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 여부**에 대한 검증 요구

○ (국제 금융) **EU 택소노미** 확정('22.2), 글로벌 자산운영사들의 **ESG 경영** 강조 등으로 산업계 투자 기준 변화

2 우리에게 2030 NDC와 2050 탄소중립은 매우 도전적인 과제

○ (산업 구조) **높은 제조업 비중**과 **온실가스 다배출 업종 중심**의 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 **CO_2 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)

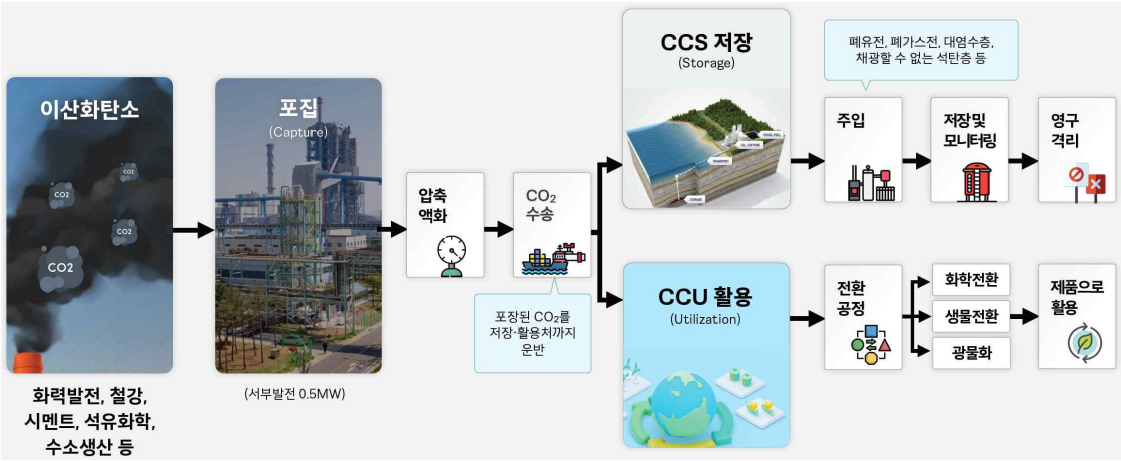
○ (국내) 우리나라의 발전 및 산업구조의 특성으로 **탄소배출 부담을 완화시키는 수단***으로 **CCUS 기술** 필요

* 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 CO_2를 심부 지층에 안전하게 저장하거나 전환하여 활용하는 기술

* CCUS(탄소 포집·저장·활용 기술) : **C**arbon **C**apture **U**tilization and **S**torage



○ **(CO_2 포집)** 석탄발전, LNG발전, 철강, 시멘트, 석유화학, 수소생산(천연가스 개질) 등의 배기가스와 공기 중에서 CO_2를 분리하여 포집하는 기술

