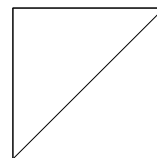


공 개



의안번호	제 4 호	보 고 사 항
의 결 연 월 일	2023. 12. 18. (제 6 회)	

## 국가 수소 중점연구실 운영방안

제 출 자	과학기술정보통신부
제출 연월일	2023. 12. 18.



## 1. 의결 주문

- 「국가 수소 중점연구실 운영방안」을 붙임과 같이 보고함

## 2. 제안 이유

- 청정수소 생산기술의 국산화를 통한 수소 생산단가의 경제성 확보에 기여하고자, 국가 수소 중점연구실을 지정·운영하여 국가 R&D 역량을 결집하고 기업과의 협력을 강화

## 3. 주요 내용

- (목표) 2030년 MW급 수전해 기술 국산화를 위한 알칼라인·PEM 수전해 및 차세대 수전해 기술(고체산화물, 음이온교환막) 확보
- (역할) 수전해 분야별 ①기술개발, ②기술상용화, ③국제협력, ④인증·표준화, ⑤배출량측정을 통합적으로 기획·수행
- (중점연구실 구성) 알칼라인·PEM 수전해 분야별 주관기관 및 참여기관으로 구성된 가상의 연구팀 단위로 지정
  - (알칼라인) 한국에너지기술연구원(주관), 한국생산기술연구원·UNIST(참여)
  - (PEM) 한국과학기술연구원(주관), 한국화학연구원·KAIST(참여)
- (향후 일정) 알칼라인·PEM 수전해 국가 수소 중점연구실 지정 고시(과학기술정보통신부, 12월) 및 차세대 수전해 중점연구실 선정('24.上)

## 4. 검토 사항

- 관계부처 협의를 거쳐 수립한 바, 특별한 쟁점·검토사항 없음



---

# 국가 수소 중점연구실 운영방안

## [요약본]

---

2023. 12. 18.



과학기술정보통신부



## I. 추진배경 및 중점연구실 개요

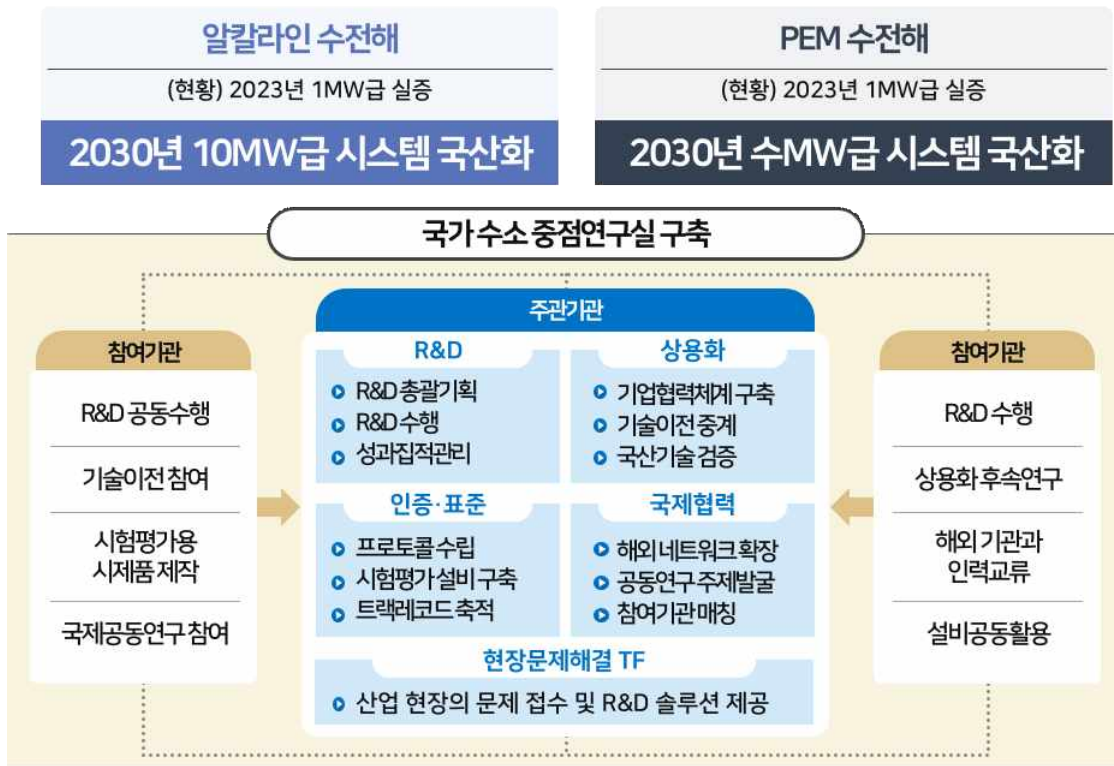
- **(추진배경)** 2050 탄소중립 및 2030 NDC 달성과 에너지 자립률 향상을 위해서는 청정수소 생산·활용 확대가 필수적
  - 우리나라의 청정수소의 생산단가\*는 다소 높은 편이나, 수전해 분야 핵심기술 확보를 통해 수소 생산단가의 저감이 필요
    - \* 현재 국내 블루수소 생산단가는 약 6,500원/kg 수준이며, '30년 3,500원/kg 달성 목표
  - 청정수소 생산 관련 기술격차를 극복하기 위해서는 분절적이고, 나눠주기식 연구에서 벗어나 통합적인 기술개발 수행·관리 필요

⇒ 국가 연구개발 브랜드(National Technology Center)로서 개별 연구실을 잇는 **국가 수소 중점연구실**을 운영하여 R&D 역량을 결집

\* 「수소기술 미래전략」(수경위, '22.11월) 내 '청정수소 생산기술 국산화' 이행

- **(중점연구실 역할)** 알칼라인/PEM 수전해 및 차세대 수소기술 분야 기술을 국산화하고, 국산기술이 산업현장에 적용되는 과정을 지원
  - ① **(기술 국산화)** '30년 MW급 수전해 기술 국산화를 위한 R&D와 차세대 수전해 기술(고체산화물, 음이온교환막)의 기초·원천 연구 수행
  - ② **(스케일-업)** 개발된 기술의 신뢰도를 확보하기 위해 성능평가를 지원하고, 기업과의 공동연구 및 기술적 보완을 통해 기술상용화 촉진
  - ③ **(국산기술 표준화)** 국산 기술의 성능평가를 통해 트랙레코드를 확보하고, 국내외 표준 제·개정을 지원
  - ④ **(국제협력연구)** 해외 우수 연구기관\*과의 네트워크를 확대하고, 수전해 분야에서의 국제공동연구를 활성화
    - \* (미) Lawrence Livermore National Lab., (독) Jülich, (덴) DTU, (호) CSIRO 등
  - ⑤ **(측정기술 개발)** 청정수소 인증 기준과의 연계를 위해 국산 기술을 활용한 수소 생산 시 발생하는 CO<sub>2</sub> 배출량 측정 연구 병행

