

이산화탄소 포집·저장·활용기술

김한해·배준희·정지연





Contents

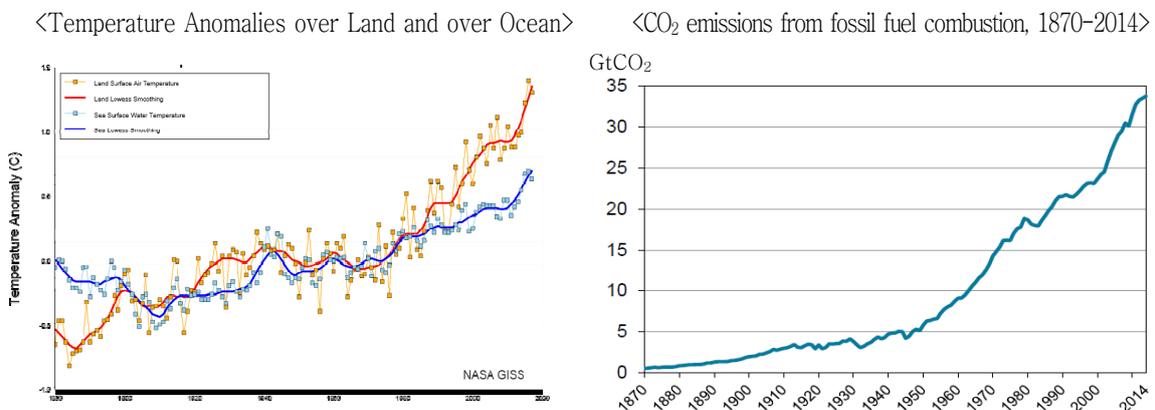
 제1장 개요	1
 제2장 기술동향	4
 제3장 산업동향	12
 제4장 정책동향	16
 제5장 R&D 투자동향	22
 제6장 결론	26



제1장 개요

1.1 배경 및 필요성

- 지구 온난화가 점차 가속화됨에 따라 전 세계적으로 이상기온 발생, 해수면 상승 등의 문제가 발생하고 있음



※ 자료: (左) NASA Goddard Institute for Space Studies
(右) International Energy Agency (2017), CO₂ emissions from fuel combustion
[그림 1] 연도별 세계 지표·해수면 기온이상현상 및 화력발전에 따른 이산화탄소배출량 추이

- 지구 온난화 심화의 주요 원인은 온실가스* 배출량 증가로, 온실가스 중 이산화탄소(CO₂)의 배출 비중이 가장 높게 나타남

* 이산화탄소, 메탄, 프레온 가스 등

- 국제에너지기구(IEA)에 따르면¹⁾ 세계 온실가스의 대부분은 에너지부문에 발생(68%)하고 이중 이산화탄소의 비중(90%)은 메탄가스(9%), 아산화질소(1%)에 비해 매우 높은 수준
- 2016년 전 지구 대기 중의 연평균 이산화탄소 농도는 403.3ppm으로 이는 전년 대비 3.3ppm증가*, 산업화 이전 수준(1750년, 278ppm) 대비 45%나 상승한 수치임
 - * 최근 10년간 연평균 증가량은 2.2ppm 수준이었음
 - 2016년 국내 이산화탄소 연평균 농도는 409.9ppm으로 2015년 대비 2.9ppm 증가함

1) International Energy Agency (2017), CO₂ emissions from fuel combustion.

 2015년 제21차 유엔기후변화협약당사국총회(COP21)에서 지구 온난화 대응을 위한 파리협정(파리기후협약) 체결로 온실가스(이산화탄소) 배출 감축의 필요성이 높아짐

- 당시 온실가스 감축 목표가 적시된 자발적 국가결정기여(Intended Nationally Determined Contribution, INDC)를 기한 내 제출한 147개국(119개 INDC) 가운데 127개국은 배출전망치(Business As Usual, BAU) 등과 같은 정량화된 감축 목표를 제시함
 - 우리나라는 2030년 배출전망치 (8.5억톤) 대비 37% (3.2억톤) 감축목표* 를 제시
 - * 37% 중 25.7%는 국내 배출량에서 감축하고 나머지 11.3%는 국제시장을 통해 감축 계획

 그러나, 현재 산업계 에너지 사용 효율은 최대수준이기 때문에 과도한 이산화탄소 감축은 산업계 경쟁력 약화로 이어질 우려가 있음

- 2017년 美 트럼프대통령은 자국 경제 보호를 이유로 파리협정 탈퇴를 선언함
 - 파리협정 준수로 2025년 일자리 270만개 감소, 2040년 GDP 3조 달러 감소 등의 이유를 제시
- 신재생 에너지 발전 확대, 화력발전 감축 등의 새로운 에너지 정책은 이산화탄소 감축에는 효과적이거나, 신재생 에너지의 경제성이 충분히 담보되지 않음
 - 독일의 경우 신재생에너지 비중 확대 후 산업용 전기요금이 6년 동안 42% 상승함

 따라서, 이산화탄소 배출 감소 노력과 더불어 기술적 대안으로 이산화탄소의 포집 활용 및 저장(Carbon Capture, Utilization and Storage, CCUS)*을 통한 직접적 감축이 요구되고 있는 상황

* 본고에서는 이하 ‘이산화탄소 포집·저장·활용기술’로 표기

- 2017년 국제에너지기구 에너지기술전망 보고서에 제시된 2°C 시나리오(2DS)²⁾에서는 이산화탄소 포집·저장 기술(CCS)이 2060년까지 이산화탄소 누적 배출 감축에 14%정도 기여할 것으로 예측됨³⁾
 - 이산화탄소 감축수단 중 석유화학, 시멘트 등 공정과정에서 배출되는 이산화탄소 감축은 이산화탄소 포집·저장·활용 기술이 유일한 대안임
 - ※ 에너지기술별 온실가스 감축 기여도: 최종 사용자 연료 및 전기효율 향상 40%, 신재생 에너지 35%, CCS 14%, 원자력 에너지 6%, 최종 사용자 연료전환 5%

2) 2050년까지 이산화탄소 배출을 2013년 대비 50% 감축(13Gt)하고 2013년~2050년 누적배출량을 1,000Gt으로 제한하여 2100년까지 세계 평균 기온 상승을 2°C 이하로 억제하는 시나리오

3) International Energy Agency (2017), Energy Technology Perspective 2017.

1.2 기술 정의 및 범위

 이산화탄소 포집·저장·활용기술(Carbon Capture, Utilization & Storage, CCUS)은 산업시설 등에서 발생하는 이산화탄소를 포집하고 이를 지중 등에 저장(Carbon Capture & Storage, CCS)하는 기술과 더불어 이산화탄소를 활용(Carbon Capture & Utilization, CCU)하여 부가가치가 높은 유용 자원 물질로 전환하는 기술까지 포함

〈표 1〉 이산화탄소 포집·저장·활용기술의 정의 및 범위

구분		정의 및 범위
포집	연소 후 포집	○ 연소 공정 후 배출되는 가스에서 이산화탄소를 포집
	연소 전 포집	○ 연료의 연소 전 가스화 혹은 부분산화를 통해 이산화탄소를 포집
	순산소 연소기술	○ 연소 시 고순도 산소를 공급하여 질소산화물 배출을 방지하고 이산화탄소를 포집
저장	지중저장	○ 포집된 이산화탄소를 적절한 심부 암층에 주입하여 저장
	해양저장	○ 포집된 이산화탄소를 해저에 분사하여 저장
활용	생물학적 전환	○ 광합성 등 자연계의 탄소순환 시스템을 이용하여 이산화탄소를 유용한 유기물질로 전환
	화학적 전환	○ 기존 또는 새로운 화학 반응 및 공정기술을 적용하여 이산화탄소를 유용한 화학물질로 전환

제2장 기술동향

2.1 해외 기술동향

2.1.1 미국

☞ 최고 기술국인 미국은 이산화탄소 포집·저장·활용기술에 관련된 기초·원천연구와 산업적용을 위한 대규모 실증 프로젝트를 지속 추진하고 있음

- 이산화탄소 포집·저장·활용기술은 미국 에너지부(Department of Energy, DOE) 화석 에너지국(Office of Fossil Energy)의 중점투자기술에 해당함

☞ 미국은 2009년 국립탄소포집센터(National Carbon Capture Center)를 설립하고 포집비용을 현저히 낮추기 위한 혁신적 기술 등의 개발을 단계적 추진

- 2025년 이산화탄소 1톤당 포집비용 \$40~\$45 수준의 2세대 포집기술⁴⁾, 2035년 이산화탄소 1톤당 포집비용 \$24이하의 변형탄소 포집기술(Carbon Capture Transformational Technology)* 등을 상용화하는 단계별 목표 설정⁵⁾

* 멤브레인 기반 하이브리드 공정, 다공성 금속-유기 골격체 등

☞ 동남 지역 탄소 격리 파트너십(Southeast Regional Carbon Sequestration Partnership, SECARB) 프로젝트는 3단계 과정(2007년부터 10년 간)에서 세계최초로 석탄화력발전⁶⁾에 지중저장기술이 통합된 실증 연구를 추진⁶⁾함

- 2012년 착수한 인위적 실험에서 알라바마 Barry 플랜트(2,657MW 전력생산)에 설치된 연소 후 이산화탄소 포집 시설을 통해 이산화탄소를 포집하고, 이를 인근 지층에 수송·주입하여 매년 100,000~150,000톤의 이산화탄소를 3년간 격리함

4) 건식포집, 습식포집, 분리막 기술 등 포집 세부기술 관점에서의 2세대 기술을 의미

5) Global CCS Institute (2015), The Global Status of CCS: 2015. Australia.

