

2024년도
에너지기술개발사업
연구개발과제기획보고서

수 소

목 차

I . 동향분석	1
1. 개 요	
2. 산업·기술동향	
3. 특허동향	
4. 표준화동향	
5. 정부R&D 지원현황	
6. 시사점	
II . 기획대상연구개발과제 도출	48
1. 연구개발과제기획방향	
2. 개발위험 관리방안	
3. 기획연구개발과제 기술개요서	

1. 개요

□ 개념

- (수소생산) 다양한 기술이 있으며, 청정수소 생산이 중요함
 - 기존 수소생산 기술은 부생수소, 그레이 수소 등이 있음
 - * 부생수소는 석유화학 공정에서 주로 생산되며, 대체용 연료 사용에 따른 탄소배출이 있음
 - * 그레이 수소는 천연가스와 같은 화석연료의 개질을 통해 생산되며, 탄소배출이 발생함
 - 청정수소 생산 기술로 블루수소, 청록수소, 그린수소, 핑크수소 등이 있음
 - * 블루수소는 그레이수소와 같은 방식으로 생산되나, 발생하는 이산화탄소를 포집하여 활용/저장하므로 탄소배출이 없음(탄소의 활용/저장 방안 확보 필요)
 - * 청록수소는 천연가스의 직접 열분해를 통해 생산되며, 고체 탄소가 생산되므로 탄소배출이 없음 (단기적으로 적용이 용이한 기술임)
 - * 무탄소 전원을 수전해와 연계하면 청정수소를 생산할 수 있으며, 재생에너지를 이용하면 그린수소, 원자력을 이용하면 핑크수소임
- (수소 저장·운송) 고압기체 수소, 액체수소 등이 주로 사용되며, 특수한 경우에는 고체저장 기술이 사용됨
 - (고압기체) 고압기체 수소는 튜브트레일러를 사용하여 유통되며, 장기적으로는 배관망으로 공급될 예정임
 - * 현재 200기압 튜브트레일러가 주로 사용되며, 향후 700기압 튜브트레일러를 이용한 대용량 수송으로 전환이 필요함
 - * 수소의 사용량이 확대되면 수소배관망을 이용한 수소공급으로 전환이 필요함
 - (액화수소) 액화수소는 고압기체 수소보다 밀도가 높으므로 탱크로리를 이용하여 튜브 트레일러보다 많은 양을 운송할 수 있음
 - * 해외는 액체수소 생산, 이송, 활용이 진행 중이며, 액체수소 산업이 존재함
 - * 국내는 '24년에 액체수소의 생산, 이송, 충전소 활용이 시작될 것으로 예상되며, 액체수소 관련 연구개발을 추진하는 기업 및 기관들이 있음
 - (고체수소) 고체 수소저장은 잠수함용 등 특수한 용도로 사용됨

□ 주요이슈

○ (수소생산) 전 세계적으로 청정수소 생산에 대한 필요성이 증대

- (그린/핑크 수소) 재생에너지와 같은 무탄소 전원을 이용하여 청정수소를 생산할 수 있으며, 수소생산 단가 저감을 위해서는 수전해 시스템의 효율/내구성 향상 및 가격 저감이 필요
 - * 현재는 알칼라인 및 PEM(Polymer Electrolyte Membrane, 고분자전해질) 수전해 기술이 상용화되어 있으며, 차세대 수전해 기술인 AEM(Anion Exchange Membrane, 음이온교환막) 및 고온 수전해 관련 기술은 연구가 진행 중
 - * 국내는 1 MW급 알칼라인 및 PEM 수전해 기술은 실증한 바 있으나, 대용량 수전해 시스템 관련 기술을 미흡하며, 해외는 대용량 제품 생산 중
 - * 국내의 AEM 및 고온 수전해 관련 기술은 원천기술 개발 수준이며, 해외는 시제품 실증 단계임
- 또한, 수전해 설비의 안전성 제고를 위해 생산되는 수소 중의 산소 농도, 산소 중의 수소 농도를 측정할 수 있는 센서를 필수적으로 장착하여야 하는데, 현재는 고가의 외산 센서를 사용하고 있어 이의 국산화가 필요함

참고	수전해용 수소/산소 센서
○ (정의) 실질적인 수전해 전극 토출 가스의 불순물을 실시간으로 감지하기 위해 여러 복합 가스로 구성된 배출부에 in-situ로 적용되어야 하므로 높은 수준의 안정성 (방폭 기술), 고감도, 고선형성, 고신뢰성, 고가스 선택비가 필요한 최고난도의 수소 센서 기술	
* 기존 수소 센서는 다양한 감지 방식으로 제품화 군이 있으나, 대부분 정제된 고순도 수소의 공기 중 누설 감지용으로 제한	

- (청록수소) 천연가스 직접 열분해는 수전해 대비 에너지 사용량이 1/3 이하이며, 재생에너지 공급(그린수소)이나 CCUS(블루수소)와 같은 제약이 낮아 단기적으로 대량 청정수소 공급이 가능한 기술임
 - * 대표적인 기술로 Monolith(미)는 플라즈마 열분해, C-Zero(미)는 용융금속 열분해 방식을 이용한 청록수소 생산기술을 개발 중
 - * 청록수소 생산의 경제성 향상을 위해서는 에너지 사용량 저감과 부산물로 생산되는 고체 탄소의 부가가치를 높이는 것이 중요함
 - * 국내는 원천기술 개발 수준이며, 해외도 본격적인 상업용 공정은 미확보 상태임

참고	청록수소 생산 기술 필요성
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 천연가스의 열분해는 고온에서 메탄을 수소와 고체탄소로 분해하여, CO2의 발생 없이 수소를 생산하고, 아울러 고부가가치 고체탄소(카본블랙, 그라파이트, 탄소나노튜브)를 생산하여 경제성을 배가시킬 수 있는 기술임 ○ 천연가스 열분해 기술은 전기분해와 비교하여, 동일량의 신재생에너지 이용 시 청정 수소를 3배 이상 생산할 수 있어, 대량으로 청정수소를 필요로 하는 기업으로부터 주목받고 있음 ○ 천연가스를 열분해하여 수소를 생산하는 기술의 경우, 가열에 필요한 열원으로 신재생에너지, 공정수소, 천연가스를 사용할 수 있으며, 연료에 따라 탄소배출량이 0 ~ 4 kg-CO2/kg-H2 수준 ○ 국외의 경제성 분석에 의하면 카본 판매 수익을 고려 시 천연가스 열분해가 수증기 개질 추출 수소 방식에 비해 높은 경제적 효율성을 보인다고 보고
	<p>출처: 좌(International Journal of Hydrogen Energy(2018) 2540-2555), 우(BASF Research Press Conference 2019)</p> <p>[수전해/수증기 개질/천연가스 열분해 방식의 이론적 수소생산단가 비교]</p>

- (수소 저장·운송) 수소전기차 및 충전소 보급확대에 따라 수소 대량공급의 필요성이 증대되며, 이를 위해 효율적인 수소 저장·운송기술 확보 필요
- (액화수소용 밸브) 액화수소 플랜트 구축 및 액화수소 충전소 보급 확산에 따라 액화수소용 핵심기자재의 국산화가 요구
 - * 액화수소용 초저온 밸브는 액화수소 산업 전반에 사용되는 범용성 높은 제품이나, 전량 해외 제품에 의존하여 비정상적인 고액 단가가 형성되어 있으므로 국산화를 통한 중장기적 기술자립 및 글로벌 기업 독과점 방지가 시급
- (수소배관) 현재는 금속배관이 주로 사용되나, 비용 저감 및 시공 편의성을 위해 비금속 Flexible 배관 개발 필요
 - * 울산, 여천, 대산 등에 20기압 수소배관망이 구축되어 사용되고 있으며, 장기적으로는 100기압 수소배관망 구축 필요

2. 산업·기술 동향

100 kW 이상급 고온 수전해 시스템 모듈 기술 개발

□ 해외 동향

- 미국 NREL에서 MW급 수전해를 이용해 계통보조와 에너지 저장방법에 대한 연구를 수행
- 미국 FCE는 SOFC를 개량한 SOEC로 4,700시간 운전한 실적이 있음
 - FCE는 100kW급 어셈블리를 제작하고 유동 분배 기술을 확보
 - 수소 효율 및 단위 시스템 부피당 수소 생산기술은 세계 최고 수준
- 유럽 Sunfire는 2,680kW 및 750Nm³/h 급 그린수소 생산 시스템 (HYLINK)을 개발 중
 - Multiphy 프로젝트를 통해 2020년부터 2.7MW급 시스템 실증을 추진
 - 알칼라인 및 고분자 전해질 수전해에 비해 용량은 작지만 단위 수소 생산 당 가장 낮은 전력소비량(3.7kWh/Nm³H₂)을 보이며 150kW급 SOEC 시스템을 제철소 폐열을 이용하여 실증 추진
- 기존 SOFC 분산발전 시장을 주도하던 미국의 블룸에너지를 필두로 SOFC 역량을 갖춘 업체들이 고온 수전해 시스템 개발에 참여중
 - 기존 SOFC 기술 기반 고온 수전해 시스템 개발을 추진 중이며 일부 선진업체 위주 대용량화로 상용화 가능성을 검증[TRL 6~7]
- 기존 SOFC 플랫폼을 기반으로 100~250 kW급 SOEC 시스템 모듈 설계 및 검증 완료 이후 이의 확장을 통한 MW 시스템 구성 및 시장진입을 추진하고 있으며, 이와 동시에 스택 성능 및 수명 개선, 대용량 양산 설비 투자 및 시스템 설계 최적화를 통해 고온 수전해 장치 경쟁력을 확보해가고 있음(상용화 목표 시기 '30년 이전)
- 주요국은 확장형 시스템 모듈 개발 후 실증 진행 중이며, 실증 시장은 수소환원제철, 그린 암모니아 생산 및 원자력 연계 수소생산 분야임

- (Sunfire, 독일) 시스템 기본모듈 용량 225 kW, 모듈 확장 2.7 MW
시스템 구성, 시스템 효율 84 % (LHV), 200 Nm³/hr 수소 생산 실증 진행 중
- (Bloom Energy, 미국) 시스템 기본모듈 용량 120 kW, 모듈 확장 10 MW 구성, 재생에너지 및 원자력 연계 실증 추진 중
- (Ceres, 영국) 스틸 셀 활용, MW급 SOEC 전해조 시스템 시제품 개발 및 실증 추진 중



□ 국내 동향

- 고온 수전해 시스템 개발을 위한 원천 및 기반 기술 확보 추진 중
 - 2016~2020년, 다부처 연구개발사업을 통해 kW급 SOEC 원천기술개발 사업이 진행되었으며 2021년 산업부에너지기술개발사업으로 8kW급 SOEC 시스템 개발사업이 시작되었음
 - 기초 원천기술 개발 사업으로는 2019년부터 과기부의 미래수소원천기술 개발사업이 진행 중이며 산업부에서도 2022년 신재생에너지핵심기술개발 사업으로 고성능 SOEC 원천기술개발 과제가 추진되고 있음
- SK에코플랜트는 미국 블룸에너지 수전해시스템을 도입하여 제주 재생 에너지 기반 수소생산 시범사업에 참여 중
- 일부 국내 대기업들 고온 수전해 스택기술을 보유하고 있는 선진 기술사들과 협업하여 대용량 시스템 개발 검토 및 진행 중

□ 해외 동향

- 미국은 수소 전주기 벨류체인을 구축하기 위한 1단계로 단기적 R&BD 축진을 통한 수소 및 산소 센서 개발과 안전기준 마련을 추진*

* '23년 6월 청정 수소 전략 및 로드맵(U.S. National Clean Hydrogen Strategy and Roadmap)을 발표

- QYResearch 분석 결과, 수소센서(Hydrogen Sensor)의 글로벌 시장 규모는 연평균 15.93%(2023-2029) 성장하여 2029년 1.1억 달러 규모에 도달할 것으로 전망

- 수소센서(Hydrogen Sensor)의 해외 메이저 기업은 GE, Figaro, Honeywell, Amphenol 등이며, 제품유형은 전기화학식(Electrochemical)과 MEMS 방식이 주종임

- (GE, 미국) Panametric 방식의 방폭형 수소 및 산소 센서를 판매하고 있으며, 수소 농도 분석을 위해 XMTC와 함께 사용할 수 있는 XDP 소프트웨어 옵션을 제공하여 수소 및 산소를 검지

* 수소 뿐만 아니라 산소, 이산화탄소, 메탄 또는 헬륨을 포함하는 가스 혼합물의 농도를 측정할 수 있음

- (FIGARO, 일본) 접촉연소식 센서 TGS6812를 탑재한 센서 module을 개발하였으며, 모듈형 유닛제품으로 방수성과 절연성이 요구되는 수전해 시설 등에서도 활용이 가능

* 수소 0~14,000ppm 농도 범위에서 검지 가능하며, 30초 이내(수소 4,000ppm에 대한 90% 검지 응답 특성을 가지고 있고, 간이방폭사양인 IEC60079-15 : 2001 규격에 맞춘 방폭 성능을 보유하고 있으며, 그 외 가연성 가스로 산소, 메탄, 이소부탄, 프로판가스에도 대응할 수 있음

- (Honeywell, 미국) IECEx 규격에 맞춘 방폭 기능을 확보하고 있으며 수소 및 산소를 센싱할 수 있는 가스측정기 제품을 보유

* 0.5ppm~500ppm의 농도범위에서 175 nA/ppm ±35 nA/ppm 수준의 응답성을 확보하고 있으며, 상온에서는 15초 이내, -40°C to 60°C에서는 약 30초 이내의 빠른 응답성을 나타내고, 200 ppm ~ <4 ppm의 농도 범위에서 약 180초 이내에 Recovery할 수 있음

□ 국내 동향

- 수전해 수소 생산 기술 관련하여 단일 스택 기준 알칼라인 및 PEM 수전해의 국내외 기술 격차는 크지 않고, 국내 수전해 장치 제조 기업은 스택 설계·제작 및 핵심 소재에 대한 원천기술을 보유하고 있을 만큼 기초기술이 우수한 편이나 안전기술은 미흡*
 - * 실증 및 수전해 수소생산기술의 핵심요소인 안전모니터링을 위한 수소 및 산소 센서 기술상용화 기술경쟁력은 선도국 대비 저조한 실정임
- 산업부는 수소 및 산소 센서를 요소기술로 하는 안전기준 개발, 규제 혁신, 안전관리 역량 강화 등을 주요 내용으로 하는 '수소안전관리 로드맵 2.0' 발표('23.5)* 하며, 안전성을 확보하며 산업 육성을 추진*
 - * 정밀안전진단 도입 긴급누출차단장치 의무화 등 안전관리를 강화하고 수전해 시설 등에서 수소 및 산소 검지 인프라를 구축하여 안전관리 역량 강화 추진
- 한국가스안전공사는 미국 뉴욕 수소안전센터(Center for Hydrogen Safety, CHS) 글로벌 본사에서 양국의 수소안전 문화확산 및 수소사고 예방 협력을 위한 MOU를 체결한 바가 있으며, 수소안전 기술협력 및 우수사례가 확대
 - 수소산업 전주기 안전을 확보하기 위한 기준 마련을 비롯해 핵심 요소 기술인 수소 및 산소 센서의 고성능화와 방폭 기능성 확보 등에 있어서 경쟁력을 높일 수 있을 것으로 기대
- 국내는 수전해 기기가 실증단계에 있어, 외산 방폭형 수소 및 산소 센서를 사용하고 있는 실정
- 국내 수소누출 센서 제조업체로는 센코(SENKO), 세종공업, 엠엔텍(MNTEK), 현대케피코, 위드멤스(WITHMEMS), 대현에스티 등이 있음
 - (센코) 저농도 수소를 타겟으로 하는 1,000ppm의 수소를 감지하는 수소 누설감지기를 개발하고 신기술 제품 인증을 획득
 - * 수소가 폭발할 수 있는 최소 농도인 4%까지 수소 농도 범위를 측정하면서 90°C 고온에서도 작동이 가능하며 최소 농도 4%의 4분의 1에 해당하는 1%(수소 1만ppm)일 때 알람 기능이 활성화 되도록 개발
 - (아주대) 세계 최초로 ppm 단위부터 100%까지 수소 농도 탐지 가능한

팔라듐 합금 기반 초박막 전극을 개발

- * 수소 농도 정밀 모니터링과 신뢰성 확보를 위해 기존 화학저항식 수소 센서에 널리 활용되는 팔라듐 촉매 전극을 탈피, 팔라듐 합금 기반의 초박막 전극에 대한 원천기술을 확보
- (대현에스티) 최근 광범위한 수소 누설을 정밀하게 검사할 수 있는 전자식 센서를 개발하였으며, 수소 누설 여부를 즉시 확인할 수 있는 0.01% 저농도 수소부터 100%의 고농도까지 검출 기능과 수소 배관의 미세 누출 수소부터 연료전지 수소 생산 순도 모니터링 등 전 사업 영역에서 누설을 감지하는 기술을 확보
- * 특수 테이프 변색으로 수소 누설 여부를 확인했던 솔루션에 제품 포트폴리오를 확대하며 수소 검출 센서 양산을 위한 설비 투자 확대를 추진

액화수소용 압력안전밸브 및 차단밸브 개발

□ 해외 동향

- 미국의 Emerson 및 Velan, 스위스의 Weka AG, 독일의 Goetze KG Armaturen 및 Herose 등이 자사의 고유 기술력으로 생산한 액화수소용 압력안전밸브를 출시하고 있음
 - 미국 등 주요국은 액화수소 특수성을 고려하여 성능평가 실증시험을 통해 별도의 안전기준을 개발하고 제도화하여 운영 중
- 해외 글로벌 기업*은 액화수소 핵심부품 및 충전소 상용화 및 안전 성능평가 기술을 토대로 세계 액화수소 인프라 구축 선도
 - * Linde(저장탱크, 액화펌프, 기화기, 충전기 상용화 및 부품 성능평가 기술), Air Products(충전기 상용화 및 부품 성능평가 기술), Air Liquide(저장탱크 상용화 및 부품 성능평가 기술), Fujikin, Emerson(밸브 상용화), Parker(안전밸브 상용화)
- 상용 수소액화플랜트 기술은 Air Products & Chemicals(미), Praxair(미), Linde(독), Air Liquide(프) 등 4개 기업에서 독점하고 있으며, 일본의 이와타니산업 등에서도 수소액화플랜트를 운영하고 있지만, 위에 언급된 4개 회사의 원천기술에 의존하고 있는 실정임
- 미국 등 주요국은 액화수소 특수성을 고려하여 핵심부품/시설의 성능평가 시험 실증*을 통해 별도의 안전기준 제도화 운영 중
 - * 미국 로렌스 리버모어 국립연구소는 액화수소 펌프 및 저장용기(700 bar) 성능평가 시험설비를 구축하여 내구성 테스트 실시 중('18)

