
이산화탄소 포집·활용(CCU) 기술혁신 로드맵(안)

2021. 6. 15



관계부처 합동

목 차

I. 추진 개요	1
II. 현황 및 시사점	5
1. 정책 및 시장 동향	5
2. 기술개발 동향	8
3. 국내 이슈 및 시사점	16
III. 비전 및 추진전략	18
IV. 세부추진전략	19
1. 분야별 기술혁신 전략	19
2. R&D 투자 촉진	35
3. 제도적 기반 마련	38
4. 실효적인 이행체계 구축	40
V. 향후 계획	41

I. 추진 개요

1 추진 배경

- 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, 탄소 국경세* 등을 통해 저탄소·친환경 경제구조로 전환을 유도 중
 - * EU는 '23년, 미국은 '25년부터 탄소배출이 많은 제품(국가) 수입시 관세 부과 예정
- 탄소중립을 실현하기 위해서는 배출된 CO₂를 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 CO₂를 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
 - ※ CO₂ 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 기술확보 전략 및 관련 R&D 투자도 미비한 상황
 - * (미국) DOE Carbon Utilization Program, (EU) Innovation Fund, Horizon 2020 등

➔ CCU 기술은 탄소중립 핵심수단임에도 기술수준이 낮고, 불확실성이 높아 전략적 투자를 뒷받침하기 위한 중장기 R&D 로드맵 필요

CCU 기술 정의 및 로드맵 범위

◆ (CCU 정의) 에너지, 산업 공정 등에서 배출되는 CO₂를 직접 또는 전환하여 잠재적 시장가치가 있는 제품으로 활용하는 기술

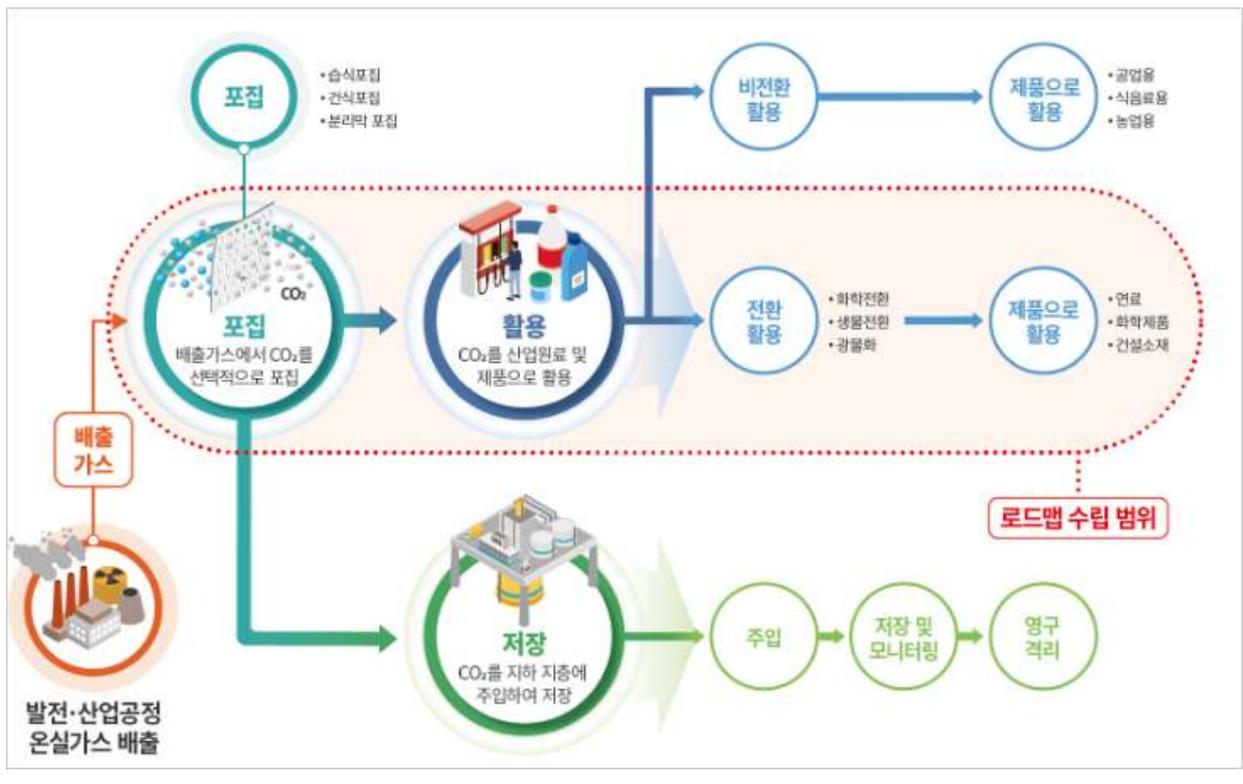
※ CCUS(Carbon Capture, Utilization, and Storage) 기술은 CO₂를 포집·저장하는 CCS 기술 및 포집·활용하는 CCU 기술을 모두 포함

◆ (로드맵 범위) 기술개발 필요성·시급성이 크고, 신시장 창출이 가능한 CO₂ 전환 활용기술에 집중하여 로드맵을 수립

- 공업용, 식음료용 및 농업용 산업가스 등 액화탄산 형태로 활용하거나 원유회수증진(EOR) 기술 등의 직접 활용 기술은 제외
- 주요 기술적 경로*가 CCU 기술과 유사하거나 밀접하게 연계된 CO₂ 외 탄소원(CO, CH₄ 등) 자원화 기술도 포함

* CO, CH₄은 CO₂ 전환반응을 통해 생산 가능한 주요 제품인 동시에, 새로운 제품화 공정의 원료 물질로 활용 가능

< CCUS 기술 개념도 및 CCU 로드맵 범위 >



2 추진 경과

□ ('20.10) 민·관 합동 「CCU 로드맵」 수립 추진체계 구성

※ 과기·산업·환경부 및 각 부처 추천 전문가 등 50여명 참여(다음 페이지 참고)

□ 「CCU 로드맵」 수립 착수

○ (~'20.12) 로드맵 대상 기술범위 확정 및 분류체계 마련

○ (~'21.1) 세부기술 종합 진단

- 정책, 시장·산업, 기술 동향 : 총괄기관 및 분과별 조사·분석
- 정부R&D 투자 : 부처별 전문기관* 조사·분석
 - * 한국과학기술기획평가원, 한국연구재단, 한국에너지기술평가원
- 특허/논문 : 총괄기관 및 특허·논문 조사 전문업체* 분석
 - * 화학연, (주)웍스

○ (~'21.2) 기술개발 목표 및 핵심전략 도출

- 산업계 간담회*(2.4~3.17) : 발전·철강·석유화학·시멘트 업종별 전략방향 의견수렴
 - * 협회·관계기관 간담회 (4회)

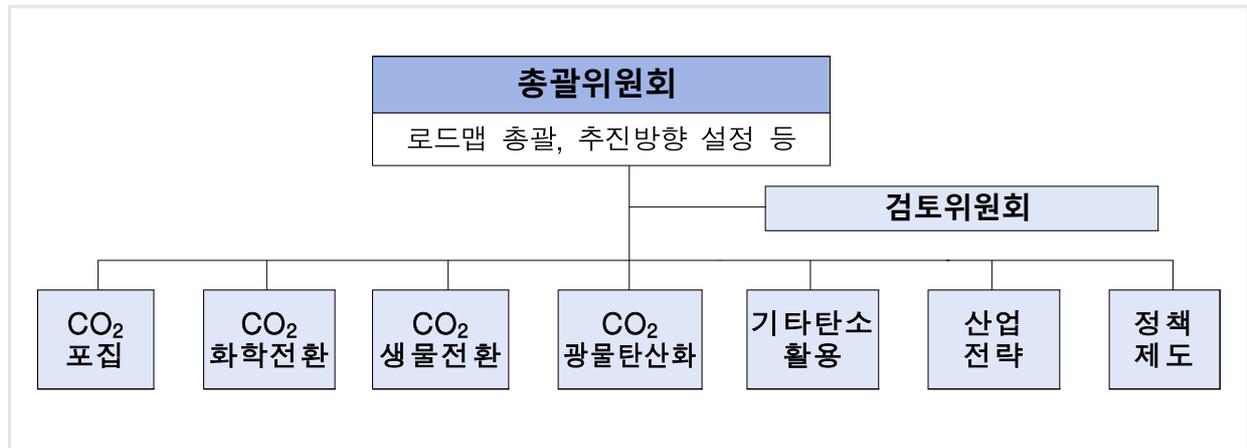
○ (~'21.4) 세부 기술개발 추진전략 도출

- 1차 수요조사(1.10~3.5) : 분과별 기술수요 조사 및 기술개발 전략 의견수렴
- 분과장 회의(2.15, 3.2) : 분과별 기술개발 전략 공유
- 2차 수요조사(3.8~3.31) : 산업 수요조사 및 중점추진분야 의견수렴
 - * 산업계 의견수렴 (2회), 기업설문조사 (1회) 등
- 관계부처 및 전문가 최종 검토(4.1~4.30) : 기술개발 전략 종합 검토

□ ('21.5) 「CCU 기술혁신 로드맵(안)」 의견수렴

- CCU 기술 포럼 개최 (5.20) : 기술홍보 및 산·학·연 관계자 의견수렴
- 관계부처 의견수렴 (~5.31) : 로드맵(안) 공유 및 의견수렴

CCU 로드맵 수립 추진체계



□ 총괄위원회 下 5개 기술분과, 산업전략 분과, 정책·제도 분과 및 검토위원회를 구성하고 로드맵 수립을 추진

○ (총괄위원회) 민간위원장*, 로드맵 총괄기관(화학연), 각 부처** 과장급 공무원, 8개 분과장

* 김재현 공주대학교 교수(前 화학연 원장), ** 과기정통부, 산업부, 환경부

- 로드맵 방향 설정 및 추진 현황점검 등 전체 총괄

○ (분과별 위원회) 각 부처에서 추천한 국내 산·학·연 전문가 약 50여명 참여

※ 그간 CCU 관련 전략 수립을 위해 50여명 규모의 민간 전문가가 참여한 사례는 없었음

- 분야별 현황 진단 및 상세 추진전략 도출 등

분과	역할
5개 기술 분과	<ul style="list-style-type: none"> · 기술개발 현황 및 수준 분석 · 기술의 단계별 목표 및 세부 추진전략 제시
산업 전략 분과	<ul style="list-style-type: none"> · 국내 온실가스 다배출 산업 현황 및 산업별 특성 분석 · 산업계 설문·수요 조사 및 간담회 추진을 통한 주요산업별 의견 수렴, CCU 기술 실증·상용화 전략 제시
정책·제도 분과	<ul style="list-style-type: none"> · 기술보급 및 상용화에 따른 주요 정책적 이슈 분석 · 체계적 기술개발 및 기술상용화 촉진을 위한 법·제도적 지원책 모색
검토위원회	<ul style="list-style-type: none"> · 現 국가 온실가스 배출량 집계기준을 고려하여 '30년 CCU 상용화 제품 원단위 온실가스 감축 기여가능성 검토

II. 현황 및 시사점

1 정책 및 시장 동향

【 정책 동향 】

탄소중립 선언과 함께 CCU 기술개발 투자 및 제도적 지원 강화 노력

- 주요국은 탄소중립을 위한 장기 전략에 CCS 기술과 함께 CCU 기술을 탈탄소 주요수단으로 제시
 - (해외) 미국, 영국, 독일, 일본 등 주요국이 발표한 장기 저탄소 발전전략(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
 - (국내) 장기비전을 제시한 「대한민국 2050 탄소중립전략(‘20.12)」에서 발전·산업 부문 핵심 기술 수단*으로 CCUS 기술 제시
 - * 탄소 배출없는 화력발전, 온실가스 다배출 산업 CO₂ 처리 및 석유화학 원료 전환 등
- 선진국은 CCU 산업 육성을 위한 제도적 지원방안을 마련함과 동시에, CCU 기술개발 투자를 지속 확대 중
 - (미국) ‘45Q Tax Credit’ 정책으로 CO₂를 포집·저장·활용하는 시설에 세액공제* 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 CCU연료를 포함하도록 제도 개선**(‘18.6)
 - * Innovation Fund, Horizon 2020 등, ** Renewable Energy Directive II (‘18)
 - (국내) 「탄소자원화 발전전략(‘16.4)」 수립을 통해 CCU R&D에 지속 투자해 왔으나, 상용화를 촉진하는 제도적 지원책은 부재

