

이산화탄소 회수 기술

양 원 · 한국생산기술연구원, 선임연구원

_e-mail : yangwon@kitech.re.kr

이 글에서는 기후변화협약 대응의 중요한 기술적 방법 중 하나로서 화력발전소와 같은 대용량 점배출원에서 발생하는 연소 배가스에서의 이산화탄소 회수 기술의 종류와 장단점을 간략하게 소개하고 각 기술들을 실제 산업현장에 적용하기 위한 방향성을 제시하였다.

지구온난화현상이 최근 들어 더욱 심화의 징후가 빈번하게 나타나고 있으며, 이러한 현상의 중심에는 화석연료 사용의 증가에 의한 이산화탄소 배출이 자리잡고 있다는 것은 이제 명백한 사실로서 공감대를 얻고 있다. 2005년 2월 발효된 교토의정서와, 인도네시아 발리에서 2007년 12월에 열린 제13차 유엔기후변화협약 당사국 총회에서 채택된 발리 로드맵은 이산화탄소를 중심으로 한 온실가스 감축에 각국의 동참을 촉구하고 있다. 우리나라는 현재까지는 온실가스 감축 의무 대상국에 포함되어 있지 않지만 이산화탄소 배출량 세계 9위(한편 온실가스 배출은 세계 10위)의 위상(?)에 비추어볼 때

2008년 후반기부터 논의되고 있는 'POST Kyoto' 체제에서는 이산화탄소 의무 감축 국가로 지정될 가능성이 높은 상황에 놓여 있다.

산업사회를 지지하기 위한 에너지시스템의 1차 에너지원으로 화석연료, 원자력 및 신재생에너지가 이용되고 있다. 기후변화에 대한 압박에 대응하기 위해서 원자력 및 신재생에너지의 개발, 보급 및 활용이 권장-확대되고 있지만, 산업사회가 요구하는 에너지의 특성상 화석연료가 차지하고 있던 중추적 1차 에너지원의 자리는 향후 수십년 안에도 바뀔 가능성은 거의 없다고 봐야 될 것이다. 따라서 비탄소에너지원의 한계가 명백한 상황에서 이산화

탄소의 배출감축을 구현하기 위해서는 화석연료를 사용하는 과정에서 필연적으로 배출되어야 하는 이산화탄소의 반영구적 처리방안이 강구될 필요성이 크다.

화석연료를 사용하여 발생하는 이산화탄소의 배출을 감축하기 위해서 에너지 절약 기술, 에너지 효율 향상 기술, 저탄소에너지 활용 및 이산화탄소 회수저장 기술 등이 활용될 수 있다. 먼저 에너지 절약 기술 및 에너지 효율 향상은 온실가스의 배출저감을 위해서 가장 먼저 수행될 초석이 되는 방안이지만 대규모 온실가스 감축을 달성하기에는 역부족이다. 또한 우리의 바람과 달리 양질의 화석연료자원이 급격히 고갈되는 상황에서 저탄소연료를

추구하는 것도 결코 쉬운 일이 아니며, 오히려 저품위 석탄과 같은 고탄소연료의 이용도가 증가되고 있는 것이 현실이다. 이러한 조건에서 화석연료 사용에 의해서 궁극적으로 배출되는 이산화탄소를 회수하여 저장하기 위한 이산화탄소 회수저장 기술(이하 'CCS' 기술로 표기)의 활용이 대기 중 온실가스 농도의 안정화에 가장 크게 기여할 수 있는 기술로 부각되고 있다.

언어적 의미대로 이산화탄소 회수저장 기술은 이산화탄소를 배출원에서 전량 회수하여 반영구적으로 저장시켜 대기로부터 격리하는 기술이다. 앞에서 소개된 바와 같이 CCS기술이 빠른 효과를 나타내기 위해서는 발전, 제철, 시멘트, 석유화학과 같은 대규모 고정 배출원에 대한 CCS 기술이 개발 보급되어야 한다. 특히 국내의 경우 약 6억 톤에 해당하는 온실가스의 배출량 가운데 전력분야가 약 25%를 차지하고 있으며, 거의 20%에 육박하고 있는 1억 1,500만 톤이 단 40기의 석탄화력발전소에서 배출되고 있다. 따라서 대규모 CO₂ 배출저감을 실현하기 위한 첫 번째 과제로서 석탄화력발전소에 대한 CCS 기술이 선정되어 전세계적으로 활발하게 기술개발이 진행되고 있다. 그림 1은 유럽의 유력한 발전회사인 Vattenfall에서 제시하고 있는 석탄화력발전소에 대한 CCS기술을 적용할 수