6) 2003년 美 에너지부 산하 국립에너지기술연구소(National Energy Technology Laboratory, NETL) 주도로 착수하여 현재 진행중인 7개 지역 탄소 격리 파트너십 프로젝트(Regional Carbon Sequestration Partnership, RCSP) 중 하나 (SECARB Project, www.secarbon.org)

2017년 세계 최대의 이산화탄소 포집·저장 시설로 주목받는 페트라 노바 (Petra Nova) 프로젝트가 완공⁷⁾되어 텍사스주 휴스턴 근처 석탄화력발전소에서 배출한 이산화탄소의 90%를 포집^{*}하고 포집 된 이산화탄소를 원유회수증진(EOR)⁸⁾에 활용할 예정

* 240MW의 배출가스 스트림에서 포집

로렌스 버클리 국립연구소(Lawrence Berkeley National Laboratory)는 칼텍 대학(Caltech)과 공동연구를 통해 물, 이산화탄소, 태양광으로 가솔린 대체 연료를 제조하는 기술을 개발 중⁹⁾

최근에는 코넬, 듀크 대학 등을 중심으로 조류(Algae)를 이용하여 전기와 유용 물질을 생산하고 이산화탄소는 저감하는 바이오에너지-이산화탄소 포집·저장 기술(Bioenergy with Carbon Capture and Storage, BECCS)에 관한 연구도 추진¹⁰⁾ 중

2.1.2 유럽

신재생에너지 사용이 활발한 유럽 주요국은 이산화탄소 포집·저장 기술 위주의 실증연구를 추진하고 있으며 일부 활용기술은 상용화에 성공함

노르웨이 정부는 이산화탄소 포집·저장기술을 국가전략기술로 지정하고 2012년 몽샤드기술센터(Technology Centre Mongstad, TCM)를 설립, 12MW 규모의 이산화탄소 포집 테스트 설비¹¹⁾를 구축함

- 2014년 몽샤드 기술센터에서는 세계 최초로 천연가스 화력발전 실배가스 환경에서 습식 모노 에탄올아민(Monoethanolamine, MEA) 흡수제를 이용한 대규모 이산화탄소 포집 테스트를 수행¹²⁾함

7) Carbon Capture Journal (2017). "Petra Nova project construction complete." 1월 10일.

8) 원유 채굴 시 유전의 압력이 감소할 경우 물이나 가스를 넣어 압력을 상승시킴으로써 원유회수율을 증진시킬 수 있는데, 지중저장 시 포집된 이산화탄소를 활용하여 원유회수증진이 가능함

9) 최지나 (2015), "이산화탄소 전환(CCU) 기술분야 기술동향보고서".

10) Carbon Capture Journal (2018). "Algae and BECCS to produce food, electricity and reduce CO₂." 4월 13일.

11) 최홍식 (2017). "이산화탄소 포집 기술은 완벽한 신재생에너지 시대로 나아가는 브릿지.", SOLARTODAY 탄소제로, 11월 25일.

- 2016년 노르웨이 수도 오슬로에 세계최초로 폐기물 소각로에 이산화탄소 포집기술을 도입하여 산업 및 가정용 폐기물 연소과정에서 약 2천 톤의 이산화탄소를 포집하는 실증 연구를 성공적으로 수행¹³⁾함

 영국 사우샘프턴대 연구팀은 아이슬란드 수도 레이카비크에 반응 가능한 자연 상태의 암반을 이용, 이산화탄소를 격리시키는 카브픽스 프로젝트(CarbFix Project)¹⁴⁾를 추진하였음

- 아이슬란드 지열발전소에서 발생하는 이산화탄소를 물에 녹여 지하 400~500m 현무암층에 주입함으로써 220톤의 이산화탄소 중 95%를 2년 만에 석회석으로 전환

 영국 캠브리지 탄소 포집(Cambridge Carbon Capture)社は 배기가스 내의 이산화탄소의 탄산염화를 통한 이산화탄소 제거 연구*를 추진 중⁹⁾이며 영국 스코틀랜드 전력社와 글로벌 시멘트 기업 프랑스 라파즈(Lafarge)는 이산화탄소를 활용한 소각재(ash) 기술을 개발⁹⁾

* 고비용의 장치 없이 대규모의 이산화탄소 처리가 가능하며, 에너지 집약적이라는 장점이 존재

 독일의 경우 연방 교육연구부와 민간기업간 공동연구*를 통해 산업 현장에서 배출하는 이산화탄소를 포집하고 화학원료·연료물질로 전환·활용하는 공정기술의 개발 및 상용화에 성공함

* 약 150백만 유로 규모

- 바이엘(Bayer) 자회사인 코베스트로(Covestro)社*는 독일 정부의 지원(1,780억 원)을 바탕으로 2011년부터 이산화탄소 드림 프로덕션(CO₂ Dream Production)을 추진¹⁵⁾

* 舊 Bayer Material Science

- 2013년 파일럿 플랜트를 통해 이산화탄소에서 탄소만을 추출하여 고품질 폴리우레탄폼을 생산하는 기술을 개발하고 2015년부터 침대 매트리스 생산을 통해 상용화¹⁶⁾

12) Carbon Capture Journal (2014). "TCM releases amine CO₂ capture benchmarks." 10월 12일.

13) Alister Doyle (2017). "Oslo's trash incinerator shows promise in climate change test.", REUTERS, 1월 31일.

14) Eli Kintisch (2016). "Underground injections turn carbon dioxide to stone.", Science, 6월 10일.

15) EBN (2013). "바이엘, CO₂ 기반 폴리우레탄 세계 첫 상용화." 8월 5일.

16) 조선일보 (2013). "바이엘 화학 자회사, 이산화탄소로 폴리우레탄폼 만들어 상용화." 8월 5일.

2.1.3 일본, 중국

 일본은 포집기술개발, 저장실증사업을 추진하고 기술개발 성과를 토대로 대규모 해외 실증 프로젝트에도 참여

- 경제산업성 산하 지구환경산업기술연구기구(RITE)를 중심으로 2020년 1톤당 포집비용 1,000엔을 목표로 고압 분리막 포집기술을 개발 중¹⁷⁾이며 도마코마이市 항구 인근 수소생산시설에서 배출된 이산화탄소 포집하여 연 10만 톤 저장하는 기술 실증¹⁸⁾을 추진함
- 미국 페트라 노바 프로젝트에 일본 미쓰비시 중공업社의 습식 포집기술(KS-1흡수제)이 활용됨

 급속한 산업화로 전 세계 이산화탄소 배출량 1위국인 중국 역시 이산화탄소 포집·저장·활용기술 개발을 활발히 추진 중

- 석탄 산업이 발달한 중국 산시성 옌창(Yanchang)縣에 연간 41만 톤의 이산화탄소를 포집하는 시설을 2018년까지 구축하고 140km 떨어진 차오자와유전에 원유회수증진을 도입하는 아시아 최초 상업용 이산화탄소 포집 프로젝트¹⁹⁾를 추진 중
 - 향후 옌창 이외의 7개 지역에 이산화탄소 포집·저장(CCS) 시설을 추가 구축할 계획
- 페트로차이나(PetroChina)社는 중국 북동지역 천연가스 가공처리공장에서 이산화탄소를 포집, 질린(Jilin) 지역 유전에 연간 50만 톤의 이산화탄소를 주입하는 페트로차이나 질린 유전 원유회수증진 프로젝트(PetroChina Jilin Oil Field EOR Project)를 수행²⁰⁾ 중

17) 이흥원 (2014), “이산화탄소(CO₂) 포집 및 장치기술.”, ReSEAT.

18) 양세훈 (2015), “일본, 화력발전 CO₂ 감축에 총력... CCUS, IGFC 추진.”, 에너지경제, 7월1일.

19) 배준호 (2017), “중국, 아시아 최초 상업용 이산화탄소 포집 프로젝트 첫 삽.”, 이투데이, 5월 22일.

20) Carbon Capture & Sequestration Technologies(sequestration.mit.edu/tools/projects/jilin.html), 최종접속: 2018.5.

2.2 국내 기술동향

 이산화탄소 포집·저장·활용기술 선도국인 우리나라는 그간 수립된 기후변화 대응 연구 개발 계획 및 추진전략*을 바탕으로 기초·원천연구를 수행하고 연구 결과를 토대로 다양한 실증연구를 추진하고 있음

* 기술변화 대응 국가연구개발 중장기 마스터플랜(08), CCS추진계획(10), 기후기술 핵심기술개발 전략(14~15) 등

- 기술수준은 세계 최고 기술국인 미국 대비 80.1% 수준²¹⁾으로 평가되고 있으며 일부 원천기술*은 세계적인 우위를 차지하고 있음
 - * 저탄소 고기능성 그린시멘트 (2톤/일) 및 저농도 이산화탄소 이용 친환경 제지(3톤/일) 생산 실증완료(12)
- 과기정통부, 산업부, 해수부, 환경부를 중심으로 2016년 수립된 기후변화대응 기술확보 로드맵(Climature Technology Roadmap, CTR 2016) 탄소저감 및 자원화분야에서 이산화탄소 포집·저장·활용 기술개발을 지원

〈표 2〉 기후변화대응 기술확보 로드맵에 제시된 이산화탄소 기후기술별 세부기술군 요약

분야*	기후기술	세부기술군
탄소 저감	이산화탄소 포집·저장 (CCS) 분야	세계적 수준의 CO ₂ 포집비용 달성
		CO ₂ 수송 및 저장기술
탄소 자원화	이산화탄소 (CO ₂) 전환 분야	수소 이용 액체연료(경유, 메탄올) 생산
		생물 기반 플라스틱 원료 생산
		CO ₂ 플라스틱 및 신소재 생산
		전기화학 기반 화학원료 생산
		태양광 기반 고부가가치 화학원료 생산(인공광합성)
이산화탄소 (CO ₂) 광물화 분야	이산화탄소 (CO ₂) 광물화 분야	CO ₂ 및 산업부산물 활용 시멘트/콘크리트, 친환경 폐지펄프 생산기술
		CO ₂ 및 석회수 활용 나노소재 탄산칼슘 및 자동차용 복합소재 생산기술

