

기후변화와 생태계¹⁾

이 재 석²⁾

건국대학교 이과대학 생명과학과

지구온난화란?

지구의 열수지와 지구온난화

지구의 에너지수지는 태양에너지의 유입과 유출에 전적으로 의존한다. 지구는 끊임없이 태양으로부터 단파장의 형태로 에너지를 받아들이고 받아들인 에너지는 장파장의 형태로 다시 우주로 내보내 에너지 평형상태를 유지해왔다.

태양으로부터 지구의 대기권에 도달한 단파장의 태양 에너지는 대기, 구름, 지표면의 반사에 의해 약 30% 정도가 우주로 빠져나가고 나머지 70%만이 대기권에 유입된다. 이렇게 유입된 70%의 태양 에너지 중 약 19%는 대기의 수증기, 분진, O₃, CO₂, 구름 등에 의해 흡수되고, 나머지 51%가 지표면에 도달한다. 지표면에 도달한 51% 중 1% 미만이 식물의 광합성을 위한 에너지로 사용되며, 나머지는 지표면에서 장파장으로 전환되어 현열 및 잠열원, 지표면 자체의 장파복사를 통해 대기와 우주로 복사되어 최종적으로 대기권에 유입된 에너지와 동일한 양이 우주로 빠져나가 에너지 평형을 이루게 된다.

태양광의 경우 약 6000K의 높은 온도에서 복사되는 짧은 단파장 형태로 대기권에 입

사하기 때문에 장파장에 비해 비교적 높은 투과율을 가지고 지표면에 도달한다. 이에 비해 약 288K의 온도를 유지하는 지표면은 낮은 온도에 기인하는 장파장 복사의 형태로 우주로 향해 에너지를 방출한다. 태양으로부터의 단파장 복사와는 다르게 지표면으로부터 복사되는 장파장 에너지는 대기의 구성물질인 수증기, O₃, CO₂ 등에 의해 비교적 잘 흡수되며, 흡수된 에너지의 일부는 다시 지표면을 향해 재복사되어 대기권 내부에 일정량의 에너지가 일정 시간 동안 정체되는 현상이 발생된다. 이로부터 대기권 내부의 지표면 부근은 태양 에너지가 도달되는 않는 야간에도 이미 정체되어 있는 에너지로 인해 온도가 급격히 저하되는 일이 없이 온화한 온도조건을 유지하며, 이것이 온실과 같은 역할을 한다고 하여 온실효과 (greenhouse effect) 기능이라고 부르게 되었다(그림 1). 이러한 온실효과 기능 때문에 지구의 평균 온도는 항상 15°C의 온화한 온도조건이 유지되게 되며, 지구상의 많은 생물들은 태양이 없는 밤이나 겨울 동안에도 동사하지 않고 생존할 수 있다. 만약 대기의 이러한 온실효과 기능이 없어진다고 하면 지구의 평균 온도는 -18.5°C로 냉각되어 지구상의 많은 지역은 꽁꽁 얼어버린 동토가 될

1)Climate Change and Ecosystem

2)LEE, Jae-Seok, Biological Science, Konkuk University; E-mail: jaeseok@konkuk.ac.kr

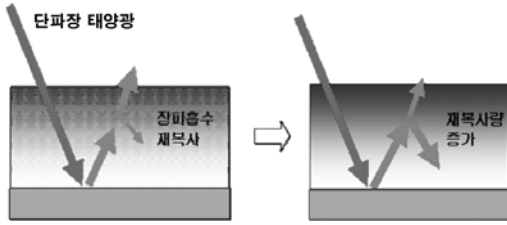


그림 1. 지구의 온실효과(좌)와 온난화(우).

것이다. 이와 같이 온실효과는 지구의 생명체에 있어서 절대적으로 필요한 기능이다. 우리가 흔히 말하는 지구온난화(global warming)는 지구 대기의 이러한 온실효과 기능이 인간의 활동에 기인하는 온실효과 기능 기체의 농도 증가로 온실효과 기능이 증대되는 것을 말하는 것으로, 온실효과와 지구 온난화는 확실히 구별되어야 한다.

