

## 해설

## 미국/캐나다 현장의 석유가스전 이산화탄소 저장사업과 연계한 온실가스 감축실적 거래시장 분석

안은영<sup>1\*</sup><sup>1</sup>한국지질자원연구원 미래전략연구센터Analysis of Carbon Markets of CO<sub>2</sub> Storage Projects in Oil and Gas Fields in Canada and the United StatesEun-Young Ahn<sup>1\*</sup><sup>1</sup>Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon, Korea

\*Corresponding Author. Eun-Young Ahn, [eyahn@kigam.re.kr](mailto:eyahn@kigam.re.kr), Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 124, Gwahak-ro, Youseong-ku, Daejeon, Korea

## Received

21 August 2023

## Final version Received

4 September 2023

## Accepted

26 October 2023

## Abstract

This study analyzes carbon markets in the U.S. and Canada, including enhanced oil/gas recovery (EOR/EGR) projects. The American Carbon Registry (ACR), a voluntary carbon market in California, and the Canadian Alberta Emission Offset System have methodologies for EOR and storage in saline aquifers. ACR also presented EGR. EOR-CCS projects demonstrated significant CO<sub>2</sub> reductions, ranging from 1,748 to 7,675 million tons in the U.S. and 30 to 3,040 million tons in Canada. The EOR and hydrogen-production-linked CCS projects are representative CCS projects in Canada. CCS infrastructure construction, R&D, and demonstration projects of oil/natural gas-CCS-hydrogen are actively underway in the net-zero policies by the U.S. and Canada. CCS projects in the U.S. and Canada, which are linked to the supply of natural gas and hydrogen energy in Korea, can secure new overseas energy sources and dispose of the CO<sub>2</sub> captured in Korea.

**Key words** : international carbon reduction, enhanced oil recovery, enhanced gas recovery, CO<sub>2</sub> storage

## 요약

본 연구에서 석유/가스 회수증진 사업을 포함한 미국과 캐나다의 탄소시장 현황을 분석하였다. 미국 캘리포니아 배출권 거래제도의 감축실적으로 전환가능한 자발적 탄소시장인 American Carbon Registry (ACR)과 캐나다 앨버타 주정부의 온실가스 감축실적 시스템(AEOR)에서 석유회수증진과 열대수층 대상 이산화탄소 저장 방법론을 확인하였다. ACR은 천연가스 저류층도 저장소로 제시하였다. 미국의 종료된 EOR-CCS 사례에서 1,748~7,675백만 톤, 캐나다의 종료/진행 중인 사례에서 30~3,040백만 톤의 막대한 온실가스 감축량을 확인하였다. 석유회수증진 혹은 수소 생산 연계 사업이 캐나다 대표 CCS사업으로 현재도 추진되고 있다. 미국과 캐나다의 넷제로 정책에서도 석유/천연가스 생산과 CCS 및 수소생산과 연계하는 인프라 구축 및 연구개발, 실증사업이 활발히 진행되고 있다. 국내 천연가스, 수소 에너지 공급과 연계한 미국 및 캐나다 대상 CCS사업은 천연가스, 수소의 새로운 국외 공급원을 확보하고 국내에서 포집된 이산화탄소의 국외 처분 또한 가능하다.

**주요어** : 온실가스 국제감축, 석유회수증진, 천연가스회수증진, 이산화탄소 저장

## 서 론

미국의 2050년 넷제로 장기전략에서 탄소포집과 연계한 화석연료 발전을 제시하고 있다(United States Department of State, 2021). 미국은 2021년 CCUS 세액공제 개정법 및 넷제로 법안을 도입하여 석유가스전-CCUS사업에도 세금 인센티브(45Q Tax Credit) 제공한다(World Resources Institute, 2022). 또한 미국은 CCS 인프라에 집중한 최초의 CCS법으로 이산화탄소 저장 및 배출량 저감법(SCALE Act)을 도입하였다(U.S. federal legislative information, 2021). 미국 캘리포니아 배출권 거래제 프로그램의 온실가스 감축실적(offset credit)로 전환가능한 American Carbon Registry(ACR)에서 CCS사업 방법론 2.0으로 기존 연대수층과 고갈되거나 생산중인 석유/가스 저류층을 포함한 적격성 기준 제시하고 있다(American Carbon Registry, 2022). 캐나다 정부 또한 2050 넷제로를 위한 캐나다 2030 배출 감축 계획에서 저탄소 석유가스를 전 세계에 공급 의지를 제시하였다(Environment and Climate Change Canada, 2022). 해당 문서에서는 석유가스 부문 중요 요소로 온실가스 처분을 위한 파이프라인 등의 인프라 제공을 제시하고, 석유가스 대상 청정 연구개발사업 및 자본투입에 배출저감기금 정책 추진을 제시하였다. 온실가스 감축 실적 거래시장이 활성화되어 있는 캐나다의 앨버타주에서 석유회수증진(Enhanced Oil Recovery, EOR)과 연대수층 대상 이산화탄소 저장 또한 감축실적으로 등록·사용되고 있다(Government of Alberta, 2022). 또한 캐나다 앨버타주 수소 로드맵에서 풍부한 천연가스 저류층과 이산화탄소 포집·활용·저장(CCUS) 인프라 기반으로 저탄소 수소 생산을 제시하고 있다(Environment and Climate Change Canada, 2022).

Ahn(2022)은 에너지 확보, 원료 확보, 북미 협력 강화 측면에서 이산화탄소 주입 천연가스 회수 증진(Enhanced Gas Recovery-CO<sub>2</sub> Capture and Storage, EGR-CCS) 사업 또한 온실가스 감축실적 국제이전 사업으로 추진할 필요성을 제시하였다. 해당 내용을 살펴보면 먼저 천연가스 생산 시 온실가스 배출 감축 혹은 천연가스전 순배출 제로(넷제로, net-zero) 실현이 가능하고, 천연가스 생산·소비에서 발생하는 양보다 더 많은 양의 이산화탄소를 영구 저장할 수 있다. 두 번째로 이산화탄소 주입으로 생산된 천연가스를 원료로 국내 소비하는 전기와 수소를 생산할 수 있다. 마지막으로 캐나다, 미국의 석유가스전 현장에서 이산화탄소 지중저장 사업 시행으로 기술개발 및 에너지 협력 강화에 큰 역할을 할 수 있다. 한국지질자원연구원은 2050 KIGAM 장기발전전략에서 에너지뿐만 아니라 재료로의 화석연료의 미래상을 제시하고 석유가스자원의 재료/소재

로 용도는 계속됨에 따라 기술수요 발굴·확장 가능성을 제시한 바 있다(KIGAM, 2017). 한국지질자원연구원은 국내 대륙붕 및 호주, 네덜란드 대상 이산화탄소 저장사업 뿐만 아니라 캐나다 현장 대상 천연가스 회수증진사업을 2022년부터 국제공동연구사업으로 추진하고 있으며 미국, 캐나다 대상으로 이산화탄소 저장과 연계한 수소 사업인 블루수소 사업을 2023년부터 출연금 기본연구사업으로 추진하고 있다. 또한 2022년 한국의 민간회사는 호주 연대수층 대상 이산화탄소 저장사업의 탐사 운영권을 획득하여 국내 포집한 이산화탄소를 국제이동, 저장하는 사업을 실용화 하려고 한다(Lee, 2022).

