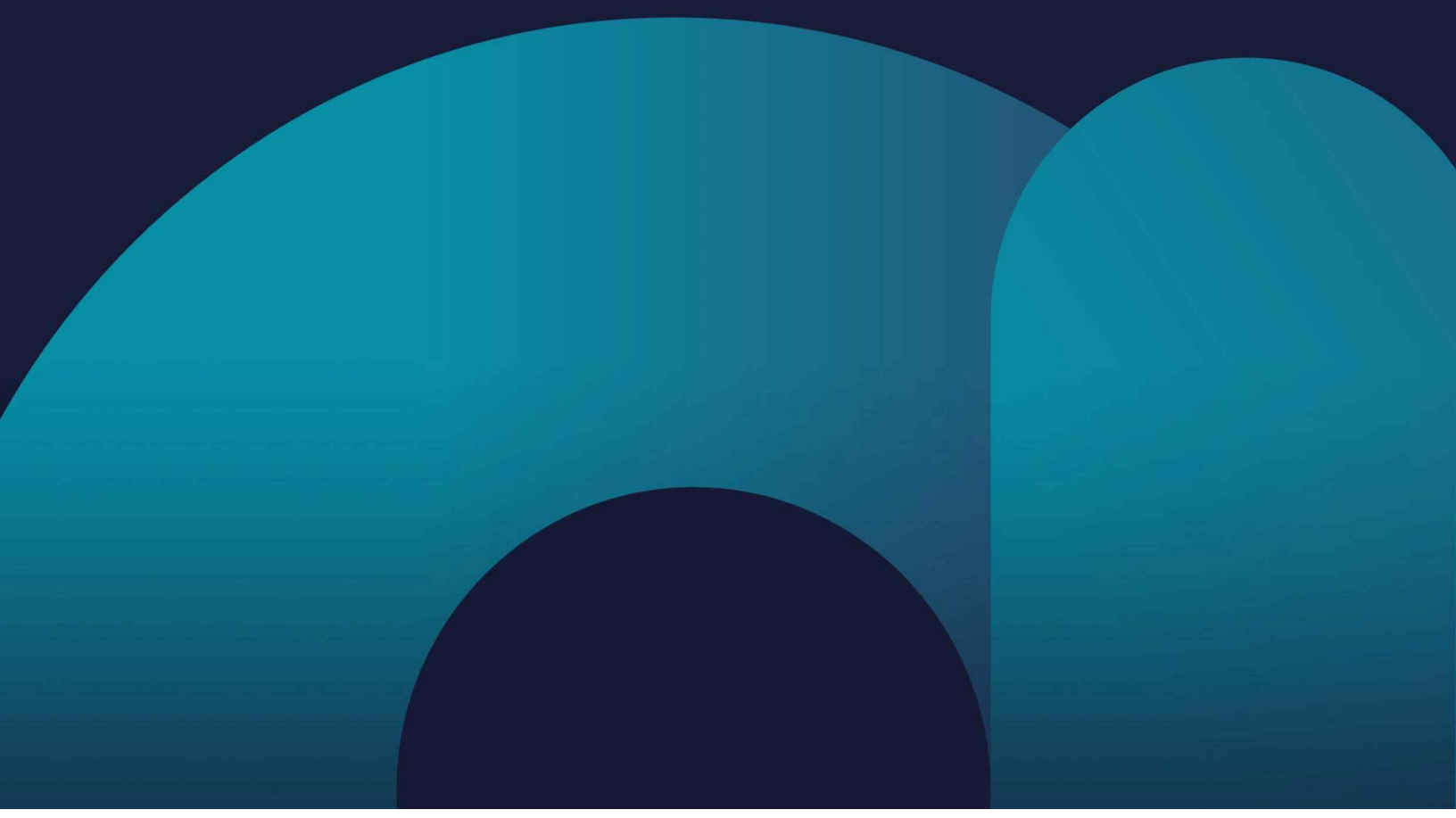

STI Brief

- CCUS 기술 -



CONTENTS

I. 서론	3
1. 배경 및 필요성	3
2 기술의 정의 및 범위	5
II. 해외 동향	6
1. 정책 동향	6
2. 시장 · 산업 동향	16
3. 기술개발 동향	17
4. 국제협력 동향	25
III. 국내 동향	27
1. 정책 동향	27
2. 시장 · 산업 동향	30
3. 기술개발 동향	31
4. 국제협력 동향	35
IV. 결론	36
1. 시사점	36
참고 문헌	38

I. 서론

1 배경 및 필요성

□ CCUS 개발의 중요성

- (해외) 미국, 영국, 독일, 일본 등 주요국은 장기 저탄소 발전전략 (LEDS)에서 탄소중립 실현의 핵심 전략수단으로 CCUS 기술을 제시
 - 국제에너지기구(IEA)도 '70년 전세계 총 CO2 감축량의 15% 수준(연간 100억톤 CO2를 포집·처리)을 CCUS 기술이 담당할 것으로 예상
 - ※ IEA Energy Technology Perspectives('20.9), 포집된 CO2는 저장(CCS) 분야에서 90%, 활용(CCU)분야에서 10% 처리하는 것으로 예측
- (국내) CO2 배출량이 높은 제조업 중심의 산업 구조의 특성, 탄소배출 부담의 완화를 위한 수단으로 CCUS 기술의 중요성 증대
 - ※ CCUS 기술은 신재생에너지와 연계·활용, 친환경 자원순환 측면 등에서 잠재력이 높은 탄소중립 수단으로 주목
 - 탄소 감축의 핵심 수단으로 CCUS를 통해 '30년까지 연간 1,030만톤 (NDC) 감축, '50년까지 연간 최대 8,520만톤(2050 탄소중립) 감축목표 제시

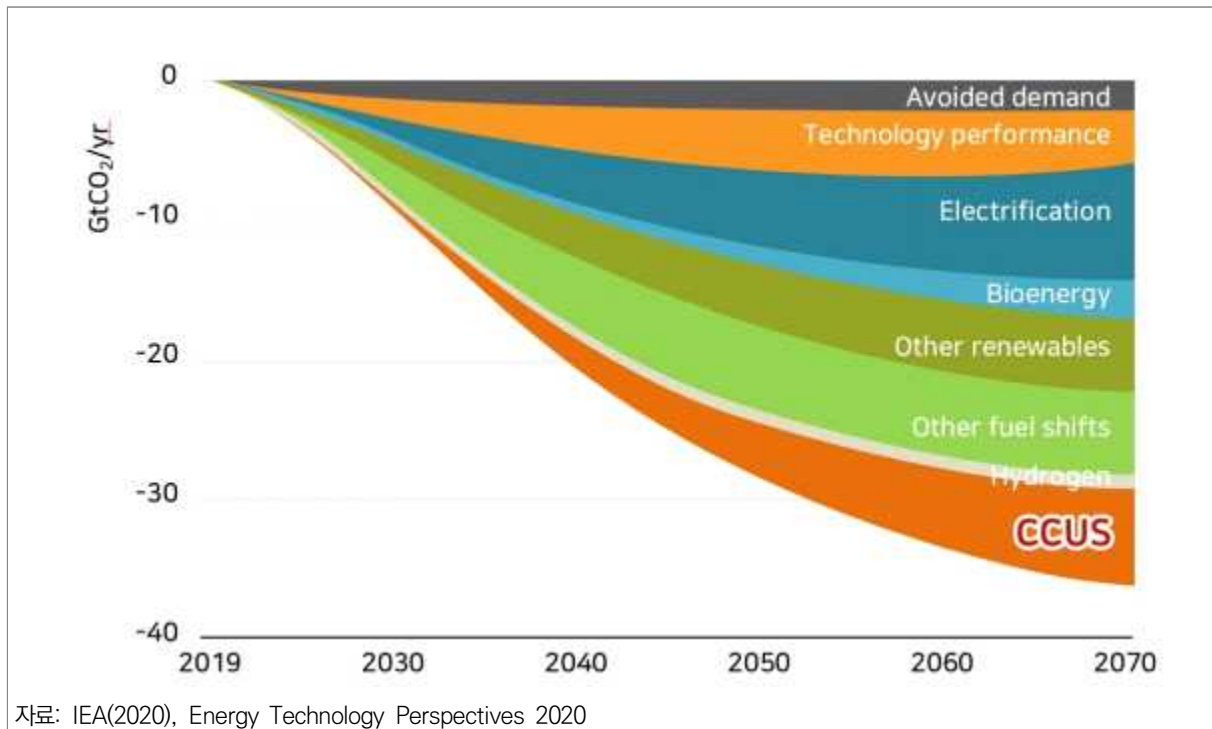
〈 표 1, 현행 NDC, 탄소중립 시나리오 〉

구분	2030년, 국가 온실가스 감축목표(NDC)	2050년 탄소중립 시나리오
CCS	연 400만 톤	연 6,000만 톤(최대)
	▶ (동해 가스전) 울산 등 동해 지역의 발전소 및 산업계로부터 포집·저장 ▶ (서해 대륙붕 저장소) 당진, 보령 등 서해지역의 발전소 및 산업계로부터 포집·저장	▶ (국내 저장소) 동, 남서해 대륙붕 지형 → 약 10억 톤(연간 3,000만 톤) 저장 ▶ (해외 저장소) 한·중·일 공동수역, 호주, 동남아, EU 등 국외 해역 저장소 → 약 10억 톤(연간 3,000만 톤) 저장
CCU(활용)	연 630만 톤	연 2,520만 톤(최대)
	▶ 정부R&D 지원 확대를 통한 CCU 상용제품 * 확보('21.6, CCU 로드맵) * 화학적 전환, 생물학적 전환 및 광물화 제품 등	▶ 상용제품 다변화 및 가격경쟁력 확보 ⇒ 약 2,500만 톤 감축 가능

자료: 관계부처 합동(2022), CCUS 탄소중립 기술혁신 전략로드맵

□ 탄소중립 시대 CCUS의 역할

- CO₂는 6대 온실가스 중, 지구 온난화에 미치는 영향이 작지만 온실가스 배출량의 약 80% 정도를 차지하고 있으며, 인위적인 배출 통제가 가능한 특성으로 인해 지구온난화 해결을 위한 대안으로 부상
- 세계 각국은 탄소중립 목표 선언과 함께 저탄소·친환경 경제구조로 전환 중이며, 탄소중립을 실현하기 위한 수단 중 하나인 CCUS 기술이 게임체인저로서 각광받는 중임
 - IPCC, IEA 등은 UN 기후변화협약 공동목표인 지구 평균온도 상승을 1.5°C 이하로 제한하기 위해서는 CCUS 기술이 필수적이라 강조



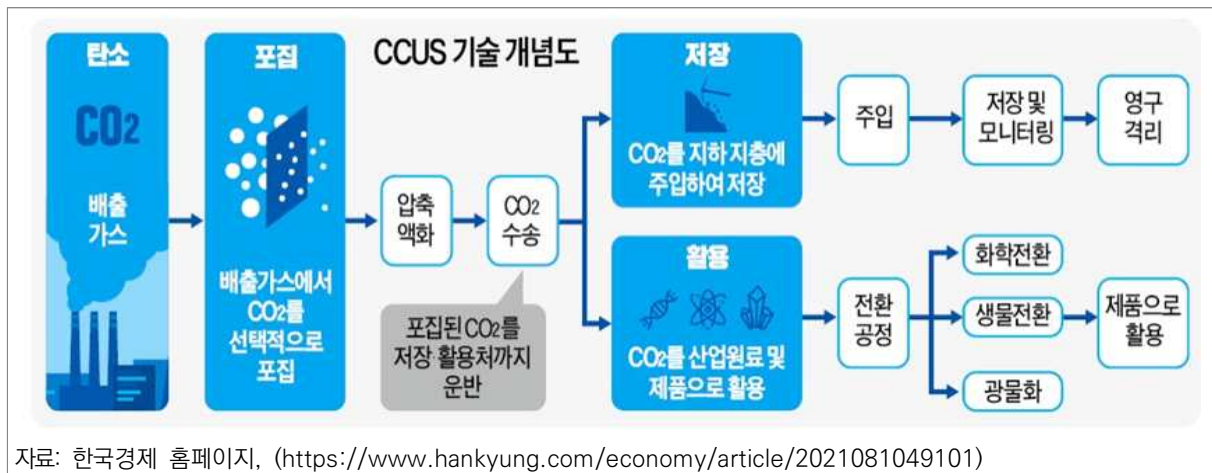
〈 그림 1. IEA 2070 글로벌 탄소중립 시나리오의 감축수단별 CO₂ 감축량 〉

- IEA의 지속가능발전시나리오(SDS: Sustainable Development Scenario)에 의하면 CCS 설비를 통해 포집되는 CO₂는 2020년 연간 0.4억톤에서 2050년 연간 56억톤으로 증가할 전망
 - 시나리오에 따르면 분야별 CCUS 기술의 기여도는 연료전환 90%, 시멘트 61%, 화학제품 생산 28%, 제철 25%, 발전 16% 수준

2 기술의 정의 및 범위

□ CCUS 기술의 정의

- CCUS(Carbon Capture Utilization and Storage) 기술은 연소 및 산업공정 등에서 배출된 CO₂를 심부 지층에 안전하게 저장하거나 전환하여 활용하는 기술



