

본 안건은 기업과 출연(연)의 비전과
목표, 추진과제를 담은 것으로 정부의
대책은 아님

기업 · 출연연 참여 CCUS 산업 · 기술혁신 추진(안)

- 탄소중립 기술의 신산업화를 위한 도전과 과제 -

2023. 4. 10.

민간기업 · 출연연 합동

순 서

| | |
|--|----|
| I. 추진 배경 | 1 |
| II. 국내외 현황 | 3 |
| III. 비전 및 기본방향 | 6 |
| IV. 주요 추진계획 | 7 |
| 1. [포집] 상용기술 확보 및 대규모 실증 | 7 |
| 2. [저장] 국내 10억톤 저장소 및 해외 저장소 적기 확보 | 9 |
| 3. [활용] CCU 상용화 기술 확보 및 사업 확대 | 13 |
| 4. CCUS 패키지를 한국형 수출 모델로 육성 | 16 |
| 5. 한계극복을 위한 기초원천기술 확보 | 17 |
| V. 정부 지원 건의 | 21 |

I. 추진 배경

1 탄소중립이 환경이슈에서 경제이슈로 판도 변화

- **(국가간 무역)** '23년 EU의 탄소국경조정제도(CBAM) 시범 도입*, 미국의 인플레이션 감축법안(IRA) 등으로 국가간 이해관계 충돌
 - * 철강, 알루미늄, 시멘트, 비료, 전력, 수소 등 6개 품목 대상
- **(기업간 거래)** 글로벌 기업들을 중심으로 입찰 시 엄격한 탄소 발자국과 RE100 이행 여부에 대한 검증 요구
- **(국제 금융)** EU 택소노미 확정('22.2), 글로벌 자산운행사들의 ESG 경영 강조 등으로 산업계 투자 기준 변화

2 우리에게 2030 NDC와 2050 탄소중립은 매우 도전적인 과제

- **(산업 구조)** 높은 제조업 비중과 온실가스 다배출 업종 중심의 산업 구조로 탄소중립 실현이 녹록치 않은 여건
 - * 제조업 비중(GDP 대비, '20) : 한국(27.1%), 일본(19.7%), 미국(11.2%), 영국(8.7%)
- **(발전 믹스)** 여전히 높은 석탄·가스발전 비중*으로 발전부문의 탈탄소화가 탄소중립의 핵심
 - * '21년 발전량 비중(577 TWh, 제10차 전력수급기본계획('23)) : 석탄(34%), LNG(29%), 원자력(27%), 신재생(7%)

3 탄소중립과 산업경쟁력을 동시에 충족시키기 위해 CCUS 필요

- **(해외)** 국제에너지기구(IEA)는 CCUS가 '21~'50년까지 전 세계 누적 에너지부문 CO₂ 배출량 감소에 10% 기여 전망*
 - * 탄소 포집·활용·저장(CCUS) : 4천만톤/년('21)에서 2030년 12억 톤/년, 2050년 62억 톤/년(CCS 95%, CCU 5%)으로 증가(IEA, ETP 2023, Net-zero by 2050)
- **(국내)** 우리나라의 발전 및 산업구조의 특성으로 탄소배출 부담을 완화시키는 수단*으로 CCUS 기술 필요
 - * 2030년 NDC의 3.8%, 2050 탄소중립에 8.0~12.3% 기여 요구

< 참고 : CCUS 기술 개념 및 기여도 >

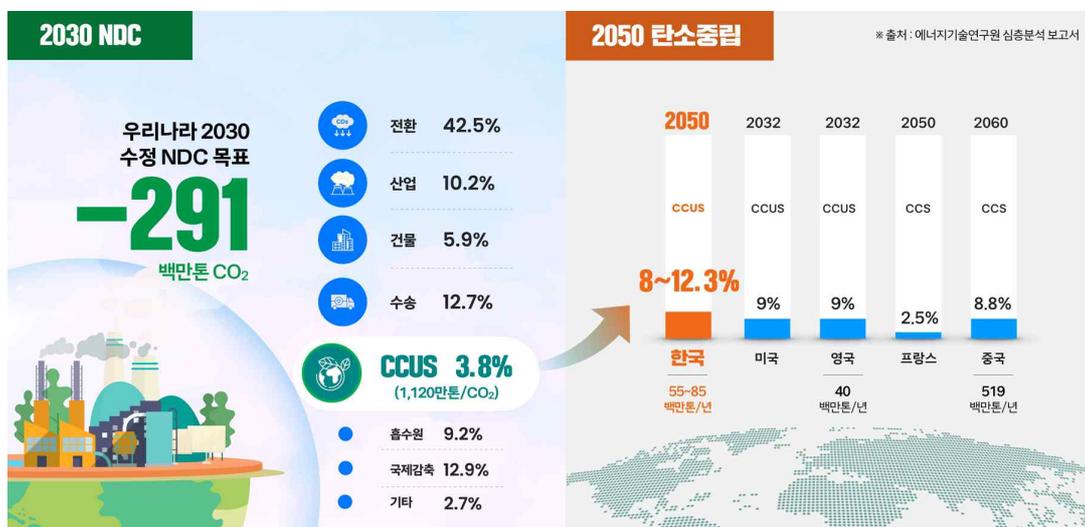
□ **(개념)** CCUS* 기술은 연소 및 산업공정 등에서 배출된 CO₂를 심부 지층에 안전하게 저장하거나 전환하여 활용하는 기술

* CCUS(탄소 포집·저장·활용 기술) : Carbon Capture Utilization and Storage



- **(CO₂ 포집)** 석탄발전, LNG발전, 철강, 시멘트, 석유화학, 수소생산(천연가스 개질) 등의 배기가스와 공기 중에서 CO₂를 분리하여 포집하는 기술
- **(CO₂ 저장)** 육상이나 해저에 존재하는 적합한 장소*에 초임계 형태의 CO₂를 직접 주입하여 저장하는 기술
* 폐유전, 폐가스전, 대염수층, 채광할 수 없는 석탄층 등
- **(CO₂ 활용)** CO₂를 화학적·생물학적 전환 또는 광물화 등의 변환과정을 거쳐 유용한 제품 또는 원료로 전환하거나 직접 활용하는 기술
* 화학적 촉매반응, 무기물의 탄산화, 광합성 반응을 활용하여 CO₂를 유용화학 제품으로 전환
※ CO₂를 석유화학 원료나 수송용 연료로 활용하려면 청정수소와 무탄소에너지 필요