국가수소 R&D 역량결집을 통한 **2030 MW급 수전해 국산기술 확보**



## II. 분야별 세부 운영계획

### 1 알칼라인 수전해 연구실

- **(구성)** 한국에너지기술연구원(주관), 한국생산기술연구원·울산과학기술원(참여)
- **(목표 및 전략)** 2030년 가압형 10MW급 대응 알칼라인 수전해 기술 확보를 목표로 대용량화, 고성능·고효율화 기술개발
  - **(대용량화)** MW급 대응이 가능한 전해질, 촉매 및 시스템 기술개발
    - ※ 2.5MW급 표준스택 4개로 10MW급 시스템을 구성하는 요소부품 대형화
  - **(차세대 기술확보)** 고밀도·가압형 시스템 상용화를 위한 혁신기술 개발
    - ※ 산소 중 수소농도 2% 미만의 투과도를 가지는 분리막 개발, 전력변환효율 96% 이상의 BOP 개발, 고전류밀도( $>1A/cm^2$  @1.8V)에서 운전이 가능한 전극촉매 개발 등
- **(성과활용)** 안정적으로 다량의 청정수소 공급이 필요한 산업공정(수소 전기차 연료생산, 석유화학·정제 등) 연계 대규모 플랜트 구축에 활용



## ② PEM 수전해 연구실

- (구성) 한국과학기술연구원(주관) 및 한국화학연구원 · 한국과학기술원(참여)
- (목표 및 전략) 2030년 수MW급 대응 PEM 수전해 기술 국산화를 목표로 CAPEX\* 저감, 내구성 향상을 위한 핵심기술 개발
  - \* CAPEX(Capital expenditures): 기업의 이윤 창출을 위한 인프라 투자 비용
- (CAPEX 저감) 저귀금속 사용 촉매 등 설비단가 저감 기술개발
  - ※ 산소극 귀금속 사용량  $1\text{mg}/\text{cm}^2$  이하, 막전극접합체 분리막 저항  $100\text{m}\Omega/\text{cm}^2$  이하 달성
- (내구성 향상) 고기능 · 고내구성 PEM 수전해 미래 핵심 기술 개발
  - ※ 다공성확산층-막전극접합체 접촉저항  $10\text{m}\Omega/\text{cm}^2$  이하 달성 등
- (성과활용) 해상풍력과 연계한 소형 PEM 설비 도입, 재생에너지 변동성이 큰 지역(제주도 등)에 청정수소 생산설비 구축 시 활용

## ③ 차세대 수소 기술 연구실

- (구성) 대학, 연구기관 등 개별 연구실 단위로 지정
- (목표 및 전략) 2040년 글로벌 수소 시장 본격화에 대비하여 차세대 수전해(SOEC, AEM수전해) 분야 유망기술의 선제적 확보
  - (SOEC) 2040년 SOEC 핵심 소재·부품 기술 국산화 및 기존 고온형 시스템과 차별화된 중온형( $600\sim 700^\circ\text{C}$ ) 시스템 기술 선도
  - (AEM 수전해) 2040년 PEM 수전해와 동등한 효율의 핵심 기술 국산화 및 대용량(1MW) · 장수명 단일 스택 개발

### III. 향후 계획

- ☐ (중점연구실 구성) 알칼라인/PEM 분야 중점연구실 구성 완료('23.12월)
  - 산업계 협력을 위해 중점연구실별 수요기업협의체 구성('24.上)
- ☐ (재생에너지-CCU 연계) 수소 중점연구실을 바탕으로 재생에너지, 청정수소 생산, CCU를 연계하는 R&D 체인을 구축·운영('24.上)
  - ※ 「CCU 실증 및 기술고도화 전략」('23.12월) 등 기술 분야별 정책과 연계



---

청정수소 생산기술 국산화를 위한  
**국가 수소 중점연구실 운영방안**

---

2023. 12. 18.



과학기술정보통신부



# 목 차

I . 국가 수소 중점연구실 지정·운영 배경 .....	1
II . 수소 분야 R&D 투자 및 성과 .....	2
III . 국가 수소 중점연구실 운영 방향 .....	3
IV . 분야별 세부 운영 계획 .....	6
1. 알칼라인 수전해 연구실 .....	6
2. PEM 수전해 연구실 .....	9
3. 차세대 수소 기술 연구실 .....	13
V . 향후 일정 및 추진체계 .....	15



### □ 무탄소 에너지 확대를 위해서는 청정수소 생산이 필수적

- 국가온실가스감축목표 달성을 위해서는 재생에너지를 포함하여 청정수소, CCUS 등 다양한 무탄소 에너지원의 확대가 필요
- 수소는 지역 편중이 없는 보편적 에너지원으로, 온실가스 발생 없이 국내 생산·저장·활용이 가능한 차세대 에너지원

### □ 수소 생산기술 국산화를 통한 가격 경쟁력 확보 필요

- 무탄소 에너지 수급·가격 안정화를 위해서 국내 자체 생산 확대 및 국내 기술의 해외 도입을 통한 수소 생산단가 경제성 확보 필요
- 국내 수소 생산단가는 다소 높은 편\*이나, 수소 생산 장치의 가격 저감·효율 향상 등을 통해 경제적인 수소 생산단가 실현 가능

\* 우리나라는 지리적 특성상 재생에너지 공급 변동성이 높고, 청정수소 생산 장치·설비를 수입에 의존하여 블루수소 생산단가가 현재 6,500/kg 수준

※ 국내 수소 생산단가 목표: 3,500원/kg('30) → 2,500원/kg('50)

### □ 기술격차 극복을 위해 분절적이고, 나눠주기식 연구를 개선할 필요

- 그간 기관 간 협업체계가 부재하여 연구가 유사·중복되고, 연구 기관 간 정보교류 및 장기적 관점에서의 성과관리가 부족
- 과제 단위로 공모·진행되는 정부 사업과 연구기관이 자체 편성·추진하는 주요 사업 간 연계가 부족하여 연구 대형화에 한계

☞ 국가 연구개발 브랜드(National Technology Center)로서 개별 연구실을 있는 수소 중점연구실을 지정·운영하여 연구자원을 집중

## II

## 수소 분야 R&D 투자 및 성과

- (R&D 투자) 수소 분야 연구 수행기관\*의 '23년 수소 R&D 투자 규모는 약 1,034억원이며 대부분 국가 R&D 예산으로 구성(약 93%)

