시점확인
미검증
2024/05/08
17:03:23
KST
정부시점확인센터

RS-2023-00256034

3050 CCU 기술개발 및 통합실증 신규사업 기획연구

3050 CCU technology development and integrated verification new business planning research

연구 기관 : 비즈니스전략연구소(주)
연구책임자 : 강 태 희

2024. 05. 08.

과학기술정보통신부

안 내 문

본 연구보고서에 기재된 내용들은 연구책임자의 개인적 견해이며 과학기술정보통신부의 공식 견해가 아님을 알려드립니다.

과학기술정보통신부 장관 이 종 호

제 출 문

과 학 기 술 정 보 통 신 부 장 관 귀하

본 보고서를 “ 3050 CCU 기술개발 및 통합실증 신규사업 기획연구 "의 최종보고서로 제출합니다.

2024. 05. 08.

연구기관명 : 비즈니스전략연구소(주)
연구책임자 : 강 태 희
연 구 원 : 송 주 영
연 구 원 : 양 가 람
연 구 원 : 이 화 정
연 구 원 : 고 은 별

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

요 약 문

과제번호	RS-2023-00256034	연구기간	2023년 04월 12일 ~ 2024년 04월 11일
과제명	(한글) 3050 CCU 기술개발 및 통합실증 신규사업 기획연구 (영문) 3050 CCU technology development and integrated verification new business planning research		
연구책임자 (주관연구기관)	강 태 희	참 여 연구원수	총 5명
연구비	200,000 천 원		

요약

사 업 명	무탄소 에너지(CFE) 전환을 위한 CCU 기술개발(R&D)		
사업 목적	기 확보한 CCU 기술의 **현장 적용**을 통해 실제 CO_2 감축을 위한 **기술 고도화** 및 **통합실증** 추진		
총사업비 (국고/민자)	8,487.6억원 (국고: 5,547.6 민자: 2,940.0)	사업 기간	2025년 ~ 2030년 (6년)
사업 유형 및 추진범위	사업유형	공모방식	추진범위
	성장형 R&D	기술지정	응용·실증 R&D (TRL 5~7단계)

사업 내용

▌ 비전

CCU 기술혁신을 통한 탄소중립 실현 및 新산업 창출

▌ 전략과제

CCU 기술 고도화 및 조기 상용화 전략기술 개발을 위해 '30년 주력기술을 중심으로 지역 핵심산업과 연계

- **중점기술 9개, 세부기술 15개 기술 개발**
- **감축량 평가 플랫폼 개발**

성과 목표

성과 목표	1단계('25년~'27년)	2단계('28년~'30년)	
	CCU 통합공정 최적 **상용 공정** 개발	CO_2 감축 실증 기술의 **규모 격상**과 **전후방 산업**으로 **공유·확산**	
성과 지표	**성과목표**	**성과지표**	**목표치**
	① 정부 NDC 감축목표 기여	온실가스 배출 감축량	73.2만톤/년
	② 민간주도 조기상용화 전략기술 개발	시제품	17건
	③ 감축량 평가 기반 구축	방법론·플랫폼 개발	3건

사업기대효과

선제적 기술 주도권 확보 | **산업간 밸류체인 연계** | **국내기업 경쟁력 제고** | **탄소중립 산업 경쟁력 확보**

기획보고서

무탄소 에너지(CFE) 전환을 위한 CCU 기술개발(R&D)

2023. 12.

과학기술정보통신부

예비타당성조사 평가항목 반영 색인(INDEX)

▌기본 예비타당성 조사 요건

확인 항목	내용	수록 위치(Page)
1조 이상, 6년 이상 대형 사업 사전검토 여부	총사업비 8,487.6억 원 (국고: 5,547.6 민자: 2,940)	469 ~ 471
사업 기획 완료 여부	완료	
부처간, 지역간 협의 등 사전 행정절차 완료 여부	과학기술정보통신부 주관 시행	36 ~ 38,
입지 적정성 검토 자료	해당 없음 / (성장형 R&D 사업)	
부처 간 협의 완료 여부	부처 간 협의 / CCUS 총괄협의체('22~'23) 논의 과기정통부(CCU), 해수부/산업부(CCS)	36,
연관성 없는 다수의 사업을 하나의 사업으로 기획한 사업	해당 없음	

▌사업 기획 완성도 확인 항목

확인 항목	주요 내용	수록 위치
문제/이슈 도출을 위한 조사 활동 및 분석	• 해결하고자 하는 문제	444~449
예타 규모의 R&D 추진 필요성	• 탄소중립 규제 대응을 위해 CO2 多배출 산업 전반에 적용되어 탄소감축을 유도할 수 있는 CCU 기술의 상용화 필요	13 ~ 18
도출된 문제/이슈 해결과 사업 목표와의 연관성	• CCU 기술은 탄소중립 핵심 수단임에도 국내 기술 수준이 낮고, 불확실성이 높아 전략적 투자 필요	446
성과지표 설정 (구성 및 산정식)에 대한 근거	• 온실가스 배출 감축량 시장 동등 품질 시제품(개) • 방법론 및 감축량 평가 • 플랫폼 개발	460 ~ 463
사업성과 수혜주체 (기대효과)	• 플래그십 프로젝트의 수혜주체 및 기대효과 • 과학기술적, 정책적, 경제적 기대효과	475, 477~493 643 ~ 645
수요조사 수행	•(1차) 2023. 07. 10. ~ 2023. 08. 04. •(2차) 2023. 09. 18. ~ 2023. 10. 03. •기업 참여 및 투자의향서 •수요조사 결과 반영 기술 개발 도출	63~75 67 ~ 68 59
사업구성 우선순위 도출 과정	•CCU 기술로드맵 분석 → 기술수요조사 → 중복성	76 ~ 119
사업목표-내역사업간 연계성	•경쟁여건 분석에 대른 대응 전략 수립 •전략적 선택(문제/이슈) 마련 → 사업 추진 목적	443 444

확인 항목	주요 내용	수록 위치
연구개발 로드맵 및 일정	•주요 내역 사업별 로드맵 분류 정리	475 ~ 497
과제선정기준 및 절차, 성과 관리 방안	•과제선정, 진행절차, 관리체계, 평가, 성과활용계획 수록	498 ~ 507
사업추진체계 및 역할	•과학기술정보통신부 주관-한국연구재단-권역 연구단	498 ~ 499
상위 계획과의 부합성	•국정과제, 탄소중립녹생성장전략, 2050탄소중립추진전략, 기술혁신 추진전략, CCU 기술혁신 로드맵 부합	179 ~ 193
국내외 법제도 규정 분석 및 관련 위험요인 대응 방안	•WTO 보조금 협정에 따른 마찰 위험요인 낮음	668
국고지원을 통한 R&D 추진의 타당성	•높은 대외 기술 의존도, 낮은 기술투자 •높은 진입장벽 존재로 민간 주도 참여 동력 낮음 •국가 탄소중립 및 NDC 달성을 위한 전략적 투자 필요	24 13 ~ 20
예산 또는 기간의 산정근거	•NDC 감축목표 달성과 조기 상용화를 위한 기술,실증 1단계(상용 공정 개발) → 2단계(규모 격상, 전후방 확산)	469 ~ 471
지방비 조달 계획 및 근거	•해당 없음	-
민간재원조달 계획 및 근거	•기업 수요조사(참여의향, 투자의향), 45개사 참여의향 •32개사 투자의향서 제출	469 ~ 471
유사사업 중복성 분석 및 성과 활용 연계 방안	•중점 기술별 중복성 및 유사성, 연관성 조사	79 ~ 110
NTIS 과제 중복성 검토	•중점기술 대상 9개 분야 도출 후 유사 기술 분석 •과제 선별 및 중복성 검토 후 문제점 및 해결과제 도출	83 ~119
연구시설 장비 중복성 검토	•해당 없음	
선행사업 연계 협력 방안	•기 추진 사업의 경우 23~ 24년 중 일몰 예정 - 해당 성과물에 대한 연계 추진 탄소자원화기술고도화(285억원, '23년 종료), 유용물질 생산을 위한 CarbontoX 기술개발(425억원, '24년 종료), 대규모 CCS통합실증 및 CCU 상용화기반구축사업(88억원, '23년 종료), CCU 3050(350억원, '24년 종료	29 ~ 35
연구결과 활용 방안	•핵심산업 연계 연구개발 과제 활용 및 추진 방안 •온실가스 감축 인증/평가 방법론 - 국가온실가스 인벤토리에 연계 - 4대 권역별 추진 CCU 사업 확산 및 시장보급 시나리오에 따른 감축효과	508 ~ 588 494 ~ 497

요 약 문 (SUMMARY)

<table>
<tr><td>사 업 명</td><td colspan="3">무탄소 에너지(CFE) 전환을 위한 CCU 기술개발(R&D)</td></tr>
<tr><td>사업 목적</td><td colspan="3">기 확보한 CCU 기술의 현장 적용을 통해
실제 CO_2 감축을 위한 기술 고도화 및 통합실증 추진</td></tr>
<tr><td>총사업비
(국고/민자)</td><td>8,487.6억원
(국고: 5,547.6 민자: 2,940.0)</td><td>사업 기간</td><td>2025년 ~ 2030년
(6년)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">사업 유형 및
추진범위</td><td>사업유형</td><td>공모방식</td><td>추진범위</td></tr>
<tr><td>성장형 R&D</td><td>기술지정</td><td>응용·실증 R&D (TRL 5~7단계)</td></tr>
<tr><td>추진 경위</td><td colspan="3">▌근거 법령
• 과학기술기본법 제15조, 제16조
• 기후위기 대응 탄소중립· 녹색성장 기본법 제34조(탄소포집이용저장기술의 육성)
• 환경정책기본법 제10조, 제15조
• 기후변화대응 기술개발 촉진법 제8조, 제11조</td></tr>
<tr><td>사업 내용</td><td colspan="3">▌비전
CCU 기술혁신을 통한 탄소중립 실현 및 新산업 창출
▌전략과제
CCU 기술 고도화 및 조기 상용화 전략기술 개발을 위해
’30년 주력기술을 중심으로 지역 핵심산업과 연계
• 중점기술 9개, 세부기술 15개 기술 개발
• 감축량 평가 플랫폼 개발

</td></tr>
<tr><td>성과 목표</td><td colspan="3"><table><tr><td rowspan="2">성과 목표</td><td>1단계(’25년~’27년)</td><td colspan="2">2단계(’28년~’30년)</td></tr><tr><td>CCU 통합공정 최적 상용 공정 개발</td><td colspan="2">CO_2 감축 실증 기술의 규모 격상과
전후방 산업으로 공유·확산</td></tr><tr><td rowspan="4">성과 지표</td><td>성과목표</td><td>성과지표</td><td>목표치</td></tr><tr><td>① 정부 NDC 감축목표 기여</td><td>온실가스 배출 감축량</td><td>73.2만톤/년</td></tr><tr><td>② 민간주도 조기상용화 전략기술 개발</td><td>시제품</td><td>17건</td></tr><tr><td>③ 감축량 평가 기반 구축</td><td>방법론·플랫폼 개발</td><td>3건</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>사업기대효과</td><td colspan="3">선제적 기술 주도권 확보 | 산업간 밸류체인 연계 | 국내기업 경쟁력 제고 | 탄소중립 산업 경쟁력 확보</td></tr>
</table>

CCU 기술혁신을 통한 탄소중립 실현 및 新산업 창출

목적	기확보한 CCU 기술의 **현장 적용**을 통해 실제 CO_2 감축을 위한 **기술 고도화** 및 **통합실증** 추진

추진 전략	1단계('25년~'27년)	2단계('28년~'30년)
	CCU 통합공정 최적 상용 공정 개발	CO_2 감축 실증 기술의 규모 격상과 전후방 산업으로 공유·확산

성과 목표	정부 NDC 감축목표 기여	플래그십 프로젝트 성공사례 확산	온실가스 감축량 평가 기반 구축
	('30년) 73.2만톤/년 감축	('30년) 시제품 17건	방법론 및 감축량 평가 플랫폼 3건

세부 기술	기술유형	중점기술	세부 과제
	화학전환	합성가스	①온실가스 감축 극대화 합성가스 생산 기술 ②미활용 CO_2 활용 합성가스 생산 기술
		메탄올	③CO_2 활용에 의한 메탄올 생산 기술
		올레핀	④정유 공정 배가스 CO_2 활용 기초유분 생산 기술
		e-Fuel	⑤합성연료(휘발유, 경유) 생산 기술 ⑥e-SAF 제조 상용공정 기술
		폴리머	⑦CO_2 활용 폴리우레탄 생산 기술 ⑧CO_2 활용 폴리카보네이트 생산 기술
	생물전환	바이오소재·연료	⑨미세조류 기반 발전소 배출 CO_2 감축 · 활용 기술
		바이오매스	⑩미세조류 기반 발효 배가스 내 CO_2 감축 · 활용 기술
	광물탄산화	고순도 무기탄산염	⑪석고 활용 탄산칼슘 생산 및 활용 기술 ⑫해수담수화 농축수 활용 고순도 무기탄산염 생산·활용 기술
		대체 시멘트 및 건설소재	⑬in-situ 탄산화기술 활용 CO_2 감축 · 활용 기술 ⑭CO_2 반응경화 시멘트 및 건설 2차제품 생산 및 활용 기술 ⑮제철 슬래그 활용 CO_2 저감 건설소재 생산 및 활용 기술

사업 구성	내역사업[국고/민자]	주요내용
	남부권 [2,280억/1,370억]	• 개요 : 석유·정유·철강 산업 연계 CO_2 대량 배출기업 밀집 지역 확산 • 생산물 : 합성가스, 올레핀, e-Fuel, 고순도 무기탄산염
	서부권 [1,530억/840억]	• 개요 : 발전소 탄소저감형 대규모 실증기반 구축 / 해수담수화 공정 광물탄산화 • 생산물 : 폴리머, 바이오소재·연료, 바이오매스, 고순도 무기탄산염
	중부권 [990억/330억]	• 개요 : 시멘트 산업 연계 CCU 광물 탄산화 건설제품 생산 통합 패키지 개발·확산 • 생산물 : 대체 시멘트 및 건설소재
	동남권 [500억/400억]	• 개요 : 철강·석유화학·조선·항만 산업 연계 청정 메탄올(연료) 생산·활용 기술 개발 • 생산물 : 메탄올, 대체 시멘트 및 건설소재
	감축량 플랫폼 [60억/-]	• 개요 : CCU 적용 온실가스 감축 효과 분석을 위한 감축량 평가 기반 구축 • 생산물 : 감축 기여도 평가방법론, 평가 Tool, 평가 DB, 동 사업 감축량 평가
	※ 기평비[187억/-]	• 연구단 및 플랫폼 운영 및 평가 비용 활용

1 CCU 개념

❍ **(CCU 정의)** CCU 기술은 CO_2를 탄소 기반의 **유용 원료로 전환**하고 **경제적 가치**가 있는 **제품으로 변환**하는 기술

❍ **(CCU 분류)** CCU 기술은 CO_2 전환 방식에 따라 **화학적 전환, 생물학적 전환, 광물탄산화**로 구분되며, **고부가 산업 소재 활용**을 위해 다양한 메커니즘의 **CO_2 전환 기술개발 필요**

□ **(CCU 분류)** CO_2 전환 방식에 따라 화학 전환, 생물 전환, 광물탄산화로 구분

□ **(화학적 전환)** CO_2를 화학반응의 원료로 사용하여 연료, 기초화학제품 등 다양한 탄소 화합물로 전환하는 기술로서, 촉매, 전기화학, 광전기화학, 광화학 전환으로 구분

❍ **(생물학적 전환)** CO_2를 고정할 수 있는 미생물 등을 활용, 바이오매스를 생산하고 이를 바이오 기반 유용물질로 전환하는 기술로서, 광합성 및 비광합성 전환으로 구분

❍ **(광물탄산화)** CO_2를 알칼리토금속을 포함하는 광물 또는 수용액과 반응시켜 탄산염 광물로 전환하는 기술로서, 직접탄산화 및 간접탄산화로 구분

화학적 전환	생물학적 전환	광물 탄산화
합성가스, 유기산, 카보네이트, 알코올, 고분자 등	바이오매스, 바이오디젤, 바이오소재 등	콘크리트, 건축 및 산업 소재 등

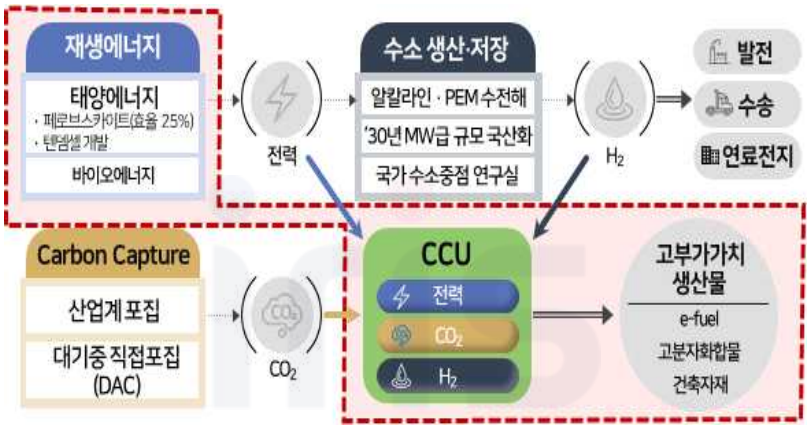
❍ **CCU**는 포집된 탄소를 청정수소와 반응시키고, 이때 필요한 전력을 재생에너지로 공급하여 **탄소**를 **고부가가치 생산물로 전환**함으로써 **무탄소 에너지 전환**에 기여

□ **(무탄소 에너지 정의)** 무탄소 에너지(CFE, Carbon Free Energy)는 전기 생산 과정에서 직접 탄소를 배출하지 않는 모든 에너지원

❍ 재생에너지(태양광, 풍력, 수력, 지열, 바이오매스 등)는 물론 원자력, 청정수소, 탄소포집·활용·저장(CCUS)까지 포함하는 개념

- 무탄소 에너지(CFE)로의 전환을 위한 핵심 수단 중 하나로, 2050 Net-zero 이행과정에 있어 징검다리 역할을 수행

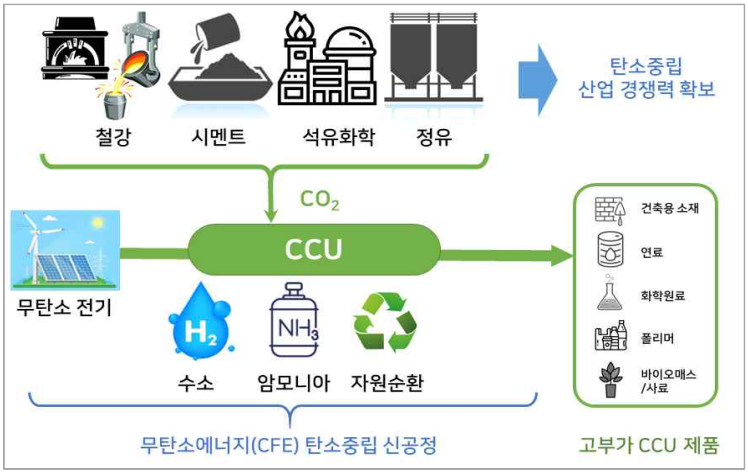
▌재생에너지-수소-CCU 연계를 통한 무탄소 에너지 전환 ▐



❍ **(무탄소 에너지-CCU 연계)** 포집된 탄소를 청정수소와 반응시키고, 이때 필요한 전력을 재생에너지로 공급하여 탄소를 고부가가치 생산물로 전환재생에너지 발전(태양광, 바이오에너지) 등 발전 과정에서 **탄소 발생이 없는 에너지원**으로부터 전력을 직접 생산하여 활용

■ CCU는 **친환경 탄소원**을 제공*하는 **신산업 동력**으로, **미래 탄소중립** 사회의 **시장 선점**을 위해 **기술 고도화 필요**

* 탄소중립 시대에도 **화학제품, 연료** 등은 **경제적으로 필수**적이며, 이를 생산하기 위한 **탄소의 수급**은 여전히 **중요**



2 사업추진 배경 및 필요성

❍ **무탄소 에너지(CFE) 가치사슬의 견고화**와 **'30년 감축목표 달성**을 위해 CCU의 조속한 중대형 국가 R&D 투자 착수 필요

❍ **무탄소 발전, 산업의 온실가스 감축 등 탄소중립 실현**과 EU 등을 무역상대국으로 하는 **기업의 수출경쟁력 악화**

◇ 전 세계적인 무탄소 에너지(CFE) 활용 확대 흐름

□ **(CFE)** 탈탄소화를 위한 현실적 대안으로서 재생에너지뿐만 아니라 원전・수소・CCUS 등 다양한 **무탄소 에너지를 활용**하는 CFE 대두

* CFE(Carbon-Free Energy) : 전력 생산과정에서 탄소를 배출하지 않는 에너지원으로 재생에너지는 물론 원전, 청정수소, 탄소포집·활용·저장(CCUS)까지 포괄

□ **(무탄소 에너지)** 재생에너지-수소-CCU를 중심으로 연계되는 **무탄소 에너지(CFE*) 가치사슬의 견고화**를 위해 CCU의 조속한 상용화 필요

□ **(글로벌 CFE 선도 요구)** 우리나라가 국제사회에서 무탄소 에너지 활용과 관련된 **논의를 선도**하기 위한 **기술적 뒷받침 요구**

* UN 총회 V 연설로 CFE 중요성 강조 및 이행기구로서 CF연합 제안('23.9, 미국 뉴욕)

❍ 전기생산 과정에서 직접 탄소를 배출하지 않는 핵심 수단으로써 '재생에너지-수소-CCU'의 기술적 연계가 긴요

◇ 탄소중립 실현을 위한 핵심 기반기술로서 CCU 도입 필요성 증가

□ **(NDC 이행)** 국가온실가스감축목표* 달성을 위해서는 산업구조 전환(44.4%)뿐만 아니라 CCUS(10.3%) 또한 동원해야 할 **필수 수단***

* CCUS 감축목표: (기존)'30년 1,030만톤 감축 → (수정)'30년 1,120만톤 감축

□ 철강・시멘트・석유화학 등 산업의 **탄소중립 新공정 기술**은 CCU 기술의 적용을 전제하는 등 **탄소중립 산업의 기반기술**로 역할

* (철강) 수소환원제철 + 전기로, (시멘트) 석회석 대체 원료 + 수소기반 소성로
(석유화학) 납사 대체(바이오, 수소+CO_2) 등

□ 높은 제조업・수출 비중과 에너지 믹스 여건을 고려할 때, **민간의 부담을 최소화**하면서도 **탄소중립을 실현**할 수 있는 기술로서 주목

* CCU는 블루수소 및 암모니아 생산, 자원순환 등 다양한 감축수단과도 연계 가능

3 우리의 극복 과제

❍ 국내 **산업의 경쟁력 강화**와 수출기업의 생존을 위해 **CCU 기술의 확보·적용**을 통한 **선제적인 탄소중립 규제 대응 필요**

❍ 탄소중립 시대 핵심기반 기술인 **CCU에 대한 수요증가**가 예상되는 상황으로, CCU 분야 **기술 경쟁력 확보**를 위한 전략 마련 필요

1 (기업수요가 고려되지 않은 R&D) CCU 기술혁신 로드맵 등 기술개발 전략에 따라 다양한 기술을 확보 중이나, 높은 전략적 가치에 비해 기업의 수요 반영이 미흡

□ **(높은 전략적 가치)** 우리나라의 **높은 제조업·수출 비중** 및 에너지 여건 고려 시, CCU는 **탄소중립 및 산업경쟁력 향상 동시에 달성 가능**

* 블루수소·암모니아, 청정수송연료, 자원순환 등의 신산업 분야와도 연계 可

* 기존 석유화학 기반 제품 대비 높은 비용으로 인해 가격경쟁력 확보가 어려움

□ **낮은 기술 성숙도*를 극복**하고, 민간의 적극적인 활용을 통한 **실질적인 온실가스 감축**을 유도하기 위해선 **기술개발 가속화 필요**

* 국내 기술수준은 세계 최고(미국) 대비 80%, 기술격차는 5년으로 평가(KISTEP, '21.3)

□ **(민간투자 한계)** CCU의 기술적 난이도, 경제성 등을 이유로 기업의 참여 유인이 낮아, **성공사례 창출**을 통한 **민간 확산이 필요**

❍ CCU 기술의 적용을 통해 실질적인 온실가스 감축을 유도하기 위해서는 **민간기업**의 **기술도입과 산업공정 적용이 필수적**

❍ **(낮은 경제성)** 상용화를 위해 대규모 실증이 필요하나, 기존 산업공정에 적용하기 위한 **비용과 리스크가 높아** 기업의 **자발적 참여가 부족**

❍ 기업의 기술도입 유인이 부족하여 대부분의 CCU 기술들이 **실험실 규모 실증단계에 머물고** 있는 등 **상용화까지의 연계가 취약**

□ **(상용화 사례 부족)** 국내 일부기술은 응용연구 및 **소규모 실증단계**에 진입하였으나, 확보된 핵심기술의 **상용화 단계로 연계는 취약**

2 탄소중립 규제 대응을 위해 CO2 多배출 산업 전반에 적용되어 탄소감축을 유도할 수 있는 CCU 기술의 상용화 필요

3 (맞춤형 지원 부재) 낮은 기술 성숙도, 추가 공정비용에 따른 경제성 확보 등 기업이 직면한 문제마다 사업화에 필요한 지원내용이 상이

□ CO_2 전환에 따른 기술적 경로 및 제품군이 매우 다양할 뿐 아니라, 투입에너지, 부가원료, 인프라 등에 따라 **사업화 가능성이 가변적**

❍ **(기술 유형별 맞춤형 지원)** 기술성숙도, 기업수요 등을 종합적으로 고려하여, **대규모 실증을 통한 기술 레퍼런스 확보, CCU 전·후방 산업 연계**를 통한 수요창출 등 다양한 맞춤형 지원책 마련 필요

□ 다양한 출연연과 대학에서 개별적으로 CCU 기술개발이 추진되고 있어, **성과관리, 인프라 공동활용, 연구역량 결집 등에 있어 어려움**이 존재

❍ **(민간·공공 협력강화)** 공공이 보유한 CCU 기술을 DB화하고, 수요기반 과제기획, 민·관 연구역량 결집 등을 통한 기술 상용화 가속화 필요

4 국내 CCU, R&D 투자로 기술 확보 중이나, 확보된 핵심기술의 상용화 단계로의 연계는 취약

□ **기술적 필요성**

❍ **(역량 집중-조속 상용화로 기술선점 필요)** CCU 기술은 온실가스 감축에 핵심적인 역할을 할 수 있을 것으로 기대되는 기술 분야로, 해외에서는 일부 기술의 상용화가 진행된 상황이므로 **국내 역량을 집중한 조속한 상용화**를 통한 **기술 선점 필요**

❍ **(선택과 집중)** 2030 온실가스 감축 목표 달성과 2050 탄소중립 실현을 위해 상용화가 가능한 기술에 대해서는 집중 투자하여 성과를 도출하고, 후 순위의 핵심기술을 개발하여 기술경쟁력 확보

❍ CCU 기술과 핵심산업과의 지속적·효율적 연계 활용이 가능한 전략 마련 필요

❍ 한가지 기술을 여러 현장에 적용할 수 있는 플래그십 프로젝트 추진 필요

4 사업 추진 시급성

□ **(온실가스 감축 의무 이행 압박)** ‘15년 파리협정 체결(‘16.11 발효)을 계기로 선진국·개도국 포함 모든 국가에 **온실가스 감축 의무 부여 등 압박** 증대

❍ 파리협정 이행규칙의 NDC 지침(배출·흡수량, NDC 산정 및 상세설명 등)은 각국의 NDC 분석 및 평가, 비교를 용이하게 하여 당사국들에 대한 온실가스 감축 압박을 강화

❍ ‘23. 1월 세계경제포럼(다보스포럼) ‘글로벌 위험 보고서 2023’에서 선정한 향후 10년간 가장 심각한 위험 10개 중 1~4위*가 기후·환경 관련 사항

*①기후변화 완화 실패, ②기후적응 실패, ③자연재해·극단 기상 현상, ④생물 다양성 손실 및 생태계 붕괴

□ **(국내 CCUS 분야 NDC 상향 조정)** 우리나라의 경우 ‘23. 3. 21. 발표된 ‘국가탄소중립 녹색성장 기본계획(안)’에서 CCUS 분야 2030년 탄소 처리 목표가 **기존 1,030만 톤에서 1,120만 톤으로 상향** 조정

❍ 그중 CCU **감축 목표는 640만톤**으로 상용화 R&D, 다양한 제도적 지원을 통해 민간 확산 필요

➜ **‘26년부터 실증을 본격화**하여 **‘30년 연 640만톤 감축 추진** 필요

▌국내 2030 NDC 조정내용 ▐

(단위: 백만 톤 CO_2e, 괄호는 ‘18년 대비 감축률)

구분	부문	2030 목표	
		기존 NDC (‘21.10.)	수정 NDC (‘23.04.)
순배출량 합계		436.6 (40.0%)	436.6 (40.0%)
배출	전 환	149.9 (44.4%)	145.9 (45.9%)
	산 업	222.6 (14.5%)	230.7 (11.4%)
	건 물	35.0 (32.8%)	35.0 (32.8%)
	수 송	61.0 (37.8%)	61.0 (37.8%)
	농축수산	18.0 (27.1%)	18.0 (27.1%)
	폐기물	9.1 (46.8%)	9.1 (46.8%)
	수 소	7.6	8.4
	탈루 등	3.9	3.9
흡수·제거	흡수원	-26.7	-26.7
	CCUS	**-10.3**	**-11.2**
	국제감축	-33.5	-37.5

*출처 : 2030년 국가 온실가스 감축목표(NDC) 수정안(‘23)

5 추진 근거 및 정부 추진 정책

구분	관련 내용
2050 탄소중립 추진전략 (관계부처 합동, '20.12.07.)	• CCUS 기술 적용을 통한 온실가스 배출 감축 노력 강조 • **산업 현장**에서 **CCUS 기술 상용화** 요구
2050 탄소중립 연구개발 투자전략 (관계부처 합동, '21.03.31.)	• 시장 수요 기반 **CCU 혁신 융합기술 개발** 및 **민간참여형 기술 실증** 확대
2050 탄소중립 기술혁신 추진전략 (관계부처 합동, '21.03.31.)	• **CCUS 상용화 기술 확보**를 위한 혁신소재 · 대형화 개발 및 실증 제시
CCU 기술혁신 로드맵(안) (관계부처 합동, '21.06.15.)	• CCU 기술혁신을 통한 탄소중립 실현 및 新산업 창출 비전 제시 • CCU 기술혁신 정책 목표 – **2030 CCU 상용제품 확보**: (現)없음 → **('30) 14개 제품(화학 전환 10개, 광물화 4개)** • **CCU 분야별 중점기술 도출, CCU 전주기 R&D 확대**
2030 국가 온실가스 감축목표(NDC) 상향안 발표 (관계부처 합동, '21.10.18.)	• '18년 배출량(727.6백만 톤) 대비 △40%(291백만 톤) 감축 → '30년 배출량: 436.6백만 톤
새정부 에너지정책 방향(안) (관계부처 합동, '22.07.05.)	• 민간투자 활성화를 위한 기술·인력·정보 인프라 지원강화 추진 – 국내 유전개발 기술을 활용하여 CCUS 실증 및 국내 대륙붕 CO_2 저장소 확보 추진
탄소중립 녹색성장 추진전략 (관계부처 합동, '22.10.26.)	• CO_2 포집·저장 실증, 지원법률 제정 등 CCUS 산업 활성화 추진 – CCU 제품 인증, 국제협력·인력양성 등 산업 성장기반 조성 • 한국형 탄소중립 100大 핵심기술 중점분야로 CCUS 선정 – **활용 : (경제성 확보) 광물탄산화 등 총 3개**
CCUS 분야 탄소중립 기술혁신 전략로드맵(안) (관계부처 합동, '22.11.21.)	• **CCU 감축목표: '30 630만톤/년, '50 최대 2,520만톤/년** • **CO_2 활용 제품 가격경쟁력: '40 기존 시장가 대비 100%**
탄소중립 녹색성장 기본계획 (관계부처 합동, '23.03.21.)	• **CCUS 온실가스 감축 목표: ('30) -11.2백만톤 흡수·처리** – 기존 NDC('21.10.) -10.3백만톤 흡수·처리에서 상향 • 온실가스 감축을 위한 **CCU 제도기반 구축, 기술개발 및 인프라 구축**을 핵심과제로 제시 – **이산화탄소 포집·저장·활용 기술개발·실증 강화**
기업·출연연 참여 CCUS 산업 기술혁신 추진(안) (민간기업·출연연 합동, '23.04.10.)	• NDC 기여를 위해 **CCU 상용화 기술 확보 및 사업 확대** – 기확보된 단위 기술 연계 및 통합 실증 – 재생에너지 연계 CCU 사업 확대 • 수출산업화 및 경쟁력 제고를 위해 **CO_2 활용 고부가 제품 생산 추진**

6 사업기획 추진 체계

□ **사업의 특성(지역 핵심 산업 연계 사업)**을 감안하여, 분야 간 연계·협력 및 민간 중심의 사업 수행 강화를 위해 추진위원회는 전체 프로젝트 총괄업무를 전담

❍ **분과위원회**는 권역별 플래그십 프로젝트 추진을 위한, 과제 발굴, 점검, 사업 추진 방안, 성과확산 방안 도출 등 전담

▌사업 기획 추진체계 ▐

□ **총괄기획위원회 역할**

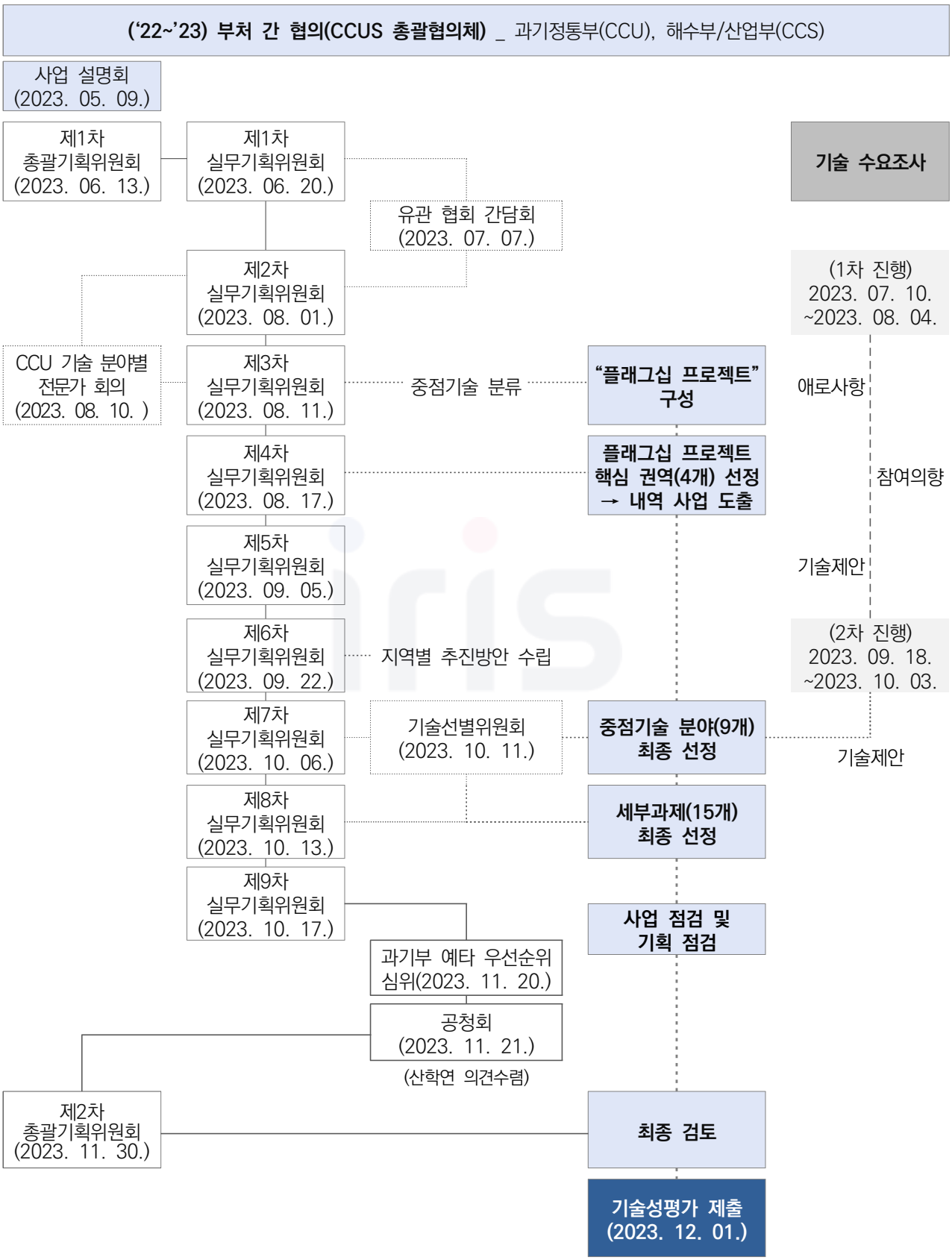
❍ 기술 분야별 산학연관 기술기획위원 추천

❍ CCU관련 주요 환경 변화, 기술·산업 동향 및 미래 전망 등을 고려한 CCU 분야별 중장기 투자전략 및 기술 투자우선순위 도출

❍ CCU기술 분야의 중장기 활용 및 투자 전략 내 중요성 등을 도출

순번	성 명	소속	부서	비고
1	김재현	공주대학교	물리화학 전공	총괄기획위원장
2	장태선	한국화학연구원	미세먼지융합화학연구단	화학적 전환/남부권/기획위원
3	김희식	한국생명공학연구원	세포공장연구센터	생물학적 전환/서부권/기획위원
4	이승우	한국지질자원연구원	CO_2활용연구센터	광물 탄산화/중부권/기획위원
5	한건우	포항산업과학연구원	저탄소연구그룹	철강/동남권/기획위원
6	김의철	시멘트협회	미래산업실	광물 탄산화
7	이기백	한국화학연구원	탄소자원화전략실	화학적 전환
8	민병권	한국과학기술연구원(KIST)	청정에너지연구센터	화학적 전환
9	홍성준	한국에너지기술연구원	정책연구실	화학적 전환
10	백점인	한국전력공사	전력연구원	발전
11	박영철	한국에너지기술연구원	온실가스연구단	포집
12	안국헌	대한석유협회	지속가능경영실	화학적전환/정유/수요기업
13	김평중	석유화학협회	대외협력본부	화학적전환/석유/수요기업
14	정유심	한국품질재단	지속가능경영원	LCA / 제도
15	김동련	신안산대학교	CCUS 법제도사업팀	CCU 법제도

▌ 사업 추진 경과


('22~'23) 부처 간 협의(CCUS 총괄협의체) _ 과기정통부(CCU), 해수부/산업부(CCS)
사업 설명회 (2023. 05. 09.)
제1차 총괄기획위원회 (2023. 06. 13.)
제1차 실무기획위원회 (2023. 06. 20.)
유관 협회 간담회 (2023. 07. 07.)
제2차 실무기획위원회 (2023. 08. 01.)
CCU 기술 분야별 전문가 회의 (2023. 08. 10.)
제3차 실무기획위원회 (2023. 08. 11.)
중점기술 분류
"플래그십 프로젝트" 구성
제4차 실무기획위원회 (2023. 08. 17.)
플래그십 프로젝트 핵심 권역(4개) 선정 → 내역 사업 도출
제5차 실무기획위원회 (2023. 09. 05.)
제6차 실무기획위원회 (2023. 09. 22.)
지역별 추진방안 수립
제7차 실무기획위원회 (2023. 10. 06.)
기술선별위원회 (2023. 10. 11.)
중점기술 분야(9개) 최종 선정
제8차 실무기획위원회 (2023. 10. 13.)
세부과제(15개) 최종 선정
제9차 실무기획위원회 (2023. 10. 17.)
사업 점검 및 기획 점검
과기부 예타 우선순위 심위(2023. 11. 20.)
공청회 (2023. 11. 21.)
(산학연 의견수렴)
제2차 총괄기획위원회 (2023. 11. 30.)
최종 검토
기술성평가 제출 (2023. 12. 01.)
기술 수요조사
(1차 진행) 2023. 07. 10. ~2023. 08. 04.
애로사항
참여의향
기술제안
(2차 진행) 2023. 09. 18. ~2023. 10. 03.
기술제안

7 대외 환경분석

▌글로벌 온실가스 배출현황

□ **(전 지구 대기 중 온실가스 농도 변화)** 전 지구의 온실가스 농도는 산업화 이후 지속 증가

❍ 이산화탄소(CO_2) 1.49배, 메탄(CH_4) 2.62배, 아산화질소(N_2 O) 1.23배 증가, 매년 최대치 경신

- '20년 코로나로 온실가스 배출이 감소 되었으나, **온실가스 농도 증가 추세** 지속

□ **(우리나라 대기 중 온실가스 농도 변화)** 우리나라도 전 지구와 비슷하게 **증가율 가속화**

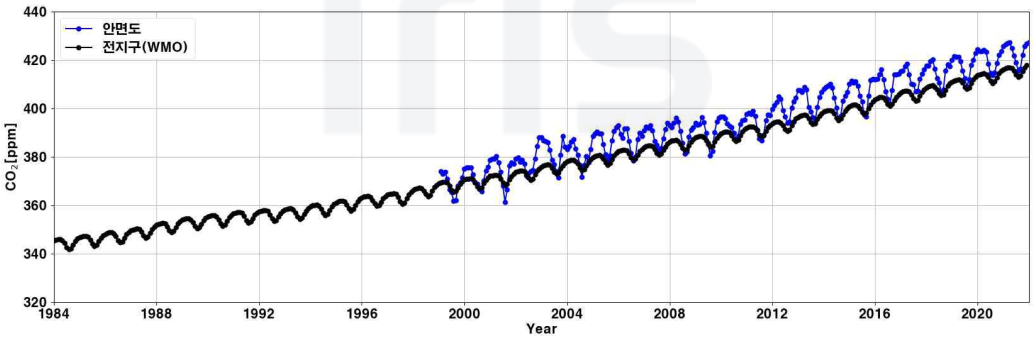
❍ (CO_2) 과거(2001~2010년) 연평균 2.2ppm에서 최근(2011~2020년) 2.7ppm로 가속

- '21년 기준 전 지구 평균농도(WMO) 대비 우리나라(안면도) 7.4ppm 상회

❍ (CH_4) 증가 추세가 완화(1ppb/년, 2000~2006년) 되다가, 2010년 이후 다시 증가

❍ (N_2 O) 연간 0~2ppb로 지속적으로 증가

▌전지구와 우리나라의 대기중 이산화탄소 농도 변화▐



*출처 : 관계부처 합동, 국가 탄소중립·녹색성장 기본계획(안), 2023. 03.

〈표〉 2021년 온실가스 평균농도

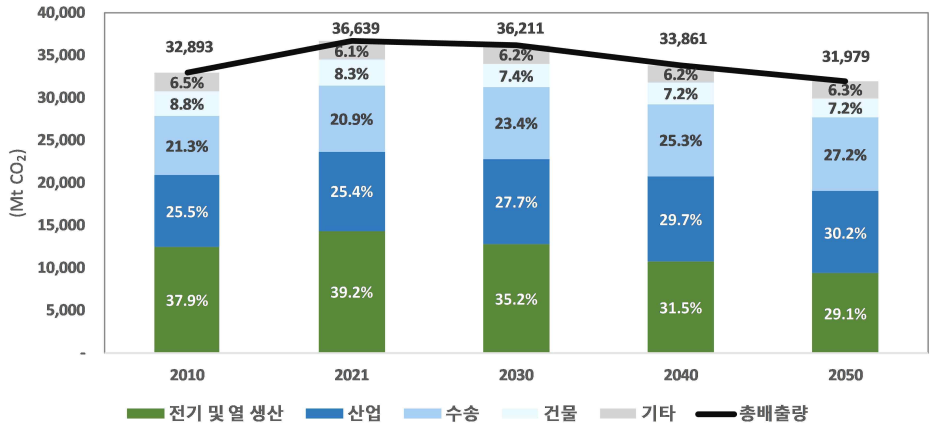
구분	세계기상기구(WMO)			우리나라(안면도)		
	CO_2[ppm]	CH_4[ppb]	N_2O[ppb]	CO_2[ppm]	CH_4[ppb]	N_2O[ppb]
2021년 평균	**415.7**	1908	334.5	**423.1**	2005	336.1
전년 대비 증가값	**2.5**	18	1.3	**2.7**	22	1.1
10년 평균 증가율	**2.5**	9.2	1.0	**2.7**	10	1.2

*출처 : 관계부처 합동, 국가 탄소중립·녹색성장 기본계획(안), 2023. 03.

□ **전 지구 온실가스 배출 전망**

❍ (IEA) 추가 정책 없이 現 정책만 고려 시, 전환 부문은 현재 대비 배출량(에너지 및 산업공정) 감소, 최종에너지 소비 부문은 증가 전망

▎전세계 부문별 CO_2 배출량(에너지 및 산업공정) ▎



*출처 : 관계부처 합동, 국가 탄소중립·녹색성장 기본계획(안), 2023. 03.

□ **(전 세계적으로 온실가스 감축 이행 중)** 온실가스 감축은 전 세계적인 관심사로 최근 5년간 **CO_2 배출은 0.5% 수준으로 감축**

❍ 대부분 국가가 2050년 '넷 제로 배출'을 목표하여 온실가스 감소세
- 미국, 일본, 유럽 등은 2.4~4.9% 수준으로 감축 중

❍ **우리나라**는 같은 기간 감축 0.4% 수준으로 **세계 평균 대비 낮은 편**

〈표〉 글로벌 온실가스 배출현황

구분		온실가스 배출량(TOTAL CO_2 emissions by Countries)									CAGR
		1990	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	('15~'20)
Global(환산)		20,500.0	23,100.0	30,400.0	32,200.0	32,200.0	32,700.0	33,500.0	33,400.0	31,500.0	△0.5
한국		**231.8**	**431.9**	**550.9**	**582.1**	**589.2**	**600.3**	**605.9**	**585.7**	**570.7**	**△0.4**
미국		4,803.0	5,073.8	5,352.1	4,928.6	4,838.5	4,761.3	4,910.0	4,744.5	4,285.9	△2.8
중국		2,088.9	3,097.4	7,890.6	9,135.2	9,127.9	9,334.9	9,712.8	9,876.5	N/A	2.0*
일본		1,051.8	1,147.5	1,132.2	1,153.5	1,141.8	1,128.8	1,090.0	1,056.2	1,024.1	△2.4
유럽	영국	549.4	520.6	476.6	394.0	373.6	359.9	353.9	342.2	306.3	△4.9
	독일	940.0	812.3	758.9	729.7	734.5	718.8	694.5	644.1	585.3	△4.3
	프랑스	345.4	364.7	340.1	304.9	307.5	311.5	300.6	293.9	258.2	△3.3
브라질		184.8	294.6	374.4	457.6	421.8	433.3	411.4	411.0	385.7	△3.4
호주		259.7	334.7	383.4	372.5	380.6	384.8	382.4	380.7	376.0	0.2

*중국의 경우 온실가스 배출량 통계가 2019년까지만 제공되어 CAGR 측정 기준이 4년
*출처 : IEA, Global CO_2 emissions review statistics by countries, 2021.

▎국내 이산화탄소(CO_2) 배출현황

□ **('20년 국내 CO_2 배출량, 온실가스 총배출량의 91.4%)** 2020년도 CO_2 총배출량(LULUCF 제외)은 599.8백만톤 CO_2eq.으로 국가 온실가스 총배출량의 91.4%를 차지하였으며, 1990년도 252.0백만톤 CO_2eq. 대비 138.0% 증가, **2019년 대비 6.8% 감소**

❍ LULUCF 분야를 포함한 2020년의 **CO_2 순배출량**은 561.6백만톤 CO_2eq.이며, 1990년 대비 162.9% 증가, **2019년 대비 7.3% 감소**

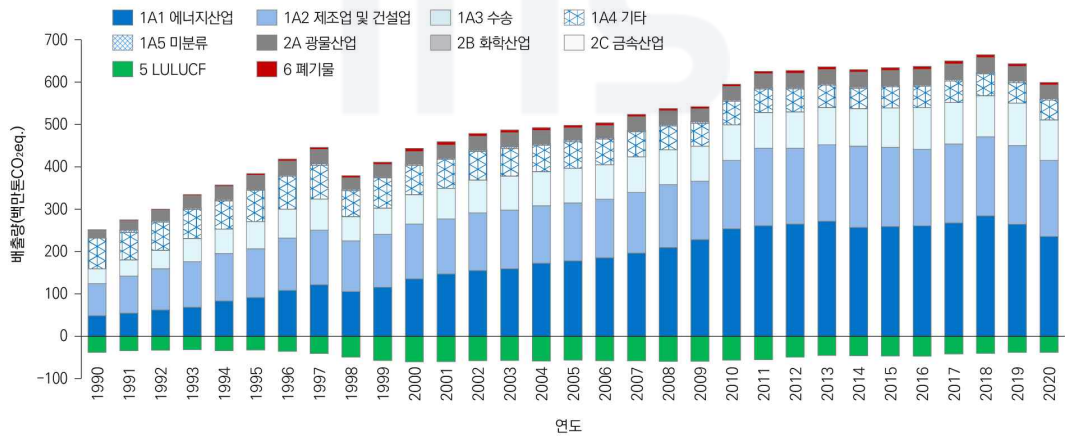
□ **(분야별 배출 추이)** 1990년 대비 2020년의 CO_2 배출량 증감률은 **폐기물 분야가 354.2% 증가**로 가장 높았으며, 이어서 에너지 분야와 산업공정 분야가 각각 142.2%, 71.5% 증가

❍ 2020년 분야별 CO_2 배출 비중(LULUCF 순흡수량 제외)은 **에너지 분야 93.5%, 산업공정 분야 5.4%, 폐기물 분야 1.1%**로 에너지 분야에서 대부분의 CO_2 배출

❍ 2020년 LULUCF 분야 CO_2 순배출량은 1990년 대비 0.4% 감소(전년 대비 0.5% 증가)

❍ 2020년 전년 대비 분야별 CO_2 증감률을 살펴보면 산업공정 분야와 에너지 분야의 CO_2 배출량이 8.0%, 6.9% 감소하고 폐기물 분야 CO_2 배출량은 2.5% 증가, LULUCF 분야 CO_2 순배출량은 0.5% 증가

▎분야별 CO_2 배출량 및 흡수량(1990-2020) ▎



*출처 : 환경부 온실가스종합정보센터, 2022 국가 온실가스 인벤토리 보고서, 2022. 12.

❍ 한국의 온실가스 배출량은 **전 세계 8위**

❍ 우리나라의 에너지집약도와 탄소집약도는 OECD 중 높은 수준

❍ 높은 에너지집약도는 **높은 제조업 비중**에 기인

❍ 우리나라와 달리 주요 G20국가는 온실가스 감축목표에 가까워진 상황으로, 온실가스 감축을 위한 대응책 마련 시급

8 CCU 산업•시장•기술 동향

□ CCU 시장은 아직 초기 형성 단계로 분석 기관마다 전망이 상이하나,
전반적으로 **2030~2040년대에는 크게 성장**할 것으로 평가

*CCU의 경우 시장에 대한 명확한 개념이 부재하여 조사기관마다 제품군의 범위가 상이하며, 국가별 온실가스 감축 정책, 타 산업군 등에 의존적이므로 현 단계에서는 정확한 시장전망에 한계가 있음

❍ GCI(Global CO_2 Initiative)는 2030년 기준 최대 8,370억 달러(시장규모) 및 72억 톤(CO_2 활용 규모)으로 예측하였으며, Lux Research에서는 2040년 기준 5,500억 달러 예측

〈표〉 CCU 시장규모 및 CO_2 활용규모 전망

분석 기관	발표 연도	달성 연도	시장규모(억 $)	CO_2활용 규모(억 톤)
GCI, ICEF	2016	2030	8,370(최대) 1,780(최소)	72(최대) 10(최소)
C2ES	2019	2030	11,570	103
Markets and Markets	2020	2025	35.4(CCUS 전체)	-
Lux Research	2021	2040	5,500	-
BCC Research	2022	2026	52(CCUS 전체)	-

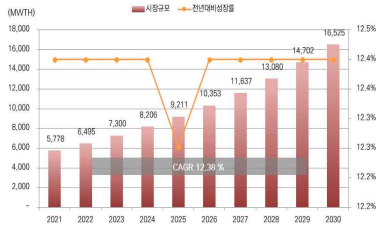
*출처 : GCI(2016), Global Roadmap for Implementing CO_2 Utilization
Markets and Markets(2020), CCUS Global Market Size
C2ES(2019), Carbon Utilization – A Vital and Effective Pathway for Decarbonization
Lux Research(2021), The Emergence of a Carbon Economy
BCC Research(2022), Carbon Capture, Utilization & Storage Technologies

❍ C2ES(Center For Climate and Energy Solutions)에서는 2030년 기준 11,570억 달러 및 103억 톤(CO_2 활용 규모)으로 예측하여 가장 낙관적으로 전망

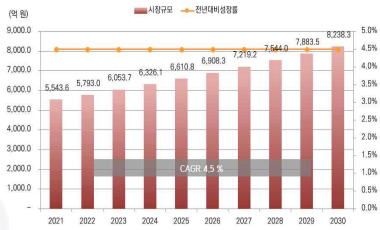
- 콘크리트, 화석연료, 건축골재, 해조류 기반 제품의 시장이 급격히 성장할 것으로 전망하였으며, 시장규모는 콘크리트(4,000억 달러)가 가장 크고 CO_2 감축량은 건축골재(36억 톤)가 가장 클 것으로 평가
- 반면, 고분자 및 산업용 케미컬 제품은 시장규모와 CO_2 감축량 모두 미미할 것으로 평가

국내외 중점기술별 시장 전망

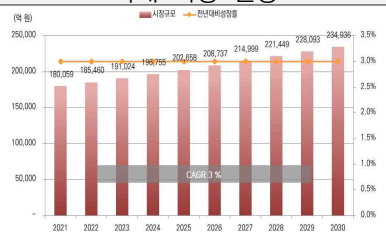
<table>
<tr><th>기술유형</th><th>중점기술</th><th colspan="2">시장 규모 변화 및 해결과제</th></tr>
<tr><td rowspan="6">화학적 전환</td><td rowspan="3">1
합성가스</td><td>해외 시장 전망</td><td>국내 시장 전망</td></tr>
<tr><td>

*출처 : QYResearch, Global Syngas Market Research Report 2020, 2021. 01.,</td><td> 

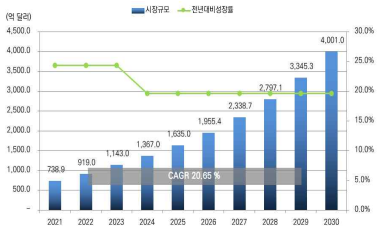
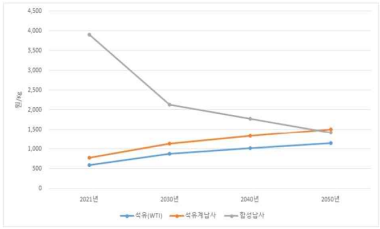
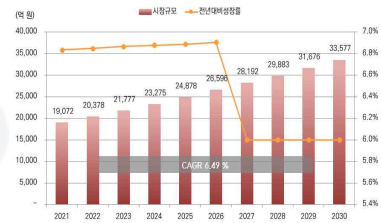
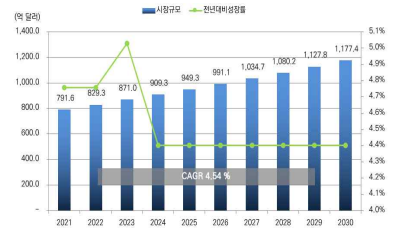
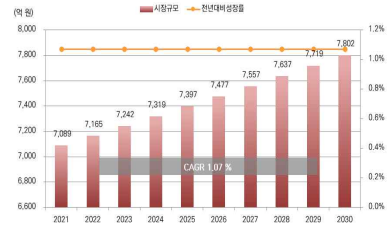
*출처 : Markets and Markets, Syngas& Derivatives Market Global Forecast to 2025, 2020.,</td></tr>
<tr><td>‘21년 508억 달러 → ‘30년 1,129.9억 달러(CAGR 9.29%)</td><td>‘21년 5,778MWTH → ‘30년 16,525MWTH(CAGR 12.38%)</td></tr>
<tr><td>문제점 및 해결 과제</td><td colspan="2">■ 유럽·북미를 중심으로 고효율 발전 및 고부가가치 합성가스 활용기술의 상용화
■ 국내 상용화 단계 미진
■ 향후에도 일산화탄소의 공급 부족 현상 지속</td></tr>
<tr><td rowspan="3">2
메탄올</td><td>해외 시장 전망</td><td>국내 시장 전망</td></tr>
<tr><td>

*출처 : Data Bridge, Global Methanol Market, 2023. 06.,</td><td> 

*출처 : Markets and Markets, Methanol Market Global Forecast to 2025,</td></tr>
<tr><td>‘21년 290.4억 달러 → ‘30년 444.3억 달러(CAGR 4.84%)</td><td>‘21년 5,543.6억 원 → ‘30년 8,238.3억 원(CAGR 4.5%)</td></tr>
<tr><td>문제점 및 해결과제</td><td colspan="2">■ 환경규제 강화로 국제해운사는 2040년까지 총배출량 70% 감축 목표
– 탄소배출 감축을 위한 친환경 연료로 청정메탄올이 유력한 후보
■ 국내 메탄올 연간 수요 200만톤(‘22) 전량 수입 의존</td></tr>
<tr><td rowspan="3">3
올레핀</td><td>해외 시장 전망</td><td>국내 시장 전망</td></tr>
<tr><td>

*출처 : Zion Market Research, Global Olefins Market, 2023. 04.,</td><td> 

*출처 : 한국화학연구원, 납사 대체원료(메탄올, 메탄, 합성가스)로 올레핀 제조기술 개발</td></tr>
<tr><td>‘21년 2,286.7억 달러 → ‘30년 3,483억 달러(CAGR 4.79%)</td><td>‘21년 18조 59억 원 → ‘30년 23조 4,936억 원(CAGR 3%)</td></tr>
<tr><td>문제점 및 해결과제</td><td colspan="2">■ 고유가로 올레핀 생산을 위한 원가 압박 심화
■ 석탄, 천연가스, 바이오매스와 같은 대체원료를 사용하는 공정개발 필요
■ 국내, CCU 화학적 전환기술을 활용한 올레핀 개발 기술은 TRL 2~3 수준</td></tr>
</table>

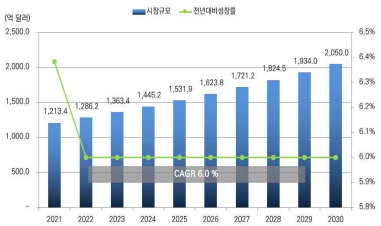
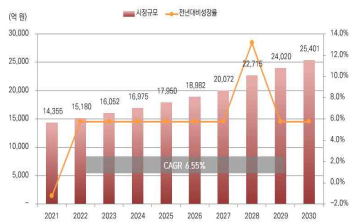
<table>
<tr><th>기술유형</th><th>중점기술</th><th colspan="2">시장 규모 변화 및 해결과제</th></tr>
<tr><td rowspan="4"></td><td rowspan="4">4
e-Fuel</td><td>해외 시장 전망</td><td>국내 시장 전망</td></tr>
<tr><td> 
*출처 : Cognitive Market Research, eFuel Market Report 2023, 2023. 10.,</td><td> 
* 출처 : e-fuel 연구회, “재생합성연료(e-Fuel) 연구보고서”, ‘22.01.</td></tr>
<tr><td>‘21년 738.9억 달러 → ‘30년 4,001억 달러(CAGR 20.65%)</td><td>상용화 시 $0.94/L 수준 예상</td></tr>
<tr><td>문제점 및 해결과제</td><td colspan="2">■ 각국 정부 차원의 e-Fuel 활용 촉진 정책 및 인센티브, 기술투자 장려
■ EU, ‘35년부터 휘발유·경유 사용 내연기관 신차 판매 금지(e-Fuel 연료 제외)
■ 국내, 상용화 사례 부재
■ 기술개발 방향과 생산비용 절감 방안에 대한 논의 필요
- (국내 e-Fuel 생산가격) 상용화 시 $0.94/L 수준 예상</td></tr>
<tr><td rowspan="4">화학적 전환</td><td rowspan="4">5
폴리머</td><td>해외 시장 전망</td><td>국내 시장 전망</td></tr>
<tr><td>
*출처 : Precedence Research, Polymers Market, 2023. 08.</td><td>[국내 플라스틱 재활용 시장규모 현황 및 전망]
 
*출처 : PwC, 2022.,</td></tr>
<tr><td>‘21년 6,781.2억 달러 → ‘30년 1조 917.9억 달러(CAGR 5.43%)</td><td>‘21년 1조 9,072억 원 → ‘30년 3조 3,577억 달러(CAGR 6.49%)</td></tr>
<tr><td>해외 시장 전망</td><td>국내 시장 전망</td></tr>
<tr><td>[세계 폴리우레탄 시장규모 현황 및 전망]
 
*출처 : Fortune Business Insights, Polyurethane(PU) Market, 2023. 07.,</td><td>[국내 폴리우레탄 시장규모 현황 및 전망]
 
*출처 : 통계청 국가통계포털, NICE디앤비,</td></tr>
<tr><td>21년 791.6억 달러 → ‘30년 1,177.4억 달러(CAGR 4.54%)</td><td>21년 7,089억 원 → ‘30년 7,802억 원(CAGR 1.07%)</td></tr>
</table>

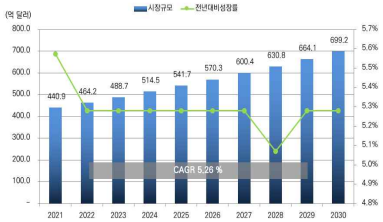
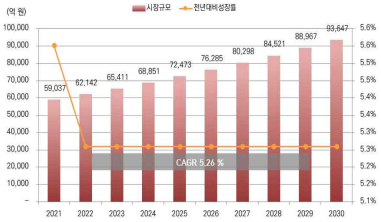
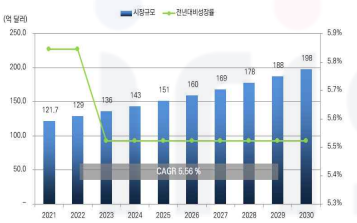
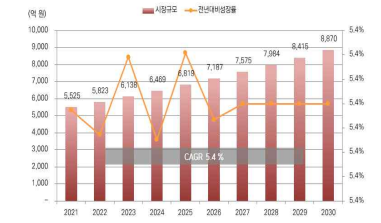
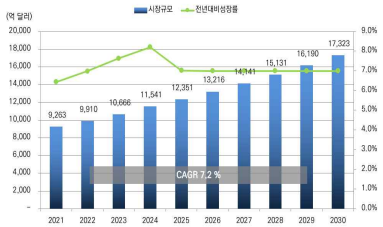
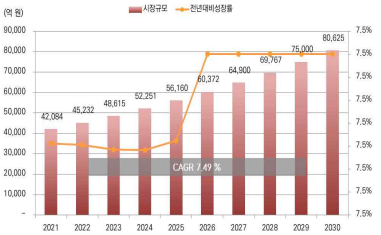
<table>
<tr><th>기술유형</th><th>중점기술</th><th colspan="3">시장 규모 변화 및 해결과제</th></tr>
<tr><td rowspan="6">생물학적 전환</td><td rowspan="3">6
바이오소재 · 연료</td><td colspan="2">해외 시장 전망</td><td>국내 시장 전망</td></tr>
<tr><td colspan="2">[세계 바이오연료 시장규모 현황 및 전망]

*출처 : Precedence Research, Biofuels Market 2020 to 2030, 2022. 01.,
'21년 1,099.6억 달러 → '30년 2,253.7억 달러(CAGR 8.3%)</td><td>[국내 바이오연료 시장규모 현황 및 전망]

*출처 : Precedence Research, Biofuels Market 2020 to 2030, 2022. 01.,
21년 1조 4,874억 원 → '30년 3조 494억 원(CAGR 8.3%)</td></tr>
<tr><td>문제점 및 해결과제</td><td colspan="2">■ 글로벌, 바이오연료 수요 지속 확대
■ 국내 바이오연료 생산 기술 최고기술 보유국(미국) 대비 83.5%(4.5년)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">바이오소재 · 연료</td><td colspan="2">해외 시장 전망</td><td>국내 시장 전망</td></tr>
<tr><td colspan="2">[세계 바이오소재 시장규모 현황 및 전망]

* 출처 : REPORTSINSIGHTS CONSULTING, Biomaterials Market: Size, Growth Analysis, and Forecast 2023-2030, 2023.03.29.,
'21년 1,208억 달러 → '30년 3,900억 달러(CAGR 13.9%)</td><td>[국내 바이오소재 시장규모 현황 및 전망]

* 출처 : 한국농촌경제연구원, 농업전망 2023 2부, 2023.01.18.
'21년 5조 4,151억 원 → '30년 13조 4억 원(CAGR 10.5%)</td></tr>
<tr><td>문제점 및 해결과제</td><td colspan="2">■ 국내, 바이오 핵심소재 개발 기술, 품질관리 노하우 등 취약
■ 해외 네트워크 부족, 산업 기반 조성 필요</td></tr>
<tr><td rowspan="3">7
바이오매스</td><td colspan="2">해외 시장 전망</td><td>국내 시장 전망</td></tr>
<tr><td colspan="2"> 
*출처 : Grand View Research, Global Biomass Power Market, 2022.,
21년 1,213.4억 달러 → '30년 2,050억 달러(CAGR 6%)</td><td> 
* 출처: 중소기업은행, "2050 탄소중립 달성 및 지속 가능한 에너지믹스 바이오매스 복합발전 기술·산업 동향", 2023.07.17.
21년 1조 4,355억 원 → '30년 2조 5,401억 원(CAGR 6.55%)</td></tr>
<tr><td>문제점 및 해결과제</td><td colspan="2">■ 원유가격 상승 등으로 대체 원료로 생물자원 활용 유용 바이오소재 생산 각광
■ 국내, 바이오에너지 생산에 활용 가능한 바이오매스 자원 없음
■ 에너지화 할 수 있는 바이오매스 원료 및 기술개발 중요</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th>기술유형</th><th>중점기술</th><th colspan="2">시장 규모 변화 및 해결과제</th></tr>
<tr><td rowspan="10">광물
탄산화</td><td rowspan="4">8 고순도
무기탄산염</td><td>해외 시장 전망</td><td>국내 시장 전망</td></tr>
<tr><td>[세계 탄산칼슘 시장규모 현황 및 전망]
 
*출처 : SkyQuest, Global Calcium Carbonate Market By type, By end use & By region-Forecast Analysis 2022-2028, 2022. 10.,</td><td>[국내 탄산칼슘 시장규모 현황 및 전망]
 
*출처 : SkyQuest, Global Calcium Carbonate Market By type, By end use & By region-Forecast Analysis 2022-2028, 2022. 10.,</td></tr>
<tr><td>‘21년 440.9억 달러 → ‘30년 699.2억 달러(CAGR 5.26%)</td><td>‘21년 59,037억 원 → ‘30년 93,647억 원(CAGR 5.26%)</td></tr>
<tr><td>문제점 및 해결과제</td><td colspan="2">■ 접착제 및 밀봉제, 동물 및 애완동물 사료, 건축, 비료, 유리 및 세라믹, 페인트, 표면 코팅, 종이 필러 및 코팅 안료, 플라스틱, 고무, 엘라스토머 산업 전반에 걸쳐 수요가 지속 증가
■ 국내 탄산칼슘 시장규모 연간 약 1억 톤(세계시장의 1%)</td></tr>
<tr><td rowspan="4">9 대체
시멘트 및
건설소재</td><td>해외 시장 전망</td><td>국내 시장 전망</td></tr>
<tr><td>[세계 광물 탄산화 시장규모 현황 및 전망]
 
*출처 : Stringent Datalytics, Global Carbonate Minerals Market, 2023.05.27.</td><td>[국내 광물 탄산화 시장규모 현황 및 전망]
 
* 출처 : Calcium Carbonate Market Size, Share & Trends Analysis Report By Application (Paper, Plastics, Paints & Coatings, Adhesives & Sealants), By Region, And Segment Forecasts, 2022 - 2030 (Grand View Research, 2021)</td></tr>
<tr><td>‘21년 121억 7천만 달러 → ‘30년 198억 달러(CAGR 5.56%)</td><td>‘21년 5,525억 원 → ‘30년 8,870억 원(CAGR 5.4%)</td></tr>
<tr><td>문제점 및 해결과제</td><td colspan="2">■ In-situ 탄산화 기술을 통해 생산되는 시멘트는 친환경 저탄소 제품
■ 국내, 기초연구·파일럿 실험 수준, 시장진입 단계 어려움</td></tr>
<tr><td rowspan="4">9 대체
시멘트 및
건설소재</td><td>해외 시장 전망</td><td>국내 시장 전망</td></tr>
<tr><td>[세계 시멘트 시장규모 현황 및 전망]
 
*출처 : TechNavio(2020), NICE디앤비,</td><td>[국내 시멘트 시장규모 현황 및 전망]
 
*출처 : 통계청(2021), NICE평가정보㈜,</td></tr>
<tr><td>‘21년 9,263억 달러 규모 → ‘30년 17,323억 달러(CAGR 7.2%)</td><td>‘21년 42,084억 원 → ‘30년 80,625억 원 규모(CAGR 7.5%)</td></tr>
<tr><td>문제점 및 해결과제</td><td colspan="2">■ 미국, 유럽 및 일본 등에서 탄소중립 시멘트·콘크리트의 개발 및 상용화 실적이 있으나, 초기 단계로 대량 상용화 실적은 미흡</td></tr>
</table>

주요국 CCU R&D 동향

〈표〉 국내외 CCUS R&D 전략 및 프로그램

국가	R&D 전략 및 프로그램	내용
미국	DOE CCUS R&D 프로그램(2020)	• 기초 R&D, 대규모 실증 프로젝트를 통해 **상업적 규모의 CO_2** 감축 기술 개발에 초점
EU	EU 7th Framework(2007)	• CO_2 포집·저장기술 상용화를 위한 대규모 실증사업에 **2020년까지 60억불 지원**
	European Green Deal(2019)	• CO_2 포집·저장·활용 기술 상용화 등을 통해 유럽대륙의 **2050년 탄소배출 제로화**가 목표
	Innovation Fund(2021)	• EU ETS 수익금의 일부를 CO_2 **포집·저장기술의 개발과 실증** 사업 등에 투자
영국	The Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution(2020)	• 2030년까지 CCU 등의 분야에 **120억 파운드** 투자
노르웨이	CO_2 포집·저장 기술을 국가 전략기술로 지정(2012)	• 2022년까지 약 4,600만 달러를 CCS 사업의 실행 가능성 연구에 투자
일본	혁신적 환경 이노베이션 전략(2020)	• 2050년까지 온실가스 80% 감축을 위한 CCUS 및 탄소자원화 등 기술개발 전략 제시
	2050 탄소중립에 따른 녹색 성장 전략(2020)	• 탄소재활용 산업 등 온실가스 감축과 **미래 성장이 기대**되는 14개 중요 산업의 실행계획 발표
	탄소 재활용 로드맵(2019)	• CO_2를 재활용하는 기술혁신 전략 발표
중국	탄소자원화 기술로드맵	• 2030년까지의 탄소자원화 단계별 기술개발 세부 실행계획 제시
대한민국	탄소중립 기술혁신 추진전략(2021)	• CCUS 혁신소재·대형화 개발 및 실증을 통해 '30년 포집 가격경쟁력 30$/톤 달성 목표 제시
	2050 탄소중립 실현을 위한 탄소중립 연구개발 투자전략(2021)	• CCUS를 포집, 저장, 활용으로 구분하여 단기~장기 단계별 전략 제시
	이산화탄소 포집·활용(CCU) 기술혁신 로드맵(2021)	• CCU 기술 혁신을 통한 탄소중립 실현과 신산업 창출을 위해 CCU 세부 분야별 중점기술을 선정하여 단·중·장기의 마일스톤과 전략 제시

9 국내 CCU 기술동향

▌국내 CCU 기술 수준

□ **(국가별 기술수준)** 최고기술 보유국은 미국과 EU로 나타났으며, **한국의 기술 수준은 80% 수준**으로 중국보다는 앞서며 일본보다는 열세인 상황

❍ 최근 CCU 기술수준 및 격차를 조사한 4개 기관의 보고서*를 살펴보면, 최고 기술 보유국은 미국과 EU인 것으로 확인

* 한국에너지기술연구원(KIER, 2021), CCUS 심층 투자 보고서

* 녹색기술센터(GTC, 2020), 2020 기후기술 수준조사

* 한국에너지기술평가원(KETEP, 2020), 에너지산업 생태계 조사 및 기술수준 조사 분석

* 공주대학교(2019), 대규모 CCS 통합실증 및 CCU 상용화 기반 구축 공동기획연구 보고서

❍ 한국은 최고기술 **보유국 대비 기술수준은 78.0~80.9%, 기술격차는 2.5~3.8년**으로 중국보다는 앞서며 일본보다는 뒤처지는 것으로 확인

〈표〉 국가별 CCU 기술수준 및 기술격차

조사기관 (기준연도)	한국		미국		EU		중국		일본	
	수준	격차	수준	격차	수준	격차	수준	격차	수준	격차
KIER(2021)	78.0%	3.8년	99.0%	0.0년	100.0%	0.0년	71.6%	4.2년	81.8%	2.4년
GTC(2020)	78.0%	3.0년	100%	0.0년	95.0%	1.0년	80.0%	3.0년	85.0%	3.0년
KETEP(2020)	80.6%	3.4년	100%	0.0년	99.0%	0.6년	74.5%	4.2년	96.9%	0.4년
공주대(2019)	80.9%	2.5년	100%	0.0년	99.5%	0.6년	-	-	90.9%	1.6년

▌국내 주요 CCU 기술개발 현황

분류	주체	개발 현황
화학적 전환	한국화학연구원	CO_2 나프타 전환 촉매 개발(일 5kg 전환)
	KIST	광화학반응을 이용한 포름산 전환 기술 개발, 광전환율 2.7% 달성
	대우건설	광물과 CO_2를 직접반응 시키는 직접탄산화를 통해 파일럿 규모의 건설자재 생산설비(40톤/일) 구축
	파텍	CO_2 수소화 포름산 제조 파일럿(100kg/일) 설비 구축 중
	포스코	부생가스에서 포집한 CO_2를 열원으로 전환하여 사용하는 사업 실증 돌입, 연 32만톤 절감 목표
생물학적 전환	한국에너지기술연구원	자색황비세균 활용 바이오연료 및 이소프렌 생산 기술 개발
	지역난방공사	판교지사에 100L 규모 반응기 모듈화, 아스타잔틴 생산

10 정부 R&D 투자 동향

구분	연구개발비(2018년 ~ 2022년)
총 집행현황	• (총 사업비) '18~'22년(5년) CCU R&D과제 총 17,327건(9조 4309억원) 투자 - 2018년(1조1760억) → 2022년(2조6282억) 연평균 22.27% 증가

부처별 연구개발 현황 (억 원)

부처	연구개발 추진현황(건, 사업비, %)	비율
과기정통부	287건(1302억)	48.6%
산업부	109건(2177억)	18.4%
교육부	109건(44억)	18.4%
다부처	28건(190억)	4.7%
중기부	23건(234억)	3.9%
기재부	19건(286억)	13.2%
합계	**591건(4,335억)**	**100.0**

연구수행 주체별 (억 원)

구분	2018	2019	2020	2021	2022	연구비 (억 원)	비율 (%)
출연연	164	182	206	390	345	1288	29.7%
대기업		25	381	373	642	1079	24.9%
중소기업	54	82	142	295	322	896	20.7%
기타	84	47	63	127	175	499	11.5%
대학	80	91	73	93	80	419	9.7%
중견기업	47	46	3	11	35	143	3.3%
정부부처					5	5817	0.1%
국공립연					1	1	0.0%
총합계	**11,760**	**13,146**	**18,229**	**24,889**	**26,282**	**94,309**	**100.0%**

연도별 연구개발단계 (억 원)

구분	2018	2019	2020	2021	2022	총합계
개발연구	155	272	318	819	1064	2629
기초연구	120	117	99	126	152	615
응용연구	137	81	106	291	284	901
기타	17	0.3	5	54	107	189
총합계	**430**	**474**	**528**	**1,292**	**1,609**	**4,335**

11 사업 추진 목표 및 전략

CCU 기술혁신을 통한 탄소중립 실현 및 新산업 창출

전략 목표	정부 NDC 감축목표 기여	플래그십 프로젝트 성공사례 확산	민간 주도 조기상용화 전략기술 개발 및 제품화
	('30년) 73.2만톤/년 감축	('30년)실증 4건/상용화 65건	('30년) 제품화 38건

성과 목표	1단계('25년~'27년)	2단계('28년~'30년)
	CCU 통합공정 최적 상용 공정 개발	CO_2 감축 실증 기술의 규모 격상과 전후방 산업으로 공유·확산

세부 기술	기술유형	중점기술	세부과제
	화학전환	합성가스	①온실가스 감축 극대화 합성가스 생산 기술 ②미활용 CO_2 활용 합성가스 생산 기술
		메탄올	③CO_2 활용에 의한 메탄올 생산 기술
		올레핀	④정유 공정 배가스 CO_2 활용 기초유분 생산 기술
		e-Fuel	⑤합성연료(휘발유, 경유) 생산 기술 ⑥e-SAF 제조 상용공정 기술
		폴리머	⑦CO_2 활용 폴리우레탄 생산 기술 ⑧CO_2 활용 폴리카보네이트 생산 기술
	생물전환	바이오소재·연료	⑨미세조류 기반 발전소 배출 CO_2 감축 · 활용 기술
		바이오매스	⑩미세조류 기반 발효 배가스 내 CO_2 감축 · 활용 기술
	광물탄산화	고순도 무기탄산염	⑪석고 활용 탄산칼슘 생산 및 활용 기술 ⑫해수담수화 농축수 활용 고순도 무기탄산염 생산·활용 기술
		대체 시멘트 및 건설소재	⑬in-situ 탄산화기술 활용 CO_2 감축 · 활용 기술 ⑭CO_2 반응경화 시멘트 및 건설 2차제품 생산 및 활용 기술 ⑮제철 슬래그 활용 CO_2 저감 건설소재 생산 및 활용 기술

사업 구성	내역사업[국고/민자]	주요내용
	남부권 (석유화학/철강) [2,280억/1,370억]	- 개요 : 석유·정유·철강 산업 맞춤형 핵심 CCU 기술을 CO_2 대량 배출기업 밀집 지역으로 확산하여 감축 효과 극대화 - 생산물 : 합성가스, 올레핀, e-Fuel, 고순도 무기탄산염
	서부권 (화력발전소) [1,530억/840억]	- 개요 : 발전소 적용 탄소저감형 미세조류 광생물 반응기 대규모 실증기반 구축 및 해수 담수화 공정 기반 CO_2 광물 탄산화 - 생산물 : 폴리머, 바이오소재·연료, 바이오매스, 고순도 무기탄산염
	중부권 (시멘트) [990억/330억]	- 개요 : 지역 시멘트 산업 등과 연계한 CCU 광물 탄산화 건설제품 (시멘트, 콘크리트, 레미콘 등) 생산 통합 패키지 개발 및 확산 - 생산물 : 대체 시멘트 및 건설소재
	동남권 (철강/석유화학) [500억/400억]	- 개요 : 지역 내 철강·석유화학·조선·항만 산업 연계 청정 메탄올(연료) 생산-활용 기술 개발 - 생산물 : 메탄올, 대체 시멘트 및 건설소재
	※ 기평비[187.6억/-]	추진위원회·자문위원회·권역별 연구단 운영 비용 / 총사업비는 기평비 포함 예산

▌사업 추진 성과 목표

□ **(권역별)** 남부권, 서부권, 중부권, 동남권 **중점기술 9종**

권역	중점기술	핵심산업	최종 성과물	CO_2 감축량 (톤/년)
남부권	합성가스	석유화학, 철강	합성가스, 일산화탄소	230,000
	올레핀	정유	기초유분	131,200
	e-Fuel	석유화학	합성연료(e-Fuel), e-SAF	100,000
	고순도 무기탄산염	해수 담수화	황산암모늄, 탄산칼슘	10,000
서부권	폴리머	석유화학	폴리우레탄 / 폴리카보네이트	100,000
	바이오소재·연료	발전, 화학소재	플라스틱	10,000
	바이오매스	바이오, 아미노산	바이오매스/사료/아미노산	5,000
	고순도 무기탄산염	광물탄산화	CO_2 전환 마그네슘 탄산염	10,000
동남권	메탄올	철강	메탄올	5,500
	대체 시멘트 및 건설소재	철강	CO_2 광물화 건설소재	100,000
중부권	대체 시멘트 및 건설소재	시멘트	CO_2 반응경화 시멘트 등	30,510

□ **(기술 유형별)** 화학전환 제품 8종, 생물전환 제품 2종, 광물화 제품 5종 등 **총 15종 제품 생산** ('30년 기준)

기술유형	산업분야	중점기술	최종 성과물	CO_2 감축량 (톤/년)
화학적 전환 (8종)	석유화학	합성가스	합성가스	30,000
		e-Fuel	합성연료(e-Fuel)	50,000
			e-SAF	50,000
		폴리머	폴리우레탄	50,000
			폴리카보네이트	50,000
	철강	합성가스	합성가스(CO)	200,000
		메탄올	메탄올	5,500
	정유	올레핀	기초유분	131,200
생물전환 (2종)	발전	바이오소재·연료	플라스틱	10,000
	바이오	바이오매스	바이오매스(사료)	5,000
광물 탄산화 (5종)	비료화학	고순도 무기탄산염	황산암모늄(탄산칼슘)	10,000
	해수담수화		CO_2 전환 마그네슘 탄산염	10,000
	시멘트	대체 시멘트 및 건설소재	콘크리트 2차제품	13,885
			CO_2 반응경화 시멘트	16,625
	철강		CO_2 광물화 건설소재	100,000

기술개발 로드맵

□ 본 사업은 플래그십 프로젝트 권역별 多배출 핵심산업 연계 CCU 중점 기술개발을 통해 ① **공정개발 단계, ②기술격상 단계, ③기술 확산 및 제품화 단계**로 사업 추진

〈표〉 기술 개발 로드맵

공정 개발 | 기술 격상 | 제품화, 확산

단계별 목표		1단계			2단계			최종 목표
		상용 공정 개발			기술 격상, 확산			철강-석유화학-정유 벨류체인 구성
중점 연구 영역		2025	2026	2027	2028	2029	2030	기술별 개발 목표
남부권	온실가스 감축 극대화 합성가스 생산 기술							다양한 환원제를 활용해 CO_2 100톤/일을 감축하는 스케일업 공정 개발
	미활용 CO_2 활용 합성가스 생산 기술							제철 공정에 특화된 Net CO_2 저감 가능 CCU 상용 기술 개발
	정유 공정 배가스 CO_2 활용 기초유분 생산 기술							CO_2직접전환 기초유분생산 기술 Demo Scale 실증
	합성연료(휘발유, 경유) 생산 기술							CO_2 전환 합성연료 생산 실증 기술 개발
	e-SAF 제조 상용공정 기술							재생 전력 기반 지속가능 항공유 제조 실증 기술 개발
	석고 활용 탄산칼슘 생산 및 활용 기술							상용화 규모 기술개발을 통한 대량의 CO_2 저감. 경제성 확보
서부권	CO_2 활용 폴리우레탄 생산 기술							이산화탄소 함유 폴리올, 이소시아네이트 제조 기술 실증화
	CO_2 활용 폴리카보네이트 생산 기술							이산화탄소 함유 폴리카보네이트 제조 기술 개발 및 상용화 기반 확보
	미세조류 기반 발전소 배출 CO_2 감축 · 활용							미세조류 기반 컴팩트 CCU 모듈 (2,000 m^3 규모의 공정 모듈) 확보
	미세조류 기반 발효 배가스 내 CO_2 감축 · 활용 기술							아미노산 생산 발효 배기가스 내 CO_2 저감 균주/공정 개발
	해수담수화 농축수 활용 고순도 무기탄산염 생산							해수담수화 공정 중 발생하는 농축수를 이용한 CO_2 광물 전환 실증
중부권	in-situ 탄산화 기술 활용 CO_2 감축·활용 기술							레미탈, 레미콘 및 콘크리트 2차제품 제조 배합물의 단위 시멘트량 5% 이상 감축
	CO_2 반응경화 시멘트 및 건설 2차제품 생산 활용							Pilot plant scale 생산설비를 활용한 대량생산 실증(800톤/일급 소성킬른활용)
동남권	제철 슬래그 활용 CO_2 저감 건설소재 생산 활용							제철 슬래그 활용 연 10만톤의 CO_2 저감 기술 실증
	CO_2 활용에 의한 메탄올 생산 기술							부생가스의 CO/CO_2 활용 메탄올 전환 공정 실증 및 적용 기술 확보
플랫폼	감축 기여도 평가 (방법론, Tool, 플랫폼)							국가 인벤토리 집계 반영 산정 방법론 개발
	사업 감축량 평가 검증							4대권역 9개 중점기술 15개 추진사업의 사업감축량 평가 검증

▌사업기간 및 총사업비

□ 본 사업은 **‘25년부터 ‘30년까지 총 6년 간, 총 사업비 8,487.6억원(국고: 5,547.6, 민자: 2,940)을** 조성하여 운영

❍ 총 5,547.6억 원(정부출연금), 민간자금 2,940억원으로 구성

〈표〉 전체 사업비 투입 규모

권역	연구비(억 원)		
	국고	민자	합계
남부권	2,280	1,370	3,650
서부권	1,530	840	2,370
중부권	990	330	1,320
동남권	500	400	900
감축량 평가 플랫폼	60	-	60
기획평가관리비	187.6	-	187.6
합계	**5,491(65%)**	**2,940(35%)**	**8,487.6**

〈표〉 세부 기술별 사업비 투입 규모(기획평가관리비 제외)

No	유형	전략과제	적용 산업	연구비 소계(억원)		
				국고	민자	소계
서부권	화학	폴리머	석유화학(폴리우레탄)	155	155	310
			석유화학(폴리카보네이트)	155	155	310
	생물	바이오소재·연료	발전 산업 / 플라스틱 산업	500	195	695
		바이오매스	바이오 발효 산업	220	85	305
	광물	고순도 무기탄산염	해수담수화, 발전, 마그네슘	500	250	750
남부권	화학	합성가스	석유화학	800	400	1,200
			철강산업, 화학	560	240	800
		올레핀	석유화학산업	150	50	200
		e-Fuel	합성연료, 탄소중립 모빌리티	250	250	500
			친환경 항공유(e-SAF)	250	250	500
	광물	고순도 무기탄산염	비료화학, 시멘트	270	180	450
동남권	화학	메탄올	철강, 석유화학	200	200	400
	광물	대체 시멘트 및 건설소재	철강, 건설	300	200	500
중부권	광물		레미콘/콘크리트 2차제품	990	330	1,320
플랫폼	방법론	감축기여도 평가 방법론	감축량 펴가 플랫폼	60	-	60

▌사업추진체계

□ 사업의 특성(지역 핵심 산업 연계 사업)을 감안하여, 분야 간 연계·협력 및 민간 중심의 사업 수행 강화를 위해 전담관리기관(한국연구재단)는 전체 프로젝트 총괄업무를 전담

▌추진 주체별 역할 및 기능▐

주체	역할 및 기능
(주관부처) 과학기술정보통신부	• 사업의 추진과 관련된 정책 결정 및 사업기획 • 연차별 사업 시행계획 및 사업 간 투자우선순위 결정 • 기술 확산 및 정책 활용성 검토 등
한국연구재단	• 연구단 기획·평가·운영위원회 구성·운영 • 연구단 진도 및 실적 점검 • 연구단 및 중점, 세부과제 선정·단계·최종평가 등
4대 권역별 연구단	• 2030 NDC 달성을 위하여 실증설비 가동 및 연간 탄소감축량 73.2만톤 달성 • 과제 진도 및 연구개발 성과에 대한 연차별 검증 이행 • CCU 세부기술 상용화를 위하여 시제품 17건 이상 달성 • 사업화 지원, 기술이전, 정부 공공조달 우선구매 제도 연계 등 성과 확산을 위한 전략적 프로그램 수행
감축량 평가 플랫폼	• CCU를 통한 감축량 국가 인벤토리 연계 방안 마련 • 국가 감축기여도 평가 방법론 개발 및 플랫폼 구축 • 권역별 사업감축량 평가 검증

경쟁여건 분석에 따른 대응 전략(SWOT)

SWOT 분석				대응 전략
산업 분석	+ 주요국 전략·규제 이슈	+ 기업 수요조사	▶	
국내외 CCU 관련 동향분석	산업·기술·제도 활성화 전략	참여·투자 요인 분석		글로벌 기술·시장 선점을 위한 CCU 기술의 전략적 투자 방안

S	축적된 노하우·기술 보유	W	파편적 R&D, 상용화 성공사례 부재
	•우리 정부의 강력한 추진 의지 •탄소중립 목적 기술확보에 대해 국민적 공감대 형성 •20여 년간 축적된 CCU 연구경험과 노하우·요소기술 다수 보유 •로드맵 기반 핵심기술과 전략 제품 설정 완료		•파편적 R&D 과제 지원으로 핵심기술의 성공적 CCU 기술 상용화 사례 취약 •낮은 기술성숙도와 비용·리크스가 커 기업의 자발적 참여 부족 •CCU 공급기업 대부분 수요기업 사용환경과 맞지 않아 사용에 한계 •CCU 유관 제도기반 마련 미흡
	•탄소중립 이슈로 급격한 시장 확대 •전 세계적인 무탄소 에너지 활용 확대 •글로벌 시장 전환(친환경. 디지털 등)으로 신기술 확보시 세계시장 선점 가능		•온실가스 감축 의무 이행 압박과 2030 NDC 달성 시점 임박 •국제사회 규제(CBAM, IRA 등)로 기업의 경제적 부담 가중 •주요국(일본·중국)등 공격적 기술확보 추세로 기술 격차 정체(기술경쟁 치열)
O	강한 정부의지, 국민적 공감대	T	기업 경쟁력·제도기반 부족

SO 전략	전략적 CCU 기술 개발	WO 전략	상용화 중심 Scale-Up	ST 전략	수요 기반 국가 지원	WT 전략	역량 결집 제도적 기반
	•CCU시장·기술의 글로벌 경쟁력 확보·보급을 위한 산학연 공동기술 개발과 활용 역량 결집 R&D 마련 •기 확보된 CCU 기술의 전후방기업 연계 중심 R&D 추진 •기술혁신로드맵 중심 전략제품과 기술개발		•시장 경쟁력 있는 CCU 제품의 상용화 R&D 집중 •기 연구성과의 사업화 연계 실증 기술개발 설계 •CCU 개발 성과 현장 적용 제고를 위한 Scale-up 전략 추진		•축적된 CCU 지식·기술 기반 CCU 생산기술 업그레이드 방안 마련 •기업 수요 기반 추진으로 CCU 핵심기술 산업 활용 확대 •CCU 핵심기술 확보 및 상용화에 대한 국가 차원 지원 활성화		•CCU제품 상용화 통합실증 기반 마련 •기술개발 역량 및 투자 여력 부족한 CCU 기업의 지원 체계 확립 •객관적 감축효과 평가·인증 방법론 확립 •CCU 제품의 현실 적용 제고를 위한 규제개선 및 판매 촉진 제도 연계

우리의 전략적 선택(문제/이슈)

	문제의식과 이슈
산업 시장	**탄소중립 선도, 기후테크 산업 생태계 구축 요구** •CCU 시장은 잠재력이 높은 경제적 탄소중립 수단 인식 •국내 산업은 제조업 중심으로 탄소중립 대응에 애로 –탄소국경세(CBAM, IRA 등)로 국내 기업은 내연기관차 규제, 온실가스 배출권 거래제 확대 등 탄소중립이 경제적 부담 가중 •탄소중립 대응을 위한 친환경 기술투자 부재 시 실물경제에 부정적 파급효과 발생 (한국은행, `21.10.28)
정책	**한국 경제, 탄소중립 VS 경제성장 기로** •해외 주요국, 기후변화 대응과 탄소중립 규제 적극 대응 •국내 기업은 CCU 기술개발 필요성에도 기술력과 R&D투자 한계 (수요조사 결과, `23) •CCU 기술 '30년 640만톤 감축 목표 설정으로 동 사업 미 시행 시 목표 달성 어려움 •에너지 산업의 지속 가능한 성장을 뒷받침할 수 있는 정부 투자 지원과 민간의 주도적 역할 강화 필요
기술	**CCU, 탄소중립 게임 체인저 기술** •영국, 미국, EU등 CCU 투자 확대, 국내는 구체적 기술확보 전략 및 R&D 투자 부족 •CCU는 기술적 난이도가 높고 개발 리스크가 큰 기술 •주요국은 제품 상용화 단계로 글로벌 기업에 경쟁하기 위한 국내 기업 기술경쟁력 확보 시급 •규제 대응 및 자원 효율성 등 정부 주도 CCU 기술개발 필요
기업	**탄소중립 실현과 미래 기후변화 산업 주도권 확보를 위한 지원 확대** •CCU 기술은 시장 진입 성공 상용화 사례 부재 •경제성 확보를 위한 실증은 비용과 리스크가 커 시장 메커니즘을 통해 해결 불가 •주 원료 고순도 CO_2 공급부족 현상 반복 등 인프라적 한계

문제 이슈 → **대응 전략**

CCU 기술의 현장적용, 기술고도화 및 통합실증 추진

선제적 기술 주도 | 산업간 밸류체인 | 산업 경쟁력 확보

多배출 핵심 산업	중점기술	감축 효과 평가·인증	新산업 창출
석유화학 정유, 철강 발전, 시멘트	합성가스 등 9개 중점 기술	온실가스 감축량 국가 인벤토리 집계·반영	전후방 산업 공유·확산

남부권	공정 개발	평가 방법론	성공 사례
서부권	→ 기술 격상	→ 기여도 평가툴	→ 공유·확산
중부권		가이드 라인	
동남권	기술 확산	표준 DB	산업 주도

기대 효과

정책적 기대효과
- 탄소 중립 정책 실현
- 국제 합의준수
- 新산업 육성
- 에너지 정책 기반 견고화

기술적 기대효과
- CFE 활용 확대 흐름 동참
- 핵심기술 자립
- 국제협력 기반 국제감축 기여

무탄소 에너지(CFE) 전환을 위한 CCU 기술개발 사업 논리모형

1. 이슈 / 문제 (개발 필요성)	
배 경 요 인	• **CCU, 탄소중립실현 핵심기반기술** ① 탄소중립을 실현을 위해 배출된 이산화탄소를 흡수·처리해야 하며, ➜ 이를 위한 수단으로 **CCU 기술도입 필요성** 대두 ② 국내 **높은 제조업 비중**과 수출 중심 산업구조에서 **민간 부담 최소화·탄소중립 실현** 기술 - CO_2 多배출·수출기업 중심으로 **상당한 영향** 우려되나, **준비 부족**
문제 및 이슈	• **국내 CCU, R&D 투자로 기술 확보 중이나, 상용화 사례 부재** ① 국내 일부 기술 응용연구 및 중·소규모 실증단계에 진입하였으나, ➜ 확보된 핵심기술의 **상용화 단계 연계 취약** ② 상용화를 위해 대규모 실증이 필요하나, 산업공정 적용 **높은 비용과 리스크**로 기업 참여 부족 ③ CCU 기술 분야 대부분 학계·연구계 중심 기초·원천연구 단계로 **상용화 사례가 부재**
정책/현황	• **('21.05.) CCU 기술혁신 로드맵 / ('23.03.) 제1차 국가탄소중립 녹색성장 기본계획** ① 국가온실가스 감축목표 달성 시점 근접 ② 탄소중립 **국제 규제 강화**로 CCU 기술의 **현장 적용·확산 절실**
대안/전략	• **CO_2 활용 기술의 상용화를 위해, 대규모 R&D 투자와 이를 활성화하기 위한 정부 뒷받침 필수** ① (CCU, 대규모 R&D 투자 필요) 전 세계 CCU 기술 대부분 응용연구 수준 ➜ 국내, 본격적 상용화를 위해 대규모 R&D 투자 필요 ② CCU 기술, 낮은 기술 성숙도와 높은 위험성이 제약요인으로 민간 투자 어려움 ➜ 유용성 확보와 상용화까지 **대규모 정부 R&D 지원** 필요 ③ 기술개발부터 실증까지 **전주기 통합 지원** 필요

2. 목 표	3. 수 혜 자
• (목표) CCU 기술혁신을 통한 탄소중립 실현 및 新산업 창출 - 73.2만톤/년 온실가스 감축·처리 - CCU 활용 시제품 17건('30년) - 감축량 평가 방법론·플랫폼 3건	• CCU 산업 관련 대·중견·중소기업 - (직접) CO2 전·후방 산업 기업 CCU 유관 산·학·연·협회 - (간접) 일반 국민

4. 투입	5. 활동	6. 산출	7. 성과 / 영향
• 필요 자원 **8,487.6억 원** • 인적 자원 2,589명	• 多배출 핵심 산업 연계 4개 권역 플래그십 프로젝트 (9개 중점기술, 15개 과제) • CCU 온실가스 감축량·기여도 평가 방법론 개발	• 결과물 - 온실가스 **년 73.2만톤 감축** - 민간주도 **시제품 개발 17건** - 온실가스 감축 **평가 플랫폼 3건**	• 결과 - 탄소중립 정책 실현 - 국제 합의 준수 - 선도국 수준 기술력 확보와 핵심기술 자립 • 변화 및 파급효과 - 국가 에너지 정책기반 견고화 - 핵심 산업 연계 CCU 신산업 육성

8. 가 정
• CCU 전략 제품 조기 상용화를 통한 즉각적인 탄소감축을 위해 통합 실증을 할 수 있는 **대형 투자가 필수** • CCU 핵심기술과 전략제품에 대한 **기술력 확보가 미진할 시** 정부의 NDC 목표는 물론 장기적 탄소중립 실현에 **부정적 영향 불가피**

12 세부 추진 계획

사업 중점 분야 및 과제 구성

중점 기술	**화학적 전환(5)**	**생물학적 전환(2)**	**광물 탄산화(2)**
	①합성가스, ②메탄올, ③올레핀, ④e-Fuel, ⑤폴리머	⑥바이오소재·연료 ⑦바이오매스	⑧고순도 무기탄산염, ⑨대체 시멘트 및 건설소재

내역 사업	**남부권**	**서부권**	**중부권**	**동남권**
	석유화학 산업 연계 기초화학제품 / 항공유 생산	**발전 산업** 연계 바이오연료 / 플라스틱 생산	**시멘트 산업** 연계 건설소재 생산 / 제품화	**철강산업** 연계 친환경 연료 / 화학·건설 소재 생산

세부 과제 및 기대 효과

권역	중점기술분야(9)	세부 과제(15)	목표감축량 (톤/년)
남부	합성가스	온실가스 감축 극대화 합성가스 생산 기술	30,000
		미활용 CO_2 활용 합성가스 생산 기술	200,000
	올레핀	정유 공정 배가스 CO_2 활용 기초유분 생산 기술	131,200
	e-Fuel	합성연료(휘발유, 경유) 생산 기술	50,000
		e-SAF 제조 상용공정 기술	50,000
	고순도 무기탄산염	석고 활용 탄산칼슘 생산 및 활용 기술	10,000
서부	폴리머	CO_2 활용 폴리우레탄 생산 기술	50,000
		CO_2 활용 폴리카보네이트 생산 기술	50,000
	바이오소재·연료	미세조류 기반 발전소 배출 CO_2 감축·활용 기술	10,000
	바이오매스	미세조류 기반 발효 배가스 내 CO_2 감축·활용 기술	5,000
	고순도 무기탄산염	해수담수화 농축수 활용 고순도무기탄산염 생산·활용	10,000
중부	대체시멘트·건설소재	in-situ 탄산화기술 활용 CO_2 감축·활용 기술	13,885
		CO_2 반응경화 시멘트 및 건설 2차제품 생산·활용 기술	16,625
동남	메탄올	공정 배가스 CO_2 활용 메탄올 생산 기술	5,500
	대체시멘트·건설소재	제철 슬래그 활용 CO_2 저감 건설소재 생산·활용 기술	100,000

13 플래그십 프로젝트

플래그십 프로젝트 필요성

현황	추진 방향
• CCU 기술 경로가 다양해 공통적으로 적용할 수 있는 사업화 방식 부재	• 석유화학/철강/발전/시멘트 등 **핵심 산업 중심** CCU 기술개발 전환으로 기술사업화 유도

□ **(대형 플래그십 프로젝트 추진 목표)** 중규모 이상 검증이 완료된 기술 대상, **포집과 활용 연계된 플래그십 프로젝트** 추진

❍ **(기술완성도 제고)** 기업 수요는 크나 중소규모 실증에서 벗어나지 못하는 기술을 대상으로 **핵심산업과 연계한 CCU 플래그십** 프로젝트 추진으로 기술완성도 제고

❍ **(민간투자 리스크 해소)** 산업과 연계된 대규모 실증을 통해 CCU 단계별 공정기술을 사전에 점검함으로써 관련 시행착오를 최소화하여 **민간투자 리스크 해소**

〈그림〉 핵심산업 연계 플래그십 프로젝트

□ **(기본 추진 방향)** 산업체 의견 수렴 및 특화된 기술을 바탕으로 상용화 가능성 높은 탄소활용 기술을 선별, 조속한 성공사례 창출 추진

❍ 탄소활용 기술은 매우 다양하여 **탄소감축효과, 시장성(부가가치), 기술성숙도, 국내 적용성(기술수요)** 등을 검증하여 단계적 지원

CCU 기술 조기 상용화	→	탄소중립 산업 경쟁력 확보
CCU 기술 고도화 및 실증기술 확보		민간 주도 상용화 및 CCU 산업 활성화

▌플래그십 프로젝트 도출 과정

□ **(1단계) 주요 온실가스 多배출 산업별 조기 상용화 가능 기술 및 시장성, 중복성 검토**

❍ **(중점 기술 선정 기준)** CCU 기술혁신 로드맵 중점기술(19종) 대상 기 정부 지원과제 및 기업 상용공정 가동중 기술 제외 후 온실가스 감축효과와 시장성 기준 중점기술 도출

〈표〉 중점기술 선정 기준

평가 기준	주요 선정 기준	
온실가스 감축효과	CO_2 배출원 및 활용도	• 온실가스 감축(처리) 가능량
시장성, 사업성	기술 잠재력 고려, 제품의 시장수요 및 경제적 효과	• 잠재적 제품 대체 시장 규모 • 시장성(부가가치) • 상업화 장벽 존재 여부
기술 경쟁력	기술개발 수준 기술개발 연구비	• 기술개발단계(TRL), 기술성숙도 • 기술 상용화 가능 시기
국내 적용 가능성	국내 여건 및 인프라 고려	• 국내 시장 및 국내 산업계 관심 • 지리적, 경제적 여건 및 기타 자원 공급 가능성

□ **(2단계) 기술개발 과제 선정 기준 마련**

❍ **(기술 선정 기준 설정)** 기업 **수요**는 크나 중소규모 실증에서 벗어나지 못하는 기술 대상 핵심산업과 연계한 프로젝트 추진으로 **기술완성도 제고**

❍ **(CCU 기술혁신 로드맵 세부 중점기술 유형 분류)** 총 59개의 세부 중점기술 대상 **"산업, 시장의 기술 수요, 기술성숙도"** 기준 유형화 및 분류를 통해 **'30년 주력기술** 선정

- 산업적용이 용이하고 상용화에 근접하여 시장진입 가능성이 높은 기술 우선

□ (3단계) 사업 도출 프로세스

❍ CCU기술혁신로드맵 및 제품 분석, 산학연 CCU 전문가 및 기술수요조사, 산업 특성등을 반영하여 과제 도출

Step 1	(총괄기획위원회 및 기술기획실무위원회) 사업 추진 전략방향 및 기술동향 점검
▼	
Step 2	(CCU 기술혁신 로드맵) 중점기술군 대상 설정
▼	
Step 3-1	(하향식 과제 수요조사) CCU 전략제품로드맵 기준 산학연 대상 기술수요조사 시행
▼	
Step 3-2	(상향식 과제 수요조사) CCU 전략제품로드맵 기준 기업 대상 기술수요조사 시행
▼	
Step 4	(기술기획위원회) 취합 기술수요조사 결과 검토
▼	
Step 5	(과제 도출) 기술개발 방향 설정 및 중점 과제 선정

❍ 기술기획위원회를 통해 4개 내역사업(플래그십 프로젝트), 9개 중점기술, 15개 세부과제로 구성

▌기술개발 우선순위 선정 과정

❍ **(기술 개발 우선순위 선정)** 동 사업의 주력 분야별 핵심 기술 선정을 위해 실시된 수요조사 결과를 대상으로 우선순위 설정의 과정은 다음과 같이 수행함

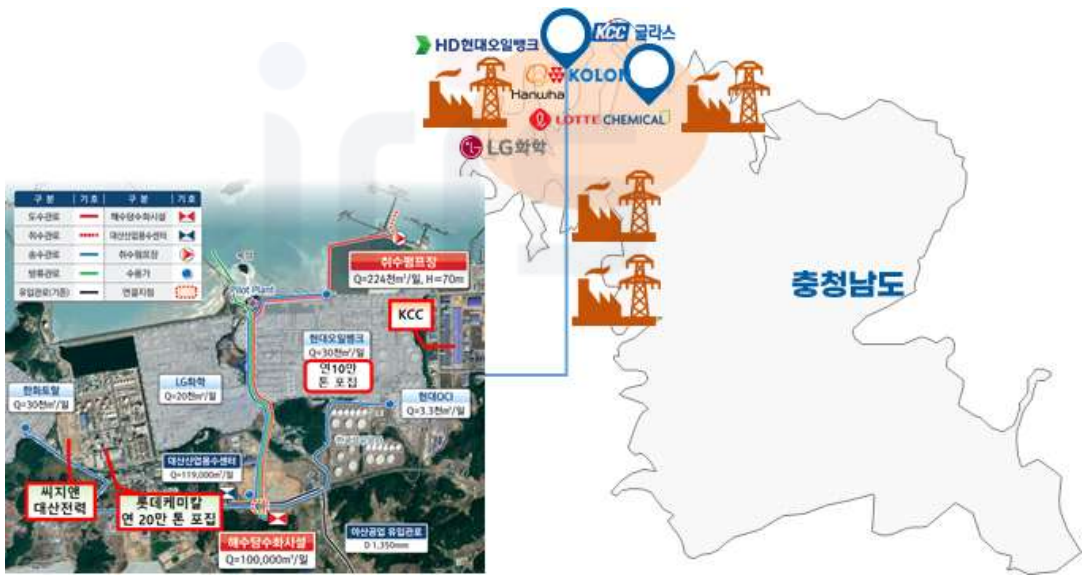
화학적 전환					생물학적 전환		광물 탄산화	
합성가스	메탄올	올레핀	e-Fuel	폴리머	바이오소재·연료	바이오매스	고순도 무기탄산염	대체 시멘트 및 건설소재

권역별 플래그십 프로젝트

□ 남부권 플래그십 프로젝트

<table>
<tr><th>남부권</th><th colspan="2">석유·정유·철강 산업 맞춤형 핵심 CCU 기술의 CO_2 대량 배출기업 밀집 지역 확산</th></tr>
<tr><td>사업 기간</td><td colspan="2">2025년 ~ 2030년(6년)</td></tr>
<tr><td>추진 개요</td><td colspan="2">석유화학, 철강, 정유 등 남부권 주력산업의 친환경적 전환</td></tr>
<tr><td rowspan="3">추진 전략</td><td>주력 산업</td><td>CCU 제품</td></tr>
<tr><td>석유화학, 철강, 정유</td><td>합성가스, 기초유분, e-Fuel, e-SAF,
황산암모늄, 탄산칼슘</td></tr>
<tr><td colspan="2">多배출 산업 특성 및 자원을 활용한 CO_2 대량 감축</td></tr>
<tr><td rowspan="2">성과 목표</td><td>온실가스 감축 목표</td><td>기대효과</td></tr>
<tr><td>471,200톤(t-CO_2_eq/yr)</td><td>CO_2 국내 최다 배출 남부권 주요 산업의
무탄소화 에너지 활용을 위한
철강-석유화학-정유 벨류체인 구성</td></tr>
<tr><td>사업 추진
모식도</td><td colspan="2">
</td></tr>
<tr><td>사업 구성
체계</td><td colspan="2">
</td></tr>
</table>

□ 서부권 플래그십 프로젝트

<table>
<tr><th>서부권</th><th colspan="2">발전소 적용 탄소저감형 미세조류 광생물 반응기 대규모 실증기반 구축 및 해수 담수화 공정 기반 CO_2 광물 탄산화</th></tr>
<tr><td>사업 기간</td><td colspan="2">2025년 ~ 2030년(6년)</td></tr>
<tr><td>추진 개요</td><td colspan="2">화력•LNG 발전, 해수담수화 공정 실증을 통한 전방위적 대규모 기술확산</td></tr>
<tr><td rowspan="3">추진 전략</td><td>주력 산업</td><td>CCU 제품</td></tr>
<tr><td>발전, 석유화학, 바이오, 해수담수화</td><td>폴리우레탄, 폴리카보네이트, 플라스틱, 마스네슘, 탄산염</td></tr>
<tr><td colspan="2">바이오 CCU 실증 테스트베드 구축 및 기술확산 가속화 R&D 수행</td></tr>
<tr><td rowspan="2">성과 목표</td><td>온실가스 감축 목표</td><td>기대효과</td></tr>
<tr><td>125,000톤(t-CO_2_eq/yr)</td><td>기존 포집-전환 연계 패러다임에 국한되지 않은 다양한 CO_2 배출원에 유연하게 적용할 수 있는 CCU 기술 확보</td></tr>
<tr><td>사업 추진 모식도</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>사업 구성 체계</td><td colspan="2">
</td></tr>
</table>

□ 중부권 플래그십 프로젝트

<table>
<tr><th>중부권</th><th colspan="2">지역 시멘트 산업 등과 연계한
CCU 광물 탄산화 건설제품 생산 통합 패키지 개발 및 확산</th></tr>
<tr><td>사업 기간</td><td colspan="2">2025년 ~ 2030년(6년)</td></tr>
<tr><td>추진 개요</td><td colspan="2">시멘트 산업 저탄소 전환기술 확보와 시멘트 분야 관련
산업군 기술 융합을 통한 가치사슬 강화 및 이에 따른 기술력 증대</td></tr>
<tr><td rowspan="3">추진 전략</td><td>주력 산업</td><td>CCU 제품</td></tr>
<tr><td>시멘트</td><td>CO_2 반응 경화 시멘트,
건설·콘크리트 2차 제품 등</td></tr>
<tr><td colspan="2">시멘트 산업 연계 CCU 광물 탄산화 건설제품(시멘트, 콘크리트, 레미콘 등) 생산기술 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">성과 목표</td><td>온실가스 감축 목표</td><td>기대효과</td></tr>
<tr><td>30,510톤(t-CO_2_eq/yr)</td><td>시멘트 산업 특성 및 자원을 활용한 대량 CO_2 감축 구현</td></tr>
<tr><td>사업 추진 모식도</td><td colspan="2">
</td></tr>
<tr><td>사업 구성 체계</td><td colspan="2">
</td></tr>
</table>

□ 동남권 플래그십 프로젝트

<table>
<tr><td>동남권</td><td colspan="2">지역 내 철강·석유화학·조선·항만 산업의 지속가능 산업기반 구축 및 청정 메탄올(연료) 생산-활용 기술 개발</td></tr>
<tr><td>사업 기간</td><td colspan="2">2025년 ~ 2030년(6년)</td></tr>
<tr><td>추진 개요</td><td colspan="2">동남권 CO_2 다배출 산업 맞춤형 탄소저감 기술 개발 및
국제 환경규제 강화 대응을 위한 선박용 친환경 메탄올 제공</td></tr>
<tr><td rowspan="3">추진 전략</td><td>주력 산업</td><td>CCU 제품</td></tr>
<tr><td>철강, 석유화학</td><td>메탄올, CO_2 광물화 건설소재</td></tr>
<tr><td colspan="2">CO_2 활용 메탄올 제조를 통해 수요기업에 신규 친환경 원료 공급기반 마련</td></tr>
<tr><td rowspan="2">성과 목표</td><td>온실가스 감축 목표</td><td>기대효과</td></tr>
<tr><td>105,500톤(t-CO_2_eq/yr)</td><td>공급되는 CO_2 상태 및 공정환경에 따른 적절한
메탄올 제조방법 선택 가능
연료·원료 부문에 기존 화석연료 대체</td></tr>
<tr><td>사업 추진 모식도</td><td colspan="2">
</td></tr>
<tr><td>사업 구성 체계</td><td colspan="2">
</td></tr>
</table>

기대효과

□ 과학기술적 기대효과

❍ **(탄소중립 핵심기술 자립)** 산업과 연계한 CCU 기술 실증을 통한 기술 고도화로 탄소중립 기술 강국 실현

❍ **(CFE 활용 확대 흐름 동참)** 탈탄소화를 위한 현실적 대안으로 재생에너지뿐만 아니라 원전・수소・CCUS 등 다양한 무탄소 에너지를 활용하는 CFE(Carbon Free Energy) 활용 확대 흐름에 동참

* CCU는 포집된 탄소를 청정수소와 반응시키고, 이때 필요한 전력을 재생에너지로 공급하여 탄소를 고부가가치 생산물로 전환함으로써 CFE 활용에 기여

❍ **(국제협력 기반마련)** 미국 등 CCU 기술 선도국가와의 기술 교류를 통해 공동 실증, 국제 표준 제정을 할 수 있는 기술적 기반마련

❍ **(국제감축 기여)** 예타사업을 통해 확보한 기술을 토대로 해외 감축사업, 국외 기술이전 등을 진행하여 온실가스 감축에 추가로 기여

□ 정책적 기대효과

❍ **(탄소중립 정책실현)** 탄소중립・녹색성장 기본계획 및 국가 온실가스 감축목표 등 탄소중립 관련 상위계획의 체계적 이행을 뒷받침

❍ **(국제적 합의준수)** CCU 기술고도화 및 상용화 제품 생산으로 2030 NDC 달성에 기여하여 탄소중립 이행을 위한 국제적 합의준수

❍ **(탄소중립 신산업 육성)** CCU 관련 탄소중립 신산업 육성으로 일자리 창출 및 지역경제 활성화

❍ **(에너지 정책 기반 견고화)** CCU 2기술 적용을 통해 무탄소 에너지 생산의 효율성을 높임으로써, 에너지 공급의 안정성 제고

❍ CCU 핵심기술개발로 기술력 향상 및 CCU 글로벌 기술 우위 선점

□ **(경제적 기대효과) 기술 유형별 발생 가능한 국가 전체에 미치는 유발효과**

❍ **(신시장 창출 기대)** CCU 제품 조기상용화로 사업종료 후 회임기간 3년(‘31년~’ 33년) 간 지원기업의 누적 총매출액 3조 4849억원 규모의 CCU 新시장 창출 기대

〈 동 사업을 통한 최종 생산물 거래 단가(‘23.11.) 〉

소분류	1톤당(만원)	근거(‘23. 11.)
에탄올	64.5	국제선물
메탄올	42.7	국제선물
올레핀	109.2	국제선물
e-Fuel(바이오메탄올)	56,653.1	국제청정교통위(ICCT)
폴리우레탄	539.3	pieweb.plasteurope.com
폴리카보네이트	406.9	Intratec.us 거래단가
바이오연료	439.6	Minimal fuel selling price
플라스틱	296.4	Ethylene vinyl acetate
카로테노이드	617.5	Koller et al
바이오매스	106.4	미국 DOE 산하 NREL
시멘트	17.5	IBIS World
합성가스	327.9	Intratec.us 거래단가
탄산마그네슘	78.0	무역협회 수출입 단가
석회석 대체 탄산칼슘	26.0	무역협회 수출입 단가
양생 시멘트	13.0	무역협회 수출입 단가
플라이 애쉬	2	기업 거래 단가 확인
황산암모늄	26.6	Intratec.us 거래단가
탄산칼슘	158.6	무역협회 수출입 단가
중탄산나트륨	71.2	무역협회 수출입 단가

* (환율) ’23. 11. 1,300원 환산

〈 동 사업 최종생산물로 인한 권역별 생산유발 효과 〉

플래그십 권역	최종 제품	생산 유발 (억 원)
남부권	합성가스, e-Fuel, 탄산칼슘 등	9,275.5
동남권	메탄올, 플라이 애쉬	103.5
서부권	폴리머, 바이오메스, 탄산염	20,322.0
중부권	레미콘, 콘크리트 2차제품, 레미탈	5,148.0
합계		**34,849.0**

❍ **(탄소감축)** 본 사업에서 감축되는 약 732,210톤/년의 온실가스가 배출권거래제를 통해 상쇄되는 경제적 효과는 년 약 900억원* 으로 추정

* 유럽 탄소배출권 가격(EU ETS), '23.11. 88유로(12만3천원/톤)

- 동 사업 온실가스 감축 목표량 : **732,210 톤/년**

권역	목표 감축량(톤/년)	환산가(억 원)
서부권	125,000	153.75억 원
남부권	471,200	579.57억 원
동남권	105,500	129.76억 원
중부권	30,510	37.52억 원
합계		**900.6억 원**

* 기업의 수요조사를 통한 민간 감축목표 확인과 기술전문가의 점검을 통해, 多 배출 핵심산업 전후방 연계를 통한 감축 가능성 점검

❍ 동 사업을 통해 **부가가치 유발효과는 약 4,894.6억 원**이며, **고용유발 효과**는 약 **4,697명**로 추정

구분		최종 수요비용 (억원)	생산 유발계수	부가가치 유발계수	취업유발 계수 (명/10억원)	생산유발 효과	부가가치 효과	취업유발효과 (명/10억원)
기술유형	화학전환	4,220	1.83	0.45	3.16	7,722.6	1,899.0	1,333.5
	생물전환	1,000	1.90	0.64	6.25	1,900.0	640.0	625.0
	광물탄산화	3,020	2.42	0.78	9.07	7,308.4	2,355.6	2,739.1
합계						**16,931**	**4,894.6**	**4,697.6**

〈 BC 분석 표 〉

연도	세계시장규모 (억원)	예상시장점유율 (%)	사업기여율 (%)	R&D기여율 (%)	부가가치율 (%)	사업화성공률 (%)	편익 (억원)	편익현가 (억원)	비용 (억원)	비용현가 (억원)	순이익	할인율
2025	41,424,370	1.2%	8.70%	35.4%	18.7%	30.3%			1,195	1,144	(1,195)	1.045
2026	44,520,320	1.2%	8.70%	35.4%	18.7%	30.3%			1,684	1,542	(1,684)	1.092
2027	47,897,590	1.1%	8.70%	35.4%	18.7%	30.3%			1,728	1,514	(1,728)	1.141
2028	51,589,070	1.1%	8.70%	35.4%	18.7%	30.3%			1,762	1,478	(1,762)	1.193
2029	55,634,800	1.1%	8.70%	35.4%	18.7%	30.3%			1,148	921	(1,148)	1.246
2030	60,075,990	1.1%	8.70%	35.4%	18.7%	30.3%			723	555	(723)	1.302
2031	65,079,788	1.1%	8.70%	35.4%	18.7%	30.3%					0	1.361
2032	70,618,677	1.0%	8.70%	35.4%	18.7%	30.3%					0	1.422
2033	76,766,877	1.0%	8.70%	35.4%	18.7%	30.3%					0	1.486
2034	83,611,005	1.0%	8.70%	35.4%	18.7%	30.3%	1,464	943			1,464	1.553
2035	91,252,366	1.0%	8.70%	35.4%	18.7%	30.3%	1,560	961			1,560	1.623
2036	99,809,689	1.0%	8.70%	35.4%	18.7%	30.3%	1,663	981			1,663	1.696
2037	109,422,400	0.9%	8.70%	35.4%	18.7%	30.3%	1,775	1,002			1,775	1.772
2038	120,254,537	0.9%	8.70%	35.4%	18.7%	30.3%	1,896	1,024			1,896	1.852
2039	132,499,425	0.9%	8.70%	35.4%	18.7%	30.3%	2,027	1,047			2,027	1.935
2040	146,385,290	0.8%	8.70%	35.4%	18.7%	30.3%	2,169	1,072			2,169	2.022
2041	162,181,968	0.8%	8.70%	35.4%	18.7%	30.3%	2,322	1,099			2,322	2.113
합계	**1,296,842,195**						**14,877**	**8,129**	**8,240**	**7,154**	**6,637**	

□ 비용 현가와 편익 현가를 기준으로 B/C값을 산정한 결과와 IRR을 토대로 투자 적절 여부를 판단하며 기준은 다음과 같음

❍ 비용편익비(B/C값)이 1보다 높으면 투자 적절

❍ NPV 값은 사업 종료 후 기대할 수 있는 순수익(비용-편익)의 합으로 0보다 크면 투자 적절

〈 경제성 분석 종합 결과 〉

사업명	B/C	NPV	IRR	결과
무탄소에너지(CFE) 전환을 위한 CCU 기술개발(R&D)	**1.136**	**975억 원**	**5.8%**	**투자 적절**

목 차

제1장 사업 개요

제1절 사업개념 ····· 3
1. 사업 개요 ····· 3
2. CCU(이산화탄소 활용)에 대한 이해 ····· 4
가. 무탄소 에너지(CFE) ····· 4
나. 이산화탄소 포집·활용(CCU) ····· 5
3. 사업추진 배경 ····· 8
4. 사업추진 필요성 및 시급성 ····· 13
가. 해결하고자 하는 문제 ····· 13
나. 사업추진 시급성 ····· 19
다. 이산화 탄소 활용(CCU) 국내 현황 및 해외 의존도 ····· 21
라. 국고지원의 적합성 ····· 24
마. 정부 주도 전략적 투자 필요 ····· 25
5. 사업추진 근거 및 추진 경위 ····· 28
가. 사업추진 근거 ····· 28
나. 법적 상위 근거 ····· 29
다. CCU 관련 정부계획 ····· 33

제2절 사업추진 경과 및 추진체계 ····· 36
1. 사업기획 추진 경과 ····· 36
2. 사업기획 추진체계 ····· 51
가. 기획 추진체계 ····· 51
나. 추진체계별 역할 ····· 52

목 차

제3절 사업 구성 방향 ····· 55
1. 주력기술 분야 도출 ····· 55
가. CCU Value Chain ····· 55
나. 중점기술 개발 도출 방향 ····· 59
2. 사업구성 수요조사 ····· 63
가. 기술수요조사 개요 ····· 63
나. 기업 참여의향 및 애로사항 ····· 65
다. 시사점 ····· 75
3. 기술개발 우선순위 선정 과정 ····· 76
가. 기술성 및 지원 필요성 검토 및 후보과제 선정 ····· 78
나. 중점기술 현황 및 해결 과제 ····· 115

제2장 대외 환경 분석

제1절 국내외 온실가스 배출현황 및 중점이슈 ····· 122
1. 온실가스 배출현황 ····· 122
가. 글로벌 온실가스 배출현황 ····· 122
나. 국가 온실가스 배출현황 ····· 125
다. 국내 온실가스 배출 산업의 한계 및 변화 ····· 135
라. 시사점 ····· 141
2. 메가트렌드 분석 ····· 144
가. 국내외 미래사회환경 분석 ····· 144
나. 시사점 ····· 157
3. 국내외 정책 동향 ····· 158
가. 국제사회 협약 ····· 158
나. 주요국 정책 동향 ····· 164
다. 국내 정책 동향 ····· 179

목 차

4. 국내외 온실가스 多배출산업 동향 ····· 194
가. 철강 ····· 194
나. 석유화학 ····· 197
다. 시멘트 ····· 201
라. 정유 ····· 204

제2절 국내외 CCU 환경분석 ····· 208
1. 정의 및 주요 이슈 ····· 208
가. CO_2화학적 전환 ····· 208
나. CO_2생물전환 ····· 213
다. CO_2광물탄산화 ····· 217

2. 국내외 CCU 기술 사업화 추진 동향 ····· 221
가. CO_2포집 ····· 221
나. CO_2화학전환 ····· 222
다. CO_2생물전환 ····· 223
라. CO_2광물탄산화 ····· 223
마. 기타탄소 활용 ····· 224

3. CCU 산업·시장 동향 ····· 225
가. 화학적 전환 ····· 227
나. 생물학적 전환 ····· 242
다. 광물 탄산화 ····· 250

4. CCU 기술 환경분석 ····· 257
가. CCU 해외 기술동향 ····· 257
나. 주요국 CCU R&D 동향 ····· 270
다. 국내외 특허동향 분석 ····· 274

목 차

5. 국내 CCU R&D 동향 ····· 332
가. CCU 국내 기술동향 ····· 332
나. 국내 CCU 기술수준 ····· 334
다. CCU 국내 기술동향 ····· 335
라. 국내 CCU 연구개발 역량 ····· 345
마. 실증 및 사업화 성공 사례 ····· 359

6. 국내 R&D 투자 동향 ····· 363
가. 분석 개요 ····· 363
나. 정부 R&D 투자 동향 ····· 364

제3절 플래그십 프로젝트 중점기술 동향 ····· 371
1. 합성가스 ····· 371
가. 산업/시장 ····· 371
나. 기술 ····· 373

2. 메탄올 ····· 376
가. 산업/시장 ····· 376
나. 기술 ····· 378

3. 올레핀 ····· 380
가. 산업/시장 ····· 380
나. 기술 ····· 382

4. e-Fuel ····· 384
가. 산업/시장 ····· 384
나. 기술 ····· 388

5. 폴리머 ····· 393
가. 산업/시장 ····· 393
나. 기술 ····· 399

목 차

6. 바이오연료·소재 ····· 402
가. 산업/시장 ····· 402
나. 기술 ····· 407
7. 바이오매스 ····· 411
가. 산업/시장 ····· 411
나. 기술 ····· 414
8. 대체 시멘트 및 건설소재 ····· 417
가. 산업/시장 ····· 417
나. 기술 ····· 423
9. 고순도 무기탄산염 ····· 428
가. 산업/시장 ····· 428
나. 기술 ····· 434

제3장 사업 추진 방향

제1절 사업 개념 및 범위 ····· 441
1. 사업 추진 개요 ····· 441
가. 사업 추진 목적 ····· 441
나. 경쟁여건 분석에 따른 대응 전략(SWOT) ····· 443
다. 우리의 전략적 선택(문제/이슈) ····· 444
라. 사업 추진 방향 ····· 450
마. 무탄소 에너지(CFE) 전환을 위한 CCU 기술개발(R&D) 사업 논리모형 454

2. 목표 및 전략 ····· 455
가. 사업 추진 개요 ····· 455
나. 목표 및 전략 ····· 456
다. 성과 목표 ····· 460

3. 사업 예산 및 조달 계획 ····· 469
가. 총 사업비 구성 ····· 469
나. 소요 연구인력 ····· 472

목 차

제2절 사업 추진 계획 ····· 475
1. 남부권 플래그십 프로젝트 ····· 475
2. 서부권 플래그십 프로젝트 ····· 481
3. 중부권 플래그십 프로젝트 ····· 487
4. 동남권 플래그십 프로젝트 ····· 491
5. CCU 기술 온실가스 감축 인증/평가 방법론 개발 ····· 494

제3절 사업 추진 체계 및 운영 방안 ····· 498
1. 사업 추진 체계 및 연계협력 방안 ····· 498
가. 추진체계 ····· 498
나. 사업 진행절차 및 일정 ····· 500
다. 세부과제 관리체계 ····· 501
라. 세부과제 운영 체계 ····· 501
마. 세부과제 평가 ····· 502
2. 사업 추진 절차 ····· 505
3. 성과 관리 체계 ····· 506
4. 성과 활용 계획 ····· 507

제4절 플래그십 프로젝트 세부추진(안) ····· 508
1. 남부권 플래그십 프로젝트 ····· 508
가. 남부권 사업목표 ····· 508
나. 개요 ····· 512
다. 극복 과제 ····· 514
라. 추진배경 ····· 516
마. 추진 필요성 ····· 519
바. 산업환경 ····· 521
사. 남부권 CCU 관련 주요 이슈 ····· 522
아. 남부권 주력기술 도출 경위 ····· 525

목 차

2. 서부권 플래그십 프로젝트 개요 ····· 528
가. 서부권 사업목표 ····· 528
나. 개요 ····· 531
다. 극복 과제 ····· 533
라. 추진배경 ····· 535
마. 추진 필요성 ····· 540
바. 산업환경 ····· 543
사. CCU 관련 주요 이슈 ····· 553
아. 서부권 주력기술 도출 경위 ····· 555
자. 시사점 ····· 557

3. 중부권 플래그십 프로젝트 개요 ····· 559
가. 중부권 사업목표 및 극복과제 ····· 559
나. 개요 ····· 563
다. 추진배경 ····· 565
라. 추진 필요성 ····· 567
마. 산업환경 ····· 569
바. 중부권 CCU 관련 주요 이슈 ····· 571
사. 중부권 주력기술 도출 경위 ····· 573

4. 동남권 플래그십 프로젝트 개요 ····· 576
가. 동남권 사업목표 및 극복과제 ····· 576
나. 개요 ····· 580
다. 추진배경 ····· 581
라. 추진 필요성 ····· 583
마. 동남권 CCU 관련 주요 이슈 ····· 585
바. 동남권 주력기술 도출 경위 ····· 588

목 차

제5절 세부 기술개발 과제 ····· 589

1. (화학) 온실가스 감축형 합성가스 생산 기술 ····· 589

2. (화학) 미활용 탄소 활용 합성가스 생산 기술 ····· 593

3. (화학) CO2 활용에 의한 메탄올 생산 기술 ····· 596

4. (화학) 정유 공정 배가스 CO_2 활용 기초유분 생산 기술 ····· 599

5. (화학) 합성연료(휘발유, 경유) 생산 기술 ····· 602

6. (화학) e-SAF 제조를 위한 상용공정 개발 ····· 606

7. (화학) CO_2 활용 폴레우레탄 생산 기술 ····· 609

8. (화학) CO_2활용 폴리카보네이트 생산 기술 ····· 613

9. (생물) 미세조류 기반 발전소 배출 CO2 감축·활용 기술 ····· 617

10. (생물) 미세조류 기반 발효 배가스 내 CO_2 감축·활용 기술 ····· 619

11. (광물) 석고 활용 탄산칼슘 생산 및 활용 기술 ····· 621

12. (광물) 해수담수화 농축수 활용 고순도 무기탄산염 생산활용 기술 ····· 625

13. (광물) 레미콘 in-situ 탄산화기술 활용 CO_2 감축·활용 기술 ····· 631

14. (광물) CO2 반응경화 시멘트 및 건설 2차제품 생산 및 활용 기술 ···· 635
탄산화 양생에 따른 CO_2 고정화량 ····· 637

15. (광물) 제철 슬래그 활용 CO_2 저감 건설소재 생산 및 활용 기술 ····· 639

제6절 기대효과 ····· 643

목 차

제4장 사업 타당성 분석

제1절 과학기술적 타당성 ····· 648
1. 문제/이슈 도출의 적절성 ····· 648
가. 문제/이슈 식별과정의 적절성 ····· 648
나. 문제/이슈의 해결 대안 ····· 657
2. 사업목표의 적절성 ····· 659
3. 세부활동 및 추진전략의 적절성 ····· 662
가. 세부활동과 사업목표간 논리적 연계성 ····· 662

제2절 정책적 타당성 ····· 664
1. 상위계획과의 부합성 ····· 664
2. 기존사업과의 차별성 ····· 665
3. 사업추진상의 위험요인 ····· 667
가. 재원조달 가능성 ····· 667
나. 법제도적 위험요인 ····· 668

제3절 경제적 타당성 ····· 670
1. 분석 개요 ····· 670
2. 비용편익분석 ····· 673
3. 파급효과 분석 ····· 683
가. 사업 편익 현가 산정 ····· 686
나. BC 분석 종합 결과 ····· 687

표 목 차

〈표 Ⅰ-1〉 주요국별 탄소중립 목표 관련 법률 제.개정 현황 ····· 11
〈표 Ⅰ-2〉 주요국 탄소중립 대응 동향 ····· 12
〈표 Ⅰ-3〉 주요국 CCUS R&D 전략 및 프로그램 ····· 15
〈표 Ⅰ-4〉 주요 기업 CCU 기술개발 사례 ····· 16
〈표 Ⅰ-5〉 국내 2030 NDC 조정내용 ····· 19
〈표 Ⅰ-6〉 이산화탄소 활용 품목별 해외의존도 분석 ····· 23
〈표 Ⅰ-7〉 국고지원 요건 - 근거 법령 ····· 24
〈표 Ⅰ-8〉 국고지원 요건 - CCU 관련 정책 ····· 24
〈표 Ⅰ-9〉 2050 탄소중립 시나리오 총괄표 ····· 25
〈표 Ⅰ-10〉 주요국 CCU R&D 지원 및 투자 현황 ····· 26
〈표 Ⅰ-11〉 '30년 상용화 제품 후보군 ····· 29
〈표 Ⅰ-12〉 CCUS 부문 세부과제 목록(탄소중립 녹색성장 기본계획) ····· 31
〈표 Ⅰ-13〉 CCU 관련 정부 추진 정책 ····· 33
〈표 Ⅰ-14〉 사업기획 주요 추진 경과 및 내용 ····· 37
〈표 Ⅰ-15〉 탄소중립 기술연구협의체 사업설명회 내용 ····· 39
〈표 Ⅰ-16〉 제1차 총괄기획위원회 내용 ····· 41
〈표 Ⅰ-17〉 제1차 실무기획위원회 내용 ····· 41
〈표 Ⅰ-18〉 유관 협회 간담회 내용 ····· 42
〈표 Ⅰ-19〉 제2차 실무기획위원회 내용 ····· 43
〈표 Ⅰ-20〉 제3차 실무기획위원회 내용 ····· 43
〈표 Ⅰ-21〉 제4차 실무기획위원회 내용 ····· 44
〈표 Ⅰ-22〉 제5차 실무기획위원회 내용 ····· 45
〈표 Ⅰ-23〉 제7차 실무기획위원회 내용 ····· 46
〈표 Ⅰ-24〉 기술선별위원회 내용 ····· 46
〈표 Ⅰ-25〉 제9차 실무기획위원회 내용 ····· 47
〈표 Ⅰ-26〉 사업기획 추진체계 ····· 51
〈표 Ⅰ-27〉 총괄기획위원회 구성 ····· 52
〈표 Ⅰ-28〉 기술기획위원회 구성 ····· 53
〈표 Ⅰ-29〉 기획 실무위원회 구성 ····· 54
〈표 Ⅰ-30〉 국내 년도 별 이산화탄소 배출량 ····· 55
〈표 Ⅰ-31〉 기술 수요조사 주요 항목 ····· 64
〈표 Ⅰ-32〉 기술 수요조사 총괄 ····· 65
〈표 Ⅰ-33〉 참여의향서 제출 현황 ····· 67
〈표 Ⅰ-34〉 최종 연구개발 과제 ····· 77
〈표 Ⅰ-35〉 기술 개발 타당성 선택 지표 ····· 78

표 목 차

〈표 Ⅰ-36〉 기술수요조사 대상 제안 기술(95건) ····· 79
〈표 Ⅰ-37〉 (합성가스) 주요 사업별 현황(2018~2022) ····· 84
〈표 Ⅰ-38〉 (합성가스) 주관부처별 현황(2018~2022) ····· 85
〈표 Ⅰ-39〉 (합성가스) 수행주체별 현황(2018~2022) ····· 85
〈표 Ⅰ-40〉 (합성가스) 수명주기별 현황(2018~2022) ····· 85
〈표 Ⅰ-41〉 (합성가스) 과학기술표준 분류별 현황(2018~2022) ····· 86
〈표 Ⅰ-42〉 (유기산) 사업별 현황(2018~2022) ····· 87
〈표 Ⅰ-43〉 (유기산) 주관부처별 현황(2018~2022) ····· 88
〈표 Ⅰ-44〉 (유기산) 수행주체별 현황(2018~2022) ····· 88
〈표 Ⅰ-45〉 (유기산) 수명주기별 현황(2018~2022) ····· 88
〈표 Ⅰ-46〉 (유기산) 과학기술표준 분류별 현황(2018~2022) ····· 89
〈표 Ⅰ-47〉 (카보네이트) 사업별 현황(2018~2022) ····· 90
〈표 Ⅰ-48〉 (카보네이트) 주관부처별 현황(2018~2022) ····· 90
〈표 Ⅰ-49〉 (카보네이트) 수행주체별 현황(2018~2022) ····· 91
〈표 Ⅰ-50〉 (카보네이트) 수명주기별 현황(2018~2022) ····· 91
〈표 Ⅰ-51〉 (카보네이트) 과학기술표준 분류별 현황(2018~2022) ····· 91
〈표 Ⅰ-52〉 (메탄올) 사업별 현황(2018~2022) ····· 92
〈표 Ⅰ-53〉 (메탄올) 주관부처별 현황(2018~2022) ····· 93
〈표 Ⅰ-54〉 (메탄올) 수행주체별 현황(2018~2022) ····· 93
〈표 Ⅰ-55〉 (메탄올) 과학기술표준 분류별 현황(2018~2022) ····· 94
〈표 Ⅰ-56〉 (올레핀) 사업별 현황(2018~2022) ····· 95
〈표 Ⅰ-57〉 (올레핀) 주관부처별 현황(2018~2022) ····· 96
〈표 Ⅰ-58〉 (올레핀) 수행주체별 현황(2018~2022) ····· 96
〈표 Ⅰ-59〉 (올레핀) 수명주기별 현황(2018~2022) ····· 96
〈표 Ⅰ-60〉 (올레핀) 과학기술표준 분류별 현황(2018~2022) ····· 97
〈표 Ⅰ-61〉 (폴리우레탄) 사업별 현황(2018~2022) ····· 98
〈표 Ⅰ-62〉 (폴리우레탄) 주관부처별 현황(2018~2022) ····· 99
〈표 Ⅰ-63〉 (폴리우레탄) 수행주체별 현황(2018~2022) ····· 99
〈표 Ⅰ-64〉 (폴리우레탄) 수명주기별 현황(2018~2022) ····· 99
〈표 Ⅰ-65〉 (폴리우레탄) 과학기술표준 분류별 현황(2018~2022) ····· 100
〈표 Ⅰ-66〉 (바이오매스) 사업별 현황(2018~2022) ····· 101
〈표 Ⅰ-67〉 (바이오매스) 주관부처별 현황(2018~2022) ····· 101
〈표 Ⅰ-68〉 (바이오매스) 수행주체별 현황(2018~2022) ····· 102
〈표 Ⅰ-69〉 (바이오매스) 수명주기별 현황(2018~2022) ····· 102
〈표 Ⅰ-70〉 (폴리우레탄) 과학기술표준 분류별 현황(2018~2022) ····· 102

표 목 차

〈표 Ⅰ-71〉 (항공유) 사업별 현황(2018~2022) ····· 103
〈표 Ⅰ-72〉 (항공유) 주관부처별 현황(2018~2022) ····· 104
〈표 Ⅰ-73〉 (항공유) 수행주체별 현황(2018~2022) ····· 104
〈표 Ⅰ-74〉 (항공유) 수명주기별 현황(2018~2022) ····· 104
〈표 Ⅰ-75〉 (항공유) 과학기술표준 분류별 현황(2018백만 원, 건) ····· 105
〈표 Ⅰ-76〉 (반응경화 시멘트) 사업별 현황(2018~2022) ····· 106
〈표 Ⅰ-77〉 (반응경화 시멘트) 주관부처별 현황(2018~2022) ····· 106
〈표 Ⅰ-78〉 (반응경화 시멘트) 수명주기별 현황(2018~2022) ····· 106
〈표 Ⅰ-79〉 (반응경화 시멘트) 수행주체별 현황(2018~2022) ····· 107
〈표 Ⅰ-80〉 (반응경화 시멘트) 과학기술표준 분류별 현황(2018백만 원, 건) ····· 107
〈표 Ⅰ-81〉 (중탄산나트륨, 부생가스) 사업별 현황(2018~2022) ····· 108
〈표 Ⅰ-82〉 (중탄산나트륨, 부생가스) 주관부처별 현황(2018~2022) ····· 108
〈표 Ⅰ-83〉 (중탄산나트륨, 부생가스) 수명주기별 현황(2018~2022) ····· 109
〈표 Ⅰ-84〉 (중탄산나트륨, 부생가스) 수행주체별 현황(2018~2022) ····· 109
〈표 Ⅰ-85〉 (중탄산나트륨, 부생가스) 과학기술표준 분류별 현황(2018백만 원, 건) ··· 110
〈표 Ⅰ-86〉 기술 개발 타당성 선택 지표 ····· 113
〈표 Ⅰ-87〉 기술개발 과제 최종 발굴 ····· 114
〈표 Ⅰ-88〉 CCU(활용) 기술의 해결 과제 ····· 115
〈표 Ⅰ-89〉 CCU 중점 기술별 해결 과제 ····· 115
〈표 Ⅱ-1〉 2021년 온실가스 평균농도 ····· 123
〈표 Ⅱ-2〉 글로벌 온실가스 배출현황 ····· 124
〈표 Ⅱ-3〉 분야별 온실가스 배출량 및 증감률 ····· 127
〈표 Ⅱ-4〉 온실가스별 배출량 및 증감률 ····· 128
〈표 Ⅱ-5〉 분야별 전년 대비 온실가스 총배출량 증감 기여도 ····· 131
〈표 Ⅱ-6〉 국가 온실가스 배출 전망 ····· 132
〈표 Ⅱ-7〉 국가 부문별 온실가스 배출 전망 ····· 132
〈표 Ⅱ-8〉 분야별 CO_2 배출량 및 흡수량 ····· 134
〈표 Ⅱ-9〉 주요국의 연도별 온실가스배출량과 감축목표 ····· 142
〈표 Ⅱ-10〉 2020년 국가별 GDP 대비 제조업 비중 상위 10개국 ····· 150
〈표 Ⅱ-11〉 2017~2019년도 할당업체 탄소 배출량 추이 ····· 150
〈표 Ⅱ-12〉 국내외 기후변화 대응 추진 경과 ····· 158
〈표 Ⅱ-13〉 기후변화협약(UNFCCC) 국가군과 특정의무 ····· 160
〈표 Ⅱ-14〉 기후변화협약(UNFCCC) 주요 내용 ····· 160
〈표 Ⅱ-15〉 기후변화협약 조직 ····· 160

표 목 차

〈표 Ⅱ-16〉 파리협정상 NDC 관련 규정 ····· 161
〈표 Ⅱ-17〉 파리협정 가입 주요국의 온실가스 감축목표 제시량 ····· 161
〈표 Ⅱ-18〉 교토의정서와 파리협정 차이점 ····· 162
〈표 Ⅱ-19〉 미국 국가 혁신 경로의 3대 전략 및 세부 내용 ····· 164
〈표 Ⅱ-20〉 미국 DOE 산업 탈탄소화 4대 추진전략 ····· 165
〈표 Ⅱ-21〉 45Q Tax Credit 설비별/활용기술별 세액공제 혜택 ····· 166
〈표 Ⅱ-22〉 기후혁신워킹그룹 10대 게임체인저 기술영역 ····· 167
〈표 Ⅱ-23〉 2021년 10월, 중국정부에서 발표한 탄소중립 및 기후변화 대응 관련 문건171
〈표 Ⅱ-24〉 중국 2060년 탄소중립 정책 로드맵 ····· 172
〈표 Ⅱ-25〉 중국 내 가동 중인 CCUS 시범사업 및 상업 설비(2021년 기준) ····· 173
〈표 Ⅱ-26〉 국내 CCU 관련 정책 ····· 179
〈표 Ⅱ-27〉 부문별·연도별 온실가스 감축목표(국가 탄소중립·녹색성장 기본계획) ····· 182
〈표 Ⅱ-28〉 2050 탄소중립 추진전략-본 기획사업과의 부합성 ····· 183
〈표 Ⅱ-29〉 탄소중립 연구개발 투자전략 기본방향 ····· 184
〈표 Ⅱ-30〉 탄소중립 연구개발 투자전략-본 기획사업과의 부합성 ····· 184
〈표 Ⅱ-31〉 탄소중립 기술혁신 추진전략-본 기획사업과의 부합성 ····· 185
〈표 Ⅱ-32〉 CCU 기술혁신 로드맵(안) 정책목표 ····· 185
〈표 Ⅱ-33〉 CCU 세부분야별 중점 기술 ····· 185
〈표 Ⅱ-34〉 CCU 기술혁신 로드맵(안)-본 기획사업과의 부합성 ····· 188
〈표 Ⅱ-35〉 2050 탄소중립 시나리오 최종(안) 총괄표 ····· 188
〈표 Ⅱ-36〉 2050 탄소중립 시나리오-본 기획사업과의 부합성 ····· 189
〈표 Ⅱ-37〉 에너지 탄소중립 혁신전략-본 기획사업과의 부합성 ····· 189
〈표 Ⅱ-38〉 탄소중립 산업 대전환 비전과 전략 목표 ····· 190
〈표 Ⅱ-39〉 탄소중립 산업 대전환 비전과 전략 CCUS 서비스 개발 목표 ····· 190
〈표 Ⅱ-40〉 탄소중립 산업 대전환 비전과 전략-본 기획사업과의 부합성 ····· 190
〈표 Ⅱ-41〉 탄소중립 녹색성장 기술혁신 전략 중점기술 분야 선정 ····· 191
〈표 Ⅱ-42〉 CCUS 부문 탄소중립 100대 핵심기술(안) ····· 191
〈표 Ⅱ-43〉 탄소중립 녹색성장 기술혁신 전략-본 기획사업과의 부합성 ····· 191
〈표 Ⅱ-44〉 CCUS 분야 탄소중립 기술혁신 전략로드맵-본 기획사업과의 부합성 ····· 193
〈표 Ⅱ-45〉 주요 국가별 정책현황 및 철강산업 구조 ····· 195
〈표 Ⅱ-46〉 국내외 주요 철강사별 기후변화 대응전략 ····· 196

표 목 차

〈표 II-47〉 석유화학산업의 주요 ESG 위험 요인 ····· 198
〈표 II-48〉 국내 석유화학업체별 주요 ESG 이슈 대응 현황 ····· 198
〈표 II-49〉 국내 주요 NCC 업체의 ESG 관련 투자비 ····· 199
〈표 II-50〉 국내 석유화학업체의 환경개선 관련 분야별 투자계획 ····· 199
〈표 II-51〉 세계 시멘트산업 생산 전망 ····· 201
〈표 II-52〉 유럽 시멘트 협회의 5C별 탄소감축 전략 ····· 202
〈표 II-53〉 국내 시멘트 산업의 대체 연료 사용 현황 ····· 203
〈표 II-54〉 '30년 상용화 화학제품 후보군 ····· 208
〈표 II-55〉 화학전환 분야 국내외 현황 ····· 210
〈표 II-56〉 화학전환 품목별 경쟁 현황 ····· 210
〈표 II-57〉 CO_2 생물전환 분야 중점 기술 ····· 214
〈표 II-58〉 생물전환 분야 국내외 현황 ····· 215
〈표 II-59〉 생물전환 품목별 경쟁 현황 ····· 215
〈표 II-60〉 '30년 상용화 무기탄산염 제품 후보군 ····· 217
〈표 II-61〉 CO_2 광물탄산화 분야 중점 기술 ····· 218
〈표 II-62〉 광물탄산화 분야 국내외 현황 ····· 219
〈표 II-63〉 광물탄산화 품목별 경쟁 현황 ····· 219
〈표 II-64〉 국내 CO_2 포집 기술개발 성과 ····· 221
〈표 II-65〉 CCU 시장규모 및 CO_2 활용규모 전망 ····· 225
〈표 II-66〉 주요국 사업 및 CO_2 공급현황 ····· 226
〈표 II-67〉 CCU 화학적 전환 분야 '30년 상용화 제품 후보군 ····· 227
〈표 II-68〉 최종 산업별 메탄올 국내시장 현황 및 전망 ····· 230
〈표 II-69〉 CCU 생물학적 전환 분야 '30년 상용화 제품 후보군 ····· 242
〈표 II-70〉 국내 바이오매스 에너지 잠재량 현황 ····· 243
〈표 II-71〉 국내 배합사료 생산량 ····· 245
〈표 II-72〉 CCU 광물 탄산화 분야 '30년 상용화 제품 후보군 ····· 250
〈표 II-73〉 CCU 기술 분야별 주요 활동 기업 ····· 260
〈표 II-74〉 Steelanol project 개요 ····· 263
〈표 II-75〉 Just Catch™ 개요 ····· 266
〈표 II-76〉 해외 CCU 프로젝트 추진 현황 ····· 267
〈표 II-77〉 국내외 CCUS R&D 전략 및 프로그램 ····· 270

표 목 차

〈표 Ⅱ-78〉 국가별 내외국인 특허 현황 ····· 276
〈표 Ⅱ-79〉 주력 IPC TOP 5 현황('11~'23) ····· 279
〈표 Ⅱ-80〉 CCU 기술 관련 키워드 변화('11~'23) ····· 279
〈표 Ⅱ-81〉 국가별 내외국인 특허 현황 ····· 281
〈표 Ⅱ-82〉 주력 IPC TOP 5 현황('11~'23) ····· 283
〈표 Ⅱ-83〉 합성가스(화학적 전환) 기술 관련 키워드 변화('11~'23) ····· 284
〈표 Ⅱ-84〉 국가별 내외국인 특허 현황 ····· 285
〈표 Ⅱ-85〉 주력 IPC TOP 5 현황('11~'23) ····· 287
〈표 Ⅱ-86〉 유기산(화학적 전환) 기술 관련 키워드 변화('11~'23) ····· 287
〈표 Ⅱ-87〉 국가별 내외국인 특허 현황 ····· 289
〈표 Ⅱ-88〉 주력 IPC TOP 5 현황('11~'23) ····· 291
〈표 Ⅱ-89〉 카보네이트(화학적 전환) 기술 관련 키워드 변화('11~'23) ····· 292
〈표 Ⅱ-90〉 국가별 내외국인 특허 현황 ····· 293
〈표 Ⅱ-91〉 주력 IPC TOP 5 현황('11~'23) ····· 296
〈표 Ⅱ-92〉 알코올 및 알데히드류(화학적 전환)기술 관련 키워드 변화('11~'23) ····· 296
〈표 Ⅱ-93〉 국가별 내외국인 특허 현황 ····· 298
〈표 Ⅱ-94〉 주력 IPC TOP 5 현황('11~'23) ····· 300
〈표 Ⅱ-95〉 탄화수소류(화학적 전환)기술 관련 키워드 변화('11~'23) ····· 301
〈표 Ⅱ-96〉 국가별 내외국인 특허 현황 ····· 302
〈표 Ⅱ-97〉 주력 IPC TOP 5 현황('11~'23) ····· 305
〈표 Ⅱ-98〉 고분자(화학적 전환) 기술 관련 키워드 변화('11~'23) ····· 305
〈표 Ⅱ-99〉 국가별 내외국인 특허 현황 ····· 307
〈표 Ⅱ-100〉 주력 IPC TOP 5 현황('11~'23) ····· 309
〈표 Ⅱ-101〉 탄소소재 차세대활용(화학적 전환) 기술 관련 키워드 변화('11~'23) ····· 310
〈표 Ⅱ-102〉 국가별 내외국인 특허 현황 ····· 311
〈표 Ⅱ-103〉 주력 IPC TOP 5 현황('11~'23) ····· 314
〈표 Ⅱ-104〉 바이오매스 생산(생물학적 전환) 기술 관련 키워드 변화('11~'23) ····· 314
〈표 Ⅱ-105〉 국가별 내외국인 특허 현황 ····· 316
〈표 Ⅱ-106〉 주력 IPC TOP 5 현황('11~'23) ····· 318
〈표 Ⅱ-107〉 바이오 연료화(생물학적 전환) 기술 관련 키워드 변화('11~'23) ····· 319
〈표 Ⅱ-108〉 국가별 내외국인 특허 현황 ····· 320
〈표 Ⅱ-109〉 주력 IPC TOP 5 현황('11~'23) ····· 323
〈표 Ⅱ-110〉 바이오 소재화(생물학적 전환) 기술 관련 키워드 변화('11~'23) ····· 323

표 목 차

〈표 II-111〉 국가별 내외국인 특허 현황 ····· 325
〈표 II-112〉 주력 IPC TOP 5 현황('11~'23) ····· 327
〈표 II-113〉 직접 광물 탄산화(광물 탄산화) 기술 관련 키워드 변화('11~'23) ····· 327
〈표 II-114〉 국가별 내외국인 특허 현황 ····· 329
〈표 II-115〉 주력 IPC TOP 5 현황('11~'23) ····· 331
〈표 II-116〉 간접 광물 탄산화(광물 탄산화) 기술 관련 키워드 변화('11~'23) ····· 331
〈표 II-117〉 국내 주요 CCU 기술개발 현황 ····· 333
〈표 II-118〉 국가별 CCU 기술수준 및 기술격차 ····· 334
〈표 II-119〉 국내 주요 CCU 기술개발 현황 ····· 336
〈표 II-120〉 국내 전공별 연구원 추이 ····· 345
〈표 II-121〉 국내 연구수행주체별·전공별 연구원 현황(2021) ····· 346
〈표 II-122〉 국내 CCU 관련 연구기관 현황 ····· 346
〈표 II-123〉 국내 CCU 관련 전공 분야별 연구인력 현황(2021) ····· 348
〈표 II-124〉 국내 CCU 관련 기업 연구인력 현황 ····· 349
〈표 II-125〉 국내 연구개발 장비 현황 ····· 350
〈표 II-126〉 국내 연구수행주체별 CCU 연구개발 장비 보유 현황 ····· 350
〈표 II-127〉 한국생산기술연구원 연구개발 장비 ····· 351
〈표 II-128〉 한국생명공학연구원 연구개발 장비 ····· 352
〈표 II-129〉 포항산업과학연구원 연구개발 장비 ····· 353
〈표 II-130〉 한국화학연구원 연구개발 장비 ····· 354
〈표 II-131〉 한국건설생활환경시험연구원 연구개발 장비 ····· 354
〈표 II-132〉 한국과학기술원 연구개발 장비 ····· 355
〈표 II-133〉 국내 CCU 관련 연구개발 장비 검색결과 ····· 355
〈표 II-134〉 국내 CCU 실증 및 사업화 성공 사례 ····· 360
〈표 II-136〉 국가 CO_2 포집 및 전환기술 관련 연구개발 투자 분석 개요 ····· 363
〈표 II-137〉 정부 R&D 투자동향 총괄('18~'22 누적액 기준) ····· 364
〈표 II-138〉 '18~'22 부처별 CO_2 포집 및 전환기술 관련 국가연구개발 투자 현황 ··· 365
〈표 II-139〉 '18~'22 연구 주체별 CO_2 포집 및 전환기술 관련 국가연구개발 현황 ··· 366
〈표 II-140〉 연구개발기관별 CO_2 포집 및 전환기술 관련 국가연구개발 수행 현황 ····· 366
〈표 II-141〉 과학기술표준 연구분야 CCU 기술 R&D 추이 ····· 367
〈표 II-142〉 연구개발 적용산업 기준 CCU 기술 R&D 추이 ····· 368

표 목 차

〈표 Ⅱ-143〉 국가전략기술 기준 CCU 기술 R&D 추이 ····· 369
〈표 Ⅱ-144〉 '18~'22 연구개발 단계별 투자 현황 ····· 370
〈표 Ⅱ-145〉 세계 e-Fuel 시장규모 현황 및 전망 ····· 386
〈표 Ⅱ-146〉 독일 e-Fuel 관련 주요 프로젝트 ····· 390
〈표 Ⅱ-147〉 국내 바이오매스 에너지 잠재량 현황 ····· 413
〈표 Ⅱ-148〉 국내 시멘트 산업의 클링커 생산량 추이 및 CO_2 발생량 추정 ····· 422
〈표 Ⅲ-1〉 문제의식과 대응 전략 ····· 444
〈표 Ⅲ-2〉 다양한 CCU 시장 전망 ····· 449
〈표 Ⅲ-3〉 多배출업종 산업 특성 및 기획 방향 ····· 452
〈표 Ⅲ-4〉 동 무탄소 에너지(CFE) 전환을 위한 CCU 기술개발(R&D) 사업 논리 모형 454
〈표 Ⅲ-5〉 기술 유형별 최종 제품 개발 목표 및 감축 목표량 ····· 464
〈표 Ⅲ-6〉 권역별 핵심 산업 연계 제품 개발 목표 ····· 465
〈표 Ⅲ-7〉 화학적 전환 최종제품 생산 확대 기대량 ····· 465
〈표 Ⅲ-8〉 생물학적 전환 최종제품 생산 확대 기대량 ····· 466
〈표 Ⅲ-9〉 광물탄산화 최종제품 생산 확대 기대량 ····· 466
〈표 Ⅲ-10〉 권역별 핵심 산업 연계 최종제품 확대 생산 기대량 ····· 467
〈표 Ⅲ-11〉 최종 제품 생산 확대를 통한 경제적 기대 효과 ····· 468
〈표 Ⅲ-12〉 전체 사업비 투입 규모 ····· 469
〈표 Ⅲ-13〉 세부 중점기술별 사업비 투입 규모(기획평가관리비 제외) ····· 469
〈표 Ⅲ-14〉 권역별 사업비 투입 규모(기평비 제외) ····· 470
〈표 Ⅲ-15〉 남부권 플래그십 프로젝트 사업비 투입 규모 ····· 470
〈표 Ⅲ-16〉 서부권 플래그십 프로젝트 사업비 투입 규모 ····· 471
〈표 Ⅲ-17〉 중부권 플래그십 프로젝트 사업비 투입 규모 ····· 471
〈표 Ⅲ-18〉 동남권 플래그십 프로젝트 사업비 투입 규모 ····· 471
〈표 Ⅲ-19〉 소요 연구 인력 ····· 472
〈표 Ⅲ-20〉 해외 CCU LCA 플랫폼 활용 예시 ····· 495
〈표 Ⅲ-21〉 추진 체계 및 주체별 역할 및 기능 ····· 498
〈표 Ⅲ-22〉 사업진행절차 및 일정 ····· 500
〈표 Ⅲ-23〉 세부사업 관리 체계 ····· 501
〈표 Ⅲ-24〉 과제 관리 운영 체계 ····· 502
〈표 Ⅲ-25〉 세부사업 평가 라인 ····· 504
〈표 Ⅲ-26〉 준공된 국내 주요 대규모 태양광 발전단지 현황 ····· 523
〈표 Ⅲ-27〉 대산석유화학단지 공업용수 공급 현황 ····· 546
〈표 Ⅲ-28〉 대산석유화학단지 공업용수 수요 조사 결과(일평균) ····· 547
〈표 Ⅲ-29〉 대산석유화학단지 석유화학기업 온실가스배출량 추이 ····· 550

표 목 차

〈표 Ⅲ-29〉 충북형 CCU산업 육성전략] ····· 574
〈표 Ⅲ-30〉 [충북형 CCU산업 육성전략] ····· 575
〈표 Ⅲ-31〉 동 사업을 통한 최종 생산물 거래 단가('23.11.) ····· 645
〈표 Ⅳ-1〉 문제이슈 도출 방법 및 내용 ····· 648
〈표 Ⅳ-2〉 국내 CCU 지원정책 ····· 649
〈표 Ⅳ-3〉 주요국 CCU 지원정책 ····· 651
〈표 Ⅳ-4〉 국가별 CCU 기술수준, 연구단계 역량 및 활동경향 ····· 652
〈표 Ⅳ-5〉 이산화탄소 활용 품목별 해외의존도 분석 ····· 653
〈표 Ⅳ-6〉 간담회 결과 개요 ····· 654
〈표 Ⅳ-7〉 기업 참여의향 조사 개요 ····· 655
〈표 Ⅳ-8〉 공청회 사진 ····· 656
〈표 Ⅳ-9〉 주요국 CCU 지원 및 투자 현황 ····· 658
〈표 Ⅳ-10〉 문제이슈와 사업목표간 연관관계 ····· 659
〈표 Ⅳ-11〉 문제 해결을 위한 사업 추진 고려 사항 ····· 659
〈표 Ⅳ-12〉 성과지표로의 사업 목적 연계도 ····· 660
〈표 Ⅳ-13〉 문제의식과 대응 전략 수립 방향 ····· 661
〈표 Ⅳ-14〉 내역사업 구성 ····· 662
〈표 Ⅳ-15〉 사업기획 추진체계 ····· 663
〈표 Ⅳ-16〉 상위계획과의 부합성 조사 결과 ····· 664
〈표 Ⅳ-17〉 기존사업과의 차별성 및 연계방안 ····· 666
〈표 Ⅳ-18〉 과기정통부 CCU 기술 연도별·단계별 투자현황 (단위: 억원) ····· 667
〈표 Ⅳ-19〉 보조금 유형 ····· 668
〈표 Ⅳ-20〉 보조금 유형 ····· 669
〈표 Ⅳ-21〉 전체 사업비 투입 규모 ····· 670
〈표 Ⅳ-22〉 세부 중점기술별 사업비 투입 규모(기획평가관리비 제외) ····· 670
〈표 Ⅳ-23〉 본 사업 경제성 분석 대상 ····· 671
〈표 Ⅳ-24〉 시장수요접근법에 의한 편익 추정 수식 ····· 675
〈표 Ⅳ-25〉 시장 점유율 산정 ····· 677
〈표 Ⅳ-26〉 중점기술 분야의 세계시장 전망(단위: 억 원, %) ····· 677
〈표 Ⅳ-27〉 전략과제 사업기여율 산출 공식 ····· 678
〈표 Ⅳ-28〉 사업기여율 산정 ····· 679
〈표 Ⅳ-29〉 편익 산출 활용 지표 ····· 679
〈표 Ⅳ-30〉 동 사업을 통한 최종 생산물 거래 단가('23.11.) ····· 685
〈표 Ⅳ-31〉 동 사업 최종생산물로 인한 권역별 생산유발 효과 ····· 685
〈표 Ⅳ-32〉 BC 분석 표 ····· 686
〈표 Ⅳ-33〉 전략과제별 경제성분석 종합 결과 ····· 687

그 림 목 차

〈그림 Ⅰ-1〉 재생에너지-수소-CCU 연계를 통한 무탄소 에너지 전환 ····· 4
〈그림 Ⅰ-2〉 CCU 기술 개념 ····· 5
〈그림 Ⅰ-3〉 CO_2 화학적 전환 기술 개념도 ····· 6
〈그림 Ⅰ-4〉 CO2 생물학적 전환 기술 개념도 ····· 7
〈그림 Ⅰ-5〉 CO2 광물탄산화 기술 개념도 ····· 7
〈그림 Ⅰ-6〉 글로벌 CO2 활용 시장 규모 ····· 14
〈그림 Ⅰ-7〉 CCU 관련 주요정책 추진경과 ····· 33
〈그림 Ⅰ-8〉 제6차 실무기획위원회 자료 ····· 45
〈그림 Ⅰ-9〉 제8차 실무기획위원회 자료 ····· 47
〈그림 Ⅰ-10〉 공청회 사진 ····· 48
〈그림 Ⅰ-11〉 국내 2021년 기준 에너지 밸런스 플로우 ····· 56
〈그림 Ⅰ-12〉 (에너지 플로우) 에너지원과 소비분야 흐름 ····· 57
〈그림 Ⅰ-13〉 CCU 산업 가치사슬 ····· 58
〈그림 Ⅰ-14〉 CO_2 활용 기술 개념도 ····· 58
〈그림 Ⅰ-15〉 중점기술 선정을 위한 기술 유형 분류 ····· 60
〈그림 Ⅰ-16〉 기술 수요조사지 ····· 64
〈그림 Ⅰ-17〉 기업 수요 반영 우선순위 도출 과정 ····· 76
〈그림 Ⅰ-18〉 IPA 분석(그래프)개발이 필요한 기술 ····· 112
〈그림 Ⅱ-1〉 전지구와 우리나라의 대기중 이산화탄소 농도 변화 시계열 ····· 122
〈그림 Ⅱ-2〉 전지구 온실가스 배출량 ····· 123
〈그림 Ⅱ-3〉 전세계 부문별 CO_2 배출량(에너지 및 산업공정) ····· 124
〈그림 Ⅱ-4〉 분야별 온실가스 배출량 및 흡수량(1990~2020) ····· 126
〈그림 Ⅱ-5〉 온실가스별 배출량(1990~2020) ····· 128
〈그림 Ⅱ-6〉 온실가스별 비중 추이(1990~2020) ····· 129
〈그림 Ⅱ-7〉 온실가스 증감 기여율(1991~2020) ····· 130
〈그림 Ⅱ-8〉 분야별 CO_2 배출량 및 흡수량(1990-2020) ····· 133
〈그림 Ⅱ-9〉 전 세계 온실가스 배출량 순위 및 배출량 ····· 135
〈그림 Ⅱ-10〉 코로나19 이후 에너지소비량 및 CO_2 배출량 ····· 136
〈그림 Ⅱ-11〉 에너지집약도와 탄소집약도 ····· 137
〈그림 Ⅱ-12〉 G20 국가의 제조업 비중과 에너지집약도 ····· 138
〈그림 Ⅱ-13〉 일차에너지 중 재생에너지 비중 국제비교 ····· 138
〈그림 Ⅱ-14〉 주요국의 에너지원별 전원구성(2020년) ····· 139
〈그림 Ⅱ-15〉 부문별 온실가스 감축 성과 및 전망 ····· 140

그 림 목 차

〈그림 Ⅱ-16〉 G20 국가별 온실가스배출량 변화율 ····· 141
〈그림 Ⅱ-17〉 주요국의 온실가스 감축목표 달성률 ····· 142
〈그림 Ⅱ-18〉 제조업 및 건설업 부문 온실가스 배출 비교 ····· 143
〈그림 Ⅱ-19〉 혁신기금(Innovation Fund) 주요 지원 내용 ····· 168
〈그림 Ⅱ-20〉 일본 탄소재활용 기술 로드맵 지원 분야 개요 ····· 177
〈그림 Ⅱ-21〉 일본 2050 탄소중립 실현을 위한 14개 분야 ····· 178
〈그림 Ⅱ-22〉 세계 주요산업 온실가스 배출량(2019) ····· 195
〈그림 Ⅱ-23〉 국내 산업별 온실가스배출량(2019) ····· 195
〈그림 Ⅱ-24〉 국내 업종별 온실가스 배출량 ····· 200
〈그림 Ⅱ-25〉 국산 석유화학제품 지역별 수출물량 추이 ····· 200
〈그림 Ⅱ-26〉 2050년 1차 에너지 공급 전망 ····· 204
〈그림 Ⅱ-27〉 정유 산업 탄소중립을 위한 온실가스 감축 전략 ····· 207
〈그림 Ⅱ-28〉 CO_2 화학전환 기술 개념도 ····· 208
〈그림 Ⅱ-29〉 CO_2 생물전환 기술 개념도 ····· 213
〈그림 Ⅱ-30〉 CO_2 광물탄산화 기술 개념도 ····· 217
〈그림 Ⅱ-31〉 세계 합성가스 시장규모 현황 및 전망 ····· 228
〈그림 Ⅱ-32〉 국내 합성가스 시장규모 현황 및 전망 ····· 228
〈그림 Ⅱ-33〉 세계 메탄올 시장규모 현황 및 전망 ····· 229
〈그림 Ⅱ-34〉 국내 메탄올 시장규모 현황 및 전망 ····· 230
〈그림 Ⅱ-35〉 세계 초산(아세트산) 시장규모 현황 및 전망 ····· 231
〈그림 Ⅱ-36〉 세계 개미산 시장규모 현황 및 전망 ····· 232
〈그림 Ⅱ-37〉 세계 옥살산 시장규모 현황 및 전망 ····· 233
〈그림 Ⅱ-38〉 세계 디메틸카보네이트 시장규모 현황 및 전망 ····· 235
〈그림 Ⅱ-39〉 국내 디메틸카보네이트 시장규모 현황 및 전망 ····· 235
〈그림 Ⅱ-40〉 세계 알킬렌카보네이트(에틸렌카보네이트) 시장규모 현황 및 전망 ····· 236
〈그림 Ⅱ-41〉 세계 올레핀 시장규모 현황 및 전망 ····· 237
〈그림 Ⅱ-42〉 세계 폴리카보네이트 시장규모 현황 및 전망 ····· 238
〈그림 Ⅱ-43〉 국내 폴리카보네이트 시장규모 현황 및 전망 ····· 239
〈그림 Ⅱ-44〉 세계 폴리우레탄 시장규모 현황 및 전망 ····· 240
〈그림 Ⅱ-45〉 국내 폴리우레탄 시장규모 현황 및 전망 ····· 241
〈그림 Ⅱ-46〉 세계 바이오매스 시장규모 현황 및 전망 ····· 243
〈그림 Ⅱ-47〉 세계 사료 시장규모 현황 및 전망 ····· 244
〈그림 Ⅱ-48〉 국내 단미사료 시장규모 현황 및 전망 ····· 245
〈그림 Ⅱ-49〉 국내 보조사료 시장규모 현황 및 전망 ····· 245

그 림 목 차

〈그림 Ⅱ-50〉 세계 바이오플라스틱 시장규모 현황 및 전망 ····· 246
〈그림 Ⅱ-51〉 국내 바이오플라스틱 시장규모 현황 및 전망 ····· 247
〈그림 Ⅱ-52〉 세계 바이오연료 시장규모 현황 및 전망 ····· 248
〈그림 Ⅱ-53〉 세계 천연색소(유기안료) 시장규모 현황 및 전망 ····· 249
〈그림 Ⅱ-54〉 세계 시멘트 시장규모 현황 및 전망 ····· 250
〈그림 Ⅱ-55〉 국내 시멘트 시장규모 현황 및 전망 ····· 251
〈그림 Ⅱ-56〉 국내 시멘트 시장점유율 현황(2020) ····· 251
〈그림 Ⅱ-57〉 세계 탄산마그네슘 광물 시장 ····· 252
〈그림 Ⅱ-58〉 세계 저탄소 콘크리트 시장규모 현황 및 전망 ····· 253
〈그림 Ⅱ-59〉 세계 탄산칼슘 시장규모 현황 및 전망 ····· 254
〈그림 Ⅱ-60〉 국내 탄산칼슘 시장규모 현황 및 전망 ····· 255
〈그림 Ⅱ-61〉 세계 중탄산나트륨 시장규모 현황 및 전망 ····· 256
〈그림 Ⅱ-62〉 Plymouth Marine Lab. 광생물반응기 설비 및 공정 모식도(EnAlgae) 258
〈그림 Ⅱ-63〉 Plymouth Marine Lab. 광생물반응기 설비 및 공정 모식도(EnAlgae) 259
〈그림 Ⅱ-64〉 Steelanol 프로젝트 모식도 ····· 264
〈그림 Ⅱ-65〉 Steelanol Project 현장 사진 ····· 265
〈그림 Ⅱ-66〉 국가·연도별 CCU 출원동향('11~'23) ····· 275
〈그림 Ⅱ-67〉 CCU 기술 기술영향력 및 시장지배력('11~'23) ····· 278
〈그림 Ⅱ-68〉 국가·연도별 합성가스(화학적 전환) 출원동향('11~'23) ····· 280
〈그림 Ⅱ-69〉 합성가스(화학적 전환) 기술영향력 및 시장지배력('11~'23) ····· 282
〈그림 Ⅱ-70〉 국가·연도별 유기산(화학적 전환) 출원동향('11~'23) ····· 284
〈그림 Ⅱ-71〉 유기산(화학적 전환) 기술영향력 및 시장지배력('11~'23) ····· 286
〈그림 Ⅱ-72〉 국가·연도별 카보네이트(화학적 전환) 출원동향('11~'23) ····· 288
〈그림 Ⅱ-73〉 카보네이트(화학적 전환) 기술영향력 및 시장지배력('11~'23) ····· 290
〈그림 Ⅱ-74〉 국가·연도별 알코올 및 알데히드류(화학적 전환) 출원동향('11~'23) ····· 292
〈그림 Ⅱ-75〉 알코올 및 알데히드류(화학적 전환) 기술영향력 및 시장지배력('11~'23) 295
〈그림 Ⅱ-76〉 국가·연도별 탄화수소류(화학적 전환) 출원동향('11~'23) ····· 297
〈그림 Ⅱ-77〉 탄화수소류(화학적 전환) 기술영향력 및 시장지배력('11~'23) ····· 299
〈그림 Ⅱ-78〉 국가·연도별 고분자(화학적 전환) 출원동향('11~'23) ····· 301
〈그림 Ⅱ-79〉 고분자(화학적 전환) 기술영향력 및 시장지배력('11~'23) ····· 304
〈그림 Ⅱ-80〉 국가·연도별 탄소소재 차세대활용(화학적 전환) 출원동향('11~'23) ····· 306
〈그림 Ⅱ-81〉 탄소소재 차세대활용(화학적 전환) 기술영향력 및 시장지배력('11~'23) ·· 308
〈그림 Ⅱ-82〉 국가·연도별 바이오매스 생산(생물학적 전환) 출원동향('11~'23) ····· 310

그 림 목 차

〈그림 Ⅱ-83〉 바이오매스 생산(생물학적 전환) 기술영향력 및 시장지배력('11~'23) ····· 313
〈그림 Ⅱ-84〉 국가·연도별 바이오 연료화(생물학적 전환) 출원동향('11~'23) ····· 315
〈그림 Ⅱ-85〉 바이오 연료화(생물학적 전환) 기술영향력 및 시장지배력('11~'23) ····· 317
〈그림 Ⅱ-86〉 국가·연도별 바이오 소재화(생물학적 전환) 출원동향('11~'23) ····· 319
〈그림 Ⅱ-87〉 바이오 소재화(생물학적 전환) 기술영향력 및 시장지배력('11~'23) ····· 322
〈그림 Ⅱ-88〉 국가·연도별 직접 광물 탄산화(광물 탄산화) 출원동향('11~'23) ····· 324
〈그림 Ⅱ-89〉 직접 광물 탄산화(광물 탄산화) 기술영향력 및 시장지배력('11~'23) ····· 326
〈그림 Ⅱ-90〉 국가·연도별 간접 광물 탄산화(광물 탄산화) 출원동향('11~'23) ····· 328
〈그림 Ⅱ-91〉 간접 광물 탄산화(광물 탄산화) 기술영향력 및 시장지배력('11~'23) ····· 330
〈그림 Ⅱ-92〉 롯데케미칼 기체분리막 CCU 실증 설비 ····· 337
〈그림 Ⅱ-93〉 롯데케미칼-롯데건설 탄소포집 부산물 응용 기술 업무협약 체결 ····· 337
〈그림 Ⅱ-94〉 금호석유화학-한국특수가스 이산화탄소 포집·활용 사업 MOU 체결 ····· 338
〈그림 Ⅱ-95〉 현대오일뱅크-DL E&C 탄소저감 친환경 건축소재 사업 협약 체결 ····· 339
〈그림 Ⅱ-96〉 시멘트산업 배출 CO_2 활용 저탄소 연료화 기술개발 사업 업무협약 ····· 341
〈그림 Ⅱ-97〉 부흥산업사 건식 개질 플랜트 ····· 342
〈그림 Ⅱ-98〉 광물탄산화 기술개발 협약식 체결 ····· 343
〈그림 Ⅱ-99〉 현대건설 주관 CCU 파일럿 플랜트 ····· 344
〈그림 Ⅱ-100〉 세계 합성가스 시장규모 현황 및 전망 ····· 371
〈그림 Ⅱ-101〉 국내 합성가스 시장규모 현황 및 전망 ····· 372
〈그림 Ⅱ-102〉 국내 이산화탄소 활용 건식개질 플랜트 ····· 375
〈그림 Ⅱ-103〉 세계 메탄올 시장규모 현황 및 전망 ····· 376
〈그림 Ⅱ-104〉 국내 메탄올 시장규모 현황 및 전망 ····· 377
〈그림 Ⅱ-105〉 세계 올레핀 시장규모 현황 및 전망 ····· 380
〈그림 Ⅱ-106〉 국내 올레핀 시장규모 현황 및 전망 ····· 381
〈그림 Ⅱ-107〉 한국화학연구원 알파올레핀 생산공정 개발(반응 생성물) ····· 383
〈그림 Ⅱ-108〉 한국화학연구원 알파올레핀 생산공정 개발(주요 연구결과) ····· 383
〈그림 Ⅱ-109〉 해외 e-fuel 연구시설 참고 사진(좌: 아우디 우: 지멘스) ····· 385
〈그림 Ⅱ-110〉 e-Fuel 생산가격 산출 그래프 ····· 387
〈그림 Ⅱ-111〉 독일 Viessmann社의 P2G 실증 플랜트(Allendorf) ····· 388
〈그림 Ⅱ-112〉 P2X 프로젝트 참여기관 ····· 389
〈그림 Ⅱ-113〉 포르쉐-지멘스 칠레 e-Fuel 생산 공장 ····· 390
〈그림 Ⅱ-114〉 노르웨이 e-Fuel 생산 공장 ····· 391
〈그림 Ⅱ-115〉 세계 폴리머 시장규모 현황 및 전망 ····· 393
〈그림 Ⅱ-116〉 국내 플라스틱 재활용 시장규모 현황 및 전망 ····· 394
〈그림 Ⅱ-117〉 세계 폴리우레탄 시장규모 현황 및 전망 ····· 395

그 림 목 차

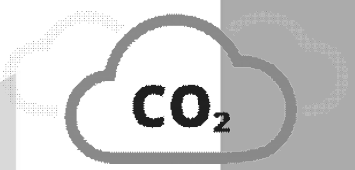
〈그림 Ⅱ-118〉 국내 폴리우레탄 시장규모 현황 및 전망 ····· 396
〈그림 Ⅱ-119〉 세계 폴리카보네이트 시장규모 현황 및 전망 ····· 397
〈그림 Ⅱ-120〉 국내 폴리카보네이트 시장규모 현황 및 전망 ····· 398
〈그림 Ⅱ-121〉 한국화학연구원 공동개발 이산화탄소 기반 폴리우레탄 제품 ····· 401
〈그림 Ⅱ-122〉 세계 바이오연료 시장규모 현황 및 전망 ····· 403
〈그림 Ⅱ-123〉 국내 바이오연료 시장규모 현황 및 전망 ····· 404
〈그림 Ⅱ-124〉 세계 바이오소재 시장규모 현황 및 전망 ····· 405
〈그림 Ⅱ-125〉 국내 바이오소재 시장규모 현황 및 전망 ····· 406
〈그림 Ⅱ-126〉 세계 바이오매스 시장규모 현황 및 전망 ····· 412
〈그림 Ⅱ-127〉 국내 바이오매스 시장규모 현황 및 전망 ····· 412
〈그림 Ⅱ-128〉 세계 광물 탄산화 시장규모 현황 및 전망 ····· 418
〈그림 Ⅱ-129〉 국내 광물 탄산화 시장규모 현황 및 전망 ····· 419
〈그림 Ⅱ-130〉 세계 시멘트 시장규모 현황 및 전망 ····· 421
〈그림 Ⅱ-131〉 국내 시멘트 시장규모 현황 및 전망 ····· 421
〈그림 Ⅱ-132〉 국내 시멘트 시장점유율 현황(2020) ····· 422
〈그림 Ⅱ-133〉 Solidia 관련 공정 ····· 427
〈그림 Ⅱ-134〉 세계 황산암모늄 시장규모 현황 및 전망 ····· 428
〈그림 Ⅱ-135〉 세계 탄산칼슘 시장규모 현황 및 전망 ····· 429
〈그림 Ⅱ-136〉 국내 탄산칼슘 시장규모 현황 및 전망 ····· 430
〈그림 Ⅱ-137〉 세계 마그네슘 시장규모 현황 및 전망 ····· 431
〈그림 Ⅱ-138〉 세계 탄산마그네슘 광물 시장 ····· 432
〈그림 Ⅱ-139〉 한국남동발전 삼천포발전본부 ····· 435
〈그림 Ⅱ-140〉 CCC 제조공정 모식도 및 제조 시편 ····· 436
〈그림 Ⅲ-1〉 세부과제 운영 체계 ····· 501
〈그림 Ⅲ-2〉 산업 부문 업종별 온실가스 배출 추이 ····· 516
〈그림 Ⅲ-3〉 이산화탄소 전환 화학 물질 생산 경로 (IEA, 2019) ····· 526
〈그림 Ⅲ-4〉 플랫폼 화합물(CO, MeOH) 전환을 통한 고부가가치 화합물 합성경로 ···· 527
〈그림 Ⅲ-5〉 충남 서부권 산업단지 추가 조성으로 CO2 배출량 증가 예상 ····· 537
〈그림 Ⅲ-6〉 해수담수화 농축수 주요성분의 자원화 및 감량화 기술 개발 예 ····· 538
〈그림 Ⅲ-7〉 대산석유화학단지 맞춤형 CO2 광물전환 기술 개발 성공을 통한 확산 ···· 539
〈그림 Ⅲ-8〉 대산석유화학단지 산업구조 특성에 적합한 CCU 사업 모델 필요 ····· 542

그 림 목 차

〈그림 Ⅲ-9〉 대산임해산업지역 중점 추진 사업 ····· 544
〈그림 Ⅲ-10〉 대산석유화학단지 제품 계통도 ····· 545
〈그림 Ⅲ-11〉 충남의 산업부문별 온실가스 배출 순위 ····· 549
〈그림 Ⅲ-12〉 대산석유화학단지의 CO2 감축 활동 현황 ····· 552
〈그림 Ⅲ-13〉 역삼투 해수담수화 공정의 전력 사용량 분석 ····· 554
〈그림 Ⅲ-14〉 에틸렌 생산능력 기준으로 '30년 중국의 생산능력은 글로벌 ····· 558
〈그림 Ⅲ-15〉 시멘트산업 탄소중립 로드맵 ····· 566
〈그림 Ⅲ-16〉 충청북도 3050 탄소중립 추진체계 ····· 568
〈그림 Ⅲ-17〉 경남지역 조선업 현황 ····· 585
〈그림 Ⅲ-18〉 동남권 3개 시·도 수소 배관망 사업과 시·도별 액화수소분야 역할분배 ·· 586
〈그림 Ⅲ-19〉 울산 중소기업 탄소중립 대응실태 설문조사 결과 ····· 587

제1장 사업 개요

Carbon Capture and Utilization



제1절 사업개념
1. CCU 개념 정의 및 범위
2. 사업추진 배경
3. 사업추진 필요성 및 시급성
4. 사업추진 근거 및 추진 경위

제2절 사업추진 경과 및 추진체계
1. 사업 기획 추진 경과
2. 사업기획 추진체계

제3절 사업 구성 방향
1. 주력기술 분야 도출
2. 기술개발 우선순위 선정 과정

무탄소 에너지(CFE) 가치사슬 제고와 CCU의 조속한 상용사례 창출로

탄소중립 산업경쟁력 확보와 미래지향 기반 구축

국가 기술경쟁력 강화 필요

- 미래지향 기반구축과 시장 창출 중심 투자

제1장 사업 개요

제1절 사업개념

1. 사업 개요

□ 추진 규모

❍ 추진기간 : 2025년 ~ 2030년(6년)

❍ 총사업비 : 8,487.6억 원(국고 5,547.6억 원, 민간 2,940억 원)

□ 사업 유형 및 추진범위

❍ 사업유형 : 성장형 R&D

❍ 공모방식 : 기술지정

❍ 추진범위 : 응용·실증 R&D (TRL 5 ~ 7 단계)

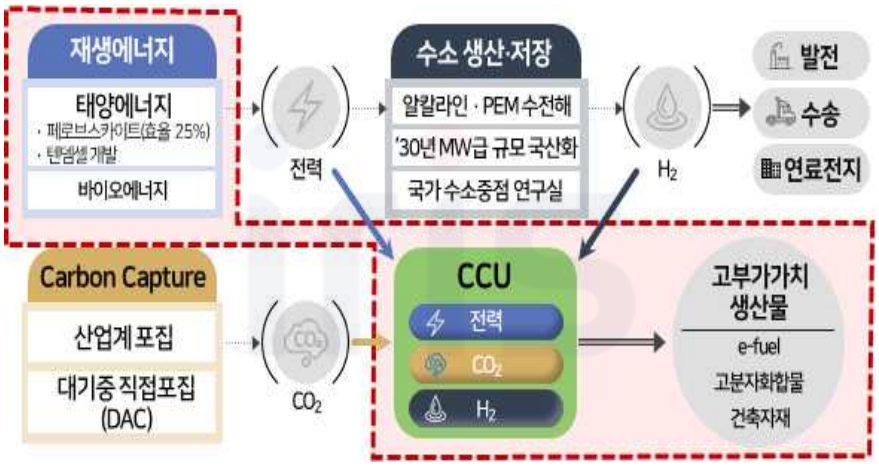
2. CCU(이산화탄소 활용)에 대한 이해

가. 무탄소 에너지(CFE)

□ **(무탄소 에너지 정의)** 무탄소 에너지(CFE, Carbon Free Energy)는 전기 생산 과정에서 **직접 탄소를 배출하지 않는 모든 에너지원**

❍ 재생에너지(태양광, 풍력, 수력, 지열, 바이오매스 등)는 물론 원자력, 청정수소, **탄소포집·활용·저장(CCUS)까지 포함**하는 개념

- 무탄소 에너지(CFE)로의 전환을 위한 핵심 수단 중 하나로, 2050 Net-zero 이행 과정에 있어 징검다리 역할을 수행



〈그림 Ⅰ-1〉 재생에너지-수소-CCU 연계를 통한 무탄소 에너지 전환

❍ **(무탄소 에너지-CCU 연계)** 포집된 탄소를 청정수소와 반응시키고, 이때 필요한 전력을 재생에너지로 공급하여 탄소를 고부가가치 생산물로 전환재생에너지 발전(태양광, 바이오에너지) 등 발전 과정에서 탄소 발생이 없는 에너지원으로부터 전력을 직접 생산하여 활용

❍ **(청정수소 생산)** 재생에너지원으로부터 생산된 전력의 일부를 수전해 시스템과 연계하여 그린수소 생산에 활용(수소발전, 수송 및 연료전지)

◇ **CCU**는 포집된 탄소를 청정수소와 반응시키고, 이때 필요한 전력을 재생에너지로 공급하여 **탄소를 고부가가치 생산물로 전환**함으로써 **무탄소 에너지 전환**에 기여

나. 이산화탄소 포집·활용(CCU)

❍ **(CCU 정의)** CCU 기술은 CO_2를 탄소 기반의 유용 원료로 전환하고 경제적 가치가 있는 제품으로 변환하는 기술

❍ **(CCU 분류)** CCU 기술은 CO_2 전환 방식에 따라 화학적 전환, 생물학적 전환, 광물탄산화로 구분되며, 고부가 산업 소재 활용을 위해 다양한 메커니즘의 CO_2 전환 기술개발 필요

□ **(CCU 개념)** 에너지, 산업 공정 등에서 배출되는 CO_2를 직접 또는 전환하여 **잠재적 시장가치**가 있는 **제품으로 활용**하는 기술

❍ CCU(활용) 기술은 CO_2를 단순 폐기물이 아닌 **유용 탄소원**으로 인식 및 활용하는 탄소순환 기술로 탄소중립에 기여할 것으로 전망

〈그림 Ⅰ-2〉 CCU 기술 개념

❍ CCU 기술의 잠재적 적용 범위는 매우 넓으나, 크게 이산화탄소를 화학적 또는 생물학적으로 전환하지 않고 그대로 사용하는 비전환 직접 활용 기술과 이산화탄소를 여타 유용한 제품으로 바꾸는 전환기술로 구별

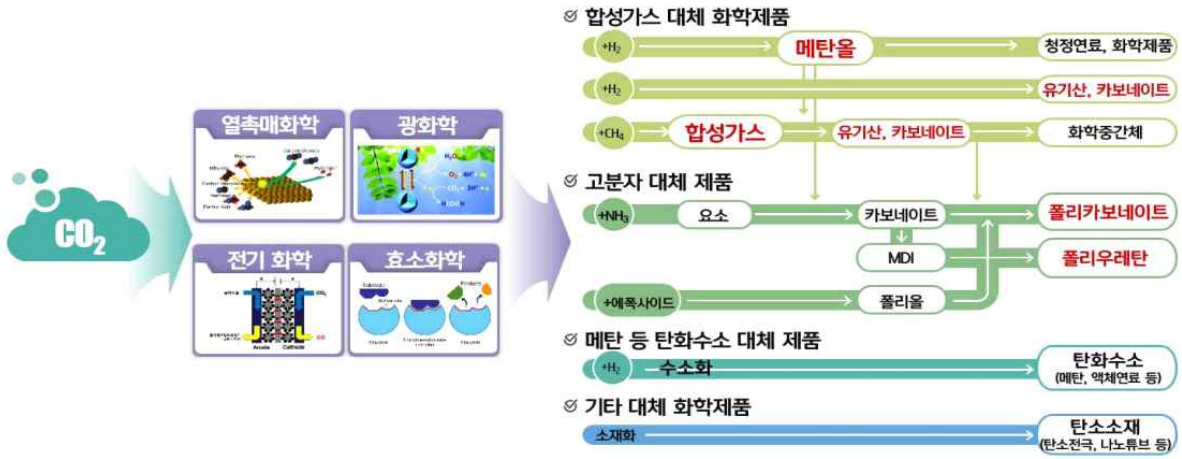
- (직접 활용) 높은 열 흡수능력, 안정적 특성, 용제 역할 등 CO_2의 고유한 물성을 활용하여 작물 수확량 향상, 용제 활용, 냉방/냉장을 위한 열전달 유체, 식음료 생산 등에 활용
- (전환기술) 다양한 화학적, 생물확적 전환기술 경로를 이용하여 CO_2를 연료, 화학물질 및 건축자재 등으로 전환하는 기술로 개발 초기 단계

□ **(CCU 분류)** CO_2 전환 방식에 따라 **화학 전환, 생물 전환, 광물탄산화**로 구분

❍ **(화학적 전환)** CO_2를 화학반응 원료로 사용-연료, 기초화학제품 등 탄소화합물 전환 기술
❍ **(생물학적 전환)** CO_2를 미생물 등을 활용-바이오매스 및 바이오 기반 유용물질 전환 기술
❍ **(광물 탄산화)** CO_2를 알칼리토금속 포함 광물 및 수용액 반응-탄산염 광물 전환 기술

❍ **(화학적 전환)** CO_2를 화학반응의 원료로 사용하여 연료, 기초화학제품 등 다양한 탄소화합물로 전환하는 기술로서, 촉매, 전기화학, 광전기화학, 광화학 전환으로 구분

- 촉매전환 기술을 통하여 다양한 연료(메탄, 메탄올, 액상 탄화수소 등) 및 화학 제품(일산화탄소, 개미산 등) 을 생산
- 전기화학적 전환기술은 전지 시스템에 전기에너지를 공급하여, 전위차를 발생시켜 열역학적으로 안정한 CO_2 를 환원시키는 방법
- 광전기화학적 전환기술은 태양에너지를 직접 활용하여 CO_2를 유용한 화합물로 전환하는 기술
- 광화학적 전환기술은 태양광 스펙트럼 중 400~800㎚에 해당하는 가시광 에너지에 공명하는 반도체 소재를 활용하여 CO_2를 전환하는 촉매 반응을 이용하는 기술



*출처 : 관계부처 합동, 이산화탄소 포집·활용(CCU) 기술혁신 로드맵(안), 2021. 06. 15.

〈그림 Ⅰ-3〉 CO_2 화학적 전환 기술 개념도

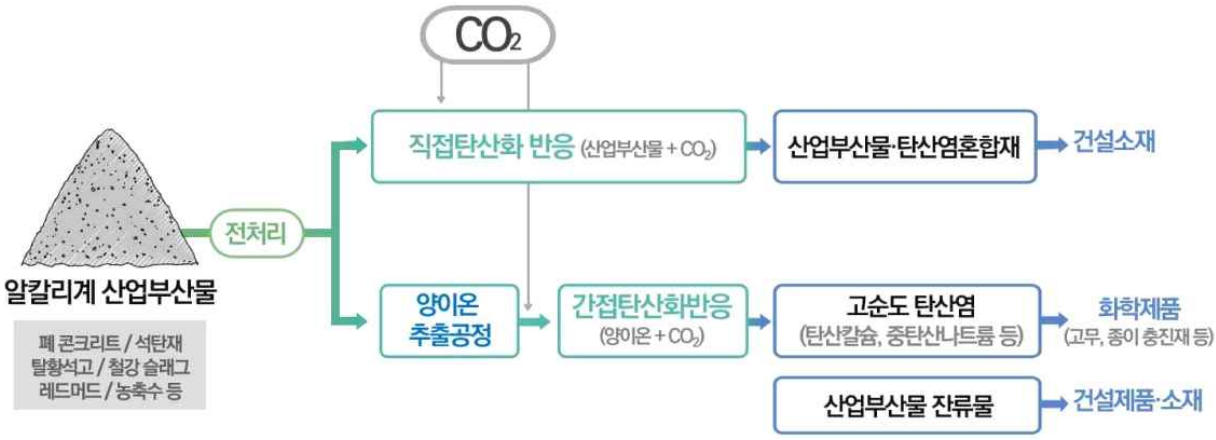
❍ **(생물학적 전환)** CO_2를 고정할 수 있는 미생물 등을 활용하여 바이오매스를 생산하고 이를 바이오 기반 유용물질로 전환하는 기술로서, 광합성 및 비광합성 전환으로 구분

*출처 : 관계부처 합동, 이산화탄소 포집·활용(CCU) 기술혁신 로드맵(안), 2021. 06. 15.

〈그림 Ⅰ-4〉 CO_2 생물학적 전환 기술 개념도

❍ **(광물탄산화)** CO_2를 알칼리토금속을 포함하는 광물 또는 수용액과 반응시켜 탄산염 광물로 전환하는 기술로서, 직접탄산화 및 간접탄산화로 구분

- 직접탄산화 기술은 대상 원료와 CO_2를 직접 반응시키는 기술이며, 간접탄산화 기술은 원료 물질 중 알칼리이온을 용출, 탄산화하는 기술



*출처 : 관계부처 합동, 이산화탄소 포집·활용(CCU) 기술혁신 로드맵(안), 2021. 06. 15.

〈그림 Ⅰ-5〉 CO_2 광물탄산화 기술 개념도

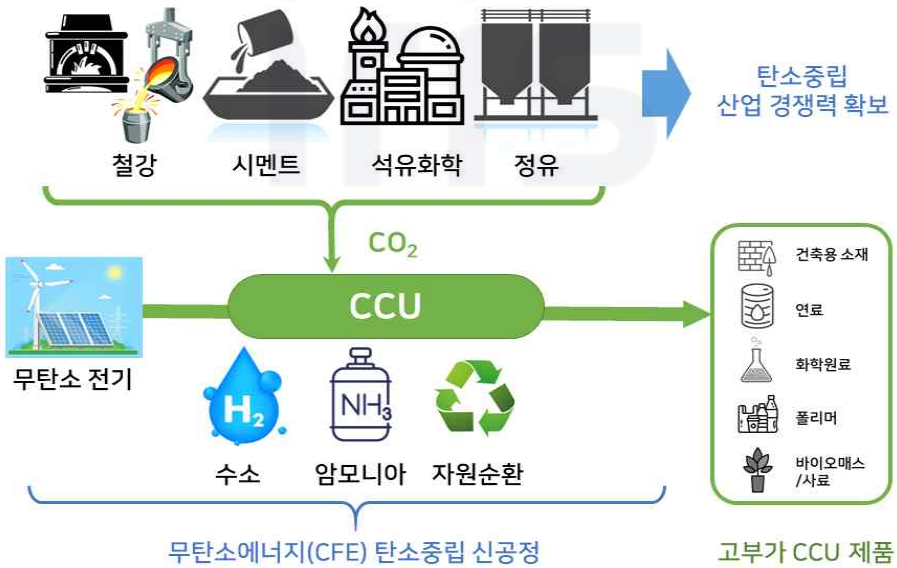
3. 사업추진 배경

◇ 전 세계적인 무탄소 에너지(CFE) 활용 흐름 확대

□ (CFE) 탈탄소화를 위한 현실적 대안으로서 재생에너지뿐만 아니라 원전·수소·CCUS 등 다양한 무탄소 에너지를 활용하는 CFE 대두

❍ **(기술적 뒷받침)** 전기생산 과정에서 직접 탄소를 배출하지 않는 핵심 수단으로써 재생에너지, 수소, CCU 등의 기술확보가 긴요

❍ CCU 기술 그 자체로서도 블루수소 생산, 암모니아, 청정 수송 원료(e-SAF 등) 자원순환 등의 **탄소중립 신산업 창출이 가능**하며, 석탄, LNG 발전 비율이 높은 우리나라의 에너지 믹스 여건에서 **민간의 부담을 최소화**할 수 있는 기술



◇ CCUS는 유일한 이산화탄소 사후감축 기술 수단

□ 우리나라의 **높은 제조업·수출 비중** 및 에너지 여건을 고려할 때, CCU는 **탄소중립** 및 **산업경쟁력 향상**을 동시에 달성케 하는 수단

❍ 철강·시멘트·석유화학 등 탄소 多배출 산업 분야에서 저탄소 신공정 기술은 CCU 기술의 적용을 전제하고 있으며,

◇ 무탄소 에너지(CFE) 가치사슬의 견고화와 '30년 감축목표 달성을 위해 CCU의 조속한 중대형 국가 R&D 투자 착수 필요

□ **(파편적인 투자는 상용화 단계로의 연계 취약)** 국내 일부기술은 응용연구 및 소규모 실증단계에 진입하였으나, 상**용화 단계로의 연계된 사례는 부재**

❍ 연구실 또는 개별 기업 단위의 **파편적 투자를 극복**하고 산업과 연계한 대규모 실증을 통해 **완성도 높은 기술확보 필요**

□ 석유화학 제품 대비 상대적으로 낮은 **CCU 제품의 경제성**

❍ **(낮은 경제성)** 상용화를 위해 대규모 실증이 필요하나, 기존 산업공정에 적용하기 위한 비용과 리스크가 높아* 기업의 자발적 참여가 부족

* 기존 석유화학 기반 제품 대비 높은 비용으로 인해 가격경쟁력 확보가 어려움

❍ 정부의 마중물 투자로 초기 **성공사례를 창출하여 리스크를 경감**시킴으로써 **CCU 기술이 민간으로 확산** 될 수 있는 계기 마련 필요

❍ **(NDC 이행)** 국가온실가스감축목표* 달성을 위해서는 산업구조 전환(44.4%)뿐만 아니라 CCUS (10.3%) 또한 동원해야 할 필수 수단

* CCUS 감축목표: (기존)'30년 1,030만톤 감축 → (수정)'30년 1,120만톤 감축

❍ **(높은 전략적 가치)** 우리나라의 높은 제조업·수출 비중 및 에너지 여건 고려 시, CCU는 탄소중립 및 산업경쟁력 향상 동시에 달성 가능

* 블루수소·암모니아, 청정수송연료, 자원순환 등의 신산업 분야와도 연계 可

❍ **(상용화 사례 부족)** 국내 일부기술은 응용연구 및 소규모 실증단계에 진입하였으나, 확보된 핵심기술의 상용화 단계로 연계는 취약

◇ CCU 기술은 에너지 자립 및 산업의 저탄소 전환을 위한 수단으로써 전략적 중요성이 증대

◇ 국제사회는 기후변화 심각성을 강조하며, 산업계 기후위기 대응을 촉구

□ **(국제사회, 산업계 기후위기 대응 요구)** IPCC*(기후변화에 관한 정부 간 협의체), WMO**(세계기상기구) 등 국제과학기구에서는 **기온·해수면**의 **상승** 등 급격히 진행되는 **기후위기 엄중 경고**

*지구 평균기온 1.09℃ 상승, 1.5℃ 상승 시점 2021~2040년으로 10년 앞당겨짐('21.08.)

**기후변화 심각성 평가 주요 4대 지표(온실가스농도, 해수면 상승, 해수 온도, 해양산성도) 역대 최고('22.05.)

❍ 지구촌은 **홍수, 가뭄, 폭염** 등 **이상기후**로 인해 발생하는 피해가 증가하고 있으며, 기후위기에 따른 재난은 **일상화** 추세로 변모

❍ 전 세계적으로 기후위기의 심각성 및 실질적인 대응의 시급성에 대한 공감대가 형성됨에 따라, 국제사회에서 개별 감축 주체인 **산업계**의 **기후변화 대응 및 사회적 책임**을 **촉구**

- 총 탄소 배출량 및 전력소비량 중 기업이 차지하는 비중이 막대한 만큼 기후변화를 완화하기 위해 **기업의 감축 목표 수립 및 이행방안 마련 요구**

❍ 정부, 시민단체, 금융기관 등 주요 이해관계자의 기업을 향한 기후 행동 요구가 증대하고 있으며, 기업가치평가지표 중 기후변화 대응에 대한 평가지표 비중이 확대되는 추세

- (시민단체) 글로벌 이니셔티브(RE100, SBTi), 글로벌 캠페인(FossilFree) 등을 통해 기업에 책임감 있는 기후 행동 요구

□ **(저탄소·친환경 경제구조 전환)** 세계 각국은 **탄소중립 목표** 선언과 함께 **탄소 규제**를 더욱 **강화**하며 저탄소·친환경 경제구조로 전환 중

❍ '15년 파리협정 체결 이후, 모든 국가에 **온실가스 감축 의무**가 부여되는 등 탄소중립은 국가 경쟁력과 직결되는 **최상위 과제**로 부상

- '22. 12월까지 133개국이 탄소중립을 선언*하였으며, 우리나라도 국제사회의 노력에 발맞춰 2050년 탄소중립을 선언('20. 12)

*세계 GDP의 91%, 배출량의 83% 차지

◇ RE100 확대, ESG 경영강화, 탄소국경조정제(CBAM) 도입 등 국제사회에서는 탈탄소 경제체계 구축을 위해 급속히 전환 중

〈표 Ⅰ-1〉 주요국별 탄소중립 목표 관련 법률 제·개정 현황

국가명	제·개정년도	명칭	주요내용
EU	2021	유럽기후법 (EU Climate Law)	• 법률 제정을 통해 2030년 중간목표로서 1990년 대비 55% 감축 제시 • 2050년 목표로 EU의 기후중립 대륙 달성을 설정
독일	2020	연방기후보호법 (Bundes-Klimaschutzgesetz)	• 법률 제정을 통해 장기목표인 2050년 탄소중립 목표 지향을 명시
프랑스	2019	에너지 및 기후에 관한 법 (2019.11.8.) (Loi du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat)	• 2050년 기후목표 법제화
영국	2019	기후변화법 (Climate Change Act)	• 법개정을 통해 주요 선진국 중 최초로 탄소중립 목표를 법정화
일본	2021	지구온난화대책추진법 (地球温暖化対策推進法)	• 법 개정을 통해 2050년까지 탈탄소사회* 실현 명시 *인간 활동에 수반하여 발생하는 온실가스 배출량과 흡수작용의 보전/강화에 의해 흡수되는 온실가스 흡수량 간의 균형이 보전된 사회를 지칭

*출처 : KISTEP, 탄소중립 달성을 위한 정부 연구개발 정책 및 투자방향, 2021. 12. 22.

❍ **RE100 확대, ESG 경영강화, 탄소국경조정제(CBAM) 도입** 등 국제사회에서는 **탈탄소 경제체계 구축**을 위해 급속히 전환 중

- (RE100) 애플, 구글 등 주요 글로벌기업에서 재생에너지 사용을 협력·납품업체까지 확대·요구, 자발적인 캠페인 → 무역장벽으로 역할 강화

■ RE100 참여기업 : 전 세계 385개 社, 우리나라는 25개 社 참여 중('22.10.)

- (ESG 공시) 기업 경영 리스크 관리강화, ESG 워싱 문제 해결을 위해 ESG 경영정보 공시를 의무화하는 새로운 보호무역주의 도입 추진

■ (EU) 그린워싱 방지 및 금융기관 자금운영 공개를 요구하는 지속가능성보고지침(CSRD) 합의('22.06.)

- (CBAM) EU에서 역내 기업경쟁력 저하 방지를 위해 도입 발표('21.07.), EU의회안 및 이사회 입장 확정('22.06.), 시범도입 후 본격 시행('27년~) 예정

■ (美) 미국식 탄소국경조정제도인 청정경제법안(CCA) 발의('22.06.)

❍ 주요 선진국은 온실가스 배출권 거래제 확대, 탄소세 부과, 탄소국경세* 등을 통해 저탄소·친환경 경제구조로 전환을 유도

■ EU는 '23년, 미국은 '25년부터 탄소배출이 많은 제품(국가) 수입시 관세 부과 예정

□ **(新 탄소중립 추진전략 발표)** 국제사회는 **기후위기 대응, 친환경 에너지 전환 가속화**를 위해 기존 전략을 전면 수정한 탄소중립 추진전략을 발표

❍ **(美 IRA)** 물가안정·기후대응을 위해 청정에너지·조세 등 계획 수립('22. 08.)

*총 4,330억 달러 규모, 기후변화 대응 분야에만 3,690억 달러 지출

❍ **(EU 그린딜 산업계획)** IRA에 대응하여 EU 탄소중립 산업 경쟁력 제고를 위한 △규제완화, △재정지원, △역량강화, △공급망 확보 등 계획* 발표('23. 02.)

*탄소중립산업법 제정, 재생e 보조금 지급절차 간소화, 탈탄소 산업공정 촉진 보조금 상한액 상향 등

〈표 Ⅰ-2〉 주요국 탄소중립 대응 동향

국가	동향
EU	• (감축 목표) '50년까지 탄소중립, '30년까지 '90년 대비 55% 감축 • (탄소국경조정제도) 철강 등 6개 품목에 대해 탄소배출에 대한 규제('26~) • (RePowerEU) △에너지 소비절감, △공급망 다변화, △재생e 보급 확대 등 발표('22.5월) – '30년까지 총 3,000억 유로 규모 투자, '27년까지 러시아산 화석에너지 의존 탈피
미국	• (감축 목표) '50년까지 탄소중립, '30년까지 '05년 대비 50~52% 감축 • (인플레이션감축법) 기후변화 대응에 3,690억$ 투자 추진('22~)
영국	• (감축 목표) '50년까지 탄소중립, 30년까지 '90년 대비 최소 68% 감축 • (원전확대) 에너지안보를 위하여 '50년까지 최대 8기 추가 건설 계획 발표('22)
일본	• (감축 목표) '50년까지 탄소중립, 30년까지 '13년 대비 46% 감축

*출처 : 관계부처 합동, 국가 탄소중립·녹색성장기본계획(안), 2023. 03.

◇ 미래 성장 가능성이 큰 CCU 시장에 진입하기 위해 전략적 투자를 통한 CCU 기술 고도화 필요

4. 사업추진 필요성 및 시급성

가. 해결하고자 하는 문제

□ **(CCUS 기술도입으로 탄소중립 실현)** 탄소중립을 실현하기 위해서는 산업 전반에서 불가피하게 배출되는 탄소를 사후 처리할 수 있는 탄소 포집·활용·저장(CCUS) 기술도입이 필수적

❍ 2018년 IPCC*는 “2030년까지 온실가스 배출량을 2010년 대비 45% 감축하고 2050년까지 순배출량을 ‘0’으로 만들어야 한다”고 제언

*Intergovernmental Panel on Climate Change(기후변화에 관한 정부 간 협의체)

- 온실가스 순배출량(net emissions)은 배출원에 의한 배출량(+)에 흡수원에 의한 흡수/제거량(-)을 반영한 값으로, Net-zero는 순배출량 ‘0’인 상태

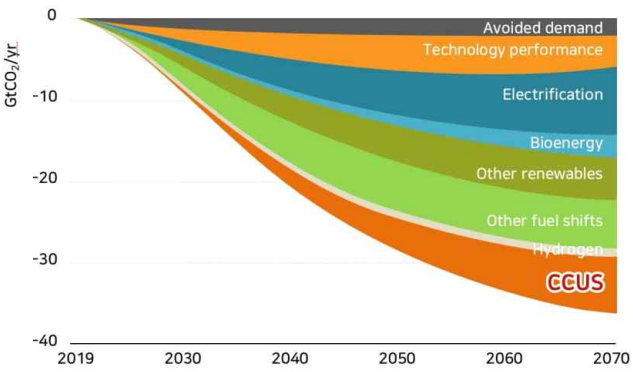
❍ 이를 위해 재생에너지 보급, 수소경제 활성화 등 탄소 저감 노력뿐만 아니라 배출되는 탄소를 처리할 수 있는 CCUS 기술이 **핵심수단***으로 부상

*국제에너지기구(IEA)는 ‘에너지기술 전망’ 보고서를 통해 CCUS 기술 없이는 온실가스 배출량 제로에 도달하는 것이 불가능하다고 전망(‘20.09.)

- CCUS는 발전소, 철강, 시멘트, 석유화학 등 산업에서 배출되는 탄소를 포집 및 처리하는 기술로, 기존 생산체계 변경을 최소화하면서 온실가스 감축이 가능하여 CO_2 배출 완화를 넘어 배출된 CO_2를 제거하는 **탄소 네거티브 개념**의 기술

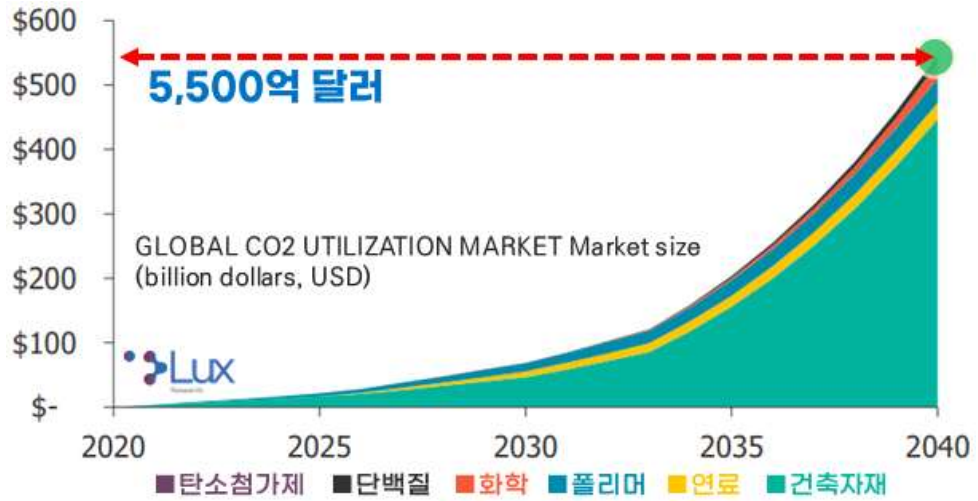
❍ 세계 각국은 CCUS 기술이 게임 체인저로서 주목받고 있으며, EU의 2050 탄소중립 시나리오에 CCUS 기술 기여도를 총 감축량의 27% 수준으로 제시

- 포집된 CO_2는 **CCU 분야에서 50% 처리**하는 것으로 예측



*출처 : IEA(2020), Energy Technology Perspectives 2020

□ **(급속히 성장하는 CCU 시장 대비 낮은 기술 수준)** CCU 시장은 **연 평균 8.5%씩 성장**하여 ’ 40년 약 5,500억$ 규모가 될 것으로 예상되나, 우리의 현 기술수준은 **선진국 대비 80% 수준**



*출처 : Lux Research, The Emergence of a Carbon Economy, (2021. 1.)

〈그림 Ⅰ-6〉 글로벌 CO_2 활용 시장 규모

❍ CCU는 친환경 탄소원을 제공*하는 신산업 동력으로, 미래 탄소중립 사회의 핵심기반 기술로 작용할 가능성이 큼

* 탄소중립 시대에도 화학제품, 연료 등은 경제적으로 필수적이며, 이를 생산하기 위한 탄소 수급은 여전히 중요

□ **2030 NDC, CBAM 등 탄소중립 규제 대응**

❍ CCU는 CO_2를 직접 제거할 수 있는 **유일한 사후감축 기술**로, 2030 NDC(CCU: 440만톤) 달성을 위한 핵심기술

* 국제에너지기구(IEA)는 ‘에너지기술 전망’ 보고서를 통해 CCUS 기술 없이는 온실가스 배출량 제로에 도달하는 것이 불가능하다고 전망('20.9)

❍ 탄소중립은 국제사회 규범으로 작용할 뿐 아니라, CBAM(EU), IRA(미) 등 기업의 현실적인 부담을 가중하는 경제적 이슈로 부각

◇ 탄소중립 규제 대응을 위해 CO_2 多배출 산업 전반에 적용되어 탄소감축을 유도할 수 있는 CCU 기술의 상용화 필요

〈표 Ⅰ-3〉 주요국 CCUS R&D 전략 및 프로그램

국가	R&D 전략 및 프로그램	내용
	DOE CCUS R&D 프로그램(2020)	• 기초 R&D, 대규모 실증 프로젝트를 통해 상업적 규모의 CO_2 감축 기술 개발에 초점
	European Green Deal(2019)	• CO_2 포집·저장·활용 기술 상용화 등을 통해 유럽대륙의 2050년 탄소배출 제로화가 목표
	The Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution(2020)	• 2030년까지 CCU 등의 분야에 120억 파운드 투자
	혁신적 환경 이노베이션 전략(2020)	• 2050년까지 온실가스 80% 감축을 위한 CCUS 및 탄소 자원화 등 기술개발 전략 제시
	2020 탄소중립에 따른 녹색 성장 전략(2020)	• 탄소재활용 산업 등 온실가스 감축과 미래 성장이 기대되는 14개 중요 산업의 실행계획 발표
	탄소 재활용 로드맵(2019)	• CO_2를 재활용하는 기술혁신 전략 발표
	(중국) 탄소자원화 기술로드맵	• 2030년까지의 탄소자원화 단계별 기술개발 세부 실행계획 제시

*출처 : 한국에너지기술연구원, CCUS 심층 투자 분석 보고서, 2021., 재구성

- IEA('21)에서는 **'50년 CCUS의 CO_2 감축 기여도**가 **18.4%(5.9Gt CO_2)**로 '30년(3.2%, 1.4Gt CO_2) 대비 크게 상승하여, CCUS가 재생에너지, 전기화 등과 함께 주요 감축 수단이 될 것으로 전망

■ CCUS는 독자적 활용뿐만 아니라, 재생에너지, 블루수소 및 암모니아 생산, 자원순환 등 미래 다양한 감축수단과 연계될 것으로 전망

□ **(CCU, 탄소중립 실현을 위한 핵심 기반기술)** 탄소중립을 실현하기 위해서는 배출된 이산화탄소를 흡수·처리해야 하며, 이를 위한 수단으로 **CCU 기술도입 필요성** 대두

❍ 특히, 우리나라의 **높은 제조업 비중***과 **수출 중심**의 **산업구조**에서 민간의 부담을 최소화하면서도 탄소중립을 실현할 수 있는 기술로서 주목

*제조업 비중(GDP 대비, '20) : 한국(27.1%), 일본(19.7%), 미국(11.2%), 영국(8.7%)

- 높은 제조업·수출 비중과 에너지 믹스 여건을 고려할 때, 민간의 부담을 최소화하며 탄소중립 실현 가능

- 철강·시멘트·석유화학 등 산업의 **탄소중립 新공정 기술**은 **CCU 기술**의 **적용**을 **전제**하는 등 탄소중립 산업의 기반기술로 역할

❍ CCU는 CO_2를 단순 폐기물이 아닌 유용 탄소원으로 인식 및 활용하는 탄소 순환 기술로 CCS(저장)와 다른 방식으로 탄소중립에 기여할 것으로 전망

- 탄소중립 및 순환경제 시대에도 화학물질, 화학제품, 연료 등은 경제활동에 필수적이며, 이를 위한 탄소의 수급은 여전히 중요

■ 향후 인구 증가, 경제성장 등을 고려했을 때 석유화학 기반 제품 수요 확대는 지속될 것으로 보이나, 각국의 화석연료 사용량 감축 노력에 따라 석유화학 기반 탄소원 공급은 점차 줄어들 것

- CCU는 CO_2를 새로운 친환경 탄소원으로 Up-cycling하는 기술이며, 다양한 제품에 탄소를 고정하는 방식으로 처리용량에 한계가 없고 지속 가능한 탄소 기반 산업 창출이 가능

■ CCS의 경우 CO_2를 폐기물로서 안전하게 격리하는 방식으로 대규모 설비로 대단위 감축이 가능하나, 저장 용량의 한계 및 편재성, 저장소 선정, 환경 영향 등에 따른 사회적 수용성 이슈 상존

□ **(글로벌기업 중심의 CCU 시장 형성)** CCU 시장이 글로벌기업을 중심으로 형성되고 있는 現 상황에서, 국내 기업들이 글로벌시장 내 선도기업과 경쟁하기 위해 기술경쟁력 확보 필요

❍ 탄소중립 선언, 글로벌 탄소규제 강화로 CCU 역할 증대 및 기업 관심도 증가에 따라 향후 관련 시장이 지속 성장할 것으로 전망

❍ 글로벌기업은 활발한 R&D와 투자로 CCU 시장을 형성하며 성장하고 있고, 특히 선도기업들은 메탄올, 경화 콘크리트 등 주요 제품군 상용화 단계까지 발전한 상황

〈표 Ⅰ-4〉 주요 기업 CCU 기술개발 사례

국가	기술 분야	현황
EU	포집	• (Climeworks) 폐열을 활용하여 대기직접포집 기술 실증 (2.5톤/일)
	화학전환	• (Covestro) 최대 20% CO_2 함유 폴리올 생산(5천 톤/년, '16) • (CRI) 재생에너지(지열) 기반 CO_2 전환 메탄올 생산 상용화 • (Sunfire) 그린수소 및 CO_2 전환 액체연료 생산 실증(1,000만L/년, '23)
	생물전환	• (Electrochaea) 1MW급 그린수소·CO_2 생물전환 메탄화 실증(반응기 10,000L급, '18)
	광물화	• (Carbon8 Systems) 산업폐기물·CO_2 건설소재 생산 상용화 (150천톤/년, '12) • (Twence) CO_2 포집 중탄산나트륨 생산(8,000톤/년 급, 약 3천톤/년 CO_2 감축)
	기타탄소활용	• (Thyssenkrupp·BASF) 철강 부생가스 활용 합성가스·메탄올 생산 실증 • (Velocys·British Airways·Altalto) 바이오가스 항공유 생산 실증 (500천톤/년, '24)

국가	기술 분야	현황
미국	포집	• (Petra Nova project) 세계 최대규모 연소 후 포집 (240MW급, '16)
	화학전환	• (Novomer) CO_2 고분자 생산 실증
	광물화	• (Calera) 시멘트 대체물질 생산 (30,000톤/년급 CO_2 포집·활용) • (Solidia) 시멘트 대체물질, CO_2 양생 콘크리트
	기타탄소활용	• (ENVIA Energy) 매립지가스 액체연료 제조공정 상용화 (200배럴/일, '17) • (Cool GTLǿç project, GTI) 바이오가스기반 액체연료 생산 실증
캐나다	포집	• (Cansolv Technologies Inc.) 화력발전 CO_2 습식포집 (150MW급, SaskPower)
	광물화	• (CarbonCure) 레디믹스·프리캐스트 및 CO_2 직접주입 양생기술 상용화
중국	기타탄소활용	• (LanzaTech, Shougang) 제철부생가스 생물전환 에탄올 생산 상용화 (46천톤/년, '18)
일본	화학전환	• (Mitsui Chemicals Inc.) CO_2 메탄올 생산 실증 (100톤/년, '08) • (Asahi Kasei Chemicals) 非포스겐 CO_2 폴리카보네이트 상용화 (150,000톤/년, '06) • (JFE) 합성가스로부터 DME 생산 실증 (100톤/일, '03)
한국	포집	• (한전/중부발전) 화력발전 배가스 CO_2 습식포집 실증(10MW급) • (한전/남부발전/에너지연) 화력발전 배가스 CO_2 건식포집 실증(10MW급
	화학전환	• (화학연/부흥산업사) CO_2 촉매전환 CO/초산 제조 실증 (20톤/년) • (서강대/테크윈/남부발전) CO_2 전기전환 개미산 제조 실증 (0.5톤/일, CO_2 처리기준) • (화학연/현대오일뱅크) CO_2 촉매전환 메탄올 제조 실증 (10톤/일) • (아주대/SKI) CO_2 폴리프로필렌 카보네이트(GreenPolTM) 상용화 시도 • (그린케미칼) CO_2 알킬렌 카보네이트 제조 실증
	생물전환	• (고려대/지역난방공사) CO_2 생물전환(미세조류) 기술실증 (광반응기 10톤급)
	광물화	• (대우건설) 배가스 CO_2 직접광물화 건설소재 생산 실증 (40톤/일) • (RIST) 제철슬래그 간접탄산화 탄산칼슘/중탄산나트륨 동시제조 실증(100kg/일)

*출처 : 관계부처 합동, 이산화탄소 포집·활용(CCU) 기술혁신 로드맵(안), 2021. 06. 15.

❍ **(국내 CCU, R&D 투자로 기술 확보 중이나, 상용화 사례 부재)** 국내 일부 기술은 응용연구 및 중·소규모 실증단계에 진입하였으나, 확보된 핵심 기술의 상용화 단계로의 연계는 취약

- 상용화를 위해 **대규모 실증**이 **필요**하나, 기존 산업공정에 적용하기 위한 비용과 리스크가 높아 기업의 참여가 부족
- 국내 CCU 기술 분야 대부분이 **학계·연구계 중심**의 **기초·원천연구 단계**에 머물러 있으며, 상용화 사례가 부재(해외의 경우 일부 기술은 제품화 단계)

◇ 국내 CCU, R&D 투자로 기술 확보 중이나, 확보된 핵심기술의 상용화 단계로의 연계는 취약

□ 기술적 필요성

❍ **(역량 집중-조속 상용화로 기술선점 필요)** CCU 기술은 온실가스 감축에 핵심적인 역할을 할 수 있을 것으로 기대되는 기술 분야로, 해외에서는 일부 기술의 상용화가 진행된 상황이므로 국내 역량을 집중한 조속한 상용화를 통한 기술 선점 필요

❍ **(선택과 집중)** 2030 온실가스 감축 목표 달성과 2050 탄소중립 실현을 위해 **상용화가 가능한 기술에 대해서는 집중 투자**하여 성과를 도출하고, **후 순위의 핵심기술을 개발하여 기술경쟁력 확보**

- CCU 기술과 핵심산업과의 **지속적·효율적 연계 활용**이 가능한 전략 마련 필요
- **핵심 사항(감축효과, 기술수준, 시장진입 용이성, 경제성 등)**을 고려한 기술 중심 우선순위 결정
- **한가지 기술을 여러 현장에 적용**할 수 있는 플래그십 프로젝트 추진 필요

□ 경제적 필요성(투자 효율화)

❍ CCU 기술은 업종별, 제품별로 매우 다양하여 원천기술부터 상용화까지 투자를 위해 **막대한 예산과 시간이 소요**

❍ **(핵심 산업-지리적 집중-집중 지원)** 다양한 업종, 현장 적용, 파급효과 등을 고려하여 **권역별로 우선순위 기술을 선정**하고 집중 지원을 통해 예산과 시간 절약 가능

□ 산업적 필요성

❍ **(글로벌 규제 선제적 대응)** ’25년부터 점차적으로 시행 예정인 **탄소국경조정세(CBAM) 등을 선제적으로 대응**할 수 있는 맞춤형 CCU 기술을 조기 상용화하여 기업경쟁력 제고 필요

나. 사업추진 시급성

□ **(온실가스 감축 의무 이행 압박)** '15년 파리협정 체결('16.11 발효)을 계기로 선진국·개도국 포함 모든 국가에 **온실가스 감축 의무 부여** 등 **압박 증대**

❍ 파리협정 이행규칙의 NDC 지침(배출·흡수량, NDC 산정 및 상세설명 등)은 각국의 NDC 분석 및 평가, 비교를 용이하게 하여 당사국들에 대한 온실가스 감축 압박을 강화

❍ '23. 1월 세계경제포럼(다보스포럼) '글로벌 위험 보고서 2023'에서 선정한 향후 10년간 가장 심각한 위험 10개 중 1~4위*가 기후·환경 관련 사항

*①**기후변화 완화 실패**, ②**기후적응 실패**, ③**자연재해·극단 기상 현상**, ④**생물 다양성 손실 및 생태계 붕괴**

□ **(국내 CCUS 분야 NDC 상향 조정)** 우리나라의 경우 '23. 3. 21. 발표된 '국가탄소중립 녹색성장 기본계획(안)'에서 CCUS 분야 **2030년 탄소 처리 목표**가 기존 1,030만 톤에서 **1,120만 톤**으로 상향 조정

❍ 그중 CCU 감축 목표는 640만톤으로 상용화 R&D, 다양한 제도적 지원을 통해 민간 확산

→ **'26년부터 실증을 본격화**하여 **'30년 연 640만톤 감축** 추진 필요

〈표 Ⅰ-5〉 국내 2030 NDC 조정내용

(단위: 백만톤CO_2e, 괄호는 '18년 대비 감축률)

구분	부문	2030 목표	
		기존 NDC ('21.10.)	수정 NDC ('23.04.)
순배출량 합계		436.6 (40.0%)	436.6 (40.0%)
배출	전 환	149.9 (44.4%)	145.9 (45.9%)
	산 업	222.6 (14.5%)	230.7 (11.4%)
	건 물	35.0 (32.8%)	35.0 (32.8%)
	수 송	61.0 (37.8%)	61.0 (37.8%)
	농축수산	18.0 (27.1%)	18.0 (27.1%)
	폐기물	9.1 (46.8%)	9.1 (46.8%)
	수 소	7.6	8.4
	탈루 등	3.9	3.9

구분	부문	2030 목표	
		기존 NDC ('21.10.)	수정 NDC ('23.04.)
흡수·제거	흡수원	-26.7	-26.7
	CCUS	**-10.3**	**-11.2**
	국제감축	-33.5	-37.5

*출처 : 2030년 국가 온실가스 감축목표(NDC) 수정안(산업통상자원부, '23)

□ **(탄소중립, 환경이슈에서 경제이슈로 판도 변화)** 탄소국경조정제도(CBAM), 인플레이션 감축법안(IRA) 등 주요국 탄소중립 관련 제도 마련에 따라 국내 CO_2 多배출·수출기업 중심으로 상당한 영향이 우려되나, 준비 부족

❍ 국가 온실가스 감축 목표(NDC) 달성 시점이 다가오고, 탄소중립 관련 국제 규제가 강화되는 상황에서 CCU 기술의 현장적용·확산이 절실

- (국가간 무역) '23년 EU의 탄소국경조정제도(CBAM) 시범 도입, 미국의 인플레이션 감축법안(IRA) 등으로 국가간 이해관계 충돌
- (기업간 거래) 글로벌기업들을 중심으로 입찰 시 엄격한 탄소발자국과 RE100 이행 여부에 대한 검증 요구
- (국제 금융) EU 택소노미 확정('22.02.), 글로벌 자산운영사들의 ESG 경영 강조 등으로 산업계 투자 기준 변화

❍ 국내 CCU 기술의 **낮은 기술 성숙도***를 **극복**하고, **민간의 적극적인 활용**을 통한 실질적인 온실가스 감축을 유도하기 위해 **기술개발 가속화** 필요

*국내 CCU 기술수준은 세계 최고(미국) 대비 80%, 기술격차는 5년으로 평가(KISTEP, '21.3)

❍ 온실가스 감축 잠재량, 시장진입 가능성, 탄소 감축 비용효과 등을 평가하여 개발 시급성 및 상용화 가능성이 높은 핵심기술을 선별, **집중 R&D 투자**를 통한 **CCU 조기 상용화 지원 필요**

□ **(국내 CCU 상용화 시급)** 국가 NDC 이행을 위한 핵심기반 기술이 되는 CCU 기술의 산업화 및 실증을 위한 R&D 투자전략 및 협력체계 구축이 필요한 시점

❍ 국내 CO_2 활용 분야의 경우 학계·연구계 중심의 기초·원천연구에서 산·학·연 R&D로 전환하여 조기 상용화를 위한 목표 물질(Target compound) 발굴 필요

다. 이산화 탄소 활용(CCU) 국내 현황 및 해외 의존도

1 산업 현황

❍ **(글로벌 시장)** '22년 860만 달러(연평균 성장률 15.3%) → '27년 1억 7,520만 달러
❍ **(국내 시장)** '30년 기준 1,120만톤/년의 CCUS 시장 예상
- (화학전환) CCU 기술제품 시장 無
- (생물전환) 유용소재로의 전환 계획 中
- (광물탄산화) 일부 실증 진행 중

❍ **(글로벌 시장 점유율) 0% (상용화 전)**

❍ **(글로벌 시장)** 전 세계 탄소 활용 시장은 **' 22년 860만 달러**에서 연평균 **성장률 15.3%**로 증가하여, **' 27년 1억 7,520만 달러**에 이를 전망
- 현재, CCU 기술로 생산된 메탄올은 기존 시장을 대체 중

❍ **(국내 시장) ' 30년 기준 1,120만톤/년**의 CCUS 시장 예상
- CCU 기술은 기존 시장을 이산화탄소가 전환된 제품으로 대체하는 기술이므로 향후 개발 완료되면 **산업 대체율이 증가**할 것으로 기대
- **(화학전환)** 일부 PC(DMC 공정포함) 시장은 이미 CO_2를 활용하는 공정이 포함되어 시장이 형성되어 있으나, 대부분의 **화학전환 CCU 기술제품 시장은 존재하지 않음**
- **(생물전환)** 화장품 소재 및 식품기업은 기존 carbon-intensive 원재료(e.g., 석유화학 유래 오일, fish oil)에서 식물, 미생물, 미세조류 유래 유용소재로의 전환을 계획하거나 시행 중
- **(광물탄산화)** 탄산칼슘, 탄산마그네슘, 시멘트 양생이용 건설제품, 건설소재 등은 국내기관이 자체기술 확보 후 실증 진행 중

❍ **(글로벌 시장 점유율) 0%**(기술개발 및 실증 중으로 상용화 전)

◇ 국내 경쟁력은 미흡한 상황에서 해외 종속성 탈피를 위한 기술력 확보는 국가 안보에 필수적

2 기술 유형별 현황

□ 화학적 전환

❍ **(해외 현황)** 독일, 미국 등에서 **일부 CCU 제품의 상용화** 성공

- 합성가스의 생산기술은 상용화 전 단계, **메탄올**은 상용화되어 **기존 메탄올 시장을 일부 대체** 시작

❍ **(국내 현황)** CO_2를 활용한 다양한 제품생산기술 **개발 추진 중**

- **합성가스와 메탄올** 생산기술은 실증 단계이며, 개미산과 초산 생산기술과 플랜트는 실증 완료 후 **상용화 전** 단계

* 메탄올의 경우 해외 CCU 제품 생산기술로 국내 상용시장 진입 단계

** 개미산의 경우 파일럿(10㎥-CO_2/hr) 규모 생산기술 실증 완료 및 상용급 플랜트 기본설계 완료 및 엔지니어링 기술 확보

*** 초산의 경우 데모급 플랜트(상용공정 1/10 수준) 기술 확보

- CO_2를 활용하여 생산할 수 있는 제품으로는 디메틸카보네이트, 폴리카보네이트, 폴리우레탄이 있으나 **기존 시장제품 대비 경쟁력 확보 필요**

□ 생물학적 전환

❍ **(해외 현황)** 다양한 생물학적 전환 기술의 실증 추진 중

- 바이오매스, 천연색소, 바이오플라스틱은 실증 단계
- 바이오연료의 경우 원천연구 단계

❍ **(국내 현황)** 미세조류를 활용한 생물학적 전환기술로 고부가가치 의약품 원료(항산화제인 아스타잔틴 등) 시험 생산

- **바이오매스**는 해외 대비 생산단가가 높은 편이며 실증 추진 단계이고, **천연색소 및 바이오플라스틱은 원천연구** 단계

* (국내) 바이오매스 생산 단가 $1,416/ton(AFDW, Ash-Free Dry Weight) 수준
(해외) 바이오매스 생산 단가 $955/ton(AFDW)

- 바이오연료의 경우 **원천연구 단계**로 아직 해외 최고 수준 대비 생산성 개선 필요

* (국내) 오일 생산성 30mg/L/day 수준, (해외) 단기간 최대 오일 생산성 204mg/L/day

□ **광물탄산화**

❍ **(해외 현황)** 시멘트 양생 이용 건설제품은 시장진입 단계이며, 건설소재, 탄산나트륨/중탄산나트륨은 **기술 실증 및 인증 단계**

❍ **(국내 현황)** 탄산칼슘, 탄산마그네슘, 시멘트 양생이용 건설제품·소재 생산 기술 등은 실증 진행 중이거나 **추진 예정**

- 롯데케미칼 ’ 30년까지 중탄산나트륨($NaHCO_3$) 10만톤/년 생산 기술 실증 중

3 대외 기술 의존도

❍ 우리나라는 CO_2 활용 제품 **대부분 수입**되며, **특정국 의존도가 높아** 향후 **공급망 리스크 해소**를 위해 경제성이 높은 CCU 기술개발 필요

〈표 Ⅰ-6〉 이산화탄소 활용 품목별 해외의존도 분석

기술 유형 및 품목		기술자립도	해외의존도	주요 의존국	의존 요인
화학 전환	합성가스	5	1		
	메탄올	5	5	미국, 트리니다드 토바고	원료
	초산	3	1		
	개미산	4	5	중국, 독일	가격경쟁력
	옥살산	2	5	중국	가격경쟁력
	디메틸카보네이트	3	3	중국	가격경쟁력
	올레핀	1	1		
	폴리카보네이트	3	1		
	폴리우레탄	4	2		
생물 전환	바이오매스(사료)	2	4	미국, 중국, 네덜란드, 노르웨이	원료, 가격경쟁력
	바이오연료	1	5	미국, 브라질, 인도네시아	원료, 가격경쟁력
	천연색소	1	5	네덜란드, 미국, 뉴질랜드, 이스라엘	기술경쟁력
	바이오플라스틱	1	5	미국, 태국, 중국	기술경쟁력
광물 탄산화	탄산칼슘	4	2		
	탄산마그네슘	4	5	중국	원료
	탄산나트륨 및 중탄산나트륨	4	5	중국	원료
	시멘트 양생 이용 건설제품	4	3	미국, 캐나다	기술경쟁력
	건설소재	4	2		

(출처) 에너지기술·산업 생태계 분석 13대 에너지기술·산업의 현 주소, 한국에너지기술평가원, 2023. 05.

* 해외 의존도 및 국내 기관 자체기술을 확보한 정도를 5점 척도로 조사

라. 국고지원의 적합성

□ **(국고지원 요건)** 과학기술기본법 제15조, 기후위기 대응 탄소중립·녹색성장 기본법 제 34조(탄소포집이용저장기술의 육성), 환경정책기본법 제10조, 제15조, 기후변화 대응 기술개발 촉진법 제8조, 제11조와 관련 국고지원 요건 준수

〈표 Ⅰ-7〉 국고지원 요건 - 근거 법령

- **과학기술기본법 제15조, 제16조**
- **기후위기 대응 탄소중립· 녹색성장 기본법 제34조(탄소포집이용저장기술의 육성)**
- **환경정책기본법 제10조, 제15조**
- **기후변화대응 기술개발 촉진법 제8조, 제11조**

〈표 Ⅰ-8〉 국고지원 요건 - CCU 관련 정책

- **(윤석열 정부 국정과제 21)** 「에너지안보 확립과 에너지 新산업· 新시장 창출」을 위해 4차산업 기술과 연계한 신산업 육성 추진
- **(윤석열 정부 국정과제 24)** 기후위기 해결을 위한 신산업으로서 CCU 산업 조기 상용화 추진 강조
- **(탄소중립·녹색성장 추진전략)** CO_2 포집·저장 실증, 지원법률 제정 등 CCUS 산업 활성화 추진
- **(국가 탄소중립·녹색성장 기본계획)** 이산화탄소 포집·저장·활용 기술개발·실증 강화 및 '30년 CCUS -11.2백만 톤 흡수·처리 목표 제시
- **(2050 탄소중립 추진전략)** 주요 온실가스 배출원인 발전 · 산업 · 건물 · 수송 분야에 대한 기술개발 지원, 제도 개선 등을 통해 온실가스 조기 감축 유도 계획 발표
- **(탄소중립 연구개발 투자전략)** 10대 핵심 투자 분야로 탄소 포집·저장·활용(CCUS) 기술 설정, CCU 로드맵('21.)에 따른 CO_2 포집 활용 핵심기술개발 착수 및 기타 탄소(산업 부생가스 등)의 고부가 전환·활용 강화 제시
- **(CCU 기술혁신 로드맵)** CCU 상용화 및 차세대 기술군과 중점기술 선정, CCU 로드맵 기반 상용화 기술군 및 차세대 원천기술 확보를 위한'(가칭)CCU 3050' 범부처 예타 사업('23~)' 기획 지원 발표
- **(CCUS 분야 탄소중립 기술혁신 전략로드맵)** CCU 기술혁신을 위한 산업체 의견 수렴 및 특화된 기술 기반의 상용화 가능성이 높은 탄소활용 기술 선별, 조속한 성공사례 창출 추진 요구, 탄소활용 2030 NDC 달성 기술 확보 및 2050 탄소중립 달성 혁신기술 확보 계획 발표

□ **(정부지원 필요)** 정부가 제시한 **2030 NDC** 및 **2050 탄소중립** 달성을 위해 CCU 혁신기술 기반 온실가스 감축 수단을 조속히 확보할 필요

❍ 현 시점 우리나라의 CCU 기술투자 수준은 적고, 기술 수준도 열위

❍ 특히 CCU 기술개발은 높은 진입장벽이 존재해 민간주도만으로는 참여 동력이 낮아 **정부 지원이 필수적**으로 요구

마. 정부 주도 전략적 투자 필요

□ **(CCUS, 국가 탄소중립 달성 주요 수단)** 국내 정부는 CCUS 기술을 [2050 탄소중립 시나리오]에서 탄소중립을 달성하는 주요 수단 중 하나로 제시

❍ 그중 CCU 기술은 정부의 탄소중립 목표의 주요 핵심수단으로, '18년 기준 탄소 배출량 최대 25.2백만톤(B안)의 흡수 및 제거(처리)를 담당

〈표 Ⅰ-9〉 2050 탄소중립 시나리오 총괄표

(단위 : 백만톤CO_2eq)

구분	부문	'18년	A안(화력발전 중단)	B안(화력발전 잔존)
배출량		686.3	0	0
배출	전환	269.6	0	20.7
	산업	260.5	51.1	51.1
	건물	52.1	6.2	6.2
	수송	98.1	2.8	9.2
	농축수산	24.7	15.4	15.4
	폐기물	17.1	4.4	4.4
	수소	-	0	9
	탈루	5.6	0.5	1.3
흡수·제거	흡수원	-41.3	-25.3	-25.3
	이산화탄소포집 및 활용·저장(CCUS)	**-**	**-55.1**	**-84.6**
	CCS	**-**	**-38.8**	**-59.4**
	CCU	**-**	**-16.3**	**-25.2**
	직접공기포집(DAC)	-	-	-7.4

*출처: 관계부처 합동, 2050 탄소중립 시나리오안, 2021. 10. 18.

- CCUS 기술은 지중 또는 해양지중에 이산화탄소를 반영구적으로 저장하는 CCS 기술과 포집된 이산화탄소를 이용하는 CCU 기술로 나누어지는데, 우리나라에서는 지형적 문제와 주민 수용력 문제로 CCS 기술보다 CCU 기술을 활용하는 것이 바람직

□ **(CCUS 기술 중요성에 비해 제도적 기반 미흡)** 전 세계적으로 CCUS 기술을 탄소중립 이행의 핵심으로 주목하고 탄소 배출량 감축에 나서고 있지만, 국내에서는 CCUS 지원과 관련한 정책이 부족하다는 지적 제기

❍ 현재 CCU 기술은 **기술적 난이도**와 **불확실성**으로 인해 상용화 수준까지 발전되지 못하고 있어, 포집된 이산화탄소를 제품으로 활용하는 CCU 기술이 본격적으로 상용화되기 위해서는 **대규모 R&D 투자**와 이를 활성화하기 위한 **제도개선** 등 **정부의 뒷받침**이 **필수**

□ **(CCU, 대규모 R&D 투자 필요)** 전 세계적으로 CCU 기술은 대부분 **응용연구 수준**으로 본격적인 상용화를 위해서는 대규모 R&D 투자가 필요

❍ CCU 기술은 **낮은 기술 성숙도**와 **높은 위험성**이 제약요인으로 작용하므로 민간 자체의 투자를 기대하기 어렵고 유용성 확보를 위한 상용화까지 **대규모 정부 R&D 지원 필요**

❍ CCU 분야는 CCS에 비해 **기술적 난이도**가 높고, CCU 제품은 석유화학 제품대비 **생산단가**가 **높아** 기업 참여 유인이 부족

- CO_2 전환에 따른 기술적 경로 및 제품군이 매우 다양할 뿐 아니라, 투입에너지, 부가원료, 인프라 등에 따라 사업화 가능성이 가변적

❍ 주요국은 CCU 시장 선점과 글로벌 경쟁력 확보를 위해 적극 투자 중으로 향후 탄소중립 시대의 기술주권 확립을 위해서는 정부의 적극적 역할 필요

- 주요국은 점진적으로 확장 전망인 CCU 시장 선점과 CCU 역할 증대에 따른 글로벌 경쟁력 확보를 위해 적극적 투자 및 정책적 지원 집중하고 있으나, 우리나라는 구체적 기술 확보전략 및 관련 R&D 투자가 미비한 상황

〈표 Ⅰ-10〉 주요국 CCU R&D 지원 및 투자 현황

국가	내용
미국	• (R&D) 기후변화 대응을 위한 10대 게임체인저 기술에 CCU를 선정하고 과제 지원 – (에너지부) '22년 CCU 관련 R&D 자금으로 전년 대비 52% 증액한 1억 5,500만 달러 배정 • (인프라) 10여개의 대형 CCU 관련 시설을 구축하여 운영(세계의 50%에 해당) • (세액공제) CCU 관련 시설에 대한 세액공제를 포함한 인센티브 적용
EU	• (R&D) Innovation Fund, Horizon 2020 등 주요 R&D 프로그램 등을 통해 기술개발 집중 지원 – 저탄소기술 상용화를 위해 '20~'30년의 10년간 약 200억 유로 지원 예정
캐나다	• (우선구매) Buy Clean Roadmap(바이 클린 로드맵)을 통해 공공 및 민간 기반 시설에 저탄소 건축자재 우선구매 및 자국산 저탄소 제품 사용 확산으로 넷제로 경제로의 전환 가속화 지원
영국	• (인프라) CCUS Infra Fund(CCUS 인프라기금)을 통해 산업현장의 포집 프로젝트 운영 기업 지원 및 기술개발 위험 최소화, '30년까지 CCUS 클러스터 4개 확보 목표 지원
일본	• (R&D) CCU 관련 기술투자와 전략에 초점을 두고 '23년까지 상업적 규모의 CCU 기술 확립 및 탐색 연구 등에 집중 지원 계획

*출처 : 녹색기술센터(2021), EC COM(2021), 대외경제정책연구원(2021), 재구성

□ **(국내 CCU 기술, 선도국가 대비 약 80% 수준)** 최근 수행된 CCUS 기술수준 분석 자료*를 종합 분석한 결과, CCUS 분야 선도국가 대비 약 80% 수준

*전문가위원회 대상 설문조사(2021) : 26명(산업계 11명, 학계 4명, 연구계 10명, 기타 1명)
KISTEP 2020 기술수준평가(2020) 에너지·자원 분야 이산화탄소 포집·저장·이용 기술
KIER & KETEP(2020) 에너지산업 생태계 조사 및 기술수준 조사 분석(CO_2 기술분야)
공주대(2019) 대규모 CCS 통합실증 및 상용화 기반 구축 공동기획연구

❍ **(분야별 기술수준)** CO_2 포집 약 85%, CO_2 저장 약 75%, CO_2 활용 약 80% 수준

- **(CO_2 포집)** 페트로 노바 석탄화력발전소에서 4,776톤 CO_2/일 규모의 포집 실증이 진행 중이나, 한국은 200톤 CO_2/일 규모의 포집 실증이 진행되어 공정 규모의 격차가 큰 실정
- **(CO_2 저장)** 미국, 유럽, 호주 등에서 프로젝트, Longship 프로젝트, Sleipner 프로젝트 등 대규모 실증 프로젝트가 진행되고 있으나, 한국은 영일만 해상 플랫폼에서 100톤 시험 주입을 수행하는 소규모 실증연구 단계로 기술격차가 큰 상황
- **(CO_2 활용)** 선진국에서 화학 전환 및 광물탄산화 관련 일부 기술이 제품화 단계에 진입하였으나, 한국의 경우 대부분 기초·원천 연구단계 및 파일럿 실증 연구 수준인 것으로 분석

❍ 선도국가와 기술격차를 줄이기 위해 **대규모 실증·상용화 프로젝트 추진, R&D 지원 확대**를 통한 국내 CCU 기술의 Track-Reco$_2$d 확보 및 기술경쟁력 확보 시급

□ **(기술개발부터 실증까지 통합 지원 필요)** CCU 기술개발은 시급성에도 자연발생적 생태계 구축에 한계가 있어 CCU 산업을 위한 **기술개발-상용화 전주기 지원 필요**

❍ CCU 산업생태계 마련을 위한 CCU 조기 상용화 기술은 시급한 개발의 필요성에도 전반적인 기술수준이 낮고 여전히 생산공정의 고도화가 필요

- 그간 정부의 CCU 사업은 세부기술 단위의 지원으로 실증이나 상용화 지원은 산업부의 일부 사업에서 제한적으로 이루어져 **통합적 지원 부재**
- 주원료인 CO_2를 확보하는 부분에서 핵심기술 확보, 상용화까지 CCU 산업의 전주기 기술에 대한 통합적 접근과 사업으로 CCU 기술과 산업에서의 전반적 역량 확보 필요

5. 사업추진 근거 및 추진 경위

가. 사업추진 근거

□ 과학기술정보통신부는 **2030년 국가온실가스감축목표(NDC) 달성** 및 **2050년 탄소중립 실현**을 위해 '(가칭)3050 이산화탄소 포집·활용(CCU) 기술개발 및 통합실증' 기획을 본격 추진

❍ 정부의 국가 비전 「2050 탄소중립 사회로의 이행」 실현을 위해 국가 전략과 온실가스 감축목표 설정, 이를 실행하기 위한 감축 정책 및 이행 기반 강화 정책 제시에 따라, CCU 기술개발 및 통합 실증 신규 사업(예비타당성조사)을 기획

❍ 정부는 **'CCU 기술혁신 추진전략'**을 수립하면서 2030년 상용화 가능성이 높은 14개 CCU 제품 후보군을 도출하고, 중점투자가 필요한 59개 기술을 선정('21.06.)

- 이를 바탕으로 기술 고도화·실증을 위한 대규모 CCU 예타 계획을 수립

❍ **(주요 목표)** 그간 정부 주도로 지원한 CCU 원천 기술과 초기 단계 실증 기술을 **기업 현장**에 **적용**하고 **확산**

- CCU 로드맵에서 도출된 중점 제품과 기술군을 이산화탄소 활용 규모, 기술개발, 상용화 수준에 따라 3개 트랙으로 구분해 실증을 지원

❍ 그간 'K-CCUS 추진단'은 약 200개 기업을 대상으로 관심도 수요조사를 실시했으며, 총 5회에 걸친 기업간담회와 심층 대면조사 등을 시행

- 이를 통해 CCU 로드맵에서 도출한 제품군에 대한 기업의 높은 관심도를 확인했고 정부 정책 지원을 결정

나. 법적 상위 근거

(1) 탄소중립·녹색성장 기본법

□ **‘무탄소 에너지(CFE) 전환을 위한 CCU 기술개발 사업’** 기획사업 도출

1. **기후위기 대응**을 위한 **탄소중립·녹색성장 기본법(약칭: 탄소중립기본법)** 제정

▼

2. 탄소중립기본법 제10조에 의거, **‘탄소중립·녹색성장 기본계획(‘23~‘42)’** 수립

▼

3. ‘탄소중립·녹색성장 기본계획’ 수립을 통해 도출된 기술개발사업의 **예산사업 도출**을 위한 **예비타당성 조사** 목적의 **‘무탄소 에너지(CFE) 전환을 위한 CCU 기술개발 사업’** 기획연구사업 (기획)

❍ **(사업기획 개요)** 이산화탄소 포집 및 활용(CCU) 기술개발 및 실증 강화를 위해 「CCU 기술혁신 로드맵」 상 중점기술 확보를 위한 **‘무탄소 에너지(CFE) 전환을 위한 CCU 기술개발 사업’ 범부처 예타 사업(‘25~)** 기획·추진

〈표 Ⅰ-11〉 ‘30년 상용화 제품 후보군

기술 분야	제품군	CCU 제품
화학 전환	1 플랫폼화합물	①합성가스, ②메탄올
	2 유기산	③초산, ④개미산, ⑤옥살산
	3 유기카보네이트	⑥디메틸카보네이트, ⑦알킬렌카보네이트
	4 탄화수소	⑧올레핀
	5 고분자	⑨폴리카보네이트, ⑩폴리우레탄
광물탄산화	1 시멘트 및 건설소재	①CO_2 양생 및 반응경화시멘트, ②CO_2 광물화 건설소재
	2 무기탄산계화합물	③탄산칼슘, ④중탄산나트륨($NaHCO_3$)
생물 전환	1 바이오매스	①바이오매스, ②사료
	2 바이오소재	③바이오플라스틱, ④바이오연료, ⑤천연색소

*출처 : 관계부처 합동, 국가 탄소중립·녹색성장 기본계획(안), 2023. 03.

□ 사업기획 추진 경과

❍ ‘20.12월, 2050 탄소중립 비전 국내·외 선언

❍ ‘21.5월, 탄소중립 이행의 구심점 역할로 ‘2050 탄소중립위원회’ 출범

❍ ‘21.9월, 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법(이하 ‘탄소중립기본법’)」 제정(‘22.3월 시행)

- 2050 탄소중립 비전, 국가전략, 중장기 온실가스 감축목표, 국가기본계획 수립 및 이행점검 등 이행체계 마련

[탄소중립기본법 제10조 제2항]
- 국가 비전과 온실가스 감축 목표에 관한 사항
- 국내외 기후변화 경향 및 미래 전망과 대기 중의 온실가스 농도변화
- 온실가스 배출·흡수 현황 및 전망
- 중장기 감축목표 등의 달성을 위한 부문별 · 연도별 대책
- 기후변화의 감시 · 예측 · 영향 · 취약성 평가 및 재난방지 등 적응대책에 관한 사항
- 정의로운 전환에 관한 사항
- 녹색기술 · 녹색산업 육성, 녹색금융 활성화 등 녹색성장 시책에 관한 사항
- 국제협상 및 국제협력, 국가와 지방자치단체의 협력에 관한 사항
- 탄소중립 사회로의 이행과 녹색성장의 추진을 위한 재원의 규모와 조달 방안

[탄소중립기본법 시행령 제5조 제2항]
- 각 분야별 정책과의 연계 및 감축 대책에 따른 경제적 효과 분석
- 국제감축 사업의 목적, 원칙 및 추진 방안

❍ ‘21.10월, 탄소중립이 실현된 미래상을 전망하고, 전환·산업·건물·수송 등 부문별 정책 방향을 제시하는 ‘2050 탄소중립 시나리오*’ 수립

*A안 : 화석발전 전면중단, 무공해차 97%, 전량 그린수소 공급 등 배출량 최소화
B안 : 석탄발전 중단(LNG 유지), 무공해차 85%, 일부 추출·부생수소 공급 등 배출량 감축과 CCUS · DAC(Direct Air Capture) 등 흡수기술 적극 활용

❍ ‘21.10월, 국제사회 요구, 주요국 상향수준, 국내 감축 여건 등을 감안하여 2030 국가 온실가스 감축 목표(NDC) 상향(‘18년 대비 40% 감축)

- 탈탄소 전원믹스, 산업계 감축, 무공해차 전환, 순환경제 구현, 국제감축 활용 등

❍ ‘22.10월, ‘탄소중립·녹색성장 추진전략*’ 수립

- **‘탄소중립, 글로벌 중추 국가로의 도약’**을 비전으로 4대 전략 · 12대 과제 마련

(2) 국가 탄소중립·녹색성장 기본계획(‘23. 03. 21.)

□ 정부는 탄소중립 사회로의 이행을 위한 국가 비전 및 중장기 감축 목표 등의 달성을 위해 **탄소중립·녹색성장** 관련 **최상위 법정 계획**인 ‘국가 탄소중립·녹색성장 기본계획’(‘23~‘42)을 수립

❍ **(수립근거)** 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」 제10조

❍ **(계획 기간·주기)** 20년을 계획기간(‘23~‘42)으로 5년마다 연동계획으로 수립·시행

❍ **(내용)** 기후위기 대응 및 지속가능 발전을 위한 국가 최상위 계획으로 산업·수송 등 각 부문별 연도별 감축 목표와 이행 대책을 포함

- 탄소중립기본법 제8조 제1항 및 동법 시행령 제3조 제1항에 명시된 중장기 국가 온실가스 감축 목표(NDC, 국가 온실가스 배출량을 2030년까지 2018년의 국가 온실가스 배출량 대비 40% 감축) 달성을 위해, 기존(‘21.10) (NDC)를 세부 조정

❍ **(탄소 포집·활용·저장 기술(이하 CCUS) 부문 중장기 감축 대책)** CCUS 부문에서는 관련 단일법 제정 추진, 기술개발 및 실증·사업화 지원

- **(목표)** CCUS 부문의 **2030년 온실가스 흡수·제거량 1,120만 톤**을 **목표**로 하며, 이는 기존 NDC보다 90만 톤 증가한 목표
- **(핵심과제)** 온실가스 감축을 위한 **제도기반 구축, 기술개발 및 인프라 구축**

〈표 Ⅰ-12〉 CCUS 부문 세부과제 목록(탄소중립 녹색성장 기본계획)

관리번호	과제명	주관부처(협조부처)
1-9-1	**CCUS 확대 보급을 위한 제도 기반 구축**	
	1 CCUS 총괄협의체 구성·운영 및 법·제도 개선	국조실(과기부, 산업부, 해수부)
	2 CCUS 관련 국가 온실가스 통계 기반 마련	환경부(과기부)
1-9-2	**CCUS 기술개발 및 산업 인프라 구축**	
	1 이산화탄소 포집 및 저장(CCS) 기술개발 및 인프라 구축	산업부(해수부)
	2 **이산화탄소 포집 및 활용(CCU) 기술개발 및 실증 강화**	과기부

*출처 : 관계부처 합동, 국가 탄소중립·녹색성장 기본계획, 23. 03. 21.

1-9-1 CCUS 확대 보급을 위한 제도 기반 구축

1 CCUS 총괄협의체 구성 · 운영 및 법 · 제도 개선

❍ 대규모 통합실증 및 상용화를 위한 법·제도 개선

- CCUS 산업 육성, 안전 및 환경관리, 인증 기준 등을 포함한 단일법 제정 추진 및 위해성 평가, 안정성 강화 체계 등 기준 마련

❍ 탄녹위(국조실) 중심으로 ‘CCUS 범부처 총괄협의체’ 구성·운영

2 CCUS 관련 국가 온실가스 통계 기반 마련

❍ 탄소 포집량 및 이송·저장 시 누출되는 배출량 산정을 위해 ‘2006 IPCC 가이드라인*’에 따른 산정·보고·검증(MRV) 지침 제·개정(‘23~‘24)

*CCU 산정은 향후 IPCC, UNFCCC 등 국제 방법론 개발과 연계하여 국내 기준 정립

❍ 국제협력 네트워크를 기반으로 CCU 관련 국제기준 개발에 적극 참여

1-9-2 CCUS 기술개발 및 산업 인프라 구축

1 이산화탄소 포집 및 저장(CCS) 기술개발 및 인프라 구축

❍ 포집, 수송, 저장, 모니터링 CCS 전 공정 상용화를 위한 R&D 예타 신청·안전성 확보·국제협력 등 추진

❍ CCUS 산업 기반 구축을 위한 전담법 제정 및 산단 등 대규모 이산화탄소 배출 지역 중심 CCUS 클러스터 구축

2 이산화탄소 포집 및 활용(CCU) 기술개발 및 실증 강화

❍ 「CCU 기술혁신 로드맵」상 중점기술 확보를 위한 **‘(가칭)3050 CCU 기술개발 및 통합실증 신규사업’ 범부처 예타 사업(‘25~) 기획·추진**

❍ 출연(연)을 중심으로 「탄소중립 기술지원단」을 운영하여 기술이전, 기술애로해결, 공동 R&D 등을 통해 CCU 관련기업 지원 추진

❍ **R&D 실증·사업화 지원 강화**

다. CCU 관련 정부계획

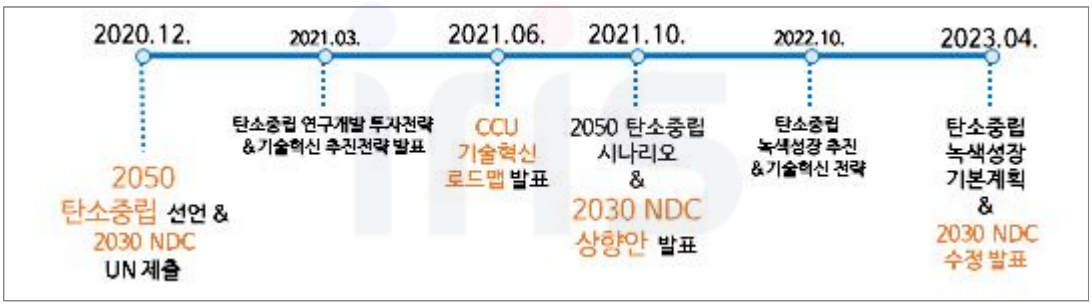
□ **(국내 현황)** 최근 NDC 조정에 따라 CCUS 기술을 통해 ’30년 연간 1,120만 톤 감축이 필요한 상황

❍ 에너지 多소비 업종 중심의 국내 산업구조를 감안할 때 도전적 정책목표 설정

❍ CCU 기초·원천기술 확보를 위한 R&D 투자와 함께 관련 기술 개발 및 관련 산업을 촉진하기 위한 통합법안* 마련 중

* **(과기정통부) CCU, (산업부) CCS, (해수부) 해양저장소, (환경부) 감축량관리** 등을 종합한 「이산화탄소 포집·수송·저장 및 활용에 관한 법률(안)」이 이철규 의원(‘23.2) 및 김한정 의원(’23.9) 발의 후 소관 상임위 계류 중

〈그림 Ⅰ-7〉 CCU 관련 주요정책 추진경과



〈표 Ⅰ-13〉 CCU 관련 정부 추진 정책

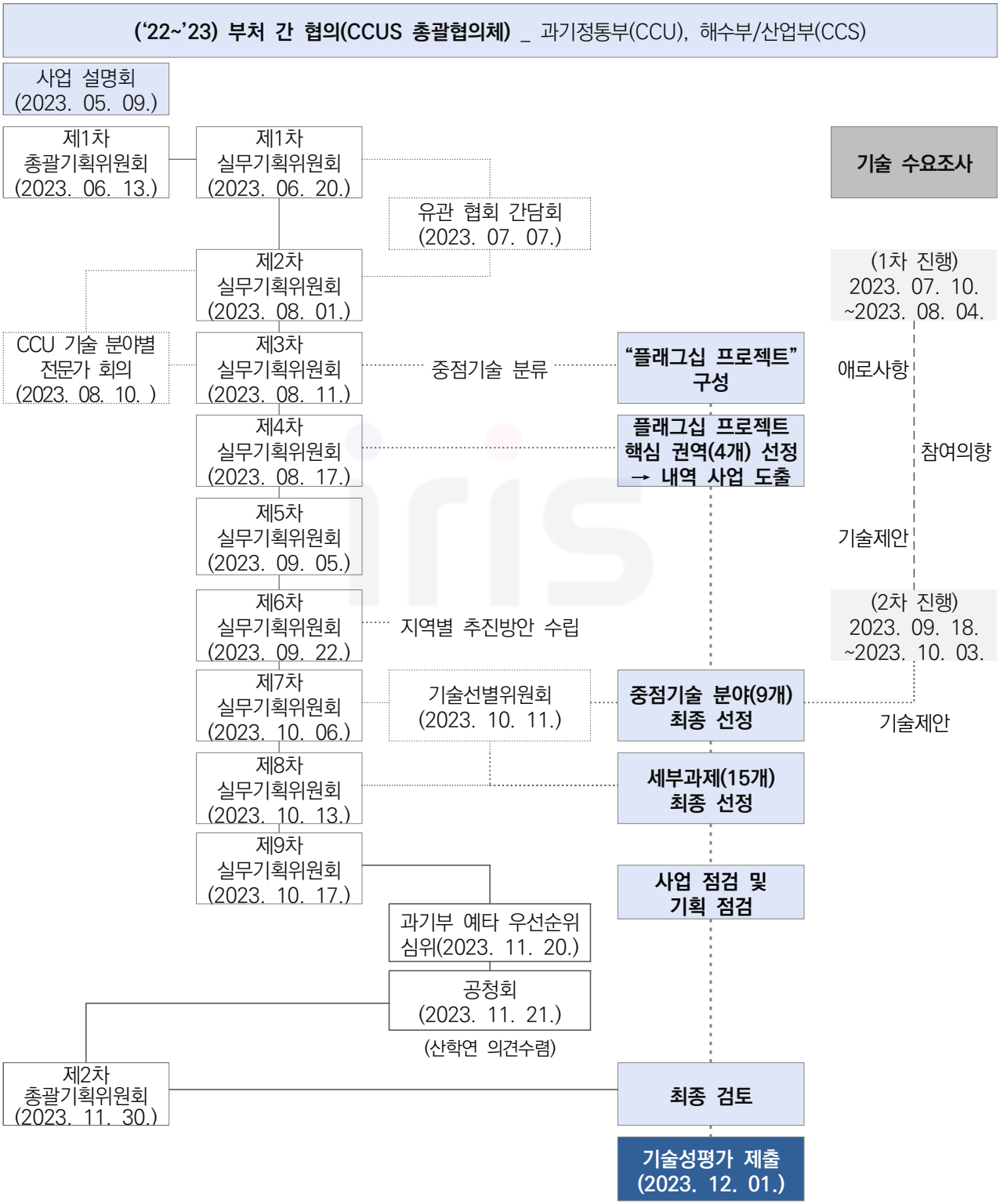
구분	관련내용
2050 탄소중립 추진전략 (관계부처 합동, ‘20.12.07.)	• CCUS 기술 적용을 통한 온실가스 배출 감축 노력 강조 • **산업 현장**에서 **CCUS 기술 상용화** 요구
2050 탄소중립 연구개발 투자전략 (관계부처 합동, ‘21.03.31.)	• 10대 핵심 투자 분야 중 하나로 탄소 포집·저장·활용(CCUS) 기술 설정 • 시장 수요에 기반한 **CCU 혁신 융합기술 개발** 및 **민간참여형 기술 실증** 확대 강조
2050 탄소중립 기술혁신 추진전략 (관계부처 합동, ‘21.03.31.)	• **CCUS 상용화 기술 확보**를 위한 혁신소재·대형화 개발 및 실증 제시 • 2030년 이산화탄소 포집 가격경쟁력 30$/톤 목표 제시
2021년 에너지기술개발 실행계획(안) (산업통상자원부, ‘21.04.20.)	• 에너지산업 인력양성을 위해 수소, CCUS 등 탄소중립 핵심분야 및 가스, 석유 등 기존 에너지산업 고도화 또는 전환 분야에 대한 교육 지원 계획 발표

구분	관련내용
CCU 기술혁신 로드맵(안) (관계부처 합동, '21.06.15.)	• CCU 기술혁신을 통한 탄소중립 실현 및 新산업 창출 비전 제시 • CCU 기술혁신 정책 목표 - **2025 기술경쟁력 확보**: (現)선진국 대비 80% → **('25) 선진국 대비 90%** - **2030 CCU 상용제품 확보**: (現)없음 → **('30) 14개 제품(화학 전환 10개, 광물화 4개)** - **2040 가격경쟁력 확보**: (現)연구중 → **('40) 기존 시장가 수준 가격경쟁력 100%** • **CCU 분야별 중점기술 도출, CCU 전주기 R&D 확대, CCU 제도적 기반 마련**(감축량 산정기준, 온실가스 배출권 연계, 표준·인증 체계 등), **실효적 이행체계 구축** 등의 추진전략 제시
2030 국가 온실가스 감축목표(NDC) 상향안 발표 (관계부처 합동, '21.10.18.)	• '18년 배출량(727.6백만 톤) 대비 △40%(291백만 톤) 감축 → '30년 배출량: 436.6백만 톤 • CCUS '30년 −10.3백만 톤
2050 탄소중립 시나리오안 발표 (관계부처 합동, '21.10.18.)	• (탄소중립 시나리오) 화력발전 전면 중단 등 배출 자체를 최대한 줄이는 A안, 화력발전이 잔존하는 대신 CCUS 등 제거기술을 적극 활용하는 B안 제시 • **이산화탄소 포집 및 활용 · 저장(CCUS)** 기술을 통해 **(A안) −55.1백만 톤, (B안) −84.6백만 톤 감축 목표** 제시
제1차 수소경제 이행 기본계획 (관계부처 합동, '21.11.26.)	• 국내·외 블루수소 생산을 위해 온실가스 다배출 업종 CCUS 실증 및 우선 적용(~'30) 제시
에너지 탄소중립 혁신전략 (관계부처 합동, '21.12.10.)	• 8대 에너지 핵심기술 분야 중 하나로 CCUS 선정 - **CCUS 전주기 기술 고도화**를 통한 **조기 상용화** 요구 • **대규모 저장소 확보 및 실증** 등을 통해 CCUS 산업 육성 - CCS: ('20년) 100톤 저장 → ('30년) 대규모 실증(年4백만 톤) → ('50년) DAC, BECCS - CCU: ('20년) 초기 실증 → **('30년) 상용기술 확보(14대 제품) → ('50년) 가격경쟁력 확보** • 범부처 CCU 실증 예타 추진 등 과감한 R&D 투자 제시 • CCUS 확산 및 산업생태계 창출을 위한 지원방안, 수용성·안전성 확보 방안과 기준을 담은 CCUS 법안 마련 제시
탄소중립 산업 대전환 비전과 전략 (관계부처 합동, '21.12.10.)	• 산업부문 탄소감축 대표기술 **CCUS 목표** 제시 - **(~'30) 年1백만톤급 실증 (~'50) 低비용 포집·大형 저장** • CCUS를 기후대응 신산업으로 육성 - **('30) 대규모 저장 실증, CCU 상용기술 확보** - **('40) 민간주도 시장 확산(CCU)** 및 가격경쟁력 확보(CCS) - **('50) 차세대 CCUS 상용화**
탄소중립 녹색성장 기본법 시행 (2050탄소중립위원회, 환경부, '22.03.22.)	• 탄소중립·녹색성장기본법안 체계 中 **온실가스 감축 분야별 시책**에 **CCUS 기술개발** 명시

구분	관련내용
윤석열정부 110대 국정과제 발표 (제20대 대통령직인수위원회, '22.05.03.)	• 탄소중립·고령화 등 국가가 당면한 문제를 해결하기 위한 **임무지향적 과학기술 체계 마련, 민간·지방 주도로 전환, 산·학·연 융합·협력 강화** • 사회문제 해결을 위한 수소, CCUS 등 탄소중립·미세먼지 대응 에너지 신산업 조기 상용화 강조
새정부 에너지정책 방향(안) (관계부처 합동, '22.07.05.)	• 민간투자 활성화를 위한 기술·인력·정보 인프라 지원강화 추진 - 국내 유전개발 기술을 활용하여 CCUS 실증 및 국내 대륙붕 CO_2 저장소 확보 추진
탄소중립 녹색성장 추진전략 (관계부처 합동, '22.10.26.)	• CO_2 포집·저장 실증, 지원법률 제정 등 CCUS 산업 활성화 추진 - 실증·법제 : 동해 가스전 활용 연 40만톤 규모 CCS 실증 인프라 구축, CCUS 산업 기반 구축을 위한 전담법 제정 추진 ***지자체·포집원 확보(공모)를 거쳐 예타 기획** → '23.1분기 신청 - 포집한 CO_2 및 CO_2 활용제품 폐기물 제외(폐기물관리법) 등 산재된 제도 통합 - CCU 제품 인증, 국제협력·인력양성 등 산업 성장기반 조성
탄소중립 녹색성장 기술혁신 전략 (관계부처 합동, '22.10.26.)	• 한국형 탄소중립 100大 핵심기술 중점분야로 CCUS 선정 - **활용 : (경제성 확보) 광물탄산화 등 총 3개**
CCUS 분야 탄소중립 기술혁신 전략로드맵(안) (관계부처 합동, '22.11.21.)	• **CCU 감축목표: '30 630만톤/년, '50 최대 2,520만톤/년** • **CO_2 활용 제품 가격경쟁력: '40 기존 시장가 대비 100%** • 탄소 활용 단기 목표(NDC) 달성 기술 확보 : (목표) Pilot 규모(1~20톤/일) 탄소활용 시스템 개발·실증(~'25) → **준상용급(100톤/일 내외) CCU 통합실증('25~)** • 탄소 활용 장기 목표(2050 탄소중립) 달성 혁신기술 확보 : (목표) 한계돌파형 기술혁신을 위해 경쟁형 방식을 활용하여 상용화 가능성이 높은 대표기술 발굴(~'30) → **Pilot 규모 실증('30 이후)**
탄소중립 녹색성장 기본계획 (관계부처 합동, '23.03.21.)	• **CCUS 온실가스 감축 목표: ('30) -11.2백만톤 흡수·처리** - 기존 NDC('21.10.) -10.3백만톤 흡수·처리에서 상향 • 온실가스 감축을 위한 **CCU 제도기반 구축, 기술개발 및 인프라 구축**을 핵심과제로 제시 - 산업, 안전, 인증 기준 등을 포함한 단일법 제정, **이산화탄소 포집·저장·활용 기술개발·실증 강화**, CCS 추가 저장소 확보 등
기업·출연연 참여 CCUS 산업 기술혁신 추진(안) (민간기업·출연연 합동, '23.04.10.)	• 국내기업과 출연연이 참여하는 CCUS의 수출 산업화 비전 제시 • NDC 기여를 위해 **CCU 상용화 기술 확보 및 사업 확대** - 기확보된 단위 기술의 연계 및 통합 실증 - 재생에너지와 연계한 CCU 사업 확대 • 수출산업화 및 경쟁력 제고를 위해 CCUS 패키지를 한국형 수출모델로 육성 - 해외시장 진출을 위한 CCUS 사업 플랫폼화 - 현지에 적합한 CCUS 패키지사업 설계 • **CO_2 활용 고부가 제품 생산 추진**

제2절 사업추진 경과 및 추진체계

1. 사업기획 추진 경과



□ 부처간 협의 내용

❍ (‘22년~’23년 범부처 CCUS 총괄협의체 회의 시행을 통해 부처간 협의)

CCU 기술의 선도국 수준 도약과 조기 상용화 역량 제고를 위해 핵심기술 확보를 통한 전방위적 대규모 기술 확산을 위한 부처간 협의 시행

- 부처간 2030 NDC 이행로드맵 논의
- 과기정통부(CCU 예타), 해수부(CCS 예타) 중심 추진

〈표 Ⅰ-14〉 사업기획 주요 추진 경과 및 내용

구분	일시	내용
‘22. 4차 범부처 CCUS 총괄협의체	‘23. 12. 21.	•CCS 국외저장소 해수부, 국내저장소 산업부 주도 협의 •과기부 CCU 예타기획 추진 논의(25~’30년, 0.7~0.8조원 이내)
‘23 1차 범부처 CCUS 총괄협의체	‘23. 02. 27.	•(CCU예타) 내역사업 재편성·사업규모 조정·기업수요 반영 투자 우선순위 설정 논의
사업 설명회 (탄소중립화학기술 연구협의체)	‘23. 05. 09.	•무탄소 에너지(CFE) 전환을 위한 CCU 기술개발 사업 설명 및 산·학·연 의견 수렴 -(기업) G社 외 16개사 25명 참석 -(연구자) 출연연 CCU 관계자 15명
‘23 2차 범부처 CCUS 총괄협의체	‘23. 05. 16.	•CCU 예타 “CCU 기술혁신 로드맵” 기반 기술 확보 기획 방향, 추진범위 등 논의
총괄기획위원회 구성	‘23. 05. 11.	•2030 NDC 이행 기반 마련으로 탄소중립 실현 가속화와 CCU 산업 활성화 및 기술혁신 추진방안 논의를 위한 총괄기획위원회의 위원 구성 -(역할) 예비타당성조사 기획을 위한 중장기 투자 방향·목표 및 추진전략 도출 -(구성) 김재현 위원장(공주대 교수) 외 15명 ▹산(2명), 학(3명), 연(6명), 관(협회, 기관_4명)
「CCU 2030 NDC 가속화 전략」 수립 관련 전문가 회의	‘23. 06. 02.	•CCU 2030 가속화 전략 수립을 위한 정책 추진과제 논의 등 전문가 의견 수렴
「CCU 2030 NDC 가속화 전략」 수립 관련 기업 간담회	‘23. 06. 09.	•CCU 2030 가속화 전략 수립을 위한 산업계 의견 수렴
제1차 총괄기획위원회	‘23. 06. 13.	•무탄소 에너지(CFE) 전환을 위한 CCU 기술개발 사업 기획 추진 경과 설명 •CCU 산업 활성화 및 기술혁신 추진방안 논의, 향후 일정 공유 등
제1차 실무기획위원회	‘23. 06. 20.	•선행사업(‘22년 예타) 점검 및 「무탄소 에너지(CFE) 전환을 위한 CCU 기술개발 사업」 기획 논의
유관 협회 간담회	‘23. 07. 07.	•CCU 유관산업 분야별 탄소중립 실현 가속화 방안과 사업 추진 방향 등에 대한 의견 청취

구분	일시	내용
제2차 실무기획위원회	‘23. 08. 01.	•플래그십 프로젝트 구성, 기술 수요조사서 양식 및 일정, 예타 사전컨설팅 대응 등 사업 세부기획 논의
CCU 기술 분야별 전문가 회의	‘23. 08. 10.	•산학연 대상 수요조사 결과에 따른 기술분류 방법 논의
연구자, 기업 대상 기술수요조사	‘23. 07~10	•(1차) 2023. 07. 10. ~ 2023. 08. 04. •(2차) 2023. 09. 18. ~ 2023. 10. 03.
제3차 실무기획위원회 (기술분류 워크샵)	‘23. 08. 11.	•산학연 대상 수요조사 결과에 따른 기술분류 •선정 및 플래그십 프로젝트 Core 지역 발굴
제4차 실무기획위원회	‘23. 08. 17.	•대상 수요조사 결과 검토(기술분류, 우선순위 선정 등), 플래그십 프로젝트 Core 지역, 기술 발굴 논의, 무탄소 에너지(CFE) 전환을 위한 CCU 기술개발 사업 NDC 감축 목표 검토 등
제5차 실무기획위원회	‘23. 09. 05.	•에너지(CFE) 전환을 위한 CCU 기술개발 사업 기획방향 논의 -연구개발 과제 추진전략(연구개발 과제 선별 및 선정 방안), 과제 추진체계 등
제6차 실무기획위원회	‘23. 09. 22.	•무탄소 에너지(CFE) 전환을 위한 CCU 기술개발 사업 기획 경과보고 •CCU 플래그십 프로젝트 추진방안 논의
제7차 실무기획위원회	‘23. 10. 06.	•플래그십 프로젝트 추진안 논의 •최종 기술수요조사 응답 현황 공유
기술선별위원회	‘23. 10. 11.	•기술선별위원회 결과 조정, 핵심기술 추가선별
제8차 실무기획위원회	‘23. 10. 13.	•우선순위 기술 대상 플래그십 프로젝트 Core 지역 조정 및 예산 점검
제9차 실무기획위원회	‘23. 10. 17.	•무탄소 에너지(CFE) 전환을 위한 CCU 기술개발 사업 기획 관련 회의 •화학적 전환 분야 핵심기술 재선별
실무기획 점검	‘23. 11. 15.	•사업 도출 배경 및 타당성 점검
실무기획 점검	‘23. 11. 16.	•내역사업 및 기술개발과제 과학기술적 타당성 점검
과기부 예타 우선순위 심위	‘23. 11. 20.	•과기부 부내 심의
산학연 의견수렴을 위한 공청회	‘23. 11. 21.	•한국연구재단 연구관 대회의실 •민간 주도 2030 NDC 이행기반마련으로 탄소중립 실현 가속화를 위해 무탄소에너지(CFE) 전환을 위한CCU 기술개발사업 설명 및 의견수렴
총괄위원회의	‘23. 11. 30.	•총괄위원회의 •기획보고서 최종 점검, 사업 추진방향 제고 의견 수렴
예비타당성 조사보고서 제출	‘23. 12. 01.	•예비타당성 조사보고서 기술성평가 접수 제출

□ 기업 대상 사업 설명회(탄소중립 기술연구협의체)

❍ **(일시)** 2022년 05월 09일(화) 14:00~16:00

❍ **(장소)** 한국화학연구원 디딤돌플라자 4층 대강당

❍ **(참석자)** 국내 CCU 관련 산·학·연 전문가, 실무자 등

❍ **(내용)** 민간 주도 2030 NDC 이행 기반 마련으로 탄소중립 실현 가속화를 위해 무탄소 에너지(CFE) 전환을 위한 CCU 기술개발 사업 설명 및 의견 수렴

- 무탄소 에너지(CFE) 전환을 위한 CCU 기술개발 사업 기획 사업설명
- 민간 주도 2030 NDC 이행 기반 마련으로 탄소중립 실현 가속화를 위해 기업 이해관계자 의견 수렴
- CCU 산업 활성화 및 기술혁신 추진방안 논의, 향후 일정 공유 등

〈표 Ⅰ-15〉 탄소중립 기술연구협의체 사업설명회 내용

○ **참여 기업별 CCU 사업추진 현황 및 의견 제시**

- **(롯데케미칼)** 광물탄산화 연구를 진행(現 파일럿 단계)하고 있으나, 국내시장 Capacity(용량)가 너무 작아 시장 창출에 한계
- **(현대자동차)** 현재까지 화학 사업군이 없었으나, 최근 CCU 기술에 대해 적극 논의 중
- **(한화솔루션)** 플랫폼 화합물 합성가스와 유기카보네이트에 관심을 두고 있으나, 과연 CCU를 통해 온실가스 감축 효과를 낼 수 있는지에 대한 확신이 없음
- **(금호석유화학)** CCU를 통해 나온 제품 자체를 파일럿 제품으로 전환하는 것을 구상하고 있지는 않음(경제성 부족 판단)

❍ 참석자 명단

No	기업명	참석자	직책
1	GS칼텍스	이○○	팀장
2	GS칼텍스	김○○	책임
3	SK이노베이션	안○○	PM
4	금호석유화학	노○○	부장
5	대주전자재료	이○○	수석
6	롯데케미칼	민○○	수석
7	바이오프랜즈	조○○	대표
8	바이오프랜즈	유○○	이사
9	부흥산업사	우○○	선임

No	기업명	참석자	직책
10	애경케미칼	신○○	책임
11	애경케미칼	곽○○	책임
12	코오롱인더스트리	윤○○	수석
13	한화솔루션	심○○	프로
14	한화토탈	유○○	프로
15	현대자동차	이○○	책임
16	현대자동차	장○○	책임
17	희성촉매	김○○	수석

□ 「CCU 2030 NDC 가속화 전략」 수립 관련 전문가 회의

❍ **(일시)** 2023년 06월 02일(금) 15:00~17:00

❍ **(장소)** 과학기술정보통신부 3층 제6회의실

❍ **(참석자)** 과학기술정보통신부 기후환경대응팀, CCU 기술 관련 외부전문가 등

❍ **(내용)** CCU 2030 가속화 전략 수립을 위한 정책 추진과제 논의 등 전문가 의견 수렴

□ 「CCU 2030 NDC 가속화 전략」 수립 관련 기업 간담회

❍ **(일시)** 2023년 06월 09일(금) 14:00~16:00

❍ **(장소)** 과학기술정보통신부 3층 제6회의실

❍ **(참석자)** 과학기술정보통신부 기후환경대응팀, CCU 관련 산업체 6개 사

❍ **(내용)** CCU 2030 가속화 전략 수립을 위한 산업계 의견 수렴

□ 제1차 총괄기획위원회

❍ **(일시)** 2023년 06월 13일(화) 10:00~12:00

❍ **(장소)** 과학기술정보통신부 3층 제9회의실

❍ **(참석자)** 과학기술정보통신부 기후환경대응팀, 총괄기획위원회 등

❍ **(내용)** 민간 주도 2030 NDC 이행 기반 마련으로 탄소중립 실현 가속화를 위해 무탄소 에너지(CFE) 전환을 위한 CCU 기술개발 사업 전반 기획 수립

- 무탄소 에너지(CFE) 전환을 위한 CCU 기술개발 사업 기획 추진 경과 설명
- 2030 NDC 이행 기반 마련으로 탄소중립 실현 가속화를 위한 CCU 산업 활성화 및 기술혁신 추진방안 논의
- 향후 일정 공유

〈표 Ⅰ-16〉 제1차 총괄기획위원회 내용

○ **산업계 수요**
- 민간 주도의 투자가 이어지려면 충분한 시장성 보장 필요
- 기술성숙도 등 기술개발 수준에만 초점을 두는 것이 아닌, 기업의 세부 수요를 확인함으로써 포집 타겟을 구체화 → 기술수요조사 필요
- CCU가 산업적으로 중요한 기술로 인식되고 있음에도 불구, 산업부 산하 CCU R&D 지원사업 미비 → 기업의 기술개발 애로사항

○ **분과별 기술기획위원회 및 실무위원회(워킹그룹) 구성**
- 기술분과(분야별 전문가)와 실무위원회(실질 기획작업 집중인력)를 이원화함으로써 사업기획 가속화 및 내실화

□ 제1차 실무기획위원회

❍ **(일시)** 2023년 06월 20일(화) 15:00~17:00

❍ **(장소)** 한국화학연구원 디딤돌플라자 305호

❍ **(참석자)** 실무기획위원회

❍ **(내용)** 사업기획 방향 및 추진 절차 등 사업구성(안), 과학기술정보통신부 정책적 의사결정에 따른 추진 방향, 상세 추진계획 설계, 기술기획위원회(분과) 구성(안) 등 논의

〈표 Ⅰ-17〉 제1차 실무기획위원회 내용

○ **기술 분야(화학, 광물, 생물 전환)별 사업구성 및 진행 논의**
- **(화학적 전환)** 시장규모, 기술성숙도, 부가가치 등을 기준으로 기술 우선순위를 선정했을 때는 '합성가스'가 우세하였으나, 현재 기업이 원하는 제품은 다를 수 있음
- **(광물탄산화)** 선행사업 기획 시 핵심기술 6개를 선정, 그중 2개를 플래그십 프로젝트 추진 제품으로 제출, 본 사업에는 기술 수요조사를 통해 1개 정도를 더할 계획
- **(생물학적 전환)** 선행사업 진행 시 참여기업이 너무 적어, 기술전문가들에게 기업 섭외 요청이 많았음

○ **플래그십 프로젝트 관련 논의**
- 2030뿐만 아니라 3050으로 2050 탄소중립도 중요하기 때문에, 기술개발 투자 우선순위와 중·장기로드맵을 함께 제시

□ 유관 협회 간담회

❍ **(일시)** 2023년 07월 07일(금) 10:00~12:00

❍ **(장소)** 서울역 KTX 1 회의실

❍ **(참석자)** 과학기술정보통신부 기후환경대응팀, 실무기획위원회, CCU 유관 협회(철강, 시멘트, 플랜트, 석유화학, 석유, 건설 등)

❍ **(내용)** 탄소중립 실현 가속화 방안 마련을 위한 유관협회 간담회

- 산업별 추진 방향 및 정부의 정책적 의사 결정을 위한 의견 수렴
- 2030 NDC 이행 기반 마련으로 탄소중립 실현 가속화를 위한 산업별 CCU 활성화 및 기술혁신 추진방안 논의

〈표 Ⅰ-18〉 유관 협회 간담회 내용

○ **산업계 애로사항**
- **(낮은 가격경쟁력)** CCU를 하기 위해선 가격 경쟁력이 있어야 하나 해외국가에 비해 한국은 아직 미비한 상태
- **(기업의 낮은 관심도)** 대기업은 정부 움직임에 따라 이산화탄소 저감 기술에 변화를 시도 중이나 중소기업의 경우 관심 밖의 상황인게 현실
- **(정부의 명확한 지침 필요)** 인센티브 문제 등 정확한 지침 제시로 인해 기업들의 참여 유도 필요

○ **「무탄소 에너지(CFE) 전환을 위한 CCU 기술개발 사업」 기획 방향**
- **(4개 지역별 분과 구성)** 지역 특성에 맞는 컨소시엄 구성 후 프로젝트 기획
- **(지역 구분)** 태안·서산(충남) / 여수·광양(전남) / 포항(경북) / 삼척(강원)

□ 제2차 실무기획위원회

❍ **(일시)** 2023년 08월 01일(화) 09:30~11:30

❍ **(장소)** 온라인 화상회의(Zoom) 진행

❍ **(참석자)** 실무기획위원회

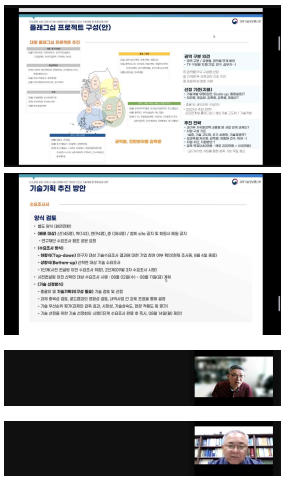
❍ **(내용)** 「무탄소 에너지(CFE) 전환을 위한 CCU 기술개발 사업」 기획 논의

- 플래그십 프로젝트 구성, 기술 수요조사서 양식 및 일정, 예타 사전컨설팅 대응 등

〈표 Ⅰ-19〉 제2차 실무기획위원회 내용

○ **플래그십 프로젝트 구성**
- 실무기획위원 중심으로 권역별 TF를 구성, 엄격한 기술 평가 등 기술 기획에 참여
- 산업계 수요 확인을 우선

○ **기술 수요조사서**
- **(질의 사항)** 배출 중심의 전방기업인지 활용 중심의 후방기업인지, 참여하고자 하는 권역, 참여 의향 및 투자 의향, CO_2 감축량(목표), CCU 플랜트(공정, 설비, 시설 등), CO_2 포집 시설(장비, 설비 등)에 대한 질문 등으로 구성



□ 제3차 실무기획위원회(기술분류 워크샵)

❍ **(일시)** 2023년 08월 11일(금) 11:00~13:00

❍ **(장소)** 한국지질자원연구원 키감라운지 회의실

❍ **(참석자)** 실무기획위원회

❍ **(내용)** 산학연 대상 수요조사 결과에 따른 기술분류, 우선순위 선정 및 플래그십 프로젝트 Core 지역 발굴

〈표 Ⅰ-20〉 제3차 실무기획위원회 내용

○ **화학/생물/광물 기술별 분류**

화학	(충남, 대전, 세종) 서북권 플래그십 프로젝트
	(전라_군산, 여수, 광양) 서남권 플래그십 프로젝트
	(경상_울산, 포항, 부산, 진주, 거제) 동남권 플래그십 프로젝트
	(충북, 강원) 동북권 플래그십 프로젝트
생물	(충남, 대전, 세종) 서북권 플래그십 프로젝트
	(전라_군산, 여수, 광양) 서남권 플래그십 프로젝트
	(경상_울산, 포항, 부산, 진주, 거제) 동남권 플래그십 프로젝트
	(충북, 강원) 동북권 플래그십 프로젝트
광물	(충남, 대전, 세종) 서북권 플래그십 프로젝트
	(전라_군산, 여수, 광양) 서남권 플래그십 프로젝트
	(경상_울산, 포항, 부산, 진주, 거제) 동남권 플래그십 프로젝트
	(충북, 강원) 동북권 플래그십 프로젝트

□ 제4차 실무기획위원회

❍ **(일시)** 2023년 08월 17일(목) 10:00~12:00

❍ **(장소)** 과학기술정보통신부 5층 제12회의실

❍ **(참석자)** 과학기술정보통신부 기후환경대응팀, 실무기획위원회

❍ **(내용)** 산학연 대상 수요조사 결과 검토, 플래그십 프로젝트 Core 지역, 기술 발굴 논의, 기획사업 NDC 감축 목표 검토 등

〈표 Ⅰ-21〉 제4차 실무기획위원회 내용

○ **「3050 CCU 기술개발 및 통합실증 사업」 기술수요조사**

- (감축량) 산학연 전체 목표 감축 총목표량 17,183,747(톤/년) 집계
- (활용량) 산학연 전체 목표 활용량 6,919,208(톤/년) 집계

○ **플래그십 프로젝트 및 내역사업 구성**

- 각 기술 유형별 실무작업반에서 CO_2 감축효과가 높은 기술 선별 진행
  · 신뢰도 및 당위성 확보를 위해 명확한 근거 마련
- 핵심산업 연계 플래그십 프로젝트 외 민간주도 vs 원천기술 개발 구분
- ①핵심산업 연계 플래그십 프로젝트, ②민간 주도 조기상용화 전략기술, ③탄소중립 핵심기반 기술로 설정

□ 제5차 실무기획위원회

❍ **(일시)** 2023년 09월 05일(화) 15:00~17:00

❍ **(장소)** 온라인 화상회의(Zoom) 진행

❍ **(참석자)** 실무기획위원회

❍ **(내용)** 정부 정책 기조에 따른 기획 방향(안) 논의

- 연구개발 과제 추진전략(연구개발 과제 선별 및 선정 방안), 과제 추진체계 등

〈표 Ⅰ-22〉 제5차 실무기획위원회 내용

○ **무탄소 에너지(CFE) 전환을 위한 CCU 기술개발 사업 기획방향** - **(사업명)** '저탄소' 또는 '탈탄소화' 사회 지향 키워드 제안 - **(내역사업 구성 변경)** 기존 핵심 산업 연계 CCU 플래그십 프로젝트, 민간 주도, 조기 상용화 전략기술 성과 확산, 기술적 난제·한계 극복 핵심기반 기술을 재구성 - **(사업기간)** 핵심산업 연계 CCU 플래그십 프로젝트 사업은 2030 NDC 달성을 위한 핵심과제이기 때문에, 2029년을 제품개발 완료 등 사업종료 시기로 제한

□ 제6차 실무기획위원회

❍ **(일시)** 2023년 09월 22일(금) 16:00~18:00

❍ **(장소)** 과학기술정보통신부 4층 제6회의실

❍ **(참석자)** 과학기술정보통신부 기후환경대응팀, 실무기획위원회

❍ **(내용)** 사업기획 경과보고, 지역별 CCU 플래그십 프로젝트 추진방안 논의

〈그림 Ⅰ-8〉 제6차 실무기획위원회 자료

□ 제7차 실무기획위원회

❍ **(일시)** 2023년 10월 06일(목) 14:00~16:00

❍ **(장소)** 한국화학연구원 디딤돌 플라자 304호

❍ **(참석자)** 실무기획위원회

❍ **(내용)** 산학연 대상 2차 수요조사 결과 내용 공유, 플래그십 프로젝트 기획 논리모델 검토 등

〈표 Ⅰ-23〉 제7차 실무기획위원회 내용

○ **플래그십 프로젝트 관련 논의**

- CCU 플래그십 프로젝트 5,000억 원의 규모는 설비/시설 뿐만 아니라 R&D 포함, 선정된 기술, 실용화 가능한 기술까지 병행되도록 추진
- **(디테일한 기획의 논리모델 필요)** 어떤 기술, 어떤 규모, 어떤 후보 기업이 CCU 플래그십 프로젝트에 참여 해야하는지 보다 세부적이고 디테일한 기획이 될 수 있도록 논리모델 마련이 필요

□ 기술선별위원회

❍ **(일시)** 2023년 10월 11일(구) 09:00~11:00

❍ **(장소)** 한국화학연구원 디딤돌 플라자 309호

❍ **(참석자)** 실무기획위원회(기술선별위원회)

❍ **(내용)** 내역사업 구성기술 선별(CCU 기술유형별 중점기술분야 선별)

〈표 Ⅰ-24〉 기술선별위원회 내용

○ **CCU 기술유형별 핵심 세부기술 선별**

- (화학적 전환) 추후, 각 기술(합성가스/메탄올/올레핀 등)별 주도 역할을 할 기업 선정 필요
- (생물학적 전환) 한국지역난방공사, CJ제일제당 제안기술을 핵심기술로 선별
- (광물탄산화) 남해화학(삼성물산), 유진기업, 한일시멘트, 포스코홀딩스, 한국수자원공사 제안기술을 핵심기술로 선별

○ **CCU 기술유형별 핵심 세부기술 선별 핵심이슈**

- CCU 기술혁신 로드맵 상 핵심기술을 기준으로 선별 이후, 사업 권역(동남권/서부권/중부권/남해권)을 고려
- NDC(온실가스 감축 목표) 기여량이 큰 기술을 중심으로 선별

□ 제8차 실무기획위원회

❍ **(일시)** 2023년 10월 13일(금) 10:00~12:00

❍ **(장소)** 과학기술정보통신부 4층 제6회의실

❍ **(참석자)** 과학기술정보통신부 기후환경대응팀, 실무기획위원회

❍ **(내용)** 사업기획 경과보고, 수요조사 현황 공유, 플래그십 프로젝트 후보기술 논의

〈그림 Ⅰ-9〉 제8차 실무기획위원회 자료

□ 제9차 실무기획회의

❍ **(일시)** 2023년 10월 17일(수) 10:00~12:00

❍ **(장소)** 한국화학연구원 디딤돌플라자 309호

❍ **(참석자)** 한국화학연구원 장태선 단장, 포스코홀딩스 한건우 그룹장

❍ **(내용)** 무탄소 에너지(CFE) 전환을 위한 CCU 기술개발 사업 기획 관련 화학적 전환 분야 핵심기술 선별

〈표 Ⅰ-25〉 제9차 실무기획위원회 내용

○ 화학적 전환 분야 핵심기술 재선별

- 기술 추가(L사 / 올레핀, 탄화수소, 고분자 등 / 고성능 친환경 CO2 폴리올 전환촉매 기술개발)
- 권역 변경
  - L사 제안기술 -〉 “서부권 추가”
  - B사, P사 제안기술 : “동남권 -〉 남부권” 이동
  - H사, T사 제안기술 : “서부권 -〉 동남권” 이동

□ 무탄소 에너지(CFE) 전환을 위한 CCU 기술개발(R&D) 사업 공청회

❍ **(일시)** 2023년 11월 21일(화) 14:00~16:00

❍ **(장소)** 한국연구재단 연구관 1층 대강당

❍ **(참석자)** 과학기술정보통신부 기후환경대응팀, 실무기획위원회 외 산·학·연·관 전문가 및 기타 일반인

❍ **(내용)** 민간 주도 2030 NDC 이행 기반 마련으로 탄소중립 실현 가속화를 위해 무탄소 에너지(CFE) 전환을 위한 CCU 기술개발(R&D) 사업 설명 및 의견 수렴

〈그림 Ⅰ-10〉 공청회 사진

산업계 (54명 참석)

No	성명	소속	직위	No	성명	소속	직위
1	김종현	CJ제일제당	연구원	28	황대석	㈜엔비유	대표
2	박찬훈	CJ제일제당	연구원	29	이덕용	㈜유니온	부장
3	박지홍	DENSO	책임	30	나현엽	㈜유니온	과장
4	김정균	GS칼텍스	책임	31	현순택	㈜테크원	책임
5	최지수	GS칼텍스	책임	32	신현수	㈜테크원	상무
6	노진호	GS칼텍스	책임	33	김영곤	지오에이치텍	대표
7	이원희	KIER	책임	34	차민호	태경그룹	수석
8	김동영	K-water	차장	35	김종태	파이코일바이오텍코리아	책임
9	이창희	LG화학	책임	36	안치규	포스코홀딩스	수석
10	노태근	LG화학	책임	37	최홍준	한국석유화학협회	과장
11	이상범	LG화학	PL	38	조진상	한국석회석신소재연구소	부장
12	백상철	S-oil	책임	39	추성훈	한국수자원공사	연구원
13	이동형	S-oil	선임	40	김송미	한국수자원공사	연구원
14	신윤준	로우카본	부장	41	김현석	한일시멘트	수석
15	민형기	롯데케미칼	수석	42	이태희	한화토탈에너지스	프로
16	양의진	부강테크	이사	43	류혜원	현대건설	연구원
17	임희아	삼표시멘트	매니저	44	박인선	현대건설	팀장
18	조성준	유니온	팀장	45	박종식	현대건설	사원
19	엄주일	유니온	전무	46	임원섭	현대건설	책임
20	백점인	전력연구원	수석	47	배현진	현대머티리얼	과장
21	이동욱	전력연구원	선임	48	이현수	현대머티리얼	대리
22	한지윤	㈜금강씨엔지	연구소장	49	이원배	현대자동차	책임
23	심성훈	㈜로우카본	이사	50	홍웅표	현대자동차	책임
24	위영군	㈜로우카본	이사	51	차광서	현대제철㈜	책임
25	서형종	㈜로우카본	연구위원	52	원종민	현대제철㈜	책임
26	홍수열	㈜씨엔에스아이엔티	연구소장	53	김영식	화우나노텍	부사장
27	우예솔	㈜씨이텍	연구원	54	박석기	화우나노텍	이사

학계 (6명 참석)

No	성명	소속	직위	No	성명	소속	직위
55	엄지용	KAIST	교수	58	오지훈	KAIST	교수
56	손정락	KAIST	교수	59	이정섭	고려대학교	연구원
57	고동연	KAIST	교수	60	신상철	공주대학교	연구교수

연구계 (39명 참석)

No	성명	소속	직위
61	조은희	KCL	선임
62	류재홍	고등기술연구원	수석
63	강석환	고등기술연구원	센터장
64	황계순	포항산업과학연구원	연구위원
65	도봉석	포항산업과학연구원	수석
66	장재원	포항산업과학연구원	수석
67	홍성준	한구에너지기술연구원	책임
68	박영철	한구에너지기술연구원	책임
69	최홍일	한국생명공학연구원	선임
70	김희식	한국생명공학연구원	센터장
71	윤진호	한국생명공학연구원	선임
72	김정필	한국생산기술연구원	수석
73	양정훈	한국생산기술연구원	선임
74	백자연	한국생산기술연구원	수석
75	김용자	한국생산기술연구원	수석
76	김영은	한국에너지기술연구원	선임
77	고유나	한국에너지기술연구원	선임
78	김혜진	한국에너지기술연구원	연구원

No	성명	소속	직위
79	민재홍	한국에너지기술연구원	연구원
80	이정인	한국에너지기술연구원	센터장
81	박종호	한국에너지기술연구원	책임
82	조준식	한국연구재단	단장
83	조환주	한국지질자원연구원	센터장
84	이승우	한국지질자원연구원	본부장
85	한중진	한국화학연구원	책임
86	박정현	한국화학연구원	선임
87	이화성	한국화학연구원	연구원
88	이수홍	한국화학연구원	선임
89	정순옹	한국화학연구원	책임
90	이원조	한국화학연구원	책임
91	여주미	한국화학연구원	선임
92	이기백	한국화학연구원	책임
93	황영조	한국화학연구원	책임
94	최지나	한국화학연구원	책임
95	장태선	한국화학연구원	연구위원

공공 (4명 참석)

No	성명	소속	직위
96	구본일	서산시청	주무관
97	최윤진	충남도청	주무관

No	성명	소속	직위
98	곽지혜	충남테크노파크	책임
99	김동혁	충남테크노파크	팀장

2. 사업기획 추진체계

가. 기획 추진체계

□ 사업을 총괄하는 과학기술정보통신부가 사업 기본방향과 철학을 제시, 전문기관과 사업 세부기획 수립을 협의하여 공동으로 진행

❍ 사업기획은 산·학·연 민간전문가 15명으로 구성된 **총괄기획위원회**, 6명의 화학적 전환, 생물학적 전환, 광물 탄산화 등 CCU 관련 전문가로 구성된 **실무기획위원회** 및 과학기술정보통신부와 함께 Working Group 운영 등 **외부전문가** 자문을 통해 수행

〈표 Ⅰ-26〉 사업기획 추진체계

나. 추진체계별 역할

□ 기획 의사결정 주체 : 과학기술정보통신부

❍ 사업기획 방향성, 사업 규모, 등 사업기획보고서 주요 결정 추진계획 적합 여부 확정

❍ 사업 시행계획 수립 및 투자우선순위 결정 등

□ 기획 추진 총괄 및 조정 : 한국연구재단

❍ 주무 부처의 정책적 의사결정에 따른 추진 방향 설정 및 기획 일정 관리 등 총괄・조정 역할 수행

❍ 연구단 및 중점, 세부 과제 선정・단계・최종평가

❍ 기술 확산 및 정책 활용성 검토 등

□ 기획점검 및 조정 자문 : 총괄기획위원회, 기술기획위원회

❍ **(총괄기획위원회)** 사업기획 전 과정 총괄 자문 및 심의・조정 역할 수행

- 공주대학교. 한국화학연구원, 한국지질자원연구원, 한국생명공학연구원 등 15명으로 구성하여 사업기획 전 과정 총괄 자문 및 심의・조정 역할 수행
- 소속기관 유형별로 산(1), 학(2), 연(9), 협회 등(3)으로 구성

〈표 Ⅰ-27〉 총괄기획위원회 구성

No	성명	직위	소속	전문분야
1	김재현	교수	공주대학교	화학전환
2	한건우	그룹장	포스코홀딩스	화학전환
3	장태선	단장	한국화학연구원	화학전환
4	이기백	센터장	한국화학연구원	화학전환
5	민병권	본부장	한국과학기술연구원(KIST)	화학전환
6	김희식	센터장	한국생명공학연구원	생물전환

No	성명	직위	소속	전문분야
7	이승우	센터장	한국지질자원연구원	광물탄산화
8	박영철	단장	한국에너지기술연구원	포집
9	홍성준	책임	한국에너지기술연구원	포집
10	김의철	실장	시멘트협회	광물탄산화
11	김동련	교수	신안산대학교	CCU 법제도
12	안국헌	실장	대한석유협회	수요기업
13	김평중	본부장	석유화학협회	수요기업
14	정유심	원장	한국품질재단	LCA
15	백점인	수석	한국전력공사	발전

❍ **(기술기획위원회)** 무탄소 에너지(CFE) 전환을 위한 CCU 기술개발 내역사업 과제 발굴, 중복성 검토, 기술 로드맵 등 기술적 관점에서 전문적으로 검토 및 기술기획

- CCU 기술 분야(화학전환, 생물전환, 광물 탄산화) 및 산업계 수요를 고려하여 구성, 총 7명 위촉

〈표 Ⅰ-28〉 기술기획위원회 구성

No	성명	직위	소속	전문분야
1	김재현	교수	공주대학교	화학전환
2	한건우	그룹장	포항산업과학연구원	화학전환
3	장태선	단장	한국화학연구원	화학전환
4	김희식	센터장	한국생명공학연구원	생물전환
5	이승우	센터장	한국지질자원연구원	광물탄산화
6	김평중	본부장	석유화학협회	수요기업
7	정유심	원장	한국품질재단	LCA

❍ (Working Group) 과제 발굴, 플래그십 프로젝트 추진 안, 사업 추진 배경 및 타당성 검토 등 사업 기획 전반 기획

- (워킹 그룹) 과학기술정보통신부, 한국연구재단, 전문가 집필위원, 기획사를 중심으로 예비타당성 조사 기준별 사업 기획 점검
- CCU 기술유형별 과제 기획 및 정책적 타당성, 과학기술적 타당성 검토
- 권역별 플래그십 프로젝트 추진 기획
- 법제도, 타당성분석, 감축량 평가 기획

〈표 Ⅰ-29〉 기획 실무위원회 구성

No	성명	직위	소속	전문분야
1	조준식	단장	한국연구재단	정책, 추진전략
2	여주미	선임	한국화학연구원	화학전환
3	윤진호	선임	한국생명공학연구원	생물전환
4	조환주	센터장	한국지질자원연구원	광물탄산화
5	이정인	센터장	한국에너지기술연구원	기술정책
6	천동현	실장	한국에너지기술연구원	탄소전환
7	민재홍	박사	한국에너지기술연구원	CCU 기술

제3절 사업 구성 방향

1. 주력기술 분야 도출

가. CCU Value Chain

□ CCU(활용) 기술은 CO_2 를 단순 폐기물이 아닌 유용 탄소원으로 인식 및 활용하는 탄소순환 기술로 CCS(저장)와 다른 방식으로 탄소중립에 기여

❍ 탄소중립 및 순환경제 시대에도 화학물질, 화학제품, 연료 등은 경제활동에 필수적이며, 이를 위한 탄소의 수급은 여전히 중요

❍ 우리나라는 에너지(발전) 및 산업(철강, 석유화학, 시멘트, 정유 등)이 총 온실가스 배출량의 약 73%를 차지

〈표 Ⅰ-30〉 국내 년도 별 이산화탄소 배출량

구분	이산화 탄소 배출원	1990	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
총 CO_2 배출량(백만 톤)		251.99	443.67	498.24	595.31	634.32	637.43	650.22	664.98	643.77
에너지 연료연소	소계(백만 톤)	231.68	406.39	463.16	558.14	592.03	593.89	606.57	622.99	602.32
	에너지산업	48.19	135.58	178.29	253.77	259.2	260.76	267.97	284.49	264.44
	제조업 및 건설업	76.13	129.67	136.74	161.49	186.75	180.91	185.96	186.27	185.87
	수송	35.26	69.37	81.18	84.73	93.46	98.03	97.6	97.38	100.25
	기타	71.92	69.36	63.75	55.23	49.54	51.14	51.88	51.75	48.83
	미분류	0.18	2.39	3.2	2.92	3.07	3.05	3.17	3.1	2.93
산업공정	소계(백만 톤)	18.92	29.84	29.26	31.77	35.72	36.68	36.76	35.18	35.28
	광물 생산	18.82	29.66	29.06	31.59	35.58	36.53	36.59	35.02	35.11
	화학 산업	0.0	0.03	0.01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	금속 생산	0.1	0.15	0.19	0.18	0.14	0.15	0.16	0.16	0.17
토지이용 토지이용변화	소계(백만 톤)	-38.16	-59.29	-55.26	-55.08	-45.9	-46.87	-42.87	-42.4	-39.87
	산림지	-38.23	-61.38	-57.68	-58.84	-48.5	-49.61	-45.65	-45.6	-43.23
	농경지	0.4	3.16	3.61	4.77	3.82	3.71	3.82	3.98	4.03
	초지	-0.54	-0.59	-0.42	-0.15	-0.08	-0.05	-0.03	-0.02	-0.01
	습지	0.09	0.09	0.05	0.06	0.06	0.07	0.05	0.04	0.03
폐기물	소계(백만 톤)	1.39	7.45	5.81	5.39	6.56	6.86	6.89	6.81	6.17
	폐기물 소각	1.39	7.45	5.81	5.39	6.56	6.86	6.89	6.81	6.17

* 출처 : KESIS 국가에너지통계 종합정보시스템, 2023. 08.

