일본 전기사업의 CO_2 대책 기술개발 현황

오늘날의 환경문제는 한 국가에 국한되는 것이 아니라 산성우와 같이 국경을 초월하고, 나아가서는 염화불화탄소에 의한 성층권 오존층파괴라든지 이산화탄소 (CO_2)등 온실효과가스 증가에 의한 지구온난화 문제와 같이 지구 규모로까지 확대되고 있으며, 이러한 문제를 해결하기 위하여 국제적인 대응이 필요하게 되었다.

전기사업의 경우에는 산성우의 원인이 되는 유황산화물(SO_x), 질소산화물(NO_x)의 배출량을 감소케 하기 위하여 오래전부터 적극적인 대책을 시행하여 왔다.

또한 사용량이 적다고는 하지만 오존층 파괴의 원인이 되는 염화불화탄소(CFC)의 경우에도 앞으로 완전폐지를 목표로 하여 프레온, 할론가스 대체물질 개발에 따라서 가능한 것부터 대체품으로 바꾸는 등 여러가지 대응책을 적극적으로 펴고 있다.

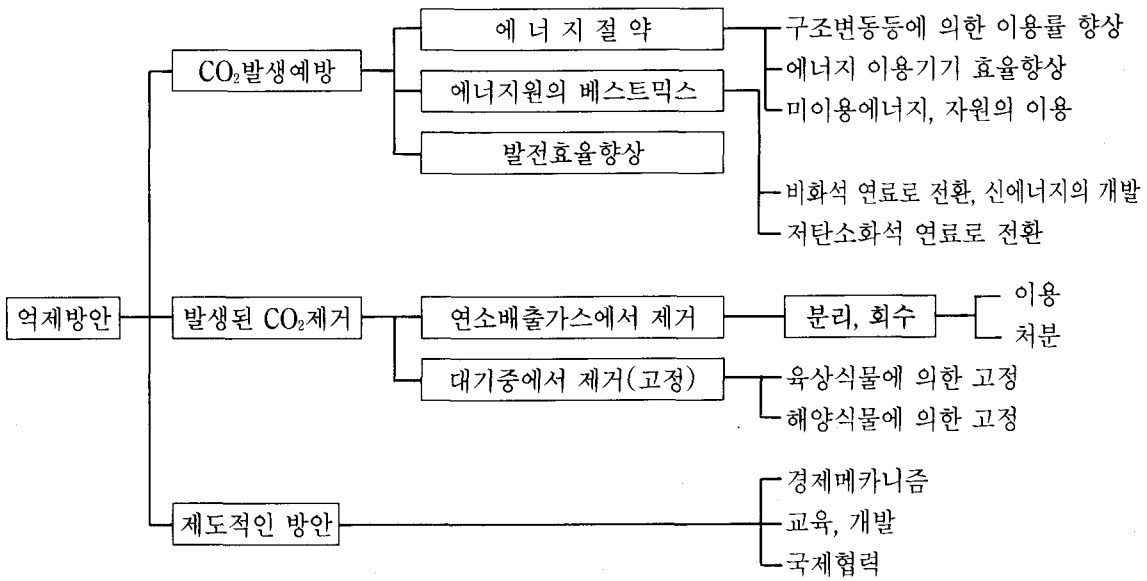
여기서는 에너지산업과 밀접한 관계가 있는 지구온난화 문제와 더불어 그 주된 원인인 CO_2대책에 관한 일본에서의 기술개발 상황을 소개한다.

온실효과 가스가 지구온난화에 미치는 영향에 대하여는 아직도 불확실한 면이 있으나 각국은 미래에 후회되는 일이 없도록 배출억제를 위하여 노력하고 있다.

일본에서도 1990년에 「지구온난화 방지행동 계획」이 각의에서 결정되어 CO_2 배출량을 1인당 2000년까지 1990년 수준으로 안정시킬 것을 목표하는 조치를 취하고 있다.

전기사업이 일본 전체 CO_2배출량의 약 25%를 점유하고 있다는 실정을 인식하고 다음과 같은 여러가지 CO_2억제조치를 추진하고 있다.

