



지구온난화의 원인과 그 대책

저자
(Authors) 임경택

출처
(Source) [과학사상](#) ,(14), 1995.8, 56-78(23 pages)

발행처
(Publisher) [범양사](#)
PUMYANG

URL <http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE00080983>

APA Style 임경택 (1995). 지구온난화의 원인과 그 대책. 과학사상(14), 56-78

이용정보
(Accessed) 이화여자대학교
211.48.46.***
2020/01/08 16:24 (KST)

저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독계약을 체결한 기관 소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

지구온난화의 원인과 그 대책

임 경택

동아대 교수·환경공학

1. 서론

예외적인 고온이 기록되는 해가 연속됨으로써, 이는 1980년대를 특징 짓고 지구온난화 등의 문제에 광범위한 관심을 불러일으키게 되었다. 그 10년 동안 우리는 지난 세기 중 가장 따뜻한 여섯 해를 맞이하게 되었고, 이 경향은 1990년대에도 계속되어 91년은 기록상으로 두 번째의 더운 해가 되었다. 이 모두가 언론에 역측을 날게 하여 지구의 온도가 염려스러울 정도로 상승했다고 보도되었는데, 세기 초 이래 지구 평균온도가 섭씨 약 0.5도 상승했다는 과학적 연구결과에 의하여 이런 생각은 더욱 강화되었다(그림 1). 기온 상승의 시기는 지난 역사에서도 알려져 있다. 가장 현저한 예는 이른바 기후최적 climatic optimum의 시기로서, 이는 약 5000~7000년 전의 일이며 그때 이후로는 존재한 바가 없는 온난한 시기였다. 그러나 현재의 지구온난이 계속된다면 그 옛날에 기록된 온도를 쉽게 초과하게 될 것이다. 중세기 초에 있었던 후기 온난의 한 시기와는

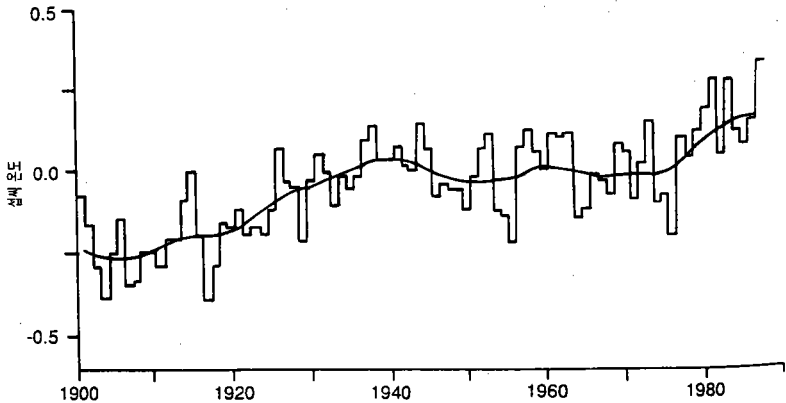


그림 1 20세기의 지구 평균 지표기온

이미 갈아진 바 있고, 기록이 시작된 이래로 1930년대가 가장 높은 온도를 보여주고 있다. 비록 1980년대의 사건들 때문에 1930년대가 두 번째 자리로 밀려나기는 했지만 말이다. 이러한 온난의 시기는 과거에는 지구/대기 계의 자연적 변이도의 일부로서 받아들여졌지만, 현재의 온난현상은 다른 시각에서 보아야 한다. 즉, 이는 인간활동에 의하여 만들어진 최초의 지구온난화 현상인 듯하다.

그 기본적인 원인은 인공적으로 생산된 온실기체가 많아짐으로써 초래된 온실효과의 증대 때문인 것으로 보여진다. 대기중 온실기체의 농도가 19세기 후반부터 증가하기 시작했다는 것은 일반적으로 인정되고 있다. 화석연료 사용이 증가함으로써 다량의 이산화탄소(CO_2)가 방출되고, 자연식생의 파괴는 환경의 균형을 회복하지 못하게 한 것이다. 다른 온실기체, 즉 메탄(CH_4), 아산화질소(N_2O), 염화불화탄소(일명 프레온가스: CFCs) 등의 수준도 역시 높아지고 있다. 이 모든 기체들은 대기중의 지구복사를 유보하는 능력을 가지고 있으므로, 그 결과 지구온도가 점차 높아지게 되는 것이다. 최근의 온난화와 온실효과의 증가가 서로 연결되어 있다는 것은 명백하다. 대부분의 언론과 지구 기후변화의 조사분석에 참여한 많은 사람들이 그 관계를 기정사실로 받아들이고 있다. 소수의 반대

목소리도 있다. 이들은 증거의 성질과 그것이 안고 있는 신속성에 불안감을 나타내고 있다. 1989년 봄에 행해진 지구의 기후변화에 관한 연구에 참여했던 환경과학자들이 조사한 바에 의하면, 온난화의 범위에 대하여 아직도 많은 의문이 있다는 것이다. 이들의 60퍼센트 이상이 지구온도에 있어서 현재의 온난화가 정상적 자연의 변이도 범위를 초과하고 있다는 확신을 완전히 갖지는 못했다는 것이다.

2. 온실효과의 발생

온실효과는 대기가 상이한 형태의 복사에 감응하는 데 있어서 선택적이라는 능력 때문에 초래된 것이다. 대기는 태양복사를 곧바로 전달하는데, 이는 주로 에너지 스펙트럼의 자외선 끝으로부터의 단파에너지가 주된 것이고 변경하지 않고 통과시킴으로써 지표를 가열한다. 지구가 흡수한 에너지는 대기로 재복사되지만, 이 지구의 복사는 장파인 적외선이고 전달되는 대신에 흡수되어 대기온도를 상승하게 한다. 대기중에 흡수된 에너지의 약간은 지표로 되돌아와 또한 그 온도를 상승시킨다. 이것은 온실이 작용하는 방법과 유사하다고 생각된다——햇빛은 들어오게 하지만 그 결과 생긴 열은 내부에 포집한다. 따라서 온실효과라는 명칭을 사용한다. 사실상 온실에서 온도를 유지되게 하는 것은 온실 속의 유리이며, 이것이 내부의 따뜻한 공기와 외부의 차가운 공기를 혼합되지 못하게 막고 있는 것이다. 실제의 대기에 있어서는 혼합에 대한 그러한 장애물이 없는 것이다. 어떤 과학자는 제안하기를, 이 과정은 온실효과라는 명칭의 사용을 배제할 만큼 충분히 다르다고 하였다. 그러나 온실효과라는 말은 완벽하지는 않지만 기술적 목적으로 계속 광범위하게 사용될 것이다.

온실효과가 없다면 지구온도는 현재보다는 훨씬 낮을 것이다——현재의 평균치 섭씨 +15도에 비교하여 평균 섭씨 -17도밖에 안 될 것이다. 이것은 대기의 아주 중요한 특징이지만, 이는 대기의 전체 용적의 1퍼센트 미만으로 이루어진 일단의 기체들에 의하여 가능하게 된 것이다. 이러한 온실키체는 약 20종류가 존재한다. 이산화탄소가 가장 풍부하지만 메

탄, 아산화질소, 프레온가스 그리고 대류권의 오존이 잠재적으로 중요하다. 비록 오존의 영향은 그 변이도와 짧은 생명기간 때문에 제한적이기는 하다. 수증기 역시 온실의 성질을 갖지만, 다른 기체보다 온실에 대한 논쟁에서 주목을 덜 받는데, 그 이유는 수계의 순환을 통하여 물이 자연적 순환을 하는 것이 아주 효과적이므로 그 대기중 농도는 인간활동에 거의 영향을 받지 않기 때문이다. 온실기체의 용적에 조금이라도 변화가 생기면 지구/대기 계의 에너지 흐름이 교란되고, 이것이 지구온도의 변화에 반영될 것이다. 이것은 조금도 새로운 것이 아니다. 비록 언론에서 온실 효과가 현대적인 현상이라는 것을 암시하는 경우가 때때로 있으나, 실제로 그렇지 않다. 그것은 수백만 년 동안의 대기의 특징이었으며, 때론 현재보다 강하고, 때론 약했을 뿐이다.