해외 CCU 활용 탄소중립 시나리오

※ 현재 탄소중립을 선언한 국가 중 구체적인 시나리오를 제시한 국가는 일부이며, CCU 관련 수치가 있는 주요국(기관) 공개문헌 위주로 정리

◆ 국제에너지기구(IEA) 「Energy Technology Perspectives(‘20.9)」

○ '70년 CCUS 기술은 전세계 총 CO₂ 감축량의 15% 수준을 담당하며, 이를 위해 연간 100억톤 CO₂를 포집·처리 예상

- 포집된 CO₂는 저장(CCS) 분야에서 90%, 활용(CCU)분야에서 10% 처리하는 것으로 예측

※ CCU 기술을 적용하여 CO₂를 합성연료(경유·항공유 등) 생산에 95%, 기타 화학제품(플라스틱 등) 생산에 5% 활용할 것으로 전망

◆ 유럽위원회(EC) 「A Clean Planet long term strategic vision(‘18.11)」

○ '50년 EU의 탄소중립 이행 경로를 기술혁신* 및 라이프 스타일 변화**로 구분하여 제시

* (1.5TECH) 바이오에너지, CCUS 등 기술적 수단에 의존하는 경로

** (1.5LIFE) 순환경제, 소비패턴 변화 등 라이프스타일 변화 고려 경로

○ CCUS 기술은 총 감축량의 27% 수준으로 기여하고, '50년 연간 CO₂ 포집량을 6억톤 규모로 제시(1.5TECH 시나리오 기준)

- 포집된 CO₂는 저장(CCS) 및 활용(CCU) 분야에서 각각 50% 처리 (3억톤)하는 것으로 제시

※ 포집된 CO₂는 합성연료, 플라스틱, 건설소재 생산 등으로 활용될 것으로 전망

◆ 영국 「The UK's contribution to stopping global warming(‘19.5)」

○ '50년 CCUS 기술을 적용하여 총 0.75~1.75억톤 CO₂를 포집·처리 예상

- 포집된 CO₂는 대부분 CCS로 처리하며, CCU를 활용한 구체적인 감축 기여 등에 대한 언급은 없음

【 시장 동향 】

CCU 분야는 시장형성 전단계로, 향후 탈탄소·친환경 정책 강화로 인하여 점진적으로 시장이 형성되어 지속 성장할 것으로 전망

※ CCU 시장은 정책·주변여건에 따라 크게 변동적으로, 조사기관마다 전망치 상이

- 현재 전세계적으로 21개 대규모 상업용 CCUS 설비가 운영중이며, 연간 최대 4천만톤 수준의 CO₂ 포집 중(IEA, '20)
 - 대부분 영구저장(CCS*) 및 석유회수증진(EOR**) 용도로 운영 중
 - * Gorgon Project(~4백만톤/년, 호주), Sleipner Project(1백만톤/년, 노르웨이) 등
 - ** 미국에서 약 9개의 원유회수증진설비(설비당 50만톤~8백만톤/년 규모) 운영 등
 - CO₂를 원료로 연료, 화학제품, 건설 소재 제조산업 등에 고부가 전환·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, 대체 산업·시장 등에 대한 가정에 따라 크게 변동적

< 다양한 CCU 시장 전망 >

조사기관	시장 규모	CO ₂ 활용 규모
Global CO₂ 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)

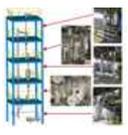
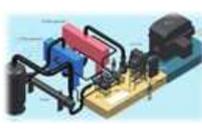
2 기술개발 동향

EU, 미국 등의 선진국을 중심으로 CCU 개발연구가 확대되고 있으며, 건설소재 및 고분자 화학제품 생산 등 일부 기술은 상용단계 진입

1 CO₂ 포집

- (해외) 미국, 캐나다 등에서 연소배가스 대규모* 포집 실증 추진
 - * 미국(240 MW_e급), 캐나다(150 MW_e급)
 - 산업공정에서는 천연가스, 비료가공, 수소생산, 화학산업 포집* CO₂를 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 (3MW_{th}급), 순산소연소 (50MW_{th}급) 등
- (국내) 연소배가스 대상 습식·건식·분리막 기술 중규모 실증 완료
 - * (한전) 습식 10MW_e급, (한전·남부발전·에너지연) 건식 10MW_e급 등
 - 산업공정에서는 시멘트, 제철, 석유화학 분야 벤치급 실증 추진
 - * (에너지연) 시멘트산업 습식포집 10톤/일급, (RIST) 제철산업 습식포집 10톤/일급
 - 연소중 원천분리 기술은 해외와 유사 규모의 실증 연구 수행
 - * (에너지연·한전) 매체순환연소 3MW_{th}급, (한전) 순산소연소 10MW_e급 등

< 국내 CO₂ 포집 기술개발 성과 >

연소 後 포 집	<습식 포집>			<건식 포집>	<분리막포집>
	 보령화력 (10MW _e)	 태안화력 (0.5MW _e)	 성신양회 (일 10톤)	 하동화력 (10MW _e)	 당진화력 (3MW _{th})
연소 中 원천분리	 <매체순환 가스 연소> 0.5MW _{th} 급 실증 완료 3MW _{th} 급 개발 중			 <순산소 연소발전> 10 MW _e 급	

2 CO₂ 화학전환

- (해외) 미국, 유럽에서 CO₂ 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
 - 그 외 유기산, 탄화수소, 탄소소재 등 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

3 CO₂ 생물전환

- (해외) 미국, 유럽 등 주요국에서 최신 생명공학 기술*이 적용된 고효율 산업생산용 균주 개발 진행
 - * 대사공학, 합성생물학, CRISPR-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 핵심 기술 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

4 CO₂ 광물탄산화

- (해외) 미국, 캐나다, 유럽에서 직접탄산화 기반 건설자재* 생산 기술 및 CO₂ 반응경화시멘트·양생기술은 시장 진입단계
 - * (美, Calera) 시멘트 대체제, (美, Solidia) CO₂ 반응경화 시멘트 및 2차제품, (加, CarbonCure) 프리캐스트 및 레미콘 CO₂ 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, CO₂ 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

5 기타탄소 활용

- (해외) 유럽, 중국 등에서 철강 부생가스 내 유용 탄소원을 활용·제품화 하는 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

- 유기성폐기물을 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

주요국 CCU 실증·상용화 사례

국가	기술분야	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(1,000만/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)
	기타탄소 활용	(Thyssenkrupp·BASF) 철강 부생가스 활용 합성가스·메탄올 생산 실증 (Velocys·British Airways·Altalto) 바이오가스 항공유 생산 실증 (500천톤/년, '24)
 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
 캐나다	포집	(Cansolv Technologies Inc.) 화력발전 CO ₂ 습식포집 (150MW급, SaskPower)
	광물화	(CarbonCure) 레디믹스·프리캐스트 및 CO ₂ 직접주입 양생기술 상용화
 중국	기타탄소 활용	(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(GreenPol™) 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)

【 R&D 투자 동향 】

- (해외) 최근 유럽, 미국 등에서 CCUS 기술개발 및 상용화를 위한 R&D 투자가 크게 확대*되고 있으며 대규모 민간투자**도 확대 중

* (英, '20) 12억달러 규모 발전·산업부문 CCUS 인프라 신규투자 발표,
(美, '20) 2억 3천만달러 규모 CCUS 기술개발·보급 신규 지원 발표 등

** (XPRIZE Carbon Removal, '21) 테슬라 CO₂ 포집기술 개발 경연대회 1억달러 투자,
(CarbonXPRIZE, '15~'20) 美·家 발전사 CO₂ 활용기술 개발 경연대회 2,000만달러 투자 등

- (국내) CO₂ 활용 분야 R&D 투자 규모는 지난 10년간 기술수요 증가와 함께 2배 이상 확대 추세('11, 104억원 → '20, 267억원)

- CO₂ 활용 분야 중에서는 화학전환에 대한 투자 비중이 높은 편

< CCUS R&D 투자 현황 (단위 : 백만원) >

연도/구분	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
포집	18,829	26,346	21,629	15,696	18,413	15,791	18,293	15,384	13,601	10,932	
활용	화학전환	7,510	5,720	7,189	4,429	3,457	4,247	9,982	11,164	13,405	17,935
	생물전환	320	2,207	1,980	2,870	3,380	3,499	1,411	1,935	4,801	6,135
	광물탄산화	2,603	2,860	2,873	2,620	2,650	2,463	6,531	9,399	5,250	2,709
	소계	10,433	10,787	12,042	9,919	9,487	10,210	17,925	22,498	23,456	26,779
수송·저장	5,019	21,154	27,940	21,725	21,942	8,271	17,699	9,930	5,892	1,223	
합 계	34,282	58,286	61,611	47,340	49,842	34,272	53,916	47,812	42,949	38,933	

※ NTIS 및 연구관리전문기관(연구재단·예기평) 제공자료를 토대로 재정리

- R&D 연구개발 단계는 화학전환 및 생물전환 분야는 기초·응용 연구, 포집 및 광물탄산화 분야는 개발연구 비중이 높음

< CCU R&D 연구개발 단계('11~'20 누적) (단위 : 억원) >

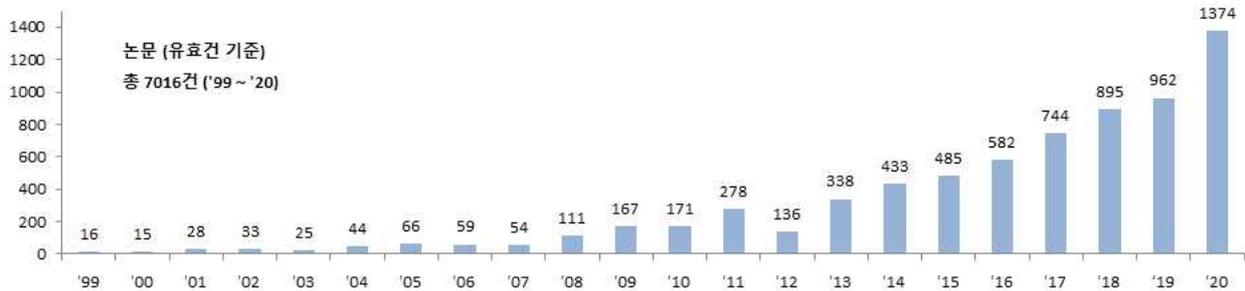
분야	누적 합계	기초연구	응용연구	개발연구	기타	
포집	1,749	380 (22%)	362 (21%)	980 (56%)	27 (2%)	
활용	소계	1,536	438 (29%)	466 (30%)	582 (38%)	50 (3%)
	화학전환	850	300 (35%)	238 (28%)	276 (32%)	36 (4%)
	생물전환	286	85 (30%)	106 (37%)	94 (33%)	1 (0%)
	광물탄산화	399	53 (13%)	121 (30%)	212 (53%)	13 (3%)

【 논문 분석 】

◇ '99~'20년까지 Scopus 데이터베이스에 등재된 CO₂ 포집·활용기술 관련 국내·외 논문 약 7천여건 조사·분석

- CCU 분야 관련 논문은 2000년 이후부터 최근까지 꾸준한 증가세
 - 유럽·중국의 논문 건수가 압도적이며, 뒤이어 미국도 상위권을 차지
 - 주요 분야는 포집 및 화학전환으로, 전체 발표 건수의 94%를 차지하며, 특히 화학전환 분야는 최근 급격히 증가 중
 - 국내의 경우, 논문 발표 건수로는 쏠 분야 세계 5위권 수준
 - 국내 부문별 주요 연구 분야는 포집 분야 중 건식·분리막 기술, 전환분야 중 전기화학·광화학 중심 화학전환 분야 등으로 나타남

