

2003 추계학술발표회 논문집
한국원자력학회

이산화탄소 회수·처리의 개발 동향
The status on the development of CO₂ capture and sequestration

김승수, 이만기
한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

지구온난화를 방지하기 위한 수단 중의 하나로써 대기 중의 이산화탄소 배출량을 감소시키려는 노력이 선진국을 중심으로 하여 활발히 펼쳐지고 있다. 1990년대에는 주로 에너지 소비절약과 에너지 이용효율 향상을 통한 이산화탄소 배출 감소에 역점을 두어 왔지만 최근에는 자연생태계의 흡수능력향상과 배출된 가스를 회수하여 심지층 혹은 해양에 저장하는 방안에 대해 매우 긍정적인 평가를 하고 있다. 특히 이산화탄소를 회수하여 격리시키면서 부가적인 경제적 효과를 창출시키는 프로젝트가 이미 진행되고 있다. 본 논문에서는 이산화탄소 회수·처리에 대한 기술의 현황과 개발 전망 그리고 국내에서 수행되는 관련 연구의 현황과 향후 전망에 대해 정리하였다.

Abstract

Decreasing concentration of CO₂ in the Earth's atmosphere became the main concern all over the world. Developed countries are performing the large investment on the R&D projects related to the reduction technologies of CO₂ emission into the air. In the 1990's, main interest was in the energy saving and the enhancement of energy efficiency in the aspects of energy consumption. In the recent year, CO₂ capture and sequestration option which capture carbon gas emitted into the air from energy system and store it underground or in the deep sea is being highlighted as the new alternative for the CO₂ reduction. This thesis looks over the R&D status of CO₂ reduction technologies.

1. 개요

대기 중에 이산화탄소를 비롯한 온실가스의 농도가 증가함에 따라 온실가스효과가 확대되고 이는 기후의 변화를 유발시키게 된다. 이러한 기후변화의 파급효과는 그 정도나 시기 혹은 특성을 예상하기가 매우 어려운데 분명한 현상은 지구의 평균 온도가 상승한다는 점이다. 그림 1에서보는 바와 같이 지구표면에서의 평균온도는 20세기 들어와 급격히 상승하는 모습을 보여주고 있다.

