

① 탄소격리기술이란 ?

대기로 배출되는 CO₂ 붙잡아 격리한다

글 | 김중수 한국과학기술연구원 책임연구원 kimj@s.kist.re.kr

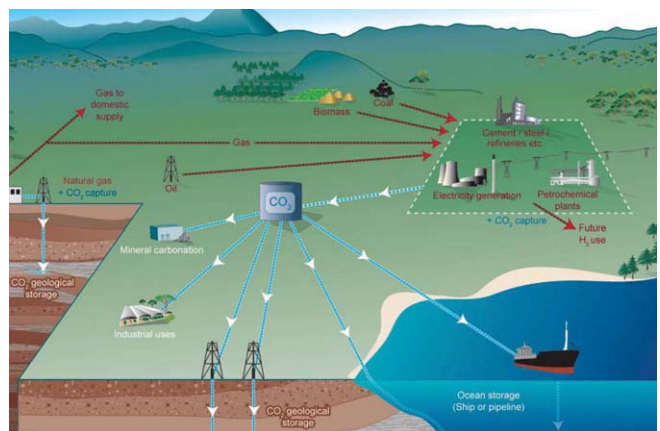
탄소격리기술이 그나마 우리의 시선을 사로잡을 수 있었던 계기는 지난해 미국 공학한림원에서 21세기의 중요한 14개의 공학적 난제로 선정되어 보도된 점과 앨 고어 전 미국부통령이 출연하였던 '불편한 진실' 에서 거론되면서 기술의 중요성 및 가능성에 대한 홍보가 어느 정도 진행되었기 때문이다.

배출원에서 CO₂ 회수해 반영구적으로 저장

그럼 탄소격리기술이란 무엇인가? 탄소격리기술은 온실가스 가운데서 가장 큰 비율을 차지하고 있는 이산화탄소를 배출원에서부터 회수하여 반영구적으로 저장시켜 대기로부터 격리시키는 기술로서 보다 정확한 표현으로는 'CO₂ 회수저장기술'라 불리며, 통상적으로 간단하게 줄여서 'CCS 기술'로 불리기도 한다.

탄소격리기술이 기후변화에 대한 핵심적 대응기술로 고려되기 시작한 것은 1970년대로 거슬러 올라가지만, 대규모 실증기술개발을 포함한 본격적인 기술개발은 1990년 중반부터 시작된 노르웨이의 스톡홀름에 의한 천연가스의 채굴과정에서 회수된 CO₂의 염대수층저장사업에서 시작되었다고 보는 것이 타당할 것이다. 또한 기후변화에 대한 정기적 평가보고서를 작성하는 IPCC는 2005년 '이산화탄소 회수·저장'이라는 특별보고서를 작성한 바 있으며, 이 보고서는 인터넷에서 무료로 다운로드받을 수 있다.

탄소격리기술은 언어적 의미대로 대기로 배출될 CO₂를 회수하여 저장하는 기술이다. 그러나 이러한 기술이 경제적으로 현실성이 있기 위해서는 고정된 대규모 CO₂ 배출원에 대해서 회수기술을 적



〈그림 1〉 CO₂ 회수저장기술의 개념도

용하여 반영구적으로 안전하게 저장할 수 있는 방법으로 처리하는 것이 타당할 것이다. 따라서 CO₂의 회수가 적용될 수 있는 가장 유력한 대규모의 고정 배출원으로 화석연료를 이용한 발전소, 석유화학공장, 철강공장 및 시멘트공장 등을 들 수 있으며, 많은 산업화된 국가에서는 이러한 시설에서 배출되는 CO₂의 양이 국가 CO₂ 배출량의 약 50% 이상을 차지하고 있다.

따라서 소수의 대규모 배출원에 대한 CO₂ 배출저감을 구현하여 대기 중 CO₂ 농도의 안정화를 위한 기반을 구축하는 것이 탄소격리기술의 궁극적인 목표이다.

〈그림 1〉은 IPCC의 CO₂ 특별보고서에 실린 CCS기술의 개념도로서, 화석연료의 채굴과정에서부터 화석연료를 이용한 동력 및 산업체의 생산과정에서 CO₂의 회수, 그리고 회수된 CO₂가 수송되어



환경재단과 서울특별시 서울시청 앞 광장에서 개최한 지구의날 기념 'STOP CO2' 환경실천 조형물 제막식에서 참가자들이 지구온난화의 주범인 이산화탄소 줄이기를 위한 행동지침을 외치고 있다.