○ **(CO_2 저장)** 육상이나 해저에 존재하는 적합한 장소*에 초임계 형태의 CO_2를 직접 주입하여 저장하는 기술

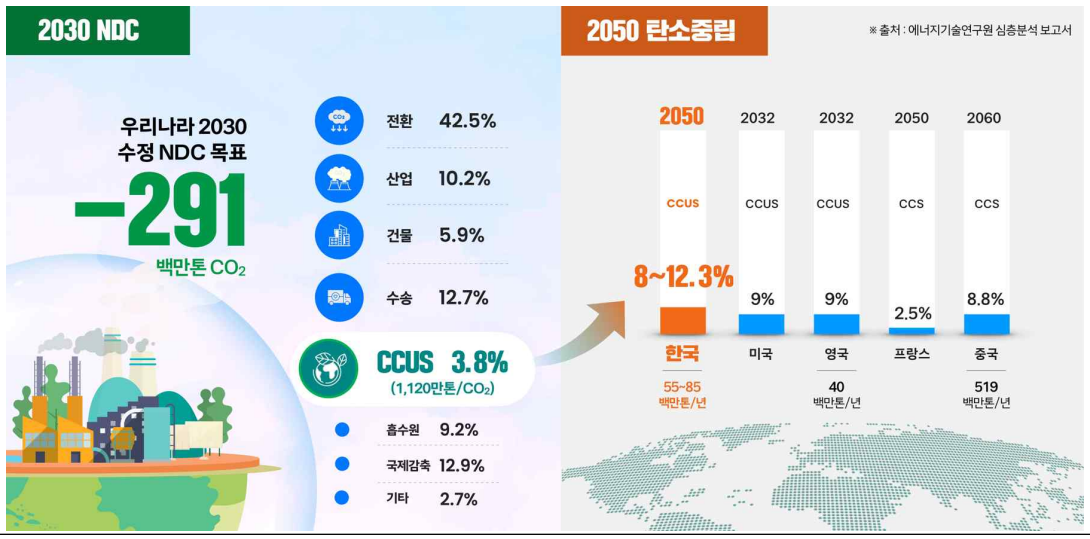
* 폐유전, 폐가스전, 대염수층, 채광할 수 없는 석탄층 등

○ **(CO_2 활용)** CO_2를 화학적·생물학적 전환 또는 광물화 등의 변환과정*을 거쳐 유용한 제품 또는 원료로 전환하거나 직접 활용하는 기술

* 화학적 촉매반응, 무기물의 탄산화, 광합성 반응을 활용하여 CO_2를 유용화학 제품으로 전환

※ CO_2를 석유화학 원료나 수송용 연료로 활용하려면 청정수소와 무탄소에너지 필요

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



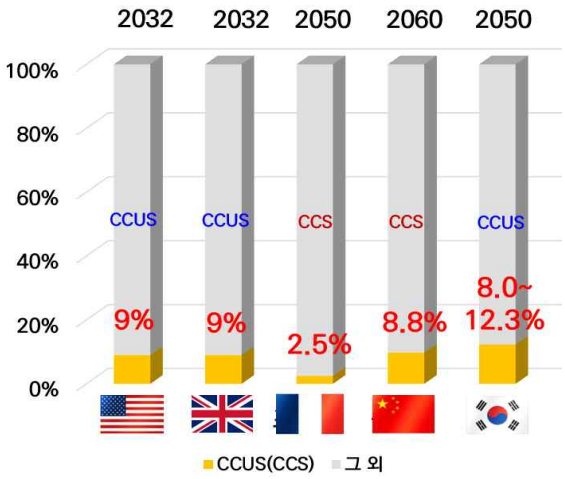
Ⅱ. 국내외 현황

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 년도	기준 년도	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, 세제 지원** 등을 통해 **시장이 형성 중**이며 글로벌 기술 선점 경쟁

2 대규모 실증사업으로 CCUS 산업기반 구축

○ (CCS 실증) 전 세계적으로 **캐나다, 호주, 노르웨이가 주도적**으로 대규모 CCS 상업화를 위한 실증 진행

- **(캐나다)** Quest CCS 프로젝트는 석유화학단지에서 포집한 CO_2를 저장하는 프로젝트로 '15~'21년까지 680만톤 규모의 CO_2를 성공적으로 지중 저장
- **(호주)** Gorgon Storage 프로젝트는 천연가스 액화 중 발생하는 CO_2를 포집하여 Barrow 섬 지하 2km 저장고에 '19~'22년 동안 600만톤CO_2 주입
- **(노르웨이)** Longship 프로젝트는 폐기물소각/시멘트생산 설비에서 80만톤CO_2/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 CO_2 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	· EU Net Zero Industry Act(‘23) → 8대 탄소중립 기술 내 CCUS 포함 → CCUS 프로젝트로 2030년까지 5천만톤/년 저장 공간 확보 · EU Taxonomy(‘20) → CCU 연료를 의무사용 재생연료 범위에 포함
영국	· UK ETS(‘22) → 브렉시트 이후 독자적인 배출권거래제에 CCUS 연계 추진
미국	· Bipartisan Infrastructure Law(‘21) → CCS 실증 프로젝트 $25억, 대규모 CCS 파일럿 프로젝트 $10억, DAC 허브 $35억 지원 등 투자
호주	· Offshore Petroleum and Greenhouse Gas Storage Act 2006 → 국경지역 CO_2 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 $85/톤$CO_2$, CCU(석유회수증진(EOR)포함) $60/톤$CO_2$, 직접대기탄소포집저장(DACCS) $180/톤$CO_2$, 직접대기탄소포집활용(DACCU) $130/톤$CO_2$로 인센티브 상향

