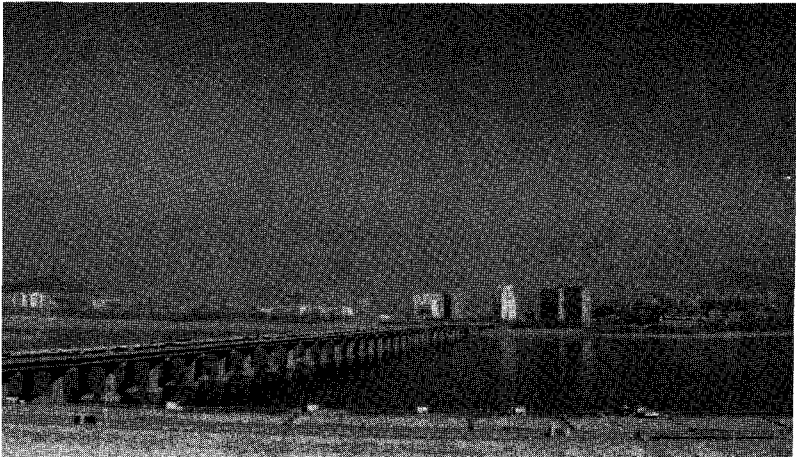


地球의 위기를 초래한 인류의 횡포를 반성하고 인류가 自然의 하나로 생존해 가기 위해서는 새롭고 혁신적인 思考의 전환이 필요하며 이러한 정신을 바탕으로 한 합의점을 찾아내 협약해야 한다는 인식아래 지난 6월 3일~14일까지 열아들 동안 세계 183개 나라가 모여 브라질 「리우데자네이루」에서 진지한 논의의 마당이 펼쳐졌다.

이름은 지난 7월 30일 한국전력발전소에서 열린 「한국에너지공학회」 창립기념 학술발표회에서 朴元勳부사가 「리우」회의와 그 이후 특히 문제점으로 대두된 CO₂문제에 대해 발표한 내용을 옮겨오는 것이다.



「리우데자네이루」 환경회의와 당면한 현안(懸案)과제

이 사진은 올해 3월 초순 漢江上空을 낮게 뒤덮은 「스모그」층을 여의도에 있는 건물 6층 높이에서 麻浦쪽을 바라다 보고 찍은 사진이다.

서울대교(마포대교)는 「스모그」층 밑에 있으니까 선명히 잡혔지만 사진 왼쪽에 老姑山은 여의도에서는 손에 잡히는 거리인데도 희미하게 모습을 알아보지 못할 정도로 나타났다.

I. 리우환경회의 개요와 그 의미

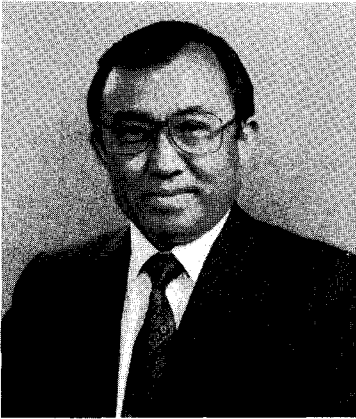
우리나라도 정원식 국무총리가 국가대표로 참석했던 「리우데자네이루」환경정상회의는 여러면에서 세계적으로 중요한 전환점이 되었다. 그 개요를 소개하고 리우환경회의가 주는 의미를 우선 음미해 보고자 한다.

1. UN환경개발회의

(UNCED : United Nations Conference on Environment and Development)

지난 6월 3일부터 14일까지 115개국의 국가 정상급을 포함하여 총 183개국이 참석했던 UNCED의 주제는 「환경이 지탱할 수 있는 개발」(ESSD : Environmentally Sound and Sustainable Deve-

기후변화협약과 CO₂문제



朴元勳

한국과학기술원

환경복지기술연구단장

(화학공학박사)

lopment) 이었다.

UNCED에서 토의를 거쳐 채택된 것은 ① 리우선언 ② 의제21(Agenda 21) ③ 산림원칙에 대한 성명서였고 ④ 기후변화 협약과 ⑤ 생물다양성 협약은 과거 2년여 간의 준비회의를 거쳐 합의된 것을 각국 대표가 서명하는 공식 절차만을 밟았을 뿐이다. 에너지 문제와 직결되는 기후변화 협약은 다음에 별도로 상술기로 하고 나머지 에 대해서 먼저 개괄코저 한다.

A. 리우선언

(Rio Declaration on Environment and Development)

UNCED 준비 초기에는 지구헌장(Earth Charter)으로 계획되어 오다가, 협상과정중에 남과 북의 의견대립으로 리우선언으로 그 내용이 약화되어 축소 조정된 것이다.

리우선언은 전문과 27개 조항으로 구성되었으며 환경과 개발의 조화를 추구하는데 있어서 기본 강령과 향후 국제환경협약시 철학적 기반지침이 된다는데 그 중요성이 있다. 주요 내용은 다음과 같다.

① 각국의 개발권인정, 타국의 피해제한 행사 ② 지구환경 악화에 대한 차등적 책임 인정 ③ 개도국 및 환경취약국의 특수상황 고려 ④ 환경규제에 의한 일방적 무역 장벽화 제한 ⑤ 환경위해 행위 및 긴급사태시 사전통고 ⑥ 유해 폐기물 및

환경이데올로기 대립의 새국제질서대두

독성물질의 불법교역 금지 ⑦ 각국의 환경관련 국내법 제정 의무화

B. 의제 21 (Agenda 21)

의제 21은 21세기를 향한 실천계획 또는 행동계획 수립의 지침서이다. 그러므로 리우선언이 모범이라면 의제 21은 그 시행령이라고 할 수 있다. 의제 21은 전문과 4부에 걸쳐 총 40장으로 구성되어 있다.