□ 국내 동향

- 액화수소용 밸브는 수소 안전관리 로드맵2.0(산업통상자원부 에너지안전과, '23. 5)의 핵심부품에 포함되어 '고압가스안전관리법' 시행규칙 및 가스기술기준 개정을 위한 R&D 진행 중
- '24년부터 국내 SK E&S와 효성을 중심으로 본격적인 액화수소 생산이 예상되나, 현재 Emerson 등을 중심으로 한 해외사 제품의 수입 의존이 불가피하여 국내 시장 국산화 개발 및 시장진입에 차질 우려

- 국내 기업의 액화수소 핵심부품 국산화 기술은 초기 단계로 개발 진행 중이며, 주요 선진국 대비 기술 수준은 저조한 실정
 - * -253°C 이하의 액화수소 핵심부품 국산화 개발 상용화 사례는 미흡한 상태

< 액화수소 핵심부품 선진국 대비 기술수준 >

구 분	기술명	기술수준			
		최고 기술보유국	(최고대비%)	기술격차(년)	국내기관
생산/운송	저장탱크	프랑스/독일	69.5	3.6	두산중공업
	운송용 탱크로리	미국, 독일	66.4	3.8	-
저장 /충전소	저장탱크	프랑스/독일	68.6	3.6	두산중공업
	극저온 펌프(고압)	미국/프랑스	61.9	4.9	(주)효성,
	기화기(고압)	일본/독일/미국	69.2	3.9	두산중공업
	압축기	독일	62.9	4.6	광신기계
	가스 충전기	프랑스	70.0	3.9	-
	밸브류	미국	40.0	3.0	-

출처 : 한국기계연구원('18), 산업교육연구소('21)

- 액화수소 생산*/충전소** 기반 구축을 위한 저장탱크 및 충전소용 펌프 등 핵심 부품의 국산화 기술 개발은 일부 진행 중이나, 상용화 사례는 아직 없으며, 극저온 안전 밸브 및 극저온/고압 차단밸브의 국산화 개발은 없음
 - * 액화수소 플랜트 핵심설비인 극저온(-253°C) 대용량 저장탱크, 극저온 팽창기, 극저온 열교환기, 수소액화용 Cold Box 국산화 기술 개발('23)
 - ** 액화수소 충전소용 극저온 왕복동 펌프(100Kg/h, 90MPa급) 국산화 기술 개발('23)

□ 해외 동향

- DOE 주도 프로젝트에서 캐나다 배관 제조사인 Shawor사는 폴리에틸렌 (PE) 라이너와 유리섬유복합재 보강재 소재를 이용하여 100bar 사용가능한 4인치 배관을 개발하여 Oil & Gas 이송 배관으로 사용 중
- DOE 정책 주도로, SNL(Sandia National Laboratories)과 NREL(The National Renewable Energy Laboratories)에서 상용 금속 배관의 수소 취성 시험 및 연구 진행
- '21년 DOE는 \$160 million의 펀딩계획발표(FOA)에서 수소 R&D에 배관망을 포함한 수소수송 인프라의 가성비 향상을 위한 기술개발 포함
- 유럽은 천연가스 배관에 수소혼입 추진 중이며, 충분한 수소 공급량 이송을 위하여 신규 수소배관망 건설을 추진하는 Two-Track 전략 추진
- 네덜란드 Soluforce사는 열가소성 라이너에 섬유보강 또는 금속보강으로 파이프 유연성 및 작동압력 42bar 수준의 압력유지가 가능한 수소용 파이프를 제조, 시공하여 2019년부터 실증을 진행 중
- 아직 해외에서도 100 bar급 수소 배관의 실증이 이루어진 적이 없음

□ 국내 동향

- 석유화학단지 중심으로 금속소재 수소배관이 약 200 km 정도 구축되어 있으나, 약 20bar의 상대적으로 낮은 공급압력 단거리 이송 사용 중
- 국내 사용중인 수소배관의 재질 기준은 절반 이상이 철(Fe)을 기반으로 탄소(C), 인(P) 등이 혼합된 합금소재 금속 배관임
- 금속 배관의 부식 우려가 큰 해안 지방 등에 PE 배관이 도시가스 배관으로 일부 사용되고 있으나, 금속 배관에 비해 점유율이 극히 낮음
- 5bar 이하의 저압에서만 사용되고 있으며, PE 배관의 연결은 본 과제에서 개발하고자 하는 금속 연결 피팅이 아닌 용착 방식으로 작업자의 숙련도에 연결부의 건전성이 크게 좌우되므로 가스의 누설이 주로 연결부에서 발생
- 국내도 100 bar급을 목표로 개발을 하되, 경제성을 위해 사용 목적에 맞는 다양한 공급 압력 성능을 가진 배관을 적용할 필요가 있음

천연가스 기반 청록수소 생산 기술 개발

□ 해외 동향

○ 다양한 천연가스 열분해기술의 상용화가 추진되거나 완료된 상태임

구분		대표 회사(국가)	기술 수준
촉매	고상촉매	Hycamite(핀란드), Hazer(호주), Innova(미국), Evara(일본)	파일럿
	액상촉매	CZERO(미국), TNO(네덜란드), KIT(독일), SUSTEON(미국)	파일럿
비촉매	플라즈마	Mondolith(미국), Graforce Hydro(독일), Plenesys(미국), Spark(미국), Sumitomto(일본)	상용화 초기
	펄스연소	Ekona Power(캐나다)	파일럿
	기타 가열	BASF(독일), ETCH(미국)	파일럿

① 고상촉매 열분해

- (Hycamite, 핀란드) 고체상촉매와 고정층(혹은 유동층) 반응장치를 사용하여 천연가스 열분해 기술을 개발중이며, 현재 200 kg-H₂/day급 파일럿 플랜트를 운전하고 2,000 kg-H₂/day급 데모플랜트를 계획중
 - * 특히 탄소나노튜브 등 고부가가치의 고체탄소가 합성되는 것으로 알려져 있으며, 수소 생산 시 소요되는 에너지는 7-10 kW/Kg-H₂ 수준
- (Hazer, 호주) 미세 철광석을 사용한, 유동층 반응장치를 이용하여 열분해 기술을 개발하고 있으며, 현재 200 kg-H₂/day급 파일럿 플랜트를 운전중



[Hycarmite社 반응기(좌), Hazer社 Pilot Plant(우)]

② 액상촉매 열분해

- (C-Zero, 미국) Bi-Ni 금속 액상촉매를 이용한 고정층 반응장치를 사용하고 있으며, 현재 200 kg-H₂/day급 파일럿플랜트 개발 중
- 그 외에 KIT/Wintershall Dea(독), TNO(네) 등에서 상용화를 추진 중

③ 비촉매방식의 플라즈마 열분해

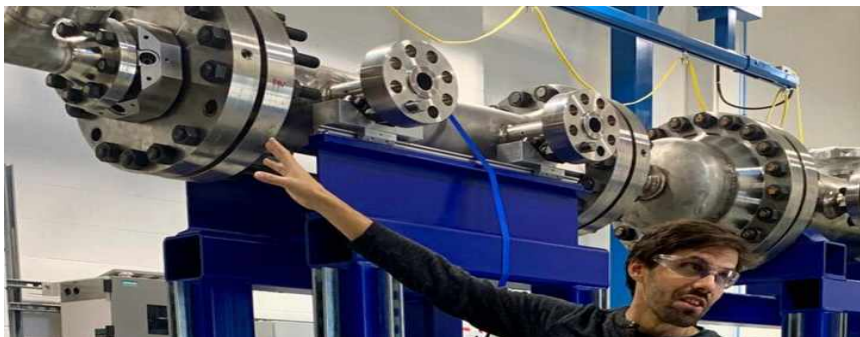
- (Monolith, 미국) 12,000kg/day급 상용플랜트를 운전하고 있으며, 생산되는 카본블랙은 미쉐린타이어사에 공급하고 있음
- (Graforce, 독일) 온사이트 타입의 플라즈마 열분해 장치를 판매하고 있으며, 수소와 함께 카본블랙이 생산됨. 수소 생산 시 소요되는 에너지는 10 kW/Kg-H₂ 수준



[Monolith社 Plant(좌), Graforce社 Plasma 장치(우)]

④ 비촉매방식의 펄스연소 열분해

- (EKONA POWER, 캐나다) Pulsed Combustion으로 고온을 유도하고, 배기가스와 천연가스를 직접 접촉 열교환하여, 효율을 높이는 방식의 열분해 반응장치를 개발하고 있음. 현재 200kgH₂/day급 파일럿 플랜트를 운전중



[EKONA POWER社의 Pulsed Combustion Reactor]

④ 기타 가열 방식의 열분해

- (BASF, 독일) 전기히터에 의해 고온을 유도하는 방식으로 열분해 장치를 개발중
- 일본, 영국, 미국 등에서는 화학반응열, 전기장 등을 이용한 열분해 장치를 개발하고 있음



[BASF의 개념 검증용 반응기(좌)와 건설 중인 Pilot Plant(우)]

□ 국내 동향

- 생산기술연구원, 아주대학교, 한국화학연구원, 전력연구원, 한국과학기술연구원 등이 천연가스 열분해 기술 분야의 기초연구를 수행함
- 생산기술연구원은 Sn, Bi 등 낮은 용점을 가지는 금속을 대상으로 연구를 2010년부터 수행함
 - * '17년 전환율 80% 달성하였으나, 촉매성능 실험이며 대형화를 위한 후속연구는 없음
- 아주대학교에서 정부과제 위주로 액상촉매에 의한 천연가스 열분해 기술의 기초연구를 수행
- 한국화학연구원 탄소자원화 연구단에서 저탄소 수소 생산 기술 개발의 일환으로 천연가스 열분해 촉매 및 탄소 고부가화 공정 개발에 착수
- 전력연구원은 '20년 미세분말 탄소촉매를 이용한 청록수소 관련 연구를 시작
 - * '23년에 수소발전과 연계한 20kWh급 시범 실증을 완료하고 '25년부터 MW급 실증 및 현장 활용의 목표를 수립

3. 특허 동향

□ 분석범위

자료구분	국가	검색DB	검색구간	검색범위
공개·등록특허	한국(KIPO)	KOMPASS (특허청 검색시스템)	2004~2023 (출원일 기준)	공개 및 등록특허 전체문서
	미국(USPTO)			
	일본(JPO)			
	유럽(EPO)			

□ (통합검색식) 한글 & 영어 통합

통합검색식	청정수소 생산 핵심기술 개발 ((AD>=20040101)<and>(AD<=20231231)))<AND>((((생산<or>제조<or>man ufactur* <or> produc*)<and>(수소<or>hydrogen))<or>((수소<or>hydrogen<o r>산소<or>oxygen)<near/1>(센서<or>검지<or>검출<or>감지<or>탐지<or> 탐측<or>측정<or>measure<or>sensor<or>gage<or>detect))) <in> TL))<AND>(((생산<or>제조<or>manufactur* <or> produc*)<and>(수소<or>hy drogen)<and>(원전<or>원자력<or>원자로<or>nuclear<or>수전해<or>(wate r<near/5>electrolysis)<or>스택<or>교환막<or>멤브레인<or>membrane<or> alkaline<or>stack<or>aem<or>청록수소<or>(meth ane<near/5>pyrolysis))) <in> AB))			
	수소 이송·저장 인프라 핵심기술 개발 ((AD>=20040101)<and>(AD<=20231231)))<AND>(((수소<or>hydrogen)<nea r/4>(트레일러<or>트레일러<or>트럭<or>운송차량<or>차량<or>truck<or>튜 브트레일러<or>(tube<near/2>trailer)<or>trailer<or>배관<or>파이프<or>튜 브<or>pipe<or>tube<or>밸브<or>고압밸브<or>valve<or>용기<or>컨테이너 <or>컨테이너<or>저장용기<or>수소저장용기<or>압축용기<or>압력용기<or >고압용기<or>라이너<or>container))<in>TL))<AND>(((수소<or>hydrogen)< and>(트레일러<or>트레일러<or>트럭<or>운송차량<or>차량<or>truck<or> 튜브트레일러<or>(tube<near/2>trailer)<or>trailer<or>배관<or>파이프<or> 튜브<or>pipe<or>tube<or>밸브<or>고압밸브<or>valve<or>용기<or>컨테이 너<or>컨테이너<or>저장용기<or>수소저장용기<or>압축용기<or>압력용기< or>고압용기<or>라이너<or>container)) <in> AB)			
연산자 의미	,	&	not	<near/[n]>
	or	and	연산자 후방의 키워드를 제외	전후방 키워드 사이에 n개 이하의 단어를 포함 (전후방 키워드 순서 상관)

청정수소 생산 핵심기술 개발

□ (대상건수) 20년간의 韓·美·日·EU 특허문헌 948건

대상국가	한국(KIPO)	미국(USPTO)	일본(JPO)	유럽(EPO)	전체
건수	217	293	273	165	948

□ 해외동향

○ 美·日·EU 전체 출원 동향



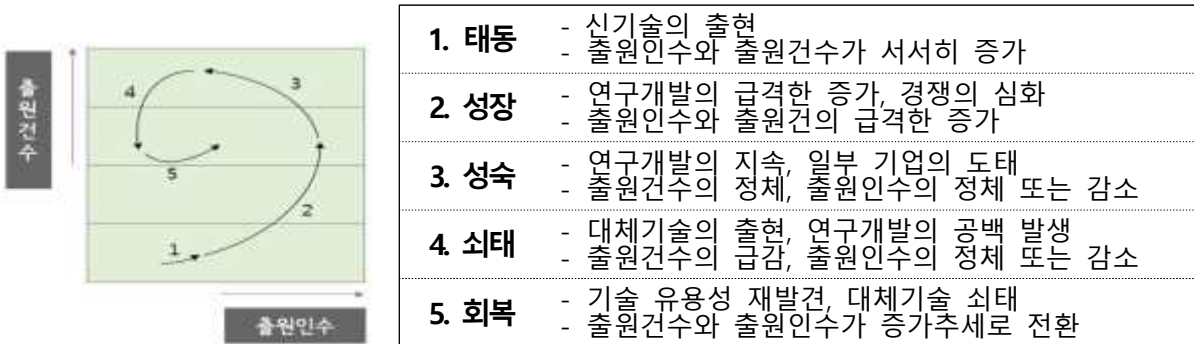
- 美, 日, EU 총 출원건수는 731건으로, 연도별 출원건수는 2004년부터 2006~7년까지 소폭 증가 이후 2016년까지 감소 추세에 있다가 2016년을 저점으로 대폭 증가하였으나 다시 2019년 대폭 감소 후 2020년 이후 증가 추세로 변환된 것으로 나타남
- 美, 日, EU에서 출원건수 기준으로 미국이 293건(40%)으로 가장 많이 출원되었고, 그다음으로 일본이 273건(37%), 유럽이 165건(23%)의 순서로 나타남(USPTO > JPO > EPO)
- 1구간('04~'08년), 2구간('09~'13년)에 40~50건 안팎의 꾸준한 출원 추이를 보이다가, 3구간('14~'18년) 초중반까지 20~30건 안팎의 감소된 출원 추이를 보인 후, 3구간('14~'18년) 후반에서 4구간('19~'23년)까지 2배 가량 대폭 증가하고 있는 성장단계에 있는 것을 고려하고 2021년 이후 미공개건인 것을 감안하면, 향후 출원량은 꾸준한 증가 추세를 유지할 것으로 예측됨

- 2022년 이후 전체 출원량이 감소하고 있는 것으로 나타나 있으나, 이는 미공개 출원건의 존재로 인한 출원량 감소 착시 효과로 인한 것임

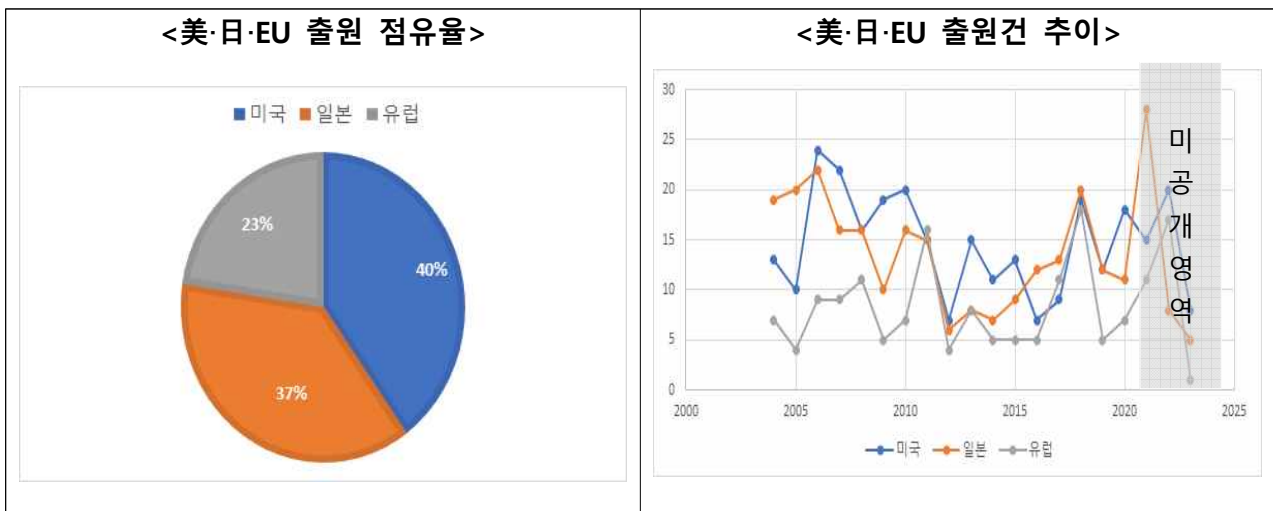
* 미공개건: 특허는 출원후 1년 6개월 이후 공개되는 것의 원칙에 따라 출원후 공개되지 아니한 상태의 출원건

* 1구간(2004~2008) / 2구간(2009~2013) / 3구간(2014~2018) / 4구간(2019~2023)

- 특허 관점에서 바라본 기술 주기(출원건수 기준)



○ 美·日·EU 국가별 출원 동향



- 미국의 총 출원건수는 293건으로 2006년도 고점 이후 점차 감소하였으나 2016년을 저점으로 꾸준한 증가 추세에 있음
- 일본의 총 출원건수는 273건으로 2004부터 2006년까지 20건 안팎의 활발한 출원 추이를 보였으나, 꾸준한 감소 이후 2014년을 저점으로 꾸준한 증가세로 돌아선 이후 2021년 급격한 증가세를 나타내고 있음
- 유럽의 총 출원건수는 165건으로 2004부터 2016년까지 장기간 5건에서 10건 사이의 저조한 출원 추이를 보였으나 2017년 이후 꾸준한 증가세를 나타내고 있음
- 美·日·EU 점유율 동향을 보면, 미국이 40%로 가장 비중이 높고, 일본은 37%, 유럽은 23%로 확인됨

○ 美·日·EU 국가별 주요 출원인 동향(TOP5)

