

# 기후변화와 인간생활

기상연구소 기후연구실·기상청  
권원태

## 1. 서론

기후는 지구상의 생명체에 중대한 영향을 미치는 요소이다. 특히 인간의 여러 활동, 건강, 농작물 생산, 복지 등에 주요한 영향을 미치고 있다. IPCC 제3차 보고서(IPCC, 2001)에서는 인간의 활동이 명백하게 기후변화에 영향을 미치고 있다고 결론을 내리고 있으며, 기후변화에 대한 믿을만한 증거들이 점차 발견되고 있음을 지적하였다.

기후변화란 기후가 어떤 요인에 의해서 변화하는 것을 말한다. 기후변화를 일으키는 요인으로는 천문학적 요인(밀란코비치 이론), 화산활동, 태양 에너지 변화, 대기 내부의 변동성을 비롯한 자연적인 요인과 온실기체 및 에어러솔의 증가, 삼림파괴 및 환경 변화에 의한 인위적인 요인이 있다. 지난 1세기 동안 관측 기록을 보면 전구 평균 기온이 약 0.6°C 상승하였으며(그림 1) 북반구 영역의 지난 1000년 동안 복원된 평균 기온에서도 지난 1세기 동안 급상승하는 경향을 보이고 있다. 또한, IPCC 3차 보고서에서 2100년까지 전구평균기온이 1.4~5.8°C 상승할 것으로 전망하였다.

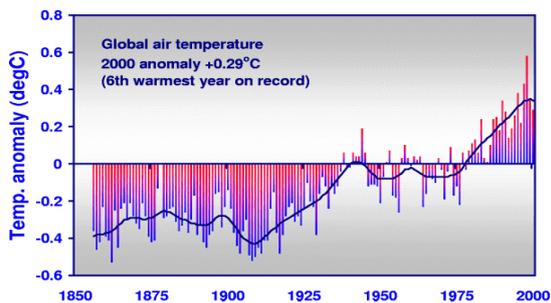


그림 1. 전구 평균기온 변화(IPCC, 2001)

## 2. 기후변화의 원인

최근까지 기후 문제는 대부분 대기권(大氣圈)에 국한되어 연구되어 왔다. 그러나 현재 기후학자들은 기후 문제를 대기권 밖으로 확장하고 있다. 기후시스템(그림 2)은 유체인 대기권과 수권(水圈)뿐만 아니라, 설빙권(雪氷圈), 생물권(生物圈)과 지권(地圈)의 복합 상호작용(相互作用)에 의하여 유지되고 있다. 이러한 기후시스템에 속하는 각 영역들 간에는 다양한 역학적, 물리적, 화학적 과정들이 복잡하게 얽혀있고, 또 각 과정들 간의 반응속도가 크게 다르기 때문에 외부의 특별한 변화 요인 없이도 기상과 기후는 계속적으로

변하고 있다. 이러한 자연적 기후 변동은 인위적 요인들에 의한 기후 시스템의 반응정도를 더하기도 하고 덜기도 한다.

지질학적 고기후 연구를 통하여 우리는 과거 수십 만년 동안 지구에서 여러 차례의 빙하기와 간빙기가 연속되어 왔음을 알고 있다. 빙하기에는 빙하와 눈이 지구의 많은 부분을 차지하였고, 간빙기에는 열대 우림이 지



그림 2. 지구 기후시스템의 모식도.

금보다 상당히 광범위하게 고위도까지 존재했었다. 이러한 지구 기온 변화의 원인으로 가장 많이 거론되는 것은 천문학적 요인과 온실기체로 인한 요인 등이 있다. 1920년 세르비아의 수학자 밀란코비치는 “태양복사에 의해 생기는 열 현상에 관한 수학 이론”을 발표하여 기후변화를 천문학적 요인에서 설명하였다. 이 천문학적 요인은 태양활동의 변화, 두 가지 경우의 지축 변화, 지구 공전궤도 변화의 네 가지로 분류할 수 있다. 태양과 지구의 기하학적인 배치가 변동되면서 지구에서 받는 태양 에너지의 양이 달라지면, 지구 기후변화가 발생한다. 빙하기와 간빙기의 기후 변화는 어느 하나의 요인에 의하여 일어난다고 하기보다는 이상의 네 가지 요인들이 서로 복합적으로 작용하고, 또 이에 따른 지구 내부의 변화, 즉 눈 또는 얼음이 덮인 지역의 확장과 수축에 따른 이차적인 기후 변화(알베도 효과), 대기 중 온실기체 함유량의 변화들이 더불어 함께 일어났으리라 알려지고 있다.

