

고등학교

# 생명 과학 II

오현선  
구향모  
유해미  
강희정  
정종우  
김대준



Mirae 

## 머 | 리 | 말

자연과 일상생활의 다양한 생명 현상에 대해 호기심과 흥미를 가지고 있나요?  
생명 과학은 사람을 중심으로 생물의 특성을 이해함으로써 생물의 본질을 밝히고,  
그 연구 성과가 인류 복지 향상에 이바지할 수 있도록 하는 종합 학문입니다.



‘생명과학II’는 ‘생명과학I’의 심화 과정으로 생명 과학 관련 전공으로 진학하는 데 필요한 기초 소양을 함양하는 진로 선택 과목이다.

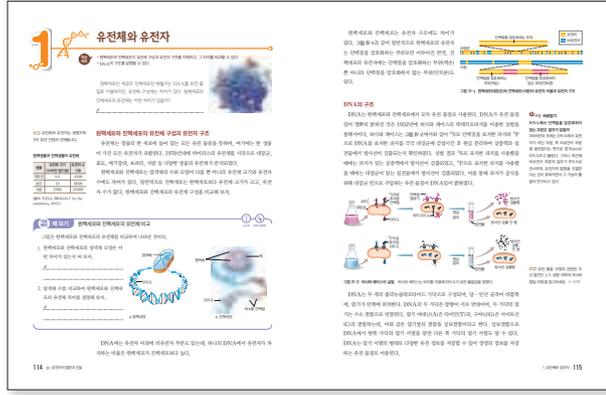
‘통합과학’, ‘과학탐구실험’, ‘생명과학I’에 포함된 생명 과학 개념과 긴밀히 연계될 수 있도록 심화하여 교과서를 구성하였으며, 학생들의 생명 과학에 관한 학문적 호기심과 흥미를 높이기 위해 학생 참여 중심의 수업이 가능하도록 하였다. 특히, 학생들이 스스로 자료를 조사하여 얻은 결과를 분석하고 정리하는 모둠 활동을 통해 과학적 문제 해결력과 의사소통 능력을 함양할 수 있도록 하였다.

이 교과서는 ‘생명 과학의 역사’, ‘세포의 특성’, ‘세포 호흡과 광합성’, ‘유전자의 발현과 조절’, ‘생물의 진화와 다양성’, ‘생명 공학 기술과 인간 생활’의 6개 대단원으로 구성하였다. ‘생명 과학의 역사’ 단위에서는 생명 과학의 발달 과정과 생명 과학 발달에 이바지한 창의적이고 혁신적인 연구 방법을 학습할 수 있도록 하였다. ‘세포의 특성’ 단위에서는 생명체의 유기적 구성, 생명체를 구성하는 주요 물질의 구조와 기능, 원핵세포와 진핵세포의 차이점, 세포 소기관의 구조와 기능, 세포막을 통한 물질 출입, 효소의 작용을 설명하였다. ‘세포 호흡과 광합성’ 단위에서는 미토콘드리아와 엽록체의 구조와 기능, 세포 호흡과 광합성의 과정, 산소 호흡과 발효의 차이를 이해하도록 하였다. ‘유전자의 발현과 조절’ 단위에서는 DNA의 복제 과정, 전사와 번역, 유전부호를 분자 수준으로 설명하였고, 나아가 원핵생물과 진핵생물의 전사 조절 과정, 발생 과정에서의 유전자 발현 조절을 다루었다. ‘생물의 진화와 다양성’ 단위에서는 원시 세포의 탄생 과정, 진핵생물과 다세포 생물의 출현, 3역 6계의 생물 분류 체계, 동물과 식물의 분류, 진화의 원리, 종분화 과정을 설명하였다. ‘생명 공학 기술과 인간 생활’ 단위에서는 생명 공학 기술의 원리와 활용을 우리 생활과 연계하여 다루었고, 생명 공학 기술 개발과 활용 시 고려해야 하는 생명 윤리 분야를 강조하였다.

이 교과서를 학습함으로써 학생들이 생명 과학의 핵심 개념을 통합적으로 이해하고, 생명 과학의 탐구 경험을 다양하게 가져 생명 과학과 관련된 진로를 정하는 데 밑거름이 되기를 진심으로 소망한다.

# 이 책의 구성과 특징

우리 교과서는 자연 현상 또는 일상의 경험과 관련 있는 다양한 소재를 제시하여 학생들이 생명 과학에 호기심과 흥미를 가지도록 구성하였다. 생명 과학의 핵심 개념을 이해하고 탐구 활동을 하면서 과학과 핵심 역량을 기를 수 있다.



## 단원 시작 학습

## 본문 개념 학습



**단원 도입** \_ 단원을 상징적으로 나타내는 사진과 배울 내용을 소개하여, 배울 단원에 자연스럽게 접근할 수 있다.



**단원 소개** \_ 소단원 제목을 제시하여 단원의 흐름을 한눈에 파악할 수 있다.



**과학 역량 활동으로 단원 열기** \_ 단원에서 배울 내용과 관련 있는 생활 속 소재를 통해 호기심과 흥미를 가지고 과학과 핵심 역량을 기를 수 있다.



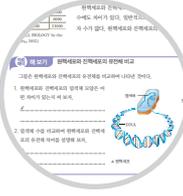
**학습 계획하기** \_ 단원에서 배울 내용을 미리 살펴 보고 자기 주도적으로 학습을 계획할 수 있다.



**도입** \_ 실생활, 첨단 과학 기술 등 흥미로운 소재를 그림과 함께 구성하였다.



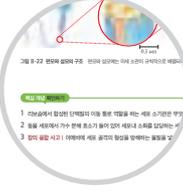
**본문 개념** \_ 본문 개념을 자세하고 친절하게 서술하여 학습자 스스로 개념을 완성할 수 있다.



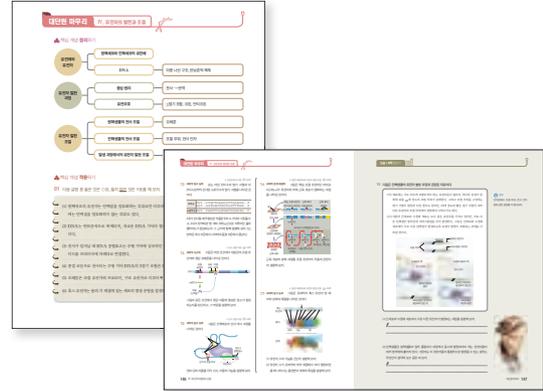
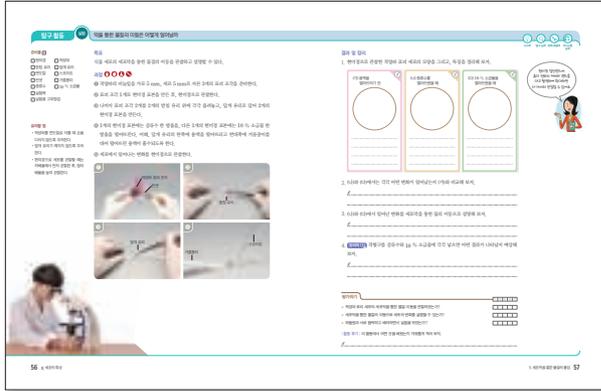
**해 보기** \_ 간단한 실험이나 활동을 통해 학습 개념을 자연스럽게 습득할 수 있다.



**활동** \_ 창의 융합 사고, 물음 등 주어진 문제를 스스로 해결할 수 있다.



**핵심 개념 확인하기** \_ 차시별로 배운 내용을 스스로 되짚어 보며 정리할 수 있다.



**본문 탐구 학습**

**단원 마무리 학습**

**과학과  
핵심 역량**

**탐구 활동** **직업 활동의 이해와 의미**

직업이란 ○ 직업  
○ 직업  
○ 직업  
○ 직업  
○ 직업

**평가하기** **탐구의 내용 이해도, 참여도, 학습 태도**

평가하기 **탐구의 내용 이해도, 참여도, 학습 태도** 등을 점검하면서 스스로 평가할 수 있다.

**탐구 활동 \_ [목표-과정-결과-정리-창의력+] 단계로 구성되어, 자기 주도적으로 탐구 활동을 수행할 수 있다.**

**평가하기 \_ 탐구의 내용 이해도, 참여도, 학습 태도 등을 점검하면서 스스로 평가할 수 있다.**

**단원 마무리** **단원의 핵심 개념 정리**

단원 마무리 **단원의 핵심 개념 정리**를 통해 배운 핵심 개념을 정리해 볼 수 있다.

**핵심 개념 정리하기 \_ 단원에서 배운 핵심 개념을 정리해 볼 수 있다.**

**핵심 개념 적용하기** **간단한 O×형, 단답형, 선다형 등 여러 유형의 문제를 통하여 자기의 학습 정도를 파악할 수 있다.**

**핵심 개념 적용하기 \_ 간단한 O×형, 단답형, 선다형 등 여러 유형의 문제를 통하여 자기의 학습 정도를 파악할 수 있다.**

**핵심 역량 키우기** **서술형 문제를 통해 사고력, 탐구 능력, 문제 해결력, 의사소통 능력, 참여와 평생 학습 능력을 키울 수 있다.**

**핵심 역량 키우기 \_ 서술형 문제를 통해 사고력, 탐구 능력, 문제 해결력, 의사소통 능력, 참여와 평생 학습 능력을 키울 수 있다.**

**논술 | 과학 글쓰기** **과학 글쓰기 문제를 통해 과학적으로 생각하는 능력을 키울 수 있다.**

**논술 | 과학 글쓰기 \_ 과학 글쓰기 문제를 통해 과학적으로 생각하는 능력을 키울 수 있다.**



**다양한 읽기 자료**

자료실, 재미있는 과학 이야기, 최신 과학, 과학자, 과학사, 직업 엿보기 등 단원의 특성에 맞는 다양한 읽을거리와 핵심 역량 펼치기 문제를 통해 과학의 흥미를 높일 수 있다.

# 과학과 핵심 역량

이 책에서는 과학과 핵심 역량을 구현하기 위하여 다양한 활동과 소재를 개발하여 수록하였고, 과학과 핵심 역량이 적용된 부분에 아이콘을 표시하여 알아보기 쉽게 하였다.

## 과학적 사고력

과학적 주장과 증거의 관계를 탐색하는 과정에서 필요한 사고이다.

## 과학적 탐구능력

과학적 문제 해결을 위해 다양한 방법으로 새로운 과학 지식을 얻거나 의미를 구성해 가는 능력이다.

## 과학적 문제 해결력

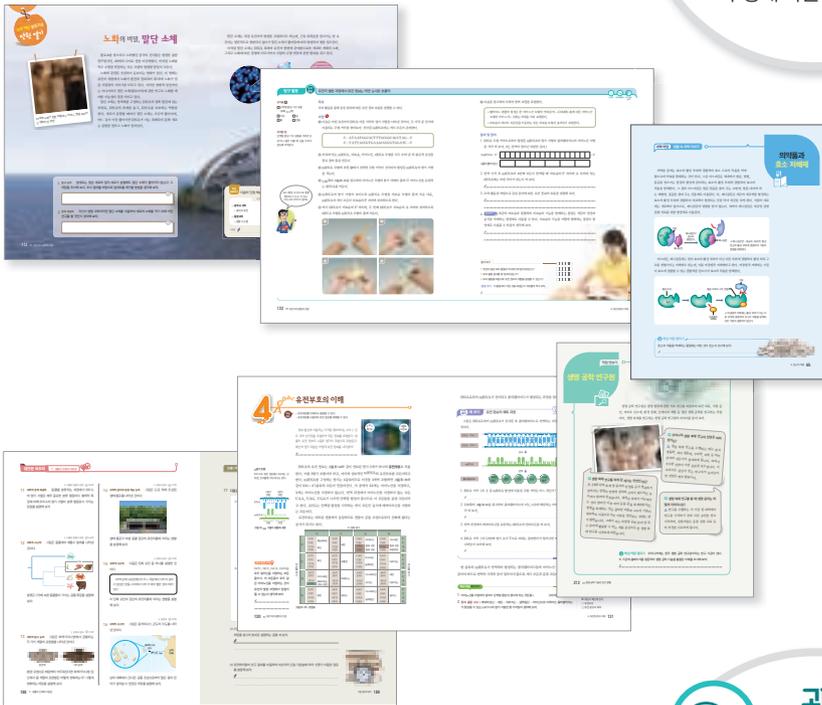
과학적 지식과 과학적 사고를 활용하여 개인적 혹은 공적 문제를 해결하는 능력이다.

## 과학적 의사소통능력

과학적 문제 해결 과정과 결과를 공유하기 위해 자신의 생각을 주장하고 타인의 생각을 이해하며 조정하는 능력이다.

## 과학적 참여와 평생 학습능력

과학 기술의 사회적 문제에 관심을 가지고 의사 결정 과정에 참여하며 스스로 학습해 나가는 능력이다.



## 실험 안전 표시



### 눈 안전

화학 물질이나 열, 깨진 유리 기구로부터 눈을 보호하기 위해 보안경을 쓴다.



### 피복 안전

화학 물질이나 뜨거운 물질로부터 피부와 옷을 보호하기 위해 실험복을 입는다.



### 열 안전

뜨거운 물질이나 뜨거운 유리 기구에 화상을 입을 수 있으므로 내열 장갑을 낀다.



### 화재 주의

화재의 위험이 있으므로 알코올램프나 히터에 주의한다.



### 손 안전

위험한 화학 물질로부터 손을 보호하기 위해 실험용 고무장갑을 낀다.



### 폐기물 처리 안전

선생님의 지시에 따라 실험에 사용한 화학 약품이나 유리 조각을 처리한다.



### 유리 기구 주의

유리 기구는 깨지기 쉬우므로 주의해서 다루고, 깨진 유리를 처리할 때는 선생님의 지시에 따른다.



### 도구 주의

가위, 칼과 같은 날카로운 물체에 찔리거나 베이지 않도록 주의한다.



### 부식 주의

부식성 화학 물질이 피부나 옷에 묻지 않도록 하고, 이러한 물질이 피부에 묻었을 때는 흐르는 물에 충분히 씻어 내야 한다.



### 약품 주의

독성 화학 물질이 피부에 닿지 않도록 하고, 독성 기체를 흡입하지 않도록 한다. 독성 기체를 흡입했을 때는 신선한 공기가 있는 곳으로 이동하여 안정을 취한다.

## 실험 시 유의할 점

- 1 실험 전후에는 반드시 손을 깨끗이 씻는다.
- 2 실험에 사용하는 약품을 다룰 때는 주의 사항과 실험 기구 사용법을 미리 알아둔다.
- 3 위험한 시약을 사용해야 하는 경우에는 실험복과 실험용 고무장갑을 착용하며, 필요하면 보안경도 쓴다.
- 4 해로운 기체가 발생하거나 독성이 있는 재료를 다루는 실험은 환기가 잘 되는 곳에서 한다.
- 5 실험실에서는 뛰어다니거나 장난을 치는 등의 실험과 관련 없는 행동을 하지 않는다.

## 실험실에서의 사고와 응급 처치

- 1 화상을 입었을 때는 차갑고 깨끗한 물에 충분히 담근 후, 치료를 받는다.
- 2 화재가 발생했을 때는 인화성 물질을 먼 곳으로 옮긴 후, 소화기로 불을 끄거나 침착하게 대피한다.
- 3 화학 약품이 눈에 들어가거나 피부에 묻었을 때는 먼저 물로 헹군 후, 선생님께 보고한다.
- 4 유리에 베였을 때는 핀셋으로 유리 조각을 제거하고 물로 씻은 다음 3%의 과산화 수소수로 소독한다.

## I 생명 과학의 역사

과학 역량 활동으로 단원 열기	12
1 생명 과학의 역사와 발달 과정	14
<b>탐구 활동</b> 인류 복지에 이바지한 생명 과학의 발견에는 어떤 것이 있을까	21
2 생명 과학의 연구 방법	22
<b>대단원 마무리</b>	25

## II 세포의 특성

과학 역량 활동으로 단원 열기	30
1 생명체의 유기적 구성	32
2 생명체를 구성하는 주요 물질	34
3 원핵세포와 진핵세포	38
4 세포 소기관의 구조와 기능	40
5 세포막을 통한 물질의 출입	50
<b>탐구 활동</b> 리포솜은 어떻게 활용되고 있을까	51
<b>탐구 활동</b> 막을 통한 물질의 이동은 어떻게 일어날까	56
6 효소의 작용	58
<b>탐구 활동</b> 효소의 작용에 온도와 pH는 어떤 영향을 미칠까	62
<b>탐구 활동</b> 생활 속에서 효소는 어떻게 이용될까	64
<b>대단원 마무리</b>	67

## III 세포 호흡과 광합성

과학 역량 활동으로 단원 열기	74
1 미토콘드리아와 엽록체	76
2 세포 호흡 과정과 광합성의 탄소 고정 반응	78
3 발효	88
<b>탐구 활동</b> 효모의 발효는 어떻게 확인할까	92
4 광합성의 명반응 과정	94
<b>탐구 활동</b> 식물의 광합성 색소는 어떻게 분리할까	96
<b>탐구 활동</b> 광합성 과정은 어떻게 밝혀졌을까	100
5 세포 호흡과 광합성의 전자 전달계	102
<b>대단원 마무리</b>	105

## IV 유전자의 발현과 조절

과학 역량 활동으로 단원 열기	112
1 유전체와 유전자	114
<b>탐구 활동</b> DNA는 어떻게 추출할 수 있을까	117
2 DNA 복제	118
<b>탐구 활동</b> DNA는 어떻게 복제될까	122
3 유전자 발현	124
4 유전부호의 이해	130
<b>탐구 활동</b> 유전자 발현 과정에서 유전 정보는 어떤 순서로 흐를까	132
5 전사 조절 과정	134
6 발생 과정에서의 유전자 발현 조절	138
<b>탐구 활동</b> 유전자 발현 조절과 관련된 최신 연구 자료에는 어떤 것이 있을까	141
<b>대단원 마무리</b>	143

## V 생물의 진화와 다양성

과학 역량 활동으로 단원 열기	150
1 생명의 기원	152
2 진핵생물과 다세포 생물의 출현	156
3 생물의 분류 체계	158
<b>탐구 활동</b> 생물 계통수는 어떻게 작성할까	160
<b>탐구 활동</b> 5계 분류 체계와 6계 분류 체계는 어떤 차이가 있을까	163
4 식물과 동물의 분류	164
<b>탐구 활동</b> 우리 주변에는 어떤 식물과 동물이 있을까	170
5 진화의 원리	172
<b>탐구 활동</b> 하디·바인베르크 법칙을 따르는 집단의 특성은 무엇일까	176
<b>탐구 활동</b> 유전자풀이 변화하는 사례에는 어떤 것이 있을까	180
6 종분화	181
<b>탐구 활동</b> 고리종의 사례에는 어떤 것이 있을까	183
■ 대단원 마무리	185

## VI 생명 공학 기술과 인간 생활

과학 역량 활동으로 단원 열기	192
1 유전자 재조합 기술의 원리	194
<b>탐구 활동</b> 재조합 DNA는 어떻게 만들까	197
2 복제와 관련된 생명 공학 기술	198
<b>탐구 활동</b> 대장균의 군체(콜로니)는 어떤 모습일까	201
3 생명 공학 기술을 이용한 난치병 치료	202
4 생명 공학 기술의 영향	206
<b>탐구 활동</b> LMO가 우리 생활에 미치는 영향은 무엇일까	208
5 생명 공학 기술의 현재와 미래	209
<b>탐구 활동</b> 인간 배아의 유전자 편집 실험은 생명 윤리에 어긋나지 않을까	211
■ 대단원 마무리	213
· 부록	216



# I

## 생명 과학의 역사



생명 과학은 생물의 구조와 기능뿐만 아니라 생명에 관계되는 현상을 연구하는 학문으로, 그 연구 성과가 다른 학문 분야와 연계되어 의료, 환경 보전 등 인류 복지에 이용되는 종합 학문의 성격을 띠고 있다.

이 단원에서는 인류의 역사와 함께 발전해 온 생명 과학의 역사와 발달 과정을 알아보고, 생명 과학의 발달이 인류의 삶에 어떤 영향을 미쳤는지에 관심을 가지도록 하자. 또, 생명 과학의 발달에 이바지한 여러 과학자의 연구 방법도 알아보자.



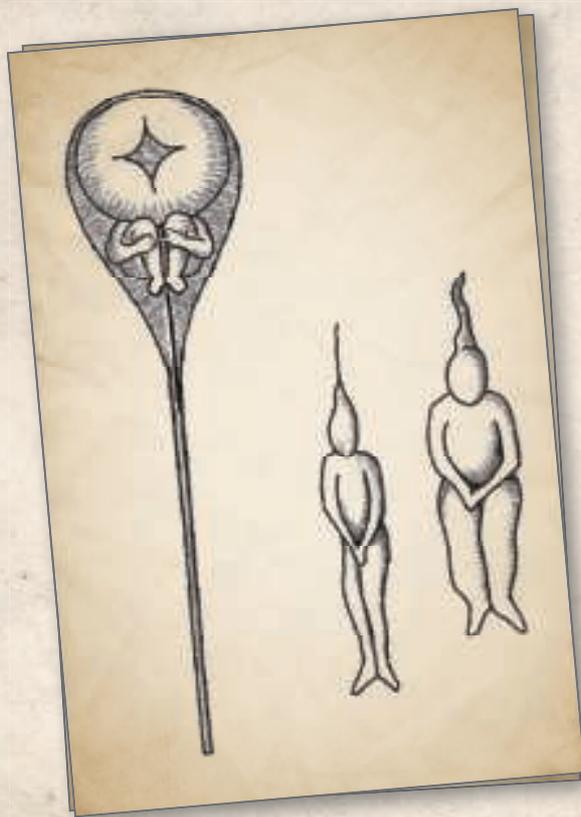
① 생명 과학의 역사와 발달 과정

② 생명 과학의 연구 방법

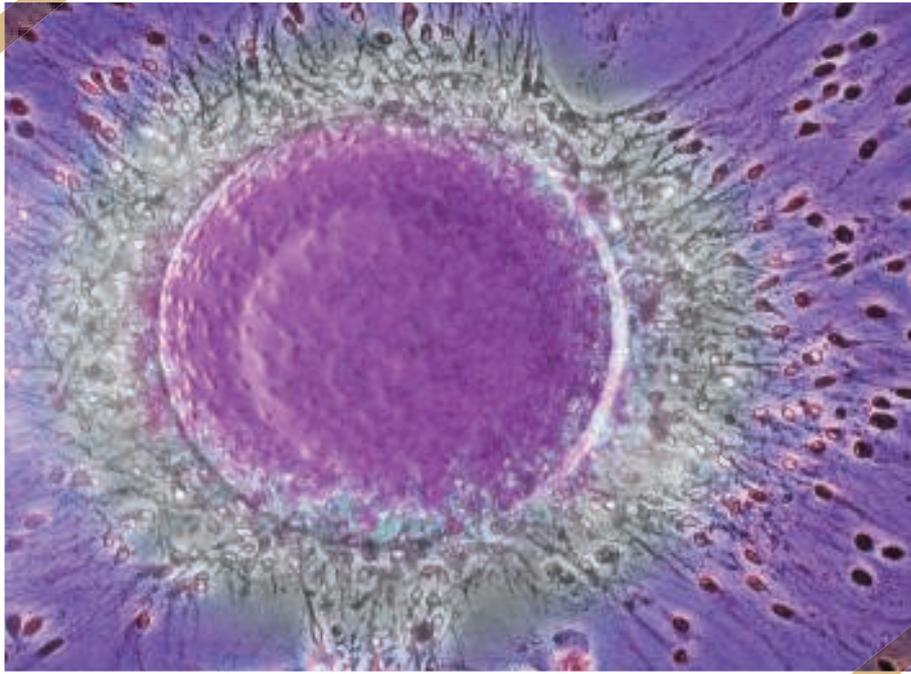
## 전성설과 생명 과학의 발달

생명 과학의 발달 과정에 가장 크게 영향을 준 도구는 바로 현미경이다. 17세기 이후에 현미경을 이용한 생물 관찰로 생명 과학 지식의 범위가 크게 확장되었다. 현미경으로 다양한 생물을 관찰함에 따라 사람들은 생물이 어떻게 태어나는지에 의문을 가지게 되었고, 전성설이 등장하였다.

전성설은 난자나 정자 안에는 매우 작지만 이미 완전한 사람의 형태가 존재하며, 이것이 눈에 보일 만큼 커지는 발생 과정을 거쳐 사람이 태어난다고 설명하는 학설이다. 그러나 자손은 아버지와 어머니를 모두 닮는다는 사실 등을 들어 전성설의 모순이 지적되면서 전성설은 그 당시 학자들 간의 주요 논쟁거리가 되기도 하였다. 이러한 논쟁이 있었던 것은 과학적 사고와 생명 과학 지식이 축적되지 않았기 때문이며, 이후 생명 과학이 발달하면서 생물의 발생 과정이 밝혀짐에 따라 전성설이 옳지 않다는 것은 명백한 사실이 되었다.



하르트수커(Hartsoeker, N., 1656~1725)가 그린 정자와 정자 속에 작은 사람이 들어 있는 모습



난자에 접근하고 있는 정자

1. 탐구 능력 현미경과 같이 생명 과학의 발달에 영향을 준 기구 또는 장치를 조사하여 발표해 보자.

2. 문제 해결력 과학적 근거를 들어 전성설의 오류를 지적하는 글을 써 보자.

**학습  
계획하기**

다음의 '단원 학습'에서 알고 있는 것에  표를 해 보고, 스스로 학습 계획을 세워 보자.

선수 학습

» 생명과학 I  
• 생명 과학의 이해

단원 학습

- |  |   |   |  |
|--|---|---|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> 세포     | <input checked="" type="checkbox"/> 미생물       | <input checked="" type="checkbox"/> 진화        | <input checked="" type="checkbox"/> 유전 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 분자 생물학 | <input checked="" type="checkbox"/> 귀납적 탐구 방법 | <input checked="" type="checkbox"/> 연역적 탐구 방법 |  |

나는

할 수 있다.

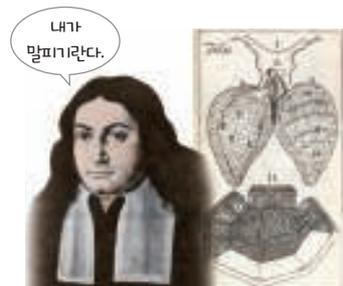


# 생명 과학의 역사와 발달 과정

## 학습 목표

- 생명 과학의 역사와 발달 과정을 설명할 수 있다.
- 생명 과학의 주요 발견을 시기에 따라 나열하고 설명할 수 있다.

1661년에 이탈리아의 말피기(Malpighi, M., 1628~1694)는 현미경으로 개구리의 폐를 관찰하여 폐포와 모세 혈관을 발견하였다. 현미경을 이용한 생물 관찰은 생명 과학이라는 학문이 확립되는 데 결정적인 역할을 하였다. 생명 과학은 어떻게 발전해 왔을까?



## 세포의 발견과 세포설의 확립

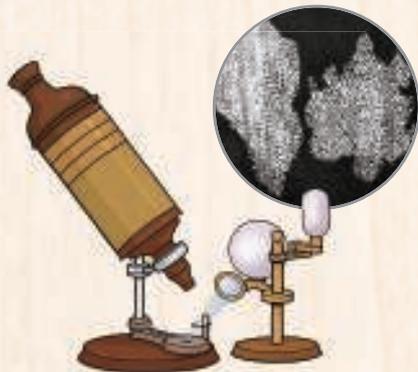
생명체의 기본 단위인 **세포**가 발견된 이후 생명 과학자들은 다양한 종류의 세포를 관찰하였다. 현미경 제작 기술이 향상됨에 따라 살아 있는 세포의 내부를 관찰하고 연구하게 되었으며, 모든 생물은 하나 이상의 세포로 이루어져 있다는 세포설이 등장하였다. 이후 새로운 세포는 살아 있는 세포로부터 만들어진다는 사실이 밝혀지면서 세포설이 확립되었고, 세포의 구조와 기능을 활발하게 연구하기 시작하였다. 특히 전자 현미경의 발달로 미토콘드리아, 세포막, 리보솜 등의 구조와 세포 분열에 관한 지식이 축적되면서 세포 소기관의 기능을 자세히 연구하게 되었다.

그림 I-1 세포의 발견에서 항생제가 개발되기까지

1665년

### 세포 발견

훅(Hooke, R., 1635~1703)은 자신이 만든 현미경으로 얇게 자른 코르크를 관찰하여 벌집 형태의 수많은 작은 구멍이 가지런하게 배열되어 있음을 발견하고, 이를 세포라고 하였다.



1673년

### 미생물 발견

레이우엔훅(Leeuwenhoek, A. van, 1632~1723)은 자신이 만든 단안 렌즈 현미경으로 치석, 침, 정액, 땀 등을 관찰하여 맨눈으로는 보이지 않는 미생물의 존재를 밝혔다.



1838년

### 세포설 등장

슐라이덴(Schleiden, M., 1804~1881)은 식물 세포를, 슈반(Schwann, T., 1810~1882)은 동물 세포를 현미경으로 관찰하고 세포설을 주장하였다.



오늘날 세포의 연구는 세포 주기 조절과 암세포 연구로 이어져 사람의 질병 치료를 위한 기초로 활용되고 있다.

### 미생물의 발견과 백신 개발

17세기에 레이우엔훅이 자신이 만든 현미경을 이용하여 맨눈으로는 보이지 않는 미생물을 발견하였지만, 한 동안 미생물의 연구는 거의 이루어지지 않았다. 19세기 중반에 이르러 발효가 미생물에 의해 일어난다는 것이 밝혀지면서 미생물의 연구가 활발히 진행되었다. 이후 탄저균, 결핵균과 같은 세균이 전염병을 일으키는 원인이라는 것이 밝혀지면서 소독법과 멸균법이 개발되어 수술 후 상처 부위의 세균 감염에 의한 사망률을 크게 줄일 수 있게 되었다.

또, 전염병의 원인과 감염 경로를 밝히기 위한 연구가 진행되었고, 전염병을 예방할 수 있는 백신이 개발되었다. 그리고 항생 물질이 발견되고 항생제가 대량으로 만들어지면서 세균성 전염병으로 고통받는 수많은 환자를 치료할 수 있게 되었다.

**창의 융합 사고** 과거에 수백만 명의 목숨을 앗아 갔던 천연두는 오늘날 예방 가능한 전염병이 되었다. 천연두를 예방할 수 있게 된 까닭을 생명 과학의 주요 발견과 관련지어 조사하고 토의해 보자.

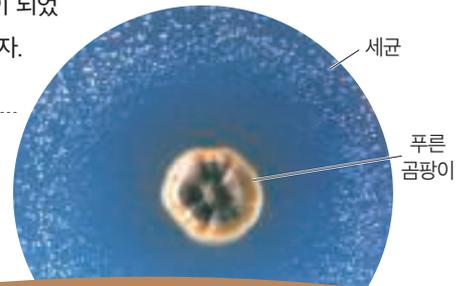


.....

.....

.....

▼ 세균 배양 접시에 핀 푸른곰팡이



1861년

#### 미생물의 존재 증명

파스퇴르(Pasteur, L., 1822~1895)는 S자형(백조의 목)의 플라스크를 이용하여 공기 속에 미생물이 존재한다는 것을 밝힘으로써 생물 속생설을 입증하였다.



1882년

#### 결핵균 발견 및 결핵 진단 약 개발

코흐(Koch, H. H. R., 1843~1910)는 결핵균을 발견하고, 결핵 진단 약인 투베르쿨린을 개발하였다.



1928년

#### 최초의 항생 물질 발견

플레밍(Fleming, Sir A., 1881~1955)은 세균 배양 접시에 핀 푸른곰팡이에서 세균의 증식을 억제하는 페니실린을 발견하였다.



닭 콜레라 연구를 통해 면역의 원리를 발견한 파스퇴르가 탄저병 백신을 개발하고, 그 백신의 효능을 어떤 방법으로 입증했는지 알아보자.

**조사 해 보기** 탄저병 백신의 효능 입증 실험



**탄저병**

소, 양, 염소 등이 탄저균에 오염된 풀이나 사료를 먹음으로써 발생하는 전염병

파스퇴르는 탄저병을 일으키는 탄저균의 독성을 약화해 탄저병 백신을 만들었다. 하지만 많은 의사와 수의사들이 아래 그림과 같은 이유를 들어 탄저병 백신의 사용을 반대하자, 파스퇴르는 실험을 통해 탄저병 백신의 효능을 입증하였다.



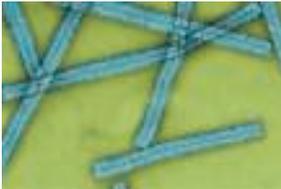
1. 파스퇴르가 탄저병 백신의 효능을 입증하기 위해 수행한 실험을 조사하여 발표해 보자.

.....

2. 파스퇴르의 탄저병 백신 개발이 사회에 어떤 영향을 미쳤는지 토의해 보자.

.....

**담배모자이크바이러스(TMV)**



50 nm

담배와 같은 가지과 식물의 잎에 감염되는 바이러스이다. 1935년에 미국의 생화학자 스탠리(Stanley, W. M. 1904~1971)가 담배모자이크바이러스를 결정으로 분리하는데 성공하였다.

19세기 말에 담배모자이크병에 걸린 식물을 연구하는 과정에서 바이러스가 발견되었고, 담배모자이크바이러스(TMV)의 결정을 얻으면서 바이러스의 구조가 확인되었다. 이후 TMV를 비롯한 여러 종류의 바이러스를 전자 현미경으로 관찰하게 되면서 바이러스의 구조적 특징과 생명 현상에 관한 연구가 활발하게 진행되었다. 이를 통해 감기, 소아마비, 천연두, 후천성 면역 결핍증(AIDS) 등이 바이러스성 질환이라는 것이 밝혀졌으며, 바이러스성 질환의 치료제 및 백신을 개발하기 위한 연구가 계속되고 있다.

**핵심 개념 확인하기**

1 세포와 미생물의 연구 과정에서 이루어진 다음의 주요 발견들을 시간 순서대로 나열해 보자.

- ㉠ 세포설 등장
- ㉡ 세포 발견
- ㉢ 결핵균 발견
- ㉣ 최초의 항생 물질 발견

2 창의 융합 사고 | 바이러스가 세균보다 늦게 발견된 까닭을 생각해 보자.

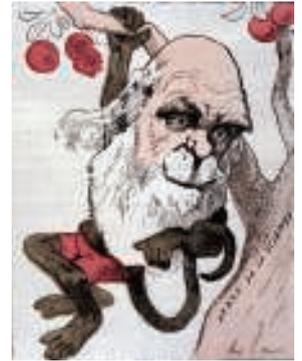
- 다음 개념을 이해하였는지  표를 하면서 확인해 보자.
- 세포설의 확립 과정
- 미생물의 발견과 백신 개발 과정

## 생물 분류의 발달과 진화론의 확립

생물 분류는 고대 그리스 시대부터 아리스토텔레스(Aristoteles, B.C. 384~B.C. 322)를 비롯한 여러 과학자에 의해 이루어졌지만, 18세기까지 큰 발전은 없었다. 18세기 이후에 린네에 의해 체계적인 생물 분류가 시작되었다. 또, 화석이 발견되고 지질학이 발달하면서 생물이 변화할 수 있다는 생각을 하게 되었다. 이러한 영향을 받은 다윈은 오랜 연구를 통해 자연 선택에 의한 진화를 주장하는 『종의 기원』이란 책을 출판하였다. 다윈의 진화론은 전 세계적으로 대단한 논란을 불러일으켰다. 그러나 여러 과학자가 다윈의 진화론을 검증하고 수정·보완하면서 진화론은 점차 생명 과학의 여러 분야를 통합하는 이론으로 자리 잡게 되었다.

진화론의 확립으로 유전학을 비롯한 생명 과학의 거의 모든 분야는 생물의 진화에 근거하여 생명 현상을 설명하는 방향으로 발전하였다. 또, 진화론은 생명 과학뿐만 아니라 정치, 경제, 사회, 문화, 철학 등 많은 분야에 큰 영향을 미쳤다.

다윈을 풍자한 그림



다윈의 진화론을 반대하는 사람들은 다윈을 원숭이나 고릴라로 풍자하여 비판하였다.

**창의 융합 사고** 다윈의 진화론이 생명 과학의 발달과 사회 변화에 미친 영향을 설명하는 글을 써 보자.

.....

.....

.....

그림 I-2 생물 분류와 진화론 확립

1753년

### 생물 분류 체계 정립

린네(Linné, C. von, 1707~1778)는 생물을 체계적으로 분류하는 방법을 제안하였으며, 분류의 기본 단위인 종의 개념을 명확히 하였다.



1801년

### 무척추동물 분류 및 용불용설 주장

라마르크(Lamarck, J. B. P. A., 1744~1829)는 동물을 척추동물과 무척추동물로 분류하였으며, 용불용설을 이용하여 생물의 진화를 체계적으로 설명하였다.



1859년

### 자연 선택에 의한 진화론 확립

다윈(Darwin, C. R., 1809~1882)은 비글호 탐사에서 수많은 동식물 표본과 화석을 수집하고, 갈라파고스 군도의 핀치를 관찰한 결과를 분석·종합하여 자연 선택설을 주장하였다.



## 유전자

멘델이 완두의 교배 실험에서 가정한 유전 인자를 1909년에 요한센(Johannsen, W. L., 1857~1927)이 처음으로 유전자라고 명명하였다.

## 유전학과 분자 생물학의 발달

19세기 전까지 사람들은 자손이 부모를 닮는 것은 부모의 형질이 액체처럼 혼합된 방식으로 자손에게 전달되기 때문이라고 믿었다. 그러나 19세기에 멘델이 완두의 교배 실험 결과를 분석하여 부모의 형질은 섞이거나 변형되지 않는 입자인 유전 인자의 형태로 자손에게 전달된다는 것을 알아냈다. 그 당시 과학자들은 염색체의 존재를 몰라 멘델의 연구 결과에 관심을 보이지 않았으나, 이후 여러 과학자에 의해 멘델 법칙이 재발견되었다.

세포의 구조와 세포 분열에 관한 연구가 진행되면서 멘델 법칙의 정확한 해석이 이루어졌고, 유전자는 세포의 어느 곳에 있는가와 유전자를 구성하는 물질은 무엇인가에 과학자들은 관심을 두게 되었다. 모건은 여러 개의 유전자가 염색체의 일정한 위치에 존재한다는 것을 밝혔고, 초파리의 X 염색체에 의한 유전을 연구하였다. 멀러는 초파리의 돌연변이를 인공적으로 유도할 수 있다는 것과 돌연변이가 염색체와 유전자의 변화로 일어난다는 것을 발견하였다.

유전학의 발달에 힘입어 과학자들은 유전자가 어떤 방식으로 형질을 나타내는지를 연구하였다. 비들과 테이텀은 유전자 하나에 의해 효소 하나가 합성된다는 것을 밝혔으며, 이들의 연구로 분자 수준에서 생명 현상을 다루는 분자 생물학의 기틀이 마련되었다.

**창의 융합 사고** 유전학의 발달이 농업, 의학 등의 발전에 어떤 영향을 미쳤는지 조사해 보자.

그림 I-3 유전학과 분자 생물학의 발달

1865년

### 유전의 기본 원리 발견

멘델(Mendel, G. J., 1822~1884)은 완두의 교배 실험을 통해 유전의 기본 원리인 분리의 법칙과 독립의 법칙을 밝혔다.



1926년

### 유전자와 염색체의 관계 밝힘

모건(Morgan, T. H., 1866~1945)은 초파리의 교배 실험을 통해 유전자가 염색체의 일정한 위치에 존재한다는 것을 밝혔다.



1927년

### 최초로 인공 돌연변이 성공

멀러(Muller, H. J., 1890~1967)는 초파리의 돌연변이 비율을 높이는 방법을 연구하던 중 초파리에 X선을 쬐면 인공적으로 돌연변이를 유도할 수 있다는 것을 발견하였다.



염색체가 단백질과 핵산으로 이루어져 있다는 것이 밝혀진 후 여러 과학자의 연구로 DNA가 유전 물질이라는 것이 증명되었다. DNA가 유전 물질이라는 것을 밝히는 데 이바지한 연구 사례를 살펴보자.

**자료 해 보기** 유전 물질 규명과 관련된 주요 발견



다음은 유전 물질이 무엇인지 확인하는 데 이바지한 두 가지 연구에 관한 내용이다.

- (가) 1928년에 그리피스(Griffith, F., 1879~1941)는 폐렴 쌍구균(S형 균, R형 균)을 생쥐에 주입하는 실험을 통해 S형 균의 어떤 물질에 의해 R형 균이 S형 균으로 형질 전환된다는 것을 밝혀냈다.
- (나) 1952년에 허시(Hershey, A. D., 1908~1997)와 체이스(Chase, M., 1927~2003)는 방사성 동위 원소로 표지된 박테리오파지를 대장균에 감염시키는 실험을 통해 새로운 파지가 만들어지는 데 필요한 유전 물질은 DNA라는 것을 밝혀냈다.

**S형 균과 R형 균**  
S형 균은 병원성이 있지만, R형 균은 병원성이 없다.

**형질 전환**  
한 개체의 형질이 외부에서 도입된 유전 물질에 의해 변하는 현상

**허시와 체이스의 실험은 'IV-1. 유전체와 유전자'를 참고하세요. → 115쪽**

▶ (가)와 (나)에서 사용된 연구 방법을 조사하여 발표해 보자.



DNA가 유전 물질이라는 것과 핵산의 구성 성분이 밝혀지면서 과학자들은 DNA의 입체 구조를 알아내기 위한 연구에 박차를 가하였다. 1953년에 마침내 왓슨과 크릭이 DNA가 이중 나선 구조로 이루어져 있다는 것을 알아냈고, 이후 유전부호가 모두 해독되었다.

1941년

**1유전자 1효소설 발표**

비들(Beadle, G. W., 1903~1989)과 테이텀(Tatum, E. L., 1909~1975)은 돌연변이 붉은빵곰팡이의 생장을 연구하여 1유전자 1효소설을 발표하였다.



1953년

**DNA 이중 나선 구조 제시**

왓슨(Watson, J. D., 1928~ )과 크릭(Crick, F. H. C., 1916~2004)은 여러 과학자에 의해 밝혀진 DNA에 관한 화학적 기초 지식과 DNA의 X선 회절 사진 등을 종합하여 DNA의 입체 구조를 제시하였다.



1961년

**유전부호 해독**

니런버그(Nirenberg, M. W., 1927~2010)와 마테이(Matthaei, H., 1929~ )는 인공 RNA를 만들고, 이 RNA로부터 어떤 아미노산 서열을 가진 단백질이 합성되는지를 연구하여 유전부호를 해독하였다.



분자 생물학의 발달로 생물의 발생, 성장, 노화, 유전병의 원인 등과 같은 생명 현상을 분자 수준에서 설명하는 것이 가능해졌다. 1970년 이후에는 유전 현상을 설명하는 단계에서 나아가 유전자를 인위적으로 다룰 수 있게 되면서 유전자 재조합 기술이 탄생하였다. 1980년대에는 중합 효소 연쇄 반응(PCR)을 이용하여 소량의 DNA를 많은 양으로 증폭할 수 있게 됨으로써 유전자의 작용에 관한 연구뿐만 아니라 여러 종류의 유전병과 감염성 질환을 진단하는 기술 등이 획기적으로 발전하였다. 또, DNA 염기 서열 자동 분석기를 통해 생물의 유전체를 빠르고 쉽게 분석할 수 있게 되었다.

21세기에 들어 생명 과학은 생물 정보학, 의생명 과학, 법의학, 뇌 과학 등과 같은 여러 학문 분야와 융합된 형태의 학문으로 발전하고 있다. 그리고 생명 현상을 연구하는 수준을 넘어 의약품의 대량 생산, 유전병 치료, 식량 생산 증대, 환경 오염 방지 등 인류 복지에 이바지하는 종합 학문으로서 그 영역을 계속 확대해 나가고 있다.

**핵심 개념 확인하기**

- 1 완두의 교배 실험을 통해 유전 법칙을 발견한 과학자는 누구인가?
- 2 분자 생물학의 발달 과정에서 이루어진 다음의 주요 발견들을 시간 순서대로 나열해 보자.

- |                   |                 |
|-------------------|-----------------|
| ㉠ 유전부호 해독         | ㉡ 사람의 유전체 분석    |
| ㉢ DNA 이중 나선 구조 발견 | ㉣ 유전자 재조합 기술 탄생 |
| ㉤ DNA가 유전 물질임을 증명 |                 |

- 다음 개념을 이해하였는지  표를 하면서 확인해 보자.
- 생물 분류의 발달과 진화론의 확립 과정
- 유전학과 분자 생물학의 발달 과정

그림 I-4 현대 분자 생물학의 발달

1975년

**DNA 염기 서열 분석법 개발**

생어(Sanger, F., 1918~2013)는 단백질의 아미노산 서열과 DNA 염기 서열을 분석하는 방법을 고안하였다.



1983년

**DNA 증폭 기술 개발**

멀리스(Mullis, K. B., 1944~ )는 중합 효소 연쇄 반응(PCR: polymerase chain reaction)을 이용하여 DNA를 짧은 시간에 대량으로 복제하는 방법을 개발하였다.



2003년

**사람 유전체 지도 완성**

사람의 DNA 염기 서열이 밝혀지면서 사람의 유전체 연구가 활발해져 개인의 유전 정보 분석이 가능해졌다.



목표

인류 복지에 이바지한 생명 과학의 발견 사례를 조사하여 발표할 수 있다.

과정

다음은 생명 과학의 발견 사례 중 하나인 혈액형 발견에 관한 내용이다.

1628년에 영국의 하비(Harvey, W., 1578 ~ 1657)가 혈액은 인체를 순환한다는 사실을 처음으로 발견한 이후, 혈액에 관한 연구가 많이 진행되었다. 혈액을 연구하는 과정에서 수혈의 부작용이 심하게 나타났지만, 그 까닭을 알 수 없어 한 동안 수혈이 거의 이루어지지 않았다. 수혈 시 종종 나타나는 혈액의 응집이 무엇 때문인지를 알아 낸 생명 과학자는 오스트리아의 란트슈타이너(Landsteiner, K., 1868~1943)이다. 란트슈타이너는 사람의 혈액을 연구하여 ABO식 혈액형을 발견하였다.



▲ 란트슈타이너

- ① 란트슈타이너가 ABO식 혈액형의 종류를 밝히는 데 사용한 연구 방법을 조사하여 발표해 보자.



- ② 위 사례 외에 인류 복지에 이바지한 생명 과학의 발견 사례를 모둠별로 한 가지씩 조사하여 발표해 보자.



정리

- 다음은 란트슈타이너의 ABO식 혈액형 발견이 인류 복지에 어떻게 이바지했는지에 관한 글의 일부이다. 글을 완성해 보자.

ABO식 혈액형을 발견하기 이전에는 수술이 잘되어도 수혈을 받은 환자가 죽는 경우가 많았다. 란트슈타이너는

.....

.....

.....

.....

평가하기

1 2 3 4 5

- 사례 조사 활동에 적극적으로 참여하였는가?
- 생명 과학의 발견이 인류 복지에 이바지하였음을 글로 표현하였는가?

| 활동 후기 | 이 활동에서 어떤 것을 배웠는지 자유롭게 적어 보자.



.....

.....

# 2



## 생명 과학의 연구 방법

학습  
목표

• 생명 과학의 발달에 이바지한 주요 발견들에 사용된 연구 방법을 조사하여 발표할 수 있다.

오늘날 많이 사용하고 있는 당뇨병 치료제인 인슐린은 여러 생명 과학자의 노력으로 발견되어 개발된 약품이다. 이러한 약품 개발에는 어떤 연구 방법이 사용되었을까?



생명 과학의 연구 방법은 생명 과학 I의 '생명 과학의 이해' 단원과 연계됩니다.

19세기 말에 개에게서 이자를 떼어 내면 당뇨병이 생긴다는 사실이 발견된 이후, 과학자들은 이자에서 인슐린을 순수하게 분리하는 방법을 고민하였다. 1920년에 캐나다의 의사 밴팅(Banting, F. G., 1891~1941)은 이자에서 분리되는 물질이 당뇨병과 관계있다는 논문을 읽은 후, 개를 연구 대상으로 하여 이자에서 인슐린을 추출하는 데 성공하였다. 이후 순수한 인슐린을 분리하였고, 당뇨병 환자에게 인슐린을 주사하는 임상 시험을 하여 혈당량이 감소하는 결과를 얻게 되었다.



그림 1-5 밴팅(오른쪽)과 그의 조수 역할을 한 베스트(왼쪽)가 실험에 성공한 개와 함께 있는 모습

밴팅이 인슐린을 분리할 수 있었던 것은 문헌 조사를 통해 의문을 갖고, 의문을 해결하기 위한 가설을 세운 다음 반복적인 실험을 끈기 있게 수행했기 때문이다.

노벨 e-library

www.nobel.or.kr

생명 과학의 발달에 이바지한 과학자들과 그들의 연구 방법을 알아보자.

창의 융합 사고 밴팅의 인슐린 발견이 인류 복지에 어떤 도움을 주었는지 생각해 보자.

각인

동물의 발달 과정 중 결정적인 시기에 일어나는 학습 과정을 뜻한다.

오스트리아의 동물 행동학자 로렌츠(Lorenz, K., 1903~1989)는 야생 동물을 직접 찾아가 관찰하거나, 집에서 야생 동물을 키우면서 동물 행동을 연구하였다. 로렌츠는 회색기러기 새끼들이 갓 태어났을 때 처음 본 움직이는 물체를 어미로 각인한다는 것을 밝혔다.



그림 1-6 로렌츠를 어미로 각인한 회색기러기들이 로렌츠를 따라다니는 모습

로렌츠의 동물 행동 연구에서는 자연환경에서 동물을 관찰하여 얻은 사실을 토대로 회색기러기의 행동 연구 결과를 분석하는 탐구 방법이 사용되었다.

