

## 화력발전소의 CO<sub>2</sub> 회수기술

이 글에서는 화력발전소와 기타 주요 CO<sub>2</sub> 배출원에서 CO<sub>2</sub>를 회수하는 방법과 기술에 대하여 소개하고, 이들의 문제점들을 분석하여 국내의 CO<sub>2</sub> 회수 기술개발에 기여하고자 한다.

류 청 길 / 한전전력연구원 신기술센터, 책임연구원

e-mail : ckryu@kepri.re.kr

현재 세계 에너지의 약 85%가 화석연료로부터 공급되고 있으며, 날로 증가하는 에너지 소비를 충족하기 위해서는 화석연료 사용의 총량은 계속적으로 증가할 추세이다. 이로 인해 발생한 CO<sub>2</sub>량은 결국 증가하게 될 것이다. 에너지원이 비화석연료로 빠르게 전환된다 하더라도 현 에너지공급 기반이 상당히 무너지고 결국 지구촌 경제에 상당한 충격을 초래하게 된다. CO<sub>2</sub> 배출량을 대부분 감축시키면서 세계 모든 국가가 화석연료를 지속적으로 사용할 수 있게 하는 것은 CO<sub>2</sub> 회수처리 기술이 범용적으로 사용될 때만 가능하다.

현 에너지 체계로 볼 때 단기간 내에 이산화탄소 배출이 전혀 없는 청정 에너지원의 사용이 현실적으로 불가능하다. 대기 중의 지구온난화가스 특히 이산화탄소를 제어하기 위해서는 이산화탄소 회수처리기술을 적용한 화석에너지 사용, 재생에너지, 원자력, 핵융합에너지, 수소, 생물학적 연료(biofuel), 연료전지와 효율 향상을 포함한 다양한 기술적 해결책들이 있으며, 잠재적으로 상당한 CO<sub>2</sub> 저감을 달성할 수 있지만 어떠한 단일 기술 자체만으로는 이러한 목적을 달성할 수 없을 것이다. 화석연료의 사용으로 발생된 이산화탄소를 처리할 수 있는 방법은 CO<sub>2</sub> 회수기술 뿐이며, 회수처리 비용의 80% 이상을 차지하므로 저비용 에너지 효율적 회수기술을 개발하는 것이 중요하다. 이산화탄소 배출규제 속에서도 지속된 화석연료 사용은 결국 화석연료 연소기술의 효율 향상과, 이산화탄소 회수처리, 화석연료 대체 등이 필요하다. 미래의 수소경제시대에도 수소가 주로 화석연료로부터 생산될 것이므로 CO<sub>2</sub> 제어가 필요하다.

### CO<sub>2</sub> 회수기술의 주요 적용대상

CO<sub>2</sub> 회수처리기술은 CO<sub>2</sub> 발생원(배가스 및 연료가스) 또는 대기로부터 CO<sub>2</sub>를 제거하여 장기적으로 저장하는 기술이다. 세계가 공통적으로 CO<sub>2</sub> 배출량의 1/3이 화력발전소에서 배출되며, 국내에서는 32%(한전 및 화력발전 5사 : 23%)를 차지하고 있어 우선적으로 화력발전소의 CO<sub>2</sub> 배출을 저비용 저에너지 회수처리기술로 해결할 수 있는 방안을 모색하여야 한다. 화력발전소에 적용할 수 있는 대량 회수처리 기술은 또 산업 등의 보일러 등에 직접 적용할 수 있기 때문에 대용 CO<sub>2</sub> 배출원인 석탄화력 발전에 적용할 수 있는 기술개발이 우선되어야 할 것이다. CO<sub>2</sub> 회수기술을 적용하기에 가장 적합한 화력발전소로는 미분탄 화력발전소, 천연가스복합발전과 신기술 발전이 있다. 신기술 발전으로는 상업화 진입단계에 있는 석탄가스화 복합발전 또는 현재 개발 중인 산소 연소가 있다.

