>	구분	유발계수				취업계수	고용계수	생산	부가가치	취업	고용	일반 목적용 기계 부품	2.084	0.717	7.6	6.1	2.4	2.2	암모니아	2.7	0.804	22.6	19.7	12.7	12.7
구분	유발계수				취업계수	고용계수																					
	생산	부가가치	취업	고용																							
일반 목적용 기계 부품	2.084	0.717	7.6	6.1	2.4	2.2																					
암모니아	2.7	0.804	22.6	19.7	12.7	12.7																					

○ 수소 활용(수소터빈) 부분 신규 투자비 및 수소 수요 도출

- (수소터빈 설비 투자) 2021~2050년 약 53조원 투자(누적)될 것으로 전망

	수소터빈 발전 부문			
	2021-2030 누적		2031-2050 누적	
혼소	33기(약 14GW) <sup>4)</sup>	18조 1071억	-	
혼소 30% 초과	-	-	12기	27.2GW <sup>5)</sup>
전소	-	-	34기	10조 5000억
소계		18조 1071억		35조 3600억

- (수소 수요) 2050년 총 39.8조원 투자(누적)될 것으로 전망

	수소터빈 발전 부문 연간 수소 수요			
	2030		2050	
수소 수요	61.9만톤	37,140억	1300만톤	390,000억
소계		40,260억		398,112억

- (CAPEX 투자 파급효과) 2021~2050년 생산유발효과는 111.4조원, 부가가치유발효과는 38.3조원이며, 직접고용효과는 115,095명, 간접효용효과는 326,846명 도출

	수소터빈- CAPEX 투자의 파급효과			
	'21-'30 누적	'31-'50 누적	2030 연간	2050 연간
생산유발효과	377,352	736,902	37,735	36,845
부가가치유발	129,828	253,531	12,983	12,677
취업유발효과	136,771	267,090	13,677	13,355
고용유발효과	110,689	216,157	11,069	10,808
취업효과	43,690	85,318	4,369	4,266
고용효과	38,978	76,117	3,898	3,806

\* 수소 기술개발 로드맵의 발전용 발전단가 저감 전망 적용('50년은 '40년도의 수치 적용)

- (수소 수요 파급효과) 2050년 생산유발효과는 101.4조원, 부가가치유발효과는 32.6조원이며, 직접고용효과는 393,900명, 간접효용효과는 97,500명 도출

	연간 수소 수요의 파급효과	
	2030	2050
생산유발효과	96,601	1,014,390
부가가치유발	31,086	326,430
취업유발효과	37,511	393,900
고용유발효과	31,569	331,500
취업효과	9,285	97,500
고용효과	9,285	97,500

【 수소터빈 파급효과 계산 참고 자료 】

수소터빈 설치 계획 및 예상 수소 수요량	
---------------------------------	--

4) 수소암모니아 로드맵 초안 참조

5) 현재 LNG 설비 41.2GW에서 혼소 설비 제외한 부분

CAPEX 투자비  
연간 수소 수요  
계산

- '22-'30년 동안 33기(13.93GW)에 해당 투자비 적용하여, 10년간 누적 Capex 투자비는 약 18조원, 2030년 연간 수소 수요는 약 61.9만톤(37,140억원)
- '31-'50년 동안 현재 전체 LNG 발전소가 모두 수소혼소 및 전소 발전으로 대체된다는 가정으로 현 LNG 발전 설비 41.2GW에서 2030년까지의 수소혼소설비인 14GW를 제외한 부분인 27.2GW가 수소터빈으로 대체
- \* KIER 기술분석 리포트에서 수소터빈 1GW 당 1조 3천억원(혼소, 전소) 소요 가정

	단위 투자비
	혼소/전소
1기당 CAPEX	1조3천억 / 1GW*

\* KIER 기술분석 report 2-1

구분	유발계수				취업 계수	고용 계수
	생산	부가가치	취업	고용		
일반목적용 기계부품	2.084	0.717	7.6	6.1	2.4	2.2
수소 수요	2.601	0.837	10.1	8.5	2.5	2.5

\* 수소터빈에 사용되는 수소 수요(구입)의 생산-부가가치-고용(유발)계수는 LNG 상품의 계수를 적용. CAPEX 투자에 따른 파급효과에는 기본분류의 "일반목적용 기계부품"의 계수와 해당 고용(유발)계수를 적용