① 안정적이고 균형된 전원구성의 지속적인 추진
② 에너지 이용 효율 제고



〈그림 1〉 CO_2 억제방안

〈표 1〉 OECD주요국가 발전전력량당 CO_2발생량(시산), 1990년도

	화 력	합 계
일 본	0.16	0.11
미 국	0.23	0.16
영 국	0.24	0.19
독 일	0.24	0.15
이 태 리	0.18	0.15
프 랑 스	0.23	0.03
캐 나 다	0.23	0.05

(kg-c/kWh)

미·영·독의 단순평균 : 0.16kg-c/kWh

일본은 이 평균치의 약6할 (0.11/0.17=0.64)

원자력, 수력 포함

Source : OECD ENERGY BALANCES

③ CO_2회수, 고정, 처리기술의 개발
④ 국제협력

이산화탄소(CO_2) 억제방안

CO_2를 억제하는 데는 그 발생을 억제하는 것이 가장 효과적이라는 것은 명백하지만 에너지 이용효율향상도 CO_2억제 방안과 같은 효과가 있다.

일본 전기사업은 종래부터 전원의 최적구성이라든지 에너지의 효과적인 이용이라는 관점에서

- 원자력발전과 LNG화력의 적극적인 도입
- 화력발전의 열효율향상
- 전력손실률 저감 등을 위해 노력하는 한편, 태양광, 풍력등 자연에너지 이용추진에도 선도적인 역할을 다하여 왔다. 그결과 발전전력량 단위당 CO_2 배출량의 감소가 가능하게 되었다. 이러한 노력이 전기사업 이외의 에너지 산업의 경우에도 똑같이 경주되어 일본전체의 CO_2배출량이 극히 낮은 수준에 이르게 되었다.

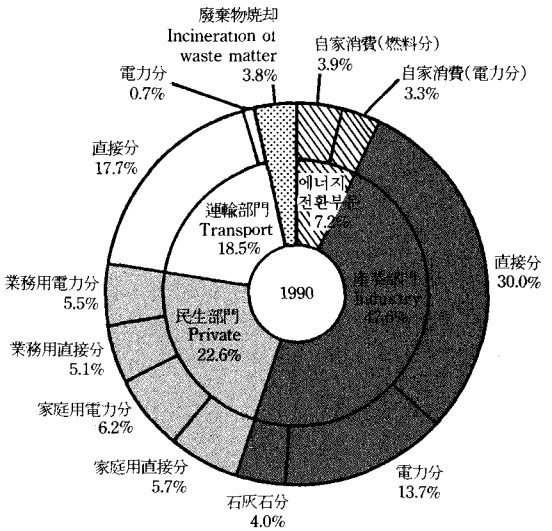
원자력을 비롯한 비화석연료의 도입이라든지 에너지 이용효율의 향상도 앞으로 계속하여 노력하여야 할 사항으로서 현재도 석탄가스화 복합발전, 가압유동상 발전, 연료전지발전, 고온가스터빈에 의한 고효율 복합사이클 발전 등 각종 발전방식의 개발이 추진되고 있다.

그러나 이러한 노력을 한다 할지라도 아직까지 미래의 화석연료 비율을 급격히 낮추는 것은 곤란한 실정이다.

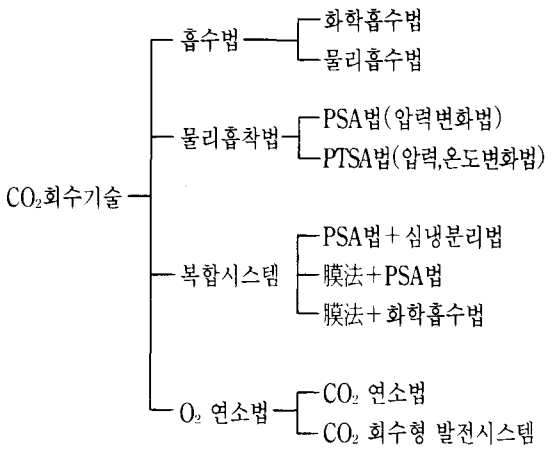
세계적으로 볼 때에도 아직까지 발전도상국을 중심으로 한 화석연료 사용량의 대폭적인 증가가 예상된다. 이러한 이유때문에 화석연료 사용에 수반하여 발생하는 CO_2제거기술에 관하여도 기술개발을 서두르고 있다.

