

CO₂ 회수분리기술의 현황 및 전망

장경룡 | 한전 전력연구원 지구환경그룹 책임연구원(jangkr@kepri.re.kr)

I. 개요

2년 전 발표된 교토의정서와 더불어 전 세계적으로 지구온난화에 대한 우려의 목소리는 점점 커져가고 있다. 금년 1월 24일부터 열렸던 스위스 다보스 포럼에서 기후변화로 인해 세계경제는 향후 10년간 2천5백억 달러의 경제적 손실과 매년 GDP의 5%를 잃게 될

것이라고 경고하고 나섰다. 이것은 6년 만에 발표된 IPCC¹⁾ 4차보고서에서 세계기상, 해양 등 2000여명의 전문가 연구보고서를 토대로 제시한 지구온난화의 심각성과 그 궤를 같이한다. 이 보고서에 의하면, 산업혁명 이전 280ppm이던 대기 중의 CO₂ 농도가 현재 380ppm에 이르렀고, 곧 두 배에 이르는 550ppm에 달할 것이며 이 때에는 자연재앙이 시작된다고 한다.

1) IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

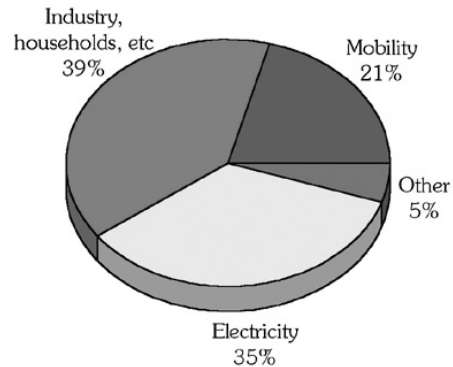
한편, 강력한 미국 대통령 후보였던 ‘앨 고어’는 온실 효과의 위험을 알리는 영화 “불편한 진실(An Inconvenient Truth)”의 내레이터로 출연하여 지구를 구하는데 남은 시간은 겨우 10년 뿐(10 year window)임을 강조하고 있다. 이렇듯 밀물 듯이 나타나고 있는 지구 온난화에 대한 경고에 적절한 해결책으로서 IPCC 및 IEA 등 유력 기관들에서 CO₂ 회수 및 저장(CCS²⁾ 기술의 개발과 활용을 강조하였다. 이 기술은 화력발전소 등 화석연료를 주로 사용함으로써 다량으로 발생하고 있는 CO₂를 다른 가스와 분리하여 안전한 장소를 찾아 저장하는 것이다. 이로써 온실효과를 일으킬 수 있는 대기로부터 CO₂를 격리시키는 것을 말한다. 따라서 여기에서는 CCS 기술에서 핵심이 되고 있는 CO₂ 회수 기술의 현황 및 전망에 대해 중점적으로 살펴보고자 한다.

II. CO₂ 회수 기술의 필요성

CO₂ 배출원 및 분율 (IEA)

기후변화협약의 목표를 만족시키기 위해서는 인류가 배출하는 온실가스의 상당량을 줄여야 한다. 주요한 온실가스의 감축 방안으로, CO₂ 회수 기술을 주축으로 하는 CCS 기술을 위에서 언급하였다. 이 CCS 기술은 다른 CO₂ 감축 방안과 병행하여 이용이 가능하다. 일례로 저 탄소 연료로의 변환, 에너지 효율 향상 및 지속생산가능에너지(renewable energy)의 이용 등이 바로 그것이다. 모든 CO₂ 배출량의 약 1/3은 전력을 생산하는데 주로 쓰이는 화석연료로부터 배출된다. 그 외는 석유 정제, 시멘트 산업, 철광·제련 등

산업에서 배출한다. 이렇게 배출되는 CO₂는 근본적으로 공정을 변화시키지 않고 CO₂를 회수하여 저장함으로써 상당량을 줄일 수 있다. 운송 또는 가정용 같은 다른 배출원은 그 숫자에 비해 배출량이 너무 적기 때문에 다루기가 어려운 형편이다.