이처럼 생명 과학의 발달에 이바지한 발견들에서는 가설을 설정한 후 탐구를 설계하고 수행하여 얻은 결과를 정리·분석함으로써 가설의 옳고 그름을 확인하는 연역적 탐구 방법과, 어떤 현상을 관찰하여 얻은 자료를 종합하여 결론을 내리는 귀납적 탐구 방법이 사용되었다. 생명 과학의 발달에서 중요한 발견 중 하나인 DNA 이중 나선 구조의 발견에는 어떤 연구 방법이 사용되었는지 알아보자.

**조사 해 보기** DNA 이중 나선 구조를 밝힌 연구 방법



왓슨과 크릭은 DNA의 X선 회절 사진과 DNA에 관한 여러 연구 자료에 기초하여 DNA 이중 나선 구조를 알아냈다.



▲ DNA의 X선 회절 사진



▲ 왓슨(왼쪽)과 크릭(오른쪽)이 만든 DNA 이중 나선 모형

1. 왓슨과 크릭이 DNA 이중 나선 구조를 알아내는 데 사용한 연구 방법을 조사하여 발표해 보자.

.....

2. DNA 이중 나선 구조의 발견이 생명 과학의 발달 및 인류 복지에 어떤 영향을 미쳤는지 조사하여 발표해 보자.

.....

DNA 이중 나선 구조 발견을 비롯한 생명 과학의 연구에 사용된 탐구 과정에서 가장 중요한 것은 생명 현상의 관찰과 과학적 실험이며, 나아가 생명 과학자의 창의성과 많은 시행착오를 겪어도 굴하지 않는 도전 정신이라고 할 수 있다.

**핵심 개념 확인하기**

- 1 생명 과학의 탐구 과정에서 가장 중요한 것은 생명 현상의 ( )와/과 과학적 실험이다.
- 2 창의 융합 사고 | 로렌츠가 연구한 각인은 멸종 위기 동물을 보호하는 데 어떻게 활용될 수 있을지 생각해 보자.

- 다음 개념을 이해하였는지 ✓ 표를 하면서 확인해 보자.
- 생명 과학의 연구 방법

# 옥수수와 교감한 매클린톡



매클린톡(McClintock, B., 1902~1992)은 옥수수 연구에 평생을 바친 과학자이다. 그녀는 옥수수에서 노란색 알들 사이에 까맣거나 보라색을 띠는 알이 있는 것에 의문을 품고, 그 까닭을 밝히기 위해 연구하였다. 그 결과 옥수수에서 원래 자리를 이탈하여 이리저리 옮겨 다니는 유전자(jumping genes)를 발견하였다.

1951년에 매클린톡은 이 유전자의 연구 결과를 발표했지만, 사람들은 침묵과 무관심으로 일관했으며, 그녀의 연구 결과에 냉담했다. 그러나 그녀는 실망하지 않고 계속 옥수수의 유전 연구에 몰두하였다.

그후 세균의 유전체에서 일부 유전자가 튀어나오는 현상과 동물에서도 일부 유전자가 옮겨 다니는 현상 등이 관찰되면서 매클린톡의 연구는 학계에서 인정받아 매클린톡은 1983년에 노벨 생리의학상을 수상하였다.

싹이 나올 때부터 그 식물을 바라보잖아요?  
그러면 나는 그걸 혼자 버려두고 싶지 않았어  
요. 싹이 나서 자라는 과정을 빠짐없이 관찰  
해야 정말로 안다는 느낌이 들었어요. 내가  
밭에 심은 옥수수에 모두 친밀하고 애뜻한 감  
정이 생겼어요. 식물들과 그렇게 깊은 관계를  
맺는 것이 나에게서 큰 기쁨이었지요.



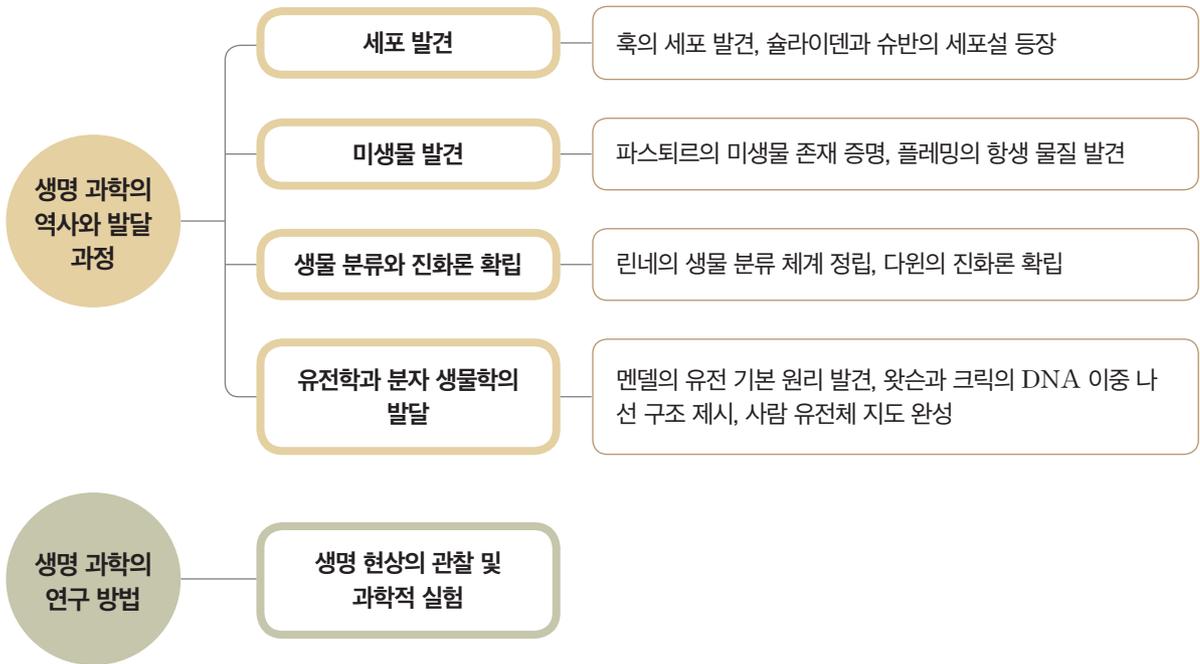
## 💡 핵심 역량 펼치기

매클린톡과 같이 그 당시에는 인정받지 못했지만, 후세에 인정받게 된 연구 사례를 조사해 보자.





🌀 핵심 개념 정리하기



🌀 핵심 개념 적용하기

01 다음 설명 중 옳은 것은 ○표, 옳지 않은 것은 ×표를 해 보자.

- (1) 현미경 제작 기술이 향상되면서 살아 있는 세포를 관찰하고 연구하게 되었다. (○, ×)
- (2) 바이러스의 연구는 레이우엔훅이 미생물을 발견한 17세기부터 활발하게 이루어졌다. (○, ×)
- (3) 생물의 진화를 자연 선택설로 설명한 과학자는 라마르크이다. (○, ×)
- (4) 초파리에 인공적으로 돌연변이를 일으키는 연구가 진행된 후 염색체와 유전자의 관계를 알게 되었다. (○, ×)
- (5) DNA 이중 나선 구조가 밝혀지고 나서 유전부호가 해독되었다. (○, ×)
- (6) 생명 과학의 연구 방법 중 가설을 세우고, 이를 검증하기 위해 실험을 수행하는 것은 연역적 탐구 방법이다. (○, ×)



1. 생명 과학의 역사와 발달 과정 ㉠ 14쪽

02 다음 중 세포와 관련된 생명 과학의 역사에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

- ① 세포를 처음 발견한 사람은 훅이다.
- ② 슈반은 동물이 세포로 이루어져 있다고 주장하였다.
- ③ 세포설은 전자 현미경이 발달하면서 확립된 이론이다.
- ④ 슬라이덴은 식물이 세포로 이루어져 있다고 주장하였다.
- ⑤ 광학 현미경이 발달하면서 살아 있는 세포를 관찰하고 연구할 수 있게 되었다.

1. 생명 과학의 역사와 발달 과정 ㉠ 14쪽

03 다음 중 생명 과학자와 그 업적에 대한 설명으로 옳은 것은?

- ① 스탠리는 결핵균을 발견하였으며, 결핵 진단약을 개발하였다.
- ② 레이우엔훅은 코르크를 관찰하여 세포의 존재를 알게 되었다.
- ③ 플레밍은 발효를 일으키는 것이 미생물이라는 것을 입증하였다.
- ④ 코흐는 담배모자이크바이러스를 결정으로 분리하는데 성공하였다.
- ⑤ 파스퇴르는 S자형의 플라스크를 이용하여 공기 속에 미생물이 존재함을 밝혔다.

1. 생명 과학의 역사와 발달 과정 ㉠ 14쪽

04 미생물과 관련된 생명 과학의 연구 성과에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 골라 보자.

<보기>

- ㄱ. 세균이 바이러스보다 먼저 발견되었다.
- ㄴ. 바이러스의 구조가 밝혀지면서 항생제 개발이 더욱 활발히 진행되었다.
- ㄷ. 세균이 전염병을 일으키는 원인이라는 것이 밝혀지면서 소독법과 멸균법이 개발되었다.

1. 생명 과학의 역사와 발달 과정 ㉠ 14쪽

05 다음은 유전학과 분자 생물학의 발달 과정에서 이루어진 주요 발견들을 시간과 관계없이 나열한 것이다.

- ㄱ. DNA 분자 구조 밝힘.
- ㄴ. 유전의 기본 원리 발견
- ㄷ. 초파리의 인공 돌연변이 성공
- ㄹ. DNA 염기 서열 분석법 개발
- ㅁ. 유전자와 염색체의 관계 밝힘.

시간 순서대로 옳게 나열한 것은?

- ① ㄱ-ㄴ-ㄷ-ㄹ-ㅁ      ② ㄱ-ㄷ-ㅁ-ㄴ-ㄹ
- ③ ㄴ-ㄷ-ㅁ-ㄱ-ㄹ      ④ ㄴ-ㅁ-ㄷ-ㄱ-ㄹ
- ⑤ ㄷ-ㅁ-ㄴ-ㄱ-ㄹ

2. 생명 과학의 연구 방법 ㉡ 22쪽

06 다음은 파스퇴르가 탄저병 백신의 효과를 입증하기 위해 수행한 실험 과정이다.

- (가) 건강한 50마리의 양 중 ㉠ 25마리에는 탄저병 백신을 접종하고, ㉡ 나머지 25마리에는 백신을 접종하지 않았다.
- (나) 일정 시간 후 (가)의 50마리 양 모두에게 독성이 강한 탄저균을 주입하였다. 이를 후, 백신을 접종한 25마리의 양은 모두 살아 있었지만, 백신을 접종하지 않은 25마리의 양은 대부분 죽었다.

이 실험에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보기>

- ㄱ. ㉠은 대조군, ㉡은 실험군이다.
- ㄴ. 이 실험에 사용된 탐구 방법은 연역적 탐구 방법이다.
- ㄷ. 이 실험을 통해 탄저병 백신은 탄저병 예방에 효과가 있다는 것이 입증되었다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ



**핵심 역량 키우기**

1. 생명 과학의 역사와 발달 과정 14쪽

**07 과학적 사고력** 세포가 발견된 이후 현미경 제작 기술의 향상이 생명 과학의 발달에 미친 영향을 써 보자.

1. 생명 과학의 역사와 발달 과정 14쪽

**08 과학적 문제 해결력** 그림은 생물이 어떻게 생기는가에 대한 생각을 시대의 흐름에 따라 나타낸 것이다.



생명 과학의 발달로 생물은 기존의 생물로부터 생겨난다는 생물 속생설이 확립되었다. 생물 속생설이 확립되는 데 결정적인 영향을 미친 파스퇴르의 실험을 설명해 보자.

1. 생명 과학의 역사와 발달 과정 14쪽

**09 과학적 문제 해결력** 다음은 미생물을 연구한 두 과학자에 관한 설명이다.

- 플레밍은 세균 배양 접시에 핀 푸른곰팡이 주변에는 세균이 자라지 않는 것을 발견하였다.
- 왁스먼(Waksman, S. A., 1888~1973)은 토양 세균을 연구하여 결핵균의 생장을 억제하는 물질을 발견하였다.

이 과학자들의 연구 성과가 인류 복지에 어떤 영향을 미쳤는지 설명해 보자.

**10** 다음은 미국의 유전학자 모건이 초파리를 이용하여 연구한 내용이다.

모건은 암실에서 초파리를 계속 배양하면 눈이 없는 개체가 나타날 것으로 생각하였다. 하지만 69세대 까지 배양하는 동안 초파리의 눈에서는 아무런 변화가 일어나지 않았다. 그런데 70번째 세대에서 흰색 눈을 가진 초파리가 한 마리 나타났다.



붉은색 눈 초파리



흰색 눈 초파리

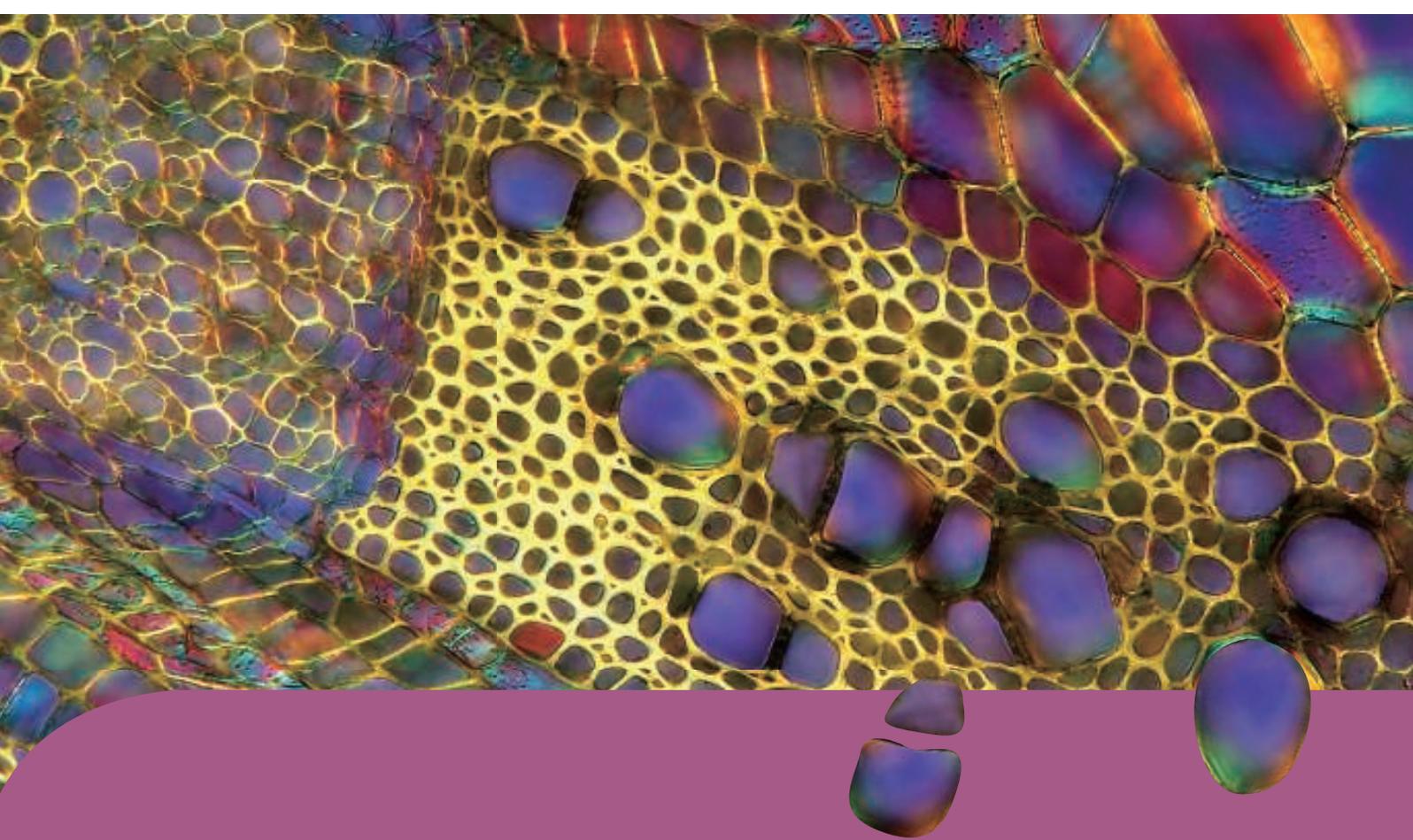
모건은 붉은색 눈 초파리와 흰색 눈 초파리의 교배 실험 결과를 분석하여 초파리의 눈 색깔을 결정하는 유전자는 X 염색체에 있어서 X 염색체와 함께 유전된다는 결론을 내렸다. 그리고 이 결론을 증명하기 위해 가설을 세운 후 실험을 수행하여 X 염색체에 의한 유전을 밝혀냈다.

(1) 모건이 X 염색체에 의한 유전을 밝히기까지 사용한 연구 방법은 무엇인지 설명해 보자.



(2) 초파리와 같이 생명 과학 연구에 이용되는 모델 생물에는 대장균, 효모, 애기장대, 예쁜꼬마선충, 옥수수 등이 있다. 자신이 생명 과학자라면 어떤 모델 생물을 이용하여 무엇을 연구할지 써 보자.



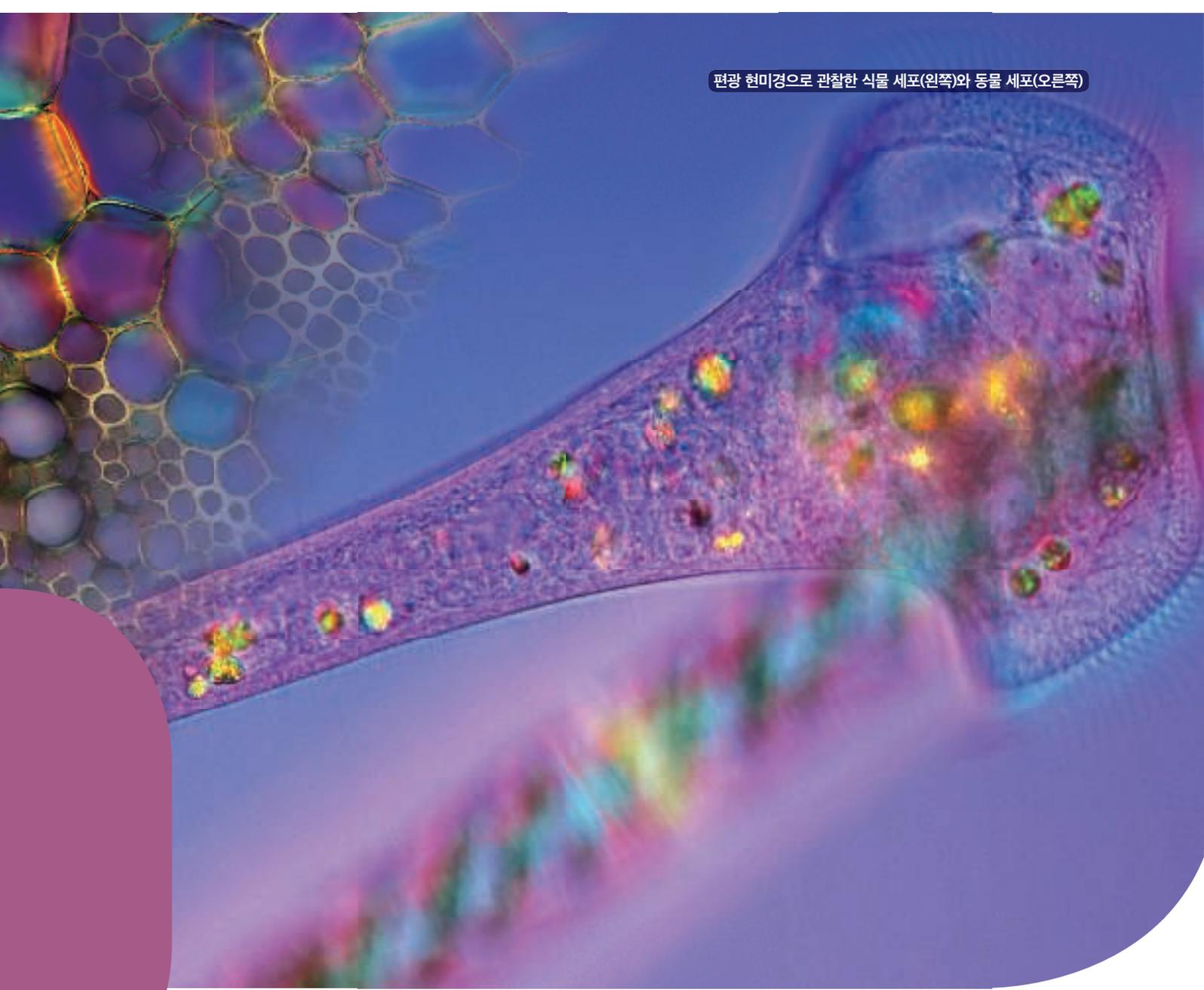


# II

## 세포의 특성

세포는 생명체의 구조적, 기능적 기본 단위이다. 생명 과학자들이 사람 세포를 처음으로 실험실에서 배양할 수 있게 된 것은 1950년대이며, 최근에 3D 세포 배양법이 개발되었다.

이 단원에서는 세포에서 일어나는 다양한 생명 현상을 이해하고, 생명체의 유기적 구성, 생명체를 구성하는 주요 물질의 구조와 기능, 원핵세포와 진핵세포의 차이점, 세포 소기관의 구조와 기능, 세포막을 통한 물질 출입 현상, 효소의 작용 등을 알아보자.



① 생명체의 유기적 구성

④ 세포 소기관의 구조와 기능

② 생명체를 구성하는 주요 물질

⑤ 세포막을 통한 물질의 출입

③ 원핵세포와 진핵세포

⑥ 효소의 작용

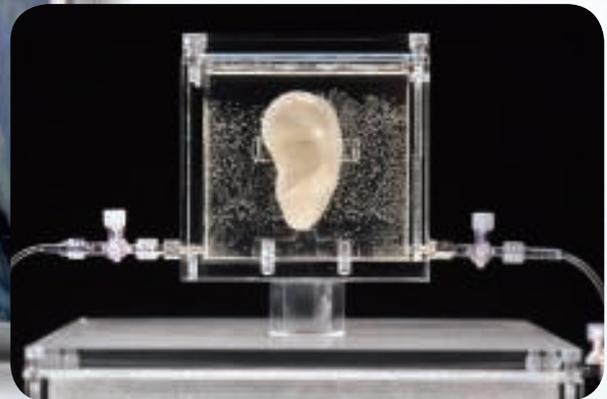
## 3D 바이오 프린팅 기술로 재창조한 생체 조직

독일의 한 미술관이 고흐(Gogh, V. van, 1853~1890) 동생의 증손자에게서 살아 있는 세포를 받아 유명 화가 고흐의 귀를 3D 바이오 프린팅 기술로 재현하였다. 고흐와 유전적으로 유사한 증손자의 세포는 미국의 보스턴 병원에서 배양되어 3D 프린터로 귀의 형상을 갖추게 되었다. 생명 활동을 하는 재현된 고흐의 귀는 시공간을 초월하여 현대의 소리를 들을 수 있을까?

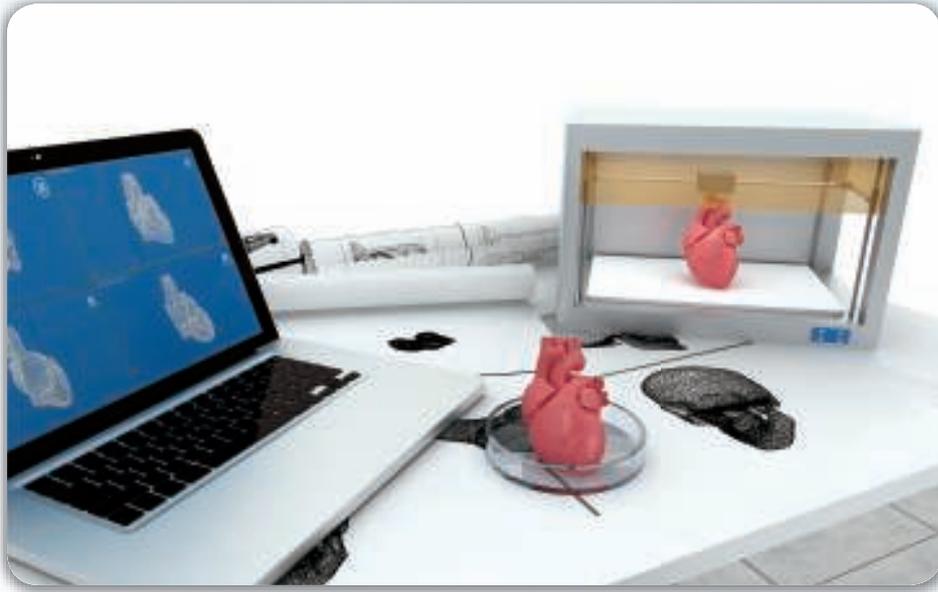
입체적인 생체 조직을 재현하는 3D 바이오 프린팅 기술은 프린터 노즐을 통해 실험실에서 배양된 세포를 함유한 액체 상태의 바이오 잉크를 분사하여 3차원의 생체 조직을 만드는 기술이다.



고흐의 「귀가 잘린 자화상」



3D 바이오 프린팅 기술로 재현된 고흐의 귀는 영양분을 공급받으며 생명 활동을 하는 살아 있는 귀이다.



3D 프린터

1. 탐구 능력 3D 바이오 프린팅 기술이 우리 생활에 미치는 영향을 정리해 보자.

2. 문제 해결력 자신이 3D 바이오 프린팅 기술을 이용할 수 있다면 무엇을 제작하고 싶은지 생각해 보자.

학습  
계획하기

다음의 '단원 학습'에서 알고 있는 것에 ✓표를 해 보고, 스스로 학습 계획을 세워 보자.

단원 학습

- |  |   |
|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> 생명체의 구성        | <input checked="" type="checkbox"/> 탄수화물, 지질, 단백질, 핵산 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 원핵세포와 진핵세포     | <input checked="" type="checkbox"/> 세포의 연구 방법         |
| <input checked="" type="checkbox"/> 세포 소기관의 유기적 관계 | <input checked="" type="checkbox"/> 세포막의 구조           |
| <input checked="" type="checkbox"/> 세포막을 통한 물질의 이동 | <input checked="" type="checkbox"/> 효소의 작용            |

후속 학습

- » 생명과학 II
- 세포 호흡과 광합성
  - 유전자의 발현과 조절
  - 생물의 진화와 다양성

나는 \_\_\_\_\_

할 수 있다.

# 1



## 생명체의 유기적 구성

### 학습 목표

• 동물과 식물의 유기적 구성을 비교할 수 있다.

톱니바퀴가 연결된 시침, 분침, 초침이 모이고, 이들과 태엽, 숫자판이 결합하여 시계가 된다. 이처럼 세포들도 유기적으로 구성되어 하나의 생명체가 된다. 생명체는 세포로부터 어떤 단계를 거쳐 구성될까?



다세포 생물은 수많은 세포로 이루어져 있으며, 각각의 세포는 독자적인 생명 활동을 유지하고 유기적으로 결합하여 정교한 체제를 이룬다. 다세포 생물에서는 형태와 기능이 비슷한 세포가 모여 조직을 이루고, 여러 조직이 모여 고유한 기능을 하는 기관을 형성한다. 그리고 여러 기관이 모여 독립된 구조와 기능을 가지고 생활하는 하나의 생명체인 개체가 된다.

### 동물체의 구성

#### 동물의 조직

- 상피 조직: 몸의 표면이나 내장 기관의 안쪽 벽을 덮고 있다.
- 결합 조직: 서로 다른 조직을 결합하거나 지지한다.
- 근육 조직: 수축하거나 이완하여 몸의 움직임에 관여한다.
- 신경 조직: 자극을 받아 전달한다.

동물의 조직에는 그림 II-1과 같이 상피 조직, 결합 조직, 근육 조직, 신경 조직이 있다. 이러한 조직이 모여 특정 기능을 수행하는 기관을 이루고, 연관된 기능을 하는 기관들이 모여 기관계가 된다. 예를 들면 순환계는 심장과 혈관 등의 기관들이 기능적으로 서로 연결되어 혈액 순환이라는 기능을 수행하는 기관계이다. 동물의 기관계에는 소화계, 호흡계, 배설계, 신경계, 생식계 등이 있으며, 여러 기관계가 모여서 하나의 개체를 이룬다.

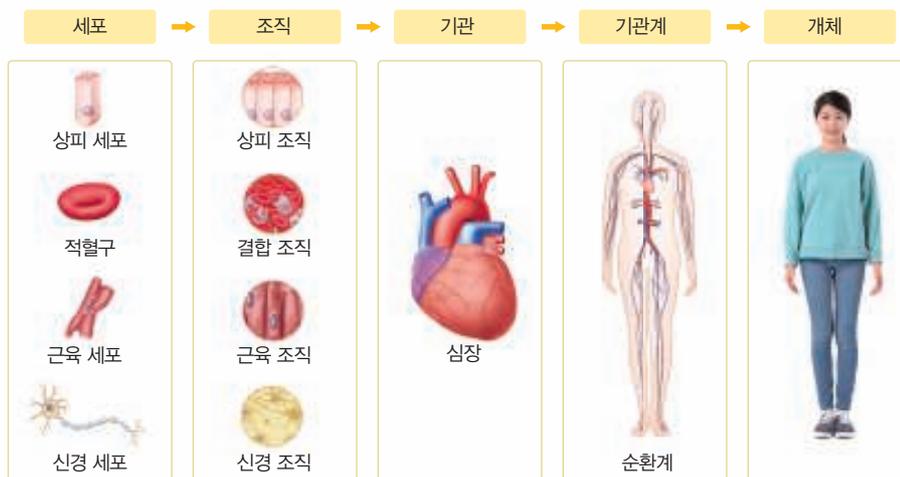


그림 II-1 동물의 구성 단계 동물은 세포 → 조직 → 기관 → 기관계 → 개체의 단계로 구성된다.

## 식물체의 구성

식물의 조직에는 분열 조직, 표피 조직, 유조직, 통도 조직 등이 있다. 이러한 조직이 모여 일정한 기능을 수행하는 조직계를 이룬다. 식물의 조직계에는 표피 조직계, 관다발 조직계, 기본 조직계가 있으며, 각각의 조직계는 식물체 전체에 연속적으로 연결되어 기관을 구성한다. 식물의 기관으로는 뿌리, 줄기, 잎, 꽃, 열매가 있으며, 서로 다른 일을 하는 여러 기관이 모여서 하나의 개체를 이룬다.

식물의 유기적 구성은 동물과 비교하여 어떤 차이점이 있는지 알아보자.

### 식물의 조직계

- 표피 조직계: 식물체의 바깥 표면을 덮어 식물체를 보호한다.
- 관다발 조직계: 물관부와 체관부로 이루어졌으며, 물질을 운반한다.
- 기본 조직계: 표피 조직계와 관다발 조직계를 제외한 나머지 부분으로 저장, 광합성, 지지 기능을 한다.

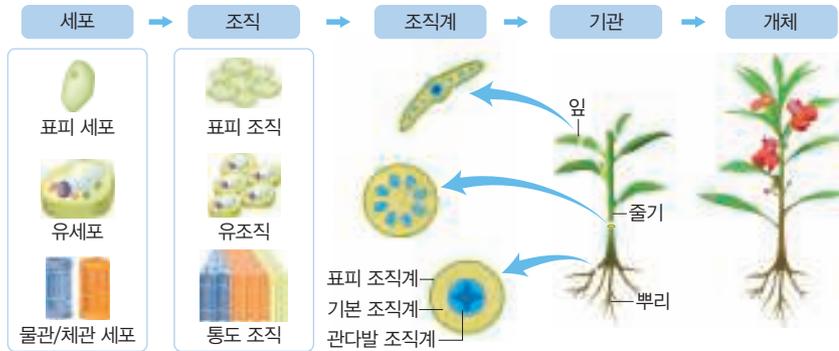
자료  
해석

해 보기

식물체 구성의 특징



그림은 식물의 구성 단계를 나타낸 것이다.



1. 식물의 구성 단계를 동물과 비교하여 설명해 보자.

.....

.....

2. 앞에서 각각의 조직계는 어떤 역할을 하는지 써 보자.

.....

3. 식물의 기관을 영양 기관과 생식 기관으로 구분하여 써 보자.

.....

다세포 생물의 몸은 유기적인 구성 체제를 갖추고 있어 여러 가지 생명 활동을 효과적으로 수행할 수 있다.

### 핵심 개념 확인하기

1 생명체의 구성 중 형태와 기능이 비슷한 세포들의 모임을 무엇이라고 하는가?

2 창의 융합 사고 | 생명체의 구성을 학교의 구성과 비유한다면 각각 무엇에 해당할지 생각해 보자.

- 다음 개념을 이해하였는지  표를 하면서 확인해 보자.
- 동물체와 식물체의 구성

# 2



## 생명체를 구성하는 주요 물질

학습 목표

• 탄수화물, 지질, 단백질, 핵산의 기본 구조와 기능을 설명할 수 있다.

여러 악기의 소리가 모여 한 곡의 음악이 탄생하듯 생명체도 여러 가지 구성 물질로 이루어져 있다. 생명체는 어떤 물질로 이루어져 있을까?



### 탄소 화합물

탄소가 다른 원소와 결합하여 이루어진 화합물

생명체는 주로 물과 탄소 화합물로 이루어져 있다. 탄소 화합물에는 탄수화물, 지질, 단백질, 핵산이 있으며, 그중 탄수화물, 단백질, 핵산은 단위체가 긴 사슬 형태로 연결되어 형성된 물질이다. 그림 II-2와 같이 생명체를 구성하는 탄소 화합물은 종류에 따라 구성 비율이 다르며, 생명 활동에 중요한 역할을 한다.

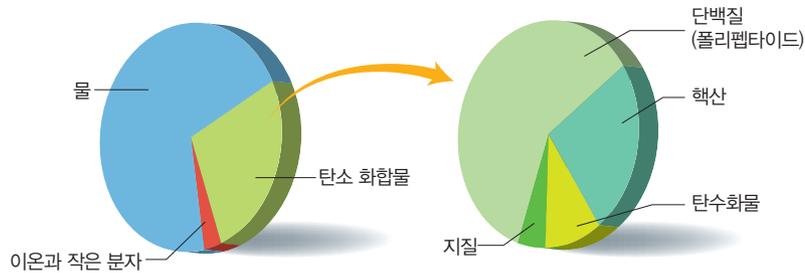


그림 II-2 세포(세균)의 구성 성분

### 탄수화물

탄수화물은 단당류, 이당류, 다당류로 구분한다. 단당류는 가장 단순한 형태의 탄수화물로 탄소 골격의 탄소 수에 따라 구분하며, 포도당, 과당, 갈락토스는 6탄당에 해당한다. 포도당과 같은 단당류는 세포의 주된 에너지원으로 이용된다.

이당류는 단당류 두 분자가 결합한 것으로 엿당, 젖당, 설탕이 있다. 엿당은 포도당과 포도당, 젖당은 갈락토스와 포도당, 설탕은 포도당과 과당이 결합하여 형성된다.

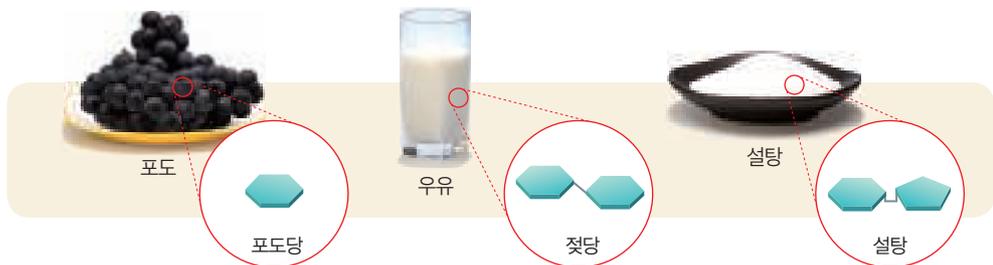


그림 II-3 단당류와 이당류 포도당은 단당류이고, 젖당과 설탕은 이당류이다.

다당류는 수백 또는 수천 개의 단당류가 결합한 것으로, 녹말, 글리코젠, 셀룰로스 등이 있다. 그림 II-4와 같이 녹말은 식물의 뿌리, 열매, 줄기, 잎 등에 저장되고, 글리코젠은 동물의 간이나 근육 등에 저장된다. 셀룰로스는 식물 세포의 세포벽을 구성하는 물질로, 식물 세포를 구조적으로 지지하는 역할을 한다.

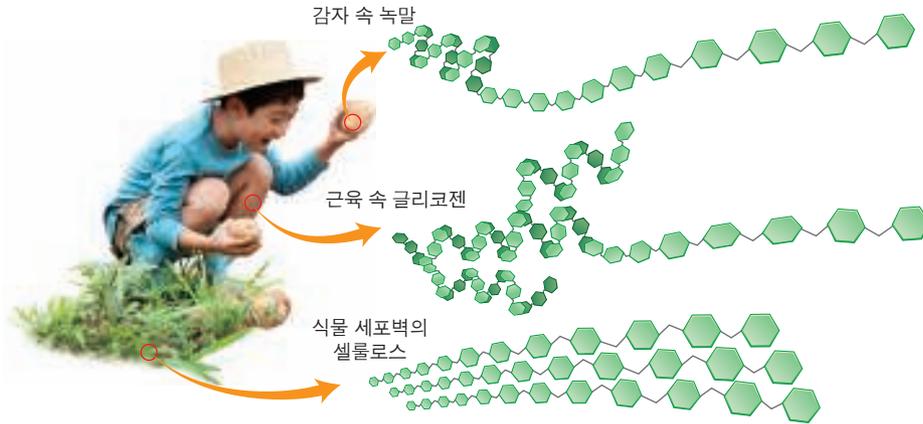


그림 II-4 다당류의 종류 다당류는 포도당이 긴 사슬 형태로 결합하여 형성된다.

## 지질

지질은 물에는 잘 녹지 않지만 유기 용매에는 잘 녹는다. 그림 II-5와 같이 지질은 성분이나 구조에 따라 중성 지방, 인지질, 스테로이드 등으로 구분된다. 중성 지방은 지방산과 글리세롤로 구성되는데, 생명체 내에서 에너지 저장 물질로 이용되며 동물의 체온을 유지하는 데 중요하다. 인지질은 주로 세포막을 구성하는 성분이며 인산을 함유하고 있다. 스테로이드는 4개의 고리가 연결된 구조로, 성호르몬, 부신 겉질 호르몬 등의 구성 성분이다. 대표적인 예로는 콜레스테롤이 있으며, 콜레스테롤은 인지질과 함께 동물의 세포막을 구성한다.

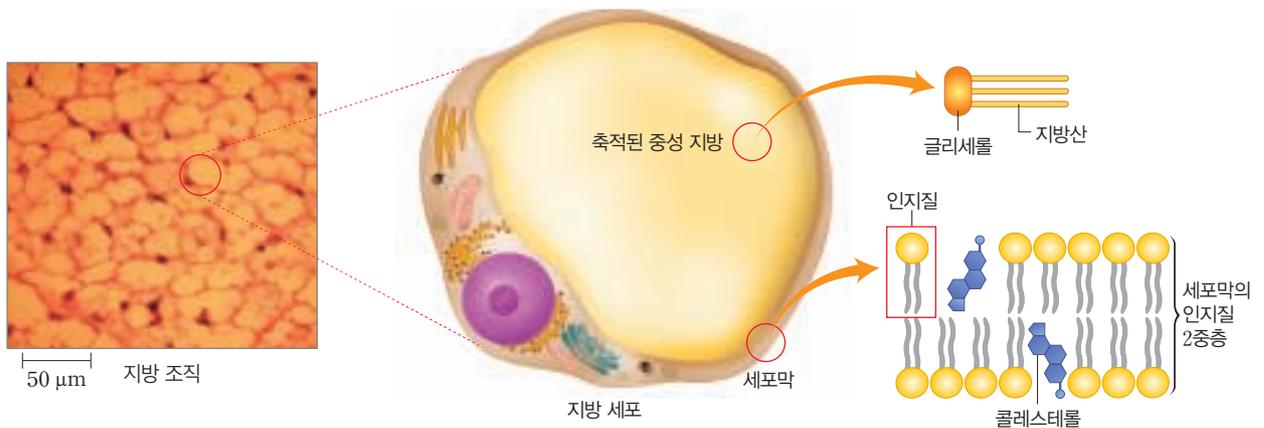


그림 II-5 지질의 종류 중성 지방은 한 분자의 글리세롤과 세 분자의 지방산으로 구성된다. 세포막 구조에서 인지질은 2개의 층으로 배열되어 있으며, 콜레스테롤은 4개의 고리가 연결된 구조이다.

## 단백질

생명체 내에는 특정한 구조와 기능을 가진 다양한 종류의 단백질이 있다. 단백질은 여러 종류의 아미노산이 펩타이드 결합으로 연결된 화합물이다. 단백질을 구성하는 아미노산의 수, 종류, 서열에 따라 구조가 달라져 서로 다른 종류의 단백질이 된다. 단백질의 다양한 기능은 폴리펩타이드 사슬의 입체 구조에 의해 결정된다.

### 폴리펩타이드

여러 개의 아미노산이 펩타이드 결합으로 연결된 것

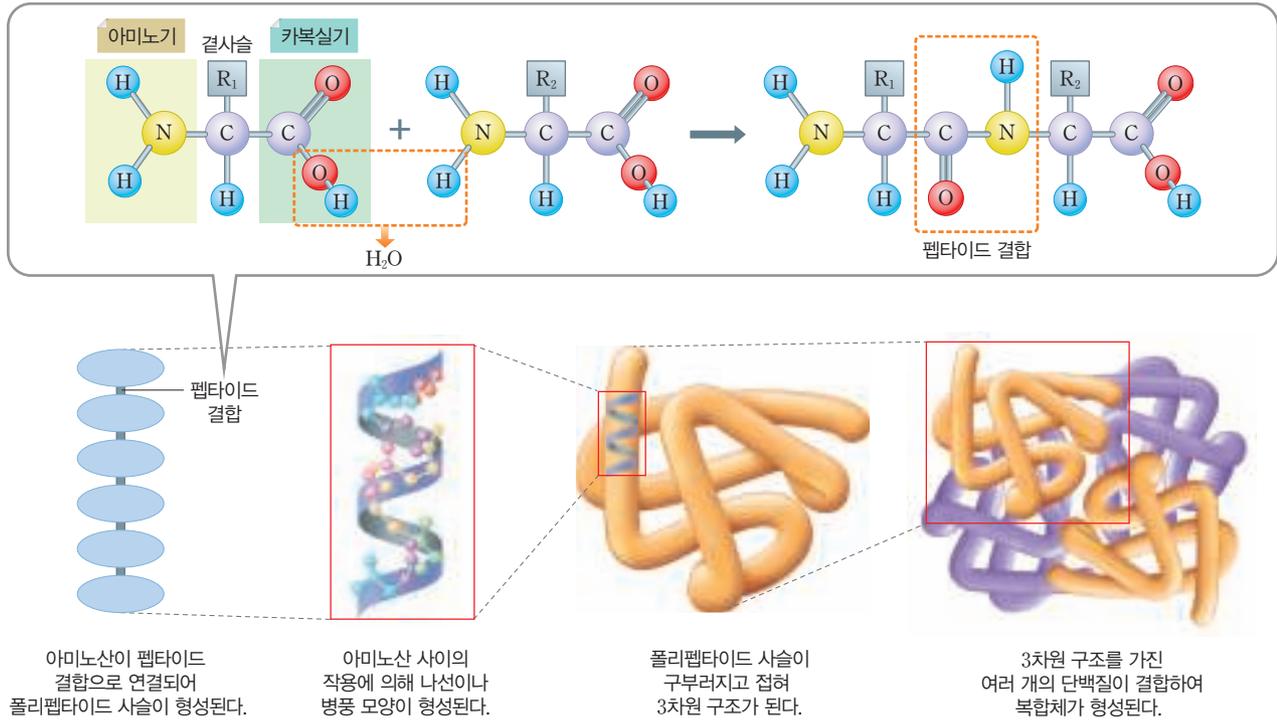


그림 II-6 아미노산의 구조 및 펩타이드 결합과 단백질의 입체 구조 형성

단백질의 입체 구조는 온도, pH 등의 환경 조건에 영향을 받는다. 환경 조건의 변화에 의해 단백질이 제 기능을 할 수 없도록 입체 구조가 변하는 것을 변성이라고 한다.

단백질은 호르몬, 효소, 항체의 성분으로 세포 사이의 정보 교환, 물질대사 조절, 방어 작용 등의 역할을 하며 동물의 근육, 뼈, 힘줄, 피부 등을 구성한다.

DNA는 deoxyribonucleic acid의 약자야.



## 핵산

핵산의 종류에는 디옥시리보 핵산(DNA)과 리보핵산(RNA)이 있다. 핵산은 많은 수의 뉴클레오타이드가 결합하여 형성된 폴리뉴클레오타이드이다. 뉴클레오타이드는 염기, 당, 인산이 1:1:1로 결합되어 있다. 염기는 퓨린 계열 염기와 피리미딘 계열 염기로 나눈다. 퓨린 계열 염기에는 아데닌(A)과 구아닌(G)이 있고, 피리미딘 계열 염기에는 사이토신(C), 타이민(T), 유라실(U)이 있다. 아데닌, 구아닌, 사이토신은 DNA와 RNA에 모두 있으며, 타이민은 DNA에만, 유라실은 RNA에만 있다. 염기에 연결된 당은 5탄당으로 DNA의 당은 디옥시리보스이고, RNA의 당은 리보스이다.

DNA는 그림 II-7과 같이 이중 나선 구조로, 유전 정보를 저장한다. RNA는 단일 가닥으로, 유전 정보에 따라 단백질을 합성하는 과정에 관여한다.

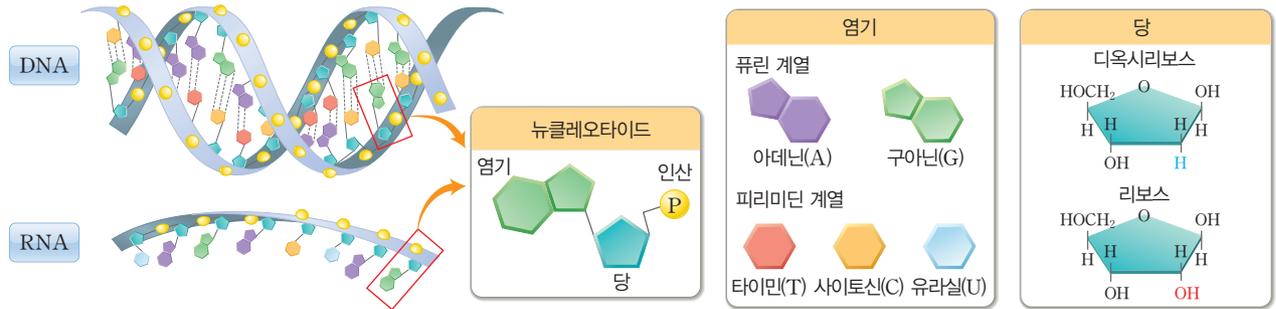
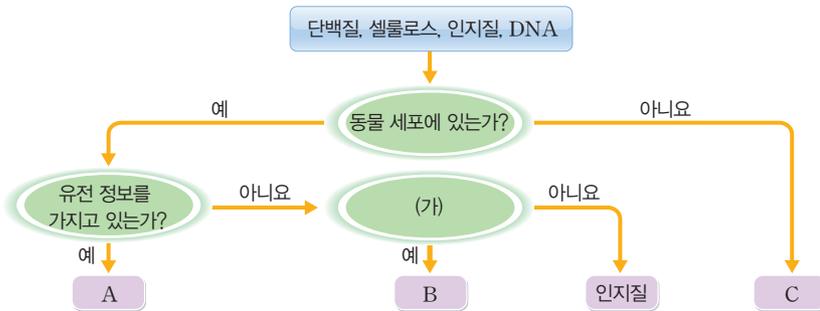


그림 II-7 핵산의 종류

생명체를 구성하는 탄소 화합물의 구조와 기능을 비교해 보자.

**자료 해석 해 보기** 생명체의 주요 구성 물질

그림은 생명체를 구성하는 주요 물질을 구분하는 과정을 나타낸 것이다.



1. A~C에 해당하는 물질과 (가)에 해당하는 기준을 각각 써 보자.
2. 각 물질이 생명체에서 어떤 역할을 하는지 토의하여 발표해 보자.

탄수화물, 단백질, 핵산 등은 단위체의 구성에 따라 다양한 종류가 형성되어 생명체의 구성 물질로 이용되거나, 여러 가지 생명 현상에서 많은 역할을 담당한다.

**핵심 개념 확인하기**

- 1 동물의 간이나 근육에 저장되는 다당류의 형태를 무엇이라고 하는가?
- 2 DNA와 RNA를 구성하는 물질의 차이점을 써 보자.

• 다음 개념을 이해하였는지 ✓ 표를 하면서 확인해 보자.  
 탄수화물, 지질, 단백질, 핵산

# 3



## 원핵세포와 진핵세포

학습  
목표

• 원핵세포와 진핵세포의 차이점을 비교할 수 있다.

콩과식물은 질소 고정 세균의 도움으로 필요한 질소 화합물을 얻으며 세균과 공생한다. 식물과 세균은 모두 세포로 구성되어 있다. 이들의 세포는 어떻게 다를까?



