

⑤ 물과 기후

이상기후 만들어내는 주역

| 글 | 권원태 기상청 기상연구소 기후연구실장 wontk@metri.re.kr |



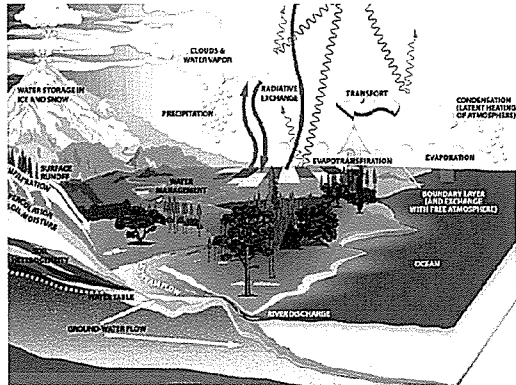
기후는 변한다. 예전에는 기후는 지역에 따라 변하지만, 특정 지역의 기후는 시간이 지나도 변하지 않는 것으로 알고 있었다. 그러나 최근 20년간 이산화탄소 농도 증가로 인한 기온 상승(지구온난화)이 국제적으로 주요 이슈로 등장하였다. 산업화 이후 급격히 증가하는 온실가스(이산화탄소, 메탄, CFC 등)로 인한 지구온난화에 대한 과학계의 경고는 1997년 교토의정서를 통해 이산화탄소 배출량을 국제적으로 규제하는 기틀을 제공하였다.

세계적인 전문가들은 지구온난화는 단순한 기온 상승뿐만 아니라 물 순환의 변화가 예상되며 먹는 물의 공급, 호우, 가뭄 등 물과 관련된 변화의 원인이 될 수 있다는 것을 지적하고 있다.

지구의 기후시스템은 대기권(大氣圈, atmosphere), 수권(水圈, hydrosphere), 설빙권(雪氷圈,

cryosphere), 생물권(生物圈, biosphere), 지권(地圈, lithosphere)으로 구성되어 있으며, 기후는 외적인 원인과 더불어 각 영역들 간의 상호작용에 의해 지구가 생성된 이래 계속해서 변화하여 왔다. 이러한 영역 가운데서 물은 매우 중요한 부분을 차지한다. 물은 대기권, 수권, 설빙권, 생물권, 지권 등 모든 구성요소들에 다양한 형태로 포함되어 있다.

예를 들어 대기권에서는 수증기, 구름, 비나 눈의 형태로 상태가 변하며, 수권에서는 계곡을 흐르는 작은 시내를 비롯하여 강이나 호소, 바다, 해빙 그리고 지하수 등 다양한 형태로 존재한다. 설빙권은 빙하, 만년설, 눈 등 고체 상태의 물을 의미한다. 생물권은 플랑크톤, 이끼, 나무, 바닷말, 곤충, 동물, 어류, 사람 등이 개체 내에 물을 포함하고 있다. 마지막으로 지권에는 토양에 포함된 물이나 또는 지하 깊숙이 마그마에 포함된 물



물 순환의 개념도

등의 형태로 존재한다.

물의 특성은 흐르는 것이다. 대기권의 수증기는 공기가 상승하면 작은 물방울로 변하여 구름을 만들고 구름은 비나 눈이 되어 지표로 떨어진다. 지표에 떨어진 물은 다시 수증기로 변하여 대기권으로 증발하거나, 마지막에는 바다로 흘러들어간다.

대기권의 물은 지구보호 임무에 충실

이 과정에서 식물은 뿌리를 통해 흡수하고 동물은 물을 마셔서 수분을 흡수한다. 이렇게 흡수된 수분은 다시 증산작용이나 호흡을 통해 공기 중으로 되돌아간다. 물론 거의 모든 원소들이 복잡한 순환과정을 거치지만 특히 물은 지구상의 모든 생명의 근원이라고 할 수 있는 만큼, 물 순환의 변화는 매우 중요한 의미를 갖는다.