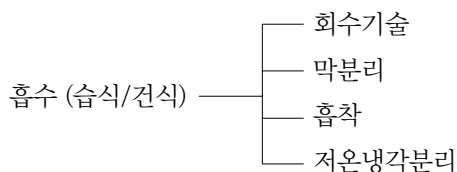
III. CO₂ 회수 기술의 특징

앞서 기술한 바와 같이, 발전소 효율을 높이거나, 석탄을 천연가스로 바꾸는 등 발전소에서 CO₂ 배출을 줄이는 방법은 많이 있다. 그러나, 이러한 방법에 의해서 CO₂를 줄이는 데는 한계가 있다. 다른 기술과 대비하여 CO₂ 배출 비율은 줄어들지만, 처리되지 않은 CO₂는 어쩔 수 없이 배출되기 때문이다.

이러한 방법과는 달리, CO₂ 회수기술은 화석연료 연소시 배출되는 CO₂를 줄이는데 좀 더 효과적이다. 왜냐하면 배가스에 포함된 CO₂ 전체를 대상으로 직접적으로 처리가 가능하기 때문이다. 또한 이 기술은 에너지 공급 기본 구조를 변화시키지 않고도 CO₂ 배출

2) CCS: Carbon Dioxide Capture and Storage

을 줄이는 것이 가능하다. 한편, CO₂ 회수 기술은 두 가지 방법으로 구분된다. 연료를 공기로 연소하여 발생한 “배가스에서 CO₂를 회수”하는 방법과 공기가 아닌 “순산소로 연소하여 농축된 CO₂를 배가스에서 회수”하는 것이다. 후자의 경우는 연소 배가스의 CO₂ 농도가 높아 별도로 분리 공정이 필요 없어 큰 장점이나, 현재 이용할 수 있는 기술로는 공기에서 산소를 분리하는 데 비용이 크게 들어 상용화에 어려움을 겪고 있다. 한편 전자의 경우는 아래 그림에서 보는 바와 같이, 다시 흡수법(absorption), 흡착법(adsorption), 저온냉각법(low temperature distillation), 막분리법(membrane system) 등으로 구분되며, 흡수법이 가장 유망한 기술로 평가되고 있다. 이 흡수법은 다시 아민(monoethanolamine, MEA) 등의 액체 흡수제를 이용하는 습식과, 고체 흡수제를 이용하는 건식으로 구분된다. 건식 기술은 높은 경제성을 장점으로 제시하고 있으며, 실험실 규모에서 좀 더 큰 규모에서의 공정의 확립 등 연구를 수행 중에 있다. 반면 습식 기술은 화학 및 정유 산업 등에 장기간 이용되면서 다져진 기술로서 현재 상용화 막바지 단계에 와 있다.



장기적으로 세계의 에너지 시스템은 기본적으로 비화석연료의 활용 구조로 바뀌어야만 할 것이다. 이런 관점에서 화석연료에서 CO₂ 회수 기술은 궁극적으로 온실효과를 일으키는 대기권과 탄소의 격리가 가능하므로 미래의 carbon-free 에너지 시스템으로 변화시키는데 큰 도움이 될 것이다.

IV. CO₂ 회수 및 저장 기술 개발 현황

CO₂ 회수 기술



발전소 CO₂ 회수 설비 (미국 컴버랜드)

석유 및 가스, 화학 산업에서 CO₂의 회수 기술은 이미 활용되고 있다. 이 중 일부 기술은 화력발전소의 배가스에서 CO₂를 회수하여 식품산업에 공급하고 있다(그림 참조). 그러나, 이 시설은 단지 배가스의 흐름에서 CO₂의 일부만을 회수하는 정도이다. 일반적으로 발전소 전체에서 CO₂ 배출을 75% 정도 줄이기 위해서는 설비 규모가 10배 이상 커지게 된다.

