



생태계

차례

Part 1 · 개념 정리	1
생태계	1
에너지 흐름	6
물질순환	8
환경오염	10
Part 2 · 정답	13
개념 체크 정답	13

Part 1 · 개념 정리

2. 생태계

지구에는 인간을 포함한 수많은 생물과 그 주위를 둘러싼 비생물적인 요소들이 조화를 이루고 있다. 오랜 세월동안 생물은 그들이 살고 있는 자연환경과 상호작용을 해 왔다. 이처럼 생물과 자연환경은 상호의존하는 유기적 관계로 연결되어 있다고 할 수 있으며, 최근 이러한 연결고리는 인간 활동에 의해 위협을 받고 있다. 생태계의 구성요소는 무엇이며 규모는 어떻게 분류될까? 그리고 생물적 관계와 비생물적 관계는 생태계에서 어떤 역할을 할까? 인간에 의해 직간접적으로 발생한 여러 종류의 환경오염, 기후변화, 그리고 외래 생물의 유입 등이 생태계에 어떤 영향을 주고 있을까? 생태계의 구성과 기능을 학습하여 이러한 문제에 대한 해답을 찾아 보자.

01 생태계

학습 목표 생태계를 정의하고 설명할 수 있다. · 생태계의 구성 요소를 설명할 수 있다. · 생물들이 다양한 환경 조건에서 어떻게 적응하여 살아가는지 말할 수 있다. · 개체군의 특성과 군집의 구성 및 특성을 이해할 수 있다.

생물체와 생물체, 그리고 생물체와 주변 환경과의 관계를 연구하는 학문을 **생태학(ecology)**이라고 하며, 생태학은 환경과학을 위한 이론적 토대를 제공한다. 생태학에서 중시하는 여러 생태요소 사이의 관계는 특정지역에 서식하는 생물들의 개체군 밀도와 종 다양성을 결정하게 된다. 생태학은 개체의 적응과 선택이 번식과 생존에 미치는 영향을 연구하는 **개체생태학**, 개체군의 성장과 개체들 사이의 상호관계를 연구하는 **개체군생태학**, 특정 지역에 서식하는 종수에 영향을 주는 요인을 연구하는 **군집생태학**, 군집에서의 에너지와 물질 이동을 연구하는 **생태계 생태학**을 포함하고 있다.

생태계는 크게 **비생물적 환경**과 **생물적 환경**으로 나눌 수 있다. 비생물적 환경에는 햇빛, 온도, 토양, 물, 공기 등이 포함되며 생물적 환경과 서로 유기적으로 통합되어 하나의 생태계를 만들게 된다.

비생물적 환경은 생물의 생활에 영향을 미치며 이를 **작용**이라고 한다. 생물의 활동도 **반작용**을 통해 비생물적 환경에 영향을 미치게 된다. 생물들끼리의 영향을 **상호작용**이라고 한다.

❖ **생물적(biotic) 관계** — 생물체와 생물체 사이의 관계 ❖ **비생물적(abiotic) 관계** — 생물체와 비생물적 환경 사이의 관계

1) 비생물적 환경



〈그림 V-56〉 짝짓기를 위해 한껏 몸을 부풀리는 군함조

생물은 주변의 비생물적 환경에 적응하여 생존하고 있다. 우리 주변에서 이러한 적응 행동은 쉽게 관찰할 수 있다.

꽃 피는 식물의 경우 일조시간에 따라 특징적인 개화 현상을 보여준다. 보리, 무와 같은 **장일식물**은 봄이나 이른 여름에 개화하지만 국화와 코스모스 같은 **단일식물**은 늦여름이나 가을에 개화한다. 새들의 경우도 일조시간과 짝짓기 시점은 깊은 관련이 있다.

일조시간에 따라 생물의 행동이 주기적으로 나타나는 현상을 **광주기성**이라고 한다. 일조시간 이외에도 빛의 세기나 종류도 생물에게 영향을 준다. 앵겔만의 보색 적응설과 하나의 식물에서 양엽과 음엽의 내부 구조 차이 등이 좋은 예가 된다.

온도 역시 생물의 생활에 영향을 미친다. 그 이유는 생물체에서 일어나는 물질대사를 촉매하는 **효소**가 영향을 받기 때문이다. 온도와 생물의 적응에 대한 좋은 예가 알렌 법칙과 베르그만 법칙이다. **알렌 법칙**은 대부분 추운 지방으로 갈수록 신체의 말단이 작아지는, **베르그만 법칙**은 몸집이 커지는 현상을 말한다. 두 법칙 모두 동물이 서식하는 환경의 온도에 적응하는 방법을 잘 보여준다고 할 수 있다.



〈그림 V-57〉 사막여우



〈그림 V-58〉 북극여우

이상 서술한 비생물적 요인 이외에도 수분, 토양, 공기 등과 같은 많은 요인들이 생물의 생활에 다양한 영향을 미친다. 특정 서식지에서 살고 있는 생물체는 그 서식지를 둘러싸는 많은 비생물적 요인들에 적응하여 살고 있는 것이다.

핵심 정리 생태학은 **개체·개체군·군집·생태계 생태학**을 포함한다. 생태계 = 비생물적 환경(햇빛·온도·토양·물·공기) + 생물적 환경. 비생물적 환경 → 생물: **작용**, 생물 → 비생물적 환경: **반작용**, 생물 ↔ 생물: **상호작용**. 빛: 일조시간에 따른 **광주기성**(장일식물은 봄·이른 여름, 단일식물은 늦여름·가을에 개화). 온도: 추운 지방일수록 말단이 작아지는 **알렌 법칙**, 몸집이 커지는 **베르그만 법칙**.

