

대기직접포집 기술의 기술혁신을 위한 국가 지원정책 옵션 우선순위와 적정 지원 수준 모색 연구: 델파이 방법론을 활용한 전문가 설문을 중심으로

정혜령*[†] · 오채운**^{††}

*국가녹색기술연구소 정책연구본부 연구원, **국가녹색기술연구소 정책연구본부 국가기후기술협력센터 책임연구원

Research on the prioritization and appropriate levels of Korea's policy support options to invigorate the technology innovation of direct air capture (DAC) technologies: Focusing on expert surveys using the Delphi method

Jung, Hye Ryoung*[†] and Oh, Chaewon**^{††}

*Researcher, Center for Global Strategy, Division of Policy Research, 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

ABSTRACT

Direct air capture (DAC) technologies are a key mitigation option for achieving carbon neutrality. Advanced economies have been mobilizing their resources to support the development, demonstration, and deployment of DAC technologies, and tangible mitigation outcomes have started to emerge. Against this backdrop, this study aims to analyze the current policy support for DAC technologies in Korea and to explore policy priorities and appropriate levels of support for future technological innovation. Theoretically grounded on technological innovation, this study classifies policy options with technology-push and demand-pull policies. First, the analysis of existing policy support for DAC technologies focuses on carbon capture, utilization, and storage (CCUS) technologies, and DAC is currently positioned as a subcategory of CCUS technologies in Korea. Second, a Delphi survey was conducted with 10 experts from academia, industry, and research institutes to identify consensus on policy priorities and the appropriate scales of policy support for the technological innovation of DAC technologies. Analytical results indicate that, given Korea's early-stage development of DAC technologies, technology-push policies such as R&D investment and demonstration subsidies should be prioritized. Among demand-pull policies, upon technological maturity, the Emission Trading System (ETS) is evaluated as the most effective tool for creating market demands for DAC technologies, assuming a higher credit price compared to the existing ETS allowance prices. This study also found consensus on appropriate support levels, providing specific numerical estimates for technology-push and demand-pull policy options. This paper concludes with policy recommendations based on these findings.

Key words : Direct Air Capture (DAC) Technologies, Technology Support Policy, Technology Innovation, Delphi Method, Technology-Push Policies, Demand-Pull Policies

†Corresponding author : hrjung@kdis.ac.kr (National Institute of Green Technology, 14th floor, Yeouido Post Tower, 60, Yeouinaru-ro, Yeongdeungpo-gu, Seoul 07328, Korea. Tel. +82-2-3393-4028)

††Co-corresponding author : chaewon.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 정혜령 0000-0002-2716-3884

오채운 0000-0003-1357-5519

Co-lead author: Jeong, Hye Ryoung and Oh, Chaewon

Received: August 7, 2025 / Revised: September 1, 2025 / Accepted: September 22, 2025

1. 서론

기후변화에 효과적으로 대응하기 위한 감축 노력의 일환으로, 온실가스 배출이 이루어지는 배출원에서의 배출 저감(emission reduction) 노력 뿐만 아니라, 대기 중에 이미 축적된 이산화탄소를 제거하는 접근법이 함께 이루어져야 한다는 인식이 과학계와 정책결정자들 사이에서 공유되고 있다. 이는 이산화탄소제거(CDR, Carbon Dioxide Removal) 접근법으로 명명된다. 특히 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC)가 도출한 제6차 평가보고서에서 탄소 중립 목표 달성을 위해 CDR 접근법의 도입이 불가피하며, 특히 감축이 어려운 농업, 항공, 해운, 산업공정 부문 등의 잔여 배출을 상쇄하기 위한 핵심 수단임이 강조되었다(IPCC, 2023). 이러한 맥락에서 조림이나 토양 탄소 격리 등 자연기반 CDR 접근법 뿐 아니라, 공학 기반(engineering-based) CDR 접근에 대한 관심도 빠르게 확대되고 있다. 대기 중 이산화탄소를 직접 포집하는 대기 직접포집(DAC, Direct Air Capture) 기술은 공학 기반 CDR 접근법의 일환으로 주요국을 중심으로 핵심 기술로 주목받고 있다(Song and Oh, 2022). DAC 기술은 특정 배출원에 의존하지 않고 대기 중 CO₂를 직접 제거할 수 있으며, 특히 탈탄소가 어려운 부문에서 유일한 대응 수단으로 기능할 수 있다는 점에서 전략적 가치가 크기 때문이다(IEA, 2022).

그러나 DAC 기술은 현재 대규모 실증이 이루어지고 있으나 아직 기술적 불확실성이 높다. 또한, 초기 투자비용, 제거량의 산정 방식 부재, 낮은 사회적 수용성 등의 문제로 인해 민간 부문 주도의 기술 확산이 어려운 구조적 한계를 지닌다(Jaffe et al., 2005; Kotchen, 2021; Semieniuk et al., 2021). 이에 따라 기존 연구들은 정부의 정책적 개입 필요성을 강조하며, R&D 투자, 실증 보조금, 세제 혜택, 탄소시장 연계 등 다양한 정책 수단의 가능성을 제시해왔다(Budinis, 2021; Deutz and Bardow, 2021; Honegger et al., 2022; Song and Oh, 2023; Sovacool et al., 2022).

실제로 미국, 캐나다, 영국 등 주요국들은 DAC 기술의 기술혁신과 상용화를 촉진하기 위해 다양한 정책 수단을 체계적으로 도입하고 있다. 예를 들어, 미국은 2020년 에너지법을 통해 DAC 관련 연구·개발을 본격화하였고, 인프라 투자법(IIJA, Infrastructure Investment and Jobs Acts)을 통해 35억 달러 규모의 DAC 허브 조성을 지원하였다(DOE, 2021). 여기에 더해, 미국은 트럼프 행정부가

2025년 7월 제정한 “One Big Beautiful Bill Act”를 통해 45Q 세액공제를 개정하여, DAC 시설이 연간 1,000톤 이상 CO₂를 포집하는 경우 지질저장뿐 아니라 원유회수증진(EOR, enhanced oil recovery)과 산업적 활용에 대해서도 톤당 \$180의 동일한 세액공제를 제공하고 있으며, 이를 통해 민간 투자를 적극적으로 유도하고 있다(Global CCS Institute, 2025). 아울러 캘리포니아주의 저탄소연료 표준(LCFS, Low Carbon Fuel Standard)은 DAC 기술 기반 제거량에 대해 거래 가능한 크레딧을 부여함으로써 시장 기반 수요도 창출하고 있다(California Air Resource Board, n.d.).

캐나다는 전략혁신기금(SIF, Strategic Innovation Fund) 및 넷제로 가속화 이니셔티브(NZA, Net Zero Accelerator)를 통해 DAC 관련 프로젝트에 보조금을 지급하고 있으며, 세액공제와 청정연료표준을 연계해 민간 부문 기술도입을 적극 유도하고 있다(IEA, 2022; Government of Canada, 2022). 영국은 DAC 및 온실가스 제거 기술경쟁 프로그램을 통해 실증사업을 다수 지원하고 있으며, 관련 프로젝트에 대한 세계 지원도 병행하고 있다(GOV.UK, 2022). 유럽연합은 호라이즌 유럽(Horizon Europe), 혁신기금 등을 통해 R&D 및 실증 투자를 확대하는 한편, 탄소 제거인증프레임워크(CRCF, Carbon Removal Certification Framework)를 통해 DAC를 포함한 CDR 접근법에 기반한 사업을 촉진하고, 향후 CDR 접근법을 지역 내 의무적 탄소시장인 유럽연합 배출권거래제(EU-ETS) 내로 통합하는 정책 방향을 고려중이다(European Commission, n.d.). 일본 역시 문샷(Moonshot) R&D 프로그램을 통해 DAC 기술을 포함한 탄소자원순환 기술의 장기적 투자에 착수하였다(METI, 2020; NEDO, n.d.).

이처럼 DAC 기술에 대한 국가별 정책 추진은 기술혁신과 초기 시장 수요 창출을 동시에 목표로 하며, 이를 뒷받침하기 위한 정책적 논의가 활발히 이루어지고 있다. 따라서, 우리나라 역시, DAC 기술에 대한 정책적 논의와 투자 규모를 전반적으로 점검하고, 향후 어떠한 지원정책이 우선적으로 수행되어야 하는지 그리고 지원 수준이 어느 정도 필요한지 파악할 필요가 있다. 이에 본 연구는 한국의 DAC 기술 정책 현황을 진단하고, 전문가 델파이 분석을 바탕으로 향후 지원정책의 우선순위와 정책 지원의 수준을 제시하고자 한다.

이를 위해, 제2장에서는 DAC 관련 기존 정책 연구들을 정리하고, 제3장에서는 분석틀을 제시한다. 제4장에서는 우리나라 DAC 정책의 현황과 한계를 살펴보고, 델파이

분석을 통해 정책 우선순위와 적정 지원 규모를 도출한다. 마지막으로 제5장에서는 분석결과를 요약하고 정책적 함의를 제시함으로써 향후 정부의 전략적 개입 방향을 제안하고자 한다.

2. 선행연구: DAC 기술 실증 및 활용 활성화를 위한 정책 연구

DAC 기술에 대한 기존의 정책연구는 보통 DAC 기술의 실증 및 활용 시 맞닥뜨리는 도전과제가 무엇인지 파악하고, 이 문제를 해결하는 데에 필요한 정책을 도출 또는 제안한다. DAC 기술의 실증 및 활용의 도전과제는 매우 다양하며 크게 기술적·경제적·환경사회적 측면으로 구분될 수 있고, 이는 상호간 연계되어 있다. 따라서, 도전과제에 대한 기존의 연구를 정리하면 크게 기술 기반 비용의 문제, 높은 에너지 수요, 제거량 계산 및 검증 방법론 부재, 그리고 기술에 대한 부정적 인식으로 정리할 수 있다. 이를 차례대로 알아보면, 다음과 같다.

첫 번째, 기술 및 비용의 도전과제 측면에서 보면, DAC 기술은 대기 중 약 0.04% 농도의 CO₂를 포집하는 기술로, 습식포집과 건식 포집 방식이 있다. 습식 포집 방식은 강염기 수용액을 포집제로 사용하는데, 흡수한 CO₂를 분리하는 가열(하소) 과정과 포집제를 재생하는 과정이 필요하다. 한편, 건식 포집 방식은 건식 흡착제를 포집제로 활용하는데, CO₂의 흡착 및 탈착을 위해 압력과 온도 등을 변동시킨다.¹⁾ 이 두 가지 포집 방식 모두 아직 신기술이고 실증 및 활용이 충분히 이루어지지 않은 상태인 바, 포집 비용이 높고 그 예상 폭이 넓다(Song and Oh, 2022).²⁾ 현재, 실증 및 활용 경험치가 담보된 상태에서의 포집비용은 100~200 USD/tCO₂로 볼 수 있다. 그런데, 최종적으로 감축이 이루어지기 위해서는 대기중 CO₂ 포집에서 더 나아가 이를 운송해서 영구적으로 저장 또는 활용해야만 CO₂ 제거가 완료된다. 그러나, CO₂의 운송 및 저장에 대한 인프라 역시 부족한 상태이다(Stewart et al., 2014). 이에, 상기 언급된 100~200 USD/tCO₂ 비용에 저

장 또는 활용 비용이 추가되어야 한다는 것이다. 따라서, DAC 기술에 기반한 대기직접포집 및 저장(DACCS, direct air carbon capture and storage) 또는 대기직접포집 및 활용(DACCU, direct air carbon capture and utilization) 기술의 실증 및 활용 사업화를 하는 데에 있어 첫 번째 도전 과제는 DAC 기술의 실증 및 적용에 높은 ‘비용’이 발생한다는 점이다(Fasihi et al., 2019). 특히, 산업시설 내 온실가스가 발생하는 점원(point source)에서 CO₂를 포집하여 저장시설에 저장하는 이산화탄소 포집 및 저장(CCS) 기술과 비교할 때, 대기중에서의 포집하는 DAC의 포집 소요 비용에는 상당한 격차가 있다(Fasihi et al., 2019).³⁾

두 번째 도전과제로, 이 기술 사업을 진행하는 데에 있어서 발생하는 도전과제는 바로 상당한 ‘에너지’ 활용에 따른 온실가스 배출 문제이다. 즉, 대기중에서 CO₂를 포집하지만 이 공정 과정에 에너지가 소요된다. 습식포집 설비는 900°C 이상의 고온이 필요하며, 건식포집 설비의 경우 80~120°C의 열에너지가 필요하다. 이 두 가지 방식 모두 설비 구동에 상당한 에너지가 필요한 바, 에너지 소요 비용에 대한 단가가 고려되어야 한다. 더더군다나, 동 에너지에 화석연료가 활용되어 포집되는 양보다 더 많은 온실가스가 배출된다면, 이는 CO₂ 제거를 통한 순배출 저감이라는 DAC 기술 기반 사업의 당초 목적과 맞지 않는 결과를 초래할 수 있다. 또한, 상당한 에너지(열과 전기) 비용 앞서 언급된 DAC 기술 적용시 높은 비용의 주요한 요인이다(Budinis, 2021).

세 번째 도전과제는 CO₂를 포집·저장하는 과정에서 배출되는 온실가스와 저장 사후에 발생하는 CO₂ 배출 등 공정 라이프사이클 전체에서의 제거량에 대한 정확한 계산/산정 방법론이 필요한데, 현재로서는 DAC 기술에 대해서 국제적으로 공인된 방법론이 부재하다는 점이다. 이는 DAC 기술을 포함해 CDR 접근법에 공통적으로 적용되는 사항이다. 즉, 사업 방법론의 핵심은 추가성(additionality)으로 사업 이행 전과 비교하여 사업 이행 후 온실가스 배출이 감소되어야 한다는 원칙인데, CDR 접근법은 배출

1) 압력 변동흡착 방식은 압력을 높이면 흡착제에 이산화탄소가 결합되어 포집되고 압력을 낮추면 이산화탄소가 포집제로부터 분리된다. 온도 변동흡착은 낮은 온도에서 이산화탄소가 흡착 및 포집되고, 온도가 높아지면 포집제로부터 분리된다. 이외에도 습도 변동, 온도 진공 변동 방식 등도 있다.
 2) 습식포집의 대표격 회사인 카본엔지니어링(사)의 경우 규모의 경제 달성 시 포집 원가가 94~232 USD/tCO₂로 예상되고, 건식포집의 대표격인 회사인 클라임웍스(사)의 경우 500~600 USD/tCO₂이며 설치 경험이 쌓임에 따라 200 USD/tCO₂로 낮추어질 수 있다.
 3) Fasihi et al. (2019)의 Fig. 10에서 볼 수 있는 바와 같이 산업시설(철강, 정유, 펄프 및 종이, 시멘트) 내의 tCO₂ 당 포집 비용의 범위(range)가 넓기는 하나 DAC 기술 포집 비용보다는 낮으며, 천연가스생산, 수증기 메탄 개질반응(steam methane reforming) 수소(H₂) 제조, 암모니아, 에탄올 생산 시설 내의 tCO₂ 당 포집 비용은 DAC 기술 기반 포집 비용보다 현저히 낮다.

저감이 아니라 대기중으로부터 온실가스를 포집 및 저장하는 제거 활동인 바, 이를 적용하는 것이 쉽지 않다. 더더군다나, CDR 접근법에 속하는 옵션들이 다양하여 동일한 사업 방법론을 적용하는 것 역시 쉽지 않다(Carton et al., 2021; Sovacool et al., 2023, pp. 74-75). 따라서, CDR 접근법에 대한 사업 방법론에 필요한 정의, 원칙, 일반 규칙이 필요하고, CDR 접근법(DAC 기술 포함) 옵션 각각에 대한 사업 방법론 구축이 필요하다.

마지막 도전과제는 DAC 기술에 대해 환경적 영향과 사회적 수용성과 관련된다. 먼저, 환경적 영향으로는, DACCS가 CCS 기술과 같이 지중저장 시 CO₂를 고압으로 투입하는 과정에서 지진 발생과 같은 부정적인 환경영향으로 이어질 수 있다는 불확실성이 있다(Oh, Song, et al., 2023). 또한, 지중저장된 CO₂가 대기 중으로 다시 배출되는 역전(reversal) 현상이 발생할 수도 있다(Oh, Song, et al., 2023). 이로 인해, DAC 기술에 대한 사회적 수용성이 낮을 수 있다. 더 나아가, DAC 기술에 대한 정보 및 인식 자체가 부족하여 동 기술의 감축 잠재력과 역할에 대한 사회적 인식이 낮고, 또한 DAC 기술은 결국 ‘제거(removal)’이므로 실제 온실가스가 배출되는 점원에서의 배출 저감 노력을 회피하는 도덕적 해이(moral hazard)라는 관점에서 사회적 수용성 역시 낮을 수 있다는 점이다(Cox and Edwards, 2019; Erans et al., 2022, p. 1393).