□ **(기여도)** 2030 수정 NDC에서 CCUS의 감축기여도는 3.8%



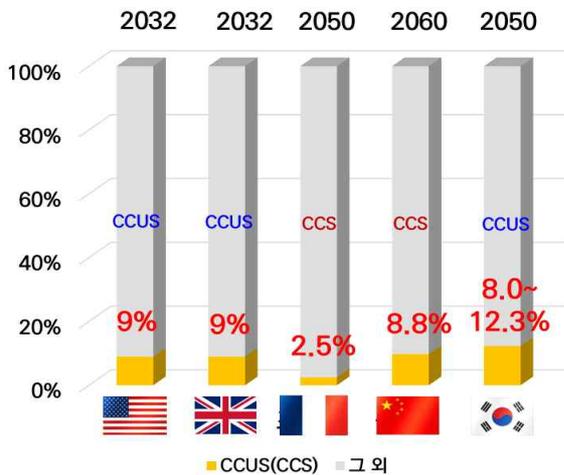
II. 국내외 현황

1 글로벌 현황

1 CCUS기술을 탄소중립의 핵심 수단으로 주목

- (탄소중립 기여) 국가별 NDC 및 탄소중립을 달성하기 위한 마중물 역할로 CCUS를 강조

* 주요국 온실가스 감축량 목표('30~'60) 중 CCUS 기술 기여도는 2.5~13.1% 수준, 한국은 NDC('30)의 3.8%, 탄소중립('50)의 8.0~12.3%



| 국가 | 기술 | 목표 연도 | 기준 연도 | 감축량 | 탄소중립 기여도 |
|-----|------|-------|------------|------------------------|-----------|
| 미국 | CCUS | 2032 | 2005 | - | 9% |
| 영국 | CCUS | 2032 | 2018 | 40MtCO ₂ | 9% |
| 프랑스 | CCS | 2050 | 1990 | - | 2.5% |
| 중국 | CCS | 2060 | 2050 (BAU) | 519MtCO ₂ | 8.8% |
| 한국 | CCUS | 2050 | 2018 | 55~85MtCO ₂ | 8.0~12.3% |

- (신산업화 경쟁) CCUS 시장은 초기형성 단계로 미국, 호주, EU 등을 중심으로 대규모 실증사업과 법·제도, 세계 지원 등을 통해 시장이 형성 중이며 글로벌 기술 선점 경쟁

2 대규모 실증사업으로 CCUS 산업기반 구축

- (CCS 실증) 전 세계적으로 캐나다, 호주, 노르웨이가 주도적으로 대규모 CCS 상업화를 위한 실증 진행

- (캐나다) Quest CCS 프로젝트는 석유화학단지에서 포집한 CO₂를 저장하는 프로젝트로 '15~'21년까지 680만톤 규모의 CO₂를 성공적으로 지중 저장
- (호주) Gorgon Storage 프로젝트는 천연가스 액화 중 발생하는 CO₂를 포집하여 Barrow 섬 지하 2km 저장고에 '19~'22년 동안 600만톤CO₂ 주입
- (노르웨이) Longship 프로젝트는 폐기물소각/시멘트생산 설비에서 80만톤CO₂/년을 포집하여 선박 및 파이프라인 수송을 통해 북해 해저 3,000m에 저장 계획('24~, 18억달러)

- **(CCU 실증)** '23년 2월 기준 전 세계적으로 99개의 실증급 CCU 프로젝트가 등록되어 있으며, 이 중 91개가 유럽에서 계획 중

- **(아이슬란드)** George Olah 프로젝트 종료 후 2012년부터 지열발전소 배출가스로부터 얻은 CO₂ 5,500톤/년을 활용하여 메탄올 4,000톤/년 생산 중
- **(칠레)** 독일은 칠레의 Haru Oni 프로젝트를 통해 400리터/일급의 e-Gasoline을 시험 생산하여 2023부터 Porsche Mobil 1 Supercup에 공급

3 CCUS 경제성 확보를 위한 법·제도 및 재정·세제 지원 강화

- **(법·제도 개선)** 각국은 법·제도 개선을 통해 CCUS에 의한 감축 지원

| 주요국 | 주요 내용 |
|--|---|
| EU  | <ul style="list-style-type: none"> • EU Net Zero Industry Act('23) <ul style="list-style-type: none"> → 8대 탄소중립 기술 내 CCUS 포함 → CCUS 프로젝트로 2030년까지 5천만톤/년 저장 공간 확보 • EU Taxonomy('20) <ul style="list-style-type: none"> → CCU 연료를 의무사용 재생연료 범위에 포함 |
| 영국  | <ul style="list-style-type: none"> • UK ETS('22) <ul style="list-style-type: none"> → 브렉시트 이후 독자적인 배출권거래제에 CCUS 연계 추진 |
| 미국  | <ul style="list-style-type: none"> • Bipartisan Infrastructure Law('21) <ul style="list-style-type: none"> → CCS 실증 프로젝트 \$25억, 대규모 CCS 파일럿 프로젝트 \$10억, DAC 허브 \$35억 지원 등 투자 |
| 호주  | <ul style="list-style-type: none"> • Offshore Petroleum and Greenhouse Gas Storage Act 2006 <ul style="list-style-type: none"> → 국경지역 CO₂ 저장 규제의 통합·간소화 및 저장 허용 |

- **(재정·세제 지원)** CCUS 설비 장착 또는 관련 프로젝트에 대한 세금 공제 등 지원 확대

- (미국) 발전 및 산업부문 CCUS에 재정지원* 강화(IRA)

* CCS \$85/톤CO₂, CCU(석유회수증진(EOR)포함) \$60/톤CO₂, 직접대기탄소포집저장(DACCS) \$180/톤CO₂, 직접대기탄소포집활용(DACCU) \$130/톤CO₂로 인센티브 상향

- (캐나다) DAC 60%, CCS 50%, 수송·저장 및 활용 37.5% 투자비 세금 공제

1 국내 산업구조 고려 시 CCUS의 중요성이 크게 부각

- **(고탄소 산업구조)** 주요국 대비 제조업 비중이 높은 우리 산업 부문의 온실가스 배출량은 직접 배출량 기준 전체의 36% 수준
 - * 부문별 온실가스 배출량(백만톤) : 전환 269.6(37%), 산업 260.5(36%), 수송까지 포함
- **(NDC 달성의 핵심 수단)** CCUS를 통해 '30년 연간 1,120만톤 감축이 필요한 상황

2 반면, 탄소중립 실현을 위한 국내 기술수준과 제도기반 미흡

- **(확보 기술)** 일부 탄소 포집기술은 상용급 설계기술을 확보*하였으나 주요국 대비 부족하며, 그 외 탄소 저장소·활용 부문 원천기술 확보 미흡
 - * 보령화력 10MW급(200톤/일) 포집 실증을 통해 150MW(3,000톤/일) 설계기술 확보
 - 주요국은 수천톤급 CO₂/일 이상의 대규모 습식 포집 실증플랜트, 50만톤/년 이상의 저장 프로젝트 진행 중
 - * (포집) 미국 Petra Nova 4,800톤CO₂/일('17~'19), 캐나다 Boundary Dam 3,000톤CO₂/일('14~)
 - * (저장) 대규모 CCS통합실증 및 CCU상용화기반구축 사업을 통해 국내 대륙붕 심부 지층의 대규모 지중저장 후보지 확보 추진 중
- **(기술수준 및 격차)** 국내 기술수준은 세계 최고(미국) 대비 80%, 기술격차는 5년*으로 평가
 - * EU(95%, 0.5년), 일본(90%, 2.3년), 중국(82.5%, 4년)
 - ※ 출처 : 2020년 기술수준평가(KISTEP, '21.3)
- **(제도기반 미흡)** CCUS 기술의 중요성 대비 산재된 규제 및 관련 제도를 통합할 수 있는 명확한 법·제도·금융지원 부재
 - 40여개의 관련법을 준용해야 하는 상황으로 원활한 신산업 육성을 위한 체계적 제도(CCUS 통합법)* 마련 시급
 - * 현재 의원 입법으로 발의(이산화탄소 포집·수송·저장 및 활용에 관한 법률안, '23.2.22)