\* 정부출연연구소, 과기원, 대학 등

- (분야) 수소 기술 분야별 R&D 예산은 알칼라인 수전해 11%, PEM\* 수전해 7.8%, 차세대 수소 기술\*\*이 18.3%를 차지

\* (Proton Exchange Membrane) 수소이온을 선택적으로 투과시키는 고분자 전해질막

\*\* SOEC(고체산화물 수전해), AEM(음이온교환막 수전해) 및 LOHC(액상유기수소화합물) 등

- (그간 성과) 알칼라인/PEM 수전해 기술 고도화 및 SOEC 기술개발

- (알칼라인 수전해) 재생에너지와 직접 연계가 가능한 스택 핵심 기술개발, 핵심소재(전극, 분리막 등) 설계·제작 기술 확보

- (재생에너지 직접연계) 수전해 전극의 부하변동 내구 성능(수명 200% 향상) 확보 및 안전성 극대화 분리막 기술개발

- (소재 기술) 세계 최고 수준 효율(83.5%)의 스택 개발, 해외 독점 분리막 기술 대비 저항 50%, 수소 투과도 100% 수준 기술 확보

- (PEM 수전해) 핵심 소재·부품(전해질막, 다공성확산층 등) 기술개발

- (전해질막) 수소 생산 효율의 핵심 요소인 수소 투과도가 상용 소재에 비해 40% 낮은 고성능 고분자 전해질막 제조 기술개발

- (다공성확산층) 상용제품 대비 고전류밀도 영역에서 효율이 높은 다공성확산층(Porous Transport Layer, PTL) 설계 기술개발

- (SOEC) 고체산화물 기반 고온 수전해 셀·스택 개발

- (셀) 양 끝이 막힌(close-end형) 음극지지형 평판 셀 개발 및 이를 활용한 스택 구조설계 단순화, 1kW(30cell) 성능평가 수행

- (스택) 4kW급(40cell) 스택 기술 확보, 해외 선진기관과 동등한 수준의 소모 전력(35.7kWh/kg)을 가지는 스택 기술 확보



### Ⅲ

## 국가 수소 중점연구실 운영 방향

### 1

### 국가 수소 중점연구실 목표

#### 목표

## 국가 수소 R&D 역량결집을 통한 2030 MW급 수전해 국산기술 확보

### 알칼라인 수전해

2030년 가압형 10MW급  
수전해 시스템 개발

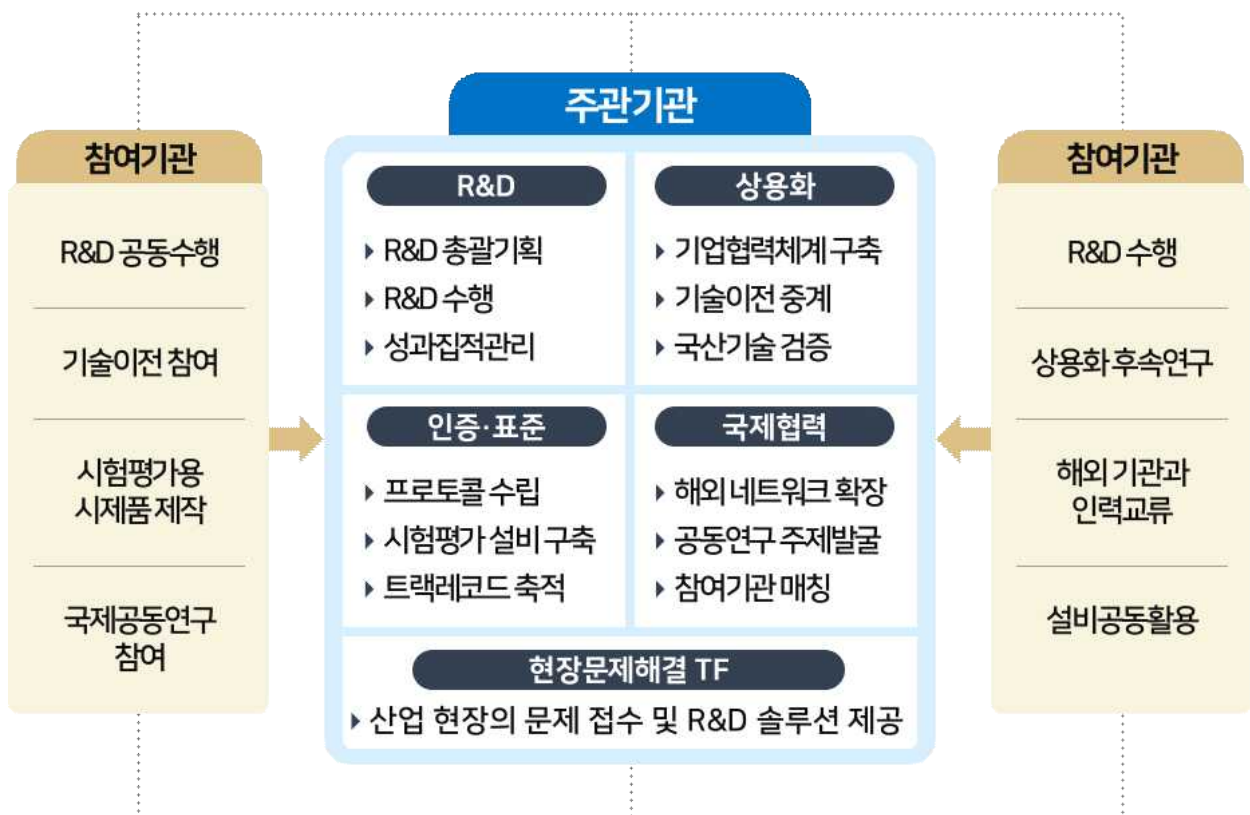
(현황) 2023년 1MW급 실증

### PEM 수전해

2030년 고내구·저가형 수MW급  
수전해 시스템 상용화

(현황) 2023년 1MW급 실증

### 국가 수소 중점연구실 구축



- ① (기술 국산화) '30년 MW급 수전해 기술 국산화를 위해 알칼라인, PEM 분야 기술을 확보하고, '30년 이후의 차세대 수소생산 기초연구 수행
  - (알칼라인) 고밀도·가압형 알칼라인 수전해 핵심기술을 개발하고, MW급 대응이 가능하도록 대용량 시스템화 기술을 확보
  - (PEM) 저귀금속 사용 촉매 등 설비단가 저감 기술을 개발하고, 고기능·고내구성 PEM 수전해 미래 핵심 기술을 확보
  - (차세대 수소 기술) 글로벌 수소시장 본격화에 대비하여 차세대 수전해(SOEC, AEM) 및 LOHC 등 유망기술을 선제적으로 확보
- ② (스케일-업) 기초기술 개발 이후 사업성 검토, 기업과의 실증연구 및 기술적 보완을 통해 수소 분야 R&D 데스벨리 극복
  - (사업성 검토) 학·연이 개발한 국산 기술의 사업성을 평가하여 가능성 높은 기술의 시장진입을 위한 대용량화·대면적화 지원
  - (실증연구) 본격 스케일업을 위한 트랙레코드를 축적하여 국내 기업의 수소 분야 제품의 신뢰성 확보 지원
  - (기술적 보완) 국내 상용제품의 오류 원인 분석 및 개선 지원
- ③ (국산기술 표준화) 청정수소 생산기술 국산화('30년 MW급)를 위한 국내 소·부·장 및 운영기술 표준 수립 및 제시
- ④ (국제협력연구) 수소 분야 신기술·제품 출현에 선제적으로 대응하고자 해외 우수 연구기관\*과 국제공동연구 추진
 