대기의 이산화탄소농도 변화와 온난화

지구의 대기권에 온실효과를 갖도록 하는 기체는 수증기, CO₂, CH₄, N₂O, CFCs 등 여러 기체가 있으며, 이중 지구온난화에서 문제가 되고 있는 온실효과기체는 인간의 활동 결과에 의한 인위적인 요인에 기인하는 기체들로 1997년 지구온난화방지 교토회의(COP3)에서 배출억제대상 24종의 기체를 규정하였다. 이러한 온실효과 기체들 중 지구온난화에 기여도가 가장 큰 기체는 이산화탄소이며, 다음에 CH₄, N₂O, CFCs 등의 순이다.

인위기원의 온실효과 기체 중 온난화에 가장 큰 비중을 차지하는 물질은 석유와 석탄과 같은 화석연료를 연소할 때 발생하는 CO₂이다. 대기 중의 CO₂ 농도가 급격하게 상승하기 시작한 것은 산업혁명이 일어난 1870년경 이후부터가 된다. 산업혁명 이전의 소극적인 자연친화적 동력의 조달이 산업혁명

을 기점으로 기계를 이용한 적극적인 동력 조달로 전환되었으며, 그러한 동력원의 대부분은 수백만 년 동안 지하에 매장되어 있던 탄소 덩어리인 화석연료이다. 이러한 화석연료의 연소에 의해 대기로 방출되는 CO₂의 양은 산업사회의 급속한 확장으로 해가 갈수록 급상승하게 되었고, 그로 인해 대기의 CO₂ 농도는 거의 수직적으로 증가하였으며, 결국 지구의 열수지 환경을 변화시킬 정도의 심각한 수준에 이르렀다.

남극의 포스톡 연구기지에 채취한 빙하의 코아에 갇힌 공기를 분석하여 얻은 과거 16만년 전부터 현재까지의 지구 대기 이산화탄소 농도변화를 살펴보면 대략 280 ppm 이하의 농도에서 감소와 증가를 반복하였으며, 그와 함께 지구의 온도도 등락을 반복하였다. 그러나 이러한 안정상태는 1870년의 산업혁명을 기점으로 에너지를 얻기 위한 석유와 석탄 사용의 급속한 증가와 함께 거의 수직적으로 농도가 상승하여 왔다. 현재 가장 오랜 기간 동안 대기의 이산화탄소의 실측 자료를 가지고 있는 연구소는 미국 Scrips 해양연구소의 Keeling연구팀(하와이의 마우나로아산)이며, 이곳에서 측정된 대기 CO₂ 농도 자료를 보면 이산화탄소 농도는 계절적인 변화하는 특성을 잘 엿볼 수 있다(그림 2). 이러한 계절적 변동은 북반구의 여름

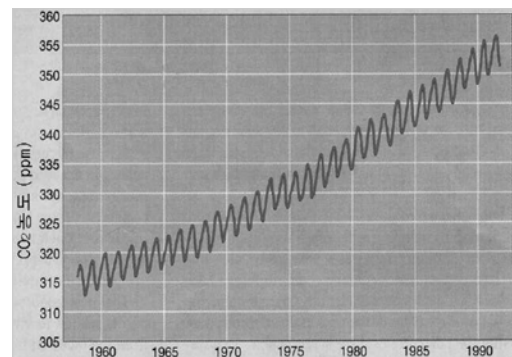


그림 2. 대기의 이산화탄소 농도변화(Scrips 해양연구소).

과 겨울의 계절적 변화에 따라 식물의 광합성 활동에 의한 대기의 CO₂ 흡수로 인해 발생하는 것으로, 지구대기의 상태에 따라 그 변화양상이 조금씩 다를 수 있다.