그러면 최근에 와서야 지구 온난화가 세계적 관심사가 되고 이유는 어디에 있는 것인가? 그 이유는 온실기체 증가에 의한 지구 온난화가 수천-수만 년의 기간에 걸쳐서 진행되는 변화가 아니라는 점, 인위적인 것일지 모른다는 점, 그 진행방향이 주기적이 아니라는 점, 그리고 그 진행 속도가 과거의 대기 중 온실기체 변화보다 상당히 빠르다는 점등에서, 우리 모두에게 경각심을 불러일으키고 있기 때문이다.

온실효과를 유발하여 지표 온도를 상승시킬 수 있는 온실기체 중에는 탄산가스 이외에도  $CH_4$ ,  $N_2O$ , CFCs 등의 대기 미량 기체들(atmospheric trace gases)을 꼽을 수 있다. 이들 대기 미량 기체들에 의한 지구 온난화는 탄산가스에 의한 온난화보다 아직은 심각하지 않다. 그러나 대기중 이 기체들의 함유량 증가 속도를 볼 때, 이들 대기 미량 기체들에 의한 온난화는 가까운 장래에 탄산가스에 의한 온난화를 능가할 것으로 보고되고 있다. 에어러솔도 인간활동에 의한 기후변화의 요인 중의 하나이다. 온실기체가 지구 온난화의 원인으로 지적되고 있는 반면에 에어러솔은 주로 냉각화에 기여하고 있는 것으

로 알려져 있으나 역할이나 기여도는 아직도 불확실성이 큰 것으로 평가되고 있다.

### 3. 20세기에 나타난 기후변화

IPCC는 2001년 발간된 3차보고서에서 20세기에는 전구 평균기온이  $0.6\pm 0.2^{\circ}\text{C}$  상승하였으며(그림 1), 해양보다는 육지의 기온 상승폭이 크고, 특히 1990년대는 가장 기온이 높았으며, 지역에 따라 차이가 크다고 분석하였다. 과거 기후자료에 의하면, 20세기의 기온변화는 과거 1000년간 가장 급격한 변화일 가능성이 높다. 또한 위성자료에 의하면 1960년대 이후 설빙권의 면적은 감소한 것으로 나타났으며, 강수량은 중고위도에서는 약간 상승하고 저위도에서는 감소한 것으로 분석되었다. 그러나 기후변화는 이러한 평균의 변화뿐만 아니라 변동폭이나 특이현상에도 영향을 미칠 수 있으며, 호우나 구름의 양, 가뭄 등의 발생의 변화가 있는 것으로 분석되었다. 그러나, 남반구에서는 기온의 변화가 크지 않으며 남극의 빙하도 크게 변하지 않은 것으로 분석되었다. 또한 중위도에 나타난 폭풍의 세기와 횟수의 변화는 수십년 주기변동과 관련이 있는 것으로 보이며, 장기간에 걸친 추세는 뚜렷하지 않다.

우리나라에서는 지난 20세기에 기후가 어떻게 변화하였을까? 1904년 근대기상관측이 시작된 이래로 현재는 약 70개소의 관측자료를 보유하고 있다. 그러나 50년 이상의 장기자료가 있는 지점은 14개소에 지나지 않는다. 그림 3은 1954년 이후 기온변화를 나타낸 것으로 특히 90년대에는 지구 온난화와 관련된 기온의 고온화가 현저하다. 기온의 상승 경향은 평균기온의 상승과 함께, 한냉일수가 감소하고, 온난일수는 증가함으로써 피부로 느끼는 온난화는 특히 급격히 증가하고 있다(그림 4).

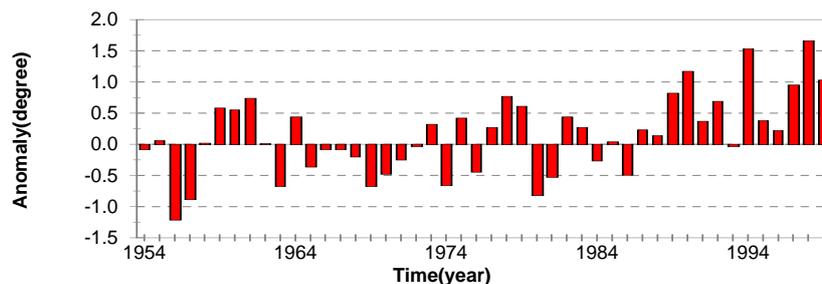


그림 3. 우리 나라 평균기온의 변화.