① 전문(제1장) ② 제1부 사회·경제적 차원(제2~8장) ③ 제2부 개발을 위한 자원보전관리(제9~22장) ④ 제3부 주요그룹의 역할 강화(제23~32장) ⑤ 제4부 이행방안(제33~40장)

제1부에서는 빈곤, 인구증가, 인간정주, 보건등 사회경제적 차원의 문제, 제2부에서는 대기, 토지이용, 내수자원, 해양, 산림, 생물다양성, 생명공학기술, 폐기물과 유해물질, 방사선물질등을 망라한 과학기술적 문제, 제3부에서는 여성, 근로자, NGO, 어린이, 산업인, 과학기술자, 정책입안자등 환경운동 주체자의 역할문제, 제4부에서는 재원과 지원기구, 기술이전, 과학과 교육훈련, 국제협력, 법적제도, 정보등의 실천수단문제가 다루어졌다.

이들 내용에서 UNCED는 환경만을 위한 회의가 아니라 환경을 앞세운 국제질서 전반에 걸친 UN회의였음을 알 수 있다.

C. 산림원칙에 대한 성명서

(Statement on Forest Principle)

산림의정서의 채택이 오래전부터 계획되었으나 말레이시아를 중심한 열대우림국들의 반대입장에 부딪쳐 구속력이 없는 산림의 지속적관리를 위한 원칙설정에 머문 성명서만을 채택하기에 이르렀다.

주요 내용은 다음과 같다.

① 산림의 지속적 보전, 관리, 개발비용을 공동부담 ② 산림개발의 주권인정과 지속적 개발의 의무화 ③ 산림자원의 중요성 인식 제고 ④ 선진국의 산림보전과 재생에 대한 노력 경주 ⑤ 산림에서 얻는 생물자원, 유전자재료의 소유권 및 생명공학

기술과 이익의 공유권 인정 ⑥ 원목벌채 제한에 의한 재정적 손실과 보전비용 보상 ⑦ 산림을 위협하는 대기오염물질의 규제

D. 생물(학적) 다양성 협약

(Convention on Biological Diversity)

87년이후 UNEP주관으로 과거 2년간 5차에 걸친 국가간 협상회의에서 협약을 채택하고 UNCED에서는 6월6일부터 서명을 시작하였으며 한국은 6월13일 154번째로 서명국이 되었다. 미국은 서명을 거부하였다. 이 협약은 전문과 42개 조항, 2개 부속서로 되어 있으며 주요내용은 다음과 같다.

① 동정과 모니터링 ② 현지내 및 현지외 보전 ③ 생물학적 다양성의 구성성분의 지속적 이용 ④ 영향평가 및 부작용 최소화 ⑤ 유전자원에의 접근과 기술에의 접근 및 이전 ⑥ 생명공학의 취급과 이익배분 ⑦ 재원 및 재정기구 설정

2. 리우환경회의의 의미

A. 환경가치관의 대전환

<환경과 개발의 대립에서 공존으로>

과거 30년간 환경주의(Environmentalism)의 발전은 환경우선주의로 전개되어 왔다. 이에따라 오존층보호를 위한 비엔나협약(1985)과 몬트리올의정서(1987), 유해폐기물의 국가간 이동과 처분규제에 관한 바젤협약(1989), 멸종위기의 위험이 있는 생물종의 국제교역에 관한 협약(CITES, 1973) 등이 이루어졌다.

이번 리우환경회의는 처음으로 환경을 단순한 환경만의 문제가 아닌 정치, 사회, 경제적문제로, 정리하고 「환경이 지탱할 수 있는 개발」(Environmentally Sound and Sustainable Development)을 새로운 목표로 설정하였다.

그런데 한국은 1962년부터 경제개발 5개년 계획을 시작하여 금년이 30주년이 되는 해로서 이같은 지구환경운동의 발전

환경무기, 무역규제(Green Round) 대두되

사와 비교할때 우리에게 시사하는 바가 크다.

B. 신국제질서로의 이행

<동·서에서 남·북의 문제로>

산업혁명이후 자원의 제한성을 무시한 대량 생산기술이 자연을 파괴하고 또한 무절제한 경제성장과 대량소비를 미화시킨 개척경제(Frontier Economics) 정신이 이를 유도하는 한편 환경오염을 누적시켰다. 이런 과오를 인정하기 시작한 것은 1960년대 후반 부터이며 경제발전을 이룩하고 풍요한 삶을 영위하는 선진국(北)이 환경운동을 주도하고 있다.

그러나 수준이하의 삶 밖에 없는 "제3세대" (南) 등은 빈곤속에 허덕이고 있으므로 환경이전의 생존문제가 선결과제이며 "개척경제"를 추구할 수 밖에 없는 현실이다. 따라서 지구환경오염의 역사적 책임이 있는 "북"이 비록 정의로운 명제이기는 하나 "남"에 환경보전을 의무화하려 할때, "남"은 전과자인 "북"에 기술지원과 재정부담을 요구하는 것이다.

이것이 냉전의 종식과 함께 찾아온 신국제질서로의 이행에서 환경주의의 원칙에는 찬동하나 그 실천방안과 전략에 있어서는 남과 북이 소위 "환경이데올로기"로 대립되는 이유이다.

3. 환경과 무역규제의 연계

<우루과이라운드(UR)에서 그 리리운드(GR)로>

국제환경규제강화가 자유무역정신을 침해해서는 안된다는 일반조항이 선언되긴했으나 실익을 위해 힘으로 좌우되는 국제질서라는 원초적사실을 부인할수 없으며 환경을 무기로 한 무역규제(Green Round)의 대두는 명약관화하다.

