



10MW 습식 CO₂ 포집 파일럿플랜트 기술



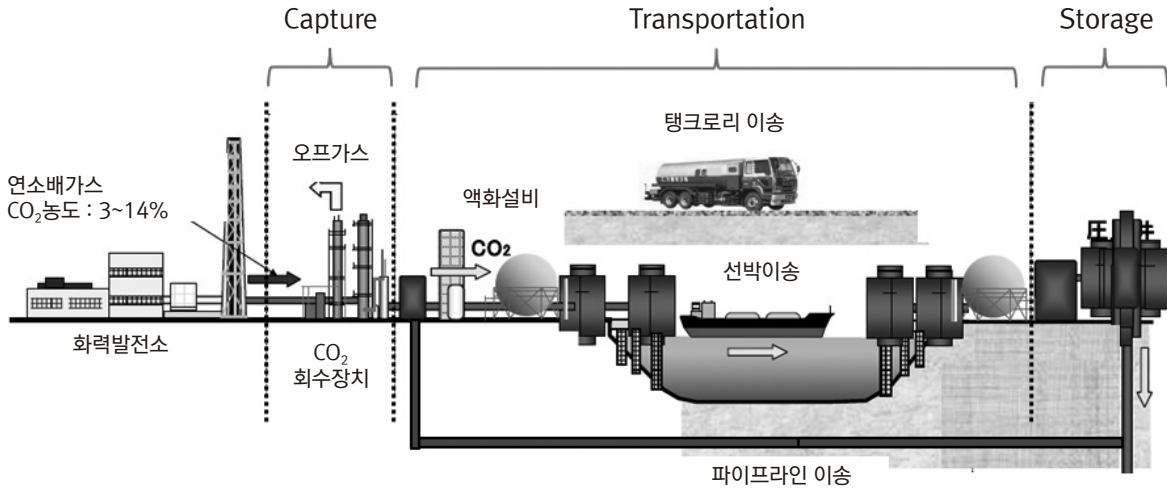
이정열
한국중부발전(주) 환경관리팀장

1. 개황

석탄, 가스 등 화석연료를 사용하는 화력발전소는 우리나라 전력생산의 약 64%(2011년 기준)를 차지하는 중요한 발전원이다. 그러나 주요 온실가스 배출원으로 지적되고 있어 전세계적으로 화력발전소를 대상으로 하는 CO₂ 포집기술 연구가 활발히 진행되고 있

다. CO₂ 포집기술은 크게 연소 후(Post-combustion), 연소 전(Pre-combustion) 및 순산소 연소(Oxyfuel combustion)로 분류할 수 있는데 이중 화력발전소에서 배출되는 배가스 중의 CO₂를 포집하는 기술은 연소 후 기술로 분류된다.

연소 후 CO₂ 포집 기술은 아민계열 혹은 암모니아 계열 흡수제를 활용한 화학 흡수법, 기존의 액체



[그림 1] CO₂ 포집 및 저장기술 개요

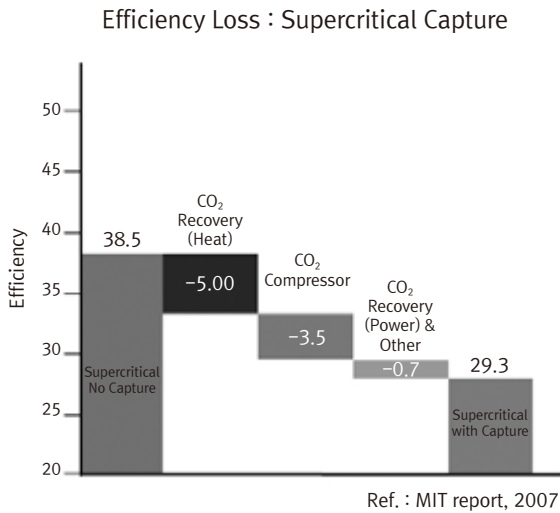
흡수제 대신 고체 흡수제를 활용한 건식 흡수법 및 분리막을 활용한 막분리법 등으로 나뉘어진다.

화력발전소에서 배출되는 배가스 처리를 위한 연소 후 CO₂ 포집 기술 공정의 개략도는 그림 1과 같다. 보일러에서 연료의 연소 후 발생된 배가스는 대기로 배출되기 전 오염물질을 제거하는 일련의 공정(집진, 탈황 및 탈질 공정 등)을 거치게 된다. 배가스 중의 CO₂ 농도는 연료로 사용되는 석탄의 탄소함유량 및 보일러 등의 특성에 따라 좌우되는데 통상 10~15% 범위이다. CO₂를 포집하기 위한 공정은 주요 불순물이 대부분 제거된 탈황공정 이후 위치하는데 CO₂ 포집공정을 통해 CO₂가 제거된 가스는 스택을 통해 대기 중으로 배출된다. 흡수제에 흡수된 CO₂는 탈기탑에서 회수하여 액화과정을 거친 후 고농도로 포집된 CO₂를 탱크로리, 파이프라인, 선박 등을 통해 저장소 또는 전환 플랜트로 이송(Transportation)된다. 이송된 CO₂는 지중에 저장되거나 화학적, 생물학적 방법을 통해 화학소재 또는 연료 등으로 전환, 재활용하는 저장(Storage) 단계로 마무리 된다.

