

## 溫室效果와 氣候

다음 세기의 가장 중대한 環境問題인 溫室效果가 아직까지 명백하게 解明되지 않고 있다. 英國 East Anglia대학 氣候研究班의 P. D. Jones氏와 R. A. Warrick氏는 溫室效果에 기인하는 氣候變化 可能性과 이를 어떻게 인식하는가에 대해 研究를 하였다.

만약 공기중에 이산화탄소가 없다고 가정하면 이 세상은 추워지게 될 것이며, 지구의 평균 온도는 영하 30℃의 황량한 지구로 될 것이다. 지난 수백만년동안 대기중의 이산화탄소 농도와 지구온도는 상당한 변화가 있어 왔다.

마지막 빙하기의 가장 추웠던 시기에는 이산화탄소 농도가 190ppmv 정도로 낮았으나, 産業化 이전 준위로 불리는 18세기의 이산화탄소 농도는 280ppmv 정도로 증가하였다. 1985年度 이산화탄소 농도는 345ppmv로 産業化 以前 準位에 비해 거의 25% 증가되었다.

대기중 이산화탄소 농도 증가는 지구를 따뜻하게 하는데, 이산화탄소는 투명하여 단파의 태양광선을 받아들이고 지구의 장파 복사선을 흡수하게 되어 대기의 온도를 상승하게 하는 것이다. 일반적으로 이산화탄소는 溫室에서의 유리와 같은 역할을 하게 되며, 그런 이유로 이산화탄소에 의한 온도상승을 溫室效果라고 표현하고 있다.

온실효과를 가져오는 기체로는 이산화탄소 뿐만 아니라 메탄, 질소산화물, 염소화불화탄소 및 대기권의 오존과 같은 기체들도 마찬가지로

온도상승을 가져온다. 온실효과를 가져오는 이들 기체들을 이산화탄소와 동등하게 취급하여 증가화하여 표현하고 있으며 등가이산화탄소 농도는 1985년에 395ppmv이고, 다음 세기에는 대단히 증가할 것으로 예상되고 있다.

지난 100年間의 급격한 증가는 거의 대부분이 人間에 의한 것이었다.

이산화탄소 증가의 주요원인으로는 공업화와 농업활동 및 화석연료와 Biomass 연소 등이다. 온실효과를 가져오는 기체의 發生源을 대폭 감소시키지 않는다면 인류역사상 유래를 찾을 수 없을 정도로 지구온도는 상승하게 될 것이다.

溫室效果를 일으키는 기체의 증가가 기후에 미치는 영향을 기후모델을 갖고 설명할 수가 있는지?

지구온도가 얼마까지 상승할 것인지?

온실효과에 기인한 氣候變化를 감지할 수 있는지?

이상과 같은 의문에서 氣候變化의 감지가 가장 중요한데, 이는 溫室效果에 대한 確實한 증거가 있어야 氣候變化의 영향을 방지하거나 개

선하기 위한 적극적인 활동을 하게 될 것이기 때문이다.

## 温室效果氣體 增加에 따른 氣候敏感度實驗

몇시간 후나 며칠 후의 기상전망은 불확실성을 안고 있으며, 영국에서 작년 10월의 폭풍이 바로 이런 경우이다.

한 계절후의 기상을 전망하는 기술은 실제로 존재하지 않으며, 마찬가지로 수십년 후의 장래 기상전망에는 엄청난 어려움이 따르게 된다. 그럼에도 불구하고 관계계획과 같은 대규모 수자원사업을 설계하는 사람이나, 長壽命의 구조공학 설계자들은 미래의 기후에 대한 자료를 필요로 한다.

기후가 같을 것인지? 따뜻해지거나 혹은 추워질 것인지? 습해지거나 건조해질 것인지? 등의 질문에 답변을 하기 위해 기상학자들은 기상모델을 使用한다.

증가되는 온실효과 기체농도와 기후와의 관계를 조사하기 위해서 여러 형태의 기후모델이 사용될 수 있는데 가장 간단한 1차원 모델에서는 산업화 이전 이산화탄소 농도의 2배가 되는 때의 직접적인 효과로 지구의 평균 지표면 대기온도가 약 1.3℃ 상승할 것으로 예측했다.

신뢰성있게 온도상승효과를 예측하기 위해서는 온도상승에 영향을 줄 수 있는 얼음이나 눈의 량과 구름이나 수증기 등에 대한 간접적인 피드백이 고려되어야 한다. 이러한 목적으로 사용되어지고 있는 가장 복잡한 모델중의 하나로 3차원(시간포함) 모델인 일반순환모델(General Circulation Models)이 있는데, 이 일반순환모델(GCMs)은 日間기후예측에 사용되는 모델을 개선한 것이다.

