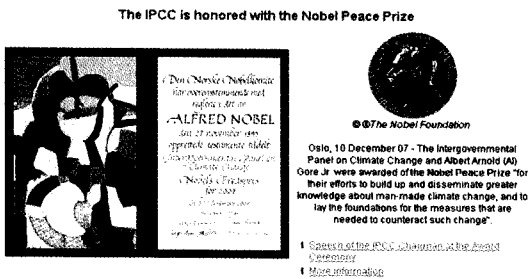


더워지는 지구 II 아름다운 지구를 후손에게



▶▶ 2007년 노벨 평화상을 받은 엘 고어와 IPCC 4차 보고서를 작성하는데 참여하였던 1천여 명의 과학자들.

1988년은 많은 한국 사람들의 머릿속에 88서울올림픽을 우선 떠올리게 한다. 그런데 우리들은 올림픽의 열기 속에서 거의 눈치를 챌 수 없었지만 1988년은 엘니뇨가 본격적으로 그 위력을 발휘한 해였다.

1988년의 전 지구적인 기상이변

전례 없는 폭염이 미국의 전역을 강타하면서 남부의 목화재배를 엉망으로 만들었고 중서부의 밀·옥수수·사탕수수·콩 등을 말라 죽였다. 8월에는 엘로스톤 국립공원에서 시속 80km의 돌풍과 함께 대화재가 발생하면서 거의 절반에 이르는 지역을 태웠으며, 이 연기로 인하여 일부 도시에서는 '연기 속의 하루'라는 일기예보를 내보낼 수밖에 없었다. 낮아진 수위로 인해 미시시피 강의 수천 척에 달하는 화물운반선이 운행할 수 없었으며, 강바닥에서는 과거 침몰하였던 난파선들이 모습을 드러냈다.


이 해의 기상이변은 전 지구적인 현상이었다. 지난 세기의 기록적인 태풍 허리케인 길버

트가 유카탄 반도를 통과하면서 모든 마을과 해변을 파도로 휩쓸어버렸다. 방글라데시에서도 홍수로 인하여 전국토의 4분의 3 이상이 물에 잠겼다. 중국에서도 가뭄, 홍수, 태풍, 우박 등으로 1만 명 이상의 인명과 50만 채 이상의 가옥이 유실되는 피해를 보았으며, 상하이에서는 10만 명 이상이 일사병을 앓았다. 그런데 이 해가 더욱 특별했던 것은 서울에서 진행된 올림픽 경기와 마찬가지로 이 해 일어났던 엄청난 기상재난들을 전 세계인들이 자신들의 방안 TV를 통하여 다 볼 수 있었다는 점이다.

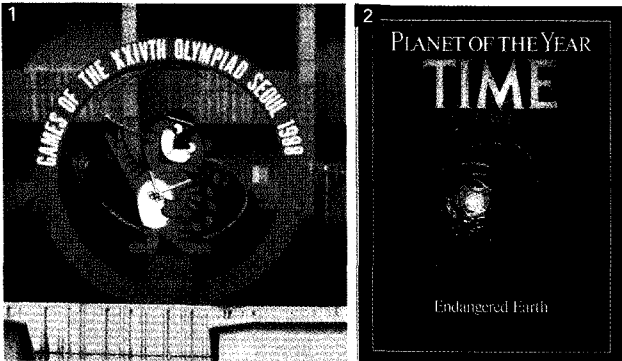
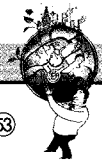
우리 생활의 일부가 된 지구온난화

그 해 6월 미국 상원에서는 '온실효과와 기후변화에 대한 제1차 공청회'를 열고 미국을 대표하는 기상학자들을 불러 기후 변화에 대한 의견을 청취하였다. 특히 NASA의 웬슨은 "지난 100여 년의 전지구적 온도 자료는 지구 온난화가 일어나고 있다는 강력한 증거를 제시하고 있으며, 따라서 지구의 기후는 현재 바뀌고 있다"는 의견을 피력하였다. 책임 있는 과학자가 공식석상에서 '지구온난화'에 관하여 행한 최초의 발언이었다. '지구온난화'라는 말이 전 세계의 매스컴에 거듭 이야기되기 시작하였으며, 전 지구적 변화는 이제 각 개인의 생활 속에 현실로 자리를 잡기 시작하였다.