\* (미) Lawrence Livermore National Lab., (독) Jülich, (덴) DTU, (호) CSIRO 등
- ⑤ (배출량 측정) 국내외 청정수소 인증 기준과 연계를 위해 국산 기술을 활용하여 수소 생산 시 발생하는 이산화탄소 배출량 측정 연구 병행

### 3

### 재정지원 사항

- (신규사업 연계) '24년 정부안에 반영된 '그린수소 기술자립 프로젝트', 'H2 NEXT ROUND' 사업 등 R&D 사업을 중점연구실에 집중 지원

※ '24~'29년 총 5년간 944억원 지원 / '24년 정부안 신규 77억원

- (기관예산 매칭) 정부 수탁사업과 연계하여, 수소중점 연구실로 지정된 기관에서 주요사업 예산을 연계하여 운영

- (기술금융 지원) 멤버십기업\*, 공공기술지주\*\* 등을 활용하여 운영 재원을 확대하고, 기술수요 발굴, 기술 상용화 협업 등 추진

\* 잠재 기술수요 기업이 멤버십 가입 시 '기한 내 IP 우선협상권' 행사 가능

\*\* 대학·출연(연) 등 공공연구기관이 보유한 특허 등의 기술을 출자한 전문기업으로, 공공기술 기반의 기술사업화 촉진



### 4

### 연구실 간 협업

- (상시 지원체계) 국가기후기술정책센터\*의 수소기술 분야 정책 컨설팅 지원, 탄소중립기술지원단\*\*의 기술사업화 지원체계와 연계

\* 「기후기술법」 제15조에 따른 기후변화대응 기술정책 전담기관('22년 지정)

\*\* 학·연의 탄소중립 기술을 산업현장으로 확산하기 위한 전담기관('23.4분기 출범)

- (가상연구실) 디지털 트윈\* 기반 가상연구실 체계를 구축하여 각 연구실 성과를 모으고, 강점을 연계한 상호보완적 연구 수행

\* 클라우드를 통한 데이터 공유로 물리적 제약을 극복하여 협업연구 확대

# IV

## 분야별 세부 운영 계획

### 1 알칼라인 수전해 연구실

#### 알칼라인 수전해 중점연구실

주관 ▶

 한국에너지기술연구원

참여 ▶

 KITECH  
한국생산기술연구원

한국생산기술연구원

 UNIST

울산과학기술원



조직

기술개발/기술상용화/국제협력/시험·표준화  
(총 4개 부서)



인력

총 100명

R&D


목표 ▶

대용량화 · 고효율화

세부기술개발 ▶


01

스택/시스템/BOP

 한국에너지기술연구원

02


분리판

 한국에너지기술연구원

 KITECH

03


전극

 한국에너지기술연구원

UNIST

04

분리막

 한국에너지기술연구원

상용화

✓ 수요기업 모집

 한국에너지기술연구원

 KITECH

✓ 산학연 기술교류회 개최

 한국에너지기술연구원

✓ 기업별 맞춤형 공동연구 및 후속연구

 한국에너지기술연구원

 KITECH

UNIST

✓ 개발한 기술의 스케일업 평가

 한국에너지기술연구원

✓ 기술사업화 및 기술이전 촉진

 한국에너지기술연구원


 KITECH

시험 ·  
표준화

✓ 개발된 기술의 평가체계 마련

 한국에너지기술연구원

✓ 대용량 시험평가 설비 구축

 한국에너지기술연구원

✓ 시험평가 설비 공동 활용·트랙레코드 축적

 한국에너지기술연구원

 KITECH

UNIST

국제  
협력

✓ 해외 연구기관 네트워크 확대

 한국에너지기술연구원

UNIST

✓ 국제공동연구 및 인력교류

 한국에너지기술연구원

 KITECH

UNIST

□ (기관) 한국에너지기술연구원(주관), 한국생산기술연구원 · 울산과학기술원(참여)

□ (목표) 2030년 가압형 10MW 대응 알칼라인 수전해 기술 국산화

※ (세부목표) 2030년 알칼라인 수전해 스택 48kWh/kg, 시스템 52kWh/kg 이하 효율 확보

○ (대용량화) 10MW 대응 가압형 스택 및 시스템 핵심기술 개발

- (대형화) 시스템의 효율 향상을 목표로 스택을 구성하는 분리판, 셀 프레임, 확산체 등 대형화\*를 위한 핵심기술 개발[에너지(연)]

\* (목표) 2.5MW급 표준스택 4개로 10MW급 시스템을 구성

- (단순화) 순수 공급, 압력(차압)제어, 전력변환·제어, 정제시스템 등 시스템(BOP\*) 구성요소의 구조 및 설계 단순화[에너지(연)]

\* (Balance of Plant) 수전해 시스템의 구동, 제어를 담당하는 스택 외 구성 장치

- (저가화) 핵심 부품인 분리판(bipolar), 셀 프레임, 가스켓 소재의 내부식 코팅방식(온도, 시간 등) 최적화 기술개발[에너지(연) · 생기(연)]

※ (에너지(연)) 후막 구조의 분리판 · 확산체 코팅방식 최적화 기술개발  
(생기(연)) 박막 구조의 분리판 · 확산체 코팅방식 최적화 기술개발

○ (고성능·고효율화) 전극·분리막 고성능화와 시스템 고효율화 추진

- (분리막) 스택의 운전범위 확대(20~100%)를 목표로 기존 소재의 입자 구조 개선, 새로운 소재 개발을 통한 성능 향상\*[에너지(연)]

\* (목표) 산소 중 수소농도 2% 미만, 막 저항  $0.05\Omega\cdot\text{cm}^2$  이하

- (전극) 고전류밀도에서 운전이 가능한 전극 촉매 활성 극대화 (성능개선, 접촉면적 최적화 등)를 위한 기술개발[에너지(연) · UNIST]

※ (에너지(연)) 산소극에 적용되는 니켈 기반 촉매 활성 극대화 기술개발  
(UNIST) 수소극에 적용되는 루테튬 및 니켈 담지 탄소소재 고분자 촉매 개발

- (시스템) 교류 전원의 직류 변환효율 향상을 위한 전력변환기 소자 설계 및 수소 기체 정제시스템 개선을 통한 수율 향상[에너지(연)]

