

이산화탄소 포집 및 저장 기술(CCS) 동향



이산화탄소 포집 및 저장기술(CCS) 동향

(주)성현아이앤디 | 심범보 이사, 기술사

동향 분석

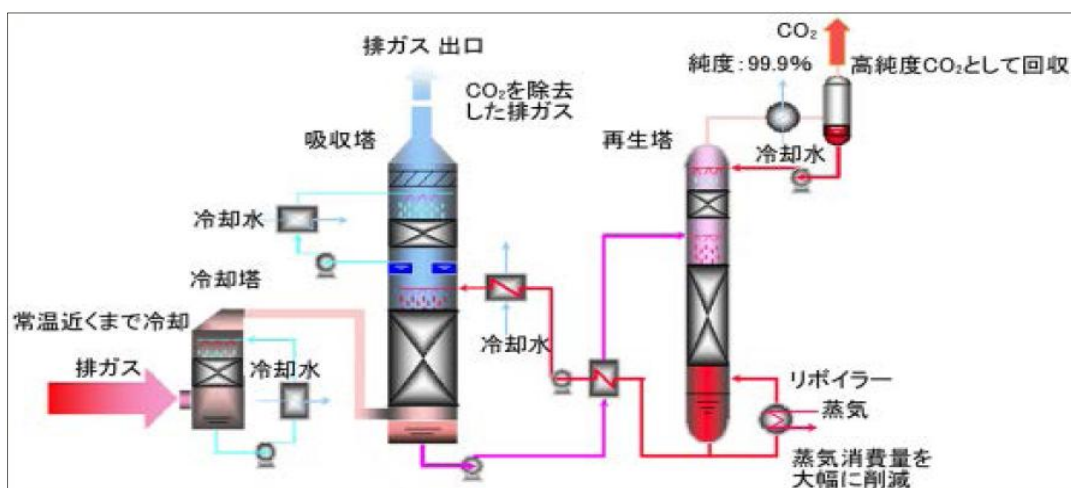
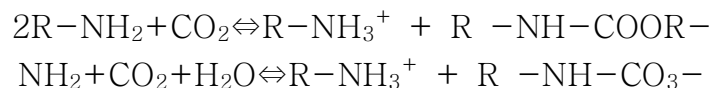
실용화되고 경제성이 있는 CCS기술로는 화학 흡수법, 물리흡수법, 물리흡착법, 산소 연소법이 있으며, 아래와 같다.

1. 해외 CCS 개발 및 실증 설비 동향

가. 화학흡수법

1) 기술개요

CO₂ 흡수액의 화학반응을 이용하여 CO₂를 분리하는 기술로 미분탄 화력 발전, GTCC(Gas Turbine Combined Cycle)등으로 사용되고 있다. 흡수액체에 의해 알칼리 흡수용액에 CO₂를 흡수시키는 아민법(모노 에탄올 아민법: MEA법)등이 있다. 아민법에서 Hindered amine계 고성능화학흡수제 및 회수시스템을 이용하는 시스템으로 배기 가스중에 포함되는 CO₂를 90% 이상 회수가 가능하다. 아민법은 40~50℃온도에 아미노기와 이산화탄소는 결합반응을 일으켜 아민탄산염을 형성한다. 이 아민탄산염을 110 ~ 130℃로 가열하면 이산화탄소는 흡수액에서 해리되어 분산된다. 아민에 의한 CO₂ 흡수 반응은 다음과 같다.



자료 : 산업기술종합연구소외, "2013년 서둘러야 하는 CCS를 활용한 2국간 크레디트 제도 실현 가능성 조사 위탁업무보고서", 일본 환경성, 2014년 3월

그림 2-1. 화학흡수법에 의한 배기가스에서 CO₂회수 프로세스 흐름도

최근 냉각암모니아를 CO₂흡수액으로 사용하는 냉각암모니아법 기술개발로
는, EPRI-Alstom에 의해 개발이 진행되고 있으며, 연소배기 가스 중의
CO₂ 분리에 적용가능하다. MEA법에 비해 반응열이 낮기 때문에 저비용 저
에너지 CO₂분리 회수기술로 주목 받고 있다. 또한, 상온 암모니아법으로는
미국 Powerspan사가 에너지 부(DOE)의 국립 에너지기술연구소(NETL)과
공동 개발한 ECO2가 있다. 이것은 상온 암모니아로 CO₂를 회수하여 온도
상승에 의해 CO₂를 방출시키는 방법이 있다.