유엔기후변화협약(UNFCCC) 교토의정서에 기반하는 Clean Development Mechanism(CDM)은 2020년 만료되어 2023년 사업 종료가 예정되어 있으며, CDM 이후 양자협정에 기반한 국제탄소시장의 세부이행 규칙이 2021년 제26차 유엔기후변화협약 당사국총회(COP26)에서 파리협정 제6조 이행규칙으로 완성되었다. 해당 협정 이후에 포집 이산화탄소의 국가간 이동 등 온실가스 감축실적 국제이전에 대한 국내외 정부 차원의 지속적인 활동이 진행되고 있다(Ahn, 2023). 우리나라는 2021년 발표한 제1차 수소경제 이행 기본계획에서 블루수소 국외 탄소저장을 위해 생산개시 시점 이전 런던의정서, 바젤협약 등 국제협약 및 관련 국가와 협의를 완료할 계획을 제시하였다. 2022년 3월 우리나라 정부는 폐기물 투기 등 해양오염 방지 조약에서 포집 이산화탄소의 국가간 이동을 허용하는 런던의정서 개정안 수락 및 잠정 적용을 선언하였다. 본 연구에서는 우리나라 온실가스 국제감축 목표와 감축실적 국제이전 정책, 국제 탄소시장 현황을 살펴보고 미국과 캐나다의 탄소시장과 석유/가스 회수증진-저장사업 연계 내용을 분석한다. 미국과 캐나다의 온실가스 감축시장에서 석유/천연가스 회수증진 사업에 대한 방법론 및 현황, 사업 시작 시기, 감축량, 수소 생산 연계 등 사업 특성을 분석하여, 향후 미국/캐나다의 석유가스전을 활용한 국내 포집 이산화탄소의 국제이동 및 국제감축실적 국내이전 정책 수립을 위한 시사점을 제시한다.

## 본 론

### 우리나라 온실가스 국제감축 정책 및 국제 탄소시장 현황

우리나라는 국제감축사업 사전승인 및 국제감축실적의 취득 등에 관한 지침을 국무조정실 고시로 신규 제정하여, 2023년 1월 1일부터 시행하고 있다(Presidential Commission on Carbon Neutrality and Green Growth, 2022). 국제감축사업의 사전 승인 기준/방법/절차, 국제감축실적

보고(취득/거래/소멸 신고 등), 국제감축실적 처분 등에 관한 사항을 고시로 제정하였다. 파리협정 제6.2조에 따른 국제감축사업은 국제감축사업 협의체에서 승인한 사업수행자가 사업의 승인 사실을 부문별 관장기관의 장에게 신고하여 해당 사업의 심의 및 승인이 진행된다. 환경부장관은 국제감축심의회 심의를 거쳐 승인된 국제감축실적 중 정부보유계정으로 이전된 국제감축실적을 국가 온실가스 감축목표 달성에 활용가능하다.

우리나라 제1차 국가 탄소중립·녹색성장 기본계획(2023-2042)에서는 중장기 온실가스 감축목표도 의결하여 기존 2030년 국가 온실가스 감축목표(NDC) 상향안보다 전환(전력) 부분의 온실가스 배출량 목표를 더욱 상향하였다(Interagency association, 2023) (Table 1). 태양광과 수소 등 청정에너지 확대로 전환(전력) 부분의 온실가스 배출 400만 톤을 추가 감축하는 목표를 제시하였다. 또한 수소 수요를 최산화하여 블루수소 공급량을 10.5만 톤 추가 확대하여 국내 온실가스 포집·저장 목표 또한 0.8백만 톤을 추가하였다. 국제감축 또한 400만 톤을 확대하여 기존 국제감축 33.5백만 톤 목표에서 37.5백만 톤으로 목표를 변경하였다. 해당 온실가스 국제감축 목표는 우리나라 산림·습지·해양 등 흡수원의 26.7백만 톤 및 건물 부분의 총 배출량 35백만 톤보다 높은 목표를 설정하고 있다.

우리나라 제1차 국가 탄소중립·녹색성장 기본계획에서는 중점 협력국과 산업·국토·교통 연계 사업 발굴, 협정체결 대상국 확대를 통한 온실가스 국제감축 목표 달성을 제시하였다. 해당 협정체결 대상 국가들은 베트남(2021년 5월 협정체결), 몽골(2023년 2월 협정체결), 인도네시아, 인도, 칠레, 태국, 라오스, 우즈베키스탄, 사우디아라비아, 페

루, 콜롬비아, 브라질, 필리핀, 방글라데시, 미얀마, 스리랑카, 모로코, 아랍에미리트(UAE), 가봉, 가나, 키르기스스탄, 코스타리카이다. 이는 2022년 산업자원부의 산업·에너지 부문 온실가스 국제감축사업 정책방향에서 제시한 아시아 11개국, 중남미 4개국, 중동/아프리카 3개국의 우선협력국가에서 가봉, 가나, 키르기스스탄, 코스타리카가 추가되었다(Ministry of Trade, Industry and Energy, 2022b). 제1차 국가 탄소중립·녹색성장 기본계획에서는 작년 국제감축사업 정책방향에 비해 우선협력국가가 추가되고 있지만 아직 저개발국, 개발도상국 중심의 양자협력을 추진하고 있으며 미국, EU 등과는 기후·환경 이슈 대응 측면에서 접근하고 있다. 하지만 최근 2023년 4월 체결된 한미 청정에너지 분야 양해각서(MOU)에서 국내의 CCS사업의 공동평가·개발, 미국 내 블루수소 생산 및 국내도입 인프라 구축사업이 포함되었다(KOTRA, 2023). 해당 세부내용으로는 미국 CCS사업 정보공유 및 공동평가·개발, CCUS 실증사업 협력, 미국 내 CCS사업과 연계한 수소 생산, 액화 이산화탄소 운송선 등 블루수소 전주기 사업 투자 협력이다.

우리나라 2050 탄소중립 시나리오의 CCUS 부문에서 2050년 국내 온실가스 저장 가능 규모는 최대 3천만 톤/년으로, 정부와 기업 등이 적극적으로 관련 국가 등과 협력하여 한중일 공동수역, 호주, 동남아, EU, 북미 등에서 2050년 3천만 톤/년의 추가 온실가스 국외 저장 규모를 제시한 바 있다(Presidential Commission on Carbon Neutrality and Green Growth, 2021). 온실가스 총 배출을 최소화하는 A안에는 CCUS로 온실가스 55백만 톤 제거가 포함되며 B안에 비해 전환(전력) 부분의 온실가스 배출을 허용하지 않

Table 1. Emission targets by sector (Interagency association, 2023)

Type	Sector	2030 target (million ton of CO <sub>2</sub> e)	
		Existing (2021.10.)	Revised (2023.03.)
Emissions	Energy Transformation	149.9	145.9
	Industries	222.6	230.7
	Buildings	35.0	35.0
	Transportation	61.0	61.0
	Agriculture, Livestock, and Fisheries	18.0	18.0
	Waste	9.1	9.1
	Hydrogen	7.6	8.4
	Omissions	3.9	3.9
Absorption and Removal	Carbon Sinks	-26.7	-26.7
	Carbon Capture, Use, and Storage (CCUS)	-10.3	-11.2
	International reduction	-33.5	-37.5

고 부생·추출 수수도 허용하지 않는다. B안은 CCUS를 적극 활용하여 온실가스 84.6백만 톤을 제거하고 직접공기포집(DAC)을 도입하여 총 92백만 톤의 온실가스를 제거하는 시나리오로 LNG발전, 대체연료 내연기관차가 허용된다. B안에서는 전환(전력) 부문에 유연성 전원 활용을 위해 천연가스 발전이 포함되었으며 수소 부문에도 천연가스 기반 수소추출과 CCUS와 접목을 통한 수소공급이 포함되었다. 2050 탄소중립 시나리오의 수소 부문에서 A안과 B안 모두 국내 수소생산보다 해외 수입 수소를 전체 대비 80% 이상의 주 공급원으로 보고 있어, 국외 협력이 중시된다.