우리는 오존층보호를 위한 일반 선언인 비엔나협약(1985), 그리고 오존층파괴물질 규제 시행을 규정한 부속 몬트리얼 의정서(1987)의 예에서 이런사실을 잘 알고 있다. 기후변화협약, 생물다양성협약

등도 곧 부속의정서의 협의, 채택으로 규제가 뒤따를 것이고, 그 시기는 지금의 예상보다 더 빨라질 것으로 본다.

4. 기술 패권의 재확인

리우환경회의에서 가장 논란이 됐던 것은 기술이전과 재정분담이다. 재정은 금전적 부담이라는 단순한 내용이나 기술이전 문제에 있어서 양보가 없고 또 기술력을 바탕으로 환경외교가 이루어져 기술패권주의가 다시한번 확인되는 기회가 되었다.

미국이 국내 생명공학산업을 보호하고 기술이전을 기피하기 위하여 생물 다양성 협약에는 서명을 하지 않으면서도 CFC의 생산, 사용을 1996년부터 전면 금지한다고 몬트리얼의정서의 일정보다 5년 앞당겨 독자적으로 발표하는 것은 CFC 대체 기술을 확보하고 있기 때문이다.

기후변화협약도 CO₂가스의 배출을 1990년도 수준으로 2000년까지 규제한다는 다른 선진국들의 주장을 미국은 반대, 2000년까지라는 시한을 삭제하여 채택하기에 이르렀으나, 미국이 자국내 기술현황을 정밀조사하여 확신이 서면 어느때라도 시한 설정에 동조할것으로 예견된다. 이런 사실은 과학기술력이 환경외교력 즉 국력 밑거름임을 입증하는 자료이다.

5. 한국 환경위상의 재발견

리우환경회의가 특히 한국에게 주는 의미는 무엇인가를 음미해 볼 필요가 있다. 언론의 관심과 협조로 우리들 의식에도 큰 변화가 오고 있는 것은 사실이나 "남비"(NIMBY) 현상이 아닌 "냄비" 현상으로 끝나지 않기 위해서는 지속적인 노력이 필요하다. 이는 정부만의 책임은 물론 아니다.

리우환경회의는 국가대표들간의 UN-CED, NGO 들의 Global Forum, 의회 및 정신지도자들의 회의, 그리고 환경기술 박람회등 4개의 행사가 동시에 열렸는데 의의가 있다. 환경운동의 방향을 제시

하는 주체는 민이며, 정부는 이의 수행자, 그리고 그 수행수단인 기술을 제공하는 것이 산업계에 있음을 시사한다. 본다.

이런 전제하에서 보면 환경오염의 실상과 환경문제에 대응하는 한국의 환경위상은 경험미숙과 기술부족으로 후진성을 벗어나지 못하고 있으나, 중진국으로서 발전의 가능성도 재발견하였다고 본다.

II. 지구온난화와

CO₂ 배출현황

1. 지구온난화 현상

지구대기의 평균기온이 상승하고 있는 것은 분명한 현상으로서 그 증거가 계속 축적되고 있다.(그림 1 참조)

① 지구 연평균 기온 과거 100년간 0.5도 상승 ② 과거 140년간의 연평균 기온 중 상위 6년이 1980년대 이후에 출현(최고기온 순으로 1990, 1988, 1983, 1944, 1989, 1981) ③ 지구의 1990년 연평균 기온은 기온 측정 이래 최고치

한반도 기후 변화(1931년 이후 30년 평균 기온비교, 기상청 자료)

구분	강릉	서울	울릉도	추풍령	대구	울산	광주	부산	제주
1931-60	12.1	11.1	12.0	11.5	12.6	12.8	12.8	13.4	14.7
1961-90	12.5	11.8	12.0	11.5	13.2	13.5	13.2	13.6	15.3
차이	+0.4	+0.7	0.0	0.0	+0.6	+0.7	+0.4	+0.2	+0.6

지구온난화의 원인은 온실효과가스의 농도 증가 때문이라는 것이 정설로 굳어지고 있다. 물론 과학적 시뮬레이션에 의한 증명은 아직 이루어지지 않고 있으며 태양 흑점 활동설, 화산활동설, 간빙기설(間氷期說) 같은 학설이 없는것은 아니다.

온실가스 농도의 증가추세

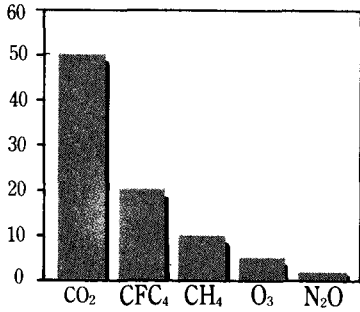
	산업혁명전	1990년
CO ₂	275ppm	354ppm
메탄(CH ₄)	0.75ppm	170ppm
CFC 12	0	440ppt
CFC 11	0	260ppt
N ₂ O	228ppb	310ppb
오존(O ₃)	15ppb	35ppb

온실효과 가스의 지구온난화 기여도(단위% : 1950년~1985년)는 다음 그림과 같다.

