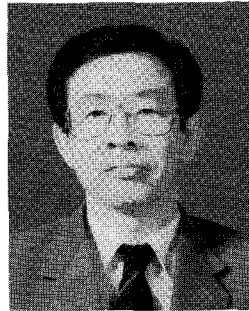


CO₂ 저감을 위한 선진국 및 국내기술개발

이 글은 지난 12월 29일
한국과학기술단체총연합회의
환경과학기술 특별위원회에서 주최한
워크샵에서 발표한 것을 게재한 것이다.



엄 희 문

전력연구원 에너지환경고등연구소

1. CO₂와 지구온난화

이산화탄소, 메탄가스등 온실기체(greenhouse gases)의 대기중 농도가 상승하여 야기되는 지구온난화 문제는 지구에 갖가지 악영향을 초래하는 심각한 문제라 예상되어진다.

이미 1988년 지구기후변화에 대한 대응책을 마련하기 위하여 유엔환경계획(UNEP)과 세계기상기구(WMO)가 공동으로 설립한 국제기후변화회의(IPCC)는 1997년 6월 세계기후 변화에 관한 보고서를 통해 온실기체의 지속적 증가로 인해 2100년에는 지구표면온도가 1~3.5℃ 상승하고, 해수면이 15~95cm 상승할 것이라고 예측하였다.

또한 한국, 일본, 중국, 몽골, 러시아 등이 포함된 동아시아 온대지역은 산림생산성이 크게 저하되며, 툰드라지역의 약 50%가 감소되어 이산화탄소와 메탄가스의 방출이 크게 증가하여 지구온난화에 10여배나 큰 영향을 미칠

것으로 보고하였다.

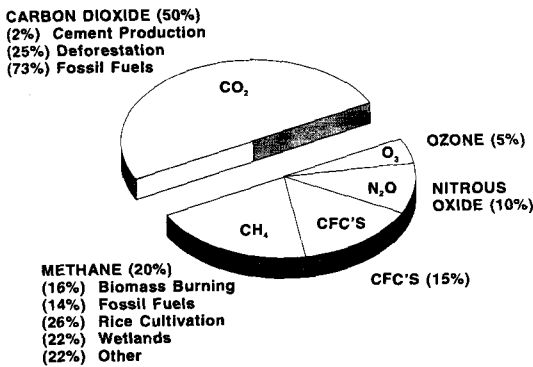
이와 같이 세계 곳곳에서 발생하고 있는 기상이변을 비롯하여 여러 지구환경에 대한 악영향(기상변화에 의한 농작물의 피해, 강수량의 변화, 생태계의 파괴, 해수면의 상승)은 온실기체에 의하여 유발된 지구온난화 진행에 의한 것으로 분석되고 있으며 이러한 지구온난화는 21세기 환경 대재앙을 일으켜 인류의 생존마저 위협하게 될 것으로 관측되고 있다.

이에 대한 대책으로서 이미 92년 6월 유엔 환경개발회의에서 세계기후변화협약이 채택되었고, 94년 3월 21일 이 협약이 공식 발효되어 지구온난화에 영향을 미치는 온실 기체들의 발생량을 규제하기에 이르렀다.

이들 온실기체는 급격한 산업발달로 인하여 국내의 경우 전력공급원인 화력발전소(한국전력 CO₂ 배출량 9×10⁷MT/Y), 광양 제철소(CO₂ 배출량 2.5×10⁷MT/Y), 포항 제철소(CO₂ 배출량 2.5×10⁷MT/Y) 및 시멘트 생

산공장과 기타 배출원(CO₂ 배출량 108MT/Y) 등에서 발생량이 크게 증가하고 있다.

온실기체에는 CO₂, CH₄, CFC, NO_x, SO_x 등의 여러 기체들이 있지만 특히 이산화탄소는 전체 온실기체효과에 대한 기여도가 그림 1에 나타난 바와 같이 50% 이상인 것으로 알려져 있어 가장 심각한 환경오염원으로서 대기중으로 대량으로 방출되고 있는 이 기체의 양을 제어하거나 또는 이를 이용하고자 하는 노력이 절실히 요구되고 있다.



