

탄소자원화 기술의 연구·개발·실증 활성화

장애요소에 기반한 우리나라 정책 현황 분석 및
정책 방향성 제안

| 집필진 |

- 오채운 선임연구원
- 장창선 연구원
- 임훈철 연구원
- 전덕우 선임연구원
- 김영일 연구원
- 신종석 연구원
- 강문정 선임연구원
- 양리원 연구원
- 엄다예 연구원
- 박인혜 연구원
- 문주연 연구원
- 염성찬 선임연구원
- 이종석 연구원
- 안세진 연구원
- 이종열 연구원
- 이원아 연구원
- 신경남 책임연구원

| 감사의 글 |

본 Discussion Paper는 2017-2018년도 탄소자원화 국가전략 프로젝트 사업 1차 년도 연구인 「국제메커니즘 연계 탄소광물화 기술의 해외적용 타당성연구」수탁 과제(과제책임자: 신경남 책임연구원)의 일환으로 녹색기술센터가 수행한 연구를 바탕으로 작성되었습니다. 또한, 본 Discussion Paper에서 CCUS에 대한 우리나라 부처별 재정지원 현황에 대한 정보는 녹색기술센터 「기후기술 국가연구 개발 사업 및 산업통계 조사 연구」 기본 과제(과제책임자: 염성찬 선임연구원)에서 수행한 연구내용이 활용되었습니다.

요약문

기후변화의 주요 원인인 이산화탄소 배출을 줄이기 위해, 배출된 이산화탄소를 포집 및 활용하여 화학소재 또는 광물화 제품을 생산하는 탄소자원화(CCUS) 기술이 부상하고 있다. 이에, 우리나라는 동 기술의 연구·개발·실증(RD&D)의 활성화를 위해 다양한 정책적 노력을 기울이고 있으며, 향후 개도국으로 플랜트 수출과 해외사업을 통한 국제 탄소배출권 확보를 목표로 하고 있다. 여기서, 개도국으로 혁신기술 진출의 성공 여부는 개도국이 혁신기술의 기술적 그리고 사회제도적 측면의 흡수역량을 보유하고 있는지의 여부가 중요하다. 향후, 국내 기술의 개도국 진출시 해당국의 제도적 역량배양까지 지원하는 것을 고려할 때, CCUS 기술의 RD&D에 대한 사회제도적 흡수역량을 우리나라 자체적으로 보유하고 이를 적절히 활용하고 있는지 여부를 먼저 살펴볼 필요가 있다. 이에, 동 Discussion Paper에서는 우리나라의 CCUS 기술의 RD&D 활성화 정책현황을 다섯 가지 RD&D 장애요소를 중심으로 분석해 보았다. 다섯 가지 장애요소는 i) 체계적 R&D 정책 및 기술로드맵 부재, ii) 재정 지원 메커니즘 부재, iii) 감독/안전에 대한 법과 규제 부재, iv) 대중인식도 제고 노력 부재, 그리고 v) CCUS 국제 표준 수립 참여 부재이다. 분석결과, 우리나라는 CCUS 기술의 RD&D 활성화를 위해 체계적인 제도적 노력을 정책적으로 추진해 왔음을 확인할 수 있었다. 그러나, CCUS에 특화된 정책, 시장기반 인센티브 시스템의 활용, 실증사업을 위한 단일화된 행정규제의 개발, CCUS에 맞는 시장 인식도 제고, 그리고 제 및 국내 표준 마련 측면에서 심도있는 노력이 필요하다는 것을 확인할 수 있었다. 향후 각 장애요소 별로 세부적인 후속연구가 필요하다.

CONTENTS



집필진·감사의 글	02
요약문	03
(1) 서론	05
(2) 이론적 배경과 분석방법	09
2.1 탄소자원화 기술이란	10
2.2 개도국의 CCUS RD&D 활성화 정책 연구	12
2.3 분석틀	15
(3) 분석	17
3.1 협력 거버넌스 : 체계적 연구개발 및 기술 로드맵	18
3.2 재정 지원 메커니즘	22
3.3 감독·안전에 대한 법과 규제 그리고 산업 생태계	34
3.4 대중 수용성	36
3.5 국제 표준 수립 참여	39
(4) 결론	41
참고문헌	49
별첨	52

SECTION

01

서론



01 SECTION

서론

산업혁명 이후, 인류의 화석연료 사용이 증가됨에 따라 대기중 온실가스의 농도가 증가해 지구의 평균기온이 상승하였다. 이 평균기온의 상승은 폭염, 폭설, 홍수, 가뭄 등의 극한 기상현상을 일으켰고, 해수면 상승 등으로 인류와 생태계 전반의 위협을 주고 있다. 이러한 기후변화의 부정적 영향에 대응하기 위해, 1992년 유엔기후변화협약이 채택되었다. 이 협약 하에서 보다 구체적인 국제적 행동을 위해, 1997년 교토의정서가 출범하였고, 이후, 2015년에는 2020년 이후의 국제행동의 방향성을 결정하는 파리협정이 채택되었다. 이러한 국제적 노력의 핵심은 바로 온실가스 배출량을 줄이고 평균기온 상승을 억제하는 것이다. 특히 온실가스 감축, 특히 이산화탄소 배출을 줄이기 위해 국내외로 다양한 노력들이 이루어지고 있다.

이산화탄소는 교토의정서에서 지정한 6대 온실가스 중에서, 전체 온실가스의 배출량의 80% 이상을 차지하는 기체다.¹⁾ 이산화탄소를 제거하는 효율적인 방법으로는 크게 세 가지가 있다. 첫째는 이산화탄소 집약적인 배출원을 저탄소기반의 시설·공정으로 대체하는 것, 둘째는 기존 시설·공정으로부터 이산화탄소를 포집·전환·활용·격리 하는 것, 그리고 세 번째는 생태계로부터 산림 조성 등을 통해 탄소를 제거하는 것이다 (Extavour and Bunje 2016). 이 중에서, 첫 번째 방식이 이산화탄소 제거에 가장 효과적이거나 기술변화의 불확실성과 대규모 비용이 수반된다는 문제가 있다. 두 번째 방식은 기존 시설·공정을 변화하지 않으면서 이산화탄소를 제거하므로 근본적인 변화는 아니나 대신 저탄소 기술로 전환하는 중간 스텝으로서 볼 수 있다는 장점이 있다. 그러나 역시 기존기술의 고착화(lock-in)와 이산화탄소 포집·전환·활용·격리 기술을 적용하는 데에 대규모 자본금이 소요된다는 부정적 측면이 동시에 존재한다. 그리고, 세 번째 방식은 인류에 의해 발생한 이산화탄소를 현재 인간 삶의 방식을 변화하지 않고 생태계로부터 제거하는 것이므로, 지속가능하지 않으며 또한 제거의 효과성에 대한 불확실성이 존재할 수 있다.

1) 6대 온실가스로는 이산화탄소, 메테인, 아산화질소, 과플루오린화탄소, 수소화불화탄소, 육불화황이 있다.

이 세 가지 접근법 중에서 가장 현실적인 방법론으로서 여겨지는 것이 바로 두 번째 이산화탄소 포집·전환·활용·격리(CCUS) 기술을 적용하는 것이다. 특히, 최근 선진국과 개도국을 중심으로 활발하게 연구·개발·실증(RD&D)이 이루어지고 있는 것이 바로 이산화탄소의 활용(utilization) 기술이다. 이는 이산화탄소를 폐기해야 하는 환경오염물질이 아니라 상품을 생산하는데 활용되는 자원으로 접근하는 것이다 (Jones et al. 2017). 이러한 국제적 흐름 속에서, 우리나라는 2016년 8월 개최된 제2차 과학기술전략회의에서 우리나라의 미래를 책임질 9대 국가전략프로젝트 주제의 하나로 탄소자원화 기술의 연구·개발·실증을 선정하였다 (미래부 2016a).²⁾ 국가전략프로젝트란 혁신적 국가 전략기술 확보를 통해 신산업 창출을 위해 정부가 다부처 및 기술혁신주체들의 공동 참여를 통해 추진하는 사업이다. 이어, 2017년에는 국가전략프로젝트로 6개 사업이 선정되었는데, 이 중 하나로 탄소자원화가 포함되었다.³⁾ 그렇다면, 탄소자원화 기술이란 무엇인가? 간단히 말하면, 이산화탄소를 공급원료로 사용하여 고(부가)가치 화학제품을 생산하는 기술이다 (Extavour and Bunje 2016, p.55). 즉, 기후변화에 대응해 감축해야 하는 대상인 이산화탄소를 가공하여 국가 온실가스를 감축하는 동시에 산업경쟁력을 확보하기 위한 목적으로, 제철·화력발전소 등에서 발생하는 부생가스인 탄소(CO, CO₂, CH₄ 등)를 자원으로 활용하여 화학 소재 또는 광물화 제품 등을 생산하는 기술이다 (미래부 2017). 동 사업은 부생가스의 탄소원인 일산화탄소(CO)를 분리·정제하여 메탄올을 생산하는 탄소전환 기술과 발전소의 이산화탄소를 활용해 그린시멘트 또는 폐광산 채움재를 생산하는 탄소광물화 기술을 개발한다. 동 사업은 기술의 연구·개발 뿐만 아니라, 조기 실증을 통해 상용화하는 것에 중점을 두고 있다. 탄소전환기술은 광영-여수 산업단지 내에 기술실증을 추진하고, 탄소광물화 기술은 강원-충청도 내에 기술실증을 추진한다. 이 실증결과를 토대로, 중국에는 전환기술의 개발은 해외 플랜트 수출을, 광물화 기술의 개발은 해외사업을 통해 국제 탄소배출권을 확보하고자 하는 것이 주된 목적이다 (미래부 2016a).

여기서 주목해야 할 점은 두 가지다. 하나는 국가전략프로젝트의 CCUS 기술 RD&D 목적이 바로 ‘해외’에 있다는 점이다. 해외 중에서도 특히 개도국에서의 CCUS 기술 수출 및 CCUS 기술기반 사업을 수행하고자 한다는 점이다. 중요한 점은 국내에서 CCUS 기술을 실증한다고 해도, 해외에서도 실증이 이루어져야 이를 토대로 해외에서 사업 및 기술확산을 도모할 수 있다. 다른 하나는 해외에서의 기술실증, 플랜트 수출, 그리고 크레딧 확보를 위한 노력은 단순한 해외사업이

2) 9대 프로젝트는 ①자율주행자동차, ②포스트 철강 경량소재, ③스마트시티, ④인공지능, ⑤가상증강현실, ⑥정밀의료, ⑦탄소자원화, ⑧(초)미세먼지, 그리고 ⑨바이오의약이다 (미래부 2016a).

3) 6대 사업에는 ①인공지능, ②가상증강현실, ③(초)미세먼지, ④탄소자원화, ⑤경량소재, 그리고 ⑥정밀의료가 있다. 국가전략프로젝트는 사업단장 중심의 범부처 단일 사업단을 구성하고 실증·사업화를 목표로 정부 R&D 혁신방안을 선도적으로 적용하며, 사업특성 및 역량에 따라 민관협력 활성화에 기여하는 것이 목적이다(미래부 2017).

아닌 국제기술이전 측면에서 바라봐야 한다는 점이다. 개도국으로 기술이전을 하는 과정에는 개도국이 이 기술을 받아들일 수 있는 흡수역량이 중요하다. 이 흡수역량에는 기술적 측면의 흡수역량뿐만이 아니라 법/규제, 재정/경제적, 사회/문화적 측면을 종합한 사회제도적 측면의 흡수역량 역시 필요하다. 따라서, 우리나라가 CCUS 기술을 국내에서 RD&D를 통해서 최종적으로 해외에 진출하기 위해서는, 과연 우리나라는 CCUS의 RD&D 및 개도국 이전을 위한 자체적인 흡수역량을 보유하고 이를 발휘하고 있는가의 여부에 대해서 살펴볼 필요가 있다.

따라서, 동 Discussion Paper에서는 우리나라의 CCUS 기술의 RD&D 활성화를 방해하는 다섯 가지 장애요소를 중심으로 제도적 측면을 분석해 보았다. 동 Discussion Paper는 2장에서 CCUS 기술을 설명하고, 개도국에서 CCUS 기술에 대한 RD&D 활성화 정책에 대한 기존 연구들을 살펴보고, 이를 토대로 연구 분석틀로서 다섯 가지 제도적 장애요소를 도출하였다. 3장에서는 각 장애요소 별로 우리나라의 제도적 추진현황을 분석하였다. 마지막으로, 4장에서는 분석결과를 토대로 현재 우리나라의 CCUS 기술의 RD&D 활성화를 위한 제도적 여건의 현황을 개괄하고, 개도국으로 CCUS 기술에 기반한 협력 이전에 우리나라가 자체적으로 보완해야 할 사항들에 대한 정책적 함의를 논의하였다.

SECTION

02

이론적 배경과 분석방법

2.1 탄소자원화 기술이란

2.2 개도국의 CCUS RD&D 활성화 정책 연구

2.3 분석틀

02

SECTION

이론적 배경과 분석방법



2.1 탄소자원화 기술이란

CCUS에 포함되는 기술은 탄소포집(CC, Carbon Capture), 활용(utilization), 저장(storage) 또는 제거(sequestration) 기술로, CCUS는 이 기술들이 엮인 체인 기술이다. 따라서, 각각의 기술이 단독으로 또는 어떻게 엮이느냐에 따라서 기술의 이름이 정해진다. 이에, 관련된 기술들을 먼저 살펴 보겠다. 탄소포집(CC) 기술이란, 이산화탄소가 다량 배출되는 발전소 같은 대규모 점원(point sources)으로부터 이산화탄소를 포집하는 기술이다. 이 포집된 기술로 무엇을 하는가에 따라서 탄소 포집·저장(CCS, Carbon Capture and Storage) 기술과 탄소 포집·활용(CCU, Carbon Capture and Utilization) 기술로 구분된다. CCS 기술은 이산화탄소를 포집하고, 이를 압축 및 수송하여 지중 혹은 해양 퇴적 암반층에 안전하게 주입·저장하고 모니터링하는 기술을 총칭한다. 이는 이산화탄소를 오랫동안 대기로부터 격리하여, 대기중 이산화탄소를 저감하는 긍정적 효과를 불러 온다. 그러나, 지반 등에 저장을 목적으로 하고 있으므로, 저장여건(입지요건), 막대한 비용, 누출가능성 등의 위험이 존재해 장기적으로 안전한 자원순환형 이산화탄소 처리기술이 필요할 수 있다. 이러한 문제점을 보완하기 위한 노력으로 CCU 기술에 대한 연구가 시작되었다고 볼 수 있다. CCU는 폐기물로 인식되어왔던 이산화탄소를 유용한 자원으로 재활용할 수 있다는 패러다임의 변화로부터 시작되어, 포집된 이산화탄소를 화학적, 생물학적 방법 혹은 직접 활용을 통해 다른 고부가/범용 화합물 혹은 연료 등으로 전환 및 활용하는 기술을 말한다. 물론 CCU는 CCS 만큼 한 번에 다량의 이산화탄소를 처리하기는 어려운 단점이 있다. 그러나, 국토가 좁아 저장 공간에 한계가 있는 우리나라의 경우에는, 입지조건에 대한 제약이 없고, 처리비용이 발생하지 않으며, 더욱이 이산화탄소 활용을 통해 수익창출이 가능하다는 점에서 CCU 기술의 필요성이 상대적으로 높다. 비슷한 이유로, 해외에서도 CCU 기술 상용화를 위한 연구가 급증하고 있다. 현재 CCU에 대한 기술로는 이산화탄소의 화학적 변환을 통해 경제적으로 유용한 화학제품으로 전환하여 화석연료 생산공정에 이산화탄소를 활용하거나, 이산화탄소를 알칼리 토금속과 반응시켜 광물탄산염으로

전환하는 기술 등이 있다 (김다미·김명진 2015). 따라서, CCS 기술과 CCU 기술은 공통적으로는 탄소를 포집하지만, 포집된 탄소를 활용하는 데에 있어서 CCS 기술은 이산화탄소를 감축하는 데에 주된 목적이 있으며 CCU 기술은 새로운 그리고 부가가치를 가진 생산물을 생산하기 위한 자원화에 주된 목적이 있다는 점을 구분해야 한다 (Jones et al. 2017).

그렇다면, CCUS 기술이란 무엇인가. 일반적으로 CCUS는 CCS와 CCU를 융합한 기술로 본다. 실제 산업현장에서, 별도의 운송과정 없이 이산화탄소의 자원화와 폐기를 유연하게 운영할 수 있고, 보다 환경친화적으로 화석연료 사용이 가능하며, 비용효과적인 이산화탄소 저감 달성이 가능하다. 따라서, CCUS 기술은 기후변화에 대응하기 위한 감축기술로 분류가 되어 있으면서, CCS 기술에 대한 보완 차원에서 경제적 측면의 장점이 있다 (배준희 외 2017).⁴⁾ 그러나, 일각에서는 CCUS를 CCS와 CCU를 융합한 접근법에 대해 우려를 표하기도 한다. 그 이유는 CCS와 CCU가 탄소포집이라는 기술적 공통성을 갖지만, 포집된 탄소의 저장은 감축기술이며 활용은 에너지 전환 및 자원 이용을 위한 기술로 전혀 다른 두 개의 기술군을 병합하고 있기 때문이다 (Bruhn et al., 2016). 현재, 우리나라에서 CCUS를 CCS와 CCU를 융합한 기술이라고 접근하기는 하나, CCUS를 탄소 자원화 기술로 표현한다는 것은 CCU 기술에 보다 초점을 맞추어 접근하고 있다고 해석할 수 있다. 이에, 동 연구에서는 CCU에 가까운 개념적 접근 하에서 CCUS 기술에 접근하고자 한다.

이러한 CCUS 기술은 현재 우리나라에서는 기술개발 단계로서 상업화 단계로 진입하지는 못한 상태이다. 어떤 기술들은 개발단계에서 단기적으로도 쉽게 상업화 단계로 넘어갈 수 있지만, 다른 기술은 장기적 관점을 가진 주체에 의해서만 상업화 단계로 성공적으로 넘어갈 수 있다 (Lundvall 1998, p.409-410). CCUS 기술의 특징은 “범분야 기술로, 공간규모가 크고, 장기, 투자규모와 투자리스크가 크며, 이에 RD&D와 상업화라는 기술 사이클 전반에 걸쳐 적절한 지원 정책이 필요하다” (Zhang et al. 2013, p.546). 따라서, CCUS는 장기적 관점에 기반한 전반적 RD&D 정책이 필요한 기술로서 여겨질 수 있다.

4) 2000년부터 2017년 4월까지 CCUS 기술에 대한 전 세계 특허 출원 동향을 살펴보면, 2017년 4월 기준 총 7,726건 중 미국(34%), 중국(21%), 일본(18%), 한국(18%), 순으로 한국을 포함하여, 미국, 일본, 중국 등을 중심으로 적극적인 CCUS 기술 개발 활동이 이루어지고 있다 (배준희 외 2017).

2.2

개도국의 CCUS RD&D 활성화 정책 연구

국제적인 기술이전에는 기술 수혜국의 높은 기술역량(technological capacity) 또는 수용역량(absorptive capacity)이 전제되어야 한다.⁵⁾ 특히, 기술사이클에서 RD&D 단계의 기술에 대해서 기술협력(기술이전 포함)을 위해서는 그 특정기술을 위한 높은 기술역량이 요구된다. 만약, 기술역량이 낮다면, 이를 체계적으로 강화시켜야 하는데, 이를 강화하고자 할 때에는 기술 사이클의 해당 단계마다 다양한 행위자, 제도적 기반, 그리고 연계성이라는 세 가지 측면이 모두 고려되어야 한다. 여기서 제도적 기반이란 기술의 연구, 발명, 실험, 그리고 지식/노하우의 이전을 창출하는 환경을 의미한다(TEC 2015, p.7). 즉, 제도적 기반은 가능환경(enabling environment)으로 치환될 수 있는데, 그렇다면 가능환경이란 무엇인가. 가능환경은 '장애요소(barriers)'와 결부되어 설명될 수 있다. 이 기술역량은 기술개발 및 이전 과정에서 장애요소와 가능여건에 대한 사항이 포함된다. 여기서, 기술개발 및 이전에 대한 장애요소에는 기술적, 제도적, 재정/경제적, 사회/문화적 장애요소가 있다(Ockwell et al. 2008; Painuly 2001). 기술이전 관련 장애요소에 대한 연구는 기본적으로 해당기술의 "기술-경제적 잠재성(techno-economic potential)"을 높이는 데에 목적이 있다. 기술-경제적 잠재성이란 "기술적으로 실현가능하고 경제적으로 가능한 기술이 경쟁시장에서 널리 활용될 수 있으며, 기술의 활용에 있어 소비자 선호도, 사회/제도적/재정적 측면의 장애요소가 존재하지 않는 경우"를 의미한다. 이러한 기술-경제적 잠재성에 도달하기 위한, 정책적 접근은 장애요소를 해결하는 데에 초점을 두고 크게 두 가지로 이루어지는데, 하나는 '미시적 수준'에서 직접적인 정책개입을 하는 것이고, 다른 하나는 '거시적 수준'에서 간접적인 정책개입으로 기술이전을 위한 가능환경을 만드는데 초점이 맞추어진다(Painuly 2001, p.76 & p.84). 따라서, 가능여건의 조성은 장애요소에 대한 간접적인 정책적 개입이라고 볼 수 있으며, 이에 장애요소와 가능여건은 서로 다른 것이 아니라 연계된 것이라고 볼 수 있다. 따라서, 개도국으로의 기술이전을 위해서는 개도국의 장애요소를 파악하고 이에 대한 장벽을 낮추는 작업이 결국 선행되어야 한다는 점을 알 수 있다. 즉, 우리나라의 CCUS 기술이 해외로 확산되기 위해서는 개도국에서 CCUS를 받아들이고 이를 활성화하기 위한 가능여건이 필요하다는 것이다.

5) 기존 연구에서 환경친화기술의 국제이전을 용이하게 하는 요소로는 ①개발지원 및 국제적 연구협력의 관계, ② 개도국 시장, ③긴밀한 경제적 관계를 보유한 국가와의 협력, ④수혜국의 높은 기술역량, ⑤수혜국의 배출량 제한 및 역량강화 기반 지역혁신 정책의 이행 여부 등이 있다(OECD 2009).

그렇다면, 개도국에서의 CCUS의 RD&D를 활성화하는 데 필요한 가능여건은 무엇일까? 이에 대한 연구는 중국을 중심으로 활발하게 이루어지고 있다. 중국에서 “기술 로드맵 연구: 중국에서 CCUS”가 발간되고, CCUS 기술의 RD&D를 진행하는 과정에서 다양한 이슈들이 발생하였다 (Li et al. 2016, p.282).⁶⁾ 이러한 이슈들은 RD&D를 수행하는 데 있어서 부딪히는 장애요소와 밀접히 관련되어 있으며, 이를 해결하기 위한 정책 시사점들이 도출되었다.

먼저, Zhang et al.(2013)의 연구는 CCUS의 RD&D 활성화를 위한 정책을 크게 7가지의 장애요소 측면에서 제안하였다. 첫 번째는 체계적인 개발 계획과 기술로드맵의 부재 시, CCUS RD&D의 목적과 우선순위에 대한 통합된 계획·전략을 준비하고 이를 국가 과학기술 계획 및 산업개발 계획에 포함하는 것이다. 두 번째는 범분야 및 범부처 협력 거버넌스의 부재 시, CCUS 관련 기관들 간의 조정 메커니즘의 설립하는 것이다.⁷⁾ 세 번째는 법과 규제의 부재 시, CCUS 실증 사업에 대한 행정적 규제를 개발하는 것이다. 이는 RD&D 사업을 위한 책임기구, 승인주체, 그리고 규제기관을 명확히 하는 것이다. 네 번째는 부적절한 또는 부족한 재정에 대해서, 실증사업을 위한 국가적 재정지원을 준비하는 것이다. 현재, CCUS R&D 공공재원은 중국 과학기술부와 중국 자연과학기금에 기반하고 있으며, 공공자원 투입의 흐름이 일방향적 ‘기술조사 및 파일럿 테스트’에서 복합형인 ‘산업 전체 흐름상의 기술 실증’으로 변화 중에 있다. 이의 일환으로 실증사업 개발에 필요한 적절한 세금 인센티브 정책 개발과 민간섹터/투자자들의 실증사업 투자 권고 등이 필요하다고 언급되었다. 다섯 번째는, 재정의 비효율적 활용에 대해서, 산업, 학계, 그리고 연구기관들의 협력을 위한 플랫폼을 구축하는 것으로, 이는 각 주체들이 가진 다양한 자원들을 통합하는 것이 목적이다. 여섯 번째는 CCUS 기술에 대한 전문가 부족에 대해서, 관련 전문가 훈련 및 전문 R&D 팀을 구축하는 것이다. 일곱 번째는 CCUS에 대한 사회적 인식 부족에 대해서, 대중 인식도 및 신뢰도 제고를 노력하는 것이다. 추가적으로 효과적인 국제협력의 필요성이 언급되었으며, 이는 선진국이 개도국에 관련된 기술적/재정적 지원을 제공하는 국제 협력 메커니즘을 활용하기 위함이다.

6) 발간 보고서의 영문 제목은 “Technology Roadmap Study: CCUS in China”이다.

7) 현재, 중국에서 CCUS 기술의 개발에 관련된 기관들로는 과학기술개발 계획 및 정책을 담당하는 과학기술부(MOST), 중국 에너지기후변화 정책 및 계획을 담당하는 국가개발개혁위원회(NDRC), 중국 표준원(SAC), 환경보호국가정책개발 및 이행을 담당하는 환경보호부(MEP), 중국환경계획아카데미(CAEP) 등이 있다. 이중에서, 중국 주요 정책 기관은 MOST와 NDRC이다 (Lui et al. 2014, p.6905).

Lui et al.(2014)는 CCUS 기술의 기후변화 감축 영향을 제고하기 위해, 정부 차원의 CCUS 기술 실증과 환경 안전성 측면의 노력을 강조하고 있다. 특히, 환경 안전성 측면에서, 중국정부는 CCUS 사업 환경지침 초안을 2014년까지 도출하는 노력을 하고 있다. 또한, 대규모 CCUS 기술 활용에 대한 법/규제는 부재하나 파일럿 및 실증 사업에 대해서는 환경영향 평가를 실시 중이다. 그럼에도 불구하고, 본 연구는 중국정부가 보다 구체적인 환경 리스크 관리와 규제를 법에 근거해서 수행하는 등 일련의 체계가 구축되어야 하며, 이러한 규제를 국제 수준에 맞추어야 한다는 것을 강조하고 있다.⁸⁾

그리고, Li et al.(2016)는 CCUS 기술의 규모화(scale-up) 과정에서 맞닥뜨리는 기술적 측면의 도전과제로, 크게 i) R&D 단계의 기술적 불확실성, ii) 높은 기술비용, 낮은 경제적 가능성, 재원의 부족, iii) 이산화탄소 배출원과 저장소의 연계성 부족, iv) 운반과 저장을 위한 고도의 보안규정을 고려한 복잡한 지리적 조건 등을 강조하고 있다. 이러한 도전과제들을 고려하여, 본 연구는 CCUS RD&D 활성화를 위해 다섯가지 사항을 제안하고 있다. 첫 번째로는 기술로드맵의 갱신에 대한 사항이다. CCUS에 대한 기존 기술로드맵에 대해서, 기술개발의 단계별로 존재하는 기술적 장애요인에 기반해 우선 행동계획을 구체화하고, 주요 연구 분야를 명확히 하며, CCUS 기술개발을 위한 선호 지역 선택 등을 포함하여 로드맵 갱신이 이루어져야 한다고 언급하고 있다. 두 번째로는, 통합적 접근이 강조되었다. 이 통합은 먼저 i) CCUS의 포집/수송/사용/저장 각각의 기술의 개발도 중요하지만, 기술 별 관련 조직들 간의 조정 메커니즘을 수립하는 것, ii) 국가간 그리고 사업간 협력을 위한 조정기관을 정부 주도로 설립하는 것, iii) CCUS 관련 기관들을 집합할 수 있는 범분야/범산업 플랫폼(가칭: CCUS 기술 혁신 중국 전략연합)을 구축하는 것, iv) CCUS 사업을 위한 산업을 집합하는 것이 필요하다고 언급하였다. 세 번째는, CCUS 기술 개발이 사회와 공진화(co-evolve)한다는 측면에서, 사회적 인증이 필요하다고 언급하였다. 따라서, CCUS 기술에 기반한 사업 수행 시 이루어지는 정보공개 및 교환 활동과 함께, CCUS 기술에 대한 공공 교육 수업이 동반될 수 있다. 네 번째는 정책결정권자들이 기존의 CCS 기술 뿐만 아니라 활용기술에도 동등한 중요성을 부과해야 한다고 언급하였다. 다섯 번째는 CCUS 개발에 영향을 미치는 다양한 외적 요인들을 고려해야 한다는 점이 강조되었다.⁹⁾

8) 중국은 CCS 관련 국제 표준 개발에 활발히 참여하고 있다. 다자협력 측면에서는 국제표준화기구(ISO) 기술위원회 265 (ISO/TC265) 참여하고 있고, 양자협력 측면에서는 캐나다표준협회(Canadian Standards Association) 기술위원회의 업무 수행을 지원하고 있다.

