

## 우리나라 배출권거래제에 이산화탄소제거 접근법의 통합 가능성 모색 연구: 델파이 방법론을 활용한 전문가 설문을 중심으로

손범석\* · 오채운\*\*† · 오상진\*\*\*

\*고려대학교 에너지환경대학원(그린스쿨) 박사학위과정 / 국가녹색기술연구소 정책연구본부 데이터정보센터 선임연구원,

\*\*국가녹색기술연구소 정책연구본부 국가기후기술협력센터 책임연구원, \*\*\*국가녹색기술연구소 전략기획센터 선임연구원

### Research on the integration of Carbon Dioxide Removal (CDR) approaches into Korea's emission trading system as an eligible mitigation activity: Based on the Delphi expert survey method

Son, Bumsuk\* · Oh, Chaewoon\*\*† and Oh, Sangjin\*\*\*

\*Ph.D. Candidate, Graduate School of Energy and Environment (KU-KIST GREEN SCHOOL), Korea University, Seoul, Korea / Senior Researcher, Center for Data Information, National Institute of Green Technology, Seoul, Korea

\*\*Principal Researcher, National Climate Technology Cooperation Center, Division of Policy Research, National Institute of Green Technology, Seoul, Korea

\*\*\*Senior Researcher, Center for Strategic Planning, National Institute of Green Technology, Seoul, Korea

#### ABSTRACT

Carbon dioxide removal (CDR) approaches have recently gained traction for their mitigation potential to contribute to achieving carbon neutrality. Numerous policy options have been proposed to facilitate the demonstration and deployment of CDR approaches. Integration of CDR approaches into the emission trading system (ETS) is one such essential policy. While major global jurisdictions are actively exploring the integration of CDR approaches, including engineering-based CDR approaches, into their ETS, the Korean ETS (K-ETS) currently includes only afforestation & reforestation, which is one of the nature-based CDR approaches, as eligible mitigation options. In this regard, it is an opportune time to consider the integration of other CDR approaches into the K-ETS as eligible mitigation activities. Accordingly, this study explores two research questions. First, it conducts research on the integration of CDR approaches into ETS in other regions. The study then explores the most appropriate policy approaches to the integration of CDR approaches into the K-ETS, drawing on the results of the Delphi survey among experts. For this, four questionnaires were prepared: one each to query i) the necessity of K-ETS institutional improvement, ii) CDR approaches to be prioritized for integration into the K-ETS, iii) policies to consider CDR approaches, particularly engineering-based CDR approaches, in the K-ETS, and iv) values to be prioritized. The survey results reveal Korea's future policy path for the integration of CDR approaches into the K-ETS.

*Key words* : Direct Air Capture (DAC), Carbon Dioxide Removal (CDR) Approaches, Carbon Market, Emission Trading System, Delphi Method

†Corresponding author : chaewoon.oh@gmail.com (National Institute of Green Technology, 14th floor, Yeouido Post Tower, 60, Yeouinaru-ro, Yeongdeungpo-gu, Seoul 07328, Korea. Tel. +82-2-3393-3987)

ORCID 손범석 0009-0008-9627-9355  
오채운 0000-0003-1357-5519

오상진 0000-0003-4782-7016

## 1. 서론

기후변화에 대응하기 위한 국제사회의 노력이 가속화되면서, 온실가스 감축을 위한 다양한 접근법이 모색되고 있다. 특히 파리협정 채택 이후 전 세계적으로 ‘탄소중립’ 목표가 설정되면서, 온실가스 배출을 배출원에서 저감(reduction)하는 것뿐만 아니라 대기 중으로부터 이산화탄소를 제거(removal)하는 이산화탄소제거(CDR, carbon dioxide removal) 접근법의 중요성이 부각되고 있다. 이러한 맥락에서 직접대기포집저장(DACCS, direct air capture with carbon storage) 기술이나 직접대기포집활용(DACCU, direct air capture with carbon utilization) 등 공학 기반(engineering-based) CDR 접근법에 대한 관심 역시 증가하고 있다. 이에, CDR 접근법을 활성화하기 위한 정책 방안이 다방면으로 모색되고 있다. 이러한 정책 방안 중 하나가 바로 배출권거래제도(ETS, Emission Trading System)다. 배출권거래제도는 시장 메커니즘을 활용하여 비용효과적으로 온실가스 감축을 달성할 수 있다는 장점이 있다. 그런데, ETS에서 인정받는 감축 활동은 대부분 배출원에서의 배출저감(emission reduction) 활동에 초점이 맞춰져 있었다.

그러나 최근 들어 EU, 영국, 일본 등 주요국들은 CDR 접근법을 ETS에서 고려하는 방안을 적극적으로 모색하고 있다. EU의 경우 ETS에 CDR 활동을 바로 적용하기 보다, 다양한 CDR 접근법에 기반한 제거 사업의 결과를 평가·인증하기 위한 ‘탄소제거 인증 프레임워크(CRCF, Carbon Removal Certification Framework)’를 EST와 별개로 구축하고 있다. 영국은 CDR 접근법을 자국의 ETS에 직접 포함하기로 결정하고 구체적인 제도를 설계하고 있다. 일본은 2023년부터 시범적으로 운영 중인 국가 단위의 배출권거래제도에서 다양한 CDR 접근법을 감축 활동으로 인정하고 있다. 즉 ETS에 다양한 CDR 접근법을 고려하기 시작했고, 다양한 적용 방식을 모색하기 시작했다. 한편, 우리나라는 ETS에 CDR 접근법 중 산림의 조림·재조림 활동만을 외부사업으로 인정하고 있으며, DACCS 기술 같은 공학기반 CDR 접근법은 아직 인정하고 있지 않다.

기존 연구에서는 CDR 접근법의 활성화 방안의 일환으로 탄소시장을 연구하였다. 탄소시장 중에서도 ETS를 중심으로, ETS에 CDR 접근법을 감축활동으로 인정하고 제거 크레딧을 거래할 경우 발생할 수 있는 다양한 리스크를 다루고 있다. 더 나아가, 이러한 리스크를 고려하면서,

CDR 접근법을 ETS에 연계·적용·통합하는 방안이 EU ETS를 중심으로 모색되었다. 또한, 세부적인 CDR 접근법으로, 특히 DACCS 기술을 중심으로 ETS를 활용하는 방안이 연구되었다. 그러나, 우리나라 ETS 상에서 CDR 접근법을 감축 활동으로 인정하는 것이 필요한지, 그리고 이를 위해 어떠한 제도적 방식으로 접근해야 하는지에 대한 전반적인 연구는 부재하다. 따라서, 국제적인 연구 및 실제 정책 이행 동향을 고려하여, CDR 접근법을 우리나라 ETS에 적용 및 통합하는 방안에 대해서 고찰할 필요가 있다.

이를 위해, 제2장에서는 CDR 접근법과 탄소시장에 대한 기존 연구를 파악하고, 동 연구를 토대로 두 가지 연구 질문을 도출한다. 하나는 현재 ETS를 운영하고 있는 대표적인 국가들이 CDR 접근법을 어떻게 적용·통합하는지 그 정책적 현황을 구체적으로 파악하는 것이다. 다른 하나는 다양한 CDR 접근법을 우리나라 ETS에 적용·통합하는 것이 필요한지, 만약 그렇다면, 그 수준과 방식은 무엇인지 정책적 방향을 파악하는 것이다. 특히, 해외에서 관심을 두고 있는 공학 기반 CDR 접근법을 염두하고 동 정책적 방향을 파악하는 것이 필요하다. 제3장에서는 두 가지 연구 질문을 위한 분석틀을 설정한다. 제 4장에서는 두 가지 연구 질문에 대한 분석 결과로 먼저 CDR 접근법에 대한 주요국 ETS 제도의 정책적 현황을 도출하고, 다음으로 동 정책적 현황을 토대로 향후 우리나라 ETS에서 CDR 접근법을 어떻게 적용 및 통합해야 하는가에 대한 정책적 방향에 대한 전문가 델파이 조사 결과를 도출한다. 마지막으로 제5장에서는 연구 결과를 정리하고 우리나라의 정책적 대응 방향을 제시한다.

## 2. 기존 연구: CDR 접근법과 탄소시장

CDR 접근법은 최근 탄소중립을 달성하기 위한 시스템 전환(transition)을 위해 필요한 3대 행동의 하나로 크게 부상하고 있다. 시스템 전환에 필요한 첫 번째 전환 행동은 재화 및 서비스 ‘공급’ 부문에서 무탄소 또는 저탄소 에너지로 전환하거나 또는 화석연료 에너지를 활용하되 탄소포집 및 저장(CCS, carbon capture and storage) 기술을 적용하는 것이고, 두 번째 전환 행동은 온실가스 배출로 이어지는 재화나 서비스에 대한 ‘수요’를 줄이는 것이다. 이러한 공급과 수요 관리 차원에서 감축 노력이 이루어져도 잔여 배출량이 남는다면, 탄소중립을 위한 남은 세 번째 전환 행동은 ‘CDR 접근법’을 활용하는 것이다

(IPCC, 2022, para C.3).

대기중에서 CO<sub>2</sub>를 제거하는 CDR 접근법은 이제 막 개발되거나 실증 또는 적용되고 있기 때문에, 배출원에서의 배출저감 활동과 비교했을 때 기술적, 경제적, 사회·환경적 실현가능성(feasibility)이 크지 않다. 특히, 경제적 실현가능성과 관련해서, CDR 접근법이 상당한 제거량 잠재성을 가진다고 하더라도 적용 비용이 상당히 높은 바 사업화로 이어지기 쉽지 않다. 또한, CDR 접근법들마다 소요 비용이 다르다(Oh et al., 2024). 이에 다양한 경제적 지원 정책들이 활용될 수 있다. 첫째, CDR 접근법 기술을 보유한 기업이 실증이나 적용 사업을 진행할 때 정부가 보조금을 지원할 수 있다. 둘째, CDR 접근법을 적용해 감축사업을 진행한 기업에 세금 혜택을 줄 수 있다. 셋째, ETS나 국가간 감축사업 협의회 등의 탄소시장 체계에서 CDR 접근법을 감축 활동으로 인정하고 CDR 사업에서 도출된 제거량을 제거 크레딧으로 인정하고 거래할 수 있도록 제도를 개선할 수 있다. 이를 통해, 제거 크레딧을 시장에서 거래하여 경제적 이득을 기업이나 사업자가 기대할 수 있도록 한다.

이 중에서 최근 주목받고 있는 지원 정책은 ‘탄소시장’이다. 기존 연구는 ‘탄소시장에서 CDR 접근법을 인정해야 하는가’의 여부를 중심으로 하고 있다. 이는 다양한 CDR 접근법을 통해 도출된 제거량이 탄소시장, 특히 ETS에서 인정될 경우 리스크가 발생할 수 있기 때문이다. 기존 연구는 크게 여섯 가지 리스크를 다루고 있다(Oh et al., 2023, p. 525). 첫째는 도덕적 해이(moral hazard) 리스크이다. 만약 CDR 접근법이 ETS 상에서 감축활동으로 인정받아, 배출저감 결과물이 제거 결과물과 탄소시장에서 동등하게 인정받는다면,<sup>1)</sup> 기업들이 온실가스 배출 행동을 변화시키는 배출저감 대신 CDR 접근법을 선호하게 될 수 있으며, 이는 도덕적 해이로 이어진다는 의견이다 (Cox and Edwards, 2019). 물론, 공급부문의 배출저감 노력과 수요부문의 관리 노력만으로 감축 목표를 모두 달성하기 어려운 바, CDR 접근법이 제3의 감축 옵션이 될 수 있다는 긍정적인 측면도 있다(Wenger et al., 2021). 그러나, CDR 접근법이 감축활동으로 인정되면, 그만큼 배출저감 활동이 지연될 수 있는 리스크가 존재한다는 의견이다 (Ampah et al., 2024).<sup>2)</sup> 두 번째 리스크는 CDR 접근법에 대한 신뢰도 높은 사업 방법론 부재이다. 배출저감 활동은

추가성(additionality) 원칙에 기반하여, 감축활동 과정과 배출 저감량 계산 시 엄격한 산정과 인증이 이루어지는 반면, CDR 접근법에 대해서는 아직 국제적으로 인정받는 측정·보고·검증(MRV) 방법론이 아직 부재하다는 점이다 (Carton et al., 2020). 세 번째는 영구성(permanence) 리스크이다. 배출저감 활동은 영구적인 배출량 감소로 이어진다. 그러나 CDR 접근법에 의한 제거 활동은 대기중에서 이산화탄소를 포집하여 일정 기간 동안 영구적으로(durably) 지질·육상·해양 저장소(reservoirs) 또는 상품(product)에 저장해야 하는데, 이 영구성의 정도가 배출저감의 영구성과 비교하여 절대적이지 않다는 점이다. 이로 인해, 배출저감 배출권과 제거 배출권을 탄소시장에서 등가로 교환하는 것이 적절하지 않다는 점이다. 넷째는 배출권 가격 하락 리스크이다. 배출저감 배출권이 유통되는 탄소시장에, 다량의 제거 배출권이 유통될 경우, 배출권 가격이 급격히 하락할 수 있고, 이로 인해 감축 활동 유인 효과가 떨어질 수 있다는 점이다(Burke and Gambhir, 2022). 다섯째, 다양한 CDR 옵션들 내의 사업 인센티브가 다르다는 리스크이다. 비용이 낮은 CDR 접근법이 우선적으로 이행될 가능성이 높고, 비용이 높은 CDR 옵션에 대해서는 대규모 실증 및 사용화에 대한 시장 수요가 크지 않아 적절한 수준으로 사업이 진행되지 않을 가능성도 크다 (Burke and Gambhir, 2022). 여섯째, 다양한 CDR 옵션들의 기술 수준 역시 모두 다양하다는 리스크이다 (Michaelowa et al., 2023, pp. 2-3). 특히, 자연 기반 생물학적 CDR 접근법과 공학 기반 CDR 접근법은 그 기술적 성격 및 영구성이 다르다. 따라서, CDR 접근법 내에서도 도출되는 제거 결과물들이 동등한 가치를 갖지 못한다는 의견이다(Carton et al., 2021).

이러한 리스크 연구를 토대로, CDR 접근법과 탄소시장과의 관계에 대한 차후 연구는 ‘만약 탄소시장에서 CDR 옵션을 감축활동으로 인정해야 한다면, CDR 옵션을 어떻게 적용해야 하는가’로 확대되고 있다. 대표적으로 Michaelowa et al. (2023)은 탄소시장을 국제 레벨에서 운영되는 의무적 탄소시장, 국가·지역 레벨에서 운영되는 배출권거래제(ETS, emission trading system), 그리고 자발적 탄소시장으로 구분하여 CDR 접근법의 활용성에 대해서 개괄하였다.

먼저, 파리협정 하에서 수립된 제6.2조 협력적 접근법

1) 배출저감 결과물과 제거 결과물이 구분없이 배출권으로 통용된다는 것을 의미한다.

2) 지연될 수 있는 배출저감 활동으로는 재생에너지 적용, 수소 활용, 에너지 효율성 증대, 전기화 등이며, 이는 모두 화석연료로부터 전환하는 데에 중요한 활동들이다.

또는 제6.4조 메커니즘을 통해 의무적 탄소시장이 형성된다. 이 중에서, Honegger and Reiner (2018)는 파리협정 제6.4조 메커니즘이 CDR 옵션을 활용할 수 있는 주요한 정책수단이 될 수 있다고 피력했다. 제6.4조 메커니즘의 전신인 교토의정서 청정개발메커니즘의 경우, CDR 옵션 중에서 조림·재조림 기술만 감축활동으로 인정했다 (UNFCCC, 2001, para 7(a)).<sup>3)</sup> 이에, 제6.4조 메커니즘 세부 규칙 협상과정에서는, 인정받을 수 있는 CDR 옵션을 확대하기 위한 논의가 진행되었고(UNFCCC, 2021, para 6(c)), 그 결과, 제거 활동으로 인정받기 위한 필요요건에 대한 규칙이 도출되었다(UNFCCC, 2024). 그런데, 어떠한 CDR 옵션이 인정받을 수 있는 지에 대한 구체적인 리스트 또는 범주는 도출되지 않았다. 이는 규칙에 명시된 필요요건만 충족한다면, 어떠한 CDR 옵션도 제거 활동으로 인정받을 수 있다는 의미이다.

다음은 ‘배출권거래제(ETS)’에 CDR 접근법을 적용하는 연구이다. 기본적으로 ETS는 배출자가 미리 정해진 양의 배출권만큼만 배출하도록 하는 방식인 바, 이미 배출되어 대기중에 존재하는 이산화탄소/온실가스를 제거하는 CDR 접근법 자체는 ETS에 맞지 않다(Michaelow et al., 2023, p. 6). 그럼에도 불구하고, ETS 하에서 CDR 접근법을 활성화하는 데에는 세 가지 방법이 있는데, 첫째는 할당량 달성에 제거 크레딧을 허용하는 것이다. 둘째는 제거 사업을 수행한 배출자의 배출 시설에 무료 배출권(free allowances)을 할당하는 것이며, 셋째는 할당량 경매를 통해 발생한 수익을 CDR 접근법에 기반한 시범 시설/사업에 보조금을 제공하는 데에 쓰는 것이다(Michaelow et al., 2023, p. 6). 이러한 활성화 방법을 좀 더 구체적으로 설명한 연구로 Rickels et al. (2021)은 유럽연합(EU, European Union) ETS에 CDR 접근법을 통합시키는 데에 필요한 경제적 그리고 법적 고려사항에 대해 다루고 있다. 특히, 경제적 측면에서, 예를 들어, 바이오에너지와 탄소포집 및 저장(BECCS, Bioenergy with CCS) 및 DACCS 기술을 EU-ETS에 단기적으로 통합시키기 위해서는 제거 크레딧에 대한 상한선(ceiling) 대신 최소 수량(minimum quantities)이 필요할 수 있다는 관점을 제시한다. 또한, 배

출저감 크레딧과 제거 크레딧 간의 가격 차이를 보전하는 정책 수단을 강구할 수 있다고 언급한다. 또는, 제거 크레딧에 대해서 또는 배출권 거래 기업과 제거 크레딧 제공자 간의 직접적인 거래 대신에, 규제기관이 제거 크레딧을 직접 구매하고 배출권 가격의 추이를 보면서 조건부로 이를 제공하는 중간자적 역할을 임시적으로 수행하는 방법이 제시되기도 했다(Rickels et al., 2021, pp. 5-6).