CO_2 대책기술

CO_2 대책기술에는 화석연료 연소에 따라서 발생



〈그림 2〉 일본의 부문별 CO_2배출량 구성비



〈그림 3〉 CO_2 회수기술

한 이산화탄소를 배출가스 중에서 분리회수하는 기술과 회수한 대량의 이산화탄소를 처리(저유)하는 기술 및 고정화 하거나 나아가서 유용물질로 전환하는 기술등을 들 수 있으며, 각기술별로 여러가지 연구개발이 추진되고 있다.

기술개발상황 :

연소배출가스로부터 CO_2를 회수하는 기술은 화학공법 등에서 소규모로 이미 실용화 되고 있으나, 대용량 화력발전소의 배출가스로부터 CO_2를 회수한다는 관점에서 볼 때에는 화학흡수법과 물리흡착법이 적합한 기술로 생각된다.

그러나 이러한 방법은 소요되는 에너지가 많기 때문에 현재의 기술을 그대로 화력발전소 배출가스에 적용하면 발전원가가 대폭 상승하게 된다. 따라서 저에너지화, 저코스트화 및 대용량화를 위한 기술개발, 나아가서 두가지 방식을 조합한 복합시스템의 기초연구, 산소를 연소하여 CO_2회수과정을 용이하게 하는 방법등에 관한 연구개발이 추진되고 있다.

CO_2회수기술을 체계적으로 정리하면 다음과 같다.

① 흡수법

흡수법의 원리는 CO_2와 반응하여 흡수되는 성질이 있는 흡수액을 이용하여 CO_2를 분리한다. CO_2가 포함된 가스를 이러한 용액에 접촉케하면 CO_2만이 흡수되고 그밖의 가스와 분리할 수 있게 된다. 이 용액은 온도를 변화시키면 CO_2를 방출하는 성질이 있기 때문에 CO_2를 회수할 수 있으며, 같은 용액을 거듭 사용할 수 있다.

화학흡수법은 습식 흡수법이라는 점에서 현재 화력발전소에 설치되어 있는 배연탈유설비 기술을 응용할 수 있는 장점이 있는 반면, 흡수액에서 CO_2를 분리하는데 필요한 에너지가 많다는 단점이 있다.

② 물리흡착법

물리흡착법은 천연적으로 존재하는 Zeolite(沸石)등의 흡착제가 CO_2를 선택적으로 흡착하는 성질을 이용하여 CO_2를 분리하는 방법이다.

CO_2가 포함된 가스를 흡착제에 접촉케 하면 CO_2만을 흡착하여 그밖의 가스와 분리할 수 있게 된다.

흡착한 CO_2는 압력이나 온도를 변화시키면 흡착제에서 분리(탈착)되어 CO_2를 회수할 수 있게 되며, 동일한 흡착제를 거듭 사용할 수 있다.

③ 기 타

기타방식으로서는 2개의 방식을 조합한 복합시스템의 개발, 산소연소에 의하여 CO_2의 회수를 용이하게 하는 발전시스템의 개발 및 LNG냉열을 이용한 방법등이 있고 이에 대한 연구개발을 추진 중이다.

(a) 복합시스템

흡수법과 물리흡착법 등 2개방식의 장점을 이용하여 효율향상과 콤팩트화를 도모한 방법으로 2개의 방식을 직열로 조합한 것과 원리적으로만 조합한 것이 있다.

(b) O_2연소법

산소를 연소함으로서 배출가스를 수분과 CO_2를 분리하는 방법이다.

현시점에서의 평가 :

화력발전소에서의 CO_2분리, 회수기술에 관해서는 각 전력회사가 기초연구를 하고 있고 그중에서 몇몇 회사는 수백~천여m^3N/h의 파이롯 플랜트를

설치하여 연구를 하는등 적극적으로 추진하고 있다.

