

대기오염관리의 새로운 접근방법

윤 명 조

사단법인 한국환경기술연구소

New Approach to Air Quality Management

Myong-Cho Yoon

Korea Environmental Research Institute

Abstracts

International concern over the environmental pollution is ever increasing, and diversified countermeasures must be devised in Korea also. Global trend, damages, problems and countermeasures with respect to issues mentioned in the Rio Declaration, such as prevention of ozone layer destruction, reduction of migratory atmospheric pollution between neighboring countries, and prevention of global greenhouse effect, were discussed in this report. Conclusion of the report is summarized as follows :

A. Measurement, Planning and Monitoring

(1) Development and implementation of a global network for measurement and monitoring from the global aspects such factors as related to acid rain(Pioneer substamces, pH, sulfate, nitrate), effect of global temperature(Air temperature, CO₂, CH₄, CFC, N₂O) and destruction of ozone layer(CFCs).

(2) Establishment of network system via satelite monitoring movement of regional air mass, damage on the ozone layer and ground temperature distribution.

B. Elucidation of Present State

(1) Improvement and development of devices for carbon circulation capable of accurately forecasting input and output of carbon.

(2) Developmental research on chemical reactions of greenhouse gas in the air.

(3) Improvement and development of global circulation model(GCM)

C. Impact Assessment

Impact assessment on ecosystem, human body, agriculture, floodgate, land use, coastal ecology, industries, etc.

D. Preventive Measures and Technology Development

(1) Development and consumption of new energy

(2) Development of new technology for removal of pioneer substances

(3) Development of substitute matter for CFCs

(4) Improvement of agriculture and forestry means to prevent the destruction of ozone layer and the greenhouse effect of the globe

(5) Improvement of housing to prevent the destruction of ozone layer and the greenhouse effect of the globe

(6) Development of new technology for probing underground water

(7) Preservation of forest

(8) Biomass

E. Policy Development

(1) Development of strategy model

(2) Development of long term forecast model

(3) Development of penalty charge effect and expense evaluation methods

(4) Feasibility study on regulations

By establishing the above mentioned measures for environmentally sound and sustainable development to establish the right to live for humankind and to preserve the one and only earth.

I. 서 론

1. 대기질관리의 배경

인간의 활동에 의하여 배출된 유해물질이 자연자원(물, 공기, 흙)을 오염시켜 피해를 주는 현상을 환경오염이라 정의한다. 따라서 자연자원인 공기를 오염시켜 피해를 주는 현상을 대기오염(大氣汚染, atmospheric pollution)이라 한다. 인간의 활동이라 함은 생산활동, 소비활동 및 폐기활동을 뜻하며, 유해물질이라 함은 인공시설에서 배출된 입자상 물질, 유해가스, 악취 등, 피해를 주는 물질이 대상이 된다. 그리고 피해의 범위는 공중보건학적인 면에서의 건강피해, 재산상 손실 그리고 생태계 훼손까지가 포함된다.

대기오염은 지구의 자연정화능력, 즉 자정능력 이상으로 오염물질을 대기로 배출함으로써 오염물질이 대기권에 축적되기 시작하여 대기오염이라는 현상이 발생하였다. 역사 기록상 처음 대두된 것은 13세기, 즉 1257년 영국 헨리 3세의 엘리노어 왕비가 굴뚝에서 나오는 매연이 불쾌하여 스코트랜드에 있는 노팅엄궁전으로 피신하였다는 것이 기록에 남아 있고, 1578년 엘리자베스 여왕은 매연이 심하기 때문에 웨스트민스터궁전 근처에서는 석탄을 연료로 사용하는 것을 금지시켰다고 기록되어 있다. 그러나 20세기에 들어 와서 세계 각 곳에서는 대기오염으로 인명피해를 받는 사건들이 발생하였다. 특히 1952년 12월 5일에 있었던 런던사건으로 초기에는 국지적인 오염이 특정지역에 피해를 주기에 사회문제가 되었다.¹⁾

2. 지구적 측면의 대기오염

캐나다의 Trail 제련소에서 배출된 아황산가스가 미국 국경넘어로 확산되어 피해를 주어 1932년에 미국측에 35만불의 피해보상을 주었다는 기록이 있다.^{2,3)} 이때만 해도 그리 흔한 사건이 아니었지만 근래 캐나다와 미국,⁴⁾ 그리고 유럽 각국간의 산성우로 인한 국가간의 분쟁, 즉 지역(국가)간의 오염물확산으로 어려움을 겪고 있는 실정이다. 우리나라에서도 4, 5월에 중국에서 편서풍을 타고 오는 황사현상이 안질환환자를 집단적으로 발생시키는 원인이 되고 있다. 이러한 사실을 미루어 봐서 앞으로 중국이 공업화 되었을 때 산성우가 우리나라에 확산 운반될 가능성이 높을 것으로 예측된다.

지구적 규모의 대기오염은 날로 국제문제화 되고 있다. 산업혁명 이후 이산화탄소의 농도는 점차적으로 증가되었으나 근래 급격한 증가로 280 ppm에서 2030년에는 전 대류권이 약 2배인 600 ppm으로 오염될 것으로 예측하고 있다. 이렇게 되었을 때의 결과에 대하여 UNEP(유엔환경계획), WMO(세계기상기구) 및 ICSU(국제학술연합)의 합동위원회는 지구의 온난화로 해수면의 변동, 세계 곡창지역의 복상, 이상기상의 발생, 그리고 해충과 질병의 발생 등을 예측하고 있음은 심히 우려되는 사실이다.

뿐만 아니라 성층권내 대기오염이 문제되고 있다. 1928년 미국에서 발명한 염화불화탄소(CFC, Chlorofluoro carbon)는 우리생활을 윤택하게 하여 주기 위한 제품생산에 유익하게 활용된다고 하여 '꿈같은 물질'이라고 호평 받았다. 그러나 이 물질은 성층권 25~

35 km 고도에 있는 오존층에 지구에서 발생한 지 10년 후에 도달하여 파괴함으로써 태양에서 방출되는 자외선을 차폐치 못하기 때문에 피부암, 백내장, 각막염, 시력장애 등의 피해를 가증케 한다.

3. 국제협약을 통한 대기질관리의 대응

이상과 같은 현상이 국제문제가 될 것으로 예측되어 1972년 6월 4일 스웨덴 스톡홀름에서 '유엔인간환경회의'(UN Conference on the Human Environment)를 113개국 대표들이 참석하여 인간환경선언(Declaration on the Human Environment)과 1973년의 유엔환경계획(UNEP)이 창립됨으로써 국제환경문제에 관한 협의가 본격화되었다. 그후 1987년 9월 오존층 파괴물질에 관한 몬트리올 의정서가 채택되어 1989년 1월 1일에 발효되었고, 1988년 11월에는 유엔환경계획과 세계기상기구(WMO)가 주관하여 기후변화에 관한 정부간협의회(IPCC)를 설립하여 대기오염에 관한 유엔의 지구환경에 대한 관심을 피력하였다. 한편 국지적 대기오염이 문제되어 1975년 구주안보회의에서 스웨덴 등 북구대표들이 국경을 넘는 대기오염(Transboundary air pollution)을 공식 제기하여 1979년에 협약의 골격을 마련, 1983년 3월에 발효되었음은 대기환경을 다룬 최초의 다자국간협약이라는 면에서 매우 뜻있다고 본다.⁹⁾

환경선언 10주년이 되는 해인 1982년에는 '인간도 자연의 일부이며 문명도 자연에 기초하고 있음'을 천명하고 '문명의 경제, 사회, 정치적 구조의 존망은 자연과 자연자원의 보존에 좌우된다'고 선언한 세계자연

헌장(World Charter for Nature)을 채택하였다. 그리고 20주년 되는 1992년 6월 2일~14일에 브라질 리우데자네이로에서 114개국 국가정상급 및 행정부 수반을 포함한 178개국 정부대표 8,000명, 6,000여 민간단체 그리고 7,000여 언론인들이 모인 거대한 회의였음은 잘 알려진 사실이다. 이 유엔환경개발회의(UNCED: UN Conference on the Environment and Development)에서는 유명한 리우선언과 그 실천계획인 의제 21(Agenda 21)을 채택하였다.

이 선언은 '환경적으로 건전하고 지속가능한 개발(ESSE: Environmentally Sound and Sustainable Development)'의 구현을 위한 지구환경질서의 기본규범으로서 전문과 27개 원칙으로 구성되어 있다. 리우선언의 구체적 실천계획인 의제 21은 4부 38개 분야를 규정함으로써 지구환경보호를 위한 광범위하고 포괄적인 이행체계를 확립하였다. 제2부는 개발을 위한 자원의 보전관리로서 13분야 중 가장 중요시 다루고 있는 '대기보호'는 대기에 영향을 미치는 제반활동에 대한 이해의 증진 및 각종 대응책의 경제사회적 결과에 관한 불확실성의 해결, 환경적으로 건전하고 지속가능한 개발의 촉진, 오존층파괴방지, 국가간 이동성 대기오염 저감을 위한 방안과 규정 등의 과제를 제시하고 있다. 여기에서는 지구온난화에 대한 직접적인 표현은 없으나 취약생태계 분야 등의 내용을 종합한다면 암시적으로 제시하고 있다고 할 수 있다.

급변하는 환경오염에 대한 국제적인 관심에 대해 우리나라도 다각적인 방향에서 이 문제에 대해 대응책을 강구하지 않으면 안

된다고 본다. 리우선언에서 언급한 오존층파괴방지, 국가간 이동성 대기오염저감 그리고 지구온난화방지에 대하여 세계적동향, 피해와 문제점 그리고 대응과 과제를 제시코저 한다.

