

대기온실기체의 증가와 기후변화의 가능성

홍 성 길
기상연구소

Climate Change by Increase of Greenhouse Gas in the Atmosphere

Sung-Gil Hong
Meteorological Research Institute, KMA.

서론

기후는 기상의 평균적인 상태로서 El Niño현상과 같이 수개월~수년, 빙하기, 간빙기처럼 수만~수십만년 등의 시간 스케일을 가지고 변동한다. 기후변동의 원인은 자연적인 요인과 인위적인 요인으로 나눌 수 있다. 자연적인 요인에는 대기와 해양 자신에 내재하고 있는 것과 화산 폭발에 의한 성층권 에어로졸의 증가, 태양 활동의 변화 등이 있다. 인위적인 요인에는 이산화탄소를 비롯한 온실기체 배출에 의한 대기의 조성변화, 에어로졸 배출에 의한 태양복사의 반사와 산란 및 구름의 광학적 성질변화, 그리고 사막화나 삼림파괴 등에 의한 토지 피복의 변화 등이다.

지금까지 기후변동은 자연과학 분야의 과제로 취급하여 왔으나 오늘날은 세계적으로 인구가 급증하고 산업 생산활동이 대규모화 하는 등 인간활동이 계속 증가하고 있어서 자연적 요인보다도 인위적 요인을 더 중요시하게 되었다.

그러나 현재까지 온실기체의 증가에 의한 것으로 확신할 수 있는 기후변동은 검출되어 있지 않다. 현시점에서는 자연적인 기후변동 속에 감추어져 있을 가능성이 있는 『인위적 온실기체 증가에 의한 특징적인 변화 징조』의 명확한 식별이 어렵다. 인위적 요인에 의한 지구온난화 검출에는 기후모델 예측이 확실하여 그로부터 높은 시그널을 추출할 수 있어야만 한다.

그러나 모든 모델에 공통적인 계통오차, 모델마다 다른 오차가 있기 때문에 기후모델로부터 예측된 온난화 시그널은 그 규모나 공간적인 분포가 반드시 서로 일치하는 것은 아니다.

온난화 예측에 이용되는 모델실험의 설정 조건이 다른 것도 온실기체의 농도 증가에 대한 기후계의 반응에 차이를 가져온다. 지구온난화 검출을 가능하게 하기 위해서는 관측자료의 질적 및 양적인 충실화와 함께 관측자료의 해석이나 기후모델에 의한 기후변동기구의 해명이나 지구온난화 예측을 위한 기후모델의 개발 등이 필요하다.

인위적인 기후변화 요인들

열대림으로 대표되는 삼림이 성장, 유지되기 위해서는 기온이 높고 강수량이 일정 수준일 필요가 있다. 그리고 삼림은 다량의 강수를 유지하는 일면도 있다. 따라서 인간활동에 의한 광범위한 삼림 벌채에 의해 지표면 상태가 변하면 지표면의 에너지 평형이나 지표와 대기 사이의 열, 수증기, 운동량의 교환에 변화가 생겨 지역적으로 기후변화가 일어난다.

또한 삼림은 지구상의 탄소 순환에서 그 저장고로서 중요한 역할을 담당하고 있다. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)는 열대림 파괴가 대기 중 CO₂의 농도 상승에 10~30% 기여하고 있다고 추산하고 있다.

산성비는 국경을 넘는 대기오염으로서 유럽을 시작으로 미국이나 캐나다에도 삼림의 고사, 호수와 늪의 산성화 피해가 보고되고 있다. 산성비의 지구적 규

모 감시는 WMO의 지구대기감시(GAW) 계획의 일환인 배경대기오염관측망(BAPMoN)에 의해 행해지고 있다. 이 관측망에 의하면 유럽, 북미 그리고 아시아에서 강수의 산성도가 높다. 산성비는 삼림쇠퇴 등에 의해 기후에 간접적으로 영향을 미친다.

사막화는 기후변동이나 인간 활동을 포함하는 여러 가지 요인에 의해 나타난다.

사막화는 자연적인 요인으로는, 사막화의 작은 부분이기는 하지만, 지구적 규모의 대기순환 변동에 의한 건조화로 한발이 계속되기 때문이다. 그러나 더 큰 요인은 인위적인 것으로서 과잉방목, 과잉경작, 과잉연료 채취 등이다. 사막화는 태양광의 albedo 변화, 토양수분의 감소, 증발량 감소, 풍식에 의한 먼지의 증가 등을 통해서 지역적으로 기후에 영향을 끼친다.

대기대순환모델에 의한 실험에 의하면 사막화에 따라 albedo가 높아지면 열대수렴대가 북상하지 않고, 또 강수량이 감소한다.

도시화는 지구규모의 환경문제는 아니지만 인위적 요인에 의한 국지적인 기후 변화 요인의 하나다. 도시화로 기온상승, 상대습도의 감소로 heat island 효과를 일으킨다.

