

# 1차시. 지구환경과 생태계의 이해

## <1차시. 지구환경과 생태계의 이해>

### 1 가이아이론

#### 가. 정의

그리스어로 ‘지구’ 라는 의미.

지구에서 가장 중요한 구성원을 생물로 보고 생물의 작용을 중시하여 지구가 살아있는 생명체임을 주장하는 이론

#### 나. 가이아 이론에 따른 생물번성 원인

해양에서 생물이 탄생하여 육상에까지 번성하게 된 것은 지구의 기온이 오랫동안 일정하게 유지되어 왔기 때문으로 여긴다. 기온은 온실효과를 조절하는 대기중의 이산화탄소에 의해 지배되는데 대기중 이산화탄소 농도는 생물에 의해 조절된다고 보았다. 즉 대기중의 이산화탄소는 바다에 녹아들어가고 탄산이온과 결합하여 석회암을 만드는데 이때 생물이 중요한 역할을 한다는 것이다. 산호초에서 보는 많은 석회조류와 산호를 그 예로 제시하고 있다. 바다속에서 만들어진 석회암은 맨틀작용에 의해서 재구내부로 들어감으로 대기중의 이산화탄소가 결국 제거될 수 있었다고 보았다. 기온, 대기의 조성, 해수의 염분도 등 지구권에서 일정하게 유지되는 환경의 대부분이 생물적 작용에 의해 크게 지배되고 있음을 강조하고 있다. 현재의 지구는 대기권, 육지권, 수권으로 나누인다. 대기권은 공기로 둘러싸여 있는 지구의 외각으로부터 비행기가 날아다니는 약 10km까지를 대류권이라고 하며 오존층이 있는 약 50km까지를 성층권, 그 위를 중간권, 최외곽인 1,000km까지를 열권이라 한다. 지구자체를 보면 땅 속으로 들어가면서 암석권, 맨틀, 지구핵으로 나누어지는데 중심부까지의 거리가 6,000km이상이다. 우리는 최 외부인 암석권, 즉 지각에 살고 있다. 지각은 다시 육지와 바다라는 암석과 물로 이루어진 두 부분으로 나누어져 있다.

#### 다. 생태학

생물의 종류와 양은 주어진 시간과 공간 속에서 환경에 의해 결정된다. 생물의 종류와 양이 환경과 갖는 관계를 집중적으로 연구하는 분야를 생태학이라 한다.

- 헤켈(독일): 생물과 이들의 서식조건이 되는 환경에 관한 학문
- 크랩스(미국): 생물의 분포와 양이 환경과 가지는 상호작용에 대한 학문
- 오덤(미국): 생물과 환경의 상호관계에 대한 학문

# 1차시. 지구환경과 생태계의 이해

## 1) 생태계 정의

“생물과 환경”으로 이루어진 계

## 2) 생태계 특성

- a. 생태계는 생물과 환경의 상호작용이 있는 자연의 한 부분으로 인위적으로 경계선이 설정된 하나의 단위이다. ‘한강생태계’
- b. 생태계는 무생물적 요소(태양, 바람, 온도)와 생물적 요소(생물의 종류와 양)를 지닌다
- c. 생태계는 주위와 물질을 주고 받는 개방된 계이다. 에너지원으로서 태양이 주요한 역할을 한다.
- d. 인접해 있는 부분 생태계를 합쳐서 큰 단위의 생태계를 조합할 수 있어 계층적으로 연결된다.

## 3) 생태계의 변화

생태계는 시간이 흐름에 따라 환경과의 관계 속에서 유아기, 청년기, 성년기, 노년기를 보내는 사람과 마찬가지로 흥망성쇠를 계속한다(그림 5, 26쪽).

유년기: 환경에 급격한 변화가 생기면 모든 생물들이 파괴되므로 유아기가 시작된다.  
나쁜 환경에 견딜 수 있는 몇몇 종만이 산다.