CFCs도 온실효과에 20%정도 기여하

〈그림 1 : 지구평균기온의 상승〉

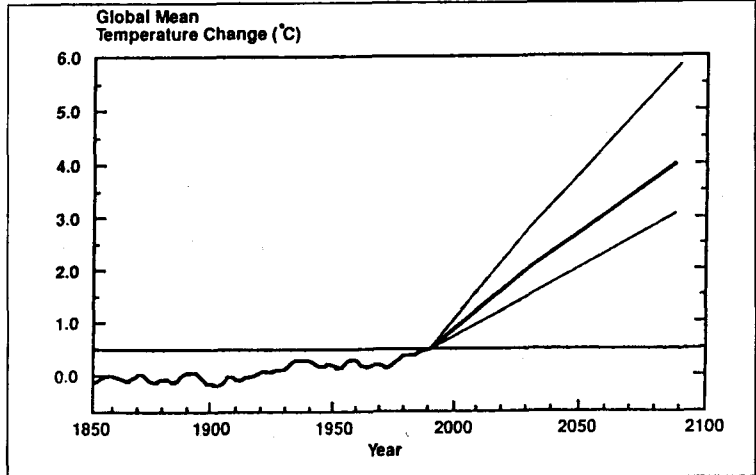
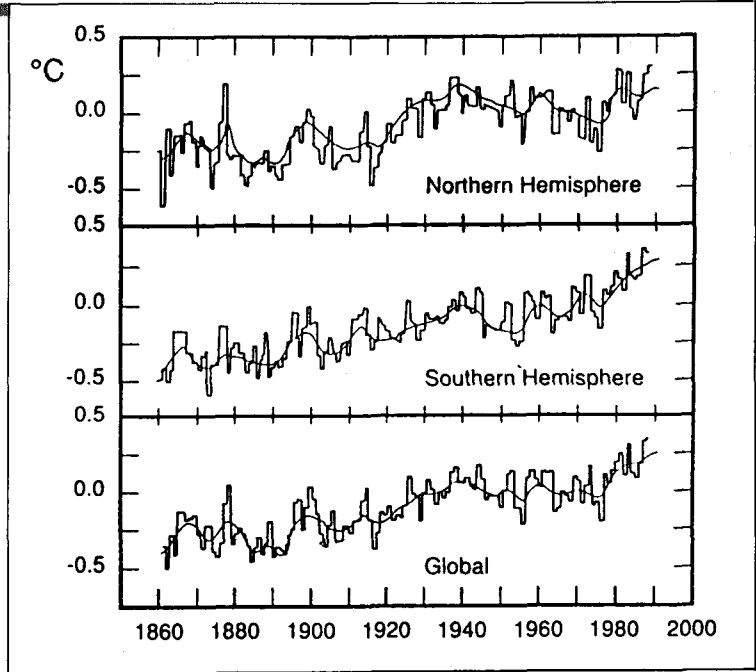
CFE대체기술확보 미국은 사용금지 독자적 발표



는 물질이나, 비엔나 협약(1985년), 몬트리얼의정서(1987년)의 제정으로 오존 파괴의 주범으로 밝혀진 CFCs의 사용이 1999년까지 금지될 예정이어서 기후 협약에서는 주요 논의의 대상이 아니며, 메탄(CH₄)과 아산화질소(N₂O)는 자연배출원이 많아 인위적으로 억제하기가 어렵다. 따라서 지구온난화에 50%이상 기여하는 이산화탄소(CO₂)가스의 배출량조절이 현안 문제로 대두되고 있는 것이다.

세계기상기구(WMO)와 유엔환경계획(UNEP)이 공동으로 기후 변화에 대한 예측과 대응전략을 강구하기 위한 연구조직으로 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)를 1988년에 설립하였는데 1990년 8월의 1차보고서의 주요내용을 소개한다.

① 전지구 평균 기온상승 10년당 0.3도 (불확실 범위 0.2~0.5도) 예상 ② 2025년까지 1도, 다음 세기말까지 3도 상승 예상〈참고〉 1960~1990년 30년간 서울 제주도의 연평균 온도차 3.6도 ③ 고위도 지방의 기온 상승이 더욱 현저할 것임. 현재의 수준으로 온실가스의 농도를 안정시키려면 이산화탄소 배출량 60%, 메탄 15~20% 삭감 필요성 ④ 육지의 기온상승은 해양 온도 상승보다 높을 것임 ⑤ 2030년까지 해수면 20cm, 다음 세기말까지 65cm상승 예상 ⑥ 해수면 상승은 지



역적 차이가 클 것임 ⑦ 저지대와 섬나라의 주거 불가능 가능성

전세계 CO₂ 배출증가율은 연 1.7%이 나, 우리나라는 연 3.0%로서 2020년에는 현재의 G7국가의 평균수준에 이를 것으로 예상된다.

2. CO₂ 배출현황

A. 각국의 CO₂ 배출량

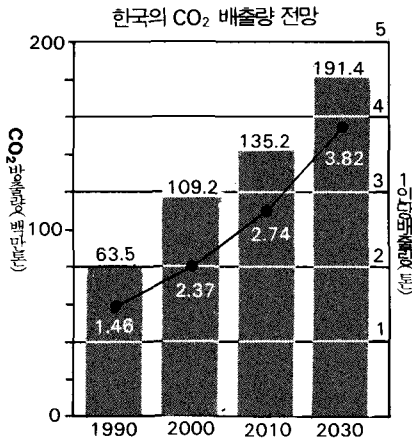
주요국가의 CO₂ 배출량은 다음표와 같다. 이산화탄소 배출총량은 미국, 소련, 중국, 일본의 순이며 1인당 배출량은 북미(미국, 캐나다), 구소련, 독일의 순이다. 한국의 1인당 배출량은 탄소 환산 1.42톤(1990년 기준)으로 이미 세계 평균치 1.2톤을 상회하고 있다.

B. 한국의 이산화탄소 배출현황과 전망

	총배출량 (100만톤, 탄소환산)	비율 (%)	1인당 배출량(톤)
미 국	1,310.2	22.23	5.3
소 련	1,086.0	18.43	3.8
중 국	609.9	10.35	0.56
일 본	269.8	4.58	2.2
서 독	182.7	3.10	3.0
인 도	163.8	2.78	0.2
영 국	152.5	2.59	2.7
폴란드	125.3	2.13	3.3

지구평균기온 다음세기말 3도 상승

캐나다	119.4	2.03	4.6
이태리	98.1	1.66	1.7
동독	89.3	1.52	5.4
프랑스	87.3	1.48	1.6
멕시코	83.7	1.42	1.0
남아프리카	77.5	1.32	2.3
체코	64.7	1.08	4.1
루마니아	60.2	1.02	2.6
한국	55.8	0.95	1.3
브라질	55.2	0.94	0.4
스페인	51.5	0.87	1.3
전세계	5,893	100	1.2



산업부문별 배출 전망(단위 %)은 다음 표와 같은 바 산업부문 및 발전부문의 CO₂ 배출량 급증이 예상된다.