< 국가별·분야별 논문 발표 동향 ('99~'20년) >



분야	포집	화학 전환	생물 전환	광물탄산화
국가 (발표건수)	유럽(901건, 1위)	중국(1171건, 1위)	유럽(62건, 1위)	유럽(59건, 1위)
	미국(696건, 2위)	유럽(413건, 2위)	중국(36건, 2위)	중국(52건, 2위)
	중국(691건, 3위)	미국(386건, 3위)	미국(31건, 3위)	미국(31건, 3위)
	한국(230건, 4위)	일본(214건, 4위)	한국(20건, 4위)	한국(21건, 4위)
	일본(135건, 5위)	한국(173건, 5위)	일본(14건, 5위)	일본(3건, 5위)

- 발표 논문의 피인용도를 고려한 질적지표(Q-index*)에서는 미국 및 일본이 우수한 것으로 나타났으며, 국내는 선진국 대비 취약

* 전체논문의 평균 피인용수에 대한 개별주체(국가) 논문의 평균 피인용수의 비

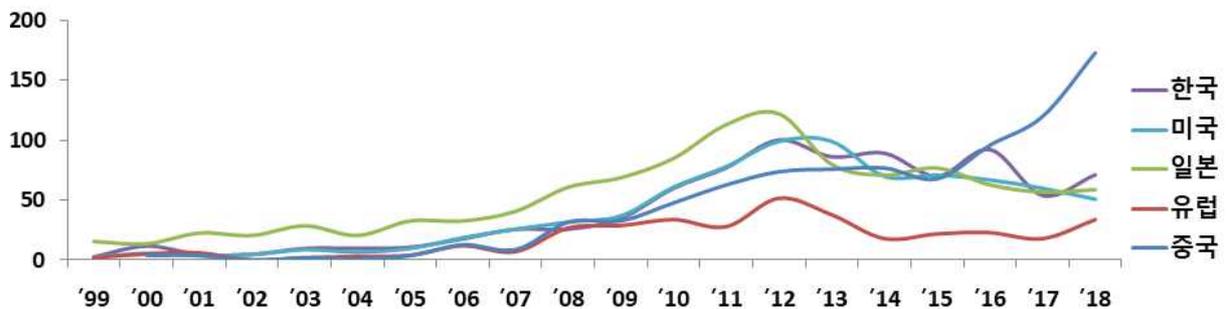
- 미국은 포집 및 화학·생물전환 분야에서, 일본은 광물탄산화 분야에서 품질지수가 평균대비 1.5~2.5배 우수
- 국내는 포집, 화학전환, 생물전환 분야 품질지수는 평균대비 70%, 광물탄산화분야의 경우는 40% 수준으로 매우 취약

【 특허 분석 】

◇ '99~'20.11월까지 출원 및 공개된 CO₂ 포집·활용기술과 관련한 **주요국* 특허 약 9천건** 조사·분석 (* 한국, 미국, 유럽, 일본, 중국)

- 특허 출원수는 2000년부터 지속적으로 증가하는 것으로 보이며, '12년 최대 출원수 이후 반복적인 증감과 함께 꾸준한 출원 경향
 - 일본은 최대 출원점유율(27%) 보유국이나 '13년 이후 감소 추세이며, 최근 4년간 중국이 전체출원의 45%를 차지하며 급격히 성장 중
 - 주요 출원 분야는 포집 및 화학전환으로, 전체 출원의 88% 차지
 - 국내의 경우, 출원건수는 일본의 80% 수준으로 양적 경쟁력이 미국과 유사한 수준이며, 포집 분야가 많은 부분을 차지

< 국가별·분야별 특허출원 동향 ('99~'18년) >



구분	포집	전환			계
		화학	생물	광물탄산화	
전체 출원(건)	2,383	1,449	338	167	4,337
한국 (점유율, %)	496 (20.8)	285 (19.7)	66 (19.5)	49 (29.3)	896 (20.7)

- 특허 피인용도*로 본 기술 영향력은 미국·캐나다 등이 높은 편이며, 우리나라는 중국, 노르웨이, 스웨덴 등에 이어 9위 수준

* 피인용 특허를 표시하는 미국 출원 특허를 기준으로 국가별 피인용도 비교

< 국가별 특허영향력 비교 >

국가	미국	캐나다	중국	노르웨이	스웨덴	일본	스위스	독일	한국
피인용도	17.1	11.7	10.7	8.0	8.0	7.4	6.1	6.0	4.9

3 국내 이슈 및 시사점

- **(R&D 강화)** 온실가스 감축을 위한 노력을 계속하고 있으나 CCU 기술을 확보하기 위한 R&D 투자는 상대적으로 미비
 - 대다수 전환기술은 여전히 기초·원천연구단계에 머물러 있으며, 주요 선진국 대비 기술격차*는 여전히 높은 편
 - * CCUS 국내기술수준 : 최고국(미국) 대비 80%, 기술격차 5.0년(KISTEP, '21)
 - 지난 10년간('10~'19) CCUS 분야 정부 R&D 총 규모는 4,600억원으로 당초 계획 대비 절반*에도 못 미치는 수준
 - * CCUS 기술개발 및 실증에 약 1조 2,000억원 투자 필요(「국가 CCS 종합 추진계획」, '10.7)
 - CCUS 분야의 최근 5년간 국내 R&D 투자 연평균 증가율은 5.6% 수준으로, 주요 탄소중립 기술분야* 대비 낮은 수준
 - * 탄소중립 R&D 연평균 증가율 : 친환경자동차 46.4%, 수소경제 40%, 청정연료·자원순환 9.7%, 수요관리·고효율 9.2% 등(「탄소중립 연구개발 투자전략」, '21.3)

➔ '50년까지 탄소중립 실현을 위한 CCU 기술 기여도를 고려, 중점 기술 확보를 위한 대규모 중장기 R&D 투자 착수 필요

- **(실증 확대)** 국내 일부기술은 응용연구 및 소규모 실증단계에 진입하였으나, 확보된 핵심기술의 상용화 단계로 연계는 취약*
 - * 미국, 영국, 독일 등에서 CO₂ 화학전환 및 광물탄산화 기술 일부가 상용화 단계에 진입하였으나, 국내 상용화 기술 사례 부재
 - 상용화를 위해 대규모 실증이 필요하나, 기존 산업공정에 적용하기 위한 비용과 리스크가 높아* 기업의 참여가 부족
 - * 일부 건축자재 및 화학원료 외에 대부분 기존 석유화학 기반 제품보다 경제성이 떨어지는 것으로 예상(Nature, '19.11.6 게재 논문)

➔ '30년 상용화 가능성이 높은 CCU 중점기술을 선별하고, 성공사례로 연결될 수 있도록 시장 수요를 기반으로 민관 공동개발 노력

□ **(감축량 인정)** CCU 기술적용에 따른 감축기여도 평가방법이 불분명하고, 평가·인증 체계 미흡으로 기술확산·민간투자 유인에 한계

○ '30년 국가온실가스감축기여(NDC)에는 CCUS를 활용한 감축목표가 제시되어 있으나, 배출부문이 특정화되지 않아 현황 파악 불가

※ '24년부터 적용예정인 최신 국가온실가스인벤토리 작성기준(IPCC 2006 가이드라인)에는 CCS 집계안이 포함되어 있으나, CCU 분야 산정방식 부재

○ 민간기업이 CDM* 및 외부 감축사업에 등록 가능한 CCU 감축 방법론이 부재하여 탄소배출권으로 연계되는데 한계

* 청정개발체계(CDM) : 교토의정서에 따라 UN 주도로 운영되는 국제적 온실가스 감축사업 등록제도로서, 개도국 감축사업에 투자하여 발생한 탄소배출권 거래에 사용

➔ CCU 기술의 온실가스 감축효과를 국가인벤토리 및 감축사업에 객관적으로 산정 및 인증할 수 있는 방법론 확립 필요

□ **(지원 제도)** 기업의 CCU 신기술 투자에 따른 위험부담 경감 및 경제적 장애요인을 해소할 수 있는 제도적 지원방안 부재

○ CCU 제품의 시장가 대비 낮은 경제성, 대규모 실증 설비투자 수반, 기존 규제* 등으로 민간기업의 참여유인 부족

* CO₂ 및 CCU 제품(탄산칼슘 등)이 폐기물관리법상 '폐기물'로 정의되어 시장에 거래되거나 현장에 활용되는데 제약

※ (美, 45Q Tax Credit) CCU 관련 시설·설비 투자시 규모에 따라 세제 혜택 차등 부과

○ 다양한 CCU 기술 및 제품군, 공정 등에 대한 체계적인 정보 DB 없이 개별 연구단 및 기업 단위에서 기술개발 추진 중

※ (美, NETL) 다양한 CCU·에너지 관련 기술·공정 및 LCI DB 플랫폼 구축·운영 중

➔ 다양한 민간투자를 유인할 수 있는 인센티브를 마련함과 동시에, 효율적인 기술개발 및 산업 육성을 위한 제도적 기반 구축 필요

Ⅲ. 비전 및 추진전략

VISION CCU 기술 혁신을 통한 탄소중립 실현 및 新산업 창출

정책목표



추진전략

01. 기술혁신 전략

- ☑ 분야별 중점기술 도출
 - ① CO₂ 포집
 - ② CO₂ 화학 전환
 - ③ CO₂ 생물 전환
 - ④ CO₂ 광물 탄산화
 - ⑤ 기타탄소 활용
- ☑ 단계별 R&D 전략

단기(-25)
중기(-30)
장기(-50) 로드맵

02. R&D 투자 촉진

- ☑ CCU 전주기 R&D 확대
 - ① 범부처공동 기획 및 중장기 R&D 지속 투자
 - ② R&D 이어달리기 역량 강화
 - ③ 실증 R&D 확대
- ☑ 민간 R&D 참여 유인

기술지원 플랫폼
+
투자 인센티브

03. 제도적 기반 마련

- ☑ CCU 감축량 산정 기준 마련
- ☑ 온실가스 배출권 연계 CCU 사업 지원
- ☑ CCU 표준·인증 체계 구축
- ☑ CCU 촉진법

04. 실효적 이행체계

- ☑ 민간 협력체계 강화
- ☑ 범부처 역할 분담

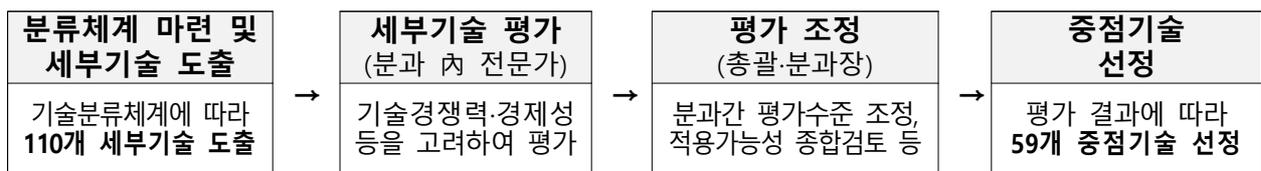
IV. 세부 추진전략

1 핵심기술 확보 전략

【 중점기술 선정 및 전략수립 방향 】

□ 분야별 중점기술 선정

- (기본방향) 다양한 CO₂ 활용기술 중 기술경쟁력, 시장경쟁력 및 온실가스 감축효과 등을 종합적으로 고려하여 중점투자기술 선정
 - (기술분류) 세부기술분야 및 활용탄소원에 따라 CO₂ 포집, 화학 전환, 생물전환, 광물탄산화, 기타탄소(CO, CH₄) 활용으로 분류
 - 적용산업 및 제품 시장수요를 최대한 반영할 수 있도록 배출원 및 CCU 활용 화합물을 기준으로 중분류체계*를 정립
- * 포집 예시 : (기존) 습식·건식·분리막 등 기술적 분류 → (로드맵) 배출원·조성별 중분류
 활용 예시 : (기존) 촉매·전기·광화학 등 기술적 분류 → (로드맵) 전환제품별 중분류 등
- (선정절차) 중분류별로 기술적으로 활용가능한 세부기술을 도출한 후, 기술경쟁력 및 파급효과 등이 우수한 기술을 중점기술로 선정