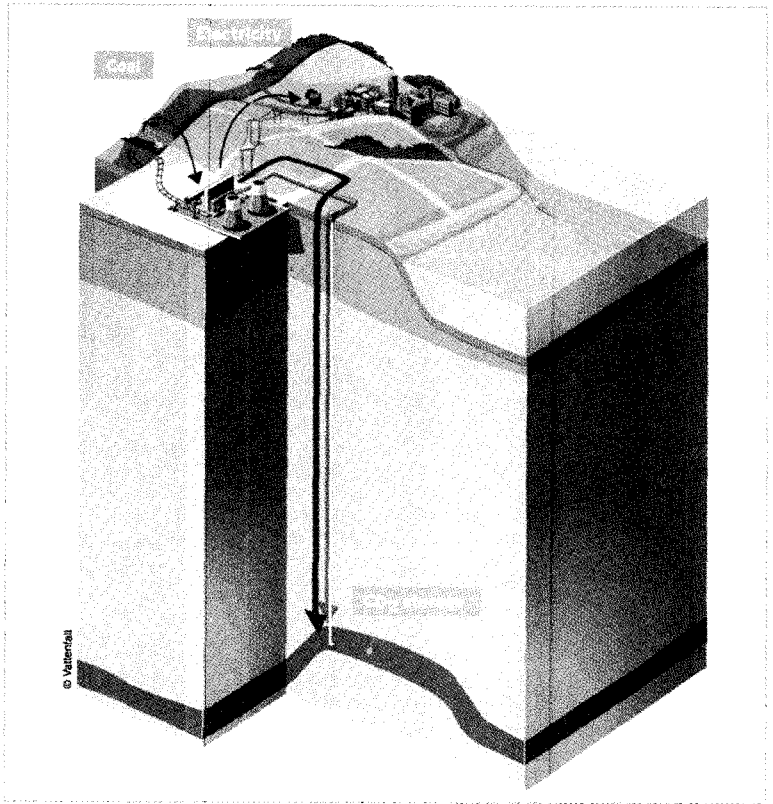


그림 1 석탄발전의 이산화탄소 회수저장기술의 개념도(From Vattenfall Homepage "www.vattenfall.com" & Illustrated by www.kjell-design.com)

있는 개념을 제시한 그림이다. 즉, 석탄을 활용한 발전소에서 배출되는 CO₂를 인근의 지하저장소에 반영구적으로 저장하고 비탄소화된 에너지인 전기를 사용자에게 공급하여 이산화탄소의 배출없이 화석연료에 기반한 산업사회의 지속가능성을 확보하는 것이 석탄화력발전소에 대한 CCS 기술의 궁극적 기술개발 목표이다.

CCS 기술은 용어 그대로 이산화탄소의 회수 기술과 저장기술로 나뉜다. 이 중 이 글에서는 이산화탄소의 회수 기술에 초점을

맞추어 기술하고자 한다.

이산화탄소 회수 기술 개요

이산화탄소의 회수가 적용될 수 있는 가장 유력한 대규모의 고정 배출원으로 ① 발전소(화석연료를 이용한) ② 석유화학공장 ③ 철강공장 및 ④ 시멘트공장 등을 들 수 있으며, 많은 산업화된 국가에서는 이러한 시설에서 배출되는 이산화탄소의 양이 국가 이산화탄소 배출량의 약 50% 이상을 차지하고 있다.

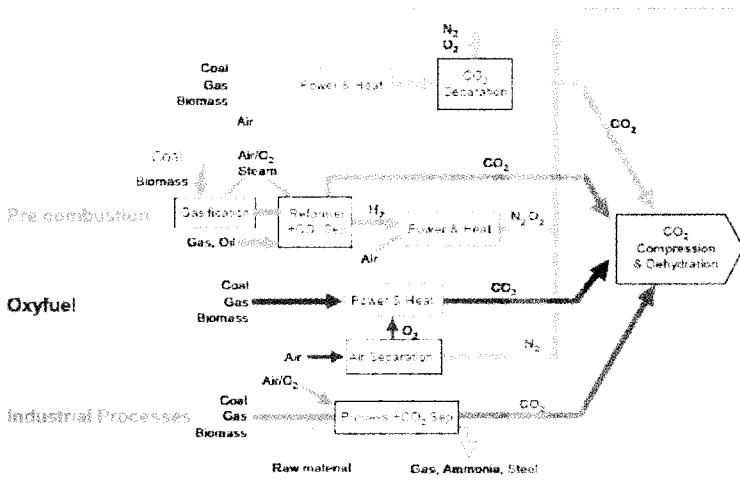


그림 2 이산화탄소 회수기술의 개념(From IPCC Special Report "Carbon Dioxide Capture and Storage")

그림 2에는 IPCC에서 제시하고 있는 이산화탄소 회수 기술의 구분방법을 개략적으로 나타내었다. 회수 기술은 화석연료의 연소에 의해서 이산화탄소가 생성되는 과정을 전후로 ① 연소 후 포집(Post-Combustion Capture), ② 연소전 탈탄소화(Pre-Combustion De-Carbonization) 및 ③ 연소과정에서 이산화탄소를 농축하는 순산소연소(Oxy-Fuel Combustion) 등으로 구분되고 있다.