- 미국 주요 출원인 동향(TOP5)



- 미국 특허청에 출원한 상위 출원인을 살펴보면, Utility Global 15건, Saudi Arabian Oil Company 12건, Battelle Energy Alliance 10건, Asia Pacific fuel cell 8건, KING SAUD UNIVERSITY 6건 순으로 확인되고, 혼다, 현대기아차, 도시바, Air product 등 기타 출원인이 대다수인 것으로 나타남
- Top5 상위 출원인 비율은 전체 출원의 17%를 차지하고 있어 주요 출원인 비율이 낮은 편이고 다수의 출원인이 고루 분포되어 있는 점에 비추어 볼 때, 특허 관점에서 바라본 산업의 주기는 태동기에서 성장기 사이에 위치해 있는 것으로 파악됨

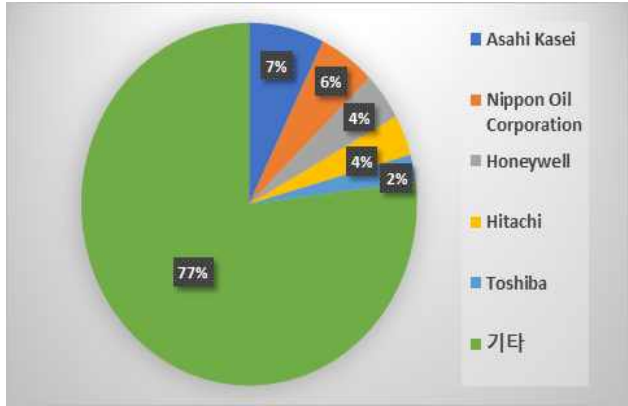
- 일본 주요 출원인 동향(TOP5)



- 일본 특허청에 출원한 상위 출원인을 살펴보면, 토요타 19건, 미츠비시 16건, 아사히 화성 15건, 토시바 12건, 혼다기켄 공업 11건 순으로 확인되고, 고베 제강소, 히타치 제작소, 토요타 중앙연구소, 스미모토 등 기타 출원인이 절반 이상을 차지하는 것으로 나타남
- Top5 상위 출원인 비율은 전체 출원의 27%를 차지하고 있어 주요 출원인 비율이 적은 편이고 다수의 출원인이 고루 분포되어 있는 점에 비추어 볼 때, 특허 관점에서 바라본 산업의 주기는 태동기에서 성장기 사이에 위치해 있는 것으로 파악됨

- 유럽 주요 출원인 동향(TOP5)

<유럽 주요 출원인별 점유율 및 출원건수>



순위	출원인	출원건
1	Asahi Kasei	12건
2	Nippon Oil Corporation	9건
3	Honeywell	7건
4	Hitachi	6건
5	Toshiba	4건
6	기타	127건

- 유럽 특허청에 출원한 상위 출원인을 살펴보면, Asahi Kasei 12건, Nippon Oil Corporation 9건, Honeywell 7건, Hitachi 6건, Toshiba 4건 순으로 확인되고, JX Nippon Oil, Hydrogen Power, Proton Technologies 등 기타 출원인이 대다수인 것으로 나타남
- Top5 상위 출원인 비율은 전체 출원의 23%를 차지하고 있어 주요 출원인 비율이 매우 낮은 편이고, 1~2건만 출원한 다수의 출원인이 고루 분포되어 있는 점에 비추어 볼 때, 특허 관점에서 바라본 산업의 주기는 태동기에서 성장기 사이에 위치해 있는 것으로 파악됨

○ 미국의 해외 우선권 주장 출원 비율

출원/등록	전체	우선권 주장	비율
출원	293	146	49.8%

○ 일본의 해외 우선권 주장 출원 비율

출원/등록	전체	우선권 주장	비율
출원	273	63	23.1%

○ 유럽의 해외 우선권 주장 출원 비율

출원/등록	전체	우선권 주장	비율
출원	165	127	76.9%

* 해외 우선권 주장을 근거로 출원한 각국의 국내 출원 특허는 출원, 심사청구 및 번역 등의 비용이 고가인 점을 감안하면 권리행사를 목적으로 하는 가치 중심의 특허 지표로 판단할 수 있음(비율이 높을수록 특허의 효용가치가 높은 것으로 판단)

□ 국내 동향

○ 한국 전체 출원 동향



- 한국의 총 출원건수는 217건으로, 연도별 출원건수는 2004년부터 2018년까지 꾸준히 10건 안팎에 머물러 있다가 2019년을 기점으로 2023년까지 급격한 증가 추세를 이어오고 있음
- 1구간('04~'09년) 대비 4구간('19~'23년)에서의 특허 출원건수 규모가 대략 400% 이상 증가하고 있는 성장단계에 있고 2021년 이후 미공개건 구간임에도 불구하고 출원량이 급증하는 점을 고려할 때, 향후 출원량은 급격한 증가 추세를 유지할 것으로 예측됨

- 한국 주요 출원인 동향(TOP5)



- 한국 특허청에 출원한 상위 출원인을 살펴보면, 한국수력원자력 24건, 한국과학기술원 12건, 한국에너지기술연구원 11건, 한국전력 8건, 삼성중공업 6건 순으로 확인되고, 사우디 아라비안 오일 컴퍼니, 에이피그린, 에코프로에이치엔, 서강대학교 등 기타 출원인이 대다수를 차지하는 것으로 나타남
- Top5 상위 출원인 비율은 전체 출원의 28%를 차지하고 있어 주요 출원인 비율이 저조한 편이고 국책 연구원 중심의 연구개발이 진행되고 있으며, 다수의 출원인이 고루 분포되어 있는 점에 비추어 볼 때, 특허 관점에서 바라본 산업의 주기는 태동기에서 발전기 사이에 위치해 있는 것으로 파악됨

○ 한국의 해외 우선권 주장 출원 비율

출원/등록	전체	우선권 주장	비율
출원	217	19	8.7%

* 해외 우선권 주장을 근거로 출원한 국내 출원 특허는 출원, 심사청구 및 번역 등의 비용이 고가인 점을 감안하면 권리행사를 목적으로 하는 가치 중심의 특허 지표로 판단할 수 있음(비율이 높을수록 특허의 효용가치가 높은 것으로 판단)

수소 이송·저장 인프라 핵심기술 개발

□ (대상건수) 20년간의 韓·美·日·EU 특허문헌 1110건

대상국가	한국 (KIPO)	미국 (USPTO)	일본 (JPO)	유럽 (EPO)	전체
건수	297	340	295	178	1110

□ 해외동향

○ 美·日·EU 전체 출원 동향



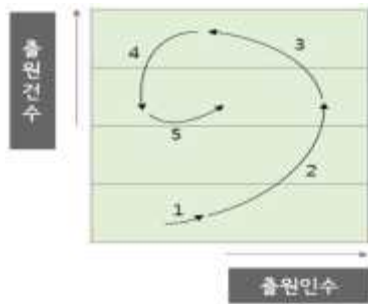
- 美, 日, EU 총 출원건수는 813건으로, 연도별 출원건수는 2004년 고점 이후로 꾸준히 감소하다가 2011년을 저점으로 점차 증가 이후에 소폭 하락후 증가 추세에 있는 것으로 나타남
- 美, 日, EU에서 출원건수 기준으로 미국이 340건(42%)으로 가장 많이 출원되었고, 그다음으로 일본이 295건(36%), 유럽이 178건(22%)의 순서로 나타남(USPTO > JPO > EPO)
- 1구간('04~'08년)에서 대략 50건 안팎의 꾸준한 출원 추이를 보이다가 2구간('09~'13년) 중반 이후 저점을 찍은 이후 2구간('09~'13년) 후반부터 3구간('14~'18년) 및 4구간('19~'23년)까지 40건 안팎의 꾸준한 출원 추이를 보이고 있어 성숙단계에 있는 것으로 판단되고, 또한 2021년 이후 미공개건인 것을 감안하면, 향후 출원량은 꾸준히 보합 추세를 유지할 것으로 예측됨

- 2022년 이후 전체 출원량이 감소하고 있는 것으로 나타나 있으나, 이는 미공개 출원건의 존재로 인한 출원량 감소 착시 효과로 인한 것임

* 미공개건: 특허는 출원후 1년 6개월 이후 공개되는 것의 원칙에 따라 출원후 공개되지 아니한 상태의 출원건

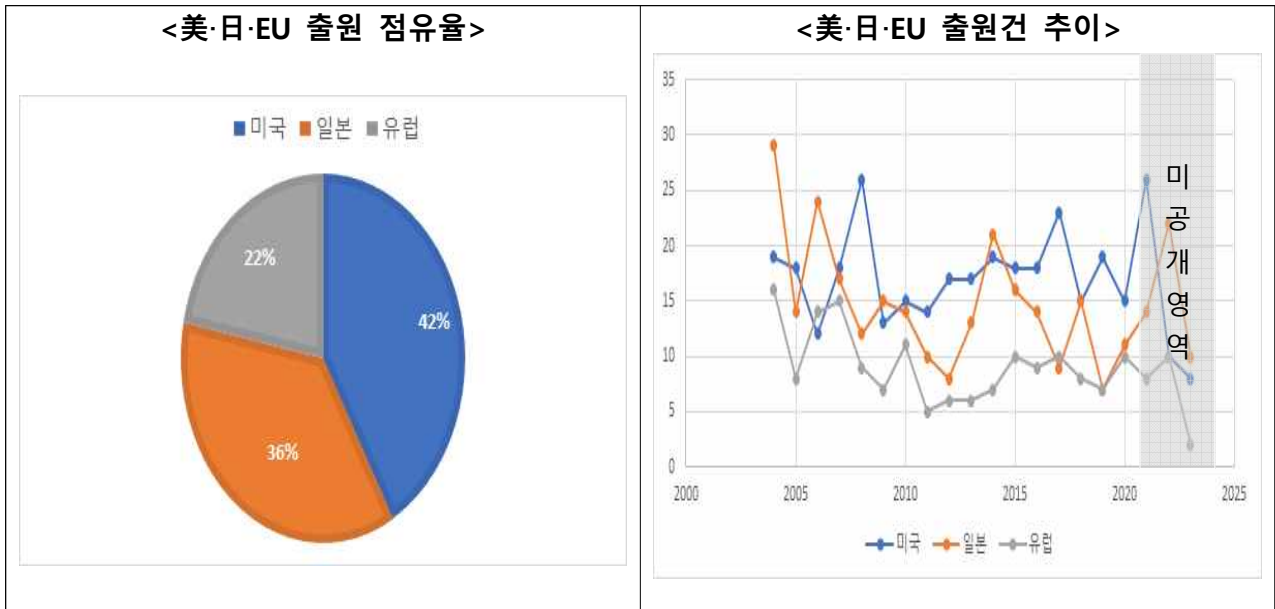
* 1구간(2004~2008) / 2구간(2009~2013) / 3구간(2014~2018) / 4구간(2019~2023)

- 특허 관점에서 바라본 기술 주기(출원건수 기준)



1. 태동	- 신기술의 출현 - 출원인수와 출원건수가 서서히 증가
2. 성장	- 연구개발의 급격한 증가, 경쟁의 심화 - 출원인수와 출원건의 급격한 증가
3. 성숙	- 연구개발의 지속, 일부 기업의 도태 - 출원건수의 정체, 출원인수의 정체 또는 감소
4. 쇠퇴	- 대체기술의 출현, 연구개발의 공백 발생 - 출원건수의 급감, 출원인수의 정체 또는 감소
5. 회복	- 기술 유용성 재발견, 대체기술 쇠퇴 - 출원건수와 출원인수가 증가추세로 전환

○ 美·日·EU 국가별 출원 동향



- 미국의 총 출원건수는 340건으로 2004년도 이후 꾸준히 20건 안팎의 출원 추이를 보이다가 2021년 26건의 고점 이후 점차 감소 추세에 있음
- 일본의 총 출원건수는 295건으로 2004년 최고점 이후 15건 안팎의 꾸준한 증감 추이를 반복하는 것으로 나타남
- 유럽의 총 출원건수는 178건으로 2004년부터 2012년까지 꾸준한 감소 추세를 보이다가 2011년을 저점 이후로 소폭 증가 추세로 변환된 이후 최근 2022년 이후 소폭 증가하고 있는 것으로 보임
- 美·日·EU 점유율 동향을 보면, 미국이 42%로 가장 비중이 높고, 그다음으로는 일본 36%, 유럽 22%로 확인됨

○ 美·日·EU 국가별 주요 출원인 동향(TOP5)

- 미국 주요 출원인 동향(TOP5)



- 미국 특허청에 출원한 상위 출원인을 살펴보면, THE CHUGOKU ELECTRIC POWER 12건, JFE STEEL 11건, MiZ Company 10건, SHELL OIL COMPANY 9건, KWaterCraft 7건 순으로 확인되고, Airbus SAS, Air Products, GASCONTEC GMBH, Panasonic 등 기타 출원인이 대다수인 것으로 나타남
- Top5 상위 출원인 비율은 전체 출원의 14%를 차지하고 있어 주요 출원인 비율이 낮은 편이고 다수의 출원인이 고루 분포되어 있는 점에 비추어 볼 때, 특허 관점에서 바라본 산업의 주기는 태동기에서 성장기 사이에 위치해 있는 것으로 파악됨

- 일본 주요 출원인 동향(TOP5)



- 일본 특허청에 출원한 상위 출원인을 살펴보면, 토요타 자동차 21건, 혼다기켄 공업 13건, 킷트 주식회사 13건, 히타치 12건, JFE 스틸 11건 순으로 확인되고, 일본 제강소, 토시바, 코베 제강소, 토요 알루미늄, 태평양 시멘트, 이토엔 등 기타 출원인이 절반 이상을 뛰어넘어 대부분을 차지하는 것으로 나타남
- Top5 상위 출원인 비율은 전체 출원의 24%를 차지하고 있어 주요 출원인 비율이 낮은 편이나 미국 유럽에 비해서는 주요 출원인의 약진이 돋보이고 다수의 출원인이 고루 분포되어 있는 점에 비추어 볼 때, 특허 관점에서 바라본 산업의 주기는 활발히 진행되고 있는 성장기에 위치해 있는 것으로 파악됨

- 유럽 주요 출원인 동향(TOP5)



- 유럽 특허청에 출원한 상위 출원인을 살펴보면, BASF SE 6건, IFP Energies nouvelles 5건, CASALE SA 5건, Corning Corporation 4건, Saudi Arabian Oil Company 4건 순으로 확인되고, JFE Steel, SHELL INTERNATIONALE, Air Products, Bayer Material Science AG, China Petroleum 등 기타 출원인이 대다수인 것으로 나타남
- Top5 상위 출원인 비율은 전체 출원의 13%를 차지하고 있어 주요 출원인 비율이 매우 낮은 편이고, 1~2건만 출원한 다수의 출원인이 고루 분포되어 있는 점에 비추어 볼 때, 특허 관점에서 바라본 산업의 주기는 태동기에서 성장기 사이에 위치해 있는 것으로 파악됨

○ 미국의 해외 우선권 주장 출원 비율

출원/등록	전체	우선권 주장	비율
출원	340	212	62.3%

○ 일본의 해외 우선권 주장 출원 비율

출원/등록	전체	우선권 주장	비율
출원	295	51	17.3%

○ 유럽의 해외 우선권 주장 출원 비율

출원/등록	전체	우선권 주장	비율
출원	178	128	71.9%

* 해외 우선권 주장을 근거로 출원한 각국의 국내 출원 특허는 출원, 심사청구 및 번역 등의 비용이 고가인 점을 감안하면 권리행사를 목적으로 하는 가치 중심의 특허 지표로 판단할 수 있음(비율이 높을수록 특허의 효용가치가 높은 것으로 판단)

□ 국내 동향

○ 한국 전체 출원 동향



- 한국의 총 출원건수는 297건으로, 연도별 출원건수는 2004년부터 2008년까지 2건에 머물러 있다가 2009년 이후부터 2019년까지 10건 안팎의 박스권 출원을 유지한 후, 2020년 이후 급격한 증가 추세를 이어오고 있음
- 1구간('04~'09년) 대비 4구간('19~'23년)에서의 특허 출원건수 규모가 대략 2000% 이상 증가하고 있는 성장단계에 있고 2021년 이후 미공개건 구간임에도 불구하고 출원량이 급증하는 점을 고려할 때, 향후 출원량은 급격한 증가 추세를 유지할 것으로 예측됨

- 한국 주요 출원인 동향(TOP5)



- 한국 특허청에 출원한 상위 출원인을 살펴보면, 대우조선해양 16건, 현대케피코 14건, 한국수력원자력 9건, JFE 스틸 7건, 포스코 6건 순으로 확인되고, 피케이벨 브앤 엔지니어링, 유엘피, 한국탄소산업진흥원, 성우하이텍 등 기타 출원인이 대다수를 차지하는 것으로 나타남
- Top5 상위 출원인 비율은 전체 출원의 17%를 차지하고 있어 주요 출원인 비율이 저조한 편이고 다수의 출원인이 고루 분포되어 있는 점에 비추어 볼 때, 특허 관점에서 바라본 산업의 주기는 태동기에서 발전기 사이에 위치해 있는 것으로 파악됨

○ 한국의 해외 우선권 주장 출원 비율

출원/등록	전체	우선권 주장	비율
출원	297	32	10.7%

* 해외 우선권 주장을 근거로 출원한 국내 출원 특허는 출원, 심사청구 및 번역 등의 비용이 고가인 점을 감안하면 권리행사를 목적으로 하는 가치 중심의 특허 지표로 판단할 수 있음(비율이 높을수록 특허의 효용가치가 높은 것으로 판단)

4. 표준화 동향

□ 해외 동향

- 수소 분야 국제표준은 주로 ISO/TC 197 (Hydrogen technology)에서 다루고 있으며, IEC/TC 105는 연료전지와 관련된 기술 관련 표준을 다루고 있음
- 그린수소 관련 표준화의 경우 ISO TC 197에서 연료전지용 수전해 분야가 제정 중이므로 IEC TC 105에서는 Regenerative fuel cell로 접근 중
- * 재생에너지 이용 수전해(P2G), 액체수소 설비 등의 차세대 모빌리티·수소공급 분야에서 '30년까지 26건 표준 개발 전망

일본	·고정형 가정용 연료전지의 성능, 휴대용 연료전지의 안전 (3종) ·마이크로 연료전지의 안전 성능 카트리지 호환 (3종) ·고분자전해질, 고체산화물, 연료전지의 단위셀 시험법 (2종)
미국	·고정형 연료전지 안전 ·마이크로 간접 고분자전해질 연료전지 안전
유럽	·연료전지 모듈, 고정형 연료전지 파워시스템의 설치 (2종, 독일) ·산업용 트럭 연료전지의 안전 성능 (2종, 네덜란드) ·가정용 열병합 연료전지 시스템 (스위스)
중국	·연료전지 수전해

