

지구온난화에 따른 수문환경의 변화

서규우

(동의대학교 토목공학과 교수)

Q 현재 한반도를 포함한 전세계가 지구온난화로 많은 기상이변과 환경변화를 겪고 있습니다. 이에 대한 원인과 우리 주변의 수문환경 변화에 대해 자세히 알고 싶습니다.

A 원인규명에 앞서 우선 온난화현상에 대해 살펴보면 다음과 같습니다. 우리가 숨쉬는 공기 중에는 질소(76%)와 산소(20%)가 대부분이지만 이들 외에도 희소가스들이 있습니다. 수증기를 비롯해 이산화탄소, 메탄, 질소산화물, 오존 등의 미량 희소가스들은 태양으로부터 유입되는 복사에너지를 비교적 잘 통과시키는 반면, 지구로부터 달아나는 열 중 일부는 차단시켜 지구표면으로 다시 복사되는데, 이런 온실효과가 없으면 지구의 평균온도는 현재보다 약 32도 가량 낮아지게 됩니다. 대기권에서 온실효과를 일으키는 가장 중요한 기체는 수증기입니다만 인간의 활동으로 인해 인위적으로 발생하는 기체 중에서는 이산화탄소가 가장 큰 온난화효과를 갖고 있습니다. 대략 현재의 지구온난화효과의 절반이 이산화탄소로 인해 야기된다고 봅니다.

전세계의 대기중 이산화탄소 농도가 연간 1.0~1.5ppm정도씩 꾸준히 증가하고 있습니다.

한반도의 이산화탄소 농도도 지속적인 상승을 하

고 있습니다. 한 연구자료를 보면 미국해양기상청(NOAA)의 측정자료(표 1. 참조)에 따르면 지난 1958년에 최초로 대기중 이산화탄소의 농도측정이 시작된 하와이 마우나로아 화산 관측지점의 경우 1995년의 측정치가 360.9ppm이었는데, 이는 13년 전인 1982년의 측정치인 340.9ppm과 비교할 때 정확히 20ppm이 상승한 것으로, 매년 1.54ppm 씩 증가한 셈이다. 1958년 최초의 측정치는 315ppm 정도를 기록했었다.

과학자들은 그 동안 남극 빙하로부터 얼음덩어리를 때어내 얼음 속의 기포를 조사하는 방법으로 수십~수만년 전의 대기중 이산화탄소 농도를 밝혀냈으며, 그 결과 약 1백년전인 19세기 후반 무렵의 농도는 280ppm수준이었음을 확인할 수 있었습니다. 이 같이 최근 1백년간 지구온도를 약 0.5도 정도 상승시켰다는 것이 지구온난화를 주장하는 과학자들의 주장입니다. 세계기상기구(WMO)와 유엔환경계획(UNEP)이 1988년 결성한 '정부간 기후변화위원회(IPCC)'는 1990년에 펴낸 보고서를 통해 최근 1백년간 지구 평균기온은 0.3~0.6도 상승했다고 밝혔습니다. 과학자들은 1980년대 초부터 다양한 컴퓨터 기후모형을 개발해 21세기 후반 지구의 이산화탄소 농도가 현재보다 약 2배로 증가할 경우 지구온도가 얼마나 상승할 것인가를 예측했는데, 컴퓨터모형마다 그 결과는 상이했으나 작게는 1.7도, 크게는 5.3

표 1. 세계주요지점의 CO₂ 농도변화

(단위:ppm)

측정지점	1982년	1992년	1995년
알래스카 배로우	342.7	357.6	361.9
미국령 괌	341.3	356.3	360.6
남극 헬리베이	341.5	354.7	358.1
플로리다 키비스케이인	341.5	357.3	362.1
하와이 마우나로아	340.9	356.4	360.9
캐나다 몰드베이	342.5	357.4	361.3
남극 팔머기지	339.9	354.2	358.1
중국 쑹하이	-	356.4	363.5
미국령 사모아	340.4	354.9	359.2
남극 쇼와기지	-	354.2	358.1
몽골 울란울	-	-	360.3
일본 리오리	-	358.6	-
발틱해	-	-	364.4
한국 태안	-	360.6	363.6

도의 기온상승을 야기하게 된다고 주장했습니다. 이산화탄소 농도가 이처럼 상승하는 이유는 석탄이나 석유등 화석연료 때문으로, 화석연료를 태우는 과정에서 이산화탄소가 대기 중으로 방출되게 됩니다. 지구 전체로 보면 화석연료의 연소로 인해 연간 54억t의 이산화탄소가 방출되고 있으며, 나무를 벌채하기 위해 삼림을 태우는 과정에서도 19억t 가량의 이산화탄소가 발생합니다.