따라서, 상기 도전과제들을 해결하기 위한 다양한 정책 방안들이 존재할 수 있다. 이에 대한 기존 연구를 정리하면 다음과 같다. 첫째, 기술 사업화 비용의 문제를 해결하기 위해서는 DAC 기술 사업을 진행하여 학습효과를 통해 비용을 낮출 수도 있고, 포집 공정의 효율성 제고 및 포집제 사용량 감축을 통해 비용을 낮출 수 있다(Deutz and Bardow, 2021). 이를 위해서는 추가적인 연구·개발·

실증이 필요하며, 이를 위한 정책으로는 연구·개발·실증에 대한 재원을 제공하는 것이다. 이 재정지원은 크게 DAC 기술을 개발하기 위한 공공 R&D 프로그램과 민간에서 이미 개발된 R&D 결과물의 실증 및 활용 사업을 지원하는 R&D 보조금이 있다. 먼저, DAC 기술 개발을 위한 정부 R&D 프로그램으로, 미국, 일본, 영국 등이 활발히 진행하고 있다(DOE, 2023; GOV.UK, 2022).⁴⁾ 또한, 캐나다 정부와 스위스 정부는 DAC 기술을 보유한 기업의 기술 사업화를 위해 보조금을 지원하였다(CB, 2017; NRCC, 2016).⁵⁾ 한편, 민간 부문에서도 석유 및 가스 회사를 중심으로 DAC 기술 개발 및 실증에 민간 재원을 제공하는 사례들이 있다(Chevron, 2022; ExxonMobil, 2020).

만약, 이러한 비용 발생이 불가피하다면, 비용을 상쇄하고도 남을 이익이 창출되도록 비즈니스 환경을 조성하는 것이 필요하다. 먼저 일차적으로 정부가 국가 정책에 감축 활동으로 CDR 접근법을 인정하고, CDR 접근법에 DAC 기술을 포함하는 것이다(Honegger et al., 2022). 여기에는 국가 감축 목표 설정 시, 배출저감(emission reduction)과 CDR 접근법에 따른 제거(removal) 목표를 각기 따로 설정하는 것이 고려될 수 있다(Honegger et al., 2022). 다음으로, 정부에서 DAC 기술이 적용될 수 있는 환경정책을 수립하는 것이다. 명령·통제(command-and-control)를 통한 직접규제 정책으로, 에너지나 교통 분야와 같은 주요 산업계에서 DAC 기술이 활용되도록 기술 의무규제(technology mandate)를 수립하는 것이다(Meckling and Biber, 2021).⁶⁾ 또한, 간접규제 정책으로, 에너지 사용이나 CO₂ 배출에 가격을 매기는 시장 기반 정책을 시행하는 것이다(Meckling and Biber, 2021).⁷⁾ 에너지 사용이나 CO₂ 배출에 대한 시장 가격이 높으면 높을수록 DAC 기술에 대한 투자가 유인된다. 이러한 환경 정책에도 불구하고,

4) 미국은 2020년 에너지법(The Energy Act of 2020)에 따라 2021년 1억 7,500만 달러를 시작으로 2025년까지 연평균 약 7,000만 달러를 DAC 기술 연구에 투자하고 있다(Congress Research Service, 2024). EU는 Horizon Europe 프로그램을 통해 2016년부터 2024년까지 4개의 DAC 프로젝트에 3,600만 달러를 지원하여 기술 성숙도를 제고하였다(European Commission, 2022). 일본은 문샷(Moonshot) 프로그램을 통해 2050년까지 지속 가능한 자원순환을 목표로 200억 엔(약 2억 달러)을 DAC 기술개발에 투자하며 R&D 역량을 강화하고 있다(METI, 2020; NEDO, n.d.).

5) 대표적인 예로, 캐나다는 전략혁신기금(SIF) 하위 프로그램인 NZA를 통해 Carbon Engineering社에 약 1,387만 달러를 지급하여 DAC 파일럿 공장의 설립 및 실증 운영을 지원하고 있다(IEA, 2022)

6) 예를 들어, 오일 저장지역에서 원유회수증진을 할 때 DAC 기술을 적용한다는 기술 의무규제를 설정할 수 있다(Meckling and Biber, 2021, p. 2)

7) 예를 들어, 미국 캘리포니아 저탄소 연료표준(LCFS, low-carbon fuel standard) 제도는 ‘교통’ 부문에 대한 배출기준치를 설정한 규제인 동시에, 기준치와의 실제 배출량 간의 차이를 바탕으로 크레딧(credit)이 발생하거나 또는 크레딧을 확보해야 하는 제도이다. 즉, 연료 표준이라는 규제적 정책수단과 탄소시장이 결합된 시장기반 정책수단이라 할 수 있으며, 이러한 LCFS 하에는 크레딧을 거래할 수 있는 시장이 존재한다. 동 LCFS 제도에서 발생 및 통용되는 크레딧의 한 종류로 ‘사업 기반 크레딧’이 있는데, 이는 온실가스 배출저감 혹은 제거 사업을 수행하여 그 저감·제거 실적에 따라 크레딧을 획득하는 제도인데, 제거 사업으로 인정받을 수 있는 기술에 DAC 기술이 포함되어 있다(CARB, 2020, p. 12; Oh, Oh, et al., 2023).

CO₂ 배출 가격과 DAC 기술 사업 간의 투자 간극이 존재할 경우, 이를 보전해 줄 수 있는 자금 지원 또는 세제혜택 지원을 하는 것이다. 대표적으로, 미국의 경우, 45Q 세액공제 제도를 통해 DAC 기술로 연간 1,000톤 이상의 CO₂를 포집할 경우, 지질학적 저장 및 산업적 활용 시 톤당 \$180를 공제받을 수 있도록 하였다(Global CCS Institute, 2025; Jones et al., 2023). 또한 영국의 경우 고려되고 있는 정책으로, 시장의 탄소가격과 CO₂ 제거 비용 간의 차이가 있을 경우, 이에 대한 투자 리스크를 보전해주는 방식이다(GOV.UK, 2024).

둘째, 에너지 사용에 따른 온실가스 배출량을 줄이기 위해서는 화석연료가 아닌 재생에너지 기반 열·전기를 활용하는 것이다. 이에 따라, 습식포집 DAC 기술 적용 시에는 재생에너지 생산 시설 주변에, 건식포집 DAC 기술 적용 시에는 회수된 저급 폐열을 활용할 수 있는 시설 근처에 부지를 선정해야 한다(Budinis, 2021).

셋째, 사업화 방법론과 관련해서는, 국제사회에서 방법론 도출을 위한 노력을 진행하고 있다. 자발적 탄소시장으로 중심으로 DAC 기술 적용 사업을 위한 방법론을 준비하고 있다.⁸⁾ 한편, 의무적 탄소시장 차원에서, 유럽연합은 EU-ETS 하에서 CDR 접근법을 감축 활동으로 인정하고 있지 않다. 대신, CDR 접근법에 기반한 사업 활동 결과물을 공식적으로 인정하는 체계로 ‘탄소 제거 인증 프레임워크(Carbon Removal Certification Framework)’를 2022년 11월 발의하였다(EUR-Lex, 2022; Oh, Oh, et al., 2023). 동 프레임워크 하에서 인정받는 CDR 옵션에 기술 기반 접근법으로 DACCS 기술이 포함되었다(EC, 2023; Oh, Oh, et al., 2023). 그리고 동 프레임워크 하에서 제거 결과물의 품질 관리를 위해 제거량의 정량화, 추가성, 장기 저장, 지속가능성 측면의 조건을 세우고, 또한 방법론이 준비되고 있다(Böttcher and Fallasch, 2025; EC, 2023; Oh, Oh, et al., 2023). 국제적인 의무적 탄소시장으로 파리협정 제6.4조 메커니즘 하에서도 CDR 접근법에 대한 일반 규칙을 수립하였다(UNFCCC, 2024). 다만 CDR 접근법에 해당하는 각각의 옵션에 대한 구체적인 방법론에 대해서는 옵션 별로 상기 일반 규칙에 기반해서 사업 신청 시 방

법론을 제시해야 할 것으로 보인다. 즉, 국가적으로 그리고 국제적으로 방법론에 대한 준비가 이루어지고 있다.

넷째, 환경 영향에 대한 불확실성을 낮추기 위해, DAC 기술 사업으로 지중저장된 CO₂의 역전 방지를 위해 사업에 대한 규제 엄격성을 높이는 것이 필요하다. 파리협정 제6.4조 지속가능발전 메커니즘의 경우, 역전에 대한 리스크 평가, 공지 및 관련 행동을 실행하도록 하고 있다(UNFCCC, 2024, pp. 8-11). 또한, 제거 사업에서 역전이 발생할 경우, CCS 기술에 적용한 방식과 같이 배출권 크레딧을 취소하기 위한 절차를 마련하고 있다(UNFCCC, 2024).⁹⁾ 지진 발생에 대한 환경적 영향에 대한 경우, CO₂ 지중 투입과 지진 발생 간의 연관성에 대한 과학적 근거가 아직 불확실하고, 주민 수용성이 큰 영향을 미치는 바, 이에 대한 대응책은 아직 부족하다. 가능하다면, 주민 수용성에 영향을 미치지 않는 지역으로 지중저장소를 선택하는 것이 방안이라고 볼 수 있다. 한편, DAC 기술 자체에 대한 사회적 수용성 제고를 위해서는, DAC 기술의 기후변화 대응을 위한 감축 옵션으로서의 잠재성에 대한 정보를 제공하고 이에 대한 인식을 제고하는 것이다(IEA, 2022, p. 72; Scott-Buechler et al., 2024). 이를 정리하면 다음의 Table 1과 같다.

그런데, 이러한 정책 대응 방안들은 매우 다양하고 실제적으로 제안 및 실행되고 있다. 다만, 정부 차원의 대응과 사업자 차원의 대응이 모두 섞여 있다. 이에, 기존 연구에서 ‘정부’ 차원의 정책과 ‘기업’ 차원의 대응 정책에 초점을 맞추어 진행한 전반적인 정책 연구 역시 존재한다. 먼저, ‘정부’ 차원의 DAC 기술 적용 활성화 정책 대응에 대해서 전반적인 권고안을 정리한 연구는 Sovacool et al. (2022)이 대표적으로, 10가지 정책을 제안하였다. 한편, DAC 기술을 보유한 ‘기업’ 차원의 정책적 대응에 대한 대표적인 연구는 Song and Oh (2023)가 있는데, 동 연구는 DAC 기술을 혁신 기술로 보고 혁신기술의 실증 및 활용 활성화에 영향을 주는 정책적 요인을 수요견인(market-pull), 기술주도(technology-push), 규제 엄격성으로 구분하고 DACCS 기술 활성화 정책들을 구분하여 정리하였으며, 가장 선도적인 DAC 기업인 카본 엔지니어링

8) 대표적으로 두 가지 예시를 들 수 있다. 베라(VERRA) 자발적 탄소시장에서는 DAC 기술을 통해 포집한 이산화탄소를 콘크리트 배합 시 주입하여 이산화탄소를 격리시키는 기술에 대해 사업 방법론이 있다. 이 방법론은 ‘[VM0043 Methodology for CO₂ Utilization in Concrete Production, v1.0]’으로 2021년 4월 5일 등재되었다(Oh, Oh, et al., 2023; VCS, 2021). 다른 하나는 아메리칸 카본 레지스트리(American Carbon Registry) 자발적 탄소시장에서는 CCS 기술에 대한 사업 방법론이 있는데, 이는 DACCS 기술에도 활용할 수 있도록 설계되었다. 다만, 저장에 대해서는 원유회수증진(EOR)과 가스회수증진(EGR)에 대해서만 적용될 수 있다(ACR, 2021, p. 10; Oh, Oh, et al., 2023).

9) CCS 기술 기반 사업 시 역전현상에 대한 대응 바익은 UNFCCC (2011)의 Annex paras 24-28와 Oh et al. (2022)을 참고할 수 있다.

Table 1. Challenges and ways to address challenges

Challenges	Ways to address challenges	Actors
Cost	Financial support to advance R&D on capture technologies	- Private firms - Government
	Creation of technology business environment - i) National policies · Policy to acknowledge CDR approaches (incl. DAC technologies) as mitigation options · National policies to set separate mitigation options for emission reduction & CDR - ii) Environmental policies by · Technology mandate · Carbon pricing - iii) Tax credit	- Government, mainly
GHG emission by energy use	- Utilization of renewable energy sources or low-level waste heat - Consideration of renewable energy sources in site selection	- DAC firms, mainly
Methodology	- Nationally and internationally accepted methodology formulation for DAC technology project in compulsory carbon markets	- DAC firms, mainly - Government
Social acceptance	- Information sharing and diffusion for enhanced social acceptance	- DAC firms - Government

Source: Formulated by the authors on the basis of previous studies

Table 2. Challenges and ways to address challenges

Literature	Policy approaches
Government-level policies by Sovacool et al. (2022)	i) Principles on negative emissions, ii) Prioritization of long-term carbon storage, iii) Incentive for experimentation (demonstration), iv) Co-development with CCS technologies, v) Setting carbon price, vi) Integration with renewable energy, vii) Utilization of hubs for DAC technologies, viii) Setting separate targets for emission reduction and CDR, ix) Robust estimation and certification of removal amounts, x) Social acceptance of DACCS technology deployment
Firm-level policies by Song and Oh (2023)	(Market-pull) i) Increase public awareness of CDR methods and DAC technologies, ii) Suppliers of geological storage sites or renewable energies, iii) Firm's past experiences of operating small-scale DAC pilot plants
	(Technology-push) i) R&D funding, ii) acquisition of DAC-related patents and know-how, iii) Collaborative R&D networks, iv) organizational innovation
	(Regulatory stringency) i) Command-and-control regulation on CO ₂ reduction, ii) ETS allowing carbon removal credits from DAC technologies, iii) Tax credits

Source: Formulated by the authors based on Sovacool et al. (2022) and Song et al. (2024)

社를 대상으로 설문조사 연구를 실시하였다. 이는 다음의 Table 2와 같이 정리될 수 있다.

상기 언급된 기존 연구들은 대부분 해외에서 수행되었다. 따라서, 정책지원 및 정책대응 사례 연구도 대부분 해외 정부 및 해외 기업들을 중심으로 하고 있다. 한편, 우리나라의 DAC 기술에 대한 정책 연구는 이제 막 시작 단계이다. Song and Oh (2022)가 우리나라에서 기존의 CCS 연구 인프라를 토대로 향후 DACCS 기술에 대한 우리나라의 연구·개발·활용 방향에 대해서 고찰하였다. Song et al. (2024)은 우리나라 DAC 및 동시포집전환(RCC, Reactive Capture and Conversion) 기술에 대해서 우리나라 DAC 기술수준을 주요 DAC 기술 선도국과 비교 분석하고, 우리나라 기술수준 향상을 위한 정책 방향을 i) R&D 투자 측면, ii) 국제협력 측면, iii) 법·제도 측면으로 구분하여 제시하였다. 또한 Oh (2024)는 우리나라에서 DAC 기술을 2030 NDC 목표 설정에 DAC 기술을 포함할 것인가를 두고 정부 차원의 찬·반 논의를 토대로 DAC 기술에 대한 사회적 수용성을 분석하였다. 동 분석을 토대로, DAC 기술을 국가 정책에서 명확히 고려하고, DAC 기술을 개발하는 민간 섹터의 DAC 기술 기반 실증 및 활용 사업에 정부 재원 제공, 정부 차원의 사업 방법론 개발에 대한 지원, CDR에 대한 정의, 민·관 파트너십을 통한 사업 전개를 정책 방향으로 제시하였다.

그러나 앞서 기존 연구에서 언급된 바와 같이, DAC 기술의 실증 및 활용을 활성화하기 위해서는 매우 다양한 형태의 정부 정책이 요구된다. 이러한 다양한 정책 수단들 가운데 어떤 정책을 우선적으로 마련하고 적용해야 할지를 판단하는 것은 쉽지 않다. 이를 위해서는 먼저, 현재 우리나라에서 DAC 기술을 대상으로 어떤 정부 정책들이 시행되고 있는지를 체계적으로 파악할 필요가 있다. 하지만 이에 대한 국내 연구는 아직 미흡한 상황이다.

따라서 본 논문은 첫째, 현재 국내에서 DAC 기술에 대해 어떠한 정책들이 시행되고 있는지를 분석하고, 둘째, DAC 기술의 상용화와 확산을 위해 향후 정부가 어떤 정책을 우선적으로 추진해야 할지를 도출하고자 한다. 이를 위해 다음 섹션에서는 분석틀을 설정하고자 한다.