이러한 CO₂는 우리의 일상 모든 생활을 통해 매일 다량으로 직간접적으로 대기에 배출된다. 이는 자동차를 운전하거나 취사를 한다거나 하는 직접적 배출에서 화력 발전소의 화석연료 연소로부터 만들어진 전기, 전기를 이용하여 만든 수 많은 공산품을 인간이 사용함으로써 배출되는 것을 포함한다. 대기의 CO₂ 농도는 산업혁명 이전까지는 약 280 ppm 정도로 비교적 안정하게 유지되어 왔지만, 산업혁명 이후 매년 약 1.5 ppm 정도로 증가하여 현재 370 ppm 정도까지 증가하였다. 이러한 빠른 증가 속도에 특별한 인류의 대책이 가해지지 않을 경우 금세기 말에는 산업혁명 이전의 약 2배의 농도까지 증가 할 것으로 예측하고 있고, 그로 인해 지구 온도는 1.5-6.0°C 상승할 것으로 보고 있다(IPCC, 1996).

2005년 태국 방콕에서 열린 '기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC)의 제3실무그룹 회의'에서 기후변화 완화 보고서에 따르면 현

재 CO₂를 가장 많이 배출하는 나라는 미국으로, 한해 약 60억5천만톤으로 1위이며, 뒤를 이어 중국이 50억700만톤으로 2위를, 3위가 약 15억2천만톤으로 러시아가 차지하고 있다. 우리나라의 경우 2004년 현재 에너지 사용에 의한 이산화탄소 배출량 세계 10위 국가로 세계 배출량의 1.7%를 차지하고 있다. 1990~2004년간 한국의 1인당 이산화탄소 배출량(CO₂t/인) 증가율은 82.4%로 중국(82.4%)과 비슷하며, 인도(47.5%), 일본(11.1%), 호주(16%) 등에 비해서는 매우 높은 수준이다. 이러한 추세라면 총 이산화탄소 배출량은 2005년 4억9720만t에서 2030년 7억8650만t으로 늘어날 것으로 예측하고 있다(표 1).

지구상의 탄소 순환과 저장량

지구적인 규모에서의 탄소순환은 크게 대기, 육상, 대기와 해양의 두 부분으로 구별할 수 있다. 이러한 두개의 큰 흐름에 공통으로 걸쳐 있는 대기권의 경우 750 Gt의 탄소가 저장되어 있으며, 인류의 방출에 기인하는 3 Gt의 탄소가 매년 증가하는 것으로

표 1. 한국의 연도별 온실가스 배출량(에너지경제연구원, 단위: 백만CO₂, %)

구분	'90	'95	'00	'02	'03	'04	'90~04
합계	310.6	452.8	528.6	569.3	582.3	590.6	4.7
CO ₂	258.3 (83.2)	401.0 (88.6)	464.9 (87.9)	501.8 (88.2)	510.7 (87.7)	517.9 (87.7)	5.1
CH ₄	43.2 (13.9)	28.5 (6.3)	26.4 (5.0)	26.3 (4.6)	25.8 (4.4)	25.7 (4.3)	-3.7
N ₂ O	8.0 (2.6)	11.9 (2.6)	14.9 (2.8)	14.8 (2.6)	18.2 (3.1)	20.9 (3.5)	7.1
HFC _s (수소불화탄)	1.0 (0.3)	5.1 (1.1)	8.3 (1.6)	8.6 (1.5)	7.7 (1.3)	7.1 (1.2)	15.2
PFC _s (과불화탄소)	n.a.	n.a.	2.3 (0.4)	2.2 (0.4)	2.5 (0.4)	3.1 (0.5)	15.4
SF ₆ (육불화황)	n.a.	6.3 (1.4)	11.7 (2.2)	15.6 (2.7)	17.4 (3.0)	15.9 (2.7)	12.1

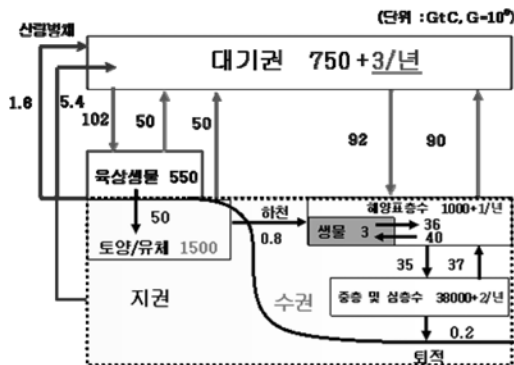


그림 3. 지구의 탄소순환과 저장량(Watson, 1990).