〈 그림 2. CCUS 기술 개념도 〉

□ CCUS 기술의 범위

- (① - CO₂ 포집 기술) 발전, 산업 등의 부문에서 배출되는 CO₂를 포집하여 처리하는 기술로, CO₂ 포집·분리 공정의 위치에 따라 연소 후(Post-combustion) 포집 기술, 연소 전(Pre-Combustion) 포집 기술, 순산소연소(Oxyfuel) 기술 및 대기 중 직접 포집 기술(Direct air capture)로 분류
 - (연소 후 포집 기술) 화석연료의 연소 후 배출되는 배가스에 포함된 CO₂를 선택적으로 포집하여 고농도의 CO₂로 회수하는 기술
 - (연소 전 포집 기술) 연료를 산화와 반응시켜 합성가스를 제조하는 공정에서 발생하는 CO₂를 포집함으로써 수소를 생산하고, 연소 과정에 수소를 연료로 활용하는 기술
 - (순산소 연소 기술) 연료 연소에 공기 대신 순수한 산소를 이용함으로써 연소배가스의 대부분이 CO₂와 수분으로 구성되어 추가적인 CO₂ 포집설비가 필요없는 기술
 - (대기 중 직접 포집 기술) 저농도의 CO₂를 공기에서 직접 포집하는 기술로, 농업, 임업, 자동차 운송업 등 고정 또는 이동 배출원에 적용될 수 있는 기술을 포함

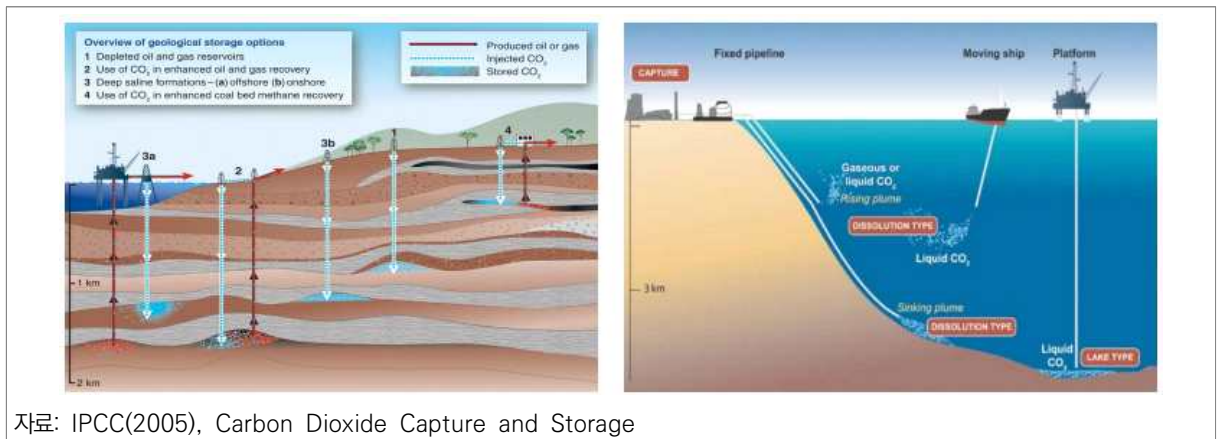
- (흡수제에 따른 분류) 흡수제의 유형에 따라 건식, 습식 및 분리막 3가지의 CO₂ 포집 기술로도 분류

〈 표 2, 흡수제에 따른 CO₂ 포집 기술 분류 〉

구분	주요내용
건식 포집	▶ (개념) 고체흡수제(알칼리 금속류, 고체 아민 흡수제 등)의 유동을 통한 CO₂를 분리 하는 기술 ▶ (장점) 습식 포집 기술과 비교하여 폐수 발생, 부식, 휘발 문제가 없음 ▶ (단점) 높은 재생열 등 에너지 소비와 운영비가 높고, 설비 막힘, 고체 흡수제의 마모, 생산된 CO₂의 고순도화 등 공정운영 문제
습식 포집	▶ (개념) 액상흡수제(아민계, 암모니아, 탄산칼륨 등)를 이용하여 CO₂를 분리 하는 기술 ▶ (장점) 오랜기간 상업 운전으로 신뢰도는 높고, 투자비는 낮으며, 대용량화 가능 ▶ (단점) 흡수제 재생을 위한 에너지 소모가 크며(전체 포집 에너지의 50% 소모), 아민계 흡수제의 휘발 및 부식성, 열화 등의 문제
분리막	▶ (개념) CO₂를 선택적으로 투과하는 분리막(고분자 분리막, 무기 분리막 등)을 활용 ▶ (장점) 낮은 에너지 소모에 따른 낮은 운영비, 소규모 설비 구축 가능(소요면적 작음) ▶ (단점) 높은 초기 투자비(낮은 농도의 CO₂ 배가스 포집시 높은 에너지비용), 낮은 선택성 등

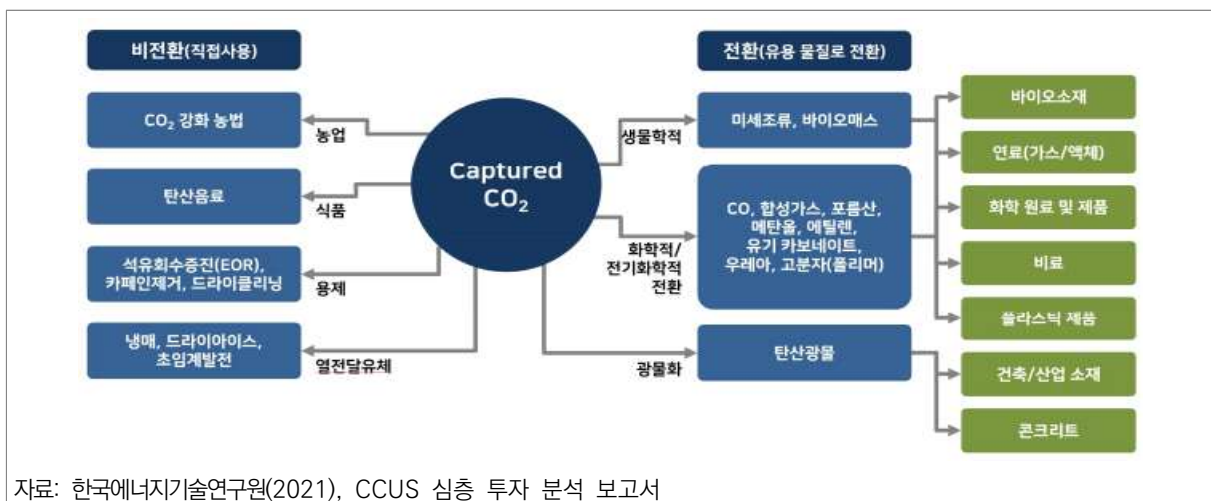
자료: 관계부처 합동(2022), CCUS 탄소중립 기술혁신 전략로드맵

- (② - CO₂ 저장 기술) 포집된 CO₂를 육상 또는 해저층에 저장하고 관리하는 기술로, 저장소 탐사, 평가 및 선정 기술, 저장소 설계 및 구축 기술, CO₂ 주입 및 운영 기술, 모니터링 기술로 분류
 - (저장소 탐사, 평가 및 선정 기술) 탐사를 통해 CO₂ 저장소를 파악하고 저장 잠재성 평가를 거쳐 부지를 선정하는 기술로, 정밀탐사, 육·해상 대심도 시추 및 평가, 부지 특성화 및 지질 모델링, 저장용량 평가 기술 등을 포함
 - (저장소 설계 및 구축 기술) CO₂ 수송선 또는 수송 배관, 저장플랜트 및 주입시설, 주입·관측정, 저장소 운영관리 시스템, 주입·관측정을 위한 시추 및 완결 기술 등을 포함
 - (CO₂ 주입 및 저장소 운영 기술) CO₂를 효율적이고 안전하게 저장하기 위한 주입·저장 설계 및 최적화 기술, 실시간 모니터링 결과를 반영한 안전한 주입 제어 기술 및 주입시설 운영 효율화 기술로 구성
 - (주입 CO₂ 거동 및 누출 모니터링 기술) CO₂ 거동 및 총량 확인 기술, 덮개층·저장층의 무결성과 안전성 진단, 누출경로 예측, 퇴적층의 화학적 생물학적 변화, 수층에서 CO₂의 위해성을 모니터링하는 기술로 구성



〈 그림 3. CO2 저장 기술 개념도 〉

- (③ - CO2 활용 기술) 포집된 CO2를 대기중으로 방출하거나 저장하지 않고 고부가가치 제품으로 전환하는 기술로, 화학적 전환 기술, 생물학적 전환 기술, 광물 탄산화 기술로 분류
 - (화학적 전환 기술) CO2를 반응원료로 활용, 다양한 탄소화합물로 전환하는 기술로서, 연료 및 e-fuel, 화학원료, 고분자화합물, 카보네이트, 플랫폼 화합물 제조 기술, 비 CO2 탄소자원 활용 기술 등을 포함
 - (생물학적 전환 기술) 광전환 효율이 높은 고기능성의 미세조류확보, 개량 및 대량배양 시스템을 통한 바이오매스의 대량생산 기술, 바이오리파이너리 기술로 산업에 활용 가능한 바이오소재의 생산과 제품화 기술을 포함
 - (광물탄산화 기술) 직접 및 간접 탄산화를 통해 건설 소재화, 고순도 무기탄산염 제조 및 활용 기술, 시멘트 및 콘크리트 양생 기술 등을 포함



〈 그림 4. CO2 활용 기술 개념도 〉

II. 해외 동향

1 정책 동향

□ 미국

- 바이든 정부 출범 후 '50년까지 온실가스 배출 제로 달성 선언 등 기후변화 대응에 적극적이며, 2030 국가온실가스 감축목표(NDC)를 '07년 대비 51%로 상향 조정
- CCUS 분야와 관련하여 미국 정부는 2018년 「45Q Tax Credit」을 개정하여 탄소배출량 감축 세액혜택을 제공하는 법률을 마련
 - 2008년부터 운영한 세액혜택 제도를 적용처, 분야, 금액을 확대하여 45Q Tax Credit으로 개혁하여 CCUS 기술개발과 산업계 채택을 장려
 - 확대된 45Q 조항은 기본적으로 인증된 탄소 배출 시설(발전소 및 산업시설)에서 포집된 이산화탄소에 대한 세액 공제를 제공하고, 이에 대한 혜택을 12년간 보장
 - 탄소 저장 및 활용 분야별 세액 공제액('30년 기준)은 저장 \$50/ton, 석유회수증진(Enhanced Oil Recovery, EOR) \$30/ton, 활용 \$35/ton 수준

〈 표 3, 45Q Tax Credit 세액 공제 적용가능한 최소 설비규모 〉

구분	주요내용
발전 설비	▶ 저장 50만 톤, EOR 50만 톤, 기타 이산화탄소 활용 2.5만 톤 이상
산업 설비	▶ 저장 10만 톤, EOR 10만 톤, 기타 이산화탄소 활용 2.5만 톤 이상
공기 중 포집 설비	▶ (공기 중 포집 설비) 저장 10만 톤, EOR 10만 톤, 기타 이산화탄소 활용 2.5만 톤 이상

자료: U.S. Congress(2021), The Tax Credit for Carbon Sequestration (Section 45Q)

- 2021년에 제정된 CO₂ 저장 및 배출량 감축법(일명 SCALE 법)은 5년 동안 CCUS 및 CO₂ 제거 기술을 지원하는 동시에 지역 경제 활성화와 일자리를 지원
 - 저금리 대출 및 보조금으로 CO₂ 운송 인프라 개발을 지원하는 CO₂ 인프라 금융 및 혁신법(CO₂ Infrastructure Finance and Innovation Act, CIFIA)프로그램 수립

- 상용급 지질학적 CCS 프로젝트의 보조금 제공
- 에너지부(DOE)의 권한으로 지자체 및 주정부가 인프라 프로젝트를 위해 CO2 기반 제품을 조달할 수 있도록 자금을 제공하여 CO2 활용 기회를 지원
- 미 에너지부(DOE)를 중심으로 CCUS 분야 R&D 육성을 위한 「기후 혁신 연구 지원 프로그램(Climate Innovation Research Opportunity Investment Program)」 및 「카본 네거티브 샷(Carbon Negative Shots)」을 추진
 - 「기후 혁신 연구 지원 프로그램*」에서 다루고 있는 10대 의제 중 ‘직접 공기 포집 시스템 및 기존 산업 및 발전소 배기 장치를 개조하여 CO2를 포집 또는 대체 제품을 만들거나 지하 깊은 곳에 영구적으로 격리하는 기술(CCUS)’이 포함
 - * 2021년 2월, 바이든 행정부에서 발표한 저탄소 에너지 기술을 위한 1억 달러 규모의 에너지부 R&D 프로그램으로 기후 혁신 실무 그룹(Climate Innovation Working Group)을 주축으로 하여 기후변화 관련 10가지 의제를 제시
 - 「카본 네거티브 샷(Carbon Negative Shots)」에서는 향후 10년 내(2030년까지) 100달러/톤CO2 미만의 비용으로 기가톤 단위 규모의 CO2를 포집 및 저장하여 이산화탄소 제거(CO2 Removal, CDR)* 비용을 절감하는 목표를 제시
 - * 대기 중 직접 포집(DAC), 토양 탄소 저장(격리), 광물탄산화, 해양기반 탄소제거, 조림/재조림 등을 포함