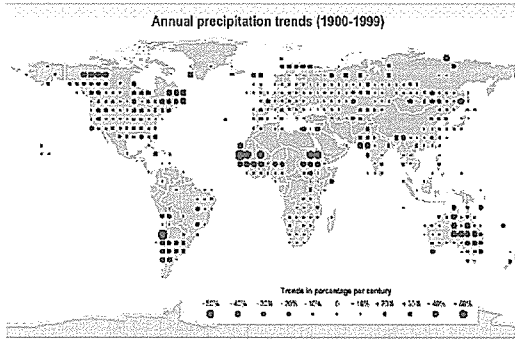
물은 지구를 다른 행성과 구별하는 가장 중요한 요소 중의 하나이다. 지구 표면의 약 70%는 물로 덮여 있어 지구를 물의 행성(aqua-planet)이라고 부르기도 한다. 지구상의 물은 암석의 결정수에서 유래되었다. 화산에서 분출되는 기체의 약 85%가 수증기이며, 10%가 탄산가스, 그리고 질소, 황화합물로 구성되었다. 화산 활동을 통하여 배출된 막대한 수증기는 대기가 포함할 수 있는 양의 한계 때문에 대부분 강수로 지표에 다시 내려오게 됨으로써 현재의 바다를 형성하게 되었다. 지구상의 물은 97% 이상이 바다에 있다. 나머지는 빙하나 호수, 강, 지하수, 대기 그리고 생물권 등에 조금씩 분포되어 있다.

우선 물의 특성을 생각해보자. 물은 지구상에서 물질의 세 가지 상태가 모두 나타나며, 물의 비열은 다른 물질에 비하여 비교적 높으며, 유동적이고, 복사에너지를 흡수하거나 반사하는 성질을 가지고 있다.

물은 지구상에서 기체, 액체, 고체 등 물질의 세 가지 상태가 모두 나타난다. 물이 고체에서 액체나 기체, 액체에서 기체로 변하기 위해서 필요한 에너지는 물의 비열에 비하여 수백배가 된다. 이와 반대로 상태가 변할 때에는 주변에 에너지를 방출하며, 이 열은 물의 온도와는 상관없이 물질의 상태가 변할 때 필요한 열로서 잠열(숨은열, latent heat)이라고 한다.

지표에서 수증기가 증발한다는 것은 물이 주변에서 열을 빼앗아 수증기로 상태를 변하는 것을 의미한다. 공기 중에서 수증기는 바람에 따라 이동한다. 만약 대기 불안정하거나, 상승운동이 일어나거나, 혹은 온도가 내려가면 수증기는 응결하여 물방울이나 얼음알갱이가 된다. 이 때 물의 상태가 변함에 따라 잠열이 공기 중으로 방출된다. 즉 지표에서 흡수된 열이 공기 중으로 원격 전달되는 것이다. 그러므로 대기의 순환패턴이 바뀌게 되면 에너지의 분포도 달라진다. 또 공기 중에서 수증기를 포함할 수 있는 수증기의 양은 온도가 10도 올라가면 약 2배 정도 많아진다. 즉 기온이 높으면 비의 양이 많아진다는 것을 의미한다. 그러므로 지구가 온난해지면 호우가 내릴 가능성이 높아지게 된다.

물의 비열은 1cal/g°C로 다른 물질에 비해 비열이 높다. 그러므로 육지에 비하여 바다의 온도변화는 적다.



20세기 지역별 강수량 변화 추세(IPCC 3차 보고서)

지구표면의 70%를 차지하는 바다는 지구의 온도가 계절에 따라 크게 변하지 않도록 조절하는 역할을 하고 있다. 특히 바닷물은 바람이나 다른 이유로 잘 혼합되어 바다에서는 온도가 천천히 변한다. 바다에서 일어나는 심해저층수순환의 반응속도는 수천년에 달할 정도로 길다고 한다.

