



생명의 필수요소 '오존' I 오존 문제의 두 얼굴



글 김경협 서울대학교
지구환경과학부 교수
krkim@snu.ac.kr

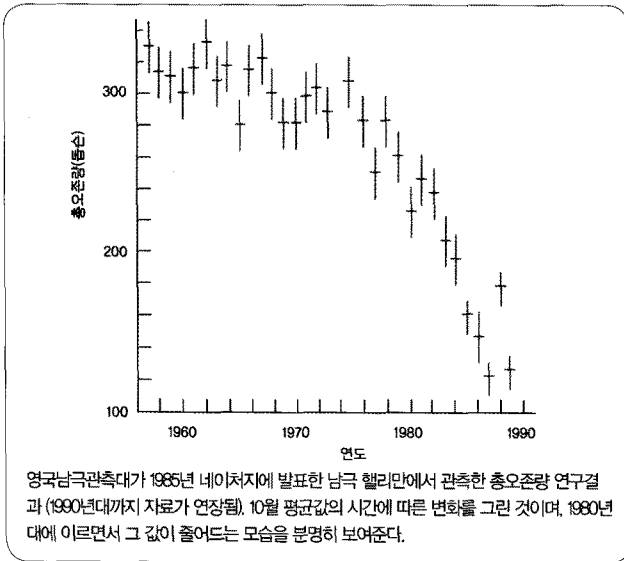
글쓴이는 서울대학교 화학과 졸업 후 동대학원에서 석사 학위를 받았으며, 미국 캘리포니아대학 샌디에이고 캠퍼스에서 해양학으로 박사학위를 받았다. 현재 지구환경과학부 학부장 겸 BK21사업단장으로 있으며, 해양연구소장을 겸임하고 있다.

남극대륙 상공에 오존구멍이 처음으로 발견된 지 올해로 벌써 25년이 된다. 1985년 지구 환경이 크게 변하고 있음을 알리는 충격적인 발견을 파편을 대장으로 하는 영국 남극관측팀이 '네이처'에 발표했다. 영국의 남극관측팀은 UN이 국제지구관측년(IGY)으로 정했던 1957년부터 이미 20년 가까이 남극 헬리만에서 오존 관측을 수행해오고 있었다. 그런데 1980년에 들어서면서 매년 10월경이면 평상시에 비해 값이 줄어들기 시작하는 것이었다. 더구나 이 경향은 해가 거듭될수록 더욱 심해져 1980년대 중반에 이르러서는 남반구 초봄 남극 상공에서의 총오존량이 평소보다 40% 정도나 줄어들고 있었다. 오존층의 파괴가 의외로 빠른 속도로 진행되고 있는 것이었다. 너무도 놀라운 자료에

검정과 검정을 반복하면서 자신들이 오랜 관측을 통해 얻은 이 결과에 확신을 갖게 된 영국팀은 마침내 1985년에 이르러 이를 발표한 것이었다.

남극대륙 상공에 오존구멍이 있다

파편의 발표에 가장 당황했던 사람들은 미국 NASA 가다드 우주비행센터의 과학자들이었다. 이들은 인공위성(넘버스 7)을 이용해 이미 1970년대 후반부터 지구의 여러 지역에서 총오존량을 관측하고 있었다. 파편의 연구 결과가 발표되자 이들은 즉시 자신들이 얻은 자료를 조심스럽게 다시 검토하기 시작했다. 그 결과, 인공위성 자료들도 이미 오존이 감소하고 있는 모습을 분명하게 보여주고 있다는 것을 알게 되었다. 그리고 우리에게 의



인공위성이 관측한 대표적인 10월(남반구 봄)의 총오존량의 분포모습. 남극 대륙 상공에 거의 대륙 크기의 넓은 지역에 걸쳐 오존층의 양이 현저히 줄어든 '오존구멍'이 형성되어 있는 모습을 보여준다.