〈 표 4, 미 에너지부(DOE) 기후 혁신 실무 그룹 10대 의제 〉

구분	주요내용
1	탄소중립 건물
2	1/10으로 비용이 저감된 에너지저장시스템
3	최첨단 에너지시스템 관리기술
4	저비용/저탄소 차량 및 교통시스템
5	저탄소 항공기 및 선박 연료
6	무(無) 온실가스 냉매, 공조, 히트펌프
7	철강, 콘크리트, 화학 공정 저탄소화
8	무(無) 탄소 배출 수소
9	CO2 토양 저장기술
10	CO2 직접공기포집 기술

자료: White House(2021), Biden-Harris Administration Launches American Innovation Effort to Create Jobs and Tackle the Climate Crisis

□ EU

- EU(유럽연합)은 2018년 재생에너지 지침(Renewable Energy Directive II, RED II) 수립을 통해 이산화탄소 유래 수송용 연료 사용에 관한 규정을 명시
 - RED II는 재생에너지 공급 강화를 목표로, 2030년까지 도로 및 철도 운송 등 수송 부문에서 소비되는 에너지 중 재생에너지 비중을 기존의 최소 10%에서 14%로 확대하도록 규정
 - RED II에서는 수송용 재생 연료 범주에 비생물계 재생 연료와 재활용 탄소 연료를 포함하고 있으며, 발생원과 관계없이 이산화탄소 유래 수송용 연료를 인정
- 2019년 EU 집행위원회는 '50년 탄소중립 목표 달성을 위한 정책 패키지'로서 '유럽 그린딜(European Green Deal)' 발표하여 CCS 실증을 추진하기 위한 법·제도적 기반 마련
 - CCS Directive 2009/31/EC를 발표하여 CO2 저장부지 선정, 탐사, 개발, 저장, 모니터링을 포함한 전반적 절차에 대한 법적 프레임워크 제공
- 2023년 3월, EU는 그린딜 산업계획의 일환으로 기후중립 목표를 달성하는데 필수적인 기후중립 기술 및 제조 능력을 강화하기 위한 「기후중립산업법(Net Zero Industry Act, NZIA)」 초안 발표
 - 기후중립산업법은 넷제로 기술*과 그 핵심 구성 요소에 대한 유럽 내 제조 능력을 향상시키고 생산을 확대하는 데 대한 장벽 요소 해소를 목표로 함
 - * △ 태양광 및 태양열, △ 풍력, △ 배터리, △ 히트펌프 및 지열에너지, △ 전해조 및 연료전지, △ 바이오가스 및 바이오메탄, △ CCUS, △ 그리드 기술
 - 기후중립산업법에서는 CCS, CO2 수송 및 활용 기술, 신재생에너지 기술 등 탄소중립 실현에 필요한 다양한 기술에 적용되며, CO2 수송 및 저장 기술 투자를 통해 2030년까지 5천만톤/년 저장 공간 확보를 추진
- 2024년 2월, EU 집행위원회는 CCUS가 2040년까지 90% 탄소 배출감축과 2050년까지 넷제로 달성에 어떤 기여를 할 수 있는지를 상세 설명하는 「산업탄소관리 통신문(Industrial Carbon Management Communication)」을 발표
 - '호라이즌 유럽(Horizon Europe)'과 '혁신 기금(Innovation Fund)*'처럼 기존의 도구를 통해 산업탄소관리 프로젝트에 대한 연구와 혁신 자금 지원을 고려
 - * EU ETS 수익금으로 100억원 유로의 기금을 조성하여 2020~2030년 기간 동안 CCUS 기술개발을 지원

□ 영국

- 영국 정부는 2019년 기후변화법(Climate Change Act 2008)을 개정하고 2050년 온실가스 순배출량 제로(Net Zero)를 법정 목표로 명시
 - 탄소 제로 목표는 2018년 영국 정부 자문기관인 기후변화위원회(Committee on Climate Change)의 자문을 통해 2018년 제정
 - 기후변화위원회는 CO2의 효과적인 감추을 위해 CCS는 반드시 필요하며, 온실가스 순배출량 제로에 도달할 수 있는 '필수적인 요소' 중 하나라고 설명
- 영국의 경우 CCUS 관련 기술 개발에 투자를 확대하는 추세이며, 2020년 CCUS를 포함한 「녹색산업혁신에 대한 10대 중점계획」을 수립
 - 영국정부는 2030년 까지 CCUS를 포함한 10대 분야에 50억 파운드를 투자할 계획이며, 민간부문의 투자도 장려함으로써 녹색산업혁신 추진에 2030년까지 총 120억 파운드의 기금이 투자될 전망
 - 2030년까지 1,000만톤의 CO2 포집 능력을 갖추기 위해 CCUS 클러스터 구축 계획에 투자할 전망이며, 2020년대 중반까지 2개, 2030년까지 4개의 산업클러스터에 CCUS 설비 구축 예정
 - 영국 정부는 가스화력 발전소에 CCUS 설비 도입을 촉진할 계획이며, 2030년까지 최소 한 곳 이상의 가스화력 발전소에 CCUS 기술을 도입하여 운영할 예정

〈 표 5, 미 에너지부(DOE) 기후 혁신 실무 그룹 10대 의제 〉

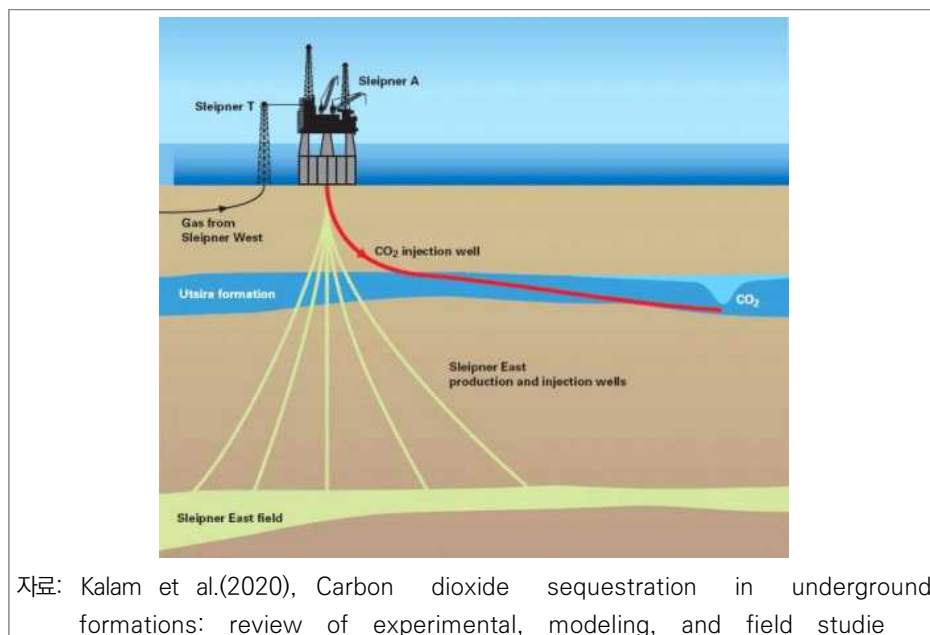
내용				
① 해상풍력	② 저탄소수소 개발	③ 원자력 연구개발	④ 수송 부문 탈탄소화	⑤ 대중교통 친환경화
⑥ 항공 및 선박 저탄소화	⑦ 건물 에너지효율 향상	⑧ CCUS	⑨ 자연보호	⑩ 녹색금융

자료: U.K. Gov.(2020), The Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution

- 최근에는 국내 재생에너지 및 원전에 대한 투자를 통해 에너지 안보, 넷제로 목표 달성, 경제적 기회 창출 등을 목표로 하는 「에너지 안보 및 넷제로 성장계획(Powering Up Britain)」 발표
 - 원자력, CCUS, 수소, 재생에너지 등 청정에너지 관련 분야별 세부 계획과 함께 에너지 효율, 절차 간소화, 민간 투자 유치 등에 대한 계획도 수립

□ 노르웨이

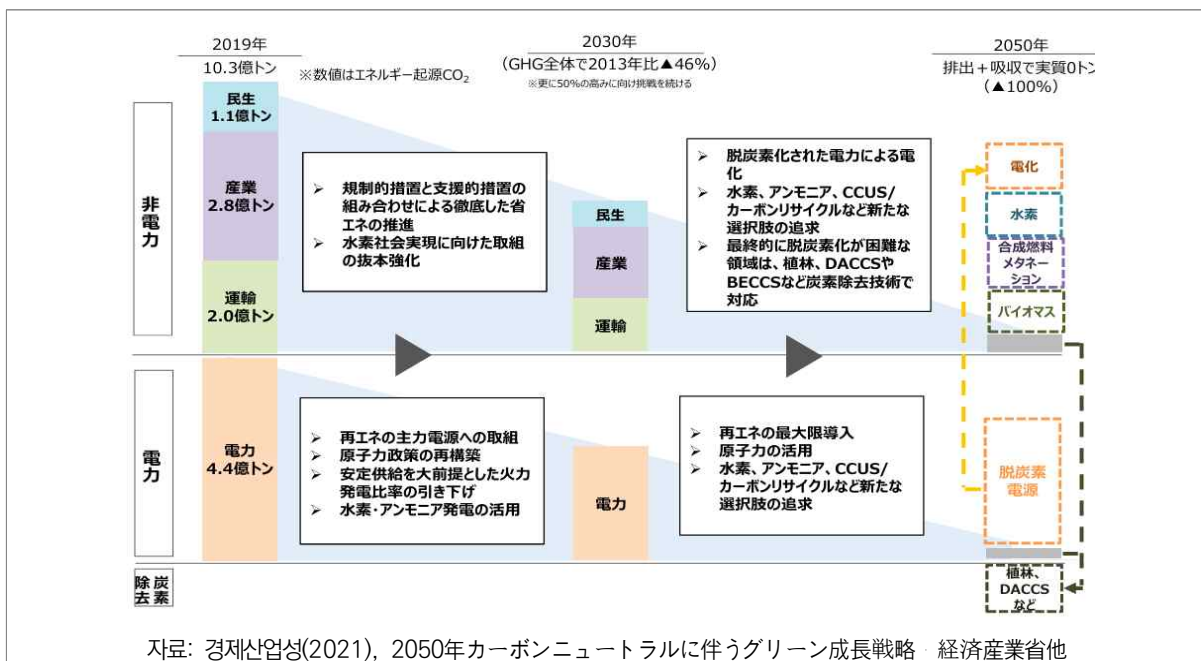
- 2030년까지 탄소배출 제로를 달성하기 위한 목표를 2016년에 법제화
 - 노르웨이는 2007년에 2050년 넷제로 달성을 위한 온실가스 배출 감축 목표로 설정한 바 있었으나, 당초 목표 대비 20년을 단축하여 제시
 - 탄소제로 달성을 위해 자체적인 온실가스 감축 노력과 자국의 석유·가스 시추 시 배출되는 온실가스 배출량을 외국의 탄소배출권을 구입하여 상쇄하는 방안을 도입
- 노르웨이는 1990년대 중반부터 CO₂ 포집·저장 분야에 대한 기술 투자가 활발하게 진행되고 있으며, CO₂ 포집·저장 기술을 국가 전략기술로 지정
 - 과거 노르웨이는 탄소포집·저장 상용화를 목표로 1996년에 Sleipner라는 완전 규모 (full-scale)의 탄소포집·저장 프로젝트를 세계에서 처음으로 시행
 - * 북해 Sleipner 유전에서 배출된 연간 100만 톤의 이산화탄소를 포집해 해저에 저장하는 프로젝트
- 2020년대에 들어서서 노르웨이 정부는 27억 달러 규모의 CO₂ 포집·저장 프로젝트인 롱십(Longship) 프로젝트를 시행 중임.
 - 2024년까지 연간 800만 톤 이상의 이산화탄소를 저장하는 것이 목표



〈 그림 5. Sleipner 탄소포집·저장 프로젝트 〉

□ 일본

- 일본은 CCUS 기술을 탄소중립 달성을 위한 주요 기술적 대안으로 제시하였으며, 다양한 전략을 통해 비용저감 기술과 기술실증을 추진
- 2020년 1월, 「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, 비화석에너지, 에너지네트워크, 수소 등의 중요성을 강조
 - CCUS 및 탄소자원화를 고려한 저비용 CO2 포집, 탄소자원화 기술에 따른 연료화 기술, 대기 중 직접 포집 기술 등을 주제로 제시
- 2020년 12월, 「2050년 탄소중립에 따른 녹색성장전략」에서는 온실가스 감축과 미래 성장이 기대되는 14개 중요산업의 실행계획을 제시
 - 2050년 탄소중립 실현을 대전제로 하는 전력부문 탈탄소화 계획을 제시하였으며, 이외 비전력 부문의 전기화, 전력네트워크의 디지털화를 포함하여 3대 전략 방향을 제시
 - 특히 탄소재활용 산업을 콘크리트, 바이오연료, 플라스틱 연료로 구분하고 비용절감, 사회구현 촉진 등을 목표로 도입단계별 기술목표를 제시