'과연 지구가 더워지고 있는가?', '만일 지구가 더워지고 있다면, 과연 사람들의 활동에 기인한 것인가?' 등과 같은 기후 변화에 관한 여러 중요한 질문에 대하여 치열한 논의가 시작



글 김경렬 서울대학교 지구환경과학부 교수
krkim@snu.ac.kr
글쓴이는 서울대학교 화학과 졸업 후 동대학원에서 석사학위를 받았으며, 미국 캘리포니아대학 샌디에이고 캠퍼스에서 해양학으로 박사학위를 받았다. 현재 지구환경과학부 학부장 겸 BK21사업 단장으로 있으며, 해양연구소장을 겸임하고 있다.



▶ 1 88서울올림픽 마스코트 호돌이 2 1988년 TIME지가 선정한 올해의 행성 지구. 멸종위기의 지구라는 부제가 붙어있다.

된 것은 물론이다.

매년 말이 되면 주간지 TIME은 올해의 인물을 선정한다. 그런데 1988년은 사람 대신 행성을 선정하였다. 그리고 '멸종 위기의 지구'라는 부제를 붙였다. 이 해는 지구를 보는 사람들의 눈이 분명히 변한 해였다. 3년 전인 1985년 남극 상공에서 발견된 거대한 오존 구멍도 이런 생각의 변화에 한몫을 거둔 것은 물론이다.

당시까지만해도 많은 사람들의 지배적인 생각은 사람이 감히 거대한 지구를 변화시킬 수 있다는 것은 있을 수 없는 일이라는 것이었다(어쩌면 희망이었던지도 모르지만). 그러나 지구 상의 60억이 넘는 사람들이 힘을 합쳐 일(?)을 만들어내기로 마음만 먹으면, 거대한 지구가 망가질 수도 있다는 것을 깨닫게 된 것이다.

기후변화에 관한 정부간협의체(IPCC)

이런 배경 속에 세계기상기구(WMO)는 유엔환경계획(UNEP)과 함께 기후 변화에 대한 진실을 밝혀내려는 과학자들의 모임인 기후변화에 관한 정부간협의체 IPCC를 발족시켰다. 이렇게 탄생한 IPCC의 주임무는 기후 변화에 관하여 과학적 담론을 정리한 보고서를 발간하는 것이다.

“지구 기후가 앞으로 어떻게 변할 것인가?”라는 질문은 누구나 답을 알고 싶어 하는 중요한 문제이지만 유감스럽게도 그 예측이 불가능하다. 과학자들이 수권, 지권, 생물권, 대기권이 서로 복잡하게 얽혀있는 기후시스템을 다 이해하지 못하는 것도 물론 중요한 하나의 요인이다. 그러나 더 중요한 것은 앞으로 “사람들이 어떻게 행동할 것인가?”

라는 중요한 변수에 많은 불확실성이 있기 때문이다. 따라서 IPCC에 참여하고 있는 과학자들은 사람들이 취할 수 있는 몇 가지 예상 시나리오를 만들고 이들 시나리오에 따라 지구 기후가 어떤 변화를 할 것인지를 최선을 다해 전망하고 이를 보고서에 담는 것이다.