탄소순환과 온실효과

주된 세 가지 온실기체——이산화탄소, 메탄, 프레온가스——는 탄소를 가지고 있는데, 이는 환경 가운데 가장 흔한 원소이고 온실효과에 있어서 중요한 역할을 하고 있다. 이것은 모든 유기물질 속에 존재하며 단 순한 기체로부터 매우 복잡한 석유계 탄화수소의 유도체에 이르기까지 다양한 화합물의 구성성분이다. 환경 속의 탄소는 이동성이 있고 생물학적·화학적·물리적 과정을 감응하여 다른 원소와 재흡수하며 곧 변동한다. 이 이동성은 탄소화합물이 그 원천에서 방출되고 소멸원 sinks에 흡수되는 것 사이에서 균형을 유지하도록 작용하는 자연적 생물지화학적 순환 biogeochemical cycle에 의하여 통제된다. 자연의 탄소순환은 보통 자기조절력이라고 생각되지만 수천 년의 시간적 규모로 이루어진다. 그 주기는 단 기간에 걸쳐서는 균형을 잡지 못하는 것 같이 보이지만, 이는 관련된 과정을 불완전하게 이해하고 있음을 반영하는 것이거나 또는 아마 아직도 발견해야 할 소멸원이나 저장고 reservoirs의 존재를 가리키는 것이다 (Moore and Bolin, 1986). 이 계의 탄소는 몇 개의 중요 저장고 사이를 이동한다. 예컨대 대기는 어떤 주어진 시간에 탄소 7500억 톤 이상을 가지고 있는데, 육지에는 2조 톤이 저장되어 있고 바다에는 40조 톤이 함유되어 있다 (Gribbin, 1978). 육지에 살고 있는 생물·유기체는 4500~

6000억 톤을 가지고 있어 대기중에 저축된 것보다는 적다. 그리고 세계의 화석연료의 탄소 저장량은 5조 톤이나 된다(McCarthy et al., 1986). 이들은 수백만 년 동안 순환에 있어서 활성화되지 못했으나, 이제는 채광과 화석연료의 연소에 의하여 현대사회의 에너지 수요가 증대된 결과 재 도입되고 있다. 이것은 이산화탄소의 형태로 재활성화되어 환경 속의 탄소의 자연적 흐름을 교란하기에 충분한 양으로 대기의 저장소 속으로 방출되고 있다. 가장 큰 자연적 흐름은 대기와 육지 생물권 사이 그리고 대기와 해양 사이이다. 이들 흐름은 때때로 변하지만 온실효과에 미치는 장기적 영향은 없다. 왜냐하면 이들은 지구/대기 계의 통합적 일부분이기 때문이다. 이와 대조적으로, 화석연료 연소로부터 대기중으로의 투입은 자연의 흐름보다는 적지만 수백만 년 동안 그 계에 참여하지 않은 탄소를 포함한다. 이것이 재투입되면 이 계는 즉각적으로 대응하지 못하고 평형을 잃는다. 자연의 소멸원은 새로운 이산화탄소가 생산되는 대로 빠르게 흡수하지 못한다. 그리고 대기 속에 그 초과분을 잔류시켜 온실효과를 강화하고 지구온난화에 기여하게 된다.

화석연료의 소각은 이산화탄소 50억 톤 이상을 매년 대기중에 첨가하게 되는데 그 90퍼센트 이상이 북미, 중앙아메리카, 아시아, 유럽 및 구 소련에서 유래된다. 화석연료의 사용은 인간활동에 의한 이산화탄소 발생의 주된 원천이 되며, 그것의 증대는 자연식생을 파괴한다. 이는 대기중의 이산화탄소 수준을 높이고 광합성 과정에서 재순환하는 양을 줄이게 된다. 광합성은 모든 녹색식물이 하는데, 이에 의하여 태양에너지가 화학적 에너지로 전환되는 것이다. 그것은 기체교환을 포함한다. 이 과정 동안 식물의 잎을 통하여 섭취된 이산화탄소는 탄소와 산소로 분해된다. 탄소는 식물 속에 유보되며, 산소는 대기중으로 방출된다. 광합성에 의한 이산화탄소 통제에 있어서 식물의 역할은 성장기간 동안 기체 수준의 변화에 의하여 명백히 나타난다. 하와이의 마우나로아 관측소가 측정한 바에 의하면, 이산화탄소 농도는 북반구에서 여름에는 낮고 겨울에는 높다. 이 변화는 북반구에서의 광합성의 효과를 반영하고 있으며, 북반구는 세계 식물의 다수를 지니고 있다. 식물은 여름의 성장기간 동안 이산화탄소를 흡수하고 겨울의 동면기간에는 흡수하지 않는데, 그 차이는 지구의 이산

화탄소 수준을 반 년간 변동시키기에 충분한 것이다.

나무를 벌채하면 광합성의 감소로 간접적으로 이산화탄소 수준을 올리게 되고, 이산화탄소는 또한 직접연소에 의하여 대기중에 첨가된다——생물체의 부패에 의해 그리고 새로이 노출된 토양으로부터 탄소의 산화 증가에 의해 이러한 과정은 현재 인간활동에 의한 이산화탄소 배출의 5~20퍼센트에 이르는 것으로 추산된다(Waterstone, 1993). 이는 남미와 동남아시아의 열대우림에서 특히 잘 일어나는 현대적 현상이라고 생각된다(Gribbin, 1981). 그러나 월슨에 의하면 북미, 호주, 남아프리카의 개척농업의 정착은 19세기 후반에 이산화탄소 수준에 큰 기여를 했다고 한다. 이것은 1850~1950년 사이에 벌채와 산불 때문에 탄소 1200억 톤이 대기중에 방출되었다는 관측에 의해 어느 정도 지지되고 있다(Stuiver, 1978). 화석연료의 연소는 동일기간에 오직 그 절반의 이산화탄소만을 생산하였다. 현재의 추정에 의하면, 광합성의 감소와 산림의 벌채에서 오는 대기중 이산화탄소의 증가는 연간 10억 톤에 이른다(Moore and Bolin, 1986). 이것은 그 전의 값보다 약간 적은 것이다. 그러나 화석연료의 연소에 의한 연간 기여도는 1850~1950년 사이의 것에 비하면 10배나 된다. 대기중 이산화탄소의 전체 연간 투입량이 60억 톤에 이르지만, 대기중 이산화탄소 수준의 증가는 오직 연간 25억 톤에 불과하다. 그 차이는 바다와 육지의 생물권 biosphere 그리고 아직도 알려지지 않은 다른 배수구에 의한 것이다. 비록 대양이 연간 흡수하는 이산화탄소의 양이 25억 톤이라고 하지만, 최근의 연구에 의하면 실제의 전체량은 그 절반에 지나지 않는다고 한다(Taylor, 1992). 나머지의 행방은 온실효과의 연구에 있어서 중요한 암시가 되며 앞으로 계속 조사되어야 할 것이다. 바다는 여러 가지 방법으로 이산화탄소를 흡수한다——식물성 플랑크톤의 광합성의 결과로서 또는 바다생물의 탄산칼슘의 껍질이나 뼈(골격)를 성장시키는 데에 그리고 대기와 바다의 경계면에 직접 확산하는 데에 이용된다. 해수의 혼합작용은 흡수된 이산화탄소의 재분배를 일으킨다. 고위도에서는, 예컨대 그 지역의 차가운 표면수에 따라 탄소의 배수구가 첨가되고, 그에 반하여 저위도에서는 탄소가 풍부한 물의 수면으로 떠올라 이산화탄소가 다시 도망가게 된다. 그러나 깊은 심해의 물의 전도 turn-

