KEI 한국환경정책·평가연구원

# 기후변화개론

## 03. 탄소 순환의 missing sink

## 1. 탄소 수지

탄소 수지의 개념을 알아보기에 앞서 수지란 어디에 저장되어 있고 어디에서 흐르는가를 파악하는 것입니다. 탄소 수지는 탄소의 모든 배출원과 흡수원을 파악하여 대기중의 탄소양과 맞추어보는 과정을 말합니다. 이러한 탄소 수지의 계산에 대해 살펴보겠습니다. 전지구 탄소순환에서 보통 수지계산은 "대기중 탄소"를 기준으로 합니다. 대기중 탄소에 유입되는 탄소 배출원에서 대기로부터 어디엔가로 흡수되는 흡수원를 빼고 대기 내부에서 변화하는 기작을 고려하면 순 변화량이 계산됩니다.

## 2. 탄소 수지의 변화 및 missing sink

전 지구의 탄소순환에 있어 배출원과 흡수원은 과거 균형을 이루어 왔으나 산업혁명 이후 인간에 의해 이 탄소 순환이 교란되기 시작했습니다. 만약 우리가 모든 탄소의 방출원과 저장고를 알고 있고 배출원과 흡수원이 평형상태에 있다면 탄소 수지 값은 어떻게 될까요? 앞서 살펴본 계산식에 따라 탄소수지 값은 "0"이 되어야 합니다. 그러나 현재 알려진 탄소 배출원과 탄소 저장고만을 고려하게 되면 대기 중에서의 이산화탄소 농도의 증가는 현재 관찰된 수준보다 더 높아야 합니다. 따라서 탄소수지 계산에 헛점이 발견된 것입니다. 약 2 만큼의 탄소가 우리가 알지 못하는 저장고로 계속 sink되고 있다는 근거를 알 수 있습니다. 이와 같이 우리가 아직 밝혀내지 못한 탄소의 흡수원을 missing sink라 하고 이 missing sink에 대한 의견들이 많이 제기되고 있는데 육상생태계에 그 해답의 열쇠가 있다는 설이 가장 유력합니다.

잠재적 missing sink의 위치가 어디라고 생각하십니까? missing sink는 북반구 육상생태계에 있다고 알려져 있습니다. 고위도 육상 생태계의 주로 삼림에서는 대규모의 광합성이 일어나고 있으나 상대적으로 고온다습하지는 않으므로 미생물에 의한 분해는 적은 편입니다. 즉, 다량의 탄소가 분해되어 대기중으로 날아가지 않고 육상 생태계에 저장되어 있을 수 있습니다. 이처럼 오랫동안 missing sink는 북반구 육상생태계에 있다고 알려져 왔으나 최근의 연구에 의하면 그렇지 않다는 게 밝혀졌습니다. 또한, 과거에는 배출원로 알려져 있던 열대우림이 생각보다 적은 양의 탄소를 배출하고 있음이 제기되었습니다. 열대우림은 활발한 광합성을 하고는 있으나 고온다습으로 인한 유기물의 분해 또한 매우 커서 순흡수량은 그다지 크지 않은 걸로 알려져 있죠. 더욱이 열대우림의 광범위한 파괴현상으로 인해 탄소의 순배출원인 것으로 파악되고 있었는데요. 그러나 최근 연구에 의하면 열대우림에서의 탄소저장량이 기존 연구에 비해 크다고 밝혀져서 열대우림을 보존해야 하는 또 하나의 중요한 이유가 추가된 셈입니다.

