

## 국내외 이산화탄소 저감 연구개발 프로그램 분석

최상진, 이덕기, 박수역, 김효주  
한국에너지기술연구원,

### Analysis of CO<sub>2</sub> reduction and Sequestration R&D programme in the Advanced Countries and Korea

Sangjin Choi, Deokki Lee, Souuk Park, Hyoju Kim  
Korean Institute of Energy Research,

#### 1. 서론

기후변화의 주요 원인이 되는 온실가스 중 이산화탄소에 의한 영향은 55% 이상으로 다른 온실가스에 비해 높다. 대기 중 이산화탄소 성분은 산업혁명 이후 꾸준한 증가세를 보이고 있으며, 2100년에는 그 양이 26GtC에 달할 것으로 전망된다. 이에 미국, 일본, 유럽연합 등은 이산화탄소 저감을 위한 다양한 연구개발 노력을 기울이고 있다. 본 연구는 선진국에서 추진하고 있는 이산화탄소 저감 관련 연구개발 프로그램을 조사하고 분석하였다. 또한 국내 관련 연구개발 프로그램과의 비교를 통해 주요 연구개발 과제의 차이점과 향후 추진 방향에 대하여 논의하였다.

#### 2. 선진국의 이산화탄소 저감 관련 연구개발 프로그램 분석

##### 2-1. 미국

온실가스 최대 방출국인 미국은 DOE(Department of Energy)를 중심으로 이산화탄소 저감 기술개발 관련 프로그램을 마련하여 추진하고 있다. 특히, DOE 산하 에너지 관련 전문 연구기관인 NETL(National Energy Technology Laboratory)을 중심으로 운영하고 있는 CSP(Carbon Sequestration Program)는 민관 부문이 협조하여 이산화탄소 저감에 관한 과학적 이해를 바탕으로 비용 효율적이면서 환경친화적인, 궁극적으로는 대기 중 이산화탄소의 안정화를 목표로 하고 있다. 미국의 기후변화관련 연구개발의 특징은 전담 부서를 두지 않고, 개별적인 프로그램에 대하여 연관 부처들이 참여하는 형식으로 추진하고 있다는 것이다. 기후변화 대응과 관련한 연구개발 프로그램으로는 기후변화 과학 프로그램(Climate Change Science Program; CCSP)과 기후변화 기술 프로그램(Climate Change Technology Program; CCTP)이 대표적이다. 이는 기후와 관련된 불확실성 해소와 기후 모델링 구축, 이를 통한 관찰 및 감시 시스템 강화, 자원에 대한 의사결정 지원 등에 관한 연구로 요약되는 CCRI(Climate Change Research Initiative)와 CCRI에서 간과된 기술적인 부분에 대한 연구 과제를 포함하고 있는 CCTI(Climate Change Technology Initiative)에 근거하여 연구개발을 진행하고 있다. CCSP는 기후변화와 관련된 가능한 모든 프로그램에 대하여 검토를 하고,

각 프로그램의 목적 및 우선순위를 결정하며 CCTP는 기후변화관련 기술의 다년 및 통합, 심화 연구개발 프로그램을 발굴하고 조정하고 있다. 연구개발의 대표적인 기관이라 할 수 있는 지구변화 연구그룹 프로그램(US Global Change Research Group Program : USGCRP)은 1989년에 설립되었고, 기후변화연구기구(US Climate Change Research Institute; CCRI)는 2002년 부시 대통령에 의해 설립되었다. 이 두 기관이 CCSP와 CCTP를 공동으로 주관하고 있으며 그 성과 및 향후 계획 등은 'Our Changing Planet'이라는 이름으로 매년 보고되고 있다.

이 보고서에는 기후변화관련 각 부문의 연구개발 프로그램 및 예산 등의 내용을 담고 있는데 2003년도 'Our Changing Planet' 보고서에 나타난 연구개발 내용은 대기구성(Atmospheric Composition), 기후다양성 및 변화(Climate Variability and Change), 탄소순환(Global Carbon Cycle), 물순환(Water Carbon Cycle), 생태계(Ecosystem), 토양이용 및 표토변화(Land Use/Land Cover Change), 인류 기여 및 대응(Human Contributions and Responses)등 7가지 분야로 구분되어 있다. 이 중 탄소순환 부문을 보면, 탄소저장소 규모 및 다양성 규명, 향후 탄소순환 변화, 탄소 발생원 및 흡수원 관리, 탄소순환 관련 평가 수단 개발, 탄소저장 관련 위험성 평가 등을 포함하고 있다.