○ 수소 산업(철강) 부분 신규 투자비 및 수소 수요 도출

- (수소터빈 설비 투자) 2031~2050년 약 26조원 투자(누적)될 것으로 전망

	철강 부문 CAPEX 투자			
	2021-2030		2031-2050	
	-	-	-	260,000억
소계	-	-	-	260,000억

- (수소 수요) 2050년 총 7.5조원 투자(누적)될 것으로 전망

	연간 수소 수요-산업부문(철강)		
	2030	2050	
철강	-	250만톤	75,000억

- (CAPEX 투자 파급효과) 2031~2050년 생산유발효과는 59.8조원, 부가가치유발효과는 17.6조원이며, 직접고용효과는 174,000명, 간접효용효과는 928,000명 도출

구분	철강- CAPEX 투자의 파급효과			
	'21-'30 누적	'31-'50 누적	2030 연간	2050 연간
생산유발효과	-	598,560	-	29,928
부가가치유발	-	176,320	-	8,816
취업유발효과	-	1,160,000	-	58,000
고용유발효과	-	928,000	-	46,400
취업효과	-	174,000	-	8,700
고용효과	-	174,000	-	8,700

- (수소 수요 파급효과) 2050년 생산유발효과는 12.5조원, 부가가치유발효과는 3.5조원이며, 직접고용효과는 67,500명, 간접효용효과는 502,500명 도출

구분	철강 - 수소 수요의 파급효과	
	2030	2050
생산유발효과	-	125,025
부가가치유발	-	35,100
취업유발효과	-	652,500
고용유발효과	-	502,500
취업효과	-	67,500
고용효과	-	67,500

**【 철강산업 파급효과 계산 참고 자료 】**

CAPEX 투자비 연간 수소 수요 계산	· 화석원료 사용 공정을 수소로 대체(수소환원제철)기술 40년까지 확보 후 단계적 적용 확대. 2030년 이후 설비 대체를 위해 26조 소요(철강협회)
	· 수소 수요 : 250만톤 ('50) ⇒ 7.5조

구분	유발계수				취업계수	고용계수
	생산	부가가치	취업	고용		
철강	2.064	0.608	4	3.2	0.6	0.6
수소수요	1.667	0.468	8.7	6.7	0.9	0.9

\* 철강 수소 수요(구입)의 생산-부가가치-고용(유발)계수는 석탄코크스 및 석탄관련제품 적용. CAPEX 투자에 따른 파급효과에는 기본분류의 "선철 및 조강"의 계수와 해당 고용(유발)계수를 적용

○ 수소 수송 부분 신규 투자비 및 수소 수요 도출

- (수송 설비 투자) 2031~2050년 약 250조원 투자(누적)될 것으로 전망

구분	수소 수송 부문 - 시장 크기			
	2021-2030 누적		2031-2050 누적	
수소수송차	61.75만대 <sup>6)</sup>	25조원 <sup>7)</sup>	527만 <sup>8)</sup>	186조 1000억 <sup>9)</sup>
수소상용차	2.25만대	6조 7500억원	13만	32조 2500억
소계	64.0만대	31조 7500억원	540만	218조 3500억원

- (수소 수요) 2050년 총 67조 8,195원 투자(누적)될 것으로 전망

	수송 부문 연간 수소 수요			
	2030		2050	
연간 수소 수요-수용	9.86만톤	3조9450억원	88.7만톤	26조6205억원
연간 수소 수요-상용	18.3만톤	7조3200억원	99.78만톤	29조9340억원
소계	28.16만톤	11조2650억원	188.51만톤	56조5545억원

6) 2030년 기준 누적 판매(보급) 대수  
 7) 2030년까지의 누적 수소수송차 시장(택시 포함) 크기  
 8) 2050년 기준 누적 판매(보급) 대수  
 9) 2031-2050년간 누적 수소수송차 시장(택시 포함) 크기

- (CAPEX 투자 파급효과) 2031~2050년 생산유발효과는 635.5조원, 부가가치유발효과는 178.3조원이며, 직접고용효과는 225,090명, 간접효용효과는 1,500,600명 도출

구분	수소차 수요의 파급효과			
	2021-2030		2031-2050	
	승용	버스	승용	버스
생산유발효과	641,500	162,405	4,775,326	775,935
부가가치유발	178,750	47,520	1,330,615	227,040
취업유발효과	185,000	49,950	1,377,140	238,650
고용유발효과	150,000	40,500	1,116,600	193,500
취업효과	22,500	6,075	167,490	29,025
고용효과	22,500	6,075	167,490	29,025

