

CCS · CCUS 조기실현을 위한 일본의 대응과 시사점*

김 경 석**

〈국문초록〉

지구 대기 중에 존재하는 이산화탄소 농도는 매년 사상최고치를 넘어서고 있다. 그리고 그로 인한 문제들, 예를 들면, 지구 기온의 상승은 인류가 감당하기 어려운 수준에 도달할 수도 있다는 경고는 계속해서 나오고 있다. 대부분의 나라들이 지구적인 위협에 대응하기 위해 다양한 노력을 하고 있으며, 그 중 하나는 탄소의 배출을 줄이는 것이다.

현재 인류가 보유한 기술 중, CCS와 CCUS가 탄소를 줄이고 탄소를 활용하여 새로운 에너지로 전환할 수 있는 중요한 기술이라는 데에는 대부분 동의하고 있으며, 해당 기술의 실용화는 환경보호뿐 아니라, 산업으로서도 매우 높은 경제적 가치를 인정받고 있다.

우리나라도 이러한 흐름에 발맞추어 탄소중립을 외치고 있으나 탄소중립을 위해 매우 효율적인 기술의 실용화를 위한 움직임은 여전히 매우 더딘 상황이다. 해당 기술의 필요성이나 중요성은 오래전에 인식하고 준비를 위한 계획도 오래전에 마련되었음에도 불구하고 여전히 실질적인 움직임은 나타나지 않고 있다. 이에 반해 일본정부는 해당 기술의 실용화를 위해 다양하고 적극적인 대응을 펼치고 있다.

우리정부도 더 이상 지체하지 말고 CCS와 CCUS 기술의 실용화를 위해 적극적으로 대응해야 할 것이다. 먼저, 관련 법령을 정비하여 해당 기술의 실용화를 위한 법제도적 기반을 마련해야 할 것이다. 두 번째로 적극적인 교육 및 홍보와 정보제공 등을 통해 해당 기술에 대한 국민들의 우려를 불식시키고 이를 통해 사회적 수용성을 제고해야 할 것이다. 마지막으로 관련기술의 실용화를 위한 시도에 대한 세금감면 등의 혜택과 연구개발을 위한 충분한 지원이 필요할 것이다.

주제어 : 탄소배출 감축, 탄소포집 및 저장 기술, 탄소포집 · 저장 · 활용 기술, 수용성 강화, 산업경쟁력 제고

• 투고일 : 2022.03.16. / 심사일 : 2022.04.22. / 게재확정일 : 2022.04.23.

* 이 논문은 2020년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임
(NRF-2020S1A5B5A16082986)

** 홍익대학교 연구교수, 법학박사

I. 서론

우리 환경부는 2021년 9월 제정된 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」의 시행에 필요한 사항을 정하기 위해 11월 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법 시행령」 제정안의 입법예고를 하였다.¹⁾ 동 시행령은 중장기 국가 온실가스 감축 목표 설정, 국가 탄소중립 녹색성장 기본계획 수립, 2050 탄소중립녹색성장위원회의 구성과 운영, 기후변화영향평가제도 시행, 국가 기후위기 적응대책 수립, 정의로운 전환 특별지구 지정, 녹색기술·녹색산업 육성·지원, 기후대응기금 설치 및 운용 등과 같이 법률에서 위임된 사항과 그 시행을 위하여 필요한 사항을 내용을 하고 있다.

이러한 우리정부의 움직임은 세계적인 합의에 따른 것이다. 세계 각국은 탄소감축을 위해 다양한 노력을 하고 있으며, 그러한 노력 중 주목을 받고 있는 것이 이산화탄소를 모아서 저장과 활용을 하는 기술인 CCS와 CCUS이다. CCS는 석유나 석탄 등의 화석연료로부터 배출되는 대규모의 CO₂를 줄일 수 있는 효율적인 기술로 이산화탄소 포집 및 처리(Carbon Dioxide Capture and Sequestration. 이하 'CCS'라 한다)기술이다.²⁾ 또한 CCUS는 CCS와 CCU를 융합한 형태인 이산화탄소 포집·활용·저장(Carbon Capture Utilization, and Storage. 이하 'CCUS'라고 한다) 기술이다. 우리 정부도 2010년 2월 「2010년도 녹색성장 7대 실천과제」에서 CCS기술을 10대 핵심 녹색기술로 제시하고, CCUS를 에너지산업으로 분류하고 있는 등, 관련 기술에 대한 관심을 가지고 관련 정책을 마련하고 있으며, 세계 각국은 CCS와 CCUS기술을 활용한 탄소감축에 다양한 투자와 지원을 하고 있다.³⁾

우리와 마찬가지로 일본에서도 탄소감축과 재생가능에너지 보급을 위한 적극적인 움직임이 나타나고 있다. 2015년 파리협정체결 이후 정부, 지자체, NPO 등에서 온실가스 배출량을 감축하는 것과 관련한 다양한 선언이나 계획 등이 발표되었다. 그리고 가장 최근 발표된 일본 온난화대책의 구체적 내용을 정하고 있는 2021년 「지구 온난화 대책계획(이하 '2021 온난화 대책계획'이라

1) 환경부 홈페이지(2021년 11월 16일 검색) <http://me.go.kr/home/web/index.do?menuId=68>

2) Global CCS Institute, The global status of CCS: 2017, 5면(이하 '2017년 CCS현황보고서'라고 한다)(2021년 12월 10일 검색).. <https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2018/12/2017-Global-Status-Report.pdf>

3) CCS, CCUS 기술의 개요와 우리 정부의 관련 정책에 관한 자세한 사항은 (김경석, "CCS 실증 및 CCUS 상용화를 위한 법적 기반과 개선점", 「기업과 혁신연구」 제44권 제2호, 지식경영연구원, 2021) 참조.

고 인용한다)」⁴⁾에 따르면, 일본정부는 지구 온난화대책을 경제성장의 제약으로 인식하지 않고, 오히려 적극적으로 지구 온난화대책을 실시함으로써 산업구조나 경제사회의 변혁을 가져와 성장으로 연결한다고 하는 생각아래에서 2050년까지 온실가스의 배출을 제로로 한다는 「2050년 탄소중립」의 실현을 목표로 한다는 것을 밝히고 있으며, 그 주요한 수단의 하나로 CCS와 CCUS 기술의 활용이 제시되고 있다.

일본은 탄소감축을 위한 대표적 기술로 제시되는 기술인 CCS, CCUS 기술 개발과 실증을 위해 다양하고 적극적인 움직임을 나타내고 있으며, 이하에서는 일본에서의 CCS, CCUS와 관련된 구체적인 논의 등을 검토해보고 이를 통해 여전히 정체되어 있는 우리나라의 관련 움직임에 대한 시사점을 살펴보고자 한다.

II. 일본의 탄소중립사회 실현을 위한 대응과 CCS · CCUS

1. 정부의 계획과 법률 개정

일본은 파리협정체결 이후, 「지구온난화 대책추진법」을 근거로 하는 정부의 종합계획인 「지구온난화 대책계획[地球温暖化対策計画(2016년 5월 13일 각의결정)]⁵⁾을 작성하고, 해당 계획에서 2050년도까지 온실가스를 2013년도 대비 80% 감축하겠다는 계획을 발표하였다. 그리고 2021 온난화 대책계획⁶⁾에서는 국제적 리더십을 발휘하여 세계의 탈탄소화를 이끌고 다른 국가와 쌓아온 기존의 신뢰관계를 기초로 상대국과의 협력을 확대하는 동시에 일본의 강점인 기술력을 살리고, 시장 창출 · 인재육성 · 제도 구축 등의 환경 정비를 하며, 이러한 높은 기술과 제품 등을 활용한 사업적 활동과 함께 탄소배출 감축에 최대한 공헌한다는 대응방향을 발표하였다. 동 계획은 이전에 발표된 계획을 5년 만에 개정하여 2021년 10월 22일 발표되었으며, 2030년도에 2013년도 대비 온

4) 일본 환경성 홈페이지 자료(2021년 12월 10일 검색).

<http://www.env.go.jp/earth/211022/honbun.pdf>

5) 地球温暖化対策計画, 2016년 5월 13일, 6면(2021년 12월 10일 검색).

<https://www.env.go.jp/press/files/jp/102816.pdf>

6) 地球温暖化対策計画, 2021년 10월 22일, 11면(2021년 12월 10일 검색).

<http://www.env.go.jp/earth/211022/mat01.pdf>

실가스의 46%를 줄인다는 목표와 최대 50%를 줄이는 도전을 계속할 것을 표명하였다. 또한 경제와 환경의 선순환을 창출하고, 2030년도의 목표를 향해 힘차게 성장해 나가기 위해 철저한 에너지 절약이나 재생가능 에너지의 최대한 도입, 공공부문이나 지역의 탈탄소화 등, 모든 분야의 가능한 범위 내에서 최대한의 대응을 추진한다는 계획도 밝히고 있다.

