

인간활동이 환경기후에 미치는 영향

이변우 / 중앙기상대 농업기상과 연구사



머리말

기후는 일정 불변한 것이 아니라 장기적으로나 단기적으로나 계속 변동을 하고 있다.

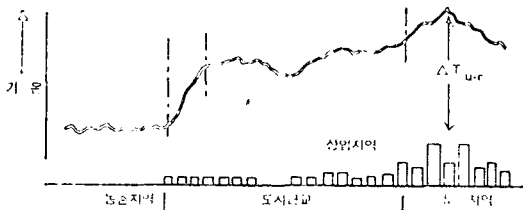
지금은 얼음으로 뒤덮여 있어서 들어갈 수 없는 지역에 옛날의 향로 기록이 있다든지, 현재는 빙하로 뒤덮인 곳에 노르만인의 마을과 교회의 흔적이 발견된다든지, 산에서 바다의 생물의 화석이 발견된다든지, 옛기록에 나타나는 꽃놀이 계절이 현재와 다르다든지, 과거의 기후가 현재와 달랐다는 실례를 얼마든지 찾을 수 있다.

기후는 ①극의 이동, 수륙분포의 변화, 화산 활동 등에 의해서 기후가 변한다는 지구적 원인, ② 지축의 경사 및 이심율이 장시간에 걸쳐 변화하여 지표에 도달하는 태양의 복사량이 달라지므로 기후가 변화한다는 천문학적 원인, ③ 태양계가 우주속에서 차지하는 위치의 변화에 따라 기후가 변화한다는 우주적 원인, ④ 태양활동의 변화에 의해서 기후가 변화한다는 태양적 원인 등 자연적인 원인에 의해서 뿐만 아니라 인간활동의 부수적인 원인에 의해서도 변화한다. 그런데 자연적 원인과 인위적 원인이 동시에 복합적으로 기후변동에 영향을 주므로 구체적으로 각각의 원인에 의한 영향을 분리 평가하기는 힘들다.

그러나 인간은 오랜 옛날부터 삶을 영위하기 위하여 끊임없이 주변환경을 변화시켜 영향을 미쳐왔으나, 특히 최근에 와서는 인구의 증가로 에너지의 사용량 뿐만 아니라 환경의 변경폭이 커져 기후환경이 변화될 가능성이 높아져 그 영향이 가시적으로 나타나게 되었다.

기후에 미치는 인간의 활동

인간은 화석연료를 각종 사업활동에 이용함으로써 그 부산물인 여러가지 가스와 분진을 대기

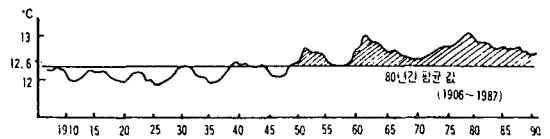


〈그림 1〉 전형적인 도시열섬현상 모식도

중으로 방출하며, 또한 과잉방목을 하거나 토양을 경운하므로써 먼지가 바람에 불려 올라가 대기중의 에어로졸을 증가시킨다.

대기중의 희유가스와 분진은 대기의 복사평형을 변화시키고, 대기의 열 및 역학적 구조를 변화시키므로써 기후에 영향을 주며 또한 먼지는 대기중의 응결핵 밀도를 증가시키므로써 강수 과정에 영향을 준다.

인간이 대기중에 부가하는 기체중 가장 염려되는 것은 화석연료의 소비 증가에 따라서 날로 증



〈그림 2〉 한국의 연평균기온변화(6개 측후소 평균)

가하고 있는 이산화탄소이다. 이산화탄소의 증가는 온실효과를 증대하여 기온을 상승시키므로 최근 많은 관심이 집중되고 있다(별도의 항에서 구체적으로 논의). 이산화탄소 이외에도 냉장고나 스프레이 등에 많이 사용되는 프레온가스(CFCl₃, CF₂Cl₂), 자동차의 배기가스로 다량 방출되는 이산화질소(N₂O), 그외의 매탄가스, 이산화탄소 등도 온실효과가 있다. 그런데 이들 가스들은 대기중에 매우 미량으로 존재하지만 이산화탄소와는 달리 “대기의 창”(7~13μm 파장역)이라고 불리는 영역의 복사선을 강력히 흡수하여 탄산가스보다 온실효과를 크게 나타낸다.