연도	1990	2000	2010	2030
산업	36.9	35.4	36.9	38.9
수송	17.9	24.1	24.7	20.5
가정·상업	29.0	17.1	15.1	11.3
발전	16.1	23.4	23.3	29.3

III. 기후변화협약과 당면 에너지과제

1. 기후변화협약

(Framework Convention on Climate Change)

A. 기후협상회의 연혁

개최 시기	장소	회의명 또는 주요내용
85.11	필라하 (오스트리아)	온실효과 가스의 기후변화, 영향평가
87. 9	필라하	기후변화에 대한 과학적 평가 및 영향 평가
87.11	벨라지오 (이태리)	변화하는 대기에 대한 세계회의
88. 6	토론토	기후와 개발 국제 회의
88.11	함부르크	IPCC 1 차회의
89. 2	제네바	IPCC 2차회의
89. 6	나이로비 (케냐)	온실효과가스 배출을 줄이기 위한 에너지기술 (전문가 세미나)
89. 4	파리	IPCC 3차회의
90. 2	워싱턴	IPCC 4차회의, 중간보고서 발표
90. 8	산스발 (스웨덴)	기후협상에 대한 준비 회의
90. 9	제네바	제2차 세계 기후 회의, 국제협약 및 기후변화 협약 제정을 촉구하는 각료선언
90.11	제네바	제45차 UN총회, 정부간 협상위원회를 구성하여 기후변화에 대하여 협상을 하도록 결의
90.12	뉴욕	INC 1차회의
91. 2	와싱턴	INC 2차회의
91. 6	제네바	INC 3차회의
91. 9	나이로비	INC 4차회의
91.12	제네바	INC 5차회의
92. 2	뉴욕	UN 환경개발회의 (기후변화협약 서명)
92. 6	리우데자 네이루	

B. 기후변화협약 개요

지난 2년간 5회에 걸친 정무간 협상회의를 거쳐 최종 합의안이 채택되었고 이번 UNCED에서는 6월 5일부터 서명이 시작되어 한국도 6월 13일 152번째 국가로 서명하였다.

기후변화협약은 전문과 26개 조항, 2개 부속서로 구성되어 있으며 지구온난화 현상을 유발하는 온실효과 가스를 안정화 시킴으로써 기후변화를 방지하는데 목적이 있다. 주요 내용은 다음과 같다.

<협약전문>

① 선진국의 역사적 책임, 개도국의 온실가스 배출증가 인정 ② 각국의 차별적 책임, 능력에 따른 온난화 방지 협력 ③ 화석연료 과다 의존국의 특별한 어려움 인정

<주요내용>

① 국가별 배출 및 흡수량의 주기적 공표 ② 온실가스 저감, 대체기술이전과 재정지원 ③ 특수지역, 특수입장 국가에 대한 고려 ④ 기후변화 방지 목적으로 무역 규제 방지 ⑤ 선진국은 CO₂ 배출량을 1990년도 수준으로 제한 ⑥ 1990년도 이후 취해진 온실가스 흡수량을 증가시킨 국가는 동량의 가스 배출량 크레딧 인정

C. 주요협상내용 및 의무조항

각국은 경제수준, 자원 및 기술보유여부, 지구온난화와 온실가스가 미치는 파급 효과에 따라 온실가스 감축시기 및 감축 규모, 재정지원 및 기술이전 등에 관하여 참여하게 대립하고 있다.

주요 내용 및 결과는 다음과 같다.

① 온실가스 감축목표: 개도국- 선진국만 즉각동결, 선진국- 배출량을 2000년까지 1990년 수준 감축(미국은 모든 온난화가스 규제 대상 포함 할것과 특정년도까지의 규제목표설정 반대), 결과- 선진국은 2000년까지 90년수준 동결 노력(OECD 및 동구권국가 포함).

② 재정지원: 개도국- 재정지원기구 및 기금설립, 선진국-ODA, GEF, IDA 등 기존 국제기구의 기금 증액, 결과- 기존기구확대 및 민주적 운영.

③ 기술이전: 개도국-비상업적특혜 조건, 선진국-상업적조건, 결과-기술이전 촉진 노력.

선·후진국의 의무조항

항목	일반의무(특수의무)
적용대상	협약가입국(협약가입국중 OECD회원국 및 동구권 국가의 추가 의무)
통계작성 및 제출의무	CFC를 제외한 온실가스의 인위적 배출규모 및 제거량
국가 전략추진	온난화방지 및 적응력 제고를 위한 계획수립 및 실현 공표 (정책효과와 보고)
협력사항	온실가스 저감기술 및 공정의 개발 온실가스 흡수원관리, 보호 및 증진 적응능력 개발을 위한 계획 수립 국가정책에 기후변화문제 포함
보고의무	협약발효후 3년내(협약발효후 6개월 이내)

D. 향후전망

대부분의 선진국들은 미국의 참여를 유도하기 위하여 상당히 완화된 협약만을 받아들였으나 조만간 개시될 의정서협약에서는 본래의 입장을 관철하기 위하여 노력할 것이다. 참고로 OECD 국가들의 온실가스 감축계획은 다음 표와 같다.