○ 수소생산 분야 주요 ISO 표준

- 수전해 스택 성능 및 안전 표준(ISO 22734:2019)
 - * 수전해 모듈 장치의 건설, 안전, 성능요구에 대한 표준으로써, PEM, AEM, 염기성 및 산성 전해질을 이용한 수전해 모듈의 성능을 포함하고 있으며, 산업용, 상용, 실내, 실외, 주거용 수전해 설비에 대한 요구사항을 포함하고 있음
 - * This document is applicable to hydrogen generators that use the following types of ion transport medium:
 - ✓ group of aqueous bases;
 - ✓ group of aqueous acids;
 - ✓ solid polymeric materials with acidic function group additions, such as acid proton exchange membrane (PEM);
 - ✓ solid polymeric materials with basic function group additions, such as anion exchange membrane (AEM)

- ISO/AWI 22734-1 Hydrogen generators using water electrolysis – Industrial, commercial, and residential applications – Part 1: General requirements, test protocols and safety requirements(산업, 상업 및 주거용 수전해 수소 발생기 - 일반 요구사항, 시험방법, 안전 요구사항)
- ISO/AWI TR 22734-2 Hydrogen generators using water electrolysis – Part 2: Testing guidance for performing electricity grid service (산업, 상업 및 주거용 수전해 수소 발생기 - 전력 그리드 서비스 시행을 위한 시험 지침)
- 수소생산 시스템 성능평가 표준(ISO 16110-2:2010)
 - * package, self-contained 또는 공업용 수전해 설비 등 400 Nm³/h, 101,325 kPa(1 기압) 보다 작은 용량의 설비에 대한 성능평가에 대한 표준임
- 수소생산 시스템 안전 관련 표준(ISO 16110-1:2007)
 - * package, self-contained 또는 공업용 수전해 설비 등 400 Nm³/h, 101,325 kPa(1 기압)보다 작은 용량의 설비의 안전에 대한 표준으로, 탄화수소, 바이오매스 및 합성가스, 타운가스 등을 이용한 수소생산 시스템의 안전에 대한 표준
- 수소생산 분야 주요 SAE 표준
 - SAE J2594 : Recommended Practice to Design for Recycling Proton Exchange Membrane (PEM) Fuel Cell Systems(STABILIZED Sep 2011)
- 기타 연료전지 관련 IEC 표준
 - 정치형 연료전지 시스템 및 모듈의 안전(IEC 62282-2-100, 3-100)
 - * 정치형 연료전지 시스템의 안전 및 설치/운영에 대한 요구사항에 대한 규격문서로, 연료전지 모듈을 포함하고 있는 형태별/목적별 세부 규격에 의해 대체될 수 있음
 - 정치형 연료전지 시스템의 성능평가(IEC 62282-3-200-ED3)
 - * 정치형 연료전지 시스템의 성능평가에 대한 표준으로 2025년 6월 공개를 예정으로 작업반 활동이 진행되고 있음

- 수소기술 분야 국제표준 전개 방향
 - 향후 ISO/TC 197(수소기술)의 표준화 추진 방향은 산업 전반의 다양한 분야로 어플리케이션을 확대하고 시장 경제성을 확보하기 위한 기술 분야로 표준화 추진이 예상됨
 - 재생에너지와 연계한 그린수소의 생산, 에너지 저장, 그리드 밸런싱 및 다양한 모빌리티(철도, 선박, 항공, 채광 분야)의 활용 분야로 확대하기 위한 기술표준화가 진행될 것으로 예상
- 수소인프라 분야 주요 ISO 표준(수소충전소에 대한 ISO TC 197중에서 주요 활동내용은 다음과 같음)
 - WG 24(Gaseous hydrogen - Fuelling protocols for hydrogen-fuelled vehicles) 는, Technical Program(TP), Built Environment and Safety에 속해있음
 - * WG 24가 다루는 ISO/AWI 19880-1은 전체 충전설비의 다른 단위 설비를 다루는 (예: Dispenser, valves, compressor 등) 문서들을 포괄하는 중심 문서이며 WG 19-23까지 5개 WG이 제정하는 표준문서와 관련이 있어서 이들 WG과 공조를 이루면서(Harmonization) 활동
 - WG 19, 20, 22, 23 : TP, Components and Vehicular Applications
 - WG 21 : TP, Production, Storage and Handling
 - Hydrogen Fueling Family : 수소충전소의 시스템과 설비 및 안전의 표준을 제정
- ISO 수소 기술위원회에서 수소기술의 시장접근성 향상을 위해 극저온 용기, 극저온용 밸브, 단열성능 등 제품에 관한 표준과 극저온용 펌프, 안전 고려사항 등에 대한 표준을 발간
 - 액체수소 설비, 재생에너지 이용 수전해(P2G) 등의 차세대 모빌리티·수소 공급 분야에서 '30년까지 26건 표준 개발 전망

국제표준(용기 등 제품)	국제표준(펌프, 안전 등 시설)
ISO21013(극저온 용기 규격) ISO21010(극저온 용기 호환성) ISO21011(극저온용 밸브) ISO21014(극저온용기 단열 성능) ISO21012(극저온용기용 호스) ISO23208(극저온 용기 청결도) ISO21009(고정된단열극저온용기) ISO21028-1,2(극저온물질의요구조건1,2) ISO28921-1,2(극저온용 차단 밸브1,2) ISO13985(수소 연료 차량 탱크)	ISO24490(극저온용 펌프) ISO14687-2(수소 연료-제품 사양) ISO20421-1(운반가능한절연극저온용기) ISO19880-1(수소충전소의 운영 사항) ISO13984(액화수소-차량 연료 공급) ISO/TR15916(수소안전 고려 사항) ISO21029-1(1,000L이하의 운반 가능한 진공 절연 용기)

- 수소자동차 및 충전소에 쓰이는 각종 부품 시험기준을 이용 부품단위에서 기밀성 평가 함

※ 부품 평가 기준 : (국내) KS B ISO 19880-3, (국외) ISO 19880-3

ISO 19880-1:2020 Gaseous hydrogen — Fuelling stations — Part 1: General requirements
ISO 19880-3:2018 Gaseous hydrogen — Fuelling stations — Part 3: Valves
ISO 19880-5:2019 Gaseous hydrogen — Fuelling stations — Part 5: Dispenser hoses and hose assemblies
ISO/AWI 19880-5 Gaseous hydrogen — Fuelling stations — Part 5: Dispenser hoses and hose assemblies
ISO/CD 19880-6 Gaseous hydrogen — Fueling stations — Part 6: Fittings
ISO/AWI 19880-7 Gaseous hydrogen — Fuelling stations — Part 7: O-rings

- 수소배관 관련 해외 기준으로는 ASME B31.12(Hydrogen Piping and Pipelines)가 운영되고 있으며, 이 기준에서는 수소배관에 사용가능한 재료의 사양을 제시
- 현재 ASME B31.12에 등록된 수소배관 재료는 금속재료만 등록되어 있고, 미국은 비금속(FRP) 수소배관 개발 및 실증 연구를 통해 비금속 수소배관 재료를 등록하기 위한 회의를 진행 중
- 수소배관에 대한 시험기준은 아래와 같음

시험	적용 규격
Conditioning	ASTM D618 / D2686
Regression pressure testing	API spec 15S Section 5.3.3.3, Annex H / ASTM D2992 Procedure B (Following D1598)
Cyclic pressure testing	API spec 15S Annex G / ASTM D2992 Procedure A (Following D2143)
Short-term burst pressure testing	API spec 15S Section 5.2.3.5 / ASTM D1599 Procedure A
Minimum bend radius pressure testing	API spec 15S Section 5.5.2
Axial load testing	API spec 15S Section 5.5.3
External load testing	API spec 15S Section 5.5.4 / ASTM D2412
Rapid decompression testing	API spec 15S Section 5.5.1, Annex C
Fitting gas leak testing	API RP 15S Section 5.3.1
Impact resistance testing	API spec 15S Section 5.7.3 / ASTM D2444
Thermal expansion & pressure expansion testing	API spec 15S Sections 5.7.4, 5.7.5
제품 검증을 위한 1,000 시간 시험	API Spec 15S 5.3.5.2 / ASTM D1598

- 해외의 수소배관에 관련된 설계코드는 ASME B31.12, B31.4, B31.8, B31.12 등이 있는 것으로 파악
- 이 중 Process piping, Liquid pipeline, Gas pipeline에 관한 코드로서 수소용 배관에 대한 설계코드는 ASME B31.12가 있음
 - ASME B31.12는 수소 환경에서의 pipeline의 소재별, 온도별, 압력별 물성치와 파이프 두께 등을 평가할 수 있으며, 수소배관으로 사용하기 위한 물성 규격 등에 관한 정보가 포함

□ 국내 동향

- 국내는 가스안전공사(4개소)* 및 가스기술공사(1개소)**에서 수소전기차 및 수소충전소용 용기·부품과 수소용품(수전해, 추출기, 연료전지) 시험 검사 인프라를 구축 및 운영
 - * 가스안전공사 : 에너지안전실증센터, 수소용품 검사지원센터, 액화수소 검사지원센터, 수소버스 전주기 제품안전성지원센터 : 가스기술공사 운영

센터명	주요 현황
에너지안전실증센터	수소전기차용 용기·부품·화재시험
수소용품 검사지원센터*	수소용품 4종 시험
전주기 제품안전성지원센터	수소전기차 및 충전소 부품시험
수소버스·충전소 부품시험평가센터**	대용량 수소용기 및 부품시험

* 2024년 개소 예정, ** 2024년 개소 예정

- (법정검사) 수소관련 제품 및 시설의 검사는 수소법 및 고압가스안전관리법에

따라 가스안전공사 실시 및 자동차관리법에 따라 교통안전공단에서 실시

관련법 (검사기관)	검사	제품군
수소법 (가스안전공사)	제품	수전해설비, 추출설비, 이동형·고정형 연료전지
	시설	수소사용시설
고압가스안전관리법 (가스안전공사)	제품	수소탱크, 용기, 밸브류
	시설	수소생산시설, 수소충전소, 수소저장소
자동차관리법 (교통안전공단)	제품	수소탱크, 용기 및 용기안전장치, 부품류 7종
	차량	수소전기차

○ 관련 분야 주요 국내표준

- 연료전지 시스템(KS C 8569)

* 국제표준 IEC 62282-2-100, 3-100에 대응하는 국내표준으로서, 고분자전해질연료 전지 시스템, 직접메탄올연료전지 시스템, 고체산화물연료전지 시스템에 대해 비정치형, 정치형에 대한 공통 시험항목과 추가시험항목, 재료 및 구조의 기본 성능과 안정성능에 대한 시험방법을 다루고 있음

- 수전해설비 제조의 시설·기술·검사 기준(KGS AH271)

* 산성 및 염기성 수용액, AEM, PEM 전해질을 이용하는 수전해 설비 및 그 부대 설비 제조의 시설 기술·검사·기준에 대한 코드로 2022년 2월 5일부터 시행하였으며, 수전해 설비의 누설전류 시험과 수소생산 효율 시험을 제시하고 있음

○ KGS AH372(이동형 연료전지 제조의 시설·기술·검사 기준) 1종 제정안

* 산업용 지게차에 설치되는 것으로서 정격출력 전압이 DC 150V 이하인 이동형 연료전지 중 DMFC(직접메탄올 연료전지) 또는 PEMFC(수소 연료 고분자전해질 연료 전지) 형태의 연료전지의 제품 제조시 적용하는 안전기준 신설

○ 고무재료에 대한 시험기준은 일반적으로 재료에 대한 물리적 시험과 화학적 시험으로 구분되며 국내에서는 KS M 6518에서 대부분 규정

○ 국내의 수소배관은 고압가스안전관리법에 따라 KGS FP111(고압가스 특정제조 시설기준), FP112(고압가스 일반제조 시설기준), FS112(배관에 의한 고압가스 판매 기준)에 의한 배관 재료 기준을 따름

○ 고압의 압력을 받는 부분(이하“내압부분”이라한다)에 사용하는 재료는 가스의 종류·성질·온도 및 압력 등의 사용조건에 따라 정한 규격의 재료

또는 이와 동등 이상의 기계적 성질 및 화학적 성분을 갖는 재료를 사용하도록 하고 있음

- 현재의 수소배관 재료는 모두 금속 재질에 한정하고 있으며, 비금속 배관 개발 시 평가를 통해 안전성을 확인하고, KS 재료 등록 및 고압 가스 배관 재료 등록(KGS CODE)이 필요
- 국내에는 수소용 배관에 특화된 관련된 규격과 설계코드가 없으며, KGS FP112(고압가스 일반제조의 시설·기술·검사·감리·안전성평가 기준)에 따르면 고압가스 중 수소가 포함되어 있고 배관에 대한 설계, 기술, 점검, 검사 등에 대한 기준 및 항목이 포함
- 국내에서도 수소에 대한 규격 및 표준화가 진행되어야 할 필요가 있으며 현재는 해외의 평가규격과 설계코드를 사용하여 적용할 수밖에 없음

5. 정부R&D 지원현황

100 kW 이상급 고온 수전해 시스템 모듈 기술 개발

□ 투자 동향

- 알칼리 수전해 및 PEM 수전해에 대한 투자는 소규모부터 MW급 실증까지 다양하게 투자되고 있으나 SOEC는 소규모 소재 분야 등으로 제한
- 고온 수전해 개발 분야는 소규모 셀/스택 기반 기술 연구 및 시스템 요소기술 분야에 제한적으로 진행
- 대용량 시스템 모듈 기술 개발 부분에 대한 투자는 진행된 바 없음

< SOEC 분야 주요 R&D 현황 >

사업명	과제명	주요내용	부처명 (전문기관)	기간
미래선진 원자로핵심 요소기술개발	초고온 증기 활용 고온수전해 모듈 제작 및 운전기술 개발	•셀면적 100 cm ² •1 kW SOEC 스택 평가 •6 kW 스택 개념 설계	과기부 (한국연구 재단)	'21.4 ~ '24.12
연구원연 구운영비 지원	저품위 산업열 연계 600 °C 대역 작동형 고온수전해 시스템 개발	•10 kW급 스택 •650 °C 작동(효율 LHV81%) •열화율 <1.5 %/khr •수소생산 > 2.5 Nm ³ /hr	과기부 (한국에너지 기술연구원)	'22.1 ~ '26.12
신재생에 너지핵심 기술개발	대면적 고효율 고체산화물 수전해(SOEC) 평판형 셀, 20 kW급 스택 모듈 및 시스템 개발	•셀면적 100 cm ² •5셀-스택 제작 및 평가, 제조 공정 표준화 •5 kW SOEC 단위 스택 설계 및 공정 개발	산업부 (KETEP)	'21.5 ~ '25.4
신재생에 너지핵심 기술개발	다차원 산화물 기반 양방향 수전해 기술	•효율: SOEC(80 %) 이상 SOFC(50 %) 이상 •스팀-수소 전환율 45 % 이상 •1 kW스택, 모듈 30 kW	과기부 (한국연구 재단)	'16.12 ~ '23.11
신재생에 너지핵심 기술개발	650 °C 중저온 작동형 고체산화물 수전해 국산화를 위한 소재, 셀 및 0.4 Nm ³ /h급 스택 원천기술 개발	•650 °C 작동 스택 소재 개발	산업부 (KETEP)	'22.4 ~ '26.3

□ 기술개발 현황

- 국내 저온 수전해는 MW급 시스템에 대한 실증 단계 수준
 - 시스템 내구성이나 운전 방법에 대한 연구는 미흡한 수준
 - 재생에너지 변동성 대응에 대해 활용 가능한 연구 결과는 아직 초기 수준
- 고온 SOEC는 소재 및 단위셀 개발 수준에 머물러 있는 수준
 - 대면적 셀이나 스택 개발이 있었으나 실증 단계에는 미치지 못함
 - 플랜트의 고온 수증기를 활용한 SOEC에 대해 활용할 수준의 연구 결과는 미흡
 - 재생에너지 변동 대응과 관련하여 SOEC 자체의 특성 관련 기술 개발 결과는 없으며 상용화 수준인 상온 수전해 시스템과 비교 자료 또한 없는 상태
- 국내 고온 수전해 분야는 셀/스택 소재 및 기반 연구 부분 등에 집중
- 고온 수전해 핵심 부품인 셀/스택은 소규모 셀 기반 연구 이후 스택 단위의 제작을 위해서는 세라믹 프린팅 및 소결 공정을 포함한 복잡한 공정 기술 개발과 대단위 투자가 필요하여 국내에서 대용량 시스템 단위 기술 개발을 진행하기 어려운 진입장벽으로 존재

수전해용 수소 및 산소 센서 개발

- 수전해 과정에서 수소와 산소가 혼합되면 큰 위험에 처할 수 있으며, 특히 낮은 전류밀도로 수전해 설비가 운전될 경우 수소와 산소가 섞일 확률이 높아 이러한 공정상 수소 및 산소 센서는 반드시 필요함
 - 이러한 수전해 수소 생산 공정상 센서 기반의 안전기준 기술개발, 안전 관리 역량 강화 기술에 필요성은 계속 대두되고 있으나, 직접적인 R&D 투자는 미흡한 것으로 보임
 - 수소 가스 누출 감시를 위한 MEMS 기반의 전기 저항식/변색성 하이브리드 타입의 기술개발과 수소 인프라용 고농도 센서 및 실시간 모니터링 시스템 개발 투자가 집중된 것으로 보임
 - 상당한 과제들이 수소센서 및 산소센서의 동작온도, 응답시간, 정확도, 동작 농도범위 등에 대한 검지능력 고도화에 정부R&D 투자가 집중됨*
- * 수전해 환경 (직접 및 간접 감지)에서 사용 가능한 수소 및 산소 센서 개발에 대한 투자는 현재까지는 미흡한 것으로 보임

< 수소 센서 분야 주요 R&D 현황 >

사업명	과제명	주요내용	부처명 (전문기관)	기간
개인기초 연구	MEMS 기반의반도체식/변색성하이브리드타입의수소센서개발	<ul style="list-style-type: none"> •실시간 수소가스 누출 감시를 위한 MEMS 기반의 전기저항식/변색성 하이브리드 타입 센서 개발 •수소가스 저항식/변색식 선택적 반응 물질합성 및 공정기술 개발 •신호처리 및 진단, 모니터링의 요소기술 개발 설계 및 신호처리를 위한 ADC(Analog to Digital Converter) 회로 및 모듈개발 	과기부 (한국연구재단)	'19.06 ~ '22.02
한국생산기술연구원 연구운영비 지원	MEMS기반의고감도 수소가스센서개발	<ul style="list-style-type: none"> •상온 감지 가능한 색변환 수소 가스센서 개발 •측정범위: 1~4 % 이하/ 응답시간: 30 초이하/ 측정정밀도: 10 ppm 이하 	과기부 (한국생산기술연구원)	'19.01 ~ '20.12
산학연 Collabo	가스감지신호보상소자일체형MEMS 센서및이를적용한수소센서모듈개발	<ul style="list-style-type: none"> •일체형구조의MEMS 가스센서용마이크로핫플레이트(micro-hotplate) 설계 및 제작 •MEMS 마이크로 핫플레이트 시뮬레이션을 통한 최적화 설계 및 공정설계 	중기부 (중소기업기술정보진흥원)	'22.06 ~ '24.05