Ⅲ. 비전 및 기본방향

| | | |
|-------|---------------------------------------|---|
| 비전 | 국내기업과 출연연이 참여하는 CCUS의 수출 산업화 | |
| 기본 방향 | 기업은 시장을 개척하고, 출연연은 기술을 확보하는 Two-track | |
| 추진 계획 | NDC 기여 | <p>I. (포집) 상용기술 확보 및 대규모 실증</p> <p>1-1. 현재 대비 30% 이상 비용 절감</p> <p>1-2. 100만톤/년 대규모 통합 실증 추진</p> <p>II. (저장) 국내 10억톤 저장소 및 해외 저장소 적기 확보</p> <p>2-1. 국내 10억톤 저장소 확보</p> <p>2-2. 해외 저장소 적기 확보 및 국경통과 CCS사업 조기 상용화</p> <p>2-3. CO₂ 수출허브 & 클러스터 구축</p> <p>III. (활용) CCU 상용화 기술 확보 및 사업 확대</p> <p>3-1. 기확보된 단위 기술의 연계 및 통합 실증</p> <p>3-2. 재생에너지와 연계한 CCU사업 확대</p> |
| | 수출산업화 및 경쟁력 제고 | <p>IV. CCUS 패키지를 한국형 수출모델로 육성</p> <p>4-1. 해외시장 진출을 위한 CCUS 사업 플랫폼화</p> <p>4-2. 현지에 적합한 CCUS 패키지사업 설계</p> <p>V. 한계극복을 위한 기초·원천기술 확보</p> <p>5-1. 포집의 효율과 비용 한계 극복</p> <p>5-2. 저장소 특성화 및 저장효율 한계 극복</p> <p>5-3. CO₂활용 고부가 제품 생산</p> |

IV. 주요 추진계획

1 [포집] 상용기술 확보 및 대규모 실증

◇ NDC에 기여할 경제성 있는 기술을 확보하여 중·대규모 상용급 CCS실증 추진

1-1. 현재 대비 30% 이상 비용 절감

- ① (단가 저감) CCS로 인해 상승한 비용 부담 경감을 위해 '30년까지 포집비용을 현재 대비 30% 이상 절감할 수 있는 혁신기술 개발

< 2030년 CCS 도입 시 제품 단가 상승 >



※ CCS 비용 : \$110/톤CO₂(환율 1,200원/\$). 단, LNG 발전은 \$143/톤CO₂
 ※ 출처 : 전력통계정보시스템 2021년 유연탄/LNG 발전정산단가 기준

- (고효율 소재) 열에너지 소모량 저감을 위해 소재의 물리·화학적 성능 및 원료가격을 고려한 고효율 소재 개발
 - (장치비 저감) 비용부담이 큰 전기소모량 및 흡수탑 제작비용 저감을 위한 핵심 요소기술 개발
 - (재질 탐색) CO₂ 및 소재 부식 방지용 장치 소재의 업그레이드 비용을 저감하기 위한 장비별 제작 재질 탐색·선정
- ② (활용처 최적화) 배출특성(농도·분야)에 따른 최적화된 포집기술 상용화
- 국내 탄소 다배출 업종별 실증 연구*를 통해 비용절감, 최적 기술 확보 및 스케일업 가능성 검증

* 다부처 공동사업을 통해 배출원 평가 및 100만톤/년 규모 기본설계를 통해 포집비용 분석 중이며, 주요 산업배출원에 대해 재생열 40% 저감을 위한 소재 및 공정 실증 진행 중

- 배출가스 성상에 따른 단위공정 개선과 CO₂ 배출공정의 배치 및 스템, 냉열 등 유틸리티 상황, 포집설비의 트레인 수 등을 고려하여 최적화된 맞춤형 공정 개발

1-2. 100만톤/년 대규모 통합 실증 추진

① (실증) 트랙레코드와 상용기술 확보를 위하여 준상용급(1천톤/일) 및 상용급(3천톤/일 이상) 포집기술 확보

- 중규모(동해가스전) 및 대규모(동해·서해) CCS 통합실증을 통해 포집시스템의 경제성 등 상용화 가능성* 점검

* CO₂ 포집효율 90% 이상, 운전시간 누적 2,000시간(연속 1,000시간) 이상

- 대규모(동해·서해) CCS 통합실증과 연계한 상용급 실증시스템을 구축·운영하여 NDC 등 온실가스 감축 목표 달성에 기여*

* 동해가스전 120만톤/년, 서해 100만톤/년

< CO₂ 포집·수송·저장 단계별 실증 목표 >

| 분야 | 1단계(~'30) | 2단계('30~) |
|----|--|---|
| 포집 | - (동해) 연간 120만톤(1천톤 급/일) 포집 설비 - (서해) 연간 100만톤(3천톤 급/일) 포집 설비 - 포집비용 \$60/톤(압축, 액화, 정제 포함) | - 연간 400만톤(1만톤 급/일) 포집 설비 - 포집비용 \$50/톤(압축, 액화, 정제 포함) |
| 수송 | - (동해) CO ₂ 수송량 120만톤/년 이상 - (서해) CO ₂ 수송량 100만톤/년 이상 - 수송비용 \$20/톤 | - CO ₂ 수송량 400만톤/년 이상 - 수송비용 \$15/톤 |
| 저장 | - (동해) 저장용량 1,200만톤, 연간 120만톤 주입 - (서해) 저장용량 3,000만톤, 연간 100만톤 주입 - 저장비용 \$50/톤 | - 저장용량 1.2억톤, 연간 400만톤 주입 - 저장비용 \$45/톤 |

※ 출처 : CCUS 분야 탄소중립 기술혁신 전략로드맵(관계부처 합동, 2022. 11)과 2030 NDC연간 로드맵(관계부처 합동, 2023. 3)