미분탄화력발전(PC : Pulverized Coal Fired Steam Cycle)

석탄화력발전은 60년 이상 사용된 기술로, 전체 발전소 숫자나 발전용량 측면에서 세계시장에서 주류를 이룬다. 미분탄(약 70 $\mu$ m)은 보일러에서 연소되어 수증기의 압력을 고압으로 증가시켜, 스팀터빈을 구동하여 전기를 생산한다. 최신 초임계 석탄화력발전 효율은 약 40%이다. 실질적으로 OECD 국가의 평균 효율은 약 36%이며 국내의 경우 약 38~40%이다. 발전효율(LHV : Low Heating



Value)이 약 45%에 달하는 초초임계 PC발전이 건설 중에 있다. 앞으로 15년 이후에는 약 55% 정도의 발전효율을 달성할 수 있을 것이다. 500MW 석탄화력 발전소에서는 약 10,000~12,000ton CO<sub>2</sub>/d를 대기로 방출하고 있다.

**천연가스복합발전(NGCC or CC : Natural Gas Combined Cycle)**

이 발전은 천연가스를 가스터빈에서 연소하여 전기를 얻는다. 가스터빈에서 배출되는 고온 배가스는 보일러에 주입되어 수증기를 발생하고, 이 고압 수증기는 스팀터빈을 통과하여 추가적으로 전기를 생산한다. CC는 지난 10~15년 동안 소개되어 세계적으로 발전시장의 약 50%를 점유하기 시작하였다. 대형 상업적 가스복합발전 효율은 56~58%(HHV : High Heating Value)이다. 앞으로 약 3년 내에 60% 수준의 효율을 가진 기술이 확립될 것으로 예측된다. 다른 나라와 달리 국내 천연가스 가격이 비싸기 때문에 가스복합발전은 점두부하용으로 국한하여 가동되고 있으며, 이러한 가동도 전적으로 천연가스 비용에 따라 좌우되고 있다.

**유동층 연소발전(fluidized-bed combustion (FBC) plant)**

FBC 발전은 주로 순환유동층 연소방식으로 최대 250MW(국내 동해화력) 용량이 가능하다. 공기를 연료층(석탄)으로 불어넣어 운전한다. 입자(예 모래) 중 일부가 공기기류를 따라 이동하며, 회수되어 다시 연료층으로 순환된다. 이 발전시스템의 여러 곳에서 증기를 발생시켜 스팀터빈을 구동하여 전력을 생산하며, 열효율은 기존 PC 발전과 유사하다. CFBC 발전은 특히 연소하기 어려운 연료(예 무연탄, 석탄 폐기물, 코크스)를 청정하게 연소하는 데 적당하다.

**기름발전(oil-fired plant)**

다양한 기름발전 형태가 있다. 공기기류를 따라 기름(중유 또는 경유)을 미세 에로졸로 보일러에 분무하여 연소한다. 일반 증기 사이클에서 증기를 발생시켜 스팀터빈을 구동하여 전력을 생산한다. 사용하

는 기름의 종류와 발전소 형태에 따라 다르지만 전체 열효율은 23~40% 범위이며, 평균 약 31% 수준이다. 복합발전방식으로 운전하면 추가적으로 전력을 생산할 수 있다.

**석탄가스화 복합발전(IGCC : Integrated Gasification Combined Cycle)**

석탄과 같은 화석연료를 가스화기에서 산소와 수증기로 반응시켜 H<sub>2</sub>와 CO로 구성된 합성가스(석탄가스)를 생산한다. 이 가스는 정제과정을 거쳐 가스 복합발전 방식으로 전기를 생산한다. IGCC 개념은 석탄, 잔사유, coke 등 저급 연료를 사용하여 고효율정정발전을 가능케 하는 신기술 발전방식으로, 가스화부, 가스정제부와 발전부 등 세 개의 주요 building block으로 구성된다. 세계적으로 약 300기 이상의 가스화기가 합성가스 생산용으로 가동 중에 있으며, 상용급 석탄 IGCC가 미국, 네덜란드와 스페인에서 실증 또는 가동 중이다. 최근에는 정유산업에서 잔사유를 사용하여 전기, 수증기, 수소 등 다 품종생산을 목적으로 많은 관심을 갖고 있으며, 2010년 이후에 국내에서도 석탄 IGCC를 건설할 계획이다.