□ **(국내 에너지 소비현황)** ’20년 기준 우리나라 최종 에너지 소비 규모는 222.6백만 toe(석유환산톤)

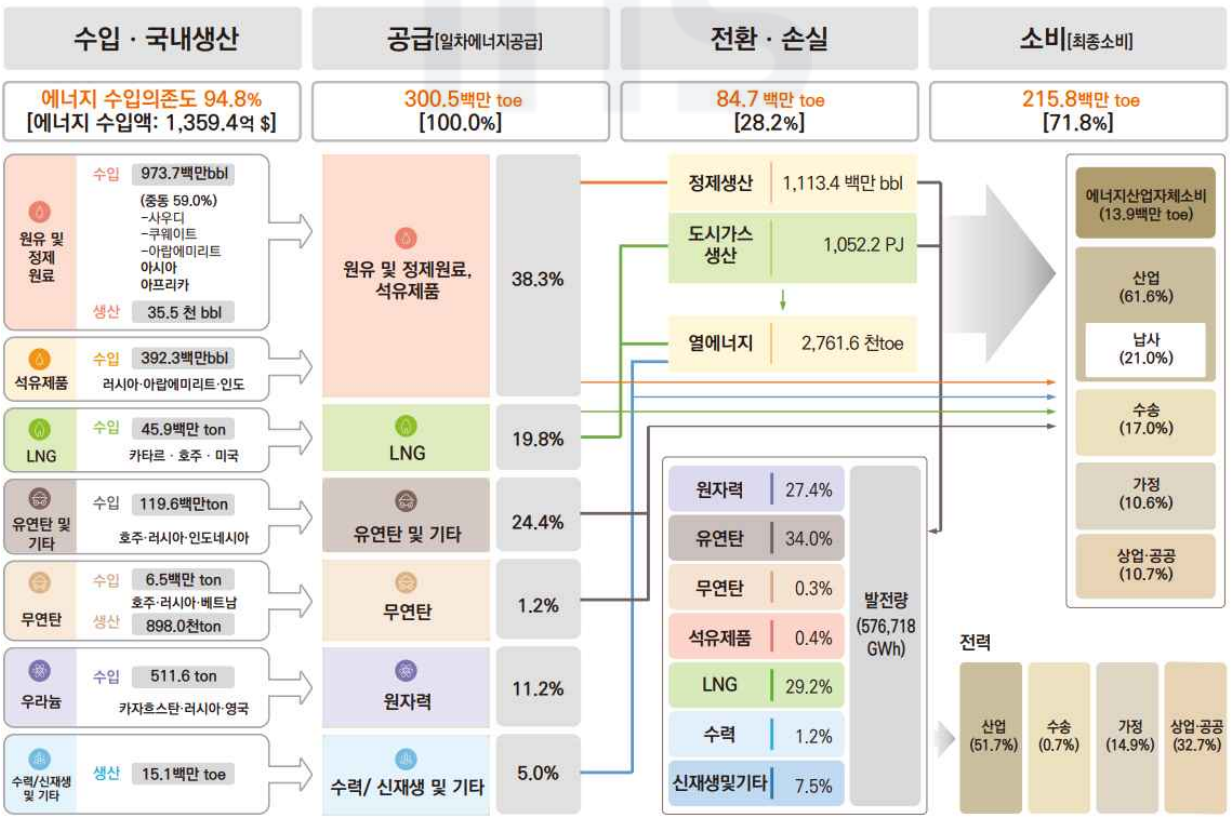
❍ 국내 1차 에너지 공급량은 292.1백만toe이며, 최종 에너지 소비 규모는 222.6백만toe

- (산업부문 최종 에너지 62% 사용) 산업(62.0%) > 수송(17.7%) > 가정(10.5%) > 상업(7.5%) > 공공(2.4%)

□ **(에너지 밸런스)** 국제에너지기구(IEA)의 지표와 방식에 따라 작성된 에너지 밸런스를 통해 국내 에너지의 전환 경로에서부터 에너지 상품의 투입 및 산출, 공급 및 소비처까지 직관적으로 확인

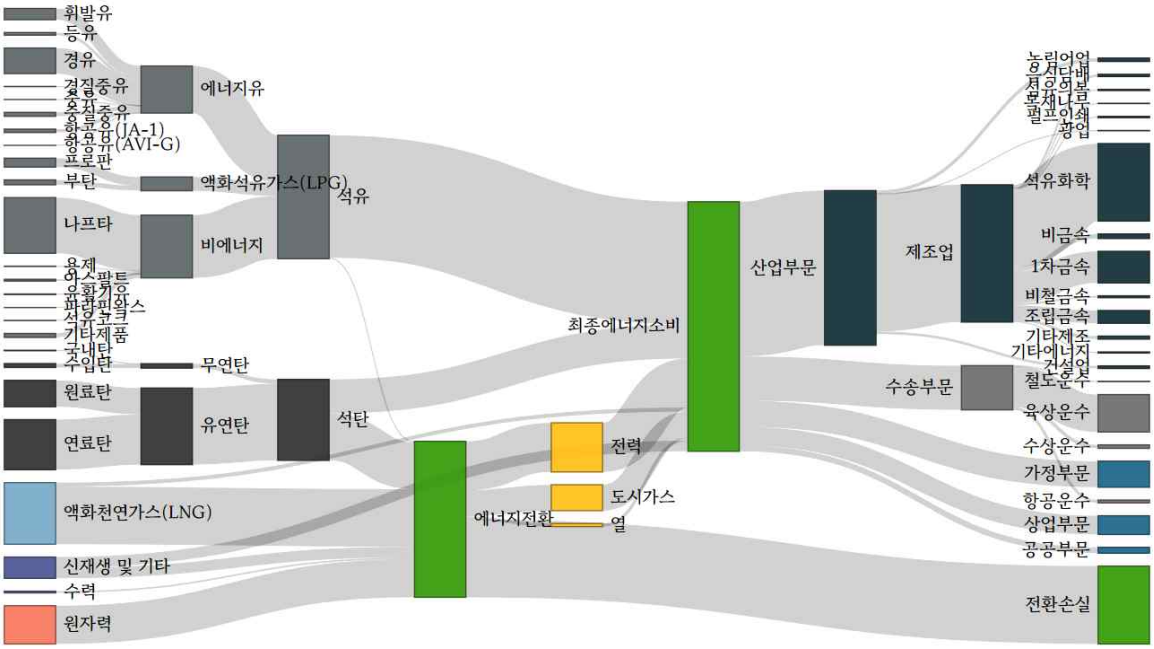
❍ 국내 에너지 수급 동향과 연료전환 효율등을 참고하여 동 **사업의 전후방 산업 등을 유추**

〈그림 Ⅰ-11〉 국내 2021년 기준 에너지 밸런스 플로우



*출처 : 2022 자주 찾는 에너지 통계, 에너지경제연구원, 2022. 12.

〈그림 Ⅰ-12〉 (에너지 플로우) 에너지원과 소비분야 흐름



※ 왼쪽 에너지 공급에서부터 전환 과정을 걸쳐 오른쪽의 최종 소비까지의 에너지 흐름
*출처 : K-에너지 밸런스, 한국에너지기술연구원 기술정책플랫폼, 2022. 11. 15.

□ CCU 기술개발 주요 이슈

❍ CO_2 포집기술 주요 이슈

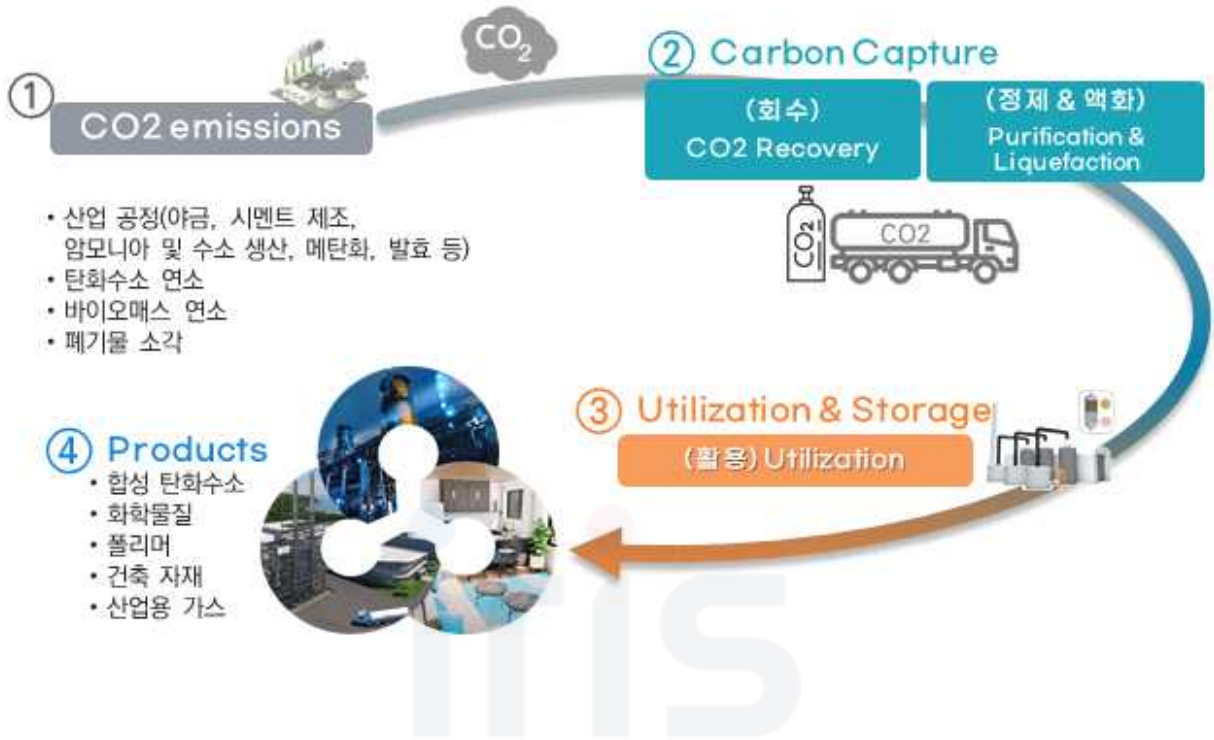
- **(공정)** 탄소중립 실현을 위해 대규모 CO_2 감축이 필요하며, 주요 선진국 대비 포집설비의 규모가 상대적으로 작은 수준
- **(다양한 산업공정 기술 필요)** 발전 산업 외 시멘트, 철강, 석유화학, 정유 등 온실가스 다배출 산업에서 포집기술 적용이 필요하나 관련 기술개발이 미비
- **(경제성 확보)** 포집비용을 낮추기 위한 정부의 지속적인 정책적·제도적 지원 및 기술개발 투자가 필요하며, 경제성을 높여 관련 시장 활성화 필요
- **(탄소중립 목표 달성)** 탄소중립 목표 달성을 위한 기술개발 투자 필요

❍ CO_2 활용기술 주요 이슈

- **(공정)** 선도국은 화학전환 및 광물탄산화 관련 기술이 제품화 단계에 진입하였으나, 국내의 경우 대부분 기초·원천 연구단계 및 파일럿 실증 연구 수준
- **(경제성 확보)** 전환 제품 대부분 열역학적 한계로 기존 석유화학 기반 제품보다 경제성이 낮고, 대규모 실증 투자비용 및 리스크로 기업의 자발적 참여 부족

□ **(CO_2 활용 산업 가치사슬)** CCU 관련 산업의 가치사슬은 아래와 같은 구조로 구성되어 있음

〈그림 Ⅰ-13〉 CCU 산업 가치사슬



❍ 활용기술은 다양한 화학적, 생물학적 CO_2 전환기술 경로를 이용하여 CO_2 를 연료, 화학물질 및 건축자재 등으로 전환하는 기술이며, 현재 대부분의 기술적 경로가 비교적 초기 단계 수준

〈그림 Ⅰ-14〉 CO_2 활용 기술 개념도

나. 중점기술 개발 도출 방향

□ **(기술 수요조사 반영 전략과제 도출)** 기술수요조사를 통해 발굴된 과제를 대상으로 기업의 생산기반 및 상용화 가능성등을 바탕으로 다음과 같이 전략과제를 도출함

❍ **(사업기획)** CCU 기술혁신 로드맵('21.6) 기반 관련 분야 전문가 및 기획 전문가(총괄기획위원회, 기술기획실무위원회), 기업 및 연구자 기술수요 의견을 반영하여 기획 추진

□ **(분야별 중점기술 선정 절차)** 다양한 CO_2 활용기술 중 기술경쟁력, 시장경쟁력 및 온실가스 감축효과 등을 종합적으로 고려하여 중점 투자 기술 선정

Step 1	(총괄기획위원회 및 기술기획실무위원회) 사업 추진 전략방향 및 기술동향 점검
▼	
Step 2	(CCU 기술혁신 로드맵) 중점기술군 대상 설정
▼	
Step 3-1	(하향식 과제 수요조사) CCU 전략제품로드맵 기준 연구자 대상 기술수요조사 시행
▼	
Step 3-2	(상향식 과제 수요조사) CCU 전략제품로드맵 기준 기업 대상 기술수요조사 시행
▼	
Step 4	(기술기획위원회) 취합 기술수요조사 결과 검토 및 중점기술 도출
▼	
Step 5	(플래그십 프로젝트 후보 기술 도출) **기술개발 방향 설정** 및 **중점 과제** 선정

❍ 중점기술 선정 기준

평가 기준	주요 선정 기준	
온실가스 감축효과	CO_2 배출원 및 활용도	• 온실가스 감축(처리) 가능량
시장성, 사업성	기술 잠재력 고려, 제품의 시장수요 및 경제적 효과	• 잠재적 제품 대체 시장 규모 • 시장성(부가가치) • 상업화 장벽 존재 여부
기술 경쟁력	기술개발 수준 기술개발 연구비	• 기술개발단계(TRL), 기술성숙도 • 기술 상용화 가능 시기
국내 적용 가능성	국내 여건 및 인프라 고려	• 국내 시장 및 국내 산업계 관심 사항 • 지리적, 경제적 여건 및 기타 자원 공급 가능성

□ **(1단계_상용화 가능성, 중복성 검토)** 주요 온실가스 多배출 산업별 조기 상용화 가능 기술 및 시장성, 중복성 검토

❍ **(중점 기술 선정 기준)** CCU 기술혁신 로드맵 중점기술(19종) 대상 기 정부 지원과제 및 기업 상용공정 가동중 기술 제외 후 온실가스 감축효과와 시장성 기준 중점기술 도출

□ **(2단계_기술개발 과제 선정 기준 마련)**

❍ CCU 기술혁신 로드맵(‘21.6)」선정 59개 중점기술 중 화학·생물·광물탄산화 전환분야 40개 중점기술대상 **탄소감축규모가 크고, 現 시점**에서 **시장수요**가 **높은기술(주력기술)**을 선별하여 9개 중점 기술분야 선정

〈그림 Ⅰ-15〉 중점기술 선정을 위한 기술 유형 분류

□ **(3단계_사업 추진 전략 방향 설정)**

❍ **(플래그십 프로젝트)** 기업 수요는 크나 중소규모 실증에서 벗어나지 못하는 기술을 대상으로 핵심산업과 연계한 CCU 플래그십 프로젝트 추진으로 기술완성도 제고

❍ **(CCU 활용 기술 대규모 실증 지원)** 중규모 실증을 위해 기술 수준별, 단계별 격상 실증 지원

❍ **(산업별·배출원별 최적 기술 개발)** 시멘트, 철강, 석유화학 등 온실가스 다배출 산업의 특성을 반영한 최적 기술 개발

❍ **(기술 실증 및 운영기술 최적화)** 대규모 실증 프로젝트 수행 및 최적 운영 기술 확보

❍ **(시장진입 가능성 높은 기술 우선 실증 지원)** 산업적용이 용이하고 상용화에 근접한 CO_2 전환 화학제품(합성가스, 메탄올, 고분자 등)과 광물화 기술 실증 공정비용 저감을 위한 실증 지원

❍ **(산업별 특성에 적합한 활용기술 개발)** 산업별 특성을 고려한 기술 및 제품 개발 및 사업장 공정과 밀접한 On-site 실증 지원

❍ **(사업 추진 방향)** 동 사업을 통한 CCU 제품 조기상용화를 위해 국내 CCU 기술-인력-재원의 모든 역량 결집

- 그간 과학기술정보통신부 및 기타 정부의 CCU 유관 사업의 성과를 결집하여 연계하고, 추진사업을 동 사업으로 이어지게 함으로써 개발기간 단축 및 투자 효율성 제고
- 동 사업을 통해 도출되는 트랙레코드를 타 CCU 기업과 연구기관에 이전하여 CCU 기술개발 수준을 격상하고 CCU 산업발전의 선순환 구도 마련

(참고) CCU 기술혁신 로드맵 중점기술('21)

대분류	중분류	세부 중점기술
1. CO_2 포집	1-1. 연소 배가스 포집	(상) 중대규모 실증을 위한 포집원•포집기술 선정•설계•테스트베드구축 (상) 발전 배가스 대규모 포집 실증•상용화 기술 (상) LNG 발전용 포집 기술
	1-2. 산업 공정가스 포집	(상) 수소생산공정 배가스 최적 CO_2 포집 기술 (상) 제철공정 부생가스 최적 CO_2 포집 기술 (상) 석유화학 NCC 배가스 최적 CO_2 포집 기술 (상) 시멘트 킬른 배가스 최적 CO_2 포집 기술 (상) 산업공정 CO_2 포집-전환 연계 실증 기술
	1-3. 바이오·매립지가스 포집	(차) CO_2 포집 고농도 메탄 고질화 기술 (차) 바이오·매립지가스 연소 중 CO_2 원천분리 기술
	1-4. 연료 연소 중 원천분리	(차) 순산소 연소 기술 (차) 매체순환 연소 기술
	1-5. 차세대 포집 기술	(차) 고효율·저에너지 공기중·저농도 CO_2 포집 및 BECCUS 기술
2. CO_2 화학전환	2-1. 합성가스	(상) CO_2 개질을 통한 합성가스 생산 기술 (상) 폐기물·부산물 환원제 활용 CO_2 개질 기술 (차) 전기화학 기반 합성가스 생산 기술 (차) 플라즈마 기반 합성가스 기술 (차) CO_2 전환-미세먼지(대기오염물질) 동시저감 기술
	2-2. 유기산	(상) CO_2 개질 합성가스 기반 초산 생산 기술 (상) 전기화학 기반 유기산 생산기술 (개미산, 옥살산 등) (차) 바이오원료-CO_2 활용 융합기술 (아크릴산, FDCA 등) (차) CO_2 전환 화학-바이오 촉매 융합기술
	2-3. 카보네이트	(상) CO_2 촉매전환 에틸렌·프로필렌 카보네이트 생산 기술 (상) CO_2 촉매전환 디메틸카보네이트 생산 기술
	2-4. 알코올 및 알데히드류	(상) CO_2 개질 합성가스 기반 메탄올 생산 기술 (차) CO_2 동시 포집-전환 기술 (메탄올, 에틸렌글리콜 등) (차) CO_2 수소화 메탄올 생산 기술
	2-5. 탄화수소류	(상) CO_2 개질 합성가스 기반 올레핀 생산 기술 (차) CO_2 수소화 촉매전환 기술 (합성연료 등) (차) 전기화학 기반 탄화수소 생산기술 (에틸렌 등) (차) 광촉매 기반 화학전환 기술 (방향족화합물 등) (차) 플라즈마 기반 합성연료 생산 기술
	2-6. 고분자	(상) CO_2 촉매전환 폴리카보네이트 생산 및 활용 기술 (상) CO_2 촉매전환 폴리우레탄 생산 및 활용 기술 (차) CO_2 기반 엔지니어링 플라스틱 생산 기술
	2-7. 탄소소재 및 차세대활용	(차) 탄소소재화 기술 (2차전지소재, 그래핀, 탄소섬유 등) (차) CO_2 활용 배터리 기술
3. CO_2 생물전환	3-1. 바이오매스 생산	(상) 배출원별·소재별 고효율 CO_2 생물전환 균주 확보·배양 기술 (차) 미세조류 바이오매스 고농도·대량 생산 및 회수 시스템화 기술
	3-2. 바이오연료화	(차) 고효율·저에너지형 바이오디젤 생산 기술 (차) 생물전환 탄소 유래 항공유 생산 기술 (차) 생물전환 탄소 유래 발전용 고체연료 생산 기술
	3-3. 바이오소재화	(상) 미세조류 유래 천연색소 제품화 기술 (상) 미세조류 유래 오메가 지방산 제품화 기술 (상) 미세조류 유래 사료 생산 기술 (차) 미세조류 유래 플라스틱소재 생산 기술
4. CO_2 광물탄산화	4-1. 직접 광물탄산화	(상) CO_2 반응경화시멘트 제조 및 양생기술 (상) 배가스 직접 활용 건설소재화 기술 (상) 탈황석고 이용 광물탄산화 기술 (차) 레드머드 이용 광물탄산화 기술
	4-2. 간접 광물탄산화	(상) 중탄산나트륨 생산 및 활용 기술 (차) 산업부산물 이용 PCC 생산 및 활용 기술 (차) 해양부산물 이용 광물탄산화 기술
5. 기타탄소 활용	5-1 부생가스	(상) 고순도 CO 분리·정제 융복합 기술 (상) 부생가스 화학전환 기술 (메탄올, 올레핀, PHBH 등) (차) 부생가스 직접 활용 생물전환 기술(개미산, PHA copolymer 등) (차) 비전통 에너지원 활용 플랫폼화합물 제조 기술
	5-2 바이오가스	(상) 저비용 바이오가스 고품위화 기술 (상) 바이오가스 개질 합성가스 및 추출수소 생산 기술

2. 사업구성 수요조사

가. 기술수요조사 개요

□ **(조사 목적)** 신규사업 추진을 위해 사전에 연구 수요조사를 실시, 향후 사업에서 수행해야 할 사업 방향 및 중점연구개발 분야를 도출하는 등 세부계획 수립을 위한 기초자료 확보

- ❍ 신규사업 세부과제 또는 개별과제 구성을 전제로 한 유망기술의 수요조사
- ❍ 조사 결과는 세부과제 기획, 플래그십 프로젝트 구성 등의 기초자료로 활용

□ **(조사 대상)** CCU(화학적 전환, 생물학적 전환, 광물 탄산화) 관련 기관

※ CCU 관련 핵심 기초·원천기술 발굴을 위해 연구자 대상의 기술 수요조사 별도 진행

□ **조사 기간**

- ❍ (학・연 연구자 대상) 2023. 07. 10.(월) ~ 2023. 08. 04.(금)
- ❍ (1차, 기업 대상) 2023. 07. 10.(월) ~ 2023. 08. 04.(금)
- ❍ (2차, 기업 대상) 2023. 09. 18.(월) ~ 2023. 10. 03.(화)
- ❍ (조사 방법) 이메일 발송 등 온라인(서면) 조사, 오프라인 대면 미팅

□ **(조사 내용)** 2030 NDC 감축목표 달성과 이행을 위한 사업 방향과 CCU 기술 조기 상용화를 위한 R&D 지원 추진방안과 중점연구개발 분야 발굴

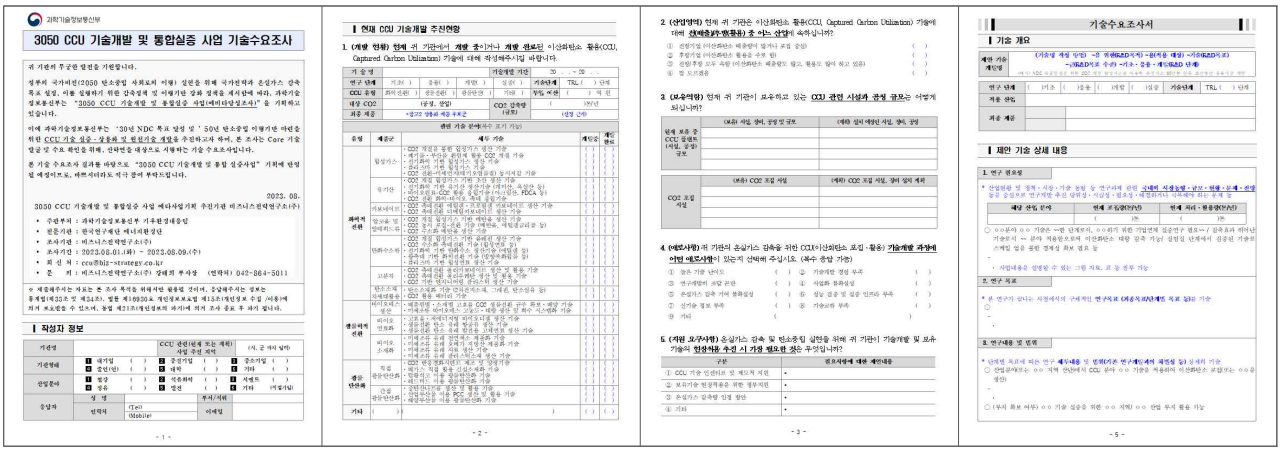
□ **조사 방안**

- ❍ **(Top-Down 방식)** CCU산업 관련 출연(연), 국공립(연), 협회, 대학 전문가 대상 전략 과제 도출을 통한 수요기업 매칭
- ❍ **(Bottom-up 방식)** CCU산업 관련 민간 수요기반 기술고도화 지원을 위한 과제 도출

□ **(기술수요조사 설계)** 현재 CCU 기술개발 추진현황(개발 현황, 보유 역량 등) 및 제안 기술에 대한 상세 파악을 위해 적용 산업, 최종 제품, 목표 CO_2 감축량 등 세부 항목에 대한 수요조사서 설계

〈표 Ⅰ-31〉 기술 수요조사 주요 항목

구분	조사 항목		
CCU 기술개발 추진 현황	CCU 개발현황	기술개발 기간	투입 예산
		연구 단계	대상 CO_2
		기술단계(TRL)	최종 제품
		CCU 유형	CO_2 감축량
	산업 영역(전방/후방)		
	보유역량	보유 CCU 플랜트	CO_2 포집 시설
	애로사항		
	지원 요구사항		
	지원사업 참여 의향		
	투자 의향		
	사업 권역		
기술 수요조사서	기술 개요	제안 기술 개발명, 연구 단계, 기술 단계, 적용 산업, 최종 제품 등	
	제안기술 상세 내용	연구 필요성	
		연구 목표	
		연구내용 및 범위	
		연구개발 추진방법	
		최종 성과물	
		기대효과 및 파급효과	
		연구기간/예산/인력	
		해외 활용 여부	
		기타 특기사항	



〈그림 Ⅰ-16〉 기술 수요조사지

나. 기업 참여의향 및 애로사항

□ **(조사목적)** CCU 관련 기업의 동 사업 참여의향, 애로사항, 지원요구 발굴

□ **(조사기간)** 2023년 07월 10일 ~ 2023년 10월 03일

□ **(조사대상)** CCU 산업 관련 기업

❍ **(조사대상 선정)** CCU 관련 산학연 현황 및 기술 수요조사 대상을 list-up 하고, 검토위원회 검토회의를 통해 기술 개발 우선순위 도출을 위한 기술 수요조사 대상 DB를 최종 선정함

❍ 한국연구재단 온실가스 감축 및 CCU 관련 과제 참여 기업 연구책임자

- 연구책임자 대상 e-mail 발송 및 한국연구재단 공고

❍ 多배출 업종 협회 홈페이지 공고 및 회원사 대상 홍보 협조

- 석유화학협회, 대한석유협회, 시멘트협회, 한국금속재료연구조합, 한국플랜트산업협회

〈표 Ⅰ-32〉 기술 수요조사 총괄

구분	기술 수요조사 및 기업 참여의향 조사 총괄
조사 목적	• 기업의 산업별 CCU 관련 기술개발 추진현황, 보유역량, 애로사항, 지원 요구사항, 사업영역 조사 • 동 사업 참여의향 및 투자의사 발굴
조사 대상	• CCU 산업 관련 기업 - 관리기관(연구재단), 유관 협회, 출연연 제공 기업 DB 219개 사 - 한국연구재단 및 각 기관별 홈페이지 공지 및 수요조사 협조 공문 메일 개별 발송
조사 기간	• (1차) 2023년 07월 10일 ~ 2023년 08월 04일 • (2차) 2023년 09월 18일 ~ 2023년 10월 03일
참여 기관	• (기업) 총 45건 - 화학적전환 산업분야(20건), 생물전환 산업분야(6건), 광물탄산화 산업 분야(19건) • (연구자_산·학) 총 50건 - 화학적전환 산업분야(38건), 생물전환 산업분야(6건), 광물탄산화 산업 분야(6건)

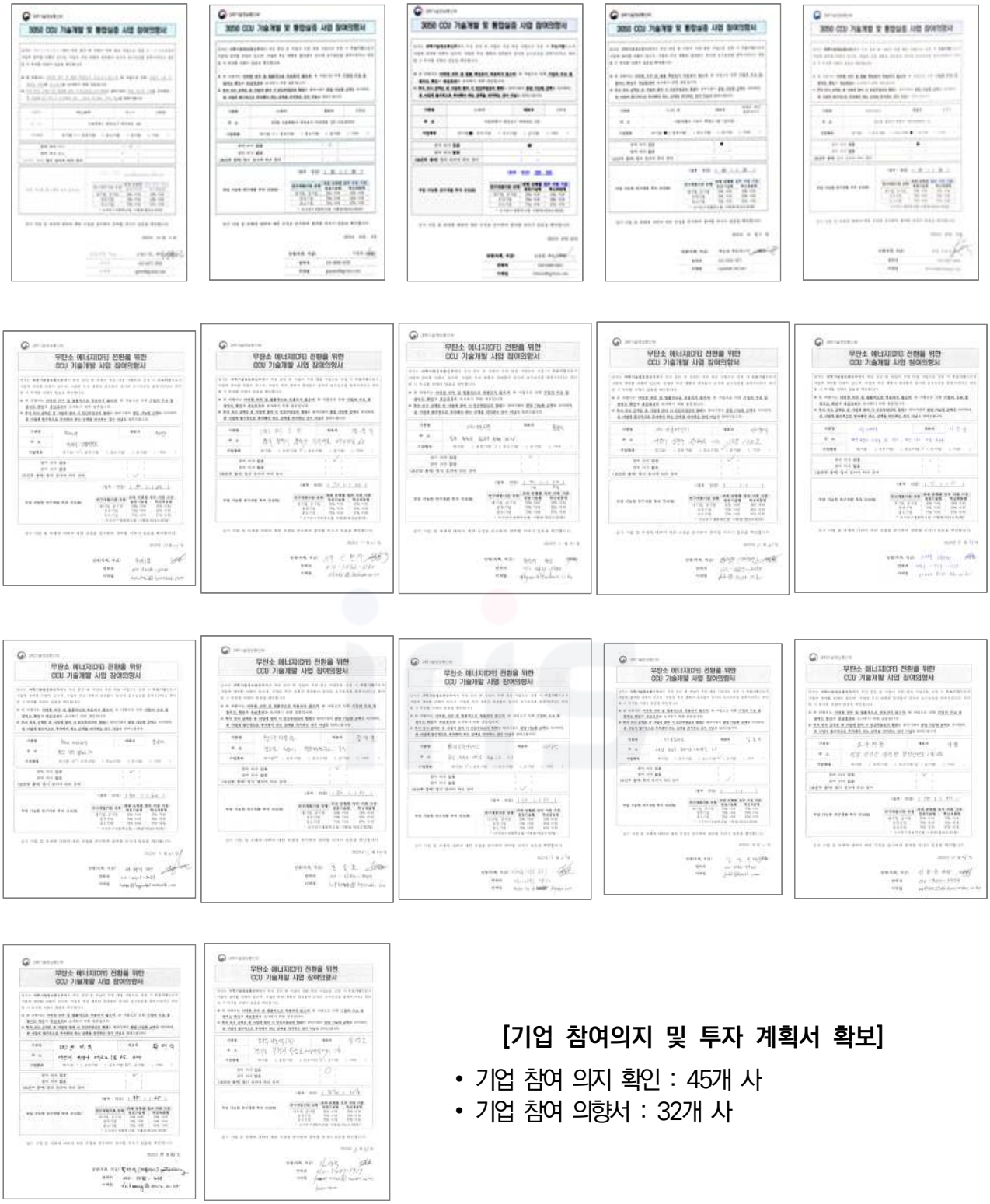
□ 참여 및 투자 의향 기업 리스트

유형	소속기관	중점기술 분야	산업 분야	응답자	
화학 전환	GS칼텍스	올레핀	정유	김○○	에너지기술개발팀/책임
	GS칼텍스	올레핀	정유	최○○	화학소재개발팀/책임
	LG화학	고분자	-	노○○	기반기술연구소 책임/PL
	S-OIL	합성가스	정유	백○○	Chemical 기술개발기획팀/책임
	금호석유화학	합성가스	석유화학	노○○	중앙연구소/부장
	부흥산업사	합성가스	석유화학	우○○	기술연구소/선임
	성일에스아이엠	고분자	-	박○○	기술연구소 대리
	포스코홀딩스	합성가스	철강	박○○	수석
	포스코홀딩스	메탄올	철강	박○○	수석
	포스코홀딩스	고분자	철강	김○○	수석
	포스코홀딩스	합성가스	철강	권○○	수석
	한국서부발전	합성가스	발전	정○○	수소환경처 탄소중립부/차장
	한화토탈에너지스	메탄올	석유화학	이○○	프로
	현대제철	메탄올	철강	차○○	환경에너지연구팀/책임연구원
	대주전자재료㈜	합성가스	합성가스	박○○	이사
	LG화학	올레핀	석유화학	김○○	책임
	바이오프랜즈	메탄올	석유화학	조○○	선임
	LG화학	올레핀	석유화학	이○○	책임
	GS칼텍스	올레핀	석유화학, 정유	이○○	선임
생물 전환	대상	바이오소재·연료	기타(생명공학)	전○○	팀장
	에스크랩스	바이오소재·연료	화장품 소재	유○○	부장
	파이코일바이오텍코리아	바이오소재·연료	식품	김○○	연구/책임
	한국지역난방공사	바이오매스	발전	장○○	미래사업처/수석연구원
	CJ제일제당	바이오소재·연료	바이오	김○○	부장
	씨엔에스아이엔티	바이오매스	바이오에너지	홍○○	이사
광물 탄산화	KCC 글라스	고순도 무기탄산염	유리	장○○	팀장
	네오그린	고순도 무기탄산염	화학소재	장○○	차장
	대흥산업가스	고순도 무기탄산염	기타	김○○	대표이사
	로우카본	고순도 무기탄산염	제조업	위○○	연구기획팀/이사
	로우카본	고순도 무기탄산염	제조업	위○○	연구기획팀/이사
	로우카본	고순도 무기탄산염	제조업	박○○	연구기획팀/이사
	남해화학(삼성물산)	대체 시멘트 및 건설소재	기타	최○○	프로
	삼표시멘트	고순도 무기탄산염		장○○	팀장
	성신양회	대체 시멘트 및 건설소재	시멘트	이○○	기술개발팀/팀장
	유니온	고순도 무기탄산염	시멘트	이○○	기획팀 차장
	유진케임텍	고순도 무기탄산염	발전	홍○○	연구기획관리실/과장
	케이씨엠	대체 시멘트 및 건설소재	건설소재	장○○	차장
	태경비케이	고순도 무기탄산염	석유화학	차○○	경영혁신PG/사업개발팀
	태경에코	고순도 무기탄산염	철강/발전	차○○	경영혁신PG/사업개발팀
	포스코홀딩스	대체 시멘트 및 건설소재	철강	안○○	수석
	포스코홀딩스	고순도 무기탄산염	철강	안○○	수석
	한국수자원공사	고순도 무기탄산염	기타(해수담수)	김○○	대산임해해수담수사업단/차장
	유진기업	대체 시멘트 및 건설소재	시멘트	최○○	부장
	한일시멘트	대체 시멘트 및 건설소재	시멘트	김○○	수석

□ 참여의향서

❍ 동 사업참여 의향이 있는 기업은 45개사이며, 이중 참여·투자의향서 제출기업은 32개사

〈표 Ⅰ-33〉 참여의향서 제출 현황



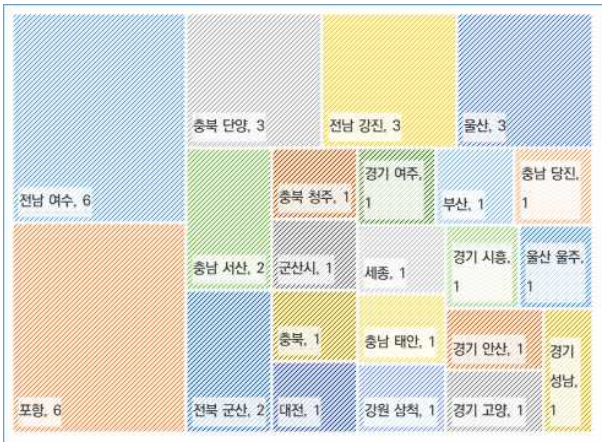
[기업 참여의지 및 투자 계획서 확보]

- 기업 참여 의지 확인 : 45개 사
- 기업 참여 의향서 : 32개 사

□ 기업 소재지

❍ 전남 여수 지역 소재 기업 6개 사(15%), 포항 6개 사(15%), 충북 단양 3개 사(8%) 순으로 응답

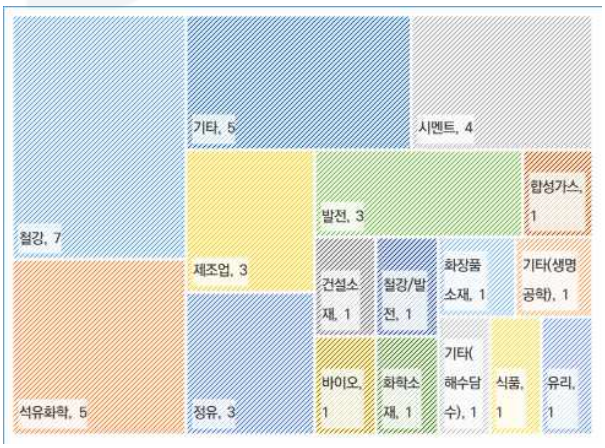
지역	기업	지역	기업
전남 여수	6	부산	1
포항	6	충남 당진	1
충북 단양	3	세종	1
전남 강진	3	충남 태안	1
울산	3	강원 삼척	1
충남 서산	2	경기 시흥	1
전북 군산	2	울산 울주	1
충북 청주	1	경기 안산	1
전북 군산	1	경기 고양	1
충북	1	경기 성남	1
대전	1		
경기 여주	1	**총합계**	**45**



□ 산업분야

❍ 기업의 영위 산업 분야는 철강 7개 사(18%), 석유화학 5개 사(13%), 시멘트 4개 사(10%) 순으로 응답

산업	기업	산업	기업
철강	7	바이오	1
석유화학	5	철강/발전	1
시멘트	4	화학소재	1
제조업	3	화장품 소재	1
정유	3	기타(생명공학)	1
발전	3	기타(해수담수)	1
기타	5	식품	1
합성가스	1	유리	1
건설소재	1	**총합계**	**45**



□ 대상 이산화탄소

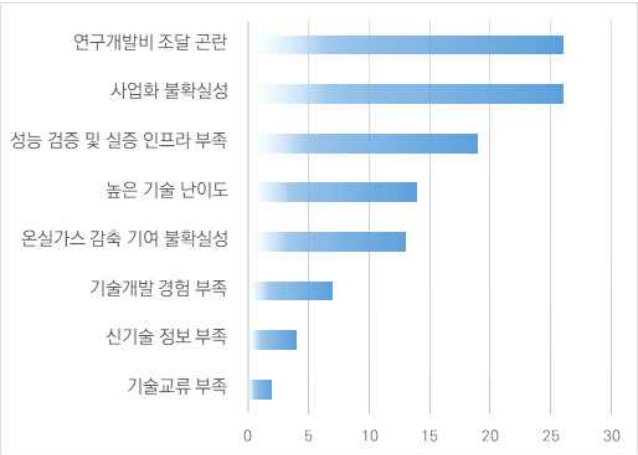
❍ 현재 기업이 추진 중인 기술개발 분야는 공정, 산업 분야가 17개 사(43%), 비점오염원 3개 사(8%), 발전 배가스 3개 사(8%) 순으로 응답

기술개발 분야	개수
공정, 산업	17
기획 중	6
비점오염원	3
발전 배가스	3
공정	2
포집된 고순도 CO_2, 수소 생산 공정 배가스	2
생산 과정 중 발생	1
RFCC 부생 CO_2	1
소성공정, 시멘트 산업	1
공정 배기 가스	1
발전	1
NCC, 석유화학, 철강, 발전소	1
발전/철강	1
총합계	**45**

□ 기업 애로사항

❍ 기업이 온실가스 감축을 위한 CCU 기술개발 과정에 겪는 애로사항은 ‘연구개발비 조달 곤란’, ‘사업화 불확실성’ 이 각각 26건으로 가장 많이 응답

기업 애로사항	응답수
연구개발비 조달 곤란	26
사업화 불확실성	26
성능 검증 및 실증 인프라 부족	19
높은 기술 난이도	14
온실가스 감축 기여 불확실성	13
기술개발 경험 부족	7
신기술 정보 부족	4
기술교류 부족	2
총합계(중복)	**111**



□ 지원 요구사항

❍ 온실가스 감축 및 탄소중립 실현을 위해 기술개발, 보유기술 현장적용 추진 시 가장 필요한 것은 **①CCU 기술 인센티브 및 제도적 지원, ②보유기술 현장적용을 위한 정부 지원, ③온실가스 감축량 인정 방안**으로 구분

구분	내용
CCU 기술 인센티브 및 제도적 지원	**기업 간 협업 시, CO_2 감축량에 대한 credit 분배**
	기업 자발적 참여 유도하기 위한 세제 혜택, 기술보급 등 인센티브 제도
	초기 CCU 기술 상용화 기업에 대한 기술 인센티브
	인증을 위한 지원사업 필요(인증 준비과정에 어려움이 많이 존재)
	R&BD 과제를 통한 사업화 지원
	상용화 투자비 지원 및 CO_2 저감 인센티브
	저탄소 제품의 소비활 성화를 위한 지원제도 필요
보유기술 현장적용을 위한 정부 지원	시설물 설치를 위한 연구 부지 지원
	설비 건설 시 세제 해택 지원
	실증 또는 상용 Plant 건설 설치 및 운영 시 정부 보조금 지원
	CCU 해당 발전기 가동률 확보 등 전력시장 운영규칙 개정
	CCU 실증설비 구축 비용 지원(CAPEX)
	실증사업이 가능한 부지 확보 및 안정적 운영 자금
	대규모 실증시험을 위한 설비구축 지원(입지, 자금 등)
온실가스 감축량 인정 방안	탄소배출 회피효과를 최대한으로 인정
	CCUS 기술 투자건에 대한 CO_2 감축량 인정 제도 필요
	CCU 제품의 감축방법론 개발
	미세조류 활용 생물학적 전환 기술 인정 제도적 방안 마련
	CO_2 저감량 전량 인정, 배출권 귀착 제도화
	감축방법론 승인 및 비용 지원, 탄소배출권 가중치 적용
	콘크리트 원자재로 CO_2 사용에 대한 법적 기준 마련
	CCU 분야 온실가스 감축방법론 확대수용방안 필요
기타	탄소배출 MRV와 연계한 제도적 뒷받침
	CO_2 감축이나 포집기술에 대한 인증기관 증설
	인산석고 및 산출물(탄산칼슘)의 산업적 추가 활용방안 검토(現 폐기물로 분류)

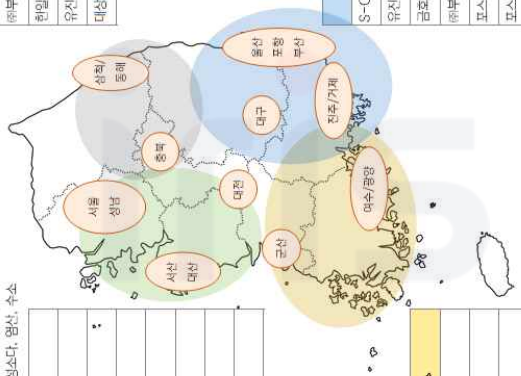
□ 기업 실 사업 추진 권역

기관명	적용 산업	최종 제품	
태경비케이	제지, 플라스틱, 고무, 실란트, 시멘트	무기탄산계화합물	
태경에코	철강, 시멘트, 발전	무기탄산계 화합물	
파이코일바이오텍코리아㈜	석유화학 / 정유 / 식품 / 바이오소재	바이오메스, 오메가3, 함유유, 셀스, 단백질	
한국서부발전	발전		
한국지역난방공사	발전		
유신케임텍	발전소, LNG저장, 소각로	촉매	시설 및 경물
금호석유화학	석유화학-발전소	Syngas(CO & H2)	
㈜포우카본	비철오염원 이산화탄소 배출산업	분산형 Zero C	집중형 DAC 장치
㈜포우카본	탄소포집형 블루수소 생산 분야, 탄소 대	관류형 CCUS 설비	광물탄산 자원화물질
㈜포우카본	농업	CCU 시스템	원료
한국수자원공사	해수담수화, 화력발전, 해수 수전해, 환경	CO2 광물전환 공정, 친환경 해수 마그네슘 탄산염, 가성소다, 염산, 수소	
㈜부흥산업사	석유화학	합성가스 100톤/일	응용제품 150톤/일
현대제철㈜	철강, 석유화학	합성가스	메탄올
낙우산업㈜	열병합 발전		
대흥산업가스㈜	발전, 시멘트제조, 철강, 화학제품 생산	포집 플랜트	전환 플랜트
에스크램스	식품 산업	건강기능식품	
KCC글라스	유리 산업	Na2CO3(중화, 탄산나트륨)	
대주전자재료	메틸지/전연가스	합성가스	
CJ제일제당	아미노산 생산	바이오메스	바이오 사료

기관명	적용 산업	최종 제품	
태경비케이	제지, 플라스틱, 고무, 실란트, 시멘트	무기탄산계화합물	
태경에코	철강, 시멘트, 발전	무기탄산계 화합물	
GS칼텍스	석유화학산업	올레핀	
GS칼텍스	석유화학산업	CO2와 다양한 Epoxide를 원료로 한 폴리올을 적용한 폴리우레탄	
금호석유화학	석유화학-발전소	Syngas(CO & H2)	
㈜포우카본	비철오염원 이산화탄소 배출산업	분산형 Zero C	집중형 DAC 장치
㈜포우카본	탄소포집형 블루수소 생산 분야, 탄소 대	관류형 CCUS 설비	광물탄산 자원화물질
㈜포우카본	농업	CCU 시스템	원료
㈜부흥산업사	석유화학	합성가스 100톤/일	응용제품 150톤/일
남해화학	비료화학 산업	황산암모늄	탄산칼슘
LG화학	탄소중립 모빌리티	e-SAF	e-Fuel
포스코홀딩스	철강산업, 화학산업, 수소산업	합성가스, COG	수소, LNG 대체
삼성물산(상사)	비료화학 산업	황산암모늄	탄산칼슘
낙우산업㈜	열병합 발전		
대흥산업가스㈜	발전, 시멘트제조, 철강, 화학제품 생산	포집 플랜트	전환 플랜트
대상		미세조류 생산 기술	

기관명	적용 산업	최종 제품	
삼표시멘트	시멘트, 철강, 제지 등	친강성 탄산칼슘(Precip	염산(HCl)
성신양회㈜	시멘트	메탄올	DME
(주)유니온	시멘트 건설소재, 화학	CO_2	중탄산나트륨
유진케임텍	발전소, LNG저장, 소각로	촉매	시설 및 경물
㈜부흥산업사	석유화학	합성가스 100톤/일	응용제품 150톤/일
한일시멘트	시멘트	이산화탄소 반응 경화시멘트 제조기술	
유진기업	시멘트	레미콘 및 콘크리트	
대상	발효 미생물, 식품	미세조류 생산 기술	

기관명	적용 산업	최종 제품	
S-OIL	정유/항공	합성 가스	e-SAF(항공유)
유진케임텍	발전소, LNG저장, 소각로	촉매	시설 및 경물
금호석유화학	석유화학-발전소	Syngas(CO & H2)	
㈜부흥산업사	석유화학	합성가스 100톤/일	응용제품 150톤/일
포스코홀딩스	철강산업, 화학산업, 수소산업	합성가스, COG	수소, LNG 대체
포스코홀딩스	철강, 석유화학, 정유, 조선 산업 (조선사 친환경 O	메탄올	초산, 아민, 올레핀
포스코홀딩스	철강, 석유화학	가솔린, 디젤	
포스코홀딩스	철강, 건설	CO2 광물화 건설소재	
포스코홀딩스	철강 산업	탄산칼슘	중탄산나트륨
포스코홀딩스	철강, 석유화학, 정유	합성가스	
낙우산업㈜	열병합 발전		
네오그린	폐기물 처리 / 제지, 합성수지, 페인트, 인공 가죽	탄산칼슘	



❍ 서울 / 서해(경기, 충남) / 대전

기관명	적용 산업	최종 제품	
태경비케이	제지, 플라스틱, 고무, 실란트, 시멘트	무기탄산계화합물	
태경에코	철강, 시멘트, 발전	무기탄산계 화합물	
파이코일바이오텍 코리아㈜	석유화학 / 정유 / 식품 / 바이오소재	바이오매스, 오메가3, 항공유, 색소, 단백질	
한국서부발전	발전		
한국지역난방공사	발전		
유진케임텍	발전소, LNG저장, 소각로	촉매	시설 및 광물
금호석유화학	석유화학-발전소	Syngas(CO & H2)	
㈜로우카본	비점오염원 이산화탄소 배출산업	분산형 Zero C	집중형 DAC 장치
㈜로우카본	탄소포집형 블루수소 생산 분야, 탄소 다량 배출 산업 분야	관류형 CCUS 설비	광물탄산 자원화물질
㈜로우카본	농업	CCU 시스템	원료
한국수자원공사	해수담수화, 화력발전, 해수 수전해, 환경플랜트, 제철·자동차 등 마그네슘 활용 산업군	CO_2 광물전환 공정, 친환경 해수담수화, 해수 수전해 공정, 마그네슘 내재화 기술	마그네슘 탄산염, 가성소다, 염산, 수소
㈜부흥산업사	석유화학	합성가스 100톤/일	응용제품 150톤/일
현대제철㈜	철강, 석유화학	합성가스	메탄올
낙우산업㈜	열병합 발전		
대흥산업가스㈜	발전, 시멘트제조, 철강, 화학제품 생산	포집 플랜트	전환 플랜트
에스크랩스	식품 산업	건강기능식품	
KCC글라스	유리 산업	Na2CO3(중회, 탄산나트륨)	
대주전자재료	매립지/천연가스	합성가스	
CJ제일제당	아미노산 생산	바이오매스	바이오 사료

❍ 강원(동해, 삼척) / 충북

기관명	적용 산업	최종 제품	
삼표시멘트	시멘트, 철강, 제지 등	침강성 탄산칼슘(Precipitated Calcium Carbonate)	염산(HCl)
성신양회㈜	시멘트	메탄올	DME
(주)유니온	시멘트, 건설소재, 화학	CO_2	중탄산나트륨
유진케임텍	발전소, LNG저장, 소각로	촉매	시설 및 광물
㈜부흥산업사	석유화학	합성가스 100톤/일	응용제품 150톤/일
한일시멘트	시멘트	이산화탄소 반응 경화시멘트 제조기술	
유진기업	시멘트	레미콘 및 콘크리트	
대상	발효 미생물, 식품	미세조류 생산 기술	

❍ 전라(군산, 여수, 광양 등)

기관명	적용 산업	최종 제품	
태경비케이	제지, 플라스틱, 고무, 실란트, 시멘트	무기탄산계화합물	
태경에코	철강, 시멘트, 발전	무기탄산계 화합물	
GS칼텍스	석유화학산업	올레핀	
GS칼텍스	석유화학산업	CO_2와 다양한 Epoxide를 원료로 한 폴리올을 적용한 폴리우레탄	
금호석유화학	석유화학-발전소	Syngas(CO & H2)	
㈜로우카본	비점오염원 이산화탄소 배출산업	분산형 Zero C	집중형 DAC 장치
㈜로우카본	탄소포집형 블루수소 생산 분야, 탄소 다량 배출 산업 분야	관류형 CCUS 설비	광물탄산 자원화물질
㈜로우카본	농업	CCU 시스템	원료
㈜부흥산업사	석유화학	합성가스 100톤/일	응용제품 150톤/일
남해화학	비료화학 산업	황산암모늄	탄산칼슘
LG화학	탄소중립 모빌리티	e-SAF	e-Fuel
포스코홀딩스	철강산업, 화학산업, 수소산업	합성가스, COG	수소, LNG 대체
삼성물산(상사)	비료화학 산업	황산암모늄	탄산칼슘
낙우산업㈜	열병합 발전		
대흥산업가스㈜	발전, 시멘트제조, 철강, 화학제품 생산	포집 플랜트	전환 플랜트
대상		미세조류 생산 기술	

❍ 경상(울산, 포항, 부산, 진주, 거제 등)

기관명	적용 산업	최종 제품	
S-OIL	정유/항공	합성 가스	e-SAF(항공유)
유진케임텍	발전소, LNG저장, 소각로	촉매	시설 및 광물
금호석유화학	석유화학-발전소	Syngas(CO & H2)	
㈜부흥산업사	석유화학	합성가스 100톤/일	응용제품 150톤/일
포스코홀딩스	철강산업, 화학산업, 수소산업	합성가스, COG	수소, LNG 대체
포스코홀딩스	철강, 석유화학, 정유, 조선 산업 (조선사 친환경 연료)	메탄올	초산, 아민, 올레핀
포스코홀딩스	철강, 석유화학	가솔린, 디젤	
포스코홀딩스	철강, 건설	CO_2 광물화 건설소재	
포스코홀딩스	철강 산업	탄산칼슘	중탄산나트륨
포스코홀딩스	철강, 석유화학, 정유	합성가스	
낙우산업㈜	열병합 발전		
네오그린	폐기물 처리 / 제지, 합성수지, 페인트, 인공 가죽	탄산칼슘	

다. 시사점

□ 「CCU 기술개발 및 통합실증 신규사업」에 대해 **총 45개 기업**이 **참여 의향이 있음**을 확인(투자의향서 32개 사)

❍ CCU 기술 분야별로 살펴보면, 화학적 전환 분야가 19개사로 가장 많았으며, 다음으로 광물 탄산화(16개사), 생물학적 전환(5개사) 순으로 집계

❍ 철강, 석유화학, 시멘트, 정유, 발전 등 국내 온실가스 多배출 산업을 영위하고 있는 기업들이 많은 참여의향을 표명

□ 기업 소재지는 **전남 여수, 경북 포항**이 각각 6개사로 가장 많았으나, CCU 관련 프로젝트를 추진하고자 하는 실 사업 추진 권역은 서울 / 서해(경기, 충남) / 대전 / 강원(동해, 삼척) / 충북 / 전라(군산, 여수, 광양 등) / 경상(울산, 포항, 부산, 진주, 거제 등) 전국에 분포

❍ 적용 산업과 CCU 기술 분야별 최종 제품도 다양하게 분포

□ CCU 특성상 **기술 난이도가 높고** 대규모 포집·실증 설비가 필요한 바, **높은 기술장벽**으로 **연구개발비 조달**에 어려움과 **사업화 불확실성**에 애로

❍ 국내 성능 검증 및 **실증 인프라 부족**으로 인허가 단계에 어려움을 호소하고 있으며, 상용화 단계로의 **진입 가능성 저하**

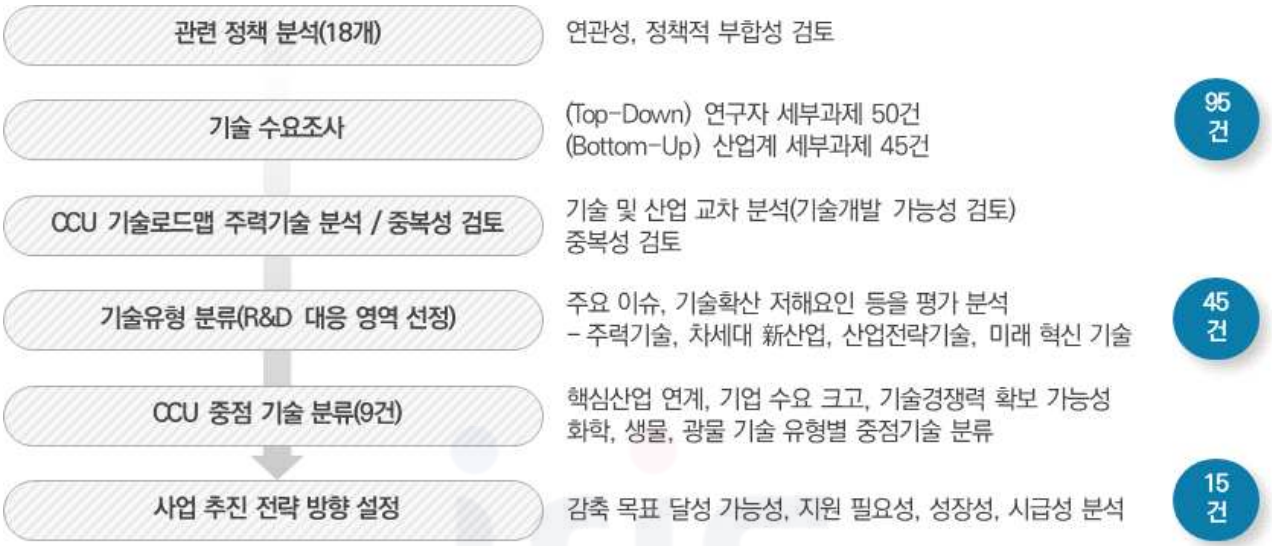
□ 정부 차원의 CCU 기술 인센티브 및 제도적 지원, 보유기술 현장적용 지원으로 민간이 주도하는 **CCU 조기 상용화 실현 도모** 필수

❍ 기업이 **CCU 기술개발 애로사항을 극복**하고 자발적으로 참여하기 위해 세제 혜택, 기술보급 등의 인센티브 요구

❍ 실증 플랜트 운영을 위한 **국가적 차원의 지원 확보**, CO_2 감축량 인정 방안 마련으로 산업계 온실가스 감축 및 탄소중립 실현 필요

3. 기술개발 우선순위 선정 과정

□ **(기술 개발 우선순위 선정)** 동 사업의 주력 분야별 핵심 기술 선정을 위해 실시된 수요조사 결과를 대상으로 우선순위 설정의 과정은 다음과 같이 수행함



〈그림 Ⅰ-17〉 기업 수요 반영 우선순위 도출 과정

❍ **(1단계-기초분석)** 연구자(Top-Down) 및 산업계 수요(Bottom-Up) 대상 총 4회에 걸쳐 발굴된 95건의 과제를 대상으로 기술적 개발 타당성과 산업적 필요성 관점의 교차분석을 통해 기술개발 타당성이 높은 기술 선정을 위한 기초자료를 도출함

❍ **(2단계-중복성 검토)** 95건의 기술에 대해 동 NTIS를 통해 과제 중복 여부 검토 및 과제 지원 타당성 확보함

❍ **(3단계-후보과제 발굴)** 기존 과제와의 중복성 검토와 기술검증위원회를 통해 **“온실가스 감축 목표 및 달성 가능성, 기술적 지원 필요성, 시장 성장성, 경제적 필요성, 기술의 시급성, 기술의 혁신성”** 을 평가지표로 활용하여 파급효과가 높은 후보과제를 선정함

❍ **(4단계-중점기술 선정)** CCU 기술혁신 로드맵 제품군 기반, 핵심산업과 연계하여 기업 수요가 크고 기술경쟁력 확보 가능성이 높은 9건의 중점 기술과제 도출

화학적 전환					생물학적 전환		광물 탄산화	
합성가스	메탄올	올레핀	e-Fuel	폴리머	바이오소재·연료	바이오매스	고순도 무기탄산염	대체 시멘트 및 건설소재

❍ **(최종 과제 도출)** 기술 경쟁력 확보 가능성이 높은 과제를 대상으로 최종 검증위원회를 통해 유사성 및 차별성이 큰 과제를 분리 통합하여 최종 **플래그십 프로젝트 전략과제(15건)**을 도출함

〈표 Ⅰ-34〉 최종 연구개발 과제

기술유형	중점기술	산업분야	기술명	최종제품
화학적 전환	합성가스	석유화학	온실가스 감축 극대화 합성가스 생산 기술	합성가스, 응용제품
		철강	미활용 CO_2 활용 합성가스 생산 기술	합성가스, COG
	메탄올	철강	CO_2 활용에 의한 메탄올 생산 기술	메탄올
	올레핀	정유	정유 공정 배가스 CO_2 활용 기초유분 생산 기술	올레핀
	e-Fuel	석유화학	합성연료(휘발유, 경유) 생산 기술	e-Fuel
		석유화학	e-SAF 제조 상용공정 기술	e-SAF
	폴리머	석유화학	CO_2 활용 폴리우레탄 생산 기술	폴리우레탄
		석유화학	CO_2 활용 폴리카보네이트 생산 기술	폴리카보네이트
생물학적 전환	BIO 소재·연료	발전	미세조류 기반 발전소 배출 CO_2 감축 · 활용 기술	미세조류 바이오매스
	바이오매스	바이오	미세조류 기반 발효 배가스 내 CO_2 감축 · 활용 기술	바이오매스, 바이오사료
광물 탄산화	고순도 무기탄산염	기타	석고 활용 탄산칼슘 생산 및 활용 기술	황산암모늄, 탄산칼슘
		해수담수	해수담수화 농축수 활용 고순도 무기탄산염 생산·활용 기술	마그네슘 탄산염
	대체 시멘트 및 건설소재	시멘트	in-situ 탄산화기술 활용 CO_2 감축 · 활용 기술	In-situ 탄산화 2차제품
		시멘트	CO_2 반응경화 시멘트 및 건설 2차제품 생산 및 활용 기술	CO_2 반응경화 시멘트
		철강	제철 슬래그 활용 CO_2 저감 건설소재 생산 및 활용 기술	CO_2 광물화 건설소재

가. 기술성 및 지원 필요성 검토 및 후보과제 선정

(1) 중점기술 및 세부 추진과제 선정기준

□ CCU 기술혁신 로드맵(‘21.6)」 선정 59개 중점기술 중 화학·생물·광물 탄산화 전환분야 40개 중점기술대상 **탄소감축규모가 크고**, 現 시점에서 **시장수요가 높은기술(주력기술)**을 선별하여 9개 중점 기술분야 선정

❍ **(선정지표)** 기술수요조사를 통해 접수된 95건의 CCU 기술개발 대상과제를 대상으로 기술개발 당위성 및 타당성 확보 등을 위한 온실가스 감축효과, 시장성 및 사업성, 기술경재력, 국내 적용 가능성 등 기술 선정 지표를 구분함

〈표 Ⅰ-35〉 기술 개발 타당성 선택 지표

평가 기준	주요 선정 기준	
온실가스 감축효과	CO_2 배출원 및 활용도	• 온실가스 감축(처리) 가능량
시장성, 사업성	기술 잠재력 고려, 제품의 시장수요 및 경제적 효과	• 잠재적 제품 대체 시장 규모 • 시장성(부가가치) • 상업화 장벽 존재 여부
기술 경쟁력	기술개발 수준 기술개발 연구비	• 기술개발단계(TRL), 기술성숙도 • 기술 상용화 가능 시기
국내 적용 가능성	국내 여건 및 인프라 고려	• 국내 시장 및 국내 산업계 관심 • 지리적, 경제적 여건 및 기타 자원 공급 가능성

□ 평가 대상 기술

❍ 기술 수요조사 : 산학연 전문가 기술 수요 조사, 총 95건

❍ 기술수요조사 : (1차) '23.07.10.~08.18. (2차) '23.09.18.~10.06.

❍ **(수요조사 개요)** 2차례에 걸쳐 수요기업 중심 산학연 수요과제(Bottom-up)와 CCU기업과 민간전문가 제안과제(Top-Down) 수렴

〈표 Ⅰ-36〉 기술수요조사 대상 제안 기술(95건)

NO	기술 유형	CCU 로드맵 중점기술	제안 기술명	TRL	적용 산업	최종제품	목표 감축량 (톤/년)	연구비 (억원)
1	화학	올레핀, 탄화수소, 고분자 등	정유 공정 배출가스 내 CO_2 감축을 위한 CO_2 직접 전환 기초유분 생산 기술 Demo Scale 실증	6~8	석유화학산업	기초유분	131,200	200
2	화학	올레핀, 탄화수소, 고분자 등	CO_2 촉매 전환 폴리올/폴리우레탄 생산 및 활용 기술 Demo scale 실증	6~8	석유화학산업	폴리올	270	270
3	화학	미래기술	CO_2 전기화학전환 기술을 활용한 CO 및 개미산 생산 시스템 개발과 이를 활용한 e-Fuel 생산 공정 기술 개발	3~4	e-Fuel 및 SAF 생산 산업	개미산, 항공유	2,160	600
4	화학	합성가스	HMP (수소생산공정) 공정 부생 가스를 활용한 e-SAF 생산기술	4	정유/항공	항공유	200,000	180
5	화학	합성가스	고효율 CO_2-Methane Reforming을 위한 촉매 개발 및 기술 package 化를 통한 연 6만톤 실증 플랜트 건설	9	석유화학-발전소	MDI 제조용		69
6	화학	합성가스	건식개질공정 격상(3만톤/년)으로 온실가스 감축 극대화 및 응용기술 개발	7	석유화학	합성가스	30,000	1,194.20
7	화학	미래기술	CO_2로부터 수소저장용 초경량/극다공성 복합탄소소재 개발	3~6	탄소소재 산업 및 수소 저장	탄소나노튜브	1,400	-
8	화학	합성가스	CO_2 포집-코크스 오븐 CO_2 취입 자원화 상용 공정 개발을 통한 연간 32만톤 CO_2 포집 자원화 기술 실증	6	철강산업, 화학산업, 수소산업	합성가스(CO)	200,000	800
9	화학	메탄올	제철 부생가스를 활용한 부생가스 활용 메탄올 화학 전환 공정 개발 실증 연구	3	철강, 석유화학, 친환경 연료	가솔린	23,300	2,300
10	화학	올레핀, 탄화수소, 고분자 등	부생가스와 수소를 활용한 고부가가치액체연료(E-Fuel) 2 TPD급 제조공정개발 및 실증(3→6)	3	철강, 석유화학	합성가스	1,400	700
11	화학	합성가스	제철 부생가스를 활용한 합성가스 생산용 CO_2 화학적 전환 연 5천톤급 핵심 공정 실증 연구	4	철강, 석유화학, 정유	합성가스	5,000	700
12	화학	합성가스	CO_2 활용 H2 및 CO 생산			합성연료		-
13	화학	메탄올	CO_2 직접전환을 통한 메탄올 제조 기술 개발 및 실증	5	석유화학산업	메탄올		-
14	화학	메탄올	제철 공정 배가스 내 CO_2 활용 메탄올 생산 기술 실증 개발	5	철강, 석유화학	메탄올	5,500	400
15	화학	합성가스	부생가스 기반 CO_2 전환공정을 이용한 Syngas 생산 실증 기술개발	7	제철, 석유화학/정유	합성가스	16,834	-
16	화학	올레핀, 탄화수소, 고분자 등	기업 중심의 e-SAF 제조 통합실증 사업을 통해 연간 CO_2 10만톤 감축 기술 개발	4	탄소중립 모빌리티	e-SAF	100,000	1,000
17	화학	메탄올	온실가스 감축을 위한 CO_2 수소화 Methanol 합성 공정 개발		제조/화학	메탄올	140,000	345
18	화학	올레핀, 탄화수소, 고분자 등	고성능/친환경 CO_2 폴리올 전환촉매 기술 개발	6	석유화학	폴리우레탄	2,290,000	620
19	화학		$30/ton-$CO_2$ 이하 달성을 위한 수소 생산 설비의 WGS 후단 개질가스로부터20만톤/년급CO_2포집 VPSA공정	6	석유화학, 정유, 블루수소	블루수소	200,000	1,250
20	화학	유기산	탄소중립 시나리오B 목표 달성을 위한 DAC 기반 e-바이오리파이너리 기술	3	바이오화학 바이오화학소재	DAC, formate	100,000	150
21	화학	탄소소재	탄소중립 달성을 위한 유무기 환원제를 활용한 CO_2 감축 및 탄소소재합성	5~7	탄소소재 산업	CNT	500	100

NO	기술 유형	CCU 로드맵 중점기술	제안 기술명	TRL	적용 산업	최종제품	목표 감축량 (톤/년)	연구비 (억원)
22	화학	합성가스 / 유기산	탄소 중립을 위한 금속-CO_2 전지 기술을 이용한 100톤/일 규모의 온실가스 감축 CCUS-ESS 융합 에너지 저장 시스템 개발		화학물질 및 화학제품 제조업, ESS	합성가스 및 탄화수소	36,500	48
23	화학	합성가스	공정배가스의 직접 CO_2 활용을 통한 합성가스 생산 기술개발	6	화학공정	촉매	3,000	290
24	화학	합성가스	공정배가스의 직접 CO_2 활용을 통한 플랫폼화합물 제조 기술 실증	6	화학공정	촉매	3,000	290
25	화학	합성가스	CO_2로부터 함산소화합물 직접 제조를 위한 촉매 반응공정 개발	6	화학공정	신규 촉매	100,000	120
26	화학	고분자	CO_2 및 바이오매스 유래 폴리머 플랫폼 기반 그린 탄소 함량 50%이상 폴리우레탄 생산 엘라스토머 제조 기술 개발	3~4	폴리우레탄 생산, 폴레우레탄	접착제, 포장재, 건축자재	280,000	50
27	화학	합성가스	경제성, 환경성 확보를 위한 배가스의 전기화학적 전환을 통한 합성가스 생산 기술 개발	4	석유화학 및 정유 산업	수소, 일산화탄소	26	100
28	화학	알코올	NDC 목표달성을 위한 CO_2 동시포집전환 100톤급 포름산 샌산 개발단계 기술개발	5	화학 산업	메탄올	100	400
29	화학	탄화수소	전기화학적 CO_2 전환 합성가스 기반 에틸렌 생산 원천기술 개발	4	탄화수소, 에틸렌	폴리에틸렌	410,000	100
30	화학	탄소소재	NDC 목표달성을 위한 상온 구동 전기화학적 CO_2 탄소소재화 응용단계 기술 개발	3	탄소소재산업, 자동차, 건설, 항공우주 소재	CNT	8	200
31	화학	유기산	재생에너지 활용 CO_2 전환 개미산염 생산 실증 연구	5	제철/화력발전 등 CO_2 배출	개미산	54	300
32	화학	유기산/탄화수소	전기화학적 CO_2 전환반응의 경제성 향상 및 생산물 다양화를 위한 화합물 동시생산 기술 개발	3	에틸렌, 에탄올, 유기산	에틸렌, 에탄올, 포름산	450	120
33	화학	유기산	NDC 목표달성을 위한 CO_2 동시포집전환 300톤급 포름산 샌산 개발단계 기술개발	7	화학 산업	개미산	300	400
34	화학	탄화수소	탄소중립을 위한 에틸렌 생산용 100톤 전기화학적 포집-CO_2 전환 응용기술 개발	4	에틸렌	수소	100	300
35	화학	탄소소재	CO_2 전환 E-fuel 및 고품질 나노탄소소재 생산 기술 개발	7	석유화학산업, 배터리산업, 모빌리티산업	메탄 등의 E-fuel	12,500	500
36	화학	카보네이트	바이오매스 및 CO_2 기반 난연성 배터리 전해액 제조 및 응용기술 개발	3~6	이차전지, 친환경 화학 소재	배터리 전해액		70
37	화학	차세대활용	탄소중립 달성을 위한 CO_2를 연료로 이용한 Na-CO_2 배터리 개발을 위한 기초기술 개발	4~6	이차전지 산업	금속-CO_2 이차전지		100
38	화학	기타	\$30/ton-CO_2 이하 달성을 위한 수소 생산 설비의 WGS 후단 개질가스로부터 80만톤/년급 CO_2 포집 VPSA 공정 실증	8	정유석유화학 산업, 블루수소 생산 산업분야	블루수소 생산 공정 및 소재	800,000	3,000
39	화학	합성가스	정유공정 포집 CO_2 전환 전기화학적 합성가스 생산 핵심기술 개발	6	정유산업	합성가스	8,000	150
40	화학	고분자	바이오매스 및 CO_2 재활용을 위한 바이오매스/CO_2 복합화 응용 기술	3	CCUS 기술개발, 화학, 고분자	폴리카보네이트, CO_2 폴리우레탄	21,000	50
41	화학	합성가스	폐플라스틱 유래 환원제를 활용한 CO_2 개질 합성가스 생산 실증기술 개발	6	석유화학산업, 정유산업	합성가스	66	100
42	화학	합성가스	온실가스-대기오염물질 동시 저감 및 자원화를 위한 합성가스 생산 응용기술 기술 개발	5	석유화학산업, 정유산업, 화학제조산업	NH3	4	50
43	화학	탄화수소	CO_2 직접수소화를 통한 합성납사 연계 올레핀 제조 기술 실증	8	석유화학산업	올레핀		400
44	화학	유기산	바이오매스 활용 유기산 및 CO_2 유래 포름산유도체 제조통합공정기술 개발(유기산 2만, 포름산 유도체 1만 톤급)	5	친환경 화학산업, 정밀화학	알코올 및 알데히드류	10,000	90
45	화학	유기산	전기화학 반응 기반 바이오원료-CO_2 동시 전환 기술 개발		기초화학산업, 화학 원료 제조			50
46	화학	유기산 / 고분자	차세대 CCU를 위한 CO_2기반 하이드록시산 및 폴리에스테르 제조 기초 및 응용기술 개발	2~5	플라스틱, 포장재, 의학용 기기	폴리에스테르	10,000	60
47	화학	알코올	NDC 목표달성을 위한 CO_2 기반 반도체/디스플레이용 고순도 IPA 생산 기술 개발	3	반도체, 디스플레이	Isopropyl alcohol	22,000	50

NO	기술 유형	CCU 로드맵 중점기술	제안 기술명	TRL	적용 산업	최종제품	목표 감축량 (톤/년)	연구비 (억원)
48	화학	탄화수소	태양광 활용 CO_2 고정화에 의한 고부가 방향족 화합물 및 단량체 제조 응용기술 개발	2	정밀화학산업, 고분자 단량체 제조산업	고분자 단량체 (FDCA등)	20,000	100
49	화학	고분자	석유화학산업 CO_2 활용 수소결합 기반 코팅산업용 엘라스토머 제조/응용기술 개발	3~5	플라스틱(고무 및 탄성체) 제조/응용산업	고무 및 엘라스토머	20,000	60
50	화학	합성가스	화학산업 배출 CO_2 직접 전환을 통한 고순도 수소 및 일산화탄소 제조 기술 개발	5	석유화학 산업, 정유 산업	수소	7	60
51	화학	알코올	유기성 가스자원 활용 바이오 메탄올 생산 실증 통합공정 기술 개발	8	석유화학산업	바이오 메탄올		500
52	화학	기타	유기성 폐자원으로부터 바이오항공유 생산 실증을 위한 통합공정 기술 개발	8	석유화학산업	바이오항공유		400
53	화학	합성가스	대기유해물질-CO_2 동시 전환을 통한 탄소중립형 플랫폼 화합물 제조 기술 개발	5	기초화학산업, 화학원료		30	100
54	화학	합성가스	전기에너지 활용 CO_2 단독 전환 고성능 CO 제조 기술 개발		기초화학산업, 화학원료 제조		30	80
55	화학	합성가스 / 탄화수소	CO_2 개질 합성가스 생산을 위한 Active learning 기반 최적 촉매 설계 자동화 시스템 및 대량합성	5	기초화학산업, 화학원료 제조		30	100
56	화학	합성가스 / 유기산 / 알코올	2050 탄소중립 실현을 위한 CO_2 전환 합성원료 및 합성연료 생산 실증 기술 개발	6	석유화학	개미산, 옥살산		280
57	화학		동시 CO_2 포집/전환을 통한 탄소 영구 저장용 CO_2 용융염 전기분해기술 응용기술 개발	4	발전, 철강, 세민트, 쓰레기	이차전지용 음극재		220
58	화학		철강/발전 배가스 활용 에틸렌 생산 1 ton/day급 고안정성 전기화학적 CO_2 전해조 기초 기술개발	3~4	철강, 발전	에틸렌		220
59	화학		2050 넷제로 달성을 위해 3억톤급 온실가스 감축이 가능한 CO_2 전기분해 기반 알칼리 포메이트 연료 생산 응용 기술 개발	4~5	에너지, 발전, 철강, 건설, 유리, 시멘트, 화학	전고체 CO_2 전환 반응기	10,787	120
60	생물	미세조류 유래 천연색소	건강기능식품 개발을 위한 광합성 미세조류 유래 고기능 소재 개발 및 사업화	4		건강기능식품		21
61	생물	미세조류 유래 오메가 지방산	탄소배출량 제로를 위한 미세조류용 고농도 배양기술의 개발	7	석유화학 / 정유 / 식품 / 바이오소재	식품원료, 항공유	500	65
62	생물	바이오매스	1만 톤 CO_2 감축이 가능한 NDC 달성 지향형 컴팩트 미세조류 생산 모듈 개발	8	발전 산업 / 플라스틱 산업	플라스틱	10,000	500
63	생물	바이오소재화	발효 배기가스 내 CO_2 활용 미세조류 배양 및 고부가가치 산물 생산	3	아미노산 생산 발효 산업	바이오매스/ 사료		220
64	생물		2030 NDC 목표 달성을 위한 대기중 CO_2 직접 포집과 미세조류를 활용한 생물학적 탄소포집/변환/제거플랫폼구축기술개발	6	바이오에너지, 친환경 정밀농업		50,000	600
65	생물	바이오연료화	지속가능한 탄소중립 사회를 위한 석유 대체 미생물 기반 저탄소 바이오항공유 생산 응용기술 개발	3~4	항공 연료 분야	바이오 항공유	14,000,000	360
66	생물	바이오매스 / 바이오연료	탄소중립사회 실현을 위한 미세조류 대규모 파운드리 공정 및 바이오매스 리파이너리 기술 개발	6	플라스틱 소재 전자소재 산업, 항공	바이오플라스틱, 전자소재	500	300
67	생물	바이오매스 생산 / 바이오연료화	배기가스 CO_2를 이용한 미세조류 유래 지속가능한 항공유 생산 응용기술 개발	3	CO_2 배출원 전 분야 및 항공산업	항공유 미세조류 바이오매스	3,000	500
68	생물	바이오매스 생산	생물학적 CCU 기술실현을 위한 CO_2 고속전환 미세조류 및 배출원 직접 연계 기술 개발	4	미세조류 바이오매스 활용 산업	바이오플라스틱	-	80
69	생물	바이오소재화	미세조류 기반 면적집적형 생물학적 CCU 기술 구현을 위한 수직형 공정 기술 개발	8	발전, 산업 포함	건조 미세조류 바이오매스 유래	4,500	750
70	생물	바이오매스 생산 / 바이오소재화	1만톤 규모의 CO_2 처리를 위한 미세조류 광합성-바이오광물화 융복합 생산 시스템 구축	5	바이오 소재 산업, 플라스틱 소재 산업 등	사료, 바이오플라스틱	5,000	200
71	광물	간접광물탄산화	고온 용융로 배기가스의 CO_2 포집과 연결된 고순도 탄산나트륨 생산 실증 기술 개발	6	유리, 석회업, 소각로 운영 산업	탄산나트륨	1,500	100
72	광물	간접광물탄산화	산업부산물(제강슬래그,플라이애쉬,폐 콘크리트)을 적용가능한 탄산칼슘 200톤/일 생산 기술개발을 통한 온실가스 2.5만톤/년 감축 기술 개발	4~5	폐기물 처리 제지,합성수지, 페인트	탄산칼슘		8

NO	기술 유형	CCU 로드맵 중점기술	제안 기술명	TRL	적용 산업	최종제품	목표 감축량 (톤/년)	연구비 (억원)
73	광물	간접광물탄산화	CO_2 포집 플랜트의 모듈화 및 CO_2 전환 플랜트 설계 기술을 이용한 온실가스 20만톤 감축 및 광물탄산화 제품 100톤 생산 기술 확보	9	발전, 시멘트제조, 철강, 화학제품 생산	액화CO_2, 중탄산나트륨, 연질석회석	750,000	1,868
74	광물	DAC 이용기술	직접 공기포집 기술을 적용한 CO_2 동시 포집·전환 기술의 인공 숲 기술 사업화	8	비점오염원 CO_2 배출산업	인공숲장치	1,800	150
75	광물	DAC 이용기술	블루수소 생산을 위한 관류형(One Through) CCUS 최적화 기술 개발	7	탄소포집형 블루수소	블루수소 생산설비	5,400	170
76	광물	DAC 이용기술	농업 분야 탄소중립 실현을 위한 저탄소 발전 시스템 적용을 통한 에너지 순환형 CCU 시스템 개발	5	농업	저탄소 발전 시스템	500	60
77	광물	직접광물탄산화	부산석고(4만톤)을 활용 – CO_2 1만톤 이상 감축 가능한 광물탄산화 상용화 기술 개발	7	비료화학, 시멘트	황산암모늄, 탄산칼슘	10,000	450
78	광물	간접광물탄산화	폐열활용을 활용한 염화칼슘 열분해 및 배기가스 연 1만톤급 CO_2 포집 광물탄산화를 통한 PCC 제조기술 개발	4~6	시멘트, 철강, 제지 등		9,420	250
79	광물	알코올 및 알데히드류	Scale-Up(CO_2 포집 2,000톤/일)을 통한 시멘트산업 배출 CO_2 활용 저탄소연료화(메탄올/DME) 상용화 기술 개발 및 CCU 허브-클러스터 조성	8~9	시멘트	메탄올	390,000	6,300
80	광물	간접광물탄산화	시멘트 생산 단지 연계 CO_2 포집 및 탄산염 생산 실증기술 확보	7	시멘트, 건설소재, 화학	시멘트	400	575
81	광물	간접광물탄산화	CO_2 흡수제 개발과 고부가가치 자원광물화 및 촉매 재생을 통한 대규모, 저비용 순환 System 개발 Scale-up 연구 및 실증	4~5	발전소, LNG저장, 소각로	CTC	26,500	60
82	광물	직접광물탄산화	CO_2 포집 탄산칼슘 기반 인공골재에 탄소 배출량 90% 저감 CO_2 탄산화 양생 기술 개발	4	건설소재	인공골재	200	30
83	광물	간접광물탄산화	칼슘 함유 산업부산물을 이용한 온실가스 1만톤/년 감축을 위한	5	플라스틱, 고무, 실란트, 시멘트	합성탄산		30
84	광물	간접광물탄산화	연간 2만톤급 중탄산나트륨 제조 광물탄산화 공정기술 개발 및 실증	6	철강, 시멘트, 발전	중탄산나트륨	5,200	98
85	광물	직접광물탄산화	제철 슬래그 활용 광물탄산화 기술을 이용한 연 10만톤 급 CO_2 저감 건설소재 활용 기술	5	철강, 건설		100,000	500
86	광물	간접광물탄산화	제철 슬래그를 활용한 무기탄산염(CaCO3/NaHCO3) 10TPD급 (10tCO_2/d) 제조 기술 개발	5	철강 산업	탄산칼슘/중탄산나트륨	3,000	300
87	광물	간접광물탄산화	CO_2와 해수담수화 농축수 동시처리에 의한 1만 톤-CO_2/년 감축 CO_2 광물 전환 실증 공정개발	8	제철·자동차 등 마그네슘 활용 산업군	CO_2 전환 마그네슘 탄산염	10,000	750
88	광물	직접광물탄산화	레미콘 in-situ 탄산화기술을 이용한 연간 40만톤 CO_2 감축용 산업배출 CO_2 활용 in-situ 탄산화 실증화	8	레미콘/레미탈/콘크리트 2차제품	레미콘, 콘크리트 2차제품	13,885	390
89	광물	직접광물탄산화	연간 56만톤 CO_2 감축이 가능한 CO_2 반응경화 시멘트 및 건설 2차제품 제조 실증 기술개발	8	시멘트 산업, 시멘트 분야 2차제품	CO_2 반응경화 시멘트	16,625	600
90	광물	간접 광물탄산화	2050년 탄소중립을 위한 온실가스 10만톤 감축을 위한 차세대 간접 탄소 광물화 기술개발	5	철강산업, 시멘트 제조 산업, 폐기물 자원화	고품위 탄산칼슘	50	200
91	광물	직접 광물탄산화 / 간접 광물탄산화	폐광 채움재 및 지중저장 활용을 위한 배가스 CO_2 100톤일급 감축 광물탄산화 적용 건설소재 생산 상용화 기술 개발	6	발전, 철강, 석유화학(탈황석고)	인공골재, 도로기층재	33,000	100
92	광물	직접 광물탄산화	NDC 목표달성을 위한 CO_2 직접광물탄산화를 이용한 온실가스 2.4만톤 감축 CO_2전환 탄산칼슘 건설소재화 실증기술 개발	7	발전, 석유화학, 철강, 시멘트 산업 등	탄산칼슘	30,000	170
93	광물	직접 광물탄산화 / 간접 광물탄산화	80톤/일급 배가스 CO_2 및 소성된 Ca함유 부산물 이용 광물탄산화 개질을 통한 고품위 탄산칼슘 화학소재 생산 상용화 실증기술 개발	6~7	패각자원화 열분해연소/소성 산업	CO_2 전환 탄산화물	26,000	1,000
94	광물	직접 광물탄산화	NDC 목표달성을 위한 직접 CO_2 활용을 통한 부산석고 광물탄산화 기술 실증	7	석탄화력발전, 비료화학산업 등 부산석고 발생산업	황산암모늄	10,000	1,000
95	광물	간접 광물탄산화	탄소 중립 목표달성을 위한 해수와 산업부산물을 이용한 CO_2 100만톤 감축 및 바테라이트형 탄산칼슘 대량생산 실증기술 개발	7~9	종이, 플라스틱, 시멘트, 골결손부	탄산칼슘	54,000	60

(2) 발굴 기술 대상 유사 과제 점검

□ 「CCU 기술혁신 로드맵(‘21.6)」을 통해 도출된 기술을 대상으로 기술 수요조사 및 산학연 CCU 전문가 검토 등을 통해 **중점기술 대상 9개 분야**를 도출

❍ 선별된 2030년 상용화 전략제품 중점기술을 대상으로 2018년~2022년 기준 NTIS를 통해 과제 중복 여부를 검토

구분	내용
조사 대상 기간	• 2018년 01월 01일 ~ 2022년 12월 31일
조사 내용	• 사업과제별 추진 과제(부처, 사업명, 사업목적, 과제명, 사업비, 연구개발단계, 수행기관, 관리기관, 기술수명주기, 국가전략기술분류, 과학기술표준분류)
중복 분석 과제	• CCU 기술혁신 로드맵 전략제품 중점기술 14개 품목

1 합성가스

□ 각 부처별 **“합성가스, 플라즈마, CO_2 개질, 부산물 환원제”** 관련 유사 사업을 대상으로 사업목적, 사업내용, 지원분야, 지원대상 등 항목에 대해 중복성을 우선 검토

❍ 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)의 공개정보를 참고하여 사업 및 과제 내용 측면에서 검토를 수행함

□ **(총사업비)** 2018년~2022년 간 합성가스 관련 과제는 **56,930백만원(102건)** 과제가 시행된 것으로 분석됨

❍ 탄소자원화기술고도화 사업이 총 사업비 131.78억 원(6개 과제)으로 가장 많은 과제가 시행됨

〈표 Ⅰ-37〉 (합성가스) 주요 사업별 현황(2018~2022)

(단위 : 백만 원)

사업명	2018	2019	2020	2021	2022	총사업비	과제수
탄소자원화기술고도화(R&D)		2,934	4,867	5,377		13,178	6
신재생에너지핵심기술개발(R&D)	4,178	2,577	1,106			7,862	8
소재부품기술개발(R&D)			2,332	2,500		4,833	2
CCU3050					4,666	4,666	1
에너지수요관리핵심기술개발	705	1,004	1,319	1,278		4,307	4
기후변화대응기술개발(R&D)	750	1,032	1,158	1,050		3,990	13
전략핵심소재자립화기술개발					3,246	3,246	1
시장선도형CCU전략제품생산기술실증					1,887	1,887	1
폐플라스틱활용원료연료화기술개발사업					1,697	1,697	1
개인기초연구(과기정통부)(R&D)	180	380	450	300		1,310	12
폐자원에너지화기술개발(R&D)	362	344	548			1,255	3
국민위해인자에대응한기체분자식별분석기술개발	214	225	223	310		974	4
기후변화대응기술개발					770	770	2
중소기업기술혁신개발(일반,R&D)				625		625	1
이공학학술연구기반구축(R&D)	41	139	177	260		618	15
중소기업상용화기술개발(R&D)	346	233				579	2
그린뉴딜유망기업100					437	437	1
중소기업기술혁신개발(R&D)			312			312	1
연구개발특구육성(R&D)		300				300	1
신기후체제대응연구(R&D)	135	135				270	2
개인기초연구(과기정통부)					256	256	2
창업성장기술개발(R&D)	177					177	1
한국형축산업을위한가축사육신기술개발(R&D)			170			170	2
개인기초연구(교육부)(R&D)	91	50	12			154	4
이공학학술연구기반구축					154	154	3
농업실용화기술R&D지원(R&D)			57			57	1
국민위해인자에대응한기체분자식별·분석기술개발					50	50	1
중소기업상용화기술개발					39	39	1
총합계	**7,183**	**9,656**	**14,084**	**12,601**	**13,404**	**56,930**	**102**

□ **(부처별 수행과제)** 2018년~2022년 간 합성가스 관련 과제는 과학기술정보통신부를 통해 217.8억 원(40건)의 과제가 수행됨

〈표 Ⅰ-38〉 (합성가스) 주관부처별 현황(2018~2022)

(단위 : 백만 원)

부처명	2018	2019	2020	2021	2022	총연구비	총과제수
과학기술정보통신부	930	4,946	7,825	7,627	456	21,784	40
교육부	133	189	190	260	154	926	22
산업통상자원부	4,884	3,581	4,758	3,778	5,133	22,137	16
환경부	577	570	771	310	1,747	3,977	9
중소벤처기업부	523	233	312	625	39	1,734	6
기획재정부					5,874	5,874	4
농촌진흥청			227			227	3
산림청	135	135				270	2
총합계	**7,183**	**9,656**	**14,084**	**12,601**	**13,404**	**56,930**	**102**

□ **(수행주체)** 2018년~2022년 간 합성가스 관련 과제는 대학(73억, 45건), 중소기업(128억, 30건)의 과제가 수행됨

〈표 Ⅰ-39〉 (합성가스) 수행주체별 현황(2018~2022)

(단위 : 백만 원)

연구수행주체	2018	2019	2020	2021	2022	총합계
중소기업	1,968	3,943	6,058	7,432	5,609	25,013
출연연구소	712	2,221	4,619	2,795	2,447	12,795
기타	705	1,004	1,319	1,278	4,666	8,974
대학	1,821	1,763	2,017	1,095	680	7,378
대기업	1,975	724				2,699
국공립연구소			70			70
총합계	**7,183**	**9,656**	**14,084**	**12,601**	**13,404**	**56,930**

((합성가스) 기술수명주기별 현황(2018~2022)

〈표 Ⅰ-40〉 (합성가스) 수명주기별 현황(2018~2022)

(단위 : 백만 원, 건)

기술수명주기	2018	2019	2020	2021	2022	총사업비	총 과제수
기타	171	4,248	4,755	6,142	5,292	20,611	38
도입기	4,866	3,147	4,857	1,893	3,734	18,499	33
성장기	2,145	1,960	788	675	454	6,023	18
-		300	1,350	1,080	676	3,406	9
성숙기			2,332	2,810	3,246	8,389	4
총합계	**7,183**	**9,656**	**14,084**	**12,601**	**13,404**	**56,930**	**102**

□ **(과학기술표준분류)** 2018년~2022년 간 합성가스 관련 과제는 “촉매/반응기술 분야에 28건(178억 원)의 투자가 되었으며, CO_2 전환기술(CCU) 분야 158억 원인 것으로 파악됨

〈표 Ⅰ-41〉 (합성가스) 과학기술표준 분류별 현황(2018~2022)

(단위 : 백만 원)

과학기술표준_연구분야분류	사업비					총합계
	2018	2019	2020	2021	2022	
촉매/반응기술	450	912	3,620	3,850	8,982	17,815
CO2 전환기술	1,068	3,499	4,904	6,135	234	15,841
에너지/자원	4,178	2,877	1,606			8,662
분리/정제기술	177	800	1,880	1,070		3,927
폐기물 자원화기술		100	270	120	1,756	2,246
화학제품					1,887	1,887
수소		45	357	625	437	1,465
복합재료제조기술	214	225	223	310	50	1,024
CO2 포집기술	350	350	170			870
석탄/석유 청정화/이용기술			850			850
석탄가스화/액화	100	100	100	400		700
배관용 요소부품	346	233				579
에너지/환경 제어설비		300				300
임산 에너지	135	135				270
발효공정기술		45	45	45		135
폐기물	80					80
연료전지	41	16				58
에너지 변환/저장 전기화학	41	16				58
식품저장/유통/포장			57			57
폐기물 관리/자원순환					56	56
바이오연료				45		45
총합계	**7,183**	**9,656**	**14,084**	**12,601**	**13,404**	**56,930**

2 유기산

□ **(총사업비)** 2018년~2022년 간 **"유기산, 개미산, 옥살산, 바이오 촉매"** 관련 과제는 82.6억 원(41건) 과제가 시행된 것으로 분석됨

❍ 개인기초연구분야에 총 사업비 24.8억 원(8개 과제)으로 가장 많은 과제가 시행됨

〈표 Ⅰ-42〉 (유기산) 사업별 현황(2018~2022)

(단위 : 백만 원, 건)

사업명	사업비					총합계
	2018	2019	2020	2021	2022	
개인기초연구(과기정통부)					179	2,478
개인기초연구(과기정통부)(R&D)	55	15	37	217		1,252
개인기초연구(교육부)(R&D)	50	12				955
공익적 의료기술연구사업					100	830
공익적의료기술연구사업(R&D)				50		550
기후변화대응기술개발					830	391
기후변화대응기술개발(R&D)	450	600	628	800		325
농생명산업기술개발(R&D)	75	55	102			300
바이오.의료기술개발(R&D)			485	470		243
바이오의료기술개발					550	232
산업집적지경쟁력강화(R&D)				180		180
산학연협력기술개발(R&D)	146	195	48			179
소재부품기술개발					1,252	130
이공학학술연구기반구축					130	100
이공학학술연구기반구축(R&D)	78	49	49	64		62
지역특화산업육성(R&D)	300					50
총합계	**1,155**	**928**	**1,351**	**1,782**	**3,041**	**8,259**

□ **(부처별 수행과제)** 2018년~2022년 간 “유기산, 개미산, 옥살산, 바이오 촉매” 관련 과제는 과학기술정보통신부를 통해 44.8억 원(41건)의 과제가 수행됨

〈표 Ⅰ-43〉 (유기산) 주관부처별 현황(2018~2022)

(단위 : 백만 원, 건)

부처명	사업비						과제수
	2018	2019	2020	2021	2022	합계	
과학기술정보통신부	505	615	1,150	1,487	729	4,487	18
교육부	128	62	49	64	130	436	10
기획재정부					830	830	2
농림축산식품부	75	55	102			232	3
보건복지부				50	100	150	2
산업통상자원부				180	1,252	1,432	2
중소벤처기업부	446	195	48			691	4
총합계	**1,155**	**928**	**1,351**	**1,782**	**3,041**	**8,259**	**41**

□ **(수행주체)** 2018년~2022년 간 “유기산, 개미산, 옥살산, 바이오 촉매” 관련 과제는 대학(32억, 27건), 출연연(28억, 8건) 순의 과제가 수행됨

〈표 Ⅰ-44〉 (유기산) 수행주체별 현황(2018~2022)

(단위 : 백만 원)

연구수행주체	연구비						과제수
	2018	2019	2020	2021	2022	합계	
대학	258	132	674	1,002	1,189	3,257	27
출연연구소	450	600	628	600	600	2,878	8
중소기업	446	195	48	180	1,252	2,124	6
총합계	**1,155**	**928**	**1,351**	**1,782**	**3,041**	**8,259**	**41**

〈표 Ⅰ-45〉 (유기산) 수명주기별 현황(2018~2022)

(단위 : 백만 원, 건)

기술수명주기	연구비						과제수
	2018	2019	2020	2021	2022	합계	
기타	171	4,248	4,755	6,142	5,292	20,611	38
도입기	4,866	3,147	4,857	1,893	3,734	18,499	33
성장기	2,145	1,960	788	675	454	6,023	18
-		300	1,350	1,080	676	3,406	9
성숙기			2,332	2,810	3,246	8,389	4
총합계	**7,183**	**9,656**	**14,084**	**12,601**	**13,404**	**56,930**	**102**

□ **(과학기술표준분류)** 2018년~2022년 간 **“유기산, 개미산, 옥살산, 바이오 촉매”** 관련 과제는 **“대사공학기술”** 분야에 25억 원(6건)의 투자가 되었으며, “촉매/반응기술” 분야 22억 원(7건)인 것으로 파악됨

〈표 Ⅰ-46〉 (유기산) 과학기술표준 분류별 현황(2018~2022)

(단위 : 백만 원)

과학기술표준_연구분야분류	연구비합계						과제수
	2018	2019	2020	2021	2022	합계	
대사공학기술	350	350	813	470	550	2,533	6
촉매/반응기술	100	250	300	800	830	2,280	7
이차전지					1,252	1,252	1
단백질 구조와 기능	146	195	48			391	3
달리 분류되지 않는 화학제품	300					300	1
내분비학				167	129	296	2
분리/정제기술	50	12		180		242	3
식품발효학	75	55	102			232	3
소아/산부인과학				50	100	150	2
식품공정공학	37	49	49	12		149	4
식품위생/품질관리			37	50	50	137	3
축산물 위생/품질관리				52	70	122	2
식품화학	55	15				70	2
친환경 방류수 처리/관리기술					60	60	1
식품가공학	41					41	1
총합계	**1,155**	**928**	**1,351**	**1,782**	**3,041**	**8,259**	**41**

3 카보네이트

□ **(총사업비)** 2018년~2022년 간 **"카보네이트, 에틸렌, 프로필렌, 디메틸카보네이트"** 관련 과제는 52.9억 원(14건) 과제가 시행된 것으로 분석됨

❍ "에너지수요관리핵심기술개발사업" 에 총 사업비 41.6억 원(5개 과제)으로 가장 많은 과제가 시행됨

〈표 Ⅰ-47〉 (카보네이트) 사업별 현황(2018~2022)

(단위 : 백만 원, 건)

사업명	사업비						과제수
	2018	2019	2020	2021	2022	연구비합계	
에너지수요관리핵심기술개발	1,684	1,744	738			4,167	5
개인기초연구(과기정통부)(R&D)	198	100	300	241		839	6
개인기초연구(과기정통부)					243	243	2
개인기초연구(교육부)(R&D)	50					50	1
총합계	**1,932**	**1,844**	**1,038**	**241**	**243**	**5,299**	**14**

□ **(부처별 수행과제)** 2018년~2022년 간 **"카보네이트, 에틸렌, 프로필렌, 디메틸카보네이트"** 관련 과제는 과학기술정보통신부를 통해 44.8억 원(41건)의 과제가 수행됨

〈표 Ⅰ-48〉 (카보네이트) 주관부처별 현황(2018~2022)

(단위 : 백만 원, 건)

부처명	사업비						과제수
	2018	2019	2020	2021	2022	연구비합계	
산업통상자원부	1,684	1,744	738			4,167	5
과학기술정보통신부	198	100	300	241	243	1,082	8
교육부	50					50	1
총합계	**1,932**	**1,844**	**1,038**	**241**	**243**	**5,299**	**14**

□ **(수행주체)** 2018년~2022년 간 **"카보네이트, 에틸렌, 프로필렌, 디메틸카보네이트"** 관련 과제는 대학(11억, 8건), 중견기업(23억, 2건) 순의 과제가 수행됨

〈표 Ⅰ-49〉 (카보네이트) 수행주체별 현황(2018~2022)

(단위 : 백만 원, 건)

연구수행주체	사업비						과제수
	2018	2019	2020	2021	2022	합계	
대학	248	100	300	241	243	1,132	**9**
중견기업	1,150	1,150				2,300	**2**
중소기업	534	594	738			1,867	**3**
총합계	**1,932**	**1,844**	**1,038**	**241**	**243**	**5,299**	**14**

〈표 Ⅰ-50〉 (카보네이트) 수명주기별 현황(2018~2022)

(단위 : 백만 원, 건)

기술수명주기	사업비						과제수
	2018	2019	2020	2021	2022	합계	
기타	198	100	200	200	200	898	5
도입기	50			41	43	134	3
성숙기	534	594	738			1,867	3
성장기	1,150	1,150	100			2,400	3
총합계	**1,932**	**1,844**	**1,038**	**241**	**243**	**5,299**	**14**

□ **(과학기술표준분류)** 2018년~2022년 간 **"카보네이트, 에틸렌, 프로필렌, 디메틸카보네이트"** 관련 과제는 "에너지/자원" 분야에 23억 원(2건)의 투자가 되었으며, "고분자 합성" 분야 18.7억 원(3건)인 것으로 파악됨

〈표 Ⅰ-51〉 (카보네이트) 과학기술표준 분류별 현황(2018~2022)

(단위 : 백만 원, 건)

과학기술표준_연구분야분류	사업비						과제수
	2018	2019	2020	2021	2022	합계	
에너지/자원	1,150	1,150				2,300	2
고분자 합성	534	594	738			1,867	3
유기금속화학			200	200	200	600	3
무기나노화학	198	100	100			398	3
촉매/반응기술				41	43	84	2
대기질관리	50					50	1
총합계	**1,932**	**1,844**	**1,038**	**241**	**243**	**5,299**	**14**

4 메탄올

□ **(총사업비)** 2018년~2022년 간 **"메탄올, 에틸렌글리콜, 수소화 메탄올"** 관련 과제는 183억 원(47건) 과제가 시행된 것으로 분석됨

❍ "BK21플러스사업 " 에 총 사업비 34억 원(3개 과제)으로 가장 많은 과제가 시행됨

〈표 Ⅰ-52〉 (메탄올) 사업별 현황(2018~2022)

(단위 : 백만 원, 건)

사업명	사업비						과제수
	2018	2019	2020	2021	2022	합계	
BK21플러스사업(R&D)	14	10	10			34	3
STEAM연구					1,062	1,062	1
개인기초연구(과기정통부)(R&D)		37	100	50		187	4
개인기초연구(교육부)(R&D)	50					50	1
국가간협력기반조성(R&D)	15					15	1
기후변화대응기술개발					1,500	1,500	1
기후변화대응기술개발(R&D)	**1,090**	**1,390**	**1,571**	**1,960**		**6,011**	**10**
산업집적지경쟁력강화(R&D)					132	132	1
산학연협력기술개발(R&D)	250	93				343	4
시장선도형CCU전략제품생산기술실증					1,887	1,887	1
이공학학술연구기반구축(R&D)		37	50	95		182	4
중소기업기술혁신개발					564	564	3
중소기업상용화기술개발					39	39	1
창업성장기술개발					62	62	1
창업성장기술개발(R&D)	130					130	1
폐자원에너지화기술개발(R&D)	933	1,278	1,838			4,050	6
혁신성장동력프로젝트(R&D)(다부처)	870					870	1
화학재생그린섬유개발(R&D)					1,155	1,155	1
총합계	**3,352**	**2,846**	**3,619**	**2,155**	**6,403**	**18,377**	**47**

□ **(부처별 수행과제)** 2018년~2022년 간 **"메탄올, 에틸렌글리콜, 수소화 메탄올"** 관련 과제는 과학기술정보통신부를 통해 73.7억 원(18건)의 과제가 수행됨

〈표 Ⅰ-53〉 (메탄올) 주관부처별 현황(2018~2022)

(단위 : 백만 원, 건)

부처명	사업비						과제수
	2018	2019	2020	2021	2022	연구비합계	
과학기술정보통신부	1,105	1,427	1,721	2,060	1,062	7,376	18
교육부	64	47	60	95		266	8
기획재정부					2,655	2,655	2
다부처	870					870	1
산업통상자원부					2,020	2,020	2
중소벤처기업부	380	93			665	1,139	10
환경부	933	1,278	1,838			4,050	6
총합계	**3,352**	**2,846**	**3,619**	**2,155**	**6,403**	**18,377**	**47**

□ **(수행주체)** 2018년~2022년 간 **"메탄올, 에틸렌글리콜, 수소화 메탄올"** 관련 과제는 중소기업(69억, 15건), 대학(65억, 20건) 순의 과제가 수행됨

〈표 Ⅰ-54〉 (메탄올) 수행주체별 현황(2018~2022)

(단위 : 백만 원, 건)

연구수행주체	사업비						과제수
	2018	2019	2020	2021	2022	연구비합계	
중소기업	951	1,026	1,290		3,708	6,976	15
대학	879	1,185	1,331	1,645	1,500	6,540	20
출연연구소	1,522	634	998	510	1,062	4,728	11
중견기업					132	132	1
총합계	**3,352**	**2,846**	**3,619**	**2,155**	**6,403**	**18,377**	**47**

□ **(과학기술표준분류)** 2018년~2022년 간 **"메탄올, 에틸렌글리콜, 수소화메탄올"** 관련 과제는 "대사공학기술" 분야에 57억 원(5건)의 투자가 되었으며, "CO_2 전환기술" 분야 40억 원(6건)인 것으로 파악됨

〈표 Ⅰ-55〉 (메탄올) 과학기술표준 분류별 현황(2018~2022)

(단위 : 백만 원, 건)

과학기술표준_연구분야분류	사업비						과제수
	2018	2019	2020	2021	2022	연구비합계	
대사공학기술	800	950	984	1,500	1,500	5,734	**5**
CO2 전환기술	933	1,278	1,838			4,050	**6**
촉매/반응기술	1,174	300	410	505		2,389	**9**
달리 분류되지 않는 화학제품					1,887	1,887	**1**
분리/정제기술					1,155	1,155	**1**
배출량 저감 최적화기술					1,062	1,062	**1**
수소	62	130	100	50	184	526	**7**
주기/보기 및 추진계통부품					513	513	**3**
발효공정기술		150	187			337	**2**
연료전지	186				62	248	**2**
공정시스템기술		37	50	50		137	**3**
에너지/환경기계시스템	130					130	**1**
광/전자세라믹스	65		50			115	**3**
태양광				50		50	**1**
폐기물 자원화기술					39	39	**1**
식품가공학	1					1	**1**
총합계	**3,352**	**2,846**	**3,619**	**2,155**	**6,403**	**18,377**	**47**

5 올레핀, 탄화수소

□ **(총사업비)** 2018년~2022년 간 **"탄화수소, 올레핀, 합성연료"** 관련 과제는 269억 원(76건) 과제가 시행된 것으로 분석됨

❍ **"기후변화대응기술개발(R&D)"** 에 총 사업비 66억 원(26개 과제)으로 가장 많은 과제가 시행됨

〈표 Ⅰ-56〉 (올레핀) 사업별 현황(2018~2022)

(단위 : 백만 원, 건)

사업명	사업비						과제수
	2018	2019	2020	2021	2022	연구비합계	
기후변화대응기술개발(R&D)	1,194	1,826	1,883	1,712		6,615	26
소재부품기술개발(R&D)			2,332	2,500		4,833	2
전략핵심소재자립화기술개발					3,246	3,246	1
재활용저해제품순환이용성개선기술개발사업			720	1,334		2,054	2
연구산업육성(R&D)		970	970			1,940	3
기후변화대응기술개발					1,400	1,400	3
탄소자원화플랫폼화합물제조기술개발					1,160	1,160	1
혁신성장동력프로젝트(R&D)(다부처)	870					870	1
중소기업상용화기술개발(R&D)	278	371	92			742	3
석유대체친환경화학기술개발					641	641	1
공공연구성과기술사업화지원(R&D)	500					500	1
개인기초연구(과기정통부)					488	488	4
산학연CollaboR&D(R&D)		66	167	226		460	3
창업성장기술개발(R&D)	315		78			393	3
집단연구지원					375	375	1
개인기초연구(과기정통부)(R&D)			137	187		324	4
창업성장기술개발(일반,R&D)				212		212	2
인재활용확산지원					154	154	2
산학연협력기술개발(R&D)	146					146	2
중소기업R&D역량제고(R&D)	34		31		33	99	3
산학연CollaboR&D					92	92	1
국제연구인력교류(R&D)		21	55			77	2
인재활용확산지원(R&D)				61		61	1
BK21플러스사업(R&D)	10	10	10			30	3
4단계두뇌한국21사업(R&D)				10		10	1
총합계	**3,347**	**3,265**	**6,479**	**6,244**	**7,591**	**26,928**	**76**

□ **(부처별 수행과제)** 2018년~2022년 간 **"탄화수소, 올레핀, 합성연료"** 관련 과제는 과학기술정보통신부를 통해 105억 원(44건)의 과제가 수행됨

〈표 Ⅰ-57〉 (올레핀) 주관부처별 현황(2018~2022)

(단위 : 백만 원, 건)

부처명	사업비						과제수
	2018	2019	2020	2021	2022	연구비합계	
과학기술정보통신부	1,694	2,817	3,046	1,960	1,018	10,536	44
산업통상자원부			2,332	2,500	3,246	8,079	3
기획재정부					3,201	3,201	5
중소벤처기업부	773	437	371	439	125	2,147	17
환경부			720	1,334		2,054	2
다부처	870					870	1
교육부	10	10	10	10		40	4
총합계	**3,347**	**3,265**	**6,479**	**6,244**	**7,591**	**26,928**	**76**

□ **(수행주체)** 2018년~2022년 간 **"탄화수소, 올레핀, 합성연료"** 관련 과제는 중소기업(122억, 21건), 출연연(87억, 21건) 순의 과제가 수행됨

〈표 Ⅰ-58〉 (올레핀) 수행주체별 현황(2018~2022)

(단위 : 백만 원, 건)

연구수행주체	사업비						과제수
	2018	2019	2020	2021	2022	연구비합계	
중소기업	773	437	3,423	4,273	3,338	12,247	21
출연연구소	1,670	1,182	1,429	1,380	3,085	8,746	21
대학	904	1,645	1,127	590	1,166	5,434	33
대기업			500			500	1
총합계	**3,347**	**3,265**	**6,479**	**6,244**	**7,591**	**26,928**	**76**

〈표 Ⅰ-59〉 (올레핀) 수명주기별 현황(2018~2022)

(단위 : 백만 원, 건)

기술수명주기	사업비						과제수
	2018	2019	2020	2021	2022	연구비합계	
성숙기			2,332	2,500	3,246	8,079	3
도입기	550	821	1,925	1,732	1,373	6,403	21
기타	1,524	842	800	660	1,086	4,912	24
성장기	773	631	451	1,039	1,760	4,655	20
-	500	970	970	312	125	2,877	8
총합계	**3,347**	**3,265**	**6,479**	**6,244**	**7,591**	**26,928**	**76**

□ **(과학기술표준분류)** 2018년~2022년 간 **"탄화수소, 올레핀, 합성연료"** 관련 과제는 "촉매/반응기술" 분야에 158억 원(27건)의 투자가 되었으며, "고분자 가공/성형기술" 분야 20억 원(2건)인 것으로 파악됨

〈표 Ⅰ-60〉 (올레핀) 과학기술표준 분류별 현황(2018~2022)

(단위 : 백만 원, 건)

과학기술표준_연구분야분류	사업비						과제수
	2018	2019	2020	2021	2022	연구비합계	
촉매/반응기술	1,670	1,282	3,861	4,017	5,022	15,854	27
고분자 가공/성형기술			720	1,334		2,054	2
내구성평가/수명예측 기술	500	970				1,470	2
대기오염 방지기술					1,160	1,160	1
유기금속화학	200	150	374	200	200	1,124	6
고분자 합성	80		970			1,050	3
화학제품	278	371	92			742	3
기초유기소재 공정기술					641	641	1
인조피혁		66	167	226	92	552	4
CO2 전환기술	194	194				388	2
유기합성방법론		221	55			277	3
공정시스템기술			80	132			2
나노소재화학					196	196	1
기능성 고분자	190					190	1
섬유제품			110	78		189	3
복합재료제조기술	34			134		168	2
유기합성/전합성				61	70	131	2
폐기물 감량/관리기술	125					125	1
폐기물 자원화기술					90	90	1
에너지/환경산업용 소재기술			37	50		87	2
환경오염 유발물질 대체물질					84	84	1
친환경/재생건설재료	66					66	1
열역학/통계열역학	10	10	10	10		40	4
오염물질 제거효율향상 소재					33	33	1
총합계	**3,347**	**3,265**	**6,479**	**6,244**	**7,591**	**26,928**	**76**

6 폴리카보네이트, 폴리우레탄

□ **(총사업비)** 2018년~2022년 간 **"폴리카보네이트, 폴리우레탄"** 관련 과제는 412억 원(131건) 과제가 시행된 것으로 분석됨

❍ **"에너지수요관리핵심기술개발"**에 총 사업비 98.9억 원(2개 과제)으로 가장 많은 투자가 시행됨

〈표 Ⅰ-61〉 (폴리우레탄) 사업별 현황(2018~2022)

(단위 : 백만 원, 건)

사업	사업비					합계	과제수
	2018	2019	2020	2021	2022		
에너지수요관리핵심기술개발(에특)				5,791	4,103	9,894	2
소재부품기술개발	1,033	545	1,255	1,995	2,506	7,337	11
중소기업기술혁신개발	1,493	1,006	672		791	3,964	17
소재부품산업기술개발기반구축	1,127	1,281				2,408	2
중소기업상용화기술개발	283	897	643		372	2,195	8
산업소재핵심기술개발	1,188	660				1,848	2
바이오산업핵심기술개발	1,451					1,451	2
산학연협력기술개발	555	373	57			987	12
창업성장기술개발	187	438	343			970	6
디자인혁신역량강화		252	386			638	2
기술규제해결형기술개발			153	287	172	613	5
개인기초연구	99	186	100	223		609	7
산업현장핵심기술수시개발		579				579	1
지역특화산업육성	547					547	1
생활화학제품안전관리기술개발사업					547	547	1
산학연Collabo		66	233	231		531	4
자동차부품기업재도약			513			513	1
이공학학술연구기반구축		75	100	152	170	497	6
산업집적지경쟁력강화	258			231		489	2
디자인산업기술개발				475		475	1
중소기업기술혁신개발(일반,R&D)				465		465	2
중소기업기술혁신개발(소부장회계)					437	437	2
공정·품질기술개발	101			50	223	375	7
총합계	**8,381**	**6,525**	**4,549**	**11,302**	**10,485**	**41,244**	**131**

□ **(부처별 수행과제)** 2018년~2022년 간 **"폴리카보네이트, 폴리우레탄"** 관련 과제는 산업통상자원부를 통해 262억 원(28건)의 과제가 수행됨

〈표 Ⅰ-62〉 (폴리우레탄) 주관부처별 현황(2018~2022)

(단위 : 백만 원, 건)

부처	사업비					연구비합계	과제수
	2018	2019	2020	2021	2022		
과학기술정보통신부	99	186	151	223	269	930	11
교육부	35	113	138	190	178	655	11
산업통상자원부	5,057	3,317	2,154	8,783	6,901	26,215	28
중소벤처기업부	3,188	2,907	2,105	2,105	2,300	12,608	79
환경부					835	835	2
총합계	**8,381**	**6,525**	**4,549**	**11,302**	**10,485**	**41,244**	**131**

□ **(수행주체)** 2018년~2022년 간 **"폴리카보네이트, 폴리우레탄"** 관련 과제는 중소기업(220억, 94건), 대학(15억, 22건) 순의 과제가 수행됨

〈표 Ⅰ-63〉 (폴리우레탄) 수행주체별 현황(2018~2022)

(단위 : 백만 원, 건)

수행주체	사업비					연구비 합계	과제수
	2018	2019	2020	2021	2022		
중소기업	5,517	5,540	3,056	3,436	4,505	22,055	94
대학	154	324	238	413	401	1,532	22
중견기업	2,709	660	1,255	1,660	1,429	7,715	12
대기업				5,791	4,103	9,894	2
출연연구소					46	46	1
총합계	**8,381**	**6,525**	**4,549**	**11,302**	**10,485**	**41,244**	**131**

〈표 Ⅰ-64〉 (폴리우레탄) 수명주기별 현황(2018~2022)

(단위 : 백만 원, 건)

수명주기	사업비					연구비합계	과제명
	2018	2019	2020	2021	2022		
성장기	3,811	3,353	2,105	7,676	4,461	21,407	69
도입기	4,277	1,344	1,768	2,048	3,223	12,661	21
-	258	100	51	509	2,692	3,611	23
기타	35	1,476	238	361	108	2,219	14
성숙기		252	386	706		1,344	4
총합계	**8,381**	**6,525**	**4,549**	**11,302**	**10,485**	**41,244**	**131**

□ **(과학기술표준분류)** 2018년~2022년 간 **"폴리카보네이트, 폴리우레탄"** 관련 과제는 "디스플레이 부품/소재" 분야에 23억 원(5건)의 투자가 되었으며, "복합재료제조기술" 분야 23억 원(8건)인 것으로 파악됨

〈표 Ⅰ-65〉 (폴리우레탄) 과학기술표준 분류별 현황(2018~2022)

(단위 : 백만 원, 건)

행 레이블	사업비					연구비합계	과제수
	2018	2019	2020	2021	2022		
디스플레이 부품/소재	230	274	127	624	1,077	2,335	5
복합재료제조기술	1,242	791	100	100	100	2,334	8
바이오화학소재	1,451					1,451	2
환경오염 유발물질 대체물질	570	176			547	1,294	3
특수기능성 소재기술	1,162	38	38	38	8	1,284	6
고분자 합성	493	143	156	260	230	1,284	5
유기합성/전합성		1,281				1,281	1
기능성 고분자		579		219	372	1,170	4
산업용제품/기기디자인		252	386	475		1,113	3
복합재료 제조공정기술	462	545				1,008	2
달리 분류되지 않는 정밀생산기계	231	462	231			924	3
환경친화성 고분자		212	218	197	180	808	5
도료/코팅제	283	380	95		37	796	4
달리 분류되지 않는 고분자화학		66	171	462	94	794	5
물리/화학적 가공기술		304	329	73		707	3
고분자 박막/코팅 제조기술			157	315	190	662	3
의료기기 성능/유효성 평가			143	287	172	603	3
고분자 공정기술	473	125				599	2
발효공정기술	99	181	100	100	100	581	6
과학기술과 인문사회				289	291	581	2
열처리기술	547					547	1
유기재료화학		150	250	125		525	3
복합 부품			513			513	1
융합섬유제품				220	237	457	2
폐기물 자원화기술					288	288	1
총합계	**8,381**	**6,525**	**4,549**	**11,302**	**10,485**	**41,244**	**131**

7 바이오매스

□ **(총사업비)** 2018년~2022년 간 **"바이오매스, 생물전환, 미세조류"** 관련 과제는 195억 원(26건) 과제가 시행된 것으로 분석됨

□ **"소재부품기술개발사업"** 에 총 사업비 76.6억 원(5개 과제)으로 가장 많은 투자가 시행됨

〈표 Ⅰ-66〉 (바이오매스) 사업별 현황(2018~2022)

(단위 : 백만 원, 건)

사업명	사업비					연구비 합계	과제명
	2018	2019	2020	2021	2022		
소재부품기술개발(R&D)			2,059	5,602		7,661	5
소재부품기술개발					3,999	3,999	3
전략핵심소재자립화기술개발					2,486	2,486	1
시장선도형CCU전략제품생산기술실증					1,534	1,534	1
기후변화대응기술개발(R&D)	250	300	120			670	3
2025축산현안대응산업화기술개발					593	593	2
유용물질생산을위한CarbontoX기술개발			170	400		570	2
지역특화산업육성+(R&D)				225	225	450	2
2025축산현안대응산업화기술개발(R&D)				438		438	2
유용물질생산을위한Carbonto-X기술개발					400	400	1
중소기업기술혁신개발(일반,R&D)				312		312	1
중소기업기술혁신개발					187	187	1
중소기업기술혁신개발(R&D)			156			156	1
공정·품질기술개발					62	62	1
총합계	**250**	**300**	**2,505**	**6,977**	**9,488**	**19,521**	**26**

□ **(부처별 수행과제)** 2018년~2022년 간 **"바이오매스, 생물전환, 미세조류"** 관련 과제는 산업통상자원부를 통해 156.8억 원(10건)의 과제가 수행됨

〈표 Ⅰ-67〉 (바이오매스) 주관부처별 현황(2018~2022)

(단위 : 백만 원, 건)

부처명	사업비					연구비합계	과제수
	2018	2019	2020	2021	2022		
산업통상자원부			2,059	5,602	8,019	15,681	10
과학기술정보통신부	250	300	290	400		1,240	5
중소벤처기업부			156	537	475	1,168	6
농림축산식품부				438	593	1,031	4
기획재정부					400	400	1
총합계	**250**	**300**	**2,505**	**6,977**	**9,488**	**19,521**	**26**

□ **(수행주체)** 2018년~2022년 간 **"바이오매스, 생물전환, 미세조류"** 관련 과제는 중소기업(94억, 10건), 중견(80.9억, 8건) 순의 과제가 수행됨

〈표 Ⅰ-68〉 (바이오매스) 수행주체별 현황(2018~2022)

(단위 : 백만 원, 건)

연구수행주체	사업비					연구비합계	과제수
	2018	2019	2020	2021	2022		
중소기업			2,215	2,774	4,495	9,485	10
중견기업				3,675	4,421	8,097	8
대학	250	300	290	400	400	1,640	6
기타				128	171	299	2
총합계	**250**	**300**	**2,505**	**6,977**	**9,488**	**19,521**	**26**

〈표 Ⅰ-69〉 (바이오매스) 수명주기별 현황(2018~2022)

(단위 : 백만 원, 건)

기술수명주기	사업비					연구비합계	과제명
	2018	2019	2020	2021	2022		
도입기			2,059	6,002	6,485	14,546	10
성장기			326	750	2,528	3,605	9
-				225	475	700	4
기타	250	300	120			670	3
총합계	**250**	**300**	**2,505**	**6,977**	**9,488**	**19,521**	**26**

□ **(과학기술표준분류)** 2018년~2022년 간 **"바이오매스, 생물전환, 미세조류"** 관련 과제는 "디스플레이 부품/소재" 분야에 23억 원(5건)의 투자가 되었으며, "복합재료제조기술" 분야 23억 원(8건)인 것으로 파악됨

〈표 Ⅰ-70〉 (폴리우레탄) 과학기술표준 분류별 현황(2018~2022)

(단위 : 백만 원, 건)

과학기술표준_연구분야	사업비					연구비합계	과제명
	2018	2019	2020	2021	2022		
디스플레이 부품/소재			2,059	2,236	2,486	6,781	3
바이오플라스틱				1,962	2,389	4,351	4
나노바이오화학				1,403	1,610	3,013	2
유기금속화학	250	300	290	400	400	1,640	6
non-CO2 처리기술					1,534	1,534	1
농업생산 시설/환경				438	593	1,031	4
레이저 가공기			156	312	187	656	3
태양광				225	225	450	
공정시스템기술					62	62	1
총합계	**250**	**300**	**2,505**	**6,977**	**9,488**	**19,521**	**26**

8 항공유

□ **(총사업비)** 2018년~2022년 간 **"바이오디젤, 항공유, 생물전환"** 관련 과제는 456.8억 원(187건) 과제가 시행된 것으로 분석됨

□ **"신재생에너지핵심기술개발사업"** 에 총 사업비 97.2억 원(14개 과제)으로 가장 많은 투자가 시행됨

〈표 Ⅰ-71〉 (항공유) 사업별 현황(2018~2022)

(단위 : 백만 원, 건)

사업명	사업비					연구비합계	과제수
	2018	2019	2020	2021	2022		
신재생에너지핵심기술개발	4,781	2,418	2,052	469		9,721	14
미활용자원기반바이오매스플랜트실증기술개발				4,675	4,869	9,544	2
개인기초연구(과기정통부)	446	849	1,182	977	1,225	4,682	51
기후변화대응기술개발	488	530	736	820	170	2,744	11
에너지인력양성	515	524	510	510		2,061	4
산림과학연구	465	544	337	390		1,738	
에너지국제공동연구(에특)					1,707	1,707	2
에너지국제공동연구			593	1,032		1,626	2
한국에너지기술연구원연구운영비지원		300	550	550	200	1,600	6
청정화력핵심기술개발	471	471	465			1,409	3
집단연구지원			458	375	500	1,333	3
이공학학술연구기반구축	130	205	267	402	255	1,260	21
디자인산업기술개발				468	443	912	2
글로벌프론티어지원	480	330				810	4
개인기초연구(교육부)	293	182	149	74	12	711	19
중소기업 탄소중립 선도모델 개발					607	607	1
창업성장기술개발		150	236			386	2
디자인혁신역량강화			375				1
전략형국제공동연구사업		100	100	100		300	3
신기후체제대응연구	135	135				270	2
산업집적지경쟁력강화	258					258	1
국제연구인력교류	126	58	70			254	4
친환경 선박 전주기 혁신기술개발					200	200	1
산학연CollaboR&D				57	117	174	2
중소기업기술혁신개발					155	155	1
목재자원의고부가가치첨단화기술개발				50	100	150	2
국가간협력기반조성	65	65				130	4
창업성장기술개발(일반,R&D)				111		111	1
유용농생명자원산업화기술개발				50	60	110	2
.....							
총합계	**8,753**	**7,073**	**8,093**	**11,123**	**10,639**	**45,683**	**187**

□ **(부처별 수행과제)** 2018년~2022년 간 **"바이오디젤, 항공유, 생물전환"** 관련 과제는 산업통상자원부를 통해 181억 원(30건)의 과제가 수행됨

〈표 Ⅰ-72〉 (항공유) 주관부처별 현황(2018~2022)

(단위 : 백만 원, 건)

부처명	사업비					연구비합계	과제수
	2018	2019	2020	2021	2022		
산업통상자원부	6,026	3,481	3,997	2,480	2,151	18,136	30
과학기술정보통신부	1,606	2,319	3,096	2,822	1,930	11,775	88
국토교통부				4,675	4,869	9,544	2
산림청	600	679	337	440	100	2,158	8
교육부	453	402	426	486	277	2,046	46
중소벤처기업부	66	190	236	168	272	933	8
기획재정부					777	777	2
해양수산부					200	200	1
농림축산식품부				50	60	110	2
총합계	**8,753**	**7,073**	**8,093**	**11,123**	**10,639**	**45,683**	**187**

□ **(수행주체)** 2018년~2022년 간 **"바이오디젤, 항공유, 생물전환"** 관련 과제는 중소기업(94억, 10건), 중견(80.9억, 8건) 순의 과제가 수행됨

〈표 Ⅰ-73〉 (항공유) 수행주체별 현황(2018~2022)

(단위 : 백만 원, 건)

연구수행주체	사업비					연구비합계	과제수
	2018	2019	2020	2021	2022		
대학	3,268	3,395	3,932	2,419	2,103	15,119	122
중소기업	3,297	1,733	2,457	2,138	3,032	12,658	28
기타	1,103	433	86	4,895	5,134	11,652	13
출연연구소	618	967	1,280	1,280	200	4,345	19
국공립연구소	465	544	337	390		1,738	4
정부부처					170	170	1
총합계	**8,753**	**7,073**	**8,093**	**11,123**	**10,639**	**45,683**	**187**

〈표 Ⅰ-74〉 (항공유) 수명주기별 현황(2018~2022)

(단위 : 백만 원, 건)

기술수명주기	사업비					연구비합계	과제수
	2018	2019	2020	2021	2022		
-	258	400	550	6,115	6,054	13,378	18
도입기	3,296	2,482	2,899	1,906	2,202	12,786	62
성장기	2,091	1,920	2,049	1,026	187	7,274	23
기타	1,566	1,591	1,951	992	755	6,856	75
성숙기	1,541	679	643	1,082	1,439	5,387	9
총합계	**8,753**	**7,073**	**8,093**	**11,123**	**10,639**	**45,683**	**187**

□ **(과학기술표준분류)** 2018년~2022년 간 **"바이오디젤, 항공유, 생물전환"** 관련 과제는 "디스플레이 부품/소재" 분야에 23억 원(5건)의 투자가 되었으며, "복합재료제조기술" 분야 23억 원(8건)인 것으로 파악됨

〈표 Ⅰ-75〉 (항공유) 과학기술표준 분류별 현황(2018백만 원, 건)

과학기술표준_연구분야분류	사업비					연구비합계	과제수
	2018	2019	2020	2021	2022		
바이오연료	1,450	1,750	2,557	2,824	2,343	10,925	47
에너지/자원	5,300	2,882	2,231		60	10,474	17
플랜트				4,675	4,869	9,544	2
촉매/반응기술	450	468	687	510	130	2,245	14
폐기물 자원화기술	60	310	529	416	250	1,566	17
폐기물			375	525	560	1,461	5
목재 화학	88	569	337	390		1,386	5
초소형 가공/조립/측정기술			458	375	500	1,333	3
임산 에너지	600	135		50	100	885	5
CO2 전환기술				550	200		3
미세먼지오염 개선기술		100	192	192	187		4
보일러/로설비					607		1
저공해/대체에너지 차량기술	50	140	102	90	90	472	7
연료전지	87	100	150	112		450	8
분리/정제기술	41	16	100	100	100	358	5
주기/보기 및 추진계통부품					355	355	2
유체기계	138	138				276	2
고분자 가공기술	258					258	1
구조재료		80	80	80		240	3
생물환경 공정기술	50	99	49	11		209	5
생물공정	37	50	50	50	12	200	5
공정시스템기술	60	70	60			190	3
화학/생체 기능재료			37	50	50	137	3
생물분리/정제				50	60	110	2
복합재료 제조공정기술					94	94	1
초소형 디바이스	15	52				67	3
예측/시뮬레이션기술	15	15	10	10	10	60	5
전기재료화학				60		60	1
자기공명학		57				57	1
오염정화기술					52	52	1
합성연료			50			50	1
일반가공기계		40				40	1
분석전기화학			37			37	1
생물화학 공정기술	35					35	1
나노소재 합성기술	15					15	1
해양오염방지기술					5	5	1
총합계	**8,753**	**7,073**	**8,093**	**11,123**	**10,639**	**45,683**	**187**

9 반응경화 시멘트

□ **(총사업비)** 2018년~2022년 간 **"직접 광물탄산화, 반응경화 시멘트, 탈황석고, 레드머드, 건설소재화"** 관련 과제는 139억 원(6건) 과제가 시행된 것으로 분석됨

□ **"CCS 통합실증 및 CCU상용화기반구축"** 에 총 사업비 52억 원(2개 과제)으로 투자가 시행됨

〈표 Ⅰ-76〉 (반응경화 시멘트) 사업별 현황(2018~2022)

(단위 : 백만 원, 건)

사업명	사업비		연구비합계	과제수
	2021	2022		
다부처대규모CCS통합실증및CCU상용화기반구축(R&D)	1,900	3,336	5,236	2
이산화탄소반응경화시멘트제조기술(R&D)		4,686	4,686	3
규제자유특구혁신사업육성		4,014	4,014	1
총합계	**1,900**	**12,037**	**13,937**	**6**

□ **(부처별 수행과제)** 2018년~2022년 간 **"직접 광물탄산화, 반응경화 시멘트, 탈황석고, 레드머드, 건설소재화"** 관련 과제는 기재부, 산업부, 중기부를 통해 139억 원(60건)의 과제가 수행됨

〈표 Ⅰ-77〉 (반응경화 시멘트) 주관부처별 현황(2018~2022)

(단위 : 백만 원, 건)

부처명	사업비		연구비합계	과제수
	2021	2022		
기획재정부		4,686	4,686	3
산업통상자원부	1,900	3,336	5,236	2
중소벤처기업부		4,014	4,014	1
총합계	**1,900**	**12,037**	**13,937**	**6**

〈표 Ⅰ-78〉 (반응경화 시멘트) 수명주기별 현황(2018~2022)

(단위 : 백만 원, 건)

기술수명주기	사업비		연구비합계	과제수
	2021	2022		
-		8,700	8,700	4
성장기	1,900	3,336	5,236	2
총합계	**1,900**	**12,037**	**13,937**	**6**

□ **(수행주체)** 2018년~2022년 간 **직접 광물탄산화, 반응경화 시멘트, 탈황석고, 레드머드, 건설소재화"** 관련 과제는 출연연(71억, 3건), 중소(40억, 1건) 순의 과제가 수행됨

〈표 Ⅰ-79〉 (반응경화 시멘트) 수행주체별 현황(2018~2022)

(단위 : 백만 원, 건)

연구수행주체	사업비		연구비합계	과제수
	2021	2022		
출연연구소	1,900	5,224	7,124	3
중소기업		4,014	4,014	1
기타		2,798	2,798	2
총합계	**1,900**	**12,037**	**13,937**	**6**

□ **(과학기술표준분류)** 2018년~2022년 간 **"직접 광물탄산화, 반응경화 시멘트, 탈황석고, 레드머드, 건설소재화"** 관련 과제는 "CO_2전환기술" 분야에 52억 원(2건)의 투자가 되었으며, "시멘트/콘크리트/내화물" 분야 46억 원(3건)인 것으로 파악됨

〈표 Ⅰ-80〉 (반응경화 시멘트) 과학기술표준 분류별 현황(2018백만 원, 건)

과학기술표준_연구분야분류	사업비		연구비합계	과제수
	2021	2022		
CO_2 전환기술	1,900	3,336	5,236	2
시멘트/콘크리트/내화물		4,686	4,686	3
배출량 저감 최적화기술		4,014	4,014	1
총합계	**1,900**	**12,037**	**13,937**	**6**

10 간접 광물탄산화

□ **(총사업비)** 2018년~2022년 간 **"간접 광물탄산화, 중탄산나트륨, PCC, 해양부산물, 부생가스"** 관련 과제는 288억 원(33건) 과제가 시행된 것으로 분석됨

□ **"에너지수요관리핵심기술개발 사업"** 에 총 사업비 167억 원(5개 과제)으로 투자가 시행됨

〈표 Ⅰ-81〉 (중탄산나트륨, 부생가스) 사업별 현황(2018~2022)

(단위 : 백만 원, 건)

사업명	사업비					연구비합계	과제수
	2018	2019	2020	2021	2022		
에너지수요관리핵심기술개발(에특)	1,850	1,477	5,830	2,902	4,699	16,761	5
제철공정내CO2회수활용기술개발				2,878	974	3,853	2
신재생에너지핵심기술개발(전력)					3,464	3,464	1
신재생에너지핵심기술개발				1,748		1,748	1
중소기업 Net-Zero 기술혁신개발사업					613	613	1
산업단지대개조지역기업R&D				579		579	1
이공학학술연구기반구축		70	150	175	161	556	10
혁신성장동력프로젝트	548					548	2
창업성장기술개발					246	246	2
개인기초연구	37	50	50	50	50	237	5
원자력연구기반확충사업	83	100	29			212	3
총합계	**2,519**	**1,698**	**6,059**	**8,333**	**10,210**	**28,821**	**33**

□ **(부처별 수행과제)** 2018년~2022년 간 **"간접 광물탄산화, 중탄산나트륨, PCC, 해양부산물, 부생가스"** 관련 과제는 산업부(258억 원, 9건), 중기부(8.2억, 3건) 순으로 과제가 수행됨

〈표 Ⅰ-82〉 (중탄산나트륨, 부생가스) 주관부처별 현황(2018~2022)

(단위 : 백만 원, 건)

부처명	사업비					연구비합계	과제수
	2018	2019	2020	2021	2022		
산업통상자원부	1,850	1,477	5,830	7,529	9,139	25,827	9
중소벤처기업부				579	246	826	3
교육부	37	120	200	225	211	794	15
기획재정부					613	613	1
다부처	548					548	2
과학기술정보통신부	83	100	29			212	3
총합계	**2,519**	**1,698**	**6,059**	**8,333**	**10,210**	**28,821**	**33**

〈표 Ⅰ-83〉 (중탄산나트륨, 부생가스) 수명주기별 현황(2018~2022)

(단위 : 백만 원, 건)

기술수명주기	사업비					연구비합계	과제수
	2018	2019	2020	2021	2022		
도입기	1,850	1,577	5,830	4,650	8,164	22,074	8
성숙기				2,878	974	3,853	2
-				579	859	1,439	4
기타	418	120	229	225	161	1,154	17
성장기	250				50	300	2
총합계	**2,519**	**1,698**	**6,059**	**8,333**	**10,210**	**28,821**	**33**

□ **(수행주체)** 2018년~2022년 간 **"간접 광물탄산화, 중탄산나트륨, PCC, 해양부산물, 부생가스"** 관련 과제는 중소기업(152억, 8건), 대기업(114억, 4건) 순의 과제가 수행됨

〈표 Ⅰ-84〉 (중탄산나트륨, 부생가스) 수행주체별 현황(2018~2022)

(단위 : 백만 원, 건)

연구수행주체	사업비					연구비합계	과제수
	2018	2019	2020	2021	2022		
중소기업	1,850	1,477	5,830	1,748	4,324	15,231	8
대기업				5,781	5,674	11,455	4
대학	120	220	229	225	211	1,006	18
출연연구소	298			579		877	2
기타	250					250	1
총합계	**2,519**	**1,698**	**6,059**	**8,333**	**10,210**	**28,821**	**33**

□ **(과학기술표준분류)** 2018년~2022년 간 **"간접 광물탄산화, 중탄산나트륨, PCC, 해양부산물, 부생가스"** 관련 과제는 "에너지/자원" 분야에 91억 원(3건)의 투자가 되었으며, "공정설비기술" 분야 76억 원(2건)인 것으로 파악됨

〈표 Ⅰ-85〉 (중탄산나트륨, 부생가스) 과학기술표준 분류별 현황(2018백만 원, 건)

과학기술표준_연구분야분류	사업비					연구비합계	과제수
	2018	2019	2020	2021	2022		
에너지/자원	1,850	1,477	5,830			9,159	3
공정설비기술				2,902	4,699	7,602	2
수소				1,748	3,464	5,212	2
CO2 포집기술				2,878	1,098	3,976	3
보일러/로설비					613	613	1
위험성평가기술				579		579	1
배출량 저감 최적화기술	298					298	1
분리/정제기술	250					250	1
디지털방송 실감방송	37	50	50	50	50	237	5
표면물성 개질기술	83	100	29			212	3
지역사회/보건간호 중재		33	100	50	11	194	4
친환경/재생건설재료		37	50	50	50	187	4
달리 분류되지 않는 신재생에너지				75	100	175	2
S/W 솔루션					123	123	1
총합계	**2,519**	**1,698**	**6,059**	**8,333**	**10,210**	**28,821**	**33**

(3) 유사사업 분류 및 중복과제 검토

기술수요조사 기술	▶	유사 사업 분석	▶	중복 과제 분류	▶	최종 기술 선정
95건		663개 추출 분석		기술 선정 검토 자료 활용		15건

□ 기술수요조사를 통해 집계된 CCU 기술혁신 로드맵 기준 중점기술에 대한 유사사업 분석을 통해 과제 현황 분석

❍ 국가과학기술지식정보서비스를 활용하여 최근 5년간 CCU 기술개발을 수행한 것으로 판단되는 과제 663건 추출

중점기술	관련 기술	총 사업비	과제수
합성가스	합성가스, 플라즈마, CO2 개질, 부산물 환원제	56,930백만원	102
유기산	유기산, 개미산, 옥살산, 바이오 촉매	82.6억 원	41
에틸렌	카보네이트, 에틸렌, 프로필렌, 디메틸카보네이트	52.9억 원	14
메탄올	메탄올, 에틸렌글리콜, 수소화 메탄올	183억 원	47
올레핀	탄화수소, 올레핀, 합성연료	269억 원	76
폴리머	폴리카보네이트, 폴리우레탄	412억 원	131
바이오매스	바이오매스, 생물전환, 미세조류	195억 원	26
생물전환	바이오디젤, 항공유, 생물전환	456.8억 원	187
직접광물탄산화	직접 광물탄산화, 반응경화 시멘트, 탈황석고, 레드머드, 건설소재화	139억 원	6
간접광물탄산화	간접 광물탄산화, 중탄산나트륨, PCC, 해양부산물, 부생가스	288억 원	33
합계			**663**

❍ CCU 기술과 밀접한 과제를 유형화하여 기술개발의 방향이 유사한 사업 후보군 선별

❍ 추출과제의 기술개발 속성을 분류하고, CCU 기술로 분류되는 화학전환, 생물전환, 광물화 등에 밀접한 과제를 유형화하여 분석

- 과제단위에서 CCU 기술개발을 지원하는 것으로 조사되었으나, 과제수행이 연구자 지원 및 인력양성 등을 강조하는 일부 사업은 본질적인 재원투입의 목적이 기술개발사업과는 분리되어 대상에서 제외
- 유사사업 분석대상으로 미선정한 사업은 주로 과제단위에서 탄소자원화 과제 등이 추진된 경우로, 동사업의 세부과제 도출 시 중복성 검토 대상으로 별도 검토 시 활용

(4) 후보기술 선정 검토

□ **(검증위원회 후보기술 선정 검토)** 검증위원회 진행을 통해 후보기술 선정을 위한 검증과정

❍ 참가자 전원의 공통의견을 수렴한 각 지표별 단일 점수화하여 점수 배정

구분	내용
일 시	2023년 10월 22일
장 소	한국화학연구원 디딤돌프라자 305호
참석자	한국화학연구원 장태선 단장, 한국지질자원연구원 이승우 본부장, 한국생명공학연구원 김희식 센터장 한국화학연구원 여주미 박사, 한국지질자원연구원 조환주 박사, 한국생명공학연구원 윤진호 박사

□ CCU 기술 핵심기술을 도출하고 현재 미래의 기술수요를 파악하기 위해 Top-Down 방식과 Bottom-Up 방식을 병행 추진

❍ **기술유형별 주요 이슈(기술 및 시장현황), 기술확산(산업적용 용이, 시장진입 가능성) 저해요인 분석 등**을 위해 전체 95개 후보기술의 중요도 분석

❍ 우선순위와 특정 이유를 동시에 고려함으로써, 각 기술별로 적합한 개발 전략을 적용할 수 있도록 기준을 제공하기 위하여 IPA분석을 실시함

〈그림 Ⅰ-18〉 IPA 분석(그래프)**개발이 필요**한 기술

❍ **(A영역) 우선적인 개발이 필요**한 기술

❍ **(B영역)** 기술적 성공 가능성은 있으나, 산업 적용이 어려운 기술

❍ **(C영역)** 향후 개발 시 **기술개발 타당성이 낮은 기술**

❍ **(D영역)** 시장 진입 가능성은 있으나, 기술개발 성공 가능성이 낮은 기술

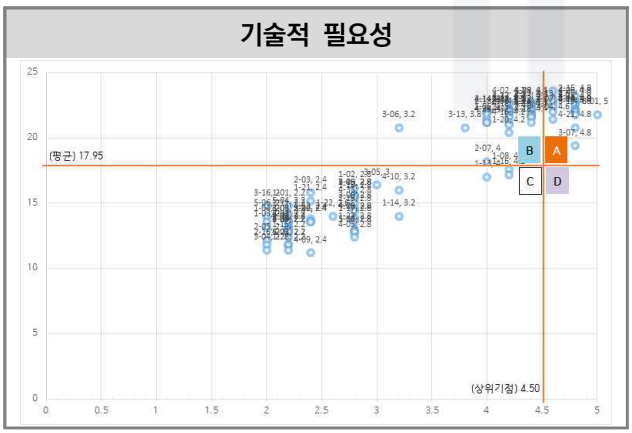
❍ 기술개발 타당성 선정 지표, **"기술적 필요성(감축효과), 경제적 필요성(사업성), 시장의 성장성(시장성, 국내 적용 가능성), 기술의 시급성(기술경쟁력)"** 별 개발 필요 기술을 산출함

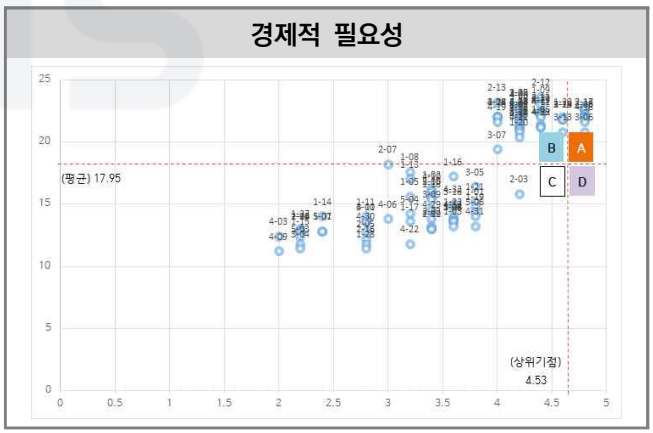
❍ 각 지표별로 비율의 평균과 표준편차를 산출함

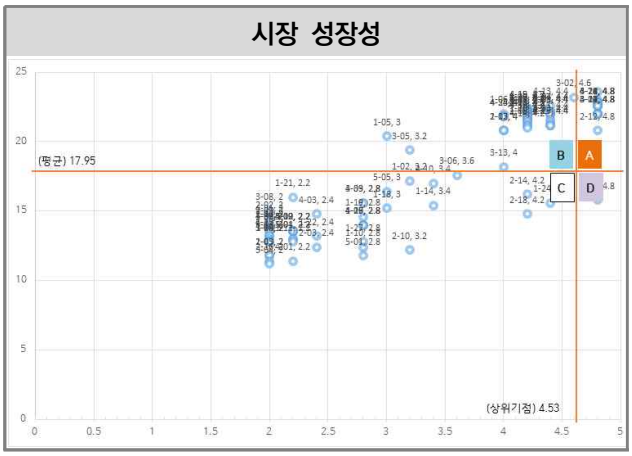
- 각 지표의 평균 = Σ(지표 비율) ÷ 95개 기술

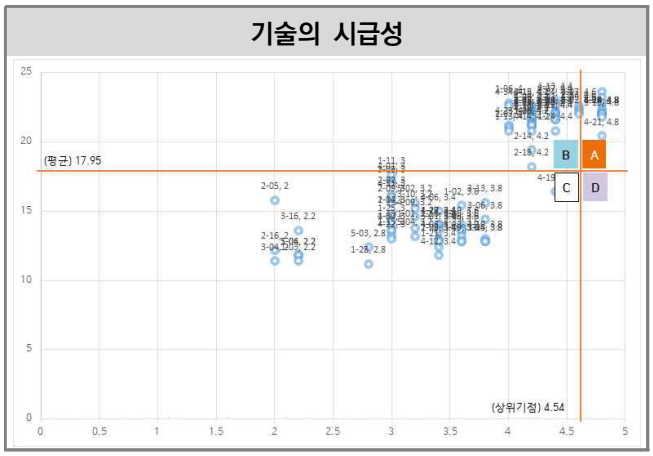
〈표 Ⅰ-86〉 기술 개발 타당성 선택 지표

구분	기술적 필요성	경제적 필요성	시장의 성장성	기술의 시급성
평균	3.48	3.75	3.47	3.80









(5) 최종 기술개발 과제 발굴

□ 최종 발굴된 기술을 대상으로 중복 가능성 및 기술적 필요에 의한 통합 또는 재구성 작업을 거쳐 최종 15건의 기술개발 과제를 도출함

〈표 Ⅰ-87〉 기술개발 과제 최종 발굴

유형	중점기술	플래그십 권역	산업분야	기술명	최종제품	TRL	목표 감축량 (톤/년)	연구비 소계(억원)		
								국고	민자	소계
화학적 전환	합성가스	남부권	석유화학	온실가스 감축 극대화 합성가스 생산 기술	합성가스	7	30,000	800	400	1,200
		남부권	철강	미활용 CO_2 활용 합성가스 생산 기술	합성가스, COG	6	200,000	560	240	800
	메탄올	동남권	철강	CO_2 활용에 의한 메탄올 생산 기술	메탄올	5	5,500	200	200	400
	올레핀	남부권	정유	정유 공정 배가스 CO_2 활용 기초유분 생산 기술	올레핀	6~7	131,200	150	50	200
	e-Fuel	남부권	석유화학	합성연료(휘발유, 경유) 생산 기술	e-Fuel	5	50,000	250	250	500
		남부권	석유화학	e-SAF 제조 상용공정 기술	e-SAF	5	50,000	250	250	500
	폴리머	서부권	석유화학	CO_2 활용 폴리우레탄 생산 기술	폴리우레탄	6	50,000	155	155	310
		서부권	석유화학	CO_2 활용 폴리카보네이트 생산 기술	폴리카보네이트	6	50,000	155	155	310
	소계						**566,700**	**2,520**	**1,700**	**4,220**
생물전환	바이오 소재·연료	서부권	발전	미세조류 기반 발전소 배출 CO_2 감축·활용 기술	미세조류 바이오매스	7	10,000	500	195	695
	바이오 매스	서부권	바이오	미세조류 기반 발효 배가스 내 CO_2 감축·활용 기술	바이오매스 바이오사료	5	5,000	220	85	305
	소계						**15,000**	**720**	**280**	**1,000**
광물탄산화	고순도 무기 탄산염	남부권	기타	석고 활용 탄산칼슘 생산 및 활용 기술	황산암모늄 탄산칼슘	7	10,000	270	180	450
		서부권	기타(해수담수)	해수담수화 농축수 활용 고순도 무기탄산염 생산활용	마그네슘 탄산염	7	10,000	500	250	750
	대체 시멘트 및 건설소재	중부권	시멘트	in-situ 탄산화기술 활용 CO_2 감축·활용 기술	In-situ 탄산화건설용제품	7	13,885	390	130	520
		중부권	시멘트	CO_2 반응경화 시멘트 및 건설 2차제품 생산 활용 기술	CO_2반응경화 시멘트	7	16,625	600	200	800
		동남권	철강	제철 슬래그 활용 CO_2 저감 건설소재 생산 및 활용 기술	CO_2 광물화 건설소재	5	100,000	300	200	500
	소계						**150,510**	**2,060**	**960**	**3,020**

나. 중점기술 현황 및 해결 과제

□ CCU(활용) 기술은 CO_2 를 단순 폐기물이 아닌 유용 탄소원으로 탄소중립 및 순환경제 시대에도 화학물질, 화학제품, 연료 등은 경제 활동에 필수

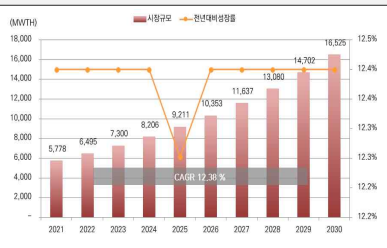
❍ 이를 위한 탄소의 수급은 여전히 중요하나 **"상용 규모 공급 기술 부재"**, **"원료 공급 기술 부족"**으로 탄소순환을 위한 **생태계 조성이 시급**

〈표 Ⅰ-88〉 CCU(활용) 기술의 해결 과제

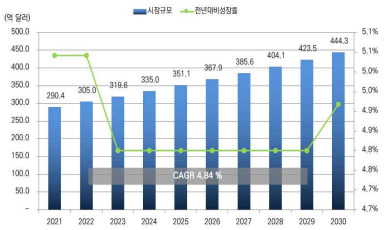
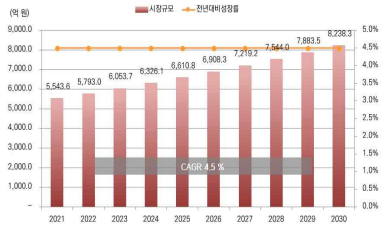
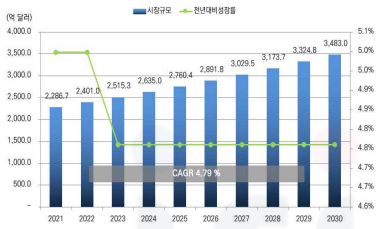
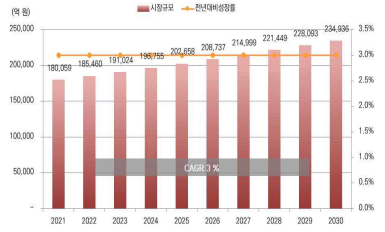
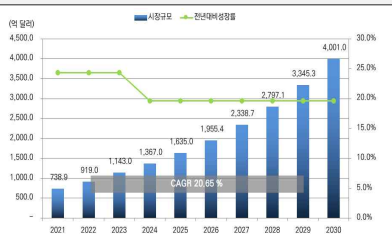
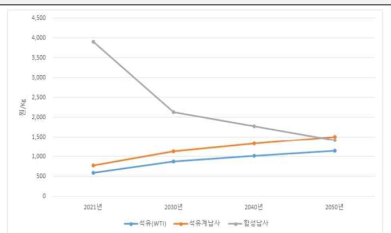
상용 규모 공급 기술 부재	원료 공급 기술 부족	탄소순환 생태계 조성
① 이산화탄소 전환 제품생산의 연속 가동성 부족 ② 분리/정제 기술 부족 ③ 상용 규모 공정에서의 신뢰성 검증 부재 ④ CO_2 전환을 통한 제조 실증규모 기술 확보 필요 ⑤ 상용화를 위한 주요 핵심기술(전기화 기반 고효율 촉매 등) 신규 원천 기술 확보 필요	① 다양한 산업군에 대응 가능한 이산화탄소 전처리 기술 부족 ② 이산화탄소 배출량 대응을 위한, 저활용 자원 활용 원료 공급 기술 필요 ③ 환원물질의 활용 기술 필요 ④ 배출원 특성에 따른 전처리 등 설비 운용 기술 필요	① 탄소 감축 효과 확보를 위해, 경제성 확보를 통한 기술 보급 ② 경제성 확보를 위해, 집적된 산업단지 내 원료-생산-공급 순환 가치사슬 완성 ③ 글로벌 탄소중립 규제 대응을 위한 신기술 확보 및 시장 미형성 기술 조기 개발을 통한 시장 선점

〈표 Ⅰ-89〉 CCU 중점 기술별 해결 과제

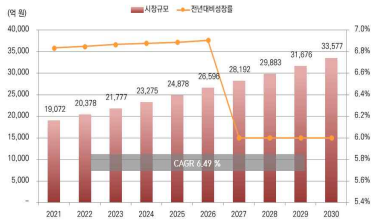
<table>
<tr><th>기술유형</th><th>중점기술</th><th colspan="2">시장 규모 변화 및 해결과제</th></tr>
<tr><td rowspan="4">화학적 전환</td><td rowspan="4">1 합성가스</td><td>해외 시장 전망</td><td>국내 시장 전망</td></tr>
<tr><td>

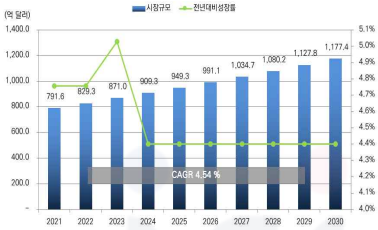
*출처 : QYResearch, Global Syngas Market Research Report 2020, 2021. 01.,</td><td> 

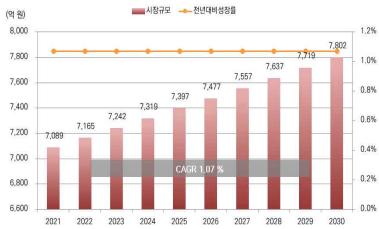
*출처 : Markets and Markets, Syngas& Derivatives Market Global Forecast to 2025, 2020.,</td></tr>
<tr><td>'21년 508억 달러 → '30년 1,129.9억 달러(CAGR 9.29%)</td><td>'21년 5,778MWTH → '30년 16,525MWTH(CAGR 12.38%)</td></tr>
<tr><td>문제점 및 해결 과제</td><td colspan="2">■ 유럽·북미를 중심으로 고효율 발전 및 고부가가치 합성가스 활용기술의 상용화
■ 국내 상용화 단계 미진
■ 향후에도 일산화탄소의 공급 부족 현상 지속</td></tr>
</table>

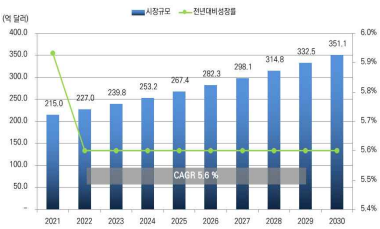
<table>
<tr><th>기술유형</th><th>중점기술</th><th colspan="3">시장 규모 변화 및 해결과제</th></tr>
<tr><td rowspan="12">화학적 전환</td><td rowspan="4">2
메탄올</td><td colspan="2">해외 시장 전망</td><td>국내 시장 전망</td></tr>
<tr><td colspan="2"> 
*출처 : Data Bridge, Global Methanol Market, 2023. 06.,</td><td> 
*출처 : Markets and Markets, Methanol Market Global Forecast to 2025,</td></tr>
<tr><td colspan="2">‘21년 290.4억 달러 → ‘30년 444.3억 달러(CAGR 4.84%)</td><td>‘21년 5,543.6억 원 → ‘30년 8,238.3억 원(CAGR 4.5%)</td></tr>
<tr><td>문제점 및 해결과제</td><td colspan="2">■ 환경규제 강화로 국제해운사는 2040년까지 총배출량 70% 감축 목표
- 탄소배출 감축을 위한 친환경 연료로 청정메탄올이 유력한 후보
■ 국내 메탄올 연간 수요 200만톤(‘22) 전량 수입 의존</td></tr>
<tr><td rowspan="4">3
올레핀</td><td colspan="2">해외 시장 전망</td><td>국내 시장 전망</td></tr>
<tr><td colspan="2"> 
*출처 : Zion Market Research, Global Olefins Market, 2023. 04.,</td><td> 
*출처 : 한국화학연구원, 납사 대체원료(메탄올, 메탄, 합성가스)로 올레핀 제조기술 개발</td></tr>
<tr><td colspan="2">‘21년 2,286.7억 달러 → ‘30년 3,483억 달러(CAGR 4.79%)</td><td>‘21년 18조 59억 원 → ‘30년 23조 4,936억 원(CAGR 3%)</td></tr>
<tr><td>문제점 및 해결과제</td><td colspan="2">■ 고유가로 올레핀 생산을 위한 원가 압박 심화
■ 석탄, 천연가스, 바이오매스와 같은 대체원료를 사용하는 공정개발 필요
■ 국내, CCU 화학적 전환기술을 활용한 올레핀 개발 기술은 TRL 2~3 수준
■ 국내, 상용화 사례 부재</td></tr>
<tr><td rowspan="4">4
e-Fuel</td><td colspan="2">해외 시장 전망</td><td>국내 시장 전망</td></tr>
<tr><td colspan="2"> 
*출처 : Cognitive Market Research, eFuel Market Report 2023, 2023. 10.,</td><td> 
* 출처 : e-fuel 연구회, “재생합성연료(e-Fuel) 연구보고서”, ‘22.01.</td></tr>
<tr><td colspan="2">‘21년 738.9억 달러 → ‘30년 4,001억 달러(CAGR 20.65%)</td><td>상용화 시 $0.94/L 수준 예상</td></tr>
<tr><td>문제점 및 해결과제</td><td colspan="2">■ 각국 정부 차원의 e-Fuel 활용 촉진 정책 및 인센티브, 기술투자 장려
■ EU, ‘35년부터 휘발유·경유 사용 내연기관 신차 판매 금지(e-Fuel 연료 제외)
■ 국내, 상용화 사례 부재
■ 기술개발 방향과 생산비용 절감 방안에 대한 논의 필요
- (국내 e-Fuel 생산가격) 상용화 시 $0.94/L 수준 예상</td></tr>
</table>

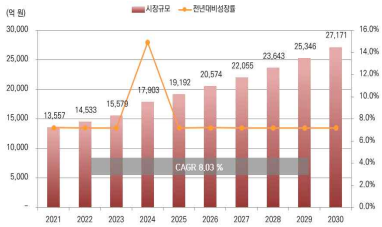
<table>
<tr><th>기술유형</th><th>중점기술</th><th colspan="2">시장 규모 변화 및 해결과제</th></tr>
<tr><td rowspan="8">화학적 전환</td><td rowspan="8">5 폴리머</td><td>해외 시장 전망</td><td>국내 시장 전망</td></tr>
<tr><td>

*출처 : Precedence Research, Polymers Market, 2023. 08.</td><td>[국내 플라스틱 재활용 시장규모 현황 및 전망]
 

*출처 : PwC, 2022.,</td></tr>
<tr><td>'21년 6,781.2억 달러 → '30년 1조 917.9억 달러(CAGR 5.43%)</td><td>'21년 1조 9,072억 원 → '30년 3조 3,577억 달러(CAGR 6.49%)</td></tr>
<tr><td>해외 시장 전망</td><td>국내 시장 전망</td></tr>
<tr><td>[세계 폴리우레탄 시장규모 현황 및 전망]
 

*출처 : Fortune Business Insights, Polyurethane(PU) Market, 2023. 07.,</td><td>[국내 폴리우레탄 시장규모 현황 및 전망]
 

*출처 : 통계청 국가통계포털, NICE디앤비,</td></tr>
<tr><td>21년 791.6억 달러 → '30년 1,177.4억 달러(CAGR 4.54%)</td><td>21년 7,089억 원 → '30년 7,802억 원(CAGR 1.07%)</td></tr>
<tr><td>해외 시장 전망</td><td>국내 시장 전망</td></tr>
<tr><td>[세계 폴리카보네이트 시장규모 현황 및 전망]
 

*출처 : Emergen Research, Polycarbonate Market, 2022. 09.,</td><td>[국내 폴리카보네이트 시장규모 현황 및 전망]
 

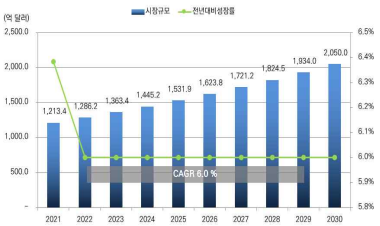
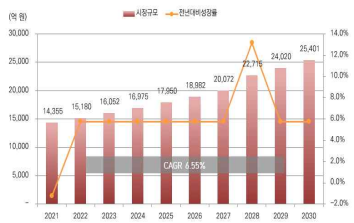
* 출처 : 한국혁신경제연구소,국내 소재·부품·장비산업의 대-중소기업 간 상생협력 유형과 특성 분석, 2020.</td></tr>
<tr><td>'21년 215억 달러 → '30년 351.1억 달러(CAGR 5.6%)</td><td>'21년 13,557억 원 → '30년 27,171억 원(CAGR 8.03%)</td></tr>
<tr><td colspan="2">문제점 및 해결과제</td><td colspan="2">■ 국내, 높은 제조원가와 원료확보 애로
■ 국내외 전반 폴리머 시장의 공급망 혼란 지속
■ 폴리카보네이트, 메탄올 등 CCCU 기술개발로 기존 수입 시장 대체 가능
■ 폴리카보네이트의 경우 DMC(Dimethyl Carbonate) 경유 공정 국내 도입
→ 상용생산 중이나, 해외기술 도입을 통해 구축된 설비로 국산화 필요</td></tr>
</table>

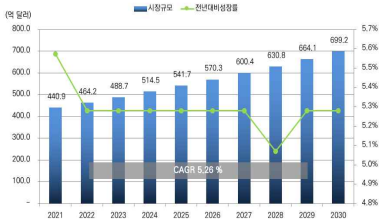
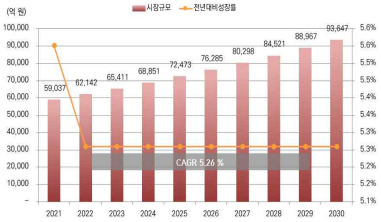
<table>
<tr><th>기술유형</th><th>중점기술</th><th colspan="3">시장 규모 변화 및 해결과제</th></tr>
<tr><td rowspan="8">생물학적 전환</td><td rowspan="4">6
바이오소재 · 연료</td><td colspan="2">해외 시장 전망</td><td>국내 시장 전망</td></tr>
<tr><td colspan="2">[세계 바이오연료 시장규모 현황 및 전망]

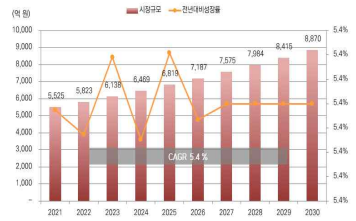
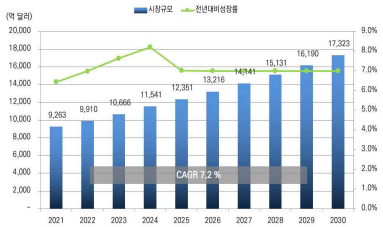
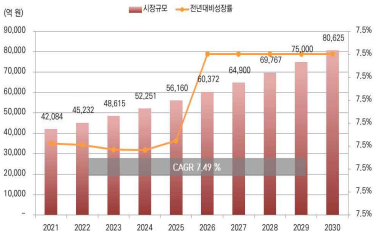
*출처 : Precedence Research, Biofuels Market 2020 to 2030, 2022. 01.,</td><td>[국내 바이오연료 시장규모 현황 및 전망]

*출처 : Precedence Research, Biofuels Market 2020 to 2030, 2022. 01.,</td></tr>
<tr><td colspan="2">'21년 1,099.6억 달러 → '30년 2,253.7억 달러(CAGR 8.3%)</td><td>21년 1조 4,874억 원 → '30년 3조 494억 원(CAGR 8.3%)</td></tr>
<tr><td>문제점 및 해결과제</td><td colspan="2">■ 글로벌, 바이오연료 수요 지속 확대
■ 국내 바이오연료 생산 기술 최고기술 보유국(미국) 대비 83.5%(4.5년)</td></tr>
<tr><td rowspan="4">바이오소재 · 연료</td><td colspan="2">해외 시장 전망</td><td>국내 시장 전망</td></tr>
<tr><td colspan="2">[세계 바이오소재 시장규모 현황 및 전망]

* 출처 : REPORTSINSIGHTS CONSULTING, Biomaterials Market: Size, Growth Analysis, and Forecast 2023-2030, 2023.03.29.,</td><td>[국내 바이오소재 시장규모 현황 및 전망]

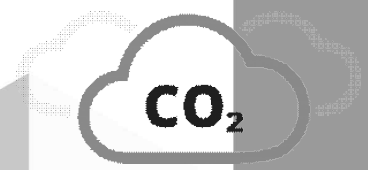
* 출처 : 한국농촌경제연구원, 농업전망 2023 2부, 2023.01.18.</td></tr>
<tr><td colspan="2">'21년 1,208억 달러 → '30년 3,900억 달러(CAGR 13.9%)</td><td>'21년 5조 4,151억 원 → '30년 13조 4억 원(CAGR 10.5%)</td></tr>
<tr><td>문제점 및 해결과제</td><td colspan="2">■ 국내, 바이오 핵심소재 개발 기술, 품질관리 노하우 등 취약
■ 해외 네트워크 부족, 산업 기반 조성 필요</td></tr>
<tr><td rowspan="4">7
바이오매스</td><td colspan="2">해외 시장 전망</td><td>국내 시장 전망</td></tr>
<tr><td colspan="2"> 
*출처 : Grand View Research, Global Biomass Power Market, 2022.,</td><td> 
* 출처: 중소기업은행, "2050 탄소중립 달성 및 지속 가능한 에너지믹스 바이오매스 복합발전 기술·산업 동향", 2023.07.17.</td></tr>
<tr><td colspan="2">21년 1,213.4억 달러 → '30년 2,050억 달러(CAGR 6%)</td><td>21년 1조 4,355억 원 → '30년 2조 5,401억 원(CAGR 6.55%)</td></tr>
<tr><td>문제점 및 해결과제</td><td colspan="2">■ 원유가격 상승 등으로 대체 원료로 생물자원 활용 유용 바이오소재 생산 각광
■ 국내, 바이오에너지 생산에 활용 가능한 바이오매스 자원 없음
■ 에너지화 할 수 있는 바이오매스 원료 및 기술개발 중요</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th>기술유형</th><th>중점기술</th><th colspan="2">시장 규모 변화 및 해결과제</th></tr>
<tr><td rowspan="5">광물 탄산화</td><td rowspan="3">8 고순도 무기탄산염</td><td>해외 시장 전망</td><td>국내 시장 전망</td></tr>
<tr><td>[세계 탄산칼슘 시장규모 현황 및 전망]
 
*출처 : SkyQuest, Global Calcium Carbonate Market By type, By end use & By region-Forecast Analysis 2022-2028, 2022. 10.,</td><td>[국내 탄산칼슘 시장규모 현황 및 전망]
 
*출처 : SkyQuest, Global Calcium Carbonate Market By type, By end use & By region-Forecast Analysis 2022-2028, 2022. 10.,</td></tr>
<tr><td>'21년 440.9억 달러 → '30년 699.2억 달러(CAGR 5.26%)</td><td>'21년 59,037억 원 → '30년 93,647억 원(CAGR 5.26%)</td></tr>
<tr><td>문제점 및 해결과제</td><td colspan="2">■ 접착제 및 밀봉제, 동물 및 애완동물 사료, 건축, 비료, 유리 및 세라믹, 페인트, 표면 코팅, 종이 필러 및 코팅 안료, 플라스틱, 고무, 엘라스토머 산업 전반에 걸쳐 수요가 지속 증가
■ 국내 탄산칼슘 시장규모 연간 약 1억 톤(세계시장의 1%)</td></tr>
<tr><td rowspan="4">9 대체 시멘트 및 건설소재</td><td>해외 시장 전망</td><td>국내 시장 전망</td></tr>
<tr><td>[세계 광물 탄산화 시장규모 현황 및 전망]

*출처 : Stringent Datalytics, Global Carbonate Minerals Market, 2023.05.27.</td><td>[국내 광물 탄산화 시장규모 현황 및 전망]
 
* 출처 : Calcium Carbonate Market Size, Share & Trends Analysis Report By Application (Paper, Plastics, Paints & Coatings, Adhesives & Sealants), By Region, And Segment Forecasts, 2022 - 2030 (Grand View Research, 2021)</td></tr>
<tr><td>'21년 121억 7천만 달러 → '30년 198억 달러(CAGR 5.56%)</td><td>'21년 5,525억 원 → '30년 8,870억 원(CAGR 5.4%)</td></tr>
<tr><td>문제점 및 해결과제</td><td colspan="2">■ In-situ 탄산화 기술을 통해 생산되는 시멘트는 친환경 저탄소 제품
■ 국내, 기초연구·파일럿 실험 수준, 시장진입 단계 어려움</td></tr>
<tr><td rowspan="4">시멘트 및 건설소재</td><td>해외 시장 전망</td><td>국내 시장 전망</td></tr>
<tr><td>[세계 시멘트 시장규모 현황 및 전망]
 
*출처 : TechNavio(2020), NICE디앤비,</td><td>[국내 시멘트 시장규모 현황 및 전망]
 
*출처 : 통계청(2021), NICE평가정보㈜,</td></tr>
<tr><td>'21년 9,263억 달러 규모 → '30년 17,323억 달러(CAGR 7.2%)</td><td>'21년 42,084억 원 → '30년 80,625억 원 규모(CAGR 7.5%)</td></tr>
<tr><td>문제점 및 해결과제</td><td colspan="2">■ 미국, 유럽 및 일본 등에서 탄소중립 시멘트·콘크리트의 개발 및 상용화 실적이 있으나, 초기 단계로 대량 상용화 실적은 미흡</td></tr>
</table>

제2장 대내외 환경분석

Carbon Capture and Utilization



제1절 국내외 온실가스 배출현황 및 중점이슈

1. 온실가스 배출현황
2. 메가트렌드 분석
3. 국내외 정책 동향
4. 국내외 온실가스 多배출산업 동향

제2절 국내외 CCU 환경분석

1. 정의 및 주요 이슈
2. 국내외 CCU 기술 사업화 추진 동향
3. CCU 시장 . 산업 동향
4. CCU 기술 환경분석
5. 국내 CCU R&D 동향
6. 국내 R&D 투자 동향

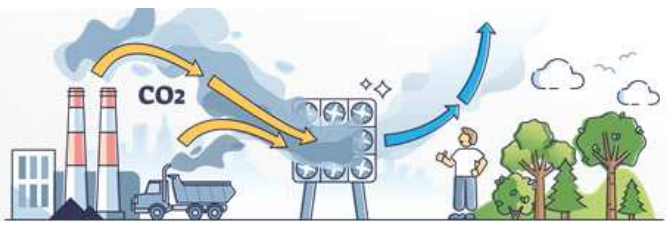
제3절 플래그십 프로젝트 중점기술 동향

무탄소 에너지(CFE) 가치사슬 제고와 CCU의 조속한 상용사례 창출로

탄소중립 산업경쟁력 확보와 미래지향 기반 구축

국가 기술경쟁력 강화 필요

- 미래지향 기반구축과 시장 창출 중심 투자



제2장 대외 환경분석

제1절 국내외 온실가스 배출현황 및 중점이슈

1. 온실가스 배출현황

가. 글로벌 온실가스 배출현황

□ **(전 지구 대기 중 온실가스 농도 변화)** 전 지구의 온실가스 농도는 산업화 이전 대비 지속적으로 증가

❍ **이산화탄소(CO_2) 1.49배, 메탄(CH_4) 2.62배, 아산화질소(N_2O) 1.23배 증가** 하였으며, **매년 최대치** 경신

- '20년 코로나로 온실가스 배출이 감소 되었으나, **온실가스 농도 증가 추세** 지속

□ **(우리나라 대기 중 온실가스 농도 변화)** 우리나라도 전 지구와 비슷하게 **증가율 가속화**

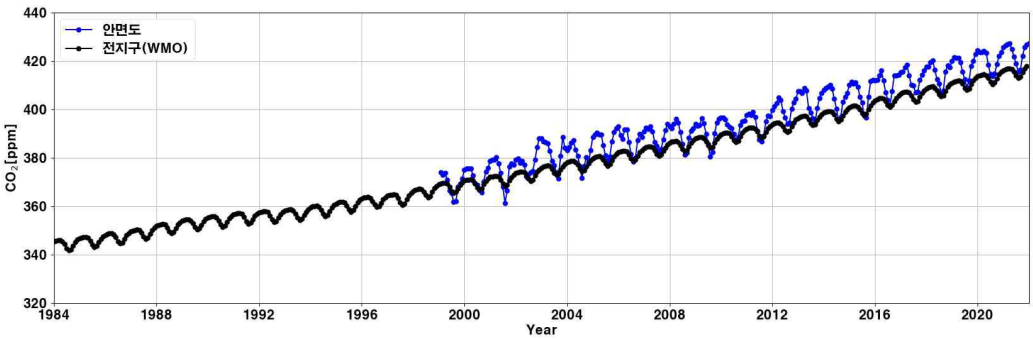
❍ **(CO_2)** 과거(2001~2010년) 연평균 2.2ppm에서 최근(2011~2020년) 2.7ppm로 가속

- '21년 기준 전 지구 평균농도(WMO) 대비 우리나라(안면도) 7.4ppm 상회

❍ **(CH_4)** 증가 추세가 완화(1ppb/년, 2000~2006년) 되다가, 2010년 이후 다시 증가

❍ **(N_2O)** 연간 0~2ppb로 지속적으로 증가

〈그림 Ⅱ-1〉 전지구와 우리나라의 대기중 이산화탄소 농도 변화 시계열



*출처 : 관계부처 합동, 국가 탄소중립·녹색성장 기본계획(안), 2023. 03.

〈표 Ⅱ-1〉 2021년 온실가스 평균농도

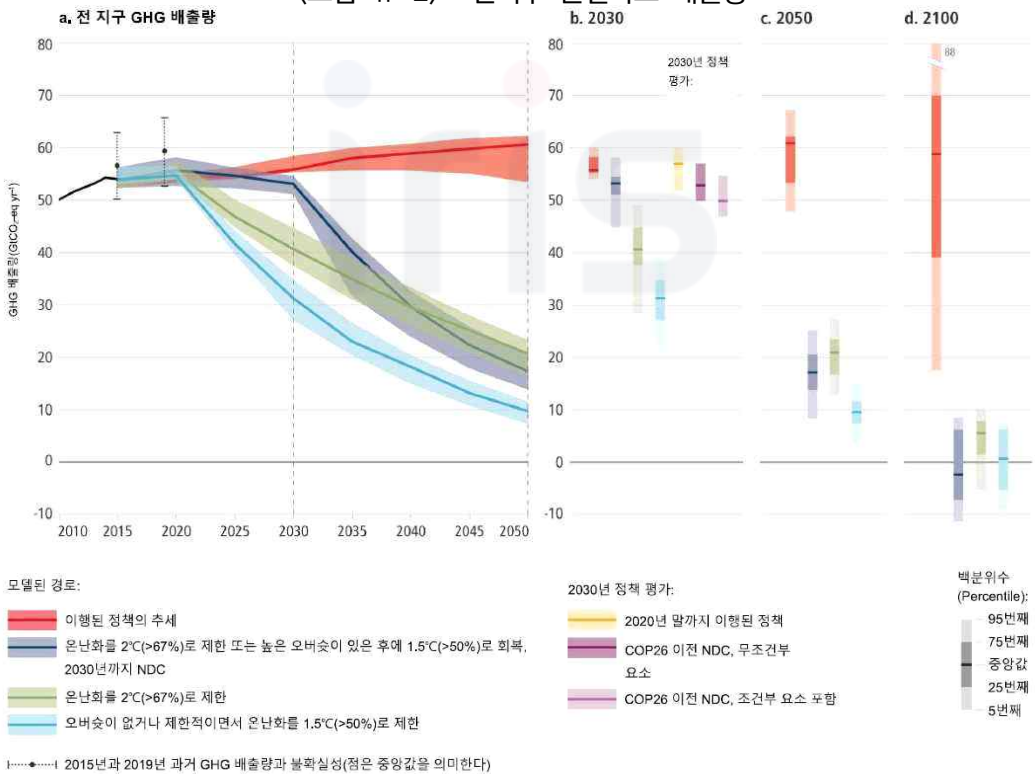
구분	세계기상기구(WMO)			우리나라(안면도)		
	CO_2[ppm]	CH_4[ppb]	N_2O[ppb]	CO_2[ppm]	CH_4[ppb]	N_2O[ppb]
2021년 평균	**415.7**	1908	334.5	**423.1**	2005	336.1
전년 대비 증가값	**2.5**	18	1.3	**2.7**	22	1.1
10년 평균 증가율	**2.5**	9.2	1.0	**2.7**	10	1.2

*출처 : 관계부처 합동, 국가 탄소중립·녹색성장 기본계획(안), 2023. 03.

□ 전 지구 온실가스 배출 전망

❍ (IPCC) 이행된 정책(~ '20년)에 따른 '30년의 전 지구 온실가스 배출량은 연간 52~60$GtCO_2$ e로 NDC에 따른 배출량(47~57$GtCO_2$ e) 상회

〈그림 Ⅱ-2〉 전지구 온실가스 배출량

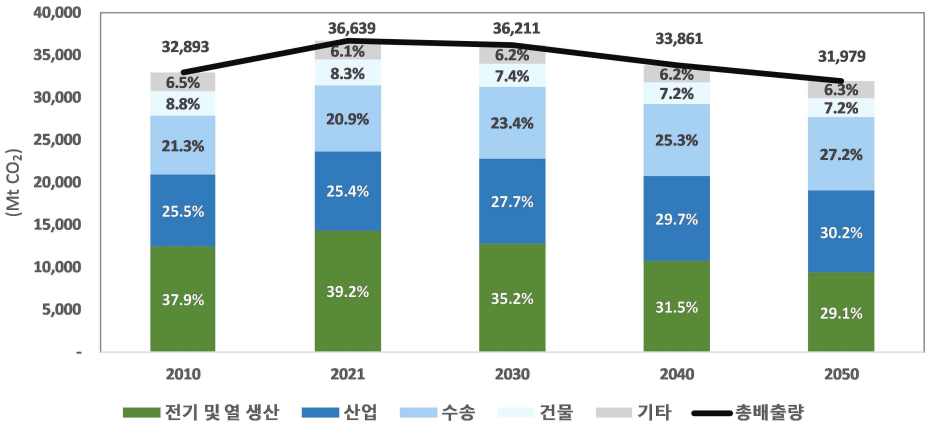


*출처 : 관계부처 합동, 국가 탄소중립·녹색성장 기본계획(안), 2023. 03.

❍ (IEA*) 추가 정책 없이 現 정책만 고려 시, 전환 부문은 현재 대비 배출량(에너지 및 산업공정) 감소, 최종에너지 소비 부문은 증가 전망

*IEA의 세계에너지전망은 에너지부문(산업공정포함) CO_2 배출량 전망 분석 결과 제시

〈그림 Ⅱ-3〉 전세계 부문별 CO_2 배출량(에너지 및 산업공정)



*출처 : 관계부처 합동, 국가 탄소중립·녹색성장 기본계획(안), 2023. 03.

□ **(전 세계적으로 온실가스 감축 이행 중)** 온실가스 감축은 전 세계적인 관심사로 **최근 5년간 CO_2 배출**은 **0.5% 수준**으로 감축

❍ 대부분 국가가 2050년 **'넷 제로 배출'**을 목표하여 온실가스 감소세를 보이고 있으며 **미국, 일본, 유럽 등**은 **2.4~4.9% 수준**으로 감축 중

❍ **우리나라**는 같은 기간 감축 **0.4% 수준**으로 **세계 평균 대비 낮은 편**

〈표 Ⅱ-2〉 글로벌 온실가스 배출현황

구분		온실가스 배출량(TOTAL CO_2 emissions by Countries)									CAGR ('15~'20)
		1990	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
Global(환산)		20,500.0	23,100.0	30,400.0	32,200.0	32,200.0	32,700.0	33,500.0	33,400.0	31,500.0	△0.5
한국		**231.8**	**431.9**	**550.9**	**582.1**	**589.2**	**600.3**	**605.9**	**585.7**	**570.7**	**△0.4**
미국		4,803.0	5,073.8	5,352.1	4,928.6	4,838.5	4,761.3	4,910.0	4,744.5	4,285.9	△2.8
중국		2,088.9	3,097.4	7,890.6	9,135.2	9,127.9	9,334.9	9,712.8	9,876.5	N/A	2.0*
일본		1,051.8	1,147.5	1,132.2	1,153.5	1,141.8	1,128.8	1,090.0	1,056.2	1,024.1	△2.4
유럽	영국	549.4	520.6	476.6	394.0	373.6	359.9	353.9	342.2	306.3	△4.9
	독일	940.0	812.3	758.9	729.7	734.5	718.8	694.5	644.1	585.3	△4.3
	프랑스	345.4	364.7	340.1	304.9	307.5	311.5	300.6	293.9	258.2	△3.3
브라질		184.8	294.6	374.4	457.6	421.8	433.3	411.4	411.0	385.7	△3.4
호주		259.7	334.7	383.4	372.5	380.6	384.8	382.4	380.7	376.0	0.2

*중국의 경우 온실가스 배출량 통계가 2019년까지만 제공되어 CAGR 측정 기준이 4년
*출처 : IEA, Global CO_2 emissions review statistics by countries, 2021.

나. 국가 온실가스 배출현황

(1) 국내 온실가스 배출현황

□ **(국내 '20년 온실가스 총배출량 : 656.2백만톤 CO_2eq.)** 우리나라의 2020년 온실가스 총배출량(LULUCF 제외)[1]은 656.2백만톤 CO_2eq.이며, 1990년도 총배출량 292.1백만톤 CO_2eq.에 비해 124.7% 증가하였고 2019년도 총배출량인 701.2백만톤 CO_2eq.보다 6.4% 감소

❍ 국내 2020년 온실가스 순배출량(LULUCF 포함)[2]은 618.3백만톤 CO_2eq.으로 1990년도 순배출량 254.2백만톤 CO_2eq.보다 143.3% 증가하였고, 2019년 순배출량 663.5백만톤 CO_2eq.보다 6.8% 감소

□ **(에너지 분야, 총 배출의 86.8% 차지)** 배출량이 가장 많은 에너지 분야는 2020년 569.9백만톤 CO_2eq.(86.8%)을 배출

❍ 산업공정 분야의 배출량은 48.5백만톤 CO_2eq.(7.4%)이며, 농업 분야는 21.1백만톤 CO_2eq.(3.2%), 폐기물 분야는 16.7백만톤 CO_2eq.(2.5%)의 온실가스를 배출

□ **(에너지 분야, 배출량 감소에 최대 기여)** 2020년 배출량 감소에 가장 크게 기여한 분야는 에너지 분야로 전년 대비 41.6백만톤 CO_2eq., 6.8% 감소하였으며, 공공 전기·열 생산과 제조업·건설업, 수송 등 전 부문에서 주로 감소

❍ 공공 전기·열 생산 업종의 배출량은 전력수요 감소에 따른 발전량 감소(563.0 → 552.2TWh)와 미세먼지 계절 관리제에 따른 석탄 발전량 감소 등으로 전년 대비 30.7백만톤 CO_2eq., 12.3% 감소

❍ 제조업·건설업의 배출량은 전년 대비 6.0백만톤 CO_2eq., 3.2% 감소, 도로수송 배출량은 유류 소비량이 감소함에 따라 전년 대비 4.2백만톤 CO_2eq., 4.3% 감소

1) 총배출량은 LULUCF 분야를 제외한 에너지, 산업공정, 농업, 폐기물 분야 배출량의 합계

2) 순배출량은 LULUCF 분야의 배출원 및 흡수원을 모두 포함한 전 분야(에너지, 산업공정, 농업, 폐기물, LULUCF) 배출량의 합계

❍ 산업공정 분야의 2020년 배출량은 48.5 백만톤 CO_2eq.이며, 전년 대비 3.6 백만톤, 7.0% 감소

- 배출량이 감소한 주요 부문은 광물산업으로 전년보다 2.8 백만톤 CO_2eq., 7.9% 감소

❍ 농업 분야는 가축사육두수 증가로 배출량이 전년 대비 0.1백만톤 CO_2eq., 0.4% 증가

❍ LULUCF 분야 순흡수량은 전년 대비 0.2 백만톤 CO_2eq., 0.4% 증가하였으며, 산림지의 연간 순 임목 생장량 증가 및 산림면적 감소 폭 둔화에 기인

❍ 폐기물 분야는 사업장폐기물 소각처리량 증가 및 산업폐수 처리부하량 증가로 인해 배출량이 전년 대비 0.2 백만톤 CO_2eq., 1.3% 증가

□ **(연도별 온실가스 배출 추이)** 1990~1999년 국가 온실가스 총배출량은 연평균 5.4% 증가하였으며, 실질 국내 총생산(GDP)은 연평균 6.9% 증가

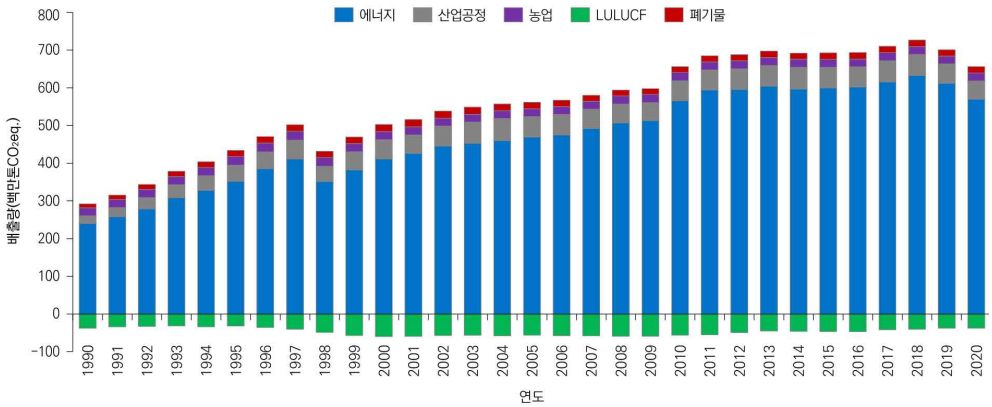
❍ 1998년은 외환위기의 영향으로 GDP가 전년대비 5.1%, 온실가스 배출량은 전년 대비 14.0% 감소

❍ 2000년대는 경기가 회복되면서 온실가스 배출량이 꾸준히 증가하였으나 증가율이 점차 둔화하는 경향

- 동 기간의 연평균 총배출량 증가율을 살펴보면, 2000~2009년 연평균 총배출량 증가율은 1.9%, 2010~2019년 연평균 총배출량 증가율은 0.7%에 정체

- 최근 2년(2019~2020년)간의 배출 추이는 온실가스 배출량이 전년 대비 3.5%, 6.4% 연속 감소

〈그림 Ⅱ-4〉 분야별 온실가스 배출량 및 흡수량(1990~2020)



*출처 : 환경부 온실가스종합정보센터, 2022 국가 온실가스 인벤토리 보고서, 2022. 12.

〈표 Ⅱ-3〉 분야별 온실가스 배출량 및 증감률

(단위 : 백만톤 CO_2eq.)

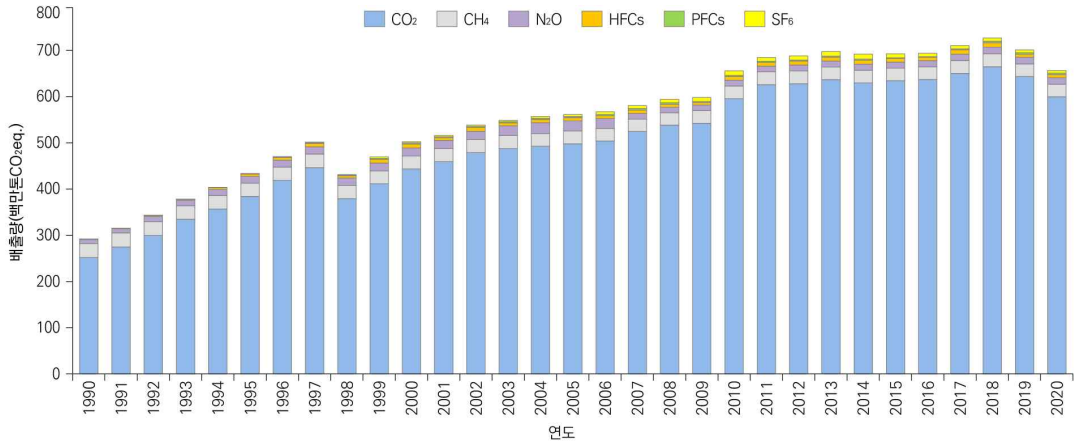
분야		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020	증감률(%)	
											1990년 대비	전년 대비
에너지	배출량	240.3	352.0	411.6	469.4	565.7	600.3	632.6	611.6	569.9	137.2	-6.8
	비중(%)	82.3	81.1	81.9	83.6	86.2	86.7	87.0	87.2	86.8		
산업공정	배출량	20.4	43.1	50.9	54.6	53.0	54.5	55.8	52.2	48.5	137.4	-7.0
	비중(%)	7.0	9.9	10.1	9.7	8.1	7.9	7.7	7.4	7.4		
농업	배출량	21.0	22.8	21.4	20.7	22.1	21.0	21.1	21.0	21.1	0.4	0.4
	비중(%)	7.2	5.3	4.3	3.7	3.4	3.0	2.9	3.0	3.2		
LULUCF	배출량	-37.9	-32.1	-60.1	-56.3	-56.1	-46.6	-40.3	-37.7	-37.9	-0.2	0.4
	비중(%)	-13.0	-7.4	-12.0	-10.0	-8.5	-6.7	-5.5	-5.4	-5.8		
폐기물	배출량	10.4	15.8	18.9	16.8	15.4	16.9	17.4	16.5	16.7	60.9	1.3
	비중(%)	3.6	3.6	3.8	3.0	2.3	2.4	2.4	2.4	2.5		
총배출량 (LULUCF 제외)	배출량	292.1	433.8	502.7	561.5	656.1	692.6	727.0	701.2	656.2	124.7	-6.4
	비중(%)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0		
순배출량 (LULUCF 포함	배출량	254.2	401.6	442.6	505.2	600.0	646.1	686.6	663.5	618.3	144.3	-6.8
	비중(%)	87.1	92.9	88.4	90.4	91.8	93.6	93.8	94.8	95.8		

*출처 : 환경부 온실가스종합정보센터, 2022 국가 온실가스 인벤토리 보고서, 2022. 12.

□ (**'20년 온실가스별 배출량 변화)** 2020년 CO_2는 1990년에 비하여 138.0%, N_2O는 61.7% 증가한 반면, CH_4은 10.2% 감소

❍ 불소계 온실가스는 1990년 대비 배출량이 크게 증가하였는데, HFCs는 577.9%, SF_6은 2,844.4%, PFCs는 처음 통계가 수집된 1992년 배출량(0.0003백만톤 CO_2eq.) 대비 1,232,038.2% 증가

〈그림 Ⅱ-5〉 온실가스별 배출량(1990~2020)



*출처 : 환경부 온실가스종합정보센터, 2022 국가 온실가스 인벤토리 보고서, 2022. 12.

〈표 Ⅱ-4〉 온실가스별 배출량 및 증감률

(단위 : 백만톤 CO_2eq.)

온실가스		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020	증감률(%)	
											1990년 대비	전년 대비
CO_2	배출량	252.0	384.3	443.7	498.2	595.4	634.3	665.0	643.8	599.8	138.0	-6.8
	비중(%)	86.3	88.6	88.3	88.7	90.7	91.6	91.5	91.8	91.4		
CH_4	배출량	30.2	28.9	27.9	27.5	27.8	27.3	28.0	27.2	27.1	-10.2	-0.4
	비중(%)	10.4	6.7	5.5	4.9	4.2	3.9	3.9	3.9	4.1		
N_2O	배출량	8.7	14.0	17.6	22.0	12.5	13.0	14.3	14.2	14.1	61.7	-1.0
	비중(%)	3.0	3.2	3.5	3.9	1.9	1.9	2.0	2.0	2.1		
HFCs	배출량	1.0	5.1	8.4	6.7	8.1	7.9	9.3	6.9	6.7	577.9	-2.8
	비중(%)	0.3	1.2	1.7	1.2	1.2	1.1	1.3	1.0	1.0		
PFCs	배출량	NO, NE	0.1	2.2	2.8	2.3	1.5	3.2	3.0	3.4	1,232,038.2	13.2
	비중(%)	-	0.01	0.4	0.5	0.3	0.2	0.4	0.4	0.5		
SF_6	배출량	0.2	1.5	2.8	4.3	10.1	8.5	7.2	6.1	5.1	2,844.4	-16.2
	비중(%)	0.1	0.3	0.6	0.8	1.5	1.2	1.0	0.9	0.8		
총배출량 (LULUCF 제외)		292.1	433.8	502.7	561.5	656.1	692.6	727.0	701.2	656.2	124.7	-6.4
비중(%)		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0		

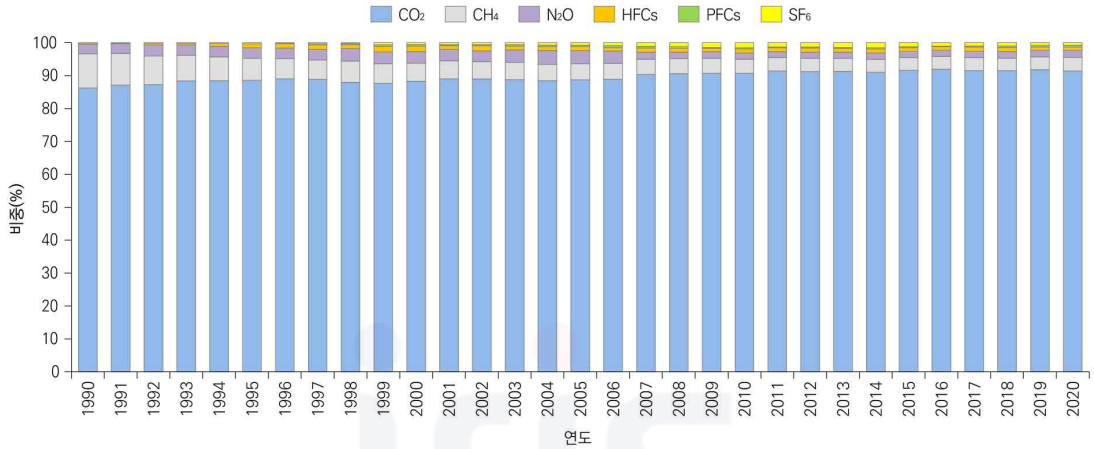
*주: 1) PFCs는 최초 통계가 수집된 1992년도를 기준으로 증감률을 계산
2) LULUCF 분야를 포함한 순배출량에 대한 분석은 2.2절 온실가스별 배출 및 흡수 추이 분석을 참고
3) NO(Not Occurring): 국내에 배출·흡수가 발생하는 해당 활동 및 공정이 없는 경우
4) NE(Not Estimated): 배출·흡수활동 및 공정이 있으나 산정하지 아니하는 경우

*출처 : 환경부 온실가스종합정보센터, 2022 국가 온실가스 인벤토리 보고서, 2022. 12.

□ (**'20년 온실가스별 배출 비중)** 2020년 총배출량 중 온실가스별 비중은 CO_2가 **91.4%**로 가장 크고, 이어서 CH_4 4.1%, N_2O 2.1%, HFCs 1.0%, SF_6 0.8%, PFCs 0.5% 순으로 확인

❍ 2019년 대비 CO_2 6.8%, CH_4 0.4%, N_2O 1.0%, HFCs 2.8%, SF_6 16.2% 감소하고, PFCs는 13.2% 증가

〈그림 Ⅱ-6〉 온실가스별 비중 추이(1990~2020)



*출처 : 환경부 온실가스종합정보센터, 2022 국가 온실가스 인벤토리 보고서, 2022. 12.

□ **(분야별(LULUCF 제외) 온실가스 증감 기여도)** 2020년도 국가 배출량의 전년 대비 증감률(-6.4%)에 가장 크게 기여한 분야는 배출량 비중이 가장 높은 **에너지 분야**이며 기여도는 -5.9%p, 다른 분야의 증감률 기여도는 산업공정 -0.5%p, 농업 0.01%p, 폐기물 0.03%p로 확인

❍ **(에너지)** 에너지 분야의 2020년 배출량은 569.9백만톤 CO_2eq.으로 전년 대비 41.6백만톤 CO_2eq., 6.8% 감소

- 배출량 감소에 가장 크게 기여한 업종은 공공 전기·열 생산으로 전년보다 30.7백만톤 CO_2eq., 12.3% 감소
- 한편 제조업·건설업 부문의 철강업종이 전로강 생산량 감소(-5.0%)에 따라 유연탄 공급량이 3.3% 감소하면서 2020년 배출량은 전년보다 3.3백만톤 CO_2eq., 3.4% 감소
- 비금속 업종은 건설경기 악화에 따른 시멘트 생산 감소로 비금속 유연탄 공급량이 감소(14.7%) 하면서 기타제조업의 배출량이 전년보다 3.4백만톤 CO_2eq., 8.6% 감소

- 도로수송 부문은 코로나 19 장기화로 유류 소비량이 감소함에 따라 전년 보다 4.2백만톤 CO_2eq., 4.3% 감소
- 기타 부문(가정, 상업/공공, 농림어업)은 코로나 19의 영향으로 난방용 도시가스 수요 감소 및 유류의 가스 소비대체 효과로 배출량이 1.6백만톤 CO_2eq., 3.2% 감소

❍ **(산업공정)** 산업공정 분야의 2020년 배출량은 전년 대비 3.6백만톤, 7.0% 감소한 48.5백만톤 CO_2eq.이며 총배출량에서 차지하는 비중은 7.4%

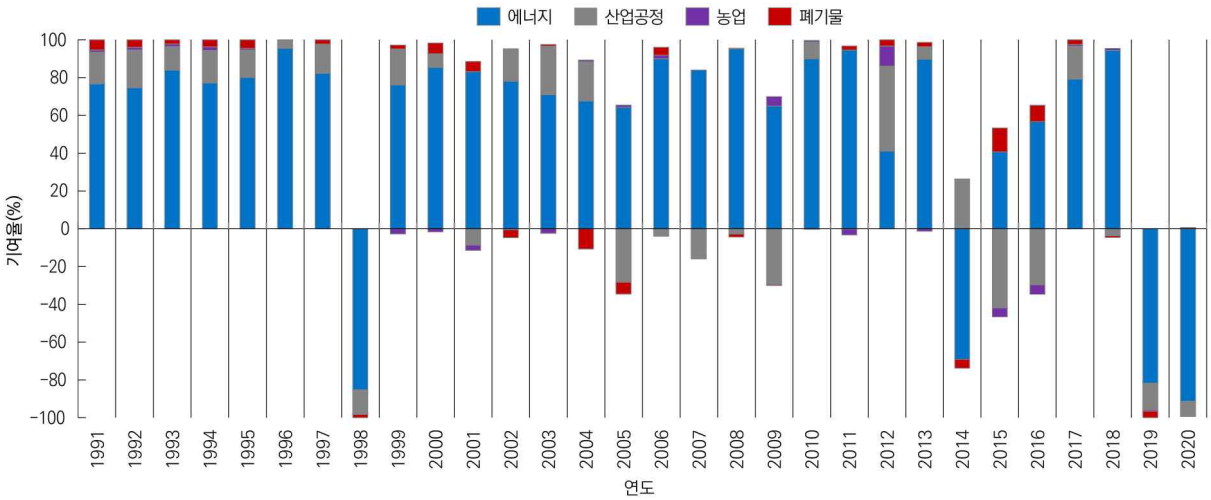
- 배출량이 감소한 주요 부문은 광물산업으로 전년보다 2.8백만톤 CO_2eq., 7.9% 감소

❍ **(농업)** 농업 분야의 2020년 배출량은 전년 대비 0.4% 증가한 21.1백만톤 CO_2eq.으로 배출량이 증가한 주요 부문은 장내발효 및 가축분뇨처리 부문

❍ **(폐기물)** 폐기물 분야의 2020년 배출량은 전년 대비 0.2백만톤 CO_2eq., 1.3% 증가한 16.7백만톤 CO_2eq.으로 배출량이 증가한 주요 부문은 폐수처리와 소각 부문

❍ **(LULUCF)** LULUCF 분야의 2020년 순흡수량은 -37.9백만톤 CO_2eq.으로 전년 대비 0.2백만톤 CO_2eq., 0.4% 증가

〈그림 Ⅱ-7〉 온실가스 증감 기여율(1991~2020)



*출처 : 환경부 온실가스종합정보센터, 2022 국가 온실가스 인벤토리 보고서, 2022. 12.

〈표 Ⅱ-5〉 분야별 전년 대비 온실가스 총배출량 증감 기여도

분야		1991	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020
에너지	기여도(%p)	6.1	6.0	6.3	1.7	4.4	0.5	2.4	-2.9	-5.9
	기여율(%)	76.6	80.1	88.5	208.4	90.7	617.3	104.0	81.8	92.6
산업공정	기여도(%p)	1.3	1.1	0.5	-0.7	-0.008	-0.5	-0.1	-0.5	-0.5
	기여율(%)	16.8	14.6	7.3	-91.9	9.0	-637.0	-4.0	14.1	8.1
농업	기여도(%p)	0.1	0.1	-0.1	0.03	-0.1	-0.06	0.02	-0.02	0.01
	기여율(%)	1.1	0.9	-1.7	3.8	0.7	-72.6	1.1	0.7	-0.2
폐기물	기여도(%p)	0.4	0.3	0.4	-0.2	0.1	0.1	-0.02	-0.1	0.03
	기여율(%)	5.4	4.5	5.9	-20.3	-0.4	192.4	-1.1	3.5	-0.5
총배출량 (LULUCF 제외)	기여도(%p)	8.0	7.5	7.1	0.8	4.4	0.1	2.3	-3.5	-6.4
	기여율(%)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

*출처 : 환경부 온실가스종합정보센터, 2022 국가 온실가스 인벤토리 보고서, 2022. 12.

□ 국가 및 부문별 온실가스 배출 전망*

*「2050 저탄소 사회 비전 포럼」 검토안('20.2월)의 배출전망 수치이며, 감축 목표 검토 시 최신 배출실적 및 여건 변화 등을 고려하여 일부 부문에서 재전망

❍ **(전망방법)** 3차 에너지기본계획의 '40년까지의 전망을 최대한 고려하고, 목표 수요 작업과 연계성을 감안하여 '50년까지의 연장안 사용

- (에너지) 부문별 에너지 수요전망 취합 후, 전력·열 배출계수와 온실가스 인벤토리 산정방식을 적용하여 배출 전망
- (비에너지) 산업공정, 농축산, 폐기물은 전문가 논의 후 전망

❍ **(주요전제)** 인구, 가구, GDP, 유가, 산업구조 등 중장기 온실가스 배출과 관련된 핵심지표 전망

〈표 Ⅱ-6〉 국가 온실가스 배출 전망

구분		2018	2030	2040	2050	연평균증감률	
						'18~'40	'40~'50
인구(백만명)		51.6	52.9	52.2	49.4	0.05%	-0.5%
가구(백만호)		19.8	21.6	22.3	22.2	0.6%	-0.03%
GDP 성장률		2.7%	1.7%	1.2%	0.9%	1.9%	1.0%
국제유가($/bbl)		60	103	120	136	3.2%	1.2%
산업구조 (조원, %)	농림어업·광업	34	36	36	34	0.2%	-0.6%
		2.1%	1.7%	1.5%	1.3%		
	제조업	511	644	724	786	1.6%	0.8%
		32.0%	30.3%	29.7%	29.2%		
	서비스업	1,053	1,444	1,675	1,875	2.1%	1.1%
		65.9%	68.0%	68.8%	69.6%		

*출처 : 관계부처 합동, 국가 탄소중립·녹색성장 기본계획(안), 2023. 03.

❍ **(전망결과)** 2050년 배출량은 761.4백만톤 CO_2e로 전망

〈표 Ⅱ-7〉 국가 부문별 온실가스 배출 전망

(단위 :백만톤 CO_2e)

구분	2018	2030	2040	2050	연평균증감률	
					'18~'40	'40~'50
전환	269.6	288.3	268.7	284.9	0.0%	0.6%
산업	260.5	304.0	306.8	304.8	0.7%	-0.1%
건물	52.1	45.5	43.5	42.2	-0.8%	-0.3%
수송	98.1	101.8	91.8	84.8	-0.3%	-0.8%
농축수산·폐기물·기타	47.4	46.2	45.7	44.38	-0.2%	-0.2%
합계	727.6	785.8	756.6	761.4	0.2%	0.1%

*출처 : 관계부처 합동, 국가 탄소중립·녹색성장 기본계획(안), 2023. 03.

(2) 국내 이산화탄소 배출현황

□ (**'20년 국내 CO_2 배출량, 온실가스 총배출량의 91.4%)** 2020년도 CO_2 총배출량(LULUCF 제외)은 599.8백만톤 CO_2eq.으로 국가 온실가스 총배출량의 91.4%를 차지하였으며, 1990년도 252.0백만톤 CO_2eq. 대비 138.0% 증가, 2019년 대비 6.8% 감소

❍ LULUCF 분야를 포함한 2020년의 CO_2 순배출량은 561.6백만톤 CO_2eq.이며, 1990년도 대비 162.9% 증가, 2019년 대비 7.3% 감소

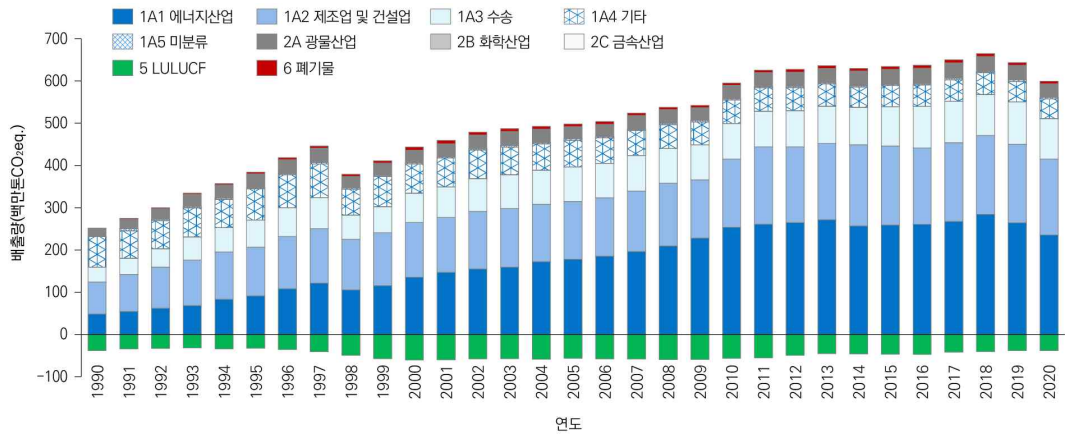
□ **(분야별 배출 추이)** 1990년 대비 2020년의 CO_2 배출량 증감률은 폐기물 분야가 354.2% 증가로 가장 높았으며, 이어서 에너지 분야와 산업공정 분야가 각각 142.2%, 71.5% 증가

❍ 2020년 분야별 CO_2 배출 비중(LULUCF 순흡수량 제외)은 에너지 분야 93.5%, 산업공정 분야 5.4%, 폐기물 분야 1.1%로 에너지 분야에서 대부분의 CO_2 배출

❍ 2020년도 LULUCF 분야 CO_2 순배출량은 1990년 대비 0.4% 감소하고 전년 대비 0.5% 증가

❍ 2020년 전년 대비 분야별 CO_2 증감률을 살펴보면 산업공정 분야와 에너지 분야의 CO_2 배출량이 8.0%, 6.9% 감소하고 폐기물 분야 CO_2 배출량은 2.5% 증가, LULUCF 분야 CO_2 순배출량은 0.5% 증가

〈그림 Ⅱ-8〉 분야별 CO_2 배출량 및 흡수량(1990-2020)



*출처 : 환경부 온실가스종합정보센터, 2022 국가 온실가스 인벤토리 보고서, 2022. 12.

〈표 Ⅱ-8〉 분야별 CO_2 배출량 및 흡수량

(단위: 백만톤 CO_2eq.)

부문		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020
1. 에너지	1A1 에너지산업	48.2	91.4	135.6	178.3	253.8	259.2	284.5	264.4	235.5
	1A2 제조업 및 건설업	76.1	115.1	129.7	136.7	161.5	186.8	186.3	185.9	179.9
	1A3 수송	35.3	64.3	69.4	81.2	84.7	93.5	97.4	100.3	95.5
	1A4 기타	71.9	73.8	69.4	63.8	55.2	49.5	51.7	48.8	47.3
	1A5 미분류	0.2	2.8	2.4	3.2	2.9	3.1	3.1	2.9	2.9
2. 산업공정	2A 광물산업	18.8	32.7	29.7	29.1	31.7	35.6	35.0	35.1	32.3
	2B 화학산업	0.002	-0.004	0.032	0.011	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001
	2C 금속산업	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1
5. LULUCF(순흡수량)		-38.3	-32.4	-60.4	-56.6	-56.4	-46.9	-40.6	-38.0	-38.2
6. 폐기물		1.4	4.1	7.4	5.8	5.4	6.6	6.8	6.2	6.3
CO_2 총배출량(LULUCF 제외)		252.0	384.3	443.7	498.2	595.4	634.3	665.0	643.8	599.8
CO_2 순배출량(LULUCF 제외)		213.7	351.9	383.3	441.6	539.0	587.4	624.3	605.8	561.6

*출처 : 환경부 온실가스종합정보센터, 2022 국가 온실가스 인벤토리 보고서, 2022. 12.

다. 국내 온실가스 배출 산업의 한계 및 변화

□ 한국의 온실가스 배출량은 전 세계 8위

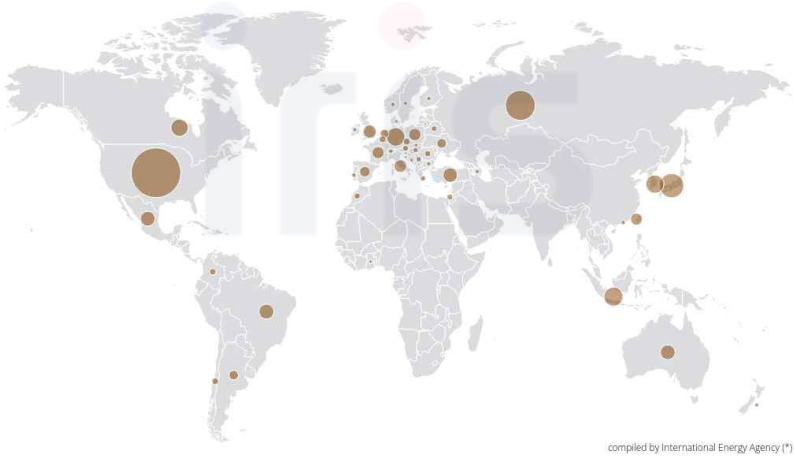
❍ 우리나라는 경제 규모 순위(‘21년 10위)보다 온실가스 배출량 순위(‘21년 8위)가 높아, **탈탄소 사회구조**로의 **전환**이 **필요**한 상황

- 동일한 경제활동에 더 많은 온실가스를 배출하고 있다는 의미

❍ 한국의 탄소배출 정점 시기는 ‘18년으로서, 선진국과 비교하여 탄소배출 정점 시기가 늦은 관계로 **탄소중립 달성 기한**이 상대적으로 **촉박**

- **에너지 多소비 산업**이 많은 **제조업 기반 경제**, 주요국 대비 **불리한 재생에너지 생산기반** 등으로 탄소중립 이행은 한국에게 도전적 과제

〈그림 Ⅱ-9〉 전 세계 온실가스 배출량 순위 및 배출량



*주 : 2020년 에너지부문 배출량 기준
*출처 : 국제에너지기구(IEA). 접속일(2023.1.8.)

(단위 : $MtCO_2$, %)

국가	배출량	비중
중국	12,466	32.9%
미국	4,752	12.6%
인도	2,649	7.0%
러시아	1,943	5.1%
일본	1,085	2.9%
이란	711	1.9%
독일	666	1.8%
한국	**627**	**1.7%**
인도네시아	603	1.6%

*주 : 2021년 에너지부문 배출량 기준
*출처 : JRC-EDGAR

□ 정부는 2050 탄소중립을 법제화하고 관련 제도기반을 마련

❍ 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」을 2021년 제정('22.3 시행)하여, 2050 탄소중립 달성을 국가비전 및 국가전략으로 설정

❍ 탄소중립 이행을 위한 거버넌스 마련, 법적기반 강화, 목표 수립 등을 통해 장기적 관점에서 탄소중립 이행기반을 구축하고 주요 사항을 법제화

- (감축목표) 2050년 탄소중립의 중간경로인 2030년 국가 온실가스 감축목표를 2018년 대비 40%(기존 26.3%)로 상향하고 추진상황을 매년 관리
- (민관거버넌스) 기존 녹색성장위원회를 계승하여 국가 탄소중립 정책을 총괄할 컨트롤타워인 탄소중립 녹색성장위원회 구성
- (재정기반) 온실가스감축인지예산제를 도입하고 기후대응기금 조성
- (예결산) 2023년도 예산부터 온실가스감축인지 예산제도를 도입

□ 코로나19 이후 증가한 에너지 소비는 온실가스 감축 이행에 불리

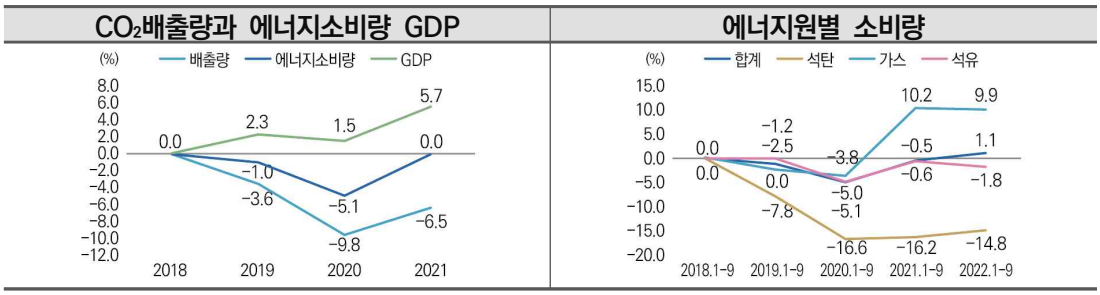
❍ '21년 에너지소비량은 코로나19 이전인 2019년 소비량을 초과했으며, 정점으로 추정되고 있는 '18년 에너지소비량과 동일한 수준

- '22년 9월까지의 에너지소비량은 전년 동기대비 1.6% 상승, '18년 동기대비 1.1% 상승

❍ '21년 온실가스배출량(잠정치)은 코로나19의 영향으로 '20년 9.8%까지 하락했으나 '21년에는 반등하여 '18년 대비 6.5% 하락한 수준

❍ 에너지원별 소비량은 '22년 9월까지 석탄과 석유에서 '18년 대비 각각 14.8%와 1.8% 감소하였으나, 가스는 9.9% 증가

〈그림 Ⅱ-10〉 코로나19 이후 에너지소비량 및 CO_2 배출량



*주 : 2018 = 100으로 각 년도의 증감률(%)을 의미
*출처 : 에너지통계월보

□ 우리나라의 에너지집약도와 탄소집약도는 OECD 중 높은 수준

❍ GDP당 에너지소비량을 의미하는 에너지집약도는 한국이 5.6인 반면, 미국은 4.51, 일본은 3.3, 프랑스 3.29, 독일 2.76으로 우리나라가 경쟁국 대비 크게 높은 수준

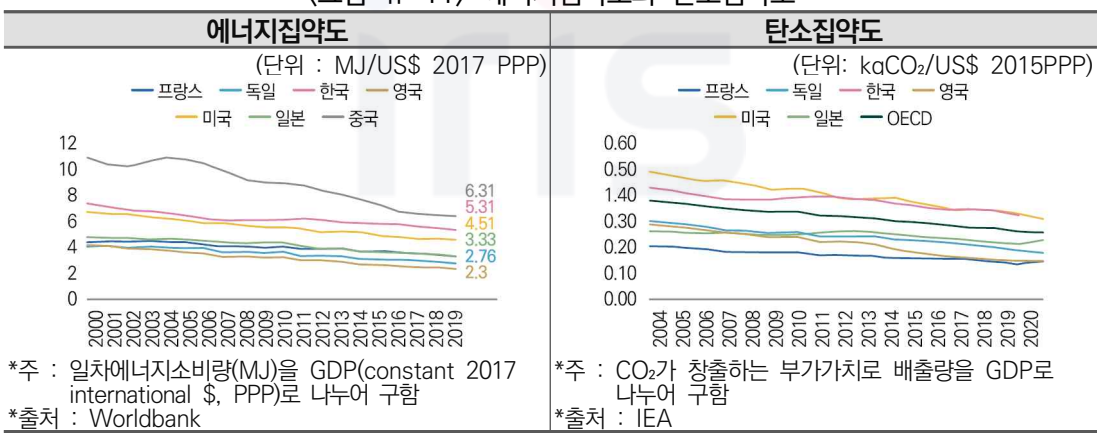
- 에너지집약도는 에너지 효율성이 높아질수록, 에너지 다소비 산업의 비중이 낮을수록, 고부가가치 제품을 생산할수록 낮아짐

❍ 우리나라 탄소집약도는 주요 OECD 국가 중 미국과 함께 가장 높음

- 높은 탄소집약도는 저탄소 에너지원의 이용이 저조함을 의미

❍ 즉, 우리 경제는 **에너지효율성이 낮고 화석연료 비중이 높은 에너지소비 구조**를 갖고 있음을 의미

〈그림 Ⅱ-11〉 에너지집약도와 탄소집약도



□ 높은 에너지집약도는 높은 제조업 비중에 기인

❍ 제조업 비중과 에너지집약도의 산포도를 그리고 중간값을 기준으로 구분하면, 한국은 제조업 비중과 에너지집약도가 모두 높은 그룹

❍ G20 중 한국은 중국과 함께 제조업 비중이 높으며 에너지집약도도 높은 국가로 분류 가능

❍ 한국의 탄소중립 이행경로는 에너지집약도가 낮은 국가 중 제조업 비중이 높은 국가의 성장경로를 추종할 필요

- 일본·독일과 같이 제조업 비중이 높으며 에너지집약도가 낮은 국가의 온실가스 감축경로와 유사할 것으로 전망

〈그림 Ⅱ-12〉 G20 국가의 제조업 비중과 에너지집약도

(단위 : %)

*주 : 점선은 G20 중간값
*출처 : Worldbank

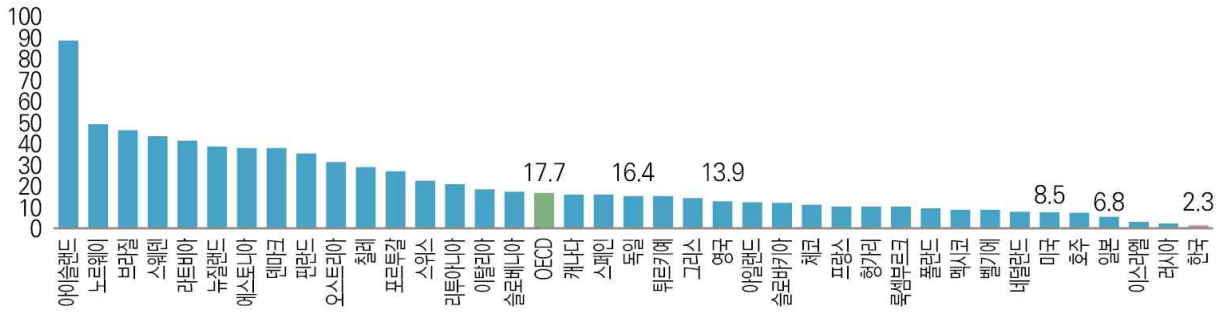
□ 높은 탄소집약도는 저탄소에너지 공급 및 소비 부족에 기인

❍ 우리나라의 일차에너지 공급에서 **재생에너지**가 차지하는 비중은 OECD 국가 평균(17.7%)에 미치지 못할 뿐 아니라 **OECD 국가 중 최저**

- 2020년 재생에너지 비중은 2.3%로 제조업 비중이 높은 일본(6.8%)이나 독일(16.4%)과도 차이가 있으며 G20 국가 중에서는 사우디아라비아(0.03%), 러시아(2.9%) 다음으로 낮은 수준

〈그림 Ⅱ-13〉 일차에너지 중 재생에너지 비중 국제비교

(단위: %)

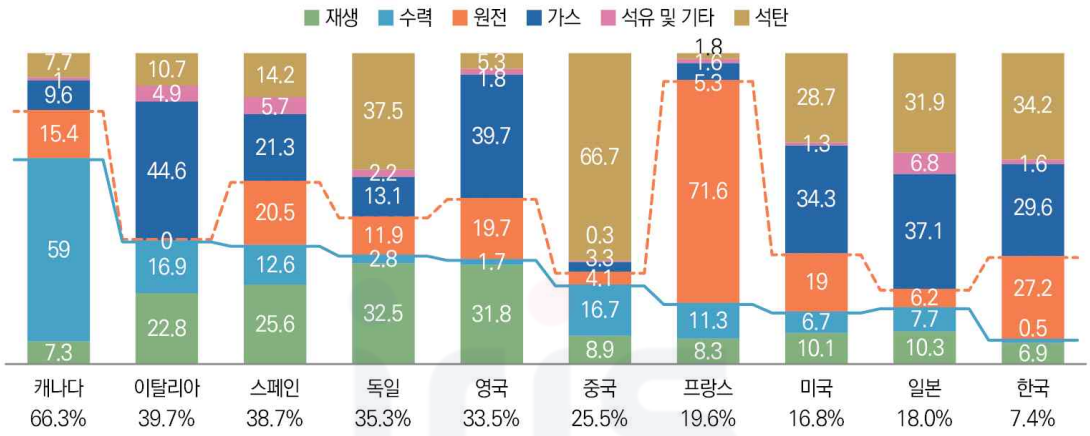


*출처 : OECD

❍ 전 부문 에너지원의 전기화가 빠르게 일어나면서 전력수요가 증가하며 저탄소 전원의 구성이 온실가스 감축에 주요 요소로 작용할 전망이며, 주요국의 저탄소 전원 비중은 우리나라보다 크게 높은 수준

- 재생에너지에 수력발전을 포함하면, 캐나다는 총 발전량의 66.3%가 무탄소전원이며, 이탈리아 39.7%, 독일 35.3%, 영국 33.5%, 중국 25.5%
- 원전을 저탄소 전원에 포함하면 캐나다, 스페인 영국, 프랑스는 50%를 초과

〈그림 II-14〉 주요국의 에너지원별 전원구성(2020년)



*출처 : 일본 경제산업성(주요국), 전력통계월보(한국)

❍ 한국의 저탄소에너지 비중은 2030년에도 주요국 대비 낮을 것으로 예상

- 발전용 에너지원 구성에서 우리나라는 화력발전 비중을 2021년 65.6%에서 2030년에는 42.6%로 낮추고, 원전 32.4%, 신재생 21.6%의 저탄소 전원을 확대할 계획이나, 미국과 EU의 신재생에너지 보급 목표에 미치지 못함

□ 2030 감축목표 달성을 위해 당초 계획보다 빠르게 온실가스를 줄일 필요

❍ 2022년 9월까지 에너지소비량은 전년대비 증가

- 2030 국가온실가스감축목표 설정 당시 정부는 2018년 이후 연평균 4.2%의 감축을 예상하였으나, 배출량이 증가함에 따라 연간 온실가스 감축량을 재산정할 필요

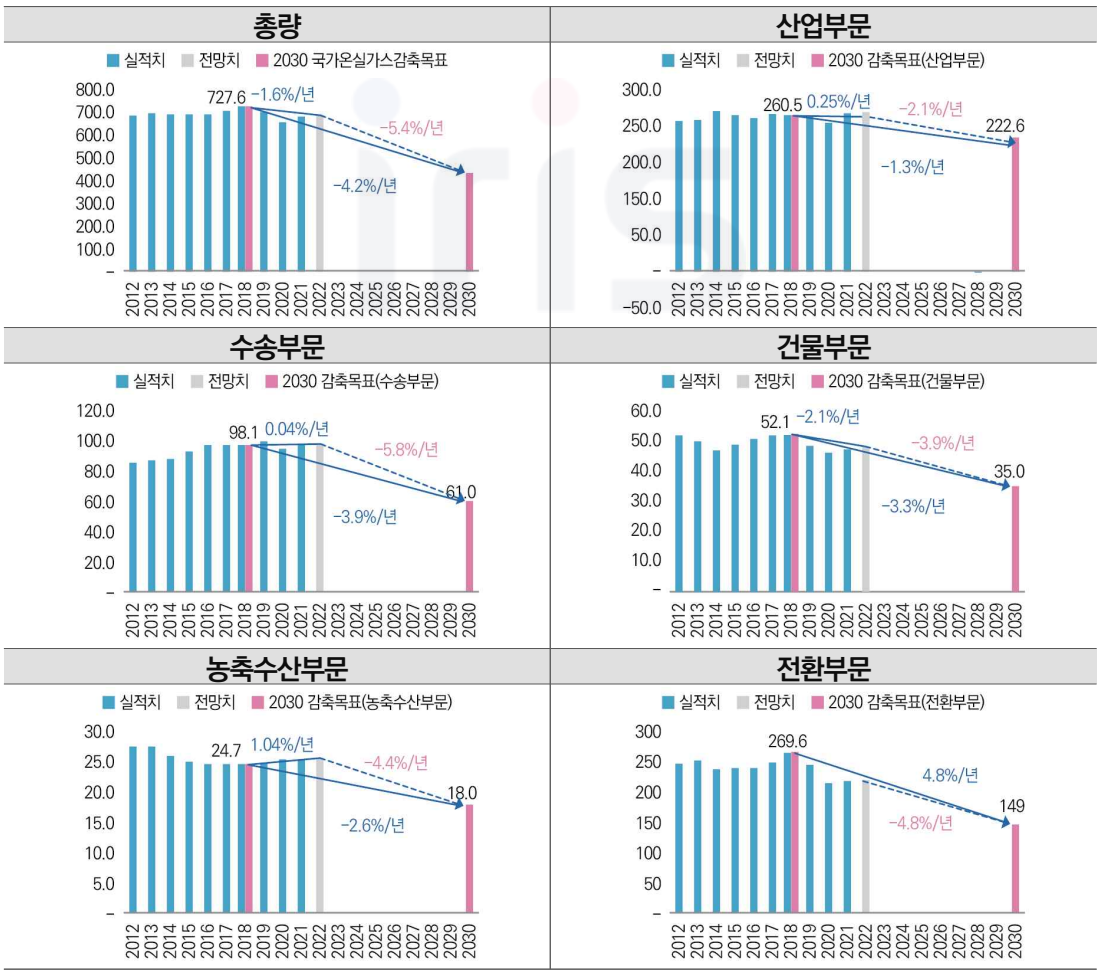
❍ 국회예산정책처(2022)*의 국가온실가스배출량 전망을 부문별 실적치에 적용한 결과**, 2030년 국가온실가스감축목표 달성을 위한 연평균 감축률은 5.4%로 당초 계획인 4.2%보다 높아질 것으로 전망

*국회예산정책처, 「2023년 및 중기 경제전망Ⅱ」, 2022.10

**국회예산정책처(2022)는 2022년 국가온실가스배출량을 전년대비 0.4% 상승할 것으로 전망하므로 2022년의 분야별 온실가스배출량은 2021년 배출량 대비 0.4% 증가한 것으로 가정

- 산업부문 2030 감축목표를 위한 연평균 감축률은 1.3%였으나 배출량이 증가하여 향후 8년간 연평균 감축률은 2.1%로 높아질 것으로 전망
- 수송부문의 2030 감축목표를 위한 연평균 감축률은 5.8%로 전망
- 건물부문의 2030 감축목표를 위한 연평균 감축률은 3.9%로 전망
- 농축수산부문은 2022년까지 배출량이 연평균 1.04%씩 증가하여 감축률이 4.4%로 상승
- 다만 전환부문은 저탄소전원의 증가로 당초 목표했던 연평균 감축률 4.8%를 동일하게 유지할 전망

〈그림 Ⅱ-15〉 부문별 온실가스 감축 성과 및 전망



*주 : 2021년까지의 배출량은 실적치이며 2022년 배출량은 국회예산정책처(2022)의 전망치 0.4% 증가분을 각 부문에 일괄 적용한 수치

*출처 : 국회예산정책처, 2023년 경제 현안 분석, 2023. 01. 31.

라. 시사점

□ 새로운 국제질서에서 주요국의 온실가스 배출량 변화율 하락

❍ 모든 G20 회원국에서 온실가스 배출량 변화율이 파리협정 이후 하락

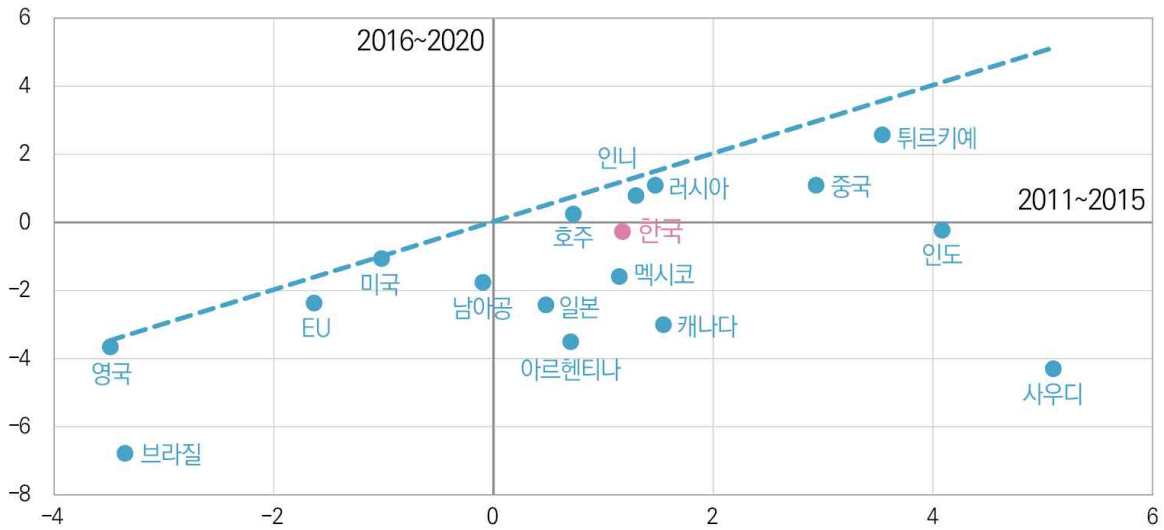
- G20 회원국들을 대상으로, 2016년 이전 5개년(2011~2015)의 연평균 변화율과 이후 5개년(2016~2020)의 연평균 변화율을 비교
- 모든 점들이 45도 대각선 아래 영역에 위치하여, 2016년 이후 5개년 연평균 변화율이 이전 5개년 연평균 변화율 대비 하락

❍ 4사 분면에 위치한 7개국(**한국**, 일본, 인도, 사우디, 캐나다, 멕시코, 아르헨티나)는 배출량 증가국면에서 **감소국면으로 전환**한 사례

- 3사분면에 위치한 5개국(미국, EU, 영국, 브라질, 남아공)은 배출량 감소국면이 2016년 전후로 지속되고 있는 사례
- 1사분면에 위치한 5개국(중국, 러시아, 호주, 인니, 튀르키예)은 배출량 증가국면이 2016년 전후로 지속되고 있는 사례

〈그림 Ⅱ-16〉 G20 국가별 온실가스배출량 변화율

(단위 : %)



*주 : 온실가스배출량 변화율은 5개년의 연평균 변화율을 의미
*출처 : 국회예산정책처, 2023년 경제 현안 분석, 2023. 01. 31.

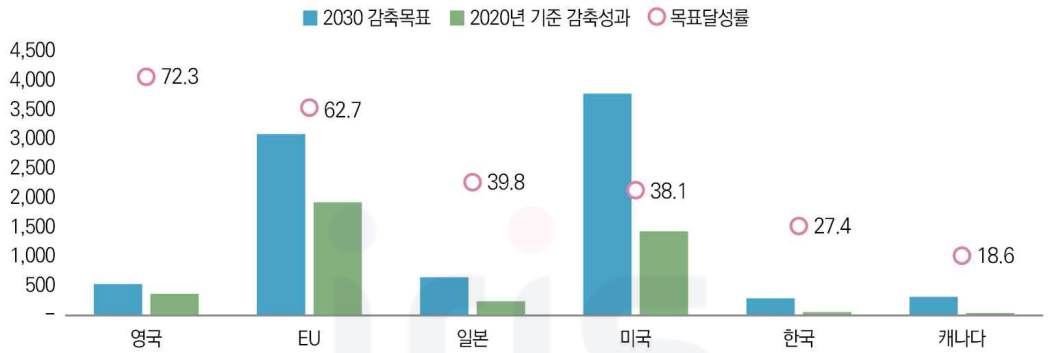
□ **우리나라와 달리 주요 G20국가는 온실가스 감축목표에 가까워진 상황으로, 온실가스 감축을 위한 대응책 마련 시급**

❍ 2020년 기준 영국은 2030년 감축목표의 72.3%를 달성했으며, EU는 62.7%, 미국은 38.1%, 일본은 39.8% 달성

❍ 우리나라의 경우, 2020년에 2030년 감축목표의 27.4%를 달성했으나, 2021년에는 온실가스 배출량이 오히려 상승

〈그림 Ⅱ-17〉 주요국의 온실가스 감축목표 달성률

(단위: 백만 톤CO_2, %)



*출처 : 국회예산정책처, 2023년 경제 현안 분석, 2023. 01. 31.

❍ EU와 영국은 국제 기후질서 선도국으로 2030년 온실가스 감축목표를 1990년 대비 55%와 68%로 설정했으며, 2020년 기준 34.5%와 49.2% 감축하였고, 미국은 2005년 대비 50% 감축을 목표로 하여 19.5% 감축

〈표 Ⅱ-9〉 주요국의 연도별 온실가스배출량과 감축목표

(단위: 백만 톤CO_2, %)

구분	1990	2005	2013	2018	2020	기준년 대비 감축성과	2030 (기준년 대비 목표)
EU	5,648.0	5,240.0	4,477.1	4,224.4	3,700.0	-34.5%	-55.0%
영국	797.8	695.4	570.2	465.9	405.5	-49.2%	-68.0%
미국	6,453.0	7,434.8	6,784.5	6,687.5	5,981.3	-19.5%	-50.0%
캐나다	603.2	729.7	720.9	729.3	672.0	-7.9%	-43.5%
일본	1,270.0	1,378.8	1,407.8	1,238.3	1,150.0	-18.3%	-46.0%
한국	**280.0**	**548.0**	**673.0**	**729.0**	**652.0**	**-10.6%**	**-40.0%**

*출처 : 국회예산정책처, 2023년 경제 현안 분석, 2023. 01. 31.

□ 제조업 및 건설업 부문, 국내 온실가스 배출 감축 속도 더딘 편

❍ 2020년 기준 한국의 제조업 및 건설업(manufacturing industry and construction) 부문 온실가스 배출*은 전체의 27.7%를 차지

*OECD 부문 분류 기준

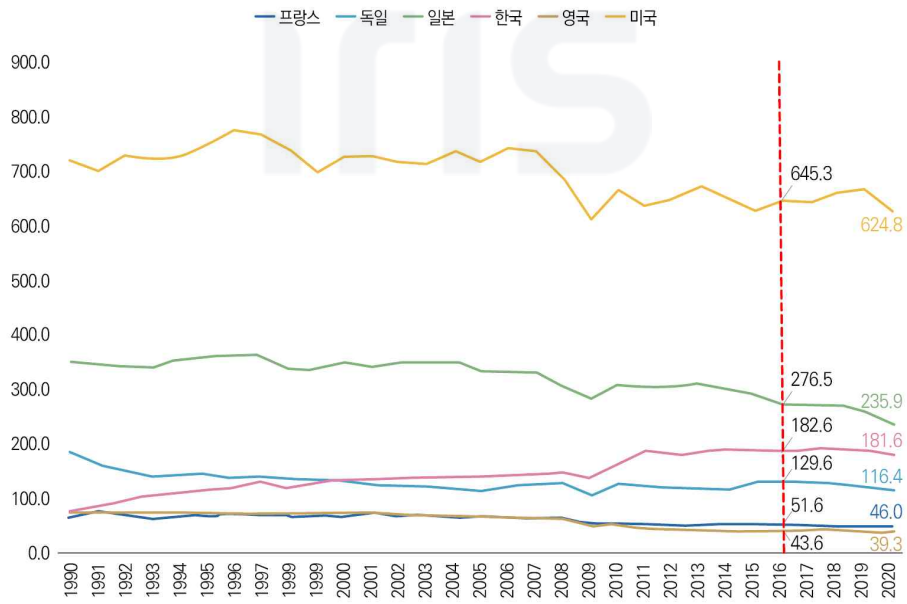
❍ 프랑스, 독일, 일본, 영국, 미국의 제조업 및 건설부문 온실가스 배출은 전체 배출량의 각각 11.5%, 16.0%, 20.5%, 9.7%, 10.4%를 차지

❍ 한국의 2020년 제조업 및 건설업 부문 온실가스 배출은 파리협정이 발효된 2016년 대비 0.5% 저감에 그침

- 프랑스, 독일, 일본, 영국, 미국의 2020년 온실가스 배출은 2016년 대비 각각 10.9%, 10.2%, 14.7%, 9.8%, 3.2% 저감

〈그림 Ⅱ-18〉 제조업 및 건설업 부문 온실가스 배출 비교

(단위 : 백만 톤 CO_2)



*출처 : OECD

❍ **(온실가스 감축 혁신기술 개발로 성장동력 확보)** 국가와 기업이 얼마나 빨리 온실가스 배출량을 줄이는가가 지속 가능 성장을 위한 국가 경쟁력으로 작용할 전망, 온실가스 감축을 위한 혁신형 기후 · 에너지 기술개발 집중 필요 → **혁신적인 저탄소 경제전환**과 **기술개발**을 위한 정부의 투자 및 지원제도 마련으로 **민간부문 투자 유도**

2. 메가트렌드 분석

가. 국내외 미래사회환경 분석

(1) 정책적 트렌드

□ 불확실성과 위기 상황의 연속으로 국가 간 협력보다는 견제와 분쟁이 심화되고, 자국 중심의 이기주의에 기반한 신국가주의가 확산

❍ 혁신성장이 국가의 미래 먹거리를 쥐고 있음에도 불구하고 코로나19 대유행으로 경제적 비용이 증가하며 정부의 재정 확보 어려움 등이 있고 다면적이고 복잡한 글로벌 문제가 촉발하며 글로벌 해결방안이 필요함을 시사

- **(불확실성 증가에 따른 국가 주도의 역할 강화)** 무역분쟁, 각종 재난재해, 금융위기 등 단일국가가 직면한 수많은 위기와 문제 속에 국가의 주도적인 역할이 강력히 요구되고 있음

※ 테러, 사이버공격 등 국제 안보위협이 심화되고 사회발전에 따라 생기는 사각지대와 불균형 등을 해소하는 정책적 도구와 전략 마련이 상당히 강조되는 상황

- **(기술·경제·자원을 둘러싼 국가간 경쟁 심화로 인한 국제사회 파편화)** 아시아 신흥국의 추격, 코로나19 팬더믹으로 경제적 성장의 한계를 보이는 미국과 유럽 권역으로부터 다양한 정치적 견제의 움직임과 이기주의가 대두

■ 국가 간 기술과 무역을 둘러싼 분쟁, 국제협조가 필수적인 환경 및 국가안보 협의에서의 탈퇴 움직임 등이 선진국을 중심으로 다수 발견

■ 경제 G2 (미국과 중국)의 무역갈등, 한일갈등 및 북한정권의 국제적 위협 여러 현안에 대한 갈등이 심화

- **(코로나19, 기후변화, 난민증가 등 국제협력이 수반되는 글로벌 대응 이슈 증가)** 환경에 대한 이슈는 단일국가의 이슈가 아닌 세계 공통의 인류가 직면한 문제로 국경에 관계없는 협력과 공조가 전제될 것을 강조

■ 또한, 각종 전쟁으로 발생하는 난민과 경제불황으로 이동하는 이민자에 대한 복지, 의료, 교육, 주거환경 마련 등에 대한 정책적 비중이 강화될 필요가 제기되는 상황

□ **(신기후체제의 등장)** ‘15년 12월 프랑스 파리에서 개최된 제21차 기후변화 협약당사국총회(COP21)에서 195개 기후변화협약 당사국의 합의를 통해 파리협정(Paris Agreement)이 채택

❍ ‘20년까지 지속된 교토체제(교토의정서)가 막을 내리고, ‘21년부터 신기후체제인 파리체제가 새롭게 시작

❍ 신기후체제는 **인류 생존**을 위한 명확한 **목표 온도 설정**에 합의하였으며, 선진국 이외 모든 당사국이 **기후변화 대응**에 **참여**하는 것이 특징

- 파리협정에서는 지구 온도를 산업화 이전 대비 2℃ 이내 상승으로 억제하며, 나아가 1.5℃ 이내 상승을 달성하도록 노력한다는 장기목표를 설정(파리협정 제2조 1항(a))
- 중국, 인도 등 개도국의 온실가스 배출량이 이미 선진국의 배출량을 크게 상회하는 상황으로 개도국의 참여 없이는 기후변화 문제 대응이 불가능

□ **(탄소중립(Net Zero) 관련 논의 등장 및 확산)** 탄소중립은 온실가스 배출량과 흡수량이 같은 상태로 순배출량이 ‘0’이 되는 것을 의미하며 유엔기후변화협약(UNFCCC)은 1.5℃ 목표 달성을 위해서는 2050년 탄소중립 필요성 강조

❍ 단순히 온실가스 흡수량을 늘리는 것이 아닌 온실가스 배출은 최소화하고 산림, CCUS 등을 통해 불가피한 배출은 흡수하는 것을 의미

❍ 파리협정에 따라 각 당사국은 2020년까지 2050년 장기저탄소발전전략을 수립·제출

- 2050 Long-term low greenhouse gas, Emission Development Strategies (LEDS, 2050년 장기 저탄소 발전전략)는 2030 국가온실가스감축목표(NDC)와 연계되는 국가 중장기 비전으로 2050온실가스 감축목표를 포함
- 미국, 일본 독일, 영국 등 16개국에서 UN에 2050 LEDS를 제출

❍ UN은 ‘19년 9월 ‘기후행동 정상회의’를 개최하고 세계 각국의 2050 탄소중립 참여를 촉구

- ‘19년 11월 유럽연합은 2050 탄소중립을 선언하였고, 탄소국경세*를 언급하며 국제사회에 탄소중립 동참을 권고

*탄소국경세는 기후변화 대응이 미흡한 국가로부터 수입되는 제품에 높은 세금을 부과하는 정책으로 현재 유럽, 미국을 중심으로 논의가 급격하게 확산

- ‘20년 9월 세계 온실가스 배출량 1위인 중국이 2060 탄소중립을 선언, 2020 10월 우리나라와 일본이 2050 탄소중립을 선언

□ **(국가별 저탄소 정책 추진)** EU, 미국, 중국 등 주요 국가의 탄소중립 선언 등 전 세계적인 탄소중립 선언이 가속화되며 국가별 글로벌 사회에 책임을 분담

❍ EU는 글로벌 친환경 정책을 선도하면서, 新성장전략인 ‘그린딜(Green Deal)’을 채택하고 2030년까지 1조 유로를 투자할 계획

❍ 미국은 바이든 대통령이 취임하면서 파리협정에 재가입하고, 기후정상회의를 개최하여 글로벌 리더쉽 회복 의지 밝힘

❍ 중국은 세계 최대 CO_2 배출국으로써 2060년까지 탄소중립을 선언하며 탄소배출 감축 목표를 상향하는 등 기후변화에 적극 대응

❍ 세계 각국이 국가 온실가스감축목표 갱신 및 장기저탄소발전전략(LEDS)을 UNFCCC에 제출하며 장기적인 탄소배출 감축을 추진

- 영국은 ‘90년 대비 80% 감축을 2050 목표로 설정하고 녹색성장을 위한 녹색투자기금 활성화, 에너지 부문 생산성 및 효율성 강화, 자연자원 가치증대, 공공부문 및 정부 주도적 참여 정책 추진
- 독일은 ‘90년 대비 80~95% 감축을 2050 목표로 설정하고 에너지 효율 및 재생에너지 확대, R&D 등을 강조한 부문별 이행전략 제시, 생태세제 개혁, 교육 및 정보 공유 확대 정책을 추진
- 미국은 ‘05년 대비 80% 감축을 2050 목표로 설정하고 탈탄소경제를 향한 심층 순배출 경제 추구를 비전으로 Non-CO_2 배출 저감, 산림부문에 의한 흡수원 증대 등 정책을 추진

- 캐나다는 '05년 대비 80% 감축을 2050 목표로 설정하고 부문별 전력화 극대화 및 HFCs 등 Non-CO_2 배출 저감, 저탄소 소비로의 행동전환 정책 등 추진
- 프랑스는 '90년 대비 75% 감축을 2050 목표로 설정하고 탄소 발자국 저감, 공공 인식 증대, 지속적인 토지관리 및 폐기물 관리를 통한 순환경제로의 전화 이행 강조 등 정책 추진

❍ 유럽기후법안, 탄소국경조정, 탄소세, RE100 등 저탄소 관련 주요 제도 및 이니셔티브가 수립되며 글로벌 차원의 적극적인 탄소중립 추진 의지

- 2050년 탄소중립 목표에 법적 구속력을 부여하여 사회적으로 공정하고 비용효과적인 관점에서 EU의 모든 정책을 탄소중리 목표에 부합되도록 하기 위하여 EU 집행위원회는 유럽 기후법안(European Climate Law)을 의회에 제출
- 탄소배출에 가격을 부여하여 배출 주체에게 비용을 부담하도록 하는 수단의 일환으로 '23년부터 유럽에서 시행을 예정으로 하는 탄소국경조정을 도입하여 온실가스 배출규제의 강도가 상이한 국가간 무역에서 세금 등 비용을 부과하여 국가 간 감축 의욕의 차이를 보정
- '14년 Climate Week NYC에서 재생에너지 보급과 기후변화 대응을 위한 이니셔티브로 기업이 2050년까지 기업 활동에 필요한 에너지를 친환경적인 재생에너지로 100% 전환하는 것을 목표로 하는 RE100 캠페인이 시작되었으며 '19년 말 기준 RE100 캠페인에 참여 중인 기업은 211개

❍ 지속 가능한 발전체제를 구축함으로 환경을 보전하는 것이 중요하다는 국제적 공감대를 형성
❍ 기후변화 협약 당사국의 합의로 파리협정이 등장함에 따라 지구 온도 상승 억제 목표가 2℃ 이내로 설정되었으며, 개도국의 참여도 필수적으로 요구
❍ 다양한 국가가 2050년을 중심으로 탄소중립 목표를 설정하고 선진국뿐만 아니라 개도국의 참여가 필수적인 현실
❍ 다양한 국가들이 탄소중립을 실현하기 위한 정책과 제도를 마련하고, 탄소국경세와 같은 新정책 논의·확산
❍ 탄소세, RE100 캠페인 등 환경 보호와 탄소 중립을 위한 적극적인 정책과 제도가 주목받으며 환경이 아닌 경제 이슈로 판도가 변화

(2) 경제적 트렌드

□ 기술 진보와 사회 변화로 국제적인 경제지형 중심축 이동이 감지되고 코로나19 이후 하향 조정되는 경제성장률로 많은 변화가 예상

❍ 기술혁신속도의 증가로 다양한 영역의 경제성장 조짐이 있는 반면, 기술을 둘러싼 경쟁과 분쟁 그리고 코로나19 등 경제성장을 위협하는 위기요소로부터 안정적으로 대응할 역량 강화가 중요

- **(미・중 기술패권 경쟁으로 인한 GVC 재편)** 4차 산업혁명 발전이후 기술선점과 기술경쟁력을 중심으로 국제지위가 결정되는 양상을 보이며 경제 주도권을 가진 미국과 중국 간 경제적・정치적 견제 심화

*(美) 중국의 주요 인공지능 및 IT기업에 대한 무역제재 명단 발표 및 중국산 제품 관세율 인상 등

- **(중국을 필두로한 아시아권으로 경제질서와 중심축의 이동 조짐 확대)** 현재 경제성장 기반을 다지기위한 리쇼어링 전략이 선진국을 중심으로 나타났으나, 아직까지는 국제협력에 기반한 니어쇼어링이 실질적으로 유지 중

■ '20년 아시아 태평양 15개국이 역내포괄적경제동반자협정 (RCEP, 알셉협정)을 체결하며 국가 간 무역장벽을 철폐하고 수출입을 자유롭게하여 기업 소득의 극대화와 소비자 권익을 보장하는 국제적 협정을 추진

■ 실제로 미국과 유럽권의 세계 GDP 점유율은 점진적으로 감소하는 모습을 보이며, 중국과 인도의 성장이 두드러지게 나타나고 있음

- **(전통산업의 몰락과 코로나19 펜더믹으로 인한 국제적 경제불황 장기화)** 4차 산업혁명은 전통적인 산업판도를 바꾸고 있어 이에 대한 재빠른 기술도입과 새로운 환경에 적응할 새로운 기준 마련 등이 요구되고 있음

■ 세계은행은 여전히 코로나19로 인한 여파로 향후 세계경제의 V자 등반은 어려울 것이라고 전망하였으며, 제대로 대응하지 못하면 '29년까지 평균 세계경제 성장률은 1.9%에 그칠 것으로 예상

- **(지속 가능 경영과 경제적 주체의 사회적 역할 참여 요구 증대)** OECD는 각국이 직면하고 있는 사회문제 해결은 국가의 중심적인 역할이 중요하다고 강조하는 한편, 기업의 사회적 참여를 강조

■ 또한 환경경영, 사회책임경영, 지배구조를 의미하는 ESG에 대한 관심도가 증가하고 있고 글로벌 표준 역시 높아지고 있는 상황

□ 특히 경제활력을 회복하기 위해 기술적 성장과 더불어 지속가능성을 함께 고려한 균형있는 성장전략이 요구되는 상황

❍ 국가 또는 시민사회로만은 인류가 공통적으로 직면한 사회와 환경문제를 해결할 수 없기 때문에 기업의 주체적인 역할을 기대

- 우선 시장규칙의 영향을 미치는 정부의 규제가 강화되고 있으며, 이에 따른 기업의 발빠른 대응이 사회적 영역으로 확장되고 있는 추세

■ 우리나라도 '17년부터 자원순환사회전환촉진법을 시행하는 등 국제사회에서 추구하는 지속가능한 발전방향을 지향

❍ 무엇보다도 기후변화와 환경오염에 대응하는 전략마련이 중요한 영역으로 자리잡고 있음

❍ 첨단기술을 앞세운 기업들 그리고 제조기업들은 막대한 에너지를 사용하고 자원을 사용함에 대한 사회적 책임을 연대할 방안을 마련할 것을 주문

- 아마존은 기후협약을 세계 최초로 서명한 회사로 2040년까지 탄소 배출량을 0으로 만들기로 발표하고 이를 이행하기 위한 구체적인 방안으로 '22년까지 1만대의 배송용 차량을 전기차로 전환하고 '30년까지 10만대를 투입할 것을 밝힘

□ **(탄소중립 이행 패러다임)** '탄소중립'은 글로벌 산업환경의 급속한 변화 및 새로운 산업구조로의 전환을 가속화하는 메가트렌드로 작용

❍ 우리나라는 산업 부문의 탄소 배출량 규모가 크고 주요국 대비 제조업 비중이 높아 탄소중립 이행 관련 영향이 상대적으로 클 것으로 예상

- '글로벌카본프로젝트'(GCP) 자료에 따르면 '19년 세계 온실가스 배출량 순위는 중국, 미국, 인도, 러시아, 일본 등의 순이며, 한국은 9위에 해당하여 탄소 다배출 국가로 분류

- '20년 주요국의 국내총생산(GDP)에서 제조업이 차지하는 비중은 한국이 24.8%로 주요 선진국 대비 높은 수준

〈표 Ⅱ-10〉 2020년 국가별 GDP 대비 제조업 비중 상위 10개국

아일랜드	중국	한국	체코	슬로베니아	일본	인도네시아	터키	독일	스위스
34.5%	26.1%	24.8%	21.9%	20.6%	20.3%	19.8%	19.1%	18.1%	18.1%

*출처 : 세계은행(World Bank) Data

❍ 특히, '19년 기준 **국가 탄소 배출량**의 **약 57%**를 **산업 부문**이 차지하고 있는 상황

〈표 Ⅱ-11〉 2017~2019년도 할당업체 탄소 배출량 추이

(단위 : 백만톤)

구분	2017년	2018년	2019년	비중
산업 부문	**317.2**	**323.5**	**340.3**	**57.0%**
철강	102.6	104.9	120.1	20.1%
석유화학	54.6	58.3	57.7	9.7%
시멘트	44.9	36.5	42.2	7.1%
정유	28.9	30.6	32.1	5.4%
반도체	14.2	17.1	17.9	3.0%
기타	72.0	76.1	70.3	11.7%
전환 부문(발전·집단에너지)	257.1	266.8	235.4	39.5%
기타 부문(건물·수송·공공폐기물)	26.0	25.4	20.8	3.5%

*출처 : 국가온실가스 종합관리시스템(NGMS)

❍ 친환경·녹색경영 등이 국내외 기업들이 향후 추구해야 할 핵심전략 방향으로 다뤄지고 있음

❍ 에너지 소비와 탄소배출에 큰 비중을 차지하는 주요 IT기업, 제조업 등이 선제적으로 탄소배출 제로화 선언을 하는 등의 모습을 보이고 있음

❍ 새로운 국제기후질서는 온실가스 감축을 위한 사회경제 전반의 변화 유도

❍ 국제기후질서는 에너지 공급과 이용 뿐 아니라 산업구조와 기업 투자, 경영활동, 가계의 소비활동에도 영향을 줄 것으로 예상

❍ 파리기후체제로 대표되는 새로운 국제기후질서는 온실가스 감축이 경제성장과 동반할 수 있는 혁신기술 확산과 기후금융 제도를 추구

(3) 사회적 트렌드

□ 사회구조변화를 촉진하는 트렌드는 인구적, 환경적, 기술적 특성에 의해 정의

❍ 사회구조 변화는 삶의 방식 변화에 따른 다양한 가치기준의 등장, 연결성이 강화된 도시발전과 도시 집중화 등 여러 이슈가 미래사회 변화를 촉진할 트렌드로 주목

- **(저출산과 고령화 심화에 따른 총인구 감소)** 65세 이상 인구의 증가로 인한 인구구조변화, 초저출산 사회와 세대구성의 1인 가구화, 국가의 이동이 활발해짐에 따른 다문화 사회화
- **(도시화 진전에 따른 지역불균형과 도시 생태계 변화)** 도시인구 밀집과 생산·소비 확대
- **(가치관과 기준 및 문화적 다양성 확대로 개인화 라이프스타일 변화)** 개인과 사회의 정체성이 복잡·다양화(개인주의화, 젠더갈등, 세대갈등 등)
- **(포스트코로나-위드코로나에 대응한 소비·생활·직무환경의 비대면·원격화)** 디지털 기술의 연결성 극대화로 가능해진 비대면 시대가 코로나19로 급진전

□ 주요 기관이 핵심적으로 주목하고 있는 사회적 트렌드는 **'고령화'**와 **'인구구조 변화'**이며 이들 이슈가 시사하는 특징은 환경적인 대응방안도 복합 연관

❍ 의료기술발달과 영양공급 수준이 높아지면서 기대수명이 보다 늘어나며, 우리나라를 포함한 주요 선진국에서 고령화에 따른 대응이 중요한 상황으로 진전

- 저출산과 맞물려 장기적으로 인구감소 위기에 직면할 것으로 예상되나, 현재 고령화로 인한 세계인구는 2040년까지 약 88억 명으로 증가할 것으로 예측

*고령화가 진행됨에 따라 다양한 사회적 이슈들이 화두가 되고 있음 : 정년연장, 농촌 및 기피산업 종사자 평균연령 증가, 전체적인 산업 생산력 저하 등

❍ 현 시점에서 인구 증가와 경제적 지위의 향상으로 생활수준이 향상되며 개인의 자원소비량이 폭발적으로 급증

- 세계 인구의 14%를 차지하는 고소득국가가 지구 생태 수용력의 52%를 사용하며 한정된 자원을 과용하는 상황
- 기후변화 영향이 중첩되며 전 세계적으로 수자원 부족은 매우 심각한 상황으로 전 세계 인구 25%가 이미 물 부족 현상을 겪고 있는 상황
- ‘21년 8월 미국의 최대 저수지이자 서부지역 주요 상수원인 콜로라도강 미드호 물 부족 사태를 선언하며, 선진국에서도 자원관리가 중대한 사회적 이슈

□ 인구학적 조사에 기인한 **탄소 불균형**도 문제로 지적

❍ 국제구호개발기구와 스웨덴 환경연구소가 공동으로 조사한 탄소배출량 변화 분석 보고서에서 탄소 배출량이 소득 구간과 직결하는 연관성이 나타남을 분석

❍ 통계적으로 상위소득 10%에 해당하는 계층이 지난 25년간 탄소 배출량 증가에 기여한 비율이 46%에 육박하는 것으로 조사

- 선진국을 중심으로한 과잉소비가 기후위기에 막대한 영향을 끼치고 있어 기후변화 대응은 사회적으로도 해결할 최우선적 과제임을 강조

□ 자연과 공존해야하는 이슈가 점점 강조되고 있으나, 여전히 더 많은 역량 투입과 **사회적 비용 요구**가 **심화**

❍ 경제성장과 인구증가로 인류가 소비하는 에너지와 자원의 수요는 지속적으로 증가하는데 비해 자원소진과 한정된 자원의 고갈이 가속화

- **(생물학적 다양성의 소실로 인한 생태계 질서파괴 우려)** 생태자원의 생존과 자생을 위한 화분매개 역할을 하는 꿀벌의 생존위협이 가시화되며 상당한 생태적 다양성 결여 가능성이 우려되는 상황
- **(한정된 자원과 늘어나는 수요에 대비한 에너지·자원 대응 필요성 급증)** 글로벌 경제성장과 인구 증가로 인해 총 에너지 수요는 꾸준히 증가*하는데 비해 전통 화석연료의 채굴가능량은 한정

*2040년 세계 에너지 수요는 약 182.9억 TOE(Ton of Oil Equivalent)으로 ’12년 대비 약 37% 증가 전망

- **(지구 생태계의 지속 가능성을 위한 국제협력과 규제 강화)** 기후변화에 따른 국제 환경규제에 대응하기 위하여 온실가스 배출 저감을 위한 신재생에너지기술과 에너지효율 향상기술이 확대될 전망

□ 기후변화로 인류를 위협하는 다양한 요인의 증가로 지구 생태계 회복과 공존할 수 있는 기술개발과 사회적 니즈를 충족을 위한 정책적 대응, 규제 발의 중

❍ **(환경 등을 고려한 소비 풍조 확산)** 환경기준이 무역장벽으로 작용하는 등 사회적 가치를 중시하는 소비가 세계 무역의 흐름에도 영향

- 환경친화적 기술개발 증가, 생산제품과 서비스를 공유하는 공유경제의 흐름 지속

❍ 지구 차원의 자원고갈 이슈가 대두되고 있고, 자원의 순환활용을 위한 3R(Recycle, Reuse, Reduce)기술의 중요성이 대두

- 바이오기반 소재 (Bio-based Material)의 활용이 주목받을 전망이며, 바이오기술의 발전으로 화석자원 대체가 가능한 수준의 경제성 확보기술이 중요

□ 무엇보다도 탈탄소화 기조가 국가와 기업, 사회 모두 동참하여 대응책을 수립하고 있는 핵심사안으로 환경적으로 가장 우선적 의의

❍ 신기후체제(‘15 파리협정) 타결 이후, 한층 강화된 온실가스 감축 의무 속 지속 가능한 환경, 경제성장 상생에 필요한 환경변화 대응 기술개발 요구

- 탄소중립에 대한 대응으로 탄소배출량을 획기적으로 낮추기 위한 노력들이 진행되고 있고, 궁극적으로 에너지 전환으로 연결하여 신재생에너지로 발돋움하기 위한 기술개발이 병행 중

❍ 인간의 자원소비량은 지구 생태계의 복원력 속도를 추월하여 과잉소비를 하고 있어 수자원 등의 부족이 극심하고, 이미 개발도상국을 포함한 세계인구의 25% 이상이 물 부족 현상을 경험 중

❍ 산업화의 진전 교통의 발달 등 사회발전으로 탄소배출량이 급격하게 늘어나고 있고, 선진국을 중심으로 한 소득이 높은 구간의 소수 인구가 절대적으로 많은 양의 탄소를 배출 중

(4) 기술적 트렌드

□ 미래사회를 변화를 견인할 기술적 트렌드는 디지털 기술을 비롯하여 나노기술, 우주기술 등 광범위한 영역에서 기술 트렌드 포착

❍ 전 산업영역의 디지털 전환, 문제해결을 위한 가치기술의 투자 활성화 등이 주목되는 기술 트렌드로 평가

- **(디지털기술의 적용범위 확대와 디지털트랜스포메이션 가속화)** 전산업에 걸쳐 디지털 기술의 적용 범위는 무한하게 확장되고 있고, 새로운 부가가치 창출이나 기존방식의 한계를 획기적으로 극복할 핵심역량으로 주목
- **(환경・안전・보건・생활 영역의 문제 해결에 혁신을 제고하는 기술개발의 활성화)** 오늘날의 기술개발은 사회문제 해결과 결합한 뚜렷한 목적성을 갖추어야 높은 가치를 인정받고 있음
- **(첨단화와 맞물려 부상하는 나노기술의 발달과 역할 확대)** 나노기술은 첨단화된 기술의 집약체로 간주되고 있으며, 반도체, 건설, 자동차, 의료 등 매우 많은 영역을 선도할 기술 영역으로 투자가 집중
- **(우주시대로의 준비와 대응)** 선진국을 중심으로 과학기술적으로 미지의 영역으로 잔존하고 있는 우주세계에서 신규자원을 발굴하고 생태계를 확장하기 위한 우주탐사 등을 활성화하는 움직임 포착

□ 비약적인 기술발전은 문제 해결의 열쇠가 되지만 동시에 문제의 근원으로 지적, 지속 가능성이 담보된 건강한 기술개발의 활성화 중요

❍ 디지털 기술, 첨단기술의 비약적인 발전이 인류사회의 풍요로움과 편리함을 제공하 며 획기적인 생산성 향상과 즉각적인 서비스를 제공하고 있지만, 기술이 일자리를 대체하며 인간을 배제하고 기술 불균형으로 인한 차별 야기

❍ 특히, 산업화 시대에 기술발전이 주는 이로움의 이면에 환경오염과 기후변화가 급격히 악화되며 근본적인 해결책을 마련하는 것이 중요한 화두

❍ 유전자 가위기술이 생명과학에 혁명으로 불리며 암 치료나 그간 접근하지 못했던 다양한 질병의 원인 규명, 품종개선 등에 기여했으나, 인간의 윤리 생명의 존엄성 등에 있어 위험성과 결과의 불확실성으로부터 자유롭지 못한 측면이 여전히 잔존

□ **기후변화의 근본적 원인 지구온난화는 산업화의 기술발전, 궤를 동반**

❍ '플라스틱'은 20세기 기적의 소재로 대변될 만큼 현대사회에 없어선 안 될 중요한 제품이지만, 그와 동시에 막대한 온실가스를 배출하며 기후변화를 촉진하는 주범

- 플라스틱 유래 온실가스 배출량이 '15년 1.8GtCO$_2$ 에서 2050년에는 6.5GtCO$_2$ 로 증가할 것으로 추산
- 플라스틱은 산업군에서 CO$_2$ 배출의 비중이 아주 높은 것으로 보기 어렵지만, 막대한 소비로 성장속도와 수요가 높아 CO$_2$ 배출량도 함께 증가할 것이 우려

*특히, 생산단계에서 60% 이상의 CO$_2$가 배출되나, 재활용률은 9% 수준으로 생산단계의 혁신과 친환경 제품으로 전환이 매우 시급

❍ 우리나라는 세계에서 2번째로 많은 포장용 플라스틱 사용량을 보이며 재활용 쓰레기 처분에 한계를 보이는 등 환경파괴와 기후변화 악화를 고려한 철저한 대책마련이 요구되는 상황

- 한국의 1인당 연간 포장용 플라스틱 사용량은 '18년 기준 65.3kg에 이르며 벨기에의 88.2kg에 이어 가장 높은 수치

□ **(글로벌 주요 국가들은 CCUS를 탄소중립 실현의 핵심 수단으로 인식)** 미국, 영국, 독일, 일본 등 주요국이 발표한 장기 저탄소 발전전략(안)에서 CCUS 기술을 탈탄소 핵심전략 수단으로 포함하는 등 주요국은 탄소중립을 위한 장기 전략*에 CCS 기술과 함께 CCU 기술을 탈탄소 주요 수단으로 제시

*(미국) Mid-Century Startegy for Deep Decarbonization, (영국) The Clean Growth Strategy, (독일) Climate Action Plan 2050, (일본) Long-term Strategy under the Paris Agreement

❍ 우리나라는 ‘20.12. ‘대한민국 2050 탄소중립전략’에서 발전·산업 부문 핵심기술 수단으로 CCUS 기술을 제시

❍ 선진국은 CCU 산업 육성을 위한 제도적 지원방안을 마련하며 투자를 지속 확대 중

- 미국은 ‘18년 ‘45Q Tax Credit’ 정책으로 CO_2 를 포집・저장・활용하는 시설에 세액공제 혜택을 확대제공(활용의 경우 $24/ton → $35/ton(2050) 등)
- EU는 Innovation Fund, Horizon 2020 등 주요 R&D 프로그램 등을 통해 기술개발을 집중 지원하고 ‘18년 의무사용 재생 연료 범위에 CCU 연료를 포함하도록 제도를 개선

□ **(CCUS 분야는 저탄소 경제 체제로의 패러다임 전환과 더불어 지속적 성장)**

CO_2 배출이 높은 발전 및 산업시설을 바탕으로 대규모 실증연구가 많이 수행된 CO_2 포집·저장 분야의 시장규모가 크고 투자가 많이 이루어짐

❍ 연료, 신소재, 고분자 등 다양한 유용물질별로 CO_2 를 활용하는 신산업 시장이 발굴 가능

- 전 세계적으로 산업계에서 활용 기술 분야 실증 플랜트 기반 연구가 추진되고 있기 때문에 향후 관련 산업 및 시장도 점차 확대될 것

❍ 지구온난화 문제로 인한 글로벌 신기후체제의 등장과 국가별 저탄소 정책 추진과 더불어 CCUS 분야는 기술, 시장, 산업이 지속적으로 성장할 것으로 예상

❍ 기술진보로 다양한 편의성과 기능성이 첨가된 소재가 개발되고 있으나 생산-가공-소각·폐기 단계 전반적으로 다량의 온실가스를 배출하며 기후변화 악화에 기여하고 궁극적으로는 탈탄소 선언을 저해하는 요소

❍ 우리나라는 에너지 다소비산업, 온실가스 배출 공정이 많은 산업이 발달되어 산업 온실가스 배출 비중이 높은 국가

❍ CO_2 포집, 저장, 활용 기술인 CCUS가 탄소중립을 실현하기 위한 핵심 수단으로 강조

❍ 다양한 국가에서 연구와 투자가 이루어져 CO_2 활용을 통한 신산업 분야의 성장이 전망되며, 이는 저탄소 경제의 핵심적인 요소로 작용할 것으로 예측

나. 시사점

□ 메가트렌드 종합 결과 **'환경대응'**은 미래사회 트렌드에서 **핵심 쟁점**으로 연결되는 개념으로 중요한 쟁점

❍ **(사회적)** 사회적으로도 무분별한 자원 낭비와 과잉소비를 조절하고 국가적 전략에 사회구성원과 기업이 연대적으로 참여하는 실천과 실행을 위한 제도적 기반 강조

❍ **(기술적)** 기술개발도 기술의 혁신성의 단순한 논리에서 벗어나 친환경, 지속 가능성을 염두한 환경친화적이고 사회 가치를 제고할 수 있는 방향성으로 기술의 가치가 평가

❍ **(경제적)** 최근 국제사회가 경험한 거대한 위기는 국가경제에 엄청난 부담을 주었으며, 이러한 위기상황은 다양화되고 높은 불확실성으로 완벽한 조기예방이 어려울 수도 있음을 시사

- 이에 현재 상황으로부터 지속가능성을 도모하여 상생하고 협력할 방안을 모색하는 한편, 위기를 직면하고 피해를 최소화할 수 있는 회복력에 주목

□ **탈탄소화 선언**은 국가 차원의 투자 의지가 강력하게 확보된다는 기회 요인과 동시에 탄소중립을 실행하기 위한 기술력의 한계라는 위협요소 노출

❍ **(기회)** 국제사회 이슈로 국가차원의 선제적인 목표와 전략 수립이 요구되고 이에 따른 개인-기업-사회의 참여가 필수적임으로 뚜렷한 수요가 확인

- 뚜렷한 상용화 개발에 장기간 투자가 불가피해 조속한 기술확보를 위해 국가의 기술개발 투자지원 의지 확보(뉴딜정책 및 파리협약에 따른 국가 탈탄소화 선언 등)

❍ **(위협)** 온실가스 배출 저감 제고를 위한 핵심기술로 평가되는 CCU기술은 높은 기술 난이도가 요구되어 상용화 사례가 부재하여 장기간 투자 불가피

- 대량생산 대량소비 체제 등 기존 산업의 구조적 문제를 제고하는 포괄적인 전략이 고려되어야 하는 단순 기술개발로 해결할 수 있는 한해의 쟁점이 아니라는 문제 지적

3. 국내외 정책 동향

가. 국제사회 협약

〈표 II-12〉 국내외 기후변화 대응 추진 경과

1988 [해외] IPCC 결성
1992 **[해외] 기후변화협약(UNFCCC) 체결**
1993 **[국내] IPCC 가입**
1997 [해외] 교토의정서 채택
2005 [해외] 교토의정서 발효
2008 **[국내] '기후변화대응 종합기본계획' 수립**
[국내] '저탄소 녹색성장 기본법' 제정
2010 [국내] 온실가스 에너지 목표관리제 도입
[해외] 주요 당사국의 교토의정서 탈퇴
2012 [국내] 온실가스 배출권 법률제정
[국내] 환경정보공개제도 시행
[해외] COP18 : 교토메커니즘 2020년까지 연장
2012 [해외] EU-ETS
발전부분 100% 유상할당
비발전부분 20% 유상할당
2015 [국내] 제1차 NDC 제출
[국내] 온실가스 배출권거래제 시행
[해외] COP20 : 신기후체제 합의(파리협약)
2016 [국내] 파리협정 국회 비준 및 비준서 UN에 제출
[국내] 2030 국가 온실가스 감축 기본 로드맵 주요 내용 발표
2018 [국내] 배출권거래 2기(18~20)
[국내] 배출권 유상할당 시작
[국내] 2030 국가 온실가스 감축 기본 로드맵 수정안 확정
[해외] 지구온난화 1.5℃ 특별보고서 승인
2019 [국내] 제2차 기후변화 대응 기본계획* 확정
[해외] COP 25
2020 **[국내] 2050 탄소중립 선언**
[국내] NDC(갱신) 제출
[국내] 2050 장기저탄소 발전전략 제출
[해외] 신기후체제 이행
[해외] 회원국 NDC 제출 완료
2021 **[국내] 2050 탄소중립계획 국무회의 의결**
[국내] 배출권 거래제 3기(21~25)
[국내] 유상할당 강화
[해외] COP 26
2022 [해외] COP27
2023 [해외] COP28(개최 예정)

(1) 유엔기후변화협약(UNFCCC)

□ **(유엔기후변화협약(UNFCCC))** 유엔기후변화협약은 기후변화에 대한 국제연합 기본협약으로, 온실가스 배출을 제한해 지구온난화를 방지하는 목적으로 채택

❍ **(근거)** 1992년 6월, 유엔환경개발회의(UNCED)에서 유엔기후변화협약이 채택되어, 1994년 3월 발효

❍ **(배경)** 유엔기후변화협약은 1994년 3월 발효되었고, 2005년 189개 국가와 유럽국가연합이 가맹되어 있으며, **우리나라는 1993년 12월 47번째로 가입**

❍ **(목적)** 유엔기후변화협약은 지구의 온난화 현상에 의한 지구의 재난을 방지하여 인류의 활동과 모든 생물 종의 멸종위기를 사전에 예방하고자 대기 중의 온실가스의 농도를 안정화

❍ **(기본원칙)** 기후변화협약의 기본원칙은 기후변화의 예측 및 방지를 위한 예방적 조치의 시행 및 모든 국가의 지속 가능한 성장의 보장 등으로 구성(제3조)

- 공동의 차별화된 책임 능력에 입각한 의무부담의 원칙 / 개발도상국의 특수사정 배려의 원칙 / 기후변화의 예측, 방지를 위한 예방적 조치 / 모든 국가의 지속가능한 성장의 보장원칙

■ 온실가스 배출에 역사적인 책임과 기술, 자정 능력이 있는 선진국이 선도적 역할을 강조

❍ **(의무부담원칙)** 기후변화협약에 규정된 의무부담 원칙은 모든 당사국이 부담하는 공통의무사항과 일부 회원국만이 부담하는 특정 의무사항으로 구분하여 규정(제4조)

- **(공통의무사항)** 온실가스 배출감축을 위한 국가전략을 자체적으로 수립, 시행하고 공개 / 온실가스 배출량 및 흡수량에 대한 국가 통계와 정책이행에 관한 국가 보고서 작성 및 당사국총회(Conference of Parties)에 제출
- **(특정의무사항)** 공통, 차별화 원칙에 따라 협약 당사국을 Annex I, Annex II, 및 Non-Annes I 국가로 구분, 각기 다른 의무를 부담하도록 규정

〈표 Ⅱ-13〉 기후변화협약(UNFCCC) 국가군과 특정의무

구분	부속서 Ⅰ (Annex Ⅰ) 국가	부속서 Ⅱ (Annex Ⅱ) 국가	비부속서 Ⅰ (Non-Annex Ⅰ) 국가
국가	협약체결 당시 OECD 24개국, EU와 동구권 국가 등 40개국	Annex Ⅰ 국가에서 동구권 국가가 제외된 OECD 24개국 및 EU	우리나라 등
의무	온실가스 배출량을 1990년 수준으로 감축 노력. 강제성을 부여하지 않음	개발도상국에 재정지원 및 기술이전 의무를 가짐	국가 보고서 제출 등의 협약상 일반적 의무만 수행

〈표 Ⅱ-14〉 기후변화협약(UNFCCC) 주요 내용

구분		내용
목적(2조)		지구온난화를 방지할 수 있는 수준으로 온실가스의 농도 안정화
원칙(3조)		형평성 : 공통의 차별화된 책임, 국가별 특수사정 고려
		효율성 : 예방의 원칙, 정책 및 조치, 대상온실가스의 포괄성, 공동이행 경제발전 : 지속가능한 개발의 촉진, 개방적 국제경제체제 촉진
의무사항	공통 의무사항	온실가스 배출 동태 작성발표, 정책 및 조치의 이행(4조 1항), 연구 및 체계적 관측(5조), 교육훈련 및 공공인식(6조), 정보교환사항
	특정 의무사항	배출원 흡수원에 관한 특정의무사항 : 1990년 수준으로 온실가스 배출 안정화에 노력(4조 2항)
기구 및 제도	기구	재정지원 및 기술이전에 관한 특정공약(4조 3항~5항)
		개도국의 특수상황 고려(4조 8항~10항) / 당사국총회(7조) / 사무국(8조) / 과학기술자문 부속기구(9조) / 이행자문기구(10조) / 재정기구(11조)
	제도	서약 및 검토(Pledge and Review) 제도(12조) : 국가보고서 제출 및 당사국 총회 검토 이행과 관련된 의문점 해소를 위한 다자간 협의 과정(13조) 분쟁조정제도(14조)

〈표 Ⅱ-15〉 기후변화협약 조직

당사국총회(COP) / 기후변화협약 관련 최고의사 결정기구

부속기구 (Subsidiary Bodies) / COP의 올바른 의사결정을 돕는 역할

IPCC(Intergovernment Panel on Climate Change)

기후변화에 관한 정부간 협의체
기후변화에 관련된 과학적, 기술적 사실에 대한 평가를 제공

SBSTA(Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice)

과학기술자문부속기구
온실가스배출통계 방법론, 국가보고서 작성지침 등 과학기술적 측면권고

SBI(Subsidiary Body for Implementation)

이행부속기구
국가보고서 제출, 재정기술지원 등 협약 이행 측면 권고

(2) 파리기후변화협정(Paris Agreement)

□ **(파리기후변화협정)** 우리나라를 포함한 전 세계 195개국은 파리기후변화협정(Paris Agreement)을 채택하여 공동 대응하기 위하여 노력 중

❍ 파리협정에 따라 각 당사국은 자체적으로 온실가스감축목표(NDC)를 정해 5년마다 제출하여야 하며 그 이행상황 점검이 필수

❍ 파리협정은 기존의 교토의정서(2020년 만료)를 대체하고, 선진국과 개도국 모두가 참여할 수 있는 합의 체제 마련을 목적으로 '제21차 유엔기후변화협약 당사국총회(COP21)에서 채택('15.12.)

- '16.11. 포괄적으로 적용되는 국제법으로의 효력 발효
- 교토의정서와는 달리, 기후변화협약의 모든 당사국 참여하는 포괄적 체제이며, 국가별로 자발적인 감축 목표를 설정 및 달성을 추진하는 것이 특징

■ 당사국 별 탄소감축 목표는 NDC(Nationally Determined Contribution)에 명문화하여 파리협정의 일환으로서 국가별로 UNFCCC에 제출

〈표 II-16〉 파리협정상 NDC 관련 규정

■ (목표 설정) 당사국은 NDC를 준비, 통보, 유지하며 국내적 완화 조치 이행(제4조 제2항)
■ (진전 원칙) 차기 NDC 제출 시, 기존 NDC보다 진전된 목표 제시(제4조 제3항)
■ (NDC 갱신) 당사국은 5년마다 NDC를 마련하여 통보(제4조 제9항)
■ (이행 보고) 매년 개최하는 당사국총회에 온실가스 배출량 통계 · NDC 이행 현황 보고(제13조 제7항)
■ (전지구적 점검) '23년부터 5년마다 파리협정 이행에 대한 전 지구적 점검(제14조 제1·2항)

〈표 II-17〉 파리협정 가입 주요국의 온실가스 감축목표 제시량

구분	한국	일본	중국	미국	EU	러시아
감축목표(%)	37	26	60~65	26~28	40	25~30
목표연도(년)	2030	2030	2030	2025	2030	2030
목표유형	BAU*	절대량	집약도**	절대량	절대량	절대량

*BAU: 목표연도의 배출전망치에 대비하여 목표 설정
**집약도: 국내총생산 1단위당 온실가스 배출량을 기준으로 목표 설정
*출처 : UNFCCC INDC 포털 ; 환경부 (2016) 파리협정 길라잡이 재인용

❍ 장기적으로 산업화 이전 대비 지구 평균기온 상승을 2℃보다 상당히 낮은 수준으로 유지, 1.5℃ 이하로 제한하기 위한 노력을 추구하며 개도국 이행 지원을 위한 선진국의 재원, 기술, 역량배양 지원

- 2023년부터 5년 단위로 파리협정 이행 및 장기 목표 달성 가능성을 평가하기 위해 전 지구적 이행점검(Global stocktake)을 실시
- 온실가스 감축뿐 아니라 기후변화에 대한 적응의 중요성에 주목하고, 기후변화의 역효과로 인한 '손실과 피해'를 별도 조항으로 규정

❍ 유엔기후변화협약(UNFCCC) 중심의 시장 이외에도 다양한 형태의 국제 탄소시장 매커니즘 설립에 합의

〈표 Ⅱ-18〉 교토의정서와 파리협정 차이점

구분	교토의정서	파리협정
목표	온실가스 배출량 감축 (1차: 5.2%, 2차: 18%)	2℃ 목표, 1.5℃ 목표 달성 노력
범위	주로 온실가스 감축에 초점	온실가스뿐만 아니라, 적응, 재원, 기술이전, 역량배양, 투명성 등 포괄
감축 의무국가	선진국(38개국)	모든 당사국(195개)
목표 설정방식	하향식	상향식
목표 불이행시 징벌여부	징벌적	비징벌적
목표 설정기준	특별한 언급 없음	진전원칙
지속가능성	공약 기간에 종료 시점이 있어 지속가능성에 대한 의문	종료 시점 규정하지 않아 지속가능한 대응 가능

*출처 : 기상청 기후정보포털

❍ 궁극적으로 모든 국가에서 CO_2 순배출량 0을 목표로 하는 무기한 협약으로 교토의정서의 한계를 극복

- 기존 교토의정서는 온실가스 배출량 감축을 중점적으로 다루었으나, 파리협정은 감축뿐 아니라 기후변화에 대한 적응, 개발도상국에 대한 기술지원 등 포괄적으로 접근
  - ■ 온실가스 배출량 감축이 더욱 빠르게 이루어져야 함을 강조하며 특히 온실가스 배출량만큼 흡수하여 배출과 흡수 간 균형을 도모
  - ■ 재정적 지원, 기술개발의 중요성, 역량배양, 목표달성 체계의 투명성 등이 수반되어야 지속 가능한 온실가스 배출 감축을 기대할 수 있을 것으로 전망

(3) 글래스고 기후합의(Glasgow Climate Pact)

□ 2021년 10월 31일~11월 13일 영국 글래스고에서 개최된 제26차 유엔기후변화협약(UNFCCC) 당사국총회(COP26)는 '글래스고 기후합의(Glasgow Climate Pact)'를 채택

❍ 각국 정부 및 민간부문 참여자들은 온실가스 감축과 탈탄소 투자에 관한 선언을 발표하며 전 지구적인 기후변화 대응 노력을 강조

❍ 글래스고 기후합의는 △개도국의 **기후변화 적응**에 대한 **지원 강화** △온난화 억제 목표달성을 위한 **감축 목표**의 **추가 상향** △**석탄 및 화석연료 의존도 축소** △**기후 재원 확대** 등의 기조를 반영

- 메탄과 같은 비이산화탄소 온실가스 감축, 석탄발전의 점진적 폐지와 신규 석탄발전 투자 중단, 지속 가능한 산림 및 토지 이용, 무공해차로의 전환 등에 관한 각국 정상들의 선언과 논의가 활발히 전개
- 선진국은 기존의 재원 조성 의무를 재확인하였고, 2025년 이후의 새로운 재원 조성 목표 설정을 위한 작업 프로그램을 2022년부터 2024년까지 진행하기로 합의

❍ 2050년 탄소중립 사회 전환, 1.5℃ 상승 폭 유지 등 주요 안건에 대한 합의 도출

- **(지역 공동체 및 생태환경 보호)** 기후변화로 인한 지역 공동체 피해 최소화, 생태 서식지 보호 수단 확보
- **(기후 재원 마련)** 기후변화 취약국을 지원하기 위한 재원을 기존 대비 두 배 이상 확충
- **(범국가적 협력)** 정부뿐 아니라 민간 기업과 시민 사회의 적극적인 협력 촉구

❍ 기후변화협약 최초로 화석연료 사용과 감축 방안에 대한 논의 진행

- **(석탄 화력발전)** '40년까지 전 세계가 탈석탄 사회로 전환되는 것을 목표로 하였으나 석탄발전의 단계적 감축으로 최종 합의
- **(화석연료 보조금)** 화석연료 보조금 중단 조치를 논의하였으나 단계적 지원 감축으로 결정

나. 주요국 정책 동향

(1) 미국

□ **(국가 혁신 경로)** 미국 정부는 ‘30년 NDC 달성 및 장기 기후전략의 실행을 지원하기 위한 국가 혁신 경로*를 발표(‘23. 04)

*White House OSTP, DOE, DOS, National Innovation Pathway of the United States, 2023. 04. 20., 백악관 과학기술정책국(White House Office of Science and Technology Policy), 에너지부(Department of Energy), 국무부(Department of State) 공동 발표

❍ **(의의)** 관련 법령, 국가 로드맵 및 정책, 중점 기술 분야 및 목표, 기술 분야별 투자 현황, 관련 부처・기관의 역할 및 담당 분야 등을 정리하여 미국 내 청정에너지기술혁신에 관한 포괄적인 정보 제공

❍ **(핵심전략)** 넷제로 기술(Net-zero Technology)확보를 위한 3대 주요 전략으로 혁신(Innovation), 실증(Demonstration), 확산(Deployment)을 명시

〈표 II-19〉 미국 국가 혁신 경로의 3대 전략 및 세부 내용

전략	주요 내용	지원 방안
혁신(Innovation)	2050년에 넷제로를 안정적이고, 저렴하며, 공평하게 달성할 수 있는 기술 포트폴리오 확보	DOE에너지어스샷(Energy Earthshots™)등
실증(Demonstration)	실증프로젝트를 통해 시장의 기술신뢰도를 향상, 신기술의 초기 시장 진출 지원	초당적인프라법(BIL) 인플레이션감축법(IRA)
확산(Deployment)	규제·인센티브 등을 활용하여 현재 기확보한 기술의 제조·배포·채택을 가속화, 핵심 소재·부품 공급망 확보 등을 지원	초당적인프라법(BIL) 인플레이션감축법(IRA) 대출프로그램사무소(LPO)

*출처 : 한국에너지기술연구원, 미국 NDC 및 넷제로 달성을 위한 국가 혁신 경로, 2023.

❍ **(중점기술)** 넷제로 달성에 중요하나 상용화를 위해 추가적인 혁신이 필요한 16개 기술 분야 제시 및 분야별 관련 기술, 기술개발 및 실증・상용화 목표, 투자 현황 및 관련 정책 서술

❍ **(이행점검)** 기술혁신의 이행 점검을 위하여 마일스톤 점검, 비용・성능 목표 달성도, 특허, 논문 및 인용, 민간 부문 투자수준, 기술개발 연계 창업 및 수익 창출 등 다양한 지표를 제시

❍ **(민간 참여 촉진)** 미국의 청정에너지 혁신을 위한 민·관 협력을 강조하며, 기술의 시장진입을 촉진하기 위한 정부와 기업의 파트너십, 기술이전 및 창업지원 등을 통한 민간 부문의 혁신지원

❍ **(국제협력)** 미국 정부는 국가혁신역량의 지속과 글로벌 리더십 강화를 위해 국제파트너십 및 협력을 중시하며, 청정에너지 혁신을 위한 양방향 협력을 추진하고 이를 실현하기 위한 실무그룹 등 운영

❍ **(국가 혁신 경로로서의 산업 탈탄소화 정책 추진)** 산업 부문의 공정 열 생산 및 청정 열 통합과 주요 산업(제철, 시멘트, 화학 등) 부문에서 가격경쟁력을 갖춘 저탄소·무탄소 대체기술 개발을 통한 탈탄소화 촉진

- **(정책)** DOE*는 화학, 석유, 제철, 식품, 시멘트 등 5대 산업 부문의 탈탄소화를 위해 **'산업 탈탄소화 로드맵'** * 발표 및 4대 추진전략 제시

■ 기술개발목표 : '35년까지 배출량을 85% 이상 저감하고 가격경쟁력을 갖춘 기술개발

〈표 II-20〉 미국 DOE 산업 탈탄소화 4대 추진전략

전략	주요 내용
에너지 효율 향상	에너지 효율 향상은 가장 비용 효율적인 온실가스 배출 저감방안으로, 전략적 에너지 관리, 시스템 관리 및 최적화, 스마트 제조 및 첨단 데이터 분석 등을 활용하여 효율성 향상
산업 전기화	제철, 시멘트 업계의 고온공정 및 열 관련 공정의 전기화와 전기 화학 공정으로의 대체, 그리드와 현장 재생에너지 발전의 저탄소 전기를 활용한 탈탄소 극대화
저탄소 에너지 활용	연료를 유연하게 활용하는 공정의 개발과 수소연료의 적용, 바이오연료의 활용 등을 통한 저탄소 연료 전환 및 공정 배출 최소화
탄소 포집, 활용, 저장	**공정에서 발생하는 이산화탄소를 배출되는 지점에서 포집하고, 부가가치를 있는 제품으로 만들거나 장기적으로 저장**

*출처 : 한국에너지기술연구원, 미국 NDC 및 넷제로 달성을 위한 국가 혁신 경로, 2023.

□ **(45Q Tax Credit)** 인증된 시설에서 배출되는 탄소를 CCUS 통해 감축할 시 세금 혜택을 주는 제도로 '18년부터 CCU 기술을 포함하고 세액공제 규모를 확대

❍ 각 탄소 포집 설비에서 일정 수준 이상의 CO_2를 저장하거나 활용해야 하며, 전 과정 평가(Life Cycle Assessment) 관점에서 실질적으로 감축된 CO_2 양에 한해 세금 혜택 적용

- 탄소 포집 설비별로 요구되는 최소 포집 용량이 상이하며, 기술별(지중 저장, EOR, 기타 활용 공정)로 세액공제 혜택 규모가 상이

❍ CCU의 경우, EOR(Enhanced Oil Recovery, 석유 회수 증진) 외에 CO_2 기반 콘크리트, 화학 원료, 플라스틱 등 기타 활용공정도 혜택 수혜 가능

〈표 Ⅱ-21〉 45Q Tax Credit 설비별/활용기술별 세액공제 혜택

구분	최소 탄소포집설비 규모($kltCO_2$/연)			연도별 세액공제 계획(USD/tCO_2)								
	발전시설	산업시설	DAC	'18	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26
지중저장	500	100	100	28	31	34	36	39	42	45	47	50
EOR	500	100	100	17	19	22	24	26	28	31	33	35
기타 활용공정	25	25	25	17	19	22	24	26	28	31	33	35

□ **(청정에너지・인프라 계획)** 바이든 행정부는 파리기후협정에 복귀(2021. 01. 20.)한 동시에, '청정에너지・인프라 계획' 추진을 통해 2050년까지 경제 전반에 걸쳐 탄소배출 '넷제로(net-zero)' 달성 계획을 발표

❍ 5대 투자 부문으로 구성된 청정에너지・인프라 계획은 바이든의 기후변화 대응을 위한 핵심 대선공약으로, 임기 4년간 2조 달러 규모의 예산 투입을 통해 일자리 100만 개를 창출한다는 목표를 제시

- **(인프라 부문)** 도로, 철도, 교량, 녹지공간, 수도, 전력망, 광대역 통신 등 청정에너지 생태계 구축을 위한 인프라 투자 추진
- **(자동차 부문)** 정부조달을 통해 300만 대 규모의 친환경 자동차 사용, 전기차 충전소 50만 개소 설치, 전기차 세액공제 혜택 제공, 2030년까지 신형 버스의 배출가스 제로 달성, 스쿨버스 50만 대를 친환경 버스로 전환 추진
- **(전력 부문)** 2035년까지 전기발전 부문의 탄소배출량 제로 달성, 이산화탄소 포집 기술 개발을 위한 투자 및 조세 인센티브 2배 확대, 10년 이내에 '그린 수소'를 기존(conventional) 수소와 동일한 비용으로 제공

- **(건축 부문)** 건물 400만 채, 주택 200만 채를 고효율 친환경 시설로 전환, 친환경 주거단지 150만 호 건설, 2030년까지 상업용 건물 배출가스 '넷제로(net-zero)' 달성, 2035년까지 건물에서 발생하는 탄소량을 절반으로 감축
- **(청정에너지 혁신)** 기후변화 관련 총괄 연구 프로젝트인 ARPA-C(Advanced Research Projects Agency for Climate) 신설, 에너지 저장, 네거티브 배출기술(NETs: negative emission technologies), 차세대 건축자재, 재생수소(renewable hydrogen), 첨단 원자력 등의 기술 활용을 통한 비용 절감, 청에너지 혁신기술 상용화 지원

□ **(CCUS, 10대 게임체인저 기술영역 선정)** 국가 기후 테스크포스('21.02. 설립) 및 기후혁신워킹그룹에서 관련 R&D 추진을 위해 10대 게임체인저 기술영역 중 하나로 CCUS를 선정하고 ARPA-C* 설립을 추진

* Advanced Research Projects Agency-Climate

〈표 II-22〉 기후혁신워킹그룹 10대 게임체인저 기술영역

분야	기술영역
건물	탄소중립 건설재료를 사용한 탄소중립 건물
전력저장	기존 기술대비 1/10 가격 수준의 에너지 저장 시스템
전력망	고도화된 전력망 계획 도구 및 전력망 운영
수송	저비용·저탄소 차량 및 교통 시스템 개발
수송	항공, 선박용 저탄소 연료 및 효율 향상 기술
냉난방	온실가스 영향이 없는 냉매 개발, 냉방 및 히트펌프 시스템
산업	철강, 콘크리트, 석유화학 등 산업 분야의 저탄소화
수소	천연가스개질 수소보다 저렴한 그린수소 생산
토양	혁신적인 토양, 식물학, 농업기술을 활용한 대기 중 CO_2 제거 및 토지 저장
CCUS	**대기, 산업 및 발전시설로부터 CO_2를 포집하여 대체 제품 생산(CCU) 및 저장(CCS)**

* 출처 : GTC(2021), GTC BRIEF 2021년 1호

(2) EU

□ **(European Green Deal)** EU 집행위원회(European Commission)는 '19년 12월 발표한 유럽 그린딜(European Green Deal)을 통해 **'2050년까지 탄소중립'** 목표를 제시

❍ 2030년까지 탄소배출을 1990년 수준 대비 최소 55% 감축하는 것을 목표로 함께 제시하고, 이 목표에 법적인 구속력을 부여하기 위해 「유럽 기후법(European Climate Law)」 법안을 발의하여 채택 절차를 진행

❍ 에너지 기반시설을 강화된 기후 중립 목표에 따라 개선(스마트인프라)할 계획이며, 스마트인프라 일환으로 **CCUS 기술 도입**을 추진

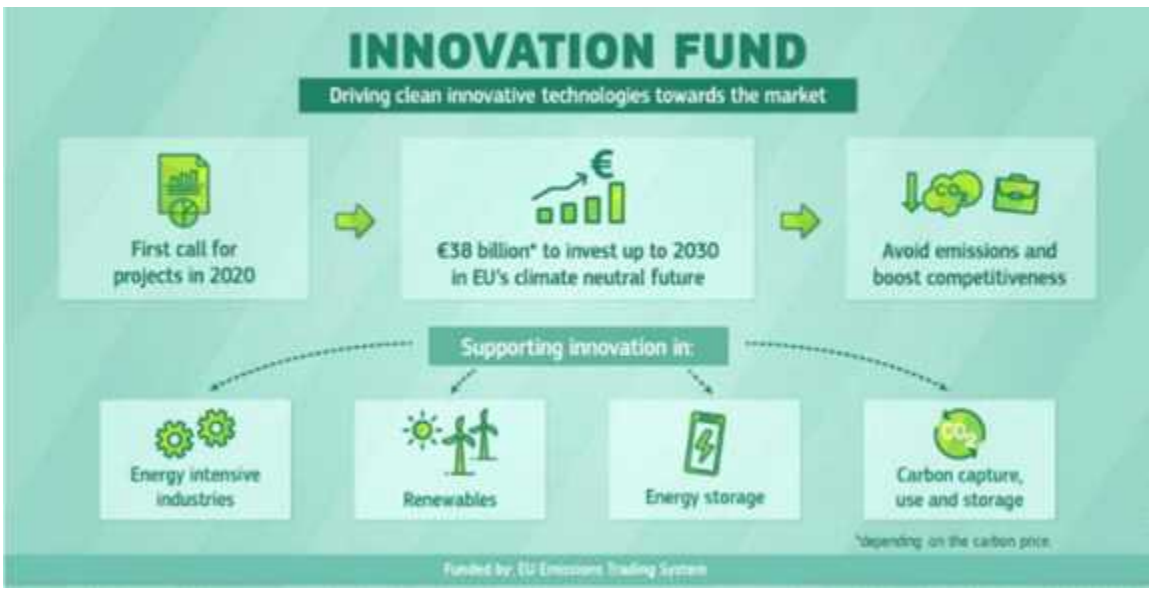
- 이에 따라 '20년 4월에 발표된 4차 PCI(Projects of Common Interest)* 대상 149개 사업 중 CCUS 관련 사업 5개가 포함됨

* 공동관심사업으로 EU 에너지 관련 사업을 지원하는 프로그램

- CCUS 기술 지원은 탄소배출권 할당 수익으로 조성되는 혁신기금(Innovation Fund)*를 통해 충당

* 2020부터 2030년까지 약 380억 유로를 투자할 계획

〈그림 II-19〉 혁신기금(Innovation Fund) 주요 지원 내용



*출처 : EC, Innovation Fund

❍ 2050년 탄소중립 목표를 달성하기 위해 그린딜은 청정에너지, 순환경제, 에너지 효율적 건축, 지속 가능한 수송 등의 분야에서 정책 패키지와 실행 로드맵을 제안

- **(청정에너지)** 해상풍력을 활용한 재생에너지 전략(‘20. 11. 발표), 에너지 효율 제고를 위한 「에너지법」 개정(‘21. 06까지), 회원국별 에너지 및 기후변화 계획 개선(‘23까지)
- **(순환경제)** 지속 가능한 산업으로 전환, 재활용 가능 물질 및 제품 개발을 통한 관련 시장 규모 확대, 디지털 기술을 활용하여 제품의 탄소배출 관련 정보를 소비자에게 제공
- **(자원 효율적 건축)** 건물의 에너지 사용 효율성을 제고하기 위한 회원국별 중장기 전략 평가, 에너지 혁신을 가로막는 장애요인 식별 및 철폐를 위한 논의 실시
- **(지속 가능한 수송)** 지속 가능한 스마트 수송전략(‘20. 12.), 해양 및 항공 부문의 배출권 거래제(ETS:Emissions Trading System) 편입, 자율자동차, 커넥티드카 등 다양한 운송수단 개발, 스마트 도로관리 시스템 연계

□ **(2030 기후목표 계획)** 탄소중립 달성을 위한 구체적인 실행계획은 ‘2030 기후목표 계획’에 제시(‘20.09.)