## 2-2. 유럽연합

유럽연합의 사무국(European Commission)에서 지원하고 있는 에너지 부문 프로그램으로는 Energy Framework Programme, Intelligent Energy for Europe, RTD(Research, Technology, Development) Framework Programmes 등이 대표적이다. Energy Framework Programme은 2002년까지 진행된 프로그램으로 CARNOT(고체연료를 깨끗하고, 효율적으로 사용하기 위한 방안 관련), ALTENER(재생에너지 사용촉진을 위한 기술 외적인 부문의 활성화 프로그램), SAVE(에너지효율 분야), ETAP(에너지 동향이나 연구 등에 대한 예측과 분석), SURE(원자력분야의 특화 프로그램), SYNERGY(세미나와 컨퍼런스 등과 같은 정보교환의 효율성 강화) 등의 각 프로그램을 포함하고 있다. 이 중에서 ALTENER, SAVE, SYNERGY 등은 지속적으로 추진하고 있고 부족한 부분들을 보완하기 위해 새로운 프로그램인 "Intelligent Energy for Europe"이라는 프로그램을 계획하여 추진하고 있다. 이 프로그램은 재생에너지 및 에너지절약 분야에서의 연구(ALTENER, SAVE) 강화, 국제적 지원(COOPENER), 운송 분야에서의 에너지 측면 연구(STEER) 등을 세부 프로그램으로 향후 4년간(2003~2006) 운영 예정이다. NNE-R(Non-Nuclear Energy Research Programme)프로그램은 재생에너지, 연료전지 및 수소, 청정화석연료, 에너지 저장 및 분산 등으로 구분하고 있으며, 특히 청정화석연료 관련 분야에서 이산화탄소 저장기술 분야와 격리분야로 주제를 구분하여 관련 기술개발을 추진하고 있다. 또한 이 프로그램은 소형이나 이동형이 아닌 대형시설(발전시설 등)의 에너지 전환과정에 적용하기 위한 과제들로 그 연구개발 성과는 향후 탄소세, 방출거래제 등을 통한 경제적 이익을 창출하는데 기여할 것으로 기대되고 있다.

EU의 이산화탄소 포집 및 격리 등 저감 관련 연구개발 과제는 3차 FP(1990년~1994년)에서 처음으로 계획되어 추진되었으며 주로 폐쇄형 혹은 반폐쇄형 시스템을 이용한 이산화탄소 포집 방법 연구, 4차 FP(1994년~1998년)에서는 SACS프로그램을 통해 노르웨이의 North Sea에 이산화탄소 주입 실험을 실시하였다. 5차 FP(1998년~2002년)에서는 이산화탄

소 포집 분야와 격리 분야를 따로 두어 각각 과제를 추진하였는데, 이산화탄소 포집 분야 과제로는 AZEP 프로젝트가 있고, 격리분야 과제의 예로는 4차에서 추진된 SACS 프로젝트를 계속 추진하고 있다. 2002년부터 2006년까지 유럽연합의 각종 연구개발 과제를 포함하고 있는 6차 FP에서는 청정 화력발전소 관련 연구개발 과제에 포함되어 장기적으로 지원하고 있다.

### 2-3. 일본

일본은 2001년 수정 보완한 GWRI(Global Warming Research Initiative)에 근거하여 CSTP(Council for Science and Technology Policy)에서는 지구온난화 방지 시나리오 개발을 위한 기초기술과 과학적 지식의 축적, 장기적으로는 자원 순환 및 통합에 기초한 지속가능한 사회 건설을 위한 과학적 지식과 관련 기술개발에 그 목적을 두고 온실가스 고정 및 격리 기술 개발, 온실가스 통제기술개발, 지구온난화 감시 프로그램, 지구온난화 예측 및 기후변화연구 프로그램, 지구온난화 통제 정책 관련 연구 프로그램 등 6개 부문에 걸쳐 총 245개 세부과제를 추진하고 있다. 일본 NEDO(New Energy and Industrial Technology Development Organization)의 관련 연구개발 과제로는 환경보호(Environmental Protection), 효율성(Efficiency), 에너지 안보(Energy security) 등 3Es를 목표로 화석연료 관련 분야에서 석탄 액화 및 가스화 기술, 환경관련 차세대 기초기술, 청정석탄기술, 에너지절약기술 등에 관한 연구를 수행하고 있다. AIST(Agency of Industrial Science and Technology)에서 주관하는 에너지 관련 대표적인 프로그램은 New Sunshine 프로그램이다. 이 프로그램은 1974년 신에너지 기술개발을 목적으로 추진된 Sunshine 프로젝트와 1978년 에너지절약기술개발을 목적으로 추진된 Moonlight 프로젝트를 통합한 프로젝트로 1989년 시작된 신에너지 기술, 에너지절약기술, 환경기술 개발 프로그램을 모체로 1993년부터 추진하였다. 그 세부과제로는 에너지 및 환경분야의 혁신기술 개발, 선진국 및 개도국과의 공동연구 및 지원에 관한 연구 등을 수행하고 있다.