< 중점기술 선정 기준 >

평가 기준	설명
기술경쟁력	각 세부기술의 현재 기술개발 수준 등을 고려 - 기술개발단계(TRL) - 기술 상용화 시기
시장성	기술 최대잠재력을 고려한 제품의 시장수요 및 경제적 효과 고려 - 잠재적 제품 대체 시장 규모 - 시장성(부가가치) - 상업화 장벽 존재 여부
국내 적용 가능성	국내 여건 및 인프라 등을 고려 - 국내 시장 및 국내 산업계 관심 사항 - 지리적·물리적 여건 및 기타 자원 공급 가능성 - 국내 연구활동도

□ 기술혁신 전략 수립 방향

○ '30년 산업계 적용 가능성을 기준으로 상용화 기술 및 차세대 기술로 구분하여 단계별 기술성숙도 제고 전략 수립

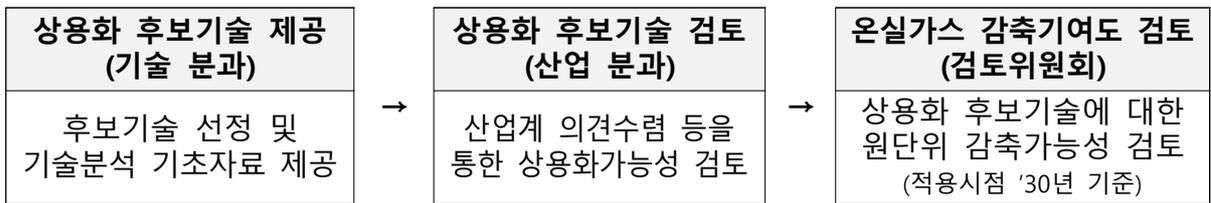
- (상용화 기술) 핵심기술이 확립되어 있고, 경제성, 시장수요* 및 전망, 온실가스 감축효과 등을 고려할 때 '30년 상용화가 가능할 것으로 예상되는 기술

* 업종별 협회 간담회(4회), 주요 업종별 기업 의견 수렴(2회), 기업설문조사 등
 ※ 기술성숙도 및 기술·시장 전망, 시장성(부가가치), 온실가스 감축효과 및 기업 수요 등을 종합적으로 고려하여 선정

⇒ 기술 실증을 통한 조기 상용화 및 보급·확산에 집중

< 상용화 기술·제품의 온실가스 감축효과 검토 >

◆ 現 국가 온실가스 배출 인벤토리 산정방식을 참고하여 상용화 기술(제품)에 대한 '30년 감축기여 인정 가능성을 검토·활용



- (차세대 기술) 중장기적으로 기술 확보 시, 경제적·사회적 파급효과*가 우수하여 '50년 탄소중립에 핵심적인 기여가 예상되는 혁신기술

* 재생에너지 저장 기술, 화학산업 주요 원료·제품 대체 기술, 직접공기포집 (Direct Air Capture, DAC) 기술 등

⇒ 新산업 창출을 위한 한계돌파형 원천기술 확보에 초점

< 기술별·분야별 R&D 추진 전략 >



< CCU 세부분야별 중점 기술 >

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) 습사소 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·화원재 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 (차) 전기화학 기반 유기산 생산 기술 (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 생산 기술 (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 (차) 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 ₂ 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

< CCU 세부분야별 기술혁신 마일스톤 >

* : 정부의 집중지원이 필요한 기간

분야	현 수준	단기(~'25)	중기(~'30)	장기(~'50)	기술개발 목표	
CO₂ 포집	<ul style="list-style-type: none"> ■ 상용급 포집비용 \$60~70/tCO₂ 	연소배가스 포집 실증격상 및 전환 연계 실증	△ 일부기술 중규모 실증	△ 포집-저장 연계 대규모 실증	▼상용화 현장적용 및 상용화	<ul style="list-style-type: none"> ■ 비용 저감 - ('30) \$30/tCO₂ 이하 - ('50) \$20/tCO₂ 이하
		산업 공정가스 및 기타 포집 기술개발	△ 다배출산업별 소규모 실증	△ 포집-활용 연계 중대규모 실증	▼일부기술 상용화 상용화	
		플랫폼화합물 및 고분자 생산 핵심기술개발	△ 일부기술 상용화	△ 포집-저장 연계 대규모 실증	상용화	
		기타 화학제품화 핵심기술개발	▼일부기술 상용화	△ 포집-저장 연계 대규모 실증	상용화	
CO₂ 화학 전환	<ul style="list-style-type: none"> ■ 상용화기술 없음 실험실~파일럿 규모 실증단계 	플랫폼화합물 및 고분자 생산 핵심기술개발	▼일부기술 상용화	상용화	<ul style="list-style-type: none"> ■ 기술 상용화 - ('30) 상용제품군 확보 (10개) - ('40) 주요제품 가격 경쟁력 확보 (現시장가 수준) 	
		기타 화학제품화 핵심기술개발	▼일부기술 상용화	상용화		
		기타 화학제품화 핵심기술개발	▼일부기술 상용화	상용화		
CO₂ 생물 전환	<ul style="list-style-type: none"> ■ 바이오매스 생산단가 \$2.0/kg 	고효율 우수균주 개발	기존대비 CO ₂ 고정율 ◎ 2배 향상 균주 확보	저비용 바이오매스 생산기술 및 대량생산 시스템화 기술개발	대량 생산	<ul style="list-style-type: none"> ■ 바이오매스 생산 비용 저감 - ('30) \$1.0/kg - ('50) \$0.4/kg
		바이오연료 생산 실증기반 구축	◎ 생산성 향상 (25 g/m ² /d)	바이오연료 생산 시스템 구축·실증	상용화	
		기능성 바이오소재 선정 및 제품화 기술개발 실증	△ 생물전환-연료화 연계 실증	기능성 바이오소재 선정 및 제품화 기술개발 실증	상용화	
		기능성 바이오소재 선정 및 제품화 기술개발 실증	△ 생물전환-소재화 연계 실증	기능성 바이오소재 선정 및 제품화 기술개발 실증	상용화	
CO₂ 광물 탄산화	<ul style="list-style-type: none"> ■ 상용화기술 없음 파일럿 규모 실증단계 	직접탄산화 건설·기타소재 생산기술 개발	△ 중규모 실증	△ 대규모 실증	상용화	<ul style="list-style-type: none"> ■ 기술 조기 상용화 - ('30) CO₂ 반응경화 시멘트·건설소재군 (4개) - ('40) 광물탄산화 상용규모 격상
		간접탄산화 소재·제품화 핵심기술 개발	△ 일부기술 중규모 실증	고부가화 기술개발 및 공정 최적화	◎ 차세대기술군 일부 실증 상용화	
		간접탄산화 소재·제품화 핵심기술 개발	△ 일부기술 중규모 실증	고부가화 기술개발 및 공정 최적화	◎ 차세대기술군 일부 실증 상용화	
기타 탄소 활용	<ul style="list-style-type: none"> ■ 기타탄소 활용 제품화 기술력 선진국 대비 60~80% 수준 	부생가스 분리·정제 기술개발	▼ 일부 분리·활용 기술 상용화	제품화 기술실증 및 현장맞춤형 기술 고도화	상용화	<ul style="list-style-type: none"> ■ 세계적 수준의 제품화 기술 확보 및 상용화 - ('30) 선진국 대비 기술경쟁력 100% - ('50) 상용화 제품 다변화
		바이오가스 전처리·고질화 기술개발	▼ 일부 고질화 기술 상용화	제품화 기술실증 및 현장맞춤형 기술 고도화	상용화	
		바이오가스 전처리·고질화 기술개발	▼ 일부 고질화 기술 상용화	제품화 기술실증 및 현장맞춤형 기술 고도화	상용화	

【 핵심 분야별 기술혁신 】

1 CO₂ 포집

□ (기술 정의) 여러 물질이 혼합된 배가스에서 CO₂를 포집·분리하는 기술



□ 주요 이슈 및 대응 전략

○ 화력발전 배가스 위주의 중규모 실증기술 개발로, 대규모 상용화에 대한 불확실성 및 타 산업분야 기술 실증 연구사례 부족

⇒ 기개발된 국내 포집 기술의 대규모 실증격상·대형화와 함께, LNG 발전 및 산업 배출원별 최적화된 CO₂ 포집 기술 확보

○ 포집제 재사용을 위한 에너지요구량*이 높고, 이에 따른 기술비용 부담으로 민간 상용화 시도가 제한적

* 상용급 포집 설비의 흡수제 재생에너지 요구량 3.0 GJ/톤-CO₂ 이상

⇒ 비용 저감을 위한 차세대 포집 혁신소재 개발 및 공정 효율화*

* 상용급 포집 설비의 흡수제 재생에너지 요구량 2.0 GJ/톤-CO₂ 이하

○ 미래 기술수요* 증가가 예상되는 한계돌파형 원천기술 연구 미흡

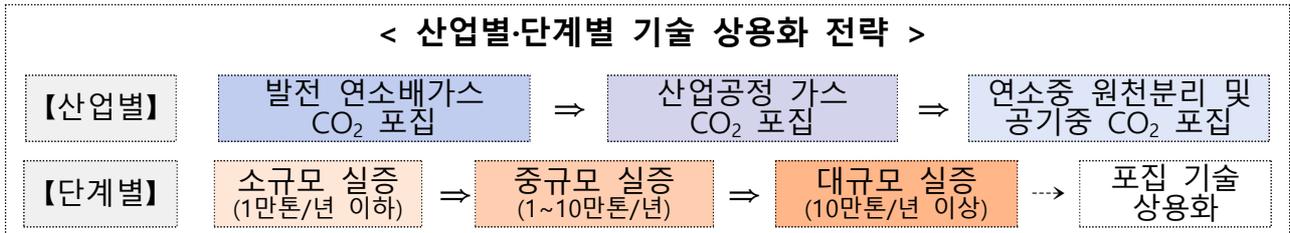
* 공기 중 CO₂ 직접 포집·처리 기술의 '50년 온실가스 감축 기여 전망(IEA, '20)

⇒ 극저농도 CO₂ 포집, 고농도 CO₂ 배출로 포집이 불필요한 연소 중 원천분리 기술 등 차세대 연소·포집 혁신기술 개발 확대

□ 단계별 R&D 추진전략

- (~'25) 기확보 기술을 중심으로 포집원 선정 및 테스트베드 구축 등 발전분야 포집기술 대규모 실증을 위한 여건을 마련
 - 동시에, 철강·석유화학·시멘트 등 발전 외 산업공정에 국내개발 포집기술을 적용·고도화하는 중규모(1~10만톤/년) 실증 추진
- (~'30) 국가 온실가스 감축 기여를 목표로 CO₂ 포집-저장 연계 기술 대규모(>10만톤/년) 실증 및 운영기술 최적화
 - 또한, 산업공정, 바이오·매립지가스 포집기술의 단계별 격상 및 일부 기술상용화*를 추진하고, CO₂ 포집-전환 패키지화 기술 확보
 - * 개질수소 대량생산 공정 연계 CO₂ 포집기술 상용화 등 (40만톤/년 규모)
- (~'50) 차세대 연소·포집기술 상용화* 기술개발을 지속 추진하고, 비용저감**을 위한 혁신소재·공정 확보
 - * (순산소) '40년 기체연료 200 MW_{th}급 상용화, 고체연료 30 MW_{th}급 실증 등 (매체순환) '40년 기체연료 300 MW_{th}급 상용화
 - ** ('50) 상용급 포집 비용 \$20/톤CO₂ 및 DAC 포집비용 \$100/톤CO₂ 이하 등