장기간에 걸쳐 지구 전체의 기후를 예측하기 위해서는 기후일반순환모델을 변형하여 공간간격을 넓게 잡고 많은 소규모 기후처리를 단

순화하여야 한다. 그렇게 하지 않으면 電算費用이 엄청날 것이다. 現모델에서는 300km×300km의 격자공간을 사용하고 있다.

계산은 약 10분 간격으로 숲 지구표면의 정방향 격자구조에 대해 물리적인 방정식의 답을 구하게 되며, 낮은 기압시스템이나 前線은 고려될 수 있으나 국지적인 뇌우는 제외되는데, 이것은 모든 정방향 격자의 계산을 단순화하여야 하기 때문이다. 따라서 일반순환모델(GCMs)은 국지기상의 자세한 분야까지를 처리할 수는 없다.

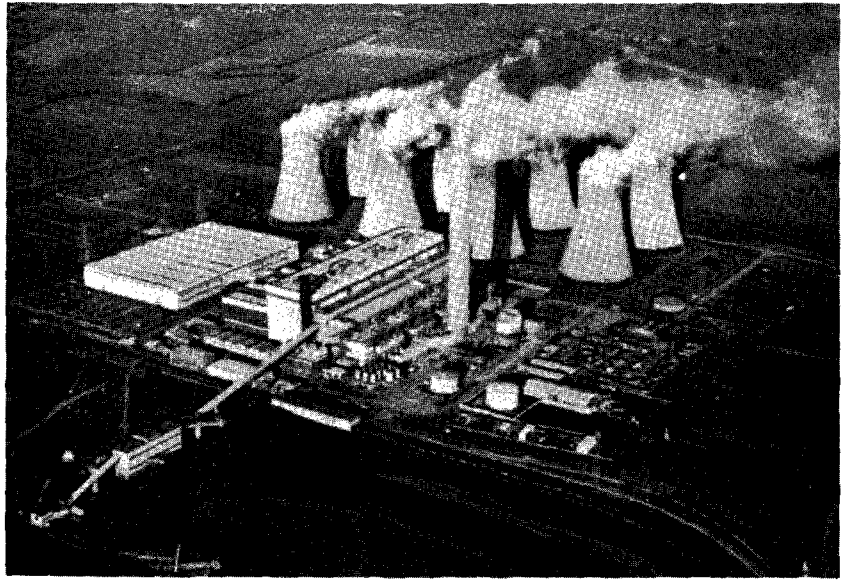
容量이 큰 電算機는 작은 격자로 세분화하여 분할할 수 있을 것이며, 이런 세분화된 공간규모로 처리하게 되면 더욱 모델이 구체화될 것이다. 使用되는 電算機가 새로이 개발된 대용량이 아니지만 대부분의 일반순환모델(GCMs)에서 대규모 공기순환으로 계산한 결과가 이론적인 결과와 같이 아조레스의 기압이 높고 아이슬랜드 부근이 낮은 기압으로 나타나고 있어 잘 일치하고 있다.

美國과 유럽에는 약 6개의 일반순환모델(GCMs) 모델링그룹이 있는데, 이들의 温室效果 調查結果는 이산화탄소 기준치(300ppmv)에 대비하여 2배인 600ppmv에서 계산한 결과와 비교하여 氣候變化를 나타낸다. 또한 모든 모델들이 지구 전체표면의 온도, 강수량 및 기압 등 氣候변동을 나타낼 수 있지만 지구표면의 대기온도 變化를 비교하는데 주로 중점을 두고 있다.

각 일반순환모델(GCM)은 서로 다르게 구성되고 간소화되어 있기 때문에 결과도 서로 다르게 나타나고 있다. 그러나 모든 모델에서 이산화탄소가 2배로 증가될때에 온도가 상승하는 것으로 결과가 나오고 있다.

現 일반순환모델(GCMs) 그룹들은 이산화탄소가 2배로 증가할 경우 1.5℃에서 4.5℃까지 지구온도가 상승하리라고 보고 있다. 모델의 공간형태 變更이 고려되면 氣候의 變動이 나타

▶ 대기중에 방출되는 CO<sub>2</sub> 가스의 증가가 온실효과의 주요한 원인으로 지적되고 있다.



나는데 온도상승은 극지방에서 가장 크게 나타나고 적도지방에서 조금 상승하게 되며, 여름보다 겨울에 온도상승 폭이 커질 것이고, 평균 강수량도 증가하게 되는데 특히 극지방에서 많이 상승하게 될 것이다.

