

연구노트

온실가스 저감을 위한 국내외 R&D 및 정책 동향

이 상 훈 · 서 봉 국 · 이 규 호*
한국환경기술진흥원 · 한국화학연구원 응용화학연구부
(2003년 9월 30일 접수; 2004년 8월 9일 채택)

Analysis of Domestic and Abroad R&D Trends for Greenhouse Gas Reduction

Sang-Hoon Lee, Bongkuk Sea* and Kew-Ho Lee*
Korea Institute of Environmental Science & Technology(KIEST), Seoul 122-706, Korea
*Korea Research Institute of Chemical Technology(KRICT), Daejeon 305-600, Korea
(Manuscript received 30 September, 2003; accepted 9 August, 2004)

Recently many countries agreed to reduce emissions of greenhouse gases into the atmosphere or at least to keep them at the current level at the Kyoto Protocol. Carbon dioxide has been proven to be 80% of greenhouse gases, contributing to the increase of the earth's surface temperature. It is reported that half of the CO₂ emissions are produced by industry and power plants using fossil fuels. In this article, we review and analysis domestic and abroad R&D policy trends relating to UN framework convention on climate change(UNFCCC).

Key Words : Climate change, Greenhouse effect, Carbon dioxide, Kyoto protocol, UNFCCC

1. 서 론

지구 규모의 환경 문제에 있어서 지구 온난화는 그 경과와 향후 추이에 있어서 많은 논란 속에서 국제적 관심을 끌어 왔다. 1972년 스톡홀름 회의에서 지구 온난화 문제가 국제적 이슈로 제기되어 유엔 환경 프로그램이 형성된 이후, 인간 활동에 의한 기후변화가 인류복지에 미치는 영향을 경고하고 예방할 것을 지속적으로 촉구해 왔다. 그 결과, 1992년 리우(Rio) 환경회의에서 지구 온난화에 따른 이상 기후 현상을 예방하기 위한 목적으로 유엔 기후변화 협약(UNFCCC, UN Framework Convention on Climate Change)이 채택되어 우리나라를 포함한 154개국이 협약에 서명하였다. 그 후, 1997년 교토

에서 기후변화 협약의 후속조치로서 선진국의 온실가스 감축의무를 강화하는 교토 의정서(Kyoto Protocol)가 채택되어 지구 온난화에 의한 기후변화를 방지하기 위한 국제적 노력이 본격적으로 시작되었다. 최근에는, 미국의 교토 의정서 비준 거부 움직임에도 불구하고 이에 대한 국제적 비난 여론과 함께 유럽 각국을 비롯한 우리나라가 2002년에 교토의정서를 이미 비준하였고, 영국, 일본, 독일 등에서는 이산화탄소 배출권 거래 시장이 형성되는 등 이산화탄소 배출 삭감 노력은 국제적 대세라고 할 수 있다.

지구 온난화 현상을 유발하는 CFC, N₂O, CH₄, CO₂ 등 여러 종류의 온실가스 중에서도 이산화탄소가 전체 온실가스 배출량의 약 80%를 차지하고 있어, 기후변화 협약 대응을 위한 대책은 주로 이산화탄소 배출 억제를 목표로 진행되고 있는 상황이다. 실제로도 Fig. 1에 나타난 것과 같이 대기 중 이산화탄소 농도와 지구 기온 변화와의 밀접한 상관관계가 많은 연구자들에 의해서 제기되어 왔다^{1,2)}. 특

Corresponding Author : Sang-Hoon Lee, Korea Institute of Environmental Science & Technology(KIEST), Seoul 122-706, Korea
Phone : +82-2-380-0652
E-mail : lshoon@kiest.org

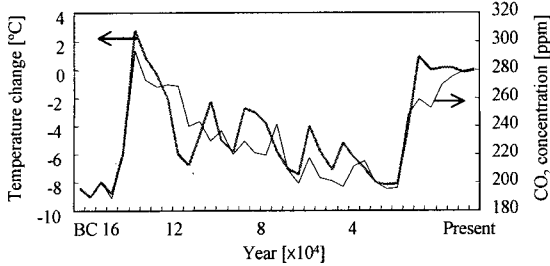


Fig. 1. Relationship between mean temperature on Earth and concentration of carbon dioxide in atmosphere^{1,2)}.

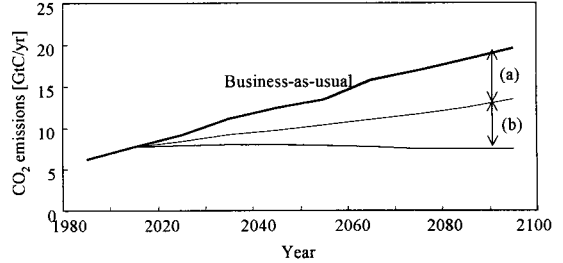


Fig. 2. Greenhouse gas emissions scenarios³⁾.

- (a) Reduction in CO₂ emissions achieved through improvements in efficiency and greater use of low-carbon fuels.
- (b) Further reductions consistent with atmospheric stabilization.