일본정부가 목표로 하고 있는 온실가스별 목표의 대략은 다음 표와 같다.⁷⁾

[가스·부문별 감축목표]

(단위 : 백만 톤 - CO2)

	2013년도 실적	2019년도 실적	2030년도 목표 (2013년 대비)
온실가스 배출량·흡수량	1,408	1,166 ⁸⁾	760 (▲46%)
연료연소에 의한 이산화탄소 ⁹⁾	1,235	1,029	677
연료연소에 의하지 않은 이산화탄소	82.3	79.2	70.0
메탄(CH4)	30.0	28.4	26.7
일산화탄소	21.4	19.8	17.8
프레온대체가스 (HFCs, PFCs, SF6, NF3)	39.1	55.4	21.8
온실효과가스 흡수원	-	▲45.9	▲47.7
Joint Crediting Mechanism(JCM)	민관합동으로 2030년도까지 누적 1억톤정도의 국제적 배출감축·흡수량을 목표로 하고 있음		

법률적으로는 제204회 국회에서 성립된 「지구온난화대책 추진에 관한 법률의 일부를 개정하는 법률¹⁰⁾ 이하 동법에 의한 개정 후 지구온난화 대책 추진에 관한 법률을 ‘개정 지구온난화대책 추진법’이라 한다)에서 2050년 탄소중립을 기본이념으로 법률에 명시적으로 규정하였다(제2조의 2). 이러한 법률 규정

7) 地球温暖化対策計画, 2021년 10월 22일, 19면 표 참조.

8) 온실가스 총배출량에서 온실가스 흡수원에 의한 흡수량을 뺀 수치임

9) 원문은 “エネルギー起源二酸化炭素”로 연료의 연소로 발생 혹은 배출되는 이산화탄소를 말하며, 산업부문, 업무와 그 외 부문, 가정부문, 운수부문, 에너지전환부문 등으로 구성되어 있다.

10) 「地球温暖化対策の推進に關する法律の一部を改正する法律」. [법률원문은 아래를 참조. 일본 참의원 홈페이지(2021년 12월 10일 검색)]

<https://www.sangiin.go.jp/japanese/joho1/kousei/gian/204/pdf/s0802040472040.pdf>

을 마련함으로써 국가정책의 계속성·예견가능성이 높아지는 동시에 국민, 지방공공단체, 사업자 등은 보다 확신을 가지고 지구온난화 대책의 대응 및 혁신을 가속화 할 수 있게 되었다. 그리고 탈탄소화의 실현이 국민 및 국가, 지방공공단체, 사업자 및 민간단체 등의 밀접한 연계 하에 이루어져야 한다는 것을 명확하게 제시함으로써 탄소중립의 실현에 국민의 이해나 협력이 대전제가 되고 있다는 것을 분명히 하고 있다.

2. 온실가스 감축을 위한 CCS · CCUS

파리협정체결 이후 일본의 온실가스 감축을 위한 계획과 관련하여 구체적인 실현기술로 제시되었던 것이 CCS · CCUS이다. 예를 들어, 저탄소 에너지기술의 불확실성을 고려한 장기 온실가스 감축 시나리오 분석을 통해 ① 혁신적인 에너지절약 ② CCS실현 ③ 재생에너지 이용의존도 증가가 큰 폭으로 높아질 것이라고 지적하였다.¹¹⁾

COP21에서 채택된 파리협정에서 모든 당사국은 장기적인 온실가스의 저배출형 발전을 위한 전략(장기저배출발전전략)을 작성 및 통보하도록 노력해야 할 의무를 부담하게 되었으며, 일본은 2016년 6월 11일 「파리 협정에 근거한 성장전략으로서의 장기전략」¹²⁾을 내각에서 결정하였으며 동 장기전략에서는 CCS · CCUS의 활용필요성을 다양한 측면에서 제안하고 있다.

또한 2021년 10월 에너지정책의 기본적인 방향성을 보여주기 위해 「에너지정책 기본법」에 근거하여 정부가 발표하는 일본의 에너지기본계획¹³⁾에서는 2050년 탄소제로 실현을 위해서는 화력발전으로부터 대기로 배출되는 CO₂ 배출을 실질 제로로 해 나간다고 하는 근본적인 전환을 진행시킬 필요가 있다는 점을 명확히 하고 있으며, 이와 관련하여 화력발전은 동일본 대지진 이후의 전력의 안정공급이나 전력 회복력을 지탱해 온 중요한 공급원이므로 그 기능을 어떻게 탈탄소 전원으로 대체해 갈 것인가에 대한 대안으로 배출되는 CO₂를

11) 大城 賢, 増井利彦, 「低炭素エネルギー技術の不確実性を考慮したわが國の長期的温室効果がス削減シナリオ分析」, 土木學會論文集 G(環境), Vol.70, No.6, II_207- II_215, 2014, 208~209면.

12) 「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」[일본 경제산업성 홈페이지(2021년 12월 10일 검색)] https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/Long-term_strategy.pdf

13) 「エネルギー基本計画」[일본 경제산업성 홈페이지(2021년 12월 11일 검색)] <https://www.meti.go.jp/press/2021/10/20211022005/20211022005-1.pdf>

회수·저장·재이용하는 CCUS가 제안되고 있다. 구체적으로 CCS와 관련해서는 장기적 로드맵을 마련하여 기술적 확립·비용 저감, 사업에 적합한 지역의 개발이나 사업화를 위한 환경정비에 관한 사항을 관계자와 공유해 나가며 진행시킨다는 계획을 가지고 있다. 또한 CCS의 기술적 확립·비용 감축을 위해 분리회수기술의 연구개발·실증을 실시하며, 저장기술이나, 모니터링의 정밀화·자동화, 굴착·저장·모니터링의 비용저감 등의 연구개발을 추진한다는 계획도 밝히고 있다. 그리고 저비용으로 효율적이며 유연성이 있는 CCS의 실현을 위해 액화CO₂ 선박수송의 실증시험에 힘쓰는 동시에 CO₂ 배출원과 재이용·저장집적지와의 네트워크 최적화(허브&클러스터)를 위해 민관이 공동으로 관련계획을 추진한다는 내용도 포함하고 있다. 그 외에도 CCS의 실현에 불가결한 적지 개발을 위해 경제성이나 사회적 수용성을 고려하면서, 관련 평가 등의 조사를 계속해서 추진하며, 해외의 CCS 사업의 동향 등을 바탕으로 일본의 CCS 사업화를 위한 환경 정비 등의 검토를 진행시킨다는 점도 명확히 하고 있다.¹⁴⁾

이와 함께 또 다른 정부의 관련계획인 2021 온난화 대책계획에서도 전력분야의 탈탄소화의 구체적 실현방안으로 화력발전의 의존도를 최대한 낮추고, CCUS와 수소 등을 이용한 발전을 대안으로 제안하는 등,¹⁵⁾ 탈탄소화를 위한 중심기술로 CCS·CCUS가 위치하고 있다는 점은 분명한 것으로 보인다.

Ⅲ. 일본의 CCS·CCU 사업 개요

1. 정부의 대응

2019년 1월 세계경제포럼에서 아베 총리는 CO₂는 많은 용도에 적합한 자원이 될 수 있으며, 비연속 이노베이션(innovation)에 도전해야 한다는 취지의 발언을 하게 된다. 이후 일본은 2019년 6월에 「파리협정에 기초한 성장전략으로서의 장기전략」¹⁶⁾을 내각에서 결정했다. 동 전략에서는 ‘탈탄소 사회’의 금세기

14) 일본의 에너지기본계획, 26~27면.

15) 2021 온난화 대책계획, 24면.

16) 「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」[일본 경제산업성 홈페이지(2022년 1월 3일 검색)]. https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/Long-term_strategy.pdf

후반 조기 실현을 내걸고, 비즈니스 주도의 비연속적인 이노베이션을 통한 ‘환경과 성장의 선순환 고리’를 기본 개념으로 내세웠다.

그 후, 일본 최초로 개최된 G20에서는 이노베이션의 가속화에 의한 환경과 성장의 선순환을 주요 테마로 하여 다양한 의제에 대해 논의를 하게 된다.

또한 2020년 1월에는 일본이 강점을 가지는 에너지·환경 분야에 있어 혁신적인 이노베이션을 창출하고, 사회에서 실현 가능한 수준으로 비용을 낮추며, 이것을 세계로 확대해 가기 위해서, 「혁신적 환경 이노베이션전략(革新的環境イノベーション戦略, 2020)」¹⁷⁾을 책정하고, 배출 제로를 초월한 비온드 제로를 내건 야심적인 추구할 것을 발표하였다.

최근에는 일본에서는 지자체나 기업 등에서도 탈탄소화의 움직임이 활발해지고 있다. 기업에서는 ESG 투자가 확대됨에 따라 탈탄소를 비즈니스 기회로 인식하려는 움직임이 확산되고 있으며, 환경을 생각하는 기업의 가치가 향상되는 경향이 강해지고 있다. 지자체도 2050년의 실질 배출 제로를 선언하는 지자체가 급증하고 있다.

이러한 민관의 움직임 속에서 탄소의 실질배출 제로사회를 위해서는 우선 에너지 이용의 효율화와 재생가능에너지의 보급을 추진하면서 CO₂ 배출원으로부터의 배출을 줄이는 기술로써 CCUS(Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage)의 기술개발이 필요하다는 점을 명확히 하고 있다. 2018년 7월의 에너지기본계획¹⁸⁾에서는 2020년경 CO₂ 회수·유효 이용·저류(貯留)기술의 실용화를 목표로 한 연구개발, 일련의 CCS 프로세스의 실증 및 저류(貯留)에 적합한 지역의 조사 등을 착실히 진행할 것을 밝히고 있는 등, CCS와 CCUS에 대한 적극적이고 체계적인 대응을 나타내고 있었다.

