

2. 생태계

- 01. 생태계
- 02. 에너지 흐름
- 03. 물질순환
- 04. 환경오염



지구 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 찾아보자.

01

생태계

학·습·목·표

- 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 생태학을 포함하고 있다.

생태계는 크게 비생물적 환경과 생물적 환경으로 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 작용이라고 한다. 생물의 활동도 반작용을 통해 비생물적 환경에 영향을 미치게 된다. 생물들끼리의 영향을 상호작용이라고 한다.

❖ 생물적(biotic) 관계
생물체와 생물체 사이의 관계

❖ 비생물적(abiotic) 관계
생물체와 비생물적 환경 사이의 관계

조사하기

생태학자들이 하는 일과 우리 주변에서 생태학이 적용되는 직업에는 어떤 종류가 있는지 조사해 보자.

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 장일식물은 봄이나 이른 여름에 개화하지만 국화와 코스모스 같은 단일식물은 늦여름이나 가을에 개화한다. 새들의 경우도 일조시간과 짝짓기 시점은 깊은 관련이 있다. 일조시간에 따라 생물의 행동이 주기적으로 나타나는 현상을 광주기성이라고 한다. 일조시

간 이외에도 빛의 세기나 종류도 생물에게 영향을 준다. 앵겔만의 보색 적응설과 하나의 식물에서 양엽과 음엽의 내부 구조 차이 등이 좋은 예가 된다.

조사하기

앵겔만의 보색 적응설은 바다 깊이에 따라 서식하는 해조류의 분포를 설명한다. 보색 적응설에 대해 조사해보자.

토론하기

양엽과 음엽의 잎 내부구조를 조사하고, 그러한 구조를 가지는 이유에 대해 토론해 보자.

탐구 활동 1

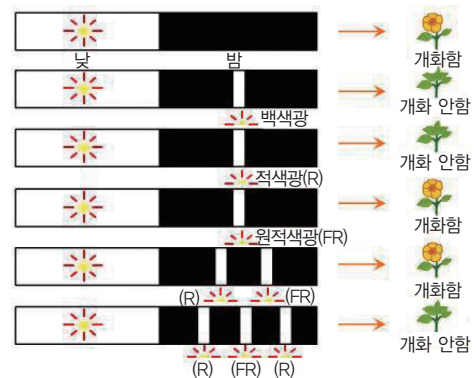
일조 시간이 개화에 미치는 영향 자료 분석

일조시간이 식물의 개화활동에 실제로 어떠한 영향을 줄까? 단일, 장일식물에 대하여 조사를 하고, 주어진 자료를 통해 비생물적 환경 중 하나인 빛과 생물의 관계를 이해해 보자.

1. 화원에서 인위적으로 개화시키는 방법을 조사해 보자.

자료

다음 자료는 명기와 암기 조건에 따른 어떤 식물의 개화 특성을 보여준다.



해석 및 논의

- (1) 이 식물의 개화에 가장 큰 영향을 미치는 빛의 조건은 무엇이라고 생각하는가?

연구과제

- (1) 피토크롬은 식물의 개화에 관여하는 호르몬이다. 이 호르몬에 대해 조사하여 자료에서 나타나는 실험 결과를 논리적으로 설명해보자.

탐구 활동 2

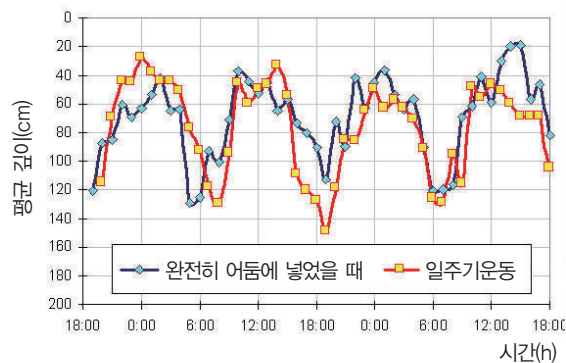
플랑크톤의 일주기 운동 자료 분석

플랑크톤은 대표적인 일주기 운동을 보여주는 생물체이다. 어떻게 일주기 운동이 일어나는지 탐구 자료를 분석하여 이해해보자.

1. 일주기 운동을 보일 것으로 예상되는 플랑크톤의 종류를 조사해 보고, 그 이유를 논리적으로 생각해 보자.

자료

다음 자료는 플랑크톤의 일주기 운동을 기록한 것이다.



해석 및 논의

- (1) 하루에 몇 번의 주기를 가지고 운동하는가?
- (2) 이 플랑크톤의 일주기 운동에 영향을 미치는 요인이 무엇이라고 생각하는가?

연구과제

- (1) 플랑크톤의 일주기 운동의 이유는 무엇일까? 실험실에서 이 실험을 수행할 수 있도록 탐구실험을 설계해 보자.

온도 역시 생물의 생활에 영향을 미친다. 그 이유는 생물체에서 일어나는 물질대사를 촉매하는 효소가 영향을 받기 때문이다. 온도와 생물의 적응에 대한 좋은 예가 알렌 법칙과 베르그만 법칙이다. 알렌 법칙은 대부분 추운 지방으로 갈수록 신체의 말단이 작아지는, 베르그만 법칙은 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

토론하기

왼쪽 여우 그림을 비교하여 이러한 형태적 적응이 각각의 환경에서 유리한 이유를 설명하고, 아프리카 인종과 한국인종의 체형과 연관시켜 토론해 보자.

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.

조사하기

육상 동물들은 체내 수분을 보존하기 위해 어떻게 적응하는지 조사해 보자.

조사하기

낮은 지대에 살고 있는 사람이 고산지대로 이동하게 되면 희박한 산소 농도 때문에 고통을 받게 된다. 하지만 시간이 흐르면 낮은 지대에서처럼 활동할 수 있게 적응한다. 이와 관련된 자료를 조사해 보자.



〈그림 V-59〉 약 3600 m의 고지대에서 살고 있는 사람들. 이들은 희박한 공기, 낮은 온도에 직면해서 생존하고 있다.