3. DAC 기술혁신 지원정책 분석틀

3.1. DAC 기술 지원 정책 분류

본 절에서는 다음의 두 연구 질문에 답하기 위한 분석

틀을 설정한다. 첫째, 현재 우리나라에서 DAC 기술을 대상으로 시행 중인 정부 정책의 현황은 어떠한가? 둘째, 향후 DAC 기술에 대해 정부가 우선적으로 추진해야 할 정책 방향과 우선순위는 무엇인가? 이 두 질문에 답하기 위해, 동 연구에서는 DAC 기술을 기후변화 대응을 위한 신규 혁신기술로 보고 기존의 DAC 기술의 연구·개발·실증·활용을 위한 정책을 기술혁신 지원정책으로 설정하고자 한다.

기술혁신은 기술의 개발과 적용을 통해 새로운 제품과 서비스를 창출하거나 기존 제품 및 생산 공정을 개선하는 과정으로 정의된다(Christensen, 2015; OECD, 1992). DAC와 같은 신기술의 경우, 기존 화석연료 기반 에너지와 비교했을 때 상대적으로 높은 투자 위험을 가지므로, 민간 부문이 자율적인 경쟁 원리에 따라 최적 수준의 연구·개발·실증·활용을 위한 투자를 수행하기 어려운 구조를 가지고 있다(Jaffe et al., 2005; Kotchen, 2021; Semieniuk et al., 2021). 따라서 단기적인 수익을 증시하는 시장 논리만으로는 사회적으로 필요한 수준의 장기적이고 지속적인 연구개발 투자가 이루어지기 어렵기 때문에, 정부는 기술혁신 지원정책을 통해 개입할 필요가 있다. 기술혁신을 촉진하기 위한 정부 정책은 기술혁신의 동인에 따라 기술주도(technology-push) 정책과 수요견인(demand-pull) 정책으로 구분된다(Zubeltzu-Jaka et al., 2018). 기술주도 정책은 새로운 기술의 공급 기반을 조성하는 접근으로, 기초과학 및 원천기술에 대한 공공 R&D 투자, 세제 혜택, 인력양성, 실증사업 지원 등을 포함한다. 이는 민간의 투자유인이 부족한 초기 기술 단계에서 특히 중요하다. 반면, 수요견인 정책은 기술의 수요와 시장 환경의 변화를 통해 혁신을 유도하는 전략으로, 신시장 창출, 규제 기반 인센티브, 소비자 보조금, 배출권 거래제(ETS) 등의 수단을 활용한다(Nemet, 2009). Table 3은 기술주도 및 수요견인 정책 수단의 주요 유형과 그 기능을 정리한 것이다.

상기 분류에 기반하여, 본 연구에서는 DAC 기술에 대한 기존 정부 정책을 Table 4와 같이 유형화하였다. ‘기술주도’ 정책 수단에는 크게 i) DAC 기술에 대한 공공 R&D 프로그램, ii) 기업을 대상으로 한 DAC 기술 사업에 세액공제, iii) 기업 대상, 실증사업에 대한 투자 보조금을 설정하였다. ‘수요견인’ 정책수단으로는 i) 배출권거래제(DAC 기술을 감축사업으로 인정하고, 제거량을 배출권으로 유통 허용), ii) 기술 및 제품 인증, iii) 기업 대상, 용자 지원, 또는 소비자 대상의 보조금, iv) 기금의 활용, 그리

Table 3. Technology support policies by technology-push and market-pull

Category	Definition	Facilitating Factors	Policy Instruments
Technology-push	Instruments supporting the creation of new technologies and facilitating innovation investments	R&D Programme, Early demonstration project funding	Public R&D investment (Programme or subsidy), Climate technology R&D tax credits
Demand-pull	Instruments creating market opportunities	Market expansion, Increased adoption of new fuels and mitigation technologies	Consumer subsidies, Emissions trading system (ETS), Feed-in tariff (FIT), Carbon and environmental taxes on consumers, Intellectual property rights (IPR)

Source: Formulated by the authors based on the table 16.3 in the chapter 16 of IPCC (2022)

Table 4. DAC technology support policy instruments

Category	Policy instruments
Technology-push	- Public R&D Program for DAC technologies
	- (To firms) Tax credits to DAC technology projects
	- (To firms) Subsidy for the investment of demonstration projects
Demand-pull	- Emission Trading System (acknowledging DAC technology projects as mitigation activities and allowing removal amounts to be traded as emission rights)
	- Technology & product certification
	- (To firms) Loan assistance,
	- (To consumers) Subsidy for buying DAC technology-related products (e.g. Cars with the installation of DAC technology to capture CO ₂)
	- Fund utilization
	- Others (Tax on competing technologies, public procurement and etc.)

Source: Formulated by the authors based the previous studies

고 v) 기타로 경쟁 기술 대상 세금 부과, 소비자 대상 세액공제 제공, 공공 조달 등으로 설정하였다.

3.2. 적용 범위

앞서 제시한 정책 유형 분류를 바탕으로, 본 연구는 DAC 기술혁신을 위한 정책의 ‘현황’과 ‘향후 지원 방향’을 분석하기 위해 적용 범위를 다음과 같이 설정한다. 현재 우리나라에서는 DAC 기술이 독립된 정책 영역으로서 분리되어 있지 않으며, CCUS 기술의 하위 기술군으로 분류되어 기존 CCUS 정책의 일환으로 다루어지고 있다. 실제로 「탄소중립 기술혁신 전략로드맵(안)」 등 주요 정책 문서에서 DAC 기술은 ‘기타 포집기술’로 언급되고 있으며(Joint Ministries, 2022), 이에 따라 해당 기술에 대한 정부의 정책적 접근과 지원은 제한적인 수준에 머물고 있다. 따라서 본 연구는 DAC 기술이 현재 CCUS 정책 체계 내에서 어떠한 위치에 있으며, 제도적 수혜 구조 내에서 어떤 제약을 받는지를 분석하고, 향후 DAC 기술이 독립

적이고 체계적인 정책 영역으로 정립되기 위한 방향성을 제시하는 것을 목적으로 한다.

3.3. 방법론

본 연구는 첫 번째 연구질문인 DAC 기술에 대해서 우리나라가 실시하고 있는 정부 정책 현황을 파악하기 위해, 상기 Table 4에서 제시한 기술주도형 및 수요견인형 정책 유형을 중심으로 DAC 기술혁신 정책을 분석하였다. 먼저, 기술주도형 정책의 측면에서는 정부의 CCUS 관련 공공 R&D 투자 현황과 세액공제 제도를 중심으로, DAC 기술 개발에 실제로 투입된 연구개발 자금 및 인센티브 구조를 분석하였다. 주요 분석 자료는 2022년에 수립된 「CCUS 분야 탄소중립 기술혁신 전략로드맵(안)」이며, 해당 전략의 실행 성과와 정책적 한계를 함께 고찰하였다. 다음으로, 수요견인형 정책의 측면에서는 2024년 2월 제정된 「이산화탄소 포집·수송·저장 및 활용에 관한 법률」을 중심으로, DAC 기술 상용화를 위한 제도적 기반과 구

체적인 정책 수단을 검토하였다.

두 번째 연구질문인 향후 DAC 기술혁신 지원정책의 우선순위와 재정 지원 수준을 분석하기 위해, 델파이(Delphi) 방법론을 적용하였다. 델파이 기법은 객관적 사실보다는 주관적 판단이나 예측이 중요한 이슈에 대해 전문가 집단의 의견을 반복적으로 수렴하고, 피드백을 통해 합의를 도출하는 데 효과적으로 활용된다(Schmidt, 1997, p. 764; Song et al., 2024, p. 497). 일반적으로, 사전에 설정된 질문을 바탕으로 전문가를 선정하고, 인터뷰 또는 설문조사를 통해 의견을 수집·종합한 뒤 반복적인 응답 과정을 거쳐 의견 수렴을 유도한다(Lilja et al., 2011, p. 1004; Song et al., 2024, p. 497). 본 연구에서는 DAC 기술혁신을 위한 정책 수단의 우선순위와 적정 재정지원 규모를 도출하고자 델파이 기법을 적용하였으며, 전체 절차는 다음의 5단계로 구성된다.

우선, 1단계는 설문자료 준비이다. 전문가들이 설문에 응답하는 데 필요한 정보를 사전에 제공하기 위해 DAC 기술 개요와 함께 현재 우리나라 정부가 시행 중인 관련 정책 옵션들을 정리한 기반 자료를 작성하였다. 이는 기존의 정책 현황 분석 결과를 바탕으로 구성되었으며, 설문 응답의 일관성과 객관성을 확보하는 데 목적이 있다.

2단계는 델파이 조사를 위한 설문 문항 설계 단계이다. 다음의 Table 5와 같이 DAC 기술혁신을 위한 다양한 정책 수단의 우선순위를 평가하도록 구성하였다. 이 중 재정적 투입이 요구되는 정책에 대해서는 적정 지원 규모를 추정할 수 있도록 문항을 추가하였다. 설문지에는 각 정책 수단의 정의, 적용 가능성, 기대 효과 등에 대한 설명도 포함되어 있어, 전문가들이 충분한 정보를 바탕으로 판단을 내릴 수 있도록 하였다.

3단계는 델파이 설문에 참여할 전문가 패널을 선정하는 단계이다. 기존 문헌에 따르면 델파이 분석에서 통계적으로 유의미한 결과를 얻기 위해 필요한 전문가 수는 일반적으로 10~18명으로 제시되며(Okoli and Pawlowski, 2004, p. 19), 본 연구에서는 총 10인을 선정하였다. 패널은 민간 기업 종사자 6인, 민간 투자기관 관계자 1인, DAC 관련 기술을 연구하거나 창업 경험이 있는 학계 전문가 1인, 그리고 연구기관 소속 전문가 2인으로 구성하였다. 이는 DAC 기술의 주요 정책 수혜 주체가 민간 부문임을 고려하여, 기술 수요자 중심으로 구성한 결과이다.

설문 준비가 완료된 후에는 설문 이행과 결과 분석에 해당하는 4단계와 5단계가 진행되었다. 4단계에서는 델파이 설문조사를 총 3차례에 걸쳐 수행하였다. 제1차 설문은 2024년 11월 6일부터 15일까지 10일간 실시되었으며, 응답 결과를 정리한 후 이를 10명의 전문가에게 공유하고 제2차 설문을 11월 20일부터 27일까지 8일간 진행하였다. 그러나 1차 및 2차 조사 모두에서 전문가 간 합의도가 충분하지 않았기 때문에, 제3차 조사는 2025년 3월에 대면 회의와 설문조사를 병행하여 실시하였다.

이 과정에서 대면 회의는 전문가들 간 집단 토의를 통해 정책 우선순위와 적정 지원 규모에 대한 논의 깊이를 더하기 위한 보완적 절차로 운영되었다. 그 이유는 1차 설문 결과 문항 대부분 합의도가 낮았다. 이후, 1차 설문결과를 전문가들에게 모두 공유하고 실시한 2차 설문조사 결과 역시 합의도가 전반적으로 낮게 나왔다. 이에, 연구진은 설문조사 시 응답자가 제시한 근거 및 이유를 통해, 설문 문항 자체에 대한 전문가들간의 이해도가 모두 다르다는 것을 파악할 수 있었다. 이에, 적정 지원금액 수준 및 범주에 대해서 설문조사 참여 전문가들 사이에서도 상

Table 5. Questionnaire

Category	Questionnaire
Technology policy priority	Q1-1. To facilitate technological innovation of DAC technologies in Korea, which category of technology support policies is more important: technology-push or market-pull policies? Please, rate the importance on the scale from 1 to 10 and provide your reasons in a separate box.
	Q1-2. Regarding technology-push policies, which specific policies are most urgent and should be prioritized in Korea? Please, rate the urgency on a scale from 1 to 10 and provide your reasons in a separate box.
	Q1-3. Regarding market-pull policies, which specific policies are most urgent and should be prioritized in Korea? Please rate the urgency on a scale from 1 to 10 and provide your reasons in a separate box.
Support scale	Q2. What level of financial support is appropriate for the technological innovation of DAC technologies under each indicated technology policy option in the year 2026 and 2030, respectively? Please, specify the amount of support in numerical terms and explain your reasons.

Source: Formulated by the authors

당히 다르다는 것을 파악할 수 있었다. 또한, 전문가들이 속한 민간기업, 연구기관, 투자기관 소속/부문에 따라 서로 그 격차가 상당히 달랐다. 이에, 서면조사를 수차례 거듭한다고 해도 합의도가 높은 답을 도출하기 어렵다고 판단하였다. 이에, 당초 델파이 설문조사 시 익명성에 기반한 서면조사를 원칙으로 실시하였으나, 전문가들이 소속한 부문 간의 이해 간극을 좁히고, 한정된 재원으로 델파이 조사를 실시해야 하는 바, 대면회의를 실시하기로 하였다. 대신, 대면 회의 직후, 동일한 참여자를 대상으로 제3차 설문을 서면으로 별도로 실시하여 최종 응답을 익명으로 취합함으로써, 델파이 방법론의 기본 취지를 유지하고자 하였다. 따라서 본 연구의 제3차 라운드는 집단 토의의 장점을 활용하되, 최종 데이터는 익명성이 보장된 형태로 수집·분석되었다.

5단계는 설문 결과를 분석하는 단계로, 세 차례에 걸친 설문 중 마지막 회차 결과를 중심으로 분석을 수행하였다. 델파이 조사에서는 일반적으로 합의도(consensus)가 0.7~0.75 이상일 경우 전문가 의견이 수렴된 것으로 간주되며(Song et al., 2024, p. 500), 본 연구에서도 동일한 기준을 적용하였다. 합의도는 문항의 성격에 따라 구분하여 산출하였다. 우선, 정책 우선순위와 같이 1~10 범주형 척도를 사용하는 항목은 「합의도 = 1 - (QR3-QR1/9)」의 산식을 적용하였고, 연구비 규모와 같이 절대적 범위가 존재하지 않는 연속형 항목은 「합의도 = 1 - (QR3-QR1/QR2)」 방식으로 산출하였다. 또한 모든 항목에 대해 수렴도(convergence)를 별도로 산출하였는데, 이는 「수렴도 = QR3-QR1/2」의 산식을 적용하였다. 합의도 값이 클수록 전문가 의견이 더 집중되고 안정적으로 수렴되었음을 의미하며, 이러한 지표를 종합적으로 검토함으로써 분석의 신뢰성을 확보하였다. 더불어, 본 연구에서는 응답의 안정성을 평가하기 위하여 안정도(변동계수, coefficient of variation)도 함께 산출하였다. 안정도는 표준편차를 평균으로 나눈 값으로 계산되며 평균값 대비 응답 분포의 상대적 변동성을 보여준다. 일반적으로 안정도가 0.20 이하일 경우 매우 안정적이고 합의 수준이 높다고 판단하며, 0.20~0.30 사이는 비교적 안정적, 0.30 이상이면 합의가 부족한 것으로 해석된다(Shi et al., 2020). 마지막으로, 전문가들이 합의한 정책 옵션의 우선순위와 적정 재정 투입 규모를 정리하고, 이를 토대로 우리나라 DAC 기술혁신을 위한 정책적 함의를 도출하였다.

4. 분석 결과

4.1. DAC 기술혁신을 위한 국내 지원정책 현황 분석

첫번째 연구 질문에 대한 분석 결과로, 현재 DAC 기술에 대해서 우리나라에서 어떠한 정부 정책들이 시행되고 있는지를 분석한 결과이다. 이는 기술주도 지원정책과 수요조건인 지원정책을 구분하여 기술하였다.

4.1.1. 기술주도 지원정책

우리나라의 DAC 기술에 대한 기술주도형 지원정책은 앞서 살펴본 바와 같이, 독립적인 체계보다는 CCUS 기술의 하위 기술군으로 분류되어 공공 R&D 투자 및 세액공제 중심으로 추진되어 왔다. 먼저 정부의 R&D 투자현황을 살펴보면, 정부는 CCUS 기술의 연구개발을 포집·저장·활용의 세 분야로 구분하고, 이를 다시 기초·응용·개발 단계로 나누어 체계적으로 관리하고 있다. 이중 DAC 기술은 CCUS 포집 기술에 포함되며, 이 분야에 대한 최근 3년간(2021~2023년)간 연평균 투자 규모는 223억~270억 원으로 나타났다.¹⁰⁾ 이는 최근 3년간 CCUS R&D 전체 투자액의 약 23%를 차지한다(Table 6 참조). CCUS 포집 분야 내 DAC 기술에 대한 대표적인 정부 R&D 지원 사업으로는 과기부가 주관하는 「DACU 원천기술개발사업」이 있으며, ‘2023년부터 2025년’까지 3년간 총 175억 원이 투입되었다. 이는 DAC 기술에 74억 원과 공기중 CO₂포집·전환 기술에 101억 원으로 구분된다.