9) 외적 요인들에는 국제 기후변화 협상, 국내/국제(양자 및 다자) 협력 진전, 미래 저탄소 산업 역량 및 개발 전략, 여타 저탄소에너지 기술과의 경쟁 및 개발 관계, 에너지 수요 변화, 그리고 에너지 정책 등이다 (Li et al. 2016).

2.3 분석틀

우리나라는 CCUS 기술정책 추진과 관련하여 두 가지 목적을 추구하고 있다. 하나는 선진국 수준의 기술력을 담보하는 것이고, 다른 하나는 우리나라가 보유한 CCUS 기술을 개도국에서 실증하고 실증경험을 토대로 개도국에 동 기술을 수출 및 확산하는 것이다. 즉 연구개발/실증/이전이라는 활동이 동시에 수행되는 것이다. 이는 무엇을 의미하는가? 우리나라 CCUS 기술을 개도국에 이전 및 수출하기 위해서는 우리나라 CCUS 기술의 RD&D 및 확산을 가능하게 하는 정책적 여건까지 함께 이식(transplant)해야 하는 것이다. 따라서, 동 연구에서는 우리나라의 CCUS 기술에 대한 RD&D 정책을 먼저 평가해 보고자 한다. 특히 본 연구는 이 평가의 방식은 개도국이 CCUS RD&D를 진행하는 과정에서 겪고 있는 장애요소와 가능여건 측면에서 바라보고 평가하는 방식을 채택하였다.

이에, 동 연구에서는 Zhang et al.(2013)가 수행한 중국의 CCUS RD&D 활성화를 저해하는 정책적 장애요소에 대한 틀을 중심으로, Lui et al.(2014)와 Li et al.(2016)의 문헌 연구를 더하여, 크게 다섯 가지 장애요소를 도출하였다. 첫째는 범분야 및 범부처 협력 거버넌스로, 체계적 연구개발 및 기술 로드맵 수립 여부, 두 번째는 적절하고 성숙한 재정 지원 메커니즘 수립 및 운영 여부, 세 번째는 감독 및 안전에 대한 법과 규제 수립 및 운영 여부, 네 번째는 대중인식도 제고를 위한 노력, 마지막 다섯 번째는 CCUS에 대한 국제 표준 수립에 대한 참여 여부이다.

상기 3대 연구는 CCUS에 대한 '개도국', 특히 중국을 중심으로 진행된 연구로, 이는 다음의 <표 1>과 같이 정리될 수 있다. 이 연구에서 논의된 사항을 선진국에 버금가는 기술수준을 보유한 우리나라에 적용한다는 것이 적절하지 않을 수 있다는 점과, 나아가 향후 이를 다양한 환경/사회/경제적 특성들을 가진 개도국에 적용하는 것은 어려울 수 있다는 점은 단점이라고 볼 수 있다. 그러나, CCUS의 장애요소와 이를 극복하기 위한 정책적 연구가 중국을 중심으로 가장 깊이 있고 광범위하게 진행되어, 이를 통해 수립한 프레임이 가장 보편성 & 최신성을 갖는다는 장점이 있다. 또한, 중국 자체가 개도국이면서 RD&D를 수행하므로, 개도국 진입 시 고려사항을 얻을 수 있고, 우리나라의 활동을 반추하며 개도국 진출 전 우리는 모두 갖추었는지 고려할 수 있다는 점에서 장점을 갖는다. 다음 장에서는 이를 토대로, 우리나라의 RD&D 활성화를 위한 정책적 현황에 대해서 조사 및 분석하고자 한다.

표 1 중국의 CCUS의 RD&D 증진 과정의 장애요소와 이를 위한 정책적 접근

장애요소	CCUS 연구개발 증진 정책
CCUS 개발 계획 및 기술 로드맵 부재와 범분야/범부처 협력 거버넌스 부재	<ul style="list-style-type: none"> ■ 통합된 활용 & 계획 전략 준비 <ul style="list-style-type: none"> · CCUS 기술 로드맵 준비 및 구체적인 행동계획에 기반한 로드맵 갱신 ■ 국가 과학 & 기술 계획과 산업 개발 계획에 포함 및 연계 <hr/> <p>» ■ CCUS 관련 조직들* 간의 조정 메커니즘 수립</p> <ul style="list-style-type: none"> · (정부) CCUS의 전단계(full-chain) 실증 수행 추진 · (민간) 범분야/산업 플랫폼* 구축 <p>* 가칭: CCUS 기술 혁신에 대한 중국 전략연합 (China strategic alliance on CCUS technology innovation)</p> <hr/> <ul style="list-style-type: none"> ■ CCUS 관련 전문가 훈련 및 전문 RD&D팀 구축
부적절한 재정지원 및 미성숙한 투자/ 재원 메커니즘	<ul style="list-style-type: none"> ■ 실증사업을 위한 국가 재정지원 제공 <ul style="list-style-type: none"> · 실증사업 개발에 필요한 적절한 세금 인센티브 정책 개발 · 민간섹터 및 투자자들의 실증사업 투자 권고 ■ 지속가능/안정/적절한 CCUS RD&D 펀드 마련 <ul style="list-style-type: none"> · CCUS 산업 및 기술을 위한 특별 개발 펀드 마련 <p>» ■ 복합적 재정 메커니즘 형성</p> <ul style="list-style-type: none"> · 공공재정, 민간투자, 세금크레딧, 기타 정책수단을 모두 활용하는 시스템 구축 <ul style="list-style-type: none"> ■ 산/학/연 협력 플랫폼 설치 <ul style="list-style-type: none"> · 다양한 자원들의 통합 추진 ■ CCUS 국제협력 중요성 강조 <ul style="list-style-type: none"> · 선진국으로부터 개도국에 대한 기술 및 재정적 지원
감독/안전 등과 관련된 법 및 규제 부족	<ul style="list-style-type: none"> ■ CCUS 실증 사업을 위한 행정규제 개발 <ul style="list-style-type: none"> · 주무 기관 및 인허가&규제 기관 구체화 ■ CCUS 사업을 위한 구체적인 국가 규제체계 구축 ■ CCUS 사업에 대한 환경 모니터링 및 보고 실시
낮은 대중 인식	<p>» ■ 대중 인식도 및 신뢰도 제고를 위한 효과적인 커뮤니케이션 정책</p>
CCUS에 대한 국제 표준 수립 참여 부족	<ul style="list-style-type: none"> ■ CCS 관련 국제기준 개발에 활발히 참여 <ul style="list-style-type: none"> · (다자)국제표준화기구(ISO) 기술위원회 265 (ISO/TC265) 참여 · (양자)캐나다표준협회(Canadian Standards Association) 기술위원회 수행 지원

자료: Zhang et al.(2013)의 p.546-547, Lui et al.(2014), Li et al.(2016)의 내용을 토대로 저자가 정리

SECTION

03

분석

3.1 협력 거버넌스 : 체계적 연구개발 및 기술 로드맵

3.2 재정 지원 메커니즘

3.3 감독·안전에 대한 법과 규제 그리고 산업생태계

3.4 대중 수용성

3.5 국제 표준 수립 참여

03

SECTION

분석



3.1 협력 거버넌스: 체계적 연구개발 및 기술 로드맵

CCUS 기술의 RD&D 활성화를 위한 협력 거버넌스 차원에서 요구되는 사항은 두 가지이다. 하나는 범분야 또는 범부처간의 통합 계획이 존재하는가의 여부 그리고 과학기술 개발이 산업 개발 계획과 연계되어 있는가의 여부이다. 다른 하나는 CCUS 관련 조직들 간의 조정 메커니즘이 존재하는가의 여부이다. 먼저, CCUS 기술 RD&D에 대한 범정부 차원의 통합계획과 관련하여, 우리나라는 CCUS 기술에 기반한 계획이 별도로 존재하기 보다는 CCS 기술을 중심으로 한 국가 과학기술 및 산업개발 계획에 부가적으로 포함되는 방식으로 이루어졌다. 이에, 본 연구는 CCS 기술에 대한 범정부 차원의 계획을 중심으로 살펴보겠다.

2008년 9월에 국무총리실 기후변화 대책기획단을 통해 도출된 「기후변화대응 종합기본계획」에 기후친화산업의 신성장동력으로 확보해야 할 녹색기술로 이산화탄소의 포집, 저장 그리고 ‘전환이용’ 기술이 포함되었다 (국조실 2008, p.32). 같은 시기에, 교육과학기술부가 발표한 「신성장동력 비전 및 발전전략」에서는 22개 신성장 동력 중 하나로 이산화탄소 회수 및 ‘자원화’ 기술이 선정되었다 (교과부 2008). 또한, 2009년 1월 녹색기술의 개념과 체계적인 녹색기술 개발을 위한 중장기 기본 계획으로 수립된 「녹색기술 연구개발 종합대책」에서는 녹색기술 R&D 투자의 전략적 확대를 위해 이산화탄소 포집·저장·처리 기술 및 비-이산화탄소 처리 기술이 27대 중점육성기술로 선정되었다 (교과부 2009a). 2009년 5월 해당 기술의 개발에서 상용화까지의 전주기를 체계적으로 추진하기 위해, 범정부 차원의 실행전략으로서 「중점녹색기술개발과 상용화전략」을 수립하였는데, 여기에서도 CCS가 장기집중투자 기술로 선정되었다 (교과부 2009b). 그리고, 2009년 11월 관계부처 합동으로 마련된 「국가 온실가스 중기 감축목표」에서는 2030년 배출전망치 대비 국내감축 목표 제3안인 25.7%를 달성하기 위한 수단으로 CCS 도입 및 상용화가 명시되었다 (관계부처 2015). 이러한 계획들을 토대로, CCS 기술의 상용화 촉진을 위해 2010년 7월 당시 녹색성장위원회 주도하에 범부처

참여로 CCS 분야 최상위 통합계획에 해당하는 「국가 CCS 종합추진계획」이 채택되었다.¹⁰⁾ 본 계획은 2020년까지 CCS 플랜트 상용화 및 국제 기술경쟁력 확보를 통해 세계 CCS 기술 강국으로 도약하고자 하는 목표와 비전을 제시하고 있다. 세부적으로는 100만 톤급 포집·수송·저장 설비의 실증완료와 \$30/tCO₂ 이하 처리비용 저감을 위한 원천기술 확보를 주요 목표로 두고 있으며, 원천기술 개발을 위한 R&D 선진화, 조기 성장 동력화를 위한 상용화 촉진, 전주기 환경관리 및 상용화 기반 구축 등이 주요 추진과제이다. 동 종합추진계획은 CCS에 특화되어 있으나, 포집·수송·저장 분야 이외에 ‘전환 분야’가 포함되어 있다는 점이 주목할만 하다. 전환분야는 포집된 이산화탄소를 화학적 그리고 생물학적으로 전환하여 이용할 수 있는 원천기술을 개발하는 것이다 (녹색성장위원회 2010; 교과부 2010).¹¹⁾ 또한, 기초원천기술에 대한 연구 네트워크를 통해 기술동향 분석 및 기반을 조성하기 위해 교육과학기술부는 CCS R&D 센터를 구축하였다 (녹색성장위원회 2010).

이러한 일련의 흐름 속에서, CCUS 기술에 대해서는, 과학기술기본법에 따라 매 5년마다 수립하는 법정 중장기 계획이자 과학기술분야 최상위 계획인 「제3차 과학기술기본계획(13.07)」에서 이산화탄소 포집·저장·활용 기술을 기후변화 대응력 강화 차원의 중점 국가전략기술로 선정한 바 있다 (국가십 2013).¹²⁾ 이를 토대로 만들어진 「국가중점과학기술 전략로드맵(14.04)」에서는 5대 분야 30개 대상기술 중 하나로 온실가스처리 및 저감기술을 선정하였으며, 이의 핵심기술로 이산화탄소 포집·저장, 100만 톤급 포집·수송·저장 통합실증, 안전한 이산화탄소 수송 및 전환, Non-CO₂ 회수·분해 및 활용기술, 온실가스 감축 통합관리 기술들이 제시되었다. 2016년 제33차 국가과학기술자문회의(16.4)에서는 「탄소자원화 발전전략 및 과학외교 강화방안」이 보고 되었고, 미래부 주재 「탄소자원화 발전전략 간담회(16.05)」에서는 조기실증 및 상용화 방안을 논의한 바 있다. 또한 미래창조과학부와 산업부, 환경부, 국토부, 해수부 등 9개 부처가 합동으로 「기후변화대응기술 확보 로드맵(16.06)」을 수립하였으며, 동 로드맵에는 탄소저감, 탄소자원화(부생가스 전환, CO₂ 전환, CO₂ 광물화), 기후변화적응 세 분야에 걸친 10대 기후기술이 선정되었다 (미래부 2016b). 그리고, 탄소자원화 기술은 제2차 과학기술전략회의를 통하여 2016년 8월 「9대 국가전략 프로젝트」중 하나로 선정되었다. 본 프로젝트는, 이산화탄소 자원을 활용하여, 화학소재 및 광물화

10) 동 계획은 기존의 「녹색기술 연구개발 종합대책(09.01)」, 「중점 녹색기술개발과 상용화 전략(09.5)」, 「녹색성장 5개년 계획(09.7)」을 구체화한 기술 분야별 계획안이다.

11) 화학적 전환이용 기술은 이산화탄소를 재자원화하는 기술과 폐기물·산업부산물을 이용해 이산화탄소를 고정화하는 기술을 의미한다. 생물학적 전환이용 기술은 바이오기술을 활용하여 고효율로 이산화탄소를 전환하여 이용하거나 또는 고효율 공정개발을 하는 기술을 의미한다.

12) 과학기술기본계획은 각 부처 과학기술 관련 정책을 수립 및 추진의 방향을 제시하는 최상위 계획이다.

제품 등 생산기술을 확보하는 동시에 국가 온실가스 감축에 기여하는 것을 목표로 하고 있으며, 사업 기간은 6년이다 (산업부 2016). 이에 기반하여 탄소자원화 기술의 상세 추진 전략 마련과, 기업의 실증참여 및 원천기술의 조기 확산을 위해 미래창조과학부, 산업통상자원부, 환경부 등 관계부처 합동으로 「탄소자원화 국가전략프로젝트 실증 로드맵(‘16.12)」이 수립되었다. 이 로드맵은 두 가지 기술군(탄소 전환기술과 광물화 기술)에 대해서,¹³⁾ 기술수준과 시장 환경 분석을 통해 우선 실증이 가능한 핵심 요소기술을 도출하여 패키지와화하고, 실증규모별 추진 내용과 성능기준 및 추진전략을 마련하며 추진 일정을 제시한다. 한편 2018년 7월에는 온실가스 감축 로드맵이 수정되었는데 CCUS 부문은 10.3백만톤의 이산화탄소 감축량을 계획하였고, 관계부처 합동용역 결과를 토대로 감축 전략을 구체화하기로 하였다 (환경부 2018). 2019년 5월 수립된 제3차 녹색성장 5개년 계획에도 CCUS 원천 및 실증기술을 확보하고 대규모 통합실증과 상용화를 위한 법·제도 개선을 명문화하였다 (국조실 2019). 이와 같이 국가 차원에서 탑-다운 방식으로 우수한 기후기술을 발굴·육성하고 이를 바탕으로 상용화를 체계적으로 지원하는 모델은 신기후체제에 대응하고 환경 신산업을 창출할 것으로 기대된다 (Lee et al. 2019).

한편, 탄소자원화 기술과 관련된 조직들 간의 조정 메커니즘이 존재하는지 여부에 대해서는, 국가 CCS 통합추진계획 하에서, 교육과학기술부(현재 과학기술정보통신부)의 경우 CCS 원천기술개발 및 실증, 지식경제부(현재 산업통상자원부)는 상용화 및 실증, 국토부·환경부는 환경관리, 해양수산부는 이산화탄소 저장 및 수송, 기획재정부는 예산배분을 담당하고, 녹색성장위원회는 총괄조정으로 역할을 분담하고 열할 간 연계를 통해 효율적인 기술개발 및 상용화를 추진하도록 설정되었다. 또한, 관계부처 및 전문가를 중심으로 주요정책을 결정하고 총괄조정 기능을 가진 ‘CCS 총괄협의체’가 구성 및 운영되었다.¹⁴⁾와 함께, 기술개발, 상용화, 그리고 환경관리를 위한 부문별 거점 네트워크를 구축하였는데, 교육과학기술부는 기초원천연구의 네트워크로서 CCS R&D 센터를 구축하고, 지식경제부는 산업계 협력체를 위한 CCS 협회를, 환경부/국토부는 규제 및 인허가 관련해서 CCS 환경센터를 구축하였다 (녹색성장위원회 2010, p.24-25).

13) 탄소자원화 기술은 탄소전환 기술과 탄소광물화 기술로 구분되는데, 탄소전환은 산업 부생가스의 탄소원(CO, CH₄) 또는 대표적 온실가스인 이산화탄소(CO₂)를 활용하여 화학·생물 촉매를 통해 화학원료 또는 연료를 생산하는 기술이다. 탄소 광물화는 이산화탄소를 탄산염화 반응을 통해 폐광산 채움재 또는 친환경제지 등을 생산하는 기술이다.

14) 이 총괄협의체에서 탄소자원화(전환)기술에 대해서는 교과부가 차세대 생물학적·화학적 전환기술을 개발하고, 환경부는 환경시설의 이산화탄소 배출 포집·고정화, 폐기물 이용 고정화 기술의 개발을 담당하도록 조정된 바 있다.

그리고, 앞서 언급된 ‘탄소자원화 국가전략프로젝트 실증 로드맵’ 하에서는, 탄소자원화 관련 연구 역량이 집중된 기관을 선정해 탄소자원화 생태계 조성을 위한 구심점 역할을 수행하기 위해 매년 7억 원을 투입해 ‘탄소자원화 전략 플랫폼’을 구축한다는 점을 눈여겨 볼 필요가 있다. 이 플랫폼을 통해서, 국내/외 정책·기술·시장 동향과 연구성과의 확산 등 통합정보 서비스를 제공한다. 또한, 탄소자원화 국가전략프로젝트 추진 과정에서 수집된 실증정보를 바탕으로 온실가스 감축효과가 우수한 최적가용기술(best available technology)을 도출하고 온실가스 감축효과 산정기술 개발도 지원함으로써 산업 생태계 조성을 촉진하는 내용이 들어있다. 이를 통해서 우리나라는 정부 차원에서 산업계를 위한 플랫폼을 정부차원에서 준비가 이루어지고 있다.

3.2 재정 지원 메커니즘

CCUS RD&D 관련 재정지원

CCUS 기술의 R&D 활성화에 가장 중요한 요소는 바로 적절한 재정지원 또는 투자·재원 메커니즘의 활용이라고 할 수 있다. 동 페이지에서는 이전 섹션에서 다룬 국가 정책 및 전략에 따른 재정지원 현황을 살펴보고, RD&D 활성화를 위한 국내재원 및 인센티브 메커니즘에 대해서 다루고자 한다. 먼저, 국가정책 및 전략에 따른 재정지원 현황을 살펴보면, 우리나라는 「국가 CCS 종합추진계획(2010)」에 따라, 이산화탄소 포집, 수송, 저장, 전환, 환경관리 및 기반구축 5개 분야에 대해 각각의 추진계획을 달성하는 데에 2010년~2019년까지 총 2조 3천억 원의 투자가 필요할 것으로 전망되었고, 이를 투자 주체로 살펴보면 정부투자 1조 2천억원(52%) 민간투자 1조 1천억원(48%)으로 구분된다. 또한, 분야별로 구분하면 차세대 기술개발에 2천4백억원(10%), 상용화를 위한 실증에 1조 9천2백억원(84%), 환경관리 및 기반구축에 1천4백억원(6%)의 투자가 필요한 것으로 예상되었다(교과부 2010). 이 중에서, 대규모 포집기술의 실증은 정부투자 20%와 민간투자 80%의 비율로, 대규모 저장기술의 실증은 정부 60%와 민간 40%의 비율로 투자가 필요한 것으로 발표되었다. 본 전망치를 통해 기술개발 뿐 아니라 실증에 많은 투자가 필요하며, 이를 위해서는 민관의 협력이 중요함을 확인할 수 있다. 그렇다면, 이러한 투자계획이 실제로 이행되었는가?

p.24의 <표 2>는 2010년 CCS 종합 추진계획 수립 이후 2010년~2017년(총 8년) 부처별 CO₂ 활용(Utilization)을 포함한 CCUS 분야 정부 R&D 투자총액이 약 5,670억에 해당하는 것이 확인되었다. 즉, CCUS를 위한 정부 투자는 당초 계획보다 저조한 것으로 나타났다. 정부의 R&D 투자는 2013년을 937억원으로 가장 많은 투자가 나타났지만, 이후 조금씩 감소하는 추세이다. 이는 국가 재정여건 악화 및 기타 요인에 기인한 것으로 추정되지만, 8개년 연평균 700억원 이상 규모의 투자가 진행되어 왔다.

부처별로 살펴보면, p.23의 [그림 1]과 같이, 2010년부터 2017년까지 과기정통부가 2,318억원, 산업부가 2,661억원에 이르는 적극적인 R&D 투자를 진행하여 CCUS 기술개발에 주도적인 역할을 해왔다. 다음으로 해수부가 2012년부터 2015년까지 272억원의 R&D 투자를 진행하였으나, CO₂ 해양수송·저장 기술 개발 실증사업의 예비타당성 조사의 미통과와 CO₂ 해양지중 저장에 대한 법적 근거가 문제시되어 투자가 다소 주춤한 상태이다.

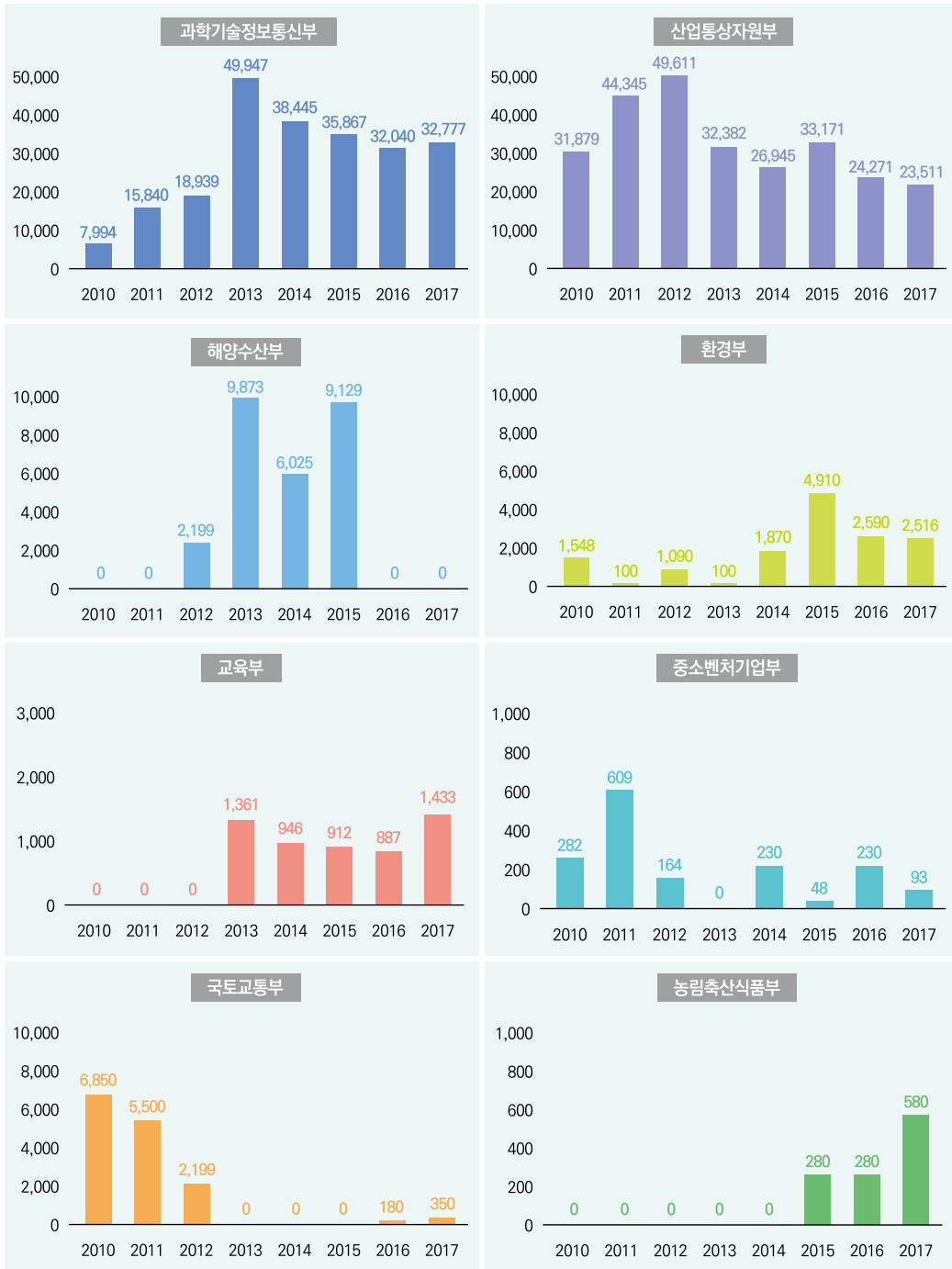


그림 1 주요 8개 부처의 CCUS R&D 투자 현황 (단위, 백만원)

표 2 부처별 CCUS R&D 투자 현황 (단위, 백만원)

부처	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	총계
과기정통부	7,994	15,840	18,939	49,947	38,445	35,867	32,040	32,777	231,848
산업부	31,879	44,345	49,611	32,382	26,945	33,171	24,271	23,511	266,114
해수부*	0	0	2,199	9,873	6,025	9,129	0	0	27,226
환경부	1,548	100	1,090	160	1,870	4,910	2,590	2,516	14,784
교육부	0	0	0	1,361	946	912	887	1,433	5,540
중소벤처기업부	282	609	164	0	230	48	230	93	1,656
국토교통부*	6,850	5,500	2,199	0	0	0	180	350	15,079
농림축산식품부	0	0	0	0	0	280	280	580	1,140
농촌진흥청	0	90	0	0	0	60	0	0	150
방위사업청	0	0	0	0	0	50	45	0	95
기타**	0	0	0	0	0	600	0	2,730	3,330
계	48,554	66,484	74,200	93,723	74,462	85,027	60,523	63,989	566,961

Source: 2010년~2014년은 각 년도 「녹색기술 R&D 조사분석 보고서(GTC)」를 CCS R&D 투자를 바탕으로 작성하였으며, 2015년 이후는 GTC(2018)의 「기후기술 분류체계 적용 국가연구개발사업 투자성과분석 보고서」의 CCUS의 R&D 투자현황(CO2 전환 기술 포함)을 바탕으로 산출

* 2012년도의 경우 해양수산부와 국토교통부가 하나의 부처인 국토해양부로 통합되어 있었기 때문에 해당 정부연구비를 일괄배분하였음

** 기타는 범부처 및 다부처 사업

한편, 지난 8년간(10년~17년) 투자된 정부 R&D와 민간 R&D 매칭 투자비를 '연도별'로 집계하면, p.25의 [그림 2] 및 <표 3>과 같이 나타나고 있다. 지난 8년간 정부 R&D에 대한 연평균 증가율은 4.0%로 증가하고 있는 추세이며, 8개년동안 평균 708억원 규모의 연평균 투자를 유지하고 있음을 확인할 수 있다. 민간 R&D 매칭의 경우 8년동안 연평균 276억원의 투자가 이루어지고 있으며, 연평균증가율도 0.3%로 매년 동일한 투자규모를 유지하고 있다.