〈 그림 6. 2050년 탄소중립 실현을 위한 에너지 구상 〉

□ 중국

- 중국은 2021년 「14.5 계획 및 2035년 장기목표」에서 에너지 분야와 탄소중립 분야의 정책 방향을 설정하였으며, 탄소배출권 거래시장 기반을 마련
 - (에너지 분야) 2025년까지 에너지원단위 13.5% CO2 배출원단위 18% 감축 등을 목표로 설정하였으며, 에너지믹스 개선, 청정·저탄소 및 안전·고효율 에너지시스템 구축, 에너지 공급 능력 향상 등의 정책 기조를 명시
 - (탄소중립 분야) 상향된 2030년 NDC를 이행하기 위해 '30년 이전 탄소배출 정점도달 행동 방안을 제정 명시, 탄소포집·활용·저장 등 에너지절감·저탄소기술 시범 공정 등에 대한 주요 시범 프로젝트를 추진할 예정
 - (전국 탄소배출권 거래 관리방법) 전국 범위 탄소배출권 거래시장 수립의 기반이 되는 법안을 도입, 경제성장, 산업구조 조정, 에너지구조, 대기오염물질 배출 규제 등을 고려해 탄소배출량 총량과 배분 방안을 마련할 예정
- 중국은 지난 10년간 정책 지원을 통해 자국 내 CCUS 산업을 육성하여 일련의 성과를 거두고 있는 중
 - 2021년 기준, 중국 내에 약 50개의 CCUS 시범 및 상업가동 사업들이 추진 중인데, 이들 사업의 총 탄소포집 설비용량은 연간 약 700만 톤이며, 현재는 연간 약 300만 톤의 탄소를 포집할 수 있는 설비가 존재
 - 중국 국무원이 '탄소피크·탄소중립 업무 관련 의견'을 통해 CCUS를 탄소배출량 감축 계획을 위한 핵심기술 중 하나로 명시
 - 2022년 3월에 수립된 「14.5 현대에너지 시스템 구축 계획」에서는 CCUS 등과 관련한 금융 지원을 강화한다는 계획을 제시
 - 중국 지방정부와 국유기업 차원에서도 CCUS 관련 정책을 마련·추진하고 있는데, 현재 중국의 34개 성(省) 중에서 29개 성이 이미 CCUS 관련 정책을 발표

□ 호주

- 호주 정부는 「2020년 연안 석유 및 온실가스 저장법(Offshore Petroleum and Greenhouse Gas Storage Act 2006)」을 개정하여 국경 지역 CO2 저장 규제를 통합·간소화
 - 2006년 제정한 연안 석유 및 온실가스 저장법 개정을 통해 영연방과 호주의 관할 구역 경계의 약 3해리 정도의 지역에 CO2 저장을 허용
- 호주는 2020년에 수립한 「기술투자로드맵(Technology Investment Roadmap)」을 수립하여 향후 10년간 온실가스 감축을 위한 기술에 약 180억 호주달러(한화 약 15조원)를 투자할 계획
 - 호주는 기술투자로드맵의 일환으로 CCUS 개발기금(The Carbon Capture, Use and Storage Development)을 조성하였으며, 6개의 CCUS 프로젝트에 총 5천만 호주달러를 지원할 계획
 - 연간 170만톤 CO2를 저장하는 Moomba CCS 프로젝트에 1,500만 호주달러, 석탄화력 발전소에서 배출되는 CO2를 포집저장하는 CTSCo 프로젝트에 500만 달러 등을 지원
 - 산업계가 주도적으로 CCS 기술 관련 연구 개발 및 실증(RD&D)을 수행할 수 있도록 장려하고 재정적인 지원을 수행
 - 호주 스콧 모리스 총리는 2021년 4월 기후정상회의를 계기로 CCS 프로젝트 개발 확대 및 허브 조성을 위하여 10년간 2억 6,370만 호주달러 규모의 지원계획을 발표



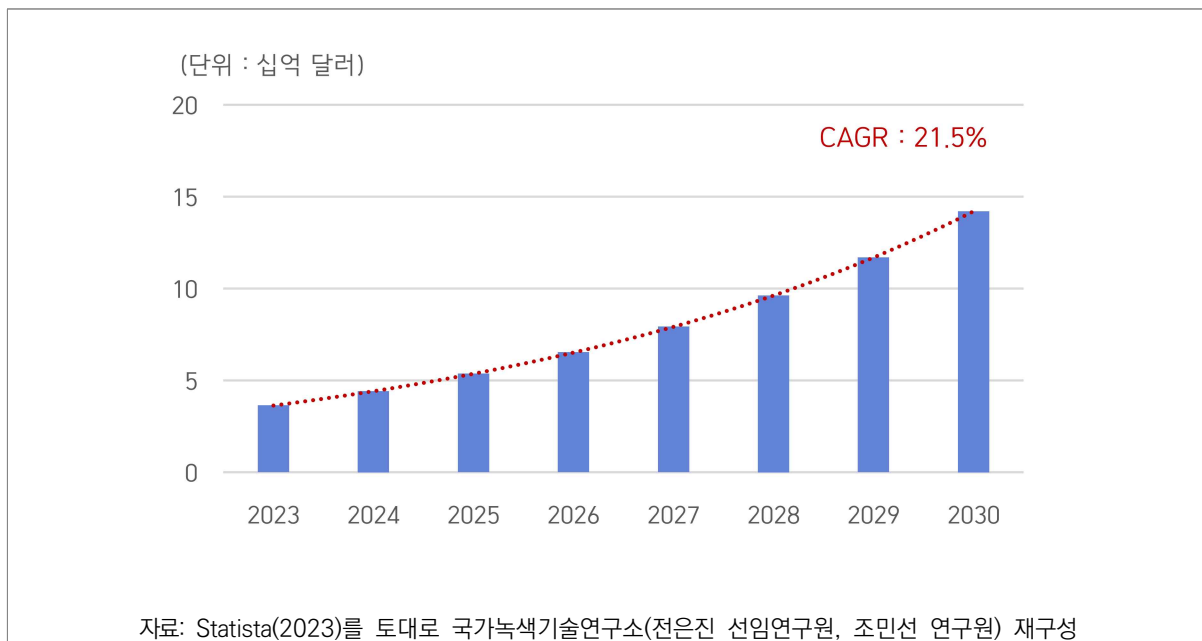
자료: SK E&S 미디어룸(2024), [탄소를 묻다] 전 세계 CCS 프로젝트는 현재 진행 중(~ing)

〈 그림 7. 호주 Moomba CCS 프로젝트 전경 〉

2 시장 · 산업 동향

□ 시장 동향

- CCUS 시장은 낮은 기술완성도, 가격경쟁력 부족, 높은 정책의존도로 인해 전반적으로 초기형성 단계이며 미래의 시장 규모에 대한 다양한 전망자료가 존재하고 편차가 크게 존재
 - Statista에 따르면, 2030년에 142억 달러(연평균 성장률 21.5%)에 이를 것으로 예상
 - Market and Marjets(2020)에 따르면, 글로벌 CCUS 시장이 2020년 16.2억 달러에서 2025년 35.4억 달러 규모로 연평균 17.0% 성장할 것으로 전망



〈 그림 8. 글로벌 CCUS 시장 규모 및 전망 〉

- 과거에는 석유화수증진(EOR) 분야의 CO2 수요가 CO2 수요의 대부분을 차지하였지만, 미래에는 다양한 활용 부문의 수요로 인해 CO2 수요가 증가할 전망
 - 대표적으로 골재와 콘크리트 분야는 CO2 수요 및 시장규모 측면에서 가장 큰 잠재력 보유
 - CO2를 사용하여 메탄올 및 에탄올을 생산하는 경로는 석유화학 제품에 대한 수요를 대체함으로써 CO2 배출을 감축할 수 있는 기회로 평가
 - 폴리우레탄, 탄소나노튜브, 탄산염과 같은 탄소 기반 제품은 가격적인 측면에서는 매력적인 대안이지만 시장규모가 작고 CO2 전환에 소요되는 비용이 높은 실정

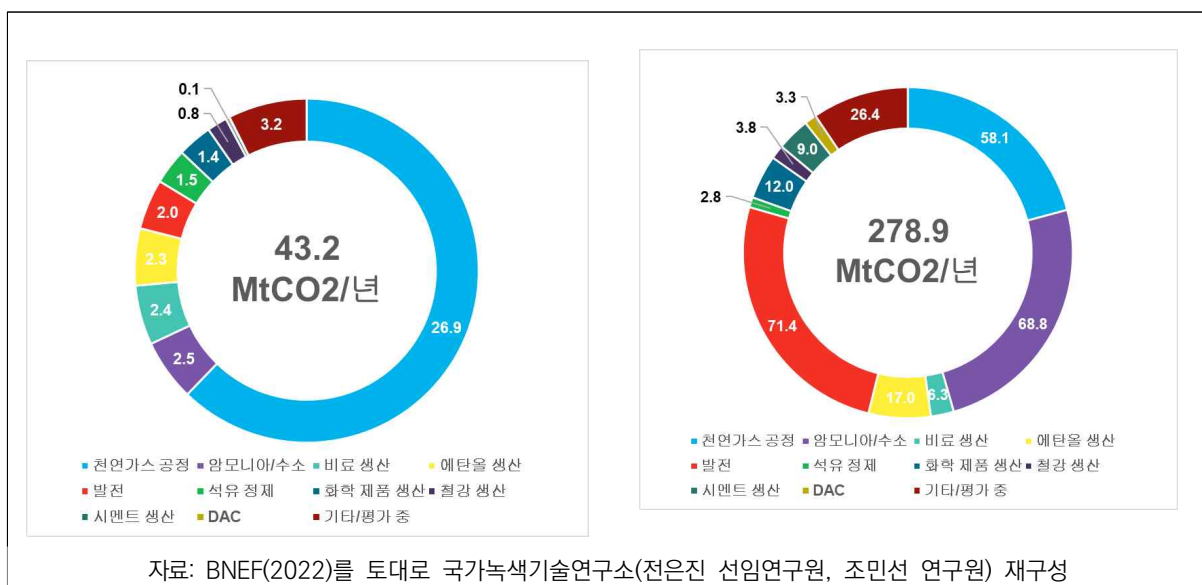
〈 표 6, CO2 활용 분야별 시장 및 수요전망 〉

제품	가격(\$/t)	수요(Mt/yr)	시장규모(\$b/yr)	CO ₂ 활용(tCO ₂ /t)	최대수요 (Mt CO ₂ /yr)
골재	10	55,000	550	0.25	24,200
콘크리트	100	20,000	20,000	0.025	3,000
메탄올	350	140	49	1.37	192
에탄올	475	100	47.5	1.91	191
탄산나트륨	150	60	9	0.42	25
탄산칼슘	200	10	2	0.44	4.4
고분자	1,900	24	45.6	0.08	2.4
탄소나노튜브	100,000	0.05	5	3.66	0.18

자료: BNEF(2020), CCUS Costs and Opportunities for Long-term CO₂ Disposal

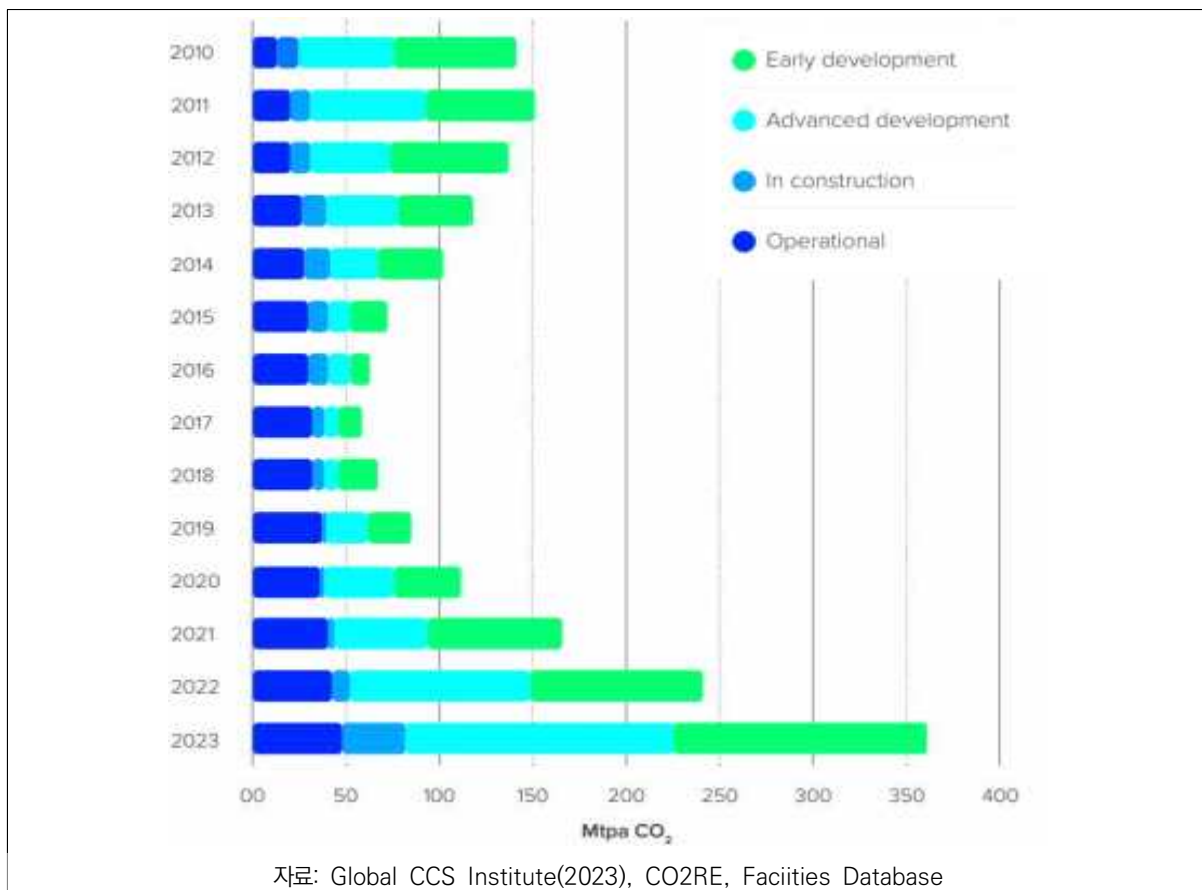
□ 산업 동향

- 배출원별 글로벌 탄소 포집 잠재 용량 전망을 살펴봤을 때, 2030년의 배출원별 포집 잠재 용량은 총 278.9 MtCO₂/년으로 추정
 - 2021년에는 “천연가스 공정”으로부터 포집해야 하는 용량이 26.9 MtCO₂/년으로 가장 높았으나, 2030년에는 “발전(71.4 MtCO₂/년)”, “암모니아/수소(68.8 MtCO₂/년)”, “천연가스 공정(58.12 MtCO₂/년)” 순으로 전망