over 는 비교적 느리고, 배수구 속에 또는 죽은 바다생물의 골격 속으로 운반된 탄소는 수백 년 동안 저장된 채 남게 된다. 만gulf 의 해류와 같은 표면해류를 통하여 신속한 혼화가 발생하지만, 일반적으로 바다는 대기의 이산화탄소 변화에 서서히 감응된다. 이것은 인간활동에 의하여 대기중에 첨가된 이산화탄소의 40~50퍼센트 이상을 바다가 흡수할 능력이 없다는 것을 명백히 설명해준다. 비록 그것이 추가적인 탄소 모두를 흡수할 능력이 있기는 하지만, 바다는 지구/대기 계에서 가장 큰 탄소의 적극적 저장소를 구성하며, 이산화탄소를 흡수하는 그들의 능력은 의심할 여지가 없다. 그러나 거기에 관련되는 특수한 메커니즘은 아주 복잡해서, 그들을 잘 이해하려면 대기, 바다 그리고 생물권 사이의 상호작용을 더 깊이 연구해야 한다(Crane and Liss, 1985).

온실효과의 변동

옛날의 환경의 증거가 암시하는 바로는 온실효과는 과거에 상당한 변동이 있었다. 예컨대 제4기 빙하기에는 간빙기 동안에 비해 온실효과가 강하지 못했다(Bach, 1976 ; Pisias and Imbrie, 1986). 현재의 관심은 그 증가하는 강도와 거기에 관련된 지구온난화다. 이에는 대기의 이산화탄소 농도 증가가 주된 범인으로 인정된다. 비록 온실통계 중에서 가장 강력한 것은 아니더라도, 그것은 가장 풍부하며 그 농도가 신속히 증가하고 있다. 그 결과, 온실효과가 기후에 미치는 영향의 경향을 잘 나타낸다고 생각된다. 꼭 정확한 크기를 나타내지는 않더라도 말이다.

스웨덴의 화학자인 아레니우스 Svante Arrhenius 는 이산화탄소의 증가가 지구온난화의 원인이라는 것을 최초로 인정한 사람이다. 영국의 틴들 John Tyndall 과 미국의 챔벌린 T. C. Chamberlin 도 그 연관을 조사했으나, 아레니우스는 최초로 온도 상승을 정량적으로 예측하였다. 금세기 초에 그는 자기가 발견한 것을 공표했는데, 그때에는 산업혁명의 환경에의 연루가 음미되기 시작하고 있었고, 그 이후 얼마 동안은 지구의 복사기 후에 미치는 이산화탄소 수준 증가의 잠재적 영향이 주목받지 못하였다. 그리고 1903년 아레니우스에 의하여 계산된 이산화탄소로 유발된 온도 상승의 추정은 1960년대 초까지 개선되지 못했다. 이 논제에 관한 보고서

가 가끔 나타났으나(e. g. Callendar, 1938 ; Revelle and Seuss, 1957 ; Bolin, 1960), 1970년대 초에 와서야 환경에 대해 인간의 간섭이 잠재적으로 가지는 무서운 결과에 관하여 흥미를 갖기 시작했다. 이 즈음 이산화탄소 생산의 증가와 대기의 탁도의 증가가 기후변화를 일으킬 수 있는 두 개의 주요인자로 인식되었다. 그 중 전자는 온난화를 일으키는 더 큰 잠재력을 가지는 데에 반하여, 후자는 냉각을 일으킬 수 있는 것으로 생각되었다(Schneider and Mesiroow, 1976). 이후 한동안은 냉각이 지배하는 것 같았다(Calder, 1974 ; Ponte, 1976). 그러나 1980년대 초기에 이루어진 온실온난화에 대한 수많은 조사 결과 그것이 변경되었다(e. g. Idso, 1980 ; Manabe et al., 1981 ; Schneider and Thompson, 1981 ; Pittcock and Salinger, 1982 ; Mitchell, 1983 ; NRC, 1982 and 1983). 그들이 밝힌 바는, 과학자들이 일반적으로 온실효과가 강화되고 있는 속도를 과소평가한다는 것, 그리고 지구온난화가 환경이나 인간활동에 미치는 그리고 계속해서 일어나는 효과를 조사하는 데에 실패했다는 것이다.

1985년 10월에 오스트리아 빌라흐 villach 에서 이산화탄소와 다른 온실기체가 기후변동과 이에 관련된 영향에 대하여 갖는 역할을 국제적으로 평가하는 회의가 개최되었다. 온실기체에 대한 자문집단(AGGG)이 과학연맹국제위원회(ICSU), UN환경계획(UNEP) 그리고 세계기상조직(WMO)의 후원 아래 창설되었다(Environment Canada, 1986). AGGG의 주된 과업은 2년에 한 번씩 온실기체에 관련되는 국제적 및 지역적 연구를 재검토하고, 온실기체의 농도 증가속도를 부정기적으로 평가하며 그 증가의 효과를 추정하는 일이다. 그들은 온실기체로 인한 기후변화의 사회경제적 영향에 관한 조사를 지원하고, 더 조사해야 할 지역으로서 동남아시아의 몬순 지역, 북미의 5대호, 주극지방 周極地方을 지정했다.

유럽에서는 플론 Flohn 이 인간활동에 의하여 야기된 지구온난화의 기후적 결과에 대한 연구를 응용시스템분석국제연구소(IIASA)를 위해 수행했는데(1980), 이 연구는 이산화탄소에 대해 고려를 하고 있다. 더 최근에는 유럽공동체위원회(CEC)가 대기중 이산화탄소의 배가 doubling에 의하여 야기되는 기후변화의 사회경제적 영향에 대한 연구를 지원했다(Meinl et al., 1984; Santer, 1985). 지구온난화의 연구에 관련된 정부기

관의 수가 세계적으로 증가함에 따라서 연구의 전체적 상황을 평가하려는 노력이 있어야 한다는 것이 명백해졌다. 이것은 WMO와 UNEP가 1988년 기후변화에 대한 정부내위원회를 만들으로써 가능해졌다(IPCC). IPCC는 위의 연구에 대한 정보평가와 함께 적당한 대응전략 형성도 요청받았다. 수백 명에 이르는 세계 과학자의 협력으로 IPCC는 1990년에 〈과학적 평가 *The scientific assessment*〉라는 첫 보고서를 냈다(Houghton et al., 1990). 이에 대한 영향평가와 대응전략도 뒤따라 나왔다. 〈과학적 평가〉는 지구 온난화에 대한 최근의 지식과 장래 발전에 대한 예언도 포함하고 있다. 1992년에 보충 보고서가 나왔으며, 이는 일반적으로 이전의 평가결과를 확인함과 함께 황산염의 배출과 오존 감소가 지구온난화 경향에 미치는 효과에 큰 주의를 환기시키고 있다. 1992년 리우데자네이루에서의 지구정상화회의에서 서명된 기후변화에 대한 대회의 윤곽의 통합적 일부는 지구온난화에 대한 관심이라 할 수 있다. 이 대회의 의도는 인간의 지구온난화에 대한 기여도를 다루고 오존 감소에 대한 몬트리올 의정서(Montreal Protocol)에 비견할 수 있는 국제적 행동의 수단(매개체)을 만드는 일이었다. 그러나 대부분의 관측자들에게 그것은 단지 소수의 목표물을 가지며 적당한 강제기구가 없는 상징적 선언에 지나지 않았다(Clery, 1992; Hulme, 1993). 미국이 최소의 온실기체 배출목표까지도 동의하기를 거절하고 제3세계 국가들이 배출 감소를 위해 필요한 에너지 효율기준을 지지하지 않으려고 한 점은 이 대회를 더욱 약화시켰다.