지구협약 의정서관련 협상에서는 다음의 사항을 주로 논의할 것으로 예상된다. ① 온난화가스의 규제시기, 감축량 ② 각국의 책임감축량 분배 ③ 의무불이행 국가에 대한 규제 ④ 탄소세와 오염권 판매 제도의 범세계적인 도입여부

참고로 지금까지 논의된 CO₂ 배출규제안을 요약 소개한다.

① 탄소세(또는 Energy Tax) 부과 (EC 국가): 화석 연료의 배출을 억제하기 위하여 EC에서 1993년 부터 실시키로 결정된 안으로 2000년까지 원유 배럴당 \$ 10까지 부과하기로 결정

② Emissions Right Trading: 각국의 배출량을 할당하고 허가를 거래할 수

서울기온, 지난 60년간 0.7도 상승

있도록 하는 안으로 할당량을 정하는데 큰 어려움이 있음.

③ 개도국의 이산화탄소의 배출 증가율을 3%이하로 억제하는 방안: 선진국에서 이산화탄소의 배출을 감축하는 대신 개도국에서는 생활수준을 높이기 위해 어느 정도의 배출 증가를 허용하여야 한다는 안

④ 1인당 이산화탄소의 배출을 2톤 이하로 정하는 안(프랑스 제안): 자국의 1인당 배출량이 2톤 이하인 점을 의식하여 발표한 안으로 원자력발전기술 및 설비를 수출하려는 의도

2. 당면 에너지 과제

A. 에너지 절약 목표의 설정

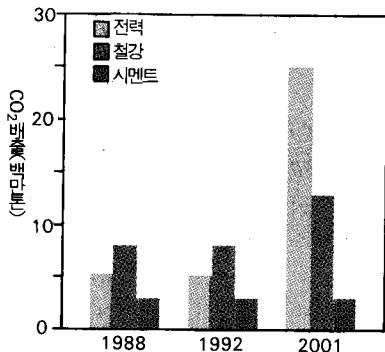
① 정부는 각 에너지 사용부문(예, 산업, 수송, 가정, 건설, 전기부문등)의 실현 가능한 에너지 절약 목표를 설정하여 실현이 되도록 강력히 추진함

② 에너지 사용 효율 향상과 에너지 절약에 대해서는 기업체의 경쟁력 강화 차원에서 적극적인 연구 개발이 필요함.

B. 에너지다소비산업의 특별관리

에너지를 다소비하는 발전, 제철, 시멘트 제조 부문은 앞으로도 CO₂ 배출이 많은 화석연료, 그 중에서도 유연탄 의존 비중이 크므로 관리대책이 필요하다.

한국의 유연탄으로 부터의 CO₂ 배출량 전망은 그림과 같다.



C. 연료의 전환

화석연료의 CO₂ 발생량 원단위

	CO ₂ 원단위량 (단위: g/kcal)	비율
석탄	0.366	1.0
석유	0.295	0.806
천연가스	0.211	0.577

LNG발전으로의 전환과 원자력 발전의 확대가 CO₂가스 배출량을 줄이는 확실한 방법이지만 대국적인 견지에서 검토와 심층 분석이 이루어져야 할 것이다.

D. 대체에너지개발 및 사용연구

대체에너지는 이산화탄소의 배출량이 없거나 상대적으로 적지만 현재 상황으로 보면 에너지 총량적으로는 큰 효과를 기대할 수 없는 실정이다.

이 문제는 에너지사용에 대한 우리의 선택의 여지를 넓혀주고 부차적으로 에너지 절약효보의 장점이 있으므로 장기적

국가명	온실가스	계획내용	기준년도	목표년도	비고
호주	NMP	안정화	1988	2000	잠정목표(다른 나라도 비슷한 조치를 취할 경우)
	GHG	20%감축	1988	2005	
오스트리아	CO ₂	20%감축	1988	2005	국회 계류중
	CO ₂ 와 다른GHG	안정화	1990	2000	CFCs는 97년 메틸클로로폼은 2000년 기타 물질 2005년 까지 사용금지
덴마크	CO ₂	20%감축	1988	2005	실행계획
프랑스	CO ₂	안정화	1990	2000	년간 1인당 2톤기준
독일	CO ₂	25%감축	1987	2005	
이탈리아	CO ₂	안정화	1988	2000	구속력은 없는 계획
		20%감축	1988	2005	
일본	CO ₂	안정화	1990	2000	1인당 기준
네덜란드	CO ₂	안정화	89/90	1995	단독으로 시행중
		2-5%감축	89/90	2000	
영국	ALL	20%-	89/90	2000	단독으로 시행중
	GHG	25%감축			
미국	CO ₂	안정화	1990	2000	2005년에GWP20% 감축(1990년 기준)
	ALL	안정화	1990	2000	CFCs는 이미 안정화
EC	GHG				
	CO ₂	안정화	1990	2000	공동체 전체의 목표

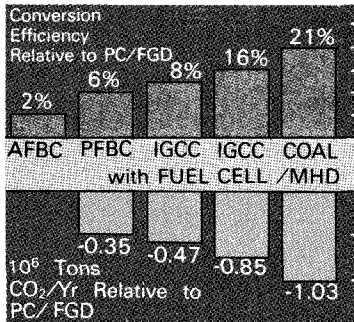
NMP: Non-Montreal Protocol
GWP: Global Warming Potential

안목에서 추진되어야 할 것으로 생각한다.

E. 발전 시스템 효율의 향상

석탄을 발전 연료로 사용한다고 하더라도 효율이 높은 발전 시스템을 채용함으로써 단위 발전량당 CO₂배출을 감소시킬 수 있다.