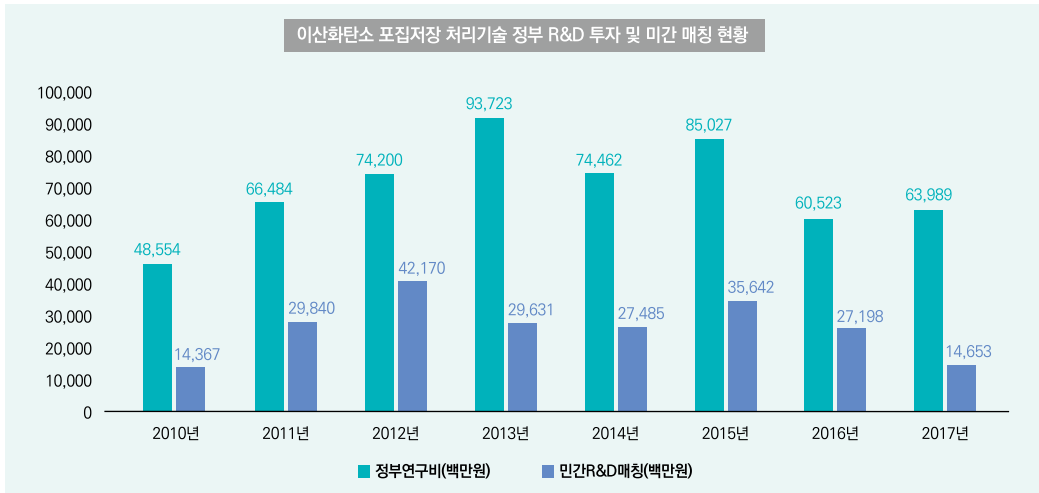


그림 2 CCUS 정부 R&D 투자 및 민간 매칭 현황

표 3 CCUS 정부 R&D 투자 및 민간 매칭 현황 (단위, 백만원)

연도	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년	연평균 증가율 ('11~'17)	7개년 평균
정부 연구비 (백만원)	48,554	66,484	74,200	93,723	74,462	85,027	60,523	63,989	4.0%	70,870
민간 R&D매칭 (백만원)	14,367	29,840	42,170	29,631	27,485	35,642	27,198	14,653	0.3%	27,623

자료: GTC(2018)의 「기후기술 분류체계 적용 국가연구개발사업 투자성과분석 보고서」의 CCUS의 R&D 투자현황(CO2 전환 기술포함)을 바탕으로 산출

그리고, 정부 R&D 투자와 민간 R&D 간의 매칭투자 현황을 ‘부처별’로 살펴보면, 산업부의 민간 투자 매칭비가 가장 높게 나타나며, 다음으로 과기부의 매칭투자비가 높게 나타난다. 이는 산업통상 자원부의 R&D 사업의 경우 기업을 대상으로 지원하는 실증 중심의 사업들의 비중이 높기 때문이다 (<표 4>, <표 5>, [그림 3] 참조).

표 4 2017년CCUS 기술개발 단계별 정부 R&D 비중

기술개발단계	정부연구비	비중
개발연구	28,509	44.6
기초연구	17,169	26.8
응용연구	15,960	24.9
기타	2,352	3.7
계	63,989	100.0

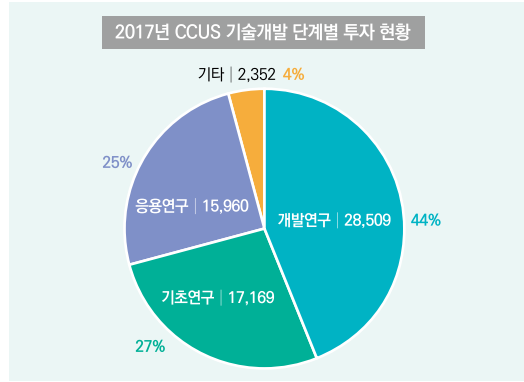


그림 3 2017년CCUS 기술개발 단계별 정부 R&D 비중

표 5 CCUS 부처별 정부 R&D 투자 및 민간 매칭 현황 (단위, 백만원)

연도	부처명	정부연구비	민간R&D매칭
2010	과학기술정보통신부	7,994	1,712
	국토교통부	6,850	0
	중소벤처기업부	282	112
	산업통상자원부	31,879	12,543
	환경부	1,548	0
2011	과학기술정보통신부	15,840	1,012
	국토교통부	5,500	0
	농촌진흥청	90	0
	중소벤처기업부	609	123
	산업통상자원부	44,345	28,706
2012	환경부	100	0
	과학기술정보통신부	18,939	473
	산업통상자원부	49,611	40,897
	해양수산부	2,199	0
	환경부	1,090	670
	중소벤처기업부	164	131
2013	국토교통부	2,199	0
	과학기술정보통신부	49,947	723
	산업통상자원부	32,382	28,825

연도	부처명	정부연구비	민간R&D매칭
2013	해양수산부	9,873	0
	환경부	160	0
	교육부	1,361	83
2014	과학기술정보통신부	38,445	552
	산업통상자원부	26,945	26,780
	해양수산부	6,025	0
	환경부	1,870	0
	교육부	946	0
	중소벤처기업부	230	153
2015	과학기술정보통신부	35,867	798
	산업통상자원부	33,171	34,304
	해양수산부	9,129	0
	환경부	4,910	200
	교육부	912	0
	중소벤처기업부	48	46
	농림축산식품부	280	93
	농촌진흥청	60	0
	방위사업청	50	0
기타	600	200	
2016	과학기술정보통신부	32,040	915
	산업통상자원부	24,271	26,037
	환경부	2,590	127
	교육부	887	0
	중소벤처기업부	230	26
	국토교통부	180	0
	농림축산식품부	280	93
	방위사업청	45	0
2017	과학기술정보통신부	32,777	3,744
	산업통상자원부	23,511	10,503
	환경부	2,516	0
	교육부	1,433	0
	중소벤처기업부	93	62
	국토교통부	350	0
	농림축산식품부	580	193
	기타	2,730	150
총합계		566,961	220,986

Source: 2010년~2014년은 각 연도 「녹색기술 R&D 조사분석 보고서(GTC)」를 CCS R&D 투자를 바탕으로 작성하였으며, 2015년 이후는 GTC(2018)의 「기후기술 분류체계 적용 국가연구개발사업 투자성과분석 보고서」의 CCUS의 R&D 투자현황(CO2 전환 기술 포함)을 바탕으로 산출

탄소자원화 기술이 국가전략 프로젝트 중 하나로 선정됨에 따라, 미래창조과학부, 산업부, 환경부 등 관계부처 합동으로 2017년 초 범부처 단일 사업단이 발족되었으며, 2017년~2022년(총 6년)간 정부재원 340억 원을 포함하여 총 475억 원을 투자하여 탄소자원화 기술실증을 본격 추진한다는 탄소자원화 정부 정책 및 투자 계획을 발표하였다. 동 단일 사업단은 크게 탄소전환 기술에 관한 플래그십(총 273억 원)과 탄소광물 기술에 기반을 둔 플래그십(총 202억 원), 그리고 이를 지원하기 위한 탄소자원화 전략 플랫폼(6년간 매년 7억 원)으로 구성되어 추진된다.

탄소전환 및 탄소광물화 기술실증 플래그십의 경우, 정부주도로 재정지원이 되기는 하나 민간 재원의 확보 역시 중요하다. 이에, 범부처 사업단은 실증 및 기술상용화에 중요한 이해관계자 참여 활성화를 위하여, 대규모 실증단지 조성 투자의 주요 관계자인 지자체, 지역업체 등과의 사전 협의 및 업무협약을 추진 중이다. 탄소전환 기술실증 플래그십의 경우, 총 273억원의 사업비 중 178억원이 정부지원으로 진행되며, 2016년 과학기술정보통신부는 전라남도·광양시·여수시 등 4개 지자체 및 포스코·LG화학 등 20여개 기업과 탄소전환 업무협약을 체결하는 등 민간sector 참여를 위한 체계를 마련해왔다. 탄소광물 플래그십 사업은 6년간 총 사업비 202억이 정부지원 162억원과 민간지원 20억원으로 진행되는 것으로 계획되었다.¹⁵⁾ 특히, 폐광산 채움재 생산기술을 실증하는 사업으로 발전소, 시멘트 업체, 광산업체가 다수 위치한 강원도와 충청지역에 실증플랜트를 설치하고 2022년까지 실증사업을 진행할 예정이다. 이에 따라 과학기술정보통신부는 2016년 12월 강원도와 충청북도 지자체 그리고 한일시멘트 등 35개 기업의 탄소광물화 사업참여 활성화 및 투자촉진을 위한 업무협약을 체결하였으며, 이를 통하여 각 이해관계자별 역할을 명시하고 상호 지원 및 협력을 강화하기로 하였다(과기정통부 2016). 정부 차원에서는 민간 투자 촉진을 위한 이러한 노력이 있으나, 이러한 노력이 효과적이었는지 여부를 판단하기는 아직 이르다고 볼 수 있다.

15) 탄소광물화 서브사업단의 주관기관은 한국 지질자원연구원으로 3개 분야, 6세부과제로 구성된 과제를 35개의 기관으로 구성된 컨소시엄이 수행하였으며, 2017년 기준(연구기간: 8개월) 지원 금액은 51억원 내외(민간부담금은 별도)이다.

□ 개도국과의 RD&D 및 기술이전 협력 관련 재정지원

CCUS 기술에 특화된 직접적인 재원 투자와 별개로, 복합적 재정 메커니즘의 형성 가능성 측면에서, 국내에서 개발·실증된 기술들이 국내시장 이외에 해외시장에 진출할 수 있도록 재정을 지원하는 프로그램 활용방안에 대하여 살펴보고자 한다. 특히, 동 연구에서는 우리나라 정부주도의 과학 기술 국제협력 사업에 기반한 공공재원의 활용 가능성을 살펴보고자 한다. 2012년~2016년 진행된 정부 R&D 사업 예산요구서 상 사업 목적 및 내용이 국제협력인 사업을 대상으로 현황을 파악한 결과, 총 8개 부처가 국제 과학협력 사업을 지원했으며, 사업 수는 ODA 사업 11건을 포함하여 총 38건에 달했는데, 그 중 미래창조과학부(현재 과학기술정보통신부)가 가장 많은 사업 수를 보유하고 있다. 부처별 투자 예산 현황을 기준으로 살펴보면, 2016년 국제협력 R&D 사업에 미래창조과학부(1,709억원), 산업통상자원부(828억원), 농촌진흥청(203억 원) 순으로 순위가 매겨졌다 (신애리 외, 2016; KISTEP, 2016). R&D 단계별로 보면, 2014년 국제협력분야 R&D과제에서 기초연구 투자의 경우 미래부 투자액이 1,398억 원으로 가장 많았으며, 개발연구 단계에서는 460억으로 산업부가 가장 활발한 투자를 보였고, 응용연구 단계에서는 미래부가 다시 218억으로 높은 투자선호도를 보였다. 이에, 현재의 과학기술정보통신부와 산업통상자원부의 국제협력 프로그램을 중심으로 선진국 또는 개도국과의 CCUS RD&D 협력 활동에 재원적용 가능성이 높다고 할 수 있다.

과기부 국제 과학협력 사업은 앞서 살펴본 바와 같이 연구개발 주기 상 기초연구 부문에 협력 지원이 집중되어 있다. 과기부 산하 사업지원 전담기관인 한국연구재단이 운영하고 있는 국제 과학협력 사업 중 일반적인 연구개발 협력을 지원하는 사업¹⁶⁾으로는 ‘국가간 협력기반 조성사업’이 대표적이다. 이 조성사업은 양자간·다자간에 협력분야 발굴 및 공동연구 탐색 등을 통해 협력기반을 조성하고 교육·과학기술 분야 외교를 강화하여 우리나라 위상을 제고하는 것을 그 목적으로 한다. 물론, 협력 대상지역에 따라, 협력의 목적·지원내용·조건을 달리 한다. 예를 들어, 캐나다 및 EU 등 선진국과의 협력의 경우 원천기술 확보 및 연구역량 강화를 주목적으로 하는 반면, 인도 및 몽골 등과의 협력의 경우 연구결과의 실용화 및 응용 등이 강조되고 있음을 알 수 있다 (한국연구재단 2018). 매년 국가별 지원하는 협력 대상 기술 분야가 달라지기 때문에, CCS 연구개발 및 실증 사업이 지원 대상이 되는 경우 활용 가능할 것으로 예상된다.

16) 국내와 해외 대학 및 연구기관 간 기초연구 협력, 연구자 교류, 국제 행사 개최, 특정 국제기구 및 프로그램 기반 협력 등을 지원하는 사업은 제외한다.

산업부는 국내 산·학·연과 해외 우수 R&D 파트너와 공동 기술개발 지원을 하고 있다. 산업부 산하의 연구개발 지원 전담기관인 한국산업기술진흥원의 국제 공동 연구개발 지원 사업은 크게 다섯 가지 프로그램으로, 이중 진정한 의미의 해외 기관과의 국제 RD&D 활동을 지원하는 사업은 ‘산업기술국제협력’ 사업, ‘에너지협력개발지원’ 사업, 그리고 ‘전략국가기술협력’ 지원 사업이 있다. 대표적으로, 산업기술국제협력 사업은 크게 양자 공동펀딩 R&D 지원과 다자 공동펀딩 R&D 지원으로 나뉜다. 양자 공동펀딩 R&D는 양국 정부간 합의에 근거해 컨소시엄을 구성하고 공동으로 승인한 과제를 대상으로 자국 해당기관에 각각 자금을 지원하며, 2018년 신규예산은 총 80.79억 원이다.¹⁷⁾ 물론 정부간 합의가 부재한 기타국가의 경우도 상대측 재원 매칭이 있는 경우 지원이 가능하다. 반면, 다자 공동펀딩 R&D는 유럽 R&D 네트워크에 가입된 회원국과 컨소시엄을 구성하고 해당 네트워크에서 승인한 과제를 대상으로 자국 기관에 자금을 지원하는 방식으로,¹⁸⁾ 2018년 예산은 52.25억 원이다. 개도국과의 CCUS 분야 RD&D 및 기술이전 협력에 적용가능한 형태의 재원으로는 양자 공동펀딩 R&D가 적합하다고 볼 수 있다. 양자 공동펀딩 R&D 사업은 기술주기상 R&D 단계의 협력을 지원하고 있으나, 본 사업 선정시 평가지표로 기술성 30%, 연구수행능력 30%, 국제공동 협력전략 10% 외에도 시장성에 30%의 비중을 부여하고 있어, 국내외 사업화 가능성 및 시장 파급효과, 지재권 확보 및 활용 등에 큰 가치를 두어 지원하고 있다. 즉 CCUS의 RD&D 뿐 아니라 개도국 기술이전의 경우에도 본 프로그램 하에서도 지원이 가능 할 것으로 예상된다.

17) 협력국으로는 이스라엘, 중국, 캐나다, 프랑스, 스페인, 스위스, 독일, 체코, 영국, 네덜란드 등이 있다.

18) 유레카, 유로스타2, H2020, M-ERA.NET 등이 유럽 R&D 네트워크에 해당한다.

□ 조세혜택

한편, CCUS RD&D 관련 민간의 투자를 활성화시키기 위한 가격 메커니즘 차원에서 조세 혜택을 살펴보면,¹⁹⁾ 현재 우리나라는 구체적인 세제혜택 제도가 없다. 미국의 경우 2008년 미국 에너지증진 확대법에 45개 항목을 추가하여 염류 저수층에 이산화탄소를 저장할 경우 톤당 20달러의 세금 공제 혜택을 주고, 석유 회수를 위한 이산화탄소 저장에는 7천5백만 톤으로 제한을 두고 톤당 10달러의 공제 혜택을 지원하게 되어 있었다. 2016년, 미국은 미국 투자법을 통해 전략적 청정에너지 투자와 세금 혜택을 제공하기 위해 90억 달러를 지원하였다. 이후, 2018년 2월 의회를 통과한 확대 예산안에 따르면 크게 세 가지 측면에서 ‘세제혜택의 확대’가 이루어졌다. 첫 번째는, 세제 혜택을 위한 캡(제한)이 폐지되었다. 두 번째는, 지질층 탄소저장은 톤당 20달러에서 50달러로, 대기중 탄소포집은 톤당 35달러로, 원유 회수를 위한 탄소 저장은 기존 10달러에서 35달러로 세제 혜택이 증가했다 (이투뉴스 2018). 특히, 35달러의 세금공제를 받는 대기중 탄소포집의 경우, 탄소를 화학제품, 콘크리트, 조류 기반 바이오 연료 등 다른 제품을 제조하는 것과 같은 탄소자원화의 경우에도 해당한다. 세 번째는 세금 혜택의 대상이 되는 연간 이산화탄소 배출 규모를 낮춤으로써, 소규모 사업도 세금 혜택의 기회가 증가되었다 (World Coal 2018).

우리나라는 녹색성장 기본법 제30조(조세 제도 운영) 하에서 “온실가스와 오염물질을 발생시키거나 에너지·자원 이용효율이 낮은 재화와 서비스를 줄이고 환경친화적인 재화와 서비스를 촉진하는 방향으로 국가의 조세 제도를 운영하여야 한다”고 명시하고 있다 (국가법령정보센터 2017, 3.7조). 또한, 2010년 도출된 국가 CCS 종합 추진계획에서는, CCS 기술의 보급을 확산하고 민간의 참여를 촉진하기 위해 조세 및 금융제도의 정비 그리고 보험제도를 구축해야 한다는 사항이 명시되어 있다. 또한 신재생에너지 촉진법 개정시 CCS 적용 우대 근거조항이 마련되어야 한다는 사항도 명시되어 있다 (녹색성장위원회 2010). 이러한 조세혜택에 기반한 인센티브 접근을 정부 차원에서 노력해야 한다는 점은 우리나라 전문가들도 인정은 하고 있다.²⁰⁾ 다만, 아직 국내 실증이 이제 막 시작되는 우리나라의 경우에 미국과 같이 ‘상용화’를 위한 시장 인센티브는 아직 시기적으로 이르다는 점을 감안할 필요가 있다.

19) 가격 메커니즘에는 세금과 보조금이 있다.

20) 제7회 CCUS 국제 컨퍼런스에서 이종범 한국전력연구원 부장이 시장 인센티브의 중요성을 언급했다 (HelloDD 2017).

탄소시장 메커니즘

마지막으로, CCUS 사업의 RD&D를 촉진하기 위해서는 관련된 국내/외 탄소시장 메커니즘의 활용을 생각할 수 있다. 탄소시장이란 온실가스를 배출할 수 있는 권한을 탄소배출권이라는 형태로 상품화하여 거래할 수 있도록 개설한 거래소 또는 장외시장을 지칭한다. 이 탄소시장 메커니즘은 크게 두 가지로 구분되는데, 하나는 규제기관이 연단위로 배출량 제한(Cap)을 설정하고, 배출업체는 할당범위(배출허용권) 내에서 배출행위를 하고, 여분 또는 부족분에 대해서는 사업장 간의 거래를 통해서 배출량 제한 목표를 달성하는 할당방식(cap-and-trade approach)이 있고, 다른 하나는 감축행위를 하지 않았을 때의 배출 예상량을 베이스라인으로 설정하고 베이스라인 이하로 배출량을 감축하는 사업을 실시하여, 감축분에 대해서 크레딧을 창출하고 이를 원하는 기업에 판매하는 상쇄 방식 방식(crediting approach)이 있다. 국제적 기후변화 대응행동을 위해 채택된 유엔기후 변화협약 하에서는 1997년 교토의정서가 채택되면서 선진국의 비용효율적인 감축을 위해 배출권 거래방식의 일환인 배출권거래제도(ETS, Emission Trading System), 그리고 베이스라인 및 크레딧 방식인 청정개발체제(CDM, Clean Development Mechanism)와 공동이행제도(JI, Joint Implementation)를 도입하였다. 본 연구에서는 대표적인 할당거래 방식인 ETS와 대표적인 상쇄 메커니즘인 CDM 하에서의 CCUS RD&D 및 개도국 이전 지원의 가능성에 대해서 살펴보도록 하겠다.

현재 ETS는 EU를 중심으로 도입 국가가 점차 확대되고 있다. 온실가스종합정보센터에 따르면 2016년 말 전 세계 40국에서 ETS가 시행 중이거나 시행 예정이다. EU와 뉴질랜드는 전국 단위의 배출권 거래제가 시행 중이고, 미국·일본·중국은 지역 단위로 운영되고 있다. 그 중 EU는 현재 세계 최대 ETS를 운영하고 있으며, 28개 EU 회원국 및 3개 유럽자유무역연합 회원국이 EU ETS에 참여하고 있다. EU ETS 하에서는 의무 감축기업들이 CCS 기술을 이용하여 온실가스배출량을 포집·수송하여 영구적으로 저장한 것을 입증할 수 있다면 이를 감축실적으로 인정받을 수 있다. 또한 EU 집행위원회는 유럽지역 산업계의 감축 부담을 완화하고 혁신기술 활용 기업에 대해서 지원하기 위해, 제4기(2021~2030년) ETS부터는 EU ETS 운영을 통해 확보된 수익금을 활용하여 ETS 혁신기금(ETS Innovation Fund)을 조성할 계획이다. 본 기금을 통해 EU 정부는 CCS 뿐 아니라 환경적으로 안전하고 기후변화 완화에 실질적으로 기여할 수 있는 CCU 기술사업을 지원대상에 포함시키는 방안 역시 검토하고 있다 (CO2 Value Europe 2018; EUobserver 2018). 한편, 우리나라 정부도 NDC 달성을 위한 주요 수단으로서 '저탄소 녹색성장기본법(2010년)'에 의거하여 2012년 '온실가스 배출권 할당 및 거래에 관한 법률'을 제정하고, 이를 기반으로 2015년 1월

1일부터 제1기 ETS(2015년~2017년)와 제2기 ETS(2018-2020년)를 시행하고 있다. 국내 ETS는 할당 대상업체들이 배출권 거래 이외에도 다양하고 유연한 방법으로 거래의 유동성을 확보할 수 있도록 전체 할당량의 10%이내에서 외부 상쇄사업과 같은 유연성 메커니즘을 활용할 수 있도록 허용하고 있다. 현재 국내 ETS는 외부감축사업의 유형의 하나로 CCS 사업을 인정하고 있다 (기획재정부고시 제2016-015호 2016, p.94). 반면, CCU 또는 CCUS 기술의 경우는 아직 국내 ETS 하에서 인정받는 기술은 아니다.

CDM의 경우, 사업수행국인 선진국이 사업유치국인 개도국에서 비용효율적으로 온실가스 감축사업을 실시하고, 감축 달성 시 감축실적을 발급받고 이를 선진국이 취득하여 배출권 시장에서 거래할 수 있도록 하는 시스템이다. 2005년부터 처음 도입되어 지금까지 운영되고 있는 CDM 체제 하에는 2018년 7월 시점에서 총 258개 사업 방법론이 등록되어 있으며, 이 방법론을 적용하여 총 8000개에 달하는 다양한 온실가스 감축 사업들이 승인 및 실행되고 있다. 이 중 우리나라가 참여하고 있는 CDM 사업은 현재 총 93건에 달한다. CDM 사업에 CCS 기술을 이용하는 방안은 2005년 처음으로 논의되기 시작하였다. 이후, 2010년 6차 교토의정서 당사국총회에서 CCS 기술을 CDM 하에 인정하는 방향으로 합의가 이루어 졌고, 2011년 11월 더반에서 열린 17차 COP에서는 CCS를 CDM에 수용하는 것을 최종적으로 결정하였다. 현재, CCS 기술을 이용한 CDM 방법론 개발을 위해 다양한 노력들이 전개되고 있으나, 방법론 개발이 용이하지는 않은 실정이다. CDM 방법론 개발을 위한 첫 번째 단계로는 우선 온실가스 배출 감축 활동을 수행하지 않을 경우에 대한 베이스라인 시나리오 계산이 필요하다. 그러나 CCS 기술의 경우, 온실가스 누출량 파악과 시스템경계 외부로의 배출 관련 문제들로 인해서 베이스라인 시나리오의 설정이 어려워 2017년 11월 기준으로 아직 인정된 방법론은 없는 상태다 (UNFCCC 2017, p.5). 더욱이, CCU 기술의 경우 역시 CCU 기술의 사용으로 인해 탄소집약적 제품의 사용이 감소한 데에 따른 온실가스 감축효과를 측정할 수 있어야 하는데, 이 역시 추가성 입증에 어렵다. 이로 인해 CCS뿐만 아니라 CCU/CCUS 관련 CDM 사업 방법론 개발 노력에도 불구하고 아직, 이들 기술을 활용하여 CDM 사업화까지 진행된 사례는 없는 실정이다.

3.3

감독·안전에 대한 법과 규제 그리고 산업 생태계

탄소자원화 기술 주기는 CCUS 기술의 연구개발 이후 실증을 거쳐 이용과 상업화로 이어지기 때문에, CCUS 실증의 역할이 중요하게 인식되고 있다. CCUS RD&D 사업을 수행하기 위해서는 사업 시행과 관련된 법과 규제가 필수적이다. CCUS 사업은 포집-수송-활용-저장 각 단계에서 다양한 이해관계자들이 관여하며, 사업에 대한 참여도, 참여방식, 참여에 따른 수혜범위 역시 매우 다양하다. 때문에, CCUS 기술의 RD&D 사업 관련 제도 구축을 통해서 참여하는 이해관계자들의 계약관계, 법적 책임 여부, 그리고 책임범주를 체계화함으로써, 사업 추진에 따른 행위자들의 참여방식과 수혜범위를 정의내릴 수 있다. 이는 향후 사업을 시행하는 과정에서 이해관계자 간 분쟁요소가 발생 시, 이를 효율적으로 해소하는데 기여하며, 사업 운영에 있어 계약관계가 아닌 제3자에게 환경적·경제적 손해를 야기했을 때, 이에 대한 손해배상 범위를 결정하게 한다. 이는 CCUS 사업에 대한 대중 수용성을 높이는 데도 기여할 수 있다. 또한 제도를 구축하고 규제하는 과정에서 담당 주무부처와 그 역할이 명확하게 되며, 이를 통해 사업시행의 투명성이 제고되고 사업추진 효율성이 개선될 수 있다.