한편으로 지구온난화로 '지구의 허파'격인 열대 우림이 머지않아 사라질 수도 있다는 연구결과가 나와 있습니다. 영국의 과학자들은 최근 연구를 통해 2050년을 전후해 아마존이나 동남아 등지의 열대 우림이 급격히 황폐화될 것이라고 밝혔습니다. 이들이 지목한 열대 우림의 파괴주범은 지구온난화현상이고, 지구온난화를 일으키는 것은 계속해서 늘어나고 있는 이산화탄소라고 했습니다. 그러나 이산화탄소 증가가 이 같은 열대 우림의 대량파괴로 이어지리라는 예상은 최근까지 거의 하지 못했습니다. 오히려 상당수 과학자들은 이산화탄소 배출이 늘어나면 식물들은 더욱 활발히 성장할 것으로 내다보기까지 했습니다. 풍부한 물과 햇빛만 있다면 이산화탄소 증가는 광합성을 촉진시켜 식물천국시대가 올 수도 있다는 예측도 있었습니다. 그러나 현 추세대로 이산화탄소가 증가한다면 열대 우림지역의 경우 현재보다 무려 섭씨 8도 이상 온도가 높아지게 되는 것이 문제로 지적되었습니다. 온도가 높아지면 강수량의 증가보다 증발량의 증가가 훨씬 많아집니다. 2050~2070년에는 이런 현상이 뚜렷해져 이 시기에 열대 우림은 초원지대로 변하거나 심할 경우 사막으로 바뀔 것으로 예측합니다. 열대 우림은 현재 지구 전체 육지면적의 약 8%를 차지하고 있지만 열대 우림이 앞으로 최악의 시나리오대로 지구온난화가 계속 진행된다면 열대 우림의 면적은 앞으로 1백년도 못돼 1%이하로 줄어들 것이라는 연구결과가 있습니다. 열대 우림은 지구상에서 가장 많은 종류의 생물들이 가장 평화스럽게 살아가고 있는 곳으로, 열대 우림이 사라진다면 인류는 허파의 상실과 함께 많은 '동료' 생물을 잃어 야할 처지에 놓이고, 또 이산화탄소를 빨아들었던 열

대 우림이 자취를 감춘다면 대기중의 이산화탄소는 더욱더 급증할 수 밖에 없어 지구의 대재앙이 우려될 수도 있습니다.

한편 이산화탄소 증가로 생기는 지구온난화가 한반도에 미치게 될 영향을 보기 위해 국내의 한 연구팀은 이산화탄소의 농도가 현재의 두 배 수준일 때 일어날 수 있는 한반도의 기후변화 양상을 예측했습니다. 결론부터 말하자면 이산화탄소 농도가 현재와 같은 추세로 증가할 경우 한반도의 연 평균기온은 섭씨 1.5도~2.5도 높아지고, 기온상승에도 불구하고 강수량은 큰 변화가 없는 것으로 나타났습니다. 연구팀은 한반도의 기후 예측에 가장 적합한 것으로 알려진 일본기상연구소의 기후변화 예측모형을 사용해 이 같은 결과를 얻었는데, 이 예측모형에서는 매년 1%씩 이산화탄소의 농도가 꾸준히 늘어 2050~2060년에는 600ppm 이상으로 증가할 것으로 예측했습니다. 이는 지난 1990년 기준 이산화탄소 농도 약 330ppm의 두배에 가까운 값입니다. 이 연구결과에 따르면 전체 강수량에는 변화가 없었지만 강수형태는 재앙에 가까울 정도로 급변하는 것으로 나타났습니다. 우선 6~7월에 걸쳐 있는 장마가 9월로 이동하는 것으로 예상됐었으며 비이삭이 한창 익어야 할 시기에 장마가 집중된다는 것입니다. 또 토양 내 수분이 축적되는 시기도 늦봄이나 초여름에서 가을이나 겨울로 변하는 것으로 분석됐었습니다. 강수량은 큰 변화가 없지만 증발량은 급속히 증가할 것이라는 예측에 따라 수자원의 고갈이 가속화될 가능성이 큼니다. 이 연구팀은 2~3개의 다른 기후변화 예측모형을 이용할 경우도 결과는 크게 다르지 않았으며 이산화탄소가 지금 추세대로 증가한다면 농업 측면에서 일단 큰 손실이 우려되므로 장기적인 대책을 세워야 한다고 말했습니다.