발전시스템에 따른 CO₂ 배출량 저감



- * PC/FGD : 미분탄 연소/배연가스 탈황
- AFBC : 심압 유동층 보일러
- PFBC : 기압 유동층 보일러
- IGCC : 석탄가스화 복합 발전
- MHD : Magnetohydrodynamics

IV. 이산화탄소

연구개발 과제

1. 관련기술현황

흡수법

이산화탄소를 배기가스로 부터 분리하는 기술은 천연가스 처리, 암모니아 제조 공정 등에서 이미 실용화 되어 있는 것이 있다. Monoethanolamine, Sulfinol, Aminol 등 흡수제에 이산화탄소를 흡수시킨 후, 흡수제의 온도나 압력을 변화시켜서 이산화탄소를 탈착시켜 회수하는 기술이다.

흡착법

흡수법과 더불어 사용되는 방법으로는 흡착법이 있다. 흡착법을 이용한 이산화탄소의 분리는 이산화탄소의 흡착 선택성이 높은 흡착제(molecular sieve, zeolite, 활성탄등)를 사용한다. 일본의 제철소에서 흡착법을 사용중인데 중·소규모 시설의 적용에 적합하다.

처분·저장기술

회수된 이산화탄소는 심해에 저장하는 방법과 천연가스나 기름 폐광에 처분하는

에너지다소비업 특별관리 서둘러야

방법이 부각되고 있다.

심해에 처분하는 방법은 이산화탄소를 고압에서 액화시킨 후 심해로 수송하면 이산화탄소는 해저에 pool을 형성하여 오랜 기간 동안 안정한 상태로 있는 성질을 이용하는 것이다. 그러나 장기적으로 볼 때 해양 순환의 변화가 있을 수있고 또한 이산화탄소가 해수에 용해됨에 따른 해양 생태계에의 영향은 아직 알려지지 않은 관계로 연구의 여지가 남아 있다.

유전에 저장하는 방법은 수십년 동안 저장이 가능하나 대량의 장기저장은 유전의 용량이 제한되어, 단기적으로는 심해에 처분하는 것보다 경제적이지만 잠정적인 방법일 수 밖에 없다. 전문가들의 추산에 의하면 이산화탄소 90% 제거·처분시 화력발전소의 발전원가를 30~100% 상승시켜서 실제로 이러한 기술을 적용하는데는 문제가 있다.

2. 국제 연구개발 동향

이 분야 연구에 가장 활발한 나라는 일본으로서 1990년부터 통산성 산하 신에너지·산업기술총합개발기구(New Energy and Industrial Technology Development Organization : NEDO)의 총괄 아래 이산화탄소의 배출을 저감하기 위한 프로젝트를 수행하고 있다.

이 연구에 필요한 연구비는 에너지 특별회계(석유대책, 보조금)와 일반회계(NEDO의 출자금)로 충당하고 있으며, 지구환경산업기술연구기구(Research Institute of Innovative Technology for the Earth : RITE)의 CO₂ 고정화 등 프로젝트실을 중심으로 산·학·연 공동연구 체제를 구축하여 40여개의 협력업체와 국립연구소, 대학의 공동연구로 활발한 연구를 진행 중이다.

국제에너지기구(International Energy Agency)는 온실가스 배출 저감을 위한 연구개발 프로그램을 1991년에 설립하였다. 참여국가는 미국, 캐나다, 일본, 스

칸다나비아 4국, 네덜란드, 스페인, 이태리이며 독일, 스위스 및 기타 몇몇 국가들이 참여할 예정으로 있다.

일본공업기술원에서 현재 수행중인 이산화탄소 관련 연구를 소개하면 다음과 같다.

A. 인공광합성에 의한 이산화탄소 고정화

- ① 금속담체를 촉매로 탄산가스 고정화 연구
- ② 이산화탄소 환원 반응 연구
- ③ 신에너지를 이용한 이산화탄소 리사이클 자원화 기술(화학기술연구소, 공해자원연구소, 오사카 공업기술 시험소)

B. 조류에 의한 CO₂ 고정화

- ① 조류에 의한 이산화탄소 고정능력 연구
- ② 이산화탄소 실용 계측 연구
- ③ 염조류의 광합성 기능 개발에 관한 연구(미생물공업기술연구소, 계량연구소 화학기술연구소)

C. 산호초 이산화탄소 고정에 관한 연구

- ① 산호초 이산화탄소 고정능력에 대한 연구
- ② 이산화탄소를 억제하는 해양생물 공학에 관한 연구(지질조사소, 전자기술 종합연구소)

D. 산업기원의 이산화탄소방출 저감기술 분석 모델의 구축(공해자원연구소, 전자기술종합연구소)

E. 이산화탄소의 분리기술 연구

- ① 무기충상화합물 및 석탄계 흡착제를 이용한 이산화탄소의 회수에 관한 연구
- ② 순환유동층을 이용한 배가스중의 이산화탄소 흡수에 관한 연구(공해자원연구소, 분해도공업개발 시험소)

3. 새로운 기술들

A. 이산화탄소 분리 기술

분리막을 이용한 탄산가스의 분리에 관한 연구는 시작 단계이며 가스의 투과율 차이를 이용하여 이산화탄소를 농축시킬 수 있다. 이 기술의 중점은 선택성이 좋은

연료전환, 대체에너지 개발연구 시급

막 소재를 개발하고 이를 모듈화하여 가압 연소공정에 적용이 가능케 하는 것이다.

이미 이산화탄소 분리, 농축을 위한 막 소재에 대해서 특허가 등록된 것이 있고 외국 회사에서 고분자 막을 사용한 모듈을 발표한 바는 있다.

B. 이산화탄소 처분 기술

CO₂를 액화시켜서 심해 및 유전에 처분하는 기술 이외에도 해수중 Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ 이온을 이용하여 CO₂ 고정화시키는 방법, 해양에 직접 흡수 시키는 방법들에 대한 연구가 진행중이며 산호초 등 해양 생물을 이용하여 이산화탄소를 석회석으로 침전시키는 방법등이 연구되고 있다.