우리나라는 2010년 7월 제8차 녹색성장위원회에서 「국가 CCS 종합추진계획」을 확정하여 이대로 탄소자원화 기술을 위한 제도 논의가 지속되었다(녹색성장위원회 2010). 특이점은 국가 CCS 종합추진계획은 CCS 뿐만 아니라 탄소자원화 기술(이산화탄소 전환 기술)에 대한 개발을 포함하고 있음에도 불구하고, 환경관리 및 기반 구축 차원의 법·제도 정비에 대한 계획은 CCS 기술에 한정되어 있다. 그리고, 아직까지 CCUS 전 과정에 대한 단일화된 법률이 제정되지 않은 상태이다. CCS RD&D 사업을 추진하기 위해서는 ‘탄소포집 및 수송’의 경우 고압가스안전관리법, 대기환경보전법, 폐기물관리법을, 그리고 ‘저장’의 경우 토지보상법, 해양환경관리법, 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률, 지하수법, 토양환경관리법, 먹는물관리법, 환경영향평가법 등 다양한 개별법들을 동시에 고려하여 추진해야 한다(장갑만 2013; 이순자 2015; 고문현 외 2017). 단일화된 법률의 부재는 CCUS도 해당된다. CCUS 활용기술의 경우, 개별법 내에서도 아직 정비되지 않는 실정이다. 예를 들어, 폐기물관리법 하에서, 석탄회를 이산화탄소 포집을 통해 개질한 후 폐광에 채움재로 이용하는 활용기술의 경우, 국내에서는 폐기물을 개질한 고화제를 폐광산 채움재로 활용할 수 있는 법적 근거가 아직 마련되어 있지 않은 상황이다. 최근 환경부가 「폐기물의 재활용 용도 및 방법에 관한 규정」을 개정하여 지정폐기물이 아닌 석탄회, 하수처리오니(sludge) 등의 폐기물을 개질한

고화제를 폐광산 채움재로 활용하는 것에 대한 시범사업을 허용한 바가 있으나, 아직도 구체적인 시범사업 사업자모집 절차·방법 및 모니터링 방안 등 법과 절차가 제시되지 않는 실정이다 (이재영 외 2016).²¹⁾ CCUS RD&D 사업 추진에 있어서는 이러한 개별법을 넘어서서, 고압가스 취급, 토지확보, 환경분쟁해소 등 고려할 법적 요소들이 다양한 부처의 개별법 상에서 검토되어야 하기 때문에, 동일한 이슈에 대한 법적 해석의 통일성은 낮은 실정이다. 이에, 국내에서는 CCUS RD&D 사업시행 관련 법률들에 대한 체계적인 조사가 필요하다.

CCUS에 대한 단일법의 부재는 CCUS RD&D 사업의 추진 효율성을 저해할 뿐만 아니라 경제적 타당성 자체를 예측하기 어렵게 만드는 요인이 된다. 토지수용 및 보상문제, 환경안정성 검증방안, 이산화탄소 누출사고 발생 시 손해배상 방안, 포집된 CO2를 폐기물로 취급여부에 대한 판단 등 CCUS RD&D 사업에는 참여자들 간에 사회경제적 이해관계가 첨예하게 대립될 수 있는 사안들이 많다 (김동련 2016). 단일법 제정은 이러한 다양한 사회경제적 이해관계에 대한 분쟁조정 가이드라인을 제공함으로써, 사업시행자의 사업추진 효율성을 크게 개선시킬 수 있다. 또한 단일법 제정은 사업시행자가 CCUS 추진에 따라 지불해야 할 사회적 기회비용을 보다 명확하게 추정할 수 있게 함으로써, 사업에 대한 경제적 타당성을 보다 정확하게 산정할 수 있게 한다. 토지보상 및 손해배상에 대한 기준과 환경안정성에 대한 기준은 CCUS RD&D 사업비를 증가시키는 결정요인으로 작용되는데, 이들에 대한 명확한 법적 가이드라인은 사업시행자가 사업에 전체 투자비용을 보다 정확하게 산정하고 투자여부를 결정하는데 중요한 판단근거를 제시하게 된다.

덧붙여, 단일법 외에도, CCUS 기술 상용화, 투자확대, 시장형성을 위한 제도적 지원사항에 대해서도 준비가 필요하다는 의견이 있다 (대덕넷 2017). 현재 국내의 제도적 조건 하에서는 이산화탄소 포집 및 활용에 대한 처리비(폐기물에 대한 처리비)를 별도로 받을 수 있는 혜택이 제공되지 않기 때문에,²²⁾ CCUS 사업자체가 수익성이 나오기 힘든 실정이다. 명확하지 않는 지원 제도로 인하여 기인되는 수익구조의 불확실성은 기업들의 원천기술개발과 대규모 실증 테스트에 대한 투자 의지를 저해시킬 수 있다. CCUS기술적용을 활성화하기 위한 상업적 생태계 조성 측면의 제도에 대해서도 고려할 필요가 있다. 신재생에너지 사업이 발전차액지원제도(FIT, Feed-In-Tariff)와 신·재생 에너지 공급의무화제도(RPS, Renewable Portfolio Standard)와 같은 지원제도를 통하여

21) 인용된 보고서는 폐광산 채움재로서 하수처리오니를 개질한 고화처리를 중심으로 해당 법률을 검토하였다.

22) 현재, 국내 제도 하에서는 이산화탄소는 지정 폐기물이 아니므로, 이를 포집 및 활용하는 데 대한 폐기물처리비를 정부가 지원하고 있지 않다.

활성화되고 있듯이, CCUS 사업의 경우도 다양한 인센티브 제도와 CO2 배출규제 제도가 명확해져야 CCUS 사업에 대한 비즈니스 모델이 확립되고 상용화에 대한 기업의 투자를 유인할 수 있다. 예를 들어, RPS의 경우, 전력량 대신 탄소수지(carbon mass balance)를 적용하게 되면, CCS를 도입하고자 하는 인센티브가 된다. 또한, 이산화탄소 처리비용의 75% 이상을 차지하는 이산화탄소 포집 부문을 공공사업으로 인식하고 다양한 공적 투자를 유도하는 것도 좋은 대안이 될 수 있다. 이산화탄소 포집시설을 공공인프라로서 인정하여 공공재원으로 지원하거나 발전사들이 의무적으로 투자를 하도록 규제하는 등 포집시설을 집중적으로 지원한다면, CCUS의 다른 부분들의 수익성이 크게 향상되는 효과를 유발하여 CCUS에 대한 민간자본의 보다 자발적인 참여를 유도할 수 있다.

환경부에서는 2014년에 발족한 이산화탄소지중저장 환경관리연구단을 통하여 CCS 사업 관련 단일 법안을 마련하기 위한 위탁연구를 수행하고 있다. 본 연구에서 준비하는 법률안은 포집-수송-저장 시설 관련 설치 및 운영 규정과 인프라 구축을 위한 기금 설치 규정 등을 다루고 있다. 하지만 아직 환경부가 본 단일법안 추진의 주무기관이라고 할 수는 없다. 국가 CCS 종합추진계획에 따르면 법·제도 정비에 대해서는 국토부와 환경부가 소관부서로 지정이 되어있기는 하나 (녹색성장위원회 2010, p.26), 단일법안이 없기 때문에 주무 인허가&규제기관도 부재한 상태라고도 할 수 있다. 물론, 꼭 단일법안이어야 할 필요는 없다. 여러 가지 법들이 종합적으로 판단될 수 있도록 통합체계가 이루어지는 것도 좋다. 중요한 점은 단일법이든 여러 법들의 통합체계가 이루어지지 않은 상태에서는 CCUS 기술의 RD&D를 추진하고자 하거나 도입하고자 하는 주체의 입장에서는 사업수행의 혼란뿐만 아니라 기술 도입의 경제성마저도 혼란을 겪을 수 있다.

3.4 대중 수용성

신기술 성공의 중요한 요소 중 하나는 대중 인식 또는 대중 수용성이다. 효과적인 대중 교육 및 커뮤니케이션 정책은 CCUS 기술기반 사업을 수행하는 있어서 매우 중요한 “사회적 인허가(social license)”와 같다. 이를 이행하는 정책수단으로는 공공교육, 정보교환 및 커뮤니케이션 증진, CCUS 사업의 정보공개 등이 있다 (Li et al., 2014: 7023). 그런데 왜 이러한 대중인식 제고를 위한 노력이 필요한 것일까? CCS의 기술의 경우, 포집, 수송, 저장 과정에서 일어날 수 있는 이산화탄소 누출이 지적되고 있다. 포집과정에서 암모니아, 미세먼지, 황산화물, 질소산화물이 유출될 수 있고, 수송 및 저장 과정에서도 파이프의 부식, 저장 시설의 구조적 결함 등으로 이산화탄소 누출이 일어날 수

있다. 이 경우, 누출 지역 주변의 공기, 지표 부근의 지하수 등 주변 환경을 오염시킬 수 있고 인근 지역 주민의 건강에 직접적인 위협을 미칠 수 있다 (김병모 외 2013). 한편, CCU 기술의 포집과 관련해서는 CCS와 유사한 한계점이 있지만 상품을 생산하거나, 관련 경제활동으로 일자리를 창출하고, 인근 지역의 산업폐기물을 안정화시키는 등 부가적인 효용을 가지고 있기 때문에 대중의 입장에서 다르게 인식될 수 있다 (Jones et al. 2017). 우리나라는 CCS가 맞닥뜨리는 대규모 저장소 건설·운영 시 관련지역의 사회적 수용성 제고와 같은 문제를 탄소자원화 기술이 보완할 수 있다는 입장을 가지고 있다 (녹색성장위원회 2010, p.18). 현재, 우리나라는 CCS 종합추진계획 하에서 두 가지 활동계획을 수립하였다. 하나는 사회적 인식 제고로, 이를 위해 저장소 탐사, 소규모 포집·수송·저장 실증 등 CCS 기술개발 초기단계부터 지자체, 시민단체, 그리고 대중과의 소통을 추진하는 것이다. 다른 하나는 CCS의 환경적 안전성을 증명하기 위한 교육 프로그램을 마련하고 국내/외 CCS R&D 성과 정보를 제공하는 것이다 (Ibid., p.21).

CCS 종합추진계획에서는 환경부, 산업부, 과기부, 해수부 4개 부처가 포집·저장·탐사·전환 기술 R&D에 대해서 역할 분담을 하고 있으며,²³⁾ 사회적 인식 제고는 범부처에서 개별적으로 추진하도록 명시가 되어 있어, 4개 부처가 개별적으로 사회적 인식 제고 활동을 추진하였다. 환경부의 경우, 국민 이해도 및 수용성 제고 방안 관련 연구를 『CO2 지중 저장 환경관리 법제도 기반 연구』를 통해 실시하였고, 2010년부터 매년 『국제 CCS 환경 포럼』을 개최하였다. 해당 포럼은 일반 대중의 인식제고 활동보다는 이산화탄소 포집·저장에 따른 환경영향 및 환경위해성 평가 기술에 대한 국내 및 국제 사회의 연구경험을 각국 전문가 및 연구진과 공유하는 것을 목적으로 한다. 산업부는 종합추진계획에 따라 상용화를 목적으로 포집·저장 원천기술을 개발하고 이에 대한 실증을 수행하는 역할을 맡았다. 이 과정에서, 2013 보령화력발전소 파일럿 플랜트 준공식을 계기로 CCS 역할과 CCS 산업발전에 대한 간담회 개최를 통해서 중부발전 CEO, 한전 CTO, 대림산업 CEO, 지경위원장, 예기평 원장, CCS 전문가 등 20여명의 관련 업계 관계자의 의견과 건의사항을 청취한 바 있다 (산업부 2013). 하지만, 일반인 또는 지역 주민은 참여하지 않았던 것으로 보이며, 이는 플랜트 시설이 화력발전소 내에 설치되어 별도의 주민 공청회 등의 의견 수렴 및 이해도 제고를 위한 절차를 거칠 필요성이 제기되지 않았기 때문인 것으로 보인다. 또한 산업부는 저장기술에 대한 실증과 관련하여 포항분지 해상 소규모 CO2 주입 관련 실증사업을 진행하였다. 해당 사업은 2016년 11월 포항시 영일만 포항분지 해상에 국내 처음으로 CO2

23) 포집된 탄소를 저장 기술의 실증을 수행하기 위한 육상 지중 또는 해양 지중에 대한 탐사 및 평가 활동

지중저장 실증플랫폼을 완공하고 이산화탄소 주입을 위한 시추를 시작하였다. 한 달 정도가 소요되는 시추작업이 마무리되면 주입설비를 완공하여 이산화탄소 주입실증 실험에 들어갈 예정이었다. 그러나 동 사업이 지진을 유발했을 가능성이 제기되면서 지하 1천 미터를 시추하는 것에 대한 주민들의 우려가 커지자 2017년 12월 포항시는 산자부에 사업 중단을 요청하여 현재 중단된 상황이다 (프레시안 2017; 경북도민일보 2018). 실증 진행 과정에서 주민설명회 또는 공청회를 통한 주민의견수렴, 공감대 형성, 안전성 여부 안내 등은 실시되지 않았던 것으로 보인다. 본 사례는 이산화탄소 저장기술 활용에 있어 특히 사회적 수용성이 중요하다는 사실을 보여주고 있다. 과기부는 CCS 원천기술 개발 및 기반 조성을 위해 2011년 11월부터 Korea CCS 2020 사업을 착수하였고, 동 사업을 수행할 거점 기관으로 같은 해에 한국이산화탄소포집 및 처리연구개발센터(KCRC, Korea arbon Capture & Sequestration R&D Center)를 설립하였다. KCRC는 대중인식 제고를 위해, CCS 기술개발 관련 자료 제작 및 배포하고, 국내 CCS 전문가 및 해외 CCS 거점기관 전문가 등 400여명이 참석하는 Korea CCUS International Conference라는 행사를 2011년부터 개최하였다.²⁴⁾ 또한, 전문가 대상 교육과 일반인 대상 교육을 실시하고 있다. 전문가 대상 교육은 Korea CCUS 컨퍼런스와 연계하여 연간 1회 이상 실시되고 있으며, 이 프로그램은 전문인력 양성 및 육성을 목적으로, 포집기술, 지중저장·수송·전환기술 이해를 위한 기초과정과 포집 공정설계 및 운영, 지중저장 이해를 위한 고급과정으로 구성되어 있다. 이밖에도 KCRC는 일반인 대상으로 진행되는 『찾아가는 CCS 교육 프로그램』을 운영하고 있다. 본 프로그램은 CCS 교육 및 홍보의 일환으로 초·중·고등학생·선생님 및 일반인의 인식제고를 목적으로 하며, 수요에 따라 비정기적으로 추진되었다. 해수부의 경우, 인식도 제고를 위한 별도의 활동은 수행하지 않은 것으로 보인다. 한편, 2017년 4월부터 진행된 탄소자원화 국가전략 프로젝트 실증 로드맵 상에서는 크게 두 가지의 사회적 수용성 제고 노력이 있었는데, 하나는 탄소자원화 기술을 수요로 하는 국가들을 대상으로 한 포럼 개최이며, 다른 하나는 탄소광물화 기술을 수요로 하는 국가와 대중의 인식 제고하기 위해 탄소광물화 기술을 소개하기 위한 홍보 동영상 제작하였다.

이를 종합해 보면, CCUS에 대한 사회적 수용성을 제고하기 위한 노력이 존재한다. 다만, 이러한 노력이 CCUS에 대한 사회적 수용성이라기보다는, CCS 종합 추진계획에 포함된 CCS 기술에 대한 사회적 인식 제고의 일환으로, KCRC가 Korea CCUS International Conference를 개최하는 정도 또는 국가전략프로젝트로 진행되는 탄소자원화 실증 로드맵 상에서 포럼과 홍보 동영상이 제작되고 있는 수준이라고 볼 수 있다.

24) 1회부터 6회까지는 Korea CCS conference라는 이름으로 진행되었으나, 최근 7회 및 8회는 Korea CCUS conference로 진행되었다.

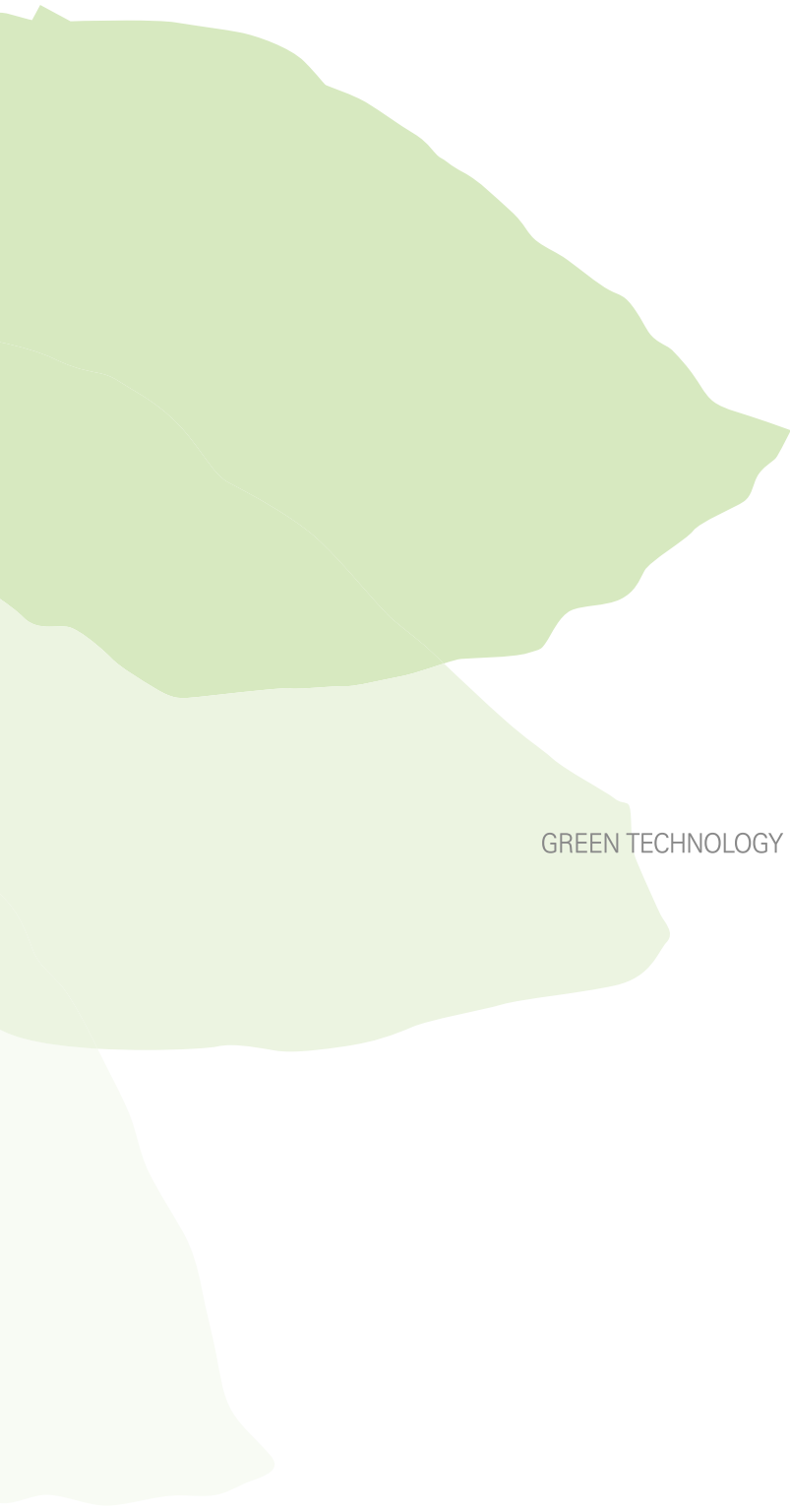
3.5 국제 표준 수립 참여

CCUS 기술의 RD&D 활성화를 위한 마지막 요소는 우리나라가 CCUS 기술에 대한 관련 국제 표준개발에 활발히 참여하고 있는가의 여부이다. 우선 CCUS의 기반기술인 CCS의 경우, 해당기술과 관련된 설계, 건설, 운용, 환경계획 및 관리, 리스크 관리, 정량화, 모니터링, 인증 등의 표준화 필요성이 커져, 국제표준화기구(ISO, International Standard Organization)에 기술위원회 265(TC 265)가 2011년에 설립되었다. ISO/TC 265는 포집, 수송, 저장, 정량화 및 검증, 범분야 이슈, 석유회수증진기술(EOR, enhanced oil recovery)의 여섯 개 주제에 대해 작업반이 구성 및 운영되고 있다 (임상식 외 2017).²⁵⁾ 각 작업반은 해당 주제에 따라 국제표준문서 및 기술보고서 작성 작업을 수행하고 있다. 2010년 도출된 「국가 CC종합추진계획」에서는 CCS 중에서도 지중저장 이산화탄소의 모니터링 및 인증(monitoring & verification)에 대한 국제기준 수립에 대응하고 관련된 국제 규정 마련을 추진한 것을 명시하고 있다 (녹색성장위원회 2010). 우리나라에서는 ISO 전담기관인 국가기술표준원이 ISO/TC 265 정회원으로서 현재 정량화 & 검증 작업반과 범분야 이슈 작업반에 참여를 하고 있다. 정량화 & 검증 작업반에서는 격리된 이산화탄소의 양을 정량화 하고 이를 온실가스 감축 효과로 표현하는 방법을 논의하고, 범분야 이슈 작업반에서는 이산화탄소 포집·수송·저장에 있어 이산화탄소의 순도 및 불순물의 함유량 제한 등을 위한 기술문서 작성에 참여하고 있다. 그리고 ISO/TC 265를 본 탄 국내차원의 전문위원회를 운영하고 있다. 국내 전문위원회의 실질적 운영은 미진한 상황이나, 향후 원천기술개발 구체화 단계 및 산업부문에서의 응용연구 단계에서 국내 표준 제정을 위한 활동이 활성화가 될 것으로 예상된다.²⁵⁾

한편, 탄소자원화를 위한 CCUS의 활용(Utilization) 기술에 대해서는 TC 265에서 중요한 사안으로 인식은 되고 있으나, 활용기술 적용시의 경제성 및 감축량 산정시 비용 상의 이유로 현재 TC 265의 논의 범주에는 포함되지 않고 있다. 그러나 2017년 5월부터 활용기술에 대한 임시위원회가 발족하였고, 향후 국제표준 작업이 TC 265를 통해 진행되어야 하는가 등에 대해 논의가 이루어지고 있다.²⁶⁾ 국내에서는 KS표준으로 작업 할 수 있는 충분한 실증 결과가 없으나, 원천기술 등은 다수 확보되어 실증 및 상용화 단계에 접어들면 표준화 작업이 가능할 것으로 판단된다. ISO 차원에서 활용기술에 대한 임시위원회가 발족된 만큼, 우리나라가 개발한 기술을 활용하는 데에 제약을 방지하기 위한 노력이 필요하다. 비록 아직 CCU 기술에 대한 표준화 단계까지 들어가고 있지 않지만, 이를 감안한 노력이 함께 수반되어야 할 필요가 있다.

25) 6개 작업반으로 ①포집, ②수송, ③저장, ④정량화 및 검증, ⑤범분야 이슈, ⑥석유회수증진기술이다.

26) TC 265의 표준화 범주를 확장하는 것은 ISO 중앙 간사의 승인이 필요한 사안이다.



GREEN TECHNOLOGY CENTER

SECTION

04

결론



04

SECTION

결론



동 Discussion Paper에서는 우리나라의 CCUS 기술 RD&D 활성화 정책현황을 다섯 가지 장애요소 측면에서 살펴보았다. 이를 정리해 보면, 첫 번째로, CCUS 개발 계획 및 기술 로드맵과 협력 거버넌스 측면에서, 우리나라는 탄소자원화 기술에 대한 통합된 계획/전략/로드맵이 존재한다. 특히, 국가 CCS 종합추진계획에 CCS 기술뿐만 아니라 탄소자원화 기술이 함께 포함되어 있다. 또한, 우리나라의 과학기술 차원에서 수립된 「제3차 과학기술기본계획(13.07)」, 기후변화라는 환경대응 차원에서 도출된 「기후변화대응기술 확보 로드맵(16.06)」, 그리고 국가 성장 동력과 삶의 질 확보를 위한 「9대 국가전략 프로젝트(16.08)」에도 탄소자원화 기술이 포함되어 있다. 통합적·연계 정책에서 나아가, 국가 CCS 종합추진계획 하에서는, 관계부처 및 전문가를 중심으로 주요정책을 결정하고 총괄조정 기능을 가진 'CCS 총괄협의체'가 구성 및 운영되었다. 또한, 2016년도에 선정된 9대 국가전략프로젝트를 통해, 탄소자원화 기술에 대한 '전문 R&D 팀'을 중심으로 탄소자원화 기술의 실증 수행을 위한 사업이 진행되고 있고, 범정부 차원의 '사업 사무국'과 '탄소자원화 전략 플랫폼'이 구성 및 운영되는 등 협력 거버넌스 차원에서도 체계화 노력이 있어왔다고 볼 수 있다. 물론, 정부차원의 R&D 계획 상에 탄소자원화 기술에 특화된 단독의 정책계획이 존재하지 않고, CCS 기술에 기반한 정책/계획에 추가적으로 포함되어 있다는 점은 아쉬운 면이다. 또한, 탄소자원화 기술의 실증을 목적으로 전주기 단계 간 또는 단계 내의 부처간 협력을 위한 협력조정 메커니즘이 아직 부재하다는 측면 역시 향후 고려할 사항이다.

두 번째, 재정 지원 및 시장기반 인센티브에 대해서는, 먼저 CCUS 기술의 RD&D를 위한 직접적인 재정지원 측면에서 두 가지 사항을 확인하였다. 하나는 CCS 종합추진계획 하에서의 RD&D를 위한 정부 투자이다. 2010년부터 2019년까지 이산화탄소 포집, 수송, 저장, 전환, 환경관리 및 기반구축 5개 분야에 대한 추진계획 달성을 위해서는 정부투자 1조 2천억 원과 민간투자 1조 1천억 원의 투자가 필요한 것으로 나타났다. 그러나 CCS 2010년부터 2017년까지 8년간 투자현황을 살펴보면, 정부투자와 민간투자 모두 당초 계획보다 저조한 것으로 나타났다. 지난 8년간 정부 R&D에 대한 연평균 증가율은 4.0%로 증가하는 추세이며, 연평균 709억원의 투자규모를 유지하고 있음을

확인할 수 있다. 민간 R&D 매칭의 경우 8개년동안 연평균 276억원의 투자가 이루어지고 있으며, 연평균증가율은 0.3%로 기존의 투자 규모를 유지하고 있는 것을 알 수 있다. 또한, 부처별 CCUS R&D 투자는 과학기술정보통신부와 산업통상자원부 주도로 R&D 투자를 진행해 오고 있으며, 해수부가 2012년부터 2015년까지 272억원의 R&D 투자를 진행하였으나, 해양폐기물관리법 관련 문제와 해양저장 및 수송 관련 실증사업의 예비타당성 조사의 미통과로 인하여 다소 투자가 주춤한 상태이다.

한편, 2016년 탄소자원화 국가전략프로젝트 하에서 진행되는 탄소자원화 사업은 6년간 공공재원 340억 원과 민간재원 135억 원이 투자될 계획에 있다. 이는 우리나라가 탄소자원화 기술의 RD&D를 위해서 대규모 투자를 계획하고 있다는 점에서 매우 긍정적이다. 그러나 향후 탄소자원화 기술의 RD&D에 대한 재원수요가 더욱 증대할 것을 감안할 때, 보다 복합적인 재정 메커니즘을 활용하는 것이 필요할 것으로 보인다. 이러한 복합재정의 측면에서, 일차적으로 고려할 수 있는 것은 국내에서 개발·실증된 기술들이 국내시장 이외에 기술수요가 있는 해외 시장에 진출할 수 있도록 재정 지원하는 해외실증 프로그램을 활용하는 것이다. 특히, 과학기술 국제협력 사업에 기반한 공공재원의 활용 가능성을 모색할 필요가 있다. 2012년~2016년 정부 8개 부처가 지원한 국제 과학기술 협력 사업 추진 현황을 살펴볼 때, CCUS RD&D 및 개도국 이전 관련해서는, 특히 과학기술정보통신부의 '국가간 협력기반 조성사업', 산업부의 '국제 공동 연구개발 지원 사업' 등을 활용하는 것을 고려할 수 있다.