보고되고 있다(Watson, 1990).

식물과 온도 그리고 이산화탄소

지구의 온도환경 변화는 극지방의 빙하를 빠른 속도로 용해시켜, 해수면 상승, 해류의 변화 등을 야기시키거나, 대기의 흐름, 대기 수분 함량과 이동경로 변화를 통해 지구의 열 분배 시스템의 교란을 초래하며, 이는 이상 고온 및 저온, 집중 호우, 기후대의 변화 등을 초래한다. 이는 지구의 다양한 온도 및 수분환경에 오랜 시간에 걸쳐 최적으로 적응하여 형성된 수많은 생태계를 교란시키는 원인으로 작용한다.

지구의 환경은 끊임없이 변화하여 왔지만, 그 속도는 매우 완만했기 때문에 종들은 환경변화에 맞춰 몸을 적응시키거나 적당한 환경으로 이동하여 생존해 왔다. 그러나 지금의 지구 온난화는 생물이 이동하거나 적응할 수 없을 정도로 빠르게 진행되기 때문에 이동능력이나 적응력이 없는 생물과 생태계는 멸종하거나 크게 쇠퇴할 가능성이 있으며, 그 과정에서 생태계 전반에 큰 혼란이 야기될 것으로 보고 있다. 이러한 생태계의 변화는 생태계에 의존하는 인류에게도 식량자원 상실, 면역력이 없는 질병의 만연, 수자원 고갈과 같은 요인을 통해 생존

을 위협하는 결과를 가져오는 것은 당연한 사실이다.

식물과 온도

생물은 종에 따라 성장과 번식에는 필요한 최적의 온도조건이 존재하며, 주위의 온도환경 변화에 따라 성장 속도와 번식속도는 조절된다. 육상식물의 경우, 밤과 낮, 계절에 따라 크게 변화하는 온도환경에 종속되어 생육하고 있으며, 이러한 온도환경은 적도지방의 경우 대륙 내부는 낮과 밤의 경우 온도차가 매우 크다. 리비아, 멕시코, 캘리포니아의 경우 최고기온이 57-58°C까지 올라가는 것으로 보고되고 있다. 또한 북극권 위 시베리아 동부에서는 여름의 기온은 30°C 까지 상승하지만 겨울의 기온은 -70°C까지 하강하는 경우도 종종 일어난다. 이와 같은 한랭지역에서도 타이가림(북방림)이라는 광대한 침엽수림이 성립되어 있다. 일반적으로 고등식물의 대부분은 10°C에서 35°C까지의 온도범위에 최적 생육온도를 가진다. 최적생육온도의 상승 및 하안온도를 벗어난 온도환경에서는 고온 또는 저온스트레스에 의해 세포의 생리기능이 손상을 입어 현저한 세포손상을 받는다. 온도스트레스에 대한 내성은 식물의 종류, 생육단계에 따라 다르지만 스트레스를 받기 전에 적당한 온도 스트레스를 일정기간 식물에 경험시키면 특별한 생리구조의 역할로 인해 식물은 온도내성을 획득할 수 있게 된다. 이러한 것을 온도순화라 한다.

온대에 생육하는 다년생 식물은 가을부터 초겨울에 걸쳐 일장(단일)이나 저온이 신호가 되어 세포내에 특별한 대사체계가 유도되어 내동성을 획득한다. 이러한 식물들은 여름의 경우 동결에는 매우 약하지만 겨울이 되면 -200°C를 넘는 온도에도 전혀 상해를 받지 않는 경우도 보고되고 있다. 한편,

열대나 아열대 저지에서 생육하는 많은 식물은 0°C부터 12°C 정도의 저온에 처하게 되면 생육이 현저하게 저해될 뿐 아니라 처하는 온도와 시간에 따라서는 고사하고 만다. 이와 같은 식물 중에는 미리 적당한 저온하에서 생육하면 어느 정도의 저온내성을 획득하는 경우도 있다.