모든 일반순환모델(GCMs)은 공통적으로 장소와 계절에 따라 강수량과 기온이 큰 변화를 보이고 있으나, 특별한 지역의 상세한 결과는 각 일반순환모델(GCMs)마다 서로 차이를 보이고 있다. 그 예로서 英國에서 온도상승이 클 것으로 모두 예측하고는 있지만, 온도상승의 폭이나 강우량의 증가율에서는 차이를 보이고 있다.

## 氣候變化의 豫測

미래의 氣候變化는 세가지 주요인자에 따라 좌우되는데 첫째는 기후시스템의 민감도에 따른 것이고, 둘째로 대기중의 溫室效果에 영향을 주는 기체의 生成率에 달려 있으며, 셋째는 기후시스템에서의 반응시간에 좌우되는데 대부분의 영향은 海洋의 온도상승 비율에 달려있

다. 평형상태(Steady-State)와는 반대가 되는 과도상태(실제적인)의 온도상승을 결정하는 것이 특히 중요한 인자이다.

평형상태와 과도상태의 차이점은 다음과 같다. 평형상태의 온도상승은 氣候의 變動이 이산화탄소 농도가 變化하면 일어나는 것으로 본다. 예를 들면, 모델로부터 계산한 기후의 민감도 한계치(1.5~4.5℃)가 평형상태의 값으로서 이산화탄소 농도가 2배로 될때에 해당한다. 이러한 값들은 이산화탄소의 순간적 濃度變化에 따라 결정되어지며 새로운 평형상태에 도달할 때까지 계속해서 계산을 수행하게 되는데, 실제로는 20~60년 혹은 그 이상의 기간에서 일어나는 것이다. 이러한 지연은 기후시스템의 熱貫性(Thermal Inertia)에 기인하는 것으로서, 특히 海洋의 온도상승에는 많은 시간을 필요로 하기 때문이다. 이러한 지연은 이산화탄소나 기타 기체의 방출을 갑자기 줄이거나 이들 기체의 농도를 일정한 수준으로 유지한다고 할지라도 온도의 상승이 지속됨을 의미한다. Irving Mintzer氏의 말처럼 평형상태의 變化는 온도상승과 같은 것으로 볼 수 있다.

반면에 과도상태의 온도상승은 温室効果を 가져오는 기체의 농도가 증가함에 따라 지속적으로 온도가 變化하는 것으로 이것은 시간이 경과하면서 평균적으로 실제 경험하게 되는 것이다.

자연효과 때문에 과도상태의 온도상승은 어느 일정한 시점에서 평형상태의 온도상승 정도의 약 40~80%가 된다(정확한 비율은 温室効果에 영향을 주는 기체의 축적률, 기후민감도와 해양과의 열혼합률 등에 좌우된다).

과도상태나 평형상태의 온도상승 예측은 앞으로의 영향이나 政策을 평가하는데 중요하다.

지금까지의 温室効果에 영향을 주는 기체 농도의 증가는 지구의 온도상승에 어느 정도 기여하게 될 것인가?

기후민감도의 범위를 1.5~4.5℃로 가정하면, 평형상태의 온도상승은 1880년에서 1985년까지 温室効果 기체 농도 變化로 0.6~1.8℃가 되며 이는 이미 우리 자신이 경험한 온도상승과 같다.

같은 기간동안 과도상태의 온도상승을 계산하면 0.4~1.1℃가 되는데, 이러한 온도상승도 이미 경험하여 왔다.

미래의 温度變化 추정은 온실효과 기체 방출률의 불확실성으로 인해 복잡해지는데, 미래에 대한 예측은 매우 다양하다.

가장 신뢰할 수 있는 예측에 의하면 다음 반세기 동안의 방출률 變化는 지난 10년간에 관찰된 것과 유사할 것으로 생각된다. 이러한 결과로 비추어 불매 産業化 以前 이산화탄소 농도의 2배가 되는 시기는 2020년경이 될 것이며, 이러한 예측을 사용한 평형상태의 온도상승은 1880년에서 2030년까지 1.6~4.9℃가 될 것이다. 4.9℃의 온도상승은 18,000년전의 가장 추웠던 빙하기와 현재의 間氷期사이에 일어난 일을 다음 100년내에 일어나게 하는 것과 비교될 수 있다.