2) 생물적 환경

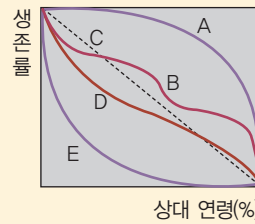
같은 종의 생물 개체들이 모여 개체군을 형성하며, 여러 종류의 개체군이 모여 군집을 이루고 있다. 개체군 내에서 개체들 사이의 상호작용이 일어나며,

군집에서는 개체군 사이의 상호작용이 일어나게 된다.

개체군의 특성은 밀도, 생존곡선, 연령분포로 나타낼 수 있으며 개체군의 크기 변화는 성장곡선으로 나타난다. 개체군 성장곡선을 통해 개체군에 가해지는 환경 저항을 이해할 수 있다. 환경 저항 이외에도 포식과 피식 관계에 의해 개체군의 크기는 변동될 수 있다.

토론하기

그림은 생존곡선 그래프이다. 어떤 동물 개체군을 구성하는 개체수가 10,000마리라고 가정할 때, 시간에 따라 일정한 비율로 사망하는 경우의 생존곡선을 그리고, 제시된 그림과 비교하여 토론해보자.



❖ 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.

❖ 성장곡선
시간에 따른 개체수의 변화

생각하기

인간 개체군의 성장곡선은 전형적인 J자형을 보여준다. 이에 비해 다른 개체군의 성장곡선은 S자형을 보여준다. 이러한 차이가 발생하는 이유는 무엇인지 생각해 보자.

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 진화해왔다.

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

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

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

❖ 로지스틱 성장(자원이 제한적인 경우)

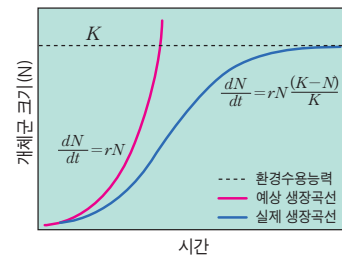
개체군이 커지면서 자원이 소모되기 때문에 자원은 개체군 성장에서 제한 요인이 된다. 개체군 크기의 최대치를 환경수용력(K)이라고 하며, 개체군 성장율은 $dN/dt = rN(K-N)/K$ 가 된다.

조사하기

순위제와 리더제의 차이점을 조사해 보자.

조사하기

늑대와 원숭이는 전형적인 순위제를 보여준다. 늑대와 원숭이의 순위제를 사진으로 조사하여 비교해 보자.



❖ 생태적 지위
공간지위와 먹이지위를 포
함하는 개념

❖ 경쟁 배타의 원리



가우스(Gause, G.; 1910~
1986)
러시아 개체군 생태학자
인 가우스가 잠싹벌레 배
양 실험을 통해 증명했기
때문에 가우스 원리라고도
한다.

❖ 군락
식물 군집을 의미함

❖ 방형구법
정사각형 모양의 방형구를
이용하여 군락을 정량적으
로 조사하는 방법이다. 일
반적으로 초원은 1 m², 삼
림은 100 m² 크기의 방형
구를 사용한다.

종이 서로 다른 이종 개체군 사이에서 볼 수 있는 상호작용에는 경쟁, 포식
과 피식, 공생과 기생이 있다. 유사한 생태적 지위를 갖는 경우 공간, 먹이 등
에 대해 치열한 경쟁을 하게 된다. 일반적으로 생태적 지위가 같은 경우 동일
한 장소에서 함께 살 수 없게 된다. 이것을 경쟁 배타의 원리라고 한다.

조사하기

경쟁과 포식-피식, 기생의 차이점을 조사하고 생태적 지위가 유사한 두 종이 경쟁을 피
하는 방법에는 무엇이 있는지 구체적인 사례를 찾아보자.

군집은 특정 지역에 서식하는 동식물 개체군의 집합이다. 군집을 나타내는
특징으로는 군집의 구성 단계를 들 수 있다. 군집에서는 생물들 사이의 포식과
피식에 의해 물질과 에너지가 이동하게 되고, 이러한 먹이 사슬관계와 영양 섭
취 방법을 기준으로 생물들을 생산자, 소비자, 분해자로 나누게 된다. 포식과
피식의 관계는 선형의 관계이기보다 복잡하게 얽힌 먹이그물을 형성한다. 군집
의 다른 특성으로는 구조가 있다. 주로 식물군락을 중심으로 군집의 구조가 결
정되며, 이 때 방형구법을 이용하게 된다.

탐구 활동 8

가상 군집 조사

학생들이 가지고 있는 학용품 등을 식물로 가정하고 방형구법에 따라 밀도, 빈도를 구하
는 가상 실험을 통해 군집의 특성을 이해해 보자.

- 어떤 지역에서 밀도는 매우 높고, 빈도는 매우 낮은 식물이 존재할 수 있는지 예측해
보고, 그 이유를 논리적으로 설명해 보자.

준비물

- 재료: 각자 소지한 학용품, 포스트잇

방법 및 절차

- 학생들은 각자가 가지고 있는 학용품을 자기 책상 위에 올려놓는다.
- 각 학용품에 기호를 부여하고(같은 종류의 학용품은 동일한 기호를
부여) 개수를 센다.
- 칠판에 모든 책상을 그리고 각 책상그림에 해당 자리의 학생이 올려
놓은 학용품의 기호를 표시하고 수를 센다.

※ 교실전체가 하나의 방형틀이고, 책상은 하나의 방형구에 해당한다고 가
정한다.

결과 및 논의

- (1) 각 학용품의 상대밀도, 상대빈도와 상대피도를 구해보자.
- (2) 상대밀도, 상대빈도, 상대피도가 가장 큰 학용품은 무엇인가? 실제 군락에서 이 학용품은 어떤 의미를 갖는지 생각해보자.

연구과제

- (1) 이동성을 가지고 있는 동물의 경우 위의 실험을 수행하기 어렵다. 동물을 대상으로 이루어지는 기존의 생태실험 방법을 조사하고, 주변의 동물들을 대상으로 생태실험을 하려고 할 때 적용할 수 있는 생태실험 방법을 고안해보자.

우점종은 군락의 상관을 결정한다. 지역에 따라 강수량과 온도 등이 달라 군락의 구조는 달라지며, 군락은 크게 삼림, 초원, 황원, 수계로 구분된다. 지표종은 특정 군락에서만 관찰되는 종을 의미한다.