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

2 국내 현황

1 국내 산업구조 고려 시 CCUS의 중요성이 크게 부각

○ (고탄소 산업구조) 주요국 대비 **제조업 비중이 높은 우리 산업 부문**의 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 부족**하며, 그 외 탄소 **저장소·활용 부문 원천기술 확보 미흡**

* 보령화력 10MW급(200톤/일) 포집 실증을 통해 150MW(3,000톤/일) 설계기술 확보

- **주요국은 수천톤급 CO_2/일 이상**의 대규모 습식 포집 실증플랜트, **50만톤/년 이상**의 저장 프로젝트 진행 중

* (포집) 미국 Petra Nova 4,800톤CO_2/일('17~'19), 캐나다 Boundary Dam 3,000톤CO_2/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 통합**할 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**	**Ⅰ. (포집) 상용기술 확보 및 대규모 실증** 1-1. 현재 대비 30% 이상 비용 절감 1-2. 100만톤/년 대규모 통합 실증 추진 **Ⅱ. (저장) 국내 10억톤 저장소 및 해외 저장소 적기 확보** 2-1. 국내 10억톤 저장소 확보 2-2. 해외 저장소 적기 확보 및 국경통과 CCS사업 조기 상용화 2-3. CO_2 수출허브 & 클러스터 구축 **Ⅲ. (활용) CCU 상용화 기술 확보 및 사업 확대** 3-1. 기확보된 단위 기술의 연계 및 통합 실증 3-2. 재생에너지와 연계한 CCU사업 확대
	수출산업화 및 경쟁력 제고	**Ⅳ. CCUS 패키지를 한국형 수출모델로 육성** 4-1. 해외시장 진출을 위한 CCUS 사업 플랫폼화 4-2. 현지에 적합한 CCUS 패키지사업 설계 **Ⅴ. 한계극복을 위한 기초·원천기술 확보** 5-1. 포집의 효율과 비용 한계 극복 5-2. 저장소 특성화 및 저장효율 한계 극복 5-3. CO_2활용 고부가 제품 생산

Ⅳ. 주요 추진계획

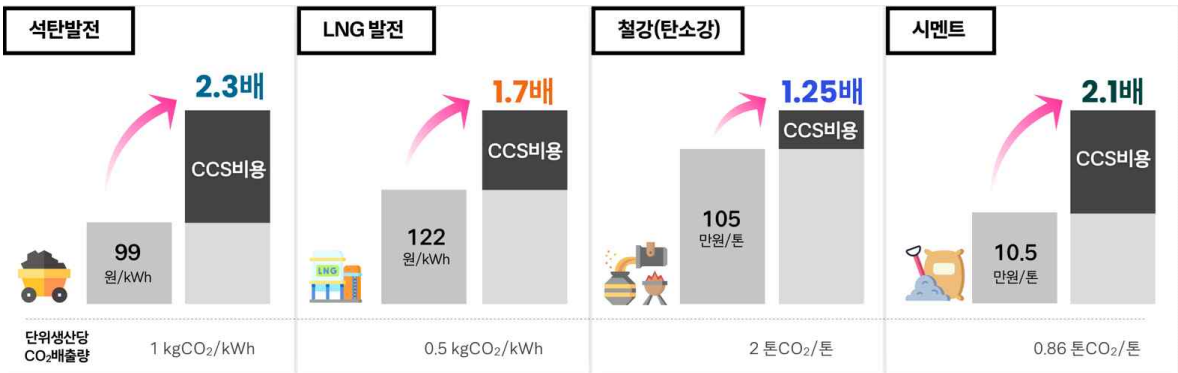
1 [포집] 상용기술 확보 및 대규모 실증

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

1-1. 현재 대비 30% 이상 비용 절감

❶ (단가 저감) CCS로 인해 상승한 비용 부담 경감을 위해 '30년까지 포집비용을 **현재 대비 30% 이상 절감**할 수 있는 혁신기술 개발

< 2030년 CCS 도입 시 제품 단가 상승 >



※ CCS 비용 : \$110/톤CO_2(환율 1,200원/\$). 단, LNG 발전은 \$143/톤CO_2
※ 출처 : 전력통계정보시스템 2021년 유연탄/LNG 발전정산단가 기준