② (상용화) 민간기업이 실증 프로젝트 전과정에 참여하여 최적의 포집 기술 채택 및 상용화 시점 제시 등 현장 적용 검토

- 비용절감을 위한 핵심 요소기술(출연연) 및 프로젝트 관리 역량(기업)의 시너지로 CCUS기술의 단가 저감과 상용화 시기 단축

* 철강(80톤/일), 시멘트(50톤/일), 석유화학(20톤/일) 등 분야에서 실증 진행 중

- ◇ 국내저장소 10억톤 확보와 함께 기업의 국경통과(Trans-boundary) CCS 사업 조기 상용화

2-1. 국내 10억톤 저장소 확보

- ① **(탐사 및 평가기술 고도화)** 4차 산업혁명 기술(AI, 빅데이터, 디지털전환 등)을 활용하여 스마트 저장소 탐사 및 저장소 평가 기술 확보
 - 3차원 물리탐사기술과 해양 대심도 시추기술을 통한 저장소 평가 기술 상용화
 - 저장소 모델링 기술을 통해 효율적이고 안전한 저장소를 설계하고 저장용량 및 저장 안전성 평가 실시
 - 저장소 설계와 주입 최적화, 거동·누출 평가 및 예측을 위한 저장소 정적 모델링과 동적 시뮬레이션 기술 개발
- ② **(국내 저장소 확보)** 국내 대륙붕 저장소 종합탐사 및 시추조사 조기 착수(최대 7.3억톤 추정)
 - 다부처 공동사업에서 서해 탐사시추를 통한 저장소 확보 및 저장용량 평가
 - 동해가스전 인근 8대 유망구조 및 대상(8,700만톤 추정) 시추를 통한 저장소 추가 확보
 - 한반도 인접해역을 대상으로 권역별 종합탐사를 통한 대규모 저장소 확보

< 참고 : 국내 CO₂ 저장소 종합평가 결과 >

(21.4, 산업부·해수부·CCUS 합동연구단)

- 기술적 평가와 사업추진 여건을 고려한 **국내 CO₂ 저장 유망구조는 약 7.3억톤 규모로 평가**(연 2,400만톤을 30년 간 저장 가능)
- 7.3억 톤과 더불어 추가 탐사·시추 및 기술개발로 **최대 11.6억톤 저장**이 가능할 것으로 전망(연 3,870만톤을 30년 간 저장 가능)

- ③ **(저장효율 제고)** 저장용량 25% 증가(8억톤→10억톤) 및 해양 저장비용 40% 절감(\$80/톤→\$50/톤 이하)을 위한 핵심 요소기술 개발
 - 해외 우수 저장 프로젝트에 참여하고 국제공동연구를 통해 기술공유 및 원천기술 확보

- 포집된 CO₂를 저장소로 수송, 저장, 활용 시 필수적인 CO₂ 압축·액화 공정* 및 핵심 기자재 기술 개발

* 연간 4만 톤(110톤 급/일) 액화 설비 실증(30) 후, 처리 용량 대규모화(10배 이상)
 ※ CO₂ 저장에 필요한 에너지의 40% 가량이 압축, 액화, 펌핑 등에 소요되며, 既 확보된 천연가스/수소의 압축·액화 기술로부터 확보 가능

2-2. 해외 저장소 적기 확보 및 국경통과 CCS 사업 조기 상용화

- ① (고갈 유가스전 선점) CO₂ 저장소로 빠른 전환이 가능한 생산종료가 예정된 가스전 확보를 위하여 각 국의 치열한 경쟁이 예상됨에 따라 국내기업 지분 보유한 고갈 유가스전을 저장소로 선점 추진

< 참조 : 동티모르 바유운단(BU) 가스전 CO₂ 저장소 확보 경쟁 심화 >

- 바유운단(BU) 가스전은 한국 SK 外 호주, 이탈리아, 일본 등 다국적 사업자간 공동 운영 중 자산으로 각 국 CO₂ 저장소 확보 관련 경쟁 예상
 - * 동 가스전은 '23년 中 가스 생산 종료 예정으로 1천만톤/년 CO₂ 저장 가능 예상
 - * 한국 SK E&S(25.0%), 호주 산토스(43.4%), 일본 INPEX(11.4%), 이탈리아 ENI(11.0%), 일본 JERA/도쿄가스(9.2%)

- 신규 저장소 개발 기간 (평균 5년 이상)을 고려하여 2030년 NDC 목표 달성을 위한 CO₂ 저장이 가능한 해외 고갈 유가스전 선점 추진
- 고갈 유가스전*은 운영 중 축적된 장기간의 생산·운영 데이터 및 기존 유가스 생산설비를 활용하여 경제적이고 빠른 시간 내 CO₂의 안정적 주입·저장 가능
 - * 세계적으로 주요 고갈 유가스전을 활용하여 CO₂ 저장 가능 용량은 약 3,000억톤 수준으로 추산(미국 2,000억톤, 호주 166억톤, 말레이시아 133억톤, 인도네시아 130억톤)

- ② (국제 협력관계 활용) 대량의 유망저장소*를 보유한 나라들과의 에너지 네트워크를 활용한 저장소 확보 추진

- * CO₂ 지중 저장은 고갈 유가스전을 활용하는 방식과 대염수층에 저장하는 방식으로 구분
- 자국 내 석유가스자원 개발사업을 통해 많은 데이터를 축적하고 있는 말레이시아, 중동(UAE) 등의 국영 에너지업체와 공동조사 협약 체결을 통한 저장유망소 탐사 추진
- 호주의 CO₂ 지중저장을 위한 유망저장소 탐사권 분양 입찰에 국내외 에너지업체 등과 공동 참여하여 광권 확보 추진

< 청정수소 연계 CCS 사업 >

■ **(사업개요)** 저탄소LNG 도입 - 청정수소 국내생산 - CCS 연계 사업



■ **(추진경과)** 해외 영구 저장을 위한 CO₂ 국제이송을 위해 런던의정서 수정안 비준 및 대상국간 CO₂ 이송협약이 필요하며, 우리 정부는 런던의정서 수정안 비준 및 임시이행결의안 IMO 기탁 완료('22.4)

| 일자 | 추진 경과 |
|--------|--|
| 2021.3 | Santos社(Bayu-Undan 가스전 운영사) - SK E&S CCS 공동조사협약 체결 |
| 2021.8 | BU CCS 기초 타당성 조사 완료 및 사전기본설계(Pre-FEED) 착수 |
| 2022.3 | BU CCS 기본설계(FEED) 착수 |
| 2022.4 | 한국 정부 CO ₂ 해외이송을 위한 런던의정서 수정안 비준 및 IMO 기탁 완료 |
| 2022.6 | CCS 예비사업자 - SK E&S 간 CO ₂ 수입 MOU 체결 |
| 2023.1 | 동티모르 석유청(ANPM) - SK E&S 간 CO ₂ 수입 Option 공동 조사 협약 체결 |
| 2023.3 | 호주 하원 의회, 런던의정서 수정안 비준 관련 이해관계자 의견조사 착수 : 한국 CCS사업 추진 민간기업 합동으로 의견서 제출 |