### 세균과 진핵세포의 크기

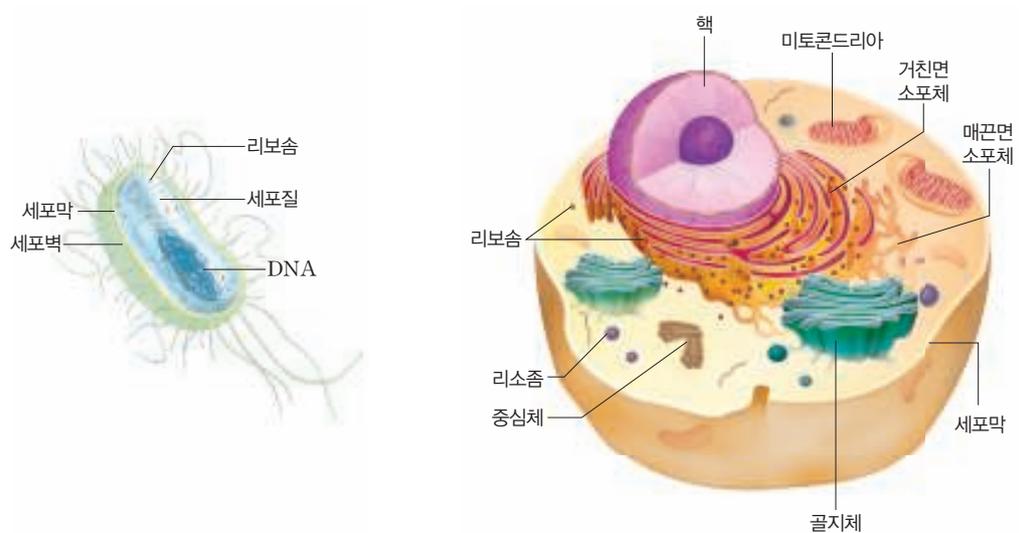
세균의 크기는 0.2~2 μm로, 10~100 μm인 진핵세포보다 작다.

원핵세포와 진핵세포의 유전체는 'IV-1. 유전체와 유전자'를 참고하세요 → 114쪽

세균은 동물 세포나 식물 세포와 달리 막으로 둘러싸인 핵을 가지고 있지 않는데, 이처럼 막으로 둘러싸인 핵이 없는 세포를 **원핵세포**라고 한다. 원핵세포의 세포질에는 하나의 원형 DNA가 응축되어 있으며, 미토콘드리아, 골지체, 소포체, 엽록체 등 막으로 둘러싸인 세포 소기관이 없다.

식물 세포나 동물 세포와 같이 막으로 둘러싸인 핵을 가지고 있는 세포를 **진핵세포**라고 한다. 진핵세포의 핵 속에는 여러 개의 선형 DNA가 있으며, DNA는 단백질과 함께 염색체를 구성한다. 세포 내에는 미토콘드리아, 골지체, 소포체, 엽록체 등 막으로 둘러싸인 세포 소기관이 존재한다.

단백질을 합성하는 리보솜은 원핵세포와 진핵세포에 모두 존재하지만, 원핵세포의 리보솜이 진핵세포의 리보솜보다 크기가 작다.



▲ 원핵세포(세균)

▲ 진핵세포(동물 세포)

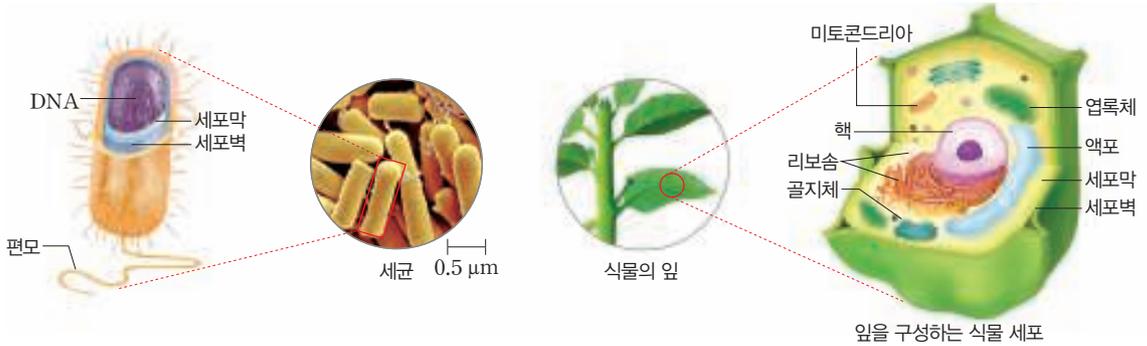
그림 II-8 원핵세포(세균)와 진핵세포(동물 세포)의 구조 비교 원핵세포의 DNA는 핵막으로 둘러싸여 있지 않고 세포질의 특정한 부분에 있으나, 진핵세포의 DNA는 2중막으로 된 핵 안에 있다.

원핵세포와 진핵세포의 구조를 비교하여 공통점과 차이점을 찾아보자.

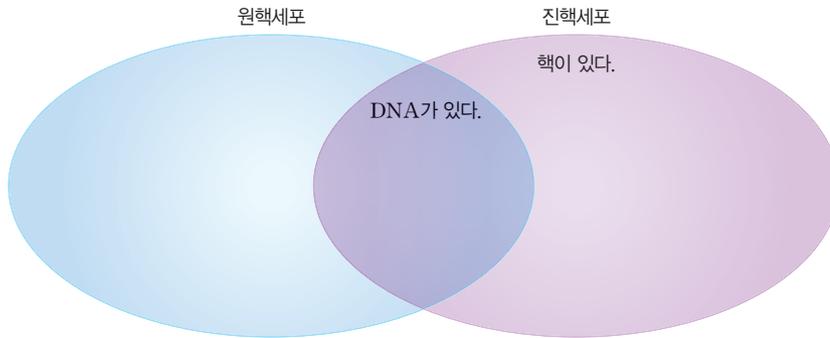
**자료 해석** 해 보기 세균과 식물 세포의 공통점과 차이점



그림은 세균과 식물의 잎을 구성하는 세포의 구조를 나타낸 것이다.



1. 세균(원핵세포)과 식물의 잎을 구성하는 세포(진핵세포)의 구조를 비교하여 공통점과 차이점을 벤다이어그램에 정리해 보자.



2. 세균의 세포벽은 식물의 세포벽과 어떻게 다른지 조사해 보자.



원핵세포로 이루어진 원핵생물은 모두 하나의 세포로 구성되며 모양이 다양하고, 뜨거운 온천이나 염분의 농도가 높은 소금물 환경에서 살 수 있는 것도 있다. 진핵세포로 이루어진 진핵생물은 하나의 세포 또는 많은 수의 세포로 구성된다.

**핵심 개념 확인하기**

- 1 원핵세포와 진핵세포를 구분하는 기준은 무엇인가?
- 2 원핵세포와 진핵세포 중 선형의 DNA를 가지고 있는 것은 무엇인가?
- 3 원핵세포와 진핵세포의 리보솜에는 어떤 차이가 있는가?

- 다음 개념을 이해하였는지 ✓ 표를 하면서 확인해 보자.
- 원핵세포의 구조
- 진핵세포의 구조

# 4



## 세포 소기관의 구조와 기능

### 학습 목표

- 세포 소기관의 구조와 기능을 연구하는 방법을 설명할 수 있다.
- 세포 소기관들이 기능적으로 유기적인 관계를 이루고 있음을 이해하고, 이들 간의 관계성을 설명할 수 있다.

다양한 가게와 연결 통로, 기계실 등 서로 다른 기능을 하는 여러 장소가 연계되어 쇼핑몰이 운영되듯이 세포 속에도 고유의 기능을 하는 여러 소기관이 모여 생명 활동을 한다. 세포 소기관에는 어떤 것이 있을까?

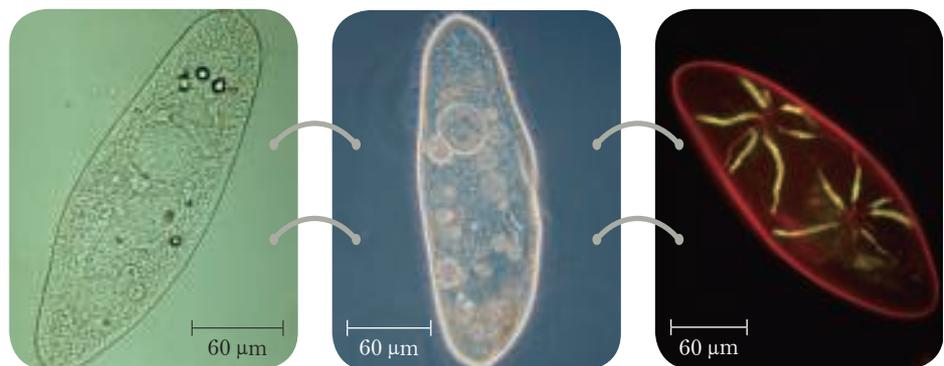


### 세포의 연구 방법

오늘날에는 다양한 현미경과 염색법 등의 발달로 세포 소기관의 미세한 구조까지 볼 수 있게 되었다. 또, 세포 분획법과 자기 방사법 등을 이용하여 세포 소기관의 기능을 자세히 연구할 수 있다.

**현미경에 의한 세포의 관찰** >> 세포의 구조를 관찰하는 데 일반적으로 사용되는 현미경은 광학 현미경이다. 광학 현미경은 대물렌즈와 접안렌즈를 통해 가시광선을 굴절시켜 확대된 상을 얻는다. 광학 현미경을 이용하면 살아 있는 세포의 모양과 길이뿐만 아니라 핵, 염색체, 엽록체, 미토콘드리아 등을 관찰할 수 있다. 또, 관찰하려는 세포 소기관을 염색하면 해당 세포 소기관을 좀 더 잘 구별할 수 있다.

광학 현미경의 종류에는 그림 II-9와 같이 일반적인 광학 현미경 외에 위상차 현미경, 형광 현미경, 간섭 현미경 등이 있다.



▲ 일반적인 광학 현미경 세포를 통과한 가시광선을 이용하여 대물렌즈와 접안렌즈에 의해 확대된 상을 관찰할 수 있다.

▲ 위상차 현미경 세포의 부위에 따른 빛의 굴절 차이가 명암의 차이로 나타나므로, 염색하지 않아도 세포를 뚜렷이 관찰할 수 있다.

▲ 형광 현미경 세포에 형광 염색 물질을 처리한 후 빛을 비추면 특정 물질의 세포 내 위치를 관찰할 수 있다.

그림 II-9 여러 종류의 광학 현미경을 이용한 짚신벌레 관찰



광학 현미경을 이용하여 세포의 길이를 측정해 보자.

**실험 해 보기** 세포의 길이 측정



**과정**

① 다음 과정에 따라 접안 마이크로미터 눈금 한 칸의 길이를 측정한다.

- ① 접안 마이크로미터를 접안렌즈 안에 끼우고, 재물대 위에 대물 마이크로미터를 놓는다.
- ② 현미경의 배율을 100배로 한 후, 눈금이 선명하게 보이도록 조절한다.
- ③ 접안 마이크로미터와 대물 마이크로미터의 눈금이 평행이 되도록 한다.
- ④ 접안 마이크로미터와 대물 마이크로미터의 눈금이 겹치는 두 곳을 찾아 그 사이에 있는 눈금의 칸 수를 각각 세어 접안 마이크로미터 눈금 한 칸의 길이를 구한다.

**[현미경 배율이 200배일 때 접안 마이크로미터와 대물 마이크로미터의 눈금]**



그림에서 겹친 부분 사이에 있는 눈금의 칸 수를 세어 접안 마이크로미터 눈금 한 칸의 길이를 구해 보자.

- 대물 마이크로미터 눈금 한 칸의 길이: 10 μm
- 접안 마이크로미터 눈금 한 칸의 길이  

$$= \frac{\text{대물 마이크로미터 눈금의 칸 수}(\quad)}{\text{접안 마이크로미터 눈금의 칸 수}(\quad)} \times 10 \mu\text{m}$$

$$= (\quad) \mu\text{m}$$

**준비물**

- 현미경     적양파
- 대물 마이크로미터
- 접안 마이크로미터
- 받침 유리     덮개 유리
- 면도칼     스포이트
- 핀셋     거름종이
- 실험복
- 실험용 고무장갑

**유의할 점**

- 현미경으로 세포를 관찰할 때는 저배율에서 먼저 관찰한 후, 점차 배율을 높여 관찰한다.
- 적양파를 면도칼로 자를 때 손을 다치지 않도록 주의한다.
- 덮개 유리가 깨지지 않도록 주의한다.
- 대물 마이크로미터를 재물대에서 제거한 후, 현미경 표본을 관찰한다.

② 다음 과정에 따라 적양파 세포의 길이를 측정한다.

- ① 적양파의 표피를 잘라 받침 유리 위에 올려놓는다.
- ② 물을 한 방울 떨어뜨린 후 덮개 유리를 덮는다.
- ③ 현미경으로 적양파의 표피 세포를 관찰하고, 접안 마이크로미터 눈금을 이용하여 세포의 길이를 측정한다.



**결과 및 정리**

1. 현미경의 배율이 100배일 때 접안 마이크로미터 눈금 한 칸의 길이는 얼마인가?

.....

2. 관찰한 적양파 세포의 길이는 얼마인가?

.....

3. 대물렌즈의 배율을 바꾸어 현미경의 배율을 400배로 하였을 때, 접안 마이크로미터 눈금 한 칸의 길이는 어떻게 변할지 설명해 보자.

.....



### 해상력

아주 가까운 거리에 있는 두 점이 확실하게 분리되어 보이는 최소한의 거리

㉮ 광학 현미경: 0.2  $\mu\text{m}$

투과 전자 현미경: 0.0002  $\mu\text{m}$

주사 전자 현미경: 0.005  $\mu\text{m}$

광학 현미경보다 높은 배율과 해상력을 가진 전자 현미경이 개발되면서 세포 소기관의 내부 구조를 관찰할 수 있게 되었다. 전자 현미경은 가시광선보다 파장이 짧은 전자선을 전자 렌즈로 굴절시켜 물체의 상을 확대한다. 그림 II-10과 같이 전자 현미경에는 투과 전자 현미경(TEM)과 주사 전자 현미경(SEM)이 있다. 투과 전자 현미경은 전자를 시료의 얇은 단면에 투과시켜 컴퓨터 화면에 시료 단면의 영상을 형성하고, 주사 전자 현미경은 시료 표면에 전자를 주사하여 컴퓨터 화면에 시료 표면의 3차원 입체 영상을 형성한다.

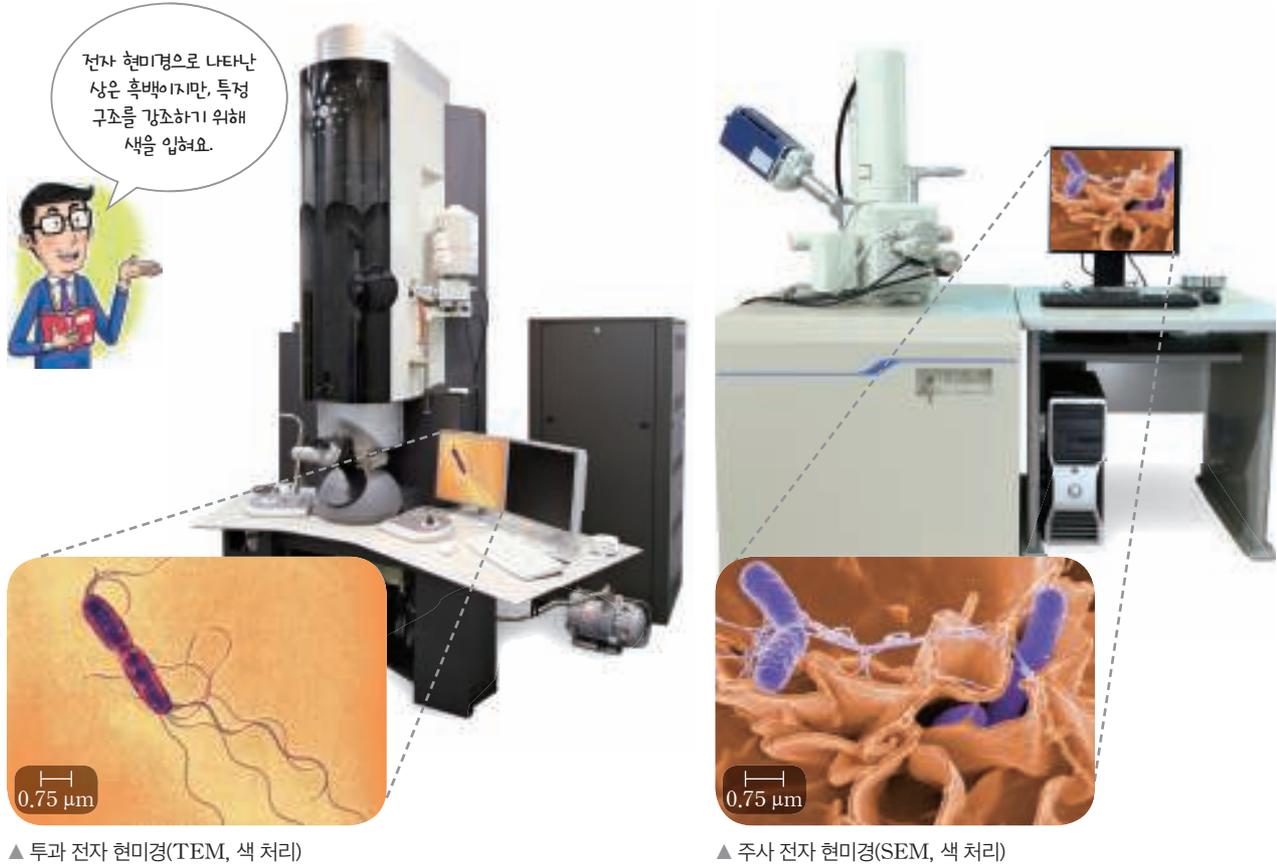


그림 II-10 살모넬라균의 전자 현미경 사진 투과 전자 현미경(TEM)은 세포 내부의 구조를, 주사 전자 현미경(SEM)은 세포의 표면이나 외부 형태를 연구하는 데 유용하다.

### 원심 분리기

고속 회전으로 생기는 원심력을 이용하여 혼합된 용액 내의 물질을 분리하는 기계

**세포 분획법** >> 세포 분획법은 세포 내의 구성 물질이나 세포 소기관을 서로 분리하는 기술이다. 세포 분획을 하기 위해서는 그림 II-11과 같이 먼저 세포나 조직을 파쇄한 후, 세포 파쇄액을 원심 분리기에 넣어 회전시킨다. 원심 분리를 이용하여 세포 파쇄액이 들어 있는 시험관을 다양한 속도로 회전시키면 세포 소기관들이 바닥에 가라앉아 침전물이 형성된다. 느린 속도에서는 비교적 크고 무거운 핵 등이 포함된 침전물이 형성되고, 속도를 증가시키면 엽록체, 미토콘드리아, 소포체, 리보솜 등의 순서로 세포 소기관이 포함된 침전물이 가라앉아 분리된다.

세포 분획법은 특정한 세포 소기관의 구조나 기능을 연구하기 위해 그 세포 소기관을 대량으로 얻고자 할 때 사용된다.

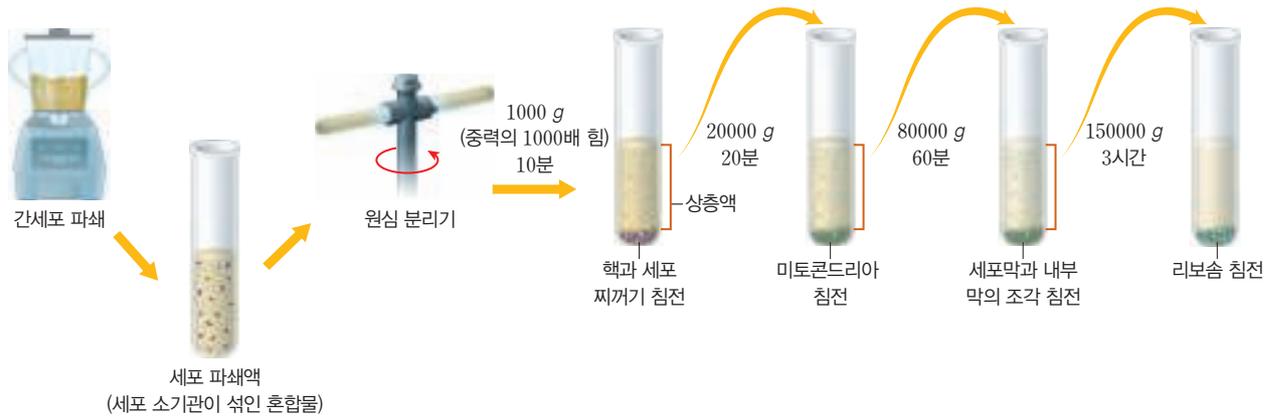


그림 II-11 세포 분획법 세포 소기관의 크기와 밀도가 클수록 빨리 가라앉으므로, 간세포 파쇄액은 핵, 미토콘드리아, 세포막과 내부 막 조각(소포체), 리보솜 순서로 분획된다.

**자기 방사법** ✨ 방사성 동위 원소가 표지된 화합물을 세포에 공급하고 시간 경과에 따라 방사성 동위 원소에서 방출되는 방사선을 추적하는 방법을 자기 방사법이라고 한다. 자기 방사법은 그림 II-12와 같이 세포 내에서 물질의 이동이나 변화 과정을 알아보고자 할 때 이용된다.

**방사성 동위 원소**

원자 번호는 같으나 질량이 다른 원소를 동위 원소라고 하며, 그중에서 방사선을 방출하는 것을 방사성 동위 원소라고 한다. 자기 방사법에는  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{32}\text{P}$ ,  $^{35}\text{S}$ ,  $^{125}\text{I}$  등이 사용된다.



그림 II-12 자기 방사법

$^{14}\text{C}$ 로 표지된 아미노산이 들어 있는 배양액에 세포를 배양하면서 시간 경과에 따라 방사선을 방출하는 세포 소기관을 조사하면, 세포 내에서 단백질이 합성되어 이동하는 경로를 알 수 있다.

**핵심 개념 확인하기**

- 1 전자선을 이용하여 물체의 상을 확대하는 현미경은 무엇인가?
- 2 세포 소기관을 크기나 밀도에 따라 침전시켜 분리하는 방법을 ( )이라고 한다.
- 3 **창의 융합 사고** | 식물 세포에서 포도당이 합성되어 이동하는 경로를 연구하려면 어떤 물질에 방사성 동위 원소를 표지하는 것이 좋을지 생각해 보자.

- 다음 개념을 이해하였는지 ✓ 표를 하면서 확인해 보자.
  - 광학 현미경과 전자 현미경
  - 세포 분획법
  - 자기 방사법

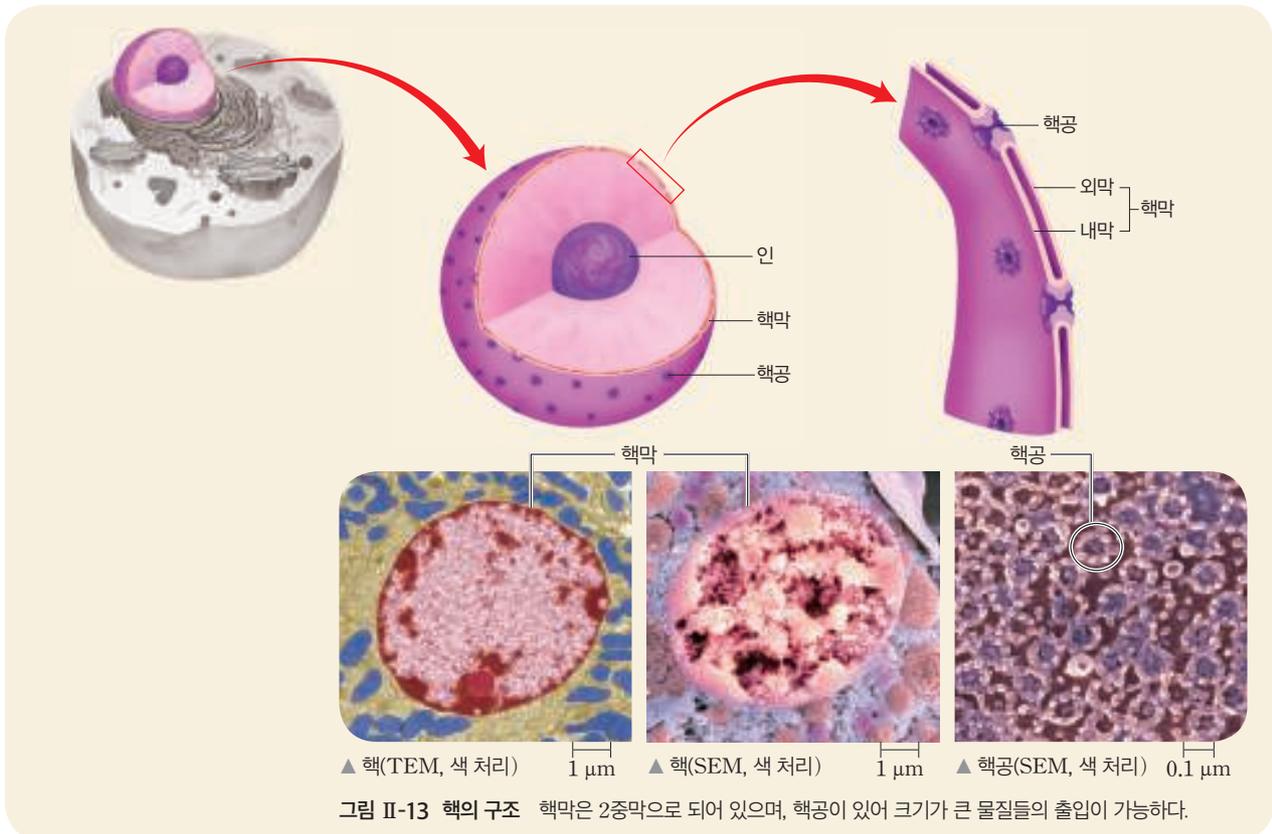
## 세포 소기관의 유기적 관계

세포는 여러 가지 물질을 합성하고, 합성한 물질을 세포 내의 필요한 장소로 보내거나 저장하며, 세포 밖으로 분비하기도 한다. 이러한 생명 활동은 여러 세포 소기관들이 서로 연관되어 유기적으로 작용함으로써 이루어진다.

**물질의 합성과 수송** ✨ 세포가 합성하는 물질 중 단백질은 세포를 구성하는 주요 성분이고, 세포 내에서 일어나는 대부분의 생명 활동을 조절하는 데 관여한다. 핵 속에 있는 DNA의 유전 정보에 따라 세포에서 단백질이 합성되고, 단백질의 기능에 따라 세포의 생명 활동 특성이 결정된다. 따라서 **핵**은 세포의 구조와 기능을 결정하고, 세포의 생명 활동을 조절하는 역할을 한다.

핵은 그림 II-13과 같이 핵막으로 둘러싸여 있으며, 핵막은 각각 인지질 2중층으로 된 외막과 내막으로 이루어져 있다. 핵막에는 핵공이라는 작은 구멍이 있어 이곳을 통해 RNA, 단백질 등의 물질이 출입한다. 세포의 핵 속에는 인이라는 구조가 있다. 인에서는 rRNA(리보솜 RNA)가 합성되며, rRNA는 핵공을 통해 들어온 리보솜 단백질과 합쳐져 리보솜 단위체가 된다.

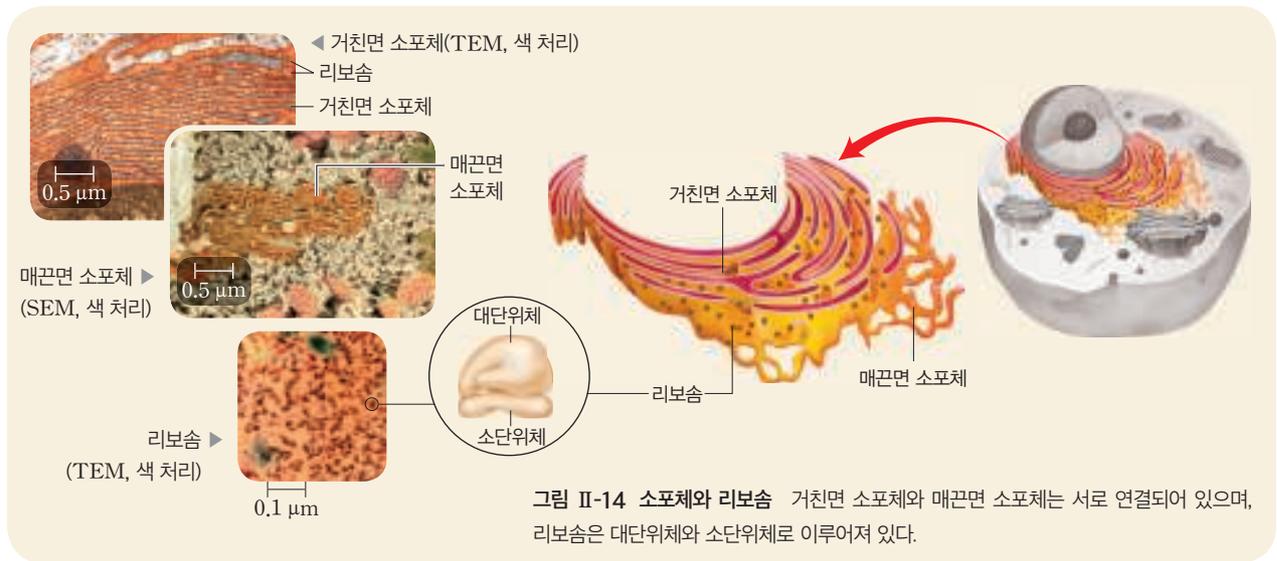
❓ 핵공을 통해 이동할 수 있는 물질에는 어떤 것이 있을까?



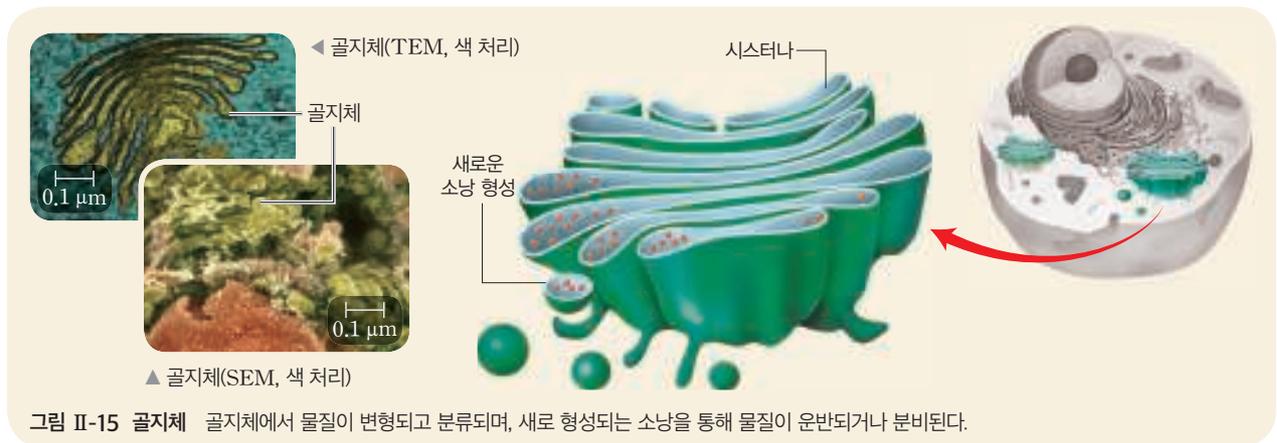
**리보솜**은 rRNA와 단백질로 구성되며 2개의 단위체가 결합된 형태이다. 리보솜은 세포질에서 유전 정보에 따라 단백질을 합성하므로 단백질 합성이 활발한 세포에서 많이 발견된다. 리보솜은 세포질 내에서 자유롭게 떠다니거나 소포체에 붙어 있다.

**소포체**는 막으로 이루어진 세포 소기관으로, 핵막에 부분적으로 연결되어 있다. 소포체에는 그림 II-14와 같이 리보솜이 붙어 있는 거친면 소포체와 리보솜이 붙어 있지 않은 매끈면 소포체가 있다. 거친면 소포체는 리보솜에서 합성된 단백질을 이동시키는 통로 역할을 하며, 합성된 단백질은 소포체 막에서 분리된 소낭을 통해 세포 내 다른 부위로 이동한다. 매끈면 소포체는 막에 효소가 있어 지방, 인지질 등의 지질을 합성하는 역할을 하며, 칼슘 이온의 저장과 독성 물질의 제거에 관여한다.

**소낭**  
막으로 둘러싸인 작은 공 모양의 주머니로, 여러 가지 물질을 운반한다.



**골지체**는 그림 II-15와 같이 납작한 주머니인 시스터나가 겹쳐져 있는 세포 소기관으로, 소포체로부터 수송된 단백질과 지질을 변형하고 분류하여 다른 목적지로 보낸다. 골지체는 소포체와 달리 내부가 서로 연결되어 있지 않으며, 소낭을 통해 물질을 세포의 다른 부위로 운반하거나 세포 밖으로 분비한다.

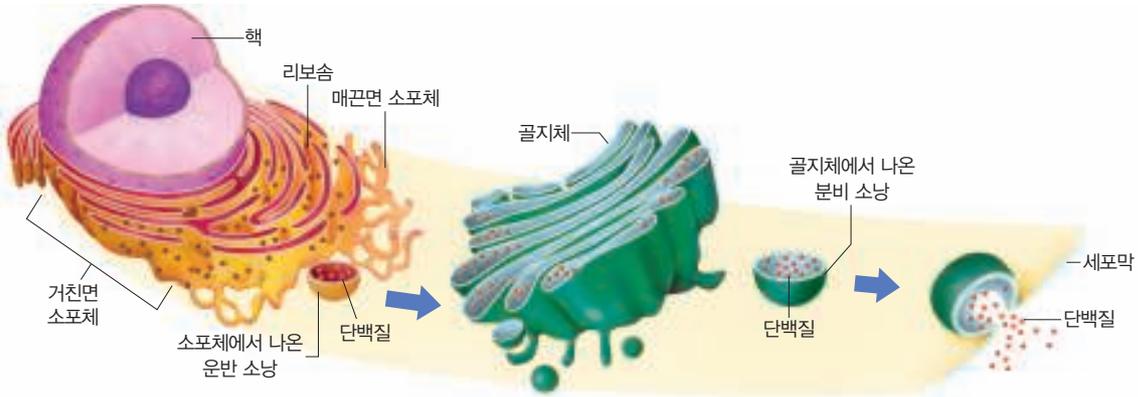


물질이 합성되어 분비되기까지의 과정에 관여하는 세포 소기관을 살펴보자.

자료 해독 해 보기 단백질의 합성과 분비 과정



그림은 세포 내에서 호르몬 단백질이 합성되어 세포 밖으로 분비되기까지의 과정을 나타낸 것이다.



1. 호르몬 단백질의 구조를 결정하는 정보가 있는 곳은 어디인가?  
.....
2. 호르몬 단백질이 합성되어 세포 밖으로 분비되기까지의 과정에 관여하는 세포 소기관의 종류와 그 작용을 써 보자.  
.....

에너지 전환과 관련된 세포 소기관은 'III - 1. 미토콘드리아와 엽록체'를 참고하세요 → 76쪽

**에너지 전환** ✨ 세포는 생명 활동에 필요한 에너지를 얻기 위해 물질대사를 통하여 에너지를 전환한다. 세포에서 에너지 전환 과정을 담당하는 세포 소기관에는 미토콘드리아와 엽록체가 있다.

**미토콘드리아**는 거의 모든 진핵세포에 존재하며, 세포 호흡으로 ATP가 합성되는 곳이다. 미토콘드리아는 그림 II-16과 같이 두 겹의 막으로 둘러싸여 있으며, 세포 호흡에 관여하는 여러 가지 효소를 가지고 있다. 또, DNA와 리보솜을 가지고 있어 스스로 복제하여 증식할 수 있다.

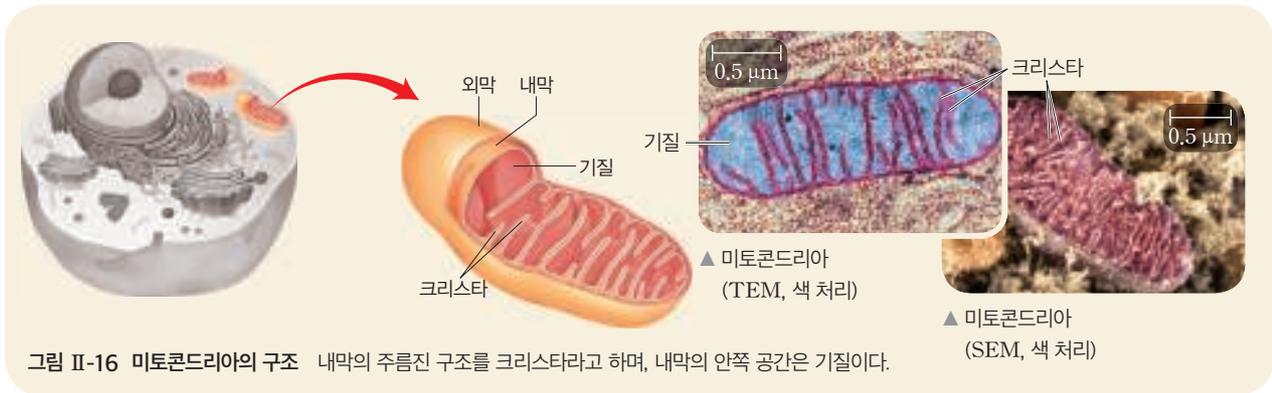
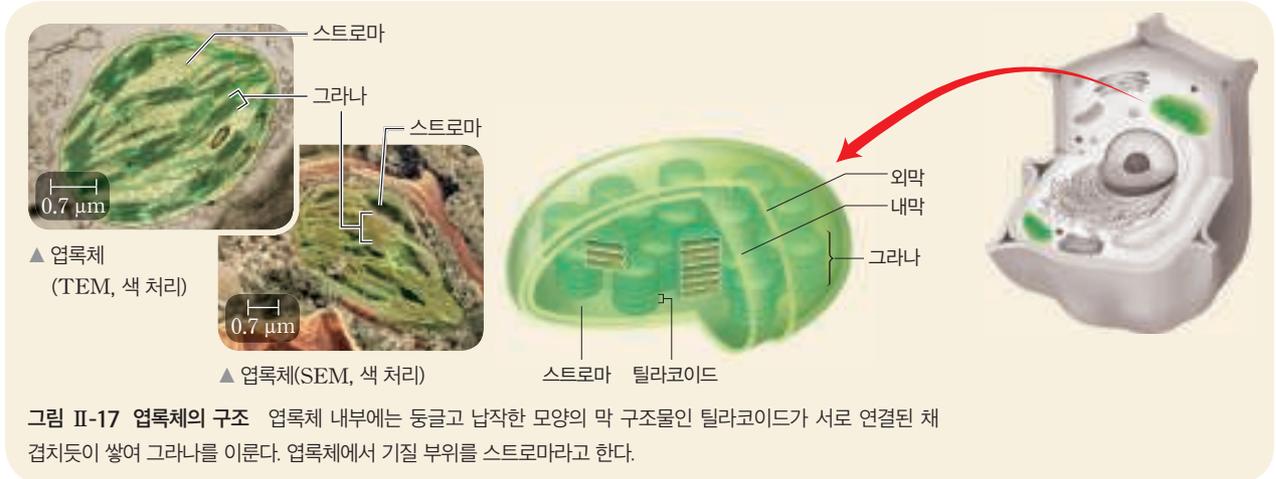


그림 II-16 미토콘드리아의 구조 내막의 주름진 구조를 크리스타라고 하며, 내막의 안쪽 공간은 기질이다.

**엽록체**는 주로 식물에서 발견되는 세포 소기관으로, 빛에너지를 화학 에너지로 전환하여 포도당을 합성하는 광합성이 일어나는 곳이다. 엽록체는 그림 II-17과 같이 두 겹의 막으로 둘러싸여 있으며, 광합성 색소와 에너지를 전환하는 데 관여하는 효소를 가지고 있다. 또, DNA와 리보솜을 가지고 있어 스스로 복제하여 증식할 수 있다.

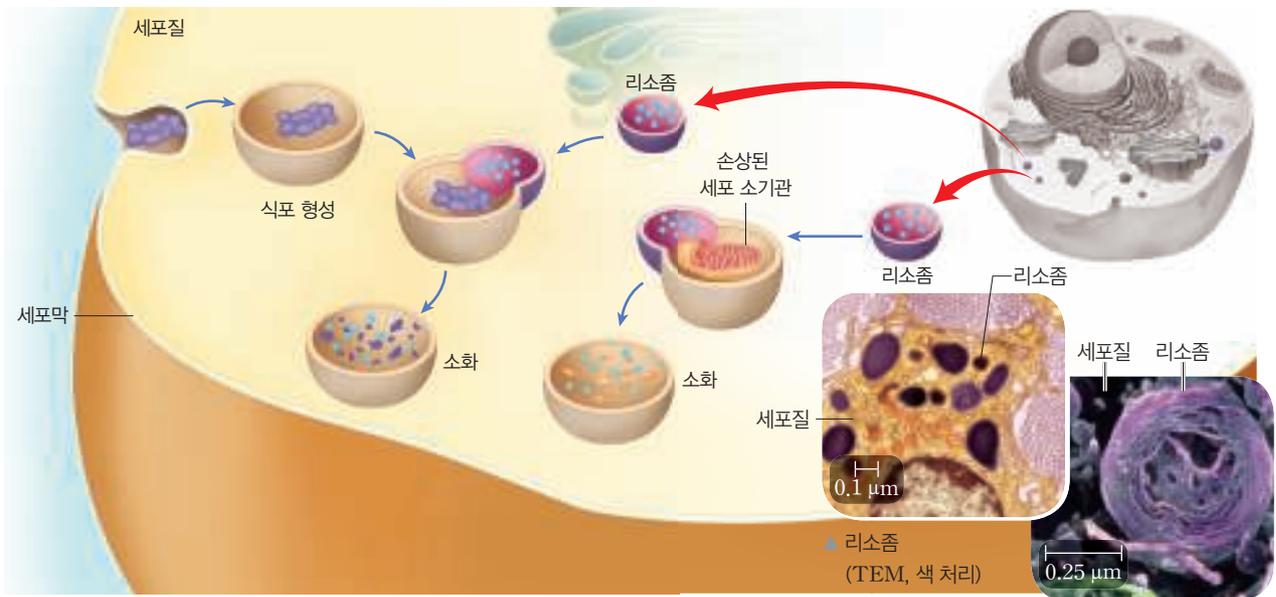


**물질의 분해와 저장** ✨ 세포 내에서는 고분자 물질이 분해되어 재활용되고, 손상된 소기관이 분해된다. 그리고 세포는 물질을 저장할 수도 있다.

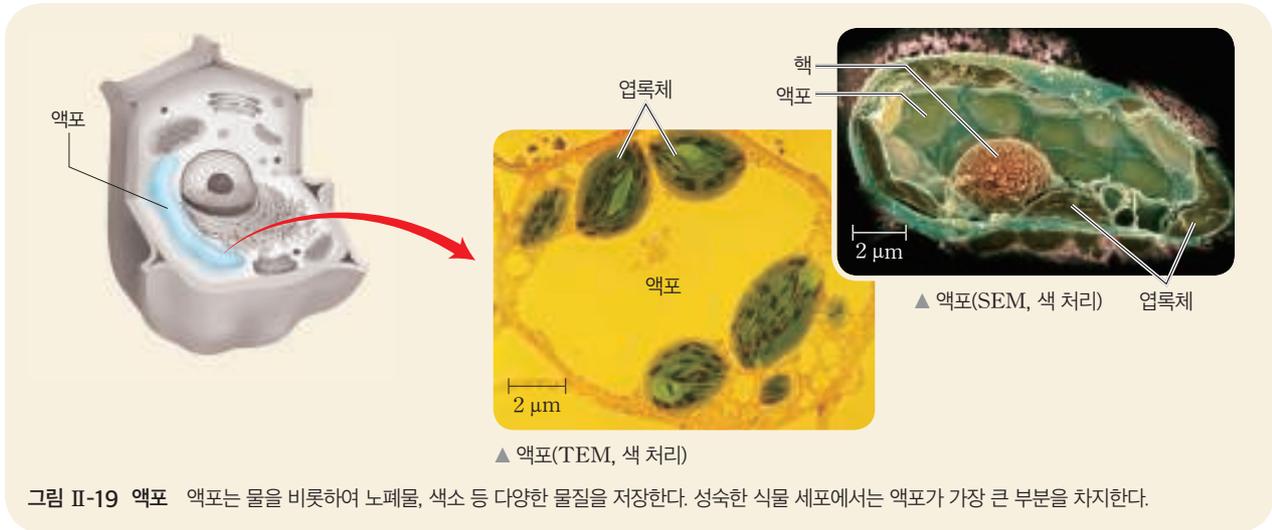
**리소좀**은 주로 동물 세포에서 발견되며, 막으로 둘러싸인 주머니 모양의 세포 소기관이다. 리소좀에는 탄수화물, 단백질, 지질, 핵산 등을 분해할 수 있는 여러 종류의 가수 분해 효소가 들어 있어, 세포내 소화를 담당한다. 또, 그림 II-18과 같이 세포 내로 들어온 물질을 분해하거나 손상된 세포 소기관을 자가 분해하기도 한다.

**세포내 소화**  
세포 내에서 유기물을 분해하는 작용

**식포**  
세포 밖의 먹이나 이물질을 세포막으로 둘러싸서 일시적으로 형성된 주머니



**액포**는 그림 II-19와 같이 막으로 둘러싸인 주머니 모양의 세포 소기관으로, 세포의 종류에 따라 기능이 다양하다. 특히 성숙한 식물 세포에서 형성되는 액포는 단백질, 무기염류, 색소 등을 저장하며, 세포 내부의 수분 함량을 조절한다.



**세포의 형태 유지와 운동** ✨ **세포벽**은 그림 II-20과 같이 세포막 바깥쪽에 형성되는 구조물로, 식물 세포에서는 주성분이 셀룰로스이다. 세포벽은 물과 용질을 모두 통과 시키는 구조로 물질 출입을 조절하는 능력은 없고 세포를 보호하고 모양을 유지하는 역할을 한다. 어린 식물 세포에서 얇은 1차 세포벽이 형성되고, 세포가 성숙하면서 세포막과 1차 세포벽 사이에 2차 세포벽이 합성됨으로써 세포벽은 더욱 두껍게 발달한다.

**창의 융합 사고** 💡 사람은 식물의 세포벽을 분해하여 에너지원으로 이용할 수 없지만, 대부분의 초식 동물은 에너지원으로 이용할 수 있다. 그 까닭을 생각해 보자.



세포질에는 단백질로 구성된 그물 모양의 지지 구조가 있는데, 이를 **세포 골격**이라고 한다. 세포 골격의 중요한 기능은 세포의 모양을 유지하는 것이며, 그림 II-21과 같이 미세 섬유, 중간 섬유, 미세 소관으로 구분된다. 미세 섬유는 세포 내의 물질 이동과 근육 섬유의 수축에 관여한다. 중간 섬유는 핵과 세포 소기관의 위치를 고정하는데 중요한 역할을 한다. 미세 소관은 세포 소기관이나 세포 분열 시 염색체의 이동에 관여하며 중심체, 방추사, 섬모, 편모 등을 구성한다.

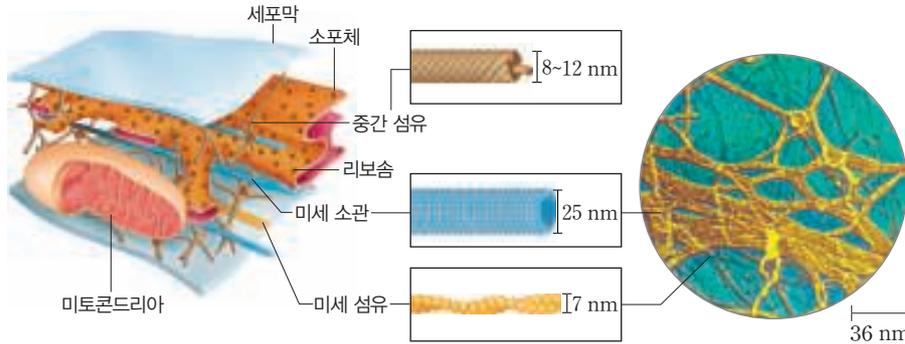
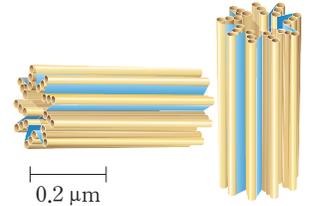


그림 II-21 세포 골격 미세 소관이 가장 두껍고, 중간 섬유는 미세 소관과 미세 섬유의 중간 두께, 미세 섬유는 가장 가느다란 단백질 섬유이다. 세포가 형성하는 세포 골격에 따라 세포의 모양과 크기가 달라진다.

**중심체**

미세 소관으로 이루어진 세포 소기관으로, 주로 동물 세포에 있다.



❓ 세포가 분열할 때 염색체 이동에 관여하는 세포 골격은 무엇인가?

**편모와 섬모**는 세포의 운동 기관이다. 섬모는 길이가 짧고 수가 많으며, 편모는 길이가 길고 수가 적다. 편모와 섬모는 그림 II-22와 같이 미세 소관으로 이루어져 있다.

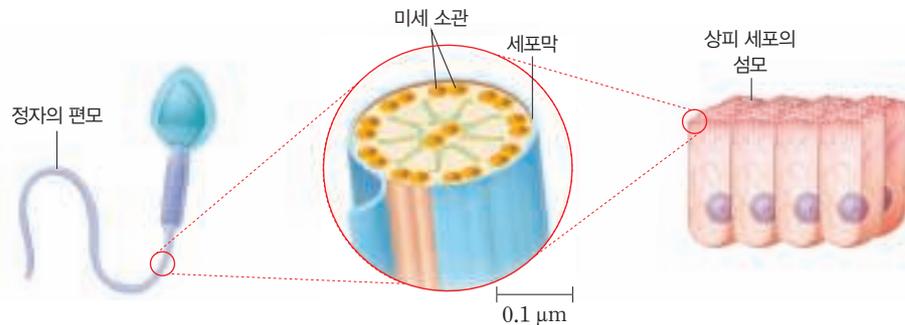
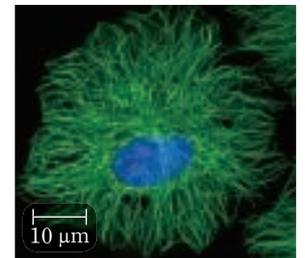


그림 II-22 편모와 섬모의 구조 편모와 섬모에는 미세 소관이 규칙적으로 배열되어 있다.

