

ISSN 2733-9696(온라인)
ISSN 2733-9572(인쇄본)



2021
DECEMBER
Vol.2 No.8

2021년 8호

GTC BRIEF

GTC BRIEF는 기후기술과 관련하여 시의성 있는 현안 및 동향정보를 알기 쉽게 정리한 자료임



1. 주요국의 탄소제거기술 연구개발 동향 분석 및 시사점 01

_ 전은진 / 기술총괄부

2022년 8호

GTC BRIEF

2021
DECEMBER
Vol.2 No.8

1. 주요국의 탄소제거기술 연구개발 동향 분석 및 시사점 01

_ 전은진 / 기술총괄부

ISSUE
01주요국의 탄소제거기술 연구개발 동향 분석
및 시사점

전은진 / 기술총괄부 | honeysuckle@gtc.re.kr

하이라이트

- IPCC 1.5°C 특별보고서 이후, 2050 탄소중립 목표 달성을 위한 이산화탄소 흡수 노력의 필요성에 대한 인식 확산
- 산업·농업·항공 부문 등 완전한 탈탄소화가 어려운 부문에 대한 대안으로서 탄소 제거기술의 중요성이 더욱 강조
- 미국, 영국, 일본 등 주요국에서는 이미 탄소중립 시나리오에 탄소제거기술 활용을 반영하였으며, 빠른 스케일업을 위해 관련 연구개발 투자를 확대하는 경향
- 우리나라에서도 2050 탄소중립 시나리오상으로 탄소제거기술이 일부 포함되어 있으나, 탄소흡수원 이외 공학 기반 탄소제거기술 활용에는 다소 소극적인 자세
- 제조업 비중이 높은 우리나라에서도 탄소제거기술 시즈를 다양화할 필요성이 있으며, 관련 연구개발에 대한 지원 강화와 함께 최적 기술 조합 도출을 위한 감축량 평가 방법 개발 및 환경영향 사전 검토·대비 등 선제적 대응이 필요한 시점
- 단, 탄소제거기술의 효용은 사회 전방위적으로 추진되는 감축행동이 이루어진다는 전제 하에서 확보되는 것임을 명백히 할 필요성이 있음
 - 탄소제거기술은 산업 등 공정상 탈탄소화가 어려운 부문을 지원하기 위한 보충수단에 해당
 - 탄소제거기술 개발 및 적용을 이유로 사회 전방위적으로 추진되어야 하는 배출 감축 노력이 해태되지 않도록, 탄소제거기술은 탄소중립 달성을 위한 보충적 수단임을 명백히 할 수 있는 정책적 조치(예 : 탄소제거목표 상한 등) 병행 필요

키워드

- 탄소중립(Carbon Neutral), 배출흡수(Negative Emission), 탄소제거(Carbon Dioxide Removal; CDR), 직접공기포집(Direct Air Capture(DAC)), 바이오 에너지연계이산화탄소포집및저장(Bioenergy with Carbon Capture and Storage; BECCS)

분석 개요

분석 배경

- 파리 협정을 통해 2°C 목표 달성을 위한 전지구적 노력이 경주되고 있으나, 점차 심층 탈탄소화를 통한 목표상향에 대한 공감대가 형성

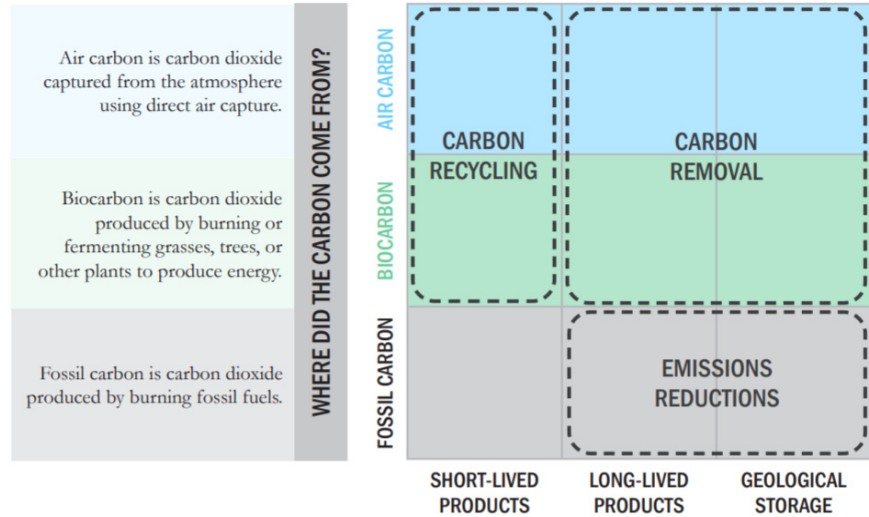
- 기후위기에 대한 전세계적인 경각심에 힘입어 IPCC 1.5°C 특별보고서 채택되면서 탄소중립 달성에 대한 정책적 노력이 더욱 확산
- IPCC 1.5°C 특별보고서에서는 2050 탄소중립 달성을 위해 이산화탄소 배출만큼의 흡수 노력이 필요함을 지적
 - 오버슈*이 없거나 제한된 오버슈 하에서의 1.5°C 억제 경로에서 탄소제거 (Carbon Dioxide Removal)을 활용하여 21세기 내 대략 100~1,000GtCO₂의 이산화탄소가 흡수될 것으로 전망
 - * 특정한 온난화 수준을 일시적으로 초과하는 경우를 의미
- 산업, 농업, 항공 부문 등 완전한 탈탄소화가 어려운 부문의 배출량 감축의 대안으로서, 탄소제거기술의 중요성이 더욱 부각
 - 미국, 영국 등 주요국에서 최근 발표한 장기저탄소발전전략에서 탄소제거기술 적용 경로를 탄소중립 시나리오에 포함