따라서 이러한 기체들이 미치는 총효과가 탄산가스 자체만의 효과를 이미 능가하고 있다는 견해를 가진 학자도 있다.

난방, 화력발전, 자동차교통 등의 인간활동에 의해서 인위적으로 열을 대기중으로 방출한다.

그러나 지구 전체로 평균해 볼 때 인공적인 열은 태양에너지의 1만분의 1에 불과하므로 아무리 인간이 에너지를 많이 소비한다고 할지라도 지구 전체의 기후를 직접적으로 변화시킨다고는 볼 수 없다. 그러나 국지적으로 보면 인공열을 태양의 순복사를 능가할 수도 있어 국지 기후에 크게 영향을 준다. 구체적인 예로는 고위도 지방의 도시열섬(urban heat island) 현상으로서 인공열이 도시열섬의 중요한 성인이다(별

도의 향으로 기술).

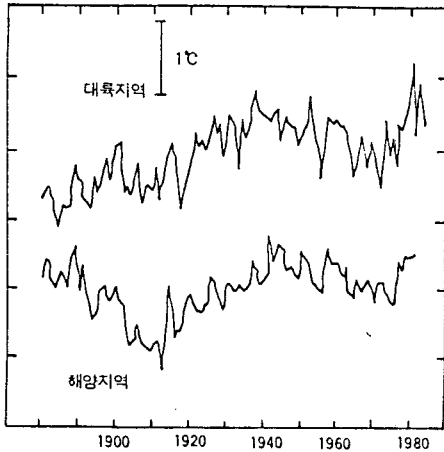
삼림이 벌채되어 농경지화 되고, 도시가 건설되어 빌딩의 숲으로 덮여가고, 도로가 포장되어 등 지구의 표면은 끊임없이 변경되어 왔다.

지표면이 변화되면 알베도, 복사능, 열수지, 지상의 바람 등을 변경시켜 국지 및 지역 기후에 영향을 주게 된다.

한편 인간은 관계계획, 댐의 건설, 늪지의 배수 등을 통하여 물의 순환과정과 열수지를 변경시키므로서 기후에 영향을 미쳐왔다. 그러나 이러한 일들은 국지기후에 대하여 영향을 주지만 보다 큰 스케일의 기후에 대한 영향은 감지하기가 힘들다.

도시기후

도시기후는 인간의 활동이 기후를 변화시킨 대표적인 예이다.



〈그림 3〉 북반구 연평균기온의 경년변화

도시가 형성되어 인구가 밀집되면 건물과 도로가 건설되는 등 지표면이 자연상태와 크게 달라져 공기의 흐름이 달라지고, 그로 인하여 현열(sensible heat)의 출입이 달라지며, 수분, 열, 복사환경 등이 달라진다. 지표가 포장되어 빗물은 지하로 스며들지 못하고 즉시 흘러 내려가 지표면에는 증발될 수 있는 물이 남지 않는다.

땅 속에도 구조물이 있기 때문에 열용량, 열전도 등 열적 성질이 주변과 달라진다. 차량의 증가 등 연료 연소량의 증가 등등의 대기오염물질

이 증가하여 복사(輻射)의 수지가 달라진다.

이와 같이 도시의 형성으로 시골과는 다른 기후를 형성하게 된다.

도시의 기온은 일반적으로 주변의 시골 지역보다 높다. 이처럼 주변의 온도보다 높은 특별한 기온현상을 나타내는 지역을 열섬(heat island)이라고 한다. 도시 주변, 교외와의 경제지역이나 인구나 건축물의 밀도가 낮은 지역은 열섬에 비해 비교적 저온인 신선한 곳이 된다.