**미세 소관의 현미경 사진**



배양 세포를 형광 현미경으로 관찰한 사진이며, 파란색은 핵, 초록색은 미세 소관이다.

**핵심 개념 확인하기**

- 1 리보솜에서 합성된 단백질의 이동 통로 역할을 하는 세포 소기관은 무엇인가?
- 2 동물 세포에서 가수 분해 효소가 들어 있어 세포내 소화를 담당하는 세포 소기관은 무엇인가?
- 3 **창의 융합 사고** | 아메바에 세포 골격의 형성을 방해하는 물질을 넣으면 어떻게 될지 생각해 보자.

- 다음 개념을 이해하였는지 ✓ 표를 하면서 확인해 보자.
- ☑ 세포 소기관의 구조
- ☑ 세포 소기관의 유기적 관계

# 5



## 세포막을 통한 물질의 출입

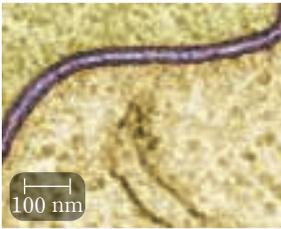
### 학습 목표

- 세포막의 구조와 특성을 설명할 수 있다.
- 세포막을 통한 물질 출입 현상을 설명할 수 있다.

비눗방울이 얇고 유동적인 성질로 주위 환경과 차단된 내부 공간을 만들 듯이 세포막도 유연한 특징을 가지고 외부와 내부의 경계를 이루고 있다. 생명 현상 유지를 위해 필요한 물질은 세포막을 통해 어떻게 이동할까?



세포막의 투과 전자 현미경(TEM, 색 처리) 사진



세포막은 인지질이 두 층으로 배열되어 있어, 전자 현미경으로 보면 두 겹의 진한 선으로 보인다.

### 세포막의 구조

세포막을 구성하는 주성분은 인지질과 단백질이다. 한 분자의 인지질은 인산기가 있는 친수성 부분과 지방산이 있는 소수성 부분을 함께 가지고 있다. 세포의 안과 밖은 모두 수용성 환경이므로, 그림 II-23과 같이 인지질의 친수성 인산 부분이 양쪽 바깥으로 배열되고 소수성 지방산 부분이 서로 마주 보며 배열된다. 따라서 세포막은 인지질 2중층 구조를 이룬다. 또, 여러 종류의 단백질이 인지질 2중층을 관통하거나, 인지질 2중층에 파묻혀 있거나 표면에 붙어 있다. 대부분의 막단백질도 친수성과 소수성 부분을 함께 가지고 있다. 인지질과 단백질은 모두 특정 위치에 고정되어 있는 것이 아니라 유동성이 있어 움직일 수 있다.

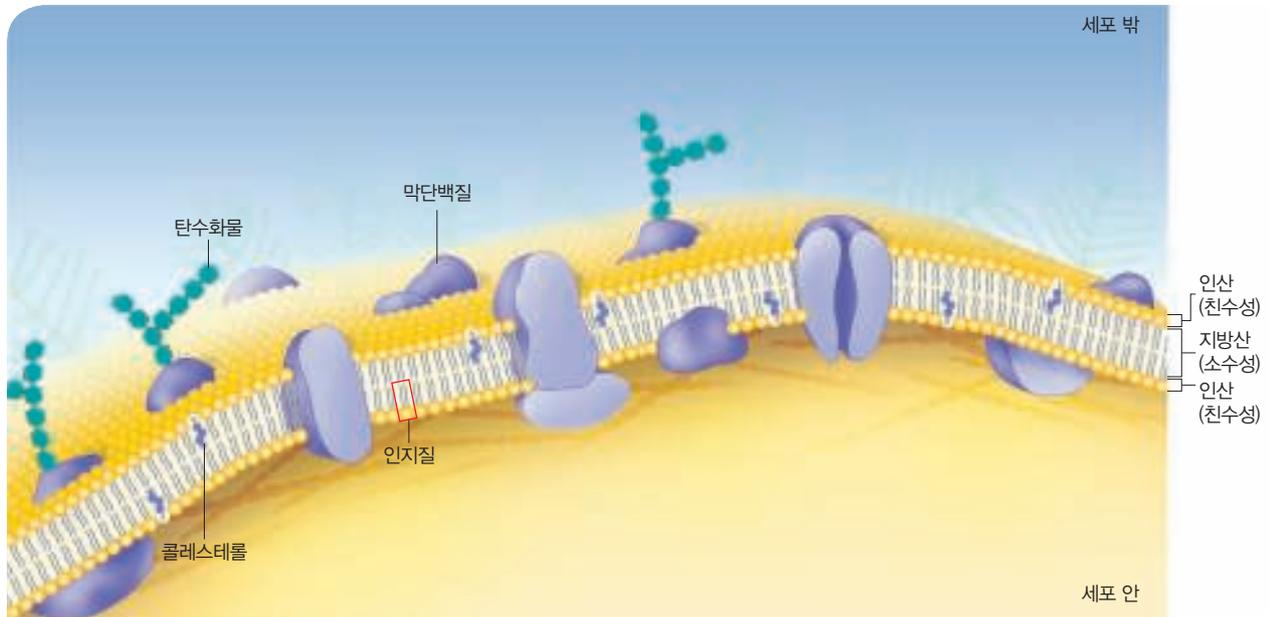


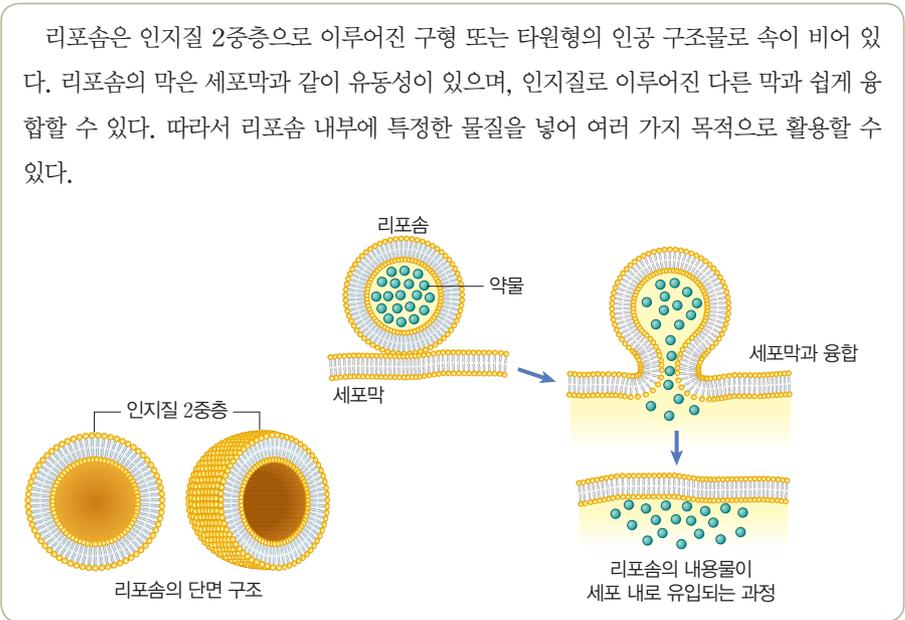
그림 II-23 동물 세포의 세포막 구조 세포막의 구조적 특성과 유동성 때문에 세포막을 유동 모자이크막이라고 한다.

목표

리포솜의 활용 사례를 조사하고 토의할 수 있다.

과정

① 다음 자료를 읽고 리포솜의 특징을 설명해 보자.



② 생활 속 리포솜 활용 사례를 조사하여 토의해 보자.

정리

1. 리포솜의 막과 세포막의 차이점은 무엇인지 써 보자.

.....

2. 창의력 (+) 리포솜을 실생활에서 어떻게 활용할 수 있을지 고안해 보자.

.....  
.....

평가하기

1 2 3 4 5

- 리포솜을 활용한 사례를 충분히 조사하였는가?
- 리포솜 활용 사례에 관한 토의에 적극적으로 참여하였는가?
- 리포솜이 무엇이며, 어떻게 활용되는지 설명할 수 있는가?

| 활동 후기 | 이 활동에서 어떤 것을 배웠는지 자유롭게 적어 보자.

.....



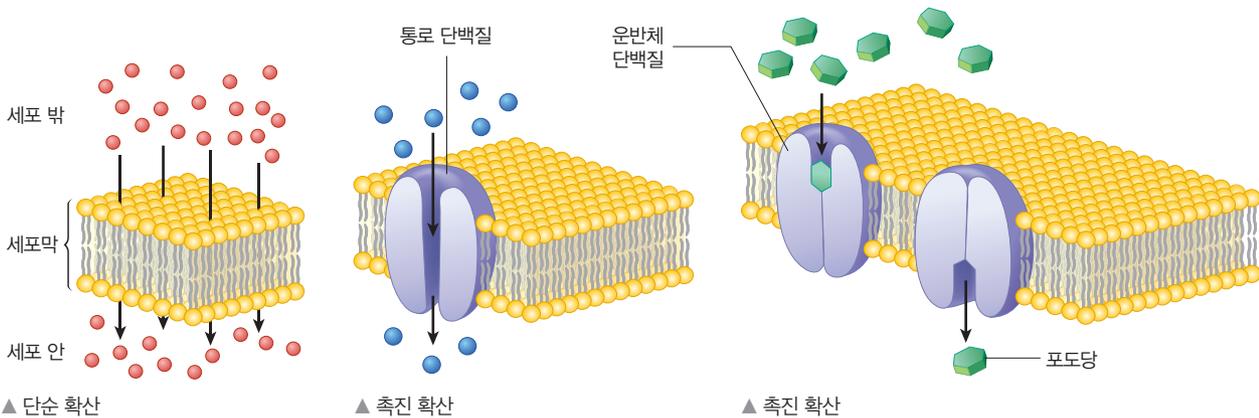
## 세포막을 통한 물질의 이동

세포막은 세포를 외부와 구분 짓고, 다른 세포나 외부의 물질을 인식하는 등 다양한 기능을 한다. 그러나 세포막의 가장 중요한 기능은 세포 안팎으로의 물질 이동을 조절하는 것이다. 세포막을 통한 물질의 이동은 물질의 종류에 따라 선택적으로 일어난다.

세포막을 통한 물질 이동에는 에너지를 사용하지 않는 수동 수송과 에너지를 사용하는 능동 수송이 있다. 물질의 분포 차이에 의한 농도 기울기에 따라 물질이 이동하는 확산과 삼투는 수동 수송에 해당한다. 반면에, 세포막의 어떤 막단백질은 농도가 낮은 쪽에서 농도가 높은 쪽으로 물질을 이동시킬 수 있는데, 이러한 물질 이동은 능동 수송에 해당한다.

**확산** ✨ 산소, 이산화 탄소와 같은 분자는 세포막의 인지질 2중층을 쉽게 통과한다. 이처럼 분자들이 농도 기울기에 따라 인지질 2중층을 직접 통과하여 이동하는 현상을 **단순 확산**이라고 한다. 폐포와 모세 혈관 사이에서 일어나는 산소와 이산화 탄소의 이동은 단순 확산의 예이다.

이온, 포도당, 아미노산과 같은 분자는 인지질 2중층을 직접 통과하기 어려워 막단백질의 도움을 받아 이동한다. 막단백질을 통해 농도 기울기에 따라 물질이 이동하는 현상을 **촉진 확산**이라고 한다. 신경 세포에서 흥분 전도 시  $\text{Na}^+$  통로가 열려  $\text{Na}^+$  이 세포 밖에서 안으로 이동하는 것은 촉진 확산의 예이다.

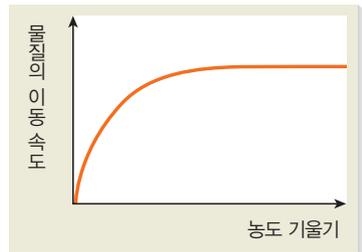


**그림 II-24 단순 확산과 촉진 확산** 단순 확산과 촉진 확산은 모두 농도 기울기에 따라 물질이 이동한다. 촉진 확산에서는 막단백질인 통로 단백질이나 운반체 단백질을 통해 물질이 이동한다.

**창의 융합 사고** ✨ 그림은 촉진 확산에서 농도 기울기에 따른 물질의 이동 속도를 나타낸 것이다. 물질의 이동 속도가 더는 증가하지 않고 일정해지는 구간이 나타나는 까닭을 써 보자.

.....

.....



**삼투** ✨ 설탕 분자는 통과할 수 없고 물 분자는 통과할 수 있는 선택적 투과성 막을 사이에 둔 U자관에 농도가 다른 설탕 용액을 넣는다고 가정해 보자. 선택적 투과성 막의 구멍을 설탕 분자는 통과할 수 없고 물 분자는 통과할 수 있으므로, 물의 농도가 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 물이 확산된다. 따라서 시간이 지남에 따라 농도가 높은 설탕 용액의 높이는 높아지고, 농도가 낮은 설탕 용액의 높이는 낮아진다. 이처럼 선택적 투과성 막을 사이에 두고 물의 농도 기울기에 따라 물이 확산하는 현상을 **삼투**라고 한다.

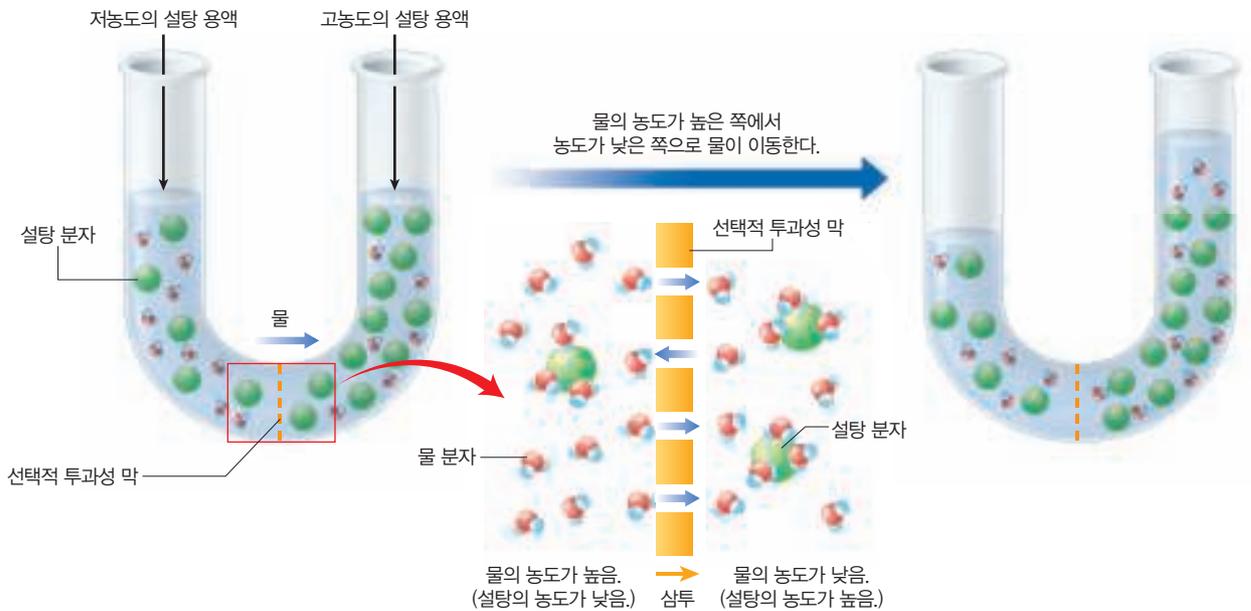


그림 II-25 선택적 투과성 막을 통한 삼투 현상 농도가 낮은 설탕 용액 쪽에서 농도가 높은 설탕 용액 쪽으로 물이 확산된다.

그림 II-26과 같이 동물 세포인 적혈구를 저장액인 증류수에 넣으면 삼투에 의해 물이 빠져나가는 속도보다 적혈구 안으로 들어오는 속도가 빨라 적혈구가 부풀어 오르게 되며, 결국 적혈구의 막이 터지는 **용혈**이 일어난다. 반대로 적혈구를 고장액에 넣어 두면 물이 적혈구 안으로 들어오는 속도보다 밖으로 빠져나가는 속도가 빨라 적혈구가 쭈그러든다. 등장액에서는 물의 이동이 양방향으로 같은 속도로 일어나 적혈구의 모양이 정상 상태를 유지한다.

**등장액, 저장액, 고장액**  
세포질 용액을 기준으로 하여 세포질 용액과 삼투압이 같은 용액을 등장액, 그보다 높은 용액을 고장액, 낮은 용액을 저장액이라고 한다. 0.9% NaCl 용액은 사람 적혈구의 등장액이다.

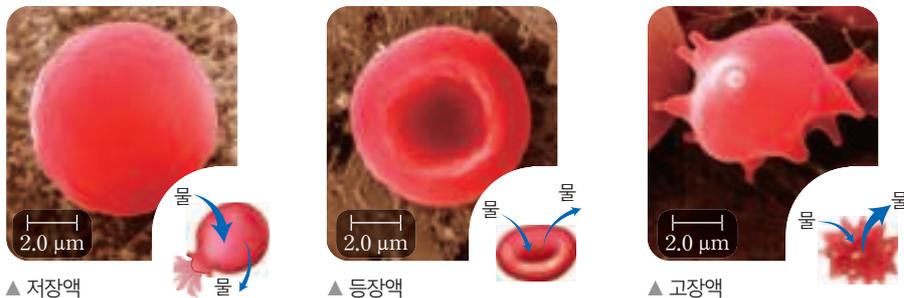


그림 II-26 삼투에 의한 적혈구의 변화

그림 II-27과 같이 식물 세포를 저장액에 넣으면 물이 세포 안으로 들어오는 속도가 밖으로 빠져나가는 속도보다 빨라 세포의 부피가 커지는데, 이를 **팽윤 상태**라고 한다. 식물 세포는 단단한 세포벽이 있어 일정 부피가 되면 더는 커지지 않는다. 식물 세포를 고장액에 넣으면 물이 세포 밖으로 빠져나가는 속도가 안으로 들어오는 속도보다 빨라 세포질의 부피가 작아지다가 세포막이 세포벽에서 떨어진다. 이러한 현상을 **원형질 분리**라고 한다.

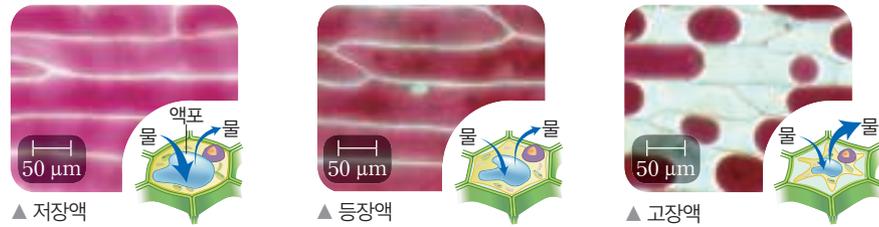


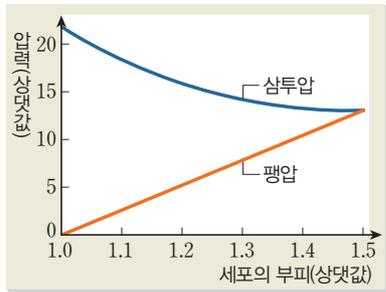
그림 II-27 삼투에 의한 양파 세포의 변화

식물 세포에서 삼투에 의해 어떤 변화가 일어나는지 알아보자.

**자료 해석** 해 보기 식물 세포의 삼투 현상



그림은 어떤 식물 세포를 저장액에 넣었을 때, 세포의 부피에 따른 삼투압과 팽압을 나타낸 것이다.



- 삼투압: 삼투에 의해 선택적 투과성 막이 받는 압력으로, 용액의 농도가 높을수록 삼투압은 커진다.
- 팽압: 식물 세포 속의 세포질 용액이 세포벽을 밀어내는 압력
- 흡수력: 식물 세포가 물을 흡수하려는 힘(흡수력 = 삼투압 - 팽압)

1. 세포의 부피가 증가할 때 세포의 흡수력은 어떻게 변하는지 설명하고, 그 까닭을 토의해 보자.

.....

2. 세포의 부피가 1.1일 때보다 1.3일 때 삼투압은 낮고, 팽압이 높은 까닭을 발표해 보자.

.....

사람 세포 안팎의 이온 농도

(단위: mM)

이온	세포 안	세포 밖
Na <sup>+</sup>	10	140
K <sup>+</sup>	150	5
Cl <sup>-</sup>	10	105

(출처: 『Human physiology』, 2001.)

**능동 수송** ✎ 어떤 물질의 농도는 세포 안과 밖에서 서로 다르게 유지될 때도 있다. 사람 혈액의 K<sup>+</sup> 농도는 혈장에 비해 적혈구 내부에서 높게 유지되고 있으나, Na<sup>+</sup> 농도는 오히려 적혈구 내부보다 혈장에서 높게 유지되고 있다. 이것은 적혈구가 농도 기울기를 거슬러서 물질의 농도가 낮은 쪽에서 높은 쪽으로 물질을 이동시켰기 때문이다.

세포막에서 에너지를 사용하여 농도 기울기를 거슬러 물질이 이동하는 방식을 **능동 수송**이라고 한다. 능동 수송에는 세포막에 존재하는 특정한 운반체 단백질이 관여한다. 그림 II-28과 같이  $\text{Na}^+ - \text{K}^+$  펌프가 세포막을 통해  $\text{Na}^+$ 과  $\text{K}^+$ 을 수송하는 것은 능동 수송의 예에 해당한다.

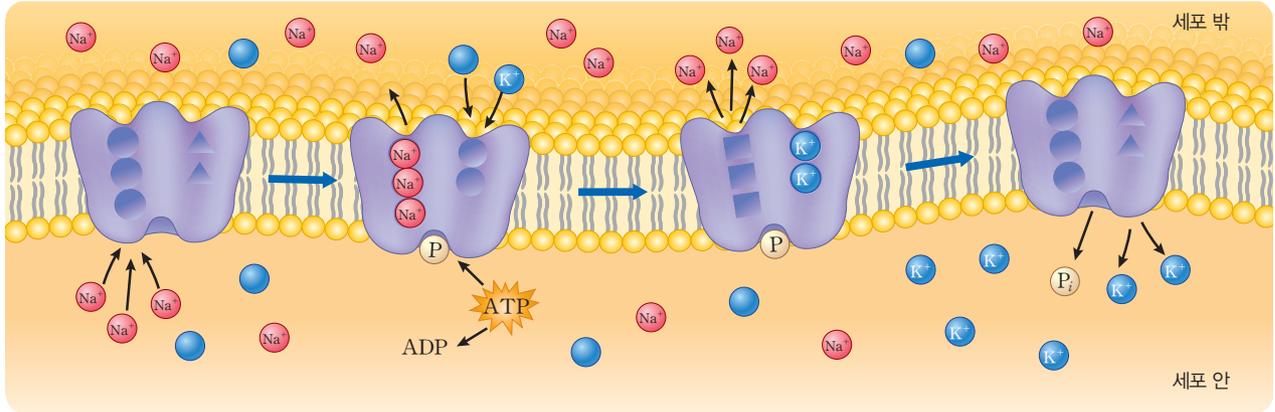
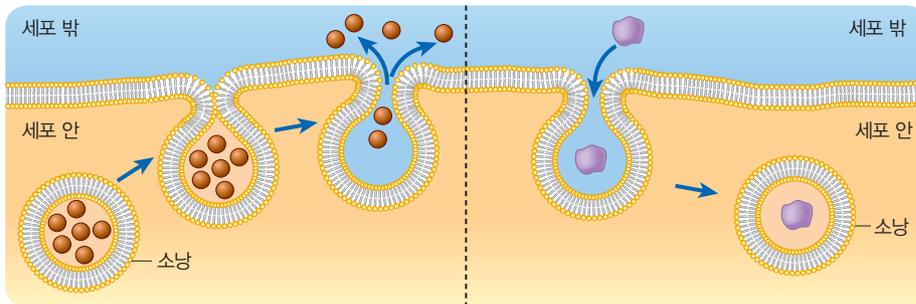


그림 II-28  $\text{Na}^+ - \text{K}^+$  펌프 세포막의 운반체 단백질인  $\text{Na}^+ - \text{K}^+$  펌프가 에너지를 이용하여  $\text{Na}^+$ 을 세포 밖으로 내보내고,  $\text{K}^+$ 을 세포 안으로 이동시켜 세포 밖에 비해 세포 안의  $\text{Na}^+$  농도는 낮게,  $\text{K}^+$  농도는 높게 유지한다.

**세포외 배출과 세포내 섭취** ✨ 단백질처럼 큰 분자들은 세포막에 싸여 운반되기도 한다. 이때 그림 II-29와 같이 특정 물질을 세포 밖으로 내보내는 작용을 **세포외 배출**, 세포 안으로 받아들이는 작용을 **세포내 섭취**라고 한다. 이자 세포에서 인슐린을 합성하여 혈액으로 분비하는 것은 세포외 배출에 해당하며, 백혈구의 식세포 작용은 세포내 섭취에 해당한다. 세포외 배출과 세포내 섭취에는 모두 에너지가 필요하다.



▲ 세포외 배출

▲ 세포내 섭취

그림 II-29 세포외 배출과 세포내 섭취 세포외 배출과 세포내 섭취에서는 모두 소낭이 이용된다.

**핵심 개념 확인하기**

- 1 막단백질을 통해 농도가 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 물질이 이동하는 현상을 무엇이라고 하는가?
- 2 식물 세포를 고장액에 넣었을 때 세포막이 세포벽으로부터 분리되는 현상을 무엇이라고 하는가?
- 3 **창의 융합 사고** | 세포외 배출과 세포내 섭취가 세포막의 표면적에 어떤 영향을 줄지 생각해 보자.

- 다음 개념을 이해하였는지 ✓ 표를 하면서 확인해 보자.
- 확산과 삼투
- 능동 수송
- 세포외 배출과 세포내 섭취

준비물

- 현미경       적양파
- 받침 유리     덮개 유리
- 면도칼       스포이트
- 핀셋         거름종이
- 증류수       10 % 소금물
- 실험복
- 실험용 고무장갑

유의할 점

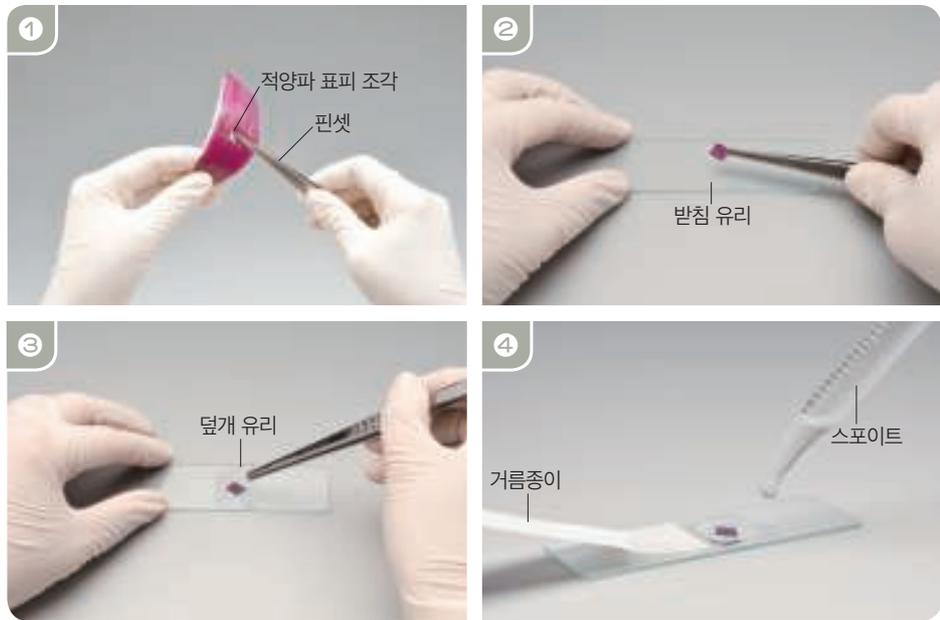
- 적양파를 면도칼로 자를 때 손을 다치지 않도록 주의한다.
- 덮개 유리가 깨지지 않도록 주의한다.
- 현미경으로 세포를 관찰할 때는 저배율에서 먼저 관찰한 후, 점차 배율을 높여 관찰한다.

목표

식물 세포의 세포막을 통한 물질의 이동을 관찰하고 설명할 수 있다.

과정 

- ① 적양파의 비늘잎을 가로 5 mm, 세로 5 mm로 자른 3개의 표피 조각을 준비한다.
- ② 표피 조각 1개로 현미경 표본을 만든 후, 현미경으로 관찰한다.
- ③ 나머지 표피 조각 2개를 2개의 받침 유리 위에 각각 올려놓고, 덮개 유리로 덮어 2개의 현미경 표본을 만든다.
- ④ 1개의 현미경 표본에는 증류수 한 방울을, 다른 1개의 현미경 표본에는 10 % 소금물 한 방울을 떨어뜨린다. 이때, 덮개 유리의 한쪽에 용액을 떨어뜨리고 반대쪽에 거름종이를 대어 떨어뜨린 용액이 흡수되도록 한다.
- ⑤ 세포에서 일어나는 변화를 현미경으로 관찰한다.



### 결과 및 정리

1. 현미경으로 관찰한 적양파 표피 세포의 모양을 그리고, 특징을 정리해 보자.

<p>(가) 용액을 떨어뜨리기 전</p> <div style="text-align: center; border: 1px solid black; border-radius: 50%; width: 100px; height: 100px; margin: 0 auto;"></div> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>	<p>(나) 증류수를 떨어뜨렸을 때</p> <div style="text-align: center; border: 1px solid black; border-radius: 50%; width: 100px; height: 100px; margin: 0 auto;"></div> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>	<p>(다) 10 % 소금물을 떨어뜨렸을 때</p> <div style="text-align: center; border: 1px solid black; border-radius: 50%; width: 100px; height: 100px; margin: 0 auto;"></div> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>
---	--	---



2. (나)와 (다)에서는 각각 어떤 변화가 일어났는지 (가)와 비교해 보자.

.....

.....

3. (나)와 (다)에서 일어난 변화를 세포막을 통한 물의 이동으로 설명해 보자.

.....

.....

4. **창의력 (+)** 적혈구를 증류수와 10 % 소금물에 각각 넣으면 어떤 결과가 나타날지 예상해 보자.

.....

.....

#### 평가하기

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

- 적양파 표피 세포의 세포막을 통한 물질 이동을 관찰하였는가?
- 세포막을 통한 물질의 이동으로 세포의 변화를 설명할 수 있는가?
- 모둠원과 서로 협력하고 배려하면서 실험을 하였는가?

**활동 후기** | 이 활동에서 어떤 것을 배웠는지 자유롭게 적어 보자.

.....

# 6



## 효소의 작용

### 학습 목표

- 효소의 작용을 활성화 에너지, 기질 특이성과 관련하여 설명할 수 있다.
- 온도와 pH가 효소의 작용에 영향을 미칠 수 있음을 실험을 통해 설명할 수 있다.

돼지고기를 새우젓과 함께 먹으면 소화가 잘되는 까닭은 새우젓에 단백질 분해 효소와 지방 분해 효소 등이 들어 있기 때문이다. 효소의 작용과 특성은 무엇일까?

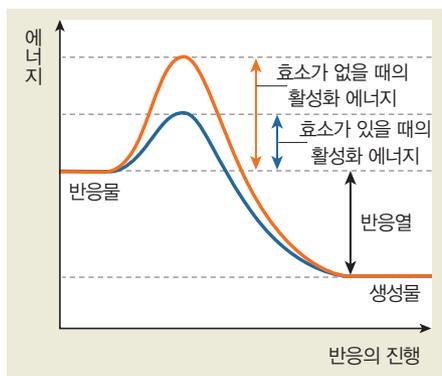


### 효소의 특성

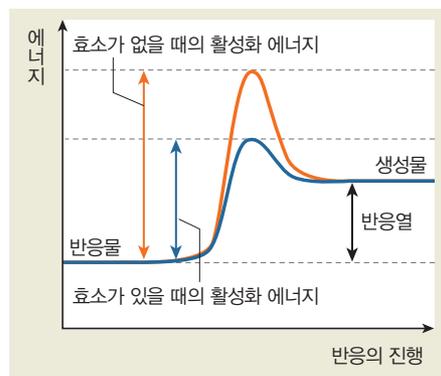
세포에서는 화학 반응이 끊임없이 일어나며, 각 반응은 특정한 효소에 의해 촉진된다. 화학 반응이 일어나기 위해서는 최소한의 에너지가 필요한데, 이를 **활성화 에너지**라고 한다. 활성화 에너지는 에너지 장벽에 비유할 수 있으며, 에너지 장벽을 넘어야 화학 반응이 일어날 수 있다. 그림 II-30과 같이 화학 반응에서 활성화 에너지를 변화시켜 반응 속도에 영향을 주는 물질을 **촉매**라고 한다. 세포에는 활성화 에너지를 낮추어 주는 생체 촉매인 효소가 있어 화학 반응이 잘 일어날 수 있다.

### 반응열

화학 반응이 일어날 때 흡수되거나 방출되는 열로, 반응물과 생성물의 에너지 차이이다. 효소는 반응열에 영향을 미치지 않는다.



▲ 발열 반응



▲ 흡열 반응

그림 II-30 화학 반응에서 효소의 역할 효소에 의해 활성화 에너지가 낮아지면 화학 반응의 속도가 빨라진다.

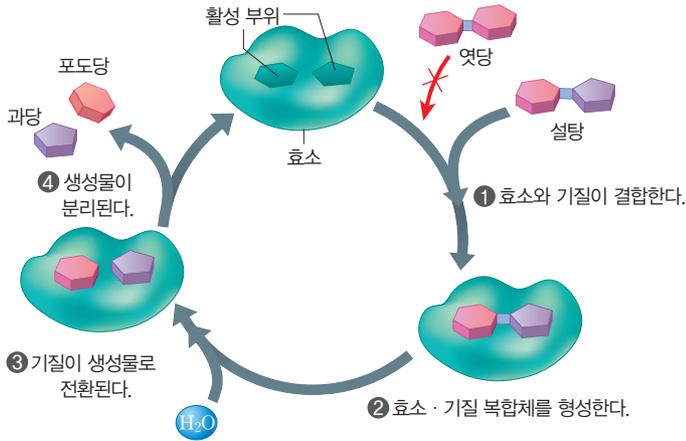
효소와 결합하는 특정 반응물을 **기질**이라고 하며, 효소에 기질이 결합하는 부분을 **활성 부위**라고 한다. 체내에서 화학 반응이 일어날 때 효소는 활성 부위의 구조에 들어맞는 기질과 만나 **효소·기질 복합체**를 형성함으로써 반응의 활성화 에너지를 낮추어 준다. 효소가 특정한 기질과만 결합하여 작용하는 성질을 효소의 **기질 특이성**이라고 한다. 효소는 반응에서 소모되거나 변형되지 않으며, 생성물이 만들어진 후 다시 반응에 이용된다.

효소가 특정한 기질과 반응하는 과정을 알아보자.

자료 해 보 기 효소의 작용과 특징



그림은 효소(수크레이스)가 촉진하는 반응 과정과 반응 결과 형성되는 생성물을 나타낸 것이다.



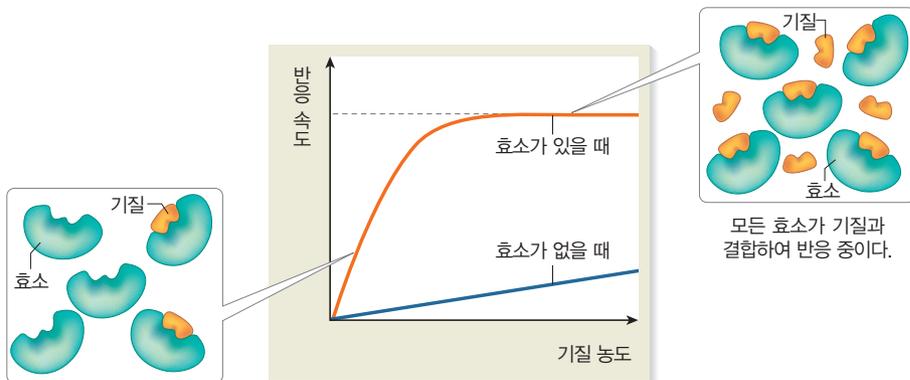
1. 수크레이스가 촉진하는 반응에서 기질과 생성물은 각각 무엇인가?

.....

2. 수크레이스에 엿당이 결합할 수 없는 까닭을 설명해 보자.

.....

그림 II-31과 같이 효소의 농도가 일정한 경우 기질의 농도가 증가하면 반응 속도도 증가한다. 그러나 기질의 농도가 일정 수준에 이르면 반응 속도가 더는 증가하지 않고 일정해진다. 이것은 모든 효소가 기질과 결합하여 포화 상태가 되었기 때문이다.



기질의 농도가 낮아 기질과 결합하지 않은 효소가 있다.

그림 II-31 효소가 있을 때와 없을 때의 반응 속도

## 효소의 구조와 종류

효소 중에는 단백질 성분으로만 활성을 나타내는 것과, 단백질 성분과 함께 비단백질 성분이 있어야 활성을 나타내는 것이 있다. 예를 들면 아밀레이스, 펩신과 같은 소화 효소는 단백질 성분으로만 활성을 나타내고, 탈수소 효소는 비단백질 성분이 있어야 활성을 나타낼 수 있다. 이때 단백질 성분을 주효소, 비단백질 성분을 보조 인자라고 하며, 이들이 결합한 것을 전효소라고 한다.

보조 인자 중에는 효소의 단백질 부분으로부터 쉽게 분리되는 것도 있지만, 효소와 강하게 결합하고 있어서 잘 분리되지 않는 것도 있다. 보조 인자에는  $Zn^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$  등의 금속 이온, 유기물인 조효소가 있다.

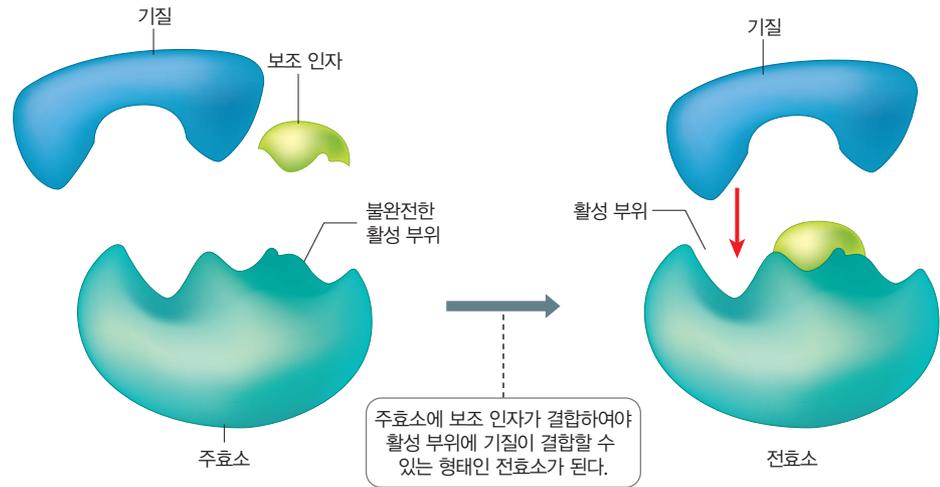


그림 II-32 보조 인자의 작용 단백질 부분인 주효소에 비단백질 부분인 보조 인자가 결합하여 전효소가 되면 촉매 기능을 할 수 있다.

생명체에서는 수많은 종류의 화학 반응이 일어나며, 반응에 관여하는 효소의 종류도 다양하다. 효소는 작용하는 반응의 종류에 따라 표 II-1과 같이 6가지로 분류한다.

표 II-1 효소의 분류

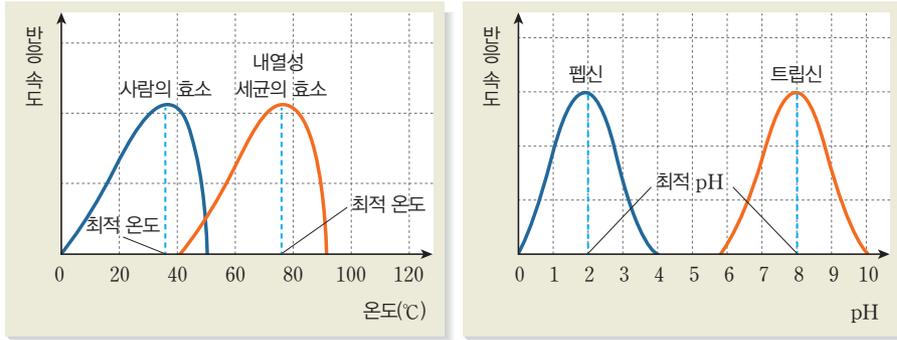
종류	작용
산화 환원 효소	수소나 산소, 전자를 다른 분자에 전달한다.
전이 효소	기질의 작용기를 떼어 다른 분자로 옮긴다.
가수 분해 효소	물을 첨가하여 기질을 분해한다.
부가 제거 효소	작용기를 기질에서 제거하거나 기질에 첨가한다.
이성질화 효소	기질 내의 원자 배열을 바꿔 분자 구조를 변형한다.
연결 효소	에너지를 사용하여 2개의 분자를 연결한다.

국제 생화학회에서 효소를 6가지로 분류했어.



## 효소의 활성화에 영향을 미치는 요인

효소의 주성분은 단백질이므로, 효소의 활성화는 그림 II-33과 같이 단백질의 입체 구조에 영향을 미치는 온도, pH 등과 같은 환경에 영향을 받는다. 온도와 pH 등에 의하여 효소의 입체 구조가 변하면 효소·기질 복합체의 형성이 어려워져 반응 속도가 감소하거나 반응이 일어나지 않게 된다.



(출처: 『Biology』, 2015.)

그림 II-33 온도와 pH에 따른 효소의 활성화 효소 반응이 가장 잘 일어나는 온도와 pH를 각각 최적 온도와 최적 pH라고 한다.

효소의 활성화는 효소와 결합하는 다른 물질에 의해서도 영향을 받을 수 있다. 효소와 결합하여 효소·기질 복합체의 형성을 방해하는 물질을 **저해제**라고 한다. 저해제는 특정 효소의 작용을 선택적으로 방해하여 물질대사에 영향을 미친다. 특히 효소의 활성화 부위에 결합하여 효소 반응을 방해하는 물질을 **경쟁적 저해제**라고 한다.

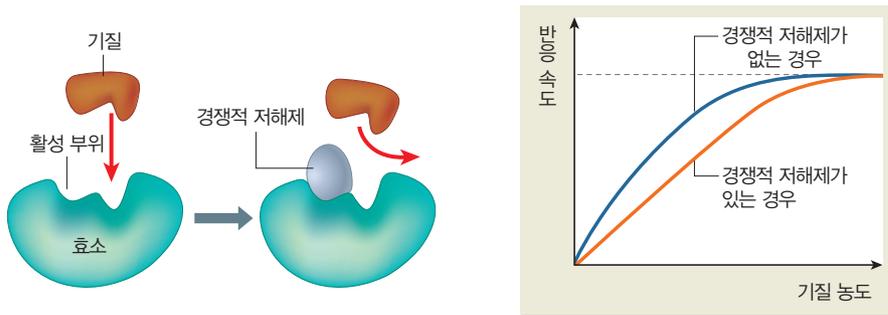


그림 II-34 경쟁적 저해제와 효소의 활성화 경쟁적 저해제는 기질의 농도가 낮을 때 저해 효과가 크며, 기질의 농도가 높아지면 저해 효과는 감소한다.

### 핵심 개념 확인하기

- 1 효소가 특정한 기질과만 반응하는 특성을 무엇이라고 하는가?
- 2 효소의 활성화에 영향을 미치는 요인에는 어떤 것이 있는가?
- 3 **창의 융합 사고** | 효소의 농도가 일정하고 기질의 농도가 충분할 때 반응 속도가 처음에는 증가하다가 더는 증가하지 않고 일정해진다. 이때, 반응 속도를 다시 증가시키는 방법을 생각해 보자.

### 내열성

생물이 고온에 견디며 생존할 수 있는 성질로, 생물에 따라 견딜 수 있는 온도는 다르다.

- 다음 개념을 이해하였는지 ✓ 표를 하면서 확인해 보자.
- 활성화 에너지
- 기질 특이성
- 최적 온도와 최적 pH
- 저해제

준비물

- 시험관     시험관대
- 비커         온도계
- 스포이트    얼음
- 2% 녹말 용액
- 아이오딘 용액
- pH 3, 7, 10 표준 용액
- 1% 아밀레이스 용액
- 실험복       보안경
- 실험용 고무장갑

유의할 점

사용한 pH 표준 용액은 폐수통에 넣는다.

목표

효소의 활성화에 영향을 미치는 요인을 설명할 수 있다.

과정 

- ① 6개의 시험관을 준비하여 A부터 F까지 표시한다.
- ② 시험관 A~F에 각각 2% 녹말 용액 3 mL와 아이오딘 용액 한두 방울을 넣는다.
- ③ 시험관 D에는 pH 3 표준 용액을, 시험관 E에는 pH 7 표준 용액을, 시험관 F에는 pH 10 표준 용액을 1 mL씩 넣는다.
- ④ 6개의 시험관에 1%의 아밀레이스 용액을 1 mL씩 넣은 후, 시험관 A, D, E, F는 35 °C의 물이 든 비커에, 시험관 B는 60 °C의 물이 든 비커에, 시험관 C는 얼음물이 든 비커에 넣어 둔다.
- ⑤ 10분 동안 시험관 용액의 색 변화를 관찰한다.



결과 및 정리

1. 과정 ⑤에서 나타나는 시험관 용액의 색 변화를 정리해 보자.

시험관	A	B	C	D	E	F
색의 변화						



2. 색의 변화가 가장 큰 시험관은 무엇인가?

.....

3. 시험관 A~C의 결과로부터 얻을 수 있는 결론을 써 보자.

.....

4. 시험관 D~F의 결과로부터 얻을 수 있는 결론을 써 보자.

.....

5. 아밀레이스의 활성화에 온도와 pH가 각각 어떤 영향을 미치는지 설명해 보자.

.....

6. 창의력 (+) 식혜를 만드는 과정을 조사하고, 효소의 작용을 어떻게 이용는지 써 보자.

.....

.....

.....

.....

.....



평가하기

1 2 3 4 5

- 실험 과정을 정확히 수행하여 시험관 용액의 색 변화를 관찰하였는가?
- 온도와 pH가 효소의 활성화에 어떤 영향을 주는지 설명할 수 있는가?
- 모둠원과 서로 협력하고 배려하면서 실험을 하였는가?
- 실험 후 뒷정리를 잘하였는가?

| 활동 후기 | 이 활동에서 어떤 것을 배웠는지 자유롭게 적어 보자.

.....

목표

효소가 우리 생활에서 다양한 용도로 이용되고 있음을 조사하여 토의할 수 있다.

과정

① 생활 속에서 효소를 이용하는 사례에는 어떤 것이 있는지 조사해 보자.

구분	이용 사례
식품	
생활용품	
산업	
의약품	

② 다음 예시와 같이 각자의 가정에서 효소를 이용한 사례를 글로 정리하여 발표해 보자.

[효소의 이용 사례 예시]

불고기 양념의 비밀

집에서 불고기 양념을 만들 때 배를 갈아 넣는다.

그 까닭은 배즙에 단백질 분해 효소가 들어 있어

고기를 부드럽게 해 주기 때문이다.

결과 및 정리

1. 내가 사용하고 있는 제품 중 효소를 이용한 것이 있는지 토의해 보자.

.....

2. **창의력** (+) 환경 개선을 위해 효소를 활용할 수 있는 방안을 생각해 보자.

.....

평가하기

1 2 3 4 5

● 효소 이용 사례를 조사하는 데 적극적으로 참여하였는가?

● 효소를 이용한 사례를 글로 정리하여 발표하였는가?

● 효소를 이용한 제품을 찾는 토의 활동에 적극적으로 참여하였는가?

| **활동 후기** | 이 활동에서 어떤 것을 배웠는지 자유롭게 적어 보자.

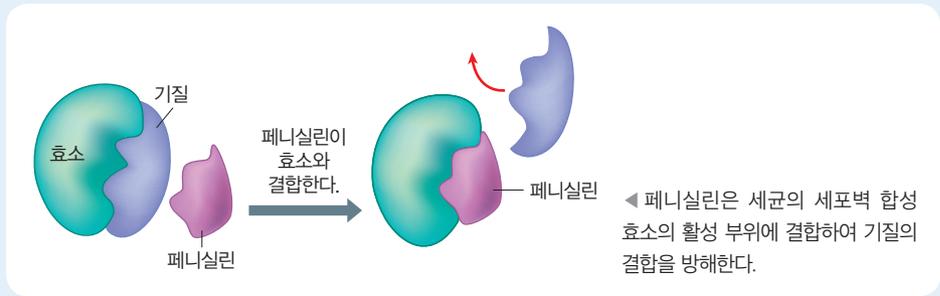
.....