분석 목적 및 방법론

- (분석목적) 주요국의 탄소중립 정책 내 탄소제거기술의 위상 및 연구개발 현황을 분석하여, 우리나라의 탄소제거기술 연구개발에 대한 시사점 발굴
- (분석방법) 주요국이 어떠한 맥락에서 탄소중립 정책 내 탄소제거기술을 활용하고 있는지 살펴보고 우리나라의 탄소중립 정책과 비교·분석
 - 주요국의 탄소제거기술 R&D 프로그램 추진 현황을 파악하여 우리나라 R&D 추진 현황과 비교 분석 후 시사점 제시
- (정의) 대기 중에서 CO₂를 흡수하여 지질, 육상, 해양 저장소 또는 생산물에 영구적으로 저장하는 인위적인 활동을 지칭¹⁾
 - 기존 및 향후 가능한 생물학적·지구화학적 흡수원의 인위적인 강화와 직접적인 공기포집 및 저장을 포함
 - ※ 단, 인간활동과 직접적으로 관련 없는 자연적 CO₂는 제외됨
 - 대기 중에서 직접 CO₂를 흡수하여 장기적으로 격리한다는 점에서 단기적으로 격리하는 ‘탄소재활용’ 기술 및 배출원에서 발생하는 이산화탄소를 포집하는 ‘감축’ 기술과 구별되는 개념²⁾

탄소제거기술의 정의 및 범위

[그림 1] 감축, 탄소제거, 탄소재활용의 개념 구분



※ 출처 : Morrow & Thompson(2020)

- (종류) 크게 수목·토양 등 기존 자연 작용의 향상에 의한 탄소흡수량 증대와 화학 작용을 활용하여 대기중으로부터 이산화탄소를 직접제거하는 기술로 구분 가능
 - ※ 전자를 자연 기반 탄소제거(Nature-based CDR), 후자를 공학 기반 탄소제거(Engineering-based CDR)* 방식으로 지칭하는 경우가 많음³⁾
 - (자연 기반 탄소제거) 조림(造林), 토양탄소격리, 습지 복원, 바이오차 등
 - (공학 기반 탄소제거) 풍화작용 촉진, 바이오매스 활용 건축, 탄소 광물화, 해양 알칼리화, 저탄소 콘크리트, 바이오에너지연계이산화탄소포집 및 저장(BECCS)*, 직접공기포집 및 저장(DACCS)* 등
 - * BECCS : Bioenergy with carbon capture and storage/ DACCS : Direct air carbon capture and storage
 - ※ 상기 기술군들 이외 실험적인 시도로서 구름 알칼리화, 바이오매스 매립, 해양 BECCS, 냉각에 의한 직접공기포집, 인공용승, 인공침강 등이 존재
- (특징) 완전히 새로운 원리로 발생한 독립적 기술영역이 아닌, 배출흡수 (Negative Emission)를 구현하기 위한 목적 하에 기존 기술의 응용처 확대(바이오차 등) 혹은 복합기술(바이오에너지+CCS) 형태로 구성
 - 이러한 특성으로 인해 기술이 아닌 탄소제거 접근법(CDR Approach)로 지칭하거나, 탄소제거에 활용되는 각 기술들을 기법(Technique)으로 지칭하는 경우도 있음
 - ※ 그러나, 주요국에서 탄소제거기술을 별도의 기술영역, 혹은 연구개발 프로그램으로 설정하는 경우가 많은 점을 감안하여 본고에서는 탄소제거기술로 지칭함
 - 개별 기술들이 다양한 기술성속도에 걸쳐 포진해 있기 때문에 어떤 기술 조합이 가장 효율적일지 여부를 파악하기 어려운 단계⁴⁾
 - ※ 탄소제거기술별 기술성속도 추정자료는 영국 정부의 의뢰로 영국왕립학회 및 왕립 공학회에서 추정된 자료(2018)가 대표적이며, 미국 등에서는 기술성속도의 다양성에 대해 포괄적으로 언급하는 수준

[표 1] 영국의 탄소제거기술별 감축 잠재량 및 기술성숙도 추정 사례

온실가스 제거 방법	세계 CO ₂ 제거 잠재량(GtCO ₂ p.a.)	기술성숙도(TRL)
조림, 산림회복 및 산림관리	조림/산림회복 : 3-20 산림관리 : 1-2	8 - 9
습지, 이탄지 및 연안 서식지 회복	0.4-20	5 - 6
토양 탄소 격리	1-10	8 - 9
바이오차	2-5	3 - 6
BECCS	10	바이오에너지: 7 - 9 CCS: 4 - 7
해양비옥화	1-3	1 - 5
바이오매스 활용 건축	0.5-1	8 - 9
풍화작용 촉진	0.5-4	1 - 5
광물 탄산화	-	3 - 8
해양 알칼리화	40	2 - 4
직접공기포집	0.5-5	4 - 7
저탄소 콘크리트	>0.1	6 - 7

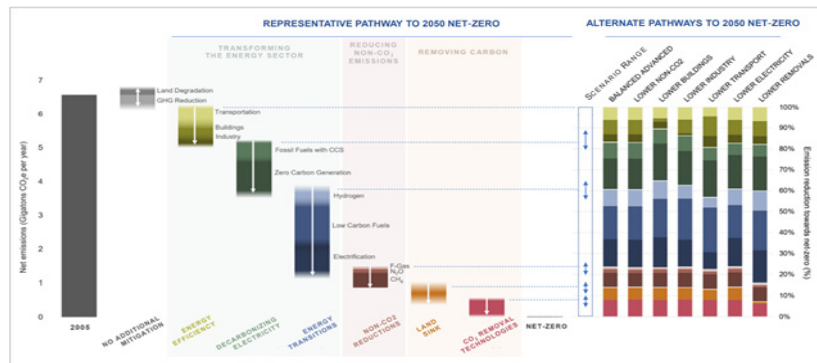
※ 출처 : Royal Society and Royal Academy of Engineering(2018)