저장되는 일련의 화석연료 이용 전과정에 대한 CCS기술이 적용되는 방법을 보여주고 있다.

화석연료 이용에 따른 대응방안으로 등장

산업혁명 이후 우리가 살고 있는 사회는 탄소기반 산업사회이다. 즉 화석연료를 1차 에너지원으로 사용하여 생산된 동력으로 운영되는 산업사회에 살고 있다. 화석연료는 대기오염, 기후변화 등 다양한 부작용을 초래하고 있지만, 화석연료가 지니고 있는 높은 에너지 밀도 및 안정성으로 인해 산업사회의 높은 에너지요구를 효과적으로 충족시켜주고 있다. 즉, 높은 에너지밀도는 동력생산설비의 건설을 위해서 보다 작은 경제적 비용이 투입되는 것을 의미하며, 화석연료의 안정성은 필요한 시기에 언제든지 동력으로 전환될 수 있어서 발전소와 같은 대규모 동력시설에서 자동차와 같은 소규모 이동 동력원까지 다양하게 이용될 수 있음을 보여주고 있다. 따라서 신재생에너지를 비롯한 여러 가지 대체에너지가 개발되고 있지만, 산업사회가 요구하고 있는 높은 에너지밀도 및 필요에 따라서 다양하게 전환될 수 있는 안정성이 확보되지 않는 한 기존의 화석연료에 대한 부분적 대체기술 이상의 역할을 수행하기 힘든 것이 현실이다.

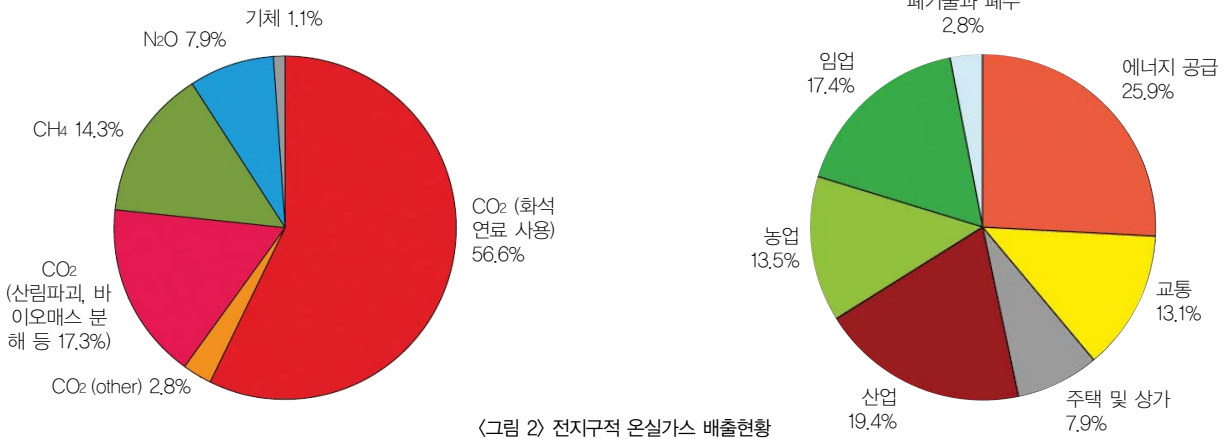
따라서 현재 산업사회의 근간을 흔들지 않는 범위에서 화석연료 이용에 의한 기후변화에 대응하기 위한 방안으로서 탄소격리기술

이 등장하게 된 것이다. 한편 탄소격리기술이 기후변화 대응기술 내에서 차지하고 있는 위치를 정확히 파악하기 위해서는 전 지구적인 온실가스 배출량을 먼저 고려해볼 필요가 있다.

〈그림 2〉는 IPCC 4차 기후변화 평가보고서에 실린 전 지구적 온실가스 배출원의 현황을 각 부문 및 온실가스의 종류에 따라서 나타내고 있는 그림으로서 다음과 같이 요약될 수 있다. 전체적인 온실가스의 배출량은 연간 490억톤(CO₂ 상당량으로 환산)이며, 이 가운데 약 77%인 370억톤이 CO₂로 배출되고 있으며, 배출되는 CO₂ 가운데 약 280억톤이 화석연료의 연소에 의해서 배출되는 CO₂이다. 또한 다른 온실가스로는 메탄 및 아산화질소(N₂O)가 각각 연간 CO₂ 상당량으로 70억톤 및 40억톤 정도가 배출되고 있다.