한편, 민간의 기술채택 및 활용을 촉진하기 위해 시장기반 인센티브 측면에서, 조세혜택과 같은 가격 메커니즘 제도에 대한 고려가 필요할 수 있다. 다만, 미국과 같이 실증이 상당히 이루어진 기술의 도입 및 상용화를 위한 조세혜택 제도를 아직 '실증' 단계인 우리나라에 바로 적용하는 데에는 현재 무리가 있을 수 있다. 다만, 이러한 가격 메커니즘의 활용가능성을 지속적으로 고려할 필요는 있다. 그리고 국내/외 탄소시장 메커니즘에 대한 제도를 고려할 수 있다. 유럽연합(EU)의 경우 배출권거래제(ETS)를 통해, 온실가스 배출 기업들이 CCS 기술을 이용하여 감축실적을 인정받을 수 있도록 제도화하고 있다. 나아가, 2021년부터 2030년 기간 중 EU ETS 운영을 통해 확보된 수익금을 활용하여 ETS 혁신기금(ETS Innovation Fund)을 조성하고, 이 기금을 활용해 CCS 뿐 아니라 탄소자원화 기술을 자금지원 대상에 포함시키는 방안 역시 검토하고 있다. 우리나라 ETS의 경우 외부감축사업의 유형 중 하나로 CCS 사업을 인정하고 있으나 CCU/CCUS 기술에 대해서는 아직 논의가 이루어지고 있지 않다. 사실, CCS의 경우, EU나 국내 ETS 제도에서 인정받는 기술군으로 편입은 되었으나, 실제 이 기술을 활용한 사업 사례는 없다. UNFCCC 하의 CDM에서도 CCS를 CDM 사업 기술군으로 편입하였으나, 이 기술에 기반한 사업이 진행된 사례는 없다. 그

이유는 사업 개시 전에 동 기술에 대한 감축량 산정 방법론 개발이 필요한데, 베이스라인 시나리오 계산부터 용이하지 않은 기술적 어려움이 있기 때문이다. 또한, 완전히 상용화되지 않은 신규 또는 혁신기술이라는 점도 실제 사업화의 장애요소로서 작용할 수 있는 것이다. CCS가 이러하다면, CCU 그리고 CCUS의 방법론 개발은 더욱더 용이하지 않다. 그러나 중요한 점은 이러한 탄소시장 메커니즘 하에서 기술군으로 편입된다는 것만으로도 민간 자본이 이 기술을 도입하는 데에 큰 인센티브가 된다는 점을 주지할 필요가 있으며, 이러한 시장기반 메커니즘의 활용을 더욱 고려할 필요가 있다.

세 번째는 감독 및 안전에 관한 법과 규제에 대한 사항이다. 우리나라는 현재 탄소자원화 기술 이전에 CCS 기술의 RD&D 사업을 위한 단일 법안도 부재한 상태다. 물론, CCS RD&D 사업을 위한 단일법안을 만들기 위해 환경부에서는 위탁연구를 수행 중이다. 기존의 우리나라 CCS 및 CCUS 기술에 대한 기존 연구에서 관련 법·제도정비에 대해서 공통적으로 시급성을 언급하고 있는데,²⁷⁾ 이는 단일법 또는 여러 관련법들의 통합체계의 존재 여부가 CCUS 기술 도입 시, 사업 추진의 효율성, 경제적 타당성 예측, 사회적 기회비용에 대한 추정 등에 영향을 미치며, 중국에는 기술 도입에 대한 투자결정 영향을 주기 때문이다. 기술도입의 근간이 바로 이러한 개별법들의 단일 또는 통합적 정비라는 점에서 향후 이에 대한 적극적 노력이 필요하다.

네 번째, CCUS에 대한 대중 수용성을 제고하기 위한 노력과 관련하여, 우리나라는 CCS 종합 추진계획에 따라, 사회적 수용성 제고 노력을 추진하고 있다. 또한 국가전략프로젝트로 진행되는 탄소자원화 실증 로드맵 차원에서, 다양한 교육 자료를 제작하고 있다. 사회적 수용성에 대해서는, 해외의 경우, 유럽연합(EU)의 요청에 따라 세계자원연구소(WRI, World Resources Institute)가 2010년 이해당사자 및 추진 단계별 수용성 제고를 위한 ‘이산화탄소 포집-수송-저장 프로젝트에의 지역사회 참여 가이드라인’을 제작한 바 있다. 이 지침에서는 주요 이해관계자로 규제담당자, 지역 의사결정자, 그리고 프로젝트 개발자를 설정하고, CCS 사업 단계를 지역사회 여건의 이해, 사업 정보 교환, 참여 주선 확인, 사업 리스크 및 영향 논의, 그리고 사업 생애 중 참여로 나누고 각 단계에 대해서 이해당사자들의 역할을 구체화하여 이를 적용하고 있다 (이원우 2011). 이러한 해외지침들은 국내 지역사회 수용성을 제고하기 위한 일련의 체계를 세우는 데에 도움이 될 수 있다. 한편, 탄소자원화 기술에 CCS 기술에 기반한 사회적 수용성 제고방식을 적용하는 것이 필요한 가에

27) 기존 연구로는 조가비 외 (2016), 채선영·권석재 (2012) 등이 있다.

대해서 살펴볼 필요가 있다. 그 첫 번째 이유는 기존 대중인식 관련 연구 상에서 ‘수송’과 ‘저장’에 대해서는 탄소누출 및 지역 환경 영향에 대한 위험도 인식이 높게 나타나지만, 산업 시설 내에 적용되는 ‘포집’ 및 ‘전환(활용)’ 기술에 대한 위험도 인식은 상대적으로 낮으며, 오히려 포집/전환 기술이 적용됨에 따라 기존의 지역산업 개발 파급영향에 대한 우려가 더 큰 것으로 나타나고 있기 때문이다 (Jones et al., 2017, p.9). 두 번째로는, 사회적 수용성은 일반대중과 정책입안자들을 대상으로 한 사회·정치적 수용성, 최신기술에 대한 소비자 및 기술 채택 및 투자에 대한 결정을 내리는 투자자들의 시장 수용성, 그리고 기술이 적용 및 설치되는 지역사회의 수용성이라는 세 가지 측면이 있다는 점을 고려할 때, 탄소자원화 기술은 기술 채택 및 활용에 대한 투자자들의 시장 수용성이 더욱 중요할 수 있다는 점이다. 따라서 탄소자원화에 대한 대중 수용성 제고를 위한 노력은 CCS의 지역사회 수용성 제고 노력과 더불어 별도의 ‘시장 측면의 확산’을 위한 시장 수용성 측면에서의 접근이 필요하다고 할 수 있다.

다섯 번째는 탄소자원화 기술에 대한 국제 표준 참여에 대한 사항이다. 우리나라는 국가기술 표준원이 국제표준화기구 ISO의 CCS 기술위원회인 ISO/TC 265에 정회원으로서 정량화 & 검증 작업반과 범분야 이슈 작업반에 참여를 하고 있다. 탄소자원화 기술에 대해서는 TC 265에서 중요하게 다뤄지고 있는 사안이기도 하나, 현재 구체적인 표준화 작업 범위에 포함되어 있지 않다. 다만 2017년 5월부터 활용임시위원회가 발족하여, 어떠한 국제표준 작업을 시작할지 또는 TC 265에서 진행해야 하는지를 논의하고 있으므로, 그 추이를 지켜볼 필요가 있다. 또한, 국내 자체에서도 KS표준으로 작업 할 수 있는 충분한 실증 결과가 없는 상태이다. 다만, 현재 우리나라의 탄소자원화 기술역량이 선도적인 동시에 국내실증을 진취적으로 준비하고 있기 때문에, 이러한 실증단계 진입과 함께 표준화 작업이 필요할 것으로 보인다.

위에서 언급한 다섯 가지 측면의 장애요소에 대한 우리나라의 현황과 정책적 의미를 <표 6>에 정리하였다. 동 연구는 우리나라가 연구개발한 CCUS 기술을 기반으로 RD&D를 활성화하여 중국에는 해외로 실증사업 및 기술확산을 도모하는 데에 필요한 제도적 측면의 요소를 개괄하고, 개도국 진출 전에 이러한 제도적 역량을 우리나라가 자체적으로 보유하고 있는 지를 파악하는 데에 주된 목적이 있다. 동 분석 연구를 통해, 우리나라는 CCUS 기술을 실제 실증하고 상업화하기 위한 가능여건 측면에서 계획적이고 체계적인 접근 노력을 보였다는 것을 확인하는 동시에, 그 노력들이 한 단계 더 심도있게 접근되어야 할 필요성을 확인할 수 있었다.

이와 더불어, 몇 가지 주지할 사항들을 파악할 수 있었다. 첫 번째는, CCUS 기술이 개발된다고 하더라도, 이 기술들이 성숙되기에는 아직도 많은 시간이 필요하며, 현재 배출되는 이산화탄소를 활용할 만큼 시장이 크지 않다는 사항이었다 (Resource for the Future 2017). 사실, 기술의 RD&D 그리고 더 나아가 상용화에 있어서 기술수요에 기반한 '시장' 형성이 매우 중요하다. 이와 연계하여, CCUS 기술에 대한 가치사슬을 고려할 필요가 있다. CCUS는 단일 기술/시스템이 아닌 복합적인 체인 기술이며, CCUS와 관련하여 주요 산업, 보조(secondary) 산업, 지원(supporting) 산업 등 다양한 산업들이 성장할 수 있는 가능성이 있다. 이들 산업들은 같이 연계되어 존재하고 상호 협력하여 '통합 CCUS 사슬(Full-integrated CCUS chain)' 형성해야만 진정한 기술 실증 및 향후 상용화가 가능하다고 판단된다. 이를 위해서는 기술 성숙도, 지속가능성, 기타 외부요인들에 대한 고려가 필요하다 (Li et al. 2016).²⁸⁾ 특히, 이산화탄소가 발생하는 시설/사업장에서 '포집기술'에 기반한 '포집' 수요처, 포집된 이산화탄소를 '활용'하고자 하는 수요처, 그리고 이 활용기술에 기반해 생산된 생산품에 대한 수요처에 대한 '수요' 형성이 중요하며, 이 수요의 가치사슬의 관계성 역시 중요하다. 특히, 이 가치사슬의 앞단에 있는 '포집'에 대한 수요를 형성하는 것이 일차적으로 중요한데, 앞서 언급된 바와 같이, 국내에서는 이산화탄소 포집 및 활용하는 데 대한 처리비(폐기물에 대한 처리비)를 별도로 받을 수 있는 혜택이 제공되지 않기 때문에, 다양한 인센티브 제도와 CO₂ 배출규제 제도가 명확해져야 CCUS 사업에 대한 비즈니스 모델이 확립되고 상용화에 대한 기업의 투자를 유인할 수 있다.

두 번째는 CCS, CCU, CCUS 기술의 관계성에 대한 사항이다. 즉, CCS와 CCU는 '포집'이라는 공통의 기술에 기반하고 있으나, 포집된 탄소에 대한 접근이 전혀 다르다. CCS는 명확히 감축 기술이나, CCU는 감축보다는 에너지 전환 또는 자원 안보 차원에서 접근하는 것이 필요할 수 있다는 점이다 (Bruhn et al., 2016). 우리나라의 탄소자원화에 대한 가능여건들을 장애요소 측면에서 살펴본 결과, 정책/계획, 재정지원, 법/규제, 대중인식, 국제기준 다섯 가지 모두 현재 CCS를 중심으로 하여 진행되고, 자원화 기술은 CCS 기술정책에 추가적으로 접근되고 있다는 점을 파악할 수 있었다. 그러나 예를 들어, 대중인식의 경우, CCS의 지역사회 인식도 제고 노력과 탄소자원화 기술에 기반한 시장 인식도 제고 노력이 어느 정도 다른 접근일 수 있다는 점을 파악할 수 있었다. 또한, CCS와 관계되는 개별법들과 탄소자원화와 관계된 개별법들이 어떻게 다를 수 있는 지에 대한

28) 지속가능성에 대한 요소는 사회적·환경적·경제적 혜택과 정책지원이 있으며, 외부요인들로는 기후변화 협상, 협력 프로세스, 에너지 정책기반, 에너지 수요 진화, 저탄소 산업, 그리고 여타 저탄소 에너지 기술들이 있다.

연구가 필요할 수 있다. 이러한 유사하면서도 다른 점에 대해서 인식하면서 정책적으로 접근하는 것이 필요하다.

세 번째는, 동 Discussion Paper는 CCUS에서 '자원화'에 초점을 맞추고, CCUS 기술의 RD&D 활성화의 장애요소 제반을 살펴보았다는 데에 의의가 있으나, 이러한 포괄적 접근으로 인해 그 세세한 사항들을 분석하지 못한 단점이 있다. 따라서 동 제반 연구를 시작점으로, 정책/계획, 재정지원, 법/규제, 대중인식, 국제기준의 다섯 가지 장애요소 측면 각각에 대해 우리나라에서 더욱 세부적인 후속연구가 향후 필요하다고 할 수 있다.

마지막으로, 동 Discussion Paper의 목적은 해외기술 실증 및 확산을 위해서는, 기술만이 아니라 제도적 역량제고 활동이 함께 수반되어야 한다는 점에서, 먼저 우리 안에서 우리나라의 실증과 국내 확산을 위한 제도적 역량이 보다 심화되고 이에 대한 준비요소들을 파악하고 갖추는 등의 자체적 역량제고가 필요하다는 점을 확인하고 동시에 주장하고 있다.

표 6 우리나라의 CCUS 기술의 RD&D 증진을 위한 정책적 대응 분석 결과

장애요소	우리나라 CCUS 기술의 RD&D 증진 정책 현황
<p>CCUS 개발 계획 및 기술 로드맵과 범분야/범부처 협력 거버넌스 부재</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 통합된 활용 & 계획 전략 준비 <ul style="list-style-type: none"> · 국가 CCS 종합추진계획(2010) 하에서 진행, 9대 국가전략프로젝트(2016) 하에서 탄소자원화 국가전략프로젝트 실증로드맵 수립 ■ 과학 & 기술 계획과 산업 개발 계획에 포함 및 연계 <ul style="list-style-type: none"> · 제3차 과학기술기본계획(2013), 국가중점과학기술전략로드맵(2014), 기후변화대응기술 확보로드맵(2016), 9대 국가전략프로젝트(2016)로 선정
<p>재정지원 및 투자/재원 메커니즘 부족</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 국가 재정지원 제공이 있으나, 시장기반 인센티브를 위한 복합재정 필요 <ul style="list-style-type: none"> · CCS 종합추진계획 하에서의 연구 개발 및 실증을 위한 정부 투자 · CCUS 정부 R&D 투자액이 연평균 4% 증가 추세('10~'17년) · 탄소자원화 국가전략프로젝트 추진(6년간 국비 340억원, 민간투자 135억원) · 시장기반 인센티브(조세혜택 및 국내/외 탄소시장 메커니즘) 활용 고려
<p>감독/안전 등과 관련 법 및 규제 부족</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ CCUS 실증 사업을 위한 행정규제 미개발 <ul style="list-style-type: none"> · CCS도 단일화된 법률 미제정 상태 · 주무기관 미지정: 환경부가 단일법안을 위한 위탁연구를 수행중
<p>낮은 대중 인식</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 인식도 제고 노력이 있으나, 아직 효과성 논의 단계 미진입 <ul style="list-style-type: none"> · (공) 사회적 수용성 차원에서 사회·정치적 수용성 노력 존재 · (부) CCS 인식도 제고 노력과의 차별화 필요
<p>CCUS에 대한 국제 표준 수립 참여 부족</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ CCS 국제기준 개발에 참여중이나, CCUS에 대한 자체적 기준개발 미비 <ul style="list-style-type: none"> · (다자)국제표준화기구(ISO) 기술위원회 265(ISO/TC 265) 참여 · CCUS 기술이 아직 R&D 단계임을 고려 필요

자료: 본문 내용을 토대로 저자가 정리.



참고문헌

- + 고문현·정주휘·목원석.(2017). “주요국가의 CCS 법령 현황과 대중소통사례”. The 7th Korea CCUS International Conference 발표자료. http://www.koreaccs.or.kr/esub03_7_2/data/down/year/2017/type1/POLICY/page/1/id/1148/num/2(자료검색일: 2018년 7월 5일).
- + 과기부(2016). <보도자료: 탄소전환 플래그십 MOU>.
- + 관계부처 합동.(2015). <Post-2020 온실가스 감축목표 설정 추진계획>.
- + 교과부.(2008). <신성장동력 비전 및 발전전략>.
- + 교과부.(2009a). <녹색기술 연구개발 종합대책>.
- + 교과부.(2009b). <중점녹색기술개발과 상용화 전략>.
- + 교육과학기술부.(2010) <국가 CCS 종합 추진 계획>.
- + 국가법령정보센터.(2017). <저탄소 녹색성장 기본법>.
- + 국가심.(2013). <제3차 과학기술기본계획(‘13~’17)(안)>.
- + 국조실.(2008). <기후변화대응 종합기본계획>.
- + 국조실.(2019). <“포용적 녹색국가 구현”을 위한 「제3차 녹색성장 5개년(‘19~’23)계획」 확정>.
- + 기획재정부고시 제2016-015호. <온실가스 배출권거래제 운영을 위한 검증지침>.
- + 김다미·김명진.(2015). 산업부산물을 이용한 광물탄산화. <한국폐기물자원순환학회지>. 32(4): 317-328.
- + 김동련.(2016). “한국 CCS 정책과 입법방향 - 토지수용과 대중수용성을 중심으로”. <토지공법연구>. 74: 251-271.
- + 김병모·최태섭·이정석·박영규·강성길·전의찬.(2013). “이산화탄소의 해양지중저장과 환경 안전성 평가 방안”. <한국해양환경·에너지학회지>. 16(1): 42-52.
- + 녹색기술센터.(2017). <기후기술 분류체계 마련 연구>.
- + 녹색기술센터.(2018). <녹색기후기술백서>.
- + 녹색성장위원회.(2010). <국가 CCS 종합 추진계획(안)>.
- + 대덕넷.(2017). “CCS 시장 열어라. “법 문제 풀고 사업화 모델 만들 때””. 2. 22.
- + 미래부.(2016a). <대한민국 미래 책임질 9대 국가전략 프로젝트 선정>.
- + 미래부.(2016b). <한국의 모든 기후기술 연구과제 한자리에 모이다>.
- + 미래부.(2017). <2017년도 국가전략프로젝트 통합 시행계획 공고>.
- + 배준희·서한결·안은영·이재욱.(2017). “이산화탄소 포집/저장/활용 기술 특허 동향 분석”. <자원환경지질>. 50(5): 389-400.
- + 산업부.(2013). <온실가스 없는 화력발전 구현, 우리 기술로 이룬다! - 보령화력발전소 10MW급 이산화탄소 포집 플랜트 준공->.
- + 산업부.(2016). <정부, 대한민국 미래 책임질 9대 국가전략 프로젝트 선정>.
- + 이순자.(2016). “이산화탄소 포집 및 처리를 위한 도입법안에 관한 입법평가”. <입법평가연구>. 9: 381-422.

- + 이원우.(2011). “에너지시설의 수용성 제고를 위한 접근방안”. <에너지경제연구원 Energy Focus>, 2011(가을호): 8-14.
- + 이재영·고인표·김도형·김남영·이영주·황정현.(2016). <하수처리오니 고화처리물 폐석산 채움 재활용 현장적용성 검토 연구>. 환경부 용역보고서.
- + 이투데이.(2018). “탄소 포집·저장(CCS) 시장 급성장 전망”. 5. 21.
- + 임상식·길성희·조영도.(2017). “CCS 및 CCUS의 국제표준화 추진 동향”. <한국에너지기후변화학회 춘계학술대회 초록>: 247-247.
- + 장갑만.(2013). “이산화탄소 포집·수송·저장(CCS)의 위험성 및 제도 동향”. <가스안전저널>. 2013(7): 4-19.
- + 조가비·조하영·박노언.(2016). “국가 CCS 종합추진계획」 이행점검 및 개선과제 도출 연구”. <한국기후변화학회지>. 7(3): 237-247.
- + 채선영·권석재.(2012). “이산화탄소 포집 및 저장 실용화를 위한 국내 정책 연구”. <해양환경안전학회지>. 18(6): 617-625.
- + 한국연구재단.(2018). <국가간협력기반조성사업>.
- + 환경부.(2018). <2030 온실가스 감축 로드맵 수정안 및 2018~2020년 배출권 할당계획 확정>.
- + HelloDD.(2017). “CCS 정착에 국가 적극 나서야... CO₂ 감축시대 돌입”. 2. 12.
- + Bruhn, T., Naims, H., & Olfe-Kräutlein, B.(2016). “Separating the debate on CO₂ utilisation from carbon capture and storage”. Environmental Science & Policy. 60(2016): 38-43.
- + C2ES (Center for Climate and Energy Solutions).(2015). “Market Mechanisms: Understanding the options”. <https://www.c2es.org/site/assets/uploads/2015/04/market-mechanisms-brief.pdf>. Accessed 5 July 2018.
- + CO₂ Value Europe.(2018). “News and Status Update”. <http://www.greenwin.be/en/news/documents/11>. Accessed 5 July 2018.
- + EUobserver.(2018). “EU to have third attempt at financing CO₂ storage”. <https://euobserver.com/environment/140859>. Accessed 5 July 2018.
- + Extavour, M. and Bunje, P.(2016). “CCUS: Utilizing CO₂ to reduce emissions”. [https://www.cosia.ca/uploads/files/news/CEP-Magazine-June2016-CCUS-Utilizing-CO₂-to-Reduce-Emissions.pdf](https://www.cosia.ca/uploads/files/news/CEP-Magazine-June2016-CCUS-Utilizing-CO2-to-Reduce-Emissions.pdf). Accessed 5 July 2018.
- + Hahan, R.W. and Stavins, R.N.(1991). Economic incentives for environmental protection: Integrating theory and practice. CSIA Discussion Paper 91-15, Kennedy School of Government, Harvard University, December 1991.
- + Jones, C.R., Olfe-Kräutlein, B., Naims, H., & Armstrong, K.(2017). “The social acceptance of carbon dioxide Utilisation: A review and research agenda”. Frontiers in Energy Research. 5(11): 1-13. doi: 10.3389/fenrg.2017.00011.
- + Lee, J., Jang, C., Shin, K.N., Ahn, J.W.(2019). Strategy of developing innovative technology for sustainable cities: The case of the national strategic project on carbon mineralization in the Republic of Korea. Sustainability, 11, 3613.

- + Li, Q., Liu, L.-C., Chen, Z.-A., Zhang, X., Jia, L. & Liu, G.(2014). "A survey of public perception of CCUS in China". *Energy Procedia*. 63(2014): 7019-7023.
- + Li, Q., Chen, Z.A., Zhang, Z.-T., Liu, L.-C., Li, X.C. & Jia, L.(2016). "Positioning and revision of CCUS technology development in China". *International Journal of Greenhouse Gas Control*. 46(2016): 282-293.
- + Lui, L-C., Leamon, G., Li, Q. & Cai, B.(2014). "Developments towards environmental regulation of CCUS projects in China". *Energy Procedia*. 63(2014): 6903-6911.
- + Lundvall, B-A.(1998). "Why study national systems and national styles of innovation?" *Technology Analysis and Strategic Management*. 10(4): 407-421.
- + Ockwell, D., Watson, J., Mackerron, G., Pal, P., and Yamin, F.(2008). "Key policy considerations for facilitating low carbon technology transfer to developing countries". *Energy Policy*. 36(11): 4104-4115.
- + OECD.(2009). "Financing climate change action, supporting technology transfer and development-Key messages and recommendations from recent OECD work". <http://www.ourfutureplanet.org/newsletters/resources/St%20Andrews%20Financing%20Climate%20Change%20Action%20Final.pdf>. Accessed 5 July 2018.
- + Painuly, J. P.(2001). "Barriers to renewable energy penetration: a framework for analysis". *Renewable Energy*. 2001: 73-89.
- + Resource for the Future.(2017). "The future of carbon capture, utilization, and storage (CCUS): Status, issues, needs". <http://www.rff.org/files/document/file/RFF-May24-CCUS%20event%20summary.pdf>. Accessed 5 July 2018.
- + TEC.(2015). "Strengthening National Systems of Innovation to Enhance Action on Climate Change". http://unfccc.int/ttclear/misc_/StaticFiles/gnwoerk_static/TEC_documents/5be1bf880cc34d52a4315206d54a711b/60d1580f741a4bc783da5a00cf64a879.pdf. Accessed 5 July 2018.
- + UNFCCC.(2017). "CDM Methodology Booklet. Ninth edition". https://cdm.unfccc.int/methodologies/documentation/meth_booklet.pdf. Accessed 5 July 2018.
- + World Coal.(2018). "US Congress approves most significant pro-CCS national policy in a decade". <https://www.worldcoal.com/power/14022018/us-congress-approves-most-significant-pro-ccs-national-policy-in-a-decade/>. Accessed 5 July 2018.
- + Zhang, X., Fan, J-L., and Wei, Y-M.(2013). "Technology roadmap study on carbon capture, utilization and storage in China". *Energy Policy*. 59(2013): 536-550.



