

# 국내 CCUS 산업생태계 조성 및 활성화 방안 연구

서선재\* · 김요섭\*\* · 박철호\*\*\*†

\*녹색기술센터 정책연구부 연구원, \*\*녹색기술센터 전략기획부 연구원, \*\*\*녹색기술센터 정책연구부 책임연구원

## Creation and Promotion Planning for a Domestic CCUS Industrial Ecosystem

Seo, Sun Jae\* · Kim, Joseph\*\* · Park, Chul Ho\*\*\*†

\*Researcher, Division of Policy Research, Green Technology Center, Seoul, Korea

\*\*Researcher, Division of Strategy and Planning, Green Technology Center, Seoul, Korea

\*\*\*Principal Researcher, Division of Policy Research, Green Technology Center, Seoul, Korea

### ABSTRACT

International efforts based on the Paris Agreement aim to reduce greenhouse gas emissions and strengthen policies creating a sustainable society. CCUS (Carbon Capture, Utilization and Storage) has received attention from developed nations and international organizations as one of the solutions that contributes to both reducing emissions in key sectors directly and to removing CO<sub>2</sub>. The IEA described CCUS as a key pillar of efforts toward net-zero emissions. In this study, concepts for CCUS industry and ecosystem structure are presented, and the current issues facing the domestic CCUS industry are derived through expert surveys and interviews. The results obtained highlight eight major issues related to the domestic CCUS industrial ecosystem and eight policy alternatives and strategies. The Korean government needs to consider effective policy instruments reducing greenhouse gas emissions through CCUS technology, such as legislation to promote CCUS industry, development of efficient R&D support systems, and CCUS industrial cluster creation.

*Key words: CCUS, Industrial Ecosystem, Promotion Plan, Policy Alternatives and Strategies*

## 1. 서론

신 기후체제가 발효된 이후, 세계 각국은 온실가스 배출을 저감하고, 지속가능한 사회를 구현하기 위해 다양한 정책을 추진하는 것과 동시에 책임을 강화하고 있다. 이처럼 기후변화 대응의 중요성이 크게 부각됨에 따라 세계 각국은 지구평균온도 상승을 1.5℃ 이하로 억제하기 위한 장기저탄소 발전전략(Long-term Low Greenhouse Gas Emission Development Strategies, 이하 LEDS)을 2020년 말까지 제출하였다. LEDS는 2050년까지 어떻게 저탄소사회를 구현해 나갈 것인지에 대한 계획이 포함되어 있으며, 보다 넓은 의미로는 온실가스 감축뿐만 아니라 국가의 미래 경쟁력 확보를 위한 발전 전

략이 포함되어 있다는 측면에서 시사하는 바가 크다. 유럽을 비롯해 주요 선진국들은 2050년까지 탄소중립을 선언하였으며, 기후법안 등 탄소중립 달성 목표를 법제화하고, 도전적인 온실가스 감축 전략을 발표하기도 하였다.<sup>1)</sup> 우리나라 역시 2020년 10월 28일 국회 시정연설에서 2050년까지 대한민국 탄소중립 실현을 선언하였고 관계부처 합동으로 2050년까지 탄소중립을 달성하기 위한 비전과 국가 전략을 제시하였다.

최근 우리나라를 포함해 주요 선진국은 온실가스 감축 목표 달성 및 탄소중립 실현을 위한 핵심 기술 중 하나로 이산화탄소 포집, 저장, 활용 기술은(Carbon Capture, Utilization and Storage, 이하 CCUS)를 주목하고 있으며, CCUS 기술에 대한 중요성은 크게 부각되고 있다. CCUS

†Corresponding author : Park5085@gtck.re.kr (17th floor, Namsan Square Bldg, 173, Toegy-ro, Jung-gu, Seoul, 04554, Korea. Tel. +82-2-3393-3928)

ORCID 서선재 0000-0003-4210-2884  
김요섭 0000-0002-3209-4959

박철호 0000-0013-1098-2901

선진 기술력을 보유하고 있는 주요 선진국들을 중심으로 CCUS 기술을 탈탄소 주요 수단으로 제시하고 있으며, 정부의 직접투자, 세액공제 혜택 확대 등 다양한 지원방안을 마련하고 있다.<sup>2)</sup> 정부의 과감한 기술개발 투자로 인해 CCUS 시장이 형성되고 있으며, CCUS 공동기술개발, 기술이전, 공동 설비, 제품 거래 등이 활발히 이루어지고 있다. 반면, 우리나라는 CCUS 기술수준이 대부분 기초·응용 연구단계로 높은 기술난이도 및 불확실성으로 인해 민간차원의 기술개발 및 투자가 미흡한 실정이다.<sup>3)</sup> 이로 인해 국내 CCUS 기술개발은 주로 정부주도하에 이루어졌으며, 최근 CCUS 기술의 필요성 및 중요성이 부각됨에 따라 이산화탄소를 활용한 공급 및 수요기업, 연계기관, 그리고 정부까지 다양한 참여주체들 간의 상호작용이 이루어지는 국내 CCUS 산업생태계가 형성되고 있다. 산업이 성장발전하기 위해서는 일부 개별 기업의 발전만으로는 성장의 폭을 넓히는데 한계가 있다. CCUS 산업은 기술적 특성상 철강, 발전, 석유, 건설 등 여러 산업과 복잡하게 얽혀 있어 CCUS 산업 생태계에 대한 개념조차 명확하게 정의되어 있지 않은 상황이므로, CCUS 산업의 개념 및 생태계 구조를 파악하고, CCUS 산업의 전반적인 이해와 CCUS 산업 특성에 기여한 산업육성 방안이 시급히 마련되어야 한다. 그러나 국내 CCUS 산업 전반에 대한 현황과 실태에 대한 체계적인 조사와 연구는 극히 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구는 탐색적 연구를 통해 CCUS 산업의 개념 정의와 생태계 구조를 제시하는 한편, 국내 CCUS 기업 종사자 및 관련 연구기관 전문가를 대상으로 CCUS 산업생태계 설문조사를 수행하여 국내 CCUS 산업이 직면한 현안 문제점 및 주요 이슈를 도출하였다. 또한, 기 도출된 국내 CCUS 주요 이슈를 기반으로 국내 CCUS 관련 산·학·연으로 구성된 전문가를 대상으로 서면 자문을 수행하여 최종적으로 국내 CCUS 산업생태계 조성 및 활

성화 방안을 제시하였다. 본 논문은 다음과 같이 구성하였다. 2장에서는 산업생태계와 관련된 이론적 논의와 국내 CCUS 관련 선행연구를 검토하고, 3장에서는 연구방법을 제시하였다. 4장에서는 전문가 대상으로 설문조사 및 서면자문을 통해 국내 CCUS 산업의 주요 현안 및 이슈와 CCUS 산업생태계 조성 및 활성화 방안을 도출하였다. 마지막 5장에서는 연구 결론 및 시사점을 제시하였다.

## 2. 이론적 논의 및 선행연구 고찰

### 2.1 산업생태계 개념

생태계(生態界, Ecosystem)의 사전적 의미는 ‘상호작용하는 유기체들이 그들과 서로 영향을 주고받는 주변의 환경까지 포함하여 서로 의존하는 유기체들이 완전히 독립된 체계를 이루는 것’이라 할 수 있으며, 일반적으로 자연 생태계를 의미한다(Wikipedia). 산업생태계는 자연 생태계 개념을 산업에 적용시킨 것으로 학자들마다 생태계를 구성하고 있는 요소와 구조적 특성을 고려하여 다양하게 개념 정의하고 있다. 대표적으로 Moore (1996)는 산업 비즈니스 분야에서 산업생태계 개념을 사용하였는데 ‘비즈니스 생태계’ 개념을 특정 산업군의 제품이나 서비스를 생산하는 주요 기업들과 더불어 소재 및 부품을 공급하는 공급자와 완성된 제품을 받는 수요자, 그리고 경쟁자 및 보완재를 생산하는 기업들까지 포함하는 확장된 네트워크(Extended network)이외에 산업 내 기타 모든 이해관계자들이 유기적으로 긴밀히 연계되어 있어 서로 상호작용하는 시스템 또는 경제공동체로 정의하였다(Yoon and Cho, 2020; Moore, 1996). Iansiti, Levien (2004)는 비즈니스 생태계에 있어 제품 및 서비스를 생산하는 주요기업(Core Business)가 존재하며, 주요기업과 관련된 공급자, 수요자, 아웃소싱 업체, 투자사, 고객 및 경쟁사 등 모든 이해관계자들이 상호 협력하는 것이라