〈 그림 9. 배출원별 글로벌 탄소 포집 잠재 용량 수요 전망 - (좌) 2021 (우) 2030 〉

- 산업별 공정 특성 및 적용하는 탄소포집기술에 따라 CO₂ 포집비용(LCOA)은 톤당 18달러에서 167달러까지 편차가 크게 분포
 - “석유 정제” 시 발생하는 CO₂를 “습식 포집”할 때의 비용이 톤당 105-167 \$/tCO₂ 수준으로 가장 높았고, 다음으로 “시멘트 생산” 시 발생하는 CO₂를 “습식 포집”하거나 “분리막 포집”할 때 94-156 \$/tCO₂ 수준에 위치
 - “철강”에서 발생하는 CO₂를 “칼슘 루핑”할 때의 비용은 18~26 \$/tCO₂ 수준으로 가장 낮은 수준에 위치
- 글로벌 CCS 설비 규모는 2017년 이후 급격하게 증가하는 경향이 나타남
 - 설비 규모는 포집 용량 기준이며, 설비 수에는 수송 및 저장 프로젝트를 포함
 - 설비 증가의 대부분은 개발 단계에 있는 프로젝트이며, 운영 프로젝트 변화는 미미한 수준에 위치



〈 그림 10. 배출원별 글로벌 탄소 포집 잠재 용량 수요 전망 - (좌) 2021 (우) 2030 〉

3 기술개발 동향

□ CO2 포집 기술

- (미국) 미국 에너지부(DOE)의 보조금으로 2016년 12월부터 가동된 Petra Nova 프로젝트는 240MWe 규모로 배가스 후단에서 92.4%의 CO2를 포집하는 성과를 획득한 이력을 보유
 - 해당 프로젝트는 2020년 4월까지 가동되었으며, 10억달러의 규모의 예산을 투입
 - 연간 140만톤의 CO2를 포집할 수 있는 성능을 보유하고 있었으며, 포집된 CO2는 파이프라인 수송 후 EOR 공정에 활용
- (미국) 미국 NCCC(National Carbon Capture Center)에서 흡수법, 흡착법, 분리막법 등 다양한 포집기술 개발 및 파일럿 연구를 수행하고 있음
 - 이 중 「ION Advanced Solvent CO2 Capture Project」는 2세대 용매 흡착법을 적용하여 0.6MWe 규모의 발전소에서 파일럿 테스트와 12MWe의 중규모 테스트를 수행하여 2025년까지 톤당 40달러 규모의 순도 95% CO2를 포집한다는 목표를 제시
- (캐나다) Shell-CanSolv社의 Boundary Dam 프로젝트 및 Carbon Engineering社의 직접 공기 포집 기술 개발 진행
 - 캐나다 Boundary Dam 프로젝트('14~)는 세계 최초의 CCS 적용 발전소로 Cansolv 습식 흡수제(DC-103)를 적용하였으며, 화력발전에서 발생하는 SO2 및 CO2 배출량을 최대 100% 및 90%까지 저감
 - Carbon Engineering and Occidental Petroleum partnership에서는 연간 100만톤의 CO2를 EOR에 저장하는 것을 목표로 대용량 직접 공기 포집 기술을 개발
- (영국) Drax Power는 BECCS 2기를 개발하여 '30년까지 400만톤의 CO2를 포집할 계획이며, 천연가스 매체순환 기술의 경우 EU 9개국의 컨소시움을 통해 1MW급 실증 연구를 추진
- (일본) 과거 1990년대에 미츠비시중공업과 간사이화력이 아민 기반 흡수제를 적용한 CO2 포집 공정기술을 개발
 - 1999년 말레이시아 비료공장에 200톤 CO2/일 규모를 건설하여 20년 간 운전 수행하였으며,

SO₂가 포함되어 있지 않은 천연가스 배연기체에 대해서 11개의 상용화를 완성

- 석탄화력 발전 분야의 경우 2017년 Petra Nova 프로젝트에 적용하여 세계 최대 규모인 4,776톤 CO₂/일 규모의 실증연구를 수행

Item	Description
Plant location	Thompsons (Texas, U.S.A)
Plant owner	Petra Nova (joint venture between NRG Energy Inc. and JX Nippon Oil & Gas Exploration Corporation)
Gas source	NRG WA Parish power generation plant 610MW (Net) coal-fired power generation facility
Process	KM CDR Process™
Absorption liquid	KS-1™ solvent
Plant scale	Corresponding to 240MW
CO ₂ recovery rate	90 percent
CO ₂ capture amount	4,776 metric tonnes per day



자료: Mitsubishi Heavy Industries(2018), Mitsubishi Heavy Industries Technical Review Vol. 55 No. 1

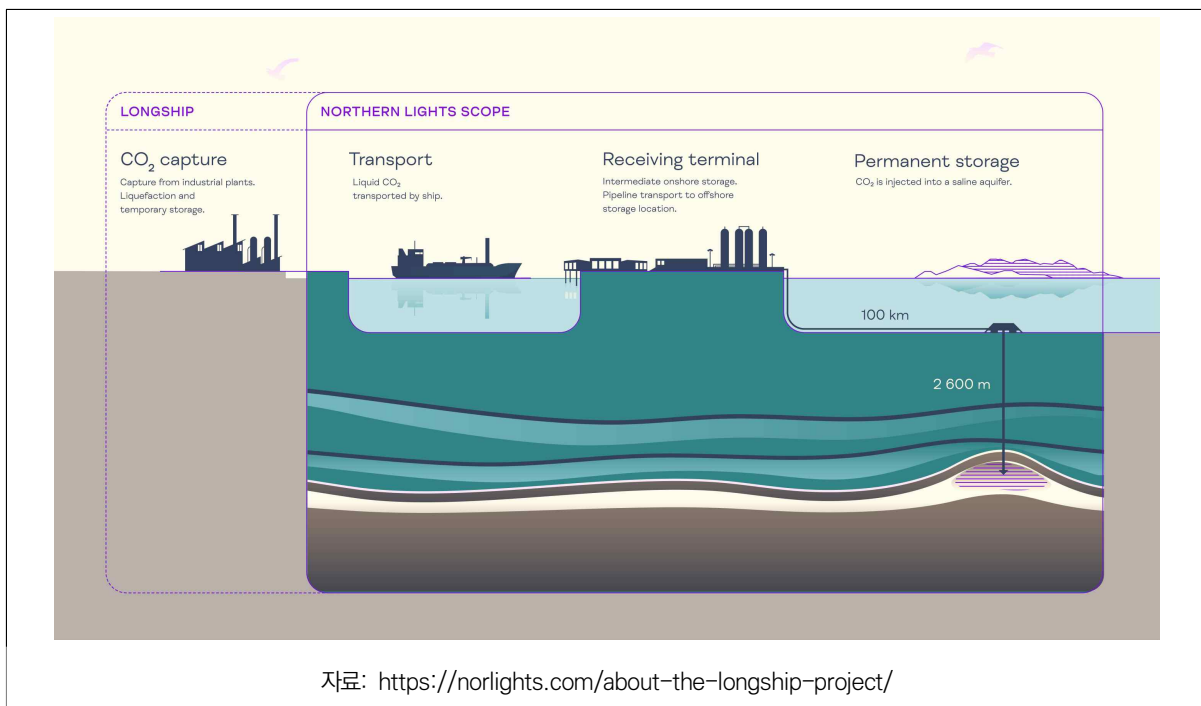
〈 그림 11. 일본 미츠비시중공업의 세계 최대 규모 Petro Nova 프로젝트 CO₂ 포집 공정 〉

□ CO₂ 저장 기술

- (노르웨이) 1990년대부터 천연가스 생산이 종료된 해저지층을 활용한 CO₂ 저장 프로젝트인 Sleipner 프로젝트를 추진
 - Sleipner 프로젝트는 세계 최초의 상업용 CO₂ 프로젝트로, 북해 노르웨이 해역에서 생산되는 천연가스에 추출되는 CO₂를 생산정 주변의 해저 대염수층(해저 800~1000미터, Utsira 사암층)에 저장
 - 연간 CO₂ 100만톤을 저장하고 있으며, 1996년부터 2015년 5월까지 누적 1,550만톤 이상의 CO₂를 저장
 - 해양 시추 비용이 매우 비싸기 때문에 관측공을 활용하지 않고 2D/3D 심부 탄성파 검사, 고해상 천부 탄성파 탐사, 해저면 영상/수심, 천부 퇴적물 특성 등 다양한 지구 물리 기법과 지질 기법을 활용하여 지층 모니터링 수행
- (노르웨이) 2020년대에는 포집된 CO₂를 선박·파이프라인을 통해 수송하여 북해 해저

3,000m에 저장하는 Longship 프로젝트 추진

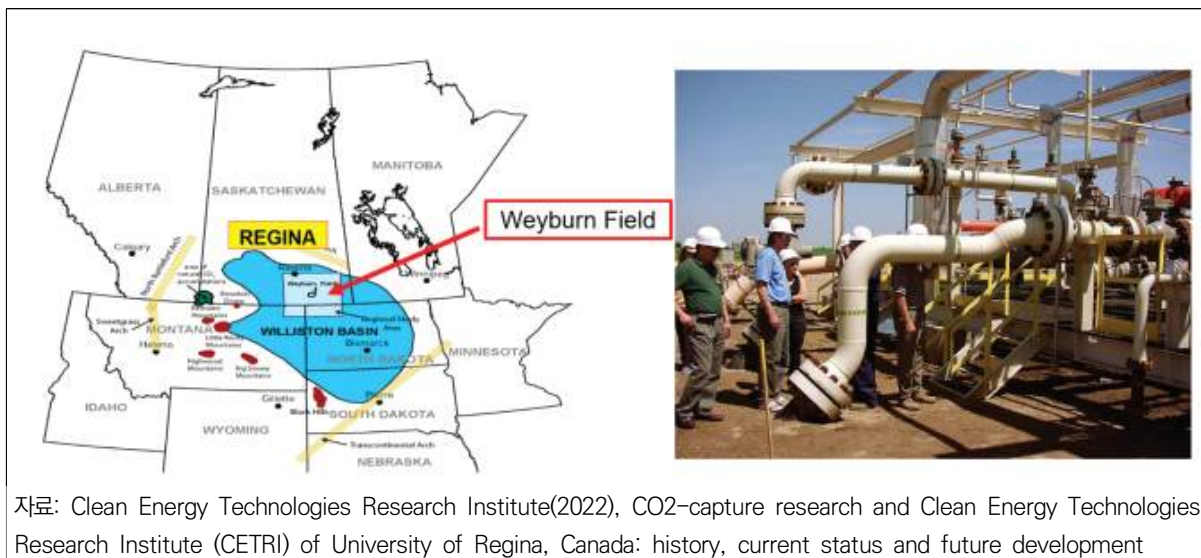
- 이 중 Northern Light 프로젝트는 Longship 프로젝트의 일환으로 진행되는 탄소 포집, 운송 및 저장에 특화된 프로젝트로서, 노르웨이 국영 에너지 기업 에퀴노르(Equinor), 셸(Shell) 및 토탈에너지스(TotalEnergies)가 공동 출자
- 시멘트 제조업체 등 본토에서 배출돼 포집한 CO₂를 운반해 북해 해저 유정에 영구 저장할 계획이며, 본토로부터 운송된 이산화탄소가 해저에 저장되기 위해 거쳐 갈 터미널(receiving terminal)을 노르웨이 서해안에 위치한 Øygarden 지역 내 설치 중



〈 그림 12. 노르웨이 Longship 프로젝트 개요 및 도식 〉

- (미국) 대표적인 탄소포집 및 저장 프로젝트로 일리노이 분지 Decatur의 저장소를 활용한 Decatur/IL-CCS 프로젝트가 운영 중
 - Decatur/IL-CCS 프로젝트는 세계 최초의 바이오연료 기반 대규모 CCS(Bioenergy with CCS, BECCS) 프로젝트로서 지하 2,100m 사암층을 활용해서 CO₂를 저장
 - 에탄올 생산 공정에서 배출한 CO₂를 아민 흡수기반의 포집제로 흡수하여 연간 100만톤을 포집·저장하는 플랜트 구축하여 운영 중