별첨

이산화탄소 포집·전환·저장 기술 관련 R&D 사업 투자현황

(단위 : 백만원)

연도	부처명	세부과제 명	정부 연구비	민간 매칭
2012	과학기술 정보통신부	1만톤급 CO ₂ 지중저장 실증 프로젝트 총괄 관리	306	0
		Carbonic Anhydrase 모사 촉매 이용 CO ₂ 무기 자원화 기술 개발	370	0
		CO 및 CO ₂ 로부터 메테인(CH ₄) 합성을 위한 전기방전플라즈마 활성화 저온 촉매 공정	60	0
		CO ₂ 분리 및 전환 원천 기술 개발	3,231	0
		CO ₂ 용해도가 향상된 CO ₂ 포집용 중공사 제조 및 모듈 개발	200	0
		CO ₂ 저장량 최적화 및 증대를 위한 다중 스케일 평가기술 개발	200	0
		CO ₂ 지중저장 모니터링 기술 개발 및 현장 적용	311	0
		CO ₂ 포집 공정 시뮬레이션 및 공정 최적화	280	0
		CO ₂ 포집 및 고분자 변환을 위한 Core-Shell MOF 나노다공성 촉매 개발	52	0
		CO ₂ 포집공정의 효율 예측을 위한 통합 흡수-재생공정 모델 개발 및 pilot plant의 시스템 최적화	99	0
		CO ₂ 하이드레이트의 관내 열전달 및 압력강하 연구	61	0
		Highflux고분자 분리막 개발	574	0
		N-Heterocyclic Carbenes을 포함하는 Covalent Organic Polymer를 촉매로 활용하여 이산화탄소로부터 메탄을 합성	25	0
		NT(나노 물질)-BT(미생물, 바이오 필름)를 이용한 CO ₂ 저장능력 향상 융합기술 개발	100	0
		가스 하이드레이트 형성 원리를 이용한 CO ₂ 분리 및 회수 신 공정 연구	45	0
		가스 하이드레이트 형성법을 이용한 합성가스로부터의 수소 분리 및 이산화탄소 회수 기술개발	51	0
		경제적인 이산화탄소 MOF 포집제 개발	301	0
		고투과선택성 CO ₂ 분리막소재를 위한 기공채널 엔지니어링 기술개발	280	0
		고효율 융합/접합형 신규 광전극 소재 및 환경·에너지 응용 기술 개발	150	0
		고효율 저에너지형 비수계 이산화탄소 흡수제 개발	270	0
		국내 육상 CO ₂ 지중저장 파일럿 저장소 선정 연구	2,250	0
		나노다공성 소재를 이용한 이산화탄소 포집 및 활용 기술 개발	51	0
		나노튜브의 배향을 통한 CO ₂ 분리용 혼합매질 분리막 제조 및 모듈개발	351	0
		농축포집 이산화탄소 카본블랙 전환 플라즈마트론 기술	51	0
		다공성 이중 고리식 고분자형 이산화탄소 분리용 고상 흡수제 개발	429	0
		대전자 CO ₂ 환원 (광)촉매 개발	200	0
		대심도 시추기술을 이용한 경상분지 CO ₂ 지중저장소 지질특성 연구	300	100

연도	부처명	세부과제 명	정부 연구비	민간 매칭
2012	과학기술 정보통신부	대심도 시추기술을 이용한 포항·태백산분지 CO ₂ 지중저장소 지질특성 연구	300	100
		메탄-이산화탄소 하이드레이트 치환 메커니즘을 이용한 이산화탄소 해저 지중 저장 기술 개발	38	0
		분자생물학적 개량을 통한 고효율 이산화탄소고정 미세조류 개발	250	0
		상온, 상압용 이산화탄소 포집을 위한 탄소기반 흡착소재 개발	362	0
		생광물화작용으로 형성된 나노 탄산염 광물의 분자단위 특성연구	200	0
		석면함유 폐기물의 광물탄산화를 이용한 이산화탄소 고정과 폐기물 재활용	60	0
		석탄회를 활용한 이산화탄소의 탄산염광물화에 의한 처분 연구	61	0
		아민화합물을 기반으로 한 저에너지 소비형 비수계 CO ₂ 흡수제 개발	500	0
		에너지 교환형 다단 유동층 CO ₂ 포집기술 개발	700	0
		에너지 집약형 비수계 CO ₂ 포집 공정 기술개발	600	0
		용융탄산염 연료전지를 이용한 고온 이산화탄소 포집 및 저장 기술 개발	60	0
		유무기 복합 아민계 고품질 흡수제 개발	250	0
		이미다졸리움계 이온성 액체에서의 이산화탄소 확산도 측정과 이산화탄소와 이미다졸리움 이온성액체 이성분계의 상거동 측정 및 예측	45	0
		이산화탄소 선택적인 실리카 제올라이트 분리막 제조	256	0
		이산화탄소 저장 공정에서의 대류불안정성 해석	61	0
		이산화탄소 지중저장을 위한 이산화탄소 누출 예측 기술 및 저류층 암반역학 해석 기술 개발	61	0
		이산화탄소 지하저장에 관한 수치 및 실험적 연구	49	0
		이산화탄소 포집 및 저장 설비를 포함하는 석탄가스화 복합발전소의 동특성 및 제어 연구	60	0
		이산화탄소 활성화를 위한 이핵 금속 촉매 촉매 개발	59	0
		이산화탄소 흡착 및 분리를 위한 고성능 유무기 나노 복합체 개발	60	0
		이산화탄소를 이용한 연료와 고부가가치 화학 물질의 제조기술 개발	40	0
		이산화탄소의 알코올로 전환을 위한 고효율 촉매 시스템 개발	130	37
		이성분 나노유체를 이용한 CO ₂ 흡수/분리 성능촉진	500	0
		재활용 가능 녹색소재 합성을 위한 촉매 개발	60	0
		저비용 공유결합유기고분자를 이용한 이산화탄소 포집 및 분리	350	0
		저온 CO ₂ 액화 및 흡착용 다공성 유무기 하이브리드 흡착제 개발	250	0
		저온 CO ₂ 포집용 계층적 다공성, 고기능화된 그래핀 기반 신개념 흡착제 개발	65	0
		중/고온용 Alloy계 신개념 흡수제 개발	312	0
		지중 주입된 이산화탄소의 거동 예측을 위한 통합 수치 모델링 기술 개발	264	0
		친수성 제어된 초박형 마이크로기공성 무기질 이산화탄소 분리막 개발	262	0
		코발트산화물 기반 나노입자에 의한 이산화탄소로부터 메탄의 가시광선 합성	60	0
		탄성파 및 전기전자탐사를 이용한 거동 및 누출 모니터링	67	0
		탄소나노소재 기반 고성능 CO ₂ 흡착제 개발	100	0
탈황/탈수 동시처리용 Smart 흡수제 개발	250	0		

SECTION 별첨

연도	부처명	세부과제 명	정부 연구비	민간 매칭
2012	과학기술 정보통신부	폐콘크리트의 CO ₂ 포집과 탄산염광물의 생성반응에 관한 연구	61	0
		해수기반 전기화학적 이산화탄소전환에 의한 무기탄산의 제조	617	0
		해양 유래 개량 CA 및 PEPCase을 통한 in vitro/vivo 기반 생물전환 시스템 연구	180	0
		해양생물 대상 CA 및 PEPCase screening 및 특성규명을 위한 연구	90	0
		혁신적인 CO ₂ 포집용 금속-유기 골격체 개발	150	0
		효과적인 이산화탄소 포집을 위한 공유결합 유기 고분자 연구	53	0
	과학기술정보통신부 요약		18,489	237
	국토교통부	CO ₂ 해양지중저장 기술개발	3,860	0
		CO ₂ 누출 환경 영향 및 생태위해 통합평가 기술 개발	357	0
		CO ₂ 누출에 대한 물리 생물 통합평가 기술개발	180	0
	국토교통부 요약		4,397	0
	산업통상 자원부	(세부1) 연소전 CO ₂ 포집용 핵심소재 개발	790	790
		(세부2) 연소전 CO ₂ 포집용 유동층 시스템 성능 향상 기술 개발	800	800
		(세부3) 가스화기 연계 CO ₂ 포집 통합공정 구축 운전 및 10MW급 통합공정 설계기술 개발	2,010	2,010
		(총괄) 차세대 석탄발전용 연소전 CO ₂ 포집 핵심기술 개발	100	0
		10 MW 연소후 건식 CO ₂ 포집플랜트 건설 및 운영기술 개발	2,600	2,700
		10MW 연소 후 건식 CO ₂ 포집 기술 개발	75	0
		10MW급 습식아민 CO ₂ 포집설비의 건설 및 운전	4,920	4,986
		10MW급 연소 후 습식 아민 CO ₂ 포집 기술 개발	75	50
		CCS 기술 상용화를 위한 표준인증 성능평가 기술 및 통합평가모듈 개발	2,500	0
		CCS 상용화를 위한 해상 이산화탄소 플랜트용의 20 bar 이상 액화 이산화탄소 loading/unloading 기술 개발	600	200
		CO ₂ 변환·농축·해양저장 기술 개발	500	1,514
		CO ₂ 지중저장 실증을 위한 저장지층 특성화 및 기본설계 기술개발	437	0
		CO ₂ 포집공정 개선 및 발전소 통합기술 개발	700	732
		CO ₂ _EOR 파일럿 테스트(1단계 1000톤)를 통한 CO ₂ 지중저장 연계기술개발	2,000	780
		건식 CO ₂ 흡수제 내구성 향상 및 대량생산 최적화 기술 개발	1,640	1,900
		불가측(Unpredictable) CO ₂ 누출 조기진단 시스템 개발	350	150
		산업부산물을 이용한 CO ₂ 저장 및 자원실용화 기술개발	2,000	0
		석탄연소 발전소용 10 MW 건식흡수제 이용 CO ₂ 포집공정 설계 및 공정 최적화	685	800
		순산소 가스화 반응장에서 CO ₂ 전환 메커니즘 연구	443	0
		습식아민 CO ₂ 포집공정 기본설계기술 개발	325	392
		심지층을 활용한 CO ₂ 지중저장 및 녹색에너지자원 확보기술 개발	6,447	0
		연소전 CO ₂ 회수 IGCC를 위한 35기압 조건에서 99.9% 순도 및 85% 이상 회수율을 보유한 수소 PSA 공정 개발 및 IGCC 연계공정 효율성 평가	261	44
		온실가스 저장 및 활용기술 개발	1,043	0
		온실가스 전환을 통한 자원화 및 고정화 기반구축사업	1,000	0

연도	부처명	세부과제 명	정부 연구비	민간 매칭
2012	산업통상 자원부	이동상 온도압력변동 흡착을 이용한 CO ₂ 회수공정	220	74
		이산화탄소 분리소재 및 포집공정개발	4,175	0
		이산화탄소 함량 30% 이상인 폴리알킬렌카보네이트 제조 및 응용 제품개발	30	0
		이산화탄소기반 폴리알킬렌카보네이트 제조 고효율 촉매 및 생산공정 개발	640	640
		이산화탄소의 전환 공정 개발을 위한 효소 고정화 및 안정화	450	0
		저에너지 소비형 CO ₂ 흡수제 성능향상 및 10 MW 플랜트 운전 최적화	880	880
		저탄소 녹색성장을 위한 초임계 CO ₂ 지중주입 시스템 개발	1,800	388
		저탄소/저공해를 위한 나노촉매 플라즈마 하이브리드 기술개발	1,050	450
		제철산업에서의 이산화탄소 포집 및 재자원화 기술개발	3,800	3,800
		청정발전 연계 분리막을 이용한 연소전 CO ₂ 포집기술 개발	2,300	0
		캐나다 CCS 실증 프로젝트 참여를 통한 이산화탄소 지중저장 실증 기술 개발	700	700
		한-호주 CCS 실증상용화 및 지식활용시스템화 연구개발	120	21
		호주 오토웨이 파일럿 프로젝트 참여를 통한 지중저장 실증 기반구축	1,145	0
	산업통상자원부 요약		49,611	24,801
	중소벤처 기업부	이산화탄소 흡수율을 높이기 위한 증진제의 개발	23	25
		이산화탄소 흡수포집용 아미노기 침착활성탄 개발	141	47
	중소벤처기업부 요약		164	72
환경부	이산화탄소 지중 저장 및 누출에 의한 천부 지하수 시스템의 수리지구화학적 변화 예측 및 평가 기술 개발	190	0	
	환경부 요약		190	0
2013	과학기술 정보통신부	1만톤급 CO ₂ 지중저장 실증 프로젝트 총괄 관리	380	0
		Carbonic Anhydrase 모사 촉매 이용 CO ₂ 무기 자원화 기술 개발	370	0
		CO ₂ 분리 및 전환 원천 기술 개발	3,781	0
		CO ₂ 양생에 따른 시멘트계 제품의 성능 영향 연구	41	0
		CO ₂ 용해도가 향상된 CO ₂ 포집용 중공사 제조 및 모듈 개발	200	0
		CO ₂ 저장량 최적화 및 증대를 위한 다중 스케일 평가기술 개발	280	0
		CO ₂ 지중저장 모니터링 기술 개발 및 현장 적용	535	0
		CO ₂ 지중저장 실증을 위한 저장지층 특성화 및 기본설계 기술개발	3,000	0
		CO ₂ 지중저장환경에서 시멘트에 의한 self healing을 극대화 할 수 있는 밀봉재료의 개발	51	0
		CO ₂ 포집 공정 시뮬레이션 및 공정 최적화	340	0
		CO ₂ 포집 및 고분자 변환을 위한 Core-Shell MOF 나노다공성 촉매 개발	52	0
		CO ₂ 포집공정의 효율 예측을 위한 통합 흡수-재생공정 모델 개발 및 pilot plant의 시스템 최적화	99	0
		CO ₂ 포집용 계층적 구조의 중간 및 거대 기공 입자 소재 기술 개발	200	0
		CO ₂ 포집용 혁신 분리막 공정 개발, 실험 및 이론적인 투과메카니즘	30	0
		CO ₂ 하이드레이트의 관내 열전달 및 압력강하 연구	61	0
		CO ₂ 의 습식 포집을 위한 물리적 흡수제의 개발	40	0

SECTION 별첨

연도	부처명	세부과제 명	정부 연구비	민간 매칭
2013	과학기술 정보통신부	Crosslinked Poly Membranes for CO ₂ Removal Flue Gas	300	0
		First Principles-based Computational Design of Novel High-efficiency Solvents for Carbon Dioxide Cap	150	0
		Highflux고분자 분리막 개발	740	0
		Integrated Microalgae Analysis Platform(iMAP)	200	0
		NT(나노 물질)-BT(미생물, 바이오 필름)를 이용한 CO ₂ 저장능력 향상 융합기술 개발	150	0
		가스 하이드레이트 형성 원리를 이용한 CO ₂ 분리 및 회수 신 공정 연구	45	0
		가스 하이드레이트 형성법을 이용한 합성가스로부터의 수소 분리 및 이산화탄소 회수 기술개발	51	0
		경제적인 이산화탄소 MOF 포집제 개발	301	0
		고온 동시전기분해용 고효율/고선택성 소재기술	1,697	0
		고투과선택성 CO ₂ 분리막소재를 위한 기공채널 엔지니어링 기술개발	640	0
		고효율 저에너지형 비수계 이산화탄소 흡수제 개발	270	0
		고흡수속도를 갖는 유동층 반응용 계층적 구조의 금속산화물기반 고온 CO ₂ 흡수제 개발	250	0
		국내 육상 CO ₂ 지중저장 파일럿 저장소 선정 연구	2,700	0
		기능성 Eutectic Mixture 함유 금속산화물을 이용한 중고온 이산화탄소 포집 기술 개발	48	0
		나노 물질을 이용한 이산화탄소 주입공 환체 시멘트의 차폐성능 보강	47	0
		나노기술을 이용한 신개념 촉진수송 이산화탄소 분리막	320	0
		나노다공성 소재를 이용한 이산화탄소 포집 및 활용 기술 개발	51	0
		나노튜브의 배향을 통한 CO ₂ 분리용 혼합매질 분리막 제조 및 모듈개발	351	0
		농축포집 이산화탄소 카본블랙 전환 플라즈마트론 기술	51	0
		다공성 고분자를 통한 이산화탄소 포집 및 저장	80	0
		다공성 이중 고리식 고분자형 이산화탄소 분리용 고상 흡수제 개발	385	0
		대심도 시추기술을 이용한 경상분지 CO ₂ 지중저장소 지질특성 연구	900	0
		대심도 시추기술을 이용한 포항·태백산분지 CO ₂ 지중저장소 지질특성 연구	600	0
		무격막형 이산화탄소의 전기화학적 연료화	47	0
		미세조류 단일세포 이미징 및 정량화 기법을 적용한 고속 high-throughput screening 기술 개발	150	0
		바이오/세라믹 소재를 이용한 탄소저감 융합기술 개발	196	0
		분자생물학적 개량을 통한 고효율 이산화탄소고정 미세조류 개발	230	0
		산업부산물을 이용한 CO ₂ 저장 및 자원실용화 기술개발	2,000	0
		상온, 상압용 이산화탄소 포집을 위한 탄소기반 흡착소재 개발	350	0
		생광물화작용으로 형성된 나노 탄산염 광물의 분자단위 특성연구	200	0
		생지화학적 기작에 의한 탄산염광물 형성 및 응용성 연구	100	0
		석면함유 폐기물의 광물탄산화를 이용한 이산화탄소 고정과 폐기물 재활용	60	0
		석탄회를 활용한 이산화탄소의 탄산염광물화에 의한 처분 연구	61	0
		순산소 가스화 반응장에서 CO ₂ 전환 메카니즘 연구	459	0
		스피롤리나 플라이텐시스의 이산화탄소 흡착 과정과 지방합성 관련성 연구	43	0

연도	부처명	세부과제 명	정부 연구비	민간 매칭
2013	과학기술 정보통신부	심지층을 활용한 CO ₂ 지중저장 및 녹색에너지자원 확보기술 개발	6,591	0
		아민화합물을 기반으로 한 저에너지 소비형 비수계 CO ₂ 흡수제 개발	500	0
		에너지 교환형 다단 유동층 CO ₂ 포집기술 개발	1,107	0
		에너지 집약형 비수계 CO ₂ 포집 공정 기술개발	980	0
		연소후 이산화탄소 분리막 성능 평가기술개발	300	0
		온실가스 배출이 없는 차세대 발전 시스템의 설계 및 해석	60	0
		온실가스 저감 및 활용기술 개발	1,327	0
		온실가스 전환을 통한 자원화 및 고경화 기반구축사업	1,002	0
		용융탄산염 연료전지를 이용한 고온 이산화탄소 포집 및 저장 기술 개발	51	0
		우량 형질전환 미세조류 발굴을 위한 고효율 나노/마이크로 통합 시스템 구축	230	0
		원자층증착을 이용한 광촉매용 나노 신소재 제조 및 물리화학적 특성 연구	62	0
		유동층 건식흡수공정에 적용 가능한 다공성 금속 산화물계 CO ₂ 흡수제 담지체 개발	200	0
		유무기 복합 아민계 고품 신흡수제 개발	300	0
		이미다졸리움계 이온성 액체에서의 이산화탄소 확산도 측정과 이산화탄소와 이미다졸리움 이온성액체 이성분계의 상거동 측정 및 예측	45	0
		이산화탄소 분리소재 및 포집공정 개발	2,880	0
		이산화탄소 선택적인 실리카 제올라이트 분리막 제조	330	0
		이산화탄소 습식흡수제 포집반응 모사 및 신규 흡수제 설계	140	0
		이산화탄소 저장 공정에서의 대류불안정성 해석	61	0
		이산화탄소 전환을 위한 탄산무수화 효소 모방 자기조립체 개발	50	0
		이산화탄소 젤화	70	0
		이산화탄소 지하저장에 관한 수치 및 실험적 연구	49	0
		이산화탄소 포집 및 화학 변환을 위한 고기능 나노 다공성 공유결합 유기 고분자 개발 연구	192	0
		이산화탄소 환원을 위한 고효율 고체 촉매 개발	50	0
		이산화탄소 활성화를 위한 이핵 금속 착물 촉매 개발	59	0
		이산화탄소로부터 전기화학적 시스템에 적용 가능한 혁신적 탄소 전극 제조	200	0
		이산화탄소를 이용한 연료와 고부가가치 화학 물질의 제조기술 개발	40	0
		이산화탄소의 알콜로 전환을 위한 고효율 촉매 시스템 개발	130	42
		이산화탄소의 탄화수소 연료화를 위한 고효율 하이브리드 나노 광촉매 연구개발	46	0
		이성분 나노유체를 이용한 CO ₂ 흡수/분리 성능촉진	500	0
		저비용 공유결합유기고분자를 이용한 이산화탄소 포집 및 분리	300	0
		저온 CO ₂ 액화 및 흡착용 다공성 유무기 하이브리드 흡착제 개발	350	0
		저온 CO ₂ 포집용 계층적 다공성, 고기능화된 그래핀 기반 신개념 흡착제 개발	65	0
		저탄소 녹색성장을 위한 초임계 CO ₂ 지중주입 시스템 개발	1,550	388
		전자파 플라즈마 토치를 이용한 이산화탄소 분해 및 합성가스 생산	59	0

SECTION 별첨

연도	부처명	세부과제 명	정부 연구비	민간 매칭	
2013	과학기술정보통신부	제지슬러지 소각재를 이용한 이산화탄소 저장기술 개발과 후속 부산물의 총체적 재활용 방안 연구	51	0	
		중/고온용 Alloy계 신개념 흡수제 개발	250	0	
		중력 및 촉지기술을 이용한 거동 및 누출 모니터링	380	0	
		지중 주입된 이산화탄소의 거동 예측을 위한 통합 수치 모델링 기술 개발	260	0	
		청정발전 연계 분리막을 이용한 연소전 CO ₂ 포집기술 개발	2,300	0	
		친수성 제워된 초박형 마이크로기공성 무기질 이산화탄소 분리막 개발	300	0	
		탄성파 및 전기전자탐사를 이용한 거동 및 누출 모니터링	150	0	
		탄소나노소재 기반 고성능 CO ₂ 흡착제 개발	51	0	
		탈황/탈수 동시처리용 Smart 흡수제 개발	310	0	
		태양에너지 전환 금속나노촉매시스템 개발: 생체조효소의 가시광재생과 수소저장	100	0	
		특수 관능기를 보유한 MOF 촉매의 개발과 응용	61	0	
		파형역산 기법을 활용한 4D Seismic 자료처리: CO ₂ 지중저장 및 Reservoir 모니터링	33	0	
		폐콘크리트의 CO ₂ 포집과 탄산염광물의 생성반응에 관한 연구	61	0	
		하이드레이트를 이용한 고효율 CO ₂ 포집 및 활용기술	180	0	
		합성가스 제조를 위한 CO ₂ 저온전기분해 혁신기술 개발	300	0	
		해수기반 전기화학적 이산화탄소전환에 의한 무기탄산의 제조	690	0	
		해양 유래 개량 CA 및 PEPCase를 통한 in vitro/vivo 기반 생물전환 시스템 연구	180	0	
		해양생물 대상 CA 및 PEPCase screening 및 특성규명을 위한 연구	90	0	
		혁신적인 CO ₂ 포집용 금속-유기 골격체 개발	303	0	
	효과적인 이산화탄소 포집을 위한 공유결합 유기 고분자 연구	75	0		
	히드라진 기반 이산화탄소 흡수제 개발	250	0		
	과학기술정보통신부 요약			49,934	429
	산업통상자원부	(세부1) 연소전 CO ₂ 포집용 핵심소재 개발	860	860	
		(세부2) 연소전 CO ₂ 포집용 유동층 시스템 성능 향상 기술 개발	850	850	
		(세부3) 가스화기 연계 CO ₂ 포집 통합공정 구축 운전 및 10MW급 통합공정 설계기술 개발	2,170	2,170	
		(총괄) 차세대 석탄발전용 연소전 CO ₂ 포집 핵심기술 개발	100	0	
		10MW 연소 후 건식 CO ₂ 포집 기술 개발	75	0	
		10MW급 습식아민 CO ₂ 포집설비의 건설 및 운전	1,600	1,601	
		10MW급 연소 후 습식 아민 CO ₂ 포집 기술 개발	75	50	
CCS 기술 상용화를 위한 표준인증 성능평가 기술 및 통합평가모듈 개발		2,700	0		
CO ₂ 수송선 화물탱크/Gas Dome 설계/생산 및 하역시스템 기술개발		1,180	1,180		
CO ₂ 저감 및 플랜트 최적운영을 위한 석탄화력 시뮬레이션 플랫폼 개발		300	100		

연도	부처명	세부과제 명	정부 연구비	민간 매칭	
2013	산업통상 자원부	CO ₂ 포집공정 개선 및 발전소 통합기술 개발	350	494	
		CO ₂ EOR 파일럿 테스트(1단계 1000톤)를 통한 CO ₂ 지중저장 연계기술개발	4,000	1,390	
		건식 CO ₂ 흡수제 내구성 향상 및 대량생산 최적화 기술 개발	1,350	1,350	
		미세조류를 이용한 이산화탄소의 고부가가치 상품전환 공정 실증	1,250	417	
		불가측(Unpredictable) CO ₂ 누출 조기진단 시스템 개발	400	150	
		석탄연소 발전소용 10 MW 건식흡수제 이용 CO ₂ 포집공정 설계 및 공정 최적화	725	750	
		습식아민 CO ₂ 포집공정 기본설계기술 개발	365	396	
		연소전 CO ₂ 회수 IGCC를 위한 35기압 조건에서 99.9% 순도 및 85% 이상 회수율을 보유한 수소 PSA 공정 개발 및 IGCC 연계공정 효율성 평가	261	44	
		이산화탄소 전환 CO기반 초산 제조 실증 시스템 개발	2,500	833	
		이산화탄소의 전환 공정 개발을 위한 효소 고정화 및 안정화	450	0	
		저에너지 소비형 CO ₂ 흡수제 성능향상 및 10 MW 플랜트 운전 최적화	610	620	
		제철산업에서의 이산화탄소 포집 및 재자원화 기술개발	2,700	2,700	
		캐나다 CCS 실증 프로젝트 참여를 통한 이산화탄소 지중저장 실증 기술 개발	566	700	
		포항분지 해상 소규모 CO ₂ 주입실증 프로젝트	5,000	1,700	
	호주 오토웨이 파일럿 프로젝트 참여를 통한 지중저장 실증 기반구축	1,145	0		
	산업통상자원부 요약			31,582	18,356
	해양수산부	CO ₂ 해양지중저장기술개발	5,923	0	
		CO ₂ 누출에 대한 물리 생물 통합평가 기술 개발	160	0	
		국가 CO ₂ 폐기물 저장지도 구축 및 실증부지 선정	3,000	0	
		누출 CO ₂ 환경 영향 및 생태위해 통합평가 기술 개발	385	0	
		누출 CO ₂ 의 해양생물영향평가	200	0	
		동해 복합 해양 순환 모델 구축 및 시뮬레이션	50	0	
		생태계 통합평가 및 조건대 저서생물상 조사	50	0	
		저장후보지 배경생태계 조사	105	0	
	해양수산부 요약			9,873	0
	환경부	이산화탄소 지중 저장 및 누출에 의한 천부 지하수 시스템의 수리지구화학적 변화 예측 및 평가 기술 개발	160	0	
환경부 요약			160	0	
2014	과학기술 정보통신부	CO ₂ 고흡수속도를 얻기 위한 담지체 및 아민 담지 기술 개발	300	0	
		CO ₂ 양생에 따른 시멘트계 제품의 성능 영향 연구	41	0	
		CO ₂ 용해도가 향상된 CO ₂ 포집용 증공사 제조 및 모듈 개발	210	0	
		CO ₂ 육상 파일럿 지중저장 실증을 위한 모니터링 기술 개발 및 현장 실증	880	0	
		CO ₂ 저장량 최적화 및 증대를 위한 다중 스케일 평가기술 개발	160	0	
		CO ₂ 지중저장을 위한 대심도 지질 및 수리특성 평가기술 개발 연구	700	0	

SECTION 별첨

연도	부처명	세부과제 명	정부 연구비	민간 매칭
2014	과학기술 정보통신부	CO ₂ 지중저장을 위한 시추공 완결기술개발 연구	350	0
		CO ₂ 지중저장환경에서 시멘트에 의한 self healing을 극대화 할 수 있는 밀봉재료의 개발	51	0
		CO ₂ 포집 공정 시뮬레이션 및 공정 최적화	590	0
		CO ₂ 포집 및 고분자 변환을 위한 Core-Shell MOF 나노다공성 촉매 개발	52	0
		CO ₂ 포집용 나노탄소 분리막 대면적 모듈 제작 및 실증화 전략	670	0
		CO ₂ 포집용 혁신 분리막 공정 개발: 실험 및 이론적인 투과메카니즘	30	0
		CO ₂ 하이드레이트를 이용한 고효율 냉방 시스템 기술 개발	180	0
		CO ₂ 흡수 촉진용 Carbonic Anhydrase 모사 촉매 개발	300	0
		Host-guest개념 흡수제를 위한 고도 guest 기술 개발	150	0
		NT(나노 물질)-BT(미생물, 바이오 필름)를 이용한 CO ₂ 저장능력 향상 융합기술 개발	100	0
		가스 하이드레이트 형성법을 이용한 합성가스로부터의 수소 분리 및 이산화탄소 회수 기술개발	51	0
		고온전기화학소자용 고변환효율/고선택성 소재 기술 개발	1,920	0
		고유량 CO ₂ 분리용 Thin-Film Composite Membrane의 개발	150	0
		고체 아민 복합체형 이산화탄소 분리용 흡수제 개발	390	0
		고체화학적 이론 연구에 기반한 신규 중고온 흡수제 개발	340	0
		고효율 이산화탄소 포집을 위한 차세대 중공사 흡착제 개발	150	0
		고효율 저에너지형 비수계 이산화탄소 흡수제 개발	270	0
		공정 실증 및 소재 성능평가기반 연구	1,400	0
		국내 육상 CO ₂ 파일럿 저장소 선정 및 특성화	1,800	0
		금속유기 구조체의 합성, 기능화 및 촉매 응용	99	0
		기능성 Eutectic Mixture 함유 금속산화물을 이용한 중고온 이산화탄소 포집 기술 개발	48	0
		나노기술을 이용한 신개념 촉진수송 이산화탄소 분리막	200	0
		나노다공성 소재를 이용한 이산화탄소 포집 및 활용 기술 개발	51	0
		다 전자 전달 나노입자를 이용한 선택적 CO ₂ 전환 전기화학 촉매의 개발	100	0
		다공성 고분자를 통한 이산화탄소 포집 및 저장	60	0
		마이크로중력, 광섬유 및 MEMS 센서를 이용한 이산화탄소 플룸 거동 모니터링	420	0
		무격막형 이산화탄소의 전기화학적 연료화	47	0
		바이오/세라믹 소재를 이용한 탄소저감 융합기술 개발	196	0
		분자생물학적 개량을 통한 고효율 이산화탄소고정 미세조류 개발	250	0
		산업부산물을 이용한 CO ₂ 저감 및 자원실용화 기술개발	2,000	0
석탄회를 활용한 이산화탄소의 탄산염광물화에 의한 처분 연구	61	0		
세미 클러스레이트 슬러리를 이용한 선박 배출 이산화탄소의 포집/저장 및 선박 평형수로의 활용을 위한 핵심 기술 개발	102	0		