(그림 1) 온실가스별 지구온난화 기여도

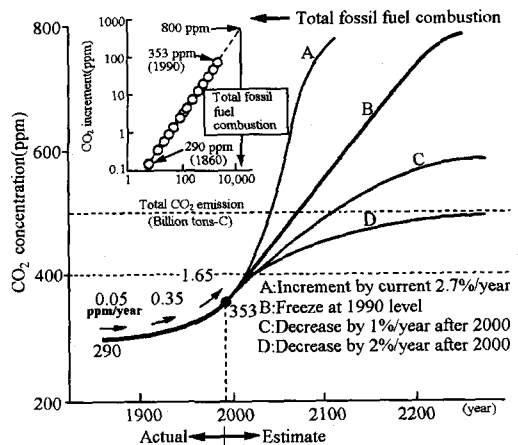
대기중 이산화탄소의 농도는 산업혁명 이전의 280ppm에서 353ppm으로 증가하였으나 (그림 2), 현재의 산업체계를 볼 때 이산화탄소의 발생을 유발시키는 화석연료나 원료를 사용하는 것은 상당히 오래 지속될 것으로 예상되기 때문에 이의 연소로 발생한 이산화탄소를 재이용하여 연료나 유용한 화합물로 전환시키는 기술의 개발이 시급하다.

실제로 통계의 의하면, 세계 각국 에너지원의 73%가 석유나 석탄 등의 화석연료에 의존

하고 있으며, 특히 화석에너지 의존도가 90%에 가까운 우리나라의 경우 전면적인 화석연료 사용금지 또는 대체에너지 활용을 통한 이산화탄소 방출원의 근본적인 차단은 현실점에서 불가능하다 할 수 있다.

따라서 이산화탄소 방출의 저감을 위해서는 현실성 없는 규제정책에 앞서 화석연료를 사용하지 않는 대체 청정에너지의 개발과 함께, 일시적 내지는 보완적인 대책으로서 방출되는 이산화탄소의 회수 및 재활용 등이 그 대안으로 제시되고 있다.

이에 따라, 현재 이산화탄소의 회수와 재활용을 위한 다양한 측면의 연구가 전세계적으로 활발히 진행되고 있다.



(그림 2) 대기중 CO₂ 농도 변화

CO₂는 석탄, 석유, 천연가스 등 화석연료의 소비에 의하여 배출되기 때문에 단순한 삭감은 생산국의 수입감소, 소비국의 사업활동, 가정 생활 수준의 퇴보, 경제활동의 위축을 통한 경

제성장의 정체를 의미하는 것이다. 따라서, 세계 각국에서 CO₂ 배출량의 감소를 위한 기술적인 문제와 사회적 경제적인 측면에서의 검토가 이루어지고 있다.

CO₂에 관련된 기술로는 CO₂ 배출감소를 위한 에너지 절약기술, 배출하는 CO₂의 회수 기술, CO₂를 이용하거나 고정화시키는 기술, CO₂를 배출하지 않는 대체에너지기술 등이 있다.

사회적 측면에서는 각종 국제회의에서 선언 및 조약을 채택하여 CO₂ 배출량을 규제하기 위한 논의가 되고 있으며, 화석연료에 대한 과징금을 부과하여 CO₂ 감소기술개발에 투자한 다던가, 화석연료의 공급이나 사용을 제한하는 문제 등이 검토되고 있는 실정이다.

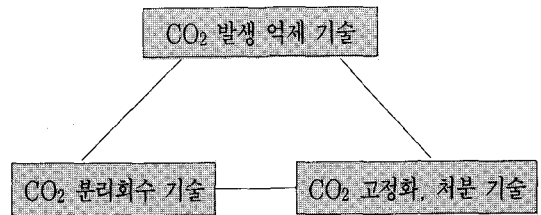
II. CO₂ 저감기술

CO₂ 저감기술은 그림 3에 나타난 바와 같이 CO₂ 발생자체를 억제하는 기술과 CO₂를 분리회수하는 기술, 분리된 CO₂를 생물학적

또는 화학적으로 고정화하는 기술, 그리고 잉여 CO₂를 처분하는 기술로 분류될 수 있다.