❍ 2019년 기준 EU의 탄소배출량은 1990년 수준 대비 25% 감축으로, 2020년 20% 감축 목표를 이미 달성

- 이에 기존 2030 목표였던 90년 수준 대비 40% 감축을 **55% 감축**으로 **강화**

❍ 2030 및 2050 목표 달성을 위해 EU는 산업, 교통, 건축 분야에서 친환경 재생에너지 비중 증대, 이산화탄소 외 온실가스 감축을 위한 폐기물 처리 및 농축산업 분야 기술 개선, 배출권 거래제 강화 등을 제시

- (재생에너지 발전) 2030 목표 달성을 위해 현재 전체 발전량의 32%를 차지하는 재생에너지 발전 비중을 65% 이상으로 증대
- (교통) 특히 2015년 기준 6%에 불과한 교통 분야 재생에너지 비중을 2030년 이전에 24%까지 늘리기 위해 전기자동차 등 공급 확대

- (건축) 건축 분야에서 리모델링의 비중을 2030년까지 연간 2% 이상(현재 1%)으로 확대하여 자원 효율적인 구조로 전환
- (농축산업) 친환경 비료 사용, 정밀 농업, 혐기성 소화 기술 등을 사용하여 농축산업 분야의 이산화탄소 외 온실가스 배출 감축
- (배출권 거래제) 더 강화된 배출권 거래제 시스템을 도입하여 2030년까지 산업단지 건설, 전력 생산 및 항공 분야에서 2005년 대비 탄소배출을 43% 감축
- (회원국 노력 분담 규제) 회원국 간 노력 분담을 규제(Effort Sharing Regulation)하여 탄소배출 30% 추가 감축

❍ 이에 더하여 탄소포집 기술개발, 삼림 조성 및 토지의 효율적 사용을 통해 대기 중 탄소 흡수량도 점차 늘려 갈 예정

□ (RED-Ⅱ*) '30년까지 최종에너지 소비 중 **재생에너지 비중 32%**를 달성하기 위한 정책으로 **바이오 연료** 및 **재활용 탄소 연료 사용 확대를** 추진

* Renewable Energy DirectiveⅡ(재생에너지 지침 Ⅱ), EU 청정패키지('16.11.)의 일환으로 2009년 발표된 RED 만료에 따라 개정한 지침

❍ 재생에너지 비중 목표가 27%에서 32%로 상향 조정되었으며, 수송 부문 에너지 소비의 14%를 재생에너지로 공급할 것으로 제시

❍ 바이오에너지 중 식량 및 사료 기반 바이오 연료 비중을 줄이고, 차세대 바이오 연료* 사용 확대를 장려

* 차세대 바이오연료에는 CO_2를 고정하는 해조류도 포함

❍ CO_2를 탄소원으로 활용하여 연료로 전환하는 **탄소 자원화 기술기반 연료**를 **재생 연료**로 **인정**

(3) 중국

□ 중국은 심각한 대기오염과 기후변화로 인한 각종 자연재해 발생에 대응하기 위해 **12차 5개년 규획 시기('11~ '15년)**부터 **탄소배출 규제**를 시작

❍ 중국은 12차 5개년 규획에 탄소배출 저감 지표를 의무사항으로 포함하고 '15년 「대기오염방지법(大气污染防治法)」 개정, '16년 파리기후협정 가입 등 **기후변화 대응 본격화**

❍ 태양광 및 풍력 등 친환경 에너지산업 육성 및 전기차 산업 발전 지원 등을 통해 **탄소배출 감축 추진**

□ 시진핑 주석은 '20년 9월 UN 회의에서 **'중국이 2030년 이전 탄소배출 정점, 2060년 이전 탄소중립을 달성할 것'**이라 대외적으로 선언하였으며, 제26차 UN 기후변화총회(COP26)를 앞두고 탄소중립 마스터플랜과 탄소피크 관련 액션플랜을 잇달아 발표('21.10.)

❍ 국무원은 탄소중립 실현을 위한 방안으로 **「탄소배출 정점 및 탄소중립 달성 업무 의견('21.10.24.)」, 「2030년 이전 탄소배출 정점 행동방안('21.10.26.)」** 등을 발표

- 그 밖에 중국의 기후변화 대응조치와 성과를 홍보하기 위해 「기후변화 대응정책과 행동」 백서를 발간하였으며, 「자주이행 효과 및 신목표, 신조치」, 「중장기 온실가스 저감 발전전략」 등 2건의 문건을 UN 기후변화협약(UNFCCC) 사무국에 제출

〈표 II-23〉 2021년 10월, 중국정부에서 발표한 탄소중립 및 기후변화 대응 관련 문건

정책명	일자	부처명	주요 내용
탄소 배출 정점 및 탄소중립 달성 업무 의견	2021. 10. 24.	중공중앙, 국무원	중국의 탄소중립 마스터 플랜 2060년 이전 탄소중립 목표, 실시방안 설정
2030년 이전 탄소 배출 정점 행동방안	2021. 10. 26.	국무원	2025년까지 친환경에너지 소비 비중 20% 내외 GDP 단위당 에너지 소비 2020년 대비 13.5% 감축 GDP 단위당 탄소배출 2020년 대비 18% 감축 2030년까지 친환경에너지 소비 비중 25% 내외 확대 GDP 단위당 에너지 소비 2005년 대비 65% 이상 감소 탄소 배출 정점 목표 달성

정책명	일자	부처명	주요 내용
기후변화 대응정책 및 행동 백서	2021. 10. 27.	국무원 신문판공실	중국의 기후변화 대응 성과, 방향 *2011년 이후 매년 발표
자주이행 효과 및 新목표, 新조치	2021. 10. 28.	중국정부	2015년 이후 시행정책 조치효과 및 새로운 목표 실현 위한 정책조치 제시 등 *UN 기후변화협약(UNFCCC) 사무국 제출자료
중장기 온실가스 저감 발전전략	2021. 10. 28.	중국정부	21세기 중반까지 온실가스 배출 저감 기본 방침과 정책 방향 제시 *UN 기후변화협약(UNFCCC) 사무국 제출자료

*출처 : 中国政府网, 생태환경부 등 바탕으로 정리.

□ **('1+N' 의 정책 체계 구축)** 중국의 탄소중립 정책기조를 제시한 '1' 은 「탄소배출 정점 및 탄소중립 달성 업무 의견」이며, 'N' 은 「2030년 이전 탄소배출 정점 행동방안」과 중점 업종별 정책 조치 등으로 구성

❍ 중국은 2025년까지 탄소중립 정책 기반을 조성하고, '2030년 이전 탄소배출 정점, 2060년 이전 탄소중립 달성' 이라는 정책 로드맵을 제시

- 2021년 중점 업무로 전국 탄소배출권 거래소 운영, 지역별 탄소중립 로드맵 수립, 녹색금융 시스템 발전 추진을 제시
- 탄소배출 정점을 위해 2025~30년 기간 중 GDP 단위당 에너지 소모의 대폭 감소를 추진하며, 풍력 및 태양광 발전설비량을 2020년 대비 2.2배 상향하는 것이 특징

〈표 Ⅱ-24〉 중국 2060년 탄소중립 정책 로드맵

시기별 목표	2025년	2030년	2060년
	탄소중립 정책 기반 조성	탄소 배출 정점	탄소중립 달성
GDP 단위당 에너지 소모 감축량	(2020년 대비) 13.5%	대폭 감소	-
GDP 단위당 탄소 배출 감축량	(2020년 대비) 18%	(2005년 대비) 65% 이상	-
비화석에너지 소비 비중	20% 내외	25% 내외	80% 이상
삼림피복률	24.1%	25% 내외	-
삼림축적량	180억㎥	190억㎥	-
풍력, 태양광 발전설비량	-	1,200GW 이상	-

*출처 : 中国政府网, 「关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见」, 2021. 10, 재구성

□ ‘21년 기준, 중국 내에 약 50개의 CCUS 시범 및 상업가동 사업들이 추진 중인데, 이들 사업의 총 탄소포집 설비용량은 연간 약 700만 톤이며, 연간 약 300만 톤의 탄소를 포집할 수 있는 설비가 존재

❍ ACCA21*은 중국 내에 CCUS 시범사업은 2021년에 약 50개에서 2022년 104개로 늘어났다고 밝힘

*중국 21세기 의정관리센터(Administrative Centre for China’s Agenda 21) : 1994년 중앙기관의 비준으로 설립된 기관으로 자원, 환경, 생태, 해양, 기후변화 등 관련 정부 위탁사업을 담당

〈표 Ⅱ-25〉 중국 내 가동 중인 CCUS 시범사업 및 상업 설비(2021년 기준)

프로젝트명	위치	CO_2 포집원	포집능력 (만톤/년)	CO_2 저장/활용
Sinopec과 난징화학회사의 CCUS 합작사업	장쑤省	화학공장	20	EOR (원유회수증진)
CHN Energy궈화전력공사의 진제발전소	산시省	석탄화력발전소	15	EOR
화중과학기술대학의 35MW 고농도 산소연소(OEC) 시범사업	후베이省	석탄화력발전소	10	-
Conch Group의 시멘트 킬른(kiln) 포집 및 정화 시범사업	안후이省	시멘트공장	5	소화기 재료 등으로 사용
SPIC의 충칭市 솽하이발전소 시범사업	충칭市	석탄화력발전소	1	-
Sinopec의 화둥유전 CCUS 시범사업	장쑤省	화학공장	5	EOR
창칭유전 EOR 사업	산시省	메탄올공장	5	EOR
CUCM의 CO_2-ECBM 사업	산시省	석탄화력발전소	-	ECBM
CUCM의 CO_2-ECBM 사업	산시省	석탄화력발전소	-	ECBM
다칭유전 EOR 시범사업	헤이룽장省	천연가스 처리	16	EOR
둔화메탄올공장 EOR 사업	신장자치구	메탄올공장	10	EOR
화넝그룹의 가오베이뎬발전소	베이징市	석탄화력발전소	0.3	-
화룬전력의 하이펑 탄소 포집 시범 플랫폼	광둥省	석탄화력발전소	2	-
화넝그룹의 석탄가스화복합발전(IGCC) 시범사업	톈진市	석탄화력발전소 (IGCC)	10	-
China Guodian 발전소	톈진市	석탄화력발전소	2	-
청정에너지 파워시스템 연구 설비	장쑤省	석탄화력발전소 (IGCC)	3	-
Sinopec의 성리유전 EOR 사업	산둥省	석탄화력발전소	4	EOR
화넝그룹의 스둥커우 발전소	상하이市	석탄화력발전소	12	-

프로젝트명	위치	CO_2 포집원	포집능력 (만톤/년)	CO_2 저장/활용
NNC 퉁량오 우라늄채굴 사업	네이멍구	-	-	ISL 기술
옌창 석유석탄화학 CCU 시범사업	산시省	석탄가스화공장	5	EOR
우치 바이바오 CCUS 시범지역	산시省	석타화학기업	5	EOR
CHN Energy의 진제발전소 시범사업	산시省	석탄화력발전소	15	-
광재(제강 슬러그) 및 석탄재의 간접 광화활용 CO_2 시범사업	산시省	석탄화력발전소	1.5	화학 활용
PetroChina의 지린유전 CO_2-EOR 시범연구사업	지린省	유전	64	EOR
CO_2 광화 및 탈황 CCU 시범사업	쓰촨省	석탄화력, 전력, 철강	1.5	화학 활용

*출처 : IEA, 中国CCUS与氢能耦合报告, 2022. 11. 16.

□ 중국 중앙정부는 탄소피크·탄소중립을 위해 다양한 CCUS 지원정책을 마련·시행 중

❍ '14.5 경제계획(2021~2025년)'에는 처음으로 산시(山西), 산시(陕西), 네이멍구, 신장 등 주요 석탄 생산지에서 대규모 CCUS 시범사업 추진을 위한 5개년 계획이 제시('21.03.)

❍ 중국 국무원이 '탄소피크·탄소중립 업무 관련 의견'을 통해 CCUS를 탄소배출량 감축 계획을 위한 핵심기술 중 하나로 명시('21.10.)

❍ '14.5 현대에너지 시스템 구축 계획'에서는 CCUS 등과 관련한 금융 지원을 강화한다는 계획을 수립('22.03.).

□ 중국 지방정부와 국유기업 차원에서도 CCUS 관련 정책을 마련·추진하고 있는데, '22년 기준 현재 중국의 34개 성 중에서 29개 성이 이미 CCUS 관련 정책을 발표

❍ 중국 국유 에너지기업인 CNPC, Sinopec, China Huaneng 등은 다양한 규모의 CCUS 시범사업을 추진 중이며, 주요 탄소 배출원은 석유, 화력발전, 석탄화학, 화학비료, 시멘트 관련 부문

(4) 일본

□ **(장기 저탄소 발전전략(LEDS) 수립)** 일본 정부는 2050년까지 온실가스 배출량 80% 저감을 골자로 하는, '파리협정에 근거한 성장전략으로서의 장기전략(2050년 장기 저탄소 발전전략)'을 발표('19.06.)

❍ 2050년까지 온실가스 배출량을 '19년 대비 80% 감축하고, 탄소중립을 가능한 한 빨리 실현하는 것이 주요 목표

❍ '19년 온실가스 배출량 중 CO_2가 차지하는 비중이 약 90%로, CO_2 배출량은 연간 0.3억 톤 정도의 속도로 감축이 진행되고 있어 CO_2 배출을 줄이기 위해 일본 정부는 에너지 공급의 저탄소화, 에너지 소비효율 개선 등을 추진

- 에너지 공급의 저탄소화를 위해 비화석연료 전력발전 비율을 19%('17)→44%까지 향상

❍ 일본 정부는 탄소중립 목표 달성을 위해 에너지, 산업, 수송, 지역·삶 등 총 4개 부문에서의 배출 저감 대책과 정부 차원의 횡단정책을 제시

- (배출 저감 대책) 일본 정부는 에너지원 자체의 전환·배출 절감, CO_2 배출 억제 및 분리기술 개발, 친환경 자동차 보급, 에너지 소비효율이 높은 설비·가전 도입 등 다양한 분야에서 CO_2 배출을 절감하기 위한 대책을 마련
- (에너지) ①재생에너지의 주된 전력원화 ②원자력·화력에 대한 의존도 축소 ③에너지 소비효율 향상 등을 통한 CO_2 배출 절감 추진
- (산업) ①산업계의 자주적인 절감 노력 ②CCS·CCU 기술 활용을 통한 원료 전환 ③에너지 소비효율 향상 등을 통해 탄소중립 추구
- (수송) ①2050년까지 일본산 자동차에 세계 최고 수준의 친환경적 성능 실현 ②자율주행 자동차, 커넥티드카 등의 보급 ③친환경 드라이브 지원 시스템의 보급 등
- (지역·삶) ①가능한 지역·기업부터 2050년 이전에 탄소중립 실현 ②탄소중립적인 삶(주택·사무실의 건축 구조가 ZEH(Zero Energy House)·ZEB(Zero Energy Building)에 준하도록 하는 기술개발 및 보급, 라이프 스타일의 전환) 등

- (횡단정책) 기술혁신, 금융기관이 탄소중립을 뒷받침하는 녹색금융, 정책・제도 구축 및 국제공조 등을 추진

□ **(2050년 탄소중립 선언 및 실행계획)** 스가 총리는 적극적인 기후변화 대책이 경제사회 변혁을 통한 더 큰 성장으로 이어지게 할 것이라고 하면서, 2050년에 탄소중립을 실현하겠다고 공언(‘20.10.)

❍ 탄소중립의 핵심으로 차세대 태양전지, 탄소 순환(Carbon Recycle) 등의 이노베이션을 언급하면서, 이를 위해 ①실용화를 감안한 연구개발 가속화 ②환경 관련 규제개혁 ③에너지 소비효율 향상 ④재생에너지 도입 등을 통해 기존의 석탄 화력 발전에 의존한 정책을 근본적으로 전환할 것을 강조

❍ 일본 경제산업성은 2050년 탄소중립을 실현하기 위해 중점적으로 육성할 14개 산업 분야와 이를 뒷받침할 정책수단이 포함된 ‘2050년 탄소중립에 따른 그린 성장전략 실행계획’을 발표(‘20.12.)

- (기본 방침) 전력, 비전력, 산업 부문에서 탄소중립을 추진하되, 에너지 정책 및 에너지 수급을 검토하고 향후 성장이 기대되는 14개 산업 분야를 육성하여 2030년, 2050년에 걸쳐 단계적으로 탄소배출을 절감하고, 최종적으로는 배출량 실질 제로를 실현
- (추진체제) 2050년 탄소중립을 실현하기 위해 중점 산업 분야별로 ①명확한 목표 시한 ②연구개발・실증 ③규제개혁・표준화 등을 포함한 실행계획을 책정하여 범정부 차원에서 추진
- (정책수단) 산업 육성을 위한 정책수단으로 일본정부는 예산(기금 조성) 세제(투자 촉진세제, 연구개발세제 등), 금융(기술 지원), 규제개혁・표준화 국제공조 등을 활용
- (실행계획) 일본 정부는 에너지, 수송・제조, 가정・사무실 등 크게 세 분야에서 탄소중립과 관련하여 총 14개 산업을 선정, 각 산업별로 현황 및 목표・주요 실행계획을 제시

- (에너지 관련 산업) 해양풍력 산업, 연료암모니아 산업, 수소 산업, 원자력 산업
- (수송·제조 관련 산업) 자동차·배터리 산업, 반도체·정보통신 산업, 선박 산업, 물류·토목 인프라 산업, 항공기 산업, 탄소순환 산업
- (가정·오피스 관련 산업) 주택·건축물 산업, 차세대형 태양광 산업, 자원순환 관련 산업, 라이프 스타일 관련 산업

■ 실행계획은 산업 분야별 현황을 감안하여 목표 및 세부 추진계획, 2030년과 2050년까지의 로드맵을 제시(로드맵은 연구개발 단계, 실증 단계, 도입 확대 단계, 상용 단계 순으로 제시)

□ **(탄소재활용 기술 로드맵)** '탄소재활용 기술 로드맵' 개정을 통해 CO_2 재활용 기술혁신 가속화를 추진

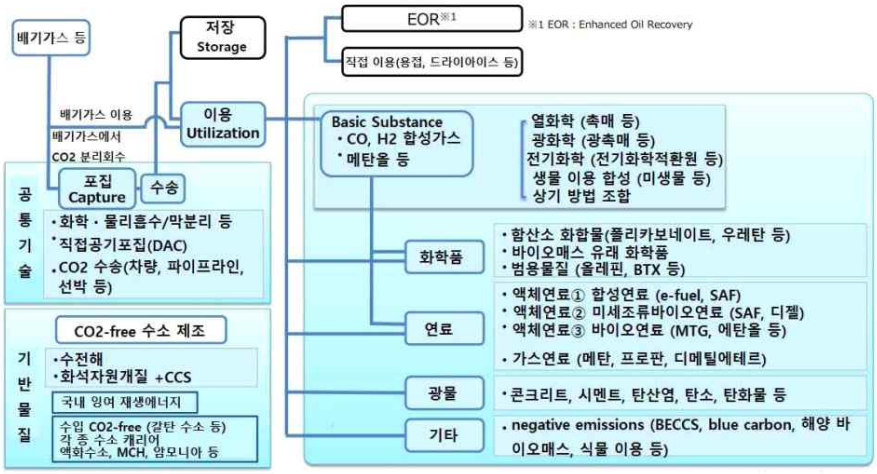
❍ '탄소재활용 기술 로드맵('19.6.)' 수립 이후, 기술발전, 국내외 정책 여건, '녹색성장전략('20.12.)' 등을 반영하여 로드맵을 개정

❍ DAC(Direct Air Capture), 합성연료(e-fuel, 바이오 연료 등)이 새롭게 추가되었으며, 수요가 큰 탄소재활용 제품* 보급 시기를 '50년에서 '40년으로 단축

* CO_2 및 수소 기반 합성연료, CO_2 양생 콘크리트 등

❍ 합성 연료 도입 확대를 위해 **'30년까지 기술 고효율화 및 대규모화**를 추진하고, **'40년 상용화, '50년 화석연료 수준 가격경쟁력 확보**를 목표로 제시

〈그림 Ⅱ-20〉 일본 탄소재활용 기술 로드맵 지원 분야 개요



*출처 : KEEI, 세계 에너지시장 인사이트(제21-16호), 2021.

□ **(녹색성장 전략)** 2050 탄소중립 실현을 위한 14개 분야 중 하나로 **'탄소재활용'**을 선정

❍ CO_2 양생 콘크리트 등 탄소 감축 효과는 있으나 기존 제품 대비 현 가격이 높은 제품군에 대해 가격경쟁력 확보를 목표로 제시

〈그림 Ⅱ-21〉 일본 2050 탄소중립 실현을 위한 14개 분야

*출처 : 경제산업성(METI), 2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略, 2021. 06. 18.

□ **(제6차 에너지기본계획)** 2030년 온실가스 감축 46%를 목표로 에너지 절감과 비화석에너지확대 등 수요·공급 측면의 과제 목표와 수급 전망을 제시('21.07.)

❍ 일본은 '30년 온실가스 감축 목표를 '13년 대비 기존 26%에서 46%로 상향('21.04.)

❍ 화석연료 기반 전력부문과 에너지 다소비 부문의 **탈탄소화**를 위해 **CCU 기술**을 **도입**

❍ **(전력부문)** CO_2 광물화, 인공광합성 등에 사용하고, 화석연료 기반시설에 CO_2 분리 및 회수 설비를 설치

❍ **(비전력부문)** 에너지 다소비 부문에 CO_2 회수형 시멘트 제품 등 CCU 기술 도입

다. 국내 정책 동향

〈표 Ⅱ-26〉 국내 CCU 관련 정책

구분	관련 내용
탄소중립 추진전략 (관계부처 합동, '20.12.07.)	• CCUS 기술 적용을 통한 온실가스 배출 감축 노력 강조 • **산업 현장**에서 **CCUS 기술 상용화** 요구
탄소중립 연구개발 투자전략 (관계부처 합동, '21.03.31.)	• 10대 핵심 투자 분야 중 하나로 탄소 포집·저장·활용(CCUS) 기술 설정 • 시장 수요에 기반한 **CCU 혁신 융합기술 개발** 및 **민간참여형 기술 실증** 확대 강조
탄소중립 기술혁신 추진전략 (관계부처 합동, '21.03.31.)	• **CCUS 상용화 기술 확보**를 위한 혁신소재 · 대형화 개발 및 실증 제시 • 2030년 이산화탄소 포집 가격경쟁력 30$/톤 목표 제시
CCU 기술혁신 로드맵(안) (관계부처 합동, '21.06.15.)	• CCU 기술혁신을 통한 탄소중립 실현 및 新산업 창출 비전 제시 • CCU 기술혁신 정책 목표 - **2025 기술경쟁력 확보**: (現)선진국 대비 80% → **('25) 선진국 대비 90%** - **2030 CCU 상용제품 확보**: (現)없음 → **('30) 14개 제품(화학 전환 10개, 광물화 4개)** - **2040 가격경쟁력 확보**: (現)연구중 → **('40) 기존 시장가 수준 가격경쟁력 100%** • **CCU 분야별 중점기술 도출, CCU 전주기 R&D 확대, CCU 제도적 기반 마련**(감축량 산정 기준, 온실가스 배출권 연계, 표준·인증 체계 등), **실효적 이행체계 구축** 등의 추진전략 제시
탄소중립 시나리오안 발표 (관계부처 합동, '21.10.18.)	• (탄소중립 시나리오) 화력발전 전면 중단 등 배출 자체를 최대한 줄이는 A안, 화력발전이 잔존하는 대신 CCUS 등 제거기술을 적극 활용하는 B안 제시 • **이산화탄소 포집 및 활용 · 저장(CCUS)** 기술을 통해 **(A안) -55.1백만 톤, (B안) -84.6백만 톤 감축 목표** 제시
에너지 탄소중립 혁신전략 (관계부처 합동, '21.12.10.)	• 8대 에너지 핵심기술 분야 중 하나로 CCUS 선정 - **CCUS 전주기 기술 고도화**를 통한 **조기 상용화** 요구 • **대규모 저장소 확보 및 실증** 등을 통해 CCUS 산업 육성 - CCS: ('20년) 100톤 저장 → ('30년) 대규모 실증(年4백만 톤) → ('50년) DAC, BECCS - CCU: ('20년) 초기 실증 → **('30년) 상용기술 확보(14대 제품) → ('50년) 가격경쟁력 확보** • 범부처 CCU 실증 예타 추진 등 과감한 R&D 투자 제시 • CCUS 확산 및 산업생태계 창출을 위한 지원방안, 수용성·안전성 확보 방안과 기준을 담은 CCUS 법안 마련 제시
탄소중립 산업 대전환 비전과 전략 (관계부처 합동, '21.12.10.)	• 산업부문 탄소감축 대표기술 **CCUS 목표** 제시 - **(~'30) 年1백만톤급 실증 (~'50) 低비용 포집·大형 저장** • CCUS를 기후대응 신산업으로 육성 - **('30) 대규모 저장 실증, CCU 상용기술 확보** - **('40) 민간주도 시장 확산(CCU)** 및 가격경쟁력 확보(CCS) - **('50) 차세대 CCUS 상용화**
윤석열정부 110대 국정과제 발표 (제20대 대통령직인수위원회, '22.05.03.)	• 탄소중립·고령화 등 국가가 당면한 문제를 해결하기 위한 **임무지향적 과학기술 체계 마련, 민간·지방 주도로 전환, 산·학·연 융합·협력 강화** • 사회문제 해결을 위한 수소, CCUS 등 탄소중립·미세먼지 대응 에너지신산업 조기 상용화 강조

구분	관련 내용
탄소중립 녹색성장 추진전략 (관계부처 합동, '22.10.26.)	• CO_2 포집·저장 실증, 지원법률 제정 등 CCUS 산업 활성화 추진 - 실증·법제 : 동해 가스전 활용 연 40만톤 규모 CCS 실증 인프라 구축, CCUS 산업 기반 구축을 위한 전담법 제정 추진 ***지자체·포집원 확보(공모)를 거쳐 예타 기획** → '23.1분기 신청 - 포집한 CO_2 및 CO_2 활용제품 폐기물 제외(폐기물관리법) 등 산재된 제도 통합 - CCU 제품 인증, 국제협력·인력양성 등 산업 성장기반 조성
탄소중립 녹색성장 기술혁신 전략 (관계부처 합동, '22.10.26.)	• 한국형 탄소중립 100大 핵심기술 중점분야로 CCUS 선정 - 포집 : (경제성 확보) 연소 후 포집 등 4개 - 저장 : (대형화) 저장소 탐사·평가 등 4개 - **활용 : (경제성 확보) 광물탄산화 등 총 3개**
CCUS 분야 탄소중립 기술혁신 전략로드맵(안) (관계부처 합동, '22.11.21.)	• **CCU 감축목표: '30 630만톤/년, '50 최대 2,520만톤/년** • **CO_2 활용 제품 가격경쟁력: '40 기존 시장가 대비 100%** • 탄소 활용 단기 목표(NDC) 달성 기술 확보 : (목표) Pilot 규모(1~20톤/일) 탄소활용 시스템 개발·실증(~'25) → **준상용급(100톤/일 내외) CCU 통합실증('25~)** • 탄소 활용 장기 목표(2050 탄소중립) 달성 혁신기술 확보 : (목표) 한계돌파형 기술혁신을 위해 경쟁형 방식을 활용하여 상용화 가능성이 높은 대표 기술 발굴(~'30) → **Pilot 규모 실증('30 이후)**
탄소중립 녹색성장 기본계획 (관계부처 합동, '23.03.21.)	• **CCUS 온실가스 감축 목표: ('30) -11.2백만톤 흡수·처리** - 기존 NDC('21.10.) -10.3백만톤 흡수·처리에서 상향 • 온실가스 감축을 위한 **CCU 제도기반 구축, 기술개발 및 인프라 구축**을 핵심과제로 제시 - 산업, 안전, 인증 기준 등을 포함한 단일법 제정, **이산화탄소 포집·저장·활용 기술개발·실증 강화**, CCS 추가 저장소 확보 등
기업·출연연 참여 CCUS 산업 기술혁신 추진(안) (민간기업·출연연 합동, '23.04.10.)	• 국내기업과 출연연이 참여하는 CCUS의 수출 산업화 비전 제시 • NDC 기여를 위해 **CCU 상용화 기술 확보 및 사업 확대** - 기확보된 단위 기술의 연계 및 통합 실증 - 재생에너지와 연계한 CCU 사업 확대 • 수출산업화 및 경쟁력 제고를 위해 CCUS 패키지를 한국형 수출모델로 육성 - 해외시장 진출을 위한 CCUS 사업 플랫폼화 - 현지에 적합한 CCUS 패키지사업 설계 • **CO_2 활용 고부가 제품 생산 추진**

(1) 정부 상위정책

□ **윤석열 정부 110대 국정과제('22. 05.)**

❍ 국정 목표 '경제체질 선진화를 위한 혁신성장 디딤돌' 및 '미래전략 산업'으로서 **에너지신산업**과 CCU 강조

- 「에너지안보 확립과 에너지 新산업·新시장 창출(21번)」하고자 4차산업 기술과 연계한 신산업을 육성 추진
- 특히, 기후위기 해결을 위한 신산업으로서 **CCU 산업 조기 상용화(24번)** 추진 강조

❍ 글로벌 탈탄소 전환에 대응하기 위한 탄소중립 경제 생태계 조성 추진

- 녹색산업과 기술을 강조하고 기후테크 등 녹색 신산업을 집중 육성(86번)

□ **탄소중립·녹색성장 추진전략('22. 10.)**

❍ **(CCUS 활성화)** CO_2 포집·저장 실증, 지원법률 제정 등 CCUS 산업 활성화 추진

- 실증·법제 : 동해 가스전 활용 연 40만톤 규모 CCS 실증 인프라 구축, CCUS 산업 기반 구축을 위한 전담법 제정 추진

■ 지자체·포집원 확보(공모)를 거쳐 예타 기획 → '23.1분기 신청

- 포집한 CO_2 및 CO_2 활용제품 폐기물 제외(폐기물관리법) 등 산재된 제도 통합
- **CCU 제품 인증**, 국제협력·인력양성 등 산업 성장기반 조성

□ **국가 탄소중립·녹색성장 기본계획('23. 03.)**

❍ 정부는 탄소중립 사회로의 이행을 위한 국가 비전 및 중장기 감축 목표 등의 달성을 위해 '국가 탄소중립·녹색성장 기본계획' 수립

- 기후위기 대응 및 지속가능 발전을 위한 국가 최상위 계획으로서 화석연료 의존적 사회 구조를 탈피할 탄소중립·녹색성장 정책의 철학과 비전 제시
- 온실가스 감축과 지구 온난화 적응, 환경과 경제의 선순환을 위한 정책 방향 설정 및 에너지 등 유관계획과 정합성 확보

❍ **(온실가스 감축목표(NDC) 설정)** 중장기 국가 온실가스 감축 목표 달성을 위한 산업·수송 등 부문별 감축 목표와 각 부문의 연도별 감축 목표 설정 및 이행 대책 수립

〈표 Ⅱ-27〉 부문별·연도별 온실가스 감축목표(국가 탄소중립·녹색성장 기본계획)

(단위 : 백만톤CO_2e)

부문	2018 (기준연도)	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
합계	686.3*	633.9	625.1	617.6	602.9	585.0	560.6	529.5	436.6**
전환	269.6	223.2	218.4	215.8	211.8	203.6	189.9	173.7	145.9
산업	260.5	256.4	256.1	254.8	252.9	250.0	247.3	242.1	230.7
건물	52.1	47.6	47.0	46.0	44.5	42.5	40.2	37.5	35.0
수송	98.1	93.7	88.7	84.1	79.6	74.8	70.3	66.1	61.0
농축수산	24.7	22.9	22.4	21.9	21.2	20.4	19.7	18.8	18.0
폐기물	17.1	15.1	14.7	14.1	13.3	12.5	11.4	10.3	9.1
수소	(-)	3.4	4.1	4.8	5.5	6.2	6.9	7.6	8.4
탈루 등	5.6	5.1	5.0	5.0	4.9	4.8	4.5	4.2	3.9
흡수원	-41.3	-33.5	-31.3	-28.9	-30.4	-29.1	-28.3	-27.6	-26.7
CCUS	**(-)**	**-**	**-**	**-**	**-0.4**	**-0.7**	**-1.3**	**-3.2**	**-11.2**

*국제사회에 제출된 '18년 총 배출량은 727.6백만 톤이나 순배출량 기준으로는 686.3백만 톤이며, 모든 연도별 합계는 순배출량 기준(부문별 소수점 첫째 자리 아래 절삭)

**국제감축은 관련 국제기준 확정, 최초 활용 시기('26년 예상) 등을 고려하여 연도별 목표를설정할 예정으로 '30년 목표에만 반영

❍ **(CCUS 부문 감축 방향)** △산업, 안전, 인증 기준 등을 포함한 단일법 제정, △**이산화탄소 포집·저장·활용 기술개발·실증 강화** △CCS 추가 저장소 확보

- (목표) '30 -11.2백만 톤 흡수·처리

(2) CCU 관련 정책

□ 2050 탄소중립 추진전략(‘20. 12.)

❍ **(비전)** “적응적(Adaptive) 감축” 에서 “능동적(Proactive) 대응” 으로 탄소중립·경제성장·삶의 질 향상 동시 달성

❍ **(실행전략1: 적응) 경제구조 모든 영역에서 低탄소화 추진**

- 주요 온실가스 배출원인 발전·산업·건물·수송 분야에 대한 기술개발 지원, 제도 개선 등을 통해 온실가스 조기 감축 유도

❍ **(실행전략2: 기회) 新유망 저탄소 산업 생태계 육성**

- 탄소중립 패러다임에 맞게 기존 혁신 생태계를 점검·보완하고 저탄소산업을 새로운 성장 동력으로 인식·육성하는 체계 구축

❍ **(실행전략3: 공정) 공정(公正)전환을 통해 전국민 참여 유도**

- 전환 과정에서 소외되는 계층·산업이 없도록 하고, 전 국민적 공감대를 토대로 지역·민간 등이 주도하는 Bottom-up 방식 추진

❍ **(실행전략4: 기반) 탄소중립 인프라 강화**

- 재정제도 개선 및 녹색금융 활성화, 기술개발 확충, 국제협력 등을 통해 탄소가격 시그널 강화 및 효과적인 탄소감축 이행 지원

〈표 Ⅱ-28〉 2050 탄소중립 추진전략-본 기획사업과의 부합성

본 기획사업과의 부합성
❍ **多배출업종의 저탄소 전환 촉진의 일환으로 CCU 추진** - 철강·석유화학·정유·시멘트 등 탄소 多배출 업종의 저탄소 구조 전환을 위한 공통 기술로 CCU 추진 강조 ❍ **금속·화학제품 제조업 등 多배출 중소사업장 대상 맞춤형 공정개선·설비보급 등 지원** ❍ **CCU를 신유망 산업으로 육성하기 위해 실증·저장기지 구축을 통해 CCU 조기 상용화를 추진하고, 포집 탄소를 연료 등으로 재합성하는 탄소순환산업 육성** ❍ **(CCU: 탄소중립 핵심기술) ‘30년 산업계 적용 가능성을 기준으로 CCU 상용화 기술, 차세대 원천기술 단계별 개발 로드맵 수립·추진** - (단기, ~‘30년) 대규모 배출원 CO_2를 전환·활용하고 저장하는 CCU 통합 실증 - (장기, ~‘50년) 탄소 순배출 없는 화학제품 생산 등 탄소중립형 CO_2 전환 원천기술 확보

□ 탄소중립 연구개발 투자전략(‘21. 03.)

❍ **(목표)** 2017년 : 탄소배출 세계 7위 → **2050년 : 탄소중립 실현**

- 에너지 생산-가공・유통-소비의 全 단계별로 부문별 탄소배출량*을 획기적으로 감축할 혁신적 기술을 개발・상용화

*發電 39.5%, 산업 33.5%, 수송 13.5%, 건물 및 기타 13.5%

- 궁극적 목적을 **‘산업현장 구현’**에 두고 R&D 투자 및 사업을 기획・추진

〈표 Ⅱ-29〉 탄소중립 연구개발 투자전략 기본방향

구분	현재		방향
에너지 생산	화석연료 등	→	**탈탄소화(재생 에너지 등)**
에너지 가공·유통	석유제품, 가스, 전기 등	→	**전기화, 수소화**
에너지 소비	산업·수송·건물 多배출	→	**산업공정 혁신, 에너지 고효율화**

❍ **(추진 방향)** 2050 탄소중립 실현을 위한 탄소중립 기술 혁신

- R&D 투자 ⇒ 탄소중립 사회 실현을 위한 전략적 R&D 투자 확대
- 추진체계・플랫폼 ⇒ 민간 주도형 + 탄소중립 지원 기반 구축

❍ **(CCU 핵심기술개발 착수)** 10대 핵심 투자분야로 탄소 포집・저장・활용(CCUS) 기술 설정,) CCU 로드맵(‘21.05.)에 따른 CO_2 포집 활용 핵심 기술개발 착수 및 기타 탄소(산업 부생가스 등)의 고부가 전환・활용 강화

- 시장 수요에 기반한 CCU 혁신 융합기술 개발 및 민간참여형 기술 실증 확대

단기		중장기
■ 조기 상용화 기술확보 - 저탄소 공정 기반 화학제품 생산 기술, 석유대체 고부가 화학제품		■ 민간참여형 CCU 실용화 사례 확대 - 기술 고도화 및 패키지화를 통한 실용화, 기업 참여를 통한 실증사업 확대
■ 감축 대상 CCU 기술 적용에 따른 온실가스 감축 방법론 확립 - 국가 온실가스 감축을 위한 방법론 확립 및 감축량 평가·인증 기반 구축	→	■ 발전, 철강, 시멘트, 석유화학산업 등 CCS 연계 기술 개발 - 블루수소 생산을 위한 수소+CCU 등 기존 산업공정에서 수용 가능한 기술, DAC(Direct Air Capture), e-fuel 등

〈표 Ⅱ-30〉 탄소중립 연구개발 투자전략-본 기획사업과의 부합성

본 기획사업과의 부합성
❍ **철강, 시멘트 등 다배출 산업 맞춤형 핵심기술 상용화를 통해 기술의 현장적용성 제고**
❍ **CCU 유망원천기술 확보 및 고도화를 위해 다부처 중장기 R&D 기획**

□ 탄소중립 기술혁신 추진전략(‘21. 03.)

❍ **(CCUS 상용화 기술 확보)** 탄소중립 기술혁신 10대 핵심기술로써 CCUS 제시, CCUS 상용화 기술확보를 위해 혁신 소재·대형화 개발 및 실증 추진

- 수소경제, CCUS, 탈플라스틱 등 다수 부처가 관련된 분야의 유망 원천기술 고도화 및 상용화를 위해 관련 부처 공동으로 R&D사업을 기획하여 ‘22년부터 사업 착수

〈표 Ⅱ-31〉 탄소중립 기술혁신 추진전략-본 기획사업과의 부합성

본 기획사업과의 부합성
❍ CCU 기술개발 및 통합실증 예타 사업 기획 추진 근거 마련

□ CCU 기술혁신 로드맵(안)(‘21. 06.)

❍ **(비전)** CCU 기술 혁신을 통한 탄소중립 실현 및 新산업 창출

〈표 Ⅱ-32〉 CCU 기술혁신 로드맵(안) 정책목표

2025 : 기술경쟁력 확보		2030 : CCU 상용제품 확보		2040 : 가격경쟁력 확보
(現) 선진국 대비 80% → **(‘25) 선진국 대비 90%**	→	(現) 없음 → **(‘30) 14개 제품** (화학 전환 10개, 광물화 4개)	→	(現) 연구 중 → **(‘40) 100%** (기존 시장가 수준 가격경쟁력)

❍ **(핵심기술 확보)** 분야별 중점기술 선정, 기술혁신 전략 수립 방향성 설정

- 다양한 CO_2 활용기술 중 기술경쟁력, 시장경쟁력 및 온실가스 감축효과 등을 종합적으로 고려하여 중점투자기술 선정
- ‘30년 산업계 적용 가능성을 기준으로 상용화 기술 및 차세대 기술로 구분하여 단계별 기술 성숙도 제고 전략 수립
  - ■ (상용화 기술) 핵심기술이 확립되어 있고, 경제성, 시장수요 및 전망, 온실가스 감축효과 등을 고려할 때 ‘30년 상용화가 가능할 것으로 예상되는 기술 ⇒ 기술 실증을 통한 조기 상용화 및 보급·확산에 집중
  - ■ (차세대 기술) 중장기적으로 기술 확보 시, 경제적·사회적 파급효과가 우수하여 ‘50년 탄소중립에 핵심적인 기여가 예상되는 혁신기술 ⇒ 신산업 창출을 위한 한계돌파형 원천기술 확보에 초점

〈표 Ⅱ-33〉 CCU 세부분야별 중점 기술

대분류	중분류	세부 중점기술
1. CO_2 포집	1-1. 연소 배가스 포집	(상) 중대규모실증을 위한 포집원·포집기술 선정·설계·테스트베드 구축 (상) 발전 배가스 대규모 포집 실증•상용화 기술 (상) LNG 발전용 포집 기술

대분류	중분류	세부 중점기술
	1-2. 산업 공정가스 포집	(상) 수소생산공정 배가스 최적 CO_2 포집 기술 (상) 제철공정 부생가스 최적 CO_2 포집 기술 (상) 석유화학 NCC 배가스 최적 CO_2 포집 기술 (상) 시멘트 킬른 배가스 최적 CO_2 포집 기술 (상) 산업공정 CO_2 포집-전환 연계 실증 기술
	1-3. 바이오·매립지가스 포집	(차) CO_2 포집 고농도 메탄 고질화 기술 (차) 바이오·매립지가스 연소 중 CO_2 원천분리 기술
	1-4. 연료 연소 중 원천분리	(차) 순산소 연소 기술 (차) 매체순환 연소 기술
	1-5. 차세대 포집 기술	(차) 고효율·저에너지 공기중·저농도 CO_2 포집 및 BECCUS 기술
2. CO_2 화학전환	2-1. 합성가스	(상) CO_2 개질을 통한 합성가스 생산 기술 (상) 폐기물·부산물 환원제 활용 CO_2 개질 기술 (차) 전기화학 기반 합성가스 생산 기술 (차) 플라즈마 기반 합성가스 기술 (차) CO_2 전환-미세먼지(대기오염물질) 동시저감 기술
	2-2. 유기산	(상) CO_2 개질 합성가스 기반 초산 생산 기술 (상) 전기화학 기반 유기산 생산기술 (개미산, 옥살산 등) (차) 바이오원료-CO_2 활용 융합기술 (아크릴산, FDCA 등) (차) CO_2 전환 화학-바이오 촉매 융합기술
	2-3. 카보네이트	(상) CO_2 촉매전환 에틸렌·프로필렌 카보네이트 생산 기술 (상) CO_2 촉매전환 디메틸카보네이트 생산 기술
	2-4. 알코올 및 알데히드류	(상) CO_2 개질 합성가스 기반 메탄올 생산 기술 (차) CO_2 동시 포집-전환 기술 (메탄올, 에틸렌글리콜 등) (차) CO_2 수소화 메탄올 생산 기술
	2-5. 탄화수소류	(상) CO_2 개질 합성가스 기반 올레핀 생산 기술 (차) CO_2 수소화 촉매전환 기술 (합성연료 등) (차) 전기화학 기반 탄화수소 생산기술 (에틸렌 등) (차) 광촉매 기반 화학전환 기술 (방향족화합물 등) (차) 플라즈마 기반 합성연료 생산 기술
	2-6. 고분자	(상) CO_2 촉매전환 폴리카보네이트 생산 및 활용 기술 (상) CO_2 촉매전환 폴리우레탄 생산 및 활용 기술 (차) CO_2 기반 엔지니어링 플라스틱 생산 기술
	2-7. 탄소소재 및 차세대활용	(차) 탄소소재화 기술 (2차전지소재, 그래핀, 탄소섬유 등) (차) CO_2 활용 배터리 기술
3. CO_2 생물전환	3-1. 바이오매스 생산	(상) 배출원별·소재별 고효율 CO_2 생물전환 균주 확보·배양 기술 (차) 미세조류 바이오매스 고농도·대량 생산 및 회수 시스템화 기술
	3-2. 바이오연료화	(차) 고효율·저에너지형 바이오디젤 생산 기술 (차) 생물전환 탄소 유래 항공유 생산 기술 (차) 생물전환 탄소 유래 발전용 고체연료 생산 기술
	3-3. 바이오소재화	(상) 미세조류 유래 천연색소 제품화 기술 (상) 미세조류 유래 오메가 지방산 제품화 기술 (상) 미세조류 유래 사료 생산 기술 (차) 미세조류 유래 플라스틱소재 생산 기술

대분류	중분류	세부 중점기술
4. CO_2 광물탄산화	4-1. 직접 광물탄산화	(상) CO_2 반응경화시멘트 제조 및 양생기술 (상) 배가스 직접 활용 건설소재화 기술 (상) 탈황석고 이용 광물탄산화 기술 (차) 레드머드 이용 광물탄산화 기술
	4-2. 간접 광물탄산화	(상) 중탄산나트륨 생산 및 활용 기술 (차) 산업부산물 이용 PCC 생산 및 활용 기술 (차) 해양부산물 이용 광물탄산화 기술
5. 기타탄소 활용	5-1 부생가스	(상) 고순도 CO 분리·정제 융복합 기술 (상) 부생가스 화학전환 기술 (메탄올, 올레핀, PHBH 등) (차) 부생가스 직접 활용 생물전환 기술 (개미산, PHA copolymer 등) (차) 비전통 에너지원 활용 플랫폼화합물 제조 기술
	5-2 바이오가스	(상) 저비용 바이오가스 고품위화 기술 (상) 바이오가스 개질 합성가스 및 추출수소 생산 기술

❍ **(R&D 투자 촉진)** CCU 로드맵 기반 상용화 기술군 및 차세대 원천기술 확보를 위한 **'(가칭)CCU 3050' 범부처 예타 사업('23~)' 기획** 지원

유형	대상기술	R&D 목표
2030 상용화 기술군	• 기술검증이 완료되어 '30년까지 이전 가능성이 높은 주요기술 • 민관합동 대규모 실증을 통해 시장진입 가능 CCU 제품 선정	• 비용 저감 및 감축효과 제고를 통해 상용화 필요 스펙 달성
2050 차세대 원천 기술군	• 탄소중립 사회를 대비하여 선제적으로 확보해야 할 징검다리 기술 • 산업계 미래수요를 기반으로 CCU 요소기술 선정	• CCU 효율성을 획기적으로 제고하는 한계돌파형 감축수단 탐색

❍ **(제도적 기반 마련)** CCU 감축량 산정기준 마련, CCU 기술(제품)에 대한 표준·인증 체계 구축

- CCU 사업에 따른 온실가스 배출량 변화를 중복·누락 없이 국가 인벤토리 內집계·반영할 수 있도록 산정 방법론 및 통계기반 마련
- CCU 기술(제품)·사업(기업)에 대한 국내 표준·인증체계를 고도화하여, 기술확산 촉진 및 참여기업 지원 혜택 등을 강화

❍ **(실효적인 이행체계 구축)** CCU R&D 산·학·연 전략협의체를 구성하여 신규 R&D 투자수요, 성과 공유, 기술 조기 적용 등 민·관 협업 활성화

- CCU 관련 출연(연), 대학, 기업 등을 중심으로 협의체를 구성하여 연구개발 현황 공유, 수요기술 발굴 및 신규과제 기획 등 추진

〈표 Ⅱ-34〉 CCU 기술혁신 로드맵(안)-본 기획사업과의 부합성

본 기획사업과의 부합성
❍ CCU 로드맵 기반 상용화 기술군 및 차세대 원천기술 확보를 위한 'CCU 3050' 범부처 예타 사업('23~) 기획 추진 근거 마련 ❍ 범부처 예타 사업을 통해 우선적으로 R&D를 추진할 기술 도출(CCU 세부분야별 중점 기술 활용) ❍ 세액공제, 정부 R&D 참여시 매칭비율 조정, 기술료 면제 등 민간 R&D 참여 방안 마련

□ 2050 탄소중립 시나리오안('21. 10.)

❍ (비전) 기후위기로부터 안전하고 지속가능한 탄소중립 사회

❍ (시나리오 구성) 국내 순배출량을 0으로 하는 2개 시나리오로 구성

- IPCC 1.5℃ 특별보고서('18)를 토대로 모든 국가가 2050년 탄소중립을 추진한다는 전제 下 국외 감축분이 없는 2050년을 가정
- △화력발전 전면 중단 등 배출 자체를 최대한 줄이는 A안, △화력발전이 잔존하는 대신 CCUS 등 제거기술을 적극 활용하는 B안 제시

〈표 Ⅱ-35〉 2050 탄소중립 시나리오 최종(안) 총괄표

(단위 : 백만톤CO_2eq)

구분	부문	'18년	초안			최종본		비고
			1안	2안	3안	A안	B안	
배출량		686.3	25.4	18.7	0	0	0	
배출	전환	269.6	46.2	31.2	0	0	20.7	‣ (A안) 화력발전 전면중단 ‣ (B안) 화력발전 중 LNG 일부 잔존 가정
	산업	260.5	53.1	53.1	53.1	51.1	51.1	
	건물	52.1	7.1	7.1	6.2	6.2	6.2	
	수송	98.1	11.2 (-9.4)	11.2 (-9.4)	2.8	2.8	9.2	‣ (A안) 도로부문 전기·수소차 등으로 전면 전환 ‣ (B안) 도로부문 내연기관차의 대체연료(e-fuel 등) 사용 가정
	농축수산	24.7	17.1	15.4	15.4	15.4	15.4	
	폐기물	17.1	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	
	수소	-	13.6	13.6	0	0	9	‣ (A안) 국내생산수소 전량 수전해 수소(그린 수소)로 공급 ‣ (B안) 국내생산수소 일부 부생·추출 수소로 공급
	탈루	5.6	1.2	1.2	0.7	0.5	1.3	

구분	부문	'18년	초안			최종본		비고
			1안	2안	3안	A안	B안	
흡수 및 제거	흡수원	-41.3	-24.1	-24.1	-24.7	-25.3	-25.3	
	CCUS	**-**	**-95**	**-85**	**-57.9**	**-55.1**	**-84.6**	
	직접공기포집(DAC)	-	-	-	-	-	-7.4	‣포집 탄소는 차량용 대체연료로 활용 가정

〈표 Ⅱ-36〉 2050 탄소중립 시나리오-본 기획사업과의 부합성

본 기획사업과의 부합성
❍ **CCUS 기술 상용화를 위한 대대적 투자 및 기술개발 추진 당위성 확보** - CCUS 경제성 확보 시점까지 민·관 합동 투자 및 실증 프로젝트 지속 - CCU 제품 사업화 지원, R&D 실증 및 사업화 지원 플랫폼 구축 ❍ **CCU 예타 사업 기획 추진 및 CCU 감축 목표에 대한 근거 마련**

□ 에너지 탄소중립 혁신전략('21. 12.)

❍ **(비전)** 에너지 시스템 혁신을 통해 글로벌 탄소중립 선도국 도약

❍ 8大 에너지 핵심기술 중 하나인 이산화탄소 포집·저장·활용(CCUS) 전 주기 기술 고도화를 통한 조기 상용화 촉진

- 대규모 저장소 확보 및 실증 등을 통해 CCUS 산업 육성

■ CCS : ('20년) 100톤 저장 → ('30년) 대규모 실증(年400만톤) → ('50년) DAC, BECCS

■ **CCU : ('20년) 초기 실증 → ('30년) 상용기술 확보(14대 제품) → ('50년) 가격경쟁력 확보**

- 대규모 저장소 조기 확보*, 과감한 R&D 투자**로 산업 창출 기반 마련

*'23년까지 1억톤, '30년까지 추가 8억톤(대륙붕 탐사·시추 6억톤, 저장효율혁신 2억톤)

동해가스전 CCS 실증(23~30년, 案), **범부처 CCU 실증(24~30년, 案) 등 **예타 추진**

- CCUS 확산 및 산업생태계 창출을 위한 지원방안, 수용성·안전성 확보 방안과 기준을 담은 CCUS 법안 마련('22년)

〈표 Ⅱ-37〉 에너지 탄소중립 혁신전략-본 기획사업과의 부합성

본 기획사업과의 부합성
❍ **CCU 예타 사업 기획 추진 및 CCU 감축 목표에 대한 근거 마련**

□ 탄소중립 산업 대전환 비전과 전략(‘21. 12.)

❍ **(비전)** 저탄소 경제를 선도하는 세계 4대 산업강국(제조업 르네상스 2.0)

〈표 Ⅱ-38〉 탄소중립 산업 대전환 비전과 전략 목표

구분	‘18년		50년(Net-zero)
친환경·고부가 품목 비중	16.5%	→	**84.1%**
탄소집약도(탄소배출/부가가치)	496톤 CO_2eq/십억원	→	**68톤CO_2eq/십억원(△86%)**
대한민국 수출 순위)	6위(20년 7위)	→	**4강 안착**

❍ **(CCUS 서비스)** 탄소중립 최후의 보루인 CCUS를 **기후대응 신산업**으로 육성

- 처리비용 절감*과 조기 상용화를 목표로 과감한 R&D 투자** 추진

*CCS 비용 목표($/t-$CO_2$) : (20년) 110 → (30년) 80 → (40년) 60 → (50년) 50불 이하

동해가스전 CCS 실증(23~30년, 案), **범부처 CCU 실증(24~30년, 案) 등 **예타 추진**

- CCUS 법안 마련* 등 과감한 재정적 제도적 지원방안** 마련 추진

*기술개발, 기업육성, 시설안전 · 환경관리 체계 등 포함 → 22년 발의 목표

**EU 탄소저감 사업비 최대 60% 지원, 노르웨이(36$/톤) · 미국(50$/톤) 세제 감면 등

〈표 Ⅱ-39〉 탄소중립 산업 대전환 비전과 전략 CCUS 서비스 개발 목표

2030년		2040년		2050년
대규모 저장 실증(年400만톤) CCU 상용기술 확보	→	**민간주도 시장 확산(CCU)** 및 가격경쟁력 확보(CCS)	→	**차세대 CCUS 상용화** (DAC, BECCS, e-fuel, 미세조류 등)

〈표 Ⅱ-40〉 탄소중립 산업 대전환 비전과 전략-본 기획사업과의 부합성

본 기획사업과의 부합성
❍ **CCU 예타 사업 기획 추진 및 CCU 감축 목표에 대한 근거 마련**
❍ **민간 주도 CCU 조기 상용화 추진 당위성 확보**

□ 탄소중립 녹색성장 기술혁신 전략(‘22. 10.)

❍ **(한국형 탄소중립 100大 핵심기술 선정)** 부문별 탄소 배출량 등을 고려하여 탄소중립 관련 총 110개 분야 중에서 탄소중립 중점기술 분야 선별 · 배분*

*수요조사(‘21.03.) → 5개 분과위 운영(‘21.05~07.) → 탄소중립기술특위(‘21.08, 39개)

〈표 Ⅱ-41〉 탄소중립 녹색성장 기술혁신 전략 중점기술 분야 선정

부문	탄소 배출량(백만톤, 비중)			탄소중립 중점기술 분야
총합	**727**	**100%**		**총 40개**
에너지 전환	269	37%	→	태양광, 풍력, 원자력 등 12개 분야
산업	260	36%	→	수소환원제철 등 12개 분야
수송·교통	98	14%	→	전기차용 이차전지 등 6개 분야
건물·도시	52	7%	→	화석연료대체 기자재 등 4개 분야
환경	41	6%	→	자원순환형 소재 등 3개 분야
CCUS	**-85**	**-**	**→**	**포집, 저장, 활용 등 3개 분야**

〈표 Ⅱ-42〉 CCUS 부문 탄소중립 100대 핵심기술(안)

부문	중점 분야	탄소중립 100대 핵심기술(안)	
CCUS	포집	(경제성 확보) 연소 후 포집 등 4개	
		- 연소 후 포집 기술	- 산업공정 포집 기술
		- 연소 중 포집 기술	- 직접 공기 포집 기술
	저장	(대형화) 저장소 탐사·평가 등 4개	
		- 육해상 저장소 탐사 및 평가 기술	- 저장소 설비 설계·구축 기술
		- 저장소 CO_2 주입 및 운영 기술	- 저장소 누출탐지 등 모니터링 기술
	활용	**(경제성 확보) 광물탄산화 등 총 3개**	
		- 화학적 전환 기술	**- 생물학적 전환 기술**
		- 광물 탄산화 기술	

❍ **(탄소중립 분야 신속 예타 지원 및 맞춤형 프로젝트 추진)** 탄소중립 R&D 대상, 신속 예타 제도 적용 + 맞춤형 프로젝트 기획

〈표 Ⅱ-43〉 탄소중립 녹색성장 기술혁신 전략-본 기획사업과의 부합성

본 기획사업과의 부합성
❍ CCU 예타 사업 기획 추진 및 CCU 감축 목표에 대한 근거 마련
❍ 화학적 전환, 생물학적 전환, 광물 탄산화 각각의 CCU 기술 개발 및 연계 지원 당위성 확보

□ CCUS 분야 탄소중립 기술혁신 전략로드맵(안)(‘22. 11.)

❍ **(도전)** 에너지, 산업공정 등에서 배출된 CO_2를 흡수 및 처리하여 저탄소 기술강국 도약 및 탄소중립 사회 기반 조성 필요

❍ **(임무)** 대량의 CO_2를 경제적으로 포집하여, 안전하게 저장하거나 경제적 가치를 지닌 제품으로 전환・활용

❍ **(탄소활용(CCU) 기술혁신 목표 및 전략)** 산업체 의견 수렴 및 특화된 기술 기반의 상용화 가능성이 높은 탄소활용 기술 선별, 조속한 성공사례 창출 추진

- 탄소활용 기술은 매우 다양하여 탄소감축효과, 시장성(부가가치), 기술성숙도, 국내적용성(기술수요) 등을 검증하고 차기 단계 지원

① 탄소활용 단기 목표(NDC) 달성 기술 확보

■ **(목표) Pilot 규모(1~20톤/일) 탄소 활용 시스템 개발 · 실증(~‘25)**
→ **준상용급(100톤/일 내외) CCU 통합실증(‘25~)**

❍ (1단계) Pilot 규모(1~20톤/일) 탄소활용 시스템 개발·실증(~ ‘25)

- (목적) 상용화가 가능한 기술을 대상으로 1~20톤/일 내외 규모의 Pilot 시스템 개발을 통한 스케일업 가능성 검증
- (내용) 대상 기술별 1~20톤/일 내외 생산 설비 구축・운영・실증을 통해 성능 평가, 경제성 및 온실가스 감축효과 산정

❍ (2단계) 포집과 활용을 연계한 준상용급(100톤/일 내외) CCU 통합실증(‘25~)

- (목적) 상용급(1,000톤/일)의 전단계로 기존 기술과 연계한 준상용급 생산시스템 구축·운영을 통해 경제성 등 상용화 가능성 최종검증
- (내용) 대상 기술별 준상용급(100톤/일 내외) 생산 설비 구축, 촉매 및 공정 개발, 공정 최적화 및 운영・실증 등
- (대상) 준상용급 수준 여부, 기업 참여, 정부 정책(CCUS 감축 목표 등) 등을 평가, 조기 상용화가 가능하다고 판단되는 기술에 대해 2단계 실증

- (목표) 상용화 가능한 탄소활용 용량·성능 및 단위 시스템 구축 비용 등 실증
- (2단계 사업기획 시 충족 요건) 탄소포집 연계방안, 수행 주체(참여기업), 실증장소 및 제품 활용 방안, 경제성 검증방안, 국산화율 등 제시

② 탄소활용 장기 목표(2050 탄소중립) 달성 혁신기술 확보

■ **(목표) 한계돌파형 기술혁신을 위해 경쟁형 방식을 활용하여 상용화 가능성이 높은 대표기술 발굴(~'30)**
→ Pilot 규모 실증('30 이후)

❍ (1단계) 상용화 가능성이 높은 **대표기술 발굴(~ '30)**

- (목적) 도전적인 목표는 하향식으로 정의하고, 이를 해결하기 위한 아이디어는 상향식의 다양한 접근방법 시도를 통해 최적의 기술 확보
- (내용) 상용화 수준에 도달한 탄소활용 기술 대비 온실가스 감축 효과, 경제성 등 경쟁력 있는 활용기술에 대한 기초·원천연구 지원
- (방식) 소규모 예비연구(경쟁형 기획)를 통해 타당성이 확인된 과제에 대해 본연구(1단계, 2단계 등 단계 구분) 수행 및 한번 선정 시 계속 지원방식 탈피

❍ (2단계) 상용화 가능성이 있는 기술에 대해 **Pilot 규모 실증** 추진('30 이후)

- (방향) 1단계 기초·원천 연구 등을 통해 상용화 가능성이 보이는 기술에 대한 Pilot 규모 실증
- (내용) 국내기술로 구현된 1~20톤/일 내외 시스템 개발 및 Pilot 실증을 통해 기존 탄소활용 기술과 경쟁력 비교·검증
- (가칭)**무탄소 에너지(CFE) 전환을 위한 CCU 기술개발 사업 사업**(과기정통부·산업부 등, **신규 예타사업 기획예정, '25~ '31**)

■ 산업공정 포집과 화학적 전환·광물 탄산화 등 활용기술을 연계한 준상용급 CCU 기술개발 및 통합실증 등

〈표 Ⅱ-44〉 CCUS 분야 탄소중립 기술혁신 전략로드맵-본 기획사업과의 부합성

본 기획사업과의 부합성
❍ **무탄소 에너지(CFE) 전환을 위한 CCU 기술개발 사업 예타 사업 기획 추진 및 CCU 감축 목표에 대한 근거 마련**
❍ **산업체 기술수요조사 기반의 지원과제 구성 당위성 확보**

4. 국내외 온실가스 多배출산업 동향

가. 철강

□ **(개요)** 철을 함유하고 있는 철광석, 철스크랩 등을 녹여 쇳물을 만들고 불순물을 줄인 후 연주 및 압연과정을 거쳐 열연강판, 냉연강판, 후판, 철근, 강관 등 최종 철강제품을 만들어내는 산업

❍ 제품 생산을 위한 조강 기술은 크게 고로-전로 방식과 전기로 방식으로 구분

- (고로-전로 방식) 용광로에 철광석과 코크스, 석회석 등을 투입하여 쇳물을 만들어 철강 제품을 생산하는 방식이며, 전기로 방식은 철스크랩(고철)을 전기로에 투입하여 이를 전기 아크열로 녹여 쇳물을 만드는 방식

■ 철광석과 코크스를 원료로 선철을 생산하므로 불순물 함량이 낮은 고품질의 제품을 대량 생산할 수 있다는 장점이 있지만, 대규모 설비 투자가 필요하고, 온실가스와 대기오염물질(황산화물, 먼지 등)을 더 많이 배출한다는 단점이 존재

- (전기로 방식) 고로-전로 방식보다 설비 투자비가 적게 들고 제조 소요 시간이 짧아 수요에 빠르게 대응할 수 있다는 장점이 있지만, 전력 소모량이 많고 고로-전로 방식의 제품보다 품질이 떨어진다는 단점이 존재

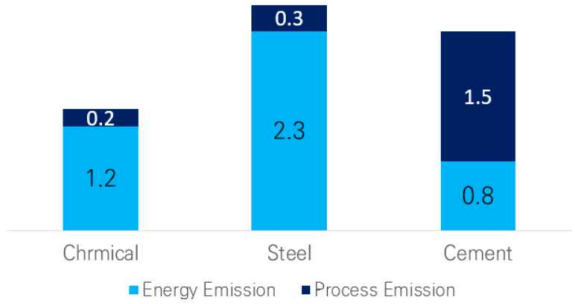
□ **(대표적 탄소 多배출 업종)** 철강 산업은 대표적인 탄소 다배출 업종으로서 각국 정부가 탄소중립 사회를 구현하기 위해 관리해야 할 핵심 대상

❍ IEA(International Energy Agency)에 따르면, 글로벌 철강산업은 연간 26억 톤의 탄소를 배출하며, 이는 산업 전체 배출량의 7%를 차지

❍ 제조업 기반인 한국의 경우, 2019년 철강 산업에서 배출한 온실가스는 1.2억 톤으로 산업 전체 배출량의 19.2%를 차지

〈그림 Ⅱ-22〉 세계 주요산업 온실가스 배출량(2019)

(단위 : $GtCO_2$ per year)



*출처 : 한국신용평가, 강화되는 탄소중립 정책에 대한 철강업계의 대응력 점검, 2021. 10.

〈그림 Ⅱ-23〉 국내 산업별 온실가스배출량(2019)

(단위 : 억tCO_2-EQ)

*출처 : 한국신용평가, 강화되는 탄소중립 정책에 대한 철강업계의 대응력 점검, 2021. 10.

□ **(각국 정부의 기후변화 적극 대응 추세)** 중국, 유럽, 미국, 일본 등 주요 철강 생산국가는 그린산업 관련 대규모 투자 예산을 편성하는 한편, 철강을 비롯한 탄소 다배출 산업에 대한 직·간접적 규제를 강화하는 방식으로 기후변화에 적극적으로 대응

〈표 Ⅱ-45〉 주요 국가별 정책현황 및 철강산업 구조

구분	중국	EU	미국	한국	일본	인도
탄소중립 목표연도 (NDC, '30년)	2060년 ('05년 GDP 대비 65%)	2050년 (1990년 대비 55%)	2050년 ('05년 대비 50~52%)	**2050년 ('18년 대비 40%)**	2050년 ('13년 대비 46%)	목표설정 X ('05년 GDP 대비 35%)
CO_2 배출량 (철강산업)	9,571백만톤 (전체 15% 내외	3,151백만톤 (전체 5% 내외)	4,921백만톤 (43백만톤-'18년)	**606백만톤 (121백만톤-'19년)**	1,081백만톤 (155백만톤-'19년)	2,308백만톤 (295백만톤-'20년)
조강생산량 ('20년)	1,065백만톤	139백만톤	73백만톤	**67백만톤**	83백만톤	100백만톤
고로/전기로 비중('20년)	90.8% / 9.2%	57.6% / 42.4%	29.4% / 70.6%	**68.9% / 31.1%**	74.6% / 25.4%	44.5% / 55.5%

구분	중국	EU	미국	한국	일본	인도
관련 정책 및 규제	• 新인프라건설 (34조위안) • 철강 감산 • 부분 배출권거래제	• EU그린딜 (1조유로) • 배출권거래제 • 탄소국경조정 제도	• 인프라투자 (4.5조달러) • 부분 배출권거래제 • 탄소국경세 도입 검토	• **그린뉴딜 2.0 (61조원)** • **배출권거래제**	• 그린성장전략 (2조엔) • 탄소세 부과	• 국가인프라계획 (100조 루피) • 철 스크랩 회수정책

*출처 : 세계철강협회(WSA), IEA(2020), 기타 시장자료 취합

□ **(글로벌 철강사별 탄소중립 목표 및 계획 발표)** 생산 구조상 전력 소모가 막대한 철강 업계는 기후행동 보고서, 로드맵 등을 통해서 기후변화 관리 체계, 배출정보, 탄소중립 목표 및 관련 상세 계획 등을 투명하게 공개

〈표 Ⅱ-46〉 국내외 주요 철강사별 기후변화 대응전략

업체	조강생산량 (2020)	탄소배출량 감축 목표 및 주요 전략
China Baowu Steel Group (중국)	115.29백만톤	• 2023년 탄소배출량 정점, 2035년 정점 대비 30% 감축, 2050년 탄소중립 • 초저준위 배출(Ultra-low Emission) 충족하는 설비 개선 및 전기로 확대 • 태양광, 풍력, 바이오매스 등의 신재생에너지 사용 증가 • 수소환원제철 등 친환경 생산기술 투자
Arcelor Mittal (룩셈부르크)	78.46백만톤	• 2030년까지 탄소배출량 25% 감축(유럽지역 35% 감축), 2050년 탄소중립 • 스페인 세스타오에 세계 최초 무탄소 제철소 건설(2025년, 160만톤) • 친환경 기술 개발 – 직접환원철(DRI), Smart Carbon(탄소 포획 및 재활용) • 2030년 목표 달성 위해 100억 달러 투자 및 50% 공적기금 유치
SSAB (스웨덴)	7.53백만톤	• 2025년까지 탄소배출량 25% 감축, 2045년 탄소중립 • 광산업체(LKAB) 및 전력회사(Vattenfall) 합작으로 스웨덴 Lulea 지역에 HYBRIT(수소환원철) 데모플랜트 신설 및 시험 생산(2026년 상용화 목표
Thyssenkrupp (독일)	10.73백만톤	• 2030년까지 탄소배출량 2018년 대비 30% 감축, 2050년 탄소중립 • Carbon2Chem 프로젝트(포집된 CO_2를 메탄올, 암모니아 등의 화학물질로 가공) • 2025년 독일 뒤스부르크에 친환경 직접환원철(DRI) 공장 완공
Nippon Steel (일본)	41.58백만톤	• 탄소배출량 2030년까지 2013년 대비 30% 감축, 2050년 탄소중립 • 전기로 사용 확대, CCUS 기술 및 수소환원제철 개발
JFE Holding (일본)	24.36백만톤	• 탄소배출량 2013년 대비 2030년 20% 이상 감축, 2050년 탄소중립 • 페로코크스(Ferro Coke) 활용으로 제선과정에서 철광석 투입량 감축 • 탄소 재활용(Carbon recycling blast furnace), CCUS, 수소환원 등 개발, AI 통한 운영 효율화
Tata Steel (인도)	28.07백만톤	• 2025까지 생산되는 철강 톤당 탄소배출량 2톤 미만 목표 • 철 스크랩 재활용, 수소기반 기술개발, 탄소 포집·사용, Hisarna 공정을 통해 기존 생산공정 간소화 및 탄소배출량 20% 감축
포스코 (한국)	40.58백만톤	• 탄소배출량 2017~19년 대비 2030년 20%, 2040년 50% 감축, 2050년 탄소중립 • 탄소포집·저장·활용(CCUS) 및 파이넥스 기반 수소환원제철 기술개발 • 2차전지 소재 및 수소생산 등 저탄소 사업 확장
현대제철 (한국)	19.81백만톤	• 친환경 제강공업 개발 및 신재생에너지 사용 증가를 통해 2050년 탄소중립 • 코크스건식소화 설비(Coke Dry Quenching, CDQ) 설치를 통한 에너지 효율화 • 대기오염물질 저감장치 구축

*출처 : 한국신용평가, 강화되는 탄소중립 정책에 대한 철강업계의 대응력 점검, 2021. 10.

나. 석유화학

□ **(개요)** 석유제품 또는 천연가스를 원료로 합성수지, 합성섬유 원료, 합성고무 및 각종 기초 화학제품을 생산하는 산업

❍ 나프타와 같은 석유제품이나 천연가스를 원료로 에틸렌, 프로필렌, 벤젠, 톨루엔 등 기초유분을 생산하고, 기초유분을 원료로 합성수지(플라스틱), 합성섬유(폴리에스터, 나일론 등), 합성고무 그리고 정밀화학 중간재와 화성품을 제조하는 산업

- 의류, 휴대폰, 가방 등 소지품의 70%는 석유화학제품으로 구성되어 있을만큼 실생활에 없어서는 안될 생활 밀착형 산업이며, 목재나 천연섬유 등 천연소재를 저렴한 비용으로 대체하여 환경 보호에도 앞장서고 있는 산업

❍ 규모의 경제가 중시되는 자본 · 기술 집약적 장치산업이며 납사 분해공장(NCC)를 모체로 하여 관련 유도품 공장들이 계열화, 단지화되어 있는 전형적인 콤비나트 산업으로 대규모 설비 투자 필요

❍ 세계 경기 및 수급상황, 유가 변동 등 외부 요인에 따라 산업의 호황과 불황이 반복되는 경기순환형 산업으로서 경기 호황기에 다가올 불황기를 미리 예측하여 설비투자 및 R&D 등의 대비책 수립이 요구되는 산업

□ **(석유화학산업 중장기 영업환경 변화 전망)** 탄소 배출량 감축을 위한 글로벌 규제·입법 가속화, 일회용 플라스틱 규제 시행 등으로 석유화학산업 이익 창출력에 부정적 영향 우려 확산

❍ 코로나19 바이러스 확산 이후 미국 주정부가 포장재, 비닐 사용 감축을 위한 법안 시행을 중단하는 등 일시적으로 일회용품 관련 규제가 완화되고 있으나, ‘ESG’ 요소를 중시하는 글로벌 트렌드 하에서 석유화학산업의 영업환경 변화는 피할 수 없는 상황

〈표 II-47〉 석유화학산업의 주요 ESG 위험 요인

구분	위험 요인
Environmental	• 온실가스 배출 규제(탄소배출권 구입비용, 환경규제 준수, 친환경 제품 생산설비 구축을 위한 투자 부담) • 일회용품 규제(기존 탄소 기반 석유화학제품에 대한 수요 성장세 둔화 전망, 친환경 석유화학제품의 높은 생산 비용으로 인한 수익성 저하 가능성)
Social	• 안전사고(석유화학 공장 사고로 인한 근로자 및 인근 지역 사회 피해 가능성, 생산 차질 발생에 따른 실적 하락 가능성) • 소비자 사용 안전성, 건강에 미치는 영향(화학물질등록평가법 등 법률 규제 위반, Reputation 저하 리스크)
Governance	• 개별 기업 또는 개별 기업이 속해 있는 그룹의 지배구조 투명성 등

*출처 : 한국신용평가, [ESG] 산업별 영향 분석 II : 석유화학, 2021. 09.

〈표 II-48〉 국내 석유화학업체별 주요 ESG 이슈 대응 현황

구분	RE100/ 탄소배출량 감축	수소사업	CCUS	Recycled Plastic	Bio Plastic	ESG 관련 기구
LG화학	RE100 가입	부생수소	KIST 업무협약	PCR-PC, PCRABS 등, 이너보틀 협업	PBAT, PLA 등	이사회 내 ESG 위원회 설치
롯데케미칼	CDP 참여, 자체 RE100 추진	부생수소, 수소 밸류체인 구축 ('30년 매출 4.4조원 목표)	여수 실증설비 설치	PCR-PP, PCR-PC, PCR-ABS 등	Bio-PET 등	이사회 내 ESG 위원회 설치
SK 지오센트릭	CDP 참여, Carbon Net Zero 로드맵 수립 (SK이노베이션	부생수소(동사), 액화플랜트 등 (SK이노베이션)	한국석유공사 국책과제 협약 (SK이노베이션)	rPE, rPP, rPET 등 기계적/화학적 재활용	PBAT 등	이사회 내 ESG 위원회 설치 (SK이노베이션)
여천NCC	석유화학 탄소제로위원회 참여	부생수소		(기초유분 제조사)	(기초유분 제조사)	이사회 내 ESG 위원회 설치 (한화솔루션)
SKC	RE100, 2040 Net Zero			폐플라스틱 열분해유, 에코라벨 등	PLA, PBAT 등	이사회 내 ESG 위원회 설치
금호 석유화학	온실가스 감축 목표 설정 및 이행 로드맵 수립		CCUS 설비 도입 추진	폐합성수지, 고무 재사용 기술 개발 추진	Bio-Silica 적용 친환경 합성고무	이사회 내 ESG 위원회 설치
SK 어드밴스드	CDP 평가 참여 추진(SK가스)	부생수소(동사), 수소밸류체인 구축(SK가스)	CCUS 기술 개발 추진 (SK가스)	(기초유분 제조사)	(기초유분 제조사)	이사회 내 ESG 위원회 설치 (SK가스)
효성화학	CDP 평가 참여 추진, 폴리케톤 (일산화탄소 원료화)	부생수소(동사), 수소밸류체인 구축(효성그룹)	CCUS 기술 개발 추진 (효성그룹)			이사회 내 ESG 위원회 설치 (효성)
현대케미칼	Honeywell UOP와 RE 플랫폼 구축 MOU (현대오일뱅크)	부생수소(동사), 수소밸류체인 구축 (현대중공업그룹)	CCUS 기술 개발 추진 (현대오일뱅크)			이사회 내 ESG 위원회 설치 (현대오일뱅크)

*출처 : 한국신용평가, [ESG] 산업별 영향 분석 II : 석유화학, 2021. 09.

〈표 Ⅱ-49〉 국내 주요 NCC 업체의 ESG 관련 투자비

구분	내용
LG화학	바이오 소재 및 재활용 플라스틱, 신재생에너지 산업 소재에 총 3조원 투자 (LG에너지솔루션 제외)
롯데케미칼	향후 10년간 친환경 사업 관련 총 5.2조원 투자(수소사업 4.4조원 등)
SK지오센트릭	2021~25년 친환경 소재, 열분해/재활용 플라스틱 생산설비, 울산설비 개선 투자 등에 약 5조원 투자

*출처 : 한국신용평가, [ESG] 산업별 영향 분석 Ⅱ : 석유화학, 2021. 09.

〈표 Ⅱ-50〉 국내 석유화학업체의 환경개선 관련 분야별 투자계획

분야	투자 내용	투자 금액(억 원)
공정 개선	가스발전기 교체, 탄화수소 정제율 개선 등	1,307
방지시설 확충	질소산화물 방지시설, 폐가스처리시설, 탄화수소류 흡착탑, 집진시설 확충 등	2,138
비산배출 방지	저장시설 탄화수소 저감, 플래어스택 모니터링 등	1,106
오염 모니터링	굴뚝 TMS, 악취 측정, 배출구 개선 등	1,207
기타	전문인력 확충, 절감 등	193
합계		5,951

*주 : 2021년 5월 LG화학, 롯데케미칼, SK지오센트릭, 한화토탈, 여천NCC, 대한유화 등 6개 업체는 환경부와 환경투자 확대 협약 체결
*출처 : 한국신용평가, [ESG] 산업별 영향 분석 Ⅱ : 석유화학, 2021. 09.

□ **(석유화학업종 탄소배출량은 철강업종에 이어 국내 2위)** 국내 화학업체들은 연간 약 7천만톤의 온실가스를 배출

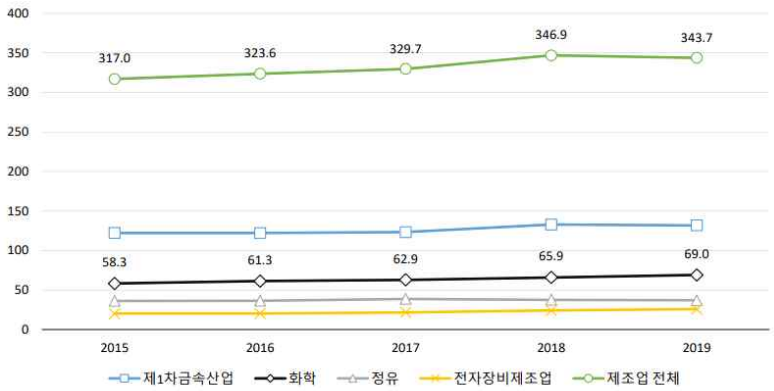
❍ 약 1.3억 톤을 배출하고 있는 철강업종에 이어 두 번째로 온실가스 배출량 상위

❍ 생산능력 확장세가 이어지면서 석유화학업종의 탄소배출량은 2015~19년 연평균 3.4%씩 증가

- 같은 기간 제조업 전체 탄소배출량이 연평균 1.6%씩 증가한 데 비해 속도가 빠르며, 이에 석유화학업종의 탄소배출량 기여도가 높아지는 추세(국내 제조업 전체 배출량 대비 화학업종 배출량 비중: 2015년 18.4% → 2019년 20.1%)

〈그림 Ⅱ-24〉 국내 업종별 온실가스 배출량

(단위 : 백만 tCO_2)



*출처 : 한국신용평가, [ESG] 산업별 영향 분석 Ⅱ : 석유화학, 2021. 09.

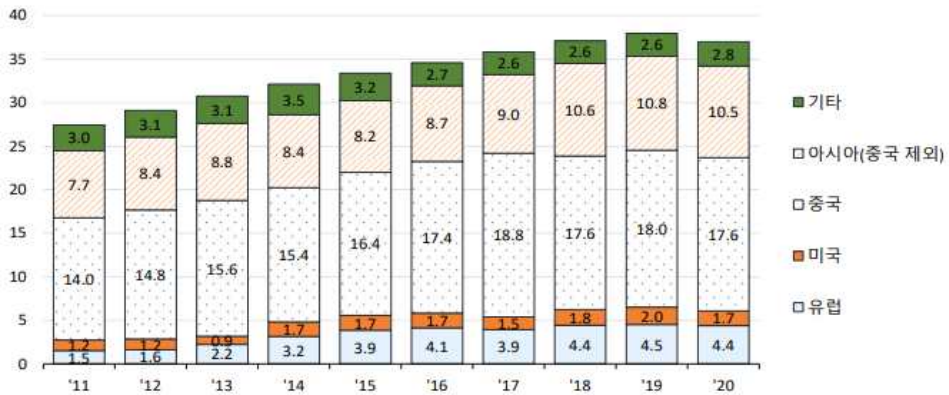
□ **(수출의존도가 높은 석유화학은 해외 탄소배출규제에 직접적인 영향 전망)**

탄소배출량 감축을 유도하기 위해 EU, 미국(주정부), 한국, 중국, 일본 등 각국 정부는 연 단위로 기업의 탄소배출 총량을 정한 뒤 배출권을 할당하며, 배출권이 모자라는 기업은 남는 기업 또는 탄소배출권 거래소를 통해 구매해 쓰도록 하는 '탄소배출권 거래제'를 시행

❍ 최근에는 탄소 국경세를 도입하는 방안이 검토되고 있고, '탄소국경조정제도(CBAM: Carbon Border Adjustment Mechanism)' 도입에 대한 내용이 담긴 EU 입법안 패키지의 경우, 탄소배출량이 많고, 수출 비중이 약 50%에 이르는 석유화학산업에도 직접적인 영향을 미치게 될 전망

〈그림 Ⅱ-25〉 국산 석유화학제품 지역별 수출물량 추이

(단위 : 백만 톤)



*출처 : 한국신용평가, [ESG] 산업별 영향 분석 Ⅱ : 석유화학, 2021. 09.

다. 시멘트

□ **(개요)** 시멘트는 석회석, 점토 등을 혼합하여 열처리 과정을 거쳐 분쇄한 물질로 수분과 혼합되면 경화되는 성질을 지닌 무기질 교착재료로서, 토목 및 건축 공사에 주로 사용

❍ 건설경기 수요변동에 민감하며, 대규모 설비 투자가 요구되어 자본 집약적이고, 에너지 다소비·공해 유발의 특징을 보유

□ **(수요 및 생산 전망)** 세계 시멘트산업 생산량은 2020년 40억 5,000만 톤에서 2030년까지 연평균 0.5% 증가할 것으로 전망

❍ 주요 선진국에서의 소비 정체에도 불구하고 인구와 인프라 개발이 증가하고 있는 인도, 동남아, 아프리카 등의 신흥국을 중심으로 2030년까지의 세계 시멘트 생산량은 증가가 예상

- 반면 2030년 이후부터 시멘트 생산량은 점차 감소하여 2050년에는 2020년 생산량 수준인 40억 3,000만 톤 규모가 될 것으로 전망

〈표 II-51〉 세계 시멘트산업 생산 전망

(단위 : 백만 톤, %)

구분	2019	2020	2030	2040	2050	연평균 증감률	
						2020~2030	2020~2050
생산량	4,215	4,054	4,258	4,129	4,032	0.5	-0.0

*출처 : IEA, 2021.

□ **(EU, 선도적인 탄소 감축 진행)** EU는 역내 시멘트 산업에 대한 탄소중립 목표를 수립, 시멘트 산업계는 감축 로드맵을 통해 정부 목표에 호응

❍ EU는 시멘트 산업을 탄소 多 배출 산업으로 규정하고 탄소중립 목표를 수립

- EU 시멘트 산업은 전체 탄소 배출량의 약 5%를 차지
- EU 정상회의는 '유럽 그린 딜*' 을 발표하며('19.12.) 시멘트 산업을 탄소 감축이 필수적인 에너지 집약산업으로 규정, '50년까지 탄소중립을 이행할 의무를 부여

*EU의 녹색 전환을 위한 정책 이니셔티브 패키지로 산업 절반에 걸친 감축 목표와 전략, 그리고 이를 법제화 하는 내용을 제시

❍ 유럽 시멘트 협회(CEMBUREAU)는 유럽 그린 딜에 맞추어 시멘트 산업의 탄소중립 로드맵을 발표

- 시멘트 협회는 5C로 표현되는 가치사슬별 감축 전략을 바탕으로 '30년까지 29% 감축, '50년까지 완전한 탄소중립을 실현하는 로드맵을 발표('20.05.)

〈표 Ⅱ-52〉 유럽 시멘트 협회의 5C별 탄소감축 전략

5C 구분	단계별 정의	대표적 감축전략
클링커	클링커 제조(석회석 소성)	석회석 대체 원료 및 유연탄 대체 연료
시멘트	클링커 배합 및 운송	클링커 비율을 최소화하는 혼합재 개발
콘크리트	골재와 시멘트 제품 혼합	시멘트 사용을 최소화하는 콘크리트 배합
건설	콘크리트 타설 및 건축	정밀 건축을 통한 시멘트 사용 최소화
CCS&CCUS	산업 내 발생한 CO_2 포집 및 활용	반응 경화 시멘트를 통한 CO_2 포집

*출처 : CEMBUREAU, "2050 Carbon Neutrality Roadmap", 2020., 재구성

□ **(국내 시멘트 업계 저탄소 전환 추진)** 한국 정부와 시멘트 산업계는 협력과 기술투자를 바탕으로 시멘트 산업의 저탄소 전환 추진

❍ 한국 정부는 산·학·연·관 협의체를 결성하며 산업계와의 협력을 강화하는 동시에 탄소 감축 기술에 대한 투자 계획을 발표

- 산업부, 시멘트 산업계, 한국세라믹연구원 및 학계는 "시멘트그린뉴딜위원회"를 발족하며 탄소 감축 기술개발 및 로드맵 수립 계획을 발표('21.02.)
- 산업부는 탄소중립 핵심 기술개발 사업*, 투자 촉진 계획, 산학연 협력, 산업 제도 개선 등의 내용을 담은 "산업 부문 탄소중립 R&D 추진전략"을 발표('23.02.)

*탄소중립 산업핵심 기술개발: 시멘트, 철강, 화학, 반도체/디스플레이 부문의 탄소중립 핵심기술을 확보하기 위한 정부 R&D 사업으로 총사업비는 9,352억원, 기간은 '23년~'30년

❍ 주요 시멘트 기업은 탈석탄화(대체 연료 사용) 기술에 대한 투자를 대폭 확대하며 저탄소 산업으로의 전환 시도

- 직접배출(화석연료의 사용)은 산업 내 전체 탄소 배출량의 약 35%를 차지하므로 탄소 배출계수가 낮은 대체연료*로의 에너지 전환이 탄소중립에 필수적

*폐플라스틱, 폐타이어 등의 합성수지 폐기물을 연료화한 것

- 쌍용C&E의 '21년 환경 투자 비용은 1,153억원 규모로 전년 대비 약 56% 증가
- 아세아시멘트, 한일시멘트는 각각 700억원('20~'23년), 725억원('21~'24년) 규모의 연료 사용 시설 구축 관련 투자를 진행 중
- 대체 연료 사용 비중은 꾸준한 증가세를 유지하며 '20년에 35%의 실적을 기록

〈표 Ⅱ-53〉 국내 시멘트 산업의 대체 연료 사용 현황

대체 연료	2017년	2018년	2019년	2020년	2021년
사용량(천TOE)	1,023	1,096	1,181	1,471	1,963
사용 비중	23%	26%	27%	35%	-

*주 : Ton Of Equivalent(TOE), 사용된 총 열량을 석유 1톤의 발열량으로 환산한 값
'21년 시멘트 산업의 에너지 사용량 실적이 보고되지 않은 바 '21년의 대체 연료 사용 비중은 미표기

*출처 : 한국시멘트협회 자원순환센터, 한국에너지공단 국가온실가스 배출량 종합정보 시스템, 한종민(2020), "시멘트 제조에 사용되는 선별된 폐플라스틱 폐기물류 원료로서의 기초 특성 평가", 산업은행 재구성

❍ 국내 시멘트 산업의 탈석탄화 부문에서는 추가적인 기술 개선이 예상되나, 탈탄산화 부문은 아직 초기 단계로 관련 기술에 대한 개발 및 투자가 필요

- 정부의 수소 산업 육성 정책 수립*과 함께 주요 시멘트 기업들의 탈석탄화 기술에 대한 추가적인 투자 계획으로 시멘트 산업의 탈석탄화는 가속될 예정**

*산업부('20.02.04자 제정), 『수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률』

**2050 탄소중립 시나리오는 시멘트 산업의 열원 중 폐합성수지의 비중을 60%, 수소 열원 비중을 40%로 제시

- 산업부는 초기 단계인 석회석 원료 대체기술에 대한 개발 및 혼합재 비율 관련 KS 표준 정비 등의 전략을 추진 예정*

*산업부 보도자료('23.2.23자), "산업 부문 탄소중립 R&D 추진전략"

라. 정유

□ **(개요)** 정유산업은 원유정제를 통해 연료유 및 석유화학산업의 원료인 나프타를 생산하는 산업

❍ 정유산업은 원유의 주성분인 탄화수소의 혼합물을 비등점 차이에 따라 정제하여 휘발유, 나프타, 등유, 경유 등 각종 정유제품을 생산하는 산업

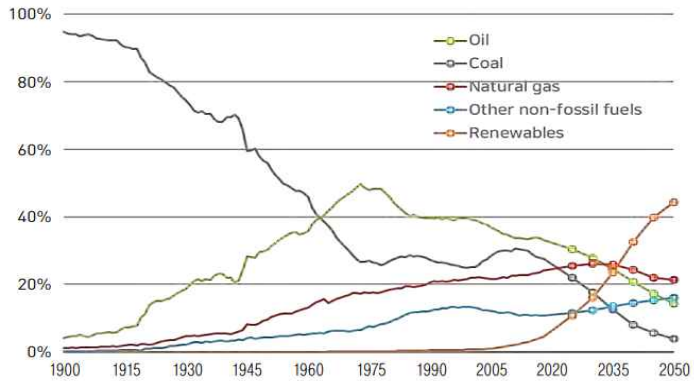
- 정유제품은 나프타를 제외한 대부분의 제품이 연료유 등 최종재로 사용되며, 나프타의 경우에는 석유화학산업의 원료로 사용

□ **(온실가스 배출저감 압박, 석유제품 수요 감소)** 최근 탄소중립 추진이 가속화됨에 따라 기존 화석연료 중심의 운송수단 연료가 전기 및 수소연료로 대체되는 추세

❍ 각국의 탄소중립 에너지 정책의 여파로 철강, 시멘트, 석유화학 등 탄소多배출 산업의 탈탄소 전환이 추진되면서 석유제품의 수요 감소와 더불어 정유 업계의 경쟁이 심화될 것으로 예상

- BP는 Net Zero 시나리오('20)에서 전 세계 에너지 부문 CO_2 순 배출량이 2018년 대비 96% 감소할 것으로 전망하였으며, 1차 에너지 중 석탄, 석유, 천연가스 등 화석에너지 비중은 2018년 대비 75% 감소하는 반면 재생에너지 비중은 2018년 11%에서 2050년 69%로 증가할 것으로 예측

〈그림 Ⅱ-26〉 2050년 1차 에너지 공급 전망



*출처 : BP, Energy outlook 2020 edition, 2020.

❍ 정유 산업은 탄소배출 규제 강화로 인한 온실가스 배출 저감에 대한 압박과 더불어 석유제품의 수요 감소라는 두 가지 어려움을 동시에 마주

□ **(CCUS 기술 도입으로 탈탄소 사업구조 전환)** 국내·외 정유사들은 탄소중립 달성을 위해 탄소 배출을 최소화하고 친환경 사업으로의 전환에 박차를 가하고 있으며, 신재생에너지 전환과 수소 및 CCUS 기술 도입을 주요 수단으로 장기 탈탄소 전략을 제시

❍ **(BP)** BP는 2050년 운영 및 생산 전반에 걸쳐 Net Zero를 달성하고 모든 판매 제품의 탄소 집약도를 50%까지 감축하겠다는 목표를 제시

- 이를 실현하기 위하여 산림조성과 CCS 기술 적용을 통해 연간 3억 6,000만 톤의 이산화탄소를 저감 및 상쇄할 계획이며, 미국 농업법인 Bunge와 브라질에 합작사 BP Bunge Bioenergia를 설립하여 연간 약 7.7억 리터의 탄소 중립적인 바이오에탄올을 생산

❍ **(Shell)** Shell은 2050년 Net Zero 달성을 위해 정제 설비의 에너지 효율 향상, 재생에너지 사용 증가, 공급망의 이산화탄소 배출 감소를 추진

- 현재 Shell의 윤활유 공장에서 사용되는 전기의 50% 이상은 재생에너지이며, 태양광 패널을 추가 설치하여 비율을 더 높일 계획
- 또한 자회사 Shell Cansolv가 보유하고 있는 CCS 기술을 캐나다 SaskPower의 최대 석탄화력발전소에서 운영 중

❍ **(SK이노베이션)** SK이노베이션은 2050 Net Zero Roadmap을 발표하고 탄소중립 수단으로 공정 효율 향상, 재생 전력 도입, CCUS 기술개발, 배출 상쇄 수단 등을 활용할 계획

- 더불어 배터리 사업 확대, 정유시설 중 부생수소로부터 액화 수소 생산 사업을 추진

❍ **(S-oil)** S-oil은 장기 성장전략 체계인 '비전 2030'을 수립하고 수소사업 확대, 바이오 연료 사업 진출, 석유화학 사업 투자 확대 등으로 탄소 배출량 최소화를 추진 중

- 에너지모니터링 시스템을 바탕으로 진단, 개선점들을 찾아 공정에 적용하여 에너지 효율을 높이고 있으며, 폐열을 활용한 발전사업으로 16.4㎿의 전력을 생산해 한국전력공사에 판매함으로써 연간 6만 톤의 온실가스를 줄이는 효과를 거두고 있음
- 탄소 포집 등을 통해 연간 10만 톤의 온실가스를 직접 감축하는 효과를 내고 있으며 2024년까지 감축량을 연간 20만 톤으로 늘려갈 계획

❍ **(GS칼텍스)** GS칼텍스는 탄소중립 원유 도입, 여수공장 생산시설 가동 연료를 액화천연가스(LNG)로 전량 대체, 전기차 배터리 충전 서비스 대폭 확대, 폐플라스틱 재활용 친환경 복합수지와 미생물 이용 화학제품 생산 추진

- 최고경영자 산하 CSR 위원회를 ESG 위원회로 확대 개편하고 2022년에 여수공장에서 발생하는 온실가스를 모니터링, 감축하기 위한 '생산본부 온실가스 감축 협의체'를 구성하였으며, 내부 프로젝트를 통해 130여 건의 에너지 절감 과제를 실행함으로써 연간 약 150억 원의 에너지 비용 절감과 4만 톤의 온실가스를 감축하는 성과를 거두고 있음

❍ **(현대오일뱅크)** 현대오일뱅크는 2050년까지 탄소 배출량을 2019년 대비 70% 수준으로 감축하는 '탄소중립 그린성장' 전략을 발표

- 수소 제조 공정에서 발생하는 이산화탄소를 반도체 공정용 탄산가스와 드라이아이스 등을 제조하는 공장에 연간 20만 톤을 공급하여 원료로 활용할 예정
- DL E&C와 함께 정유 부산물인 탈황석고와 이산화탄소를 활용하여 탄산 광물 제품을 생산하는 시설을 구축하여 최대 60만 톤으로 생산량을 증가시킬 예정

□ **(국내 정유업계 2050 탄소중립 기술 개발 로드맵 수립)** '22년 국내 정유업계와 정부는 정유 산업의 혁신적 저탄소·무탄소 전환을 통한 2050 탄소중립 달성과 국제 경쟁력 유지를 위해 '정유업계 2050 탄소중립 기술개발 로드맵'을 발표

❍ 로드맵은 정유 산업의 탄소중립을 위하여 '친환경 원료 대체', '무탄소 연료 전환', '에너지 공정 효율화', **'CCUS'**, '대체연료 생산 및 보급'의 5개 기술개발 추진전략 및 20개 핵심기술을 제시

- 핵심기술별로 2050년까지 기술 상용화를 위한 단기(~2025년), 중기(~2030년), 장기(~2050년) 목표를 설정

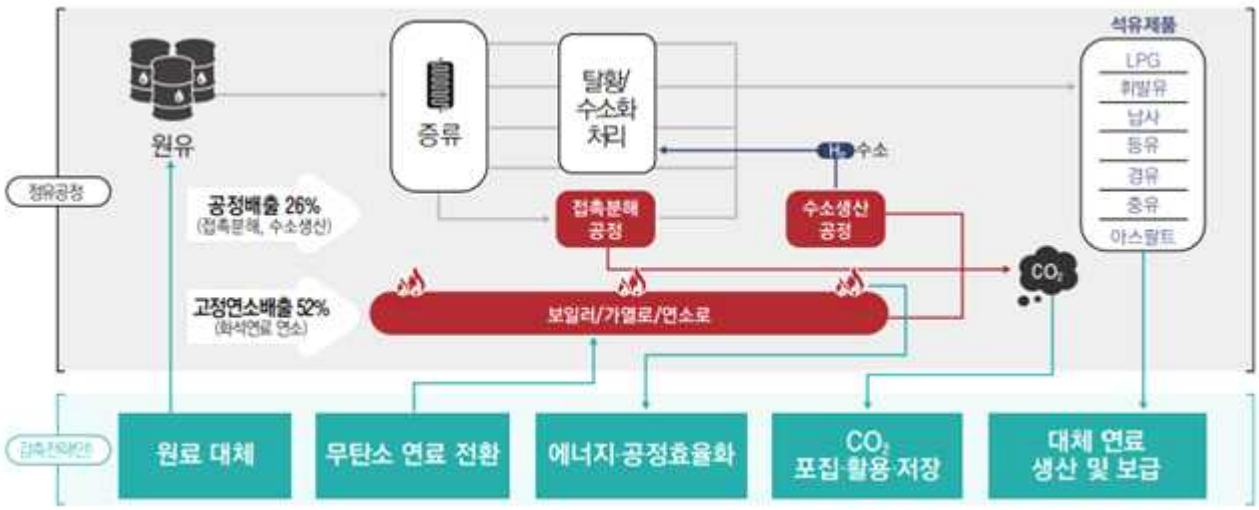
❍ 로드맵은 정유업계 및 탄소중립 기술 전문가들의 의견수렴을 비롯하여 관련 법, 제도 도입 필요성에 대한 검토 및 제언을 포함하고 있어 향후 관련 정책 수립과 정부 R&D 사업 추진을 위한 기초자료로 활용

❍ **(CCU 통합공정 기술개발 사업 착수)** 로드맵에 포함된 핵심기술 중에서 처음으로 '탄소순환형 정유제품 생산을 위한 CCU 통합공정 기술개발 사업'이 착수('22.04.)

- 본 사업은 로드맵에 포함된 5개 감축 전략 중 '이산화탄소 포집·활용·저장(CCUS)'에 해당하며, 2025년까지 정유 공정에서 배출되는 이산화탄소를 이용하여 탄소 순환형 연료 및 기초유분을 생산하는 핵심기술을 개발하고 상용화를 위한 전략을 제시할 예정

- 2025년 이후 정유사 주도의 후속 연구개발 사업을 통하여 준상용급 실증 기술을 확보함으로써 2030년부터 본격적인 상용화 연구를 추진할 계획

〈그림 Ⅱ-27〉 정유 산업 탄소중립을 위한 온실가스 감축 전략



* 출처 : 정유 업계 2050 탄소중립 기술 개발 로드맵(2021)

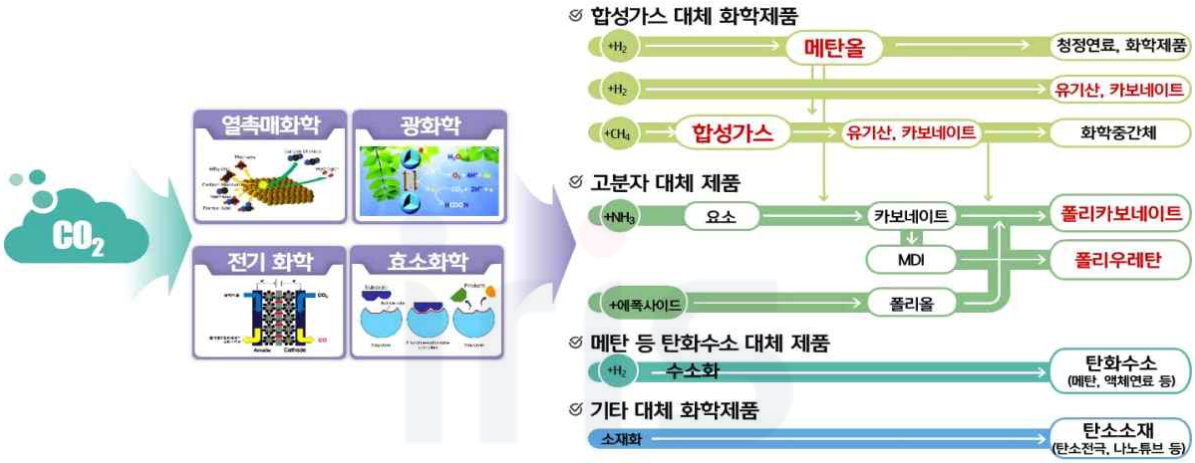
제2절 국내외 CCU 환경분석

1. 정의 및 주요 이슈

가. CO_2 화학적 전환

□ **(화학적 전환 기술 정의)** CO_2를 반응원료로 활용하여 화학적 전환을 통해 연료·기초화학제품 등의 다양한 탄소화합물로 전환하는 기술

〈그림 Ⅱ-28〉 CO_2 화학전환 기술 개념도



*출처 : 이산화탄소 포집·활용(CCU) 기술혁신 로드맵, 2021.06.15.

□ **주요 이슈 및 대응 전략**

❍ **다양한 기술적 경로 탐색**을 위주로 원천연구가 이루어지고 있어* 중·대규모 실증연구로의 연계가 취약하여 **국내 상용화 사례가 부재**

* 열촉매적 전환을 통한 **합성가스, 메탄올, 초산 생산 등은 소규모 실증연구** 수준

➜ "기 확보된 우수 기술의 **실증연구를 강화**, 상용화 **성공사례 창출"**

〈표 Ⅱ-54〉 '30년 상용화 화학제품 후보군

기술 분야	제품군	CCU 제품
화학 전환	1 플랫폼화합물	①합성가스, ②메탄올
	2 유기산	③초산, ④개미산, ⑤옥살산
	3 유기카보네이트	⑥디메틸카보네이트, ⑦알킬렌카보네이트
	4 탄화수소	⑧올레핀
	5 고분자	⑨폴리카보네이트, ⑩폴리우레탄

*출처 : 이산화탄소 포집·활용(CCU) 기술혁신 로드맵, 2021.06.15.

❍ 열역학적 한계로 석유화학제품 대비 높은 공정·에너지 비용 소요

➜ “동시 포집·전환기술, 화학-바이오촉매 융합기술, 기존공정·시스템 연계기술 등 **기술간 융합**을 통한 **공정효율화** 및 **경제성 확보**”

❍ 탄소중립 기술수요*를 고려한 화학전환 **핵심기술 연구 부족**

* 효율적 재생에너지 저장 기술, 석유화학산업 나프타 원료 대체 기술 등

➜ “재생에너지 유동성 연계(Power-to-X) 및 화학 원료·제품 대체를 위한 **CO_2 수소화 핵심기술** 개발”

□ **정부의 단계별 R&D 추진전략**

❍ (~ ‘25) 요소기술이 확립된 플랫폼 화합물(합성가스, 메탄올 등)을 선별하여 통합공정 설계 및 실증규모 확대

- 기술경쟁력이 부족하나 글로벌시장이 형성되고 있는 제품군(유기카보네이트, 고분자 등)은 핵심 촉매·공정 기술 확보에 집중

❍ (~ ‘30) 상용화 단계 실증기술의 규모 격상 및 제품화를 추진하고, 기술파급효과*를 최대화할 수 있는 융합연구** 병행

* 온실가스 감축효과, 자원순환율, 경제성 향상 등

** CO_2 동시 포집·전환 기술, CO_2 무포집 전환기술, 폐기물·부산물 환원제 활용 개질기술, 바이오원료-CO_2 동시활용 기술(아크릴산 등), 화학-바이오 촉매 융합기술, CO_2 및 미세먼지(대기오염물질) 동시저감 기술 등

- 고분자 제품은 물성개선을 위한 다양한 단량체 제조기술 동시 개발

❍ (~ ‘50) 혁신촉매·공정효율화 기술개발을 통한 비용 저감 및 잉여 재생

❍ 에너지 활용·화학산업 혁신을 위한 CO_2 리파이너리형 기술로 고도화

- 또한, CO_2 탄소소재화 기술 등 혁신적 화학전환 연구 집중투자

〈표 II-55〉 화학전환 분야 국내외 현황

구분	항목	현황
기술 현황	국내 기술 수준	3,000톤/년 수준(메탄올) *300일 생산 가정
	글로벌 TOP 기술	11만톤/년 수준(메탄올)
	국내 보급 현황	없음 (실증 단계)
산업 분석	국내 주요 기관	부흥산업사, 현대오일뱅크, 롯데케미칼, SK이노베이션, 테크윈, RIST, LG화학, 남부발전
	해외 주요 기관	CRI(아이슬란드), Sunfire(독일), JFE(일본), RWE(독일), BASF(독일), Avantium(네덜란드), Asahi KASEI(일본), Covestro(독일), Aramco(사우디아라비아)
	글로벌 시장 점유율	0%

〈표 II-56〉 화학전환 품목별 경쟁 현황

품목	구분	항목	내용	
합성 가스	기술 분석	국내 기술 수준	CO_2 전환 20톤/일 (합성가스 1800 Nm^3/h)	
		글로벌 TOP 기술 수준	합성가스 750 Nm^3/h	
		국내 보급 현황	없음 (실증 단계)	
	산업 분석	국내 주요 기관	부흥산업사(실증), LG화학(실증추진)	
		해외 주요 기관	Sunfire(독일), JFE(일본)	
		국내 시장 전망	향후 기존 합성가스(또는 CO)시장*을 CCU기술로 일부 대체 예상 * ('18) 84만톤/년, (~'27) CAGR 6.1%	
		해외 시장 전망	기존 합성가스(또는 CO)시장*을 CCU기술로 일부 대체 시작 * ('21) $48.71B, (~'30) CAGR 5.9%	
		시장 점유율	0%	
	공급망 현황	해외 의존도	1	(5점 척도, 낮음(1) ↔ (5) 높음))
		기술 자립도	5	
메탄올	기술 분석	국내 기술 수준	메탄올 10톤/일	
		글로벌 TOP 기술 수준	메탄올 11만톤/년, (보유국) 중국 CRI	
		국내 보급 현황	없음 (해외기술제품 상용시장 진입단계)	
	산업 분석	국내 주요 기관	현대오일뱅크(실증)	
		해외 주요 기관	CRI(아이슬란드), RWE(독일)	
		국내 시장 전망	향후 기존 시장*을 CCU기술로 일부 대체 예상 * ('20) 160만톤/년, $395M	
		해외 시장 전망	기존 시장*을 CCU기술로 일부 대체 시작(CRI) * ('20) $29B, (~'30) CAGR 5.2%	
		시장 점유율	0%	
	공급망 현황	해외 의존도	5 (미국, 트리니다드 토바고)	(5점 척도, 낮음(1) ↔ (5) 높음))
		기술 자립도	5	

품목	구분	항목	내용	
개미산	기술 분석	국내 기술 수준	10 m3-CO_2 /hr 급 실증기술 확보 200 m^3-CO_2 /hr 급 상용화 설비 기본설계 패키지 확보	
		글로벌 TOP 기술 수준	전환율 97% @450 mA/cm_2	
		국내 보급 현황	없음 (상용화 전단계)	
	산업 분석	국내 주요 기관	테크윈(실증)	
		해외 주요 기관	BASF(독일), Eastman chemical(미국)	
		국내 시장 전망	현재 전량 수입 의존 기존 시장*을 CCU기술로 일부 대체 예상 * ('20) 3만톤/년	
		해외 시장 전망	향후 기존 시장*을 CCU기술로 일부 대체 예상 * ('18) $756.5M, (~'25) CAGR 1.3%	
		시장 점유율	-	
	공급망 현황	해외 의존도	5 (중국, 독일)	(5점 척도, 낮음(1) ↔ (5) 높음))
		기술 자립도	4	
옥살산	기술 분석	국내 기술 수준	CO_2 250 g/h (@20 mA/cm2 이하)	
		글로벌 TOP 기술 수준	CO_2 250 g/h (@20 mA/cm2)	
		국내 보급 현황	없음 (기술개발 단계)	
	산업 분석	국내 주요 기관	테크윈(연구개발)	
		해외 주요 기관	Avantium(네덜란드)@OCEAN project	
		국내 시장 전망	현재 전량 수입 의존 기존 시장*을 CCU기술로 일부 대체 예상 * ('21) 70만톤/년, (~'27) CAGR 2.1%	
		해외 시장 전망	향후 기존 시장*을 CCU기술로 일부 대체 예상 * ('22) $945.3M, (~'28) CAGR 3.9%	
		시장 점유율	-	
	공급망 현황	해외 의존도	5(중국)	(5점 척도, 낮음(1) ↔ (5) 높음))
		기술 자립도	2	
디메틸카보네이트	기술 분석	국내 기술 수준	CO_2 전환 30톤/년 (RIST) * DMC를 최종제품으로 생산하는 기술은 실증추진단계	
		글로벌 TOP 기술 수준	CCU 기술 개발 중 (상용 CO_2 활용 기술 존재) * 에틸렌카보네이트 및 PC제조 공정 내	
		국내 보급 현황	상용 CO_2 활용 기술 적용 생산 * 에틸렌카보네이트 및 PC제조 공정 내	
	산업 분석	국내 주요 기관	롯데케미칼 (에틸렌카보네이트 및 PC제조 공정 내) RIST(연구개발)	
		해외 주요 기관	Asahi KASEI(일본)	
		국내 시장 전망	이미 PC 생산공정 내 CO_2 활용기술이 포함되어 있으며, CCU기술로 순수DMC 제품화 시장을 일부 대체 예상 * ('20) $60M, (~'25) CAGR 6.5%	
		해외 시장 전망	이미 PC 생산공정 내 CO_2 활용기술이 포함되어 있으며, CCU기술로 순수 DMC 제품화 시장을 일부 대체 예상 * ('20) $1,708.1M, (~'25) CAGR 6.2%	
		시장 점유율	-	
	공급망 현황	해외 의존도	3(중국)	(5점 척도, 낮음(1) ↔ (5) 높음))
		기술 자립도	3	

품목	구분	항목	내용	
올레핀	기술 분석	국내 기술 수준	1.5톤/년 (납사연계 기술) 전류밀도 150 mA/cm^2 (전기화학전환)	
		글로벌 TOP 기술 수준	전류밀도 150 mA/cm^2 (전기화학전환)	
		국내 보급 현황	없음 (기술개발 단계)	
	산업 분석	국내 주요 기관	한국화학연구원(연구개발 중)	
		해외 주요 기관	Carbon Xprize(캐나다, 미영리재단), eEthylene(독일)	
		국내 시장 전망	올레핀 및 탄화수소 연료 제품화 시장*을 일부 대체 예상 * ('20) 1,105만톤/년	
		해외 시장 전망	올레핀 및 탄화수소 연료 제품화 시장*을 일부 대체 예상 * ('20) $348B 추정	
		시장 점유율	-	
	공급망 현황	해외 의존도	1	(5점 척도, 낮음(1) ↔ (5) 높음))
		기술 자립도	1	
폴리카보네이트	기술 분석	국내 기술 수준	CCU 기술 개발 중 (상용 CO_2 활용 기술 존재)	
		글로벌 TOP 기술 수준	CCU 기술 개발 중 (상용 CO_2 활용 기술 존재)	
		국내 보급 현황	시장 진입 단계	
	산업 분석	국내 주요 기관	SK이노베이션(실증완료) 롯데케미칼(기존 상용 CO_2 활용 공정)	
		해외 주요 기관	Aramco(사우디아라비아, Novomer기술이전) Asahi KASEI(일본)	
		국내 시장 전망	기존 시장* 내 CO_2 기반 제품 증가 예상 * ('20) 46만톤/년	
		해외 시장 전망	기존 시장* 내 CO_2 기반 제품 증가 예상 * ('21) $19.6B, (~'31) CAGR 6.2%	
		시장 점유율	-	
	공급망 현황	해외 의존도	1	(5점 척도, 낮음(1) ↔ (5) 높음))
		기술 자립도	3	
폴리우레탄	기술 분석	국내 기술 수준	Polyol 30톤/년 (RIST)	
		글로벌 TOP 기술 수준	PU 7,000톤/년	
		국내 보급 현황	없음 (기술개발 단계)	
	산업 분석	국내 주요 기관	RIST(연구개발 중), 한국화학연구원(연구개발 중)	
		해외 주요 기관	Covestro(독일)	
		국내 시장 전망	향후 기존 시장*을 CCU 기술로 일부 대체 예상 * ('21) $1.5B 추정, (~'25) CAGR 6.6%	
		해외 시장 전망	기존 시장* 내 CCU 기술 확대 및 신규 CCU 기반 제품 증가 예상 * ('21) $56.8B 추정, (~'27) CAGR 6.6%	
		시장 점유율	0%	
	공급망 현황	해외 의존도	2	(5점 척도, 낮음(1) ↔ (5) 높음))
		기술 자립도	4	

(출처) 에너지기술·산업 생태계 분석 13대 에너지기술·산업의 현 주소, 한국에너지기술평가원, 2023. 05., 재구성

나. CO_2 생물전환

□ **(CO_2 생물전환 기술 정의)** CO_2를 생물학적으로 고정하여 미세조류* 바이오매스를 생산하고, 이를 바이오연료·바이오소재 등으로 제품화하는 기술

* 담수·해양계에 서식하는 단세포 광합성 생물의 통칭으로, 종류가 다양하고 증식 주기가 빠름

〈그림 Ⅱ-29〉 CO_2 생물전환 기술 개념도

*출처 : 이산화탄소 포집·활용(CCU) 기술혁신 로드맵, 2021.06.15.

□ **주요 이슈 및 대응 전략**

❍ 균주의 CO_2 전환율(고정화율)이 낮고, 저농도 미세조류 배양으로 인해 바이오매스 회수 공정(수확 및 건조) 에너지 소비 과다

➜ 고효율 CO_2 전환 및 고농도 바이오매스 생산을 위한 우수균주* 스크리닝 시스템 구축·활용하여 고효율** 생물전환 기술 확보

* 온실가스 배출원별 CO_2 전환율 극대화 균주, 국내 사계절 고농도 생산 균주, 효능 기반 고부가 유용물질 생산성 증진 균주 등

** CO_2 전환율 : (現) 30% → ('30) 40% → ('50) 60%

➜ 저비용·저에너지 바이오매스 대량생산-회수 시스템 효율화를 통한 바이오매스 생산단가* 저감

* 바이오매스 생산단가 : (現) $2.0/kg → ('30) $1.0/kg → ('50) $0.4/kg

❍ 생산된 바이오매스를 유용제품으로의 활용하는 산업화 연구 미흡

➜ 바이오연료·소재*로 활용하는 전주기 원천·실증 기술개발 추진

* (연료) 바이오매스 추출·전환기술, 저가기질 활용기술, 혼소연료 활용기술 등

□ 정부의 단계별 R&D 추진전략

❍ (~ ‘25) 대규모 생물전환 균주개발 및 고농도 배양조건 확립, 고효율 생물배양기 설계 및 운전 기본자료 확보

❍ (~ ‘30) 발전분야 중·소규모* 바이오매스 생산 실증추진을 통해 바이오매스 생산성을 향상**하고, 바이오소재 2종 이상 제품화 추진

* 연소배가스 기준 200Nm3/h 이상 ** 단위면적당 생산성 25g/m2/일

❍ (~ ‘50) 바이오매스 생산기술 대형화*를 통해 생산단가를 낮추고, 연료·소재 생산기술 효율화를 통해 가격경쟁력** 지속 확보

* 연소배가스 기준 1,000Nm3/h 이상 ** 現 생산단가의 50% 수준으로 절감 등

〈표 Ⅱ-57〉 CO_2 생물전환 분야 중점 기술

대분류	중분류	중점 기술
CO_2 생물학적 전환	3-1. 바이오매스 생산	(상) 배출원별·소재별 고효율 CO_2 생물전환 균주 확보·배양 기술 (차) 미세조류 바이오매스 고농도·대량 생산 및 회수 시스템화 기술
	3-2. 바이오연료화	(차) 고효율·저에너지형 바이오디젤 생산 기술 (차) 생물전환 탄소 유래 항공유 생산 기술 (차) 생물전환 탄소 유래 발전용 고체연료 생산 기술
	3-3. 바이오소재화	(상) 미세조류 유래 천연색소 제품화 기술 (상) 미세조류 유래 오메가 지방산 제품화 기술 (상) 미세조류 유래 사료 생산 기술 (차) 미세조류 유래 플라스틱소재 생산 기술

※ (상) 상용화 기술, (차) 차세대 기술

*출처 : 이산화탄소 포집·활용(CCU) 기술혁신 로드맵, 2021.06.15.

〈표 II-58〉 생물전환 분야 국내외 현황

구분	항목	현황
기술 현황	국내 기술 수준	바이오매스 생산 단가 $1,416/ton (AFDW) 수준
	글로벌 TOP 기술	바이오매스 생산 단가 $955/ton (AFDW)
	국내 보급 현황	없음 (실증 추진 단계)
산업 분석	국내 주요 기관	CJ, 대상, SK 이노베이션, 현대오일뱅크, 한국화장품, 콜마, LG화학, 롯데케미칼, 한화케미칼
	해외 주요 기관	Corbion(네덜란드), Triton Algae Innovations(미국), Viridos(미국), ExxonMobil(미국), AlgaTech(뉴질랜드), Algenuity(영국), Algix LLC(미국), Adidas(독일)
	글로벌 시장 점유율	-

〈표 II-59〉 생물전환 품목별 경쟁 현황

품목	구분	항목	내용	
바이오 매스	기술 분석	국내 기술 수준	바이오매스 생산 단가 $1,416/ton (AFDW) 수준	
		글로벌 TOP 기술 수준	바이오매스 생산 단가 $955/ton (AFDW)	
		국내 보급 현황	없음 (실증 추진 단계)	
	산업 분석	국내 주요 기관	CJ, 대상 등 바이오소재 기업	
		해외 주요 기관	Corbion(네덜란드), Triton Algae Innovations(미국)	
		국내 시장 전망	향후 기존 시장*을 CCU 기술로 일부 대체 예상 * ('21) 1조 8천억원 이상	
		해외 시장 전망	향후 기존 시장*을 CCU 기술로 일부 대체 예상 * ('20) $5.7B	
		시장 점유율	-	
	공급망 현황	해외 의존도	4 (미국, 중국, 네덜란드, 노르웨이)	(5점 척도, 낮음(1) ↔ (5) 높음))
		기술 자립도	2	
바이오 연료	기술 분석	국내 기술 수준	오일 생산성 30 mg/L/day 수준	
		글로벌 TOP 기술 수준	단기간 최대 오일 생산성 204 mg/L/day	
		국내 보급 현황	없음	
	산업 분석	국내 주요 기관	SK 이노베이션, 현대오일뱅크 등 정유 회사	
		해외 주요 기관	Viridos(미국), ExxonMobil(미국)	
		국내 시장 전망	향후 기존 시장*을 CCU 기술로 일부 대체 예상 * ('21) 약 3,554억원(국내 바이오디젤 출하 금액)	
		해외 시장 전망	향후 기존 시장*을 CCU 기술로 일부 대체 예상 * ('21) $110B	
		시장 점유율	-	
	공급망 현황	해외 의존도	5 (미국, 브라질, 인도네시아)	(5점 척도, 낮음(1) ↔ (5) 높음))
		기술 자립도	1	

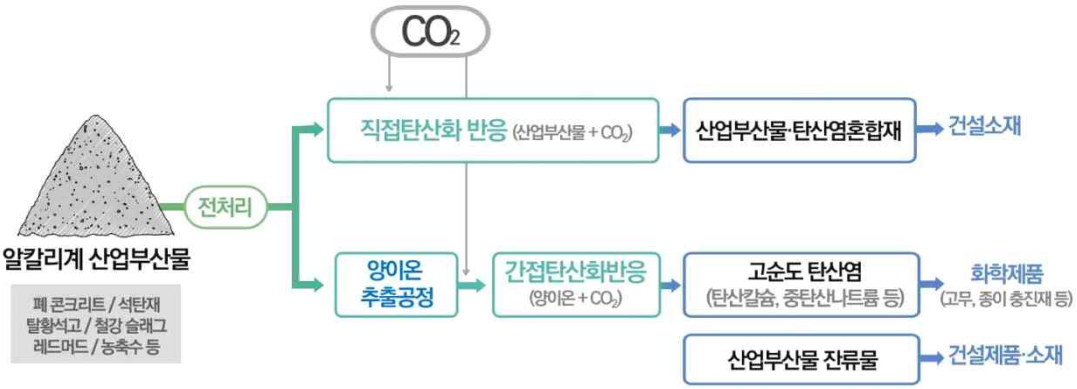
품목	구분	항목	내용	
천연색소	기술분석	국내 기술 수준	바이오매스 생산 단가 $1,416/ton (AFDW) 수준	
		글로벌 TOP 기술 수준	바이오매스 생산 단가 $955/ton (AFDW)	
		국내 보급 현황	없음 (실증 추진 단계)	
	산업분석	국내 주요 기관	한국화장품, 콜마 등 화장품소재 및 식품 기업	
		해외 주요 기관	AlgaTech(뉴질랜드), Algenuity(영국), Triton Algae Innovations(미국)	
		국내 시장 전망	향후 기존 시장*을 CCU 기술로 일부 대체 예상 * ('18) 357억원	
		해외 시장 전망	향후 기존 시장*을 CCU 기술로 일부 대체 예상 * ('19) $1.53B	
		시장 점유율	-	
	공급망 현황	해외 의존도	5 (네덜란드, 미국, 뉴질랜드, 이스라엘)	(5점 척도, 낮음(1) ↔ (5) 높음))
		기술 자립도	1	
바이오플라스틱	기술분석	국내 기술 수준	바이오매스 생산 단가 $1,416/ton (AFDW) 수준	
		글로벌 TOP 기술 수준	바이오매스 생산 단가 $955/ton (AFDW)	
		국내 보급 현황	없음 (실증 추진 단계)	
	산업분석	국내 주요 기관	LG화학, CJ, 롯데케미칼, 한화케미칼 등 화학 소재 생산 기업	
		해외 주요 기관	Algix LLC(미국), Adidas(독일)	
		국내 시장 전망	향후 기존 시장*을 CCU 기술로 일부 대체 예상 * ('22) $0.2B	
		해외 시장 전망	향후 기존 시장*을 CCU 기술로 일부 대체 예상 * ('22) $15.5B	
		시장 점유율	-	
	공급망 현황	해외 의존도	5 (미국, 태국, 중국)	(5점 척도, 낮음(1) ↔ (5) 높음))
		기술 자립도	1	

(출처) 에너지기술·산업 생태계 분석 13대 에너지기술·산업의 현 주소, 한국에너지기술평가원, 2023. 05.,활용 재구성

다. CO_2 광물탄산화

□ **(CO_2 광물탄산화 기술 정의)** CO_2 를 탄산염 형태로 전환하여 광물화하는 기술

〈그림 Ⅱ-30〉 CO_2 광물탄산화 기술 개념도



*출처 : 이산화탄소 포집·활용(CCU) 기술혁신 로드맵, 2021.06.15.

□ **주요 이슈 및 대응 전략**

❍ 선진국 대비 CO_2 광물화 반응생성물의 제품화* 연구가 부족하고 제품 산업적 활용처 불분명

* 시멘트·콘크리트 대체제, 건설 소재 등으로 저·고농도의 CO_2를 양생·반응에 활용, 온실가스 감축 및 CO_2 고정화율 향상 등

➜ 산업적 활용처가 분명하고 온실가스 감축효과가 큰 광물탄산화 제품군 발굴 및 단계적 실증을 통해 상용화 기술 확보

〈표 Ⅱ-60〉 '30년 상용화 무기탄산염 제품 후보군

기술분야	제품군	CCU 무기탄산염 제품
광물탄산화	1 시멘트 및 건설소재	①CO_2 양생 및 반응경화 시멘트, ②CO_2 광물화 건설소재
	2 무기탄산계화합물	③탄산칼슘, ④중탄산나트륨(NaHCO3)

❍ 간접탄산화 기술은 산업부산물 내 유효성분(양이온) 추출* 등으로 전체 공정·에너지 비용이 높아 산업 內 기술적용에 한계

* 폐콘크리트, 제철 슬래그 등 산업부산물 내 알칼리 금속양이온(Ca^{2+}, Mg^{2+} 등) 추출

➜ 가용 산업부산물별 저에너지 추출기술 및 최종 탄산염 제품의 고부가화 핵심기술 개발을 통하여 경제성 개선 노력

□ 정부의 단계별 R&D 추진전략

❍ (~ ‘25) 해외 상용제품 생산기술 중심으로 국내에서의 상용화 여건*을 마련하고, 부산물별 유효성분의 선택적·경제적 추출기술 동시 확보

* CO_2 반응경화·양생기술 확보, 중규모 격상 실증(〉TRL 7), 공정 효율화, 울산 규제자유특구 내 철강 슬래그 활용 직접탄산화 실증 등

❍ (~ ‘30) 수요·활용 산업을 연계*한 대규모 기술 실증 및 상용화 추진

- 탄산염 제품은 품질(순도, 백색도, 입상 등) 향상을 통한 활용처 다각화

* 시멘트 산업 연계한 CO_2 양생기술, 연소배가스 처리설비 연계한 탈황석고 재활용 기술 등

❍ (~ ‘50) 대규모 CO_2 처리를 위한 광물화 기술 개발 및 탄산화 제품 고부가화(Ti복합체, Al 복합체 등) 기술개발 등을 통한 경제성 확보

〈표 II-61〉 CO_2 광물탄산화 분야 중점 기술

대분류	중분류	중점 기술
CO_2 광물 탄산화	4-1. 직접 광물탄산화	(상) CO_2 반응경화 시멘트 제조 및 양생기술 (상) 배가스 직접 활용 건설소재화 기술 (상) 탈황석고 이용 광물탄산화 기술 (차) 레드머드 이용 광물탄산화 기술
	4-2. 간접 광물탄산화	(상) 중탄산나트륨 생산 및 활용 기술 (차) 산업부산물 이용 PCC 생산 및 활용 기술 (차) 해양부산물 이용 광물탄산화 기술

※ (상) 상용화 기술, (차) 차세대 기술

*출처 : 이산화탄소 포집·활용(CCU) 기술혁신 로드맵, 2021.06.15.

〈표 II-62〉 광물탄산화 분야 국내외 현황

구분	항목	현황
기술 현황	국내 기술 수준	저감지수 -0.5 이상 (kg CO_2-equiv. / kg CO_2 utillized)
	글로벌 TOP 기술	저감지수 -0.5 ~ -1.0 (kg CO_2-equiv. / kg CO_2 utillized)
	국내 보급 현황	없음 (실증 추진 단계)
산업 분석	국내 주요 기관	남동발전, 현대오일뱅크, 포스코, 롯데케미칼, 로우카본, 한라시멘트
	해외 주요 기관	Carboncure(캐나다), Solidia(미국), Carbon8 Systems(영국), CO2Concrete(미국), MCI(호주), Taisei Corp.(일본), Alcoa(미국), Twence(네덜란드), Sinopec Group(중국), Sinochem Fuling Chongqing Chemical Industry Co. Ltd(중국)., Lenntech(네덜란드)
	글로벌 시장 점유율	0%

〈표 II-63〉 광물탄산화 품목별 경쟁 현황

품목	구분	항목	내용	
탄산칼슘	기술 분석	국내 기술 수준	탄산칼슘 생산성 1천톤/년 이상 수준	
		글로벌 TOP 기술 수준	석고 10만톤/년 처리 설비 구축	
		국내 보급 현황	없음 (실증 추진 단계)	
	산업 분석	국내 주요 기관	남동발전, 현대오일뱅크	
		해외 주요 기관	Sinopec Group(중국), Sinochem Fuling(중국), Chongqing Chemical Industry(중국)	
		국내 시장 전망	향후 기존 석회석(탄산칼슘) 시장*을 CCU 기술로 일부 대체 예상 * ('16) 6천 6백만톤 이상	
		해외 시장 전망	향후 기존 탄산칼슘 시장*을 CCU 기술로 일부 대체 예상 * ('21) $19.9B	
		시장 점유율	-	
	공급망 현황	해외 의존도	2	(5점 척도, 낮음(1) ↔ (5) 높음))
		기술 자립도	4	
탄산마그네슘	기술 분석	국내 기술 수준	마그네슘 탄산염 30톤/년 생산	
		글로벌 TOP 기술 수준	0.32kg CO_2 고정 / kg $MgCO_3(2H_2O)$	
		국내 보급 현황	없음 (실증 추진 단계)	
	산업 분석	국내 주요 기관	포스코, 한국수자원공사	
		해외 주요 기관	Lenntech(네덜란드)	
		국내 시장 전망	향후 전량 수입 의존하는 기존 시장*을 CCU 기술로 일부 대체 예상 * ('19) 약 22만톤	
		해외 시장 전망	향후 기존 시장*을 CCU 기술로 일부 대체 예상 * ('21) $250M	
		시장 점유율	-	
	공급망 현황	해외 의존도	5 (중국)	(5점 척도, 낮음(1) ↔ (5) 높음))
		기술 자립도	4	

품목	구분	항목	내용	
탄산나트륨 및 중탄산나트륨	기술 분석	국내 기술 수준	중탄산나트륨 100 kg/d 생산	
		글로벌 TOP 기술 수준	중탄산나트륨 8천톤/년 생산 (포집 연계)	
		국내 보급 현황	없음 (실증 추진 단계)	
	산업 분석	국내 주요 기관	롯데케미칼, 로우카본	
		해외 주요 기관	Twence(네덜란드), Solida(미국)	
		국내 시장 전망	향후 중탄산나트륨*/탄산나트륨** 시장을 CCU 기술로 일부 대체 * ('18) 약 20만톤, ** ('18) 약 45만톤	
		해외 시장 전망	향후 기존 중탄산나트륨/탄산나트륨* 시장을 CCU 기술로 일부 대체 * ('20) $11.45B	
		시장 점유율	-	
	공급망 현황	해외 의존도	5 (중국)	(5점 척도, 낮음(1) ↔ (5) 높음))
		기술 자립도	4	
시멘트 양생 이용 건설제품	기술 분석	국내 기술 수준	콘크리트 1m3 당 CO_2 0.4kg 이상 고정화	
		글로벌 TOP 기술 수준	콘크리트 1m3 당 CO_2 15kg 이상 저감	
		국내 보급 현황	없음 (실증 추진 단계)	
	산업 분석	국내 주요 기관	한라시멘트	
		해외 주요 기관	Carboncure(캐나다), Solidia(미국), Carbon8 Systems(영국)	
		국내 시장 전망	향후 기존 시멘트 시장*을 CCU 기술로 일부 대체 예상 * ('19) 약 5천만톤 이상	
		해외 시장 전망	향후 기존 시멘트 시장*을 CCU 기술로 일부 대체 예상 * ('15) 43억톤	
		시장 점유율	0%	
	공급망 현황	해외 의존도	3	(5점 척도, 낮음(1) ↔ (5) 높음))
		기술 자립도	4	
건설소재	기술 분석	국내 기술 수준	5 tCO_2/d 처리	
		글로벌 TOP 기술 수준	이산화탄소 1톤 감축 시, -$30 ~ $70	
		국내 보급 현황	없음 (실증 추진 단계)	
	산업 분석	국내 주요 기관	주요 건설사 (기술개발 추진 중)	
		해외 주요 기관	CO2Concrete(미국), MCI (호주), Taisei Corp.(일본), Alcoa (미국)	
		국내 시장 전망	향후 기존 건설폐기물 재활용 시장*을 CCU 기술로 일부 대체 예상 * ('16) 195,648톤/일	
		해외 시장 전망	향후 기존 건축 폐기물 재활용 시장*을 CCU 기술로 일부 대체 예상 * ('18) 건축 및 철거 폐기물 재활용 시장 $33.2B	
		시장 점유율	0%	
	공급망 현황	해외 의존도	2	(5점 척도, 낮음(1) ↔ (5) 높음))
		기술 자립도	4	

(출처) 에너지기술·산업 생태계 분석 13대 에너지기술·산업의 현 주소, 한국에너지기술평가원, 2023. 05.,활용 재구성

2. 국내외 CCU 기술 사업화 추진 동향

가. CO_2 포집

□ (해외) 미국, 캐나다 등에서 연소배가스 대규모* 포집 실증 추진

* 미국(240 MWe급), 캐나다(150 MWe급)

❍ 산업공정에서는 천연가스, 비료가공, 수소생산, 화학산업 포집* CO_2 를 원유회수증진(EOR) 공정으로 연계하여 운영 중

* 50~800만톤/년 규모

❍ EU, 중국, 미국 등에서는 매체순환연소, 순산소 연소 등의 연소 중 원천분리* 기술 실증 연구 추진 중

* 매체순환연소 (3MWth급), 순산소연소 (50MWth급) 등

□ **(국내)** 연소배가스 대상 습식·건식·분리막 기술 중규모 실증 완료

* (한전) 습식 10MWe급, (한전·남부발전·에너지연) 건식 10MWe급 등

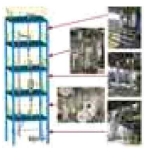
❍ 산업공정에서는 시멘트, 제철, 석유화학 분야 벤치급 실증 추진

* (에너지연) 시멘트산업 습식포집 10톤/일급, (RIST) 제철산업 습식포집 10톤/일급

❍ 연소 중 원천분리 기술은 해외와 유사 규모의 실증 연구 수행

* (에너지연·한전) 매체순환연소 3MWth급, (한전) 순산소연소 10MWe급 등

〈표 II-64〉 국내 CO_2 포집 기술개발 성과

연소 후 포집	[습식 포집] 보령화력 (10MWe) 태안화력 (0.5MWe) 성신양회 (일 10톤)		[건식 포집] 하동화력 (10MWe)	[분리막 포집] 당진화력 (3MWth)
연소 중 원천분리		[매체순환 가스 연소] 0.5MWth급 실증 완료 3MWth급 개발 중		[순산소 연소발전] 10 MWe급

*출처 : 이산화탄소 포집 활용(CCU) 기술혁신 로드맵, 20210615

나. CO_2 화학전환

□ **(해외)** 미국, 유럽에서 CO_2 기반 다양한 제품・공정 원천연구가 활발히 추진 중이며, 일부 기술은 제품화* 단계 진입

* (日, Asahi Kasei) 에틸렌카보네이트, (EU, Covestro) 폴리우레탄 등

❍ 합성가스는 역수성가스화・복합개질 반응기술이 상용화 단계이며, 전기화학・광화학적 전환기술은 원천연구 단계

* (獨, Sunfire) 역수성가스화 기술 상용화, (日, JFE) 복합개질 기술 실증 등

❍ 메탄올은 Power-to-X* 요소기술로 유럽에서 활발한 실증연구** 추진

* 변동성 높은 재생에너지를 화학에너지 형태로 변환하여 저장·활용

** (아이슬란드, CRI) 500,000L/년 규모

❍ 고분자 관련 제품은 민간주도로 일부 제품 상용화에 성공

* (日, Asahi Kasei) 에틸렌카보네이트, (EU, Covestro) 폴리우레탄 등

❍ 그외 유기산,탄화수소,탄소소재등 다양한 제품화 원천・실증연구 추진

□ **(국내)** 대부분의 기술이 학계・연구계 중심의 기초・원천 연구단계로, 일부 기술이 파일럿 실증* 연구 중이나, 상용화 사례는 부재

* (화학연·부흥산업사) CO·초산 20톤/년, (서강대·테크윈) 개미산 0.5톤/년 등

❍ 합성가스는 역수성가스화・복합개질 및 건식개질 기술의 실증단계, 전기화학・광화학적 전환 기술은 세계적 수준*의 원천기술 확보

* (KIST) CO 부분전류밀도 500mA/cm2, (화학연) 개미산 광전환효율 2.7% 등

❍ 메탄올 생산기술은 핵심 요소공정에 대한 실증* 추진

* (화학연·현대오일뱅크) 메탄올 10톤/일 규모

❍ 고분자 관련 제품은 고효율 촉매 및 및 단량체 제조 기술개발에 집중하고 있으며, 일부 기업에서 상용화 시도*

* (SKI) 폴리프로필렌 카보네이트, (그린케미칼) 알킬렌 카보네이트 등

❍ 그 외 다양한 제품화 원천・실증 연구 추진 중이나, 선진국 대비 기술수준 취약

다. CO_2 생물전환

□ **(해외)** 미국, 유럽 등 주요국에서 최신 생명공학 기술*이 적용된 고효율 산업생산용 균주 개발 진행

* 대사공학, 합성생물학, CIRSPR-Cas9 등

❍ 미세조류 대량생산을 위한 바이오 반응기 운전실증* 및 경제성 확보를 위한 저가 기질 활용 연구 등 진행

* (獨, Electrochaea) 10,000L 규모 실증

❍ 미세조류 기반 바이오 연료 및 기타 제품화* 실증 연구 추진 중

* (美, NREL·ExxonMobil) 그린디젤, 항공유
(美, Qualitas Health, Inc.) 지방산,(蘭, Veramaris, V.O.F) 동물·어류사료 등

□ **(국내)** 대사공학 기술을 접목한 균주개발 원천연구 추진 중

❍ 미세조류 생산 기술은 고농도 광배양, 바이오반응기 모듈화 핵심기술 개발을 통하여 고부가 소재 시제품 생산기술 실증*

* (고려대·지역난방공사) 100L 규모 반응기 모듈화

❍ 미세조류 기반 바이오디젤·항공유 생산 기술은 가능성 검증* 단계, 기타 바이오제품** 관련 기술은 기초연구 단계

* (차세대바이오매스연구단, 해양바이오에너지 연구센터) 디젤, 항공유 등
** (생명연) 천연색소, 지방산 등

라. CO_2 광물탄산화

□ **(해외)** 미국, 캐나다, 유럽에서 직접탄산화 기반 건설자재* 생산 기술 및 CO_2 반응경화시멘트·양생기술은 시장 진입단계

* (美, Calera) 시멘트 대체제, (美, Solidia) CO_2 반응경화 시멘트 및 2차제품,
(加, CarbonCure) 프리캐스트 및 레미콘 CO_2 직접주입·양생 기술 등

❍ 간접탄산화 기술은 고순도의 탄산칼슘, 중탄산나트륨 등의 무기화합물을 생산하는 기술 실증* 지속 추진

* (네덜란드, Twence) 중탄산나트륨 8,000톤/년 등

□ **(국내)** 직접탄산화 기반 소재* 및 건설자재** 생산 파일럿 규모 실증 추진 중, CO_2 반응경화시멘트·양생기술은 기술개발 이력 부재

* (지자연) 탈황석고 2천톤/년, ** (대우건설, 고등기술연구원) 5~40톤/일

❍ 간접탄산화 기술은 전기분해 기반 중탄산나트륨 생산 실증 추진

* (RIST) 탄산칼슘·중탄산나트륨 동시제조 100kg/일, (KIST) 탄산칼슘, 20kg/일 등

마. 기타탄소 활용

□ **(해외)** 유럽, 중국 등에서 철강 부생가스 내 유용 탄소원을 활용·제품화하는 기술 대규모 실증연구*가 활발히 추진 중이며, 일부 상용화**

* (獨, Thyssenkrupp·BASF) 합성가스·메탄올 생산 실증
(獨, Covestro·Arcelor-Mittal) 폴리우레탄 생산 실증 등

** (中, LanzaTech) 46,000톤급 에탄올 생산 상용공장 가동

❍ 바이오가스의 경우, 메탄을 고순도 회수하여 그대로 활용하거나, 화학전환으로 합성연료, 메탄올 등을 생산하는 기술 실증 추진*

* (英, Shell·British Airway) 생활쓰레기 바이오가스 전환 항공유 생산 실증(50만배럴/년 규모),
(네덜란드, Nouryon·Air Liquide·Shell) 메탄올 생산 실증 등

□ **(국내)** 철강 부생가스 내 유용 탄소원 분리 및 메탄올 제품화 기술은 실증* 추진되었으나, 기타 화학제품 전환기술은 기초연구** 단계

* (화학연) 철강부생가스 내 CO 분리, 메탄올 생산

** (C1리파이너리사업단) 알코올, 올레핀, 방향족화합물, 폴리머 등

❍ 유기성 폐기물을 이용하여 바이오가스를 생산하는 설비는 증설되고 있으며, 이를 수소 등으로 제품화하는 기술개발 확대 중

※ 현재 바이오가스는 경제적 고순도화 기술 부재로 단순 열원으로 활용

※ 바이오가스 개질을 통한 수소 제조기술 실증 등

3. CCU 산업·시장 동향

□ CCU 시장은 아직 **초기 형성 단계**로 분석 기관마다 전망이 상이하나, 전반적으로 **2030~2040년대에는 크게 성장할 것으로 평가**

*CCU의 경우 시장에 대한 명확한 개념이 부재하여 조사기관마다 제품군의 범위가 상이하며, 국가별 온실가스 감축 정책, 타 산업군 등에 의존적이므로 현 단계에서는 정확한 시장전망에 한계가 있음

❍ GCI(Global CO_2 Initiative)는 2030년 기준 최대 8,370억 달러(시장규모) 및 72억 톤(CO_2 활용 규모)으로 예측하였으며, Lux Research에서는 2040년 기준 5,500억 달러로 예측

〈표 Ⅱ-65〉 CCU 시장규모 및 CO_2 활용규모 전망

분석 기관	발표 연도	달성 연도	시장규모(억 $)	CO_2활용 규모(억 톤)
GCI, ICEF	2016	2030	8,370(최대) 1,780(최소)	72(최대) 10(최소)
C2ES	2019	2030	11,570	103
Markets and Markets	2020	2025	35.4(CCUS 전체)	-
Lux Research	2021	2040	5,500	-
BCC Research	2022	2026	52(CCUS 전체)	-

*출처 : GCI(2016), Global Roadmap for Implementing CO_2 Utilization
Markets and Markets(2020), CCUS Global Market Size
C2ES(2019), Carbon Utilization – A Vital and Effective Pathway for Decarbonization
Lux Research(2021), The Emergence of a Carbon Economy
BCC Research(2022), Carbon Capture, Utilization & Storage Technologies

❍ C2ES(Center For Climate and Energy Solutions)에서는 2030년 기준 11,570억 달러(시장규모) 및 103억 톤(CO_2 활용 규모)으로 예측하여 가장 낙관적으로 전망

- 콘크리트, 화석연료, 건축골재, 해조류 기반 제품의 시장이 급격히 성장할 것으로 전망하였으며, 시장규모는 콘크리트(4,000억 달러)가 가장 크고 CO_2 감축량은 건축골재(36억 톤)가 가장 클 것으로 평가
- 반면, 고분자 및 산업용 케미컬 제품은 시장규모와 CO_2 감축량 모두 미미할 것으로 평가

□ 대규모 상업용 CCU 설비를 통해 CO_2를 포집하고 있으며, 대부분 저장되거나 석유회수증진(EOR)에 활용(IEA, ‘20)

❍ ‘20년 기준 전세계적으로 운영 중인 대규모 CCU 설비는 21개로 미국과 유럽을 중심으로 캐나다, 호주, 중국, 아랍에미리트 등으로 확대

- 대규모 CCU 설비를 통해 연간 최대 4천만톤 수준 CO_2 포집

❍ CO_2 공급원은 대부분 천연가스로 최근 수소, 발전 등 다양한 산업 영역으로 공급원 다양화

〈표 II-66〉 주요국 사업 및 CO_2 공급현황

국가	사업명	연도	CO_2 공급원	포집량 (백만톤/년)	저장방식
미국	Terrell natural gas plants	1972	천연가스	0.5	EOR
미국	Enid fertilizer	1982	비료 생산	0.7	EOR
미국	Shute Creek gas processing facility	1986	천연가스	7.0	EOR
노르웨이	Sleipner CO_2 storage project	1996	천연가스	1.0	Dedicated
미국/캐나다	Great Plains Synfuels(Weyburn/Midale)	2000	합성가스	3.0	EOR
노르웨이	Snohvit CO_2 storage project	2008	천연가스	0.7	Dedicated
미국	Century plant	2010	천연가스	8.4	EOR
미국	Air Products steam methane reformer	2013	수소 생산	1.0	EOR
미국	Lost Cabin Gas Plant	2013	천연가스	0.9	EOR
미국	Coffeyville Gasification	2013	비료 생산	1.0	EOR
브라질	Petrobras Santos Basin pre-salt oilfield CCS	2013	천연가스	3.0	EOR
캐나다	Boundary Dam CCS	2014	화석발전	1.0	Dedicated
사우디아라비아	Uthmaniyah CO_2-EOR demonstration	2015	천연가스	0.8	EOR
캐나다	Quest	2015	수소 생산	1.0	Dedicated
아랍에미리트	Abu Dhabi CCS	2016	철강 생산	0.8	EOR
미국	Petra Nova	2017	화석발전	1.4	EOR
미국	Illinois Industrial	2017	에탄올 생산	1.0	Dedicated
중국	Jilin oilfield CO_2-EOR	2018	천연가스	0.6	EOR
호주	Gorgon Carbon Dioxide stream	2019	천연가스	3.4-4.0	Dedicated
캐나다	Alberta Carbon Trunk Line(ACTL) with Agrium CO_2 stream	2020	비료 생산	0.3-0.6	EOR
캐나다	ACTL with North West Sturgeon Refinery CO_2 stream	2020	수소 생산	1.2-1.4	EOR

*출처 : IEA, Energy Technology Perspectives 2020, 2020

가. 화학적 전환

〈표 Ⅱ-67〉 CCU 화학적 전환 분야 '30년 상용화 제품 후보군

기술 분야	제품군	CCU 제품
화학 전환	1 플랫폼화합물	①합성가스, ②메탄올
	2 유기산	③초산, ④개미산, ⑤옥살산
	3 유기카보네이트	⑥디메틸카보네이트, ⑦알킬렌카보네이트
	4 탄화수소	⑧올레핀
	5 고분자	⑨폴리카보네이트, ⑩폴리우레탄

(1) 합성가스

□ **(개요)** 합성가스는 일산화탄소(CO), 수소(H_2)를 포함하는 혼합물로 탄소가 함유된 연료를 가스화하여 생산하며 청정 연료에 대한 수요 증가가 시장 성장을 견인

❍ 석탄, 천연가스, 바이오매스, 폐기물 등으로부터 가스화 공정을 통해 생산 가능하며, 화석연료에 대한 의존도를 낮추고 친환경성을 강조하는 사회적 움직임에 따라 바이오매스나 폐기물을 사용한 합성가스 생산기술이 주목

❍ 환경친화적인 원료를 사용한 합성가스 생산과 이를 활용한 고부가 화학물질 생산, 청정발전 등 탄소중립 선순환 체계가 구축

❍ 메탄올, 암모니아, 수소 등 다양한 화학물질 생산을 위한 기초원료로 사용하거나 액체·기체연료 생산 원료로 활용

□ **(세계시장)** 세계 합성가스 시장은 '21년 508억 달러에서 **연평균 9.29% 성장**하여 **'30년 1,129.9억 달러** 규모에 달할 것으로 전망

❍ 친환경기술 보급·확산에 대한 환경규제가 강화됨에 따라 친환경성을 강조한 화학물질이나 생산공정이 관련 시장 성장을 견인

〈그림 Ⅱ-31〉 세계 합성가스 시장규모 현황 및 전망

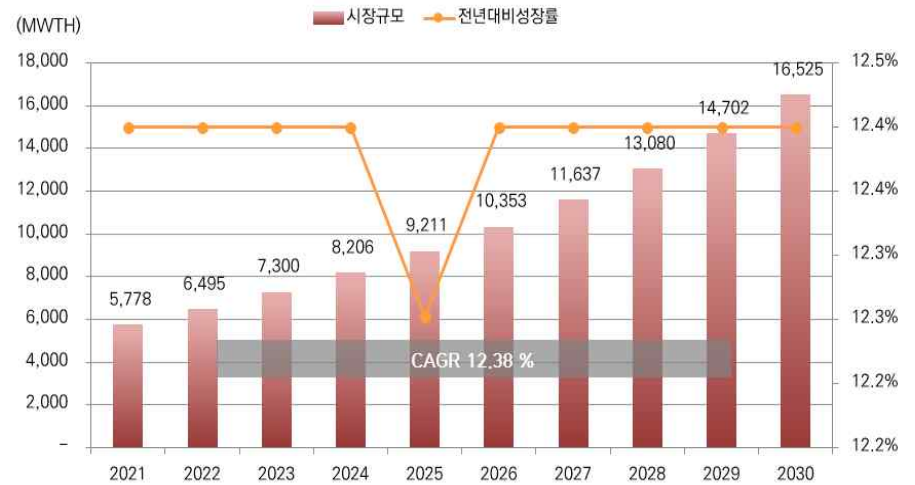
*출처 : QYResearch, Global Syngas Market Research Report 2020, 2021. 01., 재구성

❍ 아시아태평양 지역의 합성가스 및 파생상품 시장은 예측 기간 동안 14.3%의 가장 높은 연평균성장률을 기록할 것으로 예측

□ **(국내시장)** 국내 합성가스 시장은 '21년 5,778MWTH에서 **연평균 12.38% 성장**하여 **'30년 16,525MWTH** 규모에 달할 것으로 전망

❍ 아시아태평양 지역의 높은 성장세에 힘입어 중국, 인도, 일본에 이어 안정적인 시장 확대 기대

〈그림 Ⅱ-32〉 국내 합성가스 시장규모 현황 및 전망



*출처 : Markets and Markets, Syngas&Derivatives Market Global Forecast to 2025, 2020., 재구성

(2) 메탄올

□ **(개요)** 메탄올은 일산화탄소, CO_2 및 수소로부터 촉매 공정을 통해 생산하며, 포름알데히드, 바이오디젤 등의 생산 원료로 활용

❍ 메탄올은 석유화학제품의 대규모 생산에 사용되며 자동차나 건설산업 등 최종 산업에서 석유화학제품 수요가 증가하면서 메탄올 시장 성장을 견인

- 또한, 다양한 화학제품의 전신으로 대표적인 1차 석유화학 제품이며 메탄올을 사용한 올레핀 생산이 메탄올 시장 성장의 주요 동력원으로 역할

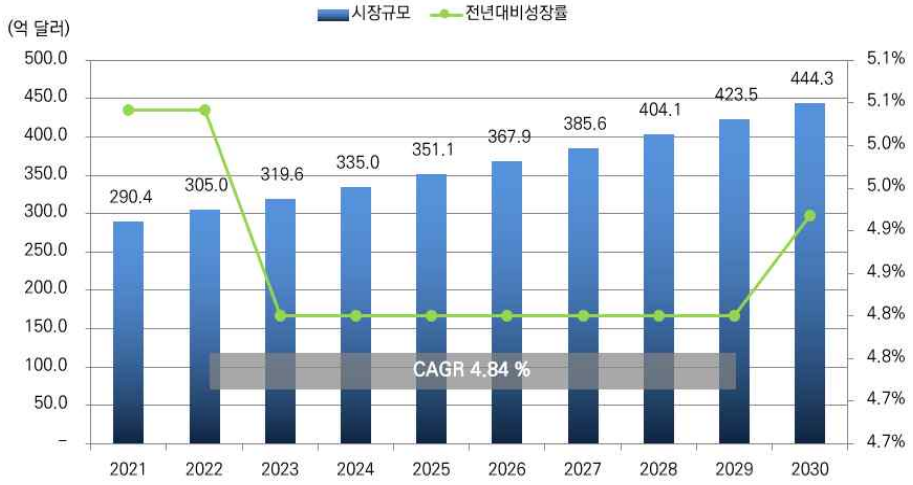
□ **(세계시장)** 세계 메탄올 시장은 '21년 290.4억 달러에서 **연평균 4.84% 성장**하여 **'30년 444.3억 달러** 규모에 달할 것으로 전망

❍ 건설, 자동차 등 최종 산업에서 메탄올 수요가 안정적으로 확보되고 있으며, 특히 중국, 인도 등 아시아 신흥 경제국 산업 발전에 따른 메탄올 수요 증가가 주요 동인

- 자동차는 가장 큰 메탄올 시장으로 알코올 기반 연료는 수년 동안 자동차 응용 분야에서 사용, 특히 메탄올은 내연기관에 직접 사용이 가능하여 디젤엔진의 효율성에 근접한 수준

- 메탄올은 해운업계의 배출 규제를 비용 효율적으로 충족할 수 있는 청정 연소 해양 연료로 각광받고 있으며 다양한 운송수단의 연료로 활용성이 높은 편

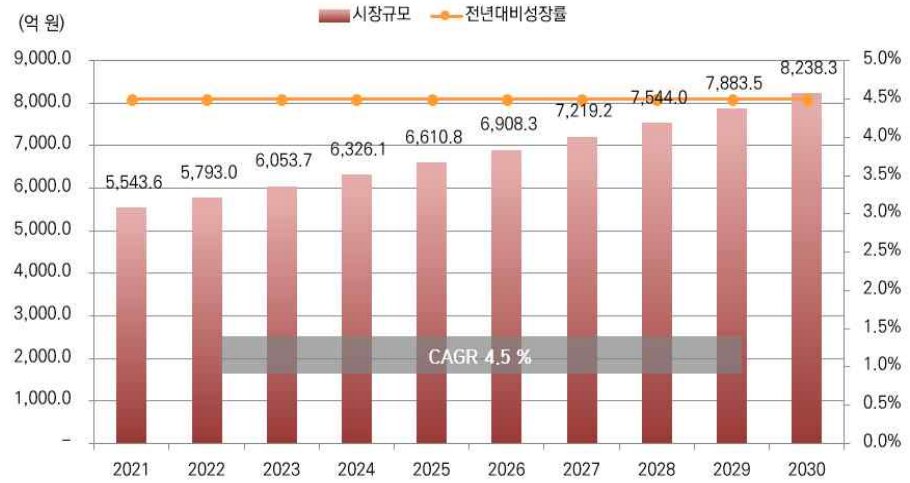
〈그림 Ⅱ-33〉 세계 메탄올 시장규모 현황 및 전망



*출처 : Data Bridge, Global Methanol Market, 2023. 06., 재구성

□ **(국내시장)** 국내 메탄올 시장은 '21년 5,543.6억 원에서 **연평균 4.5% 성장**하여 **'30년 8,238.3억 원** 규모에 달할 것으로 전망

〈그림 Ⅱ-34〉 국내 메탄올 시장규모 현황 및 전망



*주 : 1달러=1,340원 환율 적용
*출처 : Markets and Markets, Methanol Market Global Forecast to 2025, 2020., 재구성

❍ 최종 산업별 국내시장 전망을 살펴보면, **자동차 부문**이 **'21년 약 1,322.2억 원**으로 가장 활발하게 적용되고 있으며, **용제 부문**의 **높은 성장률(CAGR 5.9%)**이 주목

〈표 Ⅱ-68〉 최종 산업별 메탄올 국내시장 현황 및 전망

(단위 : 억 원, %)

구분	2021	2030	CAGR('21~'30)
건설	1,098.3	1,646.3	4.6%
자동차	**1,322.2**	2,033.7	4.9%
전자제품	679.9	1,036.8	4.8%
가전제품	544.4	761.6	3.8%
페인트(코팅)	572.6	822.1	4.1%
단열재	299.4	437.4	4.3%
제약	260.2	357.7	3.6%
포장(PET)	229.3	320.8	3.8%
용제	194.4	325.7	**5.9%**
기타	110.0	148.6	3.4%

*주 : 1달러=1,340원 환율 적용
*출처 : Markets and Markets, Methanol Market Global Forecast to 2025, 2020., 재구성

(3) 초산

□ **(개요)** 초산(아세트산)은 에스테르, 비닐 아세테이트 같은 제품 생산에 필요한 유기화합물의 일종으로 플라스틱 페트병, 합성 섬유, 필름 등 다양한 산업에서 활용

❍ 대규모 초산(아세트산) 생산은 아세트알데히드의 산화 공정을 통해 이루어지며 아세트알데히드·아세트산의 주요 글로벌 기업*은 시장점유율 확대를 위해 적극적인 외연 확장을 추진

*Celanese Corporation, Eastman Chemical Company 등 아세트산 생산 공장 규모 확대 추진

❍ 초산(아세트산)은 건설산업, 전자제품, 포장 등 다양한 코팅, 접착제, 도료 등을 위한 수지 제조에 사용되며 VAM(비닐 아세테이트 단량체), 정제 테레프탈산 등의 수요 증가로 성장 전망

□ **(세계시장)** 세계 초산 시장은 '21년 105.1억 달러에서 **연평균 6.25% 성장**하여 **'30년 181.2억 달러** 규모에 달할 것으로 전망

〈그림 II-35〉 세계 초산(아세트산) 시장규모 현황 및 전망

*출처 : IMARC, Acetic Acid Market, 2023. 01., 재구성

(4) 개미산

□ **(개요)** 개미산은 수소나 일산화탄소 공급원으로 널리 사용되는 일반 화학물질로 무색의 부식성을 띠며 곤충이나 일부 식물에서 자연 유래, 혹은 아세트산 생산공정 부산물로 생성

❍ 물, 알코올, 아세톤 및 에테르 같은 탄화수소에 용해되며 방부제, 동물사료, 농업, 가죽 등 다양한 응용산업 분야에서 활용

- 친환경적인 특성으로 인해 섬유나 가죽 가공에 주로 사용되며, 제약, 고무, 농업 등 다양한 산업에서 산도(ph)를 조절하는 기능을 수행

■ (고무) 천연고무 생산산업에서 가장 중요한 화학물질 중 하나로 라텍스를 응고시키는데 필수적인 요소로 역할

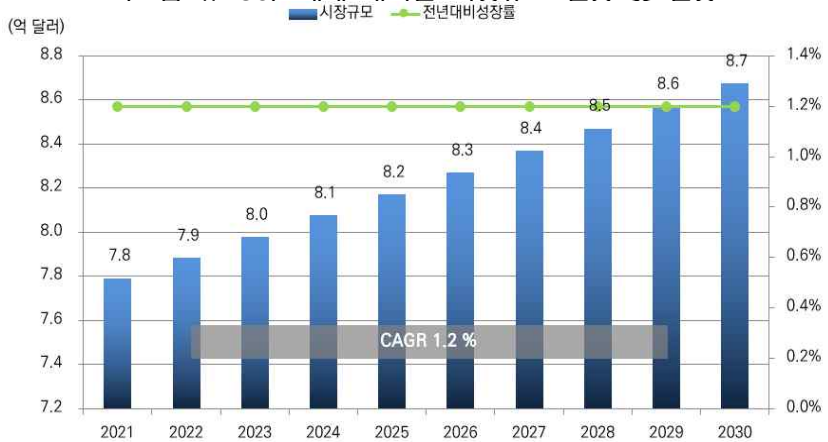
■ (염료 및 향수) 방부제나 항균제 등에 사용되며 각종 화학물질 제조에서 촉매제로 활용, 특히 화학 공정에서 산도(ph) 조절이 가능하여 광범위한 유용성을 지님

■ (사료) 동물사료에 항생제 사용이 점차 제한됨에 따라 친환경적이고 품질이 우수한 개미산 수요가 점차 증가할 것으로 전망

□ **(세계시장)** 세계 개미산 시장은 '21년 7.8억 달러에서 **연평균 1.2% 성장**하여 **'30년 8.7억 달러** 규모에 달할 것으로 전망

❍ 코로나19로 인한 제약산업에서의 수요 증가가 개미산 시장 성장을 주도한 것으로 예측되며, 향후 동물사료 산업과 제약, 섬유산업의 수요 증가에 기인할 것으로 전망

〈그림 Ⅱ-36〉 세계 개미산 시장규모 현황 및 전망



*출처 : Reports and Data, Formic Acid Market, 2020.3, 재구성

(5) 옥살산

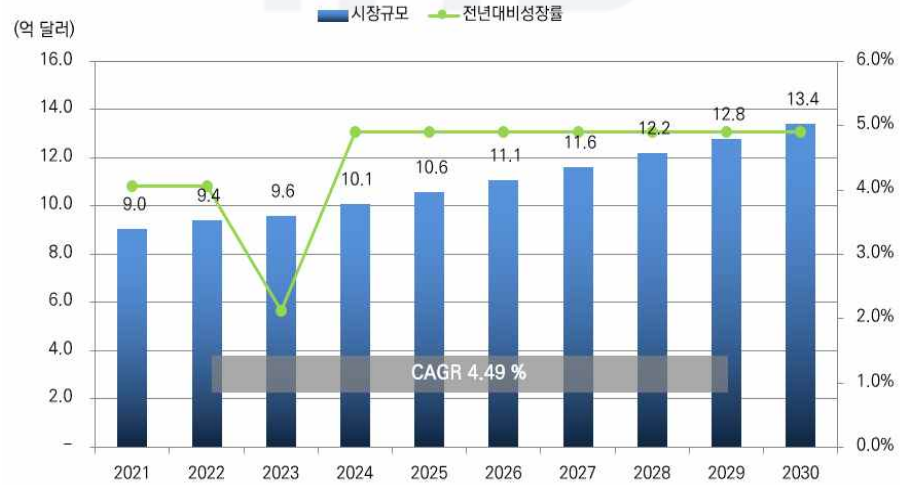
□ **(개요)** 옥살산은 무색의 결정성 독성 유기화합물로 표백이나 세척제로 수요가 높으며, 희토류 회수(제련)에 사용되는 물질로 관련 산업에서 희토류 수요가 증가하면 옥살산 시장도 성장

❍ 제약산업의 성장에 힘입어 새로운 성장 기회에 직면하고 있으며 의약품, 자동차 산업뿐 아니라 다양한 화학물질 생산에 활용됨으로써 높은 시장 수요가 예상

- (의료) 의료장비 소독, 보르네올, 테트라사이클린 등 같은 각종 의약품 개발에 활용되며 치아 미백 제품의 필수 성분으로 의료, 건강산업의 성장으로 옥살산 수요도 함께 증가
- (희토류) 자동차나 전자제품 같은 안정적인 시장을 바탕으로 희토류 자원에 대한 수요가 증가하면서 옥살산의 사용 또한 증가하여 성장을 견인

□ **(세계시장)** 세계 옥살산 시장은 '21년 9억 달러에서 **연평균 4.49% 성장**하여 **'30년 13.4억 달러** 규모에 달할 것으로 전망

〈그림 Ⅱ-37〉 세계 옥살산 시장규모 현황 및 전망



*출처 : Future Market Insights, Oxalic Acid Market, 2023. 07., 재구성

❍ 국가별로 살펴보면, 가장 수익성이 높은 시장은 **중국**으로 **세계 최대 옥살산 생산국이자 수출국**의 지위를 유지할 것으로 전망

- 석유화학이나 전기·전자, 수처리 등 다양한 산업 영역에서 옥살산의 사용이 확대되고 있어 향후 세계시장에서 중국의 선도국가로서 역할이 지속될 것으로 예상

(6) 디메틸카보네이트

□ **(개요)** 디메틸카보네이트는 생분해성, 무독성, 용해성이 특징인 플랫폼 물질로 유해 유기용매 대체물질로 활용가능하고, 친환경성을 띄어 점차 수요가 확대될 것으로 예측

❍ 주요 시장 동인은 **폴리카보네이트 수요 증가에서 비롯**한 시장 견인

❍ 일반적으로 디메틸카보네이트 합성은 메탄올을 사용하여 포스겐화 공정을 통해 생산하나 포스겐, 일산화탄소 같은 독성가스를 원료로 하여 생산하기 때문에 염화나트륨 같은 유해 부산물이 발생한다는 점에서 시장 성장 제약요인으로 작용

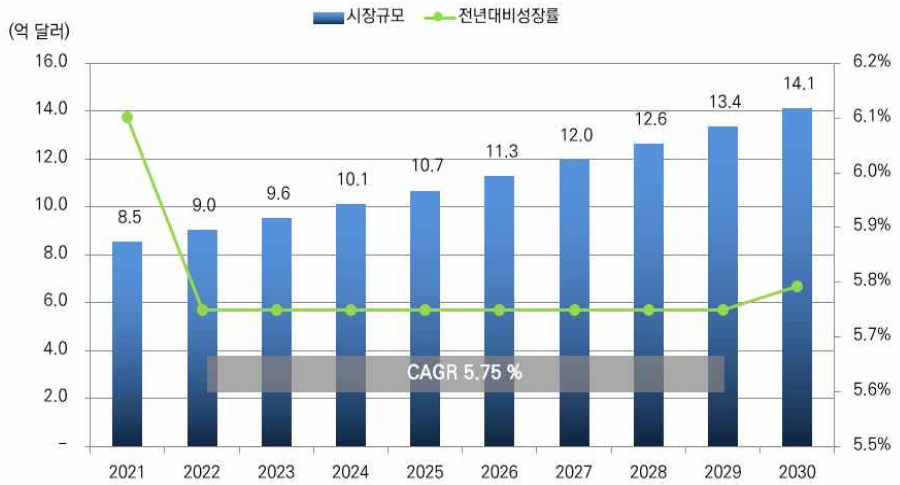
❍ 주된 사용처는 폴리카보네이트(Polycarbonate, PC)의 중간 원료로 폴리카보네이트 합성, 용매, 배터리 전해질, 시약 등에 응용되어 다양한 최종 산업에서 활용

- 에스테르, 에테르, 알코올 등 극성용매에서도 용해성이 뛰어나 용매로서 활용도가 높으며, 350℃까지 견디는 강한 열분해성을 지니고 있어 코팅, 접착제 등에 주로 사용
- (전기·전자) 전기·전자산업의 급성장으로 전자제품 부품인 배터리 수요가 크게 증가하였으며, 리튬이온배터리(LIB)의 주요한 구성요소인 디메틸카보네이트의 수요 확대를 견인
- (자동차) 기존 화석연료 중심에서 벗어나 친환경성을 강조한 하이브리드 전기 자동차(HEV), 플러그인 하이브리드 전기 자동차(PHEV) 등 자동차 산업에서도 배터리 공급을 위한 수요 확대가 예상

□ **(세계시장)** 세계 디메틸카보네이트 시장은 ‘21년 8.5억 달러에서 **연평균 5.75% 성장**하여 **‘30년 14.1억 달러** 규모에 달할 것으로 전망

❍ 디메틸카보네이트는 리튬 이온 배터리의 전해질로 사용되어 노트북, 컴퓨터, 휴대폰 및 하이브리드 전기 자동차, 플러그인 하이브리드 전기 자동차의 수요가 증가함에 따라 시장이 확대

〈그림 Ⅱ-38〉 세계 디메틸카보네이트 시장규모 현황 및 전망



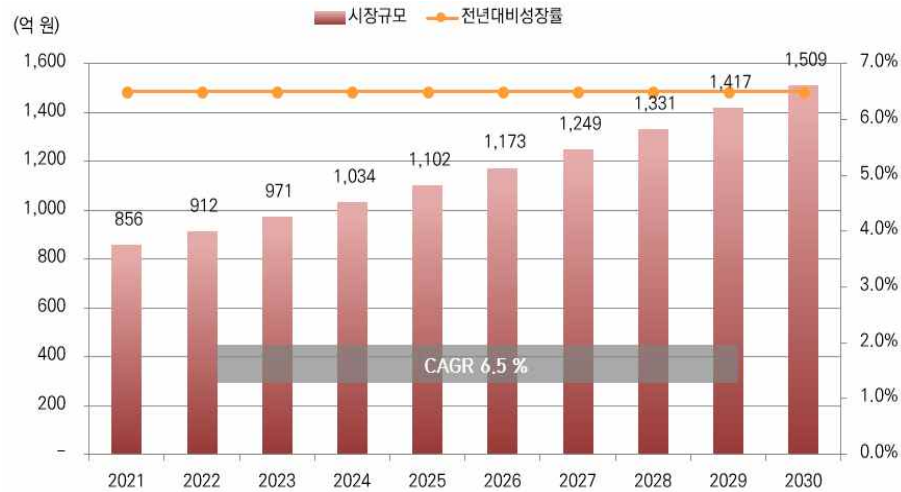
*출처 : Verified Market Research, Global Dimethyl Carbonate Market, 2023. 04., 재구성

□ **(국내시장)** 국내 디메틸카보네이트 시장은 '21년 856억 원에서 **연평균 6.5% 성장**하여 **'30년 1,509억 원** 규모에 달할 것으로 전망

❍ 국내 시장은 폴리카보네이트 합성, 리튬 배터리 전해질 등 국가 주요 산업인 전자제품과 자동차산업에서 디메틸카보네이트 수요를 견인

- 한국은 디메틸카보네이트를 대규모로 소비하는 폴리카보네이트 및 솔벤트와 같은 응용 분야에 대한 수요를 뒷받침하는 전자, 자동차 산업이 주요 산업인만큼 향후 시장 성장 기대

〈그림 Ⅱ-39〉 국내 디메틸카보네이트 시장규모 현황 및 전망



*주 : 1달러=1,343원 환율 적용

*출처 : Markets and Markets, Dimethyl Carbonate Market Global Forecast to 2025, 2020., 재구성

(7) 알킬렌카보네이트

□ **(개요)** 알킬렌카보네이트(에틸렌카보네이트)는 에틸렌 옥시드와 CO_2 의 합성으로 제조가 가능하며 고분자 폴리머 용제, 유기 탄산염 합성 원료, 배터리 전해질 유기용매 등으로 활용

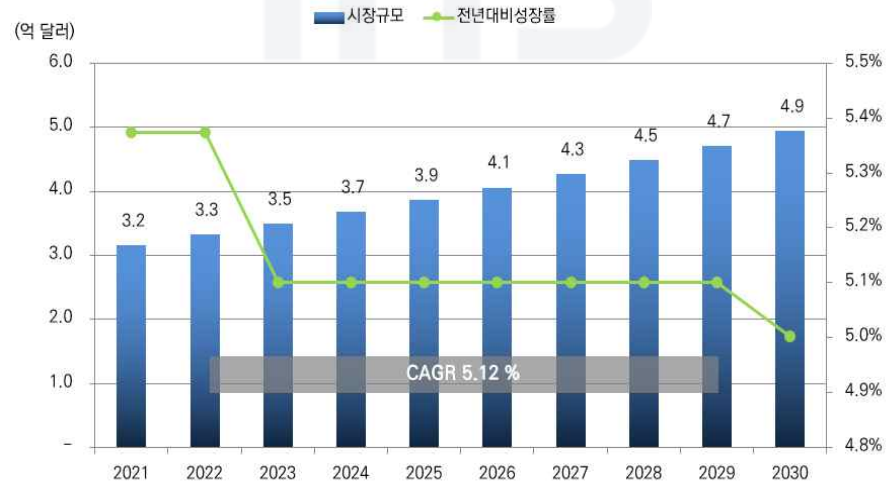
❍ 플라스틱, 페인트, 접착제 제조의 용매로도 사용되며, 의약품, 고분자, 특수 화학제품 등 다양한 유기 화합물 합성의 중간체 역할

- 또한 윤활유 배합의 첨가제 및 공용매로 사용되어 성능 및 특성을 향상

❍ 주로 윤활유 생산 원료로 사용되어 리튬 이온 배터리 전해질로도 활용되며, 최근 전기자동차 산업이 급속 성장함에 따라 시장수요를 견인

□ **(세계시장)** 세계 알킬렌카보네이트 시장은 '21년 3.2억 달러에서 **연평균 5.12% 성장**하여 **'30년 4.9억 달러** 규모에 달할 것으로 전망

〈그림 Ⅱ-40〉 세계 알킬렌카보네이트(에틸렌카보네이트) 시장규모 현황 및 전망



*출처 : Global Industry Analysts, Inc., Global Ethylene Carbonate Market, 2023. 03., 재구성

❍ 시장 성장의 주요 원동력은 알킬렌카보네이트를 용매로 사용하는 리튬 이온 배터리 전해질에 대한 수요 증가

- 리튬 이온 배터리에서 에틸렌 카보네이트의 사용은 전기자동차에 광범위하게 사용되면서 수요가 증가

(8) 올레핀

□ **(개요)** 올레핀은 플라스틱, 섬유 및 기타 고분자와 같이 주로 일상적으로 사용되는 물질로 에틸렌과 프로필렌이 올레핀의 주요 형태

❍ 올레핀 시장은 유형에 따라 에틸렌, 프로필렌, 부타디엔, 부틸렌 등으로 분류

❍ 원유와 같은 화석연료로부터 생산되며 석유화학산업에서 가장 중요한 화합물로 합성수지나 합성고무, 합성 섬유 모두 올레핀 계열 화합물로 생산

- 자동차, 건설, 제약 등 거의 모든 산업에서 사용되며 대표적인 예인 에틸렌은 중합과정을 거쳐 폴리에틸렌으로 전환, 비닐이나 일회용품 등 일상적인 플라스틱 제품으로 활용

□ **(세계시장)** 세계 올레핀 시장은 '21년 2,286.7억 달러에서 **연평균 4.79% 성장**하여 **'30년 3,483억 달러** 규모에 달할 것으로 전망

〈그림 Ⅱ-41〉 세계 올레핀 시장규모 현황 및 전망

*출처 : Zion Market Research, Global Olefins Market, 2023. 04., 재구성

❍ 글로벌 올레핀 시장은 폴리카보네이트 시장 확대와 함께 성장할 것으로 전망되며 시장 성장 동력은 고품질 올레핀에 대한 자동차 산업의 수요 확대에서 비롯될 것으로 예상

(9) 폴리카보네이트

□ **(개요)** 폴리카보네이트는 염화카르보닐과 비스페놀 A의 반응을 통해 생성되며 단단하고 투명한 형태로 최대 140℃, 최저 -20℃ 이하까지 성질을 유지되는 열가소성 수지

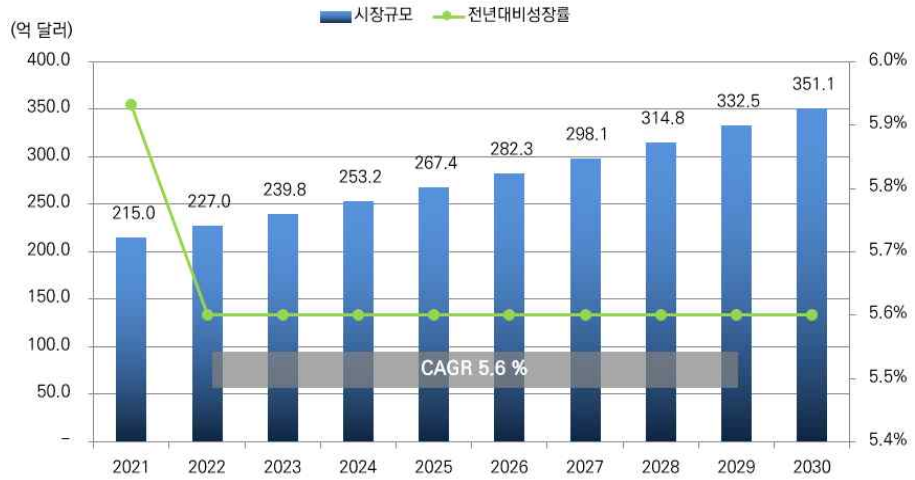
❍ 자동차, 전자, 건설, 의료 등 다양한 산업에서 사용되며, 전기·전자산업의 센서 등 기본 부품이나 전선 절연 응용 분야에서 활용

- 엔지니어링 플라스틱 중에서 높은 물성을 갖는 편으로 투명한 성질로 인해 광학 용도로 사용이 가능하고 비용 효율성을 장점으로 운송 장비, 의료기기, 전기·전자·광학 산업 등 다방면으로 활용

□ **(세계시장)** 세계 폴리카보네이트 시장은 '21년 215억 달러에서 **연평균 5.6% 성장**하여 **'30년 351.1억 달러**에 달할 것으로 전망

❍ 석유폴리카보네이트의 세계 연간 생산량은 약 500만 톤 규모로, 이 중 이산화탄소를 사용하는 DMC 경우 폴리카보네이트 제조공정이 기존의 포스겐 공정을 대체하여 성장

〈그림 Ⅱ-42〉 세계 폴리카보네이트 시장규모 현황 및 전망



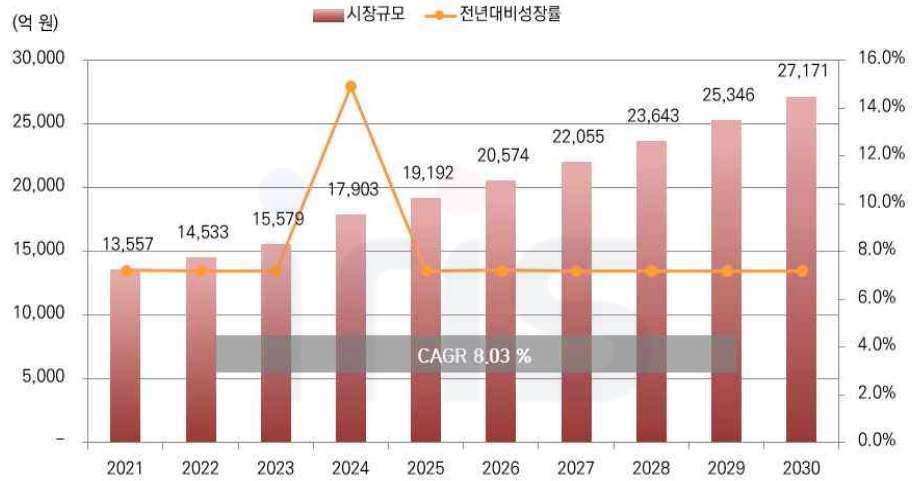
*출처 : Emergen Research, Polycarbonate Market, 2022. 09., 재구성

❍ 시장 성장은 스마트폰, 충전기 등 단열 소비자 전자 장치 제조, 조명 시스템, 램프 렌즈 등 폴리카보네이트 수지 등 산업 전반에 걸친 수요 증가에 기인

❍ 특히, 폴리카보네이트는 증강현실(AR), 가상현실(VR) 기반 기기, 센서 등 생산에 필요한 원료로 새로운 기술 발전 흐름에 따라 또 다른 성장 요인에 시장이 견인

□ **(국내시장)** 폴리카보네이트 국내 시장규모는 '21년 13,557억 원에서 **연평균 8.03% 성장**하여 **'30년 27,171억 원**으로 증가할 것으로 전망

〈그림 Ⅱ-43〉 국내 폴리카보네이트 시장규모 현황 및 전망



*주 : 국내 엔지니어링플라스틱 시장에서 폴리카보네이트의 비중을 49.8%로 추정하며, 7.2%의 연평균 성장률('20~'26) 적용 (1달러=1,300원)
※ 엔지니어플라스틱은 PC 49.8%, PA6, PA66(라일론) 21.2%, PBT 14.6%, POM 12.2%, mPPO 2.2% 등의 순을 차지(IBK기업은행 경제연구소, 국내 '엔지니어링 플라스틱' 산업 분석 2018)
* 출처 : 한국혁신경제연구소,국내 소재·부품·장비산업의 대-중소기업 간 상생협력 유형과 특성 분석, 2020., 재가공

❍ 국내 폴리카보네이트 시장은 아직 형성되지 않았으나, 탄소중립 선언, 글로벌 탄소규제 강화로 기업 관심도가 높아짐에 따라 시장형성 가능성이 증가하고 있으며, 폴리카보네이트, 메탄올 등 이산화탄소 전환 생성 기술 개발 시 **기존 수입 시장 대체 가능성**에 따라 예측

- 국내 폴리카보네이트 생산량은 연간 약 60만 톤 규모이며, 삼양화성, LG화학, 롯데케미칼 등에서 제조

(10) 폴리우레탄

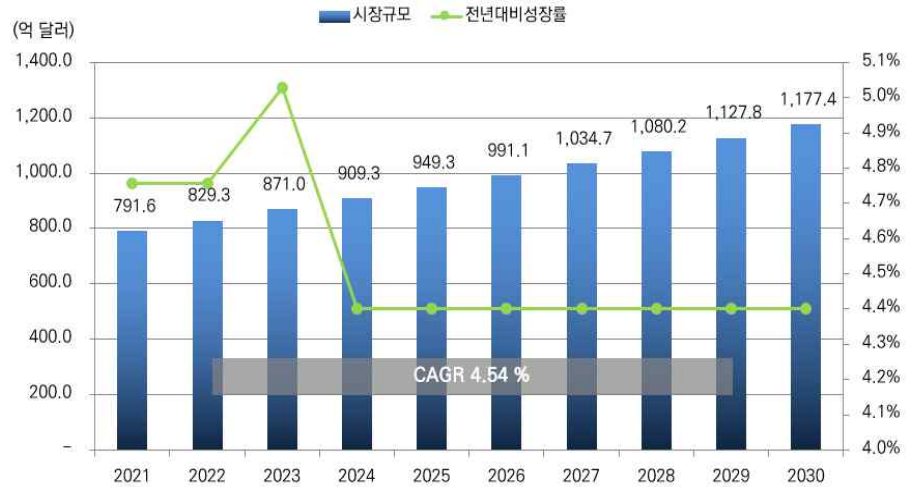
□ **(개요)** 폴리우레탄은 우레탄 결합으로 연결된 합성수지로 타 고분자 플라스틱보다 성형이 편리하고 유연하여 폼, 엘라스토머, 코팅 등 접착제 기반 제품에서 합성 폴리머로 사용

❍ 건축·건설, 자동차, 운송, 가전제품 등 광범위한 산업에서 활용되며 일반적으로 코팅, 접착제 등으로 사용

- (자동차) 폭스바겐, 아우디, 페라리, BMW 등 글로벌 자동차기업이 폴리우레탄의 고정적 수요층으로 혁신적이고 내구성이 뛰어난 폴리우레탄 소재 수요 증가
- (건축·건설) 경량, 설치 용이성, 내구성 등 우수한 특성을 바탕으로 지속가능한 친환경적인 건축(건설)이 가능한 재료
- (침구·가구) 연질 폴리우레탄 폼은 가정용 가구에서 가장 많이 사용되는 소재로 가구나 침구 밑받침으로 혹은 완충재로 가구의 내구성과 지지대 역할을 수행

□ **(세계시장)** 세계 폴리우레탄 시장은 '21년 791.6억 달러에서 **연평균 4.54% 성장**하여 **'30년 1,177.4억 달러** 규모에 달할 것으로 전망

〈그림 Ⅱ-44〉 세계 폴리우레탄 시장규모 현황 및 전망



*출처 : Fortune Business Insights, Polyurethane(PU) Market, 2023. 07., 재구성

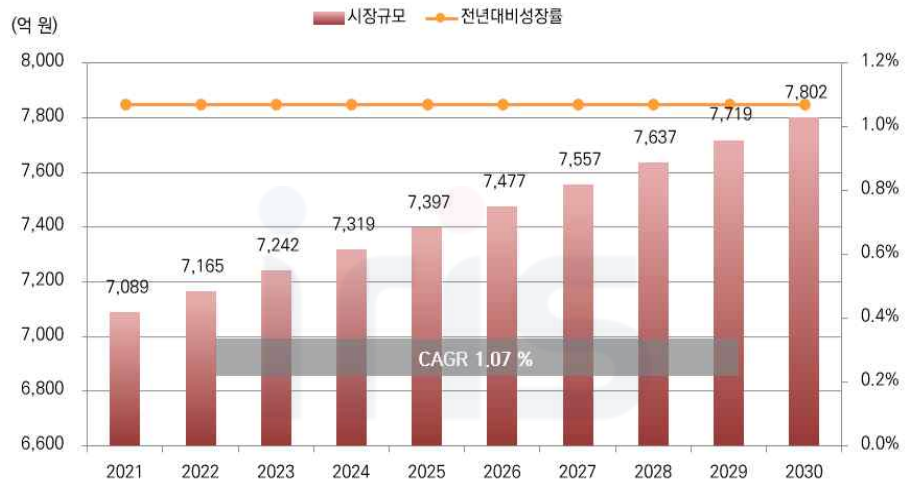
❍ 산업 수요 확대, 소득수준 증가 및 저렴한 원자재 가격을 바탕으로 아시아 태평양지역이 폴리우레탄 주요 소비자이자 생산자로 부상

- 폴리우레탄 제조 분야에서 빠르게 성장하는 지역으로 접근이 용이한 원자재 확보, 외국인 투자 확대 등을 바탕으로 성장

❍ 폴리우레탄은 내구성, 유연성 및 편안함을 제공하는 특성으로 주로 가구 산업에서 침구 및 쿠션 용도의 폼으로 사용되는데, 전 세계 인구 증가 및 생활 방식의 변화로 가구 수요가 급증함에 따라 시장 성장을 주도

□ **(국내시장)** 국내 폴리우레탄 시장은 '21년 7,089억 원에서 **연평균 1.07% 성장**하여 **'30년 7,802억 원** 규모에 달할 것으로 전망

〈그림 Ⅱ-45〉 국내 폴리우레탄 시장규모 현황 및 전망



*출처 : 통계청 국가통계포털, NICE디앤비, 재구성

❍ 산업화 발전과 에너지 효율이 높은 건축물에 대한 수요 증가 등으로 향후 국내 폴리우레탄의 활용 범위는 더욱 확대될 것으로 예측

❍ 특히, 합성피혁 산업에서 폴리우레탄 수지의 지속적인 수요가 증대되고 있으며, 엄격한 환경규제에 따른 친환경 제품 개발의 필요성이 대두

- 합성피혁은 제조공정에서 인체에 유해하거나 환경오염을 유발하는 물질이 발생될 수 있어 취급 및 처리에 엄격한 환경규제가 시행되고 있음

- 폴리우레탄의 경우, 일부 제조공정에서 지구온난화 기체인 염화불화탄소(프레온가스)를 사용하고 있어 이의 사용을 회피하는 제조공정기술 확보 요구

나. 생물학적 전환

〈표 Ⅱ-69〉 CCU 생물학적 전환 분야 '30년 상용화 제품 후보군

기술 분야	제품군	CCU 제품
생물 전환	1 바이오매스	①바이오매스, ②사료
	2 바이오소재	③바이오플라스틱, ④바이오연료, ⑤천연색소

(1) 바이오매스

□ **(개요)** 바이오매스는 광합성으로 생산되는 동식물 유기체로서 3세대 조류*를 통해 생산이 가능한 환경친화적인 에너지원 및 화학연료로 바이오가스, 바이오에탄올, 바이오디젤 등을 함

*1세대: 옥수수, 사탕수수 / 2세대: 목재류 / 3세대: 거대조류, 미세조류

❍ 원유가격의 급격한 상승으로 인해 생물자원을 활용한 유용 바이오소재 생산이 각광

- 미세조류를 원료로 하여 대기나 해수 중의 CO_2와 물, 태양광을 에너지로 삼아 대규모 경작지가 필요하지 않고, CO_2 저감에 기여하여 기존 원료를 대체할 새로운 원료로 주목

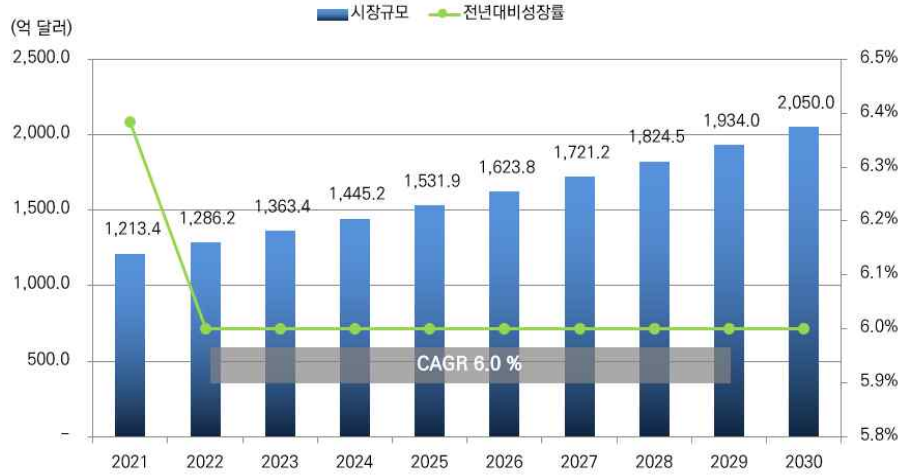
❍ 산업체, 발전소 유래 배가스 무포집형 전환을 통해 생산된 미세조류 바이오매스는 수확 및 건조(폐열 등을 활용) 과정을 통해 효율적인 회수가 가능하며, 이를 통해 사료 및 기타 고부가 소재로의 적용이 가능

□ **(세계시장)** 세계 바이오매스 시장은 '21년 1,213.4억 달러에서 **연평균 6% 성장**하여 **'30년 2,050억 달러** 규모에 달할 것으로 전망

❍ 도시화에 따른 인구 증가, 1인당 소득 증가, 바이오매스 발전 이용 증가 등으로 수요 급증

❍ 바이오에너지 생산을 촉진하기 위한 각국 정부 주도의 이니셔티브가 주요 시장 성장 동인

〈그림 Ⅱ-46〉 세계 바이오매스 시장규모 현황 및 전망



*출처 : Grand View Research, Global Biomass Power Market, 2022., 재구성

□ **(국내시장)** 국내 바이오매스의 기술적 잠재량은 1,509만 TOE*으로, 세부 현황은 아래와 같음

*원자력발전소 약 8기의 발전량의 해당하며, 원전 1기 발전량의 석유환산톤 200만TOE 기준

❍ 통계에 포함되지 않는 바이오매스를 고려하면 실제 에너지 잠재량은 더욱 풍부

- 커피찌꺼지(연 15만톤), 폐버섯배지(연 87만톤), 수산부산물(연 150만톤), 도축 폐기물, 기타 농산부산물 등

〈표 Ⅱ-70〉 국내 바이오매스 에너지 잠재량 현황

(단위 : TOE/년)

구분		이론적 잠재량	기술적 잠재량	비고
산림/목재 바이오매스	임산	12,849,010	9,852,860	침엽수림, 활엽수림, 혼효림
폐자원 바이오매스	농산	2,979,677	2,979,677	볏짚, 왕겨, 고춧대, 고구마줄기, 사과전정지, 포도전정지 등 17개 품목
	축산	1,705,398	1,497,800	우분, 계분, 돈분 등
	도시폐기	1,143,227	759,788	음식물류 폐기물, 하수슬러지
합계		**18,677,312**	**15,090,125**	

*출처 : 한국에너지공단, 2020 신재생에너지백서

(2) 사료

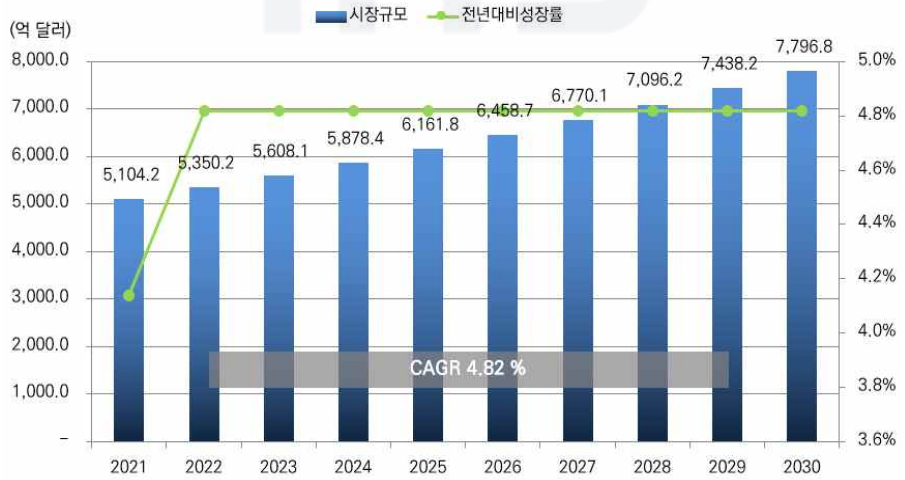
□ **(개요)** 사료는 배합상태에 따라 배합사료, 단미사료, 보조사료 3가지로 구분

- ❍ (단미사료) 식물성, 동물성 또는 광물 물질로서 사료로 직접 사용되거나 배합사료의 원료로 사용되는 것
- ❍ (보조사료) 사료의 품질 저하 방지 또는 사료의 효용을 높이기 위하여 사료에 첨가하는 것
- ❍ (배합사료) 단미사료, 보조사료 등을 적정한 비율로 배합 또는 가공한 것

□ **(세계시장)** 세계 사료 시장은 '21년 5,104.2억 달러에서 **연평균 4.82% 성장**하여 **'30년 7,7963.8억 달러** 규모에 달할 것으로 전망

- ❍ 소득 증가, 식단 변화, 인구 증가 등으로 인해 동물성 제품 수요가 확산됨에 따라, 사료 시장이 지속 증가

〈그림 Ⅱ-47〉 세계 사료 시장규모 현황 및 전망



*출처 : Fortune Business Insights, Compound Feed Market, 2022. 02., 재구성

□ **(국내시장)** 국내 배합사료 생산량은 '14년 1,886만 톤에서 '20년 2,132만 톤을 기록하였으며, 조류 인플루엔자 발생으로 인해 부진했던 '17년을 제외하고 연평균 2.1% 성장률로 꾸준한 성장을 이어오는 중

〈표 Ⅱ-71〉 국내 배합사료 생산량

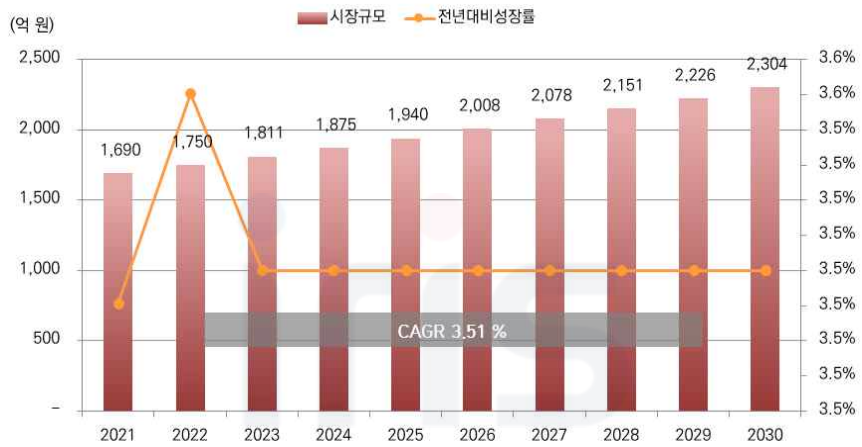
구분	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년	2020년	2021년(E)	2022년(E)
생산량(만 톤)	1,886	1,928	1,959	1,920	2,013	2,086	2,132	2,177	2,222

*출처 : 농림축산식품부, 2021.

❍ 배합사료의 생산량 성장세와 더불어 그 원료인 단미사료와 보조사료(사료첨가제)의 수요도 증가 추세를 보이는 것으로 확인

❍ 국내 단미사료 시장은 '21년 1,690억 원에서 연평균 3.51% 성장하여 '30년 2,304억 원 규모에 달할 것으로 전망

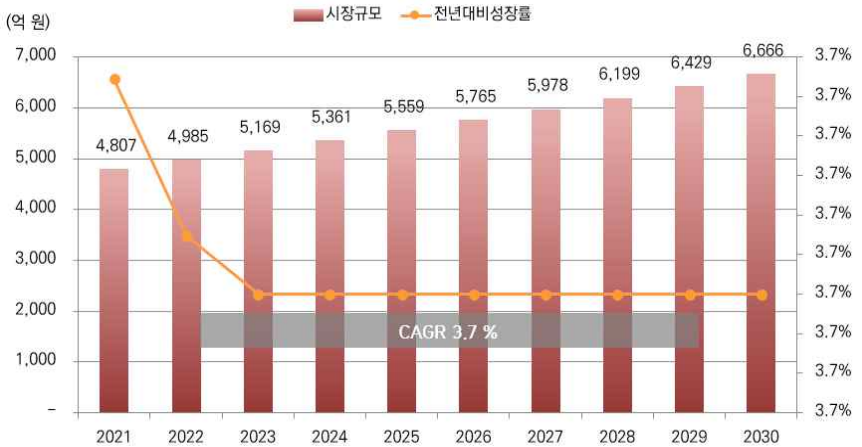
〈그림 Ⅱ-48〉 국내 단미사료 시장규모 현황 및 전망



*출처 : 통계청, 국내 단미사료 시장규모(출하금액 기준), 2021., 재구성

❍ 국내 보조사료 시장은 '21년 4,807억 원 규모에서 **연평균 3.7% 성장**하여 **'30년 6,666억 원** 규모에 달할 것으로 전망

〈그림 Ⅱ-49〉 국내 보조사료 시장규모 현황 및 전망



*출처 : 통계청, 국내 보조사료 시장규모(출하금액 기준), 2021., 재구성

(3) 바이오플라스틱

□ **(개요)** 바이오플라스틱은 생물공학 기반기술을 통해 생산되는 생분해성(biodegradable) 또는 바이오베이스(bio-based) 플라스틱

❍ 바이오플라스틱은 기존의 석유 기반 제품의 생태 유해성, 플라스틱 사용 증가로 인한 환경오염 문제 해결을 위한 대안으로 주목

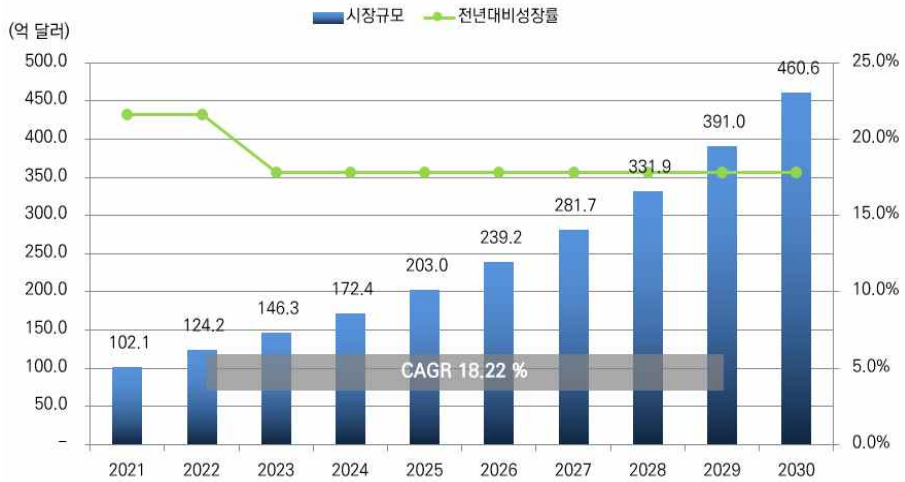
- 생분해성 플라스틱의 분해 기간은 5년 이내로 폐기 후에 빠르게 분해되어 친환경적이며, 석유 기반 제품대비 생산 과정에서 탄소 배출량이 절반 수준으로 온실가스 감소에 효과적

□ **(세계시장)** 세계 바이오플라스틱 시장은 '21년 102.1억 달러에서 **연평균 18.22%**로 고속 성장하여 **'30년 460.6억 달러 규모**에 달할 것으로 전망

❍ 현대인의 라이프 스타일 변화로 바로 먹을 수 있는 포장 식품 구매 욕구가 증가하는 가운데, 환경적 요인으로 식품 포장 산업에서 생분해성 플라스틱을 사용하는 추세 지속 증가

❍ 글로벌 기업들은 PLA, PHA, PBAT, PBS 등 생분해성 플라스틱 기반의 제품 상용화를 추진 중

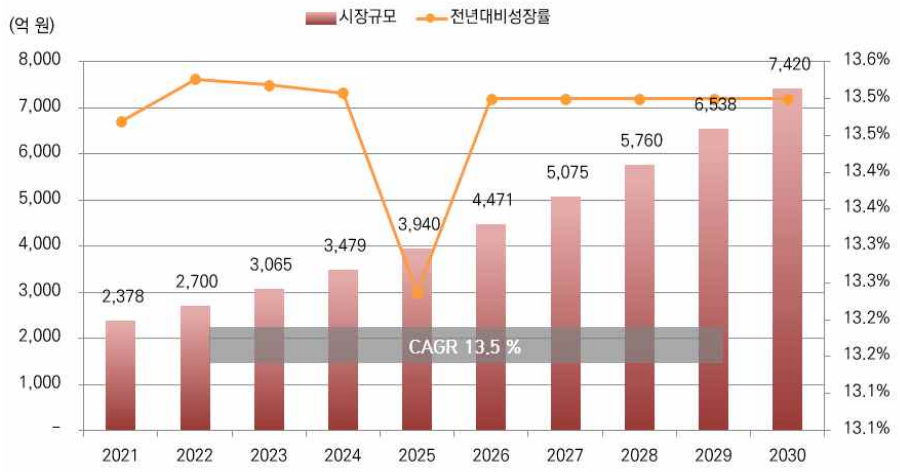
〈그림 Ⅱ-50〉 세계 바이오플라스틱 시장규모 현황 및 전망



*출처 : Precedence Research, Bioplastics Market, 2023. 06., 재구성

□ **(국내시장)** 국내 바이오플라스틱 시장은 '21년 2,378억 원에서 **연평균 13.5% 성장**하여 **'30년 7,420억 원**에 달할 전망

〈그림 Ⅱ-51〉 국내 바이오플라스틱 시장규모 현황 및 전망



*출처 : Marketsandmarkets, Bioplastics & Biopolymers Market, 2020., 재구성

- '19년 기준 국내 바이오플라스틱 시장은 약 4만 톤 규모로 **국내 플라스틱 시장의 0.5%**를 차지하며, **세계 바이오플라스틱 시장의 1% 수준**
- '19년 바이오고분자 생산은 545억 원으로 글로벌 시장 점유율이 1.5% 수준에 불과하고 바이오플라스틱 소재의 **해외 의존도가 매우 높은 상황**이 지속
- 석유화학 기업 중심으로 바이오플라스틱 생산 중(원료 중합)이나, 리파이너리(원료 추출·가공) 및 단량체 생산은 기술개발 단계로 해외 원료 수입에 의존
- 국내 기업들은 다양한 일회용 플라스틱 제품에 대한 대체원료를 출시하여 일회용 플라스틱 제품을 급속하게 바이오매스 소재로 대체하고 있어, 추후 바이오플라스틱의 국내 시장규모는 최소 5조 원 이상으로 확대될 것으로 예상

(4) 바이오연료

□ **(개요)** 바이오연료는 에탄올, 바이오매스 기반 디젤 등 바이오매스 자원에서 생성되는 운송 연료로, 일반적으로 석유 연료와 혼합되지만 독립적으로도 사용 가능

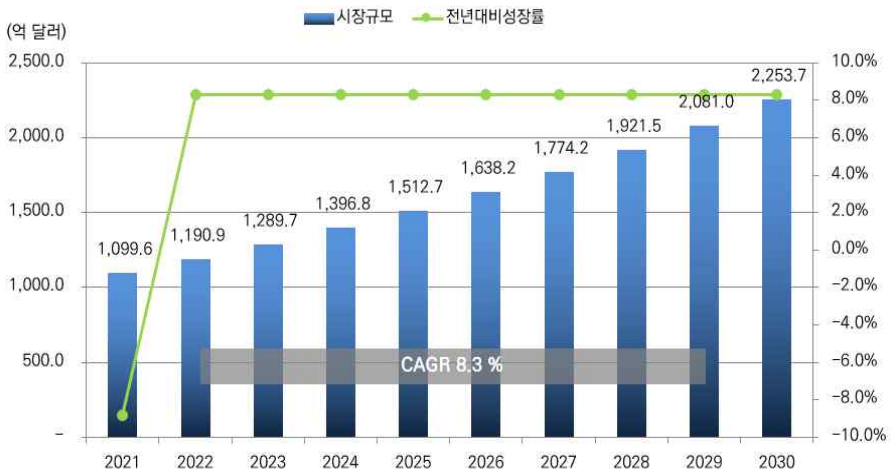
❍ 바이오매스 폐기물, 폐지방 및 기름으로 만든 고급 액체 바이오 연료는 운송, 항공 및 화물과 같은 산업에서 에너지 부문을 저비용으로 탈탄소화할 수 있는 잠재적인 솔루션

□ **(세계시장)** 세계 바이오연료 시장은 '21년 1,099.6억 달러에서 **연평균 8.3% 성장**하여 **'30년 2,253.7억 달러**에 달할 것으로 전망

❍ 지속 가능하고 신뢰할 수 있는 에너지에 대한 수요 확산, 환경적으로 수용 가능한 청정 에너지원에 대한 관심 증가로 인해 전 세계적으로 바이오 연료 수요 확대

❍ 차량 연료에 결합된 바이오 연료에 대한 정부 규제와 환경 친화적인 전력 옵션에 대한 정부 지원 증가가 결합되어 전 세계 바이오 연료 사용을 늘리고, 예측 기간 동안 바이오 연료 시장이 빠른 속도로 성장하도록 유지

〈그림 Ⅱ-52〉 세계 바이오연료 시장규모 현황 및 전망



*출처 : Precedence Research, Biofuels Market 2020 to 2030, 2022. 01., 재구성

(5) 천연색소

□ **(개요)** 합성안료는 플라스틱 성형 시 극히 제한된 용도로 사용해야 하며, 유해성이 대두되는 실정으로 이를 **천연색소(유기안료)**로 대체함으로써 환경 친화적인 산업으로 각광

❍ 독성이 없고 비용 효율적이며, 높은 발색력을 가지고 있어 다양한 산업 분야에서 사용 가능

❍ 미생물, 식물, 동물 세포를 직·간접적으로 이용하여 생산하는 물질을 가공·조제, 제품화하며 환경친화적인 특성으로 향후 수요의 지속 확대 전망

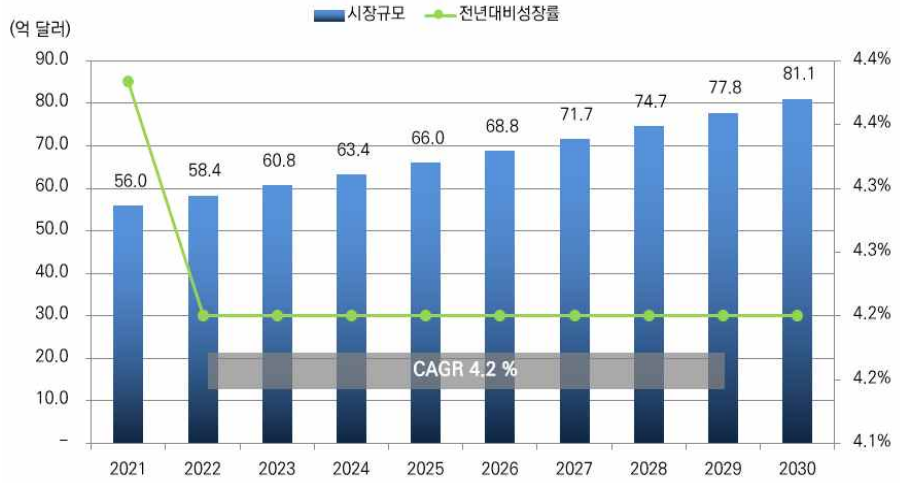
- 미세조류 기반의 천연색소는 현재 제품이 일정 수준으로 생산되고 있으며, 주로 사료 첨가제, 건강 기능성 식품, 화장품 소재 등으로 활용

■ 실증 기반의 생물학적 CCU 기술개발을 통해, 배가스 무포집 전환형 미세조류 생산 기지에서 회수되는 고부가 소재의 제품화 기술개발 요구

□ **(세계시장)** 세계 천연색소(유기안료) 시장은 '21년 56억 달러에서 **연평균 4.2% 성장**하여 **'30년 81.1억 달러** 규모에 달할 것으로 전망

❍ 광 복제, 광전자 디스플레이 및 광학 데이터 저장과 같은 첨단 응용 분야에서 유기안료 사용이 증가함에 따라 시장 지속 확대 전망

〈그림 Ⅱ-53〉 세계 천연색소(유기안료) 시장규모 현황 및 전망



*출처 : Allied Market Research, Organic Pigments Market, 2022. 11., 재구성

다. 광물 탄산화

〈표 Ⅱ-72〉 CCU 광물 탄산화 분야 '30년 상용화 제품 후보군

기술 분야	제품군	CCU 제품
광물탄산화	1 시멘트 및 건설소재	①CO_2 양생 및 반응경화시멘트, ②CO_2 광물화 건설소재
	2 무기탄산계화합물	③탄산칼슘, ④중탄산나트륨($NaHCO_3$)

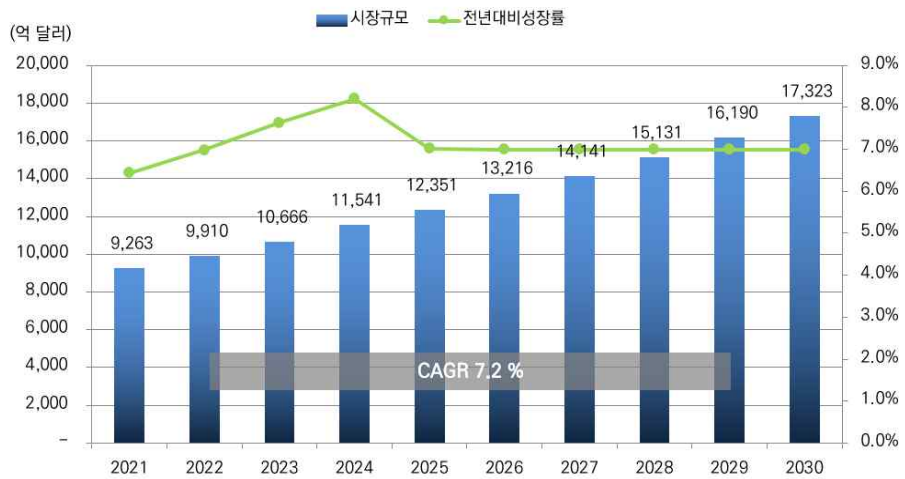
(1) CO_2 양생 및 반응경화시멘트

□ **(개요)** 시멘트 산업은 경기 민감도가 높은 기간산업, 내수중심의 장치산업, 진입장벽이 높은 산업, 에너지 소비형 산업의 특징을 보유하고 있으며, 후방산업으로 유연탄, 기계설비 제조업 등이 있고, 전방산업으로 건설 토목 등 건축업이 존재

□ **(세계시장)** 세계 시멘트 시장은 '21년 9,263억 달러 규모에서 **연평균 7.2% 성장**하여 **'30년 17,323억 달러**에 달할 것으로 전망

❍ COVID-19로 인한 경제활동 위축 등의 영향으로 시멘트 생산량 및 주요 업체의 매출은 감소하였으나, 점진적인 경기회복에 의한 수요 확대에 따라 일부 업체를 중심으로 수익성이 개선되는 중

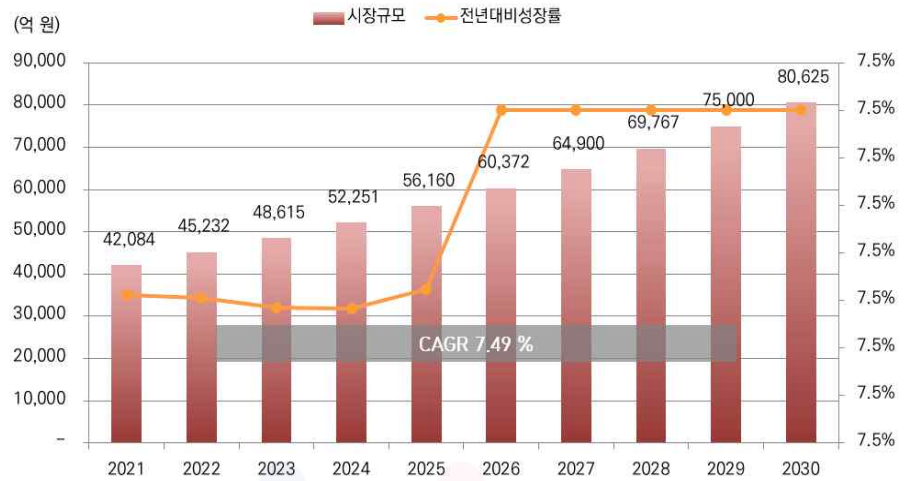
〈그림 Ⅱ-54〉 세계 시멘트 시장규모 현황 및 전망



*출처 : TechNavio(2020), NICE디앤비, 재구성

□ **(국내시장)** 통계청 「2021년 광업/제조업 조사」 발표자료에 따르면, 국내 시멘트 시장규모는 '21년 42,084억 원 형성 이후 **연평균 7.5%씩 증가**하여 **'30년 80,625억 원 규모**에 달할 것으로 전망

〈그림 Ⅱ-55〉 국내 시멘트 시장규모 현황 및 전망



*출처 : 통계청(2021), NICE평가정보㈜, 재구성

❍ **(국내 시멘트 점유율)** 국내 시멘트 산업은 대표적인 7개 기업이 90% 이상 과점하는 시장이였으나, '17년 시멘트 기업들의 인수합병으로 5개 기업의 대표 기업이 시멘트 사업을 영위중

- 생산량 기준 쌍용&대한 25.3%, 한일&현대 20.8%, 아세아&한라 18.6%, 삼표 14.9%, 성신양회 13.8%의 비중으로 구성(한국시멘트협회, 2020)

〈그림 Ⅱ-56〉 국내 시멘트 시장점유율 현황(2020)

*출처 : 한국시멘트협회(2020), NICE디앤비, 재구성

(2) CO_2 광물화 건설소재

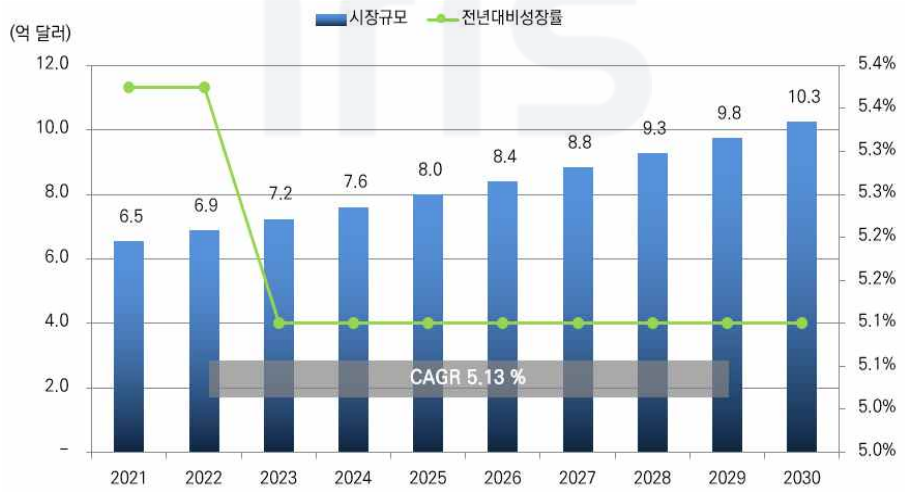
□ **(개요)** 자연 광물이나 산업폐기물 등에서 추출한 알칼리 금속(칼슘, 마그네슘)과 CO_2를 반응시켜 탄산칼슘이나 탄산마그네슘을 제조하는 공정을 탄소 광물화로 정의

❍ 탄산칼슘, 탄산마그네슘은 시멘트, 콘크리트, 골재 등 건설소재 생산 원료로 활용

□ **(세계 탄산마그네슘 시장)** 세계 탄산마그네슘 광물 시장은 '21년 6.5억 달러에서 **연평균 5.13% 성장**하여 **'30년 10.3억 달러** 규모에 달할 것으로 전망

❍ 화학, 제약 및 건설산업에서 탄산마그네슘 광물의 적용이 증가함에 따라 시장 성장 가속화

〈그림 Ⅱ-57〉 세계 탄산마그네슘 광물 시장



*출처 : Future Market Insights, Magnesium Carbonate Minerals Market, 2022. 07., 재구성

❍ 탄산마그네슘은 화학, 제약, 건설산업에서 높은 수요를 보이며 광범위한 활용성을 바탕으로 시장 성장이 가속화될 전망이며 특히 인도, 중국 등 아시아태평양 지역을 중심으로 시장 성장이 전망

- 중금속이나 실리카가 함유된 산업 폐수를 정화하는 데 사용되며, 플라스틱, 폴리머 등의 생산 원료로도 활용되는 등 다양한 산업에서 응용이 가능

- 시장 성장 동력원은 제약·의료산업, 미국의 경우 제지·펄프, 페인트·코팅산업으로 나타났으며 급성장이 예측된 독일 시장은 화장품, 건설, 자동차 산업이 수요를 견인

□ **(세계 저탄소 콘크리트 시장)** 세계 저탄소 콘크리트 시장은 '21년 75.6억 달러에서 **연평균 8.85% 성장**하여 **'30년 162.2억 달러** 규모에 달할 것으로 전망

〈그림 Ⅱ-58〉 세계 저탄소 콘크리트 시장규모 현황 및 전망

*출처 : Report Linker, Green Concrete Market, 2022. 01., 재구성

❍ 저탄소 콘크리트는 콘크리트 폐기물이나 제조 과정에서 발생한 잔류물을 활용하여 친환경 제품으로 전환한 자재로 CO_2 배출량이 적고 물 사용량이 적어 그린 콘크리트로 불림

❍ 중국, 인도 등 건설 활동이 활발하게 이루어지고 있고, 국가 주도의 기반시설 프로젝트가 활성화된 국가를 중심으로 건설산업이 성장함에 따라 건설 소재·자재 수요도 함께 증대

- 특히, 친환경적인 제품에 대한 수요가 증가하면서 지속가능한 친환경 건설소재·자재에 대한 수요가 확대, 가장 대표적인 건설자재인 콘크리트 시장의 급성장 예상

- 글로벌 시장 점유율은 유럽의 비중이 높은 편이며, 이는 엄격한 환경규제에 대응하고 정부의 적극적인 지원을 바탕으로 세계경쟁력을 선점할 수 있었기 때문

(3) 탄산칼슘

□ **(개요)** 탄산칼슘은 무색, 무취, 무미의 결정성 화합물로 석회석 암석에서 자연적으로 얻거나, 석회석을 분해하여 산화칼슘으로 제조 후 재탄소화 함으로써 제조

❍ 탄산칼슘은 pH 6 이상으로 여러 상업 및 산업 응용 분야에 광범위하게 사용

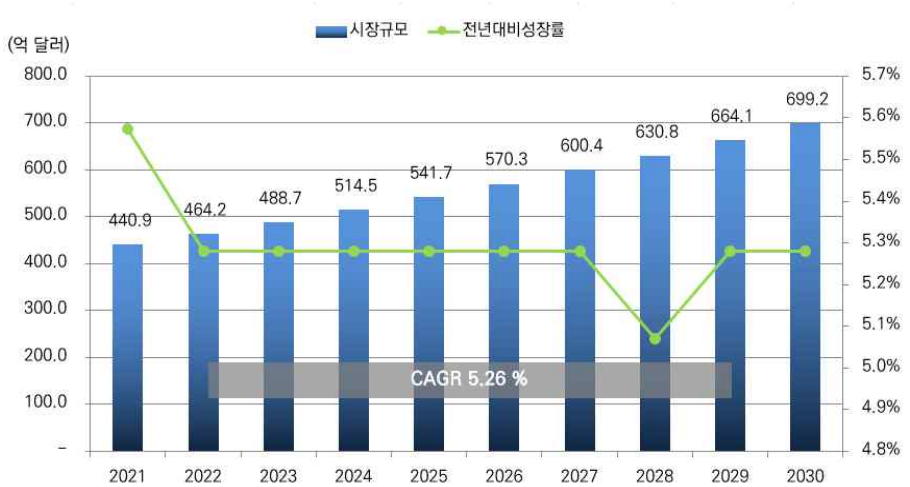
❍ 탄소 광물화에 의해 생산되는 탄산칼슘($CaCO_3$)은 CCUS 광물화에 가장 많이 활용되는 화합물로, CO_2 전환 광물화 기술 상용화시 탄소 광물화 시장을 대체할 것으로 기대

□ **(세계시장)** 세계 탄산칼슘 시장은 '21년 440.9억 달러에서 **연평균 5.26% 성장**하여 **'30년 699.2억 달러** 규모에 달할 것으로 전망

❍ 접착제 및 밀봉제, 동물 및 애완동물 사료, 건축, 비료, 유리 및 세라믹, 페인트 및 표면 코팅, 종이 필러 및 코팅 안료, 플라스틱, 고무 및 엘라스토머 산업 전반에 걸쳐 수요가 지속 증가

- 특히 '종이' 부문이 40%의 수익 점유율을 차지('21년 기준)하며, 지속 가능성과 위생에 대한 우려가 커지면서 제지 산업이 성장함에 따라 시장이 꾸준히 확대 중

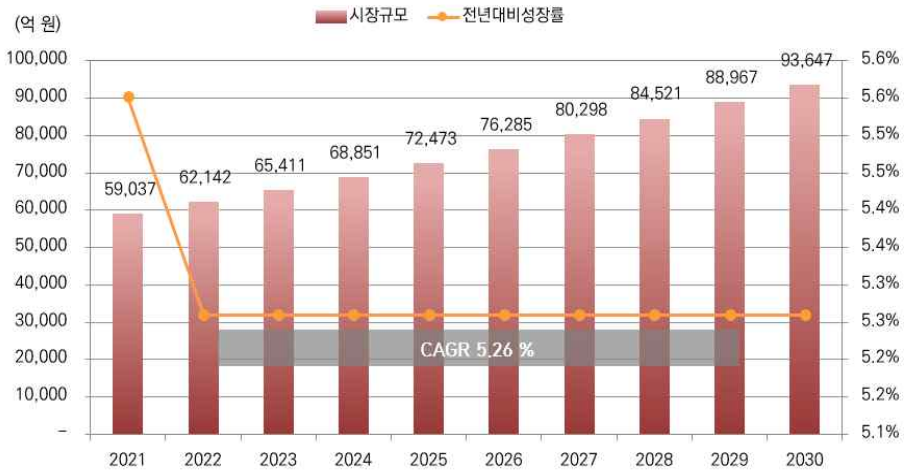
〈그림 Ⅱ-59〉 세계 탄산칼슘 시장규모 현황 및 전망



*출처 : SkyQuest, Global Calcium Carbonate Market By type, By end use & By region-Forecast Analysis 2022-2028, 2022. 10., 재구성

□ **(국내시장)** 국내 탄산칼슘 시장은 '21년 59,037억 원에서 **연평균 5.26% 성장**하여 **'30년 93,647억 원** 규모에 달할 것으로 전망

〈그림 Ⅱ-60〉 국내 탄산칼슘 시장규모 현황 및 전망



*주 : 국내 시장점유율(1%), 연평균 성장률(5.26%)을 반영해 세계 탄산칼슘 시장 기반 추정(1달러=1,338.7원)
*출처 : SkyQuest, Global Calcium Carbonate Market By type, By end use & By region-Forecast Analysis 2022-2028, 2022. 10., 재구성

❍ 국내 탄산칼슘 전체 시장규모는 연간 약 1억 톤에 이르며 이는 **세계시장의 1%**에 해당하는 규모로, CO_2 전환 광물화 기술 상용화 시 탄소 광물화 시장을 대체할 것으로 기대

❍ 국내에서 탄산칼슘이 가장 많은 양이 소비되는 곳은 건설용 시멘트와 제지, 플라스틱 등의 충전재로 사용

- 대량으로 사용되는 탄산칼슘은 주로 GCC로 국내 부존 자원량이 많은 석회석으로부터 공급되고 있는 반면, PCC는 고부가가치 소재이나 일본과 미국이 관련 기술을 거의 독점하고 있는 상황
- 국내 시멘트 산업에서는 이산화탄소 감축을 위해 원료전환, 연료전환, 기기 및 공정효율 개선 등 다양한 감축 이행 노력을 수행 중

(4) 중탄산나트륨($NaHCO_3$)

□ **(개요)** 탄산 나트륨 제조 공정에서 발생하는 중간물질로 제산제 등 의약품이나 베이킹파우더나 탄산가스 발생제 등으로 활용

❍ '베이킹소다'로도 알려진 중탄산나트륨은 식품 산업에서 팽창제, pH 조절제 및 풍미 강화제로 널리 사용

❍ 중탄산나트륨은 식품 및 음료, 개인 관리, 청소 및 가정용 제품, 농업 및 제약을 포함한 다양한 산업 분야에서 광범위한 응용 분야를 제공

- 다용도 특성으로 인해 지속 가능한 천연 제형 개발 제조업체에 매력적인 성분

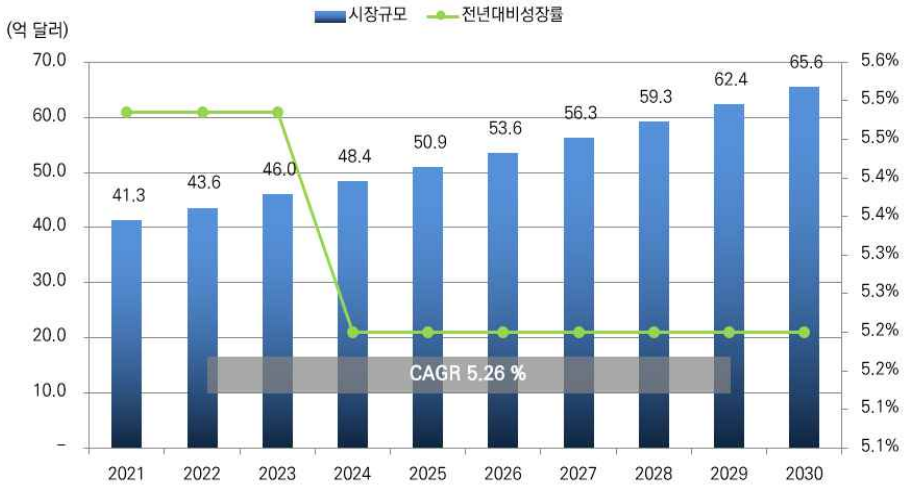
❍ 제철・발전・환경 플랜트 시장에서 배연가스 황산화물 제거에 사용되며, 이외에도 식품, 화장품, 의약품, 세척제 등 다양한 분야의 기초제품으로 활용

□ **(세계시장)** 세계 중탄산나트륨 시장은 '21년 41.3억 달러에서 **연평균 5.26% 성장**하여 **'30년 65.6억 달러** 규모에 달할 것으로 전망

❍ 지속 가능한 천연 제품에 대한 인식 확산이 중탄산나트륨 시장의 성장을 촉진

❍ 개선된 결정화 기술, 자동화와 같은 제조 기술 및 공정의 발전은 중탄산나트륨의 생산 효율성과 품질을 향상

〈그림 Ⅱ-61〉 세계 중탄산나트륨 시장규모 현황 및 전망



*출처 : Future Market Insights, Sodium Bicarbonate Market, 2023. 06., 재구성

4. CCU 기술 환경분석

가. CCU 해외 기술동향

(1) CCU 기술 분야별 개발 동향

□ **(화학적 전환)** 다양한 플랫폼화합물 개발에 대한 원천 연구가 추진되고 있으며, 일부 고분자 및 연료에 대해서는 실증 R&D 및 상업화 단계에 진입

❍ **(미국, Sandia Nat. Lab.)** 태양열을 이용하여 CO_2 와 물을 반응시켜 탄화수소 액체연료를 만드는 ‘Sunshine to Petrol’을 수행

- 집광판으로 모인 태양열을 활용해 H2O와 CO_2 를 H_2 , CO, O_2 로 분해하고, H_2 와 CO만 가지고 피셔-트롭쉬 반응을 통해 액체연료를 제조
- 태양열 집광, O_2 분리 등을 위한 자체 장비(CR5)를 제작

❍ **(미국, Joint Center for Artificial Photosynthesis)** 태양광 기반 인공광합성 기술을 활용하여 CO_2 를 메탄올, 에탄올 등 유용 탄화수소로 전환

❍ **(캐나다, C2CNT)** CO_2 를 전기분해 및 탄소로 환원시켜 탄소나노튜브, 그래핀 등 탄소 나노소재 생산기술을 연구하고 있으며, 일부 탄소나노튜브는 제품화 단계

❍ **(독일, Fraunhofer ISE)** $HyCO_2$ 프로젝트를 통해 CO_2 와 수소로 메탄올 등의 액체연료 제조 공정 R&D를 수행

- 메탄올 합성 메커니즘, 새로운 촉매 개발, 합성 공정 최적화 등에 대한 R&D를 추진하였으며, 전체 공정에 대한 전과정 평가(Life Cycle Assessment)도 수행함
- 1톤의 메탄올 생산을 통해 약 0.24kg의 CO_2 를 제거할 수 있다고 발표

❍ **(EU, Carbon 4 PUR)** 철강 산업에서 배출되는 배가스 내 CO와 CO_2 를 폴리올 등 유용 화학물질로 전환하는 연구 프로젝트로, 산업체를 포함한 다수의 연구기관이 참여

- 철강회사부터 화학회사까지 전 벨류체인 기반으로 컨소시엄을 구성하여 추진되며, 폴리에스터 폴리올 개발연구를 수행하고 있음(TRL4~6 수준)

□ **(생물학적 전환)** 미세조류 균주 개량 연구가 활발하게 이뤄지고 있으며, 미세조류 배양 시스템의 경우 발전소 등 CO_2 배출 site와 연계하여 실증 R&D가 추진되는 추세

❍ **(미국, Univ. Kentucky)** 1MW급 석탄 발전소에 광생물반응기를 설치하여 실증연구를 추진하고 있으며, 하루에 약 30%의 발전 배가스 내 CO_2 를 고정할 수 있다고 보고

❍ **(영국, Plymouth Marine Lab.)** 16,000L 규모의 미세조류 기반 광생물반응기(PBR)로 발전소 배가스 내 CO_2 를 생물학적으로 고정하고 바이오매스를 생산하는 연구를 진행 중

- 실제 15MW급 화석연료 기반 발전소에 실증하고 있으며, 발전 배가스가 바로 광생물반응기로 주입되고 배가스 수송 및 광생물반응기 가동에 소요되는 에너지를 최소화할 수 있도록 설계

〈그림 II-62〉 Plymouth Marine Lab. 광생물반응기 설비 및 공정 모식도(EnAlgae)

❍ **(일본, Euglena社)** NEDO(신에너지·산업기술종합개발기구) 지원 하에 미세조류 중 하나인 euglena를 이용해 바이오연료 관련 R&D를 추진 중

- '21년 6월에는 해당 바이오연료를 사용하여 소형 제트기(Citation CJ4)를 사용해 2시간 30분 이상 비행에 성공

□ **(광물 탄산화)** 초기에는 천연광물을 이용한 탄산화 연구가 주로 진행되었으나, 현재는 폐콘크리트, 제철 슬래그 등 산업 폐기물에 대한 탄산화 연구가 활발하게 추진 중

❍ **(미국, Calera)** Alkalinity based on Low Energy라는 전기화학적 공정을 통해 생성된 가성소다를 해수로부터 얻은 칼슘, 마그네슘 양이온과 반응시켜 단일 모듈에서 콘크리트 및 시멘트를 생산하는 기술을 개발

- 미국 캘리포니아 주에 위치한 Dynegy Moss landing 발전소에서 발생되는 CO_2를 일부 활용하여 시멘트계 보충 재료를 생산하는 시험설비 구축

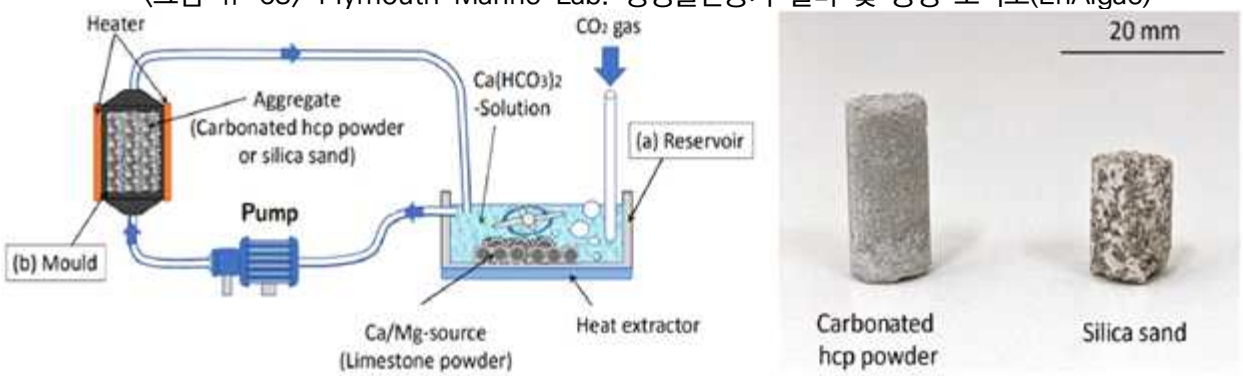
❍ **(핀란드, Aalto Univ.)** 제철 슬래그에 포함된 칼슘을 NH4Cl를 사용하여 침강성 탄산칼슘(PCC, precipitated calcium carbonate)을 제조

- 본 공정을 Slag2PCC라 명명하였고, 20kg의 제철 슬래그를 탄산화에 성공하였으며 칼슘 용출 효율을 80%로 보고

❍ **(일본, 도쿄대)** 폐콘크리트 등 산업 폐자재와 대기 중 CO_2를 활용하여 친환경 콘크리트(탄산칼슘 콘크리트, CCC)를 제작하는 데 성공

- '30년까지 콘크리트의 압축 강도를 개선하여 실제 건축물에 사용될 수 있도록 후속연구를 진행 중

〈그림 II-63〉 Plymouth Marine Lab. 광생물반응기 설비 및 공정 모식도(EnAlgae)



(2) CCU 기술 분야별 핵심 기업 동향

〈표 Ⅱ-73〉 CCU 기술 분야별 주요 활동 기업

화학적 전환	(미국) 폴릴올, PPC, PEC	(독일) 폴리올, PPC, PEC	(아이슬란드) 메탄올	(캐나다) CNT	(일본) 메탄올
생물학적 전환	(미국) 아스타잔틴	(미국) 바이오연료	(독일) 바이오 메탄	(영국) 바이오소재	(일본) 바이오소재
광물 탄산화	(미국) CO_2함유 콘크리트	(미국) CO_2함유 콘크리트	(캐나다) CO_2함유 콘크리트	(호주) 보크사이트 광물화	(영국) 건축 골재

□ **(화학적 전환)** 다수의 기업에서 폴리올, PEC, PPC* 등 고분자를 제품화한 상태이며, 액체연료의 경우 메탄올을 중심으로 상업화 추진 중

* PEC(Polyethylene Carbonates), PPC(Polypropylene Carbonates)

❍ **(미국, Novomer社)** 기존 폴리에스터 대비 1/3 수준으로 탄소를 배출하는 PEC, PCC 제조 공정을 개발하였으며, Albemarle社와 협력하여 대규모 시설에서 제품을 생산 중

❍ **(미국, Empower Materials社)** 에폭사이드와 CO_2 반응을 위한 촉매(Zn 계열) 개발을 통해 바인더용 PEC 제품인 OPAC®25와 PPC 제품인 OPAC®40을 개발

- 낮은 촉매의 활성도로 가격 경쟁력은 떨어지나, 생산 고분자의 우수한 접착성, 생분해성, 투명성, 가공성, 연소성 등 물성은 우수한 편

❍ **(독일, Covestro社)** CO_2를 20% 함유한 폴리올인 ‘Cardyon’를 개발하여 2016년부터 연간 5,000톤을 생산

- Cardyon을 사용하여 매트리스, 자동차 내장재, 신발 등에 사용되는 폴리우레탄을 제조

❍ **(독일, Audi社)** 재생에너지 및 수전해를 통해 생산된 수소와 포집된 CO_2를 역수성가스 반응과 피셔-트롭쉬 반응을 거쳐 블루 크루드(Blue Crude)를 만들고, 추가 공정을 통해 디젤 연료(Audi e-diesel)를 생산

- 최근 8,000톤급 PtL 공정 상용화를 발표했으며 연간 약 21,000톤의 CO_2를 저감할 수 있을 것으로 기대

❍ **(일본, Asahi-Kasei社)** CO_2와 에틸렌옥사이드를 원료로 활용해 폴리카보네이트를 최초로 상업화한 회사로, 개발된 공정은 원유 75,000톤 사용 시 배출되는 CO_2를 제거하는 효과를 낸다고 밝힘

- CO_2를 원료로 사용하면 유독성의 포스젠 가스나 메틸렌클로라이드를 사용하지 않아도 됨
- 국내 롯데케미컬社 등에서도 본 공정을 도입 및 활용하고 있음

❍ **(아이슬란드, CRI社)** '12년에 최초로 CO_2로부터 액체연료(메탄올) 생산기술을 상업화한 회사이며 ' 21년부터 약 110,000톤/년 용량의 재생 메탄올 생산시설들을 운영 중

- 재생에너지를 통한 수전해나 산업 폐기물에서 발생하는 수소를 사용하여 CO_2 기반 메탄올을 제조
- 최근 중국 허난성에 제철소 코크스오븐 가스의 CO_2를 메탄올로 전환하는 설비(Shunli Plant)를 구축 중

□ **(생물학적 전환)** 현재 건강보조식품 중심으로 상품화가 이뤄진 상태이며, 바이오 연료에 대한 상업화 시도 추진

❍ **(미국, Cyanotech社)** 하와이에 96ac 면적의 생산시설을 보유하고 있으며, 미세조류를 활용해서 유전자조작 없이 건강보조식품을 생산하고 있음

❍ **(독일, Electrochaea社)** CO_2를 메탄화하는 선도적 기술을 보유한 업체로, 1MW급 실증설비를 운전 중이며, 10MW급 사용 설비로 확대 계획

- 전력은 재생에너지를 수전해를 통해 수소를 생산하는 방식을 채택

□ **(광물 탄산화)** 국내외 다수의 업체에서 CO_2 기반 시멘트 및 콘크리트를 제품화하여 판매 중

❍ **(미국, Solidia社)** 시멘트 및 콘크리트 제품 업체로, CO_2를 원료로 시멘트를 개발하고 콘크리트를 물 대신 CO_2로 양생하는 기술을 상용화함

- 이를 통해 매년 15억 톤의 CO_2를 제거할 수 있는 잠재력이 있다고 발표
- CO_2를 탄산칼슘으로 고정한 자체 시멘트를 개발하였며 제조공정에 소요되는 에너지를 기존 대비 30~40% 절감
- CO_2 기반 콘크리트 양생 기술개발을 통해 양생기간을 28일에서 1일 이하로 크게 단축
- 콘크리트 제품 제조업체인 EP Henry社는 Solidia 콘크리트로 제조한 제품을 출시

❍ **(캐나다, CarbonCure社)** 산업 부문 배가스 내 CO_2를 포집하여 콘크리트를 양생시키는 기술을 상용화하였으며, 북미, 아시아, 유럽 등으로 판로를 확대

- CO_2 기반 콘크리트 및 2차 제품을 통해 '30년까지 연간 5억 톤의 CO_2를 제거하는 것을 목표 설정

❍ **(호주, $Alco_2$社)** 알루미늄 제조 공정에서 발생하는 보크사이트(bauxite) 잔여물(레드머드)에 CO_2를 고정하여 중탄산나트륨을 생산 중

- 호주 공장에서 연간 약 7만 톤급 CO_2 광물화 설비를 운영하고 있으며, CO_2는 인근 정유공장으로부터 수급 중

(3) 해외 주요 CCU 실증 사례

□ (Steelanol project) 탄소를 **지속 가능**한 **고급 바이오 에탄올**로 **재활용**하기 위한 프로젝트로, Steel + Ethanol을 의미하는 ‘Steelanol’로 명명

〈표 Ⅱ-74〉 Steelanol project 개요

프로젝트명	국가	목표감축량	활용 분야	수행 주체	협력 파트너
Steelanol project	벨기에 (유럽)	0.125 (백만톤/년)	철강	ArcelorMittal ArcelorMittal	• LanzaTech • Primetals Technologies, Limited. • E4tech

❍ 유리, 종이, 플라스틱과 마찬가지로 산업 자원에서 탄소를 포집하여 재활용하고자 하며, 유럽 철강 산업에서 처음으로 진행

❍ LanzaTech가 개발한 최첨단 탄소 재활용 기술을 활용하는 CCU 공장은 바이오촉매를 사용하여 철강 제조 공정에서 발생하는 탄소가 풍부한 폐가스를 폐바이오매스에서 고급 에탄올로 변환하여 다양한 생산을 위한 빌딩 블록으로 사용

- 또한 운송 연료, 페인트, 플라스틱, 의류, 화장품 향수를 포함한 화학 제품의 사용으로 화학 부문의 탈탄소화 노력을 지원하는 데 도움

❍ 생산이 **최대 용량**에 도달하면 Steelanol 공장은 **8,000만 리터**의 **고급 에탄올**을 생산할 것이며, 이는 현재 벨기에의 연료 혼합을 위한 고급 에탄올 총 수요의 거의 절반에 해당

- 고급 에탄올은 ArcelorMittal과 LanzaTech가 Carbalyst® 브랜드 이름으로 공동 판매할 예정

❍ 또한, 겐트 공장의 연간 탄소 배출량을 125,000톤까지 절감 가능

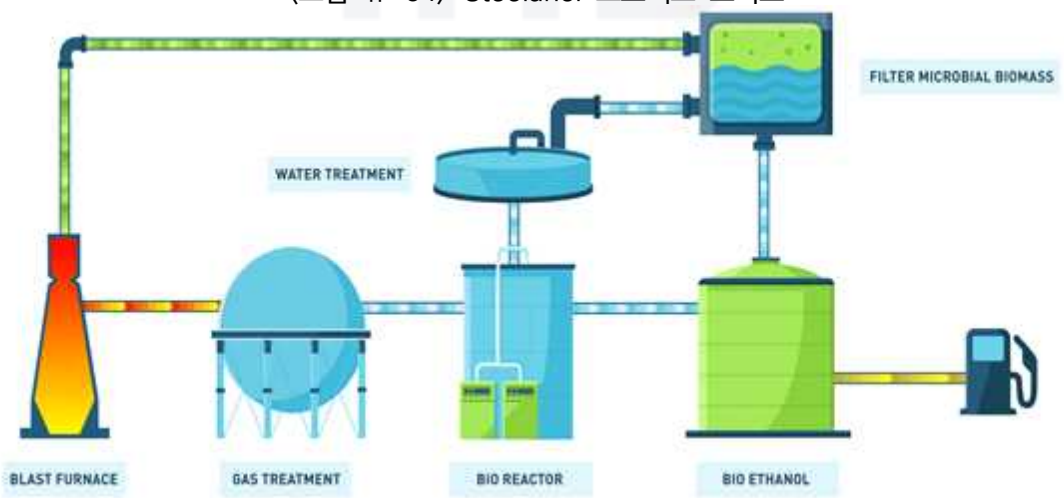
❍ ArcelorMittal Ghent는 2023년 1분기에 가동된 ‘Torero’ 프로젝트와 함께 유럽 철강 산업의 또 다른 프로젝트를 곧 개시할 예정

- 3,500만 유로 규모의 Torero 프로젝트는 지속 가능한 바이오매스를 용광로에 투입하는 원료로 사용하여 화석 석탄 사용량을 줄이며, 이는 겐트의 연간 탄소 배출량을 112,500톤까지 절감 가능
- ArcelorMittal Ghent는 향후 2년에 걸쳐 Torero 프로젝트에 두 번째 원자로를 추가하여 프로젝트 규모를 두 배로 늘릴 계획

❍ **(수행 주체별 역할 및 과정)** 겐트의 제철소에서 에탄올을 생산하는 공정은 LanzaTech에서 개발한 기술을 사용하는데, 철강 생산의 화학 과정에서 생성된 가스는 에탄올을 분비하는 미생물에 의해 발효

- E4tech는 에탄올의 환경 성능에 대한 통찰력을 제공할 겐트 공장의 데이터를 기반으로 수명 주기 평가(LCA)를 개발
  ■ 관련된 온실가스 배출 가능성에 대한 개요를 제공할 뿐만 아니라 다른 잠재적인 환경 문제 영역에 대한 영향을 제시
- Primetals Technologies는 엔지니어링, 자동화, 핵심 장비 및 커미셔닝을 담당
- ArcelorMittal은 프로젝트를 조정하고 시연기를 운영 및 유지 관리

〈그림 II-64〉 Steelanol 프로젝트 모식도



❍ **(자금 지원)** 보조금 계약 번호 656437에 따라 **유럽 연합**의 Horizon 2020 연구 및 혁신 프로그램으로부터 자금을 지원받음

- Horizon 2020 프로그램을 통해 10.2 Meuro의 보조금이 새로운 생산 시설 건설 및 시작 단계에 부여

〈그림 II-65〉 Steelanol Project 현장 사진

*출처 : Carbalyst® site, ArcelorMittal
(https://corporate.arcelormittal.com/climate-action/decarbonisation-technologies/carbalyst-capturing-and-re-using-our-carbon-rich-waste-gases-to-make-valuable-chemical-products)

□ **(Just CatchTM(포집 → 활용))** Twence와 Aker Carbon Capture는 네덜란드 Hengelo 근처의 Twence 폐기물 에너지화 플랜트에 **'Just Catch' 모듈식 CO_2 포집 장치**를 설치하기 위한 공급 계약을 체결

〈표 II-75〉 Just Catch™ 개요

프로젝트명	국가	목표감축량	활용 분야	수행주체	협력 파트너
Just Catch™	네덜란드 (유럽)	0.1 (백만톤/년)	에너지, 난방	Twence	• Aker Carbon Capture

❍ Aker Carbon Capture는 네덜란드 Hengelo에 있는 Twence의 폐기물 에너지 공장에 **Just CatchTM** 모듈식 탄소 포집 공장 건설을 공식적으로 착수('22.05.)

- Aker Carbon Capture는 제작, 운송, 설치 및 운영이 용이하다고 설명된 **턴키 방식**의 표준화된 탄소 포집 플랜트를 제공
  - ■ Just Catch는 현재 40ktCO_2/y 및 100ktCO_2/y의 용량으로 제공될 수 있으며, 표준 CO_2 공급은 순도 99.9% 이상의 가스 형태
- 폐기물 에너지화 설비 가스로부터 포집된 액체 CO_2 는 주로 **온실 원예** 부문에서 사용되며 작물 성장을 향상시키는 데 사용

❍ 본 프로젝트는 액화 CO_2의 포집 공정 및 장비와 관련이 있으며, 1차 에너지원의 사용을 줄임으로써 환경 보호를 강화하는데 목적

- Just CatchTM 표준화 플랜트는 연간 100,000톤의 CO_2 포집 목표를 세우고 있으며, 궁극적으로 CO_2의 재사용 및 활용을 통해 지속 가능하고 순환적인 제품 체인 개발에 기여하고자 함

❍ **(자금 지원)** 유럽연합집행위원회(European Commission)는 EU 국가 지원 규정에 따라 탄소 포집 및 사용 시설을 건설을 지원을 위해 **14.3백만 유로**의 네덜란드 원조를 승인('21.08.)

(4) 해외 CCU 프로젝트 추진 현황

□ 해외에서 진행되고 있는 CCU 프로젝트는 총 32건(IEA, ‘23.03. 기준)

〈표 Ⅱ-76〉 해외 CCU 프로젝트 추진 현황

구분	프로젝트명	국가	참여 기관 / 기업	발표 연도	착수 연도	現 상황	목표 (백만톤/년)	활용 분야
1	Shell heavy residue gasification CCU - Pernisrefinery	네덜란드	Shell		1997	운영중	0.4	기타 연료 변환
2	TwenceHengelo facility	네덜란드	Twence, Aker CC (tech)	2019	2023	공사중	0.1	에너지, 난방
3	ClimeworksNorske fuel phase 1	노르웨이	SunfireGmbH, ClimeworksAG, Paul WurthSA (SMS group), Valinor(NorskVind)	2020	2024	계획	0.03	공기 포집
4	Climeworks Norsk e fuel phase 2	노르웨이	SunfireGmbH, ClimeworksAG, Paul WurthSA (SMS group), Valinor(NorskVind)	2020	2026	계획	0.03	공기 포획
5	ClimeworksNorske fuel phase 3	노르웨이	SunfireGmbH, ClimeworksAG, Paul WurthSA (SMS group), Valinor(NorskVind)	2020	2029	계획	0.17	공기 포획
6	CO_2 TO METHANOL Finnfjord Ferrosilicon	노르웨이	Statkraft, Carbon Recycling International	2017		계획	0.3	철강
7	Avedøre and Asnæs Power Station(Ørsted)	덴마크	Orsted, Aker CC (tech)	2021	2025	계획	0.4	에너지, 난방
8	Vestforbrænding's Ejby incineration plant	덴마크	Vestforbrænding	2019	2025	계획	0.45	에너지, 난방
9	Carbon Clean CEMEX Rudersdorfplant phase	독일	CEMEX, carbon clean	2021	2026	계획	0.1095	시멘트
10	Carbon Clean CEMEX Rudersdorf plant phase 2	독일	CEMEX, carbon clean	2021		계획	0.584	시멘트

구분	프로젝트명	국가	참여 기관 / 기업	발표 연도	착수 연도	現 상황	목표 (백만톤/년)	활용 분야
11	Carbon2Business LafargeHolcimLaegerdorf(Westkuste100/Hyscale100)	독일	Holcim Group, Hyscale100 consortium	2020	2027	계획	1	시멘트
12	Rohm chemical plant (x2)	독일	Rohm, Aker carbon capture	2023		계획	0.5	기타 산업
13	AirCapture DACU at Nutrien Kennewick Fertilizer (WA)	미국	AirCapture, Nutrien	2022		계획		공기 포집
14	CarbonCapture DACU Carbon Cure at Gary Works (IN)	미국	CarbonCapture, CarbonCure, US Steel	2022		계획		공기 포획
15	HIF USA eFuels Matagorda County	미국	HIF USA	2021	2026	계획	2.2	공기 포집
16	Arcelor LanzaTechCarbalyst (Steelanol) Ghent	벨기에	ArcelorMittal, LanzaTech	2011	2022	운영중	0.125	철강
17	HyskiesVattenfallCHP Lanzatech	스웨덴	Vattenfall, SAS, Shell, Lanzatech	2021	2027	계획		에너지, 난방
18	Project Air	스웨덴	PerstorpOxo AB (capture and methanol), FORTUM SVERIGE AB (hydrogen), SydkraftAB	2020	2025	계획	0.5	바이오연료
19	CarbonEngineering Lanzatech Project AtmosFUEL	영국	LanzaTech, Carbon Engineering, Virgin Atlantic, British Airways	2021	2029	계획	0.3	공기 포집
20	Project Hajar	오만	Mission Zero, 44.01	2022	2024	계획	0.001	공기 포획
21	HuanengZhengningcoal power plant	중국	China Huaneng	2021	2023	공사중	1.5	에너지, 난방
22	Jiangsu Sailboat Green Methanol plant Shengong petrochemical	중국	Jiangsu Sailboat Petrochemicals, Carbon Recycling International	2021		계획	0.16	기타 산업

구분	프로젝트명	국가	참여 기관 / 기업	발표 연도	착수 연도	現 상황	목표 (백만톤/년)	활용 분야
23	HaruOni HIF Chile eFuelsMagallanes phase 1	칠레	HIF, Porsche, Siemens Energy, Enel Green Power, Enap, EmpresasGasco, ExxconMobil, Global thermostat	2021	2025	계획	0.23	공기 포집
24	HaruOni HIF Chile eFuelsMagallanes phase 2	칠레	HIF, Porsche, Siemens Energy, Enel Green Power, Enap, EmpresasGasco, ExxconMobil, Global thermostat	2021	2026	계획	1.3	공기 포집
25	Horizon H2 capture tailings CCS (ALB)	캐나다	Canadian Natural Resources Ltd		2009	운영중	0.438	연료 변환
26	Merritt Electrofuels Project DAC (BC)	캐나다	Huron Clean Energy , Oxy Low Carbon Ventures, Upper Nicola Band and Carbon Engineering	2021	2026	계획	0.25	공기 포획
27	LIPOR Maia Energy Recovery Plant PtL facility	포르투갈	LIPOR (IntermunicipalWaste Management of Greater Porto), P2X Europe and Veolia	2022		계획	0.1	에너지, 난방
28	Air Liquide Total Energies Grandpuits biorefinery	프랑스	Air Liquide, Total Energies	2022		계획	0.11	연료 변환
29	Hynovi project (Vicat Montalieu plant)	프랑스	Vicat	2021	2025	계획	0.5	시멘트
30	Boral Southern Highlands cement and lime facilities	호주	Boral, Calix	2022		계획	0.1	기타 산업
31	Mineral carbonation international Carbon Plant demonstrator	호주	Mineral Carbonation International	2021	2023	공사중	0.3	기타 산업
32	Santos Port Botany, New South Wales	호주	Santos, Qenos	2021		계획	0.15	수소/암모니아

*출처 : IEA, CCUS Projects Explorer, 2023. 03. 24.

나. 주요국 CCU R&D 동향

〈표 II-77〉 국내외 CCUS R&D 전략 및 프로그램

국가	R&D 전략 및 프로그램	내용
미국	DOE CCUS R&D 프로그램(2020)	• 기초 R&D, 대규모 실증 프로젝트를 통해 상업적 규모의 CO_2 감축 기술 개발에 초점
EU	EU 7th Framework(2007)	• CO_2 포집·저장기술 상용화를 위한 대규모 실증사업에 2020년까지 60억불 지원
	European Green Deal(2019)	• CO_2 포집·저장·활용 기술 상용화 등을 통해 유럽대륙의 2050년 탄소배출 제로화가 목표
	Innovation Fund(2021)	• EU ETS 수익금의 일부를 CO_2 포집·저장기술의 개발과 실증 사업 등에 투자
영국	The Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution(2020)	• 2030년까지 CCU 등의 분야에 120억 파운드 투자
노르웨이	CO_2 포집·저장 기술을 국가 전략기술로 지정(2012)	• 2022년까지 약 4,600만 달러를 CCS 사업의 실행가능성 연구에 투자
일본	혁신적 환경 이노베이션 전략(2020)	• 2050년까지 온실가스 80% 감축을 위한 CCUS 및 탄소자원화 등 기술개발 전략 제시
	2050 탄소중립에 따른 녹색 성장 전략(2020)	• 탄소재활용 산업 등 온실가스 감축과 미래 성장이 기대되는 14개 중요 산업의 실행계획 발표
	탄소 재활용 로드맵(2019)	• CO_2를 재활용하는 기술혁신 전략 발표
중국	탄소자원화 기술로드맵	• 2030년까지의 탄소자원화 단계별 기술개발 세부 실행계획 제시
대한민국	탄소중립 기술혁신 추진전략(2021)	• CCUS 혁신소재·대형화 개발 및 실증을 통해 '30년 포집 가격경쟁력 30$/톤 달성 목표 제시
	2050 탄소중립 실현을 위한 탄소중립 연구개발 투자전략(2021)	• CCUS를 포집, 저장, 활용으로 구분하여 단기~장기 단계별 전략 제시
	이산화탄소 포집·활용(CCU) 기술혁신 로드맵(2021)	• CCU 기술 혁신을 통한 탄소중립 실현과 신산업 창출을 위해 CCU 세부 분야별 중점기술을 선정하여 단·중·장기의 마일스톤과 전략 제시

*출처 : 한국에너지기술연구원, CCUS 심층 투자 분석 보고서, 2021.

□ **(미국, DOE CCUS R&D 프로그램(2020))** 미국 에너지부(DOE)의 CCUS R&D 프로그램을 통해 관련 기술을 개발 중

❍ 2020년 기준 탄소 포집비용 저감, 활용, 지중저장 기술 등의 분야에 217.8백만 달러 수준의 투자를 수행

- R&D 프로그램을 통해 개발된 기술은 파일럿 규모 실증 과정을 거쳐 전력 생산, 시멘트, 철강, 수소·에탄올 생산 등 다양한 산업 분야에 적용
- (포집) 포집 비용 저감 관련 연구*에 집중하고 있으며, 연소 전 포집, 연소 후 포집, 직접공기포집 등의 기술을 개발하여 파일럿 규모 실증까지 수행

*목표 : CO_2 포집비용 $30/톤 달성

- (활용) 탄소 포함 원료를 고부가가치 제품으로 변환하는 기술 및 시스템 개발을 목표로 하며, CO_2를 다른 제품으로 변환하여 얻는 직접적인 경제적 이익 외에 저장이 필요한 CO_2 양을 줄여 저장 및 모니터링에 소요되는 비용을 저감하는 간접적 비용절감 효과를 동시에 도모
- (저장) 포집된 CO_2의 지중저장 관련 기술과 규약 개발에 집중하고 있으며, CO_2 저장비용 저감을 통한 CCS 프로젝트의 운영 효율성 개선이 목표

□ **(EU, EU 7th Framework(2007))** EU는 제7차 프레임워크(7th EU Framework)에서 CO_2 포집·저장기술 상용화를 위한 대규모 실증사업에 2020년까지 60억 달러 지원을 발표

❍ 2020년까지 온실가스 배출량 20% 감축, 2050년까지 온실가스 배출량의 60~80%를 감축하기 위해 수립한 EU의 SET-PLAN(Strategic Energy Technology Plan)에 따르면, 2030년까지 CCS 분야에 25억 유로의 투자가 이루어질 전망

❍ 2023년 탄소 제거와 관련된 EU 프레임워크를 시행할 예정이며, BECCS(Bio Energy with Carbon Capture and Storage)와 대규모 직접공기포집 기술 개발을 장려할 예정

□ (EU, European Green Deal(2019)) 2019년 유럽의 2050년 탄소배출 제로를 목표로 1조 유로 규모의 그린딜 투자계획을 마련

❍ 화력발전 부문의 탈탄소화를 위해 탄소 포집・저장기술 및 활용기술 등을 상용화할 계획이며, 대규모 실증을 통해 비용 저감 및 가격경쟁력을 확보를 추진할 계획

□ (EU, Innovation Fund(2021)) 2021년 혁신적인 저탄소 기술 시연을 위한 혁신 기금(Innovation Fund)을 조성

❍ EU ETS 수익금으로 약 100억 유로의 기금을 조성하여 2020년~2030년 기간 동안 저탄소 기술 개발을 지원

❍ CCU 기술개발과 CCS 인프라의 건설 및 운영 등에 초점을 맞춘 대규모 및 소규모 프로젝트를 지원

□ (영국, The Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution(2020)) CCUS 관련 기술 개발에 투자를 확대하는 추세이며, 최근 CCUS를 포함한 녹색 산업혁신 관련 계획 발표

❍ 2020년 녹색산업혁신에 대한 10대 중점계획 수립

- 영국 정부는 2030년까지 CCUS를 포함한 10대 분야에 50억 파운드를 투자할 계획이며, 민간부문의 투자도 장려함으로써 녹색산업혁신 추진에 2030년까지 총 120억 파운드의 기금이 투자될 전망
- 2030년까지 천만톤의 CO_2 포집 능력을 갖추기 위해 CCUS 클러스터 구축 계획에 투자할 전망이며, 2020년대 중반까지 2개, 2030년까지 총 4개의 산업클러스터에 CCUS 설비 구축 예정
- 영국 정부는 가스화력 발전소에 CCUS 도입을 촉진할 계획이며, 2030년까지 최소 한 곳 이상의 가스화력 발전소에 CCUS 기술을 도입하여 운영할 예정

□ **(일본, 혁신적 환경 이노베이션 전략(2020))** 2020년 혁신적 환경 이노베이션 전략 발표를 통해 2050년까지 온실가스의 80%를 감축하기 위한 에너지환경 분야의 혁신적인 기술개발 전략을 제시

❍ 총 16개의 기술에서 온실가스 감축량이 크고 일본의 기술 공헌도가 큰 39개의 주제를 설정하였으며, 탄소재활용・CCUS, 탄소중립 농림수산업, 비화석 에너지, 에너지 네트워크, 수소 등의 중요성을 강조

❍ CCUS 및 탄소자원화를 고려한 저비용 CO_2 포집, 탄소자원화 기술에 따른 연료화 기술, 직접공기포집 기술 등을 주제로 제시

□ **(일본, 2050 탄소중립에 따른 녹색 성장 전략(2020))** 2020년 2050년 탄소중립에 따른 녹색 성장 전략을 발표하였으며, 온실가스 감축과 미래 성장이 기대되는 14개 중요 산업의 실행계획을 제시

❍ 2050년 탄소중립 실현을 대전제로 전력부문 탈탄소화 계획을 제시하였으며, 이외 비전력 부문의 전기화, 전력네트워크의 디지털화를 포함하여 3대 전략 방향을 제시

- 특히 탄소재활용 산업을 콘크리트, 바이오연료, 플라스틱연료로 구분하고 비용절감, 사회구현 촉진 등을 목표로 도입단계별 기술목표를 제시

□ **(중국, 탄소자원화 기술로드맵)** 2011년 탄소자원화 기술로드맵을 통해 2030년까지의 탄소자원화 관련 단계별 기술개발 세부 실행계획 제시

❍ 중국 정부는 2016~2020년간 13차 5개년 계획에서 CCUS 분야에 374억 위안 투자

- 2014년부터 광동성 후이저우시 정제공장에서 발생하는 CO_2를 포집하여 연안 유전지대의 석유회수증진에 활용하는 프로젝트를 수행 중

- 페트로차이나社는 질린(Jilin) 지역 유전의 석유회수증진을 위해 중국 북동지역 천연가스 공장에서 포집한 연간 50만톤의 CO_2를 활용하는 페트로차이나 질린 유전 석유회수증진 프로젝트(PetroChina Jilin Oil Field EOR Project)를 수행 중

다. 국내외 특허동향 분석

▌(특허분석 목적) CCU 기술개발 동향 및 기술수준 파악, 전략 수립을 위한 기초자료 확보

▌특허분석 범위

- 분석대상 특허

유형	제품군	세부 기술
화학적 전환	합성가스	· CO_2 개질을 통한 합성가스 생산 기술 · 폐기물·부산물 환원제 활용 CO_2 개질 기술 · 전기화학 기반 합성가스 생산 기술 · 플라즈마 기반 합성가스 기술 · CO_2 전환-미세먼지(대기오염물질) 동시저감 기술
	유기산	· CO_2 개질 합성가스 기반 초산 생산 기술 · 전기화학 기반 유기산 생산기술 (개미산, 옥살산 등) · 바이오원료-CO_2 활용 융합기술 (아크릴산, FDCA 등) · CO_2 전환 화학-바이오 촉매 융합기술
	카보네이트	· CO_2 촉매전환 에틸렌·프로필렌 카보네이트 생산 기술 · CO_2 촉매전환 디메틸카보네이트 생산 기술
	알코올 및 알데히드류	· CO_2 개질 합성가스 기반 메탄올 생산 기술 · CO_2 동시 포집-전환 기술 (메탄올, 에틸렌글리콜 등) · CO_2 수소화 메탄올 생산 기술
	탄화수소류	· CO_2 개질 합성가스 기반 올레핀 생산 기술 · CO_2 수소화 촉매전환 기술 (합성연료 등) · 전기화학 기반 탄화수소 생산기술 (에틸렌 등) · 광촉매 기반 화학전환 기술 (방향족화합물 등) · 플라즈마 기반 합성연료 생산 기술
	고분자	· CO_2 촉매전환 폴리카보네이트 생산 및 활용 기술 · CO_2 촉매전환 폴리우레탄 생산 및 활용 기술 · CO_2 기반 엔지니어링 플라스틱 생산 기술
	탄소소재 차세대활용	· 탄소소재화 기술 (2차전지소재, 그래핀, 탄소섬유 등) · CO_2 활용 배터리 기술
생물학적 전환	바이오매스 생산	· 배출원별·소재별 고효율 CO_2 생물전환 균주 확보·배양 기술 · 미세조류 바이오매스 고농도·대량 생산 및 회수 시스템화 기술
	바이오 연료화	· 고효율·저에너지형 바이오디젤 생산 기술 · 생물전환 탄소 유래 항공유 생산 기술 · 생물전환 탄소 유래 발전용 고체연료 생산 기술
	바이오 소재화	· 미세조류 유래 천연색소 제품화 기술 · 미세조류 유래 오메가 지방산 제품화 기술 · 미세조류 유래 사료 생산 기술 · 미세조류 유래 플라스틱소재 생산 기술
광물 탄산화	직접 광물탄산화	· CO_2 반응경화시멘트 제조 및 양생기술 · 배가스 직접 활용 건설소재화 기술 · 탈황석고 이용 광물탄산화 기술 · 레드머드 이용 광물탄산화 기술
	간접 광물탄산화	· 중탄산나트륨 생산 및 활용 기술 · 산업부산물 이용 PCC 생산 및 활용 기술 · 해양부산물 이용 광물탄산화 기술

- 검색 DB 및 검색범위

· 본 분석에서는 2011년 01월 01월부터 2023년 08월 16일까지 출원공개/등록된 한국, 일본, 중국, 미국, 유럽, PCT 특허를 분석대상으로 함

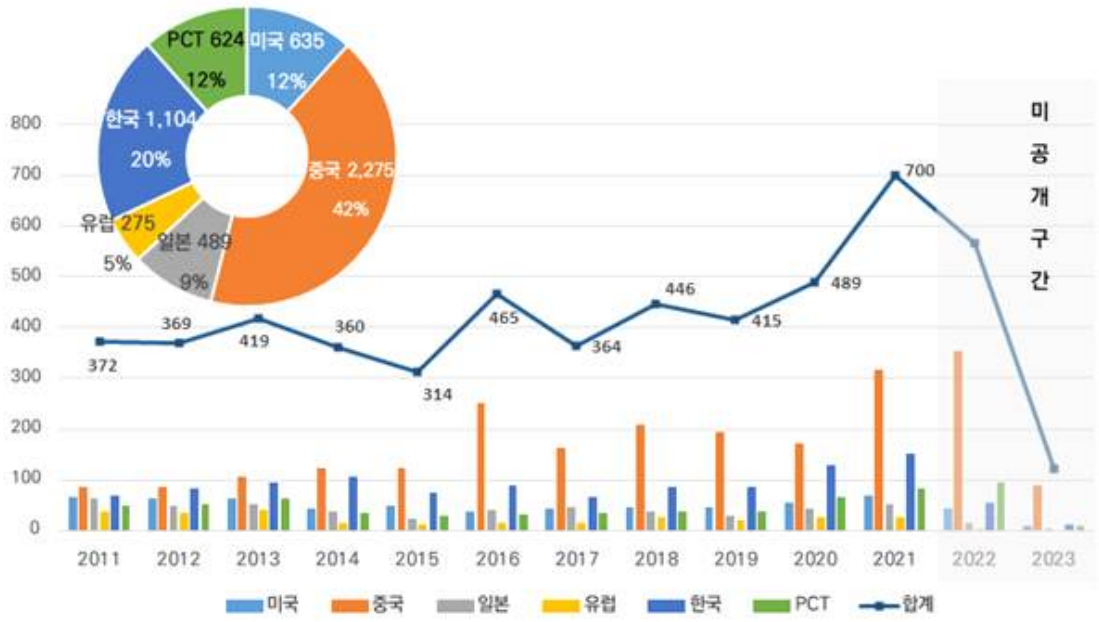
자료구분	국가	검색DB	분석구간	검색범위
공개 등록특허 (공개 등록일 기준)	한국	윕스 Wintelips	2011.01.01. ~ 2023.08.16. (공개년일)	특허공개 및 등록 전체문서
	일본			
	중국			
	미국			
	유럽			
	PCT			

* 특허분석 구간: 한국, 일본, 중국, 미국, 유럽, PCT('11.01.01~'23.08.16, 공개년일 윈테립스 업데이트 기준)

(1) CCU

□ CCU 기술 분야 연도별 출원동향

〈그림 Ⅱ-66〉 국가·연도별 CCU 출원동향('11~'23)



❍ CCU 기술에 대한 국가별 특허 점유현황을 살펴보면, **중국**이 **2,275건(42%)으로 가장 큰 특허 점유율**을 차지하고 있으며, 그 뒤로 한국 1,104건(20%), 미국 635건(12%), PCT 624건(12%), 일본 489건(9%), 유럽 275건(5%)으로 확인

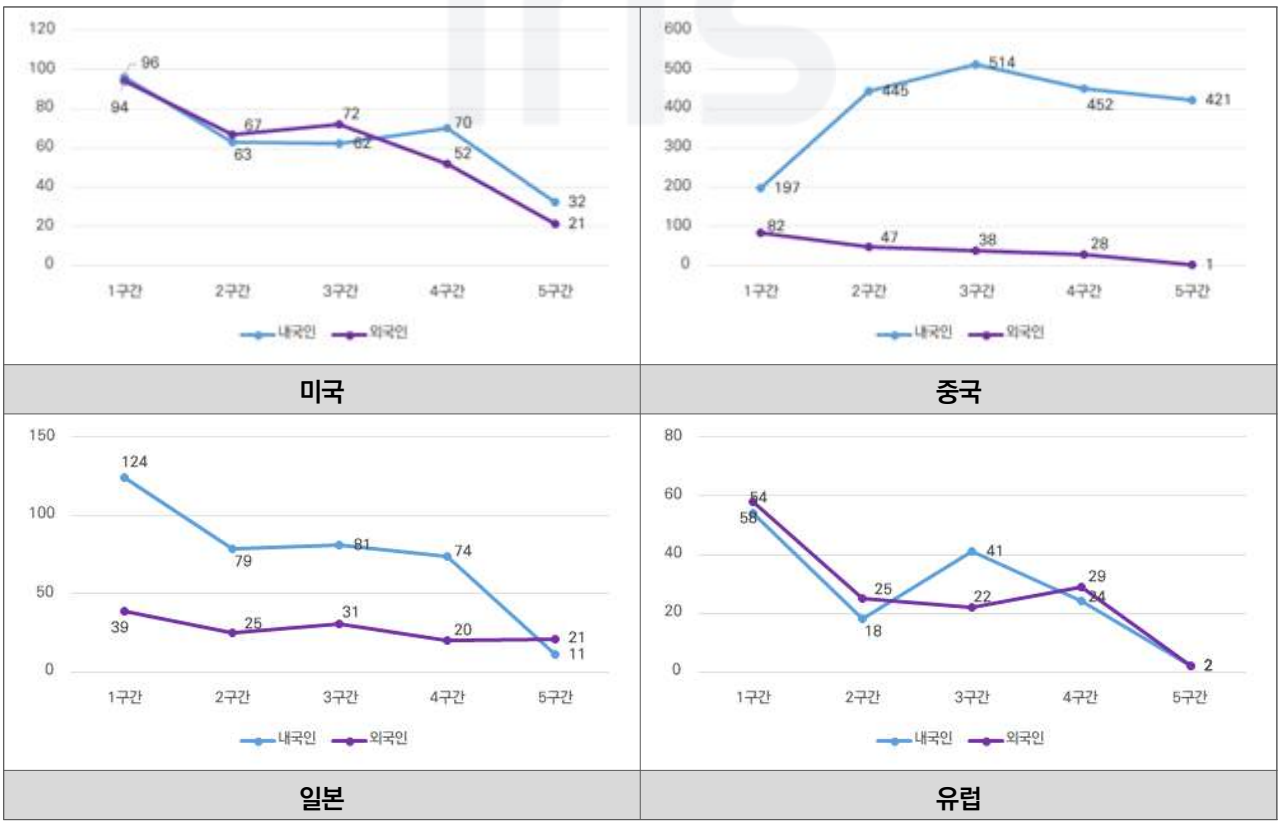
- 2016년부터 특허출원이 크게 증감하는 것으로 보아 주요 환경 문제인 **온실가스 감소에 대한 대책 마련**에 **세계적인 관심도**가 높은 것이 원인으로 판단됨

❍ 중국의 특허출원이 2016년 급격히 증가한 것으로 보아 최근 CCU 기술 분야에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는 것으로 판단

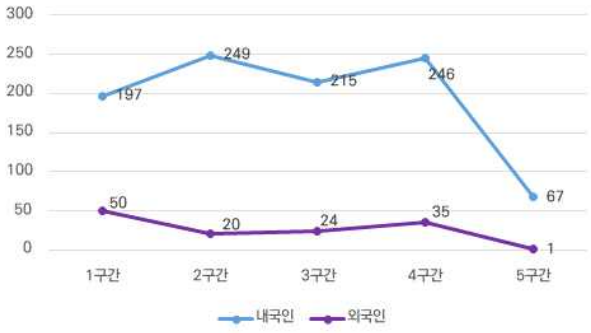
- 이는 중국정부의 저탄소 경제로의 전환 및 기후변화 대응 활동 강화 계획을 제시함에 따라 관련 개발에 대한 지원 확대가 원인으로 판단

□ 국가별 내외국인 특허 현황

〈표 II-78〉 국가별 내외국인 특허 현황



미국	중국
일본	유럽



한국

❍ **미국**은 내국인 **점유율이 51.4%**, 외국인 점유율이 48.6%로 **내외국인의 점유율 차이가 크지 않는 것**으로 확인

❍ **중국**은 **내국인 점유율**이 **91% 이상**을 차지하며 **내국인 출원 비중이 타 국가에 비해 가장 높은 것**으로 확인

- 외국인 점유율 중 미국이 가장 높은 것으로 확인 되었으며, **내국인 중 한국**은 **현대자동차**가 특허를 출원한 것으로 확인

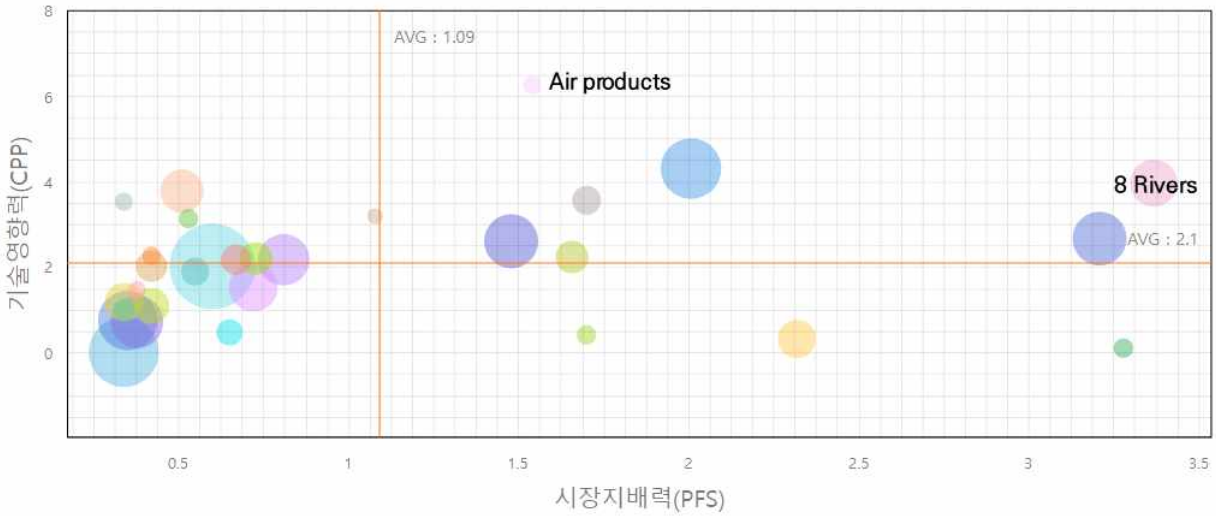
❍ **일본**은 **내국인 점유율**이 **75.5%**를 차지해 비교적 내국인 출원 비중이 높게 나타났으며, 외국인 출원에 있어 한국에서는 한국과학기술원, 포항공과대학교 등이 특허를 출원한 것으로 확인

❍ **유럽**은 **내국인 점유율**이 **50.5%**, 외국인 점유율이 49.5%로 **내외국인의 점유율 차이가 크지 않으며**, 내국인의 주요 출원인은 SIEMENS와 BASF로 확인

❍ **한국**은 CCU 기술 관련, **내국인 점유율**이 **88.2%**로 비교적 높게 나타났으며, 외국인 특허로는 BASF, 사우디 아람코가 가장 많은 특허를 출원

□ 기술영향력 및 시장지배력 현황

〈그림 Ⅱ-67〉 CCU 기술 기술영향력 및 시장지배력('11~'23)



❍ **(기술 영향력)** 미국의 국제 기업인 **Air products**가 기술 영향력이 가장 높은 것으로 확인

- CO_2 포획이 있는 수소 생산, 낮은 CO_2 배출을 가진 수소 생산 공정, CO_2 포획을 가진 수소 생산 등 다수의 CCU 관련 원천기술을 보유하고 있는 것으로 확인

❍ **(시장 지배력)** **8 Rivers**은 Net Zero 솔루션 제공기업으로 상업적 가치가 큰 기술을 보유하고 있으며, 다수의 세계시장을 확보하고 있는 것으로 확인

- 관련 특허로는 탄소포획시스템과 방법, 이산화탄소를 사용한 에탄의 산화 탈수소, 직접 가스 포획 시스템과 이의 사용 방법 등이 존재

❍ **(출원 점유율)** 한국의 **한국에너지기술연구원**은 **특허 양적 점유율이 가장 높으며, 연구개발이 가장 활발**한 것으로 확인

- 관련 특허로는 이산화탄소로부터 유용 화합물을 생성하는 방법 및 장치, 개선된 CO_2 포집 공정 시스템 및 이를 활용한 CO_2 포집 방법, 공정열을 활용한 이산화탄소 포집 시스템 및 그를 이용한 이산화탄소 포집 방법 등이 존재

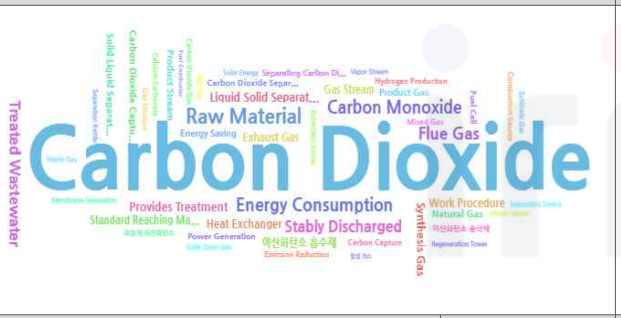
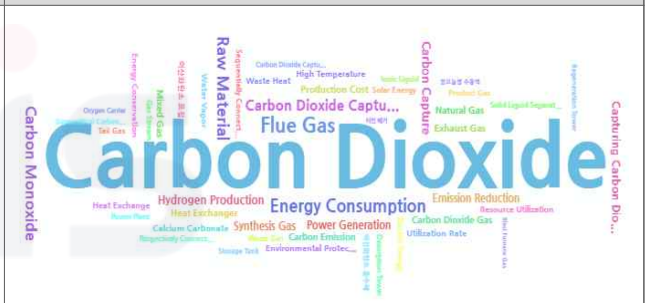
□ 주력 IPC TOP 5 현황

〈표 Ⅱ-79〉 주력 IPC TOP 5 현황('11~'23)

NO.	상위 IPC	설명	합계
1	B01D	분리	1,142
2	C01B	비금속 원소	733
3	B01J	화학적 또는 물리적 방법	379
4	C07C	비환 화합물 또는 탄소환 화합물	333
5	C25B	화합물 또는 비금속의 제조를 위한 전기분해 또는 전기영동 방법	289

□ 기술 키워드 변화

〈표 Ⅱ-80〉 CCU 기술 관련 키워드 변화('11~'23)

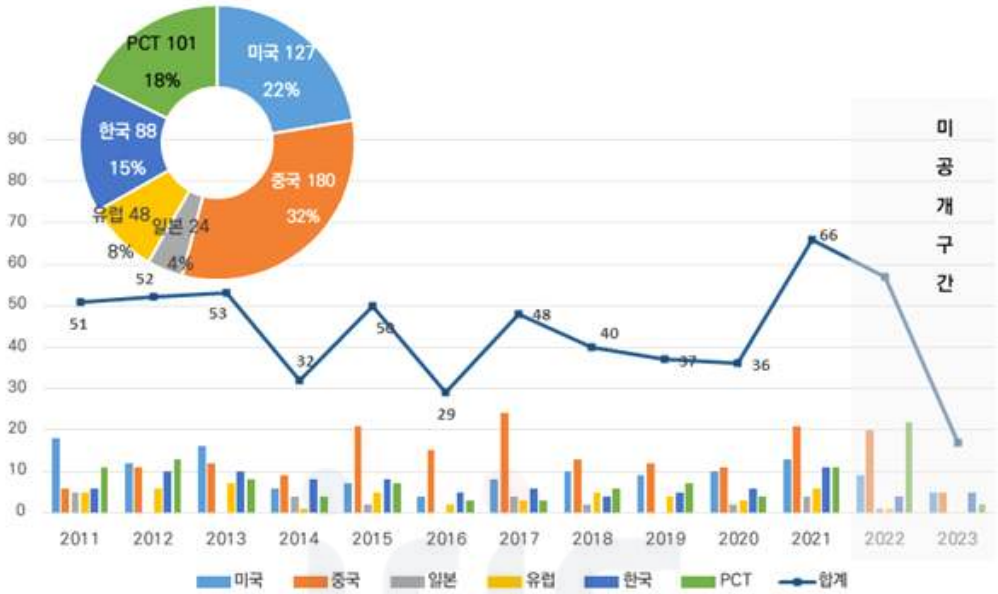
1구간(2011-2017)	2구간(2018-2023)
	

1구간(2011-2017)	합계	2구간(2018-2023)	합계
Carbon Dioxide	506	Carbon Dioxide	673
Raw Material	101	Flue Gas	132
Energy Consumption	83	Energy Consumption	107
Carbon Monoxide	82	Raw Material	103
Flue Gas	78	Carbon Monoxide	95
Treated Wastewater	71	Carbon Dioxide Capture	86
Stably Discharged	70	Carbon Capture	66
Provides Treatment	49	Capturing Carbon Dioxide	61
Liquid Solid Separation	47	Hydrogen Production	59
Synthesis Gas	46	Power Generation	52

(2) 합성가스(화학적 전환)

□ 합성가스(화학적 전환) 기술 분야 연도별 출원동향

〈그림 Ⅱ-68〉 국가·연도별 합성가스(화학적 전환) 출원동향('11~'23)



❍ **합성가스 기술** 관련 국가별 특허 점유현황을 살펴보면, **중국**이 **180건(32%)**으로 **가장 큰 특허 점유율**을 차지하고 있으며, 그 뒤로 미국 127건(22%), PCT 101건(18%), 한국 88건(15%), 유럽 48건(8%), 일본 24건(4%)으로 확인

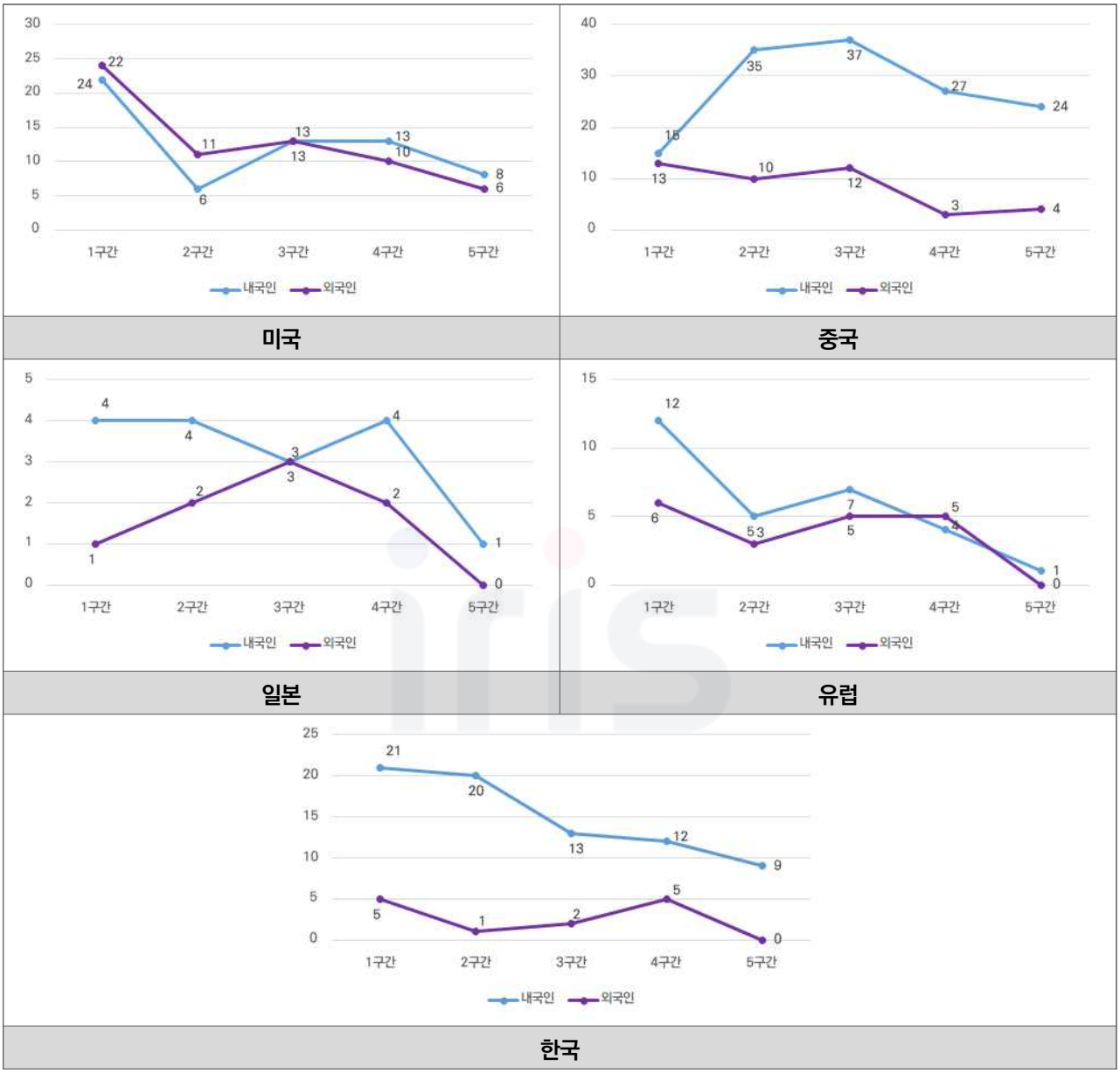
❍ **(중국 가장 큰 점유율 차지)** 국가 중 가장 높은 점유율을 차지하고 있는 중국은 **2014년부터 기술개발**이 **활발**하게 이루어 진 것으로 확인

❍ **(최다 출원인)** 합성가스 기술 관련 가장 많은 특허를 출원한 제1 출원인은 프랑스의 산업용 가스 회사인 **AIR LIQUIDE(30건)**로 확인

- (관련 특허) 흡수체 컬럼 및 조 합성 가스를 세정하기 위한 공정, 합성 가스 조성물 생산 공정 및 설비, 이산화탄소 포집 및 스팀 생산과 결합된 스팀을 사용하여 탄화수소 개질에 의한 수소 생산 방법, 이산화탄소 발생 감소 및 완전한 포획을 가진 수소 생산 등

□ 국가별 내외국인 특허 현황

〈표 II-81〉 국가별 내외국인 특허 현황



❍ **미국**은 내국인 **점유율이 49.2%**, 외국인 점유율이 50.8%로 **내외국인의 점유율 차이가 크지 않는 것**으로 확인

- **외국인 점유율**이 **가장 높은 출원인**은 프랑스의 산업용 가스 회사인 Air Liquided와 사우디아라비아의 석유회사인 **사우디 아람코**로 확인

❍ **중국**은 **내국인 점유율**이 **78.4%**를 차지해 비교적 내국인 출원 비중이 높게 나타났으며, 내국인 특허 출원 중 **중국석유화공(Sinopec)**이 **가장 많은 특허**를 출원한 것으로 확인

❍ **일본**은 **내국인 점유율**이 **66.7%**, 외국인 점유율이 33.3%를 차지하고 있는 것으로 확인

- **내국인 점유율** 중 Toyo Engineering이 **가장 높은 점유율**을 차지하고 있는 것으로 확인

❍ **유럽**은 **내국인 점유율**이 **60.4%**, 외국인 점유율이 39.6%로 확인

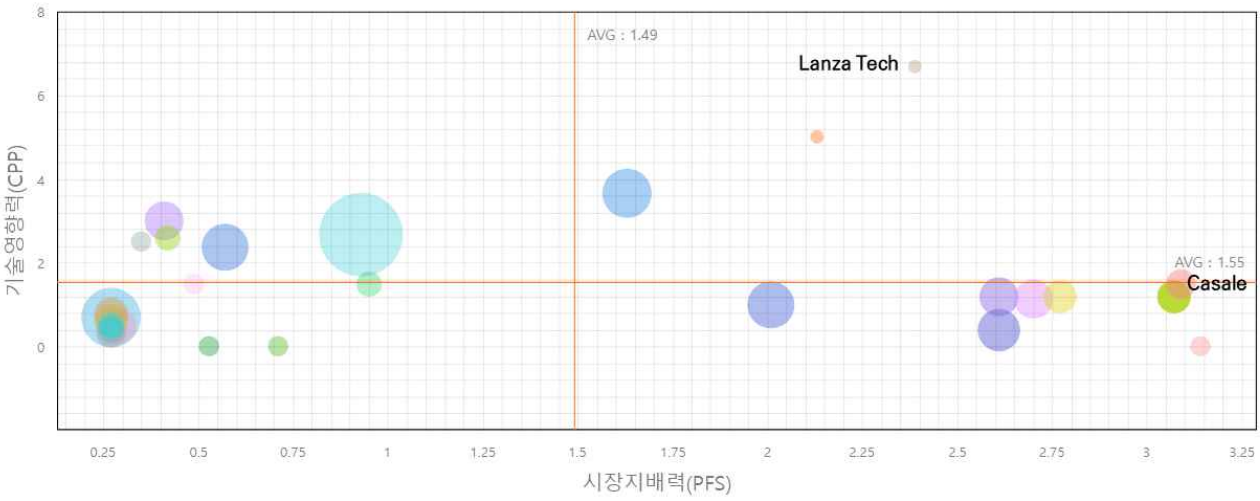
- **외국인 점유율**이 **가장 높은 출원인**은 사우디아라비아의 석유회사, **사우디 아람코**로 확인

❍ **한국**은 타 국가에 비해 **내국인 점유율**이 **85.2%**로 내국인 특허 출원이 가장 활발한 것으로 확인

- **내국인 특허출원**은 **한국에너지기술연구원**과 **한국과학기술연구원**에서 가장 활발한 것으로 확인

□ 기술영향력 및 시장지배력 현황

〈그림 Ⅱ-69〉 합성가스(화학적 전환) 기술영향력 및 시장지배력('11~'23)



❍ **(기술 영향력)** 미국의 화학 기업인 LanzaTech가 기술 영향력이 가장 높은 것으로 확인

- 합성가스 발효에서 테일 가스를 에탄올로 재순환시킥시 위한 방법과 장치, 배합된 기체 기질을 사용한 발효 탄소 포집, 탄소변환 효율 개선 공정 등 다수의 합성가스(화학적 전환) 관련 원천기술을 보유하고 있는 것으로 확인

❍ **(시장 지배력)** 스위스의 화학제조 기업인 Casale가 시장 지배력이 가장 높은 것으로 확인

- 관련 특허로는 탄화수소의 개질과 고온 이산화탄소 회수 과정을 포함하여 합성가스를 제조하기 위한 공정, 대기 중 CO_2 배출량이 낮은 합성 암모니아를 사용하는 방법, 탄화수소를 전환시켜 합성 가스를 생성하고 고온에서 이산화탄소를 회수하는 방법 등이 존재

❍ **(출원 점유율)** 프랑스의 산업용 가스 회사인 Air Liquided가 **특허 양적 점유율**이 **가장 높으며, 연구개발**이 **가장 활발**한 것으로 확인

- 관련 특허로는 흡수체 컬럼 및 조 합성 가스를 세정하기 위한 공정, 합성 가스 조성물 생산 공정 및 설비, 이산화탄소 포집 및 스팀 생산과 결합된 스팀을 사용하여 탄화수소 개질에 의한 수소 생산 방법 등이 존재

□ 주력 IPC TOP 5 현황

〈표 II-82〉 주력 IPC TOP 5 현황('11~'23)

NO.	상위 IPC	설명	합계
1	C01B	비금속 원소; 그 화합물	177
2	C07C	비환 화합물 또는 탄소환 화합물	76
3	C10J	일산화탄소와 수소를 포함하는 가스의 제조	52
4	B01D	분리	51
5	C25B	화합물 또는 비금속의 제조를 위한 전기분해 또는 전기영동 방법	30

□ 기술 키워드 변화

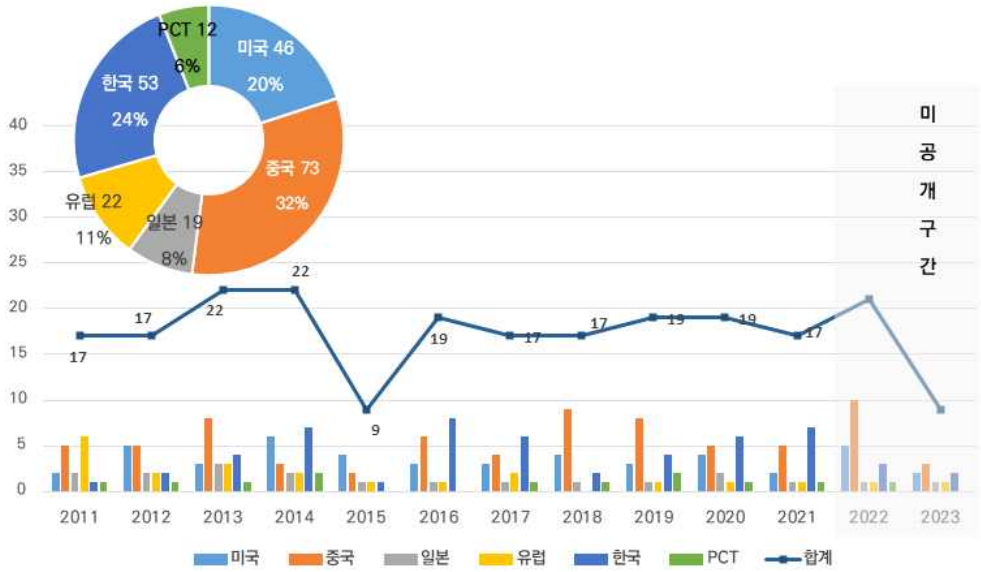
〈표 Ⅱ-83〉 합성가스(화학적 전환) 기술 관련 키워드 변화('11~'23)

1구간(2011-2017)		2구간(2018-2023)	
1구간(2011-2017)	합계	2구간(2018-2023)	합계
Carbon Dioxide	87	Carbon Dioxide	70
Carbon Monoxide	49	Synthesis Gas	51
Synthesis Gas	48	Carbon Monoxide	41
Natural Gas	18	Flue Gas	13
Synthetic Gas	15	Energy Consumption	11
Energy Consumption	13	Hydrogen Production	9
Flue Gas	12	Product Gas	9
Raw Material	12	Water Gas Shift	9
Producing Hydrogen	12	Removing Carbon Dioxide	9
Coke Oven Gas	12	Gas Stream	9

(3) 유기산

□ 유기산(화학적 전환) 기술 분야 연도별 출원동향

〈그림 Ⅱ-70〉 국가·연도별 유기산(화학적 전환) 출원동향('11~'23)



❍ **유기산 기술** 관련 국가별 특허 점유현황을 살펴보면, **중국**이 **73건(32%)**으로 **가장 큰 특허 점유율**을 차지하고 있으며, 그 뒤로 한국 46건(24%), 미국 46건(20%), 유럽 22건(11%), 일본 19건(8%), PCT 12건(6%)으로 확인

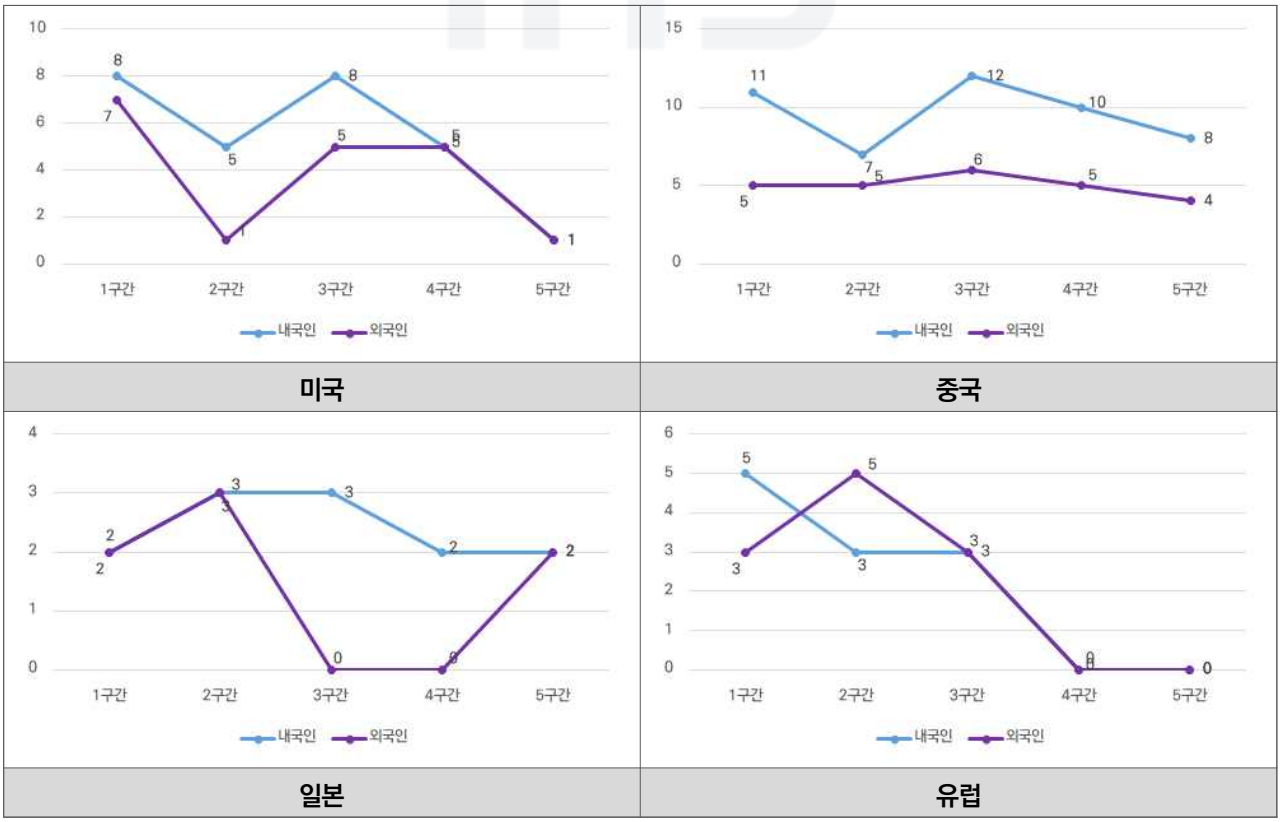
❍ **(중국 가장 큰 점유율 차지)** 국가 중 가장 높은 점유율을 차지하고 있는 중국은 **2013년부터 기술개발**이 **활발**하게 이루어 진 것으로 확인

❍ **(최다 출원인)** 합성가스 기술 관련 가장 많은 특허를 출원한 제1 출원인은 한국의 **광운대학교(9건)**로 확인

- (관련 특허) 개미산의 합성에 사용되는 변이 대장균 및 그를 이용한 개미산 합성 방법, 포름산 합성용 미생물 쉬와넬라 오네이덴시스 및 이를 이용하여 포름산을 합성하는 방법, 메탄올 자화균 유래 이산화탄소 환원효소를 이용한 이산화탄소의 환원방법 등

□ 국가별 내외국인 특허 현황

〈표 II-84〉 국가별 내외국인 특허 현황



한국

❍ **미국**은 내국인 **점유율이 50%**, 외국인 점유율이 50%로 **내외국인의 점유율이 같은 것**으로 확인

❍ **중국**은 **내국인 점유율**이 **96.7%**를 차지하고 있어 타 국가에 비해 내국인 특허 출원이 가장 활발한 것으로 확인

❍ **일본**은 **내국인 점유율**이 **20%**, 외국인 점유율이 80%를 차지하고 있는 것으로 확인

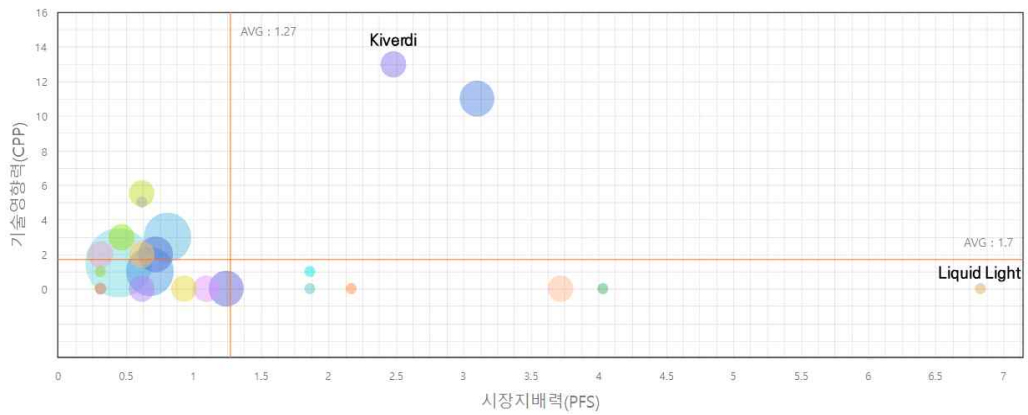
- 외국인 점유율 중 한국은 LG화학이 있는 것으로 확인

❍ **유럽**은 **내국인 점유율**이 **83.3%**, 외국인 점유율이 16.7%로 확인

❍ **한국**은 **내국인 점유율**이 **91.7%**, 외국인 점유율은 8.3%로 확인되었으며, 내국인 점유율에서 광운대학교가 가장 많은 특허를 출원한 것으로 확인

□ 기술영향력 및 시장지배력 현황

〈그림 Ⅱ-71〉 유기산(화학적 전환) 기술영향력 및 시장지배력('11~'23)



❍ **(기술 영향력)** 미국 캘리포니아의 생명과학 기업인 **Kiverdi**가 기술 영향력이 가장 높은 것으로 확인

❍ **(시장 지배력)** 미국에서 이산화탄소로부터 화학 물질을 만드는 공정 기술 사업을 영위하고 있는 **Liquid Light**가 시장 지배력이 가장 높은 것으로 확인

❍ **(출원 점유율)** 한국의 **광운대학교**가 **특허 양적 점유율**이 **가장 높으며, 연구개발**이 **가장 활발**한 것으로 확인

□ 주력 IPC TOP 5 현황

〈표 II-85〉 주력 IPC TOP 5 현황('11~'23)

NO.	상위 IPC	설명	합계
1	C25B	화합물 또는 비금속의 제조를 위한 전기분해 또는 전기영동 방법	18
2	B01J	화학적 또는 물리적 방법	14
3	C12N	미생물 또는 효소	12
4	C12P	발효 또는 효소를 사용하여 원하는 화학물질 또는 조성물을 합성하는 방법 또는 혼합물로부터 광학이성체를 분리하는 방법	6
5	C12M	효소학 또는 미생물학을 위한 장치	6

□ 기술 키워드 변화

〈표 II-86〉 유기산(화학적 전환) 기술 관련 키워드 변화('11~'23)

1구간(2011-2017)	2구간(2018-2023)

1구간(2011-2017)	합계	2구간(2018-2023)	합계
Carbon Dioxide	12	Carbon Dioxide	7
Hydrogen Gas	3	Carbon Dioxide Reduction	3
Waste Water	2	High Yield	3
Generating Biogas	2	이산화탄소 포집	2
Industrial Process	2	Electrochemical Reduction	2
Hydropyrolysis Product	2	일산화탄소 제조방법	2
개미산 합성방법	2	레독스 흐름전지	2
Catalyst Precursor	2	이산화탄소 환원	2
Hydropyrolysis Catalyst Composition	2	전기화학적 암모니아 생산	2
Hydroconversion Catalyst Composition	2	카바졸계 소재	2

(4) 카보네이트

□ 카보네이트(화학적 전환) 기술 분야 연도별 출원동향

〈그림 Ⅱ-72〉 국가·연도별 카보네이트(화학적 전환) 출원동향('11~'23)

❍ **카보네이트 기술**에 대한 국가별 특허 점유현황을 살펴보면, **중국**이 **335건(52%)으로 가장 큰 특허 점유율**을 차지하고 있으며, 그 뒤로 PCT 105건(16%), 미국 82건(13%), 한국 76건(12%), 유럽 44건(7%), 일본 7건(1%)으로 확인

❍ 중국 특허는 52%로 세계 특허의 반 이상의 점유율을 차지하고 있으며, 중국 베이징의 연구소인 **China Academy of Sciences Guocheng Engineering Academe**가 **가장 많은 특허**를 **출원**