※ 자료: 관계부처합동 (2016), 기후변화대응 기술 확보 로드맵 재구성

* (탄소저감) 온실가스 배출 자체를 감축하는 분야,
(탄소자원화) 배출된 온실가스를 연료·화학원료 등으로 재활용하는 분야

21) 한국과학기술기획평가원 (2017), "2016년 기술수준평가." - 해당 보고서는 '이산화탄소 포집·저장·이용기술'로 표기

 2014년 보령·하동화력발전소에서 각각 습식포집²²⁾ 및 건식포집²³⁾을 이용한 이산화탄소 연소 후 포집기술 10MW급 파일럿 실증연구가 추진되었으며 2016년 포항분지 인근에서는 해상지중 소규모 이산화탄소 주입실증이 완료됨

- 국내 최대 규모인 보령 이산화탄소 습식 포집플랜트는 연간 7만 톤 정도의 이산화탄소를 포집할 수 있는 규모*로, 전력연구원이 독자 개발한 습식흡수제(KoSol)를 활용하여 2016년 3,000 시간 장기연속운전에 성공²⁴⁾함

* 180톤/일 이상의 이산화탄소 포집 가능, 포집효율은 90% 이상

- 3년간(2013~2016년) 수행된 포항분지 인근 이산화탄소 해상지중저장 연구*는 포스코 등 포항철강단지에서 배출되는 고로가스에서 포집된 이산화탄소의 소규모 주입을 통해 요소 기술을 실증²⁵⁾함

* 국내 최초, 세계 두 번째로 수행된 해상 주입 실증연구

 2016년 한국이산화탄소포집 및 처리연구개발센터(Korea Carbon Capture & Sequestration R&D Center, KCRC)는 기존 상용 단일 성분 흡수제(모노에탄올아민, MEA) 대비 이산화탄소 흡수용량 및 속도를 약 2배 이상 향상시킨 습식포집기술(Modulated Amine Blend, MAB)을 개발함²⁶⁾

- 30wt% 모노에탄올아민 대비 흡수량과 흡수속도가 각각 2.5배, 1.5배 개선된 새로운 포집기술은 에너지 사용량도 40%이상 절감 가능한 세계 최고수준의 기술로 미국 국립탄소포집센터가 보유한 2000 Nm³/h 규모 설비를 통해 국제 검증을 추진할 계획

 2017년 한국전력과 국내 중소기업 아스트로마는 기술협력을 통해 당진화력 발전소에 세계최대규모의 1 MW급 이산화탄소 분리막²⁷⁾* 실증플랜트를 준공함²⁸⁾

* 배출 가스에서 이산화탄소를 필름형태의 막을 통해 선택적으로 분리하여 포집하는 기술

22) 가스를 액체흡수제와 접촉시켜 액상의 용해도나 화학 반응 성질을 이용하여 가스 중 이산화탄소를 선택적으로 분리·포집

23) 건식 고체흡수제를 이용하여 연소 배가스 중 이산화탄소를 연속 혹은 선택적으로 포집

24) 한국에너지 (2016). “전력연구, 이산화탄소 포집플랜트 3000시간 연속운전.” 10월 7일.

25) 아시아투데이 (2016). “공주대, 포항분지 해상 소규모 CO2 주입공 시추 착수식 개최.” 11월 8일.

26) 연합뉴스 (2016). “최고 효율의 이산화탄소 포집기술 개발…실증 성공.” 12월 12일.

27) 배출 가스에서 이산화탄소를 필름형태의 막을 통해 선택적으로 분리하여 포집

28) 프레시안 (2017), “한전, 세계 최대 규모 이산화탄소 분리막 실증플랜트 준공.” 10월 16일.

- 아스트로마社가 보유한 이산화탄소 분리막 원천기술*을 이용하여 당진화력발전 5호기에서 배출되는 배가스 중 연간 7,000톤의 이산화탄소 분리·포집하는 실증시설을 구축

* 포집율 90%, 농도 97%의 성능과 함께 높은 경제성을 지님

2017년 착수한 탄소자원화 국가전략프로젝트를 통해 이산화탄소 활용기술의 유망 핵심 원천기술 확보 및 既 확보 요소기술의 실증연구를 추진 중²⁹⁾

- 탄소전환 플래그십 실증사업(총 사업비 273억 원, 국비 173억 원)에서는 이산화탄소와 메탄, 수소와 같은 산업 부생가스 간 화학적 또는 생물학적 촉매 반응을 통해 화학원료·연료(메탄올, 올레핀, 경유 등)를 생산하는 기술의 조기 실증*을 수행 중

* 실증단계: 2017년 공정시뮬레이션, 2018~2019년 미니 파일럿 실증, 2020~2022년 파일럿 실증
- 지자체 및 민간기업 협력 하에 광양·여수 산업단지 내 이산화탄소 전환 실증 단지를 구축하고 연간 메탄올 3,000톤 실증생산을 목표로함

- 탄소광물화 플래그십 사업(총 사업비 202억 원, 국비 162억 원)에서는 그린시멘트, 저농도 이산화탄소와 발전회를 활용한 세계최초 폐광산 채움재 생산(복합 탄산염 안정화) 기술 조기 실증* 및 실증사업엔지니어링 패키지 개발을 추진 중

* 실증단계: 2016년 공정시뮬레이션, 2017~2018년 미니 파일럿 실증, 2018~2022년 파일럿 실증
- 연 1,000만 톤의 온실가스 감축을 목표로 저농도 이산화탄소 및 원료 전처리, 복합탄산염생산, 차수성 시멘트 및 폐광산 채움재 생산실증 기술개발과 함께 이산화탄소 환경 모니터링 및 표준화, 탄소 광물화 CDM(Clean Development Mechanism) 방법론 등을 연구

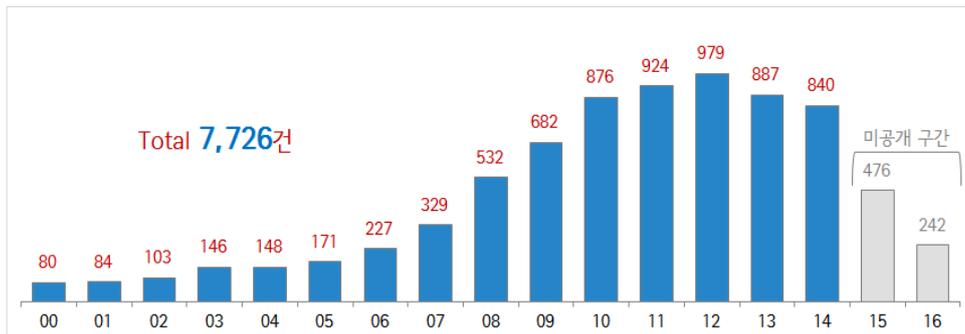
29) 과학기술정보통신부 (2016), 「혁신기술 탄소자원화의 상용화, 탄소자원화 실증 로드맵」.

〈세계 이산화탄소 포집·저장·활용기술 특허 출원 현황〉

☞ 분석 특허시장국: 한국, 미국, 유럽, 일본, 중국

- ❖ 2010~2014년까지 이산화탄소 포집·저장·활용기술 관련 특허 출원이 활발하였으며, 2012년에 979건으로 가장 많은 특허가 출원되었음

※ 특허 절차상 출원 후 공개까지 통상 18개월 정도의 시간이 소요되는 점을 감안하여 2015~2016년도 이후는 미공개 특허의 존재 고려 필요

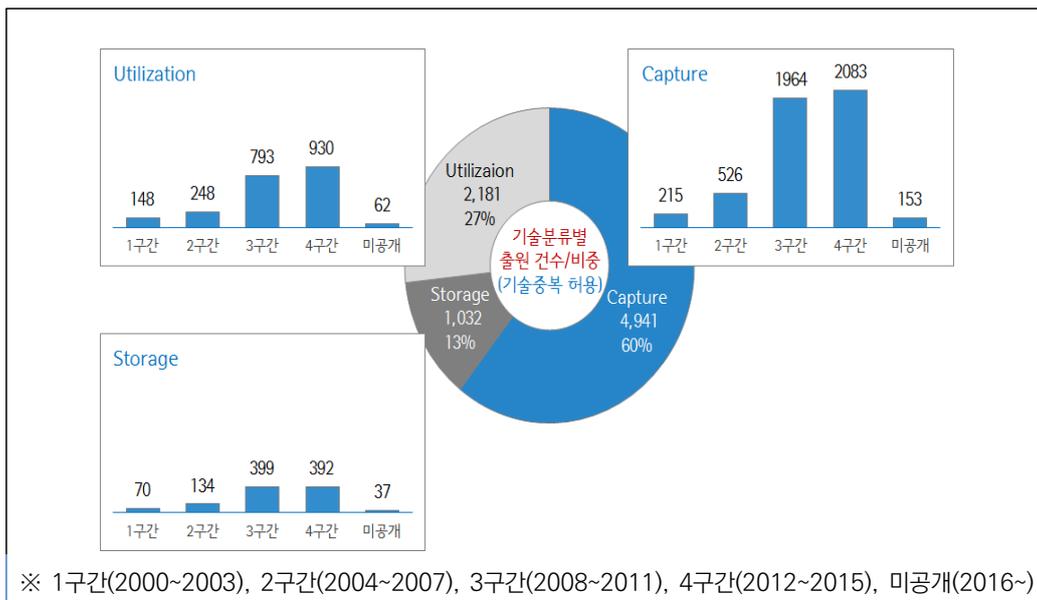


※ 자료: 한국지질자원연구원 기술정책연구실(2017)