1990년 설립된 RITE(Research Institute of Innovative Technology for Earth)에서는 지구온난화, 오존층관련, 산성비관련, 플랜테이션(Plantation), 해양오염, 폐기물관련, 토양오염, 기타 환경변화 관련, 환경관리 분야 등에 관한 연구를 수행하고 있다. 지구온난화분야는 지구재생계획(Global Reproduction Plan), 이산화탄소 분리 및 회수기술(CO<sub>2</sub> Separation and Collection Technology), 이산화탄소 포집기술(CO<sub>2</sub> Capture Technology), 이산화탄소 활용기술(CO<sub>2</sub> Utilization Technology), 이산화탄소 처리기술(CO<sub>2</sub> Disposal Technology), 환경친화적인 생산기술(Environmental Friendly Productive Technology)로 구분하여 관련 연구개발을 추진하고 있다. RITE의 이산화탄소 저감 관련 연구개발은 1990년부터 시작되어 이미 실험수준을 넘어 현재 실증시험 단계를 거치고 있다.

### 3. 국내 이산화탄소 저감 관련 연구개발 프로그램 분석

국내의 이산화탄소 저감기술 개발을 위한 연구개발 프로그램은 기후변화협약 대응 제2차 종합대책의 일환으로 추진되고 있다. 대표적인 프로그램으로는 중대형 에너지절약기술개발, HFC·PFC·SF<sub>6</sub> 감축기술개발, 고연비 저공해 자동차개발, 태양광·풍력·연료전지 등 3대

중점기술개발, 고효율 수소제조 기술개발, 이산화탄소 분리 상용화 기술개발, 이산화탄소 저장 및 처리 기술개발 등이 있다.

이산화탄소 분리 상용화 기술 개발 프로그램은 기후변화협약 발효 후 청정에너지기술개발사업의 일환으로 추진하기 시작하였다. 에너지절약 및 대체에너지기술 개발만으로 이산화탄소 저감에 한계가 있기 때문에 에너지 사용으로 발생하는 이산화탄소를 직접 분리 및 회수하여 활용할 수 있는 기술 개발을 목표로 1994년부터 2001년까지 21개 과제에 걸쳐 총 83억원을 지원하였다. 또한 향후 2004년까지 발전소, 석유화학, 시멘트 등 관련 시설에 본 연구결과를 적용하여 하루 당 100tCO<sub>2</sub>의 이산화탄소 분리공정 설계기술 확보 및 화학적 전환공정 개발을 서두르고 있다.

이산화탄소 저장 및 처리 기술개발 프로그램은 2002년부터 2012년까지 연간 9백만 탄소톤 상당의 이산화탄소 저장 및 처리 기술개발과 개발기술의 상용화를 목표로 총 134,000백만원을 지원하여 고온순산소연소기술, 반응분리동시공정기술, 미활용에너지이용기술, 이산화탄소회수처리기술 등 4개 부문에 걸쳐 40여 세부과제를 추진하고 있다. 현재 1단계 2차년도 사업이 진행되고 있다. 본 프로그램은 기술개발에 머물지 않고 향후 실용화 가능성이 높은 과제를 선별하여 추진하고 있다. 현재 각 분야의 기초기술 확보에 주력하고 있으며, 이 프로그램을 통해 이산화탄소 저장 기술 시장에서 우위를 확보하여 기술 이전 및 수출을 통해 연간 1.5조원의 경제적 효과와 함께 배출권 확보에 기여할 것으로 보고 있다.