- (캐나다) 2000년부터 석유회수증진(EOR)을 위한 Weyburn 프로젝트가 가동 중
 - 자연발생적 CO₂가 아닌 석탄가스화발전소(미국 다코타 州)에서 대규모로 포집한 인위적 CO₂ 공급원을 이용한 최초의 CO₂ EOR 프로젝트이며, 포집한 CO₂를 파이프라인을 통해 수송하여 캐나다 Weyburn, Midale 지역 석유회수증진에 사용
 - 1일 CO₂ 생산량 13,000톤 중 8,000톤을 EOR 목적으로 파이프라인 수송을 통해 주입하고 있으며, 수송압은 약 6.9Mpa, 평균 주입량은 연간 CO₂ 300만톤, 순도는 95%로 보고



자료: Clean Energy Technologies Research Institute(2022), CO₂-capture research and Clean Energy Technologies Research Institute (CETRI) of University of Regina, Canada: history, current status and future development

〈 그림 13. 캐나다 Weyburn 파이프라인 경로 및 설비 〉

- (호주) 2016년부터 연간 340~400만톤 CO₂를 저장하는 Gorgon Storage 프로젝트 추진
 - 전 세계에서 가장 큰 규모의 CCS 프로젝트로 25억 달러가 투입되었으며, Barrow Island 지역의 지하 2,500m 사암층에 저장
 - 현재는 시설관련 문제로 인해 초기 5년간 목표 포집량의 30% 수준 달성 전망

□ CO₂ 활용 기술

- (종합) 포집된 CO₂를 전기화학적/생물학적 전환과 광물탄산화 과정을 거쳐 연·원료 제조 및 2차 제품생산을 목적으로 하는 공정 개발 실증 프로젝트가 다수 추진
 - CO₂의 화학적 전환에 필요한 에너지를 풍력, 태양광 등의 재생에너지로부터 공급하려는 융·복합적 R&D가 활발히 진행 중이며, CO₂ 기반 고분자 화합물 제조기술은 상용화 단계에 진입
 - 전기화학적 CO₂ 전환 기술은 현재 원천 단계에 있으며, 촉매 소재의 특성에 따라 생성물이 정해지므로 촉매 소재 개발연구가 활발히 진행
 - 미국, 유럽 등 주요국은 대사공학, 합성생물학, CRISPR-Cas9 등 최신 생명공학 기술이 적용된 고효율 산업생산용 균주 개발 연구를 수행
 - 미세조류 대량생산을 위한 바이오 반응기 운전실증 및 경제성 확보를 위한 저가 기질 활용 연구 등이 진행 중

〈 표 7, 해외 CO₂ 활용 기술 주요 사례 〉

활용 기술	주요 내용	국가
화학적 전환	▶ (Sunfire社) Power-to-Liquids 프로젝트를 통해 액체연료 생산을 위한 역수성 가스화 공정의 파일럿 운전 완료	독일
	▶ (Covestro社) 불균일계 촉매 기반, 최대 20%의 CO ₂ 를 함유한 폴리올 제조 생산 (5천톤/년)	
	▶ (Mitsui Chemicals社) CO ₂ 메탄올 생산(100톤/년) 실증	일본
	▶ (JFE) 복합 개질기술 실증	
	▶ (Asahi Kasei社) 에틸렌 카보네이트 및 폴리카보네이트 제조기술 개발	
	▶ (CRI社) 지열발전을 이용하여 CO ₂ 로부터 메탄올 생산 상용 플랜트(12톤/일) 개발	아이슬란드
	▶ (Novomer社) 균일계 촉매 기반 PPC 제조 기술 개발	미국
	▶ (Calera社) 전기화학 공정을 이용, NaOH 합성 및 해수 내 Ca나 Mg 이온을 배가스 중의 CO ₂ 와 반응하여 탄산칼슘 또는 탄산마그네슘 합성하는 공정 개발	
생물학적 전환	▶ (Veramaris V.O.F) 미세조류 기반 저가의 동물사료 및 어류사료 제품 개발 및 판매	유럽

활용 기술	주요 내용	국가
	▶ (Electrochaea社) 10,000L 규모 실증 추진	독일
	▶ 미세조류 기반 바이오 연료 및 기타 제품화* 실증 연구 추진 * (NREL, ExxonMobil) 그린디젤, 항공유, (Qualitas Health, Inc.) 지방산	미국
	▶ 기능성 및 약리효과를 보이는 미세조류의 다당류 사업화에 성공* * Euglena Inc.는 파라밀론 관련 기능성 식품 판매 및 바이오 플라스틱 개발을 위해 1달러/kg의 생산비를 목표로 '30년까지 연간 20톤 규모 공급 계획 발표	일본
분리막	▶ (Skyonic社) 광물탄산화 공정 이용, CO ₂ 를 탄산수소나트륨 및 기타 산업 활용이 가능한 물질로 전환하는 SkyMine 공정 개발하여 운전* * 전기분해로 생산한 수산화나트륨을 이용하여 중탄산나트륨 합성	미국
	▶ (Solidia社) 시멘트 제조 과정 및 콘크리트 양생 과정 이용 이산화탄소 저감 공정 개발* * 약 240kg CO ₂ 저감(콘크리트 1m ³ 기준)	
	▶ (CarbonCure社) 콘크리트 양생 공정을 이용하여 '30년까지 약 500만톤 CO ₂ 저감 목표 발표	캐나다
	▶ (ITOCHU 그룹) 호주에 본사를 둔 국제적 광물탄산화 기업인 MCI 협력 연구 발표* * 산업부산물로부터 산업 활용이 가능한 탄산염 광물 생산 기술 실증	일본
	▶ (Twence社) '14년부터 CO ₂ 포집 기술을 개발한 이래로 매년 약 3천톤 규모의 중탄산나트륨을 생산하고 있으며, '21년까지 연 10만톤 규모의 이산화탄소 포집 설비 구축	네덜란드

자료: 관계부처 합동(2022), CCUS 탄소중립 기술혁신 전략로드맵

4 국제협력 동향

□ 호라이즌 유럽(Horizon Europe)

- 호라이즌 유럽 프로그램 내 클러스터 5(기후, 에너지 및 모빌리티)에서 CCUS 기술개발을 위한 프로젝트 추진
 - CCUS 허브/클러스터 등 인프라의 확산 가속화, 저장 및 활용 프로젝트를 위한 측정/모니터링/검증 프레임워크, DACCS 및 BECCS에 대한 심화연구 등에 초점을 두어 프로젝트 공모가 시행 예정

□ 국제에너지기구 온실가스 R&D 프로그램(IEAGHG)

- IEA 기술협력프로그램(Technology Collaboration Programme, TCP) 중 탄소중립을 달성하기 위해 CCUS 기술지식 공유를 목적으로 하는 온실가스 R&D 프로그램(IEAGHG)이 운영 중
 - 호주, 오스트리아, 캐나다, 덴마크, EU, 핀란드, 프랑스, 인도, 일본, 대한민국, 네덜란드, 노르웨이, 남아프리카공화국, 스웨덴, 스위스, 영국, 미국 정부 등 다양한 국가들이 참여하는 다자간 R&D 협력 프로그램
 - CO₂를 감축하기 위한 CCS 기술의 평가, CCS 적지를 조성하기 위한 기관 역량 합양 및 실증 촉진, CCS 기술에 관한 협력 동력 확보를 위한 네트워크 구축, IEAGHG의 연구 결과의 공유 등을 주요 임무로 설정
 - IEAGHG는 정기적으로 기술 보고서와 연구 결과를 발표하며, 전 세계의 CCS 기술 발전과 정책 수립에 중요한 역할을 수행

□ 미션이노베이션(Mission Innovation)

- 미션이노베이션 2.0에서는 CDR 접근법의 일환으로 ‘이산화탄소 제거’와 ‘넷제로 산업’에서의 CCUS 기술 활용을 장려
 - 특히 ‘이산화탄소 제거’ 임무는 다양한 CDR 기술 중에서도 공학적 방법에 기반한 CDR 기술*들을 활용
 - * 직접 공기 포집(DAC), 탄소제거 및 저장을 활용한 바이오매스(BECCS), 향상된 탄소광물화 등

- CCUS를 글로벌 논의 및 CEM 아젠다로 포함, 정부·민간투자 커뮤니티와 연계, 장단기 투자 기회의 식별 촉진, CCUS 정책·규제 및 투자에 대한 모범사례 전파 등의 활동을 수행

□ 청정에너지장관회의 (Clean Energy Ministerial)

- 「CEM 탄소 포집 활용 및 저장(CEM Carbon Capture Utilization and Storage)」 이니셔티브를 추진
 - 청정에너지장관회의(Clean Energy Ministerial, 이하 CEM)은 미국 주도하에 2010년에 출범한 다자협의체로, 청정에너지 전환 가속화를 목적으로 각종 이니셔티브를 추진
 - 이 중 청정산업 부문에서「CEM 탄소 포집 활용 및 저장」 이니셔티브의 경우 CCUS와 관련된 분야로서 에너지 및 산업 부문에서 배출되는 CO₂ 배출을 줄이기 위해 CCUS의 잠재력을 최대한 활용하는 것을 목적으로 함
 - 동 이니셔티브는 CCUS를 글로벌 논의 및 CEM 아젠다로 적극적으로 포함, 정부·민간 투자 커뮤니티와의 연계, 장단기 투자 기회의 식별 촉진, CCUS 정책·규제 및 투자에 대한 모범사례 전파 등의 활동을 수행

□ ACT(Accelerating CCS Technologies)

- CCS 기술의 RD&D 및 혁신을 촉진하기 위해 수립된 국제 이니셔티브로, 프로젝트 공모를 목적으로 하는 연구관리 전문 국제협의체 역할을 수행
- 2016~2022년 까지 총 4회의 공모가 진행되었으며, CCS 기술과 관련하여 지식공유 워크숍, 웨비나 등의 활동도 전개

□ 아시아CCUS네트워크

- 2021년 일본의 주도하에 아시아 지역에서의 CCUS 활용을 향한 환경정비 및 지식 공유를 위한 ‘아시아 CCUS 네트워크’ 구축
- 총 4차례의 포럼이 개최되었으며, 일본을 중심으로 태국, 인도네시아, 라오스, 말레이시아 등의 국가들이 참여 중

III. 국내 동향

1 정책 동향

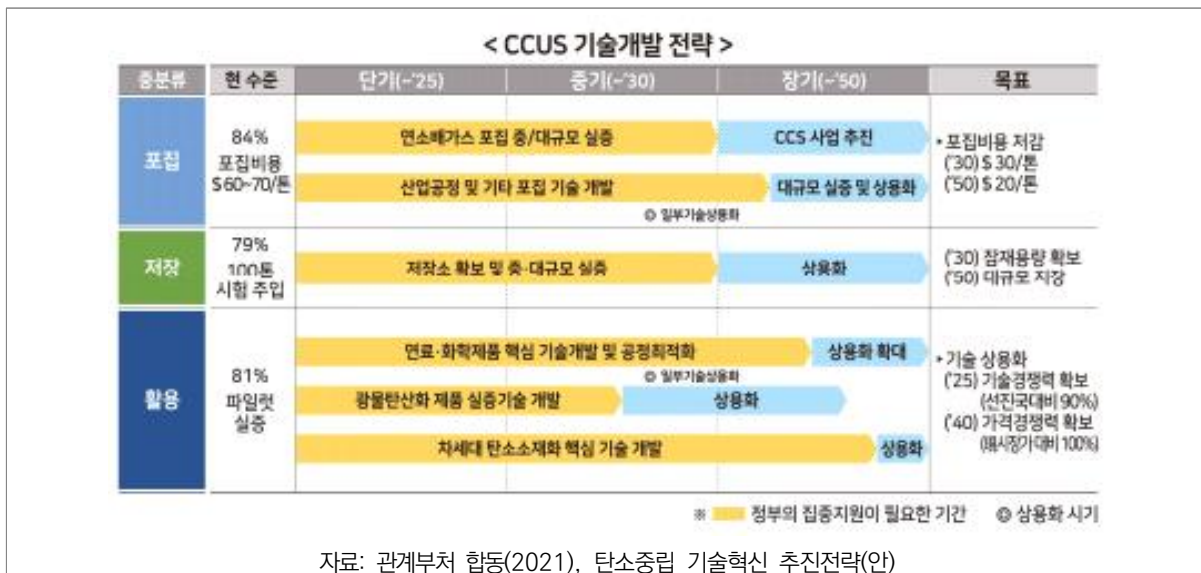
□ 한국은 2050 탄소중립 선언 이후 지속적으로 CCUS 관련 기술개발 전략 및 프로그램을 도출·운영 중