파리협정 제6조에 따른 온실가스 국제감축 시장메커니즘에서 온실가스 감축실적의 국제적 이전은 타국에서 온실가스 감축활동을 수행하고 감축실적에 대해 발급된 크레딧(Internationally Transferred Mitigation Outcome(ITMO), 국제이전감축분)을 자율적 협의를 거쳐 거래한다(Ministry of Trade, Industry and Energy, 2022a) (Table 2). 감축실적 이전은 정부 대 정부 양자협정을 통해 사업절차, 측정·보고·검증(MRV) 등을 자율적 협의로 결정한다. 선진국 등의무감축국에서 개발도상국, 저개발국 등을 대상으로 실시하는 Clean Development Mechanism(CDM)의 종료 이후, 선진국을 포함한 모든 국가를 대상으로 양자협정에 기반한 온실가스 국제감축사업 추진이 가능하다.

양자협정에 의한 국제감축 시행 사례를 살펴보면, 2013년부터 시행하고 있는 일본 JCM(Joint Credit Mechanism)이 대표적이다. 2023년 8월 현재 JCM 파트너 국가는 26개국으로 몽골, 방글라데시, 에티오피아, 케냐, 몰디브, 베트남, 라오스, 인도네시아, 코스타리카, 팔라우, 캄보디아, 멕시코, 사우디아라비아, 칠레, 미얀마, 태국, 필리핀, 세네갈, 튀니지, 아제르바이잔, 몰도바, 조지아, 스리랑카, 우즈베키스탄, 파푸아 뉴기니, 아랍에미리트(UAE)이다(Carbon Market Express, 2023). 스위스는 2020년 10월 페루를 시작으로 가나, 바누아투, 세네갈, 조지아, 도미니카 총 6개국과 양자협정을 체결하였다(Greenium, 2023). 스위스는 2022

년 11월 제27차 유엔기후변화협약 당사국총회(COP27)에서 파리협정 제6.2조 협력적 접근법에 따른 최초의 자발적 협력을 가나, 바누아투와 함께 승인한 바 있다. 스웨덴 에너지청은 가나 등으로부터 국외감축실적 인수를 합의하였고 네팔, 캄보디아와 양자협력 체결 중이다(Greenium, 2023). 아랍에미리트(UAE)는 2022년 민간회사를 통해 라이베리아, 탄자니아, 잠비아 정부와 탄소제거 사업 양자협약을 위한 양해각서(MOU)를 체결하였으며, 2023년 2월에는 태국 정부가 스위스와 탄소저감을 위한 자발적 협력을 승인하였다(World Bank Group, 2023).

탄소배출권 거래제도(Emissions Trading System)에 대해 일반적으로 온실가스 배출권 할당량(allowance)과 온실가스 감축실적(credit)을 거래하는 제도로 구분한다(Ahn, 2010). 할당량 거래 제도는 총량제한배출권거래제도(cap-and-trade)를 채택한 의무감축국가 또는 지역 내에 형성되는 시장으로 대표적으로 EU-ETS, 미국 북동부 지역의 온실가스 총량 감축 프로그램(Regional Greenhouse Gas Initiative, RGGI)이 있다(Ahn, 2010). Ha(2022)는 할당량(allowance) 거래시장을 규제적 탄소시장(Compliance Carbon Market, CCM)으로 제시하고, 개인/기업/정부/비영리 단체 등 다양한 조직이 자발적으로 탄소 감축 프로젝트에 참여하여 탄소 감축실적(credit)을 창출하고 거래하는 탄소시장을 자발적 탄소시장(Voluntary Carbon Market, VCM)으로 제시하였다. 자발적 탄소시장(VCM)은 정부나 규제기관의 직접적인 감독을 수반하지 않는 시장 중심의 자율적인 구조를 가진다. World Bank의 2022년의 크레딧 메커니즘 유형별 세계 발행량을 살펴보면 국제 크레딧으로 청정개발체제(Clean Development Mechanism, CDM)가 제시되고 있으며, 나머지는 자발적 탄소시장 및 국가 내부 시장으로 제시하고 있다(World Bank Group, 2023). 해당 보고서에서 세계 총 발행량 중 유엔기후변화협약(UNFCCC)이 주관하는 Clean Development Mechanism(CDM)이 32%를 차지하며 자발적 탄소시장으로 Verified Carbon

**Table 2.** Mechanism for international greenhouse gas reduction according to Article 6 of the Paris Agreement (Ministry of Trade, Industry and Energy, 2022a)

Cooperative Approaches (Article 6.2)		Mechanism to contribute to the mitigation of greenhouse gas emissions and support sustainable development (Article 6.4)	
ITMO* issue	Participant	ITMO issue	Supervisory Authority
ITMO transfer	Participant	ITMO transfer	Cooperative Approaches (Article 6.2)
ITMO use	Participant's NDC**	ITMO use	

\*Internationally Transferred Mitigation Outcome (ITMO).

\*\*Nationally Determined Contribution (NDC).

Standard(VCS)이 세계 총 발행량 중 42%, Gold Standard (GS) 8.2%, American Carbon Registry(ACR) 4.6%, Climate Action Reserve(CAR) 2.5%, Plan Vivo 0.4% 순으로 나타났다. 국가 내부 시장으로는 Australia Emissions Reduction Fund가 세계 총 발행량 중 3.7%를 차지하고 California Compliance Offset Program 2.4%, Alberta Emission Offset Program 1.3%, British Columbia Offset Program 1%, Thailand Voluntary Emission Reduction Program 0.9%이다. 호주, 영국, 태국 외에 미국, 캐나다는 주정부에서 탄소시장을 운영하고 있으며 캘리포니아주와 앨버타주가 해당국가를 대표하는 큰 규모의 시장임을 알 수 있다. 본 연구에서는 미국과 캐나다의 대표적 탄소시장으로 캘리포니아주와 앨버타주의 탄소시장을 대상으로 이후 상세히 분석한다. Clean Development Mechanism(CDM)에서도 CCS사업에 대한 방법론을 가지고 있으며 석유회수증진 또한 포함하고 있다(United Nations Framework Convention on Climate Change, 2012; United Nations Economic and Social Council, 2014). CDM사업 특성으로 개발도상국을 대상으로 사업이 시행되어 미국/캐나다를 사업 대상으로 하는 본 연구에서는 CDM사업의 세부 내용을 분석하지 않는다.

Yoo(2021)에 따르면 VCS는 2005년 국제배출권거래협회(IETA), 세계지속가능발전협의회(WBCSD), 세계경제포럼(WEF) 등 탄소시장 관련 기관이 자발적 온실가스 감축 활동 인증 및 지원 목적으로 설립하였고 2019년 전체 사업에서 재생에너지가 45%, 조립사업이 42% 수준이다. Gold Standard(GS)는 2003년 세계자연기금(WWF) 등의 사회적 탄소저감사업에 대한 추가 인증 목적으로 설립되었으며, 2019년 전체 사업 중 재생에너지 42%, 에너지 전환 26%로 비중이 높은 편이다(Yoo, 2021). American Carbon Registry(ACR)는 1996년 환경보호기금의 지원으로 설립되었으며 2019년 전체 사업 중 탄소 포집 및 저장·사용(CCS/CCU), 조립 분야 비중이 각각 43%, 20% 수준이며 California Compliance Offset Program의 사무국 역할도 수행한다(Yoo, 2021). Climate Action Reserve(CAR)는 2001년 미국 캘리포니아주가 지역 온실가스 감축 사업을 촉진하기 위해 설립한 California Climate Action Registry로 시작하였다. Climate Action Reserve(CAR)의 2019년 전체 사업 중 폐기물, 산업용가스, 조립 비중이 각각 46%, 27%, 25%이며, 현재 또한 폐기물/메탄저감(미국 광산 메탄 저감 포함), 산업공정/가스(중국 아디프산 생산 프로토콜 개발 중), 조립 등 자연기후솔루션(미국/캐나다 바이오차 프로토콜 개발 중) 프로토콜을 가지고 있다(Yoo, 2021; Climate Action Reserve, 2023).