개념 체크 A 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하십시오. (정답은 교재 말미 해설)

1. 비생물적 환경이 생물의 생활에 영향을 미치는 것을 _____ (이)라 하고, 생물의 활동이 비생물적 환경에 영향을 미치는 것을 반작용이라 한다.
2. 일조시간에 따라 생물의 행동이 주기적으로 나타나는 현상을 _____ (이)라고 한다.
3. 국화와 코스모스 같은 단일식물은 봄이나 이른 여름에 개화한다. ()
4. 베르그만 법칙은 추운 지방으로 갈수록 동물의 몸집이 커지는 현상을 말한다. ()

2) 생물적 환경

같은 종의 생물 개체들이 모여 **개체군**을 형성하며, 여러 종류의 개체군이 모여 **군집**을 이루고 있다. 개체군 내에서 개체들 사이의 상호작용이 일어나며, 군집에서는 개체군 사이의 상호작용이 일어나게 된다.

개체군의 특성은 **밀도**, **생존곡선**, **연령분포**로 나타낼 수 있으며 개체군의 크기변화는 **생장곡선**으로 나타낸다. 개체군 생장곡선을 통해 개체군에 가해지는 **환경 저항**을 이해할 수 있다. 환경 저항 이외에도 포식과 피식 관계에 의해 개체군의 크기는 변동될 수 있다.

❖ **개체군 밀도** — 일정한 서식공간에 살고 있는 생물의 개체수 혹은 단위 부피당 생물량

❖ **생존곡선** — 각 개체군마다 동일한 시기에 출생한 개체들의 수를 시간별로 조사한 그래프

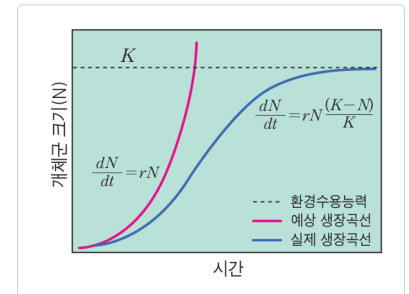
❖ **연령분포** — 각 연령별 개체수의 비율을 의미하며 연령피라미드로 나타낸다.

❖ **생장곡선** — 시간에 따른 개체수의 변화

❖ **개체군 생장율** — $dN/dt = rN$ (r = 출생률 - 사망률, N = 개체군을 구성하는 개체 총수)

❖ **지수적 성장(자원이 무제한인 경우)** — $r > 0$ 인 경우로 J자형 생장곡선을 보여준다.

❖ **로지스틱 성장(자원이 제한적인 경우)** — 개체군이 커지면서 자원이 소모되기 때문에 자원은 개체군 성장에서 제한 요인이 된다. 개체군 크기의 최대치를 환경수용력(K)이라고 하며, 개체군 생장율은 $dN/dt = rN(K - N)/K$ 가 된다.



많은 개체가 모여 개체군을 구성하기 때문에 개체들 사이에는 끊임없는 상호작용이 일어나게 된다. 개체군의 크기가 커지면 먹이, 공간, 배우자 선택 등에 문제가 생기며 개체 사이에 경쟁이 극심해지게 되어 많은 에너지가 소모된다. 이러한 에너지 소모는 생식, 먹이 섭취, 천적으로부터의 방어 등에 불리하게 작용하기 때문에 생물들은 **과다한 경쟁을 피하는 방향으로 진화**해왔다.

동일 개체군내에서의 상호작용에는 **세력권(territory)**, **순위제**, **리더제**, **동물사회** 등이 있으며, 이러한 상호작용을 통해 각 개체는 불필요한 경쟁을 최소한으로 줄일 수 있게 된다.

핵심 정리 개체군 = 같은 종의 개체들의 모임, 군집 = 여러 개체군의 모임. 개체군의 특성: 밀도·생존곡선·연령분포, 크기 변화는 생장곡선. 자원이 무제한이면 **지수적 성장**(J자형, $dN/dt = rN$), 자원이 제한적이면 **로지스틱 성장**(최대치 = 환경수용력 K). 동일 개체군 내 상호작용(세력권·순위제·리더제·동물사회)은 불필요한 경쟁을 줄인다.

개념 체크 B 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하시오. (정답은 교재 말미 해설)

1. 로지스틱 성장에서 개체군 크기의 최대치를 _____ (K)(이)라고 한다.
2. 동일 개체군 내의 상호작용에는 세력권(territory), _____, 리더제, 동물사회 등이 있다.
3. 자원이 무제한인 경우 개체군은 S자형 생장곡선을 보여준다. ()
4. 생물들은 개체 사이의 과다한 경쟁을 피하는 방향으로 진화해왔다. ()

군집과 이종 개체군 사이의 상호작용

종이 서로 다른 이종 개체군 사이에서 볼 수 있는 상호작용에는 **경쟁, 포식과 피식, 공생과 기생**이 있다. 유사한 생태적 지위를 갖는 경우 공간, 먹이 등에 대해 치열한 경쟁을 하게 된다. 일반적으로 생태적 지위가 같은 경우 동일한 장소에서 함께 살 수 없게 된다. 이것을 **경쟁 배타의 원리**라고 한다.

❖ **생태적 지위** — 공간지위와 먹이지위를 포함하는 개념

❖ **경쟁 배타의 원리** — 가우스(Gause, G.; 1910~1986) — 러시아 개체군 생태학자인 가우스가 쥘스펠레 배양 실험을 통해 증명했기 때문에 가우스 원리라고도 한다.