연소 후 포집 방법은 기존의 연소 장치에서 나오는 배가스에서 이산화탄소를 분리해내는 방법이다. 연소 장치에서 나오는 연소 생성물은 질소가 대부분을 차지하고 있고 이산화탄소, 잉여 산소, 수증기, 기타 미량 가스들로 이루어져

있으므로, 이산화탄소 회수를 위해서는 질소를 분리해내는 것이 가장 중요하다고 할 수 있다.

연소 전 탈탄소화 및 순산소 연소 방법은 기존의 연소 방식을 바꾸어서 이산화탄소 회수를 좀 더 쉽게 하는 방법이다. 연소 전 탈탄소화의 경우 이산화탄소의 주배출원인 석탄 등의 고체 연료를 순산소/스팀을 사용하여 연료로 사용 가능한 합성 가스로 전환한 뒤(gasification), 합성가스의 주 성분인 CO와 H₂ 중 CO는 steam reformer를 사용하여 이산화탄소와 수소로 변환시키고, 이 중에서 이산화탄소를 분리하여 수소만을 연료로 활용하는 방법이다. 이 경우 대상 가스 내의 이산화탄소 농도가 연소 배가스에 비해 훨씬 높고 처리해야 하

는 가스의 유량도 훨씬 작기 때문에 효율적인 이산화탄소 회수가 가능해진다. 순산소 연소는 산화제인 공기에서 질소를 분리한 뒤 산소만 활용하여 연소를 수행하는 방식으로서, 이 경우에는 배가스의 대부분이 이산화탄소와 H₂O로 구성되기 때문에(약간의 잉여산소 포함) 배가스의 응축을 통해 쉽게 대용량의 이산화탄소를 회수할 수 있게 된다.

세 번째와 네 번째장에서는 각각의 기술들에 대해 상세히 기술하고, 각 기술들에서 나타나는 단점들을 보완하기 위해 어떠한 세부 기술들이 제안되고 있는지에 대하여 간단하게 기술하였다. 다만, 연소 후 포집법과 연소 전 탈탄소화법은 다양한 화학종이 포함되어 있는 배가스에서 이산화탄소를 분리해내는 방법이라는 점에서 공통점을 가지고 있고 방법도 매우 다양하여 이들을 3장에 함께 기술하였다.

이산화탄소 회수 기술 1 - 연소 후 포집법/연소 전 탈탄소화법¹⁾

전술한 바와 같이 다양한 화학종이 포함되어 있는 가스에서 이산화탄소를 분리해내는 기술을 활용한다는 점에서 연소 후 포집법과 연소 전 탈탄소화법에 적용

1) 3장에 기술한 내용 및 그림들은 한전 전력연구원 이종범 선임연구원(연소 후 포집법) 및 백점진 선임연구원(연소 전 탈탄소화법)이 각각 작성한 내용을 나름대로 요약 정리한 것임.

되는 기술은 공통점을 가지고 있다. 동일 기술을 활용하여 연소 배가스에서 이산화탄소를 분리 회수하는 경우에는 연소 후 포집법이 되고, 합성 가스에서 이산화탄소를 분리 회수하여 수소만 연료로 활용하는 경우에는 연소 전 탈탄소화법이 된다.

이러한 기술들은 흡수제를 이용한 화학 흡수법(absorption), 흡착법(adsorption), 막분리법(membrane system) 등으로 구분할 수 있다. 이들 중 몇 가지 중요한 기술들에 대한 개략적인 세부 사항들은 다음과 같다.

화학 흡수법

화학 흡수법(Chemical Absorption)은 화학 공장에서 이미 상용화되어 이산화탄소가 아닌 다른 기체의 선택적 분리에 적용되고 있는 기술이다. 이산화탄소 회수에 대하여 화력발전소 또는 대형 산업용 보일러의 연소 배가스에 적용이 가능하다고 알려져 있으며, 특히 아민(MEA)을 이용한 습식 흡수법은 이미 상용화되어 있다. 그러나 설비의 규모가 크고 흡수제의 재생에 많은 에너지가 소모되기 때문에 이산화탄소 회수 비용이 증가한다는 문제점을 가지고 있기도 하다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 저비용 저에너지 포집기술 모색을 위한 다양한 연구개발들이 수행되고 있으며, 대표적인 것으로 건식 회수 기술(Dry sorbent tech-

nology), 탄산염시스템(Carbonate-based system) 이용 기술 그리고 수용성 암모니아 공정(Aqueous Ammonia)과 같은 것들이 있다.