### 미국 탄소시장과 석유/가스 회수증진-저장사업

미국의 2050년 넷제로 장기전략에서는 전력의 탈탄소화, 최종에너지의 전기화 추진 및 청정연료로 전환, 에너지 소비 효율화, 메탄 등 이산화탄소 외 온실가스 배출 저감, 이산화탄소 제거 확대를 제시하고 있다(United States Department of State, 2021). 또한 탄소포집과 연계한 화석연료 발전과 일부 수소/재생바이오연료 전환, CCS 연계/비연계 화석연료 사용도 제시하였다.

미국은 CCS 인프라에 집중된 최초의 CCS법으로 이산화탄소 저장 및 배출량 저감법(Storing CO<sub>2</sub> and Lowering Emission Act of 2021, SCALE Act of 2021)을 2021년 도입하였다(Seok and Kim, 2021). 해당 법률에서는 1) 이산화탄소 운송 인프라 프로젝트를 위해 유연하고 낮은 이자의 대출을 제공하고, 파이프라인 건설 인센티브를 제공하기 위해 새로운 인프라에 대한 보조금을 제공 프로그램 설립, 2) CCS 설비의 허브 역할을 할 수 있는 대규모 지하저장소 개발을 위한 지중저장 인프라 개발 프로그램 구축, 3) 환경보호청(EPA) Class VI 허용(지하 이산화탄소 저장에 필요한 추가 지원), 4) 주정부가 이산화탄소와 탄소산화물로 만든 저탄소 및 무탄소 제품을 구입할 수 있는 보조금 등의 내용을 포함한다. CCUS 사업에 대한 미국 연방정부의 역할은 다음과 같다(Seok and Kim, 2021). 미국 에너지부(Department of Energy, DOE)는 CCS 기술개발/실증사업을 담당하고 있으며, 국립에너지기술연구소(National Energy Technology Laboratory, NETL)을 통해 탄소 격리 프로그램을 개발·운영한다. 미국 교통부(Department of Transportation, DOT)는 파이프라인을 통한 이산화탄소 수송 규제 제도를 담당한다. 미국 환경보호청(Environmental Protection Agency, EPA)는 이산화탄소 지하주입 규제를 안전음용수법(Safe Drinking Water Act)의 하위 규정으로 이산화탄소 지중저장과 관련된 내용을 추가하였다. 환경보호청(EPA)은 이산화탄소의 지중저장과 주입에 관련한 모든 시설물의 관리에 필요한 최종 법률로 미국 내에서 발생하는 모든 온실가스의 보고의무 규정을 신규 제정하였다. 미국 에너지부의 화석에너지/탄소관리국에서는 미국 내무부(Department of the Interior, DOI)의 토지관리국과 어류/야생동물관리국, 해양에너지운영국, 안전/환경 집행국도 이산화탄소 파이프라인 건설·관리와 해저 이산화탄소 주입 관련 승인·관리 부서로 제시하였다(United States Department of Energy-Office of Fossil Energy and Carbon Management, 2022)

미국은 주정부 혹은 주정부 연합으로 탄소배출권 거래 제도를 시행하고 있다. 2005년 뉴욕주 등 미국 북동부 9개 주정부의 협정으로 시작되고 2009년 발효된 지역 온실가스 이니셔티브(RGGI)가 탄소배출권 거래 제도로 대표적

이며, 2013년부터 캘리포니아주 또한 배출권 거래제도를 운영하고 있다(Congressional Research Service, 2019; Park, 2022). 2020년 뉴저지주가 RGGI에 재가입하였으며 2021년 버지니아주, 2022년 펜실베이니아주가 RGGI에 가입하였다(Regional Greenhouse Gas Initiative, 2023a). RGGI에서는 온실가스 감축실적(offset credit)을 거래가능한 하나 RGGI의 주정부에서도 한정적으로 적용되며, 거래가능한 온실가스 감축실적(offset credit) 또한 SF6 배출 감소, 매립지 메탄 포집, 입업/조립, 최종에너지 사용 효율 제고(태양열/지열을 통한 화석 연료 소비 감소 등), 농업용 메탄 배출 감소로 한정하고 있다(Regional Greenhouse Gas Initiative, 2023b). RGGI CO<sub>2</sub> Allowance Tracking System(RGGI COATS)에서 CCS 관련 사업은 없었다.

캘리포니아 배출권 거래제도의 온실가스 감축실적(offset credit)으로 전환가능한 American Carbon Registry(ACR)에서 2015년 CCS 1.0 방법론, 2021년 CCS 1.1 방법론을 제시하였으며 CCS 2.0 EOR-CCS 방법론을 2022년 공개 의견수렴 이후 과학 전문가 검토 중이다(American Carbon Registry, 2023a). 2013년 시작된 캘리포니아의 배출권 거래제(cap-and-trade) 프로그램에 따라, 거대 온실가스 배출원은 배출 한도를 충족해야 한다. 기업 준수 의무의 최대 8%를 캘리포니아 대기자원위원회(ARB) 온실가스 감축실적(offset credit)으로 사용가능하다. ACR은 ARB와 협력하여 ARB 프로토콜을 사용하여 온실가스 감축실적(offset credit) 사업의 등록/검증/발행을 감독한다. ACR에서 발급한 온실가스 감축실적(offset credit)은 배출권 거래제 프로그램에 따라 ARB 준수 오프셋 크레딧으로 전환가능하다(American Carbon Registry, 2023b). ACR은 CCS 프로토콜도 가지고 있으나 ARB 프로토콜에는 미국의 산림, 도시숲(urban forest), 오존파괴물질(ODS), 가축, 광산 메탄 포집, 버 재배의 6개 프로토콜을 제시하고 있다.

ACR은 CCS 사업 방법론 2.0으로 기존 염대수층과 고갈

되거나 생산중인 석유/가스 저류층을 포함한 적격성 기준을 제시하고 있다(American Carbon Registry, 2022)(Table 3). EOR사업의 운송/정제/최종 사용의 배출 계산 및 직접 공기 포집(DAC) 등 이산화탄소 제거(CDR) 기술을 활용하는 프로젝트를 포함한다. CCS사업 대상으로 인접국인 캐나다, 멕시코와의 CCS사업을 포함하고 있으며 향후 대상 국가를 추가할 예정이다.

2023년 8월 기준 ACR에서 종료 및 등록 중인 사업을 포함하여 총 643개 사업이 수행되었거나 수행되고 있으며, 그 중 CCS사업은 5개로 모두 석유회수증진(EOR) 사업이다(American Carbon Registry, 2023c)(Table 4). 또한 감축실적 규모 순으로 ACR의 상위 5위, 6위 사업이 EOR-CCS사업이며 나머지 EOR-CCS 사업 또한 상위 17위, 23위, 31위이다. 온실가스 감축실적 상위 20개 사업 중에서 산업가스 대체사업 1개(상위 4위)를 제외하고 나머지는 삼림 16개 사업과 EOR-CCS 3개 사업이다. ACR에 등록된 EOR사업은 모두 막대한 온실가스 감축실적을 기록한 것을 확인할 수 있다. 하지만 모두 1998년~2004년 기간에 등록된 사업들로 수소생산 연계 등 최근의 기술을 이용한 사업 특성 확인에 한계가 있기 때문에, 최근 미국에서 진행된 EOR-CCS사업 현황을 별도로 분석하였다.