주요국 탄소중립 정책에서의 탄소제거기술

미국 탄소중립정책에서의 탄소제거기술

- 미국은 오바마 대통령의 퇴임 전 제출한 장기저탄소발전전략(2016)에서부터 이미 CO₂ 제거기술의 활용 필요성을 제시⁵⁾
 - 그러나, 트럼프 대통령이 취임하면서 오바마 대통령이 시행했던 기후변화 대응 정책 대부분을 부정하면서 관련 정책적 논의 및 추진이 다소 미진
- 바이든 행정부는 새로운 장기저탄소발전전략(2021)*에서 2050 탄소중립 경로로 탄소제거기술 적용을 고려하고, 'CO₂ 제거의 스케일업'을 5대 변혁 과제 중 하나로 설정
 - * 오바마 대통령이 제출한 최초의 장기저탄소발전전략의 틀을 대부분 계승
 - 재생에너지 확대 등 조치로 에너지 생산 부문의 탄소중립을 달성하더라도 완전한 탈탄소화를 달성하기 어려운 부문이 있을 수 있음을 인식
 - 실질적 탄소중립 달성을 위해서는 탄소제거기술 활용 및 스케일업이 필수적임을 강조

[그림 2] 미국 LEADS(2021) 상에서의 2050 탄소중립 경로



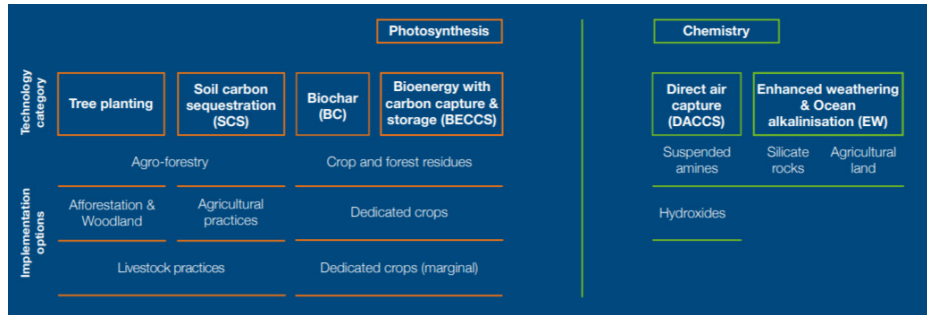
※ 출처 : U.S. Department of State and the U.S. Executive Office(2021)

- 자연 기반 방법(Nature-based)과 직접공기포집 및 저장 등 공학적 방법을 병행
 - 구체적인 예시로서 바이오매스 탄소제거 및 저장, 직접공기포집 및 저장, 향상된 광물화, 해양 기반 탄소제거(Ocean-based CDR)* 등을 제시
 - * 블루카본(Blue Carbon) 이외에도 해양 알칼리화 등의 조치를 포함

영국 탄소중립정책에서의 탄소제거기술

- 청정성장전략(2017)⁶⁾에서의 온실가스제거기술(Greenhouse Gas Removal; GGR) 도입을 시작으로 하여, 활발한 정책적 논의를 전개 중
 - 청정성장전략 수립 이후 학계*에서는 영국정부의 의뢰 하에 GGR 활용 및 연구개발에 대한 검토 수행⁷⁾
 - * 2018년 왕립학회 및 왕립공학회 공동 주관하에 행해졌으며 온실가스 감축 기술별 감축 예상량도 산정
 - 영국 하원 과학기술특별위원회의 2050 온실가스 감축 목표 달성에 필요한 기술검토 과정에서 온실가스 제거기술*의⁸⁾ 상용화 도약을 위한 조치를 주문
 - * BECCS, DACCS, 산림조림, 지표 풍화작용 촉진, 토양 탄소격리, 바이오차 생산 및 활용, 이탄지·습지·해안 서식지 등 다량의 CO₂ 흡수가 가능한 생태계를 가진 서식지 복구, 지속가능한 목재 및 저탄소 콘크리트를 사용하여 건축 자재 내 CO₂ 저장능력을 증진하는 저탄소 건축 방법 등
- ‘녹색산업혁명을 위한 10대 중점계획(2020)’에서도 녹색재정 및 혁신 부문의 일환으로 1억 파운드 규모의 온실가스제거기술 투자를 발표⁹⁾
 - 영국수소전략(UK Hydrogen Strategy) 등 관련 정책에서도 BECCS 등 탄소제거기술을 적극적으로 활용하는 경향¹⁰⁾
- 최근 새로운 장기저탄소전략으로 제출된 ‘탄소중립전략(Net Zero Strategy)’에서는 GGR을 활용한 온실가스 감축 목표*를 제시¹¹⁾
 - * 0MtCO₂(2021)→ 5MtCO₂(2030)→23MtCO₂(2035)→75~81MtCO₂(2050)
 - 자연 기반 및 공학 기반 제거 방법을 모두 활용하며, 2030년 온실가스 감축목표 달성에 대한 실질적인 기여를 목표로 BECCS와 DACCS의 상업화 규모 적용을 추진
 - 단, 탄소제거가 경제 전반에서 행해지는 감축행동을 대체하는 것이 아님을 명백히 하고 있으며, BECCS의 경우 토지이용효율화, 바이오매스의 가용성 및 공급, 환경리스크 관리 등의 과제를 해결할 필요성이 있음을 명시

