

# 기후변화개론

## 14. 기후변화 완화-탄소 흡수원의 확대 및 이산화탄소 포집 및 저장



## 1. 자연적 탄소 흡수원의 증대

자연적 이산화탄소 흡수를 위한 해양의 역할을 먼저 알아보면 식물성 플랑크톤은 해양에 녹아있는 이산화탄소와 빛을 이용하여 광합성을 하는데, 광합성의 결과 유기탄소가 합성되어 결과적으로 대기 중 이산화탄소를 저감시키는 역할을 합니다. 단세포 바닷말이라고 불리는 식물성 플랑크톤의 경우는 이산화탄소를 이용하여 탄산칼슘형태의 외부골격을 만드는데, 만약 이런 생물이 죽게 되면 해저로 가라앉게 되어 심해로 이동하여 아주 오랜 시간 동안 저장될 수 있게 됩니다. 식물성 플랑크톤의 광합성을 제한하는 요소들에는 어떤 것들이 있는지 알아보겠습니다. 육상에서 자라는 식물처럼 해양의 식물성 플랑크톤도 이산화탄소 이외의 다른 무기염류의 양이 적음으로 인해 그 생장이 제한을 받고 있습니다. 대표적인 것이 바로 “철”입니다. 실험실 조건에서 해수에 철을 소량 첨가하는 것만으로도 식물성 플랑크톤에 의한 광합성량이 대폭 증가하는 것이 관찰되었습니다. 이러한 점을 이용한 것이 철 시비 효과입니다. 광합성을 제한하는 요소 중 미량 원소인 철을 해양에 첨가함으로써 광합성량을 증가시키자는 아이디어입니다. 이런 아이디어를 기반으로 태평양과 대서양에 대규모 실험지가 건설되었습니다. 여기에는 수백톤의 철을 다량 유입시키고 이에 따른 식물성 플랑크톤의 광합성량에 대해 조사하였으나 대부분의 경우, 철의 첨가에 따른 광합성량 증대는 일시적이었습니다. 실험결과를 제외하고서라도 철이 다량 해양에 유입될 경우 어류 등 다른 해양 동물들의 군집 구조에 영향을 줄 수 있습니다. 하지만 아직도 이 아이디어는 해양학자들 사이에서 면밀한 검토 중이며 대기중 이산화탄소 농도 저감을 위한 가능한 기술로 연구되고 있습니다.

산림의 역할에 대해 살펴보겠습니다. 기본적으로 나무는 광합성을 통해 대기 중 이산화탄소를 제거하고 유기탄소의 형태로 보유하고 있다가 나무가 죽어서 썩기까지, 혹은 베어져서 태워지기 전까지는 안정된 형태로 탄소가 저장될 수 있습니다. 이런 아이디어들은 산림을 대기 중 온실가스 제거에 활용하자는 신규조림, 재조림, 및 산림관리라는 정책의 기반이 됩니다. 신규 조림은 나대지, 농지, 초지 등에 새로 산림을 조성하는 것이고 재조림은 과거 산림이었던 토지가 다른 용도로 전용되었다가 다시 산림을 조성한 것이며, 산림관리는 조림한 곳에 간벌을 하거나 하여 적절한 관리로 산림의 생산성을 유지시키는 것을 말합니다. 어린 나무의 경우는 대기 중 탄소를 육상생태계로 효율적으로 이동시켜 저장할 수 있으나 성숙된 산림의 경우는 광합성량이 호흡량과 거의 비슷한 수준이 되므로 다량의 탄소를 대기로부터 제거할 수는 없는데, 이에 산림관리는 탄소흡수율을 높게 유지시켜줄 수 있다는 점에서 매우 중요합니다. 농경지에서 작물을 키우는 것도 식물의 광합성 작용을 이용하여 대기 중 이산화탄소 농도를 저감시키는 방법입니다. 단, 농경지에서 키우는 작물과 산림에 나무를 심는 것간의 차이는 농경지의 작물은 대부분 일년생 초본으로 탄소 저장기간이 일년 미만이고 작물이 수확된 이후에 남겨진 유기물들이 미생물의 활발한 분해작용으로 인해 다시 대기 중으로 돌아간다는 데에 있습니다. 농경 활동 중 비료나 살충제를 뿌림으로 인하여 아산화질소 등의 온실가스가 발생할 수도 있습니다. 농경지 내에서 탄소를 장기간 저장하려면 식물체 내보다는 토양을 바라보아야 합니다. 농경토양에서 탄소 저장량을 증대시키는 농경방식을 채택한다면 농경지에서도 온실가스 저감효과를 기대할 수 있습니다. 이를 농경토양에서의 탄소격리라고 합니다.