최근의 자료로 미국 에너지부의 2020년 새로운 CCUS 연구개발 투자에도 석유회수증진 연계 이산화탄소 저장사업이 포함되고 있다(United States Department of Energy, 2020). 해당 EOR-CCS 사업은 San Juan Basin CarbonSAFE Phase III로 매년 이산화탄소 4백만~5백만 톤이 퍼미안 분지(Permian Basin)의 석유회수증진(EOR)를 위해 파이프라인으로 이동되고 2백만 톤이 지중저장된다(Office of Fossil Energy and Carbon Management, 2020). 2022년 미국 에너지부의 화석에너지/탄소관리국에서 발간한 넷제로 전략 비전보고서에서 CCS와 수소 생산과 연계한 천연가스 생산을 제시하였다(United States Department of Energy-

**Table 3.** Eligible CCS Project Components of American Carbon Registry (American Carbon Registry, 2022)

CCS Project Component	Eligible Project Activities*
CAPTURE	Emissions from industrial processes including but not limited to cement production, iron/steel/aluminum production, hydrogen production, and electrical power generation
	Emissions from sustainable biomass sources including but not limited to ethanol production, woody biomass pelletization, and biogenic power production
	Direct air capture of CO <sub>2</sub> (DAC)
TRANSPORT	Pipelines, rail lines, roads, or maritime ships
STORAGE	Saline formations and depleted or producing oil and gas onshore or offshore reservoirs(including enhanced oil recovery [EOR])

\*Be located in the United States, U.S. Territories, Canada, or Mexico. Other locations will be included in subsequent updates.

**Table 4.** EOR-CCS Projects of American Carbon Registry (American Carbon Registry, 2023c)

Project ID	Project Developer	Project Name	Project Type	Project Methodology /Protocol	Current Crediting Period Start Date	Project Site Location	Project Site State	Total Number of Credits Registered (tCO <sub>2e</sub> )
ACR117	Blue Source	Merit Energy Geo-Seq	Carbon Capture & Storage (CCS)	Emission Reductions from Enhanced Oil Recovery	2000.01.01.	LaBarge	WYOMING	7,308,664
ACR118	Anadarko	Monell Geo-Seq	Carbon Capture & Storage (CCS)	Emission Reductions from Enhanced Oil Recovery	2003.08.01	Sweetwater County	WYOMING	1,748,409
ACR120	Blue Source	Petrosource Geo-Seq	Carbon Capture & Storage (CCS)	Emission Reductions from Enhanced Oil Recovery	1998.08.01.	Crocket County	TEXAS	2,181,419
ACR121	Blue Source	Pike's Peak Geo-Seq	Carbon Capture & Storage (CCS)	Emission Reductions from Enhanced Oil Recovery	2004.10.01.	Pecos County	TEXAS	2,866,515
ACR123	Anadarko	Salt Creek Geo-Seq	Carbon Capture & Storage (CCS)	Emission Reductions from Enhanced Oil Recovery	2004.01.01.	Salt Creek Field, Natrona Co.	WYOMING	7,675,073

Office of Fossil Energy and Carbon Management, 2022). 해당 보고서에서 수소 지중저장을 포함한 수소 연구개발을 위한 영국, 일본, 사우디아라비아, 터키, 노르웨이, 인도와 국제협력 또한 제시하였다. 해당 보고서에는 2030년 미국의 이산화탄소 지중저장 및 운송인프라 구축 목표인 65백만 톤에 대해서, 미국의 산업 부문에서 지난 50년 동안 잘 진행된 석유회수증진 사업과 비슷한 수준의 이산화탄소 처리 규모로 비교하였다.

#### 캐나다 탄소시장과 석유/가스 회수증진-저장사업

2021년 캐나다의 탄소 순배출 제로 2050년 달성 목표 설정 및 계획을 의무화하는 법안(Bill C-12, Canadian Net-Zero Emissions Accountability Act)을 발의하였다(Government of Canada, 2021a). 캐나다 정부는 2030년 배출 감축 계획을 수립하고 2035년까지 넷제로 전력망으로 전환, 석유가스 부문의 온실가스 배출량을 현재 수준으로 제한하고 2050년까지 넷제로 도달을 요구한다(Government of Canada, 2021b). 캐나다 오일샌드 생산량의 약 90%를 차지하는 캐나다의 Canadian Natural Resources, Cenovus Energy, Imperial, MEG Energy 및 Suncor Energy 석유가스 생산업체는 각각 2050년까지 오일샌드 사업에서 넷제

로 배출 달성을 약속하였다고 한다(Government of Canada, 2021b). 캐나다 2030 배출 감축 계획은 캐나다의 법률에 의한 첫 번째 배출감소계획으로 2023년, 2025년, 2027년 진행사항 검토 및 추가목표/계획을 2035~2050년까지 개발한다(Environment and Climate Change Canada, 2022). 해당 계획에 따르면 캐나다 석유가스산업은 2020년 캐나다 국내총생산(GDP)의 1,180억 달러(GDP 5.7% 비중)를 차지하고 있으며 고용 178,500명 이상, 수출 860억 달러(16% 비중)에 달한다. 캐나다 2030 배출 감축 계획에는 석유가스 부문 저탄소화를 통해 저탄소 석유가스를 전 세계에 제공하고자 한다. 석유가스 분야 메탄 배출도 75% 저감하며 산업 부문 CCUS 적용, 천연가스 발전과 CCUS 연계 및 수소 생산 연계를 제시하고 있다. 해당 계획에서 앨버타(Alberta) 주정부는 상업 CCUS 허브로 지중저장 투자 및 천연가스 저류층과 CCUS 인프라 기반 저탄소 수소생산을 제시하였다. 앨버타 주정부는 일본 JOGMEC과 수소-암모니아-CCUS 기술개발도 실시한다. 캐나다 천연자원부는 2023년 수소 생산, 발전소, 중화학산업 및 공기 포집을 포함한 이산화탄소 포집, 석유 저류층과 염대수층에 이산화탄소 저장을 포함한 CCUS 전략을 발표하여 CCUS 사업을 기후 변화 조치 및 경제적 측면에서 캐나다에 중요한 기회로 보

고 있다(Government of Canada, 2023)

캐나다의 탄소세는 2019년부터 연방, 주정부 및 지역별 가격 책정 시스템을 혼합하여 캐나다 전역에서 시행되었으나, 캐나다의 탄소배출권 거래 제도는 주정부 별로 운영하고 있다(Environment and Climate Change Canada, 2022). 앨버타주는 캐나다에서 처음으로 메탄 배출량 감소 목표를 설정한 주정부로 2007년 온실가스 감축실적인 탄소 배출 상쇄(offset)를 거래하는 시스템을 구축하였다. 해당 시스템은 캐나다 정부에서도 산출 기반 탄소가격 시스템(Output-Based Pricing System)으로 2022년 8월 인정되었다. 앨버타주의 기술혁신 및 배출 감소(Technology Innovation and Emission Reduction, TIER) 규정에 따라 다른 주에서 온실가스 감축실적(offset)을 구매하거나 사용하는 것도 가능하다.