히, 18세기 산업 혁명 이후, 대기 중 이산화탄소 농도가 30% 이상 증가하고 지표 온도가 약 1°C 상승함으로써, 인간 활동 결과에 따른 지구 온난화 및 기후 변화에 대해 과학적 근거를 제시하고 있다. 현재의 추세라면 2100년 까지 지구 평균 기온은 0.8-3.5°C 상승하고 해수면은 50cm 상승하여, 그 결과 기후 변화에 의한 지구 환경의 재앙을 초래할 수도 있다. 국내에서도 동아시아 지역의 기후변화 탐지 및 진단 시스템 연구를 통해 지난 30년 동안 한반도에서 이산화탄소에 의한 기온 상승효과는 약 0.7-1.1°C로 나타났으며, 2050년에는 기온상승 효과가 2.4°C에 이를 것으로 보고하였다³⁾. 기후 변화에 관한 정부 합의체(IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change)에서는 향후 이산화탄소 배출 추이와 관련하여 Fig. 2와 같이 몇 가지 시나리오를 제시하고 있다⁴⁾. 가장 핵심적인 내용은 이산화탄소 배출을 최대한 억제하여 대기 중 이산화탄소 농도를 안정화 하자는 것이다. 이 시나리오에 대한 전제 조건에는 온실가스 배출 저감을 위한 각종 관련 정책 및 기술 연구 개발이 적극적으로 선행되어야 한다는 것이다.

이러한 국제적 추세에서 우리나라가 교토의정서의 감축의무를 이행할 경우 에너지 다소비 업종인 철강, 시멘트, 석유화학 등의 중화학공업은 생산량을 1/3수준으로 줄여야 하며, 이로 인해 국제경쟁력 저하 및 국가 경제규모의 축소는 불가피하다고 한다¹⁾. 그럼에도 불구하고, 우리나라가 OECD 국가이고 세계 제10위의 온실가스 배출국으로서 우리의 경제적·사회적 능력 범위 내에서 지구 온난화 방지를 위한 국제사회의 노력에 적극적으로 참여하는 것은 필요하다. 우리나라가 어느 시점에서 어느 정도의 온실가스 감축 의무를 부담할 수 있는가를 정확히 인식하기 위해서는 경제발전 전망과 이에 따른 중장기 온실가스 배출 전망, 효과적인 온실가스 저감수단 및 저감 잠재량, 저감에 따른 경제적 비용 등의 면밀한 분석이 필요하다. 아울러 우리경제가

수용 가능한 온실가스 저감 계획을 자발적으로 수립·시행함으로써 에너지 및 화석연료 사용량 절감을 통한 무역수지 개선, 효율향상을 통한 산업경쟁력 강화, 향후 예상되는 환경과 관련된 무역규제에의 사전 대비 등의 효과를 거둘 수 있을 것이다. 본고에서는 국내 산업 경제 전반에 영향을 미칠 수 있는 기후변화 협약 대응을 위한 온실가스 저감 관련 국내의 연구 개발 및 정책 동향을 조사 비교 분석함으로써, 향후 전망 및 국내의 대책을 제시하고자 한다.

2. 연구개발 및 정책 동향 분석 방법

본 고에서는 저자들의 환경 정책 및 연구 개발 현장에서의 경험을 바탕으로 온실가스 대책과 관련하여 광범위하게 정보를 수집하여 조사 분석 평가를 실시하였다. 우선 기후변화 협약과 관련한 온실가스, 특히 그 중에서도 지구 온난화 현상에 가장 큰 영향력을 가지는 이산화탄소의 회수 및 처리 개념과 필요성을 일반적인 문헌 및 보고서등의 조사를 통해 소개하였다. 이어서, 세계 주요 각국의 기후변화 협약 및 온실가스 저감을 위한 정부 정책 및 기술 개발 현황을 각종 관련 보고서 및 인터넷 사이트를 통해 정보를 수집하여 국내 현황과 함께 비교 분석 정리하였다. 마지막으로, 지금까지의 기술 개발 현황 및 정책 동향을 바탕으로 향후 전망 및 대책 그리고 연구 개발 방향을 제시하고자 하였다.

3. 온실가스 회수 처리(Carbon sequestration)

대기 중에 이산화탄소의 방출을 줄이는 방법으로는 1) 에너지절약 및 효율적 사용, 2) 탄소가 적게 함유된 연료(천연가스 등)나 탄소가 전혀 없는 대체 에너지(원자력, 풍력, 태양열, 조력 등)를 사용하는

방법, 3) 배출되는 이산화탄소를 회수·처리하는 방법 등을 들 수 있다. 그 동안 1), 2)의 방법이 주로 고려되어 왔지만 국제에너지기구(IEA) 보고서에 의하면 현재 세계적인 전력 생산을 위한 화석연료 사용량을 감안할 때 세계적으로 연간 2-3 GtC에 해당하는 이산화탄소를 처리해야만 대기중의 이산화탄소 농도의 추가적인 상승을 막을 수 있다고 보고하고 있다³⁾. 이는 경제적인 이산화탄소의 회수·처리 기술의 개발이 절실히 필요함을 시사하고 있는 것이다. 이와 동시에, 기존의 단순한 에너지 절약이나 이산화탄소 회수·처리의 개념에서 탈피하여 순 산소 연소와 이산화탄소 처리, 반응분리 동시 공정, 미활용에너지 활용 등을 연계하여 이산화탄소를 보다 효율적이고 경제적인 방법으로 저감하는 종합적인 기술 체계의 확립이 요구되고 있다. 즉, 각 분야별 핵심 기술을 개발하고 이들을 서로 연계하여 종합 시스템을 구축함으로써 경제성 있는 이산화탄소 회수 처리 공정을 개발하여 상용화 하는 것이 온실가스 회수 처리 분야에 있어서 무엇보다도 필수적이다.