군집은 특정 지역에 서식하는 동식물 개체군의 집합이다. 군집을 나타내는 특징으로는 군집의 **구성 단계**를 들 수 있다. 군집에서는 생물들 사이의 포식과 피식에 의해 물질과 에너지가 이동하게 되고, 이러한 먹이 사슬관계와 영양 섭취 방법을 기준으로 생물들을 **생산자, 소비자, 분해자**로 나누게 된다. 포식과 피식의 관계는 선형의 관계이기보다 복잡하게 얽힌 **먹이그물**을 형성한다. 군집의 다른 특성으로는 **구조**가 있다. 주로 식물군락을 중심으로 군집의 구조가 결정되며, 이때 **방형구법**을 이용하게 된다.

❖ **군락** — 식물 군집을 의미함

❖ **방형구법** — 정사각형 모양의 방형구를 이용하여 군락을 정량적으로 조사하는 방법이다. 일반적으로 초원은 1 m², 삼림은 100 m² 크기의 방형구를 사용한다.

우점종은 군락의 상관을 결정한다. 지역에 따라 강수량과 온도 등이 달라 군락의 구조는 달라지며, 군락은 크게 **삼림, 초원, 황원, 수계**로 구분된다. **지표종**은 특정 군락에서만 관찰되는 종을 의미한다.

❖ **상관** — 군락의 겉보기 모습으로 우점종이 교목인 경우 그 군락의 종류는 삼림이 된다.

핵심 정리 이종 개체군 사이의 상호작용: 경쟁, 포식과 피식, 공생과 기생. 생태적 지위(공간지위+먹이지위)가 같은 두 종은 함께 살 수 없다 — **경쟁 배타의 원리**(가우스 원리). 군집의 특성: **구성 단계**(생산자·소비자·분해자, 먹이그물)와 **구조**(식물군락 중심, 방형구법). 우점종은 군락의 상관을 결정하고, 지표종은 특정 군락에서만 관찰되는 종이다.

개념 체크 C

빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하십시오. (정답은 교재 말미 해설)

1. 생태적 지위가 같은 두 종이 동일한 장소에서 함께 살 수 없는 것을 _____의 원리라고 한다.
2. 특정 군락에서만 관찰되는 종을 _____ (이)라고 한다.
3. 군집에서는 먹이 사슬관계와 영양 섭취 방법을 기준으로 생물들을 생산자, 소비자, 분해자로 나눈다. ()
4. 방형구법에서 일반적으로 초원은 100 m², 삼림은 1 m² 크기의 방형구를 사용한다. ()

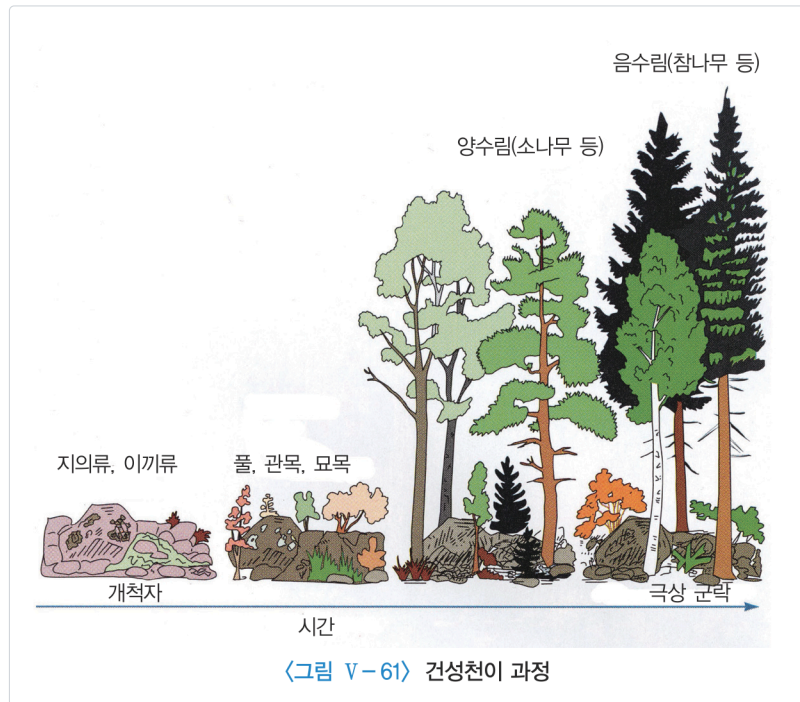
천이

시간이 지나면서 군집은 변하게 된다. 군집의 변화에는 생물종의 조성이나 분포 상태의 변화에 의해 일어나며, 이러한 변화를 **천이**라고 한다. 보통 천이는 식물군락의 중요한 특성이 된다. 생물이 전혀 없는 나지에서 시작되는 변화를 **1차 천이**라고 한다. 1차 천이는 다시 토양에서 시작되는 **건성천이**와 물에서 시작되는 **습성천이**로 나뉜다.



〈그림 V-60〉 지의류 군류와 조류가 조합을 이루어 상리공생하는 생물군

이에 비해 산불 등에 의해 손상된 지역에서 다시 시작되는 천이를 **2차 천이**라고 한다. 1차 천이의 시작은 **개척자**라고 알려진 **지의류** 등에 의해 일어난다. 지의류에 이어서 이끼와 1년생 초본이 등장하고 시간이 지나면 소나무와 같은 **양수림**이 등장하게 된다. 천이의 끝에서는 **음수림**인 참나무나 전나무가 자리 잡으며 군집은 안정된 상태를 유지하게 된다. 이 상태가 **극상**이다. 가을철 멋진 단풍을 보여주는 산들은 대부분 천이의 극상을 보여준다.



핵심 정리 천이 — 시간에 따른 군집(주로 식물군락)의 변화. **1차 천이**: 생물이 없는 나지에서 시작(토양 → 건성천이, 물 → 습성천이), **2차 천이**: 산불 등으로 손상된 지역에서 다시 시작. 건성천이: 지의류·이끼류(개척자) → 풀·관목 → 양수림(소나무 등) → 음수림(참나무 등) = **극상**.