❖ 상관

군락의 겉보기 모습으로 우점종이 교목인 경우 그 군락의 종류는 삼림이 된다.



조사하기

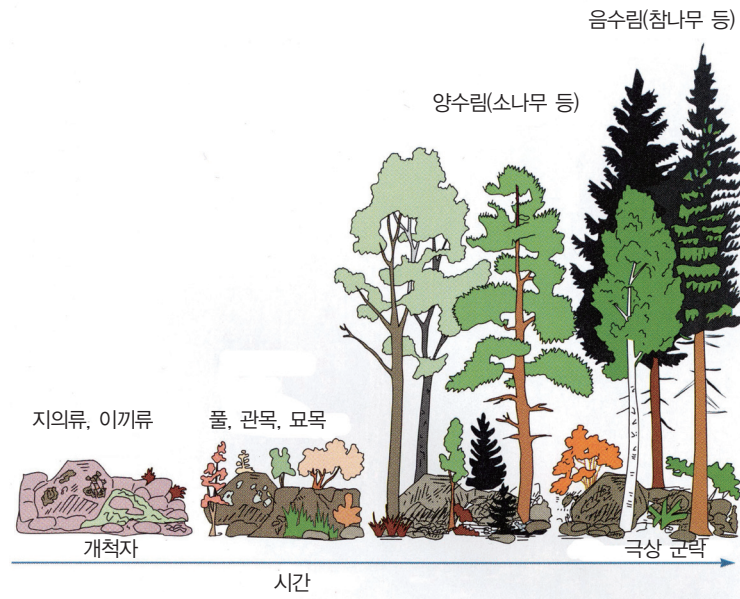
다양한 지표종에 대해 조사하여 포스터로 표현해 보자.

시간이 지나면서 군집은 변하게 된다. 군집의 변화에는 생물종의 조성이나 분포 상태의 변화에 의해 일어나며, 이러한 변화를 천이라고 한다. 보통 천이는 식물군락의 중요한 특성이 된다. 생물이 전혀 없는 나지에서 시작되는 변화를 1차 천이라고 한다. 1차 천이는 다시 토양에서 시작되는 건성천이와 물에서 시작되는 습성천이로 나뉜다. 이에 비해 산불 등에 의해 손상된 지역에서 다시 시작되는 천이를 2차 천이라고 한다. 1차 천이의 시작은 개척자라고 알려진 지의류 등에 의해 일어난다. 지의류에 이어서 이끼와 1년생 초본이 등장하고 시간이 지나면 소나무와 같은 양수림이 등장하게 된다. 천이의 끝에서는 음수림인 참나무나 전나무가 자리 잡으며 군집은 안정된 상태를 유지하게 된다. 이 상태가 극상이다. 가을철 멧



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

진 단풍을 보여주는 산들은 대부분 천이의 극상을 보여준다.



〈그림 V-61〉 건성천이 과정

조사하기

개척자 식물은 어떤 특성을 가지고 있는지 조사해보자.

토론하기

양수림 다음에 음수림이 자리잡는 이유를 빛의 세기와 광합성량 관계 그래프를 이용하여 토론해 보자.

발표하기

습성천이 과정을 위에 제시된 건성천이 과정 그림처럼 표현하여 발표해 보자.

02

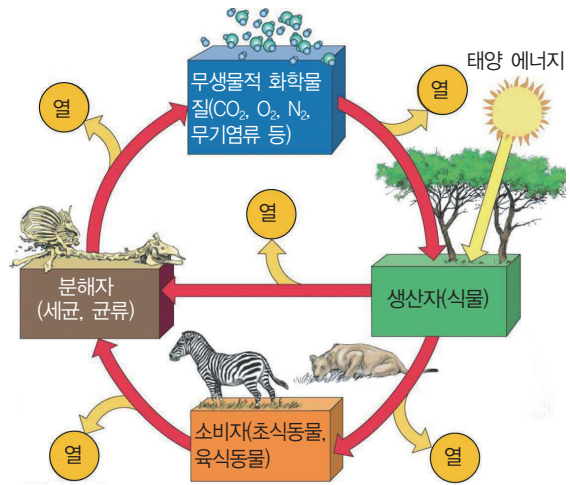
에너지 흐름

학·습·목·표

- 생태계의 평형을 에너지 흐름으로 설명할 수 있다.
- 생태 피라미드를 이용하여 생태계에서의 에너지 흐름을 이해할 수 있다.

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

생산자인 식물이 일정 기간 생산한 유기물의 총량을 총생산량이라고 하며, 여기에서 호흡량을 뺀 나머지를 순생산량이라고 한다. 다시 순생산량에서 피식량과 고사량을 뺀 나머지를 성장량이라고 한다. 어떤 군락의 성장량을 그 군락의 생산력이라고 부르고 각 영양 단계에 저장된 유기물의 총량은 생물량이라고 부른다. 일반적으로 천이가 진행 중인 군집은 생산력이 크고 생물량은 적지만 극상상태의 군집은 그 반대가 된다.

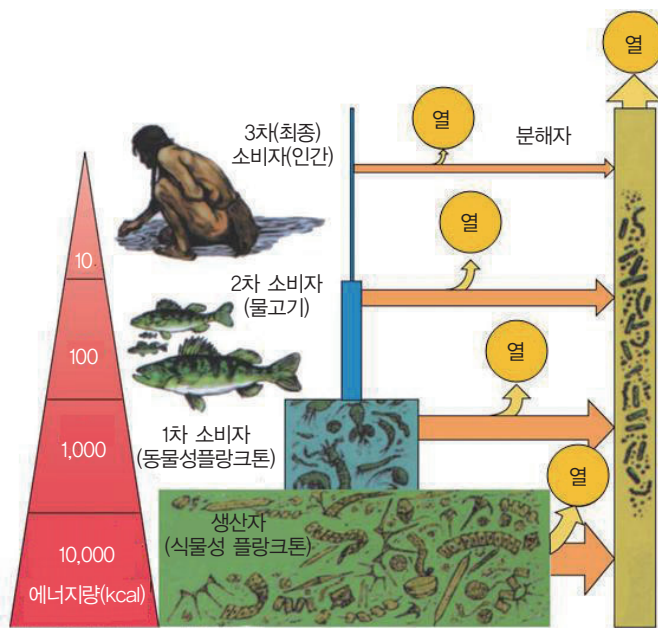


〈그림 V-62〉 생태계에서의 물질순환과 에너지 흐름 적색은 물질순환, 황색은 에너지 흐름을 의미한다.