건식회수 기술은 유동층(fluidized-bed) 공정에 건식 재생 고체 흡수제(sorbent)를 사용하여 대량의 상압 배가스에 포함된 이산화탄소를 연속적으로 제거하는 기술로서, 공정부피가 작고 온도조절이 용이하며 저가의 흡수제 원료를 사용할 수 있으며 흡수제 설계의 다양성이 좋다는 장점이 있다. 또 반응효율이 좋고 에너지 소비가 작다는 점 등 기존 습식 아민 기술의 단점을 극복할 수 있는 잠재성이 있어 미국 NETL, RTI(Research Triangle Institute) 등에서 연구개발 중이다. 국내에서도 전력 연구원과 에너지기술연구원에서 관련 연구를 수행하고 있다.

탄산염시스템은 용액에 용해되어 있는 탄산염과 이산화탄소가 반응하여 중탄산염(bicar-

bonate)을 생성하는 것을 이용하는 기술이다. 이러한 중탄산염은 재생 시 이산화탄소를 배출하며 탄산염은 다시 사용될 수 있는데, 재생 시 소요되는 재생에너지가 아민법에 비하여 매우 작은 장점이 있다.

수용성 암모니아 공정은 아민 수용액 공정과 유사하다. 암모니아, 물, 이산화탄소가 반응하여 중탄산 암모늄염(탄화수소암모늄; ammonium bicarbonate)을 형성한다. 암모니아공정은 아민공정에 비하여 반응열이 작고, 흡착능이 크고, 흡수/재생 시 흡수능의 degradation이 작으며, 가격이 싼 장점이 있다.

물리 흡수법

물리 흡수법(Physical Absorption) 중 대표적인 기술은 glycol 계열 용매를 사용하는 SELEXOL 공정이 있으며 SELEXOL공정 대비 이산화탄소 회수비용을 줄이기 위한 신기술로는 SEWGS(Sorption En-

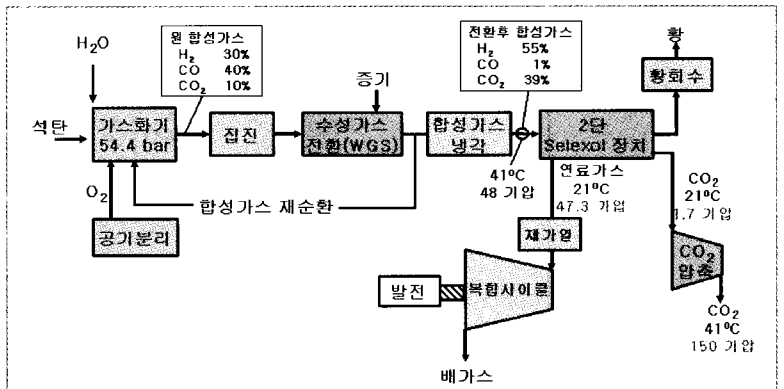


그림 3 SELEXOL을 이용한 IGCC 이산화탄소 회수 공정도

hanced Water Gas Shift), 막 분리, 이산화탄소 Hydrate법 등이 개발되고 있다. 물리흡수법의 대표적인 공정은 glycol 계열 용매를 사용하는 SELEXOL 공정으로 현재 상업화가 되어 있는 기술이다.

SELEXOL 공정에서는 Henry의 법칙에 따라 이산화탄소가 용매에 물리흡수되므로 이산화탄소 분압이 높을수록 이산화탄소 흡수량도 증가하기 때문에 연소 전 이산화탄소 회수 기술에 더 적합할 수 있는 기술이다. SELEXOL 공정을 이용하는 IGCC의 공정도를 그림 3에 나타내었다.

SEWGS 기술

SEWGS는 물리흡수법 공정에서 에너지 소모가 많은 WGS와 이산화탄소 회수를 하나의 반응기에서 처리함으로써 이산화탄소

회수공정의 경제성을 향상시키는 기술이다. 그림 4에서와 같이 WGS 촉매와 고체 이산화탄소 흡수제를 같은 반응기에 넣어 WGS반응과 동시에 이산화탄소를 회수한다.

막분리 기술

막분리 기술은 에너지 소모가 적고 기체의 상변화가 없으며 유지보수 비용이 적어 이산화탄소 회수비용을 획기적으로 줄일 수 있을 것으로 기대되고 있다. 연소 전 이산화탄소 회수에 사용하기 위해서는 고온에서도 안정하고 및 합성가스 중에 포함된 황이나 기타 성분에 내구성이 있는 분리막이 필요하다. 한편 반응분리막 기술은 SEWGS와 비슷한 개념으로 WGS가 일어남과 동시에 수소가 분리막을 통하여 분리되면 고압의 이산화탄소가 회수된

다. 네덜란드 ECN에서 CACHET 프로그램으로 개발 중인 수소분리막은 개질 혹은 WGS 촉매와 수소선택성을 지닌 Pd 합금 분리막을 조합한 형태이다.(그림 5 참조)

기타 기술들

이상의 기술 외에도 이산화탄소 hydrate 법 또는 금속과 유기리간드의 공유결합으로 연결된 결정성 유-무기 나노세공체(MOFs; Metal-organic frameworks), 유기 양이온과 무기 음이온으로 구성된 이온액체(ionic liquid)는 기존의 용매나 흡착제에 비해 이산화탄소 흡수능이 훨씬 우수하고 고온 이산화탄소 회수공정에 적합한 특성을 지니고 있어 이를 이용한 연소 전 이산화탄소 회수 기술은 이산화탄소 회수비용을 줄일 수 있을 것으로 기대되고 있다.