- (수소 수요 파급효과) 2050년 생산유발효과는 12.5조원, 부가가치유발효과는 3.5조원이며, 직접고용효과는 67,500명, 간접효용효과는 502,500명 도출

구분	수소차 연간 수소 수요의 파급효과			
	2030		2050	
	승용	버스	승용	버스
생산유발효과	44,026	85,937	297,085	351,425
부가가치유발	17,595	28,475	118,727	116,443
취업유발효과	4,734	8,784	31,945	35,921
고용유발효과	3,551	6,588	23,958	26,941
취업효과	395	732	2,662	2,993
고용효과	395	732	2,662	2,993

**【 수송부문 파급효과 계산 참고 자료 】**

<b>CAPEX 투자비 연간 수소 수요 계산</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 승용차 : ('30) 승용차 61.5만대, 택시 1.5만대, 9.8만톤 수요. ('50): 승용차 519.4만대, 택시 14만9천대, 수소 88.7만톤 수요</li> <li>· 상용차 : ('30) 버스 1.5만대, 트럭 .75만대, 18.3만톤 수요, ('50) 버스 7.4만대, 트럭 5.6만대, 99.7만톤 수요</li> </ul>																																						
	<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="2">단위 투자비</th> </tr> <tr> <th>수소승용</th> <th>수소버스</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1기당 CAPEX</td> <td>0.4억원</td> <td>3억원</td> </tr> </tbody> </table>		단위 투자비		수소승용	수소버스	1기당 CAPEX	0.4억원	3억원																														
			단위 투자비																																				
		수소승용	수소버스																																				
1기당 CAPEX	0.4억원	3억원																																					
<p>* ASME 2022</p>																																							
<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">구분</th> <th colspan="4">유발계수</th> <th rowspan="2">취업계수</th> <th rowspan="2">고용계수</th> </tr> <tr> <th>생산</th> <th>부가가치</th> <th>취업</th> <th>고용</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>승용</td> <td>2.566</td> <td>0.715</td> <td>7.4</td> <td>6</td> <td>0.9</td> <td>0.9</td> </tr> <tr> <td>버스</td> <td>2.406</td> <td>0.704</td> <td>7.4</td> <td>6</td> <td>0.9</td> <td>0.9</td> </tr> <tr> <td>휘발유</td> <td>1.116</td> <td>0.446</td> <td>1.2</td> <td>0.9</td> <td>0.1</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td>경유</td> <td>1.174</td> <td>0.389</td> <td>1.2</td> <td>0.9</td> <td>0.1</td> <td>0.1</td> </tr> </tbody> </table>	구분	유발계수				취업계수	고용계수	생산	부가가치	취업	고용	승용	2.566	0.715	7.4	6	0.9	0.9	버스	2.406	0.704	7.4	6	0.9	0.9	휘발유	1.116	0.446	1.2	0.9	0.1	0.1	경유	1.174	0.389	1.2	0.9	0.1	0.1
구분		유발계수						취업계수	고용계수																														
	생산	부가가치	취업	고용																																			
승용	2.566	0.715	7.4	6	0.9	0.9																																	
버스	2.406	0.704	7.4	6	0.9	0.9																																	
휘발유	1.116	0.446	1.2	0.9	0.1	0.1																																	
경유	1.174	0.389	1.2	0.9	0.1	0.1																																	

### 3.4 수소기술 미래전략(수소 기술개발 로드맵 2.0)

- 「수소기술 미래전략」은 과기정통부(주관), 산업부, 국토부, 해수부, 환경부 5개 부처와 민간 전문가들이 참여하였으며, 제5회 수소경제위원회('22.11.9)에 3호 안건으로 상정 및 발표
  - 수소 생산, 저장·운송, 활용(수송, 발전) 분야에서 우리나라가 확보해야 할 단·중·장기의 기술개발 목표 및 민·관의 역할분담을 제시하였으며, 지속적으로 시너지를 창출할 수 있는 기술개발 방향을 도출

수소기술 미래전략	보도자료	
[Blank Box]	[Blank Box]	[Blank Box]