대부분의 생물이 그렇듯이 식물도 마찬가지로 식물의 생육은 온도 변화에 매우 밀접한 관계를 가지고 있다. 생물체가 생명을 유지하기 위해서는 생리적 항상성이 일정하게 유지되어야만 한다. 생물체에서의 이러한 생리적 항상성의 유지에는 다양한 요인이 요구되면 온도는 중요한 위치를 차지한다. 생리적 항상성을 유지하기 위해서는 생명체내의 여러 세포 내외에서의 질서 있고 체계적인 생화학반응이 연속성을 가져야만 되며, 이러한 연속성은 일정한 온도범위에서만 효율적으로 이루어진다. 일반적으로 화학반응은 온도가 낮을수록 느려지며 반대로 온도가 증가할수록 빨라진다. 하지만 온도가 증가한다고 하여 계속 증가하는 것이 아니고 일정한 범위 내에서는 증가하지만, 그 범위를 넘어서게 되면 생화학반응을 일으키는 효소인 단백질의 구조가 변형되어 그 기능이 저하되어 화학반응 속도가 저하된다. 즉 적절한 온도 범위에 이를 때까지는 효소의 활성이 증가하여 생화학반응이 촉진되지만 그 이상 온도가 높아지면 효소(단백질)의 구조가 변형되어 그 기능이 상실되므로 반응속도가 급격히 떨어진다. 이러한 결과들과 관련하여 일반적으로 생화학적 반응과정의 반응속도는 온도상승에 따라 증가하며 온도가 10도 상승할 경우 반응속도가 몇 배로 증가하는지의 수치를 Q10치라고 한다. 예를 들어 오이의 광합성속도는 20도 전후에서의 Q10치는 1.95, 30도 전후에서는 1.43 정도이다.

결과적으로 식물이 겪는 최저온과 최고온에서의 내한성 및 내열성 획득은 일시적 또는 계절적으로 겪게 되는 극한 온도환경에서의 생존과 관련이 있는 반면, 생육 적온하에 처하는 시간의 장단은 식물의 성장과 번식에 대단히 중요한 역할을 한다. 많은 식물의 경우 생육 적온은 유전적으로 고정되어 있는 것이 일반적이며 새로운 온도환경에서도 양호한 생육상태를 유지하기 위해서는 많은 시간을 필요로 한다. 지구의 온도 조건이 서서히 변한다고 한다면 식물들도 변하는 온도환경에 적응하거나 생육지를 천천히 이동시켜 생존해 나갈 것이다. 하지만 현재의 지구온난화와 같은 단기간의 급격한 온도 증가는 이러한 식물의 적응 기작을 마비시켜며, 생육적온을 벗어난 온도환경은 많은 식물종의 생육에 이상을 초래하여 우점종을 선두로 한 종의 서열에 혼란을 초래하며, 그러한 혼란 속에서 많은 식물종과 생태계가 소멸될 것으로 예측되고 있다.

식물의 광합성과 이산화탄소(CO₂)

광합성은 식물의 성장, 유지에 필요한 탄소골격, 에너지원을 공급하는 유일한 체계적 시스템이다. 식물의 생존, 성장, 번식에는 광합성 속도가 직접적으로 영향을 미친다. 또한 육상생태계로의 탄소의 대부분이 식물의 광합성에서 유래하기 때문에 광합성 속도는 식물의 생존, 성장, 번식뿐 아니라 생태계 전체, 궁극적으로는 지구전체의 탄소순환에 크게 영향을 미친다. 식물의 광합성 속도는 일반적으로 CO₂ 농도가 높아질수록 상승하며 그 정도는 식물에 따라 다르게 나타난다. 이러한 대기의 CO₂ 농도 변화에 대한 식물의 반응은 광합성 회로의 구조적 차이에서 오는 두 가지 형태의 식물, 즉 C3 식물과 C4 식물에 대해 다르게 나타난다. 일반적으로 C3 식물은 대기의 CO₂ 농도 증가가 유리한