이산화탄소 증가로 인한 영향은 지역별로 큰 차이가 있다는 것이 기상학계의 정설입니다. 그러나 이제 한반도도 지구온난화로 인해 적지 않은 악영향을 받는 것으로 나타났습니다. 다른 한 예로 이산화탄소 농도가 두 배로 증가할 경우 지구수면은 적어도 30cm이상 증가할 것이란 의견이 많습니다. 그러나

한반도 주변, 특히 서해안의 경우 조석간만의 차가 크고 중국 쪽으로부터 황해에 토사가 계속 밀려드는 등 복합적인 이유로 해수면이 최고 1m 안팎까지 높아질 수 있다는 예측도 있습니다.

그리고 지구온난화로 인해 세계적으로 강수량이 늘어난다는 분석결과도 있습니다. 최근 예년에 비해 겨울철인데도 비가 자주 내린다는 이야기가 많습니다. 그런데 최근 미항공우주국(NASA)의 과학자들이 실제로 지난 1세기동안 전 세계에 내린 강수량이 그 이전보다 훨씬 많았으며 지금도 계속 증가추세에 있다고 발표했습니다. 미국 기후학회지에 실린 NASA의 연구결과는 1900년부터 1988년까지 수집된 기상자료를 토대로 분석한 것인데, 이에 따르면 연간 강수량을 기준으로 할 때 이 기간동안 10년마다 2.4mm씩 증가한 것으로 나타났습니다. 따라서 이를 90년간 증가한 값으로 환산하면 이전보다 22mm나 더 많은 양의 비나 눈이 내린 것입니다. 문제는 이러한 강수량의 증가가 전 지구적으로 불균등하게 일어나고 있다는 점입니다. 연구진들은 이 같은 양의 강수량의 증가는 전 세계적으로 볼 때 2%이상 증가한 것으로 이러한 경향은 특히 중·고위도 지역의 북아메리카와 유라시아, 아르헨티나와 호주 등지에서 두드러지게 나타났습니다. 실제로 이 연구에서 이들 지역에서는 1년 중 비가 내리는 달의 비율을 지난 1945년을 기점으로 그 이전과 이후를 비교했을 때, 후반기에 무려 28%나 증가한 것으로 나타났습니다. 특히 미국은 1970년대 이전에는 전국의 습윤지역이 전체의 12%에 지나지 않았는데 1970년대 이후에는 그 비율이 24%로 증가했습니다. 그러나 반대로 중위도 아래 적도부근 지역의 우기 지속기간은 갈수록 짧아지고 있는 것으로 조사됐습니다. 연구진들은 이처럼 중·고위도 지역에서 강수량이 크게 증가한 것은 이 지역이 지난 20세기동안 가장 급격히 산업화가 이뤄진 지역으로 이산화탄소 등과 같은 온실가스가 급격히 증가한 점과 관련이 있을 것으로 추정했습니다. 온실가스의 증가와 대기중 온도의 상승, 증발량의 증가는 수문학적으로 서로 밀접한 관련이 있기 때문입니다.

그러나 한편으로는 이러한 지구온난화에 따른 기상이변이나 피해들이 타당성이 없다는 반론도 있습니다. 석탄이나 석유 등 화석연료가 지구를 뜨겁게 데우고 있다는 주장은 사실일까에 대해 최근 들어 온난화론의 과학적 근거들을 의심해보는 주장들도 제기되고 있습니다.

다음은 온난화론에 대한 주요 반론들입니다.

① 실제로 지구기온은 올라가고 있는가?

인공위성을 이용한 지구표면온도 측정만이 현재로서는 완벽한 자료일 것이다. 그런데 1978년 이후부터 이 같은 측정방법이 도입되었고, 그 결과 1980년대 들어서 지구기온이 상승하고 있다는 명확한 증거는 아직 뚜렷하게 나타나지 않았다.

② 그 동안 지구기온 측정치들을 신뢰할 수 있는가?

