

< 제6장 기후변화의 부문별 영향
- 온도의 증가에 따른 육상생태계의 변화>

1. 온도 증가에 따른 육상생태계의 변화

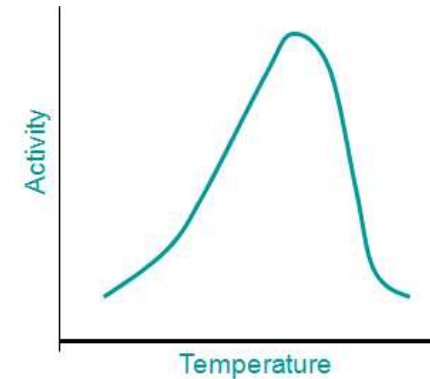
가. 온도 증가의 추세

- ✓ 온도증가의 원인
 - 고기후학적인 근거에 따르면 대기중 온도의 지속적 증가는 대기중 온실효과 기체의 농도 증가와 긴밀히 연결되어 있다고 함
- ✓ 온도의 증가 추세 관찰
 - 지난 100년간 전지구의 대기온도는 약 0.6 oC 가량 증가하였음
- ✓ 온도의 증가 추세의 단기 예측
 - 2007년 초 발표된 IPCC 4차 보고서의 정책결정자를 위한 요약본에 따르면 온실가스의 지속적 배출이 있을 경우 전지구적으로 향후 20년간 평균 약 0.2oC/10년의 온도 증가가 있을 것으로 예측하였다.
 - 만약 온실가스 배출을 2000년 수준으로 동결시킨다 하여도 향후 20년간 약 0.1 oC /10년의 온도 증가 있을 것이라고 예측하고 있다
 - 1990년에 발표된 IPCC 일차 보고서에서 1990년에서 2005년까지 0.15~0.3 oC 의 증가를 예측하였었는데 관측치는 이와 유사한 0.2 oC C/10년이었다. 이 결과는 현재 모형에 의한 온도의 예측이 상당히 정확한 수준이라는 것을 보여준다

나. 온도 변화에 따른 생명체의 반응

1) 온도 변화에 따른 생명체의 반응

- ✓ 온도는 모든 생명체의 생물학적 반응의 기본이 됨
- ✓ 모든 생명체는 생물학적 활동이 가능한 최고 및 최저 온도 범위가 있으며 생명체의 활동의 최적온도도 가지고 있음 (<그림 1> 참조)
- ✓ 온도의 변화에 따라 생명체의 생리활동(동식물의 호흡, 식물의 광합성 및 증산, 동물의 성장 및 생식 등)과 동식물의 이동 및 분포가 결정되는 것임
- ✓ 기온은 대기중의 습도 및 풍속과도 긴밀히 연결되어 복잡하게 육상생태계에 영향을 줌



<그림 1> 온도와 생명체의 반응

다. 온도의 증가가 육상생태계에 미치는 영향

1) 산림

- ✓ 식물은 동물과 달리 이동성이 매우 떨어지며 이 때문에 변화하는 기후에 적응하는 것이 쉽지는 않음
- ✓ 온도의 점진적 변화에 맞추어 식생이 적응하는 방법은 식생대가 낮은 속도로 북상하거나 남하하는 방법 뿐임. 화분분석법에 의한 연구결과 식생은 종에 따라 100년에 약 40km~200km까지도 이동할 수 있다고 함
- ✓ 만약 이와 같은 식생대의 자생적인 이동속도가 기후변화의 속도보다 매우 느릴 경우 해당 식생은 그 지역에서 살아남을 수 없음
- ✓ 직접적인 온도 증가에 따른 영향
 - 식생대의 이동: 예를 들어 대나무의 북방한계선 북상
 - 식생대의 교체: 침엽수림이 활엽수림이나 혼효림으로 교체됨(<그림 2>참조)
- ✓ 온도증가에 따른 간접적인 영향
 - 온도 증가로 인하여 병충해가 극심해져 산림의 쇠퇴를 가져올 수도 있음
 - 온도 증가로 인하여 대기중 습도가 감소하고 이러한 건조는 산불의 발발을 빈번하게 만들어 산림의 쇠퇴를 가져올 수도 있음