\* (목표) 전력변환효율 96% 이상, 정제시스템 수소 손실 0% 달성 목표



		가압형 대형 표준 ALK 수전해 기반 기술 개발		10MW급 가압형 표준 ALK 수전해 소재, 부품 및 시스템 핵심 기술 확보			10MW급 가압형 ALK 수전해 시스템 실증	
		2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
추진전략	세부 기술 분야	중점 연구실 구축	대형화 표준시스템 설계	대형화 표준시스템 실증	대형화 표준시스템 검증	2.5MW급 시스템 개발	2.5MW급 시스템 실증	10MW급 시스템 실증
대용량화	스택	직경 80cm급 스택 요소부품 기술 개발		직경 80cm, 100kW급 단일 스택 구현			250kW급 단일 스택 구현	
	분리판	분리판·확산체 저항 30mΩ·cm <sup>2</sup> 이하		분리판·확산체 저항 25mΩ·cm <sup>2</sup> 이하			분리판·확산체 저항 20mΩ·cm <sup>2</sup> 이하	
고성능· 고효율화	분리막	저항 0.1mΩ·cm <sup>2</sup> 이하		저항 0.08mΩ·cm <sup>2</sup> 이하			저항 0.05mΩ·cm <sup>2</sup> 이하	
	전극	수소극 과전압 150mV@1A/cm <sup>2</sup> 이하		수소변환효율 92% 이상			수소변환효율 97% 이상	
	시스템	전력변환 효율 95% 이상		전력변환 효율 96% 이상			시스템 효율 52kWh/kg 이하	

### < 알칼라인 수전해 기술개발 로드맵 요약(안) >

- (성과활용) 안정적으로 다량의 청정수소 공급이 필요한 산업공정(수소 전기차 연료생산, 석유화학정제 등) 연계 대규모 플랜트 구축에 활용
- (역할·운영) R&D 역량을 집중하여 기술개발 및 사업화를 추진하고, 대외협력과 개발된 기술의 시험·표준화 지원(전담인력 100명 내외)
- (기술개발) 주관기관은 기술개발 로드맵 수립 및 성과관리·축적을 담당하고, 참여기관은 수전해 요소 기술별 R&D를 나누어 수행
- (기술상용화) 주관기관 및 참여기관이 既보유한 기업 협력체계\*를 확대하여 기술수요를 발굴하고 실증 프로젝트 기획·추진
- \* 에너지(연) 패밀리기업, 생기(연) 파트너기업 제도 등
- (국제협력) 참여기관의 선진 연구기관(獨 드레스덴공과대학교 등)과의 네트워크를 활용하여 알칼라인 수전해 핵심기술 공동연구 추진
- (시험·표준화) 주관기관이 대용량(1Nm<sup>3</sup>/h, 100-250kW급) 시험시스템을 구축하고, 기관 간 성능평가 장비를 공동 활용하여 트랙레코드 축적

## PEM 수전해 중점연구실

주관 ▶



참여 ▶



한국화학연구원



한국과학기술원



조직

기술개발/기술실용화/국제협력/시험·표준화  
(총 4개 부서)



인력

총 150명

## R&amp;D

목표 ▶

CAPEX저감 · 내구성 향상

세부기술개발 ▶

01

분리막



02

전극 · 촉매



03

막전극접합체



04

다공성확산층  
및 분리판

## 실용화

✓ 수요기업 회원사 제도 운영



✓ 기업수요 기반 특화형 공동연구



✓ 국산 기술의 검증 및 상용화 전략 마련



✓ 기술교류회 개최



✓ 수요기업 대상 기술이전

시험 ·  
표준화

✓ 국산기술의 규격화



✓ 장기간시험평가 결과축적 및 표준수립 참여



✓ 제품화맞춤형 프로토콜 개발

국제  
협력

✓ 기관 해외거점을 활용한 국제협력 수요발굴



✓ 해외기업과의 실증 연구



- (기관) 한국과학기술연구원(주관), 한국화학연구원 · 한국과학기술원(참여)
- (목표) 2030년 수MW급 저가 · 고내구성 PEM 수전해 기술 국산화
  - (CAPEX\* 저감) 低귀금속 사용 촉매 등 설비단가 저감 기술개발
    - \* (Capital expenditures, 자본적 지출) 기업의 이윤 창출을 위한 인프라 투자 비용
    - (전극·촉매) 다량의 귀금속을 사용하는 이리듐 산화물 전극의 귀금속 사용량 저감을 위한 전극·촉매 구조 개선[KIST · KAIST]
    - ※ (KIST) 촉매 직접증착형 전극, 3차원 미세구조 최적화 및 대면적화 기술개발  
(KAIST) 산화물 담지체 및 나노구조 제어, 촉매 메커니즘 분석 기술개발
    - (분리막) 재생에너지 변동성(저부하 또는 고밀도)에 대한 안정성과 높은 전도도\*를 가지는 저가형 전해질막 제조[KIST · 화학(연)]
    - ※ (KIST) 신규 저가 고전도성 탄화수소계 고분자 전해질 개발  
(화학(연)) 다공성 지지체 표면제어 및 강화복합막 제조 기술개발
    - (다공성확산층 및 분리판) 귀금속\* 활용을 저감하고, 기체 배출을 개선하는 다중구조 계면 설계 및 저가형 신규소재 개발[KIST]
    - \* 다공성확산층 및 분리판에는 고가의 타이타늄(Ti) 다량 사용 중
  - (차세대 기술 확보) 고기능 · 고내구성 핵심 소재 및 부품 기술개발
    - (막전극접합체) 촉매층, 전해질막 등 핵심 구성요소의 성능 향상 및 막전극접합체 대면적화·적층을 통한 신뢰성 확보 기술개발[KIST]
    - \* (목표) 전류밀도  $2\text{A}/\text{cm}^2$ 에서 운전가능한 막전극접합체 기술개발
    - (분리막) 높은 전도성과 고내구성을 가지는 전해질막 제조[KIST · 화학(연)]
    - ※ (KIST) 수소투과도 저감형 고전도성 탄화수소계 고분자 전해질 소재 개발  
(화학(연)) 라디칼 안정화 소재 및 슬롯다이 기반 고품위 제막 기술개발
    - (다공성확산층 및 분리판) 대면적 유로 설계, 분리판 저가 소재 적용 및 내구성 확보를 위한 산화물 코팅 기술개발\*[KIST]
    - \* (목표) 다공성확산층-막전극접합체 접촉저항  $10\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2$  (현재 수준:  $15\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2$ )