앨버타주정부의 Alberta Emission Offset System(AEOR)에서 2007년 EOR 1.0, 2022년 EOR 2.0으로 EOR과 염대수층 저장 CCS 방법론을 제시하고 있다(Government of Alberta, 2022). Alberta Emission Offset System(AEOR)에서 수소생산 분야 염대수층 저장 사업인 셸 캐나다(Shell Canada)사의 QUEST 사업(2015년 가동), 수소생산 및 비료생산 분야 CO<sub>2</sub>-EOR 저장 사업인 Alberta Carbon Trunk Line(CTL) 프로젝트(2020년 가동)가 대표적이다(Lee, 2021; Government of Alberta, 2022). 캐나다 앨버타에서 1980년대 초반부터 EOR 사업을 시행해 왔으며, EOR 및 염대수층 저장 방식으로 투입한 연간 이산화탄소 양을 비교한 결과 CTL과 Quest 사업은 타 프로젝트에 비해 막대한 이산화탄소 처분을 자랑한다(Canada Energy Regulator, 2023).

Alberta Emission Offset System(AEOR)은 캐나다 앨버타주 내에서 시행하는 사업/배출량 저감 사업 대상으로 하며 앨버타 주의 규제 시설은 1) 내부 현장 배출 감소, 2) 기술혁신/배출감소기금(TIER) 기여, 3) 앨버타 기반 배출 오프셋 구매/사용, 4) 배출 성과 크레딧 구매/사용하는 4가지의 온실가스 배출감축 목표 달성 방법을 가진다. Alberta Emission Offset System(AEOR)에서는 현재 Canadian Standards Association(CSA) 그룹이 운영하는 앨버타 온실가스 등록부(Alberta Carbon Registries)에 감축실적이 등록, 공개된다. 2023년 8월 현재 372개 사업이 공개되어 있어 해당 내용으로 석유가스전 연계 CCS 사업을 분석하였다(Alberta Carbon Registries, 2023).

캐나다 앨버타주에서 CCS 사업으로 검색되는 사업은 Shell Canada Limited사의 Quest Carbon Capture and Storage Project 사업 하나이다(Table 5). 이는 CO<sub>2</sub> Capture and Permanent Storage in Deep Saline Aquifers 프로토콜로 등록된 사업으로 온실가스 감축실적 4,446,399 tCO<sub>2</sub>e 과 만료 예정인 7,141,219 tCO<sub>2</sub>e으로 총 11,597,266 tCO<sub>2</sub>e

이 발행된 사업이다. Shell사의 비투멘개질/정유/화학공장의 수소 제조 시 발생한 이산화탄소를 포집하는 사업으로 현재도 진행 중이다.

앞서 제시한 바와 같이 캐나다 앨버타주에서 석유가스증진(EOR) 사업으로 이산화탄소 처분 방법론을 제시하고 있으며, EOR로 검색되는 사업은 다음의 10개 사업이다(Table 5). 먼저 Apache Canada Ltd.사의 Zama Battery 12 Enhanced Oil Recovery Project는 총 온실가스 감축실적 737,590 tCO<sub>2</sub>e 발행(시행 중 80/만료예정 54,056/만료 683,454) 및 종료사업으로 천연가스 생산 시 발생한 산성가스의 이산화탄소를 인근 가스 플랜트에서 유향 회수 및 소각한 것을 대체하여 EOR로 이산화탄소를 처분한 사업이다. 예상 총 감축량은 680,854 tCO<sub>2</sub>e로 제시되었으나 Blue Source Canada에서 검증한 감축실적 보고서를 살펴보면 2004년 17,150 tCO<sub>2</sub>e, 2005년 203,923 tCO<sub>2</sub>e, 2006년 157,951 tCO<sub>2</sub>e, 2007년 88,077 tCO<sub>2</sub>e, 2008년 79,589 tCO<sub>2</sub>e, 2009년 61,409 tCO<sub>2</sub>e, 2010년 41,811 tCO<sub>2</sub>e, 2011년 16,145 tCO<sub>2</sub>e, 2012년 3,776 tCO<sub>2</sub>e, 2013년 24,633 tCO<sub>2</sub>e, 2014년 19,336 tCO<sub>2</sub>e, 2015년 12,508 tCO<sub>2</sub>e, 2016년 7,366 tCO<sub>2</sub>e, 2017년 3,916 tCO<sub>2</sub>e으로 총 감축실적은 737,590 tCO<sub>2</sub>e이다(Blue Source Canada, 2018).

ARC Resources Ltd.사의 Redwater Enhanced Oil Recovery Project는 석유생산 현장에서 이산화탄소를 포집하여 석유 생산에 투입한 사업으로 2010년 종료되었다. AlphaBow Energy Ltd.사의 CO<sub>2</sub> Capture from Prentiss1&2 for EOR 사업은 MEGlobal의 P1 EOEG 에틸렌글리콜 생산 장치에서 이산화탄소를 포집하여 인근 유전까지 파이프라인 운송하는 사업이다. 해당 사업은 총 온실가스 감축실적 1,028,795 tCO<sub>2</sub>e 사업(시행중 231,634/만료예정 389,200/만료 407,961)이며 Prentiss2 단독 사업은 만료되었다. 해당 회사인 AlphaBow Energy Ltd.사는 2021년 등록된 앨버타주의 가장 최근의 EOR 사업인 Viking B Phase 1 EOR Project 또한 수행하고 있다. Viking B Phase 1 EOR Project는 예상 감축량만 제시하고 있으며 실제 등록된 온실가스 감축실적은 공개되지 않았다.

2020년 등록된 Enhance Energy Inc.사의 CO<sub>2</sub>-EOR Project at Clive Field 사업은 총 온실가스 감축실적 3,247,080 tCO<sub>2</sub>e(시행 중 3,221,224/만료 366) 사업으로, 아스팔텐을 정유하여 수소 생산 및 사용하는 Sturgeon Refinery 공장과 Nutrien 비료 공장의 이산화탄소를 포집하여 EOR에 사용하는 Alberta Carbon Trunk Line(CTL) 프로젝트이다. 해당 사업의 온실가스 감축 기간은 2039년까지로 제시한다. Canadian Natural Resources Limited사의 Hays Gas Plant Enhanced Oil Recovery Project는 Hays 산업가스 처리 플랜트 대상 EOR 사업으로 2004년 시작하



여 2016년 등록되었으며 현재 시행 중인 총 온실가스 감축 실적 108,914 tCO<sub>2</sub>e 사업(시행 34,179/만료 예정 18,712)이다.

Penn West Exploration사는 2004년~2008년 기간에 3개의 EOR-CCS 시범사업을 등록하여 수행하였으며 현재 모두 종료하였다. 먼저 Joffre Viking CO<sub>2</sub> Injection Project는 캐나다 최초의 상업용 이산화탄소 혼합 생산 프로젝트로 NOVA Chemicals 에틸렌 공장의 이산화탄소를 포집하여 Penn West에 판매하는 EOR사업으로 총 온실가스 감축실적 39,566 tCO<sub>2</sub>e가 만료 예정이다. Pembina CO<sub>2</sub> Injection

Project 또한 Pembina Cardium Sand 대상 EOR-CCS 시범사업으로, 포집된 이산화탄소를 액체 이산화탄소로 변환하여 Ferus Gas Industries Ltd. 파이프라인으로 운송하였다. 해당 사업의 총 온실가스 감축실적은 56,749 tCO<sub>2</sub>e로 만료 예정이다. 마지막으로 South Swan Hills CO<sub>2</sub> Injection Project는 Swan Hills, Beaverhill Lake 유전의 CO<sub>2</sub>-EOR 시범사업으로 Shell Scotford 업그레이더의 폐가스를 포집/액체화하여 파이프라인으로 운송하고, 유전의 주입공으로 트럭 운송한 사업이다. 해당 사업은 총 온실가스 감축실적 29,055 tCO<sub>2</sub>e가 만료 예정인 사업이다.