한편, DAC 기술이 온실가스 감축 수단으로 인정받기 위해서는 저장(CCS) 또는 활용(CCU) 기술과의 연계한 직접대기탄소포집·저장(DACCS) 기술 또는 직접대기탄소포집·활용(DACCU) 기술이 되어야 한다. 따라서 본 연구는 DAC와의 연계 가능성을 고려하여 저장(CCS)과 활용(CCU) 기술에 대한 정부 R&D 투자 현황도 함께 분석하였다. Table 6에서 보이는 바와 같이, 저장 기술의 R&D 투자 규모는 포집 기술과 유사한 양상을 보였다. 최근 3년간(2021~2023년) 저장 기술에 연간 191억~301억 원이 투자되었으며, 이는 주로 산업부와 다부처가 공동으로 추진하는 ‘개발’ 단계 과제에 집중된 것으로 나타났다(Joint Ministries, 2022). 반면, 활용 기술은 가장 많은 R&D 투자가 이루어진 영역으로, 최근 3년간 501억~649억원 규모의 재원이 투자되었다. 이는 포집 및 저장 기술보다 약

10) 해당 수치는 Joint Ministries (2022)에서 제시한 원자료를 참고하되, 정책 분석의 목적에 맞게 항목을 재조합하여 산출하였다.

Table 6. 2021 ~ 2023 government R&D investment in CCUS (Unit: 100 million KRW)

Technology	Ministry	Year			Technology Stage		
		2021	2022	2023	Basic	Applied	Devel'p
Carbon Capture*	Min. of Industry	220	200	187			661
	Min. of Science	9	45	19		17	64
	Multi-Ministry	16	25	17			58
	Total	245	270	223	0	17	783
Carbon Storage	Min. of Env.	15	19	10			44
	Min. of Industry	65	151	152			368
	Multi-Ministry	111	131	72			315
	Total	191	301	234	0	0	727
Carbon Utilization	Min. of Science	371	408	408	753	302	387
	Min. of Industry	111	208	183			596
	Multi-Ministry	19	33	22			74
	Total	501	649	613	753	302	1057
Total for 2021 ~ 2023		937	1,220	1,070	753	319	2,567

Source: Formulated by the author using tables from pp. 9, 18, and 30 of Joint Ministries (2022)

* DAC investments are categorized under carbon capture.

2배 이상 많은 규모이며, 이는 활용 기술의 높은 상용화 가능성과 산업적 파급력이 정책적 투자 우선순위 결정에 핵심요인으로 작용했음을 시사한다.

공개된 정부문서에 기반한 CCUS R&D 투자 현황만으로는 DAC 기술 지원 양상을 정확하게 파악하기 어려웠기에, 본 연구는 국가과학기술지식정보서비스(NTIS) 연구 과제 데이터베이스에서 ‘Direct Air Capture’ 키워드 검색을 통해 과제를 추출한 결과를 추가적으로 실시하였다. 그 결과, ‘2020년부터 2024년’까지 총 28개의 DAC 관련 연구과제가 진행되었으며, 이 기간 동안 정부의 R&D 누적 투자액은 총 161.5억 원으로 나타났다(Table 7 참조). 이 중 91.6%에 해당하는 151.6억 원이 과기부를 통해 지원되었다. 국내 DAC 기술이 기술준비도단계(TRL, Technology Readiness Level) 1~2 단계에 머물러 있는 점을 반영하여 전체 정부 투자액의 76.5%(123.5억 원)가 기초 연구 단계에 집중된 것으로 확인되었다. 연도별 투자 추이를 보면, 2020년에는 DAC 연구개발 예산이 0.38억 원에 불과했으나, 2024년에는 67억 원으로 크게 증가하였다. 특히, 최근 2년(2023~2024년) 동안에는 각각 77.9억 원과 67.4억 원이 투자되어, 2022년(10.8억 원) 대비 약 7배 증가한 수치를 기록하였다. 동일기간 동안 CCUS 포집 기술 전체에 대한 R&D 투자액이 평균 220~270억 원 수준에서 큰 변동 없이 정체된 점을 고려할 때, DAC 기술이 정책적 측면에서 새로운 유망 기술로 상대적으로 더 주목받고 있음을 시사한다.

다음은 세액공제 지원정책이다. 이 역시 CCUS 기술을 통해 DAC 기술 지원 여부를 확인하는 방법으로 분석하였다. 현재 CCUS 기술은 신성장·원천기술로 지정되어 연구인력 개발 및 사업화 시설투자에 대해 세액공제 혜택을 적용받고 있다 (Joint Ministries, 2021). 신성장·원천기술은 정부가 미래 성장 가능성과 산업 경쟁력을 고려하여 조세특례제한법(이하, 조특법) 제10조 제1항 제1호에 따라 지정하였다. 2022년 탄소중립 기술이 새롭게 추가되면서, Table 8과 같이 CCUS 기술도 세액공제 대상에 편입되었다(National Law Information Center, n.d.). 이로 인해 CCUS 관련 연구개발을 수행하는 기업은 연구인력 개발비와 통합투자 비용에 대해 세액공제를 받을 수 있으며, Table 9에 나타난 바와 같이 일반 기술 대비 최대 40%의 세액공제율이 적용된다(STEPI, 2023). 그러나 DAC 기술은 CCUS 포집 기술의 일부로 포함되어 있기에 독립적인 세액공제 지원 정책이 마련되어 있지 않은 상황이다. 또한, 상기 언급된 세액공제 혜택을 위한 세부 CCUS 기술에 DAC 기술이 해당되지 않는다.

정리하면, 정부는 CCUS 기술의 연구개발 및 실증을 위해 R&D 투자를 지속적으로 확대해왔으며, 최근 3년간의 투자액은 과거 대비 2배 이상 증가하였다. 또한, CCUS 기술이 신성장 원천기술로 지정됨에 따라 연구 인력 개발 및 사업화 시설투자에 대한 세액공제 혜택을 통해 민간기업의 연구개발 참여를 적극적으로 유도하고 있다. 그러나 DAC 기술에 대한 별도의 지원정책은 부재하며, CCUS

Table 7. Changes in R&D investment in DAC (Unit: 100 million KRW)

Year	Stage	Government Ministry				Total Gov't	Total Private	Total
		Ministry of Science & ICT	Ministry of Trade, Industry and Resources	Ministry of SMEs and Startups	Ministry of Education			
2020	Basic	0.38	0	0	0	0.38	0	0.38
	Applied	0	0	0	0	0	0	0.00
	Devel'p	0	0	0	0	0	0	0.00
	Others	0	0	0	0	0	0	0.00
	Total	0.38	0	0	0	0.38	0	0.38
2021	Basic	0.50	0	0	0.45	0.95	0	0.95
	Applied	0	0	0	0	0	0	0
	Devel'p	0	0	0	0	0	0	0
	Others	7.84	0	0	0	7.84	0	7.84
	Total	8.34	0	0	0.45	8.79	0	8.79
2022	Basic	0.50	2.04	0.00	0.00	2.54	0.29	2.83
	Applied	0	0	0	0	0	0	0.00
	Devel'p	0.17	0	0	0	0.17	0	0.17
	Others	7.82	0	0	0	7.82	0	7.82
	Total	8.48	2.04	0.00	0.00	10.52	0.29	10.81
2023	Basic	61.24	0	0	0	61.24	1.00	62.24
	Applied	0	1.88	1.20	0	3.08	0.69	3.77
	Devel'p	2.00	1.88	0.00	0	3.88	0	3.88
	Others	8.00	0	0	0	0	0	8.00
	Total	71.24	3.75	1.20	0.00	76.19	1.69	77.88
2024	Basic	56.01	0.00	0.00	0.12	56.13	1.00	57.13
	Applied	0	0	1	0.06	1.06	0.334	1.39
	Devel'p	6.5	0	1.34	0	7.84	0.44667	8.29
	Others	0.6	0	0	0	0.6	0	0.60
	Total	63.12	0	2.34	0.18	65.64	1.78	67.42
Grand Total		151.55	5.79	3.54	0.63	161.51	3.76	165.27

Source: Formulated by the authors based on NTIS (2024)

기술 내 하위 기술군으로 포함되어 있어 정책적 지원이 제한적인 것으로 확인되었다. 향후 DAC 기술의 기술 성숙도(TRL) 향상과 시장 수요 확대에 맞춰 독자적인 정책적 지원 체계를 마련하고, 세액공제와 R&D 투자 정책을 보다 강화할 필요가 있다.

4.1.2. 수요견인 지원정책

기술주도 정책과 마찬가지로, 현재 DAC에 대한 국내 수요견인 지원정책은 별도로 마련되어 있지 않으며, CCUS 기술의 하위 범주에서 간접적으로 다루어지고 있다. 2024년 2월 제정된 「이산화탄소 포집·수송·저장 및 활용에 관한 법률(약칭: 이산화탄소저장활용법)」은 CCUS

기술의 ‘포집’을 “산업 활동 등 온실가스 배출원에서 배출되거나, 대기 중에 존재하는 이산화탄소를 저장 또는 활용하기 위해 용기나 시설에 모으는 행위”로 정의하고 있어 DAC 기술이 CCUS 포집 기술의 범주에 포함됨을 확인할 수 있다(KLRI, 2024, No. 20203, Article 2). 또한, 2022년 도출된 「CCUS 분야 탄소중립 기술혁신 전략로드맵(안)」에서는 DAC 기술이 “저농도 환경에서 대기 중 이산화탄소를 직접 포집하는 기술”로 명시되어 있어, 법적 정의상 포함 대상임을 확인할 수 있다(Joint Ministries, 2022, p. 6).

본 연구는 이산화탄소저장활용법에 포함된 수요견인 관련 조항들을 중심으로, DAC 기술에 적용가능한 제도적

Table 8. CCUS technologies for tax benefits as core technologies for carbon neutrality

Category	Description
13. Carbon Neutrality 가. Carbon Capture, Utilization, and Storage (CCUS)	1) Post-combustion CO ₂ capture technology: Technologies for manufacturing separation materials such as absorbents, adsorbents, and membranes used to effectively separate CO ₂ from flue gases emitted after the combustion of fossil fuels in power plants, steel mills, chemical and cement processes, and ships; and process technologies for capturing CO ₂ using those materials.
	2) Pre-combustion CO ₂ capture technology: Technologies for manufacturing separation materials (absorbents, adsorbents, membranes) to separate CO ₂ from gasified coal streams (CO ₂ + H ₂ mixture); and process technologies for CO ₂ capture using such materials.
	3) Oxy-fuel combustion and low-cost oxygen production technology: Technologies for the low-cost, large-scale production of oxygen to replace conventional cryogenic air separation methods, including ion transfer membranes (ITM), ceramic-metal composite membranes, adsorbents, and chemical looping combustion (CLC); and application of these technologies to oxy-fuel combustion processes for pulverized coal and other fossil fuels.
	4) CO ₂ geological storage site exploration technology: Technologies to identify underground storage reservoirs using various geophysical and geological survey methods for storing captured CO ₂ .
	5) CO ₂ transport and storage technology: Compression/liquefaction technologies for transporting captured CO ₂ from major emission sources; drilling and injection technologies for stable underground storage; technologies to monitor and predict the behavior of injected CO ₂ ; and environmental impact assessment and post-management technologies to evaluate and manage potential risks of CO ₂ leakage to underground and surface ecosystems.
	6) Industrial by-product gas(CO, CH ₄) conversion technology: Technologies to convert industrial by-product gases such as CO and CH ₄ emitted from steel plants, petrochemical complexes, and organic waste into chemical feedstocks or transportation fuels through chemical and biological conversion processes.
	7) CO ₂ utilization technology: Technologies to reproduce fuels, chemicals, and building materials by mineralizing CO ₂ or converting it through chemical and biological methods.

Source: Appendix 7 of the Restriction of Special Taxation Act, revised on February 15, 2022.

Table 9. Tax benefits for new growth technologies

Law	Technology	Support Type
R&D Tax Credit for Human Resources and Development (Article 10)	General	- (SME) Current year's R&D expenditure × 25% - (Mid-sized company) × 8% - (Large company) × (0-2%)
	New Growth	- (SME) Current year's R&D expenditure × (30% + {up to 10% New growth R&D expenditure / Revenue} × 3) - (Mid-sized company) × (25% + {up to 15% [...] × 3}) - (Mid-to-large company) × (20% + {up to 10% [...] × 3})
Integrated Investment Tax Credit (Article 24)	General	- Basic credit = Investment in current year × Basic credit rate (SME: 10%, Mid-sized: 5%, Large: 1%) - Additional credit = (Investment in current year - Avg. investment over past 3 years) × 3% - Total credit = Basic credit + Additional credit
	New Growth	- Basic credit = Investment in current year × Basic credit rate (SME: 12%, Mid-sized: 6%, Large: 3%) - Additional credit = (Investment in current year - Avg. investment over past 3 years) × 3% - Total credit = Basic credit + Additional credit

Source: Formulated by the authors based on STEPI (2023) & National Law Information Center (n.d.)

지원체계의 구성과 그 한계를 분석하였다. 해당 법률은 전체적으로 네 가지 범주로 구성되며, 이 중 수요견인 정책과 직접적으로 연관된 항목은 기업 육성을 목적으로 한 조항군(제33~44조)이다(HwaWoo, 2024). 여기에는 배출권거래제, 기술 인증, 재정 지원, 민간 투자 촉진 등 기업 활동을 유도하기 위한 제도적 수단들이 포함되어 있으며, 이는 DAC 기술의 시장 진입과 확산 가능성을 판단하는데 중요한 기준이 된다.

먼저, 배출권거래제와의 연계는 포집된 이산화탄소에 대해 감축 성과를 인정하고 이를 거래 가능한 자산으로 전환할 수 있는 제도적 기반을 제공한다. 제33조는 CO₂ 포집 활동이 배출권거래제(ETS)와 연계될 수 있도록 허용하고 있으며, 이를 통해 CO₂ 포집 사업자는 향후 포집된 CO₂를 저장 및 활용 시 이를 ETS 상에서 온실가스 감축 실적으로 인정받을 수 있다. 그러나 현재 ETS 제도 내에서 감축활동의 일환인 ‘제거(removal)’로 인정받는 활동은 조림·재조림에 국한되고 DAC 기술 기반 활동은 인정되지 않아(Joint Ministries, 2021, 제33조). 실질적인 제도 개선이 요구된다.

다음으로, 기술 인증을 위한 제도적 장치도 마련되어 있다. 제34조는 CCUS 기술에 대한 성능 기준과 인증 체계를 수립하도록 규정하고 있으며, 이는 DAC 기술이 적용된 제품이 시장에 진입하는 데 있어 중요한 기반이 된다. 그러나 현행 제도에서는 DAC 기술에 특화된 인증 기준이 마련되어 있지 않기 때문에, 향후 관련 기술의 보급 확대를 위해서는 별도의 평가 체계 수립이 필요할 것으로 보인다. DAC 기술에 대한 방법론은 우리나라 배출권거래제 외부사업 등록 차원에서 한국에너지공단이 검토를 한 바 있으며, 대한상공회의소의 자발적 탄소거래시장 플랫폼인 Centero에서 검토하기도 하였다.

또한, 보조금과 공공자금 지원 측면에서 제39조와 제40조는 대통령령에 따라 CCUS 관련 사업에 대한 재정지원의 근거를 제공하고 있다. 특히 이들 조항은 「기후위기 대응을 위한 탄소중립 녹색성장 기본법」에 따라 설치된 기후대응기금을 주요 재원으로 명시하고 있으며, 이 기금은 이미 2022년에 ‘탄소중립 전환 선도 프로젝트 용자지원’을 통해 912억 원을 지원한 바 있고, 2024년에는 2,590억 원으로 확대되었다(MEF, 2024). 그러나 DAC 기술은 여전히 ‘기타 포집기술’로 분류되고 있어, 현행 보조금 및 용자 프로그램의 직접적인 수혜 대상에는 포함되지 않는다.¹¹⁾

11) 이는 CCUS 제도 내에서 습식포집, 건식포집, 분리막과 같이 연소전 연소후 포집 공정과 같은 전통적 기술에 비해 DAC 기술이 직접적인 지원대상에서 우선순위가 낮다는 의미이다. “직접적인” 수혜 대상이 아니지만 그렇다고 “배제”된 것은 아니다.

한편, 민간 투자를 유도하기 위한 기금의 활용도 제도화되어 있다. 제40조는 기후대응기금 또는 대통령령으로 정하는 기금을 통해 CCUS 기술의 개발 및 상업화를 위한 투자 및 출자를 허용하고 있다. 이는 자발적으로 시장 형성이 어려운 기술의 초기 시장 창출 및 사업 연속성 확보를 위한 법적 기반을 제공한다. 다만, 이 역시 DAC 기술이 명시적으로 규정된 바는 없어, 실질적인 정책 효과를 위해서는 후속적인 세부 규정의 정비가 요구된다.