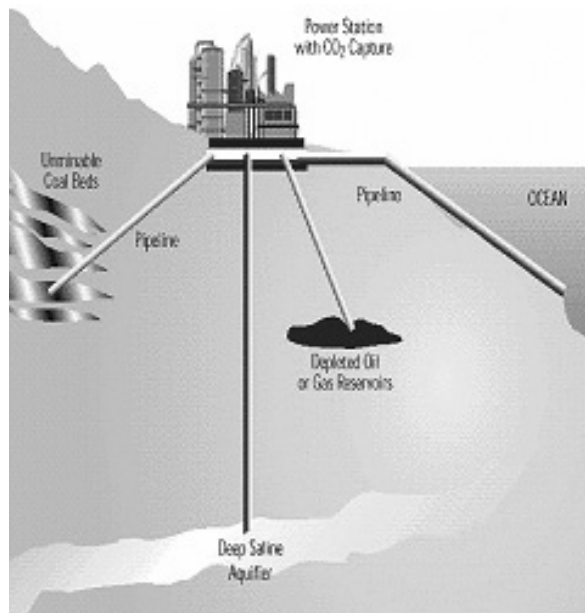
발전소에서 CO₂ 배출을 줄이기 위해 CO₂ 회수 기술이 이용된다면 전력생산비를 최소한 kWh 당 미화 기준 1.5 센트가 증가될 것으로 예상되고 있다. 게다가 현재의 기술 수준으로 발전 효율이 10~15% 감소하게

된다(일례로, 현재의 효율이 55%라면 45%로 떨어짐). 이에 따라 이 기술이 광범위하게 적용되기 위해서는 경제성을 향상시킬 수 있는 기술의 개선이 필요하다. CO₂ 배출 감축 비용은, 발전소의 형태에 따라 저장소의 위치에 따라 달라지며, CO₂ 톤 당 미화 기준 40~60 달러(CO₂ 회수비용 30 달러 기준)가 소요되는데, 이는 CO₂ 감축 효과가 큰 다른 방법에 필적할 만한 수준이다. 그러나 전문가들의 예상으로 지금 당장 본 기술이 적용되기 위해서는 CO₂ 회수기술의 비용을 20 달러 수준으로 낮춰야 할 것으로 판단하고 있다. 따라서 관련 기술자들은 현재의 기술과의 격차(gap)에 해당하는 10 달러 이상의 비용을 낮추는데 사력을 다하고 있다. 한편, UN에서는 이 기술의 적용을 용이하게 하기 위한 수단으로 교토메커니즘의 일환인 CDM³⁾ 사업으로 인정하기 위한 노력이 경주되고 있으며, 일부 안전성과 경제성이 갖춰진 사업을 대상으로 단계적으로 수락할 것으로 판단되고 있다.

CO₂ 저장 기술

CO₂ 회수 기술에서 회수 후에는 대기와의 격리를 위해 몇 백 년 혹은 몇 천년간 안전하게 저장하여야 하며, 지중 및 해양 저장이 고려되고 있다. 그러나 현재 해양 저장 기술에 대해서는 상당한 불확실성이 존재한다. 여기에는 해결해야 하는 법적인 문제들도 안고 있다. 따라서 현재로서는 해양 저장 기술을 이용하는 것이 가능성이 낮은 편이다.

이와 비교하여 지중저장 기술은 유전 산업에서는 임 오랜 동안 활용 중에 있는 방법이다. 이러한 방법에서 CO₂를 저장하는데 이용할 수 있는 장소들은 다음과 같은 것이다.



CO₂ 저장 방법

- 폐 유전 및 가스전
- 심해 대수층
- 심층 석탄층(unminable coal seams)

이러한 지하 구조물들의 대부분은 이미 수백만 년 동안 탄화수소 또는 액체로 차있는 상태다. 현재 전 세계에 걸쳐 많은 수의 지중 저장 프로젝트들이 진행되고 있다. 예를 들면, 기존의 Sleipner, Weyburn, In Salah 사업과 신규 사업인, Snohvit, Gorgon 등이 포함된다. 그리고 연구 단계로서 적은 규모지만 많은 프로젝트, 예를 들어, Frio, CO₂SINK 등의 프로젝트도 수행되고 있다.

3) CDM: Clean Development Mechanism(청정개발체제)

한편, CO₂의 저장에 있어서 약간의 손실이 있을 수 있다는 것은 어쩌면 중요한 문제는 아닐 수 있다. CO₂가 지질학적인 관점에서 자연스럽게 저장될 수 있다는 사실은 저장 수단의 신뢰성을 높여준다. 한편, 실용화를 위한 CO₂ 회수 기술 관련 연구개발 프로젝트들의 수가 계속해서 증가하고 있는 추세이다.