21C프론티어연구개발	고성능수소검지센서 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> 수소 센서 신소재 검지 물질 성능 향상 기술개발 MEMS형 접촉 연소식 수소센서 제작 및 성능평가 	과기부 (한국과학재단)	'03.10 ~ '06.03
21C프론티어연구개발	수소감지용접촉연소식고성능센서상용화 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> 다중모드 동작이 가능하며 우수한 감지 특성을 가지는 고감도 고내구성 다중모드 수소누설 감지 센서 모듈화 및 시제품 초소형 수소센서 제작 및 특성평가 (감지범위 0.02 ~ 8% 감지속도 3초 이내) 	과기부 (한국과학재단)	'06.05 ~ '09.03
연구산업육성	다중모드수소변색센서고도화기술개발	<ul style="list-style-type: none"> 다중모드 동작이 가능하며 우수한 감지 특성을 가지는 고감도고내구성 다중모드 수소누설 감지 센서 모듈화 및 시제품 	과기부 (과학기술일자리진흥원)	'21.07 ~ '23.12
	수소누설감지용변색센서양산화기술개발			
지역특화산업육성	수소인프라용고농도수소센서및실시간수소모니터링시스템개발	<ul style="list-style-type: none"> 수소 인프라용 고농도 수소센서 및 실시간 수소 모니터링 시스템개발 동작온도: -10~110°C/ 응답시간: 2초/ 정확도: ±10% 	산업부 (한국산업기술진흥원)	'15.08 ~ '17.07
이공학학술연구기반구축	역학적방식의Pd-H계열역학거동조절연구와이를이용한광범위수소센서개발	<ul style="list-style-type: none"> 팔라듐 기반 수소센서를 폭발하한 농도(~4%) 이상의 넓은 농도 범위에서 활용하기 위한 박막개발 	교육부 (한국연구재단)	'22.06 ~ '22.10
중소기업지원선도연구기관협력기술개발	저전력MEMS플랫폼을활용한초소형수소센서개발	<ul style="list-style-type: none"> 저전력, 초소형 금속산화물 및 MEMS 기반의 수소 가스센서 개발 이종금속 촉매가 결합된 금속산화물 감지 소재 개발 	중기부 (중소기업기술정보진흥원)	'20.11 ~ '21.10

□ 기술개발 현황

- 해외 제품의 국내 독점지위에 따른 국내 기술 및 시장진입 격차 심화
 - 수전해 장치용 수소 센서는 국내 연구 개발 초기 단계로 진행 중이나, 상용화 사례 및 실증분석 등이 부족하여 선진국 대비 기술 수준은 저조
- 수전해 장치 보급 확대에 따른 수소와 산소 혼입 방지하기 위한 안전성 심화 기술 확보 필요
 - 수전해 기술은 친환경 수소 생산 방식으로 보급 확대가 예상되지만 적절한 안전장치가 없을 경우 수소와 산소의 혼입으로 사고의 위험이 상존 하여 불순물 가스 모니터링 기반 안전성 확보가 필수적
 - 해외 선진사에서도 수전해 장치 전용으로 센서 모듈을 개발된 사례는 없으나 기존 MEMS 및 전기화학식 수소 및 산소 센서에 적절한 수분 차단 및 방폭 기술을 개발 접목하여 수전해 장치 환경에서 사용가능한 제품군을 공급하고 있으며 국내의 경우 수전해 환경 (직접 및 간접 감지) 에서 사용가능한 수소 및 산소 센서 개발은 전무한 상태

액화수소용 압력안전밸브 및 차단밸브 개발

□ 투자 동향

- (산업통상자원부) 액화수소 충전 핵심부품 및 시설 안전기술개발 R&D, 액화수소 생산 및 저장제품 상용화 실증에 투자
 - 액화수소 충전소용 100kg/h, 90MPa급 극저온 왕복동 펌프 개발('20-'24)
 - 액체수소 생산 및 저장제품 상용화 실증('21-'22)
 - 탄소중립을 위한 액화수소 탱크용 압력 안전밸브 및 검증 기술 표준화 개발('22-'24)
 - 액화수소 충전 핵심부품 및 시설 안전기술개발('22-'25)
- (국토교통부) 액체수소 플랜트 핵심기술 및 실증에 투자
 - 상용급 액체수소 플랜트 핵심기술개발('19-'23)

□ 기술개발 현황

- 해외 제품의 국내 독점지위에 따른 국내 기술 및 시장진입 격차 심화
 - 액화수소용 밸브 개발은 국내 일부 업체에서 초기 단계로 진행 중이나, 상용화 사례 및 실증분석 등이 부족하여 선진국 대비 기술 수준은 저조
- 액화수소 밸브의 가스누출 및 오작동에 의한 안전성 심화 기술 확보 필요
 - 고유의 밸브 기능 외에 가스누출, 밸브 오작동 등에 의한 사고방지를 위한 안전성 검증 및 수명 예측 진단확보 방안이 미흡
 - 액화수소용 극저온·고압 차단밸브의 경우, 기존 기체수소 충전소 밸브를 독점하고 있는 해외 선진사에서 이미 개발을 완료하여 상용화 단계에 있으나, 국내의 경우 액화수소용 극저온·고압 차단밸브 개발은 전무한 상태
- 액화수소 생산/충전소 구축을 위한 저장탱크 및 충전소용 펌프 등 핵심 부품 국산화 기술개발은 일부 진행중이나 액화수소용 압력안전밸브 및 극저온·고압 차단밸브 기술개발 사례는 없음

비금속 Flexible 수소 배관 및 접속재 국산화 기술 개발

□ 투자 동향

- 수소배관에 대한 R&D 투자는 '20년부터 이루어지기 시작하여 '20년 약 30억원에서 '21년 약 78억원으로 증가
- 현재 투자된 연구비는 모두 금속수소배관 분야에 한정됨

□ 기술개발 현황

- 수소배관 관련 기술개발은 용접부, 배관용 밸브, 수소충전소용 고압배관, 배관망 모니터링 기술개발이 수행되고 있음

< 수소 배관 분야 주요 R&D 현황 >

과제명	주요내용	부처명
고압수소 장거리 이송용 수소배관 제조기술	<ul style="list-style-type: none"> •수소배관용 API X70, X80급 강관 용접부 신뢰성 향상 기술 •API X80급 수소배관의 용접부 균열 발생요인 개선 및 고강도 대구경 용접기술 개발 •수소배관 용접부 수소 확산 차단을 위한 후처리(표면처리, 정밀가공) 기술 개발 	과기부
수소취성 억제 효과 및 누설감지 기능이 포함된 초고압수소용 배관 밸브(105MPa), 디스펜서, 열교환기와 모니터링시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> •105MPa 수소충전소 고압수소가스에서 사용가능한 Two sleeve 방식의 배관 피팅의 설계 제작 및 Two sleeve 의 체결력 및 기밀성 향상 구조 설계 	산업부
수소충전인프라 확충을 위한 수소충전소 고압수소배관용 인장강도 800MPa급 9/16"스테인리스 심리스배관 제조 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> •고강도 수소배관 소재개발 •소재(모재, 용접부) 수소취소 특성 평가 및 표준화 	산업부
수소충전소 및 배관망 안전 제고를 위한 필수 장비 국산화 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> •수소 배관망 모니터링시스템 개발 	산업부
수소도시용 수소배관망 국산화 및 실증기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> •수소관망 건설운영기술 개발 및 실증 •내수소취성의 도시용 수소관망 (8인치, 80기압, 내구수명 30년) 구축기술 및 국가건설기준(안) 마련 	국토부
고압수소 배관의 안정성 확보 위한 수소취성환경 적합성 평가방법 국제표준 개발	<ul style="list-style-type: none"> •배관 형태 구분, 수소 환경 노출 및 시험방법 도출 및 절차 수립 	산업부

천연가스 기반 청록수소 생산 기술 개발

□ 투자 동향

- 과학기술정보통신부와 산업통상자원부에서 지원한 천연가스 열분해에 대한 연구현황은 아래와 같음
- 주로 열분해 촉매의 성능시험 등 기초분야에 대한 연구가 시행되었음

< 청록수소 분야 주요 R&D 현황 >

사업명	과제명	주요내용	부처명	기간
전략핵심소재 자립화기술 개발	천연가스로부터 고결정성전도성 흑연구조를 갖는 탄소소재 개발	•고정층 반응기, 금속 및 탄소 촉매 적용	산업부	'20.04 ~ '24.12
산업기술 알키미스트 프로젝트	액상촉매 활용 신개념 CO2 free 추출 수소 생산 기술	•직접적 메탄 열분해용 신규 용융 금속 촉매 개발	산업부	'21.05 ~ '22.02
C1가스리파이너리	고부가 탄소소재와 수소 생산위한 액체합금촉매와 메탄 열촉매분해 공정개발	•고온의 균일한 조성을 갖고 촉매 활성이 높은 액상의 금속 합금 제조 기술 개발 •고순도의 탄소와 수소를 대량으로 생산할 수 있는 촉매 공정 개발 •석유화학기술 대비 기술경쟁력이 우수한 C1 가스 전환 원천기술 3종 이상 개발하여 TRL 6 수준 기술완성도 확보	과기부	'21.04 ~ '24.02
우수연구-중견연구	한국형 청록수소 생산을 위한 플라즈마 메탄 분해 기술개발	•CO2를 발생 또는 배출하지 않으면서 수소생산을 위한 에너지 소모가 10 kWh/kg-H2에 가까우며 단일 모듈로 연 300톤 이상의 수소를 대량 생산할 기술에 대한 실험실적 기초연구	과기부	'23.09 ~ '28.02
수소경제사회 선도를 위한 수소 공급 및 활용기술 개발	수소경제 조기 구현을 위한 청정 수소 생산기술 개발	•천연가스로부터 이산화탄소 포집/저장기술 없이 운실 가스 배출을 최소화한 청정 수소와 탄소를 동시에 생산할 수 있는 촉매 공정 기술 개발	과기부	'23.01 ~ '23.12
미래수소원천 기술개발	청록수소 생산기술의 연료전지 발전소 적용에 대한 공정 구성, 경제성평가, 사업모델 수립에 대한 연구	•수소생산시 투입되는 외부 열원 공급방식 중 재생에너지 분담률과 연료전지 타입별 특성을 고려한 최적 배열활용 및 Heat Balance 방법론 도출	과기부	'21.07 ~ '26.12

미래수소원천 기술개발	태양에너지와 액체금속촉매를 이용한 C-X 화합물 열화학적 전환을 통한 CO2-free 수소생산 공정 개발	•태양광 및 태양열의 직접 활용을 통한 천연가스 열분해 기술 + 용융금속촉매	과기부	'21.07 ~ '26.12
에너지 전환 3030/5060 실현을 위한재생에너지 혁신기술 개발	액체금속을 이용한 메탄 직접 열분해 기술 개발	•용융촉매를 이용한 메탄 개질 및 청록수소 생산	과기부	'23.01 ~'24.12
미래수소원천 기술개발사업	재생에너지 연계형 CO2-free 수소생산용 저전력 유도가열을 이용한 유동층 메탄분해 촉매 및 공정 개발	•재생에너지와 연계하여 저 전력 유도가열 유동층 메탄 분해 반응기 개발	과기부	'21.07 ~ '26.12
Non-CO2 온실가스 저감기술개발 사업단 Phase2	태양열에너지를 이용한 바이오메탄 분해기술 개발	•태양열을 이용한 바이오메탄 분해 연구	환경부	'17.10 ~ '22.12
중소기업 Net-Zero 기술혁신개발	발전산업의 탄소중립을 위한 청록수소 생산 및 활용 시스템 개발	•연료전지 및 수소 혼소 발전을 위한 액상 촉매를 이용한 청록수소 생산 시스템 개발	중기부	'22.08 ~ '25.07

□ 기술개발 현황

- 과학기술정보통신부의 지원으로 열분해기술개발 과제가 수행되어 왔으나 촉매의 성능시험 등 기초연구단계에 머물러 있음
- 액상촉매에 대한 산업통상자원부의 알키미스트과제가 수행된바 있으나 2단계에서 탈락되었음
- 중소기업청에서 40kg-H₂/day 액상촉매 열분해에 의한 개질혼합가스를 연료전지와 혼소발전에 활용하려는 연구가 수행되고 있음. 하지만 연구비가 적고, 소규모 모듈연결방식이고, 비가압형에, 전기가열방식으로 대형화에 어려움이 있음
- 아직까지 대용량 청록수소 생산을 목적으로 하여 가압열분해, 촉매순환장치, 공정가스연소, 정제 등 전체공정을 구성하는 상용화 기술개발은 수행되지 못하고 있음

6. 시사점

100 kW 이상급 고온 수전해 시스템 모듈 기술 개발

- SOEC 개발이 소재 수준에 머물러 있어 시스템 수준 개발에 대한 방향 설정 필요
 - 상용화 수준에 도달해 있는 상온 수전해 기술은 중소기업이 주도하고 있으며 기술적인 완성도, 품질관리 등이 미흡한 실정으로 극히 일부 기업을 제외하고 시스템 기술의 최적화가 필요한 상황
 - 고온 수전해 기술은 상온 수전해와 비교해 상용화에 미치지 못하여 비영리 기관을 중심으로 원천기술 개발이 이루어지고 있음
 - 기술수준을 빠르게 높이기 위해 원천기술 개발 단계에서부터 시스템 기술 및 상용화 기술을 반영한 기술 개발이 필요
- 재생에너지 변동성 대응에 대한 SOEC의 운전 특성에 대한 평가 필요
 - 재생에너지 변동성에 대응하기 위해 다양한 방법이 제시되고 있으나 재생에너지의 변동성을 수전해 시스템에 직접 인가하는 경우에 대한 평가가 부족한 실정
 - 소규모 SOEC 운전을 통해 재생에너지 변동성에 대한 평가가 필요하며, 이를 바탕으로 대규모 시스템의 재생에너지 변동성 대응에 대한 방향 설정이 필요
 - 해외, 대용량 고온 수전해 시스템 모듈 기술의 확보 및 경제성 확보 추진 중으로 국내 기술 및 시장진입 격차 심화
 - 해외 선진사의 경우 기존 SOFC 플랫폼을 기반으로 100~200 kW급 고온 수전해 시스템 기본모듈 설계 및 검증 완료 후 MW 시스템 확장 및 시장진입을 추진 중
 - 대용량 고온 수전해 실증과제와 연계하여 성능 및 수명 개선, 대용량 양산설비 투자 및 시스템 설계 최적화를 통한 고온 수전해 설비 경쟁력을

확보해가고 있음(상용화 목표시기 '30년 이전)

- 국내 대용량 고온 수전해 시스템 모듈 기술 및 경제성 확보 시급
 - 핵심부품인 셀/스택의 차세대 원천기술 개발과 더불어 SOFC 시스템 플랫폼을 확보한 국내기업을 중심으로 고온 수전해 시스템 기술을 확보, 관련 산업 인프라 구축과 경제성 확보 필요
 - 상용화 준비를 위한 국내 부품 공급망 구축 및 현장에서 도출되는 기술 수요를 빠르게 피드백해 줌으로써 기술 상용화 시기 단축 필요
 - 대용량 고온 수전해 시스템 기술을 확보하기 위한 자체적인 셀/스택 양산 기술이 확립되기 전까지 필요시에는 선진사 들과의 협력을 통하여 셀/스택 제품기술 활용하는 방안도 고려 가능
- 원전연계 고온 수전해 기술 개발 필요
 - 국내의 경우 재생에너지의 지리적/환경적 제약, 청정수소 수입대체, 산업계 대용량 청정수소 수요 대응 측면에서 원자력 연계 고효율 고온 수전해 개발 필요
 - 미국 '21.11월에 발효된 인프라 법과 '22. 8월에 발효된 인플레이션 감축법을 통해 매우 적극적으로 원자력 수소를 포함한 청정수소 생산 기술 개발을 독려하고 있으며 연구기관(Idaho National Lab) 및 민간 업체(Fuel Cell Energy, Bloom Energy 등)를 통해 원자력 연계 고온 수전해 개발 및 실증 프로젝트를 추진하고 있음

수전해용 수소 및 산소 센서 개발

- 수전해용 수소·산소 센서는 수소 생산의 안전성을 확보하기 위한 필수적인 부품의 하나로서 해외 선진사의 절대적인 수입 의존성을 극복할 수 있는 국산화 기술 개발의 시급성과 기술고도화 필요성이 요구
- 기존 수소 및 산소 센서는 다양한 감지 방식으로 제품군이 있으나 대부분 정제된 고순도 수소의 공기 중 누설 감지용으로 제한되어 있고 (0.1-4% 수준) 수전해용 센서의 경우 실질적인 수전해 전극 토출 가스의 불순물을 실시간으로 감지하기 위해 여러 복합 가스로 구성된 배출부에 in-situ로 적용되어야 하는 최고난도의 가스 센서 기술 개발 필요
- 수소(산소)내 산소(수소)의 불순물 가스의 감지를 위한 감지 농도 범위 등 기본적인 센서 특성 뿐 만이 아니라 수전해 토출 가스의 실시간 모니터링을 위한 수분 차단 기능 및 방폭화 기술 등이 요구
- 수전해 반응기의 양극부와 음극부에서 각 불순물 가스인 수소와 산소의 농도를 0.1-10% 사이의 감지 농도 범위를 확보하고 전해질이 수분과 기화 혼입되어 센서 특성에 영향을 크게 미치므로 수분을 차단하고 기타 노이즈 가스에 대하여 높은 선택비 및 방폭 기술 적용을 위한 패키징 디자인 및 저전력 기술, 장시간 사용에 대한 자기 보정 기술 등 센서 신호처리 기술과 아울러 재생에너지 기반 수전해 생산의 부하변동에 대응하기 위한 빠른 반응속도 (수초 이내)가 필요
- 수전해 실 환경 조건에서 가능한 사고 시나리오에 따른 센서 효용성 평가를 위한 실증 수준의 안전성 검증 및 수명 예측 진단으로 안전성 확보 방안 마련 및 기술 표준화를 위한 원 데이터 확보 필요
- 시행 중인 수소안전법에 대한 수전해 장치의 안전 확보를 위해 수전해 안전 감지 기술에 대한 기반 데이터 확보 필요