[그림 3] 영국 탄소중립전략에서의 온실가스제거기술 구분



※ 출처 : HM Government(2021b)

- 영국 탄소중립전략과 함께 발표된 ‘영국 탄소중립 연구혁신 프레임워크(UK Net Zero Research and Innovation Framework)’에서 온실가스 제거기술 개발과 관련된 구체적인 과제 및 연구 수요를 제시¹²⁾
 - 측정, 보고 검증체계(MRV)가 온실가스제거기술의 상용화를 위한 핵심 관건임을 지적하고 2030년까지 관련 방법론 정립 목표를 설정
 - 기술적 과제로서 온실가스 제거의 효율성 확보, 공학기반 탄소제거기술의 에너지 수요 저감, BECCS 확산을 위한 서플라이체인 최적화, 포집된 탄소의 경제적 활용 방안 마련, 기술의 스케일업을 위한 기반 조성 등을 제시

일본 탄소중립정책에서의 탄소제거기술

- 일본 또한 탄소제거기술 개발 및 적용에 적극적인 국가로, 첫 장기저탄소 발전전략인 ‘파리협정에 기반한 성장전략으로서의 장기전략(2019)¹³⁾’에서부터 탄소제거 기술 활용을 명시
 - 자연 기반 탄소제거기술은 흡수원대책 부문에서 다루고 있으며, 산림·도시 녹화, 농지, 자연환경, 목재 기반 바이오매스제품에 의한 저장·화석연료 대체 등 4대 측면에서 접근
 - DAC 등 공학 기반 탄소제거기술은 횡단적 시책의 한 축을 이루는 기술혁신 분야에서 다루어지고 있으며, ‘네거티브 에미션 기술’ 명칭을 사용하여 CCS·CCS와는 별도의 영역임을 명시
 - ※ 단, 아직 직접공기포집기술의 포집과정에서의 에너지 소모 문제 등 해결해야하는 기술적 과제들이 존재하는 상황임을 지적
- ‘혁신적 환경 이노베이션 전략(2020)’ 상에 제시된 39개 기술개발테마 중 바이오차, 직접공기포집 등 탄소제거기술 포함¹⁴⁾
 - 자연기반 탄소제거와 공학기반 탄소제거기술 모두 포함하고 있으며, 농림수산업·흡수원 부문의 기술로 구분
 - 바이오차 활용에 의한 농지탄소저장의 실현, 고층 건축물의 목조화 및 바이오매스 유래 소재 이용에 의한 탄소저장, 스마트 임업, 블루 카본, 직접공기포집 기술개발 등이 언급

- 새로운 LEDS로서 제출한 ‘지구온난화대책계획(‘21.10)¹⁵⁾’에서는 탄소흡수원 부문에서 블루카본, CO₂ 흡수형 콘크리트 등 탄소제거기술 활용을 다루고 있음
 - 이외 기반적 시책인 지구온난화대책기술개발 및 사회적 적용 부문에서 공학기반 탄소제거기술과 연관이 있는 정책 및 R&D 프로그램인 혁신적 환경이노베이션 전략 및 문샷형 연구개발제도 추진을 포함

우리나라 탄소중립정책에서의 탄소제거기술

- 주요국과 달리 우리나라의 장기저탄소발전전략(‘20.12)¹⁶⁾에서는 산림·블루카본 등 탄소흡수원에 주안점을 두는 경향
 - 목재공급량 증대가 포함되어 있으나, 이는 벌채량을 증가시켜 이산화탄소 흡수율을 높이고자 하는 탄소흡수원 관리의 접근방식임
 - 2050 LEDS기본 방향 중 하나로서 탄소제거 등 미래 기술의 상용화에 관한 내용이 포함되어 있으나, 세부적인 내용을 보면 엄밀하게는 배출흡수가 아닌 수소환원제철, CCUS 등 산업공정에서 발생하는 이산화탄소를 감축하는 개념
- 최근 발표된 2050 탄소중립 시나리오¹⁷⁾ 상으로 농축수산, 흡수원 및 직접공기포집 부문에서 탄소제거기술 내용을 포괄
 - 자연 기반 탄소제거는 탄소흡수원 강화에 관련된 내용이 대부분
 - 공학 기반 탄소제거기술은 직접공기포집만을 다루고 있으며, 탄소격리기술과 연계되지 않아 배출흡수를 구현할 수 없는 상태

[표 2] 2050 탄소중립 시나리오상의 탄소제거기술 관련 사항

부문명	탄소제거기술의 활용 사항
농축수산	바이오차 공급 등을 통한 토양 탄소저장 기능 강화
흡수원	산림 흡수원, 고부가가치 목재 이용, 해양/초지 부문의 흡수원
직접공기포집	2050년까지 잔존하는 내연기관차량의 연료(E-Fuel) 제조를 위한 용도로 대기 중 이산화탄소 포집 목표 설정(740만톤 목표(2050))

※ 출처 : 탄소중립위원회(2021)

