

지구 대기의 자원과 수직 구조

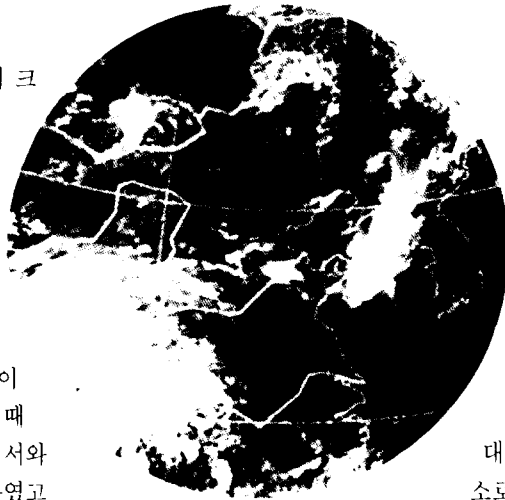
조 하 만

(기상연구소 응용기상 연구실장)

태양계의 9개 행성 중 그리 크지도 않은 지구에 인류를 포함한 다양한 생물들이 존재할 수 있게 된 것은 대기가 있기 때문이다. 물론, 금성·화성·목성·토성 등과 같은 다른 행성들에도 대기가 있긴 하지만 주로 이산화탄소나 수소들이 주성분이며, 지구와 같이 풍부한 산소가 존재하지 않기 때문에 이들 행성에는 지구에서와 같은 자연이 만들어지지 못하였고 생물이 존재하지 못하게 되었다.

오늘날 지구의 대기는 약 78%가 질소(N_2)이고 약 21%가 산소(O_2)이며 그 밖에 아르곤(Ar), 이산화탄소(CO_2) 및 기타 성분들로 구성되어 있는데 이 구성비는 지상 약 80km 고도까지 거의 변하지 않는다, 그러나 지구의 대기가 처음부터 현재와 같이 구성되어 있었던 것은 아니다. 약 45억년 전 지구가 생성되었을 때 지구 대기는 다른 행성들과 같이 주로 수소(H_2)나 헬륨(He)과 같은 가벼운 기체로 이루어져 있었다. 그러면 지구가 어떻게 해서 오늘날과 같은 대기의 조성을 갖게 되었을까? 먼저 여기에 대하여 알아보기로 한다.

태초의 지구가 갖고 있던 원시 대기는 우선 어떠한 강력한 메카니즘에 의해 지구로 부터 흩어져 나가 일단 거의 진공 상태로 된 다음 다시 지구 내부로부터의 화



산 폭발로 인한 분출 가스로 채워졌던 것으로 믿어진다. 그러나 화산 분출 가스의 성분을 보면 수증기(H_2O)가 약 85%이고 약 10%의 이산화탄소 및 수%의 질소와 유황·나트륨·염소 등으로 되어 있어 현재 지구 대기의 구성비와는 큰 차이가 나고 있다. 따라서 화산 가스의 성분이 수십억년의 세월을 지나면서 수권·암권·생물권과의 상호 복합적인 작용 과정을 통해 오늘날과 같은 대기의 성분을 이룬 것으로 생각되는데 그 주요 과정은 보통 다음과 같이 설명된다.

먼저 다량으로 분출되는 수증기는 대기중에 함유될 수 있는 양에는 한계가 있기 때문에 응결하여 구름이 되고, 비나 눈으로 되어 지상으로 낙하한다. 지상으로 낙하한 강수는 지구상의 저지대에 모여 바다를 이룬다. 지구상에서 수분은 여러 가지 형태로 존재하

지만 거의 대부분은 해수이며, 대기중에 수증기의 형태로 존재하는 것은 0.001%로서 매우 적은 양이다. 해양이 형성되자마자 염산가스(HCl)나 아황산가스(SO_2)는 바다에 녹기 시작하여 산성의 바다를 이룬다. 이산화탄소는 산성의 바다에 잘 안녹고 질소 역시 잘 안녹기 때문에 대기는 대부분 질소와 이산화탄소로 되어 있다. 그러나 점차 산성의 바다에 접해있던 부근의 암석으로부터 철·알루미늄·칼슘·마그네슘과 같은 알칼리성 원소가 녹기 시작하면서 산성의 바다는 중화되고, 중화된 바다에는 이산화탄소가 녹아들기 시작한다. 따라서 대부분의 이산화탄소는 바다에 녹아 있는 상태가 되고 대기중에는 적은 양만이 남게 되어, 대기는 이제 주로 질소로 이루어져 있게 된다.