○ 2021년 3월, 탄소중립 기술의 장기적 연구개발과 탄소중립 달성을 위한 「탄소중립 기술 혁신 추진전략」이 발표

- 해당 전략에서는 CCUS를 포함한 탄소중립 10대 기술*에 대한 2050년까지의 장기 목표와 확보 전략을 제시

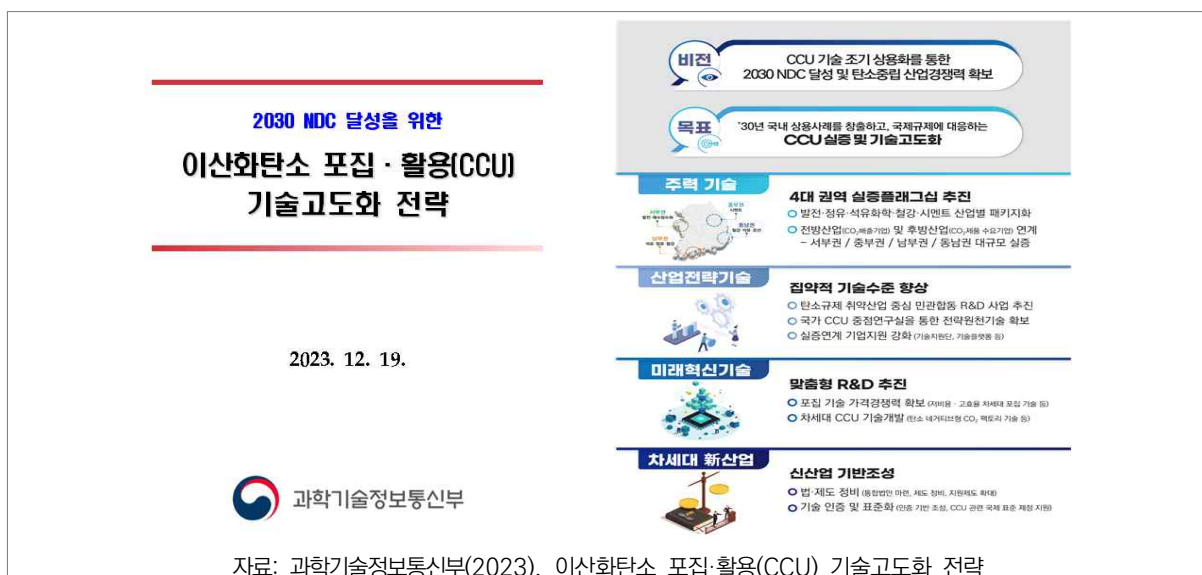
* ①태양광·풍력, ②수소, ③바이오에너지, ④철강·시멘트, ⑤석유화학, ⑥산업공정고도화, ⑦수송효율, ⑧건물효율, ⑨디지털화, ⑩CCUS

- CCUS 분야의 경우, 2030년까지 14개의 CCU 상용제품을 확보하고, 2040년까지 기존 시장가격 수준의 가격경쟁력을 확보하여 탄소중립 실현 및 CCU 신시장 창출을 단계별 목표로 설정



〈 그림 14. CCUS 기술개발 전략〉

- 또한 정부(산업통상자원부)는 2050년 탄소중립 핵심기술인 CCUS(이산화탄소 포집·활용·저장) 기술 개발과 상용 확산을 위한 「K-CCUS 추진단」을 발족
 - 민관합동 K-CCUS 추진단은 CCUS 확산의 컨트롤타워로서 CCUS 신산업화를 위한 민관의 노력을 주도
 - 철강·시멘트·석유화학 등 주요기업 50여개, 석유공사, 발전 5사, 가스안전공사 등 10개 에너지 공기업, 15개 연구기관 및 20여 대학 등 총 80여 개 기관이 참여
 - 업계 기술개발 수요 파악, 정책 수요 발굴뿐만 아니라 CCUS 성과확산 및 산업 생태계 활성화 방안 등을 마련해 정부에 제안
- 2023년에는 기업과 정부출연(연)이 참여하는 「기업·출연연 참여 CCUS 산업기술혁신 추진(안)」이 제안되었으며, 12월에는 과기정통부 주도의 「이산화탄소 포집·활용(CCU) 기술고도화 전략」이 발표
 - 「기업·출연연 참여 CCUS 산업기술혁신 추진(안)」에서는 CCUS 기술개발을 확보하는 정부출연(연)과 시장개척 역할을 하는 기업 간의 공동 R&D 및 산업화 전략을 제시
 - 「이산화탄소 포집·활용(CCU) 기술고도화 전략」에서는 2030년 국내 상용사례를 창출하고, 국제규제에 대응하는 CCU 실증 및 기술고도화를 목표로 4대 권역 실증플래그십 추진 명시



〈 그림 15. 이산화탄소 포집·활용(CCU) 기술고도화 전략〉

- 과기정통부 과학기술혁신본부는 2022년 11월, CCUS 분야 탄소중립 기술혁신 전략로드맵(안)을 수립하여 2030년 NDC를 겨냥한 기술개발 로드맵을 제시
 - 동 전략로드맵에서는 CCUS 분야 기술개발 목표·시점, 투자 방향, 개발 전략, 부처 간 협력, 정부·민간 역할 분담 등을 포함
 - 해당 로드맵 수립을 통해 국가 탄소중립 연구개발 기획·투자·평가 가이드라인에 적용
- 2024년 2월, CCUS 분야 단일법으로는 세계최초의 법안인 이산화탄소 포집·수송·저장 및 활용에 관한 법률안(이하 CCUS 법률안) 제정 및 공포
 - CCUS 법률안은 기후위기 대응과 CCUS 산업육성에 필요한 법적, 제도적 기반을 마련했다는 점에서 그 의의를 지님

〈 표 8, CCUS 법률안 주요 내용 〉

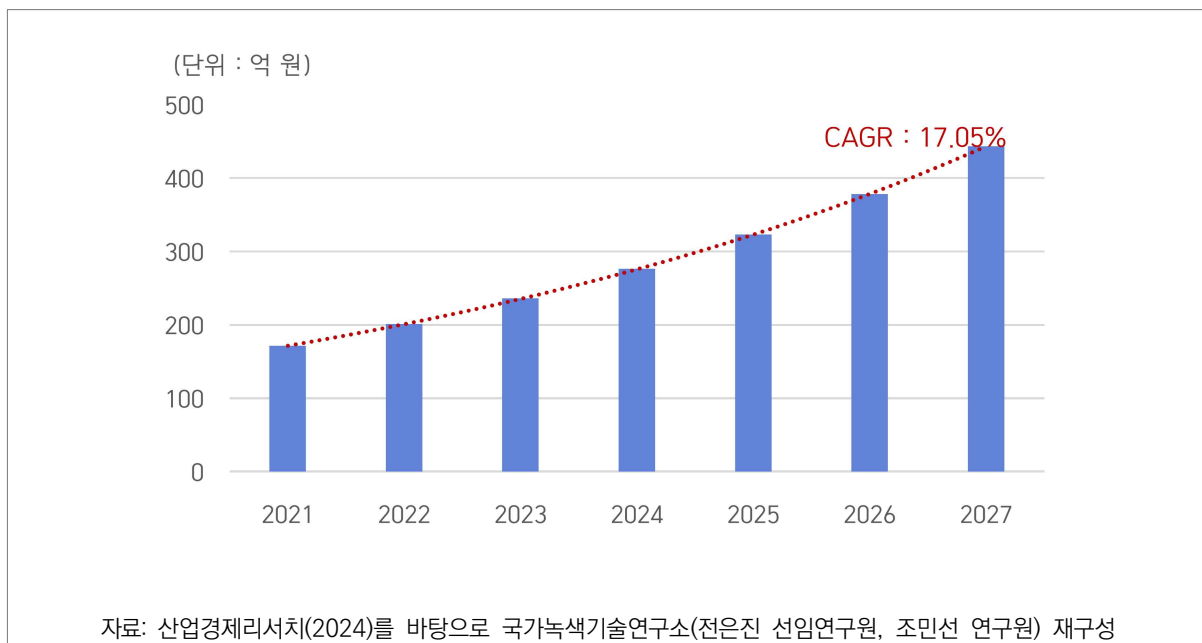
구분	주요 내용	비고
폐기물 해당 여부	▶ 포집한 이산화탄소와 이를 활용하여 생산한 물질 또는 물건은 폐기물관리법상 폐기물에 해당하지 않음(단, 폐기물을 혼합하는 경우에는 폐기물관리법 적용됨)	제4조
이산화탄소 포집	▶ (포집시설 설치계획의 신고) 이산화탄소 포집시설을 설치·운영하려는 자는 산업통상자원부 장관에게 설치·운영계획을 신고하여야 함	제7조
이산화탄소 수송	▶ (수송사업의 승인) 포집한 이산화탄소 수송 사업을 하려는 자는 산업통상자원부 장관의 승인을 받아야 함	제8조
	▶ (이산화탄소 수송관 설치) 이산화탄소수송관을 설치 및 운영하기 위해서는 (i) 안전관리 규정을 정하여 산업통상자원부 장관의 승인을 받아야 하며, (ii) 사업개시 또는 사용 전에 안전관리자를 선임, 신고하여야 함	제9조~ 제10조
	▶ (안전검사) 이산화탄소 수송관 설치운영자는 정기검사 및 수시검사를 받아야 함.	제11조
CCUS 산업 육성	▶ (이산화탄소 공급 특례) 포집사업자가 포집한 이산화탄소를 공급하는 경우 해당 공급량을 감안하여 온실가스 배출량을 산정할 수 있음	제33조~ 제44조
	▶ (실증사업) 지정된 실증사업에 대한 재정적·행정적·기술적 지원 제공 및 허가 등 (고압가스 안전관리법상 제조등록 및 공유수면법상 공유수면 점사용허가 등)에 대한 특례 인정	
	▶ (기타) 이산화탄소 활용기술 및 제품에 대한 인증, 이산화탄소 활용 전문기업의 확인, 이산화탄소 포집·저장·활용 진흥센터 설립 등	

자료: 법제처 국가법령정보센터(2024), 이산화탄소 포집·수송·저장 및 활용에 관한 법률

2 시장 · 산업 동향

□ 시장 및 산업 동향

- CCUS 국내시장은 2021년 171억 원에서 CAGR 17.05%로 성장해 2027년에는 443억 원 규모에 이를 것으로 전망



〈 그림 16. 국내 CCUS 시장 규모 및 전망 〉

- 전반적으로 국내 CCUS 시장은 형성 준비 단계로 탄소중립 선언에 따른 탈탄소-친환경 정책 강화로 CCUS 기술수요 및 기업 관심이 증가하여 시장의 지속적인 성장이 전망됨
 - 정부에서는 2021년 「이산화탄소 포집·활용(CCU) 기술혁신 로드맵」 수립을 통해 2030년까지 14개 CCU 상용제품*을 확보하고 2040년까지 기존 시장가격 수준 대비 가격경쟁력 확보라는 목표를 제시
 - * (CO₂ 화학전환, 7개 품목) 합성가스, 유기산, 카보네이트, 알코올 및 알데히드, 탄화수소류, 고분자, 탄소소재 및 차세대활용, (생물전환, 3개 품목) 바이오매스 생산, 바이오연료화, 바이오소재화, (광물탄산화, 2개 품목) 직접 탄산화, 간접 탄산화, (기타 탄소활용, 2개 품목) 부생가스, 바이오가스

3 기술개발 동향

□ CO₂ 포집 기술

- (습식 포집) 보령화력 10MW급(200톤/일) 포집 실증 경험('20.11, 1만시간 연속 운영)을 바탕으로 상용급(150MW, 3,000톤/일) 설계기술을 확보하고 기술이전 계약* 등 기술 보급 추진 중
- 한국전력공사(주관연구기관)에서 개발한 흡수제(koSol)를 S사(석탄화력, 15MW급) 기술이전계약 완료('21.11), D사(블루수소 생산, 2MW급) 기술이전계약 완료('22.1) 등



〈 그림 17. 국내 CCUS 시장 규모 및 전망 〉

- (건식 포집) 국내외적으로 석탄화력발전 등에 적용가능한 소규모 (0.5~10MW급) 실증을 시도 중
- 국내는 아민기반, 알칼리 금속 등 흡수제 및 공정에 대한 원천기술을 확보하였으나, 공정 성능 확보를 위한 추가 연구 필요
- (분리막 포집) 국내외적으로 연소후 포집공정을 대상으로 20 톤CO₂/일 규모 파일럿 실증을 완료하고, 200 톤CO₂/일 규모 실증 계획 수립 중

〈 표 9, CO₂ 포집 분야 국내 기술개발 동향 〉

구분	주요 내용
습식 포집	▶ 석탄화력발전소 배가스 CO₂ 포집 위한 소규모(10MW) 실증 완료 * (중부발전 보령화력)습식아민 포집 실증플랜트 (10MW 규모) * (서부발전 태안화력) 폴리아민활용 포집 실증 공정 개발중(0.5MW, 10톤CO₂/일 규모) ▶ LNG 발전, 철강산업 공정가스 대상 소규모(1~2MW, 10 톤CO₂/일) 실증 추진 중('21~'25) * (LNG 동서발전 울산복합) 습식아민 포집 실증 (1~2MW, 10 톤CO₂/일) 추진 중('24 구축) * (철강, 포스코) 습식암모니아수(10 톤CO₂/일)
건식 포집	▶ 석탄화력발전소 배가스 CO₂ 포집 위한 소규모(10MW, 150톤CO₂/일) 실증 완료(한전, 예기연) * (남부발전 하동화력) 건식 포집 실증플랜트 (10MW, 150톤CO₂/일) ▶ 에너지 교환형 유동층 포집 공정 실증 (0.5MW, 10톤CO₂/일규모) (화연, KAIST)
분리막	▶ LNG연소, 시멘트, 석유화학 등 CO₂ 포집 위한 소규모(1.5~20 톤CO₂/일) 규모 실증(에어레인)

