



## 건식 CO<sub>2</sub> 흡수기술 개발현황 및 전망



류청걸

한전 전력연구원 녹색성장연구소

지구온난화 문제와 관련하여 덴마크 코펜하겐에서 열린 유엔기후변화협약(UNFCCC) 제15차 당사국 회의가 2009년 12월 19일 개최되었으나 당초 기대되었던 선진국의 온실가스 감축 목표 설정 및 이행에 대한 합의를 도출하지 못하고 정치적 합의 문 수준의 '코펜하겐 협정(Copenhagen Accord)

을 내놓고 폐막되었다. 또 기술적인 측면에서도 CCS의 CDM화가 결정되지 못한 채 1년 이상 지연되게 되었다.

지구온난화를 유발하는 온실가스(Greenhouse Gases, GHG)의 대기농도를 안정화시키는 주요 방법으로 효율 향상과 수요자 측면의 에너지 절약, 저

탄소 에너지원(원자력, 재생에너지 등)의 확대 및 개발, 이산화탄소 포집 저장 (CCS, Carbon Capture and Storage) 기술을 제시하고 있으며 이들 중 CCS 기술은 대량의 화석연료 사용으로 배출된 이산화탄소를 가장 직접적이고 저렴한 방법으로 처리할 수 있는 유일한 기술이다. 이러한 CCS 시장은 2015년 산업부문을 필두로 2020년부터 발전 부문에서 본격화될 전망이다.

### 이산화탄소 포집 저장(Carbon Capture and Storage) 기술 개요

CCS 기술은 화석연료를 연소 또는 처리하는 과정에서 발생하는 대량의 CO<sub>2</sub>를 대기로 방출되기 전에 고농도로 포집하여 분리하는 포집 기술과 포집한 CO<sub>2</sub>를 압축 수송하여 안전하게 격리하는 저장기술로 구분된다. 이산화탄소 포집기술은 화석연료의 연소시스템 또는 배출 공정 대상 가스 기류로부터 CO<sub>2</sub>를 포집하는 공정의 적용 위치에 따라 크게 연소후 (Post-Combustion), 연소전(Pre-Combustion), 순산소 연소(Oxy Fuel)와 매체순환 연소시스템(Chemical-Looping Combustion System)을 포함하는 연소중 포집 기술로 구분할 수 있으며 처리기술에 따라 흡수, 흡착, 막분리 기술로 구분할 수 있다. 흡수기술은 크게 건식과 습식 기술로 다시 세분된다.

본고에서는 혁신기술로서, 또 국내 기술이 국제 기술을 선도하고 있는 건식 흡수기술에 대하여 간단하게 소개하고자 한다.

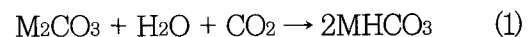
### 건식 CO<sub>2</sub> 포집 기술

건식 CO<sub>2</sub> 포집기술은 기존의 습식 용액 대신에 건식 재생 고체 흡수제(Sorbent)를 순환유동층(Circulate fluidized-bed) 또는 고속 이동층(Transport reactor) 공정에 적용하여 CO<sub>2</sub>를 연속적으로 제거하는 기술이다. 유동층 공정에 사용되는 고체 흡수제는 순환과정(Cyclic process)을 통해 흡수/재생을 반복하면서 배가스 중의 CO<sub>2</sub>를 연속적으로 제거하면서 포집 공정에서 반복적으로 사용된다. 이때, 함께 배출된 수증기를 응축시켜 제거함으로써 결과적으로 순수한 고농도의 CO<sub>2</sub>를 생산하여 저장, 전환 또는 재활용 과정을 통해 CO<sub>2</sub>를 포집하는 기술이다. 건식 CO<sub>2</sub> 흡수 기술은 폐수가 발생되지 않고 부식 문제가 적으며, 재생 공정에서의 높은 에너지 소모의 문제점을 극복하고 포집비용을 줄일 수 있는 혁신 기술로 인식되고 있다.