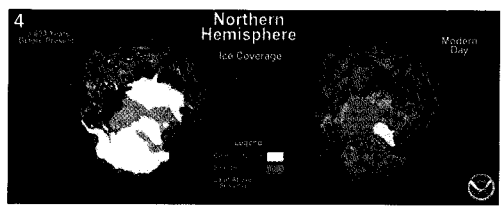
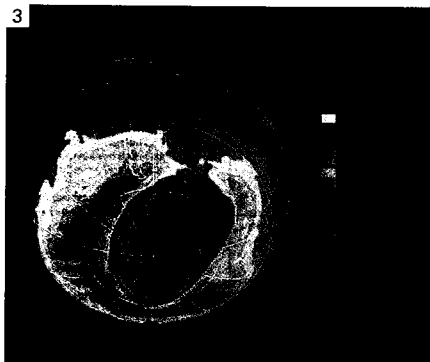
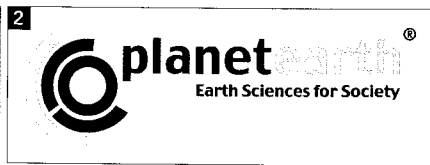
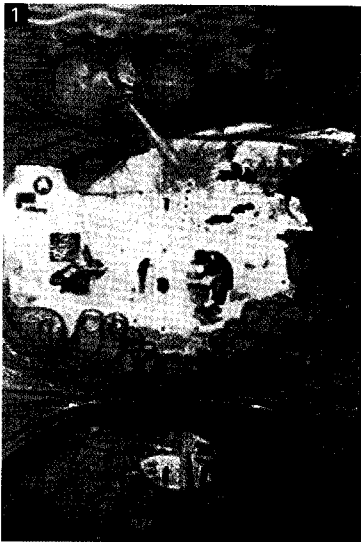
기후 문제에 관하여 현재 우리가 얼마나 알고 있는지, 더 정확하게 표현하면 얼마나 모르고 있는지, 그 상태를 점검하여 이를 정책 결정자들에게 알려주는 것이 주요한 설립 목적의 하나였다. IPCC는 1990년 1차 보고서를 시작으로 하여 2007년까지 4차에 걸친 보고서를 발간하였고, 현재 2013년을 목표로 하여 5차 보고서 작성을 위해 노력하고 있다. 그리고 지난 4차 보고서가 나온 2007년에 보고서 작성에 참여한 과학자들에게 노벨평화상이 수여된 것이다.

고마운 바다, 그러나 역시 역부족?

사람이 지구의 기후를 변화시킬 수도 있음이 과학적으로 처음 논의된 것은 지금으로부터 100여 년 전으로 거슬러 간다. 스웨덴의 아레니우스는 1897년 이미 '대기 중 탄산가스 농도가 두 배로 증가하면 지구 평균 온도가 5~6℃ 상승하는 지구온난화를 만들어낸다'는 '놀라운' 계산을 발표했었다. 그러나 경고성의 의미는 결코 아니었으며, 또한 실현 가능성에도 큰 비중을 두지 않았던 것이 사실이다.

실은 1930년대에 켈린더라는 과학자가 당시 고르지 않던 기후에 사람의 활동이 관여되어 있다는 주장을 하였다. 사람들이 방출한 탄산가스로 온도가 높아진다는 과감한 주장을 한 것이었다. 그러나 당시의 과학자들은 이 생각을 도저히 받아들일 수가 없었다. 사람들이 조금 말썽(?)을 피우더라도 '지구는 이를 스스로 해결할 수 있는 자정능력을 가지고 있다'는 것이 많은 과학자들의 믿음이었다. 그리고 자정기능의 핵심으로 바로 '바다'를 꼽았다. 사람들이 방출하는 탄산가스를 바다가 모두 흡수할 수 있다는 것이 당시 과학자들의 믿음이었던 것이다.

그런데 제2차 세계대전 이후 1950년대에 이르러 본격적인 바다에 관한 연구가 시작되면서 바다가 잠재력을 가지고 있는 것만 실제에 있어서는 그리 큰 자정능력을 발휘하지 못하는 것 같다는 증거가 서서히 나타나기 시작하였다. 따라서 이를 확인하기 위해서는 대기에서 혹시 어떤 일이



▶▶ 1 1957년 유엔이 정한 IGY(국제지구물리의 해)를 알리는 포스터. 이 해 전지구를 대상으로 한 여러 중요한 관측이 시작되며 킬링 곡선도 그 대표적인 예의 하나이다. 2 UN은 IGY의 50주년이 되는 2007-2009년의 3년간을 '지구의 해(IYPE)'로 정하고 2008년 1월 파리에서 공식적인 선포식을 개최하는 것을 시작으로 본격적인 지구사랑 캠페인을 벌였다. '사회를 위한 지구 과학'이 바로 캠페인의 표어다. 3 1985년 가을 처음으로 발견된 남극상공의 오존구멍사진. 지구변화에 대한 염려를 사람들에게 처음으로 심어준 중요한 관측결과였다. 4 지난 빙하기의 절정에 가까웠던 18,000년경과 오늘날의 북반구의 빙하의 분포모습.

일어나고 있는지를 살펴보지 않으면 안 되겠다는 대기관측의 필요성이 대두되기 시작한 것이다.

