

대기 중 CO₂ 수질오염 일으킨다

글_강호정 이화여자대학교 공과대학 환경학과 교수 hjkang@ewha.ac.kr

인간의 산업 활동과 토지 이용도의 변화로 대기 중 이산화탄소의 농도는 급격히 증가하고 있다. 즉, 땅속 깊숙이 저장되어 있던 석탄과 석유를 채굴해 태우면서 이산화탄소가 발생하고, 산림과 토양에 저장되어 있던 탄소들도 벌목이 되고 농경지나 도시로 개발되면서 이산화탄소로 배출되게 된다. 이러한 활동을 통해 인간이 대기로 배출하는 이산화탄소의 양은 연간 대략 7×10^{16} g 정도이며, 이 중 일부는 해양에 녹아 들어가거나 식물의 광합성으로 제거되기도 하지만, 많은 양이 그대로 남아서 대기 중 이산화탄소의 농도가 증가하는 것이다. 하와이에서 측정된 장기 자료를 보면 1958년에 315ppm에 불과하던 이산화탄소의 농도는 현재 370ppm을 넘어 있다.

또한 남극대륙 얼음 속 미량기체 분석을 통해 얻어진 과거의 자료를 살펴보아도 산업혁명 이전에는 288ppm 정도의 농도를 아주 장기간 유지해 온 것으로 추정되고 있다. 이러한 이산화탄소 농도의 증가는 주로 지구 온난화 문제와 연관되어 논의되어 왔다. 즉, 이산화탄소의 온실효과 효과에 초점을 맞추어 지구의 평균온도가 더 올라갈 것인지 아닌지에 대한 논란과, 만일 지구 온도가 올라간다면 지구의 물리적, 생물학적인 구성에는 어떠한 영향이 있을지에 대한 연구가 진행되고 있다. 그러나 최근에는 증가된 대기의 이산화탄소가 생태계에 직접적으로 어떠한 영향을 미칠 것인가에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다.

식물에 흡수된 유기탄소 미생물이 CO₂로 되돌려

이산화탄소가 생태계에 미치는 영향은 주로 식물의 광합성을 매개로 이루어진다. 식물을 포함한 일차생산자들은 공기 중의 이산화탄소, 뿌리로 흡수한 물과 무기 영양소, 태양 빛 등을 이용하여 유기물질을 합성하며 이 과정을 광합성이라고 한다. 결국 이산화탄소는 광합성의 재료가 되는 물질이므로, 이 농도의 증가는

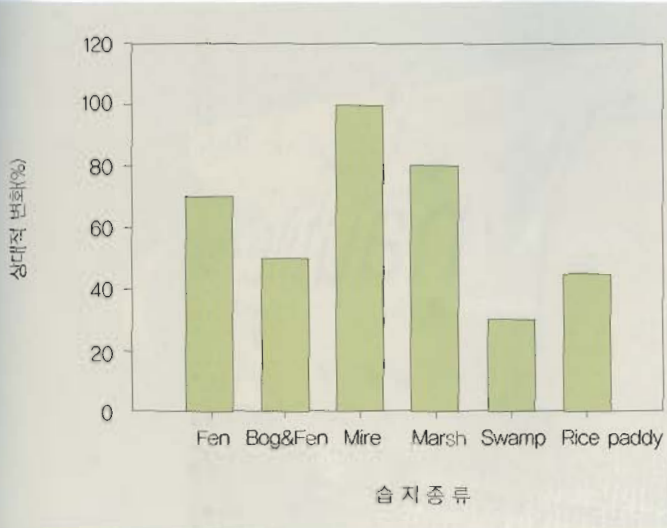
광합성의 양을 증가시킬 수 있다.

실제로 육상 식물을 대상으로 단기적으로 시행된 수많은 실험들을 살펴보면 대기 중 이산화탄소 농도의 증가는 식물의 광합성량을 증가시키고 식물의 크기를 더 크게 만드는 역할을 한다. 따라서 일부에서는 대기 중 이산화탄소 농도가 증가해도 식물이 흡수해 버릴 것이므로 별문제가 없을 것이라는 잘못된 주장을 하기도 한다. 그러나 위의 실험에서는 다른 영양 물질이나 물을 충분히 공급해 준 상태에서 진행되는 실험이며 장기적인 효과에 대한 고려는 없다. 최신 연구 결과들을 살펴보면, 이산화탄소 농도의 증가는 일시적인 식물 성장만을 일으킬 뿐 장기적으로 탄소를 저장시키지 못할 것이라는 견해가 지배적이다. 즉, 이산화탄소 농도가 증가하여 식물의 광합성량이 증가한다 해도 이것들이 식물체나 뿌리, 그리고 주변의 토양에 안정적인 유기 탄소 형태로 장기간 보유되지 못하고, 대부분은 미생물의 분해를 통해 이산화탄소 상태로 다시 대기로 되돌아간다는 것이 알려지고 있다.

식물 뿌리, 용존유기탄소 저장했다 강물로 배출

더욱이 습지라고 불리는 독특한 생태계에서는 육상에서는 관찰되지 않았던 새로운 현상들이 발견되고 있다. 습지는 육상과 수중생태계의 경계에 위치하는 독특한 생태계이다. 실제 면적은 전지표면의 2~6%에 지나지 않고, 경제적인 이익도 최근에야 알려지기 시작한 지역이다. 그러나 습지 생태계의 중요성에 대한 연구가 속속 보고되고 있다.