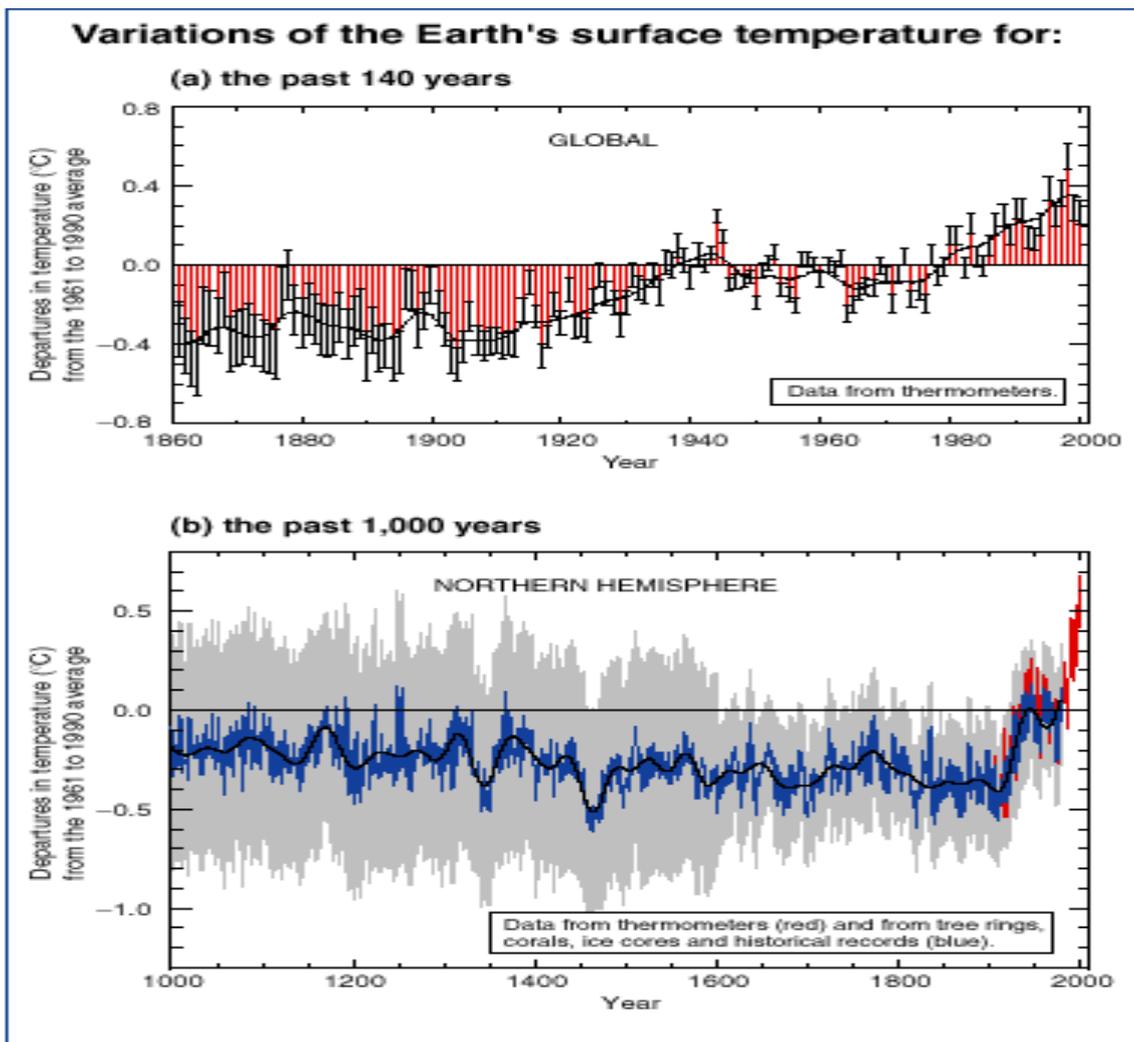


그림 1 지구의 평균온도(지표면) 변화추이

세계 각국은 이산화탄소를 비롯한 온실가스의 대기중 농도를 제한해야 한다는 점에 의견을 같이 하여 기후변화에 대한 UN협약(UNFCCC: UN Framework Convention on Climate Change)을 만들었으며 이를 효과적으로 실행하기 위한 수단으로써 교토협약(Kyoto Protocol)을 체결하였다. 이 협약에 따르면 2008년-2012년의 기간의

온실가스 배출량이 1990년 수준보다 평균 5.2% 만큼 감소시키도록 규정하고 있다. 교토협약이 아직 발효되지는 않았지만 지구온실가스 중에서 비중이 가장 큰 이산화탄소의 발생량을 감축 시키는 것은 협약이행을 위한 관건이 되고 있다. 대기중 이산화탄소의 양을 감소시키는 일반적 정책 및 방법은 다음과 같다.

- 에너지의 사용량을 줄임
- 에너지 전환 및 이용의 효율성을 향상시킴
- 저탄소연료(천연가스 등)로의 사용전환 유도
- 천연의 이산화탄소 흡수원(토양, 숲, 대양 등)의 가용성을 확충시킴
- 이산화탄소 발생량이 거의 없는 에너지원(원자력, 신재생에너지 등)
- 화석연료연소로부터 발생하는 이산화탄소를 회수하여 저장시킴

위에 열거한 방법들은 각각의 방법적용에 따른 비용, 감축량의 목표, 사회적인 요인들, 가용 에너지원의 정도에 따라 선호도가 다를 수 있을 것이다. 우선적으로는 에너지의 사용량을 줄이거나 저탄소연료를 사용하는 방법이 가장 비용효과적인 방법이 될 수 있을 것으로 인식되고 있으며 천연의 흡수원을 이용하는 것은 단기적인 측면에서 유용하나 장기적인 수단으로는 생태계의 순환 등에 관련된 안전성에 의문을 갖고 있다. 또한 이산화탄소를 배출하지 않는 원자력발전과 신재생에너지원의 사용을 활용할 수 있지만 기술적인 문제와 사회적 혹은 경제적 요인들로 인해 능력이 제한받고 있는 상황에 있다.

이산화탄소를 회수하여 지하 혹은 심해에 저장하는 방법은 최근에 와서 논의되기 시작한 방법이다. 이것은 대부분의 에너지를 화석연료원에 의존하고 있는 현재의 상황을 고려할 때 타 에너지원으로서의 급격한 전환이 거의 불가능하고 경제에 미치는 영향 또한 지대하기 때문에 화석연료원을 지속적으로 사용하면서도 이산화탄소의 배출량을 줄일 수 있는 회수 및 저장 기술/방법이 주요 대안으로 부상하고 있다.

한편, 미국에서는 DOE의 주관 하에 이산화탄소의 회수 및 저장 프로그램에 관한 장기계획보고서를 발표하였는데 여기에서 이산화탄소의 회수·저장기술은 에너지 효율성 향상, 저탄소연료의 사용 등에 이어 이산화탄소 발생량 저감의 세 번째 대안으로 지목하고 있다. 또한 이산화탄소 배출량 감축에 대한 장기적인 기술지도(technology roadmap)를 작성하였다. 여기에서는 2050년까지 이산화탄소를 비롯한 지구온실가스의 획기적인 감축을 목표로 하여 2012년까지 온실가스를 18%만큼 감소시키고 2020년부터는 온실가스배출증가율을 제로로 유지하도록 하는 것을 주요 내용으로 하고 있다(그림 1). 아래의 그림에서 보는 것처럼 감축하고자 하는 온실가스의 절반 이상을 이산화탄소의 회수 및 격리방법에 의해 수행되어야 함을 나타내

고 있다.