액화수소용 압력안전밸브 및 차단밸브 개발

- 액화수소용 밸브는 액화수소 전주기 구축에 필수적인 기자재 중의 하나로서 해외 선진사의 수입 의존성을 극복할 수 있는 국산화 기술개발의 시급성과 기술고도화의 필요성이 요구
 - 액화수소용 극저온·고압 차단밸브의 경우 열전도에 의한 열전달이 지속적으로 일어나, 충전시 극저온·초고압(90MPa 이상) 환경을 견딜 수 있는 강건한 설계가 필요하며, 이러한 혹독한 환경에 적용되는 차단밸브의 안전을 확보하기 위한 검사·평가 기술 개발 필요
- 액화수소용 압력안전밸브는 고유의 밸브 기능 외에 가스누출, 밸브 오작동 등에 의한 사고방지를 위한 안전성 검증 및 수명 예측 진단으로 안전성 확보 방안 마련의 필요성이 요구
 - '22년 시행되고 있는 중대재해처벌법 및 안전규제 강화에 따라 기존의 전통적인 기술 외에 실시간 원격진단 및 수명 예측과 같은 안전성 검증 방안 마련 필요
 - 액화수소 플랜트 및 충전소 보급 확산을 위해서는 극저온 액화수소의 생산, 이송, 저장을 위해 필수적인 밸브류(자동/수동/체크/안전밸브)의 국산화가 필수적이나 관련 기술 및 기준의 미비로 관련 국내 산업체의 시장 진입이 늦어지고 있어 정부의 적극적인 국산화 개발 지원 방안 필요

비금속 Flexible 수소 배관 및 접속재 국산화 기술 개발

- 수소배관망 구축 확대를 위해 배관망 구축 비용에 상당 부분을 차지하는 시공비 절감에 유리한 비금속 배관 개발 필요
- 수소 배관 피팅부위에서 발생하는 누설을 차단하는 Sealing 재질 및 방법을 개발하여, 연결부위 구조적 안정성 확보 필요

구분	금속 배관(20bar 미만 저압)	비금속 배관(100bar 고압)
구조	탄소강관 또는 스텐인레스 강관	복합 구조
장점	Φ500 이상 대구경 가능	장조장 시공을 통해 공기단축, 공사 비용 절감 비금속으로 부식 문제 없음 연결부 최소화로 수소 누출 위험성 감소
단점	고압에서 수소 취성에 취약 금속 배관의 부식 발생 가능	개발 및 실증을 통한 안정화와 표준화 필요 대구경 압출에 한계 존재
설치 비용	Φ200 배관 1km 시공시 접속회수 100회 	Φ200 배관 1km 시공시 접속회수 1회 

- 비금속 수소배관은 수요처의 사용량에 따라 파이프라인을 병렬로 설치하여 수요에 유연하게 대처 가능

• Calculation of pipeline quantity and size (Panhandle B equation)

City Size	Peak H ₂ Demand (kg/d)	Daily H ₂ Demand (kg/d)	4.5-inch ID Pipelines Required	ID Required for Single Pipeline (inches)
200,000	58,600	41,000	4	7.25
1,000,000	293,000	205,000	17	13.75

Photos provided by
Fiberspar LinePipe, LLC



OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY
U. S. DEPARTMENT OF ENERGY

UT-BATTELLE

- 액화수소용 압력안전밸브는 고유의 밸브 기능 외에 가스누출, 밸브 오작동 등에 의한 사고방지를 위한 안전성 검증 및 수명 예측 진단으로 안전성 확보 방안 마련의 필요성이 요구
 - '22년 시행되고 있는 중대재해처벌법 및 안전규제 강화에 따라 기존의 전통적인 기술 외에 실시간 원격진단 및 수명 예측과 같은 안전성 검증 방안 마련 필요

- 액화수소 플랜트 및 충전소 보급 확산을 위해서는 극저온 액화수소의 생산, 이송, 저장을 위해 필수적인 밸브류(자동/수동/체크/안전밸브)의 국산화가 필수적이나 관련 기술 및 기준의 미비로 관련 국내 산업체의 시장 진입이 늦어지고 있어 정부의 적극적인 국산화 개발 지원 방안 필요

천연가스 기반 청록수소 생산 기술 개발

□ 열분해 기술개발 및 공정개발로 수소 생산 확대 필요

- 해외 선진국의 경우 다양한 방법에 의한 천연가스 열분해 방법 기술에 대한 파일럿 플랜트를 운영하고 있음
- 국내에서는 액상촉매 열분해 방식만이 정부의 지원을 받아 수행한 실적이 있으나, 기초시험 단계로 대형 플랜트의 상용화를 위한 연구단계에 이르지 못하고 있음
- 중소기업청에서 주관하는 액상촉매 과제인 경우 40kg/day급 열분해 장치를 개발하는 과제이나, 메탄의 수소전환율 50%가 목표로 수소혼합 가스를 이용하는데 주안점이 있으며, 또한 모듈 연결 방식이며, 전기 가열방식이고, 비가압형이며, 촉매순환기술이 적용되지 않았고, 리액터 재료에 대한 평가가 이루어지지 않아, 대형화가 불가능한 것으로 판단됨
- 기타 플라즈마방식, 고체촉매방식, 펄스컴버션 방식에 대해서는 한국에너지기술연구원, 한국화학연구원, 한국전력공사 전력연구원에서 연구되었으나, 기초단계에 머물러 있어 상용화를 위한 단계별 실증 시험이 필요
- 금번 파일럿 시험과제를 통해 국내의 실험실 기술수준을 평가하고, 발전시켜 연구단계 6단계를 달성할 수 있을 것으로 판단
- 특히 최근에 해외 열분해 업체인 Hycamite, Hazor, Gaforce hydro, C-Zero 등이 국내 업체와의 기술 비즈니스를 활발히 진행하고 있으며, 일부 업체는 투자를 결정한 상태
- 국산화 개발이 지연되면 청록수소 생산기술에 대한 해외 선진국에의 기술 종속이 심화될 것으로 판단

II.

기획대상연구개발과제 도출

1. 연구개발과제기획 방향

연구개발과제기획 기본방향

- ① 청정수소 생산을 위한 핵심기술 개발 및 실증 추진
- ② 수소이송·저장 인프라 경제성 확보를 위한 핵심기술 국산화

신규 예산 지원 계획안

(단위 : 억원)

구 분	원천기술	혁신제품형	계
지정공모	-	-	-
품목지정	-	138.02	138.02
자유공모	-	-	-
계	-	138.02	138.02

기획대상연구개발과제 현황

연구개발과제(품목)명		연계 수요 (도출근거)
기획대상주제명	기획대상 연구개발과제(품목)명	
100 kW 이상급 고온 수전해 시스템 모듈 기술 개발	100 kW 이상급 고온 수전해 시스템 모듈 기술 개발	<input type="checkbox"/> 정부정책 <ul style="list-style-type: none"> ○ (수소경제 이행 기본계획) ‘30년 그린수소 생산량 25만톤 달성을 위해서는 약 3 GW의 수전해 설비 구축 필요 ○ (탄소중립 기술혁신 전략로드맵) 차세대 수전해 기술 개발 ○ (세계 1등 수소산업 육성전략) 대용량 수전해 시스템 개발 <input type="checkbox"/> 기술수요조사명 <ul style="list-style-type: none"> ○ 100 kW급 고온형 고체산화물 수전해 시스템 기술 개발 ○ MW급 고온 수전해(SOEC) 시스템 개발 ○ 고온 고압 SOEC 기반 금속 분리판 신소재, 공정 및 접합 기술 개발

연구개발과제(품목)명		연계 수요 (도출근거)
기획대상주제명	기획대상 연구개발과제(품목)명	
수전해용 수소 및 산소 센서 개발	수전해용 수소 및 산소 센서 개발	<input type="checkbox"/> 정부정책 <ul style="list-style-type: none"> ○ (탄소중립 기술혁신 전략로드맵) 10 MW급 수전해 시스템 개발 ○ (세계 1등 수소산업 육성전략) 수전해 시스템 용량 10MW 이상 달성 <input type="checkbox"/> 기술수요조사명 <ul style="list-style-type: none"> ○ 수소 인프라 및 연료전지용 광범위 고성능 수소센서 모듈 및 모니터링 시스템
액화수소용 압력안전밸브 및 차단밸브 개발	액화수소용 압력안전밸브 및 차단밸브 개발	<input type="checkbox"/> 정부정책 <ul style="list-style-type: none"> ○ (수소경제위원회) 그린 수소경제 가속화를 위해 액화수소플랜트 및 액화수소충전소 보급 계획 구축 ○ (수소기술 미래전략) 액체수소 생산·저장·공급에 필요한 핵심기자재 조기 확보 <ul style="list-style-type: none"> * 핵심기자재는 밸브, 저장탱크, 압축기, 팽창기, 펌프, 기화기 등 ○ (수소안전관리로드맵 20) 액화수소 핵심부품에 대한 안전 기준 개발을 추진 <ul style="list-style-type: none"> * ‘고압가스안전관리법’ 시행규칙 및 가스기술기준 개정 <input type="checkbox"/> 기술수요조사명 <ul style="list-style-type: none"> ○ 액화수소 운송선박용 압력안전밸브 및 차단밸브 국산화 기술개발 ○ 액화수소 생산·저장·운송·활용의 전주기 생태계 구축을 위한 밸브 국산화 개발 ○ 중소형 수소 액화 저장 시스템용 극저온 밸브 국산화 개발
비금속 Flexible 수소 배관 및 접속재 국산화 기술 개발	비금속 Flexible 수소 배관 및 접속재 국산화 기술 개발	<input type="checkbox"/> 정부정책 <ul style="list-style-type: none"> ○ (수소 기술개발 로드맵) 육상 운송비용 저감기술개발 중 단거리 배관망 구축 ○ (수소경제 활성화 로드맵) 근거리 배관공급 인프라 구축, 배관 이송 수소도시 실증, 대규모 수소 공급 배관 구축 ○ (탄소중립 로드맵) 수소 이송용 금속 및 비금속 배관 국산화 개발 <input type="checkbox"/> 기술수요조사명 <ul style="list-style-type: none"> ○ 기술명: Flexible 수소배관 및 접속재 국산화 기술 개발 및 실증 <input type="checkbox"/> 사전기획 <ul style="list-style-type: none"> ○ 기술명: 비금속 Flexible 수소 배관 및 접속재 국산화 기술 개발(24년 에너지기술개발사업) ○ 기술명: '20년 에너지기술개발사업 기기획

연구개발과제(품목)명		연계 수요 (도출근거)
기획대상주제명	기획대상 연구개발과제(품목)명	
천연가스 기반 청록수소 생산 기술 개발	천연가스 기반 청록수소 생산 기술 개발	<input type="checkbox"/> 정부정책 <ul style="list-style-type: none"> ○ (수소경제 이행 기본계획, '21.11) 청정수소 자급률 목표 '30년 34% ○ (제1차 국가 기본계획 및 탄소중립 녹색성장 국가전략) 온실가스를 배출하지 않는 탄소중립 수소생산 기술의 상용화 시급 ○ (수소기술 미래전략) 천연가스(메탄) 직접 열분해반응을 활용하여 고순도의 청록수소를 생산하는 무탄소 수소생산 원천기술 확보 <input type="checkbox"/> 기술수요조사명 <ul style="list-style-type: none"> ○ 탈탄소 수소 생산을 위한 실증형 메탄 촉매 열분해 기술 개발 ○ 폐자원 활용 재생촉매를 적용한 청록수소생산 플랜트 엔지니어링 기술 개발 ○ 메탄 열분해 청록수소 이용한 CO₂ Free 연료전지 발전시스템과 열분해로 생산된 카본의 연료전지 분리판 적용을 통한 카본소재 산업의 공급사슬 실증

사업화 연계성과 발생 가능성

연구개발과제(품목)명		지식재산권				표준 ²⁾	인증 ³⁾
		등록특허		소프트웨어	기타 ¹⁾		
기획대상 주제명	기획대상 연구개발과제(품목)명	해외	국내				
100 kW 이상급 고온 수전해 시스템 모듈 기술 개발	100 kW 이상급 고온 수전해 시스템 모듈 개발	△	○	X	X	X	X
수전해용 수소 및 산소 센서 개발	수전해용 수소 및 산소 센서 개발	△	○	X	X	△	X
액화수소용 압력안전밸브 및 차단밸브 개발	액화수소용 압력안전밸브 및 차단밸브 개발	△	○	X	△	X	○
비금속 Flexible 수소 배관 및 접속재 국산화 기술 개발	비금속 Flexible 수소 배관 및 접속재 국산화 기술 개발	△	○	X	△	○	○
천연가스 기반 청록수소 생산 기술 개발	천연가스 기반 청록수소 생산 기술 개발	○	○	X	△	X	△

* 동 기획과제 수행을 통해 발생할 수 있는 사업화 연계성과(지재권, 표준·인증)를 예측하여 발생가능성을 ○(높음) / △(보통) / ×(낮음) 중 선택하여 제시

- 1) 실용신안, 디자인, 상표 등 기타 지식재산권
- 2) 국제표준, 국가표준, 단체표준의 제·개정(표준화연계형 과제는 보통 이상으로 제시 必)
- 3) 법적임의 인증(KS인증, 고효율에너지기자재인증, 신제품인증(NEP), 신기술인증(NET), 녹색인증, 제로에너지건축물인증, 소프트웨어품질(GS)인증 등)

2. 개발위험 관리방안

100 kW 이상급 고온 수전해 시스템 모듈 기술 개발

□ 기술개발 위험요인

- 100 kW 이상급 고온 수전해 시스템 모듈의 핵심부품인스택 제작을 위해 세라믹 프린팅 및 소결 공정을 포함한 복잡한 공정 기술 개발과 대 단위 투자가 필요
 - * 국내에서 고온 수전해 시스템 모듈 기술 개발을 진행하기 어려운 진입 장벽이 되어 왔으며, 결과적으로 소·부·장 공급망 역시 구축이 미비한 상황임
 - 고온 수전해 시스템 모듈 기술을 조기에 확보하기 위해 자체적인 셀/스택 양산 기술이 확립되기 전까지 해외 스택 기술을 보유하고 있는 선진 기술 사들과 협업하여 대용량 시스템 개발 검토 및 진행을 고려할 필요가 있음
 - SOFC 시스템 플랫폼을 확보한 국내 기업을 중심으로 고온 수전해 시스템 기본모듈 개발 이후 MW 시스템 확장 그리고 수요처 연계 실증 추진 필요
 - 상용화 준비를 위한 국내 부품 공급망 구축 및 현장에서 도출되는 기술 수요를 빠르게 피드백해 줌으로써 기술 상용화 시기 단축 필요
- 원자력 고온 수전해 연계 기술 개발 및 실증을 위한 컨트롤 타워 필요
 - 원자력 열 및 전기의 고온 수전해 연계를 위한 설계변경, 안전성, 인허가 및 사업성 검토 필요
 - 원자력 연계(모사) 모듈 단위의 고온 수전해 시스템 평가 가능한 통합 Test Bed 운영 필요
 - 원자력 연계 대규모 실증계획 수립 및 추진 필요

□ 사업화 애로사항

- 초기 투자 비용 및 기술 장벽이 높은 고온 수전해 분야의 기술 확보 및 민간 투자를 유도하기 위해서 정부의 중/장기 국내 청정수소 생산 및 산업육성 전략 구체화 필요
 - 수요처 연계 대용량 고온 수전해 개발, 실증과제 발굴 및 운영 기술 확보 필요

- 관련 인허가 검토 및 표준화 추진 필요

□ 사회환경 위험요인

- 수소가스 누출 및 고전류로 인한 감전 위험이 있으므로 안전 코드를 준용하여 인허가에 준하는 안전 조치 필요
- 원자력 고온 수전해 연계기술 개발을 위한 관련 제도, 안전 및 환경 검토 필요

□ 기술영향 검토

- 고온 수전해 시스템 모듈 기술 확보를 통한 저품위 산업열 연계 수소생산 경제성 향상 기술 확보 필요
- 원자력 고효율 고온 수전해 시스템 연계를 통한 청정수소 수입대체 및 에너지 안보 강화 필요
- 전력수급 균형 고도화를 위한 전력수요 및 저장자원의 유연성 강화 필요

□ 기술개발 위험요인

- 국내에서 수전해용 수소 및 산소 센서 상용화 사례가 전무하며 국외에서도 소수의 업체만이 수전해용 센서를 제조하고 있는 만큼 원천 감지 소재, 가스 선택성 보호막 기술 등 소재 기술에 대한 선행 기술 확보 기반의 개발이 요구되며 폭넓은 기술 탐색이 필요
- 신호처리 안정화 기술, 모듈화 및 패키징 기술이 동시 개발되기 위한 전문 개발 주체들의 유기적 협업이 필수
- 수전해 사용 환경은 부하 변동에 따른 토출 가스의 급진적인 변화 환경에서 목표 불순물 가스인 수소 및 산소의 안정적인 감지가 필요하므로 개발 초기에는 수전해 모사 환경하에서 개발 진행하고, 개발 중·후기에 필수적으로 상용수준의 수전해 장치에 개발 센서를 설치하여 수요처의 연계 실증 센서 성능평가가 필수

□ 사업화 애로사항

- 초기 투자 비용 및 기술 장벽이 높은 수전해 수소 센서 분야의 기술 확보 및 민간투자를 유도하기 위해서 정부의 중/장기 국내 청정수소 생산 안정성 확보에 대한 세부 규칙 제정 및 산업육성 전략 구체화 필요
- 수요처 연계 상용 수준 수전해 장치 적용에 대한 실증 개발 전략 및 운영 기술 확보 필요
- 관련 수소 안전법 이하 세부 수전해 안전장치 세부 규칙 검토 및 표준화 추진 필요
- 고성능/고효율/고내구성/저비용 센서 개발을 위하여 산·학·연과의 협력을 통한 수전해 설비에서 요구하는 성능에 부합하는 최적의 재료 선정 및 설계, 센서 기능 최적화, 안전 성능 기준 확립, 내구성 평가 및 MEMS 기반 센서 양산화 기술 등 확보 방안 마련 필요

□ 사회환경 위험요인

- 수전해 장치 센서 모니터링 실증 시 수소가스 안전 확보를 위해 센서부 토출 가스 압력 제어 및 전력량 제한 등 안전 코드를 준용하여 인허가에 준하는 안전조치 필요
- 수전해 관련 규제가 R&D 및 사업화 단계에서 장애요인*으로 작용할 수 있으며, 산업부를 중심으로 최근 '현장 중심 규제혁신 방안'을 발표하였으며, 수전해 검사·성능시험 간소화 및 제조시설 관련 규제 완화를 위한 추가적인 적극적인 규제 해소**와 함께 안전에 대한 기준과 제도 마련 필요
 - * 차세대 수전해 설비에 대한 안전기준 부재로, 추가 안전기준 마련시까지 수전해 용 수소 및 산소 센서의 스케일업과 사업화-양산이 지연될 수 있음
 - ** 수전해 설비용 수소 및 산소 검지 신기술을 활용한 새로운 센서 제품과 산업 적용 서비스에 대해 현행 규제를 면제·유예하여 시장 출시와 시험·검증이 가능하도록 하고 적극적인 R&D 추진이 필요
- 수전해 연계기술 개발을 위한 관련 제도, 안전 및 환경 검토 필요