■ **(추진계획)** 우리 정부와 협업하여 관계국과 국제협약 체결 추진을 통해 '23년 내 최종 투자의사결정 및 '25~'26년 CCS사업 상업가동 추진

| 주요사항 | 2023 | 2024 | 2025~ |
|-----------|---------------------------------|-----------------------|-------|
| 국제협약 체결 | 호주 런던의정서 수정안 비준 동티모르 CCS제도수립 | 한/호/동티모르 국가간 협정 체결 | - |
| 최종투자의사결정 | 연내 (국가간 협약 체결 기반 마련 후) | - | - |
| CCS 설비 구축 | - | EPC | 가동시작 |

2-3. CO₂ 수출허브 & 클러스터 구축

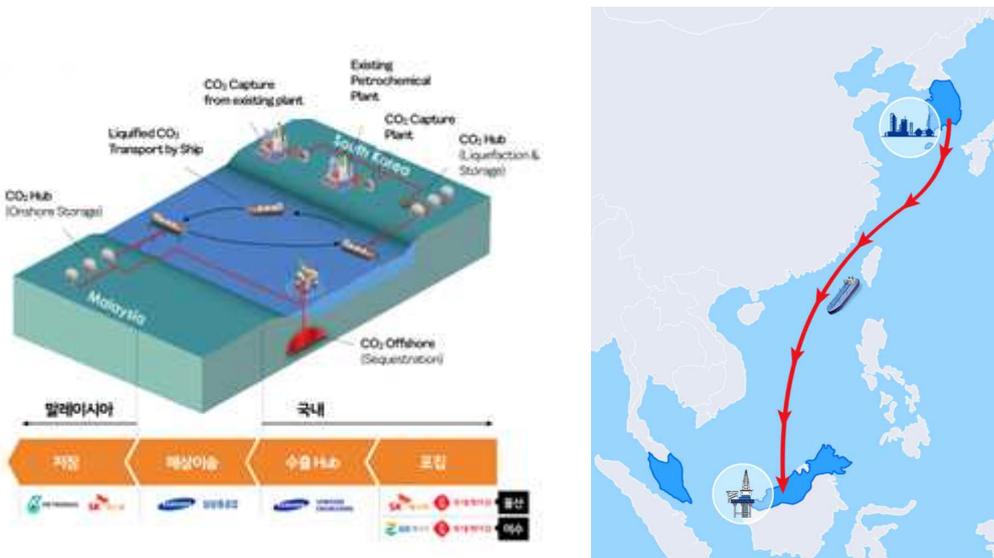
① (허브&클러스터 구축) CCS 밸류체인 전체를 포괄하는 개발하는 아시아 최초의 CCS 허브 프로젝트 추진

- 세계적 규모의 저장 용량과 한국과의 지리적 접근성을 고려하여 말레이시아를 거점으로 하는 허브&클러스터 구축
- 전 세계 포집물량의 39%를 CCS 허브가 차지*할 것으로 전망됨에 따라 국내 CO₂ 허브&클러스터 성공사례로 미래시장 선점

* 연간 7,250만톤 포집 규모의 11개 CCS 허브가 '30년까지 착수 예정(S&P Global, '23.02)

< Shepherd 프로젝트 사례 >

- (사업개요) 국내 산업단지에서 발생한 CO₂를 포집, 국내 허브(Hub)에 집결시킨 후 말레이시아로 이송하여 저장하는 사업



- (주요내용) 울산-여수 온실가스 다배출 업체 대상 국내 CO₂ 허브 구축을 통해 규모의 경제 달성 및 산업단지 내 배출원에게 CCUS 기회 제공 (해외 CCS 저장소 연계)

| 구분 | 세부 내용 |
|-------|---|
| 사업 목적 | 울산-여수 산업단지 탄소감축 및 국가 탄소중립 목표 기여 |
| 사업 범위 | 산업계 발생 탄소를 포집, Hub에서 모아서 액화 후 말레이시아까지 해상 운송 및 영구 저장 |
| 진행 경과 | 전주기 타당성 검토 완료 후, 다음 단계 착수 준비 중 |

3

(활용) CCU 상용화 기술 확보 및 사업 확대

◇ 산업 수요 및 기술 여건을 고려한 상용화 성공사례 창출 및 국내·외 CCU사업 확대

3-1. 기 확보된 단위 기술의 연계 및 통합 실증

① (기술 선별 및 검증) 산업체 의견 수렴 및 출연(연) 기 보유 기술을 바탕으로 상용화 가능성이 높은 기술 선별과 검증

※ 탄소활용 기술은 분야 및 제조 기술이 매우 다양하여, 기술별 탄소감축 효과, 시장성(부가가치), 기술성숙도, 국내 적용성(기술 수요) 등을 검증하고 차기 단계 지원

- 상용화가 가능한 기술을 대상으로, 1~20톤/일 내외* 생산 설비 구축·운영·실증을 통해 스케일업 가능성 검증

* Pilot 규모(0.1톤~1톤/일 내외)의 활용기술은 Demo 규모(1~20톤/일 내외)로 실증 추진하여 완료하고, 다음 단계인 상용화를 위한 통합공정설계, 운전최적화 확보

< CCU 기술 실증 현황 및 계획 >

| 구분 | 제품 | 규모 (톤CO ₂ /일) | 개발기관 | 제품 | 규모 (톤CO ₂ /일) | 개발기관 |
|------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------|-----------------------------|------------------------|
| 화학적 전환 | CO | 20 | 화학연, 부흥산업사 | 개미산 | 0.5 (완료) | KIST, 테크윈, 남부발전,화학연 |
| | 메탄올 | 45 | 바이오프랜즈 | DME | 45 | 바이오프랜즈, KIST |
| | 메탄올 | 10 (완료) | 화학연, 현대오일뱅크 | | | |
| 광물 탄산화 | CO ₂ 광물화 건설소재 | 40 | 대우건설 | 중탄산나트륨 | 13 | 한전, RIST |
| | 탄산칼슘 | 1.5 | 지질연 | 콘크리트 양생 및 건설소재 | 0.3 | 한일시멘트, 유진기업 |
| 생물학적 전환 | 바이오매스, 바이오플라스틱 | 0.1 | CtoX 기술개발 연구단 (생명연, KIST 외) | 천연색소 | 0.05 | 생명연 |

② (포집연계 통합실증) 포집과 활용을 연계한 준상용급 CCU 통합 실증

- 대상 기술별 준상용급(100톤/일 내외) 생산설비 구축, 촉매 및 공정 개발, 공정 최적화 및 운영·실증

- 주요 목표(예시) : 현 시장가 대비 150%, CO₂ 감축효과 20%, 상용급 스케일업 등

③ (사업화 플랫폼) 탄소중립형 산업 핵심소재·공정기술의 국산화 및 경쟁력 강화를 위한 기술개발-실증-사업화 플랫폼* 구축·운영

- * (예시) 여수산단-풍력발전단지-묘도 에코에너지 허브-화학연 탄소중립화학공정실증센터 연계
- 핵심소재 및 촉매, 신규 공정 개발 등을 지원하는 플랫폼 구축·운영
- 부지·설비·전문인력 등 공동활용 인프라 구축을 통한 기업의 중복 투자 및 해외 기술유출 방지
- 산업단지, 신재생에너지단지 등과 연계하여 실증연구 시너지 확보