< 산업별·단계별 기술 상용화 전략 >



< CO₂ 포집 분야 중점 기술 > (범례 : (Ⓢ)상용화기술, (차)차세대기술)

대분류	중분류	중점 기술
CO₂ 포집	1-1. 연소 배가스 포집	(Ⓢ) 중대규모 실증을 위한 포집원·포집기술 선정·설계·테스트베드구축 (Ⓢ) 발전 배가스 대규모 포집 실증·상용화 기술 (Ⓢ) LNG 발전용 포집 기술
	1-2. 산업 공정가스 포집	(Ⓢ) 수소생산공정 배가스 최적 CO ₂ 포집 기술 (Ⓢ) 제철공정 부생가스 최적 CO ₂ 포집 기술 (Ⓢ) 석유화학 NCC 배가스 최적 CO ₂ 포집 기술 (Ⓢ) 시멘트 킬른 배가스 최적 CO ₂ 포집 기술 (Ⓢ) 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

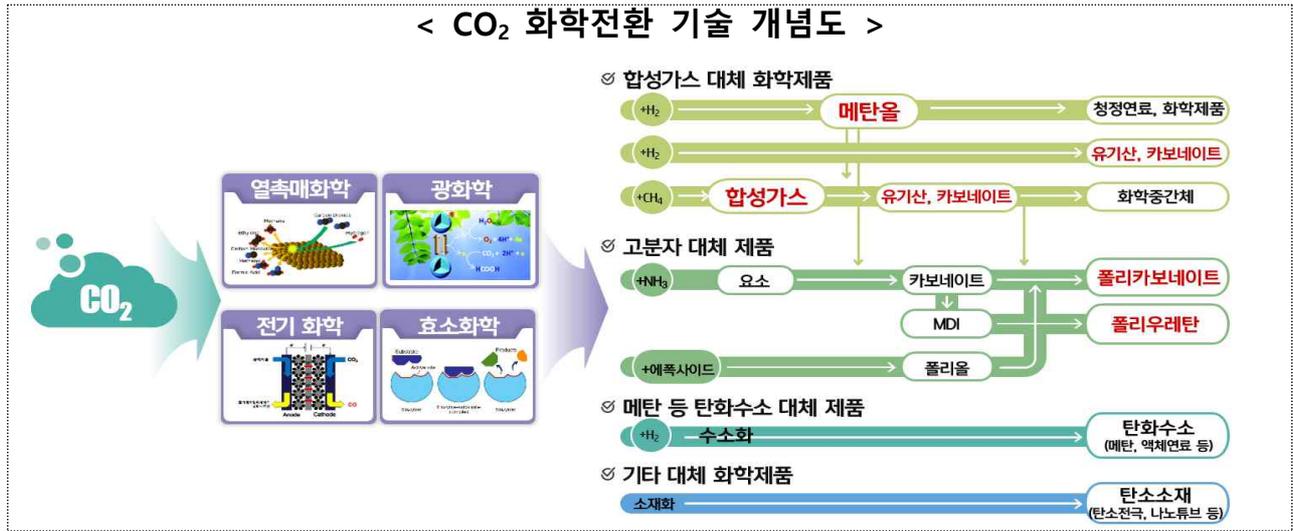
중점기술 마일스톤

* ■ : 정부의 집중지원이 필요한 기간

대분류	중분류	현 수준	단기				중기		장기		기술개발 목표
			~'22	'23	'24	'25	~'27	~'30	~'40	~'50	
연소 배가스 포집 기술	발전분야 중규모실증 (<10만톤/년)	대규모 포집 실증 기반구축	포집-저장 통합실증 연계방안 도출	상용화 (대규모 포집)		- (30) 100만톤/년급 대형 포집 기술 확보 및 비용 저감 (\$30/tCO ₂)					
		LNG 발전 연소배가스 포집 테스트-베드 구축	LNG 대상 포집 중규모 실증	상용화		- (40) 차세대 포집 기술 실증 (~10만톤/년)					
		산업분야 연소배가스 포집 기술개발	포집-전환 연계 실증	상용화							
		고효율-저에너지 차세대 혁신 포집 원천기술 개발	포집 실증	상용화							
산업분야 공정가스 및 합성가스 포집 기술	수소생산 제철 부생가스 소규모실증 (<1만톤/년)	(수소생산·석유화학) 기개발 포집기술 적용 및 고도화	상용화		- (30) 40만톤/년급 CO ₂ 포집 수소생산 기술 상용화						
		(수소생산·석유화학) CO ₂ 포집 신기술적용 및 포집-전환 연계 실증	상용화								
		(철강·시멘트) 중규모 실증 및 최적화 기술개발	포집-전환 연계 중·대규모 실증	상용화							
		공정 개선형 CO ₂ 포집 실증	개선공정 적용	상용화							
바이오가스 매립지가스 포집 기술	메탄 고질화 중규모실증 (3만톤/년)	메탄 고질화 기술 최적화	블루수소 생산/Negative 포집기술	상용화		- (30) 최적화 기술 현장 도입					
		바이오가스/매립지가스 연소중 원천분리 기술개발	1~3MWe 급 실증 기술개발	상용화		- (40) 30만톤/년급 기술 상용화					
연소 중 원천분리 기술	MW _h 급 소규모실증	기체연료 순산소연소 및 매체순환연소 수MWth 급 실증	기체연료 순산소연소 및 매체순환연소 수십~100MWth 실증	100MW _e 이상 대규모 실증 및 상용화		- (30) 100MW _{th} 급 기술 상용화					
		고체연료 순산소연소 실험실 규모 개발	10MWth급 실증	30MWth 급 ↑ 소규모 상용화		- (50) 100MW _e 급 기술 상용화					
		순산소제조 1톤/일급 실증	10톤/일급 순산소제조 실증	100톤/일급 ↑ 상용화							
차세대 포집 기술	기초연구 (실험실규모)	직접공기포집(DAC) 원천기술 개발 및 프로토타입 시연	소규모 실증	실증 격상		- (40) DAC 포집 비용 \$100/tCO ₂					
		저농도(1~3%) 포집 및 BECCUS 원천기술 개발 및 실증	대량배출원 적용 및 실증	실증 격상		- (50) 저농도 포집 기술적용, BECCUS 실증					

2 CO₂ 화학전환

- (기술 정의) CO₂를 반응원료로 활용하여 화학적 전환을 통해 연료·기초화학제품 등의 다양한 탄소화합물로 전환하는 기술



□ 주요 이슈 및 대응 전략

- 다양한 기술적 경로 탐색을 위주로 원천연구가 이루어지고 있어 중·대규모 실증연구로의 연계가 취약하여 국내 상용화 사례가 부재
 - * 열촉매적 전환을 통한 합성가스, 메탄올, 초산 생산 등은 소규모 실증연구 수준
- ⇒ 선택과 집중을 통하여 기확보된 우수 기술의 실증연구를 강화, 상용화 성공사례 창출

< '30년 상용화 화학제품 후보군 >

기술분야	제품군	CCU 화학제품
화학전환	① 플랫폼화합물	① 합성가스, ② 메탄올
	② 유기산	③ 초산, ④ 개미산, ⑤ 옥살산
	③ 유기카보네이트	⑥ 디메틸카보네이트, ⑦ 알킬렌카보네이트
	④ 탄화수소	⑧ 올레핀
	⑤ 고분자	⑨ 폴리카보네이트, ⑩ 폴리우레탄

- 열역학적 한계로 석유화학제품 대비 높은 공정·에너지 비용 소요
 - ⇒ 동시 포집·전환기술, 화학-바이오촉매 융합기술, 기존공정·시스템 연계기술 등 기술간 융합을 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 CO₂ 수소화 핵심기술 개발

□ 단계별 R&D 추진전략

- (~'25) 요소기술이 확립된 플랫폼 화합물(합성가스, 메탄올 등)을 선별하여 통합공정 설계 및 실증규모 확대
 - 한편, 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, 기술의 파급효과*를 최대화할 수 있는 융합연구** 병행
 - * 온실가스 감축효과, 자원순환율, 경제성 향상 등
 - ** CO₂ 동시 포집·전환 기술, CO₂ 무포집 전환기술, 폐기물·부산물 환원제 활용 개질기술, 바이오원료-CO₂ 동시활용 기술(아크릴산 등), 화학-바이오 촉매 융합 기술, CO₂ 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 CO₂ 리파이너리형 기술로 고도화
 - 또한, CO₂ 탄소소재화 기술 등 혁신적 화학전환 연구 집중투자

< CO₂ 화학전환 분야 중점 기술 > (범례 : (상)상용화기술, (차)차세대기술)

대분류	중분류	중점 기술
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 차세대 활용	(차) 탄소소재화 기술 (2차전지소재, 그래핀, 탄소섬유 등) (차) CO ₂ 활용 배터리 기술

중점기술 마일스톤

* : 정부의 집중지원이 필요한 기간

기술	중분류	현 수준	단기				중기		장기		기술개발목표		
			~'22	'23	'24	'25	~'27	~'30	~'40	~'50			
CO ₂ 화학 전환	합성가스	파일럿 실증	CO ₂ 촉매개질 기술고도화		실증 격상		상용화				- ('27) 연 5천톤 이상 CO ₂ 전환 합성가스 생산기술 상용화 - ('40) 가격경쟁력 확보 (現 시장가 수준)		
							△ 5천톤/년 CO ₂ 활용						
			CO ₂ 개질 융합·혁신 기술개발		기술 현장실증		상용화						
							◎ 부산물 활용·무포집 전환·미세먼지 동시저감등						
									전기화학·플라즈마 기반 합성가스 생산기술 고도화		상용화		
									△ 재생에너지연계 실증				
	유기산	파일럿 실증	(개미산) 촉매전환 기술 고도화		실증 격상		상용화				- ('29) 연 2만톤 이상 CO ₂ 전환 개미산 생산기술 상용화 - ('40) 바이오 융합 유기산 제품 상용화		
							(초산) CO ₂ 합성가스·메탄올 기반 촉매전환기술 고도화·실증		상용화				
									150톤/년 규모 실증 △				
			(개미산·옥살산) 전기화학 기술 고도화		실증 격상		상용화						
							아크릴산, 젓산, FDCA 상용화▼						
								CO ₂ 전환 유기산 생산기술 융합 및 고도화		상용화			
								◎ 바이오원료·CO ₂ 활용, 화학·바이오 촉매 융합 등					
카보네이트	파일럿 실증	(에틸렌·프로필렌 카보네이트) CO ₂ 촉매전환 핵심기술개발		포집·전환 연계 기술 실증		상용화				- ('25) 핵심촉매 기술경쟁력 확보 (선진국대비 90%) - ('29) 카보네이트 제품 상용화			
								물성조절 기술 확보◎					
											(디메틸카보네이트) 직접 제조기술 최적화		상용화
알코올 및 알데히드	파일럿 실증	(메탄올) 개질 합성가스 기반 촉매전환기술 고도화		실증 격상		상용화				- ('28) 메탄올 생산기술 상용화 - ('40) 재생에너지 연계 시스템 실증 (100kg/일 CO ₂ 전환)			
								△ Power-to-X 기술 실증					
											(메탄올, 알데히드) CO ₂ 직접 수소화 핵심 기술 개발		상용화
											△ Power-to-X 기술 실증		
										(에탄올) 전기화학 기반 에탄올 합성 핵심기술 개발		상용화	
탄화 수소류	기초연구 (실험실 규모)			(올레핀) 합성가스 기반 촉매전환 올레핀 생산기술 고도화·실증		상용화				- ('30) 연 20만톤 이상 CO ₂ 전환기술 상용화 - ('40) 연 150만톤 이상 납사유 제품 상용화			
								20만톤/년 규모 실증상용화 △					
											(합성연료·납사유) CO ₂ 전환 촉매·공정 핵심기술 개발		상용화
											△ Power-to-X 기술 실증		
										차세대 연료·올레핀·방향족 생산기술 개발		상용화	
										◎ 태양광 직접활용·고온플라즈마·전기분해 기술 등			
고분자	기초연구 (실험실 규모)	(폴리우레탄) CO ₂ 촉매전환 핵심기술개발		제품화 기술 고도화		상용화		상용제품 확대		- ('28) 고분자 제품 상용화			
											물성조절 기술 확보◎		
										엔지니어링 플라스틱 확대◎			
										(폴리카보네이트) CO ₂ 촉매전환 핵심기술개발		상용화	
탄소소재 및 차세대활용	기초연구 (실험실 규모)									탄소소재 상용화 ▼			
										(탄소소재) CO ₂ 전환 탄소전극 및 탄소섬유 제조기술 개발			
										(Li-CO ₂ 배터리) Li-CO ₂ 배터리용 전기화학 촉매기술 개발			
										일부 실증 △			