그런데 열섬현상의 규모와 형태는 기상, 지역 및 도시의 특성에 따라서 달라진다. 문제를 단순화하기 위하여 맑고 바람이 약한 날 해가 진 후의 농촌으로부터 대도시의 도심에 이르기까지 거리에 따른 기온의 변화 특징을 모식적으로 〈그림 1〉에 나타내었다. 도시와 농촌의 경계지역에서는 급격한 온도의 상승을 나타내어 $4^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 의 수평경도를 나타내는 경우도 있다. 도시 대부분의 지역은 따뜻한 공기의 "고원"을 이루고 있으며 도심으로 갈수록 서서히 온도가 상승하여 도심지역이 기온이 가장 높다. 그런데 도시내의 호수, 공원, 공지 등에서는 강도가 크게 낮아진다.

서울의 경우 여름에는 한강을 중심으로 하여 북쪽과 남쪽에 난핵(暖核)이 형성되며 한강 주변 지역은 열섬의 강도가 약하다.

열섬현상이 가장 잘 나타나는 시기는 해가 지고 난 후 수시간 후이며, 가장 열섬강도가 낮은 시기는 한낮이다. 이는 시골과 도시의 냉각율의 차이에서 기인된다. 해가 진 후 시골은 낮 동안에 지정된 에너지를 장파복사에 의하여 빨리 소모하나 도시 지역에서는 보다 서서히 소모하며 해가 뜬 후에는 시골지역이 보다 빨리 가열되기 때문이다. 그런데 도시열섬현상의 강도는 풍속이 강할수록, 구름이 많이 낀 날일수록 약하다.

그리고 도시의 크기와도 관련이 있다. 가옥의 밀도가 10% 증가하면 도심의 온도는 0.16°C 씩 증가한다.

도시열섬이 생기는 원인은 무엇일까?

여름철에는 도시 내부의 고층건물, 포장도로, 콘크리트 등이 시골지역의 토양이나 식생(植生)들보다 태양열을 더 많이 흡수하여 저장을 할 뿐만 아니라 강수의 대부분은 지하로 흡수되지 못

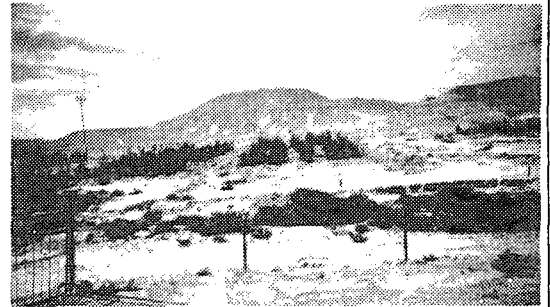
하고 온도가 되어 있는 표면을 흡수해서 달아나므로 증발에 이용·소모되는 에너지가 적다.

한편 밤에는 도시나 시골 모두 복사 에 의해 서 냉각이 되나 도시의 인공전축열은 낮 동안에 저장되었던 열을 서서히 방출하여 도시의 공기를 보다 따뜻하게 유지시켜 준다. 겨울철에는 태양고도가 낮아져 지표에 들어오는 태양에너지가 적어져서 인간의 활동에 의해서 공급되는 열이 기후에 지대한 영향을 미치게 된다. 가정의 난방, 산업활동, 수송 등을 위해서 연료를 연소시킬 때 나오는 인공적인 열이 적·간접적으로 도시의 공기를 따뜻하게 한다.

특히 최근에는 도심지의 차량과 인구의 격증으로 대기오염이 더욱 심해지면서 세계 대부분의

경계지역의 수평온도상도가 거서 해륙풍과 같은 원리로 시골로부터 도시로 비열이 분다.

도시의 습도는 일반적으로 낮에는 주변의 시골보다 낮으나 밤에는 오히려 높다. 도시의 공기는 시골보다 온도가 높고 열적내류가 강하며, 표면이 기질어 난류가 강하고, 응결핵이나 빙정핵



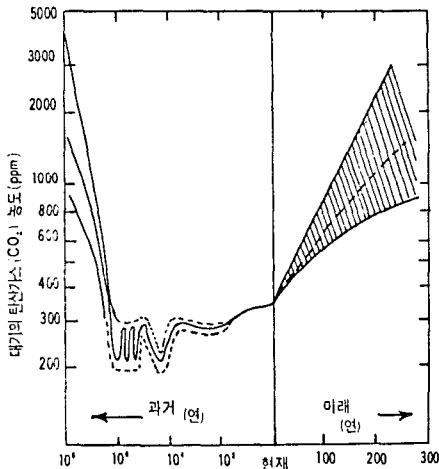
■ 기후로 말미암아 인공조림이 필요한 열대지방

의 농도가 높은 등 강수가 증가할 것으로 예상되는 몇가지 이유를 갖추고 있으나 시골보다 강수가 많다는 직접적인 증거는 없으나 다만 도시의 풍하층 지역에 강수가 많이 내리는 것이 보통이다.