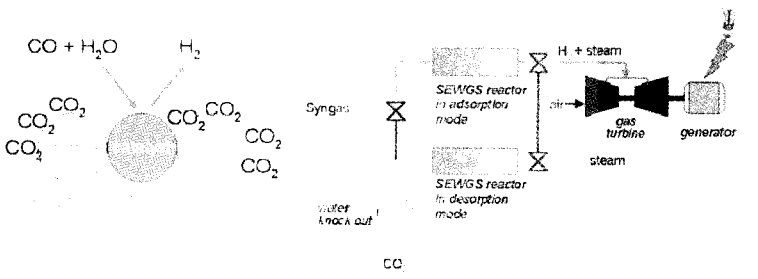


그림 4 CACHET 프로그램에서 개발 중인 SEWGS(Brink et al. ECN)

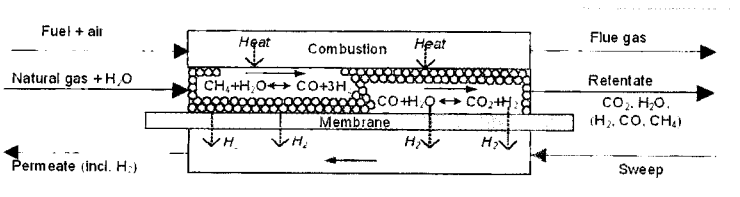


그림 5 CACHET 프로그램의 수소분리막 개념도(Daniel Jansen, 2007)

**이산화탄소 회수 기술
2 - 순산소 연소 기술**

순산소 연소 기술은 화석연료의 산화과정에서 공기 중의 질소를 제거한 순수한 산소(아르곤 등의 불활성기체는 포함될 수 있음)로 연료를 연소시켜서 고농도의 이산화탄소를 직접 회수하는 기술이다. 순산소 연소의 방법으로는 크게 별도의 공기분리장치(ASU; Air Separation Unit)를 활용하여 산소를 제조한 뒤 산소

소 연소를 수행하는 방법과, 산소 제조 장치를 연소기와 통합하는 방법이 있다. 전자의 경우 현재 기술 수준에서 실증 또는 상용화가 용이하다는 장점이 있지만 공기 분리 장치 가동에 필요한 에너지 효율 손실이 불가피하다는 단점을 가지고 있으며, 후자의 경우에는 반대로 산소 제조에 필요한 에너지 효율 손실을 최소화할 수 있다는 장점이 있지만 현재 기술 수준이 높지 않아 장기적 관점에서의 기술 개발이 필요하다.

연소기-산소 제조장치 분리 순 산소 연소

전술한 바와 같이 산소 제조 장치 분리형 순산소 연소는 기존의 ASU 기술을 활용하여 10년

내에 대규모 실증이 가능한 기술로 평가 받고 있다. 그림 6에는 대표적인 이산화탄소 배출원인 석탄화력에 적용될 수 있는 순산소 연소 기술의 개념도를 나타내었다. 공기분리기술을 이용해서 생산된 순도 95% 이상의 고농도 산소를 이용하여 미분탄을 연소시켜 전력 생산에 필요한 열을 발생시킨다. 그러나 연소실에 순산소만 공급될 경우 보일러의 과열현상이 발생할 수 있으므로, 발생된 배가스의 약 70%를 다시 연소실로 재순환시켜 발전설비의 열적 특성에 적절한 연소가 가능하도록 통합시킴과 동시에 배가스의 이산화탄소 농도를 80% 이상으로 농축시킨다. 마지막으로 배출되는 배가스의 주성분 가운데 수증기를 응축시킬 경우, 거의

전량의 이산화탄소를 회수할 수 있으며, 회수된 이산화탄소(극미량의 대기오염물질 포함)를 저장시켜서 이산화탄소와 대기오염물질의 무배출을 구현한다.

순산소 연소 조건에서는 연소과정에서 공기에 포함된 질소가 공급되지 않아 저 NOx 연소에 유리한 조건이 형성되기 때문에 순산소연소 석탄화력발전에서 NOx를 제거하기 위한 탈질설비인 선택적촉매환원(SCR; Selective Catalytic Reduction) 설비가 사용되지 않는다. 또한 배연탈황설비(FGD; Flue Gas Desulfurizer) 대신 로 내 탈황 기술의 적용 가능성도 거론되고 있어서, SCR과 FGD 두 가지의 핵심적인 환경제어설비를 위한 설비비 및 에너지비용의 절감이 가능