3 CO₂ 생물전환

□ (기술 정의) CO₂를 생물학적으로 고정하여 미세조류* 바이오매스를 생산하고, 이를 바이오연료·바이오소재 등으로 제품화하는 기술

* 담수·해양계에 서식하는 단세포 광합성 생물의 통칭으로, 종류가 다양하고 증식주기가 빠름



□ 주요 이슈 및 대응 전략

○ 균주의 CO₂ 전환율(고정화율)이 낮고, 저농도 미세조류 배양으로 인하여 바이오매스 회수 공정(수확 및 건조) 에너지 소비 과다

⇒ 고효율 CO₂ 전환 및 고농도 바이오매스 생산을 위한 우수균주* 스크리닝 시스템 구축·활용하여 고효율** 생물전환 기술 확보

* 온실가스 배출원별 CO₂ 전환율 극대화 균주, 국내 사계절 고농도 생산 균주, 효능 기반 고부가 유용물질 생산성 증진 균주 등

** CO₂ 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 (소재) 유용소재별 고농도 생산·회수기술, 기능성 식품·화장품, 사료화 기술 등

□ 단계별 R&D 추진전략

- (~'25) 대규모 생물전환 균주개발 및 고농도 배양조건 확립, 고효율 생물 배양기 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

< CO₂ 생물전환 분야 중점 기술 > (범례 : (상)상용화기술, (차)차세대기술)

대분류	중분류	중점 기술
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 (EVA 등)

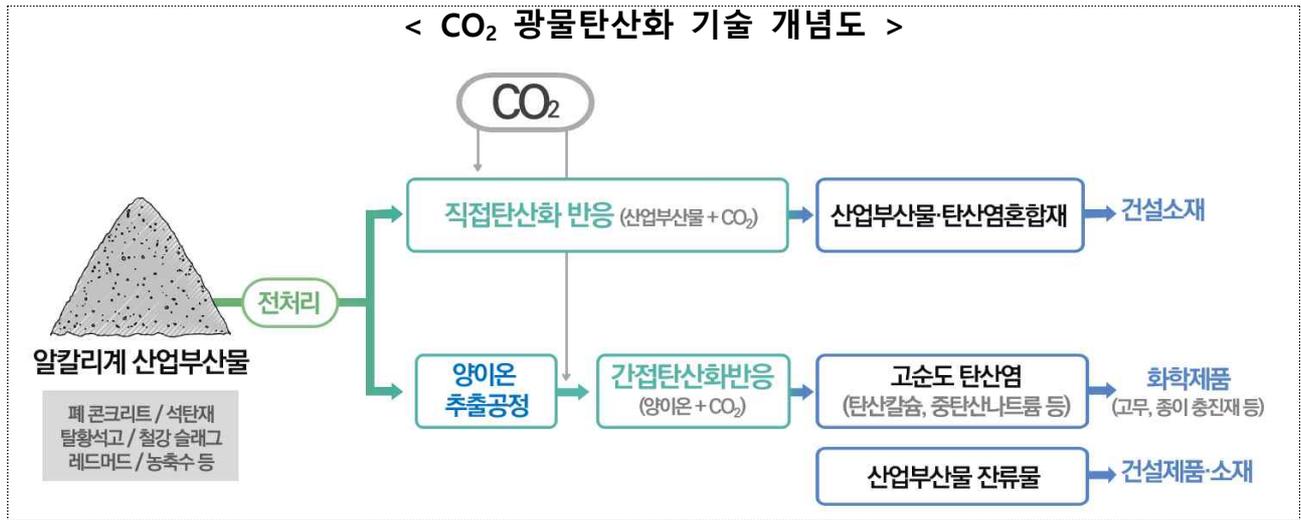
□ 중점기술 마일스톤

* ■ : 정부의 집중지원이 필요한 기간

기술	혁신기술 (중분류)	현 수준	단기				중기		장기		목표
			~'22	'23	'24	'25	~'27	~'30	~'40	~'50	
생물 전환	바이오매스 (BM) 생산	바이오매스 생산단가 \$2.0/kg	고효율 생물전환 균주개발(배출원·소재별 활용률 극대화)				상용화		연료화 대규모 실증연계		- ('30) BM 생산단가 \$1.0/kg 배가스 기준 CO ₂ 전환율 40% - ('50) BM 생산단가 \$0.4/kg 배가스 기준 CO ₂ 전환율 60%
			CO ₂ 고정율 현수준대비 2배이상 향상								
			고농도 대량생산 및 고순도 회수 시스템화 기술개발				상용화				
	바이오연료화	항공유 생산단가 \$10.0/L	저에너지 바이오매스 추출 및 바이오디젤 생산 기술개발 (반응기 개발 및 실증기반 구축)				CO ₂ 생물전환-생산 연계 소규모 실증		기술 고도화 및 중·대규모 실증		- ('30) 바이오디젤 및 항공유 생산단가 절감 (\$5.0/L) - ('50) 기존제품대비 가격경쟁력 확보 (現 시장가 수준)
			고지질 생산성 산업균주 확보				연소배가스 100 Nm ³ /h 실증		기타 산업분야 실증		
			미세조류 기반 항공유 생산기술개발 및 실증기반 구축				CO ₂ 생물전환-생산 연계 소규모 실증		기술 고도화 및 중·대규모 실증		
	바이오소재화	천연유래 색소 시제품 출시	미세조류 기반 발전용 혼소연료화 기술개발 및 실증기반 구축				CO ₂ 생물전환-생산 연계 소규모 실증		기술 고도화 및 중·대규모 실증		- ('30) 바이오소재 중규모 기술 상용화 - ('50) 비용 저감 (생산단가 現 수준 대비 50%)
			바이오연료 혼소비용 및 연소조건 최적화				연소배가스 100 Nm ³ /h 실증		바이오혼소연료 상용화		
			카로테노이드 생산 핵심기술 개발				중규모 실증		상용화		
	바이오소재화	오메가지방산 시제품 출시	DHA, EPA 생산 핵심기술 개발				중규모 실증		상용화		- ('50) 비용 저감 (생산단가 現 수준 대비 50%)
			고효율·대용량 소재 회수기술 확보				연소배가스 200Nm ³ /h 실증		▲2중↑ 제품상용화		
		동물·어류사료 시제품 출시	사료생산 핵심기술 개발(생산성 모니터링 및 최적 조성 확보)				중규모 실증		상용화		- ('30) 비용 저감 (기존 소재 대비 50%) - ('50) 상용화비용 저감 (기존 소재 대비 10%)
전사 바이오매스 활용기술 확보				연소배가스 200Nm ³ /h 실증		▲2중↑ 제품상용화					
바이오소재화	플라스틱소재 기초연구단계 (실험실 규모)	EVA-filler 생산 핵심기술개발(소재블렌딩, 반응조건최적화)				전환-생산연계 소규모실증		중·대규모 실증		- ('30) 비용 저감 (기존 소재 대비 50%) - ('50) 상용화비용 저감 (기존 소재 대비 10%)	
								기존제품 대비 물성 향상			

4 CO₂ 광물탄산화

□ (기술 정의) CO₂를 탄산염 형태로 전환하여 광물화하는 기술



□ 주요 이슈 및 대응 전략

○ 선진국 대비 CO₂ 광물화 반응생성물의 **제품화*** 연구가 부족하고 제품 산업적 활용처 불분명

* 시멘트·콘크리트 대체제, 건설소재 등으로 저·고농도의 CO₂를 양생·반응에 활용, 온실가스 감축 및 CO₂ 고정화율 향상 등

⇒ 산업적 활용처가 분명하고 온실가스 감축효과가 큰 광물탄산화 제품군 발굴 및 단계적 실증을 통해 상용화 기술 확보

< '30년 상용화 무기탄산염 제품 후보군 >

기술분야	제품군	CCU 무기탄산염 제품
광물탄산화	① 시멘트 및 건설소재	① CO ₂ 양생 및 반응경화시멘트, ② CO ₂ 광물화 건설소재
	② 무기탄산계화합물	③ 탄산칼슘, ④ 중탄산나트륨(NaHCO ₃)

○ 간접탄산화 기술은 산업부산물 내 유효성분(양이온) 추출* 등으로 전체 공정·에너지 비용이 높아 산업 내 기술적용에 한계

* 페콘크리트, 제철 슬래그 등 산업부산물 내 알칼리 금속양이온(Ca²⁺, Mg²⁺ 등) 추출

⇒ 가용 산업부산물별 저에너지 추출기술 및 최종 탄산염 제품의 고부가화 핵심기술 개발을 통하여 경제성 개선 노력

□ 단계별 R&D 추진전략

- (~'25) 해외 상용제품 생산기술 중심으로 국내에서의 상용화 여건*을 마련하고, 부산물별 유효성분의 선택적·경제적 추출기술 동시 확보
 - * CO₂ 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 CO₂ 양생기술, 연소배가스 처리설비 연계한 탈황석고 재활용기술 등
- (~'50) 대규모 CO₂ 처리를 위한 광물화 기술개발 및 탄산화제품 고부가화(Ti복합체, Al 복합체 등) 기술개발 등을 통한 경제성 확보

< CO₂ 광물탄산화 분야 중점 기술 > (범례 : (상)상용화기술, (차)차세대기술)