마지막으로, ‘자발적 탄소시장’에서 CDR 옵션이 활발히 인정받고 있다. 관련된 자발적 탄소시장으로는 베라(Verra)의 검증된 탄소표준(Verified Carbon Standard), 골드 스탠다드, 아메리칸 카본 레지스트리(American Carbon Registry), 기후행동리저브(Climate Action Reserve) 등이 있다. 자발적 탄소시장은 교토의정서 청정개발메커니즘에서 활용한 베이스라인과 모니터링 방법론을 적용하고 있지만, 이를 통해 커버되지 않는 감축 기술에 대해 자체적인 방법론을 개발하고 있다. 이에, 토지 기반 CDR 접근법에 대한 방법론과 관련 사업들이 개발되고 있다. 지중 저장, 광물화, 바이오차(biochar) 등에 대해서는 이제 막 방법론이 등장하고 있다. 그러나 DACCS, 해양 비옥화, 강화된 풍화작용 등의 공학적 CDR 접근법에 대해서는 방법론 개발 및 사업화가 아직 더딘 상황이다(Michaelowa et al., 2023, p. 7).

탄소시장에 CDR 옵션을 적용하기 위한 연구는 더 나아가 ‘세부적인 CDR 접근법을 탄소시장에 적용하는 방안’을 중심으로 구체화되고 있다. 특히, 감축 잠재력이 높은 공학기반 CDR 접근법인 DACCS/DACCU 기술을 중심으로 탄소시장과의 연계에 대한 연구가 이루어지고 있다. 먼저, 파리협정 제6.4조 메커니즘 하에서 인정받아야 할 CDR 접근법에 공학기반 활동의 일환인 DACCS 기술이 포함되었다(UNFCCC, 2022, para 24 and 25).<sup>4)</sup> 물론, 이는 예시일 뿐이며, 최종 도출된 제거 규칙에서도 DAC 기술 뿐만 아니라 어떠한 기술도 파리협정 제6.4조 메커니즘에서 인정받는 옵션이라고 명시되지는 않았다(UNFCCC, 2024). 지역 탄소시장의 예시로 대표적인 미국 캘리포니아 저탄소 연료 표준(LCFS, low-carbon fuel standard) 제도의 경우,<sup>5)</sup> 크레딧 확보를 위한 사업에서

3) 다만, 조림·재조림 사업을 통해 도출된 크레딧은 단기 기한부(temporary) 크레딧 또는 장기 기한부(long-term) 크레딧으로 영구적이 아닌 제한된 기간의 생애를 가졌다(Michaelowa et al., 2023, p. 5).

4) 공학기반 CDR 옵션의 예시로, DAC 기술 외에, 강화된 풍화, 해양 알칼리화, 그리고 해양 비옥화 기술이 포함되었다.

5) LCFS는 교통 부문에 대한 배출기준치를 설정하고 이를 규제하며, 동시에 기준치와의 실제 배출량 간의 차이를 바탕으로 크레딧이 발생하기도 하고 소모되기도 하는 제도이다. 여기서 사업기반 크레딧이 발생할 수도 있는데, 이는 사업자가 승인된 온실가스 배출저감 혹은 제거 사업을 수행하여 저감·제거 실적에 따라 크레딧을 획득하여 배출기준치를 달성하는 것이다. 현재 승인된 사업으로는 혁신 석유 공정, 정유설비 개선, 재생수소, 정유소 에너지 저감, DAC 기술 기반 사업이 있다. 즉, DAC 설비를 통한 온실가스 제거량 역시

DAC 기술 기반 사업을 승인하고 있다(CARB, 2020, p. 12). 자발적 탄소시장으로는 베라와 어메리칸카본레지스트리 중심으로 DAC 기술을 적용한 사업 방법론들이 개발 및 적용되고 있다.<sup>6)</sup> 또한, 국가 레벨에서, DAC 기술 기반 제거 사업을 탄소시장을 통해 활성화하기 위해서는, 정부가 DAC 기반 기술사업을 적극적인 감축활동으로 고려해야 하며, DAC 기술 기반 사업 방법론 개발에 정부 지원이 필요하다는 의견도 도출되었다(Oh, 2024, p. 8). 한편, ETS를 중심으로, 다양한 CDR 접근법을 고려하는 과정에서 세부기술인 DACCS/DACCU 기술을 고려하려는 노력들이 이루어지고 있다.

정리하면, 기존 연구에서는 ‘탄소시장에서 CDR 접근법을 감축활동으로 인정해야 하는가’에 대한 질문에서 시작하여 다양한 리스크를 파악하고, 더 나아가 ‘CDR 접근법을 탄소시장에 정책적으로 어떻게 적용해야 하는가’와 ‘구체적으로 어떠한 CDR 접근법을 탄소시장에 적용할 것인가’에 대한 질문을 중심으로 논의가 확대·진행되고 있다. 이러한 연구는 우리나라 탄소시장 정책에 많은 시사점을 주고 있다. 그 이유는 우리나라는 파리협정 제6.4조 메커니즘을 활용할 의지가 있으며, 자체적인 ETS를 운영하고 있고, 또한 자발적 탄소시장 구축을 추진하고 있음에도 불구하고, CDR 접근법을 우리나라 탄소시장에 적용 및 통합하는 것과 관련된 연구는 거의 없기 때문이다. 즉, 기존 조립 및 재조립에 대한 활동 이외에, 전반적인 CDR 접근법을 우리나라 탄소시장에 고려한 연구는 없다. 또한, 우리나라에서 현재 운영중인 ETS에서도 CDR 접근법을 적용·통합에 대해 실질적인 정책적 논의가 없다. 이에, 동 연구에서는 우리나라 ETS를 중심으로 두 가지 연구 질문을 설정하고자 한다. 하나는 ETS를 운영하고 있는 대표적인 국가들(우리나라 포함)이 CDR 접근법을 ETS에 적용·통합에 대해 취하고 있는 정책적 입장 및 현황이 무엇인가이다. 다른 하나는 CDR 접근법의 우리나라 ETS 적용·통합에 대해 적절한 정책적 방향이 무엇인가이다. 특히 DAC 기술 옵션을 적용할 때, 어떠한 정책 및 가치가 뒷받침될 수 있는 지 살펴보는 것이 필요하다. 다음 섹션에

서는 동 연구 질문에 대한 분석틀을 제시하고자 한다.

### 3. 분석틀

동 섹션은 두 가지 연구 질문에 대한 분석틀을 설정하고자 한다. 첫 번째 연구 질문은 현재 ETS를 운영하고 있는 대표적인 국가들이 CDR 옵션을 ETS에 어떻게 적용·통합하는지 그 정책적 현황을 파악하는 것이다. 두 번째 연구 질문은 CDR 옵션을 ETS에 적용·통합하는 것이 필요한지, 만약 그렇다면, 그 수준과 방식에 대해서 파악하는 것이다. 특히, DACCS 기술과 같은 공학적 CDR 접근법을 ETS에 적용·통합하기 위한 정책적 방식에 대해서 파악하는 것이다.

동 연구 질문에 대한 분석틀로, 첫째, ETS에 CDR 옵션을 적용·통합하는 정책방향을 파악·비교하기 위해, 우선적으로 대표국가들을 설정하고자 한다. 전 세계에 현재 운영 중인 ETS는 38개로(ICAP 2025),<sup>7)</sup> 이 중에서 국가 레벨로 운영되는 배출권거래제로 EU, 영국, 일본, 그리고 우리나라를 설정하고 이들의 ETS 상의 CDR 정책 방향을 파악하고자 한다. 동 연구에서는 영국이 EU와 별개의 ETS를 운영하는 바, CDR 옵션을 적용 및 통합하는 데에 있어서 차별화된 정책을 보여줄 수 있을 것이라 판단하여 영국을 선택하였다. 일본은 동경에서 운영되는 도시 레벨의 ETS를 넘어서서 최근 탄소중립 달성 및 녹색전환을 위한 국가 레벨의 ETS 운영을 실시한 바, CDR 옵션에 대한 정책을 파악할 수 있을 것이라 판단하였다. 미국 및 중국은 국가 레벨에 아닌 도시 레벨인 바, 포함하지 않았다. 이를 토대로, CDR 접근법을 ETS에 적용·통합하는 다양한 방식을 파악하고자 한다.

둘째, 앞선 연구질문의 조사·분석 결과를 토대로, 두 번째 연구 질문에 대한 분석틀이 설정되었는데, 우리나라 ETS에 CDR 접근법을 적용·통합하는 것에 대한 필요성을 파악하고, 우리나라에 가장 적절한 방식이 무엇인지 파악하고자 한다. 아직 동 견에 대한 국내 차원의 실질적 논의

LCFS 제도에서 인정해주는 사업이기 때문에 제거량에 따라 LCFS 탄소시장에서 거래할 수 있는 크레딧을 획득할 수 있다(CARB, 2020, p. 12)

6) 카본큐어사가 VERRA로부터 콘크리트 생산에 이산화탄소를 활용하는 DACU 기술에 대한 방법론을 승인받고 이는 2021년 4월 5일 등재되었다(VCS, 2021). 또한, VERRA에는 포집된 이산화탄소의 원천을 화석연료 연소 및 산업공정(fossil fuel combustion and industrial processes) 설비로 한정하지 않고, 대기 중에서 이산화탄소를 포집하는 것도 인정해주는 등, 이미 DAC 기술에도 적용될 수 있는 방법론이 존재한다(VERRA, 2023). ACR에서도 DAC 기술에 대한 방법론이 있는데, 이는 DAC 특화가 아니라, 일반 CCS 기술에 적용되는 방법론인데 이를 DACCS 역시 활용할 수 있도록 설계되었고 대신 저장은 원유 또는 가스 회수 증진을 통한 방법에만 적용하는 것이 허용된다(ACR, 2021).

7) 개발중인 배출권거래제는 12개이고, 개발을 고려중인 배출권거래제는 10개이다.

가 없는 바, 동 연구는 ‘ETS’와 ‘CDR 접근법’에 대한 우리나라 전문가들을 대상으로 설문조사 기반 델파이 방법론을 적용하고자 한다. 델파이 방법론은 특정 이슈에 대해 중요한 질문들에 대해 해당 전문가들을 선정하여 이들을 대상으로 인터뷰 또는 설문조사를 진행한다. 이에, 전문가들이 각자의 전문성에 기반하여 주관적 답을 내리면, 이 답변들을 종합하여 합의에 이른 결과물을 도출한다(Lilja et al., 2011, p. 1004; Song et al., 2024, p. 497). 즉, 델파이 방법론은 주어진 주요한 사안에 대해 객관적인 사실보다는 주관적인 의견(평가나 예측)을 파악하여 답을 내리기 위한 수단으로 활용된다(Schmidt, 1997, p. 764; Song et al., 2024, p. 497).

이를 위해, 동 연구는 총 5단계의 절차를 준비하였다. 1단계는 설문 이전에 전문가들의 정책적 판단을 돕기 위한 참고 자료를 작성하는 것으로, 동 연구의 첫 번째 연구 질문을 통해 주요국 ETS의 CDR 접근법(특히, DAC 기술을 포함)에 대한 적용·통합 방식을 파악하고 정리하였다.

2단계로, 델파이 조사를 위한 설문지를 설계하였다. 설문은 총 5개 문항으로 구성되었고, 이 중 4가지가 핵심질문이다. 1번 질문은 우리나라 ETS에 CDR 접근법을 적용·통합하기 위한 제도 개선 및 관련 제반 노력이 필요한가에 대한 질문이다. 이는 근본적으로 CDR 접근법을 우리나라 ETS에 적용·통합을 고려할 필요가 있는가에 대한 질문이다. 기존 연구에서 ETS에 CDR 접근법을 적용·통합할 경우 다양한 리스크가 발생할 수 있다고 한 바, 전문가들의 전반적인 입장을 파악하기 위함이다. 동 문항에 대해 10점 척도로 평가하도록 하였으며, 평가 결과에 대한 구체적 근거와 이유를 서술하도록 하였다.

2번 질문은 만약 우리나라 ETS에 CDR 접근법이 감축 활동으로 인정된다면, 다양한 CDR 접근법 중 어떠한 접근법이 우선적으로 고려되어야 하는지에 대한 질문이다. 기존 연구에서는 CDR 접근법이 매우 다양하고, 각 접근법이 비용, 기술성숙도, 영구성, 사업 시 도출되는 제거량 수준 등이 매우 다양한 바, 어떠한 CDR 접근법이 우리나라에 우선 적용되어야 하는가에 대해서도 의견이 다를

수 있기 때문이다. 또한, 기존 운용되는 ETS에서도 고려하는 CDR 접근법이 각기 다른 바, 우리나라 ETS에는 어떠한 접근법이 우선적으로 고려해야 하는지를 파악하기 위함이다. 이를 위해, 우리나라 ETS에서 인정 대상 기술의 범위와 관련하여 DACCS, DACCU,<sup>8)</sup> BECCS, 바이오차,<sup>9)</sup> 해양 블루카본,<sup>10)</sup> 그리고 기타 각 기술별로 포함 필요성을 평가하고 그 근거를 제시하도록 하였다.

3번 질문은 DACCS/DACCU와 같은 공학기반 CDR 접근법이 우리나라 ETS에 포함된다면 단기적으로 어떠한 정책이 필요한지에 대한 질문이다. 이는 기존 연구에서 CDR 접근법을 차별없이 ETS에 적용할 경우, 높은 비용이 발생하는 DACCS 기술과 같은 공학 기반 CDR 접근법은 사업화 인센티브가 줄어든다고 하였다. 이에, 공학기반 CDR 접근법의 사업화를 활성화 하기 위한 ETS 적용·통합 방법에 대해서, 기존 ETS에서 적용하는 정책과 더불어 CDR 접근법 간의 차별화 방식 등을 고려한 다양한 옵션들에 대해 전문가 의견을 조사하고자 하였다. 이를 위해, 단기적인 정책 방향으로 일본식 접근(즉시 통합 시행), 영국식 접근(포함 결정 후 의견수렴을 통해 제도 구체화 예정), 유럽식 접근(별도 인증제도 운영), ETS에 제거 크레딧을 통합하되 배출저감 크레딧과 별개의 제거 크레딧 가격 설정, ETS에 제거 크레딧을 통합하되 자연기반 제거 크레딧과 공학 기반 제거 크레딧 간 가격 차별화, 현행 유지(ETS에 제거 크레딧 불인정), 그리고 경매수익에 기반한 기금을 통해 공학적 기반 제거 실증 사업에 투자로 구성되는, 일곱 가지 정책 옵션에 대한 평가를 요청하였다.

4번 질문은 DACCS/DACCU와 같은 공학기반 CDR 접근법이 우리나라 ETS에 포함된다면, 제도 활성화를 위해 우선되어야 할 가치가 무엇인가에 대한 질문이다. 우리나라에서는 이미 조림·재조림이 고려된 바, 공학 기반 CDR 접근법이 ETS에 고려되기 위한 정책적 전략이 필요한데 이를 뒷받침할 ‘가치’를 파악하기 위함이다. 이에, 제도 활성화를 위한 우선순위로 i) NDC 목표 달성을 위한 제거 실적 확보, ii) 배출저감과 제거 노력의 균형, iii) 도덕적 해이 방지(제거 크레딧에 대한 치중 방지), iv) 배출저감

8) 동 연구에서는 DACCU 기술이 매우 다양하기 때문에, DACCU 기술에 대한 전문가들의 인식이 다양할 수 있다고 판단하였다. 이에, DACCU 기술 중 격리의 영구성이 상대적으로 높은 광물화 기술(CO<sub>2</sub> 탄산광물화, CO<sub>2</sub> 콘크리트 양생 및 건설소재 전환 기술)로 한정하였다.

9) 바이오매스(예: 나무, 농작물 잔재물 등)를 산소가 없는 환경에서 열분해하여 생성된 고체 물질로, 주로 탄소함량이 높은 특성을 가지고 있다(Korea Biochar Institution, 2025).

10) 해양 블루카본 기술에 대해서도, 다양한 옵션이 있으며, 전문가들마다 동 기술의 사업화 가능성 및 ETS에 고려하는 것에 대해서 다양한 의견을 가질 수 있다고 판단하였다. 해양 블루카본 기술 중에서, ‘맹그로브/염습지/갯벌 토양탄소증대 활동 등의 옵션’에 대해서는 이미 사업 방법론이 도출되어 제거 사업이 진행중이다. 한편, 해조류 등에 대한 옵션은 아직 방법론이 도출되지 않거나 사업 불확실성 존재한다. 동 설문은 사업화가 진행중인 ‘전자’를 염두하고 진행한다는 내용을 설문조사에 기입하여 진행하였다.

크레딧 가격의 안정화, v) 공학기반 탄소제거 크레딧의 높은 가격을 확보 및 CDR 접근법의 적용 활성화, 그리고 vi) 공학기반 CDR 접근법의 기술 개발 및 이전 촉진에 대해, 각 가치들의 상대적 중요도를 평가하도록 하였다. 마지막 5번 질문은 추가적인 정책 제안이나 고려사항을 자유롭게 기술할 수 있는 항목을 포함하였다. 동 다섯 가지 질문은 Table 1과 같이 정리되었다.