1. CO₂ 발생억제기술

- ◇ 화력발전소 효율향상, 고효율 발전소의 건설
- ◇ CO₂ 배출이 적은 발전소의 우선가동 (LNG < Oil < Coal)
- ◇ 비화석연료 및 신·재생에너지 전원의 개발
- ◇ 에너지 절약과 절전기기 개발의 지속적 추진 등



(그림 3) CO₂ 저감기술

2. 이산화탄소 분리기술

< 기술 개요 >

기술항목	기술개요
흡수법	- 물리흡수법 : 물리흡수액에의 CO ₂ 용해량이 압력에 비례하여 많아진다고 하는 물리흡수특성을 이용해서 CO ₂ 를 분리 - 화학흡수법 : CO ₂ 와 흡수액(아민계용액, 탄산칼륨용액 등)의 화학반응을 이용해서 분리흡수
흡착법	CO ₂ 를 흡착하기 쉬운 고체흡착제(활성탄, 제올라이트 등)를 사용, 흡착량이 압력에 따라 차이가 있는 것을 이용하여 분리
막분리법	막에 대한 가스의 투과속도가 다른 것을 이용하여 분리
심냉법	기체간의 증기압 차이를 이용하여 CO ₂ 를 선택적으로 분리

〈각 기술의 장단점〉

항 목	장 점	단 점
흡 수 법	- 대용량 가스를 처리하기 용이 - 저농도 및 고농도 가스분리에 적합	- CO ₂ 분리에 다량의 에너지가 소모됨 - 흡수액의 사용량이 많음 - 흡수액에 의한 분리설비의 부식 문제가 있음
흡 착 법	- 장치가 비교적 간단 - 건식이므로 주변환경에 미치는 영향이 적다.	- 분리회수에 있어 흡수법에 비해 에너지 소모가 더 크다. - 대용량 CO ₂ 를 처리하는데 어려움이 많다.
막분리법	- 장치가 간단함 - 건식이므로 흡수법에 비해 주변환경 영향이 적음 - 소요에너지가 적음	- 분리막이 대단히 고가이므로 장치비가 매우 비싸다. - 막대한 면적의 막이 필요하므로 대용량화가 대단히 어렵다. - 배가스의 청정화를 위해 고성능 전처리가 필요하다.
심 냉 법	- 대용량, 고농도 CO ₂ 분리에 적합	- 저농도 CO ₂ 분리에 적합하지 않음

3. 이산화탄소 고정화기술

기 술 항 목		기 술 개 요
생물학적 고정화	해양생물에 의한 고정화	산호, 석회조, 파조류 등을 활용하여 CO ₂ 를 탄산칼슘으로 고정화
	미생물에 의한 고정화	미생물을 사용하여 CO ₂ 를 단백질이나 기타 에너지원으로 고정화
화 학 적 고정화	촉매를 이용한 화학적 고정화	촉매를 이용하여 CO ₂ 를 메탄올이나 가솔린 등 유용한 물질로 전환
	전기화학적 고정화	CO ₂ 를 전기분해하여 일산화탄소, 개미산, 메탄등으로 전환

4. 이산화탄소 처분기술

기술항목	기 술 개 요
심 해 저 항	수심 3000m 정도의 심해에 투입
지 중 저 장	폐가스전, 폐유전에 CO ₂ 를 주입

련 Programme를 운영하고 있는데, Greenhouse Gas R&D Programme도 그러한 프로그램의 하나임.

○ IEA Greenhouse Gas R&D Programme은 현재 국제적으로 활발히 대책이 논의되고 있는 지구온난화를 방지하기 위하여 이산화탄소를 비롯한 여러 온실기체의 배출 저감과 배출된 기체의 분리회수, 저장, 고정화 등에 관련되는 제반 기술을 분석 검토하고, 현재 개발 중에 있는 기술의 현황과 앞으로의 기술 개발 전략, 정책 등의 검토를 주목적으로 함.