<그림 2> 온도의 증가로 인한 산림의 변화 모습 (침엽수림->혼효림->활엽수림)

2) 툰드라 및 고위도 산악지대

- ✓ 툰드라 및 고위도 산악지대(alpine) 지역(<그림 3> 참조)은 특히 온도에 의한 영향을 민감하게 받는 취약지역임
- ✓ 온도의 증가에 따라 이 지역에 새로운 식생대가 생길 수도 있음
- ✓ 이 지역의 토양은 영구동토층(permafrost)라고 불리우는데 이 층이 녹음으로 인해 땅의 불안정성이 높아지고 Thermokarst(지하부 얼음이 녹아 지표의 지형이 무너진 경우(<그림 4>참조)라고 불리우는 새로운 지형이 생김
- ✓ 산악 지역에서 눈사태나 산사태가 일어날 확률이 높아짐으로 인해 생태계의 전반적인 안정성에 위협을 받음
- ✓ 툰드라 및 알파인 지역의 생태계의 구조 및 기능의 변화는 기후변화 자체에 또다시 크나큰 피드백을 주게 됨
 - 툰드라 및 알파인 지역은 그 온도가 낮음으로 인하여 토양에 많은 양의 탄소가 분해되지 않은 채로 저장되어 있는 커다란 탄소의 저장고로서의 역할을 했다
 - 그러나 기온이 지속적으로 상승함으로써 토양 내의 미생물의 생물학적 과정은 활발하게 이루어지게 되고 오랫동안 저장되어있던 토양 탄소가 미생물의 분해작용으로 인해 대기 중으로 방출됨으로써 새로운 탄소의 방출원으로 작용할 수도 있게 된다.
- ✓ 이런 의미에서 툰드라 및 알파인 지역의 기후변화에 따른 변화는 면밀하고 지속적으로 모니터링해야 하고 이의 영향을 최소화하기 위한 여러 조치 및 정책들을 고민해야 함



툰드라

알파인 지대

<그림 3> 툰드라 및 고위도 산악지대(Alpine) 사진



<그림 4> Thermokarst

3) 동물

가) 온도 증가에 따른 직접적인 영향

- ✓ 동물 종조성의 변화: 온도의 증가에 따라 동물이 극한이동을 하게 됨(북쪽으로)
- ✓ 동물의 생장 속도가 빨라질 수 있음
 - 동물 생리의 변화
 - 교미, 알 낳는 시기가 빨라짐
 - 동면시간이 줄어들음
 - 철새의 이동 시기가 변화함

나) 온도 증가에 따른 간접적인 영향

- ✓ 온도의 증가에 따라 고유의 서식처의 크기가 변화할 수 있음
 - 극지방의 북극곰이나 남극의 펭귄은 온도 증가에 의해 서식처가 줄어들어 개체군의 크기가 감소할 수 있음
 - 빙하가 서식처인 극지방의 동물의 경우 온도 증가에 의해 빙하가 녹음으로 인해 번식 시기나 이동시기가 변화될 수 있음
 - 다) 동물과 식물의 대응 차이
- ✓ 동물은 식물에 비해 이동성이 높으므로 온도의 증가에 따른 영향에 보다 적극적으로 대처할 수 있게 됨
- ✓ 동물의 생리를 변화시킴으로써 그 서식처에 적응하고 삼
- ✓ 동물 생리의 변화만으로 그 지역에 적응할 수 없을 경우 서식처를 이동함으로써 적응함
- ✓ 만약 이동할 마땅한 서식처가 없을 경우 그 동물은 결국 멸종할 수도 있음
- ✓ 이런 의미에서 기후변화는 생물다양성에 영향을 주게 됨



<그림 5> Greate Tits (Parus major)

- ✓ <그림 5>를 보면, Greate Tits라고 불리우는이 새는 온도의 변화로 인해 너무 일찍 부화하였다. 이 아기새의 먹이는 나무의 새싹이다. 그러나 시기가 너무 일러서 아직 새싹은 싹을 틔우지 못한 상태이므로 새가 먹을 것이 없다. 이 아기새는 어떻게 될까?