1957년-국제 지구물리의 해

1957년은 유엔이 어떤 하나의 주제로 이름을 붙이기 시작한 첫 번째 해이다. 국제 지구물리의해(IGY)라는 이름이 붙여진 이 해에 여러 가지 체계적인 전지구적 관측이 시작되었다. 1985년 남극상공에 오존 구멍이 생기고 있음을 처음으로 밝혀 사람들을 놀라게 한 영국남극관측팀이 남극 헬리만에서 오존 관측을 시작한 것이 바로 이 해였다. 오늘날 지구 상 모든 이들의 화두가 되어있는 '엘니뇨'가 해양현상과 어떤 관련이 있는 것 같다는 힌트를 처음으로 얻을 수 있었던 것도 엘니뇨가 일어났던 바로 이 해에 태평양에서 시작된 해양무인관측시스템 덕분이었다.

그런데 이때 이루어진 또 하나의 중요한 지구 관측으로 바로 킬링이 하와이 마우나로아의 고도 약 3천400m 지점에서 시작된 대기 중 탄산가스의 농도관측이었다. 이렇게 해서 사람이 지구환경을 바꿀 수 있음을 보여주는 가장 중요한 자료로 손꼽히는 킬링 곡선이 탄생한 것이다.

탄산가스의 수지계산서

IPCC가 기울인 노력의 하나는 사람들이 도대체 얼마나

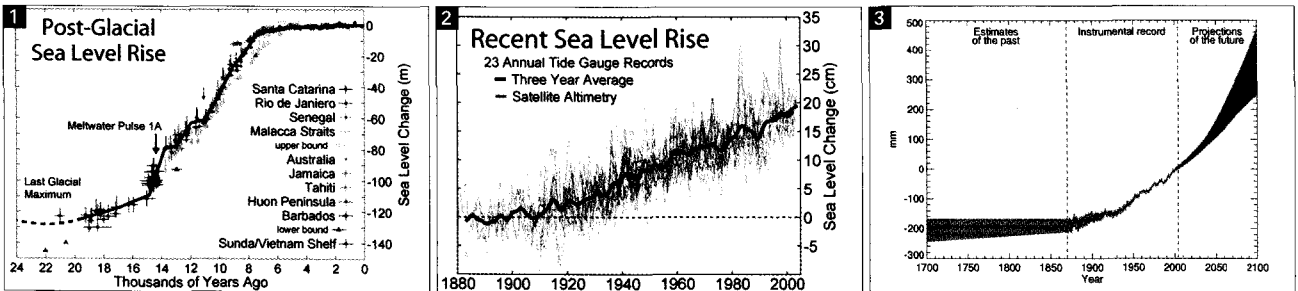
많은 탄산가스를 만들어내며 이렇게 만들어진 탄산가스는 어디로 가는지 그 행방을 추적하는 것이었다. 이러한 노력이 꽤 성과를 거두어 이제는 탄산가스의 대체적인 전지구적 수지계산서를 만들 수 있게 되었다. 지난 1990년대의 탄산가스의 평균적 수지계산서와 10년 후인 2000년대 변화된 결과(괄호 안)를 한 번 살펴보자.

탄산가스 만들기

(단위: 억톤-탄소/연)

화석 연료의 연소 및 시멘트 생성	64(77)
삼림벌채 및 열대지역의 화전	16(14)
총계	80(91)
탄산가스의 행방	
대기 중으로(킬링곡선의 증가분)	31(41)
바다 속으로	22(23)
육상 식물들 내로	27(27)
총계	80(91)

지난 90년대 약 60억 명의 지구 식구들이 1년에 약 63억 톤의 탄산가스(위의 숫자는 탄산가스 중의 탄소(C)의 양만을 고려한 것임)를 화석연료를 통해 방출하므로, 한 사람이 평균적으로 1년에 약 1톤 정도의 탄산가스를 방출하



▶▶ 1 마지막 빙하기를 거친 후 해수면이 상승한 모습을 보여주는 자료들. 지난 8천년 전에 이르러서야 오늘날의 해수면에 이른 것을 보여준다. 2 지난 100여년 동안 관측된 해수면 변동자료. 상승 추세가 분명히 보이며 최근의 인공위성자료(붉은색)도 이를 뒷받침해주고 있다. 3 IPCC가 추정한 해수면 변동 추정결과. 금세기 후반이면 해수면이 최소한 30여 cm 정도 지금보다 높아질 것이 예상된다.