○ 현재 참여국은 총 17개국임(미국, 영국, 핀란드, 이탈리아, 호주, 캐나다, EC연합, 덴마크, 일본, 네델란드, 노르웨이, 폴란드, 스페인, 스위스, 스웨덴, 베네주엘라, 한국)

Ⅲ. 선진국 기술 개발 현황

1. IEA 온실기체 연구개발 프로그램

가. 프로그램 개요

○ 국제에너지기구(IEA)는 OECD의 산하기관으로 전세계적인 에너지 문제를 연구검토하는 조직임. IEA는 약 40여 개의 에너지 관

○ 각 회원국마다 1명의 대표자를 파견하여 매년 2회 집행위원회(ExCo Meeting)를 개최함. 집행위원회는 이 프로그램의 전반적인 운영, 기술분석 과제의 선정, 회원국의 추가 가입 승인 등 제반 사항을 결정하는 의결기관임. 집행위원회의 의결사항을 실무적으로 수행하기 위한 소규모 프로젝트팀이 운영되고 있음.

○ 집행위원회(ExCo Meeting) : 각 회원국에서 각 1명의 대표를 선정, 집행위원회를 구성. 매년 2회 회의를 개최하여 프로그램의 장래, 예산, 비용지출 등을 결정함.

○ 이산화탄소에 관련된 제반 기술의 검토, 평가, 대안 수립 등의 연구조사 업무는 프로젝트팀의 의뢰로 외부 연구자 또는 외부 연구기관이 위탁수행하여 집행위원회에 보고서를 제출함. 이렇게 만들어진 보고서는 회원국에게만 배부됨.

○ 비용부담 : 각 참가국들은 자국의 이산화탄소 배출량을 기준으로 하여 각기 다른 연회비를 부담하며, 비 OECD 저개발국들에게는 감액 부담을 허용함.

나. 프로그램 진행상황

○ 이 프로그램은 1991년 11월부터 사업이 시작되어 94년 10월까지 3년동안 2백만 파운드 이상의 연구비를 투여하여 1단계(Phase 1) 연구사업을 완료하였고, 현재는 2단계(Phase 2 : 1994년 11월~1997년 10월) 연구사업의 결산시점임.

○ 3단계(Phase 3 : 1997년 11월~2000년 10월) 연구사업은 주로 실용화 연구개발에 주안점을 둔 프로젝트가 추진될 예정이며, 각 기술적 대안들의 평가나 시스템 분석 및 프로그램 결과물들의 출판등을 다루는 Core programme을 수행할 계획임.

○ 다음표에 1, 2, 3단계의 연구내용을 요약함.

2. 미 국

<국가적 대응전략>

- ◇ 에너지정책법에 의한 최종에너지 소비의 에너지절약 효율 설정
- ◇ 기기의 효율, 에너지 공급, 연료전환 추진을 위한 R&D
- ◇ EPA의 Green Program 등 자발적 행동

연구단계	연구기간	연구 내용	비 고
1단계	1991.11. ~94.10	- 이산화탄소 배출 저감을 위한 화력발전소의 기술적 대안 검토 - 이산화탄소 회수, 저장 및 이용 기술 검토 - 지구온난화가 미치는 영향 검토	1단계 기술 검토 결과로 2단계 연구과제를 도출함.
2단계	1994. 11. ~97.10	- 이산화탄소 회수를 용이케하는 첨단 발전 기술 검토 - 최신 이산화탄소 회수 공정 검토 - 해양처분기술 검토 - 화학적 전환 기술 검토 - 전연료공정(full fuel cycle) 연구 검토 - 기타 온실효과 기체들에 대한 검토	2단계에서 추진이 미진했던 분야는 3단계에서 추진 가능함
3단계	1997.11. ~2000.10.	- 이산화탄소 회수공정이 수반된 발전기술 연구 - 이산화탄소의 해양저장 기술 연구 - 이산화탄소의 액화저장 기술 연구 - 이산화탄소의 원천적 격리를 위한 산림화 연구 - 그 밖의 다른 실용화연구 수행	주로 실용화 연구에 주안점을 둠