조건이 되지만 C4 식물에 있어서는 그다지 유리할 것이 없는 환경이 된다. 이는 C3 식물이 C4 식물이 가진 CO₂ 농축 회로인 C4 회로를 갖지 않기 때문에 대기의 CO₂ 농도 증가는 기공으로 유입되는 CO₂의 양을 증가시키고 그로 인해 C3 식물의 광합성 캘빈회로 내로 공급되는 CO₂ 양도 증가하며 결과적으로 RuBisCo와 반응하는 CO₂의 양도 증가, 광합성 속도도 높아지게 된다. C3 식물은 거의 모든 목본식물은 C3 식물에 속하며 작물인 보리, 밀, 콩, 고추 등이 속한다.

한편, 하와이의 사탕수수 연구소의 Kortschak 등(1965)은 사탕수수가 종래까지 알려져 온 Calvin cycle을 가진 식물(C3 식물)과는 상이한 광합성산물을 생성한다는 것을 발견하였다. 이후, Hatch 등에 의한 추가적 실험을 통하여 수수나 옥수수과 같은 벼과, 방동사니과, 쌍자엽식물의 일부에서도 Calvin 회로와는 다른 광합성 초기산물이 생성된다는 것을 발견하고 이를 C4 dicarbonate 회로라고 이름 지었다. 이후 Downton 등(1968)과 Laetsch 등(1968)은 C4 식물이 Kranz(꽃 목걸이)형 잎 구조(엽록체를 가진 유관속 세포가 둥근 꽃 목걸이 형태의 유관속초)를 갖지만 C3 식물은 갖지 않는다는 차이점을 보고하였다. 그 후, 많은 식물에서 잎 조직의 연구가 이루어져 약간의 예외와 중간형이 보고되었으나, 단자엽과 쌍자엽을 불문하고 Kranz형 잎 구조를 갖는 경우 C4 식물로 구분하고 있다. 이러한 형태적 연구와 더불어 생리적 차이에 따른 생태적 특성과 지리적 분포의 차이에 관한 연구가 진행되어 왔다. 일반적으로 동일속내에 한 종이라도 C4형 식물이 발견되면 나머지 종들 또한 C4 식물인 확률이 높다(Takeda *et al.* 1985). 하지만 갯능쟁이屬, 대극屬, 방도사니屬, 수수屬은 양쪽 형태의 식물을 모두 포함하고 있다(자연보존, 2005).

지구온난화의 영향

1) 기후변화와 산림생태

전술한 바와 같이 온도증가는 식물의 생리적 반응에 대단히 중요한 역할을 수행한다. 일반적으로 수분과 광 같은 요인이 일정할 경우 온난화와 밀접한 환경요인인 온도와 이산화탄소의 농도가 증가하는 경우에 있어서 온대지방을 비롯한 지역에서의 온도증가는 식물의 생육개시와 종료의 시기를 결정하는 요인으로 작용한다. 온난화에 의한 온도의 상승은 봄을 앞당기며 겨울을 늦추는 형태로 생육기간을 늘리지만 거꾸로 하계에 겪게 되는 고온의 형태는 지금까지 경험하지 못한 새로운 고온형태가 점점 강하게 나타나게 된다. 고온기간의 증가는 광합성 적온의 범위를 넘어서기 때문에 광합성량의 감소와 호흡량의 증가를 유발하여 궁극적으로는 탄소의 축적보다는 방출을 초래할 경우가 발생할 가능성도 있다. 결과적으로 생육기간의 증가에 의해 늘어날 것으로 예측되는 년 총광합성량의 이러한 원인에 의해 별반 차이가 없는 결과를 가져올 수도 있다. 하지만 어떤 종이 고온에 대한 내성을 가지고 있다고 한다면 고온기간에도 충분한 광합성 활동을 통해 그 성장량은 그렇지 않은 종들보다 월등히 높게 될 것이며 그 결과로 경쟁관계에 있는 다른 종에 대해 우월적 지위를 얻게 될 것이다. 이러한 과정을 통해 산림군락의 종조성, 구조와 기능은 새롭게 우점하는 종에 맞춰져 빠르게 변화하고 그 과정에서 현재의 많은 종들은 우점도가 저하되거나 경우에 따라서는 자취를 감추게 될 것이다. 그러나 온도증가에 의한 식물의 반응과 관련한 이러한 메커니즘에 의한 종의 우점관계의 변화는 온도증가에 대한 하나의 단순한 가설일 뿐 실제로 자연상태에서는 식물의 성장과 번식에 관련된 다양한 환경요인의 변화로 다르게 반응할 것이다.