였다. 물론 선진국으로 갈수록 그 값이 커서 미국은 약 5.6톤 정도, 우리나라도 2.6톤 정도로 세계 평균보다 훨씬 많은 양의 탄산가스를 배출하는 나라이다.

이렇게 방출된 탄산가스를 바다가 열심히 흡수하려고 노력하며(23억 톤), 식물 또한 성장하면서 상당 부분을 다시 흡수하지만(24억 톤), 역부족으로 채 감당하지 못하는 부분(33억 톤)이 대기 중에 남아서 대기 중의 탄산가스 농도를 증가시킨다. 이것을 키일링 곡선이 보여준 것이다.

그런데 2000년대에 이르면 10년 사이에 벌써 화석연료에 의한 배출량이 13억 톤 정도나 늘어나고 1인당 방출량도 1.25톤 정도로 1/4 이상이나 증가한 것을 보여준다. 이 10년 동안 전 세계 인구의 1/5을 차지하는 중국의 1인당 배출량이 0.7톤에서 1.3톤으로 2배 가까이 된 것이 중요한 원인이었음은 물론이다. 문제는 이를 흡수하는 바다나 육상식물의 역할이 별로 변하지 못하므로 자연히 증가된 값은 대기 중에 그대로 남아있으면서 키일링 곡선의 기울기를 더욱 가파르게 만들고 있는 것이다.

변화속도 너무 빨라 생태계에 타격 심각

기후를 연구하는 많은 과학자들은 지구가 더워지는 것이 정말로 문제라고 대답하고 있다. 극심한 가뭄이나 폭우 등의 이상 기후가 더 자주 발생할 것이 예상되며, 태풍의 강도나 발생 빈도가 높아질 것이 분명하다. 특히 사람들이 염려하는 심각한 문제의 하나는 해수면의 상승이다. 더워진 바닷물의 부피 팽창이 주된 원인이 되지만, 지구가 더워지면서 빙하의 일부가 녹는 것도 또 하나의 요인이 된다. 과학자들은 금세기 말에 이르기까지는 적어도 수십 센

티미터 정도의 해수면 상승이 있을 것으로 추정하고 있다.

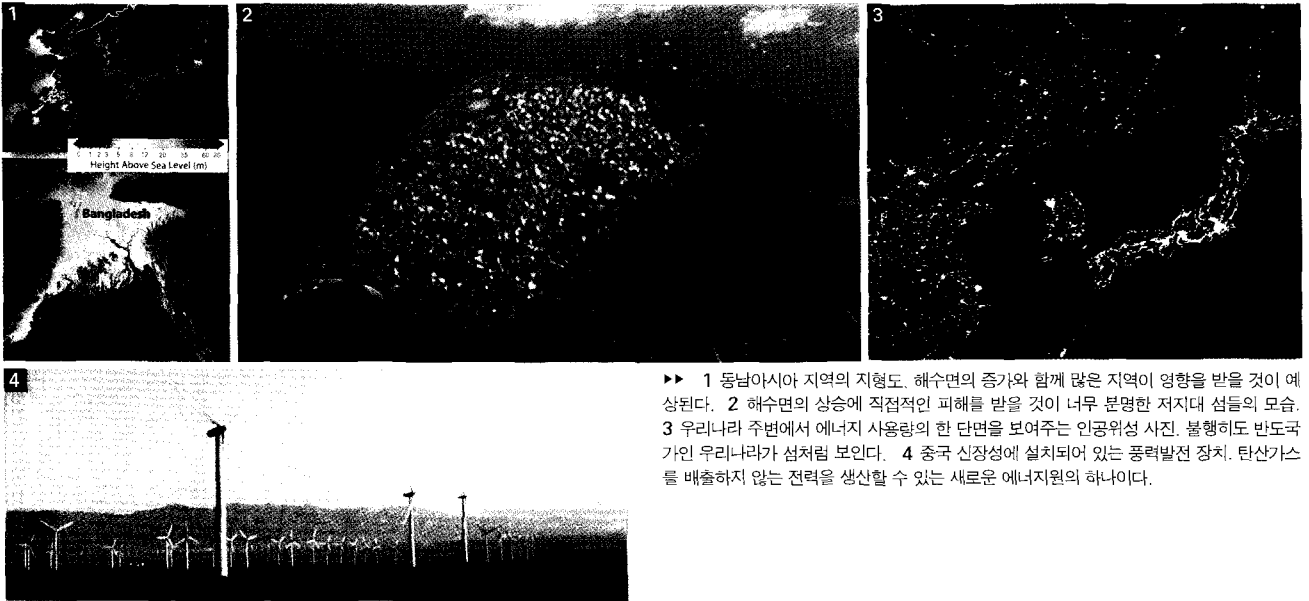
지구는 지난 빙하기와 간빙기를 거치면서 수십만 년에 걸쳐 130여m 이상의 해수면 변동의 역사를 겪어왔다. 그러나 앞으로 100년도 안 되는 짧은 시간 동안에 해수면이 수십cm 증가할 때 저지대를 많이 가지고 있는 나라에서 겪을 어려움은 쉽게 짐작이 된다. 더구나 이렇게 상승된 해수면이 조석이나 태풍 등과 함께 작용할 때 그 파괴 효과가 가중될 것임은 더 말할 나위가 없다.