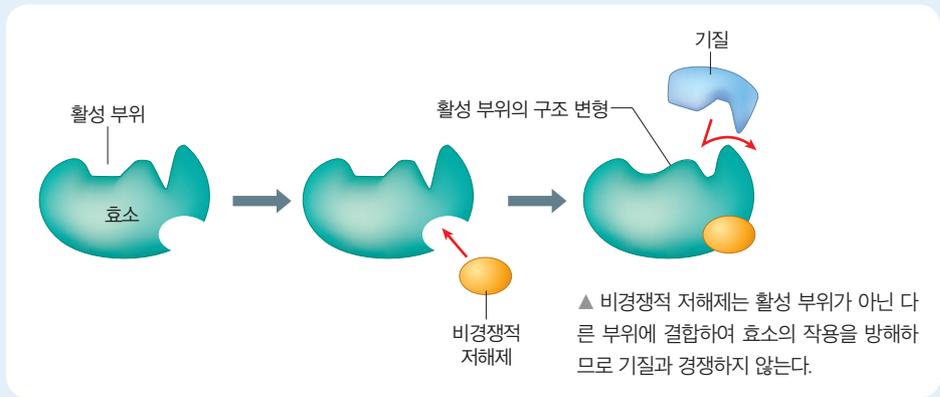
# 의약품과 효소 저해제



의약품 중에는 효소의 활성 부위에 결합하여 효소 고유의 작용을 억제함으로써 약효를 발휘하는 것이 있다. 그중 아스피린은 체내에서 염증, 발열, 통증을 일으키는 물질의 합성에 관여하는 효소의 활성 부위에 결합하여 효소의 작용을 방해한다. 그 결과 아스피린은 염증 반응을 줄여 주는 소염제, 열을 내리게 하는 해열제, 통증을 줄여 주는 진통제로 이용된다. 또, 페니실린은 세균의 세포벽을 형성하는 효소의 활성 부위에 결합하여 세포벽이 합성되는 것을 막아 세균을 죽게 한다. 사람의 세포에는 세포벽이 없으므로, 페니실린의 영향을 받지 않는다. 따라서 페니실린은 세균성 감염 질환 치료를 위한 항생제로 이용된다.



아스피린, 페니실린과는 달리 효소의 활성 부위가 아닌 다른 부위에 결합하여 활성 부위 구조를 변형시키는 저해제도 있는데, 이를 비경쟁적 저해제라고 한다. 비경쟁적 저해제는 기질이 효소에 결합할 수 있는 결합력을 감소시켜 효소의 작용을 방해한다.



## 핵심 역량 펼치기

효소의 작용을 억제하는 물질에는 어떤 것이 있는지 조사해 보자.



# 세포 검사 기사



세포 검사 기사는 몸속 세포를 검사해 암 등 각종 질병을 발견해 내는 직업이다. 현대 의료 기술의 발달로 각종 암의 완치율이 높아지면서, 암세포의 조기 발견이 환자의 치료와 예방에 더욱 중요해졌다. 이에 따라 1970년대 말에 세포 검사만을 전문적으로 담당하는 직업이 생겨났다.

세포 검사 기사는 세포를 채취하여 검사 기준과 조건에 따라 세포의 모양, 색깔, 크기 등의 이상 유무를 검사하며, 세포 검사 결과는 환자의 진단 및 치료에 결정적인 역할을 한다.

세포 검사 기사로 활동하기 위해서는 분석력과 문제 해결력, 판단 능력을 갖추고 있어야 하며, 최신 컴퓨터 진단 기법, 장비 및 기술과 관련된 지식도 필요하다. 또, 반복된 작업을 통한 꼼꼼한 일 처리 능력이 요구되며, 의사, 간호사 등 다양한 업무 분야의 사람들과 협동하는 일이 많으므로 원활한 의사소통 능력도 갖추어야 한다.

**💡 핵심 역량 펼치기** 세포 검사 기사가 정상 세포와 암세포를 어떻게 구별할 수 있는지 생각해 보자.




---



---

환자들의 세포 표본을 채취하여 분석해요.





🔗 핵심 개념 정리하기



🔗 핵심 개념 적용하기

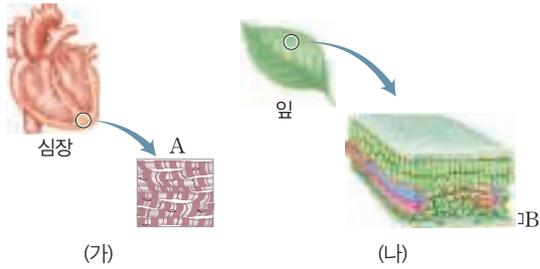
01 다음 설명 중 옳은 것은 ○표, 옳지 않은 것은 ×표를 해 보자.

- (1) 기관은 식물에는 없고 동물에만 있는 구성 단계이다. (○, ×)
- (2) DNA 뉴클레오타이드를 구성하는 염기는 구아닌, 타이민, 유라실, 아데닌, 사이토신이다. (○, ×)
- (3) 원핵세포에는 핵막이 없어 DNA가 세포질에 존재한다. (○, ×)
- (4) 주사 전자 현미경은 세포의 단면을 관찰하기에 적합하다. (○, ×)
- (5) 거친면 소포체는 리보솜에서 합성된 단백질의 이동 통로이다. (○, ×)
- (6) 식물 세포를 저장액에 넣으면 원형질 분리 현상이 일어난다. (○, ×)
- (7) 효소는 활성화 에너지를 낮춰주는 생체 촉매이다. (○, ×)



1. 생명체의 유기적 구성 ㉠ 32쪽

02 그림 (가)는 동물의 심장을, (나)는 식물의 잎을 나타낸 것이다. A와 B는 각각 근육 조직과 표피 조직 중 하나이다.



이에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

- ① A는 수축, 이완의 기능이 있다.
- ② B는 줄기와 뿌리에도 있다.
- ③ B는 기본 조직계에 속한다.
- ④ 잎에는 물을 수송하는 조직이 있다.
- ⑤ 심장과 잎은 모두 기관에 해당한다.

2. 생명체를 구성하는 주요 물질 ㉠ 34쪽

03 표는 생명체를 구성하는 물질 (가)~(다)의 예를 나타낸 것이다. (가)~(다)는 각각 탄수화물, 지질, 핵산 중 하나이다.

물질	(가)	(나)	(다)
예	DNA	스테로이드	글리코젠

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

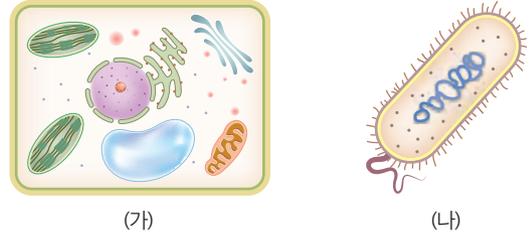
<보기>

- ㄱ. (가)의 단위체는 아미노산이다.
- ㄴ. 중성 지방은 (나)에 속한다.
- ㄷ. (가), (나), (다)를 구성하는 공통 원소에는 C, H, O가 있다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

3. 원핵세포와 진핵세포 ㉠ 38쪽

04 그림 (가)는 식물 세포를, (나)는 세균을 나타낸 것이다.

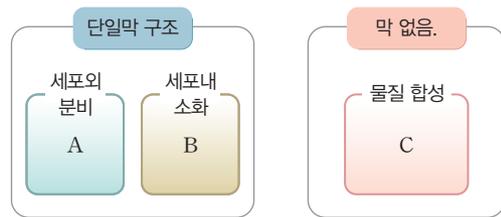


(가)와 (나)의 공통점으로 옳은 것은?

- ① 리보솜이 있다.
- ② 선형의 DNA를 가진다.
- ③ 핵막과 세포벽을 모두 가진다.
- ④ 셀룰로스 성분의 세포벽이 있다.
- ⑤ 막으로 둘러싸인 세포 소기관이 있다.

4. 세포 소기관의 구조와 기능 ㉠ 40쪽

05 그림은 서로 다른 세포 소기관 A~C를 막 구조의 유무와 기능에 따라 분류한 것이다. A~C는 각각 골지체, 리보솜, 리소좀 중 하나이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보기>

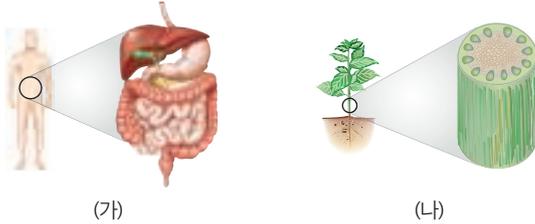
- ㄱ. 항체를 분비하는 세포에는 A가 많이 존재한다.
- ㄴ. B는 리보솜이다.
- ㄷ. B에는 C에서 합성된 물질이 있다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

**핵심 역량 키우기**

1. 생명체의 유기적 구성 ㉠ 32쪽

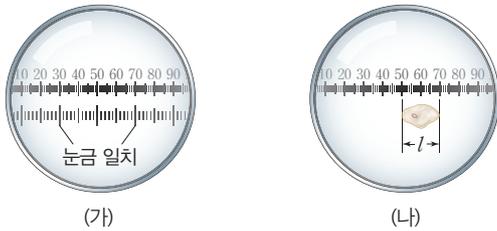
**06 과학적 의사소통 능력** 그림 (가)는 사람의 소화계를, (나)는 식물의 줄기를 나타낸 것이다.



(가)와 (나)가 구성되는 단계에서의 공통점과 차이점을 설명해 보자.

4. 세포 소기관의 구조와 기능 ㉡ 40쪽

**07 과학적 탐구 능력** 그림 (가)는 200배의 현미경 배율에서 대물 마이크로미터와 접안 마이크로미터의 눈금이 일치된 부분을, (나)는 (가)의 재물대에 현미경 표본을 올려놓고 대물렌즈의 배율만 2배로 높여 세포를 관찰한 결과를 나타낸 것이다.



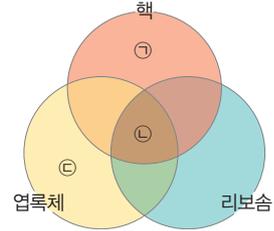
관찰한 세포의 길이( $l$ )를 구해 보자.

4. 세포 소기관의 구조와 기능 ㉡ 40쪽

**08 과학적 탐구 능력** 동물의 간 조직에서 미토콘드리아를 분리하기에 가장 적절한 세포 연구 방법을 설명해 보자.

4. 세포 소기관의 구조와 기능 ㉡ 40쪽

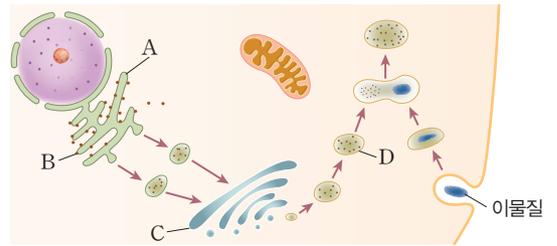
**09 과학적 의사소통 능력** 그림은 핵, 엽록체, 리보솜의 공통점과 차이점을 벤다이어그램으로 나타낸 것이다.



㉠~㉢에 해당하는 특징에는 무엇이 있는지 설명해 보자.

4. 세포 소기관의 구조와 기능 ㉡ 40쪽

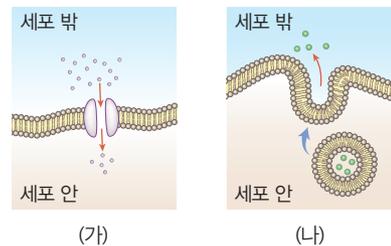
**10 과학적 사고력** 그림은 동물 세포에서 세포 소기관의 유기적 관계에 의해 일어나는 작용을 나타낸 것이다.



이물질의 세포내 소화에서 A~D가 각각 어떤 역할을 하는지 설명해 보자.

5. 세포막을 통한 물질의 출입 ㉢ 50쪽

**11 과학적 문제 해결력** 그림은 동물의 세포막을 통해 물질이 이동하는 방식 (가)와 (나)를 나타낸 것이다.



(가)와 (나)의 차이점을 설명해 보자.



5. 세포막을 통한 물질의 출입 ㉠ 50쪽

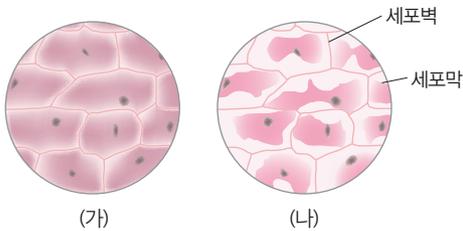
**12 과학적 사고력** 4개의 비커 I~IV에 각각 크기와 무게가 같은 정육면체 모양의 감자 조각과 같은 양의 농도가 다른 용액을 넣고, 감자 조각이 충분히 잠기도록 하였다. 표는 2시간이 지난 후 감자 조각의 무게를 측정하고 그 변화량을 나타낸 것이다.

구분	I	II	III	IV
용액	증류수	0.1 % NaCl 용액	0.9 % NaCl 용액	3 % NaCl 용액
감자 무게의 변화량	0.21 g 증가	0.18 g 증가	변화 없음.	0.42 g 감소

I~IV 중에서 감자 세포의 팽압이 가장 높은 것을 고르고, 그 까닭을 설명해 보자.

5. 세포막을 통한 물질의 출입 ㉠ 50쪽

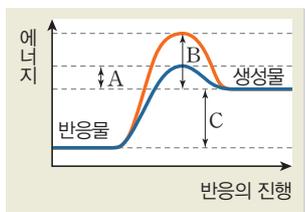
**13 과학적 사고력** 그림 (가)는 양파 세포를 소금물 A에, (나)는 양파 세포를 소금물 B에 넣어 충분한 시간이 지난 후의 상태를 나타낸 것이다.



소금물 A와 B 중 농도가 더 높은 것은 어느 것인지 쓰고, 그렇게 생각한 까닭을 설명해 보자.

6. 효소의 작용 ㉠ 58쪽

**14 과학적 탐구 능력** 그림은 효소가 있을 때와 없을 때 화학 반응에서 에너지의 변화를 나타낸 것이다.



효소가 있을 때와 없을 때의 활성화 에너지를 각각 기호로 써 보고, 효소의 기능을 설명해 보자.

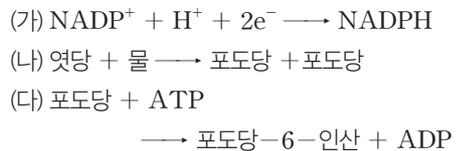
6. 효소의 작용 ㉠ 58쪽

**15 과학적 문제 해결력** <자료 1>은 세 가지 효소의 작용을, <자료 2>는 효소에 의한 반응 세 가지를 순서 없이 나열한 것이다.

<자료 1>

- 가수 분해 효소:
- 산화 환원 효소: 기질을 산화·환원시킨다.
- 전이 효소: 기질의 작용기를 다른 기질에 옮긴다.

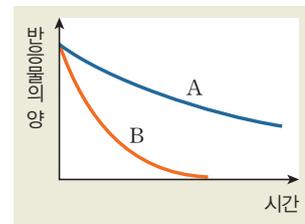
<자료 2>



(가)~(다)의 반응을 촉진하는 효소를 <자료 1>에서 찾아 각각 써 보고, ㉠에 들어갈 알맞은 작용을 설명해 보자.

6. 효소의 작용 ㉠ 58쪽

**16 과학적 문제 해결력** 그림은 효소 X를 두 가지 실험 조건 A와 B에서 반응시켰을 때 시간에 따른 반응물의 양을 나타낸 것이다.



A와 B 중에서 효소 X의 최적 조건에 더 가까운 실험 조건은 무엇인지 쓰고, 그 까닭을 설명해 보자.

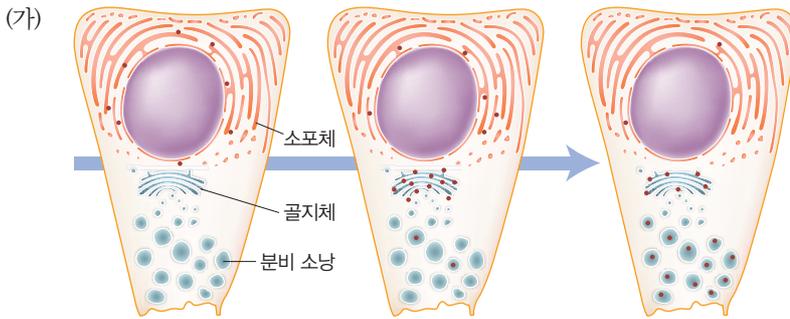


17 다음은 세포에서 합성된 단백질이 어떻게 이동하는지 실험한 과정을 나타낸 것이다.

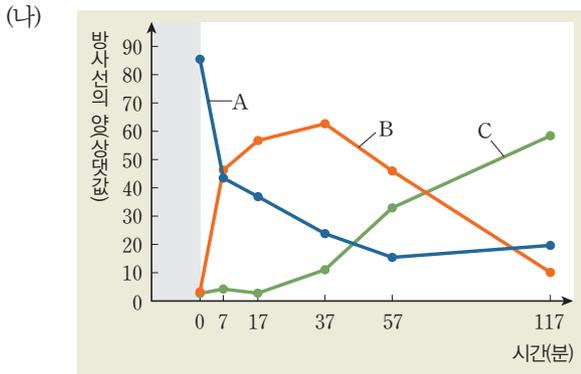
그림 (가)는 배양 중인 쥐의 이자 세포에 방사성 동위 원소로 표지한 아미노산을 일정 시간 공급하고, 시간에 따라 방사선이 방출되는 세포 소기관을 관찰한 결과를 나타낸 것이다. 그림 (나)는 세포의 배출을 위해 형성된 분비 소낭, 골지체, 소포체에서 방출되는 방사선의 양을 시간에 따라 측정한 결과를 순서 없이 나타낸 것이다.



인터넷에서 방사성 동위 원소에는 어떤 것이 있는지 찾아보자.



(·: 방사선이 검출되는 부분)



(출처: 『Biological Science』, 2014.)

(1) A, B, C에 해당하는 세포 소기관이 무엇인지 각각 쓰고, 그렇게 생각한 까닭을 설명해 보자.



.....

.....

(2) 위의 실험을 쥐의 근육 세포로 하였다면 어떤 결과가 나올 것인지 예상해 보고, 그 까닭을 설명해 보자.



.....

.....





# III

## 세포 호흡과 광합성

벼는 우리나라 사람뿐만 아니라 세계 인구의 절반에 해당하는 사람에게 주요한 식량 자원이자 에너지원이다. 벼에 저장된 에너지는 광합성을 통해 빛에너지가 전환된 것이며, 이 에너지는 세포 호흡을 통해 생명 활동에 필요한 에너지로 전환된다.

이 단원에서는 에너지 전환 과정에서 나타나는 미토콘드리아와 엽록체의 공통점과 차이점을 알아보고, 세포 호흡과 광합성의 과정을 분자 수준에서 살펴보자. 또, 산소 호흡과 발효의 차이를 알아보자.



① 미토콘드리아와 엽록체

④ 광합성의 명반응 과정

② 세포 호흡 과정과 광합성의 탄소 고정 반응

⑤ 세포 호흡과 광합성의 전자 전달계

③ 발효

## 모네의 정원

빛에 따라 시시각각 변화하는 자연의 경이로움을 눈과 마음으로 담아낸 화가가 있다. 43세에 프랑스의 지베르니로 이사해 그곳에서 평생을 살았던 모네(Monet, C., 1840 ~ 1926)는 연못을 만들어 수련을 심고, 정원을 가꾸면서 자신이 만든 연못과 정원에서 영감을 얻어 작품 활동을 계속했다.

모네가 나무와 꽃을 심어 가꾸고, 아침저녁으로 혹은 계절마다 변화하는 빛과 자연을 관찰하면서 산책했던 그 정원에는 아직도 꽃이 피고 나무들은 초록빛 그늘을 드리우고 있다. 모네의 정원은 방문하는 이에게 빛과 자연을 사랑했던 모네의 마음을 느끼게 한다.



모네의 「수련과 일본식 다리」



모네의 「수련 연못 위의 다리」



모네의 「수련 연못, 적색의 조화」

1. **문제 해결력** 인디언들은 자작나무를 서 있는 키 큰 형제라고 부르기도 한다. 인디언들이 나무와 사람을 형제라고 생각하는 까닭을 세포 호흡, 광합성과 관련지어 설명해 보자.

2. **의사소통 능력** 내가 정원을 가꾼다면 어떤 식물을 심을 것인지 생각해 보고, 정원을 가꾸어서 얻을 수 있는 것을 소개하는 글을 써 보자.

**학습  
계획하기**

다음의 '단원 학습'에서 알고 있는 것에 ✓표를 해 보고, 스스로 학습 계획을 세워 보자.

선수 학습

» **중학교 과학**

- 식물과 에너지
- 동물과 에너지

» **생명과학 II**

- 세포의 특성

단원 학습

- 미토콘드리아
- 세포 호흡
- 발효

- 엽록체
- 광합성

나는 .....

할 수 있다.

# 1



## 미토콘드리아와 엽록체

### 학습 목표

- 미토콘드리아와 엽록체의 구조와 기능을 설명할 수 있다.
- 미토콘드리아와 엽록체를 비교하여 공통점과 차이점을 설명할 수 있다.

식물 세포에는 생명 활동에 필요한 에너지를 얻는 미토콘드리아와 빛에너지를 이용하여 유기물을 합성하는 엽록체가 있다. 미토콘드리아와 엽록체는 어떤 공통점과 차이점이 있을까?



미토콘드리아와 엽록체는 'II-4. 세포 소기관의 구조와 기능'을 참고하세요 → 40쪽

미토콘드리아는 내막과 외막으로 이루어진 2중막 구조를 가지며, 내막에 의해 막 사이 공간과 기질로 구분된다. 내막은 안쪽으로 접혀 들어가 주름을 형성하는데, 이를 **크리스타**라고 한다. 내막에는 전자 전달에 필요한 효소와 ATP 합성 효소가 분포하고, 기질에는 유기물을 분해하는 데 필요한 여러 가지 효소가 존재한다.

엽록체도 내막과 외막으로 이루어진 2중막 구조를 가지며, 내막 안쪽의 공간을 **스트로마**라고 한다. 스트로마에는 동전 모양의 **틸라코이드**가 있으며, 틸라코이드가 포개져 쌓여 있는 구조를 **그라나**라고 한다. 틸라코이드 막에는 광합성 색소, 전자 전달에 필요한 효소, ATP 합성 효소가 분포하고, 스트로마에는 유기물을 합성하는 데 필요한 여러 가지 효소가 존재한다.

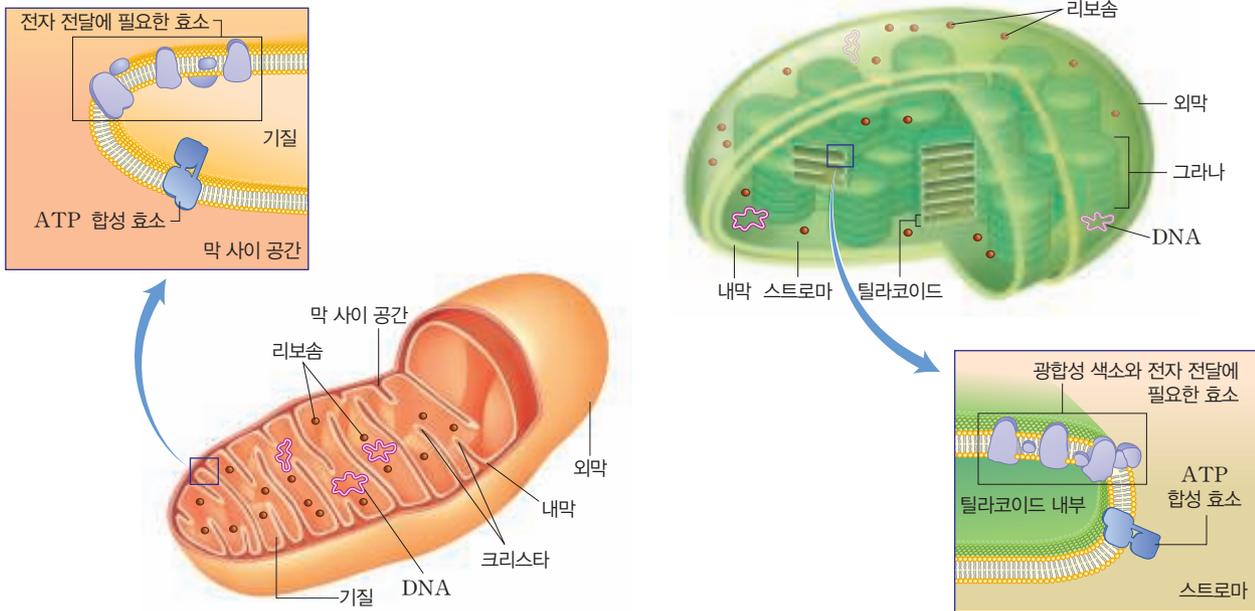


그림 III-1 미토콘드리아와 엽록체의 구조 미토콘드리아의 내막과 엽록체의 틸라코이드 막은 표면적을 넓히는 구조이다.

미토콘드리아와 엽록체의 구조와 기능을 비교해 보자.

자료  
해석

해 보기

### 미토콘드리아와 엽록체의 구조와 기능

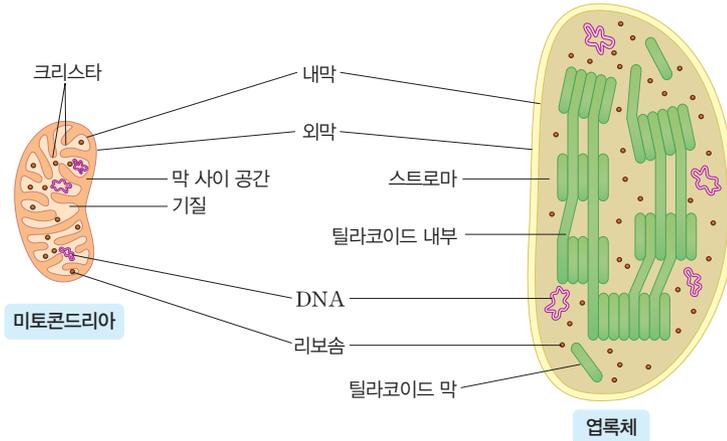


사고력



문제 해결력

그림은 미토콘드리아와 엽록체의 구조를 나타낸 것이다.



1. 미토콘드리아 기질과 엽록체 스트로마의 공통점을 써 보자.

.....

.....

2. 미토콘드리아 내막과 엽록체 티라코이드 막의 공통점을 써 보자.

.....

.....

미토콘드리아에서는 유기물을 분해하여 생명 활동에 필요한 에너지를 얻는 세포 호흡이 일어나고, 엽록체에서는 빛에너지를 이용하여 유기물을 합성하는 광합성이 일어난다. 미토콘드리아와 엽록체는 서로 다른 물질대사를 담당하지만 에너지 전환이 일어나는 세포 소기관이라는 공통점을 가진다. 미토콘드리아와 엽록체에서 에너지 전환에 관여하는 막단백질은 각각 내막과 티라코이드 막에 있다.

#### 핵심 개념 확인하기

1 엽록체에서 광합성 색소와 전자 전달에 필요한 효소가 있는 부위는 어디인가?

2 **창의 융합 사고** | 미토콘드리아와 엽록체가 자체의 DNA와 리보솜을 가지고 있어서 나타나는 공통점은 무엇인지 생각해 보자.

• 다음 개념을 이해하였는지 ✓ 표를 하면서 확인해 보자.

- 미토콘드리아와 엽록체의 구조
- 미토콘드리아와 엽록체의 기능

# 2



## 세포 호흡 과정과 광합성의 탄소 고정 반응

### 학습 목표

- 세포 호흡 과정과 광합성의 탄소 고정 반응을 단계별로 구분하여 설명할 수 있다.
- 산화적 인산화를 화학 삼투로 설명할 수 있다.
- 호흡 기질과 호흡률을 설명할 수 있다.

코알라는 세포 호흡을 통해 이산화 탄소를 방출하고, 코알라의 주식인 유칼립투스스는 광합성을 통해 이산화 탄소를 고정한다. 세포 호흡 과정과 광합성의 탄소 고정 반응은 각각 어떻게 일어날까?



### 세포 호흡 과정

세포 호흡은 포도당을 산화하여 이산화 탄소와 물로 분해하는 과정이다.



세포 호흡에서 방출된 에너지의 일부는 ATP로 전환되어 생명체의 다양한 생명 활동에 이용되고, 나머지는 열로 방출된다.

세포 호흡은 그림 III-2와 같이 해당 과정, 피루브산의 산화 및 TCA 회로, 산화적 인산화로 구분한다. 해당 과정은 세포질에서 일어나고, 피루브산의 산화 및 TCA 회로와 산화적 인산화는 모두 미토콘드리아에서 일어난다. 세포 호흡은 여러 반응을 거쳐 일어나며, 각 반응에는 효소가 작용하므로 세포 호흡은 온도, pH 등의 영향을 받는다.

세포 호흡은 중학교 과학의 '동물과 에너지' 단원과 연계됩니다.

### 인산화

특정 물질에 인산기가 결합하는 반응을 인산화라고 한다. ADP에 인산기가 결합하여 ATP가 합성되는 반응도 인산화에 해당한다.

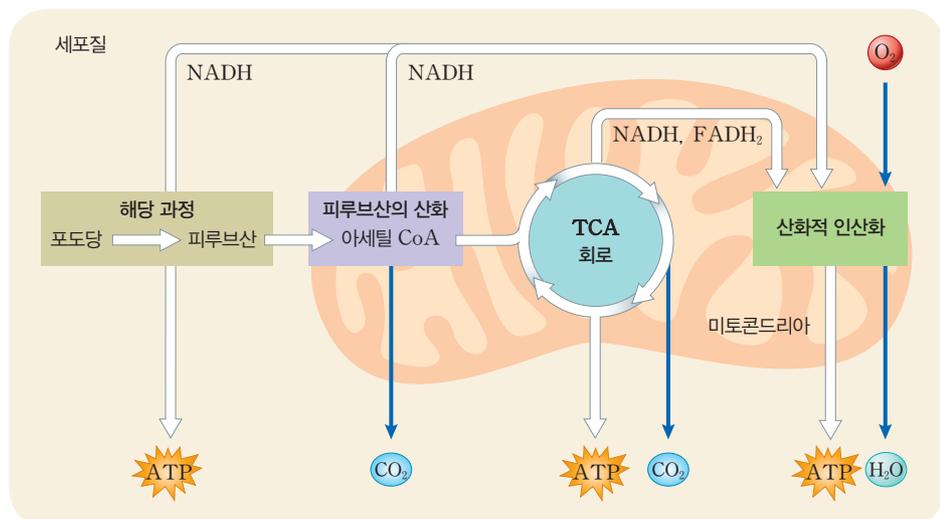
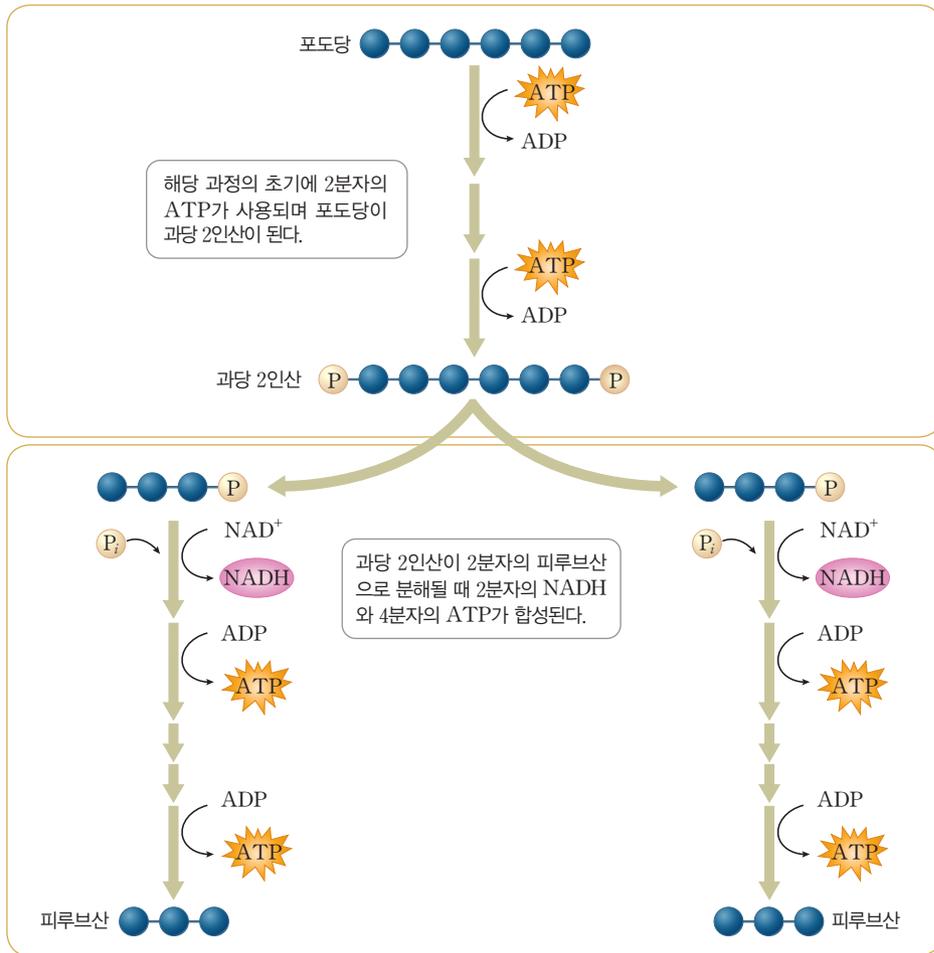


그림 III-2 세포 호흡의 단계 포도당은 해당 과정, 피루브산의 산화 및 TCA 회로, 산화적 인산화를 거쳐 산화되어 에너지를 방출하는데, 그중 일부는 ATP 합성에 이용된다.

세포 호흡의 첫 번째 단계는 해당 과정으로, 포도당으로부터 에너지를 얻는 모든 원핵세포와 진핵세포에서 일어난다. **해당 과정**은 그림 Ⅲ-3과 같이 포도당 1분자가 여러 가지 화학 반응을 거쳐 2분자의 피루브산으로 분해되는 과정이다.

해당 과정의 초기에 2분자의 ATP가 사용되며 포도당이 과당 2인산이 된다. 과당 2인산이 2분자의 피루브산으로 분해되면서 4분자의 ATP가 합성되므로, 결과적으로 포도당 1분자가 해당 과정을 거치면 2분자의 ATP가 순생성된다. 과당 2인산은 피루브산으로 분해될 때 탈수소 효소의 작용으로 산화되고 H<sup>+</sup>과 고에너지의 전자를 방출하는데, NAD<sup>+</sup>는 방출된 H<sup>+</sup>과 전자를 받아 NADH로 환원된다.



### NAD<sup>+</sup>

탈수소 효소의 조효소이다. 기질에서 떨어져 나온 H<sup>+</sup>과 2개의 전자를 받아 NADH로 환원된다.

그림 Ⅲ-3 해당 과정 포도당 1분자가 해당 과정을 거치면 2분자의 피루브산과 함께 2분자의 NADH가 생성되며, 2분자의 ATP가 순생성된다.

해당 과정은 산소가 없어도 진행되며, 해당 과정을 거치는 동안 포도당을 이루는 모든 탄소는 2분자의 피루브산으로 전환되므로 이산화 탄소가 방출되지 않는다. 또, 해당 과정에서는 그림 Ⅲ-4와 같이 기질의 인산기가 ADP로 전달되는 **기질 수준 인산화**로 ATP가 합성된다.

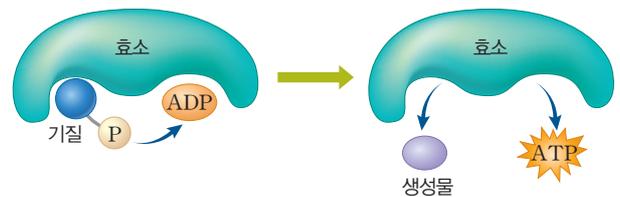


그림 Ⅲ-4 기질 수준 인산화 기질의 인산기가 ADP로 직접 전달되어 ATP가 합성된다.

**TCA 회로(Tricarboxylic acid cycle)**

회로의 초기 반응 물질인 시트르산이 세 개의 카복실기(-COOH)를 가지기 때문에 붙여진 이름이며, 크레브스 회로라고도 한다.

**FAD**

탈수소 효소의 조효소로, 2분자의 H<sup>+</sup>과 2개의 전자를 받아 FADH<sub>2</sub>로 환원된다.

해당 과정에서 생성된 피루브산은 산소가 있을 때 그림 III-5와 같이 미토콘드리아 기질로 이동하여 산화되고 조효소A(CoA)와 결합해 아세틸 CoA가 된다. 이 과정에서 이산화 탄소가 방출되고, NAD<sup>+</sup>는 H<sup>+</sup>과 전자를 받아 NADH로 환원된다. 피루브산은 탈수소 효소 복합체에 의해 아세틸 CoA로 전환된다.

아세틸 CoA는 옥살아세트산과 결합하여 시트르산이 되고, 시트르산은 여러 화학 반응을 거쳐 다시 옥살아세트산이 된다. 재생된 옥살아세트산은 아세틸 CoA와 결합하여 시트르산이 되는 회로를 반복하는데, 이 회로를 **TCA 회로**라고 한다. TCA 회로의 각 단계는 여러 효소에 의해 일어나며, 이 회로를 통해 2분자의 이산화 탄소가 방출된다.

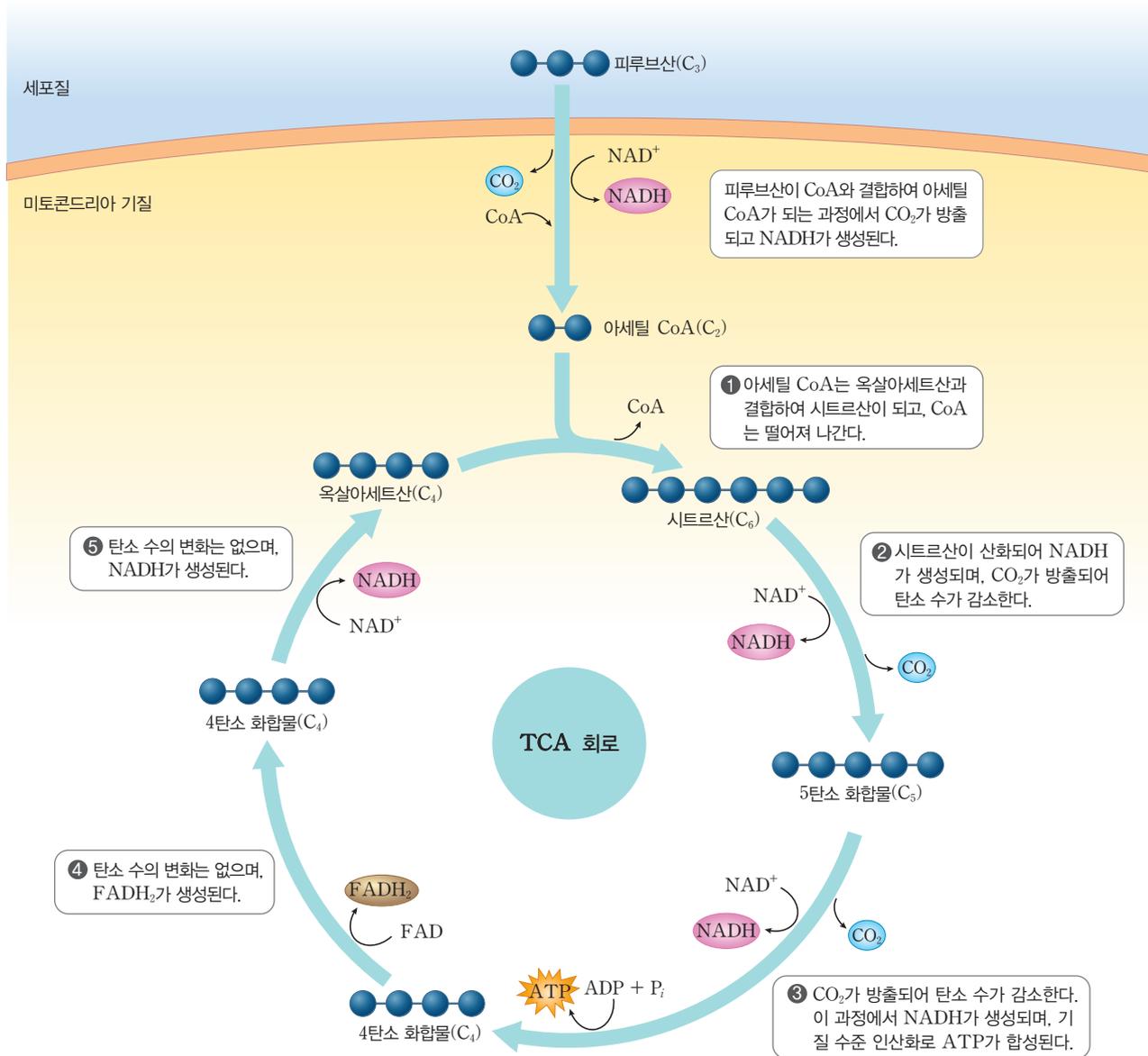


그림 III-5 피루브산의 산화와 TCA 회로

피루브산의 산화와 TCA 회로에서 일어나는 반응을 알아보자.

자료  
해석

해 보기

피루브산의 산화와 TCA 회로



표는 미토콘드리아에서 일어나는 반응 (가)~(다)의 탄소 수 변화를 나타낸 것이다.

반응	물질의 변화
(가)	피루브산(C <sub>3</sub> ) →  아세틸 CoA(C <sub>2</sub> )
(나)	5탄소 화합물(C <sub>5</sub> ) →  4탄소 화합물(C <sub>4</sub> )
(다)	시트르산(C <sub>6</sub> ) →  5탄소 화합물(C <sub>5</sub> )

1. (가)~(다) 중에서 기질 수준 인산화가 일어나는 반응을 써 보자.



2. (가)~(다) 중에서 이산화 탄소가 방출되는 반응을 써 보자.



3. 1분자의 피루브산이 미토콘드리아 기질에서 산화되고 TCA 회로를 거치는 동안 생성되는 물질의 분자 수를 써 보자.

물질	분자 수
NADH	
FADH <sub>2</sub>	
ATP	
CO <sub>2</sub>	

미토콘드리아 기질에서는 피루브산이 산화되어 아세틸 CoA가 되는 과정과 TCA 회로가 진행된다. 이 과정에서 반응물의 탄소 수가 감소하는 탈탄산 반응과, 반응물로부터 H<sup>+</sup>과 전자가 방출되는 탈수소 반응이 일어난다. NAD<sup>+</sup>와 FAD는 각각 탈수소 반응에서 방출된 H<sup>+</sup>과 전자를 받아 NADH와 FADH<sub>2</sub>로 환원된다. TCA 회로에서 아세틸 CoA가 가지는 에너지의 일부는 기질 수준 인산화로 ATP를 합성하는 데 이용되고, 나머지는 NADH와 FADH<sub>2</sub>에 저장된다.

핵심 개념 확인하기

- 1 세포질에서 1분자의 포도당이 2분자의 피루브산으로 분해되는 과정을 무엇이라고 하는가?
- 2 TCA 회로가 진행되는 장소는 어디인가?
- 3 TCA 회로에서 아세틸 CoA가 옥살아세트산과 결합하여 합성되는 6탄소 화합물은 무엇인가?

- 다음 개념을 이해하였는지 ✓ 표를 하면서 확인해 보자.
- 해당 과정
- 기질 수준 인산화
- TCA 회로

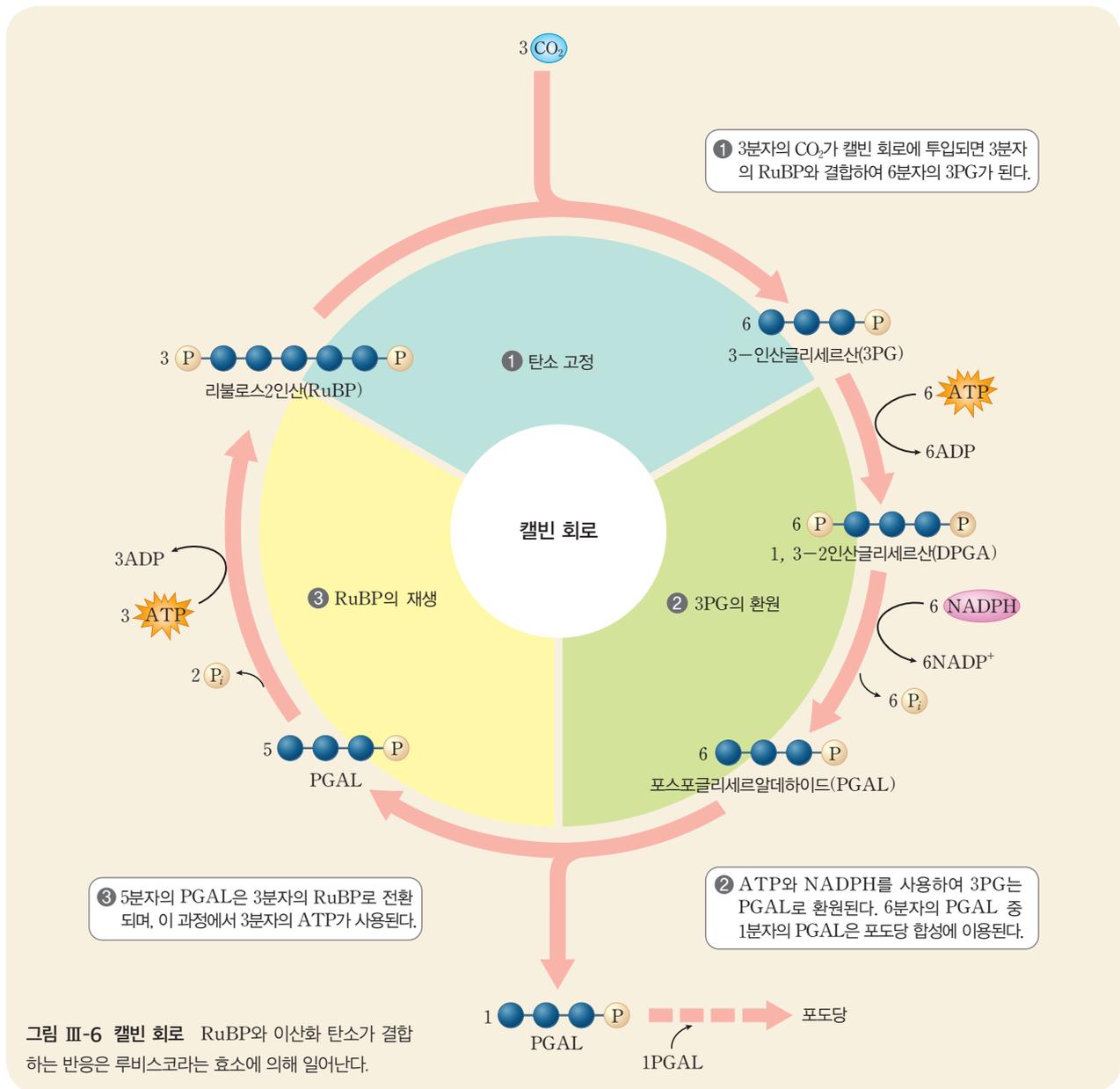
광합성은 중학교 과학의 '식물과 에너지' 단원과 연계됩니다.

### 광합성의 탄소 고정 반응

광합성에서 포도당이 합성될 때 이산화 탄소가 고정된다.



이산화 탄소가 고정되는 반응은 엽록체의 스트로마에서 일어난다. 그림 III-6과 같이 이산화 탄소는 RuBP와 결합하여 3PG가 되고, 3PG는 환원 반응을 거쳐 PGAL이 된 후 다시 RuBP가 된다. 재생된 RuBP는 이산화 탄소와 결합하여 3PG가 되는 회로를 반복하는데, 이 회로를 **캘빈 회로**라고 한다. 캘빈 회로는 탄소 고정, 3PG의 환원, RuBP의 재생으로 구분되며, 각 단계는 여러 효소에 의해 일어난다.



캘빈 회로에서 사용되는 ATP와 NADPH는 빛에너지가 전환되어 합성된 물질이다. ATP와 NADPH의 에너지는 캘빈 회로에서 PGAL에 저장되고, PGAL의 일부는 포도당 합성에 이용된다.

포도당을 합성하기 위해서는 빛에너지를 흡수하는 반응, 캘빈 회로, PGAL이 포도당으로 합성되는 반응이 통합되어 일어나야 하며, 이 과정에서 대기 중의 이산화 탄소는 고정되어 생명체가 이용할 수 있는 유기물로 합성된다.

### NADPH

탈수소 효소의 조효소인 NADP<sup>+</sup>가 H<sup>+</sup>과 2개의 전자를 받아 환원된 물질

## 자료실 캘빈 회로의 발견

미국의 과학자 캘빈(Calvin, M., 1911~1997)은 방사성 동위 원소 <sup>14</sup>C를 이용하여 캘빈 회로의 경로를 밝혀냈다.

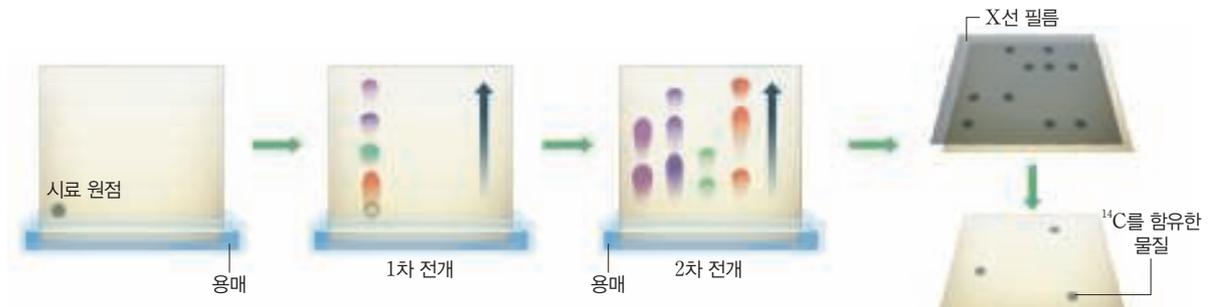
캘빈은 단세포 생물인 클로렐라를 이용하여 광합성 과정을 연구하였다. 그는 그림 III-8과 같이 클로렐라를 <sup>14</sup>CO<sub>2</sub>에 노출한 다음, 시간 경과에 따라 <sup>14</sup>C로 표지되는 생성물을 확인하여 CO<sub>2</sub>로부터 포도당이 합성되기까지의 경로를 알아낼 수 있었다.