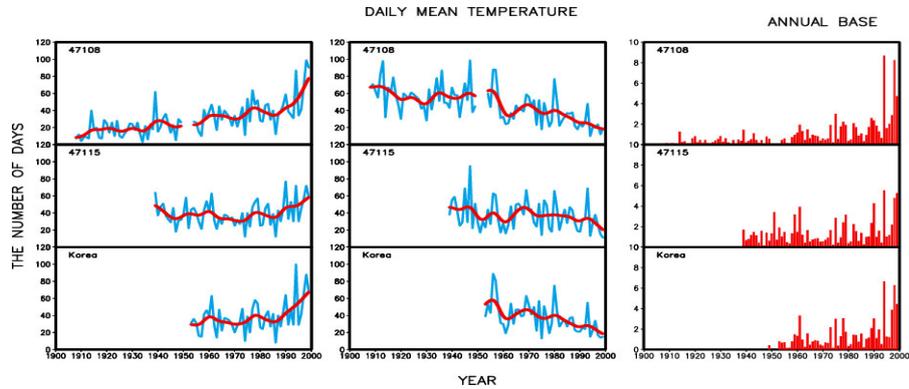


그림 4. 체감 온난화 지수.

또, 관측소별로 정의된 recurrence intervals를 이용하여 기온과 강수의 특이치 발생에 대한 분석을 하였다. IPCC 보고서에서 지적된 바와 같이 1980년대 이후의 급격한 증가를 보인 특이치 발생은 십년-수십년 규모 변동과 관련이 깊은 것으로 나타났다. 그러므로, 최근의 특이 기후의 증가는 20세기 지구 온난화 또는 장주기 변동의 증가 지점에 위치한 것으로도 볼 수 있다. 그러므로, 자연적인 요인에 의한 변동과 인위적인 요인에 의한 기후변화를 명확히 구분하기 위해서 장기간의 관측 자료뿐만 아니라 고기후를 이용한 대응 기후자료의 분석을 통해서 지속적인 연구가 이루어져야 할 부분이다.

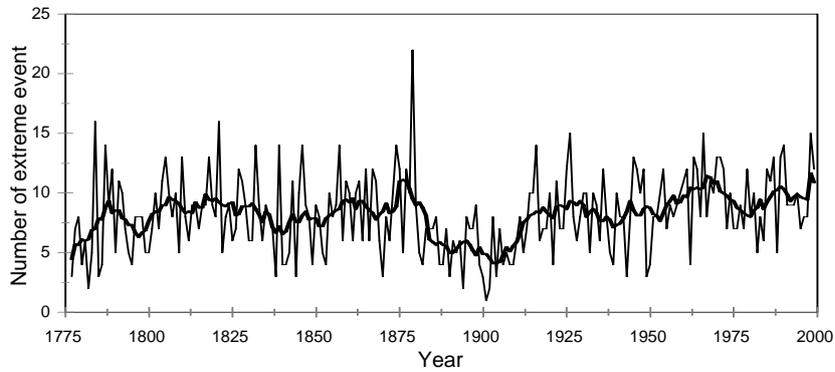


그림 5, Recurrence interval이 1년 이상인 강수 발생 횟수.

#### 4. 기후모델의 현황

현재 많은 기후모델들이 CO<sub>2</sub> 배증에 의한 지구 온난화 문제를 예측하는 데 이용되어 왔다. 그 결과로 CO<sub>2</sub> 배증에 의한 전 지구 지표면 평균 기온 상승은 약 3°C 정도의 온난

화가 예측되고 있다. 또, 기후변화를 탐지하거나, 원인규명을 위해서 기후모델은 가장 중요한 방법이라고 할 수 있다. 그러나 현재 개발된 기후모델의 결과는 상당한 차이를 보이고 있으며, 특히 특정지역에 대한 전망의 경우 그 차이가 더 크다. 기후모델에 의한 지역기후예측의 문제점은 기후모델들 간의 차이점을 보이는 것 외에도, 실제 관측된 값들과 일치하지 않는 점들도 있다. 우리는 기후모델들과 실제 기후와의 차이점을 다음 두 가지 요인에서 찾아 볼 수 있다.