**Table 5.** CCS Projects of Alberta Carbon Registries (Alberta Carbon Registries, 2023)

Project ID	Project Developer	Project Name	Quantification protocol	Offset start date	Offset end date	Project Site Location	Project Status	Estimated Lifetime Emission Reductions (tCO <sub>2</sub> e)
7306-8118	Shell Canada Limited	Quest Carbon Capture and Storage Project	CO <sub>2</sub> Capture and Permanent Storage in Deep Saline Aquifers	2015.08.23	2035.08.22.	Fort Saskatchewan	Active	17,620,000
8806-0274	Apache Canada Ltd	Apache Zama Battery 12 Enhanced Oil Recovery Project	Enhanced Oil Recovery (streamlined)	2004.12.01.	2017.11.30.	northwest of Edmonton	Inactive	680,854
2055-3560	ARC Resources Ltd.	ARC Redwater Enhanced Oil Recovery Project	Enhanced Oil Recovery	2008.07.30.	2010.11.26.	Strathcona County	Inactive	54,732
9163-7693	Penn West Exploration	Joffre Viking CO <sub>2</sub> Injection Project	Enhanced Oil Recovery	2004.01.01.	2011.12.31.	Near Joffre	Inactive	44,678
1285-6512	Penn West Exploration	Pembina CO <sub>2</sub> Injection Project	Enhanced Oil Recovery	2005.03.01.	2009.12.31.	near Drayton Valley	Inactive	60,000
4680-7897	Penn West Exploration	South Swan Hills CO <sub>2</sub> Injection Project	Enhanced Oil Recovery	2008.05.01.	2010.08.31.	near Whitecourt	Inactive	30,000
4593-7854	AlphaBow Energy Ltd.	CO <sub>2</sub> Capture from Prentiss1&2 for EOR	Enhanced Oil Recovery	2007.05.01.	2025.04.30.	Lancombe County	Active	1,200,000
3482-7976	AlphaBow Energy Ltd.	CO <sub>2</sub> Capture from Prentiss2 for EOR	Enhanced Oil Recovery	2006.01.01.	2021.12.31.	Lancombe County	Inactive	640,000
8613-7752	Enhance Energy Inc	Enhance Energy CO <sub>2</sub> -EOR Project at Clive Field	Enhanced Oil Recovery	2020.02.26.	2039.02.25.	Leduc County	Active	3,040,000
4671-3854	Canadian Natural Resources Limited	Hays Gas Plant Enhanced Oil Recovery Project	Enhanced Oil Recovery	2016.01.01.	2023.12.31.	Calgary	Active	116,461
3277-4129	AlphaBow Energy Ltd.	Viking B Phase 1 EOR Project	Enhanced Oil Recovery	2021.04.19.	2029.04.18.	Calgary	Active	1,560,000

## 결론

2023년 4월 발표된 중장기 온실가스 감축목표를 포함한 제1차 국가 탄소중립·녹색성장 기본계획에서는 온실가스 국제감축 목표를 37.5백만 톤으로 상향 조정하여, 우리나라 산림·습지·해양 등 흡수원의 26.7백만 톤 목표 및 우리나라 건물 부문의 총 배출량 35백만 톤보다 높은 목표를 설정하고 있다. 미국과 캐나다의 온실가스 감축실적 거래시장에서 석유 회수증진-이산화탄소 저장을 포함한 CCS사업의 프로토콜을 확인하였고 미국의 종료된 감축 사례에서 해당 사업의 1,748~7,675백만 톤의 막대한 감축량을 확인하였다. 캐나다 사례에서도 30~3,040백만 톤의 EOR-CCS 사업의 막대한 온실가스 감축량을 확인하였고, 석유 회수증진 혹은 수소 생산 연계 사업이 현재에도 추진되는 캐나다 대표 CCS사업으로 시행되고 있음을 확인하였다. 미국과 캐나다의 넷제로 정책에서도 석유/천연가스 생산과 CCS 및 수소생산과 연계하는 인프라 구축 및 연구개발, 실증사업이 활발히 진행되고 있다.

우리나라 온실가스 국제감축 목표 달성을 위해 국내 천연가스, 수소 에너지 공급과 연계한 미국 및 캐나다 대상 CCS사업 추진으로 천연가스, 수소의 새로운 국외 공급원을 확보하고 국내에서 포집된 이산화탄소의 국외 처분 또한 가능할 것이다. CDM 종료 이후 우리나라의 온실가스 국제감축사업을 위해 정부는 양자협력 대상 국가를 추가하고 있지만 아직 저개발국, 개발도상국 중심의 양자협력을 추진하고 있으며 미국, EU 등과는 기후·환경 이슈 대응 측면에서 접근하고 있다. 하지만 2023년 4월 한국-미국 정부의 청정에너지 분야 MOU를 통해 한국-미국 대상 CCS사업 공동평가·개발, 미국 내 블루수소 생산 및 국내도입 인프라 구축을 추진한다. 미국의 경우 자발적 탄소시장에서 인접국인 캐나다, 멕시코와의 석유가스전 연계 CCS사업을 포함하고 있으며 향후 대상 국가를 추가할 예정이다. 우리나라 온실가스 국제감축 목표 달성을 위해서는 막대한 감축량을 기대할 수 있는 미국/캐나다 석유가스전 및 수소 공급과 연계한 CCS사업 추진이 필요하며, 연구개발 및 실증사업, 인프라 개발을 시작으로 국내 포집 이산화탄소의 국제이동 및 감축실적의 국내이전을 위한 세부 정책 수립이 필요하다. 에너지 생산과 연계하지 않는 호주, 네덜란드 등과 이산화탄소 지중저장 국제사업 및 국외 흡수원 에너지효율사업 등 타 분야 사업을 포함한 국제감축사업 분석으로 국내 온실가스 국제감축 목표 달성을 위한 감축량 등 비교 분석이 추후 필요할 것이다.

## 사사

이 논문은 한국지질자원연구원 기본사업 지질자원 표본·기초학술연구와 선도형 R&D 정책/성과확산 연구(GP20-020)에 의해 지원되었습니다.

## References

- Ahn, E.Y., 2022. A Study on Carbon Neutrality for CO<sub>2</sub> Injection Natural Gas Recovery Enhancement (EGR+) Project (in Korean). *Proceedings of the 118th Fall Conference of the Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers*, Daejeon, Korea.
- Ahn, E.Y., 2023. Carbon Market, International Transfer Policy of Credit, and Oil/Gas field-linked CCS business (in Korean). *Proceedings of the 120th Spring Conference of the Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers*, Seoul, Korea.
- Ahn, S.K., 2010. Carbon Credits and Carbon Market (in Korean), *Corporate Governance Review*, 52, p.26-35.
- Alberta Carbon Registries, 2023.08.11., Alberta Emissions Offset Registry Listing, [https://alberta.csaregistry.ca/GHGR\\_Listing/AEOR\\_Listing.aspx](https://alberta.csaregistry.ca/GHGR_Listing/AEOR_Listing.aspx)
- American Carbon Registry, 2022. *Methodology for the Quantification, Monitoring, Reporting And Verification of Greenhouse Gas Emissions Reductions And Removals From Carbon Capture And Storage Projects: Version 2.0 Draft*, Arkansas, United States, 136p.
- American Carbon Registry, 2023a.08.11., Carbon Capture and Storage Projects-Standards & Methodologies, <https://americancarbonregistry.org/carbon-accounting/standards-methodologies/carbon-capture-and-storage-projects>
- American Carbon Registry, 2023b.08.11., Compliance Offset Projects, <https://americancarbonregistry.org/california-offsets/compliance-offset-projects>
- American Carbon Registry, 2023c.08.11., Projects, <https://acr2.apx.com/myModule/rpt/myrpt.asp?r=111>
- Blue Source Canada, 2018. Offset Project Report For: Apache Zama Battery 12 Enhanced Oil Recovery Project, 19p.
- Canada Energy Regulator, 2023.05.30., Market Snapshot: New projects in Alberta could add significant carbon storage capacity by 2030, <https://www.cer-rec.gc.ca/en/data-analysis/energy-markets/market-snapshots/2022/market-snapshot-new-projects-alberta-could-add-significant-carbon-storage-capacity-2030.html>
- Carbon Market Express, 2023.08.08., <https://www.carbon-markets.env.go.jp/eng/jcm/initiatives/index.html>
- Climate Action Reserve, 2023.08.10., Protocols, <https://www.>