그림 III-7 캘빈

### 과정

- 1 클로렐라 배양액에 <sup>14</sup>CO<sub>2</sub>를 계속 공급하면서 빛을 비춘다.
- 2 5초, 30초 후에 각각 광합성을 중지시킨 클로렐라로부터 시료로 쓸 물질을 추출한다.
- 3 시료를 크로마토그래피법으로 1차 전개한 후 방향을 바꾸어 2차 전개한다.
- 4 전개한 크로마토그래피용 종이를 X선 필름에 감광시킨다.



### 결과



그림 III-8 캘빈 실험의 과정과 결과

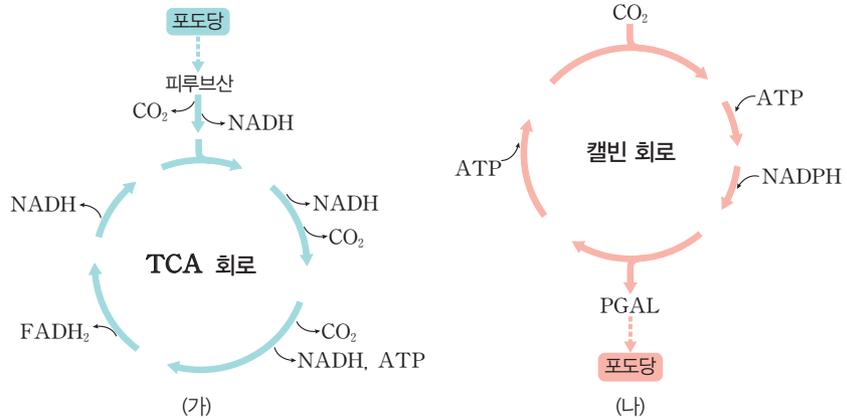
캘빈의 실험에서 빛을 비춘 후 5초일 때 방사선이 가장 많이 검출되는 유기물은 3PG로, 이는 CO<sub>2</sub>가 RuBP와 결합하여 생성된 것이다. 30초일 때는 과당 2인산, 시트르산 등 유기물의 검출량이 증가한 것을 확인할 수 있다.

TCA 회로와 캘빈 회로에서는 반응물이 여러 단계의 화학 반응을 거치며, 반응물이 투입되는 한 회로는 계속 순환된다. TCA 회로와 캘빈 회로에서 일어나는 반응을 비교해 보자.

**자료 해석 해 보기** TCA 회로와 캘빈 회로



그림 (가)는 세포 호흡 과정의 일부를, (나)는 광합성의 탄소 고정 반응을 나타낸 것이다.



1. (가)와 (나)가 일어나는 장소를 각각 써 보자.

.....

2. (가)와 (나)에서의 차이점을 에너지 출입과 관련지어 설명해 보자.

.....

3. (가)와 (나)가 동시에 진행되는 상황을 예를 들어 설명해 보자.

.....  
 .....

TCA 회로와 캘빈 회로는 각 단계가 효소에 의해 조절되는 일련의 화학 반응이다. TCA 회로는 유기물을 분해하여 이산화 탄소를 방출하는 이화 작용이고, 캘빈 회로는 대기 중의 이산화 탄소를 고정하여 유기물을 합성하는 동화 작용이다.

**핵심 개념 확인하기**

1. 캘빈 회로는 ( ) 고정, 3PG의 환원, ( )의 재생으로 구분된다.
2. 캘빈 회로에서 RuBP와 이산화 탄소가 결합하여 생성되는 3탄소 화합물은 무엇인가?
3. 식물의 잎에 이산화 탄소의 공급을 차단하면 엽록체 내의 3PG와 RuBP의 농도는 각각 어떻게 변하는지 설명해 보자.

- 다음 개념을 이해하였는지 ✓ 표를 하면서 확인해 보자.
- 캘빈 회로
- TCA 회로와 캘빈 회로의 차이점

## 산화적 인산화

세포 호흡의 마지막 단계인 **산화적 인산화**는 미토콘드리아 내막에 있는 전자 전달계에서 방출된 에너지를 이용하여 ATP를 합성하는 과정이다.

**전자 전달계**는 전자 전달 효소 복합체와 전자를 운반하는 전자 운반체로 이루어져 있다. 해당 과정과 피루브산의 산화 및 TCA 회로에서 생성된 NADH와 FADH<sub>2</sub>는 그림 III-9와 같이 전자 전달계에서 H<sup>+</sup>과 고에너지 전자를 내놓고 산화되며, 고에너지 전자는 전자 전달 효소 복합체와 전자 운반체의 산화 환원 반응으로 전달된다. 이 과정에서 고에너지 전자가 가지고 있던 에너지가 단계적으로 방출되고, 에너지를 잃은 전자는 미토콘드리아 기질에 있는 H<sup>+</sup>과 함께 최종적으로 산소에 전달되어 물을 생성한다.

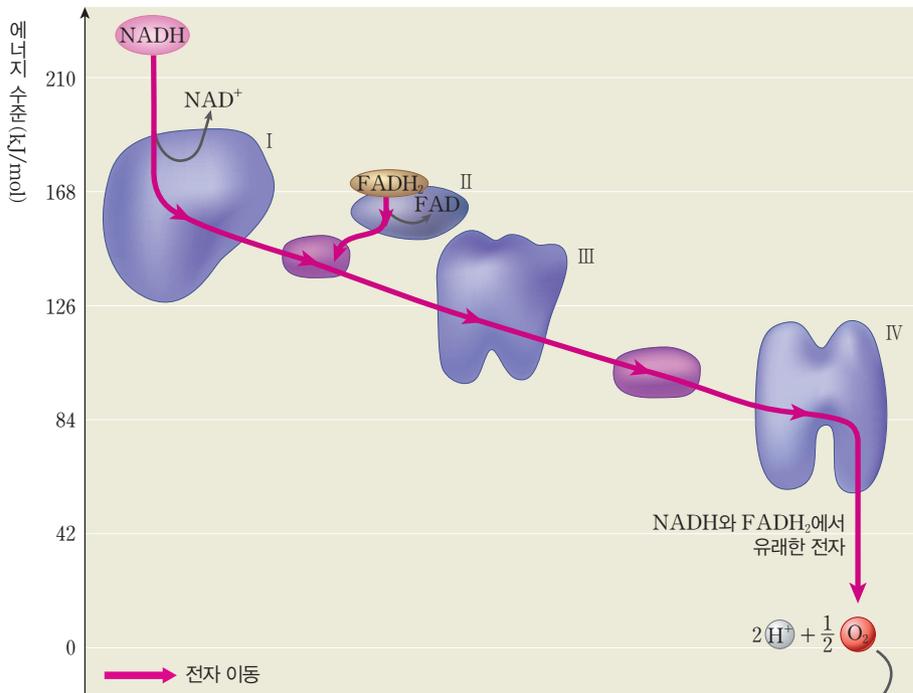


그림 III-9 전자 전달계 전자 전달 효소 복합체 I, II, III, IV와 다수의 전자 운반체로 구성된다. 전자 전달계를 따라 이동한 전자의 최종 수용체는 산소이다.  
(출처: 'Biology', 2015.)

일부 전자 전달 효소 복합체는 전자를 전달하는 과정에서 H<sup>+</sup>을 미토콘드리아 기질에서 막 사이 공간으로 능동 수송한다. 그 결과 미토콘드리아 내막을 경계로 H<sup>+</sup>의 농도 기울기가 형성된다. H<sup>+</sup>의 능동 수송에는 전자의 전달 과정에서 방출된 에너지가 이용된다.

**창의 융합 사고** 전자 전달계에서 고에너지 전자가 산소와 결합하기까지 여러 단계의 산화 환원 반응을 거쳐 이동하는 까닭을 연소와 비교하여 설명해 보자.

.....

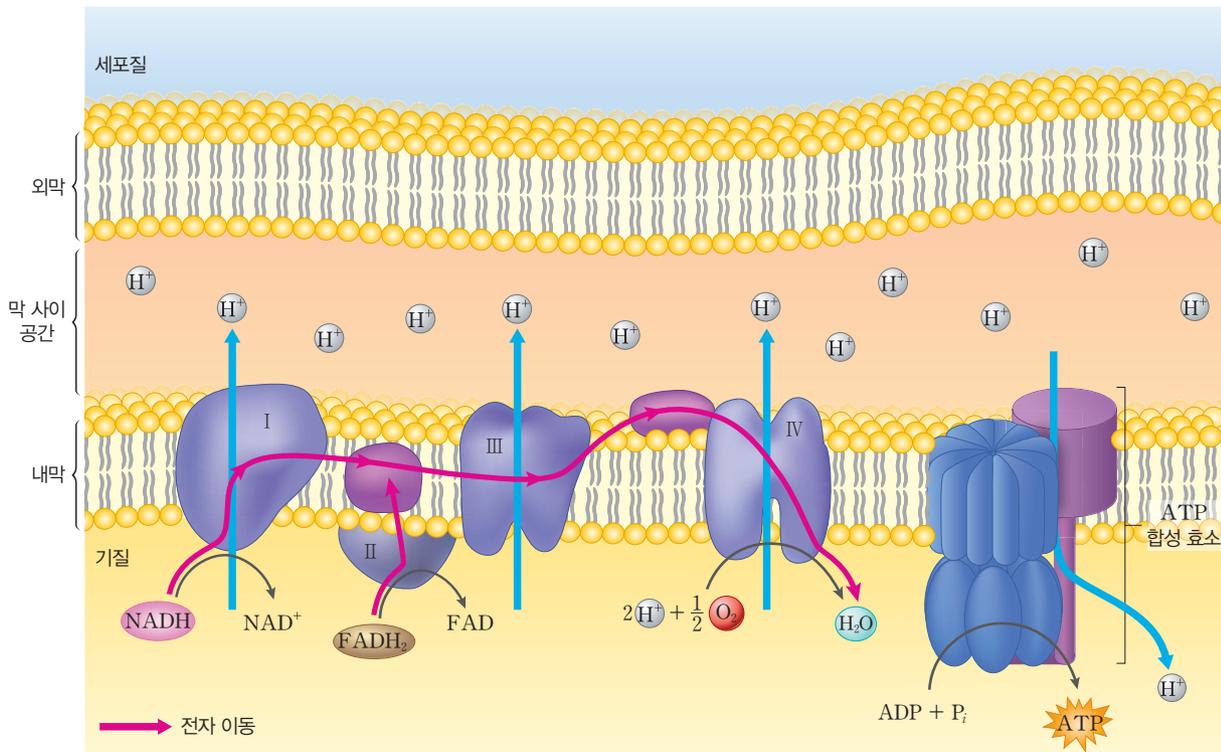
.....

전자 전달계에서 방출된 에너지를 이용하여 미토콘드리아 내막을 경계로  $H^+$ 의 농도 기울기가 형성되면,  $H^+$ 은 미토콘드리아 내막을 통해 고농도에서 저농도로 확산하는데, 이 과정을 **화학 삼투**라고 한다.  $H^+$ 이 화학 삼투에 의해 **ATP 합성 효소**를 통과할 때 ATP가 합성된다. ATP 합성 효소는 미토콘드리아 내막에 존재한다. 이처럼 산화적 인산화에서는 전자 전달계와 화학 삼투가 연결되어 ATP가 합성된다. 전자 전달계에서 전자가 방출한 에너지가 화학 삼투와 어떻게 연결되는지 알아보자.

자료 해 석 **해 보기** 미토콘드리아 내막에서의 ATP 합성



그림은 미토콘드리아 내막에서 일어나는 산화적 인산화를 나타낸 모식도이다.



1. 전자 전달계에서 전자가 이동하면 막 사이 공간과 기질에서  $H^+$ 의 농도는 각각 어떻게 변하는가?  
 .....  
 .....  
 .....
2. 미토콘드리아 내막을 경계로 형성된  $H^+$ 의 농도 기울기는 ATP 합성과 어떻게 연결되는지 토의하여 써 보자.  
 .....  
 .....  
 .....
3. 전자 전달계에서의  $H^+$ 의 이동과 ATP 합성 효소를 통한  $H^+$ 의 이동은 서로 어떻게 다른지 설명해 보자.  
 .....  
 .....  
 .....

## 호흡 기질과 호흡률

음식물 속의 탄수화물, 단백질, 지방은 세포 호흡에서 ATP를 얻는 데 이용되는 에너지원이다. 이처럼 세포에서 에너지원으로 이용되는 물질을 **호흡 기질**이라고 한다. 그림 III-10과 같이 탄수화물은 당으로 분해되어 세포 호흡의 경로로 들어간다. 단백질과 지방도 분해되어 세포 호흡의 여러 경로로 들어가 호흡 기질로 이용된다.

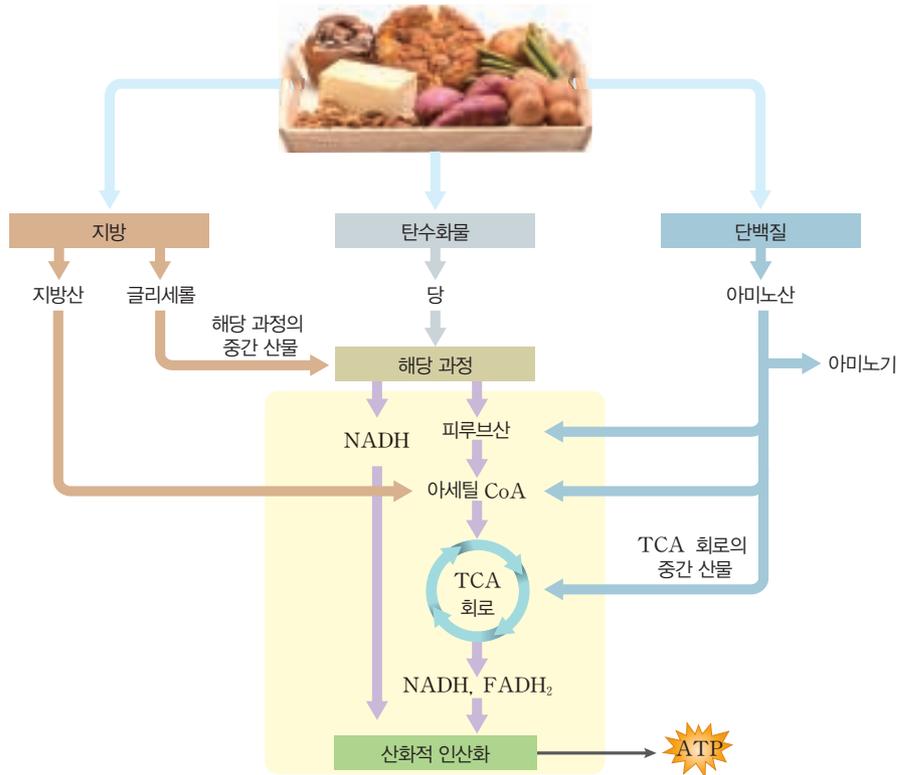


그림 III-10 호흡 기질이 세포 호흡에 이용되는 경로 지방은 글리세롤과 지방산으로 분해된 후 각각 해당 과정의 중간 산물과 아세틸 CoA로 전환된다. 단백질은 아미노산으로 분해된 후 아미노기가 제거된 다음, 아미노산의 종류에 따라 각각 피루브산, 아세틸 CoA, TCA 회로의 중간 산물로 전환된다.

세포 호흡에서 이용된 산소와 생성된 이산화 탄소의 부피 비를 **호흡률**이라고 한다.

$$\text{호흡률} = \frac{\text{생성된 이산화 탄소의 부피}}{\text{이용된 산소의 부피}}$$

탄수화물, 단백질, 지방은 각각 탄소, 수소, 산소의 구성비가 다르므로 호흡 기질의 종류에 따라 호흡률은 달라진다. 탄수화물의 호흡률은 1.0이고, 단백질은 약 0.8, 지방은 약 0.7이다.

### 핵심 개념 확인하기

- 1 미토콘드리아 내막의 전자 전달계를 따라 이동한 전자의 최종 수용체는 무엇인가?
- 2 미토콘드리아 내막에서 전자 전달계와 화학 삼투에 의해 일어나는 ATP 합성 과정을 무엇이라고 하는가?
- 3 미토콘드리아에 산소의 공급을 차단하면 ATP 합성은 어떻게 변하는지 설명해 보자.

- 다음 개념을 이해하였는지 ✓ 표를 하면서 확인해 보자.
- 산화적 인산화
- 전자 전달계  화학 삼투
- 호흡 기질과 호흡률

# 3



## 발효

학습  
목표

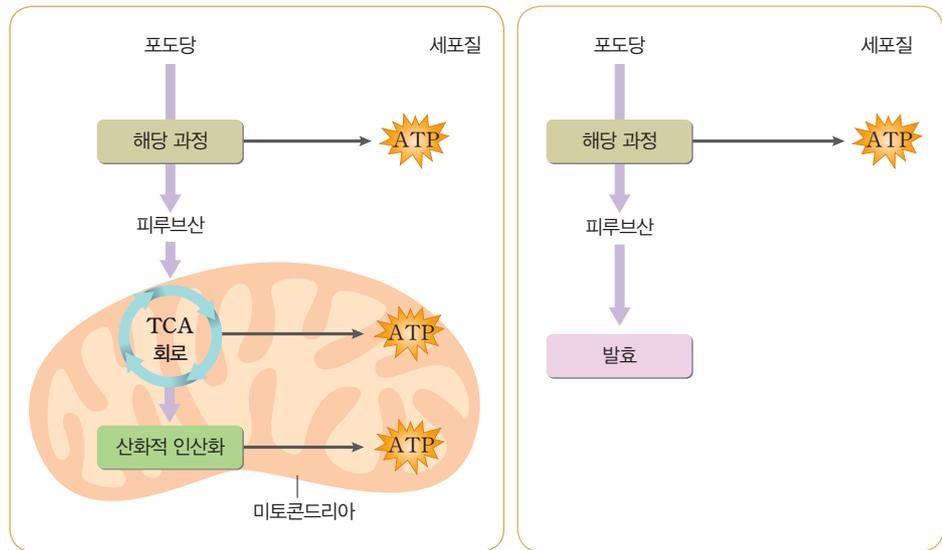
- 산소 호흡과 발효의 차이를 설명할 수 있다.
- 실생활에서 발효를 이용한 사례를 조사하여 발표할 수 있다.

밀가루에 효모, 설탕, 물을 넣고 반죽하여 따뜻한 곳에 두면 반죽이 크게 부풀어 오른다. 그 까닭은 무엇일까?



### 산소 호흡과 발효

세포 호흡을 통해 합성되는 ATP의 대부분은 산화적 인산화에서 만들어지기 때문에 ATP가 충분히 합성되려면 산소가 필요하다. 산소를 필요로 하는 산화적 인산화가 진행되는 세포 호흡을 **산소 호흡**이라고 한다. 산소가 없을 때는 그림 Ⅲ-11과 같이 세포 호흡의 세 단계 중 해당 과정만 진행된다. 산소가 없는 상태에서는 포도당이 피루브산으로 분해된 후 세포질에서 알코올, 젖산 등을 생성하는 반응이 일어나는데, 이를 **발효**라고 한다.



▲ 산소가 있을 때

▲ 산소가 없을 때

그림 Ⅲ-11 산소 호흡과 발효의 진행 경로 피루브산은 산소가 있을 때 미토콘드리아에서 산화되고, 산소가 없을 때 세포질에서 환원된다.

포도당이 세포 호흡을 통해 완전히 산화되면 많은 양의 에너지가 방출되지만, 발효에서는 포도당이 완전히 산화되지 않으므로 방출되는 에너지양이 적다. 발효는 여러 미생물에서 일어나며, 산소가 부족할 때 사람의 근육에서도 일어난다.

발효는 생성되는 물질의 종류에 따라 알코올 발효, 젖산 발효 등으로 구분한다.

## 발효의 종류

**알코올 발효** ▶ 피루브산으로부터 에탄올과 같은 알코올을 생성하는 반응을 **알코올 발효**라고 한다. 알코올 발효에서 피루브산은 그림 III-12와 같이 아세트알데하이드로 전환되면서 이산화 탄소를 방출하고, 아세트알데하이드는 NADH에 의해 환원되어 에탄올이 된다. 효모에서 알코올 발효가 일어나면 해당 과정에서 소량의 ATP가 합성되고, 이산화 탄소와 함께 에탄올이 생성된다.

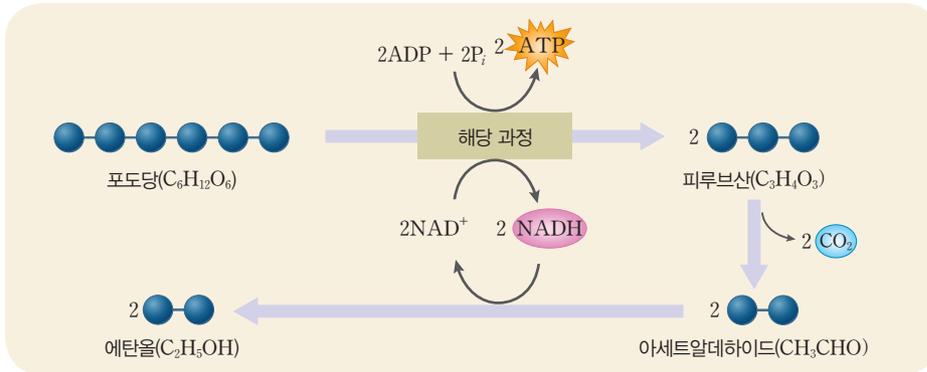


그림 III-12 알코올 발효 아세트알데하이드가 에탄올로 환원될 때 NADH가 산화되어  $NAD^+$ 를 생성하므로 해당 과정이 계속 진행될 수 있다.

**젖산 발효** ▶ 피루브산으로부터 젖산을 생성하는 반응을 **젖산 발효**라고 한다. 젖산 발효에서 피루브산은 그림 III-13과 같이 NADH에 의해 환원되어 젖산이 된다. 젖산 균에서 젖산 발효가 일어나면 해당 과정에서 소량의 ATP가 합성되고, 젖산이 생성된다.

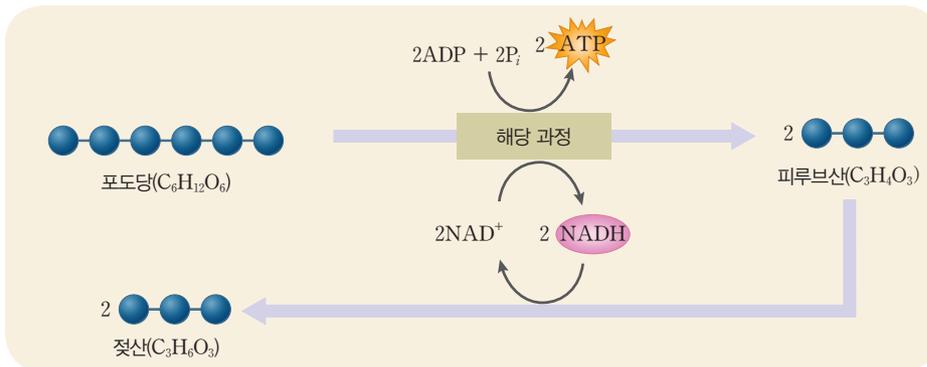


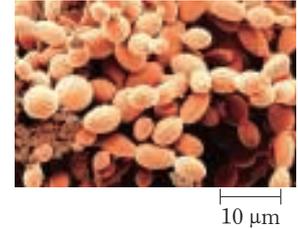
그림 III-13 젖산 발효 피루브산이 젖산으로 환원될 때 NADH가 산화되어  $NAD^+$ 를 생성하므로 해당 과정이 계속 진행될 수 있다.

운동을 시작하는 초기에 근육에 공급되는 산소의 양이 부족하면 근육 세포에서도 젖산 발효가 진행된다. 근육 세포에 축적된 젖산은 간으로 이동하여 포도당으로 합성되거나 피루브산으로 다시 전환되어 세포 호흡에 이용된다.

**창의 융합 사고** ▶ 근육 세포에서 발효가 일어나 젖산이 축적되면 어떤 영향을 미치는지 조사해 보자.

### 효모

단세포 진핵생물로 균계에 속한다.



### 젖산균

단세포 원핵생물로 진정세균계에 속한다.



## 발효의 이용

발효 과정에서 생성되는 물질은 음식의 맛과 향기를 다양하게 하는 역할을 하기도 한다. 인류 문명 초기에 농경을 통해 생산량이 늘어나고 식품을 보존하는 방식이 필요하게 되자 여러 가지 발효가 이용되었다. 오늘날 발효가 실생활에서 어떻게 이용되고 있는지 알아보자.

조사 해 보기

발효의 이용 사례



사고력



탐구 능력



의사소통 능력

그림은 발효를 이용하여 만든 여러 가지 발효 식품을 나타낸 것이다.



와인



요구르트



막걸리



김치

1. 제시된 발효 식품 중 알코올 발효와 젖산 발효를 이용한 것은 각각 무엇인지 써 보자.

알코올 발효	
젖산 발효	

2. 우리 집에 있는 발효 음식을 찾아 써 보자.

.....

3. 실생활에서 발효를 이용한 사례를 조사하여 발표해 보자.

.....

우리나라는 예로부터 채소를 발효하여 김치를, 수산물을 발효하여 젓갈을, 곡류를 발효하여 술과 식초를 만들었다. 발효로 생성되는 다양한 물질은 우리나라 전통 음식이 고유한 맛과 향을 내도록 하였으며, 발효는 다양한 식품 산업에도 이용되고 있다.

### 핵심 개념 확인하기

- 1 빵을 만들 때 이용되는 발효는 무엇인가?
- 2 사람의 근육에서 산소가 부족할 때 일어나는 발효는 무엇인가?
- 3 알코올 발효와 젖산 발효에서 각각 NADH에 의해 환원되는 물질은 무엇인가?

• 다음 개념을 이해하였는지 ✓ 표를 하면서 확인해 보자.

- 알코올 발효
- 젖산 발효

# 미생물의 다양한 발효 산물



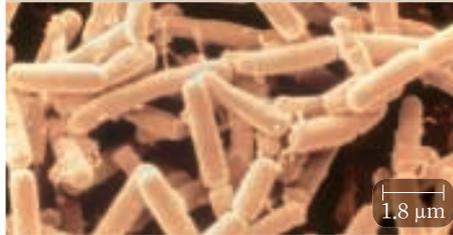
정현종의 시 「한 손가락 흙 속에」에는 “한 손가락 흙 속에 미생물이 1억 5천만 마리래!”라는 구절이 있다. 이처럼 우리는 눈에 보이지 않는 수 많은 미생물로 둘러싸여 있으며, 많은 미생물에 의해 생성되는 발효 산물을 이용하고 있다. 우리 생활과 밀접한 관련이 있는 미생물과 발효 산물에는 어떤 것이 있을까?

김치젖산균(*Weissella koreensis*)



비만을 억제하는 물질인 오르니틴을 생성하여 중성 지방을 합성하는 효소의 농도를 낮춘다.

고초균(*Bacillus subtilis*)



메주를 감싸는 벚짚에서 옮겨 와 간장, 된장, 청국장 등의 발효 과정에서 글루탐산 함량을 높인다.

푸른곰팡이(*Penicillium roqueforti*)



블루치즈의 발효 과정에서 대리석 모양의 특이한 무늬와 여러 가지 유기산을 만든다.

메테인 생성균(*Methanococcus jannaschii*)



이산화 탄소와 수소로부터 메테인을 만들며, 난방이나 발전 등에 이용될 수 있다.

최근에는 발효 효율을 높인 인공 돌연변이 미생물이 개발되었다. 이러한 미생물은 여러 산업 분야에 이용될 전망이다.

## 💡 핵심 역량 펼치기

특정 미생물의 발효 산물도 이용 가치가 있지만, 여러 미생물을 혼합한 발효액은 다방면에 이용될 수 있다. 싹뜨물을 이용한 유용 미생물(EM) 발효액의 이용 사례를 조사해 보자.



준비물

- 효모       비커
- 발효관     증류수
- 스포이트
- 5 % 포도당 용액
- 5 % 갈락토스 용액
- 솜           항온기
- 40 % KOH 용액
- 실험복     보안경
- 실험용 고무장갑

유의할 점

- 발효관이 깨지지 않도록 주의한다.
- 제빵용 생효모를 사용하면 발효가 빨리 잘 일어난다.

목표

효모의 알코올 발효를 실험으로 확인할 수 있다.

과정

- ① 효모 7 g을 따뜻한 증류수에 녹여 50 mL의 효모액을 만든다.
- ② 발효관 A, B, C에 스포이트를 이용하여 표와 같이 용액을 넣고, 모든 발효관의 입구는 솜으로 막는다.

**도움말** 발효관에 용액을 넣을 때 맹관부에 기포가 들어가지 않도록 주의한다.

발효관	용액
A	5 % 포도당 용액 20 mL + 증류수 15 mL
B	5 % 포도당 용액 20 mL + 효모액 15 mL
C	5 % 갈락토스 용액 20 mL + 효모액 15 mL

- ③ 발효관 A, B, C를 40 °C의 항온기에 넣었다가 20분 후 꺼내어 맹관부에 모인 기체의 부피를 측정하여 기록한다.

구분	A	B	C
기체의 부피(mL)			

- ④ 기체가 발생한 발효관의 솜을 제거하고, 용액을 스포이트로 조금 덜어 낸다.
- ⑤ 용액을 덜어 낸 발효관에 40 % KOH 용액을 넣고 맹관부에서 일어나는 변화를 관찰한다.



### 결과 및 정리

1. 과정 ㉒에서 발효관의 입구를 솜으로 막는 까닭을 써 보자.

 .....

2. 과정 ㉓에서 발효관 A와 B의 결과에 어떤 차이가 있는지 써 보고, 그 까닭을 설명해 보자.

 .....

3. 과정 ㉔에서 발효관 B와 C의 결과에 어떤 차이가 있는지 써 보고, 그 까닭을 설명해 보자.

 .....

4. 과정 ㉕에서 발효관에 40 % KOH 용액을 넣었을 때 맹관부에서 일어나는 변화를 통해 알 수 있는 사실을 써 보자.

 .....

5. **창의력 (+)** 발효관에서 에탄올의 생성을 확인하는 방법을 토의하여 발표해 보자.

 .....

### 평가하기

1 2 3 4 5

- 효모의 발효 실험 활동에 적극적으로 참여하였는가?
- 발생한 기체의 부피를 정확하게 측정하여 기록하였는가?
- 실험 결과를 정리하고 토의하는 과정에 성실하게 참여하였는가?

**활동 후기** | 이 활동에서 어떤 것을 배웠는지 자유롭게 적어 보자.

 .....



# 4



## 광합성의 명반응 과정

### 학습 목표

- 엽록체에 있는 광합성 색소를 설명할 수 있다.
- 광계를 통한 명반응 과정을 설명할 수 있다.

태양광 발전 과정에서는 반도체를 이용해 빛에너지를 흡수한다. 식물의 잎에서는 어떻게 빛에너지를 흡수할까?

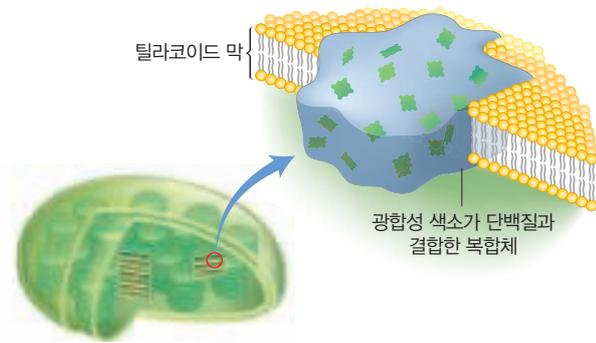


식물이 흡수한 빛에너지는 탄소 화합물에 화학 에너지 형태로 저장되어 먹이 사슬을 통해 전달됨으로써 생명체가 생명 활동을 유지할 수 있게 해 준다. 식물이 빛에너지를 흡수할 수 있는 것은 광합성 색소가 존재하기 때문이다.

### 광합성 색소

엽록체의 틸라코이드 막에 그림 III-14와 같이 존재하는 **광합성 색소**에는 엽록소, 카로티노이드 등이 있다. **엽록소**는 a, b, c, d의 네 종류가 있는데, 그중 엽록소 a는 광합성을 하는 진핵생물과 일부 세균에서 공통으로 발견된다. 식물에는 엽록소 a와 b가 존재한다. **카로티노이드**에는 카로틴, 잔토필 등이 있다. 카로티노이드는 빛에너지를 흡수하여 엽록소로 전달하고, 과도한 빛에 의해 엽록소가 손상되는 것을 막아 준다.

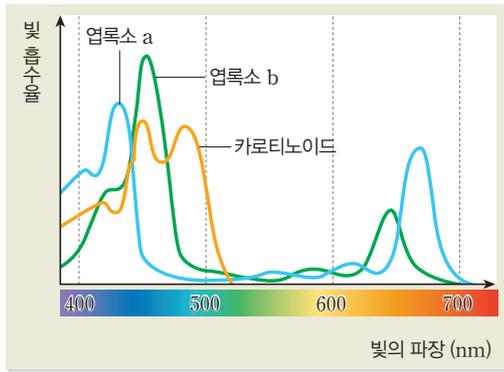
그림 III-14 광합성 색소 엽록소와 카로티노이드는 틸라코이드 막에 존재한다.



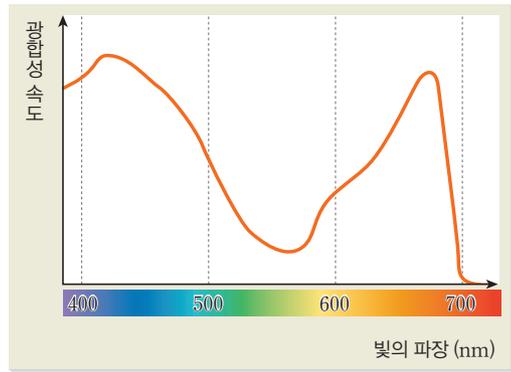
식물의 광합성 색소는 특정 파장대의 빛을 흡수한다. 따라서 엽록소, 카로티노이드 등 광합성 색소가 각각 들어 있는 용액에 여러 파장의 빛을 비추면 파장에 따라 빛을 흡수하는 정도가 다르게 나타난다. 이를 그래프로 나타낸 것이 **흡수 스펙트럼**이다. 엽록체 추출액에 여러 파장의 빛을 비추면 파장에 따라 광합성 속도가 달라지는데, 이를 그래프로 나타낸 것이 **작용 스펙트럼**이다.

흡수 스펙트럼과 작용 스펙트럼을 분석하여 식물의 광합성 색소가 흡수하는 빛의 파장과 광합성 속도의 관계를 알아보자.

그림 (가)는 식물 광합성 색소의 흡수 스펙트럼을, (나)는 엽록체 추출액의 작용 스펙트럼을 나타낸 것이다.



(가)



(나)

1. 엽록소 a, b와 카로티노이드가 주로 흡수하는 빛의 파장을 각각 써 보자.
2. 식물의 잎이 주로 녹색을 띠는 까닭을 흡수 스펙트럼을 근거로 설명해 보자.
3. 흡수 스펙트럼과 작용 스펙트럼이 유사하게 나타나는 것을 통해 알 수 있는 사실을 써 보자.

### 광계

그림 III-15와 같이 틸라코이드 막에는 엽록소와 카로티노이드가 단백질과 결합한 복합체가 존재하는데, 이를 **광계**라고 한다. 광계는 광합성에서 빛을 흡수하는 단위로 빛에너지를 효율적으로 흡수할 수 있는 구조를 가진다. 광계에는 가장 중심적인 역할을 하는 **반응 중심 색소**와 반응 중심 색소로 빛에너지를 전달하는 **안테나** 역할을 하는 보조 색소가 있다. 반응 중심 색소는 한 쌍의 엽록소 a로 구성된다.

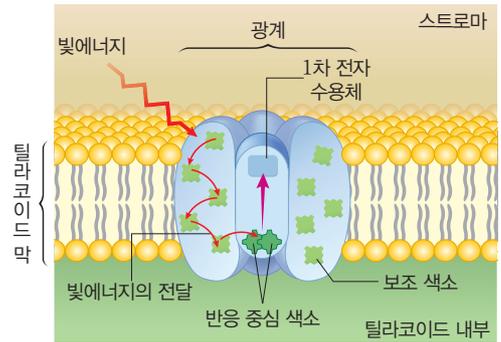


그림 III-15 광계 보조 색소가 흡수한 빛에너지는 반응 중심 색소로 전달된다.

#### 핵심 개념 확인하기

1. 엽록체에서 광계는 어디에 존재하는가?
2. 광계에서 반응 중심 색소를 이루는 광합성 색소는 무엇인가?
3. **창의 융합 사고** | 광계는 엽록소, 카로티노이드 등 다양한 광합성 색소로 구성된다. 이에 따른 이점은 무엇인지 생각해 보자.

- 다음 개념을 이해하였는지 ✓ 표를 하면서 확인해 보자.
- 광합성 색소
- 흡수 스펙트럼과 작용 스펙트럼
- 광계

준비물

- 시금치 잎  아세톤
- 막자와 막자사발
- 크로마토그래피용 종이
- 자  연필
- 모세관  눈금실린더
- 전개액(석유 에테르: 아세톤 = 9:1)  고무마개
- 실험복  보안경
- 실험용 고무장갑

유의할 점

아세톤이나 전개액은 휘발성이 강하므로 직접 눈에 닿지 않도록 주의한다.

색소 추출액을 원심 분리하여 얻은 상층액을 이용하면 더 좋은 결과를 얻을 수 있어요.



목표

식물 잎의 광합성 색소를 추출하여 분리할 수 있다.

과정

① 시금치 잎을 막자사발에 넣어 곱게 간 다음 아세톤을 넣고 5분간 둔다.

**도움말** 시금치 잎은 말려서 사용하는 것이 좋다.

② 크로마토그래피용 종이를 눈금실린더의 길이에 맞게 자른 후 아래 끝에서 1.5 cm 되는 곳에 연필로 선을 긋고 중앙에 원점을 표시한다.

③ 과정 ①에서 색소가 추출된 용액을 모세관으로 원점에 찍어 말리는 과정을 20여 회 반복한다.



④ 원점에 닿지 않을 높이로 눈금실린더에 전개액을 넣는다.

⑤ 눈금실린더에 크로마토그래피용 종이를 장치한 다음 고무마개로 막고, 광합성 색소가 분리되는 과정을 관찰한다.

**도움말** 눈금실린더에서 종이를 꺼낸 후 색소가 휘발되기 전에 사진을 찍거나 연필로 색소의 위치를 표시하는 것이 좋다.



결과 및 정리

1. 시금치 잎에서 어떤 종류의 광합성 색소가 분리되었는가?

.....

2. 실험에서 식물의 광합성 색소가 분리되는 원리를 조사하여 써 보자.

.....

3. **창의력** 시금치 이외에 다른 식물의 광합성 색소를 분리하여 비교해 보자.

.....

평가하기

1 2 3 4 5

● 식물의 광합성 색소 분리 실험 활동에 적극적으로 참여하였는가?

● 시금치 잎의 광합성 색소를 잘 분리하였는가?

| 활동 후기 | 이 활동에서 어떤 것을 배웠는지 자유롭게 적어 보자.

.....

## 광합성 과정

광합성 과정은 명반응과 암반응으로 구분한다. **명반응**은 빛에너지를 흡수하여 화학 에너지로 전환하는 과정이고, **암반응**은 대기 중의 이산화 탄소를 고정하여 포도당을 합성하는 과정이다. 명반응과 암반응은 어떤 관계가 있는지 알아보자.

자료  
해석

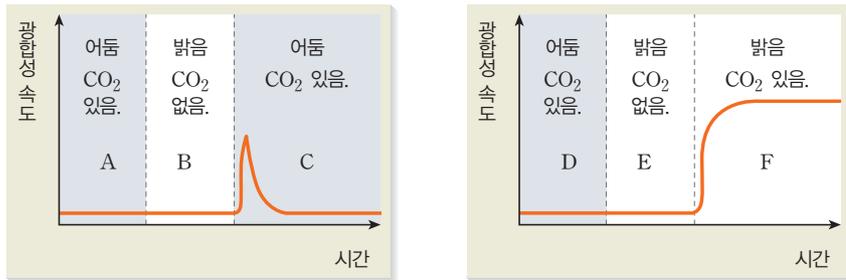
해 보기

명반응과 암반응의 관계



사고력 문제 해결력

벤슨(Benson, A. A., 1917~2015)은 어두운 곳에 두었던 식물에 빛과 이산화 탄소 조건을 달리하여 공급하면서 광합성 속도를 측정하여 그림과 같은 결과를 얻었다.



1. A와 C에서 결과가 다르게 나타난 까닭을 쓰고, 이를 통해 알 수 있는 사실을 설명해 보자.



2. C와 달리 F에서 광합성이 계속 일어나는 까닭을 설명해 보자.



3. 벤슨의 실험 결과를 통해 알 수 있는 명반응과 암반응의 관계를 설명해 보자.



명반응에서는 그림 Ⅲ-16과 같이 틸라코이드 막에 있는 광합성 색소가 흡수한 빛에너지를 이용하여 ATP와 NADPH가 합성된다. 이 과정에서 물이 분해되어 산소가 발생한다. 암반응은 ATP와 NADPH를 이용하여 이산화 탄소로부터 포도당을 합성하는 과정으로, 스트로마에서 일어난다. 대기 중의 이산화 탄소가 고정되는 캘빈 회로에서는 빛이 직접 이용되지 않지만, 명반응 산물인 ATP와 NADPH가 공급되어야 유기물이 합성될 수 있다. 따라서 암반응이 계속 일어나려면 빛이 지속해서 공급되어야 한다.

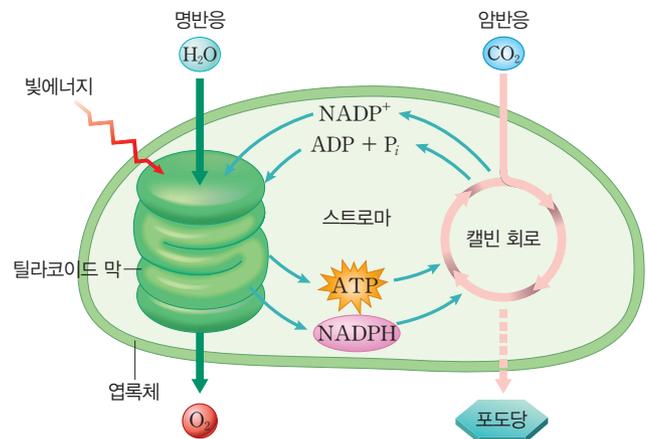


그림 Ⅲ-16 광합성의 개요

## 광계를 통한 명반응 과정

틸라코이드 막에는 광계와 전자 전달계가 존재하는데, 이들 사이에서 일어나는 전자의 이동으로 ATP와 NADPH가 합성된다.

### P700, P680

P는 색소(pigment)의 약자이다. P700은 광계 I의 반응 중심 색소로 파장이 700 nm인 빛을 가장 잘 흡수하고, P680은 광계 II의 반응 중심 색소로 파장이 680 nm인 빛을 가장 잘 흡수한다.

광계에는 반응 중심 색소가 P700인 **광계 I**과 반응 중심 색소가 P680인 **광계 II**가 있다. 광계에서 흡수된 빛에너지가 반응 중심 색소로 전달되면 반응 중심 색소는 고에너지 전자를 방출한다. 고에너지 전자의 전달 과정은 **그림 III-17**과 같이 비순환적 전자 흐름과 순환적 전자 흐름으로 구분된다.

**비순환적 전자 흐름**은 광계 II에서 방출된 전자가 전자 전달계와 광계 I을 거쳐  $\text{NADP}^+$ 로 전달되는 과정이다. 광계 II가 빛을 흡수하면 P680에서 고에너지 전자가 방출되어 1차 전자 수용체로 전달된다. 전자를 잃어 산화된 P680은 물이 분해될 때 방출된 전자를 받아 환원되며, 이 과정에서 산소가 방출된다. 1차 전자 수용체로 전달된 고에너지 전자는 전자 전달계의 산화 환원 반응을 거쳐 광계 I의 P700으로 전달된다. 전자 전달계에서 전자가 이동할 때 방출된 에너지는 틸라코이드 막을 경계로  $\text{H}^+$ 의 농도 기울기를 형성하는 데 이용된다. 광계 I에서도 빛을 흡수하여 P700에서 고에너지 전자가 방출되며, 이 전자는 1차 전자 수용체와 전자 전달계를 거쳐  $\text{NADP}^+$ 에 전달된다. 전자를 잃어 산화된 P700은 P680에서 방출된 전자를 받아 환원되고,  $\text{NADP}^+$ 는  $\text{H}^+$ 과 전자를 받아 NADPH로 환원된다.

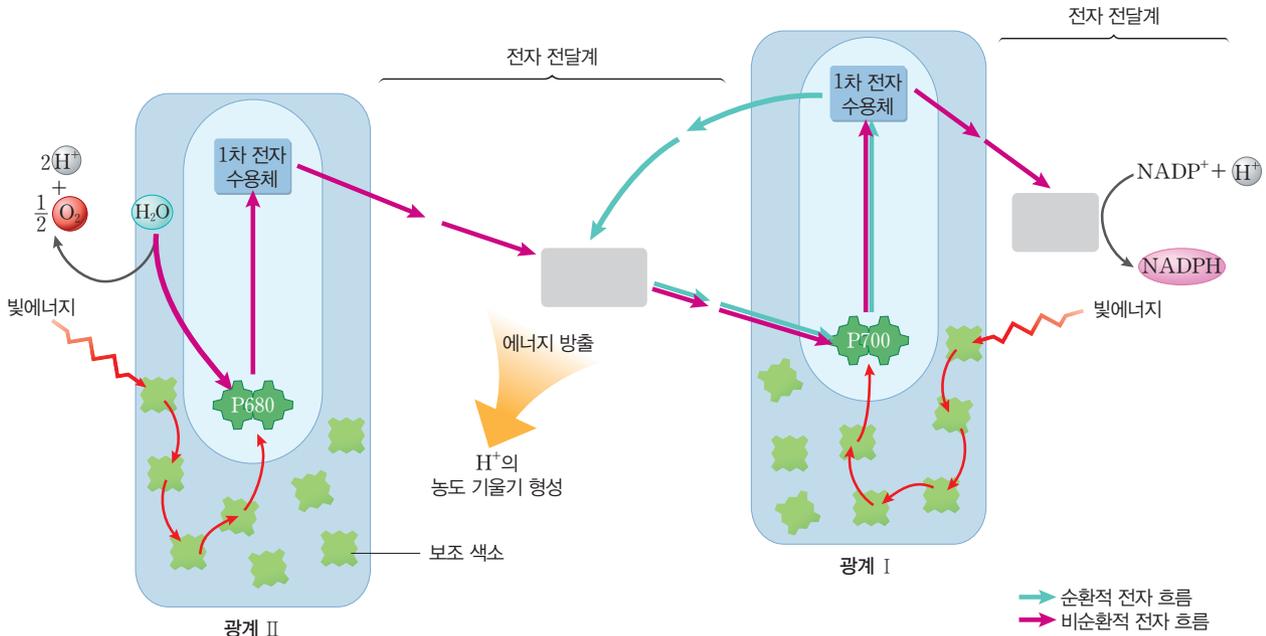


그림 III-17 전자의 전달 과정 반응 중심 색소에서 방출된 전자는 1차 전자 수용체로 전달되어 이동한다.

**순환적 전자 흐름**은 광계 I의 P700에서 방출된 전자가  $\text{NADP}^+$ 에 전달되지 않고 전자 전달계를 거쳐 P700으로 되돌아오는 경로이다. 순환적 전자 흐름에서는 광계 I만 관여하며, NADPH는 합성되지 않고 산소가 방출되지 않는다.

미토콘드리아와 마찬가지로 엽록체의 틸라코이드 막에서도 그림 III-18과 같이 화학 삼투가 일어나 ATP가 합성된다. 엽록소에서 방출된 전자가 전자 전달계를 따라 이동할 때 방출되는 에너지는 스트로마에서 틸라코이드 내부로 H<sup>+</sup>을 이동시키는 데 이용되며, 그 결과 틸라코이드 막을 경계로 H<sup>+</sup>의 농도 기울기가 형성된다. H<sup>+</sup>의 농도 기울기를 따라 H<sup>+</sup>이 ATP 합성 효소를 통해 틸라코이드 내부에서 스트로마로 확산하며, 이 과정에서 ATP가 합성된다.

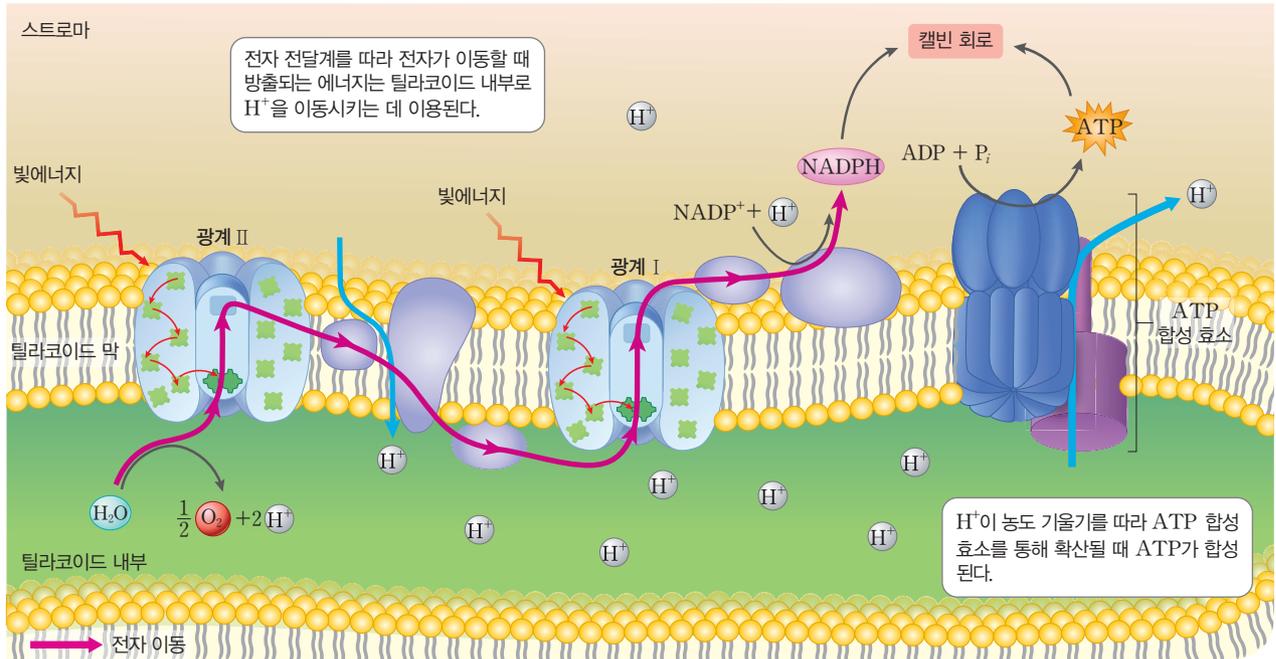


그림 III-18 전자 전달과 화학 삼투에 의한 ATP 합성 화학 삼투는 전자 전달과 ATP 합성을 연결한다.