II. 국가간 이동성 대기오염 (산성우)

1. 세계적 동향

산성우가 처음으로 문제로 대두되기 시작한 것은 1852년 영국의 화학자인 Smith(1817~1884)가 석탄연료 사용으로 인한 맨체

스터의 검은 하늘과 그 지역 빗물과의 연관성을 처음으로 주장하였고 1872년에 자신이 작성한 논문 "Air and rain : Beginnings of Chemical Climatology"에서 산성우(Acid Rain)라는 말을 최초로 사용하였다. 그 후 국가간의 분쟁으로 처음 대두된 것은 미국과 캐나다간의 산성우로 인한 분쟁으로 1909년 '국경수조약'(Boundary Water Treaty of 1909)에 의해 설치된 국제합동위원회(IJC : International Joint Commission)에서 이 문제를 다루었다.

1956년 스톡홀름 국제기상연구소에서 유럽 대기중의 토양에 미치는 영향을 연구하

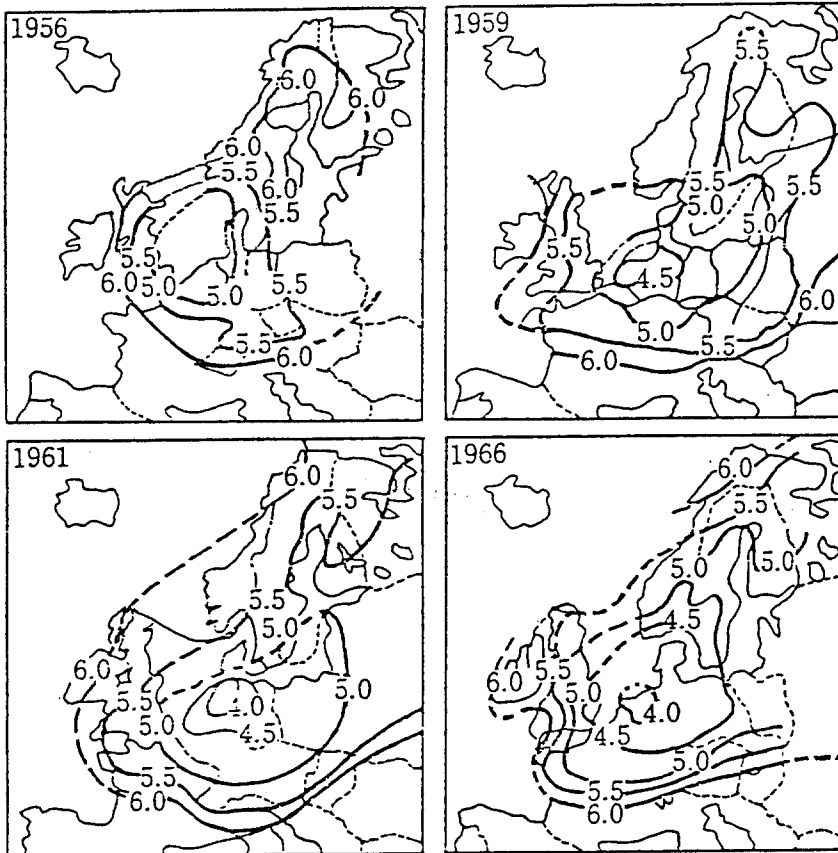


그림 1. 유럽제국의 산성우로 인한 pH 오염분포와 경년변화

였고, 캐나다의 생태학자인 Eville Corham 은 산성우가 토양과 호수에 영향을 준다는 논문을 발표한 바 있다. <그림 1>은 유럽제국에서 측정된 우수의 pH 오염도로서 독일과 네델란드를 중심으로 확대하고 있는 것을 알 수 있으며 나날이 심해지고 있는 것이 확인된다.” 한편 1968년 스웨덴의 Svante Oden 이라는 화학자가 “대기와 강우의 산성화와 이것이 자연환경에 미치는 영향”이라는 논문을 통해 산성우 이론이 인정받게 되었다. 따라서 1972년 UNCED에서 산성우에 관한 의제가 국제사회에 대두되었다.

1978년 캐나다-미국, 양정부는 광역 대기오염에 관한 연구협의위원회를 발족하였으며 1979년 “월경 대기질에 관한 공동선언”을 발표했으며 1980년 8월 산성우 문제를 다루기 위한 ‘의향각서’를 교환하였다. 이 각서는 조약도 아니고 행정협력도 아니지만, 양국 정부가 국내의 대기오염 규제정책을 수행한다는 선의의 약속이라 할 수 있다. 또한 1983년에 “미국-멕시코 사이 국경지역의 환경보호와 향상을 위한 협조 협정”이 체결되어 국경지역의 환경문제를 다룬 포괄적인 협정이라 할 수 있으며 1987년 양국 국경지역의 제련소에서 야기되는 대기오염문제가 해결됨으로써 환경보호협력이 국가간에 이루어진 성공한 중요한 사례라고 하겠다.⁵⁾

1987년 우리나라 국립환경연구원에서는 백령도에서 내리는 강우를 조사하였더니 서해안 지역에서 측정된 강우중의 pH는 5.6이었으나 동기간의 백령도의 pH는 5.0으로서 산도가 높다는 뜻은 중국본토에서 배출된 산성우와 선구물질이 서쪽에서 불어 오

는 기류에 의하여 확산이동되었음을 입증하고 있다. 한편 1989년 우리나라에서도 동참 발표한 바 있지만 일본 金澤(Kanazawa)市에서 ‘環東海域にける酸性雨-雪’을 주제로 개최한 국제학술연구 공개 심포지엄을 개최한 것도 동해역의 인근 제국가간의 대기오염물질의 장거리수송 실태를 해명코저 하는 것에 뜻이 있다고 본다.⁶⁾ 이러한 국제적인 협력관계는 국가간 이동성 대기오염문제를 국제적인 협력으로 더욱 효과적으로 대기오염문제를 해결하고자 하는데 그 목적이 크다고 본다. 따라서 한국, 일본, 중국, 러시아 등이 참여하여 현재 활발하게 움직이고 있는 ‘동북아 환경계획’(NAEP : Northeastern Asia Environmental Programme)이 더욱 적극적으로 추진되어야 하다고 생각한다.

2. 피해와 문제점

산성우는 미국 북동부와 캐나다 국경지대와 북부 유럽 제국간에서 중대한 환경오염 문제로서 주목되고 있지만 그 발생원인, 선구물질의 배출량, 발생원의 위치와 산성우 피해발생지역과의 관계 그리고 산성우 피해의 발생기전 등에 대한 과학적인 해명이 적다는 점이 많다. 현시점에서는 산성우의 주성분이 황산염(Sulfate : SO_4^{2-})과 질산염(Nitrate : NO_3^-)으로서 빗물에 있는 산성물질의 중화력이 약한 토질의 산림과 호수에 피해가 많이 나타난다는 정도가 판명되고 있는 실정이다.⁷⁾ 그러나 이제까지 알려진 사실들을 요약하면 다음과 같다.

산성우는 일반적인 비에 비해서 대단히 산성이 강하다. 일반적으로 산성정도를 나타내는 지표로서 pH 5.6 이하의 비를 뜻한다.

화석연료의 연소, 제품생산공정과 고열처리 시에 배출하는 아황산가스(이산화황, SO₂)와 이산화질소(NO₂)가 원인이 되는 선구물질이다. 전술한 바와 같이 이것이 원인이 되어 SO₄²⁻와 NO₃⁻이 빗물에 용해되어 산성우가 형성되어 호소와 하천을 산성화시켜 어류를 죽이거나 산림과 농작물에 직접적으로 또는 토양의 변화를 통하여 간접적으로 피해를 주어 주로 생태계에 크게 피해를 주고 있다.

산성우의 영향이 처음 발견된 것은 1940년대 후반이지만 그 피해가 현저하여 사회 문제가 된 것은 1970년대 전반의 북제국으로 호소의 산성화가 급진, 고기가 살 수 없는 '죽음의 호수'(Dead lake)가 출현한 것이 처음이다. 그러던 것이 1980년에는 산성우의 피해는 더욱 심각해서 유럽 선진 제국의 산림파괴를 일으켰다. 특히 독일의 서남지역과 체코슬라비아와 접해 있는 엘즈산맥이 현저하였다. 특히 심한 독일의 경우는 1982

년 산림면적의 8% 전후였던 것이 1985년에는 55%로 증가되어 피해액이 연간 약 8,000 억원에 달했다고 하며, 1986년 국제환경개발연구소의 보고서에 의하면 <표 1>과 같다.