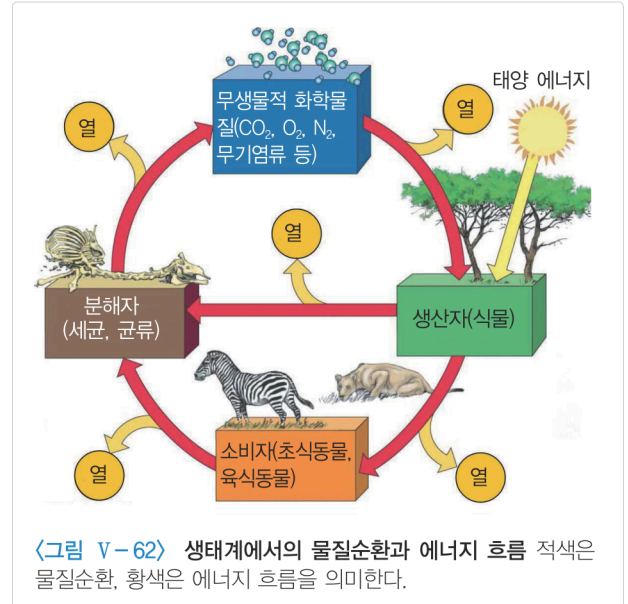
개념 체크 D 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하시오. (정답은 교재 말미 해설)

1. 생물이 전혀 없는 나지에서 시작되는 천이를 _____ 천이라고 한다.
2. 산불 등에 의해 손상된 지역에서 다시 시작되는 천이를 _____ 천이라고 한다.
3. 1차 천이의 시작은 개척자라고 알려진 지의류 등에 의해 일어난다. ()
4. 천이의 끝에서는 소나무와 같은 양수림이 자리 잡아 극상을 이룬다. ()

02 에너지 흐름

학습 목표 생태계의 평형을 에너지 흐름으로 설명할 수 있다. · 생태 피라미드를 이용하여 생태계에서의 에너지 흐름을 이해할 수 있다.

지구 생태계를 유지하는 원동력은 **태양 에너지**다. 태양 에너지로부터 출발한 에너지를 이용하여 무생물적 환경과 생물 군집 사이에서 물질 순환이 이루어지며 에너지가 흐르게 된다. 생태계에서 **물질은 순환**되어 재사용될 수 있는 반면, **에너지는 결국 열에너지로 바뀌므로 순환되지 못한다**.



생산자인 식물이 일정 기간 생산한 유기물의 총량을 **총생산량**이라고 하며, 여기에서 호흡량을 뺀 나머지를 **순생산량**이라고 한다. 다시 순생산량에서 피식량과 고사량을 뺀 나머지를 **생장량**이라고 한다. 어떤 군락의 생장량을 그 군락의 **생산력**이라고 부르고 각 영양 단계에 저장된 유기물의 총량은 **생물량**이라고 부른다. 일반적으로 천이가 진행 중인 군집은 생산력이 크고 생물량은 적지만 극상상태의 군집은 그 반대가 된다.

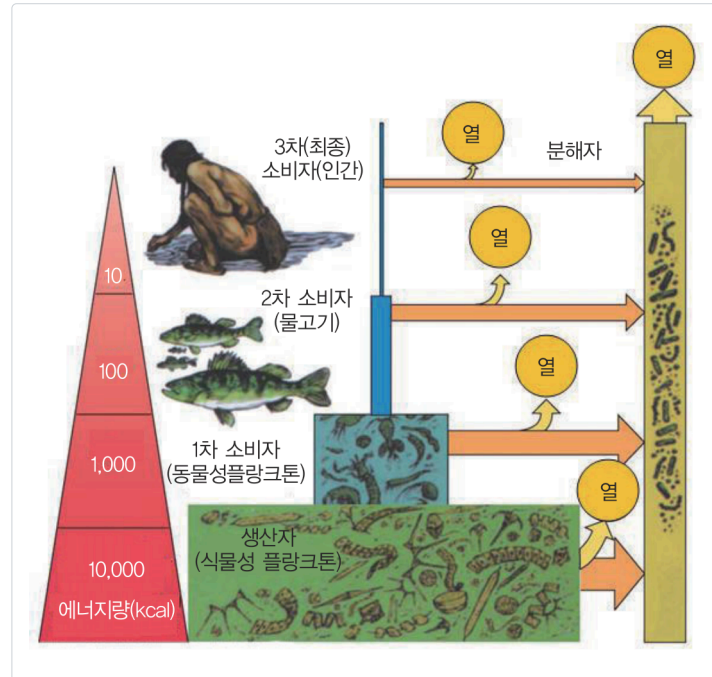
$$\text{순생산량} = \text{총생산량} - \text{호흡량} \quad \text{생장량} = \text{순생산량} - (\text{피식량} + \text{고사량})$$

핵심 정리 생태계에서 물질은 순환하지만 에너지는 열에너지로 바뀌어 순환하지 못한다. 총생산량 - 호흡량 = 순생산량, 순생산량 - 피식량 - 고사량 = 생장량 (= 그 군락의 생산력). 각 영양 단계에 저장된 유기물의 총량 = 생물량. 천이 진행 중인 군집은 생산력이 크고 생물량이 적으며, 극상 군집은 그 반대이다.