더욱 심각한 것은 지금의 변화 속도가 너무 빠르다는 것이다. 특히 빠른 변화에 적절히 적응하기 어려운 식물 생태계에 미칠 타격이 심각할 것은 너무나도 자명하기 때문이다. 지구온난화가 예측하는 미래의 지구가 결코 바람직하지 않은 방향으로 추가 더욱 기울어지고 있는 것은 어쩔 수 없는 사실 같다. 더욱 난처한 것은 지구온난화 문제는 이렇게 지금보다도 우리 후손들이 살아야 할 미래의 문제라는 것이다.

지구온난화는 피해갈 수 없는 인류의 과제

이제 모든 세계정상회의에서 지구온난화 문제는 빠질 수 없는 주제가 되었다. 1992년 리우지구정상회의에서 채택된 유엔기후변화협약(UNFCCC)이 50개국에 의해 조인되면서 1994년 효력이 발생한 후 매년 열리는 당사국 회의는 대표적 정상회의이다. 특히 1997년 교토에서 열린 제3차 당사국회의에서 채택된 교토의정서는 온실기체의 구체적인 감축을 의무화하는 중요한 틀을 제시하였다.

그러나 기본 원칙에 동의하면서도 실제 감축 방안을 마련하는 데 있어서는 서로 많은 이견을 가지고 있음은 2000



▶▶ 1 동남아시아 지역의 지형도. 해수면의 증가와 함께 많은 지역이 영향을 받을 것이 예상된다. 2 해수면의 상승에 직접적인 피해를 받을 것이 너무 분명한 저지대 섬들의 모습. 3 우리나라 주변에서 에너지 사용량의 한 단면을 보여주는 인공위성 사진. 불행히도 반도국가인 우리나라가 섬처럼 보인다. 4 중국 신장성에 설치되어 있는 풍력발전 장치. 탄산가스를 배출하지 않는 전력을 생산할 수 있는 새로운 에너지원의 하나이다.

년 네덜란드 헤이그에서 열린 제6차 당사국회의의 회담 결렬과 이를 이은 2001년 미국의 교토의정서 탈퇴에서 가장 극명하게 드러났다. 러시아가 마침내 이를 조인함으로써 교토의정서가 효력을 발휘하게는 되었으나 파국을 미리 예방해보려는 길이 결코 순탄하지않은 않아 보인다. 여기에는 우리나라도 예외가 있을 수 없다. 아직은 개발도상국으로 분류되는 행운 속에 국제적 압력을 피해가고는 있지만 우리는 온실기체 방출에 있어서 상위 10위권 안에 있는 나라로서, 앞으로 어떻게 해야 할 것인가에 대한 심각한 논의가 필요한 나라 중 하나이다.