이산화탄소를 대량 고정 발생원(발전소, 제철소 등)으로부터 제거하는 과정은 Fig. 3에 나타낸바와 같이, 이 과정의 많은 요소들은 기존 기술을 사용할 수도 있다. 그러나, 기존에 적용되고 있는 공정보다 훨씬 큰 규모가 필요하고, 현재의 기술로는 이산화탄소를 회수하는 데 있어서 또 다시 에너지를 소모하므로 그 비용이 너무 비싼 문제점이 있다. 그리고, 회수한 이산화탄소의 수요처가 아직 많이 개발되지 않은 상황에서는 이를 지하층이나 심해에 저장하게 되는데, 이 때 환경에 미치는 불확실성이 문제가 되기도 한다. 하지만 회수·처리 기술은 현재의 화석 연료를 사용하는 인프라를 계속해서 가능하게 해주는 장점이 있다. 이산화탄소를 분리 회수하는 방법에는 흡수법, 액화분리법, 흡착법 등이 있는데 모두 에너지를 과다 사용하게 된다⁵⁾. 이중 화학적 흡수법이 에너지 및 비용 측면에서 가장 유리하지만 실용화를 위해서는 비용이 현저히 낮춰져야만 한다. 물리적 흡수법은 화학적 흡수법 보다 에너지소모가 적게 소요되고, 주로 연소공정 배가스보다는 높은 이산화탄소 농도의 가스가 발생하는 가스화 공정에 연계되어 사용될 수 있다. 그 외에도 CaO와 CaCO₃의 변환시 CO₂가 흡착 및 탈착이 된다는 화학특성을 이용한 carbonate 사이클 방식이 미국과 일본 등에서 제안되어 연구되고 있다. 회수된 이산화탄소는 화학적 또는 생물학적인 방법으로 전환시켜 연료나 유용한 화학원료로 활용할 수가 있다. 그리고 심해 또는 지층에 투기/저장시켜 대기층에의 이산화탄소 농도 증가를 방지할 수 있다. 최근에 이산화탄소의 전환법의 하나로 이산화탄소를 분리하지 않고 배가

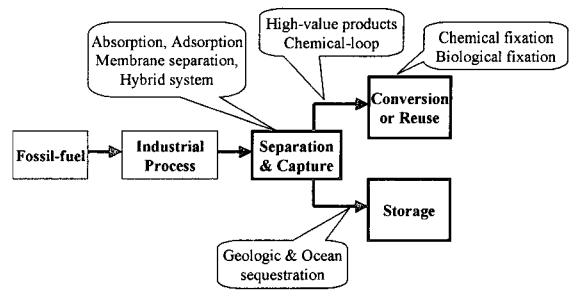


Fig. 3. Concept on carbon sequestration technology.

스에 이산화탄소, 수증기, 산소 등이 포함되어 있는 점과 배가스의 고온의 폐열을 이용하여, 배가스와 천연가스의 개질에 의하여 합성가스를 얻을 수 있는 Tri-reforming 기술이 제안되고 있다. 이는 순산소 연소와 연계하면 매우 효율적이며 다른 이산화탄소 회수처리 방법에 비하여 우수한 경제성을 부여할 수 있다. 이렇게 얻어진 합성가스는 메탄올, 디메틸에테르, 탄화수소의 합성에 이용될 수 있다⁶⁾.

4. 국내의 연구개발 정책 동향

1997년 12월 제3차 당사국총회(교토)에서 기후변화 협약의 후속조치로서 선진국의 감축의무를 강화하는 '교토의정서'가 채택된 후, 교토의정서의 이행방안에 대한 합의 노력이 계속되어 제7차 당사국총회(COP7 2001년, 마라케시)에서 최초 타결되었으며 미국의 거부에도 불구하고 발효될 것으로 예상된다. 기후변화 협약이 실제로 이행됨에 따라 감축 의무를 받은 나라들의 경제 및 산업 활동에 직접 영향을 미치게 됨으로써 경제 문제로 발전하게 되었으며 선진기술의 확보여부에 따라 협상의 우위가 좌우되게 되었다. 주요 각국의 대응 현황을 아래에 정리하였다.

4.1. 미국

교토 의정서 부속 합의서 I 국가 중 이산화탄소 배출량의 36%(1990년 기준)를 차지하고 있는 미국의 경우, 1993년 10월 기후변화 위협에 대응하기 위해 국가적 종합계획인 기후변화실행계획 (Climate Change Action Plan, CCAP)을 수립하였다. 이는 경제를 친환경적인 틀 안에서 성장시키고자하는 방안으로 온실가스 배출의 감소를 위한 각 부문의 실천계획을 집대성한 것이다. 프로그램은 환경보존, 환경적·경제적으로 지속가능한 개발 강화, 협력관계 확립, 공공의 참여, 국제적 배출 감소 촉진을 목적으로 하고 있으며, 개인들에 적합할 뿐만 아니라 환경적으로도 효과가 있는 정책으로서, 40개 이상의 프로그램이 연방·주·지방정부의 노력을 하나로 집합시키는

효과를 발휘하고 있다. CCAP에서 가장 큰 비중의 프로그램은 CO₂ 저감과 관련된 것으로 재생가능에너지, 저탄소에너지 및 에너지 공급기술에 대한 투자에 의해 CO₂ 배출의 감소를 추구하는 것으로, 이 프로그램은 장기간 효과, 효율성 증대, 저비용 및 오염방지가 가능한 것으로 평가되고 있다. CCAP은 1995년에 시작되었고, 연방 정부기관간 심사과정 및 공청회를 통해 시행되었으며, 이는 협약 지침에 따라 요구되는 사항으로 2020년까지 조치의 효과에 대한 검토 작업이 진행될 전망이다.