- China Academy of Sciences Guocheng Engineering Academe의 '카보네이트' 관련 특허로는 복합 흡수제 및 에틸렌 옥사이드 흡수 전환 커플링 비닐 카보네이트의 제조 방법, 디메틸카보네이트 및 에틸렌글리콜의 제조 방법 등이 존재

□ 국가별 내외국인 특허 현황

〈표 II-87〉 국가별 내외국인 특허 현황

❍ **미국**은 내국인 **점유율이 54.9%**, 외국인 점유율이 45.1%로 **내외국인의 점유율 차이가 크지 않는 것**으로 확인

- Exxon Mobil의 자회사인 ExxonMobil Research & Engineering과 8 Rivers가 미국 **내국인** 특허 출원 점유율에서 **가장 높은 점유율**을 차지
- **외국인** 특허 출원 중 **국내 출원인**은 **삼성전자, 포항공과대학교**로 확인

❍ **중국**은 **내국인 점유율**이 **90.4%**를 차지, 타 국가 대비 내국인 점유율이 가장 높으며, 대학교에서의 출원이 가장 특허가 활발한 것으로 확인

- **외국인** 특허 출원 중 **국내 출원인**은 **삼성전자, 한화오션**으로 확인

❍ **일본**은 **내국인 점유율**이 **54.5%**, 외국인 점유율이 45.5%를 차지하고 있는 것으로 확인

- **내국인 점유율** 중 재생에너지 반도체 제조 사업을 영위하고 있는 ANTECY가 **가장 높은 점유율**을 차지하고 있는 것으로 확인

❍ **유럽**은 **내국인 점유율**이 **54.9%**, 외국인 점유율이 45.1%로 확인

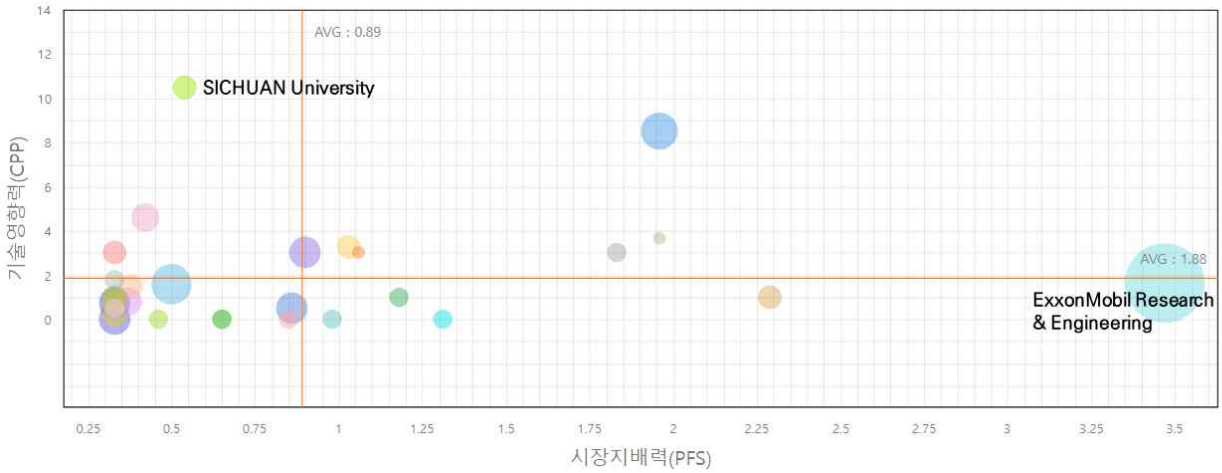
- **내국인 점유율**에서 ExxonMobil Research & Engineering이 가장 높은 특허를 출원한 것으로 확인

❍ **한국**은 타 국가에 비해 **내국인 점유율**이 93.4%로 **내국인 특허 출원**이 **가장 활발**한 것으로 확인

- **내국인 특허출원**은 **한국지질자원연구원, 연세대학교, 두산에너빌리티**에서 가장 **활발**한 것으로 확인

□ 기술영향력 및 시장지배력 현황

〈그림 Ⅱ-73〉 카보네이트(화학적 전환) 기술영향력 및 시장지배력('11~'23)



❍ **(기술 영향력)** 중국 쓰촨성 청두에 위치한 국립 대학인 SICHUAN University가 기술 영향력이 가장 높은 것으로 확인

- 이산화탄소 중탄산염 또는 탄산나트륨을 생산하고 전기 에너지를 출력하기 위해 이산화탄소 광물화를 사용하기 위한 방법과 장치, 리보플라빈이 저농도 CO_2 의 전기화학적 포집을 촉진하는 방법 등 다수의 카보네이트(화학적 전환) 관련 원천 기술을 보유하고 있는 것으로 확인

❍ **(시장 지배력)** 미국의 Exxon Mobil의 자회사인 ExxonMobil Research & Engineering이 시장 지배력이 가장 높은 것으로 확인

- 관련 특허로는 통합 전력 생산에서 NOx 완화, CO_2 포획/활용과 N2 생산을 위한 발전소와의 압력 스윙 흡착 통합, 연료전지를 이용한 통합 발전과 탄소 포집 등이 존재

❍ **(출원 점유율)** 시장지배력이 가장 높은 기업인 ExxonMobil Research & Engineering가 **출원 점유율이 가장 높으며 연구개발**이 **가장 활발**한 것으로 확인

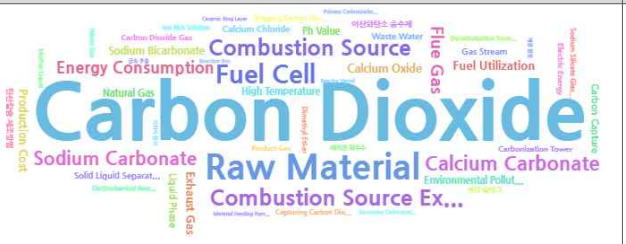
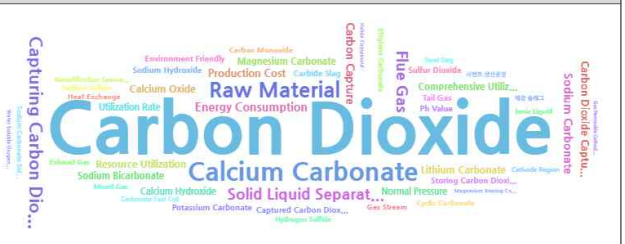
□ 주력 IPC TOP 5 현황

〈표 II-88〉 주력 IPC TOP 5 현황('11~'23)

NO.	상위 IPC	설명	합계
1	B01D	분리	139
2	C01B	비금속 원소; 그 화합물	80
3	C01F	금속 베릴륨, 마그네슘, 알루미늄	67
4	B01J	화학적 또는 물리적 방법	46
5	C07C	비환 화합물 또는 탄소환 화합물	30

□ 기술 키워드 변화

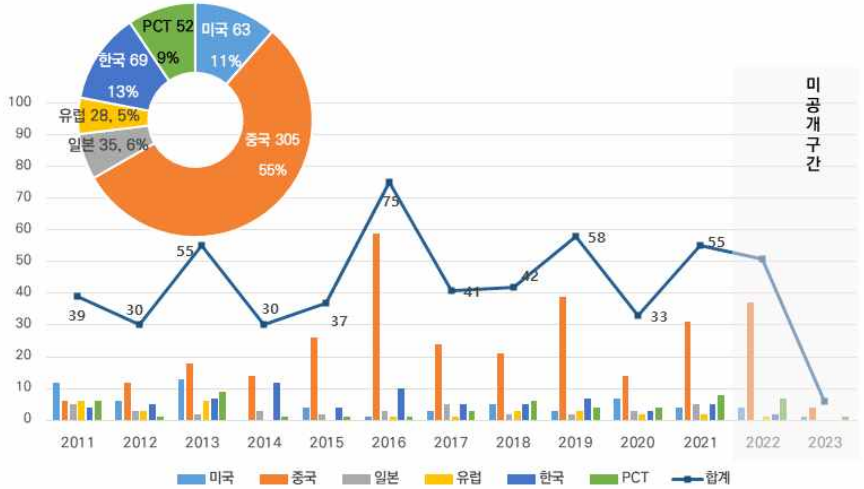
〈표 Ⅱ-89〉 카보네이트(화학적 전환) 기술 관련 키워드 변화('11~'23)

1구간(2011-2017)		2구간(2018-2023)	
			
1구간(2011-2017)	합계	2구간(2018-2023)	합계
Carbon Dioxide	85	Carbon Dioxide	115
Raw Material	36	Calcium Carbonate	38
Combustion Source	25	Raw Material	30
Combustion Source Exhaust	21	Capturing Carbon Dioxide	23
Calcium Carbonate	21	Flue Gas	20
Sodium Carbonate	18	Solid Liquid Separation	20
Flue Gas	17	Sodium Carbonate	13
Energy Consumption	15	Energy Consumption	13
Calcium Oxide	14	Carbon Capture	12
탄산 수소 나트륨	9	Carbon Dioxide Capture	11

(5) 알코올 및 알데히드류

□ 알코올 및 알데히드류(화학적 전환) 기술 분야 연도별 출원동향

〈그림 Ⅱ-74〉 국가·연도별 알코올 및 알데히드류(화학적 전환) 출원동향('11~'23)



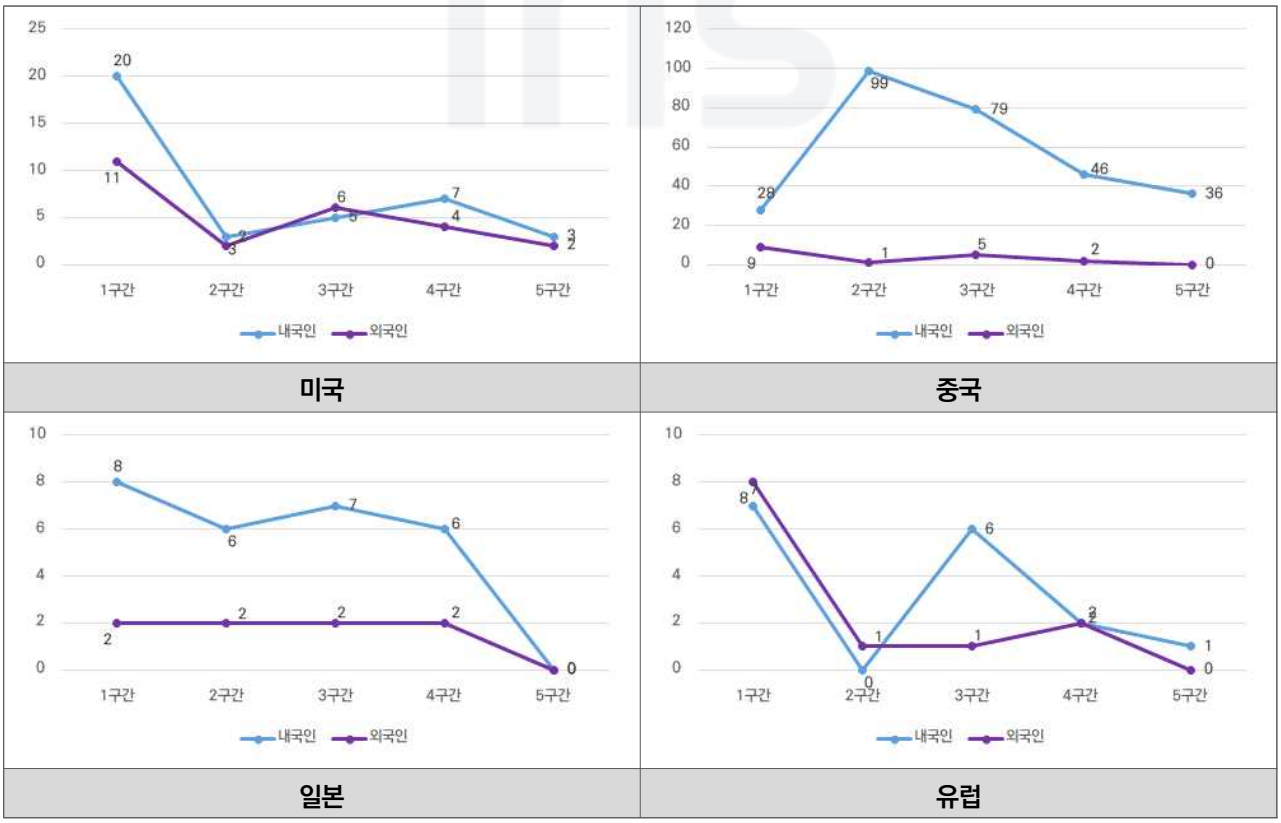
❍ **알코올 및 알데히드류 기술**에 대한 국가별 특허 점유현황을 살펴보면, **중국**이 **305건(55%)으로 가장 큰 특허 점유율**을 차지하고 있으며, 그 뒤로 한국 69건(13%), 미국 63건(11%), PCT 52건(9%), 일본 35건(6%), 유럽 28건(5%)으로 확인

❍ 중국이 2016년부터 특허출원이 크게 증감하는 것으로 보아 주요 환경 문제인 **온실가스 감소에 대한 대책 마련**에 **세계적인 관심도**가 높은 것이 원인으로 판단됨

- SICHUAN NORMAL UNIVERSITY이 23건의 특허로 중국에서 가장 많은 특허를 보유하고 있으며, 그 뒤로 XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY, SEDIN ENGINEERING 순으로 확인

□ 국가별 내외국인 특허 현황

〈표 II-90〉 국가별 내외국인 특허 현황



한국

❍ **미국**은 내국인 **점유율이 60.3%**, 외국인 점유율이 39.7%로 확인

- **내국인 특허출원**은 재생에너지 반도체 제조 기업인 Butamax Advanced Biofuels와 생명공학 회사인 Kiverdi가 **가장 활발**한 것으로 확인

❍ **중국**은 **내국인 점유율**이 **94.3%**를 차지, 타 국가 대비 내국인 점유율이 가장 높으며, 대학교에서의 출원이 가장 특허가 활발한 것으로 확인

- **내국인 특허출원**은 쓰촨성 청두에 위치한 SICHUAN NORMAL UNIVERSITY가 가장 활발한 것으로 확인되었으며, 그 뒤로 XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY로 확인

❍ **일본**은 **내국인 점유율**이 **77.1%**, 외국인 점유율이 22.9%를 차지하고 있는 것으로 확인

❍ **유럽**은 **내국인 점유율**이 **57.1%**, 외국인 점유율이 42.9%로 확인

- **외국인 특허출원** 중 **국내**에서는 **한국기계연구원**이 존재

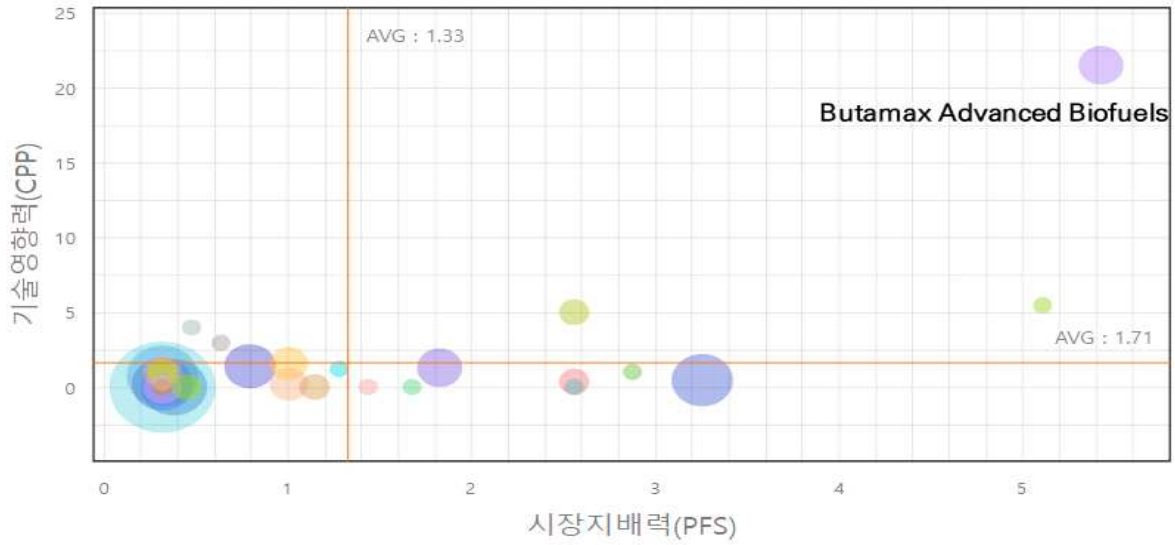
❍ **한국**은 **내국인 점유율**이 **85.5%**, 외국인 점유율이 14.5%로 확인

❍ **내국인 특허 출원이 가장 활발**한 것으로 확인

- **내국인 특허출원**은 **경상국립대학교, 연세대학교, 한국과학기술연구원**에서 가장 **활발**한 것으로 확인

□ 기술영향력 및 시장지배력 현황

〈그림 Ⅱ-75〉 알코올 및 알데히드류(화학적 전환) 기술영향력 및 시장지배력('11~'23)



❍ **(기술 영향력, 시장지배력)** 미국의 재생에너지 반도체 기업인 Butamax Advanced Biofuels가 기술 영향력과 시장지배력에 있어 가장 큰 영향력을 미치고 있는 것으로 확인

- 관련 특허는 '진공 하에서 기화시킴으로써 발효로부터 생성물 알코올을 제거하는 공정' 이 존재

❍ **(출원 점유율)** 중국의 Sinopec Nanjing Engineering이 **특허 양적 점유율**이 **가장 높으며, 연구개발**이 **가장 활발**한 것으로 확인

- 관련 특허로는 메탄올 올레핀 생성물 가스 중의 이산화탄소를 흡착 분리하는 방법, 메탄올제 올레핀 장치 압력 에너지의 회수 방법, 메탄제 에틸렌 반응 생성물의 오일 흡수 분리 방법, 이산화탄소 수소화에 의한 메탄올 제조 공정 및 장치 등이 존재

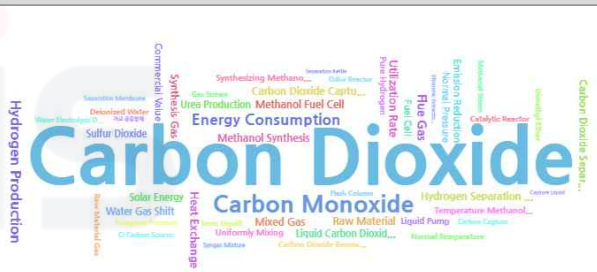
□ 주력 IPC TOP 5 현황

〈표 Ⅱ-91〉 주력 IPC TOP 5 현황('11~'23)

NO.	상위 IPC	설명	합계
1	C07C	비환 화합물 또는 탄소환 화합물	131
2	B01D	분리	84
3	C01B	비금속 원소	57
4	B01J	화학적 또는 물리적 방법	33
5	C12P	발효 또는 효소를 사용하여 원하는 화학물질 또는 조성물을 합성하는 방법 또는 혼합물로부터 광학이성체를 분리하는 방법	31

□ 기술 키워드 변화

〈표 Ⅱ-92〉 알코올 및 알데히드류(화학적 전환)기술 관련 키워드 변화('11~'23)

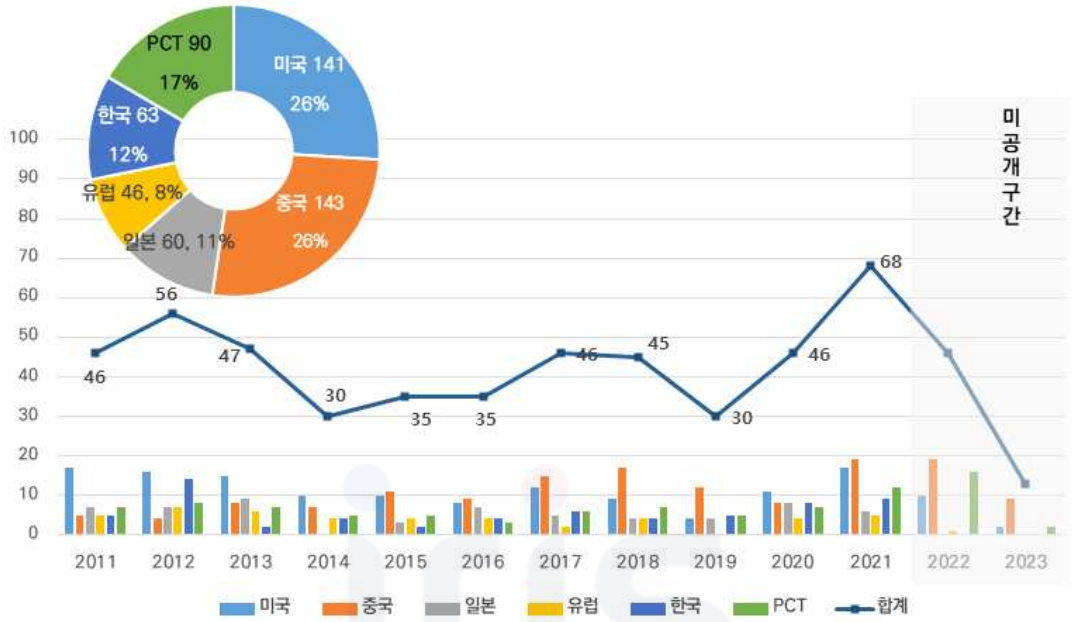
1구간(2011-2017)	2구간(2018-2023)
	

1구간(2011-2017)	합계	2구간(2018-2023)	합계
Carbon Dioxide	59	Carbon Dioxide	84
Treated Wastewater	21	Carbon Monoxide	23
Stably Discharged	20	Energy Consumption	13
Raw Material	16	Hydrogen Production	12
Liquid Solid Separation	16	Flue Gas	9
Carbon Monoxide	13	Heat Exchange	8
Energy Consumption	12	Utilization Rate	8
Synthesis Gas	8	Methanol Synthesis	7
Dimethyl Ether	8	Synthesis Gas	7
Extraction Kettle	8	Methanol Fuel Cell	7

(6) 탄화수소류

□ 탄화수소류(화학적 전환) 기술 분야 연도별 출원동향

〈그림 Ⅱ-76〉 국가·연도별 탄화수소류(화학적 전환) 출원동향('11~'23)



❍ **탄화수소류 기술** 관련 국가별 특허 점유현황을 살펴보면, **중국**이 **143건(26%)**으로 **가장 큰 특허 점유율**을 차지하고 있으며, 그 뒤로 미국 141건(26%), PCT 90건(17%), 한국 63건(12%), 일본 60건(11%), 유럽 46건(8%)으로 확인

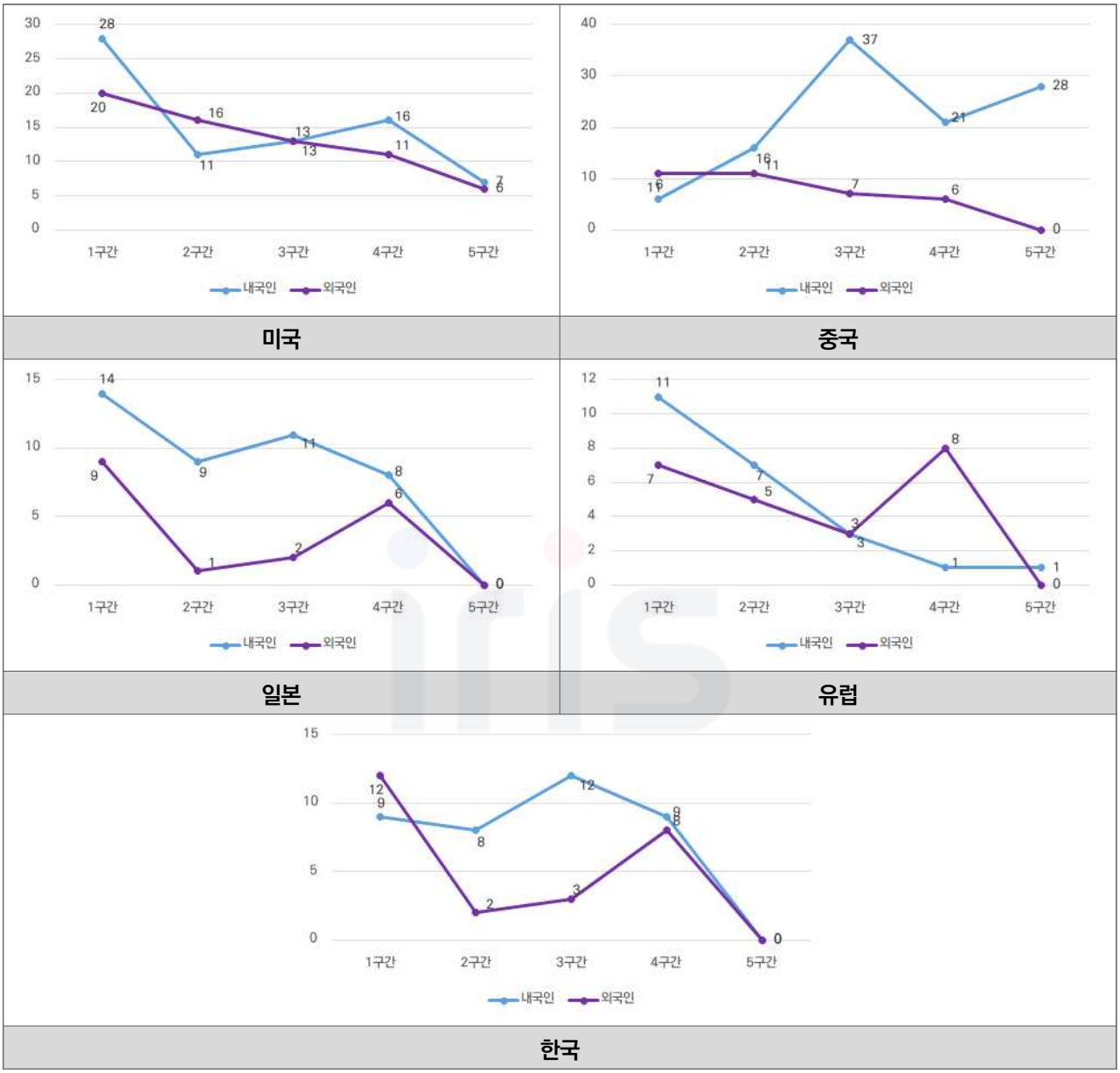
❍ 국가 중 가장 높은 점유율을 차지하고 있는 중국은 **2015년부터 기술개발**이 **활발**하게 이루어 진 것으로 확인

- 2015년 이전에는 미국의 특허 출원이 활발했으나 2015년 이후 중국의 기술개발이 활발하게 진행되면서 2023년 기준 미국과 중국은 양적으로 유사한 수준을 보이는 것으로 확인

❍ **(최다 출원인)** 합성가스 기술 관련 가장 많은 특허를 출원한 제1 출원인은 사우디아라비아의 석유회사인 **사우디 아람코**로 확인(46건)로 확인

□ 국가별 내외국인 특허 현황

〈표 Ⅱ-93〉 국가별 내외국인 특허 현황



❍ **미국**은 내국인 **점유율이 52.9%**, 외국인 점유율이 47.1%로 **내외국인의 점유율 차이가 크지 않는 것**으로 확인

- **외국인 점유율**이 **가장 높은 출원인**은 프랑스의 산업용 가스 회사인 Air Liquided와 사우디아라비아의 석유회사인 **사우디 아람코**로 확인

❍ **중국**은 **내국인 점유율**이 **75.5%**, 외국인 점유율이 24.5%를 차지하고 있는 것으로 확인

- **외국인 점유율**이 **가장 높은 출원인**은 사우디아라비아의 석유회사인 **사우디 아람코와 미국**의 8 Rivers로 확인

❍ **일본**은 **내국인 점유율**이 **70%**, 외국인 점유율이 30%를 차지하고 있는 것으로 확인

- **외국인 점유율**이 **가장 높은 출원인**은 사우디아라비아의 석유회사인 **사우디 아람코**로 확인

❍ **유럽**은 **내국인 점유율**이 **50%**, 외국인 점유율이 50%로 확인

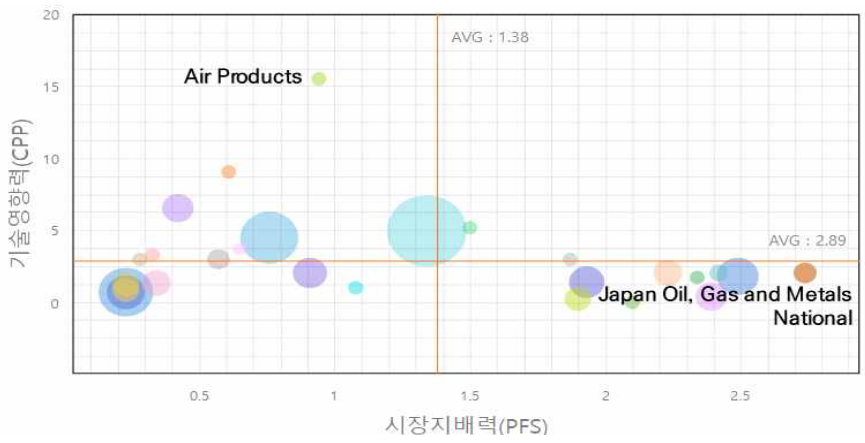
- **내국인 점유율**에서는 STEEPER ENERGY가 가장 높은 특허를 출원한 것으로 확인
- **외국인 점유율**이 **가장 높은 출원인**은 프랑스의 산업용 가스 회사인 Air Liquided와 사우디아라비아의 석유회사인 **사우디 아람코**로 확인

❍ **한국**은 **내국인 점유율**이 **60.3%**, 외국인 점유율이 39.7%를 차지하고 있는 것으로 확인

- **내국인 특허출원**은 **한국과학기술연구원, 한국과학기술연구원, 한국화학연구원**에서 가장 활발한 것으로 확인

□ 기술영향력 및 시장지배력 현황

〈그림 Ⅱ-77〉 탄화수소류(화학적 전환) 기술영향력 및 시장지배력('11~'23)



❍ **(기술 영향력)** 미국 산업용 가수 및 화학 물질을 주요 사업으로 판매하는 Air Products가 기술 영향력이 가장 높은 것으로 확인

- 관련 특허는 CO_2 포획을 가진 수소 생산, 낮은 CO_2 배출을 가진 수소 생산 공정 등이 존재

❍ **(시장 지배력)** 일본 정부의 독립 행정 기관인 Japan Oil, Gas and Metals National로 확인

- 관련 특허는 합성 가스 생산 장치의 금속 오염 억제 방법, 합성 가스 제조 장치에서 금속 혼합 제어 방법 등이 존재

❍ **(출원 점유율)** 사우디아라비아의 석유회사인 **사우디 아람코가 특허 양적 점유율**이 **가장 높으며, 연구개발**이 **가장 활발**한 것으로 확인

- 관련 특허는 탄소 포집 및 저장을 위한 수소 생산 설비에서 합성 가스 분리를 위한 방법, 탄소 및 물 유래 수소로부터 암모니아 생산, 수소 및 화학 물질 직접 원유 업그레이드 시스템과 공정 등이 존재

□ 주력 IPC TOP 5 현황

〈표 II-94〉 주력 IPC TOP 5 현황('11~'23)

NO.	상위 IPC	설명	합계
1	C01B	비금속 원소	153
2	C07C	비환 화합물 또는 탄소환 화합물	65
3	B01D	분리	65
4	C10G	탄화수소유의 분해 증류	42
5	B01J	화학적 또는 물리적 방법	29

□ 기술 키워드 변화

〈표 Ⅱ-95〉 탄화수소류(화학적 전환)기술 관련 키워드 변화('11~'23)

1구간(2011-2017)	2구간(2018-2023)

1구간(2011-2017)	합계	2구간(2018-2023)	합계
Carbon Dioxide	72	Carbon Dioxide	86
Carbon Monoxide	25	Carbon Monoxide	28
Synthesis Gas	17	Product Gas	14
Producing Hydrogen	15	Flue Gas	14
Hydrocarbon Fuel	14	Synthesis Gas	11
Product Stream	12	Hydrogen Production	10
Gas Stream	11	Separating Hydrogen	10
Natural Gas	11	Energy Consumption	10
Energy Consumption	11	Gas Separation	9
Carbon Dioxide Capture	9	Byproduct Stream	8

(7) 고분자

□ 고분자(화학적 전환) 기술 분야 연도별 출원동향

〈그림 Ⅱ-78〉 국가·연도별 고분자(화학적 전환) 출원동향('11~'23)

❍ **고분자 기술** 관련 국가별 특허 점유현황을 살펴보면, **중국**이 **122건(29%)**으로 **가장 큰 특허 점유율**을 차지하고 있으며, 그 뒤로 한국 126건(30%), 일본 77건(196%), PCT 50건(12%), 미국 27건(6%), 유럽 15건(4%)으로 확인

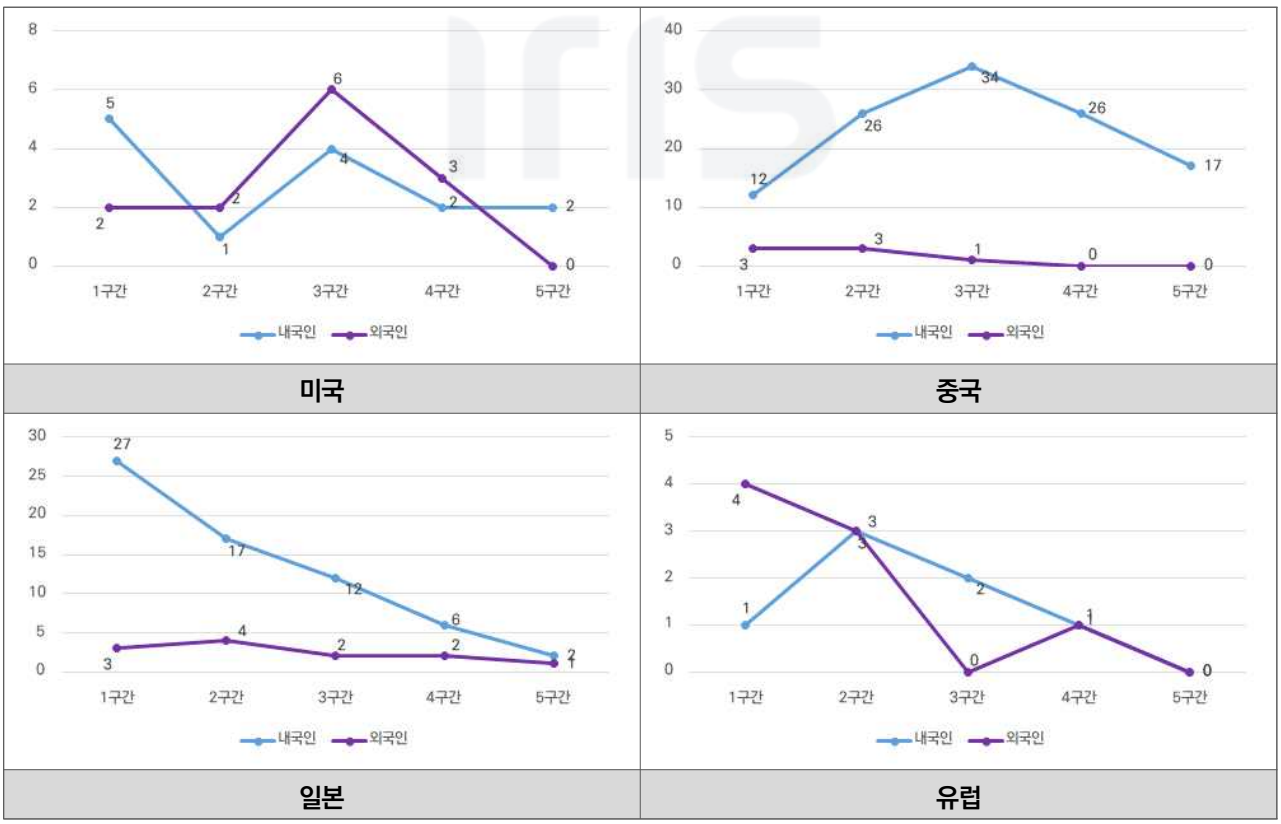
❍ **한국**이 **가장 높은 점유율**을 차지하고 있으나, **중국과 양적**으로 **유사**한 수준을 보이고 있는 것으로 확인

- 한국의 특허출원은 2017-2018년 잠시 주춤한 상태를 보이다 2019년부터 급격히 기술개발이 활발해지고 있는 것으로 확인

❍ **(최다 출원인)** 고분자 기술 관련 가장 많은 특허를 출원한 제1 출원인은 일본의 **FUJIFILM(24건)**으로 확인

□ 국가별 내외국인 특허 현황

〈표 II-96〉 국가별 내외국인 특허 현황



한국

❍ **미국**은 내국인 **점유율이 51.9%**, 외국인 점유율이 48.1%로 **내외국인의 점유율 차이가 크지 않는 것**으로 확인

- **외국인 특허출원** 중 **국내**에서는 **한국화학연구원**이 존재

❍ **중국**은 **내국인 점유율**이 **94.3%**를 차지, 타 국가 대비 내국인 점유율이 가장 높으며, 대학교에서의 출원이 가장 특허가 활발한 것으로 확인

❍ **일본**은 **내국인 점유율**이 **83.1%**, 외국인 점유율이 16.9%를 차지하고 있는 것으로 확인

- **내국인 점유율**이 **가장 높은 출원인**은 FUJIFILM으로 확인
- **외국인 특허출원** 중 **국내**에서는 **LG화학**이 존재

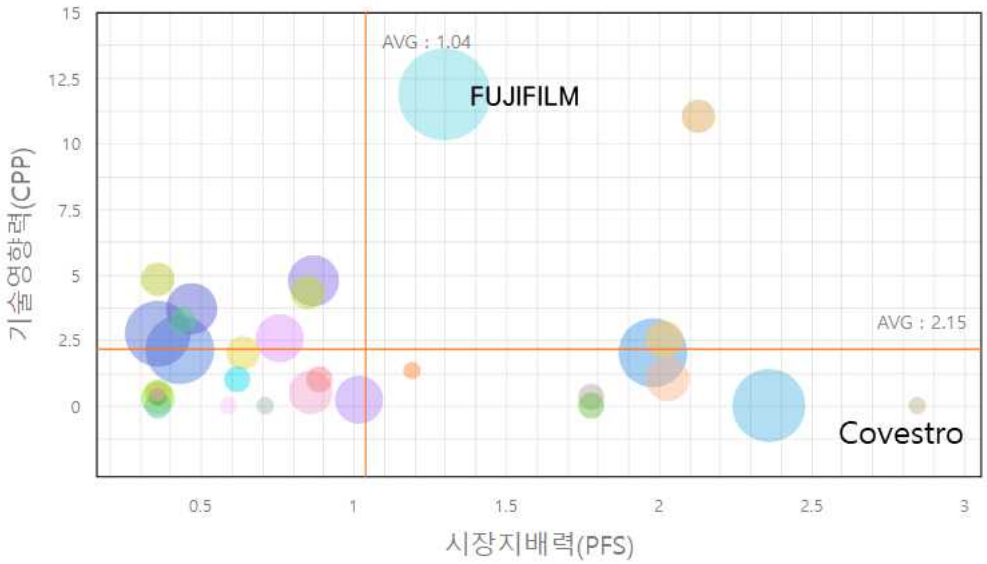
❍ **유럽**은 **내국인 점유율**이 **53.3%**, 외국인 점유율이 46.7%로 확인

❍ **한국**은 **내국인 점유율**이 **88.1%**, 외국인 점유율이 11.9%를 차지하고 있는 것으로 확인

- **내국인 특허출원**은 **한양대학교, 인하대학교, 한국과학기술원**에서 가장 활발한 것으로 확인

□ 기술영향력 및 시장지배력 현황

〈그림 Ⅱ-79〉 고분자(화학적 전환) 기술영향력 및 시장지배력('11~'23)



❍ **(기술 영향력, 출원 점유율)** 일본의 FUJIFILM 이 기술 영향력이 가장 높은 것으로 확인

- 관련 특허는 이산화탄소 분리용 복합체, 이산화탄소 분리용 모듈 및 이산화탄소 분리용 복합체 제조 방법 등이 존재

❍ **(시장 지배력)** 독일의 폴리우레탄 및 폴리카보네이트 원료를 생산하는 기업인 Covestro가 시장 지배력이 높은 것으로 확인

- 관련 특허는 지속 가능성을 향상시킨 이소시아네이트 및 폴리우레탄 제조 방법, 이소시아네이트 및 폴리우레탄 제조용 화학원료를 제조하기 위한 폴리우레탄 재료 폐기물의 재활용 방법 등이 존재

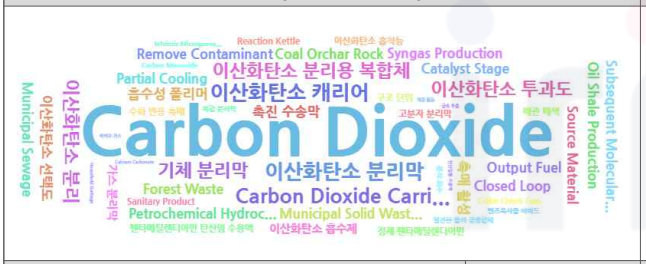
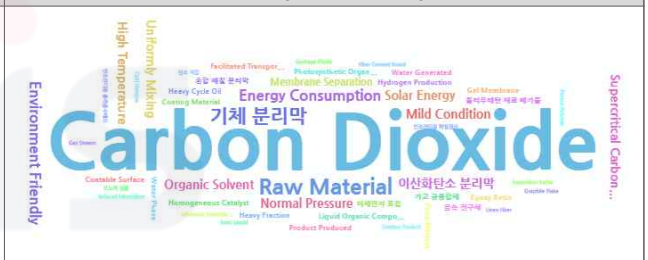
□ 주력 IPC TOP 5 현황

〈표 Ⅱ-97〉 주력 IPC TOP 5 현황('11~'23)

NO.	상위 IPC	설명	합계
1	B01D	분리	114
2	C08G	탄소-탄소 불포화 결합만이 관여하는 반응 이외의 반응으로 얻는 고분자 화합물	44
3	C01B	비금속 원소; 그 화합물	38
4	B01J	화학적 또는 물리적 방법	31
5	C07C	비환 화합물 또는 탄소환 화합물	27

□ 기술 키워드 변화

〈표 Ⅱ-98〉 고분자(화학적 전환) 기술 관련 키워드 변화('11~'23)

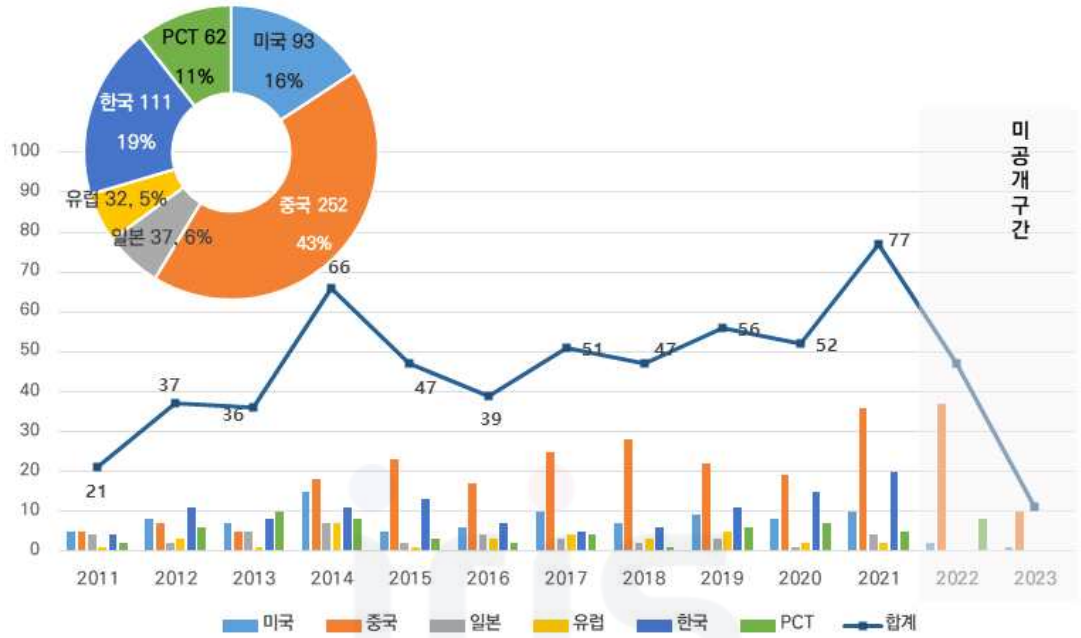
1구간(2011-2017)	2구간(2018-2023)
	

1구간(2011-2017)	합계	2구간(2018-2023)	합계
Carbon Dioxide	28	Carbon Dioxide	31
이산화탄소 분리막	8	Raw Material	8
이산화탄소 캐리어	8	기체 분리막	7
Carbon Dioxide Carrier	8	Environment Friendly	5
기체 분리막	7	Energy Consumption	5
이산화탄소 분리	7	이산화탄소 분리막	4
이산화탄소 분리용 복합체	7	Supercritical Carbon Dioxide	4
이산화탄소 투과도	7	Organic Solvent	4
Source Material	5	Normal Pressure	4
흡수성 폴리머	5	Mild Condition	4

(8) 탄소소재 차세대활용

□ 탄소소재 차세대활용(화학적 전환) 기술 분야 연도별 출원동향

〈그림 Ⅱ-80〉 국가·연도별 탄소소재 차세대활용(화학적 전환) 출원동향('11~'23)



❍ **탄소소재 차세대활용 기술** 관련 국가별 특허 점유현황을 살펴보면, **중국**이 **252건(43%)**으로 **가장 큰 특허 점유율**을 차지하고 있으며, 그 뒤로 한국 111(19%), 미국 93건(16%), PCT 62건(11%), 일본 37건(6%), 유럽 32건(5%)으로 확인

❍ **가장 높은 점유율**을 차지하고 있는 **중국**은 **2014년부터 기술개발**이 **활발**하게 진행되고 있는 것으로 확인

- 중국의 최다 출원인은 XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY(13건)으로 확인

❍ **(최다 출원인)** 탄소소재 차세대활용 기술 관련 가장 많은 특허를 출원한 제1 출원인은 미국의 Exxon Mobil의 자회사인 **ExxonMobil Research & Engineering(34건)**으로 확인

□ 국가별 내외국인 특허 현황

〈표 II-99〉 국가별 내외국인 특허 현황

❍ **미국**은 내국인 **점유율이 65.9%**, 외국인 점유율이 34.1%로 확인

- **내국인 점유율**이 **가장 높은 출원인**은 ExxonMobil Research & Engineering으로 확인
- **외국인** 특허 출원 중 **국내 출원인**은 **포항공과대학교, 서강대학교**로 확인

❍ **중국**은 **내국인 점유율**이 **89.9%**, 외국인 점유율이 10.1%를 차지하고 있는 것으로 확인

- **외국인 점유율**이 **가장 높은 출원인**은 독일의 **Siemens**로 확인되었으며, **국내 출원인**은 **삼성전자**로 확인

❍ **일본**은 **내국인 점유율**이 **59.5%**, 외국인 점유율이 40.5%를 차지하고 있는 것으로 확인

- **외국인 점유율**이 **가장 높은 출원인**은 미국의 **ExxonMobil Research & Engineering**로 확인되었으며, **국내 출원인**은 **포항공과대학교**로 확인

❍ **유럽**은 **내국인 점유율**이 **53.1%**, 외국인 점유율이 46.9%로 확인

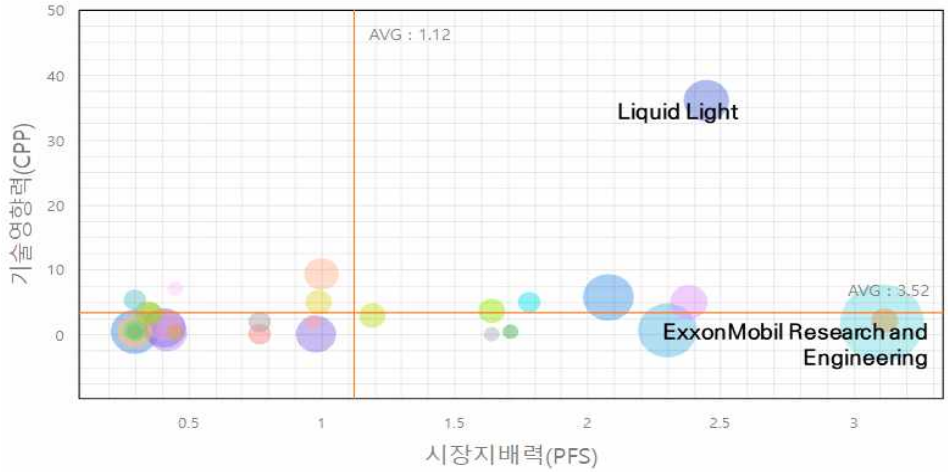
- **외국인 점유율**이 **가장 높은 출원인**은 미국의 **ExxonMobil Research & Engineering**로 확인되었으며, **국내 출원인**은 **포항공과대학교**로 확인

❍ **한국**은 **내국인 점유율**이 **79.3%**, 외국인 점유율이 20.7%를 차지하고 있는 것으로 확인

- **내국인 특허출원**은 **한국에너지기술연구원**에서 가장 **활발**하며, 그 뒤로 **한국과학기술원, 두산에너빌리티 순**으로 확인

□ 기술영향력 및 시장지배력 현황

〈그림 Ⅱ-81〉 탄소소재 차세대활용(화학적 전환) 기술영향력 및 시장지배력('11~'23)



❍ **(기술 영향력)** 미국에서 이산화탄소로부터 화학 물질을 만드는 공정 기술 사업을 영위하고 있는 **Liquid Light**가 기술 영향력이 가장 높은 것으로 확인

- 이산화탄소와 물로부터 부탄올의 전기화학적 생산, 이산화탄소를 생성물로 환원시키는 방법, 이산화탄소 포집 및 유기물 변환 등이 존재

❍ **(시장지배력, 출원 점유율)** Exxon Mobil의 자회사인 **ExxonMobil Research & Engineering**이 시장지배력과 출원 점유율이 가장 높은 것으로 확인

- 관련 특허는 용융 탄산염 연료 전지를 위한 양극 배기 처리, 연료 전지를 사용한 통합 발전 및 탄소 포집, 연료 전지를 사용한 통합 발전 및 탄소 포집 등이 존재

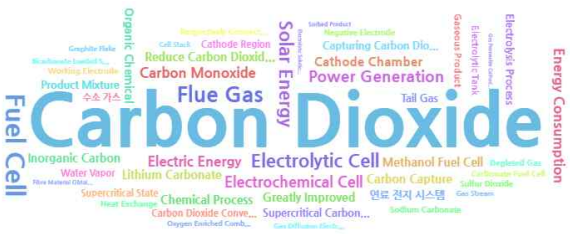
□ 주력 IPC TOP 5 현황

〈표 II-100〉 주력 IPC TOP 5 현황('11~'23)

NO.	상위 IPC	설명	합계
1	C25B	화합물 또는 비금속의 제조를 위한 전기분해 또는 전기영동 방법	116
2	H01M	화학에너지를 전기에너지로 직접 변환하기 위한 방법 또는 수단	112
3	C01B	비금속 원소; 그 화합물	65
4	B01D	분리	46
5	B01J	화학적 또는 물리적 방법	25

□ 기술 키워드 변화

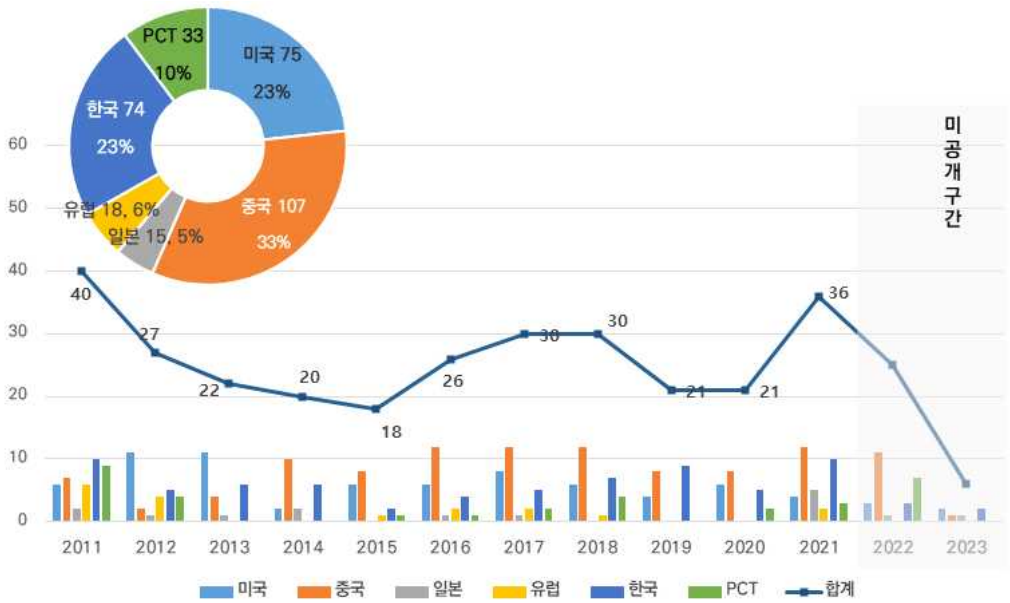
〈표 Ⅱ-101〉 탄소소재 차세대활용(화학적 전환) 기술 관련 키워드 변화('11~'23)

1구간(2011-2017)		2구간(2018-2023)	
			
1구간(2011-2017)	합계	2구간(2018-2023)	합계
Carbon Dioxide	60	Carbon Dioxide	60
Fuel Cell	35	Fuel Cell	20
Combustion Source	21	Flue Gas	16
Combustion Source Exhaust	21	Electrolytic Cell	13
Product Gas	13	Solar Energy	13
Carbon Monoxide	13	Power Generation	11
Energy Consumption	11	Electrochemical Cell	10
Electrochemical Cell	10	Electric Energy	9
Electrochemical Utilization	10	Energy Consumption	9
Fuel Utilization	9	Carbon Monoxide	9

(9) 바이오매스 생산

□ 바이오매스 생산(생물학적 전환) 기술 분야 연도별 출원동향

〈그림 Ⅱ-82〉 국가·연도별 바이오매스 생산(생물학적 전환) 출원동향('11~'23)



❍ **바이오매스 생산 기술** 관련 국가별 특허 점유현황을 살펴보면, **중국**이 **107건(33%)**으로 **가장 큰 특허 점유율**을 차지하고 있으며, 그 뒤로 미국 75(23%), **한국 74건(23%)**, PCT 33건(10%), 유럽 18건(6%), 일본 15건(5%)으로 확인

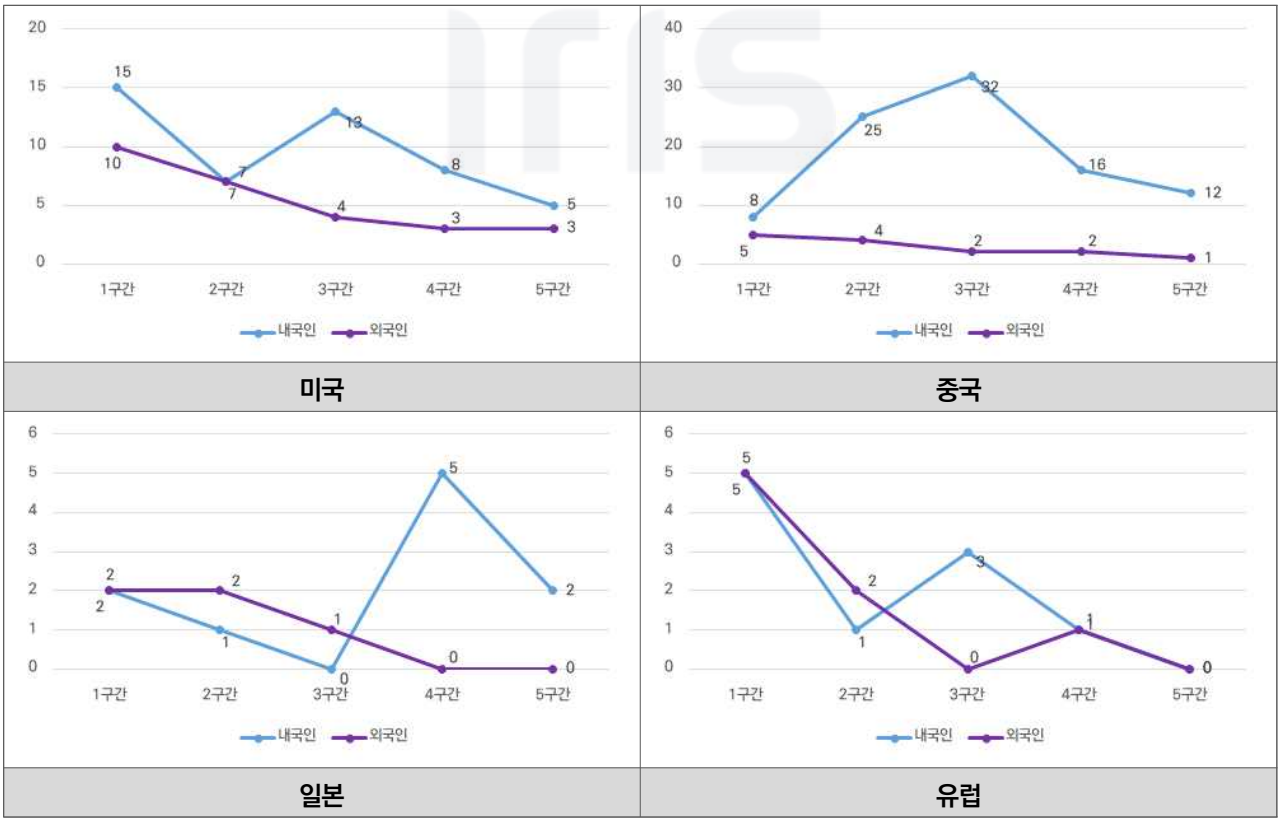
❍ **가장 높은 점유율**을 차지하고 있는 **중국**은 **2014년부터 기술개발**이 **활발**하게 진행되고 있는 것으로 확인

- 중국의 최다 출원인은 Beijing Dabeinong Biotechnology(6건)으로 확인

❍ **(최다 출원인)** 바이오매스 생산 기술 관련 가장 많은 특허를 출원한 제1 출원인은 한국의 **고려대학교(12건)**으로 확인

□ 국가별 내외국인 특허 현황

〈표 II-102〉 국가별 내외국인 특허 현황



한국

❍ **미국**은 내국인 **점유율이 68.5%**, 외국인 점유율이 31.5%로 확인

- **내국인 점유율**이 **가장 높은 출원인**은 Kiverdi으로 확인

❍ **중국**은 **내국인 점유율**이 **88.5%**, 외국인 점유율이 11.5%를 차지하고 있는 것으로 확인

- **내국인 점유율**이 **가장 높은 출원인**은 Beijing Dabeinong Biotechnology로 확인
- **외국인 특허 출원** 중 **국내 출원인**은 **삼성전자**로 확인

❍ **일본**은 **내국인 점유율**이 **66.7%**, 외국인 점유율이 33.3%를 차지하고 있는 것으로 확인

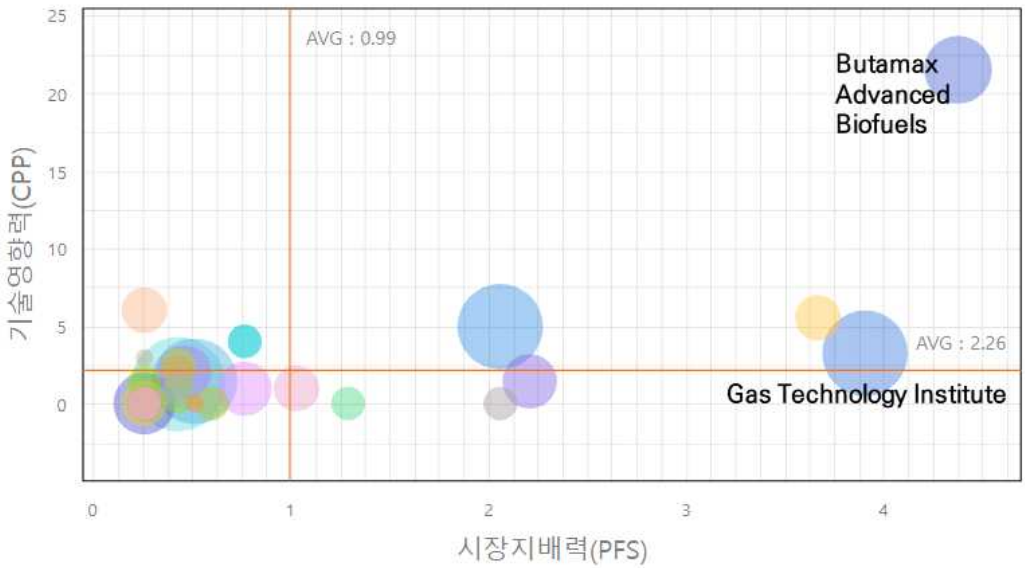
❍ **유럽**은 **내국인 점유율**이 **55.6%**, 외국인 점유율이 44.4%로 확인

❍ **한국**은 **내국인 점유율**이 **97.3%**를 차지, 타 국가 대비 내국인 점유율이 가장 높은 것으로 확인

- **내국인 특허출원**은 **고려대학교**가 가장 **활발**한 것으로 확인

□ 기술영향력 및 시장지배력 현황

〈그림 Ⅱ-83〉 바이오매스 생산(생물학적 전환) 기술영향력 및 시장지배력('11~'23)



❍ **(기술 영향력)** 미국의 재생에너지 반도체 기업인 Butamax Advanced Biofuels가 기술 영향력이 가장 높은 것으로 확인

- 관련 특허는 진공 하에서 기화시킴으로써 발효로부터 생성물 알코올을 제거하는 공정, 진공 하에서 증발에 의해 발효로부터 생성물 알코올을 제거하는 방법 등이 존재

❍ **(시장지배력)** 미국 위치한 천연가스 사업을 영위하는 Gas Technology Institute가 시장지배력 높은 것으로 확인

- 관련 특허는 바이오매스로부터 메탄을 제조하는 방법, 바이오매스로부터 메탄을 생산하기 위한 방법, 메탄 제조 방법 등이 존재

❍ **(출원 점유율)** 한국의 **고려대학교**가 출원 점유율이 가장 높은 것으로 확인

- 관련 특허는 바이오광물화를 이용한 헤마토코쿠스 플루비알리스 생산방법, 탄소 자원화 방법, 미세조류 배양방법, 흡착부과 메탄화 반응을 이용한 합성천연가스의 생산방법 등이 존재

□ 주력 IPC TOP 5 현황

〈표 Ⅱ-103〉 주력 IPC TOP 5 현황('11~'23)

NO.	상위 IPC	설명	합계
1	C12P	원하는 화학물질 또는 조성물을 합성하는 방법 또는 혼합물로부터 광학이성체를 분리하는 방법	39
2	B01D	분리	37
3	C01B	비금속 원소; 그 화합물	31
4	C12N	미생물 또는 효소	21
5	C10J	고체 탄소질 물질로부터 일산화탄소와 수소를 포함하는 가스의 제조	19

□ 기술 키워드 변화

〈표 Ⅱ-104〉 바이오매스 생산(생물학적 전환) 기술 관련 키워드 변화('11~'23)

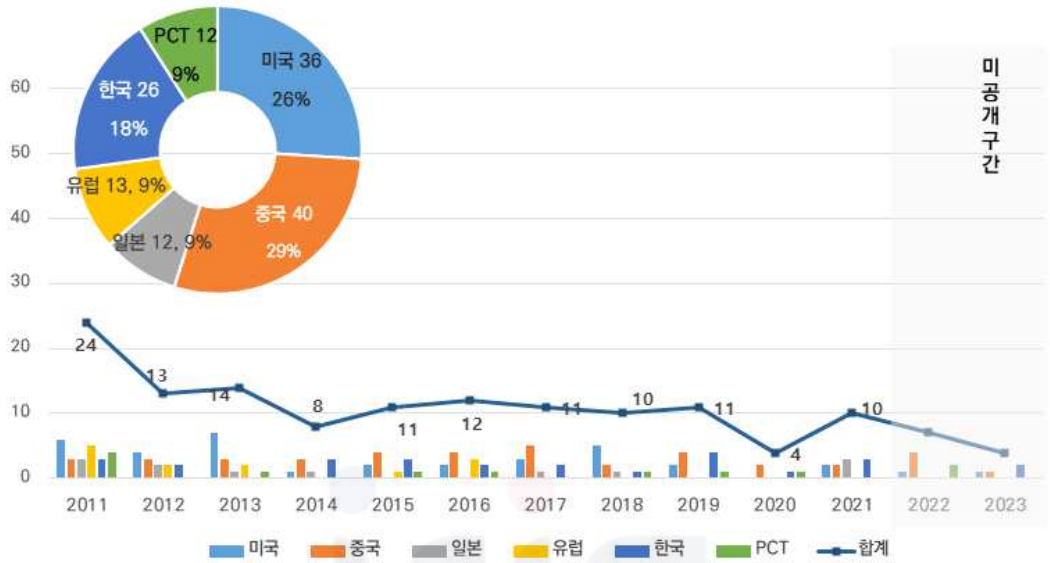
1구간(2011-2017)	2구간(2018-2023)

1구간(2011-2017)	합계	2구간(2018-2023)	합계
Carbon Dioxide	22	Carbon Dioxide	16
Raw Material	13	Synthesis Gas	7
Vapor Stream	9	Chemical Process	7
Cooling Layer	6	Inorganic Carbon	7
Biomass Energy	6	Organic Chemical	7
Molecular Hydrogen	6	Carbon Dioxide Capture	6
Product Stream	6	Biomass Gasification	5
Fermentation Liquid Feed	6	Carbon Capture	5
Partially Vaporized	6	Hydrogen Production	5
Suitable Condition	6	Energy Consumption	5

(10) 바이오 연료화

□ 바이오 연료화(생물학적 전환) 기술 분야 연도별 출원동향

〈그림 Ⅱ-84〉 국가·연도별 바이오 연료화(생물학적 전환) 출원동향('11~'23)



❍ **바이오 연료화 기술** 관련 국가별 특허 점유현황을 살펴보면, **중국**이 **40건(29%)**으로 **가장 큰 특허 점유율**을 차지하고 있으며, 그 뒤로 미국 36건(26%), 한국 26건(18%), 유럽 13건(9%), 일본 12건(9%), PCT 12건(9%)으로 확인

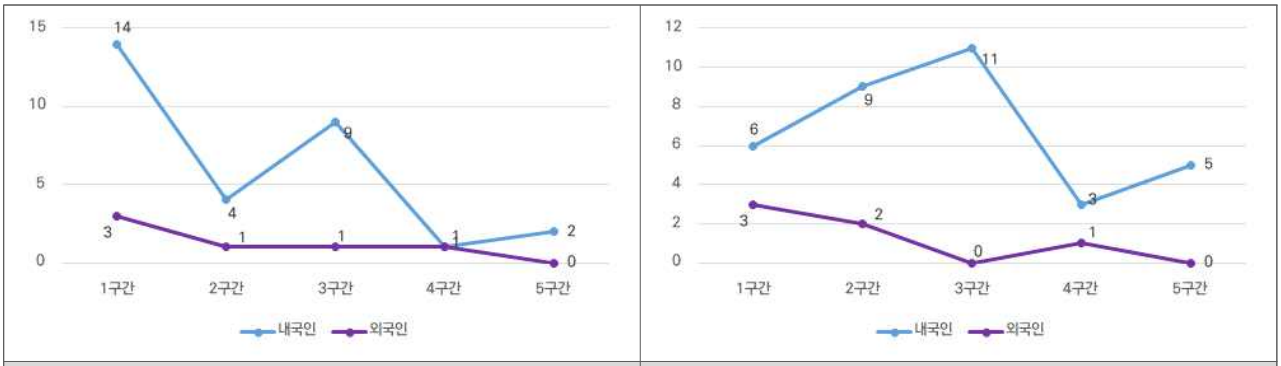
❍ **중국**이 **가장 높은 점유율**을 차지하고 있으나, **미국과 양적**으로 **유사**한 수준을 보이고 있는 것으로 확인

- **가장 높은 점유율**을 차지하고 있는 **중국**은 **2014년부터 기술개발**이 **활발**하게 진행되다 2018년에 잠시 주춤한 현상을 보임

❍ **(최다 출원인)** 바이오 연료화 기술 관련 가장 많은 특허를 출원한 제1 출원인은 미국의 재생에너지 반도체 기업인 Butamax Advanced Biofuels(11건)으로 확인

□ 국가별 내외국인 특허 현황

〈표 Ⅱ-105〉 국가별 내외국인 특허 현황



미국

중국

일본

유럽

한국

❍ **미국**은 내국인 **점유율이 83.3%**, 외국인 점유율이 16.7%로 확인

- **내국인 점유율**이 **가장 높은 출원인**은 Kiverdi로 확인
- **외국인** 특허 출원 중 **국내 출원인**은 **현대자동차**로 확인

❍ **중국**은 **내국인 점유율**이 **85%**, 외국인 점유율이 15%를 차지하고 있는 것으로 확인

- **내국인 특허 출원**은 **대학교**에서 **특허 출원**이 **활발**한 것으로 확인되었으며, **외국인** 특허 출원 중 **국내 출원인**은 **현대자동차**로 확인

❍ **일본**은 **내국인 점유율**이 **66.7%**, 외국인 점유율이 33.3%를 차지하고 있는 것으로 확인

- **내국인 특허 출원**은 Hitachi와 Sumitomo가 **가장 활발**한 것으로 확인

❍ **유럽**은 **내국인 점유율**이 **46.2%**, 외국인 점유율이 53.8%로 확인

- **외국인 점유율**이 **가장 높은 출원인**은 다국적 기업인 Shell Internationale Research Maatschappij로 확인

❍ **한국**은 **내국인 점유율**이 **96.2%**를 차지, 타 국가 대비 내국인 점유율이 가장 높은 것으로 확인

- **내국인 특허출원**은 **한국생산기술연구원**이 **가장 많은 특허**를 **보유**하고 있는 것으로 확인

□ 기술영향력 및 시장지배력 현황

〈그림 Ⅱ-85〉 바이오 연료화(생물학적 전환) 기술영향력 및 시장지배력('11~'23)

❍ **(기술 영향력, 출원 점유율)** 미국의 재생에너지 반도체 제조 기업인 Butamax Advanced Biofuels가 기술 영향력과 특허 양적 점유율이 가장 높은 것으로 확인

- 관련 특허는 '진공 하에서 기화시킴으로써 발효로부터 생성물 알코올을 제거하는 공정' 이 존재

❍ **(시장지배력)** 미국 캘리포니아의 생명과학 기업인 Kiverdi가 시장지배력이 가장 높은 것으로 확인

- 관련 특허는 '비광합성 탄소 포획 및 무기 및/또는 C1 탄소 공급원을 유용한 유기 화합물로 전환시키기 위한 옥시수소 미생물의 사용' 이 존재

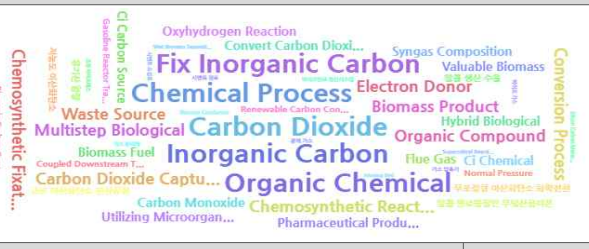
□ 주력 IPC TOP 5 현황

〈표 II-106〉 주력 IPC TOP 5 현황('11~'23)

NO.	상위 IPC	설명	합계
1	C12P	발효 또는 효소를 사용하여 원하는 화학물질 또는 조성물을 합성하는 방법 또는 혼합물로부터 광학이성체를 분리하는 방법	26
2	B01D	분리	16
3	C01B	비금속 원소; 그 화합물	8
4	H01M	화학에너지를 전기에너지로 직접 변환하기 위한 방법 또는 수단	5
5	C10L	달리 분류되지 않는 연료	5

□ 기술 키워드 변화

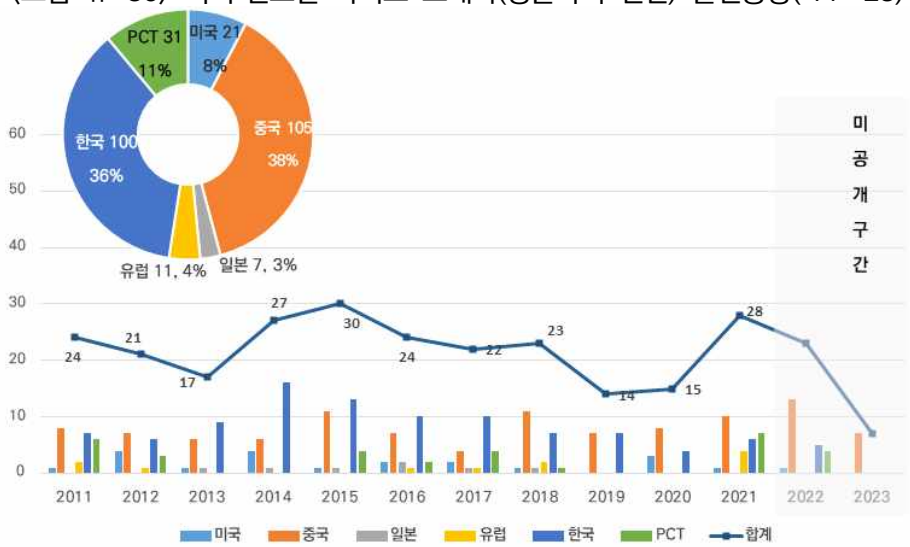
〈표 Ⅱ-107〉 바이오 연료화(생물학적 전환) 기술 관련 키워드 변화('11~'23)

1구간(2011-2017)		2구간(2018-2023)	
			
1구간(2011-2017)	**합계**	**2구간(2018-2023)**	**합계**
Carbon Dioxide	15	Carbon Dioxide	7
Vapor Stream	8	Chemical Process	7
Fermentation Liquid Feed	8	Inorganic Carbon	7
Partially Vaporized	8	Organic Chemical	7
Suitable Condition	8	Fix Inorganic Carbon	4
Product Stream	7	Multistep Biological	4
Substantially Fully Deoxygenated	6	Biomass Product	4
Hydrocarbon Liquid	6	Organic Compound	4
Catalyst Fine	6	Electron Donor	4
Hydroprocessing Catalyst	6	Chemosynthetic Fixation	4

(11) 바이오 소재화

□ 바이오 소재화(생물학적 전환) 기술 분야 연도별 출원동향

〈그림 Ⅱ-86〉 국가·연도별 바이오 소재화(생물학적 전환) 출원동향('11~'23)



❍ **바이오 소재화 기술** 관련 국가별 특허 점유현황을 살펴보면, **중국**이 **105건(38%)**으로 **가장 큰 특허 점유율**을 차지하고 있으며, 그 뒤로 한국 100건(36%), 미국 21건(8%), PCT 31건(11%), 유럽 11건(4%), 일본 7건(3%)으로 확인

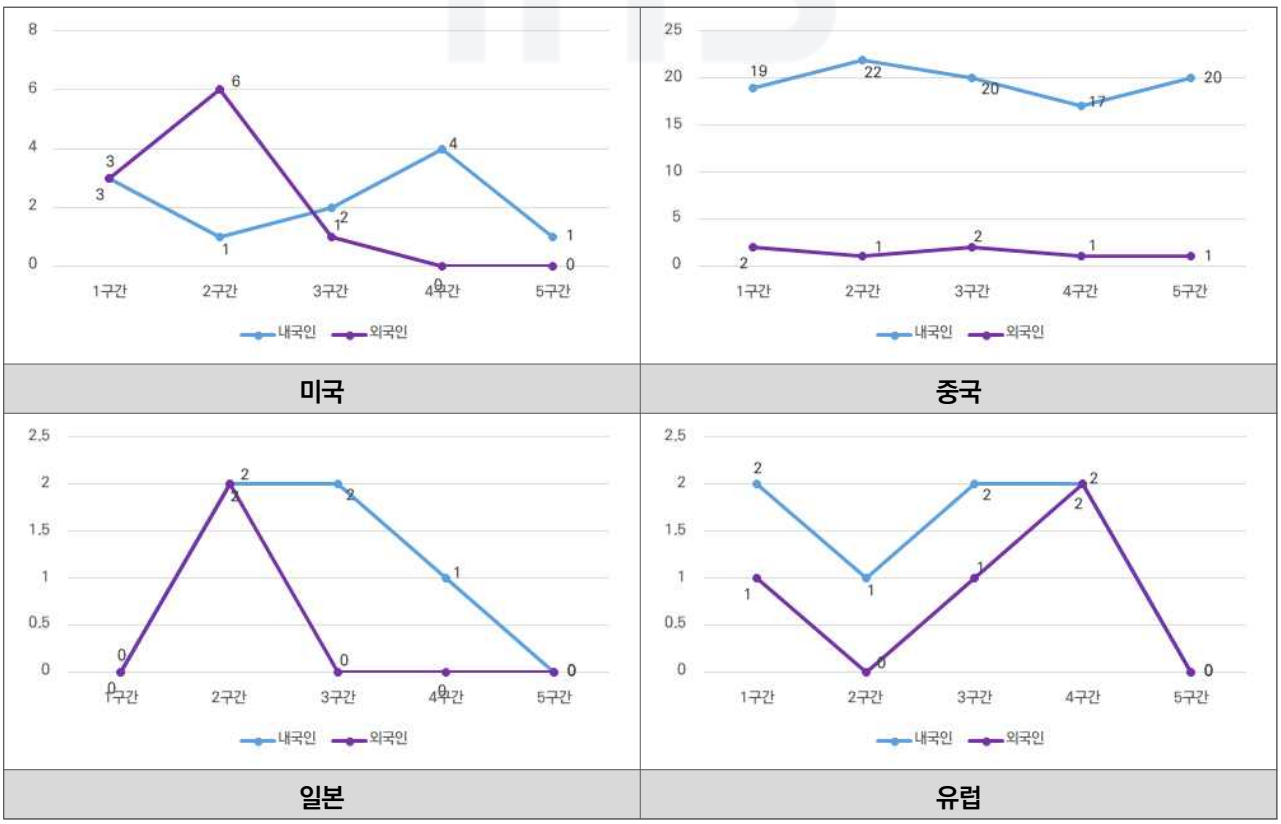
❍ **중국**이 **가장 높은 점유율**을 차지하고 있으나, **한국과 양적**으로 **유사**한 수준을 보이고 있는 것으로 확인

- **한국**은 2014년부터 특허출원이 급격히 증가한 것으로 확인되었으며, **정부 출연연의 특허**가 **활발**한 것으로 확인

❍ **(최다 출원인)** 바이오 연료화 기술 관련 가장 많은 특허를 출원한 제1출원인은 한국의 **고려대학교(36건)** 으로 확인

□ 국가별 내외국인 특허 현황

〈표 Ⅱ-108〉 국가별 내외국인 특허 현황



한국

❍ **미국**은 내국인 **점유율이 52.4%**, 외국인 점유율이 47.6%로 확인

- **내국인 점유율**이 **가장 높은 출원인**은 Running Tide로 확인
- **외국인** 특허 출원 중 **국내 출원인**은 **한국생명공학연구원, 한국과학기술연구원, 고려대학교**로 확인

❍ **중국**은 **내국인 점유율**이 **94.2%**, 외국인 점유율이 5.8%를 차지하고 있는 것으로 확인

- **내국인 특허 출원**은 **대학교**에서 **특허 출원**이 **활발**한 것으로 확인되었으며, **외국인** 특허 출원 중 **국내 출원인**은 **고려대학교**로 확인

❍ **일본**은 **내국인 점유율**이 **60%**, 외국인 점유율이 40%를 차지하고 있는 것으로 확인

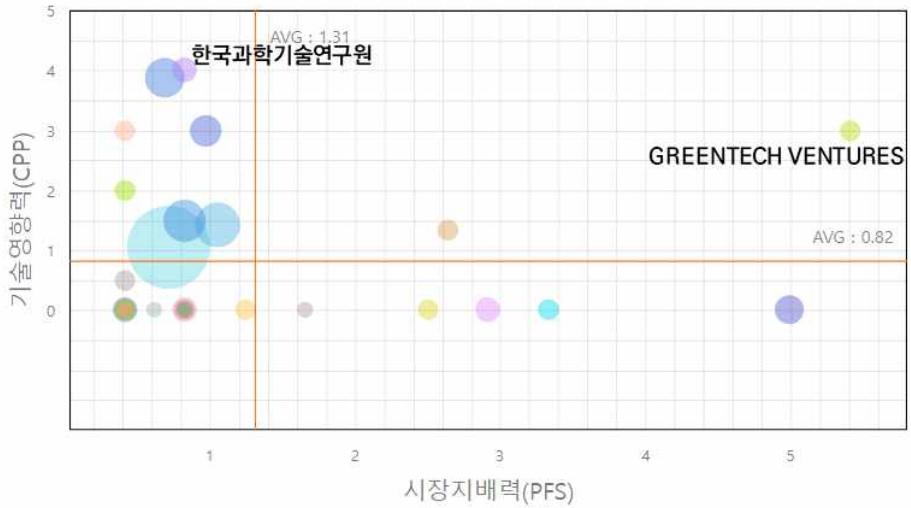
❍ **유럽**은 **내국인 점유율**이 **63.6%**, 외국인 점유율이 36.4%로 확인

❍ **한국**은 **내국인 점유율**이 **97%**를 차지, 타 국가 대비 내국인 점유율이 가장 높은 것으로 확인

- **내국인 특허출원**은 **고려대학교**가 **가장 많은 특허**를 **보유**하고 있는 것으로 확인되었으며, 그 뒤로 **한국에너지기술연구원, 한국지역난방공사 순**으로 확인

□ 기술영향력 및 시장지배력 현황

〈그림 Ⅱ-87〉 바이오 소재화(생물학적 전환) 기술영향력 및 시장지배력('11~'23)



❍ **(기술 영향력)** 한국의 **한국과학기술연구원**이 기술개발의 측면에서 영향력이 높은 주요 특허 또는 원천특허를 많이 보유하고 있는 것으로 확인

- 관련 특허는 저탄소 배출과 바이오매스의 제로 폐기물을 가진 바이오 에너지를 생산하는 공정, CO_2 저감 및 바이오매스 처리효율과 바이오에너지 생산성을 극대화한 waste-zero 바이오에너지 생산 방법 등이 존재

❍ **(시장지배력)** 태국에 본사를 두고 있는 Green-Tech Ventures가 시장지배력이 가장 높은 것으로 확인

- 관련 특허는 '미세조류 고밀도 배양용 배양액 공기 압축, 공기 냉각, 이산화탄소 자동 공급, 실링 수직 광생물 반응기, 수확, 이산화탄소 바이오 매스 변환 고정, 공기 및 정수 방법을 제공하는 것을 특징으로 하는 건조 장치와 이를 특징으로 하는 방법' 이 존재

❍ **(출원 점유율)** 한국의 **고려대학교**가 특허 출원 점유율이 가장 높은 것으로 확인

- 관련 특허는 아미노산 보충을 이용한 미세조류에서 지질의 제조방법, 배가스 내 이산화탄소를 이용하여 제조된 중탄산 버퍼, 및 무기 인산염 버퍼를 활용한 광합성 미생물의 배양방법 등이 존재

□ 주력 IPC TOP 5 현황

〈표 Ⅱ-109〉 주력 IPC TOP 5 현황('11~'23)

NO.	상위 IPC	설명	합계
1	C12N	미생물 또는 효소	69
2	C12M	효소학 또는 미생물학을 위한 장치	52
3	C12P	발효 또는 효소를 사용하여 원하는 화학물질 또는 조성물을 합성하는 방법	42
4	B01D	분리	36
5	F24F	차폐를 위한 기류의 이용	5

□ 기술 키워드 변화

〈표 Ⅱ-110〉 바이오 소재화(생물학적 전환) 기술 관련 키워드 변화('11~'23)

1구간(2011-2017)	2구간(2018-2023)

1구간(2011-2017)	합계	2구간(2018-2023)	합계
Carbon Dioxide	37	Carbon Dioxide	24
Utilization Rate	8	Microalgae Culture	11
Raw Material	6	Utilization Rate	6
Biological Conversion	6	Target Product	5
Ph Value	6	Microalgae Growth	5
Carbon Source	5	Energy Consumption	5
미세조류 배양	5	이산화탄소 농도	4
High Cost	4	Ph Value	4
Energy Production	4	Carbon Emission Reduction	4
Microalgae Cell	4	Working Medium	4

(12) 직접 광물 탄산화

□ 직접 광물 탄산화(광물 탄산화) 기술 분야 연도별 출원동향

〈그림 Ⅱ-88〉 국가·연도별 직접 광물 탄산화(광물 탄산화) 출원동향('11~'23)

❍ **직접 광물 탄산화 기술** 관련 국가별 특허 점유현황을 살펴보면, **중국**이 **227건(59%)**으로 **가장 큰 특허 점유율**을 차지하고 있으며, 그 뒤로 한국 77건(20%), 미국 29건(8%), PCT 26건(7%), 유럽 20건(5%), 일본 6건(2%)으로 확인

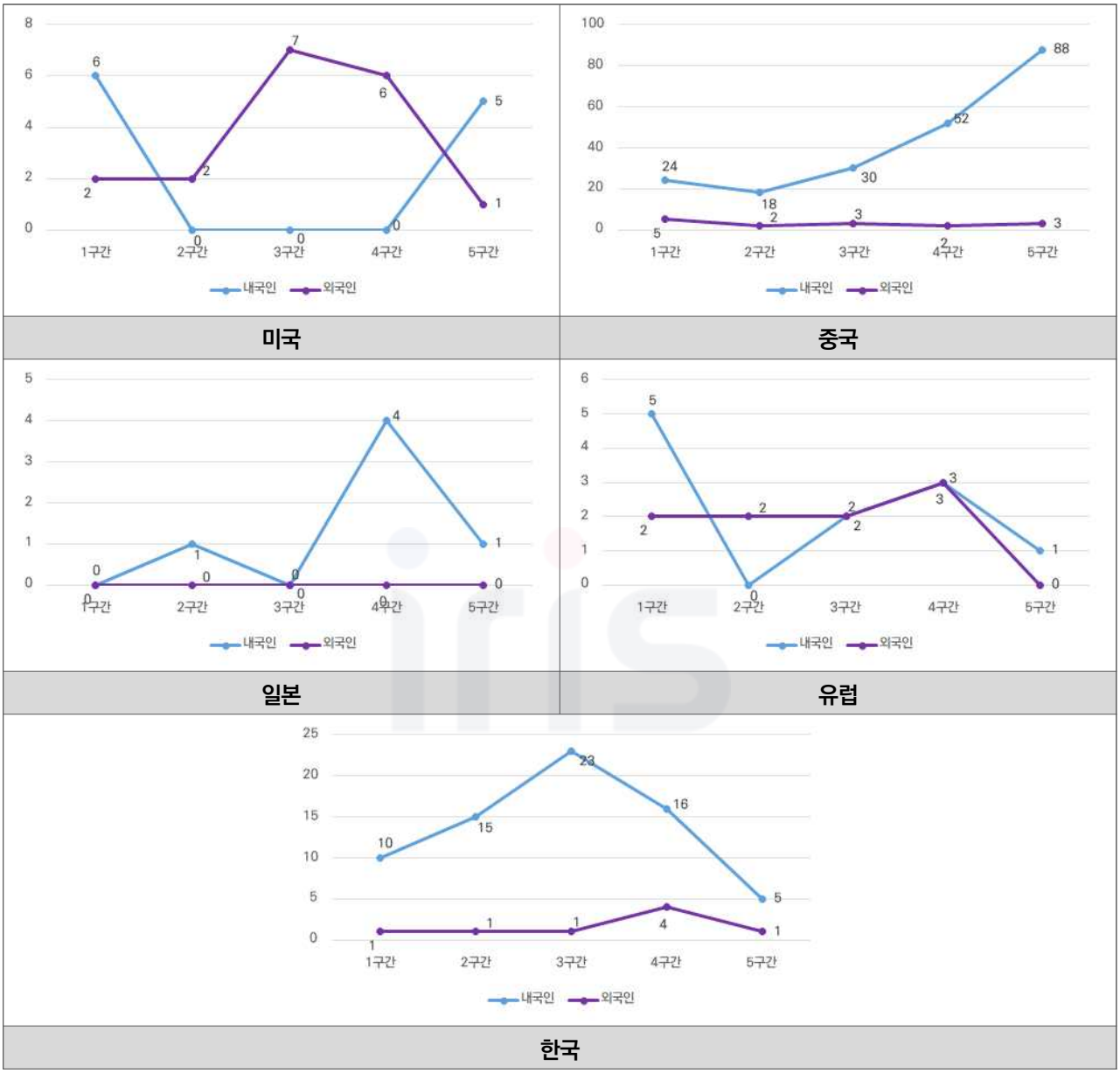
❍ **중국**이 **가장 높은 점유율**을 차지하고 있으며 2021년 기술개발이 급격히 활발하게 이루어지고 있는 것으로 확인

❍ **(최다 출원인)** 직접 광물 탄산화 기술 관련 가장 많은 특허를 출원한 제1 출원인은 중국 쓰촨성 청두에 위치한 **SICHUAN University(24건)** 으로 확인

- **(SICHUAN University의 직접 광물 탄산화 관련 특허)** 열탄소 환원 인석고 결합 열 활성화 칼륨 장석 광물화 CO_2 을 이용하여 이산화황과 황산칼륨을 병렬로 생산하는 방법, 염화티타늄 슬래그를 탈염소화하고 이산화탄소를 광물화하여 티타늄 화이트 및 암모늄 명반을 제조하는 방법 등
- 두 번째로 특허 점유율이 높은 한국에서는 한국에너지기술연구원, 한국지질자원연구원, 한국화학연구원 등 출연연에서의 특허출원이 활발한 것으로 확인

□ 국가별 내외국인 특허 현황

〈표 Ⅱ-111〉 국가별 내외국인 특허 현황



❍ **미국**은 내국인 **점유율이 37%**, 외국인 점유율이 63%로 확인

- **외국인 특허 출원** 중 **국내 출원인**은 **한국에너지기술연구원**과 **한국화학연구원**이 있는 것으로 확인

❍ **중국**은 **내국인 점유율**이 **93%**, 외국인 점유율이 7%를 차지하고 있는 것으로 확인

- **내국인 특허 출원**은 **대학교**에서 **특허 출원**이 **활발**한 것으로 확인되었으며, **외국인** 특허 출원 중 **국내 출원인**은 **한국에너지기술연구원**으로 확인

❍ **일본**은 **내국인 점유율**이 **100%로** 외국인 점유율은 없는 것으로 확인

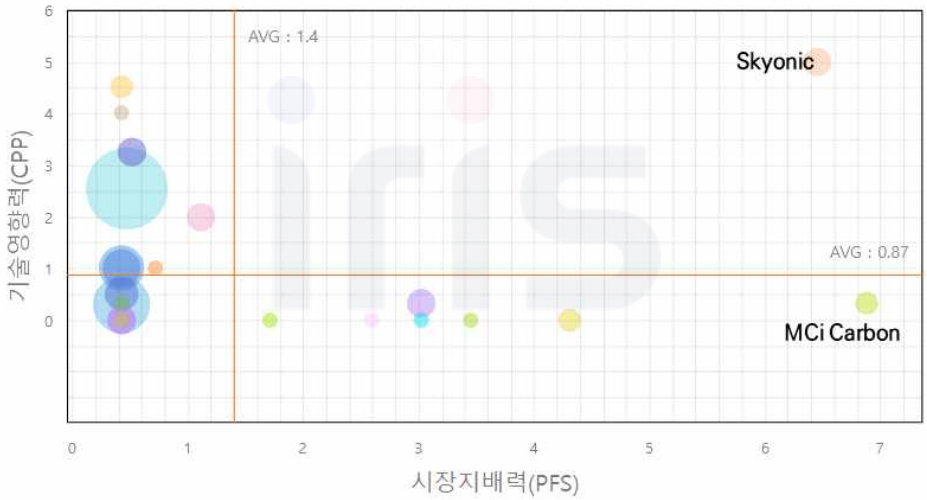
❍ **유럽**은 **내국인 점유율**이 **55%**, 외국인 점유율이 45%로 확인

❍ **한국**은 **내국인 점유율**이 **89%**, 외국인 점유율이 11%를 차지하고 있는 것으로 확인

- **내국인 특허출원**은 **한국지질자원연구원**이 **가장 많은 특허**를 **보유**하고 있는 것으로 확인

□ 기술영향력 및 시장지배력 현황

〈그림 Ⅱ-89〉 직접 광물 탄산화(광물 탄산화) 기술영향력 및 시장지배력('11~'23)



❍ **(기술 영향력)** 미국의 본사를 두고 있는 Skyonic이 기술개발의 측면에서 영향력이 높은 주요 특허 또는 원천특허를 많이 보유하고 있는 것으로 확인

- 관련 특허는 2족 실리케이트 및 염소 알칼리 공정을 사용한 이산화탄소 격리 방법이 존재

❍ **(시장지배력)** 호주에 본사를 두고 있는 재생에너지 반도체 제조업인 MCi Carbon가 시장지배력이 가장 높은 것으로 확인

- 관련 특허는 탄산화를 위한 마그네슘 실리케이트 광물의 탈수산화, 광물 탄산화 등이 존재

❍ **(출원 점유율)** 중국의 SICHUAN University가 특허 출원 점유율이 가장 높은 것으로 확인

- 관련 특허는 자당 보조 CO_2 광물화에 의한 탄산칼슘의 제조 방법, 삼상 전혼류 이산화탄소 암모니아 광물화 반응 시스템 및 장치 등이 존재

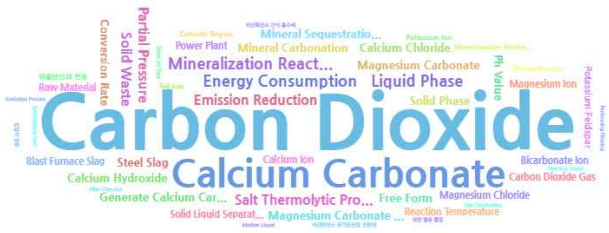
□ 주력 IPC TOP 5 현황

〈표 Ⅱ-112〉 주력 IPC TOP 5 현황('11~'23)

NO.	상위 IPC	설명	합계
1	C04B	석회; 마그네시아; 슬래그; 시멘트; 그 조성물	93
2	B01D	분리	48
3	C01F	금속 베릴륨, 마그네슘, 알루미늄, 칼슘, 스트론튬, 바륨, 라듐, 토륨, 또는 희토류 금속의 화합물	41
4	C01B	비금속 원소; 그 화합물	23
5	B01J	화학적또는물리적방법	4

□ 기술 키워드 변화

〈표 Ⅱ-113〉 직접 광물 탄산화(광물 탄산화) 기술 관련 키워드 변화('11~'23)

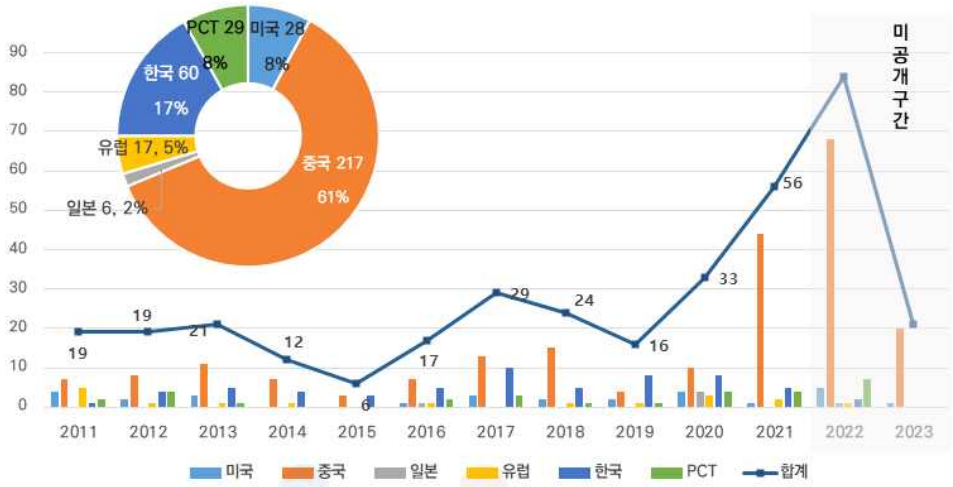
1구간(2011-2017)	2구간(2018-2023)
	

1구간(2011-2017)	합계	2구간(2018-2023)	합계
Carbon Dioxide	33	Carbon Dioxide	44
Calcium Carbonate	16	Raw Material	21
Energy Consumption	6	Calcium Carbonate	20
Liquid Phase	6	Mineralization Reaction	18
Mineralization Reaction	6	Solid Waste	17
Solid Waste	5	Flue Gas	12
Salt Thermolytic Process	5	Solid Liquid Separation	12
Partial Pressure	4	Building Material	11
Emission Reduction	4	Energy Consumption	11
Steel Slag	4	Ph Value	11

(13) 간접 광물탄산화

□ 간접 광물 탄산화(광물 탄산화) 기술 분야 연도별 출원동향

〈그림 Ⅱ-90〉 국가·연도별 간접 광물 탄산화(광물 탄산화) 출원동향('11~'23)



❍ **간접 광물 탄산화 기술** 관련 국가별 특허 점유현황을 살펴보면, **중국**이 **217건(61%)**으로 **가장 큰 특허 점유율**을 차지하고 있으며, 그 뒤로 한국 60건(17%), 미국 28건(8%), PCT 29건(8%), 유럽 17건(5%), 일본 6건(2%)으로 확인

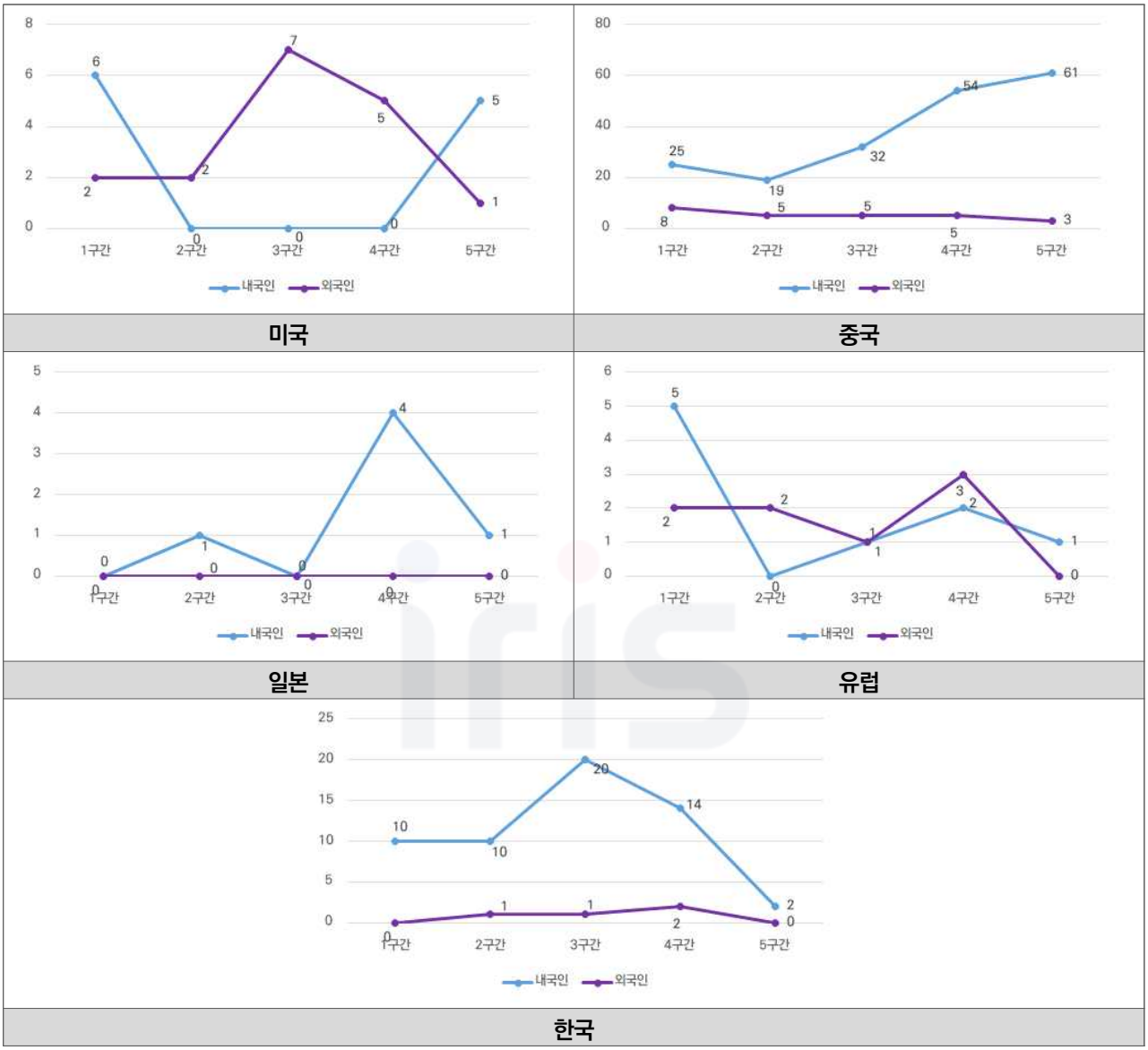
❍ **중국**이 **가장 높은 점유율**을 차지하고 있으며 2021년 기술개발이 급격히 활발하게 이루어지고 있는 것으로 확인

❍ **(최다 출원인)** 간접 광물 탄산화 기술 관련 가장 많은 특허를 출원한 제1 출원인은 중국 쓰촨성 청두에 위치한 **SICHUAN University(22건)** 으로 확인

- **(SICHUAN University의 직접 광물 탄산화 관련 특허)** 열탄소 환원 인석고 결합 열 활성화 칼륨 장석 광물화 CO_2 을 이용하여 이산화황과 황산칼륨을 병렬로 생산하는 방법, 염화티타늄 슬래그를 탈염소화하고 이산화탄소를 광물화하여 티타늄 화이트 및 암모늄 명반을 제조하는 방법 등

□ 국가별 내외국인 특허 현황

〈표 Ⅱ-114〉 국가별 내외국인 특허 현황



❍ **미국**은 내국인 **점유율이 39%**, 외국인 점유율이 61%로 확인

- **외국인** 특허 출원 중 **국내 출원인**은 **한국화학연구원**이 있는 것으로 확인

❍ **중국**은 **내국인 점유율**이 **88%**, 외국인 점유율이 12%를 차지하고 있는 것으로 확인

- **내국인 특허 출원**은 **대학교**에서 **특허 출원**이 **활발**한 것으로 확인되었으며, **외국인** 특허 출원 중 **국내 출원인**은 **한국에너지기술연구원**으로 확인

❍

❍ **일본**은 **내국인 점유율**이 **100%로** 외국인 점유율은 없는 것으로 확인

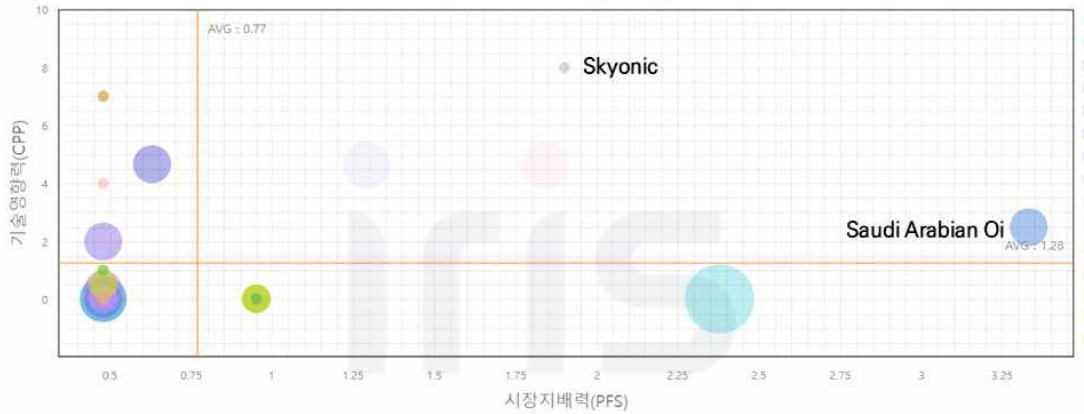
❍ **유럽**은 **내국인 점유율**이 **52.9%**, 외국인 점유율이 47.1%로 확인

❍ **한국**은 **내국인 점유율**이 **93%**, 외국인 점유율이 7%를 차지하고 있는 것으로 확인

- **내국인 특허출원**은 **한국지질자원연구원**이 **가장 많은 특허**를 **보유**하고 있는 것으로 확인

□ 기술영향력 및 시장지배력 현황

〈그림 Ⅱ-91〉 간접 광물 탄산화(광물 탄산화) 기술영향력 및 시장지배력('11~'23)



❍ **(기술 영향력)** 미국의 본사를 두고 있는 Skyonic이 기술개발의 측면에서 영향력이 높은 주요 특허 또는 원천특허를 많이 보유하고 있는 것으로 확인

- 관련 특허는 2족 실리케이트 및 염소 알칼리 공정을 사용한 이산화탄소 격리 방법이 존재

❍ **(시장지배력)** 사우디아라비아의 석유회사인 **사우디 아람코**가 시장지배력이 가장 높은 것으로 확인

- 관련 특허는 콘크리트 혼합기 차량에 탑재된 이산화탄소 포집 시스템을 장착하여 동시 시멘트 강화 및 이산화탄소 활용, 콘크리트 믹서 차량 선상에 이산화탄소 포집 시스템을 장착하여 동시에 시멘트 강화 및 이산화탄소 활용 등이 존재

❍ **(출원 점유율)** 일본의 시멘트 사업을 영위하고 있는 Mitsubishi Materials가

특허 출원 점유율이 가장 높은 것으로 확인

□ 주력 IPC TOP 5 현황

〈표 II-115〉 주력 IPC TOP 5 현황('11~'23)

NO.	상위 IPC	설명	합계
1	C04B	석회; 마그네시아; 슬래그; 시멘트; 그 조성물	88
2	B01D	분리	46
3	C01F	금속 베릴륨, 마그네슘, 알루미늄, 칼슘, 스트론튬, 바륨, 라듐, 토륨, 또는 희토류 금속의 화합물	23
4	C12P	발효 또는 효소를 사용하여 원하는 화학물질 또는 조성물을 합성하는 방법 또는 혼합물로부터 광학이성체를 분리하는 방법	10
5	C05D	이산화탄소를 생성하는 비료	10

□ 기술 키워드 변화

〈표 II-116〉 간접 광물 탄산화(광물 탄산화) 기술 관련 키워드 변화('11~'23)

1구간(2011-2017)	2구간(2018-2023)

1구간(2011-2017)	합계	2구간(2018-2023)	합계
이산화탄소 흡수액	5	Exhaust Gas	8
Fluid Flow	5	Cement Production Facility	6
이산화탄소 분리효율	4	Cement Production	5
고체상 이산화탄소	4	Calcium Carbonate	5
액상 흡수액 분리효율	4	Carbon Dioxide	5
액상 흡수액	3	Exhaust Gas Discharged	5
냉각 결정화 공정	3	Magnesium Carbonate	5
이산화탄소 흡수제	3	Capturing Carbon Dioxide	4
시멘트 원료	3	이산화탄소 포집	4
고순도 메탄	2	시멘트 생산공정	3

5. 국내 CCU R&D 동향

가. CCU 국내 기술동향

□ **(학계·연구계 중심 기초·원천연구 단계, 상용화 사례 미비)** 국내 과학기술 출연(연) 중 **한국화학연구원** 및 **한국지질자원연구원**을 중심으로 화학적 전환 또는 광물 탄산화 방식의 CO_2 전환 기술개발을 활발하게 수행

❍ **(화학적 전환)** 한국화학연구원에서는 화학적 전환기술에 대한 기초 원천 연구부터 상용화 단계까지 다양한 기술개발을 진행 중

- 촉매전환 기술을 통해 CO_2와 CH_4을 원료로 **메탄올 제조기술**을 **실증 완료**하였으며, 탄소발자국 산정 결과 **석유 기반 메탄올 대비 약 40% 감축 효과**를 확인
- 또한, 세계 최고 수준의 건식 개질을 통한 일산화탄소 기반의 초산 등 **유기화합물 제조**를 위한 **핵심 촉매**와 **파일럿 플랜트급 실증**을 완료하고 기술이전 계약 등 기술 보급 추진 중
- 전기화학적 전환 기술을 통해 한국남부발전 화동화력발전소의 포집된 CO_2를 활용하여 **개미산(500kg/d)**을 제조하는 통합공정 기술을 개발하였으나 분리·정제 시 에너지를 많이 소비하므로 이를 개선하기 위하여 에너지의 효율적인 분리 기술 개발 중

❍ **(생물학적 전환)** 국내의 경우 미세조류를 활용한 **바이오디젤 및 항공유 생산**, 고부가 소재 생산 관련 연구 진행 중

- 미세조류 생산기술은 **고려대학교, 지역난방공사**에서 고농도 광배양, 바이오반응기 모듈화 핵심 기술개발을 통하여 고부가 소재 시제품 생산 기술 실증
- KAIST에서는 **'차세대바이오매스연구단'**을 중심으로 2010년부터 10년 동안 미세조류 연속 대량생산 시스템 구축을 구축하고, 바이오 항공유와 고부가가치 소재를 동시 생산하는 통합 바이오리파이너리 공정을 실증하는 연구를 수행
- 또한, **인하대** 등을 중심으로 해양수산부 '해양수산생명공학기술개발사업'을 통해 해양 미세조류 실증 배양장을 운영하고 바이오디젤을 생산하는 연구를 수행

- 그러나 중기적인 R&D 투자에도 불구하고, 국내 미세조류 기반 바이오디젤 및 항공유 생산 등 제품화는 **가능성 검증 단계**에 위치

❍ **(광물 탄산화)** 국내에서는 한국지질자원연구원을 주도로 직접탄산화 기반 소재 및 건설자재 생산 파일럿 규모 실증 중에 있으나 시멘트 대체재료 생산 기술개발 이력은 부재

- RIST와 KIST에서는 간접탄산화 기술을 적용하여 전기분해 기반 중탄산나트륨 생산 실증

□ **(국내 CCU, '30년 상용화 목표)** 국내 CCU 기술은 '30년 상용화를 목표로 연구 중이며, 기술개발 및 시제품 생산과 함께 소규모 실증사업을 추진 중

❍ **(화학적 전환)** 개발 중인 기술 실증을 위한 파일럿 설비 구축을 추진

- '화학적 반응을 통한 유용한 물질로의 전환'을 위해서는 에너지 사용이 필요하며 CO_2 배출량 감축과 에너지 효율 향상을 가능케 하는 촉매 기술이 중요

- 현재 기초연구 기술의 실증화와 기업 앞 기술이전 및 상용화 계획 중

❍ **(생물학적 전환)** 시제품 생산을 성공하였으나, 에너지 효율 향상을 위한 추가 연구 필요

- 생물학적 전환은 미생물의 광합성을 통해 CO_2를 전환하는 방식으로, 적합한 미생물 발굴, 효율적인 공정조건 확립 등 기술적 난이도가 높은 분야

- 정부는 고효율 전환 기술을 확보하여 CO_2 전환율을 높이고, 바이오매스 생산 단가를 감축하는 목표를 설정 중

〈표 II-117〉 국내 주요 CCU 기술개발 현황

분류	주체	개발 현황
화학적 전환	한국화학연구원	CO_2 나프타 전환 촉매 개발(일 5kg 전환)
	KIST	광화학반응을 이용한 포름산 전환 기술 개발, 광전환율 2.7% 달성
	대우건설	광물과 CO_2를 직접반응 시키는 직접탄산화를 통해 파일럿 규모의 건설자재 생산설비(40톤/일) 구축
	파텍	CO_2 수소화 포름산 제조 파일럿(100kg/일) 설비 구축 중
	포스코	부생가스에서 포집한 CO_2를 열원으로 전환하여 사용하는 사업 실증 돌입, 연 32만톤 절감 목표
생물학적 전환	한국에너지기술연구원	자색황비세균 활용 바이오연료 및 이소프렌 생산 기술 개발
	지역난방공사	판교지사에 100L 규모 반응기 모듈화, 아스타잔틴 생산

*출처 : KDB산업은행, 국내 산업의 탄소중립 달성을 위한 CCUS 역할, 2022. 04.

나. 국내 CCU 기술수준

□ **(국가별 기술수준)** 최고기술 보유국은 미국과 EU로 나타났으며, 한국의 **기술 수준은 80% 수준**으로 중국보다는 앞서며 일본보다는 열세인 상황

❍ 최근 CCU 기술수준 및 격차를 조사한 4개 기관의 보고서*를 살펴보면, 최고 기술보유국은 미국과 EU인 것으로 확인

* 한국에너지기술연구원(KIER, 2021), CCUS 심층 투자 보고서
* 녹색기술센터(GTC, 2020), 2020 기후기술 수준조사
* 한국에너지기술평가원(KETEP, 2020), 에너지산업 생태계 조사 및 기술수준 조사 분석
* 공주대학교(2019), 대규모 CCS 통합실증 및 CCU 상용화 기반 구축 공동기획연구 보고서

❍ 한국은 최고기술 보유국 대비 **기술수준은 78.0~80.9%,** 기술격차는 2.5~3.8년으로 중국보다는 앞서며 일본보다는 뒤처지는 것으로 확인

〈표 II-118〉 국가별 CCU 기술수준 및 기술격차

조사기관 (기준연도)	한국		미국		EU		중국		일본	
	수준	격차	수준	격차	수준	격차	수준	격차	수준	격차
KIER(2021)	78.0%	3.8년	99.0%	0.0년	100.0%	0.0년	71.6%	4.2년	81.8%	2.4년
GTC(2020)	78.0%	3.0년	100%	0.0년	95.0%	1.0년	80.0%	3.0년	85.0%	3.0년
KETEP(2020)	80.6%	3.4년	100%	0.0년	99.0%	0.6년	74.5%	4.2년	96.9%	0.4년
공주대(2019)	80.9%	2.5년	100%	0.0년	99.5%	0.6년	-	-	90.9%	1.6년

□ **(제품군별 개발현황)** 특정 고분자(PU, PC*), 우레아(Urea), 메탄올, 건설소재 등 화학적 전환 및 광물화 일부 제품은 상용화 수준이나, 제품별로 TRL이 상이

❍ **(화학적 전환)** 다양한 제품에 대한 R&D가 추진되고 있으며 각 제품의 TRL은 1에서 9까지 다양하게 분포

❍ **(생물학적 전환)** 일부 바이오매스 생산 외에는 타 전환 방식 대비 기술수준이 낮은 편

❍ **(광물탄산화)** 대부분의 제품군에 대한 기술수준이 높은 편이며, 시장규모 및 CO_2 감축 잠재력도 높게 평가

다. CCU 국내 기술동향

(1) CCU 기술 분야별 동향

□ **(학계·연구계 중심 기초·원천연구 단계, 상용화 사례 미비)** 국내 과학기술 출연(연) 중 **한국화학연구원** 및 **한국지질자원연구원**을 중심으로 화학적 전환 또는 광물 탄산화 방식의 CO_2 전환 기술개발을 활발하게 수행

❍ **(화학적 전환)** 한국화학연구원에서는 화학적 전환기술에 대한 기초 원천 연구부터 상용화 단계까지 다양한 기술개발을 진행 중

- 촉매전환 기술을 통해 CO_2와 CH_4을 원료로 **메탄올 제조기술**을 **실증 완료**하였으며, 탄소발자국 산정 결과 **석유 기반 메탄올 대비 약 40% 감축 효과**를 확인
- 또한, 세계 최고 수준의 건식 개질을 통한 일산화탄소 기반의 초산 등 **유기화합물 제조**를 위한 **핵심 촉매**와 **파일럿 플랜트급 실증**을 완료하고 기술이전 계약 등 기술 보급 추진 중
- 전기화학적 전환 기술을 통해 한국남부발전 화동화력발전소의 포집된 CO_2를 활용하여 **개미산(500kg/d)**을 제조하는 통합공정 기술을 개발하였으나 분리·정제 시 에너지를 많이 소비하므로 이를 개선하기 위하여 에너지의 효율적인 분리 기술 개발 중

❍ **(생물학적 전환)** 국내의 경우 미세조류를 활용한 **바이오디젤 및 항공유 생산**, 고부가 소재 생산 관련 연구 진행 중

- 미세조류 생산기술은 **고려대학교, 지역난방공사**에서 고농도 광배양, 바이오반응기 모듈화 핵심 기술개발을 통하여 고부가 소재 시제품 생산 기술 실증
- KAIST에서는 **'차세대바이오매스연구단'**을 중심으로 2010년부터 10년 동안 미세조류 연속 대량생산 시스템 구축을 구축하고, 바이오 항공유와 고부가가치 소재를 동시 생산하는 통합 바이오리파이너리 공정을 실증하는 연구를 수행
- 또한, **인하대** 등을 중심으로 해양수산부 '해양수산생명공학기술개발사업'을 통해 해양 미세조류 실증 배양장을 운영하고 바이오디젤을 생산하는 연구를 수행

- 그러나 중기적인 R&D 투자에도 불구하고, 국내 미세조류 기반 바이오디젤 및 항공유 생산 등 제품화는 **가능성 검증 단계**에 위치

❍ **(광물 탄산화)** 국내에서는 한국지질자원연구원을 주도로 직접탄산화 기반 소재 및 건설자재 생산 파일럿 규모 실증 중에 있으나 시멘트 대체재료 생산 기술개발 이력은 부재

- RIST와 KIST에서는 간접탄산화 기술을 적용하여 전기분해 기반 중탄산나트륨 생산 실증

□ **(국내 CCU, '30년 상용화 목표)** 국내 CCU 기술은 '30년 상용화를 목표로 연구 중이며, 기술개발 및 시제품 생산과 함께 소규모 실증사업을 추진 중

❍ **(화학적 전환)** 개발 중인 기술 실증을 위한 파일럿 설비 구축을 추진

- '화학적 반응을 통한 유용한 물질로의 전환'을 위해서는 에너지 사용이 필요하며 CO_2 배출량 감축과 에너지 효율 향상을 가능케 하는 촉매 기술이 중요

- 현재 기초연구 기술의 실증화와 기업 앞 기술이전 및 상용화 계획 중

❍ **(생물학적 전환)** 시제품 생산을 성공하였으나, 에너지 효율 향상을 위한 추가 연구 필요

- 생물학적 전환은 미생물의 광합성을 통해 CO_2를 전환하는 방식으로, 적합한 미생물 발굴, 효율적인 공정조건 확립 등 기술적 난이도가 높은 분야

- 정부는 고효율 전환 기술을 확보하여 CO_2 전환율을 높이고, 바이오매스 생산 단가를 감축하는 목표를 설정 중

〈표 Ⅱ-119〉 국내 주요 CCU 기술개발 현황

분류	주체	개발 현황
화학적 전환	한국화학연구원	CO_2 나프타 전환 촉매 개발(일 5kg 전환)
	KIST	광화학반응을 이용한 포름산 전환 기술 개발, 광전환율 2.7% 달성
	대우건설	광물과 CO_2를 직접반응 시키는 직접탄산화를 통해 파일럿 규모의 건설자재 생산설비(40톤/일) 구축
	파텍	CO_2 수소화 포름산 제조 파일럿(100kg/일) 설비 구축 중
	포스코	부생가스에서 포집한 CO_2를 열원으로 전환하여 사용하는 사업 실증 돌입, 연 32만톤 절감 목표
생물학적 전환	한국에너지기술연구원	자색황비세균 활용 바이오연료 및 이소프렌 생산 기술 개발
	지역난방공사	판교지사에 100L 규모 반응기 모듈화, 아스타잔틴 생산

*출처 : KDB산업은행, 국내 산업의 탄소중립 달성을 위한 CCUS 역할, 2022. 04.

(2) 주요 산업별 동향

□ 석유화학 업계

① 롯데케미칼

❍ 롯데케미칼은 '21년 3월 여수 1공장 내에 **기체분리막 CCU 파일럿 설비**를 설치해 9개월간 **실증운영** 및 기체 분리막의 **성능 검증**을 완료

- 이 시설은 석유화학 공정에서 배출되는 배가스를 수집하고, 그 중에서 이산화탄소를 분해·활용하는 방식

〈그림 II-92〉 롯데케미칼 기체분리막 CCU 실증 설비

*출처 : 롯데케미칼 제공

❍ 롯데케미칼은 기체분리막 CCU 기술을 한 단계 더 발전시킨다는 전략으로, 롯데건설과 **'탄소 포집용 기체분리막 활용 고순도 질소 생산 기술 개발을 위한 업무협약'**을 체결('22. 7. 27.)

〈그림 II-93〉 롯데케미칼-롯데건설 탄소포집 부산물 응용 기술 업무협약 체결

*출처 : 롯데케미칼 제공

- 양사는 협약을 통해 고순도 질소 생산 공정 개발, 실증 시설의 설치·운영, 녹색인증, 사업화 적용 검토 등을 추진할 방침

- 석유화학 공정에서 배출되는 배가스에는 이산화탄소뿐만 아니라 다량의 질소도 포함되어 있는데, 롯데케미칼은 기체분리막 CCU 시설을 활용해 이산화탄소뿐만 아니라 질소를 포집해 활용할 계획
  - ■ 기체분리막을 활용한 CCU 기술로 배가스를 포집할 경우 기체마다 속도차가 발생하는데, 그 속도차를 이용해 이산화탄소와 질소를 별도로 추출하는 것이 가능
- 롯데케미칼은 CCU 기술을 고순도 질소를 생산해 공장에 활용하거나 외부에 판매할 예정
  - ■ 실제 질소는 주로 석유화학의 공정 가동이나 보수 등의 작업에 투입되고 있으며, 제철 및 제강 제품의 생산, 자동차 및 전기 기기의 용접, 식품 포장 등 다양한 분야에서 사용 중

❍ 롯데케미칼은 '24년 하반기 완공을 목표로 충남 서산 대산공장에 600억 원을 투자해 약 20만톤 규모의 이산화탄소 포집·액화 설비를 건설 중

- 포집한 이산화탄소는 전기차용 배터리의 전해액 소재와 플라스틱 소재의 원료, 드라이아이스나 반도체 세정액 원료 등의 용도로 판매할 계획

❍ 롯데케미칼은 최근 과학기술정보통신부 CCU 분야 국책과제에 참여하는 공동연구기관으로 선정된 바 있으며, 기체분리막 CCU 기술을 활용해 블루수소 생산 과정에서 발생하는 연소배가스를 대상으로 하는 기술 개발을 진행

② 금호석유화학

❍ 최근 산업·의료용 가스 전문기업 한국특수가스와 이산화탄소 포집·활용(CCUS) 사업 추진을 위한 양해각서(MOU)를 체결('22. 07. 15.)

〈그림 Ⅱ-94〉 금호석유화학-한국특수가스 이산화탄소 포집·활용 사업 MOU 체결

*출처 : 금호석유화학 제공

- 협약에 따라 금호석유화학은 '24년까지 여수국가산업단지 내 열병합발전소에서 배출되는 이산화탄소를 포집할 수 있는 연간 7만톤 규모의 CCUS 설비를 구축할 계획

■ 발전소의 스팀과 전력 생산 공정에서 발생하는 온실가스에서 이산화탄소만 선택적으로 포집하는 방식이며, 한국특수가스는 금호석유화학의 CCUS 설비에서 포집한 이산화탄소를 액화탄산으로 재가공해 탄산 시장에 공급할 예정

③ 현대오일뱅크

❍ 현대오일뱅크는 DL E&C와 **'탄소저감 친환경 건축소재 사업 협약'**을 체결하고 탄소포집기술(CCU) 프로젝트를 추진 중

- 탈황석고와 이산화탄소로 시멘트, 콘크리트, 경량블록 등 건축 소재를 만드는 작업으로 올해('23) 대산공장 내 연간 10만톤 규모 공장을 건설

〈그림 Ⅱ-95〉 현대오일뱅크-DL E&C 탄소저감 친환경 건축소재 사업 협약 체결

*출처 : DL E&C 제공

❍ 현대오일뱅크는 태경산업과도 CCU 사업 추진을 검토 중

- 생석회 성분을 정유 부산물인 탈황석고에서 분리하고 이산화탄소와 반응시켜 고순도의 경질탄산칼슘을 제조하는 기술을 개발해 원천 특허도 출원
- 연내 완공될 실증 플랜트에서 연간 100톤의 시제품을 생산해 본격 상용화에 나설 방침
- 연간 25만톤의 탈황석고를 투입해 고순도 경질탄산칼슘 17만톤과 건축소재인 무수석고 15만톤을 생산하는 상용 공장도 건설할 계획, 이 과정에서 이산화탄소 약 7만톤을 포집·활용할 계획

□ 시멘트 업계

① 성신양회

❍ 충청북도 단양군의 시멘트 제조업체인 성신양회가 연구개발을 통해 확보한 이산화탄소 포집 기술로 탄소 배출을 감축하여 친환경 사업구조로의 전환을 모색 중

- 성신양회는 포집한 이산화탄소를 활용하여 고부가가치 제품을 생산하는 '탄소 자원화' 사업을 올해부터 본격적으로 추진해 환경과 사회, 지배구조를 중시하는 ESG 경영 체제를 구축

❍ **(이산화탄소 활용 저탄소 연료화 기술개발*)** 성신양회에서 한창 진행 중인 이산화탄소 관련 연구는 국내 최초로 시멘트 생산공정에서 발생하는 이산화탄소를 포집해 화학적으로 전환하는 CCU 기술을 적용하는 것으로, 배출되는 미세먼지와 CO_2 를 동시 포집해 정제한 후 합성가스로 전환해 메탄올로 제조

*산업통상자원부 주관 CCU 분야 시멘트산업 배출 이산화탄소 활용 저탄소 연료화 기술개발 국책사업 참여 기관으로 선정, 사업규모는 2025년까지 총사업비 390억원(국비 210억원, 지자체비 30억원, 민간 150억원) 투입

- 온실가스를 다시 흡수해 배출량을 '0'으로 만드는 탄소중립과 연간 1만 톤 이상의 메탄올을 생산하는 연구시설의 실증단지 구축이 1차 목표

❍ 성신양회의 메탄올 전환 설비 구축은 저탄소 연료화 기술 개발의 첫걸음이라 할 수 있으며, 향후 수소로의 전환 생산을 통해 경제성을 높일 계획

- 연구개발을 통해 2030년 이후에는 하루 평균 8,000톤 규모, 연간 240만 톤 이상의 이산화탄소를 포집해 단양을 대한민국 수소 생산의 메카로 만들고 에너지 산업단지를 조성할 계획

② 바이오프랜즈

❍ 바이오프랜즈는 국내 최초로 시멘트 생산공정에서 발생하는 이산화탄소를 포집해 화학적으로 전환, CCU 기술을 적용하는 **'넷제로 시멘트산업 배출 CO_2 활용 저탄소연료화 기술개발*'** 공모에서 총괄 주관기관을 담당

*성신양회(주), ㈜에너토크, ㈜우양에이치씨 등 산업계 3개 관계사와 한국에너지기술연구원, 한국석유관리원, 한국석회석소재연구소, 한국석유관리원 등 출연연구소 등이 이끄는 컨소시엄이 선정되어 충청북도 시멘트산업의 CO_2로부터 메탄올을 생산

- CCU 기술을 적용하여 시멘트 생산공정에서 배출되는 미세먼지와 CO_2 를 동시 포집, 이를 정제하여 합성가스로 전환하고, 이를 화학산업의 플랫폼인 메탄올로 전환하는 넷제로 기술로 **연간 10,000톤 이상**의 **메탄올**을 **생산**하는 연구시설의 **실증단지를 구축**하는 것이 목표

■ 특히 경제성을 확보하기 위해 생산된 메탄올을 고부가가치의 청정화합물 또는 연료로 사용되는 DME(디메틸에테르)로 전환하고 일부 블루수소로 사용하는 사업을 민간주도사업으로 수행

■ 이때 미활용에너지원 사용과 이산화탄소로부터 생산되는 DME로써 재생DME(Renewable DME)로 사용할 계획

■ 본 사업은 2025년까지 총사업비 390억원(국비 210억원, 지자체비 30억원, 민간 150억원)이 투입되는 사업으로 단양 성신양회(주) 시멘트 공장부지내 연구시설로 수행

- 향후 스케일 업을 점진적으로 추진하여 중장기적으로 2030년까지 연간 15만톤 규모의 상용사업과 연간 200만톤 이상의 대규모 이산화탄소 포집 산업단지 구축을 통하여 국가온실가스 감축 목표에 달성할 것으로 기대

〈그림 Ⅱ-96〉 시멘트산업 배출 CO_2 활용 저탄소 연료화 기술개발 사업 업무협약

*출처 : 바이오프랜즈 제공

□ 플랜트 업계

① 부흥산업사

❍ 부흥산업사 연구소가 CO_2 를 전환하여 석유화학 원료인 **'합성가스'**를 생산하는데 활용할 수 있는 신규 프로세스를 개발, 이에 **연간 8,000톤 규모**의 **건식 개질 플랜트**를 완공

- 완공에 앞서, 부흥산업사 연구소는 한국화학연구원 CO_2 에너지 연구센터와 함께 이산화탄소(CO_2)를 석유화학원료인 합성가스(H2, CO)로 전환하는 기술의 실증화에 성공

- 이산화탄소로부터 석유화학 플랫폼 화합물인 합성가스를 생산할 수 있는 핵심 촉매기술을 한국화학연구원으로부터 이전받은 부흥산업사는 자체 개발한 최적 공정을 접목하여 세계 최대 규모의 CO_2 활용 건식 개질 플랜트를 울산 산업단지 내에 구축을 완료했으며, 이를 통해 연간 8,000톤의 합성가스 생산이 가능해짐

〈그림 Ⅱ-97〉 부흥산업사 건식 개질 플랜트

*출처 : 부흥산업사 제공

□ 발전 업계

① 한국전력공사 전력연구원

❍ 한국전력공사 전력연구원은 한국중부발전, 한국지질자원연구원, 장성 산업과 함께 광물탄산화 기술개발에 착수

- ‘발전소 배가스 중 이산화탄소와 소각재를 이용한 이산화탄소 전환(CCU, Carbon Capture and Utilization)기술 업무협약’ 양해각서를 체결(23. 02. 02.)
- 기술개발 총괄기관인 전력연구원은 중부발전의 원주 그린열병합발전소에서 발생하는 소각재를 광물탄산화 원료로 활용해 온실가스 배출을 저감할 계획이며, 광물탄산화 공정의 생성물을 보도블럭 등의 원자재로 활용하는 실증기술의 개발을 협력할 방침

■ 이를 통해 연간 약 2천톤의 온실가스 감축과 소각재 1만톤을 재활용해 사업성 있는 자원순환경제 밸류체인을 구축할 수 있을 것으로 기대

- 지질자원연구원은 보유한 각종 분석장비로 소각재와 생성물의 물성을 분석하고 광물탄산화 요소기술을 개발

- 장성산업은 광물탄산화 생성물을 활용한 보도블럭 등의 제품생산을 진행
- 전력연구원은 발전사와 공동연구에 착수함으로써 2025년까지 하루에 소각재 1톤을 처리할 수 있는 파일럿 장비를 구축해 실증할 계획

■ 이후 2027년까지 20톤 규모로 확대해 광물탄산화 공정의 사업화 기반을 마련할 계획

〈그림 Ⅱ-98〉 광물탄산화 기술개발 협약식 체결

*출처 : 전력경제신문

□ 건설 업계

① 현대건설

❍ 현대건설은 과학기술정보통신부 CCU 분야 국책과제의 주관 연구개발기관으로 선정돼 협약을 체결(22. 06. 08.)하고, 블루수소 생산을 위한 하이브리드식 CO_2 포집 액화 공정 기술개발에 착수

- 총 연구비 335억 원 규모(정부지원금 195억 원)로, ‘블루수소 생산을 위한 하이브리드식 CO_2 포집 액화공정의 최적화 및 실증’이 목적
- 과제 목표는 회수율 90%, 순도 95% 이상의 저에너지 CO_2 포집·액화 기술을 개발하는 것이며, 일일 100톤 이상의 CO_2를 포집하고 활용하는 공정을 개발할 계획

■ 평택수소특화지구에서 현장실증을 거친 후 연간 100만 톤급 상용화 공정 설계수행을 통해 기술내재화 목표

- 기술개발 완료 후에는 기술이전 등을 통해 대규모 이산화탄소가 발생하는 사업장(블루수소 생산플랜트, 중/소규모 소각로, LNG 연소 보일러, 석유화학 공장 등)으로 적용을 확대해 나갈 계획

〈그림 Ⅱ-99〉 현대건설 주관 CCU 파일럿 플랜트

*출처 : 현대건설 제공

□ 철강 업계

① 포스코

❍ 포스코는 철강 업계 최초로 CCU 기술 실증사업에 돌입한 바 있으며, 생산 과정에서 발생하는 이산화탄소를 재활용함으로써 연간 32만 톤의 탄소 저감을 계획

- 포스코가 지난 2010년부터 포항산업과학연구원과 함께 철강 제조과정에서 발생하는 고온의 배가스 속 이산화탄소를 생산공정에서 다시 활용하기 위해 개발한 CCU 기술을 현장에 적용

■ 고로, 전로, 파이넥스 용융로 공정에서 발생하는 고온의 가스에서 고순도 이산화탄소를 분리 포집한 후 코크스 오븐에 취입해 부생가스발전의 열원으로 활용하는 COG(Cokes Oven Gas) 가스로 전환하는 것이 핵심

❍ 포스코는 2023년 12월까지 이산화탄소 포집·활용 기술 실증과 함께 공정 엔지니어링 기술개발까지 완료해 설비 제작 및 설치까지 아우르는 기술 패키지를 구축한다는 방침

라. 국내 CCU 연구개발 역량

(1) 연구개발 인력

□ **(연구개발 인력)** CCU 연구개발 사업을 수행할 수 있는 공학 및 이학 계열 전공자는 '21년 기준 총 475,505명으로 분류

❍ **(전공별)** CCU 연구개발 사업과 관련한 전공은 화학, 생명과학, 생명공학 등으로 이학계열 연구자는 '21년 기준 88,727명이며, 공학계열 연구자는 386,778명으로 확인

❍ **(연구수행 주체별)** 기업 소속 이·공학계열 연구원은 387,225명으로 대학(58,014명), 연구원(30,266명)과 비교하여 상당히 많은 연구인력 보유

〈표 Ⅱ-120〉 국내 전공별 연구원 추이

(단위 : 명, %)

구분		2017	2018	2019	2020	2021
	이학	**67,736**	**72,884**	**86,248**	**81,152**	**88,727**
		14.0%	**14.2%**	**16.0%**	**14.5%**	**15.1%**
	공학	**322,952**	**344,916**	**351,218**	**371,068**	**386,778**
		66.9%	**67.1%**	**65.1%**	**66.5%**	**65.9%**
과학기술분야	의약보건학	27,911	29,774	31,848	33,262	35,396
		5.8%	5.8%	5.9%	6.0%	6.0%
	농업과학	10,423	10,991	11,051	10,853	11,361
		2.2%	2.1%	2.0%	1.9%	1.9%
	소계	429,022	458,565	480,365	496,335	522,262
		88.9%	89.2%	89.1%	88.9%	89.0%
인문사회분야	인문학	26.576	27,931	28,854	30,213	32,267
		5.5%	5.4%	5.3%	5.4%	5.5%
	사회과학	27.198	27,674	30,135	31,497	32,137
		5.6%	5.4%	5.6%	5.6%	5.5%
	소계	53,774	55,605	58,989	61,710	64,404
		11.1%	10.8%	10.9%	11.1%	11.0%
총계		482,796	514,170	539,354	558,045	586,666
		100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

*출처 : 과학기술정보통신부, 2021년도 연구개발활동조사보고서, 2023. 02.

〈표 II-121〉 국내 연구수행주체별·전공별 연구원 현황(2021)

(단위 : 명, %)

구분		공공연구기관		대학		기업체		전체	
		연구원	비율	연구원	비율	연구원	비율	연구원	비율
과학기술 분야	**이학**	**8,688**	**20.4%**	**16,226**	**14.2%**	**63,813**	**14.9%**	**88,727**	**15.1%**
	공학	**21,578**	**50.7%**	**41,788**	**36.5%**	**323,412**	**75.3%**	**386,778**	**65.9%**
	의약보건학	2,928	6.9%	25,177	22.0%	7,291	1.7%	35,396	6.0%
	농업과학	2,805	6.6%	4,589	4.0%	3,967	0.9%	11,361	1.9%
	소계	35,999	84.6%	87,780	76.6%	398,483	92.8%	522,262	89.0%
인문사회 분야	인문학	821	1.9%	10,958	9.6%	20,488	4.8%	32,267	5.5%
	사회과학	5,746	13.5%	15,897	13.9%	10,494	2.4%	32,137	5.5%
	소계	6,567	15.4%	26,855	23.4%	30,982	7.2%	64,404	11.0%
총계		42,566	100%	114,635	100%	429,465	100%	586,666	100%

*출처 : 과학기술정보통신부, 2021년도 연구개발활동조사보고서, 2023. 02.

□ **(연구기관)** CO_2의 화학적 전환, 생물학적 전환, 광물탄산화 등 자원화 기술 역량을 보유한 정부출연연구기관을 중심으로 전문 연구인력 분포

〈표 II-122〉 국내 CCU 관련 연구기관 현황

기관명	연구실명		연구분야
한국화학연구원	차세대 탄소자원화 연구단		• CO_2 수소화 촉매 · 공정개발, CO_2 전환 폴리머 플랫폼 제조 등 관련 기술개발 연구
	탄소자원화 연구단	그린탄소 연구센터	• 그린탄소 유래 지속가능한 화학원료 제조 촉매 공정개발, 그린탄소 · CO_2 융합 촉매 기술개발
		환경자원 연구센터	• CO_2 개질 촉매 시스템 개발, CO_2 유래 플랫폼 화합물 제조 기술개발, CO_2 활용 고분자 제조 기술개발 • CCU 기술연계 수소 활용 기술개발 등
		C1가스·탄소 융합연구센터	• 가스자원(CH_4, CO_2)으로부터 기초화학원료(수소, 올레핀, 메탄올, 아로마틱스) 및 청정액체연료 생산 위한 촉매 공정기술개발
아주대학교	응용화학생명공학과		• CO_2 전환 고분자 제조기술
한양대학교	에너지공학과		• 고부가가치화하는 Clean-fuels 기술 개발

기관명	연구실명	연구분야
숙명여자대학교	화공생명공학부	• CO_2 전환 폴리올, 폴리머 제조기술
한국지질자원연구원	탄소광물화 사업단	• CO_2 광물화를 이용한 친환경 제지 카본머니 연관 기술개발 및 실증, CO_2 활용 고부가화합물의 동시 생산 기술개발 및 실증 플랜트 건설, CO_2 농축수 동시 처리 전략요소기술 확보
한국과학기술원	생명화학공학과	• 산업부산물(슬래그)를 활용한 광물탄산화
한국과학기술연구원	청정에너지연구센터	• 폐자원을(폐시멘트, 슬래그) 활용한 광물탄산화 연구
한국에너지기술연구원	탄소전환연구실	• CO_2로부터 고부가 화학제품 및 친환경 연료 생산을 위한 전기화학적 전환 기술개발, 탄소전환 시스템 모델링 및 최적화 기술개발
한국생명공학연구원	세포공장연구센터	• 바이오디젤 생산 미세조류 개발 및 배양 최적기술 확보 등 미세조류, 바이오소재 관련 기술개발
포항산업과학연구원	환경에너지연구소	• 포집된 CO_2를 사용하여 연소용 연료로 전환하는 등 CO_2 자원화 기술개발 추진
한국건설생활환경시험연구원	CO_2 전환활용 기술센터	• CO_2, 부산물을 이용한 고부가가치 제품 생산 지원 • CCU 제품 품질 표준화 기준 설정, 검증·인증

*출처 : 각 사 홈페이지, 언론자료 정리

□ **(대학)** CCU 연구개발 사업과 관련성이 높은 생명과학, 화학공학 분야에서 많은 연구인력을 보유하고 있으며, 석박사급 전문 인력 규모도 점차 확대 중

❍ 국내 유수 대학들은 화학, 생명과학 등 기초과학 분야 학과를 설치하고 있으며, 환경공학, 에너지공학, 생명공학 등 응용과학 분야도 활성화

- 전공별 인력 분포를 살펴보면, 화학이나 생명과학 같은 전통적인 이학계열이 높은 비중을 차지하고 있으며, 공학 계열의 경우 화학공학, 산업공학, 신소재공학 등의 선호가 높은 것을 확인

〈표 Ⅱ-123〉 국내 CCU 관련 전공 분야별 연구인력 현황(2021)

(단위 : 개, 명)

대분류	중분류	소분류	전공		재학생	
			학부	대학원	학부	대학원
자연과학	화학·생명과학·환경	화학	86	82	15,421	2,836
		생명과학	159	184	26,590	5,680
		환경학	25	42	4,624	982
		바이오테크놀로지학	8	10	713	245
	계		278	318	47,348	9,743
공학	건설	환경공학	55	553	9,763	1,017
	산업·안전	산업공학	77	63	15,008	1,731
	재료	신소재공학	76	72	19,190	3,038
		재료공학	20	28	4,168	839
	화공·고분자·에너지	화학공학	91	67	27,981	2,944
		에너지공학	53	70	6,750	2,503
		고분자공학	18	16	3,221	335
		생명공학	63	38	11,410	1,455
	계		453	907	97,491	13,862
합계			731	1,225	144,839	23,605

*출처 : 대학알리미 홈페이지(https://www.academyinfo.go.kr/index.do)

□ **(기업)** 주요 다배출 산업을 중심으로 기업들은 CO_2 배출 저감 생산공정, 탄소자원화 등 전문연구인력과 역량을 바탕으로 다각적인 기술개발을 추진

❍ 탄소중립 체제로의 전환에 대응하여 기업 차원의 연구역량을 강화하는 추세로 기존 연구조직을 개편하거나 신규 조직을 개설하는 등 탄소저감, 탄소자원화 기술개발에 주력

- 국내외 탄소중립이나 탄소자원화 기술과 관련한 폭넓은 경험과 전문지식을 보유한 인력을 영입하는 등 전문역량 강화에 적극적인 행보

〈표 Ⅱ-124〉 국내 CCU 관련 기업 연구인력 현황

기업명	연구소명	연구분야
포스코	기술연구원	• (저탄소공정연구소) 저탄소, 수소환원제철 체제 기술개발 연구
	미래기술연구원	• (수소 · 저탄소에너지연구소) 수소, CCU 기술 기반 친환경 공정개발, 수소 양산체계 구축 연구
현대제철	기술연구소	• (공정기술) CO_2 포집 및 이용 기술, 촉매 전환기술, 대체연료 연소 기술개발, 수소 제조 · 저장 및 활용기술 개발 등
LG화학	석유화학연구소	• (신소재개발센터) 바이오 소재, 생분해성 소재 등 친환경 소재 개발, 유기/고분자합성, 중합 등을 통한 신소재 발굴 • (공정센터) 에너지 최적화, 탄소 저감 공정개발 등 설계연구
성신양회	기술연구소	• 고기능성 시멘트 개발, 특수 콘트리트 개발 등 • 생산성 향상, 품질 안정 등을 위한 공정 개선 연구 • 시멘트 산업 전반 기술개발, 분석 · 시험
SK에너지	SK이노베이션 환경과학기술원	• CO_2 포집 · 저장 · 활용(CCU) 종합연구 • 화학적 및 물리적 플라스틱 재활용 기술개발 • 폐배터리 금속 재활용 기술개발
GS칼텍스	기술연구소	• 정유, 석유화학 고분자소재 등 고부가, 생산성 향상 기술개발 • 올레핀 생산 경쟁력 확보를 위한 핵심 촉매합성기술, 고분자 중합 · 가공기술에 주력 • 친환경, 바이오연구 핵심기술 확보
롯데케미칼	기초소재연구소	• (탄소중립) 열화학적 전환 기술개발 - 무기 촉매합성 · 성형 · 분석 연구 - CO_2 전환기술개발 및 성능평가 연구 - Scale-up 연구 및 반응기 설계연구(모델링) • (CO_2 포집 공정) CO_2 포집 및 고순도화 공정 설계 · 시공 · 운영
한일시멘트	테크니컬센터	• 시멘트 원부재료 개발, 신제품 개발 및 제조공정 연구

*출처 : 각 사 홈페이지, 언론자료 정리

(2) 연구개발 장비

□ '05년 이후 연구시설장비는 총 62,476개로 기계가공/시험장비(26.6%), 화합물처리/분석장비(24.3%) 순으로 많은 비중을 차지

❍ 연구시설장비는 각종 산업이나 연구분야에서 복합적으로 사용할 수 있어 탄소자원화 기술이나 공정과정별로 분류하는 데 한계가 있어, 국가장비 표준분류를 인용하여 분석

〈표 II-125〉 국내 연구개발 장비 현황

(단위 : 개, %)

구분	구축 수(비중)	구분	구축 수(비중)
[A] 광학/전자영상장비	9,025(14.4%)	[E] 데이터처리장비	5,401(8.6%)
[B] 화합물전처리/분석장비	15,153(24.3%)	[F] 물리적측정장비	5,731(9.2%)
[C] 기계가공/시험장비	16,614(26.6%)	[G] 임상의료장비	1,494(2.4%)
[D] 전기/전자장비	7,894(12.6%)	[H] 환경조성/생산/사육시설	1,164(1.9%)

*주 : 포털 등록 장비를 중심으로 현재 '활용' 상태인 연구시설장비 대상 조사
*출처 : 장비활용종합포털 ZEUS(https://www.zeus.go.kr/main)

□ CCU, 탄산화, 생물전환, 화학전환 등 동 사업의 주요 기술·공정별 핵심 키워드를 바탕으로 CCU 관련 연구시설장비 조사·분석

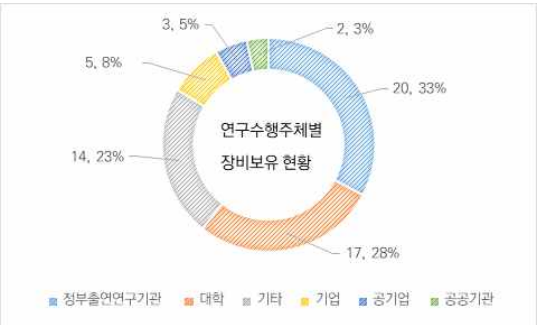
❍ CCU 연구개발 사업과 관련한 국가연구시설장비는 총 61개로 대부분의 시설 장비는 정부출연연이 보유

- 연구시설장비의 경우, 특정 연구에 사용하기보다 범용적으로 다양한 연구영역에서 활용하기 때문에 기술 분야별로 분류·분석하는 데 한계가 존재

〈표 II-126〉 국내 연구수행주체별 CCU 연구개발 장비 보유 현황

(단위 : 개, %)

구분	구축 수(비중)
정부출연연구기관	20(32.8%)
대학	17(27.9%)
기타	14(23.0%)
기업	5(8.2%)
공기업	3(4.9%)
공공기관	2(3.3%)
계	61(100.0%)



*주 : 포털 등록 장비를 중심으로 현재 '활용' 상태인 연구시설장비 대상 조사
*출처 : 장비활용종합포털 ZEUS(https://www.zeus.go.kr/main)

□ 한국생산기술연구원(KITECH)

❍ 한국생산기술연구원은 뿌리산업기술, 청정생산시스템기술, 융·복합생산기술을 3대 중점 연구 분야로 선정하여 전문적인 연구역량과 인프라 구축에 집중

- 특히, 청정생산시스템기술 연구를 통해 바이오매스를 사용한 합성연료 생산기술 개발, 바이오매스 생물학적·화학적 전환, 바이오 유래 폴리머 생산 기술개발 등을 추진

❍ 연구시설장비는 광합성미세조류 에너지화 시스템, 고압반응 자동화 장치, 고분자 점탄성 열분석기 등으로 미세조류나 바이오소재 생산에 필요한 연구시설장비를 보유

- 다양한 인위적인 환경 속에서 미세조류를 대량으로 배양하는 설비를 보유하고 있으며, CO_2농도 조절이 가능하고 대량 바이오매스 추출 시스템과 연계할 수 있어 높은 활용도가 기대

〈표 Ⅱ-127〉 한국생산기술연구원 연구개발 장비

고분자 점탄성 열분석기	고압반응 자동화 장치

□ 한국생명공학연구원(KRIBB)

❍ 국가적 연구개발 수요에 대응하여 국내·외 연구거점 마련, 기초 원천연구, 인프라 구축, 바이오 생태계 조성 등 생명과학기술 혁신과 바이오 핵심기술 개발이 주 임무

❍ 기체 크로마토그래피, 액체크로마토그라피 시스템 HPLC 등으로 미세조류를 대량배양하여 다양한 산업에 활용할 수 있는 연구시설장비 보유

〈표 Ⅱ-128〉 한국생명공학연구원 연구개발 장비

기체 크로마토그래피	액체크로마트그라피 시스템HPLC

□ 포항산업과학연구원(RIST)

❍ 포항산업과학연구원은 환경에너지연구소, 재료공정연구소로 구성되어 있으며 환경문제 선제적 대응을 위한 CO_2 자원화, 산업부산물 자원화 등 관련 기술개발을 활발하게 수행

❍ 제철소에서 포집한 CO_2를 활용한 연소용 연료 생산기술, CO_2메탄화 기술 등 친환경 미래 에너지 제조기술뿐 아니라 부생가스, 부산물로부터 CO_2를 분리하여 고부가가치 화학제품을 제조하는 등의 기술개발 추진

❍ CO_2 포집 파일럿 플랜트를 보유하고 있으며, 합성가스 합성 공정 중에 활용하는 CO_2 제거 설비, 미세조류 원료 생산 장비 등을 구축

- (CO_2 포집) CO_2가 포함된 가스와 암모니아수를 반응시켜 수용액에 녹은 형태로 CO_2를 포집, 흡수탑과 재생탑에서 휘발되는 암모니아 가스를 활용하여 농축탑에 공급, 고농도 암모니아수로 농축
- (CO_2 제거) 합성천연가스(SNG) 합성 공정에서 발생하는 CO_2를 제거하는 장비를 보유하고 있으며, CO_2 제거로 원하는 조성의 메탄 생산이 가능
- (미세조류) 미세조류로부터 항공유를 생산하기 위해서는 수 톤의 미세조류를 처리하여 대량으로 원료를 확보하는 것이 필요한데, 이를 수행하는 1톤 반응기를 보유

〈표 Ⅱ-129〉 포항산업과학연구원 연구개발 장비

CO_2 제거 장치	미세조류 지질추출기

□ 한국화학연구원(KRICT)

❍ 한국화학연구원은 그린탄소연구센터, 환경자원연구센터 등으로 구성된 탄소자원화연구단과 세계 최고 수준의 탄소자원화 원천기술 확보를 위한 차세대탄소자원화연구단을 구성, 탄소자원화기술에 대한 심층연구 수행

❍ 건식 포집 생산 기체 대상 CO_2 압축기, 0.5MW 규모 건식 CO_2 포집 공정 실증 설비, 초산 제조 파일럿 플랜트, 매립지 가스유래 메탄올 파일럿 플랜트, 메탄올 미니 파일럿 등 다수의 실증 플랜트 구축

- 건식 포집된 상태의 CO_2를 액화하기 위한 압축설비, 반응기를 이용하여 건식 흡수제를 순환, 배가스 내 CO_2를 선택적으로 포집하는 공정 기술 등 포집 관련 기술 및 설비를 보유

- CO_2를 활용한 초산 생산 실증 플랜트, 합성가스 기반 메탄올 합성 플랜트 등 구축

❍ 실증 플랜트 외에도 가스 크로마토그래프, 고온고압용 촉매합성 및 촉매 반응 시스템, 온실가스 전환 반응경로 분석 시스템 등을 보유

〈표 Ⅱ-130〉 한국화학연구원 연구개발 장비

고온고압용 촉매합성 및 촉매반응 시스템	매립지 가스유래 메탄올 파일럿 플랜트 (50kg/일 규모)

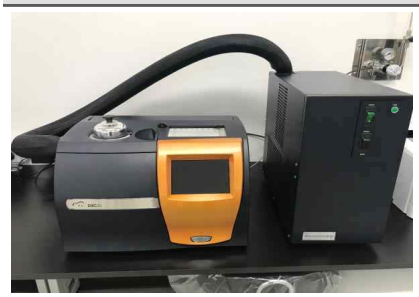
□ 한국건설생활환경시험연구원(KCL)

❍ 한국건설생활환경시험연구원은 각종 산업에 대한 시험·평가·인증, 연구개발 등을 수행하는 시험연구기관으로 CO_2전환활용센터를 구축, 전문적인 탄소자원화 시험연구를 수행

- 동 센터에서 보유하고 있는 시험장비는 총 16개로 CO_2를 사용한 광물전환, 화학전환 제품 관련 주요 장비는 시차주사열량계, 비표면적분석기, 항온항습기 등

■ CO_2 전환 활용 플랫폼 구축 및 CCU 기술 사업화 기업 지원을 목적으로 CO_2 전환기술과 활용제품(기초화학소재, 건설자재 등) 시험 · 인증 장비 도입 · 활용

〈표 Ⅱ-131〉 한국건설생활환경시험연구원 연구개발 장비

시차주사열량계	항온항습기	비표면적분석기
		

□ 한국과학기술원(KAIST)

❍ 한국과학기술원은 바이오매스 대량생산을 통한 에너지 절감형 오일 추출·전환 공정개발 연구수행을 통해 바이오매스 관련 연구개발 장비를 다양하게 보유하고 있어 활용성이 높은 편

- 보유하고 있는 연구개발 장비는 바이오-액체크로마토그래피, 디지털 조류 분석 장비, 자동 아미노산 분석기, 다채널 광파장 엽록소 형광측정기, 생화학분석기 등
- 미세조류, 해조류, 육상식물 등 광합성에 대한 측정 장비, 유·무기물 성분 분석이 가능한 생체 물질 분석 장비 등 보유

〈표 Ⅱ-132〉 한국과학기술원 연구개발 장비

바이오-액체크로마토그래피	디지털 조류 분석 장비	자동 아미노산 분석기

〈표 Ⅱ-133〉 국내 CCU 관련 연구개발 장비 검색결과

구분	장비명	보유기관	기능
1	전기저항 측정기	한국가스안전공사 가스안전연구원	• CO_2 포집 후 압축 및 액화에 의한 수송과정에서 발생할 수 있는 부품과 재료들의 신뢰성 평가 및 안전성 평가 • 단위공정별 사용되는 금속재료, 비금속재료에 대해 인장 · 침지시험 실시, CO_2 품질기준 제정 활용
2	기체 포집용 냉각 포집 장치	서울대학교 산학협력단	• 광학적 측정을 위한 교환 가스 시스템
3	고압 연속주입 펌프 시스템(260D)	한국지질자원연구원	• 현장 특성 반영 CO_2 주입 및 오일회수 유동 실험분석을 위한 정밀한 유체유동 및 압력 조건 연속 조절 장비
4	고압 연속주입 펌프 시스템(500D)	한국지질자원연구원	• 현장 특성 반영 CO_2 주입 및 오일회수 유동 실험분석을 위한 정밀한 유체유동 및 압력 조건 연속 조절 장비
5	토양CO_2측정기	고려대학교	• 토양 대기 중 CO_2 농도 측정, 탄소수지 규명
6	건식 포집 생산 기체 대상 CO_2 압축기	한국화학연구원	• 건식 포집된 상압 상태의 CO_2 기체를 액화 • 0.1 barg 가스 3단으로 60 barg까지 압축
7	0.5MW 규모 건식 CO_2 포집 공정 실증설비	한국화학연구원	• 유동층 기반 반응기를 이용해 순환하여 배가스 내 CO_2를 선택적으로 포집하는 공정 기술 적용 설비
8	대형 CO_2 가스포집 챔버	(재)한국건설생활환경시험연구원	• 콘크리트 블록, 개수로 등 CO_2 전환 활용제품에 대한 CO_2 누출 평가를 위해 온·습도 환경조건 유지
9	굴뚝가스 중 CO_2 포집 시스템	국립환경과학원	• 연료 내 바이오매스 함량을 산출하기 위한 CO_2 연속 포집 장치로 폐기물 및 고형연료제품 연소 시 발생하는 CO_2를 포집, 바이오매스 함량 측정
10	연료 내 바이오매스 함량 측정을 위한 굴뚝가스 중 CO_2 포집 시스템	국립환경과학원	• CO_2 측정을 위한 가스 포집장치로 바이오매스 연소로부터 CO_2를 측정하여 재생에너지로서의 연료 가치 평가

구분	장비명	보유기관	기능
11	고CO_2 처리용 균일 수막 정전 포집시스템	한국기계연구원	• 수막형 전기 집진기로 균일수막을 형성, 저차압 고효율의 포집 성능을 갖는 시스템 • 높은 배출가스 유량에 대응가능하도록 설계되어 높은 CO_2 함량 처리가 가능
12	굴뚝가스 중 14C 포집기	한국의류시험연구원	• 굴뚝 가스에서 발생하는 CO_2를 포집, 방사성탄소 동위원소(14C) 함량분석을 통해 석유계와 바이오계가 혼합된 연료의 비율을 측정할 수 있도록 돕는 포집기
13	고체 흡수제 분무성형 시스템	한국전력공사 전력연구원	• 화력발전소 또는 산업체에서 대량으로 발생하는 CO_2를 저비용, 효과적으로 포집할 수 있는 건식 CO_2 포집 기술개발 및 발전소 적용(10MW 실증)을 목적으로 개발하고 있는 건식 재생 CO_2 흡수제의 내구성 향상 및 대량생산 최적화에 필요한 설비
14	전기화학적 고압 CO_2 전환 스테이션	한국과학기술연구원	• 전기화학적 CO_2 전환 반응용 장치로서 촉매 개발 및 반응기 개발에 활용할 수 있는 장비
15	암모니아수 이용 CO_2 흡수공정 기본설계 및 Column Int	포항산업과학연구원	• 1,000Nm3/hr 급 암모니아수 이용 CO_2 흡수 공정 pilot 건설용 설계 자료
16	항온항습기	(재)한국건설생활 환경시험연구원	• 콘크리트, 단열재 등 CO_2 고정 광물전환 활용제품에 대한 시료 전처리 및 온·습도 환경조건 유지
17	시차주사열량계	(재)한국건설생활 환경시험연구원	• CO_2 광물전환 활용제품의 흡열·발열 특성 분석 • CO_2 화학적 전환 소재의 유리전이온도, 녹는 온도, 결정화도, 결정화 온도 분석 통한 성능평가
18	비표면적분석기	(재)한국건설생활 환경시험연구원	• 광물 시료의 입자 표면적을 분석하여 CO_2 전환 소재 및 활용제품의 시험인증평가에 있어 신뢰성 있는 데이터 수집 가능
19	열분석시험장치	(재)한국건설생활 환경시험연구원	• CO_2 전환 소재 및 활용제품의 열적 특성분석에 있어서 신뢰성 있는 데이터 수집 가능
20	탄소자원화시제품제작 지원공정설비	(재)한국건설생활 환경시험연구원	• (광물전환) 산업부산물에 CO_2를 CaCO3 혹은 MgCO3와 같은 무기탄산염(MCO3) 형태로 전환하는 공정으로 구성 • (화학적전환) 촉매를 활용한 전환에 기반하여 CO_2를 일산화탄소로 전환 후 메탄올과 같은 유용한 화학원료 혹은 에너지원으로 전환하는 공정으로 구성
21	미분 전기화학적 질량 분석 기기	아주대학교 산학협력단	• 높은 전압 상태에서 촉매 표면에 발생하는 CO_2를 실시간으로 검출하여 정확한 촉매 반응 포텐셜을 측정하는 용도로 사용
22	광합성미세조류 에너지화 시스템	한국생산기술연구원	• 다양한 인공환경 하 미세조류의 대량배양 생산성 평가 가능 • CO_2 농도 습도 조도 10단계로 조절 가능
23	10톤/일 규모 석탄처리 석탄가스의 메탄올 용매를 이용한 H2S 및 CO_2 제거장치	한국에너지 기술연구원	• 석탄 가스화 장치에서 발생한 합성가스 중에서 H2S와 CO_2를 메탄올로 흡수 · 분리, 정제하는 장치
24	탄소자원화(광물 탄산화, 촉매 전환) 시제품제작지원 공정시스템	(재)한국건설생활 환경시험연구원	• 촉매를 활용한 전환에 기반하여 CO_2를 일산화탄소로 전환 후 메탄올과 같은 유용한 화학원료 혹은 에너지원으로 전환하는 공정으로 구성
25	다기능멀티플레이트 리더기	가톨릭대학교 성심교정	• 마이크로 플레이트 리더기는 방출된 빛을 측정하여 화학적, 생물학적 또는 물리적 반응을 감지하는 데 사용되는 장치 • 바이오소재 생산을 위한 생물전환반응 최적화 실험

구분	장비명	보유기관	기능
26	대용량 미세조류 광생물반응기	전북대학교 산학협력단	• 광합성 미생물인 미세조류의 대량배양을 통한 pilot 규모로 바이오매스의 연속 생산 가능
27	전기화학적 격차 질량 분석기	울산과학기술원	• 전기화학적으로 용해된 휘발성 액체 반응물의 정성과 정량에 사용할 수 있는 질량 분석기
28	가스크로마토그래프	한국화학연구원	• 미활용 유분, CO_2, 메탄 등 기존 올레핀 생산을 대체할 수 있는 원료의 전환에 적합한 촉매 소재의 반응성능 분석
29	기체 크로마토그래피	이화여자대학교 산학협력단	• CO_2의 전기화학적 전환 반응으로 얻을 수 있는 수소, 일산화탄소와 메탄 등의 기체를 분리하여 정량적 분석을 함으로써 실제 생산되는 각 기체 질량 확인
30	고온고압용 촉매합성 및 촉매반응 시스템	한국화학연구원	• 다양한 탄화수소 화합물들의 전환반응(고온 · 고압)을 수행하여 개발된 촉매의 성능을 평가
31	초산 제조 파일럿 플랜트	한국화학연구원	• CO_2로부터 CO를 거쳐 초산을 제조하는 공정의 실증을 위한 demo plant(55kg/day)
32	다기능 복합챔버 설비	한국건설기술연구원	• 시멘트 복합체에 대한 고온고압 양생 및 다양한 압력과 온도를 이용한 양생 장비 • 온도, 압력, 시간의 변수로 하여 시멘트 복합체의 경화 특성 분석
33	8 채널 등온 미세 열량계	한양대학교	• 시멘트/콘크리트 제조와 양생 과정의 품질 관리뿐 아니라 새로운 원료 배합비 연구 가능
34	가압멸균처리기	(재)홍천메디칼 허브연구소	• 고온·고압의 조건에서 콘크리트 공시체를 양생시킬 수 있어 고강도 콘크리트 제조가 가능한 장비
35	파일럿 규모의 무기계 혼합재료의 방수 코팅 설비	(재)한국건설생활 환경시험연구원	• 자기치유 성능이 발휘될 수 있는 무기계 자기치유 소재를 생산할 수 있는 파일럿 규모의 생산 설비
36	파일럿 규모의 무기계 혼합재료 분쇄 및 선별 설비	(재)한국건설생활 환경시험연구원	• 무기계 혼합재료의 입도 제어를 통해 자기치유 콘크리트에 최적화된 소재를 생산할 수 있는 파일럿 규모의 설비
37	플리머 콘크리트 제조용 연속식 믹싱 설비	강원대학교 춘천캠퍼스	• 골재폴리머탄산칼슘경화제 등의 재료를 전자동으로 혼합하여 플리머 콘크리트를 연속으로 생산하는 기계
38	미세조류 지질추출기	포항산업과학연구원	• 미세조류로부터 대용량으로 지질 (색소 포함) 추출 및 정제가 가능한 시스템 (1톤 용적, 회당 100kg 이상 습미세조류 처리 가능)
39	미세조류 기반 CO_2 전환 시설	한국지역난방공사 판교지사	• 옥외 미세조류 활용 CO_2 전환을 위한 소규모 시설로 온실, 배가스 이송설비 등을 포함
40	초고속 원심분리기	(주)엔엘피	• 고속 회전(15,000-19,000 rpm; 최대원심효과: 20,000 xg)이 가능한 미세조류 수확용 원심분리기
41	연속식 원심분리기	(주)알지프로나	• 미세조류 대량배양 후 회수를 위한 튜블러 형태의 연속식 원심분리기 (최대회전속도: 15,000 rpm, 최대원심효과 15,800 xg)
42	조류제거용 DAF 복합공정 통합관리 자동제어 시스템	(주)삼진정밀	• 조류 및 고탁도 물질을 혼화/응집의 전처리 공정을 통해 사이즈가 큰 플럭으로 형성시키고 이후 가압부상 시스템을 이용, 수표면으로 부상시켜 제거(수확)하는 장치
43	바이오-액체크로마토그래피	한국과학기술원	• 음이온 교환 분리 컬럼(HPAE : High Performance Anion Exchange)와 펄스형 암페로메트리 검출법(PAD)을 이용한 세포 배양과 생성물 합성에 필수적인 탄수화물 분석기

구분	장비명	보유기관	기능
44	고성능 액체 크로마토그래피	한국과학기술원	• 광범위한 유기물과 무기물 성분에 대한 정성 및 정량분석이 가능한 고성능 액체 크로마토그래프
45	디지털 조류 분석 장비	한국과학기술원	• 이미지 분석을 통한 고효율 미세조류 입자 분석
46	자동 아미노산 분석기	한국과학기술원	• 산 당화액, 발효액 시료 등에 함유된 다양한 아미노산의 함량검사 및 식품, 생물질 등에 포함된 아미노산의 함유량 분석 장비
47	다채널광파장엽록소 형광 측정기	한국과학기술원	• 광합성 생물 (미세조류, 육상식물, 해조류)의 광합성 효율 측정 장비
48	유도결합 플라즈마 방출 분광기	한국과학기술원	• 액상의 시료에서 유도결합 플라즈마 의해 야기된 분광량 기반의 원소 분석 장치
49	생화학 분석기	한국과학기술원	• 미생물 발효, 배양 공정에서 발생하는 대사산물 분석 장비
50	고성능 액체 크로마토그래피(1260)	한국생명공학연구원	• 광범위한 유기물과 무기물 성분에 대한 정성 및 정량분석이 가능한 고성능 액체 크로마토그래프
51	자동 미생물 동정 기기	한국생명공학연구원	• 96 well microplate를 이용하여 동정하고자 하는 개체의 대사 패턴을 보고, 자동(Microstation)으로 동정 진행 장비
52	증기화광산란장치	㈜다미화학	• 상온 이하에서 휘발성이 높은 화합물에 대해 최대의 감도를 제공하는 LC/MS와 상호보완적으로 사용 가능한 검출기
53	CO_2 제거 장치	포항산업과학연구원	• 합성천연가스(SNG) 생산 공정에서 발생하는 혼합가스 중 CO_2만 분리하는 장치
54	기체 크로마토그래프 (YL6500 GC)	충북대학교	• CH4 및 CO_2+H_2O의 기체 동시 변환 coupling 기술을 통해 CO+H2로 이루어진 합성가스 생산
55	매립지 가스유래 메탄올 파일럿플랜트 (50kg/일 규모)	한국화학연구원	• 매립지 가스 유래 합성 가스로부터 메탄올을 합성하는 파일럿 플랜트
56	10kg/일 규모 메탄올 미니파일럿	한국화학연구원	• 수성가스 전이 반응(WGS) 이후 CO_2 분리 과정을 거치면서 합성가스의 비율을 조절해 메탄올을 생산하는 10kg/day급 Pilot Plant
57	폴리우레탄계 시멘트 복합체 1액형 합성기	㈜대동엔지니어링	• 기존 2액형인 폴리우레탄(폴리올+이소시아네이트)를 1액형으로 합성하여 세라믹계열과 합성하는 장치 • 고속/저속회전 동시, 탈포반응 가능
58	고압반응 자동화 장치	한국생산기술연구원	• 바이오플랫폼으로부터 바이오 폴리카보네이트 생산
59	고온 GPC	한국생산기술연구원	• 합성된 고분자의 크기 및 분포 측정 • 고유가, 자원, 환경, 식량 등 인류공동의 문제 대응과 신재생 에너지, 기후변화 예측·적응 등의 기술에 활용
60	고분자 점탄성 열분석기	한국생산기술연구원	• 고분자 재료의 점탄성 분석 • 천연재생자원인 바이오매스를 이용, 열/기계적 물성이 우수하여 전기전자 소재/부품용 소재 개발
61	온실가스 전환 반응 경로 분석 시스템	한국화학연구원	• 촉매의 사용 조건에 맞추어 활성점의 종류 및 반응 경로를 분석하는 장비

*출처 : 장비활용종합포털 ZEUS(https://www.zeus.go.kr/main)

마. 실증 및 사업화 성공 사례

□ **(화학적 전환)** 대부분 국내 CCU 기술이 학계·연구계 중심 기초·원천 연구단계이며, 일부 기술이 파일럿 실증*연구 중이나, 상용화 사례는 부족한 실정

*(화학연·부흥산업사) CO·초산 20톤/년, (서강대·테크윈) 개미산 0.5톤/년 등

❍ 합성가스는 역수성가스화·복합개질 및 건식개질 기술의 실증 단계, 전기화학·광화학적 전환기술은 세계적 수준*의 원천기술 확보

*(KIST) CO 부분전류밀도 500mA/cm2, (화학연) 개미산 광전환효율 2.7% 등

❍ 메탄올 생산기술은 핵심 요소공정에 대한 실증* 추진

*(화학연·현대오일뱅크) 메탄올 10톤/일 규모

❍ 고분자 관련 제품은 고효율 촉매 및 및 단량체 제조 기술개발에 집중하고 있으며, 일부 기업*에서 상용화 시도

*(SKI) 폴리프로필렌 카보네이트, (그린케미칼) 알킬렌 카보네이트 등

❍ 그 외 다양한 제품화 원천·실증 연구 추진 중이나, 선진국 대비 기술 수준이 취약

□ **(생물학적 전환)** 대사공학 기술을 접목한 균주개발 원천연구 추진 중

❍ 미세조류 생산 기술은 고농도 광배양, 바이오반응기 모듈화 핵심기술 개발을 통하여 고부가 소재 시제품 생산기술 실증*

*(고려대·지역난방공사) 100L 규모 반응기 모듈화

❍ 미세조류 기반 바이오디젤·항공유 생산 기술은 가능성 검증* 단계, 기타 바이오제품** 관련 기술은 기초연구 단계

*(차세대바이오매스연구단, 해양바이오에너지 연구센터) 디젤, 항공유 등

**(생명연) 천연색소, 지방산 등

□ **(광물 탄산화)** 직접탄산화 기반 소재* 및 건설자재** 생산 파일럿 규모 실증 추진 중, CO_2 반응경화시멘트·양생기술은 기술개발 이력 부재

*(지자연) 탈황석고 2천톤/년

**(대우건설, 고등기술연구원) 5~40톤/일

❍ 간접탄산화 기술은 전기분해 기반 중탄산나트륨 생산 실증 추진

*(RIST) 탄산칼슘·중탄산나트륨 동시제조 100kg/일, (KIST) 탄산칼슘, 20kg/일 등

□ **(기타탄소 활용)** 철강 부생가스 내 유용 탄소원 분리 및 메탄올 제품화 기술은 실증* 추진되었으나, 기타 화학제품 전환기술은 기초연구** 단계

*(화학연) 철강부생가스 내 CO 분리, 메탄올 생산

**(C1리파이너리사업단) 알코올, 올레핀, 방향족화합물, 폴리머 등

❍ 유기성폐기물를 이용하여 바이오가스를 생산하는 설비는 증설되고 있으며, 이를 수소 등으로 제품화하는 기술개발 확대 중

- 현재 바이오가스는 경제적 고순도화 기술 부재로 단순 열원으로 활용
- 바이오가스 개질을 통한 수소 제조기술 실증 등

〈표 II-134〉 국내 CCU 실증 및 사업화 성공 사례

기술분야	현황
화학적 전환	• (화학연/부흥산업사) CO_2 촉매전환 CO/초산 제조 실증 (20톤/년) • (서강대/테크윈/남부발전) CO_2 전기전환 개미산 제조 실증 (0.5톤/일, CO_2 처리기준) • (화학연/현대오일뱅크) CO_2 촉매전환 메탄올 제조 실증 (10톤/일) • (아주대/SKI) CO_2 폴리프로필렌 카보네이트(GreenPolTM) 상용화 시도 • (그린케미칼) CO_2 알킬렌 카보네이트 제조 실증
생물학적 전환	• (고려대/지역난방공사) CO_2 생물전환(미세조류) 기술실증 (광반응기 10톤급)
광물 탄산화	• (대우건설) 배가스 CO_2 직접광물화 건설소재 생산 실증 (40톤/일) • (RIST) 제철슬래그 간접탄산화 탄산칼슘/중탄산나트륨 동시제조 실증(100kg/일)

*출처 : 관계부처 합동, 이산화탄소 포집·활용(CCU) 기술혁신 로드맵(안), 2021. 06. 15.

□ **(한국화학연구원)** 일산화탄소 제조를 위해 건식개질*용 촉매 개발연구를 진행 중이며, 최근에는 부흥산업사社에 기술을 이전하여 연간 5,000톤 규모의 실증 상용화 공동 연구를 진행 중

*CO_2 + CH4 → 2CO +2H2

※1톤의 일산화탄소(CO) 제조를 통해 약 1.053톤의 CO_2를 감축 가능

❍ 니켈계 촉매를 개발하여 연간 20톤 규모의 일산화탄소 생산시설에 성능을 시험하였으며, 개발된 촉매는 약 1만 시간의 공정에도 성능이 유지됨을 확인

❍ CO_2와 메탄 반응에서 기존 촉매 비활성화의 원인인 탄소 입자 생성에 대한 조건 및 원인을 도출

□ **(포항산업과학연구원)** 코크스오븐에 CO_2를 주입하여 부착된 탄소와 반응*시켜 코크스오븐 가스(COG)를 증량하는 실증연구를 포스코와 함께 추진 중

*C(부착카본) + CO_2 → 2CO

❍ 제철 공정 중 코크스 공정의 부생가스로 코크스오븐 가스가 생성되는데 이는 제철 공정에서 다시 에너지원으로 사용 가능

- 코크스오븐 하나당 연간 3~5만 톤의 CO_2를 감축할 수 있을 것으로 예상되며, 포스코 전체 코크스 공정에 적용하면 연간 32만 톤까지 감축할 수 있을 것으로 기대

□ **(고려대학교)** 생물학적 전환에 필요한 초우량 균주 개발과 균주 선별 및 고밀도 배양에 대한 원천기술을 확보하였으며 대용량화 가능한 광생물 반응기를 개발

❍ 해당 기술은 세포 성장성, 세포 내 지질 함량, 유기자원 생산성 등에서 세계 최고 수준을 달성

- '19년 5월 한국서부발전 태안화력발전소(석탄화력발전)에 5톤 규모의 CO_2의 생물학적 전환 실증설비를 구축, 이를 통해 산출물의 생산성 및 경제성을 평가할 예정

□ **(한국에너지기술연구원)** 기존 바이오매스 기반 기술 대신 전해전지 시스템과 미생물 대사과정을 결합하여 바이오연료 및 소재를 생산할 수 있는 'e-바이오리파이너리 기술'을 개발

❍ 전해전지 시스템은 미생물에 전자를 전달해 CO_2의 환원력을 공급하는 방식으로 이를 통해 유용한 원료를 생산

- 연구진은 탄소전극 표면과 미생물 세포벽 사이에 전자 이동을 도와주는 매개체, 미생물의 전자수용력 향상, 고부가 유용물질의 생산성 향상을 위한 대사경로 최적화 등에 대한 연구도 진행 중

□ **(한국지질자원연구원)** 탈황석고에 암모니아와 CO_2를 반응*시켜 탄산칼슘과 황산암모늄을 생산하기 위한 연구를 추진 중

❍ 이를 상용화하기 위해 연 2,000톤급 탄산화 설비 구축 및 실증과 온실가스 감축방법론 등록 관련 R&D를 진행 중

*CaSO4·2H2O(탈황석고) + CO_2 + 2NH3 → CaCO3 + (NH4)2SO4 + H2O

- 탈황석고 처리량 기준 연 250톤급 실험은 완료한 상태이며 고순도의 탄산칼슘과 황산암모늄 생성이 가능하다는 것을 확인

※ 탈황석고는 석탄화력발전소 등에서 연소과정 중 발생하는 황산화물 제거 시 발생하는 물질이며, 석고 보드 및 시멘트 원료 등으로 활용되고 있음

□ **(한국전력공사 전력연구원)** 염수를 전기분해하여 얻은 수산화나트륨(NaOH)과 화력발전소 배가스 내 CO_2를 반응시켜 중탄산나트륨(NaHCO3)을 생산하는 기술을 개발

❍ 고효율 탄산화 반응기 개발을 통해 별도의 정제 공정 없이 CO_2 를 활용할 수 있도록 설계하였으며, '19년 10kW급 생산플랜트 실증을 완료

※ 중탄산나트륨 1톤 생산으로 CO_2 0.26톤 감축 가능

- '20년 3월에 롯데케미컬과 기술협력 MOU를 체결하였으며, 롯데케미컬社는 연간 10만 톤의 중탄산나트륨 생산 플랜트를 설치할 계획

□ '23년 4월 기준 국내 CCU 기술 실증 현황 및 계획은 아래와 같음

〈표 II-135〉 CCU 기술 실증 현황 및 계획

구분	제품	규모($톤CO_2$/일)	개발기관
화학적 전환	CO	20	화학연,부흥산업사
	메탄올	45	바이오프랜즈
	메탄올	10 (완료)	화학연,현대오일뱅크
	개미산	0.5 (완료)	KIST, 테크윈, 남부발전,화학연
	DME	45	바이오프랜즈, KIST
광물 탄산화	CO_2 광물화 건설소재	40	대우건설
	탄산칼슘	1.5	지질연
	중탄산나트륨	13	한전, RIST
	콘크리트 양생 및 건설소재	0.3	한일시멘트,유진기업
생물학적 전환	바이오매스, 바이오플라스틱	0.1	CtoX 기술개발 연구단(생명연, KIST 외)
	천연색소	0.05	생명연

*출처 : 민간기업·출연연 합동, 기업·출연연 참여 CCUS 산업·기술혁신 추진(안), 2023. 04. 10.

6. 국내 R&D 투자 동향

가. 분석 개요

□ **(분석목적)** 정부의 CO_2 포집 및 전환 기술 관련 R&D 투자 비중 비교와 시계열 분석 시행

❍ NDC 수립 등 정부 정책변화에 따른 정부 연구개발 투자변화를 포착하고 온실가스 감축을 위한 정부 정책변화와 국가 연구개발 투자변화 분석을 통해, 향후 투자 방향 설정에 참고자료로 활용

❍ 2015년 6월 최초 2030 NDC 수립 이후 국내외 감축 비율 조정, 목표 설정 방식 변경 등 수정하였으며, 2023년 4월 10일 탄소중립녹색성장 위원회에서 심의·의결되어 「탄소중립·녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획」(이하 '탄소중립 기본계획') 발표

- 탄소중립·녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획에서 2030년 배출량 목표를 436.6백만 톤(2018년 대비 40% 감축)으로 확정한 NDC 상향

□ **(조사범위)** NDC 수립 이후인 2018년부터 2022년까지 5년간 국가연구개발사업 및 과제 현황을 대상으로 NTIS 키워드 검색 및 분류 조사

〈표 II-136〉 국가 CO_2 포집 및 전환기술 관련 연구개발 투자 분석 개요

구분	내용
조사 대상 기간	· 2018년 01월 01일 ~ 2022년 12월 31일 (5년간)
자료 분석	· NTIS 과제 검색 (2023. 08.)
조사 내용	· 사업과제별 추진과제(부처, 사업명, 사업목적, 과제명, 사업비, 연구개발단계, 수행기관, 관리기관, 기술수명주기, 국가전략 기술 분류, 과학기술 표준분류)
주요 Key Word	· **CO_2 전환 기술, CO_2 포집 기술, CO_2 활용 기술,** 이산화탄소, CCU · 탄소중립, 에너지/자원, 온실가스 처리, 기후변화 대응

나. 정부 R&D 투자 동향

〈표 II-137〉 정부 R&D 투자동향 총괄('18~'22 누적액 기준)

<table>
<tr><th>구분</th><th>연구개발비(2018년 ~ 2022년)</th></tr>
<tr><td>총 집행현황</td><td>• (총 사업비) '18~'22년(5년) CCU R&D과제 총 17,327건(9조 4309억원) 투자
- 2018년(1조1760억) → 2022년(2조6282억) 연평균 22.27% 증가</td></tr>
<tr><td>부처별
연구개발 현황
(억 원)</td><td>
<table>
<tr><th>부처</th><th>연구개발 추진현황(건, 사업비, %)</th><th>비율</th></tr>
<tr><td>과기정통부</td><td>287건(1302억)</td><td>48.6%</td></tr>
<tr><td>산업부</td><td>109건(2177억)</td><td>18.4%</td></tr>
<tr><td>교육부</td><td>109건(44억)</td><td>18.4%</td></tr>
<tr><td>다부처</td><td>28건(190억)</td><td>4.7%</td></tr>
<tr><td>중기부</td><td>23건(234억)</td><td>3.9%</td></tr>
<tr><td>기재부</td><td>19건(286억)</td><td>13.2%</td></tr>
<tr><td>합계</td><td>591건(4,335억)</td><td>100.0</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>연구수행
주체별
(억 원)</td><td>
<table>
<tr><th>구분</th><th>2018</th><th>2019</th><th>2020</th><th>2021</th><th>2022</th><th>연구비
(억 원)</th><th>비율
(%)</th></tr>
<tr><td>출연연</td><td>164</td><td>182</td><td>206</td><td>390</td><td>345</td><td>1288</td><td>29.7%</td></tr>
<tr><td>대기업</td><td></td><td>25</td><td>381</td><td>373</td><td>642</td><td>1079</td><td>24.9%</td></tr>
<tr><td>중소기업</td><td>54</td><td>82</td><td>142</td><td>295</td><td>322</td><td>896</td><td>20.7%</td></tr>
<tr><td>기타</td><td>84</td><td>47</td><td>63</td><td>127</td><td>175</td><td>499</td><td>11.5%</td></tr>
<tr><td>대학</td><td>80</td><td>91</td><td>73</td><td>93</td><td>80</td><td>419</td><td>9.7%</td></tr>
<tr><td>중견기업</td><td>47</td><td>46</td><td>3</td><td>11</td><td>35</td><td>143</td><td>3.3%</td></tr>
<tr><td>정부부처</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>5</td><td>5817</td><td>0.1%</td></tr>
<tr><td>국공립연</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>1</td><td>0.0%</td></tr>
<tr><td>총합계</td><td>11,760</td><td>13,146</td><td>18,229</td><td>24,889</td><td>26,282</td><td>94,309</td><td>100.0%</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>연도별
연구개발단계
(억 원)</td><td>
<table>
<tr><th>구분</th><th>2018</th><th>2019</th><th>2020</th><th>2021</th><th>2022</th><th>총합계</th></tr>
<tr><td>개발연구</td><td>155</td><td>272</td><td>318</td><td>819</td><td>1064</td><td>2629</td></tr>
<tr><td>기초연구</td><td>120</td><td>117</td><td>99</td><td>126</td><td>152</td><td>615</td></tr>
<tr><td>응용연구</td><td>137</td><td>81</td><td>106</td><td>291</td><td>284</td><td>901</td></tr>
<tr><td>기타</td><td>17</td><td>0.3</td><td>5</td><td>54</td><td>107</td><td>189</td></tr>
<tr><td>총합계</td><td>430</td><td>474</td><td>528</td><td>1,292</td><td>1,609</td><td>4,335</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

□ **(CO_2 포집 및 전환 관련 국가 연구개발 투자)** 2018년부터 2022년까지 CO_2 포집 및 전환기술 관련 국가연구개발과제는 총 **591건**이 수행되었으며, **4,335.7억 원이 투자**된 것으로 파악됨

❍ **CO_2 전환기술**은 총 428건(누적 2,570억 원) 투자

- 2018년(283.7억) ➜ 2022년(914.9억) 연평균 34.0% 증가

❍ **CO_2 포집기술**은 총 163건(누적 1,765억 원) 투자

- 2018년(146.3억) ➜ 2022년(694.5억) 연평균 47.6% 증가

□ **(부처별 투자 현황)** 2018년부터 2022년까지 과기부가 287건(1,302억 원)의 과제를 추진하고, 다음으로 산업부(109건), 교육부(109건)이 시행됨

❍ **(총 연구비 기준)** 산업부(2,177억), 과기부(1,302억) 기재부(286억)순

〈표 II-138〉 '18~'22 부처별 CO_2 포집 및 전환기술 관련 국가연구개발 투자 현황

구분		2018		2019		2020		2021		2022		합계	
전환	소계	72	283.7	79	287.8	71	339.3	99	744.4	107	914.8	428	2570.3
	과학기술정보통신부	33	64.9	47	122.0	38	142.7	55	262.3	44	128.7	217	720.7
	산업통상자원부	9	136.8	10	126.9	11	157.9	17	392.4	19	471.4	66	1285.5
	교육부	17	7.1	14	5.2	14	4.9	19	9.0	18	9.1	82	35.6
	국토교통부							2	3.2	2	3.7	4	6.9
	기획재정부									16	204.6	16	204.6
	다부처	9	59.7	5	17.5	4	10.7	2	11.8	2	6.7	22	106.4
	중소벤처기업부	1	2.9	1	3.4	2	4.6	4	65.5	6	90.6	14	167.1
	해양수산부	1	2.7									1	2.7
	환경부	2	9.3	2	12.7	2	18.3					6	40.5
포집	소계	23	146.3	28	186.9	26	189.4	39	548.2	47	694.4	163	1765.4
	과학기술정보통신부	11	118.1	16	138.2	17	120.6	14	158.8	12	45.4	70	581.3
	산업통상자원부	2	22.4	3	37.0	4	38.6	16	313.4	18	480.0	43	891.6
	교육부	7	2.0	8	2.1	4	0.8	4	1.9	4	1.9	27	9.0
	국토교통부							1	1.5	1	5.5	2	7.0
	기획재정부									3	81.4	3	81.4
	농림축산식품부									1	6.1	1	6.1
	다부처	1	2.0	1	9.5	1	29.2	2	40.1	1	2.6	6	83.5
	중소벤처기업부	2	1.6					1	16.6	6	49.2	9	67.5
	환경부							1	15.8	1	21.9	2	37.7
	총합계	**95**	**430.0**	**107**	**474.8**	**97**	**528.7**	**138**	**1,292.7**	**154**	**1,609.3**	**591**	**4,335.7**

□ **(연구수행주체)** 2018년부터 2022년까지 출연(연)이 148건(1,288억 원)으로 가장 많은 과제를 수행하였으며, 대학이 302건(419억 원)의 과제를 수행함

〈표 II-139〉 '18~'22 연구 주체별 CO_2 포집 및 전환기술 관련 국가연구개발 수행 현황

구분		2018		2019		2020		2021		2022		합계(건, 억 원)	
		과제	연구비	과제	연구비	과제	연구비	과제	연구비	과제	연구비	과제	사업비
출연(연)	소계	20	164.0	26	182.0	29	206.7	40	390.8	33	345.0	148	1288.7
	전환	15	67.5	18	79.4	19	90.4	25	162.2	23	220.0	100	619.7
	포집	5	96.5	8	102.5	10	116.3	15	228.5	10	125.0	48	668.9
대기업	소계			1	25.2	2	38.1	10	373.8	11	642.1	24	1079.5
	전환			1	25.2	1	15.2	4	152.8	4	258.2	10	451.6
	포집					1	22.8	6	221.0	7	383.9	14	627.8
중견기업	소계	3	47.1	2	46.5	2	3.7	1	11.2	3	35.3	11	143.9
	전환	2	31.0	1	23.2	1	1.8	1	11.2	2	28.9	7	96.4
	포집	1	16.0	1	23.2	1	1.8			1	6.3	4	47.5
중소기업	소계	10	54.1	8	81.9	10	142.5	17	295.2	31	322.8	76	896.8
	전환	6	37.9	6	59.9	8	121.4	11	239.8	16	229.5	47	688.8
	포집	4	16.2	2	22.0	2	21.0	6	55.4	15	93.2	29	208.0
대학	소계	59	80.2	67	91.7	50	73.8	62	93.6	64	80.4	302	419.9
	전환	46	62.6	51	61.9	39	56.1	53	82.1	53	69.4	242	332.3
	포집	13	17.5	16	29.8	11	17.7	9	11.4	11	11.0	60	87.5
기타	소계	3	84.4	3	47.2	4	63.7	8	127.8	9	175.9	27	499.2
	전환	3	84.4	2	37.9	3	54.1	5	96.0	6	101.1	19	373.8
	포집			1	9.3	1	9.5	3	31.7	3	74.8	8	125.4
총합계		**95**	**430.0**	**107**	**474.8**	**97**	**528.7**	**138**	**1,292.7**	**154**	**1,609.3**	**591**	**4,335.7**

❍ **(출연연)** 출연(연) 중에서는 한국에너지기술연구원 51건(552.5억 원), 한국화학연구원 36건(238.6억 원), 한국과학기술연구원 34건(248.7억 원), 한국지질자원연구원 19건(227.0억 원) 순으로 조사됨

❍ **(대학)** 국내 대학에서는 한국과학기술원이 34건(70.6억 원), 경북대 20건(19.5억 원), 포항공과대 13건(14.9억 원) 순으로 조사됨

〈표 II-140〉 연구개발기관별 CO_2 포집 및 전환기술 관련 국가연구개발 수행 현황

수행기관	2018		2019		2020		2021		2022		합계(건, 억 원)	
	과제	연구비	과제	연구비	과제	연구비	과제	연구비	과제	연구비	과제	연구비(억)
한국에너지기술연구원	3	55.9	6	70.4	10	93.4	17	188.10	15	144.5	51	552.5
한국화학연구원	6	57.5	9	58.0	8	43.6	7	41.8	6	37.5	36	238.6
한국과학기술연구원	2	7.8	5	29.8	8	39.5	11	84.7	8	86.7	34	248.7
한국과학기술원	10	15.8	8	12.0	6	9.3	4	16.6	6	16.6	34	70.6
경북대학교	4	4.8	6	4.8	4	3.0			6	6.7	20	19.5
한국지질자원연구원	5	32.0	5	19.7	1	29.2	4	75.6	4	70.4	19	227.0
포항공과대학교	2	2.1	3	1.6	4	7.5			4	3.6	13	14.9

□ **(과학기술표준 연구분야)** 지난 5년간 과학기술표준 연구분야는 **CO_2 전환기술 250건(2,178억 원), CO_2 포집기술 117건(1,200억 원),** 촉매/반응기술 14건(31억 원) 순으로 투자

❍ 2018년 연구비 기준 **전환기술이 37.6%**로 가장 높은 비중을 차지하고 있었으며, **2022년 51.8%**로 대폭 증가

- (CO_2 전환기술) 2018년(33건/161억, 37.6%) ➜ 2022년(65건/833억, 51.8%)
- (CO_2 포집기술) 2018년(16건/108억, 25.2%) ➜ 2022년(36건/506억, 31.5%)

〈표 II-141〉 과학기술표준 연구분야 CCU 기술 R&D 추이

과학기술표준 연구분야	2018		2019		2020		2021		2022		합계(건, 억 원)	
	과제	연구비	과제	연구비	과제	연구비	과제	연구비	과제	연구비	과제	연구비(억)
CO_2전환기술	33	161.8	47	218.1	43	287.9	62	676.7	65	833.3	250	2178.1
CO_2포집기술	16	108.1	20	193.8	21	94.9	24	297.2	36	506.6	117	1200.8
촉매/반응기술	4	2.0	3	1.2	2	6.3	2	9.8	3	11.8	14	31.2
에너지소재기술	2	1.3	1	0.5	3	4.2	3	3.5	4	4.7	13	14.3
수소	2	1.1	2	0.7	1	0.5	4	18.3	2	20.9	11	41.7
신재생에너지	3	7.7	1	4.5	3	13.0	2	12.2			9	37.4
에너지/환경제어설비	1	0.5	1	0.5	2	0.5	2	10.5	2	11.9	8	24.0
대기오염방지기술	2	0.8	1	0.4	1	0.4	1	0.4	2	0.1	7	2.4
폐기물자원화기술	1	5.2	2	1.3	1	1.2	1	1.8	2	6.8	7	16.4
에너지변환/저장전기화학	1	1.4	1	1.3	1	2.6	2	16.4	1	20.0	6	41.8
나노세라믹복합재료기술					1	0.4	2	0.9	3	1.6	6	2.9
무기소재화학	2	1.3	2	1.3	1	1.0	1	0.6			6	4.2
분리/정제기술	2	2.1	1	0.1	1	0.1			1	0.6	5	2.9
태양광			2	2.1	1	1.8	1	1.8	1	1.8	5	7.5
환경오염유발물질대체물질(소재)개발			1	0.2	1	0.5	1	0.5	1	0.7	4	2.1
친환경/재생건설재료							2	3.2	2	3.7	4	6.9
기능재료	1	2.4	1	2.1			1	2.6	1	2.8	4	10.0
연료전지							2	12.1	2	16.8	4	29.0
배출량 저감 최적화기술	1	50.0			1	54.4	1	105.3	1	10.6	4	220.4
나노소재합성기술	1	0.5	1	0.5			1	0.5			3	1.5
물리전기화학			1	2.0	1	2.0	1	2.0			3	6.0
발효공정기술			1	0.4	1	0.4	1	0.4			3	1.3
바이오연료	1	4.2	1	2.8			1	2.5			3	9.5
공정시스템기술							1	1.1	1	0.9	2	2.1
방사선공업/환경이용기술							1	1.0	1	1.5	2	2.5
시멘트/콘크리트/내화물									2	27.9	2	27.9

□ (연구개발 적용분야) 에너지 및 환경 분야 투자 집중 증가

❍ '18년~' 22년간(5년) **에너지산업**분야에 누적 216건(1,151.7억 원)이 투자되었으며, 다음으로 **환경분야**에 누적 124건(735.5억 원)이 투자

- (에너지분야) 2018년 119억(27.8%) ➜ 2022년 343억(21.3%)으로 소폭 감소
- (환경분야) 2018년 41억(9.7%) ➜ 2022년 309억(19.2%)으로 대폭 증가
- (비금속광물 및 금속제품) 2018년 36억(8.5%) ➜ 2022년 277억(17.2%) 증가

❍ CO_2 포집 및 전환 기술분야 연구과제는 "에너지, 환경, 화학, 광물 및 금속, 환경 재생 복원" 분야 산업을 중심으로 적용되는 것으로 파악

〈표 II-142〉 연구개발 적용산업 기준 CCU 기술 R&D 추이

(단위 : 건, 억 원)

연구개발 적용산업 분야	2018		2019		2020		2021		2022		합계(건, 억 원)	
	과제	연구비	과제	연구비	과제	연구비	과제	연구비	과제	연구비	과제	연구비
에너지	35	119.3	41	166.1	33	162.1	53	360.8	54	343.3	216	1151.7
환경	19	41.6	25	82.8	21	76.8	26	224.9	33	309.2	124	735.4
화학물질 및 화학제품	13	133.6	14	93.8	18	161.9	20	294.6	24	323.1	89	1007.3
비금속광물 및 금속제품	3	36.6	3	46.8	3	4.2	4	138.1	4	277.1	17	503.0
전기가스증기 및 수도사업	2	11.3	3	26.3	3	39.1	3	98.8	2	59.1	13	234.8
하수폐기물처리 원료재생, 환경복원	11	56.0	8	22.6	8	42.7	11	63.1	11	26.5	49	211.2
전기및기계장비	4	12.3	4	18.2	4	21.3	5	24.3	3	11.7	20	88.1
기타산업					1	0.3	1	.5	9	165.2	11	166.1
건설업							3	14.3	2	24.7	5	39.0
농업임업 및 어업	1	4.0					2	4.9	1	6.1	4	15.0
자동차 및 운송장비									2	8.2	2	8.2
목재종이 및 인쇄	1	0.8	1	0.8							2	1.6
의료용물질 및 의약품	1	1.5	1	1.5							2	3.0
지구개발 및 탐사							1	0.5	1	0.6	2	1.1
전자부품컴퓨터영상음향통신장비	1	0.7									1	0.7
총합계	**95**	**430.0**	**107**	**474.8**	**97**	**528.7**	**138**	**1292.7**	**154**	**1609.3**	**591**	**4335.7**

□ (국가전략기술 분야) 이산화탄소 포집 활용, 수소 연료전지, 온실가스 저감 기술 중심 투자

❍ '18년~' 22년간(5년) 국가전략기술 기준 이산화탄소 포집·저장·이용 기술에 누적 230건(2,420억 원)으로 가장 많은 투자가 이뤄졌으며, 수소 연료전지 기술 분야에 58건(158억 원) 순으로 투자되었음

- (CO_2 포집·저장·이용) 2018년 35건(136억) ➜ 2022년 69건(1137억), 67% 증가
- (수소·연료전지 기술) 2018년 9건(15억) ➜ 2022년 13건(57억), 38% 증가
- (온실가스 저감 기술) 2018년 8건(81억) ➜ 2022년 18건(156억), 18% 증가

〈표 II-143〉 국가전략기술 기준 CCU 기술 R&D 추이

국가 전략기술 분야	2018		2019		2020		2021		2022		합계(건, 억 원)	
	과제	연구비	과제	연구비	과제	연구비	과제	연구비	과제	연구비	과제	연구비
이산화탄소 포집·저장·이용 기술	35	136.3	40	209.7	31	234.2	55	702.5	69	1137.5	230	2420.2
수소·연료전지 기술	9	15.6	10	17.4	11	24.8	15	42.4	13	57.4	58	157.9
고효율 친환경 온실가스 저감 기술	8	81.7	8	68.0	11	72.4	12	229.7	18	156.5	57	608.5
미세먼지 등 대기오염 대응기술	6	46.7	10	42.3	11	28.4	11	87.5	12	123.7	50	328.9
바이오 및 폐자원 에너지화 기술	3	10.2	5	10.5	9	59.2	14	66.1	8	20.7	39	167.0
기타 연구	13	102.0	5	36.5	3	40.0	2	46.9	11	27.7	34	253.2
다기능 융·복합소재 기술	6	3.1	8	8.3	3	7.9	6	10.5	3	2.0	26	32.1
나노구조제어 세라믹·탄소 소재 기술	2	0.6	5	4.7	4	4.5	5	1.9	5	2.9	21	14.7
기후변화 감시·예측·적응 기술	4	8.6	4	25.5	2	2.1	2	31.2	4	39.1	16	106.7
고성능 금속소재 기술					2	4.3	4	5.1	4	5.4	10	14.9
고효율 태양전지 기술			1	0.3	2	1.5	2	1.1	2	0.7	7	3.7
우주환경 관측·감시·분석 기술			2	10.6	2	11.2	2	11.2			6	33.0
기능성 유기소재 기술	1	4.4	1	6.6	2	19.4	1	2.4			5	33.0
친환경 바이오소재 기술			1	1.0	1	1.0	1	1.0	1	1.0	4	4.0
고효율 전력수송 기술	1	0.5	1	25.2	1	15.2	1	44.0			4	85.1
대용량 장수명 이차전지 기술	2	4.8	1	0.5							3	5.4
해양에너지 기술					1	1.8	1	1.8	1	1.8	3	5.4
고효율 가스발전 기술			1	0.5	1	0.1	1	2.0			3	2.6
친환경 다기능 건설재료 기술	1	4.5					1	1.5			2	6.0
토양·지중 환경오염 관리기술	1	6.0	1	4.3							2	10.3
지능형 건물관리기술	2	1.6									2	1.6
지속가능한 도시재생 기술									2	27.9	2	27.9
폐자원 재활용 기술							1	1.6			1	1.6
생물학, 합성생물학 분석, 활용기술			1	1.5							1	1.5
스마트 에너지그리드 기술			1	0.1							1	0.1
친환경 고효율 자동차 기술									1	4.5	1	4.5
지속가능한 인프라 구조물 건설기술							1	1.6			1	1.6
ICT기반 자원 개발·처리 기술	1	2.9									1	2.9
스마트 도로교통 기술			1	.5							1	.5
총합계	95	430.0	107	474.8	97	528.7	138	1292.7	154	1609.3	591	4335.7

□ **(연구개발단계별 투자현황)** ‘18년~’ 22년간(5년) 간 CCU 국가 연구개발 과제의 연구개발단계별 비중은 **개발연구(60.6%)**, 기초연구(14.2%), 응용연구(20.8%) 순

❍ 개발연구는 2018년 155억(36.1%)에서 지속 증가하여 2022년 1,064억(66.1%)으로 과반 이상 비중 차지

❍ 기초연구는 2018년 120억(27.9%)에서 지속 감소하여 152억(9.5%) 차지

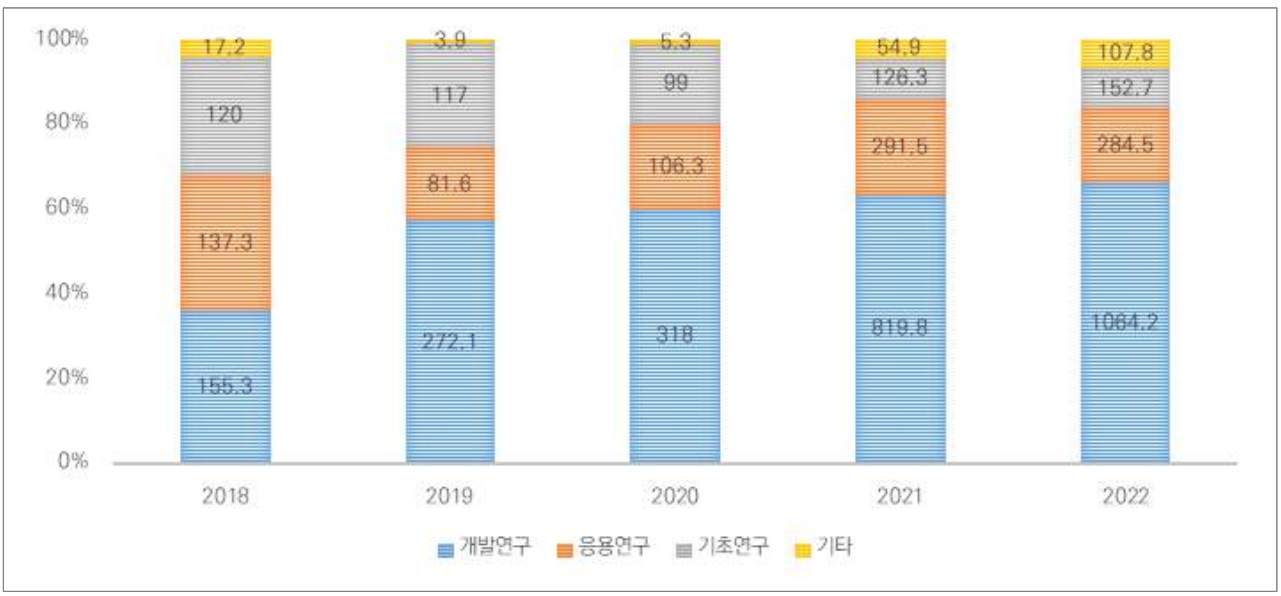
❍ 응용연구는 2019년 급감 이후 전체 비중은 20%대 유지

- 2018년 137억(31.9%) → 2019년 81억(17.2%) → 2022년 284억(17.7%)

〈표 II-144〉 ‘18~’22 연구개발 단계별 투자 현황

(단위 : 건, 억 원)

연구단계	2018		2019		2020		2021		2022		합계	
	사업비(억원)	비중(%)	사업비(억원)	비중(%)	사업비(억원)	비중(%)	사업비(억원)	비중(%)	사업비(억원)	비중(%)	사업비(억원)	비중(%)
기초연구	120.0	27.9	117.0	24.7	99.0	18.7	126.3	9.8	152.7	**9.5**	615.2	14.2
개발연구	155.3	36.1	272.1	57.3	318.0	60.2	819.8	63.4	1064.2	**66.1**	2629.6	60.6
응용연구	137.3	31.9	81.6	**17.2**	106.3	20.1	291.5	22.6	284.5	17.7	901.4	20.8
기타	17.2	4.0	3.9	0.8	5.3	1.0	54.9	4.3	107.8	6.7	189.3	4.4
총합계	430.0	100.0	474.8	100.0	528.7	100.0	1292.7	100.0	1609.3	100.0	4335.7	100.0



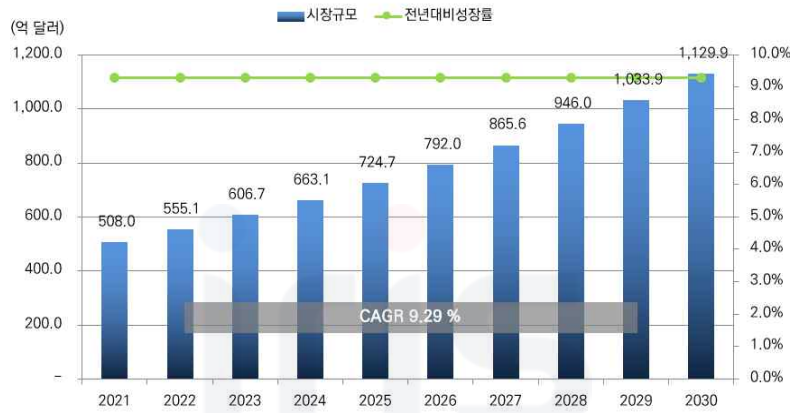
제3절 플래그십 프로젝트 중점기술 동향

1. 합성가스

가. 산업/시장

□ **(세계시장)** 세계 합성가스 시장은 '21년 508억 달러에서 **연평균 9.29% 성장**하여 **'30년 1,129.9억 달러** 규모에 달할 것으로 전망

〈그림 II-100〉 세계 합성가스 시장규모 현황 및 전망



*출처 : QYResearch, Global Syngas Market Research Report 2020, 2021. 01., 재구성

❍ 친환경기술 보급·확산에 대한 환경규제가 강화됨에 따라 친환경성을 강조한 화학물질이나 생산 공정이 관련 시장 성장을 견인

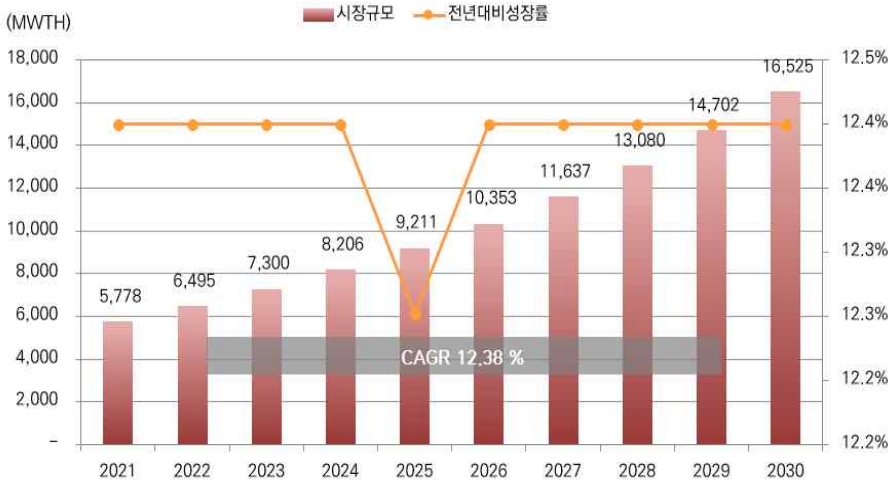
- 철도, 해양 및 도로 운송 산업에서 액화천연가스(LNG)와 압축천연가스(CNG) 형태로 사용되는 합성천연가스(SNG) 생산에 합성가스를 사용

❍ 아시아태평양 지역의 합성가스 및 파생상품 시장은 예측 기간 동안 14.3%의 가장 높은 연평균성장률을 기록할 것으로 예측

❍ 주요 기업은 Shell, Synesis Energy Systems Inc., Yankuang Group, Air Products and Chemicals Inc, Air Liquide 등이 있음

□ **(국내시장)** 국내 합성가스 시장은 '21년 5,778MWTH에서 **연평균 12.38% 성장**하여 **'30년 16,525MWTH** 규모에 달할 것으로 전망

〈그림 II-101〉 국내 합성가스 시장규모 현황 및 전망



*출처 : Markets and Markets, Syngas&Derivatives Market Global Forecast to 2025, 2020., 재구성

- ❍ 국내는 물론 세계적으로 일산화탄소 수급이 타이트한 상황으로, 수요 산업인 TDI, MDI, PC 등의 수요 증가로 가동률 상승 및 신규 투자가 예상되어 향후에도 일산화탄소의 공급 부족 현상이 지속되는 점은 매우 긍정적인 시장 전망
- ❍ 최근 국내 대기업들이 합성가스의 중요도를 체감하며, 합성가스 시장 진출을 발빠르게 준비 중
- ❍ 아시아태평양 지역의 높은 성장세에 힘입어 중국, 인도, 일본에 이어 국내 합성가스 시장도 안정적인 확대를 기대

나. 기술

□ 해외 기술개발 동향

❍ **유럽**과 **북미**를 중심으로 한 고효율 발전 및 **고부가가치 합성가스** 활용 기술의 **상용화 단계**

- 폐기물 및 바이오매스 가스화 기술의 경우 다른 에너지화 기술과 비교하여 고효율의 발전과 고부가가치의 합성가스를 생산, 이용할 수 있다는 측면에서 국내외적으로 많은 관심의 대상이 되고 있으며 기술개발 또한 활발히 진행 중

❍ 폐기물 및 바이오매스 가스화 기술은 유럽이 가장 선진기술을 가지고 있으며, 특히 독일, 오스트리아, 네덜란드, 스웨덴, 미국의 기술력이 가장 높은 위치에 존재

❍ 해외 폐기물 가스화 기술의 대표적인 기술개발 사례

- 독일은 도시폐기물과 biomass, 석탄 등을 가스화 연구개발을 추진하고 있으며, 330톤/일급 고정층 폐기물 가스화기를 상용화하여 100,000 Nm3/h의 합성가스를 공급할 수 있는 능력 확보
- 네덜란드는 1940년대 후반부터 가스화에 대한 연구를 시작하여 1999년 이탈리아에 500 MW급 플랜트를 건설하는 등 세계적으로 100여개의 상용화 플랜트를 건설
- 스웨덴의 MEVA ENERGY는 바이오매스 분류층 가스화를 통해 1.2 MWe, 2.4MWth 규모의 lean burn CHP 또는 산업용 가스 생산기술 보유
- 핀란드는 Lahti에 산업폐기물 가스화 플랜트 50 MW급을 1998년부터 운전 중이며, 국가연구소인 VTT에서는 기존 바이오매스 가스화공정 효율을 높일 수 있는 새로운 방식의 가스화 반응기 개발

❍ 석탄 가스화 기술은 발전, 화학 원료 생산, 합성천연가스 생산 등의 응용 분야가 넓은 관계로 수천 톤/일급의 다양한 기술의 개발 완료 및 진행 중

- 미국의 GE Energy사와 CB&I사는 슬러리 공급에 기반한 습식 가스화 기술을 개발하여 수천 톤/일급의 상용화 기술을 보급하고 있으며, 특히 GE사는 가장 높은 시장점유율 확보
- 유럽의 Shell사, Siemens사, Uhde사 등은 건조한 미분탄을 공급하는 건식 가스화 기술을 개발하여 수천 톤/일급 기술을 보급하고 있는데, 특히 Shell사는 가장 진보된 기술을 보유
- 중국의 경우 ECUST에서 습식 가스화 기술을 확보하고 있으며, 세계 최대 규모인 3천 톤/일급의 가스화기 건설 실적을 보유
- 일본은 MHI사와 Hitachi사가 각각 공기공급형(산소부화형) 및 산소공급 분류층 가스화 기술을 보유하고 있는데, 현재에는 MHPS사로 통합하여 상업용 기술, 특히 IGCC 기술보급을 주도

❍ 펫코크 가스화 기술은 석탄가스화 기술과 동일한 기술을 적용하여 수천 톤/일급 상용화 기술개발이 진행

- 펫코크를 원료로 사용할 경우에는 습식 슬러리 공급기술을 적용한 가스화 기술이 유리한 특성으로 인하여 미국의 GE에너지사와 CB&I(전 ConocoPhilips)사가 자사의 실증 플랜트에 펫코크 가스화 기술을 적용하여 발전 등 실증운전을 수행

□ 국내 기술개발 동향

❍ **(한국화학연구원-부흥산업사)** 한국화학연구원은 울산광역시 남구 부흥산업사 공장에 이산화탄소 활용 건식개질 플랜트* 완공 및 기술 실증화 성공 발표(‘23.06.05.)

*이산화탄소와 메탄을 반응시켜 합성가스를 제조하는 시설

- 연간 8,000톤 규모 합성가스를 생산할 수 있는 세계 최대 시설이며, 플랜트 구축에 필요한 소재 및 공정을 모두 국산화하여 향후 해외로 기술 수출도 가능할 전망

〈그림 Ⅱ-102〉 국내 이산화탄소 활용 건식개질 플랜트

*출처 : 한국화학연구원 제공

- 한국화학연구원은 CCU 기술 중 이산화탄소를 합성가스로 제조하는 건식개질 기술에 주목하고, 이 기술을 구현하기 위해 부흥산업사와 10년 넘게 원천촉매 개발과 공정 연구 등을 수행
- 그 결과 최근 온실가스 감축 효과를 나타내는 합성가스 제조 기술을 확보했으며, 수소(H_2)와 일산화탄소(CO)로 이뤄진 합성가스는 플라스틱, 알코올, 암모니아 등 다양한 화학원료의 핵심 물질
- 기존 합성가스 생산 시설은 그 과정에서 온실가스를 다량 배출했으나, 한국화학연구원은 탄소 배출이 사실상 없는 실증 촉매와 맞춤형 공정을 개발하였고, 실증 촉매는 합성가스 제조공정에 약 1만 시간을 적용할 수 있는 안전성까지 확보했음을 확인
- 한국화학(연)과 부흥산업사는 2023년 플랜트 운영과 후속 연구를 통해 촉매 효율을 높이고 공정을 최적화하며, 특히 합성가스를 활용해 초산, 메탄올, 디메틸카보네이트 제조 등 응용 기술 연구를 수행하고 2024년부터 CCU 제품을 본격 상용화 계획

2. 메탄올

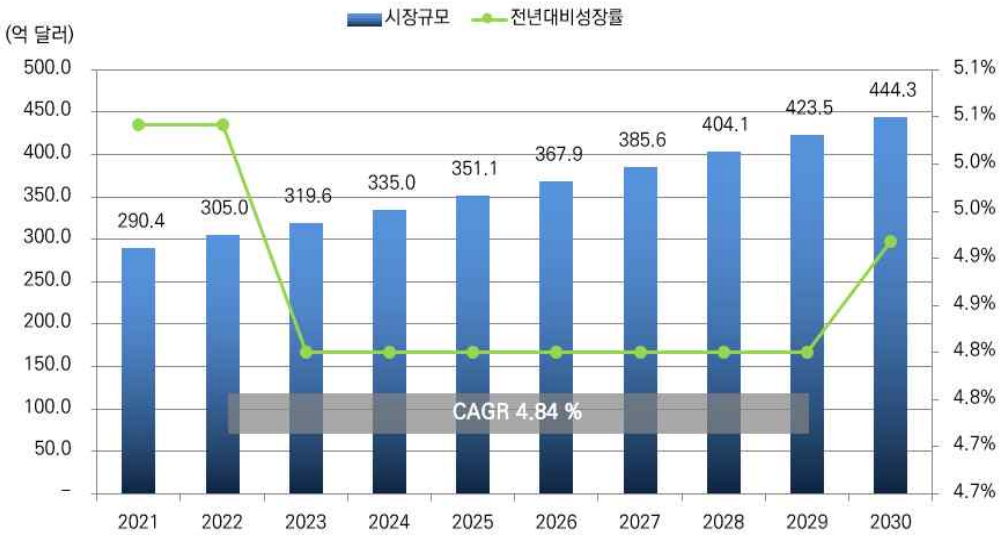
가. 산업/시장

□ **(세계시장)** 세계 메탄올 시장은 '21년 290.4억 달러에서 **연평균 4.84% 성장**하여 **'30년 444.3억 달러** 규모에 달할 것으로 전망

❍ 건설, 자동차 등 최종 산업에서 메탄올 수요가 안정적으로 확보되고 있으며, 특히 중국, 인도 등 아시아 신흥 경제국 산업 발전에 따른 메탄올 수요 증가가 주요 동인

- 자동차는 가장 큰 메탄올 시장으로 알코올 기반 연료는 수년 동안 자동차 응용 분야에서 사용, 특히 메탄올은 내연기관에 직접 사용이 가능하여 디젤엔진의 효율성에 근접한 수준
- 메탄올은 해운업계의 배출 규제를 비용 효율적으로 충족할 수 있는 청정 연소 해양 연료로 각광받고 있으며 다양한 운송수단의 연료로 활용성이 높은 편

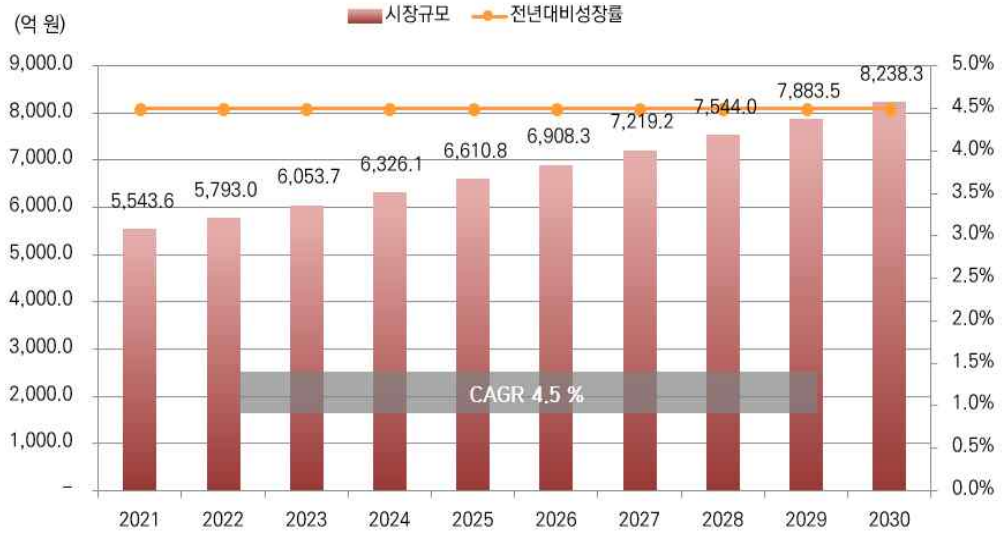
〈그림 II-103〉 세계 메탄올 시장규모 현황 및 전망



*출처 : Data Bridge, Global Methanol Market, 2023. 06., 재구성

□ **(국내시장)** 국내 메탄올 시장은 '21년 5,543.6억 원에서 **연평균 4.5% 성장**하여 **'30년 8,238.3억 원** 규모에 달할 것으로 전망

〈그림 Ⅱ-104〉 국내 메탄올 시장규모 현황 및 전망



*주 : 1달러=1,340원 환율 적용
*출처 : Markets and Markets, Methanol Market Global Forecast to 2025, 2020., 재구성

❍ 최종 산업별 국내시장 전망을 살펴보면, **자동차 부문**이 **'21년 약 1,322.2억 원**으로 가장 활발하게 적용되고 있으며, **용제 부문**의 **높은 성장률(CAGR 5.9%)**이 주목

〈표 Ⅱ-145〉 최종 산업별 메탄올 국내시장 현황 및 전망

(단위 : 억 원, %)

구분	2021	2030	CAGR('21~'30)
건설	1,098.3	1,646.3	4.6%
자동차	**1,322.2**	2,033.7	4.9%
전자제품	679.9	1,036.8	4.8%
가전제품	544.4	761.6	3.8%
페인트(코팅)	572.6	822.1	4.1%
단열재	299.4	437.4	4.3%
제약	260.2	357.7	3.6%
포장(PET)	229.3	320.8	3.8%
용제	194.4	325.7	**5.9%**
기타	110.0	148.6	3.4%

*주 : 1달러=1,340원 환율 적용
*출처 : Markets and Markets, Methanol Market Global Forecast to 2025, 2020., 재구성

나. 기술

□ 해외 기술개발 동향

❍ **(미국 JCAP*)** 태양광 기반 인공광합성 기술을 활용하여 CO_2를 메탄올, 에탄올 등 유용 탄화수소로 전환

* Joint Center for Artificial Photosynthesis

❍ **(독일 Fraunhofer ISE*)** HyCO2 프로젝트를 통해 CO_2와 수소로 메탄올 등의 액체연료 제조 공정 R&D를 수행

* Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems

- 메탄올 합성 메커니즘, 새로운 촉매 개발, 합성 공정 최적화 등에 대한 R&D를 추진하였으며, 전체 공정에 대한 전과정 평가(Life Cycle Assessment)도 수행하고 1톤의 메탄올 생산을 통해 약 0.24kg의 CO_2를 제거할 수 있다고 발표

❍ **(일본 AIST*)** 산업 배출 CO_2 또는 공기 중 CO_2를 포집과 동시에 메탄으로 전환하는 기술을 개발하였으며, 촉매 효율 개선, 비용 절감 등에 대한 후속 연구 추진

* 일본 산업기술종합연구소

- CO_2 포집 및 메탄 전환 기능을 동시에 구현하는 촉매를 개발하였으며, CO_2를 분리하고 농축하는 별도 과정이 필요 없으므로 공정 에너지 및 비용을 획기적으로 절약 가능

※기존에는 CO2를 분리하고 농축하는 별도의 과정이 필요해, 추가적인 에너지와 비용 소요가 불가피

❍ **(아이슬란드)** George Olah 프로젝트 종료 후 2012년부터 지열발전소 배출 가스로부터얻은 CO2 5,500톤/년을 활용하여 메탄올 4,000톤/년 생산 중

❍ **(캐나다 Enerkem社)** 캐나다 Enerkem社에서 캐나다 웨스트버리에 폐목재와 도시폐기물을 원료로 한 40톤/일급 상업용 플랜트를 건설하여 메탄올, 아세트산, 에탄올 등을 5106 L/yr 규모로 생산 중

- 캐나다 에드먼턴에서는 도시폐기물을 원료로 300톤/일급 규모의 가스화 플랜트를 건설하여 36106 L/yr의 메탄올과 에탄올을 생산 중

❍ **(아이슬란드 CRI社)** 아이슬란드 CRI(Carbon Recycling International)社는 지열을 이용하여 CO_2를 합성가스로 전환하고, 이를 다시 메탄올로 합성하는 연구를 수행하여 CO_2 기준 15톤/일, 메탄올 기준 12톤/일 규모 상용 플랜트 운영 중

- 2012년에 최초로 CO_2로부터 액체연료(메탄올) 생산기술을 상업화한 회사이며 2021년부터 약 110,000톤/년 용량의 재생 메탄올 생산시설들을 운영 중
- 재생에너지를 통한 수전해나 산업 폐기물에서 발생하는 수소를 사용하여 CO_2 기반 메탄올을 제조
- 최근 중국 허난성에 제철소 코크스오븐 가스의 CO_2를 메탄올로 전환하는 설비(Shunli Plant)를 구축

□ 국내 기술개발 동향

❍ **(한국화학연구원)** 한국화학연구원은 촉매전환 기술을 통해 CO_2와 CH_4을 원료로 메탄올 제조기술을 실증 완료하였으며, 탄소발자국 산정 결과 석유기반 메탄올 대비 약 40% 감축 효과를 확인

❍ **(㈜바이오프랜즈)** ㈜바이오프랜즈는 미국 시카고 설계전문업체이며 해외사업 기술협력 파트너인 유니텔 테크놀로지 및 에이치 앤 에이치 월드와이드사와 국내 최초로 재생합성연료의 상업 생산을 위한 사업 타당성 조사 및 상세설계에 대한 계약을 체결(2022.11.07.)

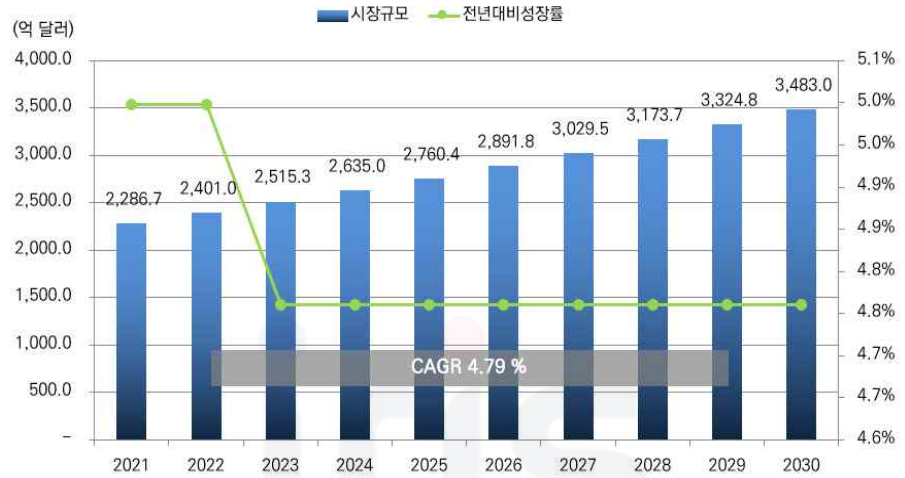
- 미국 캘리포니아에서 바이오가스 또는 신재생에너지원(태양광)을 이용하여 청정수소를 생산하고 포집된 CO_2와 합성하여 e-메탄올과 eDME를 제조하는 사업에 대한 사업타당성과 연간 3만 톤의 생산공장 건설을 위한 상세설계를 착수
- ㈜바이오프랜즈는 2024년에 e-메탄올, eDME 공장을 착공하고 2026년에 상업 생산하는 것을 목표로 사업을 주도
- 전체 생산규모가 3만 톤 수준으로 국내에서 포집된 CO_2로부터 생산되는 저탄소연료 생산 플랜트로 상업생산 목표

3. 올레핀

가. 산업/시장

□ **(세계시장)** 세계 올레핀 시장은 '21년 2,286.7억 달러에서 **연평균 4.79% 성장**하여 **'30년 3,483억 달러** 규모에 달할 것으로 전망

〈그림 Ⅱ-105〉 세계 올레핀 시장규모 현황 및 전망



*출처 : Zion Market Research, Global Olefins Market, 2023. 04., 재구성

❍ 글로벌 올레핀 시장은 폴리카보네이트 시장 확대와 함께 성장할 것으로 전망되며 시장 성장 동력은 고품질 올레핀에 대한 **자동차 산업의 수요 확대**에서 비롯될 것으로 예상

- 자동차 인테리어에 고품질 올레핀을 사용하는 사례가 증가

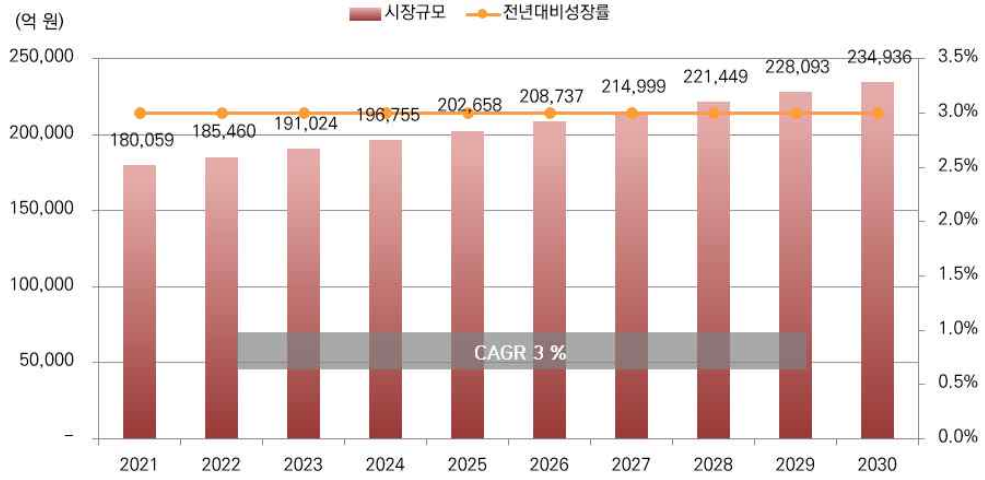
❍ 전 세계 인구 증가는 포장재에 대한 수요가 높은 식품 및 음료 산업의 확장에 크게 기여하고 있으며, 인구 증가는 올레핀 시장에 긍정적인 영향

❍ 북미 지역이 높은 생산율과 엄격한 환경규제로 인해 시장점유율과 시장 수익 측면에서 시장을 장악하고 있으며, 예측기간 동안 우위를 지속할 것으로 예측

❍ 주요 업체는 Shell, Chevron Phillips Chemical Company LLC, Ineos AG, SABIC, Sasol, Evonik Industries AG, Dow, ExxonMobil Corporation 등이 있음

□ **(국내시장)** 국내 올레핀 시장은 '21년 18조 59억 원에서 **연평균 3% 성장**하여 **'30년 23조 4,936억 원** 규모에 달할 것으로 전망

〈그림 II-106〉 국내 올레핀 시장규모 현황 및 전망



*출처 : 한국화학연구원, 납사 대체원료(메탄올, 메탄, 합성가스)로부터 올레핀 제조기술 개발, 2013. 11., 재구성

❍ 납사 대체 원료로부터 경질 올레핀을 제조하는 기술개발은 그간 저유가 상황으로 인해 소강상태였으나, 최근 유가 급등으로 기술개발이 다시 추진되는 단계

- 기존 방법보다 경제성 있는 기술을 개발하기 위한 새로운 촉매 및 공정 연구가 매우 활발하게 진행 중

❍ 고유가로 인한 Naphtha로부터 올레핀을 생산은 원가압박은 날로 심화되고 있고, 석탄, 천연가스, 바이오매스와 같은 대체원료를 사용하는 공정개발에 대한 필요성이 증가

- 대체자원(천연/셰일 가스, 석탄) 개발 기술로의 활용

❍ 에틸렌보다 프로필렌의 시장 수요가 증가함에 따라, 프로필렌을 많이 생성할 수 있는 새로운 올레핀 제조기술의 필요성이 점차 증가

나. 기술

□ 해외 기술개발 동향

❍ CO_2가 포함된 합성가스를 수소화하여 올레핀을 생산하는 기술은 상용화 단계로 진행된 바 없음

- 반면 합성가스로부터 올레핀 합성 기술 분야 논문은 2000년대 중반 이후 본격적으로 증가하기 시작
- 주로 철을 주성분으로 하는 촉매를 사용하며, 원하는 범위의 올레핀 생성물을 높이는 기술과 반응 중 CO_2 생성을 억제하는 기술 등 고선택성 촉매를 개발하는 데에 집중

❍ CO_2 수소화를 통한 올레핀 생산은 합성가스를 올레핀으로 전환하는 피셔-트롭시 반응과 유사하나 화학흡착이 약한 CO2를 효율적으로 전환시키기 위한 촉매개발이 추가적으로 필요

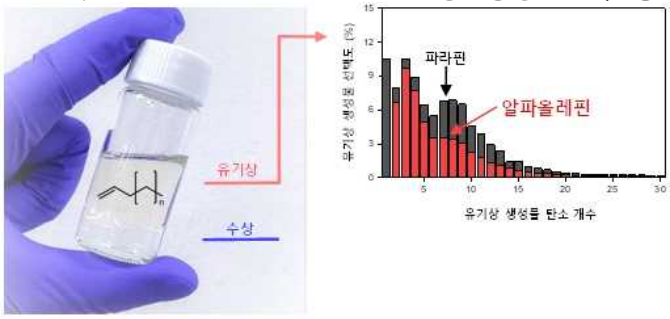
- CO_2로부터 올레핀, 나프타, 방향족 화합물 등의 석유화학 기초유분을 생산하는 기술은 탄소중립 흐름에 따라 세계적으로 활발한 연구가 진행 중
- CO_2 수소화를 통한 올레핀 생산 시 반응 생성물의 탄소 분포가 다양하기 때문에 분리공정의 부담을 줄이는 선택도가 높은 **촉매개발 이슈 부상**
- 수소, CO_2, CO 등이 섞여 있는 수소생산 공정 배출가스와 같은 정유 부생가스를 활용하면 경제성 제고 가능

□ 국내 기술개발 동향

❍ CCU 화학적 전환기술을 활용한 올레핀 개발 기술은 TRL 2~3 수준에 머물러 있어, 상용화된 사례가 거의 없는 실정

❍ **(한국화학연구원)** 한국화학연구원은 버려지는 이산화탄소와 산업 부생가스로부터 고부가가치 화학물질 ‘알파올레핀’을 만드는 공정을 개발(2020.11.03.)

〈그림 Ⅱ-107〉 한국화학연구원 알파올레핀 생산공정 개발(반응 생성물)



*출처 : 한국화학연구원 제공

- 부생가스와 CO_2 동시전환을 통해 얻어진 액체 생성물로 유기상과 수상(물)으로 분리된 것을 확인하였으며, 생성물의 탄소수가 증가할수록 선택도가 점차 감소

※전체 생성물을 분석하였을 때 알파올레핀의 선택도가 약 52%임을 확인(전체 생성물 중 52% 정도가 알파올레핀)

〈그림 Ⅱ-108〉 한국화학연구원 알파올레핀 생산공정 개발(주요 연구결과)

*출처 : 한국화학연구원 제공

- 알칼리 금속의 추가에 따라서 CO와 CO_2가 전환되는 반응성을 나타냈으며, 철-아연 촉매에 첨가제로 나트륨을 넣은 경우 CO와 CO_2가 알파-올레핀으로 전환되지만, 전통적으로 사용되던 첨가제인 칼륨을 넣은 경우 표면의 탄소층 형성 때문에 반응성이 낮아져 CO_2가 CO로만 전환

❍ **(차세대탄소자원화 사업단)** 과기부 차세대탄소자원화 사업단에서는 제철 부생가스인 COG를 활용하여 선형 장쇄올레핀을 생산하는 촉매 공정 연구를 수행

- CO_2 전환율 30%, C5-20 올레핀 수율 25% 이상의 촉매 반응 공정을 개발했으며, 1kg/day 규모의 벤치 공정을 100시간 운전

4. e-Fuel

가. 산업/시장

□ 탄소중립이 新 환경 의제로 부각되면서 신개념 친환경 연료 e-fuel*이 주목

*Electricity-based fuel의 약자로 e-메탄올·e-가솔린·e-디젤 등 다양한 종류의 연료를 지칭

❍ **(개념)** e-fuel은 P2X*로 물을 전기 분해하여 H2를 생산하고, 여기에 CO_2나 N_2를 합성하여 액체 및 기체 연료(메탄, 가솔린, 디젤 등)로 만들어 사용하는 신개념 연료

*Power to X: 태양광, 풍력 등의 재생에너지 전력을 수소, 열, 기타 합성연료 형태로 저장하는 방식

□ 독일, 일본 정부가 탄소중립 달성을 위한 수단으로서 e-fuel 관련 정책을 공개하였으며, 업계도 이에 호응하여 e-fuel 활용을 위한 연구에 돌입

❍ **(정부)** 내연기관 부문에서 높은 기술력을 보유한 독일, 일본이 최근 e-fuel 관련 정책 공개

- (독일) '19.7월 연방환경부(BMU)는 e-fuel 생산을 위한 P2X 실행 계획을 발표
- (일본) '20.10월에 2050 탄소중립 실현을 위해 전기차 보급 및 배터리 성능 확대와 더불어 e-fuel을 개발하여 '50년까지 가격을 가솔린 이하로 실현하는 것을 목표로 제시

*한국의 e-fuel 기술은 초기 단계로 한국화학연구원, KAIST, UNIST 등에서 관련 생산 기술을 연구개발 중

❍ **(업계)** 자동차, 항공・선박, 에너지 등 업계에서도 이미 e-fuel 활용을 위한 연구 프로젝트를 추진 중

- **(자동차)** 아우디는 '17년 e-fuel 연구시설 설립 후 e-fuel 생산 및 엔진 실험에 착수하였으며, 일본 3사(도요타・닛산・혼다)는 '20.7월 탄소중립 엔진 개발을 위해 e-fuel 연구 착수
- **(항공・선박)** 루프트한자는 Heide(정유사)와 e-항공유 제조구매 협약을 하였으며, 5년 내에 함부르크 지역 항공유의 5%를 e-항공유로 대체할 계획

- **(에너지)** 지멘스는 포르쉐에 함께 칠레에 e-fuel 실증 단지를 구축하였으며, Norsk e-fuel은 '23년 유럽 최초로 노르웨이에 e-fuel 생산 시설 가동 준비 중

〈그림 II-109〉 해외 e-fuel 연구시설 참고 사진(좌: 아우디 우: 지멘스)

□ 국내에서는 그간 e-fuel 관련 연구가 미흡한 상황이었으나 산·학·연·관이 협력하여 e-fuel의 성장 가능성에 폭넓게 대비할 필요

❍ 향후 글로벌 환경규제가 전과정평가(LCA)*기준으로 변경될 경우 전기·수소차뿐만 아니라 e-fuel 사용 내연기관차가 탄소 배출 저감 측면에서 상당한 경쟁력을 보유할 가능성 존재

*Life Cycle Assessment: 제품 생산부터 폐기까지의 전주기에 온실가스 배출량을 평가하는 방식

❍ 산·학·연·관이 합심하여* 기술개발 방향과 생산비용 절감 방안에 대한 논의가 필요하며, 정부는 지속적인 관심을 갖고 e-fuel 활용 확대 가능성을 제도적으로 대비해야 할 필요

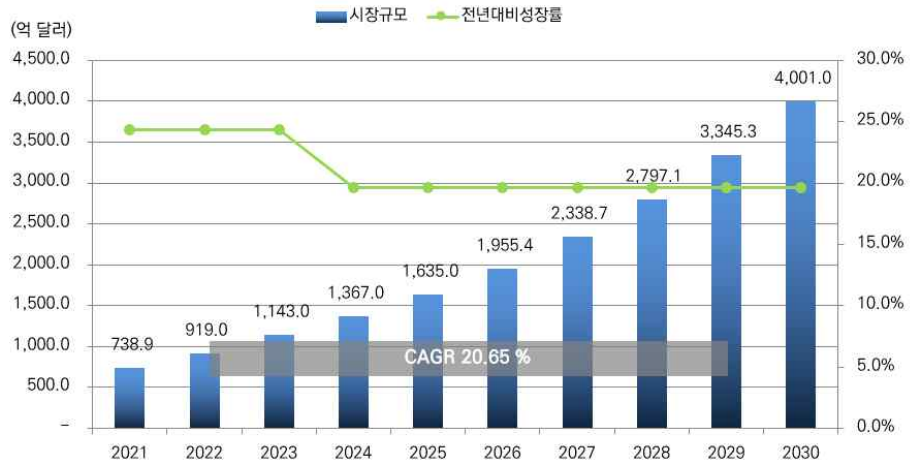
*'21.4월 e-fuel 연구회 발족: 산업부를 포함한 정책·연료·활용의 3개 분과 전문가 30여명을 구성하여 e-fuel 적용 필요성을 검토하고 중장기 기술 로드맵을 구상 중

□ **(세계 e-Fuel 시장규모)** 세계 e-Fuel 시장은 '21년 738.9억 달러에서 **연평균 20.65% 성장**하여 **'30년 4,001억 달러** 규모에 달할 것으로 전망

❍ 환경친화적이고 지속 가능한 e-Fuel은 녹색 에너지원으로의 전환이 전 세계적으로 강조됨에 따라, 그 수요가 꾸준히 증가

❍ 각국의 정부 차원의 e-Fuel 활용 촉진 정책 및 인센티브, 기술투자 장려로 지속 성장 기대

〈표 Ⅱ-146〉 세계 e-Fuel 시장규모 현황 및 전망



*출처 : Cognitive Market Research, eFuel Market Report 2023, 2023. 10., 재구성

❍ 유럽은 전 세계 e-Fuel 시장의 약 46%를 점유하는 가장 영향력이 큰 지역

- 유럽은 '30년 CO_2 배출량을 1990년 대비 55% 감축 의무가 있어 전기차 판매 증가와 더불어, e-fuel을 사용하는 내연기관차도 증가할 전망
- 유럽 자동차 수요는 연간 약 14백만 대 수준으로, VW, 일본 업체, 현대차그룹 등 기존 Legacy 자동차 업체가 장악하고 있는 동남아(연간 4백만 대 수요), 인도(연간 4.5백만 대 수요 → 2030년 1천만 대 전망), 남미(연간 3백만 대 수요)에서도 전기차와 e-fuel 내연기관차가 같이 성장할 전망으로 유럽과 신흥시장에서의 e-Feul 사용 증가 예상

❍ 시장 내 주요 기업은 Archer Daniels Midland Co., Audi AG, Ballard Power Systems Inc., Carbon Recycling International, Ceres Power Holding Plc, Clean Fuel USA, Climeworks AG, E-fuel corp, EnergieDienst Holding AG, FuelCell Energy Inc., eFuel Pacific Limited, Hexagon Agility, Neste, Norsk e-Fuel 등이 있음

□ **(국내 e-Fuel 생산가격)** '50년 이후 상용화 시 $0.94/L 수준*으로 기대되며, 유가 상승, 수소 가격 저감 등 고려 시 석유 연료와 유사한 수준의 생산 비용 전망

* P2L(Power to Liquid), P2G(Power to Gas) 공정 토대로 산출(화학연)

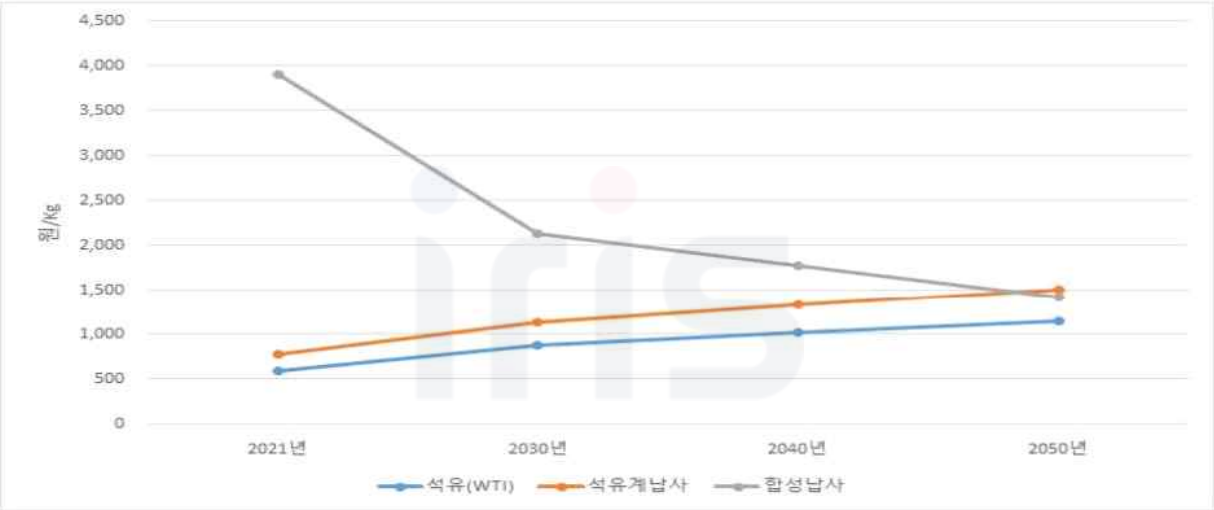
* 포르쉐는 리터당 10달러(현재)인 e-Fuel 가격이 10년 후 리터당 2달러 수준으로 하락 전망

- 수소 생산비 비중*이 가장 크며, 수율 향상을 위해 촉매** 개발 필요

* e-Fuel 생산 시 소요되는 에너지는 수소 생산이 절반 이상이며, CO2 포집, 연료 합성 순으로 에너지 소비 발생(NEDO 보고서('20), DENA Report('17))

** F-T 공정 촉매로 Co, Fe를 주로 사용하며, 에너지 효율은 60~70% 수준

〈그림 II-110〉 e-Fuel 생산가격 산출 그래프



* 출처 : e-fuel 연구회, "재생합성연료(e-Fuel) 연구보고서", 2022.01.

※ 가정 시나리오: (유가 상승률) 3.6%('21~ '40년), 1.2%('40~ '50년), (CO2 포집 비용) 50원/kg, (수소 가격) 8,000원/kg('21년, 보수적) → 4,000원/kg('30년, 수소 로드맵) → 3,200원/kg('40년) → 2,400원/kg('50년)

※ e-Fuel은 원유보다 ' 합성납사+가솔린 '에 가까우며, 납사는 원유보다 10~20% 고가

나. 기술

□ 해외 기술개발 동향

❍ **(독일)** 독일은 기후보호프로그램 2030을 발표(‘19.09.)해 2030년까지 온실가스 배출량을 1990년 대비 최소 40%이상 감축하고 2050년 온실가스 중립 달성을 위해 교통, 에너지, 산업 부문에 탄소중립 관련 기술개발 및 활용에 대한 내용을 포함

- 중점기술로 수소, 연료전지, e-fuel를 선정하여 기술개발에 투자할 계획
- e-fuel 개발을 위한 최소 20여 개 이상의 P2G(Power to Gas) 실증 플랜트를 설치 및 운영 중이며, 최근 RFS 규정 개정으로 e-fuel 항목 신설 및 인센티브 부여(‘21.03.)
- 독일 Schwandorf와 Allendorf에 각각 250kW급, 1,100kW급 실증 플랜트 설치 완료

〈그림 II-111〉 독일 Viessmann社의 P2G 실증 플랜트(Allendorf)

*출처 : GT Global Tech Korea, 독일 및 유럽 탄소중립연료(e-fuel) 지원정책 및 기술개발 동향, 2021. 07.

❍ **(EU)** 유럽연합은 유럽수소전략(‘20.07.)을 통해 2030년까지 온실가스 배출량을 최소 55% 감축 및 2050년 탄소 순배출량 제로 목표 달성과 관련하여 수소 에너지 및 합성연료(e-Fuel) 사용을 적극 권장

- 재생에너지원에서 생산된 합성연료 생산을 위해 40여개 P2G 실증플랜트가 운영 및 추진 계획 중
- 천연가스와 수소 분리를 위한 유럽연구 프로젝트를 위한 독일 Prenzlau 실증플랜트 운영에 DBI Gas und Umwelttechnik, ONTRAS, GTRgaz(프랑스 천연가스 회사), MITNETZ, DVGW(독일 가스 및 식음료협회), ENERTRAG등이 참여

- 독일 Lingen 지역에서 “Get H2 Nukleus” 프로젝트를 통해 100MW급 전기분해 플랜트 건설 준비 중이며, 수소공급 플랜트 건설을 위한 타당성 조사 완료, BP(정유, 영국), Evonik(화학, 독일), Nowega(전송시스템운영, 독일), OGE(천연가스공급, 독일), RWE(전기・가스공급, 독일) 등의 회사들이 참여 중

❍ **(독일 코페르니쿠스 프로젝트)** 연방교육연구부(BMBF)는 ‘16년부터 ‘26년까지 에너지 전환을 위한 코페르니쿠스 프로젝트(Kopernikus-Projekte) 발표(‘15.09.)

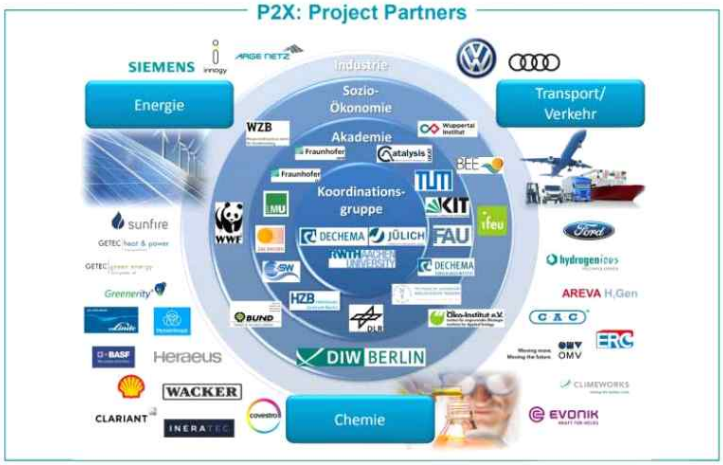
- ‘18년까지 1억 2천만 유로, ’ 25년까지 2억 8천만 유로 지원
- 코페르니쿠스 프로젝트 內 4개 세부 프로젝트 중 ‘P2X’가 합성연료와 관련된 것으로, 전력과 수소를 이용해 합성연료를 포함한 각종 화학합성물의 생산・연구를 지원

[코페르니쿠스 프로젝트]

- ENSURE : 에너지 전환을 위한 미래형 전력망 개발
- SynErgie : 에너지 집약적인 산업공정이 재생에너지의 가용성에 맞추어 가동될 수 있도록 유연한 산업공정을 개발하기 위한 연구
- Ariadena : 에너지 전환을 성공적으로 이행하기 위한 정책 수단 연구
- **P2X: Power-to-X 기술을 이용해 재생에너지를 가스, 액체연료 등 다른 형태의 에너지원으로 전환하거나 플라스틱 등 화학 원재료로 전환하는 기술**

- **(P2X 프로젝트)** 전력과 물, 이산화탄소를 이용해 합성연료(액체, 가스) 등 다양한 화학물질 생산을 목표로 코페르니쿠스 내 세부 프로젝트로 추진・ 연방교육연구부에서 2016년부터 2019년까지 약 3,240만 유로를 지원했으며, 2019년부터 2022년까지 약 2,970만 유로를 지원

〈그림 Ⅱ-112〉 P2X 프로젝트 참여기관



*출처 : GT Global Tech Korea, 독일 및 유럽 탄소중립연료(e-fuel) 지원정책 및 기술개발 동향, 2021. 07.

❍ **(독일 E-Fuel 관련 지원 현황)** 독일의 각 부처에서 Power-to-Gas, Power-to-Liquid, Power-to-Chem등 Power-to-X 프로젝트를 지원 중

- 이중 E-Fuel 관련 합성연료 기술 프로젝트는 총 9개로, 2021년까지 약 1억 2,690만 유로를 지원

〈표 Ⅱ-147〉 독일 e-Fuel 관련 주요 프로젝트

프로젝트	목표 산물	지원금액(백만 유로)	시작	종료
Energy Lab 2.0	연료	23	2018	2022
Hy2Chem	연료 및 화학연료	8.1	2020	-
INEW	연료 및 화학연료	20	2019	2021
KEROSyN100	연료	4.6	2018	2022
Kopernikus P2X Phase II	수소, 합성가스, 연료	29.7	2019	2022
NAMOSYN	연료	20	2019	2022
PowerFuel	연료	0.2	2018	2021
ReFuels	연료	20.	2019	2021
TF_Energiewende	수소, 연료, 화학연료	1.3	2016	2018

*출처 : GT Global Tech Korea, 독일 및 유럽 탄소중립연료(e-fuel) 지원정책 및 기술개발 동향, 2021. 07.

□ 주요 기업 동향

❍ **(포르쉐-지멘스)** 칠레 e-Fuel 공장을 공식 개장('22.12.)하였으며, 13만 리터 생산을 시작으로 매년 생산량을 늘려갈 계획으로 2027년 최대 생산량 도달(5억 5천만 리터) 예정

- 포르쉐는 생산량을 늘리기 위해 지멘스, 엑손모빌과 더 많은 합성연료 생산공장 건설할 계획

〈그림 Ⅱ-113〉 포르쉐-지멘스 칠레 e-Fuel 생산 공장

*출처 : MOTORPLEX

❍ (Sunfire-Climeworks-Paul Wurth-Valinor) 전력 액화 전문기업 Sunfire와 이산화탄소 포집 전문 기업 Climeworks, 건설 기업 Paul Wurth, 독일 투자기업 Valinor는 노르웨이 최초의 e-fuel 공장을 협력 건설하였으며, '23년부터 e-fuel 생산공장 가동 추진

〈그림 II-114〉 노르웨이 e-Fuel 생산 공장

*출처 : Paul Wurth

□ 국내 기술개발 동향

❍ 정부(산업통상자원부)는 재생합성연료(e-Fuel) 등 탄소중립연료 보급 활성화를 위한 R&D 및 워킹그룹 운영 추진 계획을 발표('22.01.12.)

- 학계, 산업계(정유・자동차・선박 등), 유관・연구기관 등으로 구성되는 수송 부문 탄소중립연료 워킹그룹은 단계별 연료・대상차종 선정, 혼합비율 및 배출가스 측면의 엔진 적용성 검증, 연료 성능 표준 수립 등 e-Fuel 기술개발 목표 달성을 위한 세부 이행계획을 수립
- '수송부문 탄소중립연료 워킹그룹' 을 구성하여 ①단계별 연료・대상차종 선정, ②혼합비율 및 배출가스 측면의 엔진 적용성 검증, ③연료 성능 표준수립 등 e-Fuel 기술개발 목표 달성을 위한 세부 이행 계획을 수립
- CCU 실증 R&D*를 통해 정유공정 발생 CO_2를 포집・활용하여 항공유 등 석유제품을 개발・생산하고, 품질기준 개발 등 상용화 전략 수립

*탄소순환형 정유제품 생산을 위한 CCU 통합공정 기술개발('22~'25, 265억원)

- 민・군 협력 e-Fuel 실증사업을 추진하여 급격한 전동화가 어려운 군용 차량・함정 등에서도 e-Fuel 활용이 가능하도록 품질 수준을 향상・검증하고, 향후 군 협의를 거쳐 시범 적용 추진

■ 국방부·해군·정유사 등 관계 기관과 실증 규모, 기술목표 등 사업계획을 기획하고, 민·군 협력으로 기술개발 하는 방안을 금년 1사분기 내 방위산업발전협의회에 상정 예정

□ 주요 기업 동향

❍ **(현대자동차)** 향후 LCA 기반 CO_2 배출 규제의 신속한 대응을 위해 협력사와 e-Fuel 엔진 적용기술 동향을 지속 모니터링 중

- e-Fuel 적용 확대 및 법제화 시 기술개발 정책 수립과 신속한 기술 대응 추진
- 기초선행연구소(IFAT) 설립('19)하고 CCUS 등 기술개발 추진을 발표하였고, 수소 운송을 위한 액상 저장기술, 암모니아 활용 체계 구축도 추진

❍ **(현대중공업)** 현대중공업그룹은 e-Fuel의 일종인 e-메탄올 적용이 가능할 것으로 예상되는 메탄올 엔진을 개발, 생산 설비를 구축

- 세계 최대 해운사인 머스크사와 약 1.6조 원 규모 메탄올 추진선 건조 계약 체결('21.08.)
- 머스크사는 '23년 탄소중립 컨테이너선으로 탄소중립 목표 조기달성을 선언 → LNG 연료 대신 대체연료시범프로젝트로 메탄올 추진을 기용
- 향후 수소・암모니아 엔진까지 개발 예정*으로 기업 차원의 연료전환 노력 중 → e-Fuel 등 대체연료 활용 가능한 엔진 개발 추진

*'메탄올('22.下)→암모니아('23.下)→수소('25)' 순으로 엔진 개발 계획 중

- e-Fuel을 선박・해운 분야의 '50년 온실가스 저감 목표 달성을 위한 필수 요소로 인식 → 다양한 e-Fuel 엔진 사업화*와 기술개발 진행 중

*(HyMethShip) EU 지원 하에 6개 회원국, 13개 산·학·연이 협업하여 탄소중립 선박 개발의 일환으로 e-Fuel 프로젝트 진행 중

5. 폴리머

가. 산업/시장

□ 폴리머는 **CO_2 화학적 전환 기반 고분자 기술**로, CO_2의 전환 또는 고분자 구조 내에 삽입을 통해 제조되는 고분자 또는 모노머를 제조하는 촉매 공정 기술을 지칭

❍ CO_2가 포함될 수 있는 고분자는 **폴리우레탄, 폴리카보네이트** 등을 포함

❍ 다양한 합성 고분자들은 화석연료로부터 생산되기 때문에 이로 인해 심각한 환경오염을 발생시키며, 이를 대체할 수 있는 친환경 소재에 대한 관심 증가

- 특히 이산화탄소를 유용한 자원으로 재활용하는 CCU 기술에 대한 필요성과 함께 이산화탄소 전환 기술개발 관심 증가

□ **(세계 폴리머 시장)** 세계 폴리머 시장은 '21년 6,781.2억 달러에서 **연평균 5.43% 성장**하여 **'30년 1조 917.9억 달러** 규모에 달할 것으로 전망

〈그림 II-115〉 세계 폴리머 시장규모 현황 및 전망

*출처 : Precedence Research, Polymers Market, 2023. 08., 재구성

❍ 폴리머는 의료, 항공우주, 포장, 자동차, 건설, 전자제품 산업 등 거의 모든 산업 분야에서 가장 일반적으로 사용되는 화학제품 중 하나로 시장 호황을 누리고 있음

❍ **(자동차 부문 활용 증가)** 자동차 및 기타 제조 산업에서 세라믹, 금속 등 기존 소재를 대체하기 위해 경량소재를 채택하는 사례 증가

- 중량 대비 강도, 탄성, 절연 및 광학, 내구성과 같은 뛰어난 기계적, 전기적, 화학적 특성으로 인해 자동차산업의 폴리머 대량 채택 증가로 시장 성장 촉진

❍ 최근 환경에 대한 이슈가 커지면서 전 세계적으로 더욱 강력해지는 환경 규제에 대응하기 위해 자동차 업계에서는 일부 내장재를 비롯한 자동차 부품에 환경 영향 요소가 적은 플라스틱 적용이 확대

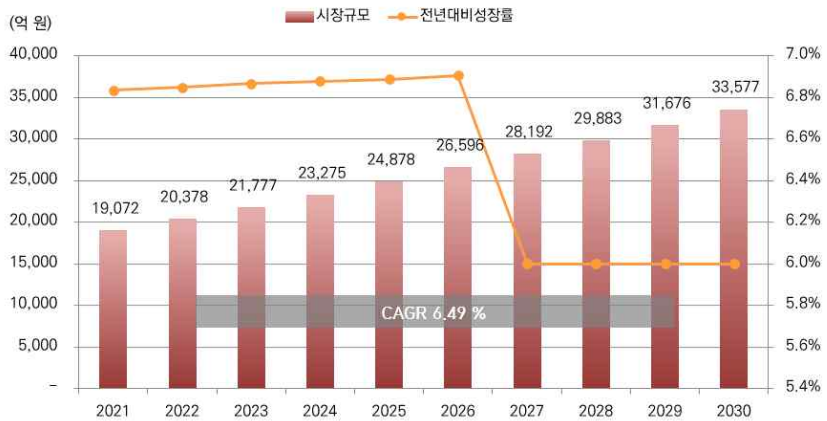
- 천연물 유래의 원료를 이용한 바이오 폴리우레탄 합성, CO_2 삽입을 통한 탄소 저감형 소재 등 친환경 소재로의 적용을 추진

- 차량 경량화 추세에 따라 금속을 대체할 수 있는 플라스틱의 사용량도 증가하고 있으며, 현재 차량 1대당 약 10% 내외로 사용되고 있으나, 경량성, 성형 가공성, 저렴한 생산단가 등의 장점으로 수요가 증가

□ **(국내 플라스틱 재활용 시장)** 국내 플라스틱 재활용* 시장은 '21년 1조 9,072억 원에서 **연평균 6.49% 성장**하여 **'30년 3조 3,577억 달러** 규모에 달할 것으로 전망

*품목: 폴리에틸렌테레프탈렌(PET), 폴리에틸렌(PE), 폴리프로필렌(PP), 폴리염화비닐(PVC), 폴리스틸렌(PS)

〈그림 II-116〉 국내 플라스틱 재활용 시장규모 현황 및 전망

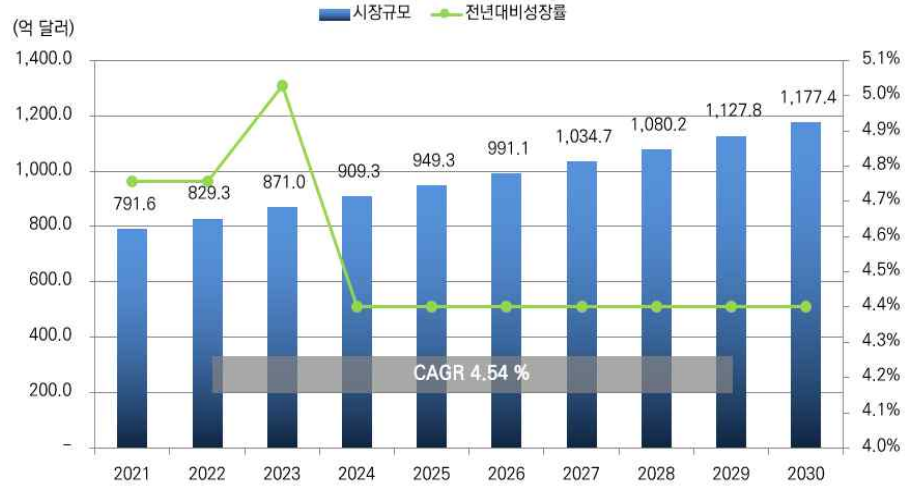


*출처 : PwC, 2022., 재구성

❍ 폴리에틸렌테레프탈렌과 폴리에틸렌 분야가 가장 큰 시장을 형성

□ **(세계 폴리우레탄 시장)** 세계 폴리우레탄 시장은 '21년 791.6억 달러에서 **연평균 4.54% 성장**하여 **'30년 1,177.4억 달러** 규모에 달할 것으로 전망

〈그림 II-117〉 세계 폴리우레탄 시장규모 현황 및 전망



*출처 : Fortune Business Insights, Polyurethane(PU) Market, 2023. 07., 재구성

❍ 산업 수요 확대, 소득수준 증가 및 저렴한 원자재 가격을 바탕으로 아시아 태평양 지역이 폴리우레탄 주요 소비자이자 생산자로 부상

- 폴리우레탄 제조 분야에서 빠르게 성장하는 지역으로 접근이 용이한 원자재 확보, 외국인 투자 확대 등을 바탕으로 성장

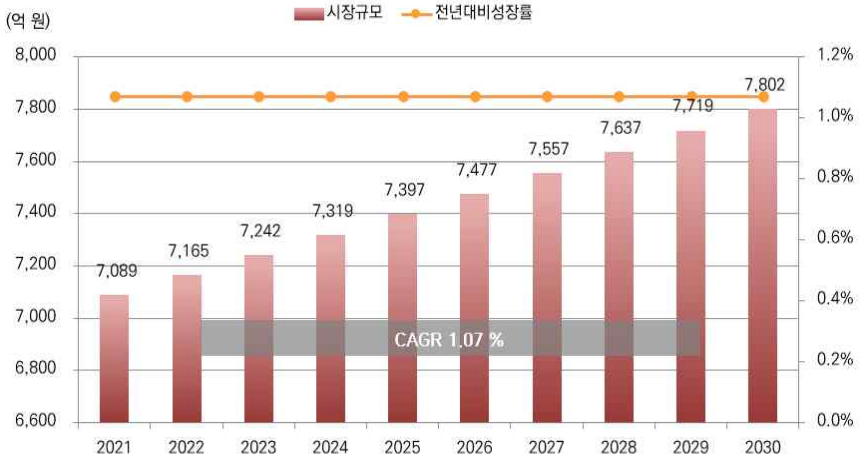
❍ 폴리우레탄은 내구성, 유연성 및 편안함을 제공하는 특성으로 주로 가구 산업에서 침구 및 쿠션 용도의 폼으로 사용되는데, 전 세계 인구 증가 및 생활 방식의 변화로 가구 수요가 급증함에 따라 시장 성장을 주도

❍ 자동차, 전자 및 건설 산업에서 경량, 고성능 및 내구성 제품에 대한 수요 증가로 폴리우레탄 수요 지속 확대

❍ 다만 폴리우레탄 복합 재료의 높은 제조 및 생산 비용이 시장 성장을 늦출 것으로 예상

□ **(국내 폴리우레탄 시장)** 국내 폴리우레탄 시장은 '21년 7,089억 원에서 **연평균 1.07% 성장**하여 **'30년 7,802억 원** 규모에 달할 것으로 전망

〈그림 II-118〉 국내 폴리우레탄 시장규모 현황 및 전망



*출처 : 통계청 국가통계포털, NICE디앤비, 재구성

❍ 산업화 발전과 에너지 효율이 높은 건축물에 대한 수요 증가 등으로 향후 국내 폴리우레탄의 활용 범위는 더욱 확대될 것으로 예측

❍ 특히, 합성피혁 산업에서 폴리우레탄 수지의 지속적인 수요가 증대되고 있으며, 엄격한 환경규제에 따른 친환경 제품 개발의 필요성이 대두

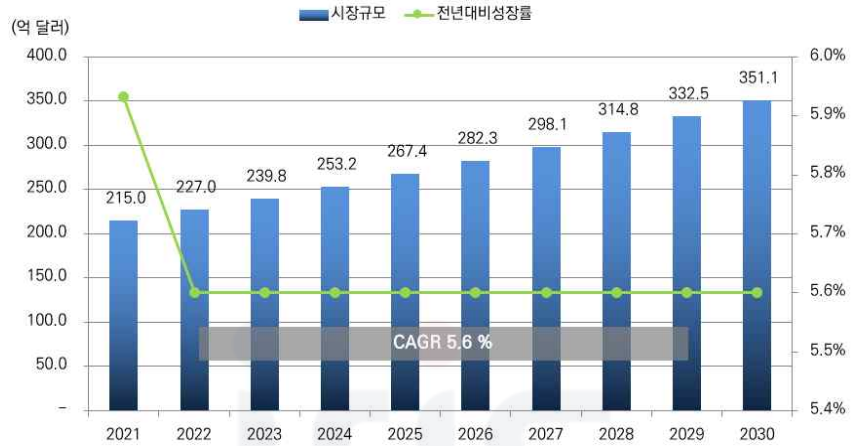
- 합성피혁은 제조공정에서 인체에 유해하거나 환경오염을 유발하는 물질이 발생될 수 있어 취급 및 처리에 엄격한 환경규제가 시행되고 있음
- 폴리우레탄의 경우, 일부 제조공정에서 지구온난화 기체인 염화불화탄소(프레온가스)를 사용하고 있어 이의 사용을 회피하는 제조공정기술 확보 요구

❍ 국내 폴리우레탄 시장은 국내업체 중 SKC가 PO(Propylene Oxide)를 국내독점으로 생산하고 있으며, KPX케미칼과 금호석유는 이를 원재료로 연질/경질폴리우레탄 제조에 공통적으로 사용되는 PPG(Polypropylene Glycol)를 제조

□ **(세계 폴리카보네이트 시장)** 세계 폴리카보네이트 시장은 '21년 215억 달러에서 **연평균 5.6% 성장**하여 **'30년 351.1억 달러**에 달할 것으로 전망

❍ 석유폴리카보네이트의 세계 연간 생산량은 약 500만 톤 규모로, 이 중 이산화탄소를 사용하는 DMC 경우 폴리카보네이트 제조공정이 기존의 포스겐 공정을 대체하여 성장

〈그림 Ⅱ-119〉 세계 폴리카보네이트 시장규모 현황 및 전망



*출처 : Emergen Research, Polycarbonate Market, 2022. 09., 재구성

❍ 시장 성장은 스마트폰, 충전기 등 단열 소비자 전자 장치 제조, 조명 시스템, 램프 렌즈 등 폴리카보네이트 수지 등 산업 전반에 걸친 수요 증가에 기인

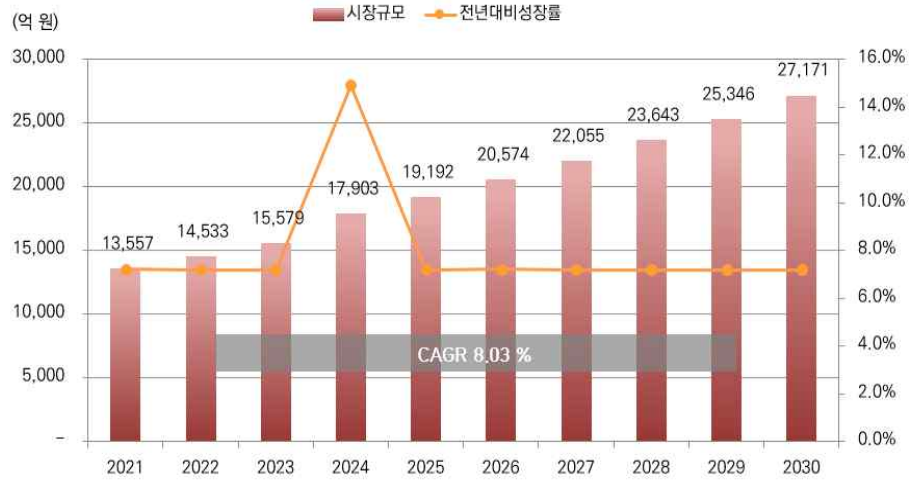
❍ 특히, 폴리카보네이트는 증강현실(AR), 가상현실(VR) 기반 기기, 센서 등 생산에 필요한 원료로 새로운 기술 발전 흐름에 따라 또 다른 성장 요인에 시장 견인

❍ 차량용으로 다양한 고분자가 사용되므로 차량 경량화 추진에 따라 내외장용으로는 폴리카보네이트의 수요가 증가할 것으로 예상

❍ 건축용, 전기/전자 산업용 폴리카보네이트는 시트 형태로 가공하여 사용하는데, 높은 내충격성, 투명성 및 자유로운 형태로 미적 공간 창출에 효과적이므로 널리 사용

□ **(국내 폴리카보네이트 시장)** 폴리카보네이트 국내 시장규모는 '21년 13,557억 원에서 **연평균 8.03% 성장**하여 **'30년 27,171억 원**으로 증가할 것으로 전망

〈그림 II-120〉 국내 폴리카보네이트 시장규모 현황 및 전망



*주 : 국내 엔지니어링플라스틱 시장에서 폴리카보네이트의 비중을 49.8%로 추정하며, 7.2%의 연평균 성장률('20~'26) 적용 (1달러=1,300원)

※ 엔지니어플라스틱은 PC 49.8%, PA6, PA66(라일론) 21.2%, PBT 14.6%, POM 12.2%, mPPO 2.2% 등의 순을 차지(IBK기업은행 경제연구소, 국내 '엔지니어링 플라스틱' 산업 분석 2018)

* 출처 : 한국혁신경제연구소,국내 소재·부품·장비산업의 대-중소기업 간 상생협력 유형과 특성 분석, 2020., 재가공

❍ 국내 폴리카보네이트 시장은 아직 형성되지 않았으나, 탄소중립 선언, 글로벌 탄소규제 강화로 기업 관심도가 높아짐에 따라 시장형성 가능성이 증가하고 있으며, 폴리카보네이트, 메탄올 등 이산화탄소 전환 생성 기술 개발 시 **기존 수입 시장 대체 가능성**에 따라 예측

- 국내 폴리카보네이트 생산량은 연간 약 60만 톤 규모이며, 삼양화성, LG화학, 롯데케미칼 등에서 제조

❍ 폴리카보네이트의 경우 DMC(Dimethyl Carbonate)를 경유하는 공정이 국내에 도입되어 상용생산 중이나, 해외기술 도입을 통해 구축되어 설비에 대한 국산화가 필요한 상황

나. 기술

□ 기술개발 동향

❍ **(폴리카보네이트 전환기술)** 전 세계적으로 CO_2를 이용하여 생산하는 주요 유기화합물의 생산량 중 요소(urea) 생산이 압도적으로 크며 그 다음으로 카보네이트계 유기화합물들(cyclic-, PP-, poly-carbonate)의 수요가 큼

- 카보네이트계 화합물은 배터리, 가전제품 등의 수용체, 기능성 고분자, 플라스틱 등의 고부가가치 용도의 물질로 활용
- CCU 기술을 통한 화학전환 고분자 중 가장 주목하고 있는 물질은 열가소성 플라스틱의 일종인 '폴리카보네이트(polycarbonate)' 화합물로, 내충격성과 내열성, 그리고 투명성뿐만 아니라 강화 유리의 150배 이상 충격을 견뎌 유연성 및 가공성이 우수한 특징 보유
- 폴리카보네이트는 '카보네이트(carbonate)'를 기반으로 하는 엔지니어링 폴리머로, 이산화탄소 구조가 카보네이트 구조와 유사하여 이산화탄소 분자 구조를 거의 그대로 화학반응에 활용할 수 있다는 장점 보유

❍ **(폴리우레탄 전환 기술)** 폴리우레탄(polyurethane)은 고분자 사슬 내 우레탄 결합(-NH-COO-)을 갖는 고분자로서 2가 이상의 이소시아네이트와 폴리올 등의 활성 수소 화합물과의 결합에 의해 합성

- 폴리우레탄은 사용되는 이소시아네이트의 폴리올 선택 범위가 넓어 다양한 제품 설계가 가능하고 인장 강도, 내열강도, 신장율, 내마모성 등의 기계적 강도와 가공성이 매우 좋으며 고무 상태의 탄성체로 우레탄고무, 합성섬유, 접착제, 도료, 우레탄폼 및 자동차 범퍼 등에 적용되어 그 이용범위가 점점 확대
- CO_2 폴리올 보유기술사 중에 미국의 Novomer와 독일의 Bayer Material Science가 가장 기술적으로 성숙되어 있으며, 기존의 폴리우레탄제조용 폴리올을 CO_2 폴리올로 대체 적용하고자 자체 기술을 개발

□ 주요 기업 동향

❍ **(독일 Covestro社)** 독일 Covestro社는 CO_2가 포함된 폴리올을 폴리우레탄 제조용 원료로 공급하기 위한 실증플랜트를 가동하여, 「CardyonTM」이라는 상품명으로 제품을 생산 중으로 기존 상용 폴리올 대비 약 20%의 CO_2 감축효과를 달성

- 독일 아헨(Aachen)공대에 CAT촉매연구센터(CAT Catalytic Center)를 공동 설립해 불균일계 촉매인 Co-Zn 기반의 이중금속시안염(Double metal cyanide) 촉매를 개발하였으며 약 43%의 CO2를 포함할 수 있는 폴리카보네이트 폴리올 제조 촉매 기술을 확보, 폴리우레탄 폼 상용화에 성공
- Covestro社는 폴리우레탄의 원료인 폴리올 제조기술을 불균일계 촉매를 기반으로 하여 개발하여 현재 유럽 내에 관련 제품을 판매 중

❍ **(미국 Novomer社)** 미국 Novomer社는 CO_2를 이용하여 폴리프로필렌 카보네이트(제품명:converge®)를 제조하는 기술을 개발하였고, 2016년 Saudi Aramco社에 인수됨

- 이산화탄소 전환 PPC 제조 균일계 촉매기술을 개발해 사업화를 추진
- Zn 촉매 기반 균일계 촉매기술을 보유하고 있으며, 연간 5,000톤 규모의 Poly(propylene carbonate) polyols를 제조하는 설비를 구축하여, 비폼계(non-form) 중 코팅제 및 접착제 용도로의 폴리카보네이트 폴리올 제조기술을 개발

❍ **(롯데케미칼)** 국내 화학업계 최초로 기체 분리막을 적용한 탄소 포집·활용(CCU) 설비 실증을 완료하고 연 20만t 규모의 이산화탄소 포집, 액화 설비를 건설

- 여기에서 포집한 이산화탄소를 고순도의 에틸렌카보네이트(EC)와 디메틸카보네이트(DMC), 플라스틱 소재인 폴리카보네이트(PC)의 원료로 투입하는 등 CCU 사업 상업화 계획

❍ **(포항산업과학기술연구원(RIST))** RIST에서는 Dimethyl carbonate 제조 기술로 urea methanolysis에 의한 촉매 및 공정을 개발하였으며, Polyol의 경우 고유 촉매개발 및 polyol 제품군에 대한 연구를 수행 중

❍ **(한국화학연구원)** 이산화탄소를 활용해 폴리우레탄 소재의 원료가 되는 기초 단량체 물질 프로필렌 카보네이트의 촉매 공정을 개발하였으며, 이산화탄소로 5원환 탄산염 중 하나인 이소시아네트 폴리우레탄 원료를 합성하는 촉매 공정을 개발하는데도 성공

❍ **(KPX케미칼)** 국내 폴리우레탄 수지 및 원료 생산 기업으로, 한국화학연구원의 '프로필렌 카보네이트'와 이를 원료로 한 폴리올 기술을 바탕으로 폴리우레탄 경질폼인 단열재시제품을 제조하는데 성공

❍ **(폼웍스)** 국내 연질폴리우레탄폼 제조 기업으로, 이산화탄소 폴리올 기술을 화장품 담지체와 매트리스 제품에 적용한 후 이산화탄소 배출을 감소한 제품으로 제조

〈그림 II-121〉 한국화학연구원 공동개발 이산화탄소 기반 폴리우레탄 제품

폼웍스 화장품 쿠션	KPX케미칼 건축 단열재

*출처: 동아사이언스, 「이산화탄소로 화장품 쿠션부터 건축 단열재까지 만든다」, 2020

6. 바이오연료・소재

가. 산업/시장

(1) 바이오연료

□ 탄소중립 목표 달성의 수단으로 **재생에너지의 중요성**이 **부각**되고 있으며, 이중 **바이오연료의 수요**는 **지속 증가**할 것으로 전망

❍ 2030년 재생에너지 믹스(mix)에서 바이오연료는 열 생산의 80%, 발전의 19.4%, 수송의 100%를 담당할 것으로 보고

❍ 2050 넷제로(Net-zero) 시나리오에 따르면, 2030년까지 석탄 사용은 급격하게 감소하고 저탄소에너지의 공급은 증가하는데, 바이오연료 수요는 3배 이상 증가할 것으로 전망

□ **(주요국, 바이오연료 사용 의무화 제도)** 세계 바이오연료 시장은 바이오매스 등 원료가 풍부한 국가들 중심으로 발달되어 있으며, 주요국 정부는 바이오연료 사용 의무화 제도 정책을 도입하여 시행

❍ 바이오연료가 기저부하를 해결할 수 있는 유일한 재생에너지원이며 석유 의존도를 낮추는 친환경 연료로써 **원료가 풍부한 미국과 브라질** 등을 **중심**으로 **바이오연료 시장**이 **형성**

❍ 해당 국가들은 재생에너지 보급 확대를 위해 바이오연료 보급 확대제도(RPS, RFS)4)를 시행 함으로써 세계시장에서의 주요 생산국가로 자리매김

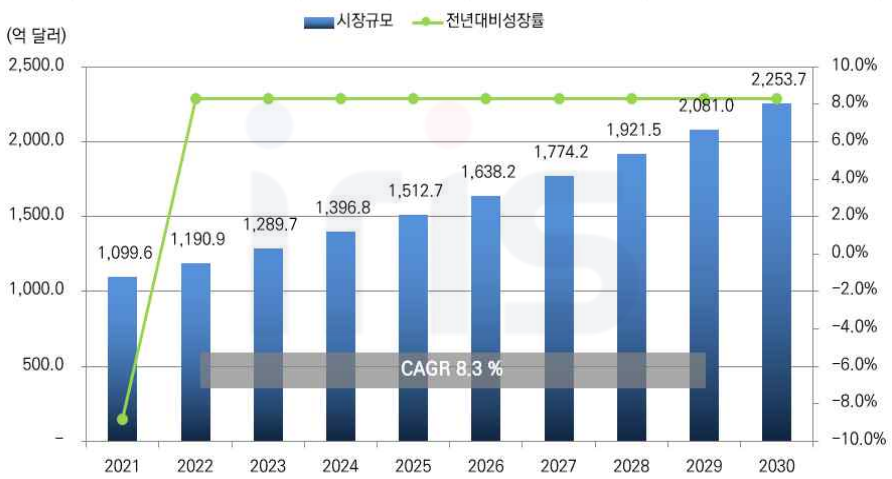
❍ 우리나라 정부도 2050 탄소중립 사회 실현을 위한 핵심 투자 분야에 바이오에너지를 포함하는 등 다양한 정책을 추진

□ **(세계 바이오연료 시장)** 세계 바이오연료 시장은 '21년 1,099.6억 달러에서 **연평균 8.3% 성장**하여 **'30년 2,253.7억 달러**에 달할 것으로 전망

❍ 지속 가능하고 신뢰할 수 있는 에너지에 대한 수요 확산, 환경적으로 수용 가능한 **청정 에너지원**에 대한 **관심 증가**로 인해 전 세계적으로 바이오 연료 수요 확대

❍ 차량 연료에 결합된 바이오 연료에 대한 정부 규제와 환경 친화적인 전력 옵션에 대한 정부 지원 증가가 결합되어 전 세계 바이오 연료 사용을 늘리고, 예측기간 동안 바이오 연료 시장이 빠른 속도로 성장하도록 유지

〈그림 Ⅱ-122〉 세계 바이오연료 시장규모 현황 및 전망



*출처 : Precedence Research, Biofuels Market 2020 to 2030, 2022. 01., 재구성

❍ **(선진국 및 글로벌 기업, 바이오연료 시장 선점을 위한 투자)** 주요 선진국과 글로벌 기업들은 바이오연료 시장 선점을 위해 대규모 기술개발 및 생산 시설 구축 등에 적극 투자

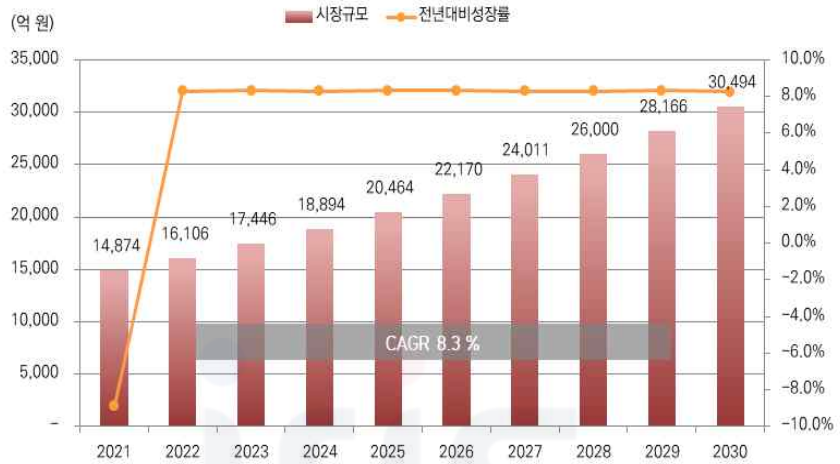
- 미국은 연료생산자와 원료공급자에게 재정지원을, EU는 연구기금 등을 통해 차세대 연료 개발에 공을 들이고 있는 상황
- 핀란드 국영 정유사 네스테 오일은 바이오에너지 부문에서만 연간 영업이익의 80%에 가까운 2조원 가량을 벌어들이고 있는 상황

□ **(국내 바이오연료 시장)** 국내 바이오연료 시장은 '21년 1조 4,874억 원에서 **연평균 8.3% 성장**하여 **'30년 3조 494억 원**에 달할 것으로 전망

❍ 국내 바이오연료시장은 성장 추세이나, **전세계 시장에서 차지하는 비중**은 **약 1.0%**로 미미('20년, 생산량 기준)

* 국내/세계(석유관리원, IRENA): 1.5백만toe/136.8백만toe

〈그림 II-123〉 국내 바이오연료 시장규모 현황 및 전망



*출처 : Precedence Research, Biofuels Market 2020 to 2030, 2022. 01., 재구성

※ 산업통상자원부, '탄소중립 시대 에너지 신산업 육성을 위한 친환경 바이오연료 확대 방안'(2022.10.)에 따르면 국내시장은 전세계 시장에서 차지하는 비중의 약 1.0%인 것으로 확인, 이를 적용하여 국내 시장규모를 추산(환율 1,353원/23.10.26.기준)

- **(바이오디젤)** 전량 국내생산(87.4만toe), 수송용으로 일반 경유에 혼합하여 사용되며, 23%(20.5만toe)는 해외로 수출

* 국내 원료(24.3%)는 폐식용유, 동물성 유지 등이며, 해외수입원료(75.7%)는 팜유 및 부산물 등

- **(바이오중유)** 전량 국내생산(55.3만toe), 발전용 연료로 사용

* 국내 원료(26.7%)는 바이오디젤 부산물, 음폐유 등이며, 해외수입원료(73.1%)는 팜 부산물 등

** 현재 남부발전(200MW, 제주), 중부발전(150MW, 제주)에서 발전연료로 사용 중

- **(바이오가스)** 유기물(음식물·가축분뇨·하수찌꺼기 등)을 분해·가스화하여생산, 일부 난방 등 자체소비하고 일부는 소규모 발전·도시가스·차량용 사용

(2) 바이오소재

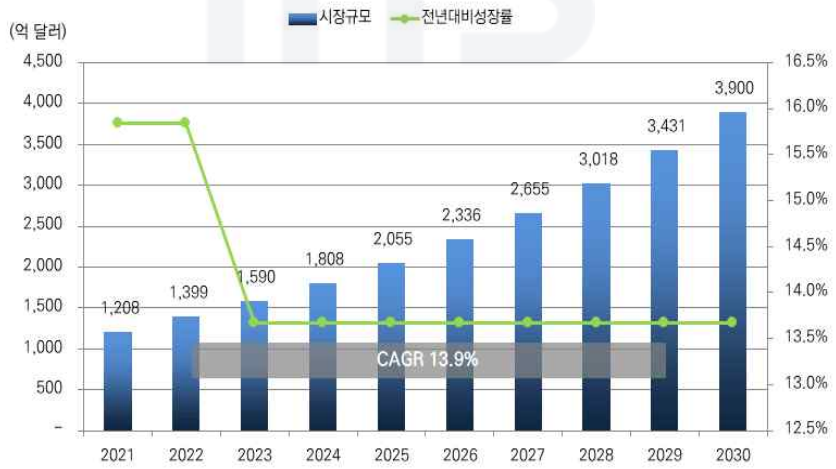
□ 바이오 소재 산업은 **타 산업의 부가가치**를 높일 수 있는 **가장 유망한 대안**으로 **의약품, 화장품, 에너지, 농업, 산업 소재** 등 **무궁무진한 잠재력**을 지님

❍ 바이오소재에 대한 관심은 산업적 유용성에 대한 인식을 바탕으로 시작되었으며 미국, 일본, 유럽 등 **선진국을 중심**으로 **신소재 탐색, 고부가가치 응용분야 탐색 및 생산 실용화 기술개발** 등 **바이오소재 관련 투자**를 **확대**

❍ 전 세계적으로 산업적 부가가치가 높은 바이오 소재를 확보하고 활용하기 위한 경쟁이 격화되고 있으며, 나고야의정서 채택 등 생물자원에 대한 주권의식이 강화

□ **(세계 바이오소재 시장)** 세계 바이오소재 시장은 '21년 1,208억 달러에서 **연평균 13.9% 성장**하여 **'30년 3,900억 달러**에 달할 것으로 전망

〈그림 II-124〉 세계 바이오소재 시장규모 현황 및 전망



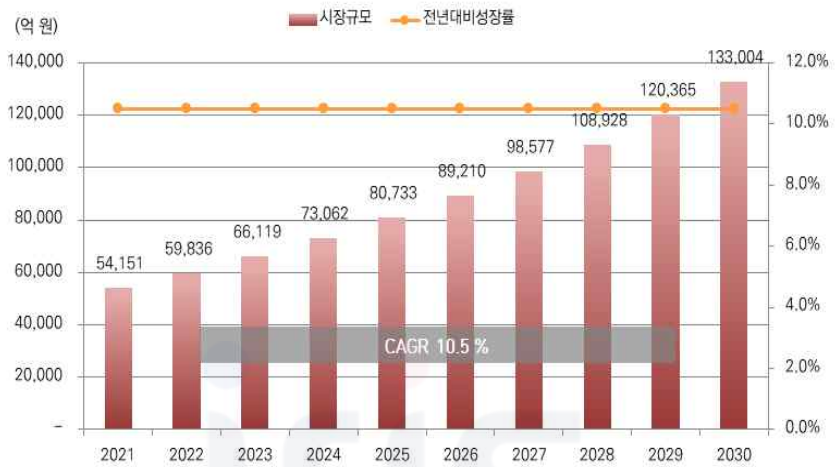
* 출처 : REPORTSINSIGHTS CONSULTING, Biomaterials Market: Size, Growth Analysis, and Forecast 2023-2030, 2023.03.29., 재구성

❍ **(시장성장요인)** 새로운 생체 재료 개발을 위한 전 세계정부 기관의 자금 및 보조금 증가, 노인 인구 증가, 재생 의학에 대한 연구 증가, 새로운 바이오소재용 농산물 수요증가 등

□ **(국내 바이오소재 시장)** 국내 바이오소재 시장은 '21년 5조 4,151억 원에서 **연평균 10.5% 성장**하여 **'30년 13조 4억 원**에 달할 것으로 전망

❍ 고령화 및 소득증가에 따른 건강에 대한 관심 증대 등으로 향후 기능성 식품과 의약품 분야 시장은 지속적인 성장이 예상

〈그림 Ⅱ-125〉 국내 바이오소재 시장규모 현황 및 전망



* 출처 : 한국농촌경제연구원, 농업전망 2023 2부, 2023.01.18. 재구성

□ 우리나라는 바이오 핵심소재 개발, 품질관리 노하우 등이 취약하며, 해외 네트워크도 부족하여 산업기반 조성 필요한 실정

❍ 따라서, 우리나라도 국가생명연구자원 관리·활용 기본계획에 따라 바이오 소재 자원의 효율적인 통합 관리와 품질 제고를 위해 부처별로 관리되던 기존 자원은행(274개)을 구조 조정해 범부처 14대 소재 클러스터로 재편하고 수요 맞춤형으로 육성 중

- 클러스터 내 소재자원은행들은 소재 분야별 특수성을 고려한 자원 확보 및 표준화를 추진해 품질관리된 소재를 제공하고, 연구기관 및 기업 수요를 반영한 분석·실험 대행 등 맞춤형 기술지원 서비스도 제공

나. 기술

(1) 바이오연료

□ **(선진국 대비 국내기술 수준)** 국내 바이오연료 생산 기술은 최고기술 **보유국(미국) 대비 83.5% 수준(기술격차 4.5년)**으로, EU・일본에 비해서도 열세(‘20년, 녹색기술센터)

* 美 대비 기술수준 · 격차: EU(93.0%, 2.0년), 日(88.0%, 3.3년), 韓(83.5%, 4.5년), 中(77.5%, 5.3년)

❍ 정유 공정상 배출되는 탄소 활용기술(CCU) 등 원천기술 개발(‘22~ ‘26년) 및 폐플라스틱 열분해유 원료 활용 실증특례 등 진행 중(‘21~ ‘23년)

□ **바이오연료 유형별 기술동향**

❍ **고체 바이오연료**

- 발전용 고형연료화 기술은 고에너지 효율의 펠릿 성형 기술개발이 진행 중이며, 고형 바이오연료를 사용한 고에너지효율 펠릿 보일러 등을 개발
- 국내에서는 미활용 바이오매스의 확보 및 청정 연료화 기술에 대한 관심이 증가하고 있으며, 해외의 경우 저급 바이오매스의 고급 연료화 기술개발 중

❍ **액체 바이오연료**

- **(바이오에탄올)** 사탕수수, 옥수수, 밀 등 식량자원을 발효하여 만든 알코올 기반의 연료로써 효소당화공정 및 발효공정 등을 거쳐 생산, 발효공정에 효모(yeast) 또는 박테리아를 이용할 수 있으나 상업화 수준에서는 효모를 주로 사용하며 당화-발효 동시 공정도 개발되어 상업적으로 적용

· 당 및 전분을 원료로 하는 1세대 바이오에탄올은 상업적으로 생산 기술이 이미 확립되어 있으나 식량을 연료로 사용한다는 윤리적인 문제를 피할 수 없어 셀룰로오스계 원료를 이용한 2세대 바이오에탄올의 생산 기술 개발에 관한 관심 증가

· 셀룰로오스계 바이오에탄올 생산을 위해서는 전처리 공정이 추가로 필요한데 이때 후단의 당화 및 발효 공정에 저해 영향을 주는 부산물의 생성을 최소화하고 비용이 많이 들지 않아야 하므로 이에 대한 다양한 공정이 개발되고 있는 상황

· 3세대로 갈수록 탄소저감 효과는 크나, 원료 확보가 어렵거나 관련 기술이 기초단계 수준

- **(바이오부탄올)** 독성 극복을 위한 다양한 방법과 높은 부탄올 회수공정 비용을 낮추기 위한 기술개발이 진행

· 셀룰로오스계 바이오부탄올은 폐목재와 폐농작물을 분쇄해 산과 혼합해 바이오당을 만들고 고성능 균주가 이를 먹고 배설하는 연속발효 및 분리정제 공정을 거쳐 생산되고 있으나, 아직 상용화급 시설이 많이 건설되지 않은 상황

- **(바이오디젤)** 알코올을 이용한 유지의 에스테르교환반응(transesterification)을 통하여 생산되는데 상업적으로는 주로 염기 촉매를 이용하지만 산 촉매를 이용하거나 리파아제(lipase) 효소 공정, 초임계 유체 공정 등도 개발

· 최근 식량, 에너지, 환경 문제가 다시 대두되면서 전 세계적으로 새롭게 미세조류 바이오디젤에 관한 관심이 증대되고 고지질 미세조류종 개발, 대량 배양, 수확 및 오일 추출, 부산물 활용에 관한 연구가 경쟁적으로 진행

- **(바이오중유)** 동·식물성 유지나 바이오디젤 공정 부산물 등 미활용 자원으로 제조한 연료로 우리나라가 세계 최초로 전면 보급

· 바이오중유를 친환경 선박유로 활용하기 위한 추진체 성능, 연료 품질, 안전성 검증, 온실가스 감축 인증을 포함한 육상 테스트, 해상 테스트가 진행 중

❍ 기체 바이오연료

- 기체 바이오연료는 열원이나 발전용 연료로 사용할 수 있으며 바이오가스 생산 공정 기술의 경우 현지의 여건에 맞도록 최적화하여 실제 적용하는 부분이 중요

· 혐기성 소화를 통하여 생성된 바이오가스는 주성분이 50~80% 메탄, 20~40% 이산화탄소이며 0.05~1% 소량의 황화수소와 수분, 실록산(siloxane) 등의 불순물을 포함하는데 여기에서 분리, 정제를 통하여 99% 이상의 고순도 메탄을 생산하는 것이 최근 중점 개발 분야

□ 국내외 기업 원료 확보 현황

❍ 국내・외 주요 기업들은 원료 생산 업체에 대한 직접 투자 또는 M&A 등을 통해 적극적으로 공급망 강화 노력 중

- **(BASF(독일))** 폐플라스틱열분해유업체에 대한 직접투자로 원료 확보(약 3,600만유로, '19~' 20년)

- **(NESTE(핀란드))** 美 폐식용유(Mahogaby, '20.3월) 및 폐유(Agri-Trading, '21.9월) 처리업체100% 지분인수를 통해 북미시장 진출을 위한 원료 확보(금액 미발표)

- **(D・E社(국내))** 국내 재생에너지 원료 수거・처리업사와 합작 또는 지분투자 협의 중

(2) 바이오소재

□ 기업 기술개발 동향

❍ **(독일/ 바스프(BASF)** 플라스틱 원료인 숙신산, 생분해성 소재인 PBAT을 생산

- PBAT의 단량체 아디프산(Adipic acid)을 숙신산(Succinic acid)으로 대체하여 새로운 물성의 생분해성 바이오플라스틱 소재(PBST)를 개발
- 바이오납사(Bio-naptha) 또는 바이오가스 유래 원료와 석유 유래 원료와 혼합하여 석유화학제품을 생산하는 바이오매스 함량을 향상하는 질량균형접근법(Biomass balance approach)을 개발하여 자사 제품의 바이오매스 함량을 향상

❍ **(미국/Danimer Scientific)** Danimer Scientific은 바이오폴리머 제조업체로 2002년 기준 1만톤/년 규모의 PHA 생산공정을 완공

- 2022년까지 7억 달러를 투입하여 2.25만톤/년 생산 규모를 증설, 최종적으로 3.25만톤/년 규모의 PHA 생산공장을 확보할 계획

❍ **(이탈리아/Novamont)** 전분계 생분해성 바이오플라스틱 복합소재(Mater-Bi)를 상용화하고, 바이오윤활유(Matro-Bi), 바이오화장품 원료(Celus-Bi) 등과 같이 바이오제품군을 점차 확대

❍ **(일본/Nikko chemical)** Nikko chemical은 1948년에 설립된 화장품 원료 전문기업으로, 바이오 소재의 대표 제품으로는 사탕수수 찌꺼기를 소재화한 “Nikkol 슈가 스쿠알렌”

- “지속 가능한 소재”의 개발을 목표로 고갈가능성 소재 및 식량원료를 배제한 산업폐기물을 활용한 사례로 석유화학 대체품 개발로 유명한 미국의 Amyris사와 2011년부터 제휴하여 기술개발 및 상업화를 진행
- 사탕수수 버거스(찌꺼기)를 활용한 Nikkol 슈가 스쿠알렌은 친환경 소재로 알려져 있으며, Nikkol 슈가 스쿠알렌 1톤 생산시 CO2 배출 약 3톤을 감소시키는 효과가 확인

❍ **(국내/아미코젠)** 국내 바이오소부장 기업으로 바이오소재 국산화의 핵심 소재 배지, 레진 사업을 영위

- 바이오의약품 제조에 필요한 세포배양에 사용되는 ‘배지’와 항체 바이오의약품 생산에 필수적인 ‘레진’ 등을 신사업으로 육성하고 있으며, 2030년까지 배지, 레진에 대한 국내 시장 점유율 30% 달성을 목표로 두고 있는 상황
- 국내사 중엔 유일하게 국산화에 성공해 상용화 준비를 마친 상태로, 여수 레진 공장과 송도 배지 공장이 각각 연말 완공을 앞두고 있는 상황

❍ **(국내/CJ제일제당)** 해양 생분해성이 우수한 바이오플라스틱 소재인 폴리히드록시알카노에이트(PHA) 생산 설비(연산 5천 톤 규모)를 인도네시아에 건립하여 상용화 추진

- SKC와의 협업을 통해 자사가 생산한 PHA 소재와 PLA 소재를 활용하여 친환경 생분해성 포장재를 개발을 추진
- **(PHA)** ‘22년 0.5만톤 생산 시설 준공, ‘25년 연간 6.5만톤, ‘30년까지 30만톤 PHA 생산 능력 확보
- 2023년 친환경 제품 전문 디자인 기업인 ‘리벨롭’과 공동 개발을 통해 생분해성 바이오 소재 ‘PHA’를 적용한 칫솔 개발

❍ **(국내/㈜대상)** 아미노산 유래 바이오플라스틱 단량체(2-Pyrrolidone, cadaverine) 생산 기술 개발

- 자사의 전분당 기술을 활용한 전분계 생분해성 바이오플라스틱 복합소재 기술 개발 중에 있으며, 바이오매스 유래 1,4-부탄디올 생산 공정 개발 진행
- 화이트 바이오 사업도 강화할 방안으로 대상은 2021년 11월 400억 원을 투자해 SKC, LX인터내셔널과 고강도 생분해성 플라스틱(PBAT) 생산·판매 합작회사 ‘에코밴스’를 설립을 발표

7. 바이오매스

가. 산업/시장

□ 바이오매스의 산업은 다음 아래와 같이 전후방 산업으로 구분

❍ **(후방 산업)** 바이오매스 원료를 생산 및 수입하는 농업, 임업 및 수산업, 바이오매스를 연료로 가공 및 생산할 수 있는 공정 설비 산업 그리고 화학적 및 생물학적 처리를 수행하는 공정기초산업으로 구성

❍ **(전방 산업)** 바이오 연료를 사용하는 정유업, 재생에너지로서 활용하는 발전업 그리고 환경 친화 정책 대응 산업 등으로 구성

□ **원유가격의 급격한 상승**으로 인해 생물자원을 활용한 유용 **바이오소재 생산이 각광**

❍ 미세조류를 원료로 하여 대기나 해수 중의 CO_2와 물, 태양광을 에너지로 삼아 대규모 경작지가 필요하지 않고, CO_2 저감에 기여하여 **기존 원료를 대체할 새로운 원료**로 주목

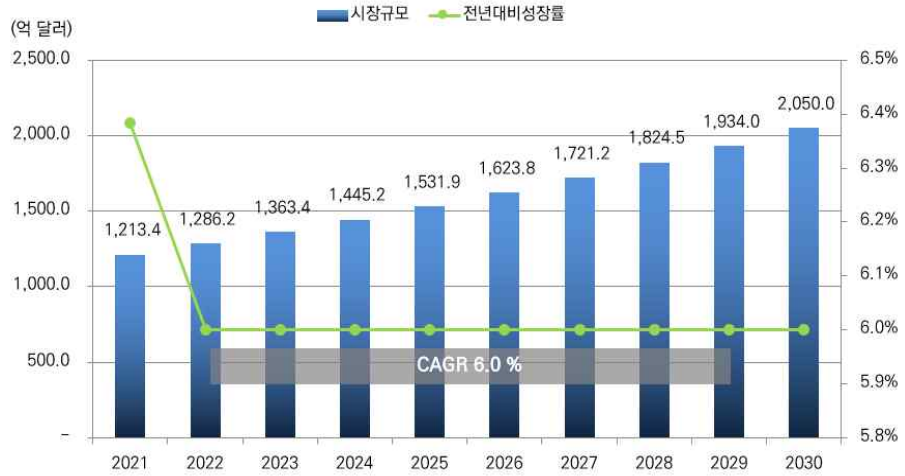
❍ 바이오매스 발전은 온실가스 저감이라는 재생에너지 확대 정책의 목적에 부합하므로 지속적인 발전 및 변화를 거듭될 것으로 전망

□ **(세계 바이오매스 시장)** 세계 바이오매스 시장은 '21년 1,213.4억 달러에서 **연평균 6% 성장**하여 **'30년 2,050억 달러** 규모에 달할 것으로 전망

❍ 도시화에 따른 인구 증가, 1인당 소득 증가, 바이오매스 발전 이용 증가 등으로 수요 급증

❍ 바이오에너지 생산을 촉진하기 위한 각국 정부 주도의 이니셔티브가 주요 시장 성장 동인

〈그림 II-126〉 세계 바이오매스 시장규모 현황 및 전망

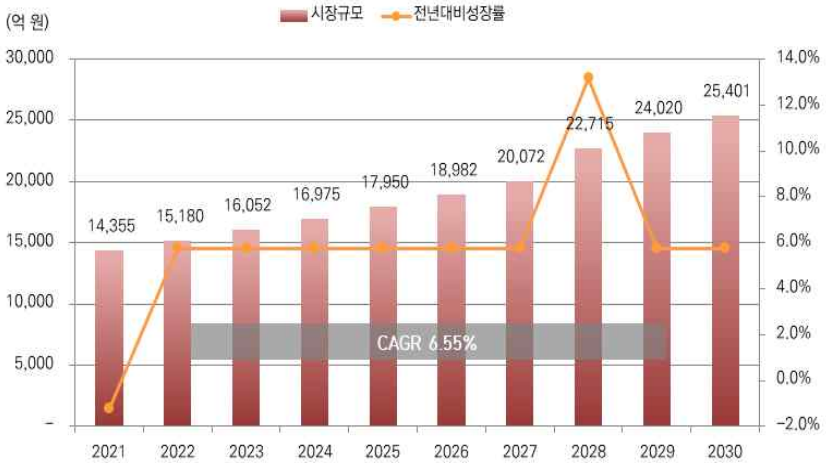


*출처 : Grand View Research, Global Biomass Power Market, 2022., 재구성

❍ 전 세계 바이오매스 시장에서의 주요 기업으로는 Ameresco(미국), Andritz(오스트리아), Babcock&Wilcox Enterprises(미국), Drax(영국), Valmet Oyj(핀란드) 등이 존재

□ **(국내 바이오매스 시장)** 국내 바이오매스 시장은 '21년 1조 4,355억 원에서 **연평균 6.55% 성장**하여 **'30년 2조 5,401억 원**에 달할 것으로 전망

〈그림 II-127〉 국내 바이오매스 시장규모 현황 및 전망



* 출처 : 중소기업은행, "2050 탄소중립 달성 및 지속 가능한 에너지믹스 관점에서의 바이오매스 복합발전 기술 및 산업 동향", 2023.07.17. 재구성

❍ 국내에서는 바이오에너지 생산에 활용 가능한 바이오매스 자원이 거의 없기 때문에 에너지화 할 수 있는 바이오매스 원료 및 기술개발 등이 상당히 중요한 상황

❍ 국내 바이오매스의 기술적 잠재량은 1,509만 TOE*으로, 세부 현황은 아래를 참고

*원자력발전소 약 8기의 발전량의 해당하며, 원전 1기 발전량의 석유환산톤 200만TOE 기준

- 통계에 포함되지 않는 바이오매스를 고려하면 실제 에너지 잠재량은 더욱 풍부
- 커피찌꺼지(연 15만톤), 폐버섯배지(연 87만톤), 수산부산물(연 150만톤), 도축 폐기물, 기타 농산부산물 등

〈표 Ⅱ-148〉 국내 바이오매스 에너지 잠재량 현황

(단위 : TOE/년)

구분		이론적 잠재량	기술적 잠재량	비고
산림/목재 바이오매스	임산	12,849,010	9,852,860	침엽수림, 활엽수림, 혼효림
폐자원 바이오매스	농산	2,979,677	2,979,677	볏짚, 왕겨, 고춧대, 고구마줄기, 사과전정지, 포도전정지 등 17개 품목
	축산	1,705,398	1,497,800	우분, 계분, 돈분 등
	도시폐기	1,143,227	759,788	음식물류 폐기물, 하수슬러지
합계		**18,677,312**	**15,090,125**	

*출처 : 한국에너지공단, 2020 신재생에너지백서

나. 기술

□ **(바이오매스 발전 기술)** 바이오매스를 에너지로 전환하는 기술은 직접 연소법, 열화학적 변환법, 생물화학적 변환법으로 구분할 수 있으며, 그 밖에 식물유 등을 에스테르화 반응시켜 바이오디젤을 얻는 기술이나 물리적으로 변환시켜 바이오펠릿 등을 얻는 방법도 존재

❍ **(직접연소법)** 바이오매스를 공기 중에 태워 열을 발생시키는 기술로 에너지전환 방법 중 가장 오래되고 쉬운 기술

- 폐목재, 나무껍질, 톱밥 등 목재 폐기물을 주요 원료로 사용하고 농업부산물, 도시폐기물 등도 원료로 사용 가능하지만 화석연료에 비하여 발열량이 낮음
- 발열량을 높이기 위한 연소 방법 및 장치 개발이 활발하게 진행 중

❍ **(열화학적 변환법)** 산소가 부족한 상태에서 가열하여 탄화 및 액화를 유도하는 열분해 기술과 대기상태에서 가열 반응을 시키는 가스화 기술로 크게 분류

- **(열분해 기술)** 최근에는 수천 ° C/초의 속도로 가열 및 냉각하여 열분해 생성물을 분해하고 중합반응을 억제하여 70% 이상의 높은 수율로 타르를 생성시키는 급속 열분해 방법이 주목
- **(가스화 기술)** 연소에 필요한 산소 대비 적은 양의 산소를 공급하는 부분산화 공정을 통해 합성가스를 생산하는 방식으로, 직접가스화와 간접가스화로 구분

· (직접가스화) 가스화제로서 공기, 산소 그리고 수증기 등을 이용하여 850°C 부근에서 가스화 반응시켜 수소, 일산화탄소 그리고 탄화수소 가스 등을 포함하는 합성가스를 생산하는 기술

· (간접가스화) 메탄올 등의 액체연료를 생산하는 기술로 천연가스를 수증기로 개질하거나 나프타를 부분 산화하여 합성가스를 얻는 기술

❍ **(생물화학적 변환법)** 미생물을 사용하여 에너지를 변환하는 방법으로서, 건조 공정을 거치지 않기 때문에 수분이 많이 함유된 바이오매스의 에너지 변환에 유리한 방법이며 메탄발효와 알코올발효 등의 방법이 존재

- **(메탄발효)** 미생물의 활동에 의하여 유기물이 지방산, 탄산가스 그리고 알코올로 분해된 후 혐기성 메탄생성계 효모균에 의해 메탄으로 변화하는 기술로, 수분을 많이 함유한 폐기물이나 유기물의 농도가 높은 폐수처리에 널리 이용
- **(알코올발효)** 글루코오스 등의 당으로부터 미생물을 발효시켜 바이오에탄올을 생산하는 기술로, 전분질계나 목질계를 이용하는 경우에는 당화를 거쳐 당질로 변화시키고 효모를 활용하여 알코올로 변환
  · 식량자원과의 경쟁 관계가 없고 원료 가격도 낮은 목질계 원료는 분자구조가 견고하여 복잡한 발효 공정이 요구되는 단점이 존재

❍ 이 외, 식물성기름과 메탄올을 적정 온도와 압력에서 반응시키면 바이오디젤과 부산물로 글리세린이 만들어지며, 바이오디젤의 보급 활성화에 대비하여 원료 가격을 절감하고자 폐식용유를 원료로 하는 기술도 개발되고 있는 중

❍ 해양 미세조류의 지질류를 정제하여 바이오디젤을 생산하는 신바이오매스 생산 기술도 최근에 상용화되었으며, 바이오매스를 활용한 수소 및 바이오가스 생산 기술도 개발되고 있는 상황

□ 기업 기술개발 동향

❍ **(미국/Ameresco)** 2000년 설립되었으며, 재생에너지 솔루션과 발전소 운영 및 유지보수 서비스를 제공하고 있는 바이오매스 종합 발전사

- 재생 가능한 에너지원으로부터 전기, 열, 가스 또는 냉각을 생성하는 소규모 플랜트의 건설과 같은 재생 가능한 에너지 솔루션 및 서비스, 운영 및 유지보수 서비스를 제공
- 비태양광 분산 생성 부문에서는 태양 이외의 재생 가능 에너지원에서 발생하는 전기, 가공 재생 가스 연료 판매 및 소규모 플랜트를 위한 O&M 서비스를 제공
- Imperial College London의 Energy Futures Lab과 함께 바이오매스 가스화 및 연소에 관한 연구 프로젝트에 참여
- 연간 483,552 Dekatherms를 초과하는 총 명판을 보유, 2,000 scfm의 원시 매립 가스를 처리

❍ **(미국/Babcock & Wilcox Enterprises)** 폐기물에너지 및 바이오매스 발전 산업을 위한 증기 발생 시스템, 환경 및 보조장비 그리고 플랜트 운영 및 유지보수 서비스를 제공

- 톱밥, 우드칩 그리고 이탄 등과 같은 다양한 유형의 바이오매스 발전 연료 제공

❍ **(오스트리아/Andritz)** 1852년 설립되었으며, 모든 유형의 바이오매스를 효과적으로 처리, 운반, 저장 그리고 발전 시스템에 공급하는 솔루션을 제공

- 고체 및 액체 분리에 대한 광범위한 기술 포트폴리오를 보유하고 있으며, 환경에서 식품, 화학 및 광업에 이르는 다양한 분야에 서비스를 제공
- '19년 8월, 화학 펄프 산업을 위한 프로세스 기술 공급업체인 Kempulp AB 인수
- Andritz PowerFluid 보일러는 높은 플랜트 효율성을 달성하고 바이오매스의 활용을 최적화할 목적으로 높은 증기 온도와 결합된 고압 및 재가열 시스템을 보유

❍ **(국내/한국남부발전)** 연간 약 30만 톤의 바이오매스를 활용, 남제주발전본부 설비를 바이오중유 전소발전소(200MW)로 구조를 변경

- 석탄화력발전소인 하동과 삼척본부 설비를 우드펠릿 혼소(일 1,000톤 규모)하여 운영

❍ **(국내/한국남동발전)** 2017년 강릉에 국내 최대 규모 바이오매스 전소 발전소 (125MW)를 준공하고 2020년 후속 호기(200MW)를 준공

- 바이오매스 발전의 부산물인 재를 이용해 바이오차(Biochar)를 생산하여 농가에 공급하는 등 친환경에너지와 친환경농업을 선도

❍ **(국내/GS EPS)** 국내 최초의 민자 발전회사로, 당진발전소 부지에 총 210MW 규모의 바이오매스 발전소를 운영

❍ **(국내/LX 인터내셔날)** 2014년 포승 바이오매스 발전소를 인수, 바이오 고형연료(Bio-SRF)과 미이용 우드칩 등 연간 25만 톤 규모의 목질계 바이오매스를 연료로 사용해 시간당 최대 43MWh의 전력을 생산

8. 대체 시멘트 및 건설소재

가. 산업/시장

(1) In-situ 탄산화

□ **광물탄산화** 방법은 일반적으로 직접법과 간접법으로 구분되며, CO2와 **규산염**이 반응하는 **위치**에 따라서 in-situ와 ex-situ 방법으로 구분

❍ (in-situ) CO2와 규산염이 반응하는 위치에 따라서는 CO_2를 칼슘 또는 마그네슘 등이 포함된 규산염 광물이 풍부한 지층에 주입하는 in-situ 방법

- **(In-situ 탄산화 기술)** 모르타르/레미탈/레미콘/콘크리트 2차제품 등 시멘트 기반 건설재료 제조 공정 중 CO_2를 주입하여 시멘트 수화과정에서 CO_2를 격리하는 시멘트 산업 분야 CCUS 광물탄산화 기술

❍ (ex-situ) 규산염 광물 또는 알칼리성 산업 부산물을 파분쇄 등의 전처리 과정을 거친 후 외부의 화학 공정을 통해 탄산화를 하는 ex-situ 방법으로 구분

□ **(In-situ 탄산화, 저탄소 건설 시장 조성)** In-situ 탄산화 기술을 통해 생산되는 시멘트는 친환경 저탄소 제품이 될 수 있어 크게 각광 받고 있으며, 저탄소 건설 시장 조성에도 기여

❍ 지구 온난화와 기후 오염 주범인 CO_2 이슈로 인해 저탄소 친환경 건설재료로 활용 분야가 점차 확대되는 추세

❍ In-situ 탄산화 시멘트는 시멘트 산업에 최적화된 저에너지/저탄소 특수 시멘트로 CO_2 고정화율 극대화 및 물성확보에 따른 저탄소 건설산업 분야 산업확대 적용 가능

□ **(세계 광물 탄산화 시장)** 세계 광물 탄산화 시장은 '21년 121억 7천만 달러에서 **연평균 5.56% 성장**하여 **'30년 198억 달러** 규모에 달할 것으로 전망

❍ 건축 및 건설 산업에서 광물 탄산화는 골재의 결합제 성분과 건축 자재로 광범위하게 사용

❍ 각국 정부와 산업계는 기후변화의 완화를 위한 정책에 따라 시멘트 등 건축자재 분야에서 가장 큰 투자 잠재력이 있을 것으로 전망

❍ **(시장 성장 요인)** 높은 도시화, 개인의 1인당 소득 증가로 인해 건축 및 건설 분야는 전 세계적으로 수익성 있는 속도로 확대되는 추세

❍ 탄소광물화에 의해 생산되는 탄산칼슘(CaCO3)은 CCUS 광물화에 가장 많이 활용되는 화합물로, CO_2 광물 탄산화 기술 상용화시 탄소광물화 시장을 대체할 것으로 기대

〈그림 Ⅱ-128〉 세계 광물 탄산화 시장규모 현황 및 전망

*출처 : Stringent Datalytics, Global Carbonate Minerals Market, 2023.05.27. 재구성

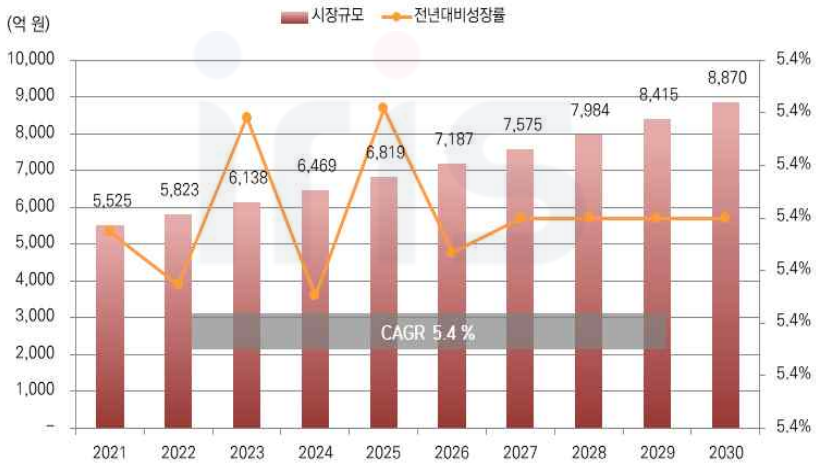
□ **(국내 광물 탄산화 시장)** 국내 광물 탄산화 시장은 '21년 5,525억 원에서 **연평균 5.4% 성장**하여 **'30년 8,870억 원** 규모에 달할 것으로 전망

❍ 국내 탄산칼슘 전체 시장규모는 연간 약 1억 톤에 이르며 이는 세계시장의 1%에 해당하는 규모로, CO_2 광물 탄산화 기술 상용화시 탄소광물화 시장을 대체할 것으로 기대

❍ 미국, 영국, 독일 등에서 CO_2 광물탄산화 기술 일부가 상용화 단계에 진입하였으나, 국내 상용화 기술 사례는 부재

- 국내는 광물탄산화는 기초연구 및 파일럿 실험 수준으로 시장진입 단계에 이르지 못하였으며 직접탄산화, 간접탄산화 부문에서 각 실증연구가 추진 중

〈그림 II-129〉 국내 광물 탄산화 시장규모 현황 및 전망



* 세계 탄산칼슘 시장을 기반으로 추정하였으며(1달러=1,300원), 탄소자원화 기술의 경제성 평가 및 상업화 방안(과학기술정책연구원, 2019)에 따라 국내시장은 세계시장의 1%에 해당함을 적용

* 출처 : Calcium Carbonate Market Size, Share & Trends Analysis Report By Application (Paper, Plastics, Paints & Coatings, Adhesives & Sealants), By Region, And Segment Forecasts, 2022 - 2030 (Grand View Research, 2021) 재구성

(2) 이산화탄소 반응경화 시멘트

□ **(CO_2 최대 70% 감량 시멘트)** 이산화탄소 반응경화 시멘트는 제조 전 공정에서 보통 포틀랜드 시멘트 대비 최대 70% 가량의 CO2 감축을 기대할 수 있는 저탄소 시멘트로 유망한 산업 분야

❍ **(해외)** 미국, 캐나다, 유럽에서 직접탄산화 기반 건설자재 생산기술 및 CO_2 반응경화 시멘트·양생기술은 **시장 진입단계로 이미 상용화 단계**

❍ **(국내)** 국내에서 이산화탄소 반응경화 시멘트·양생기술은 기술개발 이력이 부족하며, 제조 특성 및 **기초물성연구가 시작**되고 있는 단계

□ 선진국에서도 이산화탄소 반응경화 시멘트 및 제품제조 기술은 매우 효과적인 감축 수단으로 인식

❍ 유럽, 중국 등에서 대량 생산 실증화 연구개발을 진행하여 이를 토대로 블록, 마감 타일, 패널 등의 상용화를 추진 중

❍ 일본에서는 2022년부터 2023년까지 정형의 콘크리트 2차 제품을 생산하는 사업을 발표

❍ 중국에서는 미국 solidia사와 협력하에 로터리 킬른에서 이산화탄소 반응경화 시멘트 클링커를 제조하고 콘크리트 공시체를 제작한 후 양생 조건에 따른 광물상 변화를 조사 중

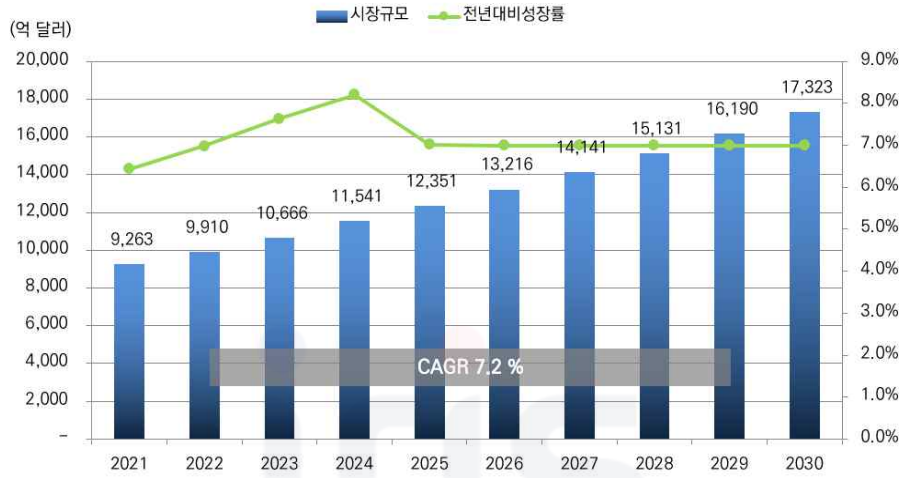
□ 이산화탄소 반응 경화 시멘트 및 제품제조 기술은 콘크리트 2차 제품 제조 공정에서 탄산화 반응을 적용하여 블록, 마감타일, 패널, OSC(off-set construction) 제품 등 건설재료로 활용할 수 있어 활용성이 높음

❍ 이산화탄소 반응 경화 시멘트 및 제품제조 기술은 국내 수급이 용이한 석회석($CaCO_3$) 및 실리카(SiO_2) 원료 물질을 별도의 공정 변경 없이 기존 시멘트 킬른에 직접 적용해 생산할 수 있어 적용성이 우수

□ **(세계시장)** 세계 시멘트 시장은 '21년 9,263억 달러 규모에서 **연평균 7.2% 성장**하여 **'30년 17,323억 달러**에 달할 것으로 전망

❍ COVID-19로 인한 경제활동 위축 등의 영향으로 시멘트 생산량 및 주요 업체의 매출은 감소하였으나, 점진적인 경기회복에 의한 수요 확대에 따라 일부 업체를 중심으로 수익성이 개선되는 중

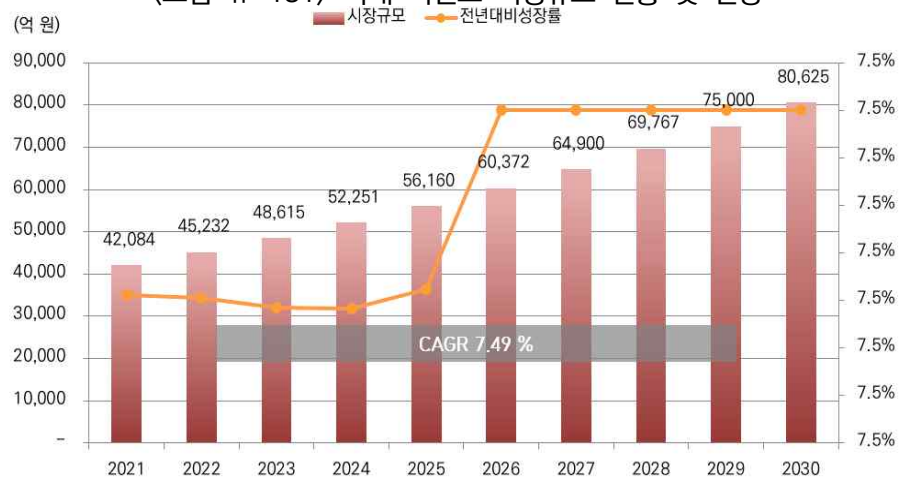
〈그림 Ⅱ-130〉 세계 시멘트 시장규모 현황 및 전망



*출처 : TechNavio(2020), NICE디앤비, 재구성

□ **(국내시장)** 통계청 「2021년 광업/제조업 조사」 발표자료에 따르면, 국내 시멘트 시장규모는 '21년 42,084억 원 형성 이후 **연평균 7.5%씩 증가**하여 **'30년 80,625억 원 규모**에 달할 것으로 전망

〈그림 Ⅱ-131〉 국내 시멘트 시장규모 현황 및 전망

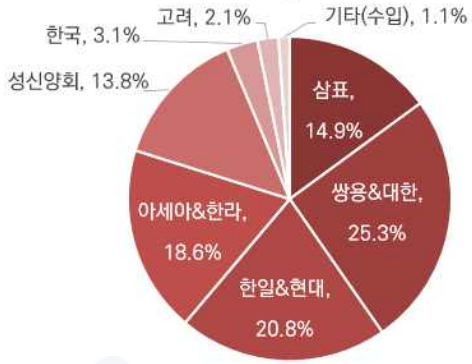


*출처 : 통계청(2021), NICE평가정보㈜, 재구성

❍ **(국내 시멘트 점유율)** 국내 시멘트 산업은 대표적인 7개 기업이 90% 이상 과점하는 시장이였으나, ‘17년 시멘트 기업들의 인수합병으로 5개 기업의 대표 기업이 시멘트 사업을 영위중

- 생산량 기준 쌍용&대한 25.3%, 한일&현대 20.8%, 아세아&한라 18.6%, 삼표 14.9%, 성신양회 13.8%의 비중으로 구성(한국시멘트협회, 2020)

〈그림 Ⅱ-132〉 국내 시멘트 시장점유율 현황(2020)



*출처 : 한국시멘트협회(2020), NICE디앤비, 재구성

〈표 Ⅰ-90〉

〈표 Ⅱ-149〉 국내 시멘트 산업의 클링커 생산량 추이 및 CO_2 발생량 추정

(단위 : 천 톤)

구분	2015	2016	2017	2018	2019	2020	평균
클링커 생산량	47,015	49,148	48,657	45,351	45,932	41,894	46,333
혼합원료 사용량	77,575	81,094	80,284	74,829	75,788	69,125	76,449
석회석 사용량	69,817	72,985	72,256	67,346	68,209	62,213	68,805
석회석 기인 CO_2 발생량	26,321	27,515	27,241	25,389	25,715	23,454	25,940

* 혼합원료 사용량 = 클링커 생산량 x 1.65, 석회석 사용량 = 혼합원료 사용량 x 0.9, 석회석 CaO 평균품위 48% 및 석회석 기인 CO_2 발생량은 37.7%로 가정

* 출처 : 콘크리트학회지, 제34권 1호 “시멘트-콘크리트 산업에서의 탄소중립 추진현황과 핵심기술”, 2022.01.