- climateactionreserve.org/how/protocols/
- Congressional Research Service, 2019. *The Regional Greenhouse Gas Initiative: Background, Impacts, and Selected Issues*, 19p.
- Environment and Climate Change Canada, 2022. *2030 Emissions Reduction Plan – Canada’s Next Steps for Clean Air and a Strong Economy*, Gatineau, Canada, 234p.
- Government of Alberta, 2022. *Quantification protocol for enhanced oil recovery. Version 2*, Canada, 70p.
- Government of Canada, 2021a.06.29., Canadian Net-Zero Emissions Accountability Act S.C.2021, c.22, <https://www.laws-lois.justice.gc.ca/eng/acts/c-19.3/fulltext.html>
- Government of Canada, 2021b.12.03., Canada to launch consultations on new climate commitments this month, establish Emissions Reduction Plan by the end of March 2022, <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/news/2021/12/canada-to-launch-consultations-on-new-climate-commitments-this-month-establish-emissions-reduction-plan-by-the-end-of-march-2022.html>
- Government of Canada, 2023.02.24., Carbon Management Strategy (formerly known as the Carbon Capture, Utilization and Storage Strategy), <https://www.natural-resources.canada.ca/climate-change/canadas-green-future/carbon-capture-utilization-and-storage-strategy/23721>
- Greenium, 2023.03.30., <https://greenium.kr/climate-industry-itmo-jcm-japan-ndc-unfccc-paris-agreement/>
- Ha, O., 2022. *Voluntary Carbon Market (VCM) Trends and Implications* (in Korean), Capital Market Focus Vol. 2022-24, p.1-6.
- Interagency association, 2023. *Basic Plan on Carbon Neutrality and Green Growth* (in Korean), 182p.
- KIGAM, 2017. *KIGAM’s Long-term Development Strategies for 2050: The Future and the Position and Roles of Geo-Technology in 2050*, Daejeon, Korea, 6p.
- KOTRA, 2023.04.25., 13 SMR/clean hydrogen MOUs between Korea and the United States (in Korean), [https://president.globalwindow.org/kz.info.MouDetail.do?mou\\_seq=1533](https://president.globalwindow.org/kz.info.MouDetail.do?mou_seq=1533)
- Lee, H.W., 2021.03.25., Canada, the current state of carbon dioxide capture, utilization, and storage technology for carbon neutrality (in Korean), KOTRA Overseas Market News, [https://dream.kotra.or.kr/kotranews/cms/news/actionKotraBoardDetail.do?SITE\\_NO=3&MENU\\_ID=180&CONTENTS\\_NO=1&bbsGbn=243&bbsSn=243&pNttSn=187683](https://dream.kotra.or.kr/kotranews/cms/news/actionKotraBoardDetail.do?SITE_NO=3&MENU_ID=180&CONTENTS_NO=1&bbsGbn=243&bbsSn=243&pNttSn=187683)
- Lee, J.S., 2022.09.06., Acquired Australian offshore CO<sub>2</sub> storage exploration and operation rights (in Korean), <https://www.h2news.kr/news/article.html?no=10263>
- Ministry of Trade, Industry and Energy, 2022a. *Establishment of the ‘International Greenhouse Gas Reduction Project Council for Industry and Energy’ to Promote Greenhouse Gas Reduction through Overseas Investment* (in Korean), Sejong, Korea, 3p.
- Ministry of Trade, Industry and Energy, 2022b. *Policy Direction for International Greenhouse Gas Reduction Project in Industry and Energy Sector* (in Korean), Sejong, Korea, 7p.
- Office of Fossil Energy and Carbon Management, 2020. FOA 1999 Project Selections, <https://www.energy.gov/fecm/foa-1999-project-selections>
- Park, J.H., 2022. Introduction and Current Status of Operation of Carbon Pricing in Major Countries (in Korean), *KIRI Report*, 548, p.12-13.
- Presidential Commission on Carbon Neutrality and Green Growth, 2021. *2050 Carbon Neutrality Scenarios* (in Korean), Sejong, Korea, 145p.
- Presidential Commission on Carbon Neutrality and Green Growth, 2022.12.30., Establishment of Greenhouse Gas International Reduction Project Guidelines (in Korean), [https://www.2050cnc.go.kr/flexer/view/BOARD\\_ATTACH?storageNo=1510](https://www.2050cnc.go.kr/flexer/view/BOARD_ATTACH?storageNo=1510)
- Regional Greenhouse Gas Initiative, 2023a.08.10., Elements of RGGI, <https://www.rggi.org/program-overview-and-design/elements>
- Regional Greenhouse Gas Initiative, 2023b.08.10., Offsets, <https://www.rggi.org/allowance-tracking/offsets>
- Seok, H.Y., Kim, D.R., 2021. A Study on the Current Status for the CCUS Legislation in the U.S. (in Korean), *Public Land Law Review*, 96, p.303-324.
- U.S. federal legislative information, 2021.03.17., S.799 - SCALE Act — 117th Congress (2021-2022), <https://www.congress.gov/bill/117th-congress/senate-bill/799/text>
- United Nations Economic and Social Council, 2014.11.28., Revised recommendations of the United Nations Economic Commission for Europe to the United Nations Framework Convention on Climate Change on how carbon capture and storage in cleaner electricity production and through enhanced oil recovery could be used in reducing greenhouse gas emissions, [https://unece.org/DAM/energy/se/pdfs/comm23/EC.E.ENERGY.2014.5\\_e.pdf](https://unece.org/DAM/energy/se/pdfs/comm23/EC.E.ENERGY.2014.5_e.pdf)
- United Nations Framework Convention on Climate Change, 2012.03.15., Decisions adopted by the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Kyoto Protocol, <https://unfccc.int/resource/docs/2011/cmp7/eng/10a02.pdf#page=13>
- United States Department of Energy, 2020.04.28., U.S. Department of Energy Announces \$131 Million for CCUS Technologies, <https://www.energy.gov/articles/us-department-energy-announces-131-million-ccus-technologies>
- United States Department of Energy-Office of Fossil Energy and Carbon Management (FECM), 2022. *Strategic Vision:*

- The Role of FECM in Achieving Net-Zero Greenhouse Gas Emissions*, Washington DC, United States, 55p.  
United States Department of State, 2021. *The Long-term Strategy of the United States: Pathways to Net-Zero Greenhouse Gas Emissions by 2050*, Washington DC, United States, 61p.  
World Bank Group, 2023. *State and Trends of Carbon Pricing 2023*, Washington DC, United States, 78p.
- World Resources Institute, 2022.03.23., Carbon Capture, Utilization and Storage (CCUS) Tax Credit Amendments Act of 2021 and Negate Emissions to Zero (NET Zero) Act of 2021, <https://www.wri.org/update/45q-enhancements>  
Yoo, J.H., 2021. Current Status of Carbon Crediting Mechanism (in Korean), *Weekly KDB Report*, 910, p.1-4.

**안 은 영**

2009년 충남대학교 경상대학 경제학과 경제학박사

현재 한국지질자원연구원 미래전략연구센터 책임연구원  
(E-mail; eyahn@kigam.re.kr)

---