CO₂ 포집 기술 중 아민 흡수제를 이용한 화학흡수법은 발전 배가스와 같이 CO₂의 농도가 10~20% 수준의 저농도 가스처리에 적합하며 상업적으로 이미

오랜 기간 활용되어 성능이 확인되었을 뿐만 아니라 기존 발전소에 적용이 용이하다는 장점이 있기 때문에 향후 상용규모 화력발전소 적용을 위한 가장 유망한 기술로 평가되고 있으며 전 세계적으로 많은 연구가 진행 중에 있다. 이처럼 많은 장점이 있으나 에너지 소비량이 높은 문제점을 가지고 있다. 단위 공정기기 운영을 위한 전력사용 및 재생탑 리보일러에서 흡수제 재생을 위한 스팀 사용을 위해 많은 에너지가 소비되어 전체 발전소의 발전효율이 저하되게 된다. 그림 2와 같이 2007년 MIT에서 작성된 보고서(The Future of Coal, 2007)에 따르면 초초임계 발전소의 경우 대략 9.2%의 발전효율이 감소될 것으로 예측하였다.

상기 제시된 바와 같이 재열기에 투입되는 스팀 사용에 의한 발전효율 감소가 전체 발전소 출력 감소분의 54% 이상을 차지하므로 이러한 스팀 사용량을 획기적으로 줄일 수 있는 고효율 흡수제 및 저에너지형 공정개발은 전체 CO₂ 포집공정의 경제성을 좌우하는 핵심이라고 할 수 있다. 이와 관련하여 전 세계 연구진들은 CO₂ 포집공정의 경제성 향상을 위해 재생에너지 소비가 낮은 고효율 흡수제 개발에 주력하고 있으며 주로 반응열이 낮은 아민 후보 물질탐색, 열화



[그림 2] CO₂ 포집 공정 추가 시 발전소 발전효율 감소 예측

물 생성 억제 및 부식성 방지를 위한 다양한 방지제 등에 대한 연구가 진행되고 있다.

2. 해외 기술동향

IEA 등 국제기구에서는 2012년 이후 신규 화력발전은 CCS ready로 건설할 것을 권고하고 OECD 국가의 경우, 2020년 이후 신규 화력발전에 CCS 설비 추가 의무화를 추진하고 있다. 그에 따라 2015년부터 CCS 시장이 형성되어 2020년대에는 본격화 될



[그림 3] 노르웨이 CO₂ 포집 Test center전경

것으로 전망하고 있다. 또한 IEA CCS 로드맵에 의하면 2020년 100개의 CCS 플랜트가 설치되고 2020년 이후 CCS 플랜트 수요가 급격히 증가하여 2030년에는 850개 2050년에는 3,400개의 공정이 설치되는 등 전 세계적으로 연평균 84조원 규모의 시장이 형성 될 것으로 예측하고 있다. 이에 선진 기업들은 CCS 사업부를 신설하는 등 블루오션 시장을 선점하고자 노력하고 있다.

GCCSI에 따르면 2012년 전 세계적으로 75개의 LSIPs(Large-scale Integrated CCS Plants)가 운영 중이며, 연간 35.4만 톤의 CO₂를 포집할 수 있다. 이외 60개 프로젝트에서 122Mt/년 이상의 CO₂를 포집할 계획이며, 계획단계 프로젝트의 상당수는 2년 이내에 최종투자 결정이 진행될 예정이다. 특히 연소 후 CO₂ 포집기술개발과 관련된 해외 기술동향을 보면 노르웨이에서는 그림 3과 같이 2012년 전체 CO₂ 포집 용량 14MW 규모(연간 10만 톤의 CO₂ 처리)의 세계 최대 CO₂ 포집 Test Center(Test Center Mongstad, TCM)를 준공하고 2013년 설비 성능시험을 진행 중에 있으며, 미국에서는 그림 4와 같이 저장과 연계한 25MW급 CO₂ 포집 플랜트가 Southern Company사의 Plant Barry에 설치되었다. 또한 캐나다 SaskPower Boundary Dam 발전소에 위치한 110MW 급 규모의 대규모 CO₂ 포집 Plant 설비가 준공을 앞두고 있다.