이어서, 3단계로 델파이 조사를 위한 적절한 전문가를 선정하였다. 그룹을 선택 및 구성하는 것이다. 델파이 방법론에서는 의미있는 결과를 통계적으로 도출하기 위해 전문가 그룹의 규모를 일반적으로 10인에서 18인으로 설정하고 있다 (Okoli and Pawlowski, 2004, p. 19). 이에, 동 연구에서는 제1차 및 제2차 델파이 서면 설문조사에서 최소 인원인 10인을 설정하였다. 우선, 핵심 전문성은 CDR

Table 1. Questionnaire

Questionnaire	
<b>Integration of CDR approaches</b>	<p>- <b>Q1.</b> Currently, in the Korean emission trading system (ETs), carbon dioxide removal (CDR) approaches—except for afforestation &amp; reforestation—are not recognized as eligible mitigation activities. Consequently, engineering-based CDR approaches are also excluded. For Korea’s future ETS, where a broader range of CDR approaches can be acknowledged as valid mitigation activities, do you believe institutional improvements and related efforts (including the preparation and development of accounting methodologies for CDR approaches) are necessary? Please, rate the importance on a scale of 1 to 10 and provide your reasons in a separate box.</p> <p>- <b>Evaluation method:</b> 10-point Likert scale &amp; Provision of reasons</p> <hr/> <p>- <b>Q2.</b> If CDR approaches are integrated into the Korean ETS, what technologies should be included? For the list of CDR options, please rate the importance of each on a scale of 1 to 10 and provide your reasoning in a separate box.</p> <p>- <b>Evaluation method:</b> 10-point Likert scale for each technology &amp; Provision of reasons</p> <p>- <b>CDR approaches to be prioritized:</b> DACCS, DACCU, BECCS, Biochar, Marine Blue Carbon, Other</p>
<b>Integration of engineering-based CDR approaches (esp., DACCS)</b>	<p>- <b>Q3.</b> If engineering-based CDR approaches—particularly DACCS/DACCU technologies—are considered, what types of policies should be prioritized in the short term? For each suggested policy, please rate its importance on a scale of 1 to 10 and explain your reasoning in a separate box.</p> <p>- <b>Evaluation method:</b> 10-point Likert scale for each policy option &amp; Provision of reasons</p> <p>- <b>Policy options to be prioritized:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Japanese approach (Immediate inclusion in ETS)</li> <li>• UK approach (inclusion after stakeholder consultation)</li> <li>• EU approach (separate certification system operation)</li> <li>• ETS integration of removal credits with separate pricing for emission reduction and removal credits</li> <li>• ETS integration of removal credits with separate pricing for nature-based and engineering-based removal credits</li> <li>• Status quo maintenance (removal credits not recognized)</li> <li>• Auction revenue based fund for the demonstration project of engineering-based CDR approaches</li> </ul> <hr/> <p>- <b>Q4.</b> If engineering-based CDR approaches—particularly DACCS/DACCUS technologies—are integrated into the Korean ETS, what values should be prioritized to facilitate the effective operation of Korean ETS system? Under each of the indicated values, please rate its importance on the scale of 1 to 10 and provide your reasons in a separate box.</p> <p>- <b>Evaluation method:</b> 10-point Likert scale for each principle &amp; Provision of reasons</p> <p>- <b>Principles (or values) to be prioritized:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Removal performance achievement (NDC target achievement)</li> <li>• Balance between emission reduction/removal efforts</li> <li>• Moral hazard prevention</li> <li>• Emission reduction credit price stabilization</li> <li>• Technology development/transfer promotion</li> <li>• Others</li> </ul>

Source: Formulated by the authors

접근법과 ETS인데, 이 두 개 분야 각기 별도의 전문성이 요구되는 영역인 바, CDR 접근법 전문가 5인과 ETS 전문가 5인으로 구성하고자 하였다. CDR 접근법의 전문가로는, 산림·농업 분야 전문가 1인, DAC 기술 R&D 분야 전문가 1인, DAC 기술 기업가 1인, CDR 접근법에 대한 투자를 고려하는 금융기관에 재직하는 기후금융 전문가 2인을 설정하였다. 한편, ETS 전문가로는 ETS 연구 차원에서 전문성을 가진 법적 전문가 1인, 학계 3인, 그리고 정부 1인으로 구성하였다. 산업계, 학계, 연구계, 정부/관계기관 등 각 분야의 균형 있는 참여를 통해 다양한 관점이 수렴될 수 있도록 하였으며, 기술적, 정책적, 경제적 측면의 종합적 검토가 가능한 전문가 풀을 구성하였다. 다만, 대면으로 실시한 제3차 델파이 설문조사에서는 정부 1인이 별도 사정으로 참여가 어려워,<sup>11)</sup> 총 9인이 조사에 참여하였다.

4단계는 전문가들을 대상으로 설문조사를 실시하는 것이다. 설문조사 횟수와 관련하여, 보통 일치성에 만족스러운 수준을 나타내는 합의도(W)가 0.7 또는 0.75 이상으로 1에 가까울수록 의견이 합의점에 도달한 것으로 본다(Kim et al., 2022, p. 259; Song et al., 2024, p. 500). 이에, 동 연구에서는 전문가 응답 간의 합의도가 동 기준을 만족하도록 델파이 분석을 반복하기로 하였다. 동 연구에서는 전문가들을 대상으로 개별적으로 1차 설문조사(11/1 ~ 11/8)가 실시되었다. 1차 설문 종료 후 응답결과를 분석한 바, 전반적으로 합의도가 낮았다. 이에, 1차 설문 결과를 정리한 내용을 전문가들에게 모두 공유하면서, 동일한 질문지를 토대로 2차 설문조사(11/12 ~ 11/15)가 실시되었다. 2차 설문 결과에 대해서도 합의도가 높지 않았다. 연구진은 설문조사의 문항에 대한 전문가들의 답변을 보면서 문항에 포함된 기술 및 정책 옵션들에 대한 전문가들의 이해가 사뭇 달라 합의도가 낮은 것으로 판단하였다. 이에, 동일한 질문지를 토대로 3차 델파이 조사가 2025년 4월 17일에 대면으로 실시되었는데, 이 때 전문가들이 모두 참여하여 논의하는 방식으로 실시되었다.<sup>12)</sup> 이 회의에서는 동 연구의 연구진이 질문지의 내용을 설명하고, 전문가들이 각자의 의견을 개진하고 서로 공유하여 의견의 차이과 유사성을 파악하고 논의를 통해 합의에 도달할 수

있게 회의를 진행하였다. 이를 통해, 전문가들이 서로의 의견을 파악한 이후, 동일한 질문지에 대해서 서면으로 다시 답변을 제출하였고, 이를 통해 합의도가 높은 결과를 수치적으로 도출할 수 있었다.

마지막 5단계는 전문가들이 합의를 이룬 델파이 조사 결과값을 토대로, CDR 접근법을 우리나라 ETS에 적용·통합 여부와 그 범주와 수준에 대해 우리나라 정책적 방향을 모색하고, 더 나아가 DACCS/DACCU와 같은 공학 기반 CDR 접근법을 우리나라 배출권거래제에 포함하는데 단기적으로 필요한 정책 옵션과 이를 추진할 때 고려할 우선적 가치에 대해서 정책적 방향성을 도출하고자 하였다.

## 4. 조사 및 분석 결과

### 4.1. 이산화탄소제거(CDR) 접근법에 대한 주요국 배출권거래제도 정책 현황

ETS가 운영되는 지역/국가 중에서 대표적으로, EU, 영국, 일본, 그리고 한국을 대상으로, DAC를 포함한 탄소제거 기술에 기반해 도출된 CO<sub>2</sub> 제거 크레딧을 ETS에서 적용 및 통합하는 정책적 현황을 조사하였다.

#### 4.1.1. 유럽연합의 배출권거래제도의 CDR 접근법 고려 현황

먼저, EU ETS는 유럽연합 역내 온실가스 배출량을 경제적·효율적으로 감축하기 위해 2005년부터 시행된 시장 기반 메커니즘이다.<sup>13)</sup> EU ETS에서 배출권은 크게 경매(Auctioning)와 무상할당(Free Allocation)의 두 가지 방식으로 할당된다. 주요 할당방식인 경매는 그 비중이 점차 증가하고 있다. 회원국 정부는 경매를 통해 배출권을 시장에 판매하며, 기업들은 입찰을 통해 필요한 배출권을 구매한다. 경매 수익은 회원국의 기후 및 에너지 관련 투자에 사용될 수 있다(EU, 2024d). 다음으로, 무상할당 방식은 탄소 누출(carbon leakage) 위험이 있는 일부 다소비 산업에 적용된다.<sup>14)</sup> 무상할당 비중은 점진적으로 감소하는 추세이며, 탄소국경조정제도의 도입에 따라 향후에는 더

11) 정부에서 아직 ETS 차원의 CDR 접근법을 고려하지 않은 바, 명확한 정부 입장이나 전문성을 제시하기 어려운 상황으로 델파이 전문가 조사에 불참하는 것으로 결정되었다.

12) 전문가 9인 중 2인이 오프라인 회의에 참석했고, 7인은 온라인으로 참석하여, 온/오프라인 동시 회의로 전문가 논의가 이루어졌다.

13) EU ETS는 현재 4단계(Phase 4, 2021 ~ 2030)가 진행 중이며, 'Fit for 55' 입법 패키지를 통해 2030년까지 1990년 대비 최소 55%의 순 온실가스 감축 목표를 달성하기 위해 배출 상한선을 더욱 가파르게 감축하고 적용 범위를 해운 부문 등으로 확대하는 등 제도가 강화되었다(EU, 2023a).

Table 2. Essential elements of EU Commission’s Draft Proposal on Carbon Removal Certification Framework CRCF (October 2022)

Carbon removal activities	Nature-Based Solutions	Afforestation and reforestation
		Agricultural land management
		Marine ecosystem restoration
	Technology-Based Solutions	Direct air carbon capture (DAC)
		Carbon capture and storage (CCS)
↑		
Certification Criteria	Quantification	Quantification of carbon removal activities
	Additionality	Results must go beyond requirements according to existing practices and laws
	Long-term Storage	Ensuring long-term storage of captured carbon
	Sustainability	Contributing to the achievement of sustainability objectives

Source: Formulated by the authors based on EU (2022)

속 축소될 전망이다(EU, 2023b). EU ETS 상의 배출권 가격은 제도 시행초기에서 현재에 이르기까지 다양한 기간별 특징이 있으나,<sup>15)</sup> 2024년 말 기준 70유로 대로 안정세를 보이고 있으며, 향후에도 EU의 기후변화 정책에 따라 큰 영향을 받을 것으로 전망된다(Trading Economics, 2025).

CDR 접근법과 관련하여, 현행 EU ETS는 CDR 접근법을 감축 활동으로 인정하고 있지 않다. 다만, EU ETS에서는 배출원에서 화석연료에서 발생한 CO<sub>2</sub>가 배출되지 않고 포집되어 지중 저장소로 운송된 경우, 즉 CCS 기술에 대해서만 해당 CO<sub>2</sub>에 대한 배출권 의무를 감면받을 수 있다(EU, 2024c, Article 12 para 3a and Article 49; EU, 2018).<sup>16)</sup>

EU는 2050년 탄소중립 달성을 위한 감축 노력 차원에서 CDR 접근법의 중요성을 인지하고 있다. 그러나 성급

하게 EU ETS에 CDR 접근법을 적용 및 통합할 수 없는 바, EU 집행위원회는 탄소제거 기술 및 활동의 발전과 활용을 촉진하고, 탄소제거 활동의 효과와 신뢰성을 평가 및 검증하기 위한 정책 수단으로 ‘탄소제거 인증프레임워크(CRCF, Carbon Removal Certification Framework)’를 2022년 10월 발의하였다(EC, 2022). 동 발의안에서 제시된 탄소제거 방법으로는 크게 자연 기반과 기술 기반 솔루션으로 구분된다. 자연기반 솔루션에는 산림 복원, 농업 토양 관리, 그리고 해양 생태계 복원을 통해 탄소를 흡수하는 방법이 포함되며, 기술 기반 솔루션에는 DAC 기술과 CCS 기술이 포함되었다. 또한 동 발의안에서는 CDR 접근법 활동을 평가하고 인증하기 위한 4가지 기준으로, i) 정량화,<sup>17)</sup> ii) 추가성,<sup>18)</sup> iii) 장기간 저장,<sup>19)</sup> 그리고 iv) 지속가능성을 제시하고 있다.<sup>20)</sup> 이를 정리하면 다음의 Table 2와 같다.

- 14) 엄격한 기후 규제에 의해 국내 생산 비용이 상승한 기업이 규제가 약한 해외로 생산 기지를 이전하거나, 해당 산업의 수입품이 늘어나면서 전 지구적 온실가스 배출 총량 감소에 기여하지 못하는 현상을 의미한다(Presidential Commission on Carbon Neutrality and Green Growth, 2024).
- 15) 제도 시행 초기의 배출권 가격은 전반적으로 낮은 수준으로, 2005년~2007년에는 톤당 약 20~30 유로 사이에서 변동했다. 이후, 2008년 글로벌 금융위기의 여파로, 2012년에는 톤당 2~3유로로 떨어지기도 하였다(homaio, 2024). 2013년부터는 배출권의 과다 할당 문제를 해결하기 위한 개혁조치(시장 안정화 예비금 도입 등)로 배출권 가격이 상승했고, 2018년에는 톤당 약 15~20유로 수준으로 회복했다(BloombergNEF, 2025). 최근, EU의 기후 정책 강화와 감축 목표에 대한 기대감이 커졌고, 2022년에는 배출권 가격이 한때 100 유로를 초과하는 등 급격한 상승세를 보였다.
- 16) 한편 CCU(탄소 포집 및 활용)의 경우는 매우 제한적으로 반영되고 있다. 현재 CCU는 명시적으로 인센티브를 제공받지는 않지만, 예외적으로 침전성 탄산칼슘을 생산하기 위해 포집된 CO<sub>2</sub>는 배출 의무에서 차감될 수 있다(ICAP, 2025, pp. 39-40).
- 17) 탄소제거 활동을 통해 포집 및 제거된 CO<sub>2</sub> 양이 정확하게 측정 및 보고할 수 있는 시스템이 갖추어져야 한다.
- 18) 탄소제거 활동은 기존 관행과 법에서 요구하는 수준 이상이어야 한다.
- 19) 포집한 탄소가 대기중으로 재방출되는 것을 방지하기 위해 영구적인 저장을 담보해야 한다
- 20) 지속가능성은 탄소제거 활동은 기후적용, 순환경제, 수자원 및 해양자원 보호, 생물다양성 보존 등 환경 및 사회적 지속가능성 목표 달성에 기여해야 한다는 것을 의미한다.

Table 3. EU CRCF activity type and mitigation outcome units

Activity type			Certified units
Carbon removal	Permanent	Permanent carbon removal (storage for several centuries)	→ Permanent carbon removal unit
	Temporary	Carbon farming (storage for minimum five years)	→ Carbon farming sequestration unit
		Carbon storage in products (storage for minimum 35 years)	→ Carbon storage in product unit
Soil emission reduction	Soil emission reductions from carbon farming		→ Soil emission reduction unit

Source: Formulated by the authors based on article 2, article 12 of chapter 1 of EU (2024a)

2024년 4월 10일, EU 의회는 동 발의안에 대해 몇 가지 요소를 추가하여,<sup>21)</sup> 최종적으로 채택하였다(EU, 2022).<sup>22)</sup> CRCF에서 다루는 ‘활동(activity)’ 유형은 크게 ‘탄소제거’와 ‘토양배출저감’으로 구분된다. 먼저, 탄소제거 활동은 포집된 CO<sub>2</sub>의 저장지 영구적인지 아니면 임시적인지로 나뉜다. 영구적 탄소제거란 대기중 또는 생물학적 탄소를 포집하여 수 세기 동안 저장하는 활동을 의미한다(EU, 2022, Chapter 1, Article 2(g)). 한편, 임시적 탄소제거는 다시 두 가지 세부 활동으로 구분되는데, 먼저 탄소농업은 일시적인 탄소제거 활동으로써, 최소 5년 기간에 걸쳐 지질 또는 해안관리와 관련하여 i) 대기중 및 생물학적 탄소를 포집하여 이를 생물학적 탄소풀로 일시적 저장하거나 또는 ii) 토양 배출 제거로 이어지는 활동을 의미한다(EU, 2022, Chapter 1, Article 2(h)).<sup>23)</sup> 다음으로, 탄소상품저장은 대기중 또는 생물학적 탄소를 포집하여 오래 지속되는 제품에 최소 35년간 저장하고 이에 대한 현장 모니터링 및 인증이 가능한 활동을 의미한다(EU, 2022, Chapter 1, Article 2(i)). 이러한 CDR 활동과 별개로 토양배출저감 활동은 토양 탄소풀에서 토양 관리를 개

선하거나 또는 황폐화된 이탄지대(peatlands)를 복원하는 활동을 통해 토양 탄소풀에서 이산화탄소가 대기중으로 배출되는 탄소량을 저감시키는 활동을 의미한다(EU, 2022, para (5a)).<sup>24)</sup> 이를 정리하면 다음의 Table 3과 같다.

CRCF는 일종의 ‘규정(Regulation)’으로서 모든 EU 회원국에서 구속력을 가지며, 인정받은 탄소제거 유닛은 EU 기후목표와 국가 온실가스 감축목표(NDC)에만 사용가능하고 국외감축실적(ITMO)로는 이전될 수 없다(Greenium, 2024a). 현 시점에서는 EU 역내 탄소제거 활동에 한해서만 인증을 부여하나, 향후 역외 국가에 탄소를 저장할 경우에 대해서는 인증을 부여하는 방안을 검토 중이다(Greenium, 2024b). 또한 CRCF는 2028년까지 구축 예정인 전자등록부(Registry)에, 탄소제거 인증과 관련된 정보를 모두 투명하게 공개하여 인증 유닛의 중복계상 및 그린워싱<sup>25)</sup>을 방지하는 것을 목표로 한다 (Greenium, 2024a).<sup>26)</sup> 특히, CRCF 하에서 인정받는 활동 유형 중 영구적 탄소제거 유형에 DACCS 기술이 포함되어 있다.<sup>27)</sup> DACCS 기술에 기반한 탄소제거 활동을 위해서는 정량화

21) EU 의회가 추가한 개정안에는 탄소제거 활동에 대한 인증서 발급 요건으로서 ① 탄소제거 활동이 국제 표준에 부합할 것과, ② EU 집행위원회에 별도의 등록부(Registry)를 설치하고 관리해 투명성을 확보하고 중복 계상 및 부정행위를 방지할 것을 포함하였다 (Impact on, 2023a).