결론적으로, 「이산화탄소저장활용법」은 DAC 를 포함한 CCUS 기술에 대한 법으로서, 과거 다수의 관련 법령을 준용해야 했던 제도적 분산, 지원근거의 불명확성, 담당 부처 간 역할의 모호성 등을 해소하고, CCUS 기술 전반에 대한 통합적 정책 추진을 가능하게 했다는 점에서 중요한 진전을 이룬 것으로 평가된다(PCGRI, 2023). 본법을 통해 배출권거래제, 기술 인증, 공공기금 활용 등 수요견인형 지원 정책의 법적 토대가 확보될 수 있었다. 그러나, DAC 기술에 특화된 명시적 제도는 아직 마련되지 않은 바, 향후에는 DAC 기술을 실질적으로 포함하는 제도적 설계가 과제로 남아 있다.

4.2. 전문가 델파이 조사 분석 결과: DAC 기술 지원정책의 우선순위 및 적정 규모 분석

앞서 분석한 바와 같이, 현재 우리나라에서는 DAC 기술에 대한 별도의 지원 정책이 마련되어 있지 않다. 그러나, DAC 기술 성숙도 향상과 시장 수요 확대가 예상되는 만큼, 미국, 캐나다, 영국, EU 등 주요국 사례와 같이 하나의 독자적 기술로서 위상을 확보할 가능성에 대비해 정책적 지원 방향을 설정하고 적절한 지원 규모를 모색할 필요가 있다. 이에 본고는 분석틀에서 제시한, 델파이 분석 방법을 적용하여 정부가 향후 어떤 정책을 우선적으로 적용해야 하며 그 규모는 어느 정도가 적절한지를 도출하였다.

4.2.1. DAC 기술혁신 지원정책의 우선순위

DAC 기술혁신 지원정책의 우선순위는 크게 세 가지 문항을 중심으로 진행되었다. 첫 번째 문항은 DAC 기술을 지원하기 위한 정책 유형을 기술주도 정책과 수요견인 정책으로 구분할 때, 어떠한 정책 유형이 우선 실행되어야 하는가이다. 이에 대한 결과를 보면, 기술주도 정책과 수요견인 정책 각각의 정책 선호도 평균치는 9.4점과 9.0점

Table 10. Delphi survey results on policy support type preference for DAC technologies

Experts	A. Policy Type	
	Technology-push policy	Market-Pull policy
1	8	9
2	9	10
3	9	9
4	10	9
5	10	10
6	10	8
7	10	9
8	10	7
9	8	10
10	10	9
Average	9.40	9.00
Standard Deviation	0.84	0.94
Stability	0.09	0.1
Convergence	0.50	0.38
Consensus	0.89	0.92

Source: Formulated by the authors

으로, 두 정책 유형 모두 상당히 높은 선호도를 보였다. 합의도는 각각 0.89 이상으로 집계되어 전문가 의견의 수렴도가 높게 나타났다. 아울러 안정성 계수(stability index)는 각각 0.09와 0.10으로 전문가들의 응답이 매우 안정적으로 유지되었음을 보여주며, 수렴도(convergence) 역시 각각 0.50과 0.387로 응답 분포가 중위수 주변으로 일정 부분 모여 있음을 확인할 수 있었다. 이를 종합할 때, 두 정책 모두 정책 추진의 핵심 수단으로 인식되고 있음을 알 수 있고, 다만, 기술주도 정책의 중요성이 수요견인 정책보다 다소 앞서는 것을 알 수 있다(Table 10 참조).

전문가들이 수요견인 정책보다 기술주도 정책을 더 중요하게 평가한 주된 이유로, 전문가들은 우리나라 정부주도 DAC 기술이 개발 초기 단계(TRL 1~2 수준)에 있는 바, DAC 기술의 초기 기술개발 단계의 위험을 완화하고 안정적이고 장기적인 연구개발을 위해, 정부 주도의 공공 R&D 투자와 지원이 강화될 필요가 있다고 언급하였다. 특히, 우리나라 DAC 기술은 개발초기 단계이나 해외 선진국의 경우 실증과 상업화 단계로 진입한 바, 기술격차를 줄이기 위해서는 R&D 및 실증 연구에 대한 정부 지원이 필수적이라고 언급하였다. 더 나아가, 정부주도 R&D 뿐만 아니라 민간기업 주도 R&D를 지원할 수 있는 정책이 함께 이루어져야 한다는 의견도 있었다. 민간기업에서

자체적으로 개발한 DAC 기술이 있음에도 불구하고 이를 실증할 수 있는 정책지원이 부족하다는 점이 언급되었다.

반면, 수요견인 정책에 대해서는 상용화 이후 성숙한 기술(TRL 6~9 단계 기술)의 시장 도입 및 확대를 도모할 때 적합하다는 의견이 많았다. 전문가들은 DAC 기술 기반 사업은 대규모 인프라 사업으로 초기 투자비용이 높은 바, 정부 투자지원만으로는 실증 및 상업화에 요구되는 자본을 감당할 수 없고, 민간 자본의 유입이 필수적이라고 언급하였다. 따라서 이 민간자본 유입을 위해서는 시장수요를 창출하는 정책이 반드시 필요하며, 의무적 또는 자발적 배출권거래제 등의 정책수단이 필요하다는 의견이 공통적이었다. 다만, ‘현재 시점’에서 수요견인 정책이 필요한가에 대해서, 균형적인 의견이 있었다. 미국의 경우, DAC 기술 사업에서 도출되는 제거 결과물에 대해 세금 혜택을 주거나 자발적 탄소시장에서 거래할 수 있도록 시장 수요가 창출된 바, DAC 기술 기반 스타트업 기업들이 크게 증가하고 있다는 점이 언급되었다. 항공유 시장에서 지속가능항공유(SAF) 사용에 대한 강제 의무 비율이 설정된 정책과 같이 인위적으로 수요를 발생시키는 수요견인 정책이 주요하게 작용한다는 점을 교훈 삼아, 우리나라 배출권거래제에서도 기업 할당목표 달성에 CDR 크레딧에 대한 강제 의무 비율이 적용된다면, 시장수요가 발생하므로 추후 CDR 기술 개발·실증·활용에 대한 견인차가 될 수 있다는 의견도 있었다. 물론, 우리나라 DAC 기술이 아직 성숙되지 않은 바, 수요견인 정책이 실질적인 효과를 발휘하기 어렵다는 지적도 함께 있었다.

정리하면, 전문가들은 현재 우리나라 DAC 기술이 기술 주기상 초기단계에 있는 바 기술주도 정책이 더 효과적이고 필요한 접근법이라는 공감대를 형성한 것으로 보인다. 다만, 수요견인 정책 역시 높은 점수를 형성한 이유는 DAC 기술이 초기 개발단계에서는 기술주도 정부지원이 필수적이지만, 차후 기술개발이 진행됨에 따라 DAC 기술에 대한 실증 및 활용 사업화를 위해서는 DAC 기술 사업의 결과물(제거량)에 대한 수요가 발생해야만 사업에 필요한 자원/투자금을 확보할 수 있기 때문으로 보인다. 특히, 국내에서도 DAC 기술 관련 스타트업들이 설립되고 있는 바, 이들을 위한 시장 형성이 중요하게 인식되고 있는 것으로 보인다.

두 번째 문항은 DAC 기술의 개발·실증·활용을 촉진하기 위한 ‘기술주도 정책 옵션’ 중에서, 현재 시점에서 우리나라에 더 중요하고 시급하다고 판단되는 정책이 무엇인가이다. 이를 위해 제시한 정책 옵션은 i) 공공 R&D 프

Table 11. Delphi survey results on policy prioritization in technology-push policy options for DAC technologies

Expert	B. Technology-Push Policy Options		
	R&D Investment	Tax Credit	Others (Technology demonstration subsidy)
1	8	5	10
2	10	9	8
3	9	8	8
4	10	8	9
5	10	10	10
6	10	8	9
7	10	8	9
8	10	7	6
9	10	10	10
10	10	7	8
Average	9.70	8.00	8.70
Standard Deviation	0.67	1.49	1.25
Stability	0.07	0.19	0.14
Convergence	0.00	0.75	0.88
Consensus	1.00	0.83	0.81

Source: Formulated by the authors

로그래, ii) 기업 대상 DAC 기술 사업에 대한 세액공제(연구 인력개발 및 통합 투자), 그리고 iii) 기업 대상 기타 지원(실증사업에 대한 투자 보조금)이다. 전문가들의 우선순위 평가 결과, R&D 투자(평균 9.7, 합의도 1.00, 안정도 0.07)가 가장 선호되었으며, 다음으로 실증투자 보조금(평균 8.7, 합의도 0.83, 안정도 0.19), 그리고 인력개발 및 통합투자 세액공제(평균 8.0, 합의도 0.81, 안정도 0.14) 순으로 의견이 수렴되었다(Table 11 참조). 세 항목 모두 합의도가 0.75를 상회할 뿐만 아니라, 안정도 지표 또한 기준치 이내에서 도출되어 전문가 의견이 일정 수준 이상 안정적으로 모였음을 확인할 수 있다.

R&D 투자가 가장 중요한 이유로, 전문가들은 미국과 일본의 예시를 들며 DAC 기술 선도국들이 막대한 투자를 통해 스타트업의 성장과 DAC 기술 상용화를 촉진하고 있는 반면, 한국의 투자 규모는 이전보다 증가했으나 여전히 기술선도국들의 투자액과 비교하면 절대적으로 부족하다는 의견을 보였다. 실제로, 미국은 2020년 18개의 DAC 과제에 총 2,100만 달러 투자를 한 것을 시작으로, 2021년 제정된 인프라법에 따라 총 35억 달러, 즉 4조

7,600억원 규모의 예산을 4개의 DAC 허브 구축 프로젝트에 배정하였다(DOE, 2020; OCED, 2022). 하지만 한국은 2022년 10억 원, 2023년 78억 원 수준에 머물러, 양국 간 투자 규모에 현저한 격차가 존재하는 실정이다(NTIS, 2024). 다수 전문가들은 우리나라 DAC 기술의 성숙도가 낮은 TRL 1~2단계에 머물며 상업화까지 많은 자원과 시간이 필요하고, 또한 초기 기술개발 단계에서는 투자 리스크를 민간기업이 감당하기 어렵기 때문에, 정부의 선제적 R&D 투자를 통해 글로벌 경쟁력 확보를 위한 기술 고도화가 이루어져야 한다고 언급했다.

다음으로, 기업에 대한 실증투자 보조금의 중요성에 대해서는, 다수 전문가들이 경제성 있는 기술 개발을 완료하기 위해서는 실증 사업이 필수적이며 이에 실증에 대한 정부 보조금이 필요하다는 의견을 제시했다. 또한, 전문가들은 ‘현재’ 시점에서 우리나라 정부 및 민간기업의 DAC 기술이 아직 초기 단계인 바, 프로토타입 및 파일럿 규모의 실증 사업에 정부 보조금을 제공하는 것이 의미있을 것이라고 언급하였다. 특히, 한 전문가는 미국의 경우에도 상업화 수준에 도달한 DAC 기술이 드물며, 이에 초기단계 컨셉에 대한 파일럿(시범) 연구, 프로토타입 개발, 규모 있는 실증 사업 등 다각적인 실증지원이 이루어지고 있는 바, 다양한 단계별 실증사업 지원을 강조하였다. 물론, 이와 반대로, 실증사업에 대한 정부 보조금은 DAC 기술 성숙도가 높아지고 상용화 가능 수준에 도달한 이후에만 제공되어야 한다는 의견도 있었다. 정리하면, DAC 기술에 대한 충분한 기술 성숙도가 이루어지지 않았다고 해도, 연구가 진행됨에 따라 필요한 실증 사업에 대한 보조금 지급을 통해 경제성 있는 기술 개발을 촉진해야 한다는 의견이 수렴되었다. 다만, 실증은 R&D가 선행된 이후의 단계인 바, 실증 보조금 정책이 R&D 투자에 비해 중요도가 낮다고 평가된 것으로 해석된다.

마지막으로, 기업 대상 세액공제 정책의 경우, 전문가들은 DAC 기술에 대한 인력 확보를 촉진할 수 있고, 민간기업의 DAC 기술 기반 사업화 시설 투자를 유도할 수 있다는 점에서 유용한 정책수단이라는 점에서 긍정적으로 평가하였다. 이에, 현재 우리나라 조세특례제한법의 신성장·원천기술 세액공제 혜택에 CCUS가 들어가 있으나, CCUS 세부기술로 DAC 기술이 포함되지 않은 바, DAC 기술을 포함하여 민간기업의 DAC 기술 특화 R&D 인력과 DAC 기술 관련 시설 투자에 대한 세액공제를 지원할 필요가 있다는 의견들이 제시되었다. 그러나 연구인력개발에 대한 세액공제는 간접적 투자효과를 불러올 뿐,

R&D 투자가 활성화되면 인력 확보 문제도 자연스럽게 해결될 가능성이 크다는 의견이 있었다. 또한, 통합투자 세액공제의 경우에도 설비투자에 대한 정부 보조금과 같은 정책수단에 비해 매력도가 낮을 수 있다는 의견이 있었다. 종합하면, 전문가들은 현 시점에서 R&D 투자가 DAC 기술 발전의 핵심 동력이라는 점에 강한 공감을 보였으며, 초기단계 연구가 진행되고 이에 기반한 실증이 필요한 바 실증사업 보조금 지급 정책이 그 다음으로 높게 평가되며, 세액공제는 이를 보완하는 역할로 보는 것으로 해석된다.

세 번째 문항은 DAC 기술의 개발·실증·활용을 촉진하기 위한 ‘수요견인 정책’ 중에서, 현재 시점에서 어떠한 정책이 우리나라에 더 중요하고 시급하다고 판단되는가이다. 이를 위해 제시한 정책 옵션은 i) 배출권거래제, ii) 기술 및 제품 인증, iii) 기업을 대상으로 한 용자 지원, 또는 소비자를 대상으로 한 보조금(예: 제로에너지 건축물에 DAC 적용 시 보조금), iv) 기금 활용, 그리고 v) 기타(경쟁 기술 대상 세금, 소비자 대상 세액공제, DAC 기술 제품 의무 공공 조달 등)이다. 여기서, 배출권거래제의 경우, DAC 기술을 감축사업으로 인정하고 제거 크레딧을 국내 ETS 배출권과 동일한 가격으로 유통하는 정책 옵션과, ETS 배출권 가격과 차별화된 보다 높은 가격으로 유

통을 허용하는 정책 옵션을 구분하였다.

이에 대한 전문가들의 우선순위 평가 결과, 배출권거래제 정책으로 국내 ETS 배출권보다 높은 가격 설정 옵션(평균 9.9, 합의도 1.00, 안정도 0.03)이 가장 선호되었으며, 다음으로 기금 활용(평균 8.6, 합의도 0.81, 안정도 0.11), 보조금 및 용자 지원(평균 8.2, 합의도 0.79, 안정도 0.26), 기타로 경쟁 기술에 대한 세금(평균 8.2, 합의도 0.72, 안정도 0.17), 기술 및 제품 인증(평균 7.5, 합의도 0.69, 안정도 0.23) 순으로 나타났다(Table 12 참조). 한편, 배출권거래제 정책으로 국내 ETS 배출권과 동일한 가격 옵션은 합의도 0.10로 전문가 간 의견 분산이 큰 것으로 나타났고, 안정도도 0.57로 매우 낮게 나타났으며, 평균 중요도 역시 5.1점으로 낮아 세부 수단 논의에서는 제외하였다.