주요국의 탄소제거기술 R&D 프로그램 추진 동향

미국의 탄소제거기술 R&D 프로그램 추진 동향

- (에너지부) 화석에너지및탄소관리국(FECM)과 ARPA-E*, ARPA-C* 등을 통해 탄소제거기술에 대한 연구개발 추진¹⁸⁾
 - * ARPA-E : 에너지첨단연구프로젝트사무국 / ARPA-C : 기후첨단프로젝트사무국
 - (FECM) FY2022 예산안에서 탄소제거기술(Carbon Dioxide Removal) 세부 프로그램(Sub Program)에 FY2021년 예산(4천만 달러) 대비 57.5% 증가한 6,300만 달러 예산을 요구*
 - * 에너지효율및재생에너지국 바이오에너지기술과(EERE BETO)와의 연계 하에 진행되는 BECCS의 필드테스트 지원, 광물화 및 풍화작용 촉진 등 기술개발에 대한 예산 확대 포함

- (ARPA-E) 목재·농업 잔재물·직접탄소 활용 등 재료를 활용하여 알짜 탄소흡수 (Net Carbon Negative) 건축자재 개발 및 실증을 추진하는 4,500만 달러 규모의 신규 프로그램 HESTIA* 출범(2021.11)

* Harnessing Emissions into Structures Taking Inputs from the Atmosphere의 약어로, 그리스 신화에서의 가정과 화로의 신 헤스티아의 이름을 본딴 것으로 추정

- (ARPA-C) 구체적인 세부 프로그램은 제시되지 않았으나 FY2022 예산안에서 ARPA-C 지원 영역의 예시로 토양탄소격리, 블루카본 등 탄소제거기술 내용을 포함

[표 3] ARPA-C의 지원대상 기술 예시

- ① 획기적으로 향상된 온실가스 관측, 기후분석 및 이상기후 예측을 위한 기후 감지 및 모니터링 기술
- ② 탄소중립/탄소흡수 농업 생산 및 일반 토지/담수/해양 활용(알베도 공학(Albedo Engineering), 다양한 탄소처리 기술 포함)
- ③ 토양원(Land Source)으로부터의 온실가스 배출 방지
- ④ 탄소중립적 폐기물 및 리사이클링
- ⑤ 기후 관련 재해로부터 보호할 수 있는 복원력 있는 인프라 등

※ 출처 : U.S. Department of Energy(2021)

- (내무부 지질조사국(USGS)) FY2022 예산에서 지질학적 탄소처리에 관련된 에너지자원 세부 프로그램에 대한 예산이 대폭 증액(전년 대비 1,241.9% 증가)¹⁹⁾

[표 4] FY2020~FY2022 기간 중 USGS의 에너지자원 프로그램의 주요 증감 내역

(단위 : 천 달러, %)

임무영역 / 프로그램	FY2020 제정예산	FY2021 제정예산 (A)	FY2022 예산요구안 (B)	전년대비 증감액 (B-A)	전년대비 증감 비율 ((B-A)/A)
지질학적 탄소 처리	1,477	1,477	5,977	4,500	304.7%
지질학적 탄소처리 잠재력을 가진 지역에 관한 지질학적 데이터 확보	75	75	3,575	3,500	4,666.7%
미국 연방 영토 내 온실가스 배출 및 탄소흡수원 인벤토리	50	50	10,050	10,000	20,000.0%
미국 연방 영토 내 온실가스 감축을 위한 시나리오 분석 툴 개발	250	250	5,250	5,000	2,000.0%
합계	1,852	1,852	24,852	23,000	1,241.9%

※ 출처 : USGS(2021)

영국의 탄소제거기술 R&D 프로그램 추진 동향

- 최근 영국연구혁신기구(UKRI)에서는 총 3,152만 파운드 규모의 온실가스제거 대규모 실증 프로그램 출범(2021)²⁰⁾

- 다학제 연구를 통해 정부의 우선순위 연구수요에 대응하는 '전략적우선순위기금 (Strategic Priorities Fund; SPF)'을 통해 지원(약 4.5년간)
- 이탄지 관리, 암석 풍화 촉진, 바이오차 등을 활용한 탄소처리, 대규모 식목, 다년생 바이오에너지 작물(억새 등) 경작 등을 연구 중
- 혁신기술의 상업화 지원 기금인 넷제로혁신 포트폴리오(Net-Zero Innovation Portfolio)를 통해 다양한 탄소제거기술 개발에 7천만 파운드 규모의 예산 지원²¹⁾
 - ※ 이산화탄소포집 및 저장 기술과는 별도의 영역으로 지원
 - DAC, BECCS, 바이오차, 풍화작용 향상, 해양기반 탄소제거 등 다양한 기술 분야를 포괄
 - 직접공기포집-원자력 연계, 바이오수소생산과 온실가스제거 연계 등 다양한 기술적 문제 해결을 위한 조합을 시도하는 점이 특색

[표 5] 넷제로혁신포트폴리오의 일환으로 선정된 온실가스제거기술 프로젝트 현황

연번	프로젝트 명
1	SeaCURE - 해양을 매개로 한 인류활동 지원 탄소 제거(해양 탄소 개방 및 제거)
2	바이오수소 온실가스 제거 실증
3	수열탄화 및 후(後)탄화를 통해 바이오폐기물을 바이오차로
4	해양 산성화의 영향에 대응하는 탄소 감축 수소 생산
5	머지(Mersey) 바이오차 : 탄소를 감축하는 지역공동체 기반 에너지
6	CCH ₂ : 바이오매스를 이용하는 탄소포집 및 수소 생산
7	가스화를 통한 방출 감축
8	원자력 발전소에 의해 구동되는 직접 공기 포집
9	바이오차 네트워크 - 실증과 그 너머를 향한 길
10	선형 인프라 프로젝트에 통합된 바이오차과 가속 광물 풍화 탄소 포집
11	DRIVE(혁신적 배출 가격 설정을 통한 CO ₂ 의 직접 제거)
12	녹색 헛간(GREEN-SHED): 쇠고기 생산의 지속 가능성과 넷 제로 배출을 지원하는 통합 저탄소 순환 농업 시스템
13	BIOCCUS
14	프로젝트 드림캐처 - 저탄소 직접 공기 포집
15	SMART-DAC : 직접 공기 포집을 위한 지속 가능한 막흡수 및 재생 기술
16	현무암 가속풍화를 수단으로 한 대기 중 CO ₂ 제거
17	공기 중 탄소의 직접 포집과 광물화
18	비활성 석회 탄소화 프로젝트
19	REVERSE COAL : 식량을 생산하면서 탄소를 저장·저감하는 장기 솔루션 개발
20	저등급 바이오매스에서 생산된 바이오차를 활용한 순환 온실 가스 제거(GGR) 솔루션
21	환경 친화적 이산화탄소 제거
22	InBECCS
23	다양한 온실가스 제거를 위한 저에너지 접근법
24	모듈식 직접 공기 포집