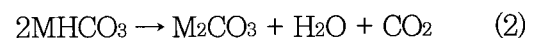
### 연소 후 포집 기술

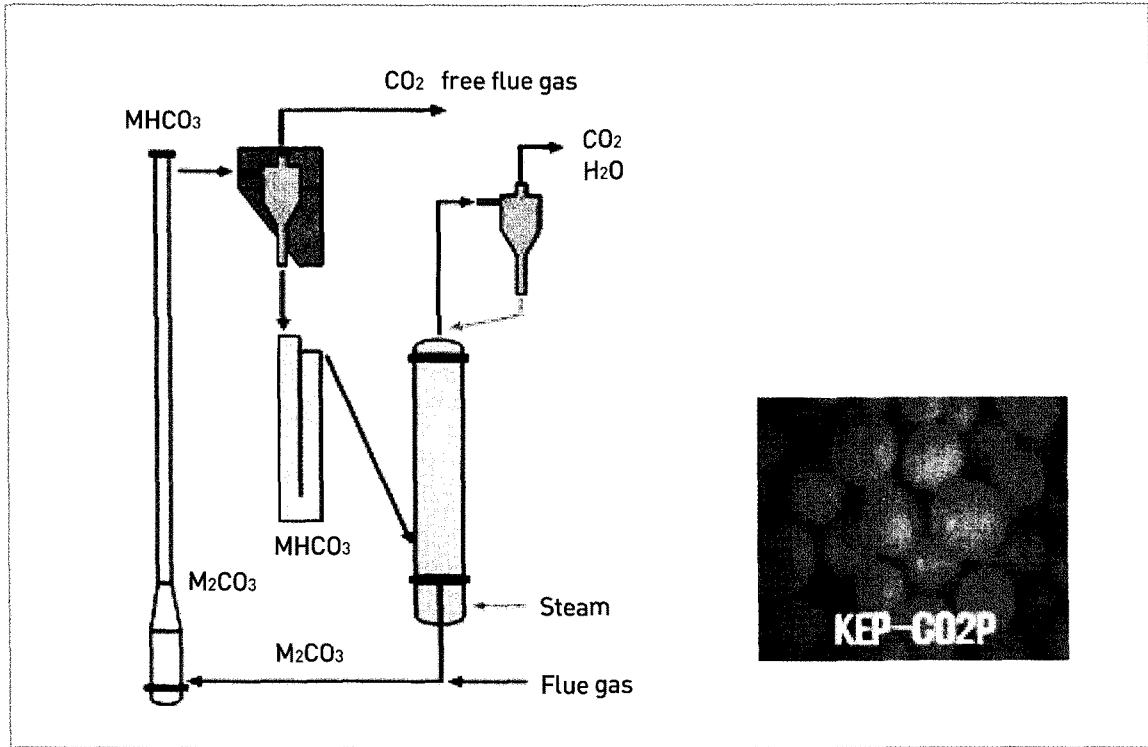
연소후 포집 기술에 사용되는 고체 흡수제의 활성물질로는 알칼리금속, 알칼리토금속 등이 주로 사용되고 있다. 흡수탑과 재생탑에서 일어나는 반응은 알칼리 금속을 활성물질로 사용하는 경우 다음과 같이 표현할 수 있으며, 건식 재생 CO<sub>2</sub> 회수 공정 개념을 [그림 1]에 나타내었다.

흡수반응(Carbonation):



재생반응(Calcination):