이 대회의 약화는 정책 결정자와 과학자들이 가지는 견해차를 반영하는 것이다. 지구온난화에 대한 연구의 분량이 엄청남에도 불구하고 많은 중요 요소——온난화의 규모와 시기와 같은——가 불완전하게 이해되고 있으며, 따라서 정확성을 가지고 예측하기가 어렵다. 이러한 형태의 불확실성은 과학적 연구에 흔히 있는 일이고, 과학자들도 이를 인정하고 있다. 그러나 그것은 계획자와 정치가들 사이에서는 문제에 대한 즉각적인 주의를 요구하는 논쟁을 감아먹는 것으로 보인다. 정책 결정자들은 온난화를 다루기 위한 정책실시의 시기와 장소를 정하는 데에 최종 발언권을 갖기 때문에, 그들이야말로 자연에 대한 비난을 받아야 할 것으로 보인다. 그러나 어떤 환경주의자들은 주장하기를, 과학자들은 불확실성에 너

무 주의를 기울였고 또한 전면적 온난화의 무서운 결과에 너무 적은 주의를 했기 때문에 실패했다고 한다.

그 비난이 어떻게 분배되든 간에, 불확실성의 결과 중 하나는 과학적 평가에 대하여 확신을 갖지 못한 사람들 또는 현재 상태로 남아 있는 데에 이해관계를 가진 사람들로 하여금 추가적 연구에 의해 지구온난화가 주는 실제의 충격이 나타날 때까지 이 문제를 다루기 위한 아무런 조치도 취할 필요가 없다고 성공적으로 주장할 수 있게 한 것이다. 그것은 몇십 년이 걸릴 것이라는 얘기인데, 그러나 이 문제를 연구하는 몇몇 연구자들은 그 때에는 이미 너무 늦을 것이라고 경고하고 있다(Roberts, 1989; Henderson-Sellers, 1990).

대기중의 이산화탄소와 기온의 변화

이산화탄소의 농도는 과거에 상당한 변화가 있었다. 극지의 얼음 속에 갇힌 공기방울을 분석해보면, 제4기 빙하기에 대기의 이산화탄소 수준이 가장 낮았다. 그 당시 대기에는 180~200ppmv(parts per million by volume : 부피로 나타낸 백만 단위당)의 이산화탄소가 있었으나, 그 수준은 100년의 짧은 기간 내에 60ppmv나 변동되었다. 따뜻한 간빙기 동안 그 수준은 275ppmv로 상승했고, 이것은 또한 19세기 초기 산업혁명 전 시기의 대표치로 생각되었다. 1880년대에 프랑스 과학자들이 산업혁명의 효과를 느끼기 시작하면서 이산화탄소 농도를 측정했는데, 이것은 지겐탈러(Siegenthaler, 1984)에 의해 재평가되었다. 그의 결론에 의하면, 그 당시 농도는 285~290ppmv였다는 것이다.

1957년 하와이의 마우나 로아 관측소에서 처음으로 이산화탄소가 측정되었을 때, 농도는 310ppmv로 올라갔고 계속해서 1년에 1ppmv씩 올라가 1980년에는 335ppmv에 도달했다. 그때 이래로 이산화탄소 농도는 매년 2~4ppmv씩 올라가 1980년대 중반에는 345ppmv 수준에 도달했다. 200년 동안 70ppmv의 증가를 나타낸 것이다. 빙하기와 간빙기 사이의 차이는 거의 같으나, 그것은 수만 년의 시간간격으로 측정되었다. 353ppmv라는 현재의 수준은 산업혁명 전의 용적보다 25퍼센트 더 높은 것이며 지나간 10만 년의 지구역사에서 선풍이 없는 것이다(Watson et

al., 1990). 2050년까지 현재의 증가속도가 계속된다면 대기의 이산화탄소 농도는 450ppmv가 될 것이고, 2075년까지는 500~600ppmv에 이르게 되며, 이는 1800년대의 두 배 이상의 수준이 되는 것이다.

이러한 경향을 예측하는 것은 어려운 일이다. 장래의 성장속도와 농도는 여러 가지 인자에 의존하는데, 예컨대 산업발달의 성질과 속도, 지구의 숲이 계속 파괴되는 범위 그리고 이산화탄소 생산을 감소시키는 것을 목표로 하는 계획의 성공 여부 등이다. 대부분의 연구는 그들의 예측을 몇 개의 시나리오에 기초하고 있는데, 그 중의 하나는 보통 현재의 상황을 직접 투영하는 것이고——예컨대 IPCC의 여느 때와 같은 사업의 시나리오이고——다른 것은 이산화탄소의 증감과 다른 기체의 결합에 기초한 것이다. 그 순결과는 장래의 온실기체 수준이 보통 임의의 수치보다는 가능성의 범위로서 나타난다는 것이다.

1900년 이래 지표온도가 섭씨 0.3~0.6도 상승했는데, 이는 온실기체의 상승 수준에서 기대된 것과 대충 일치하는 속도다(Houghton et al., 1990). 슈나이더 Schneider의 주장에 의하면, 지구는 1880년대보다도 1980년대에 섭씨 0.5도가 더 따뜻하다. 그러나 그 변화는 고르지 않았다. 주된 기온 상승은 1910년과 1940년 사이 그리고 1975년 후에 다시 있었다(Gadd, 1992). 1940~75년 사이에 온실 수준이 올라갔는데도 지구온도는 특히 북반구에서 감소하였다. 거기에 부가하여 기록을 분석해보면, 1940년 이전의 비교적 신속한 온난화는 아마도 자연적 기원에 의한 것으로 보인다. 이러한 변화는 지구의 온도에 있어서 정상적인 자연의 변화 범위 내에 있다. 그러나 한센 Hansen과 레베데프 Lebedev의 계산에 의하면, 1960~80년대 사이의 온난화는 1880~1940년대 사이의 것보다도 더 빨랐으며, 이것이 암시하는 바는, 온실온난화는 일반적인 배경소음 general background noise에서 나타나기 시작하는 것 같다는 사실이다. 우주 연구에 대하여 고다드 Goddard 연구소의 한센은 이어서 지구온실의 신호가 너무 강력하여 이산화탄소 증가와 지구온난화 사이의 인과관계를 추론할 수 있다고 주장한다(Climate Institute, 1988a). 그러나 논쟁은 계속되고 있다. 케쉬지 Khesghi와 화이트 White는 자연적 기후변이도의 차원과 원인에 대하여 더 많은 것이 알려질 때까지는 온실온난화 신호를 전면적 소음