[그림 2] CCUS 기술별 특허 동향

- ❖ 기술 분야별로는 포집 분야가 4,941건(60%)으로 가장 많은 특허 출원이 이루어지고 있으며, 이어서 활용과 저장이 각각 2,181건(27%), 1,032건(13%)을 출원하고 있는 것으로 나타남

○ 포집 분야는 2012년, 저장 및 활용 분야는 각각 2010년, 2014년에 특허 출원이 활발



※ 자료: 한국지질자원연구원 기술정책연구실(2017)

[그림 3] CCUS 기술별 특허출원 현황

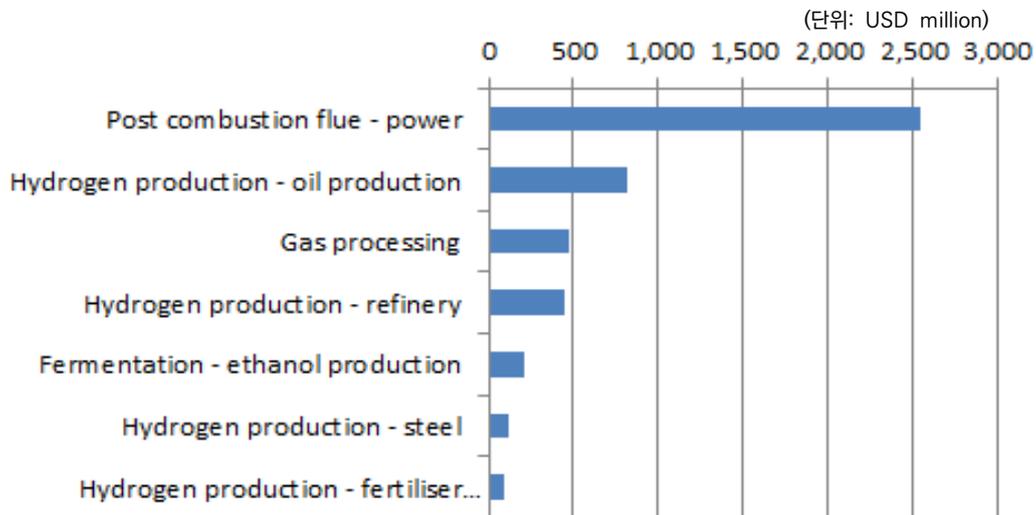
제3장 산업동향

3.1 해외 산업동향

이산화탄소 배출이 높은 발전 및 산업시설을 바탕으로 대규모 실증연구가 많이 수행된 이산화탄소 포집·저장분야의 시장규모가 크고 투자가 많이 이루어짐

- 2016년 이산화탄소 포집·저장 세계시장규모는 22.5억불 수준으로 연평균 10.9%씩 성장하여 2022년경에는 약 42.1억불에 도달할 것으로 전망³⁰⁾
- 국제에너지기구는 이산화탄소 포집·저장 플랜트 수요가 2020년 100개에서 2050년 3,400개로 대폭 확대 될 것으로 예측³¹⁾
 - 미국의 경우 최근 10년간('07~'17) 발전분야에 포집기술 투자를 가장 많이 한 것으로 나타남

〈Investment by capture process and sector 2007–2017〉



※ 자료: International Energy Agency (2018)

[그림 4] 미국 이산화탄소 포집기술 투자분야 및 규모('07-'17)

30) Statistics MRC (2017), Carbon Capture and Storage(CCS) – Global Market Outlook (2016–2022).

31) International Energy Agency (2009), CCS Roadmap.

이산화탄소 포집·저장과정에서 부가가치를 창출하는 이산화탄소-원유회수증진(CO₂-EOR)기술은 산업적 유용성이 높으나 현재 일부 국가에서 주로 활용 중

- 최근 대규모 산업자원에서 포집되는 이산화탄소의 양은 2,900만 톤으로, 이 중 87%가 원유 회수증진에 사용됨³²⁾
- 이산화탄소-원유회수증진 기술은 그동안 다양한 실증연구가 수행되어 비교적 기술성숙도가 높으나 원유생산이 가능한 국가에 유용하며, 현재 대부분 북미지역³²⁾에서 활용되고 있음
 - 미국 페트라 노바 프로젝트의 경우 포집된 이산화탄소가 파이프라인을 통해 82마일 떨어진 웨스트 랜치(West Ranch) 유전으로 수송되어 원유회수증진에 활용되고, 원유회수 증진을 통해 발생한 이익으로 시설 구축에 투입된 자금을 회수할 계획
 - ※ 일일 약 4,000 배럴의 원유를 생산

이산화탄소 활용기술은 관련 시장이 형성되어가는 단계로, 이산화탄소 포집·저장 기술을 대체·보완하거나 새로운 이산화탄소 시장을 창출하는 방향으로 나아갈 것으로 전망됨³³⁾

- 이산화탄소 활용기술은 이산화탄소 포집·저장기술이 지닌 단점을 일부 해소할 수 있고 전환 가능한 물질이 다양하기 때문에 포집·저장과는 구분되는 산업영역으로 확대가 가능함
 - 포집된 이산화탄소의 지층 매립 시 수송 및 저장이 까다롭고, 시설 구축에 높은 비용이 소요될 수 있음
 - 연료, 신소재, 고분자 등 다양한 유용물질별로 이산화탄소를 활용하는 신산업시장이 발굴될 수 있음
- 전 세계적으로 산업계에서 활용기술분야 실증플랜트 기반 연구가 추진³⁴⁾되고 있기 때문에 향후 관련 산업 및 시장도 점차 확대될 것으로 보임
 - EU에서는 독일 발전업체인 RWE社의 이산화탄소 포집 파일럿 플랜트를 활용, 이산화탄소 연료화*를 위한 1,000톤 규모의 실증기술 개발에 착수³⁵⁾함
 - * 청정 수송연료인 메탄올 및 다이메틸에테르(Dimethyl ether, DME)를 생산목적

32) Simon Bennet and Tristan Stanley (2018), "Commentary: US budget bill may help carbon capture get back on track.", IEA, 3월 12일.

33) 한국에너지기술연구원 (2015), 이산화탄소 저감 및 자원화기술: 미국의 CCUS 산업 동향분석, GT심층보고서.

34) Global CCS Institute (2017), The Global Status of CCS: 2017.

35) Carbon Capture Journal (2018). "Capture milestone boosts CO₂-to-fuel research goal." 2월 6일.

- 이산화탄소 촉매기술을 보유한 영국 에코닉 기술(Econic Technologies)사는 이산화탄소 기반 고분자 폴리머 개발을 위해 태국 SCG 케미칼(SCG Chemicals)사 파트너십을 체결³⁶⁾하고 이산화탄소 제품 생산을 위한 투자를 진행 중

3.2 국내 산업동향

 **국내의 경우 학계와 정부출연연구소 중심으로 투자가 이루어지고 있으나 산업계 지원 및 관심이 증대되고 성과도 창출되고 있어 산업의 활성화가 기대됨**

- 국내 중소기업인 아스트로마사는 보유한 이산화탄소 포집용 분리막 원천기술*을 필리핀 마우반시에 적용하기 위해 필리핀 소재 기업과 430억 원 규모의 업무협약³⁷⁾을 마치고 글로벌 시장 진출을 본격화
 - * 세계최대규모인 당진화력발전소 이산화탄소 분리막 실증플랜트에 사용됨
- 학계, 정부출연연구소에서 이산화탄소 전환을 통한 플라스틱, 액체연료 등의 화학원료·소재 생산기술을 지속 개발함에 따라 산업계의 참여가 도래할 것으로 예상
 - 2013년 SK이노베이션은 아주대학교와 공동연구를 수행하여 이산화탄소 고분자 촉매를 활용한 이산화탄소 폴리머 전환 기술개발에 성공³⁸⁾하였으며 최근에는 탄소자원화 국가 전략프로젝트를 통해 민간 기업이 전환기술개발 관련 실증사업에 참여하는 등 산업계의 적극적인 시장 참여가 점차 가시화되고 있음
- 발전, 시멘트 산업과 같이 생산과정에서 온실가스가 많이 배출되는 산업의 경우 탄소자원화관련 산업수요가 높을 것으로 전망
 - 2014년 한일시멘트는 지질자원연구원을 통해 실증화에 성공한 ‘저탄소 고기능성 그린 시멘트’ 사업화에 착수³⁹⁾하고 향후 건축·토목용 특수건설재료 수입대체 효과 및 시장 확대 기대
 - 탄소자원화 국가전략프로젝트(탄소광물화 플래그십 사업) 연구성과물을 토대로 국내 폐광산 지질안정성 확보, 실증플랜트 패키지 기술의 해외기술이전 등의 산업적 수요가 발생할 것으로 예상

36) Carbon Capture Journal (2017), “Econic Technologies partners with SCG Chemicals on polymer manufacture.” 10월 1일.

37) 김덕엽 (2017), “대구 이산화탄소 중소기업 ‘아스트로마’ 세계 진출 교두보 마련해.”, NSP통신, 10월 25일.

38) 유기현 (2014), “이산화탄소를 플라스틱으로 바꾸다! 그린폴.”, 동아사이언스, 11월 19일.

39) 이성기 (2014), “한일시멘트, ‘저탄소 고기능성 그린시멘트’ 사업화 착수.”, 중앙일보, 12월10일.