화학흡수법의 경우 이미 소규모인 것은 화학공업 분야등에서 실용화되고 있는 것도 있으나 현재의 과제는 이를 저에너지화, 저코스트화 및 대용량화 하는 것이며, 현재의 기술로는 흡수액을 재생하기 위한 에너지가 소요동력까지 합칠 경우에 상당량에 달하기 때문에 앞으로는 이것을 어느 수준까지 낮출 수 있을 것인가 하는 것이 과제이다.

에너지 소비량을 저감하기 위하여는

- 에너지를 적게 소비하는 흡수액의 개발
- 재생탑 열효율의 향상, 충전재료 개량에 의한 CO_2흡수량의 향상, 보조기기 동력의 저감
- 화력플랜트와 연대한 최적증기 시스템화
- 터빈추기 이용에 따른 증기잠열의 활용 등을

들 수 있다.

또한 대용량화 하기 위하여는

- 흡수탑, 재생탑 등 주요기기의 요소연구
- 흡수탑에서의 흡수액과 증기의 균일분산, 기액(汽液)접촉의 효율화, 재생탑에서의 흡수액과 증기의 균일분산, 기액접촉의 효율화, 리보일러 효율화 등의 요소연구
- 대량 증기사용량에 맞는 발전설비를 갖추는 것

등이 필요하다.

물리흡착법의 경우에는 고로(高爐)배출가스에서 CO_2를 회수할 용도로 수만m^3N/h급 플랜트를 가동하고 있으나 이것을 화력발전소의 배출가스에 적용하기에는 저에너지화, 저코스트화를 위한 시스템적인 연구가 필요하다.

현 기술의 과제는 에너지소비량을 저감하기 위하여

- 대형화에 따른 보조기기 동력의 저감
- 대형화에 따른 분출기, 진공펌프 등 보조기기의 검토
- CO_2흡착량이 크고 재생에너지가 낮은 흡착제의 개발
- 가열시스템 개량, 제습탑에서의 CO_2동시 흡착

흡착탑 정화시에 CO_2가 흩어져 없어지는 경우와 같은 각공정별 CO_2손실량을 저감케 하는 것 등을 들 수 있다.

한편 대용량화를 위하여는

- 저압손(低壓損) 흡착제 개발과 더불어 대용량화된 진공펌프, 대구경 발브 등의 개발
- 흡착탑의 콤팩트화 및 흡착제 열전도 특성의 파악 등을 들 수 있다.

LNG 냉열을 이용한 분리법은 LNG냉열을 이용해서 CO_2를 드라이 아이스화하여 회수하는 방법으로서 에너지면에서는 LNG의 냉열만으로는 생성된 CO_2를 모두 회수할 수 없기 때문에 시스템면에서의 연구가 필요하다.

더욱이 복합시스템은 아직 실험실의 실험단계에 있고, 산소연소법은 기초실험 착수단계에 있어 이러한 기술의 경제성 등을 다른 방식과 비교할 수 있는 데이터를 얻는데는 상당한 시간이 필요하다.

이상과 같이 CO_2분리, 회수기술이 실용화 되기까지는 아직도 많은 과제가 남아있으며, 앞으로도 계속적으로 연구개발을 할 필요가 있다.

이를 위하여 일본 각 전력회사의 연구성과를 바탕으로 각사가 보유하는 설비, 인력과 노하우를 모아서 모든 전력회사가 일체가 되어 효율적인 연구개발을 추진할 목적으로 공동연구회를 신설하였다.

CO_2처리, 고정기술

기술개발 상황 :