생각하기

천이가 진행 중인 군집은 생산력이 크고 생물량은 적지만 극상상태의 군집은 그 반대가 된다. 그 이유를 생각해 보자.

생태계에서 태양 에너지는 광합성 생물에 의해 화학에너지로 전환되며, 화학 에너지는 먹이연쇄를 따라 이동하게 된다. 각 영양단계를 거치면서 화학에너



지의 일부는 최종 에너지 형태인 열에너지로 외부로 방출된다. 열에너지는 다시 화학에너지로 전환되지 않기 때문에 생태계의 지속적인 유지를 위해서는 근본적으로 태양 에너지가 계속 공급되어야 한다.

〈그림 V-63〉 생태 피라미드

탐구 활동 4

먹이그물 작성하기

생물체들은 서로 먹고 먹히는 관계에 있으며, 복잡한 먹이그물을 구성하고 있다. 먹이그물의 복잡성은 생태계의 안정에 매우 중요하다. 외래종의 유입은 기존 생태계의 먹이그물을 파괴하여 생태계를 교란시키는 원인이 될 수 있다. 우리가 평상시 섭취하는 음식을 대상으로 먹이그물을 구성해 보자.

1. 우리나라에서 외래종에 의해 먹이그물이 파괴된 사례를 조사해 보자.

준비물

- 재료: A4 종이, 색연필

방법 및 절차

- (1) 개인별로 어제 먹은 음식을 종이에 기록하자.
- (2) 기록한 각 음식의 구성성분들을 모두 써보자. 그런 후 각 구성 성분이 식물 유래인지 동물 유래인지 표기하고, 또 이름을 표기해 보자.
예를 들어 점심 때 케이크를 먹었다면 다음과 같이 목록을 작성한다.
밀가루-식물(밀), 설탕-식물(사탕 무), 계란-동물(닭)
- (3) 목록에 작성한 동물의 경우 이 동물들이 먹는 2~3개 정도의 먹이 종류의 생물 이름도 목록으로 작성한다.
예를 들어 케이크와 함께 우유를 마셨다면, 소를 기록하고 소가 먹는 풀과 옥수수를 목록으로 작성한다.

- (4) 종이의 맨 아래부터 목록에 있는 식물들의 이름을 쓰고, 그 위에 이 식물들 중 하나라도 먹는 초식동물의 이름을 쓴다.
- (5) 각 식물에서 그 식물을 먹는 동물로 선을 그린다.
- (6) 목록으로 작성한 동물과 기록된 초식동물을 먹는 동물의 이름을 초식 동물 위쪽에 쓴다. 각 초식동물에서 이 동물을 잡아먹는 육식동물을 선으로 연결한다.

해석 및 논의

- (1) 먹이그물을 여러 가지 색으로 표현해 보자.
- (2) 다른 학생이 작성한 먹이그물과 복잡성을 비교해 보자.
- (3) 자신이 작성한 먹이그물에서 어떤 생물종에 문제가 생길 때 불안정해질지 찾아보고, 그 이유를 설명해 보자.

연구과제

- (1) 작성된 먹이그물을 생태피라미드 개념으로 설명해 보자.

생태계를 구성하는 군집의 영양단계별 개체수, 생물량, 에너지량을 그래프로 나타낸 것을 생태피라미드라고 한다. 상위 영양단계로 갈수록 이동하는 에너지량은 점점 감소하며, 먹이의 영양가가 높고 포식능력이 커서 에너지 효율은 높아진다.

탐구 활동 5

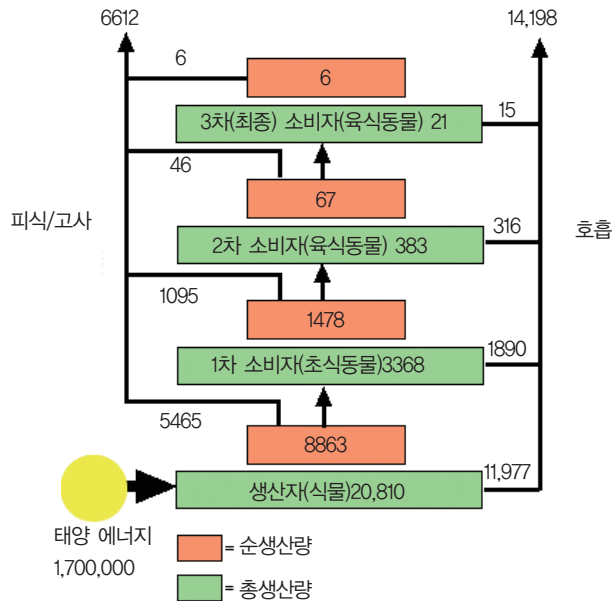
생태계의 에너지 흐름 자료 분석

지구에 도달한 태양 에너지의 일부만이 생태계로 유입된다. 빛 에너지는 처음으로 화학 에너지로 전환된 후 영양단계를 따라 이동하며, 그 과정에서 일부 에너지는 사용할 수 없는 열에너지 형태로 외부로 방출된다. 자료 분석을 통해 실제 에너지의 이동은 어떻게 되는지 이해해 보자.

1. 상위 영양단계로 올라갈수록 에너지효율은 어떻게 되는지 예상해 보고, 논리적으로 설명해 보자.

자료

다음 자료를 보고 분석해 보자. (단, 단위는 kcal)



해석 및 논의

(1) 위 그림 자료를 표의 형식으로 전환해 보자.

❖ 에너지 효율(%)

$$\frac{\text{현 단계의 에너지량}}{\text{전 단계의 에너지량}} \times 100$$

(2) 각 영양단계에서 에너지 효율을 계산해보고, 자료해석을 하기 전에 예측한 내용과 비교하여 설명해 보자.