동 설문조사에서, 다수의 전문가들이 ‘ETS보다 높은 가격으로 책정된 배출권거래제’가 가장 중요한 수요견인 정책 수단으로 평가한 이유는, 두 가지로 설명될 수 있다. 하나는, 전문가들은 만약 DAC 기술이 의무 배출권시장인 우리나라 배출권거래제에서 ‘제거’ 활동으로 인정받는다면 이것이 기업들의 DAC 기술 기반 사업에 투자수요를 발생시킬 수 있는 기반이 된다고 언급하였다. 특히, 제4기(2026 ~ 2030) 배출권거래제 시행을 앞두고 유상할당 비

Table 12. Delphi survey results on policy prioritization in demand-pull policy options for DAC technologies

Expert	C. Demand-Pull Policy Options					
	Emissions Trading System (ETS)		Technology/ Product Certification	Subsidy	Public Funds	Others (Tax on competing technologies, etc.)
	[Price] CDR = ETS	[Price] CDR>> ETS				
1	1	10	5	7	8	10
2	10	10	10	10	10	10
3	5	10	7	8	8	7
4	8	10	8	9	8	8
5	6	10	5	3	8	8
6	2	9	6	8	8	8
7	5	10	9	9	8	6
8	3	10	8	10	10	8
9	8	10	8	10	10	10
10	3	10	9	8	8	7
Average	5.10	9.90	7.50	8.20	8.60	8.20
Standard Deviation	2.92	0.32	1.72	2.10	0.97	1.40
Stability	0.57	0.03	0.23	0.26	0.11	0.17
Convergence	2.25	0.00	1.25	0.88	0.75	1.13
Consensus	0.10	1.00	0.69	0.79	0.81	0.72

Source: Formulated by the authors

울의 상향이 예상됨에 따라 기업들이 배출권 확보 방안을 적극적으로 모색하고 있고 또한 4차 계획이 우리나라 2030 NDC 목표 달성에 영향을 미치는 바, 동 4차 계획에 제거 활동의 인정 그리고 제거 활동에 DAC 기술을 포함시키는 방향이 필요하다는 의견들이 있었다. 다른 하나는 현재 우리나라 배출권거래제의 배출권 가격이 현저히 낮다는 점을 고려할 때, DAC 기술사업의 제거 결과물이 현재 ETS 배출권가격과 동일하다면 기업들의 투자 동인이 되지 못하고 오히려 투자수요를 축소시킬 것으로 예상된다며, 차별화된 가격이 설정되어야 한다는 의견들이 제시되었다. 만약, 현재 우리나라 ETS 배출권 가격과 DAC 기술사업 기반 제거 결과물이 동일한 가격으로 유통되어야 한다면, 적어도 무상할당을 없애는 등의 정책을 통해 배출권 가격 형성이 시장논리에 따라 실질적으로 높게 형성되어야 한다는 의견도 있었다. 또한 일부 전문가들은, 일본과 EU 주요국이 CDR 가격의 차별화를 적극적으로 논의하고 있는 것처럼, CDR 크레딧 또한 배출권거래제에 높은 가격으로 편입되어야만 실질적인 수요를 견인할 수 있을 것으로 전망되었다. 이를 위해, 고품질 제거 크레딧에 대한 인센티브를 고려하여 차별화된 높은 가격으로 유통을 허용해야 한다는 의견도 있었다.

두 번째로 높은 우선순위를 기록한 수요적인 정책 수단은 기금 활용이었다. 전문가들은 보조금이나 융자 등 다른 형태의 재정지원과 비교할 때, 기금은 보다 장기적으로 형성 및 운용되는 바, DAC 기술 사업에 대한 장기적인 수요를 유도하는 데 더 효과적인 방식으로 작용할 수 있다고 평가하였다. 이에 따라 현재 기술개발 단계에 있는 DAC 기술을 지원하는 데 기금이 적합하다는 의견이 다수를 이루었다. 특히 EU의 혁신기금(Innovation Fund)과 같이, DAC 기술 개발을 위해 수십억 달러 규모의 전용 기금을 조성할 필요성이 언급되었다. 또한, 우리나라 기후대응기금 역시 DAC 기술 사업화 지원에 활용되어야 한다는 의견도 있었다.

다음으로, 기업 보조금, 경쟁기술에 대한 세금 정책, 공공조달 등이 유사한 수준의 중요도로 평가되었다. 기업 보조금이 중요하다고 평가된 근거로는, DAC 기술이 기술개발 뿐만 아니라 대규모 인프라 구축을 필요로 하며, 이에 따라 상당한 초기 자본 투자비용이 요구되기 때문에 안정적인 자본 조달 방안이 필수적이라는 점이 강조되었다. 전문가들은 이러한 자본 지원이 초기 시장 형성에 결정적인 역할을 하며, 기업 대상으로 직접적인 대규모 보조금 지원을 통해 진입장벽을 완화할 경우, DAC와 같이

인프라 중심의 기술 상용화가 보다 촉진될 수 있다는 의견이다. 또한 일부 전문가들은 경쟁기술에 대한 세금 정책이나 공공조달과 같은 수요적인 수단의 필요성을 강조하였는데, 그 이유는 이러한 정책이 DAC 기술과 대체기술 간의 가격 차이를 보전함으로써 DAC 기술에 대한 시장수요 확대에 기여할 수 있다는 것이다.

가장 낮은 우선순위로 평가된 수단은 기술·제품 인증이었다. 이에 대해서 전문가 입장이 사뭇 분산되었다. 동 정책수단의 필요성을 강조하는 전문가들은 DAC 기술 및 제품의 표준화(사업 전과정 탄소배출량 평가 및 인증) 및 신뢰성 제고로 시장 진입과 사업 활성화에 기여하므로 해당 정책이 필요하다는 입장이었다. 특히, 배출점원에서 포집하는 기술(Carbon Capture)과 이에 기반해 포집된 CO₂를 활용한 CCU 제품과 구분해, 대기중에서 포집하는 DAC 기술과 포집된 CO₂를 활용한 DACCU 제품을 인증하여 별도의 프리미엄과 인센티브를 줄 수 있어야 한다는 의견이 있었다. 이를 위한 제도적 접근으로, i) 국내 녹색인증제도에 버금가는 별도 제도 구성이 필요하다는 의견, ii) 녹색인증제도 내에서 CCUS 제품의 품질 인증이 이루어지는 바 녹색인증제도를 통해 DACCS나 DACCU는 관련 제품 품질 인증 방식을 활용할 수 있다는 의견, 그리고 iii) 탄소포집 기술에 대한 제품인증 사례가 없는 바, DAC 기술 및 DACCU 제품 인증제도를 CCUS법 하위법령에 추가하여 관련 제도를 설정하고 이 때 DAC 시설과 관련한 건설인허가 관점의 검토도 함께 필요하다는 의견도 있었다. 한편, 동 정책의 필요성을 시급하게 보지 않는 전문가들은 현재 한국의 DAC 기술 성숙도가 낮아, DAC 기술 인증 또는 제품인증을 위한 별도의 국내 정책이 시기상조일 수 있다는 의견이 있었다. 또한, 현재 시점에서 기술사업화 촉진에 실질적으로 도움이 될지 의문이라는 의견도 있었다. 또한, 국제적으로는 국제표준인 ISO TC265를 통해 CCS 기술 표준화가 진행중인 바, DACCS 기술의 경우 TC265 표준화를 통해 일부 다루어질 것으로 예상된다는 의견도 있었다. 또한, 국내에서 시도하는 표준화 과정이 쉽지 않을 것이라는 의견이었다. 그리고 국제적으로 DAC 기술 기반 MRV 체계가 만들어지고 있는 바, 국내 적용형 MRV의 실효성에 대해서는 의문을 표시하였다.

종합하면, 현재 우리나라 DAC 기술이 개발 초기 단계라는 점을 감안할 때, 수요적인보다는 기술주도 정책이 우선되어야 한다는 데 전문가들의 의견이 모아졌다. 기술주도 정책 중에서는 특히 R&D 투자가 선행되어야 원천 기술 확보와 실증 사업화가 가능하다는 점이 강조되었으

며, 이에 따라 R&D 투자, 실증투자 보조금, 인력개발 및 통합투자에 대한 세액공제 순으로 정책 우선순위에 대한 의견이 수렴되었다. 한편 수요견인 정책 중 가장 중요한 수단은 배출권거래제로 나타났으며, 그다음으로는 장기적인 수요 창출에 효과적인 기금 활용이 중요한 수단으로 평가되었다. 배출권거래제의 경우에는 DAC 사업 기반 도출된 제거 크레딧이 우리나라 현재 배출권거래제 가격과 차별화되어 높게 형성되어야 한다는 전제 조건이 붙었다. 또한, 보조금과 용자 역시 초기 투자비용이 높은 DAC 기술의 상용화를 위해 필수적인 지원 수단으로 확인되었으며, 경쟁 기술에 대한 세금 부과, 공공조달 확대 등 다양한 인센티브 역시 자발적인 시장 수요를 유도할 수 있을 것으로 전망되었다. 반면, 기술 및 제품 인증에 대해서는 그 필요성에 대해서는 공감대가 형성되었으나 우리나라 자체적인 정책 및 제도화에 대해서는 양분된 의견이 있었으며, 우리나라 DAC 기술개발 단계에서는 다른 정책수단에 비해서 시급하지 않은 것으로 나타났다.

4.2.2. DAC 기술혁신 지원정책의 적정 규모

앞서 DAC 기술지원 정책의 우선순위와 함께 적정한 투자 규모에 대한 델파이 설문조사가 실시되었다. 이 역시, 기술주도 정책 옵션에 대한 투자 규모와 수요견인 정책 옵션에 대한 투자 규모에 대해서 별도로 실시되었다.

기술주도 정책의 세부 옵션별 적정 투자 규모에 대한 응답결과는 Table 13과 같이 정리되어 있다. 기술주도 정책 옵션 중, DAC 대상 공공 R&D 프로그램과 관련한 사항은 Table 13의 A열에 해당한다. 먼저, 질문자들에게 '23년 기준 우리나라의 공공 R&D 프로그램 '연간' 규모액은 76.2억 원이라고 제시되었다. 동 금액은 순수 연구·개발뿐만 아니라 실증까지 포함한 프로그램 개념으로 제시된 수치이다. 이를 기준으로 해서, 2026년과 2030년 각기 우리나라에 필요한 적정 R&D 지원 규모를 질의한 결과, 2026년 DAC R&D의 적정 투자액은 평균 '180억 원'으로 조사되었다. 이는 2023년 투자액인 78억 원 대비 약 2.3배 증가한 수치로, 전문가들은 주로 DAC 기술이 현재 TRL 1~2 수준에 머물고 있어 응용연구 및 초기 실증 단계로의 전환이 필요하다는 점을 근거로 제시하였다. 특히, '실증 규모 80억 원×2건'을 실행할 수 있는 수준이 합리적이라는 의견이 대면회의를 통해 도출되었다. 그러나 합의도는 0.71로, 일반적으로 델파이 조사에서 합의의 기준으로 간주되는 0.75에는 미치지 못하였다. 이는 설문 시점이 2025년인 바, 바로 다음 해인 2026년 예산을 증액하는 데

대해 일부 전문가들이 보수적인 수치를 선택한 것으로 해석할 수 있다. 따라서 이 결과는 단일 금액에 대한 확정적 결론이라기보다, 연구 단계별(기초-응용-실증) 예산 배분 방향을 설정하는 과정에서 도출된 잠정적 수준으로 이해할 필요가 있다. 반면, 2030년까지의 적정 투자액은 평균 '800억 원'으로 제시되었으며, 합의도는 0.95로 상당히 높은 수준을 보였다. 이 수치는 대면회의 당시 전문가들이 CCUS R&D의 연평균 증가율(약 9%)을 반영하여 2022년 기준 CCUS R&D 예산 1,222억 원이 2030년까지 2,439억 원으로 증가할 것으로 가정할 때, 그 중 약 30%를 DAC 기술 상용화에 배분되어야 한다는 합의에 기반한다. 다시 말해, 기초 및 응용연구 단계를 넘어 본격적인 실증연구와 상용화 준비가 요구되는 2030년 시점에는 DAC 분야만을 위해 연간 800억 원 수준의 투자가 필요하다는 전문가 합의가 이루어졌다.

이에 대한 논의 결과를 토대로, CCUS R&D 투자액 대비 DAC R&D 투자 비중과 연계한 질문 역시 준비되었다. 우리나라 2023년 기준 CCUS R&D 투자액 대비 DAC 투자 비중이 7.12%인 점을 바탕으로, 2026년과 2030년에 적절한 비중을 질의하였다. 이에 대한 응답은 Table 13의 B열에 해당한다. 응답 결과, 2026년 투자비중 평균치는 '13%'로 나타났으며, 합의도는 0.68, 안정성 계수는 0.18로 집계되었다. 이의 근거로, 전문가들은 한국의 경우 2023년 기준 CCUS 대비 DAC R&D 투자 비중이 7.5%에 불과한 반면, 미국 등 주요국의 비중은 약 40~50%로 추정되므로 최소한 그 절반 수준인 13%로 확대하는 것이 타당하다는 점을 제시하였다. 또한, 2026년은 투자액 증가 가능성보다는 필요성에 기반하여 현재의 약 두 배 수준이 적절하다는 인식이 우세하였다. 한편, 2030년의 투자 비중은 평균 '27.5%'로 나타났으며, 합의도는 0.83, 안정성 계수는 0.13으로 매우 안정적인 결과를 보였다. 전문가들은 DAC 기술이 2030년에 완전히 상용화되는 않더라도 사업이 본격적으로 활성화되는 시기가 될 것으로 보며, 이에 따라 2026년 CCUS 기술 R&D 투자액 대비 비중을 두 배 수준으로 증가할 필요가 있다는 의견으로 수렴하였다.

다음으로, '기업 대상 세액 공제'에 대해 질의하였다. 이는 Table 13의 C와 D열에 해당한다. 먼저, 기업 대상 DAC 연구인력 개발과 통합투자 세액공제 수준과 관련하여 2026년과 2030년에 대한 기준치에 대해서 질의하였다. 현재 혁신기술을 대상으로 한 연구인력 세액공제율은 중소기업 30%, 중견기업 25%, 대기업 20%이다. 그리고, 통

Table 13. Delphi survey results on the scale of technology-push policies for DAC technologies

Expert	A. DAC R&D Investment (Unit: 100 million KRW)		B. DAC Share in CCUS R&D Investment (%)		C. Tax Credit for R&D Personnel (%)					D. Tax Credit for Integrated Investment (%)					E. Subsidy (Unit: 100 million KRW)					
	2026	2030	2026	2030	2026		2030			2026		2030			10 ~ 100 tons		Over 300 tons			
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	200	800	12.5	25	30	25	20	30	25	20	12	6	3	12	6	3	37.5	87.5	93.75	218.75
2	200	850	15	30	30	25	20	30	25	20	12	6	3	12	6	3	50	125	100	250
3	150	800	15	30	30	25	20	30	25	20	12	6	3	12	6	3	30	75	100	250
4	250	800	15	25	30	25	18	30	25	18	12	6	3	15	8	5	35	120	100	250
5	200	800	12.5	25	30	25	25	30	25	25	12	9	9	12	9	9	50	75	100	250
6	150	900	10	30	30	25	20	30	25	20	12	6	3	12	6	3	30	75	100	250
7	150	850	15	30	30	25	20	30	25	20	12	6	3	12	6	3	25	150	100	300
8	150	700	10	30	30	25	20	30	25	20	12	6	3	12	6	3	50	150	100	300
9	200	800	15	30	30	25	20	30	25	20	12	6	3	12	6	3	40	120	90	270
10	150	700	10	20	30	25	20	30	25	20	12	6	3	12	6	3	25	50	75	150
Average	180	800	13	27.5	30	25	20	30	25	20	12	6	4	12	7	4	37.25	102.75	95.88	248.88
SD	34.96	62.36	2.30	3.54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10.03	34.77	8.12	42.64
Stability	0.19	0.08	0.18	0.13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.27	0.34	0.08	0.17
Convergence	25.00	18.75	2.19	2.50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.75	24.38	2.34	7.50
Consensus	0.71	0.95	0.68	0.83	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.52	0.53	0.95	0.94

Source: Formulated by the authors

합투자 세액공제율은 각각 중소기업 12%, 중견기업 6%, 대기업 3%이다. 이에 대해 전문가들은 현행 세제 지원 수준을 단기적으로 뿐만 아니라 장기적으로도 유지하는 것이 바람직하다는 데 의견을 모았다. 특히, 혁신 기술 대상 세액 공제 수준이 기술별로 다른 것이 아니라 거의 동일하다는 점을 고려할 때, DAC 기술에 대해서도 이를 적용하는 것이 필요하다는 의견이었다.

마지막으로, ‘기업 대상 DAC 실증사업에 대한 투자 보조금’과 관련하여, 2026년과 2030년에 필요한 보조금 규모에 대해서 질의하였다. 이는 Table 13의 E열에 해당한다. 동 질의와 관련해, 현재 우리나라는 DAC 기업에 실증 사업을 위한 투자 보조금을 지급한 사례가 없고, 스위스 정부는 개별 민간기업인 클라임웍스(Climeworks)사에 약 50억 원을 지급한 바 있고, 캐나다 정부는 카본엔지니어링(Carbon Engineering) 사에 초기 단계에 약 200억 원의 보조금을 지원한 사례가 있다는 사전정보가 전문가들에게 제시되었다. 동 정보를 토대로, 먼저, 연간 ‘10~100톤을 포집하는 소규모 실증사업’에 대한 기업별 건당 투자 보조금 규모에 대해 전문가들은 2026년까지 37.25억 원(합의도 0.52, 안정성 계수 0.27), 2030년까지는 2026년

보조금의 약 2.75배 수준인 102.75억 원(합의도 0.53, 안정성 계수 0.34)으로 응답하였다. 이는 전문가들이 2026년까지 총 2~3건의 실증사업이 추진될 것으로 예상하였고, 실증 1건당 약 50억~100억 원의 인프라 투자비용이 소요될 것으로 보고, 이 중 절반은 정부 보조금으로 충당하는 것이 적절하다는 판단에 따른 것이다. 비록 추정된 보조금 규모에 대한 합의도는 0.52~0.53으로, 일반적인 합의 기준치인 0.7에는 미치지 못했으나, 이는 수치 자체에 대한 의견 불일치라기보다는 인프라 설치 비용에 대한 전문가 개인별 추정 차이에서 기인한 것으로 해석된다. 즉, 보조금 산정의 기본 전제인 “총 투자비의 50%를 정부가 보조금으로 지원한다”는 원칙에 대해서는 전문가 간 의견이 수렴되었기 때문에, 정량적 수치의 차이는 해석상의 변이일 뿐이라는 점에서 전반적으로 합의가 도출된 것으로 판단된다.