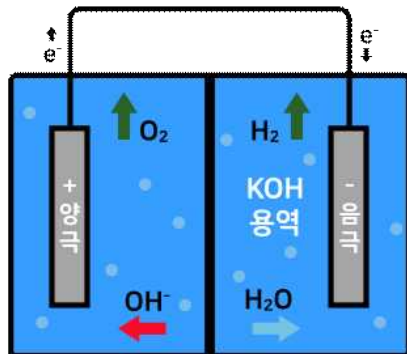
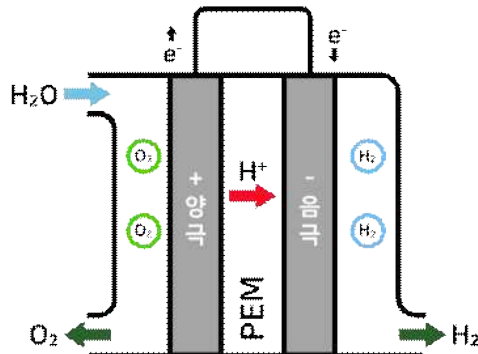


		PEM 수전해 소재/부품 기반기술개발		MW급 PEM 수전해 소재/부품 및 신뢰성 기술개발			수MW급 PEM 수전해 기술 국산화	
		2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
추진전략	세부 기술 분야	중점 연구실 구축	테스트베드 시운전	성능/내구 검증	소재/부품 실용화 기술 개발	핵심 소재/부품 고도화	수MW급 대응기술 설계	수MW급 대응 기술 실용화
CAPEX 저감 · 내구성 향상	막전극 접합체	전류밀도 1.2A/cm <sup>2</sup> 이상		전류밀도 1.5A/cm <sup>2</sup> 이상			전류밀도 2A/cm <sup>2</sup> 이상	
	분리막	저항 180mΩ·cm <sup>2</sup> 이하		저항 150mΩ·cm <sup>2</sup> 이하			저항 100mΩ·cm <sup>2</sup> 이하	
	전극· 촉매	귀금속 사용량 2.5mg/cm <sup>2</sup>		귀금속 사용량 2mg/cm <sup>2</sup> 이하			귀금속 사용량 1mg/cm <sup>2</sup> 이하	
	PTL	저항 14mΩ·cm <sup>2</sup> 이하		저항 13mΩ·cm <sup>2</sup> 이하			저항 10mΩ·cm <sup>2</sup> 이하	

### < PEM 수전해 기술개발 로드맵 요약(안) >

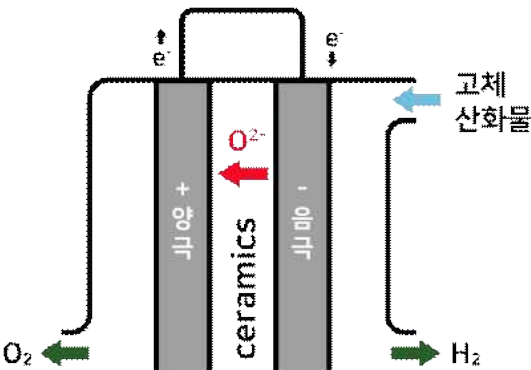
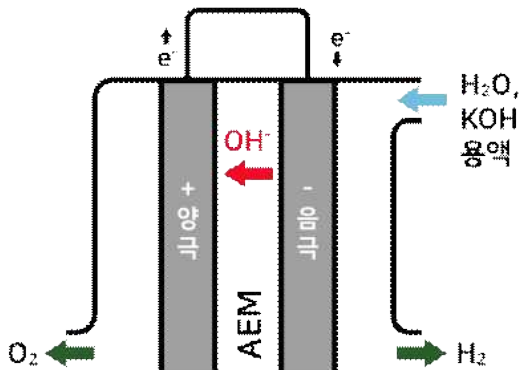
- (성과활용) 해상풍력과 연계한 소형 PEM 설비 도입, 재생에너지 변동성이 큰 지역(제주도 등)에 청정수소 생산설비 구축 시 활용
- (역할·운영) 알칼라인 분야와 유사한 체계로 구성하여 기술개발 및 실용화를 추진하고, 국제협력, 인증·표준화 지원(150명 내외)
- (기술개발) 주관기관은 기술개발 로드맵 수립 및 성과관리·축적을 담당하고, 참여기관은 수전해 요소 기술별 R&D를 나누어 수행
- (기술실용화) 링킹랩\* 운영을 통해 상용화 전환연구를 지원하고, 수소 전문기업과 수요기업단 운영을 통해 수요대응 R&D를 기획
  - \* (Linking Lab) 기관 내 수요기업 파견연구자와 공동연구실 구축 및 운영
- (국제협력) 주관기관의 해외거점 인프라\*를 활용하여 세계 최고 수준 연구기관과 협력체계를 구축하고, 해외기업과의 실증연구를 추진
  - \* KIST 유럽연구소 및 현지랩(미국, 캐나다), 연구센터(인도) 등
- (시험·표준화) 주관기관이 개발한 PEM 수전해 평가 프로토콜\*을 기술·환경변화에 맞게 재정비하고, 연구기관 간 데이터 상호검증
  - \* (세부내용) 표준 평가 셀 및 막전극접합체 제조 방법, 단위셀 시동/운전/정지방법