표 1. 유럽제국의 산림피해

국 명	년 도	피해면적(%)*
서 독 일	1985	55
불 란 서	1985	20
형 가 리	1985	11
네 델 란 드	1984	40
스 위 스	1984	33
스 웨 덴	1984	10
영 국	1984	6
체코슬라비아	1980	24
동 독 일	1980	12

*전국 산림면적에 대한 피해율

호소피해를 살펴보면 스웨덴은 1 ha 이상 크기의 호소 4,000 개소에 물고기가 죽었고, 노르웨이 남부의 호소 5,000 개소 중 1,750

표 2. 주요도시의 강우중의 월별 pH변화(1990년)

(단위 : pH)

월	서 울	부 산	광 주	대 구	대 전	울 산
1월	4.2	5.0	5.3	5.2	4.3	5.1
2월	4.3	5.0	5.4	5.0	4.2	5.3
3월	4.1	4.9	5.2	5.3	5.0	5.5
4월	5.6	5.3	5.2	5.9	5.7	5.4
5월	5.3	5.2	5.3	5.8	5.8	5.7
6월	5.6	5.2	5.6	5.7	5.6	5.4
7월	5.4	5.2	5.7	5.8	5.6	5.8
8월	5.6	5.6	5.7	5.8	5.5	5.7
9월	5.3	5.5	5.8	5.6	5.4	5.8
10월	-	4.8	-	5.8	6.6	6.0
11월	5.6	5.0	5.8	5.8	5.2	5.9
12월	4.4	-	5.5	6.4	6.4	-
년평균	5.0	5.2	5.5	5.7	5.4	5.6

주 : 1) 산성비(pH 5.6 이하)

환경치 : 환경연감, 1990년

2) '-'는 측정기 정비 또는 강우가 소량으로 측정불가

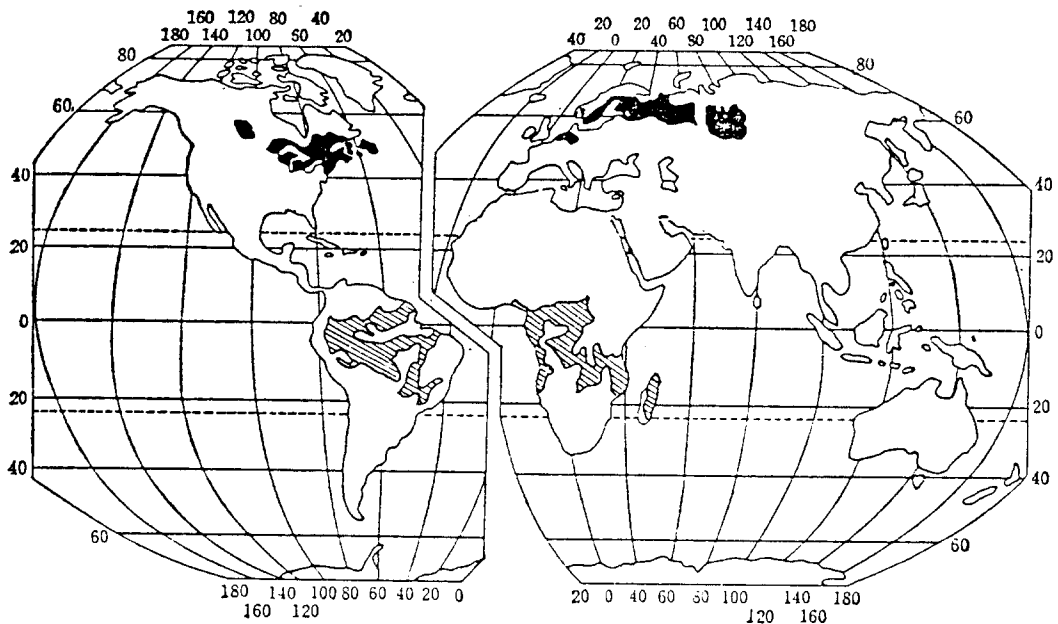
개에서 물고기가 전멸하였다. 캐나다에서도 2개소에서 자연마저 살아졌다는 보고가 있다. 호소 이외에도 자연정화능력이 훨씬 큰 해역에도 영향을 미치고 있다는 즉 '산성우는 적조의 큰 원인'이라는 것이 최근 미국의 연구발표에서 밝혀지고 있다.

산성우가 호소 하천의 산성화로 어류 또는 수계생태에 영향을 주고 있는 것은 호소의 pH 7까지는 탄산염에 의한 완충작용이 있지만 그 이하가 되면 급격히 pH가 저하되어 pH 6 이하가 되면 어류의 생존이 위협하게 된다. 호소 중에 SO_4^{2-} 농도와 pH와의 관계는 민감하여 SO_4^{2-} 농도가 약간 증가하여도 pH는 급격히 저하한다. 또한 수소 이온 농도가 증가하여 pH 4.5가 되면

호수 바닥의 유독중금속인 알루미늄이 급속히 용리된다. 따라서 호수의 pH 4.6이 일종의 경계수위가 되어 그 이하에서는 어류의 생식이 정지된다. 뿐만 아니라 고기의 중요한 먹이인 유기물이 산성수로 화학적 변화가 일어나 피해받기 쉽다. 또한 산성수는 고기의 갈습대사에 영향을 준다는 학설도 있다.

한편 산성우 토양의 산성화나 탈염은 농작물과 산림의 생산력에 영향을 주며 토양의 종류에 따라 다르다. 특히 <그림 2>와 같이 노르웨이, 스웨덴, 캐나다 동부의 암반은 산성이 강한 podosole 토양의 분포가 공통되어 있다. 이러한 특징이 전술한 죽음의 호소를 만드는 원인일 것으로 추측된다. podosole 토양의 표면은 pH 4.0, 내부는 5.5 이

Spodosols 의 분포



☐ 은 Oxisols의 분포

그림 2. podosole 과 oxidosole 의 분포도

다. 일반적으로 토양은 완충능이 있지만 podosole 토양은 칼슘함량이 적어 완충능이 약하다. 이와 같은 토양은 영양균형이 약간 변화해도 그 위에서 자라는 생물의 생활에 중대한 영향을 준다. 산성수는 또한 영양염을 토양 중에서 유세시켜 부식토나 유기물이 토양 중에서 박테리아로 분해되는 속도나 영양염이 토양에서 표층수나 지하수에 용해하는 속도, 즉 토양영양염을 재순환시키는 속도를 변화시킨다. 또한 유용한 토양미생물을 제거시켜 결과적으로 토양의 생산능을 급속하게 감소시킬 가능성이 있다. 또한 호소의 경우와 같이 토양 중에서 용출된 금속은 생태계에 영향을 주며 특히 알루미늄, 망간은 식물의 뿌리나 영양염의 흡수에 악영향을 준다. 그 결과 산림의 성장에 감퇴 현상을 일으킨다.⁸⁾

산성우는 이와 같이 생태계의 파괴 이외에도 고대의 조각이나 각종 역사적 건조물, 문화재에도 피해를 주어 영국에서는 연간 5,200 억원의 피해를 받았다는 보고가 있다. 그뿐만 아니라 우물을 산성화시킨다든가 카드뮴과 같은 중금속이 많이 포함되어 사람의 건강에 악영향을 줄 우려가 있다. 그러나 산성우로 인하여 탈모 현상과 어린이들의 호흡기 질병을 일으킨다든가 하는 것은 아직 정설을 지니고 있지 않다. 우리나라에서 조사된 주요도시의 산성우 현황을 <표 2>에 제시하였다. 아직 큰 문제가 없는 것으로 평가되고 있다.

3. 대응과 과제

가. 대응책

산성우에 대한 피해를 방지하기 위한 방

법은 적극적 방법인 선구적 오염물질(SO₂, NO_x)을 근원적으로 봉쇄하는 방법과 일단 발생된 오염물질을 처리하는 제거방법, 소극적 방법으로는 유럽과 같이 토양의 완충력이 적어 산성우로 산림이나 호소가 산성화되지 않게 호소나 산림에 석회 등을 살포하거나 산림에 비료를 듬뿍 주는 대책이 있다. 그러나 이 대책방법은 엄청난 비용이 든다. 독일의 경우 연간 약 8,000 억원 이상의 비용이 들고 있지만 영구적인 대책효과를 기대하기에는 어렵다.

가장 확실한 대책은 적극적인 방안으로서 오염물질의 발생원에서 억제하는 것이다. 산성우로서의 피해 뿐만 아니라 공기오염으로서의 오염이 사전에 방지되어 사람의 건강과 건축자재의 결손 그리고 식물의 직접적인 고사를 예방할 수 있다. 산성우를 근본적으로 억제하였다 하더라도 선구물질인 SO₂와 NO_x는 발생국만 아니라 풍향에 따라 멀리 국경 넘어로 유입되어 다른 나라에 산성우 피해를 준다는 점이다. 이와 같이 산성우 피해는 국경을 넘어 광역적으로 영향을 준다는 것이 특징이다.

OECD(경제협력개발기구)가 1979년에 종합한 보고서에 의하면 스웨덴 국내에 강하된 SO_x 총량 중 자국에서 발생한 것은 불과 20%였고 나머지는 거의 1,000 km 떨어진 영국, 불란서, 독일 등에서 날아 왔다고 한다. 물론 스웨덴에서 다른 나라로 날라간 것도 있겠다. 산성우로 피해를 당한 나라가 다른 나라에 대한 가해자가 될 수도 있어 문제를 복잡하게 한다.

피해에 대한 광역성에 대처하기 위해 UNECE(구주경제위원회)가 '장거리월경대

기오염협약'을 채택, 1983년에 미국을 포함한 24개국이 비준하여 오염물질의 감시강화를 취하였다. 또한 독일과 캐나다 등 10개국은 1980년 시점의 SO₂ 배출량 중 30% 이상을 1993년까지 삭감할 것을 결정한 바 있다. 유럽은 '장거리오염물질 대기오염조약'이 채택되었지만 미국대륙과 아시아 등은 방치된 상태이다. 그러나 캐나다는 전술한 바와 같이 생태계 피해를 격심하다. 그 이유는 오염물질의 절반은 미국에서 유입되는 것으로 판명되었기 때문이다. 캐나다측의 교섭에 대해 레이건 대통령시대에는 연구가 우선이라는 이유로 지연시켰으나 부시 대통령 때에 와서 합의되었다.