최근에는 2000년부터 저탄소, 청정, 고효율의 에너지 사용을 근간으로 하는 Vision 21사업과 온실가스 제거 연구개발사업을 포트폴리오화하여 추진하고 있으며, Vision 21사업의 개념도를 Fig. 4에 나타내었다⁷⁾. 특히 미래에는 탄소방출을 관리하는 주요 도구로 탄소 제거 기술의 사용을 기대하고 있다. 2000년 미국 DOE(Dept. of Energy)에서 발표한 CO₂ 저감 회수의 궁극적 목표는 \$10/TC (\$2.7/ton-CO₂)의 가격을 만족시킬 수 있는 실용적인 기술의 개발이다. 2000년에 발표된 PNNL(Pacific Northwest National Lab.)의 보고에서 탄소의 제거와 격리에 필요한 순수비용으로 가정된 숫자는 2015년에 \$50/TC (\$13.6/ton-CO₂), 2035년까지는 \$10/TC (\$2.7/ton-CO₂)였다. 이 숫자는 일반적으로 너무 낙관적으로 예측된 수치로 판단된다고 MIT의 최근 보고서에서 발표하였다. 또한, DOE 산하 NETL (National Energy Technology Lab.)을 통하여 CO₂ 저감을 위한 기술 개발에 나서고 있는데, 2002년 1월에 'Carbon Sequestration Technology Roadmap'을 발표하였으며, 그 주요 내용을 Table 1에 나타내었다⁸⁾. DOE의 주요 목표는 1) 현재의 플랜트에서 CO₂ 회수 비용을 75% 저감하는 것과 2) 새로운 플랜트에서는 90%까지 CO₂ 회수비용을 저감하는 것이다. 이외에도 NETL을 중심으로 미세조류를 이용한 생물학적 고정화 기술에 많은 투자를 하고 있고, FETC(Federal Energy Technology Center)를 중심으로 화학적 전환 및 에너지 활용분야에 노력을 기울이고 있다.

미국의 이러한 기술 개발 노력에도 불구하고, 부시 행정부에 들어서 기후변화 위험성에 관한 불확실성 및 미국내 경제에 부정적 영향등의 국가적 이해관계로 인해 교토의정서 비준을 거부하고 있어 다른 비준 국가들에 의한 교토 의정서 발효를 어렵게 하고 있는 상황이다. 하지만, 일본 및 EU가 주도하는 강력한 전 세계적인 환경 정책의 추세와 일부 미국내 자치단체 및 기업들의 비준 요구가 계속되고 있으므로, 지속적으로 세계적인 추세를 거스르기는 어려울 것으로 전망된다.

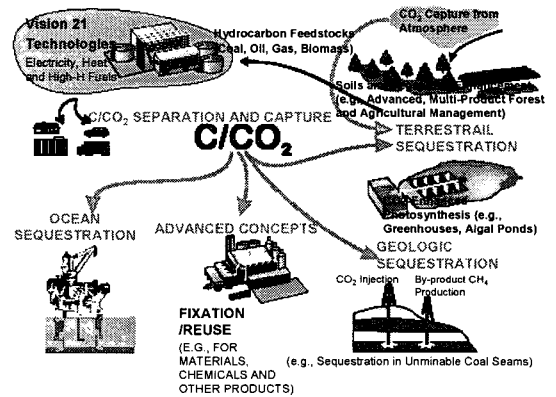


Fig. 4. Schematic illustration for carbon/CO₂ sequestration pathways integrated with Vision 21 program of DOE, US.

4.2. 일본

자원 빈국이면서 에너지 다소비형 산업구조를 가진 일본은 교토 의정서상의 의무 감축 이행을 위해 이산화탄소 저감기술 개발에 가장 적극적으로 투자하고 있는 국가 중의 하나이다. 일본의 경우에는 내각총리대신을 본부장으로서 하는 지구온난화 대책 추진본부를 운영하고 있고 추진본부에서 기후변화협약 대응 합동 심의회를 '97년 8월에 구성하여 CO₂를 포함한 지구온난화 관련분야인 산업, 민생, 운수부문 등에 대한 정책을 결정하고 있다. 일본은 지구온난화 방지를 위한 근거법을 제정하고, 이산화탄소 배출 안정화를 추진하기 위하여 에너지 수요와 공급측면에서의 기본방향을 마련하였다. 이는 에너지 수요측면에서는 인당 에너지소비량을 1990년 수준으로 안정시키고, 공급측면에서는 혁신적인 기술개발을 통한 청정연료 및 신·재생에너지 사용량의 증가 및 대체, 원자력 발전소의 추가 건설 등으로 구성되어 있다. CO₂ 저감의 목표를 1990년 대비하여 산업부문에서는 7% 감소와 수송부문에서는 17%의 감소 및 가정부문에서는 0% 유지로 세우고 부문별 정책방향을 정하고 있다. 1990년 7월에 이미 RITE (Research Institute of Innovative Technology for the Earth)를 설립하고 매년 과제 직접비만으로 5,000만 US\$를 사용하여 오고 있다⁹⁾.

이산화탄소 저감 기술 중 이산화탄소를 회수·처리하는 분야에 대해서 일본은 RITE를 중심으로 전력회사, 기업 및 대학과 연구소가 다양한 연구를 수행하고 이를 기업에서 실증 연구하는 형태의 산학연 공조가 활발하다. 특히 New sunshine 프로그램 (Fig. 5)의 일환으로 1990년부터 10년간 광합성 및