**순산소 연소(oxyfuel combustion)**

화석연료를 순산소로 연소하여 발생된 CO<sub>2</sub>의 일부를 연소기로 재순환하면 배가스로부터 CO<sub>2</sub>를 용이하게 분리할 수 있다. 이러한 순산소 연소방법의 주목적은 배가스 기류에 질소를 배제함으로써 CO<sub>2</sub>의 농도를 증가시키는 것이다. 배가스의 주성분은 CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O와 O<sub>2</sub>이며, 다른 연소와 유사하게 SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>와 분진 오염물을 소량 포함한다. 연소특성의 차이로 기존 공기연소 화력발전소를 순산소 연소로 간단하게 대체할 수는 없다. 산소연소 방법의 장점은 배가스 CO<sub>2</sub> 농도를 90% 이상 증가시킬 수 있으므로 간단한 정제만으로도 고순도 CO<sub>2</sub>를 얻을 수 있고 또 분리방법도 간단할 것이다. 단점은 물론 현 기술로 대량의 고순도 산소를 생산하는 것이며, 투자비와 에너지 소비측면에서 고가이다.

이외에도 주요 산업체들의 대부분은 대량으로 이산화탄소를 배출하고 있다. 이러한 산업체들로는 시



멘트 공장, 정유공장, 석유화학공장(에틸렌), 비료 공장, 천연가스 공정, 수소생산, 그리고 알루미늄, 철강산업 등이 있다. 일부 비료공장에서는 CO<sub>2</sub> 배출을 습식아민방법으로 제어하지만 대부분은 CO<sub>2</sub> 회수설비를 갖추고 있지 않다.

### CO<sub>2</sub> 회수방법 및 주요 쟁점

#### CO<sub>2</sub> 회수방법

CO<sub>2</sub>는 이를 포함하고 있는 가스기류(gas stream)의 주성분인 질소와 같은 타 성분으로부터 분리하여 회수한다. 기본적으로 CO<sub>2</sub>를 분리하는 데에는 두 가지 접근방법 즉 연소 전·후의 가스기류에서 분리하는 것이다.

배가스 회수 즉 연소 후 회수방법에는 두 가지가 있다. 연료를 공기로 연소하여 발생한 전통적 배가스기류에서 CO<sub>2</sub>를 회수하는 방법과 순산소로 연소하여 농축된 CO<sub>2</sub>를 가스기류에서 회수하는 것이다.

현 석탄화력발전의 거의 대부분은 기존 미분탄 연소기술에서 기반을 둔 것이다. 이러한 기존 발전소들이 노화되면, CO<sub>2</sub> 회수기술을 접목할 수 있도록 수정(retrofit)할 것인지, 신기술로 일부 또는 전체를 교환할 것인지에 대한 판단을 해야 할 것이다. 화력발전 종류에 따라 배가스 CO<sub>2</sub> 농도의 차이가 있지만, 회수과정을 거쳐 90% 이상으로 농축된 이산화탄소는 저장 또는 처리된다.

미국, 유럽, 일본 등에서 기존의 회수기술을 발전소에 적용하려는 연구를 많이 수행하여 왔다.

배연탈황(FGD)이 설치된 기존 미분탄 화력발전에서 CO<sub>2</sub> 회수설비를 적용할 경우 상대적으로 비용이 많이 들것이다. 미국에서는 일부 소용량 CFBC발전

소에 습식아민 CO<sub>2</sub> 회수설비를 부착하여 성공적으로 운전하고 있다(320MWe Shady Point와 180MWe Warrior Run Plants). 미국에서 또 가스 열병합발전소(320MWe Bellingham Cogeneration Facility)에서 습식아민제정방법을 CO<sub>2</sub>회수에 사용하고 있다. 천연가스복합발전에서 이러한 습식아민방법을 설치한다고 해도 발전시스템의 수정(retrofit)에 많은 비용이 소요될 것이다.

