

〈 제14장 기후변화 대응:   
완화 2 저장고의 확대 및 이산화탄소 포집 및 저장〉

## 1. 서론

- ✓ 지난 강의 14차에서는 온실가스의 배출 자체를 줄이는 방법 중 대체에너지에 대하여 다루었다. 이번 강의에서는 온실가스 저장고의 확대 및 온실가스의 포집, 저장에 대해서 배우도록 하겠다.

## 2. 대체에너지의 종류 및 원리

- ✓ 이산화탄소를 자연적으로 제거할 수 있는 자연에서의 탄소 저장고의 크기가 커진다면 대기중 증가된 이산화탄소 농도를 저감시킬 수 있게 된다.

### 가. 해양의 역할

#### 1) 식물성 플랑크톤의 잠재력

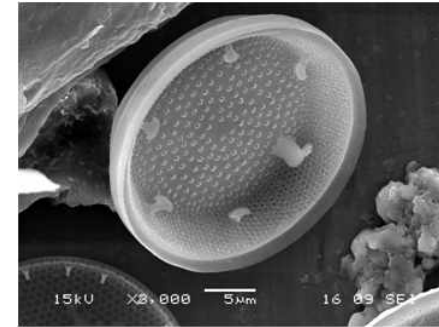
- ✓ 식물성 플랑크톤은 해양에 녹아있는 이산화탄소와 빛을 이용하여 광합성을 한다. 광합성의 결과 유기탄소가 합성되어 결과적으로 대기중 이산화탄소를 저감시키는 역할을 하는 것이다.
- ✓ 또 coccolithophore라고 불리는 식물성 플랑크톤의 경우는 이산화탄소를 이용하여 탄산칼슘형태의 외부골격을 만든다. 만약 이런 생물체가 죽게되면 해저로 가라앉게 되어 심해로 이동하여 아주 오랜 시간 동안 (>2000년 이상) 저장될 수 있게 된다.

#### 2) 식물성 플랑크톤의 광합성을 제한하는 요소들

- ✓ 육상에서 자라는 식물처럼 해양의 식물성 플랑크톤도 이산화탄소 이외의 다른 무기염류의 양이 적음으로 인해 그 생장이 제한을 받고 있다. 이 중에서 가장 대표적인 것이 바로 “철(iron, Fe)”이다. 실험실 조건에서 해수에 철을 소량 첨가하는 것만으로도 식물성 플랑크톤에 의한 광합성량이 대폭 증가하는 것이 관찰되었다.

#### 3) 철 시비효과 (Iron Fertilization effect)

- ✓ 이는 광합성을 제한하는 요소 중 미량 원소인 철을 해양에 첨가함으로써 광합성량을 증가시키자는 아이디어이다.
- ✓ 이런 아이디어를 기반으로 태평양과 대서양에 대규모 실험지가 건설되었다. 여기에는 수백톤의 철을 다량 유입시키고 이에 따른 식물성 플랑크톤의 광합성량에 대해 조사하였으나 결과는 실망스러웠다. 대부분의 경우, 철의 첨가에 따른 광합성량 증대는 일시적이었다.
- ✓ 문제점: 철이 다량 해양에 유입될 경우 어류 등 다른 해양 동물들의 군집 구조에 영향을 줄 수 있다.
- ✓ 그러나 아직도 이 아이디어는 해양학자들 사이에서 면밀한 검토 중이며 대기중 이산화탄소 농도



〈그림 1〉우리나라 연안의 대표적 식물성 플

랑크톤 전자현미경의 모습  
저감을 위한 가능한 기술로 연구되고 있다.

### 2.2 산림의 역할

#### 나. 산림의 역할

- ✓ 기본적으로 나무는 광합성을 통해 대기중 이산화탄소를 제거하고 유기탄소의 형태로 보유하고 있다가 나무가 죽어서 썩기까지, 혹은 베어져서 태워지기 전까지는 안정된 형태로 탄소가 저장될 수 있다.
- ✓ 이런 아이디어가 바로 산림을 대기중 온실가스 제거에 활용하자는 신규조림, 재조림, 및 산림관리라는 정책의 기반이 된다.
- ✓ 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 말한다.
- ✓ 어린 나무의 경우는 대기중 탄소를 육상생태계로 효율적으로 이동시켜 저장할 수 있으나 성숙된 산림의 경우는 광합성량이 호흡량과 거의 비슷한 수준이 되므로 다량의 탄소를 대기로부터 제거할 수는 없다. 이에 산림관리는 탄소흡수율을 높게 유지시켜줄 수 있다는 점에서 매우 중요하다.