2. CCS

환경성에서는 18개의 관계기업 등¹⁹⁾으로 구성된 컨소시엄(이하 ‘환경성 컨소시엄’이라고 한다)을 형성하여 ① 상용규모의 CO₂ 회수기술 실증, ② CO₂ 수송의 검토, ③ 해저하 저류지점에서의 CO₂ 누출감시 방법 및 긴급시의 검토,

17) 일본 내각부 홈페이지(2022년 1월 3일 검색) <https://www8.cao.go.jp/cstp/siryo/haihui048/siryo6-2.pdf>

18) 경제산업성 홈페이지(2022년 1월 3일 검색)
<https://www.meti.go.jp/press/2018/07/20180703001/20180703001-1.pdf>

19) 도시바가 대표사업자이며, 미즈호, 미쓰비시머티리얼, 동경대학 등이 공동사업자이다.

④ CCS의 원활한 도입과 같은 4개의 과제를 중심으로 사업을 추진하고 있다.

위의 사업 외에도 환경성은 해양오염 등 및 「해양오염 등과 해상재해방지에 관한 법률(이하 ‘해양오염방지법’이라고 한다)에 따라 CO₂ 해저하(下) 폐기(저장) 허가도 담당하고 있다. 저장의 실증과 관련해서는 경제산업성이 일본 CCS 조사주식회사에 위탁하여 토마코마이라는 도시에서 해저하 지층에 CO₂ 압입을 실시하여 2019년 11월에 당초 목표인 30만 톤을 달성한 사례도 있다. 동 사례는 장을 바꾸어(IV에서) 자세히 살펴보도록 한다.

1) CO₂ 분리 회수기술 실증

도시바 에너지 시스템즈는 환경성 컨소시엄으로부터 위탁을 받아 2020년 10월부터 후쿠오카현(福岡縣) 오무타시(大牟田市)의 주식회사 시그마(SIGMA) 파워 아리아케가 운영하는 미카가와발전소(출력 5 만 kW)에서 하루에 배출되는 배기가스의 반 이상이 되는, 500톤 이상의 CO₂를 회수하는 실증사업을 진행하고 있다. 해당 사업은 일본에서 최대 규모로 화력발전소에 적용 가능한 규모의 실증사업이다.

동 발전소는 팜야자 껍질 등과 같은 탄소중립(carbon neutral) 연료인 바이오매스 연료를 이용해 발전하는 기술인 바이오매스 발전을 실시하고 있는 바이오매스 전소(全焼)발전소로 카본 네거티브가 되는 세계 최초의 대규모 BECCS(Bioenergy with carbon capture and storage)²⁰⁾ 프로젝트가 될 전망이다.

동 사업은 발전소 인접지에 2018년 2월부터 설비의 납입, 설치를 시작하여 시운전을 실시해 왔으며 화력발전소에서 배출되는 CO₂의 50% 이상을 회수할 수 있는 설비로는 일본 최초이다. 당초 목표인 2020년 여름보다는 조금 늦게 실증운전을 시작하였으며, 운용성을 포함한 환경 영향 평가나 회수 설비의 기술 평가 등을 실시할 예정이다.²¹⁾

2) 수송과 저류(貯留) 등

일본 근해에는 약 2,360억 톤의 CO₂ 저류 잠재력이 있을 것으로 추정되고 있으며(수심 200미터 이하의 해역이 1,460억톤이며, 수심 200미터에서 1000미

20) BECCS(Bioenergy with carbon capture and storage)는 바이오매스를 에너지원으로 활용하고 바이오매스를 에너지로 전환하는 과정에서 생성된 CO₂를 포집하고 영구적으로 저장하는 기술이다(Christopher Consoli, 「Bioenergy with carbon capture and storage」, global ccs institute, 2019, 4면).

21) 도시바홈페이지(2022년 1월 3일 검색)

https://www.toshiba-energy.com/info/info2020_1031.htm

터 해역이 900억톤),²²⁾ 충분한 저류 용량을 갖추고 또한 선행 이용자 등과의 착종(錯綜)이 적은 해역이 저류에 적합한 곳으로 유력시되고 있다. 화력발전소 등, 대규모 배출원은 전국의 연안지역을 중심으로 산재하기 때문에 환경성 컨소시엄은 저류에 적합한 지역으로의 수송과 일시 저장계획을 유연하게 설정할 수 있는 토탈 시스템 구축을 위해서 분리회수 실증을 하는 화력발전소에서 저류후보지까지 필요한 선박이나 항만설비의 사양을 검토하고 있다. 또한 지층 내에 압입한 CO₂가 누출될 위험은 지질학적 견지에서 매우 낮다는 것은 명백하지만 만일의 대비도 중요하므로 이에 대한 대비도 진행하고 있다. 구체적으로는 저류 사이트에서의 누출 · 추정 모델의 개발, 해역에서의 가스 누출 사례를 토대로 한 시나리오 · 대응 옵션, 강한 진동에 의한 저류층에 대한 영향 등, 여러 가지 검토를 실시하고 있다.

CO₂는 해양오염방з법에 따라 환경대신의 허가를 받았을 경우에만 해저 하폐기(저장)가 가능하다(제18조의 8). 이때에는 해역보전에 영향을 미칠 우려가 없도록 허가신청시 사전 해양환경영향평가 및 허가 후에도 감시계획에 따른 모니터링이 필요하다(제18조의 9).이 때문에 CO₂ 누출대책 · 모니터링의 검토나 사회수용성의 확보도 감안한 도입방법에 관한 논의도 지속적으로 이루어지고 있다.

3) 미 · 일 협력프로젝트

일본은 다른 국가와의 협력을 통한 석탄화력발전소 CO₂ 재활용 공동 프로젝트도 진행하고 있다. 일본의 재단법인 석탄에너지센터(JCOAL)는 2016년 와이오밍주와 MOU체결하고 2018년 WIA(Wyoming Infrastructure Authority), 컬럼비아대학교, GreenOre Clean Tech LLC와 드라이포트 석탄화력발전소에서 배출되는 CO₂를 재활용하는 공동 프로젝트를 진행하고 있으며, 일본 카와사키중공업 주식회사의 분리 · 회수 기술을 활용한 실증시험을 진행시키고 있다.

동 프로젝트는 드라이포트 석탄화력발전소에서 배출되는 CO₂, 석탄회 등을 화학반응을 통해 콘크리트 및 도로에 이용할 수 있는 탄산칼슘으로 제조하는 프로젝트이다.²³⁾

22) 「環境配慮型CCS實証事業 - 貯留技術について -」[환경부 홈페이지 회의자료(2022년 1월 3일 검색)]

http://www.env.go.jp/earth/R3ccus/ENVCCS_R02_1-3_cyoryuu_r.pdf

23) JAPAN COAL FRONTIER ORGANIZATION 홈페이지(2022년 1월 4일 검색)

<http://www.jcoal.or.jp/work/04/>

3. CO₂의 유효한 이용

CCS와 CCU는 발전소 및 산업 공정으로부터 배출된 CO₂를 포집하여 CO₂가 대기중에 남는 것을 방지하는 것을 목표로 한다. CCS와 CCU의 차이는 포획된 CO₂의 최종 목적지에 있는데, CCS에서 포집된 CO₂는 장기 저장을 위해 적합한 장소로 수송 및 저장되는데 반해, CCU에서는 포집된 CO₂가 상업적 제품으로 전환된다.²⁴⁾

일본의 경제산업성 카본재활용 기술에 대한 목표, 기술과제 등을 설정하고 국내외의 정부·민간기업·투자가·연구자 등의 관계자들과 공유함으로써 혁신을 가속화하기 위해 각 기술 분야의 전문가 등을 중심으로 내각부, 문부과학성, 환경성의 협력을 얻어 책정하는 「카본 재활용기술 로드맵」²⁵⁾에서는 탄소의 이용방법을 ① 석유회수증진(EOR, Enhanced Oil Recovery), ② CO₂의 직접이용(용접, 드라이아이스 등), ③ 카본 재활용(화학제품, 연료, 광물, 기타(조류 흡수 등)의 3가지로 분류하고 있다.²⁶⁾

EOR은 원유를 채굴할 때 압력의 하락으로 채굴량이 감소하는 경우, 물이나 가스를 주입하여 해 생산량을 늘리는 방법으로²⁷⁾ 일본은 석유를 거의 산출하지 않기 때문에 CO₂의 직접이용이나 화학제품, 연료 등으로의 이용을 중심으로 관련 논의가 진행되고 있다.

해당 로드맵에서는 관련기술이 확립되기까지 장기간의 시간이 필요한 것이 대부분이지만, 그 중에서도 비교적 빠르게 실용화가 전망되는 기술의 확립을 목표로 환경성이 실증을 추진한다는 계획을 밝히고 있다.