※ 출처 : 넷제로혁신포트폴리오 웹페이지 내용을 저자 정리

일본의 탄소제거기술 R&D 프로그램 추진 동향

- 자연기반 탄소제거기술은 농림수산성을 주축으로 하여 연구개발 진행중
 - 조생수 개발, 엘리트 트리²²⁾ 등 탄소 흡수원 관련 내용이 대부분(22년도 예산은 19.1억엔의 내수(內數)*로 추정²³⁾)
 - * 총 사업 예산 중 일부만이 해당 기술에 해당할 경우를 지칭하는 용어

[표 6] 엘리트 트리의 정의

▶ (정의) 지역 내 인공조림지의 정영수(精英樹)* 중에서도 우량한 개체간 인공교배-육성과정을 거쳐 그 중에서 특히 더 뛰어난 것으로 선별된 제2세대 이후의 정영수를 지칭 * 산림 내 동일품종 개체 중 성장 등 형질이 특별히 우수한 개체를 지칭
▶ (특성) 기존 품종 대비 초기 성장이 빠르고 목질 등에서 우수 형질을 보유 ※ 조림 초기 투자 비용 절감 및 벌채 기간 단축 등 산림 경영비용 효율화가 가능

※ 출처 : 倉本(2019)의 내용을 저자 정리

- 문샷형 연구개발사업의 일환*으로 DAC 등 연구개발 지원에 총 200억엔 투자²⁴⁾
 - * 문샷형 연구개발목표 4 “2050년까지 지구환경재생을 향한 지속가능한 자원순환 실현”의 일환으로 추진
 - 생분해 타이밍 및 스피드를 제어하는 해양생분해성 플라스틱 개발 3건 이외, 질소화합물을 회수/자원순환/무해화 기술개발(2건), 온실가스 회수/자원순환/무해화 기술(8건)* 추진 중
 - * DAC과 함께 건축자재를 활용한 탄소장기격리기술 등 공학적 기반 탄소제거기술들로 구성
 - DAC의 경우 대기중 이산화탄소 회수 과정에서의 소모되는 에너지가 저탄소 에너지가 아닐 경우 오히려 온실가스를 배출하는 원인이 될 수 있는 점 등을 감안하여 포집 효율성 강화, 저탄소 에너지와의 연계 등이 연구 중
 - * 현재 DAC의 기술적 과제로서, 에너지 소비 저감, 저탄소 열에너지 확보, 간헐성을 가진 재생에너지 전력의 효율적 활용 전략, 에어 컨택터 디자인을 통한 자본비용 감소, DAC 최적지 판별, 대규모 지질학적 탄소저장소 확보, DAC을 통한 실질 CO₂ 제거량에 대한 공신력 확보 등이 지적²⁵⁾
 - 이산화탄소 이외 메탄 등 농지 유래 온실가스 대응을 위한 연구개발 포함*
 - * 프로젝트명 : 자원순환 최적화에 의한 농지유래 온실가스 배출감축

[표 7] 문샷 목표 4에서의 온실가스 회수/자원순환/무해화 기술 관련 프로젝트 현황

연번	연구개발프로젝트	수행기관
1	전기에너지를 이용한 대기 중 CO ₂ 고정 바이오프로세스 연구개발	산업기술종합연구소
2	대기중으로부터 고효율 CO ₂ 분리 회수·탄소순환기술 개발	가네자와 대학
3	전기화학 프로세스를 주체로 하는 혁신적 CO ₂ 대량자원화 시스템 개발	도쿄대학
4	C4S* 연구개발 프로젝트 * Calcium Carbonate Circulation System for Construction (건축 분야를 위한 탄산칼슘 순환 시스템)	도쿄대학
5	냉열을 이용한 대기중 이산화탄소 직접회수 연구개발	나고야 대학

연번	연구개발프로젝트	수행기관
6	대기중 CO ₂ 를 이용가능한 통합화 고정·반응계(quad-C System)의 개발	도호쿠 대학
7	"Beyond Zero"사회 실현을 향한 CO ₂ 순환 시스템의 연구개발	큐슈대학
8	자원순환 최적화에 의한 농지유래 온실가스 배출 감축	도호쿠대학