〈전력회사의 대응전략〉

- ◇ 전력산업은 미국전체 CO₂ 배출량의 35%이며 석탄이 주종을 이루므로 배출규제가 매우 어려운 실정
- ◇ 따라서 연료전환, 전기이용 효율증진, 열병합발전 신재생에너지 사용등 장기적인 CO₂ 감축계획 수립
- ◇ 발전사업자의 DSM(Demand-Side Management)를 강화하여 장래의 전력수요 억제
- ◇ CO₂ 배출 허가권 제도의 도입
- ◇ 전력회사간 배출 허가권의 거래제 도입으로 전력회사들의 자발적인 배출저감을 유도

〈기술개발 동향〉

- ◇ 전력중앙연구소(EPRI)의 지구온난화 방지를 위한 환경분야의 연구 활발

〈EPRI의 지구환경분야 연구비〉

(단위 : 백만US\$)

구 분	'92	'93	'94	'95	'96	'97
지구기후, 환경보호	3.1	3.6	4.6	5.0	5.0	5.6
지구기후 조사	2.6	4.3	4.6	5.0	5.3	5.7
계	5.7	7.9	9.2	10.0	10.3	11.3

3. 일 본

〈국가적 대응방안〉

- ◇ 지구온난화 방지행동계획에 의한 이산화탄소의 배출억제 대책 연구
- ◇ CO₂ 저감을 위한 신기술 개발 분야
 - * 온실가스 배출 억제를 위한 기술 개발
 - * 온실효과 가스 분리, 고정화를 위한 기술 개발
 - * 온난화 적용기술

〈전력회사의 대응전략〉

- ◇ 에너지 절약기술 및 에너지 고도 이용기술 개발에 주력
- ◇ 각 전력사마다 지구환경 위원회를, 전력사 간에는 공동대처 기구를 상설 운영
- ◇ 이미 배연탈황, 탈질기술을 상용화하고 나서 이제는 21세기 대비 신기술로 CO₂ 분리기술개발 적극 추진

〈전력회사별 기술개발 현황〉

- ◇ CO₂ 분리, 고정화 및 처분기술 개발에 박차를 가하고 있음

〈화학흡수법에 의한 소규모설비 적용예〉

플랜트	대상 가스	CO ₂ 회수량 (톤/1일)	흡수액	Process
N-Ren Southwest 1982년 운전개시(해체)(미국, 뉴멕시코)	보일러 배가스 (천연가스)	100	MEA	Dow Chemical Co.
Carbon Dioxide Tec. 1982년 운전개시(해체)(미국, 텍사스)	발전용 보일러 (천연가스)	1120	MEA	Dow Chemical Co.
Northeast Energy Asso. 1992년 운전개시(미국, 메사추세츠)	발전용 가스터빈 (천연가스)	320	MEA	Fluor Daniel Inc.
North American Chem. 1991년 운전개시(미국, 캘리포니아)	보일러 배가스(Cokes, 석탄, 천연가스)	800	MEA	Kerr-Mcgee Co. ABB Lummus Crest Inc.
Kerr-Mcgee 1991년 운전개시(미국, 오클라호마)	복합용 보일러 (300MW, 석탄)	200	MEA	Kerr-Mcgee Co. ABB Lummus Crest Inc.

〈일본 전력회사의 CO₂ 대책 기술 개발 현황〉

구분	북해도	동북	동경	중부	북북	관서	중국	사국	구주	전발	전중연
분리기술	화학흡수법			○			○	○			○
	물리흡수법		○	○	○	○	○				
	기타	○		○	○		○		○	○	○
고정화기술	생물학적		○	○	○	○		○		○	○
	기타		○			○				○	○
처분기술	액체처분					○					○
	심해처분		○	○	○	○					
기타	○		○	○			○		○		○