과 분리하는 것이 가능하지 않을 것이라고 결론지었다. 위글리 Wigley 와 바넷 Barnett 은 IPCC의 〈과학적 평가〉에 실린 그들의 기고에서 중간적 입장을 취하고 있다. 그들은 관측기록에서 온실효과가 높아진 증거가 없다는 점에 주의하고 있다. 그러나 이것이 현재의 조사기법에서 불확실 또는 부적당한 부분적인 함수일 수 있다고 강조하고 있다. 요컨대 비록 온실기체 유도로 가온화된 것이 감지되지 못했을지라도 그것이 존재하지 않는다고는 말하지 않는다. 지구온난화는 보통 컴퓨터화한 일반순환모델에 기초를 둔 대기모델링 기법(GCMS)을 사용함으로써 그 추정치를 얻을 수 있다. 예컨대 온실효과의 증가가 기온에 미치는 영향을 검토하기 위해서는 모델의 이산화탄소 성분을 특수한 수준까지 올린다. 컴퓨터 프로그램을 모델 속에 포함된 여러 기후인자 사이에 평형이 얻어질 때까지 돌린다. 그리하여 새로운 온도에 도달한다(그림 2). 이 방법은 1980년대까지 일반적 동의를 만들어냈으므로 이산화탄소 농도가 두 배로 되었을 때는 섭씨 1.3~4도의 평균 온난화를 일으키게 된다(Manabe and Wetherald, 1975 ; Cess and Potter, 1984 ; Dickinson, 1986 ; Bolin et al., 1986). IPCC 평가는 섭씨 1.5~4.5도를 만들어냈는데, 가장 좋은 추정치는 섭씨 2.5도였다. 이런 결과는 금세기 초 아레니우스가 만든 추정치 섭씨 4~6도와 비교된다(Kellogg, 1987). 뉴웰 Newell과 도프릭 Dopplick 에 의한 계산은 더 적은 증가를 나타냈는데, 열대 바다 위의 온도는 평균 섭씨 0.03도의 증가였고, 아이드소 Idso 의 추정치는 섭씨 0.26도의 지구적 증가였다. 그러나 이렇게 낮은 값은 이에 관해 조사한 대부분의 과학자들에 의해 대표적인 것이 아니라고 간주되었다. 추정된 온도 증가가 특별히 인상적인 것이 아니라 할지라도——주로 평균적 지구온도이기 때문에——과거의 세계 온도변화의 증거는 그들이 상당한 기후변화와 기후 관련 활동의 변화를 이끌어갈 수 있는 크기였다는 사실을 가리키고 있다. 지난 빙하기 다음의 따뜻한 시기였던 기후 최적기간 동안, 즉 5000~7000년 전 북미와 유럽의 온도는 현재의 평균치보다 오직 섭씨 2~3도만 높았다. 그러나 그들은 중요한 환경변화를 일으킨 것이다. 그 시기의 증거 그리고 중세 초기의 따뜻한 시기(800~1000년 전)로부터의 증거는 또한 어떤 변화에 대한 가장 큰 영향은 북반구의 중위도에서 고위

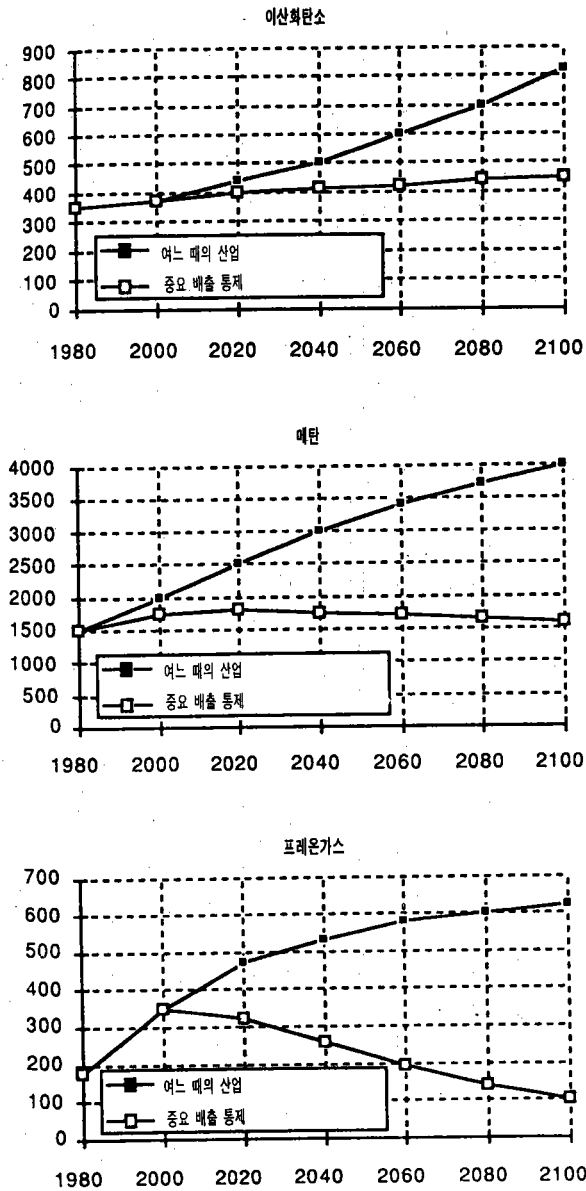


그림 2 온실기체 수준의 변화

도에 걸쳐서 느껴질 것이라고 암시한다.

지구적 변화를 조사하는 데에 사용되는 모델은 지역적 수준에서는 보통 정확성이 적다고 생각되고 있으나, 그들은 이들 지나간 지리적 경향을 지지하고 있다. 이산화탄소가 배가되면 캐나다 기후센터의 일반순환모델(GCM)은 여름과 겨울에 이 나라의 남부에 대하여 거의 섭씨 5도의 온난화를 가리킨다. 북쪽에서는 계절적 차이가 상당하며, 겨울의 평균온도 증가는 섭씨 8~12도, 여름에는 섭씨 1도 이내다(Hengeveld, 1991). 북러시아에 대해서도 유사한 값이 예측되었으나, 북서유럽에서의 연증가에 대해서 섭씨 2~4도가 더 가능성 있게 고려되었다(Mitchell et al., 1990). 그러나 후자의 지역에서는 기후가 북대서양 순환에 의하여 강력하게 영향을 받으며 신뢰할 만한 해양/대기 모델이 이제 개발단계에 있으므로, 이 지역에 대한 기온변화의 정확한 예측은 어렵다.

저위도에서 추정된 기온 증가는 일반적으로 적다. 중국에서의 예측에 의하면, 그 나라에서의 기온 상승은 섭씨 2~3도이고 서부 내륙지방에서만 3도를 초과할 것이다(NGGCC, 1990). 남부 유럽, 아프리카의 사헬 Sahel, 동남아시아 그리고 오스트레일리아에서——IPCC 평가에서는 이 모두의 지역을 특별히 주목하고 있는데——예측된 증가는 1~2도 내이며, 오직 남부 유럽만이 여름철에 3도의 증가가 기대된다(Mitchell et al., 1990).

대기환경에서는 여러 인자가 밀접하게 상호관련되기 때문에, 만약 기온이 변한다면 다른 인자의 변화도 또한 일어날 것이라는 점을 기대할 수 있다. 예컨대 습도의 패턴이 변경될 가능성이 있다. 북미의 중부 초지에서는 전체 강수량이 10~20퍼센트 감소할 것이고, 여름의 토양습도는 50퍼센트 감소할 것이다(Manabe and Wetherald, 1986). IPCC의 추정치는 약간 더 적다. 여름 강수량은 5~10퍼센트 감소하고, 토양습도는 15~20퍼센트 감소하나, 이런 수치에 대한 확신은 약하다. 중국의 북부와 북서부에서 2도의 기온 증가가 기대되는데, 증발률이 20퍼센트 증가하여 이 지역에서 건조의 문제를 일으키고 있다(NGGCC, 1990). 유럽의 대부분의 여름과 가을 그리고 남부는 연중 강수의 빈도가 낮고, 토양습도를 25퍼센트나 감소시킨다. 어떤 예측에 의하면, 아프리카 일부와 동남

아시아에서는 더 많은 강수가 가능하다(Wigley et al., 1986; Kellogg, 1987). 후자는 여름철에 토양습도가 10퍼센트까지 증가하여 이익을 얻게 되지만 사헬과 같은 아프리카의 일부에서는— 여기에서는 기온 상승이 2도 이상은 되지 않는데— 겨울 강수가 5~10퍼센트 감소하고, 여름 강수는 5퍼센트 증가하여, 토양습도 감소를 예방하는 데에는 부족할 것이다. 습도 그리고 성장계절의 길이와 강도의 변화 등이 기존 식생의 패턴을 교란하고 많은 지역에서 농업활동의 중요 변화를 요구하게 될 것이다.