< (참고) 알칼라인 수전해와 PEM 수전해 기술 >

	알칼라인 수전해	PEM(고분자전해질) 수전해																								
원리	<ul style="list-style-type: none"><li>전기분해 후 수산화 이온(OH<sup>-</sup>)이 다공성 분리막을 통과하여 양극에서 분해되어 산소와 물 생산</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>전기분해 후 수소 이온(H<sup>+</sup>)이 고분자 전해질막을 통과하여 수소극에서 포집</li></ul>																								
장점	<ul style="list-style-type: none"><li>기술적인 성숙도가 높고 다수 적용 사례 보유</li><li>구조가 단순하고 대용량화 용이</li><li>내구성이 높고 가격 경쟁력이 우수</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>재생에너지 변동성·간헐성 대응에 유리</li><li>수소차단성이 우수하여 안전성 유리</li><li>전류밀도와 에너지효율이 높아 장치의 소형화 가능</li></ul>																								
단점	<ul style="list-style-type: none"><li>상대적으로 넓은 부지를 요구</li><li>상대적으로 좁은 운전범위</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>고가의 원재료(백금 촉매 등) 사용으로 가격경쟁력이 낮음</li></ul>																								
개념																										
글로벌 선도 기업	<table><tr><th>업체명 (국가)</th><th>기술수준</th></tr><tr><td>Nel Hydrogen (노르웨이)</td><td>스택 2.2MW, 시스템 17MW급 수전해 시설 보유</td></tr><tr><td>McPhy (프랑스)</td><td>30년까지 67GW급 수전해를 통한 수소 생산 추진 (EU HyDeal 프로젝트)</td></tr><tr><td>ThyssenKrupp (독일)</td><td>20MW급 시스템 구성 (사우디 협업)</td></tr><tr><td>Asahi Kasei (일본)</td><td>'24년 세계 최대 규모인 35MW급 시스템 구축 예정</td></tr><tr><td>Sunfire (독일)</td><td>'24년 유럽 최대 전력 공급업체(Uniper)에 30MW급 수전해 시스템 공급 예정</td></tr></table>	업체명 (국가)	기술수준	Nel Hydrogen (노르웨이)	스택 2.2MW, 시스템 17MW급 수전해 시설 보유	McPhy (프랑스)	30년까지 67GW급 수전해를 통한 수소 생산 추진 (EU HyDeal 프로젝트)	ThyssenKrupp (독일)	20MW급 시스템 구성 (사우디 협업)	Asahi Kasei (일본)	'24년 세계 최대 규모인 35MW급 시스템 구축 예정	Sunfire (독일)	'24년 유럽 최대 전력 공급업체(Uniper)에 30MW급 수전해 시스템 공급 예정	<table><tr><th>업체명 (국가)</th><th>기술수준</th></tr><tr><td>Siemens Energy (독일)</td><td>GW급 수소생산설비 건설중</td></tr><tr><td>Cummins (미국)</td><td>세계최대규모(20MW)설비구축</td></tr><tr><td>Plug Power (미국)</td><td>2.0GW 규모 양산준비중 (SKE&amp;S 공동)</td></tr><tr><td>ITM Power (영국)</td><td>100MW급 수전해 설비 상용화</td></tr><tr><td>Nel Hydrogen (노르웨이)</td><td>스택 효율 70.8%, 20MW급 시스템 구현</td></tr></table>	업체명 (국가)	기술수준	Siemens Energy (독일)	GW급 수소생산설비 건설중	Cummins (미국)	세계최대규모(20MW)설비구축	Plug Power (미국)	2.0GW 규모 양산준비중 (SKE&S 공동)	ITM Power (영국)	100MW급 수전해 설비 상용화	Nel Hydrogen (노르웨이)	스택 효율 70.8%, 20MW급 시스템 구현
	업체명 (국가)	기술수준																								
	Nel Hydrogen (노르웨이)	스택 2.2MW, 시스템 17MW급 수전해 시설 보유																								
	McPhy (프랑스)	30년까지 67GW급 수전해를 통한 수소 생산 추진 (EU HyDeal 프로젝트)																								
	ThyssenKrupp (독일)	20MW급 시스템 구성 (사우디 협업)																								
	Asahi Kasei (일본)	'24년 세계 최대 규모인 35MW급 시스템 구축 예정																								
Sunfire (독일)	'24년 유럽 최대 전력 공급업체(Uniper)에 30MW급 수전해 시스템 공급 예정																									
업체명 (국가)	기술수준																									
Siemens Energy (독일)	GW급 수소생산설비 건설중																									
Cummins (미국)	세계최대규모(20MW)설비구축																									
Plug Power (미국)	2.0GW 규모 양산준비중 (SKE&S 공동)																									
ITM Power (영국)	100MW급 수전해 설비 상용화																									
Nel Hydrogen (노르웨이)	스택 효율 70.8%, 20MW급 시스템 구현																									

- (기관) 대학, 연구기관 등 개별 연구실 단위로 지정
- (연구분야 및 목표) 2040년 글로벌 수소시장 본격화에 대비하여 차세대 수전해(SOEC, AEM) 및 LOHC 등 유망기술의 선제적 확보
- (SOEC) 2040년 SOEC 시스템 핵심 소재·부품 기술 국산화 및 기존 고온형 시스템과 차별화된 중온형(600~700℃) 시스템 기술 선도
  - ※ (현황) 2023년 20kW급 SOEC 스택 모듈 및 시스템 개발 중
  - (소재·부품) 고내구성\*의 셀·전극 소재 개발 및 가격경쟁력 확보를 위한 대면적 세라믹 셀·스택 제조공정 원천기술 개발
    - \* 열화율 0.2%/kh (3mV/kh) 이하 목표 (현재 수준: 0.5%/kh)
  - (중온형 시스템) 700℃ 내외의 중온 운전환경에서 고온 대비 우수한 효율과 성능을 구현하는 대용량 MW급 시스템\* 개발
    - \* 소모전력 40kW/kg 이하, MW급 스택으로 스케일업 가능한 20kW 가압형 스택 모듈
- (AEM) 2040년 PEM 수전해와 동등한 효율의 AEM 소재·부품 기술 국산화 및 세계 최고 수준의 대용량(1MW)·장수명 단일 스택 개발
  - ※ (현황) 2023년 200kW 이상 단일 스택 개발 중
  - (전해질·교환막) 고분자 설계·합성을 통한 탄화수소계 음이온 교환 소재 개발, 고내구성\* 막전극접합체 제조공정 기술 확보
    - \* 장기내구성 80,000시간, 성능 열화율 5mV/kh 이하
  - (단일 스택) 다공성확산층(PTL)·분리판의 합금 재료 및 표면처리 개선으로 1MW급\* 스택 제작 기술 및 시스템 운용기술 확보
    - \* AEM 수전해는 최소 100kW 이상의 단일 스택 대용량화/장수명화를 통해 경제성 확보가 가능하며, 해외 선진기술(2.4kW 단일스택) 대비 도전적 목표

< (참고) SOEC와 AEM 수전해 기술 >

	SOEC(고체산화물 수전해)	AEM(음이온교환막) 수전해		
원리	<ul style="list-style-type: none"><li>고체산화물 연료전지와 전기분해를 융합한 기술로 800℃ 이상의 고온 수증기를 전기분해해 수소를 생산</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>전기분해 후 음이온(OH<sup>-</sup>)이 고분자 전해질막을 통과하여 수소극에서 포집</li></ul>		
장점	<ul style="list-style-type: none"><li>● 높은 수소 생산 효율성</li><li>● 고체산화물 전해질 사용에 따른 높은 내부식성 및 내구성</li><li>● 유지 보수 용이</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>● 비귀금속 촉매 사용에 따른 수소 제조원가 절감 가능</li><li>● 높은 수소 생산성</li><li>● 전력변동성에 대응 용이</li></ul>		
단점	<ul style="list-style-type: none"><li>● 낮은 이온전도도</li><li>● 시스템 안전성 취약</li><li>● 고온 환경에 따른 낮은 내구성</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>● 낮은 이온전도도</li><li>● 열역학적 안정성이 취약</li><li>● 높은 물질전달저항으로 인한 전극 활성 및 내구성 취약</li></ul>		
개념				
글로벌 선도 기업	업체명 (국가)	기술수준	업체명 (국가)	기술수준
	Bloom Energy (미국)	발전효율 88.5% LHV 달성	Enapter (독일)	세계 최초 상용화 성공 (2.4kW급 단일스택)
	Sunfire (독일)	225kW급 시스템 모듈 실증 운전 성공	Dioxide Materials (미국)	음이온교환막 소재 개발 (Sustainion®) 및 상업화