구체적으로는 ① 폐기물처리시설 등의 배기가스 CO₂를 원료로 한 화학품 제조 ② 태양광을 활용한 합성 ③ 저농도 CO₂ 회수에 대해서 이미 실증사업을 실시하고 있다. 이외에도 사가시(佐賀市)에서는 회수된 CO₂를 화장품의 성분이 되는 조류 배양에 이용하고 있다. 또한 환경성에서는 지역별 특색을 살린 재생가능에너지 등으로부터 물을 전기분해해 고순도(99.999%)의 수소(그린 수

24) Rosa M. Cuellar-Franca 외 1인, Carbon capture, storage and utilisation technologies: A critical analysis and comparison of their life cycle environmental impacts, Journal of CO₂ Utilization Volume 9, March 2015, P.83.

25) 「カーボンリサイクル技術ロードマップ」, 2021년 7월[일본 경제산업성 홈페이지(2022년 1월 4일 검색)]
<https://www.meti.go.jp/press/2021/07/20210726007/20210726007.pdf>

26) 위의 자료, 1면.

27) 주간에너지이슈브리핑 제118호, 2016.1.29.(2022년 1월 4일 검색)

http://www.energy.or.kr/web/kem_home_new/energy_issue/mail_vol35/pdf/issue_118_05.pdf

소)를 생산하는 기술인 수전해를 통해 수소를 만들고, 운반하고, 저장하고, 사용하는 실증사업을 전국 8곳에서 실시하고 있다.

1) 폐기물처리시설 CCU

실제 폐기물 처리시설에서 발생하는 배기가스중의 CO₂를 회수해, 연료나 원료제조를 목적으로 하는 사업도 진행되고 있다. 히타치(日立) 조선 주식회사, 세키스이(積水) 화학공업 주식회사가, 각각 2022년까지 실제 시설에 적용 가능한 메탄, 에탄올의 제조 기술의 확립을 목표로 하고 있다. 히타치조선은 쓰레기 소각장로부터 회수한 이산화탄소를 활용해 메탄을 합성하는 메타네이션 기술의 실증사업을 진행하고 있으며, 이는 자원회수센터에서 배출하는 CO₂를 회수해 활용하는 메타네이션 실증시험으로 세계 최초이다. 세키스이(積水) 화학공업 주식회사도 폐기물 소각시설에서 회수한 이산화탄소를 원료로 하여 폐열과 수소를 반응시켜 에탄올을 제조하는 사업을 진행하고 있다.

「파리협정에 기초한 성장전략으로서의 장기전략」에서도 산업계와 연구기관은 화석연료 등의 연소로 발생하는 배기가스중의 CO₂ 분리·회수 기술뿐만 아니라, 이것들을 유효하게 이용하기 위한 기술 등의 주도권을 갖는 것이 필요하다는 점을 명확히 하고 있다. 그리고 이를 위해 CO₂를 자원으로 파악해 이것을 분리·회수하여 광물화나 인공광합성, 메타네이션(methanation)에 의한 연료나 소재로의 재이용 등을 통해서 대기중으로 CO₂가 배출되는 것을 억제해 나가는 CCS·CCU/카본 리사이클을 추진하며 2030년 이후의 본격적인 사회구현을 위해 2023년까지 최초의 상용화 규모의 CCU 기술확립을 목표로 하고 있다는 것을 밝히고 있다.²⁸⁾

2) 태양광을 활용한 합성

환경성은 민간기업과 태양광을 활용한 실증사업도 진행하고 있다. 동 사업은 태양광을 활용하여 일산화탄소 및 수소로 이루어진 합성가스 등을 고효율로 생성하는 실증사업이다. 먼저, 주식회사 토시바는 CO₂ 환원셀·스택(cell stack)의 고집적화에 의한 CO₂ 전해시스템의 고효율화를 목표로 하고 있으며, 2020년대 후반 실용화를 목표로 하고 있다.²⁹⁾

또한 주식회사 도요타중앙연구소는 CO₂ 환원에 관한 착체촉매(錯体触媒) 등

28) 「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」, 12~13면.

29) 토시바홈페이지(2022년 1월 5일 검색)

<https://www.global.toshiba/jp/technology/corporate/rdc/rd/topics/21/2103-02.html>

의 전극재료를 개발하여 높은 변환효율 실현을 목표로 하고 있다. 최근 도요타 자동차 산하의 도요타중앙연구소는 다른 방식으로 인공광합성에 주력, 이미 세계 최고 수준인 7.2%의 에너지 전환 효율을 달성하였다는 발표를 하였으며 도요타는 2030년경에는 실용화를 위한 기술기반을 확립하겠다는 방침을 밝혔다.³⁰⁾

3) 대기 중 직접 포집(DAC, Direct Air Capture)

환경성은 가와사키 중공업 주식회사 등과 함께 2019년도부터 60℃ 정도에서 재생 가능한 고체 CO₂ 흡수재를 활용해 CO₂ 발생원 주변의 대기 중, 저농도 CO₂에 대해서 폐열 활용 등, 최대한 추가 에너지를 투입하지 않는 형태로 분리 회수와 유효 이용이 가능하도록 하는 프로젝트를 시작했다. 구체적으로는 관련 설비를 간사이전력의 마이즈루(舞鶴) 발전소 내에 건설하고, 2022년도부터 석탄화력 발전소에서 배출되는 연소배기 가스 중의 CO₂ 분리·회수 시험을 시작할 계획이다. 본건은 가와사키중공업과 공익재단법인 지구환경산업기술연구기구(RITE)가 국립연구개발법인 신에너지·산업기술종합개발기구(이하 NEDO)의 지원을 받아 실시하는 것으로, 2024년도까지 시험을 실시할 예정이다.³¹⁾

4) 사가(佐賀)시의 CCU 사례

일본의 사가시에서는 일본 최초로 폐기물발전시설로부터의 CCU가 실시되고 있다. 사가시에서는 2016년 8월부터 쓰레기소각시설에서 쓰레기를 소각했을 때에 발생하는 배기가스로부터 이산화탄소(CO₂)만을 분리·회수하는 설비를 설치하고 있으며, 회수된 CO₂를 채소의 재배나 조류 배양에 이용하고 있다. 동시설은 쓰레기를 소각할 때 발생하는 배기가스로부터 이산화탄소만을 분리 회수하는 설비를 갖춘 일본 최초의 CCU플랜트이다.³²⁾

IV. 일본의 CCUS 실증을 위한 사업사례와 시사점

일본에서 진행된 CCS, CCUS사업의 대표적인 사례로 들 수 있는 것은 토마

30) 도요타중앙연구소 홈페이지(2022년 1월 5일 검색)

<https://www.tytlabs.co.jp/sflabmorikawa/theme.html>

31) グループビジョン2030進捗報告會, 2021년 12월, 51~61면[가와사키중공업 홈페이지 자료 (2022년 1월 5일 검색) https://www.khi.co.jp/ir/pdf/etc_211209-1j.pdf

32) 사가시 홈페이지(2022년 1월 5일 검색) <https://www.city.saga.lg.jp/main/44494.html>

코마이(苫小牧) 프로젝트이다. 동 사업은 현재에도 진행 중이며, 이하에서는 사업의 주요한 내용과 사회적 수용성 제고를 위한 구체적 활동 및 일본의 사례가 우리에게 주는 시사점을 살펴본다.

1. 사업의 시작

동 사업은 일본 CCS조사주식회사가 경제산업성이 공모한 「2012년도 이산화탄소 삭감기술 실증시험 사업(平成24年度 二酸化炭素削減技術實証試験事業)」에서 선정되며 시작되었다. 일본 CCS조사 주식회사는 CCS를 추진한다는 국가의 방침에 따라 전력, 석유정제, 석유개발, 플랜트 엔지니어링 등, CCS 각 분야의 전문기술을 보유한 대형 민간회사들이 모여서 2008년에 설립되었다.

동 사업은 일본 북해도의 토마코마이(苫小牧)라는 도시에서 실시된 것으로 실용 규모로 CCS실증을 목적으로 한 일본 최초의 대규모 CCS실증시험으로 경제 산업성, 국립 연구개발법인 신에너지 · 산업기술 종합개발기구(NEDO), 일본 CCS조사주식회사(JCCS)가 진행하였다. 2018년도부터는 2030년경 CCUS사회실현을 위해 연간 100만톤 규모의 CO₂ 배출지점으로부터의 저류, 이용지점으로의 장거리 · 대량수송과 저비용화로 이어지는 수송기반기술로서 액화 CO₂의 선박수송기술을 확립하기 위한 연구개발, 연간 10,000톤 규모의 CO₂ 선박수송실증시험 및 관련 조사를 실시하는 「CCUS 연구개발 · 실증 관련 사업 / 토마코마이 CCUS 대규모 실증시험 / 토마코마이 CCUS 대규모 실증시험(CCUS研究開発 · 實証関連事業 / 苫小牧におけるCCUS大規模實証試験 / CO₂輸送に関する實証試験)」을 수행중이다.