현재 아황산가스에 대한 대책은 저유황분 연료를 사용하는 것이 최선의 방법으로 되어 있다. 그러나 일본 원자력연구소와 일본 이바라제작소가 공동연구로 중유연소배연에 전자 beam 을 조사하여 배연의 SO₂와 NO_x가 동시에 제거되는 신기술을 개발했다. 이 전자선법의 배연처리에 대한 신기술의 개요는 우선 배연에서 입자를 제거한 후에 -80도까지 내린다. 여기에 소량의 암모니아를 첨가, 전자 beam 을 조사하면 SO₂와 NO_x는 거의 순간적으로 황산암모니움과 질산암모니움으로 변환되어 분말로서 포집되며 이때 탈황 및 탈질률은 각각 90%와 85% 이상이라 한다. 재래식보다 전자선법은 첫째 탈황과 탈질이 동시에 처리되며, 둘째 생성성분은 비료로 사용되고, 셋째 촉매도 물도 사용하지 않는다. 넷째 설치비용이 저렴하다는 것 등의 장점이 있다. 1987년부터 미일공동으로 실증 프란트실험중이었지만 1989년 3월 말, 미일과 함께 캐나다, 독일, 이태리 등이

공동, 최후의 실용화 시험으로 국제협력 프로젝트로서 실시하도록 제안되고 있다.

나. 향후과제

선진국 등 사회경제활동의 확대에 따라 화석연료소비가 증대되어 황산화물의 배출이 증가된다함은 잘 알려진 사실이다. 과거에는 이러한 사실이 자국에 국한되는 것으로 생각하였으나 국가간 이동성 대기오염에까지 영향을 주고 있다함은 심각한 사실이다. 지구환경보전이라는 측면에서의 향후과제는

첫째 : 각국은 선구물질배출물 저감대책을 실시함과 동시에 성에너지를 한층 더 추진하며 배출량의 증가를 억제한다.

둘째 : 각국은 자연자원관리에 충분히 배려하여 지속적 개발을 추진한다.

셋째 : 각국의 이익을 우선치 말고 각국이 협력하여 행동 통일하는 국제적 규칙을 형성한다.

넷째 : 선구물질 등의 오염물질을 배출치 않는 새로운 에너지의 개발이 필요하다.

다섯째 : 황산화물과 질소산화물 제거에 성능이 좋은 전술한 전자선법을 개발도상국에 무상기술이전을 해야 한다.

III. 지구온난화

1. 세계적 동향

지구의 온난화가 차츰 진행되어 21세기 전반에 가서는 인류가 경험한 바 없는 급격한 온도변화에 직면케 될 것으로 예측하고

있다. 탄산가스(CO₂)의 대기 중 농도는 산업 혁명 이전에는 280 ppm 이었으나 1986 년에는 약 345 ppm 에 달하여 최근에는 년 1.3 ppm 의 속도로 증가되고 있다.¹⁰⁾ 탄산가스 이외에 메탄가스, 아질산가스 그리고 Halone (유기할로젠화합물질 등)도 지표면에서 우주 공간으로의 방열을 억제하여 결국 지구 전체를 온난화하는 온실화가스로서의 역할을 가중하고 있다. 최근의 계산에 의하면 1980 년까지의 과거 100 년간 CO₂와 CO₂ 이외의 온실화가스의 온난화 기여율은 약 2 : 1 이었지만 최근 10 년간에는 그 비가 거의 1 : 1 이 되어 향후에는 미량가스쪽이 기여율이 높아질 것으로 추정하고 있다.¹¹⁾

유엔환경계획(UNEP), 세계기상기구(WMO), 국제학술기구(ICSU)의 합동위원회에서는 이와 같은 온난화가스(온실가스) 농도의 급상승 결과는 2030 년 지구평균온도가 1.5~4.5°C 상승할 것으로 예측하였다. 이러한 지구온난화 현상의 중요성을 인지하여 국제연합에서는 기후변화에 대응키 위해 유엔환경계획(UNEP), 세계기상기구(WMO) 주관하에 기후변화에 관한 정부간협의회(IPCC)를 1988 년 11 월에 설립하였고 1990 년 8 월에 기후변화의 원인, 영향 및 대응에 관한 IPCC 의 종합보고서를 발표하였다. 제 45 차 UN 총회에서 기후변화협약 제정을 위한 정부간 협상위원회(INC)설치가 의결되어 동년 12 월에 설립되었다.

INC 가 설립된 이래 1991 년 2 월부터 6 차례 협상을 통해 1992 년 5 월 기후변화협약안이 확정되어 드디어 1992 년 6 월 브라질 UNCED 의 리우선언과 더불어 기후변화협약이 정식으로 체결되어 156 개국이 서명

했으며 각국의 국내비준에 의한 가입절차를 거쳐 1993~1994 년경에 발효될 것으로 예상되었으나 가입속도가 빨라 1993 년 3 월에 160 개국 서명에 16 개국 가입, 1993 년 9 월 말 현재 162 개국 서명에, 28 개국이 가입되었다. 따라서 50 개국이 가입되면 3 개월 후에 이 협약이 발효하는 것으로 되어 있으므로 금년내에 발효될 가능성이 많은 것으로 예측하고 있다. 동협약은 전문과 26 개 조항으로 구성되어 있으며 각국의 의무사항, 재정지원체제, 기술이전, 조직사항으로 구성되어 일반의무사항과 특별한무사항으로 나누어져 있다. 즉

일반의무사항은 선진국과 개도국에 공통으로 적용되는 조치로서

첫째 : 각국은 모든 온실가스의 배출 및 제거에 대한 국가통계작성 제출의 의무

둘째 : 기후변화방지에 기여하는 국가전략을 수립 시행하고 공식적으로 공표

셋째 : 여러 부문에 걸친 국가간 협력 강화에 관한 의무

넷째 : 온실가스통계와 국가정책 이행에 관해 보고할 의무(선진국 : 협약 발효 후 6 개월, 개도국 : 3 년 이내에 최초 보고서 제출, 그 후에는 주기적으로 제출)

특별의무사항은 선진국과 동구권 국가에 부가적으로 적용되는 의무로서

첫째 : 온실가스 저감 및 흡수원 보호를 위한 국가 정책 채택과 구체적 조치의 추진 의무. 이는 이산화탄소 및 온실가스 배출을 2000 년까지 1990 년 수준으로 유지할 것을 목

표로 하고 있다.

둘째 : 경제수단의 활용에 있어서 국가간에 조화를 도모할 의무

셋째 : 개도국에 대한 재정지원 및 기술이전의 의무

넷째 : 보고의무와 관련하여 국가정책의 구체적 이행실적 및 온실가스 저감 효과의 추정, 보고 의무

이 기후협약조약은 전반적으로 장기적 대응의 기초 형성에 그 의의가 있으나 향후 지속적 공세가 예상된다. 현재 예상되는 기후협약 이후의 후속조치계획을 살펴보면 다음과 같이 요약된다.

1993년말 : 각국의 국내 비준에 의한 가입절차를 거쳐 기후변화협약 발효, 선진국의 일반의무사항 이행(협약발효후 6개월 이내)

1995년경 : 개도국의 일반의무사항 이행

1998년 : 특별의무사항의 재조정(한국은 이때 특별의 적용대상국에 포함될 가능성이 높음)

2000년 : 선진국의 특별의무사항 실시 목표년도(2000년경까지 1990년 수준으로 온실가스 배출을 안정화하는 목표)

2. 피해와 문제점

가. 온실가스의 온난화 효과와 문제점

대류권내 CO₂ 농도가 증가하면 지구가 온난화된다는 “온실이론”은 Arrhenius가 1896년에 처음 제창하였다.¹⁷⁾ 그후 많은 학자들의 연구에 의하여 위에서 설명한 바와 같이 CO₂와 함께 온실가스(CH₄, N₂O, CFC 등)로 인한 지구온난화 현상이 일어난다는 것

이 거의 정설화되었으며 이러한 이론의 근거를 제시하는 데에는 1983년도 미국환경보호처(USEPA)의 보고서가 많은 역할을 하였다.¹⁸⁾

1979년에 전미국과학아카데미(NAS)는 연구위원회(위원장 Charney)를 소집하여 현존하는 모든 과학적 증거를 검토한 결과 대기중의 탄산가스 농도가 산업혁명전의 2배가 되면 지구의 기온은 3±1.5℃로 높아질 것이라는 결론을 얻었다.¹⁴⁾ 이 결론이 과학자들에게는 만족하였으나 정책입안자들은 아쉬워 하였으며 1992년 제 2회 NAS 연구위원회를 소집하여 연구성과와 비교한 결론도 Charney 보고서의 결론을 크게 수정할 만한 새로운 성과가 없다는 결론을 얻었다. 이 모델은 비교적 정밀한 3차원적 전체순환모델(GCM)로서 광역적인 기후와 평균적인 계절적 변동에는 실제로 정확한 모델로 알려져 있다.¹⁵⁾

고다트 우주연구소의 연구진은 1차원적 복사대류모델로서 CO₂와 기타 온실가스(CH₄, N₂O, CFC 등)의 증가로 1970년의 기온 증가를 추정했다. 그 결과 2배의 CO₂ 증가로 기온 상승폭은 2.8℃였고 당시 10년간의 기온은 0.24℃ 상승되었다고 추정하였다. 그중 0.14℃는 CO₂가 12 ppm 증가된 것이 그 원인이었고 나머지 0.10℃는 분석대상으로한 기타 온실가스(CH₄, N₂O, CFC)가 원인임을 알 수 있었다. 분석의 불확실성으로 보아 <그림 3>과 같이 기타 온실가스는 대기중의 CO₂만으로도의 기온상승폭에 부과하여 50~100% 높여 준다고 한다.¹⁶⁾ 동시에 다른 학자들도 이 결과와 동일한 결론을 발표하고 있다.^{17), 18), 19)}