< (예시) 한국화학연구원 탄소중립화학공정실증센터 연계 사업화 플랫폼 >



여수 풍력발전 단지

여수 13개소, 4.7GW
고흥 6개소, 1.1GW

순천지

완주도(96MW), 내력(96MW), 학금도(96MW), 고흥군, 동월(400MW), 광도도(200MW), 영호(56MW), 다도2(1376MW), 광명(808.5MW), 상산(400MW), 상산3(640MW), 상산5(360MW), 풍도(400MW), 거문도(504MW)

* 우리나라 총 발전용량 : 약 90GW (cf. 신형원전 1.4GW)
* 100만톤 남사크래커 약 0.37GW 에너지 사용

묘도 에코에너지 허브

광양성항 일반산업단지, 포스코 광양제철소, 울진 제2일반 산업단지, 묘도, 여수국가산업단지, 전남 여수

묘도 에코에너지 허브 개요

위치 전남 여수 묘도 및 여수국가산업단지 일원

사업 내용 탄소 중립 생태계를 갖춘 에너지 생산·유통·활용 거점 구축

사업비 약 15조5000억원

사업 주체 전남도, 현양, GS에너지, 한국서부발전 등

< 상용급 실증 가능 CCU 화학제품 리스트 >

| 제품명 | 국내 시장 (현재) | | 상용화시기 (2030년 이내) | | | 2050년 | | | |
|----------|------------|----------|------------------|--------------|-----------------|------------|--------------|-----------------|---------------|
| | 수요량 (k톤/년) | 금액 (십억원) | 생산량 (k톤/년) | 총 생산금액 (십억원) | 온실가스 처리량 (k톤/년) | 생산량 (k톤/년) | 총 생산금액 (십억원) | 온실가스 처리량 (k톤/년) | 기존대비 생산가격 (%) |
| 일산화탄소 | 840 | 350 | 42 | 16.8 | 59.4 | 142.8 | 36.8 | 202 | 77.3 |
| 메탄올 | 1,600 | 440 | 50 | 22.5 | 50 | 1,000 | 400 | 1,000 | 180 |
| 젯산 및 유도체 | 5 | 7.8 | 4.75 | 31.2 | 3 | 13.4 | 20.9 | 15 | 60 |
| 폴리우레탄 | 380 | 1,824 | 40 | 440 | 3 | 80 | 640 | 6 | 150-230 |
| 폴리올 | 24 | 216 | 1.2 | 10.8 | 1.5 | 2 | 16 | 2.6 | 100 |

※ 제품 목록은 'CCU 기술혁신로드맵(관계부처 합동, '21)' 내 '30년 상용화 화학제품 후보군 대상임
 ※ 시장, 온실가스 처리량 등은 차세대탄소자원화연구단(화학연) 분석 자료('21)
 * 전기/수소/열 등 간접배출량을 전환분과 이관 시 처리량 ≒ 감축량

3-2. 재생에너지와 연계한 CCU사업 확대

① (국내 사업) 국내 기 확보된 CCU기술의 상용화 추진

- 재생에너지 확대 보급에 따른 변동성 전력을 이용한 그린수소 생산과 이를 연계한 CO₂ 화학적 전환기술의 상용화*

* 메탄올 국내 수요 전량(약 150만톤) 대체시 연간 CO₂ 200만톤까지 감축 가능

- 서남해권 해상풍력 이용한 그린수소 생산과 연계한 그린메탄올 생산
→ 청정 해상 수송용 연료(메탄올 선박) 및 국내 석유화학원료 대체

② (해외 사업) 재생에너지 풍부 국가에 CO₂ 해외 이송 및 CCU 제품 생산

※ (예시) 국내 CO₂ 포집 → 재생 에너지 풍부 국가로 이송 → 그린 메탄올·합성납사 생산
→ 국내로 이송 → 석유화학원료 대체

※ 재생에너지 풍부 국가 : 캐나다, 노르웨이, 호주, 미국, 중동, 인도네시아 등 동남아

- 그린수소 생산지와 연계하여 CCU 플랜트 구축 및 CO₂ 25만톤 ~ 100만톤 처리*

* CCU 국제 협력 사업의 CO₂ 이송 및 감축량 인정 등은 해당 국가와의 협의 필요

※ (참고) Norsk e-fuel: 연간 1억리터 e-fuel 생산 공정 2026년 운영 예정, 연간 25만톤 CO₂ 저감, Porsche-SIEMENS: 칠레의 풍력에너지 이용한 플랜트 건설 착수, 2026년 5억리터 e-fuel 생산 추진

- 해외 그린수소 사업과 병행 추진하여 상호 보완 기술*로 활용

* 그린 메탄올은 기존 기술과 인프라 사용 가능

< 재생에너지 풍부 지역/국가와의 CCU 사업 협력 모델 >



- ◇ CCUS 밸류체인 내 국내기업들이 보유한 차별화된 기술력을 바탕으로 CCUS 토탈서비스를 플랫폼화하여 해외시장 공략

4-1. 해외시장 진출을 위한 CCUS사업 플랫폼화

- ① (CCS 패키지) 산업단지·발전소·청정수소플랜트 CO₂ 포집* ↔ CO₂수출선·LNG도입선** ↔ CO₂저장소***·해외 가스전으로 이어지는 비즈니스 모델
- CCUS 밸류체인 상의 핵심기술·산업(건설, 조선, 석유화학, 해운 등)을 아우르는 CCUS 산업생태계 조성 및 수출 산업화
 - * CO₂ 포집 국내 민간 발전업계(민간발전사 등), 건설업계(GS건설 포스코에너지 등), 연구소(에너지연 등)
 - ** CO₂ 수송: 국내 조선업계(현대중공업, 삼성중공업 등), 철강업계(포스코 등), 해운업계(HMM 등)
 - *** CO₂ 저장: 국내 석유·가스업계(한국석유공사, 한국가스공사, SK아스온, SK E&S, 포스코인터내셔널 등), 연구소(지질연 등)
- ② (CCU 플랜트) 빠른 기술 도입을 목표로 하는 기존 산업공정 적용 가능 기술과 CO₂ 저감효과가 큰 신규 CCU 산업공정으로 분류하여 접근
- (기존공정 전환) 기존 산업공정의 변경을 최소화할 수 있는 Drop-in Chemical* 기술 및 공정을 플랜트화하여 수출**
 - * 이미 상용화되어 보편적으로 사용되는 분야에 적용 가능한 대체 물질
 - ** CCU 기술평가 및 비즈니스 모델 발굴, 시제품 생산·제작, 시험·인증 등을 수행하는 기술 플랫폼을 구축하여 지원체계 확보
 - (신규공정 도입) 온실가스 감축효과 및 시장규모가 큰 기술을 확보하여 '특허 사용 허가·플랜트 건설·기술개발 지원'을 일괄입찰계약(turnkey) 형태로 수출
- ※ 예시 : 재생에너지가 풍부한 지역에 국내 CCU 기술 플랜트 및 제조기술 일괄수출