그림 4. 온도 및 CO₂ 농도 변화에 수목의 반응.
CO₂ 농도 증가에 대한 차이가 거의 보이지 않음. 온도증가에 대해 수고 및 생물량이 증가하는 경향을 보임. a, 졸참나무, b, 상수리나무.

실제로 졸참나무와 상수리나무를 대상으로 온도만 현재온도 보다 각각 2°C, 4°C 높게 처리한 경우와 2°C+1.4배 CO₂, 4°C+1.8배 CO₂로 CO₂ 농도를 동시에 높여준 실험 결과를 보면 두 종의 반응은 매우 다르게 나타난다(그림 4). 그림에서 졸참나무의 경우 현재의 온도와 CO₂ 농도 조건에서 그대로 온도만 2°C 및 4°C 높여준 것에서는 생육기간의 증가로 성장량이 증가하지만 동일 온도조건에서의 CO₂ 처리효과는 거의 나타나지 않는 것을 볼 수 있다. 하지만 상수리나무의 경우, 동일한 온도 증가 조건에서 CO₂ 처리의 유무에 따라 성장량의 차이가 현저하게 달라지는 것을 볼 수 있다.

이러한 결과와 같이 개개의 수목 종이 온도와 CO₂ 농도 증가에 대한 반응이 다르기 때문에 단순히 온도가 얼마 증가하면 어떤 식물의 생육지가 얼마나 북상한다고 하는 단순 추정은 매우 위험한 추측이 되고 만다. 결국 온난화에 대한 정확한 종분포, 군락분포의 변화를 예측하기 위해서는 전체 종이 아니더라도 식생학적으로 중요한 표집종 또는 식별종, 우점종과 같이 우선순위를 정하고 그 순위에 따라 온도와 CO₂ 농도가 점진적으로 증가한 미래 온난화 조건하에서의 실질적인 실험 결과를 얻을 필요가 있다. 하지만 얻어진 결과가 온도, 광, 습도 등의 일주기 및 계절주기 변화 조건 등이 포함된 자연환경 조건하에서는 동일한 결과가 나타날지에 대한 의문을 제기하는 연구자들의 의견을 참고하여 가능한 한 자연환경 조건하에서의 온난화 조건이 조성된 상태에서의 실험을 고려할 필요가 있으며 그러한 실험 결과로부터 예측한 종과 군락의 동태는 예측에 대한 신뢰성을 높이게 될 것이다.

2) 기후변화와 농경지의 잡초

농업은 끊임 없는 잡초와의 전쟁이다. 인간은 가능한 한 많은 소출을 올리기 위해 작물생육에 최적의 환경을 조성하고 작물의 생육이 종료될 때까지 그 환경을 유지하려 노력하여 왔다. 작물의 최적 생육환경이란 광, 수분, 온도, 토양의 영양 등 식물생육이 필요 불가결한 조건들이 포함되며, 이러한 조건들은 작물뿐만 아니라 잡초들에게도 매우 절실히 요구되는 환경조건들이다. 잡초는 인간이 조성해 놓은 이러한 호적한 환경에 편승하여 필요한 여러 환경자원을 획득하여 생존해 간다.