## 3. 탄소를 더 많이 저장할 수 있는 육상생태계의 기작들

$CO_2$ 시비효과는 기후변화의 원인인 대기중 이산화탄소는 광합성의 주요 반응물질이므로 이의 농도가 증가됨에 따라 마치 비료를 준 것처럼 광합성량이 증가되는 현상을 말합니다. 기존 탄소수지 계산에서는 이처럼 대기중 이산화탄소 농도 증가에 따른 추가적 광합성량 증

가를 고려하지 않았으므로 이를 고려하게 되면 missing sink에 대한 설명이 어느 정도는 가능하게 됩니다. 이는 온실기체인 이산화탄소 증가에 따른 기후변화 현상이 지구 생태계의 자체적인 음의 피드백 현상으로 잘 조절될 수 있다는 "낙관론"인데요. 여기서 음의 피드백 현상은 대기중 증가된 이산화탄소를 이용해 식물체는 더 잘 자랄 것이며 이것이 다시 대기중 이산화탄소 농도를 감소시켜 줄 것이라는 의미입니다. 하지만 이와 같은 이산화탄소 시비효과가 마냥 일어나는 것은 아닙니다. 식물의 광합성에는 이산화탄소 농도 말고도 뿌리로부터 충분한 영양분이 공급되어야 하므로 단지 대기중 이산화탄소 농도가 높아졌다고 하여 비례적으로 광합성량이 증가될 수는 없습니다. 따라서 이산화탄소의 시비효과가 일어나기 위해서는 토양 내 양분의 농도가 함께 증가되어야 합니다.

그럼, 이산화탄소 시비효과를 확인하기 위한 생태계 수준의 실험들을 몇 가지 알아보겠습니다. 먼저, 폐쇄 온실은 온실 내의 이산화탄소 농도를 높이고 그 내부의 식물 생장을 관찰하는 실험이고, 개방형 온실은 폐쇄 온실의 단점을 보완하기 위한 시설입니다. 다음으로 FACE 실험은 온실 연구가 자연적인 생태계 반응을 보기에 여러가지 제한점이 있음을 인지하여 설계된 실험 설비인데, 야외 생태계에 이산화탄소가 분출되는 구멍 뚫린 파이프를 설치하고 파이프에 둘러싸인 내부 식생은 고농도의 이산화탄소에 노출되게끔 하여 식물의 반응을 살펴볼 수 있습니다.

광합성과 분해 과정의 온도에 대한 민감도 차이를 알아보겠습니다. 식물의 광합성은 온도에 따라 선형적으로 증가한다고 알려져 있는 반면, 합성된 유기물의 분해과정은 온도에 대해 지수함수적으로 반응한다고 알려져 있습니다. 즉, 기후변화로 지구의 온도가 상승하면 광합성 및 분해가 서로 다른 속도로 반응함으로써 육상생태계의 missing sink를 가능하게 하는 하나의 메커니즘을 보여주고 있는 것입니다. 다시 말하자면, 광합성량이 분해량보다 클 때 육상생태계는 대기중 이산화탄소에 대한 순 흡수원이고, 반대로 분해량이 광합성량보다 클 경우, 육상생태계는 대기중 이산화탄소를 저장하지 못하고 방출하게 되는 순 배출원이 됩니다. 그럼, 대기 중 이산화탄소 농도의 증가나 지구온난화에 따른 온도의 증가로 인해 광합성량이 분해량보다 크게 유지되면 어떻게 될까요? 그 동안에는 육상생태계가 대기 중 이산화탄소의 저장고로 작용할 수 있다는 설명이 가능합니다.

대기는 자동차 배기가스 등으로 인해 질소산화물의 농도가 높아지면 오염이 진행됩니다. 앞서 이산화탄소의 시비효과가 실재로 일어나기 위해서는 토양 내 양분의 농도가 함께 증가되어야 한다고 했습니다. 토양 내 양분의 농도는 최근 들어 대기오염에 따른 질소산화물이 생태계에 산성비 형태로 유입됨으로써 충분히 높아졌고, 이에 따라 광합성이 증가되는 현상이 일어날 수 있습니다. 이를 고려한다면 육상생태계에서 추가적으로 일어날 수 있는 광합성량이 생각보다 높을 수 있음을 의미하며, missing sink를 설명할 수 있는 근거가 됩니다.