2. 대기중 이산화탄소의 농도

가. 대기중 이산화탄소의 역할

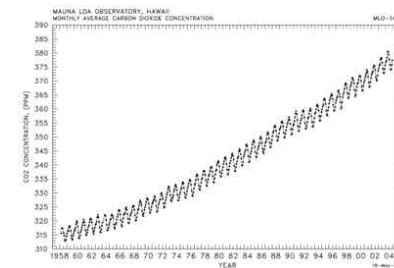
- ✓ 육상생태계의 구조와 기능에 중요한 역할을 함
- ✓ 이유는 식물의 광합성, 발산, 호흡 과정에 직접적으로 관여하기 때문임

나. 대기중 이산화탄소 농도의 변화 관측

- ✓ 미국의 과학자 C.D. Keeling은 하와이에서 두번째로 높은 산인 Mauna Loa에서 1958년부터 대기중 이산화탄소 농도를 측정하기 시작함
- ✓ 대기중 이산화탄소의 농도는 산업혁명 이전에 280 ppm이었다가 현재 379 ppm (2005년)까지 증가되었다고 IPCC 4차 평가보고서가 최근 보고함

다. 대기중 이산화탄소 농도의 증가

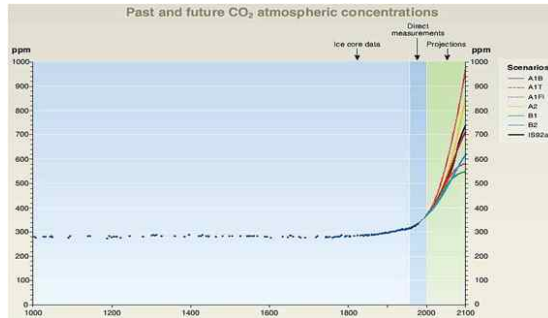
- ✓ 관측:<그림 6-1> 킬링 커브: 대기중 이산화탄소의 농도가 꾸준히 증가하고 있음을 처음으로 관측한 그래프)
- ✓ 이유
 - 1)산업혁명 이후 과도한 화석연료 연소
 - 2)시멘트 생성과정에서 다량 방출됨
 - 3)토지이용의 변화 (산림벌채, 산림의 농경지 전용 등등)



<그림 6> Keeling Curve

라. 대기중 이산화탄소 농도의 증가 예측

- ✓ 배출 시나리오에 따라 미래의 이산화탄소 농도 예측이 달라질 것임
- ✓ <그림 7>은 IPCC에서 제시한 시나리오에 따라 미래 대기중 이산화탄소의 농도가 어떻게 증가할 것인가에 대한 예측 그림이다. 이에 따르면 2100년까지 대기중 이산화탄소의 농도가 시나리오에 따라 478 ppm~ 1099 ppm까지 증가할 것이라고 함



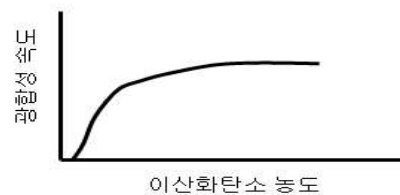
<그림 7> 과거와 미래의 대기 중 이산화탄소 농도 변화
(IPCC 3차 종합보고서 중)