예측에는 많은 변수가 있기 때문에, 변화가 일어날 때에만 그 사정의 현실성은 명백해질 것이다. 인간의 인자는 특히 예측할 수 없다. 기술적·정치적·사회경제적 조건 그리고 인구동태까지 이산화탄소의 농도변화에 기여할 수 있다. 그러나 이들 인자의 변화의 크기는 예측이 불가능하다.

다른 온실기체의 기여도

온실효과의 장래에 있어 강도변화에 대한 대부분의 예측은 대기중 이산화탄소의 함량변화에만 기초하고 있다. 따라서 그 정확성이 의심스럽다. 왜냐하면 이산화탄소가 유일한 온실기체도 아니고 가장 강력한 것도 아니기 때문이다. 메탄, 아산화질소 그리고 프레온가스는 다른 온실기체 가운데 가장 중요한 것이다. 대류권의 오존 역시 온실효과를 높일 수 있으나, 현재의 농도는 시간과 장소에 따라 아주 변동적이고 장래의 경향에 대해 확실한 것도 없다(Bolle et al., 1986). 메탄은 지구/대기 계의 성분으로서, 그 기원은 유기물질의 혐기성 분해에 있으며 주로 지구의 습지에서 발생한다. 상당한 메탄량이 지구의 흰개미 군집에서 생산된다(Crutzen et al., 1986). 이산화탄소에 비하면, 대기의 메탄은 1.72ppmv로서 매우 낮다. 그러나 분자 대 분자로서 그것은 이산화탄소보다 21배나 효과적이며, 그 농도는 연 0.8~1퍼센트로 증가하고 있다(Blak and Rowland, 1988 ; Shine et al., 1990). 이러한 증가의 가장 중요한 원인은 농업의 발달에서 찾을 수 있다. 경작을 하고 토지를 개간하기 위해 생물 질량을 소각하는 것은 메탄을 대기에 보태는 것이다. 마치 소, 양, 돼지 등 세계적으로 증가하는 가축의 군집이 그들의 소화消化 과정을 통해 산

당한 양의 메탄을 대기중에 방출하는 것과 같다. 농업에서 생산되는 메탄의 가장 큰 원천은 쌀의 경작이다. 논은 물로 범람하고, 따라서 적어도 연중 일부분은 자연의 습지를 많이 닮은 혐기성 환경을 제공해준다. 증가하는 메탄 수준에 대한 그들의 전체 기여도는 측정하기 어려운데, 그 이유는 세계 논의 60퍼센트가 인도와 중국에 있고 여기에서 신뢰할 수 있는 데이터를 얻기는 일반적으로 어렵기 때문이다. 그러나 지난 50년 동안 연간 쌀생산은 배로 늘었고, 거기에 비례하여 메탄 배출도 증가했을 것이다(Watson et al., 1990). 비록 한때 생각된 만큼 많지는 않아도, 에너지 산업은 또 하나의 중요한 인간활동에 의한 메탄의 원천이다. 그것은 식물질을 석탄으로 전환하는 부산물로서, 석탄을 가지고 있는 지층에 포집되고 석탄을 채굴할 때 대기중으로 방출된다. 메탄은 천연가스의 중요 성분 중 하나이며 굴착작업중에 발생되거나 파이프라인 또는 펌프장에서 누출되기도 한다. 이들 원천들은 지구 메탄 배출의 15퍼센트에 이른다(Hengeveld, 1991). 또한 유기성 쓰레기를 매립하는 곳도 혐기성 분해가 이루어져 잠재적으로 상당한 메탄의 원천이 된다고 생각한다. 그러나 배출에 대해 정확한 추정을 하려는 노력은 관련된 유기성 쓰레기의 성질과 양에 대한 적당한 자료가 없어서 저지되고 있다.

대기중 메탄의 수명은 평균 10년이다. 그것은 히드록실기와의 반응에 의하여 제거되고, 이 과정에서 물과 이산화탄소가 생기는데, 이 양자는 온실기체나 메탄보다는 효력이 작다(Watson et al., 1990). 대기의 히드록실기 수준은 현재 이산화탄소와 같이 다른 인간활동으로 생산된 기체와의 반응의 결과로서 감소하고 있으며 메탄의 제거에 있어서 환원을 일으키고 있다(Hengeveld, 1991). 감소된 농도의 전체적 영향은 평가하기 어려우나, 메탄의 대기중 배출은 계속 증가하여 즉각적인 15~20퍼센트 정도의 배출 감소가 현재 수준의 농도 안정을 위하여 필요할 것으로 추정되고 있다(Watson et al., 1990). IPCC의 보충 보고서는 대기중 메탄의 농도 성장속도가 이미 늦추어지기 시작했다는 약간의 증거에 주목하고 있다. 이 증거로 토양습도나 고위도의 온도 상승과 같은 인자에 의한 잠재적 피드백 작용이 장래의 메탄 배출의 상당한 증가를 초래할 수 있을 것이다. 이 모든 경향은 메탄이 계속 온실효과의 장래의 증가에 기여할

것이라는 점을 암시하고 있다.

아산화질소의 현재 대기중 농도는 310ppbv(용적)로서 이산화탄소보다 1000배나 적고 이산화탄소, 메탄보다는 느린 속도로 증가하고 있다. 아산화질소는 토양의 탈질 denitrification에 의하여 대기중으로 자연방출된다. 그리고 주로 성층권의 광화학적 작용에 의하여 분해된다. 이는 오존층을 파괴하는 데에 기여하는 일련의 반응이다. 아산화질소가 증가한 것은 화석연료의 사용 증가와 농업비료의 탈질 때문이라고 생각되고 있다. 그러나 IPCC 평가의 결론은 화석연료 연소의 증가에 대한 기여도에 대한 과거의 평가가 너무 과대했고——아마 열 배쯤——농업활동에 있어서 아산화질소의 생산속도는 정량화하기 어렵다는 것이다. 이리하여 비록 아산화질소의 전체적 증가는 계산될 수 있으나, 특수한 원천에서 비롯되는 양은 정확히 예측하기 어렵다. 아직도 확인되어야 할 원천이 있다는 가능성이 있다. 그 결과, 지구의 아산화질소 수지收支는 충분히 이해되지 못하고 있고, 그러므로 그 장래의 농도를 예측하기가 어렵다. 냉장고의 절연용 폼 foam, 스프레이 캔 그리고 산업공장들에서 방출되는 프레온가스와 다른 탄화수소는 성층권의 오존층을 파괴하는 요인으로 인정되고 있으며 또한 가장 강력한 온실기체이다. 예컨대 CFC-11은 이산화탄소보다 1만 2000배나 더 효과적이다(Houghton et al., 1990). 프레온가스는 그 기원이 인간활동에 있는 것이며, 따라서 다른 가스보다 감시하고 통제하기가 더 쉽다. 대기중의 그것의 농도는 CFC-115는 5pptv (parts per trillion by volume), CFC-12는 484pptv이며 연간 4~10퍼센트의 속도로 증가하고 있다. 할론(Halon-1211, Halon-1301) 등 탄화수소는 주로 소화용 방화제로 쓰이는데, 현재 농도는 2pptv이고 연간 15퍼센트의 속도로 증가하고 있다(Watson et al., 1990). 프레온가스 사용을 감소시키려는 국제적 합의는 오존층의 손상을 방지하는 것이 목적이다. 그러나 그것은 또한 온실효과에도 약간의 영향을 미칠 것이다. 프레온가스는 대기중에서 체류시간이 길다——CFC-13 및 CFC-115의 경우 400년까지. 그리고 배출속도가 떨어질 경우에도 얼마 동안은 장래 지구온난화에 계속 기여하게 될 것이다. 이들 다른 온실가스의 존재는 장래의 온실 수준을 예측하는 데 수많은 불확실성을 도입한다. 그것들 중 어느 것도 개별적으로