- 최근 정부는 이산화탄소 포집·저장기술분야 관한 국가표준 개발을 추진하고 이산화탄소 유용 자원 재활용에 관한 시험인증 인프라를 구축하는 등 제도적 측면에서도 이산화탄소 기술의 산업화 기반을 마련 중
 - 국가기술표준원은 한국가스안전공사를 표준개발협력기관으로 지정⁴⁰⁾하고 수요조사를 비롯하여 표준화 계획 수립, 국가표준(KS) 개발 및 운영 등 국가 표준제어에 관한 업무를 추진 중
 - 이산화탄소 포집·저장기술분야에 대한 국가 표준이 정립되지 않은 점을 감안, 산업계 관계자들을 대상으로 표준개발 수요조사를 실시하고 산업표준화 요구 항목 정립 계획
 - 대표적인 건축자재, 토목 관련 제품 시험연구기관인 한국건설생활환경시험연구원(Korea Conformity Laboratories, KCL)은 전라남도 여수시에 이산화탄소의 고부가 물질 전환 기술을 평가하는 ‘이산화탄소 고부가가치 사업화 플랫폼’을 구축 중⁴¹⁾
 - 해당 시험인증 인프라를 통해 이산화탄소 활용기술 및 제품의 통합 시험분석평가를 지원하고 이산화탄소 활용기술분야 공동 연구개발 활성화, 기술지도 및 컨설팅, 전문인력 양성도 지원 방침

40) 조대인 (2018), “가스안전공, CCS분야 표준개발협력기관 지정.”, 투데이에너지, 4월 2일.

41) 이규화 (2018), “KCL, CO₂ 고부가가치사업화 플랫폼 구축.”, 디지털타임즈, 2월 8일.

제4장 정책동향

2015년 제21차 유엔기후변화협약당사국총회(COP21)에서 지구 온난화 대응을 위해 신기후체제(Post-2020)⁴²⁾의 근간이 되는 파리협정이 채택됨

- COP21에서는 지구 평균 기온 상승을 산업혁명 이전 대비 2°C 보다 낮은 수준으로 유지 1.5°C 이하로 제한하는 것에 기여하기로 합의하였으며, 회원국들은 온실가스 감축을 위한 자발적 국가결정기여(Intended Nationally Determined Contribution, INDC)를 제출함
- 또한 국제사회 공동의 장기목표 설정, 모든 국가가 5년마다 국가결정기여(NDC)제출, 다양한 협력을 통한 접근법 및 근거 마련, 기후변화 적응에 대한 각국의 노력 촉구 등의 주요 조항을 포함하고 있음

※ 통상적으로 파리협정 채택 이전에 제출된 목표는 자발적 국가결정기여(INDC), 이후에 제출된 목표는 국가결정기여(NDC)라고 함

〈표 3〉 각 국의 자발적 국가결정기여(INDC)

제출국가	감축목표
EU	2030년까지 1990년 배출량 대비 40% 감축
스위스	2030년까지 1990년 대비 50% 감축
미국	2025년까지 2005년 배출량 대비 26~28% 감축
캐나다	2030년까지 2005년 배출량 대비 30% 감축
멕시코	2030년까지 BAU* 대비 40%(조건부) 또는 25%(무조건) 감축
러시아	2030년까지 1990년 배출량 대비 25~30% 감축
중국	2030년까지 2005년 에너지원단위 대비 60~65% 감축
한국	2030년까지 BAU 대비 37% 감축
일본	2030년까지 2013년 배출량 대비 26% 감축
호주	2005년 배출량 대비 26~28% 감축

* 온실가스 배출 전망치(Business As Usual, BAU): 온실가스 감축을 위한 인위적인 노력을 하지 않을 경우 배출이 예상되는 온실가스의 양

42) 주요 선진국 37개국이 채택한 대표적 기후변화 협정인 교토의정서(COP3, 1997)가 2020년 만료예정

4.1 해외 정책동향

4.1.1 미국

-  2009년, 미국 에너지부(Department of Energy, DOE)에 국립탄소포집센터(NCCC)를 설립하여 발전소에서 배출되는 이산화탄소 포집기술의 실증 및 개발을 목표로 함

 - 2017년까지 CCS 기술의 상용화를 목표로 하여, 10년 이내에 효율적인 CCS 기술 보급 및 5~10개의 CCS 상용화 시범 프로젝트 실행을 계획
-  2013년 오바마 정부는 기후행동계획(Climate Action plan)을 발표하여 에너지 효율 향상, 신재생에너지 활용, 이산화탄소 포집·저장기술개발 등을 통한 온실가스 감축을 목표

 - 2020년까지 온실가스 배출량을 2005년 대비 17%를 감축하는 목표를 제시하였으며, 이에 미국환경보호청(Environmental Protection Agency, EPA)은 신설 발전소를 대상으로 배기가스 규제안을 발표
-  2014년 1월, 대기오염방지법(Clean Air Act)에 기반을 둔 ‘신규 오염원 배출 규제안(New Source Performance Standards, NSPS)’을 발표, 천연가스·석탄화력발전소 이산화탄소 배출량 제한

 - 대규모 천연가스화력 발전소는 1,000 lb CO₂/MWh, 소규모 발전소는 1,100 lb CO₂/MWh 이하로 규제하고 석탄화력발전소 12개월 이상 운영 시 1,100 lb CO₂/MWh, 84개월 이상 운영 시 1,000 lb CO₂/MWh 이하로 규제
-  트럼프 정부 출범 이후 ‘미국 우선 에너지 정책(America First Energy Plan, 2016.5)’을 발표함에 따라 2017년 파리기후변화협정 탈퇴를 선언

 - ‘미국 우선의 에너지 정책’은 ‘기후행동계획(Climate Action Plan)’ 등의 행정명령 폐지, 석탄 산업에 대한 정책적 지원, 중지되었던 북미를 관통하는 키스톤 XL 송유관 사업 재추진, 새로운 채굴 기술(drilling technologies)의 제한 해제를 통한 일자리 창출 등을 주요 내용으로 함
 - 이후 CCS 기술이 적용될 예정이었던 미시시피의 켐퍼카운티 에너지 시설(Kemper County Energy Facility)의 공사 지체로 트럼프 정부는 CCS 기술에 대한 예산을 대폭 삭감하여

2018 회계연도 대통령 예산을 신청하였고, 에너지부는 산하의 화석에너지실(Office of Fossil Energy)을 통해 이산화탄소 포집 기술 개발 연구에의 투자 방안을 발표

- 이산화탄소 포집력을 증가시킬 수 있는 새로운 소재 및 공정의 개발·검증과 탄소 포집 시스템의 성능 개선을 중점적으로 투자할 계획임

4.1.2 유럽

 **(EU)** 2008년, 에너지·기후 문제에 대응함으로써 에너지 안보 증대, 일자리 창출 및 유럽의 경쟁력 강화를 위한 에너지 2020 전략(Energy 2020)을 발표

- 에너지 효율성 제고, 에너지 자유통 보장, 소비자·기업 친화적인 에너지 안보, 기술혁신 촉진, 국제협력 강화 등 5가지 주요 정책을 우선 과제로 제시하여 20-20-20 목표* 수립
 - * 2020년까지 1990년 대비 온실가스 배출량 20% 감축, 에너지효율 20% 향상, 신재생에너지 소비 비중 20% 확대
- 이어 제7차 연구개발 프레임워크계획(7th Framework Programme for Research and Technological, FP7)(2012)에서 청정석탄발전기술(Zero Emission Plant, ZEP) 프로그램의 일환으로 화력발전소의 이산화탄소 배출량 Zero를 목표로 2020년까지 12개 대규모 실증 사업에 60억불을 투자
- 2014년 2030 기후·에너지 정책 프레임워크(A Policy Framework for Climate and Energy in the period from 2020 to 2030)를 통해 2030년의 에너지 정책 방향을 제시
 - 2030년까지 1990년 대비 최소 40% 온실가스 배출 감축 목표 설정 등 온실가스 감축 및 안정적인 에너지 공급, 신재생에너지 관련 투자 안정성 강화, 저탄소기술 개발 촉진을 목표로 함

 **(독일)** 2010년 에너지구상 2010(Energy Concept 2010)을 마련하여 온실가스감축, 신재생에너지의 소비 비중 증대 관련 목표치를 2050년까지 단계적 설정

- 온실가스 배출을 1990년 대비 2020년 40%, 2030년 55%, 2040년 70%, 장기적으로 2050년까지는 80~95%까지 감축하는 목표를 제시
- 2014년 12월, Action Program on Climate Protection 2020을 통해 석탄발전소에 대한 규제방안을 발표, 일정 기준 이상의 온실가스를 배출하는 석탄발전소는 탄소배출권을 구매하도록 함

- 이를 통해 2020년까지 22백만 톤의 이산화탄소를 감축할 수 있을 것으로 추정하였으나 이행이 부진하여 2015년, 2016~2019년 동안 자국 내 총 2.7GW(13%) 규모의 일부 노후된 갈탄화력발전소를 순차적으로 폐쇄, 2023년 최종 폐쇄 예정

(영국) 2008년 제정된 기후변화법(Climate Change Act)에 따라 2050년까지 1990년 대비 온실가스 80% 감축이라는 장기적인 목표 설정

- 에너지·기후변화부(Department of Energy & Climate Change)는 이를 달성하기 위해 법적 구속력을 지닌 제5차 탄소감축목표안(Carbon Budget)을 채택, 2030년까지 1990년 대비 57% 온실가스 감축목표 설정
- 또한 에너지·기후변화부는 신규 발전소는 물론 기존 운영 중인 석탄발전소에도 이산화탄소 포집·저장기술을 적용하여 고효율 석탄 발전소를 운영하는 것을 목표로 함
 - 2015년에는 2023년부터 석탄발전 사용을 제한하고, 2025년까지 이산화탄소 포집·저장 기술 미적용 발전소는 폐쇄하는 계획을 발표