연료 또는 합성가스로부터 CO<sub>2</sub>를 회수하는 연소 전 회수(pre-combustion capture)는 전형적 배가스에서 회수하는 방법과 다르다. 연료가스는 환원성 가스이며 고압인 반면, 배가스는 산화 가스분위기로 상압상태이다. 온도 범위는 배가스처럼 광범위하다. 연료가스에 있는 CO는 필요에 따라 CO<sub>2</sub>로 전환시켜 수소와 CO<sub>2</sub>의 농도를 증가시킬 수 있다. 이후 CO<sub>2</sub>를 분리하고 수소만 가스복합발전, 연료전지, 또는 chemical 원료로 사용한다. 기본적으로 이러한 공정은 석탄, 정유 또는 천연가스에 모두 동일하다. 이런 시스템의 장점은 고압의 고농도 CO<sub>2</sub>를 처리하기 때문에 처리할 가스부피가 적고, 따라서 회수장비의 규모가 작아 투자비도 적게 든다. 비록 석탄가스화복합발전이 가장 효율적이며 청정한 석탄화력발전기술로 알려졌지만, 지금까지 단지 몇 개의 석탄 IGCC 화력발전소만이 상업적으로 운전 중이다. 산소주입 가스화기의 경우 회수비용이 가장 낮은 것으로 추산되고 있으며, 공기주입 가스화기의 경우에는 회수비용이 증가할 것이다.

#### 주요 쟁점

연소전후의 가스기류에서 CO<sub>2</sub>를 회수함에 있어서 CO<sub>2</sub> 회수기술의 가장 중요한 쟁점은 최적 적용위치와 운전조건과 관련된 것이다. 기존 화력발전의 배가스는 상압에 가까우며, 따라서 CO<sub>2</sub>의 분압도 낮다. 저농도 CO<sub>2</sub>를 회수하기 위해서는 크고 고가의 장비가 필요하다. 또 저온 배가스를 처리함에 있어서 높은 CO<sub>2</sub> 흡수력[큰 흡수능(high sorption capacity) & 빠른 흡수속도(fast kinetics)]를 갖는 강력한 흡수제/용매가 필요하며 이 흡수제/용매의 재생에 따른 에너지를 최소로 할 필요가 있다.

연소전후의 가스기류에 포함된 오염가스가 CO<sub>2</sub>

표 1 각종 화력발전소 배가스의 CO<sub>2</sub> 농도

화력발전소 종류	CO <sub>2</sub> 농도(vol.% dry)
미분탄 석탄화력(PC)(배연탈황설비 설치)	14
석탄가스화복합발전(IGCC)	7~9(합성가스: 5~40)
가스복합발전(NGCC)	4
중유발전(Oil Plant)	12
순산소 연소(Oxy-fuel combustion)	90+

Source : IEA GHG R&D Programme and www.energy.org.uk

회수에 상당한 영향을 미칠 것이다. 배가스에는 SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, 분진과 Hg와 같은 독성 공기오염물(HAP : Hazardous Air Pollutants)이 있다. CO<sub>2</sub> 회수기술은 현 오염가스 정제규정보다 더 엄격한 농도의 정제, 특히 SO<sub>x</sub> 또는 H<sub>2</sub>S(10ppmv 이하)에 대한 정제가 필요하며, 궁극적으로 CO<sub>2</sub>를 포함한 모든 오염가스를 무공해 수준으로 정제해야만 화석연료의 사용이 지속적으로 사용가능할 것으로 예측된다. 따라서 이러한 오염물질에 영향을 적게 받거나, 동시에 처리할 수 있는 회수기술을 개발할 필요가 있다.

이외에도 회수와 저장기술의 통합, 배출원에서의 CO<sub>2</sub> 제거율 및 CO<sub>2</sub> 회수기술에 사용되는 물질들에 의한 환경위험 요인 등을 고려해야한다.

### CO<sub>2</sub> 회수기술(CO<sub>2</sub> Capture Technologies)<sup>(1,2)</sup>

세정 방법(습식아민, 건식 흡수, 물리적 용매) 세정방법(scrubbing)에는 습식(wet scrubbing), 건식(dry scrubbing) 및 물리적 용매(physical solvent)기술이 있다.