온실가스 저감을 위한 국내외 R&D 및 정책 동향

Table 1. Carbon sequestration roadmap

PATHWAY	KEY ISSUES	STATUS	APPROACH	PROGRAM SYNERGIES
Separation and Capture	<ul style="list-style-type: none"> High capital and operating cost Reduced efficiencies 	<ul style="list-style-type: none"> Current cost at 30-50 \$/ton CO₂ from an existing coal-fired power plant Up to 35% reduction in net power production due to efficiency losses 	<ul style="list-style-type: none"> Develop: <ul style="list-style-type: none"> Improved conventional technology Advanced capture technology Processes that concentrate CO₂ during fuel conversion 	<ul style="list-style-type: none"> Vision 21 Innovations for existing plants Partnership
Geologic	<ul style="list-style-type: none"> Public awareness and recognition of the value of large-scale storage of CO₂ Environmental acceptability and storage verification & monitoring 	<ul style="list-style-type: none"> 3M tons per year CO₂ used in the U.S. for EOR, 7M from man-made point sources Significant number of natural CO₂ storage analogs exist Experience with large-scale injection of CO₂ into underground formations: <ul style="list-style-type: none"> Significant with oil reservoirs Much less with gas reservoirs and coal seams Limited with saline formations, (Statoil has been injecting 1 MM tons of CO₂ per year into the Sleipner saline formation since 1996) 	<ul style="list-style-type: none"> Expand technology base for value-added applications for CO₂ Address public concerns by obtaining field experience with CO₂ storage <ul style="list-style-type: none"> Develop increased understanding of natural analogs Develop methods and technologies for tracking CO₂ migration underground and verifying storage integrity Develop best practices for CO₂ injection that lead to stable storage 	<ul style="list-style-type: none"> EOR, EGR DOE-OS USGS Global Partnerships
Terrestrial	<ul style="list-style-type: none"> Ideological resistance to terrestrial sequestration to offset emissions versus emissions reduction Cost-effective methods for monitoring & verifying(M&V) carbon in terrestrial ecosystems 	<ul style="list-style-type: none"> Utilities and other entities engaged in numerous forestation and reforestation/enhancement activities in anticipation of tradeable credits Promising M&V technologies exist, but are not adequately proven for acceptability and scalability (esp. soil carbon) 	<ul style="list-style-type: none"> Demonstrate the multiple benefits associated with terrestrial sequestration, particularly on disturbed lands Verify new technology for monitoring and verification of carbon in terrestrial ecosystems 	<ul style="list-style-type: none"> Innovations for existing plants DOE-OS USDA /USFS OSM Global Partnerships
Ocean	<ul style="list-style-type: none"> Environmental aspects of increased carbon storage in the ocean unknown Public concerns over future health of oceans 	<ul style="list-style-type: none"> Inadequate scientific understanding of the ocean carbon cycle. Data to determine ecological and environmental parameters not available 	<ul style="list-style-type: none"> Collaborate with DOE-OS, NSF, and international entities to conduct exploratory scientific research Investigate CO₂ hydrates formation and stability related to CO₂ storage 	<ul style="list-style-type: none"> Global Partnerships EGR(Hydrates) DOE-OS NSF
Novel Sequestration Systems	<ul style="list-style-type: none"> CO₂ conversion not economic: <ul style="list-style-type: none"> slow reactions large energy requirements 	<ul style="list-style-type: none"> No economical applications of CO₂ conversion identified to date; concepts are at the exploratory research stage 	<ul style="list-style-type: none"> Conduct exploratory research to discover new biological and chemical CO₂ conversion processes 	<ul style="list-style-type: none"> Innovations for existing plants Advanced Research DOE-OS NSF

Acronym Key: DOE-OS(Department of Energy - Office of Science), EGR(Enhanced Gas Recovery), EOR(Enhanced Oil Recovery), NSF(National Science Foundation), OSM(Office of Surface Mining), USDA(United States Department of Agriculture), USFS(US Forest Service), USGS(US Geologic Survey)

화학적 고정화를 포함하여 약 9개 분야에 연간 2억5천만엔 (94년 기준)의 거액의 연구비를 투자하고 있는 실정에 있다. 또한 이산화탄소의 생물학적 고정화 분야의 일본 정부 연구투자비(NEDO 총 연구비: 4,497 mill.Yen)는 1996년 전체의 37%(1,645mill. Yen)에 달하며 화학적 고정화와 그 이용기술 분야에는 23%(1,020mill.Yen)가 집중 투자되고 있다. 그 대표적인 성과로 CO₂용 고성능 분리막, 메탄올 합성용

고성능 촉매, 물분해용 고성능 고분자 전해질 등의 개발을 꼽고 있다¹⁰⁾.

4.3. 유럽연합 (EU)

EU의 15개 회원 국가들은 유럽 국가들이 기후변화협약에 대하여 공동 대응하는 것이 보다 유리할 것이라는 인식을 공유하고 있으며, 유럽 의회 차원에서 공동적인 정책을 구상하고 있다. EU 의회에서

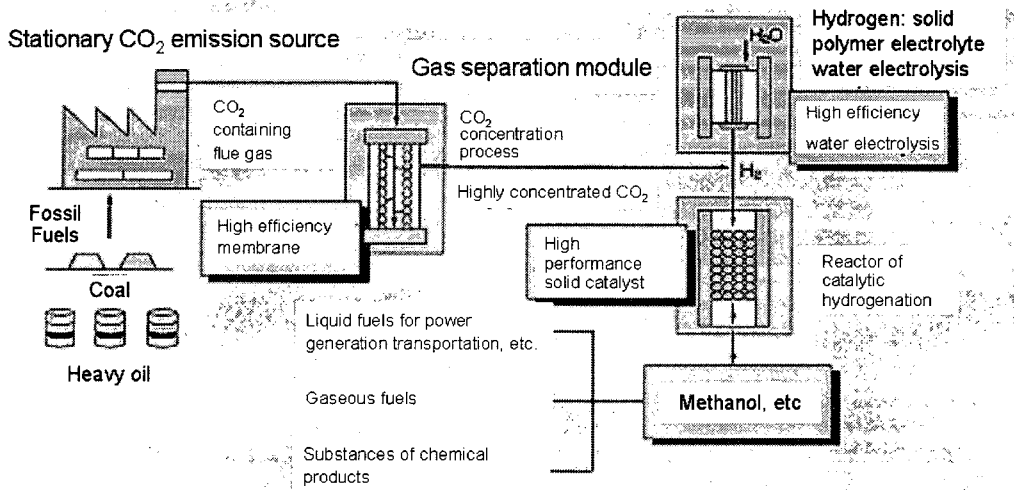


Fig. 5. Schematic illustration for CO₂ fixation and utilization technology of NEDO, Japan.