2. 사업의 진행상황과 목적 및 결과의 개요

1) 사업의 진행상황

사업의 시작은 2012년이다. 2012년도부터 2015년도까지의 4년간 공급원이 되는 제유소의 수소제조장치에서 발생하는 CO₂를 포함한 가스로부터 고순도의 CO₂를 분리 · 회수하기 위한 설비와 지하로 CO₂를 압입하기 위한 설비를 설계 및 건설하였다. 그리고 이와 동시에 기존 조사정 중에서 1정을 관측정으로 전용하고, 2정의 관측정과 2정의 압입정을 굴착하였다. 또한 저류층에 대한 CO₂ 압입이 주변환경에 영향을 주지 않는다는 것을 확인하기 위해 지층이나

지진에 관한 데이터의 모니터링 시스템을 설치하고 압입 전 기초 데이터도 취득하였다. 이와 함께 CO₂가 저장되는 지층이 해저이기 때문에, 해양오염방지법에 근거한 해수·해양 생물 등의 사전조사도 실시하였다.³³⁾

이러한 준비기간을 거쳐 2016년 4월부터 연간 10만t 규모의 CO₂ 압입을 시작하여 2019년 11월 22일에 당초 목표로 했던 누계 CO₂ 압입량 30만t 달성하였으며,³⁴⁾ 2021년부터는 CCS와 CCU의 연계운용, 즉 CCUS의 검토와 준비가 진행 중이다.³⁵⁾

압입 종료 후에도 모니터링은 지속되고 있으며, 모니터링에서는 압입한 CO₂의 거동(이동·확대)을 파악하고 미세진동이나 자연지진을 상시 관측하는 등의 해양환경조사를 통해서 CO₂의 누출여부를 감시하고 있다.

2) 목적 및 결과 개요

동 사업의 목적은 크게 4가지, ① CCS의 실증, ② CCS안전성의 실증, ③ CCS의 이해, ④ CCS의 실용화이며 결과를 간략하게 정리하면 다음과 같다.³⁶⁾

(1) CCS의 실증

실용프로젝트와 같은 설비구성으로 일본 최초로 CO₂ 분리 및 회수에서 저장까지 CCS전체를 일관된 시스템으로 실증하는 것이 첫 번째 목표이다.

동 목표에 대해서는 일본 최초로 대규모배출원(제유소)의 CO₂를 분리 및 회수해서 저장하는 CCS프로세스 전체를 일관된 시스템으로 하는 실증시험을 실시하여, 2019년 11월 22일 목표로 했던 누계 CO₂ 압입량 30만t 달성하였으며, 예정했던 3년을 조금 넘는 3년 8개월의 시간이 소요되었다.

(2) CCS안전성의 실증

두 번째 목표는 일련의 과정을 통해서, CCS가 안전하고 안심할 수 있는 시스템인 것을 실증하는 것이다.

33) 일본 CCS조사주식회사 홈페이지(2022년 1월 5일 검색)

<https://www.japanccs.com/business/demonstration/index.php>

34) 일본 경제산업성 등, 「苫小牧におけるC C S大規模実証試験 30万トン圧入時点報告書(「總括報告書」)概要」, 2020년 5월, 1면.

https://www.japanccs.com/wp/wp-content/uploads/2020/05/report202005_overview.pdf

35) 일본 CCS조사주식회사 자료, 7면

<http://www.jccs-tomakomai-monitoring.com/JCCS/wp-content/uploads/2021/12/202112.pdf>

36) 경제산업성 등, 「苫小牧におけるC C S大規模実証試験 30万トン圧入時点報告書(「總括報告書」)概要」, 2020년 5월, 5면.

동 목표에 대해서는 본 사업에 의해 분리 · 회수에서 압입 · 저장까지의 CCS 시스템의 작업 및 안전 · 환경관리와 각종 모니터링 및 해양환경조사를 통해서 CCS가 안전하고 안심할 수 있는 시스템임을 확인하였다.

(3) CCS의 이해

세 번째 목표는 정보 공개, 사회적 수용성의 제고를 위한 활동을 통해서 사업에 관한 정보를 폭넓게 알리고 이를 통해 CCS의 이해를 깊게 하는 것이다.

동 목표에 대해서는 사업에 대한 이해 및 CCS의 사회적 수용성 제고를 목적으로 지역 및 국내를 대상으로 정보를 제공하는 활동을 지속적으로 실시하였고, 해외를 대상으로 사업에 관한 정보제공, 정보수집, 해외와의 국제협력이나 제휴를 추진하는 활동을 계속적으로 실시하였다.

(4) CCS의 실용화

네 번째 목표는 관련 기술을 익히고 이와 동시에 실용화를 향한 대응을 실시하는 것이다.

동 목표에 대해서는 관련 기술을 습득하였으며, CCS 실용화를 향한 대응을 통해서 얻어진 지식과 과제를 정리하였다.

3. 사회적 수용성 제고를 위한 활동

1) 안전성에 대한 우려와 사회적 수용성

CCS는 CO₂를 감축할 수 있는 매우 효과적인 기술이지만, 환경에 위험을 유발할 수도 있다. 그 중 가장 큰 위험은 CO₂의 누출이다. 수송 혹은 지중저장 시설에서의 누출이 환경에 가장 큰 영향을 미칠 수 있지만, CO₂의 누출은 포집, 수송, 저장과정 등, CCS의 모든 단계에서 발생할 수 있다. CO₂의 누출 외에도 각 단계별로 다양한 위험요소가 존재하는데, 예를 들면, 포집과정에서는 암모니아나 미세먼지, 질소산화물 등의 누출이 발생할 가능성이 있으며, 포집된 CO₂의 수송 중에는 수송에 이용되는 파이프의 부식과 그로 인한 누출사고라는 위험도 존재한다.

대기 중에 CO₂가 누출되는 경우에는 인체에 위해를 미칠 수 있으며, 식수 등이 CO₂로 인해 오염될 수도 있다. 또한 단기적이고 급격한 변화는 아니겠으나 해양에 CO₂가 누출되는 경우에는 pH가 변화되고 이로 인해 해양생물에 피해가 발생할 수 있다는 지적은 다수 제기되고 있다.³⁷⁾

단계별 위험요소를 간략히 정리하면 다음과 같다.

[단계별 위험요소]³⁸⁾

단계	위험요소
포집	CO ₂ , NO _x , SO _x , VOC, 중금속, 비산 배출 화학물질 및 용매 누출 오염 비정상 CO ₂ 누출로 인한 토양 산성화 등
수송	비정상 CO ₂ 누출로 인한 물·토양 산성화 등 누출 및 사고로 인한 생태계 파괴
저장	CO ₂ 누출로 인한 대기 및 해양 오염 CO ₂ 누출로 인한 지중 균열 등

이처럼 CCS와 관련하여 위험요소가 존재하고 있기 때문에 관련 사업의 추진을 위해서는 반드시 위험요소에 대한 관리와 평가를 진행해야 하며, 이와 함께 해당 사업이 진행되는 지역주민들에게 안전에 대한 분명한 신뢰를 형성시키는 매우 중요하다. 해당 사업이 진행되는 지역주민들이 CCS사업에 대해 의문 혹은 위협을 갖게 되면 지역주민이나 이해관계자의 저항에 부딪히게 되고, 이로 인해 사업추진이 중단되거나, 지연되는 문제가 발생할 수 있다. 즉, 사회적 수용성을 제고하기 위한 활동이 반드시 병행되어야 한다.

캐나다 Weyburn-Midale 프로젝트의 경우, 저장지 주변에서 동물이 죽고 주변 표층수에서 기포가 발생하는 등의 이상현상이 발생하여 해당 이상현상과 CO₂ 주입의 관련성에 대한 전면적인 환경조사가 이루어졌다. 또한 네덜란드 Barendrecht 프로젝트의 경우, 사업에 의한 환경파괴와 인구밀집지역에 저장지를 선정하여 사업에 대한 반대여론이 확산되고 그로 인해 사업이 보류된 경우도 있다. 이와 같은 사례가 사회적 수용성이 사업의 진행에 어떠한 영향을 미치는지 보여주는 대표적인 사례라고 할 수 있다.

2) 구체적 활동

참고적으로 토마코마이 프로젝트가 시작되었던 2012년에는 일본 내에서

37) 김병도 외 5인, “이산화탄소의 해양지중저장과 환경 안전성 평가 방안”, 한국해양환경·에너지학회지 제16권 제1호, 한국해양환경·에너지학회, 2013, 44면.

38) 신경희 외 1인, “환경포럼 : CCS 사업의 전략환경평가”, 환경포럼. Jan 25, 2013, 한국환경정책평가연구원, 4~5면.

CCS에 대한 인지도가 매우 낮았다. 이에 원활한 실증사업진행을 위해서는 해당 기술의 유용성과 실증사업의 필요성 및 안전성을 알림으로써 사회적 수용성을 제고할 필요가 있었다. 해당 활동의 주요한 형식은 CCS의 목적과 의의, 기술을 이해시키는 것을 목적으로 하는 정보제공활동이었다. 특히 가능한 이해하기 쉬운 표현을 사용하여 CCS 기술의 내용이나 필요성을 전달하며, 이와 동시에 사업을 추진하는 쪽에서 일방적으로 정보를 제공하는 것이 아니라, CCS에 관한 의견이나 의문, 불안 등에 대한 의견을 듣고 설명을 하는 등으로 사업을 추진하는 쪽과 지역주민 및 이해관계자가 서로 의견을 논의할 수 있는 활동에 중점을 두었다.