대분류	중분류	중점 기술
CO ₂ 광물탄산화	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

□ 중점기술 마일스톤

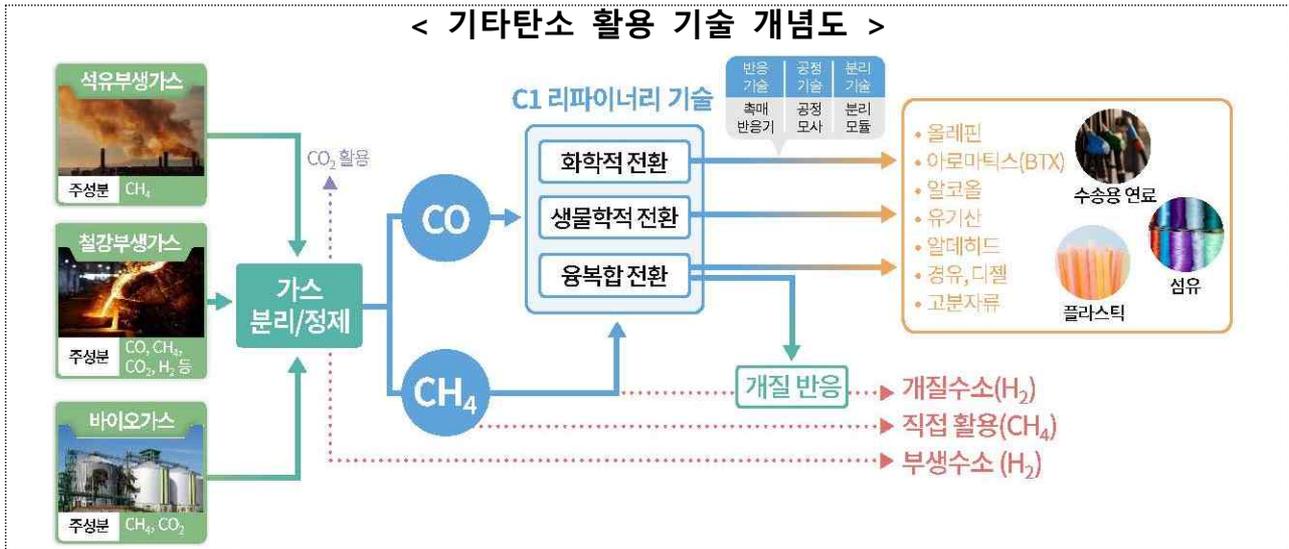
* ■ : 정부의 집중지원이 필요한 기간화화

기술	혁신기술 (중분류)	현 수준	단기				중기		장기		목표
			'22	'23	'24	'25	'27	'30	'40	'50	
광물탄산화	직접탄산화	시멘트 양생 기술 상용화 (국내 기술 기초연구단계)	CO ₂ 활용 시멘트 양생 및 시멘트대체제 제조기술개발		실증 격상		상용화			- (25) 기술 실증 (CO ₂ 활용 300톤/년 규모) - (28) 기술 상용화 (CO ₂ 활용 15천톤/년 규모)	
		건설소재 파일럿 실증 (12천톤/년)	CO ₂ 광물화 건설소재 활용 기술개발		실증 격상		상용화			- (25) 30천톤/년 규모 실증 - (29) 상용공정 사업화	
		탈황석고 벤치급 실증 (1천톤/년)	탈황석고 이용 광물탄산화 실증		공정비용 저감 및 실증 격상		상용화			- (25) 기술 실증 (탈황석고 활용 1만톤/년 규모) - (30) 기술 상용화 (탈황석고 활용 5만톤/년 1)	
		레드머드 (실험실 수준)	레드머드 나트륨 제거 및 탄산마그네슘 생산활용 기술개발		파일럿 규모 실증기술 개발		상용화			- (25) 기술 실증 (레드머드 활용 1천톤/년 규모) - (30) 기술 상용화 (레드머드 활용 1만톤/년 1)	
	간접탄산화	탄산칼슘 (15톤/년)	산업부산물 활용 탄산칼슘 생산 공정비용 절감 기술개발		공정 최적화 및 고부가화 기술개발		상용화			- (25) Ca 추출효율 90% 기술 실증 (60톤/년 규모) - (30) 제지, 페인트 등 PCC 산업 활용	
		중탄산나트륨 (7.5톤/년)	중탄산나트륨 생산기술 실증 (500kg/일 이상)		공정 최적화 및 상용플랜트 설계 (상용공정 적용)		상용화			- (25) NaHCO ₃ 순도 99% - (30) 기술 상용화 (3만톤/년 이상 규모)	
		탄산마그네슘 나트륨화합물 (실험실 수준)	해양 부산물 활용 광물탄산화 기반 기술개발		공정 최적화 및 고부가화 기술개발 및 상용공정 적용		상용화			- (25) 해양부산물 처리 CO ₂ 광물화 공정(3천톤/년) - (50) 기술 상용화	
							▼ 일부 기술 상용화				
									▼ 일부 탄염 제품 산업 활용		

5 기타탄소 활용

□ (기술 정의) 부생가스, 바이오가스 등과 같이 非CO₂계 유용 탄소원*이 포함된 배가스부터 유용 탄소원을 분리하여 활용하는 기술

* 일산화탄소(CO), 메탄(CH₄) 등



□ 주요 이슈 및 대응 전략

○ 부생가스·바이오가스의 발생원에 따라 유용탄소원 조성*, 불순물 성분·함량** 등 조건이 판이하여 범용기술 개발 및 적용에 한계

* 철강부생가스는 COG, LDG, BFG 등 종류에 따라 H₂, CO, CH₄ 조성 판이

** 국내 발생 바이오가스 실록산, 황·질소화합물 등 다량 함유

⇒ 대량 배출산업(철강, 석유화학)을 중심으로, 발생원·조건별로 현장 맞춤형 분리·활용 기술적용을 통한 한계 극복 및 활용 고도화

○ 경제적인 분리·정제 및 CO, CH₄ 리파이너리 기술부재로 인하여 유용탄소원을 단순 연료 등으로 저급 활용

⇒ 고순도·고효율 분리·정제기술을 개발하고, 기개발 C1리파이너리 기술과의 융합을 통해 산업 수요제품*으로의 자원화 기술개발

* 부생가스 활용 수소 제조(증폭), 바이오가스 활용 바이오수소, 합성가스, 메탄올, 석유화학 드롭-인 제품 등

□ 단계별 R&D 추진전략

- (~'25) 저급 활용되는 유용 탄소원을 반응원료로 활용 가능한 순도로 정제하는 경제적인 **고순도·고효율 분리·정제기술*** 우선 확보
 - * 부생가스 CO 분리 1,000 Nm³/h 이상 실증, 바이오가스 황화수소 농도 수ppm 이하 등
- (~'30) **발생원별 부생·바이오가스 분리·고질화 기술 상용화 추진** 및 **C1 리파이너리 기술과의 융합을 통한 제품화 기술 완성도 제고***
 - * PHBH, 올레핀, 고분자 등 주요 제품생산 실증 등
- (~'50) 별도의 전처리 및 분리·정제공정이 필요 없거나, 전환공정에서 에너지 소모가 낮은 부생·바이오가스 **혁신 활용기술 개발**

< 기타탄소 활용 분야 중점 기술 > (범례 : (상)상용화기술, (차)차세대기술)

대분류	중분류	중점 기술
기타탄소 활용	5-1 부생가스	(상) 고순도 CO 분리·정제 용복합 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

□ 중점기술 마일스톤

* ■ : 정부의 집중지원이 필요한 기간

기술	혁신기술 (중분류)	현 수준	단기				중기		장기		목표
			~'22	'23	'24	'25	~'27	~'30	~'40	~'50	
기타탄소 활용	부생가스	CO 분리 파일럿 실증	고효율 CO 분리 핵심기술 고도화 및 고순도 분리 용복합기술 개발				상용화				- ('25) 1천 Nm ³ /h급 실증 - ('30) 기술 상용화
		부생가스 화학전환 파일럿 실증 (일부 실험실규모)	부생가스 화학전환 핵심기술 조기 실증 및 기술 고도화				현장맞춤형 기술패키지화		상용화		- ('25) 일 생산량 수십톤급 기술 실증 - (~'30) PHBH 생산단가 \$2.5/kg
		부생가스 생물전환 기초연구단계 (실험실수준)	부생가스 생물전환 핵심기술 조기 실증 및 기술 고도화				생산성 향상 및 공정비용 저감기술		상용화		- ('30) 3종이상 제품 상용화 (생산성 5~10배 향상)
		플라즈마활용 기초연구단계 (실험실수준)	플라즈마 활용 전환기술 개발 및 실증 고도화						상용화		- ('30) 메탄전환율 60% 경질탄화수소 수율 50%
	바이오가스	소규모상용급 바이오가스 생산발전	전처리·고품위화 기술개발				비용 저감		상용화		- ('25) 1천 Nm ³ /h급 실증 - ('30) 초고순도 CH ₄ 정제기술 상용화 (H ₂ S 농도 수ppm 이하)
	바이오가스 합성가스 및 수소생산 파일럿 실증	스팀리포밍 및 수소생산 기술 실증				현장 적용		상용화		- ('30) 바이오가스 기반 개질 수소생산 상용화	

2 R&D 투자 촉진

【 전주기 R&D 확대 】

① 범부처 공동기획 및 중장기 R&D 지속 투자

- 다부처 '대규모 CCUS 통합실증 지원사업('21~'23, 490억원)*' 수행 체계를 바탕으로 범부처 협업 연구 지속 보완·지원

* 대규모 포집 실증(산업부), 광물탄산화 기술 실증 연계(과기정통부), 온실가스 감축방법론 개발(환경부), CCUS 법제안 마련 및 입법 추진(국조실) 등

- 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	<ul style="list-style-type: none"> • 기술검증이 완료되어 '30년까지 이전 가능성이 높은 주요기술 • 민관합동 대규모 실증을 통해 시장진입 가능 CCU 제품 선정 	<ul style="list-style-type: none"> • 비용 저감 및 감축효과 제고를 통해 상용화 필요 스펙 달성 ※ 예시) 저비용 CCU 플랫폼회합물 생산
2050 차세대 원천 기술군	<ul style="list-style-type: none"> • 탄소중립 사회를 대비하여 선제적으로 확보해야 할 징검다리 기술 • 산업계 미래수요를 기반으로 CCU 요소기술 선정 	<ul style="list-style-type: none"> • CCU 효율성을 획기적으로 제고하는 한계돌파형 감축수단 탐색 ※ 예시) 공기중 포집 → 탄소소재화

- 예타 착수전 시급히 확보 필요한 기술에 대해 시범사업*('22~)을 통해 선제적으로 지원 추진

* (과기정통부) 블루수소 생산용 포집기술 실증, 무포집형 합성가스 전환 원천기술 개발 (산업부) 시장선도형 전략제품(일산화탄소, 메탄올, 폴리카보네이트 등) 생산기술 실증

- 중장기적으로 CO₂ 포집·저장·활용이 연계된 CCUS 통합 클러스터 구축으로 기술 대형화를 통한 경제성 제고

- 배출원, 저장소, 활용처를 효율적으로 연계하는 네트워크 거점을 마련하여 개별기술의 장·단점을 보완하고 CO₂ 활용산업 생태계 조성

※ (영국) CCUS 클러스터를 '20년대 중반까지 2곳, '30년까지 총 4곳을 구축하여 연간 1천만톤 CO₂ 포집 설비 구축·운영 예정('20.11)

② R&D 이어달리기 역량강화

- (투자규모) 최근 정체 상태*인 CCU 분야 R&D 투자를 지속적으로 확대하고 후속연구와 연계 강화

* CCU R&D 투자현황 : ('17) 362억원 → ('18) 379억원 → ('20) 371억원 →('20) 377억원

- 기술성숙도(TRL) 제고, 단계적 실증규모 격상 등 연구 연속성을 안정적으로 유지할 수 있도록 장기 사업 지원

※ 예시) 차세대탄소자원화('17~'21, TRL 23 → 45) → 탄소자원화플랫폼화합물제조('22 신규, TRL 45 → 6)

- (수행체계) 원천연구 사업단별*로 운영 중인 수요기업 협의체를 'CCU R&D 전략협의체' 형태로 통합하여 기술이전 및 교류 촉진

* 탄소광물플래그십, 차세대탄소자원화, Carbon to X, C1가스리파이너리 등

- 장기적으로 정부내 CCU R&D 사업단과 일원화하고, 공통된 온실가스 감축효과 평가모델을 개발·적용하여 기술별 투자비중 조정

③ 실증 R&D 확대를 통한 기술 상용화 촉진

- (포집) 기 개발된 포집기술을 활용하여 발전·산업별 실증규모 격상 R&D 확대 지원

- LNG 발전소 및 다배출 업종별 중규모 테스트베드 구축을 통해 맞춤형 실증 확대 및 규모 격상

< 발전·산업별 CO₂ 포집 실증 추진전략 >

분야	발전	철강	시멘트	석유화학	수소산업
세부 대상	LNG 발전 배가스	제철공정 발생가스	킬른 배가스	NCC 배가스	수소생산 공정배가스
개발 전략	국내 기개발 포집기술 응용	부생가스 포집기술 확보	기개발 기술 실증규모 격상	발전분야 포집기술 응용	해외기술 대체