성년기: 소나무와 같이 수명이 긴 나무들이 자리르 차지하면 성숙기임. 서식하는 생물의 종류가 다양하여 이들 생물간에 먹이연쇄와 같은 상호작용이 복잡해지고 대부분의 생산물은 이 복잡한 구조를 유지하는데 사용됨. 경쟁, 공존이 심해지고 다양성이 증가한다. 생산량과 순생산량이 최대가 되는 시기.(그림 6, 27쪽)

노년기: 생산량이 줄어들고 생산물이 계를 유지하는데 사용되어 생산과 소비 비율이 비슷해짐. r선택에서 k선택으로 변함. r선택이란 생식율이 크고 성장률이 높은 생활전략, k전략은 생식율이 낮고 느린성장을 하며 수명이 긴 생활전략

## 2 물질의 순환

### 가. 물의 순환

- 지각은 암석으로 이루어진 육지와 물로 이루어진 바다로 구성되어 있음.
- 지구는 대기권, 육상권, 수권으로 구성되어 있으며 서로 긴밀한 상호작용이 있다.
- 물은 육지, 바다로부터 수증기로 증발되어 대기층으로 올라가고 다시 빗방울이 되어 육지또는 바다로 돌아온다. 물의 순환정도는 기온에 의해 크게 영향을 받음.

# 1차시. 지구환경과 생태계의 이해

- 물의 총량은 1,385,713,000km<sup>3</sup> 중 바다에 97.4% 존재하며 극지방에 얼음으로 2%이상, 육상에 지하수로 0.5% 정도 존재(그림 3, 17쪽)
- 대기는 수증기의 0.1%도 되지 않는 극히 적은양이지만 증발되는 수증기를 잠시 보관하여 두었다가 되돌려 보내므로 보유량이 적더라도 순환과정에서 중요한 역할을 함. 대기 중 증발되는 수증기 총량은 496,000km<sup>3</sup>으로서 이중 육지에서 올라가는 양은 14%이다. 수증기는 다시 비가 되어 약 22%가 육지로 떨어지므로 육지에서 증발되었던 양보다 8%가 많다. 이 양은 바다로 흘러들어 간다.
- 지구가 태양계 다른 행성과 다른 점은 물이 있고 생물이 서식한다는 점이다. 지구에는 생물이 살기 때문에 지구에 존재하는 여러 물질들의 순환과정을 이해하려면 생물에 의해 얼마나 물질순환이 지배되는지 이해할 필요가 있다. 생물이 지구에서 순환하는 여러 물질을 매개하는 정도가 크기 때문에 생물권이라고도 함.
- 생물권이란 살아있는 모든 물질을 총칭하기도 하고 생물이 살고 있는 모든 공간을 지칭하기도 하나 주로 두 번째 의미로 사용된다. 지구의 대부분 지역에 생물이 살고 있으므로 생물권이라하면 공간적으로는 지구라는 말과 동일하나 생물에 초점을 두었다는 점에서 차이가 있다. 생물권과 대비되는 말은 지권이 있다. 생물보다 대기권, 암석권, 수권을 강조한 말이다. 생물권에는 식물이 약 33만종, 동물이 93만종, 박테리아와 버섯류가 약 8만종 등 다양한 생물이 존재한다. 지금까지 알려지지 않은 종까지 합치면 실제로는 약 3백만 종의 생물이 서식하는 것으로 추정된다.

## 나. 이산화탄소의 순환

- 생물에 의한 유기물대사는 생산, 소비, 분해의 과정을 거친다. 생산이란 주로 이산화탄소와 태양열을 이용하여 유기탄소를 합성하고 산소를 배출하는 식물에 의한 1차 생산을 가리키며, 소비란 식물이 생산한 1차생산물을 동물이 소비하는 과정을 말한다.
- 생산된 유기물은 약 90%가 박테리아에 의해 분해되어 원래의 원소로 되돌려짐.
- 분해되지 못하고 유기물 형태로 남은 유기물이 지하에 묻힌 것이 석유나 석탄, 석회암과 같은 암석이다(그림4, 21쪽).
- 지역에 따라 생물량이 달라지며 육상이 해양보다 생물량이 약 40배 높으나 생산량은 약 2배 높을 뿐이다. 이는 해양에서 더 효율적인 생산이 이루어지고 있음을 의미. 생산량을 생물량과 비교하면 육상은 약 6%, 해양은 약 1100%이므로 해양생물의 생산효율이 약 200배 높음을 알 수 있다. 그 이유는 해양에는 단세포 생물이 우점하는데 나무와 같이 오래 사는 육상식물보다 신진대사가 빠르기 때문이다.