(3) 호흡으로 방출되는 에너지는 완전히 쓸모없는 에너지라고 생각하는가? 자신의 답에 대한 타당한 근거를 제시해 보자.

연구과제

(1) 해양 생태계의 경우 바다 깊이를 기준할 때 어떠한 모양의 생태피라미드가 예측되는지 조사해 보자.

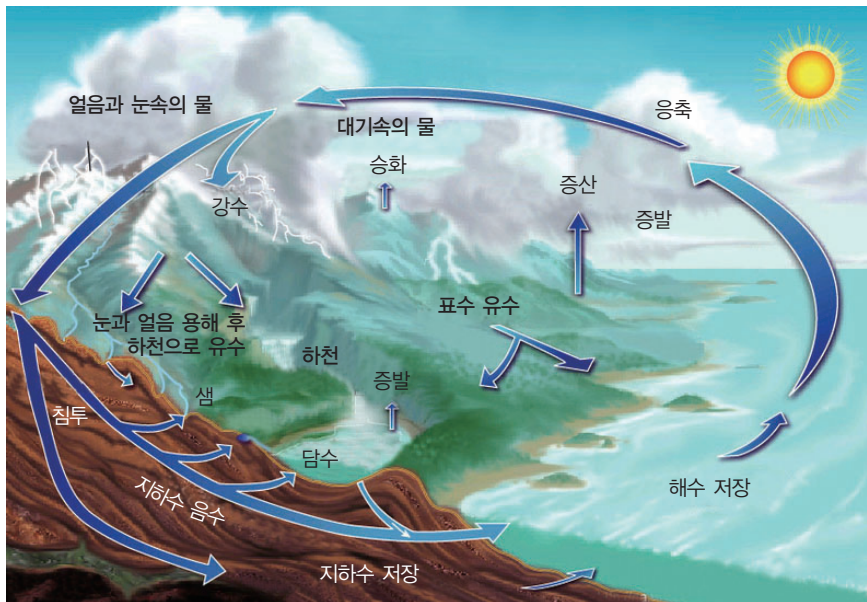
03

물질순환

학·습·목·표

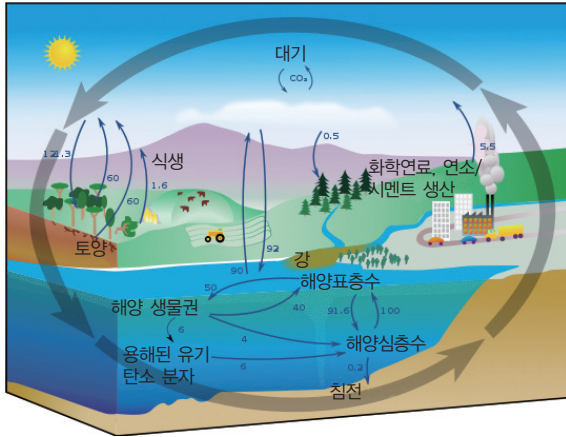
- 생태계의 평형을 물질순환으로 설명할 수 있다.
- 생태계에서 여러 물질들이 순환하는 과정을 이해할 수 있다.

“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 순환이라고 부른다.

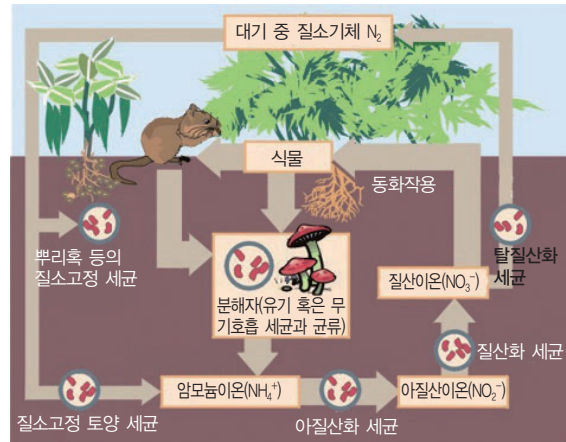


〈그림 V-64〉 물의 순환

탄소(C)와 질소(N), 황(S)의 순환은 지구와 생물권이 연결된 거대한 생태계에서 일어나는데 비해, 인(P)의 순환은 매우 지역적인 특성을 보인다. 인은 ATP, DNA, RNA와 같은 생물학적 분자의 핵심 원소이지만 다른 원소에 비해 매우 간단한 순환 구조를 가지고 있다. 인은 대기에 존재하지 않으며 지각이

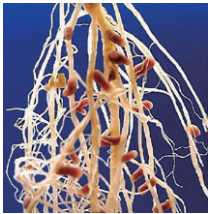


〈그림 V-65〉 탄소의 순환



〈그림 V-66〉 질소의 순환

❖ 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.



중요한 인의 저장소로 기능한다. 지각에 저장된 인은 풍화나 침식작용에 의해 토양으로 들어가며, 식물은 인산의 형태로 인을 흡수하여 동화작용에 이용하게 된다.

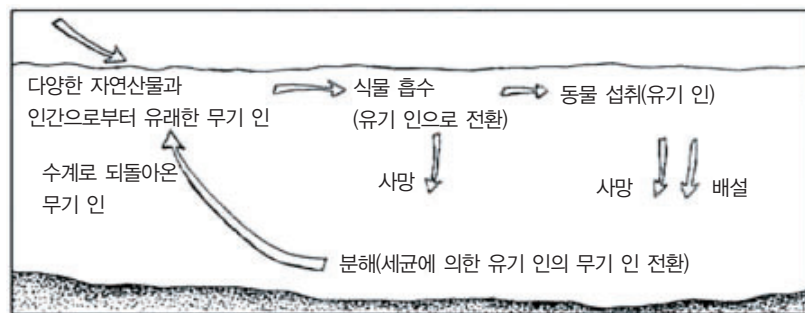
생각하기

물질에 따라 순환하는 방법에 차이가 있는 이유를 생각해 보자.

특히 수생생태계에서 인은 중요한 제한요인이 되며, 과도한 양의 인은 부영양화를 유발하여 적조나 녹조와 같은 현상을 일으키게 된다.