- (고효율 소재) **열에너지 소모량 저감**을 위해 소재의 **물리·화학적 성능 및 원료가격을 고려**한 고효율 소재 개발
- (장치비 저감) 비용부담이 큰 **전기소모량 및 흡수탑 제작비용 저감**을 위한 핵심 요소기술 개발
- (재질 탐색) **CO_2 및 소재 부식 방지용** 장치 소재의 업그레이드 비용을 저감하기 위한 **장비별 제작 재질 탐색·선정**

❷ (활용처 최적화) **배출특성(농도·분야)에 따른 최적화**된 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 CO_2 배출공정의 배치 및 스팀, 냉열 등 유틸리티 상황, 포집설비의 트레인 수 등을 고려하여 **최적화된 맞춤형 공정 개발**

1-2. 100만톤/년 대규모 통합 실증 추진

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

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

* CO_2 포집효율 90% 이상, 운전시간 누적 2,000시간(연속 1,000시간) 이상

- **대규모(동해·서해) CCS 통합실증**과 연계한 **상용급 실증시스템을 구축·운영**하여 NDC 등 온실가스 감축 목표 달성에 기여*

* 동해가스전 120만톤/년, 서해 100만톤/년

< CO_2 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	- 연간 400만톤(1만톤 급/일) 포집 설비
	- 포집비용 $60/톤(압축, 액화, 정제 포함)	- 포집비용 $50/톤(압축, 액화, 정제 포함)
수송	- (동해) CO_2 수송량 120만톤/년 이상 - (서해) CO_2 수송량 100만톤/년 이상	- CO_2 수송량 400만톤/년 이상
	- 수송비용 $20/톤	- 수송비용 $15/톤
저장	- (동해) 저장용량 1,200만톤, 연간 120만톤 주입 - (서해) 저장용량 3,000만톤, 연간 100만톤 주입	- 저장용량 1.2억톤, 연간 400만톤 주입
	- 저장비용 $50/톤	- 저장비용 $45/톤

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

❷ (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

2 [저장] 국내 10억톤 저장소 및 해외 저장소 적기 확보

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

2-1. 국내 10억톤 저장소 확보

❶ (탐사 및 평가기술 고도화) **4차 산업혁명 기술**(AI, 빅데이터, 디지털전환 등)을 **활용**하여 스마트 저장소 탐사 및 저장소 평가 기술 확보

- **3차원 물리탐사기술**과 해양 대심도 시추기술을 통한 **저장소 평가 기술** 상용화
- 저장소 모델링 기술을 통해 **효율적이고 안전한 저장소**를 설계하고 저장용량 및 저장 안전성 평가 실시
- 저장소 설계와 주입 최적화, 거동·누출 평가 및 예측을 위한 **저장소 정적 모델링**과 **동적 시뮬레이션 기술 개발**

❷ (국내 저장소 확보) 국내 대륙붕 **저장소 종합탐사 및 시추조사 조기 착수**(최대 7.3억톤 추정)

- 다부처 공동사업에서 **서해 탐사시추**를 통한 저장소 확보 및 저장용량 평가
- 동해가스전 인근 **8대 유망구조 및 대상**(8,700만톤 추정) **시추**를 통한 저장소 추가 확보
- **한반도 인접해역**을 **대상**으로 **권역별 종합탐사**를 통한 대규모 저장소 확보

< 참고 : 국내 CO_2 저장소 종합평가 결과 >
('21.4, 산업부·해수부·CCUS 합동연구단)

- 기술적 평가와 사업추진 여건을 고려한 **국내 CO_2 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)

❸ (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 프로젝트**에 **참여**하고 국제공동연구를 통해 **기술공유** 및 **원천기술 확보**

- 포집된 CO_2를 저장소로 수송, 저장, 활용 시 필수적인 **CO_2 압축·액화 공정* 및 핵심 기자재 기술 개발**

  * 연간 4만 톤(110톤 급/일) 액화 설비 실증('30) 후, 처리 용량 대규모화(10배 이상)

  ※ CO_2 저장에 필요한 에너지의 40% 가량이 압축, 액화, 펌핑 등에 소요되며, 旣확보된 천연가스/수소의 압축·액화 기술로부터 확보 가능

2-2. 해외 저장소 적기확보 및 국경통과 CCS 사업 조기 상용화

❶ (고갈 유가스전 선점) CO_2 저장소로 빠른 전환이 가능한 **생산종료**가 **예정된 가스전 확보**를 위하여 각 국의 치열한 경쟁이 예상됨에 따라 **국내기업 지분 보유한 고갈 유가스전**을 **저장소로 선점 추진**