자료: 관계부처 합동(2022), CCUS 탄소중립 기술혁신 전략로드맵

□ CO₂ 저장 기술

- (저장소 탐사) 국내 대규모 CO₂ 저장소 확보(최대 7.3억톤 추정)를 위해 국내 대륙붕 저장소 종합탐사 및 시추 추진 중
 - 대규모 실증사업 추진 시, 저장층의 저장능력, 지질 위험요소 평가를 위해 지구물리 및 지질 시추자료 등에 대한 과학적 사전분석 필요
- (저장소 설계 및 구축) 2017년 해상 지중 이산화탄소 주입 실증에 성공(세계 3번째)*한 성과를 바탕으로, 상용규모 격상을 위한 동해 가스전 활용 중규모 CCS 통합실증 계획 수립 중
 - * 공주대는 포항해상 저장 실증사업을 통해 2017년 CO₂ 100톤 주입 성공 (3번째 해상 주입 성공 국가, 저장소 탐사기술, 저장소 구축기술, 주입운영기술 등 자립화 성공)
- (저장소 주입·모니터링) 저장소 주입 분야는 원천기술이 부족하나, 해저면 모니터링 기술의 경우 세계 수준의 성과를 창출 중
 - 다만, 사회적 수용성 확보에 필수적인 CO₂ 저장 및 누출 모니터링 평가/예측과 환경 및 생태계 위해성 모니터링이 유기적으로 연계된 기반 기술 확보 필요

〈 표 10, CO₂ 포집 분야 국내 기술개발 동향 〉

구분	주요 내용
저장소 탐사·평가 및 선정	▶ 대규모 CO₂ 저장소 기초조사를 통해 국내 저장용량을 평가하고, 서해 시추조사 중 (~'23, 다부처 공동사업) ▶ '30년까지 7억톤 수준의 저장소 추가확보를 위한 종합탐사사업 계획 수립 중
저장소 시설·설비 설계·구축	▶ 포항 영일만 및 장기분지 소규모 실증 사업 플랜트 구축 자립화(자립화율 80%) ▶ 동해가스전을 활용한 CCS 통합실증사업의 기본설계를 통해 기초기술 확보
저장소 CO ₂ 주입 및 운영	▶ 소규모(100톤) 주입 및 저장 실증(영일만 해상) 성공을 통해 국내 기술력 확보 ▶ 중대규모 실증 조기 추진을 통해 관련 기술의 실증 및 상용화 필요
모니터링· 평가·대응	▶ 지표 지굴물리 모니터링 및 시추공 모니터링 원천기술 개발과 소규모 실증을 통해 지중 모니터링 기초 기술력 확보 ▶ 저장소의 CO₂ 거동 및 누출 모니터링, 지표 (해양) 노출에 대한 예측/평가와 환경 위해성 평가/예측 분야가 포함된 혁신적인 모니터링 기술개발, 고도화 및 현장 실증 필요

자료: 관계부처 합동(2022), CCUS 탄소중립 기술혁신 전략로드맵

□ CO₂ 활용 기술

- (화학적 전환) 일산화탄소 기반의 초산 등 유기화합물 제조를 위한 핵심 촉매와 파일럿 플랜트급 실증을 완료하고 기술이전 계약 등 기술 보급 추진 중
 - 다만, 대부분의 기술이 학계·연구계 중심의 기초·원천연구 단계이며, 상용화 사례는 부재 (해외의 경우 일부 기술은 제품화 단계)
 - 열역학적 한계로 기존 석유화학제품 대비 많은 에너지, 비용 소모, 이를 완화·극복할 고효율·저비용 촉매·공정의 중장기적 개발 필요
- (광물탄산화) 탄산화 기반 건설자재 생산기술은 파일럿 규모의 실증이 진행 중이며, CO₂ 반응경화 시멘트 및 양생 기술은 개발 사례 부재
 - 산업적 활용처가 확실하고 상용화 가능성 높은 광물탄산화 제품의 우선 개발 및 제도적 지원 필요
- (생물학적 전환) 미세조류* 생산기술에 대한 실증이 진행 중이며, 미세조류 기반 바이오매스의 제품화는 가능성 검증 단계

* 한국지역난방공사는 분리막 기술을 통해 CO₂를 포집하여 미세조류를 활용한 고부가 물질(아스타잔틴 원료) 및 생광물화 생산 기술개발을 통해 경제성 확보 가능성 확인

- 성장성이 높고 고효율로 CO₂를 고정하는 미세조류 균주 개발 및 바이오매스를 유용제품으로 전환하는 낮은 TRL 단계 연구 필요

〈 표 11, CO₂ 포집 분야 국내 기술개발 동향 〉

구분	주요 내용
화학적 전환	▶ 한국화학연구원/부흥산업사, CO₂축매전환 CO/초산 제조 실증(20톤/일) ▶ SK이노베이션, CO₂로부터 폴리프로필렌 카보네이트 고분자 제조기술개발 ▶ POSCO-RIST, 이중금속시안염 축매 기반 폴리에테르 카보네이트 폴리올 제조 기술 개발
광물탄산화	▶ 광물탄산화 방법을 이용한 건설소재 활용 위해, 울산 특구 내 실증사업(고순도 탄산칼슘 합성 등 실증) ▶ (한국전력연구원) CO₂→중탄산소다 전환 기술 개발해 롯데케미칼 기술이전 ▶ (포항산업과학연구원) 탄산칼슘, 중탄산나트륨 동시제조 기술 개발 ▶ (한국지질자원연구원) 탈황석고 및 해수담수화화 농축수 이용 탄산칼슘과 탄산마그네슘 화합물 생산
생물학적 전환	▶ 대사공학기술 접목한 균주 개발 원천연구 성공 ※ (한양대) CRISPR-CAS 이용한 고기능 색소 및 고지질 생산균주 개발 (한국생명공학연구원) 천연색소, 지방산생산균주 개발 ▶ (고려대/지역난방공사) 미세조류를 활용한 고부가물질(아스타잔틴 원료) 및 생광물화 생산 기술 개발을 통해 경제성 확보 가능성 확인

자료: 관계부처 합동(2022), CCUS 탄소중립 기술혁신 전략로드맵

4 국제협력 동향

- 한국의 경우 호주, 유럽(노르웨이, 네덜란드), 북미, 중동, 동남아 지역 중심으로 국제협력을 추진
 - (양자협력) 한국-호주 CCS 국제협력 추진을 위한 MOU 체결 및 워킹그룹 구성 관련 성과 구체화 진행
 - K-CCUS 추진단은 2022년 2월 호주 국책 CCUS 연구기관인 'CO2CRC', 에너지기업 신포스를 비롯해 한국무역보험공사, SK E&S 등과 CCS 사업 협력 관련 다자간 업무협약을 체결
 - 주요 내용으로는 '호주 및 인근 CO2 저장소 개발 공동협력', 'Transboundary CCS 사업 개발 및 실행 관련 협력', 'Carbon Credit 메커니즘 관련 공동 협력' 등을 포함
 - (다자협력) 국경통과 CCS 추진을 목표로 하는 한국-호주-싱가포르-일본 4개국 간의 기술 협력 워크숍 추진
 - 호주 정부는 한국, 싱가포르, 일본 정부관계자 수준의 참석자를 대상으로 하는 다자간 온라인 워크숍 개최
 - (해외 공동 프로젝트) SK E&S는 호주 가스전을 활용한 해외 이산화탄소 저장소 확보를 위한 공동프로젝트인 「BU(Bayu-Undan) 프로젝트」 참여
 - SK E&S는 호주 Barossa 가스전 및 청정수소 사업 상업가동시 발생하는 CO2 감축을 위해 BU 고갈가스전에 기 설치된 LNG 인프라를 활용한 연간 1,000만톤 규모의 CO2 저장소 개발 진행 중



〈 그림 17. 국내 CCUS 시장 규모 및 전망 〉

IV. 결론

1 시사점

□ R&D 투자 측면

- 2030 NDC 및 2050 탄소중립 목표를 고려한 중장기적인 R&D 투자 확대 필요
 - NDC와 2050 탄소중립에서 CCUS의 기여도를 고려하여 대규모 CCUS 투자사업(해외 저장소 확보 등)에 대한 정부의 재정 및 R&D 지원 증액 필요
 - ※ '23년 탄소중립 R&D 예산(2조 3천억 원) 대비 CCUS 투자 비중은 5.0% 수준이며, 최근 5년간 연평균 증가율은 8.4%로 주요 탄소중립 기술분야 대비 낮은 수준(수소 39.1%, 친환경차 38.7%)
- CCUS 기술이 상호 유기적으로 연계될 수 있도록 통합 실증연구 계획을 구체화하고, 인프라 구축에 따른 투자비용 경감을 위해 기존 인프라 재활용 등 검토 필요
 - CO2 포집기술은 포집 후 저장 또는 활용에 대한 계획이 연계될 때 업스케일이 가능하지만 현재까지 국내 저장소 및 대규모 활용기술은 부재
 - 국내 저장소 조기 확보, 국가 대규모 CCS 추진 계획 구체화 등 대규모 포집 실증 및 기술 보급 확대 기회 마련 필요
 - 미세조류 바이오매스 대량생산을 위한 인프라 구축 방안(예)간척지를 미세조류 생산 및 CO2 저감 공정 구축을 위한 토지로 용도변경 등) 마련 필요

□ 법제도 개선 측면

- 위험부담 경감, 민간투자 유인 등을 위한 제도적 지원(인센티브, 인증제도 등) 강화와 함께 CO2 전환 기술에 필요한 원·원료의 안정적 확보 방안 제시 필요
 - 초기시장에서 민간기업의 CCUS 기술 투자를 유인할 수 있는 경제적 인센티브* 지원제도 구축 필요
 - * R&D 민간부담금 비율 감수, 금융지원, 세액공제, 기술료 면제 등
 - 원·원료의 안정적 공급, CCU 상용화 제품에 대한 인센티브 부여, 친환경 인증제도

도입 등을 면밀히 검토하여 통해 상용화 촉진 가속화 필요

- CCU 기술의 적용에 따른 온실가스 감축 효과를 객관적으로 평가·인증할 수 있는 방법론 개발·적용 및 탄소배출권과의 연계 필요
 - 한국이 유엔기후변화협약(UNFCCC)에 제출한 국가온실가스감축기여(NDC)에는 CCUS를 활용한 감축목표가 제시되어 있으나, CCU 기술을 활용한 감축량 산정 방법론이 부재하여 민간기업이 CDM 및 외부 감축사업에 등록가능한 탄소배출권으로의 연계가 원활하지 않은 실정임

□ 국제협력 측면

- 해외 저장소 확보를 위한 해외협력을 확대하고, 확보된 CCU 핵심기술이 실증 및 상용화로 이어지기 위해 참여주체 간 명확한 역할분담과 유기적 협력체계 구축 필요
 - 국내 지리적 여건과 기술수준 등을 고려할 때 국내 자체개발로 CCU 목표를 달성하기에는 한계가 있음
 - 대규모 실증 프로젝트를 운영 중인 기술선도국과의 국제 공동연구, 기술교류 등을 추진하기 위한 연구협의체, 클러스터 활동 등의 지원 필요
 - 2050년까지 잠재적인 해외 저장소 확보를 위해 호주, EU, 북미 등과 국제공동 실증연구를 지속적으로 확대하고 기술경쟁력이 낮은 분야는 해외 공동연구를 통해 상용화 기술의 조기 확보 추진 필요
- ※ 국내 CCUS 실증 경험 부족 타개 및 효율적 연구 수행을 위해 국내 기관기업의 선도국 실증 테스트베드 활용 및 해외 대규모 CCUS 프로젝트 참여 지원

참고 문헌

- [1] 과학기술정보통신부(2023), 이산화탄소 포집·활용(CCU) 기술고도화 전략
- [2] 관계부처 합동(2022), CCUS 탄소중립 기술혁신 전략로드맵
- [3] 경제산업성(2021), 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略 経済産業省他
- [4] 법제처 국가법령정보센터(2024), 이산화탄소 포집·수송·저장 및 활용에 관한 법률
- [5] 한국에너지기술연구원(2021), CCUS 심층 투자 분석 보고서
- [6] Clean Energy Technologies Research Institute(2022), CO2-capture research and Clean Energy Technologies Research Institute (CETRI) of University of Regina, Canada: history, current status and future development
- [7] Global CCS Institute(2023), CO2RE, Facilities Database
- [8] IEA(2020), Energy Technology Perspectives 2020
- [9] IPCC(2005), Carbon Dioxide Capture and Storage
- [10] K-CCUS 추진단(2023), CCUS 분야의 국제협력 및 해외 이산화탄소 저장소 확보 동향
- [11] Kalam et al.(2020), Carbon dioxide sequestration in underground formations: review of experimental, modeling, and field studie
- [12] Mitsubishi Heavy Industries(2018), Mitsubishi Heavy Industries Technical Review Vol. 55 No. 1
- [13] U.K. Gov.(2020), The Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution
- [14] U.S. Congress(2021), The Tax Credit for Carbon Sequestration (Section 45Q)
- [15] White House(2021), Biden-Harris Administration Launches American Innovation Effort to Create Jobs and Tackle the Climate Crisis
- [16] 한국경제 홈페이지, <https://www.hankyung.com/economy/article/2021081049101> (2024년 11월 19일 접속)
- [17] Northern Light Project 홈페이지, <https://norlights.com/about-the-longship-project/> (2024년 11월 20일 접속)
- [18] SK E&S 미디어룸(2024), [탄소를 묻다] 전 세계 CCS 프로젝트는 현재 진행 중(~ing), <https://media.skens.com/7190> (2024년 11월 20일 접속)