3. 대기중 이산화탄소 농도의 증가가 육상생태계에 미치는 영향

가. 잎이나 식물개체에서 일어나는 일

1) 광합성의 증가

- 식물의 광합성의 원료는 이산화탄소이고 원료가 증가함으로 인해 광합성 총량은 증가할 수 있음 이를 이산화탄소 시비(CO2 fertilization)이라고 함
- 그러나 식물은 대기중 이산화탄소 농도 증가에 따라 무제한으로 광합성량이 증가하는 것은 아니고 어느 농도 시점 이후에는 더 이상 광합성이 증가하지 않게 됨 (<그림 8>)



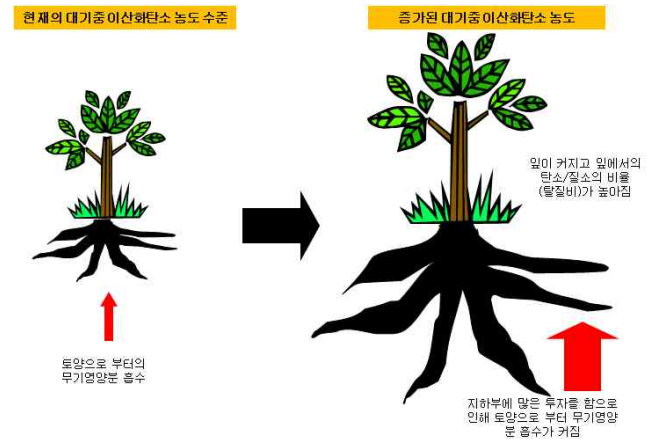
<그림 8> 이산화탄소 농도와 광합성
속도와의 관계

2) 식물체 물이용의 변화

- ✓ 식물은 기공을 통해 이산화탄소와 물을 교환함
- ✓ 이산화탄소를 받아들인다는 기공을 열면 식물체 내부의 물은 기공을 통해 증산이됨
- ✓ 즉 식물은 기공을 통해 식물체 내부의 이산화탄소와 물의 양을 조절하게 됨
- ✓ 대기중 이산화탄소 농도가 높으면 한번 기공을 열어서 많은 양의 이산화탄소가 들어오므로 기공을 여는 횟수가 감소하게 됨.
- ✓ 기공여는 횟수가 감소하면 식물체 내부의 물이 대기로 날아가는 것을 방지할 수 있으므로 식물의 물이용 효율이 대기중 이산화탄소 농도 증가에 따라 증가할 수 있음

3) 식물의 광합성 산물 저장 패턴의 변화

- ✓ 대기중 이산화탄소 농도가 높아지면 광합성 산물이 증가하여 잎의 크기가 커짐
- ✓ 잎의 크기가 커지면 더 활발한 광합성이 일어나는 양의 피드백
- ✓ 그러나 광합성이 원활히 일어나려면 이산화탄소 뿐만 아니라 토양에서의 무기영양분의 공급도 원활히 이루어져야 한다
- ✓ 이런 무기영양분의 공급을 원활히 하기 위하여 식물은 뿌리부분에 더 많은 투자를 하게 되어 뿌리가 깊어지고 넓게 퍼지게 됨 <그림 9>