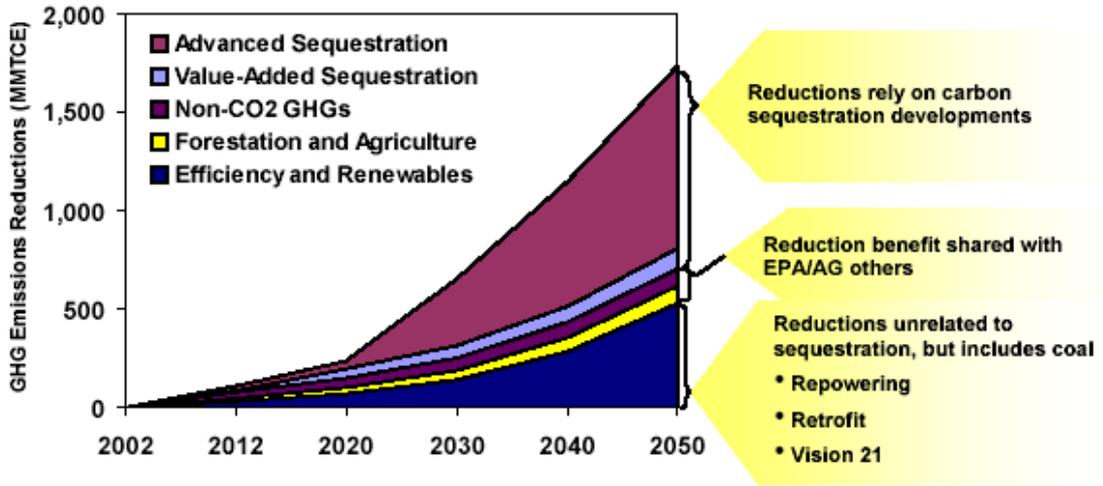


그림 1. 지구온실가스를 줄이기 위한 탄소격리기술의 역할(미국의 경우)

2. 이산화탄소의 회수 및 격리

가. 이산화탄소의 분리·회수

대기 중의 이산화탄소 농도를 안정화시키는 방법 중의 하나인 이산화탄소 분리·회수는 일반적으로 회수한 이산화탄소를 이용 또는 저장하는 과정까지 연계하여 언급하는 경우가 많다. 이산화탄소의 회수방법은 크게 직접적인 방법과 간접적인 방법으로 나눌 수 있는데 직접적인 방법은 인류의 에너지 생산·소비과정에서 배출되는 이산화탄소를 에너지시스템으로부터 회수하는 것이고 간접적인 방법은 자연생태계의 이산화탄소 흡수능력(회수 및 저장을 거의 동시에 수행)을 향상시킴으로써 이루어지는 것을 의미한다.

본 논문에서 다루고자 하는 것은 주로 직접적인 이산화탄소 분리·회수에 관한 것으로서 전력부와 같은 대규모의 발생원을 연구 대상으로 하고 있다. 발전부문의 이산화탄소 발생량은 인류활동으로 인한 총 발생량의 약 1/3에 해당하고 있다. 발전부문의 이외의 대규모 발생원으로는 정유제련, 석유화학산업, 철강산업, 수송부문 등이 있으며 본문에서의 주요 관심은 전력산업의 이산화탄소 분리·회수분야에 있다. 주요 대상 발전원으로는 석탄화력(미분탄연소, 유동층연소 등)발전과 LNG Combined Cycle 발전소 등이다. 또한 산업공정의 과정에서 이산화탄소가 자연적으

로 분리되는 산업이 있는데 북해의 노르웨이 지역에 있는 Sleipner Vest gas field 가 대표적인 예로써 천연가스전으로부터 이산화탄소를 분리하여 지하의 염수저장소에 직접 주입·저장하고 있다.

이외에 화력발전의 효율성을 향상시킴으로써 환경오염물질의 배출을 줄이려는 노력이 다방면으로 시도되고 있으며 이중의 한 예로써 IGCC (Integrated Gasification Combined Cycle) 기술은 원유정련소의 잔유물 또는 석탄을 연료로 하여 고효율의 복합사이클을 적용함으로써 황산화물 등의 오염물질발생을 줄이는 효과를 가지고 있다. IGCC 기술은 과거 수년간에 걸쳐 개발되어 왔으며 아직 널리 상용화되지는 못하고 있다. 이 기술은 가스화기내에서 연료를 산소 및 증기와 반응시켜 합성가스(일산화탄소와 수소로 이루어짐)를 만들고 이를 정화시킨후 복합사이클을 통해 연소시킴으로써 전력을 생산하게 된다. IGCC의 기술성은 충분히 검증되었지만 타발전원에 대한 경쟁력을 확보하기 위해서는 자본투자비의 규모가 감소되어야 하며 신뢰도 및 운전상의 탄력성이 향상되어야만 할 것이다.