4.1.3 일본

일본은 지역 특성상 내륙 저장공간이 부족하고 인도밀도가 높아 이산화탄소의 해양지중저장에 초점을 두고 이산화탄소 포집·저장기술 사업을 추진

- ‘해양오염 및 해양재해 방지에 관한 법률’을 개정(2007년)하여 관련 이산화탄소 기술사업을 환경부(Ministry of Environment, MOE)에서 관리
 - 환경부의 허가를 받은 경우에만 이산화탄소의 해저저장이 가능하며, 주입기간, 주입량, 누출 시 복구방안, 모니터링, 환경영향평가 등에 관한 사항이 포함된 승인서 제출 및 허가 필요

일본은 2030년까지 2013년 대비 26% 수준으로 온실가스를 감축하는 자발적 국가결정기여를 설정, 2050년까지 80% 감축을 목표로 하고 있음

- 2013년 저탄소 기술 37개에 대한 중장기 분야에 대한 로드맵 설정하여 에너지·환경 분야에서 세계를 선도하기 위한 정책을 수립

‘제4차 에너지기본계획(4th Strategic Energy Plan of Japan)(2014)’에서 이산화탄소 포집·저장기술 상용화를 위한 대규모 실증프로젝트를 지원하고 2020년까지 연간 100만 톤 이상의 이산화탄소 해양지중저장을 목표

- 에너지관련 기술개발 로드맵 구축을 통해 2050년까지 이산화탄소의 저장기술의 대규모 실증 시험을 수행하고 저장 적지 평가 등을 통해 환경정비를 하고자 하였음
- 2015년 에너지·환경 이노베이션 전략(NESTI 2050)을 통해 CCU를 포함한 8대 분야에 대한 투자 강화 계획을 발표

4.1.4 중국

 중국의 경우 산업화를 바탕으로 한 급격한 경제성장으로 인해 2012년 기준 이산화탄소 배출량은 107억 톤* 수준으로 중국에서 발생하는 온실가스는 대부분 석탄 연소에 기인

* 1990년 대비 232%, 2005년도 대비 53% 증가

- 세계 1위 온실가스 배출국으로, GDP 단위당 2030년까지 2005년 대비 60~65% 자발적 국가결정기여 목표
-  2014년 탈(脫) 석탄에 초점을 둔 에너지 발전전략 행동계획(2014~2020년)을 통해 미래 저탄소발전 로드맵을 포함하는 기후변화대응 전략을 발표하고 세부 계획 수립
 - 에너지믹스 중 석탄 소비 비중을 감소시키고 노후 발전설비 개선 등을 통해 석탄발전량을 천연가스, 신재생에너지 등으로 대체하고 석유, 천연가스 등 청정화석에너지 및 비화석에너지 비중 확대 계획
 - 이를 기반으로 에너지발전 13.5 계획(2016)(2016~2020)을 수립하여 석탄의존도를 축소하고 에너지 효율을 제고하고자 함
 - 2020년까지 1차 에너지 소비에서 석탄의존도를 58% 이하로 감축, 청정에너지 비중을 15% 확대하여 화력발전소의 이산화탄소 및 질산화합물 연간 배출량을 50% 이상 감축 노력

4.2 국내 정책동향

2010년 범부처 국가CCS 종합추진계획을 수립하며 이산화탄소 포집·저장기술 강국 도약 모색

- 이산화탄소 포집·저장기술 비용 저감을 위한 원천기술개발 투자를 강화하여 100만 톤급 포집·수송·저장 실증 완료, 인력양성, 법·제도 정비를 통한 상용화 기반구축 등을 통해 국제 기술 경쟁력을 확보하고자 하며, 동 계획은 2020년을 목표로 하고 있음
- 2014년 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 로드맵(2014.1)을 발표, 배출권 거래제·연료대체·폐열회수에 대한 방안을 수립하였으며, 제2차 녹색성장 5개년 계획(2014.6)을 발표하여 효율적인 온실가스 감축, 기후변화 적응역량강화 등 10대 정책방향을 수립, 저탄소 녹색성장을 위한 추진 전략을 제시하였음

기후변화대응 핵심기술 개발전략(2014.7)을 수립하여 기후변화대응 기술의 경쟁력 확보를 위해 6대 핵심기술*을 선정, 추진전략을 제시

* ① 태양전지, ② 연료전지, ③ 바이오에너지, ④ 이차전지, ⑤ 신재생에너지 융복합 생산·관리시스템, ⑥ 이산화탄소 포집·처리 장치

- 2020년까지 6대 핵심기술에 대한 투자 비중을 기후변화대응기술 전 분야에 대한 투자 규모의 50% 이상으로 확대하겠다고 발표

※ 기후변화대응기술: '12년 2.2조원 → '20년 4.0조원, 6대 핵심기술: '12년 0.77조원 → '20년 2.0조원

2015년 에너지 신산업 활성화 및 핵심기술 개발전략 이행계획을 통해 태양전지, 연료전지, 바이오에너지, 이차전지, 전력 IT, 이산화탄소 포집·저장 등 대응 기술개발분야 및 전략방안을 제시하고 2016년에는 기후변화 대응 기술 확보 로드맵(CTR)을 수립

- 탄소저감, 탄소자원화, 기후변화적응 등 3대 부문의 10대 기후기술*에 대한 관리를 통해 기후변화대응기술의 체계적인 확보 및 활용을 지원, 기후변화대응 역량을 강화하고자 하였음

* ① 태양전지, ② 연료전지, ③ 바이오연료, ④ 이차전지, ⑤ 전력IT, ⑥ CCS, ⑦ 부생가스 전환, ⑧ CO₂ 전환, ⑨ CO₂ 광물화, ⑩ 공통플랫폼

제5장 R&D 투자동향

5.1 해외 R&D 투자동향

미국은 최근 2년간('17~'18) 연도별로 이산화탄소 포집분야에 약 1억 1백만 달러, 저장분야에 9천 5백만 달러 수준으로 투자함⁴³⁾

- 에너지부는 산하의 화석에너지실(Office of Fossil Energy)을 통해 이산화탄소 포집 기술 개발 연구에의 투자 방안을 발표, 이산화탄소 포집력을 증가시킬 수 있는 새로운 소재 및 공정의 개발·검증과 탄소 포집 시스템의 성능 개선을 중점적으로 투자할 계획임
 - 화력발전시스템과 이산화탄소 포집 기술의 연계를 통해 효율 향상을 목표로 하는 에너지 시스템 부분에 대해서도 매년 약 1억 5백만 달러를 투자

EU는 제7차 연구개발 프레임워크계획에서 이산화탄소 포집·저장기술 상용화를 위한 대규모 실증사업에 2020년까지 60억불을 지원

- 이산화탄소 포집·저장기술(CCS) 투자가 활발한 노르웨이는 2016년 기준 CCS R&D 및 대규모 실증분야에 약 6천4백만 달러*를 투자⁴⁴⁾

* 전체 청정에너지 R&D 투자 규모의 36% 수준

5.2 국내 R&D 투자동향

2016년도 기준 이산화탄소 포집·저장·활용 기술에 대한 정부 R&D 투자규모는 298억 원 수준⁴⁵⁾임

- 과기정통부와 산업부의 투자 규모가 정부 총 투자규모의 95.7% 수준으로 나타남

43) Office of Chief Financial Officer (2018), 「Department of Energy FY 2019 Congressional Budget Request」.

44) 자료: 한국이산화탄소포집 및 처리연구개발센터(KCRC)

45) 국가연구개발사업 조사·분석 통계(NTIS)(2014년~2016년)를 기준으로 이산화탄소 포집·저장·활용 기술에 대한 정부 R&D 투자 추이를 분석

- 해수부의 경우 이산화탄소 해양지중저장 상용화 기반마련을 위한 ‘해양CCS기술개발사업’ 지원이 2015년 종료되며 2016년 예산공백이 발생함
- 온실가스 저감을 위한 투자 중 이산화탄소 외 온실가스를 대상으로 한 R&D 투자 규모가 확대되었으며, 환경부에서 주로 해당 부분을 수행한 것으로 파악되어 이산화탄소에 대한 투자 규모는 축소됨

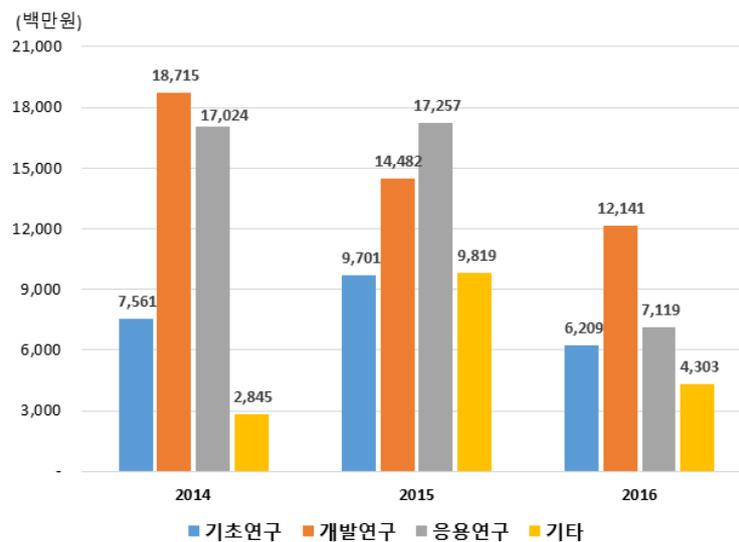
〈표 4〉 CCUS 분야 부처별 투자규모('14~'16)

(백만원, %)

부처	'14년 예산	'15년 예산	'16년 예산	연평균 증가율
교육부	183	133	322	△32.6
국토교통부	-	-	18	-
과학기술정보통신부	17,361	19,019	14,801	△7.7
산림청	8	8	-	△100.0
산업통상자원부	18,419	19,663	13,679	△13.8
중소벤처기업부	-	494	257	-
해양수산부	8,587	9,368	238	△83.4
환경부	1,587	2,577	457	△46.3
합계	46,144	51,260	29,772	△19.7