- (활용) 기존 산업공정 변경을 최소화하면서, 시장진입 가능성, 온실가스 감축효과 등을 기준으로 제품생산 및 공정기술 우선개발*

* (화학전환) 플랫폼 화합물, 유기산, 유기카보네이트, 탄화수소, 고분자제품군 등 (광물탄산화) 시멘트 및 건설소재, 무기탄산계 화합물 제품군 등

【 민간 R&D 참여 유인 】

4 R&D 실증·사업화 지원 플랫폼 구축

- (테스트베드) 공동 활용 가능한 실증 단지를 구축하여 다양한 CO₂ 포집·전환 핵심기술의 객관적 검증 및 단계적 실증 지원
 - ※ 예시) 주요 산업별 중규모 CO₂ 포집 기술 실증 테스트베드, 실증규모 CCU 화학촉매 제조 테스트베드, CO₂ 생물전환 미세조류 대량생산 테스트베드 등
 - 기본 유틸리티 제공, 공동 인프라 활용 등으로 확보된 우수 원천 기술을 객관적이며 빠른 기술 평가·검증 가능
 - ※ 해외 CCU 테스트베드 구축사례 : (포집) 미국 National Carbon Capture Center, (활용) 캐나다 Alberta Carbon Conversion Technology Center 등
- (기술지원 플랫폼) CCU 기술평가 및 맞춤형 비즈니스 모델 발굴, 시제품 생산·제작, 시험·인증 등을 수행하는 기술지원 플랫폼 구축
 - ※ 예시) (가칭)차세대 화학기술 전략센터, (가칭)CCU 사업화 지원센터 등 ('22~)

< 테스트베드 및 기술지원 플랫폼 구축·활용 예시 >

기술 개발 단계	기술 실증 단계	기술 사업화 단계
▷ CCU 기술·공정 DB 구축 ▷ R&D 감축효과 평가 지원	▷ 중·소규모 실증 지원 ▷ 시제품 생산 및 경제성 평가	▷ 혁신기업 육성·지원
맞춤형 기술 전략 제공	객관적 기술검증	CCU 신산업 기반조성

5 기업 R&D 투자·참여 부담 완화를 위한 인센티브 제공

- (세액공제) 신성장·원천 R&D 및 사업화 시설투자 세액공제 대상에 CCU 기술이 포함('21.2)되었으며, 기업이 적극 활용하도록 유인
 - ※ 조특법 시행령 별표7 : (기존) CCS 기술 및 산업 부생가스 전환 기술 포함
→ (개정) 이산화탄소 광물화 및 화학적·생물학적 전환·활용 기술 추가
- (매칭투자) 기업의 CCU 분야 정부 R&D 참여시 매칭비율 조정 방안 강구
- (기술료) CCU 기술개발 성과공유 확대를 위해 기술료 면제 또는 기술료에 대한 인센티브 방안 등 검토

3 제도적 기반 마련

① CCU 감축량 산정기준 마련

- CCU 사업에 따른 온실가스 배출량 변화를 중복·누락 없이 국가 인벤토리 內 집계·반영할 수 있도록 산정 방법론 및 통계기반 마련
 - 환경부(온실가스종합정보센터) 및 부처 간 협의·연구 등을 통해 국가 인벤토리 체계 내에 CCU에 따른 흡수·배출량 관련 사항 체계화
 - 또한, CCU 사업의 배출변화 산정을 위한 모니터링 기준, 검증 절차·방법, 근거자료 확보 및 관리 방안 등도 단계적으로 마련
 - 향후 국제협력을 통해 CCU 국가감축량 산정 표준 등을 확립
- 또한, CCU 사업 분야 온실가스 감축 이행점검 방식*을 정립하여 CCU 사업에 의한 국가 감축 기여도 모니터링·평가 체계 마련
 - * 감축사업 실적 기반 또는 국가 인벤토리 통계 기반 등

② 온실가스 배출권 연계 CCU 사업지원

- CCU 사업이 배출권거래제 내 유효한 온실가스 감축기술로 인정 되도록 배출권 거래제 개선
 - 다양한 CCU 사업을 고려하여 CO₂를 포집에 따른 배출량 차감 가능 시설 확대
 - ※ 현재는 배출권 할당 대상업체가 CO₂를 포집하여 특정 용도로 활용*하는 경우 배출량에서 차감('21년 배출량부터 적용)
 - * 탄산음료·드라이아이스용, 소화·냉매 및 실험실 가스용, 화학·제지·건설·시멘트 산업에서 제품 및 원료용, 반도체·디스플레이·PV 생산부문에서의 CO₂ 사용 등
 - CO₂ 활용 기업의 감축기여도를 고려한 지원방안 검토
- 실증·상용화 단계 진입기술을 대상으로 감축사업 방법론 개발 및 감축실적 평가·인증을 체계적으로 지원
 - ※ 베이스라인 시나리오 및 모니터링 방법, 감축효과 산정식 개발, 사업유형별 외부사업 감축실적 시범평가 실시 지원 등

③ CCU 기술(제품)에 대한 표준·인증 체계 구축

- CCU 기술(제품)·사업(기업)에 대한 **국내 표준·인증체계***를 고도화하여, **기술확산 촉진 및 참여기업 지원혜택 등을 강화**

* (현행) 녹색인증제도 內 CCU 기술이 포함되어 있으나, 기준항목 근거 미흡 또는 現기술수준 미반영 → (개선안) 기준항목 재정립 및 인증기준 고도화

- CCU 제품 **품질인증 기준*** 등도 마련하여 제품 활용확산을 촉진

* (예시) CO₂ 탄산화제품의 건설소재 활용을 위한 품질 인증 기준 등

- 제품 중심의 **글로벌 환경규제*** 강화에 대비하여 **CCU 제품평가**를 위한 **필수 데이터베이스***를 지속적으로 **구축·확장**

* 제품환경발자국(PEF) 등 제품탄소함량을 기준으로 탄소국경세 부과 검토 중 (20, EU)

** CCU 기술적용과 연관된 주요 물질·공정의 전과정 목록분석 DB 등

④ 이산화탄소의 경제적 활용을 위한 법적 근거 마련

- CO₂ 포집·활용 기술개발 촉진 및 산업육성을 위해 필요한 기술 **규제 및 정책적 지원을 위한 법률 제정안 도출**

- 자발적인 시장형성이 어려운 기술적 특성을 고려하여 초기시장 **창출 및 사업 연속성을 유지할 수 있는 법적 근거 마련**

- 현행 **규제요인***을 해소하여, CO₂ 원료 활용 및 CCU제품 생산·판매 전주기에 걸쳐 원활하게 운영될 수 있는 **제도적 근거 마련**

* CO₂ 및 CO₂를 활용하여 생산된 탄산화물 등은 현행법상 폐기물로 분류되어 재활용 업자로 허가받지 않은 사업자는 취급 불가(규제특구 실증 등을 거쳐 법령정비 추진)

- 국조실을 중심으로 주요국 입법례* 분석 등을 통해 **CCUS 전반에 걸친 제도적 지원기반 마련 추진**

* EU(이산화탄소 지중저장에 관한 유럽연합 지침), 독일(이산화탄소의 포집, 수송 및 영구적 저장을 위한 기술의 시범과 적용에 관한 법률), 영국(이산화탄소 규정 등) 등

※ 현재 CCUS 법률안 정비를 위한 다부처 R&D 사업 추진 중(「대규모 CCS 통합실증 및 CCU 상용화 기반구축 사업」, '21~'23)

4 실효적인 이행체계 구축

- (민관) 'CCU R&D 산·학·연 전략협의체'를 구성하여 신규 R&D 투자수요, 성과 공유, 기술 조기적용 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



- (정부 내) CCU 이행주체 확대 등 CCUS 총괄협의회 이행력 강화
 - 탄소중립위(국조실) 중심으로 CCUS 총괄협의체 참여부처를 확대
 - * (현재) 국조실, 과기·산업·해수·환경부 → (개선) 전 부처 참여
 - CCU 전주기별로 각 부처의 역할을 구체화하고, 관련 실적을 주기적 점검

< 부처별 역할 분담(안) >

	추진 내용	이행부처(협조부처)
국가목표	CCUS 부문 국가 온실가스 감축목표 설정	탄소중립위
기술개발	CCU 원천기술 확보	과기정통부(산업부)
	CCU 기술 실증 및 상용화 지원	산업부 (과기·환경·해수·중기부 등)
기술보급	산업별·업종별 CCU 도입 및 확산 지원	산업부
	CCU 제품 활용 녹색건축물 보급확산 지원	국토부
	CCU 제품 활용 수송연료 보급확산 지원 산업단지 개조 및 CCU산업단지 조성 지원	산업부, 국토부, 해수부 등 지자체
제도개선	CCU 관련 법률·제도 정비	국조실 등
	네거티브 규제 혁신 및 인센티브 제도 설계	국조실, 산업부 등
	국가인벤토리 산정체계, 배출권거래제 등 제도 보완	환경부(과기정통부·산업부 등)
국제협력	CCU 기술 및 제품 인증	과기정통부, 산업부 등
	국제 탄소시장 활용 및 해외감축사업 지원 강화	국조실, 환경부(외교부)
	UNFCCC 기술메커니즘 지원 및 개도국 기술협력 활성화	과기정통부
인력 양성	CCU R&D 및 산업 전문인력 양성	과기정통부, 산업부

- (국제) CCU 국제협력 기반 강화를 통하여 선도국과 기술협력 활성화 및 해외시장 진출 적극 추진
 - (기술협력 네트워크 강화) 해외 연구기관, CCU 기술전략 협의체* 등과 기술정보 공유, 공동연구** 추진 등으로 최신기술 확보
 - * Global CO₂ Initiative (미국), CO₂ Value Europe (EU) 등
 - ** Saudi Aramco-KAIST CO₂ Management Center 사업 등
 - 국제 컨퍼런스 개최 및 국제협력 프로그램 공동기획 등 추진
 - * 제18회 CCU 국제컨퍼런스(Interantional Conference on Carbon Dioxide Utilization) 국내 개최('21), (美)에너지부-(韓)과기정통부 기후기술 국제교류·협력 기획 등
 - 국제협력 네트워크를 기반으로 CCU 관련 국제기준* 개발에 적극 참여
 - * (예시) 국제표준화기구 CCS 기술위원회(ISO/TC265), IPCC 국가인벤토리 작성 가이드라인 개발·보완 등
 - (해외시장 진출) 선진국·개도국 맞춤형 기술협력 프로젝트를 통해 국내 혁신기술의 해외시장 진출 지원
 - 선진국과 실증 프로젝트 공동추진, 조인트 벤처 설립, 전략적 협력 파트너십 구축 등으로 우수 기술의 사업화
 - UNFCCC 기술 메커니즘*(Technology Mechanism) 참여를 확대하여 국내기술의 개도국 현지화 연구 및 기술협력** 지원
 - * 개도국으로의 기후기술 협력 지원을 목적으로 설립된 조직으로, 기후기술 국제 정책을 담당하는 기술정책위원회(Technology Executive Committee, TEC) 및 이행을 지원하는 기후기술센터네트워크(Climate Technolgy Centre and Network, CTCN)로 구성
 - ** (예시) CTCN을 통한 CCUS 분야 개도국 기술지원 사업 등

V. 향후 계획

- 국조실 주관 CCUS 총괄협의회를 통해 CCU 기술확산 이행상황 주기적 점검
 - 부처별 대규모 R&D 기획, 사업 운영·관리 협력강화, 부문별 기술 보급, 제도 마련 등 종합 검토
- 로드맵에 제시된 중점기술을 차질 없이 확보하기 위하여 범부처 R&D 예타사업 기획 추진
- 향후 국내 기술개발 동향, 산업여건 변화, 탄소중립 시나리오 등을 상시 검토하여 로드맵 상의 주요 전략 업데이트 추진

< CCU 기술 기반 탄소순환 미래사회 >