화력발전소에서 이산화탄소의 회수는 크게 연소전과 연소후의 과정으로 나뉘어진다. 연소후에 배출되는 가스는 질소가 대부분이며 이산화탄소는 부피기준으로 볼 때 미분탄연소의 경우 14%, 석탄이용 IGCC가 9%, LNG CC는 4%와 같이 작은 비중을 차지하고 있기 때문에 배출가스로부터 이산화탄소만을 선별적으로 분리하여 처리하는 작업을 거친 후에 저장하는 것은 비용 측면에서 반드시 필요하다고 할 수 있다. 현재에 사용되고 있는 연소후 이산화탄소 분리·회수의 대표적인 방법은 아민용액을 사용하는 것으로써 배출가스를 세정한 아민용액을 가열하여 고순도의 이산화탄소와 재사용가능한 아민용액을 만들어내는 방법이다. 일반적으로 연소후 배출가스중의 이산화탄소 농도가 낮음으로써 야기되는 문제점으로는 큰 부피의 가스를 다루어야 하고, 강력한 용매제가 필요하며 용매의 재사용을 위한 대규모의 에너지가 소비되어야 하는 점인데 이것이 처리비용을 상승시키는 요인이 되고 있다. 이러한 이유로 인해 연소후의 이산화탄소 회수 효율을 높이는 방법으로는 보일러 혹은 가스터빈 내에서 연소시 공기대신에 농축산소(순산소)를 사용하는 방법이 있는데 이렇게 함으로써 배출가스중의 이산화탄소 농도를 약 90% 이상으로 만들 수 있어서 이후에는 단순한 이산화탄소 순수화 작업만이 필요하게 된다. 다만 순산소의 생산비용이 과다한 것이 해결해야 할 문제점이다.

화석연료를 연소하기 전에 이산화탄소를 회수하는 방법이 추출가스중의 이산화탄소 농도를 증가시킬 수 있는 또 다른 방법인데 이의 대표적인 예로써는 석탄-IGCC 방법을 들 수 있다. 주요한 과정을 보면 연료를 연소전에 산소와(혹은) 수증기와 반응시킴으로써 일산화탄소와 수소를 만들어내고 일산화탄소는 증기와 촉매로(이동전

환기)에서 반응시킴으로써 이산화탄소와 더 많은 수소를 생성해내게 된다. 이후 이산화탄소는 분리·회수하고 수소는 가스터빈 복합사이클의 연료로 사용된다. 이러한 기술의 대부분은 암모니아 생산과 산업공정에서 이미 검증되었지만 현존하는 가스터빈에서 수소연료를 연소시키는 과정은 아직 상업적으로 증명되지 못했다.

나. 분리·회수의 기술

대기중으로 배출되는 이산화탄소의 양을 감소시키기 위해서는 배출원으로부터 이산화탄소를 선택적으로 분리·회수하는 과정이 우선적으로 이루어져야 한다. 즉 분리·회수(capture)한후 지하 혹은 심해에 저장(storage; sequestration)하는 과정을 거침으로써 대기중의 이산화탄소 감축과정이 완료되게 된다.

분리·회수의 기술은 크게 흡수법(absorption), 흡착법(adsorption), 막분리법(membranes), 심냉법(cryogenics) 등의 4가지로 나뉘어지며 이들의 기술적 특성을 간략히 살펴보면 다음과 같다.

- 흡수법 : 이산화탄소를 흡수할 수 있는 용액과 이산화탄소를 함유하고 있는 배출가스를 접촉시킴으로써 대상 기체를 선택적으로 분리하는 방법인데 흡수제의 종류에 따라 액체습식과 고체건식방법으로 구분된다. 액체습식흡수법의 대표적인 방법은 아민용제기술(Amine scrubbing technology)이며 60여년 이상 전에 석유화학산업에서 배출가스로부터 이산화탄소와 황화수소를 제거하기 위한 방안으로 도입되었다. 배출가스로부터 이산화탄소를 회수하기 위해 아민용액이 사용되는 곳은 미국에 있는 Warrior Run 석탄화력발전소(150 CO₂톤/일)를 비롯하여 몇 군데가 있는 것으로 알려져 있다. Mono-에탄올아민(MEA)은 아민중 가장 널리 사용되는 형태로서 98%이상의 회수율과 99%이상의 순도를 가진 제품을 생산할 수 있다. 연소전에 이산화탄소를 흡수하는 방법은 연소후의 방법과 상당히 차이가 있는데 IGCC의 경우 회수된 이산화탄소의 농도가 20기압 이상에서 약 35-40% 정도 되는 것으로 알려져 있다.

- 흡착법 : 이산화탄소를 활성탄, 제올라이트와 같은 고체흡착제를 이용하여 분리하는 방법으로써 압력차이를 이용하는 Pressure Swing Adsorption(PSA)방법과 온도차이를 이용하는 Temperature Swing Adsorption(TSA) 방법이 있다. PSA법은 배출가스를 층층이 쌓인 흡착제 층을 선택가스의 농도가 균형을 이룰 때까지 고압으로 통과시키는 방법이며 흡착제는 감압을 통해 재사용할 수 있게 된다. TSA법은 압력 대신 온도를 이용하는 방법으로써 PSA와 TSA 모두 상용화된 상태이고 천연

가스로부터 이산화탄소를 제거하거나 수소를 생산하는 방법으로 일정 부분 사용되어 왔다. 이 방법은 대규모의 이산화탄소 분리에는 적절치 않은 것으로 보이지만 다른 회수방법과 연계된다면 매우 좋은 방법이 될 것으로 예상하고 있다.