22) 이는 탄소제거 및 탄소농업(Carbon Farming and Carbon Farming) 규정이라고도 불린다. 동 프레임워크의 상세 타이틀은 ‘영구적인 탄소제거, 탄소농업, 그리고 상품탄소저장을 위한 유럽연합 인증 프레임워크(Union certification framework for permanent carbon removals, carbon farming and carbon storage in products)’이다. 이 상세 타이틀을 통해, 동 프레임워크는 CO<sub>2</sub> 제거에 대한 활동과 이를 통해 도출되는 결과물을 보다 상세히 접근하고 있음을 알 수 있다.

23) 탄소농업의 경우 최소 5년 이상 배출량 감축에 기여하면서도 식량안보에는 영향을 주지 않아야 한다(Impact on, 2023a)

24) 이탄(泥炭)은 나무, 풀, 이끼 등의 유기물이 땅에 묻힌 후 습기가 많거나 얇은 물에 잠기는 등의 이유로 탄화가 덜 된 석탄을 말하며, 이탄지는 이러한 이탄이 물을 머금은 채 수천 년에 걸쳐 퇴적되면서 형성된 토지 지역이다. 이탄지 면적은 지구 표면의 약 3%에 불과하나, 저장하고 있는 세계 토양 탄소의 양은 전체의 30%에 달해, 거대한 탄소저장고로 불린다(Eco Times, 2024).

25) 기업이나 단체가 환경친화적인 이미지를 부각시키기 위해 실제보다 과장되거나 거짓된 성과나 실적을 강조하는 것을 의미한다. 동 프레임워크에서는 이러한 그린워싱을 방지하기 위해, 탄소제거 활동을 명확하게 정량화하고 모니터링하며 검증하는 규칙을 제시하여,

와 추가성 차원에서 인증방법론을 구축하는 것이 필요하다. 주목할 점은 CRCF 하에서는 DACCS 기술 사업화에 대한 인증방법론이 EU 혁신기금(EU innovation Fund)의 인증 방법론을 토대로 설정된다(EU, 2022, para 18(a); EU, 2024b, para (18a)).<sup>28)</sup> 동 기금은 탄소제거 사업에도 자금을 지원하나, 현재는 탄소제거 부문을 별도로 설정하고 있지 않다. 이에, DACCS 기술은 동 기금 분류체계 상 CCS 부문에 포함되며, CCS 기술에 적용되는 온실가스 배출회피 계산 방법론이 적용된다(EC, 2021, p. 28).<sup>29)</sup>

이를 정리하면, 현재 EU는 ETS의 감축활동으로 배출저감에 우선순위를 두고 있고, CDR 접근법을 보완수단으로 보고 있다. 다만, CDR 접근법을 EU ETS에 바로 통합하기 전에, CRCF를 탄소제거 활동을 촉진하기 위한 대안적 정책으로 수립하였다. 이에, CRCF를 통해 CDR 접근법이 감축활동으로 인정되면 참가자들이 제거 크레딧을 구매하여 배출량의 일부를 상쇄할 수 있게 되며, 이는 장기적으로 탄소 제거 시장(CDR market)이 형성되는 잠재력으로 작용한다고 볼 수 있다. 향후, EU 집행위원회는 2026년 7월까지, 유럽 의회와 이사회에 DAC를 포함한 네거티브 배출 기술(Negative Emission Technology)<sup>30)</sup> 즉 CDR 접근법을 EU ETS에 통합할 가능성에 대한 보고서를 제출할 예정이다(Carbon Gap, 2024; EU, 2024c). 만약, CRCF의 운영 경험을 토대로, CDR 접근법이 EU ETS에 적용·통합되면, 크게 두 가지 장점이 있을 것으로 보는데, 첫째는 시장 유동성 증가다. ETS의 총 배출 허용량이 지속적으로 감소하고, 추가적인 시장 유동성을 제공하고, 배

출저감이 어려운 산업 부문<sup>31)</sup>의 배출권 수요를 충족시킬 수 있다. 둘째, 제거 크레딧의 수요와 가격이 보다 투명하고 예측가능해 진다(Carbon Gap, 2024).

#### 4.1.2. 영국의 배출권거래제도의 CDR 접근법

영국의 배출권거래제도(UK ETS)는 2021년 1월 1일에 시행된 탄소배출권 거래 시스템으로, 영국의 EU 탈퇴 이후 EU ETS를 대체하기 위해 도입되었다(UK Government, 2021). 제도의 기본 원리는 EU ETS와 동일하다. UK ETS 당국(영국 정부와 각 자치정부로 구성)은 적용 대상 사업장의 총 온실가스 배출 허용량을 설정하고, 이 총량을 매년 선형적으로 감소시켜 전반적인 배출량을 줄여나간다. 적용 대상 사업장들은 자신들의 실제 온실가스 배출량에 해당하는 배출권을 확보해야 한다. UK ETS의 적용 대상 산업 부문은 발전, 에너지 집약 산업인 제철, 시멘트, 정유, 화학, 그리고 항공<sup>32)</sup> 부문이다. UK ETS는 영국이 2050년 넷제로 목표를 달성하기 위한 주요 경로 중 하나로 간주되며, 시간이 지남에 따라 배출 상한선이 더욱 엄격하게 조정될 예정이다(UK Government, 2025).

UK ETS에서 배출권은 EU ETS와 같이 크게 경매와 무상할당의 두 가지 방식으로 시장에 공급된다. 역시 경매를 통해서 주로 공급되며, 경매 수익은 영국 정부의 재정 수입으로 귀속된다(UK Government, 2025). 다음으로, 무상할당 역시 국제 경쟁에 노출되어 탄소누출 위험이 있는 일부 산업에 적용되며, 무상할당의 총량은 매년 점진적으로 감소하는 추세이다(Energy Advice Hub, 2024).

실제로 환경에 긍정적인 영향을 미치는 활동만이 인증을 받을 수 있도록 하고 있다. 이를 통해 기업들이 허위로 환경적 기여를 주장하는 것을 막고, 진정한 탄소제거 활동에 대한 민간 투자를 촉진하려는 목적을 가지고 있다(Greenium, 2024a).

- 26) 유럽연합은 CDR 접근법 관련 전문가 그룹의 지원을 받아 다양한 탄소제거 활동에 대한 EU 차원의 인증방법론을 위임법(Delegated acts)을 통해 수립할 예정이며, 인증 기관 및 인증 절차에 대한 규칙 또한 마련할 예정이다(EC, 2024a). 여기서 위임법은 EC가 EU 이사회 및 의회로부터 위임받은 법률적 권한을 바탕으로 특정 규칙이나 기준을 수립할 수 있는 법적 수단을 의미한다.
- 27) 영구적 탄소제거 기술로 대표적으로 DACCS, BECCS, 화학적 결합을 통한 제품 내 영구적 탄소 저장(Chemically binding CO<sub>2</sub> permanently into products), 그리고 기타 저장 기술이 있다(EC, 2024a).
- 28) EU 혁신기금은 EU ETS의 배출권 경매 수익의 일부를 재원으로 조성되는 기금이며, 혁신적 저탄소 기술의 상업적 시연을 위한 세계 최대의 자금 지원 프로그램 중 하나로서 ①에너지 집약적 산업에서의 혁신적인 저탄소 기술 및 공정, ②탄소포집 및 저장 및 활용(CCUS), ③재생에너지 생산, ④에너지 저장, ⑤탄소중립 수송 및 건물, ⑥수소에너지 기술 부문의 사업을 선정 및 지원한다(EC, 2024b).
- 29) 이에, CO<sub>2</sub>의 포집 단계, 파이프라인 및 운송수단을 통한 CO<sub>2</sub> 운송 단계, CO<sub>2</sub>의 저장소 주입 단계에서의 배출량은 2018년 12월 19일의 EC 시행규정(EU 2018/2066의 부록 IV 제21, 22 및 23조)에 따라 정량화되도록 명시되어 있다(EC, 2021, p. 27).
- 30) NET는 대기 중으로부터 온실가스를 제거하는 기술로서, 조림 및 재조림 기술, 토지 관리, 강화된 풍화작용, 해양비옥화, BECCS, 그리고 DACCS가 있다(Oh et al., 2021). NET를 CDR 접근법과 동일하게 보기도 하다.
- 31) 육상 화물, 항공, 철강, 시멘트, 화학, 선박 부문은, '탄소저감이 특히 어려운(harder-to-abate) 6개 산업 분야에 속한다. 이들 산업은 공통적으로 자산 수명이 길고 에너지 의존도가 높으며, 전동화가 어렵다는 특징을 지닌다(Deloitte, 2022).
- 32) 항공 부문의 경우 영국 국내선 및 영국에서 출발하여 EU, EEA(European Economic Area, 유럽 경제 지역)의 약자로서, EU 회원국들과 노르웨이, 아이슬란드, 리히텐슈타인의 세 비(非)EU 국가들을 하나의 거대한 역내 시장으로 통합하기 위한 국제 협정에 근거한다. EEA의 주요 목적은 EU의 단일 시장 원칙, 즉 상품, 서비스, 자본, 사람의 자유로운 이동을 이 세 비EU 국가들에게도 확장하는 것에 있다(UK Government, 2025).

UK ETS의 탄소 가격은 2021년 1월 제도 출범 이후 여러 요인에 의해 영향을 받으며 변동했다.<sup>33)</sup> 2025년 1월 현재 UKA 가격은 톤당 30파운드 대 초반 수준에서 형성되고 있다(Statista, 2025).

영국의 ETS는 ‘포집’에 대해서도 화석연료로부터 유래한 CO<sub>2</sub> 및 산업공정에서 배출되는 CO<sub>2</sub>에 대해, ‘점원 포집(point-source-capture)’ 방식에 한하여 배출권 감면을 인정하고 있다. 즉 CCS 기술에 기반한 배출저감 사업은 감축활동으로 인정받는다. 다만, 현재 영국 ETS에서는 이러한 CCS 기술을 활용하여 CO<sub>2</sub> 배출량을 줄이는 시설이 아직 존재하지는 않는다(Statista, 2025, p. 41). 그러나 최근 '24년 5월, 영국 정부는 폐기물 부문과 온실가스 제거(Greenhouse Gas Removal) 부문을 ETS 적용 대상 업종에 포함시키기로 하고 이를 위한 의견수렴 과정에 착수하였다(ESG Economy, 2024).<sup>34)</sup> 폐기물 부문은 2026년부터 2년간 시범운영 기간을 거친 후 2028년부터 정식으로 ETS에 포함시킨다는 방안을 제시하였다.<sup>35)</sup> 한편, 온실가스 제거는 CDR의 다른 이름으로, 이를 영국 ETS의 감축활동에 포함시키는 결정은 CDR 접근법에 기반한 탄소 제거 시장의 장기적인 육성을 위해서이다. 온실가스 제거 옵션에는 자연기반 접근법과 기술적 접근법이 모두 포함된다. 자연기반 접근법에는 조림, 토양 탄소 격리 및 다양한 유형의 토지, 해안 및 해양 서식지 복원이 포함되고, 기술적 접근법에는 DACCS, BECCS, 건설에 사용되는 목재, 바이오차가 포함된다(UK Government, 2024).

#### 4.1.3. 일본의 배출권거래제(GX-ETS)의 CDR 접근법

일본은 에너지의 안정적인 공급과 경제성장을 전제로

한 탈(脫)탄소화를 달성하기 위해 2023년 ‘탈탄소성장형 경제구조로의 원활한 이행의 추진에 관한 법률’을 제정하였으며,<sup>36)</sup> 이를 근거로 동년 7월, 경제산업성을 중심으로 ‘녹색전환(GX, Green Transformation) 추진 전략’이 발표되었다(METI, 2023). 동 추진전략은 2050년까지의 탄소 중립을 달성하기 위한 국가 방침으로,<sup>37)</sup> ‘인센티브 중심의 성장형 탄소 가격제’를 포함한다. 이를 토대로 일본은 경제산업성이 주관하여 2023년부터 전국단위의 배출권거래제(GX-ETS, Green Transformation - Emission Trading System)를 시범적으로 운영하고 있다(METI, 2023). 2024년 3월 26일 기준 총 747개 회사가 참여하고 있다(METI, 2024).<sup>38)</sup>

GX-ETS는 자발적 참여를 기반으로 하며, 점진적으로 의무 제도로 전환하는 단계적 도입 방식을 채택하고 있다. 제도의 기본 틀은 총량 제한 및 거래(Cap-and-Trade) 방식을 지향하지만, 현재 운영 중인 1단계(2023~)는 의무적인 배출 상한선(Cap) 설정보다는 기업들의 자발적인 감축목표 설정과 이행을 중심으로 한다.<sup>39)</sup> 즉, 참여 기업들은 당국으로부터 일방적인 배출 허용량을 할당받지 않고 스스로 온실가스 감축목표를 설정하고 이를 공개한다. 이 목표는 기업의 과거 배출량, 산업 특성, 감축 기술 도입 계획 등을 고려하여 설정될 수 있다. 목표 설정 방식의 유연성은 기업의 자율성을 높이지만, 전체 배출량 감축의 효과는 참여율과 설정된 목표의 도전성에 따라 달라진다(CDR.fyi, 2024). 목표를 설정한 기업들은 자신들의 실제 배출량과 목표량 간의 차이를 배출권 형태로 거래할 수 있다. 목표보다 배출량이 적으면 배출권을 판매하고, 많으면 배출권을 구매해야 한다. 배출권 거래는 지정된 거래

- 33) 제도 도입 초기에는 EU ETS 가격과 유사한 흐름을 보였으나, 글로벌 에너지 위기 등의 영향으로 2022년과 2023년 초에는 배출권 가격이 크게 상승하여 2023년 2월에는 최고점(100파운드)을 기록하기도 하였다(Energy Advice Hub, 2024; Statista, 2025). 이후 에너지 가격 안정화 및 시장 요인으로 인해 2023년 하반기부터 2024년 초에는 가격이 상당 수준 조정되며 하락하였다.
- 34) 이보다 앞선 2023년 7월, UK ETS 당국은 GGR의 장기적 육성을 위해서는 UK ETS가 그 역할을 할 것이라 확신(Confirm)한다고 언급하였으며, 결론적으로 UK ETS에 기술(공학) 기반의 CDR 접근법을 포함할 의도를 표명하였다. 따라서 2024년 현재 진행되고 있는 의견수렴 과정은, 기술(공학) 기반의 CDR 접근법을 UK ETS에 포함시킨다는 전제 하에 보다 상세한 제도 설계를 어떻게 할지에 대한 의견을 수렴하는 과정이다(UK Government, 2024).
- 35) 다만 시범운영 기간 동안 사업자에게 배출권 구매 및 제출 의무는 적용하지 않고, 폐기물 소각 시 발생하는 배출량만을 모니터링 및 검증, 공개해야 한다.
- 36) 통상적으로는 줄여서 ‘GX법’이라고 한다.
- 37) 총 다섯 가지 방침이 있으며 ① 에너지의 안정적 공급을 전제로 탈탄소화 추진, ② 인센티브 중심의 성장지향형 탄소가격제, ③ 국제협력 강화, ④ 사회 전환에 걸친 GX 추진, ⑤ 진행상황 평가 및 검토로 이루어져 있다(METI, 2023).
- 38) 일본 전체 온실가스 배출총량의 50% 이상을 차지하고 있는 제조업(철강, 화학공업, 펄프·제지, 석탄 및 석유제품 제조, 전자부품 및 회로) 운수업(철도, 항공, 해상운송, 육상운송) 및 전기·가스 업계가 포함된다(METI, 2024). 또한 기업 규모 및 온실가스 배출 규모에 따라 의무적으로 참여해야 하는 EU나 우리나라의 ETS와는 달리, 일본의 GX-ETS는 참가 여부를 스스로 결정할 수 있다.
- 39) GX-ETS는 GX추진계획 10년 로드맵을 토대로 3단계로 구분하여 진행된다. 1단계는 2026년 3월 말까지 기업의 자발적 참여로 운영된다. 2단계는 2026년 3월 이후로, 규제 시장으로 전환, 참여기업들은 배출량을 할당받게 된다. 마지막으로 3단계인 2033년부터는 전력 부문 탈탄소화를 가속화하기 위하여, 배출권의 경매 제도가 도입될 예정이다(Impact on, 2023b).

플랫폼을 통해 이루어진다(Impact on, 2023a).<sup>40)</sup> GX-ETS의 적용 대상은 주로 발전 부문 및 에너지 다소비 산업의 대규모 배출 기업들이다. 현재는 자발적 참여 형태인 'GX 리그(GX League)'에 가입한 기업들이 제도의 주요 참여자이다. 일본 정부는 GX-ETS를 통해 기업들이 탄소 가격을 내재화하고 혁신적인 감축 기술에 투자하도록 유도하며, 국제적인 탄소 규제 강화에 대응할 수 있는 기반을 마련하고자 한다(Carbon Media, 2025). GX-ETS는 참여기업이 설정한 자발적 감축목표와 실제 배출량 간의 차이를 상쇄하기 위해 외부에서 인증 및 발행된 크레딧의 거래 및 활용을 허용한다. 이러한 크레딧은 도쿄증권거래소가 운영하는 탄소 신용 시장에서 거래되며, 시장 가격은 수요와 공급에 따라 변동한다. 대표적인 상쇄 크레딧인 J-크레딧의 경우, 2024년 4월 기준 가격이 톤당 약 1,609엔(약 10.4달러) 수준에서 형성되었다(S&P Global, 2024).