- 1) 영국은 2019년 6월 G7국가 중 최초로 2050년까지 화석연료에서 발생하는 탄소 순배출량을 ‘제로’수준으로 도달하겠다는 내용의 탄소 중립 관련 법령을 공식적으로 채택하여 2035년까지 모든 전기자동차로 대체하고 저탄소 발전 비중을 4배로 확대하는 방안을 발표함. 프랑스는 ‘에너지 기후법안’을 통해 탄소 중립을 선언하고 2022년까지 석탄 화력을 퇴출하는 등 과감한 온실가스 감축 정책을 펼치고 있음. 중국은 2020년 9월 UN 정기총회에서 200년 내 탄소 중립을 선언함.
- 2) 영국은 ‘녹색산업혁명을 위한 10대 중점계획’에서 2030년까지 CCUS 인프라 구축 등 녹색기술개발에 최대 10억 파운드(약 1조 6천억 원) 투자할 계획이며, 미국의 CCUS 분야에 대한 세금혜택(Tax Credit) 제도는 포집된 이산화탄소를 석유회수증진(Enhanced Oil Recover, EOR)에 활용하거나 저장할 경우 EOR에 사용된 이산화탄소 1톤당 10달러, 저장된 이산화탄소 1톤당 20달러의 세금혜택을 지원하는 것임. 노르웨이는 2021년 CCUS에 대한 투자 장벽을 줄이고 지속가능한 가치창출 기회를 만들기 위해 ‘Longship project’ 추진 중에 있으며, 총 예산은 27억 달러(약 3조 4천억 원)임.
- 3) 우리나라 CCUS 분야 NTIS상 등록과제 중 과학기술표준분류 ‘에너지/자원(대분류), 온실가스 처리(중분류)’부문 과제대상으로 최근 12년간(2009~2020년) 개발연구 단계 연구비는 2,977억 원으로 전체 투자액의 45.2%를 차지하고 있으며, 응용연구 22.9%, 기초연구 21.6% 순으로 나타남(KIER, 2021:16)

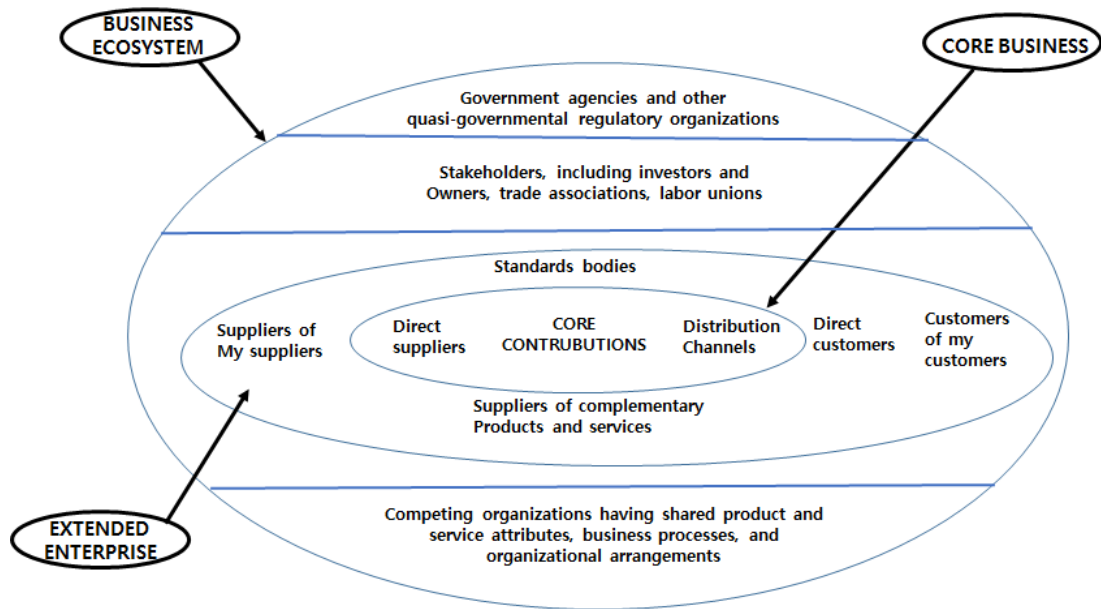


Fig. 1. Moore's business ecosystem

※ Source: Moore, 1996

하였다. 이때 기업들은 가치를 창출하기 위해 타 기업이나 기관 또는 개인이 보유한 자원이나 서비스에 의존하는 형태인 느슨한(loose) 관계를 유지하게 된다고 보았다(Han and Hong, 2017:179). Fransman (2010)은 IT 생태계 개념을 가치사슬을 구성하는 기업 간 연계와 혁신 자원 및 기업 활동의 유기적인 결합을 통해 상호작용하는 동태적 진화·발전 시스템이라고 정의하였다. 산업생태계를 형성하기 위해서는 끊임없는 변화를 통해 선 순화적인 고리를 형성해야 하는데 이러한 선순환적인 구조로 인해 생태계가 발전할 수 있다고 보았다. 이처럼 산업생태계 개념은 학자들마다 산업적 특성에 따라 다양하게 정의되고 있으며, 공통적으로는 상호의존성을 갖는 구성원들 간의 느슨한 네트워크를 통한 발전 및 진화하는 내용을 포함하고 있다. 즉 산업생태계를 구성하는 수요와 공급, 그리고 정부의 공적활동(법·제도), 민간부문 활동 등이 상호 연결되어 있으며 특정 주도기업이 아닌 생태계를 구성하는 모든 구성원들의 성장과 발전을 통해 생태계의 성장과 발전을 도모하며, 외부 환경변화에 적절히 대응함으로써 생태계 구성원 전체가 진화하는 것을 모색하는 것이다(Jang et al., 2019:94).

산업생태계의 핵심 역량은 핵심이 되는 제품과 서비스를 구성되는데, 축적된 기업의 종합적인 경험을 통해 소

비자인 고객에게 제공되는 과정을 거친다. 제품 및 서비스 생산 및 판매, 기업의 수익발생, 혁신 및 역량에 대한 투자 등의 과정을 통해 선순환 구조가 형성된다. Moore (1996)의 비즈니스 생태계 개념도를 그림으로 나타내면 다음과 같다(Fig. 1).

## 2.2 CCUS 개념 및 산업생태계 개념·구조

CCUS는 산업 및 발전소에서 배출되는 이산화탄소를 포집(Capture) 및 수송하여 육상이나 해저 등에 저장(Storage)하는 것(CCS)과 배출된 이산화탄소를 탄소원으로 활용(Utilization)하여 유용물질로 전환하는 기술(CCU)이 합쳐진 개념이다. 2050년까지 지구 온도 상승 폭을 1.5도까지 낮추려면 CCUS 기술이 산업구조 개편을 위한 주요 수단으로 사용될 수 있다. 국제에너지기구(IEA)는 CCUS 기술개발 없이는 Net-Zero에 도달하는 것은 불가능하다고 언급하였으며, 지속가능개발시나리오(SDS)에서는 2070년 글로벌 탄소중립과정에서 CCUS 기술기여도가 총 감축량의 15% 수준이라 하였다.<sup>4)</sup> 이러한 중요성으로 인해 이산화탄소를 저장할 수 있는 공간이 있는 주요 선진국을 중심으로 CCS 기술이 급속하게 발전하였으며, 최근에는 이산화탄소를 전환·활용하는 것뿐만 아니라 대기

4) IEA (2020). Energy Technology Perspectives (2020.9).

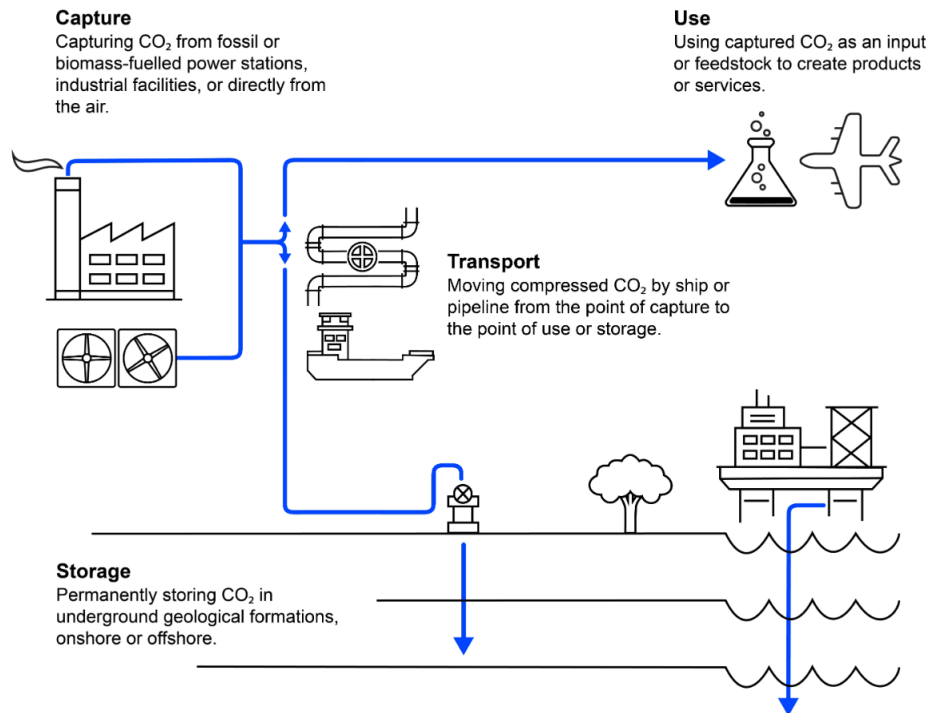


Fig. 2. Concept of CCUS

※ Source: IEA, 2021 (<https://www.iea.org/reports/about-ccus>)

중으로 활용된 이산화탄소가 다시 배출되지 않도록 하는 탄소자원화 기술인 CCU 기술에 대한 관심이 증가하고 있다. 미국 바이든 행정부는 향후 10년간 탄소중립에 약 1,800조 원을 투자하기로 하는 등 CCUS 기술개발 및 인프라 구축을 위해 정부차원에서 예산을 대규모로 확대하고 있다. 우리나라는 2021년 6월 ‘CCU 기술혁신 로드맵’ 수립하는 등 CCU R&D를 전략적으로 지원하고 있으며, 탄소중립 실현을 위한 핵심 전략 수단인 CCUS 기술개발 투자 및 다양한 정책들을 마련하고 있다. 그러나 CCUS 기술 특성상 정책의존도가 높고 초기산업 진입에 대한 기업의 참여 유인이 어려워 CCUS 초기 산업을 조성·활성화하기 위한 정부차원의 전략 및 구체적인 제도마련이 필요한 실정이다.