#### 4. 국내의 연구개발 프로그램 분석

미국은 선진기후변화 대응 기술개발과 보급을 목표로 하는 CCTI프로그램과 2015년까지 화석연료의 효율적 이용을 위한 청정발전 기술개발 프로그램인 Vision 21을 추진하고 있다. 유럽연합은 Energy Framework Programme에 포함된 여러 프로그램을 통하여 대체에너지 등의 기술을 개발하였다. 일본의 경우 신재생에너지, 화석연료이용, 에너지수송 및 저장, 환경기술, 에너지요소기술, 시스템화 기술 등 6개 분야를 내용으로 혁신적인 에너지 및 환경기술 개발 프로그램을 추진하고 있다. 국내의 경우 각 부처별로 이산화탄소 저장 관련 프로그램을 추진하고 있다.

<표 1> 주요국의 연구개발 추진기관 및 분야

구 분	미국	EU	일본	한국
연구 추진 기관	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ DOE의 NETL, NREL, OFE 등</li> <li>○ CCRI, CCTI</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ European Commission 및 각 회원국</li> <li>○ RTD FP, Energy Framework Program, Intelligent Energy for Europe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ NEDO, AIST, RITE</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ CDRS, 기상연구소, 국립환경연구소 등</li> </ul>

<표 1> 주요국의 연구개발 추진기관 및 분야 계속

구분	미국	EU	일본	한국
관련개발분야	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Capture                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 흡수흡착제</li> <li>- 전기화학적필름</li> <li>- Membranes</li> </ul> </li> <li>○ Sequestration                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 시스템 최적화</li> <li>- 안정성, 영구성 평가</li> </ul> </li> <li>○ MMV                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 생태계 보전</li> <li>- 수송/감시/평가 시스템</li> </ul> </li> <li>○ Breakthrough Concepts</li> <li>○ 포집 및 저장 통합 시스템</li> <li>○ 지역별 파트너십</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ RTD FP                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 발전시설의 친환경적, 경제적 개선 기술</li> <li>- 석탄, 바이오매스, 기타, 연료 사용 시 발생하는 온실가스 저감기술</li> <li>- CO<sub>2</sub> 저장 및 활용 관련 기술</li> <li>- 청정 연료 활용</li> <li>○ NNE-R                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- CO<sub>2</sub> capture 및 저장 기술 안정성 문제, 방출원 및 흡수원, 저장소 지도 작성 관련, 수송 기반시설 관련, 거래시장 관련, 홍보</li> </ul> </li> <li>- AZEP, SACS 프로젝트, 청정 화력 발전소 건설</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ NEDO                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 화석연료관련 석탄 액화기술, 석탄가스화기술, 흡수흡착제 관련 기술, 환경친화적인 청정 연료전환 기술</li> </ul> </li> <li>○ AIST                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 에너지 및 환경 기초기술, 시스템화 기술</li> </ul> </li> <li>○ RTE                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- CO<sub>2</sub> 처리기술, CO<sub>2</sub> 분리회수 기술, CO<sub>2</sub> 활용기술, CO<sub>2</sub> 포집기술</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ CO<sub>2</sub> 분리 상용화 기술개발 프로그램</li> <li>- CO<sub>2</sub> 분리공정 설계기술 확보 및 화학적 전환 공정 기술개발</li> <li>○ CO<sub>2</sub> 저장 및 처리 기술개발 (CDRS)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 고온순산소 연소 기술, 회수 및 처리 기술, 반응분리 동시공정기술, 활용 에너지기술</li> </ul> </li> <li>○ 관측분야                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 지구온난화 물질 감시기술, 기후감시체계구축 사업 등</li> </ul> </li> </ul>