## 2. 배출되는 이산화탄소의 포집, 이동 및 저장

만약 우리가 이산화탄소가 배출되는 원천에서부터 이산화탄소를 제거할 수 있다면 대기중 온실가스의 증가를 막을 수 있게 되는데, 이는 말처럼 쉽지만은 않습니다. 이산화탄소를 포집하는 가장 기본적인 기술로는 스쿠버다이버의 산소탱크가 있습니다. 다이버가 물속에서 숨을 쉬게 되면 이산화탄소가 발생되는데, 다이버의 내쉬는 숨에 포함된 이산화탄소는 소다라임이라는 화학물질이 들어있는 화학적 장치를 통과함으로써 제거되고 소다라임은 이산화탄소를 흡수합니다. 이산화탄소가 제거된 공기는 다시 다이버의 내쉬는 숨으로 들어가게 됩니다. 대기 중에서 이산화탄소를 제거할 수 있을까요? 미국에서 평균 일인당 차량 이용에 따른 이산화탄소 배출량은 약 14.3kg이 됩니다. 만약 이 이산화탄소를 화학적 흡수제를 이용해 제거하려 한다면 매년 약 9,000kg의 소다라임이 필요하게 되는데, 이는 양적으로도 너무 크며 비용효율적이지도 않습니다. 하지만 발전소 같은 탄소발생원에서 탄소를 포집하는 기술은 자동차보다는 보다 실용적입니다. 대형 발전소, 천연가스 공장 및 이산화탄소 방출이 큰 산업공정의 공장에서 이산화탄소 포집이 이루어지는데 연소후 포집은 주로 대형 발전소에서 활용될 수 있는 기술이며 연료의 연소 후에 굴뚝을 통해서 이산화탄소를 포집하게 되고, 연소전 포집은 비료나 화학 공장에서 주로 활용될 수 있으며 화석연료는 연소 이전에 기체화되고 기체화된 연료를 연소함으로써 비교적 순수한 배기가스로부터 이산화탄소를 포집할 수 있게 됩니다. 마지막으로 산소연료 연소는 연소를 시킬 때 공기 대신 순수한 산소를 주입하는 방법으로 이 결과 거의 순수한 이산화탄소와 수증기만이 나오게 되는데, 이는 이산화탄소를 공장 저장위치로 옮기는데에 용이하여 잠재력이 높으나 순수한 산소를 분리하는 데에 많은 비용이 들게 됩니다. 포집 된 이산화탄소는 적절한 장소로 이동되어야 하는데, 이때 파이프라인을 이용하거나 내륙으로 이동이 쉽지 않을 경우는 배로 이동해야 합니다.

포집 된 이산화탄소는 안전한 곳에 장기간 저장되어야 합니다. 저장의 장소에 따라 다음의 3가지 가능성이 타진되고 있습니다. 지질학적 저장은 포집된 이산화탄소를 지하에 직접 주입하는 방법으로 이를 위해서는 불투수층의 모암이 존재해야 하고 여러 지화화학적 과정이 이산화탄소가 대기로 날라가는 것을 막을 수 있어야 합니다. 종종 포집된 이산화탄소는 낙후된 유전지역에 주입되는데 이 경우에는 압력의 증가로 인해 추가적으로 석유가 추출될 수 있습니다. 또한 채굴이 불가능한 탄층에 이산화탄소를 주입할 수도 있는데 이 경우에는 석탄의 표면에 이산화탄소가 흡착됩니다. 이 과정에서 이미 흡착되어 있던 메탄가스가 발생되어 연료로 이용될 수 있습니다. 마지막으로 이산화탄소를 염수가 포함된 대수층에 주입하는 방법이 있는데, 이 방법은 입지조건을 찾기 쉽고 많은 부피의 이산화탄소를 저장할 수 있는 장점이 있습니다. 이를saline formation이라고 부릅니다.

해양 저장은 포집 된 이산화탄소의 해양저장에는 “용해형”과 “호수형”이 있습니다. 용해형의 경우는 포집 된 이산화탄소가 파이프라인이나 선박에 의해 해저 1,000 m 깊이로 주입되게 되고 이산화탄소는 주입된 곳에서 천천히 용해됩니다. 반면 호수형은 해저 3,000 m 깊이까지 주입하게 되는데 이 깊이에서는 이산화탄소의 밀도가 물의 밀도보다 낮으므로 이산화탄소의 호수와 같은 형태로 안정하게 저장이 되어 용해되는 시간을 늦출 수 있게 됩니다. 하지만 해양저장은 고농도 이산화탄소는 해저 생물에 치명적 영향을 줄 수 있고, 해양저

장은 어쨌던지 간에 늦은 속도로 바닷물에 이산화탄소가 용해되고 이것이 해수 표면까지 이동되어 대기 중 이산화탄소와 연젠가는 평형상태를 이룰 것이기 때문에 근본적인 저장방법이 되지 못합니다.

채굴 불가능한 탄층에 이산화탄소를 주입할 경우에는 석탄 표면에 이산화탄소가 흡착되고 대신 흡착되었던 메탄가스가 나와 연료로 활용할 수 있게 됩니다. 그리고 이산화탄소를 파이프라인을 통해 직접 saline aquifer에 주입할 수 있습니다. 마지막으로 오래되어 효율이 낮아진 유전에 이산화탄소를 주입하면 압력차이로 인해 뽑아 내지 못했던 석유가 나올 수 있습니다.

이러한 이산화탄소의 저장의 가장 큰 문제점은 저장된 이산화탄소가 누출되는지의 여부입니다. IPCC의 보고서에 따르면 최적의 입지조건을 가진 지질저장의 경우 주입된 이산화탄소의 약 99%가 1000년 넘게 저장될 수 있다고 합니다. 해양저장의 경우는 깊이에 따라 다르겠지만 IPCC에 따르면 30-85%의 이산화탄소가 500년 이상 저장될 수 있다고 보고하였습니다. 하지만 아직도 이 누출의 문제는 논의의 쟁점이 되고 있으며 이 저장의 기술이 근본적인 온실가스 완화가 될 수 있는지에 관한 뜨거운 논쟁이 되고 있습니다.