2012년 종료되는 교토의정서를 대체하는 후속 대책을 마련하려 논의가 현재 진행되고 있다. 지난해 12월 멕시코 칸쿤에서 열렸던 17차 당사국회의에서 정치가들이 간신히 지구온난화를 약 2도 정도에서 멈추게 하자는 결정을 하였다. 2도가 그리 대수롭지 않게 여겨질 수도 있지만 실제로 과거 지구의 평균기온이 약 6도 정도 낮았을 때 지구가 빙하기로 들어간 것을 생각하면 그냥 쉽게 지나쳐버릴 수 있는 숫자는 결코 아니다. 더욱 난처한 것은 이런 정도로 문제를 해결하겠다는 실천 방안조차 그리 쉽지 않다는 것이다. 해결방안의 핵심에 자리 잡고 있는 탄산가스 사용을 줄이기가 어려운 것은 탄산가스의 방출량을 줄이는 것이 바로 에너지의 생산량을 줄이는 것과 직결되어 있기 때문이다.

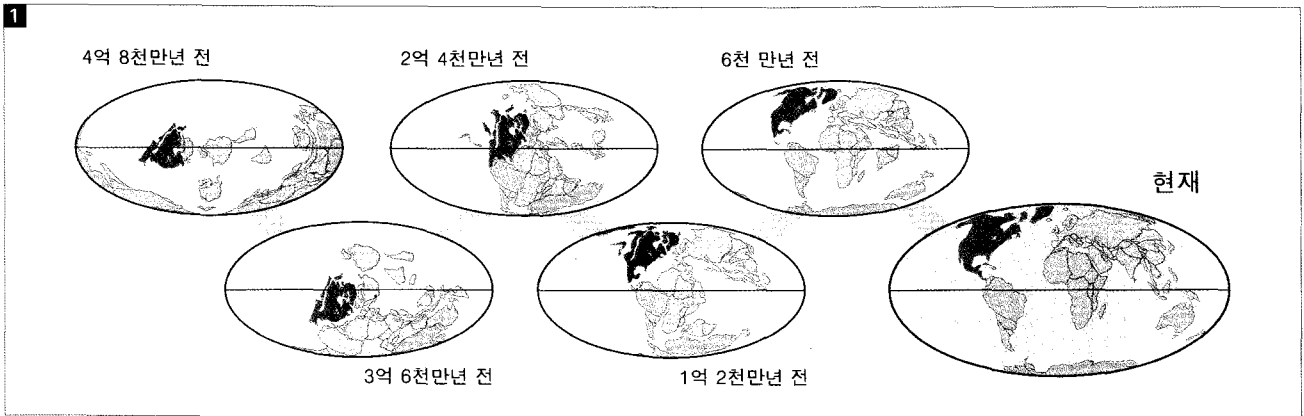
에너지 절약이 지구온난화 막는 길

사람들이 탄산가스를 배출하는 경로를 구체적으로 살펴보면 전 지구적으로 볼 때 약 1/3 정도는 석탄과 석유를 이용한 '전력 생산과정'에서 공기 중으로 방출된다. 즉 지구온난화의 근본 원인은 탄산가스가 우리 생활을 윤택하게 해주는 바로 그 에너지원이라는 것이다. 그리고 탄산가스의 나머지 1/3 정도는 사회적인 기반구축, 공공 및 산업 활동으로 인하여 방출된다. 탄산가스의 방출을 줄이는 일이 참으로 간단한 일이 아니지만 그래도 어떻게 하든 온실기체의 방출을 줄여가야 한다.

탄산가스의 방출을 최소로 줄이면서 효과적으로 에너지를 만들어낼 수 있는 신기술의 개발도 필요하다. 탄산가스의 배출을 최소로 하는 효율적인 공공기반 구축 및 새로운 교통수단 및 효과적인 대중교통 체재의 개발도 미래의 과학과 기술이 해결해야 할 과제이며, 정치가, 과학자, 기술자, 기업인들이 하나가 되어 열심히 노력해야 할 부분이다.

남은 1/3은 바로 지극히 작아 보이는 우리 개개인의 생활로 인한 부분이다. 지구온난화의 책임의 약 1/3은 우리들 하루하루의 생활에 있다는 것이다. 따라서 우리 개개인의 에너지 절약이 바로 지구온난화 문제의 해결에 기여하는 것이다.