2016년 이산화탄소 포집·저장·활용 기술 관련 과제 중 개발연구의 투자 규모는 121억 원으로 40.8%를 차지

- 다음으로 응용연구 71억 원(23.9%), 기초연구 62억 원(20.9%) 순으로 지원



[그림 5] CCUS 분야 연구단계별 투자비중('14~'16)

이산화탄소 포집·저장·활용 기술별로는 포집, 활용, 저장 순으로 투자되었으며 (2016년 기준), 저장기술에 대한 투자는 3년간('14~'16) 연평균 46.3% 감소

〈표 5〉 CCUS 분야 기술별 투자규모('14~'16)

(백만원, %)

부처	'14년 예산	'15년 예산	'16년 예산	연평균 증가율
CO ₂ 포집기술	10,430	11,263	13,083	12.0
CO ₂ 저장기술	16,755	20,077	4,830	△46.3
CO ₂ 활용기술	13,380	13,930	9,024	△17.9
기타	5,580	5,991	2,835	△28.7
합계	46,144	51,260	29,772	△19.7

- 2016년 기준, 포집·저장분야는 과기정통부가 각 66억 원(50.5%), 38억 원(79.4%), 활용분야는 산업부가 56억 원(62.5%)으로 가장 많이 투자하였음

〈표 6〉 CCUS 분야 기술별 부처별 투자규모('16)

(백만원, %)

구분	포집		저장		활용		기타	
	금액	비중	금액	비중	금액	비중	금액	비중
교육부	102	0.8	104	2.2	116	1.3	-	-
국토교통부	18	0.1	-	-	-	-	-	-
과학기술정보통신부	6,613	50.5	3,834	79.4	3,011	33.4	1,343	47.4
산업통상자원부	6,350	48.5	892	18.5	5,640	62.5	797	28.1
중소벤처기업부	-	-	-	-	257	2.8	-	-
해양수산부	-	-	-	-	-	-	238	8.4
환경부	-	-	-	-	-	-	457	16.1
합계	13,083	100.0	4,830	100.0	9,024	100.0	2,835	100.0

- 수행 주체별로는 출연연을 중심으로 CCUS 분야 정부 R&D를 수행하고 있으며, 포집 분야는 출연연(66억 원, 50.4%), 대기업(47억 원, 35.5%), 대학(16억 원, 12.0%) 순으로 수행하였으며, 저장 분야는 출연연이 대부분을 수행하였음(41억 원, 85.3%)
 - 활용분야는 비교적 다양한 주체가 수행하고 있었으며 국공립연구소의 경우 온실가스 정책연구를 수행하였음

〈표 7〉 CCUS 분야 기술별 수행주체별 투자규모('16)

(백만원, %)

구분	포집		저장		활용		기타	
		비중		비중		비중		비중
국공립연구소	-	-	-	-	-	-	257	9.1
출연연구소	6,588	50.4	4,119	85.3	1,772	19.6	218	7.7
대학	1,566	12.0	711	14.7	1,375	15.2	328	11.6
대기업	4,650	35.5	-	-	1,845	20.4	150	5.3
중견기업	-	-	-	-	2,465	27.3	-	-
중소기업	280	2.1	-	-	927	10.3	368	13.0
기타	-	-	-	-	640	7.1	1,514	53.4
합계	13,083	100.0	4,830	100.0	9,024	100.0	2,835	100.0

제6장 결론

6.1 요약 및 정리

☒ 온실가스 증가로 인한 지구 온난화가 심화됨에 따라 이산화탄소 감축의 기술적 대안으로 이산화탄소 포집·저장·활용기술이 주목

- 다양한 이산화탄소 감축수단 중 석유화학, 시멘트 등 공정과정에서 배출되는 이산화탄소 감축은 이산화탄소 포집·저장·활용기술이 유일한 대안임

☒ 이산화탄소 활용기술보다는 포집·저장기술 위주의 기술개발 및 산업적 수요가 높음

- 산업계에서 활용기술분야 실증플랜트 기반 연구가 추진되고 있어 활용기술 관련 산업 및 시장도 점차 확대될 것으로 보임

☒ 우리나라는 이산화탄소 포집·저장·활용기술 선도국으로, 학계와 정부출연연구소 중심의 기술개발이 이루어지고 있으며, 산업계 지원 및 관심 증대, 유의미한 성과 등이 창출되고 있음

- 그간 수립된 기후변화 대응 연구개발 계획 및 추진전략을 바탕으로 과기정통부, 산업부가 중심이 되어 연구개발을 지원하고 있으며 일부 이산화탄소 포집 및 활용기술은 세계적인 기술력을 보유

6.2 정책제언

☒ 2010년 범부처 국가CCS 종합추진계획의 종료시점이 다가옴에 따라 계획의 이행여부를 점검하고 향후 추진 방향성을 모색할 필요

- 동 분야는 원천기술개발 및 산업화를 위한 실증연계, 이산화탄소 저장공간 심층탐색 등의 측면에서 관계부처 간 조율을 통한 다부처 협업이 필수적으로 요구됨
 - 2010년 범부처 국가CCS 종합추진계획에서는 2020년 100만 톤급 포집·수송·저장 실증 완료 목표를 제시하였으나 부처 간 유기적인 협력을 통한 관련 사업의 추진이 원활히 이루어지지 않고 있음⁴⁶⁾
 - ※ 이산화탄소 해양지중저장 상용화 기반마련을 위한 해양CCS기술개발사업 지원은 2015년 종료
 - 동 분야의 주요 선진국이 장기 온실가스 감축목표에 근거 중장기 CCS 기술개발 전략을 수립하고 있는 점을 감안⁴⁷⁾, 2020년 이후 중장기 목표 및 기술개발 전략을 선제적으로 마련할 필요
-  이산화탄소 포집·저장·활용기술이 기술적 측면에서 이산화탄소를 획기적으로 저감시킬 수 있는 유일한 대안임을 감안하여, 지속적인 투자를 추진할 필요
- 최근 온실가스 배출량이 감소 추세로 돌아섰다는 소식⁴⁸⁾은 온실가스 저감을 위한 전 세계적 공동노력의 결과로 볼 수 있음
 - 세계 이산화탄소 1위국 배출국 중국의 배출량이 감소하였으며, 우리나라의 경우 2011년 이후 배출량이 급격한 증가세를 보이지 않고 있음
 - 그럼에도 불구하고 파리협정의 합의내용을 감안할 때 안심할 수 있는 단계는 아니라고 판단됨
 - 파리협정에서 지구평균기온 상승을 산업화 이전 대비 1.5℃ 제한하는 합의도 이루어졌기 때문에 신기후체제에서는 2℃ 시나리오에서보다 강화된 목표를 고려할 필요가 있음
 - 국제에너지기구의 2℃ 미만 시나리오(Beyond 2 Degree Scenario, B2DS)³⁾ 달성*을 위해서는 2060년까지 누적 이산화탄소배출량이 750Gt으로 제한되어야하며, 2050년 경 이산화탄소가 무배출 되어야함
 - * 2℃ 시나리오 대비 추가적 감축물량의 32%는 이산화탄소 포집·저장기술을 통해 달성 필요

46) 부처 간 협력이 필요한 이산화탄소 포집·저장·활용기술 분야에서 역할분담 등 이견이 존재하여 계획 추진 차질 우려 (과기정통부 (2018), 「2019년도 정부연구개발 및 투자방향 기준(안)」)

47) 조가비 외 (2016), “「국가 CCS 종합추진계획」 이행점검 및 개선과제 도출 연구”, Journal of Climate Change Research, 7(3): 237-247, 2016.7.29.

48) 중앙일보 (2017), “세계 온실가스 배출 정점 찍었나..기후재앙 방지 ‘희망’”. 11월 1일.

이산화탄소 포집·저장·활용기술 전 과정 평가(Life Cycle Assessment, LCA) 기술에 대한 투자 또한 동반되어야 함



※ 자료: 한국화학연구원 탄소자원화정책센터(2017)

[그림 6] CCUS 기술 프로세스

- 이산화탄소의 포집·활용을 통한 온실가스의 저감/배출 효과를 전 과정적으로 평가하여 이산화탄소 활용기술의 실제 온실가스 저감 효과에 대한 평가가 가능
- 아직 해당 기술에 대한 투자가 많이 이루어지지 않는으나 탄소자원화 및 C사이클의 선순환 구조 확립, 기후변화와 자원고갈 문제해결, 석유의존율을 낮추는데 매우 중요한 역할을 할 것으로 기대