□ 기술영향 검토

- 수전해 시스템의 실시간 안정성 모니터링 기술 확보를 통한 수소 전주기 산업 연계 수소 생산·저장·이송·활용 안정성 향상 기술 확보
- 개발 센서의 연료전지 및 기타 수소 생산 분야 등 타 수소 활용 분야 기술 확장을 통한 수소 핵심 기술 수입대체 및 에너지 안보 강화 필요
- 수전해 안정성 강화를 통해 청정 수소 생산 보급 확대 및 탄소 중립 기술에 기여
- 수전해 설비 내 센서 분야 핵심 소재·부품은 해외 의존 중이나, 연관 산업 역량(소재, 화학 등), 수전해와 유사한 특징을 가지는 발전, 화학 인프라 설비 스케일업 경험 감안시 안전성 기술을 중심으로 산업 전 주기에 있어서 글로벌 선도기술 추격 가능

□ 기술개발 위험요인

- 현재 액화수소용 밸브의 시험규격 및 표준화는 아직 마련되지 않은 상태이나, 과제 기간 내 개정이 이루어질 것으로 예상되며, 이에 대한 대응 필요
 - 시험설비 구축 및 표준화 개정에 참여하는 유관기관과의 상시 연계를 통한 평가방안 확보가 중요
 - 액화수소 저장용기, 액화수소 플랜트 등에 시제품을 적용한 실증평가 추진 및 검증이 필요
- 액화수소의 가스누출, 밸브 오작동 등에 의한 사고방지를 위한 안전성 확보 기술이 요구되고, '22년 시행되고 있는 중대재해처벌법 및 안전규제 강화를 고려하면, 전통적인 밸브 기술 외에 실시간 이상유무의 원격진단/모니터링 및 고장 분석에 의한 수명 예측과 같은 별도의 안전성 확보를 위한 도전정신이 요구
- 액화수소 밸브류 등 부품은 극저온(-253℃) 수소환경에서 운용됨에 따라 내구성, 유량 성능 등에 대한 성능검증이 필수이나 국내 검증기술이 부재
 - 액화수소 핵심부품의 안전성을 확보하고 사고위험 요인을 차단할 수 있는 성능평가 기술/시험장치 개발 시급
- 일반적으로 액화수소 차단밸브는 고압수소 부품과는 달리, 상대적으로 낮은 내압성능이 요구되며 (0.5 ~ 1.0 MPa), 영하 253도의 낮은 온도에서 소재강도나 인성, 열수축율이 적은 극저온용 특수강을 사용하여 제작이 가능하나, 액화수소 충전소 적용 극저온·초고압(-253 ℃이하, 90 MPa 이상) 밸브의 경우 높은 압력을 요구하여 특수한 비금속 및 금속 소재가 요구되어 소재의 확보가 중요

□ 사업화 애로사항

- 액화수소용 밸브는 액화수소의 전주기 생태계 구축을 위한 필수기자재로 활용될 것으로 보고되나, 액화수소 산업의 정책 방향 및 산업 환경 등에 따라 국산화 개발의 사업화 성공 여부가 결정
- 액화수소용 밸브는 현재 해외 선진사의 수입 의존이 불가피하고, 관련 인증 미 제정 및 인허가 규제 등으로 국내의 시장 진입에 차질 우려
- 액화수소 핵심부품 검사 및 평가 대한 국내 범용성 시험 인프라 부족으로 국내외 제품에 대한 성능 확인 불가
 - 시험 인프라의 부재로 국내에서 개발된 제품의 성능평가를 해외 기관에 의존, 과도한 시험 비용에 따른 외화 유출 발생되며, 국내 시험 인프라의 부족으로 성능 검증에 많은 시간이 소요되어, 개발 기간내 국산화 개발에 큰 어려움이 있음

□ 사회환경 위험요인

- 수입의존이 불가피한 해외 선진사의 액화수소용 압력안전밸브는 사고 방지를 위한 안전성의 검증 및 보장이 어려워 사고위험이 매우 높음
 - 극저온의 극한 환경에 발생될 수 있는 부품의 이상유무의 실시간 원격 진단, 이를 통상 비정상 감지에서 정상기능으로의 복귀를 위한 능동적 제어기술 확보 및 밸브의 고장분석을 통한 수명예측 진단 등 별도의 안전성 확보 방안 필요
- 액화수소용 극저온·고압 차단밸브는 저온 액체의 특성상 상온으로부터 큰 열 유입이 존재하며, 이러한 열에 대한 지속적인 스트레스와 더불어 혹독한 외부 사용환경, 가혹 조건 작동 등은 차단밸브의 성능과 안전 사고에 직결되어 안전성 검증이 반드시 필요

□ 기술영향 검토

- 안전성 검증을 확보한 국산 핵심 부품으로 안전성 검증이 미흡한 수입 제품 대체 가능 및 해외 글로벌 기업의 독과점 방지 효과 기대

- 액화수소 핵심기자재의 중장기적 기술자립을 통한 수소경제 실현 기여
- 액화수소 핵심부품의 안전성 확보를 통해 국민 불안감을 해소하고 수소 모빌리티 보급 확산에 기여
- 액화수소 충전소 극저온 펌프, 초고압 기화기에 적용되는 극저온·초고압 차단밸브의 국산화 개발로 인해 액화수소충전소 설비의 간소화에 큰 기여
- 액화수소 핵심부품의 안전성·성능 검증의 개발 지원을 통한 제품 국산화 및 상용화로 해외 글로벌 기업과의 경쟁력 제고

□ 기술개발 위험요인

- 기술개발 완료 시 Track Record 확보를 위한 실증 추진이 필요하나 수소도시 및 수소배관망 관련 사업 미비로 인한 실증사이트 부족
- 상업용 실증 이전에 안전성 및 내구성 확인을 위한 파일럿 실증으로 Track Record 확보 추진

□ 사업화 애로사항

- 기술개발이 완료되더라도 고압 수소배관은 KS 및 KGS의 고압가스 수소 배관 재료 등록이 완료되어야 사업화 가능
- 기술개발 단계에서부터 재료 등록에 필요한 연구를 동시 수행하여 개발 완료 시 표준 및 기준 등록이 이루어지도록 병행 추진

□ 사회환경 위험요인

- 수소배관에 대한 수용성 부족으로 배관 설치지역의 주민 민원 발생 가능성 존재
- Track Record를 통해 충분한 안전성 확인 및 홍보 추진하고 초기에는 인구밀집도가 낮은 도심 외곽을 통해 배관망 설치 추진 필요

□ 기술영향 검토

- 수소배관의 Roll 방식 운송을 통한 설치소요시간 감소로 단기간 내에 수소배관망 확장 가능
- 대형화에 유리한 금속배관망과 수요량에 유연하게 대처 가능한 비금속 배관망의 상호보완적 공존으로 전국 수소배관망 조기 구축

□ 기술개발 위험요인

- 국내의 천연가스 열분해에 의한 청록수소 생산기술의 경우 아직까지 기초연구단계에 있으므로 요소기술들의 정확한 비교평가를 통해 가능성 있는 기술들에 대해 순차적으로 벤치, 파일럿, 데모 스케일의 시험을 통해 상용화 필요
- 이미 선진국에서는 다양한 방법의 청록수소생산 기술이 상용화 되었거나 파일럿 단계에 있어 요소기술에 대한 특허 선점을 위해 연구 착수 시급
- 경험이 있는 해외기관을 참여시켜 단기간에 기술적 목표를 달성하는 전략도 존재

□ 사업화 애로사항

- 천연가스 열분해 기술의 시장진입을 위해서는 대용량 수소의 수요처와 부산물로 생산되는 카본의 상용화가 매우 중요하므로 수요기업 확보를 위해 초기부터 대량 수소 및 카본의 수요기업 참여 고려 필요
- 기술 개발 이후 파일럿 플랜트의 운전 시에 안전성이 핵심 이슈로 부각될 것으로 예상되므로 관할 지자체의 참여와 고압가스 안전관리법 및 수소법에 따른 KGS Code 등 관련 규정을 고려한 개발 필요

□ 사회환경 위험요인

- 천연가스로부터 청록수소를 생산할 경우, 원료인 천연가스의 환경성이 이슈로 부각될 가능성이 있으므로 이를 극복하기 위해서는 천연가스의 탄소 배출량에 대한 정확한 이력관리가 필수적으로 요구됨
- 상대적으로 열악한 청록수소의 친환경성을 극복하기 위해 재생에너지, 원자력, 바이오가스와의 연계를 통한 탄소배출량 저감이 중요

□ 기술영향 검토

- 2050 탄소중립을 달성하기 위해서는 발전, 제철, 천연가스 사업 분야에 대량의 수소가 필요하며, 동일 에너지로 수전해에 비해 3배 이상의 수소를 생산할 수 있는 천연가스 열분해 기술의 개발은 탄소중립의 중요한 역할로 기대
- 대량으로 생산되는 카본은 카본산업을 활성화시킬 수 있으나, 아울러 잉여 카본의 처리 문제가 이슈화될 가능성이 있으며, 잉여 카본의 콘크리트, 시멘트 등 새로운 건설재로서의 활용이 기대

3. 기획연구개발과제 기술개요서

[품목지정공모 (기술개요서)]

품목명 : 100 kW 이상급 고온 수전해 시스템 모듈 기술 개발	62
품목명 : 수전해용 수소 및 산소 센서 개발	64
품목명 : 액화수소용 압력안전밸브 및 차단밸브 개발	66
품목명 : 비금속 Flexible 수소 배관 및 접속재 국산화 기술 개발	68
품목명 : 천연가스 기반 청록수소 생산 기술 개발	70

'24년도 에너지기술개발사업 신규연구개발과제 기술개요서 (품목지정)

관리번호	2024 - 신재생 - 수소 - 품목 - 1	산업 기술 분류	중분류 I	중분류 II
과제유형	<input type="checkbox"/> 원천기술 <input checked="" type="checkbox"/> 혁신제품		신재생에너지	-
해당여부	<input type="checkbox"/> 표준연계 <input type="checkbox"/> 경쟁형R&D <input type="checkbox"/> 복수형 R&D <input type="checkbox"/> 국가핵심기술 <input checked="" type="checkbox"/> 안전관리형과제 <input type="checkbox"/> 공기업협력 <input checked="" type="checkbox"/> 탄소중립 <input type="checkbox"/> 국제공동 R&D <input type="checkbox"/> 통합형 <input type="checkbox"/> 초격차 <input type="checkbox"/> 실증형			
R&D 지출성트랙	<input checked="" type="checkbox"/> R&D 자율성트랙(일반) <input type="checkbox"/> R&D 자율성트랙(지정)			
품목명	100 kW 이상급 고온 수전해 시스템 모듈 기술 개발 (TRL : [시작] 4단계 ~ [종료] 6단계)			
1. 개념 및 개발내용				
<input type="checkbox"/> 개념				
<ul style="list-style-type: none"> ○ 고온 수전해 단위 스택 및 이를 이용한 100 kW급 이상 확장형 시스템 모듈 <ul style="list-style-type: none"> * 시스템 모듈 : 다수의 스택 및 Hot-BoP로 구성되며, 이를 여러 개 사용하여 MW급 고온 수전해 시스템으로 확장이 가능한 SOEC 단위 모듈 				
<input type="checkbox"/> (최종목표) 100 kW 이상급 고온 수전해 시스템 모듈 개발				
* 핵심목표 : 단위 스택 효율 90% 이상, 시스템 모듈 효율 80% 이상(LHV) (국내최초)				
<input type="checkbox"/> 연구내용				
<ul style="list-style-type: none"> ○ 고온 수전해 단위스택 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 단위 스택 용량 최적화 및 장기 운전을 통한 단위스택 효율 및 내구성 검증 * 정격 부하 운전 조건에서 2,000시간 이상 운전 - 단위 스택 효율(LHV): > 90%, 스팀공급 기준 * 스택 효율: (H2 에너지, LHV) / (Stack 공급 전력) ○ 100 kW 이상급 고온 수전해 시스템 모듈 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 시스템 모듈 용량 최적화 및 최적 운전 조건 확보 - 장기 운전을 통한 시스템 모듈 효율 및 내구성 검증 - 시스템 모듈 효율(LHV): > 80%, 스팀공급 기준 				
연구개발계획서 제출시 다음의 항목의 정량적 목표치 및 상용화 수준 제시 필수 - 단위 스택 효율(%), 시스템 모듈 효율(%), [스팀 공급 기준, LHV]				
<input type="checkbox"/> 개발위험 극복방안				
<ul style="list-style-type: none"> ○ 본 과제의 후속으로 MW급 고온 수전해 시스템 개발이 연계될 수 있도록, 개발 과정에서 시스템 모듈 핵심 소재 부품 공급망 구축 및 양산 기술 확보 필요 ○ 고온 수전해 시스템 개발 일정에 지연이 없도록 적기에 규제 샌드박스 등의 인허가 확보 필요 ○ 가스 누출 및 고전류로 인한 감전 위험이 있으므로 안전 코드를 준용하여 인허가에 준하는 안전 조치 필요 				

안전관리 사항

- 본 연구개발과제는 「안전관리형 연구개발과제」로 연구개발계획서 제출시 ‘연구개발 과제별 안전관리계획’을 제출해야 함 (적정성을 검토하여 부적정시 지원 제외함)
- 위험물질 취급연구개발과제 여부 : 해당(수소)
- 안전관리자 지정, 안전 교육 등을 위한 구체적인 안전 관리 방안 제시 필요

2. 지원 필요성

정책적

- '30년 그린수소 생산량 25만톤 달성(3GW 이상 수전해 설비 구축 필요)을 위해 향후 성장 가능성이 있는 차세대 고온 수전해 기술에 대한 지속적 연구개발 투자 필요

기술적

- 고온 수전해는 외부열원 활용이 가능하므로 타 수전해 기술 대비 전력 소비량이 낮은 기술로서 기술개발 follow-up이 되지 않으면 기술적인 종속 발생 가능성이 높음
- 해외 선진사는 SOFC 플랫폼을 기반으로 한 100~250 kW급 SOEC 시스템 모듈을 개발하고, 이를 이용한 MW급 시스템 확장 및 시장진입 추진 중
 - * Sunfire(독): 3.7 kW 스택, 225 kW 시스템 모듈, 2.7 MW 시스템
 - * Bloom Energy(미): 2.5 kW 스택(추정), 120 kW 시스템 모듈, 10 MW 시스템

시장적

- 고온 수전해는 산업의 공정폐열 활용을 통해 수소 생산단가 저감이 가능하며, 고가의 소재를 사용하지 않으므로 장기적으로 가격 저감 가능

사회적

- 그린수소 생산 시스템, 수소 생산량 증대를 위한 고효율·대용량 수전해 시스템, 열/스팀/전기 활용 가능한 원전 연계 수소생산 제품 등 개발 기대

활용분야

- 폐열 활용 수전해 수소생산
- 열/스팀/전기 활용 가능한 원전과 연계한 수전해 수소생산

3. 지원기간/예산/추진체계

기간 : 36개월 이내

정부지원연구개발비 : '24년 35억원 내외 (총 정부출연금 90억원 이내)

주관연구개발기관 : 기업

기술료 징수여부 : 징수

기타사항 : 수소안전관리 전담기관(한국가스안전공사) 컨소시엄 내 기본참여 필수

- 기본 참여기관인 한국가스안전공사는 고온 수전해 안전기준개발 및 제도화를 위해 공동 연구개발 기관으로 구성 필수

'24년도 에너지기술개발사업 신규연구개발과제 기술개요서 (품목지정)

관리번호	2024 - 신재생 - 수소 - 품목 - 2	산업 기술 분류	중분류 I	중분류 II
과제유형	<input type="checkbox"/> 원천기술 <input checked="" type="checkbox"/> 혁신제품		신재생에너지	-
해당여부	<input type="checkbox"/> 표준연계 <input type="checkbox"/> 경쟁형R&D <input type="checkbox"/> 복수형 R&D <input type="checkbox"/> 국가핵심기술 <input checked="" type="checkbox"/> 안전관리형과제 <input type="checkbox"/> 공기업협력 <input checked="" type="checkbox"/> 탄소중립 <input type="checkbox"/> 국제공동 R&D <input type="checkbox"/> 통합형 <input checked="" type="checkbox"/> 초격차 <input type="checkbox"/> 실증형			
R&D 지출성트랙	<input checked="" type="checkbox"/> R&D 자율성트랙(일반) <input type="checkbox"/> R&D 자율성트랙(지정)			
품목명	수전해용 수소 및 산소 센서 개발 (TRL : [시작] 5단계 ~ [종료] 7단계)			
1. 개념 및 개발내용				
<input type="checkbox"/> 개념				
<ul style="list-style-type: none"> ○ 수전해 시스템에서 생산되는 수소 내의 산소 불순물과 생산되는 산소 내의 수소 불순물을 측정하는 방폭 수소 및 산소센서 <ul style="list-style-type: none"> - 수전해 부하 변동 대응이 가능한 응답속도와 감지 농도 범위를 가지는 센서 				
<input type="checkbox"/> (최종목표) 수전해 시스템의 수소/산소의 불순물 농도 측정을 위한 방폭 센서 개발				
* 핵심목표 : 센싱 정확도 $\pm 2\%$ of span 이내, 정밀성 $\pm 2\%$ of span 이내 (세계최고)				
<input type="checkbox"/> 개발내용				
<ul style="list-style-type: none"> ○ 방폭형 수소센서 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 고정확도와 고정밀성을 가지는 수소 감지 기술 개발, 센싱 감지 회로 기술 개발 - 방폭, 방진, 방수가 보장되는 패키징 기술 개발 ○ 방폭형 산소센서 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 고정확도와 고정밀성을 가지는 산소 감지 기술 개발, 센싱 감지 회로 기술 개발 - 방폭, 방진, 방수가 보장되는 패키징 기술 개발 ○ (공통) 초기에는 수전해 모사 환경하에서 개발을 진행하고, 이후에 상용 수준의 수전해 장치에 개발 센서를 설치하여 수요처의 연계 실증 센서 성능 평가 필수 				
연구개발계획서 제출시 다음의 항목의 정량적 목표치 및 상용화 수준 제시 필수 - 센싱 정확도(% of span), 센싱 정밀성(% of span), 반응속도(t90), 사용 농도범위(%) 등				
<input type="checkbox"/> 개발위험 극복방안				
<ul style="list-style-type: none"> ○ 신호처리 안정화 기술, 모듈화 및 패키징 기술이 동시 개발을 위한 업무별 전문 개발 주체들의 유기적 협업 필수 ○ 수전해용 방폭형 수소/산소 센서의 평가 및 인증 기준 개발 병행 필요 ○ 지적 재산권 현황 및 확보 전략 제시 필요 				
<input type="checkbox"/> 안전관리 사항				
○ 본 연구개발과제는 「안전관리형 연구개발과제」 로 연구개발계획서 제출시 ‘연구				

개발과제별 안전관리계획'을 제출해야 함 (적정성을 검토하여 부적정시 지원 제외함)