❖ 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-67〉 인의 순환

조사하기

적조현상과 녹조현상의 차이점을 조사해 보자.

과거의 자연상태에서 탄소순환은 균형을 이루고 있었지만 인류의 화석연료 사용이 급증하면서 그 균형은 깨지고 있다. 대기 중 CO_2 의 농도는 꾸준히 증가되고 있으며, 이로 인해 지구의 온난화가 가속되고 있다. 대기 중 CO_2 의 농도 증가는 식물 성장을 촉진하지만 초식동물의 밀도를 감소시키게 된다.

발표하기

위에 제시한 여러 원소의 순환 그림처럼 산소의 순환을 그림으로 표현하여 발표해 보자.

탐구 활동 6

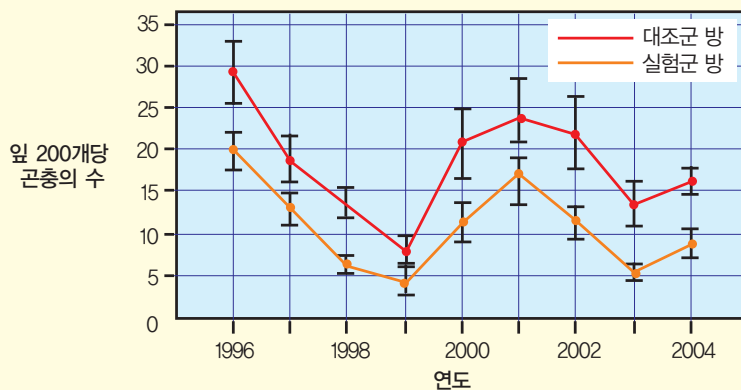
CO_2 증가가 동물에게 미치는 영향 자료 분석

CO_2 의 증가는 기본적으로 광합성을 하는 식물의 성장량을 증가시킨다. 그렇다면 동물들에게는 아무 영향을 미치지 않을까? 자료 분석을 통해 CO_2 의 증가가 동물에게 미치는 영향을 이해해 보자.

1. 동물에게 CO_2 의 증가가 어떠한 영향을 미치는지 논리적으로 추론해 보자.

자료

- (1) 특정 지역에서 16개의 지붕이 열린 방을 만들고, 그 중 8개의 방에서 CO_2 의 농도를 360 ppm에서 720 ppm으로 증가시킨다.
- (2) 각 방에서 앞에 붙어있는 초식성 곤충(이 곤충은 잎을 먹으면서 생존한다.)의 수를 세고 시간이 지난 후 죽은 초식성 곤충의 수와 포식자나 기생충과 같은 천적이 곤충을 공격하는 비율을 관찰한다.
- (3) 방당 초식곤충의 수



(4) 관찰된 사망율의 원인(앞에 있는 유충의 사망율에 한함)

사망원인	실험군 사망률(%)	대조군 사망률(%)
영양결핍	10.2	5.0
포식자	2.4	2.0
기생충	10.0	3.2

(5) 질소 농도

시간이 지나면서 토양과 잎의 질소의 양은 감소하였다.

해석 및 논의

(1) CO₂의 증가와 초식동물의 생존은 어떤 관계인지 설명하고, 자료 분석 전에 예측한 것과 비교하여 차이점을 찾아보자.

(2) 이 실험에서 설정된 변인들에 대해 정리해 보자.

연구과제

(1) 해석 1번에 대한 설명을 논리적으로 생각하여 발표해 보자.

04

환경오염

학·습·목·표

- 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 활동에서 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.

토론하기

엘 고어의 ‘불편한 진실’이라는 시사 영화는 지구 온난화라는 알고 싶지 않은 진실을, 정치적 문제가 아닌 인간의 윤리적 문제로써 모두가 떠안아야 한다는 내용을 시사한다. 이 영화를 감상하고 서로의 생각을 이야기 해보자.

〈그림 V-68〉 영화 ‘불편한 진실’ 2006년작, Davis Guggenheim 감독, 전 미국부통령 Al Gore 해설



1) 대기오염

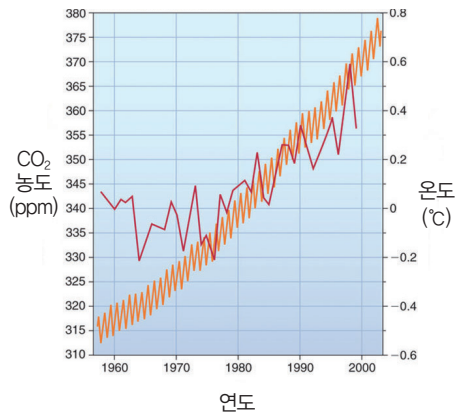
대기오염은 주로 각종 연료를 연소하는 과정에서 발생한다. 석탄과 석유 등에 포함된 황이 연소과정 중에 이산화황으로 발생하며, 이산화탄소는 생물의

호흡과 연료의 연소과정에서 발생한다. 산화질소류는 주로 자동차 배기가스를 통해 배출된다. 이산화황과 산화질소류는 빗물에 녹아 각각 황산과 질산으로 전환되기 때문에 산성비의 원인이 되기도 한다.

토론하기

우리나라 주요 도시에는 도로의 환경오염 현황을 전광판을 이용해 시민들에게 알려주고 있다. 자신이 살고 있는 지역의 연간 환경오염 자료를 조사하여 토론해 보자.

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



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

조사하기

스모그의 종류와 성분에 대해 조사하고, 우리나라에서 발생하는 스모그의 특성을 조사해 보자.

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

설명하기

복사평형 개념을 이용하여 온실효과를 설명해보자.