연도	부처명	세부과제 명	정부 연구비	민간 매칭
2014	과학기술 정보통신부	순산소 가스화 반응장에서 CO ₂ 전환 메커니즘 연구 (3/3)	547	0
		스피롤리나 플라이텐시스의 이산화탄소 흡착 과정과 지방합성 관련성 연구	43	0
		실리콘/금속 산화물 나노와이어 전극과 분자 촉매를 활용한 2 % 광효율의 이산화탄소 전환용 하이브리드 광	320	0
		심지층을 활용한 CO ₂ 지중저장 및 녹색에너지자원 확보기술 개발	5,800	0
		아민화합물을 기반으로 한 저에너지 소비형 습식 CO ₂ 흡수제 개발	400	0
		에너지 교환형 다단 유동층 CO ₂ 포집기술 개발	700	0
		연소후 이산화탄소 분리막 성능평가 및 포집 공정연구	450	0
		온도 맞춤형 중고온 CO ₂ 흡수제 개발	280	0
		온실가스 배출이 없는 차세대 발전 시스템의 설계 및 해석	60	0
		온실가스 저감 및 활용기술 개발	1,384	0
		온실가스 전환을 통한 자원화 및 고정화 기반구축사업	932	0
		용융탄산염 연료전지를 이용한 고온 이산화탄소 포집 및 저장 기술 개발	51	0
		원자층증착을 이용한 광촉매용 나노 신소재 제조 및 물리화학적 특성 연구	62	0
		유동층 건식흡수공정에 적용 가능한 다공성 금속 산화물계 CO ₂ 흡수제 담지체 개발	200	0
		유무기 복합 아민계 고품 신흡수제 개발	300	0
		이산화탄소 highflux 초박형 무기질 모세관 분리막 기술 개발	400	0
		이산화탄소 동시 포집/전환용 이온성 액체 담지 나노복합체의 개발	96	0
		이산화탄소 선택적인 실리카 제올라이트 분리막 제조	230	0
		이산화탄소 습식 흡수제 포집반응 모사 및 신규 흡수제 설계	150	0
		이산화탄소 자원화를 위한 플라즈마와 촉매의 Hybrid 건식개질 공정 개발	950	0
		이산화탄소 저장 공정에서의 대류불안정성 해석	61	0
		이산화탄소 전환 합성가스 제조를 위한 고효율 고온 전해조 개발	210	552
		이산화탄소 전환을 위한 탄산무수화 효소 모방 자기조립체 개발	51	0
		이산화탄소 젤화	53	0
		이산화탄소 지중저장 모니터링을 위한 인공송신원 전자탐사의 3차원 역산 알고리즘 개발	15	0
		이산화탄소 포집 및 고부가가치 전환기술 개발	2,475	0
		이산화탄소 포집 및 화학 변환을 위한 고기능 나노 다공성 공유결합 유기 고분자 개발 연구	197	0
		이산화탄소 포집능 및 포집속도 향상을 위한 화학적 이해	330	0
		이산화탄소 포집을 위한 차세대 다중스케일 금속-유기물 구조체 시뮬레이션	25	0
		이산화탄소 환원을 위한 고효율 고체 촉매 개발	51	0
		이산화탄소 흡수 공정 후 상온상압조건에서의 이산화탄소 고정 및 재이용방안에 관한 연구	15	0
		이산화탄소로부터 전기화학적 시스템에 적용 가능한 혁신적 탄소 전극 제조	200	0

SECTION 별첨

연도	부처명	세부과제 명	정부 연구비	민간 매칭	
2014	과학기술 정보통신부	이산화탄소를 활용한 친환경 폴리카보네이트 제조 및 단량체 제조 원천기술 개발	500	0	
		이산화탄소의 탄화수소 연료화를 위한 고효율 하이브리드 나노 광촉매 연구개발	46	0	
		이성분 나노유체를 이용한 CO ₂ 흡수/분리 성능촉진	500	0	
		저에너지 소비형 습식흡수 CO ₂ 포집 신공정 기술 개발	900	0	
		저온 CO ₂ 포집용 계층적 다공성, 고기능화된 그래핀 기반 신개념 흡착제 개발	65	0	
		전자파 플라즈마 토치를 이용한 이산화탄소 분해 및 합성가스 생산	59	0	
		제지슬러지 소각재를 이용한 이산화탄소 저장기술 개발과 후속 부산물의 총체적 재활용 방안 연구	51	0	
		탄소나노소재 기반 고성능 CO ₂ 흡착제 개발	51	0	
		특수 관능기를 보유한 MOF 촉매의 개발과 응용	61	0	
		페르코리트의 CO ₂ 포집과 탄산염광물의 생성반응에 관한 연구	61	0	
		폴리에스터 모노머제조를 위한 카복실화 촉매개발	150	0	
		합성가스 제조를 위한 CO ₂ 저온전기분해 혁신기술 개발	320	0	
		해수기반 전기화학적 이산화탄소전환에 의한 무기탄산의 제조	620	0	
		해양 유래 개량 CA 및 PEPCase을 통한 in vitro/vivo 기반 생물전환 시스템 연구	166	0	
		해양생물 대상 CA 및 PEPCase screening 및 특성규명을 위한 연구	87	0	
		혁신적 CO ₂ reductase 개발 및 이를 이용한 전기화학적 BT-NT 융합 개미산 제조 시스템 개발	340	0	
		혁신적인 CO ₂ 포집용 금속-유기 골격체 개발	320	0	
		현장 시험부지를 이용한 CO ₂ 모니터링 및 누출탐지 기술의 현장 적용성 시험 및 평가	1,400	0	
		효과적인 이산화탄소 흡착을 위한 KAIST 다공성 고분자 (KPP) 흡착제 개발	20	0	
	흡수속도가 조절가능한 중고온 CO ₂ 포집용 하이브리드 흡수제 개발	100	0		
	히드라진 기반 이산화탄소 흡수제 개발	300	0		
	과학기술정보통신부 요약			38,022	552
	산업통상 자원부	(세부1) 연소전 CO ₂ 포집용 핵심소재 개발	840	840	
		(세부2) 연소전 CO ₂ 포집용 유동층 시스템 성능 향상 기술 개발	826	826	
		(세부3) 가스화기 연계 CO ₂ 포집 통합공정 구축 운전 및 10MW급 통합공정 설계기술 개발	2,094	2,094	
		(총괄) 차세대 석탄발전용 연소전 CO ₂ 포집 핵심기술 개발	100	0	
		10MW급 연소후 건식 CO ₂ 포집플랜트 운영을 통한 CO ₂ 포집기술 상용패키지 개발	2,340	5,235	
		10MW급 연소후 습식아민 CO ₂ 포집기술 상용 패키지 개발	1,920	7,200	
CCS 기술 상용화를 위한 표준인증 성능평가 기술 및 통합평가모듈 개발		2,700	0		
CO ₂ 수송선 화물탱크/Gas Dome 설계/생산 및 하역시스템 기술개발		1,040	2,033		
CO ₂ 저장 및 플랜트 최적운영을 위한 석탄화력 시뮬레이션 플랫폼 개발		240	200		
CO ₂ _EOR 파일럿 테스트(1단계 1000톤)를 통한 CO ₂ 지중저장 연계기술개발		3,700	2,667		

연도	부처명	세부과제 명	정부 연구비	민간 매칭	
2014	산업통상 자원부	나노바이오촉매 기반 고효율 이산화탄소 전환 및 활용 기술 개발	500	36	
		미세조류를 이용한 이산화탄소의 고부가가치 상품전환 공정 실증	1,300	539	
		불가측(Unpredictable) CO ₂ 누출 조기진단 시스템 개발	400	300	
		이산화탄소 전환 CO기반 초산 제조 실증 시스템 개발	2,000	1,295	
		포집된 CO ₂ 를 활용한 고부가 화학제품 기존 생산공정 혁신기술 개발	1,800	1,475	
		포항분지 해상 소규모 CO ₂ 주입실증 프로젝트	4,000	2,010	
		호주 오프웨이 파일럿 프로젝트 참여를 통한 지중저장 실증 기반구축	1,145	31	
	산업통상자원부 요약			26,945	26,780
	중소벤처 기업부	이산화탄소 가스를 이용한 셀룰로오스 직물의 린넨촉감 가공기술개발	230	153	
		중소벤처기업부 요약			230
	해양수산부	CO ₂ 해양지중저장기술개발	3,685	0	
		국가 CO ₂ 폐기물 저장지도 구축 및 실증부지 선정	2,000	0	
		누출 CO ₂ 의 해양생물 영향평가	240	0	
		누출 위치 주변 이산화탄소 거동 예측기술 개발	100	0	
		해양수산부 요약			6,025
	환경부	CO ₂ 누출의 환경위해성 통합 예측 및 평가	200	0	
		CO ₂ 지중 저장 환경관리 기술 개발	940	0	
		이산화탄소 지중 저장 및 누출에 의한 천부 지하수 시스템의 수리지구화학적 변화 예측 및 평가 기술 개발	170	0	
		지중 수리 특성화 및 저심도 지하수 환경영향 평가, 예측 및 모니터링	260	0	
		토양 및 생태 위해성 평가, 예측 및 모니터링	300	0	
	환경부 요약			1,870	0
2015	과학기술 정보통신부	CO ₂ 고흡수속도를 얻기 위한 담지체 및 아민 담지 기술 개발	500	0	
		CO ₂ 수소화반응에 의한 포름산 및 포름산 유도체 생산시스템 개발	350	0	
		CO ₂ 용해도가 향상된 CO ₂ 포집용 중공사 제조 및 모듈 개발	300	0	
		CO ₂ 육상 파일럿 지중저장 실증을 위한 모니터링 기술 개발 및 현장 실증	675	0	
		CO ₂ 저장량 최적화 및 증대를 위한 다중 스케일 평가기술 개발	200	0	
		CO ₂ 지중저장을 위한 대심도 지질 및 수리특성 평가기술 개발 연구	500	100	
		CO ₂ 지중저장을 위한 시추공 완결기술개발 연구	535	70	
		CO ₂ 지중저장환경에서 시멘트에 의한 self healing을 극대화 할 수 있는 밀봉재료의 개발	51	0	
		CO ₂ 포집 공정 시뮬레이션 및 공정 최적화	700	0	
		CO ₂ 포집용 나노탄소 분리막 대면적 모듈 제작 및 실증	850	0	
		CO ₂ 포집용 분리막/흡수제 하이브리드 기술개발	250	0	
		CO ₂ 포집용 혁신 분리막 공정 개발: 실험 및 이론적인 투과메카니즘	30	0	

SECTION 별첨

연도	부처명	세부과제 명	정부 연구비	민간 매칭
2015	과학기술 정보통신부	CO ₂ 하이드레이트를 이용한 고효율 냉방 시스템 기술 개발	160	0
		CO ₂ 흡수 촉진용 Carbonic Anhydrase 모사 촉매 개발	250	0
		Core@Shell 구조의 다중 기능성 촉매 재료 합성을 통한 이산화탄소의 수소화 전환 반응 연구	52	0
		Host-guest개념 흡수제를 위한 고도 guest 기술 개발	250	0
		NT(나노 물질)-BT(미생물, 바이오 필름)를 이용한 CO ₂ 저장능력 향상 융합기술 개발	150	0
		Stable Ultrathin Film Composite Membranes with High CO ₂ Flux	150	0
		고부가 케미칼 생산을 위한 이산화탄소 변환촉매 개발연구	100	0
		고온전기화학소자용 고변환효율/고선택성 소재 기술 개발	1,601	0
		고체 아민 복합체형 이산화탄소 분리용 흡수제 개발	390	0
		고체화학적 이론 연구에 기반한 신규 중고온 흡수제 개발	250	0
		고효율 이산화탄소 포집을 위한 차세대 중공사 흡착제 개발	250	0
		고효율 저에너지형 비수계 이산화탄소 흡수제 개발	200	0
		공정 실증 및 소재 성능평가기반 연구	1,420	0
		구리계열 전극촉매와 전기화학적 전환반응을 이용한 이산화탄소의 연료화 연구	15	0
		국내 육상 CO ₂ 파이프라인 저장소 선정 및 특성화	1,430	0
		금속-유기 골격체의 단점 극복 및 특정 활용을 위한 고분자/탄소 기반 물질과의 하이브리드 복합체 합성 및 응용	50	0
		금속유기 구조체의 합성, 기능화 및 촉매 응용	99	0
		기능성 Eutectic Mixture 함유 금속산화물을 이용한 중고온 이산화탄소 포집 기술 개발	48	0
		나노기술을 이용한 신개념 촉진수송 이산화탄소 분리막	150	0
		다 전자 전달 나노입자를 이용한 선택적 CO ₂ 전환 전기화학 촉매의 개발	200	0
		다기능성 무기-유기 골격체의 합성 및 응용	51	0
		다층 금속 나노박막에 기반한 이산화탄소의 전기화학적 환원	51	0
		마이크로중력, 광섬유 및 MEMS 센서를 이용한 이산화탄소 흐름 거동 모니터링	300	0
		멤브레인 기반 에너지기술 개발	2,687	0
		무격막형 이산화탄소의 전기화학적 연료화	47	0
		바이오/세라믹 소재를 이용한 탄소저감 융합기술 개발	196	0
		분자생물학적 개량을 통한 고효율 이산화탄소고정 미세조류 개발	250	0
		산업부산물을 이용한 이산화탄소 저장기술의 효율성과 경제성 향상을 위한 연구	50	0
		세미 클러스레이트 슬러리를 이용한 선박 배출 이산화탄소의 포집/저장 및 선박 평형수로의 활용을 위한 핵심 기술 개발	102	0
		스피롤리나 플라이텐시스의 이산화탄소 흡착 과정과 지방합성 관련성 연구	43	0
시멘트 콘크리트 재료를 이용한 CO ₂ 활용 및 저장의 향상	25	0		
실리콘/금속 산화물 나노와이어 전극과 분자 촉매를 활용한 2 % 광효율의 이산화탄소 전환용 하이브리드 광촉매시스템 개발	600	0		

연도	부처명	세부과제 명	정부 연구비	민간 매칭
2015	과학기술 정보통신부	아민화합물을 기반으로 한 저에너지 소비형 습식 CO ₂ 흡수제 개발	400	0
		양이온 유기촉매반응의 이론적 연구: 비대칭 알킬화반응과 CO ₂ 카르보네이션	51	0
		에너지 교환형 다단 유동층 CO ₂ 포집기술 개발	700	0
		연소후 이산화탄소 분리막 포집 파일럿 공정연구	530	0
		온도 맞춤형 중고온 CO ₂ 흡수제 개발	250	0
		온실가스 저감 및 활용기술 개발	1,310	0
		온실가스 전환을 통한 자원화 및 고정화 기반구축사업	963	0
		용융탄산염 연료전지를 이용한 고온 이산화탄소 포집 및 저장 기술 개발	51	0
		유동층 건식흡수공정에 적용 가능한 다공성 금속 산화물계 CO ₂ 흡수제 담지체 개발	500	0
		유무기 복합 아민계 고품 신흡수제 개발	300	0
		융복합형 친환경 에너지 요소기술 개발(1/1)	98	0
		이산화탄소 highflux 초박형 무기질 모세관 분리막 기술 개발	600	0
		이산화탄소 동시 포집/전환용 이온성 액체 담지 나노복합체의 개발	96	0
		이산화탄소 선택적인 실리카 제올라이트 분리막 제조	300	0
		이산화탄소 습식 흡수제 포집반응 모사 및 신규 흡수제 설계	220	0
		이산화탄소 유래 유기 카보네이트 단분자/고분자 제조	150	0
		이산화탄소 전환 합성가스 제조를 위한 고효율 고온 전해조 개발	210	276
		이산화탄소 전환을 위한 탄산무수화 효소 모방 자기조립체 개발	51	0
		이산화탄소 지중 저장 부지 선정 및 성능 평가를 위한 통합 수치 모델링	150	0
		이산화탄소 지중저장 모니터링을 위한 인공송신원 전자탐사의 3차원 역산 알고리즘 개발	15	0
		이산화탄소 포집 및 고부가가치 전환기술 개발	2,722	0
		이산화탄소 포집 및 화학 변환을 위한 고품 나노 다공성 공유결합 유기 고분자 개발 연구	149	0
		이산화탄소 포집을 위한 차세대 다중스케일 금속-유기물 구조체 시뮬레이션	49	0
		이산화탄소 하이플렉스 분리막 및 그 모듈 개발	300	100
		이산화탄소 환원을 위한 고효율 고체 촉매 개발	51	0
		이산화탄소 흡수 공정 후 상온상압조건에서의 이산화탄소 고정 및 재이용방안에 관한 연구	15	0
		이산화탄소로부터 전기화학적 시스템에 적용 가능한 혁신적 탄소 전극 제조	200	0
		이산화탄소를 이용한 메탄올의 효율적 합성법과 그 촉매의 개발	20	0
		이산화탄소를 활용한 친환경 폴리카보네이트 제조 및 단량체 제조 원천기술 개발	300	0
		이산화탄소의 메탄을 전환을 위한 'N-Heterocyclic' 카벤기를 포함한 다공성 유기 고분자 촉매 개발	50	0
		이산화탄소의 탄화수소 연료화를 위한 고효율 하이브리드 나노 광촉매 연구개발	46	0
		저에너지 소비형 습식흡수 CO ₂ 포집 신공정 기술 개발	640	0

SECTION 별첨

연도	부처명	세부과제 명	정부 연구비	민간 매칭	
2015	과학기술 정보통신부	저온 CO ₂ 포집용 계층적 다공성, 고기능화된 그래핀 기반 신개념 흡착제 개발	51	0	
		제지슬러지 소각재를 이용한 이산화탄소 저장기술 개발과 후속 부산물의 총체적 재활용 방안 연구	51	0	
		중/고온용 Alloy계 신개념 흡수제 개발	200	0	
		지중주입된 이산화탄소 거동 및 누출 모니터링 현장적용 기술개발	2,668	0	
		초정정 고효율 연료다변화 및 물재이용이 가능한 미래에너지 생산기술개발 (1/3)	100	0	
		탄산염암 유전예의 이산화탄소 지중저장과 오일 회수증진을 위한 CO ₂ 공법 적용성 평가	51	0	
		탄소나노소재 기반 고성능 CO ₂ 흡착제 개발	51	0	
		폴리에스터 모노머제조를 위한 카복실화 촉매개발	150	0	
		합성가스 제조를 위한 CO ₂ 저온전기분해 혁신기술 개발	320	0	
		해수기반 전기화학적 이산화탄소전환에 의한 무기탄산의 제조	550	0	
		혁신적 CO ₂ reductase 개발 및 이를 이용한 전기화학적 BT-NT 융합 개미산 제조 시스템 개발	500	0	
		혁신적인 CO ₂ 포집용 금속-유기 골격체 개발	360	0	
		황화철 나노광물 표면에서 일어나는 전자이동 반응 기작에 대한 이해	50	0	
		흡착 및 촉매 활용을 위한 다공성 물질 소재 개발(1/2)	106	0	
		히드라진 기반 이산화탄소 흡수제 개발	250	0	
	과학기술정보통신부 요약			33,502	546
	농림축산 식품부	분리막 기술을 이용한 축산시설 CO ₂ 포집 및 시설 하우스 공급 장치 개발과 사업화	280	93	
	농림축산식품부 요약			280	93
	산업통상 자원부	10MW급 연소후 건식 CO ₂ 포집플랜트 운영을 통한 CO ₂ 포집기술 상용패키지 개발	2,900	4,501	
		10MW급 연소후 습식아민 CO ₂ 포집기술 상용 패키지 개발	3,600	6,600	
		CO ₂ 수송선 화물탱크/Gas Dome 설계/생산 및 하역시스템 기술개발	1,492	1,492	
		CO ₂ 를 이용한 RO 막의 스케일 저감 기술 개발	290	150	
		CO ₂ 와 제철슬래그를 활용한 탄산칼슘/중조 동시 제조의 핵심 기술 개발	500	55	
		Floating Production Platform Topside 시스템 및 기자재 개발	5,588	14,135	
		국내 CO ₂ 지중저장 실증을 위한 4D 모니터링과 주입자료의 통합 매칭기술 개발	530	190	
		국내 연소후 건식포집기술 대비 에너지소비량 20% 저감 가능한 포집소재의 상용화기술 개발	500	180	
		나노바이오촉매 기반 고효율 이산화탄소 전환 및 활용 기술 개발	500	43	
미세조류를 이용한 이산화탄소의 고부가가치 상품전환 공정 실증		1,700	602		
발전 배출가스 직접반응을 통한 CO ₂ 포집 및 대량활용 저장기술 개발		1,500	976		
시멘트산업 연계 고순도 PCC 및 액화탄산 생산용 CCU 공정 개발		1,600	800		
이산화탄소 전환 CO기반 초산 제조 실증 시스템 개발	2,000	667			

연도	부처명	세부과제 명	정부 연구비	민간 매칭	
2015	산업통상 자원부	최고효율 70% 이상 및 CO ₂ 회수 90% 이상 달성하기 위한 기술융합형 발전플랜트 엔지니어링 기초기술 개발	100	12	
		포집된 CO ₂ 를 활용한 고부가 화학제품 기존 생산공정 혁신기술 개발	1,800	800	
		포항분지 해상 소규모 CO ₂ 주입실증 프로젝트	4,500	1,630	
		화력발전분야 저비용 CO ₂ 포집 실증기반기술 개발 (금속산화물을 이용한 0.5 MWth CO ₂ 원천분리 가압 연소기술 개발)	1,380	366	
		활동도 계수가 고려된 혼합 흡수제의 이산화탄소 포집공정 설계툴 개발	500	129	
	산업통상자원부 요약			30,980	33,329
	중소벤처 기업부	석탄을 사용한 CO가스 제조를 위한 CO ₂ 전환기술 개발	48	46	
	중소벤처기업부 요약			48	46
	해양수산부	CO ₂ 해양지중저장기술개발	1,329	0	
		CO ₂ 해양지중저장 실용화 관련 법, 정책 및 제도 전략 연구	100	0	
		국가 CO ₂ 폐기물 저장지도 구축 및 실증부지 선정	4,200	0	
		누출 CO ₂ 거동 예측 및 생물영향평가	135	0	
		해양 지중저장 CO ₂ 거동 파악을 위한 지중 정밀특성 및 모니터링 기술/기법 구축	3,165	0	
		해양 지중 CO ₂ 거동 지구물리 모니터링기법 연구	50	0	
		해양 지중 CO ₂ 주입에 따른 지반특성 변화 및 안정성 모델링	50	0	
		해양지중저장을 위한 CO ₂ 수송체계 공정설계 및 안전해석	100	0	
	해양수산부 요약			9,129	0
	환경부	CO ₂ 누출의 환경위해성 통합 예측 및 평가	450	0	
		CO ₂ 지중 저장 환경관리 기술 개발	2,180	0	
		CO ₂ 지중저장 환경관리 법제도 기반 연구	250	0	
		지중 수리 특성화 및 저심도 지하수 환경영향 평가, 예측 및 모니터링	690	0	
		친환경 자연냉매 활용 소형 냉방 실증 시스템 개발	195	67	
		친환경 자연냉매의 개발 및 소형 냉방 시스템 적용	395	133	
		토양 및 생태 위해성 평가, 예측 및 모니터링	750	0	
	환경부 요약			4,910	200
	2016	과학기술 정보통신부	CO ₂ 고흡수속도를 얻기 위한 담지체 및 아민 담지 기술 개발	500	0
			CO ₂ 수소화반응에 의한 포름산 및 포름산 유도체 생산시스템 개발	360	0
용해도가 향상된 CO ₂ 포집용 중공사 제조 및 모듈 개발			200	0	
CO ₂ 육상 파일럿 지중저장 실증을 위한 모니터링 기술 개발 및 현장 실증			1,720	0	
CO ₂ 저장량 최적화 및 증대를 위한 다중 스케일 평가기술 개발			100	0	
CO ₂ 지중저장을 위한 대심도 지질 및 수리특성 평가기술 개발 연구			300	0	
CO ₂ 지중저장을 위한 시추공 완결기술개발 연구			1,950	200	

SECTION 별첨

연도	부처명	세부과제 명	정부 연구비	민간 매칭
2016	과학기술 정보통신부	CO ₂ 포집용 나노탄소 분리막 대면적 모듈 제작 및 실증	780	0
		CO ₂ 포집용 분리막/흡수제 하이브리드 기술개발	270	0
		CO ₂ 하이드레이트를 이용한 고효율 냉방 시스템 기술 개발	160	0
		CO ₂ 흡수 촉진용 Carbonic Anhydrase 모사 촉매 개발	175	0
		Core@Shell 구조의 다중 기능성 촉매 재료 합성을 통한 이산화탄소의 수소화 전환 반응 연구	52	0
		NT(나노 물질)-BT(미생물, 바이오 필름)를 이용한 CO ₂ 저장능력 향상 융합기술 개발	100	0
		Stable Ultrathin Film Composite Membranes with High CO ₂ Flux	150	0
		고부가 케미칼 생산을 위한 이산화탄소 변환촉매 개발연구	100	0
		고체 아민 복합체형 이산화탄소 분리용 흡수제 개발	362	0
		고체화학적 이론 연구에 기반한 신규 중고온 흡수제 개발	150	0
		고효율 저에너지형 비수계 이산화탄소 흡수제 개발	150	0
		공정 실증 및 소재 성능평가기반 연구	1,990	0
		구리계열 전극촉매와 전기화학적 전환반응을 이용한 이산화탄소의 연료화 연구	15	0
		국내 육상 CO ₂ 파일럿 저장소 선정 및 특성화	400	0
		금속-유기 골격체의 단점 극복 및 특징 활용을 위한 고분자/탄소 기반 물질과의 하이브리드 복합체 합성 및 응용	50	0
		나노기술을 이용한 신개념 촉진수송 이산화탄소 분리막	150	0
		다 전자 전달 나노입자를 이용한 선택적 CO ₂ 전환 전기화학 촉매의 개발	200	0
		다층 금속 나노박막에 기반한 이산화탄소의 전기화학적 환원	51	0
		마이크로중력, 광섬유 및 MEMS 센서를 이용한 이산화탄소 플룸 거동 모니터링	300	0
		멤브레인 기반 에너지기술 개발	2,936	0
		분자생물학적 개량을 통한 고효율 이산화탄소 고정 미세조류 개발	240	0
		산업부산물을 이용한 이산화탄소 저장기술의 효율성과 경제성 향상을 위한 연구	50	0
		세미 클러스레이트 슬러리를 이용한 선박 배출 이산화탄소의 포집/저장 및 선박 평형수로의 활용을 위한 핵심 기술 개발	102	0
		시멘트 콘크리트 재료를 이용한 CO ₂ 활용 및 저장의 향상	25	0
		아민화합물을 기반으로 한 저에너지 소비형 습식 CO ₂ 흡수제 개발	360	0
		에너지 교환형 다단 유동층 CO ₂ 포집기술 개발	825	0
		연소후 이산화탄소 분리막 포집 파일럿 공정연구	400	0
		온도 맞춤형 중고온 CO ₂ 흡수제 개발	150	0
		온실가스 저감 및 활용기술 개발	1,261	0
		유동층 건식흡수공정에 적용 가능한 다공성 금속 산화물계 CO ₂ 흡수제 담지체 개발	250	0
		유무기 복합 아민계 고품 신흡수제 개발	250	0
		이산화탄소 highflux 초박형 무기질 모세관 분리막 기술 개발	450	0
이산화탄소 동시 포집/전환용 이온성 액체 담지 나노복합체의 개발	96	0		