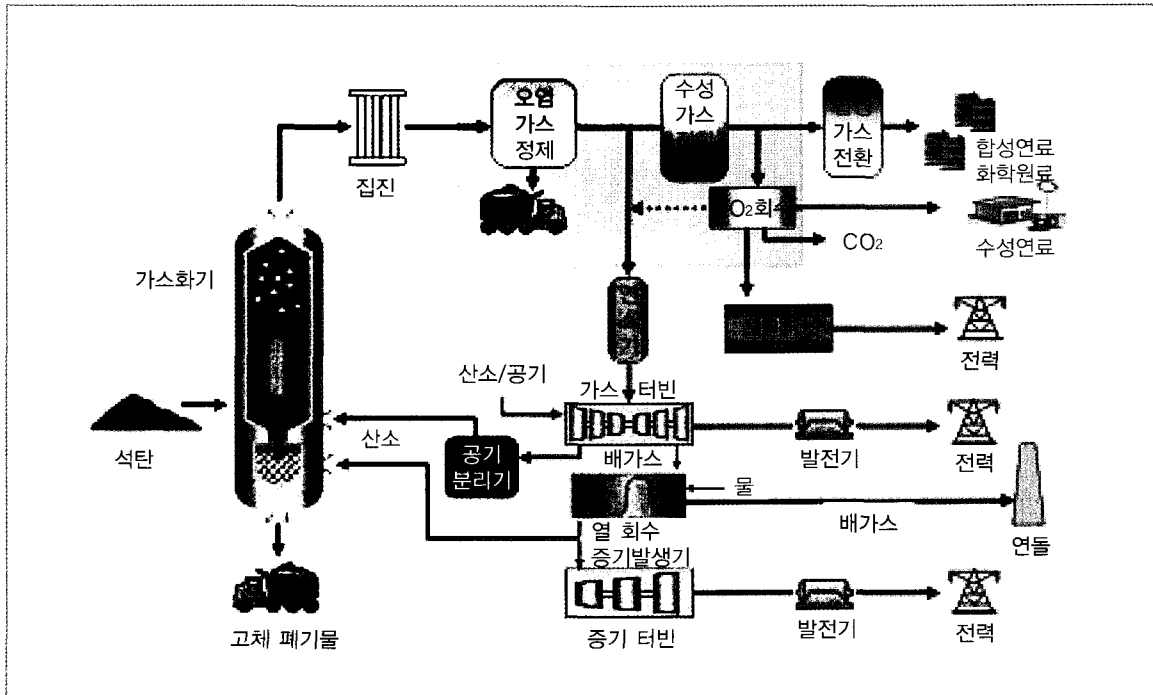
[ 그림 1 ] 연소 후 건식 재생 CO<sub>2</sub> 회수 공정 개념도와 건식흡수재

미국 DOE/NETL과 RTI 연구소는 EPA의 연소 배가스를 적용한 연소후 건식 CO<sub>2</sub> 포집 기술을 개발의 일환으로 이동층 반응기를 이용한 흡수제 및 공정 개발 연구를 수행하여 2008년 1.25 Nm<sup>3</sup>/h 벤치규모에서 3.5시간 동안 연속운전 결과 CO<sub>2</sub> 평균 제거율을 77% 달성을 보고한 바 있으며 2008년 이후 공정개발 및 Scale-up 등 ADA-ES사, SRI International사, TDA Research INC. 등이 참여하는 6백만 달러 규모의 신규과제를 착수하였다. 이 사업에는 2010년 0.5MW 실증 계획도 포함하고 있다. 국내의 경우 2002년부터 교육과학기술부 21C 프론티어연구개발 사업의 일환으로 흡수제 및 공정 개발 연구를 수행하고 있다. 2008년 전력연구원에서 개발한 고장도(AI <5%) 건식 재생 CO<sub>2</sub> 흡수제 KEP-CO<sub>2</sub>P를 한국에너지기술연구원에서 개

발한 100 Nm<sup>3</sup>/h 유동층 CO<sub>2</sub> 포집공정에 적용 결과 석탄연소배가스 연계 50시간 동안 평균 CO<sub>2</sub> 제거율 85%, 재생율 90% 이상을 달성하였다. 이 결과를 바탕으로 2009년 0.5MW 건식 CO<sub>2</sub> 포집 공정이 한국남부발전(주) 하동화력 3호기에 설치 완료하였다. 2010년에는 연속 운전을 통하여 흡수제의 성능 개선, 10MW 건식 포집 공정 설계에 필요한 자료수집 연구가 수행될 예정이다.