과도상태 온도상승에서는 1880년에서 2030

년까지 1.3~3.1℃로 예측 된다. 또한 이 범위의 중간값(2.2℃) 조차도 단지 42년만에 달성된 것이 되며, 이는 인류역사에서 유래를 찾을 수 없는 정도의 온도 상승이다.

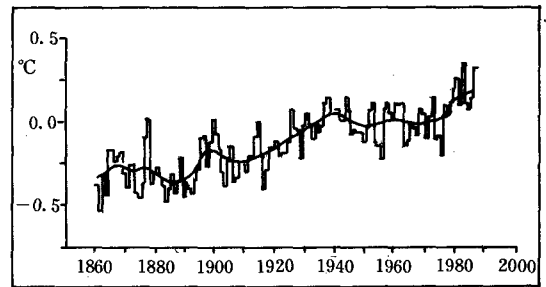
평형상태나 과도상태의 온도상승이 갖는 불확실성의 범위는 기체 방출률의 예측을 아주 높게 하거나 낮게 할때에 그 폭이 넓어지게 될 것이다.

## 温室効果의 感知

우리가 温室効果を 이미 경험했다고 이야기할 수 있는가? 이 질문에 답변을 하기 위해서는 관찰된 기록과 기후변화예측을 비교하여야 한다. 온도와 강수량자료로 부터 실마리를 찾을 수 있다.

가장 명백한 温室効果의 증거는 지구의 평균 표면온도기록으로 부터 나올 수 있을 것이며, 육지와 해상의 측정기록을 분석한 최신 결과는 그림1과 같다.

이 곡선은 19세기 말부터 1940년대까지 온도가 상승됨을 보여주고, 1970년까지 약간의 변화를 보이다가 최근 20년간 급격히 상승되고 있음을 알 수 있다. 가장 온도가 높은 4년은 1980년대에 모두 발생하였으며, 1987년이 가장 높았던 해로 기록되었다. 19세기말 이후 전체 온도상승은  $0.5 \pm 0.1 \text{ } ^\circ\text{C}$ 이며, 이는 앞에서 언급한 1880~1985년의 과도상태 온도상승(0.4~1.1℃)



<그림1> 지구표면공기온도(1950~1979년의 변화)

범위내의 낮은 쪽에 있다. 따라서 온실효과를 감지했다고 주장할 수 있는가? 불행하게도 이 증거는 아직 확실하지 않다. 문제는 원인과 영향을 확인하는데 있으며 기후는 매 10년 또는 그 이상 장기간 자연적으로 변화하고 있다.

이러한 자연적 변화치를 감안하여야만 온실효과를 제대로 알 수 있다. 유감스럽게도 아직까지 이러한 자연적 변동요인을 완전히 규명하지는 못하고 있으나 가능한 원인으로는 태양열 변화, 화산폭발과 기후시스템에서 동적변화(해류의 변화와 같은) 등이 있다.

온실효과에 의한 온도상승을 감지하기 위해서는

- 이러한 변화가 설명될 수 있어야 하고, 이들 인자를 추정하여야 하며,
- 온실효과의 증거가 확실하게 자연변동치보다 높게 증가되어야만 원인에 의심이 생기지 않는다.

이러한 일은 아직 일어나지 않고 있으며, 현재 우리가 말할 수 있는 것은 관찰된 온도상승이 우리의 기대와 일치되지 않고 있다는 것이다. 또한 이와 함께 유의해야 할 것은 강수량의 변화인데, 이 역시 온실효과의 지표로 가능하기 때문이다.

북반구의 강수량 분석자료는 그림2와 같다.

1940년 이후 평균 강수량의 증가는 북위 35°~70°에서 나타나고, 감소는 북위 5°~35°이다.

이러한 경향은 일반순환모델(GCM) 결과에서 예상한 바와 아주 일치하고 있다. 여기에도 의문이 제기되는데, 예를 들어 북위 5°~35° 사이의 건조지대는 아프리카의 사하라지역 영향을 강하게 받고 있으며, 어떤 모델에서는 이산화탄소 준위의 증가로 더욱 습해질 것으로 예측하기도 한다.

북위 35°~70°의 습지는 소련에서 다른 형태의 강우량 예측기를 지난 세기동안 사용하면서 더 많은 양이 측정되어 강수량 증가를 가져

오게 한 것이 결과에 영향을 주었다. 이러한 모순은 의심을 갖게 하며 온실효과의 감지를 확인할 수 없게 한다.

과학이 감지를 주장하기 전에 모든 의문시되는 점은 해결되어야 할 것이다.