특히 습식세정기술은 잘 알려져 있고 배가스 중의 CO<sub>2</sub>를 제거할 때 보통 아민(monoethanolamine, MEA)을 기본적으로 사용한다. 일반적으로 CO<sub>2</sub> 제거 전에 배가스를 냉각시켜 분진과 다른 오염물질들을 적정 수준까지 처리한 후 흡수탑으로 보내져 흡수용액과 접촉하게 된다. CO<sub>2</sub>는 아민용매와 선택적으로 화학반응하여 흡수된다. CO<sub>2</sub>를 흡수한 흡수제는 펌프를 통하여 재생탑으로 유입되며 압력을 낮추거나 온도를 120°C까지 상승시켜 CO<sub>2</sub>를 방출시킨다. 방출된 CO<sub>2</sub>는 압축되고, 재생된 흡수제는 연속적으로 흡수탑으로 재순환된다. 원래 화학이나 정유산업에 사용할 목적으로 개발된 이 방법은 순도 99% 이상의 CO<sub>2</sub>를 98%까지 회수할 수 있다. 현재 소규모 석탄화력발전과 가스복합발전애 아민습식 CO<sub>2</sub> 회수기술을 사용하고 있다. 최근에 아민

의 손실과 노화를 방지하여 운전비용을 감소할 수 있는 측면에서 개선된 아민들이 개발되어 실증 중에 있다. 그러나 이러한 기존 습식세정기술은 막대한 투자비용과 발전효율 감소를 초래한다.

건식세정은 습식세정에서 사용하는 액체대신에 고체를 사용한다. 이 방법에서는 기-고 상호작용이 포함되며, 재생할 수 있다. 건식재생 흡수기술의 특징은 우선 소재가 저가이며, 재생하여 재사용 가능하며, 설계 유연성(design flexibility), 친환경적, 저에너지 흡수공정 적용성, 고CO<sub>2</sub> 흡수능 등 여러 측면에서 지속가능한 개발 분야이다. 위에서 제시한 대량 CO<sub>2</sub> 회수, 기존 발전 및 신발전(연소전후 가스기류)에 모두 적용 가능하며, 회수비용을 혁신적으로 저감할 수 있는 잠재력이 있다. 습식 아민 대신 저가의 탄산 알칼리와 알칼리 토금속 또는 금속산화물을 사용한다. 현재 국내외적으로 R&D가 진행되고 있는 혁신 기술 중 하나이다.

고농도 CO<sub>2</sub> 또는 고압환경(즉 IGCC 또는 다른 산업공정)에서는 특히로 등록된 여러 물리적 용매를 사용한다. 이러한 것으로 Selexsol, Rectisol공정 등이 있다. 여기에 사용하는 물리적 용매들은 methanol, polyethylene glycol dimethylether and propylene carbonate 등이다.

#### 저온냉각 분리

CO<sub>2</sub>는 냉각과 응축을 통하여 다른 가스상 화합물로부터 분리될 수 있다. 이 방법의 주요 응용은 90% 이상의 CO<sub>2</sub>를 포함하는 가스기류(예 순산소연소)에 적합하며, 화력발전소에서 배출되는 저농도의 CO<sub>2</sub>를 포함하는 배가스에는 적용되지 않는다. 이 공정의 단점으로는 상당한량의 에너지를 요구하며 가스기류로부터 수분의 제거 또한 요구된다.

#### 막분리

이 기술은 가스상 물질들과 멤브레인 물질들간의 물리적 또는 화학적 상호작용 차이를 이용하여 가스들을 분리하기 위하여 사용될 수 있다. 이러한 차이

(1) a) CO<sub>2</sub> capture at power stations and other major point sources from www.iea.org. b) www.netl.doe.gov  
 (2) White, C. M. et al. J. Air & Waste manage.Assoc. 2003, 53, 645~715

는 어떤 한 성분이 막을 더욱더 빠르게 통과할 수 있게 한다. 다양한 분리 막들이 개발 중에 있다. 이 기술의 시스템은 상대적으로 복잡하고 에너지 소모가 높은 반면에 분리능이 일반적으로 높지 않다.

### 흡착

가스혼합물로부터 CO<sub>2</sub>를 분리하기 위하여 알루미늄, 제올라이트, 활성탄소 등 고체 흡착제를 사용할 수 있다. 재생 방법에 따라, Pressure Swing Adsorption(PSA), Temperature Swing Adsorption(TSA), Vacuum Swing Adsorption(VSA)과 Electrical Swing Adsorption(ESA) 등으로 구분한다. 이 중 PSA/TSA는 가스분리에 상업적으로 수소생산과 천연가스의 CO<sub>2</sub> 제거에 일부 사용되고 있다. 대규모 발전소의 CO<sub>2</sub> 회수에 적용하기에는 CO<sub>2</sub> 흡착능과 선택도가 낮아 에너지 소모와 비용발생이 너무 큰 것으로 나타났다.