※ 출처 : 문샷형연구개발사업 홈페이지

우리나라의 탄소제거기술 R&D 프로그램 추진 동향

※ NTIS 홈페이지를 활용하여 작성²⁶⁾

- 조림, 블루카본, 토양탄소격리 등에 관한 내용은 산림청, 해양수산부, 농촌진흥청 등에서 활발히 추진 중
 - 토양탄소격리, 조림 등의 경우 농업과학원, 산림과학원 등 내부 R&D형태로 수행하는 경우가 많음
 - 블루카본은 해양수산환경기술개발 사업 및 기타 기초연구지원사업에서 수행
- 주요국과 달리 공학 기반 탄소제거를 위한 별도의 연구개발사업을 추진하고 있지는 않은 상황
 - 이공학 학술연구 기반구축, 개인기초연구, 집단연구지원 등 기초연구지원사업을 통해 해양 알칼리화, 바이오차 활용 탄소저장 등 주제에 대한 연구가 일부 수행
- 그러나, 2050 탄소중립 시나리오 등에서 CCUS 기술을 중시하고 있어, BECCS, DACCS 등 대표적 탄소제거기술의 기반이 되는 CCUS 기술 상용화는 가속화될 것을 보임
 - CCS 기술개발사업은 관계부처별 개별사업으로 진행되었으나, 2021년부터 '대규모 CCS 통합 실증 및 CCU 상용화 기반 구축사업'을 다부처 공동사업* 형태로 추진
 - * 산업통상자원부, 과학기술정보통신부, 해양수산부, 환경부 공동 참여

시사점

- 최근 주요국에서는 탄소중립 관련 정책 추진 과정에서 탄소제거기술의 중요성을 인식하고 연구개발에 대한 지원을 확대하는 추세
 - 원래 우리나라와 유사한 산업구조를 가진 일본 이외에도, 서비스업 위주 산업구조였던 미국과 영국 또한 탄소제거기술 적용에 적극적인 자세를 보이는 점은 최근 제조업 육성정책 강화 움직임²⁷⁾과 관련이 있는 것으로 추정
 - 제조업 등 산업 부문은 완전한 탈탄소화가 어려운 부문임을 비추어볼 때, 이에 대비하여 다양한 탈탄소화 수단을 구비하기 위한 포석으로 해석가능
- 기초원천 단계 연구에 대한 투자 강화 뿐만 아니라 상용화 시점을 앞당기기 위한 과감한 R&D 투자를 진행 중
 - 특히 영국은 기술의 상업화 촉진을 담당하는 넷제로혁신포트폴리오를 통해 BECCS, DACCS 등 공학기반 탄소제거기술의 빠른 상용화에 주력

- 미국 역시 ARPA-E, ARPA-C 등 기초원천단계 연구개발프로그램 관할 조직 이외 화석에너지 및 CCS RDD&D 지원을 담당하는 화석에너지 및 탄소관리국(FECM)소관 프로그램 예산을 증액
- 최근 우리나라에서도 2050 탄소중립 시나리오 상으로 자연·공학기반 탄소제거 기술을 포괄하고는 있으나, 공학적 방식의 탄소제거기술 개발 및 활용에는 다소 소극적
 - 주요국에서 적극적으로 연구개발 및 활용을 검토하고 있는 대표적인 탄소제거기술인 BECCS에 대한 언급은 부재
 - 탄소중립 시나리오 내 별도 부문으로서 직접공기포집을 포괄하고 있으나 탄소격리기술과 연계되지 않아 배출흡수(Negative Emission)을 구현하지 못하는 상태
 - 사실상 탄소제거기술이 아닌 탄소 재활용(Carbon Recycling)기술에 해당
- 미국, 영국, 일본 등에서는 탄소제거기술 확보를 목적으로 한 R&D 프로그램을 별도로 운영하면서 다양한 탄소제거기술 한계 극복 및 기술조합 시도 중
 - 우리나라는 탄소흡수원 증진 기술 이외에는 BECCS, DACCS 및 풍화작용, 해양알칼리화 등 다양한 시도는 다소 미진한 편
 - 탄소제거기술의 기술적 한계점(LCA 상의 배출흡수 구현 여부)을 극복하기 위해 원자력 연계 등 다양한 수단을 과감하게 시도해보고 있는 점과는 대조적
 - 융복합 연구 관련 연구개발사업 내 탄소제거를 목적으로 하는 내역사업 등을 신설하여 탄소제거기술에 대한 최적 조합을 모색할 필요
- 다양한 개별기술들의 성숙도가 상이한 특성으로 인한 탄소제거 최적 조합 도출, 바이오매스 지속가능성 확보, 지중저장 장소 도출 등의 과제 해결은 필요한 상태
 - 최적 조합 도출을 위해 기술별/기술간 조합 후 감축량을 정확하게 평가할 수 있는 방법론 개발을 병행할 필요성이 있음
 - ※ 특히 환경, 지역 등에 변수에 따라 감축량이 달라질 수 있기 때문에 우리나라 현황에 최적화된 방법론 도출이 필요
 - 특히 우리나라의 상대적으로 좁은 국토 면적과 산림 경영 현황상, 바이오매스의 지속가능성 보장 및 지중저장장소 확인은 중요한 선결과제
- 환경적 조건 등으로 인해 아직 우리나라는 탄소제거기술의 활용에 소극적인 것으로 보이나, 상황변화에 대비한 기술적 선택지를 다양화할 필요성이 있는 시점인 것으로 보임
 - 최근 산림 등 탄소흡수원의 탄소제거 능력에 대한 과대 평가 이슈가 지적²⁸⁾되고 있기 때문에 탄소흡수원 관리 기술 이외의 대안을 선제적으로 발굴할 필요