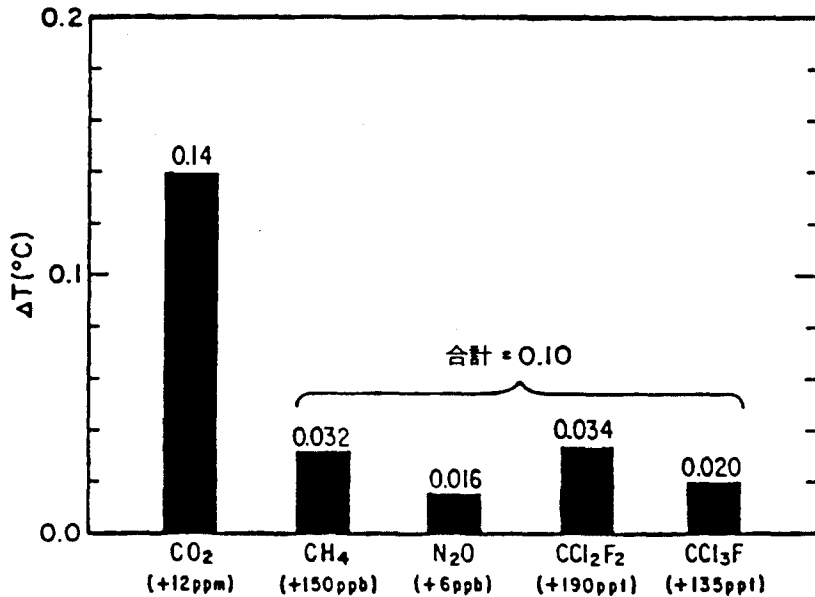


그림 3. 온실가스의 종류에 따르는 기온상승(1970~1980년)

탄산가스의 물리적인 특성은 잘 알려져 있으며 또한 지구 온난화에 대하여는 전술한 바 있어 생략하고 기타 온실가스에 대해서 설명하고자 한다.

일산화질소(N₂O, 아질산가스)는 토양과 해중에서 생물분해시 발생된다. 질소비료를 많이 사용하여 질소분이 많은 하수에 방류하면 간접적으로 N₂O가 증가된다. 1970년부터 10년간의 N₂O농도를 측정했더니 6 ppb가 증가된 295 ppb가 됐다고 한다.¹⁶⁾ N₂O농도가 2배로 증가하면 기온은 0.30~0.44℃가 상승한다.²⁰⁾

또한 N₂O농도의 증가는 간접적으로 온난화를 가중한다. N₂O의 양이 증가하면 대기 중의 다른 가스와 다양한 반응을 일으켜 하층의 성층권과 상층의 대류층에 O₃가 증가한다. Wang 과 Aze 의 계산에 의하면 이렇게 해서 발생하는 간접적인 온난화로 기온이 0.

18℃가 높아져서 결국 N₂O농도가 2배 상승하여 0.48~0.62℃가 된다.²¹⁾ 한편 세계의 식량 공급이 많아지면 N₂O를 발생시키는 비료를 점점 많이 사용한다. 그러나 이 미량가스류의 발생원이나 축적상태에 대해서 정확히 밝혀지지 않아서 신뢰성이 있는 장래 예측 기법이 개발되어야 한다.

메탄가스(CH₄)는 두번째로 중요한 미량 온실가스이다. CH₄의 발생원은 수전이나 호소에서의 혐기성발효, 흰개미, 소, 기타 동물의 장내 발효로 생긴다. 점차적으로 축산물이나 쌀의 수요가 증가하면 대기중의 CH₄ 농도도 높아진다. 거기에 대류권의 일산화탄소가 증가되면 분해 CH₄농도가 저하된다. 농도는 매년 2%씩 증가한다는 추계에 따르면 21세기 중엽, 지구는 CH₄로 약 0.2~0.3℃ 온난화 된다.¹⁶⁾ 그러나 현재의 CH₄ 증가율은 과거의 연 2% 증가율의 추정치를 대

폭 상회할 수도 있다. 지구가 온난화 하면 현재는 고위도지방에서 동결상태인 2000 giga ton(10⁹ton)의 CH₄ 니탄 습지대(泥炭濕地帶)가 녹아서 100년 후에는 매년 8 giga ton의 CH₄가 공중으로 방출될 수도 있다.

유기할로겐화합물(CFC)은 완전히 인간활동의 소산으로 대기중에서 다량 볼 수 있게 된 것은 최근의 일이다. 오존층 파괴를 설명할 때 자세히 설명하겠지만 성층권에서의 CFC분해율을 예견한 추정으로는 연간생산량이 1973년의 수준이라면 CFC의 직접 영향으로 기온은 약 0.3°C가 상승된다.²⁰⁾

나. 피해

지구의 평균온도가 1.5~4.5°C 상승한 경우 지구상에서는 대체 어떤 변화가 일어날까. 불과 40년 사이에 지구의 온도가 몇도씩이나 높아진다는 것은 인류의 탄생 이래 경험이 없는 사실이어서 예측이 곤란하지만 지구상에 여러 가지 급변이 일어나리라 함은 확실하다.²¹⁾

첫째, 해면상승

해수의 팽창이 생각된다. 온난화로 우선 남극과 북극의 얼음이 녹아서 해면이 높아질 것으로 생각된다. 그러나 전문가는 해빙에는 시간이 걸릴뿐 아니라 그것보다 수온의 상승으로 해수가 팽창하는 것이 먼저이며 열팽창으로 해면이 26~165 cm 높아질 것으로 산출한다. 피해는 해면의 상승도에 따라 다르다. 수십 cm 상승이라면 대책은 간단하다. 그러나 수 m 라면 극적인 피해를 받는다.

둘째, 곡창지대의 이동

평균강수량이 증가하며 특히 북반구에서는 중위도의 강수대는 극방면으로 기울어지

다고 기상전문가들은 예측한다. 따라서 미국의 곡창지역의 토양수분이 30~50% 감소하여 현재의 농지는 황폐화된다고 한다. 한편 북방의 캐나다, 러시아는 신곡창지대가 생길 가능성이 많을 것으로 예측된다. 우리나라와 일본도 쌀 수확량이 증가될 것이다. 이 결과 농업지도의 변화가 크게 달라져서 농산물 무역으로 인한 새로운 국제간의 마찰분쟁이 생길 가능성이 크다. 또한 기후변화가 너무 빨리 일어나면 농지의 전환이 미처 따르지 못하여 식량위기가 일어날 가능성도 있다.

셋째, 이상기후 발생

온난화에 따른 기온이나 해수온의 상승으로 대기와 바다와의 관계가 미묘하게 변화하여 수분의 증발량이라든가 기류에 영향을 주며 또한 한난류의 기존 판도를 바꾸어 놓음으로써 이상기상을 일으킨다. 미국을 뒤흔들어 놓은 대한발사건, 방글라데쉬를 엄습한 대홍수, 멕시코만에 피해를 입힌 허리케인, 중국 상해지방의 열파, 유럽의 저온과 다우, 일본의 장기간의 우기, 우리나라에도 가끔 볼 수 있는 이상난동과 한냉현상 등 이상기상들, 지구온난화의 증거의 인식이 세계적으로 팽배하고 있다.

넷째, 해충과 질병의 발생

지구평균온도의 상승에 따라 병충해의 월동이 용이하여져서 농작물이나 인간과 동물의 질병 발생건수도 증가할 것으로 쉽게 예측된다.

3. 대응과 과제

3대 과제(산성우, 지구온난화, 오존층파괴 등)가 당면한 지구과학적인 대기관리는 지구온난화에 대한 문제를 해결하면 대기환경

관리라는 당면문제를 해결할 수 있다고 본다. 산성우 문제는 화석연료에 대한 대책이 집약되고 연료연소시 발생하는 탄산가스는 온난화 문제와 직결된다. 오존층파괴는 CFC로 인한 것이다. 동시에 지구온난화와 직결된다. 따라서 크게 보면 연료정책과 CFC 대체물질개발로 집약된다고 본다. 3대 과제의 향후의 근본적 대책은 행정적 대책과 기술적 대책으로 구분되는데 행정적 대책은 국내적인 대책과 국외적인 대책(국제적 협력)으로 구분된다.

국내적 대책은 기술적인 대책을 어느 방향으로 유도하는가에 달려 있다. 물론 이 최종적인 방향은 환경적으로 건전하고 지속 가능한 발전에 최종적인 목표를 두어야 한다. 1개 국가가 노력해서 되지 않는다는 것을 인식했기에 급속한 국제협력이 이루어지고 있다고 본다. 국제적 협력으로 가고자 하는 방향은 이미 설정됐으며 그 목적을 달성하자면 현재 온난화가 일어나고 있는 현상을 지구적인 측면에서 계획되어 그 현상해명이 정확해야겠고 그 결과를 기초로 영향평가를 철저히 해야 된다고 본다. 이러한 일련의 문제는 국제협력을 통해서 이루어져야 된다고 생각한다. 현재 지구온난화를 방지하고자 하는 대응책과 과제를 약속하고자 한다.

가. 관측, 계획, 감시

- ① 온실가스(GHG : Green house gas) 방출추정을 위한 지상계측방법 개발
- ② 대기중 GHG, 특히 미량온실가스(CH₄, N₂O, CFC)를 인공위성을 이용하여 측정할 수 있는 센서 개발.