- 「수소기술 미래전략」 주요 내용
    - (목표) 수소 생산, 저장·운송, 활용의 전주기 기술혁신 및 국산화를 통해 수소분야 글로벌 기술경쟁력 확보
    - (추진전략) 청정수소 생산 기술 국산화, 수소 공급을 위한 저장·운송 기술 고도화, 수소 활용 기술 1위 공고화 등 주요 3대 전략으로 구성
      - (생산) 알칼라인, PEM(고분자전해질) 수전해 기술을 국산화하고, 수소생산 미래 기술(차세대 수전해, 광·열분해 등) 연구 지원
      - (저장·운송) 수소 액화기술 및 저장·운송 기술(국외→국내), 육상·배관망 등 전국 수송 이송 기술(국내 간)의 국산화 지원
      - (활용) 수소전기차 분야의 초격차 기술 확보, 차세대 모빌리티(철도·선박·드론) 기술 개발, 수소·암모니아 활용 발전기술 확보 지원
- \* 수소트럭 내구연한 : (現) 16만km → ('26) 50만km → ('30) 80만km

○ 분야별 중점 추진 과제

- (전략 1: 청정수소 생산기술 국산화) ①주요 수전해 국산화, ②차세대 수전해 확보, ③미래형 수소생산 기술개발 지원

주요 전략	주요 내용
수전해 국산화	· ①전체 시스템을 우선 구현하고 국산화 추진, ②수전해 핵심 소재 및 부품의 국산화, ③수전해 시스템 내구 및 효율 향상, ④국산 시스템 성능 검증, 그린수소 생산 실증
차세대 수전해	· ①음이온교환막 수전해 소재·부품의 국산화 및 시스템 운용기술 확보, ②고체산화물 수전해 핵심 소재·부품 국산화 및 대용량화, ③프로톤 세라믹 전도성 수전해 소재 및 단위셀·스택 원천기술 확보
미래형 생산기술	· ①STH 효율 향상을 위한 원천기술 개발, ②화석연료, 바이오매스·폐자원 활용 수소생산 기술 확보

- (전략 2: 수소 공급을 위한 저장·운송 기술 고도화) ①해외수소 저장·운송 기술 고도화, ②수소를 전국에 적시에 보급, ③저장·운송 국제표준 및 인증 확보

주요 전략	주요 내용
해상운송·저장 기술 고도화	· ①고효율 수소 저장 및 추출 기술 개발(암모니아-수소 추출 플랜트, 수소액화플랜트), ②차세대 수소저장기술 개발 지원, ③액체수소 운송선 및 수소 선적·하역용 인프라 기술 확보
전국 수요처 내 수소 보급기술	· ①기체 및 액체수소 운반차용 트레일러 용기 개발, ②지역 간 수소 이송 기술개발(배관망), ③육상·해상·항공용 모빌리티용 수소 충전기술 개발
국제표준/인증	· ①수소 공급 시장 확대 대응을 위한 표준 확보, ②수소 저장·운송 단계 안전성 확보 기준 마련

- (전략 3: 수소 활용(수송·발전) 기술 1위 공고화) ①수소전기차 초격차 기술 확보, ②차세대 모빌리티 기술 선점, ③청정수소 발전 핵심기술 개발

주요 전략	주요 내용
수소전기차 기술 초격차 확보	· ①수소전기차 연비 개선, 내구연한 향상 등 기술 고도화, ②연료전지 대용량화·리패키징 기술 개발
차세대 모빌리티 기술 선점	· ①철도 특성을 고려한 장거리·고출력 동력시스템 개발, ②고효율 연료전지 시스템 모듈화, 연료전지 단위모듈 인테그레이션 시스템 확보, 암모니아 혼소 엔진 개발 ③항공용 추진시스템 핵심 기술개발
청정수소 발전	· ①연료전지 시스템 대량양산 지능형 발전체계 구축, ②수소가스터빈, 암모니아 혼소발전 기술개발

수소기술 미래전략 주요 내용		

□ 1차 산업계 간담회

- (목적) 수소 기술개발 로드맵 2.0 기술분류체계 및 기술개발 전략 방향에 대한 산업계 의견 수렴
- (일시/장소) 2022.8.17.(화) 10:00~18:30 / 서울스퀘어 대회의실
- (참석자) 과기정통부, 산업부, 국토부, 해수부, 환경부 연구관리전문기관, 한국에너지기술연구원, 로드맵 분과장, 산업계 전문가 34인 참석