대기오염에 의한 온실효과 증대

지구를 둘러싸고 있는 대기는 주로 산소와 질소가스로 구성되어 있으나 이보다 극히 미량으로 존재하는 탄산가스(약 340ppm), 수증기, 프레온가스, 메탄가스, 이산화질소가스 등의 온실가스(green house gas)가 지구의 온도를 유지시키는데 중요한 역할을 한다. 온실가스는 파장이 짧은 태양복사는 잘 투과시키지만 지구의 표면으로부터 발산되는 파장이 긴 적외선복사는 일부의 파장영역(대기의 창 Atmospheric window) 이외의 파장영역을 흡수하여 잘 투과를 시키지 않아 열을 대기중에 가두어 놓은 온실의 유리와 같은 역할을 하므로서 지구를 따뜻하게 유지시켜 주고 있다. 이와같은 대기에 의한 보온효과를 온실효과(green house effect)라고 한다. 따라서 인간활동의 부산물로 나오는 대기오염, 대기중의 분진에 의해서 온실가스가 증가하면 대기의 온도가 상승할 것이라는 것을 쉽게 추측할 수 있을 것이다.

<그림3>에서 보면 지구의 온도는 관측이 시작된 이래 계속 증가하는 경향을 보이고 있으며,



(그림 4) 탄산가스 농도변화

큰 도시는 마치 매연의 모자를 쓰고 있는 꼴이 되고 있어 온실효과 증대에 의한 기온상승이 열섬을 이루는 가장 중요한 원인이 되고 있어, “오염의 섬”이라고도 불리우고 있다.

도시기후의 특징은 기온 이외에 바람, 습도, 강수 등에서도 찾아볼 수 있다.

도시의 바람은 일반적으로 시골지역에 비하여 20~30% 약하다. 그러나 다음의 두 경우는 예외이다. 상층의 빠른 기류가 높은 빌딩에 반사되어 내려오거나 바람이 부는 방향과 같은 방향으로 나 있는 도로로 바람이 몰려들 경우는 바람이 오히려 세다. 한편 열섬 현상이 잘 나타나는 맑고 바람이 약한 날 밤에는 시골과 도시의

전세계적으로 1880년 이래 평균기온이 0.4 ~ 0.7℃ 상승하였다고 한다.

우리나라의 경우도 지난 80년간 년평균 기온이 1℃정도 상승하였다 <그림 2>. 이와 같은 과거 지구의 기온상승 중 대기오염에 의한 것이 어느 정도인지를 정확하게 추정할 수는 없으나 현재 많은 학자들은 대기오염이 지구대기의 온실효과를 증대시켜 기온이 상승하고 있다고 확신하고 있다.

대기중에서 온실효과를 나타내는 가장 중요한 것은 탄산가스이다. 대기중의 탄산가스 농도는 산업화 이전인 19세기 말에는 290 ppm이었던 것이 점차 증가하여 1950년 말에는 315 ppm, 1960년대 말에는 325 ppm, 1970년대 말에는 337 ppm, 현재는 340 ppm에 이르고 있다.



■ 이스라엘의 차광막을 이용한 농작물 재배

대기중의 탄산가스농도가 증가하는 주원인이 화석연료 사용량의 증대와 삼림의 벌채에 의한 것이라 할 수 있다. 석탄, 석유, 천연가스 등의 화석연료의 연소에서 나오는 CO₂가 대기중

의 CO₂ 농도를 증가시키며 산업화가 진전됨에 따라 화석연료의 사용이 증가되어 왔다.