19세기까지 사용된 온도계들은 기술적으로 신뢰성이 약하였다. 온도계를 설치한 측정지점들이 잘못 선정되는 경우가 많았다. 관측장비의 창문을 어느 방향으로 낼 것인지, 뚜껑을 어떻게 켜는 것인지 등 설치방법의 일관성도 없었다. 또 온도측정 지점이 유럽이나 미국에 치중돼 전 지구적 경향성을 알기 어려웠다.

③ 컴퓨터 모델링은 믿을만한가?

5일 뒤의 날씨도 못 맞추는데 어떻게 수십 년 뒤의 기온을 과학자들이 알아 맞히겠는가. 현재 채택되는 컴퓨터 모델링들은 바다와 구름의 작용, 수증기의 역할, 태양의 움직임 등 중요한 변수들이 종종 무시되고 있다. 입력자료도 지나치게 단순화시켰다. 전세계를 2천 개 구역으로 나누어 입력시키는데 한 구역이 가로 5백km, 세로 640km나 된다. 컴퓨터 모델링은 또한 허리케인이나 화산폭발, 엘니뇨 등 우발적 자연 환경에 대해서는 속수무책이다.

④ 1980년대만 해도 과학자들은 빙하기의 도래를 우려하지 않았는가?

1970년대는 전세계적으로 매우 추운 시기였으며, 이때는 과학자들이 빙하기의 도래를 예측했었다. 현재 온난화를 주장하는 과학자들 중에는 그 당시 빙하기 도래를 경고한 사람도 있다.

⑤ 지구기온이 올라가면 바닷물이 상승하는가

반대의 결과가 초래될 수도 있다. 바닷물의 표면온도가 상승하면 대기 중으로 기화돼 날아가는 수증기의 양이 증가한다. 그렇게 되면 극지방의 적설량이 늘면서 빙하는 오히려 커지게 된다.

⑥ 온난화가 먼저인가 이산화탄소의 증가가 먼저인가?

수십만년 동안의 기온과 이산화탄소 농도 사이의 관계를 면밀히 조사해보면 기온이 먼저 변화하고 나서 이산화탄소 농도가 따라 움직이는 관계였다. 따라서 기온변화가 이산화탄소 농도변화를 야기한다는 주장이 오히려 가능할 수 있다.

⑦ 인간활동이 기후변화의 주된 원인이라고 할 수 있는가?

대기중 이산화탄소가 차지하는 비중은 0.03%에 불과하다. 이것이 어떻게 기후변화를 야기하는가. 또한 전체 이산화탄소 발생량 중 화석연료에 의한 것은 고작 2.7%밖에 되지 않는다. 나머지는 바다 등 자연으로부터 발생하며, 커다란 화산이 하나 폭발해도 세계기후는 흔들린다.

⑧ 기후변화의 주된 원인은 지구의 공전궤도 변화가 아닐까

장기간에 걸친 지구 기후변화는 지축의 각도가 움직이는데 따른 것이다. 또한 태양과 지구간의 거리도 일정한 사이클을 두고 변화하는데 이런 것들이 궁극적으로는 기온의 상승과 하강을 결정한다고 본다. 빙

하기의 도래와 소멸은 이에 따른 것이다.

⑨ 이산화탄소의 증가는 오히려 인간에게 이로운 현상이 아닐까

이산화탄소 농도가 증가하면 식물의 광합성이 활발해지면서 곡식산출량이 30%정도 늘어난다는 연구 결과가 있다. 일반적으로 식물의 성장에 가장 적합한 이산화탄소 농도는 1000ppm 전후이다. 이는 현재 이산화탄소 농도의 2.8배에 해당한다.

⑩ 온난화보다 중요한 환경문제들이 얼마든지 있지 않은가?

에너지 사용을 강제로 억제하는 것은 전세계 경제에 너무 큰 충격을 준다. 미국의 경우 이산화탄소 배출량을 1990년 수준에서 35%정도 낮추려면 무려 1500억 달러가 든다는 연구결과가 있다. 식물을 통해 이산화탄소를 흡수하는 방법도 있으나 이산화탄소 농도 안정화를 위해선 매년 남한 면적의 60배에 달하는 식목이 필요하다.

(참고자료)

조선일보 1997년 11월 27일자 'CO₂배출 증가' 자료
 중앙일보 1997년 12월 4일자 '한반도 온난화 농업에 타격' 자료
 부산일보 1997년 12월 10일자 '강수량이 늘어난다' 자료
 중앙일보 1998년 1월 12일자 '지구의 허파 열대우림 100년내 숨뿜출수도' 자료