연도	부처명	세부과제 명	정부 연구비	민간 매칭	
2016	과학기술 정보통신부	이산화탄소 선택적인 실리카 제올라이트 분리막 제조	180	0	
		이산화탄소 습식 흡수제 포집반응 모사 및 신규 흡수제 설계	100	0	
		이산화탄소 전환 합성가스 제조를 위한 고효율 고온 전해조 개발	210	276	
		이산화탄소 전환을 위한 탄산무수화 효소 모방 자기조립체 개발	50	0	
		이산화탄소 지중 저장 부지 선정 및 성능 평가를 위한 통합 수치 모델링	120	0	
		이산화탄소 지중저장 모니터링을 위한 인공송신원 전자탐사의 3차원 역산 알고리즘 개발	15	0	
		이산화탄소 포집을 위한 차세대 다중스케일 금속-유기물 구조체 시뮬레이션	49	0	
		이산화탄소 하이플렉스 분리막 및 그 모듈 개발	560	187	
		이산화탄소 흡수 공정 후 상온상압조건에서의 이산화탄소 고정 및 재이용방안에 관한 연구	15	0	
		이산화탄소로부터 전기화학적 시스템에 적용 가능한 혁신적 탄소 전극 제조	200	0	
		이산화탄소를 이용한 메탄올의 효율적 합성법과 그 촉매의 개발	23	0	
		이산화탄소를 활용한 친환경 폴리카보네이트 제조 및 단량체 제조 원천기술 개발	300	0	
		이산화탄소의 메탄올 전환을 위한 'N-Heterocyclic' 카벤기를 포함한 다공성 유기 고분자 촉매 개발	45	0	
		저에너지 소비형 습식흡수 CO ₂ 포집 신공정 기술 개발	450	0	
		저온 CO ₂ 포집용 계층적 다공성, 고기능화된 그래핀 기반 신개념 흡착제 개발	51	0	
		지중주입된 이산화탄소 거동 및 누출 모니터링 현장적용 기술개발	2,604	0	
		탄산염암 유전에의 이산화탄소 지중저장과 오일 회수증진을 위한 CO ₂ 공법 적용성 평가	51	0	
		폴리에스터 모노머제조를 위한 카복실화 촉매개발	150	0	
		합성가스 제조를 위한 CO ₂ 저온전기분해 혁신기술 개발	320	0	
		해수기반 전기화학적 이산화탄소전환에 의한 무기탄산의 제조	700	0	
	혁신적 CO ₂ reductase 개발 및 이를 이용한 전기화학적 BT-NT 융합 개미산 제조 시스템 개발	360	0		
	혁신적인 CO ₂ 포집용 금속-유기 골격체 개발	300	0		
	히드라진 기반 이산화탄소 흡수제 개발	150	0		
	과학기술정보통신부 요약			25,134	663
	농림축산 식품부	농림축산식품부 요약	분리막 기술을 이용한 축산시설 CO ₂ 포집 및 시설 하우스 공급 장치 개발과 사업화	280	93
			280	93	
	산업통상 자원부		10MW급 연소후 건식 CO ₂ 포집플랜트 운영을 통한 CO ₂ 포집기술 상용패키지 개발	2,400	4,027
			10MW급 연소후 습식아민 CO ₂ 포집기술 상용 패키지 개발	2,100	3,190
			CO ₂ 와 제철슬래그를 활용한 탄산칼슘/중조 동시 제조의 핵심 기술 개발	450	46
Floating Production Platform Topside 시스템 및 기자재 개발			2,946	12,412	
국내 CO ₂ 지중저장 실증을 위한 4D 모니터링과 주입자료의 통합 매칭기술 개발			560	190	
국내 연소후 건식포집기술 대비 에너지소비량 20% 저감 가능한 포집소재의 상용화기술 개발			500	180	

SECTION 별첨

연도	부처명	세부과제 명	정부 연구비	민간 매칭
2016	산업통상 자원부	나노바이오촉매 기반 고효율 이산화탄소 전환 및 활용 기술 개발	500	43
		미세조류를 이용한 이산화탄소의 고부가가치 상품전환 공정 실증	1,700	598
		발전 배출가스 직접반응을 통한 CO ₂ 포집 및 대량활용 저장기술 개발	1,500	923
		시멘트산업 연계 고순도 PCC 및 액화탄산 생산용 CCU 공정 개발	1,215	450
		이산화탄소 전환 CO기반 초산 제조 실증 시스템 개발	4,000	1,333
		최고효율 70% 이상 및 CO ₂ 회수 90% 이상 달성하기 위한 기술융합형 발전플랜트 엔지니어링 기초기술 개발	100	12
		포집된 CO ₂ 를 활용한 고부가 화학제품 기존 생산공정 혁신기술 개발	1,800	1,000
		화력발전분야 저비용 CO ₂ 포집 실증기반기술 개발 (금속산화물을 이용한 0.5 MWth CO ₂ 원천분리 가압 연소기술 개발)	1,500	386
	산업통상자원부 요약		21,271	24,790
	환경부	CO ₂ 누출의 환경위해성 통합 예측 및 평가	300	0
		CO ₂ 지중 저장 환경관리 기술 개발	1,380	0
		CO ₂ 지중저장 환경관리 법제도 기반 연구	160	0
		지중 수리 특성화 및 저심도 지하수 환경영향 평가, 예측 및 모니터링	530	0
		친환경 자연냉매의 개발 및 소형 냉방 시스템 적용	380	127
		토양 및 생태 위해성 평가, 예측 및 모니터링	530	0
	환경부 요약		3,280	127
	2017	과학기술 정보통신부	2차원 소재 융합형 고감도 가시광선 응답 광촉매 개발 및 탄소자원화 활성 향상 연구	33
CO 및 CH ₄ 회수용 분리막 원천소재 및 분리공정 개발			348	0
CO/CO ₂ 분리를 위한 유무기 복합 다공체 기반 흡착제 및 흡착 분리 공정 개발			78	0
CO ₂ negative 전력 생산을 위한 하이브리드 유동층 공정 개발			38	0
CO ₂ 수소화반응에 의한 포름산 및 포름산 유도체 생산시스템 개발			150	0
CO ₂ 연료 전환 광전극 기초연구			50	0
CO ₂ 연료 전환 메커니즘 In-situ E-TEM 분석연구			38	0
CO ₂ 육상 파일럿 지중저장 실증을 위한 모니터링 기술 개발 및 현장 실증			2,000	0
CO ₂ 저감 촉매 및 에너지 소자 기술 개발			120	0
CO ₂ 전이특성을 고려한 선택적 탄산염 생성 현상 연구			82	0
CO ₂ 전환 대면적 스택화 기술 및 운전 기술 개발			70	0
CO ₂ 전환을 통한 폴리머 플랫폼 제조 및 유기 폐자원 동시 활용 폴리머 소재 제조를 위한 공정 기술 개발			184	0
CO ₂ 지중저장을 위한 대심도 지질 및 수리특성 평가기술 개발 연구			1,440	33
CO ₂ 지중저장을 위한 시추공 완결기술개발 연구			1,900	170
CO ₂ 직접수소화를 통한 액체 탄화수소 연료 제조 촉매 및 공정 개발			387	0
CO ₂ 포집 및 이용/저장을 위한 물리흡수-탄산염광물화 결합 기술 개발	38	0		

연도	부처명	세부과제 명	정부 연구비	민간 매칭
2017	과학기술 정보통신부	CO ₂ 포집용 나노탄소 분리막 대면적 모듈 제작 및 실증	250	0
		CO ₂ 포집용 대용량 분리막/흡수제 하이브리드 시스템 기술개발	250	83
		CO ₂ 흡수물질을 활용한 시멘트계 복합재료 개발 및 CO ₂ 저감량 평가	38	0
		CO ₂ -CH ₄ 수송을 위한 Multi-Fluid 해저 수송 수학적 모델링 기술 개발	18	0
		CO ₂ 와 농축수 동시처리에 의한 탄소광물화 요소기술개발	1,092	0
		CO ₂ 환원 포름산제조 공정개발	400	134
		Cu ₂ O-TiO ₂ -graphene oxide 표면의 인공광합성 프로세스를 이용한 CO ₂ 환원 및 액체연료생산	37	0
		Ga-In-Sn-Al 기반 촉매의 광 및 광전기화학 이산화탄소 에너지 전환 연구	42	0
		LASER 발열 mechanism을 이용한 CO ₂ 포집용 대면적 MOF Film 개발	34	0
		MAB 흡수제 기반 CO ₂ 포집 기술 0.5 MW급 실증	1,800	1,800
		계산화학기법 활용 이산화탄소-바이오알코올 (C2, C3) 동시전환 촉매 탐색	70	0
		계층적 나노다공성 물질을 기반한 이산화탄소의 고부가 가치 물질로 전환 기술 개발	45	0
		고기능성 다공질 중공형 나노소재를 활용한차량 실내의 선택적 이산화탄소 저감 필터 개발	200	67
		고부가 C2+ 화합물 생산을 위한 전기화학적 CO ₂ 전환 촉매 개발	195	0
		고부가 가치 연료 생산을 위한 이산화탄소 변환 기술 난제 발굴	10	0
		고부가가치 탄화수소 연료 생산을 위한 막전극접합체 기반 CO ₂ 전기분해용 전이금속 복합체 전기화학촉매 개발	42	0
		고부가가치 화합물 생산을 위한 미생물 기반 통합적 이산화탄소 전환 공정 개발	400	0
		고성능 이산화탄소 전환 연료 합성 전해조를 위한 프로톤 전도성 세라믹 연료극 개발	42	0
		고해상도 위성 관측 자료와 현지 이산화탄소 플럭스 타워 관측 자료를 기반으로 동아시아 식생의 이산화탄소 흡수량 진단 시스템 개발	37	0
		고효율, 고선택성 균일 유기금속촉매 기반 유기성폐자원 및 CO ₂ 전환 폴리머 플랫폼 제조	80	0
		광전기화학전지를 이용한 이산화탄소 전환 에틸렌 및 에탄올 제조 기술 개발	437	0
		광촉매-바이오촉매 융합 CO ₂ 선택적 전환기술 개발	388	0
		구리계열 전극촉매와 전기화학적 전환반응을 이용한 이산화탄소의 연료화 연구	8	0
		금속산화물 표면 및 벌크 구조 개질을 통한 CO ₂ 전환/분리 소재 성능 극대화 연구	38	0
		나노구조와 편극성 제어를 통한 고선택성 이산화탄소 환원 촉매 개발	125	0
		나노에멀전 흡수제를 이용한 CO ₂ 흡수성능 촉진	300	0
		나노효소촉매를 이용한 이산화탄소로부터 포름산의 연속생산공정 개발	50	0
		다 전자 전달 나노입자를 이용한 선택적 CO ₂ 전환 전기화학 촉매의 개발	120	0
		다전자 CO ₂ 환원 (광)촉매 개발	500	0
		다중산화물을 이용한 이산화탄소포집	42	0
다층 금속 나노박막에 기반한 이산화탄소의 전기화학적 환원	51	0		

SECTION 별첨

연도	부처명	세부과제 명	정부 연구비	민간 매칭
2017	과학기술 정보통신부	대규모 CO ₂ 지중저장 후보지 잠재성 평가	2,570	0
		모세관과 전기이중층에서의 이온 유동 제어를 이용한 전기화학적 이산화탄소 저장 및 변환	200	0
		몬순 기후 특성이 인공호내의 온실가스(메탄과 이산화탄소) 생성 및 방출과 인의 이동에 미치는 영향	50	0
		바이오알코올 (C2, C3) 활용 이산화탄소 동시전환 불균일 촉매기술 개발	340	0
		배가스로부터 이산화탄소 분리막 포집 신공정 개발	400	0
		부생가스와 이산화탄소를 이용한 고부가 화학원료 생산용 Syn-gas 제조기술개발	491	0
		분리막의 자체 공진을 이용한 막 오염 저감 기술 개발	100	0
		분자생물학적 개량을 통한 고효율 이산화탄소고정 미세조류 개발	200	0
		빛 + 이산화탄소 고정, 맞춤형 합성 미생물 제작	41	0
		산업부산물을 이용한 가속광물탄산화 공정의 이산화탄소 포집효율 향상기술	38	0
		상온/상압에서 이산화탄소 흡착특성 및 내수성이 우수한 아민기로 기능화된 실리카 나노구조체 합성	51	0
		선택적 이산화탄소 전환용 복합 산화물 광촉매 개발	170	0
		세일 저류층에서의 CO ₂ 지중저장 및 탄화수소 회수증진 기술 개발	42	0
		수리-역학적 전위 모델과 다목적 최적화 기법의 결합을 통한 이산화탄소 지중 저장 부지에서의 다상유체 유동-응력 해석	39	0
		수소 저장 및 이산화탄소 포집을 위한 스마트 하이브리드 나노복합물질 및 나노다공성 물질의 합성 및 특성 분석	26	0
		습식 CO ₂ 포집 흡수제 성능개선 기술개발	250	0
		신재생 전기 활용 CO ₂ 전환 산화-환원 융합 시스템 개발	145	0
		심층신경망을 이용한 CO ₂ 염대수층 지중저장의 다목적 최적화	38	0
		아민기반 고성능 저온 CO ₂ 고체 흡수제 개발	250	0
		알칼리 산업부산물을 이용한 자원순환형 이산화탄소 저장기술 개발	126	0
		에너지 교환형 유동층 CO ₂ 포집기술 개발	740	250
		연소후 CO ₂ 포집 공정 경제성 평가 및 분리막 CO ₂ 포집 공정 최적 설계	180	0
		온실가스 감축을 위한 혁신적인 친환경 소재 개발	30	0
		온실가스 저감 및 활용기술 개발	1,159	0
		유기금속구조체를 기반으로 한 이산화탄소 전환용 다공성 광촉매 개발	50	0
		유기물 분해반응과 이산화탄소 변환반응을 위한 효율적 플라즈모닉 광촉매 설계	50	0
		유기성 폐자원 활용 및 상온 CO ₂ 전환용 다공성 비균일 촉매 시스템 개발 및 이를 통한 폴리머플랫폼/폴리머 소재 개발	190	0
		이산화탄소 기반 환경오염물질 생성 억제/제어 연구	37	0
		이산화탄소 산화제를 활용한 프로필렌 제조기술 개발	37	0
		이산화탄소 선택적인 실리카 제올라이트 분리막 제조	200	0

연도	부처명	세부과제 명	정부 연구비	민간 매칭
2017	과학기술 정보통신부	이산화탄소 전환 나노와이어 기반 하이브리드 광촉매 개발	280	0
		이산화탄소 전환 대응 하이포아염소산 생산 산화 촉매 개발	97	0
		이산화탄소 전환용 광-바이오촉매시스템: 전자전달물질 및 NADH 대체물질 개발	97	0
		이산화탄소 전환을 위한 탄산무수화 효소 모방 자기조립체 개발	42	0
		이산화탄소 증합을 위한 새로운 촉매 시스템 개발	18	0
		이산화탄소 증합을 위한 새로운 촉매 시스템 개발	39	0
		이산화탄소 포집, 전환 및 저장을 위한 신 공정 경로의 모델링과 전산모사를 통한 경제성과 탄소배출 저감효과 분석	370	0
		이산화탄소 포집용 초박형 제올라이트 모세관 막모듈 벤치규모 실증 연구	250	0
		이산화탄소 포집용 하이플렉스 고분자 증공사형 분리막 및 그 모듈 개발	1,300	867
		이산화탄소 포집-전환-이용기술 개발	2,842	0
		이산화탄소 환원 촉매의 전기화학적 합성법 개발 및 반응 메커니즘의 추론	100	0
		이산화탄소 흡수 공정 후 상온상압조건에서의 이산화탄소 고정 및 재이용방안에 관한 연구	15	0
		이산화탄소/코크오븐가스로부터 고농도 일산화탄소 생산을 위한 탄소침적 및 소결 저항성이 우수한 건식 개질 촉매 개발	85	0
		이산화탄소로부터 경질올레핀을 생산하는 촉매 및 공정기술 개발	194	0
		이산화탄소로부터 전기화학적 시스템에 적용 가능한 혁신적 탄소 전극 제조	180	0
		이산화탄소를 활용한 친환경 폴리카보네이트 제조 및 단량체 제조 원천기술 개발	250	0
		이산화탄소와 메탄 활용 고부가 화학원료 제조용 촉매 개발	75	0
		이산화탄소와 바이오 알코올 (C2, C3) 동시전환용 균일촉매 기술개발	172	0
		이산화탄소와 에폭사이드의 고효율 고리화 첨가반응을 위한 조촉매가 필요없는 금속촉매 및 유기촉매 개발 연구	51	0
		이온 전도성 세라믹 분리막을 이용한 CO ₂ 자원화 및 메탄 변환 coupling 기술 개발	42	0
		자연광합성 모방 유-무기 하이브리드 CO ₂ 전환용 광촉매 개발	97	0
		재료 계층방법을 활용한 CO ₂ 와 SO ₂ 가스 분리 및 정제용 새로운 나노·다공성물질 탐색	42	0
		재조합 시아노박테리아를 이용한 이산화탄소의 아세트산 전환 기술개발	170	0
		저농도, 분산형 CO ₂ 포집용 환경소재 및 시스템 개발	38	0
		저에너지 소비형 비수계 습식 CO ₂ 흡수제 개발 및 실증	510	0
		저온 CO ₂ 포집용 계층적 다공성, 고기능화된 그래핀 기반 신개념 흡착제 개발	51	0
		전기방사 섬유상흡착제를 이용한 선택적 CO ₂ 포집 연구	51	0
		전기화학기반 CCU 융합기술 개발	1,845	0
		전기화학적 CO ₂ 전환 CO 생산 대면적 촉매 기술 개발	50	0
		전기화학적 CO ₂ 전환용 물산화 촉매 개발 및 융합 시스템 개발	80	0
		전이 금속 디칼코겐 이원 화합물을 이용하여 이산화탄소를 합성가스로 변환하는 연속 유동셀 반응기 개발	42	0

SECTION 별첨

연도	부처명	세부과제 명	정부 연구비	민간 매칭	
2017	과학기술 정보통신부	조류 바이오매스를 활용한 CO ₂ 격리 및 지속가능한 바이오 연료/화합물 생산 기술	52	0	
		중온-저온 2단계 CO ₂ 수소화 메탄올합성 촉매반응공정 개발	290	0	
		지중 저장된 초임계 이산화탄소의 열-물리학적 상-변위 및 임계유동 조건 연구: 이론 및 수치 해석	38	0	
		지중저장 이산화탄소의 주입성 개선을 위한 마이크로모델 실험	38	0	
		콜로이드 금속 나노 입자의 미세 구조 제어를 통한 고효율, 고선택성 이산화탄소 전환 전기화학 촉매 개발	117	0	
		탄산염암 유전에서 오일생산 및 CO ₂ 지중저장 증진을 위한 신 CO ₂ -주입공법 기술개발	40	0	
		탄소소재 기반 고성능 CO ₂ 흡착제 개발	51	0	
		태양광 연계 전기화학적 CO ₂ 전환 고부가가치 화합물 합성을 위한 융합 시스템 구현	200	0	
		태양광을 이용한 대기오염물질 분해 및 CO ₂ 부산물 자원화 시스템 개발	70	0	
		페로브스카이트 태양전지를 이용한 친환경 연료 생산용 이산화탄소 직접변환 시스템 개발	100	0	
		포집 이산화탄소의 배관 수송기술에 대한 연구	35	0	
		프로필렌 제조를 위한 이산화탄소 산화제 이용기술 개발	50	0	
		합성 액체연료 생산을 위한 고온 공전해 스택 모듈 원천기술 개발	400	140	
		합성가스 제조를 위한 CO ₂ 저온전기분해 혁신기술 개발	300	0	
		해수기반 전기화학적 이산화탄소전환에 의한 무기탄산의 제조	600	200	
		해저에서 누출된 이산화탄소의 확산예측과 환경영향 평가를 위한 다중규모 해양모델 개발	38	0	
		혁신적 CO ₂ reductase 개발 및 이를 이용한 전기화학적 BT-NT 융합 개미산 제조 시스템 개발	230	0	
		혁신적인 CO ₂ 포집용 금속-유기 골격체 개발	200	0	
		혼합 탄소산화물 (CO ₂ /CO)로부터 숙산산무수물 제조기술 개발	115	0	
		효율적 전산고속대량스크리닝 기반 고성능 이산화탄소 흡착제의 합리적 설계	30	0	
	흡착부과 글리세롤 수증기 개질반응으로부터의 고순도 수소생산을 위한 고온 이산화탄소 흡착제의 개발	15	0		
	과학기술정보통신부 요약			34,811	3,744
	국토교통부		CO ₂ 와 Cl ⁻ 이온 고정 유기계 아민카복실을 사용한 철근콘크리트구조물의 부식제어 보수기술	50	17
			제철슬래그 활용 이산화탄소 영구포집 시멘트 복합체 기술 개발	150	0
			초임계이산화탄소(Supercritical Carbon Dioxide)를 활용한 페콘크리트 및 순환골재의 pH 8.5 이하 중성화 처리기술 개발	200	0
	국토교통부 요약			400	17
	농림축산 식품부		분리막 기술을 이용한 축산시설 CO ₂ 포집 및 시설 하우스 공급 장치 개발과 사업화	280	93
			시설농업용 ICT 융·복합기술기반 CO ₂ 시비 및 에너지통합시스템 개발	300	100

연도	부처명	세부과제 명	정부 연구비	민간 매칭
2017	농림축산식품부	이산화탄소 흡착기능의 바이오매스 발포 식품 포장용기 개발 산업화	280	100
	농림축산식품부 요약		860	293
	다부처	Mineral carbonation and rare earth recovery from industrial/municipal wastes	80	0
		동아연 제련공정 부산물 활용 복합탄산염 생산 실증 연구	0	100
		발전회 활용 친환경 복합소재 및 흡착제 개발 연구	100	0
		부생가스 분리·정제 혼성공정용 흡착제 실증기술 개발	500	0
		부생가스내 CO 분리·정제용 막분리 및 흡착 혼성공정 실증화 기술 개발	780	0
		알루미늄 정련공정 보크사이트 부산물 활용 복합탄산염 생산 실증 연구	0	50
		저농도 CO ₂ 배가스 및 원료 복합 전처리 엔지니어링 실증 연구	400	0
		저농도 CO ₂ 활용 복합탄산염 생산 실증 및 고부가가치/적정 패키지 엔지니어링 실증 연구	970	0
		탄소광물화 적정기술의 해외 기후자금 및 탄소배출권 확보 전략/정책 연구	300	0
	다부처 요약		3,130	150
	산업통상자원부	CCS 통합실증을 위한 중규모 저장연계 연소후 습식 CO ₂ 포집기술 고도화	3,223	2,659
		CCS를 위한 이산화탄소 물성 참조표준 개발	100	22
		CO ₂ 저감 기반의 다기능 전자파 차폐/흡수 복합소재 개발	630	213
		CO ₂ 를 활용한 친환경 알킬렌카보네이트 생산 기술 개발	800	350
		CO ₂ 와 제철슬래그를 활용한 탄산칼슘/중조 동시 제조의 핵심 기술 개발	450	46
		국내 CO ₂ 저중저장 실증을 위한 4D 모니터링과 주입자료의 통합 매칭기술 개발	560	190
		국내 연소후 건식포집기술 대비 에너지소비량 20% 저감 가능한 포집소재의 상용화기술 개발	500	180
		미래 신성장동력 CO ₂ 고부가가치 사업화 플랫폼 구축	1,444	3,600
		발전 배출가스 직접반응을 통한 CO ₂ 포집 및 대량활용 저장기술 개발	1,317	824
		발전회 정제 및 복합무기폐기물의 중금속 안정화를 통한 CO ₂ 고용화 기술 상용화기술개발	1,900	750
		배기가스내 이산화탄소 포집 및 탄소자원화 하이브리드 동시처리 공정 개발	905	308
		부생가스 기반 CO ₂ 저감형 Hybrid 환원제철 증폭 및 개질 기술 개발	2,000	689
		시멘트산업 연계 고순도 PCC 및 액화탄산 생산용 CCU 공정 개발	1,400	840
		신재생에너지와 이산화탄소를 합성개스로 변환하고 난분해성 개스를 분해하는 상압 무전극 고밀도 플라즈마 기술의 사업화 개발	552	315
		에너지효율 7% 개선을 위한 주류공정 고농도 이산화탄소 흡수공정 개발	410	225
		이산화탄소 포집 및 저장기술 인력양성 기초트랙	200	67
		최고효율 70% 이상 및 CO ₂ 회수 90% 이상 달성하기 위한 기술융합형 발전플랜트 엔지니어링 기초기술 개발	84	10
		포집된 CO ₂ 를 활용한 고부가 화학제품 기존 생산공정 혁신기술 개발	1,800	1,000

SECTION 별첨

연도	부처명	세부과제 명	정부 연구비	민간 매칭	
2017	산업통상 자원부	포항분지 중규모 해상 CO ₂ 지중저장 실증 프로젝트	4,800	1,526	
		포항분지 중소규모 CO ₂ 저장 실증 주입정 격상 연구	1,800	414	
		합성가스 중 CO ₂ 포집용 파일릿 공정 개발	800	200	
		화력발전분야 저비용 CO ₂ 포집 실증기반기술 개발 (금속산화물을 이용한 0.5 MWth CO ₂ 원천분리 가압 연소기술 개발)	1,500	432	
		활동도 계수가 고려된 혼합 흡수제의 이산화탄소 포집공정 설계툴 개발	450	129	
	산업통상자원부 요약			27,625	14,989
	중소벤처 기업부	고순도 액화 이산화탄소(LCO ₂) 회수를 위한 바이오메탄 부산물 정제시스템 사업화	93	62	
		초임계 이산화탄소를 이용한 기능성 화장품 식물 추출물 공정개발	5	0	
	중소벤처기업부 요약			98	62
	환경부	CO ₂ 지중 저장 환경관리 기술 개발	1,786	0	
		CO ₂ 지중저장 환경관리 법제도 기반 연구	180	0	
		지중 수리 특성화 및 저심도 지하수 환경영향 평가, 예측 및 모니터링	730	0	
	환경부 요약			2,696	0
	총합계(2012년~2016년)			435,924	150,523

탄소자원화 기술의 연구·개발·실증 활성화

장애요소에 기반한 우리나라 정책 현황 분석 및
정책 방향성 제언



-
- 발행일** | 2019년 08월
- 발행처** | 녹색기술센터
우)04554
서울시 중구 퇴계로 173 남산스퀘어 17층
- 문의처** | 녹색기술센터
☎ • 02-3393-3987
- 인쇄·기획** | (사)아름다운사람들복지회
☎ • 02-6948-9650
- I S B N** | 979-11-86271-66-7



탄소자원화 기술의 연구·개발·실증 활성화

장애요소에 기반한 우리나라 정책 현황 분석 및
정책 방향성 제안