- 막분리법 : 막에 대한 이산화탄소의 투과속도 차이를 이용하여 분리하는 기술로써 현재까지 알려진 고분자 막물질은 투과선택도 측면의 경제성을 향상시켜야만 상용화가 가능한 것으로 추정하고 있다. 사용되는 막의 종류로는 다공질 무기질막, 팔라듐막 등을 포함하여 아주 다양한 종류의 막이 있으며 일반적으로 선택적 투과 효율이 낮기 때문에 여러 단계를 거치거나 가스를 재순환시키는 과정들이 필요하게 된다. 이러한 복잡한 과정들은 에너지 소비나 비용을 증가시키는 요인이 되고 있다. 따라서 흡수법과 막분리법을 결합한 방법들이 개발중에 있지만 아직까지는 발전소의 배출가스를 대규모로 분리하는 데에는 많은 어려움이 있다. 막분리법의 주요 기술개발 분야는 막소재개발, 모듈개발, 분리공정의 시스템 개발 등의 3개 분야로 나뉘어지며 이 중에서 막소재 개발분야는 국내 및 국외에서 시급히 개발해야 하는 분야로 관심을 집중시키고 있다.

- 심냉법 : 기체간의 증기압 차이를 이용하는 방법으로써 냉각과 응축방법을 통해 이산화탄소를 분리하게 된다. 보통 이산화탄소가 고농도(90% 이상)로 포함되어 있는 기체를 대상으로 수행되어왔으며 저농도의 기체에는 사용되지 않는다. 주요 단점은 위에서 말한 고농도의 이산화탄소가 필요한 것 이외에도 냉매공급을 위해 많은 에너지가 필요하고 수분이 공정전에 미리 제거되어야 하는 점 등이 있다. 한편, 수송에 용이한 액체 이산화탄소를 직접 생산할 수 있다는 장점이 있다.

위에서 설명한 이산화탄소 분리·회수 기술들의 주요 특성을 간략히 정리하면 다음과 같다.

표 2 이산화탄소 분리·회수 기술의 비교

구 분	장 점	단 점
흡수법	o 대용량, 저농도/고농도의 기체처리가 용이함	o 에너지 소비 과다 o 흡수제에 의한 장치 부식
흡착법	o 장치가 간단함 o 고농도 기체에 용이	o 에너지 소비 과다 o 대용량 처리 어려움
막분리법	o 장치가 간단함, o 에너지 소비가 적음 o 저농도의 기체처리에 용이	o 고비용의 분리막 모듈 o 고농도/대용량 처리에 어려움 o 복잡한 시스템(비용요인)
심냉법	o 대용량/고농도 처리에 용이 o 액체 이산화탄소를 직접 생산	o 저농도의 기체에는 부적합함 o 에너지 소비 과다

다. 격리 방법 및 기술

분리·회수된 이산화탄소를 격리시켜 영구히 저장함으로써 대기중의 이산화탄소 농도를 감소시키는 전과정이 모두 마무리된다. 협의의 격리 (Sequestration)는 이미 분리·회수된 기체를 격리·저장하는 것만을 의미하며 광의로 사용될 때는 대기중에서 기체를 분리·회수하는 과정과 격리·저장하는 과정 모두를 포함하기도 한다.

이산화탄소를 격리시키는 방법은 크게 지질학적 격리(Geologic sequestration), 육상 격리(Terrestrial sequestration), 해양 격리(Ocean sequestration) 등으로 분류할 수 있다. 미국 DOE의 발표 자료¹⁾를 보면 영역별로 구분한 전세계의 탄소 격리·저장 가능용량 추정치는 표 3과 같다.

표 3 전세계의 탄소 격리·저장 가능 용량

Carbon Sequestration Reservoir	용량(GtC)
해양(*)	1,400 - 2*10 ⁷
지질적 구조물(*)	300 - 3,200
육상 생태계(토양, 삼림 등)	>100
인간활동으로 인한 발생량, GtC/yr(1990년)	6.0

(*)자료원 : “Carbon dioxide disposal from power station”, IEA Greenhouse Gas R&D program, 1998; Carbon management, Assessment of fundamental research needs, DOE Office of Science.

위의 표에서 알 수 있는 것처럼 추정치에 있어서 어느 정도의 불확실성이 있을 수 있지만 이산화탄소를 회수하여 격리시킬 수 있는 영역별 잠재적 양은 해양이 가장 크며 이것은 인류가 수 세기 동안 발생시킨 이산화탄소를 모두 수용할 수 있는 정도에 해당된다. 각각의 영역별 저장용량을 추정하기 위해서는 기체, 액체, 고체 별로 단위 부피당 무게의 정도를 적용함으로써 좀 더 정확한 산출이 가능할 것이다. 성상에 따른 탄소의 형태별 밀도를 살펴 보면 다음의 표 4와 같다.