나. 현상해명

- ① 탄소수지를 정확하게 예측할 수 있는 탄소순환 모델 보완개발
- ② GHG가 공기중에서 일어나는 화학반응의 발전적 연구 지속
- ③ 대기대순환 모델(GCM) 개발

다. 영향평가

생태계, 인체, 농업, 수문, 토지이용, 연안 생태계, 산업, 기타

라. 방지대책

- ① 성에너지기술개발 : 주택, 산업, 운수
- ② 산림보전
- ③ 농경수단 개선
- ④ 바이오 매스

마. 정책개발

- ① 전략모델 개발
- ② 장기에측 모델 개발
- ③ 과징금 등의 효과, 비용평가기법 연구 개발
- ④ 규제방법의 가능성 검토

영향평가와 기술개발은 기존 환경에 대한 보전이라는 측면에서의 것도 중요하겠지만 지구가 온난화 되었다는 가정하의 농축산물 기술개발, 관개수의 개발, 지하수개발, 농경수단의 개선, 주거환경의 지하 및 해중개발 그리고 해양자원 개발로 식생활 개선 등과 같이 광범위한 연구가 이뤄져야겠다.

한편 무공해 에너지(태양에너지, 조력에너지, 풍력에너지, 지열에너지, 바이오매스 등)로 완전 대체한다는 전제하에 현 연료 중에서 정책적으로 강력하게 추진되어야 하겠다. 1989년 3월, 미국환경보호처(USEPA)에서 저온화 대처의 전략에 대하여 발표한 바 있다.²⁰⁾ <그림 4>는 급변화 사회에 대한 정책을 수립했을 때와 그렇지 않았을 때의 지구평

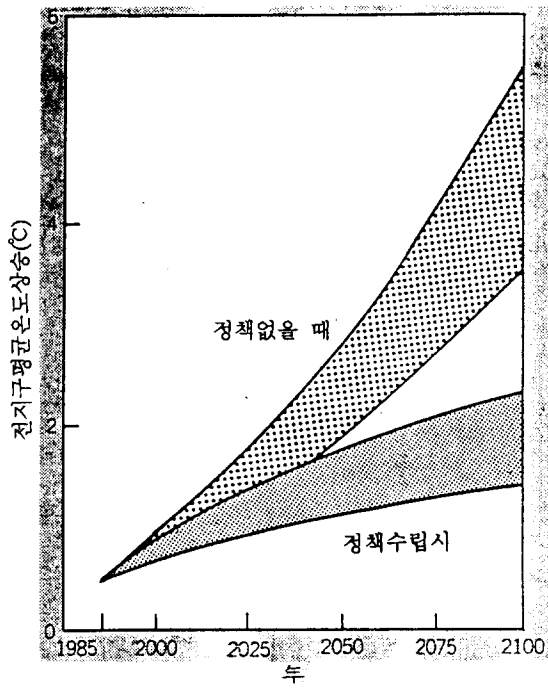


그림 4. 급변화사회에서의 정책효과
(USEPA의 1989년 온난화방지 정책안)

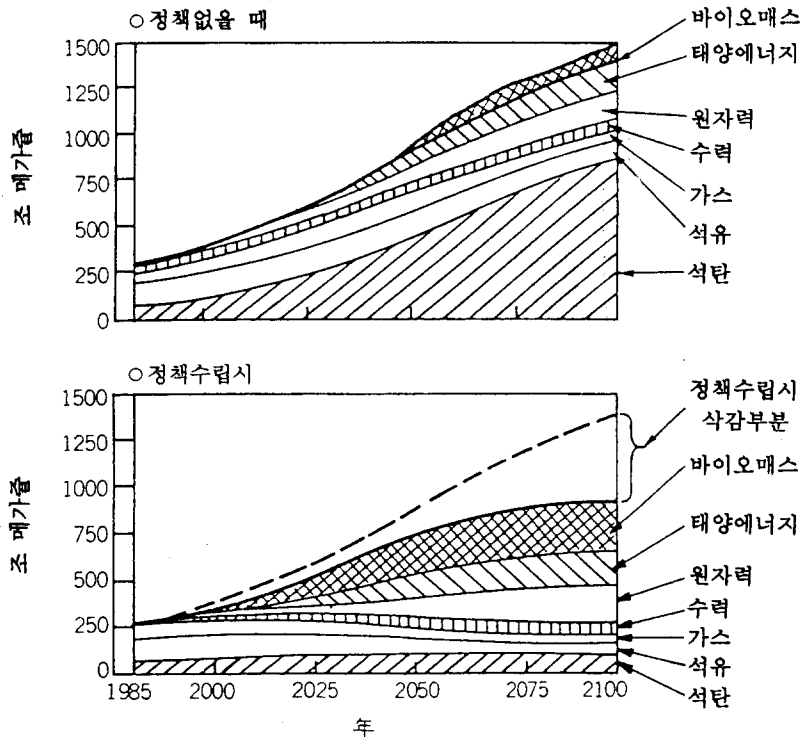


그림 5. 온난화 방지 정책이 에너지 구성에 미치는 영향
(USEPA의 1989년 온난화방지 정책안)

균온도 상승 억제효과와 대비이다. <그림 5>는 경년에 따른 연료정책을 제시하고 있다. 즉 온난화 방지를 전제한 정책을 수립치 않았을 때에는 화석연료를 주종으로 하고 있지만 방지책을 강구했을 때에는 2100년, 소요에너지의 약 30%를 성에너지로 삭감하고 구성비도 주로 바이오매스, 원자력 그리고 태양에너지쪽으로 선회하였음을 알 수 있다. 이러한 목적을 달성하려면 막대한 투자로서 기술개발을 서둘러야 한다.

기후변화조약에 가입한 나라는 전술한 바와 같이 1993년 9월 현재 28개국이므로 우리나라도 국제적 흐름을 보아 금년내에 가입하지 않을 수 없을 것으로 추정된다. 1인당 탄산가스 배출량을 2000년 이후에도 2.4톤 소톤으로 유지하지 않을 수가 없을 것이다. 그렇게 되었을 때 우리나라에 닥치는 사회경제적인 문제는 매우 클 것이다. 그러므로 미리 이에 대한 대응책이 강구되어야 할 것이다.

에너지로서의 대책은 우선 탄소순환의 정확한 자료를 파악해야 하며 이에 따라 USEPA가 1989년도에 수립한 장단기계획을 수립하는 것이 가장 급한 문제이다. 우선 적극적인 장기계획목표를 설정해야겠다. 즉 서해안에 유력한 천연자원인 조력을 이용한 발전계획이 수립되어야 한다. 당장은 경제성이 불투명하겠으나 2000년에 1인당 2.4톤 소톤을 달성하지 못했을 때 국제적인 입장은 말할 것 없고 추징금이라는 경제적인 손실 또한 적지 않을 것이다. 원자력발전소를 자금이 허용하는한 최대의 우선순위로 추진되어야 할 것이다. 바이오매스와 태양발전에 대한 기술개발의 투자에 인색해서는 안된다

고 생각한다.

적극적인 계획이 설립되었다는 전제하에 소극적인 방법이 존재한다고 본다. LNG 보급확대를 위한 인수기지 및 배관망 건설확대, 에너지기술개발 및 보급확대, 에너지 절약기술개발 촉진, 에너지 저소비 산업 중점 지원이 과감하게 이뤄져야 한다.

한편 비에너지 부문으로는 해면수위상승에 대한 대책강구, 건축물의 에너지 효율 증진방안 강구(건설부), 수송수단별 수송효율화 방안 강구(교통부), 전기자동차개발 촉진과 저공해에너지개발 투자(상공자원부), 기후변화적응정책 연구사업추진(과기처), 온실기체 제어 및 이용기술개발, 홍보활동 등(환경처), 농업부분의 기후변화 영향평가시스템 구축에 관한 연구와 곡창지역 복상에 따른 농축산개량법 개발과 지구온난화로 인한 병충해에 대한 예방에 관한 연구(농수산부), 선박에너지 절약기술 개선방안 강구 등(해운항만청), 그리고 국내 산림자원 조성확대 및 운영개선방안 강구 등(산림청)에 대한 방안을 미리 강구해야겠으며, 전술한 대응책과 과제에서 토의한 내용을 참작하여 과제를 보장할 필요가 있다고 본다.

IV. 오존층의 파괴

1. 세계적 동향

Halon(유기할로젠화합물)은 1928년 미국의 GM사에서 처음 합성하였다. 이 물질이 개발되었을 때에는 안정성이 좋아서 공업계에서 "꿈의 물질"로서 환영을 받던 물질이었다. 수요부분을 보면 세정용(47%), 발포용(24%), 냉매용(18%), 에어로졸(9%), 기타(2

%)로 사용되고 있다. 안정성이 좋기 때문에 지상에서 쓰여지는 과정에서는 거의 분해되지 않는다. 분해되지 않은 상태에서 지구의 대류권에 오랫동안(50~100년) 체류하여 계속 증가된다.

약 20종 중 5종(CFC 11, 12, 113, 114, 115)이 분해되지 않는 성질이 있어 그 체류량은 1945년에서 1988년까지 약 1,500만톤이라 한다. 할론은 지표에서 20km까지의 대류권에 머물러 있는 동안 거의 무해하지만 공기의 대류에 밀려 근 10년만에 성층권까지 도달하여 이 성층권에서 오존층을 파괴하는 악역으로 변모한다.