속해진 오존구멍의 인공위성 사진이 마침내 발표된 것이다. 그런데 미국의 과학자들은 이 사실을 왜 더 일찍 발견하지 못했을까?

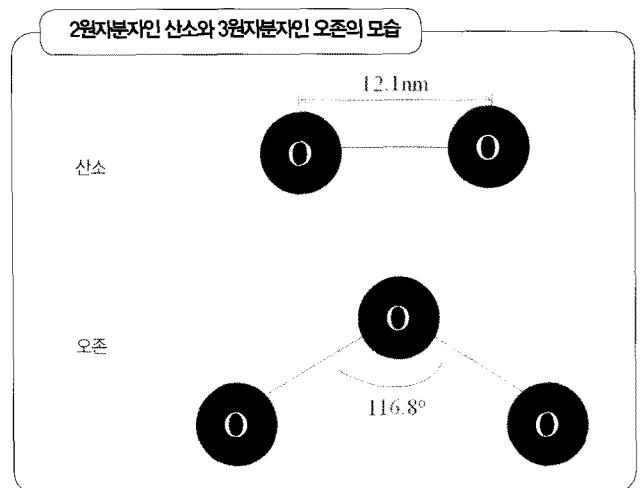
1970년대 초에 이르러 질소비료에 기초하여 일어난 농업혁명, 그리고 프레온과 같은 CFC화합물을 냉매, 용매 등으로 이용하는 사람들의 활동이 오존층을 감소시킬 수 있다는 주장이 과학계에 제기되기 시작했다. 이런 연구에 주도적인 역할을 했던 크루첸, 롤랜드, 몰리나 교수는 후일 1995년 노벨 화학상을 수상하였다. 그런데 이런 연구들이 사람들의 활동으로 오존층이 얇아질 수 있음을 경고하기는 하였지만, 이렇게 오존 구멍을 만들어낼 정도로 급격한 오존층의 감소가 일어나리라고는 전혀 예측을 할 수 없었던 것이 사실이다.

따라서 오존층의 이런 급격한 감소를 전혀 예상하지 못했던 연구자들은 인공위성이 제공하는 엄청나게 많은 자료의 1차 검정과정에서 정상시의 총오존량이 약 300독스 이상인 것을 감안해 180독스 이하로 내려가는 자료는 믿을 수 없는 불량한 자료 간주해 제외시켰다. 그러다보니 이런 낮은 농도의 오존값이 자료를 살펴보던 과학자들의 눈에 띄 수가 없었던 것이다.

파면의 발표에 깜짝 놀란 이들 과학자들이 인공위성이 얻은 '모든' 자료를 꺼내 다시 살핀 결과 1980년도에 이르면서 매년 남반구의 초봄인 10월경 남극의 상공에는 오존 구멍이 만들어지고 있는 것을 확인할 수 있었다. 더구나 그 크기가 매년 더 커

지고 있으며 구멍 내의 총오존량도 점점 줄어들고 있는 것이었다. 이들은 이런 엄청난 놀라운 사실을 알려주는 자료를 가지고 있었음에도 불구하고 그만 처음 발견을 영국팀에게 내어주고 말았던 것이다.

그러나 같은 해 8월 마침내 일반인 앞에 등장한 NASA의 오존구멍 인공위성 사진은 사람들이 자신들의 활동으로 지구를 변화시킬 수도 있다는 충격적인 진실을 받아들이지 않으면 안 되는 중요한 전기를 마련해주었다. 그 결과 오존구멍이 발견된 지 불과 2년밖에 되지 않은 1987년에 이르러 오존층을 파괴하



는 프레온과 같은 화합물의 사용을 전 지구적으로 규제하는 몬트리올 의정서가 체결되게 되었다.