V. 국내 CO₂ 회수 기술 현황

CO₂ 흡수 기술 연구 기반 확보

CO₂ 회수 기술 중 대표적인 습식 기술에 대해 좀 더 구체적으로 설명하면, CO₂를 선택적으로 잘 흡수하는 화학물질을 이용하여 흡수한 후, 온도 등 조건을 변화시켜 CO₂를 분리하는 기술이다. 이 기술은 그동안 미국과 유럽에서 주도하는 가운데 일본이 추격하고 있는 실정이다. 이들 국가에서는 그동안 석유화학공정에서 적용한 경험을 바탕으로 발전소 배가스 적용을 연구에 매진하고 있으며 상당한 발전이 있는 것으로 제시하고 있다. 이에 따라 우리나라에서도 자체 기술 확보를 위해 우리 연구원 등을 필두로 90년대 말부터 본격적으로 연구를 시작하였다. 선진국에서 비록 기술이 확립 되더라도 그 활용에는 로열티의 지급 등 엄청난 비용을 감수하여야 하기 때문이다. 그 결과 서울화력 5호기에 2002년 3월 파일럿 플랜트를 설치하여 운용함으로써 공정 특성 등 기술개발의 기반을 다지는데 성공하였다. 아시아에서 2번째인 이 플랜트는 하루 2톤의 CO₂를 처리할 수 있는 규모이다.

이 플랜트의 준공은 연구 결과물 획득에 대한 1차적 목적도 중요하지만, 국제적으로 큰 이슈화되고 있는 현안 해결에 동참한다는 취지에서 관련 국제회의 등에서 우리나라의 입지와 발언권도 그만큼 상승된다는 것

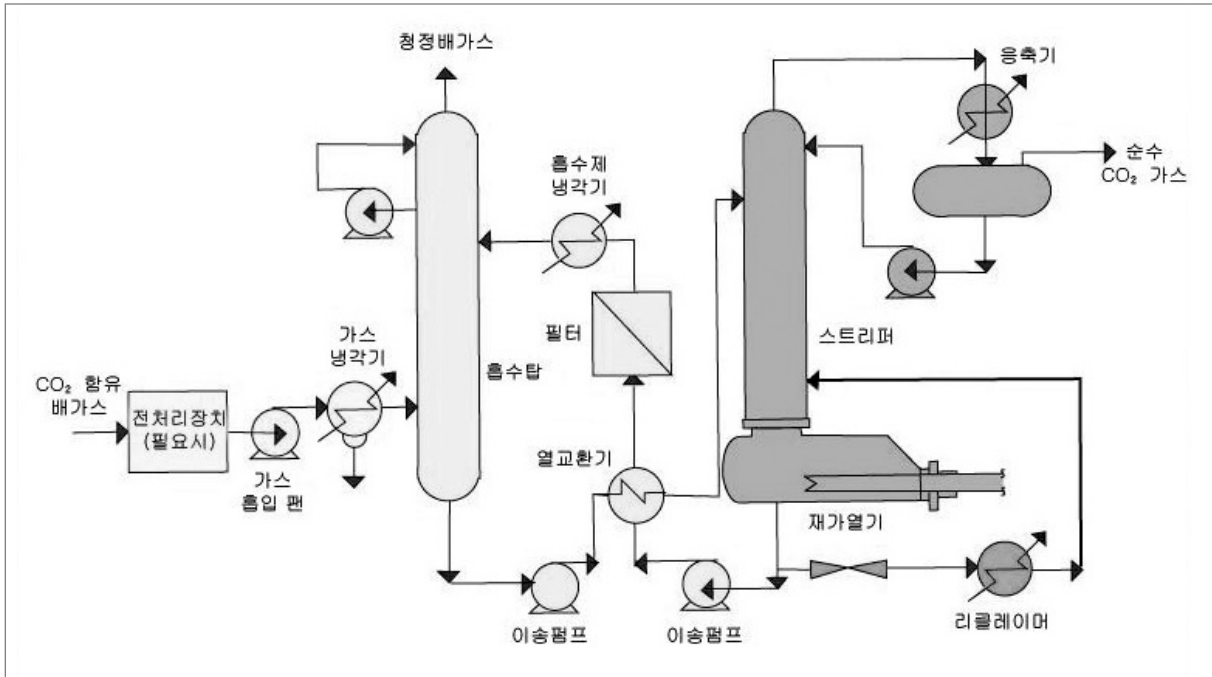


아시아에서 2번째인 발전소 CO₂ 회수 파일럿 플랜트(서울화력 소재)

을 내포한다.