개념 체크 E 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하시오. (정답은 교재 말미 해설)

1. 생산자가 생산한 유기물의 총량인 총생산량에서 호흡량을 뺀 나머지를 _____ (이)라고 한다.
2. 어떤 군락의 생장량을 그 군락의 _____ (이)라고 부른다.
3. 생태계에서 에너지는 물질처럼 순환되어 재사용될 수 있다. ()
4. 천이가 진행 중인 군집은 생산력이 크고 생물량은 적다. ()

생태계에서 태양 에너지는 광합성 생물에 의해 **화학에너지**로 전환되며, 화학에너지는 **먹이연쇄**를 따라 이동하게 된다. 각 영양단계를 거치면서 화학에너지의 일부는 최종 에너지 형태인 **열에너지**로 외부로 방출된다. 열에너지는 다시 화학에너지로 전환되지 않기 때문에 생태계의 지속적인 유지를 위해서는 근본적으로 **태양 에너지가 계속 공급**되어야 한다.



〈그림 V-63〉 생태 피라미드

생태계를 구성하는 군집의 영양단계별 개체수, 생물량, 에너지량을 그래프로 나타낸 것을 **생태피라미드**라고 한다. 상위 영양단계로 갈수록 이동하는 **에너지량은 점점 감소**하며, 먹이의 영양가가 높고 포식능력이 커서 **에너지 효율은 높아진다**.

❖ **에너지 효율(%)** — (현 단계의 에너지량 ÷ 전 단계의 에너지량) × 100

핵심 정리 태양 에너지 → (광합성) 화학에너지 → 먹이연쇄를 따라 이동, 각 단계에서 일부가 **열에너지**로 방출된다. 열에너지는 화학에너지로 되돌아가지 않으므로 태양 에너지가 계속 공급되어야 한다. **생태피라미드**: 영양단계별 개체수·생물량·에너지량. 상위 단계로 갈수록 에너지량은 감소, 에너지 효율은 증가.

개념 체크 F 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하시오. (정답은 교재 말미 해설)

1. 군집의 영양단계별 개체수, 생물량, 에너지량을 그래프로 나타낸 것을 _____ (이)라고 한다.
2. 상위 영양단계로 갈수록 이동하는 에너지량은 점점 감소한다. ()
3. 각 영양단계에서 방출된 열에너지는 다시 화학에너지로 전환되어 생태계에서 재사용된다. ()

03 물질순환

학습 목표 생태계의 평형을 물질순환으로 설명할 수 있다. · 생태계에서 여러 물질들이 순환하는 과정을 이해할 수 있다.

“인간은 흙에서 태어나 흙으로 돌아간다”라는 말이 있다. 이처럼 에너지와 달리 물질은 생태계 내에서 끊임없이 재활용된다. 물질순환의 시작은 환경이며, 생태계 내에서의 물질순환은 생물학적, 지질학적, 화학적 수송과 관련이 있기 때문에 **생물지구화학적 순환**이라고 부른다.



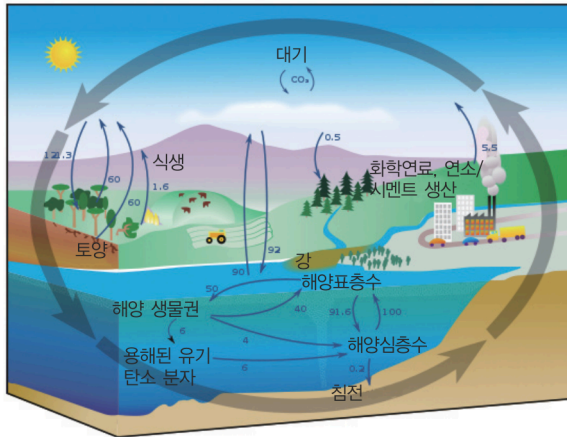
탄소(C)와 질소(N), 황(S)의 순환은 지구와 생물권이 연결된 거대한 생태계에서 일어나는데 비해, **인(P)의 순환은 매우 지역적인 특성**을 보인다. 인은 ATP, DNA, RNA와 같은 생물학적 분자의 핵심 원소이지만 다른 원소에 비해 매우 간단한 순환 구조를 가지고 있다. 인은 **대기에 존재하지 않으며 지각이 중요한 인의 저장소**로 기능한다. 지각에 저장된 인은 풍화나 침식작용에 의해 토양으로 들어가며, 식물은 **인산의 형태**로 인을 흡수하여 동화작용에 이용하게 된다.

특히 수생생태계에서 인은 중요한 **제한요인**이 되며, 과도한 양의 인은 **부영양화**를 유발하여 적조나 녹조와 같은 현상을 일으키게 된다.

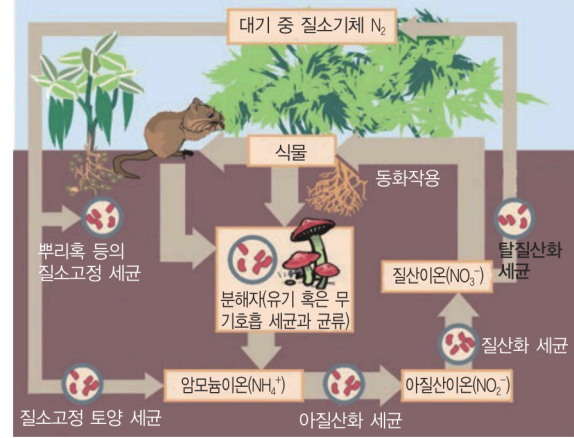
❖ **질소 고정 박테리아** — 대기의 질소를 NH_3 나 NH_4^+ 로 전환시켜 주는 박테리아로 리조비움(Rhizobium), 플랭키아(Frankia) 등이 있다. 이 중 리조비움은 콩과식물의 뿌리혹에 서식한다.

❖ **질산화박테리아** — NH_3 나 NH_4^+ 를 식물이 이용할 수 있는 NO_3^- 로 전환하는 세균으로 니트로소모나스(Nitrosomonas), 니트로박터(Nitrobacter) 등이 있다.