<그림 9> 대기중 이산화탄소 농도에 따른 식물체의
광합성 산물 저장패턴의 변화

나. 식물군락 구성의 변화

1) C3/C4 식물

- ✓ C3 식물: 탄소고정이 캘빈회로에 의해서만 일어나고 광합성의 첫 번째 산물이 3탄소화합물인 대부분의 식물을 C3식물이라고 하며 대부분의 나무, 쌀, 밀, 감자, 콩 등이 이에 해당함
- ✓ C4 식물: 광합성의 첫단계로 우선 엽육세포에서 이산화탄소를 3탄소화합물에 결합시켜 4탄소화합물을 만들고 이를 유관속초(일맥을 싸고 있는 세포들)로 이동시켜 다시 3탄소화합물과 이산화탄소로 분리시켜 여기서 나오는 이산화탄소를 다시 이용하여 또다른 포도당을 합성함. 이러한 경로를 이용하여 광합성을 하는 식물을 C4식물이라고 부르고 여기에 속하는 식물은 옥수수, 잔디, 사탕수수 등임. C3 식물에 비하여 이산화탄소를 효율적으로 사용할 수 있음
- ✓ 이런 식물 생리적인 차이로 인해 대기중 이산화탄소 농도가 높아졌을 경우 C3 식물이 C4 식물에 비해 더 민감하게 반응할 수 있음
- ✓ 앞서 설명한 바와 같이 대기중 이산화탄소 농도가 높아지면 기공을 여는 횟수가 감소함으로 인해 물이용 효율이 증가될 수 있는데, 만약 건조한 지역에서 자라는 C4 식물이 C3와 경쟁하고 있다고 할
- ✓ 때 대기중 이산화탄소 농도의 증가는 C3 식물에게 유리하게 작용할 수도 있다.

다. 생태계 수준의 반응

- ✓ 생태계 수준에서의 연구는 주로 <표 1>에 표시된 지표가 대기중 이산화탄소 농도 변화에 따라 어떤 영향을 받는지에 집중됨

- GPP (Gross Primary Production); 총 일차생산
- ✓ 식물은 빛과 이산화탄소, 물을 이용하여 유기물을 생산하는 생산자(producer)임
- ✓ GPP는 생태계 전체가 광합성과정을 통해 생산한 유기물의 총량을 일컬으며 흔히 탄소 단위로 표현함
- NPP (Net Primary Production); 순 일차생산
- ✓ 총 일차생산량에서 식물의 호흡량을 뺀 나머지
- $NPP = GPP - \text{Autotrophic Respiration (식물호흡; } R_a)$
- ✓ NEP (Net Ecosystem Production); 순 생태계생산
- ✓ 생태계 전체를 볼 때, 식물에 의한 광합성량에서 동물로부터 나오는 호흡량을 빼면 되고 역시 탄소 단위로 표현됨
- ✓ $NEP = NPP - \text{Heterotrophic Respiration (동물호흡; } R_h)$

<표 3> 생태계연구에서 사용되는 용어 정리

- ✓ 대기중 이산화탄소 농도의 증가는 쉽게 생각하면 NPP의 증가를 가져올 수 있으나 광합성은 대기 중 이산화탄소 농도나 빛의 세기 이외에도 땅에서의 무기 영양분의 공급이 뒷받침되어야 하는 것이므로 아직 일반화된 연구결과가 도출되지 않고 있음
- 가설 1: 토양이 비옥하고 무기영양분의 공급이 원활한 시스템에서는 NPP의 증가가 예상됨
- 가설 2: 토양이 비옥하지 않고 무기영양분 공급이 잘 이루어지지 않는 경우는 NPP의 변화가 예상되지 않음
- ✓ 위의 가설을 검증하려면 생태계 수준의 실험적 연구가 뒷받침되어야 함
- <그림 10> 마이크로코즘(microcosm study)은 인위적으로 밀폐된 이산화탄소 농도가 높은 온실을 만들어 놓고 그 안에 식물을 관리하며 식물의 변화를 연구하는 방법
- <그림 11> 밀폐된 온실의 경우 식물생장이 실제와 많이 달라지므로 (바람, 햇빛의 세기 등) 사진에서처럼 온실의 윗부분을 뚫어 자연적인 채광이 되도록 하고 chamber 내부의 이산화탄소 농도를 높게 유지하는 open top chamber 방식의 연구방법
- <그림 12> open-top chamber라 하더라도 온실 내부의 바람의 방향이나 미기상학이 실제와 차이가 있으므로 자연생태계에 보는 것 처럼 원모양으로 막대기를 꽂고 그 막대기에서는 높은 농도의 이산화탄소가 24시간 방출됨으로써 이산화탄소 농도 증가에 따른 생태계의 반응을 가장 인위적이지 않은 방법으로 볼 수 있는 실험 방법. 이를 FACE(Free Air Concentration Enrichment)라고 부름