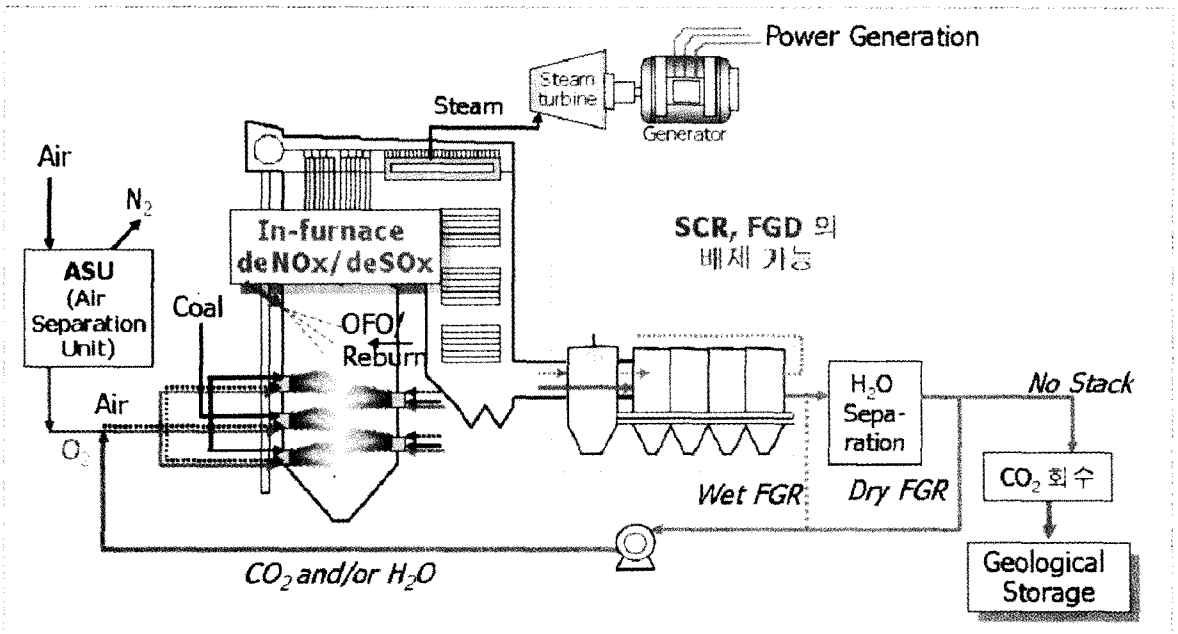


그림 6 순산소연소 기술에 기반한 이산화탄소 회수기술의 개념도

한 장점이 있다. 반면 순산소연소를 실시할 경우, 연소로 내부의 가스조성 및 온도의 변화에 의해서 고온의 연소가스에 의한 복사열전달 특성이 매우 큰 차이를 보일 것으로 예측되고 있으며, 이에 따른 열교환기의 개조를 동반할 필요성이 있다.

그림 7에서는 시기 및 규모기준으로 지금까지 수행되어 왔거나 수행되고 있는 핵심적인 순산소 연소 이산화탄소회수 기술개발사업을 제시하고 있으며, 이들 가운데에서도 스웨덴의 국영발전사인 Vattenfall이 독일 Schwarze-Pumpe 발전소에서 수행하고 있는 프로젝트 및 호주의 CS-Energy가 수행하고 있는 Callide 프로젝트가 핵심적인 실증 프로젝트이다. 특히 Sch-

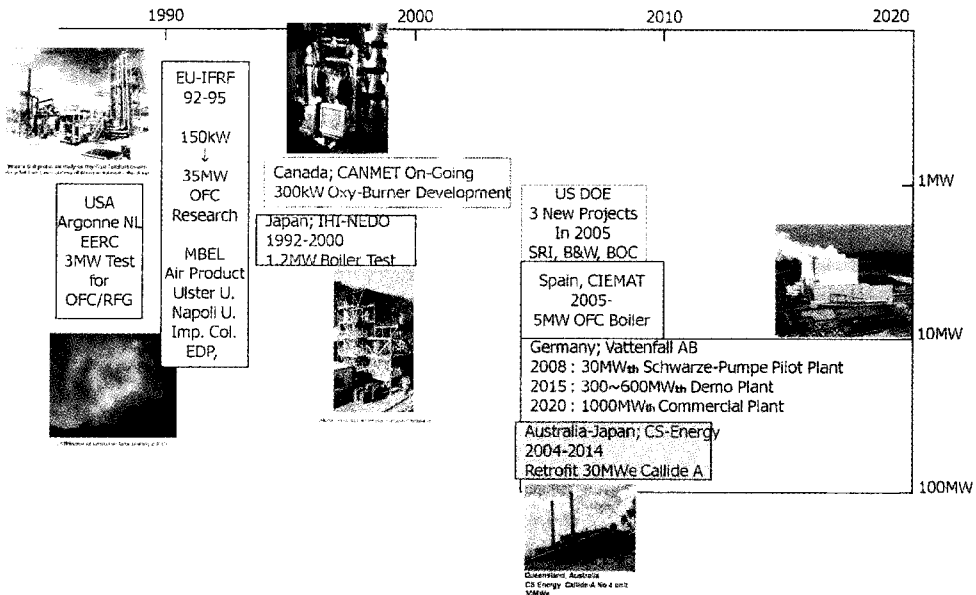
warze Pumpe 발전소에서 진행되고 있는 Vattenfall의 순산소연소 발전기술개발사업의 Pilot Plant가 2008년 9월에 정식으로 준공되어 운영되기 시작하였다. 이들 실증 프로그램은 대부분 2020년 이내에 실증 및 상용화를 완성하는 것을 목표로 하고 있다.