수소 공급망	수소 모빌리티	청정수소사회 전환
X	X	X

□ 2차 산업계 간담회

- (목적) 「수소 미래전략(안)」에 대한 산업계 전문가 의견 수렴
  - (일시/장소) 2022.9.15.(목) 14:30~16:00 / 한국에너지기술연구원 에코발당 대회의실
  - (참석자) 관계부처\*, 전문기관, 로드맵 총괄위원회, 생산/저장/활용(수송, 발전 및 산업)/안전·표준 산업계 전문가 등 총 43명
- \* 과기정통부(주관), 산업부, 국토부, 해수부, 환경부, 특허청

산업계 간담회 주요 사진	보도자료
X	X

○ 주요 논의 내용

① 수소 공급망 구축

- ① 수전해 기술개발 목표는 다 국산화를 염두에 둔 것인가?
  - ☞ 해외 소재·부품을 수입하여 시스템 기술을 선제적으로 확보하면서 수전해 소·부·장 국산화 기술개발도 병행하는 2-track 전략 추진
- ② '30년까지 전 소재의 대량양산 체제를 구축하겠다는 것은 도전적인 목표라 생각되므로 우선 순위를 정해 지원하는 것도 고려해주길 원함
  - ☞ '30년에 수소 시장이 본격화 및 확대될 것으로 예상되는데, 우리나라는 뒤쳐져 있는 상황. '30년 경쟁력 확보를 위해 현재 제시된 목표보다 낮출 수는 없음
- ③ 현재 국내 대기업들은 해외수소를 암모니아 형태로 수입하겠다고 발표 중이며, 기존 기술을 활용하여 그린암모니아 생산하는 것은 해외의 기술을 활용(수입)하는 것인데 우리기술을 확보하지 않아도 되는 것인지?
  - ☞ 암모니아는 저장·운송할 수 있는 인프라가 구축되어 있어 누락된 것이고, 암모니아 수소 추출과 그린암모니아 합성 기술은 로드맵에 포함되어 있음

② 수소 모빌리티

- ④ 제시되어 있는 수소 모빌리티 목표를 km, 내구성이 아니라 원/kW 등으로 변경해주는 것을 검토
- ⑤ 해외에서 3만 시간의 내구성을 달성한 연료전지 시스템을 발표하고 있는데 수소 선박 내구성 목표('40년 3만 시간)를 앞당길 필요가 있음
  - ☞ 기술개발 시기 조정은 분과위원과 논의하여 반영할 예정
- ⑥ 장거리(40~45일)운항하는 수소 선박에 기체·액체수소를 탑재하는 것은 용량 대비 부피가 너무 커서 현실적으로 어려우므로 선박용 암모니아 크래킹 기술을 개발하는 것도 필요
  - ☞ 암모니아 혼소 내용이 포함되어 있으나 이를 더 확대하는 것을 논의
- ⑦ '13년부터 수소충전소 구축사업을 진행 중이며, 국산화를 상향되었지만 구축 비용이 절감된 사례는 없으므로 핵심 지표로 제시한 수소충전소 목표에 대해 다시 고려해주길 바램
  - ☞ 충전소 표준 모델(상용차·승용차용, kg별 등)을 고안하여 충전소 가격을 분석하는 것을 고려하겠음
  - ☞ 기체수소 충전소에 필요한 핵심 부품을 다 국산화하겠다는 의미이고, 액체수소 기반 충전소가 구축되기 시작하면 충전소 용량 대비 충전소 구축비용이 낮아질 것으로 예상

③ 청정수소 사회 실현

- ⑧ 핵심지표로 제안된 수소전소터빈 개발완료 시기(GE, Siemens 등 '30년까지 개발한다고 발표)를 '30년으로 앞당기고, 380MW급 수소전소터빈 개발 목표도 '30년까지 당기는 것으로 조정
- ⑨ 실증 대상 발전소를 선정하고 최적혼소 적용(26p)도 26-27년으로 되어 있는데, 혼소터빈 개발 완료 목표가 27년이므로 개발 시기를 조정하여 국가 로드맵이 민간을 리딩하는 것처럼 보여주는 것이 필요
- ⑩ 연료전지를 보급하려면 판매단가가 낮아져야 하므로 주요 이정표(현재 효율)에 연료전지 시스템 가격(원/kw) 저감 목표도 반영할 것을 요청
  - ☞ 의견을 준다면 반영하도록 하겠음