### 연소전 포집 기술

연소전 포집기술은 석탄이나 바이오매스와 같은 탄소질 연료를 가스화하여 만들어진 합성가스(주로 H<sub>2</sub>+CO)를 수성가스전환 반응기(water gas shift



[ 그림 2 ] IGCC 시스템과 연소전 CO<sub>2</sub> 포집기술 개요도

reactor)를 통과시켜 수소와 CO<sub>2</sub>로 전환, CO<sub>2</sub>를 회수하는 기술로 높은 CO<sub>2</sub> 농도와 압력 등의 특성을 갖고 있어 CO<sub>2</sub> 분리가 용이하고 장치의 소형화가 가능하며 압축 수송을 위한 비용 절감 등 타 기술에 비해 CO<sub>2</sub> 포집 비용 저감이 가능한 기술로 고려되고 있다. 또 합성가스 고유의 온도와 압력을 유지할 수 있다는 점에서 고체 흡수제 이용 기술이 더 경제적인 기술로 평가할 수 있다.

연소전 CO<sub>2</sub> 포집기술은 차세대 가스화 석탄발전과 연계하여 이산화탄소를 포집하는 기술로 미국, 유럽, 일본, 한국을 중심으로 개발되고 있다. 미국의 RTI는 250~550℃ 온도영역과 H<sub>2</sub>S를 포함하는 조건에서 효과적으로 CO<sub>2</sub>를 흡수할 수 있는 Li계 흡수제, DOE/NETL에서는 MgO 기반의 SEWGS용 고체 CO<sub>2</sub> 흡수제(CO<sub>2</sub> 흡수능 17.2 wt%, 200℃, 10 atm)를 개발 중에 있다.

CACHET(EU FP6 & FP7) 프로그램에서는 CO<sub>2</sub> 흡수제로서 알칼리 금속 또는 알칼리 토금속을 증진제로 사용한 Hydrotalcite (Mg<sub>6</sub>Al<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>(OH)<sub>16</sub> · 4H<sub>2</sub>O)계와 수성가스전환(WGS) 촉매로서 저온 또는 고온 상용 촉매를 사용하는 다단의 SEWGS 공정을 개발하고 있다.

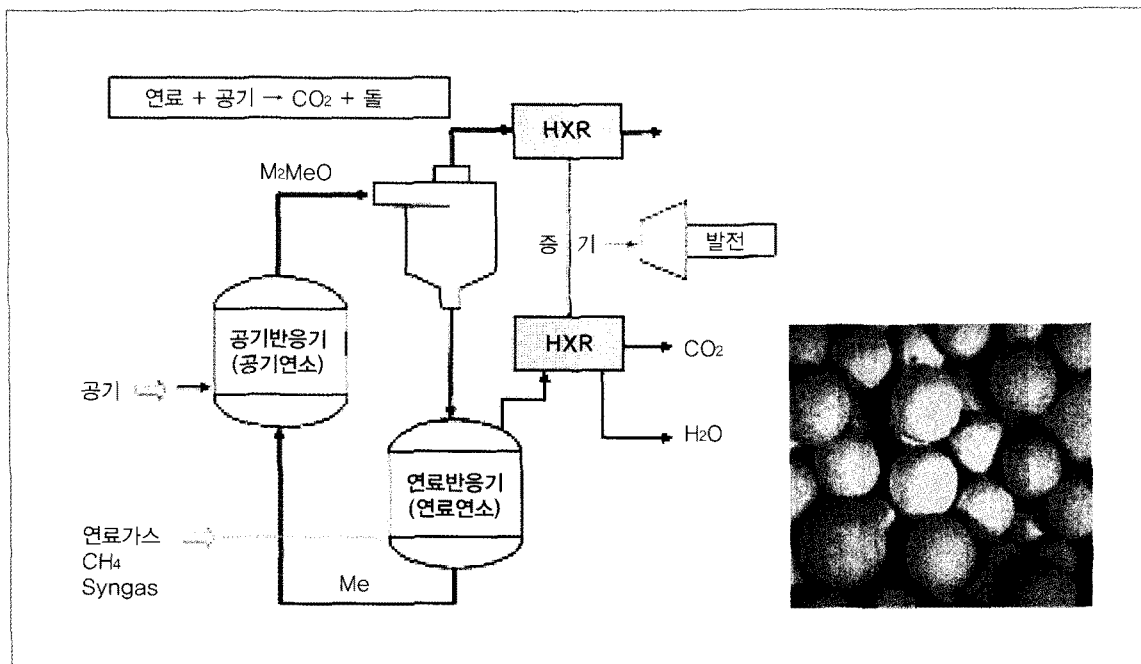
한국의 경우 2008년 에너지자원기술개발 사업으로 연소전 CO<sub>2</sub> 회수 개발에 착수하여 전력연구원은 가스화에 의한 합성가스중의 오염가스 정제를 핵심 소재(탈황제 및 탈할로젠제, 유동층용 WGS 촉매 및 건식 재생 CO<sub>2</sub> 흡수제) 개발, 한국에너지기술연구원에서는 순환 유동층 공정을 적용 One-Loop 촉진수성가스전환(SEWGS) 공정 개발, 고등기술연구원에서는 가스화 연계 통합공정을 개발하고 있다. SEWGS 공정에 적용하기 위한 흡수제의 흡수능은 최고 17.4wt%(흡수/재생, 200℃/400