한편, 화산 분출 가스의 성분에는 포함되어 있지 않은 산소(O_2)의 생성 과정에는 대체로 다음 두 가지의 가정이 있다. 첫째, 대기중의 수증기(H_2O)가 태양 복사의 자외선을 흡수하여 H와 O로 분리되는 것이다. 즉 H는 가벼워서 지구를 탈출하고, O는 서로 결합하여 O_2 를 이룬다는 것이다. 그러나 이 가정만으로는 현재 지구 대기중에 함유되어 있는 많은 양의 O_2 생성을 설명하는데에 충분치

못하다. 둘째의 가정은 녹색식물에 의한 광합성 반응이다. 즉 엽록소가 가시광선 영역의 피장 영역을 흡수하여 H₂O와 CO₂로부터 당류를 생성하는 과정이다. 대체로 지금부터 약 30억년전 해양중에 발생한 식물에 의해 광합성이 시작되었다고 한다. 자외선의 영향으로 벗어날 수 있는 충분한 깊이어면서 광합성에 필요한 가시광선은 도달할 수 있을 정도의 깊이에 생존하고 있었던 원시 식물에 의한 광합성으로 부터 바닷속에 산소가 생성되고, 그와 더불어 대기중에 산소가 모여짐에 따라 오존층이 생성된 것으로 보고 있다. 오존층은 자외선을 흡수하여 지구상에 도달하는 자외선의 양이 감소함에 따라 식물은 지상에서도 번식할 수 있게 되고 따라서, 광합성 작용은 더욱 활발해져 대기중의 산소량은 오늘날과 같이 증가하였을 것이다.

그러면 이제 이러한 과정을 거쳐 형성된 지구 대기의 수직 구조는 어떻게 되어 있을까에 대해 살펴보기로 한다. 우리는 높이 올라갈수록 대기가 희박해지고 또 온도도 내려감을 잘 알고 있다. 약 15km 올라갈 때마다 기압은 반으로 떨어지며, 1km 올라갈 때마다 약 6.5°C씩 하강한다. 우리가 무더운 여름철 터위에 허덕일 때 수천 km를 여행하여 북극권에 간다면 시원한 영하의 날씨를 경험할 수 있지만 그렇게 하지 않더라도 설악산 꼭대기와 같은 곳에 올라가면 기온이 매우 서늘함을 느낄 수 있을 것이며, 만일 한 10km쯤 되는 상공에 올라간다면 영하 수십°C의 추위를 느끼게 될 것이

다. 즉 수평적으로는 수 천km를 여행해야 추운 곳에 도달하지만 수직적으로는 불과 10km만 올라가도 혹독한 겨울의 세계가 존재하는 것이다. 그러나 높이 올라간다고 해서 기온이 계속 낮아지기만 하는 것이 아니며, 어느 고도 이상 올라가면 한동안 기온이 오히려 올라가는 층이 있으며 또 그 위에는 고도에 따라 기온이 다시 내려가는 층이 놓여 있다. 이와 같이 연직 방향으로 온도의 변화가 매우 심하여, 기상학에서는 보통 대기를 연직적으로 4개의 층으로 구분한다.

우선 지상에서 약 10km의 고도까지 기온이 고도에 따라 감소하는 층을 대류권이라 하고, 그 꼭대기를 대류 권계면이라 한다. 대류 권계면의 고도는 지역과 계절에 따라 다르다. 열대 지방이나 중위도의 여름철에는 약 16km에 달하기도 하고, 중위도의 겨울철이나 극지방에서는 약 8km로 낮아지며, 평균적으로는 대체로 약 11km 정도로 보면 된다. 이 대류 권계면에서의 온도는 보통 영하 55°C 정도이다. 또 이 대류 권계면 고도부터 약 50km 고도까지 고도에 따라 온도가 상승하는 층이 있는데 이는 오존층이 태양의 자외선을 흡수하기 때문에 이를 성층권이라 한다. 이 성층권의 꼭대기인 약 50km 고도의 온도는 0°C 부근으로 관측되고 있다. 한편 약 50km 고도부터 약 80km 고도까지 다시 기온이 하강하는 층이 있는데 이를 중간권이라 하며, 이 80km 고도 부근의 온도는 영하 90도 정도로 매우 낮다. 그리고 그 위의 고도 온도가 다시 서

서히 상승하는 층인데 열권이라고 한다.

대체로 온도가 고도에 따라 하강하면 대기의 운동이 수직적으로 왕성해져 불안정한 조건이 되며, 온도가 고도에 따라 상승하면 대기의 상승 운동이 억제되어 안정한 조건이 된다, 따라서 대류권은 불안정한 층이라 할 수 있으며 실제로 모든 일기 현상 즉 구름이 끼고, 비가 오고, 태풍이 발달하는 등의 현상은 모두 지상 10km 이하의 이 대류권에서 일어난다. 그러나 그 위의 성층권은 매우 안정한 층이어서 일기 현상이 거의 일어나지 않으며 그 위의 중간권의 경우는 온도가 고도에 따라 하강하는 불안정한 층이긴 하지만 공기 밀도가 작고 수증기가 거의 없기 때문에 일기 현상이 거의 없다.

따라서 모든 일기 현상은 고도 약 10km 내에서 일어나는데 그 중에서도 비가 내리는 구름은 2~3km 이하의 낮은 고도에 형성되는 것이 보통이다. 물론 열대 해상에서 발생한 태풍이나 여름철 한낮에 일시적으로 좁은 지역에서 발생하는 소나기 구름과 같이 수직적으로 발달한 구름은 매우 높은 고도까지 발달하여 그 꼭대기가 10km 이상의 고도에 이르기도 하지만 권계면 고도 이상으로 더 발달하지는 않는다. 우리가 비행기를 타고 하늘로 올라가면 처음에는 구름이 많다가도, 적어도 약 10km의 높은 고도에 이르르면 맑은 하늘을 볼 수 있게 되는데, 이것은 그 위의 성층권은 매우 안정된 층이기 때문에 그 고도 이상으로는 구름이 발달하지 못하기 때문이다. ☉