2007년 노벨상 위원회가 지구온난화 문제에 노벨 평화상을 수여한 것은 이런 문제의 심각성을 더욱 알리려는 노



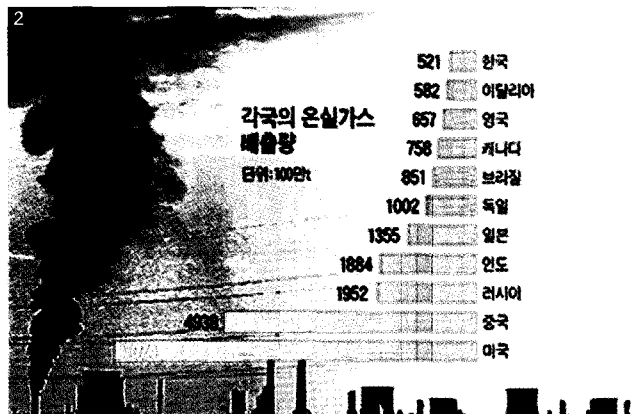
▶▶ 1 판구조론에 의하면 지금부터 약 2억5천만 년 전에 이르러서야 대개 오늘날 우리들이 볼 수 있는 대륙들의 모습이 어렴풋이 눈에 띄게 된다. 이런 거대대륙이 시간이 지남에 따라 서서히 쪼개지고 재배열되면서 오늘날의 모습을 갖추어 갔다. 그리고 대개 지금부터 약 300만 년 전에 이르러서야 오늘날 우리에게 익숙한 지구의 모습이 이루어졌다. 2 각국의 탄산가스 배출량을 보여주는 도표.

벨상 위원회의 배려이었음이 틀림없다. 그런데 노벨상 위원회는 이미 1995년 오존층의 화학을 규명한 세 명의 과학자에게 노벨화학상을 수여하여 지구환경문제의 심각성을 알린 바 있다. 이 수상자들 중 한 명인 크루첸 교수는 오늘날 우리들이 사는 시대를 '인류세'로 규정하고 최근 지구의 급변하는 환경문제에 대하여 우리들이 가져야 할 자세를 다음과 같이 조언하고 있다.

“지구라는 이름의 우주호에 탑승한 시민들로서 우리가 꼭 취해야 할 행동은 어떤 것일까? 모든 것을 포괄하는 하나의 지침이 가장 적절하리라. 즉 오늘 행성 지구에 살고 있는 인류가 자신들의 이익을 위해 지구가 가지고 있는 자원을 개발할 때는 가능한 모든 방법을 동원하여 우리 행성에 부수적으로 가해지는 스트레스를 최소화하는 노력을 동시에 강구해야 한다는 것이다. 사실 그것이 우리가 가지고 있는 유일한 길이기도 하다.”

아름다운 지구를 후손들에게

지구를 연구하는 과학자들이 오늘날 지구의 모습을 이해하는 든든한 과학적 도구로 사용하는 판구조론은 우리가 단단한 것으로 알고 밟고 사는 대륙도 마치 뗏목 위의 사람들처럼 뗏목인 판이 움직이는 대로 따라 움직이고 있을 것을 알려준다. 이 판구조론의 가장 중요한 결론은 판의 움직임에 따라 지구가 끊임없이 그 모습이 변해왔다는



것이다. 지금부터 약 2억5천만 년 전에 이르러서야 (46억 년의 지구 나이로 보면 약 95%가 지난 이후의 일이다) 거대대륙 판게아의 형태로 오늘날 우리들이 보고 있는 대륙들의 모습이 지구 상에 나타난 지구는 서서히 그 모습을 바꾸기 시작하여 약 300만 년 전에 이르러서야 우리에게 익숙한 오늘날의 모습을 갖추었다. 지구 역사로 보면 정말로 눈 깜짝할 최근의 일이다.

이렇게 지구가 가장 아름다운 모습일 때 인류가 지구상에 살 수 있게 되었다는 것이 우리에게 시사하는 것이 분명히 있어 보인다. 아름다운 행성, 그리고 단 하나뿐인 우리의 삶의 터전 지구의 아름다움을 유지하기 위해서 에너지 절약을 실천하는 생활에 더욱 힘을 기울여야 할 시기가 분명하다. 바로 우리가 가장 아끼는 우리의 후손들을 위해서. (ST)

《편집자주》 '지구이야기'는 이번 호를 끝으로 연재를 마칩니다. 그동안 '지구이야기'를 연재해주신 김경렬 교수님과 애독자 여러분께 감사드립니다.