2) 경제성

CO₂회수비용(Cost of CO₂ Avoided)은 IPCC가 2005년에 출판한
"Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage"에 사용된 산
정방법에 따라 계산되며, 산정방법은 다음과 같다.

Cost of CO₂ Avoided(원/t-CO₂)

$$= [(COE)_{\text{capture}} - (COE)_{\text{ref}}] / [(CO_2/kWh)_{\text{ref}} - CO_2/kWh)_{\text{capture}}]$$

여기서, COE는 발전 단가를 나타내며, CO₂/kWh은 발전당 CO₂배출량을 나
타낸다.

첨자의 capture는 CO₂회수 설비된 발전소를 나타내며, ref는 CO₂회수
설비가 없는 발전소를 나타낸다.

가) IPCC의 정리

화학흡수법의 CO₂ 회수비용에 관한 사례는 2000년부터 2005년의 기간
에 발표된 기업체별의 자료이며, CO₂ 회수비용의 범위는 다음과 같다.

- (1) 신설 석탄화력 발전용 : 29~51\$/t-CO₂
- (2) 기설 석탄화력 발전용 : 45~73\$/t-CO₂
- (3) 신설 천연가스화력 발전용 : 37~74\$/t-CO₂

나) IEA의 정리

화학흡수법의 CO₂ 회수비용에 관한 사례는 2005년부터 2009년의 기간
에 발표된 OECD(13개국) 및 중국의 자료이며, CO₂ 회수비용의 범위는 다
음과 같다.

- 가) 신설석탄화력 발전용 : 40~74\$/t-CO₂

3) 기술의 적용 사례

아민계 흡수액이나 암모니아수를 이용한 화학흡수법의 적용 사례는 세계적으로 진전하고있어 대규모 실증이 시작되고 있다. 다음표는 석탄화력 발전소의 적용 사례이다.

표 2-1. 화학 흡수법의 석탄화력 발전소의 적용사례

방법	개발주체	적용사례	운전개시	규모	저류
아민계 흡수액	미쓰비시중공업	송도 발전소(일본)	2006년	10톤/일	무
	미쓰비시중공업	Barry 발전소(미국)	2011년	500톤/일	유
	동지	삼천 발전소	2009년	10톤/일	무
	CESAR	Esbjerg발전소(덴마크)	2008년	24톤/일	무
암모니아수	ALSTOM	Mountaineer(미국)	2009년	10만톤/년	유
	Powerspan	R,E, Burger(미국)	2010년	25톤/일	무

자료 : 산업기술종합연구소외, "2013년 서틀쉽에 의한 CCS를 활용한 2국간 크레디트 제도 실현 가능성

조사 위탁업무보고서", 일본 환경성, 2014년 3월

나. 물리흡수법

1) 기술개요

배출근원에서 배기가스를 액체에 접촉시켜 고압·저온에서 물리적으로 CO₂를 흡수하고 감압 또는 가열하여 CO₂를 회수한다. 습식 탈황법으로서 기술적으로도 확립되어있다. IGCC(Integrated coal Gasification Combined Cycle:)와 같은 고온·고압의 석탄가스에서 CO₂를 분리하는 경우에도 적합하다.

2) 경제성

가) IPCC의 정리

IGCC 발전용 CO₂ 회수비용에 관한 사례는 2000년부터 2005년의 기간에 발표된 기업체별의 자료이며, CO₂ 회수비용의 범위는 다음과 같다.

(1) 신설 IGCC 발전용 : \$13~37/t- CO₂

나) IEA의 정리

물리흡수법의 CO₂ 회수비용에 관한 사례는 2005년부터 2009년의 기간에 발표된 OECD(10개국) 및 중국의 자료이며, CO₂ 회수비용의 범위는 다음과 같다.

1) IGCC 발전용 : 18~79\$/t-CO₂

3) 기술의 적용 사례

IGCC 물리흡수법을 조합한 대규모 실증시험 계획은 세계적으로 존재하고 있다. 다음표는 IGCC 프로젝트 발전소의 적용 사례이다.