[그림 4] 미국 Plant Barry CO₂ capture plant

3. 국내 기술동향

국내에서도 CCS(CO₂포집 및 저장) 기술의 핵심인 CO₂ 포집기술 연구가 진행 중에 있다. 그 중 습식아민 흡수제를 이용한 연소 후 CO₂ 포집기술은 2010년 11월부터 2014년 9월까지 총 47개월의 연구기간 동안 CCS 기술의 핵심인 이산화탄소 흡수제와 공정기술의 고유 브랜드 확보, 상용화를 위한 포집 플랜트 개발을 목표로 연구를 수행하고 있다. 현재 기술과제 개발은 산업통상자원부 한국에너지기술평가원의 지원 하에 한국전력공사와 한국중부발전, 한국남동발전, 한국서부발전, 한국남부발전, 한국동서발전 등



[그림 5] 한전 전력연구원 개발 고효율 CO₂ 흡수제(KoSol-3, 4)

5개 발전사와 포스코건설, 대림산업, KEPCO E&C가 463억 원을 출자하여 진행 중이며 지금까지 한국형 습식아민 흡수제인 KoSol-4(Korea Solvent-4)를 개발하였다. 이 흡수제는 선진국의 기존 흡수제에 비해 약 25% 이상 에너지 효율을 향상시켰고, 내구성도 50% 이상 향상된 세계 최고 수준의 성능을 자랑하고 있다.

고효율 CO₂ 흡수제를 기반으로 하여 석탄화력발전소 배가스를 활용한 2ton CO₂/d 용량(발전용량 기준 0.1MW급)의 습식 CO₂ 포집 Test bed를 한국중부발전 보령화력본부에 설치 완료하였다(완공일: 2010. 10. 15, 그림 6 참조). 또한 상기 설비를 통한 연속운전에서 100% 가까운 이산화탄소 제거율과 에너지 소모를 줄이는 등 세계 최고 수준의 결과를 확보함으로써 2011년 국가녹색기술대상 수상 및 그 해의 녹색기술로 선정되었다.

이러한 성과를 바탕으로 10MW 습식아민 이산화탄소 포집플랜트를 건설, 준공하였다. 이 플랜트는 약 250억 원의 건설비를 투자하여 보령화력본부에 건설하였으며 한국중부발전의 주도하에 포스코 건설과 포스코 엔지니어링이 시공하여 약 14개월간의 설치공사 및 시운전을 마치고 2013년 5월 준공 후 정상가동 중이다(그림 7 참조).



[그림 6] 0.1MW급 습식 CO₂ 포집 Test Bed



[그림 7] 10MW급 습식 CO₂ 포집 플랜트

상기 이산화탄소 포집시설은 국내 최초 최대 규모의 이산화탄소 포집설비이며, 발전설비에 설치된 연소 후 포집시설로는 세계 3번째로 규모가 큰 설비이다. 현 시설은 하루 200톤의 이산화탄소를 처리할 수 있는 흡수탑과 재생탑 그리고 공정상에서 에너지 효율을 극대화 할 수 있는 다양한 시스템을 갖추고 있다. 또한 에너지 절감을 위한 신공정이 반영되어 재생에너지를 세계최고 수준까지(2.8 GJ/tCO₂ 이하) 낮출 수 있을 것으로 기대된다(표 1 참조).

시간 연속운전을 통해 공정 최적화 및 장기 연속운전을 수행할 예정이며 이러한 자료는 100~500MW급 실증 설비 건설 시 설계 자료로 활용할 예정이다. 최적화된 신공정과 고효율 흡수제 개발로 세계최고의 기술(재생에너지 10MW 기준 2.8kJ/tCO₂)을 확보할 수 있을 것으로 예상된다. 현재 온실가스를 감축하기 위한 현실적 대안으로 CCS의 중요성이 증대되고 있다. IEA 보고서(2010)에 의하면 2050년까지 세계 온실가스 감축량의 약 20%를 CCS가 담당할 것으로 전망하며 CCS를 도입하지 않을 경우 CO₂ 감축비용이 70% 증가될 것으로 예상된다. 주요 선진국들은 CCS를 온실가스 감축의 핵심으로 인식하고, 비용절감을 위한 차세대 기술개발 및 실증에 경쟁적으로 막대한 예산을 투입하고 있다.

[표 1] 10 MW급 Pilot Plant 반영 공정개선

번호	공정개선	성능 확인	기타
1	흡수탑 충전물 변경	0.1 MW Test Bed 시험을 통한 성능 확인 (완료)	10 MW급 Pilot Plant 설계에 반영
2	Lean/Rich 열교환기 최적화		
3	흡수탑 Intercooling		
4	Advanced 리클레이머	제작사 기술 검증(완료)	
5	Lean Vapor Recompression	적용 예정 (2013.07)	

4. 향후계획

보령화력에 설치된 10MW CCS설비는 향후 1000

현재 우리나라도 ‘국가CCS 종합추진 계획(2010)’을 통해 CCS원천기술 확보를 위해 노력하고 있으며 한국중부발전(주) 보령화력본부에서 개발된 파일럿 플랜트를 운영하고 있다. CO₂ 포집기술개발 및 설비 운영을 통한 최적 상용화기술 확보로 우리나라가 국제 CCS분야에서 선도적인 역할을 수행하고 관련 기술 및 설비들을 수출하게 되는 날이 올 것으로 기대한다. 