< 참조 : 동티모르 바유운단(BU) 가스전 CO_2 저장소 확보 경쟁 심화 >

▪ 바유운단(BU) 가스전은 한국 SK 外 호주, 이탈리아, 일본 등 다국적 사업자간 공동 운영 중 자산으로 각 국 CO_2 저장소 확보 관련 경쟁 예상

  * 동 가스전은 '23년中 가스 생산 종료 예정으로 1천만톤/년 CO_2 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 CO_2 저장이 가능한 해외 고갈 유가스전 선점 추진**

- 고갈 유가스전*은 운영 중 **축적된 장기간의 생산·운영 데이터 및 기존 유가스 생산설비를 활용**하여 경제적이고 빠른 시간 내 CO_2의 안정적 주입·저장 가능

  * 세계적으로 주요 고갈 유가스전을 활용하여 CO_2 저장 가능 용량은 약 3,000억톤 수준으로 추산(미국 2,000억톤, 호주 166억톤, 말레이시아 133억톤, 인도네시아 130억톤)

❷ (국제 협력관계 활용) 대량의 유망저장소*를 보유한 나라들과의 **에너지 네트워크**를 **활용**한 **저장소 확보 추진**

  * CO_2 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 체결**을 통한 **저장유망소 탐사 추진**

- 호주의 CO_2 지중저장을 위한 **유망저장소 탐사권 분양 입찰**에 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 CO_2 국제이송을 위해 **런던의정서 수정안 비준 및 대상국간 CO_2 이송협약이 필요**하며, **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 정부**와 **협업**하여 **관계국과 국제협약 체결 추진**을 통해 **'23년 內 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. CO_2 수출허브 & 클러스터 구축

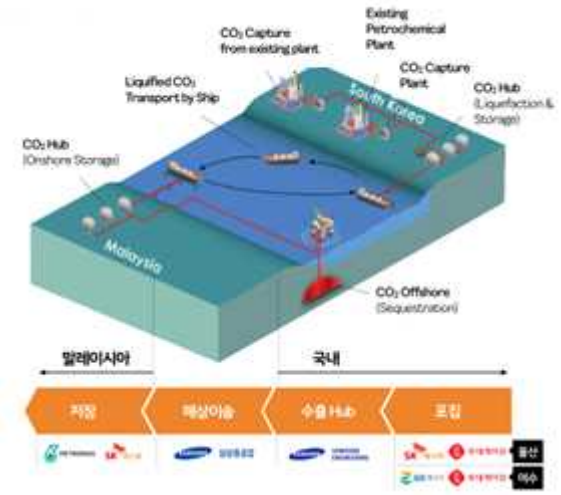
❶ (허브&클러스터 구축) CCS 밸류체인 전체를 포괄하는 개발하는 아시아 최초의 CCS 허브 프로젝트 추진

- 세계적 규모의 **저장 용량과 한국과의 지리적 접근성을 고려**하여 **말레이시아**를 **거점**으로 하는 **허브&클러스터 구축**
- **전 세계 포집물량의 39%**를 **CCS 허브가 차지***할 것으로 전망됨에 따라 **국내 CO_2 허브&클러스터 성공사례**로 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 **CO_2를 포집, 국내 허브(Hub)에 집결**시킨 후 말레이시아로 **이송하여 저장**하는 사업



▪ (주요내용) **울산-여수 온실가스 다배출 업체 대상** 국내 CO_2 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. 기확보된 단위 기술의 연계 및 통합 실증

❶ (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

❷ (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%, CO_2 감축효과 20%, 상용급 스케일업 등

❸ (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>

< 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
젖산 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

❶ (국내 사업) 국내 **기확보된 CCU기술의 상용화** 추진

- 재생에너지 확대 보급에 따른 **변동성 전력을 이용한 그린수소 생산**과 이를 **연계한 CO_2 화학적 전환기술의 상용화***

  * 메탄올 국내 수요 전량(약 150만톤) 대체시 연간 CO_2 200만톤까지 감축 가능

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

❷ (해외 사업) **재생에너지 풍부 국가**에 CO_2 해외 이송 및 CCU 제품 생산

※ (예시) 국내 CO_2 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 CO_2 25만톤 ~ 100만톤 처리***