한편 삼림 등의 식생(植生)은 대기중의 CO₂를 흡수, 광합성을 하여 바이오매스(biomass)를 생산하므로써 대기중의 CO₂개스 농도를 줄여 주는 역할을 하고 있다. 그런데 세계 도처에서 삼림을 벌채하여 농경지로 만들어 왔으며, 폭발적으로 증가하는 인구를 부양하기 위해서는 필연적으로 삼림의 면적을 줄여 나가지 않으면 안될 것이므로 삼림에 의한 대기의 정화 능력은 점차 감소할 것이다.

그러면 미래의 대기중 탄산가스농도는 어느 정도로 증가할 것이며 이에 따라 장래 지구는 어느 정도까지 더워질 것인가?

탄산가스 농도가 장래에 어느 정도 증가할 것인가를 정확하게 추정을 할 수는 없으나 미국 에너지성의 탄산가스 연구 그룹의 연구 결과에 의하면 현재의 추세대로 증가하면 2050년 경에는 산업화 이전의 2배에 달하는 600 ppm에 이를 것이라고 하며, 그 증가율은 가장 낮게 잡는다고 하더라도 22세기 초에는 660 ppm에 이를 것이고, 앞으로 3세기 후면 과거 1억년 전의 탄산가스 농도 수준에 이를 것이라고 한다.

CO₂의 증가가 지구의 기후를 어느 정도 증가시킬 것인가에 대해서 전산기를 이용한 수치실험이 1970년대부터 많은 학자들에 의하여 이루어져 왔다. 최근에는 세계 기상기구(WMO), 유엔환경계획(UNEP), 세계 과학연맹평의회



(ICSU)가 공동으로 “기후변동에 대한 탄산가스와 다른 온실가스의 역할”이라는 주제를 가지고 1985년 오스트리아의 빌라하(Vilach)에서 국제회의를 열어 온실효과 증대에 의한 기후의 온난화와 이에 따른 파국적인 영향에 대하여 경고를 하였으며, 1987년에는 이에 대한 대응정책을 개발하기 위하여 오스트리아의 빌라하(Vilach)와 이탈리아의 벨라지오(bellagio)에서 2번의 워크숍을 개최하였다. 기존에 발표된 논문 및 이 워크숍에 제출된 논문을 종합하여



■ 열사지방의 농작물재배는 관개와 밀접한 관계를 갖는다
온실가스의 지속적인 방출의 결과로 현재와 다음세기말 사이에 나타날지도 모르는 지구기온의 상승과 해수면 상승에 대한 시나리오(scenario)를 작성하였는데, “대기오염 증대로 지구의 기온은 어느 정도 상승할 것인가?”에 대한 해답을 이로 가름하면 다음과 같다.

첫번째의 시나리오는 앞으로 예견되는 화석연료 사용과 다른 그린하우스 가스를 방출하는 인

간활동의 급격한 증대가 있을 경우를 가정한 것으로서 2000년에서 2050년 사이에 지구의 평균온도는 매 10년마다 0.8℃씩 증가할 것이며 이에 따라 북극의 빙하가 녹아서 해수면은 1980년도에 비해 2050년에는 140cm 높아질 것으로 보고 있다.

두번째 시나리오는 현재와 같은 추세로 그린하우스 가스가 증가될 경우를 가정한 것으로서 2000년~2050년 사이에 매 10년마다 지구 평균기온은 0.3℃씩 증가할 것이며, 해수면은 30cm정도 상승할 것이라고 한다.

세번째 시나리오는 그린하우스가스 방출을 감소시키려는 노력이 범세계적으로 이루어질 경우를 가정한 것으로서 2000년~2050년 사이에 매 10년마다 지구 평균기온은 0.06℃씩 증가하며 해수면은 1980년보다 오히려 7cm정도 낮아질 것으로 보고 있다.

그런데 이와같은 온실효과에 의한 지구 기온의 상승은 지역적으로 달라서 북반구의 고위도지방의 온도상승효과가 가장 커서 지구 전체의 기온상승 평균보다 2~2.5배 더 클 것으로 예상된다. 또한 고위도지방에서는 겨울에 눈이 더 많이 오게 될 것이며 저위도지방의 현재 다우지역에서는 비가 더 많이 오게 될 것이며 중위도지방에서는 여름철에 비가 감소될 것으로 예상하고 있다. *