연소기-산소 제조장치 통합 순산소 연소

순산소연소기술의 경우 대규모 산소생산설비의 건설비 및 구동 에너지비용이 순산소연소기술을 이용한 이산화탄소 회수비용에 미치는 영향이 지대하므로 산소생산기술의 개선도 순산소연소기술의 개발과 같이 매우 중요하며, 이를 위해 연소기-산소 제조 장치 통합 순산소연소기술들이 개발되고 있다.

산소생산을 위한 에너지 비용을 줄이기 위한 기술로서, 산소이온전달분리막(OTM; Oxygen Ion Transfer Membrane)을 이용한 차세대 산소생산기술이 개발되고 있다. 미국의 Air Products는 OTM 모듈을 통한 별도의 산소생산설비를 구축하고 있으며 현재 5톤/일 규모의 설비를 실증하고 있는 단계이다. 한편 Praxair는 연소로에 OTM 튜브를 삽입하여 산소를 공급하는 신형 보일러 기술을 개발하고 있다. 그러나 두 가지 기술 모두 연소설비와 열적 통합에 대한 구체적인 방법이 아직 제시되지 못하고 있어서 시장에 보급되기 위해서는 많은 기술개발이 필요하다.

또 다른 산소공급방안이 매체순환연소기술(CLC; Chemical



순산소연소를 이용한 이산화탄소 회수 기술의 국내외 개발 동향

Looping Combustion)이다. CLC 기술은 헤모글로빈을 이용한 인체의 산소공급방식과 유사하게 공기와 접촉하여 산화된 금속이 생성되며, 연소로 이동하여 산화금속의 환원과정에서 공급되는 산소로 연료를 연소시키는 방식이다. 여기에서 환원된 금속은 공기와의 산화를 위해서 금속 산화로 다시 돌아오게 된다. 매체순환연소기술은 기존의 연소 후 포집기술과 순산소 연소 기술의 중간적 형태를 띠는 기술로서 대규모 열설비에서 가장 낮은 비용으로 이산화탄소를 회수할 수 있는 기술로 각광을 받아 우리나라를 포함한 많은 나라에서 많은 연구개발이 진행되고 있다.

각 기술의 비교 분석

전술한 연소 후 회수법, 연소 전 회수법 및 순산소 연소에 대

하여 어느 방법이 가장 경제성과 적용성이 좋은 기술인지에 대하여 많은 평가들이 이루어져왔으나 대부분 평가하는 사람이 선호하는 기술을 부각시키기 위한 목적으로 수행되어 옴에 따라 객관성이 결여된 측면이 있다. 이에 따라 이 글에서는 경제성 및 적용성과 관련된 각각의 기술의 장단점에 대하여 비교하고 이후 객관적인 평가를 위한 방향을 제시하고자 한다.

전제되어야 할 것은, 이들 기술들은 기본적으로 기후변화협약 대응을 전제로 하고 있기 때문에 이산화탄소 의무 감축에 따른 탄소세를 감안하지 않는다면 기존 공정에 비해 경제성이 현저하게 떨어지는 것이 자명하다는 것이다. 다만, 경제성 저하 요인의 효과가 얼마나 큰지, 경제성의 감소를 최소화할 수 있는 다양한

option들이 존재하는지의 여부가 각 기술들의 평가에 있어 중요하다고 할 수 있다.

표 1에는 연소 후 회수법, 연소 전 회수법 및 순산소 연소 기술의 장단점을 분석하여 나타내었다. 각 기술들 중에서도 대용량 실증이 가장 가까운 기술들(예-연소 후 회수의 경우 습식아민법을 대상으로 함)을 중심으로 장단점을 나열하였다. 기존 설비 적용성에 대하여는, 연소 후 회수법이 기존 화력 발전소 또는 산업용 보일러 설비를 그대로 둔 상태에서 이산화탄소 회수 설비만 추가로 설치하는 것이므로 기존 설비 적용성이 가장 좋다고 할 수 있다. 반면에 이산화탄소의 회수비용만 놓고보면 연소 전 회수법이 가장 좋다는 주장이 설득력이 있지만, 2008년 현재 전 세계적으로 상업 운전되고 있는 IGCC 설비가 4개에 불과할 정도로