국내 CO₂ 배출 규제 및 연구 단계

본 기술의 적용은 다른 환경오염물질과 같이 규제 시기에 달려있다. 그러나 이 규제는 이산화탄소의 영향이 일부 국가, 일부 지역에만 국한되는 국지적인 문제가 아닌 전 지구에 영향을 미치는 것으로서 우리 스스로 결정할 수 없다는 특징이 있다. 우리 정부에서는 산업에 미치는 엄청난 영향을 고려하여 우리나라가 아직 개도국 지위를 적극적으로 활용하여 규제시기를 가



신 CO₂ 흡수제 개발을 위한 기본 공정도

급적 늦추려하고 있다. 그러나, 앞서 제시한 바와 같이 이산화탄소 다량 배출국으로서 2013년부터 5년간에 걸쳐 규제치를 만족시켜야하는 제2차 의무국가로 될 가능성을 배제하기 어렵다는 것이 전문가들의 중론이다. 이 경우 규제 이전 관련기술을 개발하여 규제 시행 기간에 설비의 설치가 필요하다. 특히 이 기술은 발전소 탈황, 탈질 설비의 적용의 예에서 경험 한 바와 같이, 대규모 공정기술로서 실험실, 파일럿, 및 실증 등 단계적 연구프로그램이 선행되어야 하므로 기초 공정이 확보된 후 10년이 소요된다. 물론 우리 연구원에서 적용한 이산화탄소 분리 파일럿 플랜트 건설 시기를 이러한 여건을 반영한 것이기도 하다. 적용되는 규모는 기술개발이 소규모에서 대규모로 확대되는 것이 순리로서 화력발전소의 경우 가장 작은 규모에 속하는

200MW급에서부터 시작되어 우리나라 주력 모델인 500MW급까지 용량이 확대될 것이다.

국내 CO₂ 회수기술 개발 방향

CO₂ 회수기술의 개발에 대한 가장 중요한 요소는 비용의 감소이다. CO₂ 저장에 있어서는 안전하고 신뢰성 있게 장기간 저장할 수 있는 믿음을 획득하는 것이다. 이러한 관점에서 고찰해 볼 경우 기존의 화학흡수제를 이용한 방법은 CO₂를 대량으로 용이하게 처리가 가능한 장점이 있는 반면, 흡수제에 흡수된 CO₂ 분리시 에너지 소모가 많은 단점이 있다. 이를 개선하지 않을 경우 많은 설치비와 운영비로 인해 화석연료를 이용한 에너지원 자체가 타격을 받게 된다. 이러한 문제를 새로운 흡수제를 찾아 경제성을 개선코자 하는

노력이 일본 등 화석연료 사용이 많은 나라를 중심으로 진행되어 가시적인 성과가 보고 되고 있다. 이러한 추세에 맞춰 우리 전력연구원에서도 기존 흡수제의 파일럿 플랜트 시험을 바탕으로 새로운 흡수제 개발에 역점을 두고 있다. 흡수 성능도 우수해야 하지만 상당한 전력이 소모되는 기존의 방식을 획기적으로 개선하는 것이 본 과제의 주요 목표이다. 우리나라 실정상 연구개발 인프라가 충분한 편은 아니지만 우리 연구원에서 배가스 처리에 대한 기술을 축적한 바 있고, 관련 연구자들 모두 본 기술이 우리나라 경제가 지속적으

로 부흥하는데 중요한 요소로 인식하고 있어 성공에 대한 기대가 크다.



- 충남대학교(박사)
- 부산대학교(화공학석사)
- 인하대학교(화공학사)
- 現 한전전력연구원 책임연구원