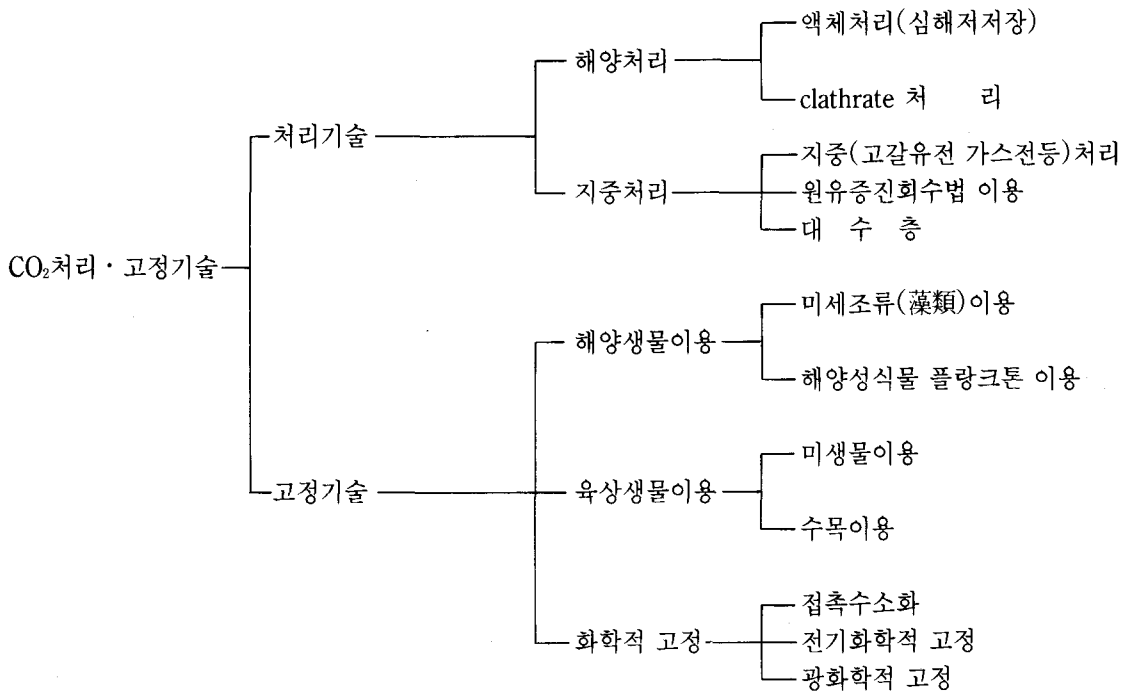
회수한 CO_2처리기술로서 해양 또는 지중에 처리하는 방법, 생물을 이용하여 고정시켜서 효과적으로 이용하는 방법, 화학적으로 유용한 물질로 전환하여 유효하게 이용하는 방법 등에 관한 연구가 진행되고 있다.

그러나 어느 경우의 연구도 CO_2회수기술 개발상황과 비교하면 그 연구단계가 아직도 기초연구 단계에 있다.

CO_2 처리, 고정기술을 정리하면 다음과 같다.

① 해양처리법

지구표면의 70%를 차지하고 또한 평균심도가 약 4km인 해양은 CO_2를 받아 들일 충분한 여력이 있는



〈그림 4〉 CO_2 처리 고정기술

것으로 생각되고 있어, 방대한 양의 CO_2처리 장소로서 바람직한 후보의 하나이다.

이러한 목적으로 CO_2를 액체 또는 clathrate화 하여 해양에 처리하기 위한 기초연구를 하고있다. 한편 이기술을 실용화 하기 위하여는 그 기초연구와 함께 CO_2처리에 의한 환경영향평가, 특히 해양생태계에 미치는 영향을 사전에 평가할 필요가 있을 뿐만 아니라 국제적인 컨센서스를 얻는 것이 중요하다.

일본 전력중앙연구소에서는 환경영향 평가를 중심으로 해양처리기술의 성립성 평가를 위한 기초연구를 하고 있다.

② 지중처리법

지중처리법은 지질상의 적지가 있을 경우에는 석유굴삭 기술을 적용하여 일본에서도 할 수 있는 방법이며, 특수대수층 및 원유증진회수법(EOR)이 유망한 것으로 생각된다.

현재 일본정부 주도로 EOR은 국내유전을 이용한 기초시험, 대수층은 일본 주변에서의 처리가능성 및 그 시험에 필요한 물속에서의 CO_2용해도 등 기초물성데이터에 관한 조사를 시행하고 있다.