다음으로, ‘연간 300톤 이상을 포집하는 대규모 실증사업’의 경우, 소규모 실증의 약 3배 수준으로 2026년 사업 건당 95.9억 원(합의도 0.95, 안정성 계수 0.08)과 2030년 248.9억 원(합의도 0.94, 안정성 계수 0.17)이 적정하다는 응답이 제시되었다. 보조금 산출의 근거로 전문가들은 소

Table 14. Delphi survey results on the scale of market-pull policies for DAC

Expert	A. Minimum Price of DAC-Based CDR Credits (Unit: 10,000 KRW)	B. Loans (Unit: 100 million KRW)		DC Equity Investment (Unit: 100 million KRW)	
		2026	2030	2026	2030
1	125	750	2500	200	200
2	150	500	2000	250	150
3	100	500	2000	150	250
4	100	700	2000	150	200
5	120	750	2500	175	200
6	120	500	2000	200	200
7	100	500	3000	200	200
8	150	500	3000	150	250
9	150	800	2500	200	200
10	100	500	2000	150	250
Average	121.50	600	2350	182.50	210
SD	21.86	131.23	411.64	33.44	31.62
Stability	0.18	0.22	0.18	0.18	0.15
Convergence	21.88	118.75	250.00	25.00	18.75
Consensus	0.64	0.53	0.78	0.73	0.81

Source: Formulated by the authors

규모 실증과 동일하게 인프라 설치비용의 절반을 정부 보조금으로 지원하는 것이 적절하다는 점에서 합의되었다.

종합하면, 전문가들은 DAC R&D 투자액 및 CCUS 대비 DAC 투자 비중은 주요 선진국 수준에 부합하도록 설정되어야 한다는 전제하에서 논의하고 이를 통해 적정한 지원 규모를 제안하였다. 이에 따라 DAC R&D 투자액은 단기적으로 180억 원, 2030년까지는 800억 원이 필요하며, CCUS 대비 DAC 투자 비중은 단기적으로 13%, 장기적으로는 27.5%까지 확대되어야 한다는 데 전문가들의 의견이 수렴되었다. 연구개발 인력 및 통합투자에 대한 세액 공제의 경우, 현행 수준을 유지하는 방안이 장단기적으로 타당하다는 평가가 지배적이었다. 그리고, 실증사업에 대한 기업 보조금의 경우, 소규모 실증사업을 기준으로 단기적으로는 건당 37억 원 그리고 장기적으로는 102.75억 원이 적절하다는 평균적 의견이 도출되었으며, 대규모 실증사업 기준으로는 단기적으로는 건당 95.9억 원 그리고 장기적으로는 248.9억 원이 적절하다는 의견이다.

한편, DAC 수요 견인 정책 내 세부 옵션들에 대한 지원 규모에 대해서도 조사 결과는 Table 14와 같이 정리될 수 있다. 수요견인형 정책 옵션 중 가장 중요성이 높은 것으로 평가된 배출권거래제와 관련하여, DAC 기술을 활용

한 탄소 제거가 배출권거래제에 편입될 경우를 가정하여 제거 크레딧의 적정 최소 가격을 조사하였다. 설문 시, 글로벌 탄소시장 내 DAC 크레딧의 평균 가격에 대한 정보가 전문가들에게 공유되었다. 공유된 정보로는, 먼저, 유럽연합 배출권거래제의 '25년 배출권 1톤당 60~83유로(한화 약 105~130만 원),¹²⁾ 구글 기업이 구매한 DAC 기술 기반 사업에서 도출된 제거 1톤당 가격은 \$100(한화 약 15만 원), 그리고 자발적 탄소시장 평균 DAC 제거 1톤당 가격은 \$886(한화 약 130만원)이 제시되었다(Carbon Credits, 2024; Trading Economics, 2025; Vines, 2023). 이러한 정보를 토대로, Table 14의 A열에 제시된 바와 같이, 평균 '121.5만 원'이 DAC 제거 크레딧 적정 가격이라고 전문가 의견이 도출되었다. 이는 국내 2025년 기준 배출권 단가가 약 1만 원 수준인 점과 비교할 때 매우 높은 수치이다. 전문가들은 DAC의 특수성과 기술 비용, 글로벌 시장 가격을 고려할 때, 국내 기준이 아닌 국제 기준에 따라 크레딧 가격을 책정하는 것이 타당하다는 데 의견을 모았다. 다만, 이에 대한 합의도는 0.64로 전문가 합의도가 0.75보다 낮다.

배출권거래제 외에도 수요견인형 세부수단 중 중요한 항목으로 평가된 기금 활용 내 용자 및 출자 규모에 대한

12) Trading Economics (2025)의 그래프 상에서 2025년 1월부터 4월까지 EU 배출권거래제 상의 배출권 최저 가격과 최고 가격에 기반하였다.

조사 결과는 Table 14의 B열 및 C열에 제시되어 있다. 먼저 용자 규모에 대한 조사 결과, 단기적으로는 2026년까지 약 600억 원(합의도 0.53, 안정성 계수 0.22), 장기적으로는 2030년까지 용자 2,350억 원(합의도 0.78, 안정성 계수 0.18)이 합의되었다. 전문가들은 현재 기후대응기금을 통해 CCUS 분야에 대해 2022년 약 912억 원이 용자 지원되었고, 용자 지원액이 2024년에는 2,590억 원까지 확대된 점을 고려하였다. 이에 따라, DAC 기술에 대한 단기적 용자 지원 규모는 CCUS의 약 40% 수준인 600억 원이 적절하다는 데 의견이 수렴되었으며, 2030년까지는 기술 상용화가 가능할 것으로 예상되는 만큼, CCUS에 상응하는 2,350억 원 규모의 용자 지원이 필요하다는 데 대체로 공감대가 형성되었다. 특히, 용자 지원은 중소기업 및 스타트업의 안정적 성장과 시장 진입 촉진을 위한 핵심 정책 수단으로 인식되었으며, 2030년까지 지속적인 장기 지원이 필수적이라는 의견이 다수를 이루었다. 또한, 용자 평가 시, DAC 기업을 일반 기업과 경쟁 비교해서는 안되고, 수익성 뿐 아니라 탄소제거 효과를 동시에 고려하는 것이 필요하다는 의견이 제시되었다.

한편, 출자 규모에 대한 조사 결과, 단기적으로는 약 182.5억 원(합의도 0.73, 안정성 계수 0.18), 장기적으로는 2030년까지 출자 210억 원(합의도 0.81, 안정성 계수 0.15)이 적절한 수준으로 도출되었다. 이는 2022년 기준 정부의 CCUS 분야 출자 규모가 약 1,300억 원이라는 점을 감안할 때, DAC 기술에 대한 단기적 출자 규모는 약 182억 원, 장기적으로는 210억 원이 적절하다는 데 전문가들의 의견이 수렴되었다.¹³⁾ 다만, 출자의 경우 용자보다 규모가 작게 책정된 것은, 정부의 출자가 민간 기업의 경영권에 미치는 영향, 특히 지분 희석과 경영 간섭에 대한 우려를 고려하여 적절한 수준으로 조정할 필요가 있다는 판단에 기초한 것이다. 실제로 DAC 기술은 아직 상용화 이전의 개발 단계에 있는 만큼, 현 단계에서는 출자 방식의 실효성이 낮으며, 용자에 비해 활용도가 제한적이라는 점에서 출자 규모가 상대적으로 보수적으로 설정된 것으로 해석된다.

요약하자면, 수요견인형 정책의 세부 수단별 적정 지원 규모에 대한 전문가 의견은 대부분 높은 수준의 합의에 도달하였으며, 이는 인프라 설치비용, 국제 시장 수준, 그리고 유사 기술인 CCUS에 대한 기존 정부 지원 규모를 종합적으로 고려하여 도출되었다. DAC 제거 크레딧 가격

은 국제 탄소시장 수준에 부합하는 121.5만 원이 적절하다는 데 전문가들의 합의가 형성되었다. 기금 활용 측면에서는, 용자 규모는 단기적으로 600억 원, 장기적으로 2,350억 원, 출자 규모는 단기적으로 182.5억 원, 장기적으로 210억 원이 적절하다는 결과가 제시되었다. 이러한 규모 설정은 현재 DAC 기술이 초기 단계에 있으며, 스타트업 및 중소기업의 안정적 성장을 위한 정책적 유인 수단으로 용자의 효과성이 더 높다는 전문가 의견에 따라 용자에 상대적으로 큰 비중이 부여되고, 출자는 경영권 영향 등을 고려하여 보수적으로 책정된 것으로 해석된다.

5. 결론

본 연구는 탄소중립 달성을 위한 핵심 유망기술로 부상한 DAC 기술을 대상으로, 우리나라의 정책 지원 현황을 분석하고, 다양한 정책 수단 중에서 우선적으로 준비하고 적용해야 할 정책 유형과 그 적정 규모를 도출하고자 하였다. 이를 위해, 지원 정책의 유형을 기술혁신을 위한 기술 주도형 정책과 수요견인형 정책으로 구분하는 이론틀을 적용하였다. 우리나라의 정책 지원 현황을 분석하기 위해, 정부의 공식문서 및 국가과학기술지식정보서비스(NTIS) 데이터를 활용하였다. 분석 결과를 토대로, 우리나라의 향후 지원정책 우선순위와 지원 적정 규모를 파악하기 위해, 아울러, 산·학·연 전문가 10인을 대상으로 3차례에 걸친 델파이 조사를 수행하고 전문가 합의를 도출하였다.

분석 결과, 우리나라는 DAC 기술에 대한 별도 지원 정책이 마련하고 있지 않다. 대신, DAC 기술이 CCUS 기술의 포집 기술의 하위 항목으로 간주되고 있어, CCUS 기술에 대한 지원 정책 하에서 제한적인 지원을 받고 있다. 긍정적인 측면은 개별 연구과제 데이터를 살펴본 결과, 2020년 이후 DAC 기술에 대한 정부 R&D 투자가 점차 시작되었으며, 특히 최근 2년(2023~2024년) 간의 투자액은 2022년 대비 약 7배 증가한 것으로 확인되었다는 점이다. 같은 기간 동안 CCUS 포집기술에 대한 정부 R&D 투자액이 약 250억 원 수준에서 정체된 점을 감안할 때, DAC 기술이 새로운 유망기술로 주목받고 있음을 보여준다. 그럼에도 불구하고 DAC에 대한 별도 지원정책은 마련되지 못하고 있어, 향후 기술 성숙도 제고 및 시장 수요 확대에 발맞춘 체계적인 정책 지원체계의 마련이 시급한 것으로 분석된다.

13) 또한, 과거부 모태펀드 과기계정 12대 중점기술 분야당 출자 규모가 500억 원이라는 점도 고려되었다.

이에 본 연구는 DAC 기술의 전략적 지원체계 구축을 위해 필요한 정책 수단의 우선순위와 적정 지원 규모를 전문가 델파이 조사를 통해 도출하였다. 3차례에 걸친 전문가 논의를 통해, 현재 DAC 기술이 초기 단계에 있다는 점에서 기술주도형 정책 중 R&D 투자 및 실증 연구 지원이 가장 시급한 것으로 나타났다. 반면 수요조건인 정책은 시장이 어느 정도 성숙된 이후에 효과를 발휘할 수 있는 수단으로, 배출권거래제에 DAC 기술 기반 사업을 제거 활동으로 인정하는 정책, 기금 활용, 그리고 보조금 지원 등을 통해 장기적인 관점에서 시장 기반을 조성하는 것이 핵심 과제로 제시되었다.

이러한 분석 결과를 바탕으로 본 연구는 향후 DAC 기술의 발전을 위해 다음과 같은 세 가지 정책적 시사점을 제안하고자 한다. 첫째, 기술 선도국과의 기술격차를 줄이고, 원천기술 확보와 빠른 기술혁신을 적극적으로 유도하기 위해, DAC 기술에 대한 기술주도 정책을 적극적으로 추진할 필요가 있다. 이를 위해, 정부 주도 공공 R&D 투자를 확대하고, 실증사업에 보조금을 지원함으로써 해야 한다. 실증사업과 관련해서, 우리나라 DAC 기술이 아직 초기 단계인 바, 중규모 또는 대규모 실증사업이 아닌 프로토타입 및 파일럿 규모의 실증 사업에 대한 정부 보조금을 제공하는 방안을 우선적으로 고려할 필요가 있다. 구체적인 수치로 제시하면, 본문에서 델파이 조사 결과를 토대로, DAC R&D 투자액은 2023년 기준 78억원 대비, 단기적으로 2026년 180억 원, 2030년까지는 800억 원이 필요하며, CCUS 대비 DAC 투자 비중은 2023년 기준 7.12%에서 단기적으로 2026년 13% 그리고 장기적으로는 2030년 27.5%까지 확대되는 것이 고려될 필요가 있다. 기업별 실증사업 투자 보조금 차원에서는 연간 '10~100톤을 포집하는 소규모 실증사업'에 대해서 2026년까지 37.25억 원, 2030년까지는 2026년 보조금의 약 2.75배 수준인 102.75억 원이 고려될 필요가 있다.

둘째, 우리나라 DAC 기술이 아직 개발 초기단계이기는 하나 해당 기술에 대한 시장 수요를 창출하고 또한 실증 및 활용 사업화에 필요한 상당한 자원/투자금을 마련하기 위해서는, 기술주도 정책과 함께 수요조건인 정책 역시 함께 준비하는 것이 필요하다. 우선적으로 배출권거래제 등 탄소시장에서 DAC 기술 기반 사업을 감축활동으로 인정하고, DAC 기반 사업의 사업투자의 경제성을 확보하기 위한 방안이 고려될 필요가 있다. 예를 들어, 제거 크레딧의 가격을 현재 우리나라 배출권거래제 배출권 가격과 차별화하거나 또는 해당 사업에 대한 사업비를 일부

를 충장/보조해 주는 등의 방안이 모색될 수 있다. 현재 우리나라 배출권거래제 배출권가격은 만원 이하로 형성되어 있으며, 전문가들이 제시한 적정 가격은 제거 크레딧 당 평균 121.5만원이라는 점을 고려할 필요가 있다. 다음으로, 장기적인 관점에서 DAC 기술 사업화 및 상용화를 위해 기금을 활용하는 방안을 고려할 필요가 있다. 이를 위해, 부처별 또는 다부처 차원에서 조성되는 기술사업화 관련 기금의 지원 대상에 DAC 기술을 포함하고, 특히, 기후대응기금 역시 DAC 기술 사업화 지원에 활용될 필요가 있다.

셋째, 수요조건인 정책 옵션 중에서 그 중요도는 낮게 도출된 '기술·제품 인증' 정책과 관련하여, 이에 대한 정부 차원의 고려가 좀 더 필요할 수 있다. 전문가들의 입장에서는 연구·개발 및 실증과 사업화 차원에서 재정적 측면의 정책지원을 시급하게 본 측면이 없지 않다. 그러나, 근본적으로, DAC 기술 기반의 사업의 의미가 감축인 바, '제거량'을 명확하게 산정하고 인증하는 절차가 수반되어야 한다. 그러나, 개별 기업 별로 기술 개발 및 실증 시, 생애주기 기반 제거량 산정 과정 및 방법론 도출을 쉽지 않은 바, 이에 대한 정책적 지원이 필요할 수 있다. 또한, 이러한 방법론에 대해서 국내 차원에서 인증이 이루어지면, 그 인증 결과가 국제 탄소시장에서 인증받을 수 있는 근거가 될 수 있는 바, 국내 인증기관의 DAC 기술에 대한 방법론 및 인증에 대한 부분에 대한 정책적 고려가 필요할 수 있다. 또한 IPCC 제7차 평가보고서 작성 주기에서 CDR 및 CCUS 기술에 대한 방법론 보고서 준비될 예정인 바, DAC 기술에 대한 산정 방법론에 대한 정보가 적절하게 국내 DAC 개발 및 사업 기관에 공유될 필요가 있다고 본다.