<그림 10> 밀폐 온실
(Closed Chamber)<그림 11> 반개방 온실
(Open-Top Chamber)



<그림 12>FACE(Free Air Concentration Enrichment)
Experiment

% 생각해보야 할 점: 이산화탄소 시비효과의 제한점

- ✓ 만약 이산화탄소 시비효과만 문제없이 지속된다면 기본적으로 기후변화 자체를 걱정할 필요가 없게 된다. 왜냐하면 대기중 이산화탄소 농도의 증가 만큼 식물에 의해 즉각 흡수되므로 대기중 이산화탄소 농도가 더 이상 증가하지 않을 것이기 때문이다. 그러나 이러한 시비효과는 다음의 두가지 요인에 의해 한계점을 갖게 된다.
 - 식물생리적 요소: 아무리 이산화탄소의 농도가 높다 하여도 엽록체 내에 전분이 축적되게 되면 더 이상의 광합성이 일어나지 않게 되고 광합성에 관여하는 효소인 루비스코 효소의 감소가 일어난다.
 - 환경적인 요소로는 광합성이 엽록체 내에서 이루어지는 현상이긴 하지만 이에 관여하는 효소나 단백질이 원활히 공급된다면 질소나 인 등의 무기염류가 식물 뿌리쪽에서 지속적으로 원활히 공급되어야 한다. 그러나 대기중 이산화탄소 농도의 증가에 비례하여 뿌리에서 흡수되는 양분의 증가가 일어나기는 어려우므로 이러한 무기염류의 양적 제한으로 인해 결국 광합성에도 제한이 생길 수 있게 된다.

라. 토양에서의 반응

- ✓ 육상생태계가 이산화탄소 농도에 반응함에 있어서 토양의 중요성
 - 지하부는 낙엽을 통해 유입된 유기물을 미생물이 분해하는 장소이며 이 과정에서 식물의 생장에 필요한 무기양분이 생성되므로 매우 중요함
- ✓ 증가된 이산화탄소 농도에 따른 토양의 반응
 - 토양의 분해활동 촉진
 - 광합성산물이 많아짐으로 인해 토양으로 유입되는 낙엽의 양도 많아지고, 이로 인해 토양미생물의 분해활동이 활발해짐
 - 식물이 광합성량이 증가되고 이로 인해 지하부에 저장되는 탄소의 양이 많아지게 되면 뿌리에서 배출되는 뿌리부산물도 많아지고 이로 인해 뿌리주변에 미생물의 생장이 촉진되어 분해활동은 더욱 활발해짐
 - 광합성량이 증가되어 지하부에 저장되는 탄소양이 많아지게 되면 뿌리에 의한 호흡량의 증가

마. 습지에서의 반응

- 이산화탄소 농도의 증가는 메탄 가스의 발생을 촉진시킬 수도 있음
- 광합성량이 증가하게 되면 습지의 토양내로 유입되는 탄소의 양도 많아져서 메탄을 발생시키는 박테리아의 생장이 촉진되어 메탄발생이 증가될 수도 있음
- 이산화탄소 농도 증가로 인해 습지 내의 식물 생장이 촉진되면 식물의 줄기나 잎을 통로로 삼아 습지 내의 토양에서 생성된 메탄이 대기중으로 발생하는 것이 촉진될 수 있음
- ✓ 과학적 근거
 - <표 2>와 같이 많은 실험적 결과가 이산화탄소 농도를 2배로 증가시킨 실험조건에서 메탄의 발생이 증가되었음