### 회수비용

CO<sub>2</sub> 회수기술을 화력발전소에 적용하는 데에는 불가피하게 많은 비용발생이 수반한다. 투자비 및 운전비의 상승과 함께 총괄적인 발전소의 효율저하에 따라 비용증가가 발생한다.

다양한 연구와 실증을 통한 결과 일반적으로 CO<sub>2</sub> 배출량의 약 80% 정도를 저감할 수 있으며, 발전효율은 8~13% 만큼 감소하게 된다. NGCC에 CO<sub>2</sub> 회수기술을 적용하면 투자비용이 두 배로 상승하고, PC의 경우 70~80%, IGCC는 50%까지 상승하게 된다. 발전원가 상승에 있어 NGCC는 50%, PC 및 IGCC는 70%까지 상승한다. CO<sub>2</sub> 회수기술 적용에 따른 총괄적인 회수비용은 US\$110~183/tC로 추산된다. 그러나 미국에서 현재 운전 중인 CFBC와 복합발전의 회수비용이 US\$367/tC로 보고되었다. 발전소외의 일반 산업체에 대한 CO<sub>2</sub> 회수기술 적용에 따른 회수비용은 US\$128~367/tC로 보고되었다. 장기적으로 투

자비와 발전원가의 상승요인이 20% 이내로 유지하기 위해서 회수처리비용은 \$20/tC 이하를 만족해야 한다.

비록 습식아민회수기술과 유사한 흡수기술인 습식 배연탈황기술이 도입된 30년 전에 비해 현재 비용은 1/3 수준이기 때문에 CO<sub>2</sub> 회수기술이 널리 보급되면 CO<sub>2</sub> 회수비용도 유사하게 감소할 것으로 예측하는 견해도 있으나, 근본적으로 배가스 중의 처리해야 할 시간당 CO<sub>2</sub> 농도는 대기환경 오염가스(예 SO<sub>2</sub>와 NO<sub>x</sub>의 처리농도는 0.1 % 이하임)에 비해 40~300배 크므로 근본적인 문제를 해결하기 전에는 대규모 화력발전소에 보급되기는 어려운 실정이다. 이에 따라 혁신적 회수기술개발이 우선적으로 진행되어야 하며 회수기술 성능 또한 대기환경기술에 비해 획기적일 때에 회수기술 보급이 보편적으로 가능할 것으로 예측된다. 이후 발전소 및 그 외 대규모 CO<sub>2</sub> 배출원에 대한 적용사례가 증가함에 따라 CO<sub>2</sub> 회수비용도 점차적으로 감소할 것으로 기대된다.

### 연구개발 및 실증(R&DD)과 상업활동

CO<sub>2</sub> 회수기술의 효율성 향상과 관련 회수비용을 저감시키려는 국제적 노력을 강구하고 있다. 예를 들어 유럽연합 중심의 CCP(Carbon Capture Project)<sup>(3)</sup>에서는 현존하는 기술들을 발전소 등에 적용하려는 현실적 노력에 집중하고 있다(습식 아민 기술, 막기술, 흡착기술, 저온냉각기술 등). 그러나 2004년 CCP의 연구결과에 따르면 MHI에 수행한 수정 아민회수기술을 복합화력 발전에 적용한 경우 회수비용의 50% 정도 감소(약 \$103/tC 수준)시킬 수 있다고 보고한 반면 그 외의 기술들은 희망적이지 않다. 잘 알려진 아민기술에 대한 성능향상 및 비용 절감 노력이 지속적으로 진행되고 있다. 미국, 일본과 한국 등에서는 2010년경 회수비용 목표를 약 \$50/tC로 설정하고 혁신적 회수기술 개발에 박차를 가하고 있다. 국내 21C 프론티어 1단계 사업(CO<sub>2</sub> 저감 및 처리사업단)을 마무리 하면서 혁신적 건식 재생 흡수제 개발의 실험실적 성공사례와