기후변화 문제는 80년대부터 “주요 지구환경문제 (Major global environmental problem)”로 분류되어, “예방성 원칙(Precautionary Principle)”에 의하여 조기 실천(early action)을 지지하고 있으며, 다른 선진국의 동참을 적극적으로 요구하고 있다. 또한, 기후변화 전략의 개발에 있어서 유럽이 주도권을 행사해야 한다는 입장을 표명하고 있다. 교토회의에서 선진국 블록은 5.2%의 온실가스 삭감을 결정하였지만, EU는 대기 중 온실가스를 안정화시키기 위해서는 50~70% 수준의 삭감이 필요하다는 IPCC의 입장을 잠정적으로 지지하고 있다.

유럽의 경우에는 CO₂를 농축시켜 원유 유전에 주입시키면 원유의 이동성이 향상되는 현상을 이용하여 원유 생산성을 향상시키는데 활용하는 경우가 이미 노르웨이에서 실용 적용되고 있다. 노르웨이에서는 Statoil사가 CO₂ 저감기술을 실제 적용하는데 선도적 역할을 하고 있다. Statoil사는 Sleipner West 가스전에서 아민을 사용하여 천연가스에서 CO₂를 분리하여 오고 있는데, 1996년 9월 이후로 주당 약 2만톤의 CO₂를 노르웨이 해안에서 240 km 떨어진 북해의 1,000m 심해에 격리 저장하고 있다. 이는 주로 노르웨이의 탄소세 (\$50/ton-CO₂; 2001/1/1부터 \$38/ton-CO₂로 조정)를 통하여 비용이 보전되기 때문에 가능한 일이다.

이 밖에도 영국에 그 본부가 위치한 국제에너지기구 (IEA, International Energy Agency)에서는 1991년부터 온실가스 연구개발프로그램 (GHG R&D Programme)을 추진하고 있다. IEA는 경제협력개발기구 (OECD)의 산하기관으로서 온실가스 연구개발 프로그램은 세계적으로 현안문제인 지구온난화 방

지를 위한 온실가스 저감 관련기술의 분석 및 검토를 주목적으로 하고 있다. 이 프로그램에는 미국, 일본, 유럽의 각국, 캐나다 등을 포함한 17개국이 참여하고 있는데 우리나라도 참여국으로 등록되어 있다. 그리고 이 연구개발 프로그램은 이산화탄소의 회수, 저장, 활용에 중점을 두고 있다. IEA의 온실가스 연구개발프로그램 중 이산화탄소 회수처리에 있어서 고온의 이산화탄소 분리기술, 환경친화적 이산화탄소의 촉매반응기술 그리고 North west 태평양 탄소 순환 연구등의 분야와 함께 분리된 이산화탄소를 심해, 염수지층, 유전 등에 저장하는 방법을 환경영향평가와 함께 주로 연구하고 있다. 이러한 예로 미국, 일본, 노르웨이, 캐나다, 오스트레일리아, 스위스 등이 공동으로 하와이의 Kona Coast에서 2001년 여름에 실험을 실행한 바 있다¹¹⁾.

또한, EU 에너지 총국에서는 대체 에너지 개발 및 재생 에너지 활용을 위한 Joule-Thermie 및 Altener 사업 프로그램을 통해 99년부터 2조원 이상이 투입되었다. 일반적으로 전체 에너지 공급량의 약 50%는 열에너지의 형태로 이용되고, 소요되는 1차 에너지의 약 60%가 열에너지 형태로 소실되기 때문에, 여러 형태의 폐열 및 미활용 에너지를 회수하여 활용함으로써 이산화탄소 배출을 대폭 줄이고자 하는 것이다. 그 예로 IEA 산하 HPC(heat pump center)에서는 미활용 에너지를 유효한 에너지로 변환하는 에너지 수송 저장 기술을 활용한 최적화 개념의 에너지 광역 시스템화를 시도하고 있다¹¹⁾(Fig. 6)

4.4. 국내

국내의 기후변화 협약 대응현황은 선진국간의 합의가 이루어지면 다음 공략 대상은 한국 등 선발 개

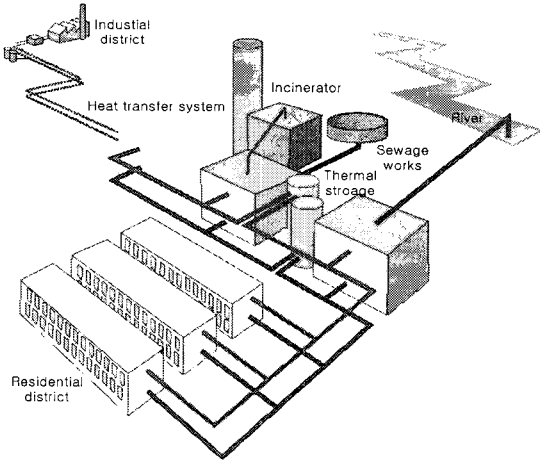


Fig. 6. Concept of thermal energy storage and heat transport technology for energy reuse and utilization.