References	Changes	Wetland types
Kang <i>et al.</i> (press)	+74%	Fen
Saarnio <i>et al.</i> (98)	+50%<	Bog & Fen
Hutchin <i>et al.</i> (95)	+100%	Mire
Dacey <i>et al.</i> (94)	+80%	Marsh
Megonigal, Schlesinger (97)	+136%	Swamp
Ziska <i>et al.</i> (98)	+49 to +60%	Tropical rice paddy
Schrope <i>et al.</i> (99)	-400 to -4500%	Rice on sandy soil

<표 2> 이산화탄소 농도를 2배 증가시켰을 경우 메탄가스 발생량의 변화

4. 광합성과 다른 과정간의 상호관계

- ✓ 식물이 이산화탄소를 원료로 삼아 광합성을 하기는 하지만 이와 같은 광합성의 증가가 제한없이 계속 일어나지는 않는다. 광합성의 증가를 제한하는 요인들은 다음과 같다.
 - 대기중 이산화탄소 농도가 높은 환경에서 자란 식물의 경우 이 식물의 광합성 산물은 탄소와 다른 영양염류(질소, 인, 황 등)의 비율이 상대적으로 높아지게 된다. 이런 광합성 산물이 낙엽을 통해 토양생태계로 유입이 되면 토양생태계는 영양염류의 상대적 결핍현상을 겪게 된다. 이렇게 되면 대기중 이산화탄소 농도가 높아졌다하더라도 광합성량이 지속적으로 증가하게되기는 쉽지 않다.
- ✓ 또 하나 생각해야 할 주제는 광합성과 타과정과의 상호작용이다.
 - 실제로 식물의 광합성은 실험실 조건에서 일어나는 것이 아니라 자연 및 인간 생태계의 여러 작용들과 상호작용을 하면서 일어난다. 그렇기 때문에 식물이 탄소의 안정한 저장고가 될 수 있는지의 여부는 광합성 과정과 타과정과의 상호작용을 고려해서 이루어져야 하는 것이다. 대표적인 사례로 중요한 환경문제 중 하나인 산성비는 산림생태계에 추가로 질소를 유입시키는 결과를 낳게 되고 이의 결과 광합성 증가를 제한하는 요소 중 하나인 상대적인 질소의 부족량을 극복함으로써 대기중 이산화탄소 농도 증가가 산림생태계의 광합성량을 증가시킬 수도 있다.
 - 반면 기후변화로 인해 일어나게 될 가뭄 및 홍수 빈도의 증가가 이산화탄소 효과에 변화를 가져올 수도 있다.
 - 아래(다음 슬라이드)의 글은 이런 상호작용의 중요성을 밝혀낸 학술논문의 요약본이다. 이를 읽어보도록 하자.

<읽을거리 > 출처:글로벌 동향브리핑, 2002.12

대기 중에서 농도가 높아진 이산화탄소가 이미 일어난 환경변화와 결합될 경우 식물의 성장을 억제한다는 연구 결과가 발표됐다. 워싱턴 소재 카네기 연구소의 신설 부서인 지구 생태학부의 책임자이며 프로젝트 리더인 Christopher Field에 따르면, 우리는 지구환경변화에 대한 생태계의 대응을 지켜봐 왔으며, 농도가 높아진 이산화탄소가 식물의 성장을 항상 자극한다는 전통적 관점은 정확하지 못하다고 한다. 이번 연구 결과는 2002년 12월 6일자 사이언스지에 기재됐다.

지구 변화가 식물 및 생태계에 미치는 영향을 연구한 이전의 많은 연구들의 초점은 대기중의 이산화탄소 농도가 증가할 경우 일어날 수 있는 현상에 관한 것이었다. 하지만 실제로 일어나는 변화는 이산화탄소 증가 이상이다. 지구 온난화, 강수량 변화, 화석연료 연소과정에서 발생되어 생물학적으로 이용 가능한 질소화합물의 증가 등 기타 변화들이 식물과 생태계에 영향을 미친다. 이번 연구는 카네기 연구소, Nature Conservancy, 그리고 스탠포드 대학의 과학자들에 의해 이뤄졌으며, 처음으로 이산화탄소 변화 이외의 다른 변화들이 이산화탄소 증가에 대한 생태계의 대응을 어떻게 변화시키는지를 연구했다. 논문 작성을 주도한 Rebecca Shaw 따르면, 다른 많은 실험들처럼 이산화탄소만을 증가시킬 경우 식물의 성장이 있었다. 또한 온난화, 강수량 증가, 질소 증가와 같은 다른 변화 상황에 식물을 노출시켰을 경우도 성장이 일어났다. 하지만 이산