CCUS 산업에 대한 통일된 정의는 없지만 기존 선행된 산업생태계에 대한 개념 정의와 특성 및 그 구성요소들 간의 상호작용을 고려하여 국내 CCUS 산업생태계 개념을 정의해보면 다음과 같다. CCUS 산업생태계에서 1차 공급자는 장비/설비업체, 건설 및 수송업체 등 CCUS 기술개발을 통해 이산화탄소 원료와 기술자체를 공급하는 업체가 해당된다. 이는 주로 국내 탄소 다배

출산업에게 CCUS 제품개발에 필요한 기술, 연·원료를 제공하거나 CCUS를 수송하거나 저장해주는 업체들이다. 2차 공급자는 CCUS 제품 및 서비스를 제공하는 업체로 소재, 모니터링업체, 정부가 해당된다. 국내 CCUS 산업을 주도하는 공급업체에 해당하는 정부와 종합물산기업은 협력업체로부터 CCUS 원료 및 서비스를 공급받아 CCUS 제품을 생산하며, 산업생태계를 이끌어가는 핵심적인 역할을 수행한다. 1차 수요자는 정부를 비롯해 철강, 석유화학, 시멘트, 정유 회사와 같이 국내 탄소다배출산업과 개인 소비자로 구성된다. 2차 수요자는 CCUS 기술 및 연·원료를 활용해 제품을 제공하는 연료업체, 건축업체, 원유업체 등이 해당된다. 최종수요자는 정부와 해외 정부 및 민간기업이 해당되며, 1~2차 수요 및 공급업체에 R&D, 자금 등을 지원하는 인프라가 포함된다. 마지막으로 국내 CCUS 산업에 직간접적인 영향을 주는 해외 CCUS 관련 기업이 있으며 이들과 경쟁·협력을 통해 함께 성장·발전한다. 결국, 국내 CCUS 산업은 기술개발을 통해 생산한 이산화탄소 연·원료 및 서비스를 제공하는 생산업체와 제공받는 수요업체인 협의의 의미로 정의할 수 있으며, 더불어 CCUS

기술 활용을 통해 재가공 및 생산하는 수요업체, 정부 및 인프라 등이 하나의 경제적 공동체를 이루어 경쟁과 협력을 통해 성장·발전함과 동시에 국제변화 등 외부환경변화에 대응하여 서로 진화하는 시스템이라 정의할 수 있다.

국내 CCUS 산업 특성상 산업을 주도하는 ‘주요 수요 및 공급업체’와 ‘간접적인 업체 및 유관 산업’과의 관계가 복잡하게 얽혀 있어 1차 및 2차, 그리고 수요자 및 공급자 간의 구분이 모호하다. 이러한 점에서 Fransman (2010)이 제시한 비즈니스 생태계 계층구성에 있어 계층 및 역할을 구분하여 적용하는 것이 어렵다. 특히 정부는 국내 CCUS 산업생태계에 있어 1차 수요자인 동시에 2차 공급자이기도 하고 R&D, 자금, 설비지원 등 인프라 측면에서도 중요한 역할을 담당한다는 특징이 있다.

### 2.3 CCUS 관련 선행연구

국내 CCUS 관련 선행연구를 살펴보면, 국내외 CCS와 CCU 법·정책적 변화와 국내 법적 구성 등에 대한 법학연구(Kim, 2018; Lee, S, 2018; Lee, J, 2018, 2019; Ryoo and Koh, 2019; Sung and Lee, 2020; Choi, 2020; Kim, 2021)와 CCUS 기술을 통한 사회과학적 파급효과에 대한 연구(Lee et al., 2018; Choi and An, 2018; Lee

et al., 2020), 그리고 CCS 및 CCU 기술개요 및 현황에 대한 기술연구(Kim and Nah, 2019; Lim et al., 2021) 중심으로 이루어졌다. 국내 CCUS 관련 국내외 법률 및 제도 현황과 CCUS 기술에 대한 사회과학적 파급효과에 대한 연구를 구체적으로 살펴보면 다음과 같다. Kim (2018)은 세계 각국의 CCS 법의 구성을 살펴보고, 우리나라 적용 가능한 법안 내용 등을 검토하였다. Lee, S (2018)는 CCS 대중 수용성 제고를 위한 법제 내용을 연구하였으며, Lee (2019) 연구에서는 우리나라 에너지정책을 살펴보고 수소에너지 생산을 위해 CCS 필요성에 대해 이론과 입법안 과학기술법적 측면에서 분석하여 수소법에 대한 개정 및 수소 안전관리의 입법을 제안하였다. Lee, J (2018)과 Ryoo and Koh (2019)는 CCS 리스크 및 지진위험에 관한 법률적 대처방안을 연구하였다. Sung and Lee (2020)은 유럽의 CCS와 CCU 법제 동향의 정책변화와 유럽의 CCUS 관련 인센티브 제도와 탄소배출거래제를 살펴보고 우리나라의 CCUS 인센티브와 탄소배출거래제의 법적 과제에 대해 7가지로 제시하였다. Choi (2020)는 런던협약 및 런던의정서 이행을 촉진하기 위해 CCS의 국가 간 이동에 대한 개정안을 제시하였다. Kim (2021)은 CCS 실증 및 CCUS 상용화를 위한 법적 기반과 개선점에 대해 연구하였는데 상용화 관련 개정이 필요하며 상용화 과정에서 발생할 수 있는

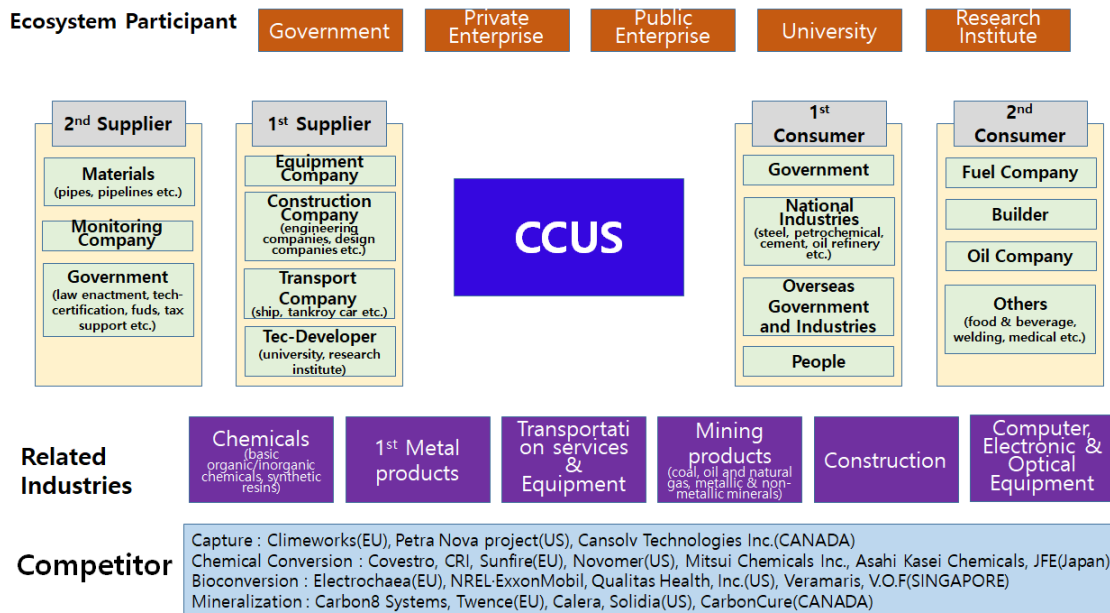


Fig. 3. National CCUS industry concept and structure

※ Source: Figure by authors.

지역주민반대 대응 준비, 정보공개, CCS 강연회, 현장견학, 홍보자료 제작 등을 통해 수용성 강화해야 하고, 상용화 과정에서 발생할 수 있는 피해보상 규제 등도 마련해야 한다고 하였다. Lee et al.(2018)은 CCU 기술도입에 대한 경제적 파급효과를 산업연관분석을 통해 분석하였다. 연구결과, CCU 기술상용화로 인해 설비 및 부품 제조부문과 건설부문의 산업이 커질 것으로 예상하였다. Choi and An (2018)은 우리나라 온실가스 감축 제도 운영 현황과 감축량 산정방식에 대해 살펴보고, CCU 기술의 온실가스 감축량 산정 방식 및 인정가능성에 대해 검토하였다. 특히, LCA (Life Cycle Assessment, LCA)방법을 활용한 CCU 환경성 및 온실가스 감축효과 평가방법에 대해 검토하여, 이에 대한 정책방안을 제시하였다. Lee et al.(2020)는 CCS와 CCU 기술에 대한 한국 대중의 감정적 인식과 평가에 대해 분석하였는데 9개 양극성 형용사쌍을 활용하여 한국에 맞는 기술 도입의 수용성 증대를 위한 전략을 수립하였다. 분석결과, 우리나라 국민은 기후변화에 대한 인식과 환경에 대한 인식이 매우 높은 것으로 나타났으며, 저탄소 기술임을 강조하는 홍보정책과 CCUS 기술의 경제적·환경적 편익을 강조하는 것을 통해 CCUS 기술의 수용성을 높일 수 있다고 보았다.