(3) www.CO2captureproject.com/index.html

맺 음 말

화력발전 및 대규모 산업설비에서 배출되는 배가스 중의 CO<sub>2</sub> 회수에 대한 기술적 해결책은 이미 존재한다. 그러나 대부분의 CO<sub>2</sub> 회수기술들은 원래 대규모 설비용으로 개발되지 않았고, 또 최적화되지도 못한 상태이다. 극히 일부에서 상업적으로 습식아민 기술이 이용되긴 하지만, 결과적으로 현재 회수비용이 너무 높기 때문에 기술이 보급되지 못하고 있는 실정이다. 잠재적인 다른 회수기술들도 여전히 개발 초기 단계에 머물러 있고 앞으로 더 많은 연구개발 및 실증을 통하여 상업화 가능성을 가늠할 수 있을 것이다. 현재 국제적으로 제한된 R&DD 노력이 혁신적 CO<sub>2</sub> 회수기술 분야에서 진행 중이며, 이러한 노력들을 통하여 결국 투자비용 및 운전비용의 절감을 기대할 수 있다. 그러나 대규모 화력발전소와 산업체에서 배출되는 CO<sub>2</sub>를 효과적으로 처리할 수 있는 회수기술을 개발하기 위해서는 정부와 민간기업들의 강력한 투자여지가 무엇보다도 중요하다.

세라믹 막개발에서 선진국과 대등한 연구결과를 발표하는 성과를 보였다.<sup>(4)</sup>

또 CO<sub>2</sub> 회수기술과 관련된 주요한 상업적인 활동들이 세계 곳곳에서 진행 중에 있다. 미국과 일본에서는 습식아민 CO<sub>2</sub> 회수기술을 채택한 소규모 화력발전이 가동 중에 있으며, 또 이러한 회수기술이 식품산업 및 음료산업에서도 사용되고 있다. 유사하게 브라질의 메탄올 공장들도 습식아민 CO<sub>2</sub> 회수기술을 사용하고 있다. 중국, 인도와 말레이시아의 비료 공장에서도 습식아민 CO<sub>2</sub> 회수기술을 사용하고 있다. 특히 말레이시아에서는 최근 일본 MHI에서 개발한 개량된 습식아민(KS-1) 기술을 사용하고 있다.<sup>(5)</sup> 미국 North Dakota 소재 리그나이트 가스 화복합발전소에서 메탄올을 사용하는 Rectisol 공정을 통하여 합성가스 기류에서 CO<sub>2</sub> 회수하여, 분리된 CO<sub>2</sub>를 대량 공급한다. 이 CO<sub>2</sub>는 Enhanced Oil Recovery(EOR)를 목적으로 캐나다에 있는 Weyburn 유전에 파이프를 수송된다. 하지만 이들 프로젝트들이 중요하기는 하나 전 세계적으로 화력발전소와 산업체에서 발생하는 CO<sub>2</sub>량의 극히 일부분에 지나지 않는다.

기 계 용 어 해 설

초음파 조영제(Ultrasound Contrast Agent)

초음파 조영제는 에코신호 강도를 증가시켜 혈관의 가시화를 돕기 위해 개발된 물질이다. 초음파 조영제는 혈류와 임피던스차이가 큰 가스(gas)로 채워지고 알부민과 같은 지질 등의 껍질을 갖는 마이크로 기포(micro bubble)이다. 초기에는 내부 충전가스로 공기가 사용되었으나 현재는 혈류에 대한 용해도가 낮은 과불화탄소(perfluorocarbon)가 많이 사용되고 있다. 이러한 초음파 조영제는 특성상 폐에서의 마이크로 순환(capillary circulation)을 통과하기 위해 평균직경이 10μm보다 작아야 한다.

풀화염(Pool Fire)

액체 연료를 풀(pool) 상태 즉 공기와 접하는 부분이 큰 용기에 넣은 상태에서 연료에 형성되는 화염으로서 화염은 연료의 수평 면 위쪽 얼마간 떨어진 위쪽에 확산화염의 형태로 형성된다.

(4) www.cdrs.re.kr  
(5) www.mhi.co.jp