또 다른 물의 특성은 대기 중의 수증기는 태양의 복사에너지는 잘 투과하지만 지구에서 방출되는 장파복사에너지(적외선)를 잘 흡수한다는 것이다. 또, 구름은 태양에너지를 효과적으로 반사하고 지구장파에너지를 잘 흡수하는 특성을 가지고 있다. 다시 말하면 공기 중의 수증기는 효과적인 온실가스의 하나이다. 그러므로 구름낀 날 새벽은 구름이 끼지 않은 날보다 최저기온이 높으며, 사막에서 낮과 밤의 기온 차이가 해안보다 훨씬 더 크다. 이러한 물의 광학적 특성은 기후와 밀접한 관계가 있다.

마지막으로 고려해 봐야 하는 것은 기후시스템내에서 일어나는 상호작용이다. 구름의 종류와 공간적 분포는 대기 순환에 따라 결정되며, 대기 순환은 구름의 분포에 따라 결정된다. 그러나 만약 지표의 성질(예를 들어 넓은 지역에서 숲이 파괴되거나, 바닷물의 온도가 달라지면)이 바뀌면, 수증기의 증발량이 달라지고 이에 따라 구름의 분포가 달라진다. 구름의 분포는 복사에너지의 흡수량을 결정하는데 중요한 원인이 된다. 또 구

름의 분포가 달라지면 비가 오는 양도 바뀌게 되고 이에 따라 생태계와 인간 사회에 중대한 영향을 미칠 수 있다.

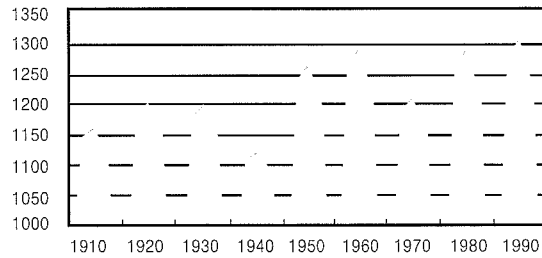
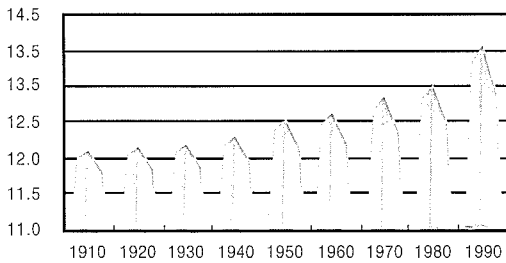
광학적 특성 영향... 온난화 가속

그림 20세기 지역별 강수량 변화 추세(IPCC 3차 보고서) 기후가 변하면 온도가 변하고 또 구름의 분포나 강수량이 변할 것이다. UN 산하의 기후변화에 관한 국제패널은 2001년 발표한 제3차 기후변화에 관한 보고서에서 20세기에 전세계 기온이 0.6°C이 상승하였으며, 21세기말에는 1.4~5.8°C 상승할 것으로 전망하고 있다. 강수분포에 관한 과학적인 평가는 기온에 비하여 불확실성이 크다. 그러나 최근에 빈발하는 기상재해가 지구온난화에 의한 것일 가능성이 매우 높다고 지적하고 있다. 또 고산지대의 빙하가 예전에 비하여 높은 지역으로 후퇴하고 있으며 히말라야에 위치한 네팔과 같은 고산지대에서 봄에 발생하는 대규모 홍수가 기온이 상승함에 따라 시기적으로 빨리 많은 양의 눈이 녹아서 발생한다는 것은 잘 알려져 있다.

우리 나라에서도 지난 20세기에 평균기온이 1.5°C 정도 상승하였으며 지난 20년간 강수강도가 증가하였다는 연구결과도 발표되었다. 이러한 변화는 지구온난화나 도시화를 비롯하여 자연적인 변화도 그 원인이다. 그러나 아직까지 기후변화에 대한 과학적 불확실성이 크기 때문에 원인별 효과는 정량적으로 분석되지 못하고 있다.