℃), WGS 촉매의 초기 전환율은 80% 이상의 결과를 보여주고 있는 수준이다.

### 연소중 포집기술(매체순환연소기술)

매체순환가스연소기술은 금속 산화물로 구성된 산소공여 입자(Oxygen Carrier)를 이용하여 연료를 간접 연소시켜 발전하는 방식으로 타 기술에 비해 NO<sub>x</sub> 배출이 낮고 별도의 CO<sub>2</sub> 분리공정 없이 고농도(~98%)의 CO<sub>2</sub>를 분리할 수 있는 신개념의 연소-발전 기술이다. 매체순환가스연소 시스템의 구성은 금속 입자(M)가 반응기로 공급되는 공기 중에 존재하는 산소와 반응(산화)하여 금속산화물(MO)을 형성하는 산화반응기(Oxidizer)와, 금속산화물이 순환되어 연료연소기(환원반응기)로 공급되는 연료(CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, CO 또는 C<sub>n</sub>H<sub>2n+2</sub>)와 반응하여 연

료의 연소반응이 이루어지는 환원반응기(Reducer)로 구성되며 산소공여입자는 반응기 사이를 반복적으로 순환하여 사용하게 된다. 매체순환연소기술 개발과 관련하여 유럽의 EU ENCAP, CACHET 프로젝트를 중심으로 산소공여입자 조성개발과 함께 공정규모격상 연구가 추진 중이다. 현재 스웨덴의 Chalmers University와 스페인의 CSIC가 산소공여입자 조성 개발과 함께 10kW급 공정을 운영중이며, 이를 바탕으로 오스트리아 Vienna University에 120kW급 매체순환연소 설비를 구축하고 개발된 산소공여 입자 성능 평가와 함께 공정 개선을 진행하고 있으며 2008년 현재 연료전환율 98% 성능을 보고하고 있다. 국내의 경우 2006년 전력산업연구개발사업으로 전력연구원, 한국에너지기술연구원 등이 매체순환연소기술 개발에 착수하여 2008년 산소공여입자(OCN 703)를 이용한 50kW급 공정 연속운전 결과 연료(메탄) 전환율 99.5% 이상,



[ 그림 3 ] 매체순환연소 개념도와 산소공여입자

0.2ppm 이하의 낮은 NO<sub>x</sub> 배출 특성을 보여주는 것으로 보고하였으며 2011년까지 200kW급 공정 개발 완료를 목표로 2단계 연구가 진행중이다.

## 맺음말

건식 CO<sub>2</sub> 흡수기술은 CO<sub>2</sub> 포집비용을 저감할 수 있는 가능성이 높은 혁신기술로 연소전·연소중·연소후 CO<sub>2</sub> 포집기술에 모두 적용할 수 있어 핵심 기술 확보경쟁이 날로 치열해지고 있는 상황이다. 국내 건식 흡수제 이용 CO<sub>2</sub> 포집기술 개발수준은 세계 수준대비 대등한 레벨 이상으로 평가되고 있다. 한국전력공사는 정부와 타 기관, 특히 한국에너지기술연구원과 더불어 건식 CO<sub>2</sub> 흡수기술을 이용한 연소후 포집기술은 2020년, 연소전과 연소중 포집기술은 2025년 이전 실규모 보급을 목표로 연구 개발에 매진하고 있다. KEA