나. 기술

(1) In-situ 탄산화

□ **(개발 이슈)** 광물탄산화 반응공정 및 고부가화합물 제조

❍ **(광물탄산화 반응속도의 증가 및 에너지 효율이 높은 반응 공정)** 발전소 등에서 배출되는 CO2의 원활한 처리를 위해서는 광물탄산화 반응속도의 증가와 에너지 효율이 높은 반응 공정 개발 필요

- 안정적으로 CO2를 고정할 수 있는 광물탄산화의 반응속도 향상, 경제성 향상을 위한 직접 탄산화 및 간접탄산화법의 다양한 반응공정의 혁신 기술개발 이슈
- CO2 포집과 광물탄산화 공정의 개별 공정에 따른 장치 및 운전비용을 저감할 수 있도록 CO2 포집과 동시에 광물탄산화를 진행하는 일체형 공정 기술개발 등
- 생체 내에 존재하는 carbonic Anhydrase 효소를 이용하여 신속한 CO2포집하고 적절한 양이온을 도입하여 유용한 탄산칼슘 제조 등

❍ **(대규모 CO2 고정화)** 2050탄소중립을 위하여 국내 발생되는 CO2의 원활한 저감을 위하여 동시에 대량의 CO2를 고정할 수 있는 대규모 광물탄산화 기술개발 이슈

❍ **(탄산화제품의 고부가가치화)** 광물탄산화의 중장기적인 경제성 확보를 위하여 Ti 복합체, Al 복합체 등 탄산화제품의 고부가가치화 기술개발 이슈

□ **기업 기술개발 동향**

❍ **(캐나다/CarbonCure)** 레디믹스·프리캐스트 및 CO2 직접주입 양생기술 상용화

- 캘리포니아 콘크리트 생산업체인 Central Concrete Supply company와 Outback Materials와 협력하여 CarbonCure에 레디믹스를 공급할 수 있도록 생산시설 개조

- Outback Materials는 캘리포니아 고속철도(CHSR) 프로젝트에 CarbonCure 자재를 공급하기로 계약, Central Concrete Supply company는 CarbonCure 공정을 확장하면서 소규모 배치 프로젝트에 자재를 사용

❍ **(캐나다/Carbon Upcycling Technologies)** 캐나다 소재 광물탄산화 기업으로 프리캐스트 또는 레미콘 제조 공정시 CO2 주입하여 반응시키는 기술을 보유

- 마이애미주, 플로리다주, 포클랜드주, 오레건 주 등에서 사용허가 받음

❍ **(호주/Mineral Carbonation International)** ow grade 규산염 광물과 CO2를 연속반응 시키는 공정을 개발 등 저급 광물 또는 산업폐기물을 공급원료로 사용하는 탄산염 기반의 제품을 개발

- 전 세계 파트너들과 새로운 저탄소 건축 자재를 개발하기 위하여 호주에 시범 공장을 운영

❍ **(미국/Alcoa)** 알루미늄 제조 공정 중 보크사이트 잔여물 슬러리에 존재하는 가성소다에 CO2를 주입하여 건축자재나 토양 개질제로 활용하는 기술 개발

- 호주 Kwinawa 공장에 CO2 처리규모 연간 약 7만 톤인 CO2 광물화 플랜트를 2007년부터 운영 중에 있는데 보크사이트 잔여물과 반응을 위한 CO2는 인근의 정유공장으로부터 공급

❍ **(미국/Calera)** Alkalinity based on Low Energy라는 전기화학적 공정을 통해 생성된 가성소다를 해수로부터 얻은 칼슘, 마그네슘 양이온과 반응시켜 단일 모듈에서 콘크리트 및 시멘트를 생산하는 기술을 개발

❍ **(국내/롯데건설)** 시멘트 생산 시 배출된 이산화탄소를 포집, 정제하여 다시 콘크리트 생산에 혼입하는 ‘In-situ 탄산화 기술’을 연구

- **(탄소저감 친환경 혼합 시멘트 개발)** 기존 시멘트 사용량을 95% 줄이고, 이산화탄소 발생량을 6% 수준으로 크게 낮춤

❍ **(국내/유진기업)** 국책과제인 ‘시멘트 산업 발생 CO2 활용 in-situ 탄산화 기술개발’ 과제를 2021년 부터 오는 2024년까지 주관 기업으로 연구를 수행 중

※ 시멘트 산업 발생 CO2 활용 in-situ 탄산화 기술개발(‘21~‘24)’ 연구 내용

· In-situ 탄산화 적용을 위한 현장적용 레미콘 배합조건 선정 및 In-situ 탄산화 최적 적용을 위한 기준배합 선정 및 탄산화 메커니즘 연구
· CO2 공급/제어/모니터링 프로세스 설계(안) 도출
· 조강 시멘트, 중용열시멘트, 내황산염시멘트 등 시멘트 종류에 따른 CO2 고정화 연구
· In-situ 탄산화 공정(안) 및 탄산화기법에 따른 탄산화 주요 영향 인자 도출
· In-situ 탄산화 효율향상용 특수시멘트 결합재(LCSC) 제조기술 개발

- 2011년부터 국책과제 등을 통해 HVMA(High Volume Mineral Admixture) 고강도 레미콘 실용화 기술 개발을 진행하며 다양한 다양한 특수 콘크리트를 개발하고 상용화
- 특히 제철 부산물인 ‘고로슬래그’, 발전부산물인 ‘플라이애시’ 같은 혼화재의 비중을 높여 탄소 발생량을 최대 80% 감축할 수 있는 기술을 확보
- 2018년 레미콘 업계최초로 저탄소 제품 인증을 취득, 다양한 제품군에 저탄소 제품 인증을 획득해 국내 레미콘 업계 최다 인증을 보유

❍ **(국내/한일시멘트(주))** ‘21년부터 4년간 국책 과제인 ‘시멘트 산업발생 CO2활용 In-situ 탄산화 기술개발(주체:산업통상자원부)’ 사업에 착수

- 시멘트 생산공장인 단양공장에 순환자원 및 순환연료 사용과 시멘트 소성로 폐열을 이용한 폐열발전설비의 대체에너지 사용 등으로 친환경 공장
- 석회석 사용량을 줄이고 생산 온도를 낮춰 CO2 발생을 저감할 수 있는 ‘석회석 저감형 저탄소 시멘트’를 개발해 시멘트 업계 최초로 포틀랜드 시멘트 ‘환경성적표지’ 인증 획득

(2) 이산화탄소 반응 경화 시멘트

□ 시멘트 산업 온실가스 저감을 위해 주요국은 비탄산염 원료 사용, 순환연료 대체, 혼합재 함량 증대 및 신규 혼합재 개발, 친환경 열원 사용 등을 추진 중

❍ **(저탄소 및 CO2 흡수 시멘트・콘크리트 개발)** 특수 클링커 광물 및 산업 부산물을 활용하여 탄소배출이 적고, CO2 양생을 통해 CO2를 흡수, 고정화할 수 있는 시멘트 및 콘크리트 제조기술을 개발 중

- 대량 상용화는 미흡한 실정이며, 탄소중립 실현이 가능한 미래 혁신 기술로서 미국, 유럽, 일본 등 선진국에서 다양한 연구개발 및 투자가 진행 중

□ **(국내 탄소중립 시멘트・콘크리트 개발 초기 단계)** 미국, 유럽 및 일본 등에서 탄소중립 시멘트・콘크리트의 개발 및 상용화 실적이 있으나, 초기 단계로 대량 상용화 실적은 미흡

❍ Carbon Neutral에서 Negative까지 가능한 혁신적인 시멘트・콘크리트 기술에 대한 연구개발 및 상용화를 위한 투자가 진행 중

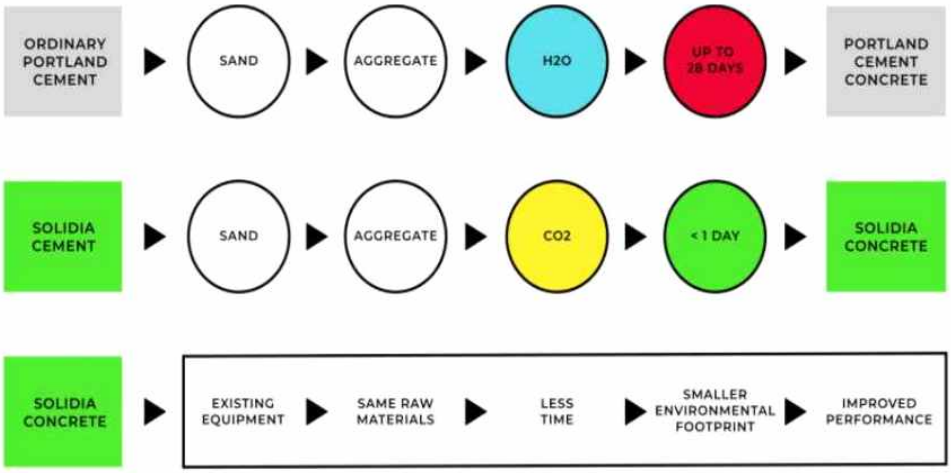
□ **기업 기술개발 동향**

❍ **(미국/Calera)** 미국 캘리포니아 주에 위치한 Dynegy Moss landing 발전소에서 발생되는 CO2를 일부 활용하여 시멘트계 보충 재료를 생산하는 시험 설비 구축

❍ **(미국/Solidia)** CO2 반응 경화 시멘트 및 2차 제품 업체로, 북미의 유닛 콘크리트 제품 제조업체인 EP Henry는 Solidia concrete로 제조한 제품 출시

- Solidia concrete는 물 대신 CO2로 양생하여 전체 탄소를 기존 콘크리트 대비 최대 70%절감, 기존 양생기간 28일에서 24시간으로 단축하며 강도는 유지

〈그림 II-133〉 Solidia 관련 공정



* 출처 : solidia 자료

❍ **(국내/롯데건설)** CO2 반응 시멘트 및 CO2 흡수 콘크리트 개발

- 기존 시멘트보다 낮은 온도에서 생산하여 이산화탄소 발생을 줄이고, 물이 아닌 이산화탄소와 반응하여 굳게 만드는 '탄소 경화 시멘트' 개발 연구
- 개발한 이산화탄소 반응 경화 시멘트를 원료로 블록과 벽돌 등 건축자재를 대량 생산하는 시스템도 구축할 계획
- 아울러, 국책과제로 산업통산자원부 한국에너지평가원의 '시멘트 산업발생 이산화탄소 활용 탄산화 기술개발' 연구와 한국산업기술평가관리원의 '이산화탄소 반응 경화 시멘트 개발' 연구에 공동 연구사로 참여 중

❍ **(국내/한국석회석신소재연구소)** 물 없이 굳히는 이산화탄소(CO2) 반응 경화 시멘트 제조 기술개발에 착수

- 사업비 367억 원 규모인 이 프로젝트는 2026년 12월까지 추진할 계획이며 이산화탄소 포집과 활용 저장 기술 선도 기관·기업들이 참여
- **(프로젝트 내용)** 국내 시멘트 산업분야 CCUS 기술실현을 위한 1,000ton/year급 CO2 반응경화 시멘트 제조 및 응용기술 개발 확립

· CO2 반응경화 시멘트 제조기술 및 배가스 활용 시스템 구축
· 기술 적용범위 확대를 위한 응용기술 개발 및 활용 가이드(안) 검토
· 대량생산 실증설비 개선/설계 및 실생산 공정 시스템 확립

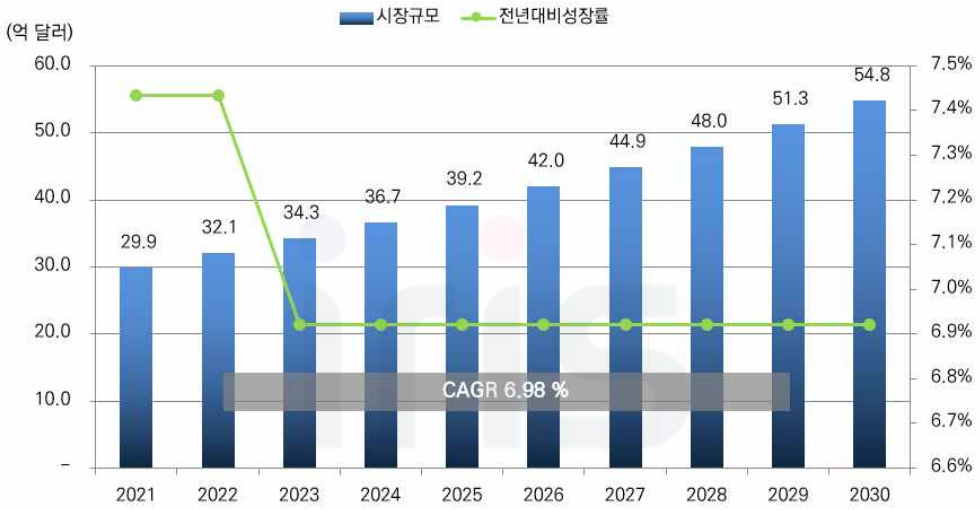
9. 고순도 무기탄산염

가. 산업/시장

(1) 황산암모늄

□ **(세계시장)** 세계 황산암모늄 시장은 '21년 29.9억 달러에서 **연평균 6.98% 성장**하여 **'30년 54.8억 달러** 규모에 달할 것으로 전망

〈그림 II-134〉 세계 황산암모늄 시장규모 현황 및 전망



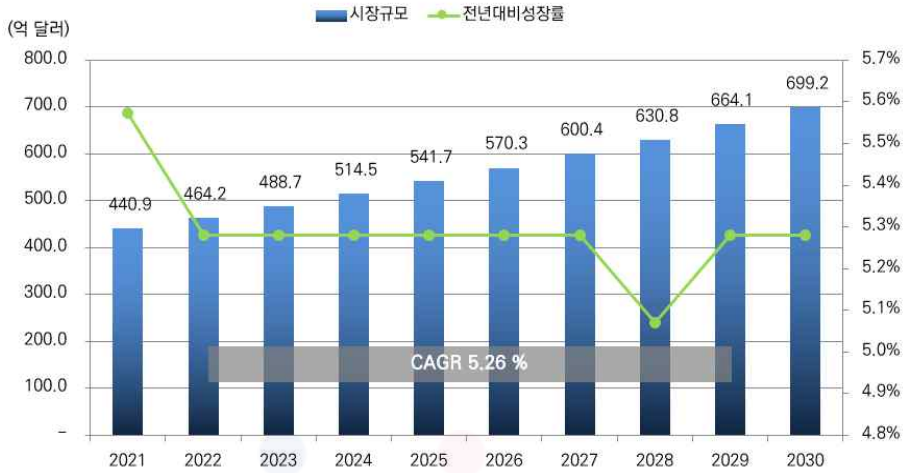
*출처 : Precedence Research, Ammonium Sulfate Market, 2023. 05., 재구성

- '22년 기준, **아시아 태평양** 지역이 **26% 이상**의 시장을 점유
- '22년 기준, 적용 분야별로 **비료 부문**이 시장 매출 점유율의 **71% 이상**을 차지
- 황산암모늄은 수용성 형태의 질소와 황을 함유한 무기염으로, 농업 부문에서 비료로써 널리 사용
  - 질소 함량이 높아 질소가 부족한 잔디밭과 토양에 가장 일반적으로 사용되는 영양 첨가제이며, 질소 함량, 최적화된 황, 토양 산성화, 질소 비료와의 쉬운 혼합 등의 장점을 보유
  - 빠른 식물 성장을 촉진하여, 전 세계적으로 농업 기업의 수요가 황산암모늄 시장 성장을 견인

(2) 탄산칼슘

□ **(세계시장)** 세계 탄산칼슘 시장은 '21년 440.9억 달러에서 **연평균 5.26% 성장**하여 **'30년 699.2억 달러** 규모에 달할 것으로 전망

〈그림 Ⅱ-135〉 세계 탄산칼슘 시장규모 현황 및 전망



*출처 : SkyQuest, Global Calcium Carbonate Market By type, By end use & By region-Forecast Analysis 2022-2028, 2022. 10., 재구성

❍ 탄소 광물화에 의해 생산되는 탄산칼슘($CaCO_3$)은 CCUS 광물화에 가장 많이 활용되는 화합물로, CO_2 전환 광물화 기술 상용화 시 탄소 광물화 시장을 대체할 것으로 기대

❍ 탄산칼슘은 건설 산업에서 다양한 용도로 널리 사용되어 시장을 지속 확대

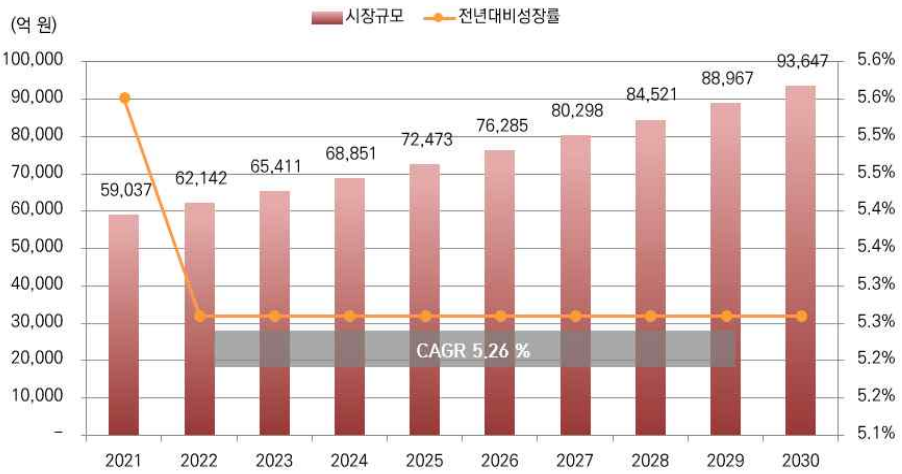
- 콘크리트의 강도와 내구성을 향상시키기 때문에 콘크리트 충전재로 자주 사용되며, 콘크리트 생산비용 절감에 도움

❍ 접착제 및 밀봉제, 동물 및 애완동물 사료, 건축, 비료, 유리 및 세라믹, 페인트 및 표면 코팅, 종이 필러 및 코팅 안료, 플라스틱, 고무 및 엘라스토머 산업 전반에 걸쳐 수요가 지속 증가

- 특히 '종이' 부문이 40%의 수익 점유율을 차지('21년 기준)하며, 지속 가능성과 위생에 대한 우려가 커지면서 제지 산업이 성장함에 따라 시장이 꾸준히 확대 중

□ **(국내시장)** 국내 탄산칼슘 시장은 '21년 59,037억 원에서 **연평균 5.26% 성장**하여 **'30년 93,647억 원** 규모에 달할 것으로 전망

〈그림 II-136〉 국내 탄산칼슘 시장규모 현황 및 전망



*주 : 국내 시장점유율(1%), 연평균 성장률(5.26%)을 반영해 세계 탄산칼슘 시장 기반 추정(1달러=1,338.7원)
*출처 : SkyQuest, Global Calcium Carbonate Market By type, By end use & By region-Forecast Analysis 2022-2028, 2022. 10., 재구성

❍ 국내 탄산칼슘 전체 시장규모는 연간 약 1억 톤에 이르며 이는 **세계시장의 1%**에 해당하는 규모로, CO_2 전환 광물화 기술 상용화 시 탄소 광물화 시장을 대체할 것으로 기대

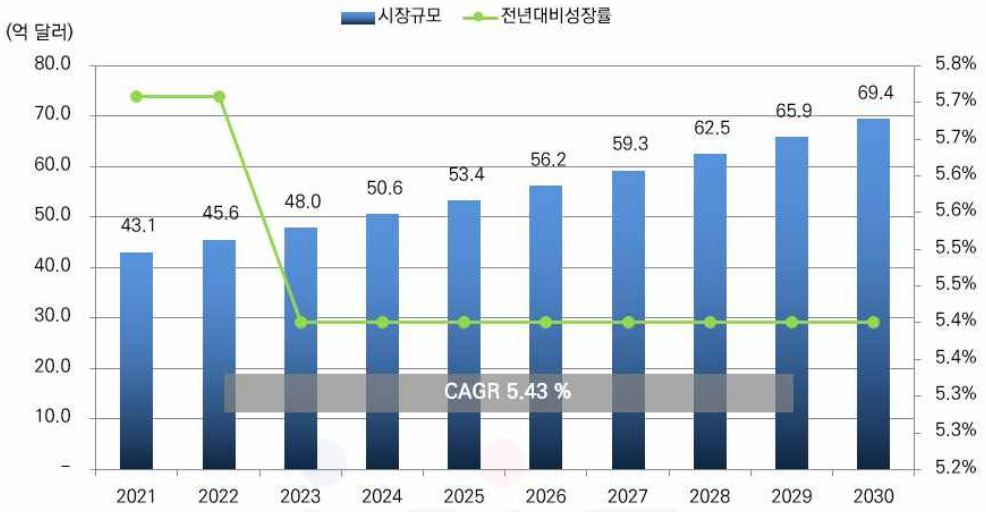
❍ 국내에서 탄산칼슘이 가장 많은 양이 소비되는 곳은 건설용 시멘트와 제지, 플라스틱 등의 충전재로 사용

- 대량으로 사용되는 탄산칼슘은 주로 GCC로 국내 부존 자원량이 많은 석회석으로부터 공급되고 있는 반면, PCC는 고부가가치 소재이나 일본과 미국이 관련 기술을 거의 독점하고 있는 상황
- 국내 시멘트 산업에서는 이산화탄소 감축을 위해 원료전환, 연료전환, 기기 및 공정효율 개선 등 다양한 감축 이행 노력을 수행 중

(3) 마그네슘

□ **(세계시장)** 세계 마그네슘 시장은 '21년 43.1억 달러에서 **연평균 5.43% 성장**하여 **'30년 69.4억 달러** 규모에 달할 것으로 전망

〈그림 Ⅱ-137〉 세계 마그네슘 시장규모 현황 및 전망



*출처 : Verified Market Research, Global Magnesium Market, 2023. 08., 재구성

❍ 자동차 및 항공우주 산업에서 경량화에 대한 강조가 지속됨에 따라, 마그네슘 수요 증가로 세계시장 성장을 견인

- 마그네슘은 저밀도, 중량 대비 고강도 특성으로 경량소재로써 활용, 연비가 향상되며 배기가스 배출을 저감하는 효과를 창출

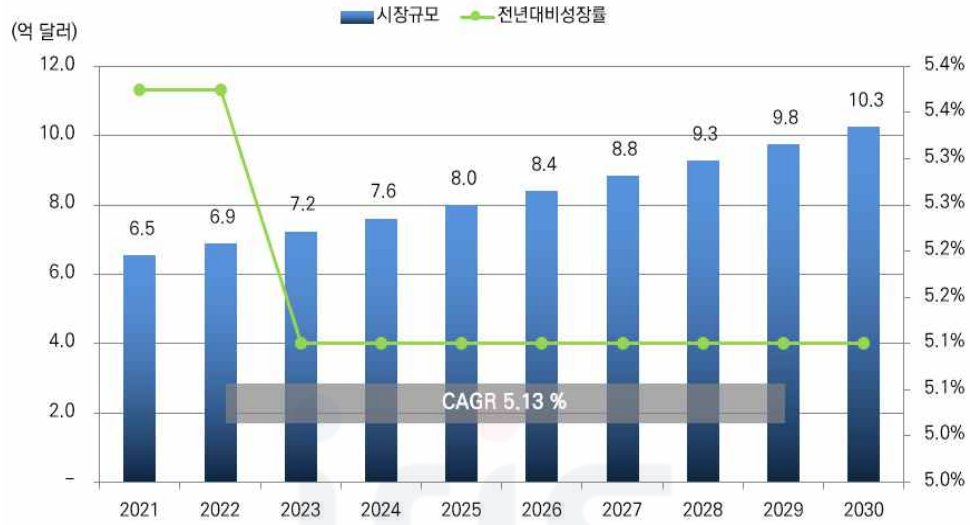
❍ 세계적으로 금속 주조 재료보다 비철 주조 재료를 사용하는 경향이 높아지면서 마그네슘 시장이 가속화

❍ 시장 내 주요기업으로는 ICL, Ningxia Hui-Ye Magnesium Marketing, Posco, Shaanxi Fugu Tianyu Mineral Industrial, US Magnesium 및 Wenxi YinGuang Magnesium Industry 등이 있음

□ **(세계 탄산마그네슘 시장)** 세계 탄산마그네슘 광물 시장은 '21년 6.5억 달러에서 **연평균 5.13% 성장**하여 **'30년 10.3억 달러** 규모에 달할 것으로 전망

❍ 화학, 제약 및 건설산업에서 탄산마그네슘 광물의 적용이 증가함에 따라 시장 성장 가속화

〈그림 Ⅱ-138〉 세계 탄산마그네슘 광물 시장



*출처 : Future Market Insights, Magnesium Carbonate Minerals Market, 2022. 07., 재구성

❍ 탄산마그네슘은 화학, 제약, 건설산업에서 높은 수요를 보이며 광범위한 활용성을 바탕으로 시장 성장이 가속화될 전망이며 특히 인도, 중국 등 아시아태평양 지역을 중심으로 시장 성장이 전망

- 중금속이나 실리카가 함유된 산업 폐수를 정화하는 데 사용되며, 플라스틱, 폴리머 등의 생산 원료로도 활용되는 등 다양한 산업에서 응용이 가능
- 시장 성장 동력원은 제약·의료산업, 미국의 경우 제지·펄프, 페인트·코팅산업으로 나타났으며 급성장이 예측된 독일 시장은 화장품, 건설, 자동차 산업이 수요를 견인

□ **(국내 마그네슘 시장)** 국내 마그네슘 시장은 **2020년 대비 2021년 출하량**이 **33.67% 증가**했으며, 2017년 대비 2021년 연평균 성장률(CAGR)은 7.83% 증가한 것으로 확인*

* 6Wresearch, South Korea Magnesium Market Outlook. 2022.10.

❍ **(국내 마그네슘 평균 수출가격)** 2021년 마그네슘 평균 수출가격은 톤당 4,200달러로 **전년 대비 62%** 상승

❍ **(국내 마그네슘 평균 수입가격)** 2021년 마그네슘 평균 수입가격은 톤당 4,250달러로 **전년 대비 94%** 상승

- 국내는 증가하는 수요를 충족시키기 위해 수입에 더 많이 의존하고 있는 상황

❍ 세계 마그네슘 금속의 약 85%가 중국에서 생산되고 있으며 리싸이클링을 제외한 **국내 생산은 없는 실정**

- 국내 마그네슘의 연간 사용량은 1만t 이상으로 세계 5위 규모*이나, 이 가운데 70% 이상을 중국에서 수입하고 있는 실정

* 서울신문, '마그네슘·알루미늄까지…'제2 요소수 대란' 경고등', 2021.11.04.

- 국내 연구진들은 전량 수입되고 있는 소재인 마그네슘(Mg)을 해수 담수화 기술을 통해 친환경적으로 추출하고, 동시에 발전소에서 나오는 이산화탄소도 줄이는 기술을 개발 중

❍ 국내는 국가전략금속인 마그네슘을 **중국에서 전량 수입**하고 있어 안정적인 공급망 관리 시급

- 우리나라는 합성 마그네슘탄산염을 2020년에 톤당 $1,990 가격에 1,400톤을 수입*

* 한국지질자원연구원 희유금속 원재료 교역분석, 2021

나. 기술

(1) 황산암모늄

□ 해외 기술개발 동향

❍ (핀란드 Alto University) 핀란드 연구대학 Alto University는 다양한 이해관계자와 협력하여 NPharvest 프로젝트를 개발

- NPHarvest는 폐수에서 발견되는 상당한 수준의 질소와 인을 회수하여 인과 칼슘이 함유된 슬러리와 비료로 사용할 수 있는 순수 황산암모늄 용액을 생성하는 방법에 대한 기술개발 프로젝트
- 재활용 비료 제조를 위한 NPHarvest 공정을 사용하면 수로로 배출되는 영양분의 양과 폐수처리에 필요한 에너지 및 화학물질의 양이 감소하므로 에너지와 천연자원을 보존

❍ (독일 Evonik Corporation) 독일 특수화학 기업 Evonik Corporation은 벌크 화학 비료 및 산업용 화학물질의 조달 및 유통을 담당하는 미국 Interoceaninc Corporation과 전략적 제휴(2022.07.)

- 프리미엄 질소 비료 생산을 위한 황산암모늄 용액(IOC) blueSulfate를 제공

❍ (독일 ThyssenKrupp Industrial Solutions) 독일 ThyssenKrupp Industrial Solutions는 과립 황산암모늄의 비용 효율적인 생산을 위한 새로운 공정을 개발

- 황산암모늄 용액으로부터 과립 형태의 황 함유 질소 비료를 생산
- 비료(요소, 황산암모늄, 멜라민 등) 생산량 증대를 목표로 우즈베키스탄에 화학단지 설립을 지원

❍ (AdvanSix) AdvanSix는 비료 화합물인 과립형 황산암모늄 생산량을 20% 늘리는 계획을 착수(2023.05.)

□ 국내 기술개발 동향

❍ **(한국지질자원연구원)** 탈황석고에 암모니아와 CO2를 반응*시켜 탄산칼슘과 황산암모늄을 생산하기 위한 연구를 추진

- 이를 상용화하기 위해 연 2,000톤급 탄산화 설비 구축 및 실증과 온실가스 감축 방법론 등록 관련 R&D를 진행 중

*CaSO4·2H2O(탈황석고) + CO2 + 2NH3 → CaCO3 + (NH4)2SO4 + H2O

- 탈황석고 처리량 기준 연 250톤급 실험은 완료한 상태이며 고순도의 탄산칼슘과 황산암모늄 생성이 가능하다는 것을 확인

※ 탈황석고는 석탄화력발전소 등에서 연소과정 중 발생하는 황산화물 제거 시 발생하는 물질이며, 석고 보드 및 시멘트 원료 등으로 활용

❍ **(한국남동발전)** 한국남동발전은 '23년 2월 연간 2,000t 처리 규모의 탈황석고 실증설비를 삼천포발전소에 설치

〈그림 Ⅱ-139〉 한국남동발전 삼천포발전본부

*출처 : 한국남동발전 제공

- **(광물탄산화 기술 실증)** 발전소 부산물인 탈황석고와 이산화탄소를 석회석과 황산암모늄으로 재생산해 석회석은 탈황 흡수제, 황산암모늄은 비료로 제품화
- '23년 3월부터 시운전 및 운영을 통해 연간 이산화탄소 500t 감축과 탄산칼슘 1,300t, 황산암모늄 1,500t을 생산
- '25년부터 이산화탄소 연간 20,000톤 감축 목표

(2) 탄산칼슘

□ 해외 기술개발 동향

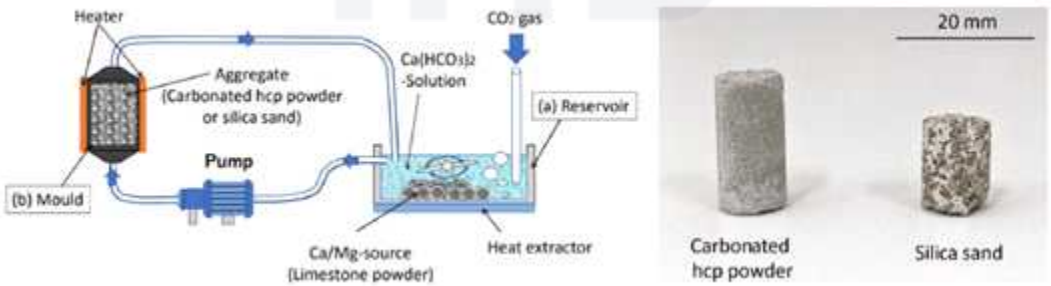
❍ **(핀란드, Aalto Univ.)** 제철 슬래그에 포함된 칼슘을 NH4Cl를 사용하여 침강성 탄산칼슘(PCC, precipitated calcium carbonate)을 제조

- 본 공정을 Slag2PCC라 명명, 20kg의 제철 슬래그를 탄산화에 성공하였으며 칼슘 용출 효율을 80%로 보고

❍ **(일본, 도쿄대)** 폐콘크리트 등 산업 폐자재와 대기 중 CO_2를 활용하여 친환경 콘크리트(탄산칼슘 콘크리트, CCC)를 제작하는 데 성공

- 2030년까지 콘크리트 압축 강도 개선으로 실제 건축물에 사용될 수 있도록 후속연구 중
- CO2 및 석회암을 반응시켜 탄산수소칼슘($Ca(HCO3)_2$) 용액을 만들고, 이를 폐콘크리트에서 나온 골재에 삽입
- 내부에서 석출된 탄산칼슘은 골재들을 결합 및 경화시키는 역할

〈그림 Ⅱ-140〉 CCC 제조공정 모식도 및 제조 시편



*출처: Maruyama et al.(2021), A New Concept of Calcium Carbonate Concrete using Demolished Concrete and CO_2

❍ **(미국 Calera社)** 미국 Calera社는 전기화학 공정을 이용, NaOH 합성 및 해수 내 Ca나 Mg 이온을 배가스 중의 CO_2와 반응하여 탄산칼슘 또는 탄산마그네슘 합성하는 공정을 개발

❍ **(미국 Skyonic Corporation)** 미국 Skyonic Corporation은 광물탄산화 공정 이용, CO_2를 탄산수소나트륨(베이킹소다) 및 기타 산업 활용이 가능한 물질로 전환하는 SkyMine 공정을 개발하여 운전(‘14.10.)

□ 국내 기술개발 동향

❍ **(한국지질자원연구원)** 2014년 친환경 제지용 탄산칼슘 충진제 개발 기술을 개발

- 제지산업 발생 부산물 활용기술개발, In-situ 침강성 탄산칼슘 합성기술

❍ **(포항산업과학연구원)** 철강슬래그 등 산업 부산물과 CO_2 포집 공정에서 포집한 CO_2를 이용한 광물 탄산화 연구를 수행('12~ '14)

- 탄산칼슘과 중탄산나트륨의 동시 제조를 통한 경제성 확보를 목표(100kg/일)

❍ **(한국과학기술연구원)** 폐시멘트 및 슬래그 등 산업 폐기물로부터 PCC 생산(탄산칼슘 20kg/일)

- 저전력소비의 NaCl 전기분해시스템에 의해 저가의 염산 및 중탄산소다를 활용하여 Ca 함유 폐시멘트 등의 폐자원으로부터 고가의 탄산칼슘을 제조할 수 있는 핵심기술 및 공정을 개발 중

❍ **(한국과학기술연구원)** 슬래그 및 폐콘크리트로부터 나노 탄산칼슘 제조 공정개발 연구

- 탄산칼슘 합성을 위한 산 및 알칼리 이온의 동시 제조 핵심기술개발 연구

❍ **(현대오일뱅크)** 석유정제 과정에서 생산되는 부산물과 이산화탄소로 탄산칼슘을 제조하는 기술을 개발 중

- 대산공장 내 연간 60만 톤 규모의 탄산칼슘 생산공정을 완공(2021)
- 자연에서 채굴해야 하는 생석회 성분을 정유 부산물인 탈황석고에서 분리, 이산화탄소와 반응시켜 고순도의 경질 탄산칼슘을 제조하는 기술을 개발하여 원천 특허를 출원

(3) 마그네슘

□ 해외 기술개발 동향

❍ **(미국 Calera社)** Calera는 전기화학 공정을 이용, NaOH 합성 및 해수 내 Ca나 Mg 이온을 배가스 중의 CO_2와 반응하여 탄산칼슘 및 탄산마그네슘 합성 연구를 진행

❍ **(영국 Novacem Limited社)** Novacem은 영국 런던에 본사를 둔 산화마그네슘 기반 시멘트 개발 업체로, 시멘트산업의 상당한 CO_2 배출원에서 CO_2 흡수제로 전환 시키는 기술을 보유

❍ **(미국 Skyonic社)** 천연 규산염암 내 마그네슘 산화물의 효과적 추출 기술, 탄산염광물화 가속 기술 등에 관한 연구를 진행

□ 국내 기술개발 동향

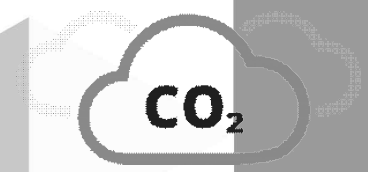
❍ **(한국지질자원연구원)** 한국지질자원연구원 방준환 박사 연구팀은 해수 담수화 과정에서 발생하는 농축폐수(이하 농축수)에서 이산화탄소와의 반응을 통해 마그네슘을 추출하고 탄소 배출량을 획기적으로 감축한 기술(이하 해수 담수화 농축수 자원화 및 CO_2 동시 처리 기술) 개발에 성공(‘21.07.)

- 해수 담수화 공정에서 나온 농축수에 알칼리물질과 이산화탄소를 넣어 고체화된 탄산염 광물을 생성시켜, 마그네슘을 추출하고 이산화탄소 발생을 최소화하는 친환경 융합 자원 회수 기술
- 연구팀은 CO_2 광물화 기술을 적용해 바다에 폐수로 버려지는 농축수에 함유된 마그네슘의 90~99%를 회수하고 이산화탄소의 97% 이상을 고체화하는 데 성공

제3장 사업 기본 추진 방향 및 계획

제1절 사업 개념 및 범위
제2절 사업 추진 계획
제3절 사업 추진 체계 및 운영 방안
제4절 플래그십 프로젝트 세부 추진(안)
제5절 세부 기술개발 과제

Carbon Capture and Utilization



무탄소 에너지(CFE) 가치사슬 제고와 CCU의 조속한 상용사례 창출로

탄소중립 산업경쟁력 확보와 미래지향 기반 구축

제3장 사업 추진 방향

제1절 사업 개념 및 범위

1. 사업 추진 개요

가. 사업 추진 목적

기 확보한 CCU 기술의 현장 적용을 통해
실제 CO_2를 감축할 수 있도록 기술 고도화 및 통합실증 추진

□ **(탈탄소 패러다임 대응 시급)** EU의 탄소국경조정제도(CBAM) 등 탄소중립이 새로운 경제 질서로 자리매김하며 각국의 탄소배출 규제강화로 온실가스가 실물경제에 실제적 파급효과를 초래

* 탄소중립 대응을 위한 친환경 기술 투자 부재 시 실물경제에 부정적 파급효과 발생(한국은행, '21.10.28)
* CBAM 전면 도입 시 2030년 국내 산업계 총부담액은 약 8.2조 원(국회, '22)

□ **(2030 NDC 목표 달성 불투명)** NDC 목표 달성을 위한 주요 수단인 CCU 기술 미확보 시 목표 달성 요원

* NDC 달성은 CCU기술의 정상적 작동을 전제로 설정되어 있어 CCU 기술개발 미추진 시 목표 달성에 한계

□ **(기술 없는 온실가스 감축 불가능)** 정부는 적극적으로 탈탄소체계 수립 중이나, CO_2 처리 없는 저감 대책만으로는 실현이 불투명

* IMF는 우리나라 현행 저감정책만으로는 화석연료 배출량이 오히려 증가할 것 예측

□ **(기술적 한계 극복)** 특정 고분자(PU, PC), 합성가스, 메탄올, 건설소재 등 화학적 전환 및 광물화 **일부 제품은 상용화 전 단계 수준**이나, **제품별, 업종별로 기술개발 현황이 상이**함

❍ TRL이 높은 제품군의 경우, 다양한 배출원과의 연계 실증, 민간 공동 R&D, 재생에너지 활용, 공정 최적화 등 CCU 기술의 실효성 제고를 위한 R&D가 추진되고 있음

❍ 기술수준의 경우, 최고기술 보유국은 미국과 EU로 나타났으며, 한국은 **최고기술 보유국 대비 80% 수준**으로 중국보다는 앞서며 일본보다는 열세인 상황임

□ **(산업기반 확보)** CCU 시장은 **석유화학, 철강, 정유, 시멘트 등** 다배출 업종을 중심으로 2030~2040년대에 크게 성장할 것으로 전망되며, 일부 기업은 이미 CCU 기술을 상용화 중

❍ GCI(Global CO_2 Initiative)는 2030년 기준 최대 8,370억 달러(시장규모) 및 **72억 톤(CO_2 활용 규모)**으로 예측하였으며, Lux Research에서는 2040년 기준 **5,500억 달러**로 예측함

❍ 화학적 전환의 경우 고분자 및 액체연료, 생물학적 전환의 경우 바이오매스 기반 건강보조식품, 광물화의 경우 시멘트 및 콘크리트 등이 상품화되었으며, 관련 스타트업 수도 증가하는 추세

❍ **(총 투자비)** 2018~2022년(5년) CCU R&D과제 총 591건(4,336억 원) 투입

- (전환) 428건(누적 2,570억) / 2018년(283.7억) → 2022년(914.9억) 연평균 34.0% 증가
- (포집) 163건(누적 1,765억 원) / 2018년(146.3억) → 2022년(694.5억) 연평균 47.6% 증가

탄소중립 시대 핵심기반 기술로서 CCU 기술수요 증가가 예상되는 상황으로, CCU 분야 기술 경쟁력 확보를 위한 전략 필요

나. 경쟁여건 분석에 따른 대응 전략(SWOT)

SWOT 분석				대응 전략
산업 분석	+ 주요국 전략·규제 이슈	+ 기업 수요조사	▶	
국내외 CCU 관련 동향분석	산업·기술·제도 활성화 전략	참여·투자 요인 분석		글로벌 기술·시장 선점을 위한 CCU 기술의 전략적 투자 방안

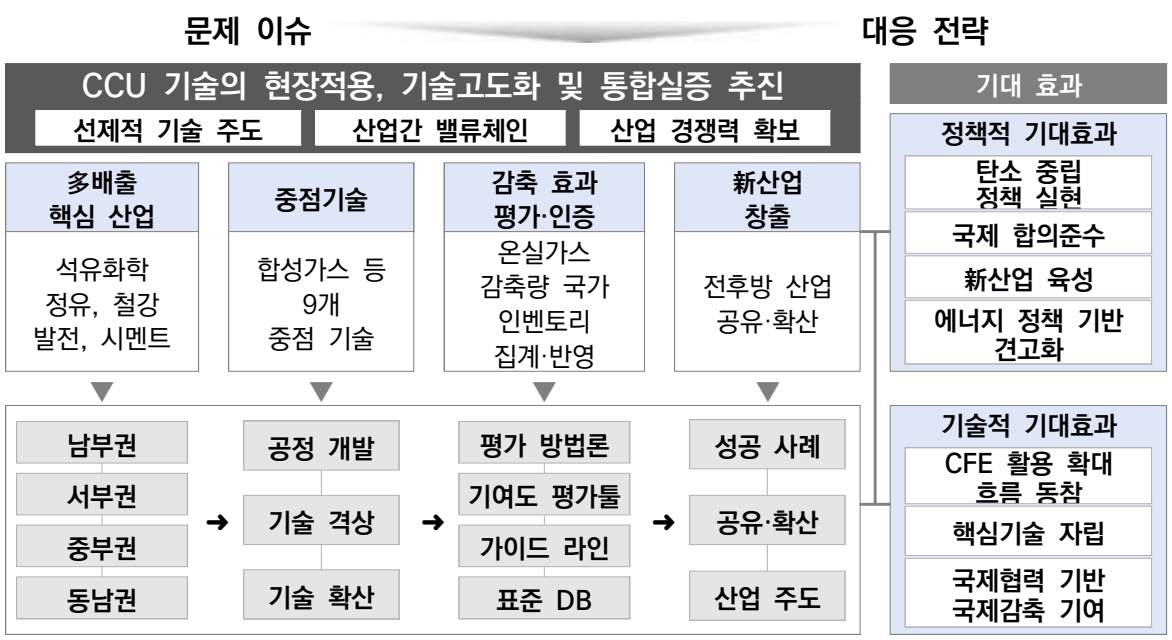
S	축적된 노하우·기술 보유	W	파편적 R&D, 상용화 성공사례 부재
	•우리 정부의 강력한 추진 의지 •탄소중립 목적 기술확보에 대해 국민적 공감대 형성 •20여 년간 축적된 CCU 연구경험과 노하우·요소기술 다수 보유 •로드맵 기반 핵심기술과 전략 제품 설정 완료		•파편적 R&D 과제 지원으로 핵심기술의 성공적 CCU 기술 상용화 사례 취약 •낮은 기술성숙도와 비용·리크스가 커 기업의 자발적 참여 부족 •CCU 공급기업 대부분 수요기업 사용환경과 맞지 않아 사용에 한계 •CCU 유관 제도기반 마련 미흡
	•탄소중립 이슈로 급격한 시장 확대 •전 세계적인 무탄소 에너지 활용 확대 •글로벌 시장 전환(친환경. 디지털 등)으로 신기술 확보시 세계시장 선점 가능		•온실가스 감축 의무 이행 압박과 2030 NDC 달성 시점 임박 •국제사회 규제(CBAM, IRA 등)로 기업의 경제적 부담 가중 •주요국(일본·중국)등 공격적 기술확보 추세로 기술 격차 정체(기술경쟁 치열)
O	강한 정부의지, 국민적 공감대	T	기업 경쟁력·제도기반 부족

SO 전략	전략적 CCU 기술 개발	WO 전략	상용화 중심 Scale-Up	ST 전략	수요 기반 국가 지원	WT 전략	역량 결집 제도적 기반
	•CCU시장·기술의 글로벌 경쟁력 확보·보급을 위한 산학연 공동기술 개발과 활용 역량 결집 R&D 마련 •기 확보된 CCU 기술의 전후방기업 연계 중심 R&D 추진 •기술혁신로드맵 중심 전략제품과 기술개발		•시장 경쟁력 있는 CCU 제품의 상용화 R&D 집중 •기 연구성과의 사업화 연계 실증 기술개발 설계 •CCU 개발 성과 현장 적용 제고를 위한 Scale-up 전략 추진		•축적된 CCU 지식·기술 기반 CCU 생산기술 업그레이드 방안 마련 •기업 수요 기반 추진으로 CCU 핵심기술 산업 활용 확대 •CCU 핵심기술 확보 및 상용화에 대한 국가 차원 지원 활성화		•CCU제품 상용화 통합실증 기반 마련 •기술개발 역량 및 투자 여력 부족한 CCU 기업의 지원 체계 확립 •객관적 감축효과 평가·인증 방법론 확립 •CCU 제품의 현실 적용 제고를 위한 규제개선 및 판매 촉진 제도 연계

다. 우리의 전략적 선택(문제/이슈)

〈표 Ⅲ-1〉 문제의식과 대응 전략

	문제의식과 이슈
산업 시장	**탄소중립 선도, 기후테크 산업 생태계 구축 요구** •CCU 시장은 잠재력이 높은 경제적 탄소중립 수단 인식 •국내 산업은 제조업 중심으로 탄소중립 대응에 애로 -탄소국경세(CBAM, IRA 등)로 국내 기업은 내연기관차 규제, 온실가스 배출권 거래제 확대 등 탄소중립이 경제적 부담 가중 •탄소중립 대응을 위한 친환경 기술투자 부재 시 실물경제에 부정적 파급효과 발생 (한국은행, `21.10.28)
정책	**한국 경제, 탄소중립 VS 경제성장 기로** •해외 주요국, 기후변화 대응과 탄소중립 규제 적극 대응 •국내 기업은 CCU 기술개발 필요성에도 기술력과 R&D투자 한계 (수요조사 결과, `23) •CCU 기술 '30년 640만톤 감축 목표 설정으로 동 사업 미 시행 시 목표 달성 어려움 •에너지 산업의 지속 가능한 성장을 뒷받침할 수 있는 정부 투자 지원과 민간의 주도적 역할 강화 필요
기술	**CCU, 탄소중립 게임 체인저 기술** •영국, 미국, EU등 CCU 투자 확대, 국내는 구체적 기술확보 전략 및 R&D 투자 부족 •CCU는 기술적 난이도가 높고 개발 리스크가 큰 기술 •주요국은 제품 상용화 단계로 글로벌 기업에 경쟁하기 위한 국내 기업 기술경쟁력 확보 시급 •규제 대응 및 자원 효율성 등 정부 주도 CCU 기술개발 필요
기업	**탄소중립 실현과 미래 기후변화 산업 주도권 확보를 위한 지원 확대** •CCU 기술은 시장 진입 성공 상용화 사례 부재 •경제성 확보를 위한 실증은 비용과 리스크가 커 시장 메커니즘을 통해 해결 불가 •주 원료 고순도 CO_2 공급부족 현상 반복 등 인프라적 한계



□ **(CCU 기술 확보)** 조기에 감축효과를 극대화 하기 위해 우선 다배출 업종을 대상으로 한 **현장 맞춤 전략 수립** 추진

❍ **(실증기술 우선 확보)** CCU 기술은 최종 제품에 따라 개발 접근 방향이 다양하며, CCU 기술개발을 통한 NDC 달성과 탄소중립사회 실현을 위해서 최적화된 **온실가스 감축효과**와 **경제성을 고려**한 단일 형태의 **CCU 실증 기술 우선 확보** 필요

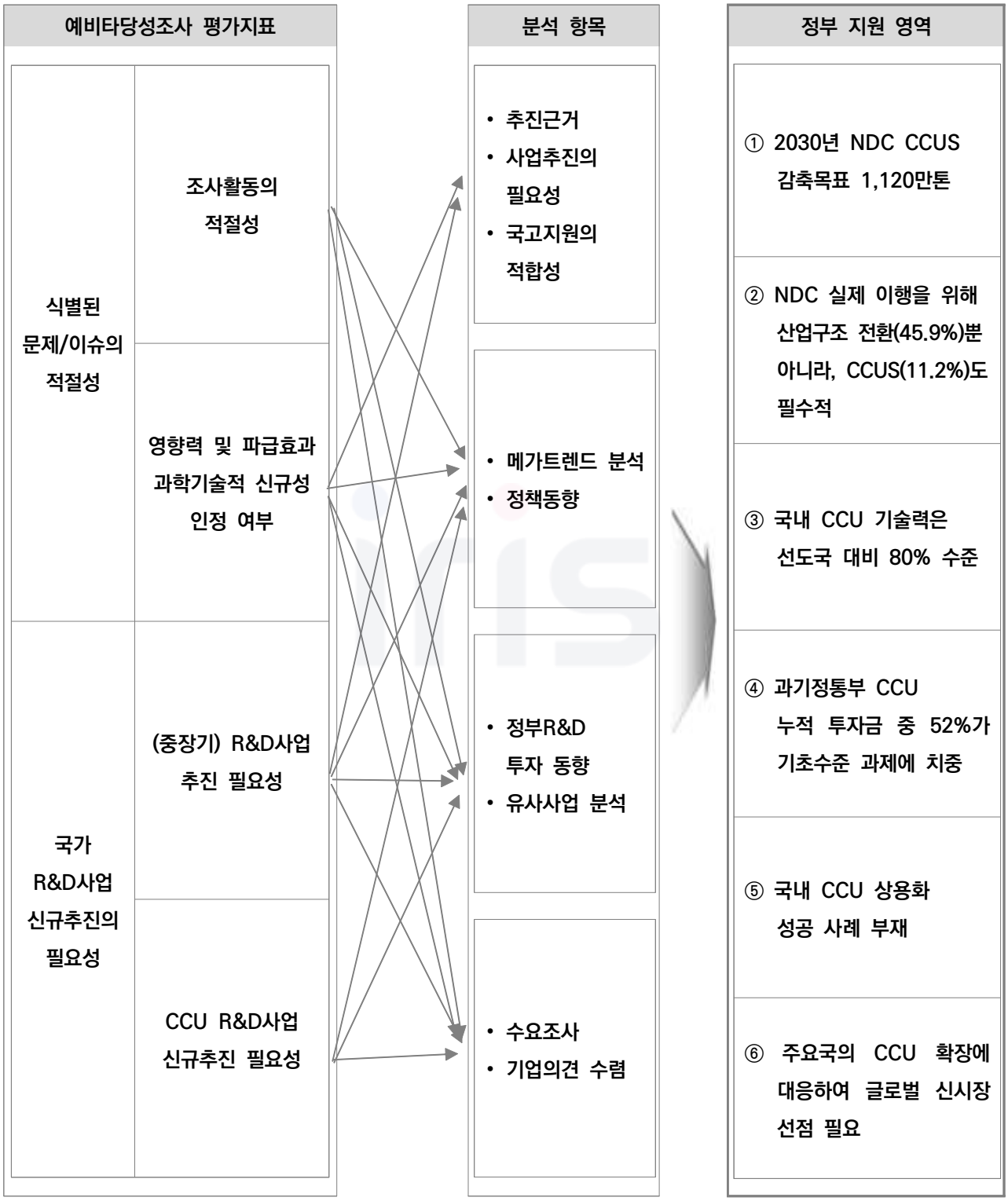
❍ **(현장 맞춤 적용)** 업종별, 제품별, 지역별 현장 상황이 다르므로 개발된 단일기술의 **현장 적용을 고려**하고, 감축효과 극대화를 위한 **체계적인 평가를 수시**로 실행

□ **(CCU 제품 확대)** CCU 기술로 확보한 제품이 시장에 진입하기 위해 관련 **법, 제도 통과 및 규제 완화** 실행

❍ **(감축방법론 구축)** CCU 기술 또는 적용을 통해 수반되는 감축량을 공정하고 객관적으로 인정받기 위해 **전주기평가**를 기반으로 한 **감축방법론**을 단기간에 만들고 인증까지 받을 수 있는 **시스템 구축** 필요

❍ **(제품 인증 및 표준화)** CCU 최종 제품 정의, 품질기준 정립, 검증으로 신규 **인증체계 개발** 등을 통한 **시장진입 방안 도출** 필요

□ **(정부 R&D 지원 영역)** 환경분석, 현장 의견 등을 통해 도출된 현안을 바탕으로 동 사업을 통해 해결해야 할 과제(문제/이슈 Keyword)를 제시



□ **(국내외 주요 이슈)** 세계 각국은 탄소중립 목표 선언과 함께 탄소 규제를 더욱 강화

❍ 전세계 121개국은 2050 탄소중립을 목표로 기후동맹에 가입하며, 우리나라도 국제사회의 노력에 발맞춰 2050년 탄소중립 선언('20.12)

❍ 주요 선진국은 온실가스 배출권 거래제 확대, 탄소세 부과, 탄소국경세* 등을 통해 저탄소·친환경 경제구조로 전환을 유도 중

* EU는 '23년, 미국은 '25년부터 탄소배출이 많은 제품(국가) 수입 시 관세 부과 예정

□ 탄소중립을 실현하기 위해서는 배출된 CO_2 를 흡수하여 처리해야 하며, 이를 위한 수단으로 CCUS 기술 도입 필요성이 대두

❍ 특히, CCU 기술은 신재생에너지와 연계 및 활용, 친환경 자원순환 측면 등에서 잠재력이 높은 탄소중립 수단으로 주목받고 있음

❍ 국제에너지기구(IEA)는 2070 글로벌 탄소중립 시나리오에서 CCUS 기술 기여도를 총 감축량의 15% 수준으로 제시(' 20)

※ EU의 2050 탄소중립 시나리오에서는 약 22억톤의 CO_2를 감축해야 하며, 이중 CCU 기술을 통해 약 3억톤(14% 수준)을 처리해야 하는 것으로 제시

□ 전 세계적으로 CCU 기술은 대부분 응용연구 수준으로 본격적인 상용화를 위해서는 대규모 R&D 투자가 필요

❍ CCU 분야는 CCS에 비해 기술적 난이도가 높고, CCU 제품은 석유화학 제품대비 생산단가가 높아 기업 참여유인이 부족

※ CO_2 전환에 따른 기술적 경로 및 제품군이 매우 다양할 뿐 아니라, 투입 에너지, 부가원료, 인프라 등에 따라 사업화 가능성이 가변적

❍ 영국, 미국 등은 최근 CCU 투자를 확대 중*이나, 우리나라는 구체적 기술 확보 전략 및 관련 R&D 투자도 미비한 상황

* (미국) DOE Carbon Utilization Program, (EU) Innovation Fund, Horizon 2020 등

전 세계 탄소중립 선언과 함께 CCU 기술개발 투자 및 제도적 지원 강화 노력

□ **(국내외 정책 동향과 이슈)** 주요국은 탄소중립을 위한 장기 전략에 CCS 기술과 함께 CCU기술을 탈탄소 주요수단으로 제시

❍ **(해외)** 미국, 영국, 독일, 일본 등 주요국이 발표한 장기 저탄소발전전략(안)*에서 CCUS 기술을 핵심 전략 수단으로 포함

* (미국) Mid-Century Strategy for Deep Decarbonization, (영국) The Clean Growth Strategy, (독일) Climate Action Plan 2050, (일본) Long-term Strategy under the Paris Agreement 등

- 선진국은 CCU 산업 육성을 위한 제도적 지원방안을 마련함과 동시에, CCU 기술 개발 투자를 지속 확대 중
- (미국) '45Q Tax Credit' 정책으로 CO_2 를 포집・저장・활용하는 시설에 세액 공제* 혜택을 확대 제공('18)

* 저장 $36/톤(現) → $50/톤('50), EOR $24/톤(現) → $35/톤('50), 활용 $24/톤(現) → $35/톤('50)

- (EU) 주요 R&D 프로그램* 등을 통해 기술개발 집중 지원하고, 의무사용 재생연료 범위에 CCU 연료를 포함하도록 제도 개선**('18.6)

* Innovation Fund, Horizon 2020 등, ** Renewable Energy Directive II ('18)

❍ **(국내)** 장기비전을 제시한 「대한민국 2050 탄소중립전략(' 20.12)」에서 발전・산업 부문 핵심 기술 수단*으로 CCUS 기술 제시

* 탄소 배출 없는 화력발전, 온실가스 다배출 산업 CO_2 처리 및 석유화학 원료 전환등

- 「탄소자원화 발전전략(' 16.4)」 수립 이후 CCU R&D에 지속 투자해 왔으나, 상용화를 촉진하는 제도적 지원책은 부재

CCU 기술은 탄소중립 핵심 수단임에도

국내 기술 수준이 낮고, 불확실성이 높아

전략적 투자 필요

□ **(시장 동향)** 현재 전 세계적으로 21개 대규모 상업용 CCUS 설비가 운영 중이며, 연간 최대 4천만 톤 수준의 CO_2 포집 중(IEA, '20)

❍ 대부분 영구저장(CCS) 및 석유회수증진(EOR) 용도로 운영 중

❍ CO_2 를 원료로 연료, 화학제품, 건설 소재 제조산업 등에 고부가전환·활용하는 CCU 관련 시장은 형성되지 않은 新산업 분야

❍ 탄소중립 선언, 글로벌 탄소규제 강화로 CCU 역할 증대 및 기업 관심도 증가에 따라 향후 관련 시장이 지속 성장할 것으로 전망

❍ 초기시장 창출을 위해서는 정부 정책*이 핵심적인 역할(IEA, ' 19)

* 공공구매, 사용 의무화, 경제적 인센티브, 제품 환경라벨링, 인증제도 등

- 대다수의 CCU 기술은 제도 내에서 감축효과를 인정해주거나, 저탄소 제품 인센티브를 제공해야만 시장 진입 가능

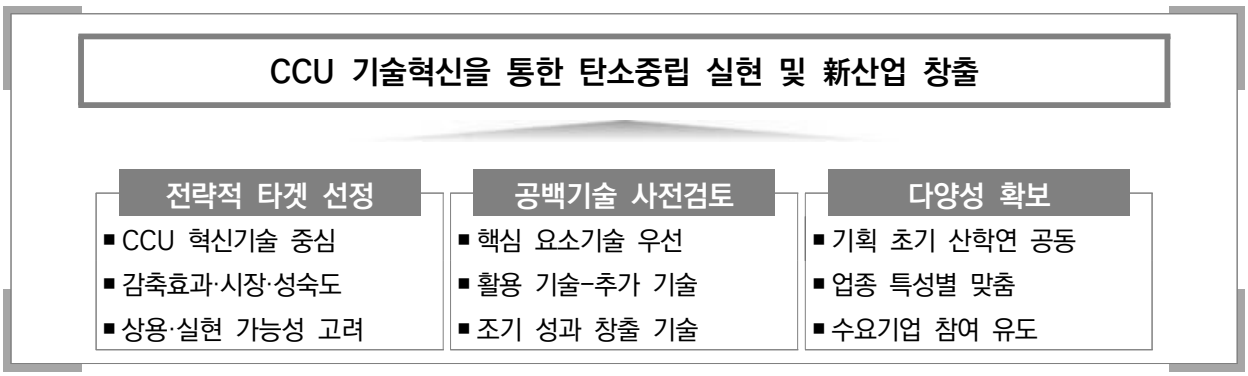
❍ 미래시장 전망의 경우 기술혁신 속도, 관련 인프라 성숙도, 대체산업·시장 등에 대한 가정에 따라 크게 변동적

〈표 Ⅲ-2〉 다양한 CCU 시장 전망

조사기관	시장규모	CO_2 활용 규모
Global CO_2 Initiative, ICEF('16) - CCU 관련 협의체 보고서	8,400억 달러 ('30년, CCU제품 예상최대규모)	70억톤 ('30년, CCU제품 최대수요)
BCC Research('21) - 시장조사 민간기관 보고서	33억 달러 ('25년, CCUS 합계시장)	3700만톤 ('25년, CCUS 합계수요)
IEA('19) - 국제에너지기구 분석보고서		50억톤 ('70년, CCUS 합계수요)
Armstrong and Styring('15) - CCU 연구자 발표 논문		13억톤 ('30년, CCU 제품 최대수요)

전 세계 탄소중립 선언과 함께 CCU 기술개발 투자 및 제도적 지원 강화 노력
CCU 분야는 시장형성 전 단계로, 향후 탈탄소·친환경 정책 강화로 인하여
점진적으로 시장이 형성되어 지속 성장할 것으로 전망

라. 사업 추진 방향



□ (전략1) 「CCU 기술혁신 로드맵(’21.6)」 기반 상용화 실현 가능성을 고려한 전략적 타겟 제품 선정

❍ CCU 혁신기술 로드맵 중심으로 기술개발 내역 구성

❍ 온실가스 감축효과-시장성-기술성숙도-현장적용성 등 상용·실현가능성을 고려한 전략적 타겟 제품 개발로 효과성 극대화

□ (전략2) CCU 공백기술 사전검토

❍ CCU 상용화 제품생산(플랜트 구축)을 위해 필요한 요소기술을 우선적으로 도출하고, 기존 연구결과를 활용할 수 있는 기술*과 추가적인 개발이 필요한 기술을 구분하여 연계성을 확보하고 성과 조기 창출

* 촉매성형 시설, 단위설비 및 통합시스템 등 CCU 관련 기존 국내외 기술 도입을 통한 연구기간 단축 및 사업비 절감 유도

□ (전략3) CCU 산업 지원 경로 다양성 확보

❍ CCU 기술의 난이도가 높고, 국내 대규모 상용화 사례가 부재한 만큼 산학연의 기술개발·활용 역량을 결집할 수 있도록

❍ 기획 단계부터 산학연이 함께 참여하는 컨소시엄 체계로 운영하고 과제의 목표와 역할을 명확하게 제시

❍ 업종 특성 맞춤형 제품개발 및 수요기업 참여로 민간의 자발적 참여 유도

□ **(추진 방향)** 현재 중규모 이상 검증이 완료된 CCU 기술을 대상으로, 전·후방산업과 연계된 권역별 CCU 플래그십 프로젝트(예타) 추진

❍ **(방향성)** 실증 추진시, CO_2 다배출산업(CCU 전방산업)과 후방산업(제품 수요기업) 연계 실증을 통해 CCU 비즈니스 모델 확보

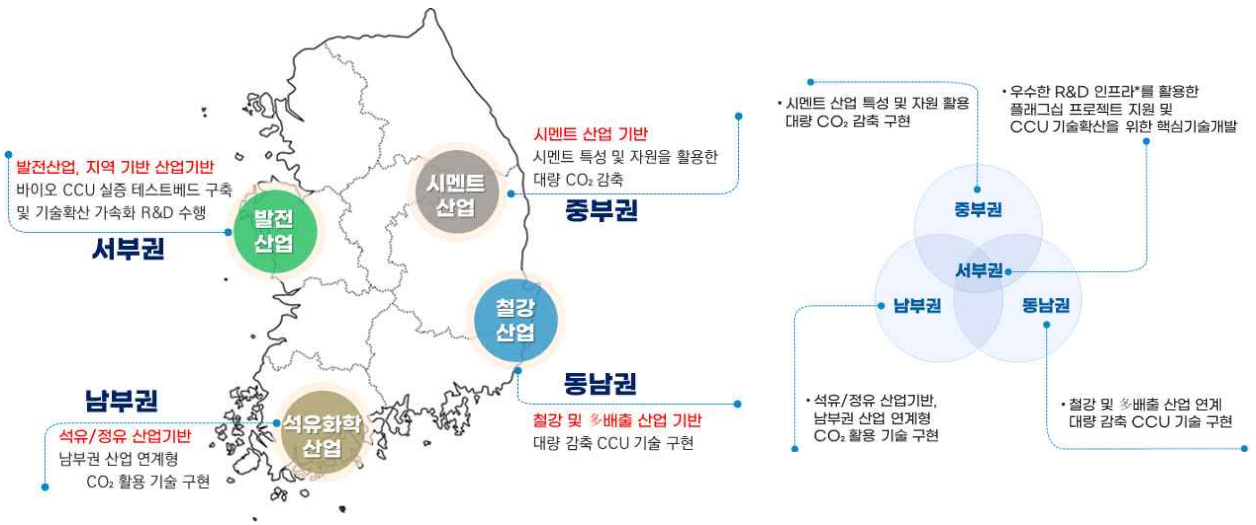
□ **(4대 권역)** 지역별 특화된 산업 맞춤형 실증연구 본격 추진

❍ **(남부권)** 화학(합성가스, 올레핀, e-Fuel), 광물화(무기탄산염) 등 지역의 강점인 화학산업과 주로 연계하여 CCU 기술경쟁력 제고

❍ **(서부권)** 화학(폴리머), 생물(바이오매스·소재·연료), 광물화(무기탄산염) 등 다양한 산업과 CCU 기술을 육성하는 CCU 실증 플랫폼 구축

❍ **(중부권)** 지역 특화산업인 시멘트 산업과 연계하여 레미콘 발생 CO_2 감축 및 건설 2차 제품 생산 추진

❍ **(동남권)** 제철 공정 배가스(CO_2)를 활용하여 메탄올을 생산하거나, 제철 슬래그 활용하여 대체 시멘트 및 건설 소재 본격 생산



현황	추진 방향
• CCU 기술 경로가 다양해 공통적으로 적용할 수 있는 사업화 방식 부재	• 석유화학/제철/시멘트 등 **핵심 산업 중심**의 CCU 기술개발 전환으로 기술사업화 유도

〈표 Ⅲ-3〉 多배출업종 산업 특성 및 기획 방향

업종구분	내용
석유화학 산업	•**(CO_2 발생량)** 58,554,658.83톤(비중 9.1%, `18년 기준) •**(극복과제)** 상용 규모 공급 기술 부재, 원료 공급 기술 부족, 탄소순환 생태계 조성 •**(사업방향성)** 화학산업 원료로의 재생산을 통하여 탄소 선순환 생태 구성 및 2030 NDC 감축 목표 달성에 기여 •**(기획방향)** 석유화학, 철강, 정유 등 핵심 주력산업들의 친환경적 전환을 위하여, 배출 환경 및 전환 대상 고부가 물질 종류에 대응한 맞춤형 CCU 통합 공정기술 개발
철강산업	•**(CO_2 발생량)** 110,475,143.16톤(비중 17.1%, `18년 기준) •**(극복과제)** 분리막&개질 반응 실증 기술 부족, 이산화탄소 수소화를 통한 메탄올 합성 기술 부재, 해상 선박용 청정메탄올 공급을 위한 e-methanol 생태계 조성 •**(산업방향성)** 수요 맞춤형 메탄올 합성기술 개발 및 온실가스 다배출 산업지역 기술 적용을 통한 온실가스 감축 극대화 •**(기획 방향)** 제철소 발생 부산물(알칼리/알칼리토 금속 포함 슬래그) 활용 광물탄산화 기술과 제철공 정의 폐열을 활용한 합성가스(연/원료) 생산 기술로 기획
시멘트 산업	•**(CO_2발생량)** 36,683,826.72톤(비중 5.7%, `18년 기준) •(극복과제) CO_2 자원화 수단이 수반될 수 있는 기술 부재, 경제성 및 산업성 가치사슬을 완성하기 위한 기술개발 시스템 미흡, 기술 보급 확산을 위한 R&D 실증 및 사업화 플랫폼 부재 •**(사업방향성)** (탄소광물화 CCU 제품 생산기술 실증) 시멘트 산업 연계 CCU 기술 건설재료·제품화 기반 확립 → (탄소중립 CCU 산업생태계 기여) 탄소광물화 기술의 건설재료·제품화 Supply Chain 구축 •**(기획 방향)** 실질적인 탄소감축효과 구현, 장기적인 시장확대 가능성 및 지역적 입지여건을 고려한 시멘트산업 연계 CCU 건설제품 상용화
발전산업	•**(CO_2 발생량)** 261,858,912.68톤(비중 40.6%, `18년 기준) •**(극복과제)** 수도권 전력생산 발전시설 밀집지역의 온실가스 처리 시급, 발전소 배가스 및 산업단지 폐가스 처리 시급 •**(산업방향성)** 현존하는 화석연료 중 유해물질 배출이 가장 적은 LNG 발전 확대 등 저탄소 전력생산에 집중 •**(기획 방향)** 대규모 포집 및 전환 공정의 설치 및 운영 등에 제약이 있는 도심형 LNG 발전소를 대상으로 별도의 포집 장치의 도입 없이 CO_2 유래 CCU 제품 생산이 가능한 면적집적형 CCU 기술 패키지를 확보
정유산업	•**(CO_2 발생량)** 31,883,040.80톤(비중 4.9%, `18년 기준) •**(사업방향성)** 원유대체원료 개발과 기존 석유제품을 대체하기 위한 연료 개발 •**(기획방향)** 정유산업의 최종 생산 제품을 CO_2를 이용하여 합성함으로써 CO_2 저감과 제품 생산 시 소요되는 화석연료의 사용량 저감 방향으로 기획

□ **(대형 플래그십 프로젝트 추진 목표)** 중규모 이상 검증이 완료된 기술을 대상으로, 포집과 활용이 연계된 플래그십 프로젝트 추진

❍ **(기술완성도 제고)** 기업 수요는 크나 중소규모 실증에서 벗어나지 못하는 기술을 대상으로 핵심산업과 연계한 CCU 플래그십 프로젝트 추진으로 기술완성도 제고

❍ **(민간투자 리스크 해소)** 산업과 연계된 대규모 실증을 통해 CCU 단계별 공정기술을 사전에 점검함으로써 관련 시행착오를 최소화하여 민간투자 리스크 해소

□ **(기본 추진 방향)** 산업체 의견 수렴 및 특화된 기술을 바탕으로 **상용화 가능성 높은 탄소활용 기술을 선별, 조속한 성공사례 창출** 추진

❍ 탄소활용 기술은 매우 다양하여 탄소감축효과, 시장성(부가가치), 기술성숙도, 국내 적용성(기술수요) 등을 검증하여 단계적 지원

CCU 기술 조기 상용화		탄소중립 산업 경쟁력 확보
CCU 기술 고도화 및 실증기술 확보	⇒	민간 주도 상용화 및 CCU 산업 활성화

□ **플래그십 프로젝트 지원대상 범위**

❍ **(지원대상)** 온실가스 감축 기여를 위한 공공의 목적을 달성하기 위한 사업으로서 **기업, 대학, 연구소 모두 사업 참여 가능**

❍ 플래그십 프로젝트는 대규모 온실가스 감축을 위해 多배출 기업이 참여할 수 있도록 대기업을 비롯한 중견·중소기업이 모두 포함되며, 기술개발을 위해 대학과 연구소의 전문성도 필요하므로 대학 및 연구소도 지원대상에 포함

마. 무탄소 에너지(CFE) 전환을 위한 CCU 기술개발(R&D) 사업 논리모형

〈표 Ⅲ-4〉 동 무탄소 에너지(CFE) 전환을 위한 CCU 기술개발(R&D) 사업 논리 모형

1. 이슈 / 문제 (개발 필요성)	
배 경 요 인	• **CCU, 탄소중립실현 핵심기반기술** ① 탄소중립을 실현을 위해 배출된 이산화탄소를 흡수·처리해야 하며, ➜ 이를 위한 수단으로 **CCU 기술도입 필요성** 대두 ② 국내 **높은 제조업 비중**과 수출 중심 산업구조에서 **민간 부담 최소화·탄소중립 실현** 기술 - CO_2 多배출·수출기업 중심으로 **상당한 영향** 우려되나, **준비 부족**
문제 및 이슈	• **국내 CCU, R&D 투자로 기술 확보 중이나, 상용화 사례 부재** ① 국내 일부 기술 응용연구 및 중·소규모 실증단계에 진입하였으나, ➜ 확보된 핵심기술의 **상용화 단계 연계 취약** ② 상용화를 위해 대규모 실증이 필요하나, 산업공정 적용 **높은 비용과 리스크**로 기업 참여 부족 ③ CCU 기술 분야 대부분 학계·연구계 중심 기초·원천연구 단계로 **상용화 사례가 부재**
정책/현황	• **('21.05.) CCU 기술혁신 로드맵 / ('23.03.) 제1차 국가탄소중립 녹색성장 기본계획** ① 국가온실가스 감축목표 달성 시점 근접 ② 탄소중립 **국제 규제 강화**로 CCU 기술의 **현장 적용·확산 절실**
대안/전략	• **CO_2 활용 기술의 상용화를 위해, 대규모 R&D 투자와 이를 활성화하기 위한 정부 뒷받침 필수** ① (CCU, 대규모 R&D 투자 필요) 전 세계 CCU 기술 대부분 응용연구 수준 ➜ 국내, 본격적 상용화를 위해 대규모 R&D 투자 필요 ② CCU 기술, 낮은 기술 성숙도와 높은 위험성이 제약요인으로 민간 투자 어려움 ➜ 유용성 확보와 상용화까지 **대규모 정부 R&D 지원** 필요 ③ 기술개발부터 실증까지 **전주기 통합 지원** 필요

2. 목 표	3. 수 혜 자
• (목표) CCU 기술혁신을 통한 탄소중립 실현 및 新산업 창출 - 73.2만톤/년 온실가스 감축·처리 - CCU 활용 시제품 17건('30년) - 감축량 평가 방법론·플랫폼 3건	• CCU 산업 관련 대·중견·중소기업 - (직접) CO2 전·후방 산업 기업 CCU 유관 산·학·연·협회 - (간접) 일반 국민

4. 투입	5. 활동	6. 산출	7. 성과 / 영향
• 필요 자원 **8,487.6억 원** • 인적 자원 2,589명	• 多배출 핵심 산업 연계 4개 권역 플래그십 프로젝트 (9개 중점기술, 15개 과제) • CCU 온실가스 감축량·기여도 평가 방법론 개발	• 결과물 - 온실가스 **년 73.2만톤 감축** - 민간주도 **시제품 개발 17건** - 온실가스 감축 **평가 플랫폼 3건**	• 결과 - 탄소중립 정책 실현 - 국제 합의 준수 - 선도국 수준 기술력 확보와 핵심기술 자립 • 변화 및 파급효과 - 국가 에너지 정책기반 견고화 - 핵심 산업 연계 CCU 신산업 육성

8. 가 정
• CCU 전략 제품 조기 상용화를 통한 즉각적인 탄소감축을 위해 통합 실증을 할 수 있는 **대형 투자가 필수** • CCU 핵심기술과 전략제품에 대한 **기술력 확보가 미진할 시** 정부의 NDC 목표는 물론 장기적 탄소중립 실현에 **부정적 영향 불가피**

2. 목표 및 전략

가. 사업 추진 개요

<table>
<tr><td>사 업 명</td><td colspan="3">무탄소 에너지(CFE) 전환을 위한 CCU 기술개발(R&D)</td></tr>
<tr><td>사업 목적</td><td colspan="3">기 확보한 CCU 기술의 현장 적용을 통해
실제 CO_2 감축을 위한 기술 고도화 및 통합실증 추진</td></tr>
<tr><td>총사업비
(국고/민자)</td><td>8,487.6억원
(국고: 5,547.6 민자: 2,940.0)</td><td>사업 기간</td><td>2025년 ~ 2030년
(6년)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">사업 유형 및
추진범위</td><td>사업유형</td><td>공모방식</td><td>추진범위</td></tr>
<tr><td>성장형 R&D</td><td>기술지정</td><td>응용·실증 R&D (TRL 5~7단계)</td></tr>
<tr><td>추진 경위</td><td colspan="3">▌ 근거 법령
• 과학기술기본법 제15조, 제16조
• 기후위기 대응 탄소중립· 녹색성장 기본법 제34조(탄소포집이용저장기술의 육성)
• 환경정책기본법 제10조, 제15조
• 기후변화대응 기술개발 촉진법 제8조, 제11조</td></tr>
<tr><td>사업 내용</td><td colspan="3">▌ 비전
CCU 기술혁신을 통한 탄소중립 실현 및 新산업 창출
▌ 전략과제
CCU 기술 고도화 및 조기 상용화 전략기술 개발을 위해
'30년 주력기술을 중심으로 지역 핵심산업과 연계
• 중점기술 9개, 세부기술 15개 기술 개발
• 감축량 평가 플랫폼 개발

</td></tr>
<tr><td>성과 목표</td><td colspan="3">
<table>
<tr><td rowspan="2">성과 목표</td><td>1단계('25년~'27년)</td><td colspan="2">2단계('28년~'30년)</td></tr>
<tr><td>CCU 통합공정 최적 상용 공정 개발</td><td colspan="2">CO_2 감축 실증 기술의 규모 격상과
전후방 산업으로 공유·확산</td></tr>
<tr><td rowspan="4">성과 지표</td><td>성과목표</td><td>성과지표</td><td>목표치</td></tr>
<tr><td>① 정부 NDC 감축목표 기여</td><td>온실가스 배출 감축량</td><td>73.2만톤/년</td></tr>
<tr><td>② 민간주도 조기상용화 전략기술 개발</td><td>시제품</td><td>17건</td></tr>
<tr><td>③ 감축량 평가 기반 구축</td><td>방법론·플랫폼 개발</td><td>3건</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>사업기대효과</td><td colspan="3">선제적 기술 주도권 확보 산업간 밸류체인 연계 국내기업 경쟁력 제고 탄소중립 산업 경쟁력 확보</td></tr>
</table>

나. 목표 및 전략

CCU 기술혁신을 통한 탄소중립 실현 및 新산업 창출

목적	기확보한 CCU 기술의 **현장 적용**을 통해 실제 CO_2 감축을 위한 **기술 고도화** 및 **통합실증** 추진

추진 전략	1단계('25년~'27년)	2단계('28년~'30년)
	CCU 통합공정 최적 상용 공정 개발	CO_2 감축 실증 기술의 규모 격상과 전후방 산업으로 공유·확산

성과 목표	정부 NDC 감축목표 기여	플래그십 프로젝트 성공사례 확산	온실가스 감축량 평가 기반 구축
	('30년) 73.2만톤/년 감축	('30년) 시제품 17건	방법론 및 감축량 평가 플랫폼 3건

세부 기술	기술유형	중점기술	세부 과제
	화학전환	합성가스	①온실가스 감축 극대화 합성가스 생산 기술 ②미활용 CO_2 활용 합성가스 생산 기술
		메탄올	③CO_2 활용에 의한 메탄올 생산 기술
		올레핀	④정유 공정 배가스 CO_2 활용 기초유분 생산 기술
		e-Fuel	⑤합성연료(휘발유, 경유) 생산 기술 ⑥e-SAF 제조 상용공정 기술
		폴리머	⑦CO_2 활용 폴리우레탄 생산 기술 ⑧CO_2 활용 폴리카보네이트 생산 기술
	생물전환	바이오소재·연료	⑨미세조류 기반 발전소 배출 CO_2 감축 · 활용 기술
		바이오매스	⑩미세조류 기반 발효 배가스 내 CO_2 감축 · 활용 기술
	광물탄산화	고순도 무기탄산염	⑪석고 활용 탄산칼슘 생산 및 활용 기술 ⑫해수담수화 농축수 활용 고순도 무기탄산염 생산·활용 기술
		대체 시멘트 및 건설소재	⑬in-situ 탄산화기술 활용 CO_2 감축 · 활용 기술 ⑭CO_2 반응경화 시멘트 및 건설 2차제품 생산 및 활용 기술 ⑮제철 슬래그 활용 CO_2 저감 건설소재 생산 및 활용 기술

사업 구성	내역사업[국고/민자]	주요내용
	남부권 [2,280억/1,370억]	• 개요 : 석유·정유·철강 산업 연계 CO_2 대량 배출기업 밀집 지역 확산 • 생산물 : 합성가스, 올레핀, e-Fuel, 고순도 무기탄산염
	서부권 [1,530억/840억]	• 개요 : 발전소 탄소저감형 대규모 실증기반 구축 / 해수담수화 공정 광물탄산화 • 생산물 : 폴리머, 바이오소재·연료, 바이오매스, 고순도 무기탄산염
	중부권 [990억/330억]	• 개요 : 시멘트 산업 연계 CCU 광물 탄산화 건설제품 생산 통합 패키지 개발·확산 • 생산물 : 대체 시멘트 및 건설소재
	동남권 [500억/400억]	• 개요 : 철강·석유화학·조선·항만 산업 연계 청정 메탄올(연료) 생산·활용 기술 개발 • 생산물 : 메탄올, 대체 시멘트 및 건설소재
	감축량 플랫폼 [60억/-]	• 개요 : CCU 적용 온실가스 감축 효과 분석을 위한 감축량 평가 기반 구축 • 생산물 : 감축 기여도 평가방법론, 평가 Tool, 평가 DB, 동 사업 감축량 평가
	※ 기평비[187억/-]	• 연구단 및 플랫폼 운영 및 평가 비용 활용

□ **(기술개발 로드맵)** 플래그십 프로젝트 권역별 多배출 핵심산업 연계 CCU 중점 기술개발을 통해 **①공정개발 단계, ②기술격상 단계, ③기술 확산 및 제품화 단계**로 사업 추진

공정 개발 | **기술 격상** | **제품화, 확산**

단계별 목표		1단계			2단계			최종 목표
		상용 공정 개발			기술 격상, 확산			철강-석유화학-정유 벨류체인 구성
중점 연구 영역		2025	2026	2027	2028	2029	2030	기술별 개발 목표
남부권	온실가스 감축 극대화 합성가스 생산 기술							다양한 환원제를 활용해 CO_2 100톤/일을 감축하는 스케일업 공정 개발
	미활용 CO_2 활용 합성가스 생산 기술							제철 공정에 특화된 Net CO_2 저감 가능 CCU 상용 기술 개발
	정유 공정 배가스 CO_2 활용 기초유분 생산 기술							CO_2직접전환 기초유분생산 기술 Demo Scale 실증
	합성연료(휘발유, 경유) 생산 기술							CO_2 전환 합성연료 생산 실증 기술 개발
	e-SAF 제조 상용공정 기술							재생 전력 기반 지속가능 항공유 제조 실증 기술 개발
	석고 활용 탄산칼슘 생산 및 활용 기술							상용화 규모 기술개발을 통한 대량의 CO_2 저감. 경제성 확보
서부권	CO_2 활용 폴리우레탄 생산 기술							이산화탄소 함유 폴리올, 이소시아네이트 제조 기술 실증화
	CO_2 활용 폴리카보네이트 생산 기술							이산화탄소 함유 폴리카보네이트 제조 기술 개발 및 상용화 기반 확보
	미세조류 기반 발전소 배출 CO_2 감축 · 활용							미세조류 기반 컴팩트 CCU 모듈 (2,000 m^3 규모의 공정 모듈) 확보
	미세조류 기반 발효 배가스 내 CO_2 감축 · 활용 기술							아미노산 생산 발효 배기가스 내 CO_2 저감 균주/공정 개발
	해수담수화 농축수 활용 고순도 무기탄산염 생산							해수담수화 공정 중 발생하는 농축수를 이용한 CO_2 광물 전환 실증
중부권	in-situ 탄산화 기술 활용 CO_2 감축·활용 기술							레미탈, 레미콘 및 콘크리트 2차제품 제조 배합물의 단위 시멘트량 5% 이상 감축
	CO_2 반응경화 시멘트 및 건설 2차제품 생산 활용							Pilot plant scale 생산설비를 활용한 대량생산 실증(800톤/일급 소성킬른활용)
동남권	제철 슬래그 활용 CO_2 저감 건설소재 생산 활용							제철 슬래그 활용 연 10만톤의 CO_2 저감 기술 실증
	CO_2 활용에 의한 메탄올 생산 기술							부생가스의 CO/CO_2 활용 메탄올 전환 공정 실증 및 적용 기술 확보
플랫폼	감축 기여도 평가 (방법론, Tool, 플랫폼)							국가 인벤토리 집계 반영 산정 방법론 개발
	사업 감축량 평가 검증							4대권역 9개 중점기술 15개 추진사업의 사업감축량 평가 검증

□ **(전주기 통합사업 추진)** 사업목적 달성을 위한 CCU 제품 조기 상용화와 핵심기술 확보를 위해 **실증기술**까지 전주기 통합사업으로 추진

❍ **(민간 주도 CCU 제품개발 역량 확보)** CCU 기술개발을 통한 NDC 달성과 탄소중립사회 실현을 위해서는 국가적 수준의 **CCU 기술 확보**와 민간 주도의 CCU 제품개발 역량확보가 필요

❍ CCU 기술은 개발 난이도가 높고 민간의 투자 유인이 부족해 기술개발 역량확보를 위한 정부의 통합적 지원이 필수

❍ 동 사업은 **핵심산업 연계 플래그십 프로젝트, 상용화 기술 확보, 포집연계, 제품개발**을 위한 통합실증 지원까지 CCU 기술의 전주기 지원을 통한 **CCU산업 생태계 구축 기반**을 마련하는 것을 목표로 추진

- 주원료인 CO_2 를 확보하는 부분에서 핵심기술 확보, 상용화까지 CCU 산업의 전주기 기술에 대한 통합적 접근과 사업으로, CCU 기술과 산업에서의 전반적 역량확보가 필요

□ 동 사업을 통한 **CCU 제품 조기상용화**를 위해 국내 CCU 기술-인력-재원 역량 결집

❍ 기존 **정부의 CCU 유관 사업의 성과를 결집하여 연계**하고, 추진사업을 동 사업으로 이어달리기 함으로써 개발기간 단축 및 투자 효율성 제고

❍ 동 사업을 통해 도출되는 트랙레코드와 포집된 CO_2 를 **타 CCU 기업과 연구기관에 이전**하여 **CCU 기술개발 수준을 격상**하고 CCU 기술 적용 산업 발전의 선순환 구도 마련

CCU 기술 조기 상용화		탄소중립 산업 경쟁력 확보
CCU 기술 고도화 및 실증기술 확보	→	민간 주도 상용화 및 CCU 산업 활성화

□ (사업 추진 전략 방향 설정)

❍ **(플래그십 프로젝트)** 기업 수요는 크나 중소규모 실증에서 벗어나지 못하는 기술을 대상으로 핵심산업과 연계한 CCU 플래그십 프로젝트 추진으로 기술완성도 제고

❍ **(CCU 활용 기술 대규모 실증 지원)** 중규모 실증을 위해 기술 수준별, 단계별 격상 실증 지원

❍ **(산업별·배출원별 최적 기술 개발)** 시멘트, 철강, 석유화학 등 온실가스 다배출 산업의 특성을 반영한 최적 기술 개발

❍ **(기술 실증 및 운영기술 최적화)** 대규모 실증 프로젝트 수행 및 최적 운영 기술 확보

❍ **(시장진입 가능성 높은 기술 우선 실증 지원)** 산업적용이 용이하고 상용화에 근접한 CO_2 전환 화학제품(합성가스, 메탄올, 고분자 등)과 광물화 기술 실증 공정비용 저감을 위한 실증 지원

❍ **(산업별 특성에 적합한 활용기술 개발)** 산업별 특성을 고려한 기술 및 제품 개발 및 사업장 공정과 밀접한 On-site 실증 지원

❍ **(사업 추진 방향)** 동 사업을 통한 CCU 제품 조기상용화를 위해 국내 CCU 기술-인력-재원의 모든 역량 결집

- 그간 과학기술정보통신부 및 기타 정부의 CCU 유관 사업의 성과를 결집하여 연계하고, 추진사업을 동 사업으로 이어지게 함으로써 개발기간 단축 및 투자 효율성 제고
- 동 사업을 통해 도출되는 트랙레코드를 타 CCU 기업과 연구기관에 이전하여 CCU 기술개발 수준을 격상하고 CCU 산업발전의 선순환 구도 마련

다. 성과 목표

1 성과 목표

성과 목표

성과목표	성과지표	목표치
① 정부 NDC 감축목표 기여	온실가스 배출 감축량	**73.2만 톤/년**
② 조기상용화 전략기술 개발	시장 동등 품질 시제품(개)	**17개**
③ 감축량 평가 기반 구축	방법론 및 감축량 평가 플랫폼 개발	**3건**

추진 전략

1단계('25년~'27년)	2단계('28년~'30년)
CCU 통합공정 설계 및 **최적 상용 공정 개발**	CO_2 감축 기술의 규모 격상과 **전후방 산업**으로의 **공유·확산**

중점 사업

CCU 기술 고도화 및 조기 **상용화 전략기술** 개발을 위해
'30년 주력기술을 중심으로 지역 핵심산업과 연계된,

남부권	서부권	중부권	동남권	플랫폼
석유, 정유	발전, 바이오	시멘트	철강	감축량 평가 기반

플래그십 프로젝트(중점기술 9개, 세부과제 15개) 추진 및 CCU **감축량 평가 기반** 구축

핵심 성과 지표

온실가스 감축량	시장 동등 수준 시제품화	감축량 평가 기반구축
[온실가스 감축]	**[CCU 시장 창출]**	**[CCU 감축량 방법론]**
CCU 기술의 현장 적용을 통한 CO_2 감축	글로벌 CCU 시장 선점을 위한 기술 경쟁 우위 선점	CCU 적용을 통한 온실가스 감축의 객관적 효과 분석
(문제-이슈)	**(문제-이슈)**	**(문제-이슈)**
실증기술 없는 온실가스 감축 불가능	CCU 기술적 난이도, 경제성 부족으로 기업의 참여유인 부족	국제적인 CCU 감축량 평가방법론 부재

2 성과 지표 도출 근거

<table>
<tr><th>성과지표</th><th>측정 방법</th></tr>
<tr><td>①
정부 NDC
감축목표
기여</td><td>측정
방법</td><td>
■ 동 사업의 R&D(생산공정 투입)를 통해 저감 되는 온실가스 양과 전후방 산업 확산을 통한 온실가스 저감량의 합
・ 현재, CCU 적용을 통한 정부 NDC 감축기여도 평가방법 및 이행점검 방식의 부재로, 생산공정에 투입되는 처리량을 감축량으로 계산
・ NDC 감축목표 기여도 평가방법 개발을 통해 향후 동 사업의 R&D를 통한 실질적인 감축량을 평가할 수 있는 기반을 마련하여 재평가 추진
■ 동 사업 수행을 통한 감축량 평가의 경우, ‘온실가스 감축량 평가플랫폼’ 전문가로 구성된 국내 산·학·연 전문가 5-6명의 정밀검토를 통해 실질 감축량 검증
감축량 : 온실가스 배출 감축량(ER_y)
(측정산식) $ER_y = BE_y - PE_y - L_y$
. ER_y y년도 온실가스 배출 감축량(tCO2-eq/년)
. BE_y y년도 베이스라인 배출량(tCO2-eq/년)
. PE_y y년도 사업 배출량(tCO2-eq/년)
. L_y y년도 누출량(tCO2-eq/년)
<table>
<tr><th>영역</th><th>기준</th><th>Remark</th></tr>
<tr><td rowspan="3">온실가스 감축량
(t-CO_2/t-product)</td><td>단위 감축량</td><td>제품 1톤 생산 시 CO_2 감축량</td></tr>
<tr><td>사업 감축량</td><td>동 사업을 통해 실질 감축 가능한 CO_2 량</td></tr>
<tr><td>잠재 감축량</td><td>국내 시장 고려 잠재적 감축 가능한 CO_2량</td></tr>
</table>
■ 동 사업 감축목표
<table>
<tr><th>권역</th><th>중점기술분야(9)</th><th>목표감축량(톤/년)</th></tr>
<tr><td rowspan="4">남부권</td><td>합성가스</td><td>230,000</td></tr>
<tr><td>올레핀</td><td>131,200</td></tr>
<tr><td>e-Fuel</td><td>100,000</td></tr>
<tr><td>고순도 무기탄산염</td><td>10,000</td></tr>
<tr><td rowspan="4">서부권</td><td>폴리머</td><td>100,000</td></tr>
<tr><td>바이오소재·연료</td><td>10,000</td></tr>
<tr><td>바이오매스</td><td>5,000</td></tr>
<tr><td>고순도 무기탄산염</td><td>10,000</td></tr>
<tr><td>중부권</td><td>대체시멘트·건설소재</td><td>30,510</td></tr>
<tr><td rowspan="2">동남권</td><td>메탄올</td><td>5,500</td></tr>
<tr><td>대체시멘트·건설소재</td><td>100,000</td></tr>
<tr><td colspan="2">합계</td><td>732,510</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th>성과지표</th><th colspan="2">측정 방법</th></tr>
<tr><td>1
정부 NDC 감축목표 기여</td><td>목표치 근거</td><td>■ 국내외적으로 활용 중인 국가 온실가스 인벤토리 산정지침(IPCC 가이드라인 2006) 에는 CCU 분야 산정 방식 부재
・「탄소중립 녹색성장 기본계획」등의 정부안에서도 CCUS 감축목표를 CO_2 흡수·제거량 기준으로 제시
- 이에 따라 생산공정에 투입되는 처리량을 기준으로 감축목표를 산정
・동 사업은 '30년 NDC에 기여하기 위한 상용화 기술을 개발하기 위한 것으로 '30년까지 R&D와 생산공정 확산을 통한 73.2만톤 감축
・ 기업의 수요조사를 통한 민간 참여의지 확인과 기술전문가의 점검을 통해, 15개 세부 기술별 실증을 통한 생산공정 확산 온실가스 감축목표 산정</td></tr>
<tr><td rowspan="3">2
민간 주도 전략기술 개발 및 시제품화</td><td>측정 방법</td><td>[신제품 개발 및 생산 실적]
Σ(생산 실적 / 제품 등록)
해당연도 연구과제를 통해 창출된 성과물(개발기술)에 의해 신규 제품화 건
■ 동 사업의 R&D를 통해 중점기술별 제품화된 성과를 대상으로 제품 등록, 생산 실적 및 매출액 자료를 기반으로 평가
■ 시제품 성능 지표와 같은 객관적 자료 기반 평가
- 핵심 성능지표 spec 제시와 시장에서 유통되고 있는 제품 중 최고 기관 대비 우수성 증비(성능 수준 95% 이상인 경우)</td></tr>
<tr><td>연도별 목표</td><td>
<table>
<tr><th>단계</th><th colspan="3">1단계('25년~'27년)</th><th colspan="3">2단계('28년~'30년)</th></tr>
<tr><td>목표</td><td colspan="3">공정 설계/공정 개발</td><td colspan="3">규모 격상 /
전후방 산업 공유·확산</td></tr>
</table>
(단위 : 건
<table>
<tr><th>항목</th><th>'25</th><th>'26</th><th>'27</th><th>'28</th><th>'29</th><th>'30</th></tr>
<tr><td>시제품</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>2</td><td>5</td><td>10</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>목표치 근거</td><td>■ 2030년 상용화 목표 제품 중 기술성숙도(TRL)를 고려하여, 조속한 시장 접근이 가능한 품목 선정
■ 상용화 검증이 완료된 제품으로 시장 내 동등 수준의 제품과 동일 또는 그 이상의 성능 달성
■ 「CCU전략제품 로드맵」의 2030년 상용화 전략제품을 기준으로 현재 기술수준 및 시장 상용화 현실 등을 고려하여 상용화 목표 설정</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th>성과지표</th><th colspan="2">측정 방법</th></tr>
<tr><td rowspan="3">3
국가
감축목표
기여도
평가</td><td>측정
방법</td><td>[CCU 온실가스 감축량 평가 기반 구축]
■ (평가방법론) 국가 온실가스 인벤토리와 연계 가능한 감축기여도 평가 방법론(가이드라인) 개발
· 온실가스종합정보센터 등 국가인벤토리 통계작성 및 감축 이행점검 주무기관과의 협의를 통하여 실제적으로 적용 가능한 방법론 개발
· (평가시뮬레이터) 동 사업 수행을 통한 국가감축 기여도를 예측할 수 있는 시뮬레이터 개발
· (LCA 플랫폼) CCU 전과정평가 표준화를 위한 LCA 핵심데이터 웹플랫폼 구축·운영
■ (사업감축량 검증) 본사업으로 개발된 방법론을 적용, 관련 산·학·연 전문가 5-6명이 동 사업의 실질감축량을 정밀검토 실시 후 검증보고서 제출</td></tr>
<tr><td>목표</td><td>[개발 항목 - 최종성과물]
<table><tr><th>항목</th><th>내용</th></tr><tr><td>국가 감축기여도 평가방법론 개발
1건</td><td>국가 온실가스 인벤토리와 연계 가능한 CCU 국가 감축기여도 평가 방법론</td></tr><tr><td>기여도 평가 시뮬레이터 개발
1건</td><td>4대 권역별 추진 CCU 사업 확산 및 시장보급 시나리오에 따른 국가 감축 기여도를 평가 예측 툴</td></tr><tr><td>CCU LCA 데이터 플랫폼 구축
1건</td><td>CCU 기술 전과정평가에 필요한 국내외 핵심 데이터베이스 개발 및 제공</td></tr><tr><td>사업감축량 평가 검증
15건</td><td>4대 권역별 15개 추진사업에 대한 사업감축량 평가 검증</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>목표치
근거</td><td>■ (평가방법론) 국내외적으로 활용 중인 국가 온실가스 인벤토리 산정지침(IPCC 가이드라인 2006) 에는 CCU 분야 산정 방식 부재
■ 국가 인벤토리와 연계 가능한 CCU 국가 감축기여도 평가 방법론 확보 필요
■ (LCA 데이터플랫폼) CCU 기술 전과정평가 수행과 제품 탄소발자국 산정을 위한 표준 방법론 및 데이터 베이스 부재
· 미국에서는「CO2U LCA Guidance Toolkit」플랫폼 구축·운영을 통하여 LCA 가이드라인, 핵심 LCI 데이터베이스, 결과 보고 및 검증 양식 등 표준화된 정보를 지속 개발·제공</td></tr>
</table>

3 배출권 거래제를 통한 상쇄 경제적 효과

□ **(목표 감축량)** 동 사업의 R&D(생산공정 투입)를 통해 **저감 되는 온실가스** 양과 **전후방 산업 확산**을 통한 온실가스 저감 목표량은 **732,210 톤/년**

❍ **(온실가스 감축)** 동 사업에서 감축되는 약 732,210톤/년의 온실가스가 배출권거래제를 통해 상쇄되는 **경제적 효과는 년 약 900억 원**으로 추정

❍ 기업의 수요조사를 통한 민간 감축목표 확인과 기술전문가의 점검을 통해, 多 **배출 핵심산업 전후방 연계를 통한 감축 가능성** 점검

권역	목표 감축량(톤/년)	배출권거래가('23.11.)	환산가(억 원)
서부권	125,000	**유럽 탄소배출권 가격(EU ETS) 88유로(12만 3천원/톤)**	153.75억 원
남부권	471,200		579.57억 원
동남권	105,500		129.76억 원
중부권	30,510		37.52억 원
합계			**900.6억 원**

□ **(기술 유형별 최종 제품)** 화학전환 제품 8종, 생물전환 제품 2종, 광물화 제품 5종 등 총 15종 제품 생산 확대를 통한 경제적 기대효과

〈표 Ⅲ-5〉 기술 유형별 최종 제품 개발 목표 및 감축 목표량

기술유형	산업분야	중점기술	최종 제품	CO_2 감축량 (톤/년)
화학적 전환 (8종)	석유화학	합성가스	합성가스	30,000
		e-Fuel	합성연료(e-Fuel)	50,000
			항공유(e-SAF)	50,000
		폴리머	폴리우레탄	50,000
			폴리카보네이트	50,000
	철강	합성가스	합성가스(CO)	200,000
		메탄올	메탄올	5,500
	정유	올레핀	기초유분	131,200
생물전환 (2종)	발전	바이오소재·연료	플라스틱	10,000
	바이오	바이오매스	바이오매스(사료)	5,000
광물 탄산화 (5종)	비료화학	고순도 무기탄산염	황산암모늄(탄산칼슘)	10,000
	해수담수화		CO_2 전환 마그네슘 탄산염	10,000
	시멘트	대체 시멘트 및 건설소재	콘크리트 2차 제품	13,885
			CO_2 반응경화 시멘트	16,625
	철강		CO_2 광물화 건설소재	100,000

4 제품 생산 확대를 통한 경제적 기대 효과

□ **(권역별 핵심 산업 연계 제품 개발)** 남부권, 서부권, 중부권, 동남권의 핵심 산업 중심 전략 제품 개발

〈표 Ⅲ-6〉 권역별 핵심 산업 연계 제품 개발 목표

권역	중점기술	핵심산업	최종 성과물	CO_2 감축량 (톤/년)
남부권	합성가스	석유화학, 철강	합성가스, 일산화탄소	230,000
	올레핀	정유	기초유분	131,200
	e-Fuel	석유화학	합성연료(e-Fuel), e-SAF	100,000
	고순도 무기탄산염	해수 담수화	황산암모늄, 탄산칼슘	10,000
서부권	폴리머	석유화학	폴리우레탄 / 폴리카보네이트	100,000
	바이오소재·연료	발전, 화학소재	플라스틱	10,000
	바이오매스	바이오, 아미노산	바이오매스/사료/아미노산	5,000
	고순도 무기탄산염	광물탄산화	CO_2 전환 마그네슘 탄산염	10,000
동남권	메탄올	철강	메탄올	5,500
	대체 시멘트 및 건설소재	철강	CO_2 광물화 건설소재	100,000
중부권	대체 시멘트 및 건설소재	시멘트	CO_2 반응경화 시멘트 등	30,510

□ **기술 유형별 최종제품 생산 확산 기대**

❍ **(화학적전환 최종제품)** 합성가스, 메탄올, 올레핀, e-Fuel, 폴리머로 多배출 기업 밀집지역을 중심으로 제품 개발과 확산 기대

〈표 Ⅲ-7〉 화학적 전환 최종제품 생산 확대 기대량

기술유형	중점기술	세부 기술명	최종 제품	생산량(년)
화학적 전환	합성가스	온실가스 감축 극대화 합성가스 생산 기술	합성가스	30,000톤
		미활용 CO_2 활용 합성가스 생산 기술	합성가스	200,000톤
	메탄올	CO_2 활용에 의한 메탄올 생산 기술	메탄올	5,500톤
	올레핀	정유 공정 배가스 CO_2 활용 기초유분 생산 기술	기초유분	70,630톤
	e-Fuel	합성연료(휘발유, 경유) 생산 기술	e-Fuel(합성연료)	1,150톤
		e-SAF 제조 상용공정 기술	e-SAF(항공유)	100,000톤
	폴리머	CO_2 활용 폴리우레탄 생산 기술	폴리우레탄	300,000톤
		CO_2 활용 폴리카보네이트 생산 기술	폴리카보네이트	120,000톤

❍ **(생물학적 전환 최종제품) 플라스틱(필러), 바이오매스(사료)**로 서부권 多배출 발전산업을 중심으로 제품 개발

〈표 Ⅲ-8〉 생물학적 전환 최종제품 생산 확대 기대량

기술유형	중점기술	세부 기술명	최종 제품	생산량(년)
생물학적 전환	바이오소재·연료	미세조류 기반 발전소 배출 CO_2 감축 · 활용 기술	플라스틱(필러)	5,000톤
	바이오매스	미세조류 기반 발효 배가스 내 CO_2 감축 · 활용	바이오매스(사료)	2,500톤

❍ **(광물탄산화 최종제품)** 고순도 무기탄산염 기술개발을 통한 **"황산암모늄, 마그네슘 탄산염"**과 대체 시멘트 및 건설소재 기술을 활용한 **"2차제품 레미콘, 레미탈, CO_2 반응경화, 2차제품 건설재로"**

〈표 Ⅲ-9〉 광물탄산화 최종제품 생산 확대 기대량

기술유형	중점기술	세부 기술명	최종 제품	생산량(년)
광물 탄산화	고순도 무기탄산염	석고 활용 탄산칼슘 생산 및 활용 기술	황산암모늄	30,000톤
		해수담수화 농축수 활용 고순도 무기탄산염 생산	마그네슘탄산염	63,000톤
	대체 시멘트 및 건설소재	in-situ 탄산화기술 활용 CO_2 감축 · 활용 기술	2차제품, 레미탈	27.8백만m^3
		CO_2 반응경화 시멘트, 건설 2차제품 생산 활용	CO_2 반응경화	2,700,000톤
		제철 슬래그 활용 CO_2 저감 건설소재 생산 활용	플라이 애쉬 대체 건설소재	400,000톤

❍ 최종 생산물 거래 단가('23.11.)

제품명	1톤당(만원)	근거('23. 11.)
에탄올	64.5	국제선물
메탄올	42.7	국제선물
올레핀	109.2	국제선물
e-Fuel(바이오메탄올)	56,653.1	국제청정교통위(ICCT)
폴리우레탄	539,3	pieweb.plasteurope.com
폴리카보네이트	406.9	Intratec.us 거래단가
바이오연료	439.6	Minimal fuel selling price
플라스틱	296.4	Ethylene vinyl acetate
카로테노이드	617.5	Koller et al
바이오매스	1,06.4	미국 DOE 산하 NREL
시멘트	17.5	IBIS World
합성가스	327.9	Intratec.us 거래단가
탄산마그네슘	78.0	무역협회 수출입 단가
석회석 대체 탄산칼슘	26.0	무역협회 수출입 단가
양생 시멘트	13.0	무역협회 수출입 단가
플라이 애쉬	2	기업 거래 단가 확인
황산암모늄	26.6	Intratec.us 거래단가
탄산칼슘	158.6	무역협회 수출입 단가
중탄산나트륨	71.2	무역협회 수출입 단가

* (환율) '23. 11. 1,300원 환산

□ 권역별 최종제품 생산 확산 기대

❍ 4개 플래그십 프로젝트 권역별 **철강, 시멘트, 석유화학, 발전** 등 탄소 多배출 산업을 중심으로 CCU 세부기술개발과 공정 개선을 통해 제품 생산 확산을 기대

- **(상용화 확산 경제적 효과)** 동 사업의 R&D를 통한 생산·공정기술을 활용하여 최종 생산 가능제품의 양산 상용화 확산 경제적 효과
- 최종 생산 제품과 동등제품의 현재 국내 거래가격 기준 측정

〈표 Ⅲ-10〉 권역별 핵심 산업 연계 최종제품 확대 생산 기대량

권역	세부 기술명	최종 제품	생산량(년)
남부권	온실가스 감축 극대화 합성가스 생산 기술	합성가스	30,000톤
	미활용 CO_2 활용 합성가스 생산 기술	합성가스	200,000톤
	정유 공정 배가스 CO_2 활용 기초유분 생산 기술	기초유분	70,630톤
	합성연료(휘발유, 경유) 생산 기술	e-Fuel(합성연료)	1,150톤
	e-SAF 제조 상용공정 기술	e-SAF(항공유)	100,000톤
	석고 활용 탄산칼슘 생산 및 활용 기술	황산암모늄	30,000톤
서부권	CO_2 활용 폴리우레탄 생산 기술	폴리우레탄	300,000톤
	CO_2 활용 폴리카보네이트 생산 기술	폴리카보네이트	120,000톤
	미세조류 기반 발전소 배출 CO_2 감축·활용 기술	플라스틱(필러)	5,000톤
	미세조류 기반 발효 배가스 내 CO_2 감축·활용 기술	바이오매스(사료)	2,500톤
	해수담수화 농축수 활용 고순도 무기탄산염 생산 활용	마그네슘탄산염	63,000톤
중부권	in-situ 탄산화기술 활용 CO_2 감축·활용 기술	콘크리트 2차제품	1.26백만m^3
	CO_2 반응경화 시멘트 및 건설 2차제품 생산 활용	CO_2 반응경화 2차제품 건설재료	2,700,000톤
동남권	CO_2 활용에 의한 메탄올 생산 기술	메탄올	5,500톤
	제철 슬래그 활용 CO_2 저감 건설소재 생산 활용	플라이 애쉬 대체 건설소재	400,000톤

❍ 동 사업의 기술성과물 확산과 후방산업과의 연계를 통한 최종 생산물로 인한 생산 유발 경제적 효과는 약 3조 4849억 원으로 추산

- 동 플래그십 프로젝트를 통해 **핵심기술의 자립**과 **조기상용화**로 **전후방산업과의 공유 확산**을 통해 **중장기적인 상용화 확산**에 따른 효과 기대

❍ 사업종료 후 회임기간 3년('31년~' 33년)간 지원기업의 누적 총매출액 3조 4849억원 기대

〈표 Ⅲ-11〉 최종 제품 생산 확대를 통한 경제적 기대 효과

플래그십 권역	중점기술	기술명	최종제품	기반 확산 생산량(년)	톤당 단가(천원)	경제적 가치(천원)
남부권	합성가스	온실가스 감축 극대화 합성가스 생산 기술	합성가스	30,000톤	1,170	35,100,000
	합성가스	미활용 CO_2 활용 합성가스 생산 기술	합성가스	200,000톤	3,279	655,928,000
	올레핀	정유 공정 배가스 CO_2 활용 기초유분 생산 기술	기초유분	70,630톤	1,092	77,127,960
	e-Fuel	합성연료(휘발유, 경유) 생산 기술	e-Fuel	1,150톤	5,665	6,515,111
	e-Fuel	e-SAF 제조 상용공정 기술	e-SAF	100,000톤	1,430	143,000,000
	고순도 무기탄산염	석고 활용 탄산칼슘 생산·활용	황산암모늄	30,000톤	130	3,900,000
			탄산칼슘 (석회석 대체)	23,000톤	260	5,980,000
서부권	폴리머	CO_2 활용 폴리우레탄 생산 기술	폴리우레탄	300,000톤	5,393	1,618,127,400
	폴리머	CO_2 활용 폴리카보네이트 생산 기술	폴리카보네이트	120,000톤	2,875	344,996,160
	바이오소재·연료	미세조류 기반 발전소 배출 CO_2 감축·활용 기술	플라스틱(필러)	5,000톤	2,964	14,820,000
	바이오매스	미세조류 기반 발효 배가스 내 CO_2 감축·활용 기술	바이오매스(사료)	2,500톤	2,047	5,118,750
	고순도 무기탄산염	해수담수화 농축수 활용 고순도 무기탄산염 생산 및 활용 기술	마그네슘탄산염	63,000톤	37,800	49,140,000
중부권	대체 시멘트 및 건설소재	in-situ 탄산화기술 활용 CO_2 감축·활용 기술	레미콘,콘크리트 2차제품, 레미탈	1.26백만 m^3	130	163,800,000
	대체 시멘트 및 건설소재	CO_2 반응경화 시멘트 및 건설 2차제품 생산 및 활용 기술	CO_2 반응경화 2차제품건설재료	2,700,000톤	130	351,000,000
동남권	메탄올	CO_2 활용에 의한 메탄올 생산 기술	메탄올	5,500톤	427	2,351,085
	대체 시멘트 및 건설소재	제철 슬래그 활용 CO_2 저감 건설소재 생산 및 활용 기술	플라이 애쉬 대체 건설소재	400,000톤	20	8,000,000
합계						**3,484,904,466**

3. 사업 예산 및 조달 계획

가. 총 사업비 구성

□ **(사업기간 및 총사업비)** 본 사업은 ‘25년부터 ‘30년까지 총 6년 간, **총 사업비 8,487.6억 원**을 조성하여 운영

❍ **총 5,547.6억 원(정부출연금), 민간자금 2,940억 원**으로 구성

〈표 Ⅲ-12〉 전체 사업비 투입 규모

권역	연구비(억 원)		
	국고	민자	합계
남부권	2,280	1,370	3,650
서부권	1,530	840	2,370
중부권	990	330	1,320
동남권	500	400	900
감축량 평가 플랫폼	60	-	60
기획평가관리비	187.6	-	187.6
합계	**5,491(65%)**	**2,940(35%)**	**8,487.6**

〈표 Ⅲ-13〉 세부 중점기술별 사업비 투입 규모(기획평가관리비 제외)

No	유형	전략과제	적용 산업	연구비 소계(억원)		
				국고	민자	소계
서부권	화학	폴리머	석유화학(폴리우레탄)	155	155	310
			석유화학(폴리카보네이트)	155	155	310
	생물	바이오소재·연료	발전 산업 / 플라스틱 산업	500	195	695
		바이오매스	바이오 발효 산업	220	85	305
	광물	고순도 무기탄산염	해수담수화, 발전, 마그네슘	500	250	750
남부권	화학	합성가스	석유화학	800	400	1,200
			철강산업, 화학	560	240	800
		올레핀	석유화학산업	150	50	200
		e-Fuel	합성연료, 탄소중립 모빌리티	250	250	500
			친환경 항공유(e-SAF)	250	250	500
	광물	고순도 무기탄산염	비료화학, 시멘트	270	180	450
동남권	화학	메탄올	철강, 석유화학	200	200	400
	광물	대체 시멘트 및 건설소재	철강, 건설	300	200	500
중부권	광물		레미콘/콘크리트 2차제품	990	330	1,320
플랫폼	방법론	감축기여도 평가 방법론	감축량 펴가 플랫폼	60	-	60

□ **(권역별 사업비 구성)** 연구개발 1단계 기간(’ 25 ~ ‘27)은 실증을 위한 **설비・장비 구축**에 집중, 2단계(’ 28 ~ ‘30) 기간에 기술의 **규모 격상**과 전후방 산업으로 **공유・확산**에 집중

〈표 Ⅲ-14〉 권역별 사업비 투입 규모(기평비 제외)

권역	(1단계) 통합공정 최적 상용 공정 개발						(2단계) 규모 격상, 공유·확산						연구비 소계 (억 원)		
	사업비(억 원)														
	2025		2026		2027		2028		2029		2030				
	국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	소계
남부권	497	304	650	365	405	219	349	223	239	166	140	93	2,280	1,370	3,650
서부권	162	84	203	113	196	105	393	238	306	150	270	150	1,530	840	2,370
중부권	50	18	160	53	340	113	300	99	140	47			990	330	1,320
동남권	45	35	80	60	190	160	90	70	55	45	40	30	500	400	900
소계	**754**	**441**	**1,093**	**591**	**1,131**	**597**	**1,132**	**630**	**740**	**408**	**450**	**273**	**5,300**	**2,940**	**8,240**

❍ **(남부권)** 세부과제별 사업비 구성

〈표 Ⅲ-15〉 남부권 플래그십 프로젝트 사업비 투입 규모

남부권	연구기간, 연구비(억 원)												연구비 소계 (억 원)		
	2025		2026		2027		2028		2029		2030				
	국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	소계
온실가스 감축 극대화 합성가스 생산 기술	300	150	400	200	100	50	-	-	-	-	-	-	800	400	1,200
미활용 CO_2 활용 합성가스 생산 기술	35	15	105	45	140	60	140	60	70	30	70	30	560	240	800
정유 공정 배가스 CO_2 활용 기초유분 생산 기술	12	4	15	5	55	19	39	13	19	6	10	3	150	50	200
합성연료(휘발유, 경유) 생산 기술	45	45	35	35	30	30	60	60	50	50	30	30	250	250	500
e-SAF 제조 상용공정 기술	45	45	35	35	30	30	60	60	50	50	30	30	250	250	500
석고 활용 탄산칼슘 생산 및 활용 기술	60	45	60	45	50	30	50	30	50	30	-	-	270	180	450
소계	**497**	**304**	**650**	**365**	**405**	**219**	**349**	**223**	**239**	**166**	**140**	**93**	**2,280**	**1,370**	**3,650**

❍ (서부권) 세부과제별 사업비 구성

〈표 Ⅲ-16〉 서부권 플래그십 프로젝트 사업비 투입 규모

서부권	연구기간, 연구비(억 원)												연구비 소계 (억 원)		
	2025		2026		2027		2028		2029		2030				
	국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	소계
CO_2 활용 폴리우레탄 생산 기술	10	10	20	20	15	15	70	70	20	20	20	20	155	155	310
CO_2 활용 폴리카보네이트 생산	10	10	20	20	15	15	70	70	20	20	20	20	155	155	310
미세조류 기반 발전소 배출 CO_2 감축 · 활용	50	25	50	25	50	25	130	40	130	40	90	40	500	195	695
미세조류 기반 발효 배가스 내 CO_2 감축	36	10	36	10	36	10	36	15	36	20	40	20	220	85	305
해수담수화 농축수 활용 고순도 무기탄산염 생산	56	29	77	38	80	40	87	43	100	50	100	50	500	250	750
소계	**162**	**84**	**203**	**113**	**196**	**105**	**393**	**238**	**306**	**150**	**270**	**150**	**1,530**	**840**	**2,370**

❍ (중부권) 세부과제별 사업비 구성

〈표 Ⅲ-17〉 중부권 플래그십 프로젝트 사업비 투입 규모

중부권	연구기간, 연구비(억 원)												연구비 소계 (억 원)		
	2025		2026		2027		2028		2029		2030				
	국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	소계
in-situ 탄산화기술 활용 CO_2 감축 · 활용 기술	50	18	80	26	100	33	100	33	60	20			390	130	520
CO_2 반응경화 시멘트 및 건설 2차제품 생산			80	27	240	80	200	66	80	27			600	200	800
소계	**50**	**18**	**160**	**53**	**340**	**113**	**300**	**99**	**140**	**47**			**990**	**330**	**1,320**

❍ (동남권) 세부과제별 사업비 구성

〈표 Ⅲ-18〉 동남권 플래그십 프로젝트 사업비 투입 규모

동남권	연구기간, 연구비(억 원)												연구비 소계 (억 원)		
	2025		2026		2027		2028		2029		2030				
	국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	소계
CO_2 활용에 의한 메탄올 생산 기술	15	15	20	20	100	100	30	30	25	25	10	10	200	200	400
제철 슬래그 활용 CO_2 저감 건설소재 생산	30	20	60	40	90	60	60	40	30	20	30	20	300	200	500
소계	**45**	**35**	**80**	**60**	**190**	**160**	**90**	**70**	**55**	**45**	**40**	**30**	**500**	**400**	**900**

나. 소요 연구인력

□ **(2,589명 연구인력 투입)** 무탄소 에너지 전환을 위한 CCU 기술개발사업에 '25년부터 ' 30년까지 6년간 총 2,589명의 인력이 필요

❍ 총 2,589명의 인력 중 박사급 1,705(65.8%), 석사급 376명(14.5%), 학사급 301명(11.6%), 기능인력 207명(7.9%)으로 구성

〈표 Ⅲ-19〉 소요 연구 인력

구분	2025	2026	2027	2028	2029	2030	합계
박사급(명)	282	288	297	308	296	234	1,705
석사급(명)	53	61	70	68	62	62	376
학사급(명)	48	50	59	49	47	48	301
기능인력(명)	20	22	37	35	31	62	207
합계(명)	**403**	**421**	**463**	**460**	**436**	**406**	**2,589**

❍ 권역별 소요 연구인력

권역	구분	2025	2026	2027	2028	2029	2030	합계
남부권	박사급(명)	129	133	140	144	130	66	742
	석사급(명)	8	12	20	12	4	4	60
	학사급(명)	12	12	18	8	2	2	54
	기능인력(명)	8	10	20	18	14	60	130
	합계(명)	**157**	**167**	**198**	**182**	**150**	**132**	**986**
서부권	박사급(명)	37	39	39	46	46	48	255
	석사급(명)	29	31	32	36	36	36	200
	학사급(명)	28	30	31	31	33	34	187
	기능인력(명)	12	12	17	17	17	2	77
	합계(명)	**106**	**112**	**119**	**130**	**132**	**120**	**719**
중부권	박사급(명)	58	58	59	59	60	60	354
	석사급(명)	8	9	9	10	11	11	58
	학사급(명)	4	4	5	5	6	6	30
	기능인력(명)	-	-	-	-	-	-	0
	합계(명)	**70**	**71**	**73**	**74**	**77**	**77**	**442**
동남권	박사급(명)	58	58	59	59	60	60	354
	석사급(명)	8	9	9	10	11	11	58
	학사급(명)	4	4	5	5	6	6	30
	기능인력(명)	-	-	-	-	-	-	0
	합계(명)	**70**	**71**	**73**	**74**	**77**	**77**	**442**

□ 권역별 소요 인력

❍ (남부권) 플래그십 프로젝트 투입 인력

중점기술	세부 과제	'25				'26				'27				'28				'29				'30			
		박사	석사	학사	기능	박사	석사	학사	기능	박사	석사	학사	기능	박사	석사	학사	기능	박사	석사	학사	기능	박사	석사	학사	기능
합성가스	온실가스 감축 극대화 합성가스 생산 기술	1	4	10	-	1	4	10	-	2	8	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	미활용 CO_2 활용 합성가스 생산 기술	50	-	-	-	50	-	-	-	50	-	-	-	50	-	-	-	50	-	-	-	50	-	-	-
올레핀	정유 공정 배가스 CO_2 활용 기초유분 생산 기술	10	4	2	-	16	8	2	4	22	12	8	8	22	12	8	8	10	4	2	8	10	4	2	8
e-Fuel	합성연료 (휘발유, 경유) 생산 기술	4	-	-	4	3	-	-	3	3	-	-	6	6	-	-	5	5	-	-	3	3	-	-	26
	e-SAF 제조 상용공정 기술	4	-	-	4	3	-	-	3	3	-	-	6	6	-	-	5	5	-	-	3	3	-	-	26
고순도 무기탄산염	석고 활용 탄산칼슘 생산 및 활용 기술	60	-	-	-	60	-	-	-	60	-	-	-	60	-	-	-	60	-	-	-	-	-	-	-

❍ (서부권) 플래그십 프로젝트 투입 인력

중점기술	세부 과제	'25				'26				'27				'28				'29				'30			
		박사	석사	학사	기능	박사	석사	학사	기능	박사	석사	학사	기능	박사	석사	학사	기능	박사	석사	학사	기능	박사	석사	학사	기능
폴리머	CO_2 활용 폴리우레탄 생산 기술	4	3	2	0	5	3	3	-	5	3	3	-	6	4	3	-	6	4	3	-	6	4	3	-
	CO_2 활용 폴리카보네이트 생산 기술	4	2	-	10	5	3	-	10	5	3	-	15	10	5	-	15	10	5	-	15	10	5	-	-
바이오 소재·연료	미세조류 기반 발전소 배출 CO_2 감축·활용 기술	11	13	2	1	11	13	2	1	11	13	2	1	11	13	2	1	11	13	2	1	11	13	2	1
바이오매스	미세조류 기반 발효 배가스 내 CO_2 감축·활용 기술	8	-	-	-	8	-	-	-	8	-	-	-	8	-	-	-	8	-	-	-	10	-	-	-
고순도 무기탄산염	해수담수화 농축수 활용 고순도 무기탄산염 생산 및 활용 기술	10	11	24	1	10	12	25	1	10	13	26	1	11	14	26	1	11	14	28	1	11	14	29	1

❍ **(중부권)** 플래그십 프로젝트 투입 인력

중점기술	세부 과제	'25				'26				'27				'28				'29				'30			
		박사	석사	학사	기능	박사	석사	학사	기능	박사	석사	학사	기능	박사	석사	학사	기능	박사	석사	학사	기능	박사	석사	학사	기능
대체 시멘트 및 건설소재	in-situ 탄산화기술 활용 CO_2 감축·활용 기술	120	-	-	-	120	-	-	-	120	-	-	-	120	-	-	-	120	-	-	-	-	-	-	-
	CO_2 반응경화 시멘트 및 건설 2차제품 생산 및 활용 기술	-	-	-	-	350	-	-	-	350	-	-	-	350	-	-	-	350	-	-	-	-	-	-	-

❍ **(동남권)** 플래그십 프로젝트 투입 인력

중점기술	세부 과제	'25				'26				'27				'28				'29				'30			
		박사	석사	학사	기능	박사	석사	학사	기능	박사	석사	학사	기능	박사	석사	학사	기능	박사	석사	학사	기능	박사	석사	학사	기능
메탄올	CO_2 활용에 의한 메탄올 생산 기술	8	8	4	-	8	9	4	-	9	9	5	-	9	10	5	-	10	11	6	-	10	11	6	-
대체 시멘트 및 건설소재	제철 슬래그 활용 CO_2 저감 건설소재 생산 및 활용 기술	50	-	-	-	50	-	-	-	50	-	-	-	50	-	-	-	50	-	-	-	50	-	-	-

제2절 사업 추진 계획

1. 남부권 플래그십 프로젝트

<table>
<tr><th>남부권</th><th colspan="2">석유·정유·철강 산업 맞춤형 핵심 CCU 기술의 CO_2 대량 배출기업 밀집 지역 확산</th></tr>
<tr><td>사업 기간</td><td colspan="2">2025년 ~ 2030년(6년)</td></tr>
<tr><td>추진 개요</td><td colspan="2">석유화학, 철강, 정유 등 남부권 주력산업의 친환경적 전환</td></tr>
<tr><td rowspan="3">추진 전략</td><td>주력 산업</td><td>CCU 제품</td></tr>
<tr><td>석유화학, 철강, 정유</td><td>합성가스, 기초유분, e-Fuel, e-SAF,
황산암모늄, 탄산칼슘</td></tr>
<tr><td colspan="2">多배출 산업 특성 및 자원을 활용한 CO_2 대량 감축</td></tr>
<tr><td rowspan="2">성과 목표</td><td>온실가스 감축 목표</td><td>기대효과</td></tr>
<tr><td>471,200톤(t-CO_2_eq/yr)</td><td>CO_2 국내 최다 배출 남부권 주요 산업의
무탄소화 에너지 활용을 위한
철강-석유화학-정유 벨류체인 구성</td></tr>
<tr><td>사업 추진
모식도</td><td colspan="2">
</td></tr>
<tr><td>사업 구성
체계</td><td colspan="2">
</td></tr>
</table>

1 남부권 세부 기술 및 최종 제품

No	유형	중점기술	산업분야	세부 기술명	적용 산업	최종제품
1-01	화학	합성가스	석유화학	온실가스 감축 극대화 합성가스 생산 기술	석유화학	합성가스, 응용제품
1-02	화학	합성가스	철강	미활용 CO_2 활용 합성가스 생산기술	철강산업, 화학산업, 수소산업	합성가스, COG 수소, LNG 대체
1-03	화학	올레핀	정유	정유 공정 배가스 CO_2 활용 기초유분 생산 기술	석유화학산업	올레핀
1-04	화학	e-Fuel	석유화학	합성연료(휘발유, 경유) 생산 기술	합성연료(e-Fuel)	e-Fuel
1-05	화학	e-Fuel	석유화학	e-SAF 제조 상용공정 기술	항공유(e-SAF)	e-SAF
1-06	광물	고순도 무기탄산염	비료화학	석고 활용 탄산칼슘 생산 및 활용 기술	비료화학, 시멘트	황산암모늄 탄산칼슘

2 남부권 프로젝트 과제 사업비

No	온실가스 감축 목표 (톤/년)	연구기간, 연구비(억 원)												연구비 소계 (억원)		
		2025		2026		2027		2028		2029		2030				
		국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	소계
1-01	30,000	300	150	400	200	100	50	-	-	-	-	-	-	800	400	1,200
1-02	200,000	35	15	105	45	140	60	140	60	70	30	70	30	560	240	800
1-03	131,200	12	4	15	5	55	19	39	13	19	6	10	3	150	50	200
1-04	50,000	45	45	35	35	30	30	60	60	50	50	30	30	250	250	500
1-05	50,000	45	45	35	35	30	30	60	60	50	50	30	30	250	250	500
1-06	10,000	60	45	60	45	50	30	50	30	50	30	-	-	270	180	450
합계	**471,200**	**497**	**304**	**650**	**365**	**405**	**219**	**349**	**223**	**239**	**166**	**140**	**93**	**2,280**	**1,370**	**3,650**

3 남부권 플래그십 프로젝트 추진 필요성

중점기술	세부과제	구분		내용
합성가스	온실가스 감축형 합성가스 생산 기술	문제점		• 이산화탄소 전환을 통한 건식개질 기반 합성가스 생산은 기존 스팀을 활용한 상용 습식개질 기술 대비 탄소감축 효과가 매우 높으나, 반응 중 탄소 침적 등에 의한 연속 가동성 부족으로 이에 대한 극복 필요
		필요성	기술 개발 필요성	• CCU 제품의 탄소 감축 효과를 위해서는 상용 공정 단위의 적극적인 보급이 필요하며, 이를 위해서는 정책적인 보조와 함께 기술의 경제성 확보가 절실 • 경제성 관점에서 공정효율 향상을 통한 비용 절감과 함께 안정적인 원료 수급 및 효율적인 완제품 유통/공급이 필요하며, 이를 위해서는 집적된 산업단지 내에서 원료-생산-공급이 순환되는 가치사슬 완성 필요
			정책적 필요성	• 국가 탄소중립 이행을 위해서는 CCU 기술의 조기 정착이 필요하고, CO_2 활용에 대한 현 산업계의 신뢰성 확보를 위해서는 기술적 이질감이 적은 플랫폼원료물질 공급기술인 합성가스 공급 기술의 상용화와 실 현장 적용이 시급
		기대효과		• CCU 원천기술 기반 실증 기술 개발 • 이산화탄소 활용 기술/산업 육성 • 기후변화 대응 온실가스 감축
	미활용 탄소 활용 합성가스 생산 기술	문제점		• 생성된 합성가스를 지역 내 석유화학 산업의 원료로 활용하기 위해 유용한 성분들을 효과적으로 분리하고 정제해야 하나, 활용처에 따라 요구되는 순도 확보에 어려움이 있으며, 특히 일산화탄소 분리/정제의 경우 실적용을 위하여 공정 안정성 및 경제성의 향상과 함께 에너지 소비 최소화 필요
		필요성	기술 개발 필요성	• 전환과정의 효율성과 온실가스 저감효과 극대화를 위해 이산화탄소 전환을 위해 다양한 환원물질(부생가스, 폐유기물, 폐플라스틱, 폐열 등) 활용 기술 필요
			정책적 필요성	• 온실가스-기타 오염물질 동시저감 기술 확보 시, 설비투자비용 감소, 고부가 플랫폼 물질 생산, 환경편익 발생 등 사회적 비용 절감 효과가 높으므로 신성장 동력기술로 육성 필요
		기대효과		• CO_2 취입 자원화 기술 상용화시 COG 총열량 10% 이상 증량 • 코크스 오븐 1battery당 약 1.6만톤_CO_2/년 이상 저감 가능 • 저농도의 CO_2가 배출되는 모든 산업을 포함하여 탄소중립 전환을 지원하고, 상용급(10MW 열병합발전) 적용시 연간 64,000톤 규모 이산화탄소 감축 효과 발생

중점기술	세부과제	구분		내용
올레핀	정유 공정 배가스 CO_2 활용 기초유분 생산 기술	문제점		• 전 세계적으로 상용화가 된 CO_2 기반 올레핀 기술의 부재로 기존 보유한 올레핀 제조 기술의 성숙도를 높이면서, CO_2 전환율, 생성물 선택도, 신재생 전력 활용을 위한 원천기술 개발을 동시에 진행 필요
		필요성	기술 개발 필요성	• 국내 배출 CO_2의 자원화 일환으로 재생에너지를 활용한 플랫폼 화합물의 대표 물질인 액체 탄화수소(합성납사/연료, 윤활기유)로의 전환공정(Power-to-X, PtX)을 상용화하기 위해, 국내 개발 CO_2 직접 전환 공정의 스케일업 실증을 통한 공정 운전성 검토와 최적화 연구, 상용공정 및 상용촉매 개발연구가 필요
			정책적 필요성	• CO_2를 활용한 올레핀 제조 기술은 전 세계적으로 실증 전 단계 수준으로 국산화 기술 확보 및 시장의 선점이 가능 • 세계적 CO_2 감축 추세 대응 및 국가 탄소 중립 실현을 위하여 획기적인 CO_2 감축 기술이 요구
		기대효과		• CO_2 저감효과 뿐만 아니라 정유 및 석유화학 산업의 친환경적 경쟁력 강화에도 큰 기여를 할 것으로 예상 • CO_2 전환으로 생산된 화학소재를 활용하여 해외 에너지 수입에 대한 의존도를 감소시킬 수 있어 국가 에너지자립도 향상
고순도 무기탄산염	석고 활용 탄산칼슘 생산 및 활용 기술	문제점		• 국내는 광물탄산화 기술의 상용화급 설비 구축 및 운용 사례가 전무 - 연 2,000톤 석고 광물탄산화 실증 설비 운용 경험을 바탕으로 상용화급 설비의 기술 안정성 확보가 필요
		필요성	기술 개발 필요성	• 부산석고 활용 광물탄산화 기술은 정부기관(한국지질자원연구원) 및 공기업(한국남동발전) 주도로 실증(TRL 6단계) 개발을 진행 중이며, 효과적으로 대량의 CO_2를 포집 활용(CCU) 가능한 기술로 기대 - 기존 개발 중인 기술이 향후 대량의 CO_2 포집 방안으로 활용되기 위해서는 추가적인 대량 상용화 기술개발이 필요하며, 동 프로세스의 원료인 석고, CO_2 대량 공급원에 대한 접목이 필요
			정책적 필요성	• 배가스 직접반응에 의한 직접 탄산화 기법을 활용한 광물탄산화 기술의 상용화 사례를 찾아보기 힘든 상황에서 연4만톤급 석고 탄산화 설비 운용은 도전적 과제로 판단 • 산업부산물 활용에 따른 폐기물을 이용한 CO_2 저감 기술은 지원 제도의 미비로 인해 기술 보급이 쉽지 않으며, 산업계 확산을 위한 제도적 뒷받침이 필요한 상황
		기대효과		• 연간 부산석고 4만톤 규모 CCU 시설 상용화 시 연간 약 1만톤의 CO_2 온실가스 저감 • 국가자원(부산석고)의 효과적 활용 촉진

중점기술	세부과제	구분		내용
e-Fuel	합성연료(휘발유, 경유) 생산 기술	문제점		• 메탄올 경유 가솔린 생산 공정, FT 반응 경유 가솔린 생산 공정으로 생산된 합성연료는 가솔린, 경유로 사용되지 못하기 때문에 업그레이딩 실증기술 필요
		필요성	기술 개발 필요성	• 전동화가 어려운 항공/선박 등 수송부문 전반에 적용 가능하며, 석유 연료 운송/보관 시설 등 기존 인프라 활용 가능하기 때문에 e-fuel 생산 실증이 필요 • 현재 유럽 전역에서 신재생에너지를 활용한 액체 연료 생산 기술에 대해 상용화 진행 중으로 관련 기술의 국내 기술 경쟁력 제고 필요
			정책적 필요성	• 탄소 중립 달성을 위해서는 재생에너지의 보급. 재생에너지 기반의 수소 생산 기술 및 공급 인프라 확보를 통해 CO_2 배출량 저감이 필요하며, 동시에 불가피하게 배출된 CO_2를 포집하고 활용(고정화)시켜 유용한 물질로 전환하거나 혹은 저장해 배출량을 저감하는 CCUS 기술 도입이 필수
		기대효과		• 생산 단가의 큰 비중을 차지하는 그린수소의 가격이 안정화되고 기술 완성도가 높아지는 '50년에는 탄소배출 저감 기술로 그 파급력이 클 것으로 예상
	e-SAF 제조를 위한 상용공정 개발	문제점		• 원천 및 스케일업 기술 부재하여 기존 보유한 e-SAF 제조 기술의 성숙도를 높이면서, 이산화탄소 전환율, 친환경 전환자원 활용, 생성물 선택도, 신재생 전력 활용을 위한 원천기술 개발을 동시에 진행 필요 • 아직 상용화 되지 않은 e-SAF 제조 기술 선점을 통해 유럽, 미국의 e-SAF 의무 사용, 탄소국경세 등에 대응할 수 있는 신기술 개발 및 시장 선점 필요
		필요성	기술 개발 필요성	• CO_2 화학전환 분야 SAF 제조 기술은 현재 TRL 4단계까지 검증된 기술로, 상업화를 위한 경제성/LCA 검증을 위한 기업연계 실증연구 필요 - CO_2 감축효과가 뛰어난 기술로 저탄소 항공유 분야에 적용함으로써 이산화탄소 대량 감축 가능
			정책적 필요성	• 국제적 환경규제 강화(미국의 SAF 사용 의무, 탄소국경세 등)에 따라 빠른 시기에 SAF 기반 확보가 필요한 상황 • 기술 개발 뿐만 아니라 항공유 국제 규격 도달을 위해 SAF 보급 의무화 시기보다 이른 상용화가 필요
		기대효과		• 생산 단가의 큰 비중을 차지하는 그린수소의 가격이 안정화되고 기술 완성도가 높아지는 '50년에는 탄소배출 저감 기술로 그 파급력이 클 것으로 예상

4 남부권 플래그십 프로젝트 추진 목표

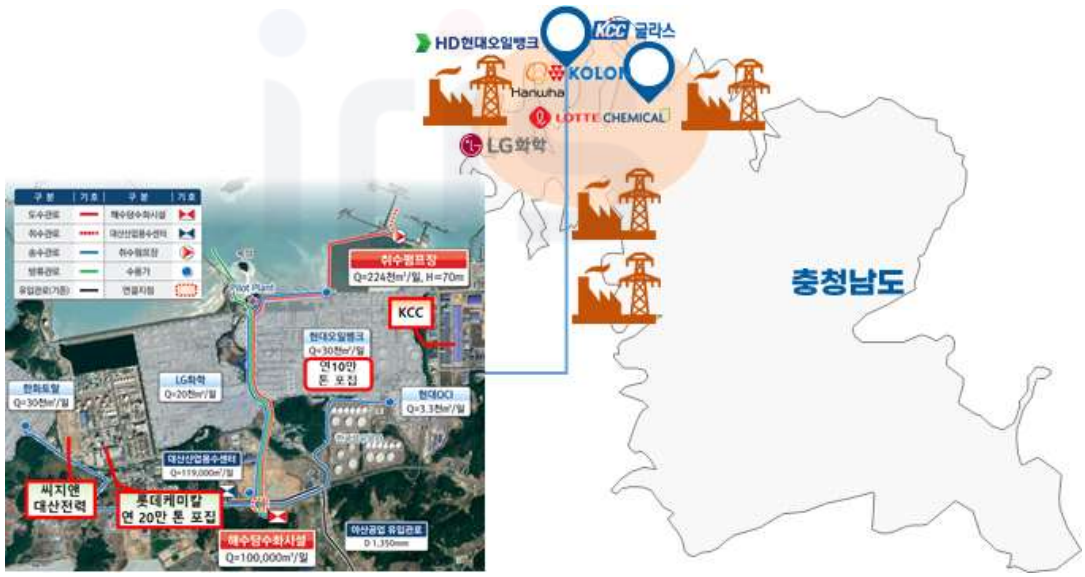
No	유형	제안 기술명	연구 목표
1-01	화학	온실가스 감축 극대화 합성가스 생산 기술	• 조기 상용화가 가능한 이산화탄소 기반 합성가스 개발 기술 실증
1-02		미활용 CO_2 활용 합성가스 생산 기술	• 경제성 및 높은 탄소 저감능력을 지니는 CO_2 기반 합성가스 제조 기술 개발 및 상용화 기반 확보
1-03		정유 공정 배가스 CO_2 활용 기초유분 생산 기술	• CO_2 직접전환 기초유분 생산기술 패키지 개발 • 장시간 운전 데이터, Scale-up factor, 경제성 분석 및 CO_2 절감 효과 분석을 수행하여 공정설계안 확보 • CO_2 전환 올레핀 생산기술 상용화를 위한 기반 확보
1-04		합성연료(휘발유, 경유) 생산 기술	• 이산화탄소 활용 합성연료 제조 상용화 기반 구축 및 자동차 규격 인증 확보
1-05		e-SAF 제조 상용공정 기술	• SAF 제조 파일럿 통합실증을 통한 상용 공정 기반 구축
1-06	광물	석고 활용 탄산칼슘 생산 및 활용 기술	• 상용화 규모 기술개발을 통한 대량의 CO_2 저감, 경제성 확보

5 남부권 플래그십 프로젝트 기술개발 로드맵

■ 공정•기술개발 ■ 상용•확산

단계별 목표		1단계			2단계			최종 목표
		상용 공정 개발			기술 격상, 확산			철강-석유화학-정유 벨류체인 구성
중점 연구 영역		2025	2026	2027	2028	2029	2030	기술별 개발 목표
남부권	온실가스 감축 극대화 합성가스 생산 기술							다양한 환원제를 활용해 CO_2 100톤/일을 감축하는 스케일업 공정 개발
	미활용 CO_2 활용 합성가스 생산 기술							제철 공정에 특화된 Net CO_2 저감 가능 CCU 상용 기술 개발
	정유 공정 배가스 CO_2 활용 기초유분 생산 기술							CO_2직접전환 기초유분생산 기술 Demo Scale 실증
	합성연료(휘발유, 경유) 생산 기술							CO_2 전환 합성연료 생산 실증 기술 개발
	e-SAF 제조 상용공정 기술							재생 전력 기반 지속가능 항공유 제조 실증 기술 개발
	석고 활용 탄산칼슘 생산 및 활용 기술							상용화 규모 기술개발을 통한 대량의 CO_2 저감. 경제성 확보

2. 서부권 플래그십 프로젝트

<table>
<tr><th>서부권</th><th colspan="2">발전소 적용 탄소저감형 미세조류 광생물 반응기 대규모 실증기반 구축 및 해수 담수화 공정 기반 CO_2 광물 탄산화</th></tr>
<tr><td>사업 기간</td><td colspan="2">2025년 ~ 2030년(6년)</td></tr>
<tr><td>추진 개요</td><td colspan="2">화력•LNG 발전, 해수담수화 공정 실증을 통한 전방위적 대규모 기술확산</td></tr>
<tr><td rowspan="3">추진 전략</td><td>주력 산업</td><td>CCU 제품</td></tr>
<tr><td>발전, 석유화학, 바이오, 해수담수화</td><td>폴리우레탄, 폴리카보네이트, 플라스틱, 마스네슘, 탄산염</td></tr>
<tr><td colspan="2">바이오 CCU 실증 테스트베드 구축 및 기술확산 가속화 R&D 수행</td></tr>
<tr><td rowspan="2">성과 목표</td><td>온실가스 감축 목표</td><td>기대효과</td></tr>
<tr><td>125,000톤(t-CO_2_eq/yr)</td><td>기존 포집-전환 연계 패러다임에 국한되지 않은 다양한 CO_2 배출원에 유연하게 적용할 수 있는 CCU 기술 확보</td></tr>
<tr><td>사업 추진 모식도</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>사업 구성 체계</td><td colspan="2">
</td></tr>
</table>

1 서부권 세부 기술 및 최종 제품

No	유형	중점기술	산업분야	세부 기술명	적용 산업	최종제품
1-01	화학	폴리머	석유화학	CO_2 활용 폴리우레탄 생산 기술	폴리우레탄	폴리우레탄
1-02	화학	폴리머	석유화학	CO_2 활용 폴리카보네이트 생산 기술	폴리카보네이트	폴리카보네이트
1-03	생물	바이오소재·연료	발전	미세조류 기반 발전소 배출 CO_2 감축 · 활용 기술	발전 산업 / 플라스틱 산업	미세조류 바이오매스
1-04	생물	바이오매스	바이오	미세조류 기반 발효 배가스 내 CO_2 감축 · 활용 기술	바이오 발효 산업	바이오매스, 바이오사료
1-05	광물	고순도 무기탄산염	기타(해수담수)	해수담수화 농축수 활용 고순도 무기탄산염 생산 및 활용 기술	해수담수화, 화력발전, 해수 수전해, 환경플랜트, 제철·자동차 등 마그네슘 활용 산업군	CO_2 광물전환 공정, 친환경 해수담수화, 해수 수전해 공정, 마그네슘 내재화 기술

2 서부권 프로젝트 과제 사업비

No	온실가스 감축 목표 (톤/년)	연구기간, 연구비(억 원)												연구비 소계 (억원)		
		2025		2026		2027		2028		2029		2030				
		국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	소계
1-01	50,000	10	10	20	20	15	15	70	70	20	20	20	20	155	155	310
1-02	50,000	10	10	20	20	15	15	70	70	20	20	20	20	155	155	310
1-03	10,000	50	25	50	25	50	25	130	40	130	40	90	40	500	195	695
1-04	5,000	36	10	36	10	36	10	36	15	36	20	40	20	220	85	305
1-05	10,000	56	29	77	38	80	40	87	43	100	50	100	50	500	250	750
합계	125,000	162	84	203	113	196	105	393	238	306	150	270	150	1530	840	2370

3 서부권 플래그십 프로젝트 추진 필요성

중점기술	세부과제	구분		내용
폴리머	CO_2 활용 폴리우레탄 생산 기술	문제점		• 이산화탄소를 활용하여 폴리우레탄이나 폴리카보네이트의 생산이 가능하지만, 기업의 투자설비 및 수익성의 문제로 국내에는 상업화 사례는 없음 • 폴리카보네이트의 경우 해외의 라이센스를 구입하여 사용하고 있는 실정
		필요성	기술 개발 필요성	• 고부가제품에 해당되는 CASE(Coating-Adhesive-Sealant-Elastomer) 폴리우레탄은 범용 폴리우레탄 대비 더 높은 물성이 요구되며, 이를 위해 현재 값비싼 PCD(Poly Carbonate Diol) 폴리올을 전량 수입하여 사용
			정책적 필요성	• EU 및 미국의 기후정책(탄소국경세 등)으로 인한 수출 문제 초래로 석유화학 원료 사용의 제한이 예상되어, 석유화학 원료 사용이 없는 바이오매스를 활용한 CO_2 기반 폴리머 제조 기술개발 시급
		기대효과		• 친환경 CO_2 폴리올 통합검증 및 생산을 통해 고가의 PCD를 대체할 수 있는 제품을 공급함으로써, 고성능 폴리올 시장을 키우고 고객사에는 좋은 제품을 저렴한 가격에 구입할 수 있는 기회를 제공하며, 이로 인해 국내 폴리우레탄 산업경쟁력 향상
	CO_2 활용 폴리카보네이트 생산 기술	문제점		• 국내의 경우 한국화학연구원, SKI 및 RIST 등에서 CO_2 촉매전환 폴리카보네이트 생산을 위한 촉매 제조 및 기술은 확보한 상태이지만, 경제성 및 물성이 열악하여 복합화 기술이 필요
		필요성	기술 개발 필요성	• 온실가스 감축을 위한 CO_2 활용은 단분자 위주의 전환으로 연구 개발되고 있으나, 대부분의 고분자들이 석유화학 유래 탄소 기반이기 때문에 이를 위한 큰 사용량이 보장되어 있어, 석유화학기반 고분자를 CO_2 기반으로 합성하여 활용하는 기술이 필요
			정책적 필요성	• 동차 경량화 및 자율주행차량의 보급에 따라 폴리카보네이트의 새로운 수요가 나타날 것으로 예상되어 아시아 지역을 중심으로 폴리카보네이트 소재 개발에 적극적으로 참여하고 있어 우리나라도 이에 대한 대응이 필요
		기대효과		• 국내 고분자 제조 분야 산업의 탄소중립 전환 지원, 연간 28만 톤 규모 이산화탄소 감축 효과 • 고분자 생산분야 산업의 탄소중립 전환을 지원하고, 수익성이 없는 DAC 분야의 수익을 제공

중점기술	세부과제	구분		내용
바이오 소재·연료	미세조류 기반 발전소 배출 CO_2 감축 · 활용 기술	문제점		• 경기, 서부 지역을 포함하는 서부권은 인구가 밀접된 지역에 위치한 발전소, 소각장 등의 배출 업체가 위치하고 있어, 면적 요구도 및 주민 수용성 이슈의 제약에서 상대적으로 자유로운 미세조류 기반의 탄소저감 및 활용 기술 개발이 반드시 필요한 상황
		필요성	기술 개발 필요성	• 미세조류 바이오매스 생산성 증대 - 미세조류 바이오매스 생산성은 CO_2 저감 효율 및 미세조류 유래 제품화 기술의 경제성에 직접적으로 영향을 미치며, 미세조류 CCU 기술의 전방위적인 확산을 위해서는 현재 수준 대비 획기적인 면적당 생산성의 증대가 선행되어야 함
			정책적 필요성	• 발전은 국가 CO_2 배출량에서 가장 많은 양을 차지하고 있는 분야인 만큼 도전적 국가 NDC 달성을 위해 혁신적 CO_2 감축 기술 개발 요구
		기대효과		• 생물학적 CCU 기술 고도화를 통해 LNG 발전 분야의 탄소중립 전환을 유도하여 2030년까지 한국지역난방공사 실증사이트 기준, 연간 1만 톤 규모의 이산화탄소 감축 달성 - 실증 단지 유래 바이오매스 및 고부가 바이오원료를 활용하여 CCU 기술혁신 로드맵 (2021.06)에 상술된 미세조류 유래 사료, 플라스틱 소재 (필러) 등으로의 CCU 제품화 및 이에 따른 추가 감축 효과 기대
바이오 매스	미세조류 기반 발효 배가스 내 CO_2 감축 · 활용 기술	문제점		• 발효 산업은 고집적 CO_2 배출원이지만 국내에서 그 저감 중요성에 대해 크게 주목된 바 없음 • 발효 산업의 성패는 무균성 확보인데, 타 공정과 융합할 경우 전단 발효 공정의 오염 문제가 발생 가능
		필요성	기술 개발 필요성	• 생물학적분야 CO_2 활용 미세조류 배양기술은 기초 연구단계로서, 발효 산업에서의 이산화탄소 배출을 감축하기 위한 기업연계 실증연구 필요
			정책적 필요성	• 미세조류를 활용한 생물학적 전환 기술은 실험실 단계에서 검증된 기술로 스케일업을 통한 경제성 확보가 필요한 상황
		기대효과		• 발효 시 발생하는 CO_2를 고부가가치 물질로 전환하여 발효 산업의 경제성을 높이고 해당 산업에서의 탄소 중립을 실현하는 필수 기반 기술 확보 • CO_2 전환 결과 생산되는 미세조류 유래 발효용 원당을 실제 발효 산업에 제공하는 형식의 순환 경제형 공급 사슬을 구현함으로써 기존 바이오 공정의 친환경성 극대화 및 원당의 수입 의존성 감소 기대

중점기술	세부과제	구분		내용
고순도 무기 탄산염	해수담수화 농축수 활용 고순도 무기탄산염 생산 및 활용 기술	문제점		• 해수담수화는 대표적 전력 다소비 업종 : 1톤 담수 생산 시 4kWh 소비로 CO_2 1.8kg 배출 • 배출 농축수의 염분은 바닷물 대비 2배 높아 해양 생태계 염독성 문제 • 현안 해결을 위한 대안 전무 : 농축수 활용 CO_2 광물전환 기술의 유용성
		필요성	기술 개발 필요성	• 현재, 광물탄산화분야 CO_2 광물전환 기술은 실험실 규모의 실험단계 및 파일럿 규모로 실증하는 단계 • 실제 해수담수화 공정에 수요기업과 연계한 사업화를 위한 연구가 필요 • 사업화를 위해 실제 해수담수화 공정에 수요기업과 연계한 사업화를 위한 연구하여 CO_2 광물전환 상용 공정개발 및 최적화를 통한 CO_2 감축 성능 및 경제성 확보 필요
			정책적 필요성	• NDC 및 탄소중립 실현을 위한 실증 규모의 CO_2 감축 공정 전무 - 충남 서부권역의 발전소 및 석유화학 업종에 적합한 실효성 있는 1만 톤/년 -CO_2 감축 기술 실증화 시급
		기대효과		• 해수담수화 분야 산업에 발생되는 고에너지 소비 공정에서 연간 최대 1만톤 규모 CO_2 처리(간접효과 고려 시 최대 3만톤 CO_2 처리)로 탄소중립 전환 지원 및 6.3만톤 Mg 탄산염 생산으로 국가전략금속인 마그네슘 자원 내재화로 산업경쟁력 강화

4 서부권 플래그십 프로젝트 추진 목표

No	유형	제안 기술명	연구 목표
1-1	화학	CO_2 활용 폴리우레탄 생산 기술	• 이산화탄소 함유 폴리올, 이소시아네이트 제조 기술 실증화
1-2		CO_2 활용 폴리카보네이트 생산 기술	• 이산화탄소 함유 폴리카보네이트 제조 기술 개발 및 상용화 기반 확보
1-3	생물	미세조류 기반 발전소 배출 CO_2 감축 · 활용 기술	• 미세조류 기반 컴팩트 CCU 모듈 (2,000 m3 규모의 공정 모듈) 확보: 연간 10,000 ton CO_2 저감
1-4		미세조류 기반 발효 배가스 내 CO_2 감축 · 활용 기술	• 발효 배기가스 내 CO_2 저감 균주/공정 개발
1-5		해수담수화 농축수 활용 고순도 무기탄산염 생산 및 활용 기술	• 해수담수화 농축수(660만 톤/년)를 이용한 CO_2 광물전환 실증 공정 구축과 운영 • 해수담수화 농축수 염분농도 감소로 해양생태계 위해성 저감 • 해수담수화 농축수-CO_2 동시 처리에 의한 온실가스 감축 효과 정량 평가법 정립

5 서부권 플래그십 프로젝트 기술개발 로드맵

■ 공정•기술개발 ■ 상용•확산

단계별 목표		1단계			2단계			최종 목표
		상용 공정 개발			기술 격상, 확산			바이오 CCU 기술의 전방위적 확산 발판 마련
중점 연구 영역		2025	2026	2027	2028	2029	2030	기술별 개발 목표
서부권	CO_2 활용 폴리우레탄 생산 기술							이산화탄소 함유 폴리올, 이소시아네이트 제조 기술 실증화
	CO_2 활용 폴리카보네이트 생산 기술							이산화탄소 함유 폴리카보네이트 제조 기술 개발 및 상용화 기반 확보
	미세조류 기반 발전소 배출 CO_2 감축 · 활용 기술							미세조류 기반 컴팩트 CCU 모듈 (2,000 m3 규모의 공정 모듈) 확보: 연간 10,000 ton CO_2 저감
	미세조류 기반 발효 배가스 내 CO_2 감축 · 활용 기술							아미노산 생산 발효 배기가스 내 CO_2 저감 균주/공정 개발
	해수담수화 농축수 활용 고순도 무기탄산염 생산 및 활용 기술							해수담수화 공정 중 발생하는 농축수를 이용한 CO_2 광물 전환 실증 공정 구축과 운영

3. 중부권 플래그십 프로젝트

<table>
<tr><th>중부권</th><th colspan="2">지역 시멘트 산업 등과 연계한
CCU 광물 탄산화 건설제품 생산 통합 패키지 개발 및 확산</th></tr>
<tr><td>사업 기간</td><td colspan="2">2025년 ~ 2030년(6년)</td></tr>
<tr><td>추진 개요</td><td colspan="2">시멘트 산업 저탄소 전환기술 확보와 시멘트 분야 관련
산업군 기술 융합을 통한 가치사슬 강화 및 이에 따른 기술력 증대</td></tr>
<tr><td rowspan="3">추진 전략</td><td>주력 산업</td><td>CCU 제품</td></tr>
<tr><td>시멘트</td><td>CO_2 반응 경화 시멘트,
건설·콘크리트 2차 제품 등</td></tr>
<tr><td colspan="2">시멘트 산업 연계 CCU 광물 탄산화 건설제품(시멘트, 콘크리트, 레미콘 등) 생산기술 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">성과 목표</td><td>온실가스 감축 목표</td><td>기대효과</td></tr>
<tr><td>30,510톤(t-CO_2_eq/yr)</td><td>시멘트 산업 특성 및 자원을 활용한 대량 CO_2
감축 구현</td></tr>
<tr><td>사업 추진
모식도</td><td colspan="2">
</td></tr>
<tr><td>사업 구성
체계</td><td colspan="2">
</td></tr>
</table>

1 중부권 세부 기술 및 최종 제품

No	유형	중점기술	산업분야	세부 기술명	적용 산업	최종제품
1-01	광물	대체 시멘트 및 건설소재	시멘트	in-situ 탄산화기술 활용 CO_2 감축 · 활용 기술	레미콘/레미탈/콘크리트 2차제품, CO_2 포집/이송/활용 산업	In-situ 탄산화 건설용 제품, 건설 2차제품
1-02	광물	대체 시멘트 및 건설소재	시멘트	CO_2 반응경화 시멘트 및 건설 2차제품 생산 및 활용 기술	시멘트 산업, 시멘트 분야 2차제품 건설산업, CO_2 포집/이송/활용 산업	이산화탄소 반응경화 시멘트, 건설 2차제품

2 중부권 프로젝트 과제 사업비

No	온실가스 감축 목표 (톤/년)	연구기간, 연구비(억 원)												연구비 소계 (억원)		
		2025		2026		2027		2028		2029		2030				
		국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	소계
1-01	13,885	50	18	80	26	100	33	100	33	60	20			390	130	520
1-02	16,625			80	27	240	80	200	66	80	27			600	200	800
합계	30,510	50	18	160	53	340	113	300	99	140	47	0	0	990	330	1320

3 중부권 플래그십 프로젝트 추진 필요성

중점기술	세부과제	구분		내용
대체 시멘트 및 건설소재	in-situ 탄산화기술 활용 CO_2 감축 · 활용 기술	문제점		• 시멘트 산업 분야에서 CO_2 감축을 위한 산업부산물(고로슬래그, 플라이애쉬, 등)을 활용한 혼화재 시멘트는 상용화되었지만, CO_2 감축량 한계에 따라 일반포틀랜드 시멘트(OPC) 전량을 대체할 수 있는 해결방안이 필요한 실정
		필요성	기술 개발 필요성	• In-situ 탄산화 기술을 적용한 시멘트 및 콘크리트 제품의 CO_2 배출량 평가모델 개발과 환경 우수성 검증, 탄소중립 사회로의 전환의 기반 강화를 위한 LCI DB 구축 등 환경성적 도출 및 인증제도를 운영을 위한 평가 DB 및 모델이 개발 병행이 필요할 것으로 판단
			정책적 필요성	• 현재까지 국내 in-situ 탄산화 기술의 기술수준은 산업적용 가능성 검증을 위한 TRL 6단계 연구개발 수준으로 시멘트 분야 건설산업의 CO_2 감축량 확대 및 기술 보급을 위한 실증화가 필요한 상황
		기대효과		• CO_2 공급/고정화/배출량 산정 모리터링 시스템은 시멘트산업 뿐만 아니라, 철강 및 발전소 등 CO_2 다배출 산업의 배가스 활용시스템 기반구축이 가능하기 때문에 시멘트 기반 건설산업의 CO_2 활용률 증대에 따른 탄소배출권 확보가 가능
	CO_2 반응경화 시멘트 및 건설 2차제품 생산 및 활용 기술	문제점		• 일반적으로 고성능/고내구성 시멘트 제조는 고온에서 진행되고 때문에, CO_2 배출과 관련된 환경적 이점에서 부정적 - Belite cement, CSA cement 등 저온소성 시멘트가 있으나 원료수급 및 대량 생산 공정기술 확보가 어려움 - 물성향상을 위해 분말도 증가 및 산업부산물 활용 등의 방안을 고려할 수 있지만 공정추가에 따라 경제성 및 생산성이 낮음
		필요성	기술 개발 필요성	• 시멘트 제조 공정 배출 CO_2 중 90% 이상은 클링커 제조공정에서 배출되기 때문에 시멘트 산업 내 CO_2 배출량 감축을 위해서는 클링커를 거치지 않거나, 클링커 단계에서 발생하는 CO_2를 포집/활용하는 방안 필요
			정책적 필요성	• 최종적으로 제조 및 적용 전 공정에서 최대 70% CO_2 감축이 가능한 기술로서 건설재료 부분 CCUS 광물탄산화 실현이 가능하며, CO_2 감축을 위한 직접적인 해결방안이 모호한 시멘트산업 내 장기적이고 안정적인 효율성을 확보한 CO_2 감축 방안 제시 가능
		기대효과		• 탄소중립을 위한 시멘트 산업의 핵심기술 확보 • 시멘트 산업분야 CCUS 기술시스템 확보에 따른 국가 CCUS 로드맵 달성 기여 • 시멘트 분야 관련 산업군 기술 융합을 통한 가치사슬 강화 및 이에 따른 기술력 증대

4 중부권 플래그십 프로젝트 추진 목표

No	유형	제안 기술명	연구 목표
1-1	광물	in-situ 탄산화기술 활용 CO_2 감축 · 활용 기술	• Fresh 모르타르 및 레미콘 제조공정의 in—situ 탄산화 기술 실증화 최적 공정 도출 • In—situ 효율향상용 탄소저감형 시멘트 제조기술 개발 ① 6m3급 CO_2 주입용 레미콘 및 콘크리트 2차 제품용 표준 혼합기 제조 기술개발, ② 350kg/min 생산용량 in-situ 탄산화 레미탈 제조 상용화 공정시스템 개발 실증 상용급 시스템 기술개발
1-2		CO_2 반응경화 시멘트 및 건설 2차제품 생산 및 활용 기술	• 이산화탄소 반응경화 콘크리트 제품의 원소재가 되는 이산화탄소 반응경화 시멘트 클링커 대량생산 기술개발 • 시멘트 제조공정 배출 온실가스에 함유되어 있는 고농도 CO_2(~20%)를 이산화탄소 반응경화 시멘트 2차제품 제조에 활용할 수 있도록 하는 배가스 포집/이송/공급 스마트 양생시스템 구축 및 공정배출 온실가스 활용에 따른 시멘트 산업배출 온실가스 감축량 산출 • 이산화탄소 반응경화 시멘트를 활용한 탄소저감형 친환경 건설재료 및 콘크리트 2차 제품(블록, ALC, 흄관 등) 제조기술 확보 및 제품 상용화 • 이산화탄소 반응경화 시멘트 제조기술 실증을 통한 산업 전공정 프로세스 표준화 구축 및 장기적이고 안정적인 CO_2 감축 기술 확보 • 이산화탄소 반응경화 시멘트 건설재료 전생애주기(LCA) 조사

5 중부권 플래그십 프로젝트 기술개발 로드맵

■ 공정•기술개발 ■ 상용•확산

단계별 목표		1단계			2단계			최종 목표
		상용 공정 개발			기술 격상, 확산			탄소광물화 기술의 건설재료·제품화 Supply Chain 구축
중점 연구 영역		2025	2026	2027	2028	2029	2030	기술별 개발 목표
중부권	in-situ 탄산화 기술 활용 CO_2 감축 · 활용 기술							In-situ 탄산화 기술적용에 따른 레미탈, 레미콘 및 콘크리트 2차제품 제조 배합물의 단위 시멘트량 5% 이상 감축 기술 개발
	CO_2 반응경화 시멘트 및 건설 2차제품 생산 및 활용 기술							Pilot plant scale 생산설비를 활용한 대량생산 실증(800톤/일급 소성킬른활용) 및 생산시스템 안정화 기술 확보

4. 동남권 플래그십 프로젝트

<table>
<tr><th>동남권</th><th colspan="2">지역 내 철강·석유화학·조선·항만 산업의 지속가능 산업기반 구축 및 청정 메탄올(연료) 생산-활용 기술 개발</th></tr>
<tr><td>사업 기간</td><td colspan="2">2025년 ~ 2030년(6년)</td></tr>
<tr><td>추진 개요</td><td colspan="2">동남권 CO_2 다배출 산업 맞춤형 탄소저감 기술 개발 및
국제 환경규제 강화 대응을 위한 선박용 친환경 메탄올 제공</td></tr>
<tr><td rowspan="3">추진 전략</td><td>주력 산업</td><td>CCU 제품</td></tr>
<tr><td>철강, 석유화학</td><td>메탄올, CO_2 광물화 건설소재</td></tr>
<tr><td colspan="2">CO_2 활용 메탄올 제조를 통해 수요기업에 신규 친환경 원료 공급기반 마련</td></tr>
<tr><td rowspan="2">성과 목표</td><td>온실가스 감축 목표</td><td>기대효과</td></tr>
<tr><td>105,500톤(t-CO_2_eq/yr)</td><td>공급되는 CO_2 상태 및 공정환경에 따른 적절한 메탄올 제조방법 선택 가능
연료·원료 부문에 기존 화석연료 대체</td></tr>
<tr><td>사업 추진 모식도</td><td colspan="2">
</td></tr>
<tr><td>사업 구성 체계</td><td colspan="2">
</td></tr>
</table>

1 동남권 세부 기술 및 최종 제품

No	유형	중점기술	산업분야	세부 기술명	적용 산업	최종제품
1-01	화학	메탄올	철강	CO_2 활용에 의한 메탄올 생산 기술	철강, 석유화학	합성가스, 메탄올
1-02	광물	대체 시멘트 및 건설소재	철강	제철 슬래그 활용 CO_2 저감 건설소재 생산 및 활용 기술	철강, 건설	CO_2 광물화 건설소재

2 동남권 프로젝트 과제 사업비

No	온실가스 감축 목표 (톤/년)	연구기간, 연구비(억 원)												연구비 소계 (억원)		
		2025		2026		2027		2028		2029		2030				
		국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	소계
1-01	5,500	15	15	20	20	100	100	30	30	25	25	10	10	200	200	400
1-02	100,000	30	20	60	40	90	60	60	40	30	20	30	20	300	200	500
합계	105,500	45	35	80	60	190	160	90	70	55	45	40	30	500	400	900

3 동남권 플래그십 프로젝트 추진 목표

No	유형	제안 기술명	연구 목표
1-1	화학	CO_2 활용에 의한 메탄올 생산 기술	• 동남권 산업계 온실가스를 활용한 메탄올 전환 공정 실증규모 기술개발 및 통합 패키지 기술 개발
1-2	광물	제철 슬래그 활용 CO_2 저감 건설소재 생산 및 활용 기술	• 제철 슬래그 활용 연 10만톤의 CO_2 저감 기술 실증 • CO_2 포함 배가스 직접활용을 통한 경제성 향상 및 탄산화물 활용 기술 개발

4 동남권 플래그십 프로젝트 추진 필요성

중점기술	세부과제	구분		내용
메탄올	CO_2 활용에 의한 메탄올 생산 기술	문제점		• 저탄소 연료로 수요가 점차 증가할 것으로 예상되는 메탄올의 수급은 현재 약 220만톤/년 전량 수입에 의존
		필요성	기술개발 필요성	• 제철 배가스로부터 이산화탄소를 포집하는 기술 실증 및 철강 부생가스의 조성 조절을 위한 분리막 연구 필요
			정책적 필요성	• 국제해사기구(IMO)는 2050년에 달성할 국제해운 탄소배출 감축목표를 2008년(배출량 2,800톤) 대비 50%에서 100%로 상향, 이에 따라 IMO 규제대상 선박의 저탄소 연료 공급체계 구축 필요
		기대효과		• 동남권 산업단지 내, 산업계 온실가스 포집·활용을 통해 연간 5,500톤 CO_2 감축 기대 • 검증된 기초기술의 산업현장 실증적용을 통해 신뢰성 확보하여 산업계 탄소감축 조기 실현 가능 • 산업계 발생 CO_2의 선박 연료 전환 활용을 통해 산업계-선박 CCU 벨류체인 형성
대체 시멘트 및 건설소재	제철 슬래그 활용 CO_2 저감 건설소재 생산 및 활용 기술	문제점		• 광물탄산화 기술은 열역학적인 관점에서 CO_2를 가장 안정하게 저장할 수 있는 기술로 다양한 CCU 기술 중 가장 상용화에 근접한 기술로 평가되고 있으나, 국내 상용화 사례 부족
		필요성	기술개발 필요성	• 본 기술은 배가스 내의 CO_2를 분리/포집하지 않고 직접 활용함으로써 CO_2 포집에 소요되는 스팀에너지를 저감할 수 있으며 생산된 제품(탄산화 소재)을 골재, 시멘트 첨가제, 콘크리트 제품 등으로 활용 가능
			정책적 필요성	• 광물탄산화 기술은 해외에서도 CO_2 대량 처리를 위한 연구 개발이 활발하게 진행되는 분야로 집중적인 지원을 통한 조기 상용화 및 실증이 필요
		기대효과		• 철강 분야의 탄소 중립 기술을 지원하고 연간 10만톤 급 CO_2 활용 광물탄산화 기술을 구현 • 탄산화 슬래그의 안정적인 사용처 확보를 통한 CCU value chain 구축

5 중부권 플래그십 프로젝트 기술개발 로드맵

■ 공정•기술개발 ■ 상용•확산

단계별 목표		1단계			2단계			최종 목표
		상용 공정 개발			기술 격상, 확산			메탄올 생산 기술 실증 및 메탄올 시장 선점
중점 연구 영역		2025	2026	2027	2028	2029	2030	기술별 개발 목표
동남권	제철 슬래그 활용 CO_2 저감 건설소재 생산 및 활용 기술	■	■	■	■	■	■	제철 슬래그 활용 연 10만톤의 CO_2 저감 기술 실증
	CO_2 활용에 의한 메탄올 생산 기술	■	■	■	■	■	■	부생가스의 CO/CO_2 활용 메탄올 전환 공정 실증 및 적용 기술 확보

5. CCU 기술 온실가스 감축 인증/평가 방법론 개발

❍ **(목적)** 우리나라가 선도적 **온실가스 감축량 평가를 위한 방법론을 고안**하여 국제사회 제안

❍ **(배경)** CCU 기술 적용에 따른 국가 **온실가스 감축기여도 평가 방법이 불분명**하고, 평가·인증 체계 미흡으로 **기술 확산 및 민간투자 유인에 한계**

❍ **(필요성)** CCU 기술의 온실가스 감축효과를 국가 인벤토리에 연계하여 객관적으로 산정 할 수 있는 방법론 확립 필요

- 아울러, 글로벌 탄소규제 강화로 CCU 기술·제품에 대한 전과정 감축량 산정 수요가 높으나, 국내에서는 공통적으로 활용 가능한 전과정평가 표준 가이드라인 부재

❍ **(추진방안) 감축량 평가 플랫폼 사업** 형태로 추진하여 전문 연구기관에서 진행

□ 동 사업을 통한 온실가스 감축량을 국가 인벤토리에 집계·반영할 수 있는 방법론 개발

❍ **(목표)** 국제적 기준에 부합하여 국제사회에 제안 가능하고, 국가 감축 기여도를 평가할 수 있는 CCU 온실가스 감축량 산정 방법론 개발

❍ **(추진 배경)** CCU 기술은 온실가스 처리 및 자원순환 관점에서 탄소중립에 기여 가능한 핵심 기술 중 하나로, 국내 2030년 국가감축목표(NDC) 및 2050년 탄소중립 시나리오(안)에 주요 감축수단으로 제시

- 그러나, CCU 기술 적용에 따른 국가 **온실가스 감축기여도 평가 방법이 불분명**하고, 평가·인증 체계 미흡으로 기술 확산 및 민간투자 유인에 한계
- '30년 국가온실가스감축기여(NDC)에는 CCUS를 활용한 감축목표가 제시되어 있으나, **배출부문이 특정화되지 않아 현황 파악 불가**
- CCU 기술의 **온실가스 감축효과**를 **국가 인벤토리에 연계**하여 **객관적으로 산정**할 수 있는 **방법론 확립 필요**
- 아울러, 글로벌 탄소규제 강화에 따른 전과정 감축량 산정에 대한 필요성은 증가하고 있으나, 국내에서는 공통적으로 활용 가능한 CCU 기술 전과정평가 관련 표준 부재

❍ **(해외 현황)** 국내외적으로 활용 중인 국가 온실가스 인벤토리 산정지침(IPCC 가이드라인 2006)에는 CCS집계안이 포함되어 있으나, CCU분야 **산정 방식 부재**

- CCU 전과정평가의 경우, 미국에서는 CCU 기술 도입에 따른 감축잠재량 및 환경성 개선효과를 체계적으로 평가·분석하는 플랫폼* 운영 중

* NETL「CO2U LCA Guidance Toolkit」등

〈표 Ⅲ-20〉 해외 CCU LCA 플랫폼 활용 예시

정부추진 CCU 사업의 객관적인 LCA 평가 지원	▶	CCU 추진 사업별 분석결과 데이터베이스화	▶	CCU 보급정책 및 제품인증 체계와 연계
- CCU LCA 가이던스 개발·제공 - 평가에 필요한 핵심 LCI DB 구축·제공		- 공통 결과 보고 양식 개발·제공 - 사업별 분석결과 취합·관리		- (미국) 세제혜택 가능한 CCU 감축량 산정에 활용 - (EU) 재활용 탄소 연료의 재생연료 인증에 활용

□ 개발 목표 및 범위

개발 목표	**1 국가온실가스 인벤토리에 연계 가능한 CCU 기술 적용에 따른 "감축량 산정 방법론 개발"**
개발 범위	- 주요 CCU 기술경로 및 제품별 국가 온실가스 인벤토리맵 구성 (매칭) - 주요 CCU 기술경로 및 제품, CCU 사업별 온실가스 배출량 변화를 국가 인벤토리 내 집계·반영할 수 있는 산정 방법론 개발
개발 목표	**2 4대 권역별 플래그십 사업 추진에 따른 "국가 감축목표 기여도 정량화 평가 플랫폼 개발"**
개발 범위	- 개발된 방법론에 따라, 동 사업에서 추진되는 4대 권역별 CCU 기술 적용에 따른 감축잠재량을 직관적이며 간략하게 산정할 수 있는 평가툴 개발 - 기술·제품별 대표적인 시장 진입 시나리오 구성하여 제공함으로써, 주요 CCU 기술·제품별 원단위 감축량 및 시장 진입 시나리오 변화에 따른 감축잠재량 산정 가능
개발 목표	**3 CCU 전과정평가(LCA) 및 탄소발자국 인증 지원을 위한 "CCU LCA R&D 표준 가이드라인 및 데이터베이스 개발"**
개발 범위	- CCU 기술 전과정평가 수행 및 CCU 제품 탄소발자국 산정을 위한 각종 필수정보를 수집/축척/제공하는 플랫폼 구축 - CCU 기술의 전과정평가 방법론 개발 및 제공 - CCU 기술 평가를 위한 핵심 공통 LCI 데이터베이스 개발 및 제공 (예. 포집 CO_2) - 결과보고 및 검증과 관련한 공통 양식 개발·제공

□ 최종 성과물

항목	내용
국가 감축기여도 평가방법론	■ 국가 온실가스 인벤토리에 연계 가능한 CCU 국가 감축기여도 평가 방법론
감축량 평가 툴	■ 4대 권역별 추진 CCU 사업 확산 및 시장보급 시나리오에 따른 감축효과를 예측할 수 있는 CCU 감축량 평가 툴
전과정평가 표준 가이드라인	■ 개발단계 CCU 기술의 전과정평가를 위한 공통 가이드라인
CCU 전과정평가 데이터베이스 플랫폼	■ CCU 기술 전과정평에 필요한 국내외 핵심 데이터베이스 개발 및 제공

□ **(수행 주체)** 전문연구기관에서 사업을 수행하되, 관련 분야 전문가들로 자문위원회를 구성하여 교차 검증 및 결과의 신뢰성을 확보

□ **(기대효과)** CCU 사업에 따른 온실가스 감축량을 산정할 수 있는 방법론 마련을 통하여 국가 인벤토리 내 CCU 기여도를 집계·반영할 수 있는 기반을 마련

❍ 향후 CCU 사업에 따른 온실가스 감축량 산정 체계를 IPCC 가이드라인 개정 추진 등 국제사회에 제안 시, 관련 자료로 활용 가능

- 또한, CCU 분야 온실가스 감축 이행점검 방식으로 활용할 경우, CCU 사업에 의한 국가 감축기여도 모니터링 및 평가 체계 마련 가능

❍ 연구개발 단계에 있는 다양한 CCU 기술의 감축잠재량을 객관적인 방식으로 사전 평가함으로써, 기술개발 방향성 및 국가 R&D 투자효율성 제고 등의 근거로 활용 가능

❍ 통일된 방법론 및 공용 데이터베이스 제공으로 주요 R&D 사업에 대한 객관적인 평가 및 검증 체계 마련 가능

- 정부 투자 CCU 연구개발사업의 온실가스 감축효과 평가 결과의 취합, 분석 및 비교 용이성이 향상되어, 정부 차원의 효율적인 사업성과(사업별 감축효과) 관리 가능

1 CCU 기술 온실가스 감축 인증/평가 방법론 세부 기술

항목	성과목표	내용
국가 감축기여도 평가방법론	1건	■ 국가 온실가스 인벤토리에 연계 가능한 CCU 국가 감축기여도 평가 방법론
감축량 평가 툴	1건	■ 4대 권역별 추진 CCU 사업 확산 및 시장보급 시나리오에 따른 감축효과를 예측할 수 있는 CCU 감축량 평가 툴
전과정평가 표준 가이드라인	1건	■ 개발단계 CCU 기술의 전과정평가를 위한 공통 가이드라인
CCU 전과정평가 데이터베이스 플랫폼	15건	■ CCU 기술 전과정평에 필요한 국내외 핵심 데이터베이스 개발 및 제공

2 감축 인증/평가 방법론 개발 과제 사업비

No	연구기간, 연구비(억 원)												연구비 소계 (억원)		
	2025		2026		2027		2028		2029		2030				
	국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	소계
4-01	5	-	10	-	13	-	14	-	12	-	6	-	60	-	60

3 감축 인증/평가 방법론 개발 과제 사업비

■ 플랫폼 개발 ■ 평가·활용

중점 연구 영역		2025	2026	2027	2028	2029	2030	기술별 개발 목표
평가 방법론	국가 감축기여도 평가방법론							국가 온실가스 인벤토리 연계 가능 CCU 국가 감축기여도 평가 방법론
	감축량 평가 툴							4대 권역별 추진 CCU 사업 확산 및 감축효과 예측 감축량 평가 툴
	전과정평가 표준 가이드라인							개발단계 CCU 기술의 전과정평가를 위한 공통 가이드라인
	CCU 전과정평가 데이터베이스 플랫폼							CCU 기술 전과정평에 필요한 국내외 핵심 데이터베이스 개발 및 제공

제3절 사업 추진 체계 및 운영 방안

1. 사업 추진 체계 및 연계협력 방안

가. 추진체계

□ 사업의 특성(**지역 핵심 산업 연계 사업**)을 감안하여, **분야 간 연계·협력 및 민간 중심의 사업 수행 강화**를 위해 전담관리기관(한국연구재단)는 전체 프로젝트 총괄업무를 전담

〈표 Ⅲ-21〉 추진 체계 및 주체별 역할 및 기능

주체	역할 및 기능
(주관부처) 과학기술정보통신부	• 사업의 추진과 관련된 정책 결정 및 사업기획 • 연차별 사업 시행계획 및 사업 간 투자우선순위 결정 • 기술 확산 및 정책 활용성 검토 등
한국연구재단	• 연구단 기획·평가·운영위원회 구성·운영 • 연구단 진도 및 실적 점검 • 연구단 및 중점, 세부과제 선정·단계·최종평가 등
4대 권역별 연구단	• 2030 NDC 달성을 위하여 실증설비 가동 및 연간 탄소감축량 73.2만톤 달성 • 과제 진도 및 연구개발 성과에 대한 연차별 검증 이행 • CCU 세부기술 상용화를 위하여 시제품 17건 이상 달성 • 사업화 지원, 기술이전, 정부 공공조달 우선구매 제도 연계 등 성과 확산을 위한 전략적 프로그램 수행
감축량 평가 플랫폼	• CCU를 통한 감축량 국가 인벤토리 연계 방안 마련 • 국가 감축기여도 평가 방법론 개발 및 플랫폼 구축 • 권역별 사업감축량 평가 검증

□ **(과학기술정보통신부)** 주요 정책 결정, 사업추진위원회 구성·운영, 사업 관련 기본·시행계획 수립 등 사업총괄 역할을 담당

❍ **(한국연구재단)** 전문기관으로서 기획, 선정, 평가 등 전주기 과제 및 성과 관리와 동 사업 추진위원회・연구단 및 평가플랫폼의 구성·운영을 담당

- (한국연구재단 내 에너지·환경단 단장) 사업운영을 총괄하는 PM역할을 담당하며 사업·과제 미션 달성 여부를 중점적으로 관리함
- 사업 세부계획의 검토·심의·조정 등의 역할을 수행
- 권역별 연구단 간의 연계사업 및 정책적 판단
- 연구단 권역 및 연구단 간의 공동 추진 사업

❍ **(4대 권역별 연구단)** 2030 NDC 달성을 위하여 실증설비 가동 및 연간 탄소감축량 73.2만톤 달성 및 상용화 시제품 17건 이상 달성

- 권역별 플래그십 프로젝트 연구단을 구성하고, 과제 기획, 연차별 진도 점검・관리, 사업화・성과확산・권역별 연계사업 등 전담
- 사업화 지원, 기술이전, 정부 공공조달 우선구매 제도 연계 등 성과 확산을 위한 전략적 프로그램 수행

❍ **(감축량 평가 플랫폼)** 주요 CCU 기술경로 및 사업의 국가 감축기여도 평가 방법론 개발 및 평가 시행

- CCU 국가감축기여도 평가 방법론 개발 및 국가 인벤토리 연계방안 마련
- 4대 권역별 사업 감축량 산정 가이드라인 제공 및 산정결과 검증
- 개발단계 CCU 기술 전과정평가 표준화 및 제품 탄소발자국 산정 지원

❍ **(산학연 민간 주도 연구수행기관)** 동 사업 지원대상으로 선정된 후 각 연구과제 수행

- 민간 주도 학연 컨소시엄 구성 가능
- 기술개발을 위한 네트워킹, 사업 개선, 정책 제안 참여

나. 사업 진행절차 및 일정

□ 사업진행절차 및 일정

❍ 본 사업은 총 6년(’ 25～’ 30) 사업으로 추진할 계획이며, ’ 24년 예산 요구 및 심의·확정을 거쳐 ’ 25년에 착수

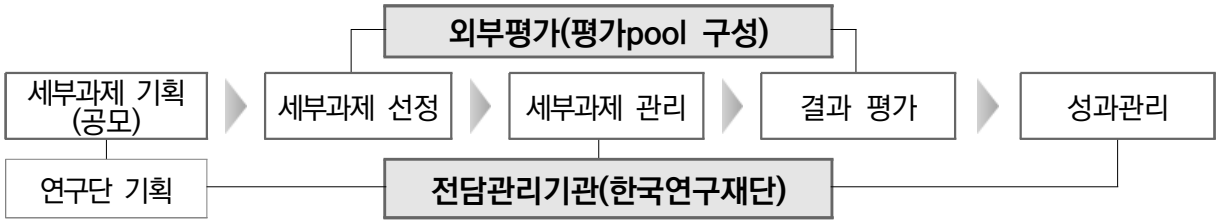
- 예산이 확정·반영되면 이를 고려하여 ’ 24년에 상세(과제)기획을 추진하고 관리기관(한국연구재단) 주도 ‘24년 10월 추진위원회를 구성/조직하고, ’ 24년 10월 권역별 연구단 공모와 함께 지역 간 협의 시행

〈표 Ⅲ-22〉 사업진행절차 및 일정

단계	절차	일정	주요 내용
상세기획 및 예산확보	예산 요구	~’24.06	•예타 결과를 반영한 상세 중기예산 산정
	예산 심사 및 편성	~’24.09	•심사에 따른 ’25년 예산 및 중기재정 반영
	상세기획 준비	~’24.10	•예타결과 및 예산편성을 고려한 조직·인력 구성 및 상세(과제)기획 준비
	추진위원회 구성 및 상세기획 준비	~’24.12	•예타 결과 및 예산편성을 고려한 위원회 선정과 상세(과제)기획 준비
1단계 사업추진 (’25~ ’27년)	신규과제 공모 및 선정	‘25.01~0.3	•사업 시행계획 공고 및 사업설명회 개최 •과제별 공고, 평가 및 선정 •사업 1년 차인 ’25.3월까지 신규과제 선정 완료
	권역별 연구단 구성	~’25.04	•연구단 확정과 연구단 조직 및 인력 구성
	연차점검 보고서 제출	매년 11~12월	•연구목표달성도, 차년도 계획의 적절성을 중심으로 연차 실적보고서를 제출
	중간(단계)평가	’27년 11~12월	•1단계 사업의 목표달성도 및 목적 부합성을 점검하고, 점검 결과를 바탕으로 2단계 사업계획 조정 및 상세 수행계획 수립
2단계 사업추진 (’28~ ’30년)	연차점검 보고서 제출	매년 11~12월	•연구목표달성도, 차년도 계획의 적절성을 중심으로 연차실적보고서 제출
	사업 중간평가 (적정성 재검토)	’29년 11~12월	•총 사업기간(6년)의 1/2 시점에서의 사업 중간 평가
	최종평가	’31년 2월 이후	•최종 목적 및 목표 달성여부를 평가하고, 사업효과 평가를 위한 추적평가 계획 수립

다. 세부과제 관리체계

〈표 Ⅲ-23〉 세부사업 관리 체계



□ **(세부과제 기획)** 전담관리기관(한국연구재단) 주관 세부사업 기획·공모

□ **(세부과제 선정)** 외부 평가위원 pool을 구성하여 세부과제 선정

□ **(세부과제 관리)** 자체 진도관리 → 문제점 진단 및 조기성과 도출

□ **(결과 평가)** CCU 관련전문가 평가위원 pool을 구성하여 평가

- 과제별 평가점수는 연구비 증액, 과제의 통합 등 결정

□ **(성과 관리) 권역별 온실가스 감축량, 시제품 생산, 상용화(제품) 출시,** 특허, 수요자 만족도 등 종합 평가

라. 세부과제 운영 체계

〈그림 Ⅲ-1〉 세부과제 운영 체계

마. 세부과제 평가

(1) 세부과제 선정평가

□ **(수행 세부과제)** 전담관리기관(한국연구재단)의 주관기획과 공모로 진행되며, 공모 세부과제는 참여지원 관련팀에서 사전 계획서(RFP)를 기획하여 공모함

□ **(전담관리기관)** R&D 프로젝트 선정평가를 실시하여 4개 플래그십 프로젝트 권역별 최적의 연구개발 추진팀으로 구성함

□ **(신규과제 선정)** 전담관리기관이 주관하며, 과제 성격에 맞는 세부과제 선정 평가위원회를 구성하여 평가하고 심의하여 최종 세부과제팀을 선정함

〈표 Ⅲ-24〉 과제 관리 운영 체계

	신규 과제 선정 평가	평가 주체
기획	▸ 세부사업에 대한 계획서 등 제출서류 접수 ▸ 참여 자격 및 신청서식 적합성 검토	전담관리기관 (한국연구재단)
서면 평가	▸ 외부전문가로 구성된 과제선정평가위원회 ▸ 제출 서류에 대한 평가 진행	평가위원회
발표 평가	▸ 연구단 및 과제 연구계획에 대한 발표 평가 ※ 평가위원회은 지정 평가원으로 구성	평가위원회
현장 평가	▸ 연구팀의 연구 수행능력 평가를 위한 인프라 등 시설·환경 조사	평가위원회
평가결과 심의	▸ 사업관리실 주관 하에 평가 결과를 종합하여 최종심의	전담관리기관 (한국연구재단)
최종 확정	▸ 최종 참여 세부사업 선정	전담관리기관 (한국연구재단)

□ **(선정기준 및 절차)** RFP 부합성, 연구계획의 충실성, 연구책임자 및 연구기관의 우수성 등에 대한 전문가 평가실시

❍ 권역별 연구주제별 지원과제 간 경쟁을 통해 가장 우수한 1개 과제를 선정하되, 단독응모 또는 최소 선정기준 미달 시 재공모 실시

❍ (평가방법) 관련 전문가 7인 내외로 구성된 평가위원회를 통한 발표평가

기획 검토	▶	전문가 평가	▶	전문기관 검토	▶	심의	▶	예비선정 공고	▶	선정통보, 협약
요건, 제한 사항 검토		발표평가 (평가위원회)		평가결과 보고/결재		평가결과 최종 확정, 선정		이의신청 처리 (7일 이내)		연구계획서 수정 및 협약

□ **사업 참여 연구기관 자격**

❍ **(CCU 전략제품 상용화)** 업종에 제한을 두지 않으며, 수요기업을 반드시 포함

■ **국가연구개발혁신법 제2조(정의)** 3. "연구개발기관"이란 다음 각 목의 기관·단체 중 국가연구개발사업을 수행하는 기관·단체를 말한다.

가. 국가 또는 지방자치단체가 직접 설치하여 운영하는 연구기관

나.「고등교육법」제2조에 따른 학교(이하 "대학"이라 한다)

다.「정부출연연구기관 등의 설립·운영 및 육성에 관한 법률」제2조에 따른 정부출연연구기관

라.「과학기술분야 정부출연연구기관」등의 설립·운영 및육성에 관한 법률 제2조에 따른 과학기술분야 정부출연연구기관

마.「지방자치단체출연 연구원의 설립 및 운영에 관한 법률」제2조에 따른 지방자치단체출연 연구원

바.「특정연구기관 육성법」제2조에 따른 특정연구기관

사.「상법」제169조에 따른 회사

아. 그 밖에 대통령령으로 정하는 기관·단체

■ **혁신법 시행령 제2조(연구개발기관)** ① 「국가연구개발혁신법」(이하 "법"이라 한다) 제2조 제3호 항목에서 "대통령령으로 정하는 기관·단체"란 다음 각 호의 기관·단체를 말한다.

1. 중소기업기본법 제2조에 따른 중소기업

2. 민법 또는 다른 법률에 따라 설립된 비영리법인

② 연구개발기관의 종류는 다음 각 호로 구분한다.

1. 주관연구개발기관a: 연구개발과제를 주관하여 수행하는 연구개발기관

2. 공동연구개발기관b: 주관연구개발기관과의 연구개발과제협약에 따라 연구개발과제를 분담하여 공동으로 수행하는 연구개발기관

3. 위탁연구개발기관 : 주관연구개발기관으로부터 연구개발과제의 일부(특수한 전문지식 또는 기술이 필요한 부분으로 한정한다)의위탁을 그소관 중앙행정기관의 장의 승인을 받아 수행하는 연구개발기관

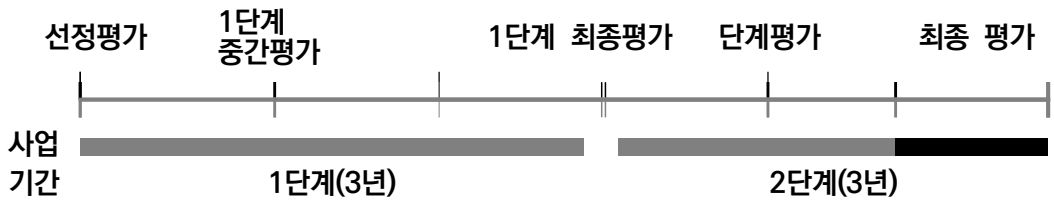
(2) 세부과제 단계평가

□ 세부과제 단계 평가는 3+3 원칙에 입각하여 추진함

❍ 세부과제 1단계 중간평가는 3년 후에 실시하며, 단계별로 3+3 원칙에 입각하여 중간평가를 추진함

❍ 수시(연차)평가는 세부과제별로 평가하는 것을 원칙으로 함

〈표 Ⅲ-25〉 세부사업 평가 라인



(3) 세부과제 종료평가

□ 전담관리기관은 개별 세부과제들의 종료시점에 평가위원회를 구성하여 추진실적 및 성과에 대하여 세부과제 단위에서 종합평가 실시

□ 종료평가 결과 상용화 및 사업화를 위한 제안이 이루어지는 경우 성과확산 사업으로 편성하여 사업화 프로젝트로 연계 추진

(4) 세부과제 추적평가

□ 세부과제 종료 후 2년 뒤에 연구개발성과에 대한 추적조사를 통하여 과제관리 성과에 대한 종합 평가를 실시함

❍ 추적평가의 기준은 본 사업의 목표에 부합하는 산출물의 개발 정도, 과학기술적·사회경제적 파급효과, 대표적 성공사례의 발굴 등

□ 평가결과의 활용방안은 미활용 기술의 발굴 및 기술 활용 애로요인 분석, 실증 성공사례 발굴 및 우수사례 홍보등에 활용함

2. 사업 추진 절차

		내용	담당/비고
기술 지정 우선 순위 투자 분야 기획	수요조사 및 분야별 기획 공모	- 무탄소 에너지 전환을 위한 CCU 기술개발 기술개발 분야 공고 - 4개 플래그십 프로젝트 권역별 핵심 산업 연계 민간 주도 산·학·연 컨소시엄 구성	전담관리기관 (한국연구재단)
	분야 평가	- 기획전문기관 + 민간컨설팅기관의 체계적인 자료수집 분석 및 평가	
	분야별 우선순위 설정	- 평가결과 토대로 후보과제 및 우선순위 분야 선정 - 최종 2배수 선정 및 RFP작성	
선정	사전 상세 기획	- 기획과제 추진(연구목표 설정 및 세부 연구과제 구성 등 철저한 사전기획) - R&D기획 예산 지원(별도의 전문팀이 참여) - 사업관리실 검토 및 수정 보완	전담관리기관 (한국연구재단)
	사업 선정	- 세부과제 후보 분야를 대상으로 연구단 책임자를 선정 연구수행능력, 경영관리능력, 리더십을 갖춘 산학연 전문가	사업관리부서 운영위원회
	조직 구성	- 산학연 연구팀 구성(민간기업 필수 포함) - ex) 무탄소 에너지 전환 CCU 지원센터, 감축량 평가 플랫폼, 2개 센터의 구축, 구성 등 업무 개시	
단계 평가	연차평가	- 평가위원회를 구성하여 성과에 대한 연차별 자체평가 실시	전담관리기관 (한국연구재단)
	단계평가	- 단계평가는 분야전문가+민간기관이 공동 참여 (3+3) 평가실명제 및 평가공개제도 병행 - 단계평가 결과 세부사업 축소 또는 중단 가능	전담관리기관 (한국연구재단)
종료 평가 및 추적 평가	종료평가	- 종료되는 세부과제에 대하여 종료평가를 실시하고, 후속 사업의 추진여부 결정	전담관리기관 (한국연구재단)
	추적평가	- 세부과제 종료 후 2년 뒤에 연구개발성과에 대한 추적조사 - 추적평가가 필요한 세부사업에 대하여 상세 평가 실시	

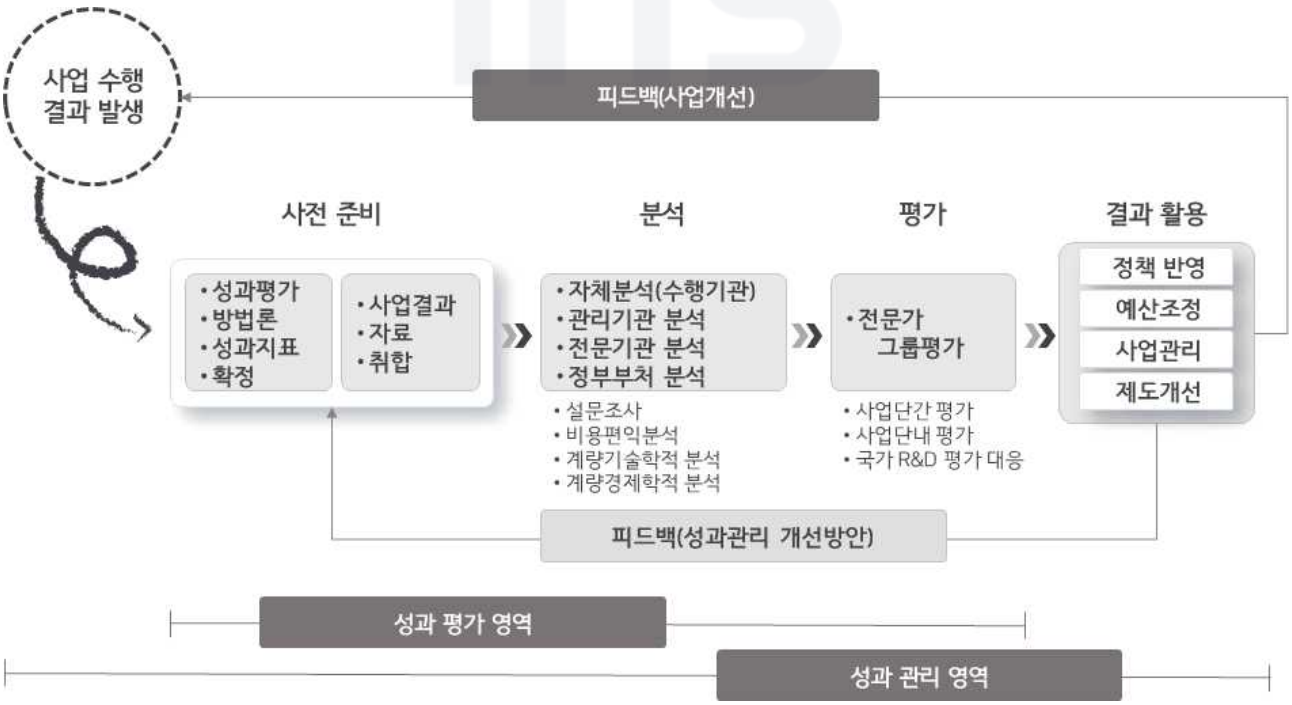
3. 성과 관리 체계

□ **(성과관리)** 객관적이고 지속적으로 이루어질 수 있는 성과관리 체계 및 절차 정립을 위해, 전담관리기관(한국연구재단)이 성과관리의 주체로 성과분석을 추진함

□ 성과분석 외부기관이 성과 측정·조사를 수행하고 성과자료 DB를 구축

- ❍ 양적 지표는 사업수행기관의 성과자료 제출 등을 기초로 측정
- ❍ 질적 지표에 대한 평가가 필요한 경우 전문가 등 대상으로 조사업무 수행
- ❍ 사업수행기관의 수정요구가 타당한 경우 수정 반영

□ 성과분석 외부기관은 확인된 성과자료를 활용하여 성과검증·분석 업무를 수행하고, 사업수행기관이 성과분석 결과에 대하여 이견을 제시하는 경우 성과분석 외부기관이 수용·반영



4. 성과 활용 계획

□ 온실가스 감축 및 조기상용화 전략기술 제품(시제품), 특허, 감축량 평가 기반(플랫폼) 등 성과를 효과적으로 활용하기 위한 전문가 그룹에서의 검토를 통한 정책반영, 예산조정, 사업관리, 제도개선에 사업성과를 활용

□ 사업성과를 활용하여 CCU 산업의 육성을 위한 상용화 및 사업화 지원

❍ CCU 기술혁신 로드맵 기반

- 실증 확대를 통한 생산기반 구축
- 다양한 산업군에 기술을 융복합시킨 신산업 창출
- 多배출 밀집지역 중심 중소/중견기업의 집중육성을 통한 국가 新성장동력 확보
- CCU 산업 전반의 핵심기반기술 확보 및 세계일류기업 육성

❍ 핵심 CCU 기술 및 제품의 선진 원천기술 격차 단축을 위한,

- 융복합 소재 응용연구 분야 도출
- 화학, 정유, 제철, 시멘트, 항공, 선박 등의 전 산업 분야의 고부가가치 제품군 개발

❍ 무탄소 에너지 전환을 위한 CCU 기술지원을 통한,

- 온실가스 배출 73.2만톤/년 감축, 조기상용화를 위한 전략기술 개발로 시장 동등 품질의 시제품 개발 17건 확보
- 감축량 평가 기반(방법론 및 감축량 평가 플랫폼) 3건 개발 확보
- 사업기간(‘25~ ‘30년) 내 지원기관의 고용 4,697명 창출
- 사업종료 후 회임기간 3년(‘31년~’ 33년)간 지원기업의 누적 총매출액 3조 4849억 원 기대

제4절 플래그십 프로젝트 세부추진(안)

1. 남부권 플래그십 프로젝트

가. 남부권 사업목표

□ 비전

남부권 현장 맞춤형 탄소 선순환적 산업구조 조성

❍ 국내 최대 온실가스 배출 지역인 남부권역(전남)의 온실가스 대량 전환 및 지역내 화학산업 원료로의 재생산을 통하여 탄소 선순환 생태 구성 및 2030 NDC 감축 목표 달성에 기여

□ 목적

남부권 온실가스 多 배출 주력산업들의 지속가능 발전을 위한 통합 CCU 공정 개발

❍ 석유화학, 철강, 정유 등 남부권 주력산업들의 친환경적 전환을 위하여, 배출 환경 및 전환 대상 고부가물질 종류에 대응한 맞춤형 CCU 통합 공정 기술 개발

□ 성과목표

❍ CO_2 국내 최다 배출 남부권 주요 산업의 탈탄소화를 위한 철강-석유화-정유 벨류체인 연계 화학제품 개발

- 주력산업 배출 이산화탄소 유래 석유화학 플랫폼 원료의 지역 내 직접 공급을 위한, 상용 규모의 이산화탄소 전환 합성가스 공급 통합 공정 구축, 최적화 및 장기 운영 안정성 확보
- 현장 맞춤형 대량 수요가 기대되는 온실가스 기반 신규 연·원료 생산 기술 확보 및 상용화 촉진을 위한 공정 기술 및 기반 확보

❍ 철강-석유화학-정유 등 남부권의 탄소 다배출 산업을 연계하여, 국가 탄소 배출 저감에 기여할 수 있는 신산업 벨류체인 구축

* e-SAF: 철강산업 배출 CO_2 활용, 석유화학 산업 인프라 활용 e-SAF 제조, 정유산업에서의 인증 획득 수요처 판매
* 올레핀: 정유산업 배가스 활용 CO_2 기반 올레핀 제조, 석유화학산업의 친환경 원료로 사용하여 탄소중립 화학제품 생산
* 탄산칼슘: 지역 내 CO_2 및 부산석고 활용 탄산칼슘 제조, 지역 내 산업간 연계를 통한 탄산칼슘 및 황산암모늄 제조

❍ 2030 NDC 달성을 위한 CCU 기술혁신 로드맵 기반 중점기술(탈황석고 이용 광물탄산화 기술) 조기 상용화 달성 필요

- 석고 이용 광물탄산화 기술은 타 CCU 기술 대비 TRL 단계가(TRL6) 높아 조기 상용화가 가능한 기술로 선정된 바 있으며, 국내 기술력이 세계 수준으로 국고 보조를 통한 상용화 연구를 통해 NDC 목표 달성에 기여할 수 있음
- 산업단지 내 산업간 연계를 통한 on-site 광물탄산화 기술 개발을 통해 지역 내 유사 CO_2 배출 업종 대상 CCU 기술 확대를 도모할 수 있을 것으로 기대

□ **전략분야 1. (합성가스)**: 산업현장 맞춤형 이산화탄소 기반 합성가스 조기 상용화

❍ 기 확보 기술*의 상용급 규모 공정 격상 및 장기 연속 가동을 통한 수요기업 검증 및 신뢰성 확보

* 이산화탄소 활용 7,000톤/년 규모 건식개질 데모플랜트 구축/운영 기술, 일산화탄소 10만톤/년 생산 공정 기본설계 패키지 등

- 세계적 수준의 국내 건식개질 핵심기술인 원천촉매 기술의 상용규모 반응공정 적용 및 스케일업 기술 확보
- 남부권 주력산업 환경* 맞춤형 CCU 실증기술 장기 가동성 확보를 위해 상용급 반응공정 운전 최적화

* 온실가스 배출원에 따른 부생가스 조성, 이산화탄소 공급 경로, 신재생에너지 단지 연계 에너지 공급, 산업 폐열·폐기물 활용성 등

- 산업군별 배출되는 이산화탄소 농도에 따라 경제성/효율성을 고려한 고순도화 공정 개발 및 동반되는 부생가스 종류 및 농도에 대응한 분리/정제 기술* 개발

* 합성가스(H_2+CO) 분리는 고순도 수소 및 일산화탄소 생산, 그리고 후속 공정 연계를 위한 H_2/CO 비율 조절을 위해 필수

* 합성가스 분리공정은 Feed 조건, 목표순도, 분리규모, 후단공정 특성 등에 따라 적용되는 기술이 다르고 운전 조건이 상이하기 때문에, 남부권 산업군 종류별 특성을 반영하여 개발될 CCU공정에 적합한 맞춤형 분리기술 개발 및 최적화 필요

- CCU 특성에 맞는 중소규모 공정에 적합하고 저비용 운전이 가능한 흡착 및 막분리법의 고순도 일산화탄소 분리 기술 효율 향상

□ **전략분야 2 (올레핀)**: 정유산업 배출 저농도 CO_2 직접 활용 올레핀 제조 실증 기술 개발

❍ 저순도 CO_2 직접전환 공정에 의한 생성물 중 납사 및 올레핀 함량 50% 이상의 기초유분을 생산할 수 있는 고효율의 다중기능성 철 (Fe)계 촉매의 설계 및 합성 기술개발 및 적용

- 상용공정 적용을 위해 장기안정성을 고려하여 촉매 활성 및 내마모성을 고려한 최적의 물성을 갖는 촉매 구조 설계 및 대량 합성 기술 개발
- 에너지 효율을 향상시킬 수 있는 반응기 형태, 크기 선정 및 최적 공정 설계. CO_2 직접전환의 발열을 컨트롤하고, 열효율을 높일 수 있는 demo scale 에너지 효율 향상 반응 공정/반응기 설계 기술 개발 및 설비 건설 및 운전 기술 확보
- 기 보유중인 정유 공정의 유틸리티 공정과 연계할 수 있는 촉매 공정 시스템 개발 및 정유 및 석유화학 공정과 연계할 수 있는 석유화학 대체품 전환 기술 개발

□ **전략분야 3 (e-Fuel)**: 재생 전력 기반 지속가능 연료 제조 실증 기술 개발

❍ CO_2 직접 수소화를 통해 e-Fuel을 제조할 수 있는 무기촉매 전환 기술 개발

- 촉매 성능 최적화 및 내구성 검증으로 연료 수율 25% 이상, 촉매 내구성 300시간 이상 검증

- 전남도의 풍부한 신재생 전기 인프라를 활용할 수 있는 전기화 기반 CO2 전환 SAF 제조 기술 개발. CO_2 전환, SAF제조 cacsde 촉매 및 공정 연계 기술 개발
- kg 단위의 촉매 양산이 가능한 촉매 합성 및 성형 설비 구축, SAF 20톤/년 이상 제조 가능한 demo plant 설계, 구축 및 시운전. Demo plant 운전 조건 최적화를 통한 상용 공정 설계 및 상업용 촉매 양산 시스템 구축

□ **전략분야 4 (탄산칼슘)**: 산업부산물(석고, 슬래그 등) 광물탄산화 기술 상용화 격상 연구 및 발생물 활용처 다각화를 통한 기술 확산 기반 마련

- 지역 내 CO_2 다배출 업종 배가스와 비료화학산업 부산석고 등 산업부산물을 연계하여 광물탄산화 상용화급 설비 구축 등 실증 연구 및 부산물 재활용을 통한 경제성을 확보한 기술 개발
- 배출원별 배가스 직접 활용을 위한 전처리 및 공급 기술 개발
- 산업부산물의 탄산칼슘 전환(순도 93% 이상)을 통한 폐기물(부산석고) 저감 및 부산물(황산암모늄)의 고부가가치화를 통한 경제적 CCU 기술 확보

□ **전략분야 5 (경제성/환경성 평가)**: LCA/TEA 기반 기술 환경성/경제성 평가 및 활용 전략 수립

❍ LCA기반 전주기 평가를 통해 개발 기술의 탄소 감축 효과를 검증하고, 최적 공정 설계, 원료 및 에너지 활용 시나리오를 구축하여 탄소 감축 효과 극대화

- 다양한 규제와 인센티브를 고려한 최종 생성물의 경제성 평가로 조기 상용화와 기술 파급력을 극대화 하기 위한 전략 도출
- 단일공정을 넘어, 산업단지 내에 형성된 원료-생산-공급의 가치 사슬이 유기적으로 연계한 상용공정 관점의 통합적 경제성 평가 및 전주기평가 수행
- 남부권 산업 환경을 고려하여 개발 공정의 온실가스 배출을 최소화할 수 있는 시나리오 및 온실가스 감축 인증방법론을 개발하여 제도권에서 인정 가능한 신뢰도 있는 온실가스 감축량 도출로 기술의 파급력 및 적용 당위성 확보

나. 개요

□ **(기본 추진 방향)** 석유·정유·철강 산업 맞춤형 핵심 CCU 기술 개발 및 산업단지 연계를 통한 CO_2 대량 활용 및 탄소저감 기술 개발

□ 현장 맞춤형 기술의 온실가스 대량 배출 밀집지역(산업단지)으로 확산하여 감축효과 극대화

❍ 남부 권역에 위치한 여수, 광양 등 국가산업단지에서 발생하는 대량의 이산화탄소를 활용하여 합성가스, 올레핀, 액체연료 대량생산 기술 확보 및 온실가스 다배출 산업의 탄소중립 원료 제공

❍ 지역 산업체 의견 수렴 및 특화된 기술을 바탕으로 상용화 가능성 높은 탄소활용 기술을 선별, 조속한 성공사례 창출 추진

- 산업단지 내에 위치한 정유-석유-철강-기타 산업에 공통적으로 필요한 핵심 기술선정·개발과 함께 기술 신뢰성 확보 및 통합공정 개발

남부권역 CCU 기술 조기 상용화	→	탄소중립 산업 경쟁력 확보
풍부한 이산화탄소를 공동 활용할 수 있는 CCU 기술개발		현장 밀착형 기술개발 및 수요처 확보를 통한 민간주도 상용화 및 CCU 산업 활성화

□ **(세부 추진 방향)** 빠른 시장진입을 위한 기술 선별 및 활용 분야 확대를 통한 융합·확대 전략 동시 추진

❍ **(합성가스)** 조기 상용화를 통한 CCU 기술 산업계 진출 및 기반 확보

- 기술 개발 단계가 높은 합성가스 생산 기술 실증으로 CCU 기술의 산업계 진출을 조기 달성하여 CCU 신규산업 생태계 조성

- 합성가스 수요기업이 많은 남부권역 실증 및 상용화 데이터 확보로 기술 상용화 달성

• 대량 고정 수요처 확보 및 최적화된 반응·분리·정제 공정 개발 주력

• 건식개질 공정과 촉매의 장기 조업성, 안전성 및 성능 유지 평가

- 빠른 상용화를 위해 다양한 수요기업 검증을 위한 최적화 공급기술을 개발하고, 기존 연구설비를 개선하여 안정적 공급의 신뢰성 확보를 위한 세부 매뉴얼*을 개발(CO_2 처리량 20톤/일 이상 규모)

* 반응·분리·정제의 단위공정별 맞춤형 기술 적용, 공정과 촉매의 장기 조업성, 안전성 및 성능 유지 평가

❍ **(e-Fuel, 올레핀)** 대량의 온실가스 처리 및 산업단지 내 신규 탄소중립형 원료 확보를 위한 수요형 기술 확보 및 상용화 추진

- 남부권 온실가스 주요 배출업체(철강, 석유화학, 정유 등)의 온실가스 저감과 더불어 추가 탄소중립 수단으로 수요가 높은 친환경 연·원료 제조 기술의 조기 상용화
- 기 수행 과제의 핵심 원천기술*을 활용하여, 벤치규모 이상 스케일업을 통한 빠른 상용화 추진

* CCS 2020, Catbon to X, 차세대 탄소자원화사업 등

❍ **(광물화)** 지역 내 CO_2 다배출 업종 연계 산업단지 내 on-site 석고 광물탄산화 기술 확보 및 상용화 추진

- 남부권 온실가스 주요 배출업체(철강, 석유화학, 정유 등)의 온실가스 저감과 대량 폐기 산업부산물의 활용처 확보와 더불어 친환경 화학원료 제조 기술의 상용화
- 실증 완료 기술*을 활용한 상용화 대비 스케일업 추진

* 다부처CCS통합실증 및 CCU상용화기반구축사업 등

❍ **(온실가스 저감 극대화)** CCU 제품을 연계하여 경제성, 온실가스 감축효과를 극대화 할수 있는 방안 추진

- 탄소활용 기술의 다양성을 고려하여 탄소감축효과, 시장성(부가가치), 기술성숙도, 국내 적용성(기술 수요) 등을 검증하여 단계적 지원 추진
- CCU 제품의 추가 고부가가치화 기술* 동시 개발

* 합성가스 기반 메탄올 생산, 합성가스 기반 폴리카보네이트 생산 등

- 온실가스 감축 및 경제성을 동시에 극대화할 수 있는 통합공정 검토

다. 극복 과제

상용 규모 공급 기술 부재	원료 공급 기술 부족	탄소순환 생태계 조성
① 이산화탄소 전환 합성가스 생산의 연속 가동성 부족 ② 생산 합성가스의 분리/정제 기술 부족 ③ 상용 규모 공정에서의 신뢰성 검증 부재 ④ CO_2 전환을 통한 올레핀 및 e-Fuel 제조 실증규모 기술 확보 필요 ⑤ 상용화를 위한 주요 핵심기술(전기화 기반 고효율 촉매 등) 신규 원천 기술 확보 필요 ⑥ 상용화를 위한 탄산염 제품화 기술 확보 필요	① 다양한 산업군에 대응 가능한 이산화탄소 전처리 기술 부족 ② 이산화탄소 배출량 대응을 위한, 저활용 자원 활용 원료 공급 기술 필요 ③ 부생가스 내 포함된 환원물질의 활용 기술 필요 ④ 배출원 특성에 따른 전처리 등 광물탄산화 설비 운용 기술 필요	① 탄소 감축 효과 확보를 위해, 경제성 확보를 통한 기술 보급 ② 경제성 확보를 위해, 집적된 산업단지 내 원료-생산-공급 순환 가치사슬 완성 ③ 글로벌 탄소중립 규제 대응을 위한 신기술 확보 및 시장 미형성 기술(CO_2기반 올레핀, e-Fuel) 조기 개발을 통한 시장 선점

❍ **(합성가스 상용화 기반 확보)** 상용 규모에서 장기 가동 가능한 합성가스 공급 기술 개발

- 이산화탄소 전환을 통한 건식개질 기반 합성가스 생산은 기존 스팀을 활용한 상용 습식개질 기술 대비 탄소감축 효과가 매우 높으나, 반응 중 탄소 침적 등에 의한 연속 가동성 부족으로 이에 대한 극복이 필요함
- 생성된 합성가스를 지역 내 석유화학 산업의 원료로 활용하기 위해 유용한 성분들을 효과적으로 분리하고 정제해야 하나, 활용처에 따라 요구되는 순도 확보에 어려움이 있으며, 특히 일산화탄소 분리/정제의 경우 실적용을 위하여 공정 안정성 및 경제성의 향상과 함께 에너지 소비 최소화가 필요함
- 상기 기술적 난항들로 이산화탄소 전환 기반 합성가스 공급 기술의 실증규모 기술 검증은 미흡한 실정이나, 기술의 실적용을 위해서는 상용 규모 공정에서의 장기 가동을 통한 신뢰성 확보가 필요함

❍ **(올레핀, e-Fuel 조기상용화)** 전세계적으로 상용화가 되지 않은 CO_2 기반 올레핀 및 e-Fuel 제조 기술의 조기 상용화

- 원천 및 스케일업 기술 부재하여 기존 보유한 올레핀 및 e-Fuel 제조 기술의 성숙도를 높이면서, 이산화탄소 전환율, 생성물 선택도, 신재생 전력 활용을 위한 원천기술 개발을 동시에 진행 필요
- 아직 상용화 되지 않은 e-SAF 및 올레핀 제조 기술 선점을 통해 유럽, 미국의 e-SAF 의무 사용, 탄소국경세 등에 대응할 수 있는 신기술 개발 및 시장 선점

* EU '23년 4월 SAF 의무 사용 합의

연도	2025	2030	2035	2040	2045	2050
의무 사용 혼합율(%)	2	6	20	34	42	70
e-SAF (%)	-	1.2	5	15	20	35

* 프랑스 SAF 1% 혼합 사용 법제화

* EU/UK의 SAF 보급 목표 4.2MT('30), 39.5MT('50)

* 미국 '22년 IRA 법안에 SAF 사용촉진을 위한 세액 공제 포함: SAF 1갤런당 1.25~1.75 달러

* 미국의 SAF Grand Challange, 8.5MT('30), 77MT('50)

❍ **(탄산칼슘, 석고 광물탄산화)** 실증 기술 기반 세계 최초 상용화급 설비 구축 및 운용 기술 개발

- 세계적으로 상용화 사례를 찾기 힘든 석고를 이용한 광물탄산화 기술의 목표 달성을 위해서는 산업부산물 활용을 위한 제도 개선이 시급함
- 별도의 포집 공정없이 배가스 직접 반응을 통한 광물탄산화 설비 운용을 위해서는 배출원의 특성에 따른 공정 운용 기술 확보가 필요함

❍ **(원료)** 배출원별 물성 차이가 발생하는 이산화탄소는 원료의 안정적인 공급 기술 확보 필요

- 이산화탄소를 선별적으로 활용하기 위한 전처리 과정이 요구되나, 각 산업군별로 다양한 조건으로 배출되는 가스 조성에 대응한 기술 개발이 미흡함
- 안정적이고 효율적인 원료 공급을 위한 저활용 자원 활용 기술 개발 필요
- 효율적인 이산화탄소 전환을 위해 부생가스 내 포함되어 있는 환원물질(메탄, 기타 부생가스 등)의 확보 및 활용 기술 필요

라. 추진배경

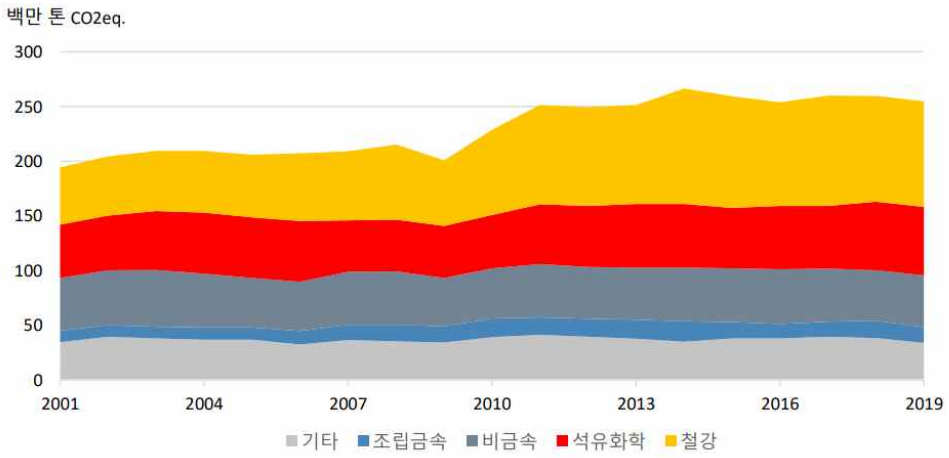
□ 온실가스 배출 1위 지역: 전남

❍ 2022 산업부문 에너지 사용 및 온실가스 배출량 통계 보고서*에 따르면, 전남이 전체 온실가스 배출량의 24.6%(86,199.8천$tCO_2eq.$)로 가장 큰 비중을 차지

* 대상년도: 2021, 출처: 한국에너지 공단 (2022)

- 철강, 석유화학, 정유 등 온실가스를 다량 배출하는 고탄소 산업이 도내 제조업 생산액의 90% 이상을 차지
- 정유산업의 온실가스 배출량은 고도화 설비 증설 등에 따라 '17년도 이후 지속으로 증가하는 추세이며, 대부분 CO_2 형태로 고정연소에서 49% 정도 배출되며, 공정과정에서 33%도 배출
- 철강 산업은 현대제철의 신규고로 가동으로 인한 온실가스 배출량이 대폭 증가했으며, 이미 세계 최고 수준의 효율을 지니고 있어 추가 효율 향상의 여지가 없는 상황
- 석유화학 원료인 납사분해 과정에서 대부분의 이산화탄소가 발생하고 있어, 에너지 다소비/화석기반 원료를 친환경 원료로 전화하는 기술에 관심을 기울이고 있으나, 해외 기술에 투자만 하고 있는 상황

〈그림 Ⅲ-2〉 산업 부문 업종별 온실가스 배출 추이



*주: 산업 부문의 온실가스 배출량은 공정 배출을 포함, 에너지밸런스의 분류체계에 따라 석유화학은 석유정제를 포함

*출처: 온실가스종합정보센터, 2021년 국가 온실가스 인벤토리

❍ 남부권 산업단지 내 비료 생산 공정에서 인산석고가 연간 100만톤 이상 배출 되며, 2000만톤 이상 야적되어 있어 처리 방안이 시급한 상황

❍ 전남 산업단지의 온실가스 감축 시급성 대비 CO_2 억제의 한계가 있는 산업(석유·정유·제철 등) 특성을 고려하여, 산업 맞춤형 활용 기술 적용이 반드시 필요(기타탄소 자원 및 수소 활용에 따른 필수불가결한 CO_2 배출 발생)

□ **기술 배경**

❍ CCU 기술 제품(물질)군 중 최우선 순위 대상 물질인 합성가스는 다양한 제품을 생산할 수 있는 탄소원에 해당

- CCU 기술을 적용한 합성가스는 플랫폼화합물로 분류되어 기존 납사유래 석유화학, 정밀화학제품을 대체할 수 있는 파급효과(감축효과, 부가가치, 시장규모)가 큰 제품군으로 분류(‘21년 부처합동 CCU 로드맵)
- ‘24년까지 상용화를 위한 실증 기반 설계 자료 확보해야만 ‘27년까지 상용화를 통해 온실가스 감축에 기여 가능하므로 국가 차원의 지원 필요

* ’30년 NDC 목표 달성을 위해 집중적 상용화 지원이 필요한 CO_2 활용 기술은 전략적으로 투자하여 조기 상용화 추진

❍ CO_2 기반의 올레핀, e-Fuel은 온실가스 다배출 업종의 화석연료를 대체할 신규 탄소원으로 빠른 시장 진입이 가능할 것으로 기대

- 화학 원료(CO, 올레핀 등)나 e-Fuel은 남부권에 위치한 정유 및 석유화학업계의 Value Chain과 매우 밀접하여 경제성이 확보된 기술 개발 시 빠른 조기 상용화가 가능할 것으로 기대되면, CO_2 저감 및 정유 및 석유화학 산업 경쟁력 강화에도 크게 기여를 할 것으로 예상
- 현재 CO_2 기반의 올레핀을 생산하는 기술은 상용화 단계로 진행된 바 없으나 기술 파급성이 클 것으로 기대되어 빠른 기술 확보가 필요한 상황

- CO_2와 재생전력을 활용하는 Power-to-liquid 기술로 생산된 지속가능한 항공연료는 기존 등유에 비해 CO_2 배출량이 99% 감소될 것으로 예상 (Clean Skies for Tomorrow, 2020, McKinsey & Company)

❍ 석고 광물탄산화 기술은 지역 내 CO_2 다배출 업종과 연계 부가가치가 높은 부산물을 생산을 통한 경제성에 기반하여 시장 진입이 용이할 것으로 기대

- 남부권 내 정유 및 석유화학업계에서 배출되는 CO_2와 비료화학산업에서 배출되는 부산석고를 연계하여 지역 내 on-site 광물 탄산화 기술개발을 통해 CO_2 저감 및 부산석고 처리 문제 등에 크게 기여할 것으로 예상
- 석고 광물탄산화 기술은 현재 TRL6 단계를 목표로 실증 연구가 수행 중으로 타 CCU 기술 대비 상용화에 근접한 것으로 판단
- 석고 광물탄산화 기술 부산물인 탄산칼슘과 황산암모늄은 산업계 활용도가 높은 물질이며 특히 황산암모늄은 수출 비율이 높은 물질로써 경제성을 바탕으로 상용화가 용이할 것으로 판단

❍ **(탄소순환 생태계 조성)** 경제성 및 탄소감축 효과 확보를 위한 남부권 가치사슬 완성

- CCU 제품의 탄소 감축 효과를 위해서는 상용 공정 단위의 적극적인 보급이 필요하며, 이를 위해서는 정책적인 보조와 함께 기술의 경제성 확보가 절실함
- 경제성 관점에서 공정효율 향상을 통한 비용 절감과 함께 안정적인 원료 수급 및 효율적인 완제품 유통/공급이 필요하며, 이를 위해서는 집적된 산업단지 내에서 원료-생산-공급이 순환되는 가치사슬 완성 필요

마. 추진 필요성

□ 국가 탄소중립 감축 주요 수단

❍ CCUS는 국가 온실가스 감축 목표 달성을 위한 중요한 감축수단이므로 (2030년 CCUS를 통해 1,030만톤을 감축하는 목표 설정) 상용 가능한 기술이 CCU 시장을 선도할 수 있도록 전략제품의 조기 상용화가 필요

- 국내에서도 탄소중립 실현을 위해 CCUS 기술개발을 추진 중이나, CCU 기술의 경우 경제성 등의 이슈로 아직 상용화된 CO_2 활용 제품이 거의 없는 상황이어서 CCU 시장을 선도할 수 있는 주요 전략제품을 선정하고, 이의 상용화 기술개발을 적극 추진할 필요성이 증대

- 특히 남부권역의 철강, 석유화학, 정유산업 등 다양한 제조업에 적용 가능한 CO_2 기반 플랫폼 화합물 기술이 필요

□ 산업단지 탄소중립 수단 필요

❍ 철강-석유화학-정유산업 등 온실가스 배출이 높은 산업군이 몰려있는 남부권은 국가 산업분야 온실가스 배출 1위(전체 24.6%)* 지역으로, 2030년 국가 온실가스 감축목표 달성을 위해 탄소중립 저감 노력이 시급함

* 출처: 2022 산업부문 에너지사용 및 온실가스 배출량 통계_한국에너지공단

- 국내 정유사의 정제시설 규모는 세계 5위이며, 석유제품이 전체 수출에서 차지하는 비중이 5%로 높기 때문에 글로벌 탄소규제에 대응하면서 수출 경쟁력을 유지하기 위해 맞춤형 탄소배출 감축기술이 요구됨

- 석유화학산업은 산업체 수가 연평균 5%의 꾸준한 증가세를 유지*하고 있으며 수출 증가에 따라 생산액은 연평균 1.8% 증가하고 있는 상황으로 경쟁력 유지를 위해 국제 규제 극복을 위한 탄소중립형 기술 도입이 필요한 상황

* 석유화학산업 탄소중립 전략과 정책적 대응방안_kiet, 조용원, 이상원, 김경문, 21.12

- 건식개질 기술 적용시 코크 형성, 촉매소결 이슈에 대응할 수 있는 공정의 요소 기술 및 상용화 기술 개발 필요

- 온실가스 배출 1위 산업군인 제철사업의 탄소중립을 위한 부생가스, 폐열활용 등과 연계한 CCU 기술의 경제성 향상, CO_2 포집과 연계된 CO_2 활용의 통합 기술 실증으로 대량의 CO_2 저감이 가능한 CCU 기술 실증 필요

❍ 국내 화학공정은 해외 의존도가 매우 높고 국산기술의 상용급 성공사례가 많지 않아 CCU 기술 개발 시 기업의 위험 부담이 매우 크기 때문에 정부 주도의 실증 플랜트가 필요

- 국내 제조업 공정의 많은 부분이 해외 선도기관으로부터 기술 라이센싱을 턴키 방식으로 도입해왔기 때문에 신규 기술 도입에 어려움이 있어, 국가 주도 기술 개발을 통해 기업부담을 낮추고 빠른 조기 상영화에 도달할 필요가 있음
- CCU 기술은 단일기술이 아닌 다양한 요소기술로 구성되어 있기 때문에 기술 개발 수준이 서로 다른 요소기술의 통합 플랜트 구축 및 전체 공정에 대한 성능 검증이 필수적

□ **대규모 상용화가 가능한 CCU 기반 플랫폼 화합물 기술 필요**

❍ 국가 탄소중립 이행을 위해서는 CCU 기술의 조기 정착이 필요하고, CO_2 활용에 대한 현 산업계의 신뢰성 확보를 위해서는 기술적 이질감이 적은 플랫폼 원료물질 공급기술인 합성가스 공급 건식기술의 상용화와 실 현장 적용 시급

- ‘21년 기준 국내 건식개질 기술은 TRL5~6에 진입하였고, 건식개질의 핵심인 원천촉매 기술의 경우 국내 기술력이 세계적 수준이므로, 지속적인 CO_2 유래 합성가스 공급 기반 CCU 기술 확대에도 긍정적임
- 플랫폼 화합물인 합성가스를 대량 생산(제품화)하기 위한 수요지향형 기술 신뢰성 확보 및 상용화급 통합공정 핵심기술 개발 필요

❍ CO_2 를 활용한 올레핀 제조 기술은 전 세계적으로 실증 전단계 수준으로 국산화 기술 확보 및 시장의 선점이 가능

바. 산업환경

□ 남부 지역 내 산업 현황

❍ 국내 최대 석유화학산업단지 보유 및 온실가스 배출 1위 지역

- 남부권역(전남)은 국내 최대 온실가스 배출 지역으로, 석유화학, 철강, 정유 등 지역 주력산업이 도내 배출량의 97%를 차지

■ 제1차금속산업 43,291(50.2%), 화학 29,981(34.8%), 정유 10,430(12.1%) 등

- 전남권역은 특별경제구역인 경제자유구역(전남 여수, 순천, 광양시 일원)으로 지정되어 있고, 율촌 1·2산단, 율촌자유무역지역, 해룡산단, 세풍산단, 황금산단 등의 약 20㎢의 광대한 산업단지 존재

❍ 전국 최대 규모의 신재생에너지(태양광, 풍력) 발전량

- 전남 지역은 전국 최대 규모의 신재생에너지 발전량(5,724 GWh('21))과 발전용량(4.65GW)을 지니며, 전국 2위의 부생수소 생산량(544천톤/년)을 나타냄

❍ 비료산업 현황 및 문제점

- (현황) 여수 지역 국내 최대 인산질 비료 생산 공장이 가동 중에 있으며, 2022년 기준 연간 77만톤의 복합비료는 생산하였으며, 인산석고가 약 90만톤 발생하였음
- (문제점) 인산석고 내 라돈 함유에 따른 안정성 문제로 인하여 연간 인산석고 소비량이 약 100만 톤에 그치고 있으며, 현재 누적 2,000만톤의 인산석고가 사업장 내 야적되어 있음

❍ 비료산업 해결 방안

- 인산석고를 활용한 광물탄산화 기술 개발을 통해 산업부산물인 인산석고의 활용처를 확대함으로써 야적에 따른 환경문제 해소 가능
- 2,000만 톤 이상 야적 중인 인산석고 활용 여수 지역 내 온실가스 다배출 산업의 CO_2 저감에 기여

사. 남부권 CCU 관련 주요 이슈

□ 국내 최대 석유화학산업단지 보유 및 온실가스 배출 1위 지역

❍ 남부권역(전남)은 국내 최대 온실가스 배출 지역으로, 석유화학, 철강, 정유 등 지역 주력산업이 도내 배출량의 97%를 차지

- 제1차금속산업 43,291(50.2%), 화학 29,981(34.8%), 정유 10,430(12.1%) 등

- 철강산업: 포스코 (이산화탄소 및 철강부산물(제강/ 페로니켈 슬래그) 배출기업), 효석(부산물 처리업체), 신성플랜트(부산물 처리업체)
- 석유/정유산업: 한솔페이퍼텍, 금호미쓰이화학, 한화, GS칼텍스, 엘지화학, OCI, 금호석유화학, 한화케미칼, 휴켐스, 동성하이켐, 프렉스에어코리아 등
- 기타 발전소, 시멘트 업체: 엠피씨율촌전력, 한국남동발전(여수화력), 한국동서발전(호남화력), 한남시멘트, 대한세라믹스, 태경화학, 남해화학 등

❍ 전남권역은 특별경제구역인 경제자유구역(전남 여수, 순천, 광양시 일원)으로 지정되어 있고, 율촌 1·2산단, 율촌자유무역지역, 해룡산단, 세풍산단, 황금산단 등의 약 20㎢의 광대한 산업단지 존재

* 주요 업종: 철강, 부품소재, 화학소재, 기계장비, 1차금속, 금속가공제품, 비금속광물제조업, 전자부품, 전기장비제조, 조선해양플랜트 업종 등

□ **전국 최대 규모의 신재생에너지(태양광, 풍력) 발전량**

❍ 전남 지역은 전국 최대 규모의 신재생에너지 발전량(5,724 GWh(‘21))과 발전용량(4.65GW)을 지니며, 전국 2위의 부생수소 생산량(544천톤/년)을 나타냄

- ‘전남지역 태양광·풍력 발전량 전국 1위 (폐기물에너지·바이오연료 등을 포함한 전체 신재생에너지 발전량으로는 전국 3위)
- 전남에서 추진 중인 수소 관련 프로젝트*: 해상풍력 연계 그린에너지 섬 및 수소 특화단지 조성, 수소 핵심연구개발 시설 및 그린수소 마이스터 센터 건립, 그린수소그린암모니아 생산단지, 수소 전용 항만 터미널 등 건립 등

* 수소 수요가 높은 철강·석유화학 산업 밀집 배경을 활용하여 그린수소 관련 산업 추진 중

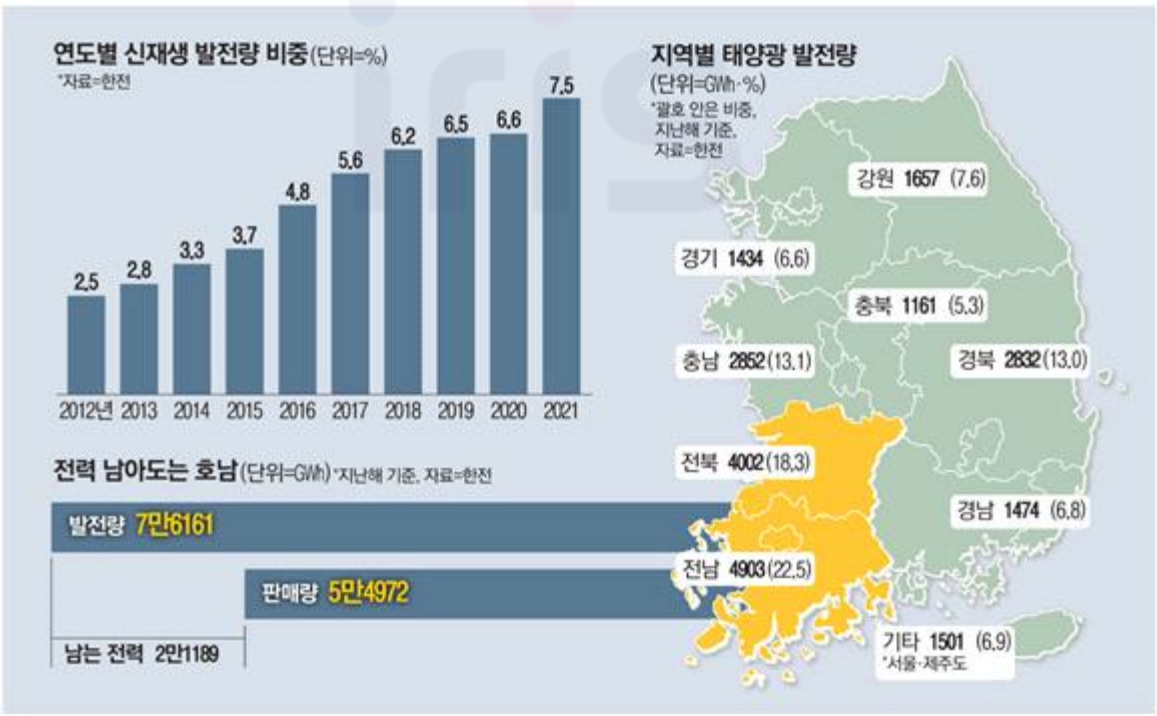
- 높은 신재생에너지 설비 구축에 의한 전력과잉으로 2021년 호남지역 출력제어 * 3회 발생 (출처: 제10회 전력수급기본계획)

* 재생에너지 변동성에 따라 발전량 및 출력이 예측을 벗어날 경우, 전력망 안정성 유지를 위해 재생에너지 출력 제한

〈표 Ⅲ-26〉 준공된 국내 주요 대규모 태양광 발전단지 현황

사업자	발전단지	위치	규모(MW)	준공
남부발전	솔라시도 육상 태양광	전남 해남	98	2020. 06.
남동발전	영암 육상 태양광	전남 영암	94	2020. 08.
서부발전	안좌스마트팜앤쏠라씨티 육상 태양광	전남 신안	96	2020. 11.
중부발전	영광 육상 태양광	전남 영광	100	2020. 11.

* (출처)2030년까지 30조원 규모 태양광사업 추진…공기업 8사, 3년 내 3조원 사업 준공 에너지경제신문 2021.05.16



* (출처) 매경_신재생 과속의 민낯…전력 남아도는 호남에 태양광 40% 쏠려_22.04.28

□ **묘도에코단지 등 탄소중립 인프라 구축 투자 활발**

❍ 여수 묘도 에코 에너지 허브: △수소・암모니아 터미널 및 CCUS(탄소 포집・활용・저장・반출)터미널 등의 ‘탄소중립 에너지 클러스터’ △LNG 터미널과 천연가스 발전 단지 등이 들어서는 ‘그린에너지 사업’ △LNG 거래소와 데이터센터 등이 들어오는 ‘글로벌 에너지 신사업 Hub’ 조성 예정

❍ 광양만권 산업단지 내, 국내 유일의 탄소중립 화학분야 R&D 실증 조직인 “탄소중립화학공정실증센터”를 보유하고 있어, 대량의 친환경 촉매 제조 및 실증연구, 장비 활용이 가능할 것으로 기대

❍ 저탄소 소재부품 거점산단: (거점)여수국가산단, (연계)광양국가산단, 율촌 제1산단, 여천・광양항을 대상지역으로 남부권을 저탄소 지능형 소재・부품산업의 거점산단으로 육성 중

❍ 2030 NDC 달성을 위한 CCU 기술혁신 로드맵 기반 중점기술(탈황석고 이용 광물탄산화 기술) 조기 상용화 달성 필요

- 석고 이용 광물탄산화 기술은 타 CCU 기술 대비 TRL 단계가(TRL6) 높아 조기 상용화가 가능한 기술로 선정된 바 있으며, 국내 기술력이 세계 수준으로 국고 보조를 통한 상용화 연구를 통해 NDC 목표 달성에 기여할 수 있음
- 산업단지 내 산업간 연계를 통한 on-site 광물탄산화 기술 개발을 통해 지역 내 유사 CO_2배출업종 대상 CCU 기술 확대를 도모할 수 있을 것으로 기대

아. 남부권 주력기술 도출 경위

□ **플래스십 프로젝트 선정 기준**

❍ 기술수요조사 기반 합성가스, 올레핀, 연료, 탄산칼슘 등을 중심으로 기술성숙도, 시장성, 경제성, 기업 실행의지 등을 고려하여 플래그십 프로젝트를 선정

❍ 산・학・연을 대상으로 남부권 컨소시엄 구성

❍ 타 권역에서도 수요기업으로 참여 가능

❍ 2030년 이후 탄소중립을 위해 미래 기술과의 연계 방안 고려

□ 남부권역은 탄소중립 실현 및 그린경제로의 전환을 위한 위협요인(온실가스 배출 1위)과 기회요인(태양광・풍력 발전략 1위)을 동시에 보유하고 있으며, 농수산 산업비중이 높아 기후변화에 영향을 많이 받는다는 점에서 사회・경제 전반의 탈탄소화에 대한 필요성이 높은 지역

❍ CCU 기술 제품 중 온실가스 감축효과, 부가가치, 시장규모가 큰 R&D 실증・상용화 집중 투자 제품군* 중, 남부권역 수요-활용처가 많은 플랫폼 화합물 선정

* 과기부·산업부·환경부 합동으로 추진중인 'CCU로드맵' 전문가 작업반 검토 결과

- 화학전환 분야 : ①합성가스(CO, H2), ②메탄올, ③올레핀, ④초산, ⑤개미산, ⑥옥살산, ⑦디메틸카보네이트, ⑧프로필렌카보네이트, ⑨폴리카보네이트, ⑩폴리우레탄
- 광물화 분야 : ①CO_2 양생 및 반응경화 시멘트, ②CO_2 광물화 건설소재, ③탄산칼슘, ④무기탄산염(탄산마그네슘, 중탄산나트륨)

❍ 합성가스는 이미 시장이 형성되어 있고, 조기 상용화를 통한 산업화가 가능한 품목으로 판단되므로 국고 지원을 통한 업종별 파급효과는 물론 세계 최고 수준의 기술 확보 가능 기대

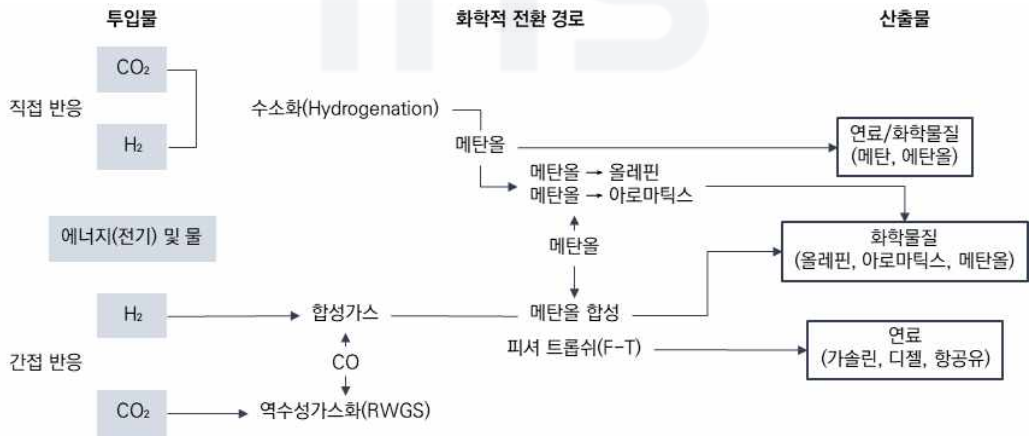
❍ 올레핀은 이미 큰 규모의 세계 시장이 운영되고 있으며, 석유화학 공정에 그대로 사용 가능하다는 장점이 있어 기술 상용화 시, 빠른 시장진입이 가능할 것으로 기대되며, CO_2 를 활용한 올레핀 제조 기술은 전 세계적으로 실증 전단계 수준으로 빠른 기술 확보를 통한 시장 선점 기대 가능

❍ 탄산칼슘은 산업계 전반에서 수요가 많은 광물이며 수입량('22년 200만톤 수입*)이 많은 광물로써, 남부권역 내 수요기업이 다수 존재하여 광물화 기술의 상용화가 용이할 것으로 판단되어 국고 지원을 통한 세계 최고 수준의 상용화급 기술 확보 가능 기대

* (출처) 2023년 광산물 통계연보

□ 합성가스는 화학산업에 있어서 매우 중요한 중간화학물질(플래폼 화합물)로서 석유, 정유, 철강 등 남부권 기업 탄소중립에 기여 가능성이 높음

❍ 이산화탄소로부터 역수성가스 전환 반응을 통하여 합성가스를 생성하고, 생성된 합성가스의 반응을 통하여 다양한 친환경 연원료 제조 가능

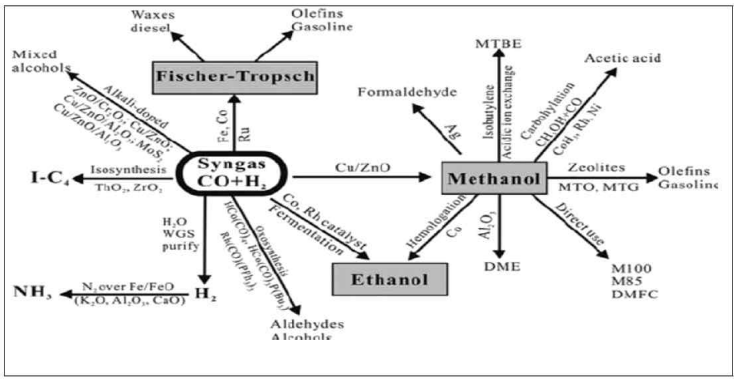


*출처: IEA, 2019

〈그림 Ⅲ-3〉 이산화탄소 전환 화학 물질 생산 경로 (IEA, 2019)

❍ CO_2 를 전환하여 플랫폼 화합물을 만들 수 있는 CCU 기술 중 기술 성숙도가 상대적으로 높고 2030년 기준 100ton/year 이상급으로 파일럿 실증이 가능한 수요 기술을 선정

❍ 플랫폼 화합물(합성가스, 메탄올 등)은 다양한 반응을 통해 산업적 수요가 높은 화합물 생산이 가능하고 플랫폼 화합물 전환 반응의 경우 많은 경우 발열 반응이기 때문에 CO_2 의 공정 배출을 최소화하여 화합물 생성 가능



*출처: NREL report 2003

〈그림 Ⅲ-4〉 플랫폼 화합물(CO, MeOH) 전환을 통한 고부가가치 화합물 합성경로

□ 기존 인프라 및 물류체계를 이용한 빠른 시장진입이 가능한 기존제품의 대체원으로 올레핀 및 합성연료 기술 개발이 필요

❍ 올레핀 제조는 경제성 확보가 용이하며 탄소중립에 따른 글로벌 석유제품 수요 감소에 대응 가능

❍ 구축 정유 단지 내 고부가 올레핀 생산을 위한 분리, 정제 설비 활용 가능하여 경제성 및 감축효과 제고 측면에서 이점 존재

❍ 탄소중립 추진을 통하여 대부분의 수송용 에너지원은 전기 및 수소로 전환될 것으로 예상되나 항공기의 경우 탄소중립적인 합성연료 도입이 필요

□ 탄산칼슘은 산업적 활용처가 분명하고 기존 자연산 석회석 시장을 대체하기 용이하며 온실가스 감축효과가 큰 제품으로 조기 상용화를 위한 연구 필요

❍ 탄산칼슘 제조는 수요처가 다양하며 기존 석회석 시장을 대체하기 용이하여 상용화에 유리한 점이 있음

❍ 광물탄산화 기술 부산물로 발생하는 황산암모늄도 활용처(비료 등)가 분명한 장점이 있어 경제성 확보에 용이

2. 서부권 플래그십 프로젝트 개요

가. 서부권 사업목표

□ 바이오 CCU 기술 수요기업 (CO_2 배출 기업 및 CCU 제품화 기술 수요 기업 등)과 연구개발 노하우가 축적된 대학·연구소 주도로 실증 중심 CCU R&D 인프라를 구축하고 이의 중장기 운전을 바탕으로 권역 내 탄소 저감 기술확산 가속화

□ 비전

서부권역의 다양한 CO_2 배출원과 연계된 바이오 CCU 실증공정 구축을 통해 국가적 CO_2 감축 기조에 기여하는 바이오 CCU 기술의 전방위적 확산 발판 마련
CO_2와 해수담수화 농축수의 자원화를 통한 대산석유화학단지의 탄소중립 구현

❍ CO_2 감축의 시급성을 고려, 서부 권역 내 산·학·연간의 긴밀한 협력을 바탕으로 우수 바이오 CCU 기술을 신속하게 고도화하고 이의 조기 Lab-to-Field 전환을 견인하여 기술의 대규모 실증을 추진함으로써 2030년 국가 CO_2 감축 목표에 실기여할 수 있는 바이오 CCU 기술의 확산 가속화

- 대산석유화학단지는 충남의 탄소중립에 핵심적인 지역으로, 지역 내 산업구조에 적합한 탄소중립 기술의 성공적 실증과 이를 통한 유사한 산업구조를 갖는 국내외로 성과 확산

□ 목적

CO_2 배출원의 종류와 지근 환경을 고려한 포집 독립형 바이오 CCU 실증 기술 및 공정 확보
NDC 기여 극대화를 위한 대산석유화학단지 맞춤형 CO_2 광물전환 전략 도출

❍ 대규모 포집 및 전환 공정의 설치 및 운영 등에 제약이 있는 도심형 LNG 발전소를 대상으로 별도의 포집 장치의 도입 없이 CO_2 유래 CCU 제품 생산이 가능한 면적집적형 바이오 CCU 기술 패키지를 확보

- 권역 내 석탄화력 발전소에 대해서는 동일한 면적집적형 광생물반응기 공정 모듈을 활용하여 유휴부지 (예: 회처리장) 및 인근 간척지에 공정을 구축하여 발전소 유래 CO2를 효율적으로 생물전환 할 실증 기술을 확보하고, 이를 바탕으로 대규모 화력발전소 대상 CCU 기술 포트폴리오 고도화

❍ 미생물 기반의 바이오 발효 산업에서 배출되는 고농도 CO_2 함유 배기가스를 효과적으로 처리할 수 있는 넷제로 (net-zero)형 바이오 CCU 공정 기술 고도화 및 실증

❍ 대산석유화학단지에서 버려지는 CO_2와 해수담수화 농축수를 활용하는 CO_2 광물전환 플랜트의 성공적인 건설과 운영

❍ CO_2 광물전환 기술을 활용한 순환경제 모델 개발과 실증

❍ 서부권 CO_2 광물전환 실증사업의 NDC 기여 극대화를 위한 전략 도출

□ **성과목표**

❍ 권역 내 위치한 도심형 발전소, 화력 발전소 및 산업 바이오 발효기 등에서 배출되는 온실가스를 효율적으로 처리할 수 있는 바이오 CCU 기술 플랫폼 확보를 위한 실증 테스트베드를 구축

- 이의 중장기 운전 및 수요 기업과의 긴밀한 협력을 통한 기술 고도화의 달성을 통해 과제 종료 전 연간 15,000 t-CO_2_eq/yr 감축을 구현할 수 있는 실증 플랜트를 확보함으로써 신속한 기술확산의 발판 마련

❍ **(도심형 LNG 발전 및 석탄 화력발전 산업)** LNG 발전 배기가스의 경우 해당 배기가스에 포함된 CO2를 별도의 포집 단계 없이 고부가 바이오 소재로 전환할 수 있는 면적 집약형 광생물반응기 및 관련 제어/미세조류 회수 설비를 패키지화하고 이의 규모 격상을 추진할 예정

- 한편 석탄화력 발전소의 경우 대규모 유휴부지, 간척지 등을 활용하여 타 CCU 기술과 통합되어 탄력적으로 운영될 수 있는 저에너지형 바이오 CCU 기술 실증 및 관련 핵심 기술 고도화를 추진할 예정

❍ **(발효산업)** 기존 발효 산업에 악영향 없이 해당 산업에서 발생하는 고농도 CO_2를 효과적으로 처리하기 위한 넷제로형 친환경 CO_2 전환 기술 확보 및 대규모 실증 공정 구축에 역점을 두고 과제를 추진할 예정

❍ 국내 제3의 석유화학단지 내 국내 최대 규모의 해수담수화를 이용하여 핵심광물인 마그네슘을 내재화함과 동시에 CO_2를 광물전환하는 기술을 실증

- 단지 내 석유화학 공정 및 발전소에서 배출하는 CO_2와 해수담수화에서 배출하는 농축수를 활용하여 1만 톤-CO_2/년을 감축하는 CO_2 광물전환 공정 구축과 운영 기술 개발
- 해수담수화 농축수의 자원화와 저염분화를 위한 공정 구축과 운영기술 개발
- 해수담수화 농축수를 활용하는 CO_2 광물전환 기술의 순환경제 모델 개발과 NDC 최대 기여 전략 도출

❍ **이산화탄소를 이용한 폴리머 생산 기술개발**

- 석탄화력발전에 의한 온실가스 배출량이 높아 이산화탄소 활용 기술이 필요한 상황
- 발전소 배가스 및 DAC 등을 활용한 이산화탄소 포집 기술은 수익모델이 없기 때문에 포집된 이산화탄소를 고부가가치 화합물로 전환하는 기술이 요구되고 있음
- 이산화탄소를 이용한 고부가가치 고분자 생산기술 개발을 통하여 이산화탄소 포집 및 활용・저장 기술의 수익모델 창출 가능 기대
- 이산화탄소를 활용하여 폴리우레탄이나 폴리카보네이트의 생산이 가능하지만, 기업의 투자설비 및 수익성의 문제로 국내에는 상업화 사례는 없음 (기술은 보유하고 있으나 상업 생산은 하고 있지 않음)
- 폴리카보네이트의 경우 해외의 라이센스를 구입하여 사용하고 있는 실정이나, 이산화탄소를 이용하면, 폴리우레탄이나 폴리카보네이트 합성에 있어 독성 물질인 포스겐(phosgene)의 사용을 피하면서도 고부가 화합물 생산 가능
- 국내 이산화탄소 기반 폴리머 시장은 SKC 및 KPX케미칼, 금호석유화학 등에서 propylene oxide를 원료로 하는 기술을 보유 혹은 개발 중에 있으나, 상용화된 상품은 없음

나. 개요

서부권역 CCU 기술 조기 상용화	신규 탄소중립 산업 경쟁력 확보
• 바이오 CCU 실증 테스트베드 구축 및 중장기 운영에 기반한 상용화 기술 확보 • 지역의 산업 특성(석유화학 및 발전소의 CO_2 배출, 해수담수화 설비의 농축수 배출)을 반영한 CCU 기술 조기 상용화	• 수요기업 중심의 실증 규모 격상 및 바이오 CCU 제품의 시장 진입 활성화 • CCU 기술 및 제품 조기 상용화를 촉진할 수 있는 한계돌파형 기술개발 과제 추가 발굴 및 기업 참여형 기술 고도화

□ **(기본 추진 방향)** 권역 내 온실가스 배출 업체 및 바이오 CCU 제품 관련 생산·수요 기업의 의견을 수렴하여 상용화 가능성이 높은 탄소활용 기술을 대상으로 대규모 실증을 추진하고 이에 근거한 기술 상용화 가속화

❍ 탄소감축효과, 시장성(부가가치), 기술성숙도, 국내 적용성(기술수요) 등을 종합적으로 검증하여 단계적 지원을 추진하되 2030년 이후의 기술 보급 및 파급효과를 추가 고려한 파생 (spin-off) 제품화 기술 고도화 지원

❍ 대산석유화학단지 산업 특성 반영한 CO_2 광물전환 기술을 실증

- 단지에서 발생하는 CO_2와 해수담수화 농축수를 활용하는 CO_2 광물전환 공정 구축과 운영을 통한 1만 톤/년-CO_2 감축
- CO_2 광물전환 기술의 순환경제 모델 개발과 NDC 최대 기여를 위한 전략 도출

❍ 해수담수화 농축수 자원화 기술을 실증

- 농축수를 활용하는 수전해 공정을 통한 수소 생산 등 농축수의 자원화
- 해수담수화 농축수를 활용하는 DAC 및 BMED 기술개발

❍ 우리나라 제3의 석유화학 전문단지인 대산석유화학단지에서 배출되는 CO_2 감축 시급

- 대산석유화학단지가 속한 서산시는 2020년 전국에서 9번째로 많은 20,552 천 톤의 CO_2를 배출하여 전국 배출량의 3.05%를 차지
- 특히 대산석유화학단지에서 27.5%가 배출되고 있어, 서산은 충남의 탄소중립을 위한 핵심지역

- 중국 석유화학 업계의 COTC 기술 도입으로 국제적인 영향력은 확대되고 있으나, 우리의 경쟁력은 약화
- 30년 이상된 대산석유화학단지를 탄소중립 산업단지로 변화시켜 미국의 인플레이션감축법(IRA), 유럽의 핵심원자재법(CRMA) 및 탄소국경조정제조(CBAM) 등 국제적인 보호무역 및 탄소중립 메커니즘 대응 마련 시급
- 대산석유화학단지의 만성적인 물 부족을 해결할 일 10만 톤 규모의 해수담수화가 준공될 예정으로, 해수담수화 농축수를 활용한 CO_2 저감과 농축수의 자원화는 세계 해수담수화 업계의 현안이면서 블루오션 영역

❍ CO_2 저감 기술의 실증화 필요

- 1,120만 톤을 감축하는 2030 NDC 목표 달성을 위한 CCUS 기술 개발 필요
- CO_2 광물전환 기술은 CCU 기술 중 비교적 상용화 가능성이 높다고 평가받고 있지만 여전히 실증 사례는 국내에 부존재
- Ca, Mg는 CO_2 광물전환 기술에 활용되는 원료로, 해수담수화 농축수에서 CO_2 광물전환 기술의 고비용 문제없이 고순도로 추출 가능
- 세계적 이슈인 농축수의 자원화 기술개발 시급: 중국에서 전량 수입하는 핵심광물인 마그네슘의 내재화, 수소 생산 등과 연계하는 계단식 순환 경제 구현 가능
- 따라서 해수담수화 농축수를 이용한 CO_2 광물전환 기술을 통해 대산 석유화학단지의 현안인 CO_2를 연간 1만 톤 감축함과 동시에 핵심광물인 마그네슘 공급망 안정화가 가능하며, 농축수의 자원화를 통한 해수담수화 업계의 현안 해결 가능

발전소 배가스 및 산업단지 폐가스 처리	CO_2 기반 폴리머 제조 기술 부족
■ 수도권 전력생산을 위한 발전시설 밀집지역의 온실가스 처리 시급 ■ 공업단지 내 대량의 온실가스 배출가스를 줄임과 동시에 고부가가치 화합물 생산	■ 상업화를 위한 수익모델 필요 ① CCU 생산물의 경제성 확보 ② 상용화를 위한 한국형 고유 촉매 공정 기술 확보 필요 (국내 관련기술을 확보한 연구원 기술의 실증화를 위한 투자 필요)

다. 극복 과제

❍ CO_2 감축의 시급성을 고려, 세계 최초 상용화 수준의 대규모 바이오 CCU 기술 실증 실현을 위해 공정 구축 및 기술 고도화 동시 수행 필요

❍ 단위 면적당 온실가스 감축 효율을 극대화할 수 있는 생물학적 CCU 기술 플랫폼 개발 및 대규모 실증을 위한 테스트베드를 구축하고, 이를 바탕으로 주민 수용성 및 면적 제약 관련 이슈 극복 필요

❍ 바이오 CCU 기술의 저변 확대를 위한 제도적 뒷받침 필요

대규모 바이오 CCU 상용화 기술 부족	면적 집약형 바이오 CCU 기술부재	바이오 CCU 저변 확대를 위한 제도적 지원 미비
■ 발전 및 바이오산업 맞춤형 대규모 실증 테스트베드 구축과 이의 중장기 안정적 운영 및 효율 증대를 위한 상용화 핵심 기술 동시 확보 추진	■ 서부권 CO_2 배출원의 종류와 지근 환경 특성을 고려, 단위 면적당 CO_2 전환량을 극대화하여 인구 밀집 지역에 위치한 온실가스 배출소에 널리 적용될 수 있는 신규 미세조류 광생물반응기 플랫폼 및 상용화 기술 확보 추진	■ 정부 주도의 CO_2 저감 기술과 기술 수요 기업 (CO_2 배출 기업 및 CCU 제품화 기업 등)의 매칭 추진 ■ 플래그십 프로젝트 참여 기업이 탄소 감축과 관련된 국가 인센티브를 받을 수 있도록 CCU 기술의 정량적 CO_2 감축량 계측 방안 표준화 및 인증 추진

❍ 세계적으로 대규모의 CO_2 광물전환 기술의 실증 사례 부재

- Mg 및 Ca를 이용하는 CO2 광물전환 기술은 유효한 성분의 추출, 추출 용매의 재순환 등을 통한 비용 절감과 공정개발, 잔류물의 무해화 또는 재활용 처리 등이 필요, 지금까지 세계적으로 실증화 사례가 없어 참고할 수 있는 레퍼런스 공정이 없음
- 해수담수화 공정에서 배출하는 농축수 중 Ca, Mg, Na, K 등 주요한 성분의 자원화 가능성이 주목받고 있음에도 불구하고 농축수를 많이 처리하는 어려움의 극복 필요

❍ 국내에는 해수담수화 공정에서 배출하는 농축수의 자원화 실증 사례 부재

- 농축수 중 NaCl의 농도는 기존 클로르알칼리 공정에서 사용하는 농도보다 낮아서 수전해 원료로 사용된 예가 많지 않음. 상대적인 저농도에 적합한 전극, 이온교환막, 정류기 및 스택제작 기술을 개발해야 함

❍ 재생에너지 사용을 통한 CO_2 광물전환 공정의 탄소중립 효율 향상

- 기존 전력 계통과 재생에너지 전력
- 정부의 온실가스 배출 감축의무 이행을 위한 해수담수화 사업 탄소중립 방안 마련 및 감축목표 이행 필요
- K-water 온실가스 배출시설 외부로부터 공급된 전기 또는 열을 사용함으로써 발생되는 온실가스 간접배출(전력) 중점 관리 필요

❍ 온실가스 감축에 실질적으로 기여하는 기술을 식별하기 위한 감축성과 평가, 검인증 기준이 필요함

- 전 지구 온실가스 감축 및 국가 NDC 기여가 가능한 온실가스 감축기술을 발굴, 확대하기 위해서는 국제 수준의 온실가스 평가 기준에 따른 기술평가가 필요

■ 특히 DAC-CCU 기술의 경우 탄소포집원의 적격성 및 기존 기술의 공정 대체에 따른 외부 효과를 고려할 수 있는 고도화된 평가 기준이 요구됨

■ 또한 평가 결과에 대한 객과성 및 신뢰성을 위해 감축성과의 제3자 검·인증 기반을 마련하여야 함

❍ CO_2 광물전환 기술의 수준향상에 필요한 기술의 발굴과 연구 필요

- 저에너지 소비 DAC 기술 및 농축수를 이용한 산염기 생산기술이 융합된 해수담수화 농축수를 이용하는 차세대 CO2 광물전환 기술을 개발해야 함

실증급 기술 부재	CO_2 광물전환 비즈니스 모델 부재	차세대 CO_2 감축 기술
①국내외에서 2가 이온을 이용한 CO_2 광물전환 기술의 실증 사례 없음 ②대량의 해수담수화 농축수를 처리하는 실증 사례 없음	■ 경제성 있는 CO_2 감축 사업 비즈니스 모델이 없음	■ 해수담수화 농축수를 이용한 CO2 광물전환 기술의 외연 확대 전략 필요

라. 추진배경

□ 경기, 충남 지역을 포함하는 서부권은 인구가 밀집된 지역에 위치한 발전소, 소각장 등의 배출 업체가 위치하고 있어 면적 요구도 및 주민 수용성 이슈의 제약에서 상대적으로 자유로운 신규 탄소저감 기술 개발이 필요한 상황

□ 다양한 CO_2 배출원*이 존재하는 해당 권역의 특성 상 포집 시설의 유무와 무관하게 다수의 CO_2 전환 옵션**을 제공할 수 있는 미세조류 기반 생물학적 CO_2 전환기술의 대규모 실증 및 향후 적극적 활용 필요

*석탄 및 LNG 화력 발전소 유래 연소가스 및 석유화학 산업 및 발효공정 유래 배기가스 등

**배기가스 직접 주입 및 희석 주입, 포집된 CO2의 희석 주입 및 대기 직접 주입을 통한 생물학적 직접공기 포집 (Biological Direct Air Capture) 유도 등

❍ 또한 충남 지역에 다수 위치한 화력발전 기업에서는 석탄 사용량 감축 기조에 따라 기존 회처리장 부지의 효과적 활용 방안 수립이 중요 이슈 중 하나로 떠오르고 있으며, 국가 및 지자체적으로도 발전소 지근 간척지 대해서 또한 용도 변경에 대한 논의가 활발한 상황임을 고려할 때 해당 권역은 미세조류 기반 바이오 CCU 공정 구축을 위한 유휴부지 확보가 비교적 원활할 것으로 기대

❍ 뿐만 아니라 충청권의 경우 미세조류 기반 CO2 전환을 위해 필요한 영양원인 질소 및 인이 다량 포함된 축산 폐수 (분뇨)가 다수 발생하는 지역으로, 이를 미세조류 배양과 연계하여 가치 사슬을 구축할 경우 미세조류의 CO_2 감축 효율을 극대화하는 동시에 지역 내 폐수 발생 문제 해결을 동시에 도모할 수 있는 최적 입지로 판단

❍ 마지막으로 서부권역에는 바이오 CCU 산물의 제품화 기술과 관련된 기술 수요 기업과 중장기 연구개발 수행 경험이 있는 대학 및 연구소 등이 다수 위치하여 바이오 CCU 공정 기술의 고도화와 경제성 제고를 달성하기 위한 활발한 연계 실증을 추진하기에 적합

□ **권역 내 발전 산업 현황**

❍ 경기지역에 LNG 열병합 발전소의 경우 인구가 밀집된 지역에 위치하며 지역 내 반도체클러스터, 인구 유입 등을 이유로 최소 6기 이상의 발전소를 추가 건설*하는 것으로 알려짐

*출처: https://www.newspim.com/news/view/20230803000451

- 경기권 LNG 열병합 발전소의 경우 인구가 밀집된 지역에 위치하는 경우가 대부분으로 대규모 포집 장치의 설치에 제약이 있으며, 지역 주민의 수용성을 고려한 면적 집약형 온실가스 처리 또는 활용 장치가 도입될 필요가 있음

❍ 충남 지역에 위치한 화력발전소의 경우 파일럿 규모 CO_2 포집 설비의 도입이 추진 중이며, 일부 노후 화력발전소를 대상으로 폐쇄 논의*가 진행 중으로 관련된 회처리장 등의 유휴부지의 활용 방안 모색 중

*출처: https://www.electimes.com/news/articleView.html?idxno=319431

□ **권역 내 바이오산업 현황**

❍ CJ제일제당, 대상, 파이코일바이오텍 등 바이오 기업에서는 ESG 경영 및 탄소감축 시류에 발맞춰 발효 중 발생하는 고농도 CO_2가 포함된 배기가스 처리 및 활용 방안 중 하나로 산업 발효기 배기가스의 희석 주입을 통한 미세조류 광생물반응기 운전 및 해당 설비에서 생산된 미세조류 바이오매스를 고부가가치화하는 사업을 검토 중

□ 대산석유화학단지에서의 산업구조에 따른 대량의 CO_2 발생

❍ 대산석유화학단지는 우리나라 제3의 석유화학단지로, 대량의 CO_2를 직·간접으로 배출

- 산단에 석유화학기업, 산단 기업의 전력을 공급하는 발전사, 산단 기업에 공업용수를 공급하는 해수담수화 입주(건설 중)
- 대산석유화학단지가 속한 서산시는 2020년 전국에서 9번째로 많은 20,552 천 톤의 CO_2를 배출하여 전국 배출량의 3.05%를 차지

- 서산시는 대산석유화학단지 옆에 화학제품 제조업 중심의 대산그린컴플렉스 일반산업단지를 추가로 조성하고 있어, 앞으로도 CO_2 배출은 증가할 것으로 예상

〈그림 Ⅲ-5〉 충남 서부권 산업단지 추가 조성으로 CO_2 배출량 증가 예상

*출처: 대전일보, 「충남 서산, 산업단지 200여 만㎡ 추가 조성」, '23.07.20

□ 기후변화에 따른 물 부족 심화로 해수담수화 역할 증대

❍ 충남 서부 대산석유화학단지에 국내 최대 해수담수화 시설 입주

- 해수담수화는 물 부족을 해결할 유일한 실질적 수단
- 대산석유화학단지는 고질적인 물 부족 문제가 지속되어, 입주기업 용수 부족 해결을 위해 국내 최대(10만 톤/일)의 해수담수화 플랜트 건설 중(24년 준공 예정)
- 해수담수화의 소비 전력 공급을 위해 발전량이 증가할 것으로 예상하며 이는 곧 CO_2 배출량 증가로 이어짐

❍ 해수담수화 설비 가동에 의한 CO_2 간접 배출

- 해수담수화는 대표적인 전력 다소비 업종으로 대규모의 CO_2 간접 배출원(담수 1톤 생산에 CO_2 1.8 kg/톤이 배출되는 전력을 사용)
- 담수 생산을 위해서는 바닷물의 염분에 의한 삼투압보다 큰 압력(60 bar 이상) 필요
- 해수담수화 용량이 증가할수록 CO_2 배출도 늘어나는 구조이므로, 장기적으로는 물 부족 문제가 더욱 심화될 가능성이 높음

❍ 해수담수화 업계의 세계적 현안은 ①저탄소 공정 운영, ②농축수의 자원화 및 감량화임

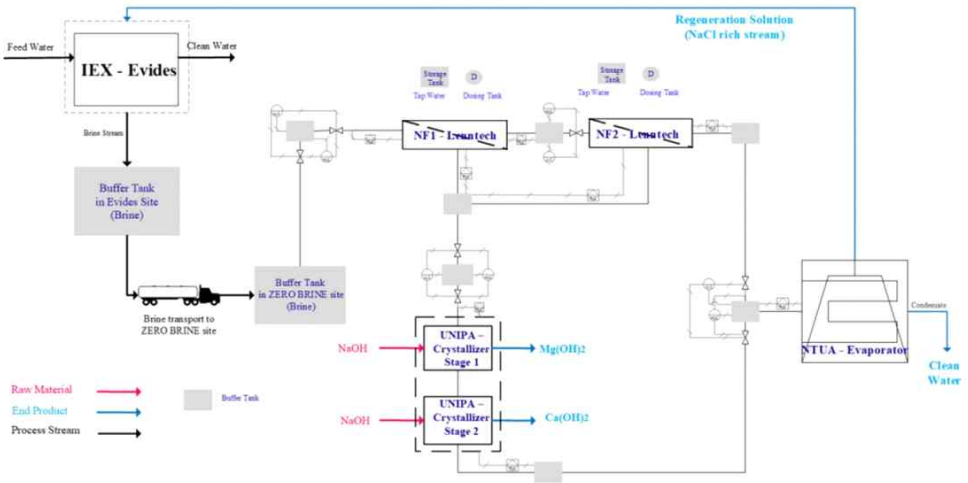
- 해수를 취수하여 입자성 물질을 제거하는 전처리 공정 후 역삼투막(Reverse Osmosis, RO)에 공급하면, RO를 통과한 담수와 통과하지 못한 농축수가 같은 양으로 발생
- 농축수에는 전략광물인 Mg를 비롯한 용존이온의 농도가 바닷물보다 2배 높음
- CO_2를 광물로 전환하는 원료로 농축수 중 Mg, Ca는 고형의 산업부산물 대비 함량은 낮으나, 이온 상태로 존재하므로 공정비용이 가장 적게 드는 장점이 있음
- 마그네슘은 세계적인 핵심광물로, 농축수 중 마그네슘 농도는 바닷물보다 2배 높아, 농축수를 통한 마그네슘 내재화 기술개발 중
- 농축수 중 염화나트륨을 활용함으로써 해양에 방류되는 농축수 염분농도를 저감화하는 기술개발 중
- 에너지 회수장치(Energy Recovery Device, ERD) 개발로 해수담수화의 역삼투 에너지 회수율은 이미 90% 수준*에 도달

*이원태, 코센웹진, Vol.126(2012)

- 그럼에도 불구하고 여전히 에너지 소비량이 높아, CO_2 배출량 감소는 중요한 이슈*

*Chae, S.H. and Kim, J.H, Desalination and Water Treatment, 219(2021) p.405-412, https://www.deswater.com/DWT_articles/vol_219_papers/219_2021_405.pdf

〈그림 Ⅲ-6〉 해수담수화 농축수 주요성분의 자원화 및 감량화 기술 개발 예



*출처: Zero Brine Ref, 「D2.6 Report on the operation and optimization process of the pilot plants at Botlek」, 2022. 02.

□ 대산석유화학단지 특성에 맞춘 CO_2 감축 기술개발 필요

- ❍ 석유화학·발전·해수담수화 기업의 CO_2 배출 현안 해결
- ❍ CO_2와 해수담수화 농축수의 동시적 자원화: CO_2 활용, 마그네슘 내재화, 수소 생산 등과 연계
- ❍ 성공적인 비즈니스 모델의 개발과 구현으로 해수담수화 증가 추세에 따른 성과확산 가능

〈그림 Ⅲ-7〉 대산석유화학단지 맞춤형 CO2 광물전환 기술 개발 성공을 통한 해외로의 성과 확산

마. 추진 필요성

□ 국가 탄소중립 감축 주요 수단

❍ CCUS는 국가 온실가스 감축 목표 달성을 위한 중요한 감축수단이므로 (2030년 CCUS를 통해 1,030만톤을 감축하는 목표 설정) 상용 가능한 기술이 CCU 시장을 선도할 수 있도록 전략제품의 조기 상용화가 필요

- 국내에서도 탄소중립 실현을 위해 CCUS 기술개발을 추진 중이나, CCU 기술의 경우 경제성 등의 이슈로 아직 상용화된 CO_2 활용 제품이 거의 없는 상황이어서 CCU 시장을 선도할 수 있는 주요 전략제품을 선정하고, 이의 상용화 기술개발을 적극 추진할 필요성이 증대
- CO_2 기반 폴리머의 경우, 이미 시장이 형성된 화학제품으로 CO2 전환을 통해 국가 온실가스 저감에 기여할 수 있도록 집중 지원 필요

□ 석유 유래 제품을 대체할 수 있는 친환경 폴리머 개발

❍ 온실가스 감축을 위한 CO_2 활용은 단분자 위주의 전환으로 연구 개발되고 있으나, 대부분의 고분자들이 석유화학 유래 탄소 기반이기 때문에 이를 위한 큰 사용량이 보장되어 있어, 석유화학기반 고분자를 CO_2 기반으로 합성하여 활용하는 기술이 필요

- 현재 CO_2 기반 고분자 소재들이 개발되고 있으나, 대부분 석유 기반 원료 (단량체)를 필수적으로 사용하여, CO_2 배출량 저감에 효과적이지 않음
- 이에 석유기반 원료를 사용하는 것을 대체하여, CO_2 배출량 저감에 크게 이바지 할 수 있는 CO_2 전환 공정을 통한 폴리머 소재 기술 개발이 필요

❍ CO_2 기반 폴리머의 상업적 가치 확대를 위한 다양한 물성/조성/효율성을 다루는 기술 확보가 필요

- 고분자는 특성상 응용에 따라 폭넓은 물성을 나타내야 하므로, 상업적 가치를 높이고 활용성을 높이기 위해서는 다양한 단량체 생산 기술이 필요

- 고분자 내에 CO_2를 더욱 많이 활용/고정하기 위해서는 새로운 CO_2 기반 단량체 합성 기술과 합성 단량체 기반 고분자의 넓은 범위의 물성을 고려하여 개발이 필요
- 기존의 복잡한 공정은 에너지 문제 등이 결부되어 배출량 저감에 효과적이지 않기 때문에, 효율적인 촉매 개발과 이에 따른 공정 개발 필수

□ 대산석유화학단지는 전국 3대 석유화학산업단지로 업종 특성상 CO_2 배출이 많은 지역*

*충남리포트 Vol.320,「서산시 대산석유화학단지의 사회적비용 및 대응방안」, 18.07.25.

❍ 대산석유화학단지가 속해있는 서산시는 전국에서 9번째로 많은 온실가스를 직접 배출하는 지자체(2020년)

- 20,552 천 톤 CO_2eq.를 배출하여 전국 총배출량의 3.05%*에 해당

*출처: 디트뉴스24,「충남 당진시, 온실가스 직접 배출량 전국 최다 '불명예'」, 23. 06. 26.

❍ 대산석유화학단지의 배출 온실가스에 의한 직접적 사회적 비용은 매년 6.7천억 원으로 추정(2015년)

- 입주기업 특성상 CO_2 배출이 많은 지역으로, 산업 특성에 맞게 CO_2를 처리하고 감축하는 사업모델 개발 필요

□ 대산석유화학단지에 국내 최대 규모의 해수담수화 설비(10만 톤/일)가 운영됨에 따라 발생할 수 있는 CO_2 및 농축수의 염분농도 저감 기술개발 시급

❍ 해수담수화의 전력소비로 증가할 CO_2 간접 배출량은 최소 6만 톤/년에 이를 것으로 예상

❍ 담수생산량과 동일한 10만 톤/일의 자원화가 가능한 미활용 농축수가 해양으로 배출될 예정

□ 대산석유화학단지 특성에 맞춘 전략 필요

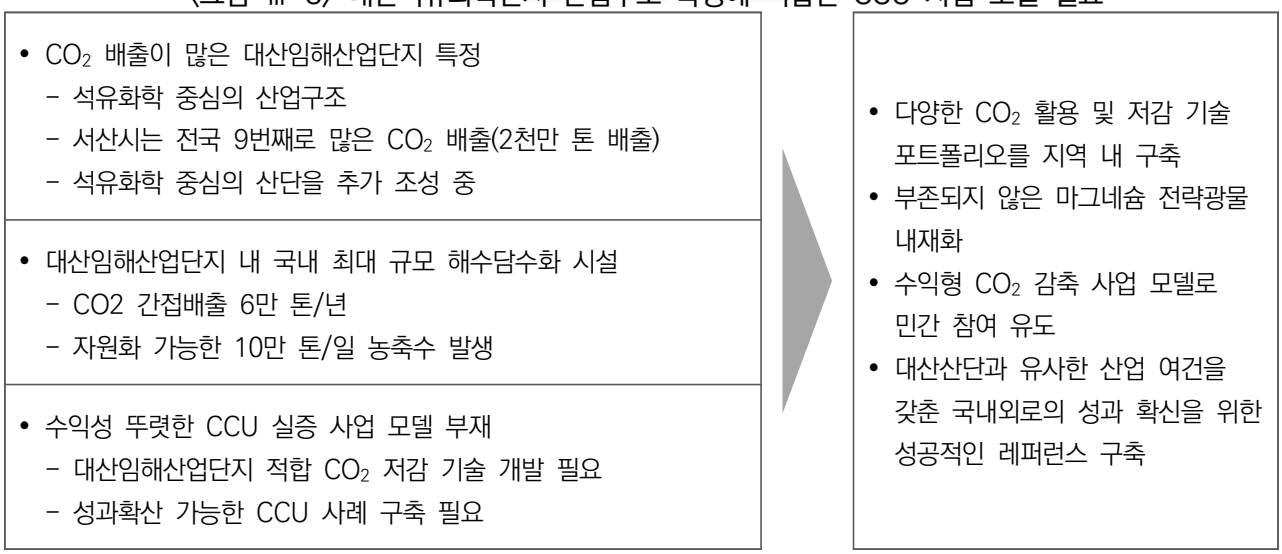
❍ CO_2 배출이 많은 특성 외에, 국내 최대 규모의 해수담수화 설비 가동(2024년)에 따른 이슈를 동시에 해결할 수 있는 전략 마련 시급

- 농축수의 자원화를 위한 세계적인 기술 개발 진행 중
- 자원화가 가능한 해수담수화 농축수 활용 기술의 국산화 필요

❍ 민간 참여를 유도할 비즈니스 모델 전략 필요

- 세계적으로 수익성이 뚜렷한 CCU 실증 사례가 없음
- 우리나라는 CO_2 배출권이 톤당 1만 원 미만이어서 수익성 있는 CCU 사업화가 더 어려움
- 따라서 정부의 지원금에 의존하는 사업모델을 벗어나, 민간의 자발적 참여를 유도할 수 있는 수익형 CO_2 감축 사업모델이 마련되어야 함
- 대산석유화학단지와 유사한 산업여건을 갖춘 국내외로 성과확산이 가능한 CCU 성공 사례가 필요

〈그림 Ⅲ-8〉 대산석유화학단지 산업구조 특성에 적합한 CCU 사업 모델 필요



바. 산업환경

□ 대산석유화학단지 현황

❍ 대산석유화학단지는 4,775,000톤/년의 에틸렌 생산 능력을 갖춘 국내 제3의 석유화학단지

❍ 단지(대산임해산업지역)에는 대기업인 한화토탈에너지스, 롯데케미칼, 엘지화학, 현대오일뱅크가 개별입주해 있으며, 대죽자원비축 국가산단과 6개의 일반산업단지(대죽, 대산, 대산컴플렉스, 현대대죽, 대산3, 씨지앤대산전력)가 집적되어 있음

❍ 대산석유화학단지가 입지한 서산시의 2019년 총부가가치는 코크스, 연탄 및 석유정제품 제조업에서 5조 2,015억 원, 화학물질 및 화학제품 제조업에서 4조 8,411억 원으로 서산시 전체 제조업 중 각각 41.0%, 38.2%의 비중을 차지

❍ 전국적으로는 코크스, 연탄 및 석유정제품 제조업 분야에서 21.5%, 화학물질 및 화학제품 제조업 분야에서 10.2%를 차지하며, 충남지역에서는 각각 98.9%와 67.7%로, 충남을 대표하는 석유화학단지

□ 대산석유화학단지의 현안

❍ **(국내 산업적 측면)** 최근 국제 유가 및 석유화학 제품의 주 원자재인 나프타의 가격 상승, 국가 탄소중립정책, 시설 노후화 및 사회적으로 요구받는 ESG 경영 등 지역 산업환경을 둘러싼 환경 변화로 지역의 산업 경쟁력의 약화가 우려됨. 또한 인근 대호호 저수율이 낮아지면서 안정적인 공업용수 부족이 심각한 상황

❍ **(해외 산업적 측면)** 세계적인 환경규제 확대, 탄소중립 이행의 부담, 중국의 설비용량 증설, 중국 및 인도 등 주요한 수출 시장의 규제 강화 등 글로벌 경쟁력 저하도 우려되는 상황

❍ **(환경적 측면)** 중대해재 처벌 등에 관한 법률로 대산석유화학단지 내 입주기업에서 발생하는 사고의 부정적 영향이 더욱 부각될 수 있어, 안전관리 강화에 따른 기업 부담이 가중된 상황

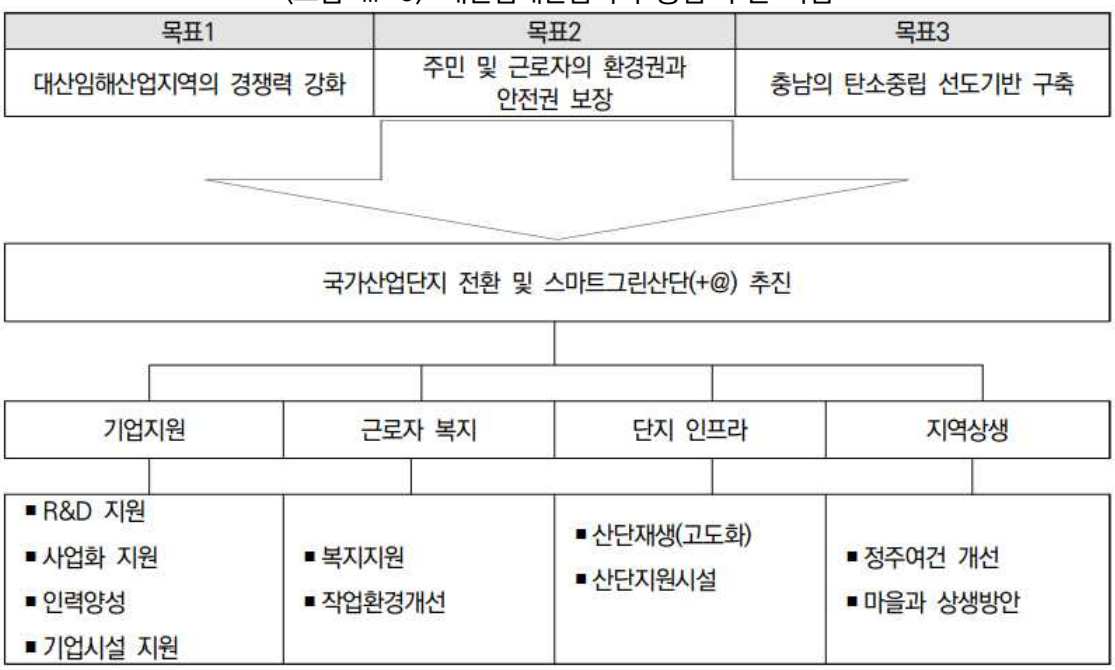
❍ **(정책적 측면)** 대산석유화학단지는 그동안 많은 국세를 납부하고 있음에도 지방세율이 낮고 정부의 지원이 미흡한 탓에 산업생산 효과가 지역에 유입되지 못하고 있음: 2021년 기준 대산석유화학단지는 70조 원의 매출을 올려 24조 3,711억 원의 국세를 납부함에도 지방세는 3,095억 원에 불과

□ 대산석유화학단지의 체계적 관리를 위한 추진 계획

❍ 인근 주민과 근로자를 통한 조사 결과 대산석유화학단지의 체질개선과 체계적 관리를 위해서는 국가산업단지로의 전환이 필요한 것으로 나타남

❍ 서산시는 ①충남 석유화학산업의 경쟁력 강화, ②주민 및 근로자의 환경권과 안전권 보장, ③충남의 탄소중립 선도를 위한 기반 구축을 위해 국가산업단지로의 전환 시 중점적으로 추진할 사업을 선정

〈그림 Ⅲ-9〉 대산임해산업지역 중점 추진 사업



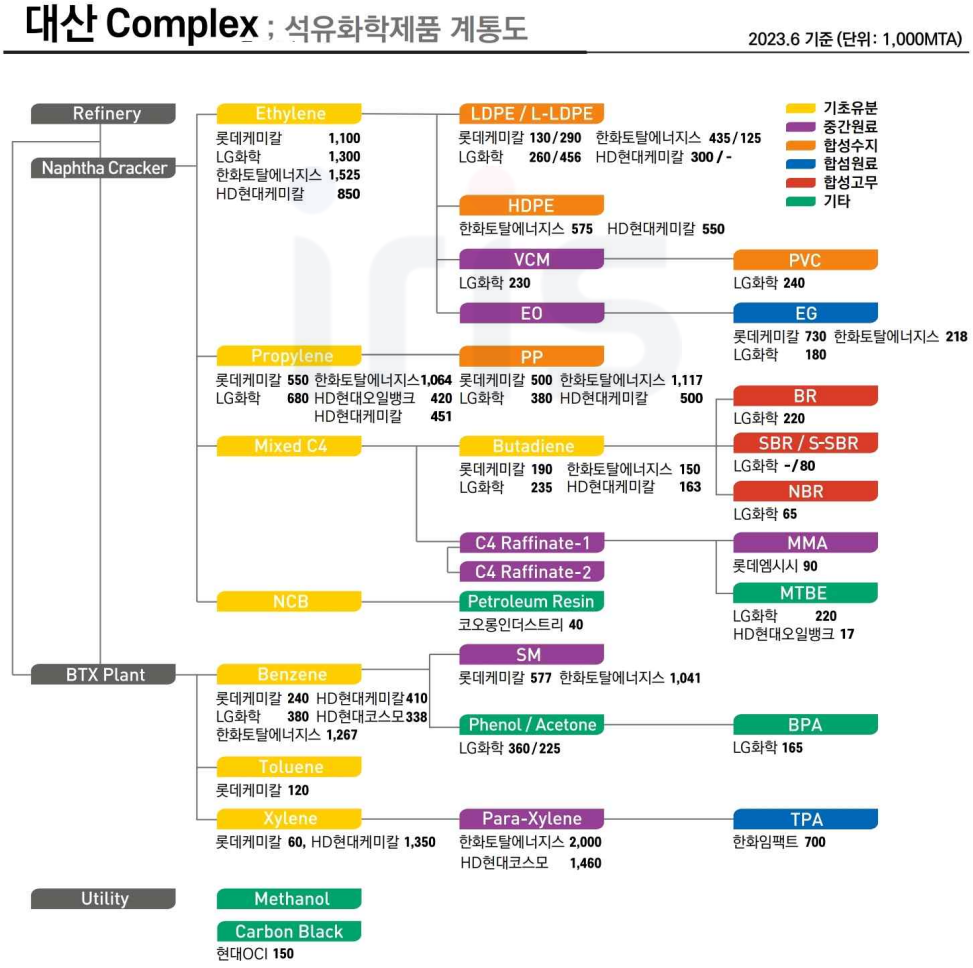
*출처: 충남연구원, 대산석유화학단지 국가산업단지 전환방안 연구, 22. 12. 31.