#### 다. 농경지의 역할

- ✓ 농경지에서 작물을 키우는 것도 식물의 광합성 작용을 이용하여 대기중 이산화탄소 농도를 저감시키는 방법이다.
- ✓ 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 대기중으로 돌아간다는 데에 있다. 또한 농경 활동 중 비료나 살충제를

뿌리 등으로 인하여 아산화질소 등의 온실가스가 발생될 수도 있다.

- ✓ 농경지 내에서 탄소를 장기간 저장하려면 식물체 내보다는 토양을 바라보아야 한다. 농경토양에서 탄소 저장량을 증대시키는 농경방식을 채택한다면 농경지에서도 온실가스 저감효과를 기대할 수 있다.
- ✓ 아래의 사진은 전통적으로 행해지는 경운(밭갈기)과 토양침식을 줄일 수 있는 무경운을 비교한 것이다. 무경운이란 작물을 수확한 후 농경지 내에 유기물을 그대로 남겨두는 방식인데, 이는 바람이나 강우에 의한 침식을 줄일 뿐만 아니라 토양내의 미생물 분해활동을 감소시킴으로써 토양 내의
- ✓ 탄소 저장을 증대시킬 수 있다. 이를 농경토양에서의 탄소격리(carbon sequestration)라고 한다.



<그림 2>전통적인 경운방식



<그림 3>토양 표면에 유기물을 그대로 방치하는 무경운 방식

### 3. 배출되는 이산화탄소의 포집, 이동 및 저장(Carbon Capture and Storage; CCS)

- ✓ 만약 우리가 이산화탄소가 배출되는 원천에서부터 이산화탄소를 제거할 수 있다면 대기중 온실가스의 증가를 막을 수 있게 된다. 그러나 이는 말처럼 쉽지만은 않다
- ✓ 이산화탄소를 포집하는 가장 기본적인 기술로 생각할 수 있는 것은 스쿠버다이버의 산소탱크이다. 다이버가 물 속에서 숨을 쉬게되면 이산화탄소가 발생된다. 다이버의 내쉬는 숨에 포함된 이산화탄소는 소다라임(soda lime)이라는 화학물질이 들어있는 화학적 장치를 통과함으로써 제거되고(소다라임은 이산화탄소를 흡수한다) 이산화탄소가 제거된 공기는 다시 다이버의 내쉬는 숨으로 들어가게 된다.
- ✓ 대기중에서 이산화탄소의 제거도 가능하지만 쉽지 않다. 미국에서 평균 일인당 차량 이용에 따른 이산화탄소 배출량은 약 14.3 kg이 된다. 만약 이 이산화탄소를 화학적 흡수제를 이용해 제거하려면 매년 약 9,000kg의 소다라임이 필요하게 된다. 이는 양적으로도 너무 크며 비용효율적이지도 않다.

#### 가. 이산화탄소의 포집

- ✓ 반면, 발전소같은 탄소발생원에서 탄소를 포집하는 기술은 자동차보다는 보다 실용적이다. 이산화탄소의 포집은 대형 발전소, 천연가스 공장 및 이산화탄소 방출이 큰 산업공정의 공장에서 이루어 지는데 크게 보면 3 가지 유형의 기술이 존재한다
- ✓ 연소후 포집(Post combustion capture): 이는 주로 대형 발전소에서 활용될 수 있는 기술이며 연료의 연소 후에 굴뚝을 통해서 이산화탄소를 포집하게 된다
- ✓ 연소전 포집(Pre-combustion capture): 비료나 화학 공장에서 주로 활용될 수 있으며 화석연료는 연소 이전에 기체화되고 기체화된 연료를 연소함으로써 비교적 순수한 배기가스로부터 이산화탄소를 포집할 수 있게 된다.
- ✓ 산소연료 연소(Oxyfuel combustion): 이는 연소를 시킬 때 공기 대신 순수한 산소를 주입하는 방법으로 이 결과 거의 순수한 이산화탄소와 수증기만이 나오게 된다. 이는 이산화탄소를 공장 저장위치로 옮기는데에 용이하여 잠재력이 높으나 순수한 산소를 분리하는 데에 많은 비용이 들게 된다

#### 나. 이산화탄소의 이동

- ✓ 포집된 이산화탄소는 적절한 장소로 이동되어야 하는데, 이때 파이프라인을 이용하거나 내륙으로 이동이 쉽지 않을 경우는 배로 이동해야 한다.