첫째, 실제 기후에서는 물리적인 요소들 외에도 자연적 변동성이 있다. 다시 말하자면 외부적 요건이 변하지 않더라도 기후는 정체되어 있지 않고 불규칙적으로 어떤 평형점 주위를 맴돌고 있다. 이 중에는 주기가 비교적 짧아서 몇십년에 지나지 않는 관측기간 동안 여러 번 반복해서 나타나기 때문에 쉽게 그 영향을 배제할 수 있는 것 외에도, 주기가 매우 길어서 한정된 기간 동안 물리적 기후 변화와 서로 상쇄되거나 또는 과장되게 하는 것도 있다. 따라서 CO<sub>2</sub> 증가에 의한 기후 변화와는 달리, 실제 관측된 기후는 기후의 자연적 변동성에 의하여 온실기체들에 의한 온난화를 왜곡시킬 수 있다.

둘째, 기후모델의 물리과정들이 실제 기후를 묘사하기에 충분하지 못하다. 현재 기후모델의 모수화는 기후에 영향을 미치는 물리적 과정의 중요성과 계산력을 고려하여 선정되었다. 그러나 우리는 아직도 기후에 상당한 영향을 미칠 수 있는 많은 물리적 과정과 다른 과정들 사이의 복합적 상호 작용에 대하여 충분히 이해하지 못하고 있다. 또는 이해하고 있더라도 컴퓨터 성능의 제약 때문에 이런 물리적 과정들이 무시되거나, 미흡하게 모수화되고 있다.

많은 기후 학자들은 실제 관측기후와 모델기후의 차이를 첫 번째 원인보다는 두 번째 원인에 더 큰 비중을 두고 있으며, 모델 모수화 개선을 통한 기후 모델의 신뢰도 향상을 위하여 노력하고 있다.

## 5. 기후변화와 인간생활

20세기에 기온이 0.6℃ 상승하고 21세기에는 1.4~5.8℃ 상승할 수 있다는 IPCC의 전망은 앞으로 우리 생활에 큰 영향을 미칠 것이다. 인간생활 중에서 기후변화에 민감한 분야는 수자원, 농업, 산림, 해안지역, 해양생태계, 거주지, 에너지, 각종산업, 보험, 인간 건강 등 다양하다. 다음은 IPCC의 보고서를 요약한 것이다.

- **생태계:** 삼림분포가 광범위하게 소멸되고 삼림의 평형이 깨어지고, 식생대가 중위도 기준 북극 쪽으로 100~550km 북상할 것으로 예상되며, 우리 나라의 경우 온대성 식생 외에 아열대성 식생이 증가하는 등 생태계 혼란이 발생할 수 있다.

- **수자원:** 대부분의 지역에서 물 공급의 감소가 예상되며, 이산화탄소 배증시 2050년까지 산악 지역의 빙하가 25%이상 감소할 전망이다. 우리 나라의 경우는 피해가 더욱 심각하며, 물 부족에 따른 수질 악화도 예상된다.
- **식량:** 전세계적으로 기후대가 변하여 식량 생산에 변화가 예상되며, 특히 바다 생태계 변화, 물고기의 질병 증가로 인해 수산업에 타격을 줄 것으로 예상된다. 우리 나라의 경우 온난화로 인해 다모작 농사가 가능해지지만 병충해가 늘어나게 되어 토양이나 수질오염이 심각해질 수 있다.
- **해안계:** 2100년까지 해수면이 약 50 cm 증가할 것으로 예측되어 전지구적으로 대부분의 해안 위협받을 것으로 예상되며, 우리 나라의 경우도 경사가 완만한 서해안과 남해안에서는 침수가 우려된다.
- **인간의 건강:** 더위로 인한 스트레스와 질병과 전염성 질병체의 분포변화로 전염병 이동이 증가하며, 우리 나라의 경우도 열대성 질병의 발생이 예상된다.  
 전문가들 중에는 벌써 20세기에 도 지구온난화로 인한 피해가 발생하고 있다고 주장하는 그룹도 있다. 그들은 이미 자연계에 지구온난화의 영향이 나타났으며, 지역적으로 가뭄이나 홍수로 인한 피해가 증가하고 있다고 주장한다. 기후변화가 인위적인 요인에 의한 것이든, 자연적인 요인에 의한 것이든 20세기에 나타난 기온 상승은 사실로 받아들일 수밖에 없다. 또한, 이러한 기후변화의 추세가 당분간 지속된다면 이 분야에 대한 IPCC 보고서는 아직은 유용하다고 판단된다.