CDR 접근법 관점에서, GX-ETS의 큰 특징은 전통적인 배출저감 활동 뿐만 아니라, 다양한 제거 활동 기반의 크레딧을 상쇄 수단으로 폭넓게 인정한다는 점이다. GX-ETS에서 활용가능한 크레딧에는 3가지 유형이 있는데, J-크레딧(J-credit), 공동크레딧메커니즘(JCM, Joint Crediting Mechanism) 크레딧, 그리고 탄소 흡수·제거 크레딧이 있다(GX League Secretariat, 2024). J-크레딧은 에너지 절감 설비의 도입이나 재생에너지 이용, 산림관리 등 기업의 일본 내 배출저감 및 흡수·제거 활동의 성과를 일본 정부가 인증 후 발행해 주는 크레딧이다. JCM 크레딧은 일본이 개도국에 저탄소 기술·제품·시스템 등을 제공한 결과 얻은 온실가스 감축분을 일본의 감축 실적으로 인정받는 JCM 제도에서 발행된 크레딧이다(JCM Home, 2024).<sup>41)</sup> 그리고, 탄소 흡수·제거 관련 크레딧은 향후 일본 NDC에 기여할 것으로 기대되는 CDR 접근법을 통해 제거량이 발생하면 인정되는데, 허용되는 접근법으로는 i) 탄소 포집 및 활용(CCU), ii) 해양 블루 카본,<sup>42)</sup> iii) BECCS, iv) DACCS 기술이 포함된다. 상기 4가지의 옵션을 사용한 제거 사업이 추가성, 지속성, 프로그램의 거버넌스에 대해 일정한 기준을 충족하거나, 일본 정부가 어

는 정도 운영에 관여하여 그 투명성과 공정성이 담보되는 경우 크레딧이 인정받는다. GX-ETS 참여 기업은 정부가 승인한 여러 종류의 크레딧을 자사의 배출량 목표 달성에 유연하게 사용할 수 있다(GX League Secretariat, 2024; KITA, 2024).

#### 4.1.4. 우리나라의 배출권거래제도(K-ETS)의 CDR 접근법

우리나라 배출권거래제도(K-ETS)는 2015년부터 본격적으로 시행되었으며, 현재 3기(2021~2025)가 진행 중이다. K-ETS의 적용 대상은 3년간 연평균 온실가스 배출 총량이 125,000톤 이상인 업체 또는 25,000톤 이상인 사업장이다(KRX, 2025). 3차 계획기간 기준으로 714개 업체가 참여하고 있으며, 이는 우리나라 전체 온실가스 배출량의 약 73.5%를 차지한다(KCMI, 2025; The Hankyoreh, 2024). 적용 대상 물질은 교토의정서에서 규정한 6대 온실가스이며, 대상 부문은 열, 전력, 산업, 건물, 폐기물, 교통, 공공 등 7개 부문이다(ICAP, 2024).

K-ETS는 몇 년 단위의 계획기간으로 나뉘어 운영되며, 각 계획기간마다 특징적인 할당 방식을 가진다. 1기(2015~2017년)에는 2020년까지 온실가스 배출을 BAU 대비 30% 감축하는 것을 목표로 하였으며, 모든 할당대상업체에 대해 100% 무상할당이 이루어졌다(Ministry of Economy and Finance & Ministry of Environment, 2019). 2기(2018~2020년)에는 무상할당 비율이 97%로 하향조정 되었으며(나머지 3%는 유상할당), 공공 부문과 폐기물 부문이 분리되어 총 7개 업종이 포함되었다. 현재 진행 중인 3기(2021~2025)에서는 배출권 무상할당 비율이 90% (유상할당 10%)로 더욱 감소하였으며, '시장안정화 예비분' 제도를 도입하여 배출권 가격 급등 시 추가 배출권을 공급할 수 있도록 하였다(Korea Law Information Center, 2024).

K-ETS의 배출권 가격은 2015년 제도 도입 초기에는 톤당 약 10,000원 수준이었으나, 시간이 지남에 따라 상승과 하락을 반복하며 변동해 왔다. 2기가 시작된 2018년부

40) 대표적으로 도쿄증권거래소의 탄소 신용 시장이 있다.

41) JCM은 일본이 개발도상국에서 실행하는 탄소감축 프로젝트에 투자하여 이들 국가의 지속가능한 발전을 지원하고 동시에 일본의 온실가스 감축목표를 달성하기 위해 설계된 것이다. 이로 인해 발생하는 JCM 크레딧은 특정 프로젝트에서 발생한 온실가스 감축량에 기반하여 생성되며, 2024년 2월 기준으로 일본은 몽골, 방글라데시, 에티오피아 등 총 29개국과 JCM 협약을 맺고 있다(JCM Home, 2024).

42) 해양생태계의 탄소흡수원으로, 갈대·칠면초 등 염생식물과 갯벌, 잘피 등을 포함한다. 블루카본은 탄소중립 및 기후위기 대응에 대한 해결책의 하나로서 그 가능성을 주목받고 있으며, 우리나라도 해양수산부가 중심이 되어 2023년 5월 '블루카본 추진전략'을 수립, 발표하였다(Ministry of Oceans and Fisheries, 2023).

Table 4. Eligible mitigation activities in K-ETS

Category	Details
1. GHG emissions from fuel combustion in stationary facilities	Combustion of solid fuels, liquid fuel, gaseous fuels
2. GHG emissions from fuel combustion in mobile sources	Aviation, Road transport, Rail transport, Shipping
3. GHG emissions from product manufacturing and use	Cement, Lime, Other mineral industry processes, Glass, Magnesium, Phosphoric acid, Soda ash, Ammonia, Nitric acid, Adipic acid, Calcium Carbide, Soda ash, petrochemical product, Caprolactam, Steel, Ferroalloys, Zinc, Lead, Electronics, Fuel cells, Use of ozone-depleting substances(ODS) and alternatives
4. GHG emissions from waste treatment processes	Landfilling, Biological treatment of solid waste, Wastewater treatment and discharge, Incineration and other waste disposal
5. Fugitive GHG emissions	Coal mining, processing, and storage, Oil and gas industry, Natural gas industry
6. Indirect emissions from imported electricity, heat, or steam	Use of electricity, heat, steam imported from external suppliers
7. Amount of carbon dioxide transported through capture and transportation	CO <sub>2</sub> capture and transportation

Source: Formulated by authors based on Korea Law Information Center (2024)

터는 정부의 할당량 감소 등의 영향으로 가격이 상승하기 시작하였으나, COVID-19로 인한 경기침체 및 전력수요 감소, 배출권 공급과잉 등의 요인으로 가격이 하락세로 전환되기도 하였다(KCMI, 2025). 배출권 가격은 2025년 5월 기준 톤당 9,380원으로,<sup>43)</sup> 세계 최저 수준으로 거래되고 있다(KRX, 2025). 이러한 가격 수준은 EU ETS나 UK ETS와 비교할 때 현저히 낮은 수준이다. 한국의 온실가스 감축목표가 높게 설정되어 있음에도 불구하고 배출권 가격이 낮다는 것은 미래 기대가 현재 시장에 충분히 반영되지 못하고 있으며, 배출권거래제의 가격 기능이 적절하게 작동하지 않고 있음을 시사한다(KDI, 2023).

K-ETS에서는 온실가스 배출을 저감하는 활동이 감축활동으로 인정받으며, 관련된 배출활동은 Table 4와 같이 정리된다.<sup>44)</sup> K-ETS에서 인정받는 감축활동은 기본적으로 배출저감 기술이며, 여기에는 CDR 접근법이 포함되지 않는다. 그런데, K-ETS에서는 할당대상업체가 조직경계 외부에서 자발적으로 시행한 감축사업으로 생산된 감축결과물을 ETS 할당목표 달성에 '상쇄'할 수 있도록 하는 외부사업이 있다(KRX, 2025). 이 외부사업에서 인정받는 감축활동에 배출저감 외에 CDR 접근법으로 '산림' 부문

이 들어가 있다.<sup>45)</sup>

한편, K-ETS와 별개로 사회공헌형으로 산림탄소상쇄 제도가 있다. 이는 기업, 산주, 지방자치단체 등이 자발적으로 산림의 CO<sub>2</sub> 제거 활동을 하고, 이를 통해 확보한 제거량을 산림청이 인증해 주는 제도이다(Korea Forest Service, 2025). 그러나, 이를 통해 도출된 제거량은 K-ETS에서 거래될 수 없다.

한편, 우리나라가 파리협정 하에서 온실가스 국제감축 사업을 추진하기 위해 「국제감축사업 사전승인 및 국제감축실적의 취득 등에 관한 지침(국무조정실고시 제2024-99호(2024.6.23. 시행))」을 지정했는데, 여기에서 국제감축사업을 '온실가스를 감축, 흡수 또는 제거하는 사업'이라고 기재하였다(Prime Minister's Office, 2024, Article 2). 산림부문의 활동을 보통 흡수원(removal by sink)이라고 보는 바, '흡수' 외에 '제거'하는 사업이 별도로 명시되었는 것은 산림 이외의 CDR 접근법이 국제사업으로 인정받을 수 있는 가능성을 보여준다. 대신, 동 지침에서는 '감축',<sup>46)</sup> '흡수', '제거' 사업에 구체적으로 어떠한 기술이 들어가 있는 지 언급하고 있지 않다.

43) 2025년 5월 15일 종가 기준

44) 이는 2022년 1월부터 시행된 '온실가스 배출권거래제의 배출량 보고 및 인증에 관한 지침'인 환경부고시 제 2021-278호에 기반한다.

45) 산림 부문 외부사업의 관장기관은 농림부이고, 이행기관은 임업진흥원이다.

46) 배출저감을 의미한다.

Table 5. Status on CDR approaches in ETS in the EU, the UK, Japan, and Korea

ETS	Recognition of engineered carbon removal activities including DACCS				
EU-ETS	<p>- [Current]:</p> <p>① CDR activities are not recognized as eligible mitigation activities under the EU-ETS.                      ↳ DACCS technology is not integrated in the EU-ETS.</p> <table border="1" data-bbox="378 465 1271 584"> <tr> <td data-bbox="378 465 578 541">Emissions accounting</td> <td data-bbox="578 465 1271 541">Mixed approach (auctioning and free allocation), with increased share of auctioning</td> </tr> <tr> <td data-bbox="378 541 578 584">Carbon price</td> <td data-bbox="578 541 1271 584">Around €70/tCO<sub>2</sub> as of end-2024 (≒ \$83)</td> </tr> </table> <p>② The Carbon Removal Certification Framework (CRCF), which is separate from the EU-ETS, is under development. The CRCF enables the certification of quantified removals that can be used for the compliance of nationally determined contribution (outside the EU-ETS)                      ↳ DACCS technology is included in the CRCF.</p> <p>- [Future]: The European Commission is preparing a report assessing the integration of CDR approaches into EU-ETS, to be published in July 2026.</p>	Emissions accounting	Mixed approach (auctioning and free allocation), with increased share of auctioning	Carbon price	Around €70/tCO <sub>2</sub> as of end-2024 (≒ \$83)
Emissions accounting	Mixed approach (auctioning and free allocation), with increased share of auctioning				
Carbon price	Around €70/tCO <sub>2</sub> as of end-2024 (≒ \$83)				
UK-ETS	<p>- [Current]: The UK government has decided to integrate CDR approaches to UK-ETS as eligible mitigation activities.                      ↳ DACCS is expected to be included in the UK-ETS.</p> <table border="1" data-bbox="378 907 1287 1058"> <tr> <td data-bbox="378 907 578 983">Emissions accounting</td> <td data-bbox="578 907 1287 983">Mixed approach (auctioning and free allocation), with increased share of auctioning</td> </tr> <tr> <td data-bbox="378 983 578 1058">Carbon price</td> <td data-bbox="578 983 1287 1058">Around £30/tCO<sub>2</sub>as of January 2025 (≒ \$40), but remaining at a lower level than the EU-ETS</td> </tr> </table> <p>- [Future]: Formal process of public consultation is under way for the policy design of the integration of CDR approaches into the UK-ETS.</p>	Emissions accounting	Mixed approach (auctioning and free allocation), with increased share of auctioning	Carbon price	Around £30/tCO <sub>2</sub> as of January 2025 (≒ \$40), but remaining at a lower level than the EU-ETS
Emissions accounting	Mixed approach (auctioning and free allocation), with increased share of auctioning				
Carbon price	Around £30/tCO <sub>2</sub> as of January 2025 (≒ \$40), but remaining at a lower level than the EU-ETS				
Japan GX-ETS	<p>- [Current]: Japan officially acknowledged CDR approaches under the GX-ETS as eligible mitigation activities.                      ↳ Recognized technologies include CCU, blue hydrogen with CCS, BECCS, and DACCS technologies.</p> <table border="1" data-bbox="367 1246 1292 1364"> <tr> <td data-bbox="367 1246 578 1321">Emissions accounting</td> <td data-bbox="578 1246 1292 1321">- No direct allowance allocation - Companies set their own reduction targets and invest voluntarily</td> </tr> <tr> <td data-bbox="367 1321 578 1364">Carbon price</td> <td data-bbox="578 1321 1292 1364">- Around ¥10,000/tCO<sub>2</sub>as of April 2024 (≒ \$70)</td> </tr> </table> <p>- [Future]: The full implementation of GX-ETS is scheduled for FY2026, following a pilot operation since FY2023.</p>	Emissions accounting	- No direct allowance allocation - Companies set their own reduction targets and invest voluntarily	Carbon price	- Around ¥10,000/tCO <sub>2</sub> as of April 2024 (≒ \$70)
Emissions accounting	- No direct allowance allocation - Companies set their own reduction targets and invest voluntarily				
Carbon price	- Around ¥10,000/tCO <sub>2</sub> as of April 2024 (≒ \$70)				
Korea K-ETS	<p>- [Current]:</p> <p>① Out of diverse CDR approaches, only afforestation and reforestation (A&amp;R) is recognized as an eligible mitigation activities in external offset programs Under K-ETS.                      ↳ Engineering-based CDR approaches (including DACCS) are not recognized under K-ETS.</p> <table border="1" data-bbox="378 1586 1292 1737"> <tr> <td data-bbox="378 1586 578 1694">Emissions accounting</td> <td data-bbox="578 1586 1292 1694">- A combination of free allocation and auctioning is used, with the free allocation decreasing in phases · (2015 ~ 2017) 100% → (2018 ~ 2020) 97% → (2021 ~ 2025) 90%</td> </tr> <tr> <td data-bbox="378 1694 578 1737">Carbon price</td> <td data-bbox="578 1694 1292 1737">- Around the low \$10 range as of April 2024</td> </tr> </table> <p>② There is no discussion within K-ETS regarding the integration of CDR approaches other than A&amp;R as eligible mitigation activities</p> <p>- [Future]: Undecided</p>	Emissions accounting	- A combination of free allocation and auctioning is used, with the free allocation decreasing in phases · (2015 ~ 2017) 100% → (2018 ~ 2020) 97% → (2021 ~ 2025) 90%	Carbon price	- Around the low \$10 range as of April 2024
Emissions accounting	- A combination of free allocation and auctioning is used, with the free allocation decreasing in phases · (2015 ~ 2017) 100% → (2018 ~ 2020) 97% → (2021 ~ 2025) 90%				
Carbon price	- Around the low \$10 range as of April 2024				

Source: Formulated by the authors based on the contents of Chapter 4.1 of this paper.

#### 4.1.5. 비교정리

앞서 살펴본, EU, 영국, 일본, 그리고 우리나라 ETS에서 CDR 접근법을 적용 또는 통합하는 정책에 대한 조사 결과는 다음의 Table 5와 같이 정리될 수 있다. 이를 통해 알 수 있는 점은 EU, 영국, 일본의 경우, 그 시기와 방식에 차이는 있으나, ETS 차원에서 CDR 접근법의 역할과 의미를 고려하고 있다는 점이다. 또한, CDR 접근법에 DACCS 기술을 모두 포함한다는 점도 주목할 수 있다. EU ETS의 경우, ETS에 CDR 접근법을 감축 활동으로 바로 인정하는 대신 별도의 인증제도를 운영하여 CDR 접근법 사업이 수행될 수 있는 기반을 마련하였고, 이후 ETS에 통합하는 방식 및 영향에 대해서 충분히 고려할 시간을 확보하였다. 영국의 경우, ETS에 CDR 접근법을 감축 활동으로 인정하기로 결정을 내렸고, ETS 통합하기 위한 제도 설계를 위해 의견을 수렴중에 있다. 일본의 경우, 경제산업성이 국가 레벨로 운용하는 GX-ETS에 CDR 접근법을 감축활동으로 인정하고 시작하고 있어, 가장 발빠른 모습을 보여준다. 한편, 우리나라는 CDR 접근법 중 ‘산림’에 대해서만 ETS의 외부사업으로 인정하고 있을 뿐이다. 산림 외에 DACCS 기술을 포함한 CDR 접근법을 ETS에 포함할 지의 여부에 대해서는 논의가 이루어지고 있지 않다는 점이 다른 국가들과 비교된다고 볼 수 있다.

#### 4.2. 우리나라 배출권거래제도에 CDR 접근법 적용·통합에 대한 델파이 조사 분석 결과

동 연구는 CDR 접근법(특히 공학적 CDR 접근법)에 대해 우리나라 ETS에 적용 및 통합에 대한 정책적 방향을 파악하기 위해 전문가 대상 합의도를 분석하는 델파이 조사를 실시한 바, 제3차 조사 결과만을 분석 대상으로 하였으며, 분석에 사용된 통계적 지표 중 합의도는 ‘1-(상위 25%값-하위 25%값)/(중위값)’의 계산식을 적용하였다. 일반적으로 합의도는 0.75 이상일 때 전문가들 간 의견 합의가 이루어졌다고 판단하는 바, 본 연구에서도 0.75 이상을 합의가 이루어진 것으로 간주하였다. 응답하지 않은 문항은 결측치로 처리하였으며, 각 문항 말미에 포함된 ‘기타’ 항목의 경우 응답률이 매우 저조하여(10명 중 0~3명 응답) 합의도 분석에서는 제외하고 참고의견으로만 활용하였다.

첫 번째 문항은 ‘향후 우리나라의 ETS 제도 상에서 DACCS를 포함한 다양한 제거 접근법이 감축실적으로 인정받기 위해, 국내 ETS에 대한 제도 개선 및 관련 제반

노력이 필요한가’이다. 동 설문조사 중, 특이점은 ‘제도 개선’에 대한 이해도가 전문가 별로 달랐다는 점이다. 현재 우리나라에서 ETS 차원에서 CDR 접근법에의 적용 여부에 대한 논의가 없다. 이에, CDR 접근법을 ETS에 적용 여부에 대해 논의하는 것만으로도 제도 개선의 일환으로 이해하는 전문가가 있는가 하면, 제도 개선을 ETS 관련 법령이나 고시의 개정·개편과 같은 강한 의미의 제도적 접근법으로 이해하는 전문가까지 다양했다. 따라서, 약한 의미로 제도 개선을 이해하는 전문가는 CDR 접근법을 ETS 차원에서 논의해야 한다고 주장했다. 반면, 제도 개선을 강한 의미로 이해한 전문가는 CDR 접근법에 대한 이해와 논의 그리고 더 나아가 CDR 접근법 기반 사업화 방법론이 준비되지 않은 상태에서 법령 개편과 같은 강한 의미의 제도 개선은 불필요하다고 주장했다. 이러한 전문가 논의를 토대로, 연구진은 동 설문조사의 첫 번째 문항을 ‘K-ETS에 CDR 접근법을 고려하는 것이 필요한가’에 대한 질문과 동일한 것으로 간주하고 응답해 줄 것을 전문가들에게 요청하였다. 만약 고려하는 것이 필요하다면, 제도 개선의 방식은 차후 선택의 문제이기 때문이다.