표 4 탄소의 형태별 밀도(kg carbon/m³)

CO ₂ 가스(60F, 100 psi)	3
CO ₂ clathrate(내포화합물)	81

1) Carbon Sequestration R&D Program Plan: FY 1999 - FY 2000, US DOE, Office of Fossil Energy, Federal Energy Technology Center.

Biomass(포플라 나무)	220
CO ₂	253
CO ₂	425
탄산마그네슘	432

위에서 서술한 각각의 격리방법에 대한 주요 특성을 보면 다음과 같다.

- 지질학적 격리 : 지질학적 특성을 이용하여 지하에 이산화탄소를 저장하는 방법으로써 주요 저장소로는 감소된 원유나 가스의 저장소(Depleted oil & gas reservoirs), 심지층의 염수 저장소(Deep saline aquifer), 채굴할 수 없는 석탄층(Unminable coal seams/beds) 등이 있다. 미국내의 연구결과에 따르면 미국에서 발생하는 수십년 혹은 수세기 동안의 이산화탄소 양을 격리시킬 수 있는 충분한 지질학적 저장용량이 미국내에 있다고 보고하고 있다(표 5). 그러나 표 5의 저장용량 추정치는 다양한 요인들(저장부피, 다공성, 흡습성, 압력 등)에 의해 크게 달라질 수 있기 때문에 정확하게 추정하는 것은 매우 어려운데, 표에서 알 수 있는 것처럼 석탄층의 추정치에 대해 전세계와 미국을 비교할 때 매우 불확실함을 보여주고 있다. 즉, 정확한 추정용량을 산출하기 위해 더욱 많은 연구가 필요한 것으로 보여진다.

표 5 지질학적 격리·저장 용량의 추정

지질학적 저장소	추정 저장 용량(GtC)	
	전세계(1)	미국내(2)
채굴할 수 없는 석탄층	>4	4 - 6
감소된 원유 저장소	251	11 - 14
감소된 가스 저장소		22 - 27
심지층 염수 저장소	109 - 2,727	1 - 136
총 계	364 - >2,982	38 - 183

(1)“Putting carbon back into the ground”,IEA Greenhouse Gas R&D Programme, 2001
(2) 자료원 : ARI; Berman et al. (“Carbon Sequestration Technology Roadmap, US DOE/NETL, 2002.1“ 중에서)

한편, 감소된 원유나 가스층에 이산화탄소를 격리시키는 기술은 실행과정에서 다른 부가가치를 창출할 수 있다. 즉, 이산화탄소를 주입함으로써 유전층 혹은 가스층에 있는 남아 있는 물질을 밀어내게 함으로써 원유나 가스의 시추효율을 높이고 결과적으로는 비용을 감소시키는 역할을 하게 된다. 이러한 기술은 흔히 CO₂-EOR(enhanced oil recovery)로 불리워지고 있으며 이 방법을 통해 일반적으로 10-15%의 시추효율을 높일 수 있다고 말한다. 어떤 상황에서는 이러한 추가적인 원유생산효과가 이산화탄소의 회수와 주입에 소요되는 비용을 상쇄하는 것 보다 많

을 것으로 예상하고 있다. 미국내에서만 이미 74개의 CO₂-EOR 프로젝트에 연간 약 9백만 탄소톤의 이산화탄소(주로 천연가스전에서 직접 회수함)를 주입해 왔으며 캐나다의 Weyburn 프로젝트에서는 에너지 시스템으로부터 발생된 이산화탄소를 회수하여 위의 목적으로 사용하고 있다. 또한 감손된 천연가스전에서도 위와 동일한 방법이 사용될 수 있다.

채굴할 수 없는 석탄층의 경우에 있어서도 이산화탄소 주입을 통해 위와 유사한 부가가치를 창출할 수 있는데 아래의 그림에서 볼 수 있는 것처럼 석탄층에 있는 메탄가스를 추출하면서 이산화탄소를 주입·저장하는 방식을 의미한다. 이 방법에서, 이산화탄소를 주입하지 않고 메탄가스를 생산할 경우는 저장용량의 약 50% 정도 밖에 생산할 수 없지만 이산화탄소를 주입함으로 인해 이보다 훨씬 더 많은 메탄가스를 생산할 수 있다고 말한다. 더구나 석탄층은 메탄가스의 약 2배 정도 만큼의 이산화탄소를 흡수할 수 있기 때문에 추출되는 메탄가스의 연소로 인한 이산화탄소의 농도 증가를 충분히 상쇄시킬 수 있는 방안으로 인식되고 있다. 이에 대한 예로는 미국 뉴멕시코 Allison Unit의 프로젝트에서 지난 3년에 걸쳐 약 10만톤의 이산화탄소가 주입되었다.