C. 이산화탄소 식물 고정화기술

해양 또는 육상(陸上)의 식물을 이용한 광합성(光合成)을 통하여 이산화탄소를 고정시키는 기술이다.

해조류와 켈프 같은 대형 해조류, 갈조류, 플라랑톤 같은 미세 조류까지 연구대상이 되고 있으며 광화이버로 태양 빛을 해저로 전달시켜 대량 생산 후 이를 사료로 이용하는 기술이 주목되고 있다.

육상의 경우는 식물이 기본 요소이지만 광합성 효율이 높은 식물을 유전자 조작 등 생물공학 기술로 개발하는 것도 필요하다. 그러나 실용화까지는 앞으로 30~50년이 더 걸릴 것으로 보인다.

D. 인공광합성 기술

인공광합성이란 식물이 호흡에 의해서 이산화탄소를 이용하여 광합성에 의해 유기물을 형성하는 사이클을 모방함으로써 산업체에서 배출된 이산화탄소를 인공적으로 고정화하여 탄소자원으로 재이용하는 구상이다.

광에너지를 이용하는 이산화탄소 고정화 방법은 광촉매를 이용하는 방법과 광전지를 이용하여 전기에너지로 변환시킨 후 전기화학적으로 인공광합성을 시도하는 방법이 있다.

또한 반도체 광촉매, 금속 콜로이드 촉매, 금속담체촉매등을 이용하여 이산화탄

소의 광화학적 환원 반응을 이용하여 포름알데히드, 아세트알데히드, 메탄올, 에탄올 등이 합성되는 것이 확인 되었으나 아직 수율이 낮아서 혁신적인 기술 개발이 필요하다.

E. 촉매 고정화/재이용 기술(새로운 CI 화학)

회수되는 이산화탄소는 그 양이 워낙 방대하여 처분, 저장하는데 비용이 많이 들기 때문에 이산화탄소나 광합성 생성물을 재이용이 가능한 물질로 변환 시켜서 연료나 화학원료로 재활용하는 것이 가장 바람직한 방법이다.

현재 가능성이 있어 보이는 분야로는 이산화탄소를 수소와 함께 촉매 반응을 일으켜서 메탄올을 합성하는 기술이다. 천연가스 개질화 반응이나 심야 여유 전력을 이용하여 전기분해로 얻은 수소를 공급하며 반응을 시키면 되고 합성되는 메탄올은 연료로 사용하든지 다른 반응의 원료로 사용하여도 된다.

CO₂는 화학적으로 매우 안정한 기체이어서 다른 유용한 물질로 변환시키기 어려운 반면, CO₂는 반응성이 있어서 소위 CI 화학의 활발한 연구대상이 되었다.

CI 화학은 분자의 탄소수가 하나인 일산화탄소, 이산화탄소, 메탄올을 원료로 다른 유용한 물질로 변환시키려는 연구이다. 따라서 배출되는 이산화탄소를 촉매 반응을 이용하여 효율적으로 일산화탄소로 변환시키면 일산화탄소는 유용한 물질로 변환이 비교적 용이하다.

일산화탄소를 변환시키는 기술은 촉매를 이용하는 화학적방법과 세균등을 이용하는 생물적방법이 있다. 화학적인 방법의 장점은 반응속도가 빠르고 제품의 종류가 다양하다는 것이고, 생물공정의 장점은 반응이 상온, 상압에서 일어나므로 운전비용 및 장치비용이 저렴하다는 것이다.

VI. 맺는 말

에너지와 환경은 같은 동전의 앞과 뒤

로서 환경보전의 최우선 과제는 에너지절약 및 에너지 이용의 효율화이다. 특히 지구온난화 문제로 CO₂ 가스의 국가별 배출량 규제가 예견되고 있어 에너지문제는 수급문제만 아니라 사용배분 문제까지도 확대되고 있다.

이것은 환경보전에 있어 동력자원부의 역할이 중요함을 의미하며 대체에너지 개발사업 및 에너지절약 연구개발사업과 국가 환경 과학기술개발 10개년 계획과의 긴밀한 연계, 조정이 필요하다.

에너지기술은 대형기술, 복합기술로서 연구개발에 있어 막대한 투자와 장기간이 소요되는 것이 특징이다. 따라서 에너지기술개발이 임기응변적 단계계획으로 가하자는 것은 착오이다.

1970년대 2차의 석유파동때 활성화되던 에너지 연구가 계속 추진되었다면 오늘에 와서 다시 들끓지 않아도 되지 않았을까 모두가 반성해 보아야 할 것이다.

기후변화협약과 관련한 CO₂ 배출규제 대응방안에 있어서는 우선 각 에너지 사용 부문별로 기존 기술로서 화석연료 감축 가능량과 CO₂ 배출저감량을 추가비용과 함께 정밀조사할 필요가 있다. 경제성 검토에 따른 여러 대안이 제시될 수 있는데, 여기에 에너지공학적 접근이 필수적이라고 확신한다.

참고문헌

1. 박원훈, "우리나라 환경과학기술의 오늘과 내일 - 리우회의의 의미와 반성 -", 과학기술단체총연합회 92정책포럼 주제발표, (1992. 7. 16)
2. 한문희, "UNCED의 개항과 산업계의 대응방안", 대한상공회의소 산업환경문제연구회 제3회 토론회 자료(1992. 7. 8)
3. 정진승, "지구온난화 규제의 경제적 파급효과 분석", 제1회 지구환경실무대체회의자료(1992. 7)
4. 박원훈, "에너지·환경관련 기술개발 방향과 추진전략", 21세기 에너지 관련 기술 개발 Workshop, 한국동력자원연구소(1990. 10. 23)