그 결과, 전문가들의 평균 응답값은 10점 척도에서 9.89점(표준편차 0.31)으로 나타났으며, 합의도는 1.00으로 전문가들 간에 매우 높은 수준의 합의가 이루어졌다(Table 7 참조). 이렇게 답변한 이유를 살펴보면, 총 9인 중 6인의 전문가들이 우리나라 NDC 목표 및 탄소중립 목표를 달성에 있어 배출원에서의 배출저감 노력만으로는 부족하며 CDR 접근법이 이를 보완하는 역할을 수행할 수 있기 때문에, ETS 상에서 CDR 접근법을 고려하기 위한 제도적 개선 또는 이를 위한 준비과정이 필요하다는 의견이었다. ETS에 CDR 접근법이 필요한 다른 이유로는 ETS에서 CDR 접근법 기반 제거 크레딧이 인정받는다면, 이는 제거 크레딧에 대한 기업들의 수요 창출로 이어져, CDR 접근법 기반 사업 개발 및 추진에 상당한 인센티브로 작동할 수 있다는 입장이다. 더 나아가, 근본적으로 K-ETS 차원에서, 이산화탄소 제거(removal)에 대해 별도로 개념을 정의내리는 작업이 필요하다는 점이 언급되었다. 이미 K-ETS에서 조림·재조림이 이미 인정받는 바, CDR 접근법에 대한 기반이 있으므로, 다양한 CDR 접근법들을 확대 적용할 수 있는 방안을 고려하는 것이 필요하다는 의견도 있었다. 또한, CDR 접근법에 기반한 감축 사업의 제거량을 산정하기 위한 명확한 MRV 방법론이 함께 진행되어야 한다는 의견이 있었다. 한편, ETS 상에서 CDR 접근법을 고려하는 논의가 필요할 수 있다고 인

Table 6. Delphi survey result on the necessity of institutional improvement of ETS

Respondent	CDR approaches (including DACCS) to K-ETS
1	10
2	10
3	10
4	10
5	10
6	10
7	9
8	10
9	10
<b>Avg.</b>	<b>9.89</b>
<b>Std.Dev.</b>	<b>0.33</b>
<b>Consensus</b>	<b>1.00</b>

Source: Formulated by the authors

정하면서도, CDR 접근법에 대해서 적절한 제거량 산정방법론만 존재한다면 감축 실적으로 인정받을 수 있다고 보는 바, ETS 상의 제도 개선 이전에 산정방법론 개발 등의 제반 노력이 더 시급하다는 의견도 있었다.

다음으로, 두 번째 질문은 우리나라 배출권거래제에서 DACCS, DACCU, BECCS, 바이오차, 해양 블루카본, 그리고 기타 기술에 대해서 ETS 상에 포함되는 것이 필요한 지에 대해 평가하고 근거를 제시하는 것이다. 분석 결과, DACCS가 평균 9.67점으로 가장 높은 선호도를 보였으며, 합의도도 1.00으로 매우 높았다(Table 7 참조). 그 다음으로는 BECCS(평균 8.89점, 합의도 0.89), DACCU(평균 8.78점, 합의도 0.80), 바이오차(평균 8.78점, 합의도 0.90), 해양블루카본(평균 8.78점, 합의도 0.78) 순으로 나타났다. 그 외 기타 의견으로는 직접 해양 탄소 포집(Direct ocean capture)이 있었다.<sup>47)</sup>

공통적인 전문가 의견으로는, 다양한 그리고 가용가능한 CDR 접근법들을 최대한 활용하는 것이 필요하고, 특정 CDR 접근법을 선택적으로 배제하거나 차등할 필요 없다는 점이다. 다만, K-ETS 상에서 활용되기 위해서는 전제조건으로 각 CDR 접근 별로 제거량을 계산하고 산정하는 방법론을 구축하고, 인증 절차를 엄격히 적용하며, 제거의 영구성을 확보해야 한다는 의견들이 제시되었다. 동 조건들이 충족된다면 어떤 CDR 접근법이든지 고려되어야 한다는 입장이 다수 전문가에 의해 언급되었다. 이에,

제시된 CDR 접근법들 모두 모두 그 필요성이 높게 평가되고 그 합의도도 높게 도출되었다.

그럼에도 불구하고, 개별 CDR 접근법 별로 도출된 의견을 정리하면, DACCS 기술에 대해서는 다른 CDR 접근법들과 비교해 영구성이 상대적으로 높은 바 온실가스 배출저감 사업과 동일한 결과를 가지고 올 수 있고, DACCS 기술을 감축활동으로 인정하고 사업이 진행되는 자발적 탄소시장이 존재하는 바, 동 기술에 대한 수용성이 가장 높은 것으로 분석된다. 다만, 기술 비용이 높다는 점과 K-ETS 차원에서 인정받기 위한 산정 방법론 개발이 필요하다는 지적이 있었다.

다음으로, BECCS 기술에 대해서는 바이오에너지를 지속적으로 생산 및 활용하면서 제거가 이루어진다는 장점이 있는 바 긍정적인 의견들이 있었으나, 다만 저장된 CO<sub>2</sub>의 장기간 저장 즉 영구성이 확보되어야 하며, 관련하여 산정 방법론과 사업의 안정성 등이 고려되어야 한다는 지적이 있었다.

이어, DACCU 기술에 대해서는 세부 기술들이 매우 다양하며, 이 중에서 광물화 기술은 영구성이 상대적으로 높지만, 다른 세부 기술들의 경우 영구성 측면의 불확실성이 상당히 큰 바, 영구성 확보 및 관련 산정 방법론 구축 측면에서 추가적인 연구가 필요하다는 지적이 있었다. 이 영구성 부분만 해결된다면, DACCU 기술은 DACCS 기술 만큼이나 제거 효과가 높을 것으로 예상된다는 의견으로, 역시 전문가들 사이에서 높은 기술 수용성을 보여주고 있다.

바이오차의 경우, 전반적으로 긍정적인 의견이 주를 이루었다. IPCC 제6차 평가보고서에서 바이오차가 영구성이 확보된 감축수단으로 다루어졌고, 해외 자발적 탄소시장에서 바이오차 사업이 활발히 진행되고 있으며, 국내에서는 상용화 사례가 등장하고 있는 바, K-ETS에서 반드시 고려되어야 한다는 의견이었다. 반면, 부정적인 관점에서는 기후변화로 인해 잦은 산불 등이 발생하고 있는데, 산불 발생으로 토양에 매립된 바이오차가 연소하면, 탄소가 배출되는 바, 영구성에 상당한 문제가 있을 수 있다는 지적이다.

마지막으로, 해양 블루카본의 경우, 장기적인 관점에서는 긍정적인 의견이었다. 해양은 육상보다 큰 제거 잠재량을 가지고 있으나, 공간적으로 육상보다 용이하지 않는 접근성으로 기술개발과 적용이 어려웠을 뿐이므로 제도

47) 바닷물에서 CO<sub>2</sub>를 직접 포집하는 기술로, 전기화학적 방법을 사용하여 바닷물에서 CO<sub>2</sub>를 제거하는 방법이다. 동 기술은 기후변화 완화를 위한 탄소제거 기술의 하나로 주목받고 있다(Climate Interventions, 2025).

Table 7. Delphi survey results on CDR approaches to be prioritized to be integrated to K-ETS

Respondent	DACCS	DACCU	BECCS	Biochar	Marine Blue Carbon	Other
1	10	5	5	3	5	-
2	9	8	8	8	8	Other possible technologies (OPT)
3	10	10	10	10	10	OPT, including direct ocean capture
4	10	10	9	10	9	-
5	10	10	10	10	10	OPT
6	10	8	9	9	9	OPT
7	8	8	9	9	8	OPT
8	10	10	10	10	10	-
9	10	10	10	10	10	OPT
<b>Avg.</b>	<b>9.67</b>	<b>8.78</b>	<b>8.89</b>	<b>8.78</b>	<b>8.78</b>	
<b>Std.Dev.</b>	<b>0.71</b>	<b>1.72</b>	<b>1.62</b>	<b>2.28</b>	<b>1.64</b>	
<b>Consensus</b>	<b>1.00</b>	<b>0.80</b>	<b>0.89</b>	<b>0.90</b>	<b>0.78</b>	

Source: Formulated by the authors

적 유인을 통해 적극적인 제거 활동이 해양에서 추진될 필요가 있다는 점이다. 특히 염습지 및 갯벌은 우리나라 환경에도 매우 적절한 기술이라는 의견이다. 다만, 아직 사업 방법론 개발과 영구성 여부에 대한 부분에 대해서 추가적인 연구가 필요하다는 의견이다.

마지막으로, 기타 기술에 대해서, 전문가들은 파리협정 장기온도 목표와 2050 탄소중립 달성이 어렵다는 전망이 공유되고 있는 바, 설문지 상에는 제시되지 않은 가용 가능한 CDR 접근법들(예시: 직접 해양 포집)이 최대한 활용되어야 한다는 의견들이 제시되었다.

세 번째 문항에서는 ‘공학’ 기반 탄소제거 활동을 배출권거래제도에 포함시킬 때 단기적으로 필요한 정책 방향에 대해 질문하였다. 주요 옵션으로는 일본식(즉시 포함 시행), 영국식(별도 인증제도 운영) 접근법, ETS에 제거 크레딧 인정하되 배출저감 및 제거 크레딧 가격 차별화, ETS 하에서 제거 크레딧 인정하되 자연기반 및 공학기반 제거 크레딧 간 가격 차별화, 현행 유지(ETS에 제거 크레딧 불인정), 그리고 ETS 경매수익으로 공학기반 제거 실증사업에 투자하는 옵션이 제시되었다.

분석 결과를 살펴보면(Table 8 참조), ‘경매 수익에 기반한 기금을 활용해 공학 기반 CDR 접근법 실증사업에 투자’하는 방안이 평균 8.13점으로 가장 높은 선호도를 보였으나, 합의도는 0.75에 못미치는 0.69가 나왔다. 다음으

로 유럽식 접근법인 ‘별도의 제거 사업 인정 제도’를 만든다는 옵션은 평균 7.56점으로 높은 선호도를 보였으나, 합의도는 0.56으로 낮았다. 다음으로 높은 선호도는 영국식 접근법으로 ‘제거 크레딧을 ETS에 통합하기로 결정하되, 이를 위한 상세 제도 설계를 위한 의견을 수렴’하자는 내용으로, 이는 평균 7.22점이고 합의도도 0.88로 높았다. ‘제거 크레딧을 ETS에서 인정하되 가격을 차별화’하는 방안들은 공통적으로 평균 4.44점으로 선호도가 높지 않았고, 합의도는 -1.33으로 음수 값이 도출되었다. 이는 제거 크레딧의 가격 차별화에 대해 응답자의 점수가 아주 높은 쪽과 아주 낮은 쪽 양쪽으로 각기 수렴되기 때문이다. 즉, 의견 차가 매우 크기 때문에 합의도가 음수로 나오는 것이다. 아주 높은 점수를 부여한 전문가들은 공학기반 제거 기술(예: DACCS/DACCU)의 사업화 부문의 전문가들로서, 현재 우리나라 ETS 배출권 가격이 낮은 바 현재 배출권 가격으로는 CDR 사업 추진의 동인으로 작용하지 못하므로 가격이 차별화되어야 한다는 입장이다. 더 나아가, CDR 접근법 내에서도 영구성이나 비용들이 다양하기 때문에, 자연기반 CDR 사업 크레딧과 공학기반 CDR 사업 크레딧 간에도 가격이 차별화 되어야, ETS가 공학기반 CDR 접근법 사업개발자에게 실질적인 사업화 인센티브가 될 수 있다는 의견이었다. 반면, 아주 낮은 점수를 부여한 전문가들은 대다수가 ETS 분야 전문가로 다양한 반대 의견을 제시하였다. 제거 접근법에 대한 사업 방법론

Table 8. Delphi survey results on short-term policy approaches to be prioritized for the integration of engineering-based CDR approaches to K-ETS

Respondent	Integration of removal credit in ETS and implementation (Japan's Approach)	Integration of removal credits in ETS and consultation for the design of a detailed system (UK Approach)	Operation of a separate certification system for removal projects (EU Approach)	Integration of removal credits with a separate pricing	Integration of removal credits with a separate pricing for nature-based and engineering-based CDR removal credits	No recognition of removal credits as eligible mitigation activities	Utilization of fund from auction revenues in supporting engineering-based CDR projects demonstration
1	1	8	10	1	1	1	6
2	9	7	4	6	4	1	8
3	8	10	7	10	10	1	10
4	7	8	9	9	10	1	.
5	1	1	10	1	1	1	10
6	8	9	10	1	1	1	8
7	5	6	2	8	8	1	5
8	5	8	10	1	3	1	8
9	10	8	6	3	2	1	10
<b>Avg.</b>	<b>6.00</b>	<b>7.22</b>	<b>7.56</b>	<b>4.44</b>	<b>4.44</b>	<b>1.00</b>	<b>8.13</b>
<b>Std.Dev.</b>	<b>3.28</b>	<b>2.59</b>	<b>3.00</b>	<b>3.81</b>	<b>3.84</b>	<b>0.00</b>	<b>1.89</b>
<b>Consensus</b>	<b>0.57</b>	<b>0.88</b>	<b>0.56</b>	<b>-1.33</b>	<b>-1.33</b>	<b>1.00</b>	<b>0.69</b>

Source: Formulated by the authors

이 확립되지 않았다는 점, 거래가 활발하지 않은 K-ETS 내에 제거 크레딧에 대한 가격을 차별화한다는 것은 이에 기반한 별도의 거래 시장을 개설한다는 것인데 이 경우 거래가 발생할 지 의문이라는 점, 이미 K-ETS가 제도적 복잡성을 띄는데 복잡성을 가중할 필요가 없다는 점, ETS 가격은 수요에 기반해서 형성되는데 높은 가격의 제거 크레딧에 대한 수요가 있을 지 의문이라는 점, 제거 크레딧의 가격은 시장에 맡겨야 한다는 점들이 의견이다. 그리고, ‘현행 유지 방안(제거크레딧 불인정)’ 정책 옵션은 평균 1.00점으로 가장 낮은 선호도를 보였다. 이를 통해 전문가들이 CDR 접근법을 향후 ETS 상에서 고려해야 한다는 입장을 다시 확인할 수 있다.

이를 정리하면, 선호도 점수가 높으면서 합의도가 0.75 이상인 ‘영국 접근법’이 가장 현실적인 정책 방향으로 볼 수 있다. 전문가들은 공학기반 CDR 접근법을 K-ETS에 향후 통합시키는 방안에 대해서 긍정적이나 단기적으로 바로 통합시키기보다는 영국의 사례와 같이 통합 계획을 세우고 세부적인 이행제도를 논의하여 기획하는 단계적인 접근을 선호하는 것이다. 그 이유는 ETS의 근본적 성격이 ‘시장’이라는 점에서 시장의 효율성과 제도적 간결

성을 유지하며, 우리나라 ETS의 특성(낮은 거래율과 낮은 가격)을 고려해야 하기 때문이다.

다음으로 현실적인 정책 방향은 선호도 점수가 가장 높고 합의도는 0.75에는 미치지지는 못했으나 0.69로 다소 양호한 수준인 ‘유상할당 경매 수익에 기반한 기금을 활용해 공학 기반 CDR 접근법 실증사업에 투자’하는 방안이다. 전문가들은 공학기반 CDR 접근법의 제거 잠재성이 높은 바, 이의 실증사업을 추진해야 할 필요성을 언급하였다.

더 나아가, 전문가들은 공학기반 CDR 접근법의 기술 발전을 위한 재정적 지원 체계를 구축해야 한다고 정성적으로 서술하였다. 특히, K-ETS 사업에서 가격 차별화를 추진해야 하고, 만약 이것이 어렵다면 공학 기반 CDR 접근법 사업의 제거 크레딧에 대해서 사업 비용을 보조하는 정책이나 프로그램 등이 필요하다는 의견도 제시되었다. 특히, 한 전문가는 국가 단위의 ETS가 없는 미국의 경우 에너지부가 이산화탄소제거 구매 시범상(Carbon Dioxide Removal Purchase Pilot Prize) 프로그램에 예산 35백만 달러를 책정하고 미국내 CDR 사업으로부터 CDR 크레딧을 구매해 주는 프로그램을 참고할 필요가 있다고 언급하

Table 9. Delphi survey results on values to be prioritized for the integration of engineering-based CDR approaches to K-ETS

Respondent	Mitigation efforts by securing removal credits and achieving NDC targets (NDC target achievement)	Balance between emission reduction and removal efforts	Prevention of moral hazards (Avoidance of over-reliance on removal credits)	Stabilization of the price of emission reduction credits	Activation of removal approaches by setting a high price on engineering-based removal credits	Promotion of technology development and transfer of engineering-based removal approaches
1	8	8	8	9	5	10
2	10	9	9	8	7	7
3	10	10	5	10	10	10
4	10	7	8	9	9	9
5	10	10	1	1	5	10
6	10	10	8	8	7	10
7	7	7	5	-	9	9
8	8	3	1	8	1	10
9	10	10	8	10	7	10
<b>Avg.</b>	<b>9.22</b>	<b>8.22</b>	<b>5.89</b>	<b>7.88</b>	<b>6.67</b>	<b>9.44</b>
<b>Std.Dev.</b>	<b>1.20</b>	<b>2.33</b>	<b>3.10</b>	<b>2.90</b>	<b>2.74</b>	<b>1.01</b>
<b>Consensus</b>	<b>0.80</b>	<b>0.67</b>	<b>0.63</b>	<b>0.85</b>	<b>0.43</b>	<b>0.90</b>

Source: Formulated by the authors

였다.