CCUS 기술에 대한 선행연구를 정리하면 다음과 같다. Kim and Nah (2019)은 CCU 기술 개요 및 연구현황과 향후 전망에 대해 연구하였다. 분석결과, 국내 CCU 논문 및 특허에 대한 양적 연구 성과는 증가하고 있으나, 기술력 및 경제적 경쟁력은 다소 부족하다고 판단하였으며, 국가 차원의 단기적, 장기적 전략과 R&D 계획 수립되고 감축효과를 산정하기 위한 분석방법 개발의 필요성을 제시하였다. Lim et al.(2021)는 대기 중 이산화탄소를 감축시키는 활용 기술(Direct CO<sub>2</sub> Capture)에 대해 소개하였다. 분석결과, 우리나라의 경우 지질학적 특성에 의해 석유회수 증진(Enhanced Oil Recovery, 이하 EOR)와 같은 CCU 활용이 어려우나 온실가스 감축 목표를 달성하기 위해서는 CCU 기술 활용이 필수적이므로 다양한 CCU 기술개발

및 사업화 방안이 구체적으로 마련되어야 한다고 제안하였다. 또한, CCU 전주기 분석(LCA)과 연계하여 CDM 방법론에 대한 연구가 동반되어야 함을 시사하였다. 정리하면, CCUS 관련 선행연구는 주로 CCS 혹은 CCU 개별기술 개요 및 현황과 CCUS 기술도입을 통한 경제성 및 온실가스 감축효과에 대한 연구, 그리고 CCUS 관련 법학 연구와 CCS 안정성 및 사회적 수용성 제고를 위한 법적인 연구가 이루어졌다. 반면 국내 CCUS 기술 및 제품을 개발·보유하고 있는 CCUS 관련 산업에 대한 현황과 CCUS 기술 및 산업을 활성화시키기 위한 연구는 부재한 실정이다. 온실가스 감축을 통한 탄소중립 실현에 대한 국제적·사회적 요구가 지속됨에 따라 국내 CCUS 산업계의 참여 및 투자를 이끌어내고 산업을 활성화시키기 위한 구체적인 정책 방안이 마련되어야 하며, 이에 대한 연구가 필요하다.

### 3. 연구방법

본 연구는 국내 CCUS 산업 주요 이슈 및 현안 발목을 위해 CCUS 관련 기업 종사자 25명, 연구기관 재직자 38명 총 63명<sup>5)</sup>을 대상으로 총 9일간의 이메일 조사방식으로 전문가 설문조사를 실시·분석하였다. CCU 기술혁신 로드맵 분과위원회를 비롯해 CCUS 기술에 대한 출연연 연구개발자, 발전업 및 석유화학 공기업 연구개발자 및 관리자, CCUS 정책 및 법제도를 연구하는 교수 및 연구자, 국내 CCUS 관련 기업 종사자 등 국내 CCUS 관련 전문가들을 파악·선별하였으며, CCUS 기술 및 산업에 대한 전반적인 이해를 통한 현황파악과 실효성 있는 방안을 도출할 수 있도록 설문내용을 구성하였다(Table 1).<sup>6)</sup>

또한, 1차 설문조사 및 분석 이후, 심도 있고 실효성이 있는 정책방안이 마련될 수 있도록 2차 전문가 서면자문을 실시하였다. 2차 전문가 서면자문은 국내 CCUS 주요 이슈별 정책방안에 대한 세부방안에 대한 내용으로 약 30명의 CCUS 관련 기업종사자 및 연구자를 대상으로 진행하였으며 18명의 서면자문을 확보하였다.

5) 총 63명(기업 25명, 연구기관 38명)을 대상으로 한 설문조사 응답자의 특성은 다음과 같다. 대기업 13명, 중견기업 2명, 중소기업 및 (벤처)스타트업과 기타는 10명이며, 업종별로는 제조업이 12명, 발전업이 6명, 서비스업이 4명, 건설업 1명, 기타 2명으로 구성되었다. 연구기관의 경우 소속기관이 대학 및 대학원의 경우 15명, 출연연구기관 13명, 공공기관 5명, 공기업 및 민간기업과 기타가 5명으로 구성되었으며, 재직기간은 20년 이상이 13명, 10년 이상에서 20년 미만인 17명으로 연구기관 응답자 중 약 90% 이상이 10년 이상 재직한 대상인 것으로 나타났다.

6) 연구진이 구조화된 설문문항을 구성하여 전문가 자문회의를 통해 설문문항을 검토 및 수정하고 파일럿 테스트를 진행하는 등 설문지 구성에 대한 타당성을 확보하기 위해 노력하였으며, 설문조사 및 서면조사의 경우 국내 CCUS 관련 전문가들의 실효성 있는 의견을 수집할 수 있도록 CCU 기술혁신 로드맵 분과위원회를 비롯해 관련 전문가를 수집하여 설문대상 구성비 등을 조정하였다.



Table 1. The survey question (Contents)

	Survey Item	
	Enterprises	Research Institutes
Information	Enterprise size	Institutes
	Industry	
	Year of establishment	
	Tenure	Tenure
I. CCUS Business/ R&D	Major Business / R&D areas in CCUS	
	CCUS R&D Organization Type	
	Sales, Exports, Investments in CCUS Technology and Products*	
	Number of CCUS R&D employees*	
	CCUS investement size forecast in 2025*	
	CCUS Technology development stage	
	Level of CCUS technology	
	CCUS technology development Form	
	Opinions on future CCUS open innovation participation	
	Experience of participating in government - supported R&D	
	Financial (subsidy, tax) support experience*	
II. CCUS Industry	Extent to which CCUS contributes to greenhouse gas reduction	
	Current levels of the global CCUS industry and prospects for 2030	
	Core technologies for each CCUS field	
	Countries possessing CCUS by detailed technology, Korea's technology level and gap	
	Priority field for the development of CCUS industry in Korea	
	CCUS industry evaluation in Korea	
III. Obstacles and Policy demand	Role players in the creation of the CCUS industry ecosystem	
	Contribution effect of government policy in CCUS industry	
	Obstacles in the development of the CCUS industry	
	Government policy for CCUS industry ecosystem	
	Issues for CCUS industry ecosystem	
	Policy subjects and improvement plans for CCUS industry ecosystem	

\* only Enterprises

※ Source : written by authors

## 4. 분석결과

### 4.1 국내 CCUS 산업의 8대 주요 현안

기존 선행연구와 전문가 설문조사 및 서면자문을 통해 도출한 국내 CCUS 관련 주요 이슈와 현안을 정리하면 다음과 같다. 첫째, 국내 CCUS 관련 법안(법, 규제)이 아직 부재하다. 정부는 2020년 12월 '다부처 대규모 CCS 통합 실증 및 CCU 상용화 기반구축에 대한 시행계획'을 발표하였으며, 이 중 주제 5에 해당되는 'CCUS 법률안 정비 및 수용성을 포함한 제도 기반구축' 사업을 2021년부터

추진 중에 있다. 구체적으로 CCUS 관련 법제(안) 마련 및 CCUS 법률안 입법화 추진이 예정되어 있으며, CCS 실증 및 상용화를 위한 수용성 확보방안 마련, CCUS 이산화탄소 감축량과 경제성 평가 및 지원제도 등을 마련하고자 한다. 한편, CCUS 산업은 발전, 철강, 정유 등 유관 산업과의 연계성이 높은 대표적인 융합산업으로서 관련 법률이 산업별로 다양하게 적용 될 수 있다. 현행법상 CCUS 관련 법률은 「고압가스 안전관리법」, 「폐기물관리법」, 「폐기물 처리시설 설치촉진 및 주변지역지원 등에 관한 법률」, 「에너지법」, 「대기환경보전법」, 「저탄소 녹색성장 기본법」 등과 연관되어 있으며, 특히 포집된 이산화탄소 및 CCU

7) Environment Daily. 2021.4.8. Explore Policies related to Carbon Capture. (<http://www.hkbs.co.kr/news/articleView.html?idxno=623291>).

제품이 폐기물관리법상 ‘폐기물’로 정의되어 시장에 거래되거나 활용되는데 제약이 있기도 하다. 추진 중에 있는 CCUS 관련 법률에 대한 기존 법안 또는 유사 법안과의 유사·중복여부 검토 등을 통해 CCUS 기술 및 산업에 특화된 법안 마련이 필요하다.

둘째, 국내 CCUS 기술개발 역량이 부족하다. 국내 CCUS 기술은 「CCU 기술혁신 로드맵(2021.06)」에 따라 포집·저장·수송·전환 및 활용 분야로 구분하고 있는데, 기술분야별로 기술선도국과의 격차가 다르며<sup>8)</sup> 본 연구의 설문조사 결과에서도 기술분야별 기술개발 격차가 존재하고 기술별 수준 차이가 있는 것으로 나타났다.<sup>9)</sup> 특히, CCUS와 관련한 R&D 사업에 있어 해외 진출을 위한 Track Record와 CO<sub>2</sub> 100톤/일 규모 이상의 중규모 이상의 시설에서의 실증이 다소 부족한 실정이다.<sup>10)</sup> 정부의 노력에도 불구하고 아직 선진국 대비 기술수준별로 격차가 존재하고, 아직 미성숙한 기술에 대해 전략적으로 준비하고 CCUS 기술개발 역량 증진 통한 기술선점을 위해 CCUS 특성에 맞는 차별화된 기술개발 역량 강화가 필요하다.