< 예시 : 기술개발 단계별 담당 기관 >

| 기술개발 단계 | 담당 기관 |
|--------------|--|
| 온실가스 감축효과 산정 | 연구소(화학연, 에너지연 등), 공인기관(품질재단 등) |
| 플랜트 구축 | 국내 엔지니어링업계(현대엔지니어링, 삼성엔지니어링 등), 연구소(기계연 등) |
| 시제품 생산·제작 | 연구소(화학연, 에너지연, 지질연, 생명연 등) |
| 시험·인증 | 시험 공인기관(한국건설생활환경시험연구원, 한국표준협회 등) |

4-2. 현지에 적합한 CCUS 패키지 사업 설계

- ① **(현지화)** 수출 상대국 법·제도와 사업 여건, 한국과 파트너십 등을 고려하여 현지에 적합한 CCS 패키지 사업 설계
 - 호주(CCS Credit 인정), 아랍에미리트(에너지 파트너십 공동선언), 말레이시아(CO₂ 저장소 다수 보유) 등을 대상으로 선제적인 CCS 패키지 수출 모델 개발
- ② **(국제협력모델)** 재생에너지 및 그린수소 공급이 가능한 국가와 현지 사정에 적합한 CCU 협력모델 구축
 - 협력 파트너십을 통해 CO₂ 정제(refinery) 패키지 개발 및 기술 수출
 - 재생에너지가 풍부한 개도국과 연계하여 국외감축사업 추진

5

한계극복을 위한 기초·원천기술 확보

◇ CO₂ 포집·저장효율의 한계를 극복할 차세대 기술과 CO₂ 활용 혁신기술 개발을 통해 “All C From CO₂ 실현”

5-1. 포집의 효율과 비용 한계 극복

- ① **(포집효율 한계 극복)** 상용화 수준에 도달한 고농도 포집기술 대비 저농도, 저비용, 고효율 등 포집효율 한계 극복이 가능한 기초·원천기술 연구 추진
 - 실질적인 Net Zero 달성을 위해 직접공기포집*(DAC), 바이오에너지-CCS(BECCS)과 같은 탄소 네거티브 기술 확보
 - * 대기 중에 축적된 탄소와 산업공정 탈탄소화의 핵심기술로 2070년 전세계 7억 톤/년 포집 전망(EA)
 - 기존 기술 대비 배출원 맞춤형 저비용, 고효율의 경쟁력 있는 혁신적인 개념의 포집기술*에 대한 기초·원천연구 지원
 - * 심냉분리 CO₂ 포집, 건식-분리막 하이브리드, 습식-분리막 하이브리드 등 하이브리드 포집 공정 개발로 활용처(배출원) 맞춤형 공정개발, 건식, 분리막 등 혁신 포집 소재 개발

② (차세대 발전기술) LNG발전 확대에의 대응 및 포집비용의 획기적 저감을 위한 기술개발

- 고품 연료 및 LNG 발전 대상 포집비용을 대폭 저감 할 수 있는 차세대 발전기술* 연구 추진
 - * 매체순환연소(CLC), 가압 순산소연소, 순산소 순환유동층 연소, 초임계 순산소 연소 등
- 현재 LNG발전 포집기술의 한계를 극복하기 위한 혁신기술로 매체순환연소 기술을 중장기적인 관점에서 기술개발 추진
 - * 현재 추진중인 소규모 실증(3MWth, ~'25) → '30년까지 중규모(30MWth) 실증 → '40년까지 상용화 실증(300MWth) 및 현장 적용

5-2. 저장소 특성화 및 저장효율 한계 극복

① (저장소 특성화) 저장소 특성화에 있어 불확실성을 극복하기 위한 혁신 원천기술 연구

- 물리탐사·시추탐사의 입체적 자료처리* 및 영상화 기술을 통해 저장소 특성화 기술개발 추진
 - * 3차원 암상·물성 모델링, 3차원 지질구조 모델링 등
- 암상·물성 예측 및 주입성·저장량 예측 신뢰도 90% 이상을 목표로 기술개발* 추진
 - * 인공지능, 기계학습 기술을 적용한 탐사자료 통합 분석기술

② (차세대 저장기술) 기존 저장기술의 저장공간활용효율(2% 내외)을 극복하기 위한 차세대 CO₂ 저장 혁신기술 연구

- 차세대 주입 및 저장 기술*을 통한 저장공간활용효율 5% 수준 확보
 - * 마이크로버블, 물리적 자극, 화학적 첨가제, 저장소 압력저감 기술 등
- 기존 저장기술 대비 고성능, 저비용 등 경쟁력 있는 차세대 기술* 개발 추진
 - * 수용액 CO₂ 저장기술(Solution-CCS), 고성능·저비용 지능형 모니터링 기술 등

5-3. CO₂활용 고부가 제품 생산

① (CO₂ 대량 전환) 기초·원천기술 확보 및 실증 후, 저비용 재생에너지 및 그린수소 등과 연계하여 CO₂ 대량 감축

- CO₂의 화학적 전환을 통해 대량 수요의 기초화학제품*과 고부가 화학제품** 생산

* CO₂ 전환 기초화학 제품 : 납사, 올레핀, 항공유, 합성가스, 에탄올, 메탄올, 포름산 등

** CO₂ 전환 고부가 제품 : 난연성 배터리 전해액(비스알콕시알킬카보네이트 및 이의 비대칭 유기카보네이트 등)

※ 그린수소 및 DAC-CO₂로부터 항공유 생산 시 온실가스 최대 99% 감축
'30년 100MW 전기 활용 에틸렌 1만톤/년 생산 시 CO₂ 1만톤/년 감축