결과적으로 공학기반 CDR 접근법의 활성화를 위해서는, CDR 접근법을 ETS에 당장 적용·통합이 어렵다면 기술개발 및 실증을 위한 안정적 지원 체계 마련이 우선되어야 하며, 이후 단계적으로 ETS와의 연계를 모색하는 것이 바람직하다는 견해가 형성된 것으로 해석할 수 있다.

네 번째 문항에서는 탄소제거 활동이 ETS에 포함될 경우 제도 활성화를 위해 우선시되어야 할 가치에 대해 질문하였다. 특히, 동 문항은 공학기반 CDR 접근법을 중심으로 하고 있다. 주요 옵션으로는 제거 실적 확보(NDC 목표 달성), 배출저감-제거 노력의 균형, 도덕적 해이 방지, 배출저감 크레딧 가격의 안정화, 공학기반 탄소제거 크레딧의 높은 가격을 확보 및 제거 접근법의 적용 활성화, 기술개발 및 이전 촉진이 제시되었다.

분석 결과를 살펴보면(Table 9 참조), ‘공학기반 CDR 접근법의 기술개발 및 이전 촉진’이 평균 9.44점으로 가장 높은 선호도를 보였으며, 합의도도 0.90으로 매우 높았다. 그 다음으로는 ‘제거 실적 확보’로 평균 9.22점이며 합의도도 0.80로 높다. 다음 순서는 ‘배출저감 노력과 제거 노력의 균형’으로 평균 8.22점이나, 합의도도 0.67로 아주 높지 않다. 이어, ‘배출저감 크레딧 가격의 안정화’가 평균 7.88점이며 합의도는 0.85로 높게 나타났다. 한편, ‘공학

기반 탄소제거 크레딧의 높은 가격 확보’는 평균 6.67점이며, 합의도는 0.43로 낮게 도출되었다. 또한, ‘배출저감 노력의 지속 추진과 제거 크레딧 치중 방지’ 역시 평균 5.89점이며 합의도는 0.63으로 낮게 나왔다.

이를 정리하면, 전문가들은 K-ETS에 공학기반 CDR 접근법을 적용 및 통합해야 하는 핵심 가치로 기술개발과 이전 촉진을 들고 있다. 또한, 공학 기반 CDR 접근법이 파리협정 하의 국가 NDC 목표 달성에 있어서 중요한 수단이라는 점을 인식하고 있다. 다만, 감축 노력에 있어 공학적 CDR 접근법은 배출저감 노력의 보완적인 수단으로서 균형적으로 접근해야 한다는 점을 주요한 가치로 세우고 있다. 동 접근법의 활성화를 위해 배출저감 크레딧의 가격에 영향을 준다던가 제거 크레딧에 차별화된 높은 가격을 부여하는 등 ETS의 시장 운영에 영향을 주는 부분에 대해서는 부정적인 입장을 입을 수 있다. 즉, 배출권 가격의 안정성을 확보하여 시장의 신뢰도를 높이는 것도 중요하게 생각하는 것으로 나타났다. 따라서, 공학 기반 CDR 접근법을 K-ETS에 통합하기 위해 필요한 사항을 ‘기술개발 및 이전 촉진’ 차원에서 해당 기술의 사업화에 필요한 자원, 원천 기술의 개발 노력, 사업화 방법론 수립에 대한 부분이 준비되어야 할 것으로 보인다.

마지막으로 전문가들은 다양한 추가 의견을 제시하였다.

먼저 국제협력 측면에서, 유엔기후변화협약 제26차 당사국 총회에서 발족된 미션 이노베이션(Mission Innovation)의 ‘CDR Mission Launchpad’에 우리나라도 참여하여 미국, 일본, EU 등 선진국들과의 협력을 강화하고 선진사례를 습득할 필요가 있다는 의견이 제시되었다. 이를 위해 국내 CDR 접근법에 대한 실무그룹을 구성하여 체계적인 제도 설계를 시작해야 한다는 구체적인 제안도 있었다.

제도 설계 측면에서는 배출저감과 제거를 차별화한 ETS 구축이 필요하다는 의견과 함께, 제거 부문을 외부사업이 아닌 할당 부문으로 운영하는 방안도 제시되었다. 또한 다양한 CDR 접근법에 대해서 국내 여건을 고려하여 바이오차와 같은 즉시 상용화 가능한 기술과 DACCS/DACCU와 같은 중장기 상용화 기술을 구분하여 차별화된 추진전략을 수립해야 한다는 의견도 있었다.

특히 많은 전문가들이 감축실적의 신뢰성 확보와 적정 탄소가격 형성의 중요성을 강조하였다. CDR 접근법을 ETS에 적용 및 통합할 때 기존 ETS 시장의 가격 폭락 등 부작용을 초래할 수 있다면 별도 제도 구축을 고려해야 한다는 신중한 접근도 제안되었다. 결론적으로 해외 사례를 참고하되 우리나라 상황에 맞는 제도를 설계하여 공학 기반 탄소제거 기술을 적극 육성해야 하며, 이를 통해 비용효과적인 온실가스 감축을 달성할 수 있을 것이라는 의견이 제시되었다.

## 5. 결론

동 논문은 기후변화 대응 감축 노력에 있어 중요성이 높아진 이산화탄소제거(CDR) 접근법과 그 중에서도 특히 주목받는 공학적 CDR 접근법인 대기직접포집저장(DACCS) 등의 기술의 사업화 활성화 정책의 일환으로 배출권거래제(ETS)에 주목하였다. 이는 최근 해외 주요 지역 및 국가들이 ETS에 CDR 접근법을 적용 또는 통합하는 정책 방안을 논의, 추진, 또는 이행하고 있는 반면, 우리나라에서는 이러한 논의가 부재하기 때문이다. 이에, CDR 접근법을 우리나라 ETS에 적용 및 통합하는 정책적 방안을 모색할 필요가 있는 바, 해외 대표적인 ETS들이 CDR 접근법을 접근하는 방식들을 조사·분석하고, 이를 토대로 우리나라 ETS에 적용하는 정책적 방안에 대해 전문가 9인을 대상으로 델파이 조사를 실시하였다.

CDR 접근법, 특히 공학적 접근법을 ETS에 적용 및 통합하는 정책적 현황에 대해서 EU, 영국, 일본을 조사하고 이를 우리나라와 비교하였다. EU는 EU-ETS에 CDR 접근

법을 통합하는 대신 별도의 인증제도를 설립하고 인정받는 CDR 접근법을 규정하며 동 접근법에 기반한 사업을 촉진하는 기반을 마련했다. 영국은 CDR 접근법을 UK-ETS에 인정받는 감축활동으로 통합하는 결정을 내렸으나, 실제 CDR 접근법에 기반한 제거 결과물을 거래하는 데에 필요한 제도를 설계하기 위해 현재 의견 수렴 과정을 거치고 있다. 일본은 최근 운영을 시작한 GX-ETS에 CDR 접근법을 감축활동으로 인정하고, 인정받는 CDR 접근법을 구체적으로 규정하고 이미 시행하고 있다. 한편, 우리나라는 CDR 접근법 중 ‘산림’에 대해서만 ETS의 외부사업으로 인정하고 있으며, CDR 접근법의 적용 및 통합 여부에 대해서는 구체적인 논의가 이루어지지 않고 있는 상황임을 비교하여 파악할 수 있었다.

동 분석 결과를 토대로 우리나라에 필요한 정책적 방향에 대한 전문가 델파이 조사 결과, 첫째, 우리나라 ETS 제도가 DACCS를 포함한 다양한 CDR 접근법을 인정하기 위한 제도 개선 및 관련 제반 노력이 필요하다는 데에 의견이 모아졌다. 둘째, CDR 접근법의 대표적인 기술인 DACCS, DACCU, BECCS, 바이오차, 해양 블루카본 등에 대해서 우리나라 ETS에 포함해야 하는가에 대해서, 전문가들은 제시된 기술들에 모두 높은 점수를 부여하였고, 합의도도 모두 0.75 이상으로 높게 나타났다. 선호도 순은 DACCS가 가장 높았고, 그 다음은 BECCS이며, DACCU, 바이오차, 해양 블루카본은 모두 선호도 평균 점수가 동일했다. 이는 전문가들이 가용한 모든 제거 기술들을 최대한 활용하고 특정 기술을 배제하거나 차등할 필요 없다는 의견에 기반하고 있다. 셋째, 공학 기반 CDR 접근법을 ETS에 적용·통합을 위한 단기적 정책 방향에 대해서 선호도와 합의도가 모두 높은 방안은 영국의 단계적 접근 방식으로 나타났는데, 이는 제거 크레딧을 ETS에 통합하는 결정을 하되 이를 실제로 이행하는 제도 설계에 대해서는 의견수렴을 통해 차차 결정하는 방식이다. 다음 방식은 ‘경매 수익에 기반한 기금을 통해 공학적 기반 제거 실증사업에 투자’방안으로 합의도는 0.75에 미치지 못했지만, 전문가들의 선호도 점수가 가장 높은 방식은 방안으로 나타났다. 이는 배출권거래제도에 공학 기반 CDR 접근법을 즉각적으로 통합하는 것보다 기술 발전과 실증을 위한 재정적 지원 체계 구축이 우선되어야 한다는 전문가들의 인식을 반영한다. 넷째, ETS에 공학기반 제거 접근법을 적용 및 통합하는 정책을 수립시 가장 우선적으로 활용될 수 있는 가치로는 ‘공학기반 CDR 접근법의 기술개발 및 이전 촉진’과 ‘제거 실적 확보’로 나타났다. 이

는 해당 기술의 발전과 국가 NDC 목표 달성이 중요하게 인식되고 있음을 보여준다. 마지막으로, 전문가들은 국제 협력 강화와 국내 CDR 실무그룹 구성 등 구체적인 실행 방안도 제시하였다.

이러한 분석 결과는 우리나라가 DACCS를 포함한 공학기반 탄소제거 기술과 같은 다양한 CDR 접근법을 K-ETS에 도입함에 있어 다음과 같은 정책적 시사점을 제공한다. 첫째, K-ETS에의 적용·통합 이전에 CDR 접근법을 정의하고 규정하는 논의 과정이 필요하다. 국가 NDC 목표 및 장기 탄소중립 목표를 달성하는 과정에 CDR 접근법을 통해 달성할 감축량을 파악하고, 이를 달성하기 위해 우리나라에 적용가능한 CDR 접근법들을 파악할 필요가 있다.

둘째, CDR 접근법을 K-ETS 적용 및 통합하는 데에 높은 수준의 전문가 공감대가 형성되어 있으나, 적용 및 통합 이전에 다양한 CDR 접근법들에 대한 감축실적(제거량) 산정방법론 개발이 선행될 필요가 있다.

셋째, 다양한 CDR 접근법들에 대해서 전문가들 상당수가 특정 CDR 접근법을 우선하거나 또는 배제하기 보다 모든 가용한 CDR 접근법을 활용하자는 의견이 있었다. 그럼에도 불구하고, 우리나라에 우선 적용가능한 세부 CDR 접근법을 파악하고 우선적으로 K-ETS에 적용 및 통합하는 방식이 필요할 것으로 보인다. 해외 ETS에서도 모든 CDR 접근법이 아니라 각국의 ETS에서 감축 활동으로 인정받는 세부 접근법을 구체적으로 규정하고 명시하고 있기 때문이다.

넷째, 해외 ETS의 CDR 접근법에 대한 정책 현황을 파악하고 K-ETS에 적용가능한 방식을 고려할 필요가 있다. 특히, 영국이 CDR 접근법을 UK-ETS에 통합할 것을 결정하고, 통합 방식에 대해 논의를 거쳐 순차적/단계적으로 접근하는 방식을 고려할 필요가 있다. 만약, K-ETS 시장 안정성 관점에서 CDR 접근법의 적용 및 통합이 어렵다면, 단기적으로는 경매 수익을 활용하여 CDR 접근법에 대한 실증사업 지원을 우선적으로 고려할 필요가 있다.

다섯째, 자연기반 CDR 접근법과 공학기반 CDR 접근법 각기 장·단점이 존재한다. 특히, 자연 시스템을 훼손하지 않으면서 큰 감축 잠재량을 가진 것으로 여겨지는 공학기반 CDR 접근법은 탄소중립 시나리오 설정 시 빠지지 않고 포함되는 기술이다. 따라서, 공학기반 CDR 접근법을 활용한 사업 개발 및 실증이 활성화될 필요가 있다. 이러한 사업 활성화의 촉진 수단 중 하나가 ETS이다. 이에, K-ETS에 공학기반 CDR 접근법을 적용·통합을 고려

할 때 가장 강조해야 할 가치는 해당 기술의 개발 및 이전 촉진과 높은 제거 잠재성이라고 볼 수 있다.

동 논문은 우리나라 ETS에 CDR 접근법을 적용·통합하는 데 필요한 정책 방향을 전반적으로 모색하였다. 향후 보다 구체적인 연구가 필요한 부문으로는 다양한 CDR 접근법들을 대상으로 우리나라에서의 기술적·경제적·환경적 가용성 분석, CDR 접근법을 활용한 사업 기반 제거 크레딧을 K-ETS에 통합 시 가격 변동성 예상과 제거 크레딧에 대한 상한선 또는 최소 수량 필요 수준 분석, CDR 기반 제거 크레딧을 통합하는 단계적 접근법 구체화, K-ETS의 경매수익을 활용해 공학기반 CDR 접근법 사업 지원의 구체적 방안 모색 등이 있다.

## 사사

본 연구는 국가녹색기술연구소에서 한국연구재단 연구과제 「DACU 원천기술개발(R&D)(RS-2023-00259920)」(2023-2025)의 지원에 기반해, 세부과제 「DACU 기술실증과 활용 활성화를 위한 정책 연구」를 2024년과 2025년 수행한 결과입니다.

## Reference

- ACR (American Carbon Registry). 2021. Methodology for the quantification, monitoring, reporting and verification of greenhouse gas emissions reductions and removals from carbon capture and storage projects (version 1.1); [accessed 2025 Apr 16]. <https://acrcarbon.org/wp-content/uploads/2023/03/ACR-CCS-v1.1.pdf>
- Ampah JD, Jin C, Liu H, Yao M, Afrane S, Adun H, Fuhrman J, Ho DT, McJeon H. 2024. Deployment expectations of multi-gigatonne scale carbon removal could have adverse impacts on Asia's energy-water-land Nexus. *Nat Commun* 15: 6342. doi: 10.1038/s41467-024-50594-5.
- BloombergNEF. 2025 Mar 6. Europe's new emissions trading system expected to have world's highest carbon price in 2030 at €149, BloombergNEF Forecast Reveals; [accessed 2025 Apr 16]. <https://about.bnef.com/blog/europes-new-emissions-trading-system-expected-to-have-worlds-highest-carbon-price-in->

- 2030-at-e149-bloombergnef-forecast-reveals/
- Burke J, Gambhir A. 2022. Policy incentives for greenhouse gas removal techniques: The risks of premature inclusion in carbon markets and the need for a multi-pronged policy framework. *Energy Clim Change* 3: 100074. doi: 10.1016/j.egycc.2022.100074
- CARB (California Air Resources Board). 2020. LCFS basics with notes; [Accessed 2025 Apr 16]. <https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2020-09/basics-notes.pdf>
- Carbon Gap. 2024. EU Emission Trading System (EU ETS); [accessed 2025 Apr 16]. <https://tracker.carbongap.org/policy/eu-emissions-trading-system/>
- Carbon Media. 2025 Feb 26. GX-ETS; [accessed 2025 Apr 16]. <https://sustech-inc.co.jp/carbonix/media/gx-ets/>
- Carton W, Asiyambi A., Beck S, Buck HJ, Lund JF. 2020. Negative emissions and the long history of carbon removal. *WIREs Clim Change* 11: e671. doi: 10.1002/wcc.671
- Carton W, Lund JF, Dooley K. 2021. Undoing equivalence: Rethinking carbon accounting for just carbon removal. *Front Clim* 3: 664130. doi: 10.3389/fclim.2021.664130
- CDR.fyi. 2024 Aug 28. Japan's GX-League and carbon removal in GX-ETS; [accessed 2025 Apr 16]. <https://www.cdr.fyi/blog/japans-gx-league-and-carbon-removal-in-gx-ets>
- Climate Interventions. 2025. Direct ocean capture; [accessed 2025 Apr 16]. <https://climateinterventions.org/interventions/direct-ocean-capture/#>
- Cox E, Edwards NR. 2019. Beyond carbon pricing: Policy levers for negative emissions technologies. *Clim Policy* 19(9): 1144-1156. doi: 10.1080/14693062.2019.1634509
- Deloitte. 2022. Aviation industry: The last front of net zero; [accessed 2025 Apr 16]. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/kr/Documents/insights/deloitte-korea-review/24/Deloitte-Insights-no.24-part3-2.pdf>
- EC (European Commission). 2021. Innovation fund. Methodology for GHG emission avoidance calculation; [accessed 2025 Apr 22]. [https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/docs/2021-2027/innovfund/wp-call-call-annex\\_innovfund-ssc-2020-single-stage\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/docs/2021-2027/innovfund/wp-call-call-annex_innovfund-ssc-2020-single-stage_en.pdf)
- EC (European Commission). 2022. European green deal : Commission proposes certification of carbon removals to help reach net zero emissions; [accessed 2025 Apr 22]. [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip\\_22\\_7156](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_7156)
- EC (European Commission). 2024a. Carbon removals and carbon farming; [accessed 2025 Apr 22]. [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/carbon-removals-and-carbon-farming\\_en#eu-carbon-removals-and-carbon-farming-certification-crcf-regulation](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/carbon-removals-and-carbon-farming_en#eu-carbon-removals-and-carbon-farming-certification-crcf-regulation)
- EC (European Commission). 2024b. Innovation fund -Deploying innovative net-zero technologies for climate neutrality; [accessed 2025 Apr 22]. [https://inea.ec.europa.eu/programmes/innovation-fund\\_en](https://inea.ec.europa.eu/programmes/innovation-fund_en)
- Eco Times. 2024. Peatland; [accessed 2025 Apr 16]. <https://www.ecotiger.co.kr/news/articleView.html?idxno=46487>
- Energy Advice Hub. 2024. The UK ETS: Frequency asked questions; [accessed 2025 Apr 16]. <https://energyadvicehub.org/the-uk-emissions-trading-scheme-frequently-asked-questions/>
- ESG Economy. 2024 May 24. UK proposes to include waste in ETS scope...Also considering atmospheric carbon removal; [accessed 2025 Apr 22]. <https://www.esgeconomy.com/news/articleView.html?idxno=6632>
- EU. 2018. Directive 2009/31/EC of the European parliament and of the council on the geological storage of carbon dioxide and amending Council Directive 85/337/EEC, European parliament and council directives. 2000/60/EC, 2001/80/EC, 2004/35/EC, 2006/12/EC, 2008/1/EC and regulation (EC) No 1013/2006; [accessed 2025 Apr 22]. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2009/31/2018-12-24>
- EU. 2022. Proposal for a regulation of the European parliament and of the council establishing a union certification framework for permanent carbon removals, carbon farming and carbon storage in products;