# 1차시. 지구환경과 생태계의 이해

## 다. 기후변화와 지구온난화

대기중 이산화탄소 증가와 온실효과로 인한 지구온난화 현상은 오늘날 세계적으로 가장 관심을 받는 환경문제로 대두되고 있다. 산업혁명 이후 석탄과 석유 등 이른바 화석연료의 사용이 급증하면서 대기중 이산화탄소 양은 산업화 이전에 비해 약 25%정도 증가하여 1990년 현재 353ppm에 이르렀으며 현재도 매년 약 0.5%씩 증가추세에 있다. 대기중 탄산가스 농도는 2075년에는 500~600ppm에 도달할 것으로 예상되며 이것은 산업화 이전 280ppm에 비해 2배 이상 증가된 것이다.

기후변화에 관한 정부간조사위원회(IPCC) 보고서는 현재와 같은 추세가 지속될 경우 2030년에 지구표면의 평균기온은 약 1.8℃, 그리고 해수면은 약 18cm 높아질 것으로 예측하였다.

온실효과란 지구상에 실재하는 현상이다. 그것은 지구의 대기가 서로 다른 특성의 복사파에 대해 다르게 작용하는데에 기인한다. 즉 대기는 단파의 특성을 가진 태양복사열에 대해서는 거의 투명하게 작용하여 모두 통과시키는 반면 지구가 외계로 방출하는 장파의 복사열은 일부를 붙잡아 지구 표면에 가두어 놓는다. 이렇게 지구가 방출하는 복사열을 붙잡는 역할은 주로 대기중의 수증기, 이산화탄소, 메탄가스, 이산화질소, 오존, 염화불화탄소 등 온실효과가스들에 의해 이루어진다. 이것은 마치 온실의 공기가 외부에 비해 따뜻한 현상과 유사하다. 온실효과가 없었다면 지구 표면의 평균기온은 태양으로부터의 거리가 지구와 같은 달의 표면기온과 마찬가지로 -18℃로서, 현재 15℃에 비해 약 33℃ 낮았을 것이다. 따라서 온실효과는 지구가 생물 서식에 적합한 온화한 기후를 가질 수 있도록 하는데 필수적인 요소인 것이다. 그러나 근래 인간의 활동은 이들 온실가스효과 기체의 대기중 농도를 자연상태 이상으로 급격히 증가시켰다. 이렇게 증가된 농도로 인하여 지구대기의 온실효과는 자연적인 수준 이상으로 강화되어지고 있으며, 이것은 우리에게 익숙한 기후의 균형과 질서를 파괴시킬 것으로 예상된다(그림 4, 51쪽).

지구환경문제로 대두되는 것은 온실효과가 아니라 인간활동의 결과로서 ‘강화된’ 온실효과라 할 것이다. 온실효과 기체 중에서 수증기는 대기중에서 체류시간이 매우 짧아 그 농도가 현재의 기후조건과 평형을 이루고 있으며, 인간활동에 의한 영향을 받지 않는다. 대기중의 오존은 인간활동에 의해 그 농도가 변화하고 있으나 그 것이 기후에 미치는 영향은 정량적으로 평가하기 어렵다. 염화불화탄소들은 자연상태에서는 존재하지 않는 합성물질로서 1930년대 이후에 대기중에 방출되기 시작하였으며 현재 오존층 파괴의 주범으로 지목되어 그 사용량이 중단되었다. 대기중의 메탄가스 농도는 벼농사와 가축의 확대 등에 기인하여 산업화 이전에 비해 2배 이상 증가하였다. 이산화탄소 농도는 산업화 이전에 비해 약 8% 증가하였다. 이들 온실효과 기체들의 온난화 효과는 100년을 기준으로

# 1차시. 지구환경과 생태계의 이해

할 때 메탄가는 이산화탄소의 21배, 이산화질소는 290배, 프레온 -11은 3,500배, 프레온-12는 7,300배 등으로 크게 다르다. 이산화탄소는 다른 온실효과 기체들에 비해 단위질량당 온난화 효과는 작으나, 그 방출량이 훨씬 많은 까닭에 1980년~1990년 사이의 인간에 의해 방출된 전체 온실효과 가스들의 총온난화효과 중에서 약 55%를 차지하고 있다.