이산화탄소만큼 중요하지 않다. 그러나 온실효과에 미치는 그것들의 결합된 영향력은 이미 이산화탄소의 절반쯤 된다는 제안이 있다(Bolle et al., 1986). 그리고 다음 세기 초까지 지구온난화에 대한 그것들의 기여도는 이산화탄소의 그것과 같아질 것이라는 것이다(Ramanathan et al., 1985). 그들의 영향은 몇몇의 연구자들의 이산화탄소 배출 저감 시나리오에서 그 중요성이 증대될 것이다. 오존층 감소에 프레온가스와 아산화질소의 관여는 복잡성을 더해줄 것이다. 이들 가스가 오존층에 주는 효과를 감소시키고자 하는 기도는 온실효과에도 또한 영향을 미칠 것이다. 메탄, 아산화질소, 프레온가스와 같은 가스들이 과거에 이산화탄소만큼 주목을 받지 않았지만, 분명한 것은 지구온난화를 다루는 개발계획에는 이산화탄소뿐만 아니라 모든 온실기체들에 대한 고려를 포함시키지 않으면 안 될 것이다(그림 3).

3. 온실기체 증가로 환경과 사회경제가 받게 되는 영향

이산화탄소 증가는 C3식물(쌀, 밀, 콩 등)이나 C4식물(수수, 옥수수, 조 등)의 광합성을 촉진시켜 성장을 촉진한다. 자작나무는 400~700ppm v 이산화탄소에서 줄기의 직경, 높이, 무게가 증가되었으며, 고위도 식물분포도 변화한다. 북쪽 숲은 1도 기온 상승으로 100킬로미터 속도로 남한계선을 북쪽으로 이동시키고, 캐나다는 250~900킬로미터 이동으로 툰드라를 덮을 것이다. 북쪽 숲은 궁극적으로 소멸할 것이다. 토양온도 상승으로 인해 유기물 분해 및 식물성장이 촉진될 것이다. 질병과 해충 및 곤충의 만연은 현존의 것과 상쇄될 것이다. 숲의 건조로 화재가 잦아지고 온난화 대응속도에 불균형을 이루면, 숲은 사멸하여 경제에 영향을 미칠 것이다(캐나다, 스웨덴, 핀란드는 이런 숲의 벌채로 수확을 얻고 있다). 저위도에서는 습도량과 분포에서 변화가 올 것이다. 온난화로 강수가 감소되고 증산이 이뤄지면, 지중해성 기후가 나타나는 남유럽, 남아프리카, 남미 일부 서호스트레일리아 등에서 생물권의 조성·분포에 변화가 생길 것이다. 몬순 지역에 강수가 증가하면 몬순의 북방 확대에 의해 북호스트레일리아에는

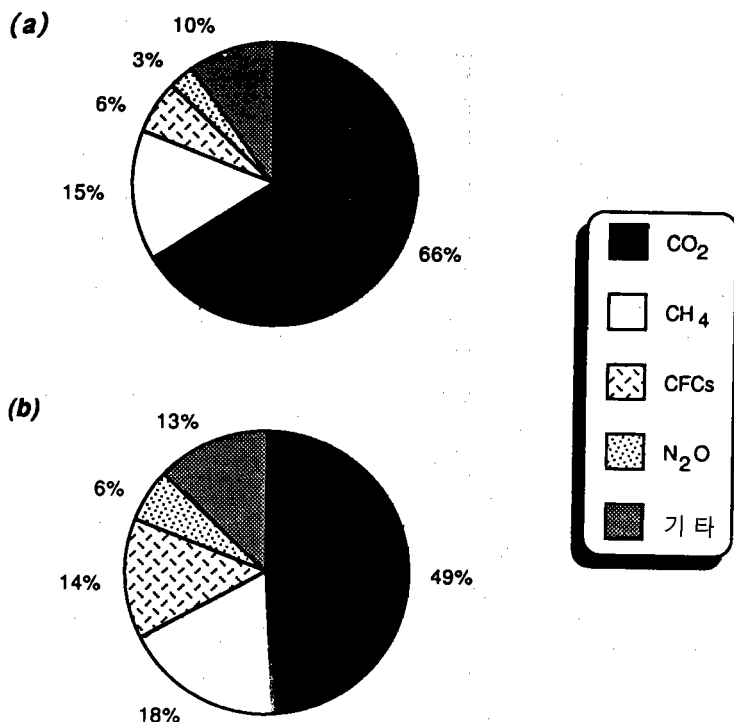


그림 3 온실가스의 지구온난화에의 기여도

열대, 아열대 식물이 확대될 것이다. 사헬은 강수 증가와 증산 증가가 상쇄될 것이다. 자연식생과 경작식생이 변화하여 중·고위도에 농업이 확대될 것이다. 이산화탄소가 배가되면 알래스카에서 성장계절이 3주 연장되고 경작 불가능하던 것이 가능해져 양배추, 브로콜리, 홍당무 등의 경작이 이루어질 것이다.

캐나다 온타리오의 성장계절은 북쪽은 48일, 남쪽은 61일이 연장될 것이다. 뉴질랜드와 호주는 해안지대에 서리 없는 계절이 30~50일 연장될 것이다. 이산화탄소 농도가 두 배로 증가하면 풀을 기준으로 하여 생물질량의 퍼센트가 9퍼센트 증가하고 곡식생산은 덴마크가 36퍼센트, 그리스가

31퍼센트 증가될 것이다. 중국의 농업생산은 2퍼센트 증가하고, 고위도에서 쌀, 옥수수, 면화의 생산영역이 50~100킬로미터 이동하고, 열대, 아열대의 과일경작이 가능해질 것이다. 기상의 순환패턴 변화로 인한 온도 상승, 건조, 강수 감소, 중발의 증가에 따라 남부 온타리오의 곡식생산은 연간 1억 달러의 손실을 입을 것이다. 건조와 가뭄으로 미국 중서부의 곡물생산과 캐나다의 밀생산이 감소하고 곡창지대인 우크라이나도 고통을 받을 것이다. 1980년대에 많은 강수와 고온으로 인한 광합성 증가로 10퍼센트의 쌀 증산이 기대되었으나, 1992년 패리Martin Parry의 연구결과는 21세기 중엽에 곡식생산의 15~20퍼센트 감소가 예상돼 기근이 우려된다(주로 아프리카, 열대 라틴아메리카, 인도, 동남아시아에서). 고온에서는 물의 공급이 중요하며 온실효과가 수자원에 미치는 효과에 대해서는 연구가 부족하다. 오스트레일리아와 캐나다에서 수문학적 주기 hydrological cycle의 연구가 있었는데, 그 결과, 지표 형태가 강수와 유출에 영향을 준다고 한다. 해면에 대한 연구는 열팽창과 빙하의 용해로 지난 세기에 10년에 1.5센티미터씩의 상승이 있었음을 보여주며, 온난화가 가속되면 해면 상승은 10년에 3~10센티미터가 이루어진다. IPCC의 추정으로는 2030년에 18센티미터, 2070년에 44센티미터 상승하며, 홍수와 해안침식 등이 네덜란드, 영국 등에서 심해지고 하천에 홍수방벽이 필요하다고 한다. 《엔바이런먼트 캐나다 Environment Canada》는 폭풍 쇄도로 문제를 야기하는 곳은 하수도, 폐수처리장, 도로, 철도, 항구 등이라고 한다. 해면이 20센티미터 상승되면 중국 동해안은 100만 헥타르가 위험에 처하게 되며, 방글라데시에서 해면이 50센티미터 상승하면 10만 헥타르가 침수된다. 태평양 마셜군도는 3미터 높이, 몰디브 Maldives 군도는 6미터의 높이밖에 되지 않으므로 홍수, 해안침식은 사람을 살 수 없게 할 것이다. 지구 온난화로 중발이 많아지면 에너지 흐름이 대기와 바다에서 높아지고, 저기압이 강화되어 가공할 파괴가 생긴다. 영국과 서구에서 일어난 1987, 90년의 재난이 이를 설명해준다. 사이클론 cyclones, 타이푼 typhoons, 허리케인 hurricanes 등에 대한 기상예보가 맞지 않게 된다. 이들 태풍은 경사 26~27도 이상의 해면에서 발생하는데 현재보다 광범화, 빈번화될 것이다. SST 온도가 섭씨 2~4도 상승하면 열대성 사이클론은 20