화탄소를 다른 변화 상황들에 합친 결과 성장이 억제되는 현상이 일어났다. 증가된 이산화탄소가 식물의 초기의 대응에 역 방향으로 영향을 미쳤다.

과거 수 백년동안 대기의 이산화탄소 농도는 30%이상 증가했으며, 그 결과 화씨 1도 정도의 기온 상승이 일어났다. 일부지역의 강수량 증가가 있는 반면 감소하는 지역도 생겼다. 인간 활동은 생물학적으로 이용할 수 있는 질소량을 두 배나 증가시켰다. 많은 실험에서 증가된 이산화탄소는 식물의 성장을 돕는 것으로 확인됐다. 하지만 과거의 대부분의 실험은 이산화탄소 그 자체 집중하거나 다른 요소 하나와의 관계만을 연구했다. 카네기 연구소가 주도한 이번 연구 결과는 지구 변화에 대응하는 생태계에 대한 새로운 시각을 가지게 한다. 연구는 캘리포니아의 한 목초지를 대상으로 진행됐는데, 높아진 이산화탄소 농도가 여러 조건 하에서 식물의 성장을 억제하는 것으로 확인됐다. 특히 이산화탄소 농도가 빠르게 증가하는 상황 하에서 식물의 성장 억제가 두드러졌다. Field는 "전체 생태계를 대상으로 한 지구변화의 영향을 조사할 경우 다양한 결과들을 관찰할 수 있다. 하지만 관찰되는 현상들이 다른 생태계에서도 유사하게 일어날 것이라고는 장담할 수 없는 입장이다. 이런 이유로 우리가 실시한 다양한 조건에서의 실험은 지구변화의 생태계 영향 부분 중 아직 연구되지 않은 부분을 이해하는데 도움이 될 것으로 보인다"고 언급했다.

이번 연구는 3년 과정으로 스탠포드 대학 'Jasper Ridge Biological Preserve'에서 실시되었다. 캘리포니아 초원의 작고, 짧은 수명을 가진 식물의 생태계가 실험의 모델이 됐으며, 연구과정은 비교적 간단했다. 하지만 그 결과는 지구변화에 대한 세계 모든 육상 생태계의 반응을 해석하는데 도움이 될 것으로 보인다.

카네기 연구소의 '지구 생태학부'는 2002년 7월1일 스탠포드 대학내에서 연구활동을 시작한 신설 부서로 1세기동안 이 대학내에서 생태학 분야를 연구해온 이전의 '식물 생태학부'를 모태로 하고 있다. 연구소의 과학자들은 위성사진에서 분자생물학분야의 도구에 이르기까지 최신 기술을 이용하여 지구의 육지, 대기, 해양의 상호 복잡 다양한 관계를 분석해 오고 있다. 이들은 생화학과 생리학 수준의 생물학적 상세내용, 현미경적 수준의 데이터와 개념들을 전지구적 규모로의 확장을 시도하고 있다. 다양한 학문적 기반을 가진 구성원들의 집합체인 카네기 연구팀은 지구 생태계의 상호조화에 대한 탐험과 취약성 및 기능 평가를 생물학적 관점에서 바라보고 있다. 이들은 지구 탄소순환, 기후 분야에서의 육지와 해양 생태계의 역할, 생물학적 다양성의 상호관계를 포함한 기타 여러 분야에 대한 연구를 시작했다