## 3 인간과 생태계 관계

생물의 다른 종과 달리 인간은 생태계에 미치는 영향이 매우 크다.

인간은 다른 생물종보다 더욱 많은 자연재를 이용하며 인간이 자연재를 이용한 후 노폐물이 생태계를 파괴하기 때문이다. 인간이 버리는 노폐물의 총량은 개인당 자연재 소비량과 총 인구수와 함수관계를 갖는다. 즉 개인당 소비량이 증가할수록, 인구가 증가할수록 노폐물의 양은 많아진다. 인간생활에서 나오는 노폐물은 산업혁명 이후 본격적으로 증가하였다.

노폐물의 대표적인 예로 화석연료를 사용하여 에너지를 생산한 결과 생긴 이산화탄소를 들 수 있다. <그림7>은 60년대 이후 대기중의 이산화탄소 증가하는 양상을 보임. 이 추세대로 간다면 2065년에는 약 600ppm이 될 것이라고 한다. 이는 현재 대기 중의 농도의 두 배로서 온실효과에 의한 영향이 나타날 것을 예고하고 있다.

수질이 악화되는 것도 인간활동 때문이다. 인간은 1)유기물이 많이 함유된 물 2) 병균이 있는 물 3) 유기합성제가 섞인 물 4)탁도가 높은 물 5)방사능이 섞인 물 5)기타 해로운 원소 특히, 중금속을 함유한 폐수를 공업활동이나 일상생활에서 방출한다.

<그림 8>은 인구증가가 동물종의 멸종과 밀접한 관계가 있음을 잘 보여준다. 생물종은 끊임없이 멸종하고 또 새로운 종이 탄생하는 특성을 가지나 인간에 의해 멸종하는 정도가 더욱 크게 된 것은 틀림없다. 최근 400년 동안 멸종한 종의 수를 지질학적 연대로부터 추정된 자연적으로 멸종한 수와 비교하면 이를 잘 알 수 있다. 1600년에는 4226종의 포유동물이 기록되었는데 지금은 이중 0.85%에 해당하는 36종이 멸종하였고, 2.8%에 해당되는 120종이 멸종위기에 처해 있다. 새의 경우에도 비슷하다. 1600년에 기록된 종의 수는 8684종이었으나 그 동안 94종이 멸종하였고 187종이 멸종위기에 놓여있다. 이러한 감소는 고등동물에게만 해당되지 않는다. 생물권에서 우선적으로 보전되어야 할 대상은 식물이다. 식물은 광합성을 통해 전 지구의 생물에게 에너지를 공급할 뿐만 아니라 부수적으로 대기중 이산화탄소량을 산소로 바꾸어주는 역할을 한다. 지금까지 인간은 농산물을 재배하거나 도시, 공업단지를 건설하기 위해 산림을 없애는 일을 해왔다. 이러한 일들이 진행되면서 식물상은 파괴되고 이와 연결되어 지형, 기온, 토양 등이 변화되었다. 식물은 토양의 유실을 막아주며 유기물과 수분을 토양에 공급하여 토양을 옥토화시켜 준다.