셋째, CCUS 관련 R&D 지원체계 및 제도가 미흡하다. 정부는 2021년 11월 Net-Zero 수요관리 사업을 착수하였으며, CCUS 핵심기술 개발과 실증에 950억 원을 투자할 예정이다. 또한 2022년 1월 ‘2022년 제1차 에너지기술개발사업’에서 탄소중립 시대 실현과 그린뉴딜 사업을 위한 기술개발 추진에 있어 CCUS 8개 사업에 약 210억 원의 예산을 투자할 계획이다. 이처럼 정부는 CCUS 기술개발을 위해 투자를 꾸준히 하고 있으나 CCUS 기술의 경제성을 확보하고 기술적 완성도 높이기 위해서는 CCUS 기술이 특화된 R&D 체계 마련이 필요하다. 특히, CCUS 기술의 중요성에도 불구하고 현재 CCUS 제품 및 설비를 통하여 국내외에서 대내외 공식적으로 CO<sub>2</sub> 감축량을 인정받을

수 있는 표준화된 산정 방식이나 실측 방법이 부재하다.

넷째, 국내 CCUS 산업육성을 위한 지원제도가 미흡하다. 정부는 탄소중립 시나리오를 달성하기 위해 산업부문이 감당해야 할 CCUS를 통한 온실가스 감축목표를 2070년 기준 약 15% 수준으로 제시하고 있다. 국가온실가스 감축목표(NDC) 달성을 위해 구체적인 법·제도 마련 및 지원 방안이 마련되어야 하나 현재까지 발표된 정책 목표 및 추진 내용<sup>11)</sup>은 선언적인 내용이 대부분이고 실질적인 육성 및 발전을 일으키기에 아직 미흡한 점이 있다. 따라서 국내 CCUS 초기시장을 형성하고 활성화하기 위한 정부주도의 지원방안 마련이 요구된다.

다섯째, CCUS 관련 국내 인프라가 부족하다. 국내에는 CCUS 동해가스전 저장 공간 확보를 위한 연구<sup>12)</sup>가 일부 진행 중에 있으나 한국의 지질학적 구조 특성상 이산화탄소 저장 공간이 해외에 비해 부족한 실정이다. 또한, CCUS 기술의 넓은 적용 가능성에도 불구하고 클러스터 등 국내 CCUS 산업 확산을 위한 선순환되는 산업가치사슬이 구성되어 있지 못해 CCUS 산업이 확산되기 어려운 구조에 직면하고 있다.

여섯째, 국내 CCUS 관련 거버넌스 체계가 미흡하다. 현재 CCS는 산업부, CCU는 과기부가 주도하고 있으며 해양플랜트는 국토해양부, 이산화탄소 감축량 인정 및 배출권거래제는 환경부가 담당하는 등 CCUS를 담당하는 정부부처가 산재되어 있다. CCUS 관련된 일관된 정책·제도가 마련되지 못해 관련 사업의 중복지원 및 사각지대 발생 등이 우려된다. 또한, 정보 및 기술 교류를 할 수 있는 장이 마련되어 있지 않으며, 컨트롤타워 부재로 정부부처들 간의 협력을 기대하기 어렵다.

일곱 번째, CCUS 인식 및 홍보가 부족하다. 이산화탄소 광물탄산제품을 단순히 ‘폐기물’이라고 인식하는 등

8) 한국에너지기술연구원(2021)에서 전문가 위원회 26명(산업계 11명, 학계 4명, 연구계 10명, 기타 1명) 대상으로 수행한 설문조사를 통해 CCUS 기술수준을 분석한 결과, CCUS 분야 선도국가는 미국과 EU로 나타났으며, 한국의 CCUS 기술수준은 선도국가 대비 약 80% 수준임(CO<sub>2</sub> 포집 약 85%, CO<sub>2</sub> 저장 약 75%, CO<sub>2</sub> 활용 약 80% 수준).

9) 본 연구의 설문조사 결과, CCUS 기술(포집, 수송, 저장, 전환, 활용)분야에 있어 기술선도국으로 미국, 노르웨이, 캐나다, 호주, 일본, 독일, 네덜란드, 영국 등 미국과 캐나다인 북미국가와 EU국가로 나타났으며, 우리나라와 기술보유국과의 기술격차는 포집 분야가 격차가 가장 적은 것으로 나타났다.

10) CO<sub>2</sub> 포집분야의 경우 페트로 노바 석탄화력 발전소에서 약 4,776톤 CO<sub>2</sub>/일 규모의 포집실증이 진행 중이나, 한국은 200톤 CO<sub>2</sub>/일 규모의 포집 실증이 진행되어 공정 규모의 격차가 큰 실정이며, 해외에서는 대규모 CCS 실증 프로젝트가 진행되고 있으나, 한국은 영일만 해상 플랫폼에서 100톤 시험 주입을 수행하는 소규모 실증연구 단계로 기술격차가 큰 상황임. CO<sub>2</sub> 활용 분야의 경우 선진국에서는 CCUS 일부 기술이 제품화 단계에 진입하였으나, 한국은 대부분 기초·원천 연구단계 및 파일럿 실증 연구 수준임(KIER, 2021).

11) 정부는 「제1차 기후변화 대응 기본계획(2016.12)», 「2030 온실가스 감축 로드맵」 수정안(2018.07), 「제3차 녹색성장 5개년 계획(2019.05)」, 「2050 탄소중립 추진전략」(2020.12), 「2050 탄소중립 시나리오(2021.11)」, 「탄소중립기본법」 시행(2022.03), 「국가 CCS 종합추진계획(2010.07)」, 「CCU 기술혁신 로드맵(2021.06)」, 「다부처 대규모 CCUS 통합실증 사업(2020.12)」, 「Net-Zero 수요관리 사업(2021.09)」 등 다양하게 정책을 추진하고 있음

12) 「다부처 대규모 CCS 통합실증 및 CCU 상용화 기반구축」, 「동해가스전을 활용한 중규모 CCS 통합실증 모델 개발」(연구과제: '21~'23년, 건설: '23~'24년, 운영: '25~'55년)/ 「동해 CCS 실증사업」의 총 사업비는 9,500억 원(정부 6,163억 원, 지방비 500억 원, 민간 2,837억 원)이며 2021년 12월에 예비타당성 조사 신청한 상태임.



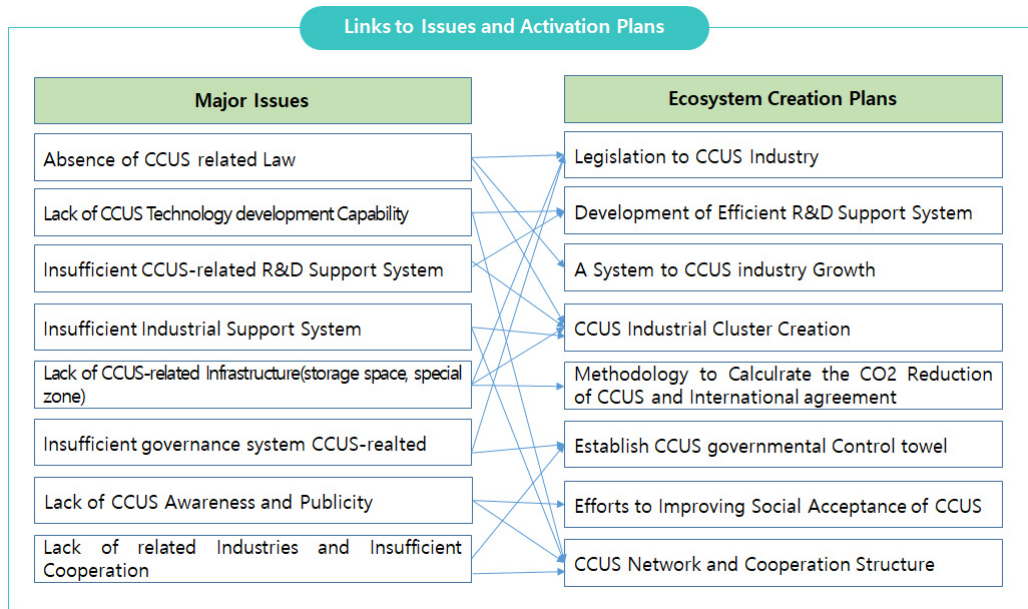


Fig. 4. Links to Major Issues and promotion plan of CCUS Industrial Ecosystem

※ Source: Figure by authors.

중소·중견기업의 CCUS 산업에 대한 인식이 부족할 뿐만 아니라 탄소중립 실현을 위한 핵심수단으로서의 대국민 인식이 부족한 실정이다.<sup>13)</sup> 특히 지난 포항지진을 비롯해 이산화탄소 저장 공간 안정성에 대한 우려가 계속해서 제기되고 있는바<sup>14)</sup> 저장소 안정성에 대한 투명한 정보공개와 지역주민과의 소통에 대한 중요성이 언급되고 있다.

여덟 번째, 유관산업간의 연계성이 부족하고 협력체계가 미흡하다. CCUS는 재생에너지 및 탄소다배출산업과의 연계성이 매우 크나 추진 정책들이 개별적으로 이루어져 비용 및 인력 낭비를 초래할 수 있다. 또한, CCUS 산업 주체(기업 혹은 정부, 연구원 등)들의 구분이 모호하고 주체들 간의 관계가 복잡하게 얽혀 있어 협력주체와 그 관계를 파악하기 어렵다. 다음은 국내 CCUS 산업 생태계 조성을 위한 주요 이슈와 현안을 8가지로 정리하고 이와 매칭되는 이슈·현안별 정책방안을 제시한 것이다(Fig. 4).