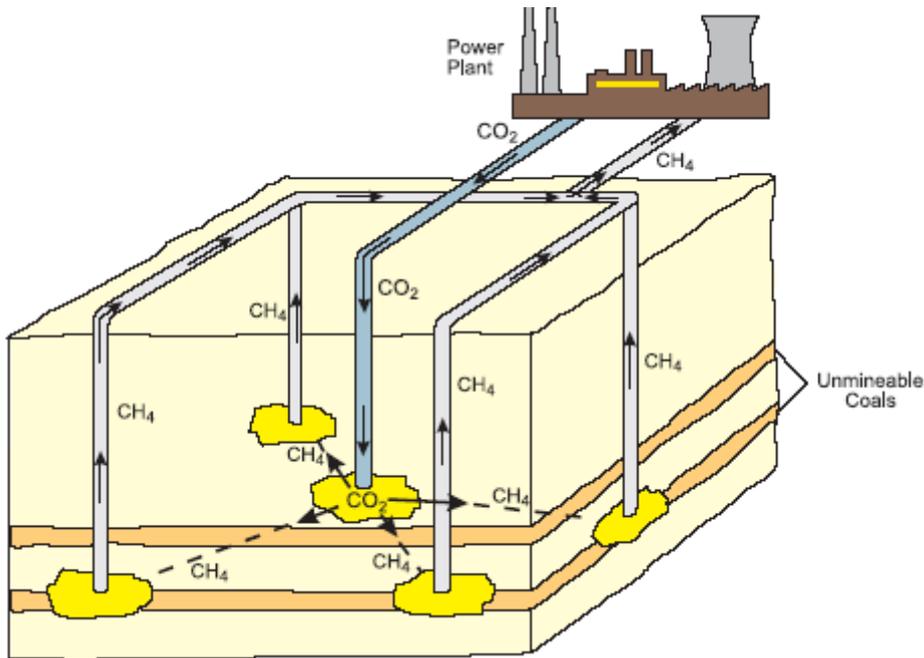


그림 2. 석탄층에 포함된 메탄가스의 산출흐름

또한 심지층의 염수저장소에 이산화탄소를 격리시킬 수 있는 방법이 있다. 이 방법은 지하의 대수층(지하수를 간직한 다공질 삼투성 지층)에 함유되어 있는 물이 염분 농도로 인해 식수로 사용할 수는 없지만 이러한 공간을 이산화탄소의 격리

공간으로 활용하는 것이다. 이에 대한 예로는, 북해의 노르웨이 지역에 있는 Sleipner Vest Gas Field가 있는데 이 가스전으로부터 연간 약 백만톤 정도의 이산화탄소를 Utsira 지형(모래지형)에 1996년 이래 주입해오고 있다.

- 육상 격리 : 광합성의 과정속에서 식물은 이산화탄소를 흡수하고 산소를 배출시키며 흡수한 탄소를 이용하여 생장과 구조물 형성에 필요한 당 복합물질을 만들어낸다. 대부분의 탄소는 결국 생태계순환을 통해 다시 대기로 방출되지만 일부는 토양이나 습지퇴적물에 잔류하게 된다. 따라서 인류가 발생시킨 이산화탄소는 지구상의 생태계순환과정에서 저장되는 능력을 향상시킴으로써 부분적인 탄소저장소 역할을 하게 된다. 이러한 방식은 앞에서 설명한 지질학적 저장방법과는 상이하며 대표적인 간접적 이산화탄소 회수방식으로 분류된다.

- 해양 격리 : 해양에서의 이산화탄소는 주로 바닷물에 용해된 상태나 식물, 동물, 광물질 탄산염(조개) 등의 형태로 되어 있다. 해양에 저장되어 있는 탄소의 양은 38,000 GtC(퇴적층은 제외함)으로써 육상생태계의 2,000 GtC에 비해 엄청난 양에 이르고 있다. 해양에 이산화탄소를 격리시키는 방법으로는 직접적인 방법과 간접적인 방법 모두를 사용할 수 있는데, 간접적인 방법은 바다표면층에서 대기중에 있는 이산화탄소의 흡수능력을 향상시킴으로써 이루어지며 직접적인 방법은 이산화탄소를 심해저에 직접 주입함으로써 이산화탄소수화물 등의 형태로 저장하는 방법을 말하고 있다. 그림 3에는 이산화탄소에 대한 대양순환계의 흐름도를 보여주고 있다.

해양에 있어서 간접적인 이산화탄소 흡수 능력을 향상시키는 방법은 미량/대량 영양소가 적게 함유되어 있는 대양 표면에 대해 이들 영양소를 첨가시켜줌으로써 광플랑크톤의 성장을 촉진시키는 것이다. 광플랑크톤은 많은 양의 이산화탄소를 흡수함으로써 대양 표면의 이산화탄소 농도를 떨어뜨리게 되고 이는 다시 대기중의 이산화탄소를 흡수하는 작용을 하게 된다. 그러나 이러한 과정이 어느 정도까지 대기중의 이산화탄소를 흡수시키는 지는 알려져 있지 않다.