③ 생물을 이용한 고정법

해양에 서식하는 미세조류(藻類)나 대형조류 또는 육상 수목이나 미생물 등을 이용하여 CO_2를 고정시키고 이것을 효과적으로 이용하는 방법에 관하여 각회사가 여러가지 기초연구를 하고 있다.

생물이용은 태양에너지를 효과적으로 이용할 수 있는 것이기 때문에 바람직한 것이지만 실용화 하기 위하여는 광범위한 부지가 필요하므로 고밀도 배양이라든지 농도가 높은 CO_2가스를 이용할 수 있게 하는 기술개발이 필요하다.

이러한 기술개발은 모두 실험실 수준에 있기 때문에 방대한 양의 CO_2를 처리할 수 있게 되기까지는 상당한 시간이 필요하다.

④ 화학적 고정기술

화학적인 고정기술로는 접촉수소화법, 전기화학적 고정법, 광화학적 고정법 등이 있다.

(a) 접촉 수소화법

촉매에 의하여 CO_2와 수소를 반응케하여 알코올이나 탄화수소 등 유용한 물질을 합성하는 방법

(b) 전기화학적 고정법

전기분해로 직접 용액중의 CO_2를 환원시켜 알코올이나 탄화수소 등 유용한 물질을 합성하는 방법

(c) 광화학적 방법

광에너지를 이용하여 CO_2와 물에서 탄화수소류를 합성하는 방법

현시점에서의 평가 :

CO_2처리, 고정기술의 경우 해양 및 지중에 처리하는 기술, 해양 또는 육상의 생물을 이용한 고정기술, 화학적인 고정기술 등 여러가지 기술개발이 추진되고 있으나 어느것이나 기초연구 단계이며, 방식별로 정량적 평가에 필요한 데이터를 얻는 데는 많은 시간이 필요할 것으로 생각된다.

그러나 회수한 방대한 양의 CO_2를 어떻게 할 것인가가 결정되지 않으면 CO_2를 회수하는 기술이 개발될지라도 그 기술을 사용할 수 없기 때문에 앞으로는 CO_2를 대량으로 처리할 수 있는 기술개발을 가속화 하여야 할 것으로 생각된다.

대량의 CO_2를 처리할 장소로서는 해양이 가장 유력한 후보이며, 우선 제일 먼저 해양처리에 관한 성립성을 평가할 필요가 있다.

이를 위하여는 실제 해양에서 하는 실험이라든지 생물에 미치는 영향평가 등이 불가결하며, 광범위한 전문분야 연구팀의 협력하에 연구방법, 연구계획등에 관한 폭넓은 컨센서스를 얻어가면서 추진할 필요가 있다.

지중처리법은 해양처리에 비하여 생태계에 미치는 환경영향이 적다고 생각되기 때문에 해양처리에 이르는 과정을 연계시켜 주는 기술로서 기대되고 있으며, 정부에서 시행하는 기초시험과 조사동향이 주목된다.

생물을 이용하는 방법은 분리된 CO_2나 배출가스를 직접 이용하는 것과 대기중의 CO_2를 이용하는 것 등 여러가지 변형의 연구가 시행되고 있다. 현재는 실험실 수준의 연구에 불과하지만 앞으로 기대할만한 분야로서 기초연구를 계속하면서 바람직한 기술을 육성할 필요가 있다.

화학적 고정법은 어떠한 방법이 실용화 되더라도 그 자체만으로는 양적으로 CO_2 억제에 대응하기 어려울 것으로 생각된다. 또한 CO_2의 전환에는 수소 등 다른 에너지의 공급이 불가결하기 때문에 전체 시스템으로서의 에너지 이용에 관한 공부를 하지 않으면 안된다.

그러나 개발된다면 바람직한 기술이기 때문에 널리 기초연구를 계속할 필요가 있다.

앞으로의 일본 전기사업의 CO_2대책기술의 연구는 국내외 연구기관과의 밀접한 제휴하에 전력 각사가 보유하는 연구설비, 기술력과 인력을 효과적으로 활용하면서 모든 전력회사가 일체가 되어 연구개발을 추진하게 될 것이다.

(오니시 히로야쓰, 일 WEC국내위 동력, 223호 94/7) (KJ)