우리 나라 강수량은 점차 증가추세

그러나 매년 우리는 가뭄과 홍수 등 물과 관련된 재해가 자주 발생한다는 보도에 접하고 있다. 자연적인 기후시스템을 재현할 수 있는 기후모델을 이용한 장기적인 기후변화전망은 앞으로 지역과 계절에 따라 강수량의 분포가 달라질 수 있다는 것을 모의하고 있다. 현



장기 기상관측자료가 있는 서울, 인천, 강릉, 대구, 부산, 목포의 기온과 강수량을 10년 간격으로 평균한 것이다.

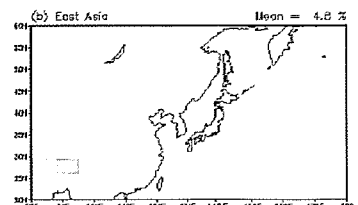
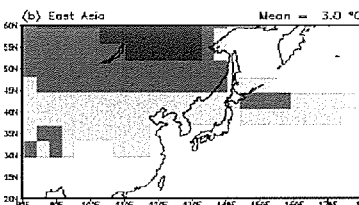
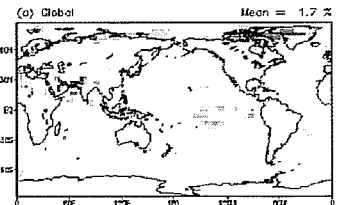
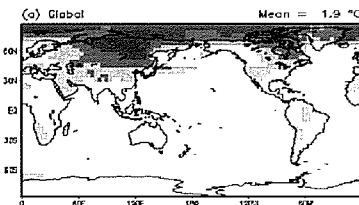
재 우리가 익숙한 기후패턴이 달라지면 강수량패턴이 달라지고 이에 따라 재해 발생이나 물의 공급이 변할 것이다.

온실가스 증가 시나리오에 대한 기후모델의 결과에 의하면 이산화탄소가 지금의 2배 또는 그 이상이 될 것으로 예상되는 21세기 말에는 우리가 속한 동아시아 지역의 기온은 4~6℃ 정도 상승하고, 강수량은 10% 정도 증가할 것으로 예상된다. 그러나 동아시아 지역에서도 중국의 서북부지방에서는 강수량이 감소할 가능성이 높으며, 우리 나라 부근에서는 증가할 가능성이 높을 것으로 보인다. 우리나라에서는 특히 여름철의 강수량이 증가할 가능성이 있다. 만약 이 시나리오와 유사하게 앞으로 기후변화가 진행된다면 장마가 시작하기 전인 봄철에는 가뭄이 심해지고, 여름철에는 홍수가 빈발할 수 있다. 계절강수량의 변화는 물의 공급에 막대한 차질을 가져올 수 있으며, 물의 양이 부족할 때에는 수질이 악화될 수도 있다는 것을 의미한다.

물 이해하면 기상예보 정확도 높아

아직도 우리가 풀어야 할 숙제는 너무도 많다. 특히 물 순환이 기후변화와 어떻게 서로 작용하는지를 이해하는 것이 기후변화의 불확실성을 줄이는데 가장 중요한 관건이 될 것이다. 기온이 상승하였을 때 대기 순환은 어떻게 변할 것인지, 구름의 분포는 어떻게 변하고 그에 따라 지구의 에너지양은 어떤 영향을 받을 것인지,

강수량은 지역에 따라 어떤 패턴으로 변할지, 또한 기후변화에 따라 달라지는 지표의 특성은 물 순환에 어떤 영향을 미치는지 등. 기후는 변한다. 그러므로 불확실성을 줄이는 노력과 함께, 비록 어느 정도의 불확실성이 포함되어 있기는 하지만 미래의 기후변화를 전망하고 그에 대한 적응방안을 마련하는 것이 우리 사회의 지속가능한 발전을 위한 과학자들의 역할이라고 생각된다. ㉔



온실가스 증가 시나리오에 의한 기후변화 실험결과의 예(2050)
(왼쪽 그림은 기온변화(°C)이며 오른쪽은 강수량변화(%))



글쓴이는 서울대 지구과학교육과 졸업,
89년부터 기상연구소에 근무하고 있다.