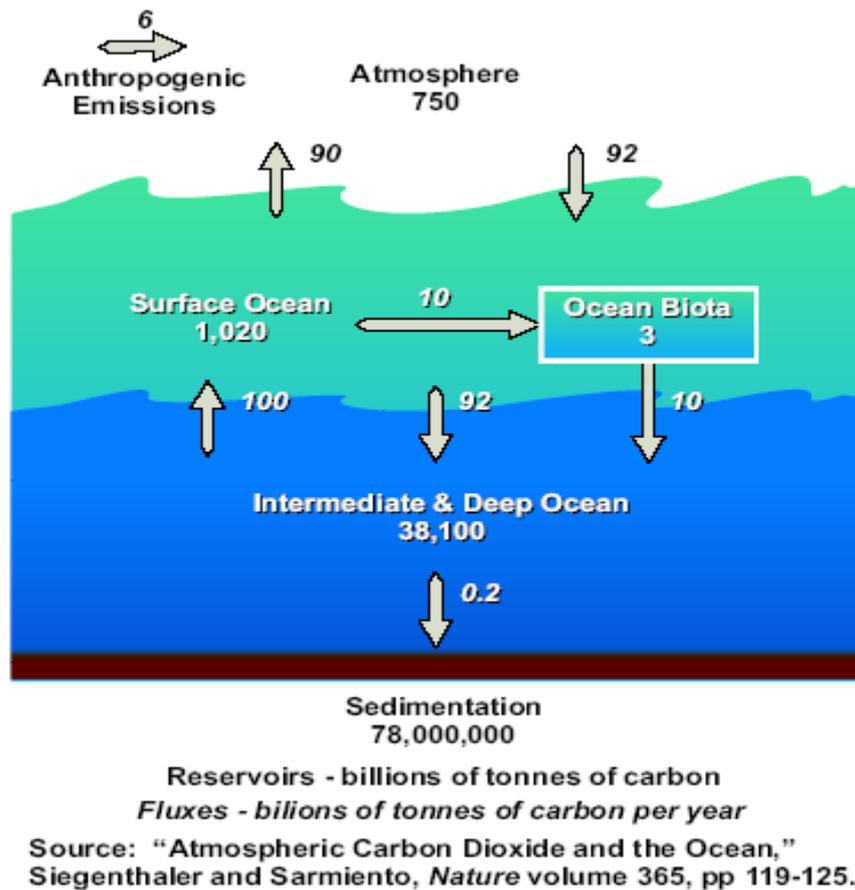


그림 3. 해양에서의 탄소 순환(단위: GtC)

해양에서의 직접적인 이산화탄소 격리 방법은 심해에 직접 이산화탄소를 주입하는 것인데 기술적으로는 가능하지만 비용의 문제, 격리의 효과성, 대양 순환계에 대한 영향 정도에 대한 지식이 아직 부족한 실정에 있다. 대양의 이산화탄소 격리 용량은 매우 크지만 격리로 인해 자연생태계에 미칠 수 있는 영향의 정도를 제대로 파악하고 이에 대처할 수 있는 방안을 연구하는 것이 우선적으로 요구되고 있다.

3. 결론

지구온난화를 방지하기 위해 이산화탄소 배출량을 감소시키려는 노력은 전세계적인 추세이다. 인류의 에너지 소비활동으로 인해 발생하는 이산화탄소의 양을 줄이려는 시도는 에너지 소비절약, 이용효율의 향상 등에 초점이 맞추어져 있었다. 최근에 와서 이산화탄소의 회수·처리에 대한 기술과 처리가능 용량에 대한 잠재성이 크게 부각되면서 지구온실가스저감에 대한 새로운 대안으로 인식되고 있다.

이러한 새로운 기술의 개발 및 실용화, 환경규제의 정도 등은 전력생산을 위한

화력발전의 경제성 뿐만 아니라 화력이외에 원자력, 신재생 에너지원의 전망에도 직접적인 영향을 미치게 될 것이다. 현재 추진되고 있는 선진국의 대규모 연구개발투자 성과를 조기에 가시화해야 할 필요성이 있으며 국내에서 수행하고 있는 이산화탄소 회수·처리 기술의 개발은 탄소세의 도입 가능성을 고려할 때, 개발시점과 비용절감에 더욱 박차를 가해야 할 것이다.

4. 참고문헌

1. "Carbon Sequestration R&D Program Plan: FY 1999 - FY 2000", U.S. DOE Office of Fossil Energy/FETC, 1999.
2. "Carbon Sequestration - Technology Roadmap and Program Plan", U.S. DOE Office of Fossil Energy/NETL, March 2003.
3. "Carbon Sequestration Technology Roadmap", U.S. DOE Office of Fossil Energy/NETL, Jan. 2002.
4. "Putting carbon back into the ground", IEA Greenhouse Gas R&D Programme, February 2001.
5. 청정에너지 기술개발사업, 한국에너지관리공단, 2003.
6. 특정연구개발사업, 과학기술부, 2003.
7. 이산화탄소 저감 및 처리 기술개발 사업단, 한국에너지기술연구원, 2003.
8. 제4회 온실가스저감기술개발사업단 종합심포지움, 과학기술부 중점연구개발사업, 2003.2.
9. 제1회 이산화탄소 저감 및 처리 기술 워크숍, 과학기술부, 2003.4.