성층권 오존이 감소하면 성층권에서 태양복사의 흡수가 감소하고, 성층권의 기온이 내려감과 동시에 많은 태양복사가 대류권에 도달된다(가열작용). 한편 성층권으로부터의 하향 적외복사는 성층권 오존감소와 성층권 기온저하에 따라 감소된다(냉각작용). 따라서 성층권 오존 감소에 수반되는 대류권의 변화는 이 가열작용과 냉각작용의 두 효과의 균형에 의해 결정된다.

수치모델에 의한 연구에 의하면 오존층 파괴에 의해서는 적도부근을 제외하고는 냉각효과가 더 컸다. 이 냉각효과는 같은 시기의 오존 이외의 온실기체 증가에 의한 가열효과와 비교해도 결코 작은 양이 아니다. 오존 감소에 의한 냉각효과는 고위도지역에서 현저하며 또한 지역적으로도 변화가 크다.

그러나 현재 이러한 영향에 대해서는 평가나 관측에 의한 실태 파악에 과학적으로 불확실한 부분이 많아 전망이 쉽지 않다.

온실기체의 증가에 의한 온실효과 증가

지구대기 중의 모든 기체는 태양복사(단파 복사)에 대하여 대체로 투명하나 지구복사(장파복사)에 대해서는 대기중에 미량 포함되어 있는 이산화탄소, 메탄, 프레온 가스, 이산화질소, 오존 등의 기체가 흡수·재방출하여 지표부근의 기온을 상승시키는 온실효과를 일으킨다.

그런데 인간활동이 활발해짐에 따라 이산화탄소 등의 온실기체가 다음과 같이 대기중에서 해마다 증가하고 있다. CO₂는 온실기체중 가장 주목을 받는 기체이다.

	CO ₂ (ppmV)	Methane (ppmV)	Freon (pptV)	N ₂ O (ppbV)
산업혁명 전 (1750~1800)	280	0.8	0	288
1990년 현재	353	1.72	280	310
연평균 변화량	1.8	0.015	9.5	0.8
(1990년 기준)	0.5%	0.9%	4%	0.25%

해수중에 용해된 온실기체는 대기·해양 상호작용, 해양순환, 해중생물 화학반응 등을 통해 대기중의 농도와 밀접한 관계를 가진다. CO₂의 경우 해수온도에 따라 해수중에 흡수 또는 해수에서 방출된다.

CO₂ 이외의 온실기체에는 CH₄, CFC, N₂O, O₃ 등이 있다. CH₄의 중요한 발생원이 육상에 있다고 생각되어 왔으나 해상관측에 의하면 1년 중 해양은 메탄의 약한 source 였다. CFC는 다른 기체에 비해 온실효과가 매우 크고, 그 발생원은 거의가 공업활동에 의한다. IPCC에 의하면 1990년 CFC-11, CFC-12의 평균 농도는 각각 280 pptV, 484 pptV, 1년 평균 4% 정도씩 증가하고 있다. N₂O는 토양, 해양과 함께 화석연료의 연소, 질소비료의 사용에 의해 발생한다.

수증기도 온실기체이다. 따라서 지구대기의 온실효과에 크게 기여하고 있지만 수증기량 자체는 기후계에 의해 결정되고 있다. 그러나 수증기량이 지구대기 온난화에 따라 증가하고 따라서 온난화를 촉진한다고 볼 수도 있다.

이산화 탄소 증가에 의한 온난화 예측

이산화 탄소의 농도 증가가 기후에 미치는 경향을 알기 위해 기후모델을 이용한 예측실험이 행해지고 있다. 최근 이산화탄소 농도를 2배로 증가시켰을 때의 평형 상태의 기후변화를 예측한 결과 전지구 평균기온이 1.3~2.3℃ 상승하고 있다. 그 중에서 고위도 지역의 승온이 현저하고 열대지역의 승온은 상대적으로 작았다. 그리고 남반구보다는 북반구의 승온이 더 큰 비대칭성으로 나타났다.

단, 대기·해양 결합모델의 계속 개량이 필요한 것이 사실이다. 즉, 대기순환, 해양순환, 해빙과정 등이 아직 해명되지 못하고 있기 때문이다.

앞으로 수십~수백년 정도의 전망을 생각할 때 인위적인 온실기체 증가에 따른 영향이 가장 중요하다. IPCC에서의 전망을 요약하면 다음과 같다.

- ① IPCC는 CO₂ 농도가 배로 증가되는 경우 전지구의 평균기온 상승을 1.5~4.5℃라고 보고 있다.
- ② IPCC의 온실기체 농도 증가 시나리오에 따르면 다음 세기 중에서의 전지구 평균기온은 10년에 약 0.2~0.5℃의 비율로 상승한다. 단, 승온은 다른 자연적인 요인의 영향도 나타나기 때문에 일정비율로 일어난다는 뜻은 아니다.
- ③ 전지구 평균기온의 상승에 따라 전지구 평균강수량과 증발량은 증가한다. 대류성 강수가 증가하고 강수역의 집중화와 강수강도가 강화될 가능성이 높아진다.
- ④ 다음 세기에서 전지구의 평균해면 수위는 10년당 약 3~10 cm씩 상승한다. 2030년에는 전지구 평균 해면수위가 약 20 cm, 다음 세기 말에는 약 65 cm 상승한다.