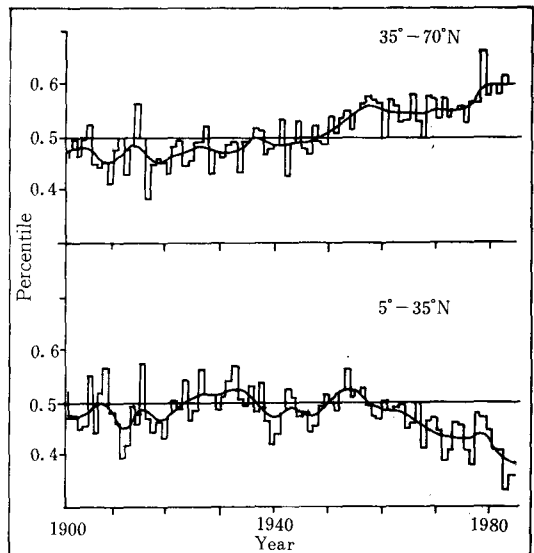
## 結 論

21세기의 가장 중요한 지구의 환경문제로 온실효과가 대두되고 있다.

정책입안자들은 정책결정의 판단에 어려움을 겪고 있으며, 판단은 적지않은 불확실성을 갖고 있는 과학적 지식에 근거하여 이루어져야 할 것이다.

現在 우리가 확실하게 이야기할 수 있는 것은

- 대기중 温室効果 기체의 농도가 증가되고 있으며(産業化 以前에 비해 40% 증가),
- 이 농도는 계속해서 다음 세기까지 증가하게 되고(방출을 감소하기 위한 노력이 취해지던 아니던간에 계속 증가할 것임),



〈그림2〉 북위 35°~70°와 5°~35°지역의 강우량

• 금세기동안 세계의 기온은 계속 상승하게 되고,

• 지구의 기후는 평균적으로 미래에 더 많이 상승하게 될 것이다.

또한 우리가 확실하게 이야기할 수 있는 것은 다음과 같다.

• 온실효과 기체가 산업화 수준의 2배에 도달하는 시기는 빠르면 21세기의 20년후, 늦으면 21세기 중반이 될 것이다.

• 지구의 평형상태 온도상승은 이산화탄소 농도가 2배가 될때 1.5℃에서 4.5℃까지 상승할 것이다.

• 2030년까지는 지구의 온도가 1880년을 기준으로 1.3℃에서 3.1℃까지 상승하게 될 것이다(오늘날과 비교하여 0.8℃에서 2.6℃상승).

미래의 지구기후가 인류역사에서 지금까지 경험한 것 보다 급격히 상승하는 양상이 나타나기 시작하고 있다.

이러한 인식은 명백하게 온실효과가 감지되었다라든가 혹은 특정지역에서 기후가 어떻게 변할 것이라고 정확하게 말할 수 없는 우리의 능력부족 때문에 경감되고 있다.

이러한 능력부족은 이 문제를 처리하는 명확한 政策의 수행에 장애를 가져오고 있다. 따라서 온실효과에 대한 우리의 이해를 확고히 하기 위해서는 과학에 의한 뒷받침이 매우 중요하며, 환경과 사회에 대한 잠재적인 영향을 이해할 필요가 있다.

오래 기다릴수록 기후변화의 폭은 더욱 커질 것이다.

## CEGB, 温室效果研究 支援

英國 中央電力廳(CEGB)은 地球氣候의 變化를 야기시키는 温室效果를 해명하기 위한 네가지 研究를 지원하기로 하였는데, 化石燃料가 燃燒될때 발생하는 이산화탄소가 温室效果를 가져오는 원인중의 하나로 알려져 있다.

이 네가지 研究課題는 앞으로의 氣候變化를 精確하게 豫見하는데 필수적인 것으로서 그 研究內容은 다음과 같다.

• 海洋에 흡수되는 대기중의 이산화탄소.

이 研究는 NERC의 Plymouth 海洋研究所가 주축이 되어 海洋生物의 탄소 재순환을 연구하는 형태가 될 것이다.

• 海洋의 따뜻한 水表面이 深海水로 이동할 때의 熱徑路.

이 研究는 1989년부터 시작되는 NERC의 世界海洋순환실험의 일부가 될 것이다.

• 熱과 수증기가 地上에서 대기중으로 이동하는 경로.

• 구름의 특성과 구름이 기후에 미치는 영향. 또한 英國 中央電力廳은 自然的 및 인위적인 시스템의 취약성으로 인해 야기될지도 모를 變化의 형태와 이 영향을 완화시키기 위해 취해진 對策 등을 평가하는 공동연구에도 참여하고 있다.