❓ 빛을 받은 틸라코이드에서 물이 분해되어 생성된 전자의 역할은 무엇인가?

미토콘드리아 내막과 엽록체 틸라코이드 막에서 일어나는 전자 전달과 ATP 합성은 막을 경계로 형성된 H<sup>+</sup>의 농도 기울기에 의해 H<sup>+</sup>이 막을 통과하면서 일어난다는 공통점을 가진다. 그러나 세포 호흡과 달리 광합성의 명반응에서 ATP가 합성되는 것은 빛 에너지를 흡수한 광계의 도움을 받아 일어나므로 세포 호흡의 산화적 인산화와 구별해 **광인산화**라고 한다.

핵심 개념 확인하기

- 1 명반응의 비순환적 전자 흐름에서 전자의 최종 수용체는 무엇인가?
- 2 엽록체가 빛을 받으면 틸라코이드 내부와 스트로마의 pH는 각각 어떻게 변하는가?
- 3 창의 융합 사고 | 명반응에서 순환적 전자 흐름에 의한 광인산화의 역할을 생각해 보자.

- 다음 개념을 이해하였는지 ✓표 를 하면서 확인해 보자.
- 비순환적 전자 흐름
- 순환적 전자 흐름
- 광인산화

목표

광합성과 관련된 과학사를 조사하여 발표할 수 있다.

과정

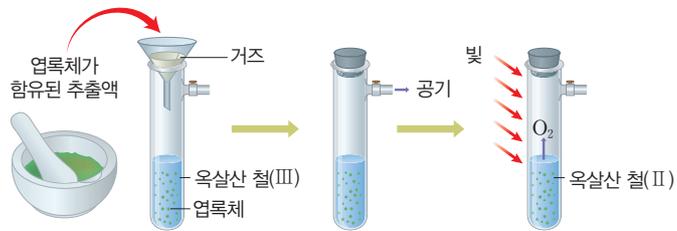
- 1 광합성 과정은 오랜 시간 동안 여러 과학자의 연구 성과가 축적되어 밝혀질 수 있었다. 1600년대 중반부터 1800년대까지 광합성 과정을 밝히는 데 이바지한 과학자들의 연구 성과를 조사하여 정리해 보자.



- 2 다음에 소개된 과학자의 광합성 관련 실험 내용을 조사하여 써 보자.

힐(Hill, R., 1899~1991)의 실험(1939)

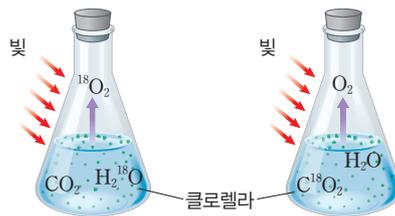
- 실험 방법: 질경이 잎에서 분리한 엽록체에 옥살산 철(III)을 넣고 시험관 내 공기를 뺀 다음 빛을 비추었더니, 산소가 발생하고 옥살산 철(III)은 옥살산 철(II)로 환원되었다.



- 결론: .....

루벤(Ruben, S., 1913~1943)의 실험(1941)

- 실험 방법: .....



- 결론: .....

아논(Arnon, D. I., 1910~1994)의 실험(1954)

- 실험 방법: 엽록체 현탁액에 ADP와 무기 인산(P<sub>i</sub>)을 넣고 빛을 비추었더니, 무기 인산의 양이 감소하면서 ATP가 합성되었다.



- 결론:  .....

결과 및 정리

1. 광합성 과정에서 힐, 루벤, 아논의 실험과 관련된 것을 찾아 써 보자.

 .....

2. **창의력**  광합성과 관련된 중요한 발견 중 하나를 선택하고, 내가 그 발견을 한 과학자가 되어 발견하기까지의 과정을 재미있는 이야기로 꾸며 발표해 보자.

 .....

.....

.....

.....

.....

.....

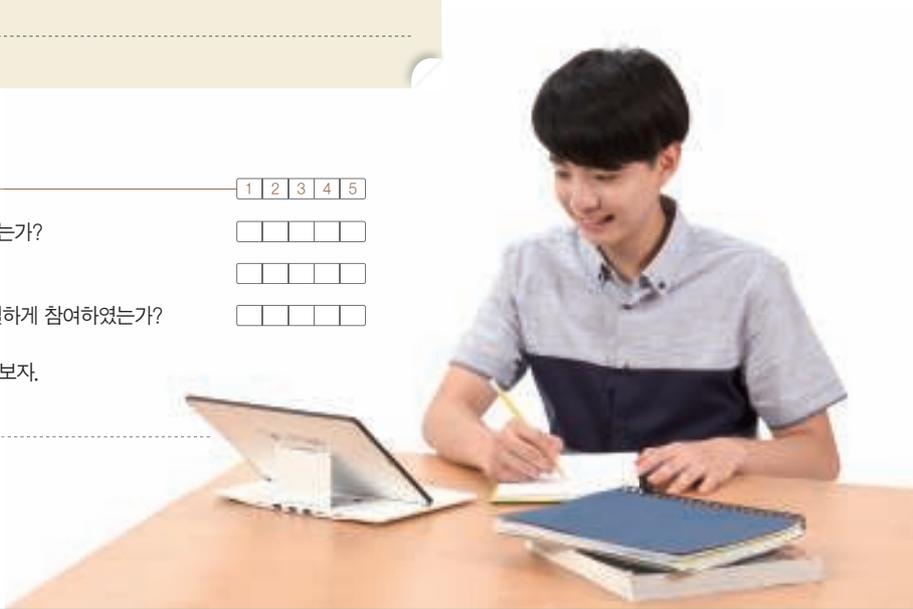
평가하기

1 2 3 4 5

- ◆ 광합성과 관련된 과학사 조사 활동에 적극적으로 참여하였는가?
- ◆ 과학사 조사를 통해 광합성 과정을 잘 이해하였는가?
- ◆ 내가 과학자가 되어 이야기를 꾸미고 발표하는 과정에 성실하게 참여하였는가?

**활동 후기** | 이 활동에서 어떤 것을 배웠는지 자유롭게 적어 보자.

 .....



# 5



## 세포 호흡과 광합성의 전자 전달계

학습 목표

• 세포 호흡과 광합성의 전자 전달계를 비교하여 공통점과 차이점을 설명할 수 있다.

수력 발전소에서는 높은 곳에 저장된 물의 위치 에너지를 전기 에너지로 전환한다. 생명체 내에서 이와 같은 에너지 전환은 어떻게 일어날까?



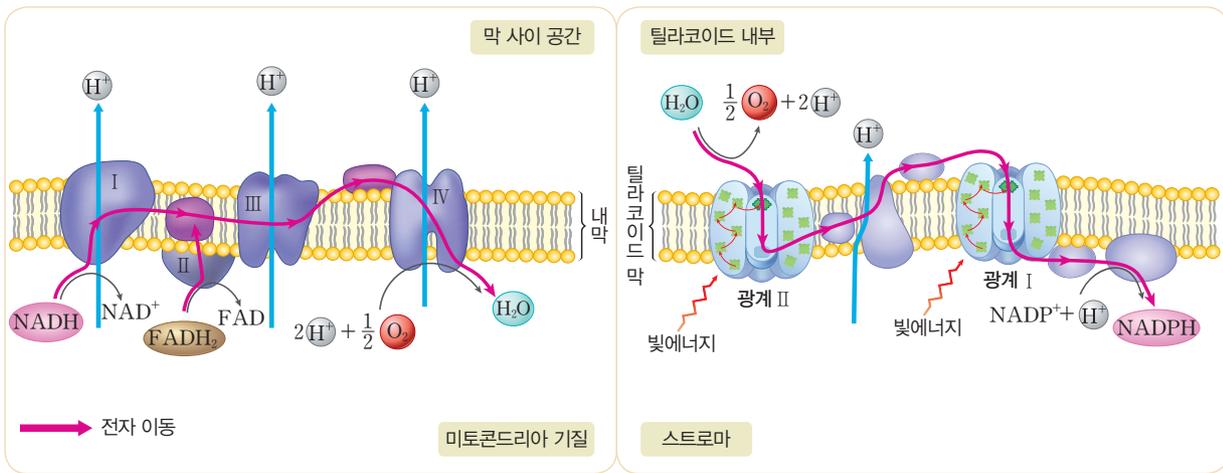
미토콘드리아와 엽록체의 전자 전달계에서는 고에너지 전자가 이동하면서 에너지가 방출된다. 미토콘드리아와 엽록체의 전자 전달계를 비교해 보자.

자료 해석 해 보기

### 미토콘드리아와 엽록체의 전자 전달계



그림 (가)는 미토콘드리아 내막의 전자 전달계, (나)는 엽록체 틸라코이드 막의 전자 전달계에서 전자가 이동하는 경로를 나타낸 것이다.



(가)

(나)

1. (가)와 (나)에서 전자가 이동할 때 나타나는 공통점을 토의하여 발표해 보자.

.....

.....

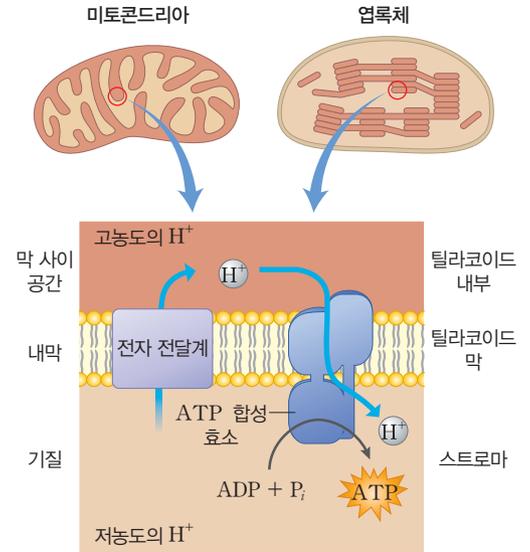
2. (가)와 (나)에서 전자를 처음 제공하는 물질과 최종적으로 전자를 받는 물질을 각각 써 보자.

.....

세포 호흡의 산화적 인산화와 광합성의 명반응은 각각 그림 III-19와 같이 생체막인 미토콘드리아의 내막과 엽록체의 틸라코이드 막에서 일어난다. 산화적 인산화와 명반응의 전자 전달계에서 전자는 연속적인 산화 환원 반응을 통해 이동한다. 이 과정에서 단계적으로 에너지가 방출되며, 전자의 에너지 수준이 점차 낮아진다. 방출된 전자의 에너지는 생체막을 경계로  $H^+$ 의 농도 기울기를 형성하는 데 이용되며,  $H^+$ 의 농도 기울기는 ATP 합성의 원동력이 된다.

포도당의 화학 에너지는 세포 호흡 과정에서 ATP로 전환된다. 빛 에너지는 광합성 과정에서 ATP로 전환된 후 포도당을 합성하는 데 이용된다.

그림 III-19 미토콘드리아와 엽록체에서의  $H^+$ 의 이동  $H^+$ 은 ATP 합성 효소를 통해 고농도에서 저농도로 확산하고,  $H^+$ 의 확산으로 ATP가 합성된다.



### 자료실 $H^+$ 의 농도 기울기와 ATP 합성

미토콘드리아 내막과 엽록체 틸라코이드 막에서 ATP가 합성되려면 전자 전달계에서의 전자 이동으로  $H^+$ 의 농도 기울기가 형성되어야 한다. 이러한 사실은 그림 III-20과 같이  $H^+$ 의 농도 기울기를 만들어 주면 전자 이동이 없어도 ATP가 합성될 수 있음에 의해 증명되었다.

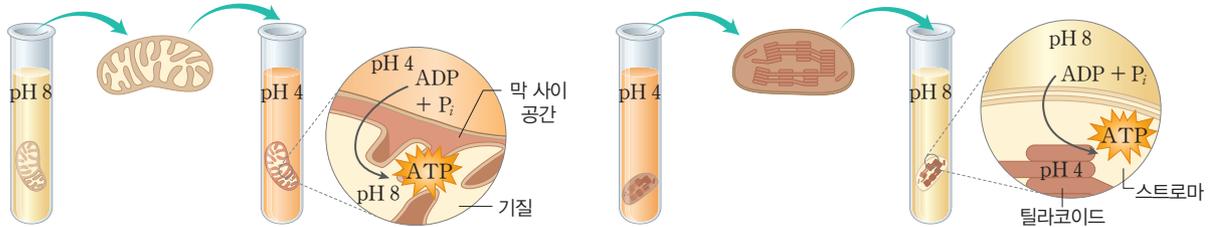


그림 III-20 미토콘드리아와 엽록체에서의 ATP 합성

pH 8인 용액에 담가 두었던 미토콘드리아를 ADP와 무기 인산( $P_i$ )이 들어 있는 pH 4인 용액으로 옮기면, 내막을 경계로 형성된  $H^+$ 의 농도 기울기에 의해 ATP가 합성된다. 엽록체에서는 ATP가 합성되려면 틸라코이드 내부의  $H^+$  농도가 높아야 하므로, 엽록체를 pH 4인 용액에 담가 두었다가 ADP와 무기 인산( $P_i$ )이 들어 있는 pH 8인 용액으로 옮기면 틸라코이드 막을 경계로 형성된  $H^+$ 의 농도 기울기에 의해 ATP가 합성된다.

### 핵심 개념 확인하기

- ( )에서 전자는 연속적인 산화 환원 반응을 통해 이동하며, 이 과정에서 전자의 에너지가 단계적으로 방출된다.
- 미토콘드리아와 엽록체에서 전자 전달계는 각각 어디에 있는지 써 보자.
- 창의 융합 사고** | pH 4인 용액에 담가 두었던 미토콘드리아를 ADP와 무기 인산이 들어 있는 pH 8인 용액으로 옮기면 ATP가 합성될지 생각해 보자.

- 다음 개념을 이해하였는지 ✓ 표를 하면서 확인해 보자.
- ☑ 세포 호흡과 광합성의 전자 전달계 비교



# 바이오 에너지 연구원



생명체가 가진 유기물은 신재생 에너지 중 하나인 바이오 에너지로 활용될 가능성이 크다.

바이오 에너지원으로 이용되는 생명체를 총칭하여 바이오매스라고 한다. 바이오매스는 유채, 옥수수, 콩 등과 같은 작물뿐만 아니라 미세 조류, 동물과 그 배설물, 도시 쓰레기 등을 포함한다.

바이오매스에 존재하는 에너지를 바이오 에너지로 전환하는 연구 분야는 다양하다. 광합성 과정을 응용하여 메테인과 수소를 생산하는 분야, 발효 공정을 이용하여 미세 조류의 유기물을 바이오 디젤, 바이오 에탄올 등의 액상 연료로 전환하는 분야 등이 있다.

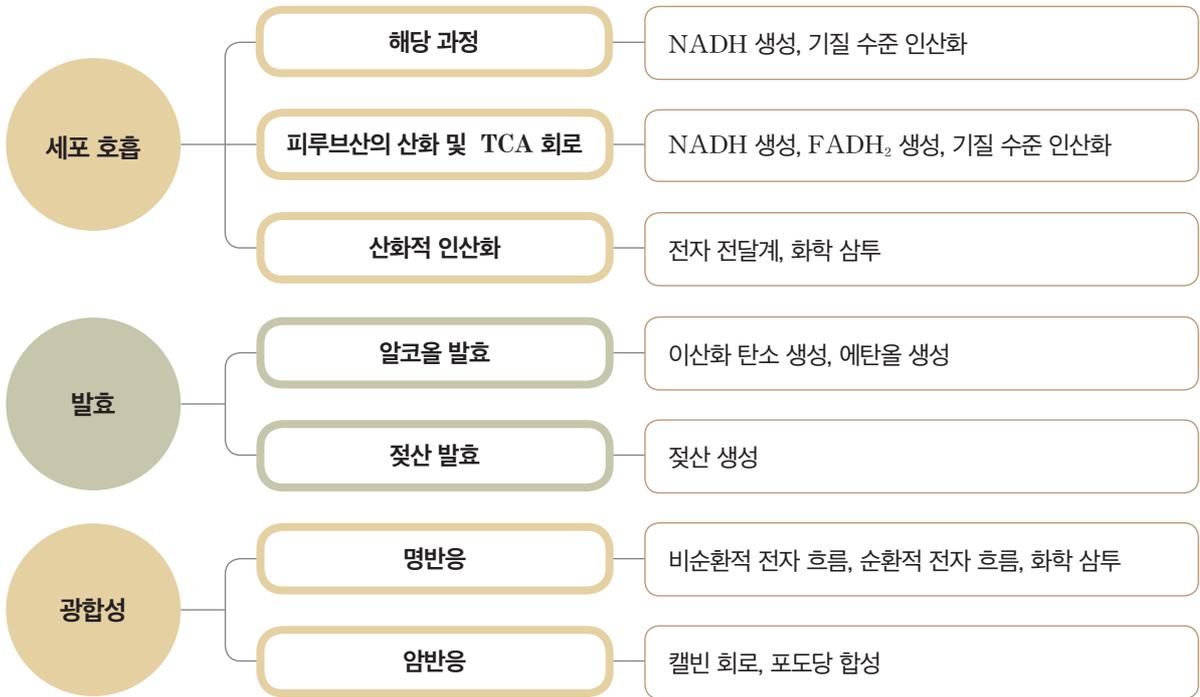
앞으로 전체 에너지 생산량에서 신재생 에너지가 차지하는 비중은 커질 전망이다. 특히 바이오 에너지 관련 연구는 환경 오염, 에너지 고갈 등의 문제 해결에 도움이 되므로 바이오 에너지 연구원은 미래 전망이 밝은 직업이라고 할 수 있다.

 **핵심 역량 펼치기** 바이오 에너지 연구원은 어떤 적성과 역량을 가져야 하는지 생각해 보자.





🔗 핵심 개념 정리하기



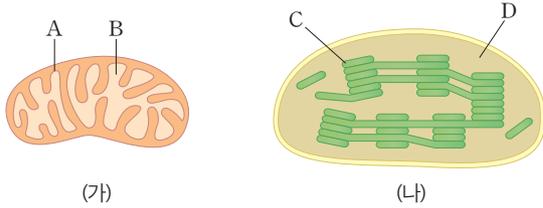
🔗 핵심 개념 적용하기

01 다음 설명 중 옳은 것은 ○표, 옳지 않은 것은 ×표를 해 보자.

- (1) 미토콘드리아와 엽록체는 모두 2중막 구조이며, 미토콘드리아의 내막과 엽록체의 틸라코이드 막에는 모두 전자 전달계와 ATP 합성 효소가 있어 에너지 전환이 일어난다. (○, ×)
- (2) 세포 호흡은 포도당이 산화되는 이화 작용이고, 광합성은 이산화 탄소가 환원되는 동화 작용이다. (○, ×)
- (3) 산화적 인산화는 엽록체의 틸라코이드 막에서, 광인산화는 미토콘드리아의 내막에서 일어난다. (○, ×)
- (4) 사람의 근육 세포에서 해당 과정으로 생성된 피루브산은 산소가 있을 때 미토콘드리아에서 산화되고, 산소가 없을 때 세포질에서 젖산으로 환원된다. (○, ×)
- (5) 해당 과정, 피루브산의 산화 및 TCA 회로, 탄소 고정 반응은 모두 효소에 의해 조절되는 일련의 화학 반응이다. (○, ×)

1. 미토콘드리아와 엽록체 ㉠ 76쪽

02 그림 (가)는 미토콘드리아, (나)는 엽록체의 구조를 나타낸 것이다. A~D는 각각 틸라코이드 막, 내막, 스트로마, 기질 중 하나이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

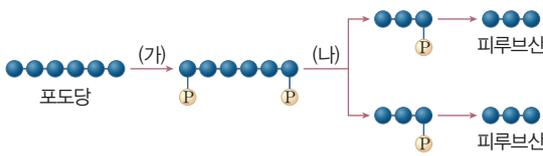
<보기>

- ㄱ. A와 C에는 모두 ATP 합성 효소가 존재한다.
- ㄴ. B와 D에는 모두 리보솜이 있다.
- ㄷ. (가)에서 광인산화, (나)에서 산화적 인산화가 일어난다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

2. 세포 호흡 과정과 광합성의 탄소 고정 반응 ㉠ 78쪽

03 그림은 포도당이 피루브산으로 분해되는 과정을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

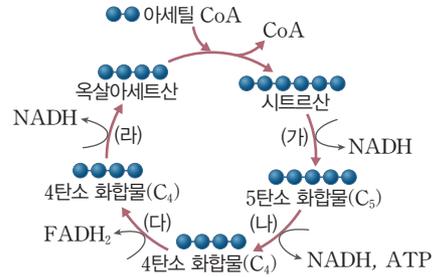
<보기>

- ㄱ. (가)에서 ATP가 소모된다.
- ㄴ. (나)에서 탈탄산 반응이 일어난다.
- ㄷ. 이 과정에서는 산소가 소모되지 않는다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

2. 세포 호흡 과정과 광합성의 탄소 고정 반응 ㉠ 78쪽

04 그림은 TCA 회로를 나타낸 것이다.

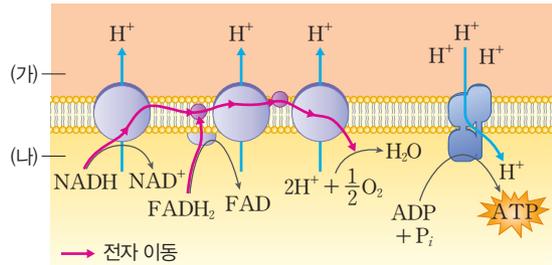


이에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

- ① 미토콘드리아 기질에서 일어난다.
- ② (가)에서 탈수소 반응이 일어난다.
- ③ (가)와 (나)에서 이산화 탄소가 방출된다.
- ④ (나)에서 기질 수준 인산화가 일어난다.
- ⑤ (가)~(라)에서 일어나는 산화 환원 반응의 조효소는 모두 같다.

2. 세포 호흡 과정과 광합성의 탄소 고정 반응 ㉠ 78쪽

05 그림은 미토콘드리아의 전자 전달계를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보기>

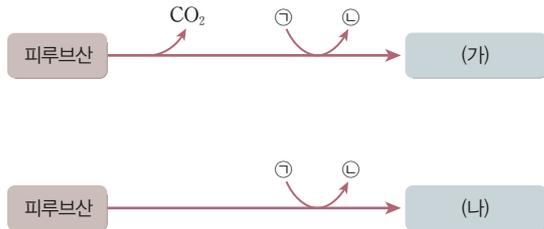
- ㄱ. 전자의 이동이 활발할수록 (가)의 pH는 (나)보다 작아진다.
- ㄴ. ATP 합성 효소를 통해 H<sup>+</sup>이 (가)에서 (나)로 이동할 때 ATP를 소모한다.
- ㄷ. 전자 전달 효소 복합체 중 일부는 H<sup>+</sup>이 확산하는 통로 단백질로 작용한다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄷ
- ④ ㄱ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ



3. 발효 ㉠ 88쪽

06 그림은 알코올 발효와 젖산 발효를 나타낸 것이다. (가)와 (나)는 최종 산물이며, ㉠과 ㉡은 각각  $NAD^+$ 와  $NADH$  중 하나이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보기>

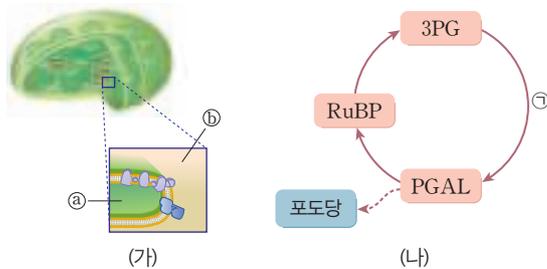
- ㄱ. (가)는 젖산, (나)는 에탄올이다.
- ㄴ. ㉠은  $NADH$ , ㉡은  $NAD^+$ 이다.
- ㄷ. 피루브산이 (나)로 전환될 때 2ATP가 합성된다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄷ
- ④ ㄱ, ㄴ                ⑤ ㄴ, ㄷ

### 3. 핵심 역량 키우기

2. 세포 호흡 과정과 광합성의 탄소 고정 반응 ㉠ 78쪽

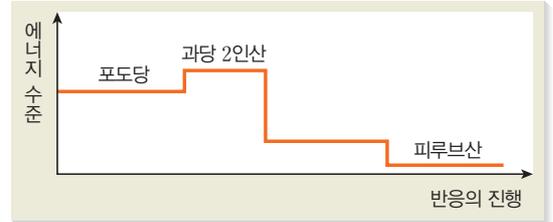
07 과학적 문제 해결력 그림 (가)는 엽록체의 구조를, (나)는 캘빈 회로의 일부를 나타낸 것이다. ㉠과 ㉡은 각각 스트로마와 틸라코이드 내부 중 하나이다.



- (1) (나)가 일어나는 장소는 ㉠과 ㉡ 중 어디인가?
- (2) ㉠에서 소모되는 명반응 산물을 모두 써 보자.
- (3) (나)가 진행되는 과정에서 빛을 갑자기 차단했을 때 3PG와 RuBP의 농도는 각각 어떻게 변하는지 설명해 보자.

2. 세포 호흡 과정과 광합성의 탄소 고정 반응 ㉠ 78쪽

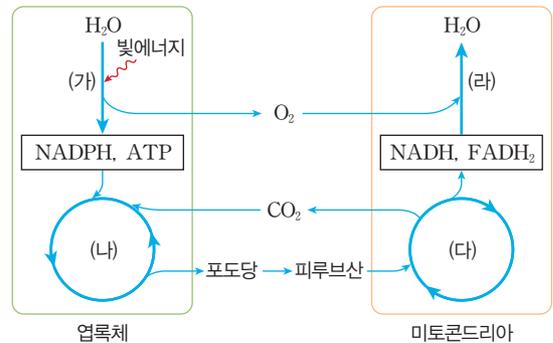
08 과학적 사고력 시험관에 일정량의 포도당과 해당 과정에 필요한 효소, 조효소, ADP, 무기 인산을 넣은 상태에서 소량의 ATP를 첨가한 후 해당 과정이 일어나게 하였다. 그림은 해당 과정에서의 에너지 변화를 나타낸 것이다.



- (1) 시험관에서 반응이 진행되는 동안 포도당, 피루브산, ATP의 농도는 각각 어떻게 변하는지 설명해 보자.
- (2) 해당 과정이 시작되기 전 소량의 ATP를 첨가하는 까닭을 그림을 근거로 설명해 보자.

2. 세포 호흡 과정과 광합성의 탄소 고정 반응 ㉠ 78쪽

09 과학적 문제 해결력 그림은 식물 세포에서 일어나는 물질대사를 나타낸 것이다. (가)~(라)는 각각 산화적 인산화, 명반응, 캘빈 회로, TCA 회로 중 하나이다.

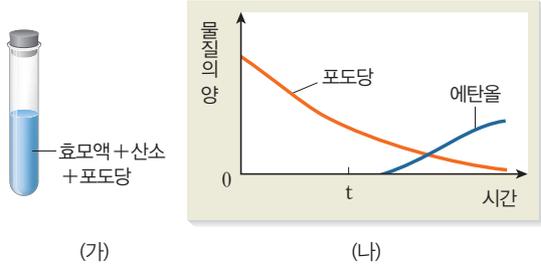


- (1) 회로 (나)와 (다)의 명칭을 각각 써 보자.
- (2) 과정 (가)와 (라)의 공통점을 설명해 보자.



3. 발효 ㉠ 88쪽

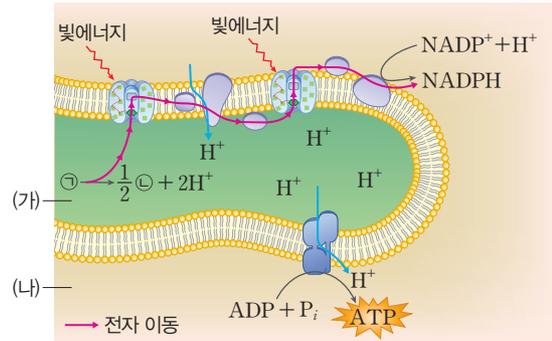
**10 과학적 탐구 능력** 그림 (가)는 효모액에 산소와 포도당을 넣고 밀폐한 시험관을, (나)는 (가)에서 시간에 따른 포도당과 에탄올의 농도를 나타낸 것이다.



- (1) 효모의 알코올 발효가 t 이후에 진행된 까닭을 설명해 보자.
- (2) t 이전과 이후에 각각 주로 일어나는 반응에서 포도당 1분자가 분해될 때 발생하는 이산화 탄소의 양을 비교해 보자.

4. 광합성의 명반응 과정 ㉠ 94쪽

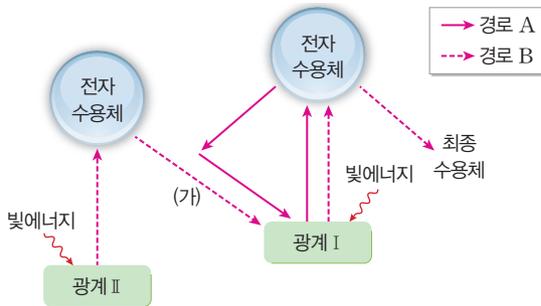
**12 과학적 문제 해결력** 그림은 엽록체에서 일어나는 광합성 과정의 일부를 나타낸 것이다.



- (1) 물질 ㉠, ㉡의 명칭과 공간 (가), (나)가 어느 부위인지 각각 써 보자.
- (2) ATP 합성 효소를 통해 일어나는 H<sup>+</sup>의 이동을 설명해 보자.

4. 광합성의 명반응 과정 ㉠ 94쪽

**11 과학적 사고력** 그림은 광합성의 명반응 과정에서 일어나는 전자의 흐름을 나타낸 것이다.



- (1) 경로 A와 B의 차이점을 설명해 보자.
- (2) (가)에서 전자 흐름의 결과 나타나는 현상을 설명해 보자.

5. 세포 호흡과 광합성의 전자 전달계 ㉠ 102쪽

**13 과학적 문제 해결력** 표는 각각 엽록체와 미토콘드리아의 전자 전달계에 영향을 미치는 물질 A, B의 작용을 나타낸 것이다.

물질	작용
A	엽록체의 틸라코이드 막에 있는 전자 전달계에서 전자가 이동하는 것을 차단한다.
B	미토콘드리아 막 사이 공간의 H <sup>+</sup> 이 내막의 인지질 층을 통해 기질로 새어 나가게 한다.

- (1) A와 B를 처리했을 때 엽록체에서의 산소 발생량과 미토콘드리아에서의 산소 소모량은 각각 어떻게 변화하는지 써 보자.
- (2) A와 B를 처리했을 때 엽록체와 미토콘드리아에서의 ATP 합성량은 각각 어떻게 변화하는지 써 보자.



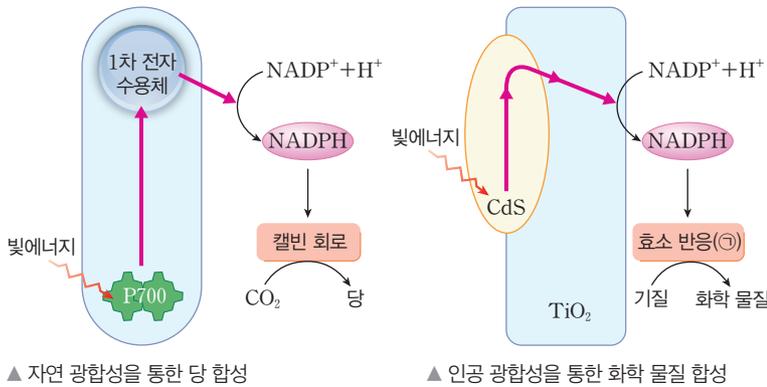
14 다음은 자연 광합성과 인공 광합성을 설명한 글이다.

(가) 자연 광합성은 명반응과 암반응으로 구분된다. 명반응에서 빛을 흡수한 엽록소로부터 방출된 전자는 일련의 산화 환원 반응을 거쳐  $\text{NADP}^+$ 로 전달된다. 이때 전자의 에너지는 ATP와 NADPH로 전환된다. 명반응에서 합성된 ATP와 NADPH는 암반응의 캘빈 회로에서 이산화 탄소를 고정하여 유기물을 합성하는 데 이용된다. 명반응과 암반응 과정에는 다양한 효소가 관여한다.

(나) 인공 광합성에서 빛에너지를 흡수하는 것은 엽록소가 아니라 황화 카드뮴(CdS)과 같은 광촉매이다. 광촉매가 빛을 흡수하면 전자를 방출하고, 방출된 고에너지 전자는 산화 타이타늄( $\text{TiO}_2$ )으로 전달되어  $\text{NADP}^+$ 를 NADPH로 환원한다. NADPH는 여러 가지 효소 반응과 연결되어 고부가 가치의 화학 물질을 합성하는 데 이용된다.



인터넷에서 인공 광합성과 관련된 신문 기사를 찾아보자.



(1) 인공 광합성에서 자연 광합성의 명반응을 모방한 것은 무엇인지 쓰고, 차이점을 설명해 보자.



.....

.....

.....

(2) 인공 광합성을 통해 화학 물질을 합성하려면 ㉠ 과정을 어떻게 이용해야 하는지 설명해 보자.

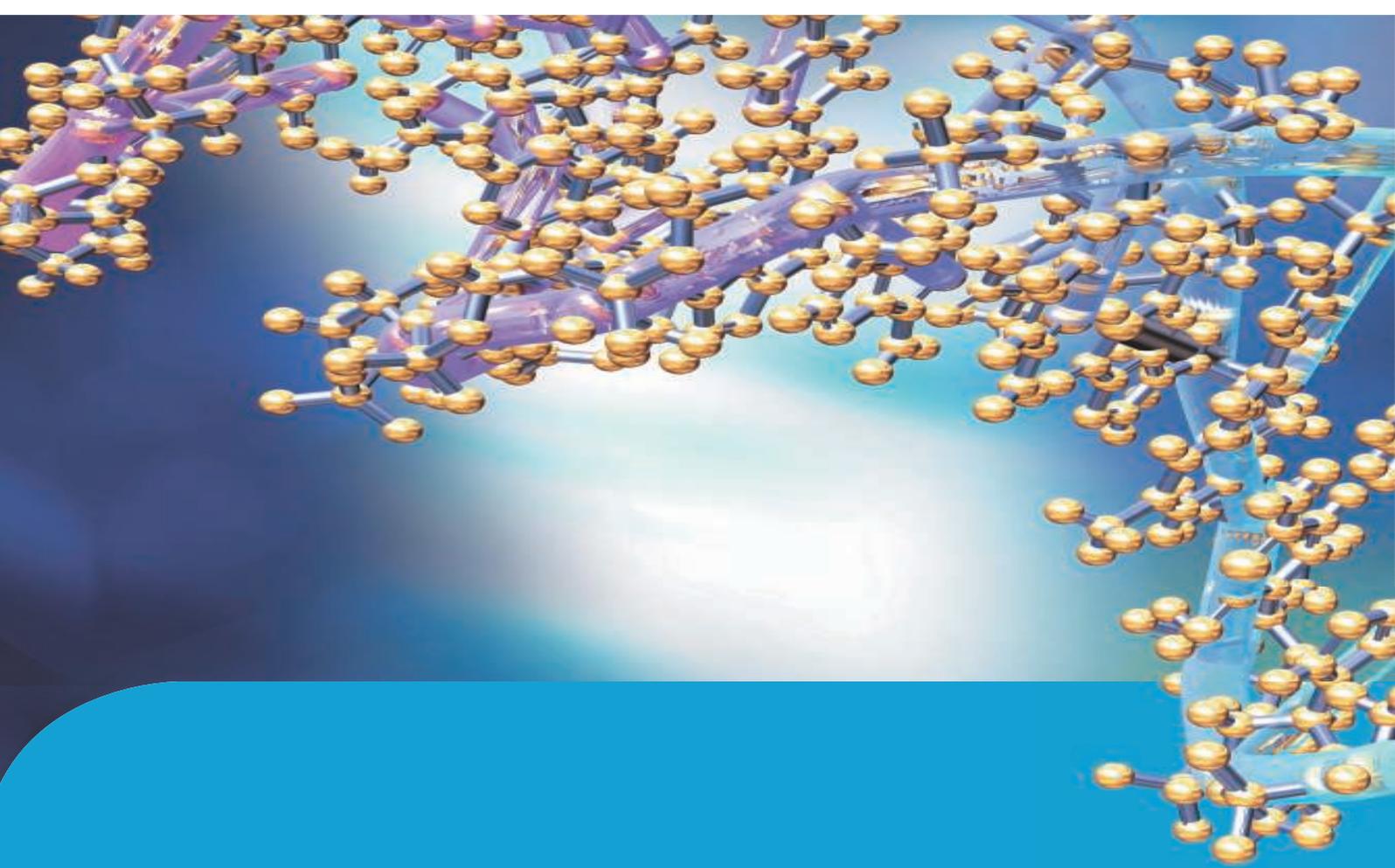


.....

.....

.....

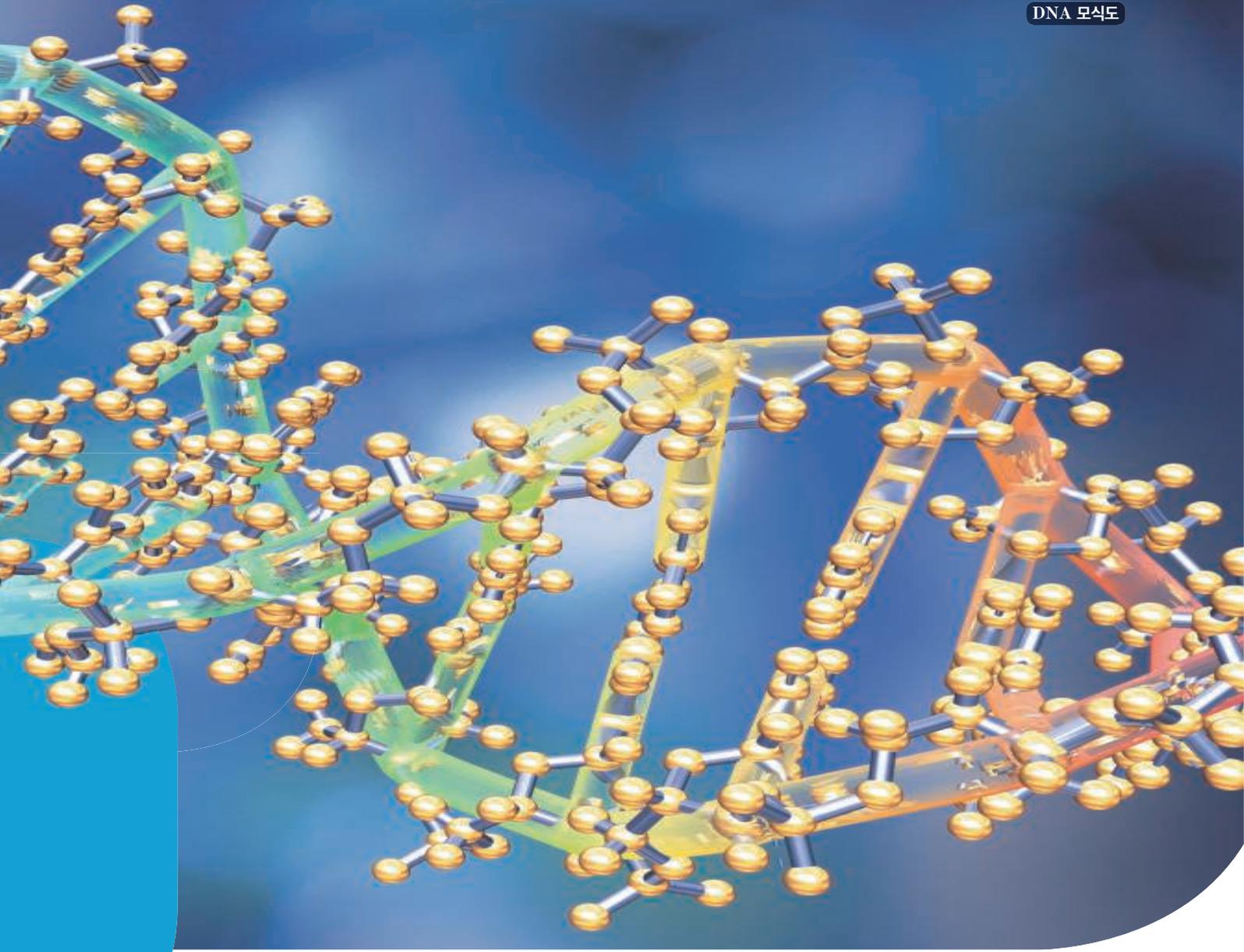




# IV 유전자의 발현과 조절

유전자는 단백질 합성에 필요한 정보를 저장하고 있으며, 이 정보를 이용하여 합성된 단백질의 작용으로 부모로부터 물려받은 유전 형질이 발현된다. 유전자의 발현은 정교하게 조절되며, 유전자의 발현과 조절은 현대 생명 과학의 중요한 연구 주제이다.

이 단원에서는 유전체 구성과 유전자 구조를 이해하고, DNA 복제 과정, 전사와 번역으로 이어지는 생명 정보의 흐름을 살펴보자. 또, 원핵생물과 진핵생물의 전사 조절 과정, 진핵생물의 세포 분화와 발생 과정에서의 유전자 발현 조절을 알아보자.



① 유전체와 유전자

② DNA 복제

③ 유전자 발현

④ 유전부호의 이해

⑤ 전사 조절 과정

⑥ 발생 과정에서의 유전자 발현 조절

## 노화의 비밀, 말단 소체



25세에 노화가 멈춘 외할머니, 어머니, 딸을 보여주는 영화의 한 장면

불로초를 찾으려고 노력했던 중국의 진시황은 영원한 삶을 꿈꾸었지만, 49세의 나이로 생을 마감하였다. 이처럼 노화를 막고 수명을 연장하는 것은 사람의 영원한 꿈일지 모른다.

노화와 관련된 상상력이 돋보이는 영화가 있다. 이 영화는 유전자 차원에서 노화가 완전히 정복되어 25세에 노화가 멈춘 사람들의 이야기를 다루고 있다. 이러한 영화적 상상까지는 아니더라도 말단 소체(텔로미어)에 관한 연구로 노화를 제어할 가능성이 점점 커지고 있다.

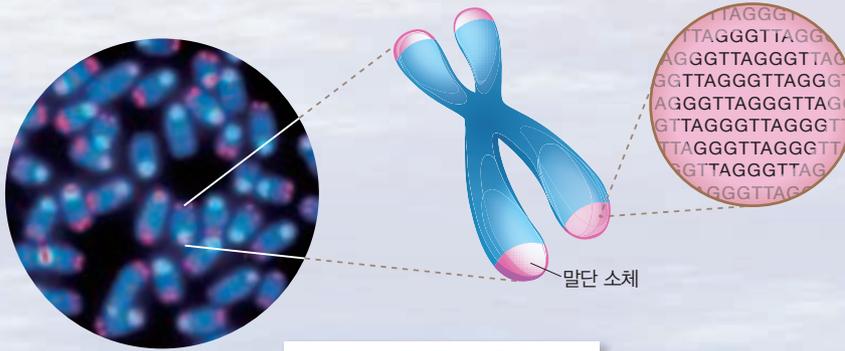
말단 소체는 염색체를 구성하는 DNA의 양쪽 말단에 있는 부위로, DNA의 복제를 돕고, DNA를 보호하는 역할을 한다. 세포가 분열할 때마다 말단 소체는 조금씩 짧아지며, 어느 길이 이상 짧아지면 DNA가 더는 복제되지 못해 세포는 분열을 멈추고 노화가 일어난다.

- 탐구 능력** 암세포는 정상 세포와 달리 세포가 분열해도 말단 소체가 짧아지지 않는다. 그 까닭을 조사해 보고, 조사 결과를 바탕으로 암세포를 제거할 방법을 생각해 보자.

- 문제 해결력** 자신이 생명 과학자라면 말단 소체를 이용하여 세포의 노화를 막기 위해 어떤 연구를 할 것인지 생각해 보자.

말단 소체는 특정 유전자의 발현을 조절하기도 하는데, 근육 위축증을 일으키는 한 유전자는 일반적으로 발현되지 않다가 말단 소체가 짧아짐에 따라 발현되어 병을 일으킨다.

이처럼 말단 소체는 DNA 복제와 유전자 발현에 관여함으로써 세포와 개체의 노화, 그리고 노화에 따른 질병에 이르기까지 사람의 수명 연장에 관한 열쇠를 쥐고 있다.



염색체와 말단 소체(분홍색 부위)

**학습  
계획하기**

다음의 '단원 학습'에서 알고 있는 것에 ✓표를 해 보고, 스스로 학습 계획을 세워 보자.

선수 학습

» 중학교 과학

- 생식과 유전

» 생명과학 I

- 유전

» 통합과학

- 생명 시스템

단원 학습

- 유전체
- DNA 복제
- 번역
- 전사 조절

- DNA의 구조
- 전사
- 유전부호

나는 \_\_\_\_\_

할 수 있다.

# 1



## 유전체와 유전자

### 학습 목표

- 원핵세포와 진핵세포의 유전체 구성과 유전자 구조를 이해하고, 그 차이를 비교할 수 있다.
- DNA의 구조를 설명할 수 있다.

원핵세포인 세균과 진핵세포인 백혈구는 DNA를 유전 물질로 이용하지만, 유전체 구성에는 차이가 있다. 원핵세포와 진핵세포의 유전체는 어떤 차이가 있을까?



유전체와 유전자는 생명과학 I의 '유전' 단원과 연계됩니다.

### 원핵생물과 진핵생물의 유전체

생물	유전체 크기 (100만 염기쌍)	유전자 수 (개)
대장균	4.6	4300
효모	12	6600
사람	3200	21000

(출처: 『CELL BIOLOGY by the numbers』, 2015.)

### 원핵세포와 진핵세포의 유전체 구성과 유전자 구조

유전체는 생물의 한 세포에 들어 있는 모든 유전 물질을 뜻하며, 여기에는 한 생물이 가진 모든 유전자가 포함된다. 1970년대에 바이러스의 유전체를 시작으로 대장균, 효모, 애기장대, 초파리, 사람 등 다양한 생물의 유전체가 분석되었다.

원핵세포와 진핵세포는 염색체의 수와 모양이 다를 뿐 아니라 유전체 크기와 유전자 수에도 차이가 있다. 일반적으로 진핵세포는 원핵세포보다 유전체 크기가 크고, 유전자 수가 많다. 원핵세포와 진핵세포의 유전체 구성을 비교해 보자.

### 자료 해석 해 보기

#### 원핵세포와 진핵세포의 유전체 비교



그림은 원핵세포와 진핵세포의 유전체를 비교하여 나타낸 것이다.

1. 원핵세포와 진핵세포의 염색체 모양은 어떤 차이가 있는지 써 보자.

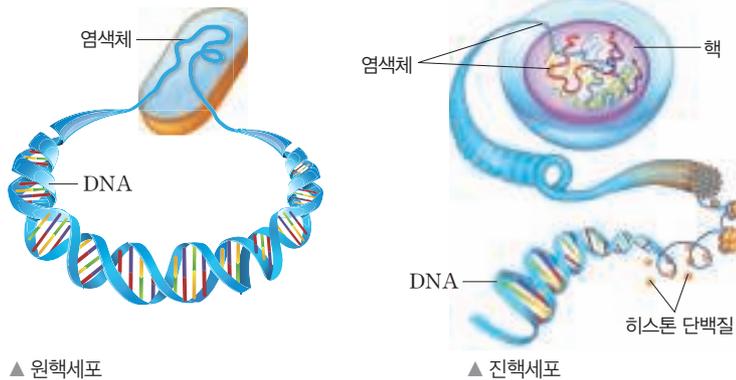
.....

.....

2. 염색체 수를 비교하여 원핵세포와 진핵세포의 유전체 차이를 설명해 보자.

.....

.....



DNA에는 유전자 이외에 비유전자 부분도 있는데, 하나의 DNA에서 유전자가 차지하는 비율은 원핵세포가 진핵세포보다 높다.

원핵세포와 진핵세포는 유전자 구조에도 차이가 있다. 그림 IV-1과 같이 일반적으로 원핵세포의 유전자는 단백질을 암호화하는 부위로만 이루어진 반면, 진핵세포의 유전자에는 단백질을 암호화하는 부위(엑손) 뿐 아니라 단백질을 암호화하지 않는 부위(인트론)도 있다.