넷째, 앞선 기술주도 및 수요조건인 정책과 별개로, DAC 기술 사업화 차원에서 가장 근본적인 정부 정책인 우리나라 단기 및 장기 감축 목표 설정 시 CCUS와 DAC를 분리할 필요가 있다. R&D 측면에서, 우리나라에서 DAC 기술은 포집 기술 차원에서 CCUS 기술의 하부기술로 자리잡고 있다. 그런데, '감축' 활동의 측면에서 보면, CCUS 기술은 배출점원에서 배출을 저감하는 배출저감(emission reduction) 기술이고, DAC 기술은 대기중에서 CO₂를 포집해 저장/활용하는 제거(removal) 기술이다. 그런데 우리나라의 2030 NDC 목표 달성을 위해 2023년 우리나라 정부가 도출한 「탄소중립·녹색성장 국가전략 및 제1차 국가기본계획 요약」을 보면 '배출저감' 노력이 필요한 배출 부문에 전환, 산업, 건물, 수송, 농축수산, 폐기물, 수소, 탈루

가 포함되어 있고, ‘흡수·제거’ 부문에 흡수원, CCUS, 그리고 국제감축이 포함되어 있다. CCUS가 ‘흡수·제거’가 아닌 ‘배출저감’ 기술이다. 그런데, 이렇게 포함된 CCUS의 세부기술에 DAC 기술은 포함되어 있지 않다. 이에, 다양하게 시도될 수 CDR 접근법 중에서 자연기반 CDR은 ‘흡수원’ 차원에서 시도되나, 공학기반 CDR의 일환인 DAC는 현재 단기/장기 감축목표 상에서 설자리가 명확하지 않다. 이에, ‘감축활동’ 측면에서 ‘배출저감’과 ‘제거’를 보다 명확히 정의내리고, 제거에 대한 다양한 접근법을 아우르는 정책적 접근이 필요할 것으로 보인다.

본 연구는 국내 DAC 기술혁신을 위한 정부 지원 정책의 방향성과 적정 지원 규모를 체계적으로 모색한 최초의 시도라는 점에서 의의를 갖는다. DAC 기술은 혁신성이 크지만 높은 불확실성과 위험성을 수반하고, 또한 기술 선도국과 우리나라의 기술격차가 존재하고 제도적·정책적 상황이 다른 바, 기술 선도국이 기적용한 정책 옵션을 우리나라에 바로 적용하기 보다 우리나라의 현재 실정에 맞는 우선 정책 방향을 도출하였기 때문이다. 다만, 이는 정교한 정책 방향 설계는 아닌 바, 향후 우리나라의 지리적 조건, 에너지 믹스, 경제·산업 구조 측면, 우리나라 감축 목표 상에서 제거량 목표 수준과 DAC 기술의 비중 등을 고려하여 DAC 기술 정책의 효과와 실증 분석에 기반한 연구가 필요할 것으로 보인다. 또한, 본 연구는 기술 개발 주체가 정부 출연연구소와 민간 기업에 집중되어 있다는 점에서 산·학·연 전문가를 중심으로 델파이 설문조사를 실시하였다는 점에서 그 정책수요자 기반의 정책 방향성을 도출하였다는 점에서 의의를 갖는다. 그러나 향후 연구에서는 실제 정책을 수립하는 정부 및 공공기관 전문가들의 관점도 일부 반영할 필요가 있다. 이를 통해 실질적인 수요자(산업계)와 정책 결정자(정부) 간의 인식 차이나 괴리점을 보다 명확히 드러낼 수 있으며, 이는 궁극적으로 정책 설계와 실행 과정에서의 현실적 한계와 보완점을 제시하는 데 기여할 수 있을 것이다.

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 2024 Sep 24]. <https://acrcarbon.org/wp-content/uploads/2023/03/ACR-CS-v1.1.pdf>
- Böttcher H, Fallasch F. 2025. Scientific support for the design of a certification framework for carbon dioxide removals in the EU. German Environment Agency; [accessed 2025 Jul 2]. <https://www.ecologic.eu/sites/default/files/publication/2025/50122-design-of-a-certification-framework-for-carbon-dioxide-removals.pdf>
- Budinis S. 2021. Direct air capture: More efforts needed; [accessed 2024 Aug 4]. <https://www.iea.org/energy-system/carbon-capture-utilisation-and-storage/direct-air-capture>
- California Air Resource Board. n.d. Low carbon fuel standard; [accessed 2024 Aug 23]. <https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/low-carbon-fuel-standard/about>
- CARB (California Air Resources Board). 2020. LCFS basics with notes. <https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2020-09/basics-notes.pdf>
- 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
- Carbon Credits. 2024. Google strikes \$100/ton deal with US DAC startup Holocene. <https://carboncredits.com/google-strikes-100-ton-deal-with-us-dac-startup-holocene/>.
- CB (Carbon Brief). 2017. The Swiss company hoping to capture 1% of global CO₂ emissions by 2025; [accessed 2025 May 9]. <https://www.carbonbrief.org/swiss-company-hoping-capture-1-global-co2-emissions-2025>
- Chevron. 2022. Chevron announces investment in carbon

- clean; [accessed 2024 Jul 12].
<https://www.carbonclean.com/en/press-releases/chevron-announces-new-investment>
- Christensen CM, Raynor M, McDonald R. 2025. What is disruptive innovation? *Harvard Bus Rev* 93(12): 44-53.
- Congress Research Service. 2024. DOE's carbon capture and storage (CCS) and carbon removal programs; [accessed 2025 Apr 19].
<https://crsreports.congress.gov/product/pdf/IF/IF11861/7>
- 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
- Deutz S, Bardow A. 2021. Life-cycle assessment of an industrial direct air capture process based on temperature-vacuum swing adsorption. *Nat Energy* 6: 203-213. doi: 10.1038/s41560-020-00771-9
- DOE (US Department of Energy). 2020 Sep 1. Department of energy to invest \$21 million in direct air capture and storage of carbon dioxide. U.S. Department of Energy; [accessed 2024 Jul 7].
<https://www.energy.gov/articles/department-energy-invest-21-million-direct-air-capture-and-storage-carbon-dioxide>
- DOE (US Department of Energy). 2021. Carbon management funding: The infrastructure investment and jobs act - Opportunities to accelerate deployment in fossil energy and carbon management activities. Office of Fossil Energy & Carbon Management (FECM).
<https://www.energy.gov/sites/default/files/2021-12/FECM%20Infrastructure%20Factsheet.pdf>
- DOE (US Department of Energy). 2023. Regional direct air capture hubs; [accessed 2024 Aug 7].
<https://www.energy.gov/oced/DACHubs>
- EC. 2023. Carbon removals and carbon farming - EU climate action. European Commission, Brussels.
- Erans M, Sanz-Pérez ES, Hanak DP, Clulow Z, Reiner DM, Mutch GA. 2022. Direct air capture: Process technology, techno-economic and socio-political challenges. *Energy Environ Sci* 15: 1360-1405.
- EUR-Lex. 2022. Document 52022PC0672: Proposal for a regulation of the European parliament and of the council: Establishing a union certification framework for carbon removals; [accessed 2024 Apr 23].
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52022PC0672>
- European Commission. 2022. Horizon Europe: The EU research and innovation programme (2021-2027). Directorate-general for research and innovation; [accessed 2025 Apr 9].
https://research-and-innovation.ec.europa.eu/system/files/2022-01/horizon_europe_en_0.pdf
- European Commission. n.d. Carbon Removals and Carbon Farming Certification (CRCF) regulation (EU/2024/3012). EU climate action - Directorate-general for climate action; [accessed 2025 Jun 20].
https://climate.ec.europa.eu/eu-action/carbon-removals-and-carbon-farming_en
- ExxonMobil. 2020. ExxonMobil expands agreement with global thermostat, sees promise in direct air capture technology; [accessed 2025 Apr 9].
https://corporate.exxonmobil.com/news/news-releases/2020/0921_exxonmobil-expands-agreement-with-global-thermostat-re-direct-air-capture-technology
- Fasihi M, Efimova O, Breyer C. 2019. Techno-economic assessment of CO₂ direct air capture plants. *J Cleaner Prod* 224: 957-980. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.03.086
- Global CCS Institute. 2025, U.S. preserves and increases 45Q credit in "One big beautiful bill act"; [accessed 2025 Jul 8].
<https://www.globalccsinstitute.com/news-media/latest-news/u-s-preserves-and-increases-45q-credit-in-one-big-beautiful-bill-act/>
- Government of Canada. 2022. Carbon Capture, Utilization and Storage (CCUS) investment tax credit. Canada Revenue Agency & Department of Finance Canada; [accessed 2025 Apr 9].
<https://www.canada.ca/en/revenue-agency/services/tax/businesses/topics/corporations/business-tax-credits/clean-economy-itc/carbon-capture-itc.html>
- GOV.UK. 2022. Direct air capture and greenhouse gas removal innovation programme (closed to applications); [accessed 2025 May 11].
<https://www.gov.uk/government/publications/direct-air-cap>

- ture-and-other-greenhouse-gas-removal-technologies-competition
- GOV.UK. 2024. Contracts for difference; [accessed 2025 Apr 10]. <https://www.gov.uk/government/collections/contracts-for-difference>
- Honegger M, Baatz C, Eberenz S, Holland-Cunz A, Michaelowa A, Pokorny B, Poralla M, Winkler M. 2022. The ABC of governance principles for carbon dioxide removal policy. *Front Clim* 4: 884163. doi: 10.3389/fclim.2022.884163
- HwaWoo. 2024. National assembly passes the act on the capture, transportation, storage and utilization of carbon dioxide: Establishing a legal framework for climate crisis response and CCUS industry development. Legal update ESG Center; [accessed 2024 Sep 30]. https://www.hwawoo.com/newsletter/2024_01_15/240115_k_esg.pdf
- IEA. 2022. Direct air capture: A key technology for net zero. IAEA.
- IPCC. 2022. Climate change 2022: Mitigation of climate change. Working group III contribution to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press.
- IPCC. 2023. Climate change 2023: Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [Core Writing Team, Lee H, Romero J (eds)]. Geneva, Switzerland: IPCC. p. 35-115. doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647
- Jaffe AB, Newell RG, Stavins RM. 2005. A tale of two market failures: Technology and environmental policy. *Ecol Econ* 54(2-3): 164-174. doi: 10.1016/j.ecolecon.2004.12.027.
- Joint Ministries. 2021. Draft roadmap for innovation in carbon dioxide capture and utilization (CCU) technologies.
- Joint Ministries. 2022. Draft strategic roadmap for carbon neutral technology innovation in the field of CCUS. 5th Carbon Neutral Technology Special Committee, agenda No. 1.
- Jones AC, Marples DJ. 2023. The section 45Q tax credit for carbon sequestration. Congressional Research Service Report IF11455.
- KLRI (Korea Legislation Research Institute). 2024. Act on the capture, transportation, storage, and utilization of carbon dioxide. National Law Information Center.
- Kotchen MJ. 2021. The producer benefits of implicit fossil fuel subsidies in the United States. *Proc Natl Acad Sci* 118(14): e2011969118, doi: 10.1073/pnas.2011969118.
- Lilja KK, Laakso K, Palomäki J. 2011. Using the Delphi method. In: Proceedings of PICMET '11: Technology management in the energy-smart world. Portland International Center for Management of Engineering and Technology. p. 1-10.
- Meckling J, Biber E. 2021. A policy roadmap for negative emissions using direct air capture. *Nat Commun* 12: 2051. doi: 10.1038/s41467-021-22347-1
- MEF (Ministry of Economy and Finance). 2024. 2025 budget and fund operation plan: Climate response fund (II-1). Special Committee on Budget and Accounts.
- METI. 2020. Moonshot goal 4: The R&D concept of "Realization of sustainable resource circulation to recover the global environment by 2050"; [accessed 2024 Jul 8]. <https://www.nedo.go.jp/content/100923267.pdf>
- National Law Information Center. n.d. Enforcement decree of the restriction of special taxation act, annex 7: New growth and source technologies.
- NEDO. n.d. Moonshot research and development program; [accessed 2024 Jul 8]. https://www.nedo.go.jp/english/news/ZZCA_100007.html
- Nemet GF. 2009. Demand-pull, technology-push, and government-led incentives for non-incremental technical change. *Res Policy* 38(5): 700-709, doi: 10.1016/j.respol.2009.01.004.
- NRCC (National Research Council of Canada). 2016. Supplementary information tables: 2015-16 departmental performance report; [accessed 2024 Sep 8]. https://nrc.canada.ca/sites/default/files/2019-03/DPR_2015-16_Supplementary_Tables_EN.pdf

- NTIS. 2024. NTIS database; [accessed 2024 Oct 11]. <https://www.ntis.gov/ThSearchKeywordStep.do>.
- OECD. 1992. OECD proposed guidelines for collecting and interpreting technological innovation data - Oslo manual. Paris: OECD Publishing.
- Office of Clean Energy Demonstrations (OCED). 2022. Regional direct air capture hubs funding opportunity announcement (DE-FOA-0002735). U.S. Department of Energy; [accessed 2024 Oct 8]. <https://www.energy.gov/oced/regional-direct-air-capture-hubs>
- Oh C. 2024. Contestation in social acceptance of direct air capture (DAC) technologies in Korea by differing framings over governance principles. *J Open Innovation: Techno Mark Complexity* 10(4): 100403. doi: 10.1016/j.joitmc.2024.100403
- Oh C, Oh S, Song Y. 2023. Research on policies to facilitate demonstration and deployment of DACU technologies. National Institute of Green Technology.
- 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.
- Oh C, Song Y, Kim R, Choi K, Choi K. 2022. Application of environmental integrity to the institutional design of Korea's global carbon market mechanism under article 6.2 of the Paris agreement (in Korean with English abstract). *J Clim Change Res* 13(6): 755-780. doi: 10.15531/KSCCR.2022.13.6.755
- 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
- PCGRI (Private Companies and Government-Funded Research Institutes). 2023. Joint proposal for industrial and technological innovation in CCUS through private and public sector participation: Challenges and tasks for new industrialization of carbon neutral technologies.
- Schmidt RC. 1997. Managing Delphi surveys using nonparametric statistical techniques. *Decis Sci* 28(3): 763-774.
- Scott-Buecheler C, Cain B, Osman K, Ardoin MM, Fraser C, Adcox G, Polk EM, Jackson RB. 2024. Communities conditionally support deployment of direct air capture for carbon dioxide removal in the United States. *Commun Earth Environ* 5: 175. doi: 10.1038/s43247-024-01334-6
- Semieniuk G, Campiglio E, Mercure J-F, Volz U, Edwards NR. 2021. Low-carbon transition risks for finance. *WIREs Clim Chang* 12(1). doi: 10.1002/wcc.678
- Shi C, Zhang Y, Li C, Li P, Zhu H. 2020. Using the Delphi method to identify risk factors contributing to adverse events in residential aged care facilities. *Risk Manag Healthcare Policy* 13: 523-537.
- Song Y, Oh C. 2022. Korea's policy direction on the research & development of direct air carbon capture and storage (DACCS) technologies: Focusing on DAC technologies. *J Clim Change Res* 13(1): 75-96. doi: 10.15531/KSCCR.2022.13.1.075
- Song Y, Oh C. 2023. Market-pull, technology-push and regulatory stringency determinants: All in need in firms' decisions for large-scale demonstration of direct air capture technologies. *Energy Res Soc Sci* 106: 103339. doi: 10.1016/j.erss.2023.103339
- 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. *J Clim Change Res* 15(4): 489-511.
- Sovacool BK, Baum CM, Low S. 2023. Reviewing the sociotechnical dynamics of carbon removal. *Joule* 7: 57-82.
- Sovacool BK, Baum CM, Low S, Roberts C, Steinhäuser J. 2022. Climate policy for a net-zero future: Ten recommendations for direct air capture. *Environ Res Lett* 17: 074014. doi: 10.1088/1748-9326/ac77a4
- STEPI (Science and Technology Policy Institute). 2023.

- Policy recommendations for improving R&D tax incentives to enhance the national strategic value of technology. STEPI Insight 206.
- Stewart RJ, Scott V, Haszeldine S, Ainger D, Argent S. 2014. The feasibility of a European-wide integrated CO₂ transport network. *Greenhouse Gases* 4: 481-494.
- Trading Economics. 2025. EU carbon permits; [accessed 2025 Jul 10]. <https://tradingeconomics.com/commodity/carbon>
- UNFCCC. 2011. Modalities and procedures for carbon dioxide capture and storage in geological formations as clean development mechanism project activities (decision 10/CMP.7); [accessed 2025 Sep 11]. <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/2011/cmp7/eng/10a02.pdf>
- UNFCCC. 2024. Standard: Requirements for activities involving removals under the article 6.4 mechanism; [accessed 2025 Sep 11]. <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/A6.4-STAN-METH-002.pdf>
- VCS. 2021. Methodology for CO₂ utilization in concrete production, v1.0. Verra.
- Vines S. 2003. Direct air capture in the VCM: A CDR primer; [accessed 2025 Jun 10]. <https://medium.com/alliedoffsets/direct-air-capture-in-the-vc-m-a-cdr-primer-9dd968cf18fe>
- Zubeltzu-Jaka E, Erauskin-Tolosa A, Heras-Saizarbitoria I. 2018. Shedding light on the determinants of eco-innovation: A meta-analytic study. *Bus Strateg Environ* 27(7): 1093-1103. doi: 10.1002/BSE.2054