Rowland와 Molina는 1973년 연구를 마치고 이제까지 계속하여 논쟁되었던 오존층 파괴이론의 기초를 쌓았다.²⁹⁾ 그후 많은 학자들은 이 문제를 갖고 논란이 있었다. 그러던 중 영국의 남극조사대 대장인 대기과학자 Farman은 남극연안에 있는 영국연구기지 상공의 성층권의 오존층에 예상치 못할 만큼의 커다란 결손이 난것을 발견하여 보고하였다.³⁰⁾ 이 오존홀(Ozone hole)은 <그림 6>과 같이 매년 그 정도가 심해지고 있다.

이 논문이 오존층파괴에 대한 10년간 계속한 논쟁의 방향을 바꾸어 놓았다.

남극상공에 오존층이 있다는 것이 아직 밝혀져서 해명되기 전에 거대한 구멍의 발견에 따라 근본적인 재평가가 이뤄졌다. 1985년 이래 오존층의 손상은 위성에서 보내진 그래프영상으로 상상할 수 없을 정도의 빠른 속도로 악화되고 있는 것이 밝혀졌다. 1988년 지구전체의 오존층이 위협에 처해 있을런지 모를 증거가 모아져서 새로운 환경보호의 윤리가 생겨났다.

그 후 1985년 3월에 오존층보호를 위한 비엔나협약이 채택되었고 1985년 9월에 발효되었다. 비엔나 협약은 오존층보호를 위한 포괄적 내용을 규정하고 있으며 몬트리올의 정서의 모태가 되고 있는 국제협약으로 그 내용은 오존층의 변화를 방지하기 위한 과학, 기술, 관측 등에 있어서 국제적 협약의 필요성을 선언하는데 있다. 오존층의 변화가 초래하는 역효과로부터 인간의 건강과 환경을 보호하기 위하여 적절한 조치를 취하도록 각 가입국의 의무를 명시하고 오존층의 변화가 미치는 영향을 이해, 평가하기 위한

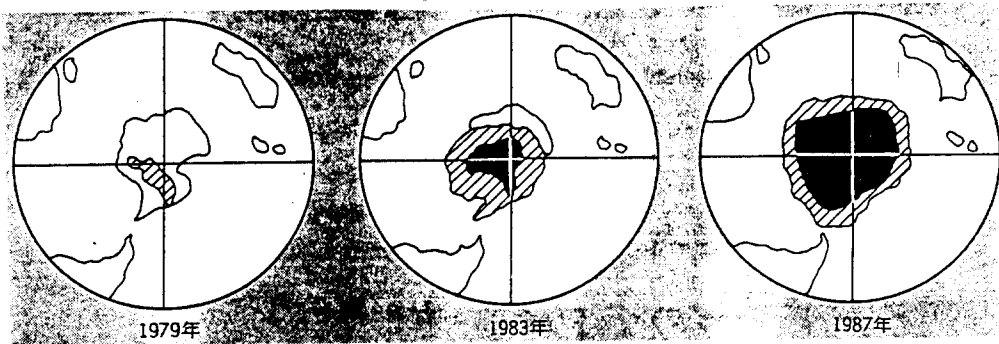


그림 6. 오존홀의 경년변화

체계적 관측 및 정보교환을 위한 협력을 증진하였다.

이것이 근거가 되어 1987년 9월에 오존층 파괴물질에 관한 몬트리올의정서가 채택되며 1989년 1월에 발효하였다. 비엔나협약은 오존층보호를 위한 포괄적 내용을 규정하고 있는 반면 몬트리올의정서는 오존층 파괴물질의 단계적 생산, 소비, 감축 등 구체적인 규제조치를 규정하고 있다. 따라서 협약은 의정서의 모범에 해당하며 의정서는

시행령에 해당하기 때문에 의정서 가입도 협약가입국에 한하여 가입을 허용하고 있다.

9)

1990년 6월에 몬트리올의정서 제1차 개정안이 채택되어 영국런던에서 1992년 8월에 발효하게 된다. 당초 규제물질이 8종(CFCs 5종, Halon 3종)에서 20종(CFCs 15종, Halon 3종, 사염화탄소, 메틸클로로포름)으로 확대하였다. 1992년 5월 우리나라는 비엔나협약 및 몬트리올의정서에 가입하

표 3. 몬트리올의정서 개정에 따른 내용

(1992년 8월 10일 발효 1992년 11월 25일 채택)

구분	기본의정서	현행(1차 개정)	조정(2차 개정)	기준
CFCs	'93. 7부터 20% 삭감 '98. 7부터 50% 삭감 2000. 1부터 100% 삭감	'95. 1. 1부터 50% 삭감 '97. 1. 1부터 85% 삭감 2000. 1부터 100% 삭감	'94. 1. 1부터 40% 삭감 '96. 1. 1부터 100% 삭감	'86
Halon (3종)	'93. 7부터 20% 삭감 '98. 7부터 50% 삭감 2000. 1부터 100% 삭감	'92. 1. 1부터 동결 '95. 1. 1부터 50% 삭감 2000. 1부터 100% 삭감	'94. 1. 1부터 75% 삭감	'86
기타 CFC (10종)	없 음	'93. 1. 1부터 20% 삭감 '97. 1. 1부터 85% 삭감 2000. 1부터 100% 삭감	'94. 1. 1부터 75% 삭감 '96. 1. 1부터 100% 삭감	'89
사염화 탄 소	'93. 7부터 20% 삭감 '98. 7부터 50% 삭감 2000. 1부터 100% 삭감	'93. 1. 1부터 동결 '95. 1. 1부터 30% 삭감 2000. 1부터 70% 삭감 2005. 1부터 100% 삭감	'94. 1. 1부터 50% 삭감 '96. 1. 1부터 100% 삭감	'89
HCFCs (40종)	'93. 7부터 20% 삭감 '98. 7부터 50% 삭감 2000. 1부터 100% 삭감	· 과도물질로서 자율 규제 대상	'96. 1. 1부터 동결 2004. 1. 1부터 35% 삭감 2010. 1. 1부터 65% 삭감 2030. 1. 1부터 100% 삭감	'89
HBFCs (35종)	'93. 7부터 20% 삭감 '98. 7부터 50% 삭감 2000. 1부터 100% 삭감	· 없 음	'96. 1. 1부터 생산 및 소비금지	'89
메틸 브로 마이드	'93. 7부터 20% 삭감 '98. 7부터 50% 삭감 2000. 1부터 100% 삭감	· 없 음	'95.부터 '91수준 동결 '95.년 삭감일정 결정	

* 우리나라는 개도국으로 분류, 상기 CFC 5종, Halon 3종에 대해 2005년까지 1인당 0.3kg, 기타 CFC, 사염화탄소, 메틸클로로포름은 0.2kg까지 사용 가능하고 HCFC, HBFC, 메틸브로마이드에 대해서는 '95년 결정 예정

였다. 1992년 11월에 덴마크 코펜하겐에서 제 2차 개정안이 채택되었는데 당초 CFCs 20종에서 95종으로 확대하였을 뿐만 아니라 규제일정도 <표 3>과 같이 당초 2000년에서 1996년으로 앞당겨 생산 및 사용금지시켰고 우리나라는 제 1차 개정의정서에 가입하였다.

2. 피해와 문제점

성층권에서는 태양광선의 에너지가 대단히 커서 그중 많은 유해한 단파장의 자외선에 Halon 이 조사되면 대류권에서는 안정성이 높던 Halon 은 파괴된다. 이렇게 파괴되면 그중에서 염소원자는 O_3 와 대단히 반응하기 쉬워서 적은량의 Halon 이라도 많은 O_3 층은 연쇄적으로 분해, 파괴시킨다.

원래 O_3 층은 태양에서 강력한 자외선을 흡수제거하여 지구에 도달했을 때에는 오히려 비타민 D 유사물질이 인체에서 생성되어 골대사를 도울뿐 아니라 여름에 몸을 그늘려 주므로 건강에 도움을 주고 있다. 동시에 지구상의 모든 동식물의 생활환경조성과 보호역할을 하고 있다.

그러나 Halon 에 의하여 오존층이 파괴되어 O_3 량이 적게 됨으로써 지면에 도달하는 자외선량이 증가되어 인류가 경험하지도 못한 유해한 단파장 자외선으로 건강의 피해는 물론 지표면의 생태계에도 악영향을 주는 것으로 밝혀졌다. 자외선의 흡수량은 O_3 층의 농도에 따라 결정되어 NAS(전미국과학아카데미)의 예측에 의하면 O_3 층의 농도가 1% 감소하면 지표면에 자외선의 양이 1.4~2.5%(평균 2.0%) 증가한다.

O_3 층 파괴의 영향을 우선 사람의 건강부

터 살펴보면 NAS의 조사에서 중위도(中緯度) 지역의 지표면에 자외선 1%가 증가되면 피부암 발생률이 0.5~2.0%(평균 1%) 증가한다. 한편 O_3 층 농도가 1% 감소하면 피부암 발생률이 0.7~5.0%(평균 2.0%) 증가한다고 한다. 한편 저위도 지역에 사는 주민은 고위도보다 피부암에 많이 걸리며 피부에 있는 색소(멜라노마)가 자외선을 흡수하는 피부를 가진 흑인이 백인보다 피부암에 걸리기가 쉽다. 그러나 생활습관과 피부색깔 그리고 중위도에 거주한다는 면에서 우리와 비슷한 일본사람의 경우 근래에 와서 피부암 발생률이 급속하게 증가하고 있다. 일본 후생성 조사에 의하면 사망률이 비교적 높은 멜라노마(악성흑색소)라고 하는 악성암으로 인한 사망자는 매년 10%씩 증가하여 최근 20년간 사이에 4배로 급증하였다함은 놀라운 사실이다. 오존층 파괴로 지면에 도달하는 자외선이 강해지면 백내장, 각막염 그리고 시력장애가 많이 발생한다는 연구보고가 있다.