  * CCU 국제 협력 사업의 CO_2 이송 및 감축량 인정 등은 해당 국가와의 협의 필요

  ※ (참고) Norsk e-fuel: 연간 1억리터 e-fuel 생산 공정 2026년 운영 예정, 연간 25만톤 CO_2 저감, Porsche-SIEMENS: 칠레의 풍력에너지 이용한 플랜트 건설 착수, 2026년 5억리터 e-fuel 생산 추진

- **해외 그린수소 사업**과 **병행 추진**하여 **상호 보완 기술***로 **활용**

  * 그린 메탄올은 기존 기술과 인프라 사용 가능

< 재생에너지 풍부 지역/국가와의 CCU 사업 협력 모델 >

4 CCUS 패키지를 한국형 수출 모델로 육성

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

4-1. 해외시장 진출을 위한 CCUS사업 플랫폼화

❶ (CCS 패키지) 산업단지·발전소·청정수소플랜트 CO_2 포집* ↔ CO_2수출선·LNG도입선** ↔ CO_2저장소***·해외 가스전으로 이어지는 비즈니스 모델

- CCUS 밸류체인 상의 **핵심기술·산업(건설, 조선, 석유화학, 해운 등)을 아우르는 CCUS 산업생태계 조성** 및 수출 산업화

* CO_2 포집: 국내 민간 발전업계(민간발전사 등), 건설업계(GS건설, 포스코이앤씨 등), 연구소(에너지연 등)

** CO_2 수송: 국내 조선업계(현대중공업, 삼성중공업 등), 철강업계(포스코 등), 해운업계(HMM 등)

*** CO_2 저장 : 국내 석유·가스업계(한국석유공사, 한국가스공사, SK어스온, SK E&S, 포스코인터내셔널 등), 연구소(지질연 등)

❷ (CCU 플랜트) 빠른 기술 도입을 목표로 하는 **기존 산업공정 적용 가능 기술**과 **CO_2 저감효과가 큰 신규 CCU 산업공정으로 분류**하여 접근

- **(기존공정 전환) 기존 산업공정의 변경을 최소화**할 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

❶ (현지화) **수출 상대국 법·제도와 사업 여건, 한국과 파트너십 등을 고려**하여 현지에 적합한 CCS 패키지 사업 설계

- **호주**(CCS Credit 인정), **아랍에미리트**(에너지 파트너십 공동선언), **말레이시아**(CO_2 저장소 다수 보유) 등을 대상으로 선제적인 CCS 패키지 수출 모델 개발

❷ (국제협력모델) **재생에너지** 및 **그린수소 공급**이 **가능한 국가**와 현지 사정에 적합한 **CCU 협력모델 구축**

- 협력 파트너십을 통해 **CO_2 정제(refinery) 패키지 개발 및 기술 수출**

- **재생에너지**가 **풍부한 개도국**과 **연계**하여 국외감축사업 추진

5 한계극복을 위한 기초·원천기술 확보

◇ **CO_2 포집 · 저장효율의 한계를 극복할 차세대 기술과 CO_2 활용 혁신기술 개발을 통해 "All C From CO_2 실현"**

5-1. 포집의 효율과 비용 한계 극복

❶ (포집효율 한계 극복) 상용화 수준에 도달한 고농도 포집기술 대비 **저농도, 저비용, 고효율** 등 **포집효율 한계 극복**이 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(IEA)

- 기존 기술 대비 배출원 맞춤형 **저비용, 고효율의 경쟁력 있는 혁신적인 개념**의 **포집기술***에 대한 기초·원천연구 지원

  * 심냉분리 CO_2 포집, 건식-분리막 하이브리드, 습식-분리막 하이브리드 등 하이브리드 포집 공정 개발로 활용처(배출원) 맞춤형 공정개발, 건식, 분리막 등 혁신 포집 소재 개발

❷ (차세대 발전기술) **LNG발전 확대**에의 대응 및 **포집비용의 획기적 저감**을 위한 기술개발

- 고형 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 극복**하기 위한 혁신기술로 **매체순환연소 기술**을 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