사회적 수용성은 동 사업의 4가지 목표 중, CCS 이해와 것과 관련된 것으로³⁹⁾ 해당 사업에 대한 이해와 CCS의 사회적 수용성 양성을 목적으로 지역 및 국내에 관련 정보를 지속적으로 공개하며, CCS 강연회, 아이들을 대상으로 하는 실험교실, 현장견학, 홍보자료 제작, 시청에 관련 정보를 확인할 수 있는 모니터의 설치 등과 같은 활동을 실시하였다. 실증사업이 진행된 지역민을 대상으로 한 구체적인 활동내용은 다음과 같다.⁴⁰⁾

가) CCS 강연회

CCS 강연회는 현지 주민을 대상으로 해서 환경문제나 CCS의 중요성, 해당 사업에 대한 이해를 높여, 협력체제를 구축하기 위해서 ‘지구 온난화와 CCS’를 주제로 하여 2012년도부터 매년 실시했다. CCS 강연회는 지역 내 사회적 수용성 제고활동의 핵심적인 위치를 차지하고 있었다. 경제산업성은 CCS 강연회가 지역주민에게 해당 사업의 진척상황을 비롯하여 CCS 기술이나 CCS를 둘러싼 국제정세에 대해 설명할 수 있는 중요한 기회라고 판단하고 가능한 많은 지역주민이 참여하는 것이 중요하다는 판단하였다. 그리고 지역주민의 적극적인 참가를 촉진하기 위해 환경문제를 이야기할 수 있는 저명인사와 전문가를 강사로 초빙하고 이러한 노력으로 매년 200명 이상의 지역주민이 참가하게 되었다. 또한 강연회의 마지막에는 청중으로부터 질의를 받는 시간을 마련하였으며, 2014년도부터는 강연회의 일정 중에 현장견학회도 포함시켜 진행하였다.

CCS 강연회에 대한 설문조사에 따르면 2013년도에는 참가자의 40% 정도가

39) 경제산업성 등, 「苫小牧におけるCCS大規模実証試験 30万トン圧入時点報告書(「總括報告書」)概要」, 2020년 5월, 5면.

40) 경제산업성 등, 「苫小牧におけるCCS大規模実証試験 30万トン圧入時点報告書(「總括報告書」)」, 2020년 5월, 119~124면.

CCS에 대해 ‘잘 알고 있다’ 혹은 ‘알고 있다’고 답변하였지만, 2018년도에는 해당 비율이 80%로 나타나 CCS에 대한 인지도가 약 2배로 증가하였다.

또한 2019년도에는 ‘도마코마이 CCS 대규모 실증프로젝트의 사회적 수용성 제고활동에 대한 외부 평가업무’의 대상으로 CCS 강연회의 설문조사의 설계, 분석, 평가를 실시했다. 그 결과, 응답자의 67%가 강연회에 처음 참여하였는데, 해당 사업의 이해도에 대해 강연회 이전에는 ‘이미 잘 알고 있었다.’ 혹은 ‘어느 정도 알고 있었다.’고 응답한 비율이 48.5%였으나 강연회 참가 후의 이해도는 90%로 대폭 상승했다는 결과를 발표했다.

이와 함께 해당 사업에 대해 ‘의의가 있다’ 혹은 ‘어느 정도 의의가 있다’고 답변한 비율은 92%로 강연회 등으로 CCS나 해당 사업에 대한 이해도와 긍정적인 의견이 높아진 것으로 나타났다.

나) 현장견학

지역 주민과의 소통의 장으로서 그리고 현장을 보고 이해할 수 있도록 할 목적으로 폭넓은 세대에 대해 각 세대에 맞는 현장견학회를 기획하고 실시했다.

현지 주민을 대상으로 하는 현장견학회(버스 투어)는 일반인을 대상으로 2014년도부터 시작했다. 2015년도부터는 아래에서 살펴 볼 ‘여름방학 숙제 교실(夏休み宿題教室)’이라는 이벤트를 겸하여 어린이를 대상으로 하는 현장견학회(버스 투어)를 시작하였고, 2016년도부터 시니어 세대를 위한 현장견학회를 시작했다. 어린이나 시니어 세대에게는 현장견학이 즐거운 추억이 될 수 있도록 도마코마이의 자원재활용 공장 등을 함께 견학하도록 프로그램을 마련했다.

견학회를 마친 사람들을 대상으로 실시한 앙케이트 결과에서는, 응답자의 90%이상이 설명 내용을 이해할 수 있어 좋은 기회라는 응답을 했으며, 해당 사업이 도마코마이에서 진행되는 것에 대해 80%이상이 좋은 일이라고 생각한다는 응답이 있었다.

다) 전시회와 지역 학교에서의 강좌

지역주민과 직접 대화함으로써 CCS 및 해당 사업을 홍보하기 위한 목적으로 하여 사업 개시 전인 2011년도부터 관련 내용에 대한 전시회를 개최했다. 전시회를 시작할 당시에는 경제산업성과 도마코마이시가 협의한 장소에서 전시회를 개최하였지만, 이후 현지 주민이 비교적 많이 모이는 장소를 개최 장소로 활용하였다.

전시회에서는 패널이나 DVD, 팸플렛 등을 활용하였으며, 이와 함께 지하 지

층의 코어샘플과 CCS 전체의 구조 모형을 전시하는 등, CCS에 대해 잘 모르는 주민들도 쉽게 이해할 수 있는 자료를 집중적으로 활용하며 내방자와의 직접적인 커뮤니케이션을 통해 CCS 기술 및 해당 사업에 대해 설명을 하였다.

또한 지역에서 실시 중인 본 사업의 정보 전달과 환경문제에 대한 관심을 환기시키기 위해 지역 대학의 학생 및 고등전문학교 학생을 대상으로 2013년 6월부터 2019년 12월까지 총 14회의 강좌를 개최했다.

라) 어린이를 대상으로 한 이벤트

어린이를 대상으로 한 이벤트로 ‘어린이 실험교실’과 ‘여름방학 숙제교실’을 개최했다.

해당 이벤트는 토마코마이시의 초등학교 고학년생을 주된 대상으로 하여, 애니메이션을 이용하여 관련 내용을 설명하거나 이산화탄소를 이용한 실험 등을 통해서 즐겁게 환경문제나 CCS에 대해 학습하는 것을 목적으로 하여 진행되었다.

어린이 실험교실(子ども実験教室)은 2012년도부터 아이들의 쉽게 관련 내용을 이해할 수 있도록 어른을 대상으로 한 표현 등을 쉽게 바꾸어 진행되었으며 애니메이션(지구온난화와 CCS) 등을 이용하여 아이들의 흥미를 끌 수 있는 프로그램을 도입했다.

또한 2015년도에는 여름방학 숙제교실을 개최했다. 해당 이벤트는 아이들이 기자가 되어 CCS를 취재(현장견학)하고 미리 준비한 형식에 기사를 써서 신문을 만드는 이벤트이다.

어린이를 대상으로 하는 위와 같은 이벤트는 검토와 개선을 거듭하면서 지속적으로 실시되었으며, 아이들과의 소통을 통해 신뢰관계를 높일 수 있도록 하는 수단으로 활용되었다.

마) 지자체와의 연계

토마코마이시와 상시 정보를 공유하고 다양한 활동을 연계하려고 하였다. 예를 들어, 토마코마이시청은 해당 사업의 데이터나 정보 등의 제공을 위해 시청 내에 모니터를 설치하였고, 시의 홍보지에 통해 CCS 관련 기사의 게재하거나 이벤트 개최를 안내했다. 또한 사업을 진행함에 있어 토마코마이 CCS 추진 협의회와도 총회 등 참가나 정보제공을 위한 협력을 받는 등, 지역행정기관인 토마코마이시와 연계하여 해당 사업을 진행함으로써 지역주민들에게 신뢰감을 줄 수 있었다.

4. 우리나라의 현황

우리나라의 기술개발과 실증시험의 최근 현황을 간략하게 살펴보면 다음과 같다.⁴¹⁾

1) CO₂ 포집

한국전력과 남부발전, 에너지연구원의 기관이 10MWe급의 규모로 연소배가스를 대상으로 하는 습식·건식·분리막 기술의 중규모 실증시험을 완료하였다. 연소배가스는 석탄, 석유, 가스 등의 연료가 공기와 함께 연소할 때 연료 중에 포함된 유황, 질소, 탄소 등을 산화해 황산화물, 질소산화물, 이산화탄소 등 다른 연소 배출가스와 대기 중에 방출되며 대기로 방출되는 것으로 산성비의 원인이 되고 지구 온난화 현상을 초래하고 있는데, 동 실증시험을 통해 CO₂ 저감 기술을 실증하고 대기오염 물질의 제거기술을 평가하는 기회가 되었다.

2) CO₂ 화학전환

대부분의 기술이 기초적인 원천 연구단계이며, 한국화학연구원이나 서강대학교 등에서 일부 기술이 파일럿 실증 연구가 진행중으로 상용화 사례는 없다. 메탄올 생산기술은 핵심요소공정에 대한 실증이 추진되고 있다. 그 외에도 다양한 연구가 추진중이기는 하지만 선진국에 비해 기술수준은 취약한 단계이다.

3) CO₂ 생물전환과 광물탄산화

미세조류 생산 기술은 기술개발을 통하여 고부가 소재 시제품 생산기술이 실증단계이며, 미세조류 기반 바이오디젤·항공유 생산 기술은 가능성을 검증하는 단계이다. 건설자재 생산기술의 경우, 파일럿 규모의 실증이 이루어지고 있다.