## 주요 과제

## 주관부처

## 추진일정

## 1. 국가 수소 중점연구실 지정·고시

- |                       |     |          |
|-----------------------|-----|----------|
| ■ 알칼라인/PEM 수전해 연구실 구성 | 과기부 | '23.11월  |
| ■ 국가 수소 중점연구실 지정 고시   | 과기부 | ~'23.12월 |

## 2. 수전해 기술개발 로드맵 수립

- |                           |     |          |
|---------------------------|-----|----------|
| ■ 알칼라인/PEM 수전해 기술로드맵 수립   | 과기부 | ~'23.12월 |
| ■ 차세대 수소 기술 연구 분야 및 목표 설정 | 과기부 | ~'23.12월 |

## 3. 청정수소 생산기술 R&amp;D 계획 수립

- |                          |     |        |
|--------------------------|-----|--------|
| ■ '24년 국책 R&D 사업 추진계획 수립 | 과기부 | '24.1Q |
| ■ '24년 중점연구실 기관별 고유사업 기획 | 과기부 | '24.1Q |
| ■ 무탄소에너지 R&D 생태계 구축      | 과기부 | '24년   |

## 4. 타 기관 및 기업과의 협업

- |                        |     |         |
|------------------------|-----|---------|
| ■ 중점연구실 기관별 수요기업협의체 구성 | 과기부 | ~'24.1Q |
| ■ 탄소중립기술지원단 설치         | 과기부 | ~'24년   |
| ■ 민관 기술교류회 개최(분기별)     | 과기부 | '24년~   |



## 참고 1

## 수소 생산기술 국산화 로드맵 총괄표

대분류	중분류	소분류	국산화필요
알칼라인 수전해	스택(Stack) 부문	전극 (electrode)	√
		셀프레임(Cell frame)	√
		다공성확산층 (Porous Transport Layer, Pre-electrode)	√
		가스켓 (Gasket)	√
		분리판 (Bipolar plate)	√
	BOP(Balance Of Plant) 부문	전력공급장치 (Power supply)	√
		순수공급장치 (D.I. Water supply system)	
		열교환기 (heat exchanger)	
		정제시스템(Purifier)	√
		제어시스템 (Process Logical Control)	
		계장류(Instruments, analyzers)	√
		밸브류(Valves)	√
PEM (고분자 전해질) 수전해	스택(Stack) 부문	촉매 (catalyst)	√
		전극 (electrode)	√
		분산액 (ionomer solution)	√
		고분자전해질막 (membrane)	√
		막전극접합체 (MEA)	√
		다공성확산층 (PTL)	√
		가스켓 (Gasket)	
		분리판 (Bipolar plate)	√
		셀 프레임 (cell frame)	
	BOP(Balance Of Plant) 부문	전력공급장치 펌프 (Power supply pump)	√
		물공급장치 (Water supply pump)	
		열교환기 (heat exchanger)	
		수소처리장치 (hydrogen process part)	√
		산소처리장치 (Oxygen process part)	

## 참고 2 기후변화대응 기술개발 전담기관 지정·운영 근거

□ 법 제15조(전담기관의 지정 등) ① 과학기술정보통신부장관은 관계 중앙행정기관의 장과 협의하여 기후변화대응 기술개발을 위해 다음 각 호의 업무를 전문적으로 전담할 기관(이하“전담기관”이라 한다)을 지정·운영할 수 있다.

1. 제7조제1항제1호에 따른 기후변화대응을 위한 국내·외 기술개발 및 관련 산업의 현황 등의 조사 및 분석 업무의 지원
2. 제8조제1항 및 제3항에 따른 기후변화대응 기술개발의 추진 시책 수립 및 기술지도 작성 업무 지원
3. 제10조에 따른 시범사업의 지원
4. 제11조에 따른 기술개발 성과의 상용화 지원
5. 제12조에 따른 기술지원체제와의 협력 지원
6. 그 밖에 기후변화대응 정책의 수립 및 집행의 지원

② 과학기술정보통신부장관은 예산의 범위에서 전담기관에 대하여 제1항의 업무를 수행하는 데 필요한 경비의 전부 또는 일부를 출연 또는 지원할 수 있다.

③ 과학기술정보통신부장관은 전담기관이 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 경우 그 지정을 취소하거나 시정을 명할 수 있다. 다만, 제1호에 해당하는 경우에는 그 지정을 취소하여야 한다.

1. 거짓이나 그 밖의 부정한 방법으로 지정을 받은 경우
2. 제4항에 따른 지정요건을 갖추지 못하게 된 경우
3. 그 밖에 전담기관으로서의 업무를 수행하는 것이 현저히 부당하게 된 경우

- 시행령 제11조(전담기관의 지정·취소) ① 과학기술정보통신부장관은 법 제15조제1항에 따라 다음 각 호의 요건을 모두 갖춘 기관을 같은 항에 따른 전담기관(이하 “전담기관”이라 한다)으로 지정할 수 있다.
1. 기후변화대응 기술 관련 업무를 전문적으로 수행하는 기관 또는 단체로서 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 기관 또는 단체일 것  
가. 「공공기관의 운영에 관한 법률」 제4조에 따른 공공기관  
나. 「민법」에 따라 설립된 법인  
다. 「과학기술분야 정부출연연구기관 등의 설립·운영 및 육성에 관한 법률」에 따라 설립된 과학기술분야 정부출연연구기관
  2. 기후변화대응 기술개발에 필요한 전담인력을 확보할 것
  3. 기후변화대응 기술개발에 필요한 재정적·기술적 능력을 갖추고 있을 것
- ② 제1항에 따라 지정받은 전담기관의 장은 지정받은 업무에 관한 세부 사업계획 및 자금 집행계획을 수립하여 과학기술정보통신부장관에게 제출해야 한다.
- ③ 과학기술정보통신부장관은 제1항에 따라 지정받은 전담기관이 같은 항 각 호의 지정요건에 적합하지 않게 되거나 법 제15조제3항제3호에 해당하는 경우에는 기간을 정하여 시정을 명할 수 있다.
- ④ 과학기술정보통신부장관은 제3항에 따라 시정명령을 받은 전담기관이 정해진 기간 내에 시정을 하지 않은 경우에는 그 지정을 취소해야 한다.
- ⑤ 과학기술정보통신부장관은 법 제15조제1항 또는 제3항에 따라 전담기관을 지정하거나 그 지정을 취소한 경우에는 그 사실을 고시해야 한다.



과학기술정보통신부  
기후환경대응팀

담당자 (총괄)	황윤지 사무관
연락처	전 화 : 044-202-4545 E-mail : yoonz22@korea.kr