#### 4.2 국내 CCUS 산업생태계 조성 및 활성화를 위한 8대 주요 정책방안

국내 CCUS 산업생태계 조성 및 활성화를 위한 정책방

안과 그 세부전략을 정리하면 다음과 같다. 첫째, CCUS 기술 및 제품에 대한 인증제도와 인센티브 등 산업촉진을 위한 법안 마련이 이루어져야 한다. 산업촉진을 위한 법안에는 탄소중립에 필요한 대규모 설비투자, 신기술개발을 위한 금융 및 세제지원에 대한 특례 적용 등의 내용이 포함되어야 한다. 이를 통해 CCUS Value Chain에 있어 다양한 이해관계자들의 공정한 경쟁 및 사업 확대를 유도할 수 있을 것이다. 아울러 현재 포집된 CO<sub>2</sub>를 저장하는 경우는 ‘폐기물’로 정의하고 있어 이에 대한 규정이 적용받아 환경규제 및 어려움이 직면하는바 포집된 CO<sub>2</sub>를 CCU의 원료로 사용하는 경우 ‘자원’으로 분류하는 관련 법의 포괄적인 용어, 정의 등에 대한 개선이 요구된다.

또한, 법안은 국내 CCUS 산업 초기 시장형성을 지원하고, 지속가능한 국내 CCUS 산업혁신 생태계를 촉진할 수 있도록 마련되어야 하며, 관련 지원제도가 종합적·유기적으로 연계되어야 할 것이다.

둘째, 차별화된 CCUS R&D 지원제도를 수립해야 한다. 현재 CCUS 기술의 낮은 경제성으로 인해 초기에 민간에서 자발적인 대형 설비투자를 유도하기 어려운 실정

13) Lee et al.(2020) CCUS 기술에 대한 대중의 인식조사 결과, CCS와 CCU를 구분하여 인지하고 있지만 두 기술에 대한 전반적인 기술에 대한 지식과 이해도가 낮은 것으로 나타남.

14) Hankookilbo, 2021. 04. 30 “지진 무서워: 포항 영일만 이산화탄소 저장시설 폐쇄(<https://www.hankookilbo.com/News/Read/A2021043013070000352>).

이므로 CCUS 기술 상용화 촉진을 위해서는 준상업적 규모까지는 정부주도의 대규모 실증 사업 추진이 이루어질 필요가 있다. 따라서 CO<sub>2</sub> 저장소 확보 및 운영관리, 대형 및 장기운전의 실증사업 등에 대한 정부주도의 예산확보 및 실증형 R&D 체계가 마련되어야 한다.

또한, CCUS R&D 추진 시 다양한 제도 및 인센티브가 마련되어야 한다. 기술개발 후 단기간 이내 상용화하여 사업을 할 수 있는 일반적인 기술과 달리 CCUS 기술의 특성상 장기적인 안목에서 접근해야 한다. 기업의 매칭 펀드에 대한 비율을 적정수준으로 낮추고 R&D를 통해 저감한 CO<sub>2</sub>를 배출권으로 인정해주는 등 기업의 CCUS 기술에 대한 관심도를 높여 자발적으로 참여할 수 있는 기반이 조성되어야 한다. 또한, 정부 또는 공공기관의 CO<sub>2</sub> 배출원 또는 각 사업별 테스트베드 형태로 개발된 기술을 검증 및 실증할 수 있는 기회를 제공해야 한다. 민관 협력 사업(PPP), 민간 프로젝트 파이낸싱(PF) 등을 통해 인프라성 대형저장시설 투자에 적용하여 실증 사업을 촉진시키고, CCUS 관련 공정 및 장비의 국산화를 통해 경제성을 확보할 수 있을 것이다.

셋째, 국내 CCUS 산업여건과 기술개발 수준에 맞는 차별화된 인센티브 제도가 마련되어야 한다. 차별화된 인센티브 제도에는 CCUS 분야 세액공제, CO<sub>2</sub> 감축량 인정, 설비운영 인센티브 지급 등이 있으며, CCUS 제품의 시장 경쟁력 확보가 가능하도록 공공구매, 사용화 의무제, 친환경제품 지정 등의 제도적 지원책을 마련해야 한다. 구체적으로 정리하면 다음과 같다. 유럽의 배출권거래제(ET-ETS) 규정과 같이 CCUS 기술로 확보된 CO<sub>2</sub>에 대해 온실가스 감축 효과를 인정해주는 규정을 입법화하고, 감축량에 따라 인센티브를 제공할 수 있다. 미국의 '45Q Tax Credit'과 같이 CCUS 관련 시설 및 설비 투자에 있어서 세액공제를 감축량 및 감축량 대비 투자비 규모에 따라 세액공제를 차등 지급하는 방안을 마련할 수 있다. 탄소 포집을 하거나 탄소자원화 하는 기업에 대해서 탄소 1톤당 일정액의 세액공제 혜택을 부여하거나 현재의 탄소 배출권과 같이 시장에서 현금화 가능한 Credit을 제공할 수 있다. 특히 정책적 중요도를 반영하여 탄소 포집과 탄소 자원화에 대해 차별적인 공제세율을 부여하고, 주된 대상기업 중 하나인 석유화학 부문에서 기존 화석연료 보조금 재원의 일부를 CCUS 인센티브 재원으로 전환하여 활용하는 것이 효과적일 수 있다. 또한, 정부가 대출 보증을 통한 인센티브, CCUS 설비투자에 특별감가상각제도를 적용하는 방안 등이 있다.

또한, CCUS 기술 및 제품의 초기시장 창출을 위해 우선구매제도를 마련하여 우선구매 시 배출권 거래 또는 세금혜택을 지원할 수 있다. 포집된 CO<sub>2</sub>는 CCU 산업의 원료가 되므로 우선 구매권 제도를 통해 공급처와 수요처 쌍방에게 Win-Win 되는 수단으로 활용할 수 있다. 초기에는 CCU 제품이 기존 제품 대비 단가가 높으므로 보조금을 지급하여 안정적인 사업이 될 수 있도록 지원해야 할 것이다. CCUS 기술 및 제품이 온실가스 및 오염물질 발생을 최소화하는 친환경제품으로 인증을 받아 녹색구매촉진에 관한 법률 적용을 통해 우선 구매할 수 있는 방안으로 연계될 수 있을 것이다. 현재 환경부 녹색제품 구매촉진법(2020년 7월 개정)에 의거하여 저탄소인증제품에 대해 공공기관에서 우선구매 할 수 있도록 마련되어 있다. 이를 확산하여 국민에게 CCU 제품을 장려함으로써 국민 수용성 확보와 CCUS 필요성에 대한 인식전환을 가속화시킬 수 있을 것이다. 아울러, 각 지자체의 적극적인 구매·생산·유통 산업의 활성화를 위한 지자체 인센티브 제도도 고려할 수 있다. CO<sub>2</sub> 관련 사업자, 관련 시설 등에 한정기간 재산세 면제 제도, 소득세 감면제도, 운영 보조금 제도 등 인센티브를 제공하는 방안이 있다. 한편, 현행 법상 녹색인증제도 내 CCUS 기술이 일부 포함되어 있으나 기준항목 근거가 미흡하고 개발 기술 수준을 충분히 반영되어 있지 못한 실정이다. 따라서 CCUS 관련 기술·제품에 대한 표준 및 인증제도가 마련될 필요가 있다. 보조금, 금융 및 투자지원, 우선구매제, 인증제도 등 CCUS 관련 기업들이 당장의 이윤 창출이 어려운 산업에 진입할 수 있도록 정부차원의 과감한 인센티브 및 동기부여 방안 마련이 이루어져야 할 것이다.

넷째, CCUS 관련 산업클러스터를 조성·구축을 통해 국내 CCUS 산업을 활성화하도록 해야 한다. 다양한 온실가스 배출원으로부터 대규모 CO<sub>2</sub>를 포집(연 100만톤 이상)하여 규모의 경제를 통한 경제성 확보가 가능하도록 CO<sub>2</sub> 허브 도입을 통한 CCUS 산업클러스터가 조성되어야 한다. 예를 들어, CCUS 클러스터 내 CO<sub>2</sub> 파이프라인 네트워크를 구축하여 CCUS에 필요한 경제적인 CO<sub>2</sub> 원료 공급을 가능해야 하고, 누출 위험에 대한 지속적인 모니터링 시스템 체계도 구축되어야 한다. 클러스터 입주기업의 입주 요건(CO<sub>2</sub> 감축 수단 및 감축 목표량)을 정해 부지 및 건축물 임대료 부담완화 또는 법인세 감면 등 실질적인 혜택을 부여한다면 사업화가 가속화될 수 있을 것이다.

반면, CCUS와 관련된 철강산업·발전산업별 기 구축된 클러스터와의 유기적 연계를 통해 시너지 효과를 낼

수 있다. 각 산업별로 유기적 교류 관계를 유지함으로써 기술개발, 기반구축, 기업지원, 네트워크 및 정보교류, 인력양성 등을 협력하여 추진할 수 있으며, CCUS Value Chain을 극대화할 수 있다. 또 다른 측면에서 권역별 클러스터와의 연계 초기에는 CCUS 실증 클러스터(예: 석유화학단지 등)를 전략적으로 선정하여 컨소시엄으로 할 수 있는 단지(Complex)를 시범 운영하는 방법도 있다.