□ 온실가스 多배출 산업 동향

❍ 산업환경 변화로 우리나라 석유화학산업을 주도한 대산석유화학단지의 경쟁력 약화

- 1,516만 m2 규모에 70여 개 기업, 1만 5천여 명 종사자 근무
- 대산석유화학단지에는 석유화학 대기업 4개사 입주. 1개의 국가산단(대죽자원) 및 6개의 일반산업단지(대죽, 대산, 대산컴플렉스, 현대대죽, 대산3, 씨지앤대산전략) 집적

〈그림 Ⅲ-10〉 대산석유화학단지 제품 계통도



*출처: 한국석유협회

- 전국 매출액 기준으로 코크스, 연탄 및 석유정제품 제조업 중 21.5%(5조 2천억 원), 화학물질 및 화학제품 제조업의 10.1%(4조 8천억 원)의 비중을 차지

- 주원료인 나프타의 가격 상승, 탄소중립 국가정책, ESG 등 산업환경 변화로 경쟁력이 약화 되고 있음
- 미국의 인플레이션감축법(IRA), 유럽의 핵심원자재법(CRMA) 및 탄소국경조정제조(CBAM) 등 국제적인 보호무역 및 탄소중립 메커니즘이 시행되고 있어, 30년 이상 된 노후 공단의 친환경・탄소중립 첨단산업단지로의 변화가 시급한 실정

❍ 대산석유화학단지 용수공급 현황

- 용수공급 계통은 아산공업 침전수를 수원으로하는 K-water 통합공급시설과 대호지 수원의 자체 산업용수 시설, 2중 공급체계로 구성
- K-water 자체 시설을 통해 약 189.9천 m3/일의 용수를 사용하고 있으며, 전체 이용률은 약 65.8%(K-water 통합공급시설 75.9%, 기업 자체시설 58.7%)임

〈표 Ⅲ-27〉 대산석유화학단지 공업용수 공급 현황

기업명	시설용량 (천 m^3/일)			공급량(천 m^3/일)		
	계	기업체	K-Water	계	기업체	K-Water
한화토탈에너지스	95.5	65.5	30.0	59.4	30.0	29.4
현대오일뱅크	62.0	30.0	32.0	35.7	9.5	26.2
엘지화학/롯데케미칼	104.0	74.0	30.0	91.4	60.0	31.4
케이씨씨	17.0	-	17.0	2.6	-	2.6
예비량	10.0	-	10.0	0.7	-	0.7
계	288.5	169.5	119.0	189.8	99.5	90.3

- KDI에 의한 대산석유화학단지 공업용수 수요 조사 결과 2030년에 약 8.8만 톤/일에 이를 것으로 전망

〈표 Ⅲ-28〉 대산석유화학단지 공업용수 수요 조사 결과(일평균)

(단위: m^3/일)

연도	2025	2026	2027	2028	2029	2030
엘지화학	17,720	17,720	17,720	17,720	17,720	17,720
유니드	2,840	2,840	5,680	5,680	5,680	8,520
현대오일뱅크	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000
씨지앤대산전력	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
한화토탈에너지스	19,320	19,320	19,320	19,320	19,320	19,320
한화종합화학	9,000	9,000	9,000	9,000	9,000	9,000
열병합발전	6,700	6,700	6,700	6,700	6,700	6,700
대산파워	2,745	2,745	2,745	2,745	2,745	2,745
합계	82,325	82,325	85,165	85,165	85,165	88,005

*출처: KDI

❍ 만성적 물 부족과 기업의 수요 예측에 따라 2024년 준공 목표로 일 10만 톤 규모의 해수담수화 설비 건설 중*

*KDI, 대산임해산업지역 공업용수도사업 예비타당성조사 보고서, 2018

- 해당 사업은 대산석유화학단지지역의 공업용수 공급 뿐 아니라, 해외 진출을 위한 건설과 운영 기술 개발의 레퍼런스 성격도 지님
- 생산유발효과는 3,788억 원, 부가가치 유발효과는 1,490억 원으로 추정되며, 유발효과는 대부분 충남에서 발생할 것으로 예측

❍ 국내 최대 해수담수화 설비 가동으로 인한 환경 영향

- 업계의 최근 이슈는 해수담수화의 농축수 배출에 의한 해양생태계 위해성과 전력 사용에 의한 CO_2 배출 유발에 관한 것임
- 설계 유입수의 TDS는 34,520 mg/L로, 유사 사례 적용 시 농축수의 TDS는 55,578 mg/L로 예측

- 농축수는 비중이 큰 탓에 특히 해양 저서 생물의 삼투압 교란을 일으키는 염독성 문제가 있음
- 최근 국내외에서 해수담수화 농축수 중 Mg 등의 유용 성분의 회수, NaCl 회수를 통한 TDS 저감, 물 회수율 향상을 위한 기술 개발이 이루어지고 있음
- 해수담수화의 소요 전력 원단위는 3.6 kWh/m3로 예상되며, 8.8만 톤/일의 용수 수요량 공급 시 316,818 kWh/일 전력을 사용할 것으로 예상
- 간접배출량은 150.394 톤/일-CO_2로 연간 5만 톤*의 CO_2를 간접 배출

*계산 근거: https://tips.energy.or.kr/popup/toe.do#

❍ 대산석유화학단지의 여건과 성장 가능성을 고려한 최적의 CCU 솔루션

- 해수담수화 농축수를 이용한 CO_2 광물전환 실증화 기술은 현 상황에서 대산석유화학단지에 적합한 CCU 솔루션이며, 향후 광양 해수담수화 및 해수담수화 설비가 절실한 여수 석유화학산업 국가산단으로도 성과 확산이 가능*할 것임

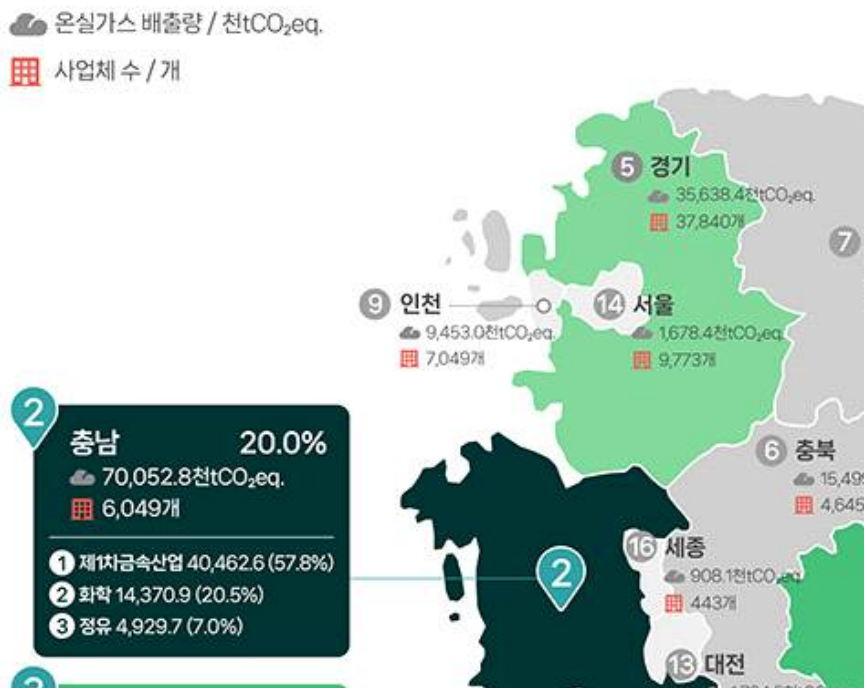
*출처: 비즈니스포스트, (23. 09. 19) , https://www.businesspost.co.kr/BP?command=article_view&num=327766

- 해외로는 사우디아라비아의 네옴시티 및 호주 애들레이드 해수담수화에 기술 수출이 가능할 것으로 예상되며, 석유 시추 시 발생하는 고염분의 Flowback & Produced Water를 이용한 CO_2 저감에도 활용될 수 있음
- 대산석유화학단지의 산업 여건, 서산시의 정책 추진 현황, 개발 기술의 장래 성장 가능성을 고려할 때 본 기술의 상용화 추진의 당위성이 높음

❍ 충남은 전국 2번째로 많은 CO_2를 배출하는데, 이 중 27.5%를 석유화학기업이 집적한 서산시 대산석유화학단지에서 배출(2022년)

- 단지 내 엘지화학을 제외한 3대 석유화학기업이 배출한 CO_2는 1천7백만 톤을 상회
- 또한 입주기업에 전력을 공급하는 발전소에서도 CO_2 배출

〈그림 Ⅲ-11〉 충남의 산업부문별 온실가스 배출 순위



*출처: 국가온실가스 배출량 종합정보 시스템

❍ 대산석유화학단지가 속해있는 서산시는 2020년 전국에서 9번째로 많은 20,552천 톤의 CO_2를 배출하여 전국 배출량의 3.05%를 차지

- 2020년 서산시의 총 배출량은 20,552천 톤으로, 직접배출량 중 에너지 41.1%, 산업공정 41.9%이며, 간접배출량은 16.7% 비율

❍ 대산석유화학단지에는 원유 증류, 나프타 분해, BTX를 비롯하여 다양한 화학제품을 생산하는 종합화학기업이 입주하여 국내외의 다양한 산업분야의 요구에 대응하는 포트폴리오가 구축됨

❍ 서산시는 대산석유화학단지를 국가산단으로 전환하여 산단의 고도화와 CO_2 배출 저감을 위한 행정을 추진

〈표 Ⅲ-29〉 대산석유화학단지 석유화학기업 온실가스배출량 추이

(단위: 천 톤 CO_2eq)

년도	기업명				합계§
	현대오일뱅크	한화토탈에너지스	롯데케미칼	엘지화학*	
2017	5,453	4,322	5,944	7,965	15,719
2018	6,179	4,414	5,883	8,072	16,476
2019	6,981	4,239	6,804	8,530	18,024
2020	6,841	4,792	5,574	8,174	17,207
2021	7,510	4,892	7,059	9,018	19,461
2022	6,453	4,848	6,214	8,616	17,515

*출처: 엘지화학의 국내 모든 사업장 전체 통계 (엘지화학을 제외한 3대 사업장 합계)

❍ 그러나 대산석유화학단지의 CO_2 배출은 더 증가할 것으로 전망됨

- 인근에 신규로 조성 중인 68만 평 규모의 대산그린컴플렉스 일반산업단지는 석유화학 기업이 입주할 예정으로, CO_2 배출량은 증가할 전망
- 입주기업의 만성적인 물 부족 문제를 해결하기 위해 신규로 건설 중인 해수담수화 설비로 연간 5만 톤 이상의 CO_2가 간접 배출될 전망

❍ 지역별 규제 현황

- 서산시는 기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본조례를 제정(22.10.19)하고 2050 탄소중립 녹생성장위원회를 발족(23.03.24)
- 주요한 내용으로, ①지역의 물관리 사업, ②탄소중립지원센터의 설립·지정·운영, ③기후대응기금의 설치를 담고 있음
- 대산석유화학단지의 국가산단으로의 전환을 통해 온실가스 저감 등 산업단지를 고도화하는 전략을 추진하고 있으므로 CO_2 광물전환기술의 실증화를 위한 우호적인 행정을 기대할 수 있음

□ 서부권역 기술개발 현황

❍ 현대오일뱅크: 친환경 건축소재 사업

*(참고) 머니투데이, 22.05.31, https://news.mt.co.kr/mtview.php?no=2022053116062691581

- DL이앤씨가 공동 참여
- 탈황석고와 CO_2를 활용하여 시멘트, 콘크리트, 경량블록 등을 제조
- 연 10만 톤의 직간접적 CO_2 저감 효과 기대

❍ 현대오일뱅크: 블루수소 생산

*(참고) 월간수소경제 21.06.15, https://www.h2news.kr/news/article_print.html?no=9048

- 국내 최대 액체탄산 제조업체인 신비오케미컬이 800억 원을 투자
- 연 20만 톤 수소 제조 시 발생하는 36만 톤 CO_2 활용을 목표

❍ 롯데케미칼: 블루수소 생산

*(참고) 데일리안, 21.12.05, https://www.dailian.co.kr/news/view/1059811/?sc=sitemap

- 2021년 국내 화학사 최초로 기체분리막을 이용한 CO_2 포집 실증
- 하이브리드 CO_2 포집 공정(롯데케미칼의 기체분리막을 이용한 CO_2 포집 기술 고도화, 현대건설의 습식포집기술, 한국에너지기술연구원의 제올라이트 기반의 건식 기술을 융합) 개발을 통해 100톤/일 이상*의 CO_2 포집 및 활용 목표

*출처: 가스신문, 22.06.30, http://www.gasnews.com/news/articleView.html?idxno=105653

❍ 롯데케미칼: 중탄산나트륨 생산

*(참고) 롯데케미칼 소식지, 20.07.03, https://www.lottechem.com/ko/media/news/244/view.do

- 전력연구원이 개발한 CO_2의 광물전환에 의한 중탄산나트륨 생산 기술을 사업화
- 중탄산나트륨 1톤 생산 시 CO_2 260 kg의 전환 가능
- 연 10만 톤 규모의 중탄산나트륨 생산하는 플랜트 구축 목표

❍ 엘지화학: 메탄건식개질(Dry Reforming of Methane, DRM)

*(참고) 아시아경제, 22.11.17, https://www.asiae.co.kr/article/2022111708232075987

- CO_2와 메탄을 활용하는 플라스틱 생산 기술로 기존 공정 대비 CO2 배출량 50% 저감 가능
- 2023년까지 1천 톤 파일럿 공장 건설 목표

❍ 엘지화학: 신(新)에너지 실증 플랜트

*(참고) 이데일리, 23.10.18,
https://m.edaily.co.kr/news/Read?newsId=03306246635774232&mediaCodeNo=257&utm_source=https://www.google.com/

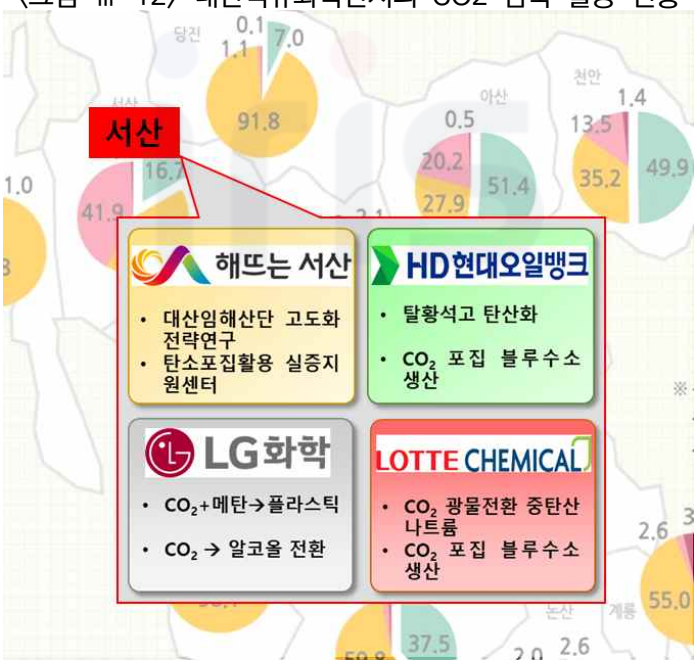
- CO_2를 전기분해하여 합성가스(H2+CO) 제조 후 알코올로 전환하는 기술
- 충남테크노파크, 한국과학기술연구원(KIST)와 공동으로 2025년까지 보령화력 인근에 플랜트 건설 추진(총사업비 40억 원)
- 연간 최대 110톤 CO_2 처리 목표

❍ 인근 중부발전 보령화력은 10 Mw급의 습식 CO_2 포집 플랜트 운영 중

- 전력연구원과 공동으로 개발한 KoSol 프로세스를 통해 하루 200톤의 CO_2를 포집 중이며, CO_2 1톤 당 약 2.3 GJ의 낮은 흡수제 재생에너지 사용*이 특징

*출처: 일렉트릭파워저널, 21.07.01, https://www.epj.co.kr/news/articleView.html?idxno=28137

〈그림 Ⅲ-12〉 대산석유화학단지의 CO2 감축 활동 현황



한화토탈에너지스는 계획 수립 중

사. CCU 관련 주요 이슈

□ 국내 최대규모 석탄화력발전소 보유

❍ 충청남도는 전국 석탄화력발전소의 절반이 입지

- 산업부문의 에너지 소비가 빠르게 증가하고 있음
- 2017년 이후 충청남도는 탈석탄 정책의 필요성을 주도적으로 제기하기 시작했으며, 미세먼지 문제 및 파리 기후변화협약 이후 세계 탈석탄 정책 흐름에 더 탈석탄 니즈가 증가함
- 석탄화력발전소에 대한 지역 경제 의존도가 높은 시·군의 경우 석탄화력발전소 폐쇄로 인해 시・군의 고용, 인구, 지역경제가 큰 타격을 받을 것이라는 우려 지속 제기 중

□ 대산석유화학단지가 속한 서산시의 CO_2 감축 활동

❍ 대산석유화학단지 고도화 전략연구 추진

*(참고) 충남시대 '23.09.01, https://www.icnsdnews.com/news/articleView.html?idxno=84171

- 충남도, 서산시, 충남연구원이 공동 추진
- 석유화학산업의 혁신과 탄소중립을 선도하는 글로벌 클러스터 구축을 목표
- 탄소중립 특구 지정을 위한 전략과제 도출 목표

❍ 서산시: 탄소포집활용 실증지원센터 유치

*(참고) 파이낸셜뉴스 '23.09.04, https://www.fnnews.com/news/202309041421373330

- 충남도, 한국건설생활환경시험연구원, 충남테크노파크, 충남산학융합원, 한국화학연구원이 공동 참여
- 실증지원센터를 대산석유화학단지 일원에 2025년까지 조성(총사업비 460억 원) 할 계획
- 300Nm3급 탄소포집・활용 실증설비 운영, CCU 기술개발 및 시제품 제작 지원, CCU 전문인력 양성 사업을 추진

□ 대산석유화학단지의 CO_2 배출량의 지속적인 증가 요인

❍ 대산석유화학단지 인근에 석유화학 중심의 대산그린컴플렉스 일반산업단지가 새로 조성되고 있어 향후 CO_2 배출량이 더 증가할 전망

- CO2 활용 및 감축을 위한 실효성 있는 CCU 기술 수요 증가 예상

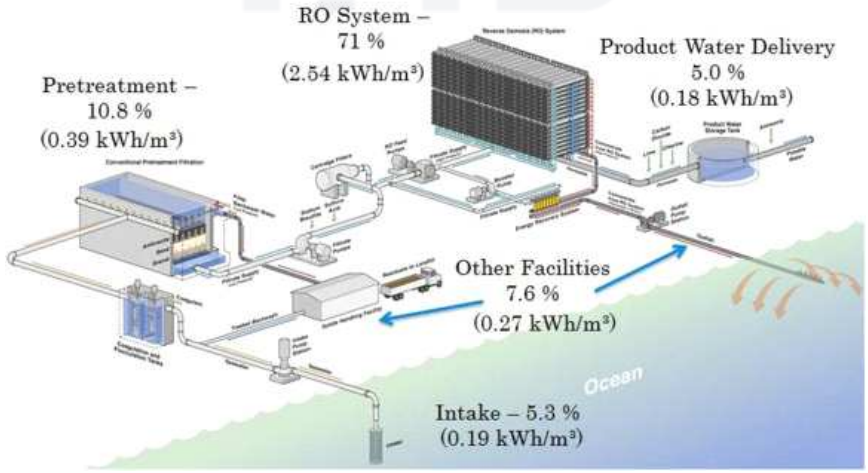
❍ 규모 최대 규모(10만 톤/일)의 해수담수화 시설 운영(24년 준공)

- 인근 담수 자원의 가뭄 취약성, 수질 악화, 수량 부족 등의 문제 발생 계속
- 대산산단 입주 4개사*의 안정적이고 경제적인 공업용수 공급 목적

* 한화토탈에너지스(주), 현대오일뱅크(주), ㈜LG화학, 현대오씨아이(주) 〈대산임해산업지역 공업용수도(해수담수화) 사업 실시협약서, 2019〉

- 중대규모 시설 건설 및 운영실적을 축적하여 세계적인 해수담수화 시장에 참여할 수 있는 기반으로도 활용 가능
- 해수담수화 시설은 담수 1톤을 생산할 때 최소 약 4 kWh 전력을 소비하는 것으로 알려짐(CO_2 간접배출량은 1.8 kg 수준)

〈그림 Ⅲ-13〉 역삼투 해수담수화 공정의 전력 사용량 분석, Voutchkov, N. Desalination, 431(2018)



- 세계 해수담수화 업계의 중대 현안 중 하나인 저탄소 공정 운영을 위한 CO_2 저감 기술 도입이 필요

아. 서부권 주력기술 도출 경위

□ CCU 기술 제품 중 온실가스 감축효과, 부가가치, 시장규모가 큰 R&D 실증·상용화 집중 투자 제품군 중, 남부권역 수요-활용처가 많은 플랫폼 화합물 선정

* 과기부·산업부·환경부 합동으로 추진중인 'CCU로드맵' 전문가 작업반 검토 결과

- 화학전환 분야 : ①합성가스(CO, H_2), ②메탄올, ③올레핀, ④초산, ⑤개미산, ⑥옥살산, ⑦디메틸카보네이트, ⑧프로필렌카보네이트, ⑨폴리카보네이트, ⑩폴리우레탄
- 광물화 분야 : ①CO_2 양생 및 반응경화 시멘트, ②CO_2 광물화 건설소재, ③탄산칼슘, ④무기탄산염(탄산마그네슘, 중탄산나트륨)

□ 폴리카보네이트 및 폴리우레탄은 이미 시장이 형성되어 있고, 조기 상용화를 통한 산업화가 가능한 품목으로 판단되므로 국고 지원을 통한 업종별 파급효과는 물론 세계 최고 수준의 기술 확보 가능

□ CO_2 기반 폴리우레탄, 폴리카보네이트 고분자가 개발되고 있으나, 고분자는 특성상 응용에 따라 폭넓은 물성을 나타내야 하므로, 상업적 가치를 높이고 활용성을 높이기 위해서는 다양한 단량체 생산기술이 필요

❍ 이산화탄소 기반 폴리머의 상용화를 촉진하기 위해서는 이산화탄소 활용량이 높고, 에너지 효율이 좋으며, 다양한 물성을 가지는 제품 개발 기술이 필요

□ **충청남도 탄소중립의 핵심지인 대산석유화학단지**

*(참고) 충남연구원, 대산석유화학단지(대산임해산업지역) 국가산업단지 전환방안 연구, 2022

❍ 대산석유화학단지 인근의 주민(98.1%)과 입주기업의 근로자(99.1%)는 대산산단이 충남의 탄소중립을 위한 핵심 지역이라고 인식(98.1%)

❍ 대산석유화학단지가 속한 서산시는 산단고도화전략을 비롯해 탄소포집 활용 실증지원센터를 유치하여 지역에서 발생하는 CO_2 저감에 적극적인 행정을 추진 중

- 그러나 30년이 넘은 시설의 노후화, 경쟁 석유화학단지인 울산과 여수가 국가산단인 것에 비하여 일반산단과 개별기업의 입자가 혼재되어 있어, 탄소중립을 위한 국가의 체계적인 관리로부터 소외된 지역임
- 서산시는 특별법 제정을 통해 대산석유화학단지를 국가산단으로 전환함으로써 국가차원의 체계적인 탄소중립 지원 정책을 요구하고 있으며, 이를 위한 구체적 실현방안을 마련 중

❍ 그러나 인근에 조성 중인 석유화학 산업 중심의 대산그린컴플렉스 산단과 2024년에 해수담수화 설비가 준공됨에 따라 CO_2 배출은 더욱 증가할 것이 명백함에도, 기업의 자발적 참여를 유도할 수 있는 수익성 있는 CO_2 광물전환 사업모델이 없음

자. 시사점

□ 대산석유화학단지권역 경제적 변화* 및 **시사점**

*출처: 산업연구원, 2023년 경제·산업 전망, 22.11.21; 한국신용평가, KIS Special Report [ESG] 산업별 영향 분석 II: 석유화학, 21.09

❍ 2022년까지 계획된 국내의 생산시설의 신증설이 완료됨으로써, 국내 석유화학제품의 공급 역량은 개선되었으나, 2022년 4분기부터 에틸렌을 제품의 스프레드가 손익분기점($300/톤) 이하로 축소되어 수익성 감소

❍ 원자재가 인상 및 달러화 강세 등에 의한 수요 감소로 국내 석유화학 기업은 정기보수기간 연장 및 가동률을 낮추어 공급 규모를 조절하여 대응 중

❍ 2023년 투자는 기존 생산설비의 효율 개선에 집중하는 모습

❍ (시사점) IRA, CBAM 등 강화되는 국제적 탄소 규제에 대응하기 위해 저탄소 석유화학 공정 및 CCU 기술 개발에 투자가 필요한 시점

□ 서부권역 사회적 변화* 및 **시사점**

*출처: 그린포스트코리아, 23.07.24, https://www.greenpostkorea.co.kr/news/articleView.html?idxno=209715; 임팩트온, 23.09.01, https://www.impacton.net/news/articleView.html?idxno=7156

❍ 신사업 강화를 통한 석유화학기업의 ESG 경영

- 석유화학기업의 '지속가능경영 보고서'를 분석한 결과 ①기존의 석유화학 코어산업의 강화와 지속가능한 성장을 가져올 신사업 강화, ②기존 석유화학 사업 비중을 축소하고 신성장 동력을 확대하는 전략으로 나뉨

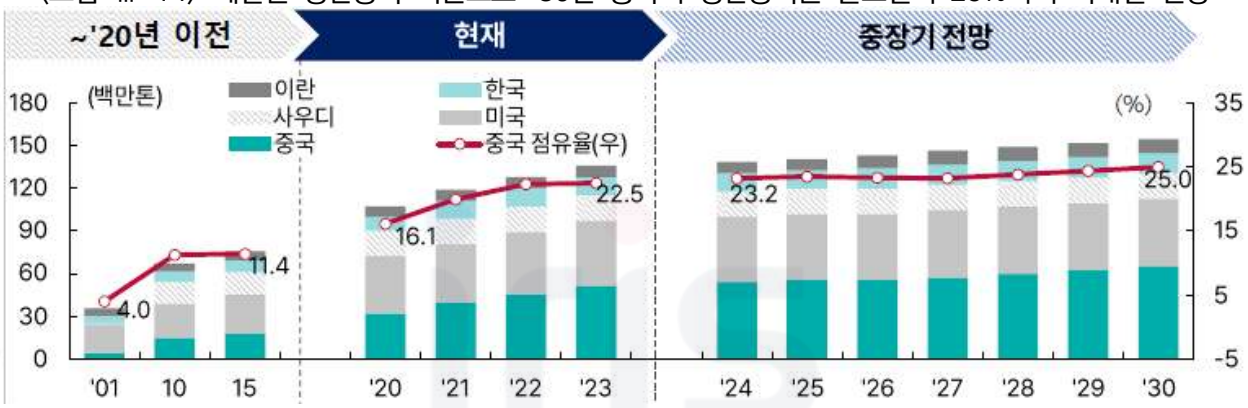
- **(시사점)** 석유화학산업은 철강업계의 수소환원제출기술과 같은 탄소중립을 위한 지배적 기술이 없기 때문에 무탄소 에너지·CCUS·순환경제를 연계한 신산업 창출 필요

□ 서부권역 기술적 변화 및 **시사점**

❍ COTC 공정에 의한 중국의 글로벌 영향력 확대

- 국내 석유화학은 원유가격 변동에 따라 수익률 변동이 큰 NCC 공정 기반
- 중국은 원유에서 직접 기초유분을 생산하는 Crude Oil to Chemical (COTC) 공정이 증설되고 있어, 대량생산과 원가절감 가능: 25년 순수출국으로 전환될 전망
- (시사점) 한계에 직면한 범용사업 정리 및 친환경 플라스틱 개발, CO2 저감기술의 실증 등 중국과 차별화된 생존 전략 필요

〈그림 Ⅲ-14〉 에틸렌 생산능력 기준으로 '30년 중국의 생산능력은 글로벌의 25%까지 확대될 전망



*출처: 하나금융경영연구소, 2024년 일반산업 전망, 23.10.18

3. 중부권 플래그십 프로젝트 개요

가. 중부권 사업목표 및 극복과제

□ 비전

시멘트 최대 생산지인 중부권을 중심으로 한 전략산업 맞춤형 CCUS 산업 클러스터 조성

❍ 석회암 지대인 지역적 특색을 기반으로 국내 주요 시멘트 社(한일시멘트, 한일현대시멘트, 성신양회, 아세아시멘트 등)가 다수 밀집

- 건설용콘크리트 2차 응용제품 제조 社(데코페이브 등) 및 레미콘 社가 다수 밀접하게 위치함

❍ 시멘트 社와 2차제품 제조 社의 거리는 약 3km 정도로 시멘트 제조공정 배출 배가스 내 CO_2 포집/이송을 위한 이송라인 구축이 상대적으로 수월함

❍ 중부권에 위치하고 있는 다수의 콘크리트 2차제품 제조업체는 현재 블록류를 생산하고 있는 업체로 밀폐형 양생실을 운영중

- 공정 설계 변경을 최소화 시킬 수 있는 방향으로 2차제품 제조용 CO2 공급이 가능해 산업화 가속화 가능함

❍ 유효하게 활용할 수 있는 산업단지가 밀집되어 있어 시멘트 공정배출 배가스에서 포집한 CO_2를 콘크리트/레미콘 제조 시스템에 적용할 수 있는 CCUS 직접화 단지 구축이 용이함

□ 목적

시멘트 산업 특성을 활용한 CCUS 광물탄산화 건설재료 제품화 기술기반 확립

❍ 시멘트 산업은 국토건설교통산업에 포함되어 있는 대표적인 탄소 다배출 산업으로 탄소중립 정책의 주요 대상임

❍ 강화되는 탄소배출 기준을 만족하기 위해서는 탄소저감을 위한 CCUS, 친환경 시멘트, 자원 재활용 등이 필수적이나 실질적인 기술 고도화, 산업화 연계기능 및 제도적 기반은 미약한 상황임

❍ 이에 시멘트 공정배출 배가스 내 CO_2를 자원으로 활용하여 CO_2 반응형 시멘트를 활용한 콘크리트 양생기술 및 in-situ 탄산화 기술과 연계함에 따라 CCU 광물탄산화 건설재료 제품화 기술기반을 확립하고 지역권 내 서플라이 체인을 구축하고자 함

□ 성과목표

❍ 국내 시멘트 산업의 안정적인 CO_2 감축방안 확보

- 시멘트 제조 공정배출 CO_2 감축 : 석회석 사용량 감축 및 클링커 소성온도 저감에 따라 보통포틀랜드시멘트 제조공정 배출 CO_2 중 90% 이상을 차지하는 클링커 단계에서 배출되는 CO_2 배출 저감할 수 있는 생산공정 시스템 구축
- 국내 수급 원료를 활용한 경제성 및 산업성 확보 : 보통포틀랜드시멘트 제조 시 사용되는 원료물질을 동일하게 사용함에 따라 일반적으로 저탄소/고성능/고내구성/시멘트 제조 시 가장 문제시되는 원료물질 수급 부분에서의 경제성 및 산업성 확보

❍ 중부권 내 시멘트 및 시멘트 분야 건설산업의 장기적인 CO_2 감축기술 실현

- 설비변경 최소화에 따른 산업화 가속화 : 기존 시멘트 제조설비, 시멘트 콘크리트 2차 제품 제조설비 및 레미콘 제조설비를 활용한 CO_2 감축기술 실현
- 전·후처리 공정 없는 광물탄산화 기술 확보 : CO_2 여과공정 없이 산업 배출배가스 내 CO_2 직접 활용함에 따라 환경 유해성 및 공정변경 등의 문제에서 비교적 자유로우며, 광물탄산화 결과물은 별도의 가공공정 없이 블록, 타일 등의 2차제품 및 레미콘 등의 건설재료로 직접활용
- CO_2를 활용한 장기적인 자원화 기술 개발 : 권역 권 내 밀집되어 있는 시멘트 사와의 연계 협력을 통해 CO_2 포집/이송/활용 기술 시스템 구축에 따른 CCU 전략적 요충지로 도약

- 탄산화 재료의 활용 및 자원화 : 시멘트의 수화 및 탄산화 광물상의 결정상에 CO_2를 고정화함에 따라 잠재적인 CO_2 누출에 대한 우려없이 건설자료 활용하여 기후변화 대응에 기여

❍ 국내 포집 CO_2를 활용한 CCUS 기술 실증화 방안 마련

- 포집 CO_2를 산업에 적용하기 위한 사업화 모델 구체화 : 포집된 CO2를 활용하는 과정에서 발생하는 에너지 소비량, 간적접으로 발생하는 CO2 총량 등 기술의 경제성 측면에서의 경제성을 확보할 수 있는 국가 차원의 실증화 기반 마련

□ 극복과제

❍ 시멘트산업 배출 CO_2 포집 및 자원화 수단이 수반될 수 있는 기술개발

- 생산 공정 과정에서의 감축 수단만을 통한 탄소중립 혁신공법 부재
- 시멘트 이후 공정인 콘크리트 및 건설산업에서의 탄소중립을 위한 밸류체인별 감축 전략 미흡

❍ 시멘트 분야 건설산업의 경제성 및 산업성 가치사슬을 완성하기 위한 기술혁신 가속화

- CO_2 양생 콘크리트 등 CO_2 감축효과는 있으나 기존제품 대비 높은 가격으로 경쟁력 확보를 위한 기술개발 시스템 미흡
- 수익 창출이 가능한 'CO_2 포집-활용 제품화' 가속을 위한 산·학·연 공동 연구개발 전략 부족

❍ 민간 R&D 참여 유인을 위한 R&D 실증 및 사업화 플랫폼을 구축

- 상용화 제품 후보군 우선순위 선정에 따른 조기 사용화 및 기술 보급·확산 기반 미완성
- R&D 투자에 따른 세액공제, 매칭비율 조정, 기술료 면제 등의 방안 마련 필요

CO2 포집 및 자원화 수단이 수반될 수 있는 기술 부재	경제성 및 산업성 가치사슬을 완성하기 위한 기술개발 시스템 미흡	기술보급·확산을 위한 R&D 실증 및 사업화 플랫폼 부재
■ 시멘트 클링커 단계에서의 CO2 감축을 위한 실질적인 기술 부재 ■ 시멘트 이후 공정인 콘크리트/레미콘/2차제품 등의 공정에서의 CO2 감축을 위한 벨류체인 전략 미흡	■ 상용화를 위한 공정기술 확보에 대규모 예산 기반 실증사업 필요 ■ 'CO_2 포집-포집 CO_2 활용 제품화'를 위한 공동 연구개발 시스템 미흡	■ 기술 보급 및 조기 사용을 위한 상용화 방안 부재 ■ R&D 투자 유인을 위한 기술별 혜택 방안 및 실증화 마련을 위한 플랫폼 부재 *미국 : CO_2 기반 콘크리트, 화학연료, 플라스틱 등의 공정에서 배출되는 CO_2를 감축시 세금혜택을 주는 제도를 실시 *유럽 : 탄소배출권 할당 수익으로 조성되는 혁신기금을 통해 CCUS 기술지원

□ 사업 범위

❍ 콘크리트 CO_2 양생 및 콘크리트/레미콘/2차제품 등 시멘트 분야 건설재료 제조 동일공정에 시멘트 산업 배출 CO_2를 주입하여 탄산화공정을 적용하는 기술로서, 기존 콘크리트/레미콘/2차제품 제조에 사용되는 이산화탄소 반응경화 시멘트 및 포틀랜드 시멘트 등의 탄산화 반응을 활용한 CCUS 광물탄산화 기술개발 목표

❍ 연구개발은 크게 이산화탄소 반응경화 시멘트 제조 원천기술 확보 및 시제품 제조 실증화, 콘크리트 CO_2 양생 기술 확보에 따른 2차제품 제조실증화 기술 개발, in-situ 탄산화 실증 공정 기술 개발, 시멘트 산업 배가스 포집/활용기술 개발로 구분할 수 있음

- (제조 원천기술 개발) TRL 6 수준의 연구개발 결과를 토대로 콘크리트 CO_2 양생 기술 및 in-situ CO_2 혼합 탄산화 효율 극대화를 위한 이산화탄소 반응경화 시멘트 및 high calcium 시멘트 제조 실증 기술 개발 및 생산 시제품의 탄산화 반응성능 평가
- (콘크리트/레미콘/2차제품 제조 실증화 기술 개발) TRL 6 단계 수준의 연구결과를 기반으로 한 시작품 생산기술 확보 및 기술적·환경적·경제적 효과에 따른 CCUS 지역산업 입지적용 특성 확인
- (제조공정 기술개발_실증적용) 밀폐형 콘크리트 양생 챔버 및 6m3 규모 레미콘 제조 실생산설비를 활용한 산업적용 공정운전 기술개발 및 산업화 시스템 확립

- (시멘트산업 배출 배가스 활용 기술개발) 시멘트 산업 배출 배가스 포집/이송/주입 공정 설계 및 중부권 CCU 산업단지 연계 운영을 위한 기술확산 비즈니스 모델 확립

❍ 콘크리트 CO_2 양생 및 in-situ 탄산화 기술 개발 실증에 활용될 CO_2를 국내 시멘트 주요사가 다수 밀집되어 있는 충북 단양 지역을 거점으로 계획하고 있으며, 단양 신소재 산업단지 및 CCU 일반 산업단지 구축을 통해 탄소광물화 건설재료 산업의 서플라이 체인을 확립하고자 함

❍ 실증화 기술개발 범위를 통용하여 콘크리트 제품 및 공정설계 표준안 개발, 온실가스 감축 신규 방법론 개발로 중장기 CO_2 감축 인증 방안 마련 계획

나. 개요

□ **(기본 추진 방향)** 중부권에 위치한 시멘트 산업 특성에 맞는 CCU 분야로 세계적으로 가장 빠른 실용화 기술인 시멘트·콘크리트 탄산화기술의 중부권 집적화 목표로 실증화 추진

❍ 실질적인 탄소감축효과 구현, 장기적인 시장확대 가능성 및 지역적 입지 여건을 고려한 시멘트산업 연계 CCU 건설제품 상용화 목표

- 중부권 CCU 산업육성전략을 기반으로 기술개발(원천기술연구, 실증연구), CO_2 공급 인프라구축, 산업화 지원체계구축 및 네트워크 활성화와 연계하여 서플라이 체인 활성화 목표 (시멘트→2차제품→건설사→모니터링)

탄소광물화 CCU 제품 생산기술 실증		국가 탄소중립 CCU 산업생태계 기여
시멘트 산업 연계 CCU 기술 건설재료·제품화 기반 확립	→	탄소광물화 기술의 건설재료·제품화 Supply Chain 구축

□ **(CO_2 공급 및 활용 방향)** 중부권에 위치한 시멘트사 발생 CO_2를 고농도화 포집·활용 및 배가스 직접 활용 2가지 프로세스를 고려한 실증 추진

❍ 고농도 포집을 위한 다양한 포집 시스템 적용연구(습식법, 건식법, 막분리법 등) 진행 및 중부권 CO_2 포집·공급·활용 허브 역할 수행

- 시멘트사 공정상 유리한 조건의 포집시스템 발굴 및 대용량 포집 CO_2의 중부권을 중심으로 내륙권 활용처로 원활한 공급을 위한 이송 프로세스 확립
- 내륙권역의 교통망 특성상 해양저장 및 해외저장이 어려운 실정으로 CCU 전용 CO_2 공급을 목표로 방향 설정

□ **(CCU 건설제품생산 방향)** 시멘트 산업과 밀접한 관계에 있는 내륙권의 토목·건축용 시멘트·콘크리트 2차제품 업체와의 연계 상용화 추진

❍ 중부권에 위치한 시멘트사의 위치 특성상 연관산업인 건설2차제품 제조업체 다수가 내륙권(충북, 충남, 경북, 경기남부 등)에 위치하고 있어 이들 산업간 공동참여형 실증사업 추진

- 건설 2차 제품 산업의 특성을 고려하여 실증 적용분야(in-situ 탄산화, 탄산화 양생) 선정 및 분야별 공동수행 방안 수립
- CCU 제품 생산 전용 산업단지 구축 추진 중으로 기존 산업과의 연계뿐만 아니라 중부권의 신산업육성으로 새로운 성장동력 역할 기대

❍ 실증 연구 결과를 반영한 제품 표준화 및 온실가스 감축량 산정방법론 도출로 상용화를 위한 제반조건 확립

□ **(핵심산업) 중부권(단양, 제천, 영월 등) 5개 시멘트사 위치**

❍ 국내 시멘트 생산량의 60% 이상 차지(온실가스 2천만톤 이상 배출)

❍ **(CO_2 포집)** 중부권 시멘트사 연계 50톤/년 이상 용량 고효율 CO_2 포집 시스템 설계·구축

❍ **(CO_2 활용)** 고순도 포집 CO_2 이송 및 배가스 직접 활용을 위한 전처리 시스템 구축 운영

❍ **(광물화 기술)** 탄소광물화 기술의 건설재료화 실증 기술개발

- in-situ 탄산화 기술 : 20만톤/년 생산용량
- 콘크리트 양생 기술 : 8만톤/년 생산용량

다. 추진배경

□ ‘20 우리나라 탄소중립 선언으로 부처별 핵심 대응전략을 수립하기 시작하였으며, ‘21. 03월에 “탄소중립 기술혁신 추진전략”을 수립

❍ 산업별, 핵심적 기여도에 따라 탄소중립 기술혁신 10대 핵심기술 분야 선정

- ① 태양광 및 풍력, ② 수소, ③ 바이오에너지, ④ 철강·시멘트, ⑤ 석유화학, ⑥ 산업공정 고도화, ⑦ 수송 효율, ⑧ 건물 효율, ⑨ 디지털화, ⑩ CCUS

❍ CCUS 기술은 국가 온실가스 감축에 30~40% 기여할 것으로 기대하고 있으며 ‘21. 6월 관계부처 합동 **“이산화탄소 포집·활용(CCU) 기술혁신 로드맵(안)”**에 CCUS 광물탄산화 중점기술 선정 포함

- (중점기술) **① 이산화탄소반응경화시멘트제조 및 양생기술** ② 배가스 직접활용 건설소재화 기술 ③ 중탄산나트륨 생산 및 활용 기술 등
- (단계목표) ~‘25년 까지 원천기술개발 및 실증, ~‘30년까지 TRL 8단계 실증격상 및 상용화를 목표로 선정

□ ‘21년 시멘트산업 탄소중립을 위한 「시멘트그린뉴딜위원회」 출범

❍ ‘22년 기준 시멘트산업 온실가스 배출량은 약 3,600만톤 CO_2이며 ‘30년 BAU 대비 약 240만톤의 CO_2 감축 기술 필요

- 3대 전략으로 ① 제조공정발생 CO2 감축, ② CO_2 순환생태계 구축, ③ 탄소중립 가속화 지원체계 구축수립으로 상세분야는 다음과 같음

※(상세분야) 원료부문(석회석 대체, 저온소성원료, 혼합시멘트 개발), 연료 부문(폐합성수지 증대, 수소·바이오매스 등 신열원 적용), 에너지부문(폐열발전증대, 설비 효율화), CCUS 기술 확대

❍ 원료부문, 연료 부문 및 에너지 부문 감축 분야 이외에 CCUS 기술이 시멘트 산업 온실가스 감축에 약 30% 정도 기여 예상

- 대부분 시멘트사의 중부권역(충북 단양/제천, 강원 영월) 위치에 따른 산업의 특성 및 지역적 위치 등을 고려한 CCUS 발굴 및 지원 필요

- 시멘트는 건설·토목분야 기초소재로 레미콘, 레미탈, 블록, 프리케스트 콘크리트 등 건설재료의 핵심제품

〈그림 Ⅲ-15〉 시멘트산업 탄소중립 로드맵

*출처: 산업부, 탄소중립 산업·에너지 R&D 전략

□ 시멘트 산업을 중심으로 관련분야 CCUS 기술발굴 및 상용화 추진필요

❍ **건설재료로 사용되는 시멘트 제조공정 배출 온실가스의 용도로 건설재료 제조용 CCU 제품으로 활용에 따라 시너지효과 발휘 가능**

- 기존 건설재료 공급망(supply chain)이 형성되어 있어 제품 요구특성 부합시 CCU 제품 상용화에 가속화 가능

라. 추진 필요성

□ 충북 단양/제천, 강원 영월/동해/삼척 지역 국내 시멘트社 위치에 따른 포집 CO_2의 효율적 활용을 위한 산업연계형 CCU 분야 발굴 필요

❍ 중부내륙권 시멘트 제조업체에서 포집된 CO_2의 경제적인 활용을 위해 배출 산업체 또는 인근 지역 CO_2 활용업체에 공급할 수 있는 CCU 기술확보 필요

- CCU 기술 중 탄소 광물화 기술이 세계적으로 가장 상용화 기술에 근접해 있고 시멘트·콘크리트 탄소 광물화 제품제조기술이 경제적 측면에서 더 유망한 분야로 알려져 있음

❍ 콘크리트 2차제품 제조산업은 블록제품, 흄관제품, 패널제품, PC (Precast concrete) 제품 등이 있으며 이중 PC 제품 생산액이 75% 정도를 차지

- 우리나라 PC산업 주요 업체수는 35개로 사업장 위치가 대부분 중부내륙권인 충북, 충남, 경북(상주, 김천), 경기(여주, 이천)에 90% 이상 위치하고 있음
- PC 제조 산업뿐만 아니라 블록, 흄관, 패널 등 제품 생산업체도 다수 중부권에 있어 건설 2차 CCU 기술 확산 및 상용화에 최적

❍ 따라서, 시멘트산업이 밀집되어있는 중부권 시멘트 업체와 건설재료 활용 산업간 supply chain 형성이 가능하여 CCU 기술 상용화에 유리

- 시멘트산업 포집 CO_2의 활용처 이동 경로 최적, CCU 전용 시멘트 공급을 위한 기존 공급망 활용 가능, 탄소 광물화 건설 2차 제품 제조업체 기존 활용처를 통한 상용화 가능

□ '20년 12월 발표된 '2050 탄소중립 추진 전략'에서 지역중심의 탄소중립 실현을 10대 과제 중 하나로 제시

❍ 충청북도는 '21년 4월 친환경·저탄소 중심 사회구조 전환을 통해 미래세대와 지속 가능한 녹색 사회 실현을 위한, '충북 2050 탄소중립 목표'를 선언

- 충북의 대표적 다배출 산업인 시멘트 산업의 생산공정개선사업을 10대 핵심과제 가운데 가장 첫 번째로 선정

- 이후 '21년 7월부터 '충청북도 기후변화 대응계획'을 수립, '탄소중립·녹색성장 기본계획'으로 변경해 국가계획에 부합하는 2030 온실가스 로드맵 마련

〈그림 Ⅲ-16〉 충청북도 3050 탄소중립 추진체계

*출처: 충청북도의 탄소중립 전환 대응현황과 과제, 2023.

□ 충북은 '22년 기준 국내 시멘트 생산량의 35%정도를 차지하고 온실가스 배출량도 시멘트산업 배출량의 33% 정도를 차지고 있어 '충북형 CO_2 포집·활용 기술' 선점을 목표로 설정

❍ 시멘트·석회석 제조 산업을 중심으로 '충북형 탄소중립 신산업육성 생태계' 조성 추진

- 현재 수행 중에 있는 시멘트 산업연계 CCU 기술개발과제의 조기 상용화를 위한 2단계 실증과제 기획뿐만 아니라 CCU 신규과제 지속적 발굴 추진

■ 수행 중 국책사업의 대부분은 충청북도 단양군 소재 시멘트사를 중심으로 연구개발 진행되고 있으며 단양산업단지 소재 국내 최고수준의 블록생산 업체가 응용연구를 수행하고 있음

■ 이에 충북 단양군은 지자체 차원 국내 최초로 CCU 전용산업단지 구축을 위한 타당성 조사를 실시, 중부내륙권의 대규모 CO2포집 및 공급 인프라 구축과 더불어 신규 CCU 사업화 업체를 유치한다는 목표 수립

마. 산업환경

□ 중부 지역 내 산업 현황

❍ 시멘트 및 시멘트 분야 건설산업 현황

- 우리나라 중부내륙권(단양/제천/영월)에는 국내 시멘트 7개사 중 5개 사가 위치하고 있으며 연간 약 30천만톤 정도의 시멘트를 생산하고 있음

* 중부권 시멘트사 : 한일시멘트(주), 한일현대시멘트(주), 성신양회(주), 아세아시멘트(주), 쌍용C&E(주)

- 중부권 시멘트사 온실가스 배출현황은 약 2천만톤 수준으로 우리나라 시멘트 산업 배출 온실가스 배출량의 약 57% 정도를 차지
- 중부권에 위치한 시멘트사의 위치 특성상 연관산업인 건설2차제품 제조업체 다수가 내륙권(충북, 충남, 경북, 경기남부 등)에 위치하고 있어 이들 산업간 공동참여형 실증사업 추진

❍ 시멘트 및 시멘트 분야 건설산업의 문제점

- 시멘트 제조 공정배출 배가스 내 CO_2를 활용한 CCUS 기술기반 마련과 친환경 시멘트 제조기술의 기술 양립이 어려워 설비특성 및 기업의 환경을 고려한 선택이 필요
- 개발된 CO_2 순환 기술에 대하여 광물자원화 관련 건설산업과의 연계성 및 양산성 검토를 통한 사업성 검증 필요

❍ 해결 방안

- 시멘트 생산 시 배출되는 CO_2를 포집/활용하여 고부가가치 건설재료로 활용할 수 있는 시멘트 생산설비 site간 운영시스템 확보 필요
- 시멘트 제조분야 적용 가능한 CCU 기술과 관련하여 기술규모를 격상할 수 있는 상용화 기술개발이 필수적이며, 광물탄산화 공정과 통합운영할 수 있는 장치적·제도적 방안 마련 필요

□ 중부권 기술개발 현황

❍ 충청북도 북부권(단양/제천) 시멘트 산업 온실가스 감축을 위한 전력기술 분야 중 CCU 분야 원천 및 실증기술개발을 추진 중에 있으며, 특히 광물 탄산화 기술은 2개는 TRL 6단계까지의 과제로 실증 연구(TRL 8단계)를 통한 상용화 발판 마련 필요

① 시멘트 산업 배출 CO2 활용 In-situ 탄산화 기술 개발

- 사업내용 : 모르타르/레미탈/레미콘/콘크리트 2차제품 등 시멘트 기반 건설재료 제조 공정 중 CO2를 주입하여 제품 생산하는 기술
- 위　　치 : 충청북도 단양군/경기도 일대
- 사업기간 : 2021. 11. ~ 2024. 12.
- 사 업 비 : 77.1억원(국비 65, 민간 12.1)

② 이산화탄소 반응경화 시멘트 및 건설용 2차제품 제조기술 개발

- 사업내용 : 시멘트 제조공정에서 발생하는 고농도 CO2를 블록, 콘크리트 제품 등에 활용할 수 있는 CO2 반응경화 시멘트 및 2차제품 제조기술 개발
- 위　　치 : 충청북도 단양군
- 사업기간 : 2022. 4. ~ 2026. 12.
- 사 업 비 : 362.35억원(국비 276.45, 민간 85.9)

③ 시멘트 산업 배출 CO2 활용 저탄소 연료화 기술개발 및 실증

- 사업내용 : 초미세먼지/CO2 동시 감축・포집, CO2를 활용한 블루 케미컬(메탄올) 생산설비 구축
- 위　　치 : 충청북도 단양군
- 사업기간 : 2021. 11. ~ 2025. 10.
- 사 업 비 : 391억원(국비 210, 민간 151, 지자체 30)

바. 중부권 CCU 관련 주요 이슈

□ 충청북도 신성상산업 육성을 위한 ACE전략 수립에 ‘시멘트 산업을 중심으로 한 CCU산업 육성’을 주요 내용으로 선정

❍ CCUS 기술은 현재 전 세계적으로 활성화되지 시작하는 단계로 배출권 시장 확대 등으로 향후 큰 폭으로 성장 가능 전망

- 글로벌 CCUS 시장은 16.2억 달러(2020)에서 35.4억 달러(2025)로 연평균 17% 성장 전망(Market & Markets, 2020)
- CCUS 사업이 1972년부터 시작된 이후 CCUS 연평균 성장률은 약 10%, 지난 3년간 발표된 대규모 CCUS 프로젝트 들이 모두 성공할 경우 2030년 연평균 16% 성장 예측
- CCUS 시장 관련 다른 조사기관으로 미국 베리파이드는 평균 성장률로 8%, BBC 리서치는 4.6% 성장률을 제시한 바 있음

❍ 전 세계 CCUS 기술의 상용화 전망 및 산업 성장률를 토대로 우리나라 지자체 산업에 맞는 CCU 산업 발굴 추진

- 중부권은 다수의 시멘트사가 위치하고 있고 온실가스 다배출 산업으로 분류되어 있어 시멘트사와 연관된 건설제품 제조용 CCU 산업의 육성 추진

□ 국가 탄소중립 선언 및 중부권(충청권) 지자체 탄소중립 기본계획 수립에 따른 CCU 분야 기술개발 분야 발굴 및 국책과제 수행 착수

❍ 충청북도 북부권(단양/제천) 시멘트 산업 온실가스 감축을 위한 전력기술 분야 중 CCU 분야 원천 및 실증기술개발 추진

- 화학적전환기술 1개, 탄소광물화 기술 2개 대형과제 수행중으로, 특히, 탄소광물화 기술 2개는 TRL 6단계 까지의 과제로 실증 연구(TRL 8단계)를 통한 상용화 발판 마련 필요

① 시멘트 산업 배출 CO_2 활용 In-situ 탄산화 기술 개발

- 사업내용 : 모르타르/레미탈/레미콘/콘크리트 2차제품 등 시멘트 기반 건설재료 제조 공정 중 CO_2를 주입하여 제품 생산하는 기술
- 위　　치 : 충청북도 단양군/경기도 일대
- 사업기간 : 2021. 11. ~ 2024. 12.
- 사 업 비 : 77.1억원(국비 65, 민간 12.1)

② 이산화탄소 반응경화 시멘트 및 건설용 2차제품 제조기술 개발

- 사업내용 : 시멘트 제조공정에서 발생하는 고농도 CO_2를 블록, 콘크리트 제품 등에 활용할 수 있는 CO_2 반응경화 시멘트 및 2차제품 제조기술 개발
- 위　　치 : 충청북도 단양군
- 사업기간 : 2022. 4. ~ 2026. 12.
- 사 업 비 : 362.35억원(국비 276.45, 민간 85.9)

③ 시멘트 산업 배출 CO_2 활용 저탄소 연료화 기술개발 및 실증

- 사업내용 : 초미세먼지/CO_2 동시 감축・포집, CO_2를 활용한 블루 케미컬(메탄올) 생산설비 구축
- 위　　치 : 충청북도 단양군
- 사업기간 : 2021. 11. ~ 2025. 10.
- 사 업 비 : 391억원(국비 210, 민간 151, 지자체 30)

사. 중부권 주력기술 도출 경위

□ 2023년 국가 탄소중립·녹생성장 기본계획에 따르면 2018년 대비 산업부문에서 약 3천만톤의 온실가스 감축이 필요함에 따라 부문별 감축방향 제시

❍ 온실가스 다배출 기술 및 연·원료 전황 대한 확보, 펀드, 보조, 융자 등 기업의 투자 경감 정책 마련 추진, 배출권 거래제 배출 효율기준 할당 및 유상할당 확대 등을 통한 자발적 감축 활동 유도

□ 정부의 탄소중립 정책에 따라 도내 시멘트 업체 탄소감축기술 도입 시급 및 글로벌 기업 경영에 ESG 개념 도입이 필수로 작용

❍ 국내 시멘트산업 2030년까지 240만톤의 온실가스 감축 필요

❍ 중부권 시멘트 5사의 경우 약 100~120만톤 정도의 온실가스 감축필요

❍ 온실가스 배출권거래제도에 따라 시멘트가 온실가스 할당방식이 무상에서 '26년 유상할당 방식으로 전환될 것으로 예상

- 시멘트 자체 온실가스 감축기술 뿐만 아니라 CCU 기술의 도입으로 온실가스 감축실적 달성과 더불어 기업이윤 창출에 기여할 수 있는 산업분야 발굴 추진

□ CCU 기술 중 시멘트산업과 연관성이 높은 광물학적 전환기술을 우선 선정하여 상용화를 위한 정책 수립 및 부문별 이행 착수

❍ 중부권에는 시멘트 산업을 포함하여 석회석 원석을 이용한 2차제품 제조산업 집중되어 있으며 이에 따른 온실가스 배출도 중부권에 집중

- 석회석이 다량 매장되어 있는 지역적 특성으로 원석을 활용하기 위한 시멘트 및 석회제조산업이 1970년대부터 현재까지 활발히 생산활동을 하고 있음

- 건설소재의 기초재료인 시멘트 산업이 집중되어 있어 관련 중·장거리 이송인프라 및 건설2차제품 제조 업체분포 인근 충북, 충남, 경북, 경기 남부 등으로 집밀

※ 시멘트 제조업체 : 한일시멘트(주), 성신양회(주), 아세아시멘트(주), 한일현대시멘트(주), 쌍용C&E(주)

※ 석회제조업체 : 태경비케이(주), 광진산업, 삼보광업, 현대석회, 대성MDI, 대성지엠텍, ㈜한성, 담우물산(주), 동광산업사, ㈜우룡

❍ '15년부터 광물학적 전환기술에 대한 연구개발 과제가 시작되어 최근까지 관련 분야 연구개발이 활발히 진행 중

('15~'18) 시멘트 산업 배출 CO2 포집 및 침강성탄산칼슘 제조 연구
('17~'23) 시멘트 산업 배출 CO2 활용 폐광산 채움재, 친환경 제지생산등 연구
('21~'24) 시멘트 산업 배출 CO2 활용 in-situ 탄산화 기술개발
('22~'26) 이산화탄소반응경화시멘트 및 건설용 2차제품 제조기술 개발

□ 중부권 시멘트산업 중심 탄소중립 CCU 신산업 육성을 위한 전략수립

❍ 충청북도를 중심으로 친환경 시멘트산업 역량 강화 및 CCU산업 육성을 위한 목표 설정 및 부문별 사업추진 착수

- CCU 핵심기술발굴, 탄소중립 산업 활성화 기반구축 및 지역적 지원체계구축 전략 수립
- 화학·광물학적 전환기술개발, 기술지원센터 및 산업단지 구축 검토 및 네트워크/전문인력양성을 위한 계획 수립

〈표 Ⅲ-30〉 충북형 CCU산업 육성전략

비전	석회석산업(시멘트·석회제조)기반 충북형 탄소중립 新산업 고도화		
목표	충북의 친환경 시멘트산업 역량 강화 및 CCU산업 육성 ⇨ (시멘트) 2030년 이산화탄소 85만톤/년 감축(광물화 35만톤/년, 화학전환 50만톤/년) ※ 부가가치 : ('22) 1조 4,642억원 → **('26) 1조 5,778억원** / 생산유발효과 : **('26) 7,408억원**		
전략	**CCU핵심기술 발굴** •(광물학적전환)종류별 토목·건설 2차제품 제조기술 발굴 ※ 블록, 패널, 보드, ALC등 •(화학적전환)합성가스 및 메탄올 생산기술 실증 및 파생 화학제품 제조 기술 발굴 ※ Syngas 연료화, DME 제조, 수소생산 기반기술 등	**탄소중립 산업 활성화 기반구축** •(센터구축)CCU산업 공정, 중간재, 최종제품 성능평가 및 기술지원 ※ CO_2 감축량산정 지원 등 •(단지구축) CCU집적화 단지 조성 및 중부내륙권 온실가스 공급확산 기지 구축 ※ 전환기술별 단지 및 CO_2 공급 인프라 구축 등	**지역적 지원체계구축** •(인적 네트워크)국내·외산업확산 협력 네트워크 강화 프로그램 및 CCU 전문인력양성 사업 추진 •(충북형 제도마련)CCU 산업 활성화를 위한 지자체 조례 제·개정 및 기술도입 인센티브 제도 등 투자 촉진
추진과제	**화학·광물학적 전환기술개발** •(기술개발) ① CO_2 활용 저탄소 연료화 기술개발 ② In-situ 탄산화 기술개발 ③ CO_2 반응경화 제품 제조기술개발 •(신규과제) ①산업부산물 이용 무기질 혼합재 조성물 탄산화 ②고부가가치 탄산염 제품개발	**기술지원센터 및 산업단지 구축** •「석회석 산업 기반 CCU 산업고도화 지원센터」구축사업 추진 •CCU 집적화 산업단지 구축 (화학적, 광물화, CO_2 공급 집적화) •①시멘트 공정 배출 CO_2 활용 저탄소 메탄올 생산(10만톤/년) 시설 구축 ②In-situ 탄산화 실증 ③반응경화시멘트실증	**네트워크 및 전문인력양성** •「탄소중립 대학기업센터」 사업 추진 -공동장비 구축 및 시제품 제작 등 지원 -국내외 네트워크(교류회, 마케팅, 전시회, 수출 상담 등) -인력양성(일반, 특화) -기술교류(컨퍼런스, 세미나 등 지원) -전문가 위원회 구성(제도개선 등)

*출처: '22년 충북 신성장산업육성 ACE 전략 이슈페이퍼

〈표 Ⅲ-31〉 [충북형 CCU산업 육성전략] '22년 충북 신성장산업육성 ACE 전략 이슈페이퍼

비전	석회석산업(시멘트·석회제조)기반 충북형 탄소중립 新산업 고도화
목표	충북의 친환경 시멘트산업 역량 강화 및 CCU산업 육성 ⇨ (시멘트) 2030년 이산화탄소 85만톤/년 감축(광물화 35만톤/년. 화학전환 50만톤/년) ※ 부가가치 : ('22) 1조 4,642억원 → **('26) 1조 5,778억원** ※ 생산유발효과 : **('26) 7,408억원**

전략	CCU핵심기술 발굴	탄소중립 산업 활성화 기반구축	지역적 지원체계구축
	•(광물학적전환)종류별 토목·건설 2차제품 제조기술 발굴 ※ 블록, 패널, 보드, ALC등 •(화학적전환)합성가스 및 메탄올 생산기술 실증 및 파생 화학제품 제조 기술 발굴 ※ Syngas 연료화, DME 제조, 수소생산 기반기술 등	•(센터구축)CCU산업 공정, 중간재, 최종제품 성능평가 및 기술지원 ※ CO_2 감축량산정 지원 등 •(단지구축) CCU집적화 단지조성 및 중부내륙권 온실가스 공급확산 기지 구축 ※ 전환기술별 단지 및 CO_2 공급 인프라 구축 등	•(인적 네트워크)국내·외산업확산 협력 네트워크 강화 프로그램 및 CCU 전문인력양성 사업 추진 •(충북형 제도마련)CCU 산업 활성화를 위한 지자체 조례 제·개정 및 기술도입 인센티브 제도 등 투자 촉진

추진 과제	화학·광물학적 전환기술개발	기술지원센터 및 산업단지 구축	네트워크 및 전문인력양성
	•(기술개발) ① CO_2활용 저탄소 연료화 기술개발(메탄올) ②In-situ 탄산화 기술개발 ③CO_2 반응경화 제품 제조 기술개발 •(신규과제) ①산업부산물 이용 무기질 혼합재 조성물 탄산화 ②고부가가치 탄산염 제품개발	•(센터구축)「석회석 산업 기반 CCU 산업고도화 지원센터」 구축사업 추진 ※ 대학거점센터(인력양성 포함) •(산업단지) CCU 집적화 산업단지 구축(화학적, 광물화, CO_2 공급 집적화) •(상용시설) ①시멘트 공정 배출 CO_2 활용 저탄소 메탄올 생산(10만톤/년) 시설 구축 ②In-situ 탄산화 실증 ③반응경화시멘트실증	•(네트워크·인력양성) 「탄소중립 대학거점센터」 사업 추진 -공동장비 구축 및 시제품 제작 등 지원 -국내외 네트워크(교류회, 마케팅, 전시회, 수출상담 등) -인력양성(일반, 특화) -기술교류(컨퍼런스, 세미나 등 운영지원) -전문가 위원회 구성(제도개선 등)

4. 동남권 플래그십 프로젝트 개요

가. 동남권 사업목표 및 극복과제

권역	Flagship 개요	Flagship Project 추진 방안		CO_2 포집-활용 연계 방안
		CO_2 포집 방안	CO_2 활용 방안	
동남권	철강 산업 특성 및 자원을 활용한 대량 CO_2 감축 구현	발전: 발전설비 CO_2 활용(LNG 발전, 매체순환연소 등) 철강: 철강 배가스 혹은 산업공정 가스 중 포집(기술에 따라 포집없이 직접 활용 가능)	(동남권-1) CO2 수소화를 통한 저탄소 메탄올 생산 (동남권-2) CO2 건식개질을 통한 합성가스 생산 (동남권-3) CO2 포함 산업공정배가스를 활용한 건설소재 생산	(동남권-1,3) CO2 포함 산업공정가스를 활용하므로 무포집 활용 (동남권-2) 발전설비 등에서 배출되는 CO2를 활용

□ 비전

동남권 친환경 선박연료 산업구조 조성

❍ 동남권 주력산업에서 배출된 온실가스 활용한 탄소 저감 및 지역 선박산업 친환경 연료 기반 구축을 통한 선박산업 경쟁력 확보 및 2030 NDC 감축 목표 달성 기여

□ 목적

동남권 온실가스 다배출 산업의 지속가능 산업기반 구축 및 친환경 선박연료 개발

❍ 철강산업 특성 및 자원을 활용하여 이산화탄소 대량 감축이 가능한 메탄올 생산 기술 개발 및 이를 통한 동남권 선박산업의 신규 산업기회 모색 및 신시장 창출

□ 성과목표

❍ 이산화탄소를 활용한 메탄올 생산 기술 실증 및 메탄올 시장 선점

- 동남권역의 제철산업과 석유화학산업에서 발생된 CO2를 활용하여 직접/간접 전환의 방법으로 다양한 메탄올 합성 공정 구축

- 통합공정에 대한 경제성 검토 및 메탄올 생산 기술을 실증하고, 탄소중립 메탄올 생산하여, 관련 시장 선점

□ 극복과제

❍ 이산화탄소 포집 기술 연계 탄소중립 메탄올 생산 기술

- 제철 배가스로부터 이산화탄소 포집 기술 실증 기술 연구 필요
- 철강 부생가스의 조성 조절을 위한 분리막 연구 필요
- 간접전환 시, 포집된 이산화탄소를 합성가스 생산을 위한 개질 연구 및 경제성 강화 (건식 개질 및 복합개질)
- 직접전환 시, 이산화탄소 수소화를 통한 메탄올 합성가스 연구 및 경제성 강화 (메탄올 합성 촉매 및 공정 연구, 간접 전환시 역수성가스 반응 공정 연구)
- 효율적인 전환을 위한 전환 매체 다양화 필요
- 분리막 (제철 배가스, 철강 부생가스) 연구를 통한 경쟁력 강화
- 해상 선박용 청정메탄올 공급을 위한 e-methanol 생태계 조성

분리막 & 개질 반응 실증 기술 부족	이산화탄소 수소화를 통한 메탄올 합성 기술 부재	e-methanol 생태계 조성*
① 제철 배가스로부터 이산화탄소 포집 실증 기술 부족 ② 철강 부생가스의 조성 조절을 위한 분리막 실증 기술 부족	① 직접 전환시 메탄올 합성 촉매 및 공정 연구 기술 부재 ② 간접 전환시 역수성가스 반응 공정 연구 실증 기술 부재 ③ 상용화를 위한 통한 공정기술확보에 대규모 예산 기반 실증사업 필요	① 탄소 감축 효과 확보를 위해, 경제성 확보를 통한 기술 보급 ② 경제성 확보를 위해, 집적된 산업단지 내 원료-생산-공급 순환 가치사슬 완성 ③ 글로벌 탄소중립 규제 대응을 위한 신기술 확보

*참고: 해외 e-methanol 프로젝트

- 덴마크 : 덴마크 KASSO 지역, CO_2 45,000톤/년 (Tonder 바이오가스 플랜트의 CO_2), 메탄올 생산량 3.2만톤/년, 2025년 생산 예정, 수전해 수소 6,120톤/년 (태양광 전기)
- 스웨덴 : 스웨덴 외른스콜드스비크 CO_2 70,000톤/년 (바이오매스 발전소에서 CO_2 포집), 메탄올 생산량 5만톤/년, 2025년 생산 예정, 수전해 수소 10,000톤/년 (풍력 전기)

□ 플래그십 프로젝트 추진방안

❍ 철강・석유화학・조선・항만 등 다배출산업 전후방 연계가 가능하도록 구성

❍ **(동남권-1)** 동남권 지역의 철강・석유화학・조선・항만 산업의 연계를 통해 청정 메탄올(연료) 생산-활용 기술 개발・실증

- (철강) CO_2 활용 건식개질 공정 격상 기술개발 지원 저탄소 메탄올 합성 원료가스로 철강공정 발생 고농도 CO_2와 그린 수소를 공급 생산・공급
- (석유화학) 고농도 CO_2와 그린 수소를 이용한 저탄소 메탄올 합성 및 메탄올 활용 케미칼 전환
- (조선・항만) 선박용 연료 탈탄소화 규제 대응가능한 저탄소 선박용 추진 연료 수요 시장 창출

❍ **(동남권-2)** 동남권 발전설비 등에서 배출되는 CO_2를 포집, 現 개발중인 CO_2 건식개질 공정의 원료가스로 활용하여 합성가스(CO+H2)를 생산하는 공정의 격상 실증

- (발전) 발전 배가스(LNG발전, 매체순환연소 등)중 CO_2 포집 혹은 농축
- (석유화학) 발전분야에서 포집된 CO_2 활용 건식개질 공정을 격상 실증

❍ **(동남권-3)** 동남권 지역의 철강・석유화학・조선・항만 산업의 연계를 통해 청정 메탄올(연료) 생산-활용 기술 개발・실증

- (철강) CO2 활용 건식개질 공정 격상 기술개발 지원 저탄소 메탄올 합성 원료가스로 철강공정 발생 고농도 CO_2와 그린 수소를 공급 생산・공급
- (석유화학) 고농도 CO_2와 그린 수소를 이용한 저탄소 메탄올 합성 및 메탄올 활용 케미칼 전환
- (조선・항만) 선박용 연료 탈탄소화 규제 대응가능한 저탄소 선박용 추진 연료 수요 시장 창출

□ 단계별 추진전략

❍ 단계별 R&D 추진전략

- 1단계 (~ '27): 요소기술을 선별하여 통합공정 설계 및 구축

  : 분리막 기반 CO_2 포집 기술 scale-up 설계

  : 고순도 CO_2 활용 저에너지 메탄올 전환 기초 평가 및 포집 CO_2 연계 메탄올 전환 기술 확보

  : 재생에너지 기반 수소를 이용한 이산화탄소의 메탄올 직접/간접 전환 생산 기술

  1) 이산화탄소의 직접 수소화 반응을 통한 메탄올 생산

  2) 이산화탄소의 역수성가스 반응 후 합성가스 생산 후, 메탄올 생산

  : 분리막을 이용하여 철강 부생가스 조성을 조절하여 메탄올 생산 기술

  : 메탄올 엔진 선박 운전 조건 기반 메탄올 품질 기준 수립

  : 통합 공정 기술경제성 분석

  : CO_2 포집 및 활용 실증 설비 도입 (부지확보 필요)

- 2단계 (~' 30): 상용화 단계 실증기술의 규모 격상 및 실증 최적운전조건 수립, 제품화를 추진을 통한 목표 감축량 달성

  : 실증을 통한 포집/활용 공정 연계성 및 제품 전환 효율 등 확보

  : 생산 제품 선박 엔진 적용성 확보 및 확대 적용 전략 수립

  : 탄소감축방법론 개발 및 목표 감축량 반영

❍ 주요 추진과제

- (메탄올) 제철 공정 배가스 내 CO_2 활용 메탄올 생산 기술 실증 개발
- (메탄올) 이산화탄소 직접 전환을 통한 메탄올 제조 기술 개발 및 실증
- (메탄올) 재생에너지 기반 수소를 이용한 이산화탄소 직접전환을 통한 메탄올 제조 기술 개발 및 실증: 재생에너지로 생산된 수소를 이용하여 직접/간접법을 이용하여 메탄올 생산 기술 실증
- (메탄올) 철강 부생가스를 이용한 메탄올 제조 기술 개발 및 실증: 철강 부생가스를 분리막을 이용하여 합성가스 조절 및 재생에너지로 생산된 수소를 이용한 메탄올 생산 기술 실증

나. 개요

□ **(기본 추진 방향)** 동남권 이산화탄소 다배출 산업 맞춤형 탄소저감 기술 개발 및 국제 환경규제 강화 대응을 위한 선박용 친환경 메탄올 제공

□ 수요 맞춤형 메탄올 합성기술 개발 및 온실가스 다배출 산업지역 기술 적용을 통한 온실가스 감축 극대화

❍ 동남권 항만을 거점으로 친환경 메탄올 수요 증가가 예상되며, CO_2 기반 친환경 메탄올 대량생산 기술을 통해 공급량 확보

❍ 동남권역의 철강, 석유화학, 정유 등 탄소다배출 업종으로부터 포집된 CO_2를 활용하여 메탄올 대량생산을 위한 기술 신뢰성 확보 및 통합공정 핵심기술 개발

❍ CO_2 전환으로 만들어진 메탄올을 화학 원료 및 친환경 연료로 활용하여 동남권 석유화학, 정유 산업계 탄소중립에 기여

동남권역 CCU 기술 조기 상용화		탄소중립 산업 경쟁력 확보
수요 맞춤형 이산화탄소 기반 메탄올 생산기술 개발	→	탄소 중립 메탄올을 이용한 선박유 시장 선점 및 벙커링 사업 선도

□ **(세부 추진 방향)** 빠른 시장 진입을 위한 기술 선별 및 활용 분야 확대를 통한 융합·확대를 위한 전략 동시 진행

❍ **(메탄올)** 제철 배가스 및 부생가스의 분리 공정, CO_2 활용 메탄올 합성 촉매 및 통합 공정 실증을 통해 메탄올 제조 공정 표준모델을 제시하여 2030년까지 국내외 메탄올 생산 시장에 진입

- 최적화 실증기술을 개발하고, 안정적 공급의 신뢰성 확보를 위한 세부 메뉴얼 개발(예시: CO_2 처리량 5,500톤/년 이상 규모)

*반응·분리·정제의 단위공정별 기술 적용, 촉매와 공정의 장기 조업성, 안전성 및 성능 유지 평가

다. 추진배경

□ 시장 현황

❍ 메탄올 시장 규모 확대 및 그린 메탄올 중요성 대두

- 세계 메탄올 시장은 2022년에 321억 달러로 평가되고, 2023년에서 2030년 사이에 4.5%의 연평균 성장률(CAGR)로 2030년까지 436억 8천만 달러에 이를 것으로 예상되며, 그린 메탄올 시장 규모는 2022년 2억1,028만 달러(추정)에서 2028년에는 9억 9,459만 달러로 상승할 것으로 전망

❍ 2050년 넷제로 달성을 위해 미국, EU 등은 물론 IMO 등 국제기구도 관련 규제 또는 지원을 강화

- (미국) IRA에 따라 CCU(탄소활용) $60/톤 CO2, DACCU(직접대기탄소포집활용) $130/톤 CO2, 온실가스배출량 4kg 이하의 수소 등 보조(세액공제)
- (EU) Fit-for-55에 따라 탄소국경조정제도(CBAM), FuelEU Maritime, ReFuelEU Aviation 등을 도입하여 수입 제품의 탄소량 규제, 해운/항공분야 저탄소 연료사용 규제 등 강화
- (IMO) 2050년 넷제로 달성을 목표로 선박의 연료별 온실가스 집약도를 단계적으로 제한하는 규제와 배출되는 온실가스에 가격을 부과하는 제도를 결합하여 도입하기로 합의 (’25년 조치 채택 및 ’27년 발효 예정)

❍ 이러한 추세는 단순 기후대응정책을 넘어 무역상대국에게 새로운 무역장벽으로 작용

❍ 우리 정부도 2050 넷제로, 2030 달성을 목표로 다양한 대책*을 마련·시행 중이나 친환경 연·원료 대체 수요가 급속히 확대되고 있는 상황임에도 시장 내 생산량은 전무한 상황

* 탄소중립기술에 대해 세액감면, 탄소중립 핵심기술 R&D 투자 등

- 우리나라는 탄소중립형 연료 개발 및 상용화 수준이 낮은 상황으로 급속히 증가하는 친환경 연료 수요 대체가 어려운 상황

〈 조선산업 동향 〉

- 친환경 선박 연료로서의 메탄올 추진 선박 발주량 증가
  - '23년 8월 기준, 전 세계 메탄올 연료 추진선 누적 발주량(총 204척) 중 37%를 국내 조선사에서 수주(총 76척)하고 있으나 연간 수주비율 하락 중
    * ('20) 10척 중 8척(80%) ('21) 22척 중 9척(41%), ('22) 37척 중 10척(27%), ('23.1.~8.) 120척 중 41척(34%)
- Maersk 社와 CMA CGM 社는 '23년 2분기부터 메탄올 연료 추진선을 중국 조선소에 발주하기 시작 (그린메탄올 공급, 벙커링 관련 중국기업과 파트너십 체결)
- 향후 조선업 경쟁력은 **청정연료의 생산과 공급**을 포함한 국가의 해상탄소중립 대응 능력과도 연계될 전망

□ 기술 배경

❍ 전 세계적으로 청정 수송 연료로서의 메탄올에 대한 수요가 증대되고 있으며 CO_2 활용 메탄올 공정에 대한 실증 R&D 프로그램이 확대되고 있어 우리나라도 이에 대응할 수 있는 정책 수립과 기술개발이 함께 요구

- 국내 수준은 TRL6에 진입하였고, 추가적인 수요기업 검증 및 신뢰성 확보(TRL7) 시 조기 상용화 및 세계적 기술 선도 기대 가능
- 2008년 일본 Mitsui Chemicals 100톤/년 pilot 실증, 2011년 아이슬란드 CRI 4,000톤/년 상용운전, 2019년 독일 MefCO2 프로젝트 300톤/년 pilot 실증, 2020년 중국 CRI사 50,000톤/년 상용공정 설치 추진 중

❍ CO_2 활용 메탄올은 플랫폼화합물로서 기술수준, 파급성, 시장성 등 기대효과가 크고 석유대체를 할 수 있는 기술력이 있으나 국내 생산공장이 없어서 당장 온실가스 감축효과를 도출하기 어려운 상황

- CCU 기술을 적용한 메탄올은 플랫폼화합물로 분류되어 기존 납사유래 석유화학, 정밀화학 제품을 대체할 수 있는 파급효과(감축효과, 부가가치, 시장규모)가 큰 제품*

  * '21년 부처합동 CCU 로드맵
- 정부 주도로 기술개발 및 보급 정책을 추진하여 초기 시장에서 민간기업의 투자 위험성을 줄이고 온실가스 감축 시장에 진입하는 방안 필요

라. 추진 필요성

□ 국가 탄소중립 감축 주요 수단

❍ CCUS는 국가 온실가스 감축 목표 달성을 위한 중요한 감축수단이므로 (2030년 CCUS를 통해 1,030만톤을 감축하는 목표 설정) 상용 가능한 기술이 CCU 시장을 선도할 수 있도록 전략제품의 조기 상용화가 필요

- 국내에서도 탄소중립 실현을 위해 CCUS 기술개발을 추진 중이나, CCU 기술의 경우 경제성 등의 이슈로 아직 상용화된 CO2 활용 제품이 거의 없는 상황이어서 CCU 시장을 선도할 수 있는 주요 전략제품을 선정하고, 이의 상용화 기술개발을 적극 추진할 필요성이 증대
- 특히 동남권역의 항만 산업 환경에 적용 가능성이 높은 e-메탄올 (CO2 기반 메탄올) 합성기술 확보 필요

□ 메탄올 중심의 선박용 수요 형성

❍ 글로벌 규제에 따른 친환경 연료 수요가 증대되고 있으며, 그 중 메탄올의 물리적 특징*에 의한 기존 인프라 사용 가능성이 높아 빠르게 시장이 확대되고 있음

*메탄올은 상온-상압 조건에서 액체상태로 유지되어 저장운송에 용이하며, 기존 인프라를 개조하여 활용 가능

- 연료별 각각의 장단점이 존재해 용도에 따라 친환경 연료가 모두 활용될 전망이나, 그중 메탄올 시장은 선박 연료를 중심으로 빠르게 성장하는 상황*

*선급/해운전문기관, 엔진, 해운사의 미래 연료수요 전망은 '50년 메탄올/메탄 추진선박의 점유율이 25~50%에 달할 것으로 예측

- 빠른 기술 상용화를 통한 시장 활성화 및 글로벌 규제 극복 수단 확보 필요

□ 석유화학, 정유 업계의 신규 친환경 원료로 활용 기대

❍ 메탄올은 석유를 대체할 수 있는 친환경 연원료 자원으로 수송 연료(도로, 해운 등), 산업용 연료(보일러, 가스터빈 등), 석유화학산업 원료(플라스틱 등) 등 다양한 용도로 활용 가능

*(연료) MTBE(메틸터트부틸에테르), 가솔린 혼합, 바이오디젤, DME(다이메틸에테르), (원료) 올레핀, 포름알데히드, 염화메틸, 메틸아민, 메테인싸이올, MMA(메타크릴산메틸), 아세트산 등

- 산업 특성에 적합한 CO_2 포집 기술과 활용기술의 대규모 실증을 통한 산업화 가능성을 확인함과 동시에 해당 기술의 Track Record 확보, 기술성숙도 향상, 타 사업장 확대 적용을 위한 기반 확보

□ 철강산업특성을 고려한 기술의 탄소중립 전주기 완성 필요

❍ 제철 산업은 CO, H_2가 풍부한 부생가스(BFG(Blast Furnace Gas), COG(Coke Oven Gas), LDG(Lintz Donawitz Gas), FOG(FINEX Off Gas), FTG(FINEX Tail Gas)) 및 폐열활용을 통한 효율적인 CCU 기술 적용 가능

- 철강산업은 단일 배출원으로 가장 많은 CO_2를 배출하는 산업으로 국내 온실가스 배출량의 약 16%를 차지하고 있으며 국가 온실가스 배출량 저감을 위해서는 제철 공정에 적합한 CCU 기술개발 필요(산업부문 38.3%)
- 각 산업별 특징(CO_2, 폐열, 환원제)과 기술 수준(TRL), CCU 제품의 활용 가능성, 타 사업장으로의 확대 적용, CO_2 감축량 등을 고려한 철강산업의 여건에 적합한 CCU 기술의 발굴 및 실증을 통한 CO_2 포집-자원화 기술의 전주기 완성 필요

마. 동남권 CCU 관련 주요 이슈

□ 조선 사업의 쇠퇴

❍ 국내 조선 관련 기업의 매출액은 '13년을 전후로 정점을 기록한 이후 꾸준히 감소하고 있으며, 영업이익은 그보다 이른 '10~11년 경부터 빠르게 줄어들기 시작하여 최근 수년간 영업적자를 지속 중

❍ 경남지역은 조선업이 제조업 총부가가치 중 가장 높은 비중을 차지

- 경남지역 제조업 총부가가치 중 조선업 비중: 21.1% (제조업 중 가장 높은 비중)
- 조선업 경기 변화는 경남지역 GRDP 성장률에 큰 영향을 끼침

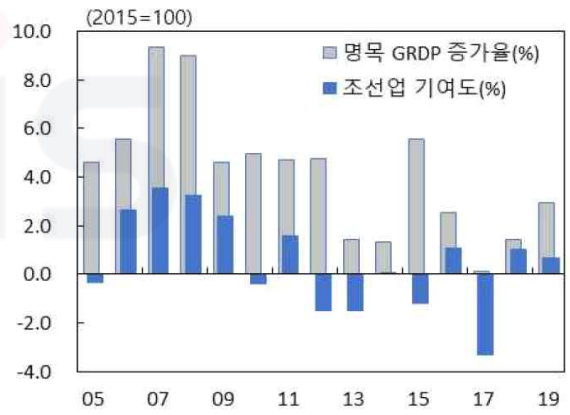
〈그림 Ⅲ-17〉 경남지역 조선업 현황

경남지역 산업구조(구성비, %)

(구성비, %)

	경 남	전 국
제 조 업	39.0	27.5
(선박 등 기타운송장비[3])	**(21.1)**	**(3.0)**
(기계장비)	(15.7)	(8.1)
(금속가공)	(13.2)	(5.4)
(자동차)	(11.6)	(9.9)
(전기장비)	(10.5)	(5.3)
서비스업	49.6	63.2

조선업의 경남지역 경제성장 기여도



*출처: 한국은행 경남본부, 최근 조선업 현황 및 경남 지역경제에 미치는 영향, 2022. 07.

*주: '19년 기준, 지역 내 총부가가치(명목) 기준, 세부산업은 제조업 내 부가가치 비중(광업/제조업 조사)

❍ LNG선 및 컨테이너선 발주의 상당 부분(각각 78.8% 및 37.2%, '20~22. 상반기 중)을 국내 조선사들이 수주하면서 '22년 상반기 중 신규수주 점유율은 '16년 중 저점(15.9%)의 세 배에 가까운 45.2%로 상승했으나 조선 관련 기업의 매출·영업이익 개선으로 이어지지는 않고 있으며, 영업부진 누적으로 재무건전성도 취약한 상태

□ 높은 이산화탄소 배출량

❍ 전국 3위 온실가스 배출 지역: 울산*

*출처: 전국시도연구원협의회, 탄소중립을 위한 지역의 그린뉴딜 추진 방안, '21. 12.

- 석유류 소비량은 전남에 이어 2위, 전체 온실가스 배출량은 전남, 충남을 이어 3번째
- 울산은 온실가스 배출이 높은 석유화학, 철강, 정유사 등의 제조업 공장이 있으며, 미포국가산업단지 등 대형 산업단지가 위치해 있음
- 울산지역의 에너지소비량 및 온실가스 배출량 증가 폭은 국가 평균 대비 2배 이상을 웃도는 탄소중립과 역행되는 결과를 나타냄
- '15~ '19년 울산지역 에너지소비량은 연평균 5.2% 증가 (전국 제조업 에너지 소비량 증가율 1.9% 대비 2배 이상), 같은 기간 온실가스 배출량은 4.6% (전국 연평균 2.0%) 증가

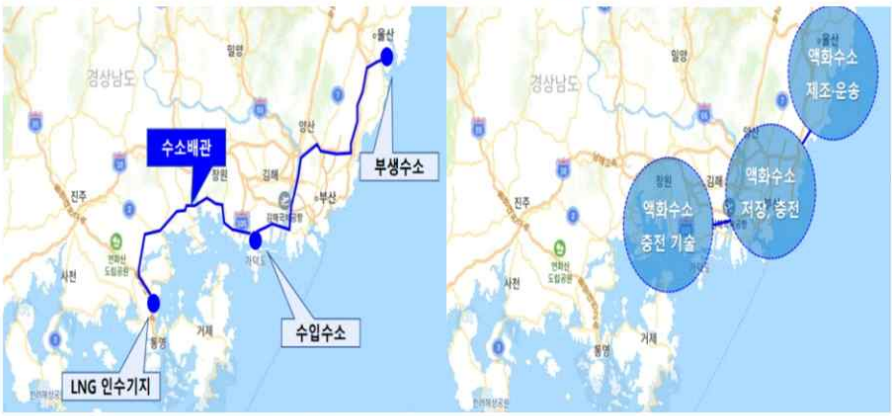
□ 동남권 수소분야 공동발전 계획

❍ 국토균형발전을 위해 동남권 메가시티 조성 사업이 진행 중에 있으며 그 중 동남권 수소 메가블록 구축 사업을 추진 중

*출처: 이관후·경남연, 동남권 메가시티 프로젝트

- 동남권 수소 배관망 건설 및 3개 시·도 수소 분야 확장 사업 제안
  - ■ 수소배관망: 통영의 LNG 인수기지의 부생수소, 부산신항만 지역의 수입수소, 울산지역 생산 부생수소 등을 동남권에 공급 계획
  - ■ 경남은 액화수소 충전, 울산은 액화수소 제조 및 운송, 부산은 액화수소 저장 및 충전 등 액화수소 분야 3개 시·도 지역별 거점화 전략 제안

〈그림 Ⅲ-18〉 동남권 3개 시·도 수소 배관망 사업과 시·도별 액화수소분야 역할분배(안)



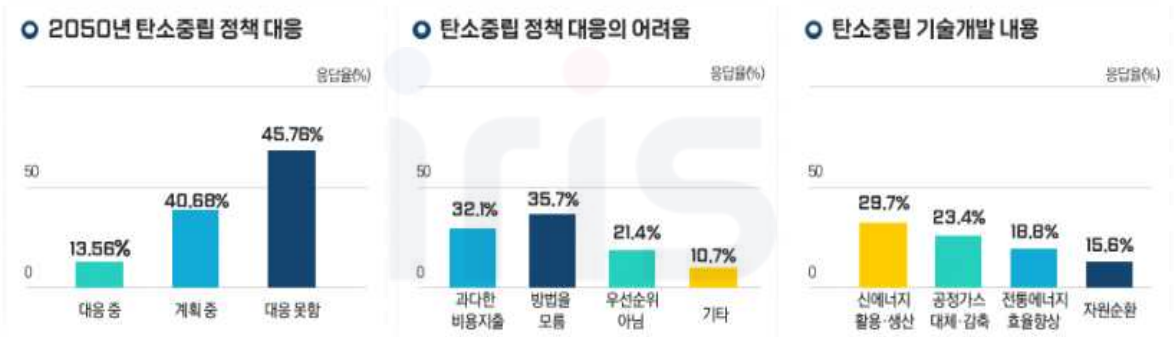
*출처: 동남권 3개시·도, 동남권 공동발전 계획, 2021.

□ 동남권 기업의 탄소중립 니즈 강화

❍ 중소기업 탄소중립 대응에 한계를 느끼며, 신에너지 활용생산 및 공정가스 대체 등 탄소중립 기술의 필요성 호소

- 울산상공회의소는 울산지역 중소기업 59사를 대상으로 2021년 7월 19일부터 8월 27일까지 탄소중립 대응실태 설문조사를 실시
- 중소기업의 정부 탄소중립 정책 대응의 어려움 (45.8%), 탄소중립 정책 대응으로 과다 비용 지출(32.1%) 응답
- 탄소중립 필요기술 : 신에너지 활용・생산 29.7%, 공정가스 대체・감축 23.4%, 전통에너지 효율향상 18.8%, 자원순환 15.6% 순으로 응답

〈그림 Ⅲ-19〉 울산 중소기업 탄소중립 대응실태 설문조사 결과



자료: 울산상공회의소(2021), 2050 탄소중립에 대한 지역기업 대응실태 조사결과, 2021.11

SK 에너지

- SK그룹 2050년까지 탄소 배출량 '0'달성
- SK그룹 탄소 제로 추진 방향
  - 공정 효율 개선, 탄소 저감 원료/동력 도입, 운영 최적화, CCUS 등
  - 재생에너지 전력 도입
  - 탄소 저감 비즈니스 중심으로 포트폴리오 전환
  - 바이오 연료 등 그린 비즈니스 확장
  - 기존 제품의 친환경성 제고

SK 가스

- 탄소 제로 큰 추진 방향은 SK그룹과 동일
- 발전원을 수소로 대체하기 위해 GE, 지멘스와 수소 터빈 기술개발 협력
- 수소 연료 사용과 CCUS 기술 사용 등 투트랙으로 탄소 제로 대응
- 동서발전은 북항에 위치한 SK가스로 부터 수소를 공급받아 두산중공업의 수소터빈을 활용하여 수소발전 추진

*출처: 울산상공회의소, 2021.

바. 동남권 주력기술 도출 경위

□ **(플래그십 프로젝트 선정 기준)** 기술수요조사 기반 합성가스, 올레핀, 연료, 탄산칼슘 등을 중심으로 기술성숙도, 시장성, 경제성, 기업 실행 의지 등을 고려하여 플래그십 프로젝트를 선정

❍ 타 권역에서도 수요기업으로 참여 가능

❍ 2030년 이후 탄소중립을 위해 미래 기술과의 연계방안 고려

□ CCU 기술 제품 중 온실가스 감축 효과, 부가가치, 시장규모가 큰 R&D 실증·상용화 집중 투자 제품군 중, **동남권역 수요-활용처가 많은 플랫폼 화합물** 선정

*과기부·산업부·환경부 합동으로 추진중인 'CCU로드맵' 전문가 작업반 검토 결과
화학전환 분야 : ①합성가스(CO, H2), ②메탄올, ③올레핀, ④초산, ⑤개미산, ⑥옥살산, ⑦디메틸카보네이트, ⑧프로필렌카보네이트, ⑨폴리카보네이트, ⑩폴리우레탄

❍ 메탄올과 같은 플랫폼화합물은 이미 시장이 형성되어 있고, 조기 상용화를 통한 산업화가 가능한 품목으로 판단되므로 국고 지원을 통한 업종별 파급효과는 물론 세계 최고 수준의 기술 확보 가능

□ 메탄올은 화학산업에 있어서 매우 중요한 중간 화학물질로써, 이산화탄소로부터 매우 다양한 기술적 방법을 통해 생산 가능

❍ 공급되는 이산화탄소의 상태 및 공정환경에 따른 적절한 메탄올 제조방법 선택이 가능하며, 연료 및 원료 부문에서 기존 화석연료를 대체할 수 있을 것으로 기대

- 이산화탄소로부터 역수성가스 전환 반응을 통하여 일산화탄소를 생성하고, 생성된 일산화탄소 및 수소와의 반응을 통하여 메탄올 제조가 가능하며, 이산화탄소의 직접 수소화 반응을 통한 메탄올 생산도 가능
- 메탄올은 중간 화학물질이자 휘발유와 혼합 사용이 가능하여 연료 부문 활용 물질로도 포함

제5절 세부 기술개발 과제

1. (화학) 온실가스 감축형 합성가스 생산 기술

과제 개요		
전략 과제	합성가스	
세부 과제명	온실가스 감축형 합성가스 생산 기술	
사업 권역	□서부권, ■남부권, □중부권, □동남권	
기술 유형	■화학적전환 □생물학적전환 □광물탄산화	
적용 산업	석유화학	
최종 제품	합성가스 100톤/일 이상	
산출물	온실가스 감축목표	30,000(톤/년)

기술 개발 개요								
기술개발단계	□ 기초 □ 응용 □ 개발 ■ 실증				기술단계	TRL (7)단계		
적용 산업	석유화학				최종 제품	합성가스 100톤/일 이상		
기술개발 주체	기업 단독	산+산	산+학	산+연	산+산+연	산+학+연	산+해외	
				○				
기술 개발 규모	연구 개발 기간	2025년 ~ 2027년 (3년)						
	연구비 (억 원)	총연구비	총 1,200 억원					
		개발년도	2025	2026	2027	2028	2029	2030
		국고	300	400	100			
		민자	150	200	50			
		소계	450	600	150			
	소요 인력	총 소요 인력 (50)명						
기술 개요	기술 정의	상용 규모에서 장기 가동 가능한 합성가스 공급 기술 개발						
	기술개발 목표	조기 상용화가 가능한 이산화탄소 기반 합성가스 개발 기술 실증						

□ 최종 목표

❍ 국내 최다 CO2 배출 지역인 남부권의 산업현장 맞춤형 대규모 이산화탄소 기반 합성가스 제조 기술 조기 상용화

- 주력산업 배출 이산화탄소 유래 석유화학 플랫폼 원료의 지역 내 직접 공급을 위한, 상용 규모의 이산화탄소 기반 합성가스 공급 통합 공정 구축, 최적화 및 장기 운영 안정성 확보
- 철강-석유화학-정유 등 남부권의 탄소 다배출 산업을 연계하여, 국가 탄소 배출 저감에 기여할 수 있는 신산업 벨류체인 구축

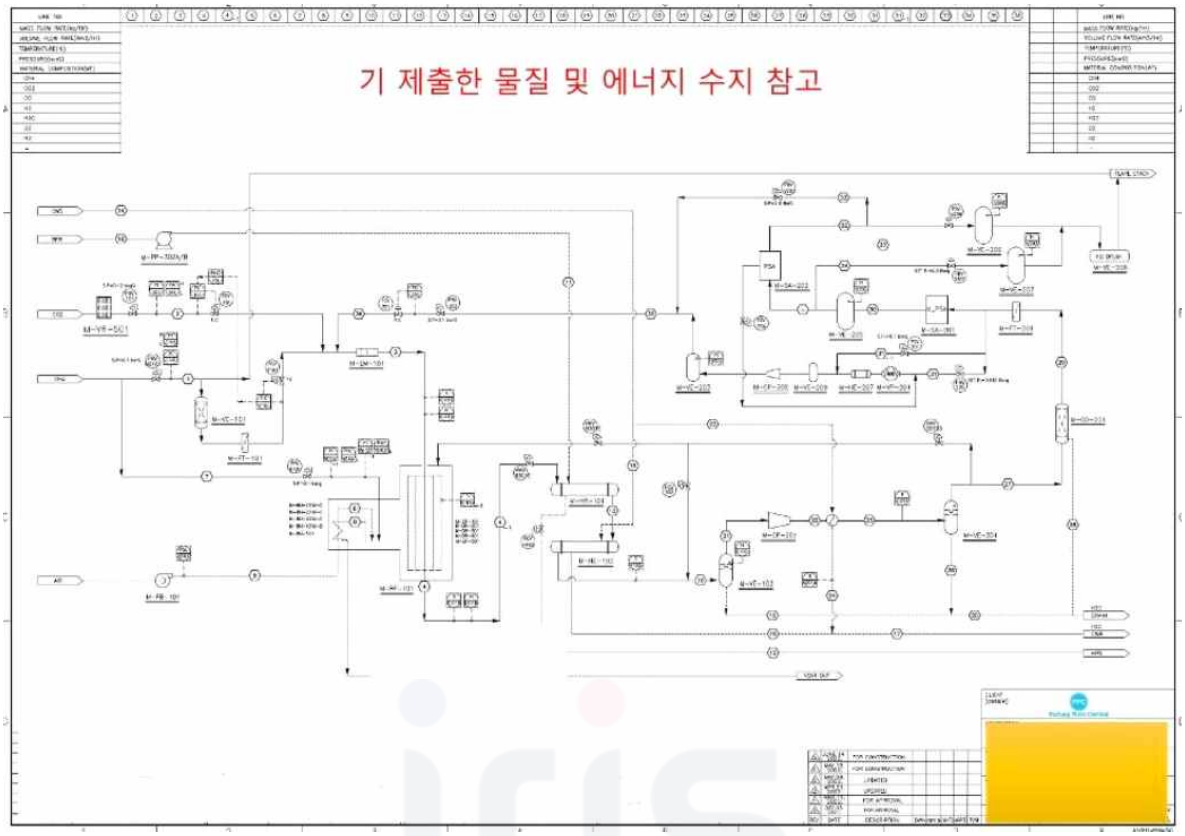
□ 단계별 목표

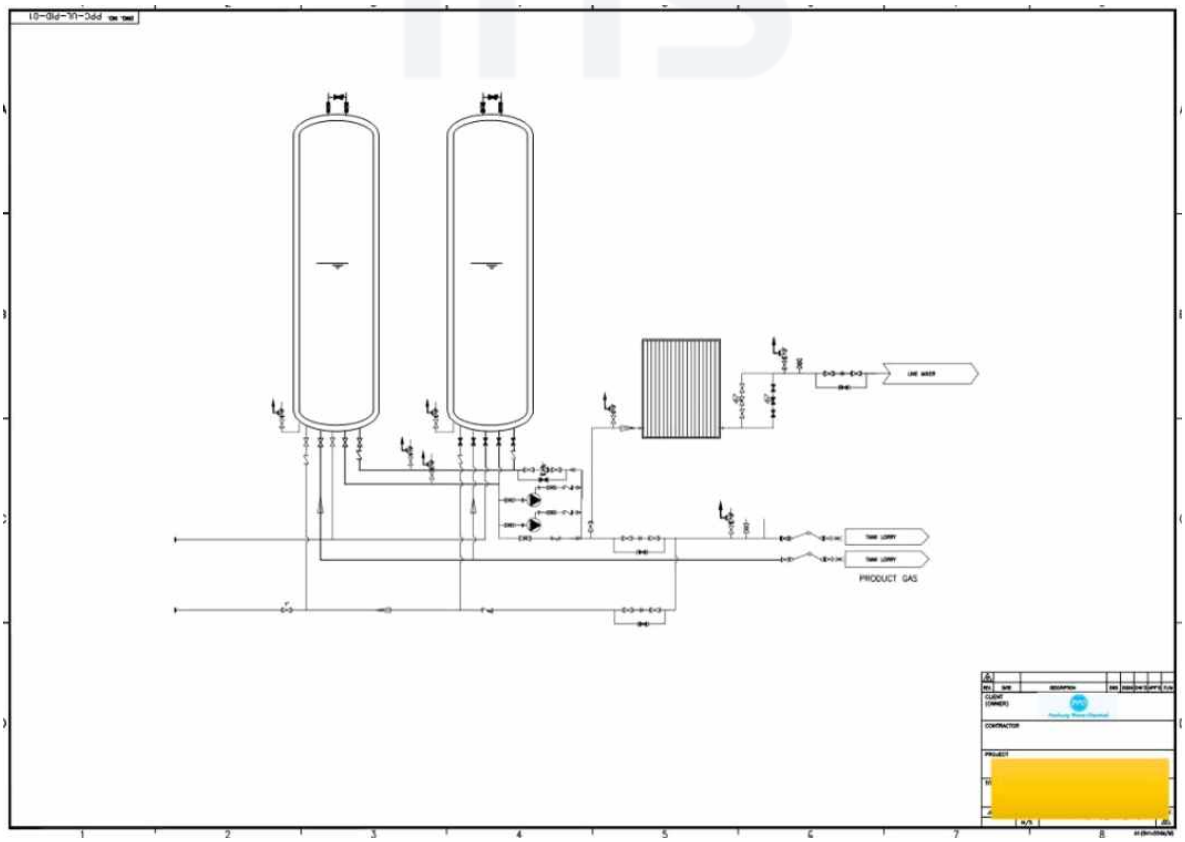
1단계(‘25년 ~ ‘27년)	2단계(‘28년 ~ ‘30년)
- 요소기술이 확립된 기술을 선별하여 통합공정 설계 및 실증규모 확대 : bench 설비 공정 설계 및 구축, 데이터 확보 : 촉매 성능 최적화, 내구성 확보, scale-up : 통합 공정 기술경제성 분석 : 실증공정 설계 및 데이터 확보 : 분리/정제 기술 효율화	- 상용화 단계 실증기술의 규모 격상 및 제품화를 추진하고, 기술의 파급효과를 최대화할 수 있는 융합연구 병행 : 실증을 통한 포집/활용 공정 연계성 및 제품 전환 효율 등 확보 : 실증 공정 구축, 장비 설치, 장비 운영 : 기술 확대 적용 전략 수립 : 탄소감축방법론 개발 및 목표 감축량 반영

□ 성능목표

성과지표	현 수준	개발 목표					
		‘25	‘26	‘27	‘28	‘29	‘30
CO_2 활용량(톤/일)	20	30	50	100			
합성가스 시제품 생산(m^3)	50	50	100	200			
플랜트 신뢰성 매뉴얼 도출				1			
플랜트 설계 패키지 도출				1			
온실가스 감축 방법론 연구				1			

□ 공정도(PFD)





□ 장비 리스트

NO	Equipment	Q'ty	Unit	General Specification		
				Capacity	Specification & Condition	Materials
1	H2S Absorber		Sets			
2	LNG Gas Filter		Sets			
3	Dry Reformer		Sets			
4	Reformer Burner		Sets			
5	Combustion Air Fan		Sets			
6	Quenching Cooler		Sets			
7	Syngas Cooler		Sets			
8	Syngas 1st Surge tank		Sets			
9	Syngas 1st Compressor		Sets			
10	Syngas 1st Condensate Tank		Sets			
11	Syngas Dryer		Sets			
12	Syngas Filter		Sets			
13	V-PSA Tank		Sets			
14	CO2 Vacuum pump		Sets			
15	CO2 Surge Tank		Sets			
16	CO2 Gas Compressor		Sets			
17	CO2 Buffer Tank		Sets			
18	CO & H2 Syngas Buffer tank		Sets			
19	PSA Tank		Sets			
20	H2 Buffer Tank		Sets			
21	CO Buffer Tank		Sets			
22	CO Rinsing Compressor		Sets			
23	CO Rinsing Buffer Tank		Sets			
24	H2 Booster Compressor		Sets			
25	H2 Storage Tank		Sets			
26	CO Booster Compressor		Sets			
27	CO Storage Tank		Sets			
28	Flare Knock out drum		Set			
29	Flare Stack		Set			
30	Cooling Tower		Sets			
31	Cooling Water Pump		Sets			
32	Boiler Feed Water Pump		Sets			
33	Softner		Sets			
34	Air Compressor		Sets			
35	N2 Generator		Sets			
36	Sump pump		Sets			

2. (화학) 미활용 탄소 활용 합성가스 생산 기술

과제 개요		
전략 과제	합성가스	
세부 과제명	미활용 탄소 활용 합성가스 생산 기술	
사업 권역	□서부권, ■남부권, □중부권, □동남권	
기술 유형	■화학적전환 □생물학적전환 □광물탄산화	
적용 산업	철강산업, 화학산업, 수소산업	
최종 제품	합성가스, COG, 수소, LNG 대체	
산출물	온실가스 감축목표	200,000(톤/년)

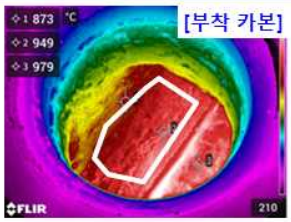
기술 개발 개요								
기술개발단계	□ 기초 □ 응용 ■ 개발 ■ 실증				기술단계	TRL (6)단계		
적용 산업	철강산업, 화학산업, 수소산업				최종 제품	합성가스, COG, 수소, LNG 대체		
기술개발 주체	기업 단독	산+산	산+학	산+연	산+산+연	산+학+연	산+해외	
					○			
기술 개발 규모	연구 개발 기간	2025년 ~ 2030년 (6년)						
	연구비 (억 원)	총연구비	총 800 억원					
		개발년도	2025	2026	2027	2028	2029	2030
		국고	35	105	140	140	70	70
		민자	15	45	60	60	30	30
		소계	50	150	200	200	100	100
	소요 인력	총 소요 인력 (300)명						
기술 개요	기술 정의	다양한 전환매체 활용 및 무포집 이산화탄소 전환을 통해 저비용 CO2 기반 합성가스 제조 기술 개발 및 통합 패키지 개발						
	기술개발 목표	경제성 및 높은 탄소 저감능력을 지니는 CO_2 기반 합성가스 제조 기술 개발 및 상용화 기반 확보						

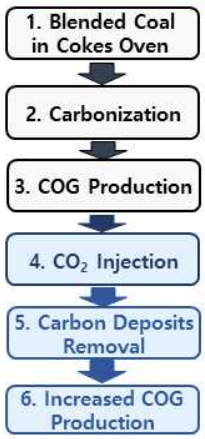
□ 코크스 오븐CO_2 취입 전환 기술 개요

○ 코크스 오븐 내 미활용 고온 카본 (C)을 활용하는 CCU 기술
- 주요 반응 : C (부착카본) + CO_2 → 2CO (부다반응)

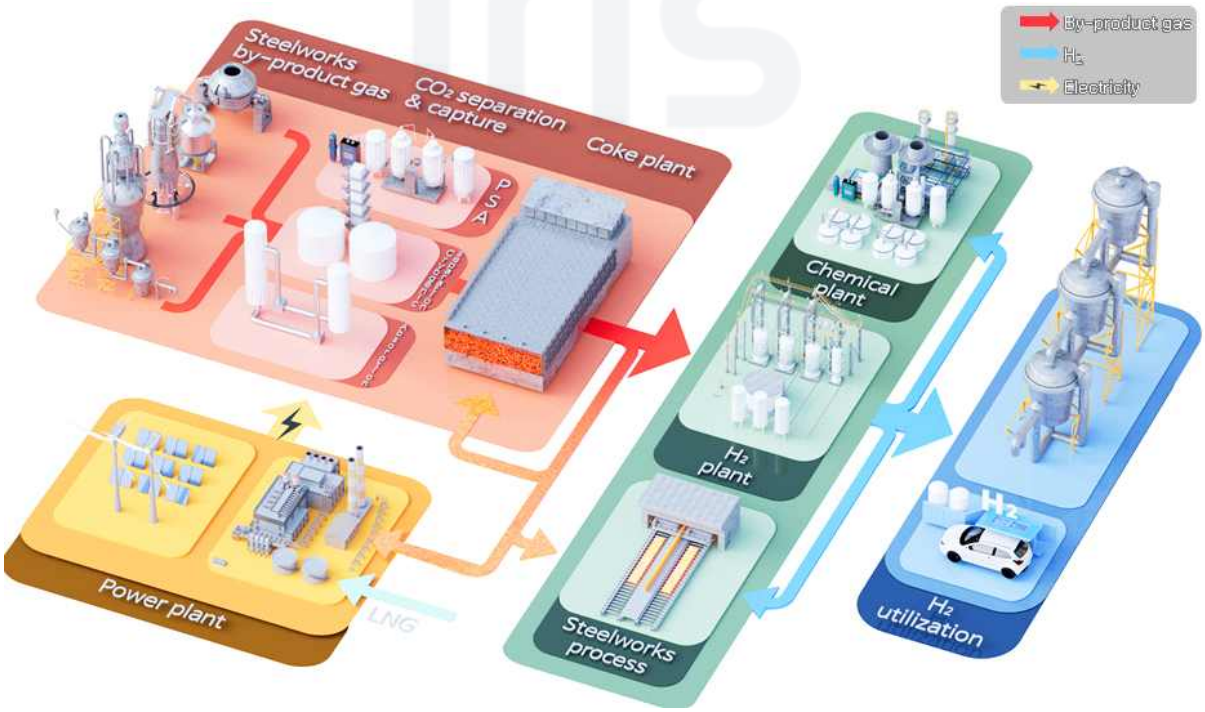
○ 철강공정에 특화되고, Net CO_2 저감이 가능한 세계 최초 CCU 실증 기술

[코크스 생산 및 CO_2 취입·전환 공정]



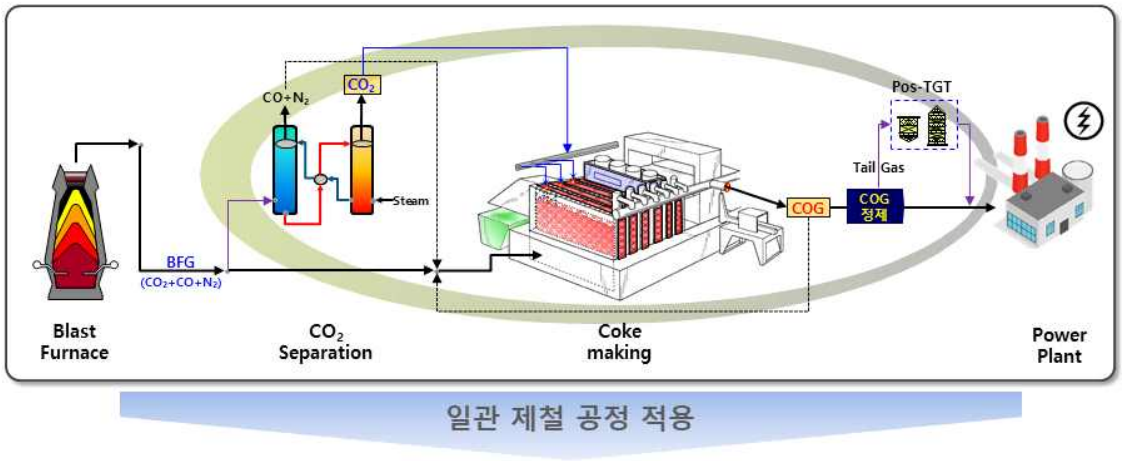


□ 철강 공정 CO2회수-전환-활용 기술 개략도



□ 철강 공정 CO_2회수-전환통합 공정 개념도

CO_2 회수 및 자원화 통합 공정 개념



일관 제철 공정 적용

저탄소 제철산업의 경쟁력 제고를 위한 실질적 CO_2 저감 기술 실증

→ 제철소 내 발생하는 대량의 CO_2 회수 및 활용

□ 최종 목표

❍ 국내 최다 CO2 배출 지역인 남부권의 산업현장 맞춤형 이산화탄소 기반 합성가스 제조 기술 조기 상용화

- 산업공정 맞춤형 이산화탄소 저감 일산화탄소 생산기술 개발
- 주력산업 배출 이산화탄소 및 다양한 환원물질 활용을 통한 고효율, 저에너지 이산화탄소 기반 합성가스 공급 통합 공정 구축 및 상용화를 위한 통합 패키지 기술 확보
- 철강-석유화학-정유 등 남부권의 탄소 다배출 산업을 연계하여, 국가 탄소 배출 저감에 기여할 수 있는 신산업 벨류체인 구축

□ 단계별 목표

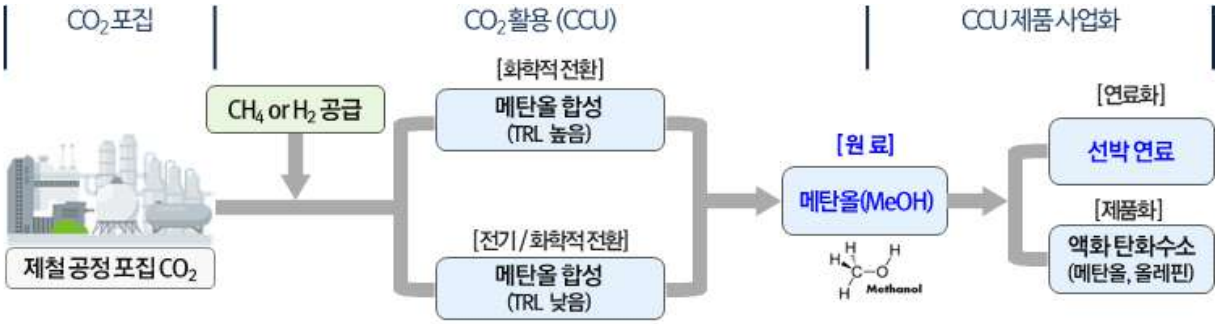
1단계('25년 ~ '27년)	2단계('28년 ~ '30년)
- 통합공정 설계 및 실증규모 확대 : bench 설비 공정 설계 및 구축, 데이터 확보 : 촉매 성능 최적화, 내구성 확보, scale-up : 통합 공정 기술경제성 분석 : 실증공정 설계 및 데이터 확보 : 분리/정제 기술 효율화	- 상용화 단계 실증기술의 규모 격상 및 제품화를 추진 : 실증을 통한 포집/활용 공정 연계성 및 제품 전환 효율 등 확보 : 실증 공정 구축, 장비 설치, 장비 운영 : 탄소감축방법론 개발 및 목표 감축량 반영

3. (화학) CO_2 활용에 의한 메탄올 생산 기술

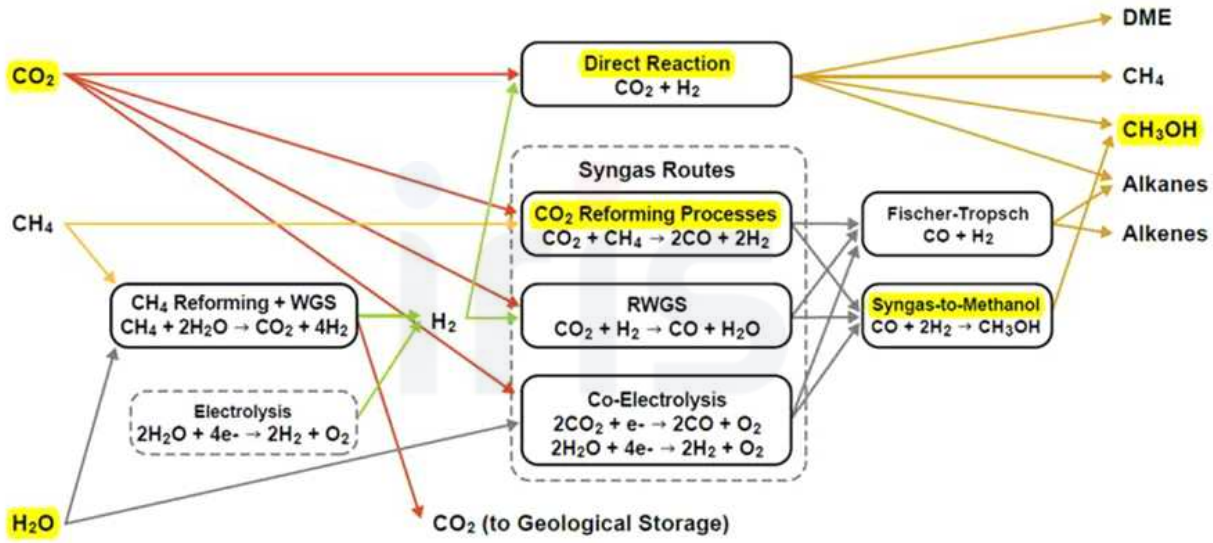
과제 개요		
전략 과제	메탄올	
세부 과제명	CO2 활용에 의한 메탄올 생산 기술	
사업 권역	□서부권, □남부권, □중부권, ■동남권	
기술 유형	■화학적전환 □생물학적전환 □광물탄산화	
적용 산업	철강/석유화학	
최종 제품	메탄올, 합성가스	
산출물	온실가스 감축목표	5,500(톤/년)

기술 개발 개요								
기술개발단계	□ 기초 □ 응용 ■ 개발 ■ 실증					기술단계	TRL (5)단계	
적용 산업	철강/석유화학					최종 제품	메탄올, 합성가스	
기술개발 주체	기업 단독	산+산	산+학	산+연	산+산+연	산+학+연	산+해외	
						○		
기술 개발 규모	연구 개발 기간	2025년 ~ 2030년 (6년)						
	연구비 (억 원)	총연구비	총 400 억원					
		개발년도	2025	2026	2027	2028	2029	2030
		국고	15	20	100	30	25	10
		민자	15	20	100	30	25	10
		소계	30	40	200	60	50	20
	소요 인력	총 소요 인력 (142)명						
기술 개요	기술 정의	동남권 산업계 온실가스를 활용한 친환경 메탄올 생산 기술 통합 패키기 기술 개발						
	기술개발 목표	동남권 산업계 온실가스를 활용한 메탄올 전환 공정 실증규모 기술개발 및 통합 패키지 기술 개발						

□ 온실가스 감축을 위한 제철 공정 배가스내 CO_2활용 메탄올 생산 기술 실증 개발 개요



- 2,000 Nm^3/hr 배가스 규모 분리막 포집 설비 구축



□ 추진 체계

추진 체계	추진 전략
철강사	- 분리막기반 CO2포집및 공급 (배가스2,000 Nm3/hr용량 포집설비 구축)
정출연/화학사	- CO2기반 메탄올 전환 기술 (1 step or 2 step), 저에너지CO2전환 기술
건설/엔지니어링사	- 실증 설비 관련 통합 설계/구축 및 상업화를 위한 Scale-up 설계
조선사/운송사	- CO2전환 메탄올 사용성평가, 수요공급 예측모델 및 경제성 평가
CCU 인증기관/대학교	- 해당 기술 CCU 평가 및 인증, 기술경제성 분석 및 감축방법론 개발

□ 최종 목표

❍ 제철 공정 배가스 내 CO_2 활용(약 20%) 메탄올 전환 공정 실증 및 적용 기술 확보

- 연간 CO_2 5,500톤 감축 목표 (포집 CO_2 기준)
- 분리막 기반의 CO_2 포집 설비 구축 (2,000 Nm3/hr 배가스 feed)
- 포집 CO_2 활용 메탄올 전환 기술 (CO_2 개질 반응을 위한 H2 또는 CH4 공급 인프라 수반)
- 저에너지 CO_2 to 메탄올 전환 기술 (기존 고온기반 전환 기술 대체)
- 포집 CO_2 로부터 전환된 메탄올의 선박 엔진 적용 기술
- CO_2 포집/활용 통합 시스템 기술 경제성 분석 및 탄소 감축방법론 도출

❍ 이산화탄소를 활용한 메탄올 생산 통합 패키지 기술개발 및 메탄올 시장 선점

- 동남권역의 제철산업과 석유화학산업에서 발생된 CO_2를 활용하여 직접/간접 전환의 방법으로 다양한 메탄올 합성 공정 구축
- 통합 공정에 대한 경제성 검토 및 메탄올 생산 기술을 실증하고, 탄소중립 메탄올 생산하여, 관련 시장 선점

□ 단계별 목표

1단계('25년 ~ '27년)	2단계('28년 ~ '30년)
• CO_2 포집 및 활용 실증 설비 설계 및 구축	• 실증 최적운전조건 수립 및 목표 감축량 달성

4. (화학) 정유 공정 배가스 CO_2 활용 기초유분 생산 기술

과제 개요		
전략 과제	올레핀	
세부 과제명	정유 공정 배가스 CO_2 활용 기초유분 생산 기술	
사업 권역	□서부권, ■남부권, □중부권, □동남권	
기술 유형	■화학적전환 □생물학적전환 □광물탄산화	
적용 산업	정유/석유화학	
최종 제품	올레핀	
산출물	온실가스 감축목표	131,200(톤/년)

기술 개발 개요								
기술개발단계	□ 기초 □ 응용 □ 개발 ■ 실증				기술단계	TRL (6~8)단계		
적용 산업	정유/석유화학				최종 제품	올레핀		
기술개발 주체	기업 단독	산+산	산+학	산+연	산+산+연	산+학+연	산+해외	
					○			
기술 개발 규모	연구 개발 기간	2025년 ~ 2030년 (6년)						
	연구비 (억 원) 총연구비	총 200 억원						
	개발년도	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
	국고	12	15	56	39	19	10	
	민자	4	5	18	13	6	3	
	소계	16	20	74	52	25	13	
	소요 인력	총 소요 인력 (194)명						
기술 개요	기술 정의	공정 배출가스 내 CO_2 감축을 위한 CO_2 직접 전환 기초유분 생산 기술 Demo Scale 패키지 개발						
	기술개발 목표	• CO_2 직접전환 기초유분 생산기술 패키지 개발 • 장시간 운전 데이터, Scale-up factor, 경제성 분석 및 CO_2 절감 효과 분석을 수행하여 공정설계안 확보 • CO_2 전환 올레핀 생산기술 상용화를 위한 기반 확보						

□ 최종 목표

❍ 석유화학 원료 대체를 위한 친환경 올레핀 생산 기술 개발 및 통합 패키지 확보

- 상용공정 적용을 위해 장기안정성을 고려하여 촉매 활성 및 내마모성을 고려한 최적의 물성을 갖는 촉매 구조 설계 및 대량 합성 기술 개발
- 에너지 효율을 향상시킬 수 있는 반응기 형태, 크기 선정 및 최적 공정 설계. CO_2 직접전환의 발열을 컨트롤하고, 열효율을 높일 수 있는 demo scale 에너지 효율 향상 반응 공정/반응기 설계 기술 개발 및 설비 건설 및 운전 기술 확보
- 상업화 설비 설계를 위한 기반 Data 확보 및 상업설비 Design Package 확보
- 스케일업 및 반응 최적화

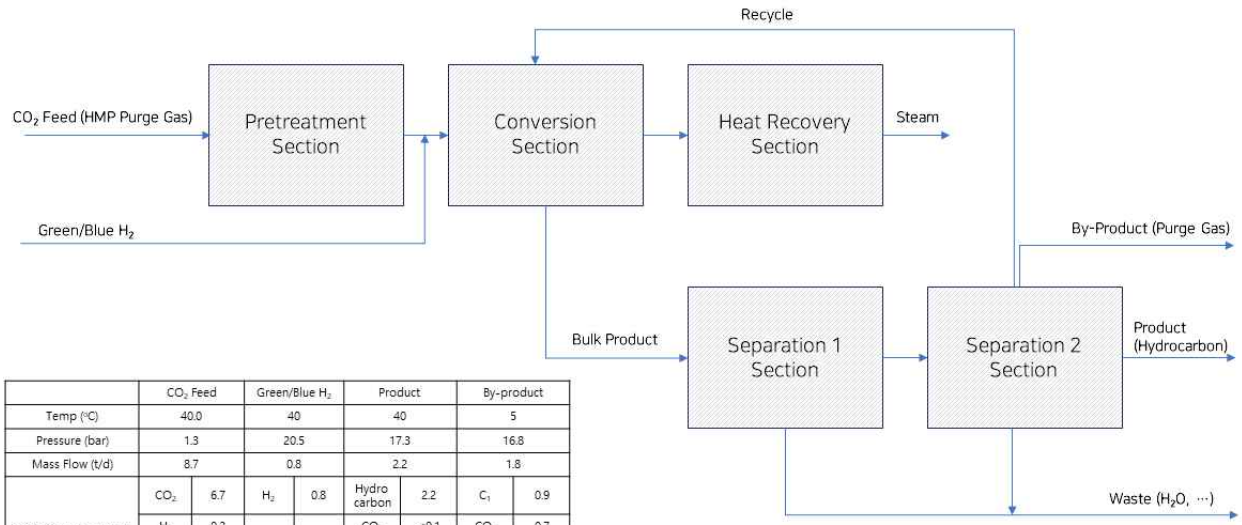
□ 단계별 목표

1단계('25년 ~ '27년)	2단계('28년 ~ '30년)
- 격상 규모 연구 추진 및 촉매·공정 기술 최적화	- 장시간 운전 데이터, scale-up factor, 경제성 분석 및 CO_2 절감 효과 분석을 통한공정설계안 확보

□ 성능목표

성과지표	현 수준	개발 목표					
		'25	'26	'27	'28	'29	'30
이산화탄소 처리량 (톤-CO_2/일)	50 kg-CO_2/일	-	-	-	20	50	50
이산화탄소 합성가스 전환율	30%	30	35	40	35	40	40
기초유분 선택도	40%	40	45	50	50	50	50
실증 설비 장기 운전 (시간)	-	-	-	-	500	8000	4000
상업설비 Design Pakage확보	-	-	-	-	-	-	확보

□ 공정 흐름도



	CO_2 Feed		Green/Blue H_2		Product		By-product	
Temp (℃)	40.0		40		40		5	
Pressure (bar)	1.3		20.5		17.3		16.8	
Mass Flow (t/d)	8.7		0.8		2.2		1.8	
주요 Component (t/d)	CO_2	6.7	H_2	0.8	Hydro carbon	2.2	C_1	0.9
	H_2	0.2			CO_2	<0.1	CO_2	0.7
	CO	0.9						
	C_1	0.9						

□ 장비리스트

	SERVICE	Q'TY
COMPRESSOR	COMPRESSOR	1
	COMPRESSOR	1
PUMP	REFLUX PUMP	1+1
	PRODUCT PUMP	1+1
	WATER PUMP	1+1
	SALT CIRCULATION PUMP	1+1
COLUMN	COLUMN	1
REACTOR & DRYER	DEHYDRATOR	1
	DEOXYGENATOR	1
	REACTOR	1
HEAT EXCHANGER	HEAT EXCHANGER	1
	HEAT EXCHANGER	2
	HEAT EXCHANGER	1
	HEAT EXCHANGER	1
	HEAT EXCHANGER	2
	HEAT EXCHANGER	2
DRUM	DRUM	1
	DRUM	2
	DRUM	2
	DRUM	1
PACKAGES & SPECIALTY ITEMS	CHILLER	1

5. (화학) 합성연료(휘발유, 경유) 생산 기술

과제 개요		
전략 과제	e-Fuel	
세부 과제명	합성연료(휘발유, 경유) 생산 기술	
사업 권역	□서부권, ■남부권, □중부권, □동남권	
기술 유형	■화학적전환 □생물학적전환 □광물탄산화	
적용 산업	탄소중립 모빌리티	
최종 제품	e-Fuel	
산출물	온실가스 감축목표	50,000(톤/년)

기술 개발 개요								
기술개발단계	□ 기초 □ 응용 ■ 개발 □ 실증				기술단계	TRL (6)단계		
적용 산업	탄소중립 모빌리티				최종 제품	e-Fuel		
기술개발 주체	기업 단독	산+산	산+학	산+연	산+산+연	산+학+연	산+해외	
						○		
기술 개발 규모	연구 개발 기간	2025년 ~ 2030년 (6년)						
	연구비 (억 원)	총연구비	총 500 억원					
		개발년도	2025	2026	2027	2028	2029	2030
		국고	45	35	30	60	50	30
		민자	45	35	30	60	50	30
		소계	90	70	60	120	100	60
	소요 인력	총 소요 인력 (50)명						
기술 개요	기술 정의	이산화탄소 활용 합성연료 개발 및 통합 패키지 기술 확보						
	기술개발 목표	이산화탄소 활용 합성연료 제조 상용화 기반 구축 및 자동차 규격 인증 확보						

□ 최종 목표 : CO_2 전환 합성연료 생산 실증 기술 개발

❍ 그린 수소 기반 고효율 친환경 CO_2 기반 합성연료 제조기술 실증

- 실증 운전 데이터 기반 스케일업 전략 수립

❍ 기업 주관 수요 맞춤형 CCU 화학적 전환 기술 실증 수행

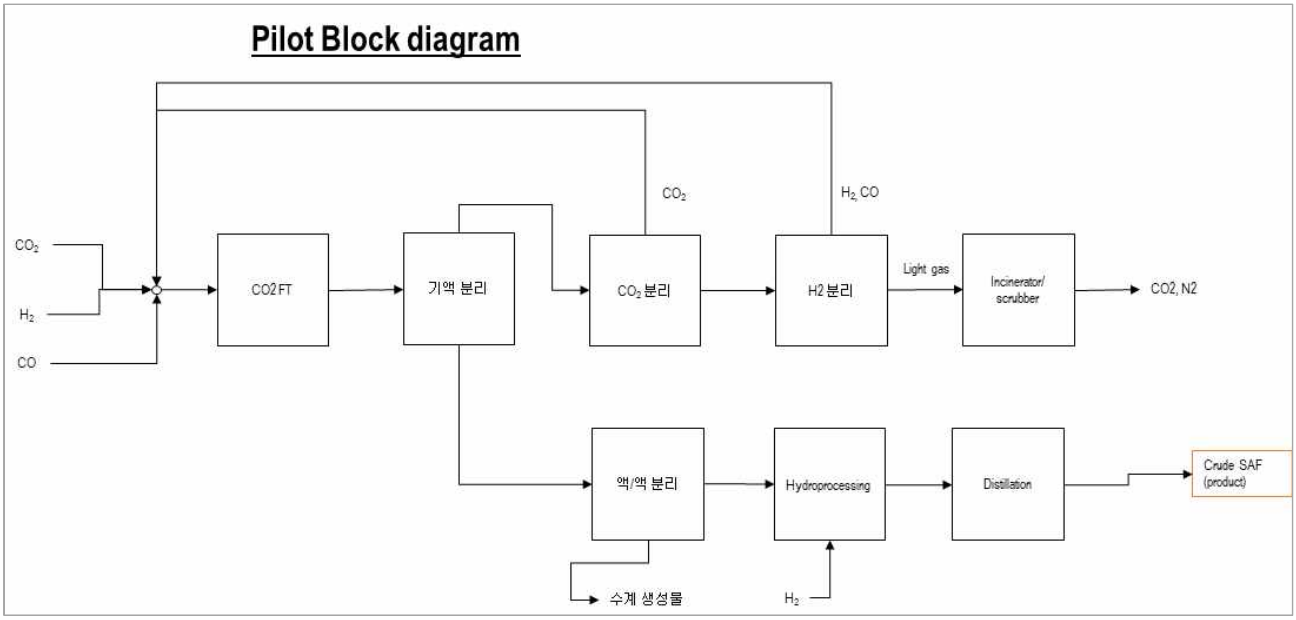
□ 단계별 목표

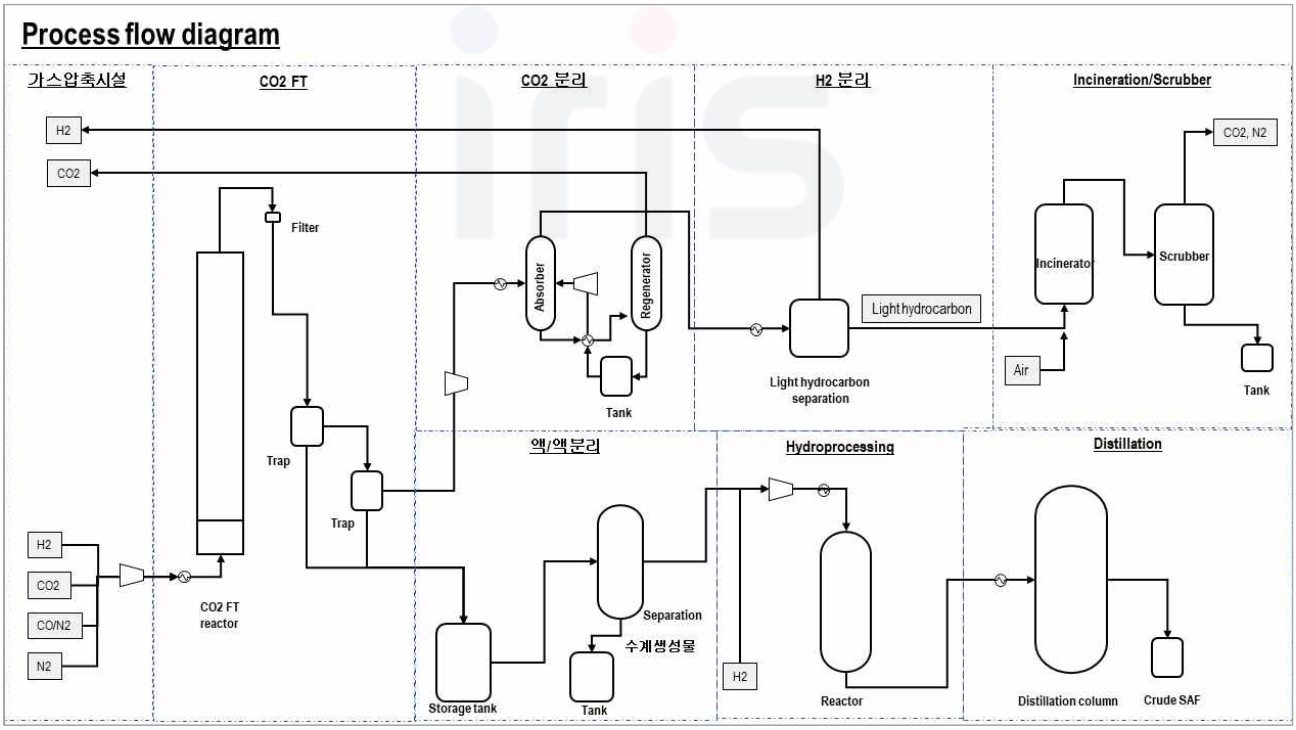
1단계('25년 ~ '27년)	2단계('28년 ~ '30년)
• Bench(pre-Pilot) 검증 및 Pilot 설계	• Pilot 통합실증 및 상업화 기본 설계

□ 성능목표

성과지표	현 수준	개발 목표					
		'25	'26	'27	'28	'29	'30
그린수소 생산 단가	1만원/kg	-	-	-	$6/kg	$5/kg	$4/kg
이산화탄소 포집비용 (산업 분야)		-	-	-	$70/t	$65/t	$60/t
이산화탄소 포집비용 (DAC)	$600/t (미국)	-	-	-	$350/t	$300/t	$250/t
액체연료 생산					1000t/yr	1100t/yr	1150t/yr

□ 공정도(PFD)


Pilot Block diagram
CO2
H2
CO
CO2 FT
기액 분리
CO2
H2, CO
CO2 분리
H2 분리
Light gas
Incinerator/ scrubber
CO2, N2
액/액 분리
Hydroprocessing
Distillation
Crude SAF (product)
수계 생성물
H2


Process flow diagram
가스압축시설
CO2 FT
CO2 분리
H2 분리
Incineration/Scrubber
H2
CO2
Filter
Absorber
Regenerator
Tank
Light hydrocarbon
Light hydrocarbon separation
CO2, N2
Incinerator
Scrubber
Air
Tank
Trap
Trap
액/액분리
Hydroprocessing
Distillation
H2
CO2
CO/N2
N2
CO2 FT reactor
Separation
수계생성물
Storage tank
Tank
H2
Reactor
Distillation column
Crude SAF

□ 설비 및 투자비

❍ 주요설비

공정	주요 설비	Spec
가스 압축시설	Compressor	
CO2FT	고압반응기, 히터, 필터, Trap	250~ 400°C, 10 ~ 30 barg
CO2 분리	흡수탑, 재생탑, tank,pump,compressor	흡수탑 상온~ 60°C, ~10 barg, 재생탑 80~ 150°C, 상압
H2분리	분리 칼럼	
액액분리	분리 칼럼, tank	
Hydroprocessing	고압 반응기, compressor, 히터	200 ~ 500°C, 10 ~ 30 barg
Distillation	증류 칼럼, compressor,heater	~ 400°C
Incinerator/ scrubber	Incinerator, scrubber, tank	
유틸리티		
가스 저장시설	H2,CO2 가스 저장소	

❍ 민간 투자비

- 공정별 평균 10억 기준, 7개 공정 70억
- 약 137 억원 이상 소요

항목	금액(억 원)	
ISBL	70	
OSBL	28	ISBL* 0.4
엔지니어링	29.4	(ISBL+ OSBL)*0.3
Contigencycharge	9.8	(ISBL+ OSBL)*0.1
합계	**137.2**	

6. (화학) e-SAF 제조를 위한 상용공정 개발

과제 개요		
전략 과제	e-Fuel	
세부 과제명	e-SAF 제조를 위한 상용공정 개발	
사업 권역	□서부권, ■남부권, □중부권, □동남권	
기술 유형	■화학적전환 □생물학적전환 □광물탄산화	
적용 산업	탄소중립 모빌리티	
최종 제품	e-SAF	
산출물	온실가스 감축목표	5,000(톤/년)

기술 개발 개요								
기술개발단계	□ 기초 □ 응용 ■ 개발 □ 실증				기술단계	TRL (6)단계		
적용 산업	탄소중립 모빌리티				최종 제품	e-SAF		
기술개발 주체	기업 단독	산+산	산+학	산+연	산+산+연	산+학+연	산+해외	
						○		
기술 개발 규모	연구 개발 기간	2025년 ~ 2030년 (6년)						
	연구비 (억 원)	총연구비	총 500 억원					
		개발년도	2025	2026	2027	2028	2029	2030
		국고	45	35	30	60	50	30
		민자	45	35	30	60	50	30
		소계	0	0	0	0	0	0
	소요 인력	총 소요 인력 (50)명						
기술 개요	기술 정의	기업 중심의 e-SAF 제조 통합실증 사업을 통해 연간 CO_2 10만톤 감축 및 NDC 목표달성을 위한 CCU 상용 기술 개발						
	기술개발 목표	SAF 제조 파일럿 통합실증을 통한 상용 공정 기반 구축						

□ 최종 목표

❍ 재생 전력 기반 지속가능 항공유 제조 실증 기술 개발

- CO_2 직접 수소화를 통해 e-SAF을 제조할 수 있는 무기촉매 전환 기술 개발. 촉매 성능 최적화 및 내구성 검증으로 연료 수율 25% 이상, 촉매 내구성 300시간 이상 검증
- 전남도의 풍부한 신재생 전기 인프라를 활용할 수 있는 전기화 기반 CO_2 전환 SAF 제조 기술 개발. CO_2 전환, SAF제조 cacsde 촉매 및 공정 연계 기술 개발
- kg 단위의 촉매 양산이 가능한 촉매 합성 및 성형 설비 구축, SAF 20톤/년 이상 제조 가능한 demo plant 설계, 구축 및 시운전. Demo plant 운전 조건 최적화를 통한 상용 공정 설계 및 상업용 촉매 양산 시스템 구축

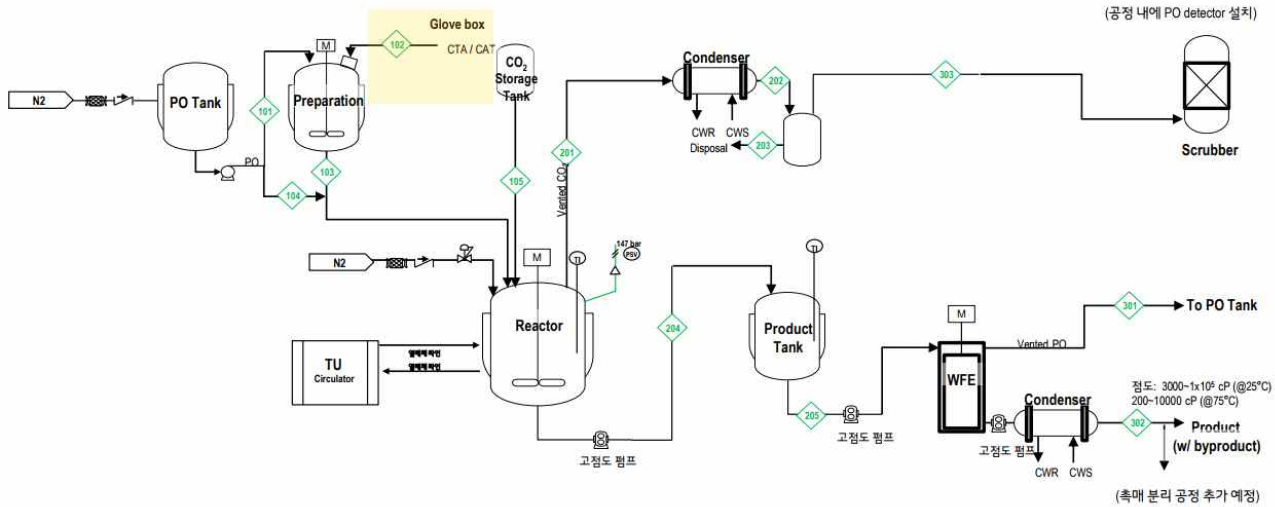
□ 단계별 목표

1단계('25년 ~ '27년)	2단계('28년 ~ '30년)
• Bench(pre-Pilot) 검증 및 Pilot 설계	• Pilot 통합실증 및 상업화 기본 설계

□ 성능목표

성과지표	현 수준	개발 목표					
		'25	'26	'27	'28	'29	'30
파우더 촉매 SAF 수율(%)	20 (Lab)	20(Bench)	25(Bench)	25(Bench)			
성형 촉매 SAF 수율(%)	-				20(Pilot)	25(Pilot)	
파우더 촉매 내구성 (h)	-	100(Bench)	300(Bench)	300(Bench)			
성형 촉매 내구성 (h)	-				300(Pilot)	1000(Pilot)	
상업화 기본 설계 (PDP)	-						PDP 확보

□ 공정흐름도(PFD)



□ 장비 사양 및 비용

[장비 사양 및 비용]

							장비 + 부대 설비	Only 장비
	Type	Size	design pressure	design temp	Shell material	점도	Total Direct Cost	Equipment Cost
		L	bar			Mpa-s	$	$
Reactor	agitated tank with jacket	500	32	125	SS316	100000	1,898,300.00	189,900.00
PO tank	agitated tank with jacket	500	10	125	SS316	1	263,700.00	90,800.00
Prep tank	agitated tank with jacket	100	10	125	SS316	1	211,700.00	40,500.00
CO2 tank	agitated tank with jacket	500	70	125	SS316	1	350,900.00	150,100.00
Product tank	agitated tank with jacket	800	10	125	SS316	100000	1,373,700.00	206,300.00
Wiped film evaporator	Distillation Equipment	1400/10500 (mm)#	0.001 (mbar)	125	CS; SS304; SS316; Duplex steel; Titanium	100000	1,300,000.00	250,000.00
							5,398,300.00	677,600.00

한화 73 억원 수준(환율 기준 1,360 KRW/USD)

Wiped film evaporator 사양
inner diameter/height
(feeding rate 1800-300 kg/h)
(evap. Area: 20 m^2, condenser area: 30 m^2)

전체 파일럿 투자비는 73억원 × 3 = 220억원 예상됨

7. (화학) CO_2 활용 폴레우레탄 생산 기술

과제 개요		
전략 과제	폴리머	
세부 과제명	CO_2 활용 폴레우레탄 생산 기술	
사업 권역	■서부권, □남부권, □중부권, □동남권	
기술 유형	■화학적전환 □생물학적전환 □광물탄산화	
적용 산업	석유화학	
최종 제품	폴리우레탄	
산출물	온실가스 감축목표	50,000(톤/년)

기술 개발 개요								
기술개발단계	□ 기초 □ 응용 □ 개발 ■ 실증				기술단계	TRL (6)단계		
적용 산업	석유화학				최종 제품	폴리우레탄		
기술개발 주체	기업 단독	산+산	산+학	산+연	산+산+연	산+학+연	산+해외	
						○		
기술 개발 규모	연구 개발 기간	2025년 ~ 2030년 (6년)						
	연구비 (억 원)	총연구비	총 330 억원					
		개발년도	2025	2026	2027	2028	2029	2030
		국고	20	30	30	110	30	30
		민자	7	10	10	33	10	10
		소계	27	40	40	143	40	40
	소요 인력	총 소요 인력 (142)명						
기술 개요	기술 정의	고성능/친환경 CO_2 기반 폴리우레탄 전환 기술 개발 및 통합 패키지 기술 개발						
	기술개발 목표	이산화탄소 함유 폴리올, 이소시아네이트 제조 기술 실증화						

□ **최종 목표** : 이산화탄소 함유 폴리올, 이소시아네이트 제조 기술 실증화

❍ 지역내에서 많이 발생하는 CO_2 를 이용한 고분자 등의 고부가가치 화합물 생산 기술개발

❍ 지역내 공업단지의 배출가스내 CO_2 감축 및 폴리머 동시 생산 기술 개발

❍ 포집된 CO_2 를 활용한 폴리머 생산을 위한 실증 기술 개발(전기화학, 생물, 촉매, 친환경 공정 등)

❍ 친환경/고성능/저가격 CO_2 폴리올, 이소시아네이트 촉매 기술 개발

- 고활성, 저가격의 특징을 지니는 모노머 제조 촉매 기술 개발
- 모노머 내 CO_2 함량 조절이 가능한 촉매 및 공정 기술 개발
- 고분자 물성 조절이 가능한 촉매 및 공정 기술 개발
- 중금속을 사용하지 않는 신규 전환 촉매 개발

❍ CO_2 기반 폴리우레탄 통합 패키지 기술 개발 및 제조 기술 실증화

- 벤치 및 파일럿 시스템 설계 및 개발, 벤치 및 파일럿 공정 기술 개발
- CO_2 기반 모노머 생산 실증

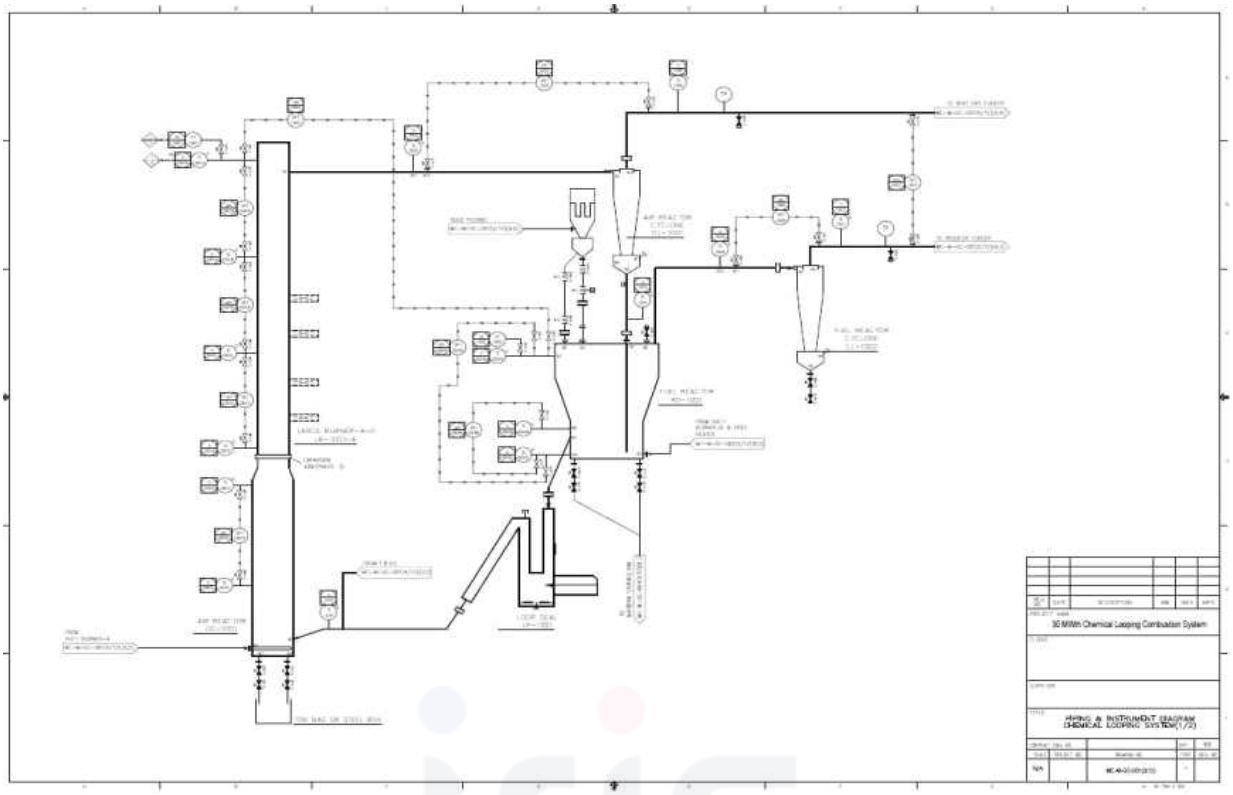
□ 단계별 목표

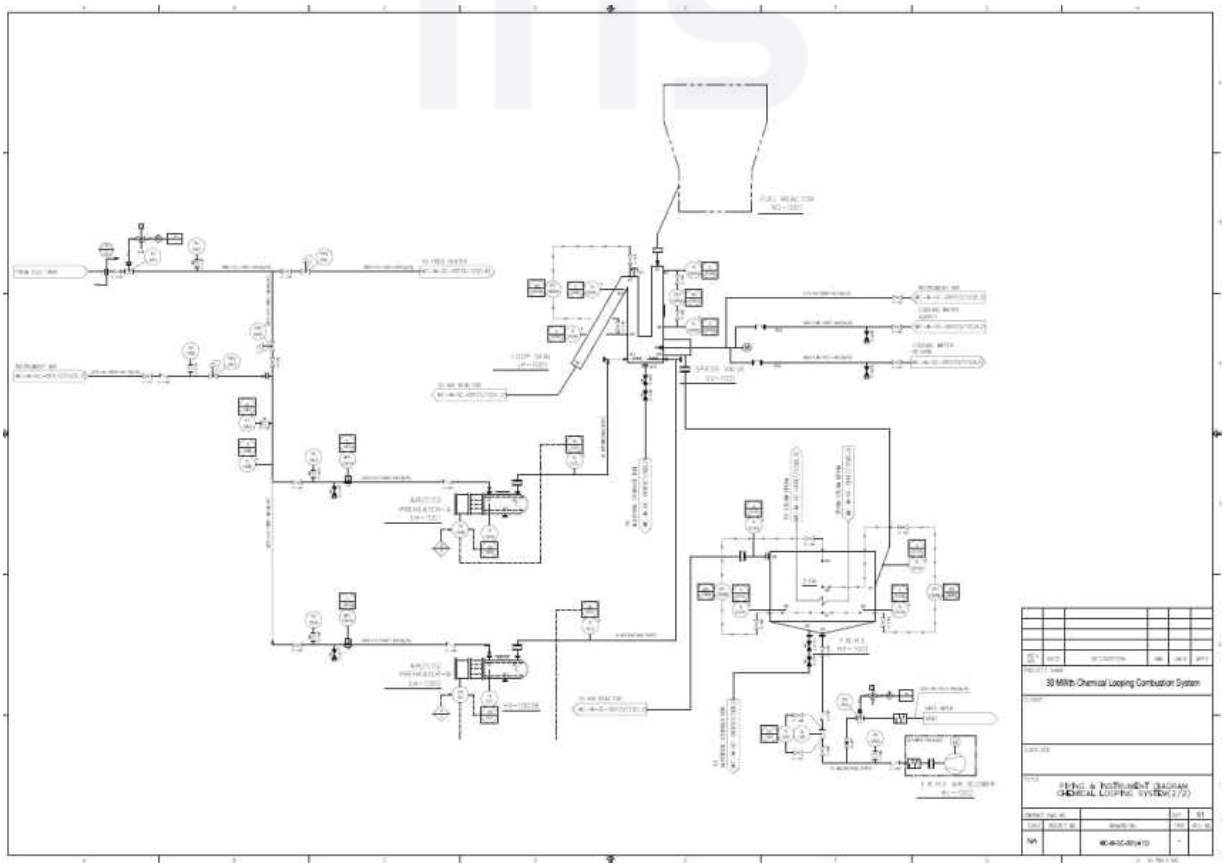
1단계('25년 ~ '27년)	2단계('28년 ~ '30년)
• 친환경, 고성능, 저가격 촉매 기술 개발 • 고객 협업을 통한 물성/품질 개선 • 반응 후 분리/정제 기술 개발 • 연속식 벤치 시스템 개발 • 벤치 검증 완료(5 kg/day)	• 촉매 스케일 업 및 단가 저감 기술 개발 • 연속식 파일럿 시스템 개발 • 파일럿 운전 기술 개발 • 파일럿 통합 실증(500 kg/day)

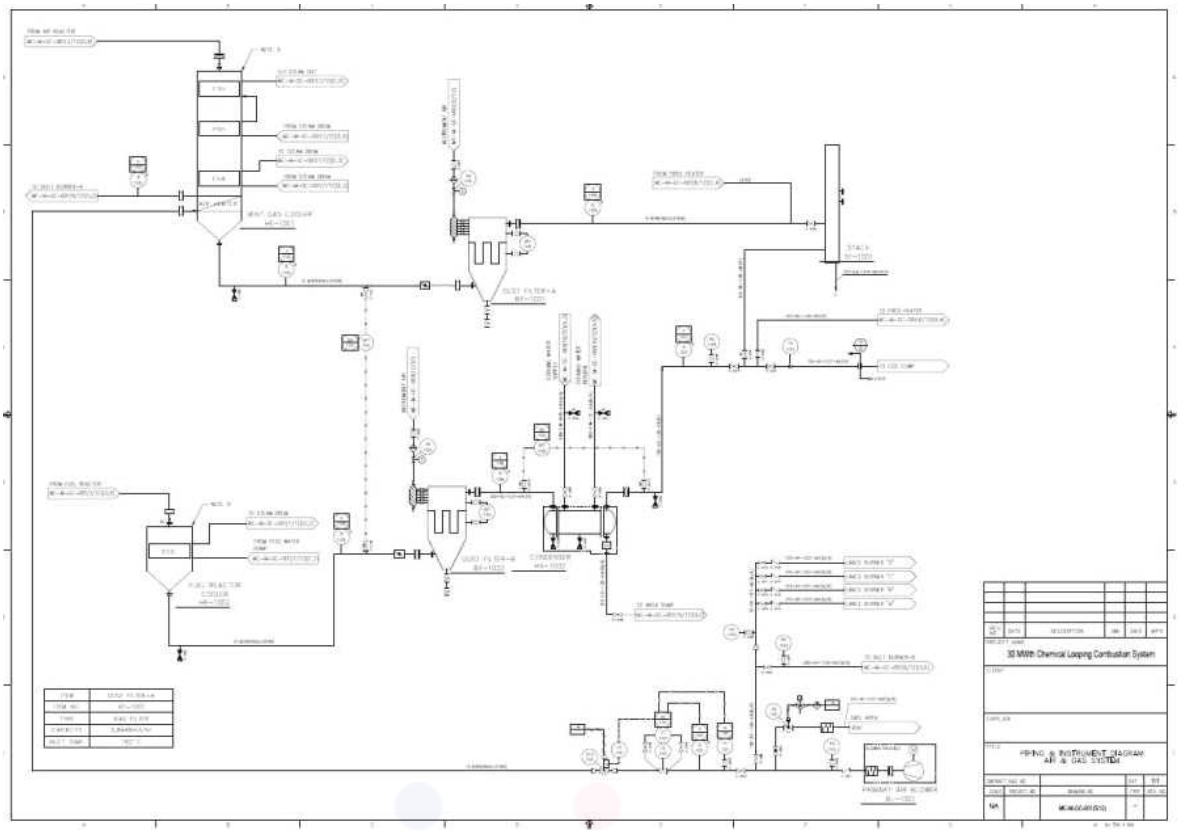
□ **성능목표**

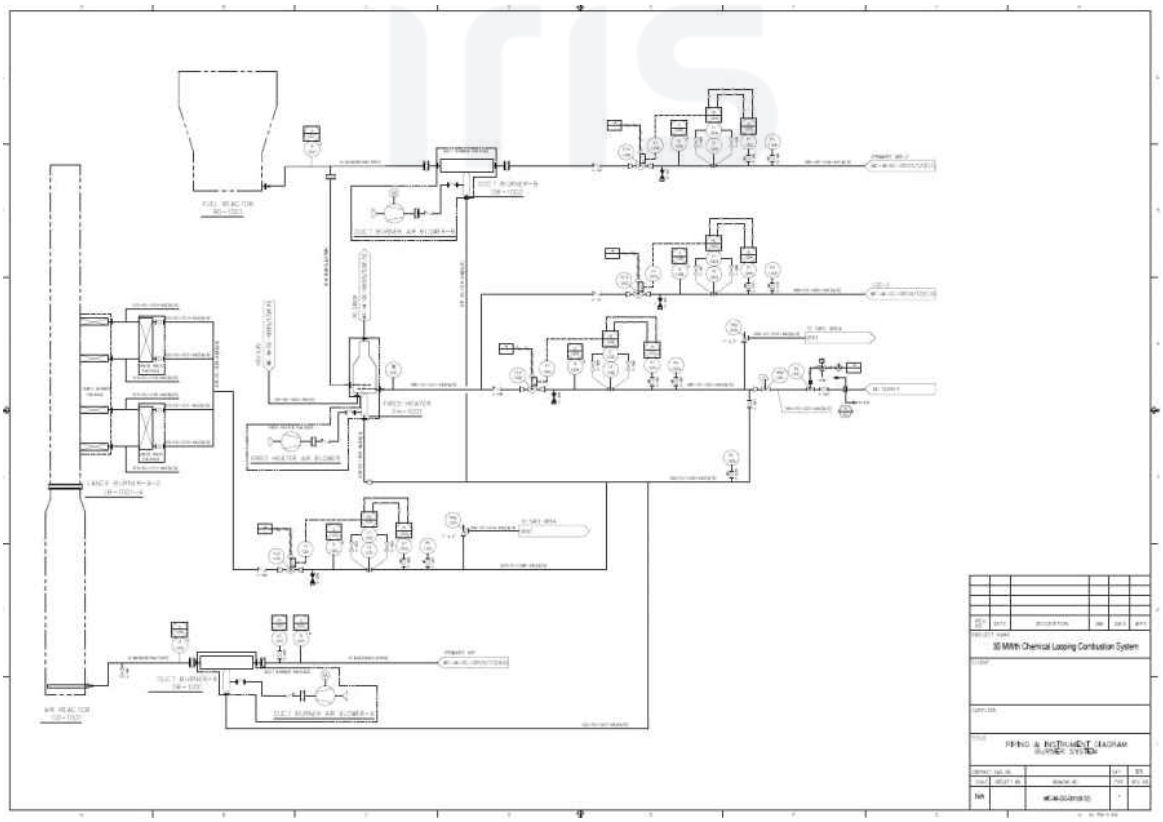
성과지표	현 수준	개발 목표					
		'25	'26	'27	'28	'29	'30
촉매 활성(kg/g cat.)	0.4	1.0	1.0	1.5	1.5	2.0	2.0
스케일 업을 통한 캐파 향상(kg/day)	0.1	0.5	1	5	50	100	500

□ 공정흐름도(PFD)






30 MWth Chemical Looping Combustion System
PIPING & INSTRUMENT DIAGRAM
AIR & GAS SYSTEM


30 MWth Chemical Looping Combustion System
PIPING & INSTRUMENT DIAGRAM

8. (화학) CO_2 활용 폴리카보네이트 생산 기술

과제 개요		
전략 과제	폴리머	
세부 과제명	CO_2 활용 폴리카보네이트 생산 기술	
사업 권역	■서부권, □남부권, □중부권, □동남권	
기술 유형	■화학적전환 □생물학적전환 □광물탄산화	
적용 산업	석유화학	
최종 제품	폴리카보네이트	
산출물	온실가스 감축목표	50,000(톤/년)

기술 개발 개요								
기술개발단계	□ 기초 □ 응용 □ 개발 ■ 실증				기술단계	TRL (6)단계		
적용 산업	석유화학				최종 제품	폴리카보네이트		
기술개발 주체	기업 단독	산+산	산+학	산+연	산+산+연	산+학+연	산+해외	
						○		
기술 개발 규모	연구 개발 기간	2025년 ~ 2030년 (6년)						
	연구비 (억 원)	총연구비	총 300 억원					
		개발년도	2025	2026	2027	2028	2029	2030
		국고	20	25	25	80	25	25
		민자	10	12.5	12.5	40	12.5	12.5
		소계	30	37.5	37.5	120	37.5	37.5
	소요 인력	총 소요 인력 (35)명						
기술 개요	기술 정의	CO_2 활용 폴리카보네이트 개발 및 통합 패키지 기술 확보						
	기술개발 목표	이산화탄소 함유 폴리카보네이트 제조 기술 개발 및 상용화 기반 확보						

□ 최종 목표 : 이산화탄소 함유 폴리우레탄 제조 기술 실증화

❍ 지역내에서 많이 발생하는 CO_2 를 이용한 고분자 등의 고부가가치 화합물 생산 기술개발

❍ 지역내 공업단지의 배출가스내 CO_2 감축 및 폴리머 동시 생산 기술 개발

❍ 포집된 CO_2 를 활용한 폴리머 생산을 위한 실증 기술 개발(전기화학, 생물, 촉매, 친환경 공정 등)

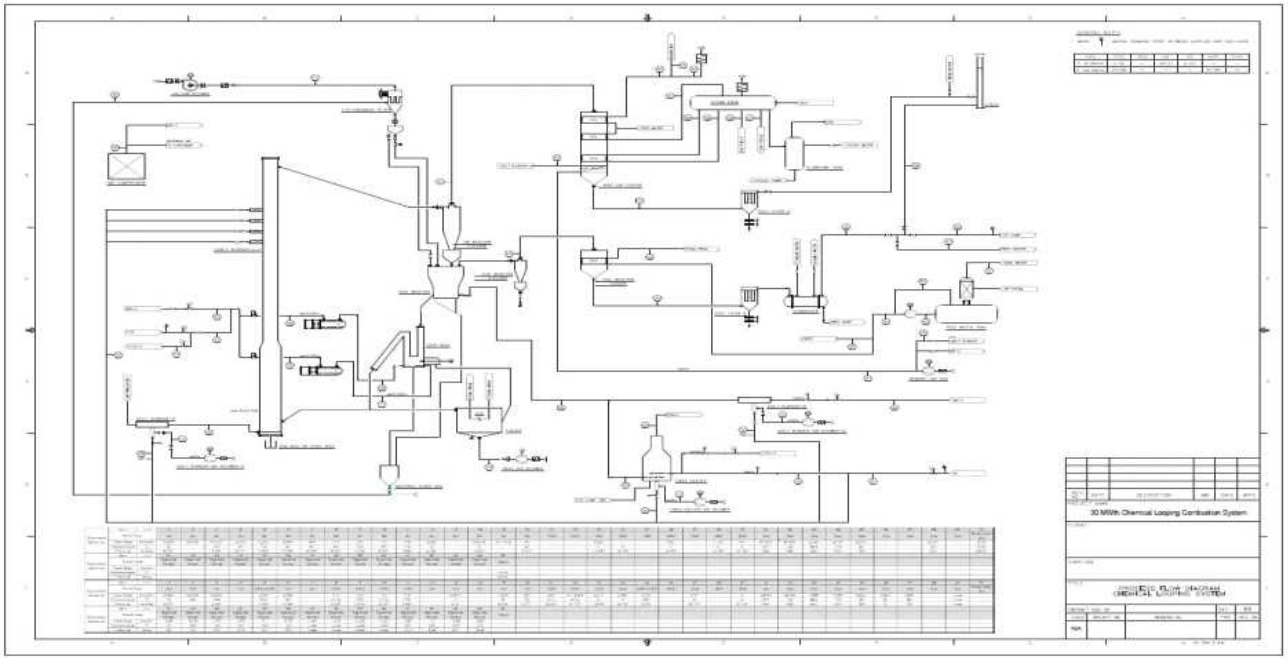
□ **단계별 목표**

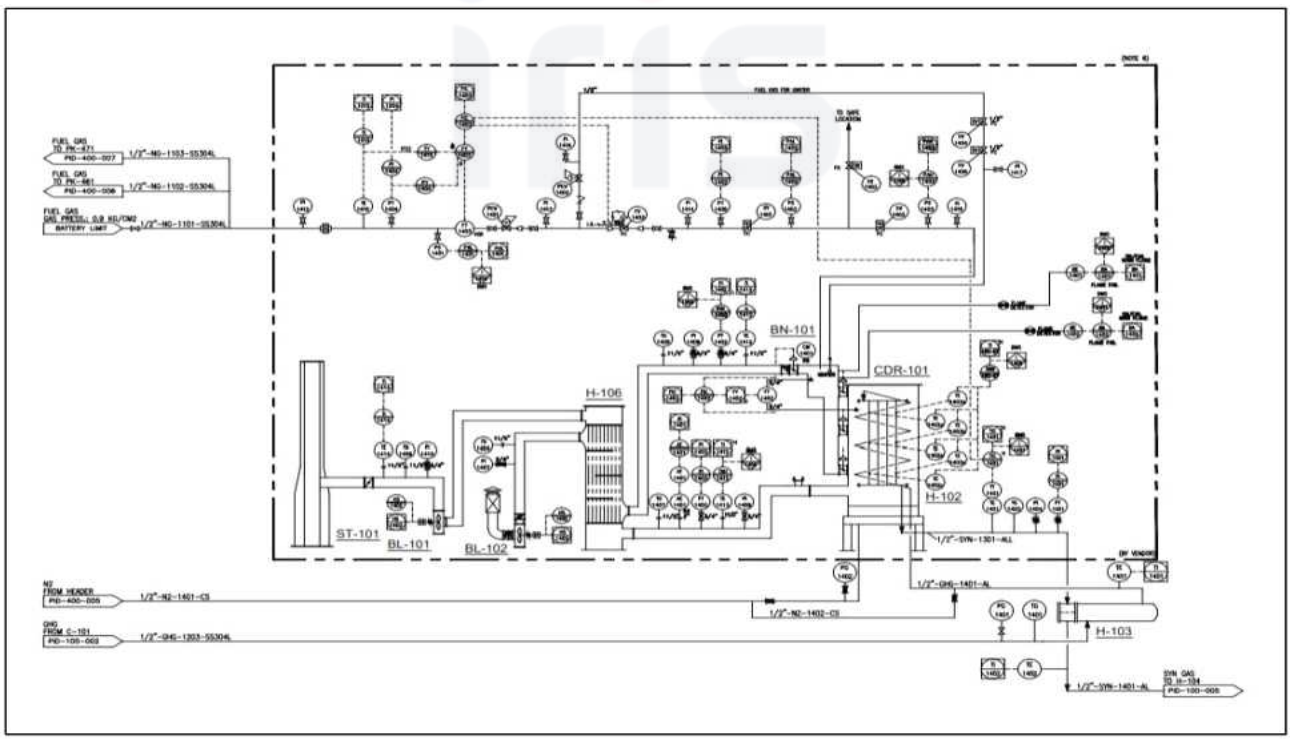
1단계('25년 ~ '27년)	2단계('28년 ~ '30년)
• CO_2 활용 실증 설비 설계 및 구축	• 실증 운전 최적화 및 상용화를 위한 통합 패키지 기술 확보

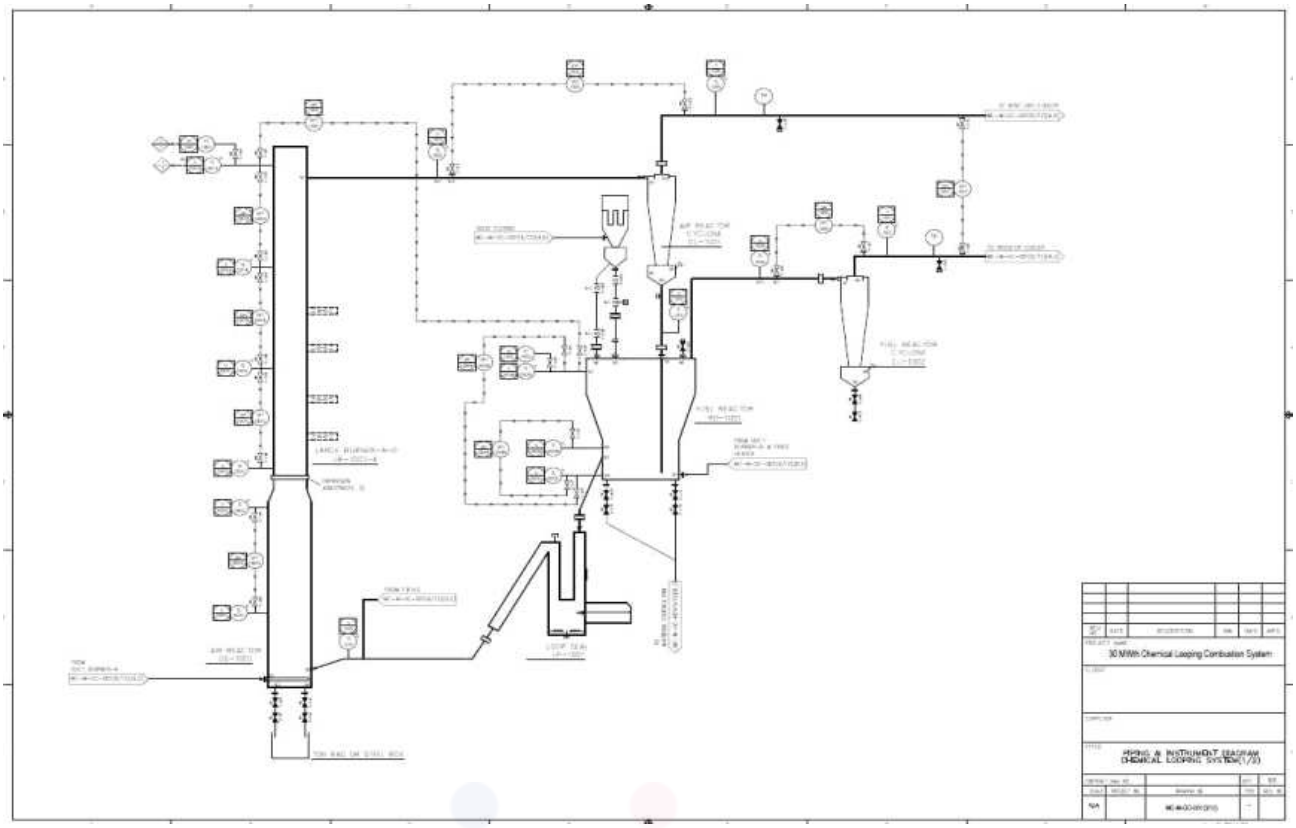
□ 성능목표

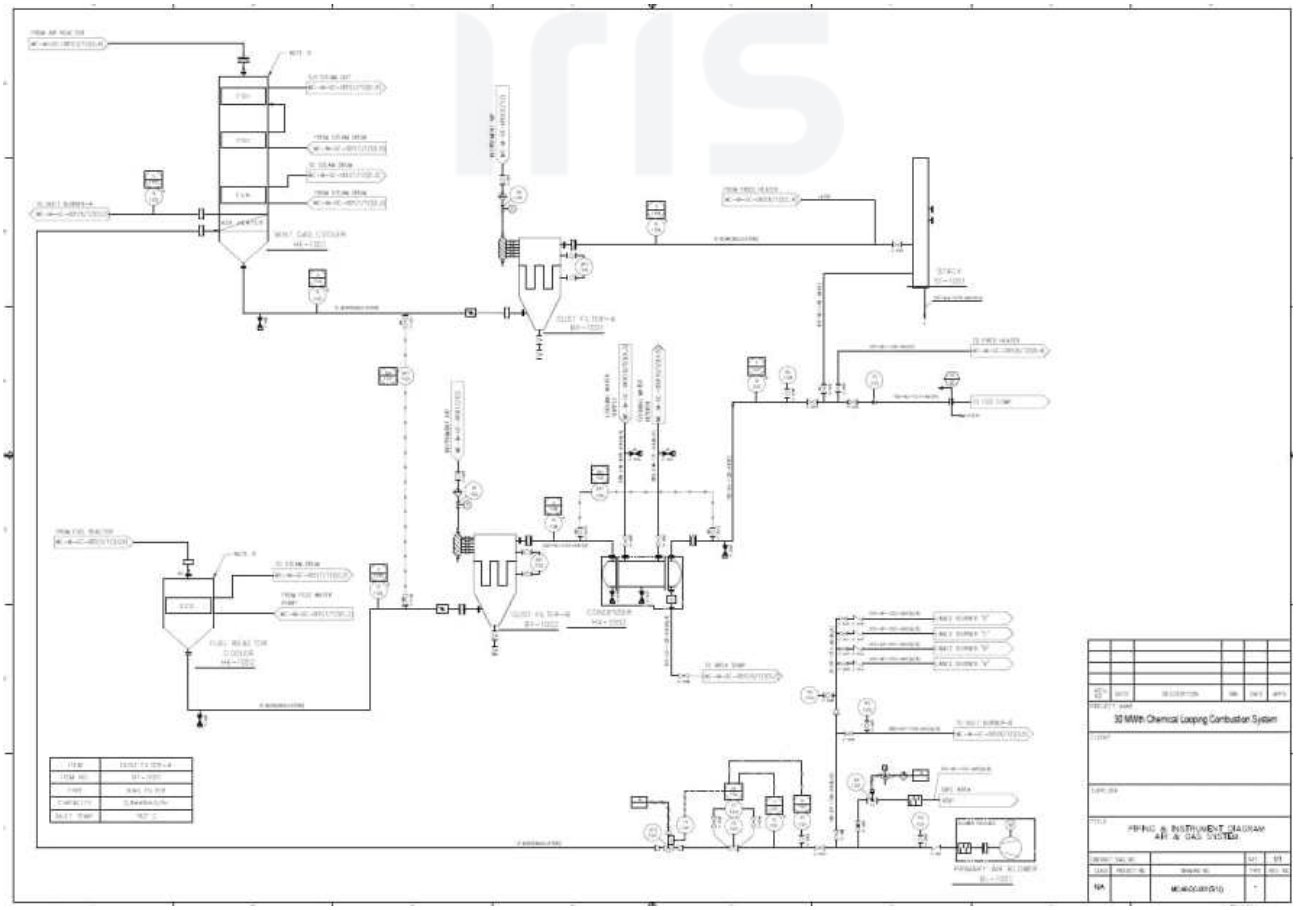
성과지표	현 수준	개발 목표					
		'25	'26	'27	'28	'29	'30
촉매 활성(kg/g cat.)	0.4	1.0	1.0	1.5	1.5	2.0	2.0
스케일 업을 통한 캐파 향상(kg/day)	0.1	0.5	1	5	50	100	500

□ 공정흐름도(PFD)






30 MWth Chemical Looping Combustion System
PIPING & INSTRUMENT DIAGRAM
CHEMICAL LOOPING SYSTEM(1/2)


30 MWth Chemical Looping Combustion System
PIPING & INSTRUMENT DIAGRAM
AIR & GAS SYSTEM

9. (생물) 미세조류 기반 발전소 배출 CO_2 감축·활용 기술

과제 개요		
전략 과제	바이오소재·연료	
세부 과제명	미세조류 기반 발전소 배출 CO_2 감축·활용 기술	
사업 권역	■서부권, □남부권, □중부권, □동남권	
기술 유형	□화학적전환 ■생물학적전환 □광물탄산화	
적용 산업	발전, 플라스틱	
최종 제품	미세조류 바이오매스	
산출물	온실가스 감축목표	10,000(톤/년)

기술 개발 개요								
기술개발단계	□ 기초 □ 응용 □ 개발 ■ 실증					기술단계	TRL (8)단계	
적용 산업	발전, 플라스틱					최종 제품	미세조류 바이오매스	
기술개발 주체	기업 단독	산+산	산+학	산+연	산+산+연	산+학+연	산+해외	
						○		
기술 개발 규모	연구 개발 기간	2025년 ~ 2030년 (6년)						
	연구비 (억 원)	총연구비	총 695 억원					
		개발년도	2025	2026	2027	2028	2029	2030
		국고	50	50	50	130	130	90
		민자	25	25	25	40	40	40
		소계	75	75	75	170	170	130
	소요 인력	총 소요 인력 (162)명						
기술 개요	기술 정의	미세조류 기반 발전소 배출 CO_2 감축·활용 기술						
	기술개발 목표	미세조류 기반 컴팩트 CCU 모듈 (2,000 m3 규모의 공정 모듈) 확보: 연간 10,000 ton CO2 저감						

□ 최종 목표

❍ 미세조류 기반 컴팩트 CCU 모듈 (2,000 m^3 규모의 공정 모듈) 확보: 연간 10,000 ton CO_2 저감

- 향후 유사한 레이아웃을 가지는 LNG 열병합 발전 사업장으로의 확대 적용의 용이성을 고려하여 공정의 모듈화 수행
- 생산되는 미세조류 바이오매스는 간접 감축 효과가 우수한 플라스틱 필러로서 활용 도모

□ 단계별 목표

1단계('25년 ~ '27년)	2단계('28년 ~ '30년)
- 면적 집약형 광생물반응기 모듈 설계 및 제작 - 광생물반응기 모듈의 현장 운전을 통한 생산 최적 조건 도출 및 추가 성능 향상 전략 도출 - 실배가스 주입 환경에서 높은 생산을 보이는 미세조류 자원 확보 및 폐수를 적용한 생산 단가 절감 기술 개발	- 모듈 결합을 통한 실증 규모 격상 및 중장기 운전 데이터 확보 - PBR 모듈 단가 절감을 위한 신규 소재 및 제작 기술 확보

□ 성능목표

성과지표	현 수준	개발 목표					
		'25	'26	'27	'28	'29	'30
미세조류 성장성 (g/L/d)	0.2	0.5			0.75		
면적당 배양 밀도 (m^2/m^3)	3.3	2.5			1.65		
PBR 설치 비용 (USD/m^3)	330	210		100			-
현장 배가스 주입 광배양 조건 신규 미세조류 바이오매스 생산성	야생형 대비	200%		250%			
폐수활용 비율 (%)	10	50			75		

10. (생물) 미세조류 기반 발효 배가스 내 CO_2 감축·활용 기술

과제 개요		
전략 과제	고순도 무기탄산염	
세부 과제명	석고 활용 탄산칼슘 생산 및 활용 기술	
사업 권역	□서부권, ■남부권, □중부권, □동남권	
기술 유형	□화학적전환 ■생물학적전환 ■광물탄산화	
적용 산업	비료화학산업, 시멘트산업	
최종 제품	황산암모늄 - 대표적 질소질 비료 탄산칼슘 - 발전 탈황제, 시멘트, 유리, 의약품 등 사용	
산출물	온실가스 감축목표	10,000(톤/년)

기술 개발 개요								
기술개발단계	□ 기초 □ 응용 ■ 개발 ■ 실증				기술단계	TRL (7)단계		
적용 산업	비료화학산업, 시멘트산업				최종 제품	황산암모늄, 탄산칼슘		
기술개발 주체	기업 단독	산+산	산+학	산+연	산+산+연	산+학+연	산+해외	
				○				
기술 개발 규모	연구 개발 기간	2025년 ~ 2029년 (5년)						
	연구비 (억 원)	총연구비	총 450 억원					
		개발년도	2025	2026	2027	2028	2029	2030
		국고	60	60	50	50	50	-
		민자	45	45	30	30	30	-
		소계	105	105	80	80	80	-
	소요 인력	총 소요 인력 (300)명						
기술 개요	기술 정의	부산석고 활용 광물탄산화 : 석고+암모니아+이산화탄소+물 → 유안비료 + 탄산칼슘 + 물 (CaSO4·2H2O+2NH3+CO2+2H2O → (NH4)2SO4+CaCO3+3H2O)						
	기술개발 목표	상용화 규모 기술개발을 통한 대량의 CO2 저감, 경제성 확보						

□ 최종 목표

❍ 발효 배기가스 내 CO_2 저감 균주/공정 개발

- 미세조류 균주 개발: 고효율 CO_2 활용 균주 개발
- CO_2 저감 공정 개발: 발효배기가스 내 CO_2 저감 고효율 공정 개발

□ 단계별 목표

1단계('25년 ~ '27년)	2단계('28년 ~ '30년)
- 전단 발효 공정의 무균성 확보를 위한 CO_2 공급 시스템 설계 - 발효조와 연계 가능한 광생물반응기 시스템 구축 - 후단 바이오매스의 당화 및 사료화를 고려한 수확 및 파쇄 공정 확립	- 생산된 미세조류의 발효원당 및 동물 어사료화 실증 - 통합형 바이오 CCU 공정의 경제성을 높이기 위한 제품화 기술 실증

❍ 전단 발효공정의 무균성을 유지하면서 광생물반응기와 효율적으로 결합될 수 있는 배기가스 공급 기술 개발

❍ 발효 배기가스 내 고농도 CO_2 를 효과적으로 전환하기 위한 환경 내성 및 바이오매스 활용성을 고려한 최적 균주 확보

❍ 전주기적 에너지 사용량과 경제성 및 제품화 공정의 용이성을 모두 고려한 바이오매스 회수 및 제품화 구축 및 실증

11. (광물) 석고 활용 탄산칼슘 생산 및 활용 기술

과제 개요		
전략 과제	고순도 무기탄산염	
세부 과제명	석고 활용 탄산칼슘 생산 및 활용 기술	
사업 권역	□서부권, ■남부권, □중부권, □동남권	
기술 유형	□화학적전환 □생물학적전환 ■광물탄산화	
적용 산업	비료화학산업, 시멘트산업	
최종 제품	황산암모늄 - 대표적 질소질 비료 탄산칼슘 - 발전 탈황제, 시멘트, 유리, 의약품 등 사용	
산출물	온실가스 감축목표	10,000(톤/년)

기술 개발 개요								
기술개발단계	□ 기초 □ 응용 ■ 개발 ■ 실증				기술단계	TRL (7)단계		
적용 산업	비료화학산업, 시멘트산업				최종 제품	황산암모늄, 탄산칼슘		
기술개발 주체	기업 단독	산+산	산+학	산+연	산+산+연	산+학+연	산+해외	
				○				
기술 개발 규모	연구 개발 기간	2025년 ~ 2029년 (5년)						
	연구비 (억 원)	총연구비	총 450 억원					
		개발년도	2025	2026	2027	2028	2029	2030
		국고	60	60	50	50	50	-
		민자	45	45	30	30	30	-
		소계	105	105	80	80	80	-
	소요 인력	총 소요 인력 (300)명						
기술 개요	기술 정의	부산석고 활용 광물탄산화 : 석고+암모니아+이산화탄소+물 → 유안비료 + 탄산칼슘 + 물 (CaSO4·2H2O+2NH3+CO2+2H2O → (NH4)2SO4+CaCO3+3H2O)						
	기술개발 목표	상용화 규모 기술개발을 통한 대량의 CO2 저감, 경제성 확보						

□ 최종 목표

❍ 상용화 규모 기술개발을 통한 경제성 및 감축량을 확보한 CCU 기술 개발

- 현재 다부처사업을 통한 석고 2천톤/년 규모 Pilot 시설 기술 검증 중. CO_2 저감 확대 및 경제성 확보를 위한 최대한의 스케일업 기술 검토 필요
  - · 부산석고 4만톤 규모 상용화 기술 개발 시 연간 약 1만톤의 CO_2 온실가스 저감 가능하며, 연간 20만톤 규모의 부산석고 투입-CO_2 감축량 5만톤 수준이 되어야 규모의 경제 차원에서 의미가 있을 것으로 전망
  - · 사업 구조별 제도권 내 온실가스 감축량 인정을 위한 온실가스 감축방법론 개발

❍ 최종 TRL 9단계 목표

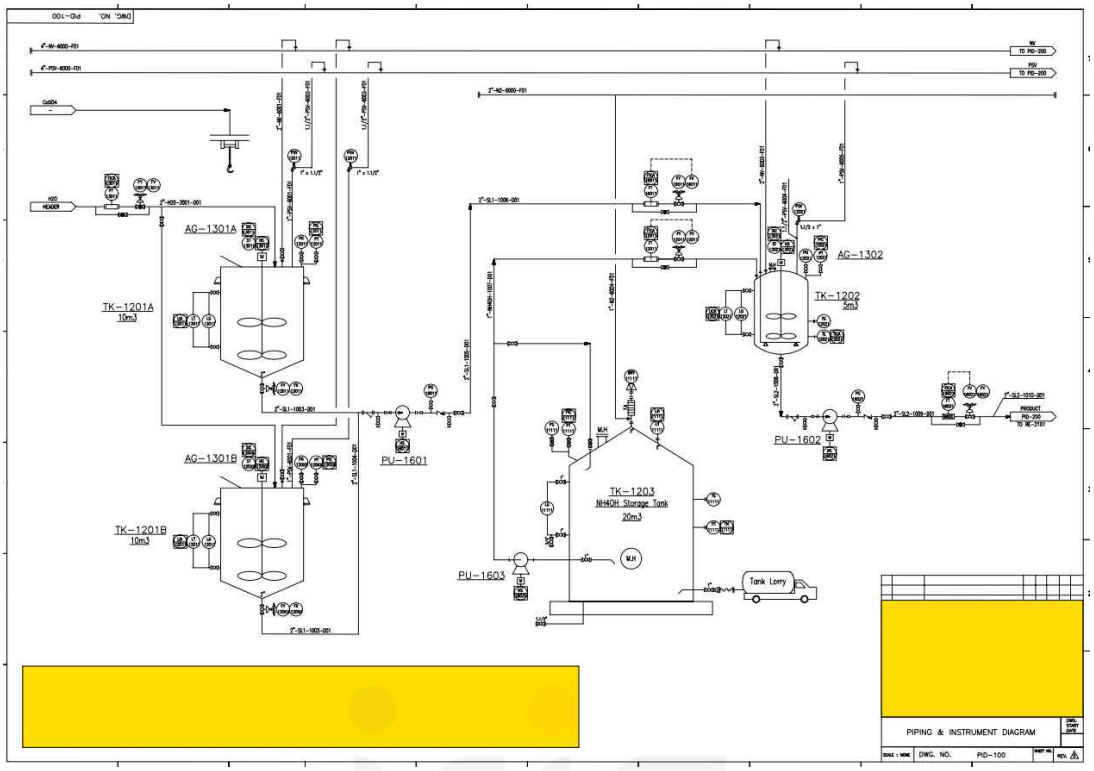
□ 단계별 목표

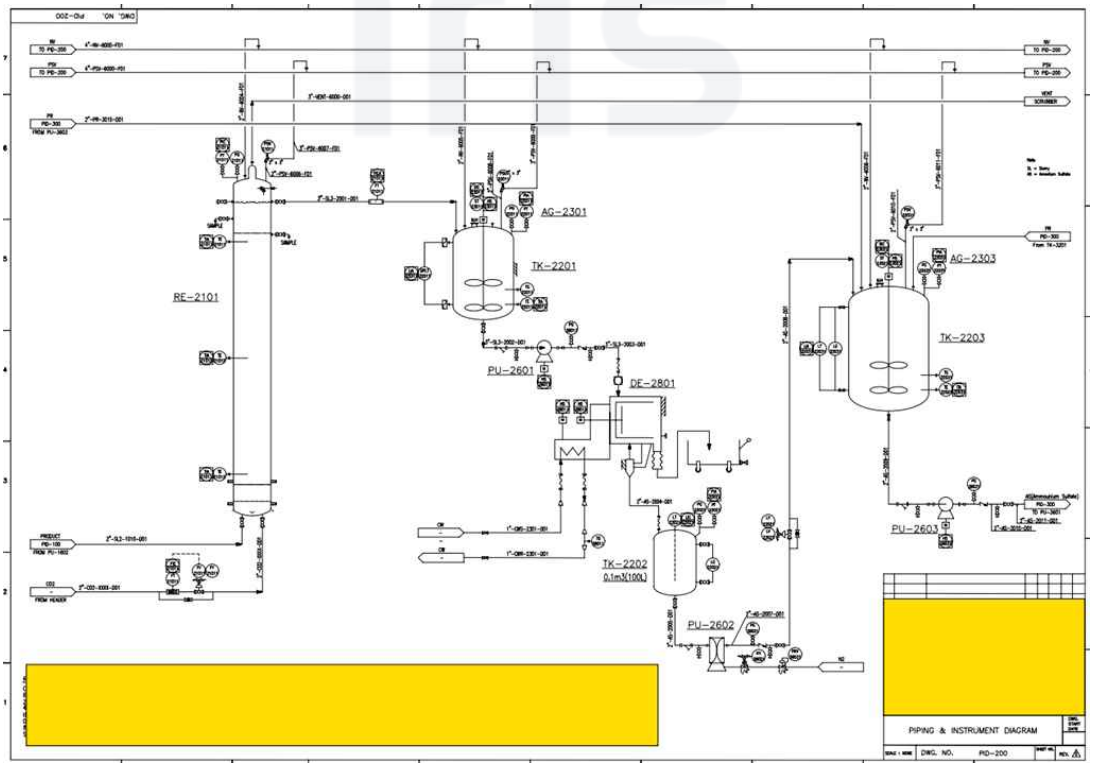
1단계('25년 ~ '27년)	2단계('28년 ~ '30년)
- 석고 연4만톤급 광물탄산화 설비 설계 및 설비 구축	- 석고 연4만톤급 광물탄산화 설비 실증 운전 및 기술 안정성 확보
- 석고 연2,000톤급 설비 활용 생산품 경제성 확보를 위한 품질 개선	- 생산품(탄산칼슘, 황산암모늄) 시장성 확보를 위한 품질 획득 및 안정성 확보
- CO_2포함 배가스 공급 방안 확보 및 공급 기술 개발	- 제도권 내 감축량 인정을 위한 감축방법론 등 개발 및 등록

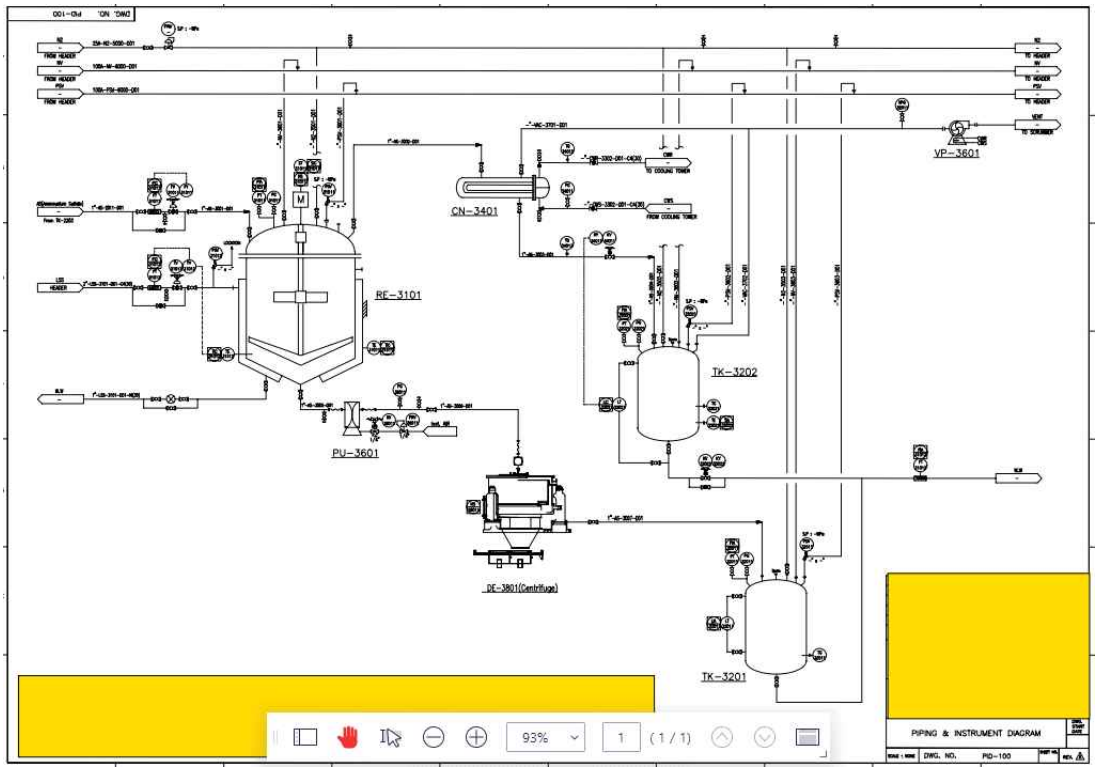
□ 성능목표

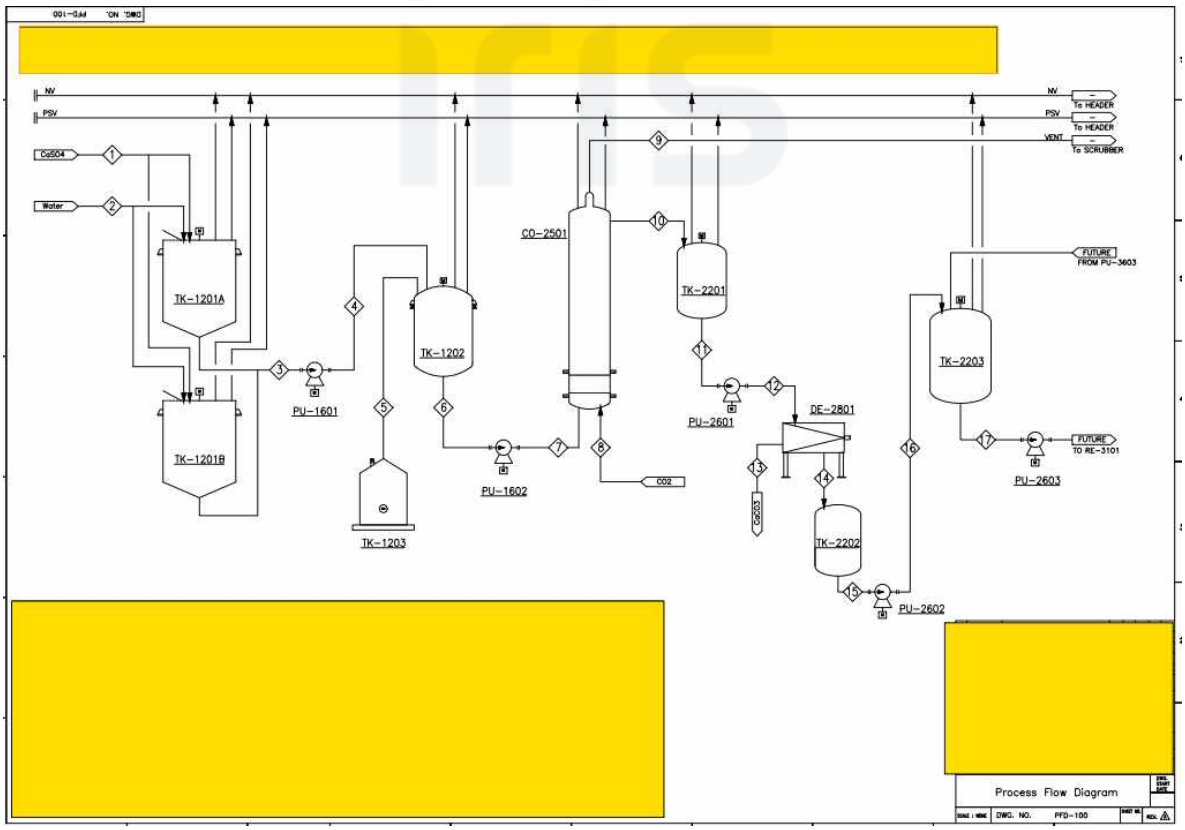
성과지표	현 수준	개발 목표					
		'25	'26	'27	'28	'29	'30
석고 광물탄산화 설비 규모 (석고처리량, 톤/년)	2,000	2,000	2,000	2,000	40,000	40,000	
석고 광물탄산화 기술 경제성 (30만톤급 설비 기준, 원/tonCO_2)	7,000	7,000	7,000	10,000	10,000	10,000	
이산화탄소 처리규모(톤/년)	500	500	500	500	10,000	10,000	
탄산칼슘 순도(%)	93	93	93	93	93	95	
황산암모늄 순도(%)	99	99	99	99	99	99.5	

□ 공정흐름도(PFD)


AG-1301A
TK-1201A
10m3
AG-1301B
TK-1201B
10m3
PU-1601
AG-1302
TK-1202
5m3
PU-1602
TK-1203
NH4OH Storage Tank
20m3
PU-1603
Tank Lorry
PIPING & INSTRUMENT DIAGRAM
DWG. NO. PID-100


AG-2301
TK-2201
RE-2101
PU-2601
DE-2801
AG-2303
TK-2203
PU-2603
TK-2202
0.1m3(100L)
PU-2602
PIPING & INSTRUMENT DIAGRAM
DWG. NO. PID-200


VP-3601
CN-3401
RE-3101
TK-3202
PU-3601
DE-3801(Centrifuge)
TK-3201
93%
1
(1 / 1)
PIPING & INSTRUMENT DIAGRAM
DWG. NO.
PID-100


NV
PSV
To HEADER
To HEADER
VENT
To SCRUBBER
Co504
Water
TK-1201A
TK-1201B
TK-1202
TK-1203
PU-1601
PU-1602
CO-2501
TK-2201
PU-2601
DE-2801
TK-2202
PU-2602
TK-2203
PU-2603
FUTURE
FROM PU-3603
FUTURE
TO RE-3101
CO2
Co503
Process Flow Diagram
DWG. NO.
PFD-100

12. (광물) 해수담수화 농축수 활용 고순도 무기탄산염 생산활용 기술

과제 개요		
전략 과제	고순도 무기탄산염	
세부 과제명	해수담수화 농축수 활용 고순도 무기탄산염 생산 및 활용 기술	
사업 권역	■서부권, □남부권, □중부권, □동남권	
기술 유형	□화학적전환 □생물학적전환 ■광물탄산화	
적용 산업	해수담수화, 화력발전, 해수 수전해, 환경플랜트, 제철·자동차 등 마그네슘 활용 산업군	
최종 제품	(플랜트 기술) CO2 광물전환 공정, 친환경 해수담수화, 해수 수전해 공정, 마그네슘 내재화 기술 (산업원료) 마그네슘 탄산염, 가성소다, 염산, 수소	
산출물	온실가스 감축목표	10,000(톤/년)

기술 개발 개요								
기술개발단계	□ 기초 □ 응용 □ 개발 ■ 실증				기술단계	TRL (8)단계		
적용 산업	해수담수화				최종 제품	CO2 전환 마그네슘 탄산염		
기술개발 주체	기업 단독	산+산	산+학	산+연	산+산+연	산+학+연	산+해외	
				○				
기술 개발 규모	연구 개발 기간	2025년 ~ 2030년 (6년)						
	연구비 (억 원) 총연구비	총 750 억원						
	개발년도	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
	국비	56	77	80	87	100	100	
	민자	29	38	40	43	50	50	
	소계	85	115	120	130	150	150	
	소요 인력	총 소요 인력 (305)명						
기술 개요	기술 정의	해수담수화 분야 대산임해산업단지에서 CCU 분야 광물탄산화 기술을 적용하여 이산화탄소 포집 및 마그네슘탄산염 광물을 생산						
	기술개발 목표	• 해수담수화 농축수(660만 톤/년)를 이용한 CO2 광물전환 실증 공정 구축과 운영 • 해수담수화 농축수 염분농도 감소로 해양생태계 위해성 저감 • 해수담수화 농축수-CO2 동시 처리에 의한 온실가스 감축 효과 정량 평가법 정립						

□ **최종 목표**

❍ 해수담수화 농축수(660만 톤/년)를 이용한 CO2 광물전환 실증 공정 구축과 운영

- **(CO_2 감축)** 1만 톤/년, (마그네슘탄산염 광물전환) 6.3만 톤/년
- **(CO_2 광물전환 효율)** 80% : 대기 재방출 CO_2 최소화로 온실가스 감축효과 극대화
- **(Mg 회수율)** 70% : 염분농도 저감 및 농축수 수전해 부하 감소

❍ 해수담수화 농축수 염분농도 감소로 해양생태계 위해성 저감

- **(NaCl 농도)** 5.4% 이하 : 수전해 공정을 통해 농축수 저염분화
- **(NaOH 생산·활용)** 수전해 생산 NaOH를 CO_2 광물전환 공정에 활용, 계단식 순환경제 구현

❍ 해수담수화 농축수-CO_2 동시 처리에 의한 온실가스 감축 효과 정량 평가법 정립

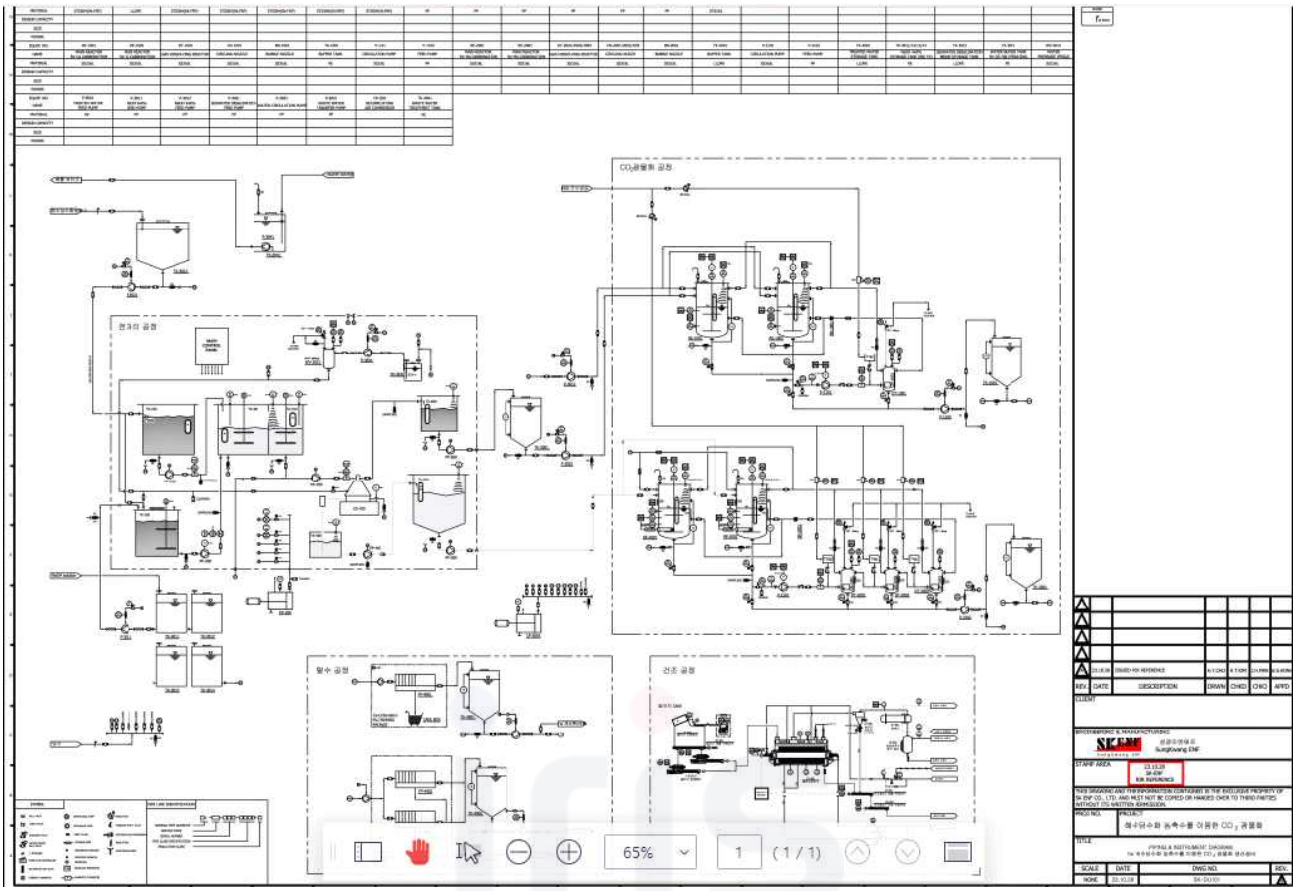
□ 단계별 목표

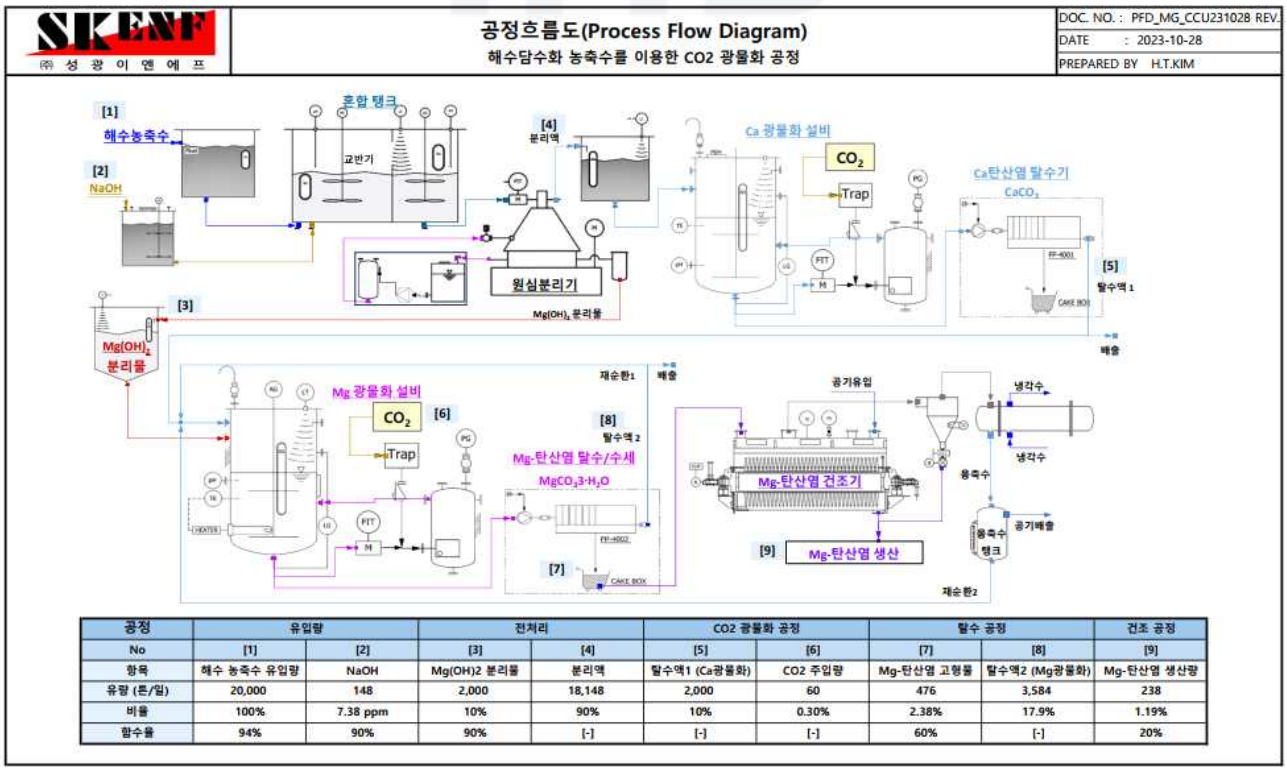
1단계('25년 ~ '27년)	2단계('28년 ~ '30년)
• 해수담수화 농축수 중 마그네슘을 이용한 CO_2 광물전환 상용 공정 개발 - 해수담수화 농축수 660만 톤/년 처리에 의한 1만 톤/년-CO_2 감축 공정 설계 및 설치	• CO_2 1만 톤/년 감축 공정의 운전과 성능검증 - CO_2 광물화 실증 공정 최적화와 CO_2 감축 성능 목표 달성 - 해수담수화 농축수 염분농도 저감 - 온실가스 평가법 정립

□ 성능목표

성과지표	현 수준	개발 목표					
		'25	'26	'27	'28	'29	'30
상용급 CO_2 광물화공정	TRL 6의 파일럿 규모	공정도출 설계	·공정 설비 제작·설치 ·설비 시험가동			성능 검증	성능 개선
CO_2 처리량 (톤/년)	22	-	-	0.20만	0.60만	1만	1만
Mg-탄산염광물 생산량(톤/년)	60	-	-	1.3만	3.8만	6.3만	6.3만
Mg-탄산염광물 순도(%)	95	-	-	95	95	95	95
해수담수화 농축수 처리량(톤/년)	1만	-	-	132만	396만	660만	660만

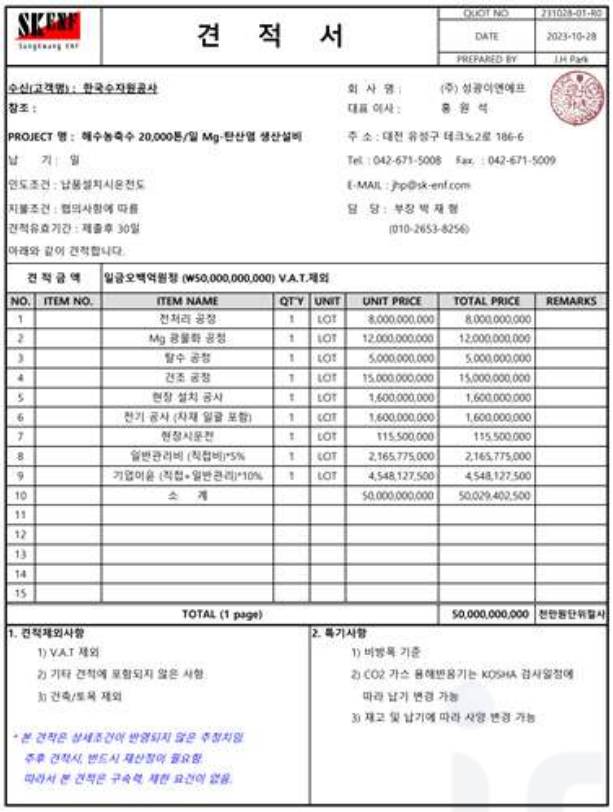
□ 공정도(PFD)





공정	유입량		전처리		CO2 광물화 공정		탈수 공정		건조 공정
No	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]
항목	해수 농축수 유입량	NaOH	Mg(OH)2 분리물	분리액	탈수액1 (Ca광물화)	CO2 주입량	Mg-탄산염 고형물	탈수액2 (Mg광물화)	Mg-탄산염 생산량
유량 (톤/일)	20,000	148	2,000	18,148	2,000	60	476	3,584	238
비율	100%	7.38 ppm	10%	90%	10%	0.30%	2.38%	17.9%	1.19%
함수율	94%	90%	90%	[-]	[-]	[-]	60%	[-]	20%

□ 견적서 및 장비 리스트



견 적 서

QUOT NO. 231028-01-R0
DATE 2023-10-28
PREPARED BY J.H Park

수신(고객명) : 한국수자원공사
참조 :
PROJECT 명 : 해수농축수 20,000톤/일 Mg-탄산염 생산설비
납 기 : 일
인도조건 : 납품설치시운전도
지불조건 : 협의사항에 따름
견적유효기간 : 제출후 30일
아래와 같이 견적합니다.

회 사 명 : (주) 성광이엔에프
대표 이사 : 홍 원 석
주 소 : 대전 유성구 테크노2로 186-6
Tel : 042-671-5008 Fax. : 042-671-5009
E-MAIL : jhp@sk-enf.com
담 당 : 부장 박 재 형
(010-2653-8256)

견 적 금 액 일금오백억원정 (W50,000,000,000) V.A.T.제외

NO.	ITEM NO.	ITEM NAME	QT'Y	UNIT	UNIT PRICE	TOTAL PRICE	REMARKS
1		전처리 공정	1	LOT	8,000,000,000	8,000,000,000	
2		Mg 용융화 공정	1	LOT	12,000,000,000	12,000,000,000	
3		탈수 공정	1	LOT	5,000,000,000	5,000,000,000	
4		건조 공정	1	LOT	15,000,000,000	15,000,000,000	
5		현장 설치 공사	1	LOT	1,600,000,000	1,600,000,000	
6		전기 공사 (자재 일괄 포함)	1	LOT	1,600,000,000	1,600,000,000	
7		현장시운전	1	LOT	115,500,000	115,500,000	
8		일반관리비 (직접비)*5%	1	LOT	2,165,775,000	2,165,775,000	
9		기업이윤 (직접+일반관리)*10%	1	LOT	4,548,127,500	4,548,127,500	
10		소 계			50,000,000,000	50,029,402,500	
11							
12							
13							
14							
15							
		TOTAL (1 page)				50,000,000,000	천만원단위절사

1. 견적제외사항
1) V.A.T 제외
2) 기타 견적에 포함되지 않은 사항
3) 건축/토목 제외

* 본 견적은 상세조건이 반영되지 않은 추정치임
추후 견적시, 반드시 재산정이 필요함.
따라서 본 견적은 구속력 제한 요건이 없음.

2. 특기사항
1) 비방톡 기준
2) CO2 가스 용해반응기는 KOSHA 검사일정에 따라 납기 변경 가능
3) 재고 및 납기에 따라 사양 변경 가능

세부견적내역서

PROJECT 명 : 해수농축수 20,000톤/일 Mg-탄산염 생산설비

NO.	ITEM NO.	DESCRIPTION	DIMENSION	QTY	UNIT	UNIT PRICE	AMOUNT	REMARK
1		전처리 공정		1	LOT	8,000,000,000		
		원심분리 시스템 (농축기+원심분리기)	총 21,100 ton/일 (4세트)					
		해수입수원 농축수 저장탱크						
		해수입수원 농축수 이송펌프	1세트구성:					
		약품(NaOH) 외부 저장탱크	- 원심농축기 1대, 원심분리기 1대					
		약품(NaOH) 외부 공급펌프	- Mg 추출 혼합 탱크 조합					
		약품(NaOH) 내부 1차 공급펌프	- 이송펌프/센서/밸브					
		약품(NaOH) 내부 2차 공급펌프	- 제어기 및 배관설치 별도					
		약품(NaOH) 내부 저장탱크						
		약품(NaOH) 내부 2차 이송펌프						
		혼합탱크						
		혼합탱크 이송펌프						
		처리수 외부 저장탱크						
		처리수 외부 이송펌프						
		분리고형액 내부 저장탱크						
		분리고형액 내부 이송펌프						
		분리고형액 외부 저장탱크						
		분리고형액 외부 이송펌프						
		계측 센서						
		제어 밸브						
2		Mg 용융화 공정		1	LOT	12,000,000,000		
		Mg-탄산염 초미세기포 용해반응 시스템	batch-Batch 운전 구성 (4 세트)					
		Mg 해안반응탱크						
		Mg 순환펌프	1세트 구성:					
		Mg 3단 가스용해반응기	- 탱크4대, 반응순환 펌프2대					
		Mg 원심분리회수기	- 초미세기포 기기류 포함				천만원단위절사	
		Mg 초미세기포 생성기	- 드레인포 등 분 교반방식 적용					
		$Ca CO_3$ 초미세기포 용해반응 시스템	- 이송펌프/센서/밸브					
		Ca 해안반응탱크	- 제어기 및 배관설치 별도					
		Ca 순환펌프						
* 본 견적은 상		Ca 3단 가스용해반응기						
추후 견적시		Ca 원심분리회수기						
따라서 본 견		Ca 초미세기포 생성기						
3		탈수 공정		1	LOT	5,000,000,000		
		필터프레스 시스템	총 5,000 ton/일 용량 (4세트)					
		저장탱크	1세트 구성:					
			- 필터프레스 2대, 탱크1대					
			- 부대 제어 및 설치 적용					
4		건조 공정		1	LOT	15,000,000,000		
		디스크 슬러지 건조기 증발 시스템	총 240 ton/일 증발량의 (4세트)					
			1세트 구성:					
			- 디스크 슬러지 건조기 2 대					
			- 열원 보일러 (가스/기름) 2대					
5		현장 설치 공사		1	LOT	1,600,000,000		
		장비/배관 설치 작업						

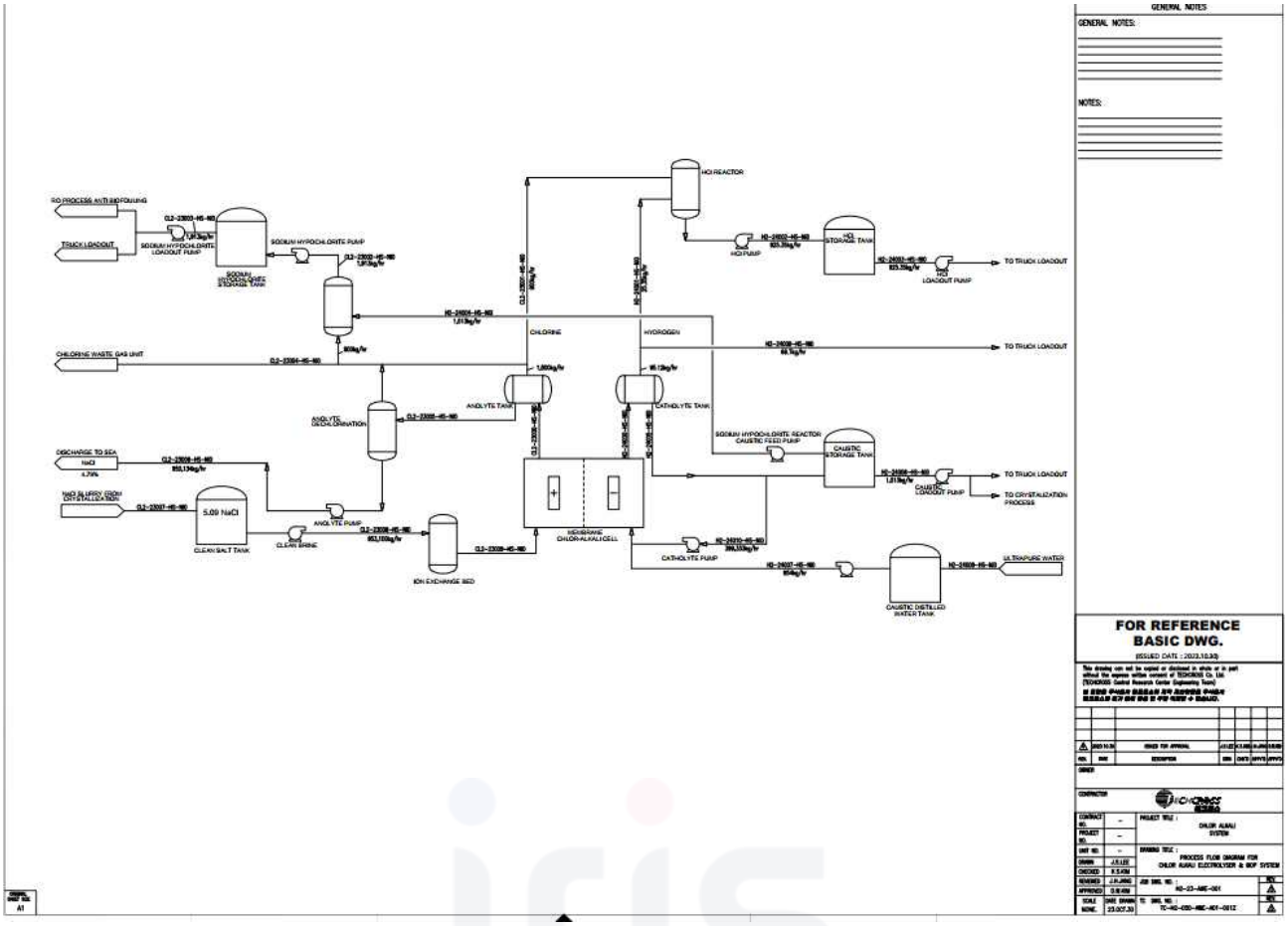
견적 내역서

No.	항목	세부항목	단가(원)	수량	단위	금액(원)
1	전해조	1.1 스택(2.2MW*3+6.6MW)	2,000,000,000	3	식	6,000,000,000
2	BOP		8,352,000,000	1	식	8,352,000,000
		2.1 전해액, 약품 저장탱크				
		2.2 생산액체, 순수 이송펌프				
		2.3 전해액 순환펌프				
		2.4 기액분리기의 압력용기 (supply tank 포함)				
		2.5 Heat exchanger, condenser				
		2.6 수소정제설비				
		2.7 NaOCl 반응기				
		2.8 Dechlorination 반응기				
		2.9 이온교환수지탑				
		2.10 HCl 반응기				
		2.11 배관류/설치 및 시운전				
3	EBOP	3.1. 전원공급 시스템	2,900,000,000	1	식	2,900,000,000
4	전계장	4.1 제어 및 발화전기공사비	845,000,000	1	식	845,000,000
5	유틸리티		519,500,000	1	식	519,500,000
		5.1 순수공급시스템				
		5.2 utility Compressed air system				
		5.3 N2 purge system				
		5.4 utility 냉각설비				

CONFIDENTIAL - UNATUORIZED USE OR DISCLOSURE OF THIS MATERIAL RESULTS IN CIVIL OR CRIMINAL LIABILITIES.

6	안전용품	6.1 안전 및 소방 부대시설	175,500,000	1	식	175,500,000
7	인프라	7.1 도목, 건축, 1차 전기	3,700,000,000	1	식	3,700,000,000
8	설계비	8.1 기본설계, 상세설계	1,000,000,000	1	식	1,000,000,000
9	인허가	9.1 인허가 통합 컨설팅	300,000,000	1	식	300,000,000
10	일반관리비	(재료비+노무비+경비) x 0.06	-			1,427,520,000
11	이윤	(노무비+경비+일반관리비) x 0.05	-			276,753,000
합 계 (원)			25,496,273,000			

기 타
1) 견적 미포함 항목(옵션사항)
- D.I water generator
- 정류기 인허가 별도
- 용수공사


GENERAL NOTES:
NOTES:
HCl REACTOR
HCl PUMP
HCl STORAGE TANK
HCl LOADOUT PUMP
TO TRUCK LOADOUT
SEA WATER PROCESS ANTI BIO FOULING
TRUCK LOADOUT
SODIUM HYPOCHLORITE LOADOUT PUMP
SODIUM HYPOCHLORITE STORAGE TANK
SODIUM HYPOCHLORITE PUMP
CHLORINE
HYDROGEN
CHLORINE WASTE GAS UNIT
ANOLYTE TANK
CATHOLYTE TANK
ANOLYTE DECHLORINATION
SODIUM HYPOCHLORITE REACTOR
CAUSTIC FEED PUMP
CAUSTIC STORAGE TANK
CAUSTIC LOADOUT PUMP
TO CRYSTALLIZATION PROCESS
DISCHARGE TO SEA
NaCl
1.79%
NaCl SLURRY FROM CRYSTALLIZATION
5.09 NaCl
CLEAN SALT TANK
CLEAN BRINE
ANOLYTE PUMP
ION EXCHANGE BED
MEMBRANE CHLOR-ALKALI CELL
CATHOLYTE PUMP
CAUSTIC DISTILLED WATER TANK
ULTRAPURE WATER
FOR REFERENCE
BASIC DWG.
ISSUED FOR APPROVAL
CONTRACTOR
PROJECT TITLE :
CHLOR ALKALI SYSTEM
DRAWING TITLE :
PROCESS FLOW DIAGRAM FOR CHLOR ALKALI ELECTROLYSER & BOP SYSTEM

13. (광물) 레미콘 in-situ 탄산화기술 활용 CO_2 감축·활용 기술

과제 개요		
전략 과제	대체 시멘트 및 건설소재	
세부 과제명	레미콘 in-situ 탄산화기술 활용 CO_2 감축·활용 기술	
사업 권역	□서부권, □남부권, ■중부권, □동남권	
기술 유형	□화학적전환 □생물학적전환 ■광물탄산화	
적용 산업	시멘트/건설	
최종 제품	In-situ 탄산화 건설용 제품, 레미탈/레미콘/콘크리트 2차제품 믹서 실증설비	
산출물	온실가스 감축목표	13,885(톤/년)

기술 개발 개요								
기술개발단계	□ 기초 ■ 응용 □ 개발 ■ 실증					기술단계	TRL (8)단계	
적용 산업	시멘트/건설(레미콘/레미탈/콘크리트 2차제품, CO_2 포집/이송/활용 산업)					최종 제품	In-situ 탄산화 건설용 제품, 레미탈/레미콘/콘크리트 2차제품 믹서 실증설비	
기술개발 주체	기업 단독	산+산	산+학	산+연	산+산+연	산+학+연	산+해외	
기술 개발 규모	연구 개발 기간	2025년 ~ 2029년 (5년)						
	연구비 (억 원)	총연구비	총 520 억원					
		개발년도	2025	2026	2027	2028	2029	2030
		국고	50	80	100	100	60	-
		민자	18	26	33	33	20	-
		소계	68	106	133	133	80	0
	소요 인력	총 소요 인력 (600)명						
기술 개요	기술 정의	레미콘 in-situ 탄산화기술 활용 CO_2 감축·활용 기술						
	기술개발 목표	• Fresh 모르타르 및 레미콘 제조공정의 in—situ 탄산화 기술 실증화 최적 공정 도출 • In—situ 효율향상용 탄소저감형 시멘트 제조기술 개발 • ① 6m3급 CO_2 주입용 레미콘 및 콘크리트 2차 제품용 표준 혼합기 제조 기술개발, ② 350kg/min 생산용량 in-situ 탄산화 레미탈 제조 상용화 공정시스템 개발 실증 • 상용급 시스템 기술개발						

□ **최종 목표**

❍ 레미콘 및 콘크리트 2차제품 제조 배합물 1m3당 CO_2 반응률 0.5kg 이상 → Fresh 모르타르 및 레미콘 제조공정의 in—situ 탄산화 기술 실증화 최적 공정 도출

❍ In-situ 탄산화 기술적용에 따른 레미탈, 레미콘 및 콘크리트 2차제품 제조 배합물의 단위 시멘트량 5% 이상 감축 기술 개발 → In—situ 효율향 상용 탄소저감형 시멘트 제조기술 개발

❍ In-situ 탄산화 기술 실증화 공정 적용 및 기술 보급을 위한 레미콘 및 콘크리트 2차 제품 공정적용용 실증화 산업설비 시스템 기반 구축 →① 6m3급 CO_2 주입용 레미콘 및 콘크리트 2차 제품용 표준 혼합기 제조 기술개발, ② 350kg/min 생산용량 in-situ 탄산화 레미탈 제조 상용화 공정시스템 개발 실증

□ 단계별 목표

1단계('25년 ~ '27년)	2단계('28년 ~ '30년)
- 대용량(3~6m3급 용량) 콘크리트 혼합장치 대상 탄산화 반응공정 설계·구축 * 5kg/batch 이상 CO_2 주입장치, CO_2 모니터링 시스템, 주입장치 연계 콘크리트 믹서 - 통합 시스템 연계 CO_2주입 콘크리트 혼합장치 안정적 구동기술 확립	- 6m3 용량급 레미콘 제조 혼합공정 in-situ 탄산화 기술적용 생산기술 확보 - 3~6m3 용량급 기존 레미콘 제조 혼합공정의 in-situ 탄산화 주입 적용기술 확립 - 3~6m3 용량급 레미콘 제조공정 연속생산 안정화 기술 확립

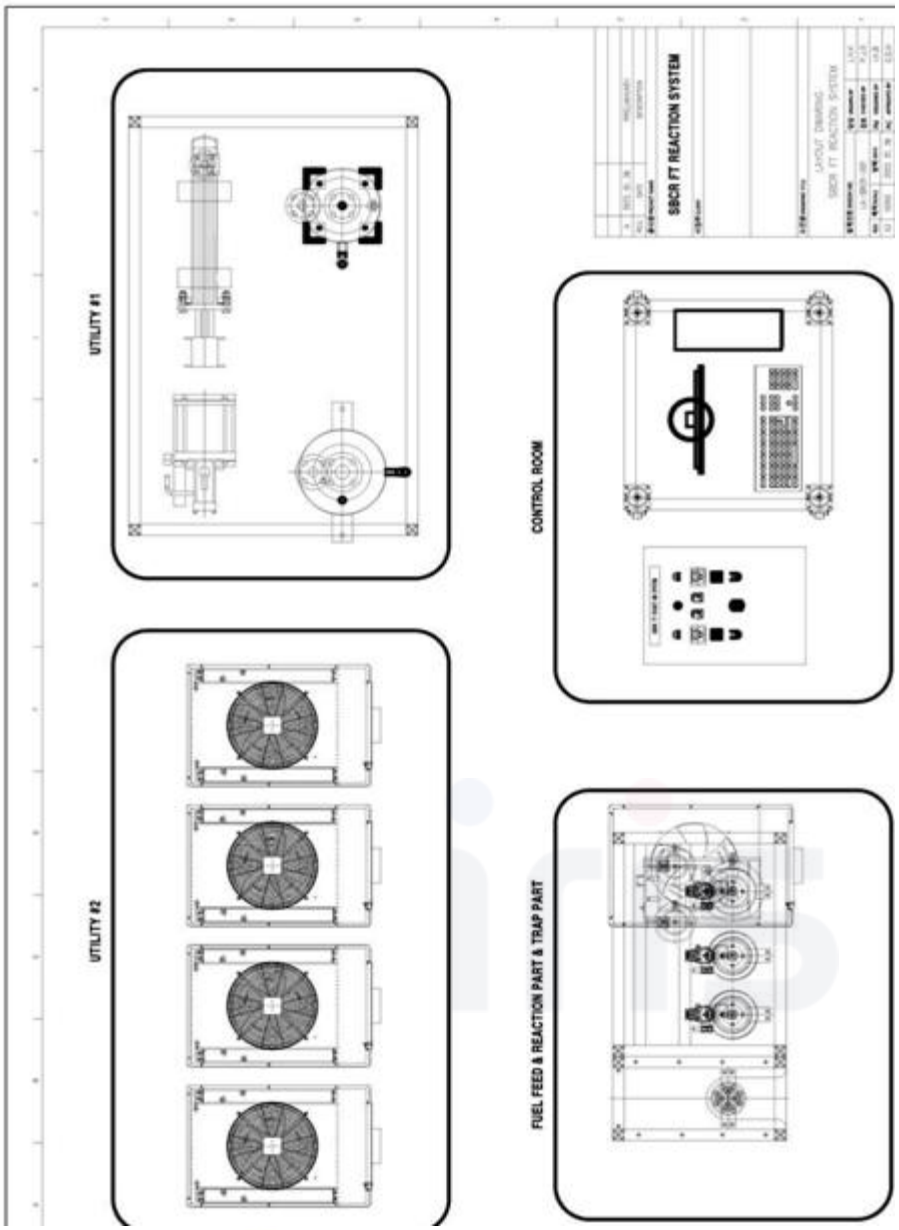
□ 성능목표

성과지표	현 수준	개발 목표					
		'25	'26	'27	'28	'29	'30
CO_2 고정화량 (kg/m3)	국내사례없음	0.2이상	0.4이상	0.4이상	0.5이상	0.5이상	
단위시멘트 감축량 (%/m3)	국내사례없음	1.5이상	4이상	4이상	5이상	5이상	
압축강도 향상률 (%)	국내사례없음	3이상	5이상	6이상	7이상	7이상	
CO_2 감축량 (ton)[1)]	국내사례없음	-	-	-	-	14,465	

□ 설비 리스트

구분 / 기계	순 번	기계내역	금액
기계 본체 및 이송설비	1	B/P본체 및 외장	235,000,000
	2	믹사 6.0M3/BATCHX110KWX2	380,000,000
	3	콘크리트 호퍼 및 아이비 저장호퍼	41,500,000
	4	본체 저장빈 및 계량장치	185,000,000
	5	본체 이송설비 BUCKET ELEVATOR ROTARY SCREW	485,000,000
	6	혼화제 저장빈 및 계량장치	112,500,000
	7	물 저장빈 및 계량장치 온수 냉수	292,500,000
	8	에어 공급설비	54,000,000
	9	이송 콘베어 1.2단	385,000,000
	10	터널 호퍼 및 계량기	195,000,000
	11	전기공사 1차전기(수전)2차전기(기계부문)	348,000,000
합 계			2,713,500,000
분체설비	1	분체 저장설비 1000톤(집진설비)	245,000,000
	2	분체 저장설비 500톤(집진설비)	138,000,000
	3	분체 저장설비 300톤(집진설비)	89,500,000
	4	분체 저장설비 200톤(집진설비)	71,500,000
	5	분체 저장설비 100톤(집진설비)	48,500,000
합 계			592,500,000
	1	레레미콘 설비 60M3	325,000,000
	2	3차 탱크 2SET	-
	3	폐수라인 및 펌프	-
레레미콘 설비	4	전기공사	-
			-
			-
			-
합 계			325,000,000
TOTAL			3,631,000,000

합 계 금 액 (VAT합계)		일금 일십구억팔천만 원정			₩1,980,000,000	결재조건: (현금)	
순번	품명	규격	수량	단위	단가	금액	비고
1	CO2 In-Suit 시스템	5~6kg/min	1	SET	1,800,000,000	1,800,000,000	
	— CO2 벌크 탱크 시스템	4.9ton	1	SET			
	— CO2 승압기		1	EA			
	— CO2 기화기		1	EA			
	— CO2 액화기		1	EA			
	— CO2 보조탱크		1	EA			
	— AIR 압축공기 시스템		1	SET			
	— CO2 정밀 계량기		1	EA			
	— Main 제어기		1	EA			
	— Carrier Gas 공급기		1	EA			
	— CO2 정량 제어기		1	EA			
	— CO2 공급기		1	EA			
	— 노즐		6	EA			
	TOTAL(VAT 별도)				1,800,000,000	1,800,000,000	
*특기사항							



UniFac

견적서

2023년 10월 30일

한국석회석신소재연구소 김병렬 연구원 귀중

견적명: In-Situ CO2 주입장치

유효기간: 견적일로부터 30일

下記와 같이 見積하나이다

유니팩 ㈜

경기도 화성시 동탄첨단산업1로 63-12, 408호 (영천동, 동탄비즈타워)

Tel : 031-8067-5300 /Fax : 031-629-6369

E-mail: hskoh@unifac.co.kr

합 계 금 액 (VAT합계)		일금 일십구억팔천만 원정			₩1,980,000,000	결재조건: (현금)	
순번	품명	규격	수량	단위	단가	금액	비고
1	CO2 In-Suit 시스템	5~6kg/min	1	SET	1,800,000,000	1,800,000,000	
	— CO2 벌크 탱크 시스템	4.9ton	1	SET			
	— CO2 승압기		1	EA			
	— CO2 기화기		1	EA			
	— CO2 액화기		1	EA			
	— CO2 보조탱크		1	EA			
	— AIR 압축공기 시스템		1	SET			
	— CO2 정밀 계량기		1	EA			
	— Main 제어기		1	EA			
	— Carrier Gas 공급기		1	EA			
	— CO2 정량 제어기		1	EA			
	— CO2 공급기		1	EA			
	— 노즐		6	EA			
	TOTAL(VAT 별도)				1,800,000,000	1,800,000,000	
*특기사항							

14. (광물) CO_2 반응경화 시멘트 및 건설 2차제품 생산 및 활용 기술

과제 개요		
전략 과제	대체 시멘트 및 건설소재	
세부 과제명	CO_2 반응경화 시멘트 및 건설 2차제품 생산 및 활용 기술	
사업 권역	□서부권, □남부권, ■중부권, □동남권	
기술 유형	□화학적전환 □생물학적전환 ■광물탄산화	
적용 산업	시멘트 산업, 시멘트 분야 2차제품 건설산업, CO_2 포집/이송/활용 산업	
최종 제품	이산화탄소 반응경화 시멘트, 건설 2차제품, 실증설비	
산출물	온실가스 감축목표	16,625(톤/년)

기술 개발 개요								
기술개발단계	□ 기초 ■ 응용 □ 개발 ■ 실증				기술단계	TRL ( )단계		
적용 산업	시멘트 산업, 시멘트 분야 2차제품 건설산업, CO_2 포집/이송/활용 산업				최종 제품	이산화탄소 반응경화 시멘트, 건설 2차제품, 실증설비		
기술개발 주체	기업 단독	산+산	산+학	산+연	산+산+연	산+학+연	산+해외	
						○		
기술 개발 규모	연구 개발 기간	2026년 ~ 2029년 (4년)						
	연구비 (억 원)	총연구비	총 800 억원					
		개발년도	2025	2026	2027	2028	2029	2030
		국고	-	80	240	200	80	-
		민자	-	27	80	66	27	-
		소계	-	107	320	266	107	0
	소요 인력	총 소요 인력 (1,400)명						
기술 개요	기술 정의	CO_2 반응경화 시멘트 및 건설 2차제품 생산 및 활용 기술						
	기술개발 목표	• 이산화탄소 반응경화 콘크리트 제품의 원소재가 되는 이산화탄소 반응경화 시멘트 클링커 대량생산 기술개발 • 시멘트 제조공정 배출 온실가스에 함유되어 있는 고농도 CO_2(~20%)를 이산화탄소 반응경화 시멘트 2차제품 제조에 활용할 수 있도록 하는 배가스 포집/이송/공급 스마트 양생시스템 구축 및 공정배출 온실가스 활용에 따른 시멘트 산업배출 온실가스 감축량 산출 • 이산화탄소 반응경화 시멘트를 활용한 탄소저감형 친환경 건설재료 및 콘크리트 2차 제품(블록, ALC, 흄관 등) 제조기술 확보 및 제품 상용화 • 이산화탄소 반응경화 시멘트 건설재료 전생애주기(LCA) 조사						

□ 최종 목표

❍ 이산화탄소 반응경화 콘크리트 제품의 원소재가 되는 이산화탄소 반응경화 시멘트 클링커 대량생산 기술개발 및 원료부분 석회석 사용량 감축 및 저온소성에 의한 공정배출 온실가스를 감축량 산정

- 원료선정 및 소성조건 도출 등 이산화탄소 반응경화 시멘트 최적 대량생산 제조조건 도출
- Pilot plant scale 생산설비를 활용한 대량생산 실증(800톤/일 급 소성킬른활용) 및 생산시스템 안정화 기술 확보
- 이산화탄소 반응경화 시멘트 품질최적화 및 범용 제품 최적 적용방안 도출

❍ 시멘트 제조공정 배출 온실가스에 함유되어 있는 고농도 CO_2 (~20%)를 이산화탄소 반응경화 시멘트 2차제품 제조에 활용할 수 있도록 하는 배가스 포집/이송/공급 스마트 양생시스템 구축 및 공정배출 온실가스 활용에 따른 시멘트 산업배출 온실가스 감축량 산출

- 시멘트 공정배출 배가스 포집공정 설계·구축 (20톤~50톤/day급 포집설비 구축)
- 포집 CO_2 를 적용한 스마트 탄산화양생 상용화 시스템 공정기술 개발 (50m3급 단위 탄산화공정 개발)
- 스마트 탄산화양생 시스템 구축에 따른 온실가스 감축실적 산정 로직 개발 및 모니터링 방법 체계화

❍ 이산화탄소 반응경화 시멘트를 활용한 탄소저감형 친환경 건설재료 및 콘크리트 2차 제품(블록, ALC, 흄관 등) 제조기술 확보 및 제품 상용화

- 탄산화반응 결과생성물을 활용한 친환경 건설재료 제조 통합공정 개발
- 블록, 타일, 판넬 등 2차 제품 적용범위 확대방안 마련
- 산업 전 공정 표준화 프로세스 구축

❍ 이산화탄소 반응경화 시멘트 제조기술 실증을 통한 산업 전공정 프로세스 표준화 구축 및 장기적이고 안정적인 CO_2 감축 기술 확보

- 원료물질평가, CO_2 반응경화 시멘트 평가 및 시멘트/콘크리트 배합을 통한 재료 내구성 및 역학적 성능평가시험 평가항목 및 방법론 수립

❍ 이산화탄소 반응경화 시멘트 건설재료 전생애주기(LCA) 조사

- 표준개발협력기관 협업을 통한 '건설자재 품질성능 표준화', '건설자재 정보 표준화' 및 '건설공사 품질향상을 위한 정책 개발' 실시
- 저탄소 친환경 건설재료 분야 KS 표준화

□ 단계별 목표

1단계('25년 ~ '26년)	2단계('27년 ~ '29년)
- 이산화탄소반응경화시멘트제조, 대용량 이산화탄소 양생시스템 및 건설 2차제품 실증생산 공정시스템 설계 및 구축 * 시멘트 800톤/일급, 50m3급 탄산화 양생시스템, 50톤/일급 CO_2 포집설비 등 - 건설 2차제품 제조 탄산화 양생 통합 시스템 연계 안정적 구동기술 확립	- 800톤/일 용량급 이산화탄소반응경화시멘트 전용 킬른 연속운전 및 생산기술 확립 - 50m3 용량급 이상 탄산화양생시스템 활용 건설 2차제품 생산기술 최적화 - 실증생산공정시스템 운영 기반 온실가스 감축방법론 확립

□ 성능목표

성과지표	현 수준	개발 목표					
		'25	'26	'27	'28	'29	'30
압축강도(MPa)	국내사례없음		35이상	45이상	50이상	50이상	
CS 및 C3S2 합성량(%)	국내사례없음		40이상	40이상	40이상	40이상	
탄산화 양생에 따른 CO_2 고정화량 (kg/t-CSC clinker)	국내사례없음		-	320이상	350이상	350이상	
공정배출 CO_2 감축량 (%)	국내사례없음		-	-	-	25이상	
투수블록 압축강도(MPa)	국내사례없음		10이상	13이상	13이상	13이상	

□ 장비리스트

見 積 書

품번 2310-1026B 西紀 2023年 10月26日

한일시멘트 貴中

금 액 : 壹百貳拾億원整
(₩12,000,000,000원)
件名 : 이산화탄소 반응경화 시멘트 제조- 출하 공정 시스템

(주)에스와이플랜텍
Plant & Engineering Service
본사/공장 김포시 통진읍 김포대로 2385번길 101-1
전 화 02) 6409-0111
팩 스 02) 6409-0112
대표이사 신 광 진

담당자 : 최범락 이사 HP :010-9379-0414

決濟方法 :
納期日 有效期間 期限

품셈	品 名	規 格	數 量	재료비	인건비	경비	요 율	비 고
A	기계 설비							
1	제품 전용 Silo							
	-. 저장 Silo	5,000㎥ Silo 및 부대 설비	800ton	1,840,000,000	2,300,000,000	460,000,000	4,600,000,000	
	- bag filter & Fan	집진설비외 (600㎥/min)	1set	240,000,000	45,000,000	150,000,000	300,000,000	
	- 부속 기기	A/S, Airation System	1식	156,000,000	78,000,000	26,000,000	260,000,000	
				/	/	/	/	
	제품 전용 Silo 소계			2,236,000,000	2,423,000,000	636,000,000	5,160,000,000	
2	원료 이송설비							
	- Appron	수평, 경사 이송	1set	240,000,000	120,000,000	40,000,000	400,000,000	
	- Lump Crusher	Lump Crusher System		90,000,000	45,000,000	15,000,000	150,000,000	
	-. 부속기기	주변 설비		120,000,000	60,000,000	20,000,000	200,000,000	
				/	/	/	/	
	원료 이송설비 소계			450,000,000	225,000,000	75,000,000	750,000,000	
3	원료 이송량 측정 System		1set					
	- 계량 System	원료 공급량 계측, 계량 설비	1식	150,000,000	75,000,000	25,000,000	250,000,000	
	-. Structure	30ton		40,000,000	50,000,000	10,000,000	100,000,000	
	- 부속기기	Chute & Damper 류		30,000,000	15,000,000	5,000,000	50,000,000	
				/	/	/	/	
	원료 이송량 측정 설비 소계			220,000,000	140,000,000	40,000,000	400,000,000	
4	AQC 설비 보완		1set					
	- AQC 설비 보완	Gas 투입 설비 추가	1식	875,000,000	250,000,000	125,000,000	1,250,000,000	
	- 부속설비	Bag Filter, Duct, Damper System	1식	300,000,000	150,000,000	50,000,000	500,000,000	
						/	/	
	AQC 설비 보완 소계			1,175,000,000	400,000,000	175,000,000	1,750,000,000	
5	설치 작업	기계설비 설치작업	1식	10,000,000	170,000,000	20,000,000	200,000,000	
				/	/	/	/	

1 페이지

2 페이지

견 적 서

견 적 일 : 2023년 10월 29일
수 신 처 : 한국생산기술연구원
담 당 자 : 이 창 엽 박사님

시제품명 : CO2 Removal Process System

등록 번호	305 - 28 - 18675
상 호	일보엔지니어링
대 표	김 주 경
사업장주소	대전시 대덕구 세발2길 35(상서동)
업태/종목	제조업 / 반도체장비
전화번호	042-672-6530
이 메 일	ilbo6530@hanmail.net

下記와 如히 見積하나이다.

견적금액 一金 오십사억사천사백구십이만팔천오백원정 (₩5,444,928,500)

품 명	규 격	단 위	수 량	단 가	금 액	비고
1. 재료비					3,953,517,550	
2. 노무비		L/S	1		298,079,000	
3. 간접 노무비	노무비의 20%(보험 및 안전 관리비 포함)	L/S	1		59,615,800	
4. 경비		L/S	1		320,654,762	
5. 제조원가	(재+노+경)	L/S	1		4,631,867,112	
6. 일반관리비	제조원가*4.7%	L/S	1		217,697,754	
7. 총원가	제조원가+일반관리비	L/S	1		4,849,564,866	
8. 이윤	(노+경+일관)*10%	L/S	1		100,371,000	
9.공급가액	**총원가+이윤**	**L/S**	**1**		**4,949,935,000**	
10.부가세		**L/S**	**1**		**494,993,500**	
11.합계		**L/S**	**1**		**5,444,928,500**	

15. (광물) 제철 슬래그 활용 CO_2 저감 건설소재 생산 및 활용 기술

과제 개요		
전략 과제	대체 시멘트 및 건설소재	
세부 과제명	제철 슬래그 활용 CO_2 저감 건설소재 생산 및 활용 기술	
사업 권역	□서부권, □남부권, □중부권, ■동남권	
기술 유형	□화학적전환 □생물학적전환 ■광물탄산화	
적용 산업	철강, 건설	
최종 제품	CO_2 광물화 건설소재	
산출물	온실가스 감축목표	100,000만톤/년

기술 개발 개요							
기술개발단계	□ 기초 □ 응용 ■ 개발 ■ 실증				기술단계	TRL (5)단계	
적용 산업	철강, 건설				최종 제품	CO_2 광물화 건설소재	
기술개발 주체	기업 단독	산+산	산+학	산+연	산+산+연	산+학+연	산+해외
						○	
기술 개발 규모	연구 개발 기간	2025년 ~ 2030년 (6년)					
	연구비 (억 원) 총연구비	총 500 억원					
	개발년도	2025	2026	2027	2028	2029	2030
	국고	30	60	90	60	30	30
	민자	20	40	60	40	20	20
	소계	50	100	150	100	50	50
	소요 인력	총 소요 인력 (300)명					
기술 개요	기술 정의	포집된 고순도의 CO_2를 사용하지 않고 배가스 내에 포함된 CO_2를 직접 탄산화 반응에 활용함으로써 CO_2 포집에 소요되는 스팀에너지를 저감, 생산된 제품(탄산화 소재)을 골재, 시멘트 첨가제, 콘크리트 제품 등으로 활용하는 기술					
	기술개발 목표	• 제철 슬래그 활용 연 10만톤의 CO_2 저감 기술 실증 package 확보 (사업 기간내 연 3만톤 CO_2 저감 실증) • CO_2 포함 배가스 직접활용을 통한 경제성 향상 및 탄산화물 활용 기술 개발					

□ 최종 목표

❍ 제철 슬래그 활용 연 10만톤의 CO_2 저감 기술 실증 package 확보 (사업 기간내 연 3만톤 CO_2 저감 실증)

❍ CO_2 포함 배가스 직접활용을 통한 경제성 향상 및 탄산화물 활용 기술 개발

□ **단계별 목표(해당시)**

1단계('25 년 ~'27 년)	2단계('27 년 ~ '30 년)
• 일 10톤/일급 탄산화 기술 실증 • 탄산화 제품 활용 방안 및 현장 실 테스트 • 탄산화 제품 KS규격 대응 방안 도출 • LCA 평가를 통한 CO_2 저감량 평가	• 일 100톤/일급 탄산화 기술 실증 • 탄산화 제품 KS 규격 인증 • CO_2 저감 인증 방법론 등록 • 일 300톤/일급 탄산화 기술 package化 및 기술 확대 보급

□ **성능목표**

성과지표	현 수준	개발 목표					
		'25	'26	'27	'28	'29	'30
CO_2 저감량	10kgCO_2/일	-	-	1톤/일	10톤/일	100톤/일	100톤/일
슬래그 활용방안	건	-	1건	2건	-	-	-
KS 규격	건	-	-	-	-	2건	
인증방법론	건	-	-	-	1건	-	-

❍ 배가스 직접 활용 제철 슬래그 탄산화 기술 실증

❍ 슬래그 탄산화 제품의 활용 방안 도출

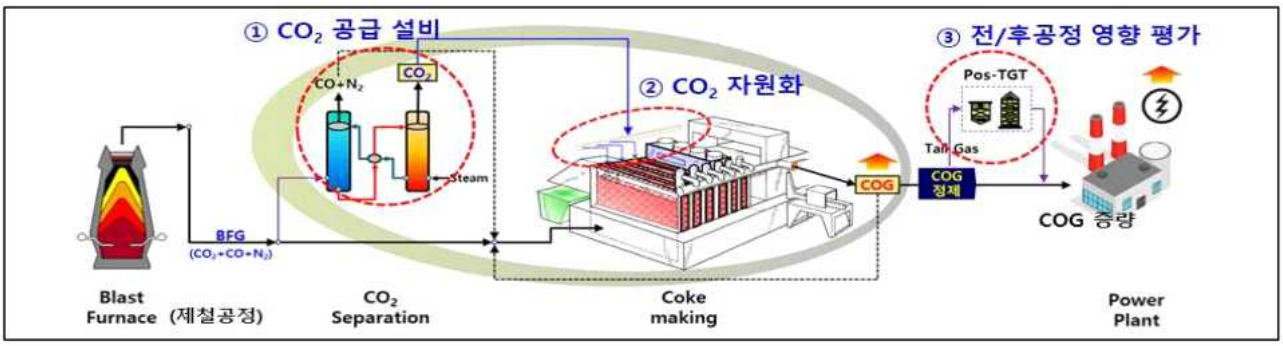
- - KS 규격 인증을 통한 탄산화 제품의 시장 확보

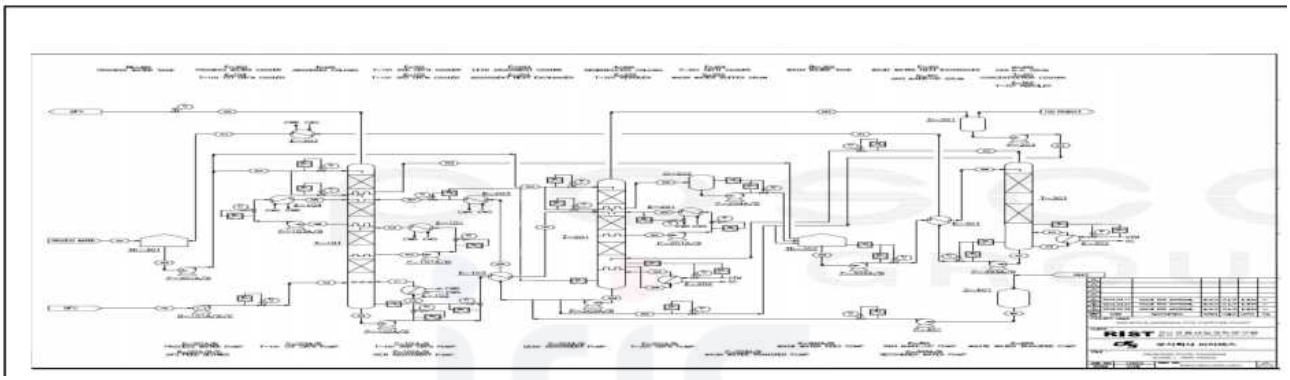
❍ 슬래그 탄산화 기술의 LCA 평가를 통한 CO_2 저감량 평가

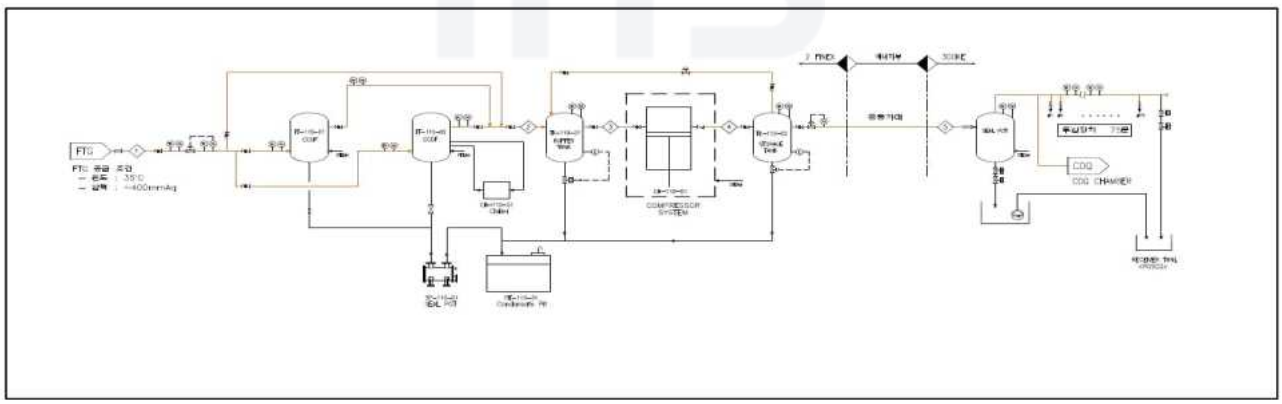
- LCA 방법론을 통한 CO_2 저감량 평가

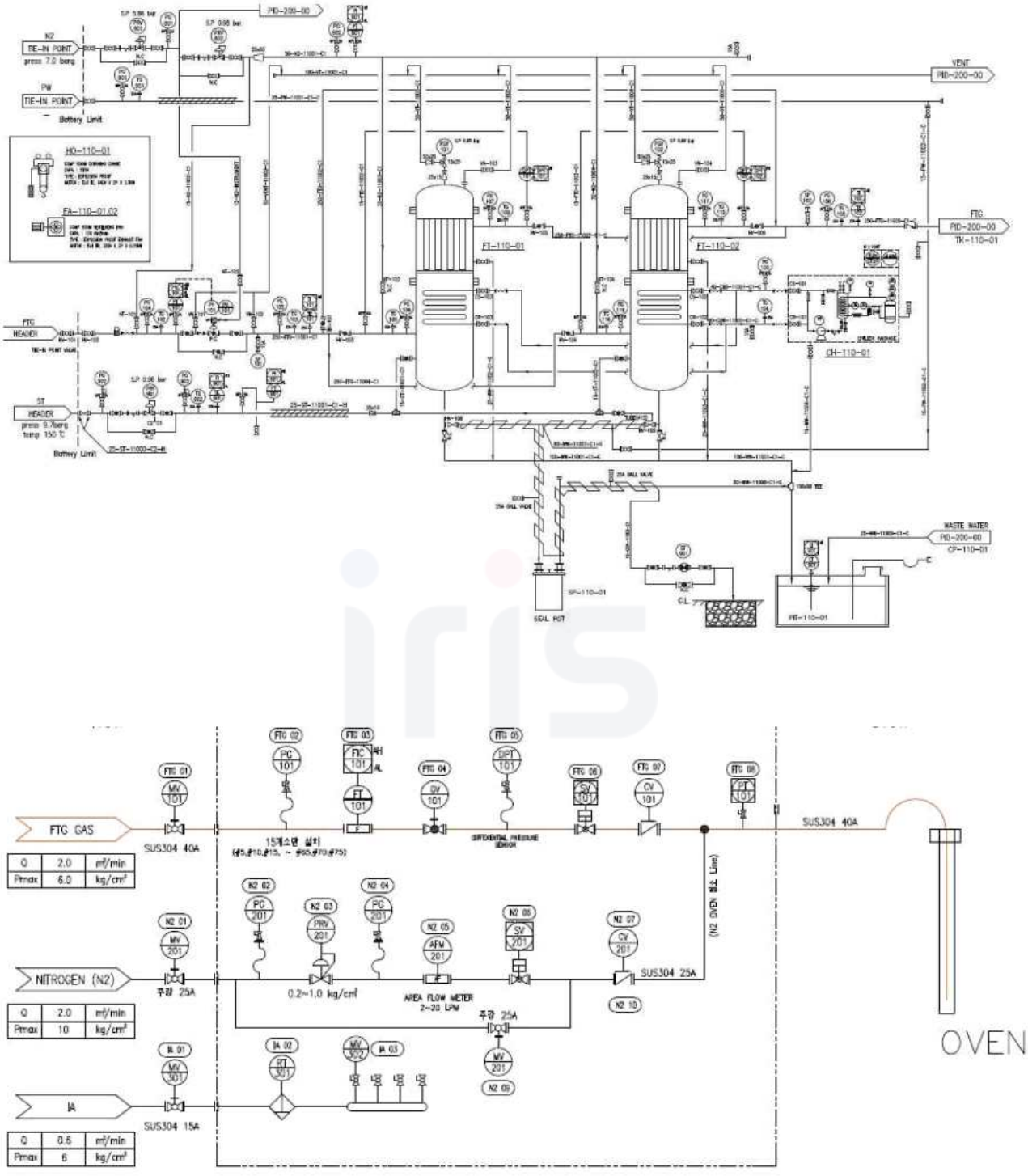
-

□ 철강 공정 활용 합성가스 제조 기술








N2
TIE-IN POINT
press 7.0 barg
PW
TIE-IN POINT
Battery Limit
HO-110-01
EA-110-01,02
PID-200-00
VENT
PID-200-00
FTG
PID-200-00
TK-110-01
FT-110-01
FT-110-02
CH-110-01
FTG
HEADER
ST
HEADER
press 9.7barg
temp 150 ℃
Battery Limit
WASTE WATER
PID-200-00
CP-110-01
SEAL POT
FTG GAS
SUS304 40A
Q 2.0 ㎥/min
Pmax 6.0 kg/cm²
15개소연 설치
SUS304 40A
NITROGEN (N2)
주관 25A
Q 2.0 ㎥/min
Pmax 10 kg/cm²
0.2~1.0 kg/cm²
AREA FLOW METER
2~20 LPM
주관 25A
SUS304 25A
IA
SUS304 15A
Q 0.5 ㎥/min
Pmax 6 kg/cm²
(N2 OVEN 접속 Line)
OVEN

제6절 기대효과

□ 과학기술적 기대효과

❍ **(탄소중립 핵심기술 자립)** 산업과 연계한 CCU 기술 실증을 통한 기술 고도화로 탄소중립 기술 강국 실현

- 우리나라의 CCU 분야 기술격차('20년기준 선도국대비 80%)를 해소함과 동시에, 핵심기술 완성도 제고를 통한 CCU 기술선도국으로 도약

❍ **(CFE 활용 확대 흐름 동참)** 탈탄소화를 위한 현실적 대안으로 재생에너지뿐만 아니라 원전·수소·CCUS 등 다양한 무탄소 에너지를 활용하는 CFE(Carbon Free Energy) 활용 확대 흐름에 동참

* CCU는 포집된 탄소를 청정수소와 반응시키고, 이때 필요한 전력을 재생에너지로 공급하여 탄소를 고부가가치 생산물로 전환함으로써 CFE 활용에 기여

❍ **(국제협력 기반마련)** 미국 등 CCU 기술 선도국가와의 기술 교류를 통해 공동 실증, 국제 표준 제정을 할 수 있는 기술적 기반마련

❍ **(국제감축 기여)** 예타사업을 통해 확보한 기술을 토대로 해외 감축사업, 국외 기술이전 등을 진행하여 온실가스 감축에 추가로 기여

❍ 업종별 맞춤형 기술지원을 통한 성과 지향적 기술개발 추구

- 석유화학·발전·철강·시멘트 산업분야에서 대규모 실증을 통한 기술 레퍼런스 확보
- 온실가스 감축과 함께 해당산업별로 직접 고부가가치 창출이 가능한 성장형 기술로, 탄소중립 신산업 동력원으로 활용 가능

❍ CCU 기술패키지화 및 라이센스 확보를 통한 해외사업 진출

- 기개발된 기술과의 통합·연계를 통하여 기술 상용 패키지를 완성하고, 해외 기술이전 및 사업화 추진

❍ CCU 제품 상용사례 창출을 통하여 주요 기술선도국 및 기술수요국과의

협력기회 확대 및 글로벌 기술시장 선도

- 공동 해외 상용화 및 현지 실증 협력, 글로벌 표준 협력 등 다양한 분야에서 글로벌 협력 기회를 확대하고, 기술 선순환을 통하여 국내 기술력 향상 제고

□ 정책적 기대효과

❍ **(탄소중립 정책실현)** 탄소중립·녹색성장 기본계획 및 국가 온실가스 감축목표 등 탄소중립 관련 상위계획의 체계적 이행을 뒷받침

❍ **(국제적 합의준수)** CCU 기술고도화 및 상용화 제품 생산으로 2030 NDC 달성에 기여하여 탄소중립 이행을 위한 국제적 합의준수

❍ **(탄소중립 신산업 육성)** CCU 관련 탄소중립 신산업 육성으로 일자리 창출 및 지역 경제 활성화

❍ **(에너지 정책 기반 견고화)** CCU 2기술 적용을 통해 무탄소 에너지 생산의 효율성을 높임으로써, 에너지 공급의 안정성 제고

□ 경제적 기대효과

❍ **(탄소감축)** 본 사업에서 감축되는 약 732,210톤/년의 온실가스가 배출권 거래제를 통해 상쇄되는 경제적 효과는 년 약 900억원* 으로 추정

* 유럽 탄소배출권 가격(EU ETS), '23.11. 88유로(12만3천원/톤)

- 동 사업 온실가스 감축 목표량 : **732,210 톤/년**

권역	목표 감축량 (톤/년)	환산가(억 원)
서부권	125,000	153.75억 원
남부권	471,200	579.57억 원
동남권	105,500	129.76억 원
중부권	30,510	37.52억 원
합계		**900.6억 원**

· 기업의 수요조사를 통한 민간 감축목표 확인과 기술전문가의 점검을 통해, 多 배출 핵심산업 전후방 연계를 통한 감축 가능성 점검

❍ 동 사업의 기술성과물 확산과 후방산업과의 연계를 통한 최종 생산물로 인한 생산 유발 경제적 효과는 약 3조 4849억 원으로 추산

- **(상용화 확산 경제적 효과)** 동 사업의 R&D를 통한 생산·공정기술을 활용하여 최종 생산 가능제품의 양산 상용화 확산 경제적 효과

* 최종 생산 제품과 동등제품의 현재 국내 거래가격 기준 측정

〈표 Ⅲ-32〉 동 사업을 통한 최종 생산물 거래 단가('23.11.)

소분류	1톤당(만원)	근거('23. 11.)
에탄올	64.5	국제선물
메탄올	42.7	국제선물
올레핀	109.2	국제선물
e-Fuel(바이오메탄올)	56,653.1	국제청정교통위(ICCT)
폴리우레탄	539,3	pieweb.plasteurope.com
폴리카보네이트	406.9	Intratec.us 거래단가
바이오연료	439.6	Minimal fuel selling price
플라스틱	296.4	Ethylene vinyl acetate
카로테노이드	617.5	Koller et al
바이오매스	1,06.4	미국 DOE 산하 NREL
시멘트	17.5	IBIS World
합성가스	327.9	Intratec.us 거래단가
탄산마그네슘	78.0	무역협회 수출입 단가
석회석 대체 탄산칼슘	26.0	무역협회 수출입 단가
양생 시멘트	13.0	무역협회 수출입 단가
플라이 애쉬	2	기업 거래 단가 확인
황산암모늄	26.6	Intratec.us 거래단가
탄산칼슘	158.6	무역협회 수출입 단가
중탄산나트륨	71.2	무역협회 수출입 단가

* (환율) '23. 11. 1,300원 환산

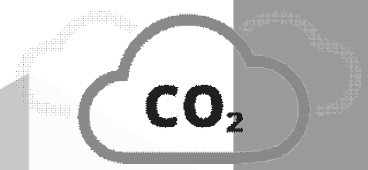
❍ 동 사업 최종생산물로 인한 권역별 생산유발 효과

플래그십 권역	최종 제품	생산 유발(억 원)
남부권	합성가스, e-Fuel, 탄산칼슘 등	9,275.5
동남권	메탄올, 플라이 애쉬	103.5
서부권	폴리머, 바이오메스, 탄산염	20,322.0
중부권	레미콘, 콘크리트 2차제품, 레미탈	5,148.0
합계		**34,849.0**

· 기업의 수요조사를 통해 최종 생산물과 목표량에 대한 산출근거 및 목표치 달성 가능성에 대한 전문가의 점검 시행

제4장 사업 타당성 분석

Carbon Capture and Utilization



제1절 과학기술적 타당성

1. 문제/이슈 도출의 적절성
3. 사업목표의 적절성
4. 세부활동 및 추진전략의 적절성

제2절 정책적 타당성

1. 상위계획과의 부합성
2. 기존사업과의 차별성
3. 사업추진상의 위험요인
4. 법제도적 위험요인

제3절 경제적 타당성

1. 분석 개요
2. 비용편익분석
3. 비용효과분석
4. 파급효과 분석

무탄소 에너지(CFE) 가치사슬 제고와 CCU의 조속한 상용사례 창출로

탄소중립 산업경쟁력 확보와 미래지향 기반 구축

제4장 사업 타당성 분석

제1절 과학기술적 타당성

1. 문제/이슈 도출의 적절성

가. 문제/이슈 식별과정의 적절성

〈표 Ⅳ-1〉 문제이슈 도출 방법 및 내용

주요 동향분석	
미래 트렌드	• 무탄소사회 이행 가속화 • 무탄소기술과 제품에 대한 기업 및 시장 수요 • 탈탄소시대의 지속 가능한 성장동력 확보 및 기후변화 대응책 마련
산업 시장 동향	• 지속적인 투자로 CCU 글로벌 시장의 꾸준한 성장 예상 • 탄소배출권 거래시장 형성 등 탄소경제 본격화
기술 동향	• 대규모 탄소포집 실증 진행 중 • 기술수준과 성숙도가 높은 화학적 전환 상용화 제품 및 제품 개발 중심
기술 수준	• 최고기술보유국(미국)대비 80%, 기술격차 5년
수요 조사	• 총 45개 기업이 참여의향이 있음을 확인 - 화학적 전환(20개사), 광물 탄산화(19개사), 생물학적 전환(6개사) 순으로 집계

국내 정책동향	
CCU 관련 정책	• 탄소중립 추진전략 • 탄소중립 연구개발 투자전략 • 탄소중립 기술혁신 추진전략 • CCU 기술혁신 로드맵(안) • 탄소중립 시나리오안 발표 • 에너지 탄소중립 혁신전략 • 탄소중립 산업 대전환 비전과 전략 • 윤석열정부 110대 국정과제 발표 • 탄소중립 녹색성장 추진전략 • 탄소중립 녹색성장 기술혁신 전략 • CCUS 분야 탄소중립 기술혁신 전략로드맵(안) • 탄소중립 녹색성장 기본계획 • 기업·출연연 참여 CCUS 산업 기술혁신 추진(안)
근거 법령	• 과학기술기본법 제15조, 제16조 • 기후위기 대응 탄소중립·녹색성장 기본법 제34조 • 환경정책기본법 제10조, 제15조 • 기후변화대응 기술개발 촉진법 제8조, 제11조

해외 R&D 투자	
미국	DOE CCUS R&D 프로그램(2020)
EU	EU 7th Framework(2007)
	European Green Deal(2019)
	Innovation Fund(2021)
일본	DOE CCUS R&D 프로그램(2020)
	EU 7th Framework(2007)
	European Green Deal(2019)
중국	Innovation Fund(2021)

□ **(문제이슈 식별 과정의 적절성)** 무탄소 에너지(CFE) 관련 정책, 국내·외 CCU 기술·산업 동향, R&D 투자 현황, 주요국 R&D프로그램 현황 등의 분석 결과를 종합적으로 검토하여 현안을 진단하고 동 사업이 해결해야 할 문제/이슈를 식별하였으므로 그 과정이 적절함

❍ 중점분야별 세부내용을 기획하는 과정에서 각 분야별 핵심 전문가들로 분과기획위원회를 구성하여 각 분야별 기술적 난제 및 이슈 도출 과정에서 충분한 의견수렴을 하였으므로 그 과정이 적절

□ 동 사업은 성장형 R&D 사업으로서 기 확보된 CCU 연구개발 성과 기술의 현장 적용을 통해 실제 CO_2를 감축할 수 있는 기술

❍ 정부 NDC 감축목표 기여와 탄소중립 실현을 위한 실질적인 아젠다 중심으로 과제를 지원하는 방식을 도입

❍ 동 사업은 정부의 마중물 투자로 초기 성공 사례를 창출하여 리스크를 경감시킴으로써 CCU 기술이 민간으로 확산될 수 있는 계기 마련

❍ 탄소중립 기술패권경쟁 구도에 있는 주요국가들이 기후 변화 대응과 탄소중립 규제에 대응하기 위하여 CCU 기술을 채택하여 운영하고 있다는 점에서 문제/이슈 해결 방안으로 적절

□ **(국내 정책)** 저탄소사회 전환을 위한 주요 방법론으로 CCU를 채택하고 조기 상용화를 NDC 이행방안으로 설정하였음을 동 사업의 필요성으로 반영

〈표 Ⅳ-2〉 국내 CCU 지원정책

구분	관련내용
2050 탄소중립 추진전략 (관계부처 합동, '20.12.07.)	• CCUS 기술 적용을 통한 온실가스 배출 감축 노력 강조 • **산업 현장**에서 **CCUS 기술 상용화** 요구
2050 탄소중립 연구개발 투자전략 (관계부처 합동, '21.03.31.)	• 10대 핵심 투자 분야 중 하나로 탄소 포집·저장·활용(CCUS) 기술 설정 • 시장 수요에 기반한 **CCU 혁신 융합기술 개발** 및 **민간참여형 기술 실증** 확대 강조

구분	관련내용
CCU 기술혁신 로드맵(안) (관계부처 합동, '21.06.15.)	• CCU 기술혁신을 통한 탄소중립 실현 및 新산업 창출 비전 제시 • CCU 기술혁신 정책 목표 - **2025 기술경쟁력 확보**: (現)선진국 대비 80% → **('25) 선진국 대비 90%** - **2030 CCU 상용제품 확보**: (現)없음 → **('30) 14개 제품(화학 전환 10개, 광물화 4개)** - **2040 가격경쟁력 확보**: (現)연구중 → **('40) 기존 시장가 수준 가격경쟁력 100%**
2030 국가 온실가스 감축목표(NDC) 상향안 발표 (관계부처 합동, '21.10.18.)	• '18년 배출량(727.6백만 톤) 대비 △40%(291백만 톤) 감축 → '30년 배출량: 436.6백만 톤 • CCUS '30년 -10.3백만 톤
2050 탄소중립 시나리오안 발표 (관계부처 합동, '21.10.18.)	• (탄소중립 시나리오) 화력발전 전면 중단 등 배출 자체를 최대한 줄이는 A안, 화력발전이 잔존하는 대신 CCUS 등 제거기술을 적극 활용하는 B안 제시 • **이산화탄소 포집 및 활용 · 저장(CCUS)** 기술을 통해 **(A안) -55.1백만 톤, (B안) -84.6백만 톤 감축 목표** 제시
탄소중립 녹색성장 추진전략 (관계부처 합동, '22.10.26.)	• CO_2 포집·저장 실증, 지원법률 제정 등 CCUS 산업 활성화 추진 - 실증·법제 : 동해 가스전 활용 연 40만톤 규모 CCS 실증 인프라 구축, CCUS 산업 기반 구축을 위한 전담법 제정 추진 ***지자체·포집원 확보(공모)를 거쳐 예타 기획** → '23.1분기 신청 - 포집한 CO_2 및 CO_2 활용제품 폐기물 제외(폐기물관리법) 등 산재된 제도 통합 - CCU 제품 인증, 국제협력·인력양성 등 산업 성장기반 조성
탄소중립 녹색성장 기술혁신 전략 (관계부처 합동, '22.10.26.)	• 한국형 탄소중립 100大 핵심기술 중점분야로 CCUS 선정 - **활용 : (경제성 확보) 광물탄산화 등 총 3개**
탄소중립 녹색성장 기본계획 (관계부처 합동, '23.03.21.)	• **CCUS 온실가스 감축 목표: ('30) -11.2백만톤 흡수·처리** - 기존 NDC('21.10.) -10.3백만톤 흡수·처리에서 상향 • 온실가스 감축을 위한 **CCU 제도기반 구축, 기술개발 및 인프라 구축**을 핵심과제로 제시 - 산업, 안전, 인증 기준 등을 포함한 단일법 제정, **이산화탄소 포집·저장·활용 기술개발·실증 강화**, CCS 추가 저장소 확보 등
기업·출연연 참여 CCUS 산업 기술혁신 추진(안) (민간기업·출연연 합동, '23.04.10.)	• 국내기업과 출연연이 참여하는 CCUS의 수출 산업화 비전 제시 • NDC 기여를 위해 **CCU 상용화 기술 확보 및 사업 확대** - 기확보된 단위 기술의 연계 및 통합 실증 - 재생에너지와 연계한 CCU 사업 확대 • 수출산업화 및 경쟁력 제고를 위해 CCUS 패키지를 한국형 수출모델로 육성 - 해외시장 진출을 위한 CCUS 사업 플랫폼화 - 현지에 적합한 CCUS 패키지사업 설계 • **CO_2 활용 고부가 제품 생산 추진**

❍ **(해외 정책)** 탄소중립 시대 대응을 위한 탄소저감 정책과 CCU 기술에 대한 적극적 R&D 투자 및 제도 지원 경향을 본 사업 필요성과 방향성에 반영

〈표 Ⅳ-3〉 주요국 CCU 지원정책

국가	R&D 전략 및 프로그램	내용
미국	DOE CCUS R&D 프로그램(2020)	기초 R&D, 대규모 실증 프로젝트를 통해 상업적 규모의 CO_2 감축 기술 개발에 초점
EU	EU 7th Framework(2007)	CO_2 포집·저장기술 상용화를 위한 대규모 실증사업에 2020년까지 60억불 지원
	European Green Deal(2019)	CO_2 포집·저장·활용 기술 상용화 등을 통해 유럽대륙의 2050년 탄소배출 제로화가 목표
	Innovation Fund(2021)	EU ETS 수익금의 일부를 CO_2포집·저장 기술의 개발과 실증 사업 등에 투자
영국	The Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution(2020)	2030년까지 CCU 등의 분야에 120억 파운드 투자
노르웨이	CO_2 포집·저장기술을 국가 전략기술로 지정	2022년까지 약 4,600만 달러를 CCS 사업의 실행가능성 연구에 투자
일본	혁신적 환경 이노베이션 전략(2020)	2050년까지 온실가스 80% 감축을 위한 CCUS 및 탄소자원화 등 기술개발 전략 제시
	2050 탄소중립에 따른 녹색 성장 전략(2020)	탄소재활용 산업 등 온실가스 감축과 미래 성장이 기대되는 14개 중요 산업의 실행계획 발표
	탄소 재활용 로드맵(2019)	CO_2를 재활용하는 기술혁신 전략 발표
중국	탄소자원화 기술로드맵	2030년까지의 탄소자원화 단계별 기술개발 세부 실행계획 제시
대한민국	탄소중립 기술혁신 추진전략(2021)	CCUS 혁신소재·대형화 개발 및 실증을 통해 '30년 포집 가격경쟁력 30$/톤 달성 목표 제시
	2050 탄소중립 실현을 위한탄소중립 연구개발 투자전략(2021)	CCUS를 포집, 저장, 활용으로 구분하여 단기~장기 단계별 전략 제시
	이산화탄소 포집·활용(CCU) 기술혁신 로드맵(2021)	CCU 기술 혁신을 통한 탄소중립 실현과 신산업 창출을 위해 CCU 세부 분야별 중점기술을 선정하여 단·중·장기의 마일스톤과 전략 제시

□ CCU 기술수준 및 R&D 투자동향 분석 등을 통해 CCU 기술개발의 시급성 및 방향성 도출

❍ **(기술수준)** 우리나라의 CCU 기술수준은 최고기술국의 80% 수준으로 5년의 격차가 존재하며 주요국들과의 기술경쟁도 치열해 연구비 확대와 투자강화가 요구되는 상황

- 일본, 유럽, 중국 등 주요국도 최고기술국과의 격차가 줄어들고 있어 기술개발 미추진시 우리나라만 도태될 수 있어 대응 필요

〈표 Ⅳ-4〉 국가별 CCU 기술수준, 연구단계 역량 및 활동경향

2018년	기술수준			연구단계역량		연구개발 활동경향
	수준	격차	그룹	기초	응용개발	
한국	80%	5년	추격	보통	보통	상승
미국	100%	-	최고	탁월	탁월	유지
중국	80%	4.5년	추격	보통	우수	상승
일본	90%	2.0년	추격	우수	우수	상승
유럽	95%	0.8년	선도	탁월	탁월	유지
2020년	기술수준			연구단계역량		연구개발 활동경향
	수준	격차	그룹	기초	응용개발	
한국	80%	5년	추격	보통	보통	상승
미국	100%	-	최고	탁월	탁월	유지
중국	82.5%	4년	추격	보통	우수	상승
일본	90%	2.3년	추격	우수	우수	상승
유럽	95%	0.5년	선도	탁월	탁월	유지

*출처 : 한국과학기술기획평가원, 기술수준평가 에너지·자원분야, 2020.

❍ **(정부 R&D 투자동향)** 기존 CCU 사업들은 CCU를 세부기술 단위로 파편적으로 지원하고 있어 전략적 목적성이 다소 부족

- CCU 유관사업('16~20)은 22개 정도 추진되는 사이 과제는 459개 추진되어 세부기술 단위에서 파편적으로 지원 중
- 기존 사업들은 일부 업종 未지원, 화학전환 기술 중심 지원 등으로 CCU 기술의 공백 영역 및 분야가 뚜렷

□ 국내 CCU 시장의 해외 의존도

❍ **(글로벌 시장)** '22년 860만 달러(연평균 성장률 15.3%) → '27년 1억 7,520만 달러

❍ **(국내 시장)** '30년 기준 1,120만톤/년의 CCUS 시장 예상

- (화학전환) CCU 기술제품 시장 無
- (생물전환) 유용소재로의 전환 계획 中
- (광물탄산화) 일부 실증 진행 중

❍ **(글로벌 시장 점유율) 0% (상용화 전)**

❍ **(글로벌 시장)** 전 세계 탄소 활용 시장은 **’ 22년 860만 달러**에서 연평균 **성장률 15.3%**로 증가하여, **’ 27년 1억 7,520만 달러**에 이를 전망

- 현재, CCU 기술로 생산된 메탄올은 기존 시장을 대체 중

❍ **(국내 시장) ’ 30년 기준 1,120만톤/년**의 CCUS 시장 예상

❍ **(글로벌 시장 점유율) 0%**(기술개발 및 실증 중으로 상용화 전)

◇ 국내 경쟁력은 미흡한 상황에서 해외 종속성 탈피를 위한 기술력 확보는 국가 안보에 필수적

❍ 우리나라는 CO_2 활용 제품 **대부분 수입**되며, **특정국 의존도가 높아** 향후 **공급망 리스크 해소**를 위해 경제성이 높은 CCU 기술개발 필요

〈표 Ⅳ-5〉 이산화탄소 활용 품목별 해외의존도 분석

기술 유형 및 품목		기술자립도	해외의존도	주요 의존국	의존 요인
화학 전환	합성가스	5	1		
	메탄올	5	5	미국, 트리니다드 토바고	원료
	초산	3	1		
	개미산	4	5	중국, 독일	가격경쟁력
	옥살산	2	5	중국	가격경쟁력
	디메틸카보네이트	3	3	중국	가격경쟁력
	올레핀	1	1		
	폴리카보네이트	3	1		
	폴리우레탄	4	2		
생물 전환	바이오매스(사료)	2	4	미국, 중국, 네덜란드, 노르웨이	원료, 가격경쟁력
	바이오연료	1	5	미국, 브라질, 인도네시아	원료, 가격경쟁력
	천연색소	1	5	네덜란드, 미국, 뉴질랜드, 이스라엘	기술경쟁력
	바이오플라스틱	1	5	미국, 태국, 중국	기술경쟁력
광물 탄산화	탄산칼슘	4	2		
	탄산마그네슘	4	5	중국	원료
	탄산나트륨 및 중탄산나트륨	4	5	중국	원료
	시멘트 양생 이용 건설제품	4	3	미국, 캐나다	기술경쟁력
	건설소재	4	2		

(출처) 에너지기술·산업 생태계 분석 13대 에너지기술·산업의 현 주소, 한국에너지기술평가원, 2023. 05.