예를 들어 습지 특히 이탄(peat) 이라고 부르는 미분해 유기물을 포함한 이탄습지는 지구 전체 토양에 존재하는 유기물의 30% 정도를 보유하고 있다. 또한 습지는 메탄(CH₄), 산화이질소(N₂O)와 같은 이산화탄소 보다 더 강력한 지구 온난화 기체의 발생원이다. 이밖에도 습지는 무기영양소 특히 질소, 인과 같이 수체의



〈그림 1〉 대기 중 이산화탄소 농도 증가가 습지에서 발생하는 메탄량에 미치는 영향. 표시된 값은 대조구 (자연상태 이산화탄소)에서 발생하는 메탄량에 대한 상대적인 증가치

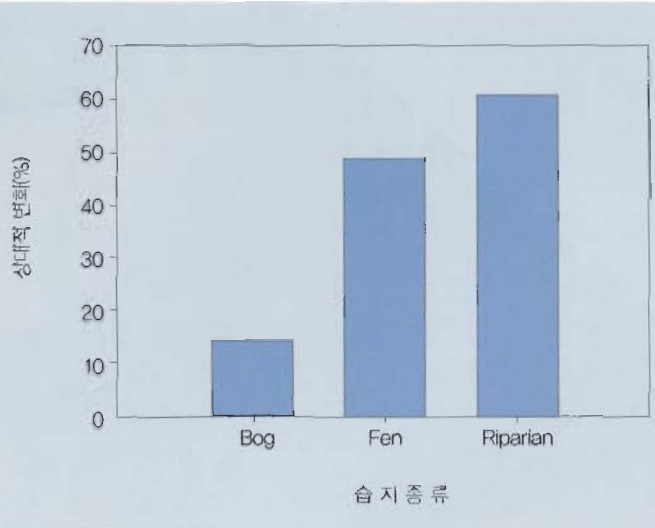
부영양화를 일으킬 수 있는 물질을 제거하여 수질을 개선하고, 많은 종류의 식물, 무척추 동물, 곤충, 어류, 양서류, 파충류 등이 서식할 수 있는 생태계이다. 또한, 홍수나 토양침식을 완화하는 기능도 알려져 있다.

습지에서 CO₂의 증가는 지구온난화 가속

이러한 습지가 높은 농도의 이산화탄소에 노출되면 어떠한 현상이 일어날지에 대한 연구가 현재 왕성히 진행되고 있다. 최근 연구 결과 중 흥미로운 몇 가지를 소개하면 먼저 대기 중 이산화탄소 농도의 증가에 따라 습지에서 배출되는 메탄의 양도 증가한다는 점이다.

〈그림 1〉에서 보는 바와 같이 자연 상태의 이산화탄소에서 배양된 습지에서 배출되는 메탄의 양과 높은 이산화탄소에서 배양된 습지에서 배출되는 메탄의 양을 비교하면 모두 증가하는 것을 알 수 있다. 즉, 이산화탄소의 농도가 증가하면 여러 종류의 습지에서 메탄의 발생량이 증가하며, 메탄이 강력한 온실기체임을 감안하면 지구온난화가 더 가속될 수 있음을 시사한다. 또한 이산화탄소 증가는 습지식물의 광합성을 증가시키고 이는 뿌리를 통해 습지 토양으로 배출되는 용존유기탄소(DOC: Dissolved Organic Carbon)의 양을 증가시키는 것으로 보고되었다.

〈그림 2〉에서 보는 바와 같이 높은 농도에서 배양된 습지토양에서 발생하는 용존유기탄소의 농도는 자연 상태에 비해



〈그림 2〉 대기 중 이산화탄소 농도 증가가 습지에서 발생하는 용존유기탄소량에 미치는 영향. 표시된 값은 대조구 (자연상태 이산화탄소)에서 발생하는 용존유기탄소량에 대한 상대적인 증가치

14~61%까지 증가하였다. 최근에 유럽과 북미에서 하천과 호수 내의 용존유기탄소가 계속 증가하고 있으나, 그 이유는 알려진 바가 없다. 지구온난화, 가뭄빈도의 증가, 토양 산성화의 회복 등이 그 원인으로 추정되었으나, 〈그림 2〉의 연구 결과에 따라 대기 중 이산화탄소 농도 증가가 하천 용존유기탄소 증가의 주원인으로 밝혀졌다.

최근의 많은 연구에도 불구하고, 아직도 인간이 야기한 자연의 불균형이 어떠한 형태로 전개될지에 대해서는 충분한 정보가 없다. 예를 들어, 증가된 용존유기탄소는 단지 상수처리의 문제점일 뿐만 아니라 전지구적인 탄소순환에서도 큰 역할을 할 것으로 추정되지만 정확한 연구는 부족하다.

또한, 해양에서도 이러한 현상이 일어날 것인지, 이산화탄소 증가, 온도 상승, 가뭄빈도 증가 등 다양한 변화가 동시에 일어나면 생태계의 반응은 어떻게 될지 등에 대한 내용도 더 많은 연구가 필요한 부분이다. 상대적으로 단순한 인간경제활동으로 시작된 교란은 자연에 매우 복잡한 반응을 야기하며 이에 대한 더 많은 연구와 정보수집이 없다면, 앞으로 우리가 생각지도 못했던 큰 대가를 치르게 될 날이 올지도 모를 일이다. ☞



글쓴이는 서울대 미생물학과 졸업 후 서울대 환경대학원에서 석사학위를, 영국 웨일즈대학교에서 박사학위를 받았다.