**④ 차세대 시장 선점**

- ⑫ 차세대 기술·시장 선점에 대한 내용을 더 강화해서 보여줘도 괜찮을 듯
  - ☞ 전략4는 2050년을 타겟한 것이고, 중요성을 간과한 것은 아니므로 중요성을 더 부각할 수 있도록 조정
- ⑬ LOHC를 현장에 도입할 때 기존의 수소충전소에 어떻게 전환할 것인지 검토하고, 기술개발과 함께 관련 규제를 개선하는 것을 병행 추진
- ⑭ 수소충전소에서 수소가 정확하게 계량되는지 파악하지 못하고 있고, 품질 때문에 차에 결함도 발생하여 계량 및 품질관리 내용을 강조

**⑤ 기타 의견**

- (목표) 국가별 중점(유럽 그린수소, 일본 수소 캐리어 운송 등)을 두고 있는 핵심 기술에 대한 키워드를 목표에 작성하여 집중 지원
- (현황 분석) 수소경제 활성화 로드맵('19) 발표 이후, 3년간 정부와 민간이 수소에 막대한 투자 진행하였고, 성과 및 문제점을 분석하여 현실성 있는 로드맵을 수립할 필요
  - 충분한 검토가 이뤄지지 않는다면 발생하는 문제들에 대해 민간 기업이 부담해야하고, 수소 경제 활성화에 걸림돌이 될 수도 있음
- (투자 확대) 수소 기술 개발을 위해 마중물 역할을 할 수 있는 시장이 필요하고, 연료전지 기술도 중요하지만 수소를 생산, 저장하고 충전관련 인프라도 필요하므로 막대한 시간과 비용이 투자되어야 함
- (우선순위 재검토) 청록수소, 수소 융합 부분에 대한 우선순위를 재검토하고 활용 가능성을 재고려
  - (청록수소) 국토부는 2030년까지 청록수소 생산 기술 상용화를 위해 기획연구를 추진 중이며, 미국도 상용화 실적이 있으므로 청록수소의 '30년 활용 가능성을 제고
  - (수소도시·항만) 개발된 수소기술은 수소도시와 항만 등에 활용될 텐데 잘 적용되기 위해서 시스템적으로 융합·실증하는 것이 필요하므로 수소도시와 항만의 우선순위 재검토 요청
- (기타 보완 사항) 수소 기술 보호에 대한 전략과 인력양성 등에 대한 내용 보완이 필요

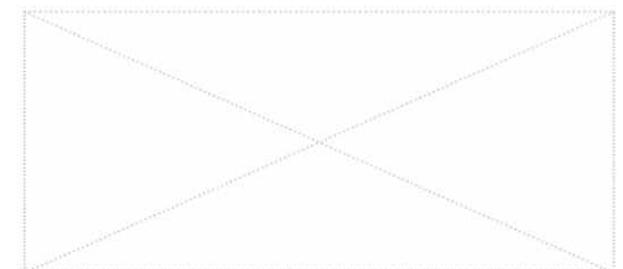
AFORE 수소기술 미래전략 세션 개최

- (일시/장소) 2022.9.28.(수) 14:30~16:00 / 한국에너지기술연구원 에코발당 대회의실
- (참석자) 수소 기술개발 로드맵 총괄위원장, 분과장 및 간사, AFORE 2022 학회 참석자

< AFORE 2022 발표자 및 주제 >

소속	발표자	발표 주제
한국에너지기술연구원	양태현	Medium- and Long Term Research and Development Strategy for Hydrogen Technology
단국대학교	이창현	Current Status and Perspectives in Hydrogen Mobility
한국에너지기술연구원	윤형철	Basic Concept of Hydrogen Technology Development Roadmap 2.0 - Hydrogen Storage and Transportation
한국과학기술연구원	장중현	Strategies on Low-Carbon Hydrogen Production
한국에너지기술연구원	박구곤	R&D Status of Electrocatalysts in Fuel Cells