도국이 될 것이 분명하다. 따라서 온실가스 배출량이 세계 10위인 우리나라도 정부, 기업, 국민 등 모든 경제주체가 혼연일체가 되어 온실가스 감축 이행이 경제에 미칠 영향을 분석하여 에너지, 산업 및 환경정책의 틀을 재정비하여야 한다. 정부는 1998년 「기후변화협약 대책위원회」를 국무총리실 산하에 구성하여 종합대책을 마련하고 있고 대통령 직속 「지속가능 발전 위원회」에 「기후변화 협약 대응방안 소위원회」(2000.9), 국회는 「기후변화 협약 대책특별위원회」(2001.3) 및 대한상의의 「산업계 기후변화 협약 대책반」이 구성(2001.2)되어 대책을 추진 중이다¹²⁾.

우리나라는 기후변화 협약 대응을 위해 지난 1998년부터 「범정부대책기구」를 구성하여 정부종합 대책을 수립·추진하고 있으며 2002년 3월 이의 2차 대책을 수립한 바 있다. 2차 대책의 기본방향은 정보통신·미래첨단기술 등 에너지 저소비형 산업·수송·가정 등 각 부문에서의 에너지절약 노력을 일층 강화하여 「에너지절약형 경제구조」를 조기에 구축하고, 이를 바탕으로 지구온난화 방지를 위한 국제적 노력에 기여해 나가는 한편, 우리의 에너지소비 현실을 온실가스 감축부담형상에 적극 반영하는 것이다. 주요 추진내용으로는, 장기 에너지 수급전망을 기초로 우리의 적정 의무부담 논리를 개발하고 교토의정서 비준·국제 공조의 강화·전문 인력의 양성 등을 통해 협상역량 확충, 중·대형 에너지 절약기술, 대체에너지 기술 등 온실가스감축 기술 및 연구 개발을 촉진, 통합관리형 에너지절약체제 구축 등 산업·수송·가정·폐기물·농축산 등 각 부문에서의 온

실가스 감축시책을 대폭 강화, 온실가스 국가등록시스템, 청정개발제도(CDM) 및 배출권거래제 도입 등 교토 메카니즘의 대응기반 구축 및 활용 등이다¹³⁾.

국내의 관련 연구는 환경부 G-7 과제, 과학기술부 온실가스 저감기술개발업, 산업 자원부 청정에너지 기술사업 등으로 국내 관련 산업체, 출연 연구기관, 대학 등을 중심으로 기후변화 탐지기술, 이산화탄소 회수·처리 기술, 에너지 절약과 에너지 이용 효율 향상 기술, 대체 에너지기술 등이 개발되어 왔다. 이중 이산화탄소 회수·처리 분야에서는 주로 이산화탄소의 분리, 이용 등에 초점을 맞추어 수행해 왔으며, 이용에는 메탄올 또는 탄화수소의 제조에 초점을 두어 연구해 왔다. 일본의 경우에서 보듯이 국내에서도 가장 CO₂의 발생이 많은 곳이 산업 부문이나 대형 발생처인 환전과 포항제철 등은 이미 상당한 효율 향상을 위한 노력이 있어 왔기 때문에 급격한 CO₂의 절감 효과를 볼 수 있는 분야로는 판단에 신중할 필요가 있다. 그렇지만 워낙 대규모로 CO₂를 배출하는 업체들이므로 국가적인 CO₂의 저감목표에는 반드시 포함되어야 하는 사업장이다.

5. 향후 전망 및 대책

교토 의정서는 온실가스 감축의무를 지니는 선진 38개국 가운데 이를 비준한 국가들의 배출량이 전체 배출량의 55%이상이 될 때 발효한다. 지금까지의 비준 현황을 볼 때, EU 다음으로 이산화탄소 배출량이 많은 러시아(17.4%)가 급년 중으로 의정서에 서명할 것으로 알려져 온실가스 최대 배출국인 미국(36.1%)의 비준 여부와 상관없이 교토 의정서가 곧 발효될 것으로 예상된다. 이러한 국제적 의무 이행과 관련된 문제가 아니더라도, 최근 몇 년간의 대형 태풍, 홍수, 가뭄, 이상 기온 및 계절 변화의 이상 징후 등의 현상으로 인해 한반도 기후변화가 감지되고 있으며, 이는 온실가스에 의한 지구 온난화가 주 원인인 것으로 분석되고 있어, 그 대책으로 국내 에너지 관련 정책 및 온실가스 배출 저감 기술 개발이 시급하다. 기존의 화석연료를 사용하여 발생하는 CO₂를 저감하는 방법에는 앞서 언급한 것과 같이 1) CO₂를 분리 회수하여 자원화 또는 저장, 2) 순산소 연소 공정 도입, 3) 폐열 및 냉열의 활용이 있으며, 이들 세가지 방법을 Fig. 7과 같이 유기적으로 잘 결합시킴으로서 이산화탄소 저감에 크게 기여할 수 있다. 이렇게 회수된 이산화탄소는 Tri-reforming, 화학적 고정화, 생물학적 고정화에 의해 DMC, Methanol, Polycarbonate, α-olefine, Higher alcohols, formic acid, Biomass로 전환되거나 지중 저장한다. 분리 반응 동시 공정화, 미활용 에너지인 폐열을 이용하여 처리 기술의 경제성을 높일 수 있다.