다섯째, 온실가스 감축량 산정 방법론 및 표준화 개발과 국제적 합의를 위한 국가차원의 전략적 지원이 필요하다. 먼저, CCUS 온실가스 감축량 측정방법에 대한 기술적 이해와 연구를 통해 전 공정과정(LCA: Life Cycle Assessment)에서의 감축량을 인정하는 방법론을 개발해야 한다. 우리나라 온실가스 감축량은 「온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률」 등에 따라 감축활동 전후의 배출량 차이(프로젝트 활동을 통한 CO<sub>2</sub> 저감량(ER) = 베이스라인 배출량(BE) - 프로젝트 배출량(PE))로 산정되며 일부 외부사업을 통한 감축량 인증이 가능하도록 명시하고 있다.<sup>15)</sup> CCU 기술의 경우 「외부사업 타당성 평가 및 감축량 인증에 관한 지침」에 따라 승인 대상 외부사업에는 해당되지만 현재까지 온실가스 배출권 거래제 내에서 인정 방법론이 부재하고 외부사업으로 인정 가능한 CDM 승인방법론 중 CCU 기술을 적용한 방법론으로 등록된 것이 없다(Choi and An, 2018). CCU 기술은 이산화탄소 포집, 수송 및 전환을 통한 제품화 등 일련의 기술이 연계되어 이루어지는 통합 공정 기술로써 각 사업장에서 감축효과에 대한 사업장의 경계 설정 등 정확한 감축 시나리오를 마련하는 것이 어려우나 온실가스 배출 발생 시스템 범위 설정, 발생량 산정방법, 감축량을 계산하기 위한 수식·모형 등 관련 연구가 반드시 이루어져야 한다.

국가 온실가스 배출계수의 경우 IPCC에서 제시한 기본 배출계수를 이용하고 있으나 IPCC는 국가의 특성을 반영한 고유 배출계수를 개발하도록 권고하고 있다. 현재 CCUS의 온실가스 감축량 산정에 있어 국가별 전력분야의 온실가스 배출계수가 달라<sup>16)</sup> 동일한 기술을 적용하더라도 감축 효과에 차이가 발생할 수 있으므로 명확하고 객관적인 온실가스 배출계수를 개발하는 것이 필요하다.

아울러, CCUS를 통한 온실가스 감축량 산정에 대한 국

제적 합의를 통해 관련 사업 지원 및 기술 확대 계기를 마련해야 한다. 국내에서 개발한 CO<sub>2</sub> 포집기술을 기술이전 혹은 관련제품을 수출하기 위해서는 온실가스 감축량 산정에 대한 국제적 합의가 필수적이므로 CCUS 사업이 배출권거래제 내 유효한 온실가스 감축기술로 인정되도록 감축량 산정방법에 대한 국제적 합의가 선행되어야 할 것이다.

현재 개별 사업장 또는 연구자별로 해당 기술에 대한 온실가스 감축량을 인정받으려 국제기구에 신청하고 있으나 관련 서류 작성, 기술적인 감축 노력 전후 비교 방법 등 관련 전문성이 없어 어려움을 겪는 경우가 많다. 환경부, 산업부, 과기부, 국토해양부 등이 연계한 범부처 차원의 전담부서를 통해 국제 표준 방법론 개발 및 승인을 위한 체계적인 지원이 마련되어야 한다. 또한, 탄소배출권 거래제도(ETS)와 연계하여 이산화탄소 감축량에 대한 가중치를 부여하여 감축량만큼 배출권을 시장에서 판매할 수 있는 제도를 마련하는 것이 필요하다. 실증 및 초기 상용화 단계에서부터 감축량만큼의 시장거래 가능한 배출권을 부여하여 적극적인 투자 유인환경이 조성될 수 있도록 해야 한다.

여섯째, 산재되어 있는 CCUS 관련 기술개발 및 정책지원이 일관되고 체계적으로 이루어질 수 있도록 범정부차원의 컨트롤타워가 수립되어야 한다. 현재 정부 부처별로 담당하고 있는 CCUS 분야가 산재되어 있어(CCS의 경우 산업부, CCU는 과기부 주도하고 있으며 해양플랜트의 경우 국토해양부, CO<sub>2</sub> 감축량 인정 및 배출권거래제는 환경부가 담당함) 각 부처별 입장에 따라 혼선이 자주 생기고 추진력이 저하되는 등 사업추진에 한계가 발생한다. CCUS는 장기적으로 진행해야 하는 만큼 ‘탄소중립위원회’와 같이 정부합동 컨트롤타워를 수립하여 체계적으로 수행하는 것이 중요하다.

일곱 번째, CCUS에 대한 국민적 이해를 높이고 공감대를 형성될 수 있도록 다양한 정책방안을 마련해야 할 것이다. 많은 CCS 사업들이 국민 수용성 문제로 좌초 또는 지연되는 경우가 많으므로 CO<sub>2</sub> 포집, 압축저장 플랜트 설비 등 CCUS 기술의 안정성<sup>17)</sup>에 대한 우려를 해소시킬 수 있는 방안을 선제적으로 마련해야 한다. 해외에서 다수

15) 국내 배출권거래제 상쇄제도를 통해 외부사업으로 등록된 사업유형은 연료전환, 재생에너지 활용, 폐열 활용, 바이오매스 이용 등 에너지원 대체를 통한 감축사업과 에너지 사용 효율 향상을 통한 감축사업이 대다수임(Choi and An, 2018).

16) 한국 전력의 국가승인 온실가스 배출계수(tCO<sub>2</sub>eq/MWh)는 0.4594인데 반해, 미국 전력의 온실가스 배출계수는 0.401임.

17) 2017년 11월 15일 포항에서 규모 5.4 지진이 발생하였으며, CO<sub>2</sub> 저장소 안전성에 대한 우려로 중소규모 저장 실증 사업이 일시 중지된 적이 있음.

진행되었던 CCUS 사업 수용성 확보 성공 및 실패 사례를 분석하여 국내 CCUS 여건에 적합한 수용성 확보 절차 및 내용 확립이 마련되어야 할 것이다. 또한, 사후 지진이나 위험 발생 대비를 위한 응급조치 및 비상대응 매뉴얼을 규정하고, 지역 주민들에게 이산화탄소 관련 정보를 항상 볼 수 있도록 자료를 제공하거나 정보를 볼 수 있는 시스템을 구축하여 CCUS에 대한 신뢰도를 높여야 할 것이다. 지역주민에게 CCUS 사업의 주체로서 경제적 동기유인을 만들어줘서 자연스럽게 수용성이 제고될 수 있도록 하며, 지자체 차원에서도 CCUS 기술 적용을 통한 인센티브, 지역 일자리 창출, 지역사회 사업과의 연계 등 지역경제를 활성화시킬 수 있는 방안으로 적극 홍보해야 한다. 탄소중립에 있어 실행 주체와 혜택 및 부담 주체는 결국 국민이므로 CCUS 관련 정보를 투명하게 제공함으로써, 사회적 합의를 도출하여야 한다.

또한, 기후변화, 탄소중립에 대한 국민의 관심과 이해도는 높은 편이나(Lee et al., 2020) CCUS가 탄소중립 기술의 핵심수단으로의 인식은 다소 부족한 실정이다. 다음과 같이 CCUS 인식개선을 비롯한 다양한 홍보방안을 제안할 수 있다. CO<sub>2</sub> 감축 기술에 대한 이해도를 높일 수 있는 다큐멘터리, 광고 등 국민대상으로 CCUS 인식개선과 홍보가 지속적으로 이루어져야 하며 실생활에서 사용되는 CO<sub>2</sub>, 드라이아이스, 농업 CO<sub>2</sub> 강화재배 등 CCUS 기술을 활용하여, 부가가치 및 경제적 편익에 대한 긍정적인 효과를 적극적으로 홍보하여야 한다. 이와 더불어 어린이, 청소년, 중장년별 눈높이에 맞는 교육 프로그램을 개발 및 운영하여 CCUS의 필요성을 인식할 수 있도록 중장기적인 관점에서 지속적으로 지원하는 것이 중요하다.

여덟 번째, 국내외 CCUS 공동협력 대응 방안을 마련·강화해야 한다. 먼저, 해외 선진기술 및 기업과의 공동연구가 보다 적극적이고 자유롭게 이루어질 수 있도록 국가 간 협력체계를 구축해야 한다. CCUS를 활용한 EOR, CCS, 광물화 전환 및 활용 등 CCUS 분야별 선진 국가의 실증 및 사업화 기술을 적극적으로 벤치마킹하고, 공동협업할 수 있도록 추진체계가 마련되어야 한다. 또한, 혁신적인 온실가스 감축기술(석탄, LNG 배기가스 직접 활용, CO<sub>2</sub> 자원화, 일회용 냉매용기 잔여냉매 회수·재생기술 등)을 보유한 국내 연구기관, 중소기업 등을 대상으로 국가 간 실증 프로젝트, 관련기관 간 SPC(특수목적법인)

설립 등 실증 및 사업화를 위한 국가 차원의 지원이 이루어져야 한다. 특히 UNFCCC 기술 메커니즘(Technology Mechanism)<sup>18)</sup>참여를 확대하여 국내기술의 개도국 현지화 연구 및 기술협력을 지원할 수 있다. 개도국과의 전략적인 협력 파트너십 구축으로 국내 우수 기술의 이전 등 사업화를 촉진할 수 있을 것이다. 또한, 탄소자원화를 가능하게 하는 다양한 기술개발(예: 수소)과의 R&D 연계를 통해 CCUS R&D 확대 및 사업화 가능성을 보다 증대시킬 수 있다.