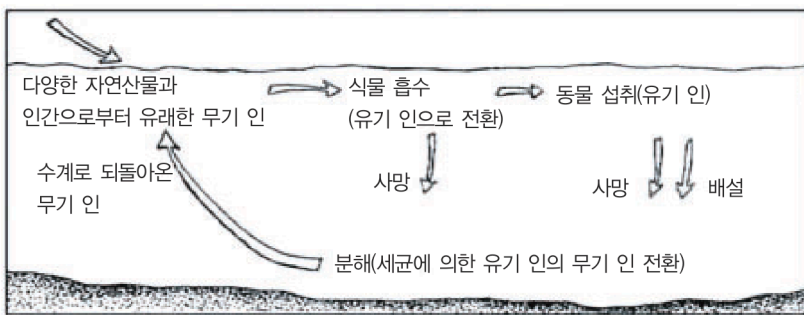
❖ **탈질산화박테리아** — 질산염(NO_3^-)을 질소기체로 환원시키는 박테리아이다. 물질대사 과정에서 산소 대신 질산염을 이용한다.



〈그림 V-65〉 탄소의 순환



〈그림 V-66〉 질소의 순환



〈그림 V-67〉 인의 순환

과거의 자연상태에서 탄소순환은 균형을 이루고 있었지만 인류의 **화석연료 사용**이 급증하면서 그 균형은 깨지고 있다. 대기 중 CO_2 의 농도는 꾸준히 증가되고 있으며, 이로 인해 **지구의 온난화**가 가속되고 있다. 대기 중 CO_2 의 농도 증가는 식물 성장을 촉진하지만 **초식동물의 밀도를 감소**시키게 된다.

핵심 정리 생태계 내 물질순환 = 생물지구화학적 순환(생물학적·지질학적·화학적 수송). 탄소·질소·황은 지구 규모로 순환하지만 **인(P)**은 **지역적**으로 순환한다(대기에 없음, 지각이 저장소, 식물은 인산 형태로 흡수, 수계에서 제한요인·과다하면 부영양화). 질소순환의 세균: 질소 고정($\text{N}_2 \rightarrow \text{NH}_3 \cdot \text{NH}_4^+$), 질산화($\text{NH}_3 \cdot \text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_3^-$), 탈질산화($\text{NO}_3^- \rightarrow \text{N}_2$). 화석연료 사용으로 대기 중 CO_2 증가 → 지구 온난화 가속, 식물 성장 촉진·초식동물 밀도 감소.

개념 체크 G 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하시오. (정답은 교재 말미 해설)

1. 생태계 내에서의 물질순환은 생물학적, 지질학적, 화학적 수송과 관련이 있기 때문에 _____ 순환이라고 부른다.
2. NH_3 나 NH_4^+ 를 식물이 이용할 수 있는 NO_3^- 로 전환하는 세균을 _____ (이)라고 한다.
3. 인(P)은 대기에 존재하지 않으며 지각이 중요한 인의 저장소로 기능한다. ()
4. 대기 중 CO_2 의 농도 증가는 식물 성장과 초식동물의 밀도를 모두 증가시킨다. ()

04 환경오염

학습 목표 환경오염의 원인을 알아보고, 생태계의 평형을 복구하고 보존하는 방법을 알 수 있다. · 환경오염을 줄일 수 있는 방법을 이해하고, 생활에서 직접 그 방법을 적용할 수 있다.

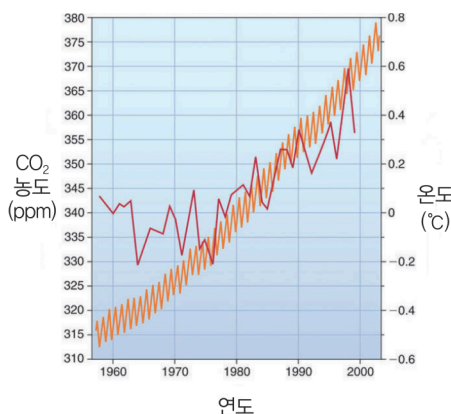
환경오염의 거의 대부분은 **인간 활동**에서 비롯된다. 과학과 기술, 의학의 발달로 인구수는 지구 생태계의 수용 한계를 넘은 상태이다. 인구수가 증가하면서 인간이 이용하는 생물 및 비생물 자원의 소비량이 급증하였으며, 그 결과로 오염물질의 양과 종류도 증가하면서 환경오염은 매우 심각해졌다. 환경의 중요성을 표현한 ‘**부메랑 효과**’에 따르면 인간 생활에서 비롯된 환경오염에 의해 우리 인간은 결국 피해를 보게 된다. 지구는 현재 살고 있는 우리 것이 아닌 후손에게서 빌려왔다는 말을 우리 모두 심각하게 되새겨 봐야 한다.

❖ **방아쇠 효과** — 평형이 유지되고 있는 생태계에서 어떤 작은 요인에 변화가 일어나면 그 영향이 연쇄적으로 확대되어 생태계 전체에 큰 변화를 초래하는 경우가 있다. 이런 현상을 방아쇠 효과라고 하며, 인간에 의해서 이러한 방아쇠 효과가 나타나서 생태계가 파괴된 예가 있었다.

❖ **부메랑 효과** — 부메랑은 호주 원주민들이 놀이나 사냥을 목적으로 사용하던 것으로 목표물에 명중하지 않으면 원을 그리며 제자리로 다시 돌아오게 되는 도구이다. 이러한 부메랑의 특징에 환경문제의 특징을 설명하는데 빗대어 사용하기도 한다.