<표 2> 국내외 이산화탄소 저감 기술개발 프로그램

주관부처	관련사업명	사업목표	사업내용	기간
산자부 (국내)	에너지기술 개발 10개년 계획	2006년 에너지절약 10% 달성	에너지절약, 대체에너지, 청정에너지 기술 개발	1997~2006
과기부 (국내)	온실가스저감 기술 개발	2003년 CO <sub>2</sub> 2백만TC저감	에너지절약, CO <sub>2</sub> 처리 기술개발	1998~2002
과기부 (국내)	프론티어사업	2012년 CO <sub>2</sub> 9백만TC저감	고온순산소연소, 반응·분리 공정, 미활용에너지이용, CO <sub>2</sub> 회수처리	2002~2012
환경부 (국내)	G7 환경공학 기술개발	CO <sub>2</sub> 처리 기반기술 확보	CO <sub>2</sub> 처리 기술개발	1993~1997
DOE (미국)	CCTI	선진기후변화대응 기술 개발·보급	건물, 산업, 수송, 발전분야 효율향상 기술 분야	1999~2003
	Vision 21	2015년까지 Vision21 상용 플랜트 설계	화석연료의 효율적 이용을 위한 CO <sub>2</sub> 처리를 포함한 청정발전 기술개발	2000~2015
에너지총국 (EU)	Joule-Thermie	비핵에너지분야의 종합적인 원천기술 개발·보급	에너지R&D전략, 에너지절약, 재생에너지, 화석연료, 연구결과 확산 등 총 5개 분야	1999~2003
	Altener	대체에너지이용을 '96년 6%에서 2010년까지 12% 향상	소수력, 풍력, 태양에너지, 바이오매스, 지열 등 대체에너지 기술개발	1998~2002
통산성 (일본)	New-Sunshine	2010년까지 1990년 대비 CO <sub>2</sub> 15% 감축	신재생에너지, 화석연료이용, 에너지수송 및 저장, 환경기술, 에너지요소기술, 시스템화 기술 등 6개 분야	1993~2020

## 5. 결론

본 연구는 미국, 유럽연합, 일본 등 선진국에서 추진하고 있는 이산화탄소 저감 관련 연구개발 프로그램을 조사하고 분석하였다. 미국은 온실가스 집약도 방식의 18% 저감을 위해 2001년 capture, sequestration, MMV, 시스템화 및 개발 기술의 확산을 위한 프로그램과 기업과 공동으로 원천핵심기술을 기반으로 하는 CCTI 프로그램을 추진하고 있다. 또한 기후변화의 원인에 관한 과학적 규명을 위한 연구를 CCSP 및 CCTP에 포함하여 추진하고 있다. 일본은 자원순환형, 지속가능한 경제국가 건설을 기본 전략으로 GWRI에 근거하여 정부 산하 연구기관에서 에너지절약 기술개발과 함께 관련 연구개발 과제를 추진하고 있으며, NEDO, AIST, RITE 등에서 이산화탄소 저감을 위한 프로그램을 추진하고 있다. 선진국의 연구개발 프로그램은 크게 이산화탄소 capture와 storage 분야로 구분할 수 있으며, 저장분야에서는 관련 기술의 개발 뿐 만아니라 개발기술의 적용에서 오는 환경영향에 대한 평가역시 주요 연구 분야로 하고 있었다. 또한 지구온난화 등 기후변화의 원인을 과학적으로 규명하기 위한 연구 또한 병행하고 있었다. 반면, 국내 관련 기술의 연구개발은 상용화 기술 개발에 중점을 두고 있음을 알 수 있었다. 특히 이산화탄소 저감 및 처리 기술과 함께 연소 공정개선, 반응분리공정 개선, 미활용에너지이용 등과 같은 기존 시스템의 효율성 개선을 통해 저감 효과를 달성하는데 중점을 두고 있다.

## 참고문헌

1. US DOE OFE(Office of Fossil Energy) NETL, Carbon Sequestration Technology Roadmap and Program Plan, 12. March, 2003
2. US DOE OFE NETL, Carbon Sequestration Project Portfolio FY 2002, 16. April, 2003
3. IEA GHG, IEA GHG R&D Programme, 10th anniversary report, 2002
4. IEA GHG, IEA GHG R&D Programme, annual report, 2002
5. 과학기술부, 제1회 이산화탄소 저감 및 처리 기술 workshop, 21세기 프론티어연구개발사업단, 2003
6. Takahisa Yokoyama, Japanese R&D on CO<sub>2</sub> Capture, Central Research Institute of Electric Power Industry, October, 2002
7. Hiroshi Mitsukawa, Global Warming Prevention Technologies in Japan, NEDO, October, 2002
8. European Commission, Energy, Environment and Sustainable Development - Part B : Energy - Priorities and roadmaps 2001-2002, August 2002
9. Wiktor RALDOW, Sustainable Energy Systems - Medium and long term research actions, 14 February 2003
10. European Commission, Non-Nuclear Energy - R&D components(JOULE III) Research Priorities, 2 October, 2000