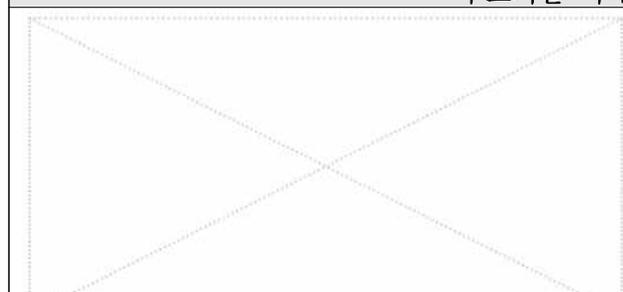
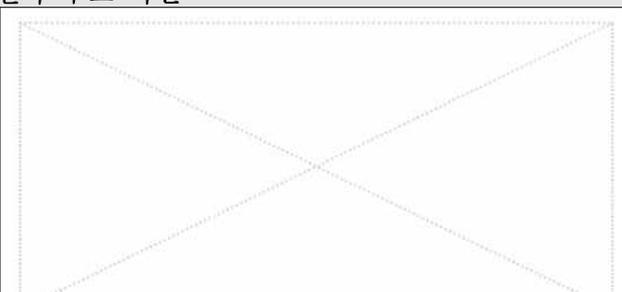
- 「수소기술 미래전략(안)」 산업계 의견 청취를 위한 장관님 간담회
  - (목적) 관계부처 합동으로 수립 중인 「수소기술 미래전략(안)」에 대한 산학연, 지역 현장의 의견을 청취
  - (일시/장소) 2022.10.18.(화) 14:40~16:30 / 두산퓨얼셀(전북 익산)
  - (참석자) 과기정통부 장관, 전라북도 정무부지사, 수소분야 산학연 관계자\* 등 10명
    - ※ 두산퓨얼셀, 금양이노베이션, 테라릭스, 일진하이솔루스, 전북대, 한국에너지공대, KIST(전북), 에너지기술연구원 등

장관님 간담회 주요 사진	보도자료
	

- 「수소기술 미래전략」 한국수소및신에너지학회 춘계학술대회 발표
  - (목적) 「수소기술 미래전략」이 발표됨에 따라 정부의 기술개발 추진현황에 대해 산학연 관계자들에게 공유하고자 개최
  - (일시/장소) 2022.11.24.(목) 14:30~16:00 / 한국에너지기술연구원 에코발당 대회의실
  - (참석자) 수소 기술개발 로드맵 총괄위원장, 분과장 및 간사, 수소및신에너지학회 춘계 학술대회 참석한 산·학·연 관계자

< 수소기술 미래전략 세션 발표자 및 주제 >

소속	발표자	발표 주제
한국에너지기술연구원	양태현	수소기술 미래전략
한국과학기술연구원	장중현	수소기술 미래전략 : 수소 생산
한국기계연구원	최병일	수소기술 미래전략 : 수소 저장·운송·충전
단국대학교	이창현	수소기술 미래전략 : 수소 모빌리티
한국에너지기술연구원	박구곤	수소기술 미래전략 : 발전·산업 분야
한국가스안전공사	이재훈	수소기술 미래전략 : 안전·표준·융합실증 분야

수소기술 미래전략 주요 사진	
	

## 4. 결론

COP21 이후 세계는 파리협약의 목표를 달성하고자 탄소중립을 선언 및 법제화하였다. 우리나라도 전 세계 탄소중립 흐름에 발맞춰 '2050 탄소중립'을 선언('20)하고, 2050 탄소중립 실현에 법적 구속력을 부여하고자 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」을 제정('21)하였다. 탄소중립 실현을 위해 재생에너지로의 전환이 필요한데 수소는 재생 에너지를 저장하여 운송할 수 있는 에너지캐리어로서 주목받고 있으며, 세계는 수소기술을 확보하기 위해 치열한 경쟁을 벌이고 있다. 2019년 「수소 기술개발 로드맵」 수립 이후 「수소법」 제정('21)과 「수소경제 이행 기본계획('21)」의 발표는 수소 기술 확보 및 수소경제 선도를 위한 정부의 강한 의지를 보여주고 있다. 글로벌 수소기술주권 확보 경쟁에서 뒤처지지 않도록 핵심기술 확보방안을 구체적으로 제시한 전략 수립이 필요하다.