* 해외 의존도 및 국내 기관 자체기술을 확보한 정도를 5점 척도로 조사

□ 문제 이슈를 식별하기 위한 현안진단을 위해 기업 대상 사업설명회 및 참여의향 조사

❍ CCU 관련 기업 및 다배출업종 수요기업 대상 간담회(사업설명회)

- (목적) 동 사업의 효율적 추진을 위한 CCU 산업계 의견 수렴
- (내용) 사업 및 지원 필요성, 기업 관심 분야 등
- (대상) CCU 일반기업 및 다배출업종 대기업

〈표 Ⅳ-6〉 간담회 결과 개요

구분	간담회(사업설명회) 개요
일시	2023년 05월 09일(화) 14:00 ~ 16:00
장소	한국화학연구원 디딤돌플라자 대강당
의제	무탄소 에너지(CFE) 전환을 위한 CCU 기술개발 사업 설명 및 기업 Needs 파악, 요구사항 수렴
참여 기업	

간담회 시사점

■ (시장) 수입산 제품 대체수요 증가, 국내시장 Capacity(용량)가 작아 시장 창출 한계
■ (기술) 신뢰성 확보 급선무(관련 데이터 부재로 CCU 통한 온실가스 감축효과 불명확)
■ (개발) 국내 기업 간 연계 부족으로 기관간 공동 연구 한계
■ (제품) 최종제품군으로 메탄올, 올레핀, 납사, 합성가스 등에 관심
■ (요구) CO_2 허브 터미널 생태계 선행 구축 필요
- 100~200개 기업에서 발생 되는 CO_2를 한군데 모아서 대량생산 기술로 전환 필요
- 공기업(가칭, CCU공사, CO_2공사 등) 설립을 통해 생태계 마련 시 적극적인 투자

■ (기획 참여) 무탄소 에너지(CFE) 전환을 위한 CCU 기술개발 사업 예타기획에 관심이 커 적극 참여

❍ CCU 관련 기업 참여의향 조사

- (목적) 기업의 산업별 CCU 관련 기술개발 추진현황, 보유역량, 애로사항, 지원 요구사항, 사업영역 조사
- (내용) 사업 및 지원 필요성 등
- (대상) CCU 유관 기업 대상으로 사업 및 지원유형 필요성 조사

〈표 Ⅳ-7〉 기업 참여의향 조사 개요

구분	기업 참여의향 조사 개요
조사 목적	• 기업의 산업별 CCU 관련 기술개발 추진현황, 보유역량, 애로사항, 지원 요구사항, 사업영역 조사 • 동 사업 참여의향 및 투자의사 발굴
조사 대상	• CCU 산업 관련 기업 – 관리기관(연구재단), 유관 협회, 출연연 제공 기업 DB 139개 사 – 각 기관별 홈페이지 공지 및 수요조사 협조 공문 메일 개별 발송
조사 기간	• (1차) 2023년 07월 10일 ~ 2023년 08월 04일 • (2차) 2023년 09월 18일 ~ 2023년 10월 03일
참여 기업	• 총 45개사 – 화학적전환 산업분야(20개사), 생물전환 산업분야(6개사), 광물탄산화 산업 분야(19개 사)

기업 참여의향조사 시사점

■「CCU 기술개발 및 통합실증 신규사업」에 대해 총 45개 기업이 참여의향이 있음을 확인
– 화학적 전환 분야가 20개사로 가장 많았으며, 다음으로 광물 탄산화(19개사), 생물학적 전환(6개사) 순으로 집계
■ 철강, 석유화학, 시멘트, 정유, 발전 등 국내 온실가스 多배출 산업을 영위하고 있는 기업들이 많은 참여의향 표명
■ 기업 소재지는 전남 여수, 경북 포항이 각각 6개사로 가장 많았으나, CCU 관련 프로젝트를 추진하고자 하는 실 사업 추진 권역은 서울 / 서해(경기, 충남) / 대전 / 강원(동해, 삼척) / 충북 / 전라(군산, 여수, 광양 등) / 경상(울산, 포항, 부산, 진주, 거제 등) 전국에 분포
■ CCU 특성상 기술 난이도가 높고 대규모 포집·실증 설비가 필요한 바, 높은 기술장벽으로 연구개발비 조달에 어려움과 사업화 불확실성에 애로
■ 국내 성능 검증 및 실증 인프라 부족으로 인허가 단계에 어려움을 호소하고 있으며, 상용화 단계로의 진입 가능성 저하
■ 정부 차원의 CCU 기술 인센티브 및 제도적 지원, 보유기술 현장적용 지원으로 민간이 주도하는 CCU 조기 상용화 실현 도모 필수
■ 기업이 CCU 기술개발 애로사항을 극복하고 자발적으로 참여하기 위해세제 혜택, 기술보급 등의 인센티브 요구
■ 실증 플랜트 운영을 위한 입지 확보, CO_2감축량 인정 방안 마련으로 산업계 온실가스 감축 및 탄소중립 실현 필요

□ 무탄소 에너지(CFE) 전환을 위한 CCU 기술개발(R&D) 사업 공청회

❍ **(일시)** 2023년 11월 21일(화) 14:00~16:00

❍ **(장소)** 한국연구재단 연구관 1층 대강당

❍ **(참석자)** 과학기술정보통신부 기후환경대응팀, 실무기획위원회 외 산·학·연·관 전문가 및 기타 일반인

❍ **(내용)** 민간 주도 2030 NDC 이행 기반 마련으로 탄소중립 실현 가속화를 위해 무탄소 에너지(CFE) 전환을 위한 CCU 기술개발(R&D) 사업 설명 및 의견 수렴

❍ **(참석자)** CCU 기술개발 사업 관련 산·학·연 이해관계자 및 일반인 99인 참석

〈표 Ⅳ-8〉 공청회 사진

나. 문제/이슈의 해결 대안

□ R&D 신규사업 이외의 다른 효율적인 대안 존재 여부

❍ 국제에너지기구는 탄소중립 달성을 위해 전략적으로 기술을 활용해야 함을 강조

- 국제에너지기구는 2021년 발표한 “2050 넷제로: 글로벌 에너지 분과 로드맵”에서 2050년 탄소중립을 위해 현재 가용한 기술과 혁신적 기술을 전략적으로 활용할 것을 권고

❍ IMF도 우리나라가 현행 탄소 배출 완화 정책을 유지할 시 ‘30년까지 화석연료 배출량이 오히려 5% 증가하여 세계 7위의 온실가스 배출 국가(1인당 기준 4위)가 될 것으로 전망

❍ 즉 우리나라는 기존 탄소 완화 정책만으로는 탄소중립 목표 이행이 어렵기에 탄소 제거-활용 등 기술도입이 필수적인 상황(IMF, ‘21)

❍ 국가 온실가스 감축목표 달성을 위해 산업계를 근본적으로 바꿀 수 없다면 효과적인 과학기술 도입이 필요(딜로이트, ‘21)

□ 분야의 속성을 고려한 정부지원 역할의 적절성

❍ 정부의 탄소중립 주요 R&D 전략인 CCU 사업 미추진 시 계획상의 탄소중립 목표 미달성

- CCU는 정부의 탄소중립 목표의 주요 핵심 방안으로, ‘18년 기준 탄소 배출량 최소 6억 8,630만톤에서 최대 8,460만톤(B안)의 흡수 및 제거를 CCUS 기술이 담당
- 따라서 동 사업을 포함한 CCU 사업 미추진시 CCU에 할당된 CO_2 감축 목표는 달성할 수 없어 공백영역 발생

*CCU 사업 미추진시 감축 목표 대비 1안시 68.5% 공백 또는 2안시 77% 공백 영역 발생

❍ CCU 기술은 충분한 정부 지원을 바탕으로 선진국 중심의 연구개발이 진행되어왔으나, CCU 기술은 기술적 난이도가 높고 개발 리스크가 매우 큰 편으로 정부 투자가 필수

□ 예타 규모 이상의 대형 연구개발사업 추진 필요성

❍ CCU 기술은 경제성 확보를 위한 상용화까지 포괄하는 대규모 R&D가 필요하나, 대규모 실증 필요성에도 비용과 리스크의 문제로 기업 진입에 한계 노출

- CCU 기술은 낮은 기술 성숙도와 높은 위험성이 제약요인으로 작용하므로 민간 자체의 투자를 기대하기 어렵고 유용성 확보를 위한 상용화까지 대규모 정부 R&D 지원이 필요한 상황

❍ 민간기업의 자발적 시장 유입을 유인할 국내 상용화 성공사례가 부재하고 CO_2 를 처리하는 비용이 높은 상황에서 국내 기업의 자율적 시장진입 유도에는 한계

- 더욱이 비대면 경제 활성화에 따른 유통에서의 드라이아이스 수요 증가 등의 이슈와 함께 CO_2 공급부족 현상이 매년 반복되고 있어 안정적인 고순도 CO_2 공급이라는 인프라적 한계도 병존

❍ 주요국은 CCU 글로벌 시장을 선점하기 위해 지원 및 투자를 확대하고 있어, 글로벌 경쟁력 확보를 위해서는 우리 정부의 대규모 투자가 필요

〈표 Ⅳ-9〉 주요국 CCU 지원 및 투자 현황

국가	내용
미국	• (R&D) 기후변화 대응을 위한 10대 게임체인저 기술에 CCU를 선정하고 과제 지원 – (에너지부) '22년 CCU 관련 R&D 자금으로 전년 대비 52% 증액한 1억 5,500만 달러 배정 • (인프라) 10여개의 대형 CCU 관련 시설을 구축하여 운영(세계의 50%에 해당) • (세액공제) CCU 관련 시설에 대한 세액공제를 포함한 인센티브 적용
EU	• (R&D) Innovation Fund, Horizon 2020 등 주요 R&D 프로그램 등을 통해 기술개발 집중 지원 – 저탄소기술 상용화를 위해 '20~'30년의 10년간 약 200억 유로 지원 예정
캐나다	• (우선구매) Buy Clean Roadmap(바이 클린 로드맵)을 통해 공공 및 민간 기반 시설에 저탄소 건축자재 우선구매 및 자국산 저탄소 제품 사용 확산으로 넷제로 경제로의 전환 가속화 지원
영국	• (인프라) CCUS Infra Fund(CCUS 인프라기금)을 통해 산업현장의 포집 프로젝트 운영 기업 지원 및 기술개발 위험 최소화, '30년까지 CCUS 클러스터 4개 확보 목표 지원
일본	• (R&D) CCU 관련 기술투자와 전략에 초점을 두고 '23년까지 상업적 규모의 CCU 기술 확립 및 탐색 연구 등에 집중 지원 계획

*출처 : 녹색기술센터(2021), EC COM(2021), 대외경제정책연구원(2021), 재구성

2. 사업목표의 적절성

□ 사업목표와 해결할 문제와의 연관관계

❍ NDC 목표 달성을 위해서는 온실가스 감축기술인 CCU를 통한 제품 조기 상용화가 필요하며 기업의 자발적 참여를 유도할 성공사례 발굴 필요

❍ CCU 산업에서의 글로벌 경쟁력 확보를 위해서는 투자확대를 통한 기술 개발 수준 제고 필요

〈표 Ⅳ-10〉 문제이슈와 사업목표간 연관관계

문제/이슈	개선방향	성과목표
NDC감축목표 640만톤 달성 요구에도 탄소완화 정책만으로는 목표달성 요원	NDC 목표 이행을 위한 조기 상용화 가능한 실효적 탄소 감축 및 활용기술 마련	① 정부 NDC 감축목표 기여 ② 조기 상용화 전략기술 개발 ③ 감축량 평가 기반 구축
CCU 실증 비용과 리스크로 경제성 확보에 한계가 있으며 기업투자를 유도할 성공사례 부재 →	통합실증과 상용화 기술 경험과 성공사례 축적 →	
내외적으로 활용 중인 국가 온실가스 인벤토리 산정지침(IPCC 가이드라인 2006) 에는 CCU 분야 산정 방식 부재	국가 온실가스 인벤토리에 연계 가능한 CCU 국가 감축기여도 평가 방법론	

□ 사업목표를 달성하기 위한 구체적인 성과목표 설정

❍ 사업목표의 달성을 위해 직접적으로 달성해야 하는 성과(온실가스 배출 감축, 제품 조기 상용화, 감축량 평가 방법론)와 지원내용과의 연계성을 고려하여(온실가스 처리량) 동 사업 성과목표 설정

〈표 Ⅳ-11〉 문제 해결을 위한 사업 추진 고려 사항

전략적 타겟 선정	공백기술 사전검토	다양성 확보
■ CCU 혁신기술 중심 ■ 감축 효과·시장·성숙도 ■ 상용·실현 가능성 고려	■ 핵심 요소기술 우선 ■ 활용 기술-추가 기술 ■ 조기 성과 창출 기술	■ 기획 초기 산학연 공동 ■ 업종 특성별 맞춤 ■ 수요기업 참여 유도

〈표 Ⅳ-12〉 성과지표로의 사업 목적 연계도

	성과목표	성과지표	목표치
성과 목표	① 정부 NDC 감축목표 기여	온실가스 배출 감축량	**73.2만 톤/년**
	② 조기상용화 전략기술 개발	시장 동등 품질 시제품(개)	**17개**
	③ 감축량 평가 기반 구축	방법론 및 감축량 평가 플랫폼 개발	**3건**

추진 전략	1단계('25년~'27년)	2단계('28년~'30년)
	CCU 통합공정 설계 및 **최적 상용 공정 개발**	CO_2 감축 기술의 규모 격상과 **전후방 산업**으로의 **공유·확산**

중점 사업

CCU 기술 고도화 및 조기 **상용화 전략기술** 개발을 위해
'30년 주력기술을 중심으로 지역 핵심산업과 연계된,

남부권	서부권	중부권	동남권	플랫폼
석유, 정유	발전, 바이오	시멘트	철강	감축량 평가 기반

플래그십 프로젝트(중점기술 9개, 세부과제 15개) 추진 및 CCU **감축량 평가 기반** 구축

핵심 성과 지표	온실가스 감축량	시장 동등 수준 시제품화	감축량 평가 기반구축
	[온실가스 감축] CCU 기술의 현장 적용을 통한 CO_2 감축	**[CCU 시장 창출]** 글로벌 CCU 시장 선점을 위한 기술 경쟁 우위 선점	**[CCU 감축량 방법론]** CCU 적용을 통한 온실가스 감축의 객관적 효과 분석
	(문제-이슈) 실증기술 없는 온실가스 감축 불가능	**(문제-이슈)** CCU 기술적 난이도, 경제성 부족으로 기업의 참여유인 부족	**(문제-이슈)** 국제적인 CCU 감축량 평가방법론 부재

〈표 Ⅳ-13〉 문제의식과 대응 전략 수립 방향

문제의식과 이슈

산업 시장

탄소중립 선도, 기후테크 산업 생태계 구축 요구

- CCU 시장은 잠재력이 높은 경제적 탄소중립 수단 인식
- 국내 산업은 제조업 중심으로 탄소중립 대응에 애로
  - 탄소국경세(CBAM, IRA 등)로 국내 기업은 내연기관차 규제, 온실가스 배출권 거래제 확대 등 탄소중립이 경제적 부담 가중
- 탄소중립 대응을 위한 친환경 기술투자 부재 시 실물경제에 부정적 파급효과 발생 (한국은행, '21.10.28)

정책

한국 경제, 탄소중립 VS 경제성장 기로

- 해외 주요국, 기후변화 대응과 탄소중립 규제 적극 대응
- 국내 기업은 CCU 기술개발 필요성에도 기술력과 R&D투자 한계 (수요조사 결과, '23)
- CCU 기술 '30년 640만톤 감축 목표 설정으로 동 사업 미 시행 시 목표 달성 어려움
- 에너지 산업의 지속 가능한 성장을 뒷받침할 수 있는 정부 투자 지원과 민간의 주도적 역할 강화 필요

기술

CCU, 탄소중립 게임 체인저 기술

- 영국, 미국, EU등 CCU 투자 확대, 국내는 구체적 기술확보 전략 및 R&D 투자 부족
- CCU는 기술적 난이도가 높고 개발 리스크가 큰 기술
- 주요국은 제품 상용화 단계로 글로벌 기업에 경쟁하기 위한 국내 기업 기술경쟁력 확보 시급
- 규제 대응 및 자원 효율성 등 정부 주도 CCU 기술개발 필요

기업

탄소중립 실현과 미래 기후변화 산업 주도권 확보를 위한 지원 확대

- CCU 기술은 시장 진입 성공 상용화 사례 부재
- 경제성 확보를 위한 실증은 비용과 리스크가 커 시장 메커니즘을 통해 해결 불가
- 주 원료 고순도 CO_2 공급부족 현상 반복 등 인프라적 한계

대응 전략

CCU 기술의 현장적용, 기술고도화 및 통합실증 추진

선제적 기술 주도 | 산업간 밸류체인 | 산업 경쟁력 확보

多배출 핵심 산업	중점기술	감축 효과 평가·인증	新산업 창출
석유화학 정유, 철강 발전, 시멘트	합성가스 등 9개 중점 기술	온실가스 감축량 국가 인벤토리 집계·반영	전후방 산업 공유·확산

남부권 / 서부권 / 중부권 / 동남권

→ 공정 개발 / 기술 격상 / 기술 확산

→ 평가 방법론 / 기여도 평가툴 / 가이드 라인 / 표준 DB

→ 성공 사례 / 공유·확산 / 산업 주도

기대 효과

정책적 기대효과

- 탄소 중립 정책 실현
- 국제 합의준수
- 新산업 육성
- 에너지 정책 기반 견고화

기술적 기대효과

- CFE 활용 확대 흐름 동참
- 핵심기술 자립
- 국제협력 기반 국제감축 기여

3. 세부활동 및 추진전략의 적절성

가. 세부활동과 사업목표간 논리적 연계성

□ 사업목표 달성을 위해 전략적 내역사업 구성

❍ NDC 목표('30년)와 탄소중립 목표('50년) 달성 기반 마련을 위해 조기 상용화 가능성이 높고 온실가스 감축효과가 큰 제품개발과 Core 기술 확보를 목표로 내역사업 구성

〈표 Ⅳ-14〉 내역사업 구성

내역사업	정의
남부권 프로젝트	석유·정유·철강 산업 맞춤형 핵심 CCU 기술의 CO_2 대량 배출기업 밀집 지역 확산
서부권 프로젝트	발전소 적용 탄소저감형 미세조류 광생물 반응기 대규모 실증기반 구축 및 해수 담수화 공정 기반 CO_2 광물 탄산화
중부권 프로젝트	지역 시멘트 산업 등과 연계한 CCU 광물 탄산화 건설제품 생산 통합 패키지 개발 및 확산
동남권 프로젝트	지역 내 철강·석유화학·조선·항만 산업의 지속가능 산업기반 구축 및 청정 메탄올(연료) 생산-활용 기술 개발

❍ 전략제품 조기 상용화와 CCU 기술경쟁력 확보를 위해 On-site개발, 기술이전, 원천 확보 전략 활용

목표	전략	전략제품(19종)
조기 상용화/ 온실가스 감축	**대규모 온실가스 감축**	〈화학적 전환〉 ①합성가스, ②메탄올, ③초산, ④개미산, ⑤옥살산, ⑥디메틸카보네이트, ⑦알킬렌카보네이트, ⑧올레핀, ⑨폴리카보네이트, ⑩폴리우레탄 〈광물 탄산화〉 ①CO_2 양생 및 반응경화시멘트, ②CO_2 광물화 건설소재, ③탄산칼슘, ④중탄산나트륨($NaHCO_3$) 〈생물학적 전환〉 ①바이오매스, ②사료, ③바이오플라스틱, ④바이오연료, ⑤천연색소
	다배출업종 대규모사업장 On-site로 포집연계형 전주기 기술개발	
	기술이전 기반 CCU 기술 확산	
	중소규모 사업장 대상 기술이전 기반 CCU 전략제품 개발	
기술경쟁력 확보	**원천기술력 확보**	
	차세대 CCU 핵심기술 개발	

□ 전문가 집단 구성의 적절성

❍ 동 사업 기획은 총괄기획위원회, 기술기획위원회를 중심으로 체계적 기획 활동을 하며, 기업 간담회, 유관 협회 간담회를 통한 객관적, 전문적 민간 중심의 사업으로 기획을 추진

〈표 Ⅳ-15〉 사업기획 추진체계

주체	역할 및 기능
주관 부처 (과학기술정보통신부)	• 사업총괄 부처 • 사업의 추진과 관련된 정책 결정과 사업비 확보 • 사업 시행계획 수립 • 사업 투자우선순위 결정 등
전문기관 (한국연구재단)	• 기획·평가·운영위원회 구성·운영 • 진도 및 실적 점검 • 중점, 세부과제 선정·단계·최종평가 • 전체 프로젝트 총괄 업무 – 동 사업에 대한 기획·평가·관리·성과확산 및 활용 업무 담당 – 사업의 공정성, 효율성, 효과성을 극대화하기 위한 업무 수행 • 사업 지원·관리 기능 – 단계별·달성도 관리, 추진과제별 관리
총괄기획위원회	• 사업진도 및 연구개발 성과에 대한 검증 및 평가 수행 • 사업화 지원, 기술이전, 정부 공공조달 우선구매 제도 연계 등 성과확산을 위한 전략적 프로그램 수행 • 선정평가, 연차 단계평가, 최종평가 등 시행

제2절 정책적 타당성

1. 상위계획과의 부합성

□ **(검토방법)** 범부처 및 중앙부처에서 수립한 주요계획을 목적, 목표, 내용 간 비교 분석을 통해 연계성·부합성 확인

❍ 동 사업과 관련된 법정계획을 기본으로 분석하며, 그 외 중장기계획 등을 조사대상에 추가

❍ 동 사업과 유관 정책으로서 「CCUS 산업기술혁신 추진안」, 「 국가 탄소중립 녹생성장 기본계획」, 「CCUS 탄소중립 기술혁신 전략 로드맵」, 등을 조사

□ **(검토 결과)** 법령 및 상위계획과 기타 중장기계획 등 부합성 조사결과, 동 사업은 온실가스 감축을 위한 CCU 활용 전략과 부합하는 것을 확인

❍ 정부 중장기계획에 포함되는 **상위계획과의 정책적 부합성이 높게** 나타났으며, CO_2 감축 및 활용 등 동 사업의 **방향성이 정책에 부합**

〈표 Ⅳ-16〉 상위계획과의 부합성 조사 결과

구분	관련 내용	부합성
이산화탄소 CCU 기술혁신 로드맵 (‘21.06.15.)	• CCU 기술 범위 확정 및 분류체계 마련 • 세부 기술개발 목표 및 핵심 전략 도출	**높음**
탄소중립·녹색성장 기술혁신 전략 (‘22.10.26.)	•한국형 탄소중립 100大 핵심기술 중점분야 CCUS - 활용 : (경제성 확보) 광물탄산화 등 총 3개	**높음**
CCUS 탄소중립 기술혁신 전략로드맵(안) (‘22.11.21.)	•CCU 감축목표: ‘30(630만톤/년), ‘50(2,520만톤/년) •탄소 활용 단기 목표(NDC) 달성 기술 확보 •탄소 활용 장기 목표(2050 탄소중립) 혁신기술	**높음**
국가 탄소중립·녹색성장 기본계획 (‘23.03.21.)	•CCUS 온실가스 감축목표: (‘30) -11.2백만톤 -기존 NDC(‘21.10.) -10.3백만톤 상향	**높음**
기업·출연연 참여 CCUS 산업 기술혁신 추진(안) (‘23.04.10.)	•국내기업과 출연연이 참여하는 CCUS의 수출 산업화 비전 제시 -NDC 기여를 위해 CCU 상용화 기술 확보 확대	**높음**

2. 기존사업과의 차별성

□ **(검토 방법)** 중복투자를 방지하기 위해 사업 목표, 사업목표와 연계되는 사업 활동, 추진전략, 지원대상, 추진체계 등 사업 설계요소 비교

❍ 부처내외 온실가스 감축을 위한 CCU 사업, 내역사업을 분석대상으로 조사

□ **(검토 결과)** 온실가스 감축을 위한 기술개발의 목적성은 유사하나 세부적으로 사업유형과 기술 분야, 규모 등은 사업 방향과 상이

❍ 즉, **동 사업은 CO_2 활용을 위한 CCU 사업 중 유일한 실증 사업으로 차별성** 확보

- 기 사업의 경우 명시적으로 CCUS 기술개발이지만, 실질적으로 CCS 중심으로 지원하고 있으며, CCU의 경우 기술접근성이 상대적으로 높은 화학전환에 치중된 것으로 확인
- 기술의 수준이나 적용 규모가 **연구단위나 파일럿** 등 **테스트 단계**의 소규모로 추진되고 있고 대학이나 **연구소 중심**으로 지원되고 있음

❍ 기존 사업은 요소기술 개발에 집중하고, 동 예타 사업에서는 15개 핵심기술에 대해 시제품 생산이 가능한 수준의 기술고도화 추진

- 동 사업은 기선정된 CCU 중점기술에 대하여 국내 기술 수준 및 국내 기업 수요를 고려하여 ’30년 주력기술을 선정하고 이를 중심으로 맞춤형 R&D 추진

〈표 Ⅳ-17〉 기존사업과의 차별성 및 연계방안

구분	동 사업 (과기정통부)	CCU3050 (과기정통부)	탄소자원화플랫폼화합물 제조기술개발 (과기정통부)	유용물질 생산을 위한 Carbon to X (과기정통부)
총사업비 (억원)	8,487.6억원	350억원	480억원	425억원
기투자액	-	90억원	66억원	260억원
사업기간	'25~'30(6년)	'22~'24(3년)	'22~'26(5년)	'20~'24(5년)
사업목적	R&D를 통해 확보한 CCU 기술의 현장 적용을 통해 실제 CO_2를 감축할 수 있도록 기술 고도화 추진	실험실 단위 이상에서 완성된 기존 CCU 기술의 효율성, 경제성 제고를 통하여 산업에서의 활용 촉진	부생가스와 유기성 폐자원 내 탄소자원을 고부가 전환하여 플랫폼 화합물 (올레핀, 메탄올 등) 생산을 위한 실증기술 개발	대기로 배출되는 CO2를 활용하여 발전·수송용 연료, 화학제품 등을 생산함으로써 국가 온실가스 감축에 기여
세부내용	CCU 기술 고도화 및 조기 상용화 전략기술 개발을 위해 '30년 주력 기술을 중심 지역 핵심산업 연계된, ①(남부권)석유화학 ②(서부권)발전 ③(중부권)시멘트 ④(동남권)철강 **1 플래그십 프로젝트** **2 감축량 평가플랫폼**	실험실 단위 이상에서 단위공정 실증이 가능한 CCU 기술을 중심으로, 산업 현장에서 실제 도입 가능한 수준까지 기술을 완성·고도화하여 산업에서의 활용 촉진	온실가스, 부생가스, 유기성 폐자원 등에 포함된 탄소를 자원 활용하여 유용한 제품을 생산하는 혁신적 기술 확보를 통해, 온실가스를 감축하는 동시에 경제적 가치 창출	(Carbon to X) CO2를 활용한 CO, 포름산, 생분해 고분자, 광생물 전환 기반 플라스틱 생산 등 1 tonCO2/ton 제품 이상 감축 가능한 전환기술 개발
기타 (차별성)	CCU 전략기술의 '30년 상용화 목표, 핵심산업 연계 추진	실험실 이상 단위공정 실증 중심으로 추진	부생가스,유기성 폐자원내 탄소자원 활용	대기 배출 탄소 활용 플라스틱 제품 생산 추진
연계성		• 포집기술의 격상 등을 목표로 하고 있어 CCU에 집중하고 있는 동 사업과 차별점 • 온실가스 처리기술개발을 통 사업으로 이어달리기 가능	• 미니 파일럿 단위 규모로 동 사업에서는 이를 scale-up 하여 실증하고 기업 참여를 확대	• 화학적전환 중심의 사업으로 생물학적 전환, 광물탄산화로 확장한 동 사업과 차별점 • 각 과제별 성과의 동 사업 과제로 연계하여 확대

3. 사업추진상의 위험요인

가. 재원조달 가능성

(1) 국고 재원조달 가능성

□ 국가재정운용계획 R&D 분야 내 과학기술 부문과 산업·중소기업·에너지 부문 예산, 과기정통부 중기 재정계획 검토 결과, 예산조달 위험성은 낮을 것으로 판단

❍ 기존 재원범위 내에서의 수용 가능성

- CCU 기술 국책 연구 사업은 ’20년 본격적으로 개시되어 매년 **지원 규모가 꾸준히 증가** 중

〈표 Ⅳ-18〉 과기정통부 CCU 기술 연도별·단계별 투자현황 (단위: 억원)

연도별				단계별			합계
’20년	’21년	’22년	’23년	기초	응용	개발	
254	370	408	407	752 (52.2%)	301 (20.9%)	386 (26.8%)	1,440

- 現 CCU 지원사업은 대부분 ’23~’24년중 일몰 예정*이므로, ’25년에 개시 예정인 동 예타 사업은 기존 재원범위 내에서 충분히 수용 가능함

* 탄소자원화기술고도화(285억원, ’23년 종료), 유용물질 생산을 위한 CarbontoX 기술개발(425억원, ’24년 종료), 대규모 CCS통합실증 및 CCU 상용화기반구축사업(88억원, ’23년 종료), CCU 3050(350억원, ’24년 종료)

(단위: 억 원)

부처	‘21	‘22	‘23	‘24 (안)	동 사업 R&D 국고 투입 규모					
					‘25	‘26	‘27	‘28	‘29	‘30
과기정통부	370	408	407	414						
					759	1,103	1,144	1,146	752	456

나. 법제도적 위험요인

(1) WTO 보조금 위반 검토

□ 사업 산출물이 국제 교역재에 사용될 때의 고려사항으로, 국가연구개발사업의 지원이 WTO 금지보조금 및 조치가능보조금에 해당하여 외국과의 마찰 가능성이 있는지 검토

※보조금이란 정책당국이 특정한 정책목표를 달성하기 위하여 산업 및 기업 활동에 제공하는 각종 지원을 의미

❍ ‘WTO 보조금 및 상계조치협정(Agreement on Subsidies and Countervailing Measures, 이하 보조금 협정)’ 제2조에 따르면 동 협정은 ‘특정성’ 있는 보조금만을 규제 대상으로 하고 있음

❍ ‘금지보조금’과 ‘조치가능보조금’으로 구분되며 적정성 재검토 조사에서의 보조금에 대한 사항은 두 보조금 모두에 대한 검토가 이루어져야 함

〈표 Ⅳ-19〉 보조금 유형

분류	내용
금지 보조금	• 그 자체로 특정성이 있는 것으로 간주되어 특정성 존재 여부와 관계없이 WTO 차원에서의 신속하고 직접적인 제재의 대상이 되거나, 수입국이 자국법에 의해 상계관세를 부과할 수 있음 • WTO 보조금 협정상 금지보조금의 운용은 회원국의 경제개발 정도에 따라 적용 시점이 달리 규정되어 있으나, 일부 예외를 제외하면 유예기간이 종료되어 거의 모든 회원국의 수출보조금과 수입대체보조금이 예외 없이 금지되고 있음 • 유형 · 수출보조금(export subsidies) : 법률상 또는 사실상 수출실적에 따라 공여되는 보조금 · 수입대체보조금(local content subsidies) : 수입품 대신 국산품의 사용을 조건으로 하여 공여되는 보조금
조치 가능 보조금	• ① 정부 또는 공적 기관에 의한 재정적 기여로 인해, ② 혜택이 부여되고, ③ 특정성이 있을 경우의 3가지 요건이 모두 충족되면 그러한 재정적 기여는 조치가능 보조금에 해당 • 다른 회원국의 이익에 부정적인 효과(adverse effect)를 초래하였을 경우에는 WTO 제소 또는 피해국으로부터의 직접적인 상계조치를 받을 수 있음

□ 동 사업은 직접적으로 상품무역과 관련될 가능성이 일부 존재하나, R&D 지원을 목적으로 하고 있어 상품 보조금의 형태와는 다름

❍ 동 기획보고서의 해외 정책동향에서 살펴본 바와 같이 해외 정부도 온실가스 저감 정책의 일환 및 CCU 기술확보를 위해 많은 연구개발 투자를 진행하고 있어 **WTO 보조금 협정에 따른 위험요인은 상대적으로 낮다**고 판단됨

(2) 법제도적 갈등사항 및 위기대응 방안

□ 「폐기물관리법」 상 CO_2 스트림은 폐기물에 해당하는데 제품으로서 생산 가능한지 검토

❍ CO_2 활용에 대한 법제도적 장치가 미비하여 포집된 탄소를 활용한 제품 또한 폐기물로 간주되는 문제 발생

- 「폐기물관리법」 시행규칙 별표4의 폐기물의 종류별 세부분류에 따르면 "폐가스포집물" 중 하나로 "CO_2 스트림(51-36-01)"이 지정되어 있음

□ 동 사업은 CO_2 , 즉 폐가스포집물을 활용하는 사업으로서 폐기물에 포함

□ 다만 「폐기물관리법」 시행규칙 제4조의 2 제3항 '폐기물의 종류별 재활용 가능 유형'에 따라 CO_2 스트림은 사전분석 · 확인 필요를 거쳐 재활용이 가능한 항목

❍ 「폐기물관리법」 시행규칙 제4조의2 제3항에서는 CO_2 스트림에 대해 두 가지 경우에 한해 재활용이 가능함을 명시

〈표 Ⅳ-20〉 보조금 유형

분류	내용
R-4	• 유·무기성 화합물, 산화물 등의 화학물질이나 안료나 도료, 페인트, 착색제 등 화학제품을 제조하는 유형
R-10	• 제품 제조 등을 위한 중간가공폐기물을 만드는 유형(R-10) • R-10-1: R-3부터 R-9까지의 재활용 유형에 따라 재활용하기 위한 중간가공폐기물을 만드는 유형

*출처 : 국가법령정보센터

❍ 즉 CO_2는 중간가공물에 해당, 실제적으로 제품 생산에 제약이 없음

제3절 경제적 타당성

1. 분석 개요

□ (사업 비용구조) 본 사업은 ‘25년부터 ‘30년까지 총 6년간, 총사업비 8,487.6억 원을 조성·운영

❍ 총 8,487.6억 원 중 국고 5,547.6억 원(65.36%), 민자 2,940억 원(34.64%)으로 구성

〈표 Ⅳ-21〉 전체 사업비 투입 규모

구분	연구비(억 원)		
	국고	민자	합계
남부권	2,280	1,370	3,650
서부권	1,530	840	2,370
중부권	990	330	1,320
동남권	500	400	900
감축량 평가 플랫폼	60	-	60
기획평가관리비	187.6	-	187.6
합계	**5,491(65%)**	**2,940(35%)**	**8,487.6**

〈표 Ⅳ-22〉 세부 중점기술별 사업비 투입 규모(기획평가관리비 제외)

No	유형	전략과제	적용 산업	연구비 소계(억원)		
				국고	민자	소계
서부권	화학	폴리머	석유화학(폴리우레탄)	155	155	310
			석유화학(폴리카보네이트)	155	155	310
	생물	바이오소재·연료	발전 산업 / 플라스틱 산업	500	195	695
		바이오매스	바이오 발효 산업	220	85	305
	광물	고순도 무기탄산염	해수담수화, 발전, 마그네슘	500	250	750
남부권	화학	합성가스	석유화학	800	400	1,200
			철강산업, 화학	560	240	800
		올레핀	석유화학산업	150	50	200
		e-Fuel	합성연료, 탄소중립 모빌리티	250	250	500
			친환경 항공유(e-SAF)	250	250	500
	광물	고순도 무기탄산염	비료화학, 시멘트	270	180	450
동남권	화학	메탄올	철강, 석유화학	200	200	400
	광물	대체 시멘트 및 건설소재	철강, 건설	300	200	500
중부권	광물		레미콘/콘크리트 2차제품	990	330	1,320
플랫폼	방법론	감축기여도 평가 방법론	감축량 펴가 플랫폼	60	-	60

□ 분석 기본 방향

❍ 본 분석의 신뢰성을 확보하기 위해, 기획재정부 발간 “국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침(2023. 03.)” 및 한국과학기술기획평가원 발간 “연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 제2-1판(2016)의 지침 및 권고사항을 따름

❍ 가장 기본적인 경제성 분석의 내용으로 유형(tangible) 편익을 가능한 정확하게 추정하고, 동시에 연구개발 항목들에 대한 비용을 추정한 후, 편익비용 분석(Benefit-Cost analysis)을 수행

❍ 또한, 사업에 대한 다양한 경제성 검토 차원에서 순현재가치 분석(net present value analysis), 내부수익률 분석(internal rate of return analysis)을 적용함

〈표 Ⅳ-23〉 본 사업 경제성 분석 대상

구분	중점기술	세부과제	과제특성	경제성분석 대상여부
서부권	폴리머	CO_2 활용 폴리우레탄 생산 기술	연구개발	●
		CO_2 활용 폴리카보네이트 생산 기술		
	바이오소재·연료	미세조류 기반 발전소 배출 CO_2 감축 · 활용 기술		
	바이오매스	미세조류 기반 발효 배가스 내 CO_2 감축 · 활용 기술		
	고순도 무기탄산염	해수담수화 농축수 활용 고순도 무기탄산염 생산 및 활용 기술		
남부권	합성가스	온실가스 감축 극대화 합성가스 생산 기술		●
		미활용 CO_2 활용 합성가스 생산 기술		
	올레핀	정유 공정 배가스 CO_2 활용 기초유분 생산 기술		
	e-Fuel	합성연료(휘발유, 경유) 생산 기술		
		e-SAF 제조 상용공정 기술		
	고순도 무기탄산염	석고 활용 탄산칼슘 생산 및 활용 기술		
동남권	메탄올	CO_2 활용에 의한 메탄올 생산 기술		●
	대체 시멘트 및 건설소재	제철 슬래그 활용 CO_2 저감 건설소재 생산 및 활용 기술		
중부권	대체 시멘트 및 건설소재	in-situ 탄산화 기술 활용 CO_2 감축 · 활용 기술		●
		CO_2 반응경화 시멘트 및 건설 2차제품 생산 및 활용 기술		

□ 기본 가정 및 분석 절차

❍ **(분석대상)** 15개의 세부 R&D 과제를 전략과제별로 그룹핑하여 9개 중점과제별 핵심과제를 선별하여 사업 기여율을 통합 추산 후 산출결과 값을 최종적 인 BC값으로 도표화

❍ R&D의 경제적 효과는 일반적으로 해당 분야 기술개발에 따른 파급효과로 경제적 효과가 측정되며, 광범위하게는 기업의 **시제품 개발**이나 **생산성 향상** 등 매출증대 효과로도 반영되게 되지만, R&D에 따른 기업 **매출증대 효과를 측정 할 수 있는 직접적인 방법이 없기 때문에** 본 분석에서는 일반적인 방법으로 경제성 분석을 실시함

❍ 연구개발부문 사업의 예비타당성조사의 경제적 타당성 분석틀 준용

- 연구개발부문 사업의 예비타당성조사의 경제성분석 결과는 재정투자의 주요한 판단근거로 활용되고 있으며, ‘국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침(KISTEP, 2023. 03.)’이 국가연구개발사업 예비타당성조사의 지침으로 활용 중
- 본 연구에서는 이러한 국가연구개발사업의 예비타당성조사 분석틀을 준용하여 분석의 정확성과 신뢰도를 제고

□ 분석 목적

❍ 동 사업에 대한 비용편익분석을 통해 국가적 관점에서 동 사업의 경제적 타당성을 분석하는 것이 목적

❍ 예비타당성조사 운용지침(과학기술정보통신부), 예비타당성조사 수행 총괄지침(과학기술정보통신부), 예비타당성조사 수행 세부지침(KISTEP)에 의거하여 편익 및 비용 항목 추정

❍ 사업목표 분석을 통해 편익항목을 도출하고 시장 수요 추정 가능 여부에 따라 계량화가 가능한 경우 비용편익분석을, 계량화가 불가능할 경우 비용효과분석 실시

2. 비용편익분석

□ **연구개발부문 사업의 예비타당성조사의 경제적 타당성 분석틀을 준용**

❍ 연구개발부문 사업의 예비타당성조사의 경제성분석 결과는 재정투자의 주요한 판단근거로 활용되고 있으며, ‘국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침(KISTEP, 2023)’이 국가연구개발사업 예비타당성조사의 지침으로 활용 중

❍ 본 연구에서는 이러한 국가연구개발사업의 예비타당성조사 분석틀을 준용하여 분석의 정확성과 신뢰도를 제고

□ **경제성 판단 기준**

❍ **(편익/비용비율)** 운영 후 연도별 발생하는 편익과 투입되는 비용을 적정 할인율로 할인하여 기준연도 가격으로 환산한 금액의 비율을 말하며, 일반적으로 (편익/비용비율)≥1이면 경제성이 있다고 판단

❍ **(순현재가치, Net Present Value)** 사업에 수반된 모든 비용과 편익을 기준연도의 현재가치로 할인하여 총 편익에서 총 비용을 제한 값이며 (순현재가치) ≥ 0 이면 경제성이 있다고 판단

$$\text{편익·비용비율}(B/C) = \sum_{t=0}^{n}\frac{B_t}{(1+r)^t} \Big/ \sum_{t=0}^{n}\frac{C_t}{(1+r)^t}$$

$$\text{순현재가치}(NPV) = \sum_{t=0}^{n}\frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^{n}\frac{C_t}{(1+r)^t}$$

B_t : 시점 t에서의 편익

C_t : 시점 t에서의 비용

r : 할인율(이자율)

n : 내구연도(분석연도)

□ **(비용 및 비용 현재가치 산정)** 본 세부 연구개발과제는 2025년부터 2030년까지 **총 6년간 8,300억원**(기획평가관리비 187.6억원 제외)을 투입하는 사업으로 예비타당성조사 지침상의 사회적 할인율 **4.5%**를 적용하여 현가를 산출

*평가 방법론 구축 과제에 대한 경제적 가치 추정 방법이 불투명하여 제외

〈표 Ⅳ-1〉 무탄소에너지(CFE) 전환을 위한 CCU 기술개발 비용 및 현재 가치

기술 유형	중점 기술	구분 (억원)	2025	2026	2027	2028	2029	2030	합계 (억원)
화학적 전환	합성가스	투입 비용	500	750	350	200	100	100	2000
		비용 현가	478	716	334	191	96	96	1910
	폴리머	투입 비용	40	80	60	280	80	80	620
		비용 현가	38	76	57	267	76	76	592
	올레핀	투입 비용	16	20	74	52	25	13	200
		비용 현가	15	19	71	50	24	12	191
	e-Fuel	투입 비용	180	140	120	240	200	120	1000
		비용 현가	172	134	115	229	191	115	955
	메탄올	투입 비용	30	40	200	60	50	20	400
		비용 현가	29	38	191	57	48	19	382
생물학적 전환	바이오소재·연료	투입 비용	75	75	75	170	170	130	695
		비용 현가	72	72	72	162	162	124	664
	바이오매스	투입 비용	46	46	46	51	56	60	305
		비용 현가	44	44	44	49	53	57	291
광물 탄산화	고순도 무기탄산염	투입 비용	190	220	200	210	230	150	1200
		비용 현가	181	210	191	201	220	143	1146
	대체 시멘트 및 건설소재	투입 비용	118	313	603	499	237	50	1820
		비용 현가	113	299	576	477	226	48	1738

□ **(편익 추정 방법)** 편익(benefit)이란, 정(positive)의 사업효과를 의미하며, 연구개발사업의 편익은 연구개발사업의 수행으로 인해 발생할 것으로 기대되는 정의 결과물을 의미

❍ 경제성 분석의 대상이 되는 직접적 편익은 가치 창출 편익과 비용 절감 편익으로 구분

❍ 가치창출 편익은 새로운 제품 서비스 개발을 통해 시장에서 해당 제품 서비스가 실제 거래되며 매출 및 부가가치가 발생하는 연구 사업에 반영

〈표 Ⅳ-24〉 시장수요접근법에 의한 편익 추정 수식

편익 = 미래 시장규모 × 사업기여율 × R&D기여율 × R&D사업화성공률 × 부가가치율

*출처: KISTEP, 국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침, 2023. 03.

□ **비용편익분석의 전제 조건**

❍ **기준연도(2025년 기말)**

- 각기 다른 연도에 발생하는 비용과 편익을 비교 분석하기 위해서는 특정연도를 기준으로 불변가격으로 전환해야 하며, 이 기준이 되는 연도를 기준연도로 설정
- 예비타당성조사 일반지침에서는 분석이 시행되는 시점의 전년도 기말을 기준연도로 설정
- 따라서 본 분석에서는 **2025년도 기말을 기준연도**로 정하며, 분석에 사용되는 모든 수치는 2025년 기준의 불변가치로 환산

❍ **편익발생 기간(8년)**

- 편익은 투자 완료 후 내구연한 또는 기술수명주기 동안 발생하는 것으로 가정
- ‘국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침(KISTEP, 2023)’에서는 특허분석을 통해 도출된 개별 기술별 기술수명주기로 활용할 것을 권고
- 본 분석에서는 산업통상자원부의 ‘기술평가 실무가이드(2021)‘에서 제시하는 특허인용수명의 “기술의 경제적 수명” 중앙값을 활용

구분	IPC코드	내용	TCT 중앙값
화학	B01J	- 화학적 또는 물리적 방법(촉매, 콜로이드 화학; 그들의 관련 장치	8년

❍ **사회적 할인율(4.5%)**

- 장기간에 걸쳐 발생하는 비용과 편익을 기준연도를 기준으로 합산하기 위해서는 각 연도별 비용과 편익을 사회적 할인율을 통해 현재가치화해야 할 필요
- 사회적 할인율은 기준이자율, 사회적 시간선호율, 재무적 할인율 등을 종합적으로 고려하여 도출
- 가장 최근에 발간된 예비타당성조사 운용지침에서는 이를 4.5%로 정하고 있어 본 연구에서도 이를 동일하게 적용

❍ **회임기간(3년)**

- **(편익회임기간)** 예비타당성조사 지침에서는 연구개발단계별 편익 회임기간을 기초연구는 5년, 개발응용연구는 3년으로 제시하고 있으며 본 분석에서는 개발응용연구의 편익 회임기간 **"3년"** 을 적용

□ **편익 정의**

❍ 동 무탄소 에너지 전환을 위한 CCU 기술개발사업의 편익은 기존 R&D를 통해 확보한 CCU 기술의 현장 적용과 온실가스 감축을 통한 편익으로 정의

- 가치창출 편익은 사업화를 통하여 발생한 매출의 부가가치를 경제성 분석 대상 편익으로 정의

❍ **(시장규모 추정)** 연구개발 사업의 경우 시장수요접근법을 사용하여 해당 기술 의 적용시장의 규모를 산정

❍ **(예상 시장점유율)** 예상시장점유율은 핵심기술 분야별 시장규모에서 세부과제별 기술이 차지하는 비중을 산정하여 활용함

□ 시장점유율

❍ 시장점유율 설정은 국내 생산액 규모의 확인 가능 여부에 따라 2가지 방식으로 추정

- ① 기존 유사 대체 제품 및 소재등의 국내 생산액이 확인 가능한 경우 세계시장 규모 대비 **국내 생산액 비중**을 적용

〈표 Ⅳ-25〉 시장 점유율 산정

$$\text{시장점유율(\%)} = \frac{\text{국내생산액}}{\text{세계시장규모(총생산액)}}$$

- ② 유사 대체 CCU 기술의 국내 생산액 확인이 불가능한 경우 소재 종류별 세계 시장에서의 **우리나라 생산점유율**을 활용

□ 세계시장 전망

❍ 제3장, 제3절 및 4절의 플래그십 프로젝트 중점기술 동향에서 언급되고 있는 데이터를 기준으로, 연평균 성장률을 적용하여 2041년까지 세계 시장을 추정함

〈표 Ⅳ-26〉 중점기술 분야의 세계시장 전망(단위: 억 원, %)

구분			2025	2030	2040	CAGR
화학적 전환	① 합성가스		725	1,130	3,002	9.29%
	② 메탄올		351	444	747	4.84%
	③ 올레핀		2,760	3,483	5,827	4.79%
	④ e-Fuel		1,635	4,001	31,548	20.65%
	⑤ 폴리머		8,393	10,918	19,532	5.43%
생물학적 전환	⑥ 바이오연료/소재	바이오연료	1,513	2,254	5,418	8.30%
		바이오소재	2,055	3,900	16,324	13.90%
	⑦ 바이오매스		1,532	2,050	3,892	6.00%
광물 탄산화	⑧ 대체 시멘트 및 건설소재		12,351	17,323	37,219	7.20%
	⑨ 고순도 무기탄산염	탄산칼슘	542	699	1,229	5.26%
		탄산마그네슘	8	10	18	5.13%
합계			**31,865**	**46,212**	**124,755**	-

□ 세계시장 점유율

❍ 제3장, 제3절의 플래그십 프로젝트 중점기술 동향에서 언급되고 있는 데이터를 기준으로, 연평균 성장률을 적용하여 2041년까지 국내시장을 추정하여 세계시장 점유율을 계산함

- 핵심 중점기술별 적용 분야에 대한 Market Report 및 국가 로드맵의 목표, 메이저 기업의 시장점유율을 등을 근거로, 미래의 예상시장점유율을 산정함

□ 사업기여율

❍ 사업기여율은 관련 분야 전체 R&D 투자 중에서 동 사업의 R&D 투자가 차지하는 비중으로 정의되며, 이는 기존 투자 대비 해당 연구단으로 인한 순효과를 파악하기 위한 일종의 기준선 역할을 함

❍ 무탄소에너지(CFE) 전환을 위한 CCU 기술개발(R&D)과 관련된 국가연구개발 투자현황 자료를 근거로 본 사업의 사업점유율을 핵심과제별로 산정함

〈표 Ⅳ-27〉 전략과제 사업기여율 산출 공식

(본 사업 투입비 합계) ÷ (국가연구개발 투자비 합계 + 본 사업 핵심과제 투입비 합계)

❍ 동 사업의 핵심 기술인 CCU 분야에 대해, 최근 5년간(2018년 01월 01일~2022년 12월 31일) 정부에서 투자한 총투자비를 고려하여 산출함

- NTIS 과제 중복성 검색을 통해 사업비 조사(2023. 08. 기준)

구분	내용
조사 대상 기간	• 2018년 01월 01일 ~ 2022년 12월 31일 (5년간)
자료 분석	• NTIS 과제 검색 (2023. 08.)
주요 Key Word	• CO_2 전환 기술, CO_2 포집 기술, CO_2 활용 기술, 이산화탄소, CCU • 탄소중립, 에너지/자원, 온실가스 처리, 기후변화 대응

〈표 Ⅳ-28〉 사업기여율 산정

투자 분야	국가연구개발투자비(억 원) (2018. 01.~2022. 12.)	본 사업 투자비(억 원)	세부과제 선별	사업기여율(%)
CCU	**9조 4309/5년=1조8861억 원** *본 보고서 '정부 R&D 투자 동향' 참고 **→ 연간 1조8861억 원 투자**	**8,240/6년** **→ 연간 1,373억 원 투자**	15개 과제	**8.7%**

□ 부가가치율

❍ 편익은 사업 수행으로 창출된 생산액 전체가 아닌 부가가치를 기준으로 추정되기 때문에 부가가치율을 추가적으로 적용

❍ '국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침(KISTEP, 2023)'에 따르면 부가가치율은 한국은행이 발표하는 기초가격 기준 산업연관표를 활용하여 총투입액 대비 부가가치액의 비율로 산정

❍ 본 분석에서는 ISTANS제공 국내 부가가치 통계에서 "석유화학"의 부가가치율인 **18.69%**를 적용함

□ 사업화성공률

❍ 국가연구개발을 통한 기술개발 결과가 시장에서의 경제적 효과 창출로 이어지기 위해서는 기술의 실증 및 상용화의 과정을 거치게 되는데, 이러한 과정에서 존재하는 불확실성을 반영하기 위해 R&D 사업화성공률이라는 변수를 고려

❍ '2020 성과활용현황 조사분석 보고서(산업통상자원부·KEIT, 2021)'에서 제시하는 화학 분야 사업화성공률 **30.3%** 를 적용

□ **사회적 할인율** : **4.5%**

❍ 장기간에 걸쳐 발생하는 비용과 편익을 기준연도를 기준으로 합산하기 위해 각 연도별 비용과 편익을 사회적 할인율을 통해 현재가치화해야 할 필요

❍ 사회적 할인율은 기준이자율, 사회적 시간선호율, 재무적 할인율 등을 종합적으로 고려하여 도출

❍ 편익의 현재가치 산정을 위한 사회적 할인율은 **예비타당성조사 지침상**의 사회적 할인율 **4.5%**를 적용하여 분석

□ 현재가치 산정 기준연도 : **2025년**

❍ 편익의 현재가치 산정 기준연도는 사업이 착수되는 년을 기준으로 설정

□ 기준 환율 원 : **1,300원/$**

❍ 원/달러 기준환율은 한국은행의 원화의 대미달러 환율 통계를 기준으로 2023년 시가 평균 1,300원을 적용

□ **R&D 기여율**

❍ R&D 기여율은 연구개발성과의 상업화를 통해 부가가치가 창출되었을 때, 전체 부가가치 가운데 연구개발에 의한 기여분이 어느 정도인지를 나타내는 지표로, 본 사업의 경제적 가치를 합리적으로 추정하기 위해 적용

❍ 본 분석에서는 '국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침(KISTEP, 2023. 03.)'에서 제시하는 **35.4%**를 활용

❍ 사업기여율

- 사업기여율은 관련 분야 전체 R&D투자 중에서 동 사업의 R&D투자가 차지하는 비중으로 정의되며, 이는 기존 투자 대비 해당 연구단으로 인한 순효과를 파악하기 위한 일종의 기준선 역할을 함

사업기여율 = (동 사업 투자) / (동 사업 투자 + 유사 정부 투자 + 유사 민간 투자)

❍ 부가가치율

- 편익은 사업 수행으로 창출된 생산액 전체가 아닌 부가가치를 기준으로 추정되기 때문에 부가가치율을 추가적으로 적용
- ‘국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침(KISTEP, 2023)’에 따르면 부가가치율은 한국은행이 발표하는 기초가격 기준 산업연관표를 활용하여 총투입액 대비 부가가치액의 비율로 산정
- 본 분석에서는 ISTANS제공 국내 부가가치 통계에서 **“석유화학”**의 부가가치율인 **18.69%**를 적용함

〈표 Ⅳ-29〉 편익 산출 활용 지표

편익회임기간	• 예비타당성조사 지침상 연구개발단계별 편익 회임기간을 기초연구는 5년, 개발응용연구는 3년으로 제시, 본 분석에서는 개발응용연구의 편익 회임기간 **3년** 적용
편익발생기간	• **8년** 적용(2034년~2041년)
세계시장전망	• 본 보고서 환경분석에서 언급된, 국내외 공신력 있는 기관의 시장보고서 자료 및 관련 업계 자료를 근거로, 사업화 전문 기관의 시장 예측 전문가 의견을 반영하여 산출 • 제3장, 제3절의 플래그십 프로젝트 중점기술 동향에서 언급되고 있는 데이터를 기준으로, 연평균 성장률을 적용하여 **2041년까지 세계시장 규모를 추정**
세계 시장 점유율	• 제3장, 제3절의 플래그십 프로젝트 중점기술 동향에서 언급되고 있는 데이터를 기준으로, 연평균 성장률을 적용하여 **2041년까지 국내시장 규모를 추정하여 세계시장 점유율 계산**
사업기여율	• 동 사업의 핵심 기술인 CCU 분야에 대해, 최근 5년간(2018년 01월 01일~2022년 12월 31일) 정부에서 투자한 총투자비를 고려하여 산출, **8.7%** 적용
R&D기여율	• “국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침(KISTEP, 2023. 03.)”에서 제시하는 **35.4%** 활용
부가가치율	• 가장 최근 기초가격 기준 산업연관표인 2015년 실측표를 활용하여 ‘기타 화학제품’의 부가가치율인 **18.69%** 적용
사업화성공률	• ‘2020 성과활용현황 조사분석 보고서(산업통상자원부·KEIT, 2021)’에서 제시하는 화학 분야 사업화성공률 **30.3%**적용
할인율	• “국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침(KISTEP, 2023. 03.)”에서 제시하는 **4.5%** 활용

3. 파급효과 분석

□ 과학기술적 기대효과

❍ **(탄소중립 핵심기술 자립)** 산업과 연계한 CCU 기술 실증을 통한 기술 고도화로 탄소중립 기술 강국 실현

❍ **(CFE 활용 확대 흐름 동참)** 탈탄소화를 위한 현실적 대안으로 재생에너지 뿐만 아니라 원전・수소・CCUS 등 다양한 무탄소 에너지를 활용하는 CFE(Carbon Free Energy) 활용 확대 흐름에 동참

* CCU는 포집된 탄소를 청정수소와 반응시키고, 이때 필요한 전력을 재생에너지로 공급하여 탄소를 고부가가치 생산물로 전환함으로써 CFE 활용에 기여

❍ **(국제협력 기반마련)** 미국 등 CCU 기술 선도국가와의 기술 교류를 통해 공동 실증, 국제 표준 제정을 할 수 있는 기술적 기반마련

❍ **(국제감축 기여)** 예타사업을 통해 확보한 기술을 토대로 해외 감축사업, 국외 기술이전 등을 진행하여 온실가스 감축에 추가로 기여

□ 정책적 기대효과

❍ **(탄소중립 정책실현)** 탄소중립・녹색성장 기본계획 및 국가 온실가스 감축목표 등 탄소중립 관련 상위계획의 체계적 이행을 뒷받침

❍ **(국제적 합의준수)** CCU 기술고도화 및 상용화 제품 생산으로 2030 NDC 달성에 기여하여 탄소중립 이행을 위한 국제적 합의준수

❍ **(탄소중립 신산업 육성)** CCU 관련 탄소중립 신산업 육성으로 일자리 창출 및 지역 경제 활성화

❍ **(에너지 정책 기반 견고화)** CCU 2기술 적용을 통해 무탄소 에너지 생산의 효율성을 높임으로써, 에너지 공급의 안정성 제고

❍ CCU 핵심기술개발로 기술력 향상 및 CCU 글로벌 기술 우위 선점

□ **(경제적 기대효과)** 기술 유형별 발생 가능한 국가 전체에 미치는 유발효과

❍ **(탄소감축)** 본 사업에서 감축되는 약 732,210톤/년의 온실가스가 배출권 거래제를 통해 상쇄되는 경제적 효과는 년 **약 900억원*** 으로 추정

* 유럽 탄소배출권 가격(EU ETS), '23.11. 88유로(12만3천원/톤)

- 동 사업 온실가스 감축 목표량 : **732,210 톤/년**

권역	목표 감축량 (톤/년)	환산가(억 원)
서부권	125,000	153.75억 원
남부권	471,200	579.57억 원
동남권	105,500	129.76억 원
중부권	30,510	37.52억 원
합계		**900.6억 원**

* 기업의 수요조사를 통한 민간 감축목표 확인과 기술전문가의 점검을 통해, 多 배출 핵심산업 전후방 연계를 통한 감축 가능성 점검

❍ 동 사업을 통해 부가가치 유발효과는 약 4,894.6억 원이며, 고용유발 효과는 약 4,697명로 추정

구분		최종 수요비용 (억원)	생산 유발계수	부가가치 유발계수	취업유발 계수 (명/10억원)	생산유발 효과	부가가치 효과	취업유발효과 (명/10억원)
기술유형	화학전환	4,220	1.83	0.45	3.16	7,722.6	1,899.0	1,333.5
	생물전환	1,000	1.90	0.64	6.25	1,900.0	640.0	625.0
	광물탄산화	3,020	2.42	0.78	9.07	7,308.4	2,355.6	2,739.1
합계						**16,931**	**4,894.6**	**4,697.6**

❍ **(신시장 창출 기대)** CCU 제품 조기상용화로 사업종료 후 회임기간 3년('31년~'33년)간 지원기업의 누적 총매출액 **3조 4849억원 규모의 CCU 新시장 창출 기대**

〈표 Ⅳ-30〉 동 사업을 통한 최종 생산물 거래 단가('23.11.)

소분류	1톤당(만원)	근거('23. 11.)
에탄올	64.5	국제선물
메탄올	42.7	국제선물
올레핀	109.2	국제선물
e-Fuel(바이오메탄올)	56,653.1	국제청정교통위(ICCT)
폴리우레탄	539,3	pieweb.plasteurope.com
폴리카보네이트	406.9	Intratec.us 거래단가
바이오연료	439.6	Minimal fuel selling price
플라스틱	296.4	Ethylene vinyl acetate
카로테노이드	617.5	Koller et al
바이오매스	1,06.4	미국 DOE 산하 NREL
시멘트	17.5	IBIS World
합성가스	327.9	Intratec.us 거래단가
탄산마그네슘	78.0	무역협회 수출입 단가
석회석 대체 탄산칼슘	26.0	무역협회 수출입 단가
양생 시멘트	13.0	무역협회 수출입 단가
플라이 애쉬	2	기업 거래 단가 확인
황산암모늄	26.6	Intratec.us 거래단가
탄산칼슘	158.6	무역협회 수출입 단가
중탄산나트륨	71.2	무역협회 수출입 단가

* (환율) '23. 11. 1,300원 환산

〈표 Ⅳ-31〉 동 사업 최종생산물로 인한 권역별 생산유발 효과

플래그십 권역	최종 제품	생산 유발 (억 원)
남부권	합성가스, e-Fuel, 탄산칼슘 등	9,275.5
동남권	메탄올, 플라이 애쉬	103.5
서부권	폴리머, 바이오메스, 탄산염	20,322.0
중부권	레미콘, 콘크리트 2차제품, 레미탈	5,148.0
합계		**34,849.0**

가. 사업 편익 현가 산정

〈표 Ⅳ-32〉 BC 분석 표

연도	세계시장규모 (억원)	예상시장점유율 (%)	사업기여율 (%)	R&D기여율 (%)	부가가치율 (%)	사업화성공률 (%)	편익 (억원)	편익현가 (억원)	비용 (억원)	비용현가 (억원)	순이익	할인율
2025	41,424,370	1.2%	8.70%	35.4%	18.7%	30.3%			1,195	1,144	(1195)	1.045
2026	44,520,320	1.2%	8.70%	35.4%	18.7%	30.3%			1,684	1,542	(1684)	1.092
2027	47,897,590	1.1%	8.70%	35.4%	18.7%	30.3%			1,728	1,514	(1728)	1.141
2028	51,589,070	1.1%	8.70%	35.4%	18.7%	30.3%			1,762	1,478	(1762)	1.193
2029	55,634,800	1.1%	8.70%	35.4%	18.7%	30.3%			1,148	921	(1148)	1.246
2030	60,075,990	1.1%	8.70%	35.4%	18.7%	30.3%			723	555	(723)	1.302
2031	65,079,788	1.1%	8.70%	35.4%	18.7%	30.3%					0	1.361
2032	70,618,677	1.0%	8.70%	35.4%	18.7%	30.3%					0	1.422
2033	76,766,877	1.0%	8.70%	35.4%	18.7%	30.3%					0	1.486
2034	83,611,005	1.0%	8.70%	35.4%	18.7%	30.3%	1,464	943			1,464	1.553
2035	91,252,366	1.0%	8.70%	35.4%	18.7%	30.3%	1,560	961			1,560	1.623
2036	99,809,689	1.0%	8.70%	35.4%	18.7%	30.3%	1,663	981			1,663	1.696
2037	109,422,400	0.9%	8.70%	35.4%	18.7%	30.3%	1,775	1,002			1,775	1.772
2038	120,254,537	0.9%	8.70%	35.4%	18.7%	30.3%	1,896	1,024			1,896	1.852
2039	132,499,425	0.9%	8.70%	35.4%	18.7%	30.3%	2,027	1,047			2,027	1.935
2040	146,385,290	0.8%	8.70%	35.4%	18.7%	30.3%	2,169	1,072			2,169	2.022
2041	162,181,968	0.8%	8.70%	35.4%	18.7%	30.3%	2,322	1,099			2,322	2.113
합계	**1,296,842,195**						**14,877**	**8,129**	**8,240**	**7,154**	**6,637**	

나. BC 분석 종합 결과

□ 비용 현가와 편익 현가를 기준으로 B/C값을 산정한 결과와 IRR을 토대로 투자 적절 여부를 판단하며 기준은 다음과 같음

❍ 비용편익비(B/C값)이 1보다 높으면 투자 적절

❍ NPV 값은 사업 종료 후 기대할 수 있는 순수익(비용-편익)의 합으로 0보다 크면 투자 적절

〈표 Ⅳ-33〉 전략과제별 경제성분석 종합 결과

사업명	B/C	NPV	IRR	결과
무탄소에너지(CFE) 전환을 위한 CCU 기술개발(R&D)	**1.136**	**975억 원**	**5.8%**	**투자 적절**

과학기술정보통신부

부 록

무탄소 에너지(CFE) 전환을 위한 CCU 기술개발(R&D)

2024. .

과학기술정보통신부

요 약 문 (SUMMARY)

<table>
<tr><td>사 업 명</td><td colspan="3">무탄소 에너지(CFE) 전환을 위한 CCU 기술개발(R&D)</td></tr>
<tr><td>사업 목적</td><td colspan="3">기 확보한 CCU 기술의 현장 적용을 통해
실제 CO_2 감축을 위한 기술 고도화 및 통합실증 추진</td></tr>
<tr><td>총사업비
(국고/민자)</td><td>8,487.6억원
(국고: 5,547.6 민자: 2,940.0)</td><td>사업 기간</td><td>2025년 ~ 2030년
(6년)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">사업 유형 및
추진범위</td><td>사업유형</td><td>공모방식</td><td>추진범위</td></tr>
<tr><td>성장형 R&D</td><td>기술지정</td><td>응용·실증 R&D (TRL 5~7단계)</td></tr>
<tr><td>추진 경위</td><td colspan="3">▌ 근거 법령
• 과학기술기본법 제15조, 제16조
• 기후위기 대응 탄소중립· 녹색성장 기본법 제34조(탄소포집이용저장기술의 육성)
• 환경정책기본법 제10조, 제15조
• 기후변화대응 기술개발 촉진법 제8조, 제11조</td></tr>
<tr><td>사업 내용</td><td colspan="3">▌ 비전
CCU 기술혁신을 통한 탄소중립 실현 및 新산업 창출

▌ 전략과제
CCU 기술 고도화 및 조기 상용화 전략기술 개발을 위해 ’30년 주력기술을 중심으로 지역 핵심산업과 연계
• 중점기술 9개, 세부기술 15개 기술 개발
• 감축량 평가 플랫폼 개발

</td></tr>
<tr><td>성과 목표</td><td colspan="3"><table>
<tr><td rowspan="2">성과 목표</td><td>1단계(’25년~’27년)</td><td colspan="2">2단계(’28년~’30년)</td></tr>
<tr><td>CCU 통합공정 최적 상용 공정 개발</td><td colspan="2">CO_2 감축 실증 기술의 규모 격상과
전후방 산업으로 공유·확산</td></tr>
<tr><td rowspan="4">성과 지표</td><td>성과목표</td><td>성과지표</td><td>목표치</td></tr>
<tr><td>① 정부 NDC 감축목표 기여</td><td>온실가스 배출 감축량</td><td>73.2만톤/년</td></tr>
<tr><td>② 민간주도 조기상용화 전략기술 개발</td><td>시제품</td><td>17건</td></tr>
<tr><td>③ 감축량 평가 기반 구축</td><td>방법론·플랫폼 개발</td><td>3건</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>사업기대효과</td><td colspan="3">선제적 기술 주도권 확보 | 산업간 밸류체인 연계 | 국내기업 경쟁력 제고 | 탄소중립 산업 경쟁력 확보</td></tr>
</table>

CCU 기술혁신을 통한 탄소중립 실현 및 新산업 창출

목적	기확보한 CCU 기술의 **현장 적용**을 통해 실제 CO_2 감축을 위한 **기술 고도화** 및 **통합실증** 추진

추진 전략	1단계('25년~'27년)	2단계('28년~'30년)
	CCU 통합공정 최적 상용 공정 개발	CO_2 감축 실증 기술의 규모 격상과 전후방 산업으로 공유·확산

성과 목표	정부 NDC 감축목표 기여	플래그십 프로젝트 성공사례 확산	온실가스 감축량 평가 기반 구축
	('30년) 73.2만톤/년 감축	('30년) 시제품 17건	방법론 및 감축량 평가 플랫폼 3건

세부 기술	기술유형	중점기술	세부 과제
	화학전환	합성가스	①온실가스 감축 극대화 합성가스 생산 기술 ②미활용 CO_2 활용 합성가스 생산 기술
		메탄올	③CO_2 활용에 의한 메탄올 생산 기술
		올레핀	④정유 공정 배가스 CO_2 활용 기초유분 생산 기술
		e-Fuel	⑤합성연료(휘발유, 경유) 생산 기술 ⑥e-SAF 제조 상용공정 기술
		폴리머	⑦CO_2 활용 폴리우레탄 생산 기술 ⑧CO_2 활용 폴리카보네이트 생산 기술
	생물전환	바이오소재·연료	⑨미세조류 기반 발전소 배출 CO_2 감축 · 활용 기술
		바이오매스	⑩미세조류 기반 발효 배가스 내 CO_2 감축 · 활용 기술
	광물탄산화	고순도 무기탄산염	⑪석고 활용 탄산칼슘 생산 및 활용 기술 ⑫해수담수화 농축수 활용 고순도 무기탄산염 생산·활용 기술
		대체 시멘트 및 건설소재	⑬in-situ 탄산화기술 활용 CO_2 감축 · 활용 기술 ⑭CO_2 반응경화 시멘트 및 건설 2차제품 생산 및 활용 기술 ⑮제철 슬래그 활용 CO_2 저감 건설소재 생산 및 활용 기술

사업 구성	내역사업[국고/민자]	주요내용
	남부권 [2,280억/1,370억]	• 개요 : 석유·정유·철강 산업 연계 CO_2 대량 배출기업 밀집 지역 확산 • 생산물 : 합성가스, 올레핀, e-Fuel, 고순도 무기탄산염
	서부권 [1,530억/840억]	• 개요 : 발전소 탄소저감형 대규모 실증기반 구축 / 해수담수화 공정 광물탄산화 • 생산물 : 폴리머, 바이오소재·연료, 바이오매스, 고순도 무기탄산염
	중부권 [990억/330억]	• 개요 : 시멘트 산업 연계 CCU 광물 탄산화 건설제품 생산 통합 패키지 개발·확산 • 생산물 : 대체 시멘트 및 건설소재
	동남권 [500억/400억]	• 개요 : 철강·석유화학·조선·항만 산업 연계 청정 메탄올(연료) 생산·활용 기술 개발 • 생산물 : 메탄올, 대체 시멘트 및 건설소재
	감축량 플랫폼 [60억/-]	• 개요 : CCU 적용 온실가스 감축 효과 분석을 위한 감축량 평가 기반 구축 • 생산물 : 감축 기여도 평가방법론, 평가 Tool, 평가 DB, 동 사업 감축량 평가
	※ 기평비[187억/-]	• 연구단 및 플랫폼 운영 및 평가 비용 활용

사업 추진 성과 목표

□ **(권역별)** 남부권, 서부권, 중부권, 동남권 **중점기술 9종**

권역	중점기술	핵심산업	최종 성과물	CO_2 감축량 (톤/년)
남부권	합성가스	석유화학, 철강	합성가스, 일산화탄소	230,000
	올레핀	정유	기초유분	131,200
	e-Fuel	석유화학	합성연료(e-Fuel), e-SAF	100,000
	고순도 무기탄산염	해수 담수화	황산암모늄, 탄산칼슘	10,000
서부권	폴리머	석유화학	폴리우레탄 / 폴리카보네이트	100,000
	바이오소재·연료	발전, 화학소재	플라스틱	10,000
	바이오매스	바이오, 아미노산	바이오매스/사료/아미노산	5,000
	고순도 무기탄산염	광물탄산화	CO_2 전환 마그네슘 탄산염	10,000
동남권	메탄올	철강	메탄올	5,500
	대체 시멘트 및 건설소재	철강	CO_2 광물화 건설소재	100,000
중부권	대체 시멘트 및 건설소재	시멘트	CO_2 반응경화 시멘트 등	30,510

□ **(기술 유형별)** 화학전환 제품 8종, 생물전환 제품 2종, 광물화 제품 5종 등 **총 15종 제품 생산** (‘30년 기준)

기술유형	산업분야	중점기술	최종 성과물	CO_2 감축량 (톤/년)
화학적 전환 (8종)	석유화학	합성가스	합성가스	30,000
		e-Fuel	합성연료(e-Fuel)	50,000
			e-SAF	50,000
		폴리머	폴리우레탄	50,000
			폴리카보네이트	50,000
	철강	합성가스	합성가스(CO)	200,000
		메탄올	메탄올	5,500
	정유	올레핀	기초유분	131,200
생물전환 (2종)	발전	바이오소재·연료	플라스틱	10,000
	바이오	바이오매스	바이오매스(사료)	5,000
광물 탄산화 (5종)	비료화학	고순도 무기탄산염	황산암모늄(탄산칼슘)	10,000
	해수담수화		CO_2 전환 마그네슘 탄산염	10,000
	시멘트	대체 시멘트 및 건설소재	콘크리트 2차제품	13,885
			CO_2 반응경화 시멘트	16,625
	철강		CO_2 광물화 건설소재	100,000

▌기술개발 로드맵

□ **본 사업은 플래그십 프로젝트 권역별 多배출 핵심산업 연계 CCU 중점 기술개발을 통해 ①공정개발 단계, ②기술격상 단계, ③기술 확산 및 제품화 단계로 사업 추진**

〈표〉 기술 개발 로드맵

공정 개발 | 기술 격상 | 제품화, 확산

단계별 목표		1단계			2단계			최종 목표
		상용 공정 개발			기술 격상, 확산			철강-석유화학-정유 벨류체인 구성
중점 연구 영역		2025	2026	2027	2028	2029	2030	기술별 개발 목표
남부권	온실가스 감축 극대화 합성가스 생산 기술							다양한 환원제를 활용해 CO_2 100톤/일을 감축하는 스케일업 공정 개발
	미활용 CO_2 활용 합성가스 생산 기술							제철 공정에 특화된 Net CO_2 저감 가능 CCU 상용 기술 개발
	정유 공정 배가스 CO_2 활용 기초유분 생산 기술							CO_2직접전환 기초유분생산 기술 Demo Scale 실증
	합성연료(휘발유, 경유) 생산 기술							CO_2 전환 합성연료 생산 실증 기술 개발
	e-SAF 제조 상용공정 기술							재생 전력 기반 지속가능 항공유 제조 실증 기술 개발
	석고 활용 탄산칼슘 생산 및 활용 기술							상용화 규모 기술개발을 통한 대량의 CO_2 저감. 경제성 확보
서부권	CO_2 활용 폴리우레탄 생산 기술							이산화탄소 함유 폴리올, 이소시아네이트 제조 기술 실증화
	CO_2 활용 폴리카보네이트 생산 기술							이산화탄소 함유 폴리카보네이트 제조 기술 개발 및 상용화 기반 확보
	미세조류 기반 발전소 배출 CO_2 감축 · 활용							미세조류 기반 컴팩트 CCU 모듈 (2,000 m^3 규모의 공정 모듈) 확보
	미세조류 기반 발효 배가스 내 CO_2 감축 · 활용 기술							아미노산 생산 발효 배기가스 내 CO_2 저감 균주/공정 개발
	해수담수화 농축수 활용 고순도 무기탄산염 생산							해수담수화 공정 중 발생하는 농축수를 이용한 CO_2 광물 전환 실증
중부권	in-situ 탄산화 기술 활용 CO_2 감축·활용 기술							레미탈, 레미콘 및 콘크리트 2차제품 제조 배합물의 단위 시멘트량 5% 이상 감축
	CO_2 반응경화 시멘트 및 건설 2차제품 생산 활용							Pilot plant scale 생산설비를 활용한 대량생산 실증(800톤/일급 소성킬른활용)
동남권	제철 슬래그 활용 CO_2 저감 건설소재 생산 활용							제철 슬래그 활용 연 10만톤의 CO_2 저감 기술 실증
	CO_2 활용에 의한 메탄올 생산 기술							부생가스의 CO/CO_2 활용 메탄올 전환 공정 실증 및 적용 기술 확보
플랫폼	감축 기여도 평가 (방법론, Tool, 플랫폼)							국가 인벤토리 집계 반영 산정 방법론 개발
	사업 감축량 평가 검증							4대권역 9개 중점기술 15개 추진사업의 사업감축량 평가 검증

▌사업기간 및 총사업비

□ **본 사업은 '25년부터 '30년까지 총 6년 간, 총 사업비 8,487.6억원(국고: 5,547.6, 민자: 2,940)을 조성하여 운영**

❍ 총 5,547.6억 원(정부출연금), 민간자금 2,940억원으로 구성

〈표〉 전체 사업비 투입 규모

권역	연구비(억 원)		
	국고	민자	합계
남부권	2,280	1,370	3,650
서부권	1,530	840	2,370
중부권	990	330	1,320
동남권	500	400	900
감축량 평가 플랫폼	60	-	60
기획평가관리비	187.6	-	187.6
합계	**5,491(65%)**	**2,940(35%)**	**8,487.6**

〈표〉 세부 기술별 사업비 투입 규모(기획평가관리비 제외)

No	유형	전략과제	적용 산업	연구비 소계(억원)		
				국고	민자	소계
서부권	화학	폴리머	석유화학(폴리우레탄)	155	155	310
			석유화학(폴리카보네이트)	155	155	310
	생물	바이오소재·연료	발전 산업 / 플라스틱 산업	500	195	695
		바이오매스	바이오 발효 산업	220	85	305
	광물	고순도 무기탄산염	해수담수화, 발전, 마그네슘	500	250	750
남부권	화학	합성가스	석유화학	800	400	1,200
			철강산업, 화학	560	240	800
		올레핀	석유화학산업	150	50	200
		e-Fuel	합성연료, 탄소중립 모빌리티	250	250	500
			친환경 항공유(e-SAF)	250	250	500
	광물	고순도 무기탄산염	비료화학, 시멘트	270	180	450
동남권	화학	메탄올	철강, 석유화학	200	200	400
	광물	대체 시멘트 및 건설소재	철강, 건설	300	200	500
중부권	광물		레미콘/콘크리트 2차제품	990	330	1,320
플랫폼	방법론	감축기여도 평가 방법론	감축량 펴가 플랫폼	60	-	60

1 남부권 플래그십 프로젝트

<table>
<tr><td>남부권</td><td colspan="3">석유·정유·철강 산업 맞춤형 핵심 CCU 기술의 CO_2 대량 배출기업 밀집 지역 확산</td></tr>
<tr><td>사업 기간</td><td colspan="3">2025년 ~ 2030년(6년)</td></tr>
<tr><td>추진 개요</td><td colspan="3">석유화학, 철강, 정유 등 남부권 주력산업의 친환경적 전환</td></tr>
<tr><td rowspan="3">추진 전략</td><td>주력 산업</td><td>주요 사업 참여 의향 기업</td><td>CCU 제품</td></tr>
<tr><td>석유화학, 철강, 정유</td><td>포스코홀딩스, GS칼텍스, LG화학, 한화, 금호석유, 남해화학, 삼성물산, 부흥산업사</td><td>합성가스, 올레핀, e-Fuel, e-SAF, 황산암모늄, 탄산칼슘</td></tr>
<tr><td colspan="3">多배출 산업 특성 및 자원을 활용한 CO_2 대량 감축</td></tr>
<tr><td rowspan="2">성과 목표</td><td colspan="2">온실가스 감축 목표</td><td>기대효과</td></tr>
<tr><td colspan="2">471,200톤(t-CO_2_eq/yr)</td><td>CO_2 국내 최다 배출 남부권 주요 산업의 무탄소화 에너지 활용을 위한 철강-석유화학-정유 벨류체인 구성</td></tr>
<tr><td>사업 추진 모식도</td><td colspan="3">

(주요 지역) 전남 여수시 중흥동, 금호동, 적량동 일대(여수산단, 화치산단), 광양산단</td></tr>
<tr><td>사업 구성 체계</td><td colspan="3">
</td></tr>
</table>

남부권 세부 기술 및 최종 제품

No	유형	중점기술	산업분야	세부 기술명	적용 산업	최종제품
1	화학	합성가스	석유화학	온실가스 감축 극대화 합성가스 생산 기술	석유화학	합성가스, 응용제품
2	화학	합성가스	철강	미활용 CO_2 활용 합성가스 생산기술	철강산업, 화학산업, 수소산업	합성가스, COG 수소, LNG 대체
3	화학	올레핀	정유	정유 공정 배가스 CO_2 활용 기초유분 생산 기술	석유화학산업	올레핀
4	화학	e-Fuel	석유화학	합성연료(휘발유, 경유) 생산 기술	합성연료(e-Fuel)	e-Fuel
5	화학	e-Fuel	석유화학	e-SAF 제조 상용공정 기술	항공유(e-SAF)	e-SAF
6	광물	고순도 무기탄산염	비료화학	석고 활용 탄산칼슘 생산 및 활용 기술	비료화학, 시멘트	황산암모늄 탄산칼슘

남부권 감축목표 및 사업비

No	온실가스 감축 목표 (톤/년)	연구기간, 연구비(억 원)												연구비 소계 (억원)		
		2025		2026		2027		2028		2029		2030				
		국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	소계
1	30,000	300	150	400	200	100	50	-	-	-	-	-	-	800	400	1,200
2	200,000	35	15	105	45	140	60	140	60	70	30	70	30	560	240	800
3	131,200	12	4	15	5	55	19	39	13	19	6	10	3	150	50	200
4	50,000	45	45	35	35	30	30	60	60	50	50	30	30	250	250	500
5	50,000	45	45	35	35	30	30	60	60	50	50	30	30	250	250	500
6	10,000	60	45	60	45	50	30	50	30	50	30	-	-	270	180	450
합계	471,200	497	304	650	365	405	219	349	223	239	166	140	93	2,280	1,370	3,650

남부권 기술개발 로드맵

■ 공정•기술개발 ■ 상용•확산

단계별 목표		1단계			2단계			최종 목표
		상용 공정 개발			기술 격상, 확산			철강-석유화학-정유 벨류체인 구성
중점 연구 영역		2025	2026	2027	2028	2029	2030	기술별 개발 목표
1	온실가스 감축 극대화 합성가스 생산 기술							다양한 환원제를 활용해 CO_2 100톤/일을 감축하는 스케일업 공정 개발
2	미활용 CO_2 활용 합성가스 생산 기술							제철 공정에 특화된 Net CO_2 저감 가능 CCU 상용 기술 개발
3	정유 공정 배가스 CO_2 기초유분 생산 기술							CO_2직접전환 기초유분생산 기술 Demo Scale 실증
4	합성연료(휘발유, 경유) 생산 기술							CO_2 전환 합성연료 생산 실증 기술 개발
5	e-SAF 제조 상용공정 기술							재생 전력 기반 지속가능 항공유 제조 실증 기술 개발
6	석고 활용 탄산칼슘 생산 및 활용 기술							상용화 규모 기술개발을 통한 대량의 CO_2 저감. 경제성 확보

남부권 플래그십 프로젝트 추진 필요성

중점기술	세부과제	구분		내용
합성가스	온실가스 감축형 합성가스 생산 기술	문제점		• 이산화탄소 전환을 통한 건식개질 기반 합성가스 생산은 기존 스팀을 활용한 상용 습식개질 기술 대비 탄소감축 효과가 매우 높으나, 반응 중 탄소 침적 등에 의한 연속 가동성 부족으로 이에 대한 극복 필요
		필요성	기술 개발 필요성	• CCU 제품의 탄소 감축 효과를 위해서는 상용 공정 단위의 적극적인 보급이 필요하며, 이를 위해서는 정책적인 보조와 함께 기술의 경제성 확보가 절실 • 경제성 관점에서 공정효율 향상을 통한 비용 절감과 함께 안정적인 원료 수급 및 효율적인 완제품 유통/공급이 필요하며, 이를 위해서는 집적된 산업단지 내에서 원료-생산-공급이 순환되는 가치사슬 완성 필요
			정책적 필요성	• 국가 탄소중립 이행을 위해서는 CCU 기술의 조기 정착이 필요하고, CO_2 활용에 대한 현 산업계의 신뢰성 확보를 위해서는 기술적 이질감이 적은 플랫폼원료물질 공급기술인 합성가스 공급 기술의 상용화와 실 현장 적용이 시급
		기대효과		• CCU 원천기술 기반 실증 기술 개발 • 이산화탄소 활용 기술/산업 육성 • 기후변화 대응 온실가스 감축
	미활용 탄소 활용 합성가스 생산 기술	문제점		• 생성된 합성가스를 지역 내 석유화학 산업의 원료로 활용하기 위해 유용한 성분들을 효과적으로 분리하고 정제해야 하나, 활용처에 따라 요구되는 순도 확보에 어려움이 있으며, 특히 일산화탄소 분리/정제의 경우 실적용을 위하여 공정 안정성 및 경제성의 향상과 함께 에너지 소비 최소화 필요
		필요성	기술 개발 필요성	• 전환과정의 효율성과 온실가스 저감효과 극대화를 위해 이산화탄소 전환을 위해 다양한 환원물질(부생가스, 폐유기물, 폐플라스틱, 폐열 등) 활용 기술 필요
			정책적 필요성	• 온실가스-기타 오염물질 동시저감 기술 확보 시, 설비투자비용 감소, 고부가 플랫폼 물질 생산, 환경편익 발생 등 사회적 비용 절감 효과가 높으므로 신성장 동력기술로 육성 필요
		기대효과		• CO_2 취입 자원화 기술 상용화시 COG 총열량 10% 이상 증량 • 코크스 오븐 1battery당 약 1.6만톤_CO_2/년 이상 저감 가능 • 저농도의 CO_2가 배출되는 모든 산업을 포함하여 탄소중립 전환을 지원하고, 상용급(10MW 열병합발전) 적용시 연간 64,000톤 규모 이산화탄소 감축 효과 발생

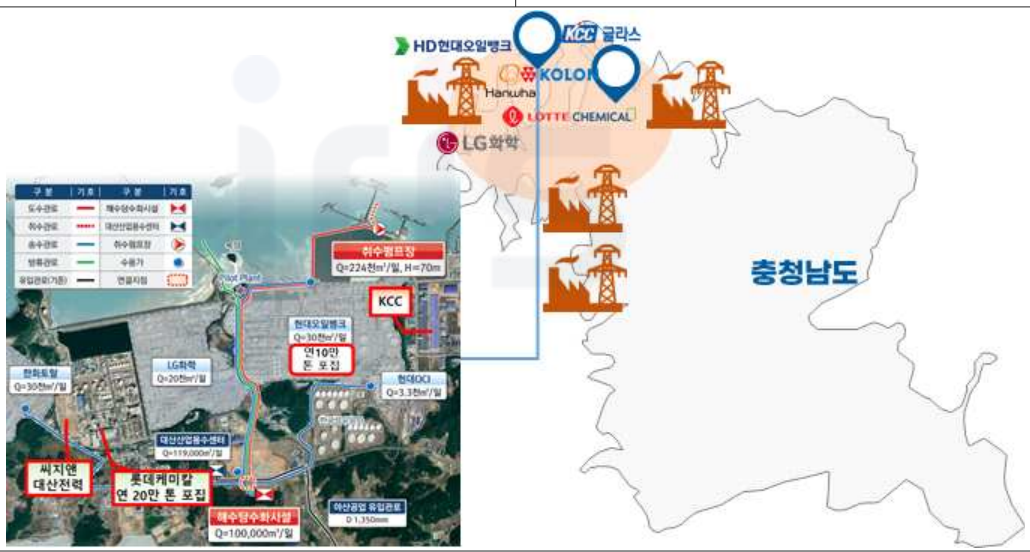
중점기술	세부과제	구분		내용
올레핀	정유 공정 배가스 CO_2 활용 기초유분 생산 기술	문제점		• 전 세계적으로 상용화가 된 CO_2 기반 올레핀 기술의 부재로 기존 보유한 올레핀 제조 기술의 성숙도를 높이면서, CO_2 전환율, 생성물 선택도, 신재생 전력 활용을 위한 원천기술 개발을 동시에 진행 필요
		필요성	기술 개발 필요성	• 국내 배출 CO_2의 자원화 일환으로 재생에너지를 활용한 플랫폼 화합물의 대표 물질인 액체 탄화수소(합성납사/연료, 윤활기유)로의 전환공정(Power-to-X, PtX)을 상용화하기 위해, 국내 개발 CO_2 직접 전환 공정의 스케일업 실증을 통한 공정 운전성 검토와 최적화 연구, 상용공정 및 상용촉매 개발연구가 필요
			정책적 필요성	• CO_2를 활용한 올레핀 제조 기술은 전 세계적으로 실증 전 단계 수준으로 국산화 기술 확보 및 시장의 선점이 가능 • 세계적 CO_2 감축 추세 대응 및 국가 탄소 중립 실현을 위하여 획기적인 CO_2 감축 기술이 요구
		기대효과		• CO_2 저감효과 뿐만 아니라 정유 및 석유화학 산업의 친환경적 경쟁력 강화에도 큰 기여를 할 것으로 예상 • CO_2 전환으로 생산된 화학소재를 활용하여 해외 에너지 수입에 대한 의존도를 감소시킬 수 있어 국가 에너지자립도 향상
고순도 무기탄산염	석고 활용 탄산칼슘 생산 및 활용 기술	문제점		• 국내는 광물탄산화 기술의 상용화급 설비 구축 및 운용 사례가 전무 - 연 2,000톤 석고 광물탄산화 실증 설비 운용 경험을 바탕으로 상용화급 설비의 기술 안정성 확보가 필요
		필요성	기술 개발 필요성	• 부산석고 활용 광물탄산화 기술은 정부기관(한국지질자원연구원) 및 공기업(한국남동발전) 주도로 실증(TRL 6단계) 개발을 진행 중이며, 효과적으로 대량의 CO_2를 포집 활용(CCU) 가능한 기술로 기대 - 기존 개발 중인 기술이 향후 대량의 CO_2 포집 방안으로 활용되기 위해서는 추가적인 대량 상용화 기술개발이 필요하며, 동 프로세스의 원료인 석고, CO_2 대량 공급원에 대한 접목이 필요
			정책적 필요성	• 배가스 직접반응에 의한 직접 탄산화 기법을 활용한 광물탄산화 기술의 상용화 사례를 찾아보기 힘든 상황에서 연4만톤급 석고 탄산화 설비 운용은 도전적 과제로 판단 • 산업부산물 활용에 따른 폐기물을 이용한 CO_2 저감 기술은 지원 제도의 미비로 인해 기술 보급이 쉽지 않으며, 산업계 확산을 위한 제도적 뒷받침이 필요한 상황
		기대효과		• 연간 부산석고 4만톤 규모 CCU 시설 상용화 시 연간 약 1만톤의 CO_2 온실가스 저감 • 국가자원(부산석고)의 효과적 활용 촉진

중점기술	세부과제	구분		내용
e-Fuel	합성연료 (휘발유, 경유) 생산 기술	문제점		• 메탄올 경유 가솔린 생산 공정, FT 반응 경유 가솔린 생산 공정으로 생산된 합성연료는 가솔린, 경유로 사용되지 못하기 때문에 업그레이딩 실증기술 필요
		필요성	기술 개발 필요성	• 전동화가 어려운 항공/선박 등 수송부문 전반에 적용 가능하며, 석유 연료 운송/보관 시설 등 기존 인프라 활용 가능하기 때문에 e-fuel 생산 실증이 필요 • 현재 유럽 전역에서 신재생에너지를 활용한 액체 연료 생산 기술에 대해 상용화 진행 중으로 관련 기술의 국내 기술 경쟁력 제고 필요
			정책적 필요성	• 탄소 중립 달성을 위해서는 재생에너지의 보급. 재생에너지 기반의 수소 생산 기술 및 공급 인프라 확보를 통해 CO_2 배출량 저감이 필요하며, 동시에 불가피하게 배출된 CO_2를 포집하고 활용(고정화)시켜 유용한 물질로 전환하거나 혹은 저장해 배출량을 저감하는 CCUS 기술 도입이 필수
		기대효과		• 생산 단가의 큰 비중을 차지하는 그린수소의 가격이 안정화되고 기술 완성도가 높아지는 '50년에는 탄소배출 저감 기술로 그 파급력이 클 것으로 예상
	e-SAF 제조를 위한 상용공정 개발	문제점		• 원천 및 스케일업 기술 부재하여 기존 보유한 e-SAF 제조 기술의 성숙도를 높이면서, 이산화탄소 전환율, 친환경 전환자원 활용, 생성물 선택도, 신재생 전력 활용을 위한 원천기술 개발을 동시에 진행 필요 • 아직 상용화 되지 않은 e-SAF 제조 기술 선점을 통해 유럽, 미국의 e-SAF 의무 사용, 탄소국경세 등에 대응할 수 있는 신기술 개발 및 시장 선점 필요
		필요성	기술 개발 필요성	• CO_2 화학전환 분야 SAF 제조 기술은 현재 TRL 4단계까지 검증된 기술로, 상업화를 위한 경제성/LCA 검증을 위한 기업연계 실증연구 필요 - CO_2 감축효과가 뛰어난 기술로 저탄소 항공유 분야에 적용함으로써 이산화탄소 대량 감축 가능
			정책적 필요성	• 국제적 환경규제 강화(미국의 SAF 사용 의무, 탄소국경세 등)에 따라 빠른 시기에 SAF 기반 확보가 필요한 상황 • 기술 개발 뿐만 아니라 항공유 국제 규격 도달을 위해 SAF 보급 의무화 시기보다 이른 상용화가 필요
		기대효과		• 생산 단가의 큰 비중을 차지하는 그린수소의 가격이 안정화되고 기술 완성도가 높아지는 '50년에는 탄소배출 저감 기술로 그 파급력이 클 것으로 예상

▌남부권 플래그십 프로젝트 추진 필요성

No	유형	제안 기술명	연구 목표
1-01	화학	온실가스 감축 극대화 합성가스 생산 기술	• 조기 상용화가 가능한 이산화탄소 기반 합성가스 개발 기술 실증
1-02		미활용 CO_2 활용 합성가스 생산 기술	• 경제성 및 높은 탄소 저감능력을 지니는 CO_2 기반 합성가스 제조 기술 개발 및 상용화 기반 확보
1-03		정유 공정 배가스 CO_2 활용 기초유분 생산 기술	• CO_2 직접전환 기초유분 생산기술 패키지 개발 • 장시간 운전 데이터, Scale-up factor, 경제성 분석 및 CO_2 절감 효과 분석을 수행하여 공정설계안 확보 • CO_2 전환 올레핀 생산기술 상용화를 위한 기반 확보
1-04		합성연료(휘발유, 경유) 생산 기술	• 이산화탄소 활용 합성연료 제조 상용화 기반 구축 및 자동차 규격 인증 확보
1-05		e-SAF 제조 상용공정 기술	• SAF 제조 파일럿 통합실증을 통한 상용 공정 기반 구축
1-06	광물	석고 활용 탄산칼슘 생산 및 활용 기술	• 상용화 규모 기술개발을 통한 대량의 CO_2 저감, 경제성 확보

2 서부권 플래그십 프로젝트

<table>
<tr><td>서부권</td><td colspan="3">발전소 적용 탄소저감형 미세조류 광생물 반응기 대규모 실증기반 구축 및 해수 담수화 공정 기반 CO_2 광물 탄산화</td></tr>
<tr><td>사업 기간</td><td colspan="3">2025년 ~ 2030년(6년)</td></tr>
<tr><td>추진 개요</td><td colspan="3">화력•LNG 발전, 해수담수화 공정 실증을 통한 전방위적 대규모 기술확산</td></tr>
<tr><td rowspan="3">추진 전략</td><td>주력 산업</td><td>주요 사업 참여 의향 기업</td><td>CCU 제품</td></tr>
<tr><td>발전, 석유화학,
바이오, 해수담수화</td><td>한화토탈에너지스, 한국지역난방공사, 대상,
한화솔루션, CJ제일제당, 한국수자원공사</td><td>폴리우레탄, 폴리카보네이트,
플라스틱, 마스네슘, 탄산염</td></tr>
<tr><td colspan="3">바이오 CCU 실증 테스트베드 구축 및 기술확산 가속화 R&D 수행</td></tr>
<tr><td rowspan="2">성과 목표</td><td colspan="2">온실가스 감축 목표</td><td>기대효과</td></tr>
<tr><td colspan="2">125,000톤(t-CO_2_eq/yr)</td><td>기존 포집-전환 연계 패러다임에 국한되지 않은 다양한 CO_2 배출원에 유연하게 적용할 수 있는 CCU 기술 확보</td></tr>
<tr><td rowspan="2">사업 추진 모식도</td><td colspan="3"> 
</td></tr>
<tr><td colspan="3">(주요 지역) 충남 대산읍(대산산업단지) / 경기도 성남, 안산, 평택 일대</td></tr>
<tr><td>사업 구성 체계</td><td colspan="3">
</td></tr>
</table>

서부권 세부 기술 및 최종 제품

No	유형	중점기술	산업분야	세부 기술명	적용 산업	최종제품
1	화학	폴리머	석유화학	CO_2 활용 폴리우레탄 생산 기술	폴리우레탄	폴리우레탄
2	화학	폴리머	석유화학	CO_2 활용 폴리카보네이트 생산 기술	폴리카보네이트	폴리카보네이트
3	생물	바이오소재·연료	발전	미세조류 기반 발전소 배출 CO_2 감축 · 활용 기술	발전 산업 / 플라스틱 산업	미세조류 바이오매스
4	생물	바이오매스	바이오	미세조류 기반 발효 배가스 내 CO_2 감축 · 활용 기술	바이오 발효 산업	바이오매스, 바이오사료
5	광물	고순도 무기탄산염	기타(해수담수)	해수담수화 농축수 활용 고순도 무기탄산염 생산 및 활용 기술	해수담수화, 발전, 제철	친환경 해수담수화, 마그네슘 내재화 기술

서부권 감축목표 및 사업비

No	온실가스 감축 목표 (톤/년)	연구기간, 연구비(억 원)												연구비 소계 (억원)		
		2025		2026		2027		2028		2029		2030				
		국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	소계
1	50,000	10	10	20	20	15	15	70	70	20	20	20	20	155	155	310
2	50,000	10	10	20	20	15	15	70	70	20	20	20	20	155	155	310
3	10,000	50	25	50	25	50	25	130	40	130	40	90	40	500	195	695
4	5,000	36	10	36	10	36	10	36	15	36	20	40	20	220	85	305
5	10,000	56	29	77	38	80	40	87	43	100	50	100	50	500	250	750
합계	125,000	162	84	203	113	196	105	393	238	306	150	270	150	1530	840	2370

서부권 기술개발 로드맵

■ 공정•기술개발 ■ 상용•확산

단계별 목표		1단계			2단계			최종 목표
		상용 공정 개발			기술 격상, 확산			바이오 CCU 기술의 전방위적 확산 발판 마련
중점 연구 영역		2025	2026	2027	2028	2029	2030	기술별 개발 목표
1	CO_2 활용 폴리우레탄 생산 기술							이산화탄소 함유 폴리올, 이소시아네이트 제조 기술 실증화
2	CO_2 활용 폴리카보네이트 생산							이산화탄소 함유 폴리카보네이트 제조 기술 개발 및 상용화 기반 확보
3	미세조류 기반 발전소 배출 CO_2 감축 · 활용							미세조류 기반 컴팩트 CCU 모듈 확보: 연간 10,000 ton CO_2 저감
4	미세조류 기반 발효 배가스CO_2 감축 · 활용							아미노산 생산 발효 배기가스 내 CO_2 저감 균주/공정 개발
5	해수담수화 농축수 활용 무기탄산염 생산 활용							해수담수화 공정 중 발생하는 농축수를 이용 CO_2 광물 전환 실증 공정 구축

▌서부권 플래그십 프로젝트 추진 필요성

중점기술	세부과제	구분		내용
폴리머	CO_2 활용 폴리우레탄 생산 기술	문제점		• 이산화탄소를 활용하여 폴리우레탄이나 폴리카보네이트의 생산이 가능하지만, 기업의 투자설비 및 수익성의 문제로 국내에는 상업화 사례는 없음 • 폴리카보네이트의 경우 해외의 라이센스를 구입하여 사용하고 있는 실정
		필요성	기술 개발 필요성	• 고부가제품에 해당되는 CASE(Coating-Adhesive-Sealant-Elastomer) 폴리우레탄은 범용 폴리우레탄 대비 더 높은 물성이 요구되며, 이를 위해 현재 값비싼 PCD(Poly Carbonate Diol) 폴리올을 전량 수입하여 사용
			정책적 필요성	• EU 및 미국의 기후정책(탄소국경세 등)으로 인한 수출 문제 초래로 석유화학 원료 사용의 제한이 예상되어, 석유화학 원료 사용이 없는 바이오매스를 활용한 CO_2 기반 폴리머 제조 기술개발 시급
		기대효과		• 친환경 CO_2 폴리올 통합검증 및 생산을 통해 고가의 PCD를 대체할 수 있는 제품을 공급함으로써, 고성능 폴리올 시장을 키우고 고객사에는 좋은 제품을 저렴한 가격에 구입할 수 있는 기회를 제공하며, 이로 인해 국내 폴리우레탄 산업경쟁력 향상
	CO_2 활용 폴리카보네이트 생산 기술	문제점		• 국내의 경우 한국화학연구원, SKI 및 RIST 등에서 CO_2 촉매전환 폴리카보네이트 생산을 위한 촉매 제조 및 기술은 확보한 상태이지만, 경제성 및 물성이 열악하여 복합화 기술이 필요
		필요성	기술 개발 필요성	• 온실가스 감축을 위한 CO_2 활용은 단분자 위주의 전환으로 연구 개발되고 있으나, 대부분의 고분자들이 석유화학 유래 탄소 기반이기 때문에 이를 위한 큰 사용량이 보장되어 있어, 석유화학기반 고분자를 CO_2 기반으로 합성하여 활용하는 기술이 필요
			정책적 필요성	• 동차 경량화 및 자율주행차량의 보급에 따라 폴리카보네이트의 새로운 수요가 나타날 것으로 예상되어 아시아 지역을 중심으로 폴리카보네이트 소재 개발에 적극적으로 참여하고 있어 우리나라도 이에 대한 대응이 필요
		기대효과		• 국내 고분자 제조 분야 산업의 탄소중립 전환 지원, 연간 28만 톤 규모 이산화탄소 감축 효과 • 고분자 생산분야 산업의 탄소중립 전환을 지원하고, 수익성이 없는 DAC 분야의 수익을 제공

중점기술	세부과제	구분		내용
바이오 소재·연료	미세조류 기반 발전소 배출 CO_2 감축 · 활용 기술	문제점		• 경기, 서부 지역을 포함하는 서부권은 인구가 밀접된 지역에 위치한 발전소, 소각장 등의 배출 업체가 위치하고 있어, 면적 요구도 및 주민 수용성 이슈의 제약에서 상대적으로 자유로운 미세조류 기반의 탄소저감 및 활용 기술 개발이 반드시 필요한 상황
		필요성	기술 개발 필요성	• 미세조류 바이오매스 생산성 증대 - 미세조류 바이오매스 생산성은 CO_2 저감 효율 및 미세조류 유래 제품화 기술의 경제성에 직접적으로 영향을 미치며, 미세조류 CCU 기술의 전방위적인 확산을 위해서는 현재 수준 대비 획기적인 면적당 생산성의 증대가 선행되어야 함
			정책적 필요성	• 발전은 국가 CO_2 배출량에서 가장 많은 양을 차지하고 있는 분야인 만큼 도전적 국가 NDC 달성을 위해 혁신적 CO_2 감축 기술 개발 요구
		기대효과		• 생물학적 CCU 기술 고도화를 통해 LNG 발전 분야의 탄소중립 전환을 유도하여 2030년까지 한국지역난방공사 실증사이트 기준, 연간 1만 톤 규모의 이산화탄소 감축 달성 - 실증 단지 유래 바이오매스 및 고부가 바이오원료를 활용하여 CCU 기술혁신 로드맵 (2021.06)에 상술된 미세조류 유래 사료, 플라스틱 소재 (필러) 등으로의 CCU 제품화 및 이에 따른 추가 감축 효과 기대
바이오 매스	미세조류 기반 발효 배가스 내 CO_2 감축 · 활용 기술	문제점		• 발효 산업은 고집적 CO_2 배출원이지만 국내에서 그 저감 중요성에 대해 크게 주목된 바 없음 • 발효 산업의 성패는 무균성 확보인데, 타 공정과 융합할 경우 전단 발효 공정의 오염 문제가 발생 가능
		필요성	기술 개발 필요성	• 생물학적분야 CO_2 활용 미세조류 배양기술은 기초 연구단계로서, 발효 산업에서의 이산화탄소 배출을 감축하기 위한 기업연계 실증연구 필요
			정책적 필요성	• 미세조류를 활용한 생물학적 전환 기술은 실험실 단계에서 검증된 기술로 스케일업을 통한 경제성 확보가 필요한 상황
		기대효과		• 발효 시 발생하는 CO_2를 고부가가치 물질로 전환하여 발효 산업의 경제성을 높이고 해당 산업에서의 탄소 중립을 실현하는 필수 기반 기술 확보 • CO_2 전환 결과 생산되는 미세조류 유래 발효용 원당을 실제 발효 산업에 제공하는 형식의 순환 경제형 공급 사슬을 구현함으로써 기존 바이오 공정의 친환경성 극대화 및 원당의 수입 의존성 감소 기대

중점기술	세부과제	구분		내용
고순도 무기 탄산염	해수담수화 농축수 활용 고순도 무기탄산염 생산 및 활용 기술	문제점		• 해수담수화는 대표적 전력 다소비 업종 : 1톤 담수 생산 시 4kWh 소비로 CO_2 1.8kg 배출 • 배출 농축수의 염분은 바닷물 대비 2배 높아 해양 생태계 염독성 문제 • 현안 해결을 위한 대안 전무 : 농축수 활용 CO_2 광물전환 기술의 유용성
		필요성	기술 개발 필요성	• 현재, 광물탄산화분야 CO_2 광물전환 기술은 실험실 규모의 실험단계 및 파일럿 규모로 실증하는 단계 • 실제 해수담수화 공정에 수요기업과 연계한 사업화를 위한 연구가 필요 • 사업화를 위해 실제 해수담수화 공정에 수요기업과 연계한 사업화를 위한 연구하여 CO_2 광물전환 상용 공정개발 및 최적화를 통한 CO_2 감축 성능 및 경제성 확보 필요
			정책적 필요성	• NDC 및 탄소중립 실현을 위한 실증 규모의 CO_2 감축 공정 전무 - 충남 서부권역의 발전소 및 석유화학 업종에 적합한 실효성 있는 1만 톤/년 -CO_2 감축 기술 실증화 시급
		기대효과		• 해수담수화 분야 산업에 발생되는 고에너지 소비 공정에서 연간 최대 1만톤 규모 CO_2 처리(간접효과 고려 시 최대 3만톤 CO_2 처리)로 탄소중립 전환 지원 및 6.3만 톤 Mg 탄산염 생산으로 국가전략금속인 마그네슘 자원 내재화로 산업경쟁력 강화

▌서부권 플래그십 프로젝트 추진 목표

No	유형	제안 기술명	연구 목표
1-1	화학	CO_2 활용 폴리우레탄 생산 기술	• 이산화탄소 함유 폴리올, 이소시아네이트 제조 기술 실증화
1-2		CO_2 활용 폴리카보네이트 생산 기술	• 이산화탄소 함유 폴리카보네이트 제조 기술 개발 및 상용화 기반 확보
1-3	생물	미세조류 기반 발전소 배출 CO_2 감축 · 활용 기술	• 미세조류 기반 컴팩트 CCU 모듈 (2,000 m3 규모의 공정 모듈) 확보: 연간 10,000 ton CO_2 저감
1-4		미세조류 기반 발효 배가스 내 CO_2 감축 · 활용 기술	• 발효 배기가스 내 CO_2 저감 균주/공정 개발
1-5		해수담수화 농축수 활용 고순도 무기탄산염 생산 및 활용 기술	• 해수담수화 농축수(660만 톤/년)를 이용한 CO_2 광물전환 실증 공정 구축과 운영 • 해수담수화 농축수 염분농도 감소로 해양생태계 위해성 저감 • 해수담수화 농축수-CO_2 동시 처리에 의한 온실가스 감축 효과 정량 평가법 정립

3 중부권 플래그십 프로젝트

<table>
<tr><td>중부권</td><td colspan="3">지역 시멘트 산업 등과 연계한
CCU 광물 탄산화 건설제품 생산 통합 패키지 개발 및 확산</td></tr>
<tr><td>사업 기간</td><td colspan="3">2025년 ~ 2030년(6년)</td></tr>
<tr><td>추진 개요</td><td colspan="3">시멘트 산업 저탄소 전환기술 확보와 시멘트 분야 관련
산업군 기술 융합을 통한 가치사슬 강화 및 이에 따른 기술력 증대</td></tr>
<tr><td rowspan="3">추진 전략</td><td>주력 산업</td><td>주요 사업 참여 의향 기업</td><td>CCU 제품</td></tr>
<tr><td>시멘트</td><td>한일시멘트, 성신양회, 유진기업,
삼표시멘트, 유니온, 한라</td><td>CO_2 반응 경화 시멘트,
건설·콘크리트 2차 제품 등</td></tr>
<tr><td colspan="3">시멘트 산업 연계 CCU 광물 탄산화 건설제품(시멘트, 콘크리트, 레미콘 등) 생산기술 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">성과 목표</td><td colspan="2">온실가스 감축 목표</td><td>기대효과</td></tr>
<tr><td colspan="2">30,510톤(t-CO_2_eq/yr)</td><td>시멘트 산업 특성 및 자원을 활용한 대량 CO_2
감축 구현</td></tr>
<tr><td rowspan="2">사업 추진
모식도</td><td colspan="3">
</td></tr>
<tr><td colspan="3">강원도 삼척 송정동, 강릉 옥계면 / 충북 청주 상당구, 충북 제천 하소동</td></tr>
<tr><td>사업 구성
체계</td><td colspan="3">
</td></tr>
</table>

▌중부권 세부 기술 및 최종 제품

No	유형	중점기술	산업분야	세부 기술명	적용 산업	최종제품
1	광물	대체 시멘트 및 건설소재	시멘트	in-situ 탄산화기술 활용 CO_2 감축 · 활용 기술	레미콘/레미탈/콘크리트 2차제품, CO_2 포집/이송/활용 산업	In-situ 탄산화 건설용 제품, 건설 2차제품
2	광물	대체 시멘트 및 건설소재	시멘트	CO_2 반응경화 시멘트 및 건설 2차제품 생산 및 활용 기술	시멘트 산업, 시멘트 분야 2차제품 건설산업, CO_2 포집/이송/활용 산업	이산화탄소 반응경화 시멘트, 건설 2차제품

▌중부권 감축목표 및 사업비

No	온실가스 감축 목표 (톤/년)	연구기간, 연구비(억 원)												연구비 소계 (억원)		
		2025		2026		2027		2028		2029		2030				
		국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	국고	민자	소계
1	13,885	50	18	80	26	100	33	100	33	60	20	-	-	390	130	520
2	16,625	-	-	80	27	240	80	200	66	80	27	-	-	600	200	800
합계	30,510	50	18	160	53	340	113	300	99	140	47	-	-	990	330	1320

▌중부권 기술개발 로드맵

■ 공정•기술개발 ■ 상용•확산

단계별 목표		1단계			2단계			최종 목표
		상용 공정 개발			기술 격상, 확산			탄소광물화 기술의 건설재료·제품화 Supply Chain 구축
중점 연구 영역		2025	2026	2027	2028	2029	2030	기술별 개발 목표
1	in-situ 탄산화 기술 활용 CO_2 감축 · 활용 기술							In-situ 탄산화 기술적용에 따른 레미탈, 레미콘 및 콘크리트 2차제품 제조 배합물의 단위 시멘트량 5% 이상 감축 기술 개발
2	CO_2 반응경화 시멘트 및 건설 2차제품 생산 및 활용 기술							Pilot plant scale 생산설비를 활용한 대량생산 실증(800톤/일급 소성킬른활용) 및 생산시스템 안정화 기술 확보

▌중부권 플래그십 프로젝트 추진 필요성

중점기술	세부과제	구분		내용
대체 시멘트 및 건설소재	in-situ 탄산화기술 활용 CO_2 감축 · 활용 기술	문제점		• 시멘트 산업 분야에서 CO_2 감축을 위한 산업부산물(고로슬래그, 플라이애쉬, 등)을 활용한 혼화재 시멘트는 상용화되었지만, CO_2 감축량 한계에 따라 일반포틀랜드 시멘트(OPC) 전량을 대체할 수 있는 해결방안이 필요한 실정
		필요성	기술 개발 필요성	• In-situ 탄산화 기술을 적용한 시멘트 및 콘크리트 제품의 CO_2 배출량 평가모델 개발과 환경 우수성 검증, 탄소중립 사회로의 전환의 기반 강화를 위한 LCI DB 구축 등 환경성적 도출 및 인증제도를 운영을 위한 평가 DB 및 모델이 개발 병행이 필요할 것으로 판단
			정책적 필요성	• 현재까지 국내 in-situ 탄산화 기술의 기술수준은 산업적용 가능성 검증을 위한 TRL 6단계 연구개발 수준으로 시멘트 분야 건설산업의 CO_2 감축량 확대 및 기술 보급을 위한 실증화가 필요한 상황
		기대효과		• CO_2 공급/고정화/배출량 산정 모리터링 시스템은 시멘트산업 뿐만 아니라, 철강 및 발전소 등 CO_2 다배출 산업의 배가스 활용시스템 기반구축이 가능하기 때문에 시멘트 기반 건설산업의 CO_2 활용률 증대에 따른 탄소배출권 확보가 가능
	CO_2 반응경화 시멘트 및 건설 2차제품 생산 및 활용 기술	문제점		• 일반적으로 고성능/고내구성 시멘트 제조는 고온에서 진행되고 때문에, CO_2 배출과 관련된 환경적 이점에서 부정적 - Belite cement, CSA cement 등 저온소성 시멘트가 있으나 원료수급 및 대량 생산 공정기술 확보가 어려움 - 물성향상을 위해 분말도 증가 및 산업부산물 활용 등의 방안을 고려할 수 있지만 공정추가에 따라 경제성 및 생산성이 낮음
		필요성	기술 개발 필요성	• 시멘트 제조 공정 배출 CO_2 중 90% 이상은 클링커 제조공정에서 배출되기 때문에 시멘트 산업 내 CO_2 배출량 감축을 위해서는 클링커를 거치지 않거나, 클링커 단계에서 발생하는 CO_2를 포집/활용하는 방안 필요
			정책적 필요성	• 최종적으로 제조 및 적용 전 공정에서 최대 70% CO_2 감축이 가능한 기술로서 건설재료 부분 CCUS 광물탄산화 실현이 가능하며, CO_2 감축을 위한 직접적인 해결방안이 모호한 시멘트산업 내 장기적이고 안정적인 효율성을 확보한 CO_2 감축 방안 제시 가능
		기대효과		• 탄소중립을 위한 시멘트 산업의 핵심기술 확보 • 시멘트 산업분야 CCUS 기술시스템 확보에 따른 국가 CCUS 로드맵 달성 기여 • 시멘트 분야 관련 산업군 기술 융합을 통한 가치사슬 강화 및 이에 따른 기술력 증대

▌중부권 플래그십 프로젝트 추진 목표

No	유형	제안 기술명	연구 목표
1-1	광물	in-situ 탄산화기술 활용 CO_2 감축 · 활용 기술	• Fresh 모르타르 및 레미콘 제조공정의 in—situ 탄산화 기술 실증화 최적 공정 도출 • In—situ 효율향상용 탄소저감형 시멘트 제조기술 개발 ① 6m3급 CO_2 주입용 레미콘 및 콘크리트 2차 제품용 표준 혼합기 제조 기술개발, ② 350kg/min 생산용량 in-situ 탄산화 레미탈 제조 상용화 공정시스템 개발 실증 상용급 시스템 기술개발
1-2		CO_2 반응경화 시멘트 및 건설 2차제품 생산 및 활용 기술	• 이산화탄소 반응경화 콘크리트 제품의 원소재가 되는 이산화탄소 반응경화 시멘트 클링커 대량생산 기술개발 • 시멘트 제조공정 배출 온실가스에 함유되어 있는 고농도 CO_2(~20%)를 이산화탄소 반응경화 시멘트 2차제품 제조에 활용할 수 있도록 하는 배가스 포집/이송/공급 스마트 양생시스템 구축 및 공정배출 온실가스 활용에 따른 시멘트 산업배출 온실가스 감축량 산출 • 이산화탄소 반응경화 시멘트를 활용한 탄소저감형 친환경 건설재료 및 콘크리트 2차 제품(블록, ALC, 흄관 등) 제조기술 확보 및 제품 상용화 • 이산화탄소 반응경화 시멘트 제조기술 실증을 통한 산업 전공정 프로세스 표준화 구축 및 장기적이고 안정적인 CO_2 감축 기술 확보 • 이산화탄소 반응경화 시멘트 건설재료 전생애주기(LCA) 조사

4 동남권 플래그십 프로젝트

<table>
<tr><td>동남권</td><td colspan="3">지역 내 철강·석유화학·조선·항만 산업의 지속가능 산업기반 구축 및 청정 메탄올(연료) 생산-활용 기술 개발</td></tr>
<tr><td>사업 기간</td><td colspan="3">2025년 ~ 2030년(6년)</td></tr>
<tr><td>추진 개요</td><td colspan="3">동남권 CO_2 다배출 산업 맞춤형 탄소저감 기술 개발 및
국제 환경규제 강화 대응을 위한 선박용 친환경 메탄올 제공</td></tr>
<tr><td rowspan="3">추진 전략</td><td>주력 산업</td><td>주요 사업 참여 의향 기업</td><td>CCU 제품</td></tr>
<tr><td>철강, 석유화학</td><td>현대제철, 포스코, GS칼텍스, S-Oil, LG화학,
금호석유화학, KCC, 현대자동차</td><td>메탄올, CO_2 광물화
건설소재</td></tr>
<tr><td colspan="3">CO_2 활용 메탄올 제조를 통해 수요기업에 신규 친환경 원료 공급기반 마련</td></tr>
<tr><td rowspan="2">성과 목표</td><td colspan="2">온실가스 감축 목표</td><td>기대효과</td></tr>
<tr><td colspan="2">105,500톤(t-CO_2_eq/yr)</td><td>공급되는 CO_2 상태 및 공정환경에 따른 적절한
메탄올 제조방법 선택 가능
연료·원료 부문에 기존 화석연료 대체</td></tr>
<tr><td>사업 추진
모식도</td><td colspan="3">

경북 울산 염포로, 울산 매암, 포항 동해안로</td></tr>
<tr><td>사업 구성
체계</td><td colspan="3">
</td></tr>
</table>

▌동남권 세부 기술 및 최종 제품

No	유형	중점기술	산업분야	세부 기술명	적용 산업	최종제품
1	화학	메탄올	철강	CO_2 활용에 의한 메탄올 생산 기술	철강, 석유화학	합성가스, 메탄올
2	광물	대체 시멘트 및 건설소재	철강	제철 슬래그 활용 CO_2 저감 건설소재 생산 및 활용 기술	철강, 건설	CO_2 광물화 건설소재

▌동남권 감축목표 및 사업비

No	유형	제안 기술명	연구 목표
1	화학	CO_2 활용에 의한 메탄올 생산 기술	동남권 산업계 온실가스를 활용한 메탄올 전환 공정 실증규모 기술개발 및 통합 패키지 기술 개발
2	광물	제철 슬래그 활용 CO_2 저감 건설소재 생산 및 활용 기술	제철 슬래그 활용 연 10만톤의 CO_2 저감 기술 실증 CO_2 포함 배가스 직접활용을 통한 경제성 향상 및 탄산화물 활용 기술 개발

▌동남권 기술개발 로드맵

■ 공정•기술개발 ■ 상용•확산

단계별 목표		1단계			2단계			최종 목표
		상용 공정 개발			기술 격상, 확산			메탄올 생산 기술 실증 및 메탄올 시장 선점
중점 연구 영역		2025	2026	2027	2028	2029	2030	기술별 개발 목표
1	제철 슬래그 활용 CO_2 저감 건설소재 생산 및 활용 기술							제철 슬래그 활용 연 10만톤의 CO_2 저감 기술 실증
2	CO_2 활용에 의한 메탄올 생산 기술							부생가스의 CO/CO_2 활용 메탄올 전환 공정 실증 및 적용 기술 확보

▌동남권 플래그십 프로젝트 추진 필요성

중점기술	세부과제	구분		내용
메탄올	CO_2 활용에 의한 메탄올 생산 기술	문제점		• 저탄소 연료로 수요가 점차 증가할 것으로 예상되는 메탄올의 수급은 현재 약 220만톤/년 전량 수입에 의존
		필요성	기술 개발 필요성	• 제철 배가스로부터 이산화탄소를 포집하는 기술 실증 및 철강 부생가스의 조성 조절을 위한 분리막 연구 필요
			정책적 필요성	• 국제해사기구(IMO)는 2050년에 달성할 국제해운 탄소배출 감축목표를 2008년(배출량 2,800톤) 대비 50%에서 100%로 상향, 이에 따라 IMO 규제대상 선박의 저탄소 연료 공급체계 구축 필요
		기대효과		• 동남권 산업단지 내, 산업계 온실가스 포집·활용을 통해 연간 5,500톤 CO_2 감축 기대 • 검증된 기초기술의 산업현장 실증적용을 통해 신뢰성 확보하여 산업계 탄소감축 조기 실현 가능 • 산업계 발생 CO_2의 선박 연료 전환 활용을 통해 산업계-선박 CCU 벨류체인 형성
대체 시멘트 및 건설소재	제철 슬래그 활용 CO_2 저감 건설소재 생산 및 활용 기술	문제점		• 광물탄산화 기술은 열역학적인 관점에서 CO_2를 가장 안정하게 저장할 수 있는 기술로 다양한 CCU 기술 중 가장 상용화에 근접한 기술로 평가되고 있으나, 국내 상용화 사례 부족
		필요성	기술 개발 필요성	• 본 기술은 배가스 내의 CO_2를 분리/포집하지 않고 직접 활용함으로써 CO_2 포집에 소요되는 스팀에너지를 저감할 수 있으며 생산된 제품(탄산화 소재)을 골재, 시멘트 첨가제, 콘크리트 제품 등으로 활용 가능
			정책적 필요성	• 광물탄산화 기술은 해외에서도 CO_2 대량 처리를 위한 연구 개발이 활발하게 진행되는 분야로 집중적인 지원을 통한 조기 상용화 및 실증이 필요
		기대효과		• 철강 분야의 탄소 중립 기술을 지원하고 연간 10만톤 급 CO_2 활용 광물탄산화 기술을 구현 • 탄산화 슬래그의 안정적인 사용처 확보를 통한 CCU value chain 구축

목 차

1 남부권 플래그십 프로젝트

1 합성가스

1. 온실가스 감축 극대화 합성가스 생산 기술 ····· 3

2. 미활용 CO_2 활용 합성가스 생산기술 ····· 14

2 올레핀

1. 정유 공정 배가스 CO_2 활용 기초유분 생산 기술 ····· 24

3 e-Fuel

1. 합성연료(휘발유, 경유) 생산 기술 ····· 37

2. e-SAF 제조를 위한 상용공정 개발 ····· 47

4 고순도 무기탄산염

1. 석고 활용 탄산칼슘 생산 및 활용 기술 ····· 56

목 차

2 서부권 플래그십 프로젝트

1 폴리머

1. CO_2 활용 폴리우레탄 생산 기술 ····· 66

2. CO_2 활용 폴리카보네이트 생산 기술 ····· 79

2 바이오소재·연료

1. 미세조류 기반 발전소 배출 CO_2 감축·활용 기술 ····· 90

3 바이오매스

1. 미세조류 기반 발효 배가스 내 CO_2 감축·활용 기술 ····· 97

4 고순도 무기탄산염

1. 해수담수화 농축수 활용 고순도 무기탄산염 생산 및 활용 기술 ····· 105

목 차

3 중부권 플래그십 프로젝트

1 대체 시멘트 및 건설소재

1. in-situ 탄산화기술 활용 CO_2 감축·활용 기술 ····· 126

2. CO_2 반응경화 시멘트 및 건설 2차제품 생산 및 활용 기술 ····· 138

4 동남권 플래그십 프로젝트

1 메탄올

1. CO_2 활용에 의한 메탄올 생산 기술 ····· 153

2 대체 시멘트 및 건설소재

1. 제철 슬래그 활용 CO_2 저감 건설소재 생산 및 활용 기술 ····· 162

1 남부권 플래그십 프로젝트

Carbon Capture and Utilization

1 합성가스

2 올레핀

3 e-Fuel

4 고순도 무기탄산염

탄소중립 실현, 미래 신기술 선점을 위한

CCU 기술 조기 상용화로 미래지향 기반구축과 시장 창출

1 남부권 플래그십 프로젝트

1. (화학) 온실가스 감축 극대화 합성가스 생산 기술

과제 개요		
전략 과제	합성가스	
세부 과제명	온실가스 감축형 합성가스 생산 기술	
사업 권역	□서부권, ■남부권, □중부권, □동남권	
기술 유형	■화학적전환 □생물학적전환 □광물탄산화	
적용 산업	석유화학	
최종 제품	합성가스 100톤/일 이상	
산출물	온실가스 감축목표	30,000(톤/년)

기술 개발 개요								
기술개발단계	□ 기초 □ 응용 □ 개발 ■ 실증				기술단계	TRL (7)단계		
적용 산업	석유화학				최종 제품	합성가스 100톤/일 이상		
기술개발 주체	기업 단독	산+산	산+학	산+연	산+산+연	산+학+연	산+해외	
				○				
기술 개발 규모	연구 개발 기간	2025년 ~ 2027년 (3년)						
	연구비 (억 원)	총연구비	총 1,200 억원 (국고 800억원 / 민자 400억원)					
		개발년도	2025	2026	2027	2028	2029	2030
		국고	300	400	100	-	-	-
		민자	150	200	50	-	-	-
		소계	450	600	150	-	-	-
	소요 인력	총 소요 인력 (50)명						
기술 개요	기술 정의	상용 규모에서 장기 가동 가능한 합성가스 공급 기술 개발						
	기술개발 목표	조기 상용화가 가능한 이산화탄소 기반 합성가스 개발 기술 실증						

1. 기술개발 필요성

□ 기술 개발 필요성

❍ CCUS는 국가 온실가스 감축 목표 달성을 위한 중요한 감축수단이므로(2030년 CCUS를 통해 1,120만 톤을 감축하는 목표 설정, 탄소중립 녹색성장 국가 기본계획, '23.04) 상용 가능한 기술이 CCU 시장을 선도할 수 있도록 전략제품의 조기 상용화가 필요

❍ 철강-석유화학-정유산업 등 온실가스 배출이 높은 산업군이 몰려있는 남부권은 국가 산업분야 온실가스 배출 1위(전체 24.6%)* 지역으로, 철강, 석유화학, 정유산업 등 다양한 제조업에 적용 가능한 CO_2 기반 플랫폼 화합물 기술이 필요

❍ 국가 탄소중립 이행을 위해서는 CCU 기술의 조기 정착이 필요하고, CO_2 활용에 대한 현 산업계의 신뢰성 확보를 위해서는 기술적 이질감이 적은 플랫폼 원료물질 공급기술인 합성가스 공급 기술의 상용화와 실 현장 적용이 시급

- '21년 기준 국내 합성가스 전환 CCU 기술은 TRL5~6에 진입하였고, 원천촉매 기술의 경우 국내 기술력이 세계적 수준이므로, CCU 기술 기반확보에 높은 가능성을 지니고 있음

❍ 합성가스는 이미 시장이 형성되어 있고, 조기 상용화를 통한 산업화가 가능한 품목으로 판단되므로 국고 지원을 통한 업종별 파급효과는 물론 세계 최고 수준의 기술 확보 가능 기대되며, 화학산업에 있어서 매우 중요한 중간화학물질(플래폼 화합물)로서 석유, 정유, 철강 등 남부권 기업 탄소중립에 기여 가능성이 높고 생성된 합성가스의 반응을 통하여 다양한 친환경 연원료 제조 가능

❍ 이산화탄소 기반 합성가스 제조 기술 중에는 기존 기술대비 감축효과가 뛰어난 건식개질 기술 등이 있으며, 합성가스의 응용제품을 데모규모 이상으로 생산하는 스케일업 연구를 통해 경제성 확보가 필요

개발 기술의 산업 분야	현재 포집량(톤/년)	현재 처리·활용량(톤/년)
석유화학	-	7,000
철강	-	16,000

□ 국내외 시장·기술 동향

구분	국내 생산 규모(천톤/년)	주요 생산업체	CO 소비량(천톤/년) 원단위로 추정
초산	630	롯데이네오스화학	300
MDI	590	금호미쓰이화학, 한국바스프	200
TDI	360	한화케미칼, 한국바스프, OCI	110
PC(폴리카보네이트)	240	롯데케미칼, 삼양화성, LG화학	25
폴리케톤	50	효성	25

〈주요 CO 유도체 국내시장 분석, 2017년 기준(각사 홈페이지, 화학저널 참조〉

<표 8-15> CCU 기술별 제품 1 톤당 단위 감축량 추정

(단위: $tCO_2eq./tonne$)

제품	공정 대체 효과				탄소 중립 효과	제품 한 단위당 감축량	비고
	기존 공정	CCU 포집	CCU 제조	감축 효과			
침강성 탄산칼슘	0.214	0.0484	0	0.166	0.440	0.606	-
중조	0	0.0484	0.056	-0.104	0.440	0.336	-
건설용 탄산칼슘	0.829	0.021	0	0.808	0.191	0.999	비산회 내 CaO 함량 30% 가정
에틸렌카보네이트	-	0.055	-0.07	0.015	0	0.015	-
	-	0.055	-0.07	0.015	0.187	0.202	탄소저장효과 가정
개미산	0	0.09	0.082	-0.172	0.406	0.234	태양광+스팀
	0	0.09	0.01	-0.1	0.406	0.306	태양광 공급
	0	0.09	3.74	-3.83	0.406	-3.424	계통전력+스팀
일산화탄소	0.641	0.0877	0.2973	0.256	0.797	1.053	-
메탄	0	0.302	4.467	-4.769	2.744	-2.025	수증기 개질 수소
	0	0.302	0	-0.302	2.744	2.442	재생에너지 수소
	0	0.302	11.744	-12.046	2.744	-9.302	계통전력 수소
메탄올	0	0.165	2.162	-2.327	1.374	-0.953	수증기 개질 수소
	0	0.165	0.344	-0.509	1.374	0.865	재생에너지 수소
	0	0.165	5.123	-5.288	1.374	-3.914	계통전력 수소
미세조류	0	0.198	0.275	-0.473	1.482	1.009	-

<표 20> CO 1톤 당 감축효과 ($tCO_2eq.$)

공정 대체 효과				배출회피 효과	제품 한 단위 당 감축량
기존	CCU 포집	CCU 제조공정	감축효과	0.797	1.053
0.641	0.0877	0.2973	0.256		

[국내외 환경변화에 따른 CCS 정책 추진계획 수립 연구, 에너지 경제연구원 (2018)]

□ 지역적 적합성

❍ 국내 최대 석유화학산업단지 보유 및 온실가스 배출 1위 지역 : 남부권역(전남)은 국내 최대 온실가스 배출 지역으로, 석유화학, 철강, 정유 등 지역 주력산업이 도내 배출량의 97%를 차지- 제1차금속산업 43,291(50.2%), 화학 29,981(34.8%), 정유 10,430(12.1%) 등

❍ 전남권역은 특별경제구역인 경제자유구역(전남 여수, 순천, 광양시 일원)으로 지정되어 있고, 율촌 1·2산단, 율촌자유무역지역, 해룡산단, 세풍산단, 황금산단 등의 약 20㎢의 광대한 산업단지 존재

❍ 전국 최대 규모의 신재생에너지(태양광, 풍력) 발전량: 전남 지역은 전국 최대 규모의 신재생에너지 발전량(5,724 GWh('21))과 발전용량(4.65GW)을 지니며, 전국 2위의 부생수소 생산량(544천톤/년)을 나타냄

❍ 높은 신재생에너지 설비 구축에 의한 전력과잉으로 2021년 호남지역 출력제어* 3회 발생 (출처: 제10회 전력수급기본계획)

* 재생에너지 변동성에 따라 발전량 및 출력이 예측을 벗어날 경우, 전력망 안정성 유지를 위해 재생에너지 출력제한

❍ 묘도에코단지 등 탄소중립 인프라 구축 투자 활발

- 여수 묘도 에코 에너지 허브: △수소·암모니아 터미널 및 CCUS(탄소 포집·활용·저장·반출)터미널 등의 '탄소중립 에너지 클러스터' △LNG 터미널과 천연가스 발전 단지 등이 들어서는 '그린에너지 사업' △LNG 거래소와 데이터센터 등이 들어오는 '글로벌 에너지 신사업 Hub' 조성 예정

- 광양만권 산업단지 내, 국내 유일의 탄소중립 화학분야 R&D 실증 조직인 “탄소중립화학공정실증센터”를 보유하고 있어, 대량의 친환경 촉매 제조 및 실증연구, 장비 활용이 가능할 것으로 기대
- 저탄소 소재부품 거점산단: (거점)여수국가산단, (연계)광양국가산단, 율촌 제1산단, 여천·광양항을 대상지역으로 남부권을 저탄소 지능형 소재·부품산업의 거점산단으로 육성 중

□ 문제점 및 극복과제

❍ 이산화탄소 전환을 통한 건식개질 기반 합성가스 생산은 기존 스팀을 활용한 상용 습식개질 기술 대비 탄소감축 효과가 매우 높으나, 반응 중 탄소 침적 등에 의한 연속 가동성 부족으로 이에 대한 극복이 필요함

❍ 생성된 합성가스를 지역 내 석유화학 산업의 원료로 활용하기 위해 유용한 성분들을 효과적으로 분리하고 정제해야 하나, 활용처에 따라 요구되는 순도 확보에 어려움이 있으며, 특히 일산화탄소 분리/정제의 경우 실적용을 위하여 공정 안정성 및 경제성의 향상과 함께 에너지 소비 최소화가 필요함

❍ 상기 기술적 난항들로 이산화탄소 전환 기반 합성가스 공급 기술의 실증규모 기술 검증은 미흡한 실정이나, 기술의 실적용을 위해서는 상용 규모 공정에서의 장기 가동을 통한 신뢰성 확보가 필요함

❍ 배출원별 물성 차이가 발생하는 이산화탄소는 원료의 안정적인 공급 및 저활용 자원 활용 기술 확보 필요

❍ 이산화탄소를 선별적으로 활용하기 위한 전처리 과정이 요구되나, 각 산업군별로 다양한 조건으로 배출되는 가스 조성에 대응한 기술 개발이 미흡함

❍ CCU 제품의 탄소 감축 효과를 위해서는 상용 공정 단위의 적극적인 보급이 필요하며, 이를 위해서는 정책적인 보조와 함께 기술의 경제성 확보가 절실함

❍ 경제성 관점에서 공정효율 향상을 통한 비용 절감과 함께 안정적인 원료 수급 및 효율적인 완제품 유통/공급이 필요하며, 이를 위해서는 집적된 산업단지 내에서 원료-생산-공급이 순환되는 가치사슬 완성 필요

□ 시급성

❍ 국가 탄소중립 이행을 위해서는 CCU 기술의 조기 정착이 필요하고, CO_2 활용에 대한 현 산업계의 신뢰성 확보를 위해서는 기술적 이질감이 적은 플랫폼원료물질 공급기술인 합성가스 공급 기술의 상용화와 실 현장 적용이 시급

- 현재 대부분의 합성가스 생산 상용공정은 습식개질(탄화수소+물) 기반 기술을 사용하므로, 전 세계적으로 CO_2 활용이 가능한 다양한 전환 기술 확보 노력이 활발함
- CCU 기술 수준이 높은 유럽의 경우, 일부 국가에서 합성가스 생산을 위한 개질 기술을 상용화하여 탄소순환 경제 달성에 기여하고 있음

- '21년 기준 국내 건식개질 수준 역시 TRL5~6에 진입하였고, 추가적인 수요기업 검증 및 신뢰성 확보 시(TRL7) 조기 상용화 및 세계적 기술 선도를 기대 가능하며, 건식개질의 핵심인 원천촉매 기술의 경우, 국내 기술력이 세계적 수준이므로, CO_2 유래 일산화탄소 공급 기반 CCU 기술 조기 상용화 기대

2. 기술개발 목표

□ 최종 목표

❍ 국내 최다 CO_2 배출 지역인 남부권의 산업현장 맞춤형 대규모 이산화탄소 기반 합성가스 제조 기술 조기 상용화

- 주력산업 배출 이산화탄소 유래 석유화학 플랫폼 원료의 지역 내 직접 공급을 위한, 상용 규모의 이산화탄소 기반 합성가스 공급 통합 공정 구축, 최적화 및 장기 운영 안정성 확보
- 철강-석유화학-정유 등 남부권의 탄소 다배출 산업을 연계하여, 국가 탄소 배출 저감에 기여할 수 있는 신산업 벨류체인 구축

□ 단계별 목표

1단계('25년 ~ '26년)	2단계('26년 ~ '27년)
- 요소기술이 확립된 기술을 선별하여 통합공정 설계 및 실증규모 확대 : bench 설비 공정 설계 및 구축, 데이터 확보 : 촉매 성능 최적화, 내구성 확보, scale-up : 통합 공정 기술경제성 분석 : 실증공정 설계 및 데이터 확보 : 분리/정제 기술 효율화	- 상용화 단계 실증기술의 규모 격상 및 제품화를 추진하고, 기술의 파급효과를 최대화할 수 있는 융합연구 병행 : 실증을 통한 포집/활용 공정 연계성 및 제품 전환 효율 등 확보 : 실증 공정 구축, 장비 설치, 장비 운영 : 기술 확대 적용 전략 수립 : 탄소감축방법론 개발 및 목표 감축량 반영

□ 성능목표

성과지표	현 수준	개발 목표					
		'25	'26	'27	'28	'29	'30
CO_2 활용량(톤/일)	20	30	50	100			
합성가스 시제품 생산(m^3)	32	48	80	160			
플랜트 신뢰성 매뉴얼 도출				1			
플랜트 설계 패키지 도출				1			
온실가스 감축 방법론 연구				1			

3. 기술내용 및 범위

❍ 기 확보 기술*의 상용급 규모 공정 격상 및 장기 연속 가동을 통한 수요기업 검증, 신뢰성 확보 및 기존 응용제품 생산기술에 적용

* 이산화탄소 활용 7,000톤/년 규모 건식개질 데모플랜트 구축/운영 기술, 합성가스 10만톤/년 생산 공정 기본설계 패키지 등

❍ 남부권 주력산업 환경* 맞춤형 CCU 실증기술 장기 가동성 및 효율성을 확보하고 상용급 반응공정 운전 최적화

* 온실가스 배출원에 따른 부생가스 조성, 이산화탄소 공급 경로, 신재생에너지 단지 연계 에너지 공급, 산업 폐열·폐기물 활용성 등

❍ 배출원 차이에 의한 이산화탄소 및 동반되는 부생가스 조성 차이에 따른 분리/정제 기술* 개발 및 스케일업에 따른 고순도 일산화탄소 분리 기술 최적화

* 합성가스(H_2+CO) 분리는 고순도 수소 및 일산화탄소 생산, 그리고 후속 공정 연계를 위한 H_2/CO 비율 조절을 위해 필수

* 합성가스 분리공정은 Feed 조건, 목표순도, 분리규모, 후단공정 특성 등에 따라 적용되는 기술이 다르고 운전조건이 상이하기 때문에, 남부권 산업군 종류별 특성을 반영하여 개발될 CCU공정에 적합한 맞춤형 분리기술 개발 및 최적화 필요

❍ 전라남도 지역에 컨소시엄을 구성하여 기존 석유화학 유래 합성가스를 CO_2유래 합성가스로 대체하여 온실가스 감축에 기여

❍ 스케일업에 따른 합성가스 분리정제 공정을 개발하여 경제성 확보

4. 기술개발 추진방법 및 주체

□ 기술개발 추진전략

❍ 기업 주도하에 저농도의 CO_2 발생 산업에서 연계 실증

- 촉매 설계/대량 제조, 반응기 및 공정설계와 운영 기술 개발
- 대학은 촉매 안정 평가와 최적화, 연구소는 통합공정 개념설계와 scale-up을 위한 기초자료 도출, 기업은 실증설비 구축을 위한 제반 시설과 안전 관리 검토 등 업무 분담
- 전문 실증 연구 인력 양성과 실증 설비 구축을 바탕으로 체계적 실증지원 체계 구축하여 석유화학 기업 니즈에 맞는 양질의 신뢰성 있는 실증 운전 결과 확보

❍ 성과 활용 촉진을 위한 합성가스 협의체 구성

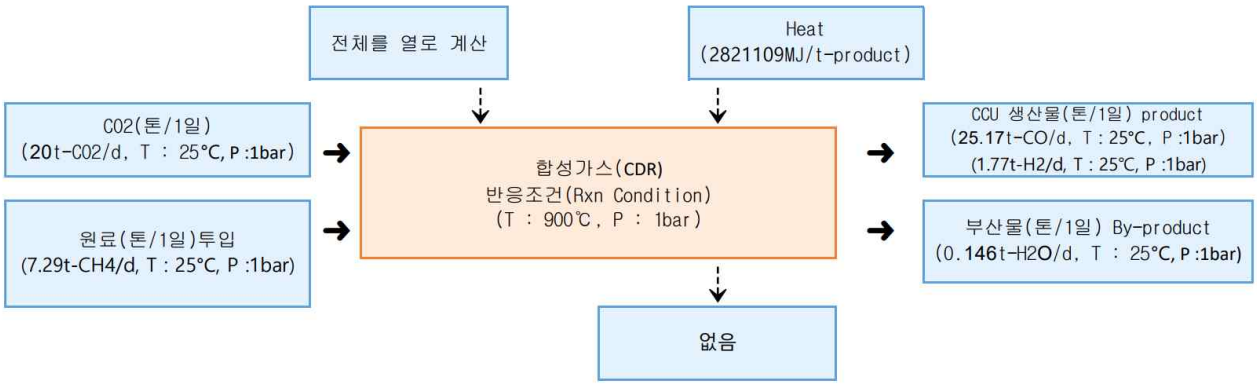
- 공급기업/수요기업 및 학계, 연구계로 구성된 합성가스 협의체 구성
- 정책 현황 및 규제, 기술 개발 현황, 수요기업 니즈 등을 정기적으로 분석하여 상용화 달성에 기여
- 경제성/환경성 분석을 통한 기술 확산을 위한 기반 확보
- 기 확보된 CCU 원천기술의 실증 파일롯 구축 및 산학 협업 연구를 통하여 지역 국가 산업단지의 경쟁력 강화 방안 마련

□ 기술개발 주체

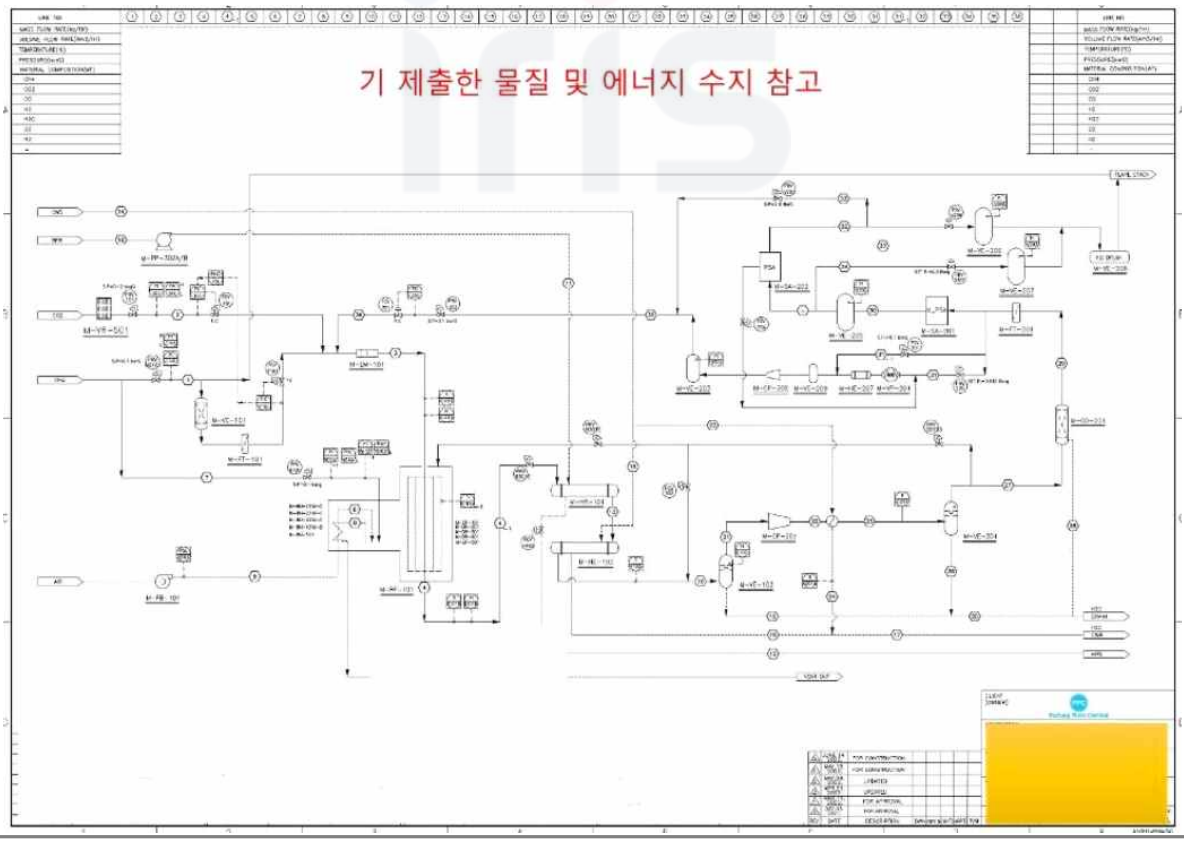
단독 개발	산+산	산+학	산+연	산+산+연	산+학+연	산+해외
( )	( )	( )	(○)	( )	( )	( )

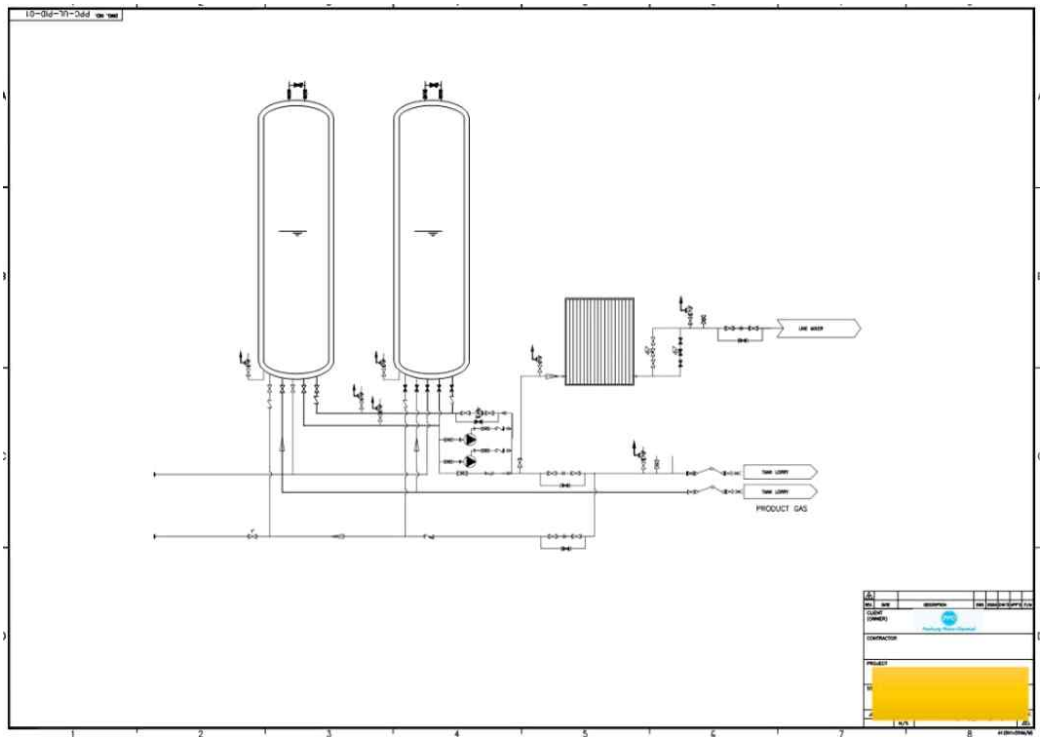
5. 물질 에너지 수지 및 공정도(PFD)

□ 물질에너지 수지(1일, 1ton CO_2 투입시 생산물 및 부산물)



□ 공정도(PFD)





□ 장비 리스트

NO	Equipment	Q'ty	Unit	General Specification		
				Capacity	Specification & Condition	Materials
1	H2S Absorber		Sets			
2	LNG Gas Filter		Sets			
3	Dry Reformer		Sets			
4	Reformer Burner		Sets			
5	Combustion Air Fan		Sets			
6	Quenching Cooler		Sets			
7	Syngas Cooler		Sets			
8	Syngas 1st Surge tank		Sets			
9	Syngas 1st Compressor		Sets			
10	Syngas 1st Condensate Tank		Sets			
11	Syngas Dryer		Sets			
12	Syngas Filter		Sets			
13	V-PSA Tank		Sets			
14	CO2 Vacuum pump		Sets			
15	CO2 Surge Tank		Sets			
16	CO2 Gas Compressor		Sets			
17	CO2 Buffer Tank		Sets			
18	CO & H2 Syngas Buffer tank		Sets			
19	PSA Tank		Sets			
20	H2 Buffer Tank		Sets			
21	CO Buffer Tank		Sets			
22	CO Rinsing Compressor		Sets			
23	CO Rinsing Buffer Tank		Sets			
24	H2 Booster Compressor		Sets			
25	H2 Storage Tank		Sets			
26	CO Booster Compressor		Sets			
27	CO Storage Tank		Sets			
28	Flare Knock out drum		Set			
29	Flare Stack		Set			
30	Cooling Tower		Sets			
31	Cooling Water Pump		Sets			
32	Boiler Feed Water Pump		Sets			
33	Softner		Sets			
34	Air Compressor		Sets			
35	N2 Generator		Sets			
36	Sump pump		Sets			

6. 최종성과물

□ 연관 분야

적용 산업	타겟 시장	최종 구매자 업종(기업)
석유화학	원료물질	화학제품
정유	원료물질	화학제품
철강	에너지원	철강

□ 목표 감축량

CO_2 배출원	최종 제품		목표 감축량 (톤/년)
	제품명	생산량(년)	
남부권	합성가스	3만톤	30,000

□ 산정 방법 및 근거

❍ 목표 감축량: 내외 환경변화에 따른 CCS 정책 추진계획 수립연구(에너지경제연구원)

□ 성과물

특허			세계 최초·최고 원천 기술 확보	논문	고용창출	상용 (제품)화	상용화 사례
국내	해외	3극 특허					
(2)건	(2)건	(2)건	(1)건	(2)건	(25)명	(1)건	(1)건

* (3극 특허) USPTO(미국특허청), EPO(유럽특허청), JPO(일본특허청) 동시 출원 및 등록된 특허

7. 기대효과 및 파급효과

❍ CCU 원천기술 기반 실증 기술 개발

- 실증 기술 개발 및 지원 체계 구축을 통해 국내 CO_2 전환 공정 기술의 상용화 가속화
- CCU 기술 실증을 통한 조기 상용화로 기술 개발 및 탄소중립 시장 선점 및 선도
- 석유화학, 정유 산업의 탄소중립 전환을 지원하고, 과제 종료후 연간 약 50만톤 규모 이산화탄소 감축을 위한 상용화 기대

❍ 이산화탄소 활용 기술/산업 육성

- 경제적이고 효율적인 이산화탄소 활용 실증기술 개발을 통한 CCU 기술경쟁력 확보
- 이산화탄소 활용을 통해 제조한 플랫폼 화합물을 활용하여 고부가가치 정밀화학 제품 생산 가능한 통합 CO_2 전환공정 비즈니스 모델을 기반으로 이산화탄소 활용기술의 보급 및 신뢰도 증진

❍ CO_2 전환 원천기술 실증 기술 개발

- 석유화학 기술·산업의 경쟁력 강화를 통해 기술혁신산업 육성과 양질의 고부가가치 일자리 창출에 기여
- 검증된 CCU 실증 기술 등을 국내외 시장에 개방하여 공유 경제의 혜택 제공
- 국가 실증 연구소의 효율적 관리 기술 개발로 CO_2 전환 기술 상용화 R&D의 성공적인 전례 마련
- 신산업·신시장 창출 및 산업 경쟁력 강화
- 「실증센터」를 거점으로 지역 클러스터가 형성되어 지역의 연구능력 및 기술력 향상과 균형적 발전 기대

❍ 기후변화 대응 온실가스 감축

- 국내 최대규모의 CCU플랜트를 완성해서 NDC실현에 기여
- (CO_2 저감 정책 현실화) 기후 변화 위기의 주요 원인인 온실가스(CO_2)는 자연 정화량 (연간 CO_2 자연 처리량 약 140억t)에 비해 배출량이 상당히 증가('50년 620억t 배출 예상)하여, OECD국을 중심으로 규제 정책 적극 도입 추세
- (국내 산업활동 기여) 신재생 에너지원과 CO_2로부터 고부가 화학원료를 직접 제조하는 기술 확보를 통해 수입 의존성이 큰 화석원료에 대한 국가 자립도 향상 및 안정적 산업 활동 기여
- (기후변화 대응) 새롭게 부상하고 있는 온실가스 저감 기술 중 하나인 CCU 기술 개발을 통하여, 2015년 성사된 기후 변화 협약에 따른 사회적 변화에 전략적, 능동적 대응 가능
- (사회적 효용성 근거 마련) 개발단계에 있는 탄소자원화 기술의 온실가스 감축 잠재량 산정 및 환경효과 분석을 통하여 기술개발에 따른 환경적 파급효과를 정량적으로 예측하여 기술개발의 사회적 효용성에 대한 정책적 판단 근거 마련

8. 개발기간/예산/인력

예상 개발 기간(년)	정부출연 연구비, 참여 인력(억 원 / 명)								
2025년 ~ 2037년 총(3년)	사업 년도		'25	'26	'27	'28	'29	'30	합계
	사업비 (억 원)	국고	300	400	100				800
		민자	150	200	50				400
		소계	450	600	150				1,200
	참여 인력 (명)	박사급	1	1	2				4
		석사급	4	4	8				16
		학사급	10	10	10				30
		기타							0
		소계	15	15	20	0	0	0	50

9. 해외 활용 여부

❍ 공정설계(General FEED) 라이선스 수출
- CCU 사업과 관련된 기술획득을 통해 국내는 물론 해외시장에 진출 가능한 Reference를 갖게 되며, 기술국산화 측면에서는 소재(촉매), 부품, 장비(반응기)와 더불어 엔지니어링 적으로 기본설계 기술 확보가 가능함
- 공정설계패키지(Process Design Package)를 확보하면서, 최적의 촉매선정과 반응기 설계를 통하여 각 요소별로 설계 국산화를 통한 기술 라이선스 확보와 해외 수출이 가능함

❍ 재생에너지가 풍부한 개도국과 연계하여 국외감축사업 추진

10. 기타 특기사항

- 본 과제는 스케일 업을 통한 벤치/파일럿 통합 실증, 고객평가 등 제품 개발까지 복합적으로 진행해야 하는 과제이기 때문에 산/학/연 혹은 산/학 협업이 필수적임

2. (화학) 미활용 CO_2 활용 합성가스 생산기술

과제 개요		
전략 과제	합성가스	
세부 과제명	미활용 탄소 활용 합성가스 생산 기술	
사업 권역	□서부권, ■남부권, □중부권, □동남권	
기술 유형	■화학적전환 □생물학적전환 □광물탄산화	
적용 산업	철강산업, 화학산업, 수소산업	
최종 제품	합성가스, COG, 수소, LNG 대체	
산출물	온실가스 감축목표	200,000(톤/년)

기술 개발 개요							
기술개발단계	□ 기초 □ 응용 ■ 개발 ■ 실증			기술단계	TRL (6)단계		
적용 산업	철강산업, 화학산업, 수소산업			최종 제품	합성가스, COG, 수소, LNG 대체		
기술개발 주체	기업 단독	산+산	산+학	산+연	산+산+연	산+학+연	산+해외
					○		

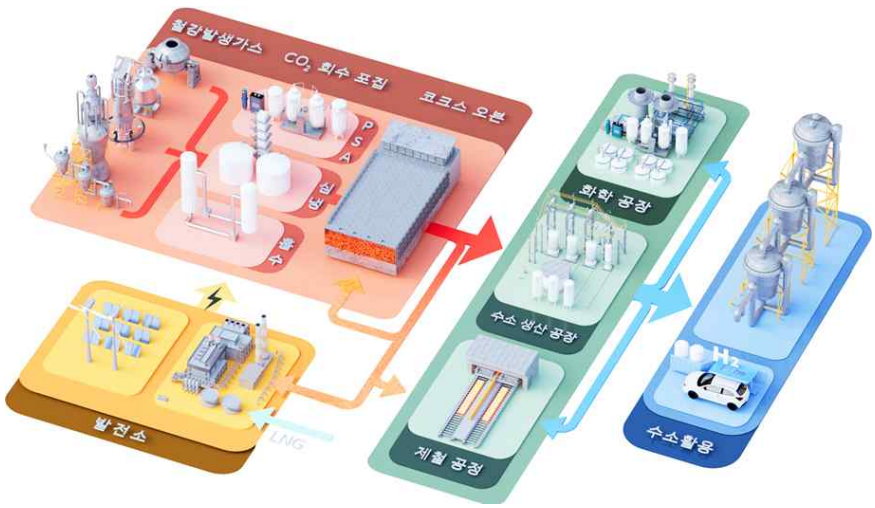
기술 개발 규모								
연구 개발 기간			2025년 ~ 2030년 (6년)					
연구비 (억 원)	총연구비		총 800 억원 (국고 560억원 / 민자 240억원)					
	개발년도		2025	2026	2027	2028	2029	2030
	국고		35	105	140	140	70	70
	민자		15	45	60	60	30	30
	소계		50	150	200	200	100	100
소요 인력			총 소요 인력 (300)명					

기술 개요		
기술 정의	다양한 전환매체 활용 및 무포집 이산화탄소 전환을 통해 저비용 CO_2 기반 합성가스 제조 기술 개발 및 통합 패키지 개발
기술개발 목표	경제성 및 높은 탄소 저감능력을 지니는 CO_2 기반 합성가스 제조 기술 개발 및 상용화 기반 확보

1. 기술개발 필요성

□ 기술 개발 필요성

- ❍ CCUS는 국가 온실가스 감축 목표 달성을 위한 중요한 감축수단이므로(2030년 CCUS를 통해 1,120만 톤을 감축하는 목표 설정, 탄소중립 녹색성장 국가 기본계획, '23.04) 상용 가능한 기술이 CCU 시장을 선도할 수 있도록 전략제품의 조기 상용화가 필요
- ❍ 철강-석유화학-정유산업 등 온실가스 배출이 높은 산업군이 몰려있는 남부권은 국가 산업분야 온실가스 배출 1위(전체 24.6%)* 지역으로, 철강, 석유화학, 정유산업 등 다양한 제조업에 적용 가능한 CO_2 기반 플랫폼 화합물 기술이 필요
- ❍ 현 이산화탄소 기반 합성가스 개발 기술은 배출가스로부터 분리/농축된 고순도 CO_2를 원료로 사용하고 있으므로, 1) 통합시스템 가격 및 운용비 상승, 2) 현 사업장 내 공간 제약 등의 문제가 발생
- ❍ 설비 단순화를 통한 공간 효율화, 경제성 제고를 위한 방안 모색, CO_2 공급 실패 시 문제 해결을 위해 배출가스 내 CO_2를 포집 없이(Capture-free) 직접 전환하기 위한 저에너지 전환기술 개발 필요
- ❍ 또한, 기존 배가스 대비, 저탄소 공정 전환에 의해 감소한 이산화탄소를 활용할 수 있는 저농도 CO_2 감축 기술 필요하며, 다양한 저농도 산업공정에 적용 필요 (석탄발전의 CO_2 배출 농도(14~19%)인데 반해 LNG 발전의 CO_2 배출 농도 (4~5%)가 낮음)
- ❍ 현재는 주로 CH_4을 환원제로 활용하고 있으나, 경제성 및 온실가스 감축효과 확보를 위해서는 탄소순환형 저비용 환원제 사용이 바람직함 (ex. 제철 공정 미활용 에너지원, 폐열, 폐플라스틱, 폐유기부산물 등)
- ❍ 신재생에너지 및 추가적인 이산화탄소 발생 억제를 위한 전기에너지를 활용하여 물과 이산화탄소를 수소와 일산화탄소로 전환하는 전기화학적 이산화탄소 전환 합성가스 생산 기술 개발 필요 (전기화학 반응 특성상 상온, 상압 조건에서 반응이 가능하며, 이산화탄소를 탄소 원료로 사용하므로 기존 합성가스 생산 공정과 비교해 이산화탄소 감축 효과가 있을 것으로 기대)



〈CO_2 포집-코크스 오븐 CO_2 취입 자원화 연계 공정 모식도〉

개발 기술의 산업 분야	현재 포집량(톤/년)	현재 처리·활용량(톤/년)
철강	-	16,000
석유화학		7,000

□ 국내외 시장·기술 동향

구분	국내 생산 규모(천톤/년)	주요 생산업체	CO 소비량(천톤/년) *이론 원단위로 추정
초산	630	롯데이네오스화학	300
MDI	590	금호미쓰이화학, 한국바스프	200
TDI	360	한화케미칼, 한국바스프, OCI	110
PC(폴리카보네이트)	240	롯데케미칼, 삼양화성, LG화학	25
폴리케톤	50	효성	25

〈주요 CO 유도체 국내시장 분석, 2017년 기준(각사 홈페이지, 화학저널 참조〉

<표 8-15> CCU 기술별 제품 1 톤당 단위 감축량 추정

(단위: $tCO_2eq./tonne$)

제품	공정 대체 효과				탄소 중립 효과	제품 한 단위당 감축량	비고
	기존 공정	CCU		감축 효과			
		포집	제조				
침강성 탄산칼슘	0.214	0.0484	0	0.166	0.440	0.606	-
중조	0	0.0484	0.056	-0.104	0.440	0.336	-
건설용 탄산칼슘	0.829	0.021	0	0.808	0.191	0.999	비산회 내 CaO 함량 30% 가정
에틸렌카보네이트	-	0.055	-0.07	0.015	0	0.015	-
	-	0.055	-0.07	0.015	0.187	0.202	탄소저장효과 가정
개미산	0	0.09	0.082	-0.172	0.406	0.234	태양광+스팀
	0	0.09	0.01	-0.1	0.406	0.306	태양광 공급
	0	0.09	3.74	-3.83	0.406	-3.424	계통전력+스팀
일산화탄소	0.641	0.0877	0.2973	0.256	0.797	1.053	-
메탄	0	0.302	4.467	-4.769	2.744	-2.025	수증기 개질 수소
	0	0.302	0	-0.302	2.744	2.442	재생에너지 수소
	0	0.302	11.744	-12.046	2.744	-9.302	계통전력 수소
메탄올	0	0.165	2.162	-2.327	1.374	-0.953	수증기 개질 수소
	0	0.165	0.344	-0.509	1.374	0.865	재생에너지 수소
	0	0.165	5.123	-5.288	1.374	-3.914	계통전력 수소
미세조류	0	0.198	0.275	-0.473	1.482	1.009	-

<표 20> CO 1톤 당 감축효과 ($tCO_2eq.$)

공정 대체 효과				배출회피 효과	제품 한 단위 당 감축량
기존	CCU		감축효과	0.797	1.053
	포집	제조공정			
0.641	0.08767	0.29733	0.256		

[국내외 환경변화에 따른 CCS 정책 추진계획 수립 연구, 에너지 경제연구원 (2018)]

□ 지역적 적합성

❍ 국내 최대 석유화학산업단지 보유 및 온실가스 배출 1위 지역 : 남부권역(전남)은 국내 최대 온실가스 배출 지역으로, 석유화학, 철강, 정유 등 지역 주력산업이 도내 배출량의 97%를 차지- 제1차금속산업 43,291(50.2%), 화학 29,981(34.8%), 정유 10,430(12.1%) 등

❍ 전남권역은 특별경제구역인 경제자유구역(전남 여수, 순천, 광양시 일원)으로 지정되어 있고, 율촌 1·2산단, 율촌자유무역지역, 해룡산단, 세풍산단, 황금산단 등의 약 20㎢의 광대한 산업단지 존재

❍ 전국 최대 규모의 신재생에너지(태양광, 풍력) 발전량: 전남 지역은 전국 최대 규모의 신재생에너지 발전량(5,724 GWh('21))과 발전용량(4.65GW)을 지니며, 전국 2위의 부생수소 생산량(544천톤/년)을 나타냄

❍ 높은 신재생에너지 설비 구축에 의한 전력과잉으로 2021년 호남지역 출력제어* 3회 발생 (출처: 제10회 전력수급기본계획)

* 재생에너지 변동성에 따라 발전량 및 출력이 예측을 벗어날 경우, 전력망 안정성 유지를 위해 재생에너지 출력제한

❍ 묘도에코단지 등 탄소중립 인프라 구축 투자 활발

- 여수 묘도 에코 에너지 허브: △수소·암모니아 터미널 및 CCUS(탄소 포집·활용·저장·반출)터미널 등의 '탄소중립 에너지 클러스터' △LNG 터미널과 천연가스 발전 단지 등이 들어서는 '그린에너지 사업' △LNG 거래소와 데이터센터 등이 들어오는 '글로벌 에너지 신사업 Hub' 조성 예정
- 광양만권 산업단지 내, 국내 유일의 탄소중립 화학분야 R&D 실증 조직인 "탄소중립화학공정실증센터"를 보유하고 있어, 대량의 친환경 촉매 제조 및 실증연구, 장비 활용이 가능할 것으로 기대
- 저탄소 소재부품 거점산단: (거점)여수국가산단, (연계)광양국가산단, 율촌 제1산단, 여천·광양항을 대상지역으로 남부권을 저탄소 지능형 소재·부품산업의 거점산단으로 육성 중

□ 문제점 및 극복과제

❍ 전환과정의 효율성과 온실가스 저감효과 극대화를 위해 이산화탄소 전환을 위해 다양한 환원물질(부생가스, 폐유기물, 폐플라스틱, 폐열 등) 활용 기술 필요

❍ 온실가스-기타 오염물질 동시저감 기술 확보 시, 설비투자비용 감소, 고부가 플랫폼 물질 생산, 환경편익 발생 등 사회적 비용 절감 효과가 높으므로 신성장 동력기술로 육성 필요

❍ 생성된 합성가스를 지역 내 석유화학 산업의 원료로 활용하기 위해 유용한 성분들을 효과적으로 분리하고 정제해야 하나, 활용처에 따라 요구되는 순도 확보에 어려움이 있으며, 특히 일산화탄소 분리/정제의 경우 실적용을 위하여 공정 안정성 및 경제성의 향상과 함께 에너지 소비 최소화 필요

❍ 이산화탄소 전환 기반 합성가스 공급 기술의 실증규모 기술 검증은 미흡한 실정이나, 기술의 실적용을 위해서는 상용 규모 공정에서의 장기 가동을 통한 신뢰성 확보 필요

□ **시급성**

❍ 국가 탄소중립 이행을 위해서는 CCU 기술의 조기 정착이 필요하고, CO_2 활용에 대한 현 산업계의 신뢰성 확보를 위해서는 기술적 이질감이 적은 플랫폼원료물질 공급기술인 일산화탄소 공급 기술의 상용화와 실 현장 적용이 시급

2. 기술개발 목표

□ **최종 목표**

❍ 국내 최다 CO_2 배출 지역인 남부권의 산업현장 맞춤형 이산화탄소 기반 합성가스 제조 기술 조기 상용화

- 산업공정 맞춤형 이산화탄소 저감 일산화탄소 생산기술 개발
- 주력산업 배출 이산화탄소 및 다양한 환원물질 활용을 통한 고효율, 저에너지 이산화탄소 기반 합성가스 공급 통합 공정 구축 및 상용화를 위한 통합 패키지 기술 확보
- 철강-석유화학-정유 등 남부권의 탄소 다배출 산업을 연계하여, 국가 탄소 배출 저감에 기여할 수 있는 신산업 벨류체인 구축

□ **단계별 목표**

1단계('25년 ~ '27년)	2단계('28년 ~ '30년)
- 통합공정 설계 및 실증규모 확대 : bench 설비 공정 설계 및 구축, 데이터 확보 : 촉매 성능 최적화, 내구성 확보, scale-up : 통합 공정 기술경제성 분석 : 실증공정 설계 및 데이터 확보 : 분리/정제 기술 효율화	- 상용화 단계 실증기술의 규모 격상 및 제품화를 추진 : 실증을 통한 포집/활용 공정 연계성 및 제품 전환 효율 등 확보 : 실증 공정 구축, 장비 설치, 장비 운영 : 탄소감축방법론 개발 및 목표 감축량 반영

□ **성능목표**

성과지표	현 수준	개발 목표					
		'25	'26	'27	'28	'29	'30
CO_2 활용량(톤/일)	0.05	5	20	30	50	100	최적화
합성가스 시제품 생산(m^3)	0.08	8	32	48	80	160	
플랜트 신뢰성 매뉴얼 도출							1
플랜트 설계 패키지 도출							1
온실가스 감축 방법론 연구							1

3. 기술내용 및 범위

□ 연구 범위

❍ 남부권 주력산업 환경* 맞춤형 CCU 실증기술 장기 가동성 및 효율성을 확보하고 상용급 반응공정 운전 최적화

- 제철, 석유화학, 정유 등 산업공정별 특화된 CCU 상용급 공정 Engineering 기술 확보

* 온실가스 배출원에 따른 부생가스 조성, 이산화탄소 공급 경로, 신재생에너지 단지 연계 에너지 공급, 산업 폐열·폐기물 활용성 등

❍ 다양한 전환 매체 및 전기화학 기술을 활용한 고효율/저에너지 특징을 지니는 이산화탄소 활용 합성가스 전환 기술 확보

❍ 배출원 차이에 의한 이산화탄소 및 동반되는 부생가스 조성 차이에 따른 분리/정제 기술* 개발 및 스케일업에 따른 고순도 일산화탄소 분리 기술 최적화

* 합성가스(H_2+CO) 분리는 고순도 수소 및 일산화탄소 생산, 그리고 후속 공정 연계를 위한 H_2/CO 비율 조절을 위해 필수

* 합성가스 분리공정은 Feed 조건, 목표순도, 분리규모, 후단공정 특성 등에 따라 적용되는 기술이 다르고 운전조건이 상이하기 때문에, 남부권 산업군 종류별 특성을 반영하여 개발될 CCU공정에 적합한 맞춤형 분리기술 개발 및 최적화 필요

❍ 전라남도 지역에 컨소시엄을 구성하여 기존 석유화학 유래 합성가스를 CO_2유래 합성가스로 대체하여 온실가스 감축에 기여

❍ 스케일업에 따른 합성가스 분리정제 공정을 개발하여 경제성 확보

□ 단계별 세부 연구 내용

❍ (1단계) - 요소기술을 선별하여 통합공정 설계 및 구축

: CO_2 활용 고효율 전환 기초 평가

: CO_2 포집/이송/취입·전환 통합 실증 공정 설계

·CO_2 포집 비용/CO_2 전환효율/COG 증량/CO_2 저감량 고려 경제성 평가

·현장 적용 Pilot 공정 설계 (기술 package화)

: 통합 공정 기술경제성 분석

: CO_2 활용 실증 설비 도입

❍ (2단계) - 상용화 단계 실증기술의 규모 격상 및 실증 최적운전조건 수립, 제품화를 추진을 통한 목표 감축량 달성

: 합성가스 공정 실증플랜트 보완 및 상용 플랜트 설계 기술 확보

: 실증공정 설치 및 장기운전 수행을 통한 공정데이터 확보

: 경제성 평가 & 온실가스 저감량 공인 인증

·(예시)장기 테스트 후 포집비용/COG증량/CO_2 저감량을 반영한 경제성 평가

·CO_2 저감 전주기 분석으로 CO_2 저감량 공인 기관 인증 획득

: 상용 공정 설계 및 제철소내 부생가스 수급 분석

·(예시)증량 COG 총량/열량, CO_2 포집에 사용된 가스량을 고려한 수급 분석

4. 기술개발 추진방법 및 주체

□ 기술개발 추진전략

❍ 기업 주도하에 저농도의 CO_2 발생 산업에서 연계 실증

- 촉매 설계/대량 제조, 반응기 및 공정설계와 운영 기술 개발
- 대학은 촉매 안정 평가와 최적화, 연구소는 통합공정 개념설계와 scale-up을 위한 기초자료 도출, 기업은 실증설비 구축을 위한 제반 시설과 안전 관리 검토 등 업무 분담
- 전문 실증 연구 인력 양성과 실증 설비 구축을 바탕으로 체계적 실증지원 체계 구축하여 석유화학 기업 니즈에 맞는 양질의 신뢰성 있는 실증 운전 결과 확보

❍ 성과 활용 촉진을 위한 합성가스 협의체 구성

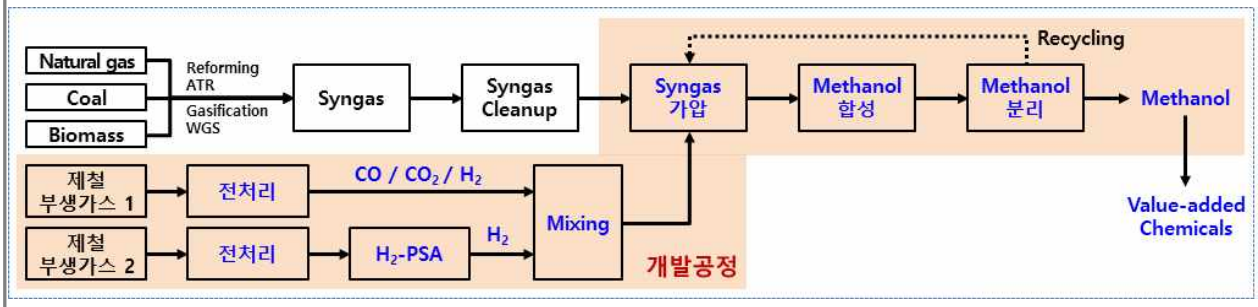
- 공급기업/수요기업 및 학계, 연구계로 구성된 합성가스 협의체 구성
- 정책 현황 및 규제, 기술 개발 현황, 수요기업 니즈 등을 정기적으로 분석하여 상용화 달성에 기여
- 경제성/환경성 분석을 통한 기술 확산을 위한 기반 확보
- 기 확보된 CCU 원천기술의 실증 파일롯 구축 및 산학 협업 연구를 통하여 지역 국가 산업단지의 경쟁력 강화 방안 마련

□ 기술개발 주체

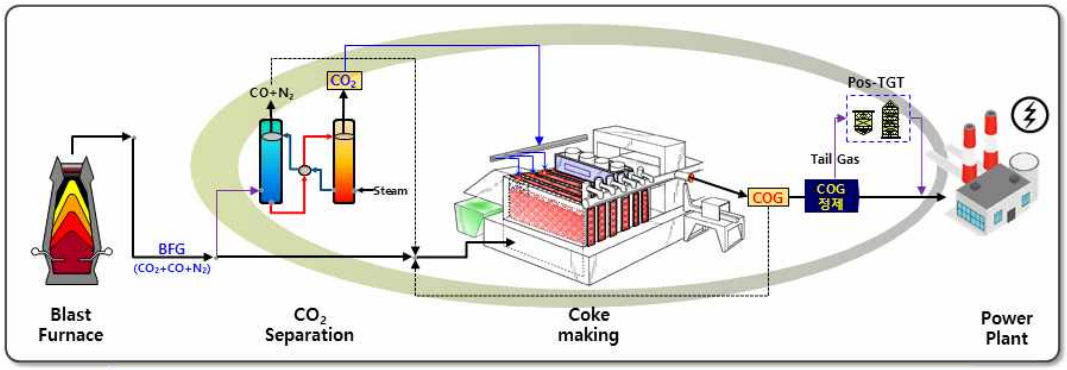
단독 개발	산+산	산+학	산+연	산+산+연	산+학+연	산+해외
( )	( )	( )	( )	(○)	( )	( )

5. 물질 에너지 수지 및 공정도(PFD)

□ 공정도 흐름도(PFD)



CO_2 회수 및 자원화 통합 공정 개념



일관 제철 공정 적용

저탄소 제철산업의 경쟁력 제고를 위한 실질적 CO_2 저감 기술 실증

→ 제철소 내 발생하는 대량의 CO_2 회수 및 활용

6. 최종성과물

□ 연관 분야

적용 산업	타겟 시장	최종 구매자 업종(기업)
석유화학	원료물질	화학제품
정유	원료물질	화학제품
철강	에너지원	철강

□ 목표 감축량

CO_2 배출원	최종 제품		목표 감축량 (톤/년)
	제품명	생산량(년)	
남부권	합성가스(CO)		200,000

□ 산정 방법 및 근거

❍ CO_2 포집량 및 제철소 보유 코크스 공장 대상 적용시

□ 성과물

특허			세계 최초·최고 원천 기술 확보	논문	고용창출	상용 (제품)화	상용화 사례
국내	해외	3극 특허					
( )건	( )건	( )건	( )건	(2)건	(100)명	(1)건	(1)건

* (3극 특허) USPTO(미국특허청), EPO(유럽특허청), JPO(일본특허청) 동시 출원 및 등록된 특허

7. 기대효과 및 파급효과

- ❍ CO_2 취입 자원화 기술 상용화시 COG 총열량이 10%이상 증량
- ❍ 코크스 오븐 1battery당 약 1.6만톤_CO_2/년 이상 저감 가능함
- ❍ 포스코 20battery, 현대제철 6battery 적용 시 약 년간 60만톤_CO_2 저감
- ❍ 제철공정 특화되고 국내 기술로 개발된 CCU 기술 확보가 가능하며, 해외 제철공정에 기술 판매하여 기술료 수익 창출 가능
- ❍ 현재 배기가스 내 저농도 CO_2를 직접 활용하여 합성가스를 생산하는 무포집 CO_2 전환기술은 개념 검증을 위한 기초연구 외에 실증 연구사례가 없으나, 본 실증기술 개발 과제를 통해 DME, Methanol 및 MA, 초산 제조까지 연계되는 요소기술의 최초 개발 사례가 될 수 있으며 기술력 확보로 인한 관련 국가 산업 기술 경쟁력 강화가 가능함.
- ❍ 저농도의 CO_2가 배출되는 모든 산업을 포함하여 탄소중립 전환을 지원하고, 상용급(10MW 열병합발전) 적용시 연간 64,000톤 규모 이산화탄소 감축 효과 발생
- ❍ 해외 관련 상업화 사례(DICP, 중국)에서 알 수 있는 바와 같이, 본 공정의 상용화가 진행되면 다양한 신산업 창출이 가능하며 추후 고용 창출 효과 및 경제적 효과가 막대할 것으로 기대됨.
- ❍ 산업공정 특화된 국내 기술 확보 및 상용화 사례 도출하여 해외 산업공정에 라이센싱을 통한 기술 판매 및 기술료 수익 창출 가능

8. 개발기간/예산/인력

예상 개발 기간(년)	정부출연 연구비, 참여 인력(억 원 / 명)								
2025년 ~ 2030년 총(6년)	사업 년도		'25	'26	'27	'28	'29	'30	합계
	사업비 (억 원)	국고	35	105	140	140	70	70	560
		민자	15	45	60	60	30	30	240
		소계	50	150	200	200	100	100	800
	참여 인력 (명)	박사급	50	50	50	50	50	50	300
		석사급	-	-	-	-	-	-	-
		학사급	-	-	-	-	-	-	-
		기타	-	-	-	-	-	-	-
		소계	50	50	50	50	50	50	300

9. 해외 활용 여부

❍ 국내 일관제철소 기술 보급 및 해외 기술 판매 추진

❍ 제철 공정에서 발생한 CO_2 포집 기술과 연계를 통해 해외 제철소 및 고농도의 CO_2를 확보하지 못한 사업장 대상 적용

❍ 재생에너지가 풍부한 개도국과 연계하여 국외감축사업 추진

10. 기타 특기사항

- 본 과제는 일부 원천기술 확보 및 스케일 업을 통한 벤치/파일럿 통합 실증, 고객평가 등 제품 개발까지 복합적으로 진행해야 하는 과제이기 때문에 산/학/연 혹은 산/학 협업이 필수적임

2 올레핀

3. (화학) 정유 공정 배가스 CO_2 활용 기초유분 생산 기술

과제 개요		
전략 과제	올레핀	
세부 과제명	정유 공정 배가스 CO_2 활용 기초유분 생산 기술	
사업 권역	□서부권, ■남부권, □중부권, □동남권	
기술 유형	■화학적전환 □생물학적전환 □광물탄산화	
적용 산업	정유/석유화학	
최종 제품	올레핀	
산출물	온실가스 감축목표	131,200(톤/년)

기술 개발 개요								
기술개발단계	□ 기초 □ 응용 □ 개발 ■ 실증				기술단계	TRL (6~7)단계		
적용 산업	정유/석유화학				최종 제품	올레핀		
기술개발 주체	기업 단독	산+산	산+학	산+연	산+산+연	산+학+연	산+해외	
					○			
기술 개발 규모	연구 개발 기간	2025년 ~ 2030년 (6년)						
	연구비 (억 원)	총연구비	총 200 억원 (국고 150억원 / 민자 50억원)					
		개발년도	2025	2026	2027	2028	2029	2030
		국고	12	15	56	39	19	10
		민자	4	5	18	13	6	3
		소계	16	20	74	52	25	13
	소요 인력	총 소요 인력 (194)명						
기술 개요	기술 정의	공정 배출가스 내 CO_2 감축을 위한 CO_2 직접 전환 기초유분 생산 기술 Demo Scale 패키지 개발						
	기술개발 목표	• CO_2 직접전환 기초유분 생산기술 패키지 개발 • 장시간 운전 데이터, Scale-up factor, 경제성 분석 및 CO_2 절감 효과 분석을 수행하여 공정설계안 확보 • CO_2 전환 올레핀 생산기술 상용화를 위한 기반 확보						

1. 기술개발 필요성

□ 기술 개발 필요성

❍ CCUS는 국가 온실가스 감축 목표 달성을 위한 중요한 감축수단이므로(2030년 CCUS를 통해 1,120만 톤을 감축하는 목표 설정, 탄소중립 녹색성장 국가 기본계획, '23.04) 상용 가능한 기술이 CCU 시장을 선도할 수 있도록 전략제품의 조기 상용화가 필요

❍ 철강-석유화학-정유산업 등 온실가스 배출이 높은 제조업 산업군이 몰려있는 남부권은 국가 산업분야 온실가스 배출 1위(전체 24.6%)* 지역으로, 제조업 분야의 완전한 탄소중립 공전 전환까지의 시간을 확보하기 위해 이산화탄소 소비 및 활용 가능한 CCUS 기술이 필요한 상황

❍ 기존 납사는 원유정제과정에서 나오기 때문에 화석연료 사용이 불가피함. 게다가 NCC 공정은 석유화학 산업 공정 배출량의 90% 이상을 차지하고 있기 때문에 탄소중립형 원료를 사용하거나 NCC 공정에 신재생에너지를 이용한 e-furnace 기술의 적용이 현실적으로 필요한 상황

❍ CO_2를 활용한 올레핀 제조 기술은 전 세계적으로 실증 전단계 수준으로 국산화 기술 확보 및 시장의 선점이 가능

- 합성가스로부터 Full-Range 올레핀 생산기술 개발을 통해 석유화학 산업의 기초 원료물질인 경질올레핀 및 나프타, 전량 수입 중인 선형알파올레핀 생산 기술 확보 가능

❍ 세계적 CO_2 감축 추세 대응 및 국가 탄소 중립 실현을 위하여 획기적인 CO_2 감축 기술이 요구되나, 현실적으로 경제성을 확보하면서 대량의 CO_2를 감축할 수 있는 기술은 없는 것으로 파악됨

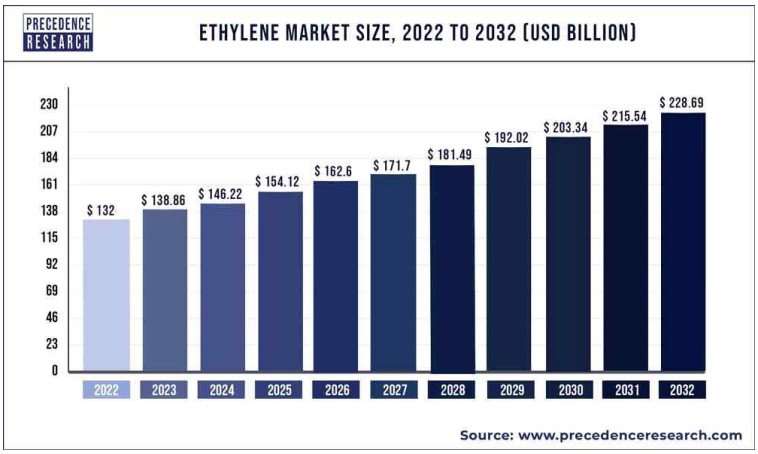
❍ 정유산업 내, CO_2 배출은 보일러/히터, 접촉 분해공정, 간접배출 (전력), 수소 생산 공정에서 이뤄지며, 수소 생산 공정의 배출 가스 내 CO_2 농도가 매우 높고 불순물이 적어 CCU 기술 적용이 유리할 것으로 판단하고 있음

❍ 국내 배출 CO_2의 자원화 일환으로 재생에너지를 활용한 플랫폼 화합물의 대표 물질인 액체 탄화수소(합성납사/연료, 윤활기유)로의 전환공정(Power-to-X, PtX)을 상용화하기 위해, 국내 개발 CO_2 직접 전환 공정의 스케일업 실증을 통한 공정 운전성 검토와 최적화 연구, 상용공정 및 상용촉매 개발연구가 필요

개발 기술의 산업 분야	현재 포집량(톤/년)	현재 처리·활용량(톤/년)
정유/석유화학	-	-

□ 국내외 시장·기술 동향

❍ 세계 에틸렌 예상규모는 1,320억 달러('22)였으며, 2032년까지 CAGR은 5.7%로 세계 시장규모는 약 2,286억 달러를 넘을 것으로 예상됨



〈세계 에틸렌 시장규모 (출처: Precedence Research, '23〉

❍ 국내 석유화학산업의 온실가스 배출량은 연 7,100만톤에 달하며, 이 중 90% 이상이 납사 열분해 공정(Naphtha cracking center, NCC) 및 연관 정제공정에서 배출하고 있음

❍ 2050년 탄소중립에 따라 탄소배출이 많은 석유화학 산업에서도 연료 및 원료를 탄소중립 자원으로 대체하고 생산공정을 저탄소 배출로 전환하는 것이 시급함

❍ 세계 각지에서는 재생에너지를 사용하여 액상 탄화수소를 만드는 Power-to-Liquid (PtL) 공정에 대한 크고 작은 실증 사업이 진행되고 있음.

❍ 독일의 Porche사는 e-fuel 개발회사 AME, 칠레의 석유회사 ENAP, 이탈리아의 풍력 및 수전해회사 Enel, 독일의 에너지회사 Siemens energy와 함께 칠레에서 메탄올 합성 후 가솔린을 생산하는 PtL 실증 플랜트를 건설 중임.

❍ 국제 컨소시엄 "Norsk e-fuel"은 Sunfire, Climeworks, Paul Wurth, Valinor과 함께, 노르웨이 Herøya 항구에 2024년 연간 천만 리터의 e-fuel을 생산하는 파일럿 플랜트를 건설 중임.

❍ CO_2로부터 올레핀, 나프타, 방향족 화합물 등의 석유화학 기초유분을 생산하는 기술은 탄소중립 흐름에 따라 세계적으로 활발한 연구가 진행 중

□ 지역적 적합성

❍ 국내 최대 석유화학산업단지 보유 및 온실가스 배출 1위 지역 : 남부권역(전남)은 국내 최대 온실가스 배출 지역으로, 석유화학, 철강, 정유 등 지역 주력산업이 도내 배출량의 97%를 차지- 제1차금속산업 43,291(50.2%), 화학 29,981(34.8%), 정유 10,430(12.1%) 등

❍ 전남권역은 특별경제구역인 경제자유구역(전남 여수, 순천, 광양시 일원)으로 지정되어 있고, 율촌 1·2산단, 율촌자유무역지역, 해룡산단, 세풍산단, 황금산단 등의 약 20㎢의 광대한 산업단지 존재

❍ 전국 최대 규모의 신재생에너지(태양광, 풍력) 발전량: 전남 지역은 전국 최대 규모의 신재생에너지 발전량(5,724 GWh('21))과 발전용량(4.65GW)을 지니며, 전국 2위의 부생수소 생산량(544천톤/년)을 나타냄

❍ 높은 신재생에너지 설비 구축에 의한 전력과잉으로 2021년 호남지역 출력제어* 3회 발생 (출처: 제10회 전력수급기본계획)

* 재생에너지 변동성에 따라 발전량 및 출력이 예측을 벗어날 경우, 전력망 안정성 유지를 위해 재생에너지 출력제한

❍ 묘도에코단지 등 탄소중립 인프라 구축 투자 활발

- 여수 묘도 에코 에너지 허브: △수소·암모니아 터미널 및 CCUS(탄소 포집·활용·저장·반출)터미널 등의 '탄소중립 에너지 클러스터' △LNG 터미널과 천연가스 발전 단지 등이 들어서는 '그린에너지 사업' △LNG 거래소와 데이터센터 등이 들어오는 '글로벌 에너지 신사업 Hub' 조성 예정
- 광양만권 산업단지 내, 국내 유일의 탄소중립 화학분야 R&D 실증 조직인 "탄소중립화학공정실증센터"를 보유하고 있어, 대량의 친환경 촉매 제조 및 실증연구, 장비 활용이 가능할 것으로 기대
- 저탄소 소재부품 거점산단: (거점)여수국가산단, (연계)광양국가산단, 율촌 제1산단, 여천·광양항을 대상 지역으로 남부권을 저탄소 지능형 소재·부품산업의 거점산단으로 육성 중

□ 문제점 및 극복과제

❍ 전세계적으로 상용화가 된 CO_2 기반 올레핀 기술의 부재

❍ 원천 및 스케일업 기술 부재하여 기존 보유한 올레핀 제조 기술의 성숙도를 높이면서, CO_2 전환율, 생성물 선택도, 신재생 전력 활용을 위한 원천기술 개발을 동시에 진행 필요

❍ CO_2 수소화를 통한 올레핀 생산 시 반응 생성물의 탄소 분포가 다양하기 때문에 분리공정의 부담을 줄이는 선택도가 높은 촉매 개발 이슈 부상

❍ 수소, CO_2 CO 등이 섞여 있는 수소생산 공정 배출가스와 같은 정유 부생가스를 활용하면 경제성 제고 가능 (기존 수소 생산 공정의 CO_2 배출량은 연간 100만 톤 수준이며 해당 CO_2를 기초유분과 같은 유용한 Chemical로 전환할 수 있는 CCU 기술이 필요한 상황)

❍ 해당 기술로 생산되는 생성물은 Chemical Feedstock (올레핀, 납사 등)이나 Fuel로써 정유업계 및 석유화학업계의 Value Chain과 매우 밀접한 관계가 있어 경제성이 확보된 해당 기술 개발 시 CO_2 저감 효과 뿐만 아니라 정유 및 석유화학 산업의 친환경적 경쟁력 강화에도 큰 기여를 할 것으로 예상됨

□ 시급성

❍ 해당 기술 개발에는 장기간에 걸친 많은 Resource 투입이 예상되나 기술적, 경제적으로 많은 불확실성이 예상되어 정부 차원의 지속적인 연구 개발 지원 및 신재생에너지 개발과 연계한 정책, 로드맵 수립, 산학연 국가과제 등의 지원이 필요함

❍ 또한 상업화를 전제로 수행하는 기술 개발이므로 개발된 공정/촉매를 실증 규모에서 충분히 테스트할 수 있도록 실증 시설 구축 또는 구축된 시설을 용이하게 활용하기 위한 정책, 산학연계 국가과제 등 지원 필요함

2. 기술개발 목표

□ 최종 목표

❍ 석유화학 원료 대체를 위한 친환경 올레핀 생산 기술 개발 및 통합 패키지 확보

- 상용공정 적용을 위해 장기안정성을 고려하여 촉매 활성 및 내마모성을 고려한 최적의 물성을 갖는 촉매 구조 설계 및 대량 합성 기술 개발
- 에너지 효율을 향상시킬 수 있는 반응기 형태, 크기 선정 및 최적 공정 설계. CO_2 직접전환의 발열을 컨트롤하고, 열효율을 높일 수 있는 demo scale 에너지 효율 향상 반응 공정/반응기 설계 기술 개발 및 설비 건설 및 운전 기술 확보
- 상업화 설비 설계를 위한 기반 Data 확보 및 상업설비 Design Package 확보
- 스케일업 및 반응 최적화

□ 단계별 목표

1단계('25년 ~ '27년)	2단계('28년 ~ '30년)
- 격상 규모 연구 추진 및 촉매·공정 기술 최적화	- 장시간 운전 데이터, scale-up factor, 경제성 분석 및 CO_2 절감 효과 분석을 통한공정설계안 확보

□ 성능목표

성과지표	현 수준	개발 목표					
		'25	'26	'27	'28	'29	'30
이산화탄소 처리량 (톤-CO_2/일)	0.05	-	-	-	20	50	50
이산화탄소 합성가스 전환율	30%	30	35	40	35	40	40
기초유분 선택도	40%	40	45	50	50	50	50
실증 설비 장기 운전 (시간)	-	-	-	-	500	8000	4000
상업설비 Design Pakage확보	-	-	-	-	-	-	확보

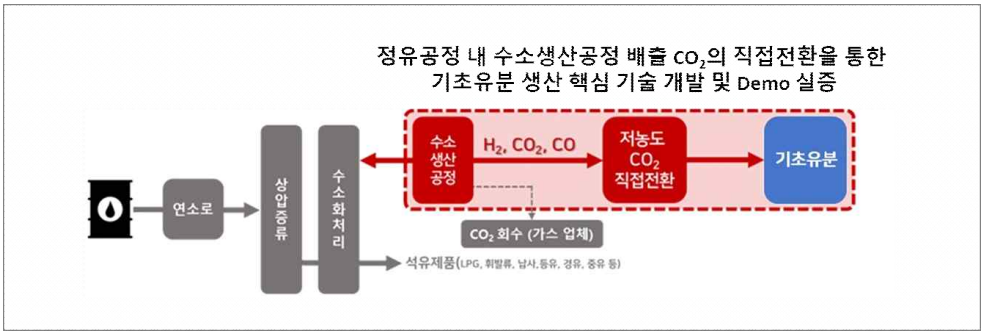
3. 기술내용 및 범위

□ 개요

❍ 정유산업 수소생산공정 off-gas (HMP Purge gas)는 CO_2와 H2를 포함하고 있어 별도의 CO_2 포집공정이나 H2를 추가하지 않고 기존의 납사분해 설비 공정으로부터 생산되는 기초유분을 대체하기 위한 CCU 공정 탄소중립 연료로 활용 가능함

❍ 그러나, 정유단지 on-site 적용 가능한 HMP Purge gas 내 CO_2대상 CCU 기술 부재로 현재는 열원으로 사용되고 있어 추가적인 온실가스 감축이 어려운 실정임

❍ 본 과제에서는 정유단지 수소생산시설에서 배출되는 '저농도 CO_2 (약 50% CO_2, 40% H2, 10% CO로 구성) 직접전환 (1,800 ton-CO_2/yr)에 의한 기초유분(올레핀및 납사등) 생산 핵심기술'을 개발 & Demo Scale 실증연구를 수행함으로써 CO_2 활용 및 배출 저감을 통한 탄소중립 실현에 기여하고자 함



□ 연구 세부내용 ① : 촉매 개발

❍ 저순도 CO_2 직접전환 공정에 의한 생성물 중 납사 및 올레핀 함량 50% 이상의 기초유분을 생산할 수 있는 고효율의 다중기능성 철 (Fe)계 촉매의 설계 및 합성 기술개발 및 적용이 필요함. 상용공정 적용을 위해 장기안정성을 고려하여 촉매 활성 및 내마모성을 고려한 최적의 물성을 갖는 촉매 구조 설계 및 대량 합성 기술 개발이 필요함

❍ (시설 및 장비) 촉매 양산기술을 위해 kg 단위의 합성이 가능한 촉매 합성장비 및 반응기 내 구동을 위해 우수한 내마모성을 유지할 수 있도록 성형기술이 확보되어야 하므로 촉매 성형 압출기가 필요함.

□ 연구 세부내용 ② : 반응기 및 공정설계

❍ (기술개발내용) 반응기의 형태 및 크기에 따라 반응 열전달 효율이 다르기 때문에 최적의 공정설계를 통해 에너지 효율을 향상시킬 수 있음. CO_2 직접전환을 통한 기초유분의 생산은 발열반응으로 고압 스팀 등을 이용하여 열 추출이 가능하며 이를 정유공정에 직접 활용하는 등의 공정 configuration 필요함. 이에 따라 demo scale 에너지 효율 향상 반응 공정/반응기 설계 기술 개발 및 설비 건설 및 운전 기술이 필요함.

❍ (시설 및 장비) demo 급의 반응기 및 공정 운전시 필요한 유틸리티 및 부대시설이 필요하며, 반응기와 기존 공정 연계를 위한 기타 부대시설이 필요함

□ 연구 세부내용 ③ : 기존 공정 활용 및 연계

❍ (기술개발내용) 촉매 공정 시스템의 경우, 정유 공정의 유틸리티와 구성이 유사하기 때문에 기존 공정과의 연계가 가능함. CO_2 화학적 전환 방법을 통해 얻어지는 산출물은 정유공정 내 타 process 연계를 통해 석유화학 대체품으로의 전환이 가능함.

❍ (시설 및 장비) 생산 설비 및 분리정제 공정 연계시 추가적으로 필요한 부대시설 구축

□ **기존 기술과의 차별성**

❍ 선행 기술로 CO_2 수소화 반응을 통한 기초유분 및 연료를 생성하는 연구가 수행 되었으나, 대부분 순수 CO_2 및 H2를 활용한 공정임 (CO_2 대비 3~4배의 수소량 필요). 하지만 당사는 정유 공정 부생가스를 Feed로 활용하고자 하기 때문에 기존기술 보다 경제성 확보 가능함

❍ 본 과제를 통해 확보되는 기술의 경우, 정유업계에서 수소생산 배출가스에 포함된 수소가 반응에 관여하여 부가적인 수소 도입을 최소화 할 수 있으며, CO_2 감축효과와 더불어 고부가가치의 기초유분 및 연료를 생산할 수 있어 경제성 확보에도 유리함

❍ 상용화 기술 개발 완료시, One-site 공정으로 공장 내 유틸리티를 활용할 수 있기 때문에 추가적인 공정 비용 및 유통비가 불필요하여 경제성 확보도 가능함

□ **선행 사업과의 차별성**

❍ 과기부, Korea CCS 2020 사업(`11~`20)

- 석탄화력발전소에 CCS적용을 위한 CO_2포집기술개발과 0.5 MW급 습식 포집설비 실증을 실시하여 track record를 확보하였으나 배출원이 석탄화력발전으로 제한되어 있고 혁신 흡수제 적용에 따른 재생 에너지의 추가 저감 등 향후 해결해야할 이슈가 존재함
- 본 과제는 석탄화력과는 배출가스 특성이 다른 정유공정을 대상으로 별도의 포집공정 없이 배출가스를 직접 전환하는 기술 개발이므로 흡수제가 필요 없고, 공정 설계가 기존 추진과제와는 중복성이 없으며 on-site에서 자원화 기술과 통합 개발되는 차별성을 갖고 있음

❍ 과기부, 유용물질 생산을 위한 Carbon to X 기술개발 사업(`20~`24)

- 해당 사업은 포집된 이산화탄소를 전기화학적, 열화학적, 생물학적으로 전환하여 유용한 화합물을 생산하는 기술 개발 과제임
- 본 과제는 정유공정에서 발생하는 이산화탄소를 별 도의 포집 공정 없이 직접 활용하여 기초유분을 생산하는 기술 개발 사업으로서 상기 사업과 차별성이 있음

❍ 과기부, 차세대 탄소자원화 핵심 기술개발 사업(`17~`21)

- 제철 부생가스, 고순도 포집CO_2, 유기성 폐자원 등의 온실가스 발생원을 대상으로 분리막, 흡착제 등의 소재 개발과 광, 바이오, 전기, 화학적 전환 공정 개발을 통한 다양한 제품 생산이 광범위하게 포함되어 있으나 TRL 5 이하의 원천연구 중심이었음
- 본 과제는 반응 원료 및 분리/전환 기술의 적용 범위가 정유 산업에 특화되어 있고, 재생에너지로부터 발생하는 수소가 추가적으로 필요하지 않아 경제성 측면에서 유리하며, 과제의 목표가 Demo 규모 실증 기술 개발로 기술의 난이도 및 감축효과의 차별성이 높음

❍ 산자부, 탄소순환형 정유제품 생산을 위한 CCU 통합공정 기술개발 사업('22~'25)

- 해당 과제는 본 사업에서 수행하고자 하는 CO_2 직접전환 실증의 전단계인 lab~pilot 기반 기술 개발 과제로써 해당 과제에서 개발된 기술을 기반으로 본 사업에서 demo scale 기술 개발 및 실증을 추진하고자 함

□ 부지 확보 여부

❍ CO_2 배출원 인근 여수산단 내 부지 활용이 가능할 것으로 판단

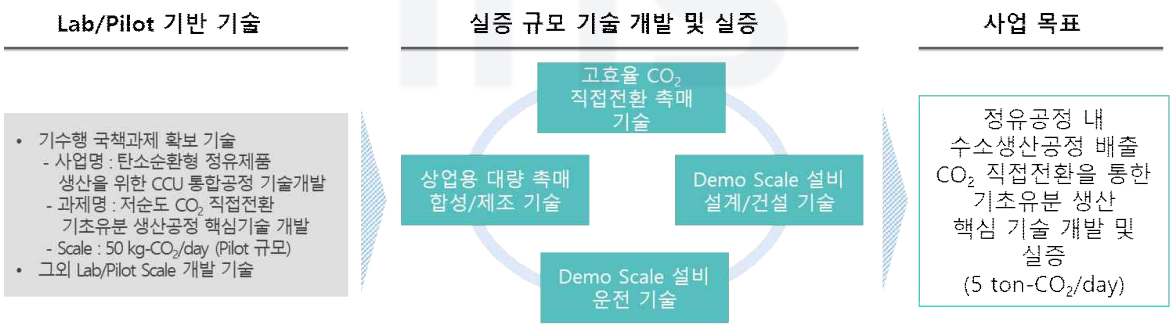
4. 기술개발 추진방법 및 주체

□ 기술개발 추진전략

❍ 본 사업은 기수행된 국책과제와 그 외 개발된 lab./Pilot Scale 기술을 기반으로

1) 고효율 CO_2 직접전환 촉매 기술,
2) 상업용 대량 촉매 합성/제조 기술,
3) Demo Scale 설비 설계/건설 기술,
4) Demo Scale 설비 운전 기술

과 관련한 전문성 있는 기업/기관과의 컨소시엄을 구성하여 여수산단 내 산업공정 배가스를 직접 활용하여 Demo scale 패키지 및 기술 검증을 사업 목표로 추진하고자 함.



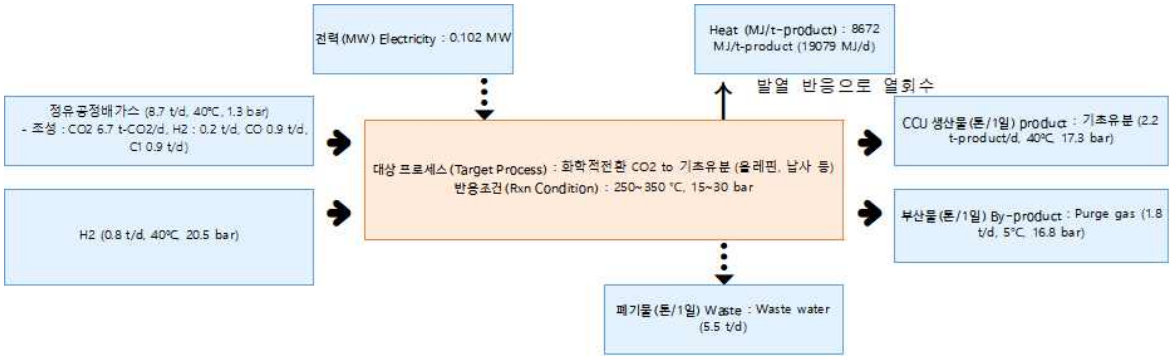
'26년 (실증 설비 설계)	'27~'28년 (실증 설비 구축)	'29~'30년 (실증 수행)
• Demo 설비 설계안 도출 - 공정 모사 및 Pilot Data 활용 반응기 및 에너지 효율 향상 공정 설계 - 수소생산공정 배가스 도입방안 도출 • 촉매 대량 제조 기술 개발 및 검증	• Demo 설비 건설 (5 ton-CO_2/day) • Demo 구축 설비 시운전 및 보완 • CO_2 전환 촉매 대량 생산 • 경제성 및 에너지 효율 평가	• Demo 설비 운전 최적화 및 운전 신뢰성 확보 • Demo 적용 촉매 장기운전성능 평가 • 생산 기초유분 품질 평가/인증 및 적용성 평가 • 상업 시설 기본 설계안 도출

□ 기술개발 주체

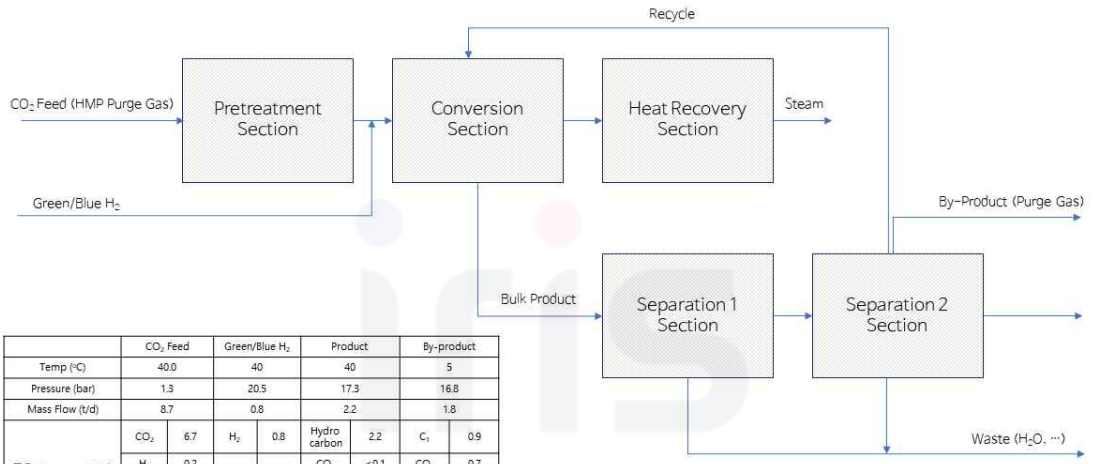
단독 개발	산+산	산+학	산+연	산+산+연	산+학+연	산+해외
( )	( )	( )	( )	( )	(○)	( )

5. 물질 에너지 수지 및 공정도(PFD)

□ 물질 에너지 수지(1일 1ton 투입 대비 산출량)



□ 공정흐름도(PFD)



	CO_2 Feed		Green/Blue H_2		Product		By-product	
Temp (℃)	40.0		40		40		5	
Pressure (bar)	1.3		20.5		17.3		16.8	
Mass Flow (t/d)	8.7		0.8		2.2		1.8	
주요 Component (t/d)	CO_2	6.7	H_2	0.8	Hydro carbon	2.2	C_1	0.9
	H_2	0.2			CO_2	<0.1	CO_2	0.7
	CO	0.9						
	C_1	0.9						

□ 장비 리스트

품목	Item No.	SERVICE	Q'TY
COMPRESSOR	K-101	COMPRESSOR	1
	K-102	COMPRESSOR	1
PUMP	G-101	REFLUX PUMP	1+1
	G-102	PRODUCT PUMP	1+1
	G-104	SALT CIRCULATION PUMP	1+1
COLUMN	C-301	COLUMN	1
REACTOR & DRYER	C-101	DEHYDRATOR	1
	C-102	DEOXYGENATOR	1
	R-101	REACTOR	1
HEAT EXCHANGER	E-101	HEAT EXCHANGER	1
	E-102	HEAT EXCHANGER	2
	E-103	HEAT EXCHANGER	1
	E-104	HEAT EXCHANGER	1
DRUM	C-103	DRUM	1
	C-104	DRUM	2
	C-105	DRUM	2
PACKAGES & SPECIALTY ITEMS	L-101	CHILLER	1

PROJECT GSC CO2 to Chemical
SCENARIO CO2 to Chemical (1,800 TA_CO2)
DATE

PRELIMINARY EQUIPMENT LIST

GS Caltex

COMPRESSOR

REV	ITEM NO.	SERVICE	Q'TY	SPECIFICATION	DRIVER TYPE	POWER (KW)	REMARKS	COST
	K-101	COMPRESSOR	1					
	K-102	COMPRESSOR	1					

PUMP

REV	ITEM NO.	SERVICE	Q'TY (W+S)	TYPE	DESIGN CAPACITY (gpm)	HEAD (ft)	DRIVER TYPE	POWER (KW)	REMARKS	COST
	G-101	REFLUX PUMP	1+1	CEN						
	G-102	PRODUCT PUMP	1+1	CEN						
	G-103	WATER PUMP	1+1	CEN						
	G-104	SALT CIRCULATION PUMP	1+1	Vert.						

COLUMN

REV	ITEM NO.	SERVICE	Q'TY	MAIN DIMENSION (ID X TL, mm)	DESIGN CONDITIONS		INTERNAL TYPE (TRAY or PACKING)	NO. OF TRAY / HEIGHT OF BED (mm)	REMARKS	COST
					PRESS. (kg/cm2g)	TEMP. (℃)				
	C-301	COLUMN	1	500 x 13000						

REACTOR & DRYER

REV	ITEM NO.	SERVICE	Q'TY	TYPE (V/H)	MAIN DIMENSION (ID X TL, mm)	INTERNAL (PER VESSEL)	DESIGN CONDITIONS		REMARKS	COST
							PRESS. (kg/cm2g)	TEMP. (℃)		
	C-101	DEHYDRATOR	1	V	600 x 1800					
	C-102	DEOXYGENATOR	1	V	600 x 1800					
	R-101	REACTOR	1	V	400 x 4000					

HEAT EXCHANGER

REV	ITEM NO.	SERVICE	Q'TY	TOTAL HTA (m2)	HEAT DUTY (Kcal/hr x 10^6)	DESIGN CONDITIONS				REMARKS	COST
						SHELL SIDE		TUBE SIDE			
						PRESS. (kg/cm2g)	TEMP. (℃)	PRESS. (kg/cm2g)	TEMP. (℃)		
	E-101	HEAT EXCHANGER	1	30							
	E-102	HEAT EXCHANGER	2	6							
	E-103	HEAT EXCHANGER	1	2							
	E-104	HEAT EXCHANGER	1	6							
	E-105	HEAT EXCHANGER	2	14							
	E-106	HEAT EXCHANGER	2	17							

DRUM

REV	ITEM NO.	SERVICE	Q'TY	TYPE (V/H)	DIMENSION (ID X TL, mm)	INTERNAL	DESIGN CONDITIONS			REMARKS	COST
							PRESS. (kg/cm2g)	TEMP. (deg C)			
	C-103	DRUM	1	H	1000 x 1500						
	C-104	DRUM	2	H	510 x 1200						
	C-105	DRUM	2	H	1500 x 4000						
	C-106	DRUM	1	V	460 x 1400						

PACKAGES & SPECIALTY ITEMS

REV	ITEM NO.	SERVICE	Q'TY	SPECIFICATION		REMARKS	COST
	L-101	CHILLER	1	Cooling Capacity : 150 KW, Range : 3~30 deg C			

6. 최종성과물

□ 연관 분야

적용 산업	타겟 시장	최종 구매자 업종(기업)
정유/석유화학	정유/석유화학	정유/석유화학

□ 목표 감축량(131,200톤/년)

CO_2 배출원	최종 제품		목표 감축량 (톤/년)
	제품명	생산량(년)	
정유 공정 내 수소생산공정 배출 CO_2를 활용 (상업공정 적용시)	기초유분	7만톤	130,000
			CO_2 전환량 – 유틸리티 발생 CO_2 – 미전환 CO_2 배출량
정유 공정 내 수소생산공정 배출 CO_2를 활용 (Demo 실증 규모 적용시)	기초유분	630톤	1,200
			CO_2 전환량 – 유틸리티 발생 CO_2 – 미전환 CO_2 배출량

□ **산정 방법 및 근거**

❍ 정유 공정 내 발생 CO_2를 기초유분으로 전환하여 정유/석화 공정 분야에 적용, 연간 13만 톤 CO_2 감축에 기여

□ **성과물**

❍ 재무적 예상성과 (국내 기준)

- 시장점유율 : 1 % (단, 국내 에틸렌 시장 '25년 1,400만 톤 수준 예측)
- 판매량 : 16.6만 톤
- 판매단가 : 72만 원/톤 (에틸렌, 프로필렌, 나프타 및 메탄 시장가를 기준으로 생성된 분율에 따라 가격 적용)
- 국내 매출액 : 1,250억 원 (단, 국내 매출액은 탄소배출권 및 Carbon credit이나 정부 세제 혜택 등이 제외된 가격으로써 추후 경제성 개선 가능성 있음)

특허			세계 최초·최고 원천 기술 확보	논문	고용창출	상용 (제품)화	상용화 사례
국내	해외	3극 특허					
(3)건	(3)건	(1)건	( )건	(3)건	(50~500)명	(1)건	( )건

* (3극 특허) USPTO(미국특허청), EPO(유럽특허청), JPO(일본특허청) 동시 출원 및 등록된 특허

7. 기대효과 및 파급효과

□ **기술적 측면**

❍ CO_2로부터 고함량 올레핀 및 납사포함 기초유분을 합성 할 수 있는 원천 촉매 설계, 대량 제조 기술 및 촉매공정 기술 확보 가능함

❍ CO_2 직접 전환 demo scale 실증을 통한 상업화 공정 설계 및 운전 기술 확보 가능함

❍ 에너지 효율 향상 반응기 및 공정 configuration 구성으로 부가적인 온실가스 감축에 기여 할 수 있음

❍ 저농도 CO_2 직접전환 원천 촉매기술 및 공정기술에 대한 라이선스 확보 및 기술이전 가능함

❍ 본 기술의 규모 격상을 통한 2050 탄소중립 추진전략 목표에 부합하는 대용량 온실가스 배출량 감축 및 탄소중립 기초유분 공급이 가능함

□ **정책적 측면**

❍ 해당과제 목표 달성시 NDC 목표 달성에 기여할 것으로 예상함

- '30년까지 5 톤-CO_2/일 (1,800 톤-CO_2/년) 실증 규모 사업을 통해 약 1,200 톤-CO_2/년 감축
- 실증 완료 후 상업화 시 13만톤 CO_2/년 감축 예상

❍ 경제적 측면

- CO_2 전환으로 생산된 화학소재를 활용하여 해외 에너지 수입에 대한 의존도를 감소시킬 수 있어 국가 에너지자립도 향상시킬 수 있음
- 국내 정유공정에서 생산되는 화석원료 기반 화학소재를 CO_2 직접전환 화학소재로 대체하여 온실가스 배출을 저감하는 데 일익을 담당할 수 있어, 기후변화협약 관련 대외 무역 규제에 적극 대응할 수 있음
- 본 연구 기술 개발을 통해서 CO_2 절감 및 석유화학제품 생산 시스템 구축으로 2021년에 발표된 한국의 '2050 탄소중립 추진전략'의 탄소 배출량 감소 목표를 더욱 안정적으로 달성하며 세계 최고 수준의 탄소 활용 기술 선도 국가로 자리매김할 수 있을 것으로 예상됨
- 순환형 정유제품 생산을 위한 CCU 통합공정 기술에 대한 독자적 기술 및 시스템 개발로 전 세계 시장에서의 입지를 높일 수 있을 것으로 기대됨
- 원료로서 탄소를 활용하는 정유산업의 지속적인 성장을 견인함으로써 관련 산업의 고용 유지 및 매몰비용 회피 가능함

8. 개발기간/예산/인력

예상 개발 기간(년)	정부출연 연구비, 참여 인력(억 원 / 명)								
2025년 ~ 2030년 총(6년)	사업 년도		'25	'26	'27	'28	'29	'30	합계
	사업비 (억 원)	국고	12	15	56	39	19	10	151
		민자	4	5	18	13	6	3	49
		소계	16	20	74	52	25	13	200
	참여 인력 (명)	박사급	10	16	22	22	10	10	90
		석사급	4	8	12	12	4	4	44
		학사급	2	2	8	8	2	2	24
		기타		4	8	8	8	8	36
		소계	16	30	50	50	24	24	194

9. 중복성 및 차별성

□ 기존 기술과의 차별성

❍ 선행 기술로 CO_2 수소화 반응을 통한 기초유분 및 연료를 생성하는 연구가 수행 되었으나, 대부분 순수 CO_2 및 H2를 활용한 공정임 (CO_2 대비 3~4배의 수소량 필요). 하지만 정유 /석유화학 공정 부생가스를 Feed로 활용하고자 하기 때문에 기존기술 보다 경제성 확보 가능함

❍ 본 과제를 통해 확보되는 기술의 경우, 정유업계에서 수소생산 배출가스에 포함된 수소가 반응에 관여하여 부가적인 수소 도입을 최소화 할 수 있으며, CO_2 감축효과와 더불어 고부가가치의 기초유분 및 연료를 생산할 수 있어 경제성 확보에도 유리함

❍ 상용화 기술 개발 완료시, One-site 공정으로 공장 내 유틸리티를 활용할 수 있기 때문에 추가적인 공정 비용 및 유통비가 불필요하여 경제성 확보도 가능함

❍ 과기부, Korea CCS 2020 사업(`11~`20)

- 석탄화력발전소에 CCS적용을 위한 CO_2포집기술개발과 0.5 MW급 습식 포집설비 실증을 실시하여 track record를 확보하였으나 배출원이 석탄화력발전으로 제한되어 있고 혁신 흡수제 적용에 따른

재생 에너지의 추가 저감 등 향후 해결해야할 이슈가 존재함

- 본 과제는 석탄화력과는 배출가스 특성이 다른 정유공정을 대상으로 별도의 포집공정 없이 배출가스를 직접 전환하는 기술 개발이므로 흡수제가 필요 없고, 공정 설계가 기존 추진과제와는 중복성이 없으며 on-site에서 자원화 기술과 통합 개발되는 차별성을 갖고 있음

❍ 과기부, 유용물질 생산을 위한 Carbon to X 기술개발 사업(`20~`24)

- 해당 사업은 포집된 이산화탄소를 전기화학적, 열화학적, 생물학적으로 전환하여 유용한 화합물을 생산하는 기술 개발 과제임
- 본 과제는 정유공정에서 발생하는 이산화탄소를 별도의 포집 공정 없이 직접 활용하여 기초유분을 생산하는 기술 개발 사업으로서 상기 사업과 차별성이 있음

❍ 과기부, 차세대 탄소자원화 핵심 기술개발 사업(`17~`21)

- 제철 부생가스, 고순도 포집CO_2, 유기성 폐자원 등의 온실가스 발생원을 대상으로 분리막, 흡착제 등의 소재 개발과 광, 바이오, 전기, 화학적 전환 공정 개발을 통한 다양한 제품 생산이 광범위하게 포함되어 있으나 TRL 5 이하의 원천연구 중심이었음
- 본 과제는 반응 원료 및 분리/전환 기술의 적용 범위가 정유 산업에 특화되어 있고, 재생에너지로부터 발생하는 수소가 추가적으로 필요하지 않아 경제성 측면에서 유리하며, 과제의 목표가 Demo 규모 실증 기술 개발로 기술의 난이도 및 감축효과의 차별성이 높음

❍ 산자부, 탄소순환형 정유제품 생산을 위한 CCU 통합공정 기술개발 사업('22~'25)

- 해당 과제는 본 사업에서 수행하고자 하는 CO_2 직접전환 실증의 전단계인 lab~pilot 기반 기술 개발 과제로써 해당 과제에서 개발된 기술을 기반으로 본 사업에서 demo scale 기술 개발 및 실증을 추진하고자 함

10. 해외 활용 여부

- 협력 파트너십을 통해 CO_2 활용 기술 통합 패키지 개발 및 기술 수출
- 재생에너지가 풍부한 개도국과 연계하여 국외감축사업 추진

11. 기타 특기사항

- 본 과제는 원천기술 개발, 스케일 업을 통한 벤치/파일럿 통합 실증, 고객평가 등 제품 개발까지 복합적으로 진행해야 하는 과제이기 때문에 산/학/연 혹은 산/학 협업이 필수적임

3 e-Fuel

4. (화학) 합성연료(휘발유, 경유) 생산 기술

과제 개요		
전략 과제	e-Fuel	
세부 과제명	합성연료(휘발유, 경유) 생산 기술	
사업 권역	□서부권, ■남부권, □중부권, □동남권	
기술 유형	■화학적전환 □생물학적전환 □광물탄산화	
적용 산업	탄소중립 모빌리티	
최종 제품	e-Fuel	
산출물	온실가스 감축목표	50,000(톤/년)

기술 개발 개요							
기술개발단계	□ 기초 □ 응용 ■ 개발 □ 실증			기술단계	TRL (6)단계		
적용 산업	탄소중립 모빌리티			최종 제품	e-Fuel		
기술개발 주체	기업 단독	산+산	산+학	산+연	산+산+연	산+학+연	산+해외
						○	

기술 개발 규모								
연구 개발 기간		2025년 ~ 2030년 (6년)						
연구비 (억 원)	총연구비	총 500 억원 (국고 250억원 / 민자 250억원)						
	개발년도	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
	국고	45	35	30	60	50	30	
	민자	45	35	30	60	50	30	
	소계	90	70	60	120	100	60	
소요 인력		총 소요 인력 (71)명						

기술 개요		
기술 정의		이산화탄소 활용 합성연료 개발 및 통합 패키지 기술 확보
기술개발 목표		이산화탄소 활용 합성연료 제조 상용화 기반 구축 및 자동차 규격 인증 확보

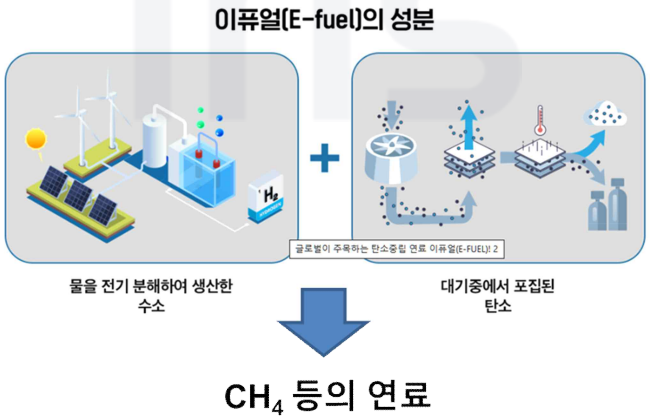
1. 기술개발 필요성

□ 기술 개발 필요성

❍ 이산화탄소 전환 e-fuel 생산 기술개발 중요성

- e-fuel은 연소시 CO_2를 배출하지만, 제조시 CO_2를 활용하므로 탄소를 재순환 시킴으로써 기존 동력 기관을 사용하더라도 탄소 중립에 기여함
- e-fuel은 완전 연소 비율이 높아 기존 경유 자동차 대비 미세먼지/온실가스 배출량이 20-40% 수준임
- EU는 2035년 탄소중립을 위해 휘발류와 경유를 사용하는 내연기관 신차판매 금지조치
- e-fuel을 적용하는 내연기관 차량은 판매금지 조치 제외
- 전동화가 어려운 항공 및 선박 분야에서도 e-fuel로 대응
- 유럽과 일본에서는 정부차원의 e-fuel 개발을 국가기술 로드맵으로 식별, 적용을 고려
- 에너지안보를 위한 e-fuel 적용 필요 (전쟁과 정책등의 이유로 석유의 유통 문제 발생)

❍ 재생 합성연료(e-Fuel)는 기존 내연기관 인프라를 그대로 사용하면서 탄소중립에 기여하는 연료로, 전기차에 비해 내연기관을 대체하는데 소요되는 비용이 27% 저렴한 만큼 탄소중립의 수단으로 전기차에만 의존하기 보다 e-Fuel 같은 대체 연료도 함께 활용하는 방안 검토 필요



[그림] 이산화탄소와 수소로부터의 E-fuel 제조 모식도

❍ CO_2 화학전환 분야 SAF 제조 기술은 현재 TRL 4 단계까지 검증된 기술로, 상업화를 위한 경제성/LCA 검증을 위한 기업연계 실증연구 필요함. CO_2 감축효과가 뛰어난 기술로 저탄소 항공유 분야에 적용함으로써 이산화탄소 대량 감축 가능함

- 산업 현장 및 대기중 포집된 CO_2와 재생 전력을 통해 제조한 그린 수소를 이용해 항공유로 대표되는 액상탄화수소(C5+)를 제조하는 고효율 촉매 및 공정 시스템 개발을 통해 탄소중립을 달성하기 위한 CCU 기술을 개발하고자 함

·무기촉매를 이용한 CO_2 수소화 반응을 통해 메탄, 메탄올, 포름산, 액상탄화수소(납사, 가솔린, 항공유, 디젤) 등을 제조할 수 있으며, 화학 및 정유산업의 핵심 기초원료와 연료의 제조를 통해 대규모의 CO_2를 전환할 수 있다는 측면에서 장점이 있음

- 전세계적으로 항공 부문의 탄소배출량 감소를 위해 지속가능항공유 제조 및 사용에 대한 관심이 높음

·지속가능항공유 (Sustainable Aviation Fuel, SAF)은 화석연료에서 유래한 항공유 대비 50% 이하의 탄소배출량을 갖는 저탄소 항공유(미국)를 정의

·항공 부문의 탄소배출량은 전세계 온실가스 배출량의 2.5%를 차지하고 있으며 안전성, 현실성을 고려할 때 배터리 및 수소 연료로의 대체가 어려움, ICAO, IATA는 국제 항공 온실가스 감출을 위한 최우선 방안으로 탄소 배출량이 낮은 SAF 활용을 권고

·EU '23년 4월 SAF 의무 사용 합의, '25년부터 EU 내 공항에서 이륙하는 항공기에 의무적으로 사용하도록 함, 미국에서는 '22년 IRA 법안에 SAF 사용 촉진을 위한 미국 내 생산 기업에게 세액 공제 포함

·'30년까지는 HVO/HEPA 등 폐자원을 원료로 활용한 생산 중심일 것으로 예상되나 Feedstock 제약으로 인해 '30년 이후에는 바이오매스/CO_2를 원료로 한 SAF의 비중이 증가할 것으로 전망

·CO_2와 그린수소를 사용하는 SAF 제조는 수소 가격 영향이 커서 현재는 가격경쟁력에서 불리하지만 그린수소의 보급 확대에 따른 가격 안정화와 높은 탄소 감축 효과로 주요 SAF 생산 기술이 될 것으로 전망

〈SAF 제조 기술별 특징〉

기술명	원료	탄소감축	원료 확보	현 항공유 대비 가격
HVO1)/HEPA2)	폐식용유 (HVO) 동물성 지방 (HEPA)	HVO 85% HEPA 76%	제한적	2~3배
Bio ATJ3)	사탕수수	~90%	제한적	3배
CO FT4)	목재/바이오 폐기물	~95%	양호	3~6배
CO 생물전환	목재/바이오 폐기물 CO_2	95~100%	양호	-
CO_2 수소화 (CO_2 FT)	CO_2	100%	양호	3~8배

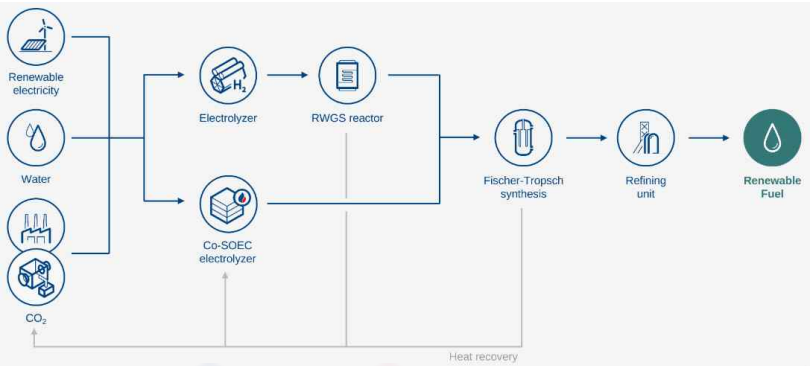
1) Hydrogenated Vegetable Oil, 2) Hydrotreated Esters and Fatty Acids, 3) Alcohol to Jet, 4) Fischer-Tropsch 합성

개발 기술의 산업 분야	현재 포집량(톤/년)	현재 처리·활용량(톤/년)
탄소중립 모빌리티	-	-

□ 국내외 시장·기술 동향

❍ EU는 2035년 이후 자동차의 CO_2 배출을 100% 전면 금지하며 신규 내연기관 자동차 판매 금지에 합의하였으나, 독일 정부는 기술적 중립성을 근거로 합성연료를 사용하는 내연기관 자동차 판매의 허용을 요구하여 이에 집행위는 100% 탄소중립 연료 사용 내연기관 자동차의 경우 2035년 이후에도 신규 판매 및 등록이 가능토록 하고, 이와 관련 구체적 이행법안 제안을 독일 정부에 약속

❍ Norsk e-Fuel은 Sunfire, Climeworks, Paul Wurth, Norsk Vind 등 유럽 기업 컨소시엄으로 노르웨이 Mosjøen 산업 지역에 2024년 액체연료 1,250만 리터/년 생산을 목표로 하고 있으며, 2026년 2,500만 리터/년 규모로 확대하는 것을 계획하고 있음



Norsk e-Fuel의 공정 모식도

❍ HIF(Highly Innovative Fuels) 프로젝트는 Porsche와 SIEMENS energy 가 칠레 남부의 풍력을 이용하여 e-fuel 생산을 시작하였음. 파일럿 단계에서 연간 약 13만 리터 생산을 계획하고 있으며, 파일럿 단계 이후에는 2025년 이후 연간 5,500만 리터, 2027년에는 5억 5,000만 리터까지 생산 규모를 확대할 것을 목표로 함

HIF(Highly Innovative Fuels) 프로젝트의 공정 모식도

□ 문제점 및 극복과제

❍ 재생에너지 기반 수소 생산 연구는 벤치 규모급으로 생산 연구가 진행되고 있으며, 최근 다양한 그린 수소 생산과 관련된 대규모급 수소 생산 실증 기술이 진행되고 있음. 이산화탄소 다배출지역과 연계된 재생에너지를 이용한 대규모 수소 생산 실증 기술이 필요함.

❍ 이산화탄소의 발생처에서 이산화탄소 포집하는 기술, 대기 중에서 이산화탄소를 포집하는 기술, 생물 유래 이산화탄소를 포집하는 기술의 대규모 실증 기술이 필요함.

❍ E-Fuel 생산 기술은 메탄올 합성 후 methanol to gasoline (MTG) 반응공정과 Fisher-Tropsch (FT) 반응공정을 통해 생산하는 2개의 공정으로 구분될 수 있음. 각각의 공정은 역수성가스 (RWGS) 반응 공정을 통해 이산화탄소를 일산화탄소로 먼저 전환하는 간접 전환 공정과 이산화탄소를 수소와 직접 반응시키는 직접 전환 공정이 있음. 총 4개의 공정 (1. RWGS->메탄올 합성->MTG, 2 이산화탄소의 직접 메탄올 합성->MTG, 3. RWGS->FT, 4. 이산화탄소의 직접 FT 합성)으로 분류됨. 각 요소 공정 개발 및 통합 공정의 국내 기술 실증이 필요함

❍ 메탄올 경유 가솔린 생산 공정, FT 반응 경유 가솔린 생산 공정으로 생산된 합성 연료는 가솔린, 경유로 사용되지 못하기 때문에 업그레이딩 실증 기술이 필요함

□ 시급성

❍ 전동화가 어려운 항공/선박등 수송부문 전반에 적용 가능하며, 석유 연료 운송/보관 시설등 기존 인프라 활용 가능하기 때문에 e-fuel 생산 실증이 필요함

❍ 액체 상태의 e-fuel은 보관·수송이 용이 하고 재생에너지가 풍부한 지역에서 제조하여 유통시 넓은 범위 공급책 활용 가능함. 수소는 기체 상태로 보관·수송이 어렵고, 배터리는 에너지밀도가 비교적 낮음

❍ 현재 유럽 전역에서 신재생에너지를 활용한 액체 연료 생산 기술에 대해 상용화 진행중으로 관련 기술의 국내 기술 경쟁력 제고

2. 기술개발 목표

□ 최종 목표 : CO_2 전환 합성연료 생산 실증 기술 개발

❍ 그린 수소 기반 고효율 친환경 CO_2 기반 합성연료 제조기술 실증

: 실증 운전 데이터 기반 스케일업 전략 수립

❍ 기업 주관 수요 맞춤형 CCU 화학적 전환 기술 실증 수행

□ 단계별 목표

1단계('25년 ~ '27년)	2단계('28년 ~ '30년)
• Bench(pre-Pilot) 검증 및 Pilot 설계	• Pilot 통합실증 및 상업화 기본 설계

□ 성능목표

성과지표	현 수준	개발 목표					
		'25	'26	'27	'28	'29	'30
그린수소 생산 단가	1만원/kg	-	-	-	$6/kg	$5/kg	$4/kg
이산화탄소 포집비용 (산업 분야)		-	-	-	$70/t	$65/t	$60/t
이산화탄소 포집비용 (DAC)	$600/t (미국)	-	-	-	$350/t	$300/t	$250/t
액체연료 생산					1000t/yr	1100t/yr	1150t/yr

3. 기술내용 및 범위

❍ 전남/여수 지역 산단에서 발생하는 이산화탄소를 활용하여 e-Fuel 개발을 통해 산업 온실가스 저감 및 친환경 원료 제조 기반을 확보하고자 함

- CO_2 대규모 배출 업체(발전소, 철강 등)로부터 포집을 통해 경제적 CO_2 공급망 확보
- 전남 지역의 재생에너지를 이용한 그린 수소 생산 기술 실증
- CO_2 기반 e-Fuel 기술 개발 및 scale-up 연구를 통해 차별화된 경쟁력 및 경제성 확보
- 우수한 연료 사업 역량과 영업망을 구축하고 있는 정유회사가 핵심 중간체를 분리/정제 및 고도화하여 합성연료 사업 추진
- 기업 중심의 그랜드 컨소시엄 구성을 통해 CO_2 포집부터 활용까지 전 과정의 SCM(Supply Chain Management)을 구축하여 사업성 확보 추진
- 수요기업과 사업주체가 직접 연구에 참여하여 파일럿 실증을 추진함으로써 실질적인 CCU 기술의 상업화를 위한 기반 데이터 확보 및 상용화 촉진

4. 기술개발 추진방법 및 주체

□ 기술개발 추진전략

❍ 본 사업은 기수행된 국책과제와 그 외 개발된 lab./Pilot Scale 기술을 기반으로

1) 이산화탄소 포집 기술,
2) 그린 수소 연계 고효율 CO_2 직접전환 촉매 기술,
3) 상업용 대량 촉매 합성/제조 기술,
4) 통합 공정 Demo Scale 설비 설계/건설 기술,
5) 통합 공정 Demo Scale 설비 운전 기술

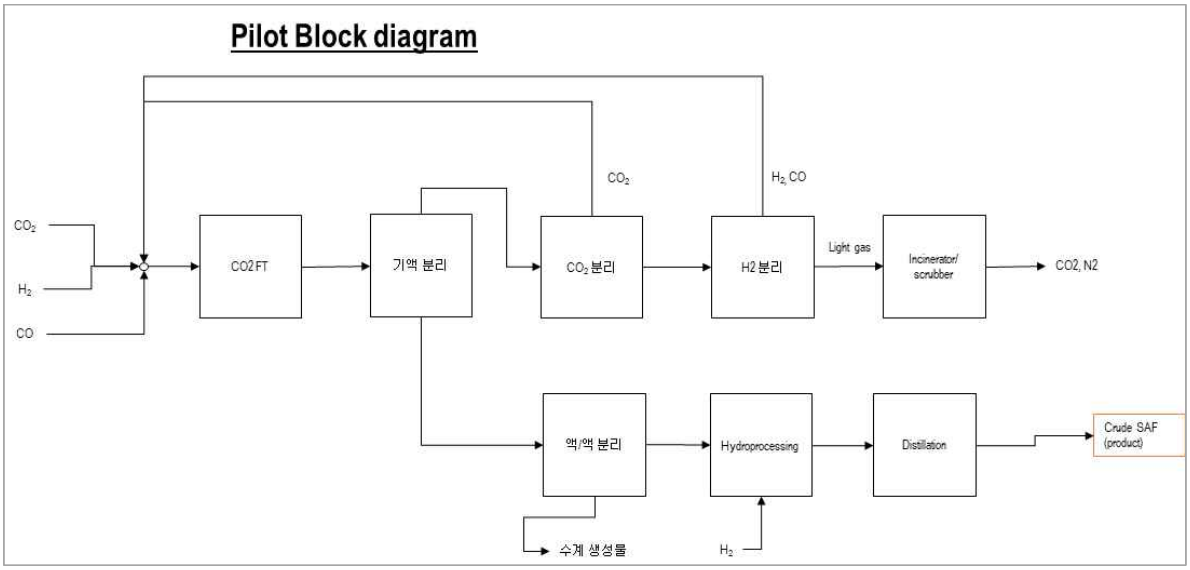
과 관련한 전문성 있는 기업/기관과의 컨소시엄을 구성하여 여수산단 내 산업공정 배가스를 직접 활용하여 Demo scale 실증 및 기술 검증을 사업 목표로 추진하고자 함.

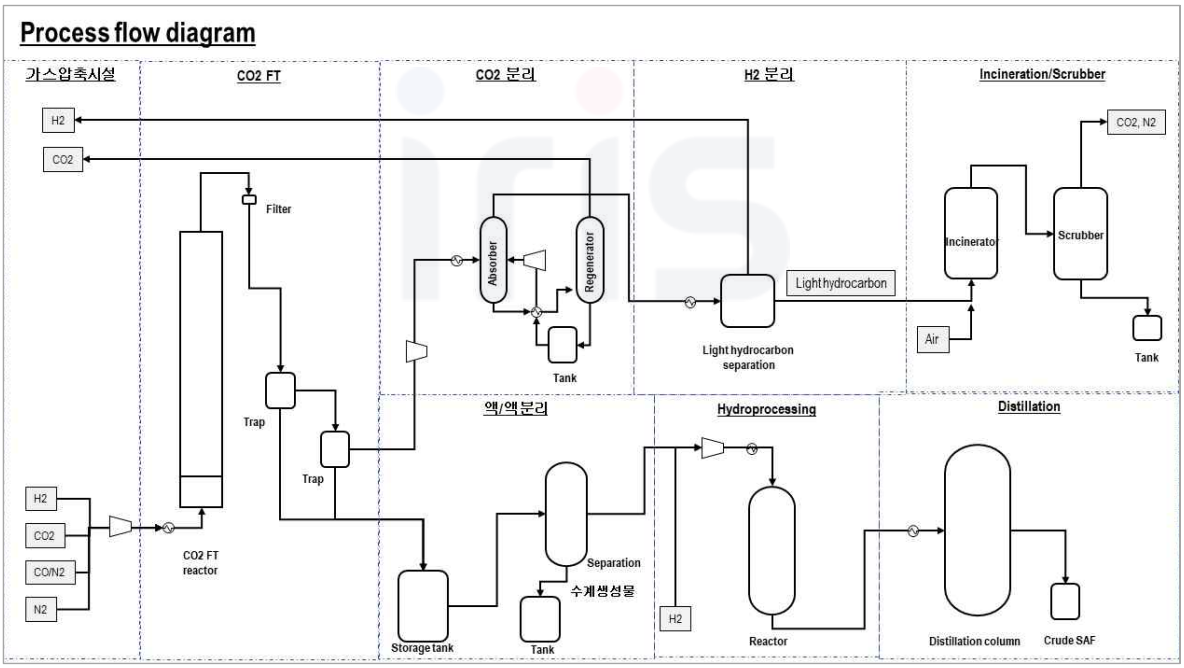
□ 기술개발 주체

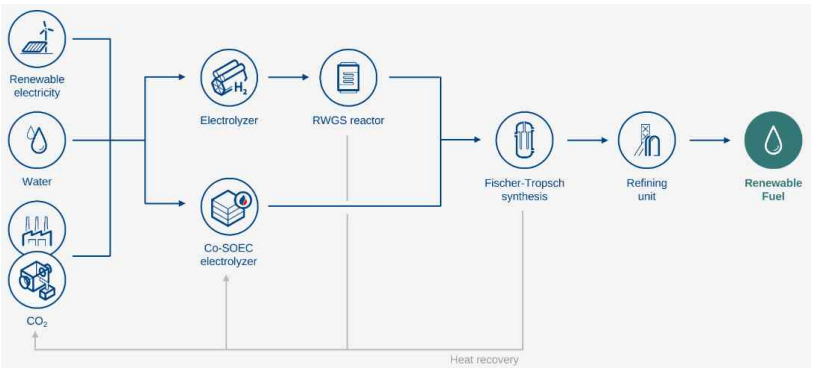
단독 개발	산+산	산+학	산+연	산+산+연	산+학+연	산+해외
( )	( )	( )	( )	( )	(○)	( )

5. 물질 에너지 수지 및 공정도(PFD)

□ 공정도(PFD)







□ **주요 설비**

공정	주요 설비	Spec
가스 압축시설	Compressor	
CO_2FT	고압반응기, 히터, 필터, Trap	250~ 400°C, 10 ~ 30 barg
CO_2 분리	흡수탑, 재생탑, tank,pump,compressor	흡수탑 상온~ 60°C, ~10 barg, 재생탑 80~ 150°C, 상압
H2분리	분리 칼럼	
액액분리	분리 칼럼, tank	
Hydroprocessing	고압 반응기, compressor, 히터	200 ~ 500°C, 10 ~ 30 barg
Distillation	증류 칼럼, compressor,heater	~ 400°C
Incinerator/ scrubber	Incinerator, scrubber, tank	
유틸리티		
가스 저장시설	H2,CO_2 가스 저장소	

6. 최종성과물

□ **연관 분야**

적용 산업	타겟 시장	최종 구매자 업종(기업)
탄소중립 모빌리티 (석유화학, 정유, 자동차)	합성연료 (e-Fuel)	정유, 자동차

□ **목표 감축량**

CO_2 배출원	최종 제품		목표 감축량 (톤/년)
	제품명	생산량(년)	
산업단지에서 배출되는 CO_2 활용	합성연료	1,150	50,000

□ **산정 방법 및 근거**

❍ 그린수소 생산량 : 1000톤/년

- 100MW 급 그린 수소 생산 실증 총 4년간 300억원 규모 국비 지원시 2026년 1000톤/년 그린 수소 생산 목표로 연구 과제 성공시

❍ 합성 연료 생산량 : 1,150 톤/년

- 반응식 : $12CO_2 + 37H2 \rightarrow C12H26 + 24H2O$, 합성 연료 목표 수율 : 50%, 그린 수소 1000톤/년, 합성연료 생산량 1150 톤/년

□ 성과물

특허			세계 최초·최고 원천 기술 확보	논문	고용창출	상용(제품)화	상용화 사례
국내	해외	3극 특허					
(10)건	(3)건	(3)건	(1)건	(5)건	(50)명	(1)건	(1)건

* (3극 특허) USPTO(미국특허청), EPO(유럽특허청), JPO(일본특허청) 동시 출원 및 등록된 특허

7. 기대효과 및 파급효과

❍ 탄소 중립 달성을 위해서는 재생에너지의 보급. 재생에너지 기반의 수소 생산 기술 및 공급 인프라 확보를 통해 CO_2 배출량 저감이 필요하며, 동시에 불가피하게 배출된 CO_2를 포집하고 활용(고정화)시켜 유용한 물질로 전환하거나 혹은 저장해 배출량을 저감하는 CCUS 기술 도입이 필수

- IEA에선 CCUS에 의한 CO_2 감축 기여도를 30년 3.2% 로 예측하고 있으며 CCUS 기술 완성도가 높아지는 50년에는 18.4%까지 확대가 필요하다고 발표
- 우리나라도 2050 탄소중립 시나리오 (‘21년)에 따르면 국가 온실가스 감축목표를 달성을 위해 CCU 분야에서 25.2백만톤, CCS 분야에서 60백만톤 감축 기여량을 산정하고 있음
- EU의 2050 탄소중립 시나리오에서는 약 22억톤의 CO_2를 감축해야 하며, 이중 CCU 기술을 통해 약 3억톤(14% 수준) 가량의 감축 기여가 필요하다 발표
- 전 세계적으로 CCU 기술은 대부분 기술 난이도가 높고 개발 수준이 낮아 상용화를 위해서는 대규모 R&D 투자가 필요
- CO_2 직접 수소화를 통한 액상탄화수소 (e-SAF, e-Fuel, 납사 등) 제조 공정은 현재 높은 기술적 난이도와 높은 생산 단가로 인해 전세계 적으로 개발 수준이 낮음
- 생산 단가의 큰 비중을 차지하는 그린수소의 가격이 안정화되고 기술 완성도가 높아지는‘50년 에는 탄소배출 저감 기술로 그 파급력이 클 것으로 예상

8. 개발기간/예산/인력

예상 개발 기간(년)	정부출연 연구비, 참여 인력(억 원 / 명)								
2025년 ~ 2030년 총(6년)	사업 년도		‘25	‘26	‘27	‘28	‘29	‘30	합계
	사업비 (억 원)	국고	45	35	30	60	50	30	250
		민자	45	35	30	60	50	30	250
		소계	90	70	60	120	100	60	500
	참여 인력 (명)	박사급	4	3	3	6	5	3	24
		석사급							0
		학사급							0
		기타	4	3	6	5	3	26	47
		소계	8	6	9	11	8	29	71

9. 해외 활용 여부

- 협력 파트너십을 통해 CO_2 활용 기술 통합 패키지 개발 및 기술 수출
- 재생에너지가 풍부한 개도국과 연계하여 국외감축사업 추진

10. 기타 특기사항

- 본 과제는 원천기술 개발, 스케일 업을 통한 벤치/파일럿 통합 실증, 고객평가 등 제품 개발까지 복합적으로 진행해야 하는 과제이기 때문에 산/학/연 혹은 산/학 협업이 필수적임

5. (화학) e-SAF 제조를 위한 상용공정 개발

과제 개요		
전략 과제	e-Fuel	
세부 과제명	e-SAF 제조를 위한 상용공정 개발	
사업 권역	□서부권, ■남부권, □중부권, □동남권	
기술 유형	■화학적전환 □생물학적전환 □광물탄산화	
적용 산업	탄소중립 모빌리티	
최종 제품	e-SAF	
산출물	온실가스 감축목표	50,000(톤/년)

기술 개발 개요								
기술개발단계	□ 기초 □ 응용 ■ 개발 □ 실증				**기술단계**	TRL (6)단계		
적용 산업	탄소중립 모빌리티				**최종 제품**	e-SAF		
기술개발 주체	**기업 단독**	**산+산**	**산+학**	**산+연**	**산+산+연**	**산+학+연**	**산+해외**	
						○		
기술 개발 규모	연구 개발 기간	2025년 ~ 2030년 (6년)						
	연구비 (억 원)	총연구비	총 500 억원 (국고 250억원 / 민자 250억원)					
		개발년도	2025	2026	2027	2028	2029	2030
		국고	45	35	30	60	50	30
		민자	45	35	30	60	50	30
		소계	90	70	60	120	100	60
	소요 인력	총 소요 인력 (71)명						
기술 개요	기술 정의	기업 중심의 e-SAF 제조 통합실증 사업을 통해 연간 CO_2 10만톤 감축 및 NDC 목표달성을 위한 CCU 상용 기술 개발						
	기술개발 목표	SAF 제조 파일럿 통합실증을 통한 상용 공정 기반 구축						

1. 기술개발 필요성

□ 기술 개발 필요성

❍ CCUS는 국가 온실가스 감축 목표 달성을 위한 중요한 감축수단이므로(2030년 CCUS를 통해 1,120만 톤을 감축하는 목표 설정, 탄소중립 녹색성장 국가 기본계획, '23.04) 상용 가능한 기술이 CCU 시장을 선도할 수 있도록 전략제품의 조기 상용화가 필요

❍ CO_2 화학전환 분야 SAF 제조 기술은 현재 TRL 4 단계까지 검증된 기술로, 상업화를 위한 경제성/LCA 검증을 위한 기업연계 실증연구 필요함. CO_2 감축효과가 뛰어난 기술로 저탄소 항공유 분야에 적용함으로써 이산화탄소 대량 감축 가능함

❍ 산업 현장 및 대기중 포집된 CO_2와 재생 전력을 통해 제조한 그린 수소를 이용해 항공유로 대표되는 액상탄화수소(C5+)를 제조하는 고효율 촉매 및 공정 시스템 개발을 통해 탄소중립을 달성하기 위한 CCU 기술을 개발하고자 함

·무기촉매를 이용한 CO_2 수소화 반응을 통해 메탄, 메탄올, 포름산, 액상탄화수소(납사, 가솔린, 항공유, 디젤) 등을 제조할 수 있으며, 화학 및 정유산업의 핵심 기초원료와 연료의 제조를 통해 대규모의 CO_2를 전환할 수 있다는 측면에서 장점이 있음

❍ 전세계적으로 항공 부문의 탄소배출량 감소를 위해 지속가능항공유 제조 및 사용에 대한 관심이 높음

·지속가능항공유 (Sustainable Aviation Fuel, SAF)은 화석연료에서 유래한 항공유 대비 50% 이하의 탄소배출량을 갖는 저탄소 항공유(미국)를 정의

·항공 부문의 탄소배출량은 전세계 온실가스 배출량의 2.5%를 차지하고 있으며 안전성, 현실성을 고려할 때 배터리 및 수소 연료로의 대체가 어려움, ICAO, IATA는 국제 항공 온실가스 감출을 위한 최우선 방안으로 탄소 배출량이 낮은 SAF 활용을 권고

·EU '23년 4월 SAF 의무 사용 합의, '25년부터 EU 내 공항에서 이륙하는 항공기에 의무적으로 사용하도록 함, 미국에서는 '22년 IRA 법안에 SAF 사용 촉진을 위한 미국 내 생산 기업에게 세액 공제 포함

·'30년까지는 HVO/HEPA 등 폐자원을 원료로 활용한 생산 중심일 것으로 예상되나 Feedstock 제약으로 인해 '30년 이후에는 바이오매스/CO_2를 원료로 한 SAF의 비중이 증가할 것으로 전망

·CO_2와 그린수소를 사용하는 SAF 제조는 수소 가격 영향이 커서 현재는 가격경쟁력에서 불리하지만 그린수소의 보급 확대에 따른 가격 안정화와 높은 탄소 감축 효과로 주요 SAF 생산 기술이 될 것으로 전망

〈SAF 제조 기술별 특징〉

기술명	원료	탄소감축	원료 확보	현 항공유 대비 가격
HVO1)/HEPA2)	폐식용유 (HVO) 동물성 지방 (HEPA)	HVO 85% HEPA 76%	제한적	2~3배
Bio ATJ3)	사탕수수	~90%	제한적	3배
CO FT4)	목재/바이오 폐기물	~95%	양호	3~6배
CO 생물전환	목재/바이오 폐기물 CO_2	95~100%	양호	-
CO_2 수소화(CO_2 FT)	CO_2	100%	양호	3~8배

1) Hydrogenated Vegetable Oil, 2) Hydrotreated Esters and Fatty Acids, 3) Alcohol to Jet, 4) Fischer-Tropsch 합성

개발 기술의 산업 분야	현재 포집량(톤/년)	현재 처리·활용량(톤/년)
탄소중립 모빌리티	-	-

□ 국내외 시장·기술 동향

❍ 국내 동향

- 국내는 SAF 사용 규제가 없는 상황으로 국내 정유사 및 항공사의 대응이 미온적이었으나 EU와 미국에서 SAF 의무 사용 및 세제 혜택이 발표됨에 따라 관심이 높아진 상황

·대한항공은 SAF 사용을 의무화한 파리 노선에 SAF를 1% 혼합해 운항

·대한항공과 아시아나는'26년부터 Shell과 SAF 공급 MOU 체결

·HD 현대오일뱅크는 대한항공과 바이오항공유 생태계 구축 MOU 체결, '25년 하반기 생산을 목표로 공장 건립 검토 (50만톤 규모)

·SK이노베이션은 울산에 SAF 제조 시설 구축 발표('23년),'27년 생산 목표, 생활폐기물 원료 기반 SAF 생산 기술 도입을 위한 Fulcrum bioenergy 지분 투자 진행

·GS칼텍스는 HVO 도입을 통한 SAF 생산 검토 중, 대한항공과 바이오항공유 실증 추진 MOU 진행

·국내 정유사는 높은 SAF 가격 (기존 항공유대비 2~5배)을 이유로 투자를 미뤄왔으나 SAF 의무화를 계기로 관련 사업 추진 중

·SAF는 ASTM D7566 인증이 유효하여, 이를 위해선 오랜 시간과 많은 비용이 필요함, 인증 SAF는 기존 항공유와 혼합한 뒤 추가 인증 후 사용 가능

·국내에는 SAF 인증 기관이 없으며, 국내에서는 석유관리원이 다양한 과제를 통해서 인증 관련 연구를 진행하고 있음

❍ 해외 동향

- EU, 미국 등에선 항공 부분 탄소배출 감축을 목표로 SAF 의무 사용 및 세제 혜택을 법제화 하고 목표 사용량을 발표

·(EU)'23년 4월 SAF 의무 사용 합의, 세무 목표로 그린수소 사용한 e-SAF 사용 의무화

·(프랑스) SAF 1% 혼합 사용 법제화

〈EU SAF 의무 사용량〉

연도	2025	2030	2035	2040	2045	2050
의무 사용 혼합율(%)	2	6	20	34	42	70
e-SAF (%)	-	1.2	5	15	20	35

·(미국) '22년 IRA 법안에 SAF 사용 촉진을 위한 세액 공제 혜택 포함

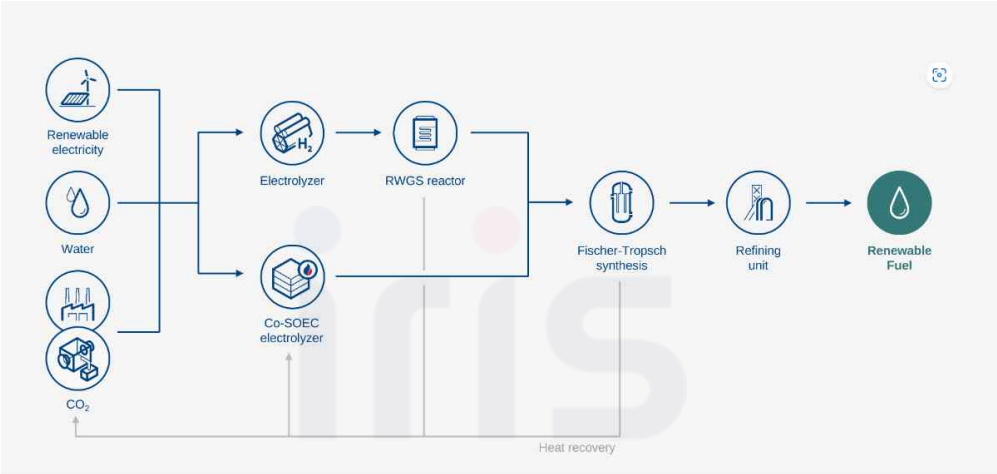
*기존 항공유 대비 CO_2 배출량 50% 간축한 SAF 1갤런당 1.25달러, 감출량에 비례 최대 1.75달러까지 확대

·EU/UK의 SAF 보급 목표량을 4.2MT('30)에서 39.5MT('50)으로, 미국은 SAF Grand Challenge를 통해 8.5MT('30)에서 77MT('50)으로 확대

❍ EU의 SAF 의무 사용 및 세제 혜택으로 인해 SAF 제조 관련 연구 및 상업화가 활발히 진행되고 있음, 기술 완성도가 높은 바이오원료 기반의 SAF는 생산시설 구축 및 확장, CO_2와 그린수소를 이용하는 Power-to-Liquid 기술은 컨소시엄 형태로 실증 연구 개발 중

·Gevo는 현재 바이오 원료 이용 생물전환 공정을 통해 에탄올, 이소부탄올 생산하고 이를 원료로 친환경항공유(SAF) 제조 기술을 개발, 이를 통해 '25년 상업 생산을 목표로 South Dakota(미국)에 'Net Zero 1' 상용 plant 건설 중(SAF : 55million gallon/y)

·Norsk e-Fuel은 Climeworks, Sunfire와 함께 재생 전력을 기반으로 한 CO_2 포집 및 CO 생산, 그린 수소 생산을 통해 합성가스를 확보한 뒤 간접 전황 방식을 통해 e-SAF 제조 기술 개발, DAC는 Climeworks, SOEC를 통한 그린수소 생산은 Sunfire와 협력, Mosjøen(노르웨이)에 e-fuel plant 건설을 통해 SAF 생산 예정



〈 Norsk e-fuel 제조 scheme 〉

□ 지역적 적합성

❍ 국내 최대 석유화학산업단지 보유 및 온실가스 배출 1위 지역 : 남부권역(전남)은 국내 최대 온실가스 배출 지역으로, 석유화학, 철강, 정유 등 지역 주력산업이 도내 배출량의 97%를 차지- 제1차금속산업 43,291(50.2%), 화학 29,981(34.8%), 정유 10,430(12.1%) 등

❍ 전남권역은 특별경제구역인 경제자유구역(전남 여수, 순천, 광양시 일원)으로 지정되어 있고, 율촌 1·2산단, 율촌자유무역지역, 해룡산단, 세풍산단, 황금산단 등의 약 20㎢의 광대한 산업단지 존재

❍ 전국 최대 규모의 신재생에너지(태양광, 풍력) 발전량: 전남 지역은 전국 최대 규모의 신재생에너지 발전량(5,724 GWh('21))과 발전용량(4.65GW)을 지니며, 전국 2위의 부생수소 생산량(544천톤/년)을 나타냄

❍ 높은 신재생에너지 설비 구축에 의한 전력과잉으로 2021년 호남지역 출력제어* 3회 발생 (출처: 제10회 전력수급기본계획)

* 재생에너지 변동성에 따라 발전량 및 출력이 예측을 벗어날 경우, 전력망 안정성 유지를 위해 재생에너지 출력제한

❍ 묘도에코단지 등 탄소중립 인프라 구축 투자 활발

- 여수 묘도 에코 에너지 허브: △수소·암모니아 터미널 및 CCUS(탄소 포집·활용·저장·반출)터미널 등의 '탄소중립 에너지 클러스터' △LNG 터미널과 천연가스 발전 단지 등이 들어서는 '그린에너지 사업' △LNG 거래소와 데이터센터 등이 들어오는 '글로벌 에너지 신사업 Hub' 조성 예정
- 광양만권 산업단지 내, 국내 유일의 탄소중립 화학분야 R&D 실증 조직인 "탄소중립화학공정실증센터"를 보유하고 있어, 대량의 친환경 촉매 제조 및 실증연구, 장비 활용이 가능할 것으로 기대
- 저탄소 소재부품 거점산단: (거점)여수국가산단, (연계)광양국가산단, 율촌 제1산단, 여천·광양항을 대상 지역으로 남부권을 저탄소 지능형 소재·부품산업의 거점산단으로 육성 중

□ 문제점 및 극복과제

❍ 원천 및 스케일업 기술 부재하여 기존 보유한 e-SAF 제조 기술의 성숙도를 높이면서, 이산화탄소 전환율, 친환경 전환자원 활용, 생성물 선택도, 신재생 전력 활용을 위한 원천기술 개발을 동시에 진행 필요

❍ 아직 상용화 되지 않은 e-SAF 제조 기술 선점을 통해 유럽, 미국의 e-SAF 의무 사용, 탄소국경세 등에 대응할 수 있는 신기술 개발 및 시장 선점

* EU '23년 4월 SAF 의무 사용 합의

연도	2025	2030	2035	2040	2045	2050
의무 사용 혼합율(%)	2	6	20	34	42	70
e-SAF (%)	-	1.2	5	15	20	35

* 프랑스 SAF 1% 혼합 사용 법제화

* EU/UK의 SAF 보급 목표 4.2MT('30), 39.5MT('50)

* 미국 '22년 IRA 법안에 SAF 사용촉진을 위한 세액 공제 포함: SAF 1갤런당 1.25~1.75 달러

* 미국의 SAF Grand Challange, 8.5MT('30), 77MT('50)

□ 시급성

❍ 국제적 환경규제 강화(미국의 SAF 사용 의무, 탄소국경세 등)에 따라 빠른 시기에 SAF 기반 확보가 필요한 상황

❍ 기술 개발 뿐만 아니라 항공유 국제 규격 도달을 위해 SAF 보급 의무화 시기보다 이른 상용화가 필요

2. 기술개발 목표

□ 최종 목표

❍ 재생 전력 기반 지속가능 항공유 제조 실증 기술 개발

- CO_2 직접 수소화를 통해 e-SAF을 제조할 수 있는 무기촉매 전환 기술 개발. 촉매 성능 최적화 및 내구성 검증으로 연료 수율 25% 이상, 촉매 내구성 300시간 이상 검증
- 전남도의 풍부한 신재생 전기 인프라를 활용할 수 있는 전기화 기반 CO_2 전환 SAF 제조 기술 개발. CO_2 전환, SAF제조 cacsde 촉매 및 공정 연계 기술 개발

- kg 단위의 촉매 양산이 가능한 촉매 합성 및 성형 설비 구축, SAF 20톤/년 이상 제조 가능한 demo plant 설계, 구축 및 시운전. Demo plant 운전 조건 최적화를 통한 상용 공정 설계 및 상업용 촉매 양산 시스템 구축

□ 단계별 목표

1단계('25년 ~ '27년)	2단계('28년 ~ '30년)
• Bench(pre-Pilot) 검증 및 Pilot 설계	• Pilot 통합실증 및 상업화 기본 설계

□ 성능목표

성과지표	현 수준	개발 목표					
		'25	'26	'27	'28	'29	'30
파우더 촉매 SAF 수율(%)	20 (Lab)	20(Bench)	25(Bench)	25(Bench)			
성형 촉매 SAF 수율(%)	-				20(Pilot)	25(Pilot)	
파우더 촉매 내구성 (h)	-	100(Bench)	300(Bench)	300(Bench)			
성형 촉매 내구성 (h)	-				300(Pilot)	1000(Pilot)	
상업화 기본 설계 (PDP)	-						PDP 확보

3. 기술내용 및 범위

❍ 충남/서산 혹은 전남/여수 지역 산단에서 CCU 분야의 CO_2 활용 SAF 제조 기술의 통합실증을 통해 연간 10만톤 규모의 이산화탄소를 감축하고자 함

❍ CO_2 대규모 배출 업체(발전소, 철강 등)로부터 포집을 통해 경제적 CO_2 공급망 확보

❍ 국내 연구개발을 통해 확보된 우수한 무기나노촉매 기술 역량 기반으로 CO_2로부터 e-SAF 핵심 중간체 제조 기술 개발 및 scale-up 연구를 통해 차별화된 경쟁력 및 경제성 확보

❍ 우수한 연료 사업 역량과 영업망을 구축하고 있는 정유회사가 e-SAF 핵심 중간체를 분리/정제 및 고도화하여 지속가능항공유(SAF) 사업 추진

❍ 기업 중심의 그랜드 컨소시엄 구성을 통해 CO_2 포집부터 활용까지 전 과정의 SCM(Supply Chain Management)을 구축하여 사업성 확보 추진

❍ 수요기업과 사업주체가 직접 연구에 참여하여 실증 규모의 SAF 제조를 추진함으로써 실질적인 CCU 기술의 상업화를 추진하고 가속화 하고자 함

4. 기술개발 추진방법 및 주체

□ 기술개발 추진전략

❍ 탄소 감축 기여도가 높고 '30년 이후 지배기술이 될 것으로 전망되는 e-SAF 기술 상업화 역량 확보를 목표로 함

❍ CO_2 전기화학전환, CO_2 무기촉매전환, CO/CO_2 생물전환 등에 역량을 보유하고 있으며 이를 SAF 제조 기술 개발에 접목하여 개발을 가속화 하고자 함

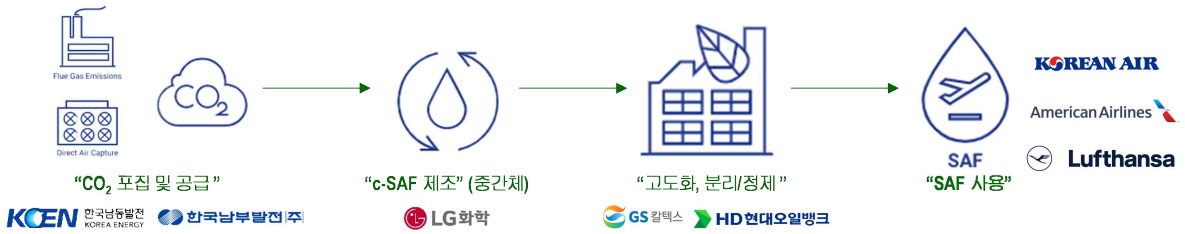
❍ SAF 제조 기술 컨소시엄 구성(案)

❍ '25년 EU의 SAF 의무 사용을 계기로 항공사(전략고객)의 SAF 수요가 점차 높아질 것으로 예상되며, SAF 제조 기술 통합 실증사업 참여를 통해 신규 사업 확장

❍ CO_2 포집, 전환, 고도화 공정 연계 실증 사업을 통한 track recode 확보

❍ 실증 사업을 바탕으로 SAF 인증 획득 및 국내외 SAF 신사업 진출 기회 확보

【SAF 산업 全주기 Value Chain別 참여 기관】

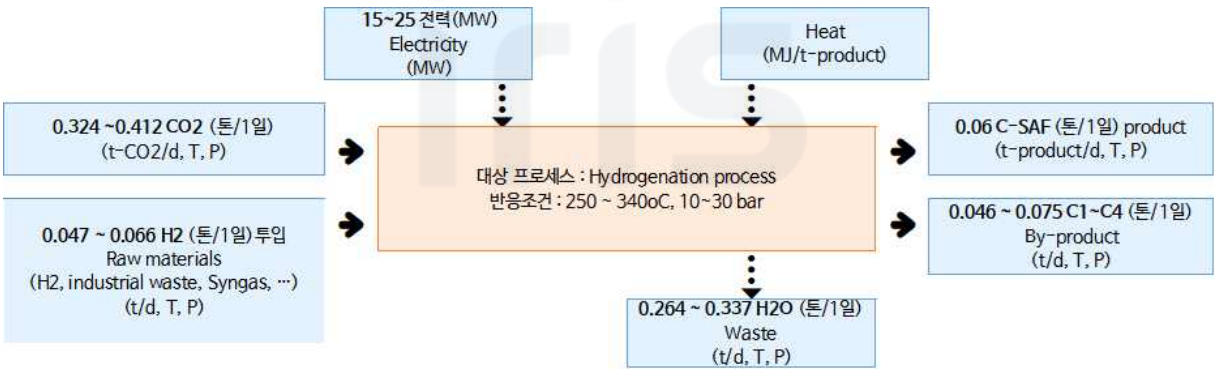


□ 기술개발 주체

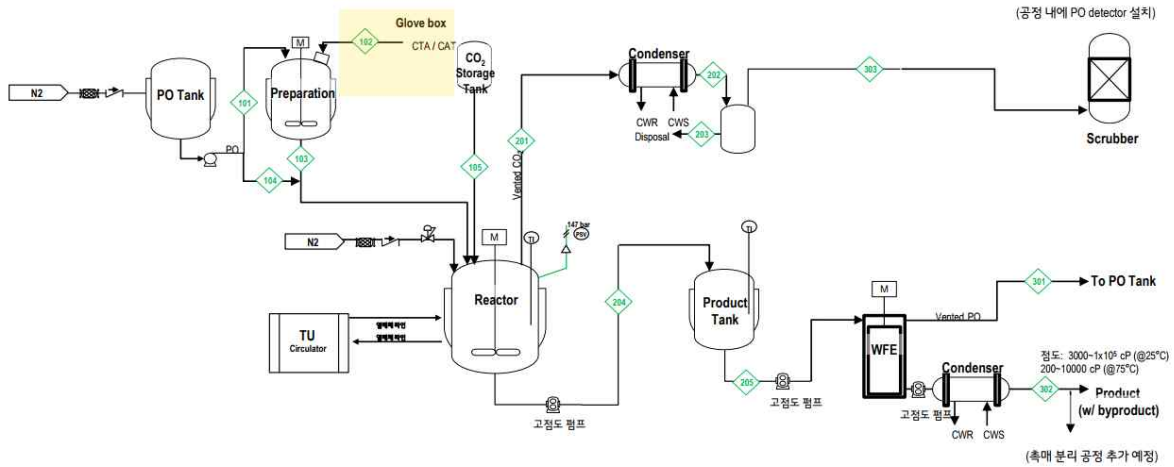
단독 개발	산+산	산+학	산+연	산+산+연	산+학+연	산+해외
( )	( )	( )	( )	( )	(○)	( )

5. 물질 에너지 수지 및 공정도(PFD)

□ 물질 에너지 수지(1일 1ton 투입 대비 산출량)



□ 공정도(PFD)



□ 설비 리스트

[장비 사양 및 비용]

	Type	Size	design pressure	design temp	Shell material	점도	장비 + 부대 설비 Total Direct Cost	Only 장비 Equipment Cost
		L	bar			Mpa-s	$	$
Reactor	agitated tank with jacket	500	32	125	SS316	100000	1,898,300.00	189,900.00
PO tank	agitated tank with jacket	500	10	125	SS316	1	263,700.00	90,800.00
Prep tank	agitated tank with jacket	100	10	125	SS316	1	211,700.00	40,500.00
CO2 tank	agitated tank with jacket	500	70	125	SS316	1	350,900.00	150,100.00
Product tank	agitated tank with jacket	800	10	125	SS316	100000	1,373,700.00	206,300.00
Wiped film evaporator	Distillation Equipment	1400/10500 (mm)#	0.001 (mbar)	125	CS; SS304; SS316; Duplex steel; Titanium	100000	1,300,000.00	250,000.00
							5,398,300.00	677,600.00

한화 73 억원 수준(환율 기준 1,360 KRW/USD)

Wiped film evaporator 사양
inner diameter/height
(feeding rate 1800-300 kg/h)
(evap. Area: 20 m^2, condenser area: 30 m^2)

전체 파일럿 투자비는 73억원 × 3 = 220억원 예상됨

6. 최종성과물

□ 연관 분야

적용 산업	타겟 시장	최종 구매자 업종(기업)
탄소중립 모빌리티 (석유화학, 정유, 항공)	지속가능항공유 (SAF)	항공사

□ 목표 감축량

CO_2 배출원	최종 제품		목표 감축량 (톤/년)
	제품명	생산량(년)	
산업단지에서 배출되는 CO_2 활용	지속가능항공유 (SAF)	연산 10만톤	50,000

□ 산정 방법 및 근거

❍ LCA -1.0 (CO_2 kg/SAF kg)

- LCA(TUV 라인란드 인증) 검토 결과, 목표 수율(25%) 기준으로 SAF 1kg 제조 시 CO_2 1kg 감축

□ 성과물

특허			세계 최초·최고 원천 기술 확보	논문	고용창출	상용 (제품)화	상용화 사례
국내	해외	3극 특허					
(20)건	(5)건	(5)건	(1)건	(5)건	(50)명	(1)건	(1)건

* (3극 특허) USPTO(미국특허청), EPO(유럽특허청), JPO(일본특허청) 동시 출원 및 등록된 특허

7. 기대효과 및 파급효과

❍ 탄소 중립 달성을 위해서는 재생에너지의 보급. 재생에너지 기반의 수소 생산 기술 및 공급 인프라 확보를 통해 CO_2 배출량 저감이 필요하며, 동시에 불가피하게 배출된 CO_2를 포집하고 활용(고정화)시켜 유용한 물질로 전환하거나 혹은 저장해 배출량을 저감하는 CCUS 기술 도입이 필수

- IEA에선 CCUS에 의한 CO_2 감축 기여도를 30년 3.2% 로 예측하고 있으며 CCUS 기술 완성도가 높아지는 50년에는 18.4%까지 확대가 필요하다고 발표
- 우리나라도 2050 탄소중립 시나리오 (‘21년)에 따르면 국가 온실가스 감축목표를 달성을 위해 CCU 분야에서 25.2백만톤, CCS 분야에서 60백만톤 감축 기여량을 산정하고 있음
- EU의 2050 탄소중립 시나리오에서는 약 22억톤의 CO_2를 감축해야 하며, 이중 CCU 기술을 통해 약 3억톤(14% 수준) 가량의 감축 기여가 필요하다 발표
- 전 세계적으로 CCU 기술은 대부분 기술 난이도가 높고 개발 수준이 낮아 상용화를 위해서는 대규모 R&D 투자가 필요
- CO_2 직접 수소화를 통한 액상탄화수소 (e-SAF, e-Fuel, 납사 등) 제조 공정은 현재 높은 기술적 난이도와 높은 생산 단가로 인해 전세계 적으로 개발 수준이 낮음
- 생산 단가의 큰 비중을 차지하는 그린수소의 가격이 안정화되고 기술 완성도가 높아지는‘50년 에는 탄소배출 저감 기술로 그 파급력이 클 것으로 예상

8. 개발기간/예산/인력

예상 개발 기간(년)	정부출연 연구비, 참여 인력(억 원 / 명)								
2025년 ~ 2030년 총(6년)	사업 년도		‘25	‘26	‘27	‘28	‘29	‘30	합계
	사업비 (억 원)	국고	45	35	30	60	50	30	250
		민자	45	35	30	60	50	30	250
		소계	90	70	60	120	100	60	500
	참여 인력 (명)	박사급	4	3	3	6	5	3	24
		석사급							0
		학사급							0
		기타	4	3	6	5	3	26	47
		소계	8	6	9	11	8	29	71

9. 해외 활용 여부

- 협력 파트너십을 통해 CO_2 활용 기술 통합 패키지 개발 및 기술 수출
- 재생에너지가 풍부한 개도국과 연계하여 국외감축사업 추진

10. 기타 특기사항

- 본 과제는 원천기술 개발, 스케일 업을 통한 벤치/파일럿 통합 실증, 고객평가 등 제품 개발까지 복합적으로 진행해야 하는 과제이기 때문에 산/학/연 혹은 산/학 협업이 필수적임

4 고순도 무기탄산염

6. (광물)석고 활용 탄산칼슘 생산 및 활용 기술

과제 개요		
전략 과제	고순도 무기탄산염	
세부 과제명	석고 활용 탄산칼슘 생산 및 활용 기술	
사업 권역	□서부권, ■남부권, □중부권, □동남권	
기술 유형	□화학적전환 □생물학적전환 ■광물탄산화	
적용 산업	비료화학산업, 시멘트산업	
최종 제품	황산암모늄 - 대표적 질소질 비료 탄산칼슘 - 발전 탈황제, 시멘트, 유리, 의약품 등 사용	
산출물	온실가스 감축목표	10,000(톤/년)

기술 개발 개요								
기술개발단계	□ 기초 □ 응용 ■ 개발 ■ 실증				기술단계	TRL (7)단계		
적용 산업	비료화학산업, 시멘트산업				최종 제품	황산암모늄, 탄산칼슘		
기술개발 주체	기업 단독	산+산	산+학	산+연	산+산+연	산+학+연	산+해외	
				○				
기술 개발 규모	연구 개발 기간	2025년 ~ 2029년 (5년)						
	연구비 (억 원)	총연구비	총 450 억원 (국고 270억원 / 민자 180억원)					
		개발년도	2025	2026	2027	2028	2029	2030
		국고	60	60	50	50	50	-
		민자	45	45	30	30	30	-
		소계	105	105	80	80	80	-
	소요 인력	총 소요 인력 (300)명						
기술 개요	기술 정의	부산석고 활용 광물탄산화 : 석고+암모니아+이산화탄소+물 → 유안비료 + 탄산칼슘 + 물 ($CaSO_4 \cdot 2H_2O + 2NH_3 + CO_2 + 2H_2O \rightarrow (NH_4)_2SO_4 + CaCO_3 + 3H_2O$)						
	기술개발 목표	상용화 규모 기술개발을 통한 대량의 CO_2 저감, 경제성 확보						

1. 기술개발 필요성

□ 기술 개발 필요성

❍ 부산석고 활용 광물탄산화 기술은 정부기관(한국지질자원연구원) 및 공기업(한국남동발전) 주도로 실증(TRL 6단계) 개발을 진행 중이며, 효과적으로 대량의 CO_2를 포집 활용(CCU) 가능한 기술로 기대

❍ 기존 개발 중인 기술이 향후 대량의 CO_2 포집 방안으로 활용되기 위해서는 추가적인 대량 상용화 기술개발이 필요하며, 동 프로세스의 원료인 석고, CO_2 대량 공급원에 대한 접목이 필요

❍ 부산석고 활용 광물탄산화 사업은 부산석고 확보 뿐 아니라, 대량의 CO_2 배출원인 여수국가산업단지에 위치하고 있기에 최적의 상용화 기술개발 대상지

❍ 기타 산업부산물(슬래그) 등의 광물탄산화 원료 추가 연구를 통한 추가 감축분 확보 노력이 필요

❍ 석고 광물탄산화 기술을 통해 기대되는 생산물(유안비료)을 이미 해외 수출 판매하고 있어, 탄소 저감뿐만 아니라 사업성 확보 가능

기술 반응식 : 석고+암모니아+이산화탄소+물 → 유안비료 + 탄산칼슘 + 물

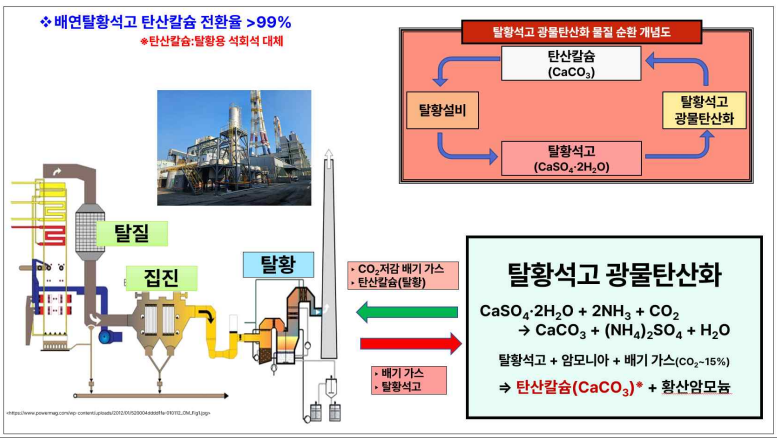
$(CaSO_4 \cdot 2H_2O + 2NH_3 + CO_2 + 2H_2O \rightarrow (NH_4)_2SO_4 + CaCO_3 + 3H_2O)$

개발 기술의 산업 분야	현재 포집량(톤/년)	현재 처리·활용량(톤/년)
비료 화학 산업	0	0

□ 국내외 시장·기술 동향

❍ 국내외 CCU 기술 동향

- 국외 CCU 기술 연구는 미국, 캐나다, 유럽의 주도로 직접탄산화 기반 건설자재 생산 기술 및 CO_2 반응경화 시멘트 및 양생 관련 기술 개발이 빠르게 진행되어 시장 진입단계에 있음.
- 국내 CCU 광물탄산화 관련 기술 개발은 현재 한국지질자원연구원 주관으로 직접탄산화 방식에 의한 탈황석고 광물탄산화 연2,000톤급 실증 연구가 진행 중에 있으며, 건설소재 생산 파일럿 연구가 진행된 바 있으나 CO_2 반응경화 시멘트 및 양생 관련 기술 개발은 초기 단계에 있음.



❍ 국내 시장 동향

- 국내 탄산칼슘(석회석)은 '22년 기준 약200만톤을 수입(2023년 광산물 통계연보). 광물탄산화 기반 탄산칼슘으로 수입 석회석 시장 대체 기대
- 국내 부산 석고는 발전소 등 배가스 SOx 제거를 위한 탈황 공정에서 탈황석고가 연간 약 200만톤 발생 중이며, 인산질 비료 생산 과정에서 인산석고가 연간 약100만톤 내외로 발생 중임
- 국내 황산암모늄은 메이저 생산업체에서 대부분 생산되고 있으며, '21년 기준 연간 약 100만톤이 생산되고 있으며, 약60%가 해외 수출 중임. 전세계 교역량은 수입량 기준 약 1,175만톤 규모로 황산암모늄 생산을 통해 해외 수출량 증가 기대

□ 문제점 및 극복과제

❍ 국내는 광물탄산화 기술의 상용화급 설비 구축 및 운용 사례가 전무. 연2000톤 석고 광물탄산화 실증 설비 운용 경험을 바탕으로 상용화급 설비의 기술 안정성 확보가 필요

❍ 배가스 직접반응에 의한 직접 탄산화 기법을 활용한 광물탄산화 기술의 상용화 사례를 찾아보기 힘든 상황에서 연4만톤급 석고 탄산화 설비 운용은 도전적 과제로 판단됨

❍ 산업부산물 활용에 따른 폐기물을 이용한 CO_2 저감 기술은 지원 제도의 미비로 인해 기술 보급이 쉽지 않으며, 산업계 확산을 위한 제도적 뒷받침이 필요한 상황임

□ 시급성

❍ 2030 NDC(Nationally Determined Contribution) 달성을 위한 중점기술 국고지원 필요

❍ 2030년 NDC 달성 관련 CCUS기반 1,120만톤 감축을 위해서는 중점기술(CCU기술혁신로드맵)을 대상으로 국고지원을 통한 조기 상용화 달성이 시급한 상황임

❍ CCU 기술의 경제성은 산업계 확대에 걸림돌로 작용하고 있으며, 경제성이 확보된 CCU 기술 개발을 통해 사업계 확대 가능

2. 기술개발 목표

□ 최종 목표

❍ 상용화 규모 기술개발을 통한 경제성 및 감축량을 확보한 CCU 기술 개발

❍ 현재 다부처사업을 통한 석고 2천톤/년 규모 Pilot 시설 기술 검증 중. CO_2 저감 확대 및 경제성 확보를 위한 최대한의 스케일업 기술 검토 필요

· 부산석고 4만톤 규모 상용화 기술 개발 시 연간 약 1만톤의 CO_2 온실가스 저감 가능하며, 연간 20만톤 규모의 부산석고 투입-CO_2 감축량 5만톤 수준이 되어야 규모의 경제 차원에서 의미가 있을 것으로 전망

· 사업 구조별 제도권 내 온실가스 감축량 인정을 위한 온실가스 감축방법론 개발

❍ 최종 TRL 9단계 목표

□ 단계별 목표

1단계('25년 ~ '27년)	2단계('28년 ~ '30년)
- 석고 연4만톤급 광물탄산화 설비 설계 및 설비 구축 - 석고 연2,000톤급 설비 활용 생산품 경제성 확보를 위한 품질 개선 - CO_2포함 배가스 공급 방안 확보 및 공급 기술 개발	- 석고 연 4만톤급 광물탄산화 설비 실증 운전 및 기술 안정성 확보 - 생산품(탄산칼슘, 황산암모늄) 시장성 확보를 위한 품질 획득 및 안정성 확보 - 제도권 내 감축량 인정을 위한 감축방법론 등 개발 및 등록

□ 성능목표

성과지표	현 수준	개발 목표					
		'25	'26	'27	'28	'29	'30
석고 광물탄산화 설비 규모 (석고처리량, 톤/년)	2,000	2,000	2,000	2,000	40,000	40,000	-
석고 광물탄산화 기술 경제성 (30만톤급 설비 기준, 원/tonCO_2)	7,000	7,000	7,000	10,000	10,000	10,000	-
이산화탄소 처리규모(톤/년)	500	500	500	500	10,000	10,000	-
탄산칼슘 순도(%)	93	93	93	93	93	95	-
황산암모늄 순도(%)	99	99	99	99	99	99.5	-

3. 기술내용 및 범위

❍ 산업부산물(석고, 슬래그 등)을 활용한 광물탄산화 상용화급(CO_2 1만톤/년급 이상) 기술 개발

❍ 배가스 공급처(CO_2다배출 업종) 및 석고 배출업처 등 고려한 남부권역 내 최적의 사업 대상부지 검토

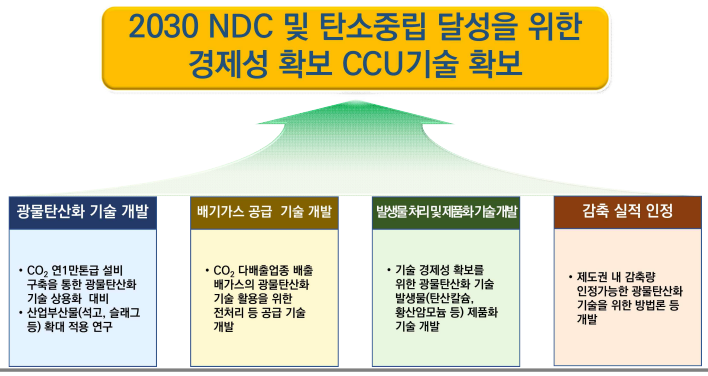
❍ 부산석고를 통해 생산되는 생산품(유안비료, 탄산칼슘)에 대한 안전성 검증 및 판매를 위한 법/제도적 지원 필요(환경부-폐기물 분류)

❍ 제도권 내 감축량 인정을 위한 온실가스감축방법론 개발 및 해외 사업 대비 CDM 및 SDM 개발 추진

4. 기술개발 추진방법 및 주체

□ 기술개발 추진전략

❍ 산업부산물 광물탄산화 원천기술 확보 기관 및 CO_2 다배출 업종, 산업부산물 배출, 최종 제품 처리, 감축 방법론 개발 등 해당 분야 전문기관 간 역학분담을 통한 기술 개발 추진

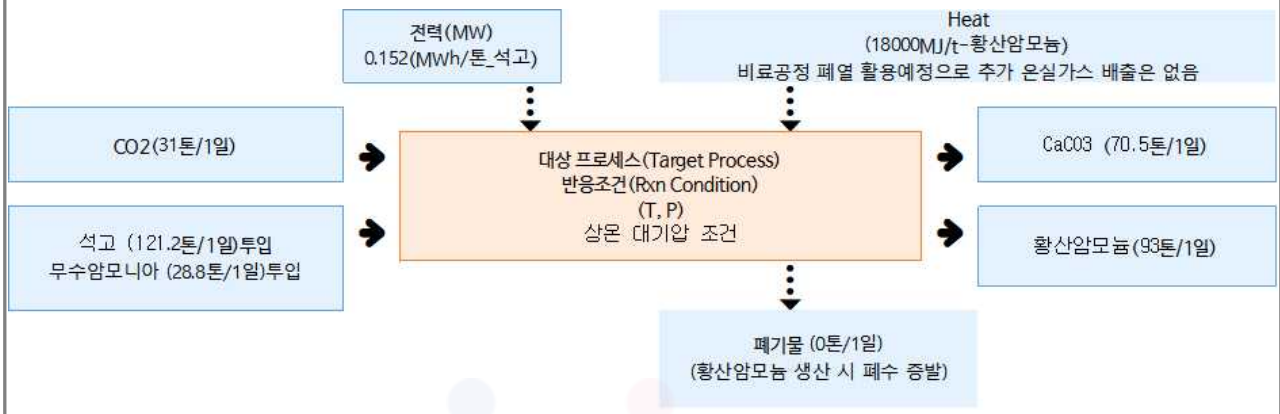


□ 기술개발 주체

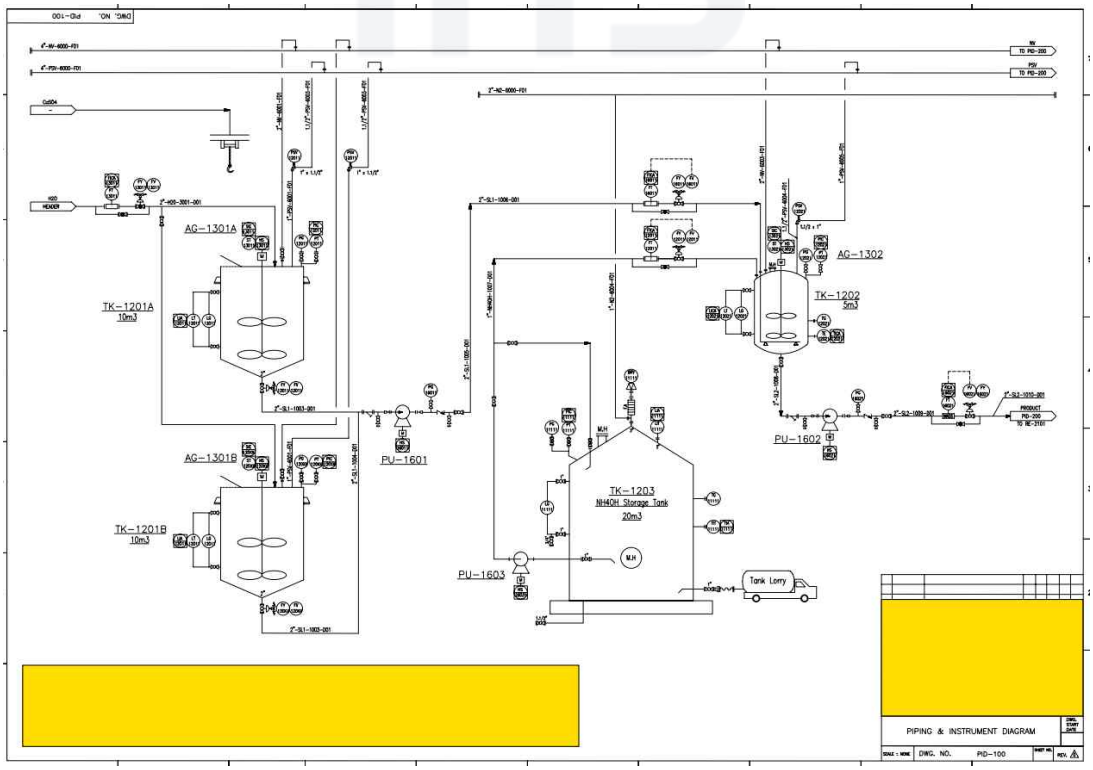
단독 개발	산+산	산+학	산+연	산+산+연	산+학+연	산+해외
( )	( )	( )	(○)	( )	( )	( )

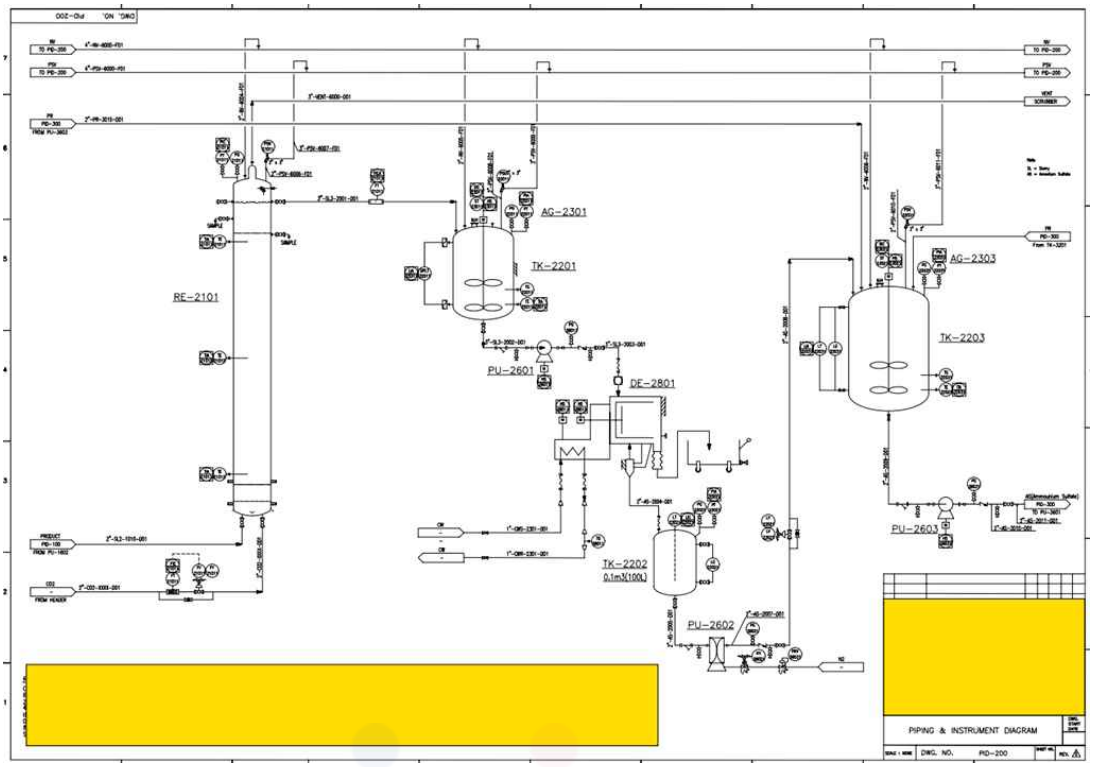
5. 물질 에너지 수지 및 공정도(PFD)

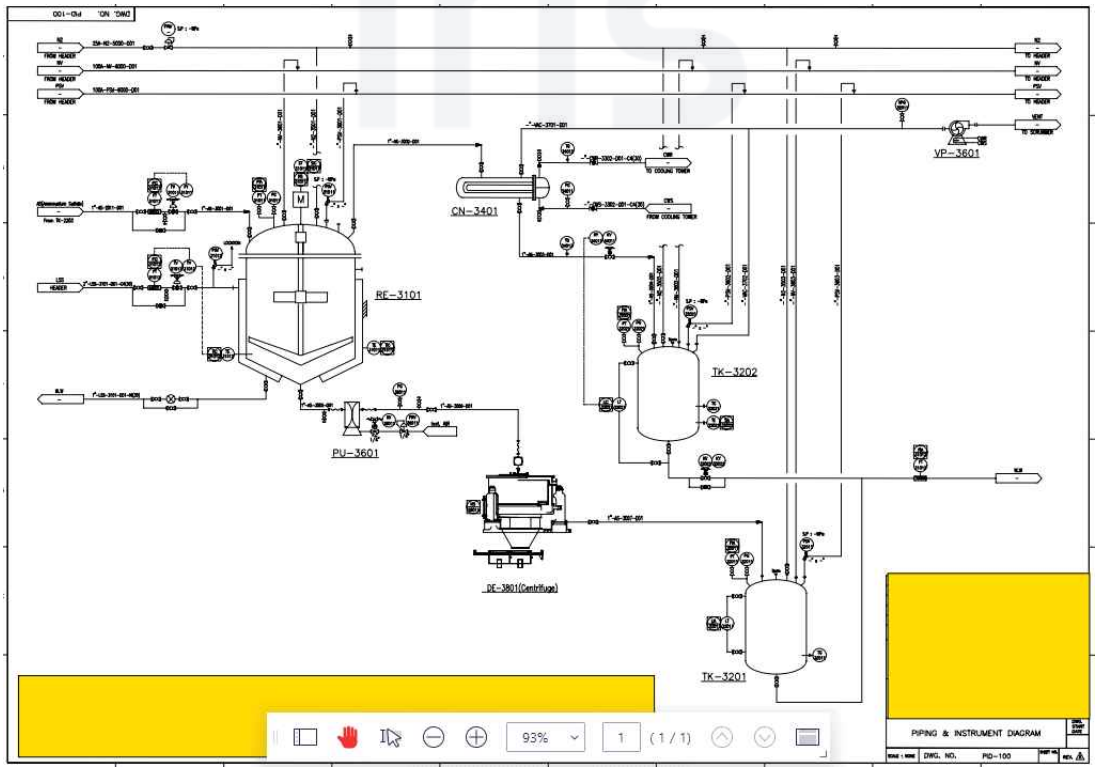
□ 물질에너지 수지(1일, 1ton CO_2 투입시 생산물 및 부산물)

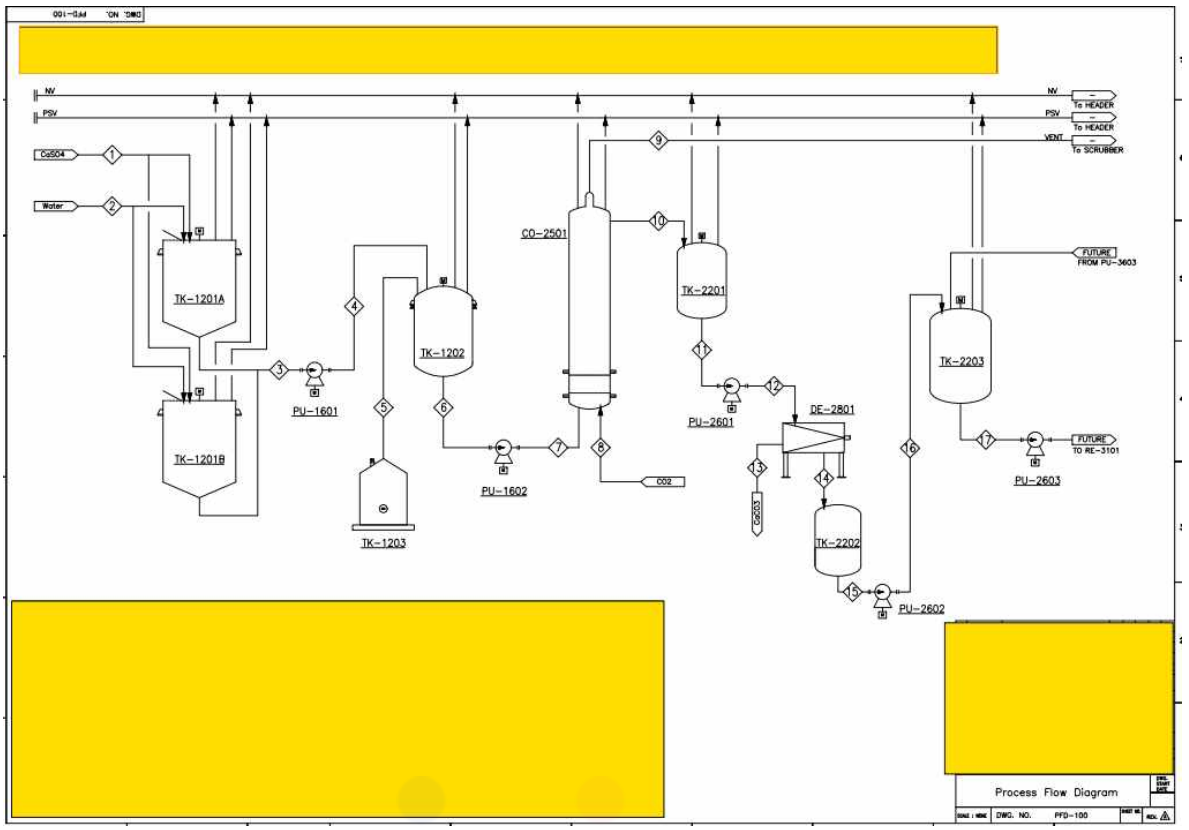


□ 공정도(PFD)




AG-2301
TK-2201
RE-2101
PU-2601
DE-2801
AG-2303
TK-2203
PU-2603
TK-2202
0.1m3(100L)
PU-2602
PIPING & INSTRUMENT DIAGRAM
DWG. NO. PID-200


VP-3601
CN-3401
RE-3101
TK-3202
PU-3601
DE-3801(Centrifuge)
TK-3201
93%
1
(1 / 1)
PIPING & INSTRUMENT DIAGRAM
DWG. NO. PID-100



6. 최종성과물

□ 연관 분야

적용 산업	타겟 시장	최종 구매자 업종(기업)
비료화학산업, 발전사 등	비료시장, 발전시장 등	- 비료 판매 기업 - 발전소 등 탈황공정 운용 기업 (5대발전공기업 등) - 탄산칼슘 활용 기업 (발전사, 플라스틱 및 제지 기업 등)

□ 목표 감축량

CO_2 배출원	최종 제품		목표 감축량 (톤/년)
	제품명	생산량(년)	
여수국가산업단지 에서 배출되는 CO_2 활용	황산암모늄, 탄산칼슘	각 3만톤, 2.3만톤	10,000

□ 산정 방법 및 근거

❍ 석고 4만톤 규모 상용화 기술 개발 시 연간 약 1만톤의 CO_2 온실가스 처리 가능

○ **CO_2 처리량 : 1만 톤/년**(석고 4만톤/년 공급 기준)

$(CaSO_4 \cdot 2H_2O + 2NH_3 + CO_2 + 2H_2O \rightarrow (NH_4)_2SO_4 + CaCO_3 + 3H_2O)$

- 화학 당량비에 따라 석고($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) 1톤 당 CO_2 256kg 반응(약 4:1)

□ **성과물**

특허			세계 최초·최고 원천 기술 확보	논문	고용창출	상용 (제품)화	상용화 사례
국내	해외	3극 특허					
(5)건	(3)건	(1)건	(1)건	(10)건	(20)명	(2)건	(1)건

* (3극 특허) USPTO(미국특허청), EPO(유럽특허청), JPO(일본특허청) 동시 출원 및 등록된 특허

7. 기대효과 및 파급효과

❍ CCU기술을 활용한 온실가스 저감, 2030년 NDC 달성 기여 가능

(연간 부산석고 4만톤 규모 CCU 시설 상용화 시 연간 약 1만톤의 CO_2 온실가스 저감)

❍ 국가자원(부산석고)의 효과적 활용 촉진 (CO_2 저감, 비료제조 사용, 시멘트원료 활용 등)

❍ 여수국가산업단지 내 입주한 석유화학 및 발전 산업의 탄소중립 전환을 지

8. 개발기간/예산/인력

예상 개발 기간(년)	정부출연 연구비, 참여 인력(억 원 / 명)								
2025년 ~ 2029년 총(5년)	사업 년도		'25	'26	'27	'28	'29	'30	합계
	사업비 (억 원)	국고	60	60	50	50	50	-	270
		민자	45	45	30	30	30	-	180
		소계	105	105	80	80	80	-	450
	참여 인력 (명)	박사급	60	60	60	60	60		300
		석사급							0
		학사급							0
		기타							0
		소계	60	60	60	60	60	-	300

9. 해외 활용 여부

❍ 해외 상용화 기술 수준 참고 필요

❍ 최종 산출물(황산암모늄, 탄산칼슘)의 해외 수출 가능성 검토 필요

❍ 황산암모늄 활용을 통한 비료 상품화 방안, 탄산칼슘의 부가가치화

10. 기타 특기사항

❍ 해당없음

2 서부권 플래그십 프로젝트

Carbon Capture and Utilization

1 폴리머

2 바이오소재·연료

3 바이오매스

4 고순도 무기탄산염

탄소중립 실현, 미래 신기술 선점을 위한

CCU 기술 조기 상용화로 미래지향 기반구축과 시장 창출

2 서부권 플래그십 프로젝트

1 폴리머

1. (화학) CO_2 활용 폴리우레탄 생산 기술

과제 개요		
전략 과제	폴리머	
세부 과제명	CO_2 활용 폴레우레탄 생산 기술	
사업 권역	■서부권, □남부권, □중부권, □동남권	
기술 유형	■화학적전환 □생물학적전환 □광물탄산화	
적용 산업	석유화학	
최종 제품	폴리우레탄	
산출물	온실가스 감축목표	50,000(톤/년)

기술 개발 개요								
기술개발단계	□ 기초 □ 응용 □ 개발 ■ 실증				기술단계	TRL (6)단계		
적용 산업	석유화학				최종 제품	폴리우레탄		
기술개발 주체	기업 단독	산+산	산+학	산+연	산+산+연	산+학+연	산+해외	
						○		
기술 개발 규모	연구 개발 기간	2025년 ~ 2030년 (6년)						
	연구비 (억 원)	총연구비	총 310 억원 (국고 155억원 / 민자 155억원)					
		개발년도	2025	2026	2027	2028	2029	2030
		국고	10	20	15	70	20	20
		민자	10	20	15	70	20	20
		소계	20	40	30	140	40	40
	소요 인력	총 소요 인력 (70)명						
기술 개요	기술 정의	고성능/친환경 CO_2 기반 폴리우레탄 전환 기술 개발 및 통합 패키지 기술 개발						
	기술개발 목표	이산화탄소 함유 폴리올, 이소시아네이트 제조 기술 실증화						

1. 기술개발 필요성

□ 기술 개발 필요성

- ❍ 고부가제품에 해당되는 CASE(Coating-Adhesive-Sealant-Elastomer) 폴리우레탄은 범용 폴리우레탄 대비 더 높은 물성이 요구되며, 이를 위해 현재 값비싼 PCD(Poly Carbonate Diol) 폴리올을 전량 수입하여 사용하고 있음
- ❍ CASE 폴레우레탄은 물성적으로 더 높은 기계적 강성, 내가수분해성, 내화학성 등이 요구됨
- ❍ 폴리우레탄 폼을 만들기 위해 많이 사용되는 범용 폴리올인 PPG(Poly Propylene Glycol) 등을 사용해서는 CASE 폴레우레탄에서 요구하는 물성을 만족시킬 수 없음
- ❍ 이에 따라 CASE 폴리우레탄 제조업체들은 고성능 구현을 위해 PCD 폴리올을 사용하여 폴리우레탄을 제조하고 있는데, 이를 생산할 수 있는 국내업체가 없어 전량 수입에 의존하고 있음
- ❍ 고성능 폴리올인 PCD는 물성은 뛰어나나 가격이 비싸 시장 확대가 힘들며, 이에 대한 대안으로 CO_2 폴리올 기술이 개발되고 있음
- ❍ 현재 판매되는 PCD 제품의 평균 판가는 $9/kg 으로 $2/kg 수준인 PPG 대비 4~5배 비싸서 시장이 정체되어 있음

  *참고: Customized APAC and United States Solid Polycarbonate Diol Industry Market Research Report(23년)
- ❍ PCD 메이저 제조업체는 UBE, Asahi Kasei, Tosoh등의 일본 업체이며, top 5 업체의 점유율은 84%임
- ❍ PCD의 제조단가가 비싼 이유는 값비싼 원재료(1,6-헥산다이올, 다이페닐 카보네이트) 사용으로 인한 원가 상승임
- ❍ 이에 대한 대안으로 기후변화의 주범인 CO_2와 값싼 석화 원료인 에틸렌옥사이드 혹은 프로필렌옥사이드를 원료로 사용한 CO_2 폴리올 기술이 주목받고 있음
- ❍ EU 및 미국의 기후정책(탄소국경세 등)으로 인한 수출 문제 초래로 석유화학 원료 사용의 제한이 예상되어, 석유화학 원료 사용이 없는 바이오매스를 활용한 CO_2 기반 폴리머 제조 기술 개발이 시급함
  - CO_2 촉매전환 폴리우레탄의 경우 유럽기준 바이오매스 함량 30%를 요구하고 있으며, 독일 및 미국에서 바이오매스 및 CO_2 복합화 기술을 선점하고 있는 실정임
  - 이산화탄소와 바이오매스 기반 폴리머 플랫폼을 활용 폴리우레탄을 생산할 시, 그린탄소 함량을 무게비 20wt%까지 올릴 수 있음
  - 기본 석유기반 폴리우레탄을 그린탄소 폴리우레탄으로 대체할 시, 연간 28만톤의 이산화탄소 감축 효과를 가짐
  - 국내 롯데캐미칼, SKC, 금호석유화학, 동성화학, 강남화성, KPX 케미칼, 그린케미칼 등이 다수의 기업이 그린탄소 기반 폴리올 및 폴리우레탄에 대한 관심을 가지고 있음

- 국내 자동차 업계에서는 플라스틱 내장재를 비롯한 자동차 부품에 친환경 플라스틱 적용에 대한 수요가 확대되고 있으며, 특히 그린탄소 폴리우레탄 개발에 대한 필요성이 높아지고 있음
- 탄소중립와 관련하여 건물 단열에 대한 요구가 높아지고 있으며, 폴리우레탄 기반 건축자재 및 바닥재 개발에 대한 전세계적인 요구가 높아지고 있으며, 이러한 면에서 그린탄소 폴리우레탄 제조 기술의 개발이 시급함

❍ CO_2 화학 전환 고분자 분야에서 폴리우레탄 向 CO_2 폴리올 기술은 실험실 단계에서 이미 검증된 기술이며 벤치 이상의 스케일업을 통한 경제성 확보 필요함

❍ Covestro(독일), Aramco(사우디), Econic(영국) 등의 선도 기업은 파일럿 규모 실증 단계임(5,000 ton/year 이상)

❍ 국내의 경우 SKI 및 RIST 등에서 CO_2 촉매전환 폴리카보네이트 생산을 위한 촉매 제조 및 생산기술은 확보한 상태이지만, 경제성 및 물성이 열악하여 복합화 기술이 필요함. 기존의 폴리카보네이트 및 폴리우레탄 시장을 대체할 수 있는 물성을 확보하기 위한 응용기술 개발 시급

❍ 화연, RIST, 한화 토탈 등에서 DMC(Double Metal Cyanide) 촉매 적용한 폴리올을 벤치 또는 파일럿 실증이 진행 중임

❍ 온실가스 감축을 위한 CO_2 활용은 단분자 위주의 전환으로 연구 개발되고 있으나, 대부분의 고분자들이 석유화학 유래 탄소 기반이기 때문에 이를 위한 큰 사용량이 보장되어 있어, 석유화학기반 고분자를 CO_2 기반으로 합성하여 활용하는 기술이 필요

- 현재 CO_2 기반 고분자 소재들이 개발되고 있으나, 대부분 석유 기반 원료 (단량체)를 필수적으로 사용하여, CO_2 배출량 저감에 효과적이지 않음
- 이에 석유기반 원료를 사용하는 것을 대체하여, CO_2 배출량 저감에 크게 이바지할 수 있는 CO_2 전환 공정을 통한 폴리머 소재 기술 개발이 필요

❍ CO_2 기반 폴리머의 상업적 가치 확대를 위한 다양한 물성/조성/효율성을 다루는 기술 확보가 필요

- 고분자는 특성상 응용에 따라 폭넓은 물성을 나타내야 하므로, 상업적 가치를 높이고 활용성을 높이기 위해서는 다양한 단량체 생산기술이 필요
- 고분자 내에 CO_2를 더욱 많이 활용/고정하기 위해서는 새로운 CO_2 기반 단량체 합성 기술과 합성 단량체 기반 고분자의 넓은 범위의 물성을 고려하여 개발이 필요
- 기존의 복잡한 공정은 에너지 문제 등이 결부되어 배출량 저감에 효과적이지 않기 때문에, 효율적인 촉매 개발과 이에 따른 공정 개발 필수

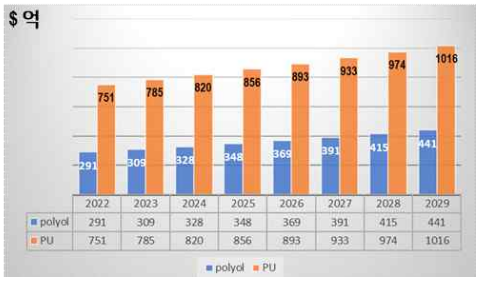
개발 기술의 산업 분야	현재 포집량(톤/년)	현재 처리·활용량(톤/년)
석유화학	-	-

□ 국내외 시장·기술 동향

❍ 글로벌 폴리올 시장 및 폴리우레탄 시장 규모

❍ 폴리올: $ 291억 to $ 441억 (연평균 6.1% 성장 예상)

❍ 폴리우레탄 : $ 752 억 to $ 1,016 (연평균 4.4% 성장 예상)



〈참고: NICE에 나온 Expert market research (22년) 자료 재편집〉

❍ 폴리우레탄 시장의 33%가 CASE(Coating-Adhesive-Sealant-Elastomer)이며, 이중 Coating 비중이 높음

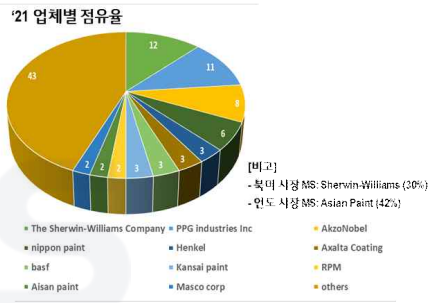
규모: $1,543억 (5,220.5만 톤_'19) to $2,048억 (6,452만 톤_'24)

1) 수지 종류 별: 폴리 우레탄은 $20,675 Mn ('19) to $27,456 Mn ('24) 예상
PU 코팅 니즈: 1) 고유 물성으로 인한 PU 코팅의 높은 활용도, 2) 혜양 산업 전반에 걸친 PU 코팅 니즈 사례 증가, 3) 자동차/운송 산업에서 PU 코팅 적용 증가

2) 기술 별 ('19): 수성 ($82,260 Mn) > 용매 ($43,420 Mn) > 기타 ($28,610 Mn)
수성 코팅에서 PU 비중: ~16%

3) 용도 별 ('19): 건축 ($87,850 Mn), 산업 ($66,400 Mn)

4) '23 7월 말 주요 업체들의 실적 발표에서
a) 판가 소폭 상승, b) 미국 주택용 수요 부진에도 불구하고 자동차, 우주항공, 풍력, 선박용 수요 견조, c) 유럽은 바닥을 찍고 반등 중, d) 재고 소진 중,
e) 인도의 인프라 투자 증가 등에 따른 추가적인 수요 개선 여력을 확인



〈참고: 연구개발특구기술 글로벌 시장동향 보고서(20년), 하나증권 '23.07 석유화학/정유/태양광 주간 모니터〉

□ 문제점 및 극복과제

❍ 서부권 지역은 석탄화력발전에 의한 온실가스 배출량이 높아 이산화탄소 활용 기술이 필요한 상황으로 포집된 이산화탄소를 고부가가치 화합물로 전환하는 기술이 요구되고 있음

❍ 이산화탄소를 활용하여 폴리우레탄이나 폴리카보네이트의 생산이 가능하지만, 기업의 투자설비 및 수익성의 문제로 국내에는 상업화 사례는 없음 (기술은 보유하고 있으나 상업 생산은 하고 있지 않음). 폴리카보네이트의 경우 해외의 라이센스를 구입하여 사용하고 있는 실정임. 그러나 이산화탄소를 이용하면, 폴리우레탄이나 폴리카보네이트 합성에 있어 독성 물질인 포스겐(phosgene)의 사용을 피하면서도 고부가 화합물 생산 가능

❍ 국내 이산화탄소 기반 폴리머 시장은 SKC 및 KPX케미칼, 금호석유화학 등에서 propylene oxide를 원료로 하는 기술을 보유 혹은 개발 중에 있으나, 상용화된 상품은 없음

❍ 폴리우레탄 산업의 경우, 폴리우레탄의 구성요소인 폴리올과 이소시아네이트를 대기업이 공급하고, 중소기업에서 다양한 폴리올과 이소시아네이트의 조합으로 응용제품을 생산하는 구조임. 기존의 석유화학 기반 폴리올 대신 이산화탄소 기반 폴리올을 이용하여 응용제품을 생산하는 생태계 조성이 필요한 실정임

❍ 해외의 대표적인 플레이어는 COVESTRO 이며, NOVOMER 및 ASAHI-KASEI 등이 고유의 촉매를 개발하여 상업화하였음. 국내 상업화를 위한 한국형 고효율 촉매 및 공정 개발이 시급함. 국내 촉매기술을 보유한 산·학·연의 실증화 기술 지원 필요

❍ 기존의 고가 폴리올을 대체하기 위한 목적으로 CCU 기술을 활용한 CO_2 폴리올 상업화 기술을 개발하는 것은 국내 폴리우레탄 산업경쟁력 향상 뿐 아니라 이산화탄소 감축 측면에서도 도움이 되기 때문에, 산업체에서 원하는 고성능 CO_2 폴리올 합성을 위한 고활성/친환경 촉매 개발 및 이를 이용한 CO_2 폴리올 통합실증은 반드시 필요한 CCU 과제임

❍ 현재 파일럿 검증을 위해 사용되고 있는 CO_2 폴리올 전환 촉매는 추가적인 개선이 필요함

❍ 가장 널리 사용되고 있는 DMC 촉매는 분자량이 작은 CTA(Chain Transfer Agent)를 사용할 수 없어 분자량 1,000 이하의 저분자량 폴리올 합성이 어려움

❍ 또한 DMC 촉매는 20wt% 이상의 고함량 CO_2가 포함된 폴리올 제조가 힘들고, 반응 선택도가 낮아 부산물인 cPC(cyclic Propylene Carbonate)가 다량 발생하기 때문에 분리 공정이 포함되어야 함

❍ DMC 촉매 및 Co-Salen 촉매 모두 중심 금속으로 중금속인 코발트를 사용하고 있어 촉매가 완전히 제거되지 않으면 폴리올 내 중금속 잔류하여, 물성 저하 및 색 변환 등의 이슈가 있을 수 있음

□ 시급성

❍ EU 및 미국의 기후정책(탄소국경세 등)으로 인한 수출 문제 초래로 석유화학 원료 사용의 제한이 예상되어, 석유화학 원료 사용이 없는 바이오매스를 활용한 CO_2 기반 폴리머 제조 기술 개발이 시급함

- CO_2 촉매전환 폴리우레탄의 경우 유럽기준 바이오매스 함량 30%를 요구하고 있으며, 독일 및 미국에서 바이오매스 및 CO_2 복합화 기술을 선점하고 있는 실정임

❍ 본 기술의 확장성을 고려한다면 CO_2 함량을 폭넓게 조절 가능한 촉매를 개발하는 것이 필요함

- PCD를 대체하기 위해서는 CO_2 함량이 최소 25wt% 이상 되어야 할 것으로 예상되며, CO_2 함량이 높아질수록 물성은 향상되나 열안정성이 취약해지고 점도가 급격히 높아지는 단점이 있어 최적 CO_2 함량 설정이 필요함
- 상대적으로 요구 물성이 낮은 폴리우레탄 폼 용도로 CO_2 폴리올을 활용할 경우 친환경성 및 물성 향상 등의 장점이 있어 고성능 폴리올 제조 기술 개발 이후에는 더 시장이 큰 중저가 영역으로 확장할 수 있음
- 다만 폴리우레탄 폼 용도의 중저가 폴리올은 공정성 측면에서 낮은 점도를 요구하기 때문에 10 ~ 20wt% 정도로 CO_2 함량이 낮은 CO_2 폴리올이 유리함
- 따라서 CO_2 폴리올 기술 확장을 위해서는 광범위한 영역(10 ~ 40wt%)에서의 CO_2 함량 조절이 가능한 촉매 기술이 개발될 필요가 있음

2. 기술개발 목표

□ 최종 목표 : 이산화탄소 함유 폴리올, 이소시아네이트 제조 기술 실증화

❍ 지역내에서 많이 발생하는 CO_2 를 이용한 고분자 등의 고부가가치 화합물 생산 기술개발

❍ 지역내 공업단지의 배출가스내 CO_2 감축 및 폴리머 동시 생산 기술 개발

❍ 포집된 CO_2를 활용한 폴리머 생산을 위한 실증 기술 개발(전기화학, 생물, 촉매, 친환경 공정 등)

- 친환경/고성능/저가격 CO_2 폴리올, 이소시아네이트 촉매 기술 개발
- 고활성, 저가격의 특징을 지니는 모노머 제조 촉매 기술 개발
- 모노머 내 CO_2 함량 조절이 가능한 촉매 및 공정 기술 개발
- 고분자 물성 조절이 가능한 촉매 및 공정 기술 개발
- 중금속을 사용하지 않는 신규 전환 촉매 개발
- CO_2 기반 폴리우레탄 통합 패키지 기술 개발 및 제조 기술 실증화
- 벤치 및 파일럿 시스템 설계 및 개발
- 벤치 및 파일럿 공정 기술 개발
- CO_2 기반 모노머 생산 실증

□ 단계별 목표

1단계('25년 ~ '27년)	2단계('28년 ~ '30년)
• 친환경, 고성능, 저가격 촉매 기술 개발 • 고객 협업을 통한 물성/품질 개선 • 반응 후 분리/정제 기술 개발 • 연속식 벤치 시스템 개발 • 벤치 검증 완료(5 kg/day)	• 촉매 스케일 업 및 단가 저감 기술 개발 • 연속식 파일럿 시스템 개발 • 파일럿 운전 기술 개발 • 파일럿 통합 실증(500 kg/day)

□ 성능목표

성과지표	현 수준	개발 목표					
		'25	'26	'27	'28	'29	'30
촉매 활성(kg/g cat.)	0.4	1.0	1.0	1.5	1.5	2.0	2.0
스케일 업을 통한 캐파 향상(kg/day)	0.1	0.5	1	5	50	100	500

3. 기술내용 및 범위

□ 고활성 저가격 CO_2 폴리올 전환 촉매 개발

❍ 세부 내용: AI/DX 기술 접목을 통한 고활성 촉매 개발

- 인공지능 기술을 활용한 고활성 촉매 인자 분석 및 신규 촉매 설계/합성
- DX 기술을 기반으로 CO_2 폴리올 전환 반응 최적화
- 다양한 촉매 합성경로 탐색 및 저가 원재료 수급을 통한 촉매 합성 단가 저감
- 촉매 스케일업 기술 개발

□ CCU 분야 CO_2 화학 전환 기술을 적용하여 CASE 向 폴리우레탄용 폴리올 생산

❍ 세부 내용: 점도 및 열 안정성 향상된 CO_2 폴리올 제조를 위한 저가 공정 발굴

- 가격이 비싼 end-capping reagent 대신 공중합 기술을 도입해 폴리올 말단 개질
- 중저가 촉매 개발 및 그에 적합한 반응 변수 조절 통해 CO_2 함량 범위 조절 (10~40 wt%) 및 cPC(cyclic Propylene Carbonate) 부산물 억제를 통한 선택성 99% 이상 달성
- 고객사와의 협업을 통한 CO_2 폴리올 폴리우레탄 합성/평가 및 물성 개선

❍ 세부 내용: 스케일 업 시스템 개발 및 벤치/파일럿 실증

- CO_2 폴리올 합성 후 분리/정제 공정 개발
- 연속식 벤치/파일럿 시스템 설계 및 개발
- 연속식 벤치/파일럿 시스템 운전 기술 개발

□ 지역내에서 많이 발생하는 CO_2 를 이용한 고분자 생산 촉매·공정 기술개발

❍ 세부 내용: 지역 내 공업단지의 CO_2 를 이용한 폴리우레탄 제조 기술 개발

- 이산화탄소 및 바이오매스 활용 수소결합 유발 엘라스토머 제조 전구체 제조 기술 개발
- 이산화탄소 및 지속 가능 원료 기반 수소결합 유발 열가소성 탄성체 시스템 및 응용 기술 개발
- 이산화탄소 및 바이오매스 기반 수소결합 유발 열경화성 탄성체 시스템 및 응용 기술 개발
- 이산화탄소 및 지속가능원료 활용 탄성체 기반 코팅 시스템 및 응용기술 개발

❍ 세부 내용: 바이오매스 활용 CO_2 감축 및 폴리머 동시 생산 기술 개발

- 바이오 매스 활용을 위한 국내 산업 원료 확보
- 폴리우레탄 제조용 그린탄소 폴리머 플랫폼 (폴리올, 다이올) 산업 생산 기술 개발
- 기존 국내 폴리우레탄 생산 업체, 생산 설비 적용 테스트

❍ 세부 내용: 지역 석유화학단지 활용 실증 연구 수행

4. 기술개발 추진방법 및 주체

□ 기술개발 추진전략

❍ 친환경적이고 가격 경쟁력이 우수한 CO_2 폴리올 촉매 개발

- AI/DX 기술 기반의 고활성 촉매 인자 분석 및 신규 촉매 설계를 통해 개발기간 단축
- 학교와의 협업을 통한 새로운 촉매 구조의 지속적 발굴 및 촉매 원천기술 개발
- 선택도 99% 이상 구현을 통해 부산물 처리가 필요 없는 간결한 폴리올 합성 시스템 개발
- 폴리올 내 금속 이온이 잔류하지 않는 신규 촉매 개발(폴리올 내 중금속 free 구현)

❍ 점도 및 열 안정성 향상, CO_2 함량 조절된 폴리올 제조를 위한 저가 공정 개발

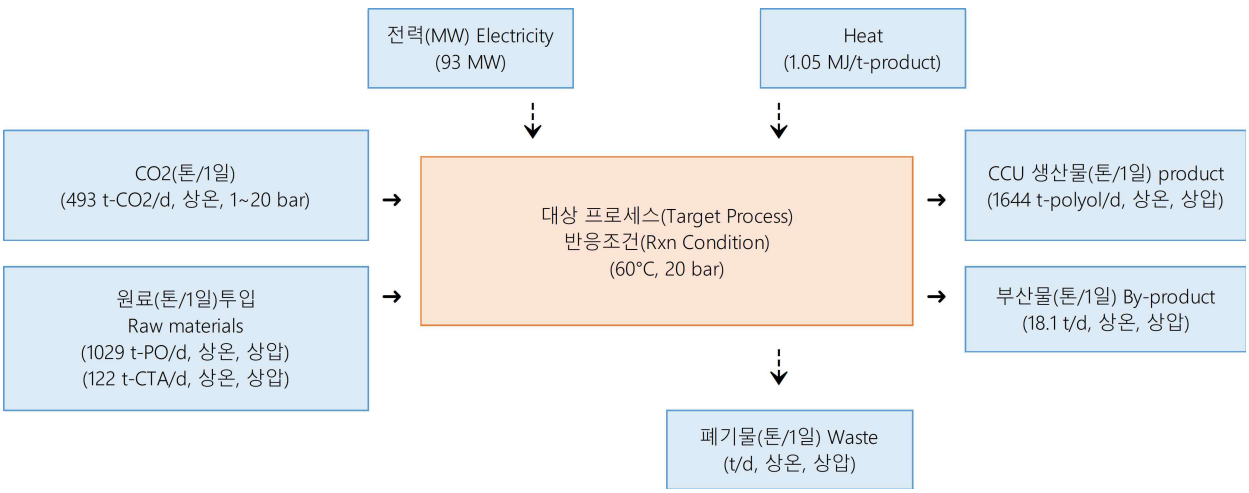
- 공중합 기술 도입해 CO_2 폴리올 말단 변형을 통해 점도 및 열 안정성 개선
- 단일 촉매를 사용하고 반응 변수 조절을 통해 CO_2 함량 조절이 가능한 one-pot 공정 개발
- 선택도 99% 이상 구현을 통해 부산물 처리가 필요 없는 간결한 폴리올 합성 시스템 개발
- 고압 반응 시스템 경험이 많은 연구소와의 협업을 통한 벤치 시스템 설계 및 운전 최적화

□ 기술개발 주체

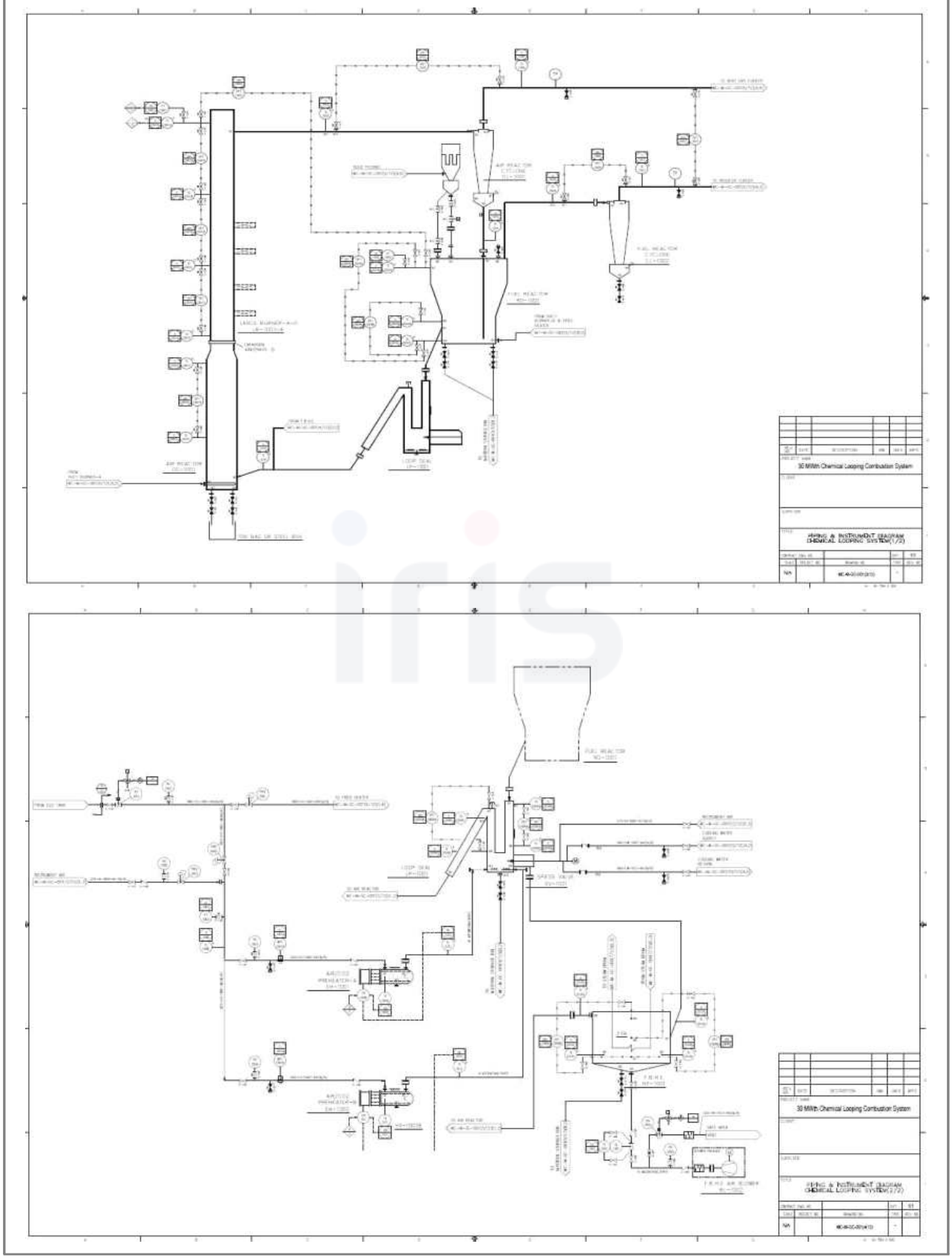
단독 개발	산+산	산+학	산+연	산+산+연	산+학+연	산+해외
( )	( )	( )	( )	( )	(○)	( )

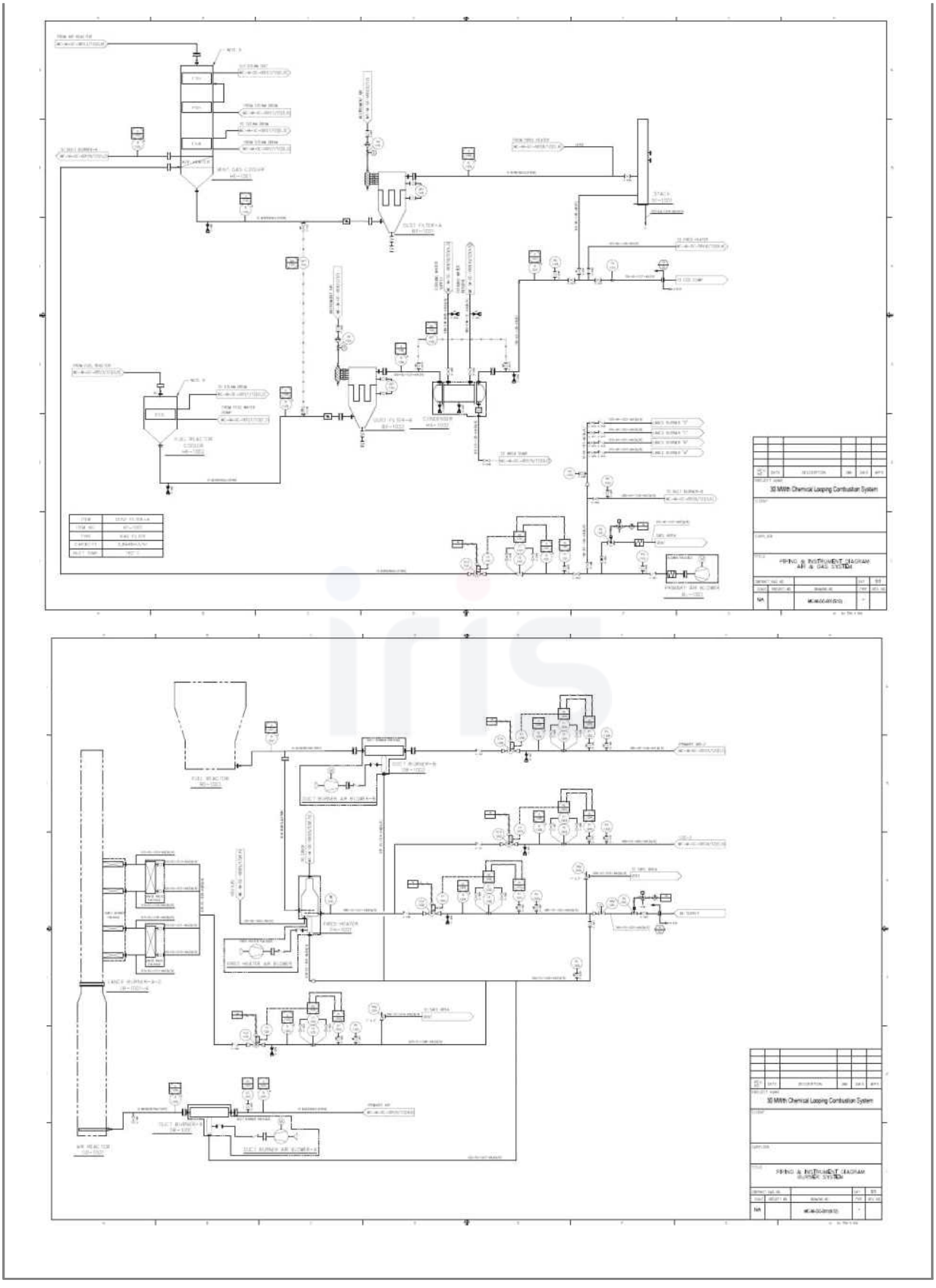
5. 물질 에너지 수지 및 공정도(PFD)

□ 물질에너지 수지(1일, 1ton CO_2 투입시 생산물 및 부산물)



□ 공정흐름도(PFD)




30 MWth Chemical Looping Combustion System
PIPING & INSTRUMENT DIAGRAM
AIR & GAS SYSTEM
30 MWth Chemical Looping Combustion System
PIPING & INSTRUMENT DIAGRAM

6. 최종성과물

□ 연관 분야

적용 산업	타겟 시장	최종 구매자 업종(기업)
폴리우레탄	CASE 向	KCC, 노루페인트, Asian Paint 등 폴리우레탄 제조업

□ 목표 감축량

❍ 2030년까지 파일럿 검증을 마치고 이후 양산라인 건설을 통해 연간 30만 톤의 CO_2 폴리올 생산시 연간 229만 톤의 CO_2 감축 효과가 있을 것으로 기대됨

CO_2 배출원	최종 제품		목표 감축량 (톤/년)
	제품명	생산량(년)	
납사 분해 공정 등에서 발생하는 CO_2 400만 톤	**CASE 폴리우레탄 向 CO_2 폴리올**	**30만 톤**	**50,000**

□ 산정 방법 및 근거

❍ 목표 감축량

- CO_2 직접 감축 : 50,000 톤
- 기존 제품의 CO_2 폴리올
- 대체로 인한 CO_2 간접감축 : 219만 톤

□ 성과물

특허			세계 최초·최고 원천 기술 확보	논문	고용창출	상용 (제품)화	상용화 사례
국내	해외	3극 특허					
(15)건	(10)건	(5)건	(1)건	(3)건	( )명	(1)건	(1)건

* (3극 특허) USPTO(미국특허청), EPO(유럽특허청), JPO(일본특허청) 동시 출원 및 등록된 특허

6. 기대효과 및 파급효과

❍ 친환경 CO_2 폴리올 통합검증 및 생산을 통해 고가의 PCD를 대체할 수 있는 제품을 공급함으로써, 고성능 폴리올 시장을 키우고 고객사에는 좋은 제품을 저렴한 가격에 구입할 수 있는 기회를 제공하며, 이로 인해 국내 폴리우레탄 산업 경쟁력 향상 기대됨

- 기존에는 PCD가 고가이기 때문에 PCD 시장도 정체되어 있고 PCD를 활용한 고성능 폴리우레탄 시장에서도 성능 향상을 위한 노력이 적었음
- CO_2 폴리올을 저렴한 가격에 공급하게 되면 프리미엄 폴리올 시장의 급격한 성장이 예상되고, 이를 활용한 고성능 폴리우레탄의 시장도 급격히 팽창할 것으로 예상됨
- CO_2 폴리올은 기존 제품 대비 친환경적이고 탄소배출이 적기 때문에 지구환경 보호 및 국가의 탄소 저감을 위한 노력에도 기여할 수 있음
- CO_2 폴리올은 범용 제품 대비 기계적 물성이 우수하고 내가수분해성, 내화학성이 우수하여 수용성 폴리우레탄 제조에 적극 활용될 수 있는데, 수용성 폴리우레탄은 용제를 사용하지 않기 때문에 휘발성 유기화합물(VOC) 배출이 없어 친환경적이고 인체 유해성도 적어, 관련 기업의 환경안전 측면에 큰 도움을 줄 수 있음

❍ 2030년까지 CO_2 폴리올 파일럿 검증을 마치고 이후 양산 라인을 가동하여 연간 30만톤의 CO_2 폴리올을 양산하게 되면 연간 229만 톤 규모의 이산화탄소 감축 효과가 기대됨

- CO_2를 직접 원료로 활용함으로써 약 10만톤의 CO_2 감축됨
- 기존 폴리올 제품들의 PCF(Product Carbon Footprint, 제품 탄소발자국)는 각각 PCD(1.7), PTMEG(9), PPG(3.2) 수준이나 CO_2를 직접 원료로 활용한 CO_2 폴리올은 PCF가 0.7 수준으로 기존 제품 대비 월등히 탄소배출이 적음
- 따라서 기존의 PCD 3만 톤, PTMEG 27만 톤을 30만 톤의 CO_2 폴리올로 대체한다고 가정하면 약 219만 톤의 간접적인 이산화탄소 감축 효과가 있음

❍ CASE 및 열가소성 向 폴리우레탄용 저가의 고품질 폴리올 공급 및 수입대체 효과 발생

- 고가의 PCD 폴리올 (~$9/kg, 생산 규모: ~3만 톤) 및 PTMEG 폴리올과 ($3~4/kg, 생산 규모: ~124만 톤) PCL 폴리올($2.25~4/kg, 생산 규모: ~15만 톤) 시장에서 대체 효과 기대
- 고가의 PCD 폴리올은 전량 일본으로부터 수입되고 있어 수입 대체 효과도 있음

❍ 석유화학 분야 산업의 탄소중립 전환을 지원하고, 연간 20,000톤 규모 이산화탄소 처리/활용

- 이산화탄소(〉10% 함유) 및 바이오매스(〉50% 함유) 융합 전환을 통한 고부가 폴리우레탄 엘라스토머 소재 제조 공정 기술 개발 및 자립화 달성을 통한 국가경쟁력 확보
- 이산화탄소 기반 고분자 CCU 기술 개발에 따른 환경적 파급효과 또는 환경적 위험을 사전에 파악하여 친환경적 기술 개발 방향성을 제안함으로써 환경적 위험성 경감
- CO_2 및 중립 탄소 융합 전환을 통해 제조한 플랫폼 화합물을 활용하여 소프트 화학 원료 등 고부가가치 제품 제조 융합형 CO_2 전환공정 비즈니스 모델 설정

❍ 국내 고분자 제조 분야 산업의 탄소중립 전환 지원, 연간 28만톤 규모 이산화탄소 감축효과

- 기본 석유화학 기반 플라스틱의 수출이 앞으로 어렵게 될 것으로 전망됨에 따라 그린탄소 기반 고분자 소재 개발이 시급하며, 이에 대한 모델이 필요함
- 본 연구는 석유기반의 플라스틱 제조를 그린탄소 소재로 전환을 지원함으로서 국내 석유화학 수출 업계에 기술적 돌파구를 제시할 것으로 기대됨.