5. 시사점

우리정부도 석유나 석탄 등의 화석연료로부터 배출되는 대규모의 CO₂를 포

41) 관계부처 합동, 「이산화탄소 포집·활용(CCU) 기술혁신 로드맵(안)」, 2021년 6월 15일, 8~11면.

집하여 저장하거나 활용하는 기술이 탄소감축을 위해 반드시 필요하다는 것은 충분히 인식하고 있는 것으로 보이며, 이를 위해 다양한 지원책을 제시하고 있다. 그러나 2010년에 발표된 ‘2010년도 녹색성장 7대 실천과제’에서 CCS 기술이 10대 핵심 녹색기술로 제시되었을 정도로 이른 시기에 관련 기술의 필요성을 인식하고 있었음에도 여전히 논의단계에 머물러 있는 것으로 보이며, 구체적이고 적극적인 움직임을 나타내고 있지는 않다.

이에 반해 일본은 2012년부터 이미 실증사업이 시작되어 일정부분 성과를 보이고, 차기 사업을 진행 중이다. 탄소감축이 더 이상 미룰 수 없는 당면한 과제임에도 여전히 논의에 머물러 있는 우리나라와는 큰 차이를 나타내고 있는 것이며, 우리정부는 관련 기술의 확보를 위해 다음과 같이 적극적으로 대응해야 할 것이다.

1) 관련 법제도의 정비

먼저, 관련 법제도의 정비가 시급하다. CCS의 원활하고 안전한 실시를 위해 법제도를 정비하는 경우에 생각할 수 있는 대응방안은 크게 두 가지이다. 먼저, CCS기술의 도입이나 실증 등을 실시하는 경우에 관련 법률 규정이 존재하지 않아서 문제가 발생하거나 혹은 기존 법률 규정과 충돌하는 경우가 발생하지 않도록 기존 법률을 개정하는 것으로 다수의 국가가 이러한 형태로 법적 대응을 하고 있다. 우리의 법률규정을 대상으로 이러한 대응을 생각해본다면, 예를 들어, 포집과 관련하여 포집이 이루어지게 되는 발전시설에 적용되는 「전원개발촉진법」에서 규정하는 발전을 위한 설비인 전원설비의 설치·개량하는 사업(제2조)에 이산화탄소 포집시설이 해당되는가의 여부나, CO₂의 지중저장을 위한 굴착행위에 적용되는 「지하수법」상 신고대상에 CO₂의 지중저장을 위한 굴착행위가 포함되어야 하는지의 여부 등의 관한 사항 그리고 「환경영향평가법」 제22조에서 규정하는 환경평가대상에 이산화탄소의 포집 및 저장시설, 설치시설을 추가하는 등의 사항을 정비해야 할 것이다.

두 번째로는 독일과 같이 독자적인 CCS법을 새롭게 제정하는 것이다. 온난화대책으로써 CCS를 활용하기 위해서는 온난화대책을 목적으로 하면서 CCS의 안전하고 원활한 실시를 담보하는 포괄적인 법제도의 검토가 필요하다. 일본의 경우에도 장기적으로는 이러한 형태로 법적 대응이 이루어져야 한다는 입장을 취하고 있다.⁴²⁾ 그리고 이러한 포괄적인 법제도의 검토에 있어서는 온

42) 公益財団法人 地球環境産業技術研究機構, 「令和2年度 地球温暖化・資源循環対策等に資する調査委託費(我が国におけるCCS事業化に向けた制度設計や事業環境整備に関する調査事

난화대책으로써 CCS의 위치를 명확히 규정하고 국내에서 이루어지는 실증시험의 경험 등을 바탕으로 세부규정에 대한 논의와 검토가 필요할 것이다.

2) 피해보상규정과 사회적 수용성 제고를 위한 기반마련

CCS기술이 이산화탄소의 감축에 효과적인 것은 명확하다. 그러나 그에 반해 환경오염이나 안전사고 발생 등의 위험도 존재하고 있다. 예를 들면, CO₂의 포집과 수송 혹은 저장 중에 누출될 가능성이 있으며, 이러한 경우 토양의 산성화나 대기 혹은 해양 등의 오염이 발생할 수 있다. 또한 고압으로 압축된 CO₂의 누출로 인한 폭발사고 등, 안전사고의 가능성도 존재하고 있다.

이러한 위험성은 사업의 실행에 있어 걸림돌이 될 수 있다. 예를 들어, 사업이 진행될 예정지역의 지역주민들이 위와 같은 위험을 이유로 사업을 반대할 수 있을 것이다. 실제로 캐나다 Weyburn-Midale 프로젝트는 사업 진행 중, 저장지 주변에서 동물이 죽고 주변 표층수에서 기포가 발생하는 등의 이상현상 조사로 인해 사업이 중단되었으며, 네덜란드 Barendrecht 프로젝트의 경우에도 지역주민의 반대로 인해 사업이 보류되기도 하였다. 또한 순산소연소 플랜트의 포집공정과 연계된 CO₂저장프로젝트인 독일의 Beeskow프로젝트도 수용성 확보에 실패하며 사업추진이 연기되기도 했다.

이처럼 CCS기술은 다소간의 위험요소가 존재하고 있기 때문에 관련 사업의 추진을 위해서는 반드시 그에 대한 관리와 평가를 진행해야 하며, 사업이 진행되는 지역주민들이 안전에 대해 분명하게 신뢰할 수 있도록 하는 즉, 사회적 수용성을 높이는 것이 반드시 필요하다.

사회적 수용성을 높이기 위해서는 사업의 안전성에 대한 홍보와 지역주민들과의 적극적인 소통뿐만 아니라, 피해가 발생하는 경우 이루어질 수 있는 구체적인 보상방안의 마련도 필요할 것이다. 보상방안의 경우, CCS나 CCUS사업과 관련하여 사고 등이 발생한 경우에는 사고조사 전에 우선적으로 손해배상을 실시한 후, 사고조사를 진행하거나 보상을 위해 사업시행 전에 기금 등을 마련하는 것도 생각해 볼 수 있을 것이다.

3) 정부의 적극적 지원

마지막으로 정부의 주도적이고 적극적인 지원이 필요하다.

일본의 경제산업성은 2021년 CCUS연구개발 및 실증사업에 62억엔(약 640억

業)調査報告書」, 2021年 3月, 59~61면.

원)의 예산을 배정하여 사업을 진행하였다. 동 사업은 두 가지 목표를 가지고 있는데, 첫 번째는 2030년까지 CCS기술을 상용화하는 것이다. 그리고 두 번째는 2025년도까지 실질적인 안전관리기술을 확립하는 것이다. 그리고 이러한 목표를 달성하기 위해 4가지의 실증시험을 진행하였다.⁴³⁾

첫 번째는 도마코마이에서의 대규모 실증시험이다. 동 시험은 일본의 「해양 오염방지법」 규정하는 해저 하(下) 저장에 관한 인허가 규정을 준수하도록 이전에 압입한 CO₂의 분포 및 해역의 상황을 감시(모니터링)하는 것이다.

두 번째는 CO₂의 장거리 수송에 관한 실증시험으로 세계 최초로 선박에 의한 액화CO₂ 장거리 수송의 실증을 실시하였다.

세 번째는 카본 재활용 실증사업으로 기존 설비로 분리·회수한 CO₂를 이용하고, 카본 리사이클(메탄올 합성)에 관한 실증시험을 실시하였다.

마지막은 안전한 CCS 실시를 위한 CO₂ 저장기술의 연구개발에 관한 시험으로 CO₂저장기술의 안전성을 확보하면서 낮은 비용으로 이를 운영하기 위한 실질적인 안전관리기술의 확립을 목표로 하는 것이다.

이에 비해 우리 과학기술정보통신부는 2021년 CCUS와 관련하여 212억의 예산을 반영하여 4개의 사업을 진행하였다.⁴⁴⁾

단순히 몇몇 부처의 예산 등의 차이를 넘어서 우리정부가 현재 관련 기술의 실용화를 위해 R&D 등에 투자하고 있는 자금의 규모는 다른 나라에 비해 매우 낮은 편이다. 예를 들어, 우리정부가 2010년에 CCS와 CCUS기술개발 등을 위해 필요하다고 예상했던 투자비용 중, 실제로 투자가 이루어진 자금은 절반에도 미치지 못하였다. 2010년 7월 발표되었던 「국가 CCS 종합 추진계획」에서는 CCUS 기술개발 및 실증에 약 1조 2,000억원의 투자가 필요하다고 했지만, 지난 10년(2010년~2019년)간 CCUS 분야에 투입된 R&D규모는 고작 4,600억원에 그치고 있다. 또한 CCUS 분야의 최근 5년간 국내 R&D 투자 연평균 증가율은 5.6% 수준으로, 친환경자동차 46.4%, 수소경제 40%, 청정연료·자원순환 9.7%, 수요관리·고효율 9.2% 등, 주요 탄소중립 기술분야와 비교하여 매우 낮은 수준이다.