생태계 영향을 살펴보면 일반적으로 자외선을 생물에 조사시 유전자와 세포에 돌연변이 등의 이상이 발생하는 것이 실험에 의하여 확인되고 있다. 미국 Maryland 대학의 Teramura 교수의 연구에 의하면 O_3 층이 25% 파괴된다는 조건에서 6년간, 콩의 수확량이 20% 감소, 단백질의 함량도 감소되어 품질이 나빠졌다고 한다. 또한 얇은 해안에서 사는 어류, 새우, 플랑크톤 등도 자외선의 영향을 받아 자외선이 20% 증가하면 정어리의 치어는 15% 사망했다는 보고도 있다. Halon 에 의한 O_3 층 파괴의 증거는 <그림 6>과 같이 이미 설명한 바와 같이 남극에 오

존층이 나날이 커지고 있다. 근래 확인한 바에 의하면 남극 뿐만 아니라 북극에도 오존층이 얇어지고 있는 것을 확인하였다. 또한 1988년 3월 NASA(미항공우주국)의 관측으로 남극과 북극과 함께 중위도 지역에서도 오존층의 파괴가 확인된 이래 각국의 Halon 대책은 심각한 문제로 대두되고 있다.

3. 대응과 과제

가. 대응

(1) 현황파악

성층권, 대기권의 현황을 정확하게 파악해야 한다. 때문에 근래 우리나라도 인공위성을 발사하고 있으므로 우리나라 국토상공의 오존층 상태를 지상 또는 고공에서 관측되어야 한다. O₃층 상태 뿐만 아니라 CFCs 측정기술도 개발하여 시행해야 할 것이다. 근래 인공위성 우리별을 발사하였기에 기술을 더욱 발전시켜야겠지만 성층권의 O₃층 관측이 필요하다. 그러기 위해서는 LASER 또는 RADAR에 의한 관측, 인공위성에서의 관측과 더불어 센서의 개발에 박차를 가하여 관측, 계획, 감시기능을 향상시켜야겠다. 이렇게 하여 얻어진 자료를 기초로 환경영향평가와 인체영향 리스크 평가를 정책수립과 연구개발의 우선 순위를 결정하여 대응해야겠다.

(2) 기술적 대책

근본적이고도 적극적인 대책은 CFCs의 대체물질의 개발에 있을 것이다. 1990년도부터 우리나라는 미리 예측하여 국책연구로서 진행하고 있어 다행이라 생각한다.

대체물질이 개발된다 하더라도 CFCs보다 더 성능이 좋을 것인가 하는 것은 그 결

과를 보아야겠지만 쉽지 않을 것이다. 그러므로 현재 폐기되고 있는 CFCs를 회수정제하는 기술이 이미 선진국에서는 개발하고 있으므로 이 기술을 도입하여 수거체제를 갖추어 회수 활용하면 좋은 결과가 기대된다.

(3) 행정적 대책

1992년 1월 법률 제 4322호로 오존층 보호를 위한 특정물질의 제조규제 등에 관한 법률을 제정 공포하여 시행하고 있다. 이 법령의 주요내용은 의정서 준수를 위한 특정물질의 제조, 수입, 판매의 규제와 대체물질 및 그 이용기술개발을 위한 기금의 조성, 특정물질의 사용 합리화를 위하여 강력히 추진하는데 있다. 몬트리올의정서 제 5조 적용을 전제로 규제물질을 1인당 연간 0.3kg (단 부속서 B는 0.2kg/인)까지 사용토록 수급되어 있으므로 이에 대한 정책적 조절을 위해 차질없는 대안이 마련되어야 한다.

나. 향후과제

- ① 사용한다량의 합리적 배분
- ② 특정물질의 배출규제 및 사용합리화
- ③ 대체물질 사용확대
- ④ CFCs 회수와 재이용
- ⑤ 국제협력과 홍보활동 강화

V. 결 론

급변하는 환경오염에 대한 국제적인 관심에 대해 우리나라도 다각적인 방향에서 이 문제의 대응책을 강구하지 않으면 안된다. 리우선언에서 언급한 오존파괴방지, 국가간 이동성 대기오염저감 그리고 지구온난화방지에 대하여 세계적 동향, 피해, 문제점 그

리고 대응과 과제를 본문에서 제시하였다. 이에 대한 결론을 요약하면 다음과 같다.

1. 관측, 계획, 감시

(1) 산성우(선구물질, pH, 황산염, 질산염 등), 지구온실효과(기온, CO₂, CH₄, CFC, N₂O), 오존층파괴(CFCs)에 관련된 인자를 지구적 측면에서의 관측 및 감시기 위한 지상 측정방법개발과 시행

(2) 지역기류이동, 오존층손상 그리고 지면 기온분포의 인공위성을 통한 감시체계 확립.

2. 현상해명

(1) 탄소수지를 정확하게 예측할 수 있는 탄소순환 모델 보완개발

(2) 온실가스가 공기중에서 일어나는 화학 반응의 발전적연구 지속.

(3) 대기대순환 모델(GCM) 보완개발

3. 영향평가

생태계, 인체, 농업, 수문, 토지이용, 연안 생태계, 산업, 기타.

4. 방지대책과 기술개발

(1) 신에너지 개발과 소비

(2) 선구물질 제거의 신기술 개발

(3) CFCs 대체물질 개발

(4) 농림수단 개선(오존층파괴와 지구온난화 대비)

(5) 주거방법 개선(오존층파괴와 지구온난화 대비)

(6) 지하수탐사 신기술개발

(7) 산림보전

(8) 바이오매스

5. 정책개발

(1) 전략모델 개발

(2) 장기예측모델 개발

(3) 과징금 등의 효과, 비용평가기법 개발

(4) 규제방법의 가능성 검토

이상과 같은 대안을 “환경적으로 건전하고 지속 가능한 개발”이라는 측면에서 수립하므로 인류의 생존권 확립과 하나 밖에 없는 지구를 보전하는데 국제적인 합심이 있어야 한다.

참고문헌

1. 권숙표 등 : 최신환경위생학, 집현사 : 서울, 1985.
2. 溪川照彦 : 公害の對策 1, 17, 1965.
3. Morriss K : Ind Eng Chem 41, 11, 1949.
4. 社團法人 産業公害防止協會 : 酸性雨に關する調査研究現狀(米國. カナダ), 國際環境ニュース, 1982-2
5. 노부호 : 지구환경관련 국제업무연수반 교재, 국제환경협약(대기분야), 환경처, 1993.
6. 國際學術研究公開 シンポジウム '89 : '環東海域における酸性雨-雪', 日本金澤市, 1989년 9월 29일~30일.
7. Glass, NR et al : Effects of acid precipitation, Environ Sci. Tech. 13 : 1350~1355, 1979.
8. 大喜多敏一 : 大氣保全學, 産業圖書 : 東京, 1982.

9. 이민희 : (산성우) 한국대기학회지
10. Smith, IM : CO₂ and Climatic Change. IEA Coal Reserch, 1988.
11. Ramanathan, V, RJ Cicesone, HB Singh and JT Kiehl : J Geophys Res. 90 : 5547~5566, 1985.
12. Arrhenius, S : On the influence of carbonin acid in the air upo the temperature of the ground. Philo. Mag. 41 : 237, 1896.
13. USEPA 豫測報告書 : 炭酸ガスで地球が温暖化する. (株) ハイライフ出版 : 東京, (翻譯版) 1989.
14. Charney, J : Carbon dioxide and climate : A scientific assessment, National Academy of Science, National Academy Press:Washington, DC, 1982.
15. Smagorinsky, J(Chairman) : Carbon-dioxide and climate : Second assessment, National Academy of Sciences, Nat Acad Press : Washington, DC, 1982.
16. Lacis, A and et al : Greenhouse effect of trace gases, 1970~1980. eophys Res Letters 8 : 1035, 1981.
17. Ramanathan, V : Climatic effects of anthropogenic trace gases, in Bach et al,(Eds), Interactions of energy and climate, Reidel Publishing Corp : Boston, Mass. 1980.
18. MacDonald, G : The lonterm impacts of increaseing atmospheric carbon dioxide levels, Ballinger Publishing Co : Cambridge, Mass. 1982.
19. Chamberlain, J and et al : Climate effects of minor atmospheric constituents, in Clarke, (Ed), Carbon Dioxide Review : 1982, Clarendon Press : New York, NY, 1982.
20. Donner L and Ramanathan V : Methane and nitrous oxide : Their effects on terrestrial climate. J Atmo. Sci. 37 : 119, 1980.
21. Wang, W and N Sze : Coupled effects of atmospheric N₂O and O₃ on the earth climate. Nature 286 : 589, 1980.
22. Wang, W and J Pinto : Climate effects due to halogenated compounds in the earth's atmosphere. J Atml. Sci. 37 : 333, 1980.
23. MOL 編輯部編 : 地球環境問題と 保全對策, 地球の温暖化, 株式會社オーム社 : 東京. p 7, 1990.
24. USEPA : Policy optioonsfor stabilizing global climate. Report to the congress (Draft), 1989.
25. Roland FS and MJ Molina : Stratospheric sink for chlorofluoromethanes : C chlorine atom-catalyzed destruction of ozone. Nature 249 : 810~2, 1974.
26. Farman, JC, BG Gardiner and JD Shanklin : Large losses of total ozone in antarctica reveal seasonal CLOX/NOX interaction. Nature 315 : 207~10, 1985.