- [accessed 2025 Apr 20]. [https://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2014\\_2019/plmrep/COMMITTEES/ENVI/DV/2024/03-11/Item9-Provisionalagreement-CFCR\\_2022-0394COD\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2014_2019/plmrep/COMMITTEES/ENVI/DV/2024/03-11/Item9-Provisionalagreement-CFCR_2022-0394COD_EN.pdf)
- EU. 2023a. Directive (EU) 2023/959 of the European parliament and of the council of 10 May 2023. Amending directive 2003/87/EC establishing a system for greenhouse gas emission allowance trading within the union and decision (EU) 2015/1814 concerning the establishment and operation of a market stability reserve for the Union greenhouse gas emission trading system; [accessed 2025 Apr 20]. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32023L0959>
- EU. 2023b. Regulation (EU) 2023/956 of the European parliament and of the council of 10 May 2023. Establishing a carbon border adjustment mechanism; [accessed 2025 Apr 22]. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32023R0956>
- EU. 2024a. Regulation (EU) 2024/3012 of the European parliament and of the council of 27 November 2024, establishing a union certification framework for permanent carbon removals, carbon farming and carbon storage in products; [accessed 2025 Apr 22]. [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:L\\_202403012](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:L_202403012)
- EU. 2024b. EU Emission Trading System (EU ETS); [accessed 2025 Apr 22]. [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_en)
- EU. 2024c. Directive (EU) 2023/959. Amending directive 2003/87/EC establishing a system for greenhouse gas emission allowance trading within the union and decision (EU) 2015/1814 concerning the establishment and operation of a market stability reserve for the union greenhouse gas emission trading system. Paragraph (97); [accessed 2025 Apr 22]. [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?toc=OJ%3AL%3A2023%3A130%3ATOC&uri=uriserv%3AOJ.L\\_2023.130.01.0134.01.ENG](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?toc=OJ%3AL%3A2023%3A130%3ATOC&uri=uriserv%3AOJ.L_2023.130.01.0134.01.ENG)
- EU. 2024d. EU Emissions Trading System (EU ETS); [accessed 2025 Apr 20]. [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_en)
- Greenium. 2024a Mar 04. EU ‘Carbon Removal Certification Framework (CRCF)’ trilogue agreement concluded to prevent greenwashing and promote private investment; [accessed 2025 Apr 16]. <https://greenium.kr/news/31097/>
- Greenium. 2024b Apr 16. European parliament approves ‘Carbon Removal Certification Framework (CRCF)’ implementation regulations...Only EU council approval remains; [accessed 2025 Apr 16]. <https://greenium.kr/news/32421/>
- GX League Secretariat. 2024. Guidelines for the use of eligible carbon credits in GX-ETS; [accessed 2025 Apr 16]. <https://gx-league.go.jp/aboutgxleague/document/GX-ETS%E3%81%AB%E3%81%8A%E3%81%91%E3%82%8B%E9%81%A9%E6%A0%BC%E3%82%AB%E3%83%BC%E3%83%9C%E3%83%B3%E3%83%BB%E3%82%AF%E3%83%AC%E3%82%B8%E3%83%83%E3%83%88%E3%81%AE%E6%B4%BB%E7%94%A8%E3%81%AB%E9%96%A2%E3%81%99%E3%82%8B%E3%82%AC%E3%82%A4%E3%83%89%E3%83%A9%E3%82%A4%E3%83%B3.pdf>
- homaio. 2024. EUA price history: What are the drivers?; [accessed 2025 Apr 22]. <https://www.homaio.com/post/what-drives-the-eu-ets-carbon-allowance-price>
- Honegger M, Reiner, D. 2018. The political economy of negative emission technologies: Consequences for international policy design. *Clim Policy* 18: 306–321. doi: 10.1080/14693062.2017.1413322
- ICAP (International Carbon Action Partnership). 2024. Korea emission trading scheme; [accessed 2025 Apr 20]. <https://icapcarbonaction.com/en/ets/korea-emissions-trading-scheme>
- ICAP (International Carbon Action Partnership). 2025. EU Emissions Trading System (EU ETS); [accessed 2025 Apr 20]. <https://icapcarbonaction.com/en/ets/eu-emissions-trading-system-eu-ets#:~:text=Average%20auction%20price%20>
- Impact on. 2023a. European parliament passes carbon

- removal certification framework bill. Strengthened verification standards compared to EU commission draft; [accessed 2025 Apr 16]. <https://www.impacton.net/news/articleView.html?idxno=10374>
- Impact on. 2023b. Tokyo stock exchange begins carbon allowance trading; [accessed 2025 Apr 16]. <https://www.impacton.net/news/articleView.html?idxno=10080>
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2022. Climate change 2022 mitigation of climate change: Summary for policymakers; [accessed 2025 Apr 16]. [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGIII\\_SummaryForPolicymakers.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_SummaryForPolicymakers.pdf)
- JCM Home. 2024. Basic concept of the JCM; [accessed 2025 Apr 22]. <https://www.jcm.go.jp/about>.
- KDI. 2023. Plans to improve market function of emissions trading system. KDI FOCUS 2023 Vol. 123; [accessed 2025 Apr 16]. [https://www.kdi.re.kr/kdipreview/doc.html?fn=18034\\_47363&rs=/kdidata/preview/pub](https://www.kdi.re.kr/kdipreview/doc.html?fn=18034_47363&rs=/kdidata/preview/pub)
- Kim YY, Kim DG, Han SJ, Yun HJ, Park MH, Heo G. 2022. A study on the development of usability evaluation tools of AI educational contents for students through Delphi method (in Korean with English abstract). *J Fish Mar Sci Educ* 24(2): 256-265. doi: 10.13000/JFMSE.2022.4.34.2.256
- Korea Biochar Institution. 2025. Introduction of biochar; [accessed 2025 Apr 23]. <https://www.kbiochar.or.kr/%EB%B0%94%EC%9D%B4%EC%98%A4%EC%B0%A8-%EC%86%8C%EA%B0%9C/>
- Korea Capital Market Institute (KCMI). 2025. Development direction of Korea's emissions trading market; [accessed 2025 Apr 16]. [https://www.kcmi.re.kr/report/report\\_view?report\\_no=1819](https://www.kcmi.re.kr/report/report_view?report_no=1819)
- Korea Exchange (KRX). 2025. Carbon market information platform; [accessed 2025 Apr 16]. <https://ets.krx.co.kr/main/main.jsp>
- Korea Forest Service. 2025. Forest carbon offset scheme; [accessed 2025 Apr 16]. [https://www.forest.go.kr/newkfsweb/html/HtmlPage.do?pg=/fcm/UI\\_FCS\\_111000.html&mn=KFS\\_02\\_10\\_11\\_10&or](https://www.forest.go.kr/newkfsweb/html/HtmlPage.do?pg=/fcm/UI_FCS_111000.html&mn=KFS_02_10_11_10&or) gId=fcm
- Korea International Trade Association (KITA). 2024. Characteristics and implications of Japan's emissions trading system. *Trade Focus* 2024(31); [accessed 2025 Apr 22]. [https://www.kita.net/researchTrade/report/tradeFocus/tradeFocusDetail.do;JSESSIONID\\_KITA=08D861FC15AB7F657157EF6514244419.Hyper?no=2642](https://www.kita.net/researchTrade/report/tradeFocus/tradeFocusDetail.do;JSESSIONID_KITA=08D861FC15AB7F657157EF6514244419.Hyper?no=2642)
- Korea Law Information Center. 2024. Guidelines on emission reporting and verification for greenhouse gas emissions trading system (Ministry of Environment notice No. 2021-278) [annex 3] greenhouse gas emission activities subject to calculation (related to article 9, paragraph 4); [accessed 2025 Apr 16]. <https://www.law.go.kr/LSW/admRulLsInfoP.do?admRulSeq=2100000207086#AJAX>
- Lilja KK, Laakso K, Palomäki J. 2011. Using the Delphi method. *Proceedings of PICMET '11: Technology Management in the Energy-Smart World (PICMET)*; 2011 Jul 31~Aug 4; Hilton Portland and Executive Tower. Portland, OR: Portland International Center for Management of Engineering and Technology. p. 1-10.
- Michaelowa A, Honegger M, Poralla M, Winkler M, Dalfiume S, Nayak A. 2023. International carbon markets for carbon dioxide removal. *PLoS Clim* 2(5): e0000118. doi: 10.1371/journal.pclm.0000118
- Ministry of Economy and Finance & Ministry of Environment. 2019. The 3rd basic plan for emissions trading system; [accessed 2025 Apr 25]. [https://www.gir.go.kr/home/board/read.do;jsessionid=60F30HRjFmfs3Hvyi1CXgnYqTqPRs8uaPAV8MLml1bCVbgsfnU4hBXuPgB0CbL3X.og\\_was2\\_servlet\\_engine1?pagerOffset=500&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=&searchValue=&menuId=10&boardMasterId=3&boardId=1068](https://www.gir.go.kr/home/board/read.do;jsessionid=60F30HRjFmfs3Hvyi1CXgnYqTqPRs8uaPAV8MLml1bCVbgsfnU4hBXuPgB0CbL3X.og_was2_servlet_engine1?pagerOffset=500&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=&searchValue=&menuId=10&boardMasterId=3&boardId=1068)
- Ministry of Economy, Trade and Industry (METI). 2023. GX transition strategy for decarbonized growth-oriented economic structure; [accessed 2025 Apr 25]. <https://www.meti.go.jp/press/2023/07/20230728002/20230728002.html>
- Ministry of Economy, Trade and Industry (METI). 2024.

- 179 new companies join GX League from 2024, totaling 747 companies; [accessed 2025 Apr 25]. <https://www.meti.go.jp/press/2023/03/20240327003/20240327003.html#:~:text=>
- Ministry of Oceans and Fisheries. 2023. Announcement of 'blue carbon promotion strategy'...Strengthening the ocean's climate disaster response capacity with blue carbon; [accessed 2025 Apr 22]. <https://www.mof.go.kr/doc/ko/selectDoc.do?docSeq=51361&bbsSeq=10&menuSeq=971>
- National Institute of Green Technology. 2024. Policy research for demonstration and utilization of DACU technology.
- Oh C. 2024. Contestation in social acceptance of direct air capture (DAC) technologies in Korea by differing framings over governance principles. *J Open Innovation: Technol Mark Complexity* 10: 100403. doi: 10.1016/j.joitmc.2024.100403
- Oh C, An S, Min K. 2021. Features and interrelation amongst technology terminologies related to climate change. *J Clim Change Res* 12(4): 307-332. doi: 10.15531/ksccr.2021.12.4.307
- Oh C, Song Y, Kim R. 2023. Analysis of Korea's negotiating position on removal activities under the article 6.4 mechanism of the Paris agreement: From the perspective of direct air capture technologies. *J Clim Change Res* 14(5): 521-541. doi: 10.15531/KSCCR.2023.14.5.521
- Oh S, Greene J, Honegger M, Michelowa A. 2024. Review of economics and policies of carbon dioxide removal. *Curr Sustainable/Renewable Energy Rep* 12(6). doi: 10.1007/s40518-025-00252-1
- Okoli C, Pawlowski SD. 2004. The Delphi method as a research tool: An example, design considerations and applications. *Inf Manag* 42(1): 15-29. doi: 10.1016/j.im.2003.11.002
- Prime Minister's Office. 2024. Guidelines on prior approval of international mitigation projects and acquisition of internationally transferred mitigation outcomes (prime minister's office notice No. 2024-99, June 17, 2024, partially amended; effective June 23, 2024); [accessed 2025 Apr 16]. <https://law.go.kr/LSW/admRulLsInfoP.do?admRulId=83889&efYd=0>
- Presidential Commission on Carbon Neutrality and Green Growth. 2024. EU's carbon border adjustment mechanism introduction, Korea's 'emergency'; [accessed 2025 Apr 16]. <https://www.2050cnc.go.kr/base/board/read?boardManagementNo=67&boardNo=3398&searchCategory=&page=7&searchType=&searchWord=&menuLevel=3&menuNo=19#:~:text=%ED%83%84%EC%86%8C%EB%88%84%EC%B6%9C%EC%9D%B4%EB%9E%80%20EU%EC%99%80%20%EA%B0%99%EC%9D%B4%20ED%83%84%EC%86%8C%EB%B0%B0%EC%B6%9C%20%EA%B0%90%EC%B6%95%20%EA%B7%9C%EC%A0%9C%EA%B0%80%20%EA%B0%95%ED%95%9C,%EC%83%81%EB%8C%80%EC%A0%81%EC%9C%BC%EB%A1%9C%20%EA%B7%9C%EC%A0%9C%EA%B0%80%20%EB%8D%9C%ED%95%9C%20%EA%B5%AD%EA%B0%80%EB%A1%9C%20%EC%9D%B4%EC%A0%84%ED%95%98%EB%8A%94%20%ED%98%84%EC%83%81%EC%9D%84%20%EB%A7%90%ED%95%9C%EB%8B%A4>
- Rickels W, Proelß A, Geden O, Burhenne J, Fridahl M. 2021. Integrating carbon dioxide removal into European emissions trading. *Front Clim* 3: 690023. doi: 10.3389/fclim.2021.690023
- S&P Global. 2024. Japan's GX-ETS to accept international removal voluntary credits for compliance obligations; [accessed 2025 Apr 26]. <https://www.spglobal.com/commodity-insights/en/news-research/latest-news/energy-transition/042224-japans-gx-ets-to-accept-international-removal-voluntary-credits-for-compliance-obligations>
- Schmidt RC. 1997. Managing Delphi surveys using nonparametric statistical techniques. *Decis Sci* 28(3): 763-774. doi: 10.1111/j.1540-5915.1997.tb01330.x
- Song Y, Oh S, Oh C. 2024. Korea's technological level evaluation compared with global direct air capture (DAC) and reactive capture and conversion (RCC)

- technologies: Expert surveys using the Delphi method (in Korean with English abstract). *J Clim Change Res* 15(4): 489-511. doi: 10.15531/KSCCR.2024.15.4.489
- Statista. 2025. 'United Kingdom Emission Trading System (UK ETS) Allowance (UKA) futures pricing from February 2023 to May 2025; [accessed 2025 Apr 20]. <https://www.statista.com/statistics/1322275/carbon-prices-united-kingdom-emission-trading-scheme/>
- The Hankyoreh. 2024. Emissions trading system: 'Carbon reduction' pushed aside due to loose allocation; [accessed 2025 Apr 16]. <https://www.hani.co.kr/arti/society/environment/1158757.html>
- Trading Economics. 2025. EU carbon permits; [accessed 2025 April 28]. <https://tradingeconomics.com/commodity/carbon>
- UK Government. 2021. The UK emissions trading scheme has replaced the EU ETS; [accessed 2025 Apr 22]. <https://www.gov.uk/government/publications/uk-emissions-trading-scheme-markets>
- UK Government. 2024. Integrating greenhouse gas removals in the UK emissions trading scheme; [accessed 2025 Apr 22]. <https://www.gov.uk/government/consultations/integrating-greenhouse-gas-removals-in-the-uk-emissions-trading-scheme>
- UK Government. 2025. Guidance-participating in the UK ETS; [accessed 2025 May 18]. <https://www.gov.uk/government/publications/participating-in-the-uk-ets/participating-in-the-uk-ets>
- UNFCCC. 2001. Modalities and procedures for clean development mechanism as defined in article 12 of the Kyoto protocol (decision 17/CP.7); [accessed 2025 Apr 16]. <https://unfccc.int/documents/2518>
- UNFCCC. 2021. Rules, modalities and procedures for the mechanism established by article 6, paragraph 4, of the Paris agreement; [accessed 2025 Apr 16]. [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2021\\_L19E.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2021_L19E.pdf)
- UNFCCC. 2022. A6.4-SB002-AA-A06: Information note: Removal activities under the article 6.4 mechanism (version 01.0); [accessed 2025 Apr 16]. <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/a64-sb002-aa-a06.pdf>
- UNFCCC. 2024. Standard: Requirements for activities involving removals under the article 6.4 mechanism; [accessed 2025 Apr 16]. <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/A6.4-STAN-METH-002.pdf>
- VCS (Verified Carbon Standard). 2021. Methodology for CO<sub>2</sub> utilization in concrete production; [accessed on 2025 April 16]. [https://verra.org/wp-content/uploads/Methodology-for-CO<sub>2</sub>-Utilization-in-Concrete-Production-Carbon-Cure.pdf](https://verra.org/wp-content/uploads/Methodology-for-CO2-Utilization-in-Concrete-Production-Carbon-Cure.pdf)
- VERRA. 2023. Methodology framework for carbon capture and storage; [accessed 2025 Apr 16]. <https://verra.org/methodologies/methodology-for-carbon-capture-and-storage/>.
- Wenger A, Stauffacher M, Dallo I. 2021. Public perception and acceptance of negative emission technologies – Framing effects in Switzerland. *Clim Change* 167(53). doi: 10.1007/s10584-021-03150-9