- ◇ 일본 전력회사에서는 흡수법과 흡착법(PSA)에 의한 이산화탄소 분리회수에 주력
- ◇ 향후 4~5년후 실증설비 개발 전망

4. 유 령

〈전력회사의 대응전략〉

- ◇ 프랑스는 원자력발전 비중이 70%를 상회하므로 탄소세 도입에 적극적인 반면, 영국은 선탄화력 비중이 높아 소극적
- ◇ CO₂ 배출저감 전략
 - * 전기이용효율 증진
 - * LNG 사용확대, IGCC 발전 추진

〈기술개발 현황〉

- ◇ 네덜란드
 - * 화학흡수법을 이용한 연소배가스 중의 CO₂ 분리회수
 - * 물리흡수법을 이용한 석탄가스화에 의한 합성가스에서의 CO₂ 회수법(Selexol)
 - * 폐가스전예의 처분
- ◇ 이태리
 - * 에너지생산 효율 향상, 탄소 연료사용 제한

- * 대규모 삼림파괴 중지
- * CO₂ 회수와 이용기술 개발

IV. 국내 기술 개발 현황

〈국내의 대응전략〉

- ◇ “국가보고서” 작성과 에너지 수급전략의 조정
 - * CO₂ 배출저감형 에너지 수급구조의 조정
 - * DSM으로의 전환
- ◇ 에너지 절약 시책의 강화
 - * 에너지 가격기능을 통한 소비절약 유도
 - * 에너지 저소비형 제조업구조로 개편
 - * 각종 기기의 에너지효율 향상
- ◇ 에너지 효율화 기술개발 촉진
 - * 에너지절약 기술
 - * 화석에너지 대체기술
 - * 개발기술의 실용화
 - * 청정, 저공해 연료의 공급확대 등

〈한전의 기술개발 현황〉

- ◇ 현재 화력발전소로부터 배출되는 이산화탄

CO₂ 저감을 위한 선진국 및 국내기술개발

소를 분리회수하여 제거시키기 위한 선진국의 기술 개발 동향을 조사 분석함

- ◇ 화력발전소와 같이 대규모 연소시설에 가장 적합한 분리회수 방식을 선정하기 위하여 흡수법, 흡착법, 막분리법 기술개발 연구를 수행하고 있음

〈주요기관의 기술개발 현황〉

1) 한국화학연구소 : 국가선도기술개발계획 (G7-Project)의 주관연구기관

◇ 기술 개발 전략

- * 전문 연구기관이 주관이 되어, 산, 학, 연 공동연구로 추진
- * 미국 및 일본의 관계연구소와 공동 연구로 수행

◇ 연구비 규모 : 1993-2001년까지 183억원 (정부 43%, 참여민간기업 57%)

구 분	1단계			2단계			3단계			
	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01
- 온실기체 분리, 회수										
- 온실기체 정화 기술										
- 온실기체 배출억제 기술										
- 단계별목표	온실기체 제어 기반기술			막분리법에 의한 CO ₂ 분리 회수 기술 - 화학적, 생물학적 고정화 기술			기업주도에 의한 온실기체 제어 및 이용 기술 실용화			

2) 한국에너지 기술연구소

◇ CO₂ 분리회수 기술

- * 흡수법에 의한 CO₂ 분리회수 기술
- * '91~'92 : 과학기술처·특정연구개발 사업기금
- * '93~'97 : 에너지자원 기술개발지원센터
- * 현재 소형시험장치 개발, 연속공정 개발중

〈국내 기술 수준 평가〉

기 술 명		국 내 기 술 수 준		국내 관련 기관	비 고
		상 태	자립도		
분리회수 기 술	흡수법	Bench-scale 연속흡수탑 운전	30%	전력연구원 한국에너지기술연구소	
	흡착법	Pilot-Plant 연속 분리공정 운전	40%	한국과학기술연구원 한국에너지기술연구소	
	막분리법	막제조 기술연구	50%	한국과학기술연구원 한국화학연구소	
고정회 기 술	화학적 고정화	CO ₂ 를 이용한 메탄올 및 탄화수소 합성 연구	50%	한국화학연구소 한국과학기술연구원	
	생물학적 고정화	-	-	-	
처 분 기 술		-	-	-	