표 2-2. 물리 흡수법의 IGCC 발전소의 적용사례

프로젝트명 (실시장소)	PLANT 종류	운전예정 년도	플랜트 능력	회수 TYPE	년간회수량 (백만톤/년)
Summit Power (Penwell, Texas)	Coal IGCC	2014	400MWg	Selexol	3.0
Southern California Edison IGCC (Utah)	Coal IGCC	2017	500MW	Selexol	3.5
Hartfield IGCC (Hartfield, UK)	Coal IGCC	2014	900MW	Selexol	4.5
EAGLE 프로젝트 (若松, 일본)	Coal IGCC	2010	170MW	Selexol	24 t/day

자료 : 산업기술종합연구소외, "2013년 서틀쉽에 의한 CCS를 활용한 2국간 크레디트 제도 실현 가능성

조사 위탁업무보고서", 일본 환경성, 2014년 3월

다. 물리흡착법

1) 기술개요

흡착법은 활성탄이나 제올라이트 등의 고체흡착제에 CO₂를 흡착시켜 감압또는가열에 의해 CO₂를 이탈시켜 회수방법이다. 또한, 매체자체를 이동시키는 이동층과 유동층방식도 사용된다.

2) 경제성

물리 흡착에 의한 CO₂회수비용의 산정은 1993년 NEDO 위탁사업(일본)에서 실시된 사례로 CO₂ 회수비용은 4,975엔/t-CO₂로 되고 있다.

3) 기술의 적용 사례

IGCC 물리흡수법을 조합한 대규모 실증시험 계획은 세계적으로 존재하고 있다. 다음표는 IGCC 프로젝트 발전소의 적용 사례이다.

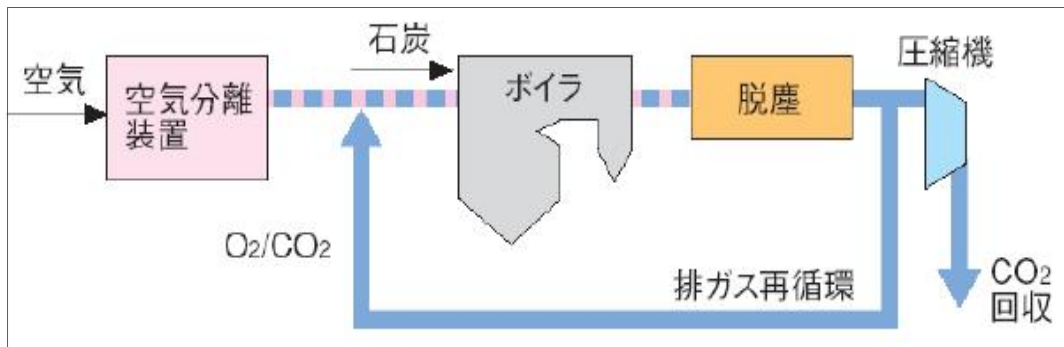
물리 흡착에 의한 CO₂ 회수는 현재 실증단계이며 수 MW 규모의 공장에서 시험이

이루어지고 있다

라. 산소연소법

1) 기술개요

공기분리장치에서 제조한 산소를 연소시켜 CO₂농도를 95%이상의 고농도로 하여 배기가스를 회수하는 기술이다.



자료 : 산업기술종합연구소외, "2013년 서둘러 도입에 의한 CCS를 활용한 2국간 크레디트 제도 실현 가능성

조사 위탁업무보고서", 일본 환경성, 2014년 3월

그림 2-2. 산소연소법에 의한 분리프로세스의 도식도

2) 경제성

가) IPCC의 정리

IGCC 발전용 CO₂ 회수비용에 관한 사례는 2003년부터 2005년의 기간에 발표된 기업체별의 자료이며, CO₂ 회수비용의 범위는 다음과 같다.

(1) 설 IGCC 발전용 : \$27~72/t- CO₂

나) IEA의 정리

CO₂ 회수비용에 관한 사례는 2005년부터 2009년의 기간에 발표된 OECD(13개국) 및 중국의 자료이며, CO₂ 회수비용의 범위는 다음과 같다.

(1) IGCC 발전용 : 27~72\$/t-CO₂

3) 기술의 적용 사례

(1) Callide 산소연소 프로젝트(호주)

IHI, 미쓰이 물산, 전원개발, 호주석탄협회, CS energy사, Schlumberger 사, Glencore 회사의 조인트 벤처에 의한 프로젝트이며, 일본 경제산업성 및 호주연방정부 및 퀸즐랜드 정부로부터 재정 지원을 받고 있다. 2012년부터 퀸즐랜드 국가 Callide A발전소 4호기(석탄 30MW)에서 산소연소실증운전을 개시하고 있다. 프로젝트 예산은 약2.4억 달러이며, CO₂ 회수량은 75톤/일이 계획되어 있다

(2) FutureGen2.0Illinois(미국)

FutureGen2.0은 DOE가 추진중인 석탄 화력의 대규모 CCS 실증 프로젝트 중 2016년에 산소연소방식에 의한 200MW급 실증시험이 진행될 예정이다. 산소연소 CO₂회수 설비비용은 7.37억 달러이다. CO₂회수에 대해서는 연간 130만톤 / 년이 계획되어 있다.