온난화 문제의 핵심이 되는 CO₂ 농도와 온도변화는 모든 식물의 생육을 좌우하는 절대적 요인이기도 하다. 이러한 생육조건

변화에 따른 식물의 생태적 특성 변화는 많은 식량에너지원을 농업생태계에 의존하고 있는 인간에 있어서 대단히 중요한 문제가 된다. 어떤 종의 잡초가 기후변화에 의한 생육환경 변화로 인해 현재보다 강한 생육과 번식력을 갖게 되어 경쟁하던 어떤 종의 잡초가 자취를 감출 정도로 쇠퇴하게 된다면 이전까지 인간이 축적해 놓은 잡초 구제기술의 적용은 그 구제효과가 현저히 감소할 지도 모른다. 이러한 경우, 새롭게 부상한 잡초에 대한 구제기술을 개발하여야만 할 것이다. 작물 또한 새로운 잡초에 대해 항상 우월적 경쟁력을 갖고 높은 소출이 도출되도록 품종 개발이나 재배방법이 고안되어야 할 것이다. 새로운 기술개발이란 단시간에 가능한 것이 아니기 때문에 기후변화에 따라 우점종으로 자리잡을 가능성이 있는 잡초의 예측과 예상되는 잡초의 식물계절(plant phenology), 성장과 종자의 결실 형태와 같은 생리생태적 자료의 수집은 대단히 중요하다.

세계적으로 잡초는 약 8000종 정도가 조사되어 있으며, 이 중 주요 잡초로 분류된 것은 약 250종이다(伊藤, 1993). 주요 잡초 중에는 인간을 농업경영을 끊임없이 방해해 온 강력한 종들이 포함되어 있다. 이러한 잡초들을 온도대로 나누어 보면 열대부터 아한대까지는 2종으로 명아주와 냉이, 열대에서 냉온대까지는 개피와 쇠비름을 포함한 14종, 난온대부터 아한대까지는 쇠뜨기를 포함한 14종, 열대에서 난온대까지는 왕바랭이를 포함하여 23종 정도가 작물과 경쟁을 하고 있다(伊藤, 1993). 이러한 잡초들은 광합성 형태가 상이한 C3형과 및 C4형 잡초로 구

분하여 온도와 수분환경을 결부시킨 분포형태를 살펴보면 C4형 잡초는 주로 남쪽에서 또는 고위도로 이동할 경우 고온계절인 여름에, 그리고 건조한 곳에 우점하는 경향을 보이지만 C3형 잡초의 경우, 고위도 또는 저온 생육기에 우점하는 경향을 보인다(Okuda and Hurukawa, 1990).

참고문헌

- 伊藤操子. 1993. 雜草學總論. 養賢堂.
 長谷川 史郎. 1979. C3とC4植物の分類と地理的分布. 農業氣象 34(4): 195-200.
 Kortshack, H. P., Hartt, C. E. and Burr, G. O., 1965. Carbon dioxide fixation in sugarcane leaves. *Plant physiology* 40: 209-213.
 Downton, W. J. S. and Tregunna, E. B. 1968. Carbon dioxide compensation its relation to photosynthetic carboxylation reactions, systematics of the Gramineae, and leaf anatomy. *Canadian Journal of Botany* 46: 207-215.
 Laetsch, W. M., 1968. Chloroplast specialization in dicotyledons possessing the C4-dicarboxylic acid pathway of photosynthetic CO₂ fixation. *American Journal of Botany*, 55: 875-883.
 이재석. 2005. 기후변화와 인간. 자연보존. 131: 16-23.
 Watson, R. T., Rodhe, H., Oeschger, H. and Siegenthaler, U., 1990. Greenhouse gases and aerosols. In *climate Change(The IPCC Scientific Assessment)*, J. T. Houghton, G. J. Jenkins and J. J. Ephraums(eds), pp.1-40, Cambridge Univ. Press, New York.
 IPCC. 1996. *Climate change 1995. Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change. Scientific-Technical Analyses.* Cambridge University Press, Cambridge, UK. pp. 19-53.