※ 본 동향브리프는 KISTEP 기관고유사업으로 수행한 ‘2017 급부상 한계돌파형 기술동향분석’ 보고서의 연구 결과를 정리·보완한 내용임

| 참고 문헌 |

- CCS 교재 편찬위원회((재)한국이산화탄소포집및처리연구개발센터) (2013), 이산화탄소 포집, 저장 및 전환기술.
- 한국에너지기술연구원 (2016), “IEA의 에너지 기술 전망[ETP] 2016의 주요 내용 및 시사점”, KIER 기술정책 Focus, 10-5.
- 한국과학기술기획평가원 (2017), 2016년 기술수준평가.
- 한국CCS협회 (2015), 이산화탄소 활용 산업 창출을 위한 국내외 이산화탄소 활용 기술 현황 분석.
- 한국자원경제학회 (2017), 주요국의 에너지정책 사례 및 시사점 연구.
- 한국지질자원연구원 (2017), 주요국·주요기술 연구개발 동향 분석, 「2017 지질자원정책 전문자료집」.
- 한국화학연구원 탄소자원화정책센터 (2017), CCU 기술의 최신동향 및 전망.
- 과학기술정보통신부 (2016), 「혁신기술 탄소자원화의 상용화, 탄소자원화 실증 로드맵」.
- 과기정통부 (2018), 「2019년도 정부연구개발 및 투자방향 기준(안)」.
- 관계부처합동 (2010), 「국가 CCS 종합 추진계획(안)」.
- 관계부처합동 (2016), 「기후변화대응기술 확보 로드맵(CTR)」.
- 관계부처합동 (2016), 「제1차 기후변화대응 기본계획」.
- 관계부처합동 (2017), 「녹색기술백서」.
- 김봉금 (2013), “독일 에너지전환 정책의 추진 배경 및 전망”, 「세계 에너지시장 인사이트」, 13(22), 13-20.
- 김의권 (2016), “「ARPA-E Energy Innovation Summit」 기술과 정책 동향(‘14년~’16년)”, 「융합 Weekly TIP」, 17(6): 1-16.
- 노동운 (2016), “세계 저탄소 경제달성을 위한 주요 기술적 방안 및 시사점”, 세계 에너지시장 인사이트, 16-35.
- 노동운 (2017), “파리협정의 온실가스 감축목표와 에너지효율 개선 및 신재생에너지 확대 기여 전망”, 세계 에너지시장 인사이트, 17-12.
- 문진영, 이성희 (2014), “최근 주요국의 온실가스 감축 노력과 시사점”, 「오늘의 세계경제」, 14(6): 1-16.
- 박정훈, 백일현 (2009), “연소전 CO₂ 포집기술 현황 및 전망”, KIC News, 12-1.
- 변종립 (2016), “2016 대한민국 에너지 편람”, 한국에너지공단.
- 배준희 외 (2017), “이산화탄소 포집/저장/활용 기술 특허 동향 분석”, 「자원환경지질」, 50(5): 389-400.

- 양익석, 김아름, 김비아, 전희정 (2017), “중국 에너지믹스 개편과 석탄의존도 감축정책”, 「세계 에너지시장 인사이트」, 17(10): 3-13.
- 윤영주 (2016), “EU 재생에너지 정책 방향 및 향후과제”, 「세계 에너지시장 인사이트」, 16(21): 17-30.
- 이주석 (2017), “대구 탄소자원화 산업 육성방안”, 대구경북연구원.
- 이흥원 (2014), “이산화탄소(CO₂) 포집 및 장치기술”, ReSEAT.
- 정민 (2014), “미국 에너지 정책 변화와 시사점”, 「VIP Report」, 580(단일호): 1-21.
- 조가비, 조하영, 박노언 (2016), “[국가 CCS 종합추진계획] 이행점검 및 개선과제 도출 연구”, 「한국기후변화학회지」, 7(3): 237-247.
- 조하영, 조가비, 박노언 (2015), “이산화탄소 포집·저장(CCS) 기술의 현재와 미래”, 「KISTEP In」 11(단일호): 21-33.
- 최지나 (2015), 이산화탄소 전환(CCU) 기술분야 기술동향보고서.
- 최현정 (2016), “트럼프 정부의 에너지 정책과 우리의 대응”, 「세계와 도시」 17(단일호): 21-30.
- 하태형 (2014), “미국 에너지 정책 변화와 시사점”, 「현대경제연구원」 580(단일호): 14-29.
- EBN (2013), “바이엘, CO₂ 기반 폴리우레탄 세계 첫 상용화”, 8월 5일.
- 조선일보 (2013), “바이엘 화학 자회사, 이산화탄소로 폴리우레탄품 만들어 상용화.” 8월 5일.
- 강원뉴스 (2016), “강원도 ‘탄소자원화 국가 전략프로젝트’ 업무협약”, 12월 12일.
- 연합뉴스 (2016), “최고 효율의 이산화탄소 포집기술 개발…실증 성공”, 12월 12일.
- 중앙일보 (2017), “세계 온실가스 배출 정점 찍었나..기후재앙 방지 ‘희망’”, 11월 1일.
- 프레시안 (2017), “한전, 세계 최대 규모 이산화탄소 분리막 실증플랜트 준공”, 10월 16일.
- 한국에너지 (2016), “전력연, 이산화탄소 포집플랜트 3000시간 연속운전”, 10월 7일.
- 아시아투데이 (2016), “공주대, 포항분지 해상 소규모 CO₂ 주입공 시추 착수식 개최”, 11월 8일.
- 김덕엽 (2017), “대구 이산화탄소 중소기업 ‘아스트로마’ 세계 진출 교두보 마련해”, NSP통신, 10월 25일.
- 양세훈 (2015), “일본, 화력발전 CO₂ 감축에 총력... CCUS, IGFC 추진”, 에너지경제, 7월 1일.
- 유기현 (2014), “이산화탄소를 플라스틱으로 바꾸대! 그린플”, 동아사이언스, 11월 19일.
- 이규화 (2018), “KCL, CO₂ 고부가가치사업화 플랫폼 구축”, 디지털타임즈, 2월 8일.
- 이성기 (2014), “한일시멘트, ‘저탄소 고기능성 그린시멘트’ 사업화 착수”, 중앙일보, 12월 10일.
- 조대인 (2018), “가스안전공, CCS분야 표준개발협력기관 지정”, 투데이에너지, 4월 2일.
- 배준호 (2017), “중국, 아시아 최초 상업용 이산화탄소 포집 프로젝트 첫 삽”, 이투데이, 5월 22일.
- 최홍식 (2017), “이산화탄소 포집 기술은 완벽한 신재생에너지 시대로 나아가는 브릿지”, SOLARTODAY 탄소제로, 11월 25일.

- International Energy Agency (2017), CO₂ emissions from fuel combustion.
- International Energy Agency (2017), Energy Technology Perspective 2017.
- International Energy Agency (2015), Carbon capture and storage: The solution for deep emissions reductions.
- Global CCS Institute (2015), The Global Status of CCS: 2015, Australia.
- Global CCS Institute (2017), The Global Status of CCS: 2017, Australia.
- Peter Folger (2017), “Carbon Capture and Sequestration(CCS) in the United States”, 「Congressional Research Service」.
- Office of Chief Financial Officer (2018), 「Department of Energy FY 2019 Congressional Budget Request」.
- Alister Doyle (2017), “Oslo’s trash incinerator shows promise in climate change test”, REUTERS, 1월 31일.
- Eli Kintisch (2016), “Underground injections turn carbon dioxide to stone”, Science, 6월 10일.
- Simon Bennet and Tristan Stanley (2018), “Commentary: US budget bill may help carbon capture get back on track”, 3월 12일.
- Carbon Capture Journal (2014), “TCM releases amine CO₂ capture benchmarks”, 10월 12일.
- Carbon Capture Journal (2017), “Petra Nova project construction complete”, 1월 10일.
- Carbon Capture Journal (2017), “Econic Technologies partners with SCG Chemicals on polymer manufacture”, 10월 1일.
- Carbon Capture Journal (2018), “Capture milestone boosts CO₂-to-fuel research goal”, 2월 6일.
- Carbon Capture Journal (2018), “Algae and BECCS to produce food, electricity and reduce CO₂”, 4월 13일.
- Statistics MRC (2017), Carbon Capture and Storage(CCS) – Global Market Outlook (2016–2022).

〈웹사이트〉 (이산화탄소 관련 기술·산업동향 등 참고)

- “한국이산화탄소포집 및 처리연구개발센터(KCRC)” www.kcrc.re.kr, 최종접속: 2018.5.
- “Carbon Capture Journal” www.carboncapturejournal.com, 최종접속: 2018.5.
- “NASA Goddard Institute for Space Studies” www.giss.nasa.gov, 최종접속: 2018.5.
- “SECARB” www.secarbon.org, 최종접속: 2018.5.
- “Petra Nova – W.A. Parish Project” www.energy.gov/fe/petra-nova-wa-parish-project, 최종접속: 2018.5.
- “Carbon Capture & Sequestration Technologies” sequestration.mit.edu/tools/projects/jilin.html, 최종접속: 2018.5.

| KISTEP 기술동향브리프 발간 현황 |

발간호	제목	저자 및 소속
2018-01	블록체인	유거송(KISTEP), 김경훈(KISDI)
2018-02	독일의 연구개발 동향	이주석·김승연(KISTEP)
2018-03	휴먼 마이크로바이옴	황은혜·김은정(KISTEP) 남영도(KFRI)
2018-04	신육종기술(NPBTs)	박지현·홍미영(KISTEP) 한지학(㈜틀젠)
2018-05	2차원소재	함선영(KISTEP)
2018-06	이산화탄소 포집·저장·활용기술	김한해·배준희·정지연(KISTEP)



| 저자 소개 |

김 한 해

한국과학기술기획평가원 생명기초사업센터 부연구위원

Tel: 02-589-5264 E-mail: hhkim@kistep.re.kr

배 준 희

한국지질자원연구원 기술정책연구실 연구원

Tel: 042-868-3050 E-mail: baejh1212@kigam.re.kr

정 지 연

한국과학기술기획평가원 생명기초사업센터 연구원

Tel: 02-589-5099 E-mail: jyjung@kistep.re.kr

※ 본 KISTEP 기술동향브리프의 내용은 필자의 개인적 견해이며, 기관의 공식적인 의견이 아님을 알려드립니다.

KISTEP 기술동향브리프 | 2018-06호

이산화탄소 포집·저장·활용기술

 **한국과학기술기획평가원**
Korea Institute of S&T Evaluation and Planning

(06775) 서울 서초구 마방로 60(양재동) 동원F&B빌딩 4층~6층
한국과학기술기획평가원 사업조정본부
T. 02-589-2931 E. grdc@kistep.re.kr