(3) CIUDEN oxyfuel programme(스페인)

CIUDEN는 2006년 5월 환경·에너지기술 개발 추진을 목적으로 스페인 정부에 의해 설립된 재단이며, 2011년부터 2012년까지 산소연소방식에 의한 30MWth급 실증시험을 실시하고 있다. 이 파일럿 플랜트에 투입된 총자금은 약 1억유로가 있는데 그 중 9,000만유로를 EU펀드가 부담하고 있다. 또한 향후 300MWe급의 시험도 계획중이다.

2. 국내 CCS 개발 및 실증 설비 동향

가. 화학흡수법

1) 경제성 분석

국내에서는 화학흡수법의 CO₂ 회수비용에 대한 분석이 없다.

2) 기술의 적용 사례

국내의 두산중공업은 해외 자회사인 (두산 밥콕) 및 기술협약(HTC_캐나다)을 통해 PCC원천기술을 확보하고 있으며, 2009년부터 2013년 12월까지 160kW급 Solvent Test Facility를 개발하였다.

나. 물리흡수법

1) 경제성

국내에서는 물리흡수법의 CO₂ 회수비용에 대한 분석이 없다.

2) 기술의 적용 사례

IGCC 물리흡수법에서 국내의 두산중공업은 2006년부터 국내 300MW IGCC 실증 플랜트 태안에 대규모 실증 설비를 하고 있다.

다. 물리흡착법

1) 경제성

국내에서는 물리흡수법의 CO₂ 회수비용에 대한 분석이 없다.

2) 기술의 적용 사례

국내의 KIER(한국에너지기술연구원)/KEPRI(한국전력공사전력연구원)에서 2010년에서 2014년 기간에 10MW 규모의 시험플랜트를 이용하여 물리적 흡착법에 의한 CO₂ 회수기술의 실증프로젝트를 실시하고 있다. 2014년 프로젝트 종료 직후에서 300MW규모의 상용화를 목표로 계획되어 있다.

라. 산소연소법

1) 경제성

국내에서는 산소연소법의 CO₂ 회수비용에 대한 분석이 없다.

2) 기술의 적용 사례

산소연소법에서 국내의 두산중공업은 40MWt 순산소 버너 실증 사업과 100MW 순산소 실증 Plant 건설 국책과제 참여기반 구축 중에 있다.

향후전망

1. 해외 CCS 개발 및 실증 설비 동향

상용화되고 경제성이 있는 CCS기술인 화학 흡수법, 물리흡수법, 물리흡착법, 산소 연소법에서, 위의 소개된 업체 외에 독일의 SIEMENS, 중국업체 등이 최근 이미 개발 및 실증 PLANT가 완료되어 국제적으로 실증 PLANT를 양산 단계에 와 있다.

2. 국내 CCS 개발 및 실증 설비 동향

상용화되고 경제성이 있는 CCS기술로는 화학 흡수법, 물리흡수법, 물리흡착법, 산소 연소법에서, CO₂ 회수비용에 대한 분석이 없다.

그리고, 국내 업체(두산 중공업)의 경우 화학 흡수법 및 산소 연소법은 실증 기반이 미약하며, 물리흡수법, 물리흡착법에서 IGCC 실증 플랜트 건설로 국제경쟁력을 얻고자 하나, 선진업체에 비하여 미흡하다.

3. 제언

상용화되고 경제성이 있는 CCS기술인 화학 흡수법, 물리흡수법에 대한 정
부의

지원 및 GCF 협력 등이 필요하며, CO₂ 회수비용에 대한 분석이 필요하다.

<참고문헌>

1. 산업기술종합연구소외, "2013년 서둘렀던 것에 의한 CCS를 활용한 2국간 크레디트 제도실현 가능성 조사 위탁업무보고서" , 일본 환경성, 2014년 3월
2. 두산중공업, “두산중공업 보고서 및 카다로그”, 2013년
3. Siemens, “Development and Implementation of Post-Combustion Capture Technology”, 2008