# 1차시. 지구환경과 생태계의 이해

토양에 사는 동물에게 먹이도 공급하여 생태계를 건강하게 유지시키는 역할을 한다. 전 지구의 생물권에서 식물이 차지하는 양이 99.5%임을 생각하면 식물의 중요성을 알 수 있다. 오덤은 이런 측면에서 자연지, 산림지의 중요성을 강조하고 있다. 오덤은 생물권을 인간이 살고 있는 개발지와 이를 부양하는 경작지와 자연지로 나누었다. 개발지란 도시나 공업단지로서 연료동력계로 보면 폐열을 방류하고 오염물질을 배출하는 계에 해당한다. 경작지는 태양동력계를 인간이 통제하는 계이며, 자연지는 원시림과 같은 자연환경계이다. 개발지는 지구적 규모에서 보면 그 면적은 작으나 에너지 소비 관점에서 보면 비중이 큰 계이다. 미국의 경우 자연지에 비해 경작지는 2배, 개발지는 10배 이상 에너지밀도가 크다. 인간이 주로 활동하는 개발지는 필요한 에너지를 경작지, 자연지에서 얻는다. 자연환경이 인공환경을 유지시켜주는 것이다. 도시는 환경의 관점에서 보면 일개 기생충에 불과하다. 우리가 필요로 하는 식량을 생산하지도 않고 물이나 공기를 정화하지도 않는다. 도시가 기생충이라면 이 기생충에는 숙주가 필요하다. 이 숙주는 자연인 바 자연이 파괴된다는 것은 숙주가 죽는 것을 의미하므로 숙주를 건강하게 유지하기 위해 비용이 미리 지불되지 않으면 안된다. 자연적인 정화능력이 수용한계에 달하여 인공적으로 모든 노폐물을 정화하려면 막대한 경비가 들기 때문에 자연에 대한 투자는 적립식으로 이루어져야만 한다. 강하구에서 일어나는 정화작용을 화폐가치로 환산하면 1에이커당 2만~5만 달러에 해당된다는 것을 오덤은 소개하고 있다.

생태학적 지식을 바탕으로 환경문제를 해결하기 위한 조치들을 취한다면 다음 몇 가지가 있는데

- 1) 생태계는 매우 복잡한 계이므로 이를 다루기 위해서는 총체적인 접근이 필요 하다. 화폐가치 뿐만 아니라 문화적, 환경적 가치까지를 포함하는 총체적 사고가 필요하다.
- 2) 환경오염이 수용한계에 도달했을 때 경쟁보다는 협동에 의한 문제해결을 해야 한다.
- 3) 성장지향정책에서 저성장정책으로 전환하여야 한다. 소비를 줄여야만 생명부양계가 붕괴됨을 막을 수 있다는 것이다.

골드스미스는 생물권을 지구생태계로 보고 이를 보호해야 하는 이유를 다음과 같이 나열하였다.

- 1) 도의적 측면에서 하나의 생물종 역시 지구에서 인간과 함께 살아갈 권리가 있다. 단순히 인간만을 위해서 존재하는 것이 아니라 그들의 고유한 유용성을 갖는다.
- 2) 과학적 측면에서 그 많은 곤충이나 열대 숲에 대해 우리가 아는 바가 매우 적다. 따라서 다음세대에서 이를 잘 연구할 수 있도록 보존해야 한다.
- 3) 미적 측면에서 동물, 식물은 경관과 함께 인간이 느끼는 아름다운 것 중 하나이다.
- 4) 유전자보호측면에서 장래 식물과 동물의 교잡에 사용될 다양성을 보존해야 한다.

# 1차시. 지구환경과 생태계의 이해

유전자는 한번 잃어버리면 다시 태어나지 않는다.

5)환경의 안정성 측면에서 다양할수록 안정된다는 이론이 있다. 인간에 의해 단순화되면 안정성을 잃어버리게 된다.

6)휴식 측면에서 보전된 자연은 매우 유용한 휴식장소로 사용된다. 국립공원 등이 그 예이다.

7)경제적 측면에서 많은 종의 경제적 유용성이 아직 알려지지 않았다.

8)미래세대 형평성 측면에서 아름다운 경관이나 희귀종, 토양 등의 보호는 미래세대가 이를 필요로 하기 때문에 보존되어야 한다.

9)의도하지 않았던 영향 측면에서 함부로 한 행동이 의도하지 않은 주변 영향을 가져 온다.

러브록은 가이아 이론에서

1)생물은 지구환경을 변화시켜왔고,

2)자기 조정적, 능동적으로 기작에 의했으며,

3)그 결과 지구는 항상성을 가지며,

4)결국 생물은 생물에 유리하게, 생물을 위해서 환경을 변화시켜왔다고 하는 것이다.