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

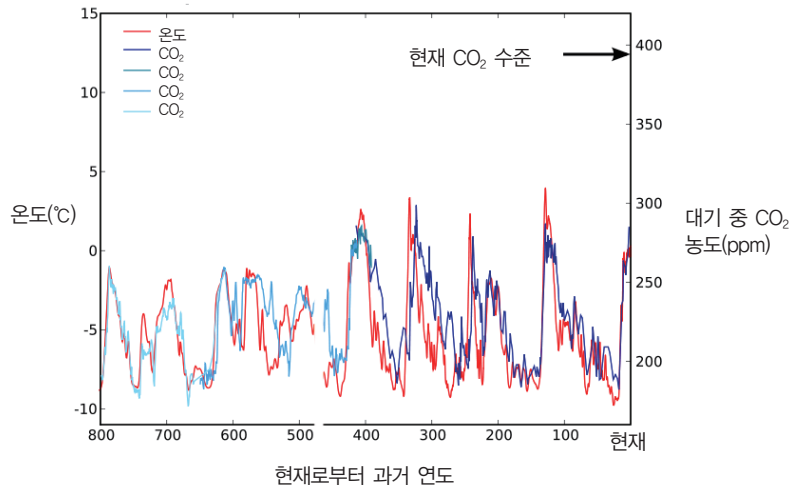
탐구 활동

여러 지질시대에서의 CO₂ 농도와 온도 자료 분석

각 지질시대에서의 CO₂ 농도와 온도의 관계 분석을 통하여 CO₂에 의한 온도 변화의 직접적인 연관성을 이해해 보자.

1. 과거 지질시대에서 대기 중 CO₂ 농도의 변화가 일어난 원인에 대해 조사해 보자.

자료



해석 및 논의

- (1) 대기 CO₂ 농도와 온도를 관련지어 결론을 기술해 보자.
- (2) 과거에도 CO₂의 농도가 매우 높은 시기가 여러 번 있었다. 그 이유를 조사해 보자.

연구과제

- (1) 과거 대기의 CO₂ 농도는 어떻게 측정되었는지 조사하고, 실험실에서 대기 중 CO₂의 농도를 간편하게 측정할 수 있는 방법을 고안해 보자.

2) 수질오염

가정에서 나오는 생활하수나 공장에서 나오는 폐수, 축사에서 나오는 가축의 분뇨, 농약 성분 등에 포함된 유기물, 영양 염류, 중금속 등에 의해 수질오염이 발생한다. 이 중 유기물에 의한 수질오염은 수중 생태계에 큰 영향을 일으키며, 오염정도는 수중 산소 농도를 가지고 쉽게 측정할 수 있다.

❖ BOD(Biological Oxygen Demand)

생물학적 산소요구량으로 20℃에서 5일 동안 소비된 산소의 소비량을 말한다. 수중에서 산소 소비가 큰 경우는 유기물의 분해와 질화작용이 일어날 때이다. 질화작용에 의한 산소소비는 보통 배양 10여일 후 활발해진다. 5일 동안의 배양에서는 주로 탄소 유기물질의 분해가 일어난다.

❖ DO(Dissolved Oxygen)

용존산소량으로 수용액 속에 녹아있는 산소의 양을 말한다.

탐구 활동 8

BOD 측정 실험

하천이나 강, 호수, 바다로 유입된 유기물은 미생물에 의해 분해되고, 이러한 분해 작용이 일어날 때 산소소비가 증가된다. 따라서 수중 산소량을 통해 유기물에 의한 수질오염 정도를 알 수 있다. 특정 수용액의 산소량을 측정하여 수중 산소량과 수질 오염 정도와의 관계를 이해해 보자.

1. 우리 주변에 있는 하천의 DO를 높여주기 위한 방법에는 무엇이 있는지 생각해 보자.

준비물

- 재료: 오염정도가 다른 물
- 기구: 20℃ 항온기, 300 mL BOD 병, 10 mL 뷰렛, 교반기, DO미터(MBL)

방법 및 절차

- (1) 공장폐수가 유입된 하천수, 깨끗한 물, 부영양화가 심한 하천수 등의 채수 지역을 정한다.
- (2) 각 채수지역에 4개의 BOD 병을 준비하여 병속에 빈공간이 없도록 채수하여 바로 BOD 병마개로 밀봉한다.
- (3) 4개의 시료가 들어있는 BOD 병 중 2개는 DO미터를 사용하여 바로 용존산소량을 측정하고, 나머지 2개는 20℃ 항온기에 넣어 5일간 배양한다.
- (4) 5일 후 DO미터를 사용하여 나머지 2개의 DO를 측정한다.
- (5) 채취 후 바로 측정한 용존산소량과 5일 후 측정된 용존산소량의 차이로 BOD 값을 측정한다.

결과 및 논의

- (1) 각 시료에 대한 DO값과 BOD값을 표와 그래프로 작성해 보자.
- (2) 20℃에서 산소포화도는 9.09 mg/L이다. 실험에 사용한 시료의 최고 BOD 값은 이론적으로 얼마가 최대인지 논의해 보자.

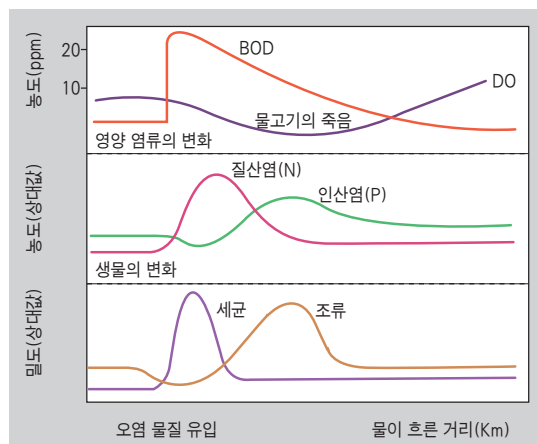
연구과제

- (1) 실험실에서 가능한 수중 유기물의 양과 BOD의 인과관계를 조사할 수 있는 탐구실험을 설계해 보자.

소량으로 유입되는 유기물들은 하천, 호수, 바다에서 호기성 미생물에 의해 거의 산화 및 분해되기 때문에 수질오염이 좀처럼 발생하지 않는다. 이러한 자연적인 복구과정을 자정작용이라고 한다. 하지만 유입되는 유기물의 양이 자정작용의 한계를 넘게 되면 수중 생태계는 파괴된다. 유기물의 대량 유입으로 호기성 세균이 급증하고 수중 용존 산소량이 급격히 감소하여, 그 결과 물고기 등의 생물들은 호흡 곤란으로 죽게 된다. 동시에 혐기성 세균에 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.