한편 온실가스의 배출량을 부문별로 살펴보면 에너지 및 산업과 같은 동력 및 산업재의 생산과 연관된 배출원, 농업 및 산림과 연계된 분산배출원 및 수송 및 가정·상업시설과 연관된 소규모 고정 또는 이동 배출원으로 구분될 수 있다. 특히 에너지 및 산업과 같은 공급 진영의 온실가스 배출원이 수송 및 가정·상업과 같은 소비 진영의 온실가스 배출보다 월등히 우세하다는 점에서 소비감축 및 효율개선에 초점을 맞춘 소극적 온실가스 감축전략의 한계성을 쉽게 짐작할 수 있을 것이다.

특히 현재 지구적으로 보유하고 있는 CO₂의 자연순환 능력이 연간 120억톤 이하로 예측되고 있어서 배출되는 CO₂의 약 2/3 정도



〈그림 2〉 전지구적 온실가스 배출현황

가 감축되어야 하며, 또한 농업 및 임업에서 분산되어 배출되는 메탄 및 N₂O와 같은 비-CO₂ 온실가스의 배출량이 매우 크다는 점도 유념해야 한다. 결론적으로 CO₂ 농도의 안정화를 넘어서 메탄을 포함하는 전반적인 탄소순환체계 및 N₂O를 중심으로 하는 질소순환체계의 안정화가 동시에 확보되지 않을 경우 인위적 기후변화 위험성의 압박은 지속적으로 증대될 것이라는 점이다.

비탄소화·저탄소화에너지 생산해 CO₂ 저감 배출

탄소격리기술을 이용해서 온실가스배출저감을 구현하기 위한 전략을 알아보기 위해서 여기에서는 화석연료와 연계된 CO₂의 배출로 우리의 관심을 먼저 한정하고자 한다. 앞에서 언급되었듯이 CO₂의 배출은 동력 및 산업재의 생산과 연계된 공급측면과 수송 및 가정·상업영역의 소비측면에서 다음과 같은 기본 전략을 통해 저감될 수 있을 것이다.

공급측면의 CO₂ 배출은 일반적으로 대규모 고정배출원의 특성을 보이고 있어서 신속한 배출저감이 가능하다. 공급측면에서 적용될 수 있는 CO₂배출저감기술로는 원자력 및 신재생 에너지와 같은 비탄소화에너지의 생산, 천연가스 및 바이오연료와 같은 저탄소화 에너지의 생산, 그리고 탄소격리기술로 구분될 수 있으며, 이러한 기술을 활용하여 전력 및 수소와 같은 비탄소 에너지 및 CO₂의 배출을 동반하지 않는 산업재를 소비 진영에 공급하는 전략이 구사될 수 있다.

한편 소비측면에서는 에너지절약, 소비감축을 위한 에너지 이용 시스템을 개선함과 동시에 사용되는 에너지에서 탄소가 배출되는 것을 방지하도록 전력 및 수소와 같은 비탄소화 에너지를 사용할 수 있는 체계가 구축되어야 한다. 특히 가정 및 상업부문과 같은 소

규모 고정배출원에서는 전력을 중심으로 하는 에너지공급시스템이 구축되어야 하며, 수송과 같은 소규모 이동배출원에서 수소에너지와 같은 비탄소화 화학에너지가 이용될 수 있는 기술 및 시스템이 조속히 개발되어야 한다.

이와 같이 에너지의 공급 및 소비진영에서 상호 보완할 수 있는 완벽한 새로운 동력의 생산 및 공급체계가 구축되어야 기후변화에 대응할 수 있는 기반이 확보될 수 있다. 특히 핵융합에너지와 같은 대규모 에너지 공급이 가능한 새로운 청정에너지원이 개발되기 이전까지 산업사회의 근간을 유지한 상태에서 기후변화에 대응하기 위한 방안에서 탄소격리기술이 차지하는 위치는 매우 크다고 할 수 있다.