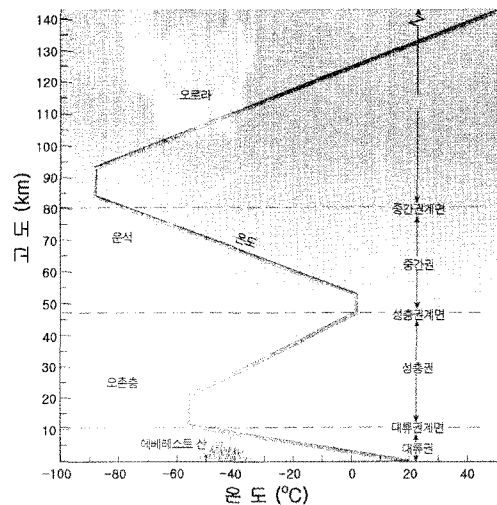
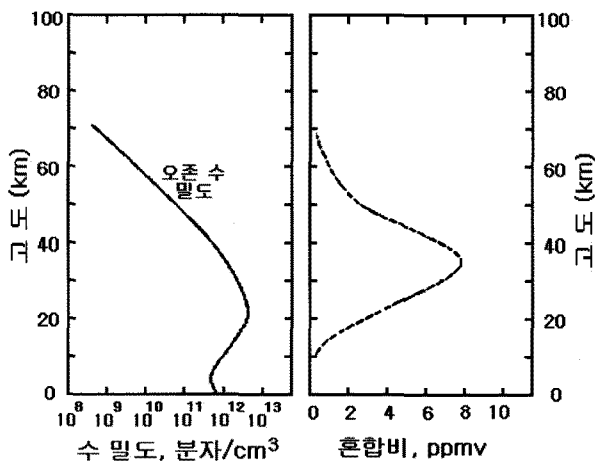
지상에 오존이 얼마나 있을까?

오존은 산소원자 3개로 이루어진 3원자 분자이다. 우리 지구 대기 중에 오존이 얼마나 있을까? 오존의 양을 표현하는데 통상 두 가지 방법이 사용된다. 첫 번째 방법은 고도에 따라 오존의 양이 어떻게 변하는지를 보이는 것이다. 이렇게 공기 중에서의 오존의 혼합비, 그리고 오존의 절대 농도가 고도에 따라 어떻게 변하는지를 살펴보면 대개 20~40km 정도의 고도에서 오존의 절대 농도가 최대값을 보이고 있으며, 과학자들은 이를 오존층이라 부른다. 오존층은 고도가 높아지면서 온도가 오히려 증가하는 성층권 내에 존재하고 있다. 실은 성층권 내에 오

존층이 형성되면서 이곳 오존층의 오존분자들이 태양광을 흡수하면서 주위를 데워 결과적으로 이런 역전층 모양의 성층권이 형성된 것이다.

오존의 양을 표현하는 또 하나의 방법은 높은 상공에서 지구를 내려다볼 때 지표면 단위면적당의 공기기둥 내에 오존이 얼마나 존재하는지를 나타내는 것이다. 인공위성이 지구를 보면서 관측하는 총오존량이 바로 이에 해당한다. 물론 이 값은 일차적으로 오존이 가장 많이 모여 있는 성층권 오존층의 오존의 양을 반영하는 것이다. 대기 중의 오존을 표준상태(1기압, 0도)의 지표상으로 전부 모았을 때 1mm의 두께로 쌓일 수 있는 만큼의 총오존량을 100돔슨 단위(DU)로 정의한다. 1920년대에 기구를 이용해 상층의 오존 분포에 대한 연구를 주도적으로 수행했던 영국의 과학자 돔슨을 기려 총오존의 단위로 채택한 것이

오존의 고도에 따른 분포 모습



20~40km의 고도에서 혼합비가 최대인 층이 형성돼 있음을 보여주며 이를 오존층이라 부른다. 이 오존층으로 인하여 대기중의 온도가 올라가 지구상에는 약 20~50km의 고도에 거대한 역전층인 성층권이 형성돼 있다.