❍ 고분자 생산분야 산업의 탄소중립 전환을 지원하고, 수익성이 없는 DAC 분야의 수익을 제공

- CO_2 고분자 사업화를 위한 촉매, 에폭시원료, 바이오매스 원료 사업자들의 사업화를 할 수 있는 경제성 확보하여 폴리카보네이트 및 폴리우레탄 시장을 CO_2 고분자로 대체.
- DAC를 통한 CO_2 기반 고부가가치 사업으로 DAC 사업자들의 수익모델 확보

[기대효과 및 파급효과 정리]

파급효과 연관 산업(구체적) (ex. 자동차, 선박, 시멘트 …)	예상 활용 분야 및 연관 내용	NDC 기여도(톤/년)
접착제, 코팅재, 포장재	기존 석유 폴리우레탄 기반 접착제, 코팅재, 포장재 대체	28만톤/년
바닥재, 건축자재	기존 석유 폴리우레탄 기반 바닥재, 건축자재 대체	
자동차 플라스틱	기존 석유 폴리우레탄 기반 자동차 플라스틱 대체	

7. 개발기간/예산/인력

예상 개발 기간(년)	정부출연 연구비, 참여 인력(억 원 / 명)								
2025년 ~ 2030년 총(6년)	사업 년도		'25	'26	'27	'28	'29	'30	합계
	사업비 (억 원)	국고	10	20	15	70	20	20	155
		민자	10	20	15	70	20	20	155
		소계	20	40	30	140	40	40	310
	참여 인력 (명)	박사급	4	5	5	6	6	6	32
		석사급	3	3	3	4	4	4	21
		학사급	2	3	3	3	3	3	17
		기타	0	0	0	0	0	0	0
		소계	9	11	11	13	13	13	70

8. 해외 활용 여부

❍ 본 과제는 당사에서 발생하는 CO_2를 자체적으로 포집하고 이를 고부가제품으로 전환하는 CCU 기술이기 때문에 CCS 기술과는 달리 해외로부터 이산화탄소 포집, 저장, 수입/수출의 필요가 없어 경제성 측면과 공급망 관리 측면에서도 유리함

❍ 새로운 촉매 개발 및 원천기술 확보 측면에서 해외 유명 연구 그룹과의 공동 연구 가능성 있음

❍ 협력 파트너십을 통해 CO_2 활용 기술 통합 패키지 개발 및 기술 수출

9. 기타 특기사항

❍ 본 과제는 원천기술 개발부터 스케일 업을 통한 벤치/파일럿 통합 실증, 고객과의 폴리우레탄 제조 및 평가를 통한 실제 사용 가능한 제품 개발까지 복합적으로 진행해야 하는 과제이기 때문에 산/학/연 혹은 산/학 협업이 필수적임

2. (화학) CO_2 활용 폴리카보네이트 생산 기술

과제 개요		
전략 과제	폴리머	
세부 과제명	CO_2 활용 폴리카보네이트 생산 기술	
사업 권역	■서부권, □남부권, □중부권, □동남권	
기술 유형	■화학적전환 □생물학적전환 □광물탄산화	
적용 산업	석유화학	
최종 제품	폴리카보네이트	
산출물	온실가스 감축목표	50,000(톤/년)

기술 개발 개요								
기술개발단계	□ 기초 □ 응용 □ 개발 ■ 실증				기술단계	TRL (6)단계		
적용 산업	석유화학				최종 제품	폴리카보네이트		
기술개발 주체	기업 단독	산+산	산+학	산+연	산+산+연	산+학+연	산+해외	
						○		
기술 개발 규모	연구 개발 기간	2025년 ~ 2030년 (6년)						
	연구비 (억 원)	총연구비	총 310 억원 (국고 155억원 / 민자 155억원)					
		개발년도	2025	2026	2027	2028	2029	2030
		국고	10	20	15	70	20	20
		민자	10	20	15	70	20	20
		소계	20	40	30	140	40	40
	소요 인력	총 소요 인력 (132)명						
기술 개요	기술 정의	석유화학 기반 제품 대체를 위한 CO_2 활용 폴리카보네이트 개발 및 통합 패키지 기술 확보						
	기술개발 목표	이산화탄소 함유 폴리카보네이트 제조 기술 개발 및 상용화 기반 확보						

1. 기술개발 필요성

□ 기술 개발 필요성

- ❍ CCUS는 국가 온실가스 감축 목표 달성을 위한 중요한 감축수단이므로 (2030년 CCUS를 통해 1,120만톤을 감축하는 목표 설정, 탄소중립 녹색성장 국가 기본계획, '23.04) 상용 가능한 기술이 CCU 시장을 선도할 수 있도록 전략제품의 조기 상용화가 필요
- ❍ 국내에서도 탄소중립 실현을 위해 CCUS 기술개발을 추진 중이나, CCU 기술의 경우 경제성 등의 이슈로 아직 상용화된 CO_2 활용 제품이 거의 없는 상황이어서 CCU 시장을 선도할 수 있는 주요 전략제품을 선정하고, 이의 상용화 기술개발을 적극 추진할 필요성이 증대
- ❍ CCU 기술 중 단기적으로는 화학적 전환, 광물화를 통한 CCU 제품군의 상용화가 주목받고 있으므로, 그동안 정부나 민간에서 투자한 기술/제품군이 조기 상용화가 될 수 있도록 지원 강화 필요
- ❍ CCU 제품 중 시장 확보가 용이한 폴리카보네이트 제품의 개발 필요성이 증대
- ❍ 폴리카보네이트는 이미 시장이 형성되어 있고, 조기 상용화를 통한 산업화가 가능한 품목으로 판단
- ❍ 기 개발된 에틸렌 기반 에틸렌카보네이트 제조기술의 실증 및 신규 디메틸카보네이트 제조기술(Urea methanolysis, 직접전환 등)을 조속히 개발, 폴리카보네이트 시장으로의 진출을 추진하여 석유대체는 물론 CO_2 감축에 기여

  * 폴리카보네이트의 원료인 에틸렌카보네이트와 디메틸카보네이트의 CO_2 함량은 각각 50% 및 49%로 높은 CO_2 전환 효과를 기대

- ❍ EU 및 미국의 기후정책(탄소국경세 등)으로 인한 수출 문제 초래로 석유화학 원료 사용의 제한이 예상되어, 석유화학 원료 사용이 없는 바이오매스를 활용한 CO_2 기반 폴리머 제조 기술 개발이 시급함
- ❍ 이산화탄소 기반 고분자 화합물 제조기술은 주로 유럽, 미국을 중심으로 기술개발이 활발히 진행되어 왔으며, 최종 고분자 화합물을 기준으로 폴리카보네이트(Polycarbonate, PC), 폴리올(Polyol) 및 폴리우레탄(Polyurethane, PU) 분야의 연구가 집중
- ❍ 이산화탄소 기반 고분자 화합물 제조 기술은 다시 ①고분자 화합물의 원료가 될 수 있는 단량체로의 촉매 전환 기술 및 ②이산화탄소의 고분자 구조내 직접 삽입되는 형태의 촉매 전환 기술로 구분
- ❍ 대표적인 단량체로의 전환 기술의 예는 폴리카보네이트(Polycarbonate)의 원료가 될 수 있는 디메틸카보네이트(DMC, Dimethyl carbonate) 제조기술을 들 수 있으며, 고분자 화합물로의 직접 전환 기술의 대표적인 예는 폴리우레탄(polyurethane)의 주원료인 폴리에테르카보네이트 폴리올(Polyether carbonate polyol) 제조기술 등
- ❍ 국내의 경우 한국화학연구원, SKI 및 RIST 등에서 CO_2 촉매전환 폴리카보네이트 생산을 위한 촉매 제조 및 기술은 확보한 상태이지만, 경제성 및 물성이 열악하여 복합화 기술이 필요함. 기존의 폴리카보네이트 및 폴리우레탄 시장을 대체할 수 있는 물성을 확보하기 위한 응용기술 개발 시급

❍ 온실가스 감축을 위한 CO_2 활용은 단분자 위주의 전환으로 연구 개발되고 있으나, 대부분의 고분자들이 석유화학 유래 탄소 기반이기 때문에 이를 위한 큰 사용량이 보장되어 있어, 석유화학기반 고분자를 CO_2 기반으로 합성하여 활용하는 기술이 필요

- 현재 CO_2 기반 고분자 소재들이 개발되고 있으나, 대부분 석유 기반 원료 (단량체)를 필수적으로 사용하여, CO_2 배출량 저감에 효과적이지 않음
- 이에 석유기반 원료를 사용하는 것을 대체하여, CO_2 배출량 저감에 크게 이바지할 수 있는 CO_2 전환 공정을 통한 폴리머 소재 기술 개발이 필요

❍ CO_2 기반 폴리머의 상업적 가치 확대를 위한 다양한 물성/조성/효율성을 다루는 기술 확보가 필요

- 고분자는 특성상 응용에 따라 폭넓은 물성을 나타내야 하므로, 상업적 가치를 높이고 활용성을 높이기 위해서는 다양한 단량체 생산기술이 필요
- 고분자 내에 CO_2를 더욱 많이 활용/고정하기 위해서는 새로운 CO_2 기반 단량체 합성 기술과 합성 단량체 기반 고분자의 넓은 범위의 물성을 고려하여 개발이 필요
- 기존의 복잡한 공정은 에너지 문제 등이 결부되어 배출량 저감에 효과적이지 않기 때문에, 효율적인 촉매 개발과 이에 따른 공정 개발 필수

개발 기술의 산업 분야	현재 포집량(톤/년)	현재 처리·활용량(톤/년)
석유화학	-	-

□ 국내외 시장·기술 동향

❍ 해외 폴리카보네이트 플레이어 현황

- 유럽
  - 코베스트로(Covestro)는 독일 바이엘 그룹의 소재사업부(Bayer Material Science)가 분사하면서 2015년 9월 새롭게 탄생한 기업으로, 화장품에서부터 자동차, 건축, 전자제품 등 다양한 화학 제품의 원료 물질을 세계 각국에 공급
  - 바이엘 그룹은 이산화탄소 유래 폴리우레탄 및 폴리카보네이트 물질에 대한 연구를 선도적으로 추진하였으며, 코베스트로는 폴리우레탄의 원료인 폴리올을 이산화탄소가 포함된 폴리올로 대체 적용하고자 신규 촉매 기반의 자체 기술을 개발
- 미국
  - 미국의 대표적인 CO_2 이용 고분자 제조기술로는 노보머(Novomer)사에서 개발한 폴리올(polycarbonate polyol)과 폴리프로필렌 카보네이트(PPC, Polypropylene carbonate), 폴리에틸린 카보네이트(PEC, Polyethylene carbonate)

• 개발한 폴리우레탄용 폴리프로필렌 카보네이트의 제품명은 컨버지(converge)로, 컨버지는 코팅 및 접착, 밀폐제, 탄성중합체 적용 제품 등에 사용되는 기존의 석유화학 기반 폴리올의 지속 가능한 대체제로 높은 가치 보유

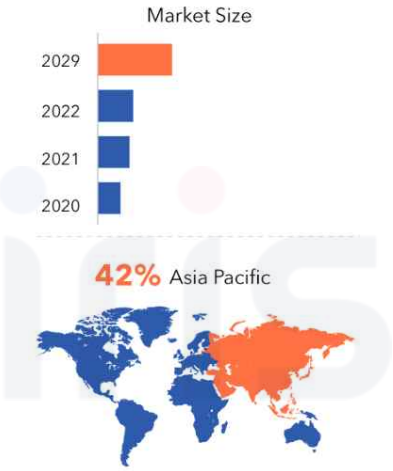
- 중국

• 정부 지원하에 CO_2 활용기술에 대한 연구가 매우 활발히 진행

• 진롱 CAS 케미컬(Jinlong CAS Chemical Co. Ltd.)사에서 이산화탄소가 포함된 폴리올을 제조하는데 성공하였으며, 생분해성이 있는 특징을 활용하여 PLA 등의 다른 고분자와 혼합형태로 사용하여 수분 및 산소 투과도가 낮은 물성으로 농업용 비닐에 적합한 용도로 활용하는 것을 추진 중

❍ 글로벌 폴리카보네이트 시장 규모

- 폴리카보네이트 : $ 12.5 억('20) to $ 42 억('29) (연평균 5.1% 성장 예상)



〈참고: Exactitude Consultancy (22년)〉

❍ 여러 산업 부문에서 사용되고 있는 폴리카보네이트의 세계 소비량은 약 270만 톤/년으로 활용 시장이 점차 확대되고 있으며, 만약 모든 폴리카보네이트 제조가 CO_2 기반 공정으로 대체된다면 CO_2의 직접 소비량은 약 60만 톤/년이 될 것으로 예상(출처: 한국과학기술정보연구원, 이산화탄소의 산업자원 이용, '16)

❍ 국내 폴리카보네이트 시장 규모

- 국내 폴리카보네이트 시장 규모는 2020년 12,346억 원에서 연평균 7.2%로 성장하여 2025년에는 17,478.3억 원 규모에 이를 것으로 전망됨

■ 국내 폴리카보네이트 생산량은 약 60만 톤 규모이며, 삼양화성, LG화학, 롯데케미칼 등에서 제조하고 있음

[국내 폴리카보네이트 시장 규모 및 전망]

(단위 : 억 원, %)

구분	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25	CAGR
국내시장	1,516.8	12,346.0	13,234.9	14,187.8	15,209.3	16,304.4	17,478.3	7.2

* 출처: 한국혁신경제연구소, 국내 소재•부품•장비산업의 대-중소기업 간 상생협력 유형과 특성 분석, 2020, 윕스재가공
- 성장률을 적용하여 추정(1달러=1,183.89원)
- 국내 엔지니어링플라스틱 시장에서 폴리카보네이트의 비중을 49.8%로 추정[4)]

* 엔지니어플라스틱은 PC 49.8%, PA6,PA66(라일론) 21.2%, PBT 14.6%, POM 12.2%, mPPO 2.2% 등의 순을 차지함 (IBK기업은행 경제연구소, 국내 '엔지니어링 플라스틱' 산업 분석 2018)

□ 문제점 및 극복과제

❍ 서부권 지역은 석탄화력발전에 의한 온실가스 배출량이 높아 이산화탄소 활용 기술이 필요한 상황으로 포집된 이산화탄소를 고부가가치 화합물로 전환하는 기술이 요구되고 있음

❍ 이산화탄소를 활용하여 폴리우레탄이나 폴리카보네이트의 생산이 가능하지만, 기업의 투자설비 및 수익성의 문제로 국내에는 상업화 사례는 없음 (기술은 보유하고 있으나 상업 생산은 하고 있지 않음). 폴리카보네이트의 경우 해외의 라이센스를 구입하여 사용하고 있는 실정임. 그러나 이산화탄소를 이용하면, 폴리우레탄이나 폴리카보네이트 합성에 있어 독성 물질인 포스겐(phosgene)의 사용을 피하면서도 고부가 화합물 생산 가능

❍ 국내 폴리카보네이트는 포스겐을 사용하는 공정(LG화학, 삼양화성)과, 일본의 Asahi-Kasei 공정(롯데케미칼, 그린케미칼) 두 개의 다른 공정을 도입하여 제조되고 있음. 폴리카보네이트 원료로 사용되는 모노머인 에틸렌카보네이트 및 디메틸카보네이트는 CO_2 함량이 약 50%로 높은 CO_2 전환 효율을 기대할 수 있으므로 이에 대한 핵심기술을 개발하고 조속한 상용화 기술의 완성 미비

- 이미 시장이 형성된 화학제품으로의 CO_2 전환을 통해 국가 온실가스 저감에 기여할 수 있도록 집중 지원

□ 시급성

❍ EU 및 미국의 기후정책(탄소국경세 등)으로 인한 수출 문제 초래로 석유화학 원료 사용의 제한이 예상되어, 석유화학 원료 사용이 없는 친환경 폴리머 제조 기술 개발이 시급함

❍ 동차 경량화 및 자율주행차량의 보급에 따라 폴리카보네이트의 새로운 수요가 나타날 것으로 예상되어 아시아 지역을 중심으로 폴리카보네이트 소재 개발에 적극적으로 참여하고 있어 우리나라도 이에 대한 대응이 필요

- (중) 테이진, 자율주행차량용 PC 소재 개발, (일) MEP, 5G, 차세대자동차, 로봇, 의료 관련분야 적용하기 위한 PC 신제품 개발

2. 기술개발 목표

□ 최종 목표 : 이산화탄소 함유 폴리우레탄 제조 기술 실증화

❍ 지역내에서 많이 발생하는 CO_2 를 이용한 고분자 등의 고부가가치 화합물 생산 기술개발

❍ 지역내 공업단지의 배출가스내 CO_2 감축 및 폴리머 동시 생산 기술 개발

❍ 포집된 CO_2를 활용한 폴리머 생산을 위한 실증 기술 개발(전기화학, 생물, 촉매, 친환경 공정 등)

□ 단계별 목표

1단계('25년 ~ '27년)	2단계('28년 ~ '30년)
• CO_2 활용 실증 설비 설계 및 구축	• 실증 운전 최적화 및 상용화를 위한 통합 패키지 기술 확보

□ 성능목표

성과지표	현 수준	개발 목표					
		'25	'26	'27	'28	'29	'30
촉매 활성(kg/g cat.)	0.4	1.0	1.0	1.5	1.5	2.0	2.0
스케일 업을 통한 캐파 향상(kg/day)	0.1	0.5	1	5	50	100	500

3. 기술내용 및 범위

□ 지역내에서 많이 발생하는 CO_2 를 이용한 고분자 생산 촉매·공정 기술개발

❍ 세부 내용: 지역내 공업단지의 CO_2 를 이용한 폴리카보네이트 생산 기술개발

- CO_2 기반 폴리카보네이트 제조 고활성 촉매 기술 확보
- 촉매 스케일업 및 공정기술 확보
- 합성 후, 분리/정제 기술 개발
- 연속식 반응 설비 구축 및 상용화를 위한 통합 패키지 기술 확보

❍ 세부 내용: 바이오매스 활용 CO_2 감축 및 폴리머 동시 생산 기술 개발

- 바이오매스 활용을 위한 국내 산업 원료 확보
- 원료 분리/정제 및 합성 촉매 기술 확보
- 실증규모 확대를 위한 공정 데이터 확보
- 기존 국내 폴리카보네이트 생산 업체, 생산설비 적용 테스트

❍ 세부 내용: 지역 석유화학단지 활용 실증 연구 수행

4. 기술개발 추진방법 및 주체

□ 기술개발 추진전략

❍ CO_2 활용 폴리카보네이트 제조 통합공정 개발

- 수요기업에서의 폴리카보네이트 제조 평가 병행, 제품의 spec. 검증

❍ 추진체계 (부문별 주체 선정 및 추진전략 협의 필요)

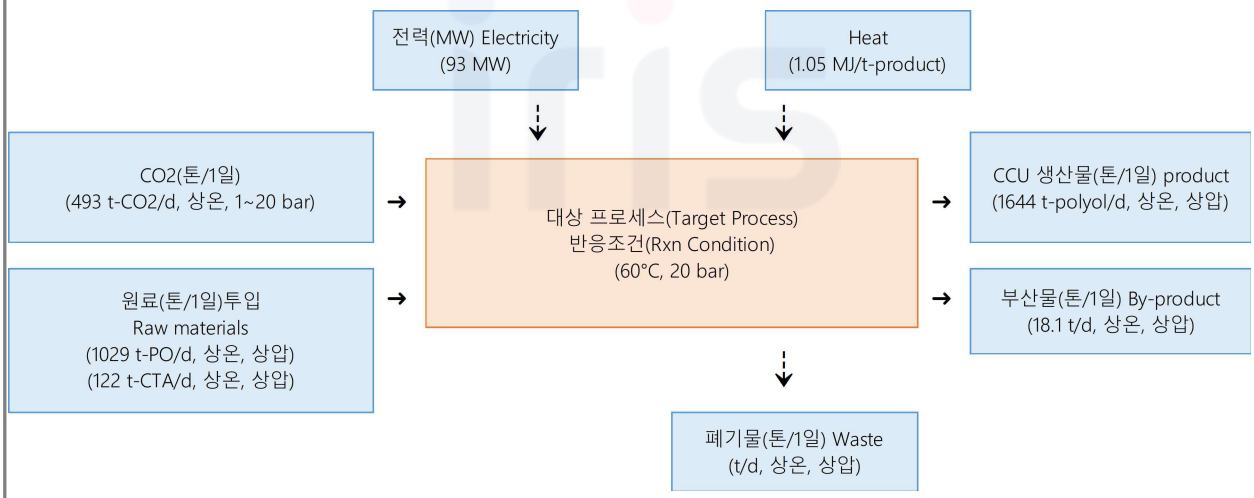
- (연구소/기업) CO_2 기반 폴리카보네이트 생산 기술 개발
- (해당기관) 해당 기술 CCU 평가 및 인증, 기술경제성 분석 및 감축방법론 개발

□ 기술개발 주체

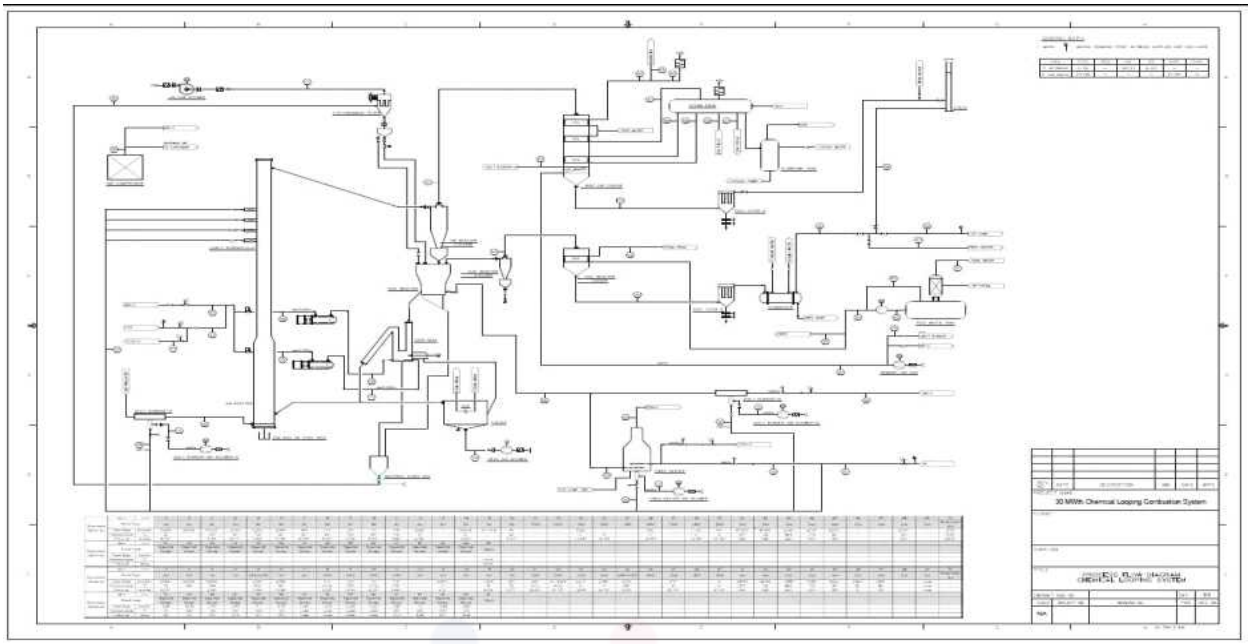
단독 개발	산+산	산+학	산+연	산+산+연	산+학+연	산+해외
( )	( )	( )	( )	( )	(○)	( )

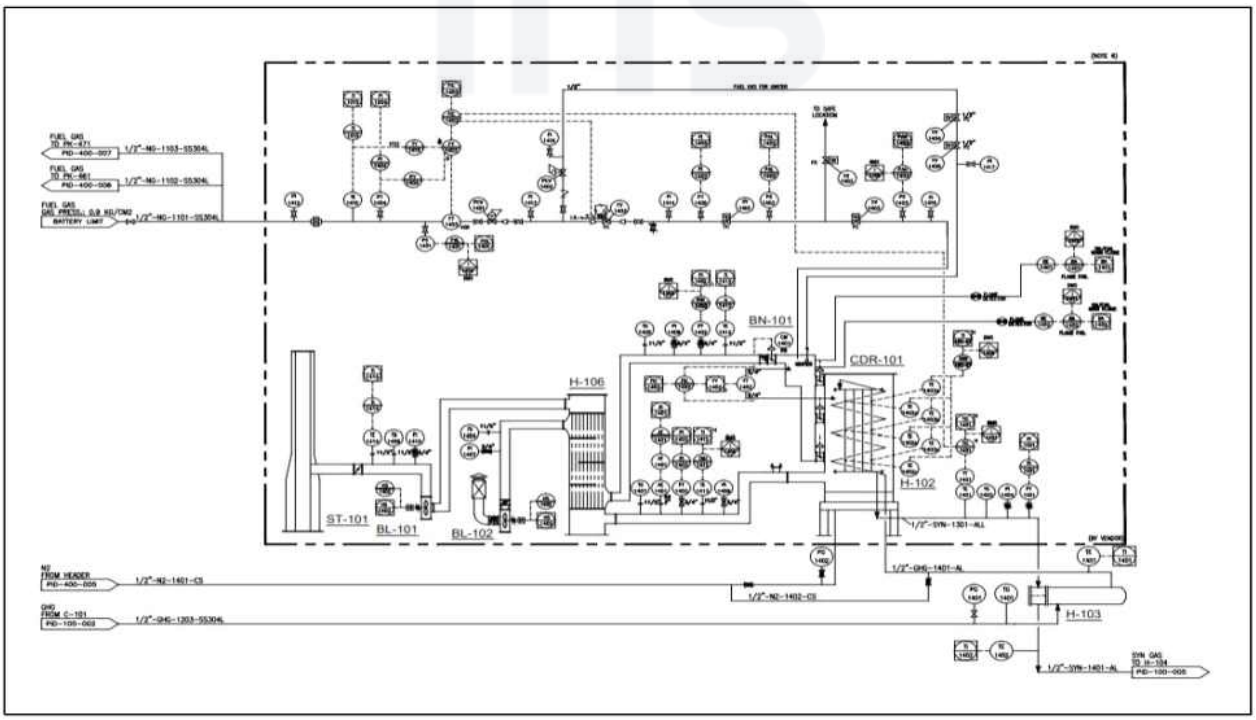
5. 물질 에너지 수지 및 공정도(PFD)

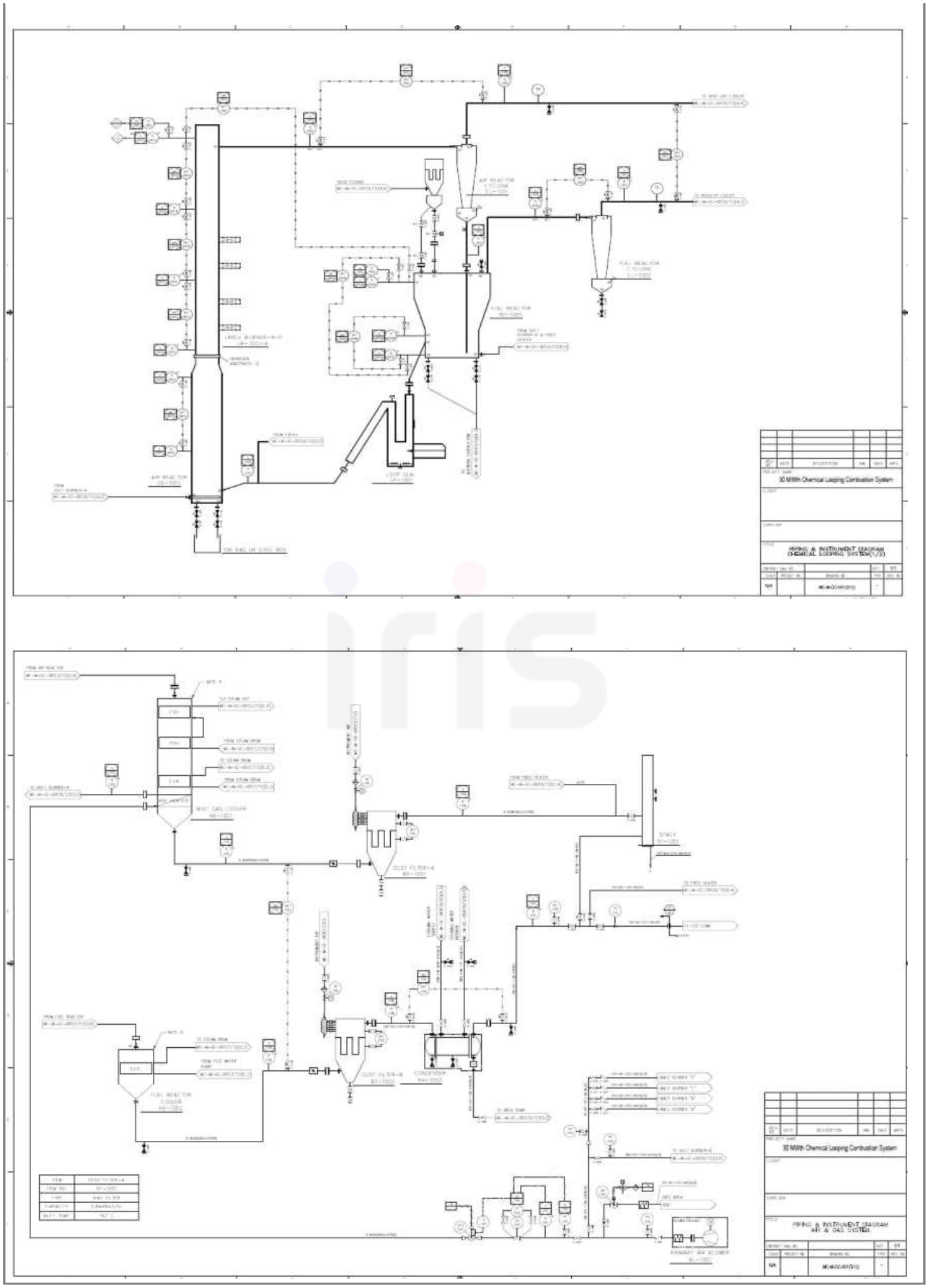
□ 물질에너지 수지(1일, 1ton CO_2 투입시 생산물 및 부산물)



□ 공정흐름도(PFD)






30 MWth Chemical Looping Combustion System
PIPING & INSTRUMENT DIAGRAM
CHEMICAL LOOPING SYSTEM(1/2)
30 MWth Chemical Looping Combustion System
PIPING & INSTRUMENT DIAGRAM
AIR & GAS SYSTEM

6. 최종성과물

□ 연관 분야

적용 산업	타겟 시장	최종 구매자 업종(기업)
폴리카보네이트	엔지니어링 플라스틱, 범용 플라스틱	자동차, 배터리, 가전제품 등

□ 목표 감축량

❍ 2030년까지 파일럿 검증을 마치고 이후 양산라인 건설을 통해 연간 12만톤 폴리카보네이트 생산 시 50,000톤 이산화탄소 감축 가능

CO_2 배출원	최종 제품		목표 감축량 (톤/년)
	제품명	생산량(년)	
산업공정 탄소원	폴리카보네이트	12만톤/년	50,000

□ 산정 방법 및 근거

❍ 목표 감축량

- CO_2 직접 감축 : 50,000 톤
- 기존 제품의 CO_2 폴리올
- 대체로 인한 CO_2 간접감축 : 219만 톤
- 60만톤(폴리카보네이트 국내 규모) x 20%(CO_2 기반 폴리카보네이트 대체) x 10%(CO_2 함량)

□ 성과물

특허			세계 최초·최고 원천 기술 확보	논문	고용창출	상용 (제품)화	상용화 사례
국내	해외	3극 특허					
(15)건	(10)건	(5)건	(1)건	(3)건	( )명	(1)건	(1)건

* (3극 특허) USPTO(미국특허청), EPO(유럽특허청), JPO(일본특허청) 동시 출원 및 등록된 특허

7. 기대효과 및 파급효과

❍ 국내 고분자 제조 분야 산업의 탄소중립 전환 지원, 연간 28만톤 규모 이산화탄소 감축효과

- 기본 석유화학 기반 플라스틱의 수출이 앞으로 어렵게 될 것으로 전망됨에 따라 CO_2, 그린탄소 기반 고분자 소재 개발이 시급하며, 이에 대한 모델이 필요함
- 본 연구는 석유기반의 플라스틱 제조를 이산화탄소 및 그린탄소 소재로 전환을 지원함으로서 국내 석유화학 수출 업계에 기술적 돌파구를 제시할 것으로 기대됨.

❍ 고분자 생산분야 산업의 탄소중립 전환을 지원하고, 수익성이 없는 DAC 분야의 수익을 제공

- CO_2 고분자 사업화를 위한 촉매, 에폭시원료, 바이오매스 원료 사업자들의 사업화를 할 수 있는 경제성 확보하여 폴리카보네이트 및 폴리우레탄 시장을 CO_2 고분자로 대체.
- DAC를 통한 CO_2 기반 고부가가치 사업으로 DAC 사업자들의 수익모델 확보

8. 개발기간/예산/인력

예상 개발 기간(년)	정부출연 연구비, 참여 인력(억 원 / 명)								
2025년 ~ 2030년 총(6년)	사업 년도		'25	'26	'27	'28	'29	'30	합계
	사업비 (억 원)	국고	10	20	15	70	20	20	155
		민자	10	20	15	70	20	20	155
		소계	20	40	30	140	40	40	310
	참여 인력 (명)	박사급	4	5	5	10	10	10	44
		석사급	2	3	3	5	5	5	23
		학사급							0
		기타	10	10	15	15	15		65
		소계	16	18	23	30	30	15	132

9. 해외 활용 여부

- 본 과제는 당사에서 발생하는 CO_2를 자체적으로 포집하고 이를 고부가제품으로 전환하는 CCU 기술이기 때문에 CCS 기술과는 달리 해외로부터 이산화탄소 포집, 저장, 수입/수출의 필요가 없어 경제성 측면과 공급망 관리 측면에서도 유리함
- 새로운 촉매 개발 및 원천기술 확보 측면에서 해외 유명 연구 그룹과의 공동 연구 가능성 있음

10. 기타 특기사항

- 본 과제는 원천기술 개발부터 스케일 업을 통한 벤치/파일럿 통합 실증, 고객과의 폴리우레탄 제조 및 평가를 통한 실제 사용 가능한 제품 개발까지 복합적으로 진행해야 하는 과제이기 때문에 산/학/연 혹은 산/학 협업이 필수적임

2 바이오소재·연료

3. (생물)미세조류 기반 발전소 배출 CO_2 감축·활용 기술

과제 개요		
전략 과제	바이오소재·연료	
세부 과제명	미세조류 기반 발전소 배출 CO_2 감축·활용 기술	
사업 권역	■서부권, □남부권, □중부권, □동남권	
기술 유형	□화학적전환 ■생물학적전환 □광물탄산화	
적용 산업	발전, 플라스틱	
최종 제품	미세조류 바이오매스	
산출물	온실가스 감축목표	10,000(톤/년)

기술 개발 개요								
기술개발단계	□ 기초 □ 응용 □ 개발 ■ 실증				기술단계	TRL (7)단계		
적용 산업	발전, 플라스틱				최종 제품	미세조류 바이오매스		
기술개발 주체	기업 단독	산+산	산+학	산+연	산+산+연	산+학+연	산+해외	
						○		
기술 개발 규모	연구 개발 기간	2025년 ~ 2030년 (6년)						
	연구비 (억 원)	총연구비	총 695 억원 (국고 500억원 / 민자 195억원)					
		개발년도	2025	2026	2027	2028	2029	2030
		국고	50	50	50	130	130	90
		민자	25	25	25	40	40	40
		소계	75	75	75	170	170	130
	소요 인력	총 소요 인력 (162)명						
기술 개요	기술 정의	미세조류 기반 발전소 배출 CO_2 감축·활용 기술						
	기술개발 목표	미세조류 기반 컴팩트 CCU 모듈 (2,000 m3 규모의 공정 모듈) 확보: 연간 10,000 ton CO_2 저감						

1. 기술개발 필요성

□ 기술 개발 필요성

❍ 발전은 국가 CO_2 배출량에서 가장 많은 양을 차지하고 있는 분야인 만큼 도전적 국가 NDC 달성을 위해 혁신적 CO_2 감축 기술 개발이 요구되고 있음. 특히 도심으로의 열 및 전력 공급을 위해 도시 지근에 위치한 본사의 사업장 특성 상 CO_2 저감 시설 구축을 위한 유휴 부지 확보가 어려움을 감안할 때 도시형 컴팩트 CCUS 공정 확보가 반드시 필요함에 따라 CO_2 감축 효율이 우수한 미세조류 플랫폼을 도심에 적용하기 위한 컴팩트 생물학적 CCUS 기술 고도화 및 실증을 수행하고자 함

개발 기술의 산업 분야	현재 포집량(톤/년)	현재 처리·활용량(톤/년)
발전	700	1,750

□ 국내외 시장·기술 동향

❍ 미세조류 광생물반응기를 활용하여 산업 배출 CO_2를 대상으로 한 CCU 산업이 미국, 유럽의 선진국을 중심으로 형성 중

❍ 광생반응기 설계 및 제작, 폐수처리 및 CO_2 동시 저감 등 분야에서 미국을 중심으로 활발히 기술 개발 및 실증 규모 격상이 추진 중

□ 문제점 및 극복과제

❍ 미세조류 바이오매스 생산성 증대

- 미세조류 바이오매스 생산성은 CO_2 저감 효율 및 미세조류 유래 제품화 기술의 경제성에 직접적으로 영향을 미치며, 미세조류 CCU 기술의 전방위적인 확산을 위해서는 현재 수준 대비 획기적인 면적당 생산성의 증대가 선행되어야 함

□ 시급성

❍ 경기, 서부 지역을 포함하는 서부권은 인구가 밀접된 지역에 위치한 발전소, 소각장 등의 배출 업체가 위치하고 있어, 면적 요구도 및 주민 수용성 이슈의 제약에서 상대적으로 자유로운 미세조류 기반의 탄소 저감 및 활용 기술 개발이 반드시 필요한 상황임

2. 기술개발 목표

□ 최종 목표

❍ 미세조류 기반 컴팩트 CCU 모듈 (2,000 m3 규모의 공정 모듈) 확보: 연간 10,000 ton CO_2 저감

- 향후 유사한 레이아웃을 가지는 LNG 열병합 발전 사업장으로의 확대 적용의 용이성을 고려하여 공정의 모듈화 수행
- 생산되는 미세조류 바이오매스는 간접 감축 효과가 우수한 플라스틱 필러로서 활용 도모

□ **단계별 목표**

1단계('25년 ~ '27년)	2단계('28년 ~ '30년)
- 면적 집약형 광생물반응기 모듈 설계 및 제작 - 광생물반응기 모듈의 현장 운전을 통한 생산 최적 조건 도출 및 추가 성능 향상 전략 도출 - 실배가스 주입 환경에서 높은 생산을 보이는 미세조류 자원 확보 및 폐수를 적용한 생산 단가 절감 기술 개발	- 모듈 결합을 통한 실증 규모 격상 및 중장기 운전 데이터 확보 - PBR 모듈 단가 절감을 위한 신규 소재 및 제작 기술 확보

□ **성능목표**

성과지표	현 수준	개발 목표					
		'25	'26	'27	'28	'29	'30
미세조류 성장성 (g/L/d)	0.2	0.5			0.75		
면적당 배양 밀도 (m^2/m^3)	3.3	2.5			1.65		
PBR 설치 비용 (USD/m^3)	330	210		100			-
현장 배가스 주입 광배양 조건 신규 미세조류 바이오매스 생산성	야생형 대비	200%		250%			
폐수활용 비율 (%)	10	50			75		

3. 기술내용 및 범위

❍ 규모 확대 시에도 10 m3 배양 규모에서 연간 50 ton의 CO_2를 저감하는 수준의 성능이 유지 (현재 본사의 실증 데이터를 활용하여 산정된 성능)되는 미세조류 CCU 공정 설계, 실증 및 고도화: 최종 2,000 m3 규모 공정 모듈 확보를 통해 연간 10,000 ton CO_2 감축 달성 (직접 감축량만 고려; 간접 감축량 고려 시 추가 감축 잠재력 보유)

- 면적집적형 광생물 반응기 (photobioreactor; PBR) 개발 (설계안 도출)
- 동 배양 규모 내 CO_2 처리량 극대화를 위한 바이오광물화 기술 고도화
- 딥러닝 기반 선제 공정 제어 기술 확보

❍ (부지 확보 여부) 제안사 소유의 CHP 사업장 영내 유휴 부지만으로 실증 계획: 이를 가능하게 하기 위한 면적 집적형 기술 개발이 목표

4. 기술개발 추진방법 및 주체

□ 기술개발 추진전략

❍ 산 (한국지역난방공사) / 학 (예: 고려대학교, 숙명여자대학교 등) / 연 (예: 한국생명공학연구원, 한국지질자원연구원 등)의 역량이 집중된 기술 개발 추진

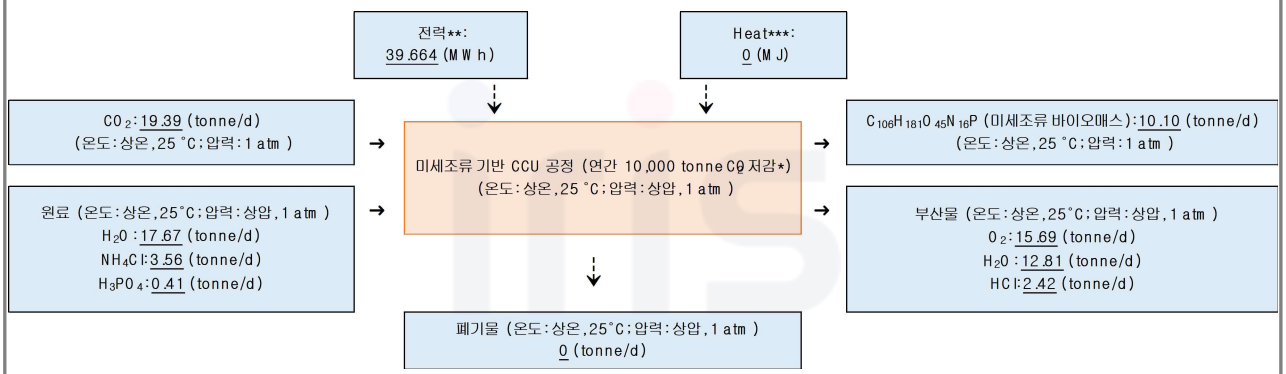
❍ 관련 기술 개발 경험이 풍부한 연구개발 그룹 참여 유도

□ 기술개발 주체

단독 개발	산+산	산+학	산+연	산+산+연	산+학+연	산+해외
( )	( )	( )	( )	( )	(○)	( )

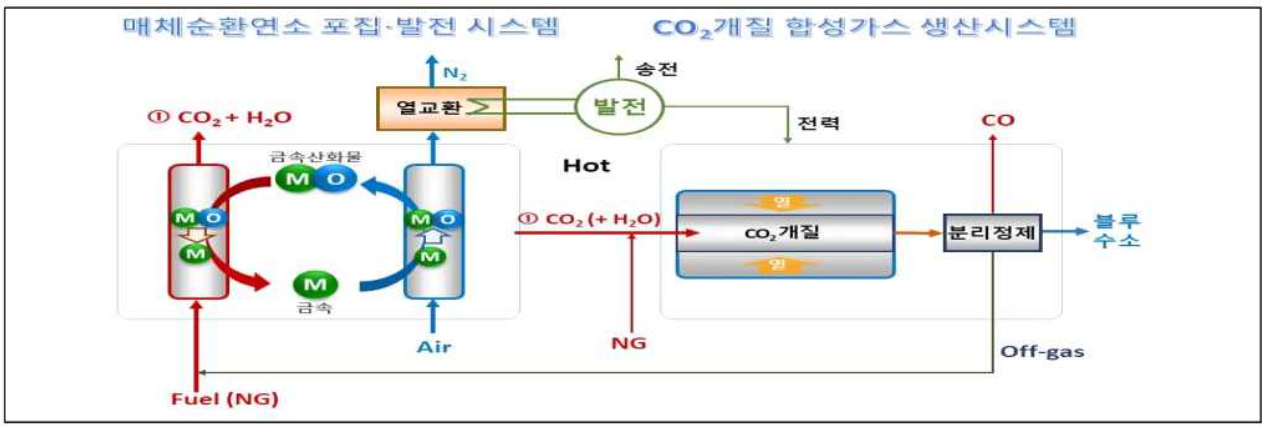
5. 물질 에너지 수지 및 공정도(PFD)

□ 물질에너지 수지(1일, 1ton CO_2 투입시 생산물 및 부산물)



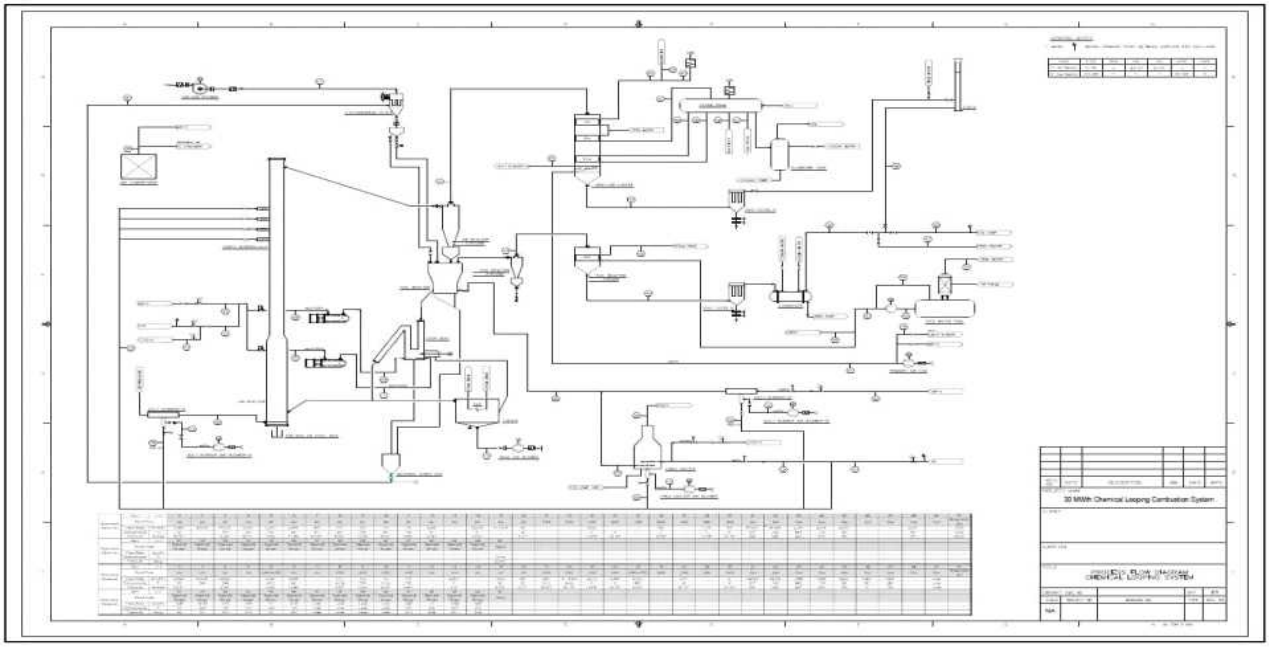
CCUS 구분	기술구분
마세조류 바이오매스 기반 플라스틱 필러	$106CO_2 + 236H_2O + 16NH_4Cl \rightarrow C_{106}H_{181}O_{45}N_{16}P + 118O_2 + 171H_2O + 16HCl$

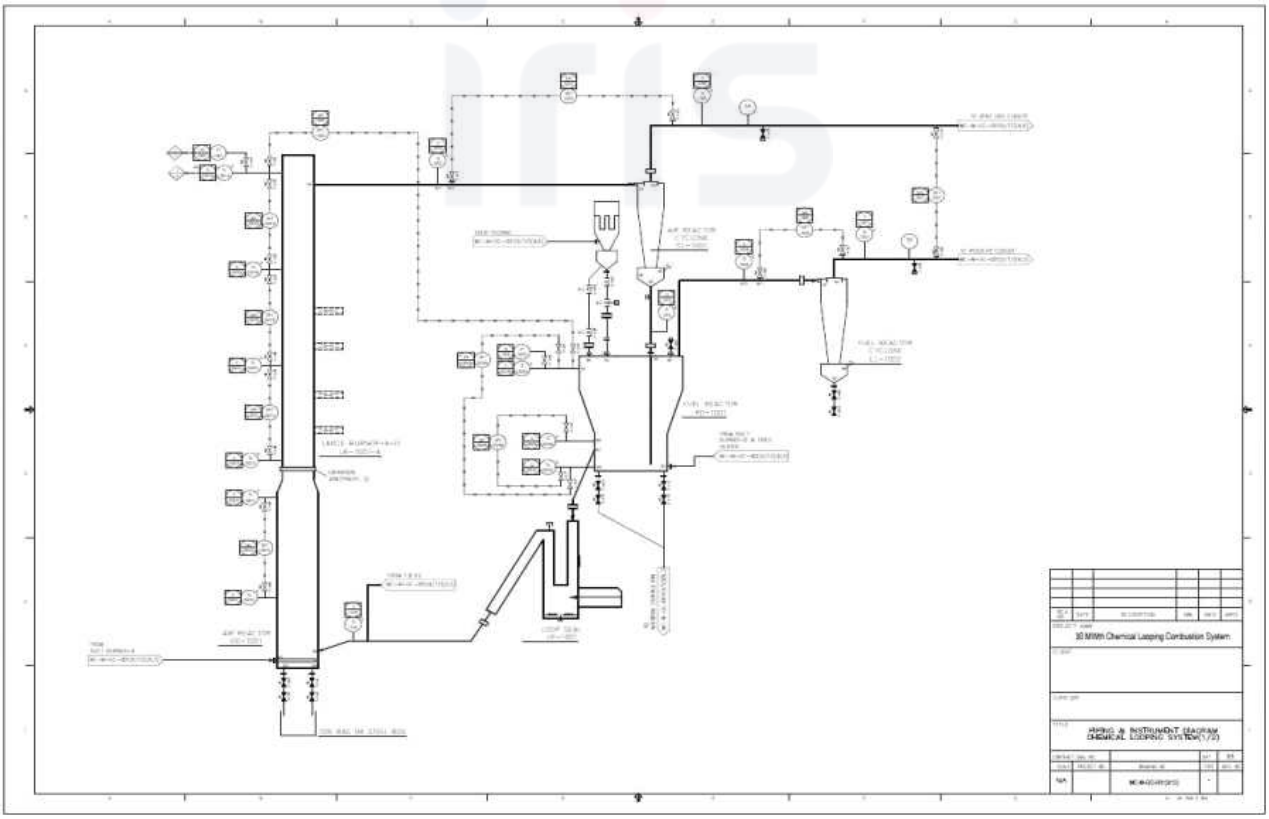
□ 공정도(PFD)



(발전산업 CCU 기술개발 개념도)

❍ 매체순환연소 발전 시스템





□ 장비 리스트

연번	필요 설비	예상 cost (천 원)
1	미세조류 배양 온실	28,728,756
2	배기가스 추기 (공급) 설비	1,766,112
3	미세조류 배양 온실 제반 전기 설비	2,119,334
4	수도 설비	1,059,667
5	미세조류 배양 온실 냉난방 배관	1,177,408
6	공정 기초 공사 (식재비용 포함)	2,590,298
7	광생물 반응기	353,222
8	미세조류 바이오매스 침전 농축 및 여과 장치	1,412,890
9	미세조류 배양, 수확 등 운전자동화 시스템	4,120,928
총합계 (천 원)		**43,328,616**

6. 최종성과물

□ 연관 분야

적용 산업	타겟 시장	최종 구매자 업종(기업)
발전 (직접 감축) 화학소재 산업 (간접 감축)	플라스틱 (필러)	석유화학 기업을 포함한 플라스틱 제품 및 소재 생산 기업

□ 목표 감축량

CO_2 배출원	최종 제품		목표 감축량 (톤/년)
	제품명	생산량(년)	
발전 (직접 감축) 화학소재 산업 (간접 감축)	플라스틱 (필러)	〉 5,000 톤	10,000

□ 산정 방법 및 근거

❍ 목표 감축량: 본사 판교지사 내 실증 시설에서 확보된 실증 데이터

□ 성과물

특허			세계 최초·최고 원천 기술 확보	논문	고용창출	상용 (제품)화	기술이전
국내	해외	3극 특허					
(2)건	( )건	( )건	( )건	(10)건	(10)명	(2)건	(2)건

* (3극 특허) USPTO(미국특허청), EPO(유럽특허청), JPO(일본특허청) 동시 출원 및 등록된 특허

7. 기대효과 및 파급효과

❍ 생물학적 CCU 기술 고도화를 통해 LNG 발전 분야의 탄소중립 전환을 유도하여 2030년까지 한국지역난방공사 실증사이트 기준, 연간 1만 톤 규모의 이산화탄소 감축 달성

- 실증 단지 유래 바이오매스 및 고부가 바이오원료를 활용하여 CCU 기술혁신 로드맵 (2021.06)에 상술된 미세조류 유래 사료, 플라스틱 소재 (필러) 등으로의 CCU 제품화 및 이에 따른 추가 감축 효과 기대
- 향후 타 LNG 발전사 (예: SK E&S, GS power, 서울에너지공사 등)로의 중장기 실증 확대를 통해 연간 10만 톤 이상 규모의 생물학적 CCU 기반의 이산화탄소 감축 기대 (NDC 기여율 12.5%)

8. 개발기간/예산/인력

예상 개발 기간(년)	정부출연 연구비, 참여 인력(억 원 / 명)								
2025년 ~ 2030년 총(6년)	사업 년도		'25	'26	'27	'28	'29	'30	합계
	사업비 (억 원)	국고	50	50	50	130	130	90	500
		민자	25	25	25	40	40	40	195
		소계	75	75	75	170	170	130	695
	참여 인력 (명)	박사급	11	11	11	11	11	11	66
		석사급	13	13	13	13	13	13	78
		학사급	2	2	2	2	2	2	12
		기타	1	1	1	1	1	1	6
		소계	27	27	27	27	27	27	162

9. 해외 활용 여부

- 생물학적 CCU 기술의 경우 넓은 CO_2 농도 범위의 배기가스를 포집 및 전처리 시설 없이 처리 가능하기 때문에 본 공정 모듈 개발이 완료될 경우 즉시 국내외 발전, 산업 시설로 확대, 활용 가능

10. 기타 특기사항

- 혁신 기술의 개발, 정착 및 실제 활용을 위해 정부의 공격적 투자 필요: 현재 수준에서, CCU 기술은 경제성 확보가 어렵기 때문에 국가 주도의 인센티브 부여 및 정책 지원을 통해서만 기술 개발 가능

3 바이오매스

4. (생물) 미세조류 기반 발효 배가스 내 CO_2 감축·활용 기술

과제 개요		
전략 과제	바이오매스	
세부 과제명	미세조류 기반 발효 배가스 내 CO_2 감축·활용 기술	
사업 권역	■서부권, □남부권, □중부권, □동남권	
기술 유형	□화학적전환 ■생물학적전환 □광물탄산화	
적용 산업	바이오 발효 산업	
최종 제품	바이오매스, 바이오사료	
산출물	온실가스 감축목표	5,000(톤/년)

기술 개발 개요								
기술개발단계	■ 기초 □ 응용 □ 개발 □ 실증				기술단계	TRL (5)단계		
적용 산업	바이오 발효 산업				최종 제품	바이오매스, 바이오사료		
기술개발 주체	기업 단독	산+산	산+학	산+연	산+산+연	산+학+연	산+해외	
						○		
기술 개발 규모	연구 개발 기간	2025년 ~ 2030년 (6년)						
	연구비 (억 원) 총연구비	총 305 억원 (국고 220억원 / 민자 85억원)						
	연구비 (억 원) 개발년도	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
	연구비 (억 원) 국고	36	36	36	36	36	40	
	연구비 (억 원) 민자	10	10	10	15	20	20	
	연구비 (억 원) 소계	46	46	46	51	56	60	
	소요 인력	총 소요 인력 (50)명						
기술 개요	기술 정의	미세조류 기반 발효 배가스 내 CO_2 감축·활용 기술						
	기술개발 목표	발효 배기가스 내 CO_2 저감 균주/공정 개발						

1. 기술개발 필요성

□ 기술 개발 필요성

❍ 생물학적분야 CO_2 활용 미세조류 배양기술은 기초 연구단계로서, 발효 산업에서의 이산화탄소 배출을 감축하기 위한 기업연계 실증연구 필요

❍ 미세조류를 활용한 생물학적 전환방법은 이산화탄소를 직접적으로 감축할 수 있는 뛰어난 기술로서 발효 산업분야에 적용함으로써 이산화탄소 대량 감축 가능함

❍ 미세조류를 활용한 생물학적 전환 기술은 실험실 단계에서 검증된 기술로 스케일 업을 통한 경제성 확보가 필요한 상황임

개발 기술의 산업 분야	현재 포집량(톤/년)	현재 처리·활용량(톤/년)
바이오 발효 산업	-	-

□ 국내외 시장·기술 동향

❍ 전체 미세조류 바이오매스 시장 규모는 2020년 기준 약 9억 4천만 US$이며 복합 연평균 성장률(CAGR) 5.3%로 2026년 약 1조 3천억 US$까지 성장할 것으로 예상 (Global Newswire, 2022년)

- 전 세계 바이오매스 시장에서의 주요 기업으로는 Ameresco(미국), Andritz(오스트리아), Babcock&Wilcox Enterprises(미국), Drax(영국), Valmet Oyj(핀란드) 등이 존재

❍ (국내 바이오매스 시장) 국내 바이오매스 시장은 '21년 1조 4,355억 원에서 연평균 6.55% 성장하여 '30년 2조 5,401억 원에 달할 것으로 전망

- 국내에서는 바이오에너지 생산에 활용 가능한 바이오매스 자원이 거의 없기 때문에 에너지화 할 수 있는 바이오매스 원료 및 기술개발 등이 상당히 중요한 상황

[국내 바이오매스 에너지 잠재량 현황]

(단위 : TOE/년)

구분		이론적 잠재량	기술적 잠재량	비고
산림/목재 바이오매스	임산	12,849,010	9,852,860	침엽수림, 활엽수림, 혼효림
폐자원 바이오매스	농산	2,979,677	2,979,677	볏짚, 왕겨, 고춧대, 고구마줄기, 사과전정지, 포도전정지 등 17개 품목
	축산	1,705,398	1,497,800	우분, 계분, 돈분 등
	도시폐기	1,143,227	759,788	음식물류 폐기물, 하수슬러지
합계		**18,677,312**	**15,090,125**	

*출처 : 한국에너지공단, 2020 신재생에너지백서

❍ 국내외 바이오 기업에서는 ESG 경영 및 탄소감축 시류에 맞추어 발효 중 발생하는 고농도 CO_2가 포함된 배가스 처리 및 활용 방안 중 하나로 산업 발효기 배기가스의 희석 주입을 통한 미세조류 광생물반응기 운전 및 해당 설비에서 생산된 미세조류 바이오매스를 고부가가치화하는 사업을 검토 중

[Supply Chain (국내)]

공급자	수요자	최종 소비자
• 미세조류 생산 현장 실증 연구 경험이 있는 대학, 연구소, 사업 • 동물사료 생산 및 미세조류 제품화 경험이 있는 생명공학 기업 • (관련 단체) 한국생명공학연구원, 고려대학교, 한국과학기술원, 한국지역난방공사, CJ제일제당, ㈜대상, 클로랜드, 경남제약등	• 국내 탄소세 도입, 국제 국경세 신설 등 여러 가지 사회 이슈들에 의해 가까운 미래에 이익 급감의 위험을 안고 있거나 기업의 존속에 위협을 받고 있는 CO_2 대량 배출 기업 • 동물사료 생산 및 미세조류 제품화 경험이 있는 생명공학 기업 • (관련 단체) 한국전력 5개 자회사(서부·남동·중부·남부·동서발전), 한국지역난방공사, 포스코, CJ제일제당, ㈜대상 (발효가스 처리 및 사료 생산) 등	• CO_2 대량 배출 기업 • 동물·어류 사료 생산 기업 • (기술 소비 관련 단체) 한국전력 5개 자회사, 포스코 등 CO_2 대량 배출 기업, CJ제일제당, ㈜대상 등 발효배가스 처리 및 사료 생산이 동시에 필요한 업체 및 농협, 하림, 이지바이오, 우성사료, 삼양사 등 사료 생산 기업 • (최종 소비자) 축산농가(양돈, 양우, 양계 등) 경영인

□ 문제점 및 극복과제

❍ 발효 산업은 고집적 CO_2 배출원이지만 국내에서 그 저감 중요성에 대해 크게 주목 된 바 없음

❍ 또한, 발효 산업의 성패는 무균성 확보인데, 타 공정과 융합할 경우 전단 발효 공정의 오염 문제가 발생 가능함

- 미세조류의 생산성 증가를 통한 미세조류 배양의 경제성 확보는 미세조류 바이오매스 사업화를 위해 반드시 해결해야 하는 문제이며, 특히 목표 생산 물질(카로테노이드, 오메가3 지방산) 에 따른 맞춤형 배양공정 개발이 필요
- 현재 다양한 방법으로 종속영양 미세조류 균체내 오메가-3 함량증진 연구가 진행되고 있지만 아직 기술 수준이 매우 낮음. 이를 획기적으로 극복할 수 있는 합성생물학 기반 오메가3 함량 증진 기술 개발이 필요
- 기존 상업화에 성공한 몇몇의 기업에서 낮은 생산성과 경제성으로 사업화 부적합 평가를 받고 있는 open pond 배양방식에 의존하고 있으며, 높은 생산성을 보이는 종속 또는 혼합영양 미세조류 배양 관련 원천기술에 관한 연구는 뒤떨어져 있음
- 또한, 상용화를 위한 핵심기술로써 시장 경쟁력을 확보할 수 있는 대규모 배양 기술(생산 시설)의 확보 및 미세조류 바이오매스의 가치를 높이기 위해 유용물질의 추출/정제 기술이 필수 요구

❍ (낮은 바이오매스 생산성 및 유용 바이오소재 함량)

- 미세조류는 광합성 미생물로서 광 수용과 관련된 기능이 있는 카로테노이드의 함량이 다른 미생물에 비에 절대적으로 높은 편이지만, 다양한 종류의 색소가 혼재되어 있고 상용화를 위한 수준에는 못 미치는 경우가 대부분임
- 현재 다양한 방법으로 종속영양 미세조류 균체내 오메가-3 함량증진 연구가 진행되고 있지만 아직 기술 수준이 매우 낮음. 이를 획기적으로 극복할 수 있는 합성생물학 기반 오메가3 함량 증진 기술 개발이 필요

❍ 미세조류 유래 천연색소 및 지방산 분획물의 대용량 고효율 회수 기술 부재

- 미세조류는 광합성 미생물로서 엽록소 등 짙은 녹색을 띄는 색소 물질을 과량 함유하고 있으며 이는 천연색소 추출 및 회수 시 농축되어 최종 제품의 활용성을 현저히 제한하는 경우가 많음
- 또한, 대량의 바이오매스로부터 천연색소를 분리하는 경우 추출효율이 급격히 저하되며, 불필요한 성분들이 함께 추출됨으로써 최종 추출물의 유동성 및 순도가 크게 제한됨
- CO_2 탄소 저감을 위해 개발된 광배양기의 경우 바이오매스 생산성이 상대적으로 낮은 문제점을 가지며, 옥외 환경에 대한 의존성이 높아 연중 안정적인 미세조류 바이오매스 생산이 어려움
- 식용 또는 원예 작물은 그 자체로 높은 부가가치를 창출할 수 있기 때문에 국산 원료를 사용할 수 없고, 때문에 천연색소 원료의 해외 의존도가 높음
- 국내 생산 기술 및 시설이 미비하여 식물성 오메가3 지방산의 해외 의존도가 높음

□ 시급성

❍ 현재 미세조류 바이오매스는 어사료로서 비교적 규모 있는 시장을 이미 형성하고 있으나 동물사료로서 상용화된 사례를 찾기 어려우며 대부분 종속영양방식을 채택 하고 있어 기술개 발을 통해 경쟁력 있는 CO_2 유래 동물사료 제품화에 성공할 경우 산업, 기술 및 시장에서 선도적 지위 확보가 가능

※ 동물사료 (어사료 포함) 시장 예상 규모: 2023년 141.5억 US$ (Dineshbabu et al., J. Funct. Foods, 62, 103545, 2019)

❍ 국내 발효 산업에서 발생하는 고농도 CO_2를 직접 처리하고 유용물질을 생산하기 위한 기반 기술을 선제적으로 확보하여 해당 분야에서의 국가 경쟁력 제고 필요

2. 기술개발 목표

□ 최종 목표

❍ (기술정의) 현장 배가스 주입형 미세조류 바이오매스 생산 실증 공정에서 회수된 바이오매스

에 함유된 카로테노이드 색소, 오메가-3 지방산을 회수하고, 전주기적 생산 과정에 걸쳐 에너지 효율 및 경제성을 극대화 할 수 있는 통합형 바이오리파이너리 공정 고도화

- 고부가 소재 고함량 미세조류 균주 개발 기술 개발
- 유용 바이오소재 고함유 미세조류 배양 기술 개발
- 생산된 바이오매스 유래 유용 소재 고효율 회수 및 제품화 연계형 기술 개발
- 생산공정유래 부산물, 잔여물의 고부가가치화 기술 개발
- 현장 배가스 무포집형 광생물반응기 운전 실증을 통한 온실가스 저감 실증

❍ 발효 배기가스 내 CO_2 저감 균주/공정 개발

- 미세조류 균주 개발: 고효율 CO_2 활용 균주 개발
- CO_2 저감 공정 개발: 발효배기가스 내 CO_2 저감 고효율 공정 개발

❍ 미세조류 개량

- 유도진화 및 적응진화 연구를 위한 기초 연구 (라이브러리
- 유도, 배양 관련 연구, 미세조류 집락 유지 방법 등)
- 유전자가위 기술을 이용한 균주 맞춤형 개량 기술 최적화
- 유용 카로테노이드의 생산성이 선택적으로 개선된 미세조류 개발
- 카로테노이드 고함유 미세조류 균주 확보
- 합성생물학기반 유전자조작을 통한 바이오오일 및 오메가 3 함량 증진 균주 제작

□ 단계별 목표

1단계('25년 ~ '27년)	2단계('28년 ~ '30년)
- 전단 발효 공정의 무균성 확보를 위한 CO_2 공급 시스템 설계 - 발효조와 연계 가능한 광생물반응기 시스템 구축 - 후단 바이오매스의 당화 및 사료화를 고려한 수확 및 파쇄 공정 확립	- 생산된 미세조류의 발효원당 및 동물 어사료화 실증 - 통합형 바이오 CCU 공정의 경제성을 높이기 위한 제품화 기술 실증

□ 성능목표

성과지표	현 수준	개발 목표					
		'25	'26	'27	'28	'29	'30
미세조류 균주 맞춤 유전자교정 효율 증대 (미세조류 유전자교정 빈도)	〈10-9	〉10-8			〉10-6		
유용 카로테노이드 함량 증대	〈0.01 mg/g	〉0.05 mg/g			〉0.1 mg/g		
대용량 회수 효율(%)	70	80			90		
추출물 내 카로테노이드 함량(%)	15	40			60		
연평균 바이오매스 생산성(g/L/d)	0.2	0.4			0.75		

3. 기술내용 및 범위

- ❍ 전단 발효공정의 무균성을 유지하면서 광생물반응기와 효율적으로 결합될 수 있는 배기가스 공급 기술 개발
- ❍ 발효 배기가스 내 고농도 CO_2를 효과적으로 전환하기 위한 환경 내성 및 바이오매스 활용성을 고려한 최적 균주 확보
- ❍ 전주기적 에너지 사용량과 경제성 및 제품화 공정의 용이성을 모두 고려한 바이오매스 회수 및 제품화 구축 및 실증

4. 기술개발 추진방법 및 주체

□ 기술개발 추진전략

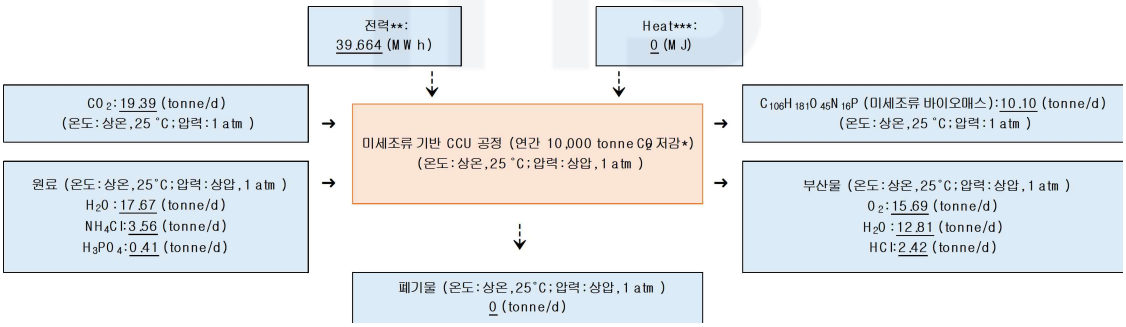
- ❍ 발효 배기가스 유래 CO_2 전환 및 당화, 사료화 맞춤 우량 미세조류주 확보
- ❍ 발효 배기가스 공급 방안 설계 및 발효 배기가서 연계 생물학적 CCU 공정 구현을 위한 고효율 광생물반응기 기반 공정 모듈 개발, 장기 안정적 운전 기술 확보
- ❍ 당화 및 사료화 맞춤 바이오매스 수확, 전처리 기술 확보 및 CO_2 저감 기여도 정량화/인증 추진

□ 기술개발 주체

단독 개발	산+산	산+학	산+연	산+산+연	산+학+연	산+해외
( )	( )	( )	( )	( )	(○)	( )

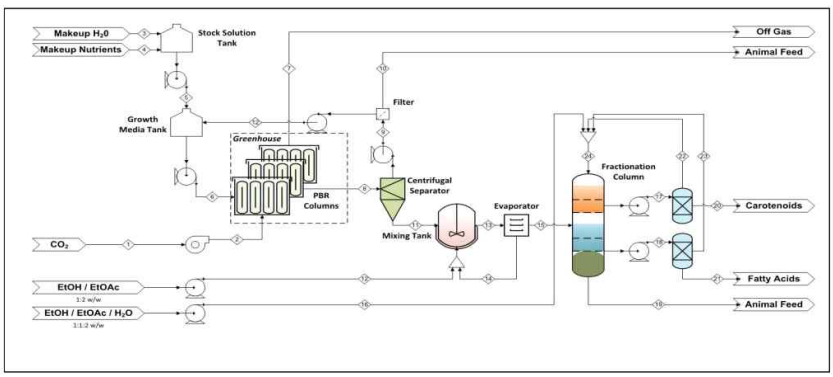
5. 물질 에너지 수지 및 공정도(PFD)

□ 물질에너지 수지(1일, 1ton CO_2 투입시 생산물 및 부산물)



□ 공정도(PFD)

[미세조류 광생물반응기 운전을 통한 고부가소재(오메가3 지방산, 카로테노이드 색소 등) 생산 공정]



6. 최종성과물

□ 연관 분야

적용 산업	타겟 시장	최종 구매자 업종(기업)
바이오산업 : 생물학적 전환 공정	바이오매스/사료	사료 및 고부가 바이오소재 생산/소비 기업

□ 목표 감축량

CO_2 배출원	최종 제품		목표 감축량 (톤/년)
	제품명	생산량(년)	
바이오산업 : 생물학적 전환 공정	바이오매스/사료	〉 2,500 톤	5,000~10,000

□ 산정 방법 및 근거

❍ 산업 부생가스 CO/CO_2 활용 Formate 전환 균주/공정 개발: 국내 제철산업군과 협의 中

❍ 제철사 발효배기가스 내 CO_2 활용 미세조류 균주/공정 개발 및 Formate 전환 균주/공정 개발

❍ 제철사 공장에서 발생되는 발효 배기가스 내 CO_2량은 약 40만톤 수준으로 예측되며(정확한 수치 산출 中) 이로부터 약 10~20만톤을 활용하여 부가가치산물로 전환하는 균주/공정을 개발하는 목표를 수립 중(CCU 개발 전략은 지속 보완 중)

□ 성과물

특허			세계 최초·최고 원천 기술 확보	논문	고용창출	상용 (제품)화	상용화 사례
국내	해외	3극 특허					
(6)건	( )건	( )건	( )건	(6)건	( )명	(3)건	( )건

* (3극 특허) USPTO(미국특허청), EPO(유럽특허청), JPO(일본특허청) 동시 출원 및 등록된 특허

6. 기대효과 및 파급효과

❍ 발효 시 발생하는 CO_2를 고부가가치 물질로 전환하여 발효 산업의 경제성을 높이고 해당 산업에서의 탄소 중립을 실현하는 필수 기반 기술 확보

❍ CO_2 전환 결과 생산되는 미세조류 유래 발효용 원당을 실제 발효 산업에 제공하는 형식의 순환 경제형 공급 사슬을 구현함으로써 기존 바이오 공정의 친환경성 극대화 및 원당의 수입 의존성 감소 기대

7. 개발기간/예산/인력

예상 개발 기간(년)	정부출연 연구비, 참여 인력(억 원 / 명)								
2025년 ~ 2030년 총(6년)	사업 년도		'25	'26	'27	'28	'29	'30	합계
	사업비 (억 원)	국고	36	36	36	36	36	40	220
		민자	10	10	10	15	20	20	85
		소계	46	46	46	51	56	60	305
	참여 인력 (명)	박사급	8	8	8	8	8	10	50
		석사급	-	-	-	-	-	-	-
		학사급	-	-	-	-	-	-	-
		기타	-	-	-	-	-	-	-
		소계	8	8	8	8	8	10	50

8. 해외 활용 여부

❍ 발효 산업은 글로벌 산업으로 해외 각국에 생산 설비를 보유하고 있으며, 본 CCU기술개발을 통한 CO_2 감축 생물학적 전환공정 모델을 활용한 각 국의 생산 사이트에서의 CO_2 감축으로 글로벌 CO_2 감축 목표에 기여할 것으로 판단됨

9. 기타 특기사항

해당없음

4 고순도 무기탄산염

5. (광물) 해수담수화 농축수 활용 고순도 무기탄산염 생산 및 활용 기술

과제 개요		
전략 과제	고순도 무기탄산염	
세부 과제명	해수담수화 농축수 활용 고순도 무기탄산염 생산 및 활용 기술	
사업 권역	■서부권, □남부권, □중부권, □동남권	
기술 유형	□화학적전환 □생물학적전환 ■광물탄산화	
적용 산업	해수담수화, 화력발전, 해수 수전해, 환경플랜트, 제철·자동차 등 마그네슘 활용 산업군	
최종 제품	(플랜트 기술) CO_2 광물전환 공정, 친환경 해수담수화, 해수 수전해 공정, 마그네슘 내재화 기술 (산업원료) 마그네슘 탄산염, 가성소다, 염산, 수소	
산출물	온실가스 감축목표	10,000(톤/년)

기술 개발 개요								
기술개발단계	□ 기초 □ 응용 □ 개발 ■ 실증				기술단계	TRL (7)단계		
적용 산업	해수담수화				최종 제품	CO_2 전환 마그네슘 탄산염		
기술개발 주체	기업 단독	산+산	산+학	산+연	산+산+연	산+학+연	산+해외	
				○				
기술 개발 규모	연구 개발 기간	2025년 ~ 2030년 (6년)						
	연구비 (억 원) 총연구비	총 750 억원 (국고 500억원 / 민자 250억원)						
	개발년도	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
	국비	56	77	80	87	100	100	
	민자	29	38	40	43	50	50	
	소계	85	115	120	130	150	150	
	소요 인력	총 소요 인력 (305)명						
기술 개요	기술 정의	해수담수화 분야 대산임해산업단지에서 CCU 분야 광물탄산화 기술을 적용하여 이산화탄소 포집 및 마그네슘탄산염 광물을 생산						
	기술개발 목표	• 해수담수화 농축수(660만 톤/년)를 이용한 CO_2 광물전환 실증 공정 구축과 운영 • 해수담수화 농축수 염분농도 감소로 해양생태계 위해성 저감 • 해수담수화 농축수-CO_2 동시 처리에 의한 온실가스 감축 효과 정량 평가법 정립						

1. 기술개발 필요성

□ 기술 개발 필요성

❍ 현재, 광물탄산화분야 CO_2 광물전환 기술은 실험실 규모의 실험단계 및 파일럿 규모로 실증하는 단계
- 실제 해수담수화 공정에 수요기업과 연계한 사업화를 위한 연구가 필요함

❍ 해수담수화 시장 규모는 2023-2027년간 88억 6,371만 달러 확대될 전망(연평균 8.77% 성장)
- 해외 및 국내에서도 대체 수자원으로 주목받고 있는 해수담수화 분야에 이산화탄소를 대량 감축하는 동시에 전량 수입하고 있는 국가전략 금속인 마그네슘의 탄산화, 국산화 가능

❍ 사업화를 위해 실제 해수담수화 공정에 수요기업과 연계한 사업화를 위한 연구하여 CO_2 광물전환 상용 공정개발 및 최적화를 통한 CO_2 감축 성능 및 경제성 확보 필요

개발 기술의 산업 분야	현재 포집량(톤/년)	현재 처리·활용량(톤/년)
해수담수화 및 마그네슘탄산염	(0)톤	(0)톤

□ 국내외 시장·기술 동향

❍ 국내 CO_2 배출권 거래(KAU22) 가격은 톤당 1만원 수준으로 배출권 사업으로 CO_2 감축기술의 경제성 보상은 현실적으로 불가능
- 유럽의 경우 배출권 가격(EUA)은 톤당 12만원을 상회하므로, 배출권 사업이 가능한 CO_2 광물전환 기술 필요함
- 유럽은 해수담수화 이용률이 높은 지역으로 해수담수화 농축수를 이용한 CO_2 광물전환 기술의 수출 가능성이 높음

❍ 우리나라는 국가전략금속인 마그네슘을 중국에서 전량 수입하고 있어 안정적인 공급망 관리 시급
- 우리나라는 합성 마그네슘탄산염을 2020년에 톤당 $1,990 가격에 1,400톤을 수입(한국지질자원연구원 희유금속 원재료 교역분석, 2021)
- 마그네슘은 전기차·항공우주 산업군 필수 원자재로 세계 모든 국가가 국가전략금속으로 관리

■ 유망 신사업에 사용되는 광물자원 이투뉴스 18.01.02

유망 신산업	사용 광물자원
전기차 · 자율주행차	이차전지(리튬, 코발트, 니켈, 망간), 영구자석(희토류), 경량소재(티타늄, 마그네슘) 등
3D 프린팅	코발트, 크롬, 니켈, 티타늄 등
항공우주/드론	경량소재(마그네슘, 티타늄), 특수합금(니켈, 크롬, 텅스텐, 니오븀, 몰리브덴, 바나듐) 등
첨단 로봇	고강도합금(니켈, 크롬, 망간, 텅스텐, 티타늄), 모터(희토류) 등
디스플레이/반도체	희토류, 텅스텐, 갈륨, 인듐, 백금족, 몰리브덴 등
에너지신산업	ESS(리튬 등 이차전지 원료), 신재생(실리콘, 갈륨, 셀레늄) 등

지난해 핵심광물 주요 수입국 동아일보 22.09.29

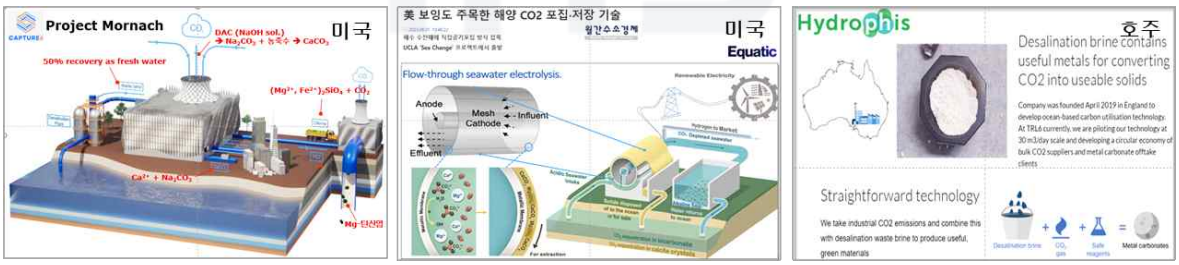
	1위	2위	3위
리튬	중국(58%)	칠레(37%)	러시아(3%)
백금	폴란드(17%)	중국(16%)	일본(14%)
코발트	중국(40%)	콩고(14%)	일본(11%)
희토류	중국(54%)	일본(28%)	프랑스(8%)
마그네슘	중국(85%)	일본(7%)	러시아(2%)
흑연	중국(87.5%)	미국(6.8%)	독일(3.8%)

괄호 안은 전체 수입액에서 해당국이 차지하는 비율.
자료: 한국지질자원연구원, 한국광해광업공단

❍ 해수담수화 농축수에는 마그네슘이 약 0.1 M (~ 2,400 mg/L) 들어있어 국내 해수담수화 설비를 통해 70% 수입대체 가능
- 자원부국인 미국은 솔트레이크 염호(0.19 M)에서 마그네슘 내재화 중

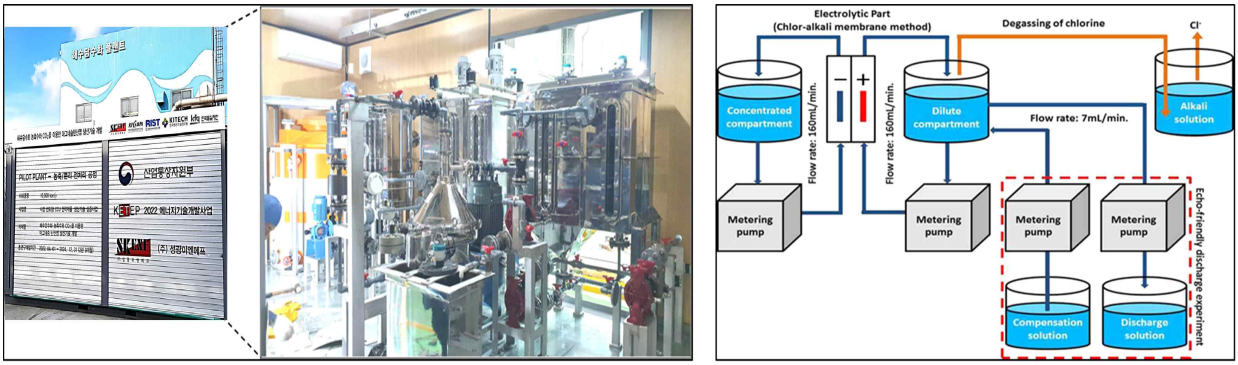
❍ 물 부족은 세계적 현상으로 해수담수화 업계는 호황
- 국내 : 광양 포스코 3만 톤/일, 대산임해산업단지(한국수자원공사) 10만 톤/일
- 육상 담수 부족으로 공업용수 확보 비상 → 해수담수화 건설로 대체 수자원 확보
- 해수담수화 증설로 해수담수화 농축수 활용 CO_2 광물전환 기술 보급처 충분

❍ 미국, 호주에서 해수담수화 농축수를 이용한 CO_2 광물전환 기술 스타트업 등장
- 우리나라가 세계 최초로 관련 원천기술 확보
- 해외 스타트업이 국내외에서 투자금 모금을 하고 있으나, 기술 수준은 높지 않은 것으로 조사
- 그럼에도 불구 마이크로소프트는 CO_2를 톤당 $700~900에 구매
- 우리나라 기술 사업모델은 마그네슘 판매로 수익을 창출하므로 안정적으로 시장 참여 가능



〈해외 유사 기술 활용 스타트업 기술개요. 좌→우: Capture6, Equatic, Hydrophis〉

❍ 우리나라는 파일럿 플랜트를 구축하는 실체화된 기술 보유(2024년 과업 종료)
- 해수담수화 농축수 연간 1만톤 처리하여 22톤/년-CO_2 처리 파일럿 구축 중
- 성능목표: CO_2 전환율 90%, 마그네슘탄산염 60톤/년(순도 95%)
- 온실가스 감축효과 정량화를 위해 온실가스 감축 방법론 개발 중
- CO_2 광물전환 융합 수전해 예비 테스트 결과 농축수의 NaCl 농도 0.5% 감소 확인
- CO_2 광물전환 융합 해양 재생에너지(해수전지 및 염분차발전) 기술개발 연구 중

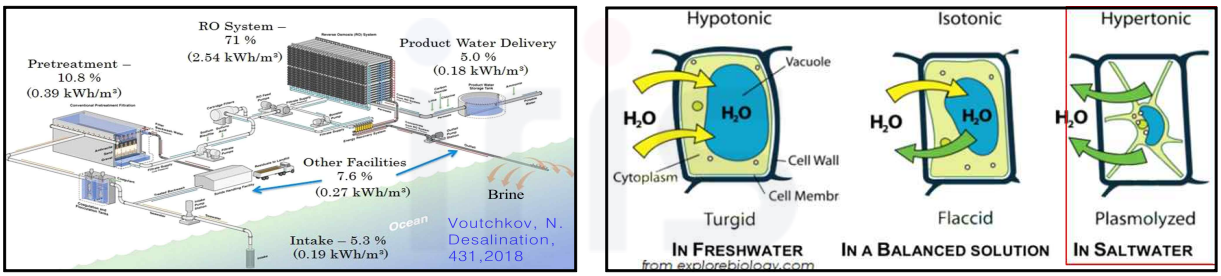


〈(좌) CO_2 광물전환을 위해 해수담수화 현장에 구축한 농축수 전처리 파일럿 설비,
(우) CO_2 광물전환 융합 수전해 예비 테스트 방법〉

□ 문제점

❍ 해수담수화 운영에 따른 CO_2와 농축수 처리는 업계의 가장 큰 현안

- 해수담수화는 대표적 전력 다소비 업종 : 1톤 담수 생산 시 4kWh 소비로 CO_2 1.8kg 배출
- 배출 농축수의 염분은 바닷물 대비 2배 높아 해양 생태계 염독성 문제
- 현안 해결을 위한 대안 전무 : 농축수 활용 CO_2 광물전환 기술의 유용성



〈(좌) 해수담수화 전력소비 분석, (우) 농축수 고염분에 의한 생태 영향〉

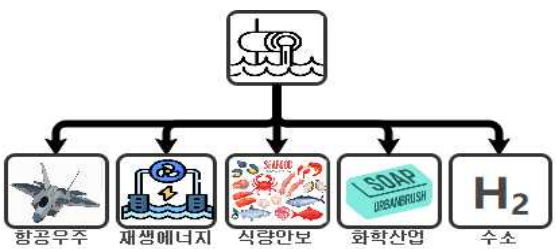
□ 시급성

❍ NDC 및 탄소중립 실현을 위한 실증 규모의 CO_2 감축 공정 전무

- 충남 서부권역의 발전소 및 석유화학업종에 적합한 실효성 있는 1만 톤/년-CO_2 감축 기술 실증화 시급

❍ CO_2 광물전환 기술의 보급을 위한 유인책 개발 필요

- 고형물을 활용한 CO_2 광물전환 중 발생하는 산성 및 알칼리성의 폐기물 발생에 의한 2차 환경 오염 억제 필요
- 전후방 산업 파급효과가 큰 CO_2 광물전환 기술 성공사례 구축 필요



〈해수담수화 농축수 활용 CO_2 광물전환 기술의 후방산업〉

2. 기술개발 목표

□ 최종 목표

❍ 해수담수화 농축수(660만 톤/년)를 이용한 CO_2 광물전환 실증 공정 구축과 운영
- (CO_2 감축) 1만 톤/년, (마그네슘탄산염 광물전환) 6.3만 톤/년
- (CO_2 광물전환 효율) 80% : 대기 재방출 CO_2 최소화로 온실가스 감축효과 극대화
- (Mg 회수율) 70% : 염분농도 저감 및 농축수 수전해 부하 감소

❍ 해수담수화 농축수 염분농도 감소로 해양생태계 위해성 저감
- (NaCl 농도) 5.4% 이하 : 수전해 공정을 통해 농축수 저염분화
- (NaOH 생산·활용) 수전해 생산 NaOH를 CO_2 광물전환 공정에 활용, 계단식 순환경제 구현

❍ 해수담수화 농축수-CO_2 동시 처리에 의한 온실가스 감축 효과 정량 평가법 정립
- 파리협정 제6조 기준 감축효과 평가 프로토콜 개발을 통해 감축 효과 및 사업 타당성 평가
  * 수요기업의 NDC(Nationally Determined Contribution, 국가 온실가스 감축목표) 달성기여 및 배출량 규제 대응에 활용 가능

□ 단계별 목표

1단계('25년 ~ '27년)	2단계('28년 ~ '30년)
• 해수담수화 농축수 중 마그네슘을 이용한 CO_2 광물전환 상용 공정 개발 - 해수담수화 농축수 660만 톤/년 처리에 의한 1만 톤/년-CO_2 감축 공정 설계 및 설치	• CO_2 1만 톤/년 감축 공정의 운전과 성능검증 - CO_2 광물화 실증 공정 최적화와 CO_2 감축 성능 목표 달성 - 해수담수화 농축수 염분농도 저감 - 온실가스 평가법 정립

□ 성능목표

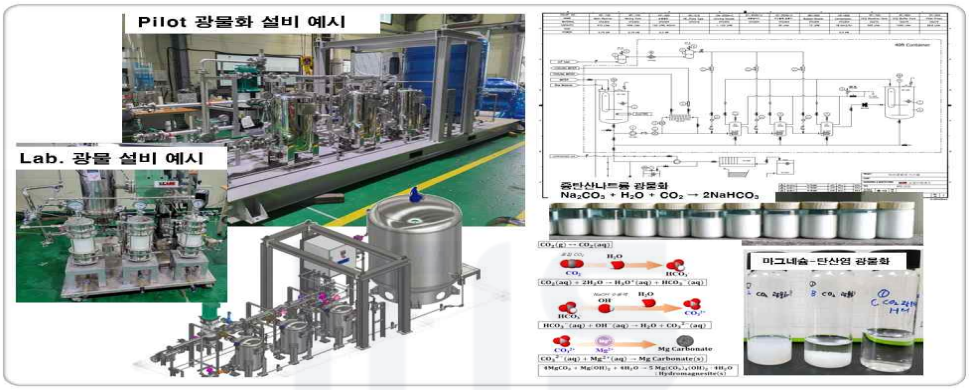
성과지표	현 수준	개발 목표					
		'25	'26	'27	'28	'29	'30
상용급 CO_2 광물화공정	TRL 6의 파일럿 규모 수준	공정 도출 및 설계	·공정 설비 제작·설치 ·설비 시험가동			성능 검증	성능 개선 검토
CO_2 처리량 (톤/년)	22	-	-	0.20만	0.60만	1만	1만
Mg-탄산염광물 생산량(톤/년)	60	-	-	1.3만	3.8만	6.3만	6.3만
Mg-탄산염광물 순도(%)	95	-	-	95	95	95	95
해수담수화 농축수 처리량(톤/년)	1만	-	-	132만	396만	660만	660만

3. 기술내용 및 범위

□ **해수담수화 분야 대산임해산업단지에서 CCU 분야 광물탄산화 기술을 적용하여 이산화탄소 포집 및 마그네슘탄산염 광물을 생산**

❍ 해수담수화 농축수 유래 Mg를 이용한 CO_2 광물전환 공정 구축과 운전

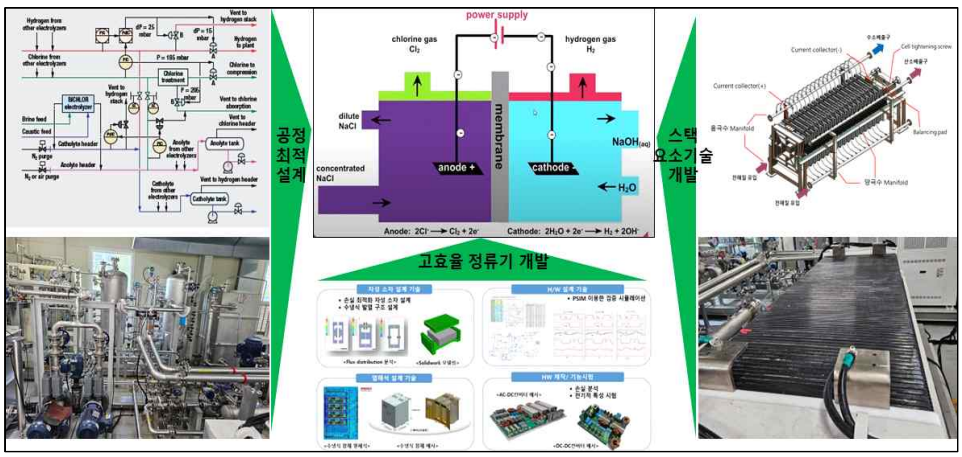
- (기술개선) 연 1만톤 → 600만톤 대규모 해수담수화 농축수-CO_2 동시처리 플랜트 구축 및 통합공정제어 기술 개발 등 운전 기술 개선
- (사업화) 실제 해수담수화 시설에 실제 적용하여 해수담수화 농축수-CO_2 동시처리를 통한 상업화 단계의 기술 개발 및 검증 시행
  - 1만 톤/년 CO_2 감축
  - CO_2의 광물전환 효율 80%, 농축수 유래 Mg 회수율 70%
  - 마그네슘 탄산염 생산 6.3만 톤/년
  - CO_2 전환 탄산염광물 제품화 탈수 공정 구축



〈CO_2 광물 전환 공정 예시: CO_2 전환 중탄산나트륨 및 마그네슘 탄산염〉

❍ CO_2 광물전환 공정 연계 농축수 수전해 공정 구축과 운전

- (농축수 NaCl 농도) 0.6% 저감 : 수전해 전극, 정류기, 분리막 등 요소기술 최적화
- (에너지 저소비 수전해 공정 개발) 기존 수전해 공정 대비 에너지 소비 5% 절감
- (염소 및 가성소다 생산과 활용) SWRO Anti-biofouling 및 광물화 재이용

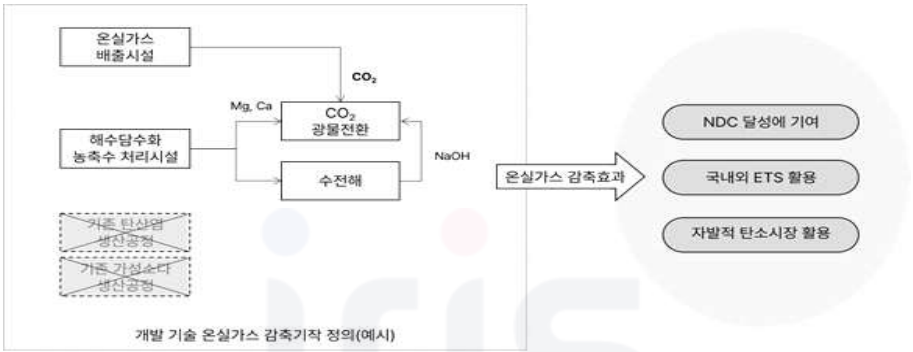


〈농축수 수전해 실증 공정 구축을 위한 요소기술 〉

❍ 해수담수화 농축수-CO_2 동시 처리에 의한 온실가스 감축량 산정
- CO_2 감축 시나리오에 의한 CO_2 감축 정량 평가
- CO_2 감축량 극대화를 위한 시나리오 작성 전략 제안

❍ 해수담수화 농축수-CO_2 동시 처리에 의한 온실가스 감축효과 평가
- 개발 기술의 온실가스 감축 기작 정의
- NDC 및 기업 배출량 규제 측면에서의 온실가스 감축효과 검토
- (ETS MRV, IPCC NIR*, NDC 평가 기준)
- 감축 사업 평가를 위한 프로토콜 개발 및 평가 수행
  · 국제기준(파리협정 제6조) 및 실 데이터 기반 감축효과 평가 프로토콜 개발
  · 감축사업 예비 타당성 평가 수행

(*IPCC 국가 온실가스 인벤토리 보고서(National Inventory Report))



개발 기술 온실가스 감축기작 정의(예시)

❍ (부지 확보 여부) CO_2 광물전환 기술 실증을 위한 충남 서산시 대산임해산업단지 해수담수화 플랜트 부지 활용 가능
- K-water에서 운영 예정('24년)인 10만 톤/일 규모의 해수담수 플랜트 부지 내 장래부지에 해수담수화 농축수 660만 톤/년을 활용 CO_2 광물전환 및 수전해 실증 플랜트 구축
- 인근 석유화학 플랜트 또는 발전소 유래 CO_2 활용 방안 도출

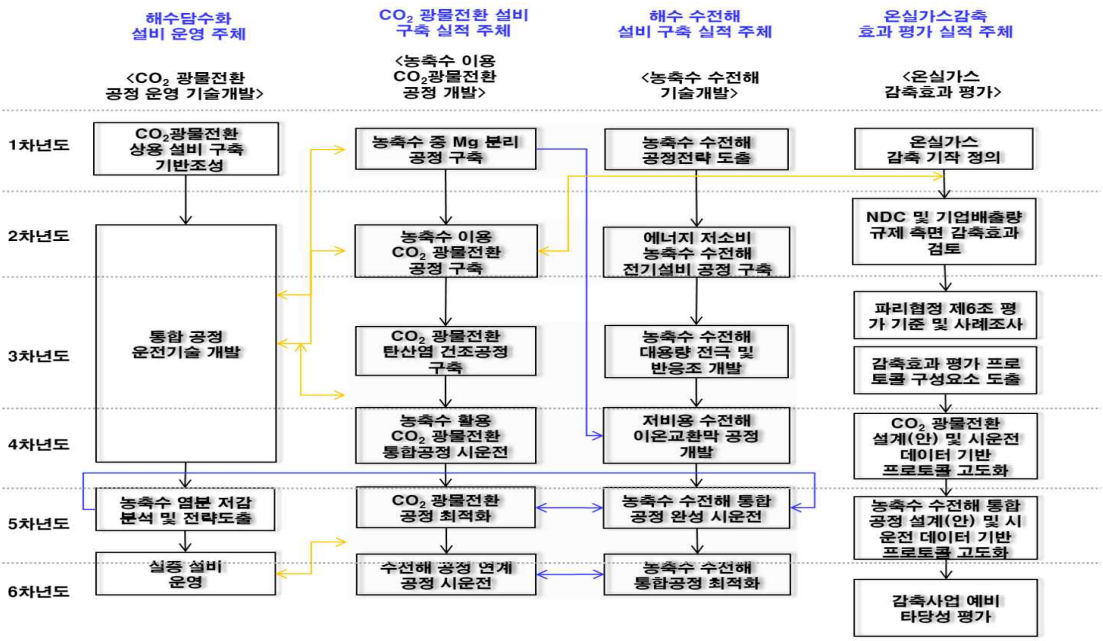
〈해수담수화 플랜트 부지 평면도〉

〈대산임해산업지역 공업용수도(해수담수화) 사업 개요 – 한국수자원공사〉

4. 기술개발 추진방법 및 주체

□ 기술개발 추진전략

❍ CO_2 광물전환 연구과제를 기술·공정개발 및 온실가스 감축효과 평가 프로토콜 개발로 세분화하고, 해당분야 전문기관의 역할분담으로 기술개발 업무추진 시행



〈1만 톤/년-CO_2 감축을 위한 전문기관 간 업무추진 전략〉

□ 기술개발 주체

단독 개발	산+산	산+학	산+연	산+산+연	산+학+연	산+해외
( )	( )	( )	(O)	( )	( )	( )

❍ 해수담수화 설비 운영 : CO_2 광물전환 공정 운영 기술개발
- 해수담수화 농축수를 활용한 CO_2 광물전환 실증 공정 구축을 위한 기반 조성
- 완성된 실증 설비 운영

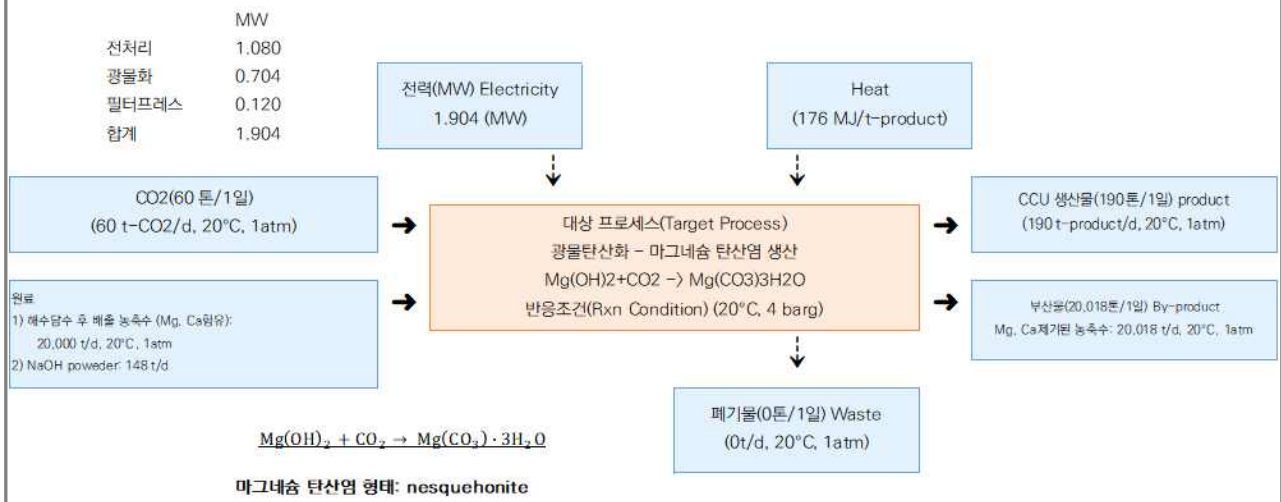
❍ CO_2 광물전환 설비 구축 : CO_2 농축수 이용 광물전환 공정 개발
- 해수담수화 농축수 활용 CO_2 광물전환 실증 통합 공정 총괄
- CO_2 광물전환 공정 구축 경험에 기반한 개선 전략 도출 및 실증 설비 구축
- 반응 및 조업 조건 최적화 목적 연구

❍ 대용량 해수 수전해 설비 구축 : 농축수 수전해 기술개발
- 5천 톤/h 급 해수 수전해 설비 구축 경험 활용하여 해수담수화 농축수 수전해 전략 도출 및 실증 설비 구축
- 반응 및 조업 조건 최적화를 위해 CO_2 광물전환 실증 설비 구축 주체와 협업

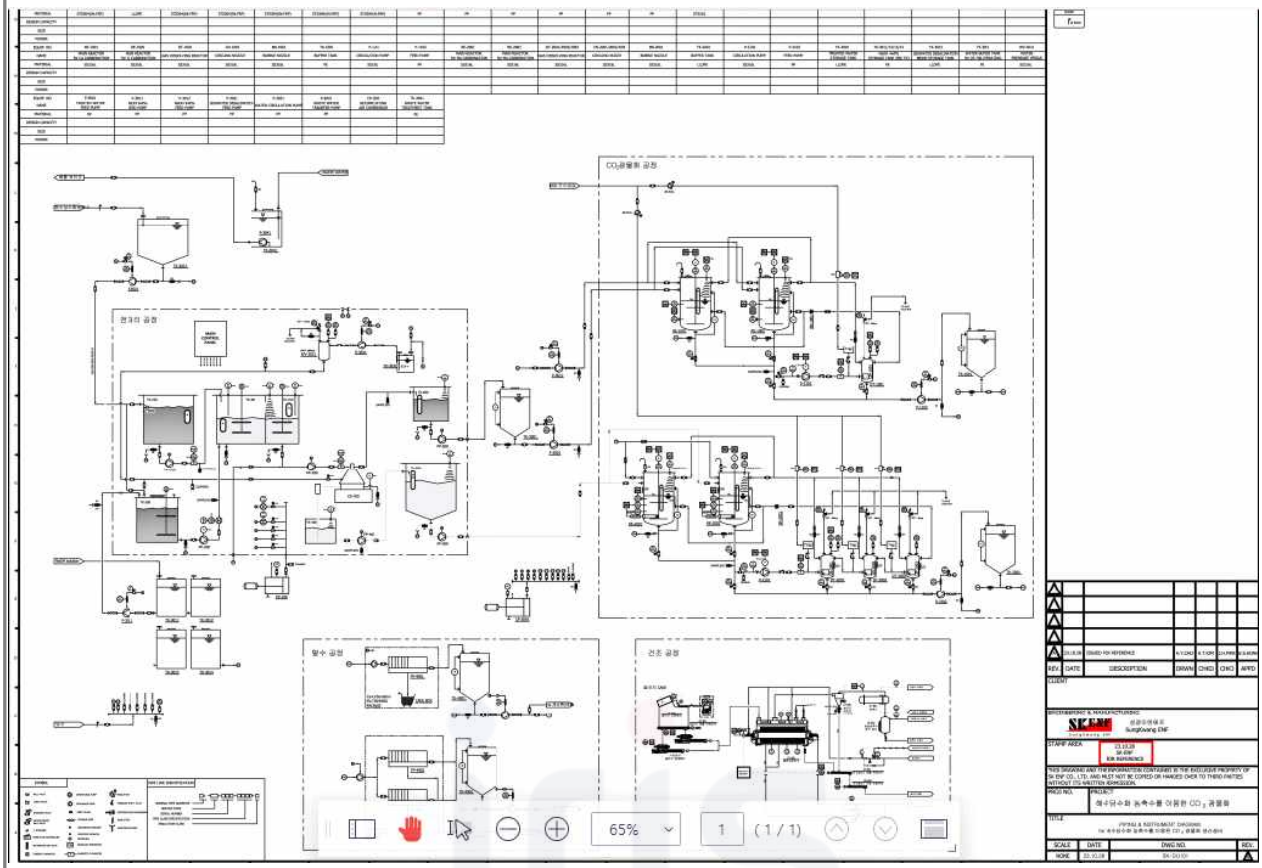
❍ 온실가스 감축효과 평가 툴 개발 : 온실가스 감축효과 평가
- 해수담수화 농축수 활용 CO_2 광물전환, 이에 필요한 원료 공급 및 농축수 염분농도 저감을 위한 농축수 수전해 총괄 공정에 대한 온실가스 감축량 산정
- CO_2 광물전환, 농축수 수전해 설비의 온실가스 감축 효과 극대화를 위한 감축 시나리오 전략 제안
- 국제기준(파리협정 제6조) 및 실 데이터 기반 감축효과 평가 프로토콜 개발

5. 물질 에너지 수지 및 공정도(PFD)

□ 물질에너지 수지(1일, 1ton CO_2 투입시 생산물 및 부산물)



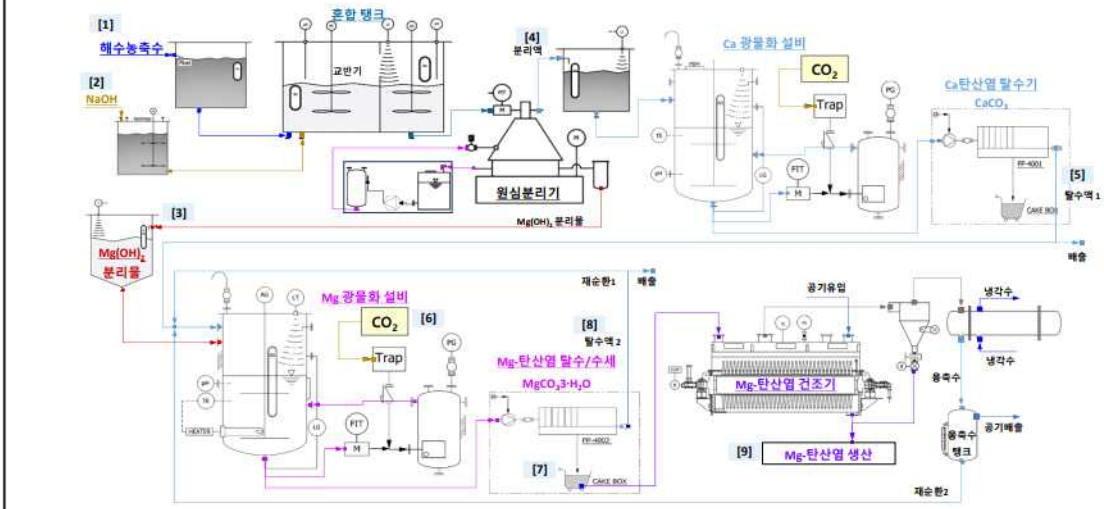
□ 공정도(PFD)



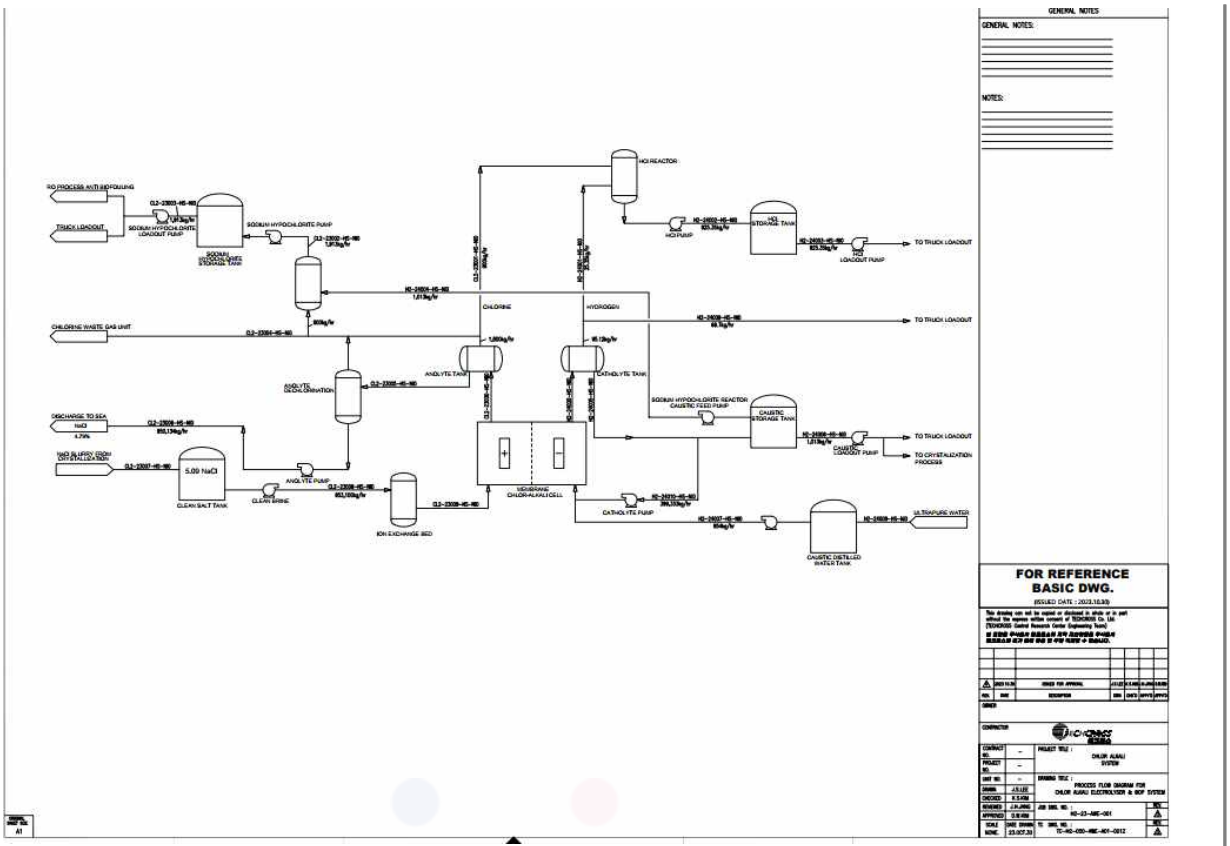
SK ENF
㈜ 성 광 이 엔 에 프

공정흐름도(Process Flow Diagram)
해수담수화 농축수를 이용한 CO2 광물화 공정

DOC. NO. : PFD_MG_CCU231028 REV.
DATE : 2023-10-28
PREPARED BY H.T.KIM



공정	유입량		전처리		CO2 광물화 공정		탈수 공정		건조 공정
No	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]
항목	해수 농축수 유입량	NaOH	Mg(OH)2 분리물	분리액	탈수액1 (Ca광물화)	CO2 주입량	Mg-탄산염 고형물	탈수액2 (Mg광물화)	Mg-탄산염 생산량
유량 (톤/일)	20,000	148	2,000	18,148	2,000	60	476	3,584	238
비율	100%	7.38 ppm	10%	90%	10%	0.30%	2.38%	17.9%	1.19%
함수율	94%	90%	90%	[-]	[-]	[-]	60%	[-]	20%



□ 장비 리스트

견 적 서

QUOT NO.	231028-01-RO
DATE	2023-10-28
PREPARED BY	J.H Park

수신(고객명) : 한국수자원공사
참조 :
PROJECT 명 : 해수농축수 20,000톤/일 Mg-탄산염 생산설비
납 기 : 일
인도조건 : 납품설치시운전도
지불조건 : 협의사항에 따름
견적유효기간 : 제출후 30일
아래와 같이 견적합니다.

회 사 명 : (주) 성광이엔에프
대표 이사 : 홍 원 석
주 소 : 대전 유성구 테크노2로 186-6
Tel. : 042-671-5008 Fax. : 042-671-5009
E-MAIL : jhp@sk-enf.com
담 당 : 부장 박 재 형
(010-2653-8256)

견 적 금 액 : 일금오백억원정 (W50,000,000,000) V.A.T.제외

NO.	ITEM NO.	ITEM NAME	QT'Y	UNIT	UNIT PRICE	TOTAL PRICE	REMARKS
1		전처리 공정	1	LOT	8,000,000,000	8,000,000,000	
2		Mg 공물화 공정	1	LOT	12,000,000,000	12,000,000,000	
3		탈수 공정	1	LOT	5,000,000,000	5,000,000,000	
4		건조 공정	1	LOT	15,000,000,000	15,000,000,000	
5		현장 설치 공사	1	LOT	1,600,000,000	1,600,000,000	
6		잔기 공사 (자재 일괄 포함)	1	LOT	1,600,000,000	1,600,000,000	
7		현장시운전	1	LOT	115,500,000	115,500,000	
8		일반관리비 (직접비)*5%	1	LOT	2,165,775,000	2,165,775,000	
9		기업이윤 (직접+일반관리)*10%	1	LOT	4,548,127,500	4,548,127,500	
10		소 계			50,000,000,000	50,029,402,500	
11							
12							
13							
14							
15							
		TOTAL (1 page)				50,000,000,000	천만원단위절사

1. 견적제외사항
1) V.A.T 제외
2) 기타 견적에 포함되지 않은 사항
3) 견축/토목 제외

* 본 견적은 상세조건이 반영되지 않은 추정치임
추후 견적시 반드시 재산정이 필요함
따라서 본 견적은 구속력 제한 요건이 없음.

2. 특기사항
1) 비방목 기준
2) CO2 가스 용해반응기는 KOSHA 검사일정에 따라 납기 변경 가능
3) 재고 및 납기에 따라 사양 변경 가능

세부견적내역서

PROJECT 명 : 해수농축수 20,000톤/일 Mg-탄산염 생산설비

NO.	ITEM NO.	DESCRIPTION	DIMENSION	QTY	UNIT	UNIT PRICE	AMOUNT	REMARK
1		전처리 공정		1	LOT	8,000,000,000		
		원심분리 시스템 (농축기+원심분리기)	총 21,100 ton/일 (4세트)					
		해수입수원 농축수 저장탱크						
		해수입수원 농축수 이송펌프	1세트 구성:					
		약품(NaOH) 외부 저장탱크	- 원심농축기 1대, 원심분리기 1대					
		약품(NaOH) 외부 공급펌프	- Mg 주출 운전 탱크 포함					
		약품(NaOH) 내부 1차 공급펌프	- 약송펌프/센서/밸브					
		약품(NaOH) 내부 1차 저장탱크	- 제어기 및 배관일체 별도					
		약품(NaOH) 내부 2차 공급펌프						
		약품(NaOH) 내부 2차 저장탱크						
		약품(NaOH) 내부 2차 이송펌프						
		혼합탱크						
		혼합탱크 이송펌프						
		처리수 외부 저장탱크						
		처리수 외부 이송펌프						
		분리고형체 내부 저장탱크						
		분리고형체 내부 이송펌프						
		분리고형체 외부 저장탱크						
		분리고형체 외부 이송펌프						
		계측 센서						
		제어 밸브						
2		Mg 공물화 공정		1	LOT	12,000,000,000		
		Mg-탄산염 초미세기포 용해반응 시스템	semi-Batch 운전 구성 (4 세트)					
		Mg 혼합반응탱크						
		Mg 공환펌프	1세트 구성:					
		Mg 2단 가스용해반응기	- 탱크4대, 반응공환 펌프2대				천만원단위절사	
		Mg 원심분리회해기	- 초미세기포 기기류 포함					
		Mg 초미세기포 생성기	- 드래프트 튜브 고반생식 적용					
		Ca CO_2 초미세기포 용해반응 시스템	- 이송펌프/센서/밸브					
		Ca 혼합반응탱크	- 제어기 및 배관일체 별도					
		Ca 공환펌프						
* 본 견적은 상		Ca 2단 가스용해반응기						
추후 견적시		Ca 원심분회용해기						
따라서 본 견적		Ca 초미세기포 생성기						
3		탈수 공정		1	LOT	5,000,000,000		
		필터프레스 시스템	총 5,000 ton/일 용량 (4세트)					
		저장탱크	1세트 구성:					
			- 필터프레스 2대, 탱크1대					
			- 주세 제어 및 적용					
4		건조 공정		1	LOT	15,000,000,000		
		디스크 슬러지 건조기 증발 시스템	총 240 ton/일 증발설비 (4세트)					
			1세트 구성:					
			- 디스크 슬러지 건조기 2 대					
			- 열원 보일러 (가스/가름) 2대					
5		현장 설치 공사		1	LOT	1,600,000,000		
		설비/배관 설치 작업						

견적 내역서

No.	항목	세부항목	단가(원)	수량	단위	금액(원)
1	전해조	1.1 스택(2.2MW*3=6.6MW)	2,000,000,000	3	식	6,000,000,000
2	BOP		8,352,000,000	1	식	8,352,000,000
		2.1 전해액, 액체 저장탱크				
		2.2 생산액체, 순수 이송펌프				
		2.3 전해액 순환펌프				
		2.4 기액분리기의 압력용기 (supply tank 포함)				
		2.5 Heat exchanger, condenser				
		2.6 수소정제장비				
		2.7 NaOCl 반응기				
		2.8 Dechlorination 반응기				
		2.9 이온교환수지탑				
		2.10 HCl 반응기				
		2.11 배관류/장치 및 시운전				
3	EBOP	3.1. 전원공급 시스템	2,900,000,000	1	식	2,900,000,000
4	컨테이너	4.1 제어 및 정목전기공사비	845,000,000	1	식	845,000,000
5	유틸리티		519,500,000	1	식	519,500,000
		5.1 순수공급시스템				
		5.2 utility Compressed air system				
		5.3 N2 purge system				
		5.4 utility 냉각설비				

CONFIDENTIAL - UNATUORIZED USE OR DISCLOSURE OF THIS MATERIAL RESULTS IN CIVIL OR CRIMINAL LIABILITIES.

6	안전용품	6.1 안전 및 소방 부대시설	175,500,000	1	식	175,500,000
7	인프라	7.1 도목, 건축, 1차 전기	3,700,000,000	1	식	3,700,000,000
8	설계비	8.1 기본설계, 상세설계	1,000,000,000	1	식	1,000,000,000
9	인허가	9.1 인허가 통합 컨설팅	300,000,000	1	식	300,000,000
10	일반관리비	(재료비+노무비+경비) x 0.06	-			1,427,520,000
11	이윤	(노무비+경비+일반관리비) x 0.05	-			276,753,000
합 계 (원)			25,496,273,000			

기 타
1) 견적 미포함 항목(옵션사항)
- D.I water generator
- 정류기 인허가 별도
- 용수공사

6. 최종성과물

□ 연관 분야

적용 산업	타겟 시장	최종 구매자 업종(기업)
해수담수화	해수담수화에 의한 공업용수 공급 시장	·해수담수화의 온실가스 배출권 (해수담수화 운영 기업) ·마그네슘탄산염(플라스틱 및 고무 제품 강도 향상용 충전제)
발전	화석연료 연소에 의한 CO_2 배출 발전사업 시장	·발전사의 온실가스 배출권 (화석연료 이용 발전사)
석유화학	원유 열분해 등에 의한 CO_2 배출 석유화학 시장	·석유화학 기업의 온실가스 배출권 (기초유분 생산 등 석유화학 기업)

□ 목표 감축량

❍ 해수담수화 분야에 적용하여 기술 활용에 의한 직접 효과 CO_2 1만 톤/년 및 기존 마그네슘 탄산염 생산 공정 대체에 의한 간접 효과 2만 톤/년 감축

❍ 마그네슘탄산염 6.3만톤/년 생산에 기여

CO_2 배출원	최종 제품		목표 감축량 (톤/년)
	제품명	생산량(년)	
대산임해산업단지 용수 공급 해수담수화	CO_2 광물화에 의한 마그네슘탄산염	6.3만 톤	기술 활용에 의한 직접 효과
			10,000톤 *목표 감축량 참조
대산임해산업단지 전력 공급 복합화력발전소			기존 공정 대체에 의한 간접 효과
대산임해산업단지 석유화학 기업			**20,000톤** * 기존 마그네슘탄산염 공급원료 대체 효과 및 * CO_2 반응에 의한 배출 회피 효과 참조

□ 산정 방법 및 근거

가) 목표 감축량 : 해수담수화 농축수를 활용하여 **1만 톤/년-CO_2 감축**

○ **CO_2 감축량 : 1만 톤/년**(농축수 660만 톤/년, 연 330일 가동 조건)

- **CO_2 광물화 공정의 총 에너지소비량**① **× 연간 운전시간 × CO_2 변환계수**

  = 1.904(=1.080+0.704+0.120) MW × 7,920시간 × 0.45941 CO_2/MWh = 6,928톤/년

- **CO_2 발생량 × 여유율 = 6,928톤/년 × 140%**② **= 10,000톤/년**

① 파일럿플랜트 연구(해수담수화 농축수를 1만 톤/년 처리) 결과 활용하여 추산

② 여유율 40% 가정: 추산 외 에너지 소비 가능성에 따른 CO_2 발생

□ **(총괄공정) (1)해수담수화 농축수 처리, (2)CO_2 광물화, (3)Mg 탄산염광물 탈수로 구성**

(1) 해수담수화 농축수 처리 공정 에너지소비량

❍ 해수담수화 농축수를 처리하는 단일 설비의 주요 구성품은 농축수 주입펌프, 시약 주입펌프, 혼합조 교반기, 후속 공정 이송 펌프로 구성

- 교반조 용량을 고려할 때 농축수 2만 톤/일 처리 시 5,280톤/일 용량 설비 4기 필요
- 설비 1기의 전력 소비는 약 0.270 MW : 합계 1.080 MW (0.270 MW × 4기)

(2) CO_2 광물화 공정 에너지소비량

❍ CO_2 광물화 설비 1기의 주요 구성품은 CO_2 광물화 반응조 순환펌프, 전처리액 유입 및 반응액 유출 펌프로 구성

- 펌프의 가격과 에너지 소비를 고려할 때 농축수 2만 톤/일 처리로 얻은 Mg이 CO_2와 반응하기 위해서는 CO_2 광물화 설비 16기 필요
- CO_2 광물화 설비 1기의 전력 소비 0.044 MW : 합계 0.704 MW (0.044 MW × 16기)

(3) Mg 탄산염광물 탈수 공정 에너지소비량

❍ CO_2 광물화로 생성된 Mg 탄산염의 탈수 설비 1기의 주요 구성품은 필터프레스임

- CO_2 광물화로 생성된 190톤/일의 Mg-탄산염을 위한 탈수설비는 농축수 전처리 설비와 동일한 개수(4기)로 운영함을 가정
- 0.030 MW를 소비하는 1기의 필터프레스를 4기 사용 : 합계 0.120 MW(0.030 MW × 4기)

〈파일럿 플랜트 연구 결과: 농축수 1만 톤/년〉

〈예상 처리 · 활용량〉

※ 생산되는 마그네슘 탄산염은 6.3만 톤/년으로 연간 $125M(1,700억 원) 수익 발생
〈출처 : 한국지질자원연구원 희유금속 원재료 교역분석, 2021, 단가 $1990/톤)〉

❍ 목표 처리·활용량(해수담수화 농축수 처리 공정) 외 간접적 CO_2 감축 효과 : 2만 톤/년

나) **기존** 마그네슘 탄산염 **공급원료 대체 효과**: **1만 톤/년-CO_2**

❍ 기존 마그네슘 탄산염 공급원료는 수산화마그네슘으로 수산화칼슘과 해수의 염 반응을 통해 생산

❍ 수산화칼슘은 석회석 소성을 통해 얻는 생석회에서 얻으며, 플래그십 프로젝트 기술로 대체되어 석회석 소성 단계의 에너지 절감 효과를 정량화 : CDM AM0106(Version 02.0)에 의하면 수산화칼슘 1톤 생산 시 CO_2 0.785톤 배출

❍ 화학양론에 의해 플래그십 프로젝트 기술에 의해 1만 톤/년 CO_2 배출 회피 가능
(CO_2 : $CaCO_3$ = 44.01 : 56.08)

다) **CO_2 반응에 의한 배출 회피 효과** : **1만 톤/년-CO_2**

❍ 기존 마그네슘탄산염 생산 시 CO_2는 화석연료를 사용하여 생산되었을 것으로 가정 하고 CO_2 반응에 따른 감축 효과 추산

❍ CO_2 1만 톤/년 감축 시 1만 톤/년 CO_2 배출 회피 가능

□ 성과물

특허			세계 최초·최고 원천 기술 확보	논문	고용창출	상용 (제품)화	상용화 사례
국내	해외	3극 특허					
(15)건	(6)건	(2)건	(4)건	(9)건	(18)명	(4)건	(2)건

* (3극 특허) USPTO(미국특허청), EPO(유럽특허청), JPO(일본특허청) 동시 출원 및 등록된 특허

❍ 2만 톤/년-CO_2 처리 공정 및 660만 톤/년-해수담수화 농축수 수전해 기술 격상 구축을 통한 특허 및 논문 창출
- 국내 및 미국, 유럽, 중동, 중국 등 기술 수요가 높을 것으로 예상되는 국가 특허 진출
- 실증공정 구축과 운전 경험 노하우 축적 : 통합공정 또는 개별 공정의 해외 사업 직접 진출

❍ 2만 톤/년-CO_2 처리 격상 공정 및 660만 톤/년-해수담수화 농축수 수전해 격상 구축을 위한 과업 수행 주체의 신규 고용 창출
- 과업 종료 후 설비 운영 전담 인력 필요

❍ 산업적 응용성 확대 : 요소기술의 산업적 활용
- CO_2 광물전환 반응기는 액상 유동층 반응기 성능향상
- 나노미터 크기의 해수담수화 유래 마그네슘 분리기는 현탁액 중 ㎛ 미만의 입자 대량 분리
- 농축수 수전해 설비는 하폐수 처리 및 선박평형수 처리에 활용
- 다양한 온실가스 감축 기술 활용을 통한 배출권 확보를 위한 인증에 활용

7. 기대효과 및 파급효과

□ **해수담수화 분야 산업에 발생되는 고에너지 소비 공정에서 연간 최대 1만톤 규모 CO_2 처리 (간접효과 고려 시 최대 3만톤 CO_2 처리)로 탄소중립 전환 지원 및 6.3만 톤 Mg 탄산염 생산으로 국가전략금속인 마그네슘 자원 내재화로 산업 경쟁력 강화**

□ **NDC 기여도**

❍ 프로젝트에 의한 기여도: 최대 3만 톤/년-CO_2(0.27%, 기술 1만+간접효과 2만)

- 기술확산*에 의한 기여도: 최대 19.5만 톤/년-CO_2(1.43%, 기술 6.5만+간접효과 13만)

  * 국내 해수담수화 농축수 발생량 13만 톤/일 활용 시

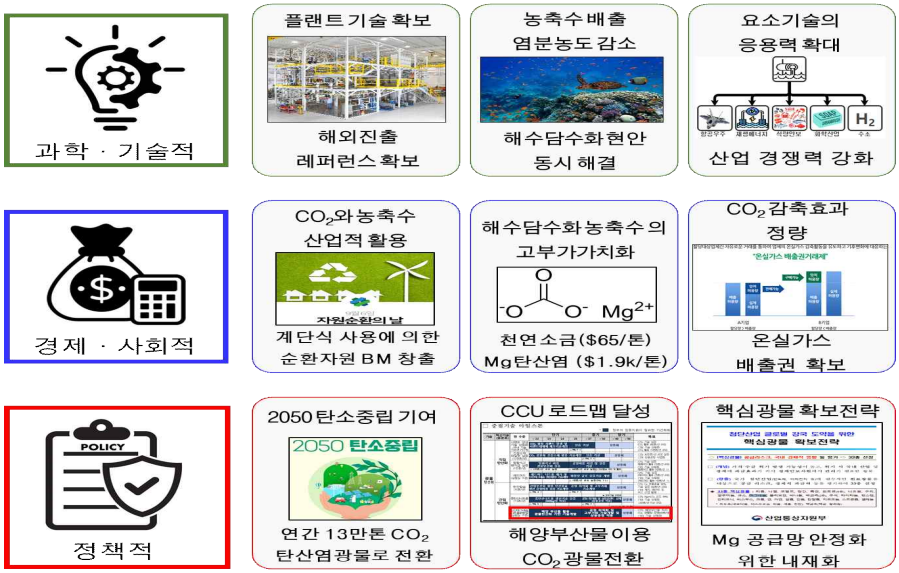
- 여수 석유화학공단 해수담수화 시설 건설 논의 중으로 향후 지속적인 감축량 증가 예상
- 중국에서 전량 수입하는 마그네슘 자원 내재화 가능 및 공급망 불안 해소

  · 국내 발생 해수담수화 농축수(13만 톤/일 규모)에서 마그네슘을 추출하여 CO_2가 전환된 탄산염 광물로 전환 시 연간 약 40만 톤 (연간 약 8억 달러 이상) 생산 예상

  · 우리나라는 중국에서 전량 수입하는 마그네슘을 2016년 기준 마그네슘 수입량의 최대 71% 대체 가능 예상

❍ 산업 경쟁력 강화에 기여

- 마그네슘은 자동차, 항공우주 등 경량 금속소재를 이용하는 분야의 필수 원자재로 모든 나라가 국가전략금속으로 지정하여 관리
- 전통적으로 우리나는 해수담수화 플랜트 강국으로 해수담수화의 블루오션 기술 공여
- 농축수 수전해에 의한 기초화학 산업 원료물질(NaOH, Cl2) 내재화 및 그린수소 생산



❍ 해수담수화 현안인 고염분 농축수 농도 저감(0.6% ↓) 기여, 국제 공동협업 연구 등 기술개발 및 확산과 해외 사업 기반 마련

- 해수담수화 업계의 현안 해결

· 기후변화에 따른 수자원 확보를 위해 국내외 해수담수화 사업은 지속적으로 성장하고 있음

· 해수담수화 설비 운영에 의한 CO_2 배출 및 배출 농축수의 고염분 문제는 해결책이 없는 해수담수화의 세계적 현안

· 본 실증 기술 성공 시 국내 해수담수화 기술 확산 및 설비와 함께 기술 수출 가능

❍ 개발 기술의 확산

- 남부권의 해수담수화 설비는 3만 톤/일 규모로 해수담수화 농축수 배출. 플래그십 프로젝트 기술 적용 시, 연간 CO_2 1.5만 톤 감축 가능
- 서부권 해수담수화 연계 플래그십 프로젝트는 실증 규모의 1/5 규모로 수행. 대산임해 산업단지의 해수담수화 농축수 10만 톤/일을 모두 이용하여 연간 CO_2 5만 톤 감축 가능
- 해외에서 배출권 사업도 가능

❍ 국제 공동연구 및 해외 사업 기반 마련

- Hydrophis: 호주 스타트업 Hydrophis의 CEO Andrew Rothwell은 자사 생산 탄산칼슘 순도 향상을 위해 원천기술을 보유한 국내 연구팀의 도움 요청
- Goelogical Survey of Canada (GSC): Carl Ozyer 연구팀은 국내 연구진이 개발한 해수 담수화 농축수 활용 CO_2 광물전환 기술을 석유 시추 수압파쇄에서 발생하는 FPW에 적용하는 국제 공동연구를 제안
- 해수 수전해 공정 요소기술인 스택 및 정류장치는 그린수소 생산 분야에 적용, 국외 대비 기술 격차를 축소할 수 있어 국내기술의 완성과 자립화에 기여
- 글로벌 Chlor alkali 산업 시장규모는 2022년 기준 약 630억 달러로 미국, 유럽, 일본 시장을 독점하고 있으며, 국내기술이 전무한 상황, 개발 후 본 시장에 진입 가능

8. 개발기간/예산/인력

예상 개발 기간(년)	정부출연 연구비, 참여 인력(억 원 / 명)								
2025년 ~ 2030년 총(6년)	사업 년도		'25	'26	'27	'28	'29	'30	합계
	사업비 (억 원)	국고	56	77	80	87	100	100	500
		민자	29	38	40	43	50	50	250
		소계	85	115	120	130	150	150	750
	참여 인력 (명)	박사급	10	10	10	11	11	11	63
		석사급	11	12	13	14	14	14	78
		학사급	24	25	26	26	28	29	158
		기타	1	1	1	1	1	1	6
		소계	46	48	50	52	54	55	305

9. 중복성 및 차별성

□ 중복성 검토

❍ (개요) ①해수담수화 농축수를 이용한 연 1만 톤 CO_2를 감축하는 CO_2 광물전환 상용공정 구축과 운영, ②광물전환 후 농축수를 이용한 산-염기-수소 생산 수전해 공정 구축과 운영, ③전후방 산업의 파급효과 분석을 통한 CO_2 감축효과 극대화 전략 및 비즈니스 모델 도출, ④재생에너지 이용 등 더 나은 감축효과를 위한 차세대 기술 연구의 연구주제로 중복성 검토 실시

❍ (중복성) ①연 CO_2 20톤 처리하는 해수담수화 농축수를 이용한 CO_2 광물전환 공정 파일럿 구축 연구 및 ②해수담수화 플랜트 사업운영비 및 건설비 저감을 위한 기술 개발 선행 과제가 검토됨

❍ (차별성) ①선행 연구는 CO_2 연간 처리 목표가 20 톤인 파일럿으로 본 제안의 상용 공정 개발과는 규모의 차이가 큼. 또한 수전해, CO_2 감축효과 극대화를 위한 전략 도출 등 선행 연구와는 연구 주제의 다양성 등에서 차별성이 뚜렷함, ②선행 과제는 해수담수화 플랜트를 건설하는 비용의 절감을 위한 현장조사 사업으로 본 제안과의 차별성이 뚜렷함

[유사 중복과제 검토]

부처	과제명	수행 기간	본 과제와의 차별성	연계 추진방안
산업통상자원부	해수담수화 농축수와 CO_2를 이용한 마그네슘탄산염 생산기술 개발	2022~2023	·연 20톤의 CO_2 처리하는 파일럿 공정 구축 ·해수담수화 농축수 활용 수전해 없음 ·재생에너지 연계 등 차세대 기술 연구 없음	·해수담수화 농축수를 활용한 CO_2 광물전환 공정 파일럿 구축과 운영 경험을 활용할 필요 있음
한국수자원공사	K-water 해수담수 플랜트 사업 운영비 및 건설비 절감 위한 기술 개발	2016	해수담수화 플랜트 건설을 위한 현장조사 사업으로 본 제안과 관련 없음	연계할 내용 없음

□ 연계방안

❍ 해수담수화 농축수를 이용한 마그네슘 탄산염 기술개발 사업의 파일럿 구축과 운영 경험 활용

- 해수담수화 농축수에서 고순도의 마그네슘 탄산염을 얻기 위한 화학적 전처리, 연속분리 공정과 CO_2 반응효율 향상 공정 기술을 설비로 구현한 결과를 활용
- 단위 공정의 설비 배치 경험을 활용하여 대규모 실증 공정의 부지활용 방안 도출

차별성 검토 대상(유사과제) 검색결과

※ 자료 활용 시 유의사항

1. 본 검색결과는 과제요약정보의 주요 텍스트를 비교하여 도출된 차별성 검토 참고자료입니다.
2. 최종적인 차별성 여부는 국가연구개발사업의 관리 등에 대한 규정 제7조에 의거하여 연구관리전문기관의 심의 등을 통해 결정됩니다.
3. 기수행과제 DB는 체결된 과제협약 정보를 반영하여 현행화되므로 검색시점에 따라 기수행과제 검색결과가 달라질 수 있습니다.

검색조건	검색일시	2023/11/01 19:11:01
	검색연도	2002년 ~ 2023년
	기준 차별성 점수 *등록과제와 검토 대상과제의 차별화된 키워드 비중 점수로 기준 차별성 이상인 문서만 표시	40 점
결과요약	등록과제수	1 건
	차별성(유사과제) 과제수	1 건

세 부 검 색 결 과 (범례 0개 1~4개 5~9개 10개 이상)

순번	과 제 명	구분	유사과제분포			
1	해수담수화 농축수를 이용한 CO2 광물전환 실증 공정 구축 및 최적화	기수행과제	3	0	0	0
			30점대	20점대	10점대	10점 미만
		공공R&D과제	1	0	0	0
			30점대	20점대	20점대	1점 미만

주1) 기수행과제 : 국가연구개발사업으로 이미 수행완거나 수행되고 있는 과제(조사분석 수집 과제+협약과제정보)
주2) 공공R&D과제 : 공공기관에서 수행하는 과제 중 국가 R&D 예산으로 수행된 과제를 제외한 그 외 R&D 과제

국 가 과 학 기 술 지 식 정 보 서 비 스

※ 페이지 이동은 마우스 스크롤로 가능합니다.

기존 과제와의 차별성 검토 결과

과제명 : 해수담수화 농축수를 이용한 CO2 광물전환 실증 공정 구축 및 최적화

순번	과 제 명	구분	수행연도	연구책임자	차별성점수
1	해수담수화 농축수와 CO2를 이용한 마그네슘탄산염 생산기술 개발	수행	2022	홍천석	36.29 (유사도: 63.71)
1	해수담수화 농축수와 CO2를 이용한 마그네슘탄산염 생산기술 개발	수행	2022	홍천석	36.29 (유사도: 63.71)
1	해수담수화 농축수와 CO2를 이용한 마그네슘탄산염 생산기술 개발	수행	2023	홍천석	37.68 (유사도: 62.32)
1	K-water 해수담수 플랜트 사업 운영비 및 건설비 절감 위한 기술 개발	공공	2016	이경혁	32.62 (유사도: 67.38)

주1) 순번: 관련된 등록과제 순번으로 해당 순번을 가진 등록과제의 유사과제임을 의미
주2) 구분: 기수행과제/수탁과 공공R&D(공공)를 구분
주3) 구분: 차별성분석으로 검출된 연구과제가 실시된 연도(협약발자 기준)
주4) 유사도: 등록과제와 유사과제 간 중첩키워드 비중점수

국 가 과 학 기 술 지 식 정 보 서 비 스

※ 페이지 이동은 마우스 스크롤로 가능합니다.

10. 해외 활용 여부

❍ 해수담수화 농축수를 이용한 1만 톤/년-CO_2 감축 실증 기술 기반의 해외 진출

- 해수담수화 업계의 최대 현안은 염독성을 지닌 고염도 농축수 배출과 에너지 다소비로 CO_2 다량 배출 산업으로 이번 개발 기술은 위 문제를 동시에 해결할 수 있는 세계 유일의 기술임
- 대산임해산업단지 내 10만 톤/일 해수담수화 설비는 GS Inima가 참여, GS건설(주) 시공 중으로 GS Inima(GS건설 계열, 스페인, 해수담수화 세계 1위 기업)와 개발 기술 활용 협업
- 사우디아라비아 네옴시티의 친환경 해수담수화 및 스페인 등 남유럽 국가의 해수담수화 활용 검토

❍ 실증 기술의 외연 확대

- 캐나다 Montney 및 Duvernay 가스유전 등에서 발생하는 Flowback and Production Water(FPW) 고염분 농축수 처리에 활용: Geological Survey of Canada(GSC)는 국내 원천기술 보유 연구진에게 국제공동연구를 제안하여 협약 체결

〈실증 기술 활용 해외 후보 지역〉

3 중부권 플래그십 프로젝트

Carbon Capture and Utilization

1 대체 시멘트 및 건설소재

3 중부권 플래그십 프로젝트

1 대체 시멘트 및 건설소재

1. (광물) in-situ 탄산화기술 활용 CO_2 감축·활용 기술

과제 개요		
전략 과제	대체 시멘트 및 건설소재	
세부 과제명	레미콘 in-situ 탄산화기술 활용 CO_2 감축·활용 기술	
사업 권역	□서부권, □남부권, ■중부권, □동남권	
기술 유형	□화학적전환 □생물학적전환 ■광물탄산화	
적용 산업	시멘트/건설	
최종 제품	In-situ 탄산화 건설용 제품, 레미탈/레미콘/콘크리트 2차제품 믹서 실증설비	
산출물	온실가스 감축목표	13,885(톤/년)

기술 개발 개요								
기술개발단계	□ 기초 ■ 응용 □ 개발 ■ 실증				기술단계	TRL (7)단계		
적용 산업	시멘트/건설(레미콘/레미탈/콘크리트 2차제품, CO_2 포집/이송/활용 산업)				최종 제품	In-situ 탄산화 건설용 제품, 레미탈/레미콘/콘크리트 2차제품 믹서 실증설비		
기술개발 주체	기업 단독	산+산	산+학	산+연	산+산+연	산+학+연	산+해외	
기술 개발 규모	연구 개발 기간	2025년 ~ 2029년 (5년)						
	연구비 (억 원) 총연구비	총 520 억원 (국고 390억원 / 민자 130억원)						
	개발년도	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
	국고	50	80	100	100	60	-	
	민자	18	26	33	33	20	-	
	소계	68	106	133	133	80	0	
	소요 인력	총 소요 인력 (600)명						
기술 개요	기술 정의	레미콘 in-situ 탄산화기술 활용 CO_2 감축·활용 기술						
	기술개발 목표	• Fresh 모르타르 및 레미콘 제조공정의 in—situ 탄산화 기술 실증화 최적 공정 도출 • In—situ 효율향상용 탄소저감형 시멘트 제조기술 개발 • ① 6m3급 CO_2 주입용 레미콘 및 콘크리트 2차 제품용 표준 혼합기 제조 기술개발, ② 350kg/min 생산용량 in-situ 탄산화 레미탈 제조 상용화 공정시스템 개발 실증 • 상용급 시스템 기술개발						

1. 기술개발 필요성

□ 기술 개발 필요성

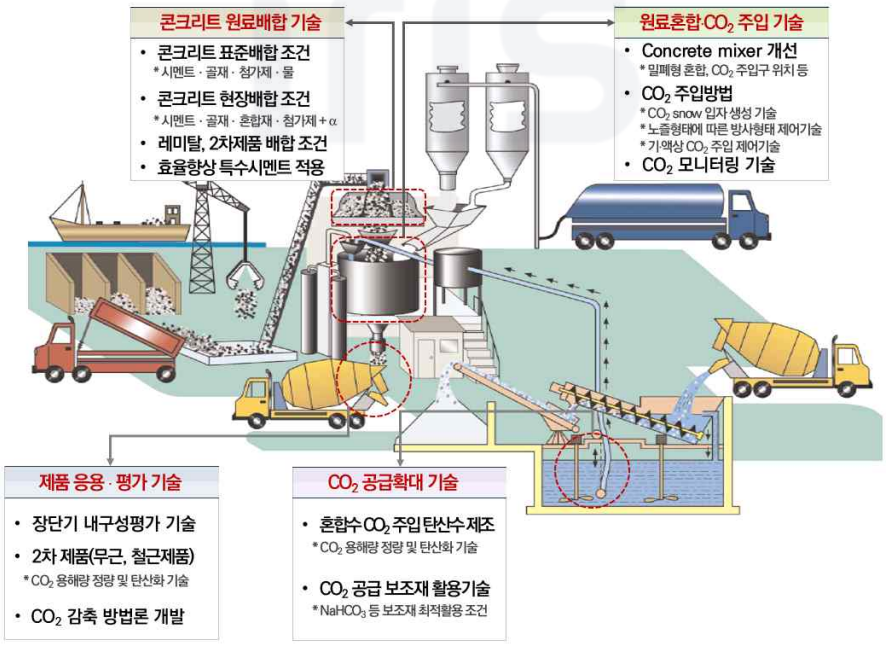
❍ 시멘트 산업 분야에서 CO_2 감축을 위한 산업부산물(고로슬래그, 플라이애쉬, 등)을 활용한 혼화재 시멘트는 상용화되었지만, CO_2 감축량 한계에 따라 일반포틀랜드 시멘트(OPC) 전량을 대체할 수 있는 해결방안이 필요한 실정임

❍ 정부의 2050년 탄소중립 달성을 위해 온실가스 저감형 기술개발(저탄소 시멘트 생산기술 연구, 시멘트 클링커 생산량 감축 기술 등)을 추진 중이지만 경제성 확보 등의 문제로 어려움을 겪고 있음

❍ 대부분의 시멘트 분야 CO_2 감축기술은 저온소성 시멘트와 같은 시멘트 제조온도 감축기술 개발 또는 산업부산물 활용률 증대 및 무시멘트 기술개발 등의 시멘트 사용량 저감에 초점이 맞춰져 있어 공정상의 어려움으로 산업 활성화가 어렵거나 이미 기술 고도화에 올라와 있어 시멘트 산업의 추가적인 CO_2 감축 어려움

❍ 시멘트의 CO_2 탄산화반응과 관련된 저탄소 친환경 건설재료 제조기술은 원료선정 및 전·후처리 공정 등이 수반되며, 탄산화 물질을 단위시멘트의 일정부분으로 치환하는 기술로서 산업화에 다소 제한적임

❍ 시멘트 산업에서 다량의 CO_2 감축을 위해서는 광물탄산화 기술실현이 가장 효율적인 것으로 보고되지만 대부분 상용화를 위해 대규모 실증이 필요하거나 기존 산업공정에 적용하기 위한 비용과 리스크가 높아 기업의 참여가 부족



〈건설용 in-situ 탄산화 기술의 실증 필요기술 분야〉

개발 기술의 산업 분야	현재 포집량(톤/년)	현재 처리·활용량(톤/년)
건설산업		

□ **국내외 시장·기술 동향**

❍ In-situ 탄산화 기술은 굳지않은 콘크리트 및 레미콘 동일 제조공정에 직접적용이 가능한 광물탄산화 실현기술로서 기타 시멘트 건설재료 분야 광물탄산화 기술에 비해 산업 적용성 및 산업 대형화 가능성이 높음

❍ 국내 콘크리트 및 레미콘 전체 시장규모를 고려할 때 약 9조 이상의 시장형성이 가능한 것으로 예측됨 (레미콘 약 5조, 콘크리트 2차제품 약 4조)

□ **문제점 및 극복과제**

❍ 시멘트 산업에서 배출되는 배가스를 활용한 net-zero 시스템 구축 등의 연계방안을 개발/구축하고 있으나, 현재까지는 기술 수준의 부재로 인해 실제 온실가스 감축 효율성이 낮은 상황임

❍ 현재까지 국내 시멘트 산업(타 산업배출 CO_2 활용 가능)에서 배출/포집된 CO_2를 활용한 레미콘 및 콘크리트 2차 제품의 In-situ 탄산화 기술적용 사례는 없으며, 기술 도입시 온실가스 저감 맞춤형 기술로 CO_2 배출 저감효과 확대가 가능할 것으로 전망됨

❍ In-situ 탄산화 기술을 적용한 시멘트 및 콘크리트 제품의 CO_2 배출량 평가모델 개발과 환경 우수성 검증, 탄소중립 사회로의 전환의 기반 강화를 위한 LCI DB 구축 등 환경성적 도출 및 인증제도를 운영을 위한 평가 DB 및 모델이 개발 병행이 필요할 것으로 판단됨

❍ 실증화 연구개발을 통해 산업배출 배가스 활용 산업과 국내 콘크리트/레미콘 산업의 연계시스템을 구축하고 산업간 시스템 연계구축에 따른 경제성 평가를 통해 기술의 국산화 방안 및 기술력을 확보할 수 있음

□ **시급성**

❍ 현재까지 국내 in-situ 탄산화 기술의 기술수준은 산업적용 가능성 검증을 위한 TRL 6 단계 연구개발 수준으로 시멘트 분야 건설산업의 CO_2 감축량 확대 및 기술 보급을 위한 실증화가 필요한 상황임

2. 기술개발 목표

□ **최종 목표**

❍ 레미콘 및 콘크리트 2차제품 제조 배합물 1m3당 CO_2 반응률 0.5kg 이상 → Fresh 모르타르 및 레미콘 제조공정의 in—situ 탄산화 기술 실증화 최적 공정 도출

❍ In-situ 탄산화 기술적용에 따른 레미탈, 레미콘 및 콘크리트 2차제품 제조 배합물의 단위 시멘트량 5% 이상 감축 기술 개발 → In—situ 효율향 상용 탄소저감형 시멘트 제조기술 개발

❍ In-situ 탄산화 기술 실증화 공정 적용 및 기술 보급을 위한 레미콘 및 콘크리트 2차 제품 공정적용용 실증화 산업설비 시스템 기반 구축 →① 6m3급 CO_2 주입용 레미콘 및 콘크리트 2차 제품용 표준 혼합기 제조 기술개발, ② 350kg/min 생산용량 in-situ 탄산화 레미탈 제조 상용화 공정시스템 개발 실증

❍ In-situ 탄산화 기술적용에 따른 시멘트 산업 내 CO_2 모니터링 시스템 구축 및 장기 활용 방안 마련을 통한 CO_2 감축량 평가모델 확립 → 상용급 시스템 기술 개발

□ 단계별 목표

1단계('25년 ~ '27년)	2단계('28년 ~ '30년)
- 대용량(3~6m3급 용량) 콘크리트 혼합장치 대상 탄산화 반응공정 설계·구축 * 5kg/batch 이상 CO_2 주입장치, CO_2 모니터링 시스템, 주입장치 연계 콘크리트 믹서 - 통합 시스템 연계 CO_2주입 콘크리트 혼합장치 안정적 구동기술 확립	- 6m3 용량급 레미콘 제조 혼합공정 in-situ 탄산화 기술적용 생산기술 확보 - 3~6m3 용량급 기존 레미콘 제조 혼합공정의 in-situ 탄산화 주입 적용기술 확립 - 3~6m3 용량급 레미콘 제조공정 연속생산 안정화 기술 확립

□ 성능목표

성과지표	현 수준	개발 목표					
		'25	'26	'27	'28	'29	'30
CO_2 고정화량 (kg/m3)	국내사례없음	0.2이상	0.4이상	0.4이상	0.5이상	0.5이상	-
단위시멘트 감축량 (%/m3)	국내사례없음	1.5이상	4이상	4이상	5이상	5이상	-
압축강도 향상률 (%)	국내사례없음	3이상	5이상	6이상	7이상	7이상	-
CO_2 감축량 (ton)[1)]	국내사례없음	-	-	-	-	14,465	-

1) 콘크리트 100만m3 생산을 가정하여 계산 : 산업현장 3~6m3 혼합기 5기 적용 연간 생산량
- 콘크리트 1m3 당 CO_2 고정화량 0.5kg/m3 일 경우 500톤 CO_2 고정화
- 단위시멘트량 5% 감축에 따른 CO_2 감축량 : 시멘트 배출계수 0.931적용 시 13,965톤 CO_2 감축

3. 기술내용 및 범위

❍ 본 과제는 콘크리트/레미콘/레미탈/2차제품 등 시멘트 분야 건설재료 제조 동일공정에 시멘트 산업 배출 CO_2를 주입하여 탄산화공정을 적용하는 기술로서, 기존 콘크리트 제조에 사용되는 원료물질 및 골재 등의 탄산화반응을 활용한 CO_2 저감사례 또는 콘크리트의 내구성 저하에 영향을 미치지 않는 탄산화기술 개발 등을 목표로 하는 선행연구와는 차별화가 뚜렷함

❍ 연구개발은 크게, 원천기술 확보 및 실증화, 2차제품 적용특성 연구, 실증공정 기술개발, 배가스 활용기술 개발로 구분할 수 있으며, 세부 내용은 다음과 같음

- (실증기술개발) TRL 6 수준의 연구개발 결과를 토대로 in-situ CO_2 혼합 탄산화 기술 상용화를 위한 6m3급 용량(연간 최대 50만m3 생산가능)의 콘크리트 혼합기를 대상으로 in-situ 탄산화 공정설계 및 구축과 생산 시제품에 대한 탄산화 반응성 물리/화학적 평가

·6m3 용량 혼합기의 CO_2의 균일 분산투입 기술 확립 : CO_2 투입노즐, 대량투입 운전조건 등

·6m3 용량 혼합기를 통한 시제품의 물리·화학적 안정성 평가

·보통포틀랜드시멘트 및 high calcium 시멘트 콘크리트의 안정적 제품생산 기술 확립

·350kg/min 생산용량 레미탈 in-situ 탄산화 생산시스템 실증기술개발

- (2차 제품 적용특성 연구) 보통 포틀랜드 시멘트 및 high calcium 시멘트를 활용한 콘크리트/레미콘/2차제품의 내구성능 및 물성평가 연구

·TRL 6 수준의 연구결과를 기반으로 대용량 플랜트 생산제품에 대한 최적 탄산화반응 조건 및 제품표준 대비 부합화 분석

- (제조공정 기술개발_실증적용) 산업현장 생산용량인 3m3 용량급 콘크리트/레미콘 제조 혼합공정 중 CO_2 주입에 따른 혼합특성, 타설특성 및 재료 물성발현 특성 조사
  ·실산업 적용을 위한 공정 운전조건 도출 및 상용화 기반기술 확립
- (시멘트 산업 등 배가스 활용 기술개발) 시멘트 산업 배출 배가스 포집/이송/주입 공정 설계 및 경제성 평가 (포집설비 구축 시멘트사 연계 수행)
  ·시멘트 산업 배출 배가스 활용 성능평가 및 OPC 및 high calcium 시멘트 탄산화 반응성을 고려한 최적 배가스 주입량 확보

❍ In-situ 탄산화 기술 실증에 활용될 산업배출 배가스는 국내 주요 시멘트사가 다수 밀집되어 있는 충북 단양·제천지역의 시멘트사(한일시멘트(주), 성신양회(주), 한일현대시멘트(주) 등 포집 CO_2 활용가능) 부지 활용이 가능할 것으로 예측되며, 단양군 산업단지 내 부지 및 충북지역 레미콘사 실증 활용 가능

4. 기술개발 추진방법 및 주체

□ 기술개발 추진전략

❍ 레미콘 및 건설2차제품 제조 plant 설비 분류 및 기존 생산공정에서 CO_2 주입장치가 설치되고 운영될 수 있는 방안에 대해 검토하고, 다양한 형태의 plant에 설치가 가능할 수 있도록 레미콘/레미탈 및 건설2차제품 plant CO_2 주입장치 설치 가이드라인 제시

❍ 국내 건설재료시방서를 참고한 저탄소 친환경 건설재료 기술개발과 이를 기반으로 산업간 기술연계를 통해 연구목표 달성 및 in-situ 탄산화 전용 표준화/인증절차 확보

❍ 세라믹 소재·공정 연구개발 전문기관 자체 보유기술 및 노하우를 바탕으로 in-situ 탄산화 기술 적용 콘크리트 2차제품 최적 제조기술 개발을 통한 저탄소 친환경 콘크리트 2차제품 제조기술 확보

❍ 1단계 6m3 용량 상용급 콘크리트 혼합설비 in-situ 탄산화 반응공정 최적화 기술을 확보하고 실증기술 확산을 위한 산업현장 6m3급 혼합기 1~2기에 실증기술을 적용하여 안정적 생산기술 기반 마련 (연간 100만m3 생산용량임)

❍ 6m3 급 탄산화 반응공정 기술을 기반으로 국내 대다수 레미콘 제조설비 용량인 3m3 생산 설비를 대상으로 in-situ 탄산화 반응공정 구축하고 상용 3m3 혼합기 2~4기에 해당 기술을 적용하여 in-situ 탄산화 반응공정 확산을 확대

❍ 레미콘 현장공정 적용제품의 대용량 건설용 시험타설결과에 대한 전문가(전문기관) 입회평가를 실시하여 in-situ 탄산화 기술의 안정성을 확보하고 지속적 홍보를 통하여 건설사 활용 확대 모색

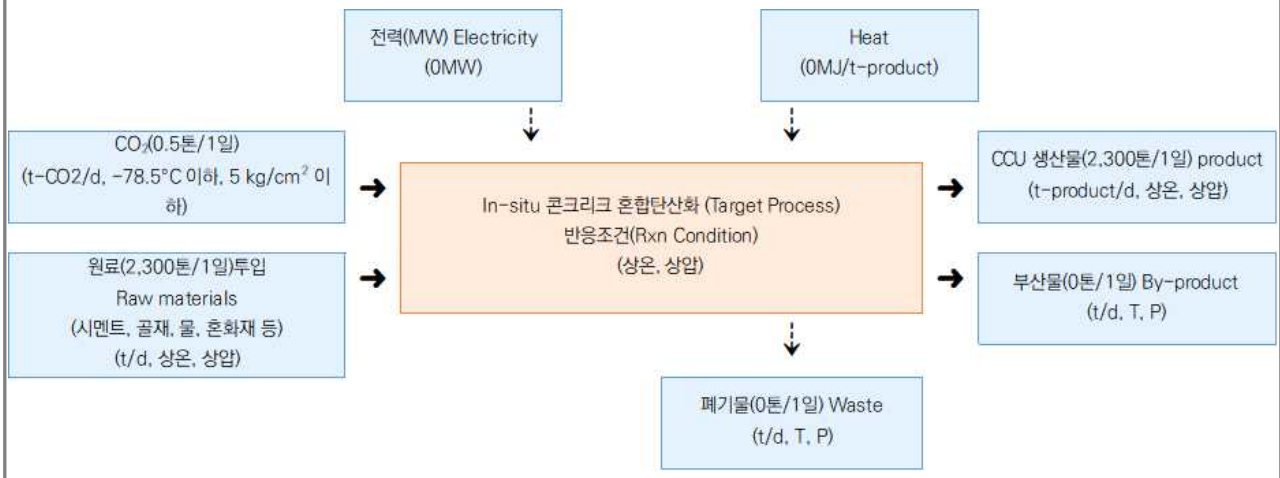
❍ 공공구매 추진, 사용 의무화 촉구, 경제적 인센티브 부여, 제품 환경라벨링 부착, 인증제도 확보 등 초기 시장창출을 위한 정책 검토 및 이에 부합하는 in-situ 탄산화 현장적용 기술개발 검증을 통해 시멘트 기반 건설재료분야 저탄소 친환경 건설재료 제품의 산업인프라 구축 기반 가이드(안) 제공

□ 기술개발 주체

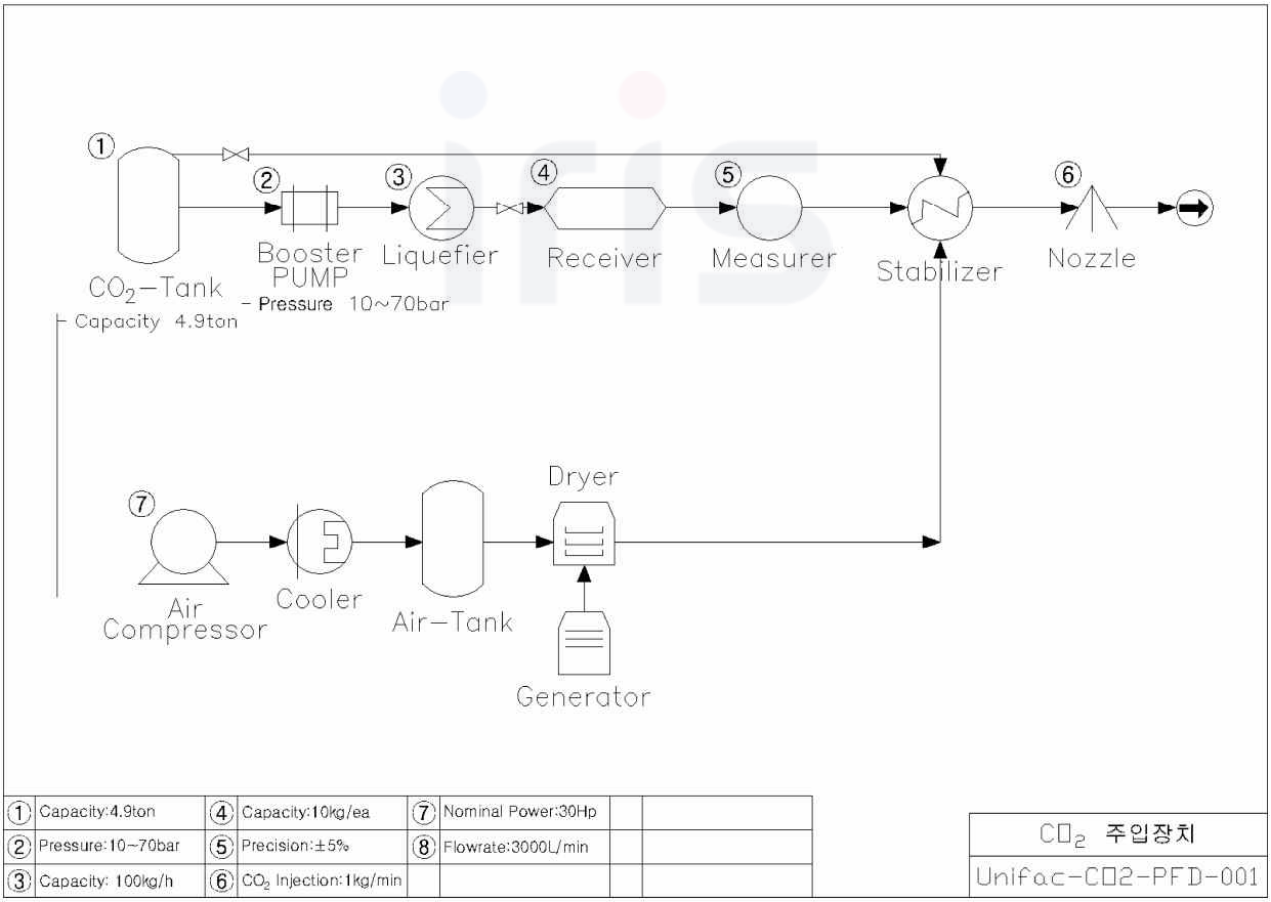
단독 개발	산+산	산+학	산+연	산+산+연	산+학+연	산+해외
( )	( )	( )	( )	( )	(○)	( )

5. 물질 에너지 수지 및 공정도(PFD)

□ 물질에너지 수지(1일, 1ton CO_2 투입시 생산물 및 부산물)



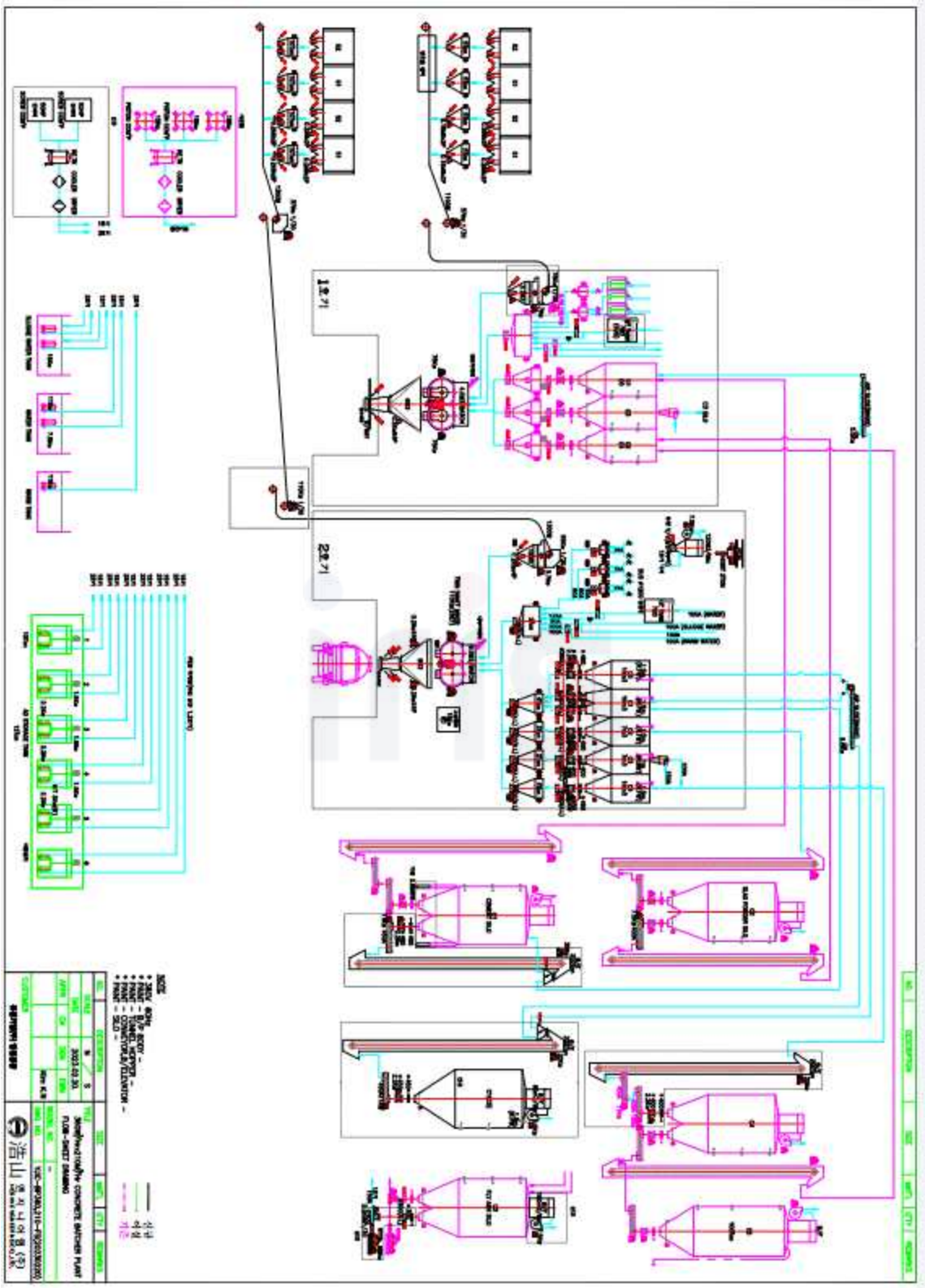
□ 공정도(PFD)

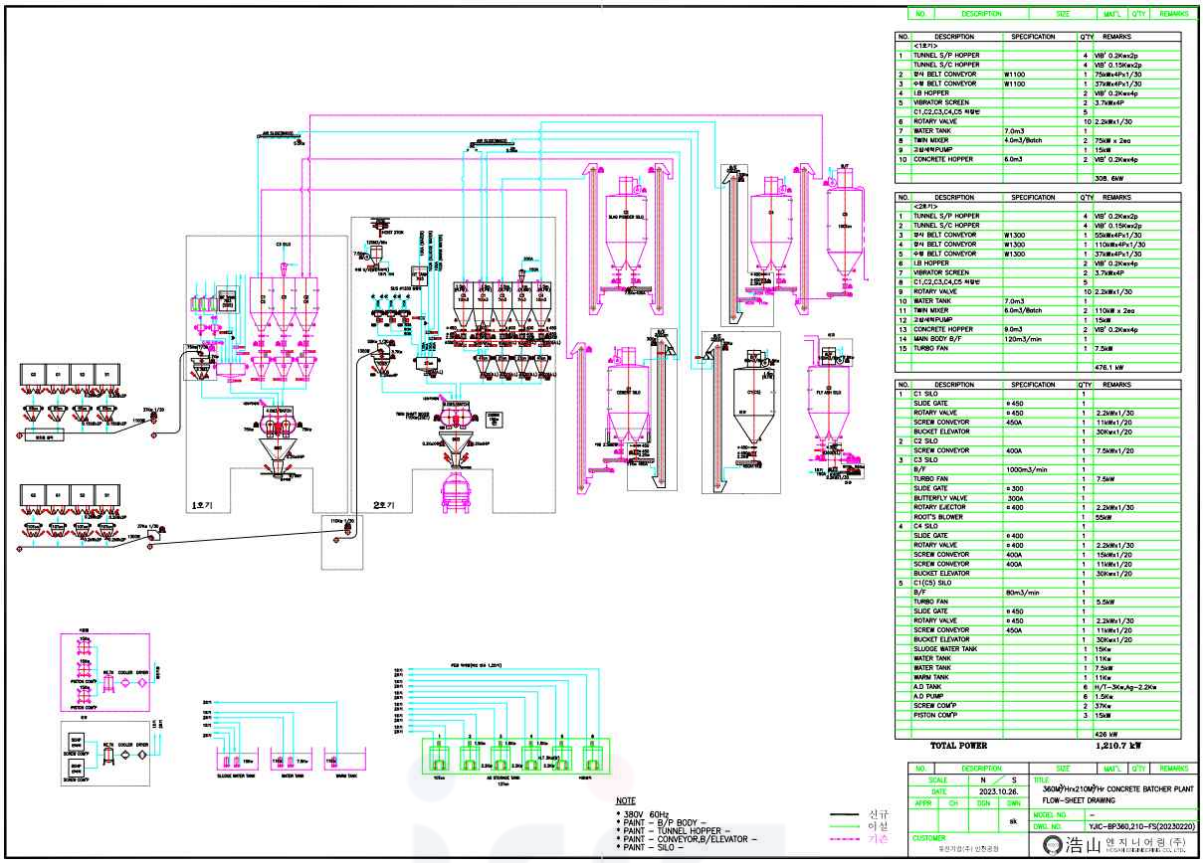


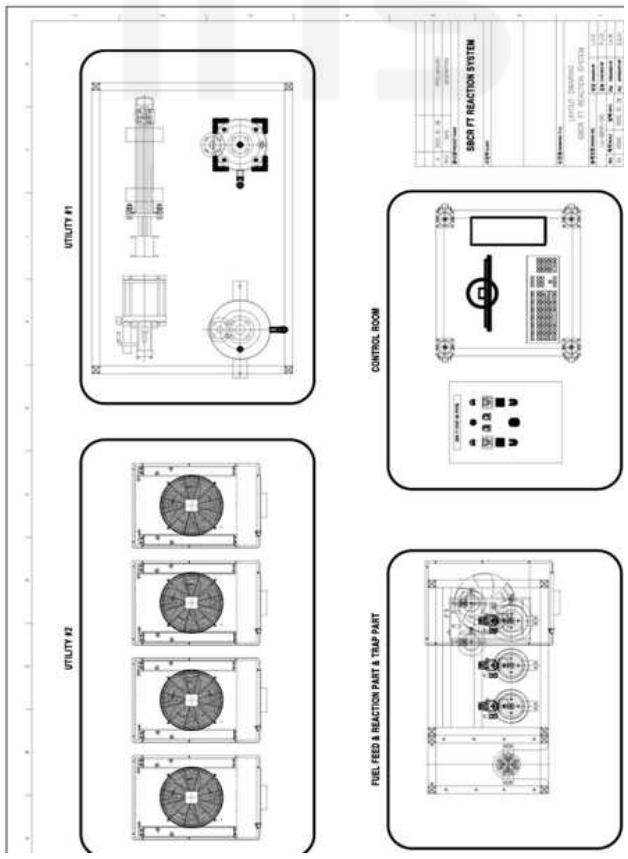
①	Capacity:4.9ton	④	Capacity:10kg/ea	⑦	Nominal Power:30Hp		
②	Pressure:10~70bar	⑤	Precision:±5%	⑧	Flowrate:3000L/min		
③	Capacity: 100kg/h	⑥	CO_2 Injection:1kg/min				

CO_2 주입장치

Unifac-CO2-PFD-001






SBCR FT REACTION SYSTEM
UTILITY #1
CONTROL ROOM
UTILITY #2
FUEL FEED & REACTION PART & TRAP PART

□ 장비 리스트

UniFac

견적서

2023년 10월 30일

한국석회석신소재연구소 김병렬 연구원 귀중

견적명: In-Situ CO2 주입장치

유효기간: 견적일로부터 30일

下記와 같이 見積하나이다

유니팩 ㈜

경기도 화성시 동탄첨단산업1로 63-12, 408호 (영천동, 동탄비즈타워)

Tel : 031-8067-5300 /Fax : 031-629-6369

E-mail: hskoh@unifac.co.kr

합 계 금 액 (VAT합계)		일금 일십구억팔천만 원정			₩1,980,000,000	결재조건: (현금)	
순번	품명	규격	수량	단위	단가	금액	비고
1	CO2 In-Suit 시스템	5~6kg/min	1	SET	1,800,000,000	1,800,000,000	
	ㅡ CO2 벌크 탱크 시스템	4.9ton	1	SET			
	ㅡ CO2 승압기		1	EA			
	ㅡ CO2 기화기		1	EA			
	ㅡ CO2 액화기		1	EA			
	ㅡ CO2 보조탱크		1	EA			
	ㅡ AIR 압축공기 시스템		1	SET			
	ㅡ CO2 정밀 계량기		1	EA			
	ㅡ Main 제어기		1	EA			
	ㅡ Carrier Gas 공급기		1	EA			
	ㅡ CO2 정량 제어기		1	EA			
	ㅡ CO2 공급기		1	EA			
	ㅡ 노즐		6	EA			
	TOTAL(VAT 별도)				1,800,000,000	1,800,000,000	
*특기사항							

구분기계	순 번	기계내역	금액
기계 본체 및 이송설비	1	B/P본체 및 외장	235,000,000
	2	믹샤 6.0M3/BATCHX110KWX2	380,000,000
	3	콘크리트 호퍼 및 아이비 저장호퍼	41,500,000
	4	본체 저장빈 및 계량장치	185,000,000
	5	분체 이송설비 BUCKET ELEVATOR ROTARY SCREW	485,000,000
	6	혼화제 저장빈 및 계량장치	112,500,000
	7	물 저장빈 및 계량장치 온수 냉수	292,500,000
	8	에어 공급설비	54,000,000
	9	이송 콘베어 1.2단	385,000,000
	10	터널 호퍼 및 계량기	195,000,000
	11	전기공사 1차전기(수전)2차전기(기계부문)	348,000,000
분체설비	1	분체 저장설비 1000톤(집진설비)	245,000,000
	2	분체 저장설비 500톤(집진설비)	138,000,000
	3	분체 저장설비 300톤(집진설비)	89,500,000
	4	분체 저장설비 200톤(집진설비)	71,500,000
	5	분체 저장설비 100톤(집진설비)	48,500,000
폐레미콘 설비	1	폐레미콘 설비 60M3	325,000,000
	2	3차 탱크 2SET	-
	3	폐수라인 및 펌프	-
	4	전기공사	-
TOTAL			3,631,000,000

6. 최종성과물

□ 연관 분야

적용 산업	타겟 시장	최종 구매자 업종(기업)
건설산업	레미콘(Ready-mix concrete) 시장	레미콘사, 각급 건설사, 토목공사 업체 등
건설산업	콘크리트 2차 제품 시장	2차제품 제조업체, 관공서, 각급 건설사 등

□ 목표 감축량

CO_2 배출원	최종 제품		목표 감축량 (톤/년)
	제품명	생산량(년)	
시멘트산업 (*철강, 발전소 등 가능)	레미콘, 콘크리트 2차제품, 레미탈	1.26백만m^3	13,885

□ 산정 방법 및 근거

❍ 목표 감축량 산정내용

- (직접탄산화에 의한 감축량) 콘크리트 1m^3 당 CO_2 0.5kg 고정화
- 2020년 우리나라 레미콘 생산량은 약 138,854,000m^3로 본 기술을 적용하여 20% 정도 대체 생산 시 직접탄산화에 의해 약 1만4천톤의 CO_2 활용 가능
  (138,854,000×0.2×0.5=13,885,400kg)

□ 성과물

특허			세계 최초·최고 원천 기술 확보	논문	고용창출	상용 (제품)화	기술이전
국내	해외	3극 특허					
(10)건	( )건	( )건	( )건	(20)건	(50)명	(7)건	(3)건

* (3극 특허) USPTO(미국특허청), EPO(유럽특허청), JPO(일본특허청) 동시 출원 및 등록된 특허

7. 기대효과 및 파급효과

❍ In-situ 탄산화 기술개발은 시멘트 산업 배출 배가스를 활용한 시멘트 기반 건설산업 분야 CCUS 광물탄산화 실증화 검증 기술로서, 레미탈, 레미콘, 콘크리트 2차 제품 제조사 등에 기술이전을 통해 저탄소 친환경 건설재료 사업화 추진 체계 마련 가능

❍ CO_2 공급/고정화/배출량 산정 모리터링 시스템은 시멘트 산업 뿐 만 아니라, 철강 및 발전소 등 CO_2 다배출 산업의 배가스 활용시스템 기반구축이 가능하기 때문에 시멘트 기반 건설산업의 CO_2 활용률 증대에 따른 탄소배출권 확보가 가능

❍ 시멘트 사용량으로 평가되는 레미탈 및 레미콘 산업의 일차원적 친환경 인증에 대해 산업배출 CO_2 활용방안을 제시함에 따라 시멘트 기반 건설산업의 다차원적인 CO_2 저감 기법 제시 가능

❍ In-situ 탄산화기술 적용 콘크리트를 활용한 인터로킹 블록 및 콘크리트 호안 블록 제조기술 확보를 통해 향후 현장 제조공정 적용 기술을 최적화할 경우 교량용 거더, 콘크리트 플륨관 등 다양한 대형 콘크리트 2차제품으로의 확대 적용 가능

❍ 2020년 우리나라 레미콘 생산량 약 138,854,000 m3에 본 기술을 적용하여 10 % 정도 생산시 약 20만톤의 CO_2 감축 가능하며, 100% 생산 시 200만톤 이상의 CO_2 감축이 가능함에 따라 시멘트 분야 국가 온실가스 감축 할당목표 달성 가능

8. 개발기간/예산/인력

예상 개발 기간(년)	정부출연 연구비, 참여 인력(억 원 / 명)								
2025년 ~ 2029년 총(5년)	사업 년도		'25	'26	'27	'28	'29	'30	합계
	사업비 (억 원)	국고	50	80	100	100	60	-	390
		민자	18	26	33	33	20	-	130
		소계	68	106	133	133	80	0	520
	참여 인력 (명)	박사급	120	120	120	120	120	0	600
		석사급	-	-	-	-	-	-	0
		학사급	-	-	-	-	-	-	0
		기타	-	-	-	-	-	-	0
		소계	120	120	120	120	120	0	600

9. 중복성 및 차별성

□ 중복성 검토

❍ (개요) 본 과제는 레미콘 및 콘크리트 2차제품 제조 공정 중 콘크리트 혼합공정에 이산화탄소를 주입하여 CO_2를 고정화시키고 콘크리트 제조 원료 중 시멘트 사용량을 저감시켜 온실가스를 감축하는 기술로 NTIS 검색을 통하여 중복성을 검토

❍ (중복성) 선행과제들은 콘크리트 제조에 사용되는 원료물질 또는 골재 등의 탄산화반응을 활용한 CO_2 저감사례와 콘크리트의 내구성 저하에 영향을 미치지 않는 탄산화기술 개발 등을 목표로 하는 기술개발로 본 과제와 중복성 없음

❍ (차별성) 본 과제는 콘크리트/레미콘/2차제품 등 시멘트 분야 건설재료 제조 동일공정에 시멘트 산업 배출 CO_2 를 활용한 탄산화공정을 적용하는 기술로서, 별도의 재료선정 및 전처리 공정 없이 재료 내구성 증진을 기대할 수 있으며, 선행과제와 차별성이 있음

[유사 중복과제 검토]

부처	과제명	수행 기간	본 과제와의 차별성	연계 추진방안
교육부	시멘트의 고농도 탄산화 양생을 활용한 CO_2 격리의 다상반응성 연구와 철근부식에 관한 전기화학적 프로파일링 및 온실가스 저감 효과	2021-2022	콘크리트 구조물의 부식영향성을 최소하는 최적 탄산화양생 조건 도출 기술개발로 콘크리트 혼합공정의 CO_2 주입기술과는 차별됨	콘크리트의 탄산화양생에 따른 구조물의 내구성에 미치는 영향결과를 참조하여 본 과제 결과물인 탄산화 콘크리트의 장기내구성 평가에 활용
교육부	CO_2 흡수물질을 활용한 시멘트계 복합재료 개발 및 CO_2 저감량 평가	2017-2020	γ-C2S 및 MgO와 같은 CO_2 흡수물질 및 CO_2 양생을 이용한 시멘트계 2차 제품 개발 및 성능평가 기술개발로 굳지않은 콘크리트의 CO_2 주입 혼합 기술인 본 과제와는 차별됨	유사과제 탄산화 메커니즘에 관한 연구결과는 참조하여 본 과제 CO_2 혼합탄산화 메커니즘 규명 및 물성향상 기술에 적용하고자 함
과기부	시멘트 콘크리트 재료를 이용한 CO_2 활용 및 저장의 향상	2015-2016	시멘트 콘크리트 재료의 이산화탄소 흡수능 향상을 위한 재료설계 기술개발로 CO_2 주입 탄산화 기술인 본 과제와는 차별 됨	중장기적으로 시멘트 콘크리트의 탄산화 반응 시험평가 결과를 토대로 본 과제 개발 CCUS 제품 장기 탄산화 반응에 의한 내구성 변화 검증 가능

□ **연계방안**

❍ 기존 연구과제에서 도출된 시멘트 콘크리트의 탄산화 반응과 관련된 주요 반응 메커니즘을 참조하고 탄산화 반응에 사용된 여러 가지 재료들에 대한 in-situ 탄산화 기술 적용 가능성 연구로 최종 제품의 물성향상에 연계하여 기술개발 수행

❍ 기존 수행 연구개발에 참여한 전문기업, 연구기관, 참여연구원 등 본 과제의 성공적인 수행을 위한 협력 네트워크 구성 운영 예정

10. 해외 활용 여부

해당없음

2. (광물) CO_3 반응경화 시멘트 및 건설 2차제품 생산 및 활용 기술

과제 개요		
전략 과제	대체 시멘트 및 건설소재	
세부 과제명	CO_2 반응경화 시멘트 및 건설 2차제품 생산 및 활용 기술	
사업 권역	□서부권, □남부권, ■중부권, □동남권	
기술 유형	□화학적전환 □생물학적전환 ■광물탄산화	
적용 산업	시멘트 산업, 시멘트 분야 2차제품 건설산업, CO_2 포집/이송/활용 산업	
최종 제품	이산화탄소 반응경화 시멘트, 건설 2차제품, 실증설비	
산출물	온실가스 감축목표	16,625(톤/년)

기술 개발 개요								
기술개발단계	□ 기초 ■ 응용 □ 개발 ■ 실증				기술단계	TRL (7)단계		
적용 산업	시멘트 산업, 시멘트 분야 2차제품 건설산업, CO_2 포집/이송/활용 산업				최종 제품	이산화탄소 반응경화 시멘트, 건설 2차제품, 실증설비		
기술개발 주체	기업 단독	산+산	산+학	산+연	산+산+연	산+학+연	산+해외	
						○		
기술 개발 규모	연구 개발 기간	2026년 ~ 2029년 (4년)						
	연구비 (억 원)	총연구비	총 800 억원 (국고 600억원 / 민자 200억원)					
		개발년도	2025	2026	2027	2028	2029	2030
		국고	-	80	240	200	80	-
		민자	-	27	80	66	27	-
		소계	-	107	320	266	107	0
	소요 인력	총 소요 인력 (1,400)명						
기술 개요	기술 정의	CO_2 반응경화 시멘트 및 건설 2차제품 생산 및 활용 기술						
	기술개발 목표	• 이산화탄소 반응경화 콘크리트 제품의 원소재가 되는 이산화탄소 반응경화 시멘트 클링커 대량생산 기술개발 • 시멘트 제조공정 배출 온실가스에 함유되어 있는 고농도 CO_2(~20%)를 이산화탄소 반응경화 시멘트 2차제품 제조에 활용할 수 있도록 하는 배가스 포집/이송/공급 스마트 양생시스템 구축 및 공정배출 온실가스 활용에 따른 시멘트 산업배출 온실가스 감축량 산출 • 이산화탄소 반응경화 시멘트를 활용한 탄소저감형 친환경 건설재료 및 콘크리트 2차 제품(블록, ALC, 흄관 등) 제조기술 확보 및 제품 상용화 • 이산화탄소 반응경화 시멘트 제조기술 실증을 통한 산업 전공정 프로세스 표준화 구축 및 장기적이고 안정적인 CO_2 감축 기술 확보 • 이산화탄소 반응경화 시멘트 건설재료 전생애주기(LCA) 조사						

1. 기술개발 필요성

□ 기술 개발 필요성

❍ 시멘트 제조 공정 배출 CO_2 중 90% 이상은 클링커 제조공정에서 배출되기 때문에 시멘트 산업 내 CO_2 배출량 감축을 위해서는 클링커를 거치지 않거나, 클링커 단계에서 발생하는 CO_2를 포집/활용하는 방안 필요

- 저탄소 클링커 제조기술은 원료수급 및 공정변경 등의 문제로 경제성 및 산업성 확보에 어려움이 있어 건설 부분 CCUS 기술은 실증화가 어려움
- 이산화탄소 반응경화 시멘트는 석회석 사용량 감축 및 소성온도 저감 등으로 클링커 공정에서 보통포틀랜드시멘트 대비 최대 30% CO_2 배출량 감축이 가능하며, 양생 공정에서 CO_2와 반응하여 경화하는 특성으로 추가 40% CO_2 감축 가능(상용화 조건에 따라 감축률은 변동가능)

개발 기술의 산업 분야	현재 포집량(톤/년)	현재 처리·활용량(톤/년)
시멘트 산업, 시멘트 분야 2차제품 건설산업, CO_2 포집/이송/활용 산업	-	-

□ 국내외 시장·기술 동향

❍ 국내·외 건축 시장이 기존 현장타설(on-site construction) 공법에서 콘크리트 구조물을 공장에서 제작해 현장에서 조립하는 모듈러 공법(off-site construction)으로 변화됨에 따른 산업 트렌드 맞춤형 기술 필요

- 대량생산 및 기계화 생산 등으로 기존 현장타설 공법대비 공사기간이 짧으며, 원가절감, 도심지 건설 환경 피해 최소화, 가설공사 폐기물량 0% 등의 효과로 모듈러 공법 건설재료 시장 확대
- 이산화탄소 반응경화 시멘트는 PC 공법 및 조립식 모듈러스가 확대되는 국내·외 건축시장에서 조강 및 고강도 특성, 미색의 색상, 낮은 비중 등의 특성으로 시멘트/콘크리트 시장 적용성이 매우 높을 것으로 판단

□ 문제점 및 극복과제

❍ 일반적으로 고성능/고내구성 시멘트 제조는 고온에서 진행되고 때문에, CO_2 배출과 관련된 환경적 이점에서 부정적

- Belite cement, CSA cement 등 저온소성 시멘트가 있으나 원료수급 및 대량생산 공정기술 확보가 어려움
- 물성향상을 위해 분말도 증가 및 산업부산물 활용 등의 방안을 고려할 수 있지만 공정추가에 따라 경제성 및 생산성이 낮음
- 이산화탄소 반응경화 시멘트는 국내 수급이 용이한 CaCO3(석회석) 및 SiO2 질 원료물질을 실 가동중인 시멘트 킬른에 직접 적용해 생산할 수 있기 때문에 산업 적용성이 우수함

〈제품 제조 공정과 적용가능 응용제품〉

□ 시급성

- 최종적으로 제조 및 적용 전 공정에서 최대 70% CO_2 감축이 가능한 기술로서 건설재료 부분 CCUS 광물탄산화 실현이 가능하며, CO_2 감축을 위한 직접적인 해결방안이 모호한 시멘트 산업 내 장기적이고 안정적인 효율성을 확보한 CO_2 감축방안 제시 가능

2. 기술개발 목표

□ 최종 목표

❍ 이산화탄소 반응경화 콘크리트 제품의 원소재가 되는 이산화탄소 반응경화 시멘트 클링커 대량생산 기술개발 및 원료부분 석회석 사용량 감축 및 저온소성에 의한 공정배출 온실가스를 감축량 산정

- 원료선정 및 소성조건 도출 등 이산화탄소 반응경화 시멘트 최적 대량생산 제조조건 도출
- Pilot plant scale 생산설비를 활용한 대량생산 실증(800톤/일 급 소성킬른활용) 및 생산시스템 안정화 기술 확보
- 이산화탄소 반응경화 시멘트 품질최적화 및 범용 제품 최적 적용방안 도출

❍ 시멘트 제조공정 배출 온실가스에 함유되어 있는 고농도 CO_2(~20%)를 이산화탄소 반응경화 시멘트 2차제품 제조에 활용할 수 있도록 하는 배가스 포집/이송/공급 스마트 양생시스템 구축 및 공정배출 온실가스 활용에 따른 시멘트 산업배출 온실가스 감축량 산출

- 시멘트 공정배출 배가스 포집공정 설계·구축 (20톤~50톤/day급 포집설비 구축)
- 포집 CO_2를 적용한 스마트 탄산화양생 상용화 시스템 공정기술 개발 (50m3급 단위 탄산화공정 개발)
- 스마트 탄산화양생 시스템 구축에 따른 온실가스 감축실적 산정 로직 개발 및 모니터링 방법 체계화

❍ 이산화탄소 반응경화 시멘트를 활용한 탄소저감형 친환경 건설재료 및 콘크리트 2차 제품(블록, ALC, 흄관 등) 제조기술 확보 및 제품 상용화

- 탄산화반응 결과생성물을 활용한 친환경 건설재료 제조 통합공정 개발
- 블록, 타일, 판넬 등 2차 제품 적용범위 확대방안 마련
- 산업 전 공정 표준화 프로세스 구축

❍ 이산화탄소 반응경화 시멘트 제조기술 실증을 통한 산업 전공정 프로세스 표준화 구축 및 장기적이고 안정적인 CO_2 감축 기술 확보

- 원료물질평가, CO_2 반응경화 시멘트 평가 및 시멘트/콘크리트 배합을 통한 재료 내구성 및 역학적 성능평가시험 평가항목 및 방법론 수립

❍ 이산화탄소 반응경화 시멘트 건설재료 전생애주기(LCA) 조사

- 표준개발협력기관 협업을 통한 '건설자재 품질성능 표준화', '건설자재 정보 표준화' 및 '건설공사 품질향상을 위한 정책 개발' 실시
- 저탄소 친환경 건설재료 분야 KS 표준화

□ 단계별 목표

1단계('25년 ~ '26년)	2단계('27년 ~ '29년)
- 이산화탄소반응경화시멘트제조, 대용량 이산화탄소 양생시스템 및 건설 2차제품 실증생산 공정시스템 설계 및 구축 * 시멘트 800톤/일급, 50m3급 탄산화 양생시스템, 50톤/일급 CO_2 포집설비 등 - 건설 2차제품 제조 탄산화 양생 통합 시스템 연계 안정적 구동기술 확립	- 800톤/일 용량급 이산화탄소반응경화시멘트 전용 킬른 연속운전 및 생산기술 확립 - 50m3 용량급 이상 탄산화양생시스템 활용 건설 2차제품 생산기술 최적화 - 실증생산공정시스템 운영 기반 온실가스 감축방법론 확립

□ 성능목표

성과지표	현 수준	개발 목표					
		'25	'26	'27	'28	'29	'30
압축강도(MPa)	국내사례없음	-	35이상	45이상	50이상	50이상	-
CS 및 C3S2 합성량(%)	국내사례없음	-	40이상	40이상	40이상	40이상	-
탄산화 양생에 따른 CO_2 고정화량(kg/t-CSC clinker)	국내사례없음	-	-	320이상	350이상	350이상	-
공정배출 CO_2 감축량 (%)	국내사례없음	-	-	-	-	25이상	-
투수블록 압축강도(MPa)	국내사례없음	-	10이상	13이상	13이상	13이상	-

3. 기술내용 및 범위

❍ 국내 주요 시멘트사가 밀집되어 있는 충북 단양군 소재 시멘트사와 연계하여 이산화탄소 반응경화 시멘트 제조 생산기술을 실증하고, 이를 활용한 2차제품 제조사와 CO_2 포집/이송/양생 시스템 호환을 통해 기 구축된 생산시설을 최대한 활용한 실증연구 진행 예정

이산화탄소 반응경화 시멘트 실증플랜트 설비는 산업용 원료물질 silo, 실증용 킬른, 시멘트 산업 공정배출 CO_2 포집/이송 시스템 등을 포함하는 규모로 면적은 약 1,600,000m3이며, 세부장치 구성은 다음과 같음

〈실증 설비구성 계획〉

구 분		Specification
이산화탄소 반응경화 시멘트 실증생산 설비	Hopper	이산화탄소 반응경화 시멘트 제조용 원료 저장장치
	Bag filter & Fan	소성공정에서 배출되는 미세먼지 집진설비
	Mixer system	클링커링 공정 용이성을 위한 원료혼합 장치
	Cyclone	분진포집 시스템
	AQC cooler system	클링커 냉각설비
	제품 저장 Silo	제조 완료 제품의 저장 장치
	제품 이송설비	제조완료 상품의 이송시스템
산업용 대용량스마트 탄산화양생 설비	Carbonation curing chamber	이산화탄소 주입을 위한 탄산화양생 챔버
	Fan	챔버 내부 온도, 습도, CO_2 농도 평이성을 위한 순환장치
	Gas injection equipment	CO_2 가스 투입 장치 및 투입량 제어 설비
	Controller	온도, 습도, CO_2 농도 제어장치
	load system	챔버 내부 2차제품 탄산화양생을 위한 적재 시스템
	Duct and valve system	챔버 내부 가스 주입 시스템 및 온도/습도 조절을 위한 장치
	Panel and Program	패널 및 장치구동 프로그램
이산화탄소 반응경화 시멘트를 활용한 건설재료 제조설비	Secondary product mold	시멘트 2차제품 제작 몰드 및 장치
	Supply facility	이산화탄소 농도측정 및 유량공급 장치
	Valve and train	이산화탄소 주입제어 및 수송 설비
	Gate and vant	탄산화 챔버 내 습도조절 장치
	Circular facility	탄산화챔버 내 이산화탄소 주입 공정 순환 장치
	Automatic controller	온도, 압력, CO_2 농도 자동제어 장치
	Measuring equipment	수분, 질량, 강도, 탄산화 성능 계측 설비

❍ 시멘트 및 시멘트 분야 2차제품 제조 설비 등 연계기반시설이 조성되어 있고, 고속도로 등 지역적 연계가 우수하며, 향후 지속적인 활용이 가능한 용지를 대상으로 설정하였으며, 현 설비 구조 및 지금까지의 성과를 활용하기 용이하도록 시멘트 및 시멘트 기반 2차제품 제조 설비가 갖춰진 지역을 대상으로 검토를 실시하였음

❍ 대상 기업 후보는 한일시멘트(주), ㈜데코페이브, 한일현대시멘트(주) 등으로 시멘트 산업이 밀집되어 이는 충북 단양군에 소재하고 있음

❍ 상기 내용을 토대로 계획한 연구개발 범위 및 수행내용은 아래 표와 같음

구 분	실증 추진(안)
이산화탄소 반응경화 시멘트 제조기술	- 산업용 원료물질 silo 및 원료투입설비 구축 - 이산화탄소 반응경화 시멘트 제조 상용화설비 구축 - 상용화 설비 활용 이산화탄소 반응경화 시멘트 생산량 확보 및 생산시스템 안정화 - 공정배출 CO_2 포집/이송 시스템 현장실증 및 산업적용 - 산업용 대용량 스마트 탄산화양생 설비와의 호환성능 최적화 - '이산화탄소 반응경화 시멘트 제조-CO_2 포집/이송-스마트 탄산화양생' 단계별 연계시스템 최적화 - 이산화탄소 반응경화 시멘트 제조공정 표준화 저탄소 친환경 건설재료 분야 표준화(단체 표준 등)

구 분	실증 추진(안)
저탄소/고내구성 친환경 건설재료 제품	- 이산화탄소 반응경화 시멘트 활용 - 저탄소/고내구성 친환경 건설재료 제조 설비 구축 - 저탄소/고내구성 친환경 건설재료 제조공정 최적화 - 2차제품 종류 및 제조특성에 따른 물성평가 - 저탄소 친환경 건설재료 표준화(단체 표준 등) - 일생산량 및 연속운전 시스템 안정화 등을 통한 생산가이드 도출 - 생산시스템 안정화 data 수집 및 운영(안) 구축 - 물성확보를 통한 친환경 건설재료 제품 등록(친환경 건축자재 인증마크 획득 등) - 온실가스 저감형 건설재료 적합성 평가 - 하이브리드 특수시멘트 최적배합비 도출 및 제조기술 안정화 - 시작품의 특수환경 내구성능 기술 확보
산업용 대용량 스마트 탄산화양생 기술	- 산업용 IcT/IoT 스마트 탄산화양생 설비 구축 - 2차제품 대량생산 연계 실증생산 - CO_2 포집/이송 연계시스템 구축 최적화 - in/out 에너지 소비량 평가 - 스마트 탄산화양생 시스템 표준설계(안) 확립 - 2차제품 종류 및 제조특성에 따른 기술별 가이드(안) 구축

4. 기술개발 추진방법 및 주체

□ 기술개발 추진전략

❍ 이산화탄소 반응경화 시멘트 안정화 및 최적화
- 실제 시멘트 생산설비 시스템을 기반으로 한 이산화탄소 반응경화 시멘트 제조 및 품질 균질성 확보
- 연간 생산량 및 2차 제품 시 활용 소비량 예측에 따른 산업경제성 분석
- CO_2 반응경화 시멘트 건설재료 전생애주기(LCA) 조사

❍ 시멘트 산업 배출 배가스를 활용한 탄산화 표준양생 가이드라인 확립
- 스마트 탄산화양생 공정적용 현장실증 연구
- 가동 일 수, 사용량, in/out 에너지 소비량 등을 통한 경제성 평가
- 연간 2차 제품 생산량 예측에 따른 산업성 및 경제성 평가

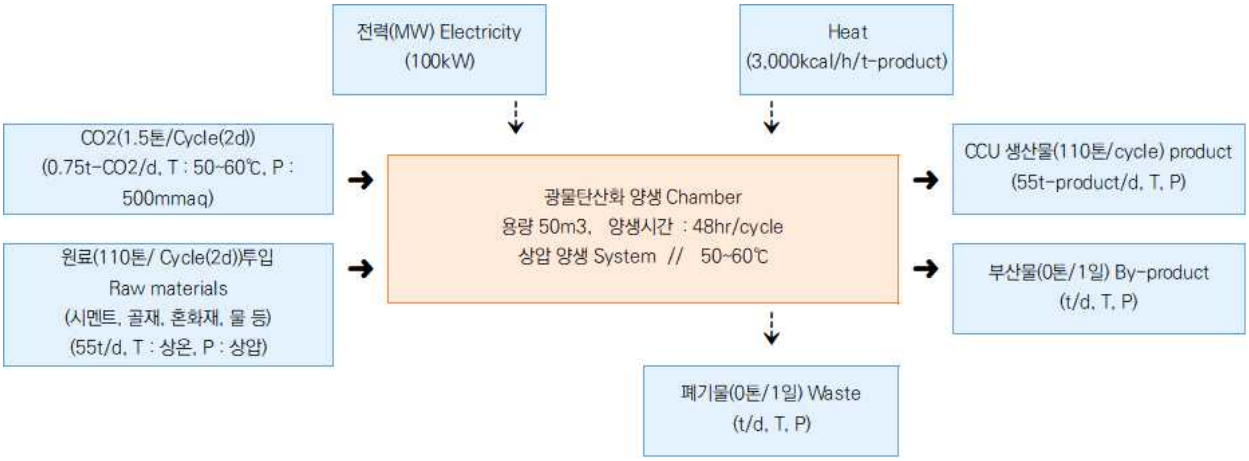
❍ 저탄소/고내구성 건설재료 품목별 제품 생산
- 제품 품목 규격별 일 생산량 가이드라인 도출
- 저탄소 친환경 건설재료 분야 KS 표준화

□ 기술개발 주체

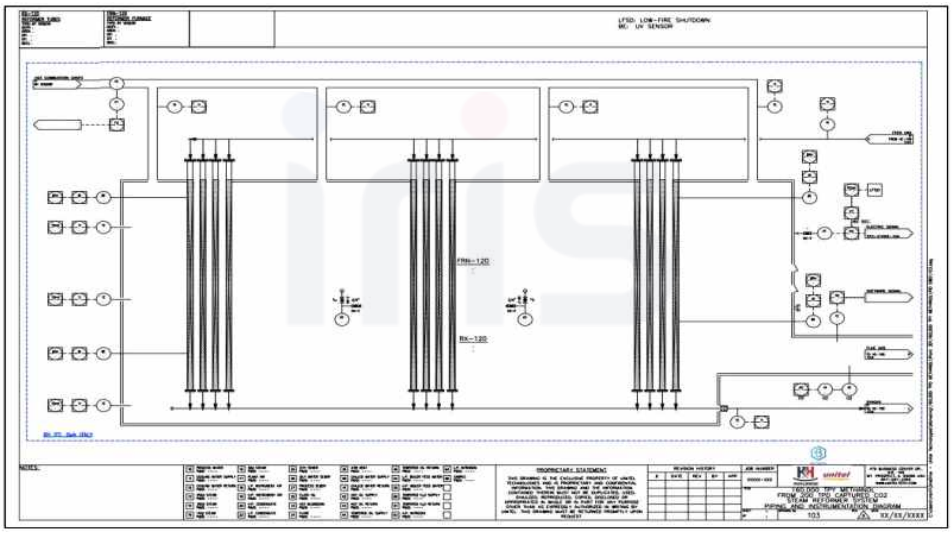
단독 개발	산+산	산+학	산+연	산+산+연	산+학+연	산+해외
( )	( )	( )	( )	( )	(○)	( )

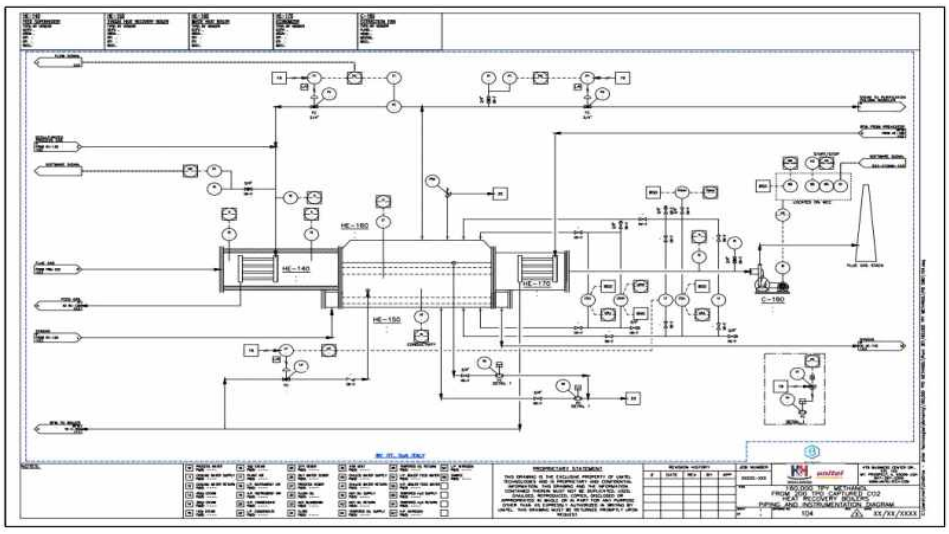
5. 물질 에너지 수지 및 공정도(PFD)

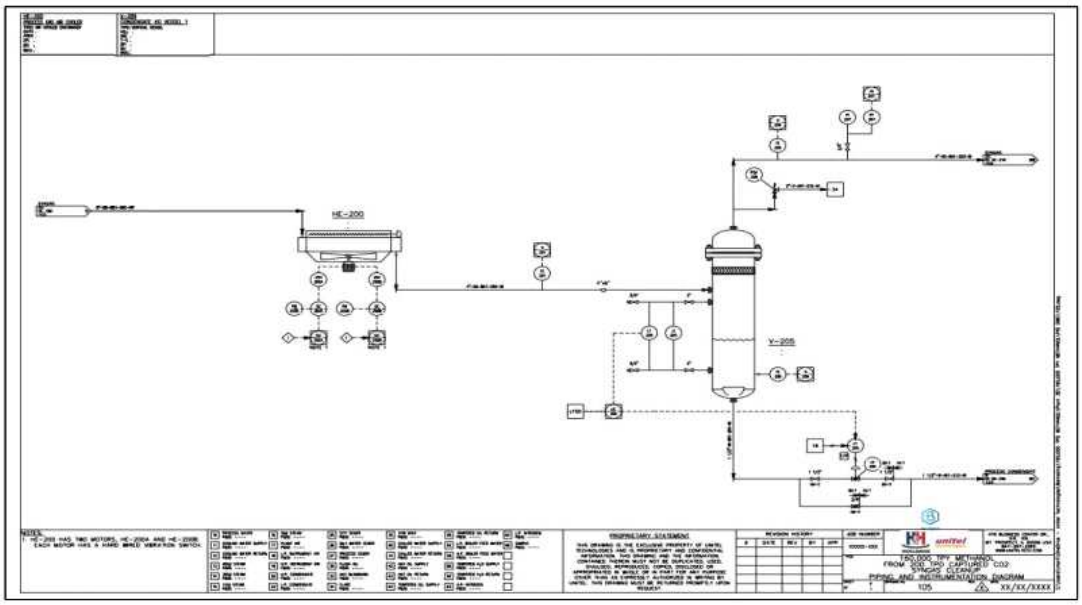
□ 물질에너지 수지(1일, 1ton CO_2 투입시 생산물 및 부산물)

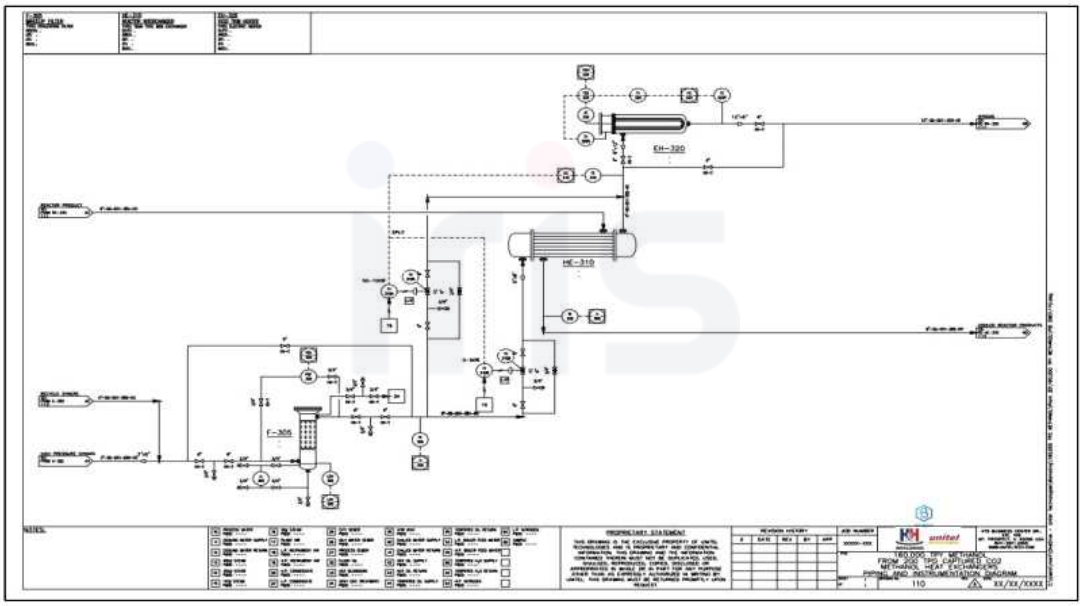


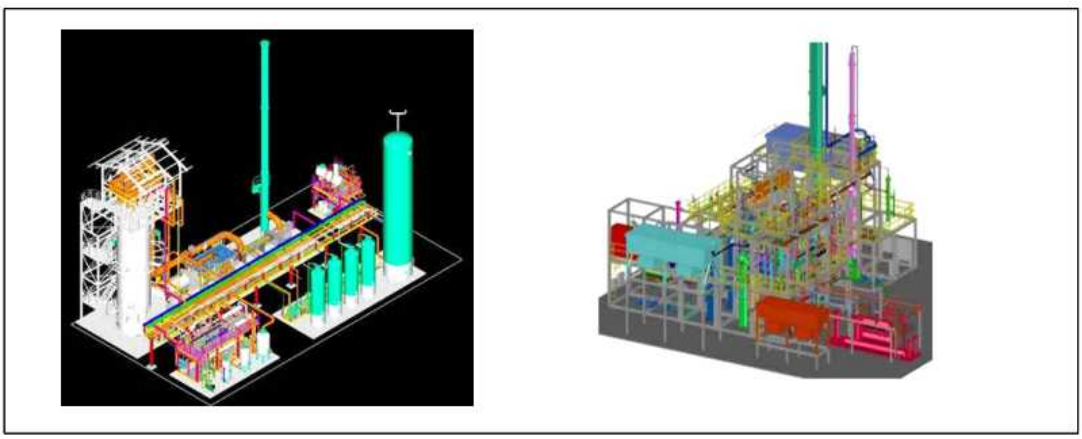
□ 공정도(PFD)











□ 장비 리스트

시멘트 산업 이송 배가스 저장 공급 시스템

番號	品 名	規 格	數 量	單 價	金 額
A	기계 설비				
1	배가스 압축 설비 System				
	- Compressor	2.5kg			100,000,000
	- 배관및 Valve류				30,000,000
2	대용량저장 장치				
	- Holder System	500㎥			600,000,000
	-. 부속기기	주변 설비			30,000,000
3	가스저장 안전부				
	- 감지 Sensor류	온도, 압력, 가스누출 Sensor 류			150,000,000
	-. Purge system				50,000,000
	- 부속기기	structure			50,000,000
4	Gas 제어 공급 System				
	- Gas Controll	Train Unit			150,000,000
	- Pannel 및 Program 제어				100,000,000
	기계 설비 계				1,260,000,000
B	전기 설비				
	-. Pannel & Program		1		150,000,000
	-. Mcc 및 배선				90,000,000
	-. Insturment	계측설비, 계기류등			50,000,000
C	토건 / 건축	기초 토목 작업, 건축 작업			252,000,000
D	엔지니어링및 제경비				166,000,000
	計				**1,678,000,000**

실증 탄산화양생 시스템

번호	품 명	수 량	단 가	금 액
1	탄산화 양생 Sytem			
	-. 양생 Chamber			1,400,000,000
	: 2000W * 10000H * 35000L			
	-. 적재 System			420,000,000
	: Finger System			
	-. 순환 Fan			120,000,000
	: Duct 및 Valve System			
	-. CO2 Gas 투입 설비 (제어 계측)			145,000,000
	: Gas 투입및 제어 설비			
	-. 내부 조건 조절 장치 (온도, 압력, 농도)			135,000,000
	. 성형 설비 Ass'y			150,000,000
	-. 탈형 설비 (Mold 설비)			100,000,000
	. 자동 운송 System (인입/ 배출 설비)			350,000,000
2	-. 전기 제어 장치 System			400,000,000
	: Program & Pannel			
	: MCC 및 배전반			
	: Insturment			
	-. ICT & Iot 제어 System			150,000,000
3	-. 기초및 건물			700,000,000
	: 기초및 건물, Structure			
4	설치 작업			500,000,000
	-. 기계 설비 설치 작업			
				/
	소계			4,570,000,000
5	제 경비및 이윤 (8%)			352,000,000
	/			/
	총 공사비 합계			4,922,000,000

CO_2 반응경화 시멘트 이송 시스템

番號	品 名	規 格	數 量	재료비
A	**기계 설비**			
1	**제품 전용 Silo**			
	-. 저장 Silo	5,000㎥ Silo 및 부대 설비	800ton	1,840,000,000
	- bag filter & Fan	집진설비외 (600㎥/min)	1set	240,000,000
	- 부속 기기	A/S, Airation System	1식	156,000,000
				/
	제품 전용 Silo 소계			##########
2	**원료 이송설비**			
	- Appron	수평, 경사 이송	1set	240,000,000
	- Lump Crusher	Lump Crusher System		90,000,000
	-. 부속기기	주변 설비		120,000,000
				/
	원료 이송설비 소계			**450,000,000**
3	**원료 이송량 측정 System**		1set	
	- 계량 System	원료 공급량 계측, 계량 설비	1식	150,000,000
	-. Structure	30ton		40,000,000
	- 부속기기	Chute & Damper 류		30,000,000
				/
	원료 이송량 측정 설비 소계			**220,000,000**
4	**AQC 설비 보완**		1set	
	- AQC 설비 보완	Gas 투입 설비 추가	1식	875,000,000
	- 부속설비	Bag Filter, Duct, Damper System	1식	300,000,000
				/
	AQC 설비 보완 소계			##########

CO_2 반응경화 시멘트 제조 시스템

품號	品 名	規 格	數 量	재료비	인건비	경비	계
A	기계 설비						
1	**원료 혼합**		1set				
	- 원료 저장 Silo	150㎥ Silo 및 부대 설비	1set	40,000,000	50,000,000	10,000,000	100,000,000
	- bag filter & Fan	집진설비외	1set	18,000,000	9,000,000	3,000,000	30,000,000
	- Mixer System	무중력 type	1set	36,000,000	18,000,000	6,000,000	60,000,000
				/	/	/	/
	원료 혼합 소계			**94,000,000**	**77,000,000**	**19,000,000**	**190,000,000**
2	**원료 투입설비**						
	- CIW	0 ~2t/h, Belt Type	1set	24,000,000	30,000,000	6,000,000	60,000,000
	- surge Bin	5㎥,	1set	4,000,000	5,000,000	1,000,000	10,000,000
	-. 부속기기	주변 설비	1set	18,000,000	9,000,000	3,000,000	30,000,000
				/	/	/	/
	원료 투입설비 소계			**46,000,000**	**44,000,000**	**10,000,000**	**100,000,000**
3	**Preheater**						
	- Cyclone	Castable, Chute 포함	1set	60,000,000	75,000,000	15,000,000	150,000,000
	- Structure		1set	40,000,000	50,000,000	10,000,000	100,000,000
	- 부속기기	Chute & Damper 류	1set	30,000,000	15,000,000	5,000,000	50,000,000
				/	/	/	/
	Preheater 소계			**130,000,000**	**140,000,000**	**30,000,000**	**300,000,000**
4	**Kiln**						
	- Kiln	Φ 1.8 * 25ML, 내화재 포함	1set	390,000,000	195,000,000	65,000,000	650,000,000
	- 구동부및 support 부		1식	40,000,000	50,000,000	10,000,000	100,000,000
				/	/	/	/
	Kiln 소계			**430,000,000**	**245,000,000**	**75,000,000**	**750,000,000**

6. 최종성과물

□ 연관 분야

적용 산업	타겟 시장	최종 구매자 업종(기업)
시멘트	시멘트 시장	시멘트사
시멘트 분야 건설산업	시멘트/콘크리트 기반 저탄소·고성능 2차제품 시장	2차제품 제조업체, 관공서, 각급 건설사 등

□ 목표 감축량

CO_2 배출원	최종 제품		목표 감축량 (톤/년)
	제품명	생산량(년)	
시멘트 및 시멘트 분야 건설산업	이산화탄소 반응경화 시멘트 및 이를 기반으로 한 2차제품 건설재료	270만톤[1)]	16,625

1) 2019년 기준 6000만톤 × 블록시장 비율 15% × 시장 대체율 30%

□ 산정 방법 및 근거

- 〈2030년〉(총 56만 톤/년 감축)
- ① 이산화탄소 반응경화 시멘트 제조 원료기인 CO_2 감축
  30년 발생량(23.8백만 톤) × 블록시장 비율(15%) × 원료감축비율(25%) × 시장대체율(30%)
- ② 이산화탄소 반응경화 시멘트 제조 연료기인 CO_2 감축
  30년 발생량(11.8백만 톤) × 블록시장 비율(15%) × 연료감축비율(25%) × 시장대체율(30%)
- ③ 블록 등 제품 제조 공정에서 CO_2 감축
  30년 발생량(35.6백만 톤) × 블록시장 비율 (15%) × 감축비율(10%) × 시장대체율(30%)

□ 성과물

특허			세계 최초·최고 원천 기술 확보	논문	고용창출	상용 (제품)화	기술이전
국내	해외	3극 특허					
(20)건	( )건	( )건	( )건	(50)건	(100)명	(10)건	(5)건

* (3극 특허) USPTO(미국특허청), EPO(유럽특허청), JPO(일본특허청) 동시 출원 및 등록된 특허

7. 기대효과 및 파급효과

□ 과학·기술적 기대효과

❍ 탄소중립을 위한 시멘트 산업의 핵심기술 확보
- 기술개발 종료시 공정배출 감축 및 OPC 대체 활용을 통해 약 천톤 CO_2 감축
- 실증화 연구개발을 통해 2030년(대체율 30%) 약 50만톤 CO_2, 2050년(대체율 100%) 약 170만톤 CO_2 감축

- 석회석 사용량 감축에 따른 약 34억원 원가절감
- 보통포틀랜드시멘트 및 CO_2 반응경화 시멘트의 CO_2 배출계수를 0.7ton-CO_2/ton-clinker 및 0.52ton-CO_2 /ton-clinker로 하여 추정할 경우, 생산공정 CO_2 배출량 저감에 따라 약 45만톤의 탄소배출권 확보 가능
- CO_2 고정화 기술의 취약점인 CO_2 유출현상 없이 장기 안정 상태로 CO_2를 고정할 수 있기 때문에 안전이나 환경위험 없이 기후변화 대응 가능

❍ 시멘트 산업분야 CCUS 기술시스템 확보에 따른 국가 CCUS 로드맵 달성 기여
- 국내 산업연계 CCUS 기술체계 구축의 선도로 산업계 적용확산을 위한 구체적인 정책 및 체계마련을 통해 국가 CCUS 로드맵 달성 기대
- 지속 가능한 발전을 위한 전략 기술로서의 시멘트 건설재료 분야 탄소중립을 위한 핵심기술 집중 성장 가능성 잠재

❍ 시멘트 분야 관련 산업군 기술 융합을 통한 가치사슬 강화 및 이에 따른 기술력 증대
- 저탄소 시멘트 제조, 시멘트 산업 배출 배가스 활용 CCUS 시스템 구축, 저탄소/고내구성 건설재료 제조기술의 핵심기술 확립을 통한 관련 산업분야 가치사슬 강화
- 기술의 상용화, 과속화 및 안정화를 위한 실증화 시스템 인프라 조성에 따른 산업 기술력 증대

□ 경제·사회적 기대효과

❍ 일자리 창출
- 2050 탄소중립을 위해 시멘트 산업이 기술개발, 기반구축 및 실증사업을 통해 업계의 자립생존을 통하여 시멘트 산업 고용인력 안정적 일자리 유지
- 현재 시멘트 제조 직접 고용 : 4,600명, 관련산업 고용 : 47,722명 (2020.7 세라믹산업 주요통계)

❍ 지속 가능한 발전 산업
- 이산화탄소 반응경화 시멘트 기술개발 확립에 따른 시멘트 산업의 지속가능한 신산업 창출이 가능하며, 이를 활용한 저탄소/친환경 건설재료 산업 기여에 따른 경제성 확보
- 환경적 요인에 의한 시멘트 열화저항성이 높아 적용범위 확대에 기여할 수 있으며, 지속가능한 발전 산업 기대 가능

8. 개발기간/예산/인력

예상 개발 기간(년)	정부출연 연구비, 참여 인력(억 원 / 명)								
2026년 ~ 2029년 총(4년)	사업 년도		'25	'26	'27	'28	'29	'30	합계
	사업비 (억 원)	국고	-	80	240	200	80	-	600
		민자	-	27	80	66	27	-	200
		소계	-	107	320	266	107	0	800
	참여 인력 (명)	박사급	-	350	350	350	350	-	1,400
		석사급	-	-	-	-	-	-	0
		학사급	-	-	-	-	-	-	0
		기타	-	-	-	-	-	-	0
		소계	0	350	350	350	350	0	1,400

9. 중복성 및 차별성

□ 중복성 검토

- (개요) 본 과제는 원료 및 연료부분 제조공정에서 보통 포틀랜드 시멘트 대비 공정배출 CO_2가 낮은 이산화탄소 반응경화 시멘트를 제조하고, 이를 활용한 건설용 2차제품 제조 시 공정배출 CO_2를 활용한 탄산화양생을 통해 온실가스를 감축하는 기술로 NTIS 검색을 통하여 중복성을 검토
- 선행과제들은 저온소성 시멘트 제조 및 산업부산물을 활용한 탄산화 시멘트 제조관련 연구들로서, 공정배출 CO_2만을 저감하거나, 배출된 공정배출 CO_2를 활용할 수 있는 방법을 검토하는 기술로서, CO_2와 반응하는 시멘트를 개발하고, 2개 기술을 동시 구현할 수 있는 본 과제와는 중복성이 없음
- (차별성) 본 기술은 시멘트 제조를 위한 원료부분 석회석 사용량 저감에 따른 CO_2 배출량 저감, 소성온도 저감에 따른 CO_2 배출량 저감, 이를 활용한 2차제품 제조 공정 중 CO_2 탄산화 양생에 따른 공정배출 CO_2 저감기술이 접목되어 제조 전 공정에서 CO_2 저감이 가능한 건설재료 제조기술로서 별도의 재료선정 및 전처리 공정없이 재료 내구성 증진을 기대할 수 있으며, 선행과제와 차별성이 있음

[유사 중복과제 검토]

부처	과제명	수행 기간	본 과제와의 차별성	연계 추진방안
국토교통부	레미콘 배치 플랜트의 IoT 제어를 통한 친환경 콘크리트 제조 기술 개발	2021-2022	레미콘 회수수에 CO_2를 용해시켜 콘크리트 혼합공정에 투입하는 기술로서 가스상 CO_2를 양생시스템에 투입하는 방식인 본 기술과는 차별됨	이산화탄소 반응경화 시멘트의 탄산화반응 촉진을 위한 다양한 탄산화공정기술 검토에 활용
과학기술 정보통신부	마이크로파를 활용한 고농도 급속 CO_2 양생 기술 연구 및 CO_2 다량 고정화 인공골재 개발	2022-2027	Lab. Scale로 CO_2 급속탄산화 기술개발 및 인공골재를 개발하는 기술로서 5m3/batch 이상용량의 제품생산용 양생시스템에 CO_2를 주입하여 이산화탄소 반응경화 시멘트의 탄산화를 제어하는 본 기술과는 차별됨	이산화탄소 반응경화 시멘트를 기반으로 한 다성분계 혼합조성 물 제조 시 탄산화율을 높일 수 있는 재료적 특성 메커니즘 기술검토에 적용하고자 함
국토교통부	포집 이산화탄소와 폐콘크리트의 영구광물화 반응 기제를 활용한 제강슬래그 골재 안정화 (수침 팽창율 0.1% 이하) 기술 개발	2019-2020	폐콘크리트 및 제강슬래그의 탄산화로 광물상 안정화와 중금속 유출을 억제시키는 기술개발로 콘크리트 2차제품 제조 공정에 CO_2를 주입하여 탄산화 등에 따른 물성증진을 검토하는 본 기술과는 차별됨	다성분계 배합을 통해 중금속 유출 등 환경에 유해할 수 있는 요인을 검토하여 장기적인 환경안정성 평가방법 검토에 활용하고자 함

부처	과제명	수행 기간	본 과제와의 차별성	연계 추진방안
국토교통부	제철슬래그 활용 이산화탄소 영구포집 시멘트 복합체 기술 개발	2017-2018	CO_2와 반응하여 경화하는γ-C2S 광물상을 함유하고 있는 제철슬래그를 시멘트와 혼합하여 CO_2양생하는 기술로서 생산급 CO_2 양생시스템을 이용하여 제품 생산기술을 확립하는 본 과제와는 CO_2 주입방식, 공간내 CO_2 균질화 기술 및 모니터링 기술 등에 차별성 있음	이산화탄소 반응경화 시멘트 제조공정에서 생성될 수 있는 탄산화 반응 기여 광물상 종류 및 특성을 파악해 탄산화율을 증진할 수 있는 광물학적 특성 연구에 활용하고자 함

10. 기타 특기사항

해당없음

4 동남권 플래그십 프로젝트

Carbon Capture and Utilization

1 메탄올

2 대체 시멘트 및 건설소재

탄소중립 실현, 미래 신기술 선점을 위한

CCU 기술 조기 상용화로 미래지향 기반구축과 시장 창출

4 동남권 플래그십 프로젝트

1 메탄올

1. (화학) CO_2 활용에 의한 메탄올 생산 기술

과제 개요		
전략 과제	메탄올	
세부 과제명	CO_2 활용에 의한 메탄올 생산 기술	
사업 권역	□서부권, □남부권, □중부권, ■동남권	
기술 유형	■화학적전환 □생물학적전환 □광물탄산화	
적용 산업	철강/석유화학	
최종 제품	메탄올, 합성가스	
산출물	온실가스 감축목표	5,500(톤/년)

기술 개발 개요							
기술개발단계	□ 기초 □ 응용 ■ 개발 ■ 실증			기술단계	TRL (6)단계		
적용 산업	철강/석유화학			최종 제품	메탄올, 합성가스		
기술개발 주체	기업 단독	산+산	산+학	산+연	산+산+연	산+학+연	산+해외
						○	

기술 개발 규모								
연구 개발 기간		2025년 ~ 2030년 (6년)						
연구비 (억 원)	총연구비	총 400 억원 (국고 200억원 / 민자 200억원)						
	개발년도	2025	2026	2027	2028	2029	2030
	국고	15	20	100	30	25	10
	민자	15	20	100	30	25	10
	소계	30	40	200	60	50	20
소요 인력		총 소요 인력 (142)명						

기술 개요		
기술 정의	동남권 산업계 온실가스를 활용한 친환경 메탄올 생산 기술 통합 패키기 기술 개발
기술개발 목표	동남권 산업계 온실가스를 활용한 메탄올 전환 공정 실증규모 기술개발 및 통합 패키지 기술 개발

1. 기술개발 필요성

□ 기술 개발 필요성

❍ CCUS는 국가 온실가스 감축 목표 달성을 위한 중요한 감축수단이므로(2030년 CCUS를 통해 1,030만톤을 감축하는 목표 설정) 상용 가능한 기술이 CCU 시장을 선도할 수 있도록 전략제품의 조기 상용화가 필요

❍ 글로벌 규제에 따른 친환경 연료 수요가 증대되고 있으며, 그 중 메탄올의 물리적 특징*에 의한 기존 인프라 사용 가능성이 높아 빠르게 시장이 확대되고 있음

* 메탄올은 상온-상압 조건에서 액체상태로 유지되어 저장운송에 용이하며, 기존 인프라를 개조하여 활용 가능

- 연료별 각각의 장단점이 존재해 용도에 따라 친환경 연료가 모두 활용될 전망이나, 그중 메탄올 시장은 선박연료를 중심으로 빠르게 성장하는 상황*

* 선급/해운전문기관, 엔진, 해운사의 미래 연료수요 전망은 '50년 메탄올/메탄 추진선박의 점유율이 25~50%에 달할 것으로 예측

❍ 메탄올은 석유를 대체할 수 있는 친환경 연원료 자원으로 수송 연료(도로, 해운 등), 산업용 연료(보일러, 가스터빈 등), 석유화학산업 원료(플라스틱 등) 등 다양한 용도로 활용 가능

* (연료) MTBE(메틸터트부틸에테르), 가솔린 혼합, 바이오디젤, DME(다이메틸에테르), (원료) 올레핀, 포름알데히드, 염화메틸, 메틸아민, 메테인싸이올, MMA(메타크릴산메틸), 아세트산 등

- 산업 특성에 적합한 CO_2 활용 기술의 대규모 실증을 통한 산업화 가능성을 확인함과 동시에 해당 기술의 Track Record 확보, 기술 성숙도 향상, 타 사업장 확대 적용을 위한 기반 확보

❍ 저탄소 연료로 수요가 점차 증가할 것으로 예상되는 메탄올의 수급은 현재 약 220만톤/년 전량 수입에 의존하고 있음

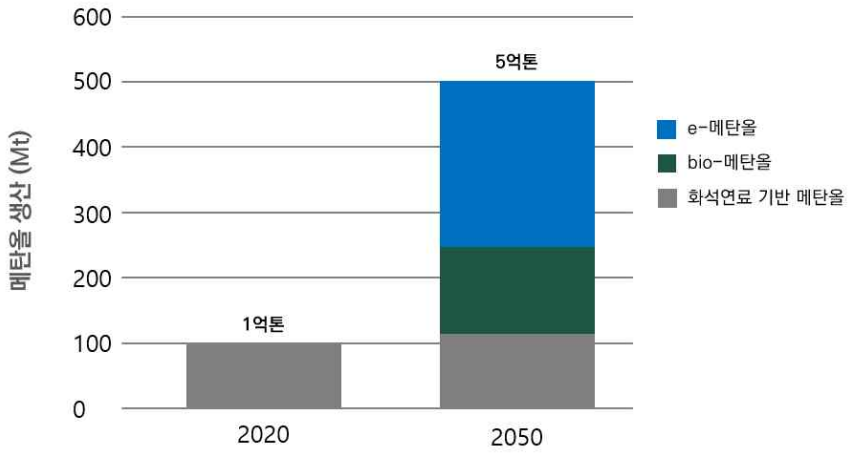
❍ 철강 산업은 단일 배출원으로 가장 많은 CO_2를 배출하는 산업으로 국내 온실가스 배출량의 약 16%를 차지하고 있으며 국가 온실가스 배출량 저감을 위해서는 제철공정에 적합한 CCU기술 개발이 필요(산업부문 38.3%)

❍ 각 산업별 특징(CO_2, 폐열, 환원제)과 기술 수준(TRL), CCU 제품의 활용 가능성, 타 사업장으로의 확대 적용, CO_2 감축량 등을 고려한 철강 산업의 여건에 적합한 CCU 기술의 발굴 및 실증을 통한 CO_2 활용 기술의 전주기 완성 필요

개발 기술의 산업 분야	현재 포집량(톤/년)	현재 처리·활용량(톤/년)
철강	-	-

□ 국내외 시장·기술 동향

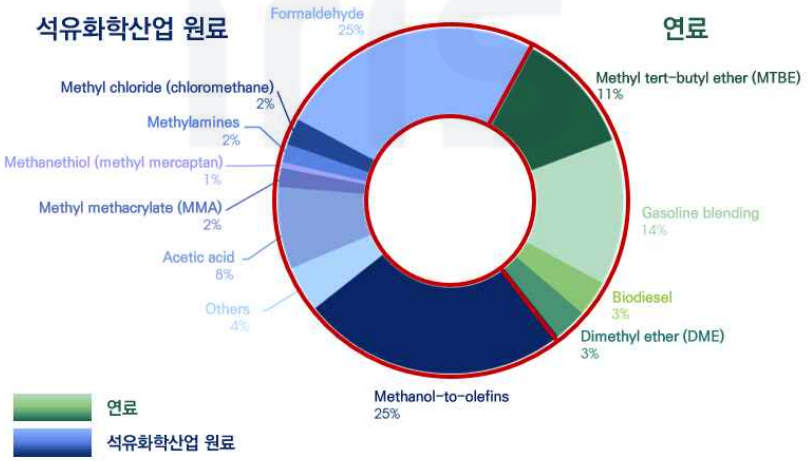
❍ 메탄올 생산시장 전망



※ 출처 : IRENA(2021)

- 메탄올 시장은 ’20년 1억톤에서 ’50년에는 5억톤으로 증가할 것으로 전망
- ’50년 연간 e-메탄올 2.5억톤, bio-메탄올 1.35억톤 생산될 것으로 추정

❍ 메탄올 수요시장 전망



* 올레핀: 에틸렌, 프로펠렌 등으로 다양한 석유화학제품의 기초 원료로 활용

* MTBE: 옥탄가를 높일 수 있는 휘발유에 첨가하는 물질

* 포름알데히드: 접착제, 도로, 페인트, 플라스틱 등의 원료로 활용

※ 출처 : IRENA(2021)

- 現 전체 메탄올 시장의 약 70%는 석유화학산업 원료로 활용되고, 나머지 30%는 연료로 활용
- 메탄올 수요의 가장 큰 시장은 중국이 약 40%를 차지하고, 국내 수요는 ’22년 기준, 200만톤 규모 (출처: MMSA(Methanol Market Services Asia)(2023), 한국무역협회(2023))

〈 '50년 해운 연료 수요 전망 〉

	LR (영국선급협회)	MAN Energy Solutions (선박엔진회사)	MOL (일본 해운사)
메탄올 추진선[1)]	**22.7%**	**21.0%**	**26.3%**
메탄(LNG) 추진선	30.6%	15.0%	
암모니아 추진선[2)]	19.4%	27.0%	60.0%
수소 추진선[3)]	10.6%	-	
기타(화석연료 등)	16.7%	37.0%	13.7%
계	100.0%	100.0%	100.0%

1) 연료 연소 시, 이산화탄소 배출 (재생가능한 탄소원 활용하면 탄소중립연료)
2) 독성 존재, 엔진 개발 필요
3) 저장, 운송과정에서의 높은 기술 장벽, 낮은 체적 에너지밀도

※ 출처 : 청정메탄올협의체(2023)

❍ voestapine, Nippon steel, Tyssenkrupp 등 해외 제철소들은 화학사와 연계하여 제철소에서 발생하는 공정 배가스 내 CO_2 및 부생가스를 활용하여 블루수소 생산 및 CCU 제품 생산을 위한 국가 프로젝트를 진행 중

❍ 국내 메탄올 수요 상승 대비, 국내 상용 기술 부재

- 최근, 세계 주요 해운사인 머스크(Maersk)는 친환경 연료를 사용하는 선박만 신규 발주한다는 원칙에 따라 2021년 이후 국내 조선사에 19척의 메탄올 추진 컨테이너선을 발주함. 이에 따라 국내 그린 메탄올 수요는 급증할 것으로 예상됨
- 머스크사에서는 그린 메탄올 100만톤이 선박연료로 공급될 경우 230만톤의 CO_2 배출 저감이 이루어질 것으로 예상함
- 현재 우리나라는 메탄올을 전량 수입하고 있어(2015년 기준 연간 166.5만톤) 메탄올 생산의 국산화를 통해 부가가치 창출을 도모할 수 있음

□ 문제점 및 극복과제

❍ 저탄소 연료로 수요가 점차 증가할 것으로 예상되는 메탄올의 수급은 현재 약 220만톤/년 전량 수입에 의존하고 있음

❍ 제철소 발생 CO_2로부터 생산된 메탄올을 선박의 저탄소 연료로 활용함으로써 다양한 분야에서의 탄소중립에 기여 가능

❍ 제철 배가스로부터 이산화탄소를 포집하는 기술 실증 및 철강 부생가스의 조성 조절을 위한 분리막 연구 필요

❍ 간접전환 시, 포집된 이산화탄소를 합성가스 생산을 거친 메탄올 합성 연구 및 경제성 강화 (건식 개질 및 복합개질)

❍ 직접전환 시, 이산화탄소 수소화를 통한 메탄올 합성가스 연구 및 경제성 강화 (메탄올 합성 촉매 및 공정 연구, 간접 전환시 역수성가스 반응 공정 연구)

❍ 효율적인 전환을 위한 전환 매체 다양화 필요

❍ 해상 선박용 청정메탄올 공급을 위한 e-methanol 생태계 조성

□ **시급성**

❍ 국제해사기구(IMO)는 2050년에 달성할 국제해운 탄소배출 감축목표를 2008년(배출량 2,800톤) 대비 50%에서 100%로 상향, 이에 따라 IMO 규제대상 선박의 저탄소 연료 공급체계 구축 필요

❍ 메탄올은 전세계적으로 연간 약 1억톤 정도가 천연가스나 석탄을 원료로 생산되며, 포름알데히드나 초산 등의 화학원료로 사용되고 있으나, 향후 그린 메탄올 선박연료나 경질 올레핀 원료물질 등으로의 수요는 더욱 증가할 것으로 예상됨.

❍ 혐기성 소화가스 활용기술로서의 메탄올의 생산은 메탄올로의 선택도가 우수(>98.5%)하고 열효율이 뛰어나므로 CCU 기술의 대표기술로서 기술확보가 시급함

❍ 빠른 기술 상용화를 통한 시장 활성화 및 글로벌 규제 극복 수단 확보 필요

2. 기술개발 목표

□ **최종 목표**

❍ 제철 공정 배가스 내 CO_2 활용(약 20%) 메탄올 전환 공정 실증 및 적용기술 확보
- 연간 CO_2 5,500톤 감축 목표 (포집 CO_2 기준)
- 분리막 기반의 CO_2 포집 설비 구축 (2,000 Nm3/hr 배가스 feed)
- 포집 CO_2 활용 메탄올 전환 기술 (CO_2 개질 반응을 위한 H2 또는 CH4 공급 인프라 수반)
- 저에너지 CO_2 to 메탄올 전환 기술 (기존 고온기반 전환 기술 대체)
- 포집 CO_2로부터 전환된 메탄올의 선박 엔진 적용 기술
- CO_2 포집/활용 통합 시스템 기술 경제성 분석 및 탄소 감축방법론 도출

❍ 이산화탄소를 활용한 메탄올 생산 통합 패키지 기술개발 및 메탄올 시장 선점

- 동남권역의 제철산업과 석유화학산업에서 발생된 CO_2를 활용하여 직접/간접 전환의 방법으로 다양한 메탄올 합성 공정 구축

- 통합 공정에 대한 경제성 검토 및 메탄올 생산 기술을 실증하고, 탄소중립 메탄올 생산하여, 관련 시장 선점

□ **단계별 목표**

1단계('25년 ~ '27년)	2단계('28년 ~ '30년)
• CO_2 포집 및 활용 실증 설비 설계 및 구축	• 실증 최적운전조건 수립 및 목표 감축량 달성

□ **성능목표**

성과지표	현 수준	개발 목표					
		'25	'26	'27	'28	'29	'30
포집 CO_2 회수율(%)	80	80	80	85	85	90	90
CO_2 감축량(톤)	-	-	-	-	2,000	5,000	5,500

3. 기술내용 및 범위

□ 단계별 세부내용 및 범위

❍ (1단계) - 요소기술을 선별하여 통합공정 설계 및 구축

: 메탄올 합성 공정 실증급 기본·상세 설계 및 설치

: 고순도 CO_2 활용 저에너지 메탄올 전환 기초 평가 및 포집 CO_2 연계 메탄올 전환 기술 확보

: 재생에너지 기반 수소를 이용한 이산화탄소의 메탄올 직접 또는 간접 전환 생산 기술

- (직접) 이산화탄소의 수소화 반응을 통한 메탄올 생산
- (간접) 이산화탄소 활용 합성가스 생산 후, 메탄올 생산

: 메탄올 엔진 선박 운전 조건 기반 메탄올 품질 기준 수립

: 통합 공정 기술경제성 분석

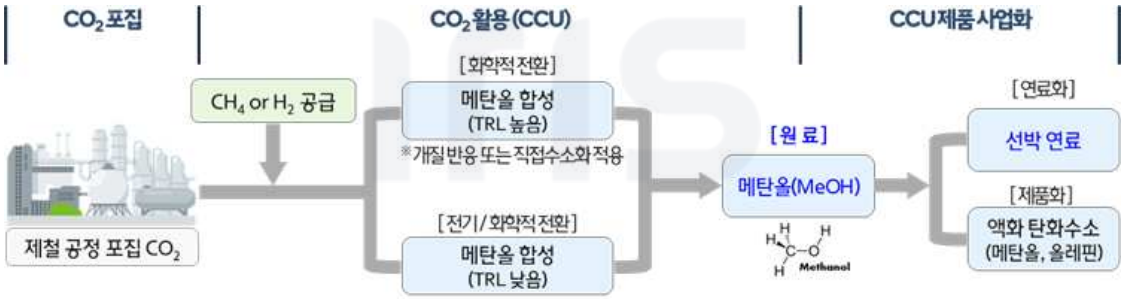
❍ (2단계) - 상용화 단계 실증기술의 규모 격상 및 실증 최적운전조건 수립, 제품화를 추진을 통한 목표 감축량 달성

: 메탄올 합성공정 실증플랜트 보완 및 상용 플랜트 설계 기술 확보

: 실증을 통한 활용 공정 연계성 및 제품 전환 효율 등 확보

: 생산 제품 선박 엔진 적용성 확보 및 확대 적용 전략 수립

: 감축방법론 개발 및 목표 감축량 반영



※ 개질 반응 (2 step) : $CO_2 + CH_4 \rightarrow 2CO + 2H_2$ (1)

$CO + 2H_2 \rightarrow CH_3OH$ (메탄올) (2)

※ 직접수소화 (1 step) : $CO_2 + H_2 \rightarrow CH_3OH$ (메탄올) + H_2O

4. 기술개발 추진방법 및 주체

□ 기술개발 추진전략

❍ 추진체계 (부문별 주체 선정 및 추진전략 협의 필요)

- (기업) CO_2 포집 및 공급
- (연구소/화학기업) CO_2 기반 합성가스 생산 및 메탄올 전환 기술 (1 step or 2 step)
- (플랜트) 실증 설비 관련 통합 설계/구축 및 상업화를 위한 Scale-up 설계
- (조선사/운송사) CO_2 전환 메탄올 사용성 평가, 수요공급 예측모델 및 경제성 평가
- (연구소/해당기관) 기술 CCU 평가 및 인증, 기술경제성 분석 및 감축방법론 개발

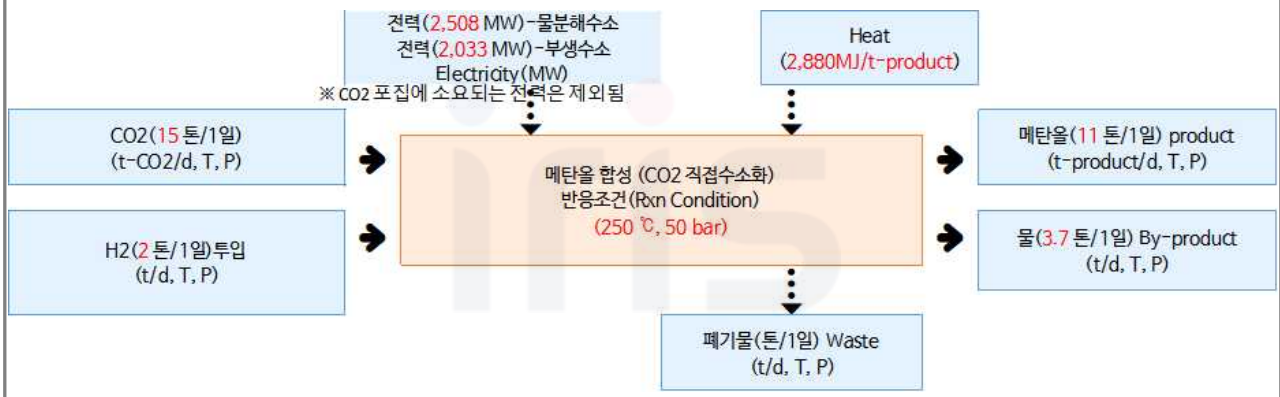
□ 기술개발 주체

단독 개발	산+산	산+학	산+연	산+산+연	산+학+연	산+해외
( )	( )	( )	( )	( )	(○)	( )

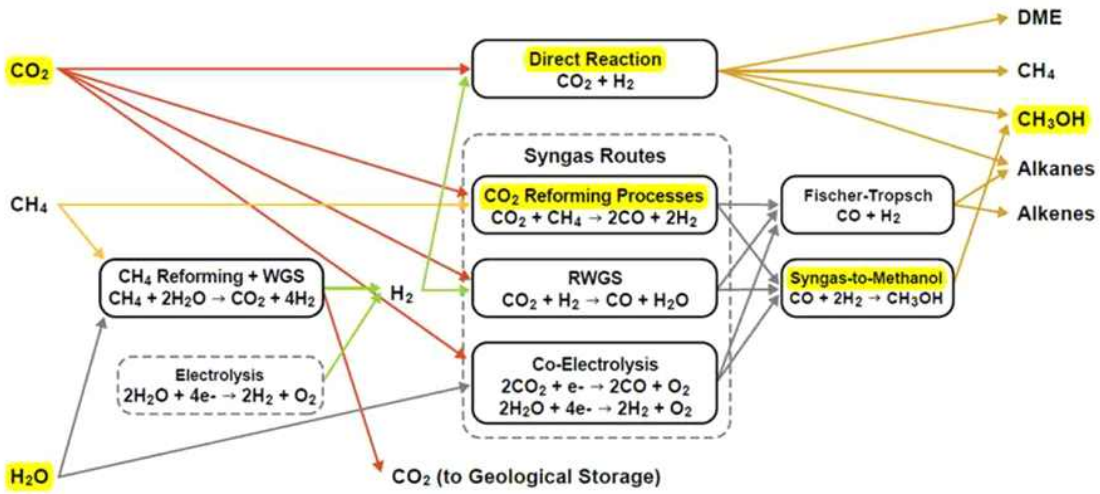
추진 체계	추진 전략
철강사	- 분리막기반 CO_2포집및 공급 (배가스2,000 Nm3/hr용량 포집설비 구축)
정출연/화학사	- CO_2기반 메탄올 전환 기술 (1 step or 2 step), 저에너지CO_2전환 기술
건설/엔지니어링사	- 실증 설비 관련 통합 설계/구축 및 상업화를 위한 Scale-up 설계
조선사/운송사	- CO_2전환 메탄올 사용성평가, 수요공급 예측모델 및 경제성 평가
CCU 인증기관/대학교	- 해당 기술 CCU 평가 및 인증, 기술경제성 분석 및 감축방법론 개발

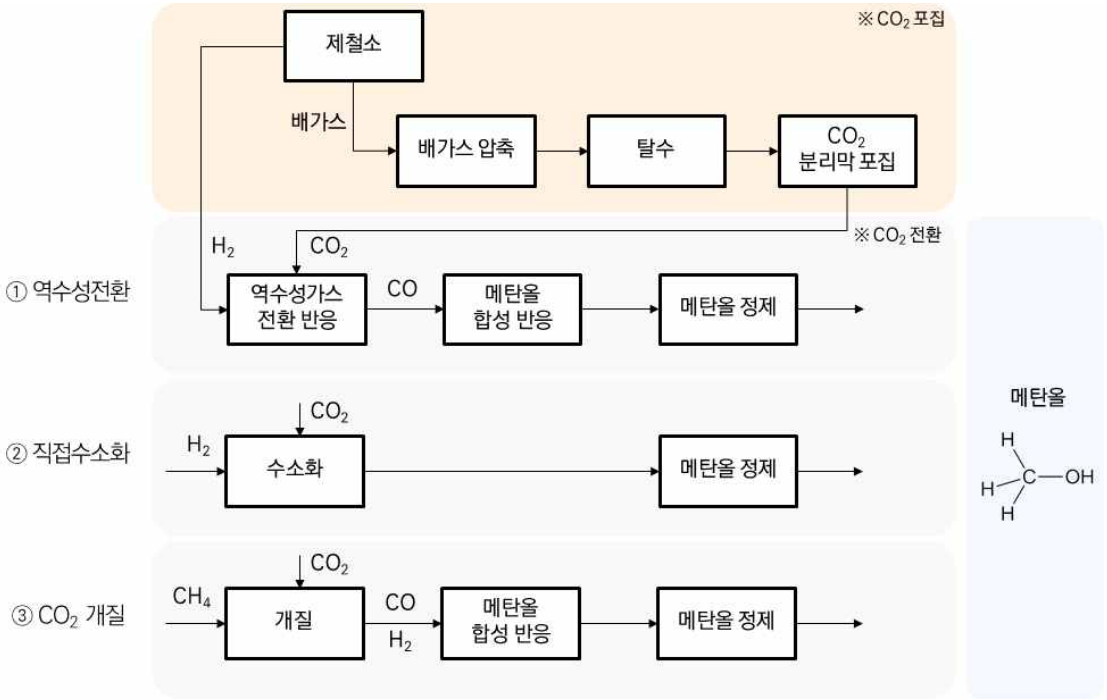
5. 물질 에너지 수지 및 공정도(PFD)

□ 물질에너지 수지(1일, 1ton CO_2 투입시 생산물 및 부산물)

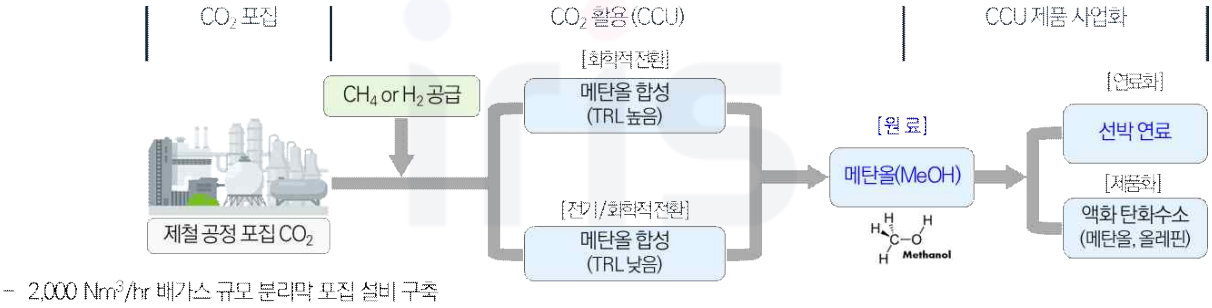


□ 공정도 흐름도(PFD)





❍ 온실가스 감축을 위한 제철 공정 배가스내 CO2활용 메탄올 생산 기술 실증 개발



- 2,000 Nm^3/hr 배가스 규모 분리막 포집 설비 구축

6. 최종성과물

□ 연관 분야

적용 산업	타겟 시장	최종 구매자 업종(기업)
철강, 시멘트, 석유화학, 정유, 플랜트	저탄소 연료, 화학용제, 플랫폼 유기물	화학사, 석유화학사, 정유사

□ 목표 감축량

CO_2 배출원	최종 제품		목표 감축량 (톤/년)
	제품명	생산량(년)	
동남권 산업단지 내, 온실가스	메탄올	-	5,500

□ 산정 방법 및 근거

❍ 목표 감축량: 배가스 CO_2 20%기준 2,000 Nm3/hr 포집 설비 활용
(회수율 90% 기준, 가동시간 325일)

7. 기대효과 및 파급효과

❍ CO_2 감축 효과 기대

- 동남권 산업단지 내, 산업계 온실가스 포집·활용을 통해 연간 5,500톤 CO_2 감축 기대
- 환원제 다양화 및 에너지 효율 향상을 통한 고효율 CO_2 기반 메탄올 기술 확보를 통한 온실가스 감축 기여

❍ 산업분야 탄소감축 조기 실행

- 검증된 기초기술의 산업현장 실증적용을 통해 신뢰성 확보하여 산업계 탄소감축 조기 실현 가능

❍ CCU 벨류체인 확보

- 산업계 발생 CO_2의 선박 연료 전환 활용을 통해 산업계-선박 CCU 벨류체인 형성 가능
- 메탄올 기반 석유화학 기초유분(올레핀 등) 생산 활용을 통한 석유화학 CCU 벨류체인 형성 가능

8. 개발기간/예산/인력

예상 개발 기간(년)	정부출연 연구비, 참여 인력(억 원 / 명)								
2025년 ~ 2030년 총(6년)	사업 년도		'25	'26	'27	'28	'29	'30	합계
	사업비 (억 원)	국고	15	20	100	30	25	10	200
		민자	15	20	100	30	25	10	200
		소계	30	40	200	60	50	20	400
	참여 인력 (명)	박사급	8	8	9	9	10	10	54
		석사급	8	9	9	10	11	11	58
		학사급	4	4	5	5	6	6	30
		소계	20	21	23	24	27	27	142

9. 해외 활용 여부

- 선박·항만 메탄올벙커링 사업 진출 기반 마련
- 협력 파트너십을 통해 CO_2 활용 기술 통합 패키지 개발 및 기술 수출
- 재생에너지가 풍부한 개도국과 연계하여 국외감축사업 추진

10. 기타 특기사항

- 실증규모 연구수행을 위한 부지확보 필요
- 본 과제는 원천기술 개발, 스케일 업을 통한 벤치/파일럿 통합 실증, 고객평가 등 제품 개발까지 복합적으로 진행해야 하는 과제이기 때문에 산/학/연 혹은 산/학 협업이 필수적임

2 대체 시멘트 및 건설소재

2. (광물) 제철 슬래그 활용 CO_2 저감 건설소재 생산 및 활용 기술

과제 개요		
전략 과제	대체 시멘트 및 건설소재	
세부 과제명	제철 슬래그 활용 CO_2 저감 건설소재 생산 및 활용 기술	
사업 권역	□서부권, □남부권, □중부권, ■동남권	
기술 유형	□화학적전환 □생물학적전환 ■광물탄산화	
적용 산업	철강, 건설	
최종 제품	CO_2 광물화 건설소재	
산출물	온실가스 감축목표	100,000만톤/년

기술 개발 개요								
기술개발단계	□ 기초 □ 응용 ■ 개발 ■ 실증				기술단계	TRL (6)단계		
적용 산업	철강, 건설				최종 제품	CO_2 광물화 건설소재		
기술개발 주체	기업 단독	산+산	산+학	산+연	산+산+연	산+학+연	산+해외	
						○		
기술 개발 규모	연구 개발 기간	2025년 ~ 2030년 (6년)						
	연구비 (억 원)	총연구비	총 500 억원 (국고 300억원 / 민자 200억원)					
		개발년도	2025	2026	2027	2028	2029	2030
		국고	30	60	90	60	30	30
		민자	20	40	60	40	20	20
		소계	50	100	150	100	50	50
	소요 인력	총 소요 인력 (300)명						
기술 개요	기술 정의	포집된 고순도의 CO_2를 사용하지 않고 배가스 내에 포함된 CO_2를 직접 탄산화 반응에 활용함으로써 CO_2 포집에 소요되는 스팀에너지를 저감, 생산된 제품(탄산화 소재)을 골재, 시멘트 첨가제, 콘크리트 제품 등으로 활용하는 기술						
	기술개발 목표	• 제철 슬래그 활용 연 10만톤의 CO_2 저감 기술 실증 package 확보 (사업 기간내 연 3만톤 CO_2 저감 실증) • CO_2 포함 배가스 직접활용을 통한 경제성 향상 및 탄산화물 활용 기술 개발						

1. 기술개발 필요성

□ 기술 개발 필요성

❍ 광물탄산화 기술은 열역학적인 관점에서 CO_2를 가장 안정하게 저장할 수 있는 기술로 다양한 CCU 기술 중 가장 상용화에 근접한 기술로 평가

- CCU 기술은 CO_2의 대량 저장 또는 CO_2의 고부가 화합물로의 전환을 고려할 수 있으며 이중 광물탄산화 기술은 CO_2의 대량 저장과 활용 측면에서 우수한 기술로 주요산업부산물(슬래그, 소각재 등)을 활용 할 경우 환경성과 경제성을 동시에 달성 가능
- 본 기술은 산업 부산물(철강 슬래그)을 활용하여 CO_2와의 반응을 통해 안정한 탄산염을 형성, 이를 건설소재로 활용하는 기술개발 할 계획
- 본 기술은 배가스 내의 CO_2를 분리/포집하지 않고 직접 활용함으로써 CO_2 포집에 소요되는 스팀에너지를 저감할 수 있으며 생산된 제품(탄산화 소재)을 골재, 시멘트 첨가제, 콘크리트 제품 등으로 활용 가능
- 특히, 광물탄산화 기술은 해외에서도 CO_2 대량 처리를 위한 연구 개발이 활발하게 진행되는 분야로 집중적인 지원을 통한 조기 상용화 및 실증이 필요

❍ 과거 진행된 철강 산업 대상 CCU 기술은 BFG 대상 암모니아 수 활용 CO_2 포집 및 포집된 CO_2와 부생가스(COG)를 활용한 합성가스 생산 기술로 고로에서 사용되는 코크스의 사용량을 저감하고자 하는 연구가 진행 됨(POSCO/RIST)

- 포집된 CO_2는 코크스 오븐 가스(COG)와의 반응을 통해 H2와 CO를 생산하고 이를 고로공정에 재사용하고자 연구가 진행되었으며 제철소에서 발생한 고온의 용융 슬래그로부터 폐열을 회수하여 자원화 에너지로 활용하고자 하는 고온 폐열 회수 기술을 실증하였으나 단위 공정 중심의 연구로 유기적인 연계를 통한 CCU 기술의 실증은 이루어지지 않음

❍ 1일 80톤 CO_2 규모 실증 중이나 고농도 CO_2 함유 가스(~70% 이상)가 존재하는 사업장에서만 적용이 가능해 타 사업장 확대적용 및 CO_2 포집 기술과 연계 실증 한계(POSCO/RIST)

❍ 산업특성을 고려한 기술의 전주기 완성 필요

- 각 산업별 특징(CO_2, 폐열, 환원제)과 기술 수준(TRL), CCU 제품의 활용 가능성, 타 사업장으로의 확대 적용, CO_2 감축량 등을 고려한 철강 산업의 여건에 적합한 CCU 기술의 발굴 및 실증을 통한 CO_2 포집-자원화 기술의 전주기 완성 필요
- 산업 특성에 적합한 CO_2 포집 기술과 활용 기술의 대규모 실증을 통한 CCU 기술의 가능성을 확인함과 동시에 해당 기술의 Track Record 확보,기술 성숙도 향상, 타 사업장 확대 적용을 위한 기반 확보를 통한 CCU 통합 실증 및 CO_2 저감에 기여

- 철강 산업은 단일 배출원으로 가장 많은 CO_2를 배출하는 산업으로 국내 온실가스 배출량의 약 16%를 차지하고 있으며 국가 온실가스 배출량 저감을 위해 제철공정에 적합한 CCU기술 개발이 필요(산업부문 38.3%)
- 제철산업은 CO, H2가 풍부한 부생가스(BFG(Blast Furnace Gas), COG(Coke Oven Gas), LDG(Lintz Donawitz Gas), FOG(FINEX Off Gas), FTG(FINEX Tail Gas))를 활용한 CO_2 화학전환 및 부산물(슬래그)를 활용한 광물탄산화 기술 등 대량의 CO_2 저감이 가능한 산업으로 폐열활용 등과 연계한 CCU 기술의 경제성 향상, CO_2 포집과 연계된 CO_2 활용의 통합 기술 실증으로 대량의 CO_2 저감이 가능한 CCU 기술 실증 필요

개발 기술의 산업 분야	현재 포집량(톤/년)	현재 처리·활용량(톤/년)
철강, 건설	-	-

2. 기술개발 목표

□ 최종 목표

❍ 철강 산업 대상 CCU 통합 실증 기술은 철강 산업의 특성, 기술 수요, 기술 성숙도(TRL 5~6이상), 실질적 CO_2 저감 가능 기술로 실증하며 제철산업에 특화된 CO_2 포집 기술과 연계한 자원화 기술 개발로 타 제철소 대상 CCU 기술의 확대

❍ 제철 슬래그 활용 연 10만톤의 CO_2 저감 기술 실증 package 확보 (사업 기간내 연 3만톤 CO_2 저감 실증)

❍ CO_2 포함 배가스 직접활용을 통한 경제성 향상 및 탄산화물 활용 기술 개발

□ 단계별 목표

1단계('25 년 ~'27 년)	2단계('27 년 ~ '30 년)
• 일 10톤/일급 탄산화 기술 실증	• 일 100톤/일급 탄산화 기술 실증
• 탄산화 제품 활용 방안 및 현장 실 테스트	• 탄산화 제품 KS 규격 인증
• 탄산화 제품 KS규격 대응 방안 도출	• CO_2 저감 인증 방법론 등록
• LCA 평가를 통한 CO_2 저감량 평가	• 일 300톤/일급 탄산화 기술 package化 및 기술 확대 보급

□ 성능목표

성과지표	현 수준	개발 목표					
		'25	'26	'27	'28	'29	'30
CO_2 저감량	10kgCO_2/일	-	-	1톤/일	10톤/일	100톤/일	100톤/일
슬래그 활용방안	건	-	1건	2건	-	-	-
KS 규격	건	-	-	-	-	2건	
인증방법론	건	-	-	-	1건	-	-

3. 기술내용 및 범위

❍ 배가스 직접 활용 제철 슬래그 탄산화 기술 실증

- 광물탄산화 속도 향상 및 CO_2 고정화량 극대화를 위한 전처리 및 공정 기술 개발
- 100톤/일 급 슬래그 광물탄산화 공정 실증
- 300톤/일 급 슬래그 광물탄산화 공정의 기술 package화 및 확대 적용

❍ 슬래그 탄산화 제품의 활용 방안 도출

- 탄산화 제품 활용 현장 실증 테스트
- KS 규격 인증을 통한 탄산화 제품의 시장 확보

❍ 슬래그 탄산화 기술의 LCA 평가를 통한 CO_2 저감량 평가

- LCA 방법론을 통한 CO_2 저감량 평가
- CO_2 배출량 저감 인증을 위한 방법론 수립 및 인증

〈슬래그 직접 탄산화를 통한 건설소재 개발 개념도〉

4. 기술개발 추진방법 및 주체

□ 기술개발 추진전략

❍ 철강 산업과 건설 산업의 연계를 통한 광물탄산화 기술 구현 및 광물탄산화 제품의 대용량 활용 기반 구축

- 철강산업

·철강 산업 발생 CO_2 및 슬래그를 활용한 광물탄산화 슬래그 제조 및 CO_2 저감량 극대화 기술 개발

- 건설산업

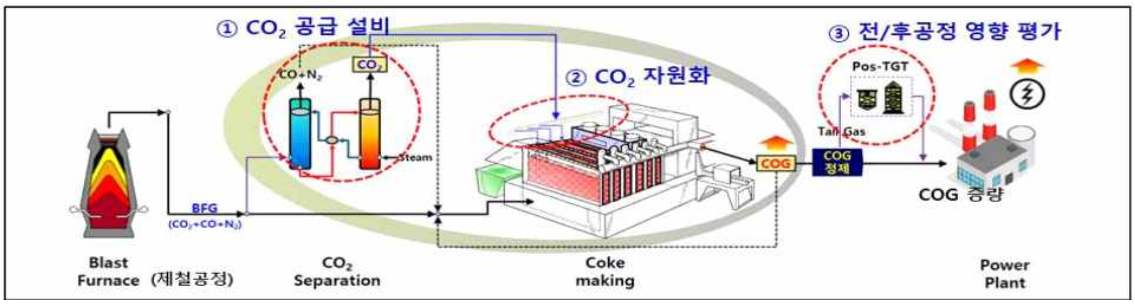
·탄산화 슬래그의 특성 분석 및 용처 개발을 통한 안정적인 CCU value chain 구성

□ 기술개발 주체

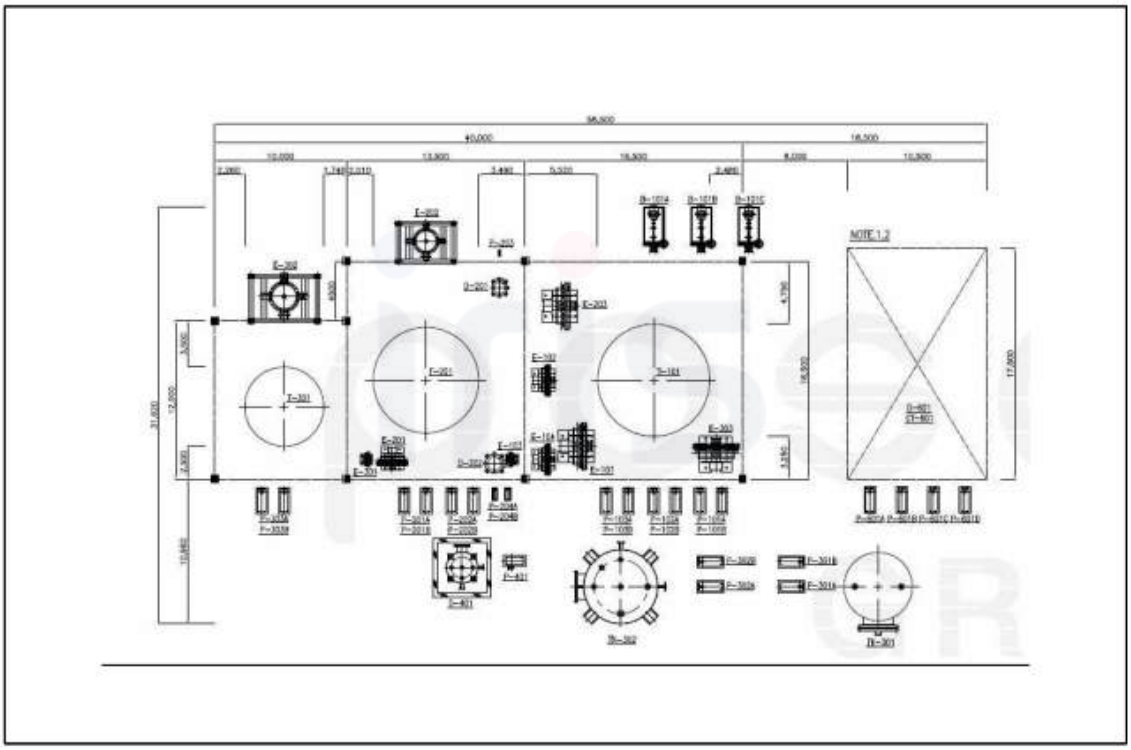
단독 개발	산+산	산+학	산+연	산+산+연	산+학+연	산+해외
( )	( )	( )	( )	( )	(O)	( )

5. 공정흐름도(PFD) 및 잘비리스트

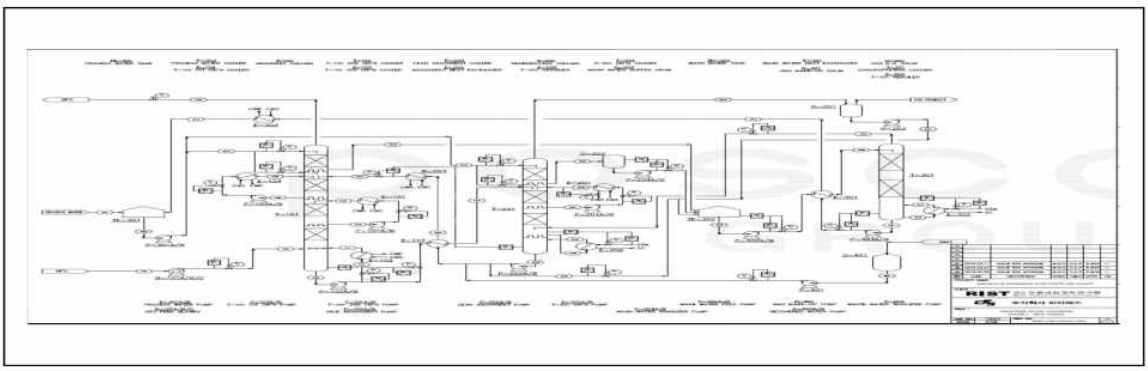
□ 공정흐름도(PFD)



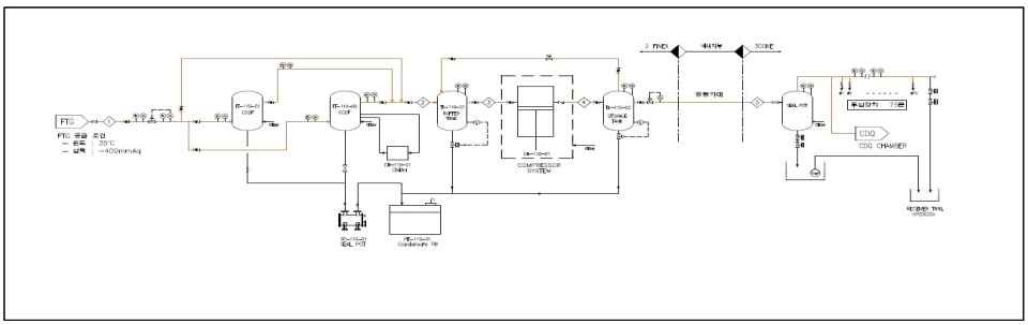
❍ Lay-out 초안



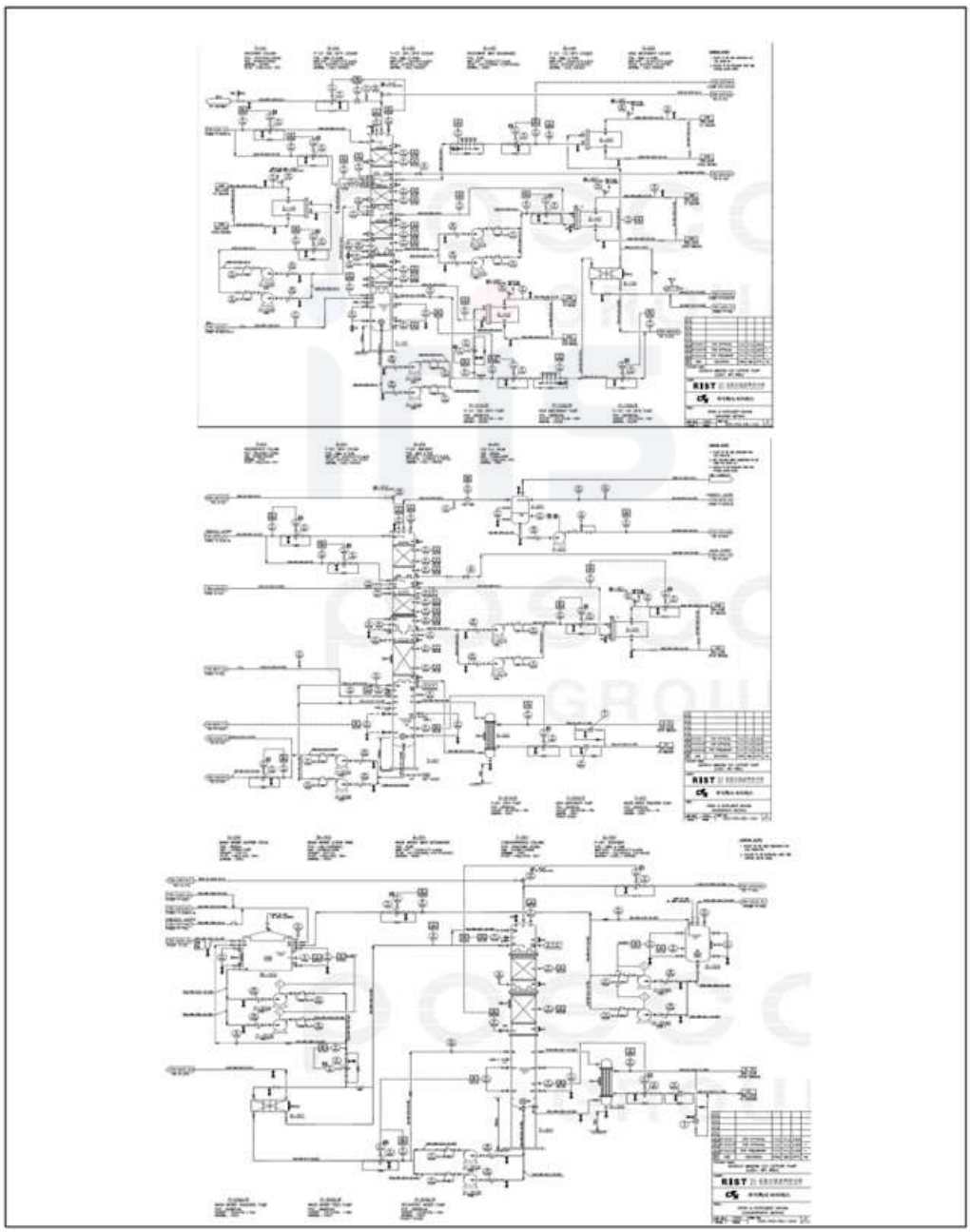
❍ CO_2 공급공정



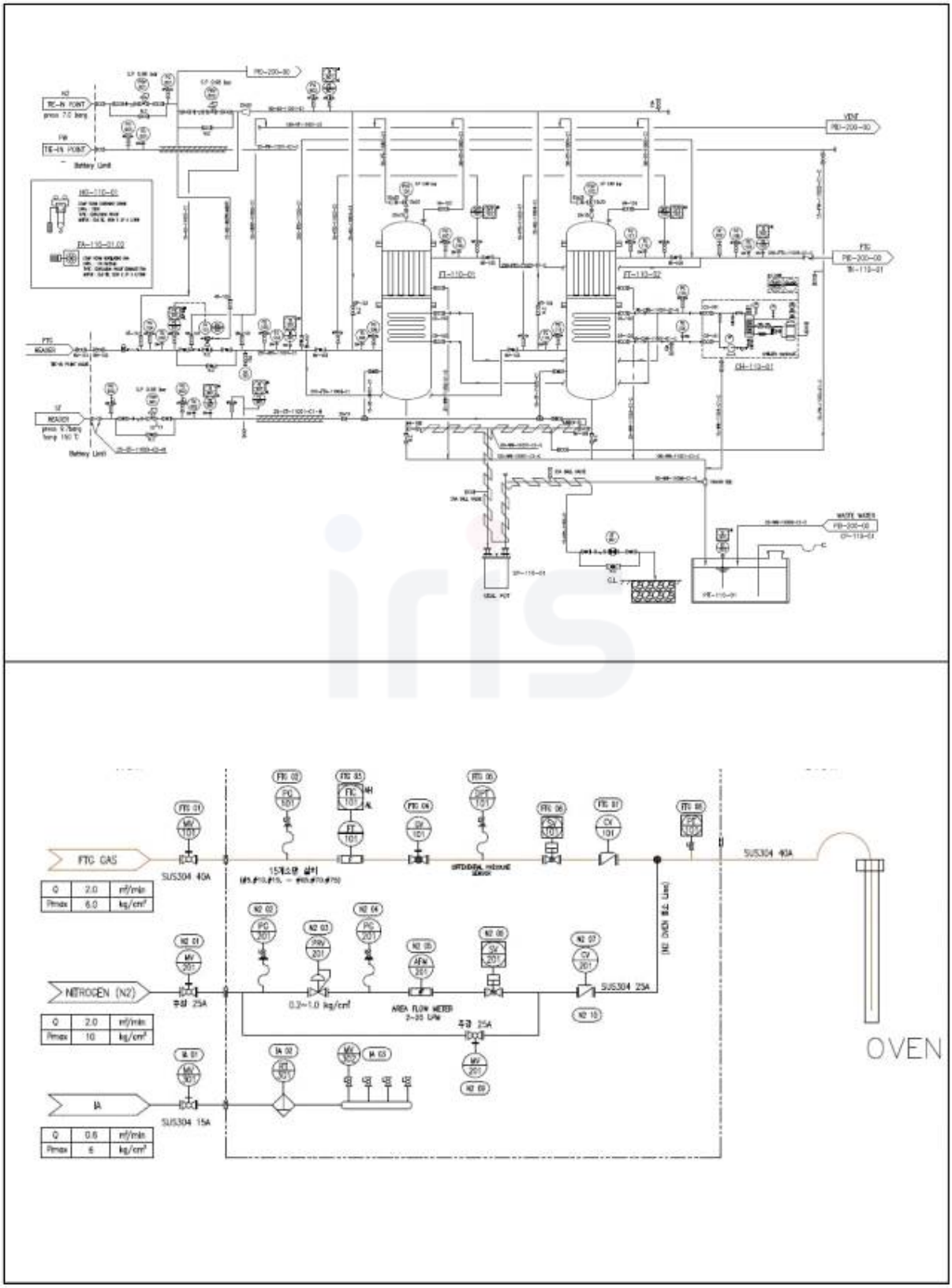
❍ CO_2 자원화 설비



❍ CO_2 공급 설비



❍ CO_2 자원화 설비


FTC GAS
SUS304 40A
Q 2.0 ㎥/min
Pmax 6.0 kg/㎠
NITROGEN (N2)
SUS304 25A
Q 2.0 ㎥/min
Pmax 10 kg/㎠
IA
SUS304 15A
Q 0.6 ㎥/min
Pmax 6 kg/㎠
SUS304 40A
SUS304 25A
OVEN

□ 장비 리스트

CO_2 supplement system	Blower
	CO_2 absorption vessel
	CO_2 production vessel
	solvent concentration vessel
	pump
	reboiler
Filtering Part	Compressor
	Buffer Tank
	Storage Tank
	CCDF
	COG Burner
기계설비	Air dryer
	Seal Port receiver tank
	수중펌프
	장입노즐
	장입 frame
전기계장	Panel
	DCS
	CO-PLC
	Cable
	압력/차압계 도입관 및 피팅
	계장기기(유량계, 압력계, 온도계)
배관	Air & gas trap
	N2 line
	CO_2 공급 배관
	IA 취입 배관

6. 최종성과물

□ 연관 분야

적용 산업	타겟 시장	최종 구매자 업종(기업)
철강	철강 산업	포스코, 현대제철
건설	건설 시장(골재, 건축 재료)	건설사(포스코건설, GS건설 등)

□ 목표 감축량(100,000톤/년)

CO_2 배출원	최종 제품		목표 감축량 (톤/년)
	제품명	생산량(년)	
예타를 통해 실증가능한 목표 감축량은 철강 제조 산업 대상	탄산화 슬래그 제품을(플라이 애쉬 대체 건설소재)	40만톤/년 규모로 생산하여	(2.1만)톤 전처리 공정의 에너지 소모에 의한 penalty 30% 제외 30,000 x 0.7 = 2.1만톤/년
예타 이후 확대 적용으로 가능한 감축량은 국내 철강 제조 산업 대상	탄산화 슬래그 제품을(플라이 애쉬 대체 건설소재)	300만톤/년 규모로 생산하여	(14.7만)톤 전처리 공정의 에너지 소모에 의한 penalty 30% 제외 210,000 x 0.7 = 14.7 만톤/년

□ 산정 방법 및 근거

○ 철강 슬래그 활용 가능량(확대 적용시)

: 연간 발생하는 제강 슬래그 중 도로용과 성복토용(620만톤, '22년 기준)으로 사용하는 슬래그의 50%를 전처리하여 CO_2와의 반응으로 탄산화 슬래그를 제조할 경우 고정화되는 CO_2의 양 (~7wt%)과 슬래그 처리 과정에서 소요되는 전력에 의한 CO_2 발생량을 제외

- 6,000,000톤_슬래그/년 x 0.5 (활용가능량) x 0.07 (CO_2 고정화량) x 0.7 (전처리시 에너지 패널티)
  = 147,000톤/년 x penalty(30%) = **100,000톤/년**

: 탄산화 슬래그 활용에 의한 콘크리트 제품 강도 개선 효과에 의한 OPC(Ordinary Portland Cement) 사용량 저감 효과는 미산정

□ 성과물

특허			세계 최초·최고 원천 기술 확보	논문	고용창출	상용 (제품)화	상용화 사례
국내	해외	3극 특허					
(10)건	(3)건	(2)건	(2)건	(5)건	(20)명	(2)건	(2)건

* (3극 특허) USPTO(미국특허청), EPO(유럽특허청), JPO(일본특허청) 동시 출원 및 등록된 특허

7. 기대효과 및 파급효과

❍ 철강 분야의 탄소 중립 기술을 지원하고 연간 10만톤 급 CO_2 활용 광물탄산화 기술을 구현

❍ 탄산화 슬래그의 안정적인 사용처 확보를 통한 CCU value chain 구축

8. 개발기간/예산/인력

예상 개발 기간(년)	정부출연 연구비, 참여 인력(억 원 / 명)							
2025년 ~ 2030년 총(6년)	사업 년도		'25	'26	'27	'28	'29	'30	합계
	사업비 (억 원)	국고	30	60	90	60	30	30	300
		민자	20	40	60	40	20	20	200
		소계	50	100	150	100	50	50	500
	참여 인력 (명)	박사급	20	20	20	20	20	20	120
		석사급	20	20	20	20	20	20	120
		학사급	10	10	10	10	10	10	60
		기타	-	-	-	-	-	-	0
		소계	50	50	50	50	50	50	300

9. 중복성 및 차별성

□ 중복성 검토

❍ (개요) 슬래그 활용 광물탄산화 기술 및 건설 소재 활용 기술

❍ (중복성) 슬래그 활용내 유리석회(CaO)성분과 CO_2의 반응을 이용한 광물탄산화 기술로 광물탄산화 제품의 활용 기술 개발

❍ (차별성) 기존의 탄산화 반응기는 CSTR 또는 bubble 반응기를 사용하여 입상물질의 유동 확보와 슬래그와 CO_2의 반응 속도가 느린 단점을 가지고 있으나 제안 기술은 탄산화 반응 속도 향상을 위한 CO_2 포집제 적용 및 새로운 탄산화 반응기 형태를 제안함으로 입상 슬래그의 유동에 따른 막힘 등의 이슈를 해결

[유사 중복과제 검토]

부처	과제명	수행 기간	본 과제와의 차별성	연계 추진방안
국토교통부	건설폐기물 및 산업부산물에 액상 촉진 탄산화 기술을 적용한 pH 저감형 건설자재 개발	2013 ~ 2015	슬래그 탄산화를 위한 반응기 형태	탄산화된 산업부산물 및 탄산칼슘 활용 기술과 연계
미래창조 과학부	알카린계 산업부산물의 광물탄산화 연구	2015 ~ 2016	슬래그 중 CaO 성분을 추출한 후 CO_2를 주입하여 광물탄산화함	탄산화 슬래그 및 원료 슬래그의 특성 분석 방법론과 연계
국토교통부	제철슬래그 활용 이산화탄소 영구포집 시멘트 복합체 기술 개발	2017 ~ 2018	슬래그의 콘크리트 제품에 활용하기 위한 기술 개발로 콘크리트 양생기술 (curing 기술임)	탄산화 슬래그 제품화에 해당 연구 결과 활용 가능
중소기업청	제강슬래그의 중화 처리를 통한골재 생산 및 치산화탄소 저감 기술 개발	2011 ~ 2012	이산화탄소를 이용한 슬래그 중화 기술로 수평배수재, 경질탄산칼슘을 제조하는 기술로 직접 탄산화 기술과 상이	슬래그 활용처 개발에 활용
산업통상 자원부	제강슬래그 더스트를 활용한 소걱회 대체용 아스팔트 채움재 개발	2017	제강 슬래그의 활용 방안에 대한 연구로 탄산화 연구와는 상이	탄산화 슬래그 활용처 개발에 활용

□ **연계방안**

❍ 슬래그 활용 광물탄산화 기술은 기존 연구를 통해서도 다양하게 시도되었으며 슬래그 탄산화 효율 향상 및 탄산화 속도 향상 연구가 추가로 필요하며 선행 연구 결과를 활용하여 탄산화 반응기 개선 등의 연구 수행에 활용할 예정임

❍ 탄산화 슬래그의 용처는 플라이 애쉬를 대체하고 탄산화 슬래그 첨가시의 강도 등의 연구 결과 도출이 필요하며 기존 연구에서의 슬래그 활용처와 연계하여 연구 개발 속도를 가속화할 예정임

10. 해외 활용 여부

해당 기술은 국내 철강사가 진출해 있는 해외 제철소(인도네시아, 인도, 중국 등)를 대상으로 적용할 수 있는 기술로 기술의 해외 이전 및 해외 제철소에서 CO_2를 저감함으로써 credit을 국내에 적용하는 CDM 사업으로도 활용 가능

과학기술정보통신부