회수 및 저장방법에 따라 다양한 기술 존재

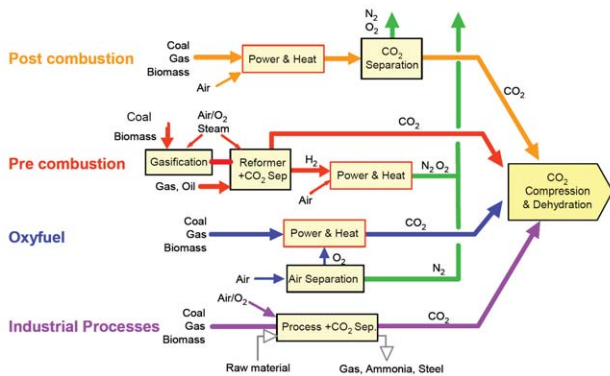
탄소격리기술은 이산화탄소가 배출되는 공정의 배가스에서 이산화탄소를 분리하는 기술, 분리된 이산화탄소를 저장에 적합한 형태로 정제하고 압축하는 기술, 정제·압축된 이산화탄소를 저장소로 수송하는 기술 및 수송된 이산화탄소를 반영구적으로 안전하게 저장하는 기술로 구분될 수 있다. 여기에서 이산화탄소의 분리, 정제 및 압축이 배출원에서 이루어지고, 수송 및 저장이 자원개발과 관련된 회사에 의해서 이루어지기 때문에 분리, 정제 및 압축과정을 통칭하여 이산화탄소회수기술로, 수송 및 저장기술을 통칭하여 이산화탄소저장기술로 구분할 수도 있다.

이산화탄소의 회수 및 저장기술은 회수 및 저장방법에 따라 다양한 기술이 존재하고 있지만, 기술이 적용될 수 있는 CO₂ 배출량 및 경제성을 고려하여 3가지의 회수기술과 지중저장기술이 대용량 배출저감의 구현에 적합한 기술로 거론되고 있다. 특히 회수기술은



프린팅

2007년 5월 4일 중국 동북부 랴오닝성 선양 교외의 한 공장에서 연기가 뿜어져 나오고 있다. 기후 전문가들은 이날 지구 온난화와 싸움은 벌일 만하며 온실 가스의 배출 증가를 늦추고 기후 대혼란을 막기 위한 기술도 이용가능하다는 유엔 보고서에 합의했다고 한 IPCC 참석자가 말했다(로이터-연합.)



〈그림 3〉 이산화탄소 회수기술 개념도

화석연료의 연소에 의해서 이산화탄소가 생성되는 과정을 전후로 연소 후 포집, 연소 전 탈탄소화 및 연소과정에서 이산화탄소를 농축하는 순산소연소로 구분되고 있다. 〈그림 3〉은 IPCC에서 제시하고 있는 이산화탄소회수기술의 구분방법을 개략적으로 도시한 그림이다. 〈그림 3〉에서는 산업공정과정에서 이산화탄소의 회수기술을 추가하고 있지만 근본적으로는 앞의 3가지 기술의 변형으로 이해할 수 있을 것이다.

전체 CO2 배출 중 석탄화력발전소가 20%

본 특집에서는 이산화탄소의 회수기술 및 저장기술을 연소 후 포집기술, 연소 전 탈탄소화기술, 순산소연소기술 및 이산화탄소 지중저장기술로 구분하여 각 기술의 개요, 국내의 개발동향 및 전망들을 알아보고, 마지막으로 탄소격리기술이 구현되어 이산화탄소의 대규모 배출저감에 기여하기까지 발생할 수 있는 다양한 현안 및 해결책을 알아보는 내용으로 구성되어 있다.

또한 이산화탄소의 배출원 중에 최대 규모의 배출원인 석탄화력 발전분야에 대한 회수 및 저장기술을 중심으로 알아본다. 국내의 석탄화력발전분야는 연간 약 6억톤 규모의 온실가스 배출원 중에서 40기의 석탄화력발전소가 전체의 19% 이상을 차지하는 1억 1천 500만 톤을 배출하는 최대의 배출원으로서 이산화탄소 배출감축을 위해 가장 먼저 해결해야 되는 대상이므로 이에 대한 기술을 중심으로 탄소격리기술의 구체적인 내용을 설명할 것이다. ㉔



글쓴이는 서울대학교 기계공학과 졸업 후 동대학원에서 석사학위를, 미국 U.C.샌디에이고에서 박사학위를 받았다.