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

- **물리탐사·시추탐사의 입체적 자료처리*** **및 영상화 기술**을 통해 저장소 특성화 기술개발 추진

  * 3차원 암상·물성 모델링, 3차원 지질구조 모델링 등

- **암상·물성 예측 및 주입성·저장량 예측 신뢰도 90% 이상**을 목표로 기술개발* 추진

  * 인공지능, 기계학습 기술을 적용한 탐사자료 통합 분석기술

❷ (차세대 저장기술) 기존 저장기술의 **저장공간활용효율**(2% 내외)**을 극복**하기 위한 **차세대 CO_2 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 CO_2 저장기술(Solution-CCS), 고성능·저비용 지능형 모니터링 기술 등

5-3. CO_2활용 고부가 제품 생산

❶ **(CO_2 대량 전환)** 기초·원천기술 확보 및 실증 후, **저비용 재생에너지 및 그린수소 등과 연계**하여 **CO_2 대량 감축**

- CO_2의 화학적 전환을 통해 대량 수요의 **기초화학제품*과 고부가 화학제품**** 생산

* CO_2 전환 기초화학 제품 : 납사, 올레핀, 항공유, 합성가스, 에탄올, 메탄올, 포름산 등

** CO_2 전환 고부가 제품 : 난연성 배터리 전해액(비스알콕시알킬카보네이트 및 이의 비대칭 유기카보네이트 등)

※ 그린수소 및 DAC–CO_2로부터 항공유 생산 시 온실가스 최대 99% 감축 `30년 100MW 전기 활용 에틸렌 1만톤/년 생산 시 CO_2 1만톤/년 감축

- 재생전기 및 광생물반응기 활용, **면적집약적 타워형 미세조류 스마트팜**을 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

❷ **(차세대 CCU 기술)** 무포집 CO_2 전환, 포집전환동시반응(RCC) 및 바이오매스 기술과 융합한 **탄소 네거티브 기술 확보**

- 배출가스 내 **저농도 CO_2를 별도의 포집 공정 없이** 직접 제품 전환

* 배출가스 조성 제어용 전처리 및 저농도 CO_2 전환 합성가스 생산 기술 개발

* 석고와 슬래그 연계 또는 광물탄산화 직접법과 간접법 연계 기술 확보

- 포집된 CO_2를 **미정제 상태에서 직접** 고부가 화학제품으로 전환

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

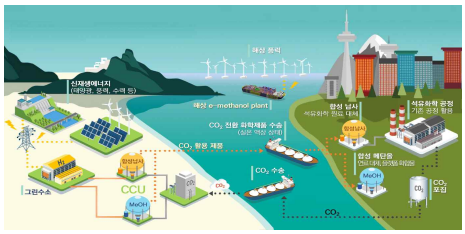
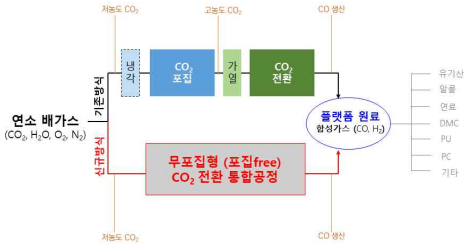
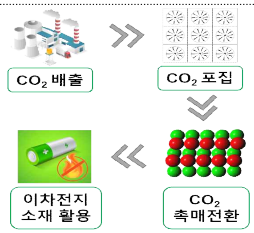
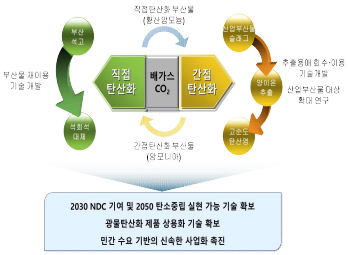
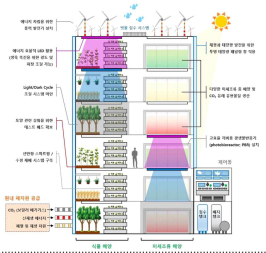
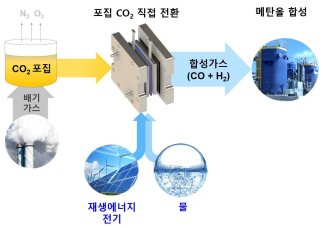
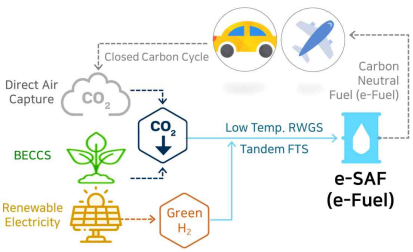
※ `30년 100MW 전기 활용 메탄올 5만톤/년 생산 시 CO_2 4만톤/년 감축