퍼센트 강화된다. 그리고 200~400킬로미터 남쪽으로 확대되어 오스트레일리아, 뉴질랜드, 북서태평양, 북대서양 등이 고통받게 될 것이다. 이리하면 남태평양 사람들이 살아 남기 어렵게 된다. AOSIS(Alliance Of Small Island States)는 리우의 UN기후변화회의(1992년)에서 선진국기금으로 재난보험계획의 창설을 희망하였다. 재난방지 계획수립에 도움을 받고자 한 것이다. 또한 극지의 만년설의 용해는 해면을 3~4미터 상승시키고 세계 중요 항구는 존립하기 어려워 방어를 위한 비용을 지급해야 할 것이다. 경제적 영향은 난방에서 에너지 사용에 큰 영향을 미친다.

4. 대 책

① 환경에 관한 국제협약에는 다음과 같은 것들이 있다. 우선 빈협약은 오존층 파괴물질의 감축을 위한 국가간 의무와 협력을 규정했고, 몬트리올의정서는 그 부속 의정서로 프레온가스 및 할론의 생산, 사용을 규제하고 있으며, 기후변화협약은 이산화탄소 등 온실가스의 배출 저감 의무와 행동을 규정한다. 바젤협약은 유해폐기물의 국가간 이동 통제와 안전처리 의무를 규정하고, 런던협약은 폐기물의 해양투기로 인한 오염방지를 위한 국제협약이다. 그밖에 야생동물의 교역에 관한 협약, 생물 다양성 협약 등이 있다.

기후변화협약은 온실기체의 대기중 농도를 안정시키려는 목적을 갖고 있으며, 각국은 일반적 의무로서 온실기체에 대한 배출량, 흡수량의 통계와 정책이행에 대한 국가보고서를 작성하고 이를 총회에 제출하기로 했다(선진국은 협약발효 후 6월 내, 개발도상국은 3년 내, 그 후는 주기적으로 제출). 또한 기후변화 방지를 위한 국가전략을 수립, 공포하고, 에너지 수송산업 부문의 기술개발과 기후변화 관측체계의 확충 및 이산화탄소 흡수제인 산림 등 생태계의 보호와 국민 의식 계도 등에 국가적으로 공동협력해야 한다. 선진국은 특별 의무사항으로서 2000년까지는 1990년 수준으로 온실기체 배출을 안정화할 목적으로 온실기체 저감과 흡수원인, 산림보호를 위한 국가정책 채택과 구체적 조치를 이행해야 한다.

에너지/탄소세는 온실기체의 저감을 위하여 배출자에게 석유 1배럴당 3~10달러를 부과하여 환경개선에 사용하고 에너지 가격 인상으로 소비절약을 유도하고자 하는 것인데, 이에 대해서는 여러 나라가 찬반으로 나뉘어져 있다.

배출권 거래제도는 이산화탄소 배출량을 지역별로 할당하여 실제 배출량과의 차이를 상호거래하고 이산화탄소 배출에 경제적 부담을 두게 하는 제도다. 선진국은 개도국에게 기술이전과 재정지원을 하고자 노력해야 한다. 특별 고려 대상국은 소도국小島國, 저지대 해안국, 건조국, 사막국, 산악국, 화석연료 과다 의존국, 에너지 다소비국 등으로서 재정지원, 기술 이전에 있어서 특별 고려할 수 있도록 했다.

② 국내법으로는 오존층 보호를 위한 특별법이 제정되어 있다(1991. 1. 14 법률 제4322호, 개정법 1993. 3. 6., 1993. 12. 7. 이에 따른 시행령, 시행규칙도 제정되어 있다). 이는 빈협약과 몬트리올 의정서의 규정 시행을 위하여 특정물질의 제조, 사용을 규제하고, 대체물질 개발과 이용을 촉진하며, 특정물질의 배출억제, 사용합리화 등을 효율적으로 추진하는 것을 목적으로 한다. 또한 95종의 특정물질을 오존층 파괴물질로 지정하고 오존파괴지수도 규정하고 있다. 그밖에 제조허가, 제조수량 규제, 수입판매가 조정, 배출억제와 사용합리화 지침의 공고, 오존층 등의 관측, 조사연구에 대한 정부지원 사용합리화기금 설치와 조성 그 운용관리 기금의 사용 등을 규정한다.

③ 이산화탄소 저감을 위해서는 화석연료 이외의 대체에너지 개발이 필요하다. 태양에너지, 핵에너지, 지열, 풍력, 수력, 조력潮力 에너지 저장 방법 등이 개발되어야 한다.

④ 가능한 기타 온실가스의 대체물

㉠ 스프레이 캔(CFC-11, 12, 113, 114) : 프로판, 부탄은 널리 사용한다(CO_2 , N_2 , NO_x 등 압축가스).

㉡ 냉각용 프레온가스(CFC-11, 12, HCFC-22-502-500) : 현재 연구중인 것은 중장기적 대체물인 HCF-152a, 염소가 없는 HFC-134a, 디메틸에테르 등이 있고, 암모니아 사용, 냉매의 수거 재사용 등의 방법이 있다.

㉔ 폼 : 절연 및 단열용 폼은 플라스틱 통에 프레온가스를 불어넣어 만든다. 강성 폼과 유연성 폼은 이산화탄소로 부풀릴 수 있다. 단단한 폼은 HCFC-123에 희망을 걸고 있다.

㉕ 용제(CFC-113) : 전자산업에서 회로기판을 닦거나 금속, 기계 등의 표면세척, 의류, 모피 등의 드라이클리닝에 사용한다. 새로운 납땜방법 개척으로 세척을 필요 없게 할 수 있다. 감귤 껍질을 알콜 추출해서 얻은 테르펜 terpene 을 대체물로 시험중이다. Cl_4 등은 염소가 많아 오존층 파괴나 발암 위험이 있다. 드라이클리닝의 경우 HCFC, HFC류를 사용할 수 있고, HCFC-1416, HCFC-123, 메탄올의 불연不燃 혼합물이 개발중이다.

㉖ 소화제(halons-1211, 1301, 2402) : 그 대체물로 이산화탄소, 폼 및 분말소방제를 사용할 수 있다.

참고 문헌

1. David D. Kemp, "Global Environmental Issue : A Climatological Approach," *Routedge* 2nd Ed., 1994.
2. R. A. Bailey et al., *Chemistry of the Environment*, Academic Press, 1978.
3. Alan Newman, "Heading for zero Alternatives to CFCs and Halons, Environ," *Sci. Technol.* Vol. 26, No. 12, 1992.
4. Lester B. Lave & Hadi Dowlatabadi, "Climate Change : The Effects of Personal Beliefs and Scientific Uncertainty," *Environ. Sci. Technol.* Vol. 27, No. 10, 1993.
5. 국제환경문제연구소 편, 《환경관계법규》, 동화기술, 1995.