1) 대기오염

대기오염은 주로 각종 **연료를 연소**하는 과정에서 발생한다. 석탄과 석유 등에 포함된 황이 연소과정 중에 **이산화황**으로 발생하며, 이산화탄소는 생물의 호흡과 연료의 연소과정에서 발생한다. **산화질소류**는 주로 자동차 배기가스를 통해 배출된다. 이산화황과 산화질소류는 빗물에 녹아 각각 황산과 질산으로 전환되기 때문에 **산성비**의 원인이 되기도 한다.



〈그림 V-69〉 연도별 CO₂ 농도와 온도변화
주황색은 CO₂, 적색은 온도

자동차 배기가스와 공장에서 배출되는 대기오염물질들이 한 곳에 장시간 정체되면 **스모그**현상을 일으킨다. 스모그는 태양광선을 차단하여 열의 유입을 막고, 호흡기 질환을 일으키며 많은 생물체의 생육에 피해를 준다.

이산화탄소는 직접적인 피해를 주지 않지만, 대기 중 농도가 증가하면 **온실효과**를 일으킨다. 온실효과를 일으키는 기체는 이산화탄소뿐만 아니라 수증기, 메탄 등도 포함된다.

이러한 기체들뿐만 아니라 화산재와 시멘트 제조공장에서 배출되는 매우 작은 입자들은 대기 중에 떠다니며 **진폐증**을 일으키거나 태양광선을 차단시켜 식물의 광합성 작용에 좋지 않은 영향을 미치게 된다.

핵심 정리 환경오염의 대부분은 인간 활동에서 비롯된다(**부메랑 효과**). 대기오염은 주로 연료의 연소에서 발생: 황 → 이산화황, 자동차 배기가스 → 산화질소류. 이산화황·산화질소류 → 빗물에 녹아 황산·질산 → **산성비**. 오염물질 정체 → **스모그**(햇빛 차단, 호흡기 질환). CO₂·수증기·메탄 → **온실효과**. 미세 입자 → **진폐증**, 광합성 저해.

개념 체크 H 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하십시오. (정답은 교재 말미 해설)

1. 이산화황과 산화질소류는 빗물에 녹아 각각 황산과 질산으로 전환되기 때문에 _____의 원인이 된다.
2. 이산화탄소, 수증기, 메탄 등은 대기 중 농도가 증가하면 _____(을)를 일으킨다.
3. 스모그는 태양광선을 차단하여 열의 유입을 막고, 호흡기 질환을 일으킨다. ()
4. 산화질소류는 주로 석탄의 연소과정 중에 발생하며 자동차 배기가스와는 관련이 없다. ()

2) 수질오염

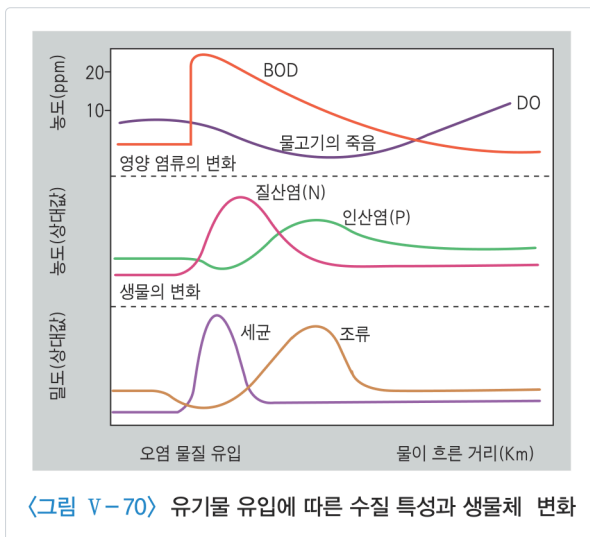
가정에서 나오는 생활하수나 공장에서 나오는 폐수, 축사에서 나오는 가축의 분뇨, 농약 성분 등에 포함된 **유기물, 영양염류, 중금속** 등에 의해 수질오염이 발생한다. 이 중 유기물에 의한 수질오염은 수중 생태계에 큰 영향을 일으키며, 오염 정도는 **수중 산소 농도**를 가지고 쉽게 측정할 수 있다.

❖ **BOD(Biological Oxygen Demand)** — 생물학적 산소요구량으로 20°C에서 5일 동안 소비된 산소의 소비량을 말한다. 수중에서 산소 소비가 큰 경우는 유기물의 분해와 질화작용이 일어날 때이다. 질화작용에 의한 산소소비는 보통 배양 10여 일 후 활발해진다. 5일 동안의 배양에서는 주로 탄소 유기물질의 분해가 일어난다. ❖ **DO(Dissolved Oxygen)** — 용존산소량으로 수용액 속에 녹아있는 산소의 양을 말한다.

소량으로 유입되는 유기물들은 하천, 호수, 바다에서 호기성 미생물에 의해 거의 산화 및 분해되기 때문에 수질오염이 좀처럼 발생하지 않는다. 이러한 자연적인 복구과정을 **자정작용**이라고 한다. 하지만 유입되는 유기물의 양이 자정작용의 한계를 넘게 되면 수중 생태계는 파괴된다. 유기물의 대량 유입으로 **호기성 세균이 급증**하고 수중 **용존 산소량이 급격히 감소**하여, 그 결과 물고기 등의 생물들은 호흡 곤란으로 죽게 된다. 동시에 **혐기성 세균**에 의한 유기물의 불완전 분해로 메탄, 황화수소 등의 기체가 발생하여 악취가 발생한다.

❖ **호기성 세균** — 살아가는데 산소를 필요로 하는 세균으로 산소를 이용하여 영양소를 분해하고, 이 때 발생하는 에너지를 이용하는 세균.

❖ **혐기성 세균** — 산소가 없는 환경에서 서식하는 세균으로 무기호흡을 통해 에너지를 얻는 세균.



❖ **중금속** — 비중이 4 이상인 금속으로 수은, 카드뮴, 납 등을 말한다.