표 1 각 회수 기술의 장단점 비교

항목	회수법	연소 후 회수법	연소 전 회수법	순산소 연소
기존 설비 적용성		좋음	나쁨	중간
경제성 저하 요인		Chemical absorption system(재생 공정에서의 에너지 소모)	Water-gas Shift reactor + Chemical/Physical absorption system	산소 생산설비 (Air Separation Unit) 및 이의 운전
경제성 상승 요인		흡수-재생 공정의 개선을 통해서 가능함	연료 다변화 가능 최소 유량 작동 유체에서의 이산화탄소 회수	후처리 설비 간소화 (No SCR, No or Minimum FGD) 연료 다변화에 유리
기타 문제점		대형 흡수 설비 추가 설치 필요(부지 등의 문제)	아직 수소 연료의 활용 방안 미비 - 기술 개발 필요	회수된 이산화탄소의 순도 문제 - 압축/저장시 문제 발생 가능성
적합한 공정		연료와 무관하게 폐열 발생이 많은 공정에 적합	저탄소 연료 사용 공정에 적합	고탄소 연료 사용 공정에 적합

inventory가 부족하다는 문제점이 있으며, 이산화탄소 분리 후 남은 수소 연료를 활용하는 방안이 미비하므로 수소 터빈이나 연료 전지 등의 기술이 함께 뒷받침되어야 한다는 문제점이 있다. 경제성 측면에서, 연소 후 회수법에서는 흡수 공정에서 흡수제 재생을 위한 추가적인 열 에너지 측면에서, 순산소 연소의 경우에는 산소 생산 설비의 운전을 위한 전력 소모 측면에서 경제성 저하 요인이 발생한다. 각각의 경제성 저하 요인이 어느 정도인지에 대해서는 많은 논란이 있지만, 각 공정의 특징상 폐열이 많이 발생하는 시스템에서는 연소 후 회수법이 유리하고, 탄소 함량이 많은 연료를 사용하는 시스템에서는 순산소 연소가 유리하다는 주장이 설득력이 있어 보인다. 기술적인 문제 외에도 부가 설비의 설치를 위한 부지 문제와 같은 엔지니어링 관점에서 발생할 수 있는 사항들도 무시할 수 없는 요인들이라고 할 수 있다.

결론적으로 이산화탄소 회수를 위해 제시되고 있는 이들 기술들에 대해 절대적인 우위/열위 여부를 논하는 것은 위험하다고 생각되며, 이들 기술들이 적용되는 공정을 주의 깊게 고려하여 각 기술들에 대한 경제성 및 적용성 평가를 수행하고, 이 중 가장 적합한 회수 기술을 적용하는 것이 바람직할 것으로 보인다. 또한 이

들 문제점들을 개선할 수 있는 신기술들의 개발들이 함께 병행되어 장기적 관점에서의 평가도 이루어져야 할 것이다.

맺음말

지금까지 기후변화협약 대응을 위한 CCS 기술의 핵심 중 하나인 연소 시스템에서의 이산화탄소 회수 기술 및 각각의 장단점에 대하여 설명하였다. 각각의 기술들은 나름대로의 장단점을 가지고 있어 어느 기술이 더 우월하거나 더 경제성이 있다고 볼 수는 없으며, 시스템의 종류 및 특성, 사용 연료의 성상, 시스템 설치 공간 및 주변 특성 등의 여러 가지 사항들을 고려하여 가장 적합한 이산화탄소 회수 기술을 적용해야 할 것이다. 현재는 이러한 사항들을 종합적으로 고려하여 각 기술들을 평가하는 방법론 역시 매우 취약한 가운데 있으며, 각 세부 기술의 개발과 함께 이러한 평가 방법론의 확립이 시급하다고 할 수 있다. 세부 기술의 개발 역시 어느 한 분야에 치우치지 않고 기후변화 협약 대응 방안에 대한 사회 시스템 관점에서의 전략에 근거하여 세심하게 이루어져야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

“IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture

and Storage”, Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2005

Resnik et. al., Proceeding of the 23rd Annual International Pittsburgh Coal Conference & J. Environ. Tech. Manage., 4, 89-104, 2006

Murlidhar Gupta, Bill Pearson and Kourosh E. Zanganeh, CANMET, 22nd Pittsburgh Coal Conference, 2005.

Daniel Jansen, “Hydrogen Membrane reactors for pre combustion CO₂ capture”, 1st CACHET Workshop, April 2007.

Ruud van den Brink, Paul Cobden, Paul van Beurden, Jurriaan Boon, Rick Reijers, Steven Kluiters, Jan-Wilco Dijkstra, and Daan Jansen, “Sorptions-enhanced hydrogen production for pre-combustion CO₂ capture”, Energy Research Center of Netherlands (ECN).

DOE/NETL-401/053106, “Cost and Performance Comparison Baseline for Fossil Energy Power Plants”, 2007.