〈그림 V-70〉 유기물 유입에 따른 수질 특성과 생물체 변화

조사하기

수질 오염의 정도를 측정하는 방법에는 어떤 것들이 있는지 조사해 보자.

물속으로 유입되는 유기물 중에 인산염이나 질산염과 같은 영양염류가 증가하면 물은 부영양화 상태가 된다. 이러한 상태에서는 식물성 플랑크톤이 대량으로 증식하여 녹조나 적조현상이 일어나며, 용존 산소량의 감소와 독성 물질의 발생으로 어패류가 죽게 된다.

토론하기

하수처리 시설에서 물이 정화되는 과정을 조사하여 수중오염을 방지할 수 있는 적극적인 방법에 대해 토론해 보자.

유기물뿐만 아니라 수질 오염물질에 포함되어 있는 중금속물질이나 시안화

❖ 중금속

비중이 4 이상인 금속으로 수은, 카드뮴, 납 등을 말한다.

❖ PCB(PolyChlorinated Bipheny)

폴리염화비페닐이라는 약품으로 전기절연물질로 사용됨. 현재는 사용하지 않지만 기존 물건들이 폐기될 때 문제가 되고 있다.

합물, PCB 등은 분해되기 매우 어렵기 때문에 먹이연쇄를 따라 농축되어 결국 최종 소비자인 인간에게 심각한 생리적 장애를 일으킨다.

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 생물정화법도 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 토착미생물이 기름을 더 잘 분해할 수 있도록 양분을 주어 활성화시키거나, 기름 분해 능력이 탁월한 외부 미생물들을 오염현장에 넣어주는 방법이다. 미생물은 원유에 포함된 탄화수소를 먹이로 삼아 물과 이산화탄소로 분해하면서 증식한다.

조사하기

생물방제 방법에는 어떤 것이 있는 지 조사하고, 각 방법의 장단점을 조사해 보자.

5) 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 산성화는 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.

조사하기

우리 조상들은 농사를 짓거나 거주하기 좋은 토양을 옥토라고 불렀다. 옥토가 무엇이며, 어떤 특성을 지닌 토양인지 조사해 보자.

읽을거리 첨단연구

사람들의 적극적인 발명활동으로 스스로 오염가스를 제거하는 석탄, 수질오염을 막는 자석, 프레온 가스를 먹는 미생물, 고래를 이용한 해양오염 정화방법 등이 개발되고 있다.

석탄이 탈 때 내뿜는 이산화황 가스는 인체에 유독하며 산성비를 뿌리는 원인이 되고 있다. 하지만 미국 제너시스 연구소가 개발한 석탄은 가스의 배출량을 80%까지 줄이고, 쓰고 남은 석탄재는 비료나 시멘트용 재료로 재활용된다.

많은 나라에서 폐수로 생기는 수질오염으로 심각한 문제를 가지고 있으며 그 동안 많은 사람들이 폐수의 정화방법을 연구해왔지만 폐수 속에 들어 있는 인이라는 물질은 제거하기 어려웠다. 네덜란드의 한 엔지니어링 회사에서 만들어진 폐수 정화 방법은 보통의 폐수처리 과정에 거대한 자석만 추가하면 된다. 이 방법은 박테리아로 폐기물을 처리한 바로 그 다음 단계에서 석회나 특수 철을 섞어 주고 난 후 거대한 자석으로 남아있는 인을 걸러낸다. 인과 결합한 이 덩어리에 다시 자철광으로 만든 가루와 폴리머를 섞어주고, 도넛 모양의 자석이 있는 방으로 들여보내면 오염물질이 제거된다.

최근에 프레온 가스를 먹는 세균이 발견되었다. 미국 국립 지질조사소의 미생물학자인 데릭 러블리가 발견한 이 세균의 이름은 클로스트리듐 파스퇴로아눔 박테리아이다. 이 세균은 대기 중에 이미 퍼진 프레온 가스는 제거하지 못하지만 못쓰게 된 에어컨이나 냉장고를 처리할 때 쉽고 간편하게 프레온 가스를 처리할 수 있다.

바다에서 기름이 유출될 경우 바다의 오염으로 인한 막대한 피해가 발생한다. 최근에 고래를 이용한 해양 오염정화 방법이 개발되었다. 고래는 오염된 바다에서도 잘 견디는데 그 이유가 미국 오리건 주립대학의 수의학 교수인 모리 크리에그 박사에 의해 밝혀졌다. 모리 크리에그 박사는 기름과 산성물질로 오염된 크릴새우를 고래의 먹이로 계속 공급해 주었는데 고래는 아무 탈 없이 정상적인 생활을 했으며, 그 이유는 독특한 소화 기능 때문으로 알려졌다. 고래를 보호하는 것이 곧 바다의 오염을 줄이는 최선의 방법으로 제시되고 있다.

조사하기

가정에서 환경오염을 막거나 감소시킬 수 있는 새로운 방법을 고안해보자.

정리하기

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.

환경오염

- 환경오염의 종류는 크게 대기오염, 수질오염, 토양오염이 있다.
- 환경오염은 주로 인간활동으로부터 기인한다.
- 대기오염에 의해 스모그, 산성비가 형성되며 생물체의 생육과 생리적 기능에 영향을 미치게 된다.
- 생태계는 자정능력을 가지고 있다. 자정능력의 한계를 벗어난 오염물질의 유입으로 생태계가 파괴된다.
- 자연에서 쉽게 분해되지 않는 물질들은 생물농축과정을 거쳐 최종 소비자인 인간에게 치명적인 해를 입힌다.

정리하기

1. 서해안 원유 누출 사고와 같이 바다로 기름이 유입되면 해양 생태계가 어떻게 파괴되는지 논술했다.
2. 개체수 피라미드에서 중간 영양단계에 해당하는 생물의 개체수 변화가 전체 피라미드에 어떠한 변화를 일으키는지 논술했다.
3. 외래종이 유입되면 생태계가 교란되며, 심할 경우 파괴되기도 한다. 우리나라로 유입된 외래종을 조사하고 이들 외래종 생물들에 의해 생태계가 어떻게 교란되는지 토의해 보자.

논술 및 토의