- 재생전기 및 광생물반응기 활용, 면적집약적 타워형 미세조류 스마트팜을 통한 고부가 바이오 제품* 생산

* 미세조류 스마트팜 활용 바이오 제품: 바이오매스, 사료, 액상/고상 연료, 천연색소, 바이오플라스틱 등

※ 인공광 활용 성장성 2배 및 광생물반응기 면적 집적도 5배 이상 증대 목표

② (차세대 CCU 기술) 무포집 CO₂ 전환, 포집전환동시반응(RCC) 및 바이오매스 기술과 융합한 탄소 네거티브 기술 확보

- 배출가스 내 저농도 CO₂를 별도의 포집 공정 없이 직접 제품 전환

* 배출가스 조성 제어용 전처리 및 저농도 CO₂ 전환 합성가스 생산 기술 개발

* 석고와 슬래그 연계 또는 광물탄산화 직접법과 간접법 연계 기술 확보

- 포집된 CO₂를 미정제 상태에서 직접 고부가 화학제품으로 전환

* 포집전환동시반응(RCC)을 통해 생산 가능한 제품: 메탄올, 포름산 등

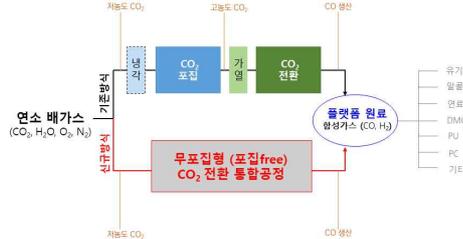
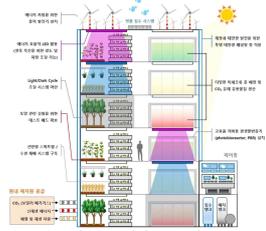
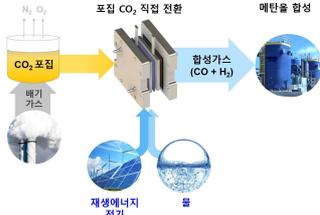
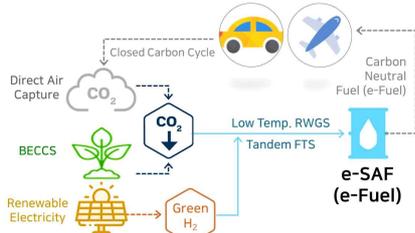
※ '30년 100MW 전기 활용 메탄올 5만톤/년 생산 시 CO₂ 4만톤/년 감축

- RCC 기술과 LCC*(Liquid Carbon Carrier), 바이오매스 기반 솔벤트 개발 등을 통해 "All C From CO₂ 실현**"

* 기체특성(안정성 및 운송한계)를 뛰어넘는 액체 탄소 수송체이자 중간 매개체

** 화학제품이 함유한 모든 탄소는 이산화탄소가 근원인 상태

< 차세대 CO₂ 기술개발 방향 >

| 기술 | 주요 내용 |
|--|--|
| <p>(화학연) e-납사, e-메탄올 생산용 혁신축매/공정 기술</p> |  <ul style="list-style-type: none"> ▶ 재생전력을 이용한 그린수소 연계 CO₂ 화학적 전환 ▶ 메탄올 150만톤 대체시 연간 200만톤CO₂ 감축 |
| <p>(화학연) 무포집-저농도 CO₂ 전환 통합 공정</p> |  <ul style="list-style-type: none"> ▶ 20톤/년 합성가스 생산 무포집형 파일럿 실증 ▶ 실증 규모 파일럿 연속 운전 500 시간 |
| <p>(생기원, KIST) CO₂ 전환 유기 카보네이트 기술</p> |  <ul style="list-style-type: none"> ▶ 난연성 특성의 차세대 유기 카보네이트 합성 ▶ 이산화탄소 고정율은 약 30 wt.% |
| <p>(지질연) 광물화 연계 공정을 통한 공정비용 저감 기술</p> |  <ul style="list-style-type: none"> ▶ 산업부산물 상호 활용을 통한 공정 실증 ▶ 기존 공정 대비 약 10% 이상 비용 절감 |
| <p>(생명연) 면적 집약적 타워형 미세조류 스마트팜</p> |  <ul style="list-style-type: none"> ▶ 인공광 활용 성장성 2배 이상 증대 ▶ 광생물반응기 집적도 5배 이상 증대 |
| <p>(KIST, 에너지연) 포집전환동시반응 메탄올 생산 기술</p> |  <ul style="list-style-type: none"> ▶ 30년 100MW 전기 사용 시, 메탄올 5만톤/년 생산으로 연간 4만톤CO₂/년 저감 |
| <p>(에너지연) e-SAF* 생산용 혁신축매/공정 기술 *SAF: 지속가능항공유</p> |  <ul style="list-style-type: none"> ▶ 그린수소 및 BECCS*/DAC 유래 CO₂로부터 e-SAF 생산 시 온실가스 최대 99% 감축 *BECCS: 바이오에너지 CCS |

V. 정부 지원 건의

- ① **(국제협력)** 국경을 통과하는 CO₂ 수송을 위하여 CO₂ 수출입 및 저장소 보유국가 간 국제 조약 및 협정 체결
 - 수출입국의 런던의정서 임시이행 결의안 수락 및 IMO(국제해사기구) 기탁
 - ※ 한국은 런던의정서 수정안 수락 및 임시이행 결의안 IMO 기탁을 완료(22.4)함에 따라 수입국(호주, 사우디아라비아 등)에 대한 수정안 수락 및 IMO 기탁 독려 요청
 - 한국-호주-동티모르, 한국-말레이시아, 한국-사우디아라비아, 한국-UAE 등 대상국 정부와 한국 간 CO₂ 수출입 관련 논의 공식* 착수 필요
 - * 정부 간 CCUS MOU 벤치마킹 : 노르웨이-네덜란드 간 MOU(Northern Lights PJT)
- ② **(법·제도·인프라)** CCUS 사업 가속화 및 탄소중립 시장 활성화를 위한 법·제도·인프라 정비
 - CCUS 통합법 신속 제정을 통해 정부의 지원체계(재정, 금융, 제도, 국내 인프라 건설 지원, 수용성 확보 등) 구축
 - ※ 국내 산업단지 내 CO₂ 처리 집적화단지 구축에 대한 보조금 지원(네덜란드 Porthos Project, €21억 지원), (노르웨이 Northern Lights, \$12억 지원)
 - ※ MIRA는 CO₂ 저장에 대한 인센티브를 CO₂ 톤당 85달러로 확대하여 CCS 경제성 확보
 - 해외 CCUS 사업을 통해 감축한 온실가스에 대한 국내 감축량 산정 및 인증 방법론의 조속한 개발 필요(한국 Carbon Credit 공여 등)
- ③ **(투자 확대)** CCUS 분야에 대한 R&D 투자 확대
 - NDC와 2050 탄소중립에서 CCUS의 기여도를 고려하여 대규모 CCUS 투자사업(해외저장소 확보 등)에 대한 정부의 재정 및 R&D 지원 증액 필요
 - ※ '23년 탄소중립 R&D 예산(2조 3천억 원) 대비 CCUS 투자 비중은 5.0% 수준이며, 최근 5년간 연평균 증가율은 8.4%로 주요 탄소중립 기술분야 대비 낮은 수준(수소 39.1% 친환경차 38.7%)
- ④ **(통합 실증체계 마련)** 산학연 참여 CCUS 원천기술 발굴 및 전문 실증기관 활용*을 통한 차세대 CCUS 기술 상용화 촉진
 - * 탄소 중립 원천기술 발굴 및 실증을 위한 산학연 컨소시엄 구성 및 원천기술의 산업계 적용을 위한 기술 보급 계획 수립 필요
 - 실험실 단계의 CCUS 원천기술을 빠르게 평가하고 산업계로 확대 적용하기 위한 전문 기술평가 및 실증 지원