다. 이렇게 표현한 오존의 분포 모습을 보면, 위도와 계절에 따라 약간의 변화는 있지만 평균적으로 오존의 양이 ~300DU(3mm의 두께)밖에 되지 않는 것을 알 수 있다.

대기 중의 분자 모두를 이런 식으로 모으면 그 두께가 약 7.5km(750만mm)나 되므로, 오존은 대기 전체의 100만분의 1(1ppm)도 되지 않는 소량이다. 그럼에도 불구하고 오존은 320nm 이하의 짧은 파장의 자외선을 흡수하는 능력이 아주 크기 때문에, 태양이 방출하는 유해한 자외선이 지상에 도달하지 못하도록 방패 역할을 해주면서 지구상의 생명들을 보호하고 있는 것이다.

두 얼굴을 가진 오존의 문제들

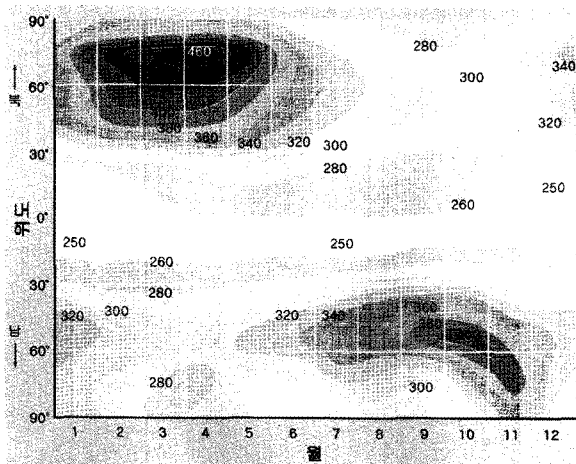
그런데 이런 생명유지에 절대적으로 필요한 자외선 차폐막인 오존층이 줄어들고 있어 문제다. 오존과 관련되어 걱정하는

문제의 한 얼굴이다. 오존문제의 또 하나의 얼굴은 바로 우리들이 숨 쉬며 살고 있는 공기 중의 오존의 문제이다. 올해는 비가 오는 날이 많으면서 다행히 그리 심하지 않게 넘어갔지만 매년 여름이면 오존의 농도가 높아지는 광스모그 현상이 일어나서 걱정이다. 뒤에 자세히 살펴보겠지만 우리들이 숨 쉬고 사는 공기에서는 너무 많아도 안 되지만 적절한 양의 오존이 꼭 필요하다. 그런데 이 양이 늘어나게 되면서 오존이 복이 아니라 오히려 해로운 것으로 변하게 되는 것이다.

오늘날의 오존과 관련된 문제의 두 얼굴을 보면, 한 면은 충분히 많이 있어 자외선을 차단해 주어야 할 오존층에서는 오존이 줄어들어서 문제이고, 또 한 단면은 많아도 안 되지만 꼭 필요한 오존이 우리 주위의 공기 중에 그 양이 너무 많아지면서 문제가 되는 것이다. 적재적소에 적절한 양으로 존재하면서 지구를 생명의 행성으로 만드는데 결정적인 역할을 해온 오존이 사람들의 활동으로 교란이 되면서 지구 상의 생명에 오히려 어려움을

주는 문제를 만들어내고 있는 것이다. 앞으로 몇 번에 걸친 글을 통해 이들 문제의 본질을 자세히 살펴보면서 두 얼굴의 오존의 문제에 어떻게 대처해나가면 좋을지 생각해보기로 하자. ①

각 위도에서의 계절에 따른 총 오존량의 분포 모습



적도지방은 계절에 관계없이 오존이 적은 양으로 분포되어 있으나 고위도지방으로 가면서 겨울철 오존의 양이 여름철에 비해 높은 모습을 보여준다. 총오존량은 대기 중의 오존을 표준상태(1기압, 0도)의 지표상으로 전부 모았을 때 1mm의 두께로 쌓일 수 있는 만큼의 총오존량을 100등분 단위(Dobson Unit, DU)로 정의한다.