본 연구에서는 수소경제 이행과 2050 탄소중립 실현에 기여 가능한 수소 기술을 조기에 확보하고 민관이 협력하여 시너지를 극대화할 수 있는 전략을 마련하는 데 중점을 두었다. 이를 위해서 수소 전 주기 기술의 기술개발 전략과 목표를 재정비하였다. 주요국들의 정책·시장·기술개발·산업 현황을 심층적으로 분석하여 문제점을 파악 및 시사점을 도출하였고, 이를 기반으로 기존의 기술분류체계를 재정립하였다. 수소 생태계를 조기에 완비하는데 핵심이 되는 수소 기술을 우선 확보하고자 시급성과 중요성을 고려하여 우선 순위도 정하였다. 또한, 이를 체계적이고 지속적으로 지원할 수 있도록 기술개발 방향성을 구체화하였으며, 향후 글로벌 시장을 선점하고 기술개발 파급성이 매우 높은 기술을 개발하기 위한 전략도 함께 제시하였다.

「수소기술 미래전략」에서는 초격차 기술 확보로 2050 글로벌 수소시장 선도를 위해 수소 전주기 기술 혁신으로 글로벌 경쟁력을 확보할 수 있는 3가지 전략을 제시하였다. 청정수소 생산기술 국산화, 수소 공급을 위한 저장·운송 기술 고도화, 수소 활용 기술 초격차 확보 등 3대 추진전략을 바탕으로 9개 과제를 추진한다. 청정수소 생산기술 국산화에서는 기술 성숙도가 상대적으로 높은 알칼라인 수전해와 고분자전해질 수전해의 국산화와 효율 및 성능 향상 기술개발을 지원하고자 한다. 주요 수전해 기술 대비 효율과 경제성 뛰어날 것으로 예상되는 차세대 수전해 원천기술 확보와 미래형 수소 생산기술 개발도 함께 추진한다. 수소 공급을 위한 저장·운송 기술 고도화에서는 수소 교역 시대에 대비하여 암모니아-수소 변환 기술을 확보하고, 수소액화 플랜트 기술을 개발하고자 한다. 또한 전국 수요처에 수소를 보급하기 위해 기체 및 액체수소 트레일러 개발과 배관망 취성평가 및 소재연구를 지원하며 육상·해상·항공용 모빌리티 충전을 위한 충전 기술을 조기에 확보하고자 한다. 세계에서 우위를 점하고 있는 수소 활용 기술 1위를 더욱 공고화할 수 있는 기술을 지원하고자 한다. 먼저, 수소전기차 연비,

내구연한, 주행거리 개선 연구를 지원하고, 대형 모빌리티 시장 확대에 대비하여 연료 전지 대용량화 및 리패키징 기술을 확보하고자 한다. 탄소배출 규제가 더욱 심각해지고 있는 상황에서 장거리·대용량 운송 수단인 철도와 선박의 연료전지 시스템을 조속히 확보하고자 하며, 항공용 경량형 연료전지 시스템도 함께 개발을 지원할 예정이다. 마지막으로 연료전지 발전시스템을 대량양산하기 위한 기반기술과 열병합 시스템을 확보하고, 수소터빈 및 암모니아 석탄발전과 같은 발전기술을 확보하여 청정수소발전 확대에 기여하고자 한다.

「수소기술 미래전략」은 2022년 11월 9일 개최한 제5차 수소경제위원회에서 3호 안건으로 발표되었으며, 본 전략은 수소경제사회 실현을 앞당길 수 있는 국산 기술을 확보하는 데 기여할 것으로 기대한다.

## 5. 참고문헌

1. 산업통상자원부, 제1차 수소경제 이행 기본계획, 2021.11
2. 관계부처 합동, 2050 탄소중립 시나리오안, 2020.10
3. 관계부처 합동, 수소 기술개발 로드맵, 2019.10
4. 관계부처 합동, 새정부 에너지정책 방향(안), 2022.7
5. 산업통상자원부, 탄소중립 산업·에너지 R&D 전략, 2021.11
6. 대한무역투자진흥공사, 독일 수소경제 현황 및 우리기업 진출전략, 2020.7
7. 대한무역투자진흥공사, 주요국 수소경제 동향 및 우리기업 진출전략, 2022.2
8. 한국과학기술기획평가원, KISTEP 기술동향브리프 - 수소생산, 2021.3
9. 에너지경제연구원, 세계원전시장 인사이트, 2022.3
10. 대한무역투자진흥공사, 미국 수소경제 및 한국의 진출 방안, 2021.12
11. 삼정KPMG, 수소생산에서 활용까지, 수소경제에서 찾는 기회, 2021