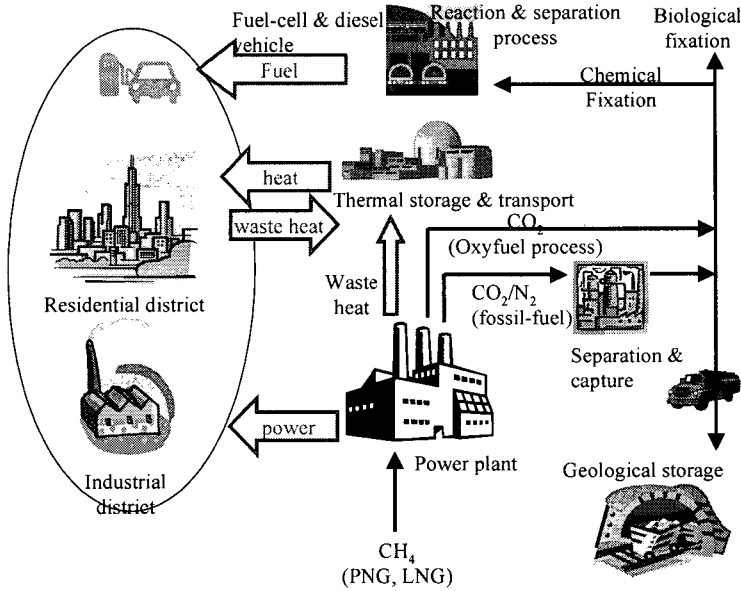


Fig. 7. Green-city concept for zero emission by energy recycling.

이산화탄소 저감 정책을 시행하고 있는 국가들은 이산화탄소 저감 기술이나 흡수 기술 개발에 상당한 노력을 하고 있는 있는데, 국내 자체의 환경기술 개발뿐만 아니라 선진 환경기술을 보유한 국가와의 협력이 중요하다. 유럽연합의 경우 개도국과의 환경기술 이전 프로그램을 다양하게 실시하고 있는데, 이 프로그램을 최대한 활용하여 연구개발 분야에 대한 공동 투자를 통한 선진 환경 기술에 대한 노하우를 습득하고 이를 환경산업으로 발전시켜야 할 것이다. 정부도 환경기술에 대한 개발과 보급을 촉진하기 위해서 G-7과제 이후에 차세대핵심 환경기술 개발(Eco-Technopia 21) 및 이산화탄소 저감 프론티어 사업을 시작하였으며, 청정생산기술 보급 종합계획을 수립하여 산·학·연 등이 청정생산기술 개발을 지원하고 있으며, 환경개선 효과가 크고 타 업종의 파급효과가 높은 정밀화학, 철강, 자동차 등이 대상으로, 기업 차원에서 이에 대한 기술 지원과 자금조달을 적극 이용할 필요가 있다.

지구 온난화 문제는 국제 환경 문제일 뿐만 아니라 교토 의정서상의 의무 이행에 있어서 각국의 산업 경쟁력에 막대한 파장을 초래하므로, 향후 자국의 이익을 우선적이고 전략적으로 추구하는 국제 사회에서 서로 이해관계에 의한 상당한 논란 속에서 전개될 것으로 전망된다. 즉, 기후변화 협약은 지구 환경과 관련된 협약이지만, 동시에 경제협약 및 기술 협약으로서의 성격을 지니고 있다. 환경 보호라는 명분과 무역 규제가 상호 연계됨으로서 국가 경쟁력에 직결되는 문제가 될 수 있는 것이다. 또한,

에너지 및 환경 관련 기술 개발에 있어서 국가간의 기술 중속이 더욱 가속화 될 수 있는 과학기술의 패권을 가늠하는 협약이기도 하다. 이렇게, 기후변화 협약은 환경(Environment), 에너지(Energy); 경제(Economy) 문제를 포함한 복합적인 문제가 포함되어 있지만 그 근본 해결 방법은 선진기술(Advanced Technology)의 확보에 있다고 보며 우리나라가 이산화탄소 저감 및 처리에 대한 선진 기술을 확보하게 된다면 교토의정서 발효와 이에 따른 배출저감의 의무부담을 더 이상 미룰 이유가 없으며 오히려 이산화탄소 감축 의무부담을 국내의 효율적 에너지 정책과 환경정책을 세우는 추진력으로 삼아 국가경제의 활력소가 될 수 있을 것으로 사료된다.

참고 문헌

- 1) 특허청, 2001, 신기술 동향조사 보고서: 온실가스 저감기술, 한국발명진흥회, 12pp.
- 2) Gitay, H., A. Suarez, R. T. Waston and D. J. Dokken, 2002, IPCC technical paper V: climate change and biodiversity, Cambridge University Press, 4-7pp.
- 3) 권원태, 민승기, 신임철, 이정형, 박이형, 오현택, 2003, 동아시아 지역의 기후변화 탐지 및 전망, 제4회 온실가스저감기술개발 종합 심포지움 논문집, 43-49pp.
- 4) Nakicenovic, N. and R. Swart, 2000, Special report of the IPCC: emission scenarios, Cambridge University Press, 7-10pp.

온실가스 저감을 위한 국내외 R&D 및 정책 동향

- 5) 서봉국, 박유인, 이규호, 2003, 대기중 이산화탄소 배출 제어를 위한 분리막 기술, 화학공학, 41(4), 415-425.
- 6) 이규호, 2002, 이산화탄소 저감 및 처리 기술 개발을 위한 프론티어 사업 제안서, 한국화학연구원, 17pp.
- 7) 미국 에너지국 홈페이지(<http://www.netl.doe.gov>).
- 8) Schmidt, C., 2002, Carbon sequestration technology roadmap: pathways to sustainable use of fossil energy, U.S. Dept. of Energy, 10pp.
- 9) 山田興一, 1995, 二酸化炭素 對策技術の動向, 日本化學工學會, 8pp.
- 10) Makino, T., 1999, Research report on carbon dioxide separation and reuse, New Energy Development Organization(NEDO), 460pp.
- 11) 국제 에너지기구 홈페이지(<http://www.iea.org>).
- 12) 한국에너지관리공단 홈페이지(<http://co2.kemco.or.kr>).
- 13) 환경부 홈페이지(<http://www.me.go.kr>).