- RCC 기술과 LCC*(Liquid Carbon Carrier), 바이오매스 기반 솔벤트 개발 등을 통해 **"All C From CO_2 실현**"**

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

** 화학제품이 함유한 모든 탄소는 이산화탄소가 근원인 상태

< 차세대 CO_2 기술개발 방향 >

기술	주요 내용	
(화학연) e-납사, e-메탄올 생산용 혁신촉매/공정 기술		▸ 재생전력을 이용한 그린수소 연계 CO_2 화학적 전환 ▸ 메탄올 150만톤 대체시 연간 200만톤CO_2 감축
(화학연) 무포집·저농도 CO_2 전환 통합 공정		▸ 20톤/년 합성가스 생산 무포집형 파일럿 실증 ▸ 실증 규모 파일럿 연속 운전 500 시간
(생기원, KIST) CO_2 전환 유기 카보네이트 기술		▸ 난연성 특성의 차세대 유기 카보네이트 합성 ▸ 이산화탄소 고정율은 약 30 wt.%
(지질연) 광물화 연계 공정을 통한 공정비용 저감 기술		▸ 산업부산물 상호 활용을 통한 공정 실증 ▸ 기존 공정 대비 약 10% 이상 비용 절감
(생명연) 면적 집약적 타워형 미세조류 스마트팜		▸ 인공광 활용 성장성 2배 이상 증대 ▸ 광생물반응기 집적도 5배 이상 증대
(KIST, 에너지연) 포집전환동시반응 메탄올 생산 기술		▸ 30년 100MW 전기 사용 시, 메탄올 5만톤/년 생산으로 연간 4만톤CO_2/년 저감
(에너지연) e-SAF* 생산용 혁신촉매/공정 기술 *SAF: 지속가능항공유		▸ 그린수소 및 BECCS*/DAC 유래 CO_2로부터 e-SAF 생산 시 온실가스 최대 99% 감축 *BECCS: 바이오에너지 CCS

Ⅴ. 정부 지원 건의

❶ (국제협력) 국경을 통과하는 CO_2 수송을 위하여 **CO_2 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 CO_2 수출입 관련 논의 공식*** **착수** 필요

* 정부 간 CCUS MOU 벤치마킹 : 노르웨이-네덜란드 간 MOU(Northern Lights PJT)

❷ (법·제도·인프라) CCUS 사업 가속화 및 탄소중립 시장 활성화를 위한 **법·제도·인프라 정비**

- **CCUS 통합법 신속 제정**을 통해 **정부의 지원체계**(재정, 금융, 제도, 국내 인프라 건설 지원, 수용성 확보 등) **구축**

※ 국내 산업단지 내 CO_2 처리 집적화단지 구축에 대한 보조금 지원(네덜란드 Porthos Project, €21억 지원), (노르웨이 Northern Lights, $12억 지원)

※ 미IRA는 CO_2 저장에 대한 인센티브를 CO_2 톤당 85달러로 확대하여 CCS 경제성 확보

- 해외 CCUS 사업을 통해 감축한 온실가스에 대한 **국내 감축량 산정** 및 **인증 방법론**의 **조속한 개발 필요**(한국 Carbon Credit 공여 등)

❸ (투자 확대) CCUS 분야에 대한 **R&D 투자 확대**

- NDC와 2050 탄소중립에서 **CCUS**의 **기여도**를 **고려**하여 대규모 CCUS 투자사업(해외저장소 확보 등)에 대한 **정부**의 **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%)

❹ (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 컨소시움 구성 및 원천기술의 산업계 적용을 위한 기술 보급 계획 수립 필요

- 실험실 단계의 **CCUS 원천기술**을 빠르게 **평가**하고 **산업계**로 **확대** 적용하기 위한 전문 기술평가 및 **실증 지원**

SK E&S
SAMSUNG 삼성엔지니어링
GS 칼텍스
SK 에스온
posco INTERNATIONAL
KIER 한국에너지기술연구원 KOREA INSTITUTE OF ENERGY RESEARCH
KRICT 한국화학연구원
KIGAM 한국지질자원연구원
KIMS 한국재료연구원
KRIBB 한국생명공학연구원
KITECH 한국생산기술연구원
KIMM 한국기계연구원
KIST 한국과학기술연구원