- 단, 상용화에 시간이 소요되는 탄소제거기술을 명분으로 하여 사회전반에서 진행되는 감축행동을 해태하지 않도록 정책적 수단을 마련할 필요
 - 탄소제거기술의 적용은 기술개발에서 상용화까지 상당 시간이 소요될 것으로 예상되며, 적용되더라도 산업 등 완전히 탈탄소화가 어려운 부문을 지원하기 위한 보충적인 수단에 해당
 - ※ 영국 탄소중립전략 등에서 온실가스제거기술이 감축행동을 대체하지 않음을 별도로 명시한 것도 동 기술의 도입으로 인한 도덕적 해이가 감축행동의 해태를 야기할 가능성에 대한 경계인 것으로 추정
 - 학계에서 지적되고 있는 바와 같이 탄소제거 목표에 대한 상한제 등을 도입하는 형태로 탄소제거기술은 감축행동을 보완하는 보조적 수단임을 정책적으로 명확히 하는 조치가 병행되어야 함

참고문헌

- 1) IPCC. (2018). Global Warming of 1.5°C : An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty.
- 2) Morrow & Thompson. (2020). Reduce, Remove, Recycle : Clarifying the Overlap between Carbon Removal and CCUS, ICRLP Working Paper No. 2 December 2020, Institute for Carbon Removal Law and Policy.
- 3) European Parliament. (2021). Carbon dioxide removal : nature-based and technological solutions, Briefing Towards Climate Neutrality 23-02-2021.
- 4) the United States Department of State and the United States Executive. (2021). The Long-Term Strategy of the United States: Pathways to Net-Zero Greenhouse Gas Emissions by 2050, November 2021.
- 5) The White House (2016): United States Mid-Century Strategy for Deep Decarbonization. Washington, D.C.
- 6) HM Government. (2017). The Clean Growth Strategy : Leading the way to a low carbon future.
- 7) Royal Society & Royal Academy of Engineering. (2018). Greenhouse Gas Removal.
- 8) House of Commons. (2019). Clean Growth : Technologies for meeting the UK's emissions reduction targets, Science and Technology Committee, Twenties Report of Session 2017-19.
- 9) HM Government. (2020). The Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution : Building back better, supporting green jobs, and accelerating our path to net zero, November 2020.
- 10) HM Government. (2021a). UK Hydrogen Strategy, August 2021.
- 11) HM Government. (2021b). Net Zero Strategy: Build Back Greener, October 2021.
- 12) HM Government. (2021c). UK Research and Innovation Framework, October 2021.
- 13) 日本政府. (2019). 파리協定に基づく成長戦略としての長期戦略. 閣議決定.
- 14) 統合イノベーション戦略推進会議. (2020). 革新的環境イノベーション戦略. 令和2年1月21日
- 15) 日本政府. (2021). 地球温暖化対策計画. 閣議決定.
- 16) 대한민국정부. (2020). 지속가능한 녹색사회 실현을 위한 대한민국 2050 탄소중립 전략.
- 17) 관계부처 합동. (2021). 2050 탄소중립 시나리오안.
- 18) U.S, Department of Energy. (2021). FY 2022 Budget Request to Congress.
- 19) U.S. Geological Survey. (2021). FY2022 USGS Budget Justification.
- 20) 출처 : 영국연구혁신기구 홈페이지(<https://www.ukri.org/news/uk-invests-over-30m-in-large-scale-greenhouse-gas-removal/>)
- 21) 출처 : 넷제로 이노베이션 포트폴리오 직접공기포집 및 기타 온실가스제거기술 영역 웹페이지(<https://www.gov.uk/government/publications/direct-air-capture-and-other-greenhouse-gas-removal-technologies-competition>) (방문일자 : 2021-12-10)
- 22) 倉本 哲嗣. (2019). エリートツリーの開発・普及, 林野庁 森林整備部 整備課造林間伐対策室 シンポジウム「早生樹・エリートツリーの現状と未来~その可能性と課題を探る~」講演資料集, 2019年 3月 4日.
- 23) 経済産業省. (2021). 資料3-2 : プロジェクトアウトLOOK, 第7回 グリーンイノベーション戦略推進会議, 2021年11月26日.
- 24) 출처 : 문샷형연구개발사업 홈페이지(<https://www8.cao.go.jp/cstp/moonshot/project.html>) (방문일자 : 2021-12-11)
- 25) Innovation for Cool Earth Forum. (2018). Direct Air Capture of Carbon Dioxide. ICEF Roadmap 2018.
- 26) 출처 : 국가과학기술지식정보서비스(<https://www.ntis.go.kr>)(방문일자 : 2021-11-27)
- 27) 전은진 외. (2021). 탄소중립 대응 주요국 R&D 동향조사 및 분석, 녹색기술센터.
- 28) 출처 : MIT Technology Review(<https://www.technologyreview.kr/carbon-removal-hype-is-a-dangerous-distracton-climate-change>)(방문일자 : 2021-11-30)

본 내용은 녹색기술센터(GTC)의 2021년도 주요사업 연구과제인 「융·복합 기후기술기반의 데이터 플랫폼 구축 및 인벤토리 연구(신현우, 전은진, 오지현, 이천환, 정현덕, 안형욱)」의 일환으로 수행된 내용입니다.

2021년 8호 2021 DECEMBER Vol.2 No.8

GTC BRIEF

발행인 정병기

발행일 2021년 12월 31일

발행처 녹색기술센터

주소 04554 서울특별시 중구 퇴계로173
남산스퀘어 빌딩 17층

전화 02.3393.3961

팩스 02.3393.3919~20

홈페이지 <http://www.gtck.re.kr>

I S S N 2733-9696(온라인)
2733-9572(인쇄본)

디자인 리드릭 02.2269.1919



04554 서울특별시 중구 퇴계로173
남산스퀘어 빌딩 17층
Tel. 02.3393.3900
Fax. 02.3393.3919~20
www.gtck.re.kr

* 본 GTC BRIEF의 내용은 필자의 개인적 견해이며, 센터의 공식적인 의견이 아님을 알려드립니다.