그 밖에도 국내 CCUS 전문 학회 설립을 통해 학술대회 개최, 이슈별 정규 세션 편성 및 운영, CCUS 전문 인력 양성 프로그램 추진 등 국내 산·학·연 CCUS 기술 및 정보교류 및 협력을 강화해야 한다.

## 5. 결론 및 시사점

본 연구는 CCUS 관련 기업 종사자 및 전문가 설문조사와 서면자문을 통해 국내 CCUS 산업 및 연구에 대한 실태 및 주요이슈와 이에 대한 정책방안 및 세부전략을 도출하였고, 국내 CCUS 산업생태계 조성·육성을 위한 시사점을 얻고자 하였다.

먼저, 「CCUS 산업촉진을 위한 법안 마련」은 CCUS 산업 초기 시장형성을 지원하고 지속가능한 혁신 생태계를 유도할 수 있는 지원제도가 종합적으로 연계되는 법적근거를 마련하는 것이다. 「차별화된 CCUS R&D 지원제도 수립」은 경제성을 확보하기 위한 실증형 R&D 지원체계 구축 등 R&D 지원제도에 관한 내용이다. 대규모 실증 사업을 기획하고 민간기업의 참여를 유도하기 위한 R&D 인센티브 방안을 마련해야 한다. 「시장활성화와 수요처 확대를 위한 제도마련」은 초기시장 창출과 시장경쟁력 확보가 가능하도록 보조금 지급 및 공공구매, 사용화의무제, 친환경제품 지정 등 제도적 지원책에 대한 내용이다. 「CCUS 산업활성화를 위한 산업클러스터 조성」은 타 산업과의 유기적 연계성을 고려하여 집약적인 산업클러스터 조성이 마련되어야 하는 내용이다. 「감축량 산정 방안 마련 및 국제적 합의」는 국내외에서 공식적으로 온실가스 감축량을 인정받을 수 있도록 표준화된 산정방식 및 방법론을 마련하는 것이다. 「국내 CCUS 관련 컨트롤타워 수립」은 CCUS 추진기관의 법적기반을 마련하고 구성원들

18) 개도국으로의 기후기술 협력 지원을 목적으로 설립된 조직으로 기후기술 국제정책을 담당하는 기술정책위원회(Technology Executive Committee, TEC) 및 이행을 지원하는 기후기술센터네트워크(Climate Technology Centre and Network, CTCN)로 구성되어 있다(CTIS 홈페이지, <https://www.ctis.re.kr/ko/contents.do?key=1604>).

간의 협력과 소통을 이끌어내는 장을 마련하는 것을 통해 사업 전반의 종합적인 운영이 가능하게 하는 것이다. 「CCUS에 대한 사회적 수용성 제고」는 CCUS에 대한 국민적 이해와 공감대가 형성될 수 있도록 이산화탄소 저장소 안정성에 대한 국민적 수용성을 확보하고, CCUS 기술에 대한 인식개선 및 홍보가 포함되어 있다. 「CCUS 관련 협력체계 구축 및 교류의 장 마련」하는 것은 산·학·연 CCUS 기술 및 정보교류를 위한 협력체계를 구축하고, 해외 선진 기관 또는 기업과의 공동연구 활성화를 비롯해 개도국의 기술이전 등 국제 공동협력을 강화하는 것이 포함된다.

본 연구는 초기 형성 중에 있는 국내 CCUS 산업에 대한 탐색적 연구로서 추후에 CCUS 기술개발을 위한 테스트베드 설비 구축, 시장 활성화를 위한 매칭펀드 및 보조금 제도, CCUS 기술 활용을 통한 이산화탄소량 표준산정 방식 등 시기별 전략적으로 추진해야 할 정책방안에 대한 보다 구체적인, 체계적인 추진 전략이 마련되어야 한다. 또한, 본 연구는 전문가 설문조사 및 서면자문에 국한된 결과이므로 CCUS 관련하여 장기적으로 데이터를 구축·수집하여 보다 종합적이고, 일반화된 연구가 이루어질 필요가 있다. 향후 CCUS를 통한 국가 온실가스 감축 목표를 달성하기 위한 구체적인 이행방안을 마련하기 위해서는 국내 CCUS 산업 조성 및 활성화를 위한 정책방안별 우선순위를 선정하고 중점방안별 세부 전략을 마련하는 연구가 수행되어야 할 것이다.

## 사사

본 연구는 녹색기술센터 주요과제인 “탈탄소 사회 전환을 위한 정책 아젠다 발굴 및 산업육성 전략 연구 2021, 과제번호: R2110101”의 지원을 받아 수행하였으며, R2110101 연구보고서 중 “국내 CCUS 산업생태계 조성방안 연구” 보고서 내용을 토대로 작성되었습니다. 또한, 동 논문은 한국 기후변화학회 2021년 하반기학술대회(2021.11.25./울산컨벤션센터)에서 “CCUS 산업생태계 조성방안 연구”의 제목으로 발표된 내용에 기반하고 있습니다.

## References

- Choi J, An J. 2018. Analysis Method of Greenhouse Gas Emission Reduction Effect of Co Utilization (CCU) Technology. *Journal of Energy & Climate Change* 13(2): 154-165.
- Choi Y. 2020. A study on the Carbon Capture and Storage under London Protocol. *Law Research Institute Chonbuk National University* 63: 497-516.
- Han E, Hong S. 2017. Technology Innovation and Changes on Structure of Value Creation in an Industrial Ecosystem. *Journal of Korea Technology Innovation Society* 20(1): 175-204.
- Fransman, M. 2010. *The New ICT Ecosystem-Implications for Policy and Regulation*. Cambridge University Press.
- Iansiti M, Levien R. 2004. *The Keystone Advantage: What the New Dynamics of Business Ecosystems Mean for Strategy, Innovation and Sustainability*. Harvard Business School Press, p. 225.
- IEA. 2020. *Energy Technology Perspectives (2020.9)*.
- Jang W, Jung M, Yang H, Song J, Koh H, Lee K, 2019. *The Strategy for SME and Venture Friendly Defense Industry Ecosystem in Korea*, KIET.
- Jang W, Song J, Lee K. 2020. Analysis of the Confrontational Capability of Defense Industry Ecosystem and its Policy Implementations in Korea. *Journal of National Defense Studies* 63(2): 217-256.
- KIER, 2021. *CCUS In-Depth Investment Analysis Report.. Quarterly Report*.
- Kim K. 2018. Construction and Reconstruction of CCS Act for Reduction of Carbon Dioxide. *ADMINISTRATIVE LAW JOURNAL* 55: 105-125.
- Kim G. 2021. Legal Foundations and improvements for CCS demonstration and CCUS commercialization. *Journal of Corporation and Innovation* 44(2): 91-109.
- Kim J Heo S, Lee S, Kim M, Kim K, Lee J, Seo D, 2019. *An Industrial Ecosystem Analysis on Korea's Hydrogen Industry and Policy Implications*, KIET.
- Kim H, Nah I. 2019. Brief Review on Carbon Dioxide Capture and Utilization Technology. *Korean Chem* 57(5): 589-595.
- Lee H, Kang Y, Kim Y, 2018. Economic Induced Effect Analysis of Carbon Capture Utilization Technology in Korea. *Korea Energy Economics Institute* 18(1):

- 113-136.
- Lee J. 2018. Legal Tasks for Risk Management to Carbon Capture and Storage (CCS). *Environmental Law Review* 40(1): 79-110.
- Lee S. 2018. Research on the Legal Task for the CCS Acceptance in our Society. *Environmental Law Review* 40(1): 41-77.
- Lee S. 2019. Study on the Legal Policy of Hydrogen Energy and CCS. *Environmental Law and Policy* 23: 173-207.
- Lee Y, Son M, Kim K, 2020. Public Acceptance and Affective-Cognitive Evaluations of Carbon Capture Storage and Utilization Technologies in Korea. *Journal of Climate Change Research* 11: 777-791.
- Lim C, Jung E, Ahn J, 2021. CCUS Technologies. *Journal of the KSME* 61(6): 32-36.
- Moore, J. F. 1996. *The Death of Competition: Leadership & Strategy in the Age of Business Ecosystem*. New York: Harper Business.
- Sung B, Lee S. 2020. A study on the Relationship between European CCS and CCU Legal Policy Changes and the Carbon Emissions Trading System. *EUC* 31-77.
- Tansley A. 1935. The use and abuse of vegetational concepts and terms. *Ecology* 16(3): 284-307.
- Ryoo T, Koh M. 2019. Legal Measures of Earthquake Hazards for CCS Underground Storage. *Soongsil Law Review* 44: 213-254.
- Yoon M, Cho D. 2020. An Analysis on the Ecosystems of the Aviation Industry in Korea. *Journal of the Aviation Management Society of Korea* 18(6): 3-21.
- Environment Daily. 2021.4.8. Explore Policies related to Carbon Capture. (<http://www.hkbs.co.kr/news/articleView.html?idxno=623291>)
- Hankookilbo. 2021. 4. 30 Earthquake Scares, Carbon Dioxide Storage Facility Closed in Pohang Young-il Bay. (<https://www.hankookilbo.com/News/Read/A2021043013070000352>)
- IEA, 2021, About CCUS. (<https://www.iea.org/reports/about-ccus>)