43) 일본 경제산업성 홈페이지 자료(2022년 2월 12일 검색).

https://www.meti.go.jp/main/yosan/yosan_fy2021/pr/en/sangi_taka_32.pdf

44) 과학기술정보통신부 블로그 자료(2022년 2월 11일 검색).

https://blog.naver.com/with_msip/222576570879

V. 결론

지구 대기 중에 존재하는 이산화탄소 농도는 매년 사상최고치를 넘어서고 있다. 그리고 그로 인한 문제들, 예를 들면, 지구 기온의 상승은 인류가 감당하기 어려운 수준에 도달할 수도 있다는 경고는 계속해서 나오고 있다.

세계 대부분의 나라들이 지구적인 위협에 대응하기 위해 다양한 노력을 하고 있으며, 그 중 하나는 탄소의 배출을 줄이는 것이다. 현재 인류가 보유한 기술 중, CCS와 CCUS가 탄소를 줄이고 탄소를 활용하여 새로운 에너지로 전환할 수 있는 중요한 기술이라는 데에는 대부분 동의하고 있으며, 해당 기술의 실용화는 환경보호뿐 아니라, 산업으로서도 매우 높은 경제적 가치를 인정받고 있다.

우리나라도 이러한 흐름에 발맞추어 탄소중립을 외치고 있으나 탄소중립을 위해 매우 효율적인 기술의 실용화를 위한 움직임은 여전히 매우 더딘 상황이다. 해당 기술의 필요성이나 중요성은 오래전에 인식하고 준비를 위한 계획도 오래전에 마련되었음에 여전히 실질적인 움직임은 나타나지 않고 있다. 이에 반해 일본정부는 해당 기술의 실용화를 위해 다양하고 적극적인 대응을 펼치고 있다.

우리정부도 더 이상 지체하지 말고 CCS와 CCUS 기술의 실용화를 위해 적극적으로 대응해야 할 것이다. 먼저, 관련 법령을 정비하여 해당 기술의 실용화를 위한 법제도적 기반을 마련해야 할 것이다. 두 번째로 적극적인 교육 및 홍보와 정보제공 등을 통해 해당 기술에 대한 국민들의 우려를 불식시키고 이를 통해 사회적 수용성을 제고해야 할 것이다. 마지막으로 관련기술의 실용화를 위한 시도에 대한 세금감면 등의 혜택과 연구개발을 위한 충분한 지원이 필요할 것이다.

[참고문헌]

(1) 논문

- 김정석, “CCS 실증 및 CCUS 상용화를 위한 법적 기반과 개선점”, 「기업과 혁신 연구」 제44권 제2호, 지식경영연구원, 2021.
- 김병모, 최태섭, 이정석, 박영규, 강성길, 전의찬, “이산화탄소의 해양지중저장과 환경 안전성 평가 방안”, 「한국해양환경 · 에너지학회지」 제16권 제1호, 한국해양환경 · 에너지학회, 2013.
- 신경희, 안승혁, “환경포럼 : CCS 사업의 전략환경평가”, 「환경포럼」 Jan 25, 한국환경정책평가연구원, 2013.
- 장은선, 윤성택, 최병영, 정다위, 강현, “이산화탄소 지중저장의 환경 관리를 위한 미국과 유럽연합의 법제도 현황과 시사점”, 「지하수토양환경」 Vol. 17(6), 한국지하수토양환경학회, 2012.
- 조인성, “이산화탄소 포집 및 저장의 사업화에 관한 사회적 수용성 제고를 위한 법제방안”, 「유럽헌법연구」 제17호, 유럽헌법학회, 2015.
- 채선영 · 권석재, “이산화탄소 포집 및 저장 실용화를 위한 국내 정책 연구”, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety Technical Report Vol. 18, No. 6, 해양환경안전학회, 2012.,
- Hepburn, Cameron et al., “The technological and economic prospects for CO2 utilization and removal”. Nature. 575 (7781), 6 November 2019.
- Rosa M. Cuellar-Franca et al., Carbon capture, storage and utilisation technologies: A critical analysis and comparison of their life cycle environmental impacts, Journal of CO2 Utilization Volume 9, 2015.
- 板岡腿之, 世界におけるCCSの社會受容の狀況について, 化學工學 77 (5), 2013.
- 大城 賢, 増井利彦 「低炭素エネルギー技術の不確實性を考慮したわが國の長期的温室効果ガス削減シナリオ分析」, 土木學會論文集 G(環境), Vol.70, No.6, II_207-II_215, 2014.
- 大城賢, 増井利彦, わが國を對象とした多地域エネルギー技術選擇モデルによる 2050 年までの温室効果ガス削減シナリオ. Journal of Japan Society of Energy and Resources, Vol.35, No.4, 2014.
- 長岡篤, 村山 武彦, CCS に對する地域住民の認識, 環境情報科學 學術研究論文集

Vol. 32, 環境情報科學センター, 2018.

(2) 보고서

日本 内閣府 1(2021), 地球温暖化対策計画, 内閣府

日本 内閣府 2(2021), エネルギー基本計画, 内閣府

日本 内閣府 3(2019), パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略, 内閣府

経済産業省, 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構, 日本CCS調査株式会社 1(2020)苫小牧におけるCCS大規模実証試験30万トン圧入時点報告書(「総括報告書」)概要, 経済産業省, 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構, 日本CCS調査株式会社

経済産業省, 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構, 日本CCS調査株式会社 2(2020)苫小牧におけるCCS大規模実証試験30万トン圧入時点報告書(「総括報告書」), 経済産業省, 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構, 日本CCS調査株式会社

公益財団法人 地球環境産業技術研究機構(2021), 令和2年度 地球温暖化・資源循環対策等に資する調査委託費(我が国におけるCCS事業化に向けた制度設計や事業環境整備に關する調査事業)調査報告書, 公益財団法人 地球環境産業技術研究機構

統合イノベーション戦略推進會議, 革新的環境イノベーション戦略, 2020, 内閣府

(3) 인터넷 자료

대한민국 과학기술정보통신부 블로그(2021), 2022년 2월 11일 검색

https://blog.naver.com/with_msip/222576570879

経済産業省, 内閣府, 文部科學省, 環境省(2021), カーボンリサイクル技術ロードマップ, 2021년 12월 21일 검색

<https://www.meti.go.jp/press/2021/07/20210726007/20210726007.pdf>,

東芝エネルギーシステムズ株式会社(2020), 大規模CO2分離回収実証設備の運轉開始について, 2021년 12월 20일 검색

https://www.toshiba-energy.com/info/info2020_1031.htm

株式会社東芝(2021), 常溫環境下において世界最高スピードでCO2を価値ある資源に変換可能なCO2資源化技術を開發, 2021년 12월 19일 검색

<https://www.global.toshiba/jp/technology/corporate/rdc/rd/topics/21/2103-02.html>

三菱マテリアル株式会社(2021), 環境配慮型CCS実証事業, 2021년 12월 15일 검색

http://www.env.go.jp/earth/R3ccus/ENVCCS_R02_1-3_cyoryuu_r.pdf

川崎重工業(2021), グループビジョン2030進捗報告會, 2021년 12월 15일 검색

https://www.khi.co.jp/ir/pdf/etc_211209-1j.pdf

佐賀市 홈페이지 자료, 二酸化炭素分離回収事業について, 2021년 12월 10일 검색

<https://www.city.saga.lg.jp/main/44494.html>

日本CCS調査株式會社 홈페이지 자료, 苫小牧CCS大規模實証試験, 2021년 12월 10일 검색

<https://www.japanccs.com/business/demonstration/index.php>

豊田中央研究所 홈페이지 자료, 2021년 12월 10일 검색

<https://www.tytlabs.co.jp/sflabmorikawa/theme.html>

일본 경제산업성 홈페이지 자료, 2022년 2월 12일 검색

https://www.meti.go.jp/main/yosan/yosan_fy2021/pr/en/sangi_taka_32.pdf

[Abstract]

Japan's Response and Implication for Early Realization of CCS & CCUS*

Kim, Gyung-Seok**

Most countries are making various efforts to cope with global threats. One of them is to reduce carbon emissions.

CCS and CCUS are important technologies that can reduce carbon and utilize carbon to convert into new energy among the technologies currently possessed by mankind. In addition, the commercialization of the technology is recognized not only for environmental protection but also for its very high economic value as an industry.

Korea is also calling for carbon neutrality in line with this trend, but the movement to commercialize CCS and CCUS, which are very efficient technologies for carbon neutrality, is still very slow.

The necessity or importance of the technology has long been recognized. In addition, plans were prepared a long time ago to prepare for commercialization. However, there is still no actual movement.

On the other hand, the Japanese government is taking various and active responses to the practical use of the technology.

The Korean government should not delay any more and actively respond to the commercialization of CCS and CCUS technologies.

First, the relevant laws and regulations should be revised to lay the legal foundation for the commercialization of the technology.

Second, active education, publicity, and information provision should be made to dispel public concerns about the technology and increase social acceptance.

Finally, benefits such as tax reduction and exemption for attempts to commercialize related technologies and sufficient support for R&D will be needed.

* This work was supported by the Ministry of Education of the Republic of Korea and the National Research Foundation of Korea (NRF-2020S1A5B5A16082986)

** Research Professor, The Law Research Institute, Hong-Ik University.

Keywords : Carbon reduction, Carbon Capture and Storage, Carbon Capture Utilization and Storage, Social acceptance, industrial competitiveness improvement