- 위험물질 취급연구개발과제 여부 : 해당(수소)
- 안전관리자 지정, 안전 교육 등을 위한 구체적인 안전 관리 방안 제시 필요

2. 지원 필요성

정책적

- '30년 그린수소 생산량 25만톤 달성(3GW 이상 수전해 설비 구축 필요)과 국내 수전해 시스템 산업 육성을 위해 수전해 핵심 소재·부품 개발을 통한 국산화율 제고 필요

기술적

- 수전해로 생산되는 수소(산소)가스 내 산소(수소) 불순물을 실시간 모니터링하여 수소 품질을 보장할 수 있으며, 수전해 시스템의 안전 확보를 위한 핵심 기술임
* 전기화학 방식과 MEMS 방식이 사용됨

시장적

- 수소 센서의 글로벌 시장 규모는 연평균 15.93%('23-'29) 성장하여 2029년 1.1억 달러 규모에 도달할 것으로 전망
- 국내 수소누출 센서 제조업체(센코, 세종공업, 엠엔텍, 현대케피코, 위드멤스, 대현에스티 등)이 있으나, 수전해용 방폭센서는 제품이 없으므로 개발 시급

사회적

- 청정수소 사용이 보편화 되기 이전에, 안전부품 기술을 확보해야만 사고 없는 수소 사회에 기여할 수 있음

활용분야

- 수소 생산(수전해 장치), 수소 충전소, 수소연료전지, 수소 저장 장치, 수소배관

3. 지원기간/예산/추진체계

기간 : 36개월 이내

정부지원연구개발비 : '24년 18억원 내외 (총 정부출연금 40억원 이내)

주관연구개발기관 : 기업

기술료 징수여부 : 징수

기타사항 : 해당사항 없음

'24년도 에너지기술개발사업 신규연구개발과제 기술개요서 (품목지정)

관리번호	2024 - 신재생 - 수소 - 품목 - 3	산업 기술 분류	중분류 I	중분류 II
과제유형	<input type="checkbox"/> 원천기술 <input checked="" type="checkbox"/> 혁신제품		신재생에너지	-
해당여부	<input type="checkbox"/> 표준연계 <input type="checkbox"/> 경쟁형R&D <input type="checkbox"/> 복수형 R&D <input type="checkbox"/> 국가핵심기술 <input checked="" type="checkbox"/> 안전관리형과제 <input type="checkbox"/> 공기업협력 <input checked="" type="checkbox"/> 탄소중립 <input type="checkbox"/> 국제공동 R&D <input type="checkbox"/> 통합형 <input type="checkbox"/> 초격차 <input type="checkbox"/> 실증형			
R&D 자율성트랙	<input checked="" type="checkbox"/> R&D 자율성트랙(일반) <input type="checkbox"/> R&D 자율성트랙(지정)			
품목명	액화수소용 압력안전밸브 및 차단밸브 개발 (TRL : [시작] 4단계 ~ [종료] 8단계)			
1. 개념 및 개발내용				
<input type="checkbox"/> 개념 <ul style="list-style-type: none"> ○ PSV(Pressure Safety Valve, 압력안전밸브): 설정한 압력에 도달하면 열리고 일정한 압력 이하로 감소하면 닫히는 밸브 ○ ESV(Emergency Shut-off Valve, 긴급차단밸브): 액체수소의 흐름을 긴급하게 차단하는 기능을 가진 이중 자켓 형식의 밸브 <input type="checkbox"/> (최종목표) 액화수소용 극저온(-253℃)·초고압(90MPa) 압력안전밸브 및 차단밸브 개발 <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>* 핵심목표 : PSV 내구성 40,000회 이상, ESV 동체건전성 30기압 이상 (국내최고)</p> <p>* 동체건전성: 특정 압력까지 동체 누설이나 소성변형이 없어야 함</p> </div> <input type="checkbox"/> 개발내용 <ul style="list-style-type: none"> ○ 액화수소 충전소용 스마트 극저온(-253℃)·초고압(90MPa) 압력안전밸브 개발 및 실증 <ul style="list-style-type: none"> - 최적 설계 및 제조 기술 확보(단열성능, 수명 검증), 성능 검증 및 신뢰성 확보 (BS EN ISO 4126-1, ISO 21013-1 등) - 인증 및 실증 운영(국내 또는 해외 인증 획득) ○ 액화수소 충전소용 극저온(-253℃)·초고압(90MPa) 차단밸브 개발 및 실증 <ul style="list-style-type: none"> - 최적 설계 및 제조 기술 확보, 성능 검증 및 신뢰성 확보(수명, 진동 안정성 등) - 인증 및 실증 운영(국내 또는 해외 인증 획득) <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>연구개발계획서 제출시 다음의 항목의 정량적 목표치 및 상용화 수준 제시 필수</p> <ul style="list-style-type: none"> - 압력안전밸브 : (내압성능) No leakage@135MPa, (기밀성능) No leakage@100.2MPa - 차단밸브 : (내압성능) No leakage@135MPa, (기밀성능) No leakage@123.8MPa </div> <input type="checkbox"/> 개발위험 극복방안 <ul style="list-style-type: none"> ○ 기존에 구축된 액화수소 시험설비 인프라를 최대한 활용하여 중복 투자 방지 ○ 지적 재산권 현황 및 확보 전략 제시 필요 ○ 극저온(-253℃)·초고압(90MPa) 환경에 따른 안전성을 고려한 설계, 제작 기술 개발 필요 ○ 고압가스 위험 물질 취급에 따른 위험성 요인 제거 안전 조치 시행 				

- 고압가스 위험 물질 취급에 따른 화재 및 폭발 위험 존재, 극저온 액화수소 누출 등에 따른 안전사고 예방 관리 계획 제시 필요

안전관리 사항

- 본 연구개발과제는 「안전관리형 연구개발과제」로 연구개발계획서 제출시 ‘연구개발과제별 안전관리계획’을 제출해야 함 (적정성을 검토하여 부적정시 지원 제외함)
- 위험물질 취급연구개발과제 여부 : 해당(액화수소, 고압기체)
- 안전관리자 지정, 안전 교육 등을 위한 구체적인 안전 관리 방안 제시 필요

2. 지원 필요성

정책적

- 액화수소 생산 확대와 액화수소 플랜트, 충전소 보급 확산에 따른 액화수소용 핵심 기자재 공급기반 안정화가 필수적으로 정부 주도 핵심기술 확보 필요

기술적

- 현재 액화수소용 극저온·초고압 밸브의 국내 제품은 전무하며, 밸브 개발 후 KGS 인증 및 국제 인증 획득 필요

시장적

- 현재 액화수소용 PSV 및 ESV 시장 현황은 현재 관련 밸브류의 비정상적인 고액 단가 형성으로 인하여 크게 왜곡되어 있어, 이에 대응을 위한 국산화 제품 개발 시급

사회적

- 액화수소 핵심부품의 중장기적 기술자립으로 해외 글로벌 기업의 독과점을 방지하고, 수소모빌리티 보급 확산 등 수소경제 실현에 안전성을 확보하여 국민 불안감 해소

활용분야

- 액화수소 충전소, 액화수소 저장용기, 액화수소 운송선 등 액화수소의 생산/저장/운송/활용 전주기 생태계 구축과 우주분야/의료 등 타 산업의 극저온 기자재로 활용

3. 지원기간/예산/추진체계

기간 : 36개월 이내

정부지원연구개발비 : '24년 30억원 내외 (총 정부출연금 80억원 이내)

주관연구개발기관 : 기업

기술료 징수여부 : 징수

기타사항 : 해당사항 없음

'24년도 에너지기술개발사업 신규연구개발과제 기술개요서 (품목지정)

관리번호	2024 - 신재생-수소 - 품목 - 4	산업 기술 분류	중분류 I	중분류 II
과제 유형	<input type="checkbox"/> 원천기술 <input checked="" type="checkbox"/> 혁신제품		신재생에너지	-
해당여부	<input checked="" type="checkbox"/> 표준연계 <input type="checkbox"/> 경쟁형R&D <input type="checkbox"/> 복수형 R&D <input type="checkbox"/> 국가핵심기술 <input checked="" type="checkbox"/> 안전관리형과제 <input type="checkbox"/> 공기업협력 <input checked="" type="checkbox"/> 탄소중립 <input type="checkbox"/> 국제공동 R&D <input type="checkbox"/> 통합형 <input type="checkbox"/> 초격차 <input type="checkbox"/> 실증형			
R&D 자율성트랙	<input checked="" type="checkbox"/> R&D 자율성트랙(일반) <input type="checkbox"/> R&D 자율성트랙(지정)			
품목명	비금속 Flexible 수소 배관 및 접속재 국산화 기술 개발 (TRL : [시작] 2단계 ~ [종료] 7단계)			
1. 개념 및 개발내용				
<input type="checkbox"/> 개념				
○ 시공성과 안전성이 우수한 고압 수소 이송용 비금속 Flexible 배관/접속재 개발과 이의 건전성 진단 기술 및 관련 안전기준 개발				
<input type="checkbox"/> (최종목표) 70기압 수소 이송용 비금속 Flexible 배관/접속재 개발				
* 핵심목표 : Spoolable 고압 비금속 배관/접속재 개발(70 기압, 직경 150 mm) (세계최고)				
<input type="checkbox"/> 연구내용				
○ 비금속 Flexible 수소 배관/접속재 개발(직경 150 mm 이상)				
- 수소 분위기 하의 재료 성능평가, 부품 및 제품 장기 성능평가				
- 수소 저투과성 확보(KGS code AC419 4.4.2.1.15 투과성 검사 규격 참조)				
- 장조장 배관 제조 및 권취 기술 확보(길이 150 m 이상)				
- 시공성과 안전성을 확보한 중간, 종단 접속재 개발				
○ 수소 배관/접속재 건전성 진단 기술 개발				
- 배관 전구간(분포형) 수소 누출 및 접속재 파손/균열 등 On-line 모니터링 기술 개발				
○ 수소 배관/접속재 실증 진행				
- 다양한 시공/운영 환경 고려한 실증(6개월 이상, 총길이 200 m 이상)				
- Spool 형태(길이 150 m 이상)로 매설 장소로 이송				
○ 비금속 Flexible 배관 설계/검사/안전 기준 개발 및 법제화				
연구개발계획서 제출시 다음의 항목의 정량적 목표치 및 상용화 수준 제시 필수 - 배관 권취 길이(m), 수소 배관 및 접속재 실증 계획(m, 개월)				
<input type="checkbox"/> 개발위험 극복방안				
○ 원활한 실증 진행을 위해 접속재를 이용한 배관 매설에 문제가 없도록 적기에 규제 샌드박스 신청 또는 규정 변경이 필요				
○ 고압 수소 배관용 소재/제품의 수소 적합성 및 장기 신뢰성 평가로 안전성 제고				
○ 장조장 배관 장기 실증을 통한 성능검증으로 시장진입을 위한 트랙 레코드 확보				
○ 비금속 배관에 대한 인증/평가 규격이 부재하므로, 한국가스안전공사의 과제 참여를				

통한 인증/평가 기술개발을 통한 Process 정립 및 안전기준(규격) 확보

- 제품 안전성 확보를 위해 수소 배관 및 접속재의 쏠길이 대상 on-line 건전성 진단 기술과 시공 환경별 취약부 분석 및 사고예측 해석 기술 개발 필요

안전관리 사항

- 본 연구개발과제는 「안전관리형 연구개발과제」로 연구개발계획서 제출시 ‘연구개발 과제별 안전관리계획’을 제출해야 함 (적정성을 검토하여 부적정시 지원 제외함)
- 위험물질 취급연구개발과제 여부 : 해당(수소)
- 안전관리자 지정, 안전 교육 등을 위한 구체적인 안전 관리 방안 제시 필요

2. 지원 필요성

정책적

- 장기적으로는 수소 운송량 증가에 따라 지역별 및 장거리 수소 배관망 구축이 요구되며, 이를 위해 수소 배관망 구축 비용 저감기술 개발 필요

기술적

- 세계 최고 압력 성능 달성 및 수소 배관 쏠길이 건전성 on-line monitoring 분야 세계 최초 달성이 가능하여 수소 이송 배관 분야 기술 및 표준화 선도
- 장거리 장기간 실증을 통해 시공·운용 중 발생할 수 있는 이상 현상에 대한 기술적 data 축적 가능

시장적

- 금속재 배관 대비 시공 기간 단축 및 유지비용이 저렴하여 수소 운송비용 절감에 기여
- 비금속 수소 배관 및 접속재의 안전 운용 기술 축적으로 세계 시장 선도 가능

사회적

- 금속관 대비 간단한 시공 방법과 시공 기간 단축으로 배관망 구축 시 발생하는 시민 불편 저감 가능
- 광대역 인프라 구축이 수월하여 여러 활용 분야에 걸쳐 수소공급 안전성을 제고

활용분야

- 내륙 및 해상용 수소 배관망 구축에 활용
- 우수한 내부식성 및 시공·유지보수 용이성으로 다양한 유체(CO₂, 암모니아) 이송 배관으로 활용 가능

3. 지원기간/예산/추진체계

기간 : 48개월 이내

정부지원연구개발비 : '24년 25억원 내외 (총 정부출연금 60억원 이내)

주관연구개발기관 : 기업

기술료 징수여부 : 징수

기타사항 : 비금속 Flexible 수소배관 표준 및 안전기준 개발을 위해 한국가스안전공사 참여 필수(한국가스안전공사를 공동연구개발기관으로 컨소시엄 구성)

'24년도 에너지기술개발사업 신규연구개발과제 기술개요서 (품목지정)

관리번호	2024 - 신재생 - 수소 - 품목 - 5	산업 기술 분류	중분류 I	중분류 II
과제유형	<input type="checkbox"/> 원천기술 <input checked="" type="checkbox"/> 혁신제품		신재생에너지	-
해당여부	<input type="checkbox"/> 표준연계 <input type="checkbox"/> 경쟁형R&D <input checked="" type="checkbox"/> 복수형 R&D <input type="checkbox"/> 국가핵심기술 <input checked="" type="checkbox"/> 안전관리형과제 <input type="checkbox"/> 공기업협력 <input checked="" type="checkbox"/> 탄소중립 <input type="checkbox"/> 국제공동 R&D <input type="checkbox"/> 통합형 <input type="checkbox"/> 초격차 <input type="checkbox"/> 실증형			
R&D 지출성트랙	<input checked="" type="checkbox"/> R&D 자율성트랙(일반) <input type="checkbox"/> R&D 자율성트랙(지정)			
품목명	천연가스 기반 청록수소 생산 기술 개발 (TRL : [시작] 2단계 ~ [종료] 5단계)			
1. 개념 및 개발내용				
<input type="checkbox"/> 개념				
○ 청록수소는 천연가스를 열분해하여 생산되는 수소로, 청정에너지 사용 시 이산화탄소를 배출하는 대신 고체 탄소가 생산되므로 청정수소 생산 가능				
<input type="checkbox"/> (최종목표) 천연가스 기반 벤치스케일 청록수소 생산기술 개발				
* 핵심목표 : 용량 10kg-H ₂ /day 이상, 에너지소모량 20 kWh/kg-H ₂ 이하 (국내최초)				
<input type="checkbox"/> 개발내용				
○ 천연가스 기반 청록수소 생산을 위한 핵심기술 개발				
- 벤치스케일 청록수소 생산시스템 구축/운영(10kg-H ₂ /day 이상)				
* 정격 운전 조건에서 연속 운전 100시간 이상, 누적 운전 200시간 이상				
- 고체탄소의 연속적분리 기술 개발				
- 벤치스케일 실험결과에 기반한 공정해석을 통한 에너지소모량 계산				
○ 100 kg-H ₂ /day 파일럿 공정 설계				
- 에너지 사용량, 천연가스 사용량, 수소생산 비용 제시 필요				
○ 상용 공정 경제성 분석				
- 10 ton/day급 공정 대상으로 경제성 분석				
(세부주제 1)	용융금속 촉매 방식의 천연가스 열분해 기술 개발			
(세부주제 2)	플라즈마 방식의 천연가스 열분해 기술 개발			
※ 신청기관은 세부주제 중 하나를 선택하여 접수해야하며, 세부주제별 1개 컨소시엄 선정 예정				
연구개발계획서 제출시 다음의 항목의 정량적 목표치 및 상용화 수준 제시 필수				
- 용량(kg-H ₂ /day), 에너지소모량(kWh/kg-H ₂), 메탄 전환율(%)				
<input type="checkbox"/> 개발위험 극복방안				
○ 수소생산 설비 구축 및 운영에 문제가 없도록, 적기에 규제 샌드박스 신청 필요				
○ 대표적인 청록수소 생산 기술인 용융금속 촉매와 플라즈마 기술 개발을 우선 추진하고, 상용화 가능성이 높은 기술에 대해 후속 과제로 파일럿 공정 개발 연구를 추진				
<input type="checkbox"/> 안전관리 사항				

- 본 연구개발과제는 「안전관리형 연구개발과제」로 연구개발계획서 제출시 ‘연구개발과제별 안전관리계획’을 제출해야 함(적정성을 검토하여 부적정시 지원 제외함)
- 위험물질 취급연구개발과제 여부 : 해당(수소, 천연가스)
- 안전관리자 지정, 안전 교육 등을 위한 구체적인 안전 관리 방안 제시 필요

2. 지원 필요성

정책적

- 청정수소 생산 확대를 위해 생산에 제약이 있는 그린수소(높은 생산단가) 및 블루수소(CO₂ 처리 필요)와 비교하여, 상대적으로 쉽게 청정수소를 대량으로 생산할 수 있는 청록수소 기술개발 필요

기술적

- 에너지 사용량이 적고 탄소 포집이 필요 없는 청록수소 기술의 조기 상용화를 위해 유망한 청록수소 생산 공정 개발 후 이의 파일럿 공정 연구 필요
- 청록수소는 신재생에너지 의존성이 낮고(0~20 kW/kg-H₂) 탄소 포집 및 저장이 필요 없어 대량의 청정수소를 생산할 수 있는 실질적 대안이 될 수 있음

시장적

- 해외 청록수소 생산 공정은 파일럿 혹은 상용화 초기 단계이며, 시장은 미흡

사회적

- 청록수소는 수소와 고체탄소의 생산으로 환경성과 경제성이 높으며, 조기 공급을 통해 청정수소 활용 촉진에 기여

활용분야

- 반도체생산설비, 수소환원제철분야(HyREX) 등 대용량 산업용 청정수소 생산·공급
- 카본블랙, 인조흑연, 타이어/플라스틱의 첨가제용 및 배터리 전극용 등 친환경 non-CO₂ 고부가가치 카본 공급

3. 지원기간/예산/추진체계

- 기간 : 30개월 이내
- 정부지원연구개발비 : '24년 30억원 내외 (총 정부출연금 70억원 이내)
- 주관연구개발기관 : 제한없음
- 기술료 징수여부 : 징수
- 기타사항 : 세부주제별 정부지원 연구개발비는 1/2씩 동일하게 배분