## 다. 포집된 이산화탄소의 저장

- ✓ 포집된 이산화탄소는 안전한 곳에 장기간 저장되어야 한다. 저장의 장소에 따라 다음의 3가지 가능성이 타진되고 있다.

## 1) 지질학적 저장

- ✓ 이는 포집된 이산화탄소를 지하에 직접 주입하는 방법임. 이를 위해서는 불투수층의 모양이 존재해야 하고 여러 지화학적 과정이 이산화탄소가 대기로 날라가는 것을 막을 수 있어야 한다. 종종 포집된 이산화탄소는 낙후된 유전지역에 주입되는데 이 경우에는 압력의 증가로 인해 추가적으로 석유가 추출될 수 있다.
- ✓ 또한 채굴이 불가능한 탄층(coal seam)에 이산화탄소를 주입할 수도 있는데 이 경우에는 석탄의 표면에 이산화탄소가 흡착된다. 이 과정에서 이미 흡착되어 있던 메탄가스가 발생되어 연료로 이용될 수 있다. 마지막으로 이산화탄소를 염수가 포함된 대수층에 주입하는 방법이 있다. 이는 입지조건을 찾기 쉽고 많은 부피의 이산화탄소를 저장할 수 있는 장점이 있다. 이를 saline formation이라고 부른다.

## 2) 해양 저장

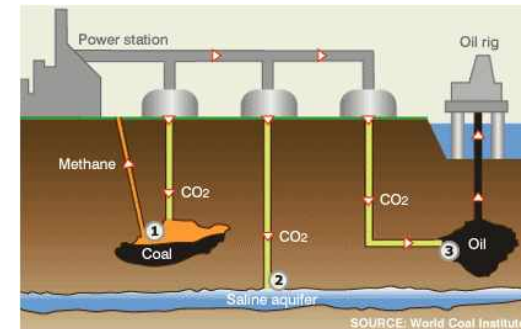
- ✓ 포집된 이산화탄소의 해양저장에는 “용해형”과 “호수형”이 있다. 용해형의 경우는 포집된 이산화탄소가 파이프라인이나 선박에 의해 해저 1,000 m 깊이로 주입되게 되고 이산화탄소는 주입된 곳에서 천천히 용해된다.
- ✓ 반면 호수형은 해저 3,000 m 깊이까지 주입하게 되는데 이 깊이에서는 이산화탄소의 밀도가 물의 밀도보다 낮으므로 이산화탄소의 호수와 같은 형태로 안정하게 저장되어 용해되는 시간을 늦출 수 있게 된다.
- ✓ 해양저장의 문제점은 고농도 이산화탄소는 해저 생물에 치명적 영향을 줄 수 있고, 해양저장은 어쨌던지 간에 늦은 속도로 바닷물에 이산화탄소가 용해되고 이것이 해수 표면까지 이동되어 대기 중 이산화탄소와 연젠가는 평형상태를 이룰 것이기 때문에 근본적인 저장방법이 되지 못한다는 데에 있다.

## 라. 이산화탄소 포집 및 저장(CCS)의 문제점: 누출( Leakage)

- ✓ CCS의 가장 큰 문제점은 저장된 이산화탄소가 누출되느냐 마느냐이다. IPCC의 보고서에 따르면 최적의 입지조건을 가진 지질저장의 경우 주입된 이산화탄소의 약 99%가 1000년 넘게 저장될 수 있다고 하였다.
- ✓ 해양저장의 경우는 깊이에 따라 다르겠지만 IPCC에 따르면 30-85%의 이산화탄소가 500년 이상 저장될 수 있다고 보고하였다.

- ✓ 아직도 이 누출의 문제는 논의의 쟁점이 되고 있으며 이 CCS 기술이 근본적인 온실가스 완화가 될 수 있는지에 관한 뜨거운 논쟁이 되고 있다.

## 마. CCS 지질 저장기술



&lt;그림 4&gt; CCS 지질 저장기술

- ✓ <그림 4> CCS 지질 저장 기술을 설명하고 있다.
- ✓ 채굴 불가능한 탄층에 이산화탄소를 주입할 경우 석탄 표면에 이산화탄소가 흡착되고 대신 흡착되었던 메탄가스가 나와 연료로 활용할 수 있게 된다.
- ✓ 이산화탄소를 파이프라인을 통해 직접 saline aquifer에 주입하게 된다.
- ✓ 오래되어 효율이 낮아진 유전에 이산화탄소를 주입하면 압력차이로 인해 뽑아 내지 못했던 석유가 나올 수 있다.