❖ **PCB(PolyChlorinated Biphenyl)** — 폴리염화비페닐이라는 약품으로 전기절연물질로 사용됨. 현재는 사용하지 않지만 기존 물건들이 폐기될 때 문제가 되고 있다.

2007년 12월 7일 서해안에서 발생한 원유 유출 사고는 아직까지도 사회경제적으로 해결하지 못한 많은 문제를 가지고 있다. 오염이 일어나지 않도록 주의하는 것이 가장 중요한 일이지만 오염원을 신속히 해결하는 방법을 개발하는 것도 매우 중요하다. 기름을 분해하는 미생물을 이용한 **생물정화법**도 그러한 방법 중의 하나가 된다.

바닷물 1 ml 속엔 1만~1백만 마리의 미생물이 산다. 기름유출 사고가 나면 독성 때문에 대부분의 미생물은 죽게 되지만 기름성분을 분해하는 소수의 미생물은 생존할 수 있다. 생물정화란 이런 **토착미생물**이 기름을 더 잘 분해할 수 있도록 양분을 주어 활성화시키거나, 기름 분해 능력이 탁월한 **외부 미생물**들을 오염현장에 넣어주는 방법이다. 미생물은 원유에 포함된 탄화수소를 먹이로 삼아 물과 이산화탄소로 분해하면서 증식한다.

3) 토양오염

토양은 생물체의 터전이며 물질순환경로의 중요한 담당자이다. 따라서 토양이 오염되면 생물체의 생활에 문제가 생기고 정상적인 물질순환이 일어나지 못한다. 예를 들어 산성비나 화학비료 등에 의한 **토양의 산성화**는 토양 미생물의 감소를 일으키고, 그 결과 토양의 통기성이나 무기이온 보유능력이 낮아지게 된다. 또한 제초제, 살충제 등의 농약은 정상적인 먹이그물을 파괴하고 토양 속에 오래 잔류하여 **생물 농축** 현상을 일으킨다.

핵심 정리 수질오염: 소량의 유기물은 호기성 미생물이 분해(**자정작용**). 한계를 넘으면 호기성 세균 급증 → **용존 산소량(DO) 급감** → 물고기 죽음, 혐기성 세균의 불완전 분해 → 메탄·황화수소 악취. 영양염류(인산염·질산염) 증가 → **부영양화** → 녹조·적조. 중금속·시안화합물·PCB는 분해되지 않아 먹이연쇄를 따라 **농축**된다. 기름 유출에는 미생물을 이용한 **생물정화법**. 토양오염: 산성화 → 토양 미생물 감소, 농약 잔류 → 생물 농축.

개념 체크 I 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하시오. (정답은 교재 말미 해설)

1. 소량으로 유입되는 유기물이 호기성 미생물에 의해 산화·분해되는 자연적인 복구과정을 _____ (이)라고 한다.
2. 인산염이나 질산염과 같은 영양염류가 증가하여 물이 _____ 상태가 되면 녹조나 적조현상이 일어난다.
3. 중금속물질, 시안화합물, PCB 등은 분해되기 어려워 먹이연쇄를 따라 농축된다. ()
4. 유기물이 대량으로 유입되면 수중 용존 산소량이 급격히 증가한다. ()

스스로 정리

생태계

- 생태학은 생물체 사이의 상호관계와 생물체와 환경의 상호관계를 연구하는 학문이다.
- 생태학 분야는 개체, 개체군, 군집, 생태계 생태학 분야로 나뉜다.
- 생태계는 생물적 요소와 비생물적 요소로 구분되며, 두 요소는 상호작용한다.
- 비생물적 요소는 생태계에 큰 영향을 주며, 생물체는 이러한 요소에 적응하여 생존하고 있다.
- 개체군의 특성에는 밀도, 성장곡선, 생존곡선, 연령분포 등이 있다.
- 생물들은 에너지 절감을 위한 독특한 상호관계를 진화시켰다.
- 여러 개체군으로 구성된 군집의 특성은 구성 단계와 구조로 설명된다.
- 식물로 이루어진 군락은 시간에 따라 변하는 천이과정을 거치게 된다.

에너지 흐름

- 생태계의 유지를 위해서는 태양 에너지의 근본적인 유입이 필요하다.
- 생태계에서 에너지는 먹이그물을 통해 흐른다.
- 생물체는 화학에너지의 형태로 다른 먹이그물 단계로 에너지를 전달한다.
- 생태피라미드를 통해 에너지 효율을 계산할 수 있다.
- 식물의 생산성은 1차 총생산량으로 측정한다.

물질순환

- 여러 원소들이 물리적 환경으로부터 생물로 들어와서 다시 물리적 환경으로 되돌아가 재활용되는 것을 생물지구화학적 순환이라고 한다.
- 인(P)의 순환은 국부적으로 순환한다.
- 이산화탄소의 증가는 식물성장을 일으키지만 초식동물의 생존에도 영향을 미치게 된다.
- 질소순환은 질소고정, 질산화, 동화작용, 암모니아전환, 탈질산화의 5단계를 거치게 된다.

Part 2 · 정답

1 개념 체크 정답

A	1. 작용	2. 광주기성	3. ×	4. ○
B	1. 환경수용력	2. 순위제	3. ×	4. ○
C	1. 경쟁 배타	2. 지표종	3. ○	4. ×
D	1. 1차	2. 2차	3. ○	4. ×
E	1. 순생산량	2. 생산력	3. ×	4. ○
F	1. 생태피라미드	2. ○	3. ×	
G	1. 생물지구화학적	2. 질산화박테리아	3. ○	4. ×
H	1. 산성비	2. 온실효과	3. ○	4. ×
I	1. 자정작용	2. 부영양화	3. ○	4. ×