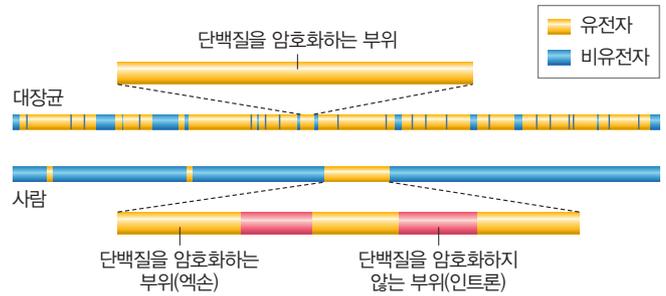


그림 IV-1 원핵세포(대장균)와 진핵세포(사람)의 유전자 비율과 유전자 구조

## DNA의 구조

DNA는 원핵세포와 진핵세포에서 모두 유전 물질로 사용된다. DNA가 유전 물질임이 명확히 밝혀진 것은 1952년에 허시와 체이스의 박테리오파지를 이용한 실험을 통해서이다. 허시와 체이스는 그림 IV-2에서와 같이  $^{35}\text{S}$ 으로 단백질을 표지한 파지와  $^{32}\text{P}$ 으로 DNA를 표지한 파지를 각각 대장균에 감염시킨 후 원심 분리하여 상층액과 침전물에서 방사선이 검출되는지 확인하였다. 실험 결과  $^{35}\text{S}$ 으로 표지한 파지를 사용했을 때에는 파지가 있는 상층액에서 방사선이 검출되었고,  $^{32}\text{P}$ 으로 표지한 파지를 사용했을 때에는 대장균이 있는 침전물에서 방사선이 검출되었다. 이를 통해 파지가 증식을 위해 대장균 안으로 주입하는 유전 물질이 DNA임이 밝혀졌다.

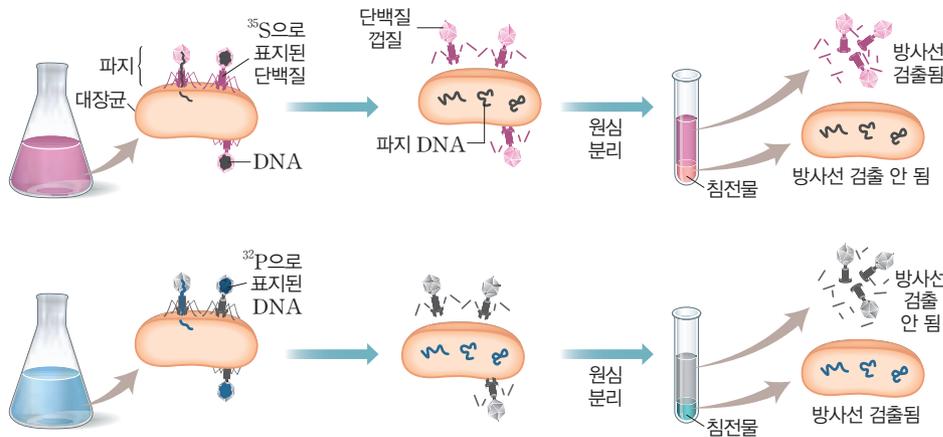


그림 IV-2 허시와 체이스의 실험 허시와 체이스는 파지를 이용해 DNA가 유전 물질임을 밝혔다.

DNA는 두 개의 폴리뉴클레오타이드 가닥으로 구성되며, 당-인산 골격이 바깥쪽에, 염기가 안쪽에 위치한다. DNA의 두 가닥은 방향이 서로 반대이며, 두 가닥의 염기는 수소 결합으로 연결된다. 염기 아데닌(A)은 타이민(T)과, 구아닌(G)은 사이토신(C)과 결합하는데, 이와 같은 염기쌍의 결합을 상보결합이라고 한다. 상보결합으로 DNA에서 한쪽 가닥의 염기 서열을 알면 다른 쪽 가닥의 염기 서열도 알 수 있다. DNA는 염기 서열의 형태로 다양한 유전 정보를 저장할 수 있어 생명의 정보를 저장하는 유전 물질로 이용된다.

## 오개념 바로잡기

**DNA에서 단백질을 암호화하지 않는 부분은 쓸모가 없을까**  
2000년대 초에는 DNA에서 유전자가 아닌 부분, 즉 비유전자 부분을 쓸모없다는 뜻으로 쟁크(junk) DNA라고 불렀다. 그러나 최근에 비유전자 부분의 일부가 RNA로 전사되며, 유전자의 발현을 조절한다는 것이 밝혀지면서 그 기능이 활발히 연구되고 있다.

**유전 물질 규명과 관련된 주요 발견은 '1-1. 생명 과학의 역사와 발달 과정'을 참고하세요. → 19쪽**

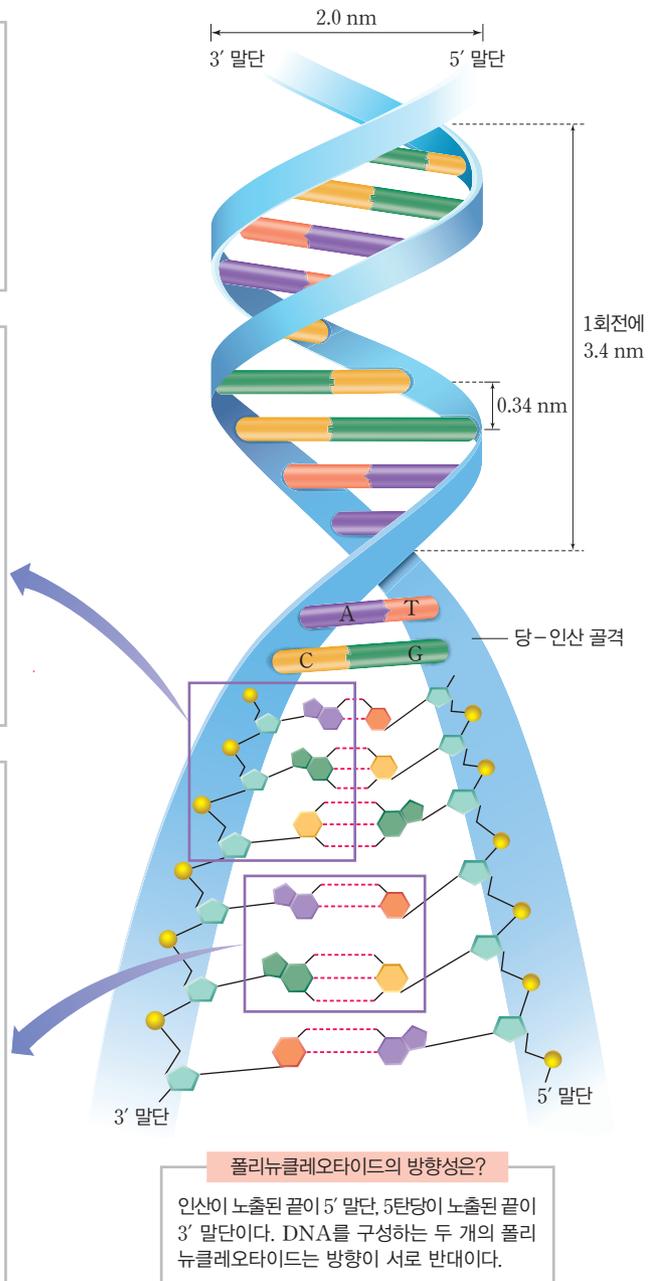
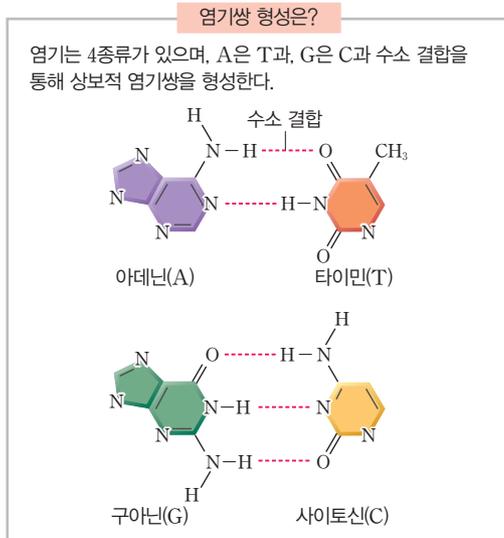
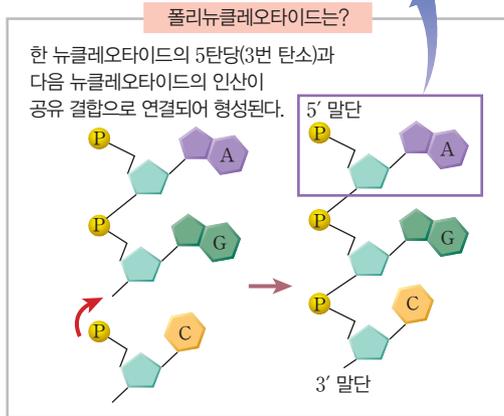
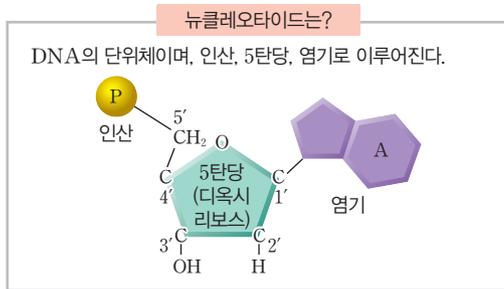


그림 IV-3 DNA의 분자 구조 DNA는 두 개의 폴리뉴클레오타이드 가닥이 꼬여 있는 이중 나선 구조로, 바깥쪽에는 당-인산 골격이, 안쪽에는 상보적 염기쌍이 위치한다.

**핵심 개념 확인하기**

- 진핵세포는 원핵세포보다 유전체 크기가 ( ), 유전자 수가 ( ).
- 창의 융합 사고 | DNA를 구성하는 염기쌍처럼 상보적인 관계를 이루는 것에는 무엇이 있는지 주변에서 찾아보자.

- 다음 개념을 이해하였는지 ✓ 표를 하면서 확인해 보자.
- 원핵세포와 진핵세포의 유전체
- DNA 이중 나선 구조

목표

브로콜리에서 DNA를 추출하여 관찰할 수 있다.

과정

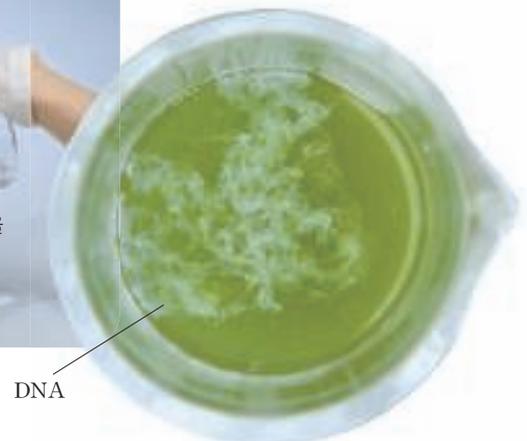
- 1 증류수 150 mL에 주방용 세제 7 mL와 소금 2 g을 넣고 잘 섞어 소금-세제 용액을 만든다.
- 2 브로콜리 50 g을 막자사발에 넣고 가위로 잘게 자른 후 막자로 곱게 간다.
- 3 소금-세제 용액 100 mL를 곱게 갈린 브로콜리가 들어 있는 막자사발에 넣고 잘 섞은 후 10분 동안 둔다.
- 4 거즈를 씌운 비커에 과정 3의 혼합액을 걸러 브로콜리 추출액을 얻는다.
- 5 브로콜리 추출액이 들어 있는 비커에 유리 막대를 대고 차가운 에탄올을 유리 막대를 따라 천천히 흘려 붓는다.
- 6 가는 실 모양으로 추출되는 DNA를 관찰한다.

준비물

- 증류수       주방용 세제
- 소금           브로콜리
- 막자와 막자사발
- 가위           거즈
- 비커           유리 막대
- 에탄올         실험복
- 보안경         실험용 고무장갑

유의할 점

- 브로콜리를 가위로 잘게 자를 때 손을 다치지 않도록 주의한다.
- 에탄올은 냉동실에 넣어 차갑게 두었다가 실험 직전에 꺼내어 사용한다.
- 세제나 에탄올이 눈이나 입에 들어가지 않도록 주의한다.



결과 및 정리

1. 이 실험에서 세제를 사용하는 까닭을 써 보자.

.....

2. DNA 한 분자는 폭이 2.0 nm로 매우 작다. 그런데 이 실험에서 추출된 DNA가 맨눈으로 관찰되는 까닭은 무엇인지 토의하여 발표해 보자.

.....

3. **창의력(+)** 이 실험에서 추출된 DNA에는 단백질 등이 결합해 있다. DNA만 순수하게 추출할 방법을 조사하여 발표해 보자.

.....

평가하기

1 2 3 4 5

• 브로콜리 추출액에서 DNA를 추출하였는가?

• 안전사고에 유의하며 시약들을 조심해서 다루었는가?

| 활동 후기 | 이 활동에서 어떤 것을 배웠는지 자유롭게 적어 보자.

.....

# 2 DNA 복제

## DNA 복제

학습  
목표

- 반보존적 DNA 복제 원리를 설명할 수 있다.
- DNA 복제 과정을 설명할 수 있다.

판화를 이용하면 똑같은 그림을 여러 개 찍어 낼 수 있다. 생물은 세포 분열이 일어나기 전에 DNA를 복제하는데, 이것은 판화로 똑같은 그림을 찍어 내는 것과 비슷하다. DNA 복제는 어떻게 일어날까?



### DNA 복제 모델

세포 분열 과정에서 모세포에 저장된 유전 정보는 딸세포로 정확하게 전달되어야 한다. 이를 위해 DNA는 세포 분열이 일어나기 전에 복제된 후 세포 분열 과정에서 분리되어 2개의 딸세포로 나뉜다. DNA는 어떤 방식으로 복제되는 것일까? DNA 복제 방식에 관한 모델로 그림 IV-4와 같이 보존적 복제, 반보존적 복제, 분산적 복제의 세 가지를 들 수 있다.

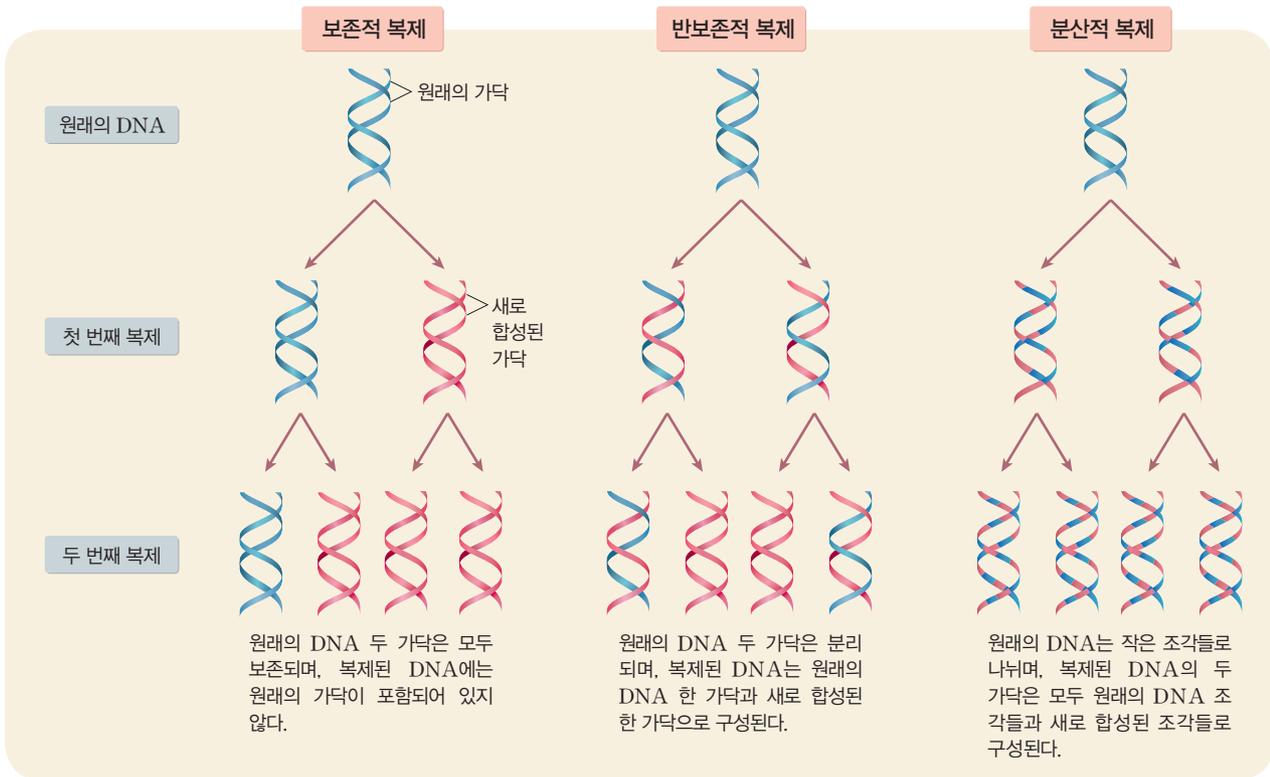


그림 IV-4 DNA 복제 방식에 관한 세 가지 모델

메셀슨(Meselson, M. S., 1930~)과 스탈(Stahl, F. W., 1929~)의 실험을 통해 DNA가 복제되는 방식을 알아보자.

자료  
해석

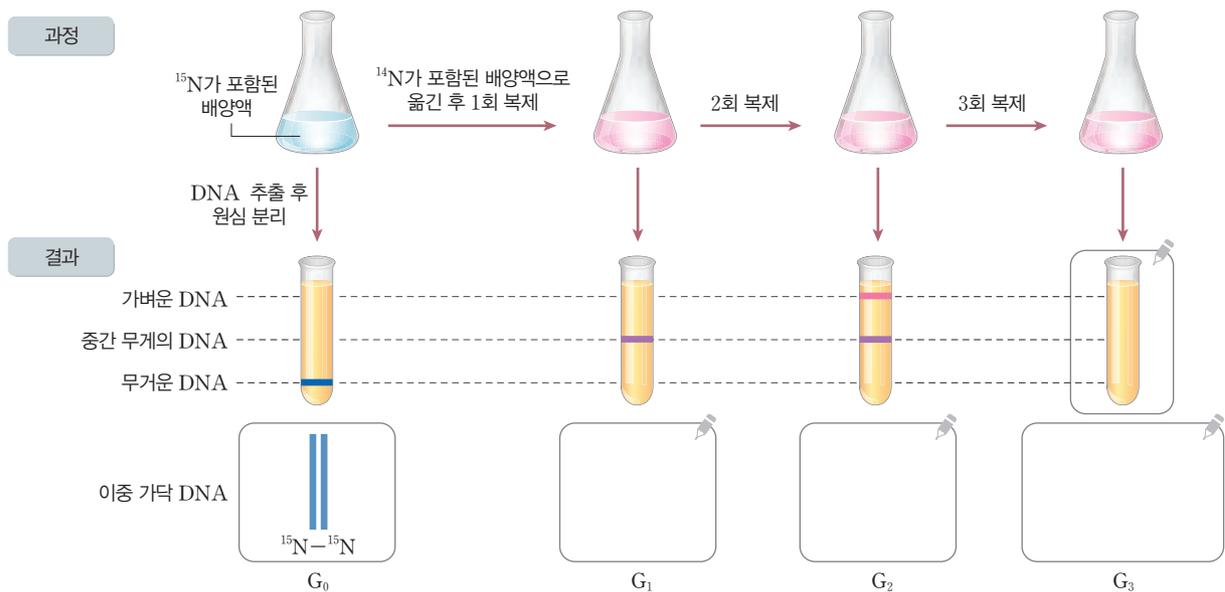
해 보기

메셀슨과 스탈의 DNA 복제 실험



과정 및 결과

- ① 대장균을 무거운 질소( $^{15}\text{N}$ )가 포함된 배양액에서 여러 세대 배양하여  $^{15}\text{N}$ 로 표지된 DNA를 가진 대장균( $G_0$ )을 얻었다.
- ②  $G_0$ 의 일부를 가벼운 질소( $^{14}\text{N}$ )가 포함된 배양액으로 옮겨 한 세대 배양하여 1세대 대장균( $G_1$ )을 얻었다.
- ③  $G_1$ 의 일부를  $^{14}\text{N}$ 가 포함된 배양액에서 한 세대 더 배양하여 2세대 대장균( $G_2$ )을 얻고,  $G_2$ 의 일부를  $^{14}\text{N}$ 가 포함된 배양액에서 한 세대 더 배양하여 3세대 대장균( $G_3$ )을 얻었다.
- ④  $G_0, G_1, G_2, G_3$ 의 DNA를 각각 추출하여 원심 분리하였다.



정리

1. DNA 복제 방식에 관한 세 가지 모델 중  $G_1$ 과  $G_2$ 의 결과에 의해 각각 기각되는 모델은 어느 것이며, 그 까닭은 무엇인지 설명해 보자. 또, 이 실험 결과가 지지하는 모델은 어느 것인지 설명해 보자.

.....

2.  $G_3$ 에서 예상되는 원심 분리 결과와,  $G_1 \sim G_3$ 의 이중 가닥 DNA를 위 그림에 모두 그려 보자.

이 실험을 통해 복제 결과 생긴 DNA의 두 가닥 중 한 가닥은 원래의 가닥이고, 나머지 한 가닥은 새로 합성된 가닥이라는 것을 알게 되어 DNA는 **반보존적으로 복제** 된다는 것이 증명되었다.

### DNA의 반보존적 복제 과정

DNA가 반보존적으로 복제될 때는 그림 IV-5와 같이 먼저 DNA 이중 가닥이 풀어지며, 풀린 두 가닥을 각각 주형으로 하여 새로운 가닥이 합성된다. 이때 새로운 가닥의 합성은 DNA 중합 효소에 의해 일어난다. DNA 중합 효소는 주형 가닥과 결합한 후, 주형 가닥에 상보적인 염기를 가진 디옥시리보뉴클레오타이드를 합성 중인 가닥의 3' 말단에 연결한다. 따라서 합성 중인 가닥은 항상 5' → 3' 방향으로 길어지며, 합성 중인 가닥과 주형 가닥의 방향은 서로 반대이다.

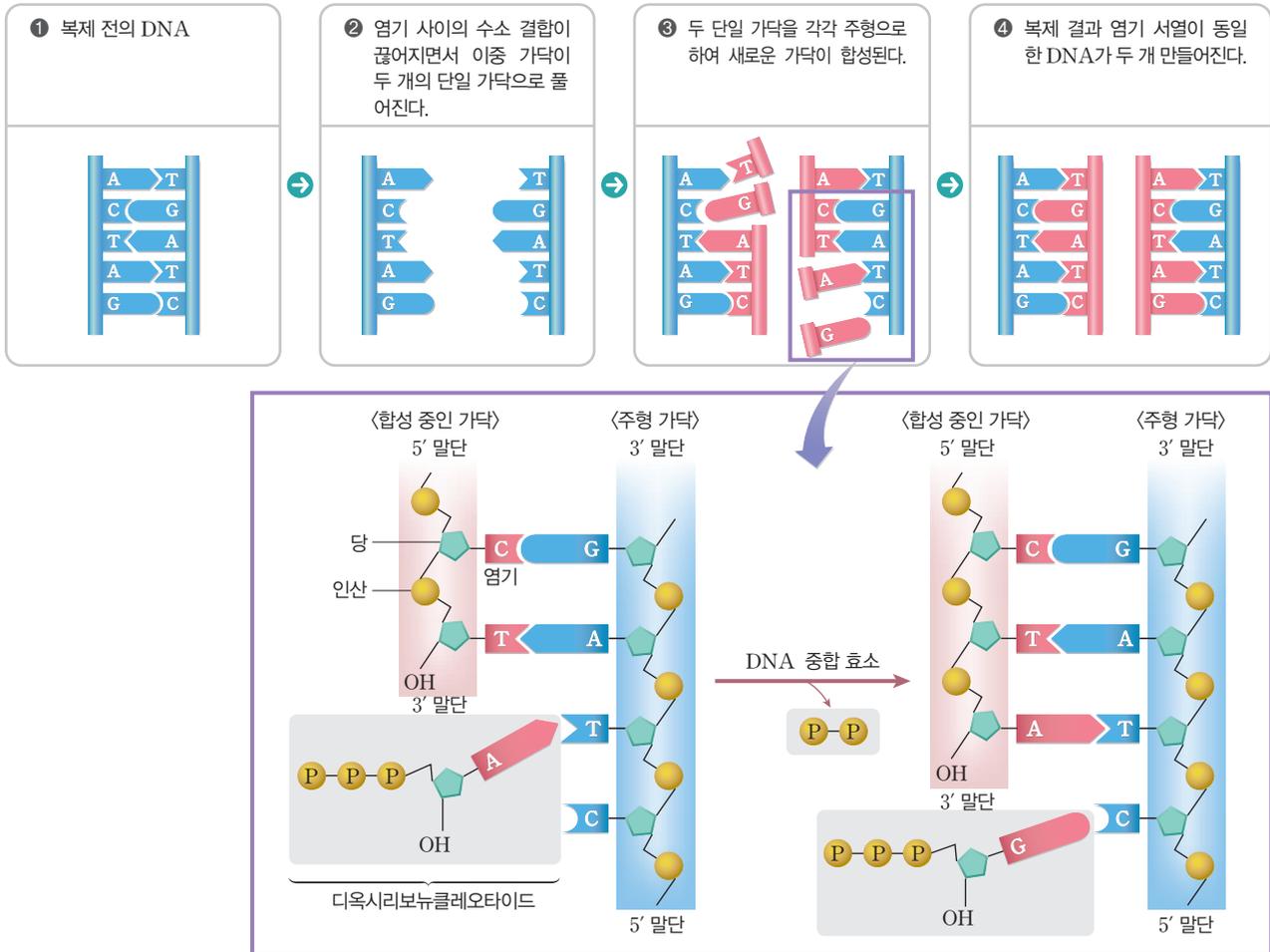
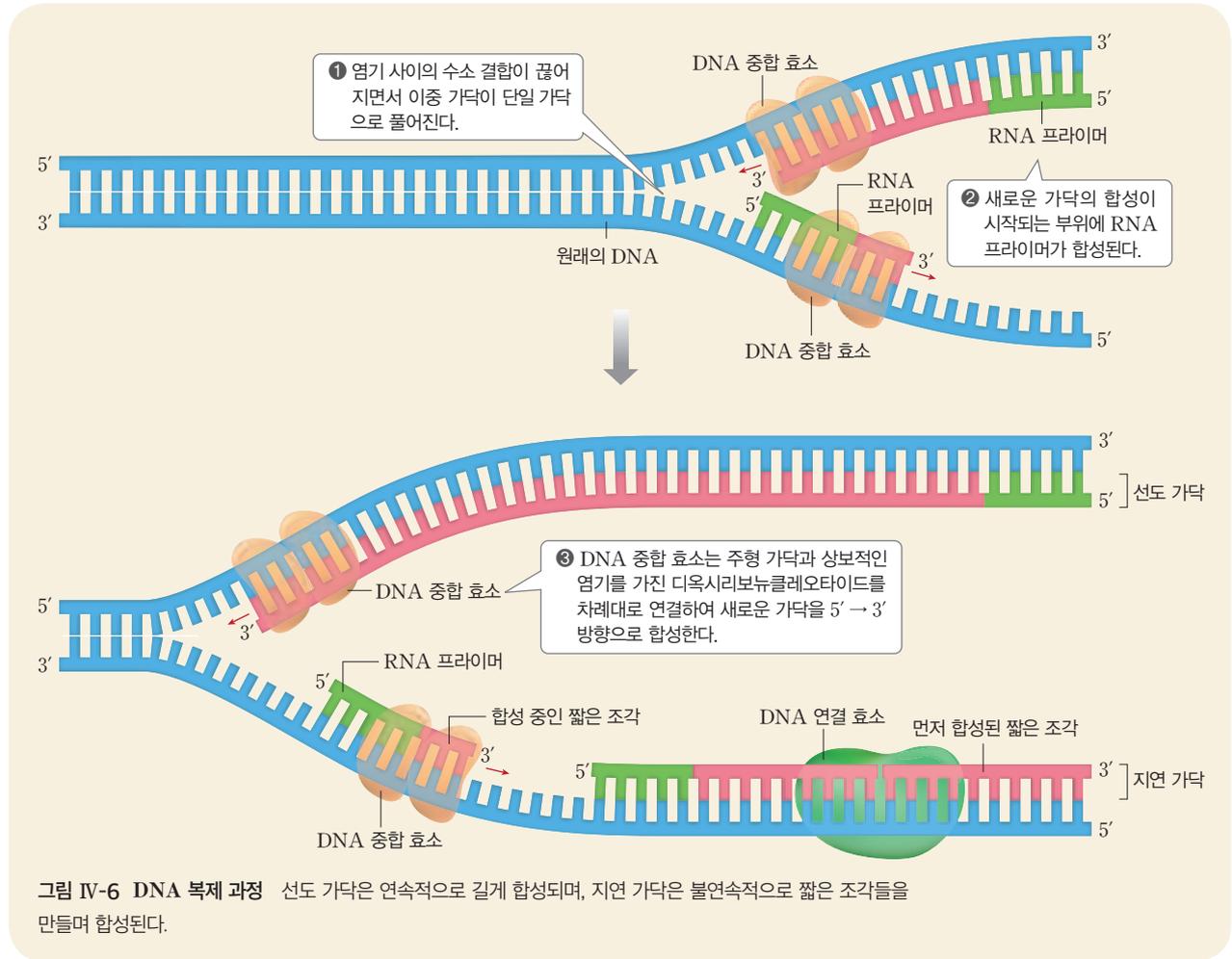


그림 IV-5 DNA의 반보존적 복제와 DNA 중합 효소의 작용

DNA 중합 효소에 의해 새로운 가닥이 합성되기 위해서는 주형 가닥과 상보적인 염기 서열을 가진 짧은 RNA 조각인 RNA 프라이머가 필요하다. RNA 프라이머가 합성되면 DNA 중합 효소가 RNA 프라이머의 3' 말단에 새로운 디옥시리보뉴클레오타이드를 연결하여 새로운 가닥의 합성을 시작한다. RNA 프라이머는 DNA 복제가 완료되기 전에 제거되며, RNA 프라이머가 있던 부위는 디옥시리보뉴클레오타이드로 채워진다.

DNA가 복제될 때는 그림 IV-6과 같이 원래의 두 가닥을 각각 주형으로 하여 새로운 두 가닥이 동시에 합성된다. 이때 한 가닥은 연속적으로 길게 합성되며, 이 가닥을 선도 가닥이라고 한다.

다른 가닥은 불연속적으로 짧은 조각들을 만들며 합성된다. 이 짧은 조각들은 나중에 DNA 연결 효소에 의해 하나로 길게 연결되는데, 이 가닥을 지연 가닥이라고 한다.



핵심 개념 확인하기

- 1 DNA는 어떤 방식으로 복제되는가?
- 2 DNA 복제 시 DNA 중합 효소에 의해 새로운 가닥은 ( ) → ( ) 방향으로 합성된다.
- 3 창의 융합 사고 | DNA 복제는 매우 정확하게 일어나지만, 사람에서는 한 세대당 약 10<sup>9</sup>개의 염기 중 하나의 비율로 실수가 일어난다. 이러한 실수로 일어나는 돌연변이는 어떤 이점을 가져올지 생각해 보자.

- 다음 개념을 이해하였는지 ✓ 표를 하면서 확인해 보자.
- DNA의 반보존적 복제

준비물

DNA 복제 모형  
(부록 217쪽, 219쪽)

가위     풀

유의할 점

DNA 복제 모형을 가위로 오릴 때 손을 다치지 않도록 주의한다.

목표

모의 활동을 통해 DNA의 반보존적 복제를 설명할 수 있다.

과정

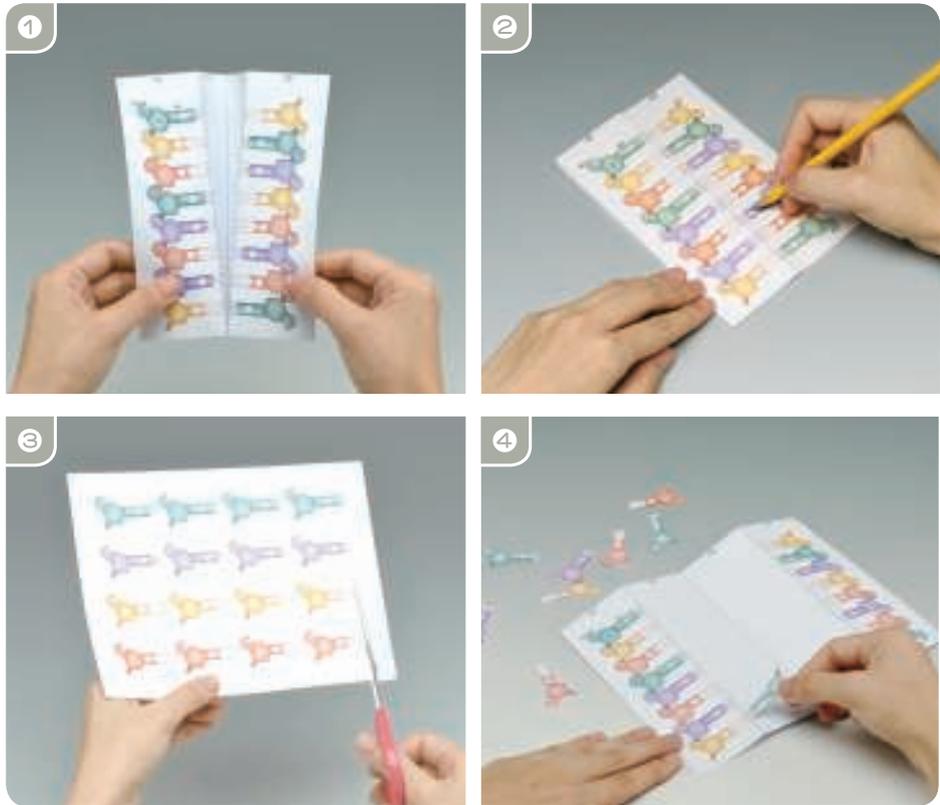
① 부록 217쪽에 있는 DNA 복제 모형지를 실선을 따라 가위로 잘라 낸 후 I 면과 II 면이 마주 닿도록 점선을 따라 접는다.

② 다음을 참고하여 I 면과 II 면에 있는 DNA 이중 가닥의 염기 서열을 쓴다.

- 염기 A와 T 사이에는 2개의 수소 결합이, G와 C 사이에는 3개의 수소 결합이 형성된다. (DNA 복제 모형지에서 붉은색 점선은 수소 결합을 나타낸다.)
- 퓨린 계열 염기(A, G)의 크기는 피리미딘 계열 염기(C, T)보다 크다.

③ 부록 219쪽에 있는 뉴클레오타이드 모형에 해당하는 염기의 이름을 각각 쓴 후, 모형을 모두 가위로 오린다.

④ DNA 복제 모형지를 펼친 후 DNA 복제 방향을 고려하여 III 면과 IV 면에 각각 뉴클레오타이드 모형을 붙이면서 DNA 복제 과정을 표현한다.

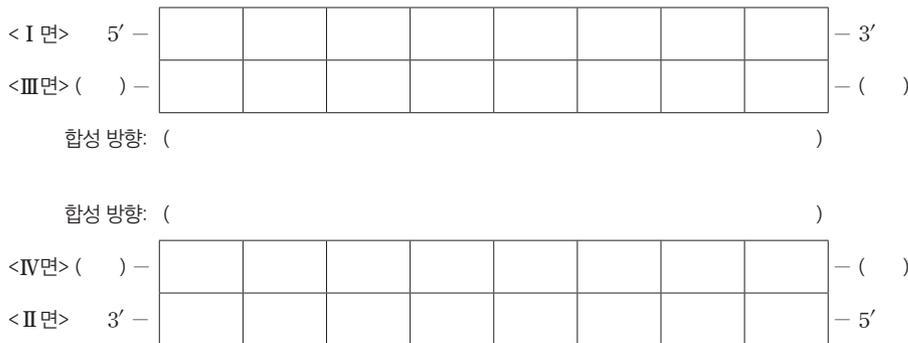


**결과 및 정리**

1. 과정 ④에서 DNA 복제 모형지를 펼치는 것은 실제 DNA 복제에서 어떤 과정에 해당하는지 설명해 보자.

 .....

2. 복제 결과 만들어진 두 DNA의 염기 서열과 각 가닥의 말단 방향을 쓰고, 새로 합성된 가닥에는 합성 방향을 화살표로 표시해 보자.



3. 모의 활동을 바탕으로 DNA가 반보존적으로 복제된다는 것이 어떤 뜻인지 설명해 보자.

 .....

4. **창의력 (+)** DNA 복제 과정을 역할놀이로 표현할 방법을 모둠별로 고안해 보자.



**평가하기**

1  2  3  4  5

- ◆ DNA 복제 모의 활동에 적극적으로 참여하였는가?
- ◆ DNA의 반보존적 복제를 설명할 수 있는가?
- ◆ 역할놀이를 고안하는 활동에 적극적으로 참여하였는가?

**| 활동 후기 |** 이 활동에서 어떤 것을 배웠는지 자유롭게 적어 보자.

 .....



# 3

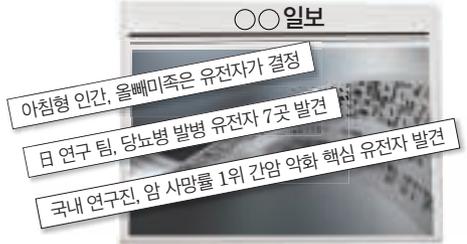


## 유전자 발현

### 학습 목표

- 유전자와 단백질의 관계를 설명할 수 있다.
- 전사와 번역 과정을 거쳐 유전자가 발현됨을 이해하고 설명할 수 있다.

그림은 새로운 유전자의 발견과 관련된 기사들이다. 유전자에 저장된 유전 정보는 어떤 과정을 거쳐 유전 형질로 나타날까?



### 유전자와 단백질

유전자 발현은 통합과학의 '생명 시스템' 단원과 연계됩니다.

사람의 눈동자 색깔, 혈액형뿐만 아니라 페닐케톤뇨증과 같은 유전병은 부모에서 자녀에게 전달되는 유전 형질이다. 유전 형질은 유전자에 저장된 유전 정보에 의해 나타나며, 유전자로부터 유전 형질이 나타나기까지의 과정을 **유전자 발현**이라고 한다. 비들과 테이텀의 실험을 통해 유전 형질이 어떻게 나타나는지 알아보자.

### 자료 해석

#### 해 보기

#### 비들과 테이텀의 붉은빵곰팡이 실험



### 과정

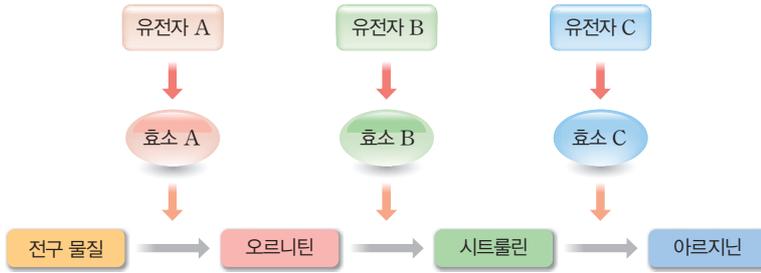
- ① 최소 배지에서 자라는 야생형의 붉은빵곰팡이 포자에 X선을 쬐어 최소 배지에서 자라지 못하고, 최소 배지에 아르지닌이 첨가되면 자라는 돌연변이형 I ~ III을 얻었다.
- ② 최소 배지에 오르니틴, 시트룰린, 아르지닌 중 한 가지를 첨가한 후 각 배지에서 야생형과 돌연변이형 I ~ III의 생장을 관찰하였다.

### 최소 배지

생물이 살아가는 데 필요한 최소한의 영양물질(당, 무기염류, 비타민 등)만 포함된 배지이다. 최소 배지에서 자라기 위해서는 이 영양물질을 이용해 다른 필요한 모든 물질(아미노산, 핵산 등)을 스스로 합성해야 한다.

구분	최소 배지	최소 배지+오르니틴	최소 배지+시트룰린	최소 배지+아르지닌	
야생형	 자란다.	 자란다.	 자란다.	 자란다.	
돌연변이형	I	 자라지 못한다.	 자란다.	 자란다.	 자란다.
	II	 자라지 못한다.	 자라지 못한다.	 자란다.	 자란다.
	III	 자라지 못한다.	 자라지 못한다.	 자라지 못한다.	 자란다.

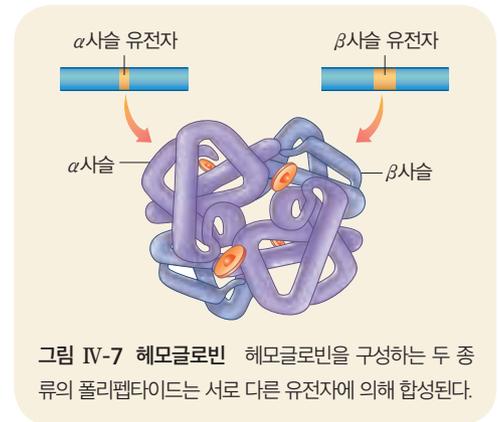
㉓ 그림은 이 실험 결과를 통해 알아낸 아르지닌 합성 경로 및 각 경로에 관여하는 유전자와 효소를 나타낸 것이다.



### 정리

1. 돌연변이형 I~Ⅲ이 모두 최소 배지에서 자라지 못하는 까닭을 효소와 관련지어 설명해 보자.
2. 돌연변이형 I~Ⅲ은 각각 하나의 유전자에 이상이 있다. 돌연변이형 I~Ⅲ에서 이상이 있는 유전자는 각각 어느 것인지 설명해 보자.
3. 이 실험을 통해 유전 형질이 어떻게 유전자에 의해 나타나는지 토의하여 발표해 보자.

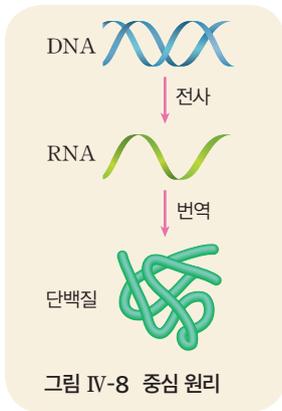
비들과 테이텀은 이 실험 결과를 바탕으로 하나의 유전자는 하나의 효소를 합성하게 함으로써 유전 형질이 나타나게 한다는 **1유전자 1효소설**을 제안하였다. 이후 유전자가 케라틴, 인슐린 등과 같은 효소가 아닌 단백질도 합성하게 하여 유전 형질이 나타나게 한다는 것이 밝혀지면서 1유전자 1효소설은 1유전자 1단백질설로 바뀌었다. 현재는 그림 IV-7의 헤모글로빈과 같이 하나의 단백질이 두 종류 이상의 폴리펩타이드로 이루어진 경우, 서로 다른 유전자가 각 폴리펩타이드를 합성하게 한다는 것이 밝혀져 **1유전자 1폴리펩타이드설**로 수정되었다.



### 핵심 개념 확인하기

- 1 유전자로부터 유전 형질이 나타나기까지의 과정을 무엇이라고 하는가?
- 2 비들과 테이텀의 실험은 유전자 발현에 관한 1유전자 ( )을/를 지지한다.
- 3 **창의 융합 사고** | 유전자에 돌연변이가 일어나면 일반적으로 생존에 불리한 유전병 증상이 나타나는데, 그 까닭을 생각해 보자.

- 다음 개념을 이해하였는지 ✓표를 하면서 확인해 보자.
- 1유전자 1효소설



## 유전 정보의 흐름과 전사

유전자가 발현될 때는 그림 IV-8과 같이 DNA의 유전 정보가 RNA로 전달되는 전사와 RNA의 유전 정보를 이용하여 단백질이 합성되는 번역이 일어난다. 이처럼 DNA → RNA → 단백질의 순서로 유전 정보가 흐르며 유전자가 발현되는 현상을 **중심 원리**라고 한다.

진핵세포는 핵 안에 있는 DNA의 특정 부위에서 전사가 일어난다. **전사**는 그림 IV-9와 같이 DNA의 두 가닥 중 한 가닥만을 주형으로 하여 RNA 중합효소가 특정 유전자의 프로모터에 결합하면서 시작된다. 이후 DNA 이중 나선이 풀어지면 RNA 중합효소는 주형 가닥에 상보적인 염기를 가진 리보뉴클레오타이드를 차례대로 연결하며 RNA 가닥을 5' → 3' 방향으로 합성한다.

### 프로모터

RNA 중합효소가 결합하여 전사가 시작되게 하는 DNA의 특정 염기 서열 부위이다.

DNA 복제와 달리 전사에서는 프라이머가 사용되지 않으며, 주형 가닥의 염기 아데닌(A)에 대한 상보적인 염기로 유라실(U)이 사용된다. 전사가 진행 중인 부위에서 합성 중인 RNA 가닥과 DNA 주형 가닥의 방향은 서로 반대이다. 전사가 끝나면 RNA 중합효소와 합성된 단일 가닥 RNA는 모두 DNA에서 떨어져 나온다.

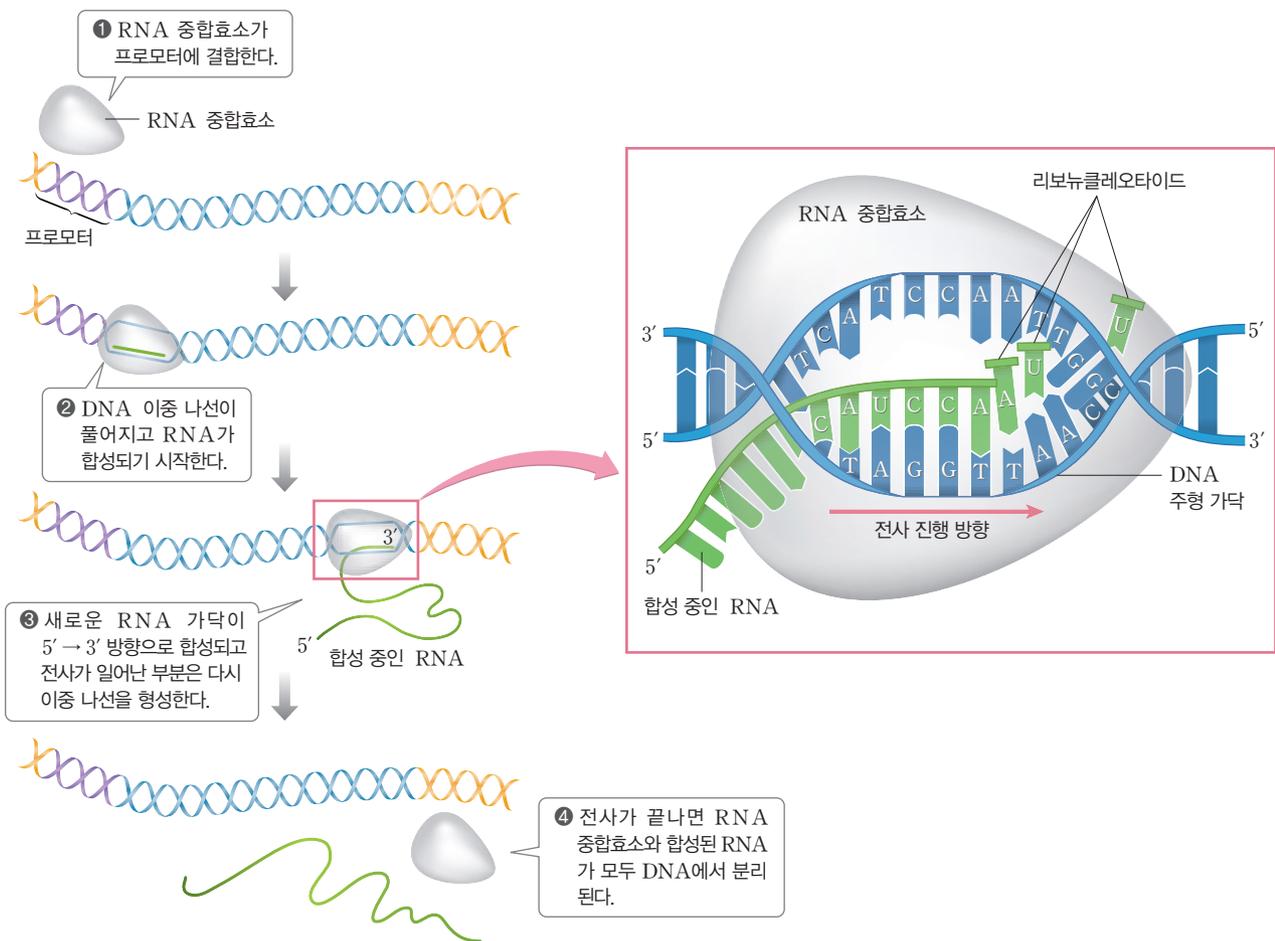


그림 IV-9 전사 RNA 중합효소에 의해 DNA 주형 가닥과 염기 서열이 상보적인 단일 가닥 RNA가 합성된다.

## 번역과 단백질 합성 기구

**번역** 과정에서는 mRNA의 유전 정보에 따라 단백질이 합성된다. 진핵세포에서는 핵 안에서 합성된 mRNA가 핵공을 통해 세포질로 이동하여 번역에 이용된다. 번역이 일어나기 위해서는 mRNA뿐 아니라 리보솜과 tRNA가 필요하다.

리보솜은 두 개의 아미노산을 펩타이드 결합으로 연결하면서 단백질을 합성하는 장소이다. 리보솜은 그림 IV-10과 같이 대단위체와 소단위체로 구성된다. 이 두 단위체는 분리되어 있다가 번역을 시작할 때 mRNA와 함께 서로 결합한다.

tRNA는 mRNA의 각 코돈이 지정하는 아미노산을 리보솜으로 운반하는 역할을 한다. 그림 IV-11과 같이 각각의 tRNA에는 특정 아미노산이 결합하는 자리가 있으며, mRNA의 특정 코돈과 상보적으로 결합하는 안티코돈이 있다. mRNA의 특정 코돈이 번역될 때 이 코돈과 상보적인 안티코돈을 가진 tRNA가 특정 아미노산을 운반하므로 각 코돈이 지정하는 아미노산이 정확하게 차례대로 연결되어 단백질이 합성된다.

### RNA의 종류

RNA에는 단백질의 아미노산 서열 정보를 전달하는 mRNA (messenger RNA), 리보솜을 구성하는 rRNA (ribosomal RNA), 아미노산을 운반하는 tRNA (transfer RNA)가 있다.

### 코돈과 안티코돈

코돈은 mRNA에 존재하며 아미노산을 지정하는 유전부호이고, 안티코돈은 tRNA에 존재하며 코돈과 상보적 염기쌍을 형성하는 부위이다.

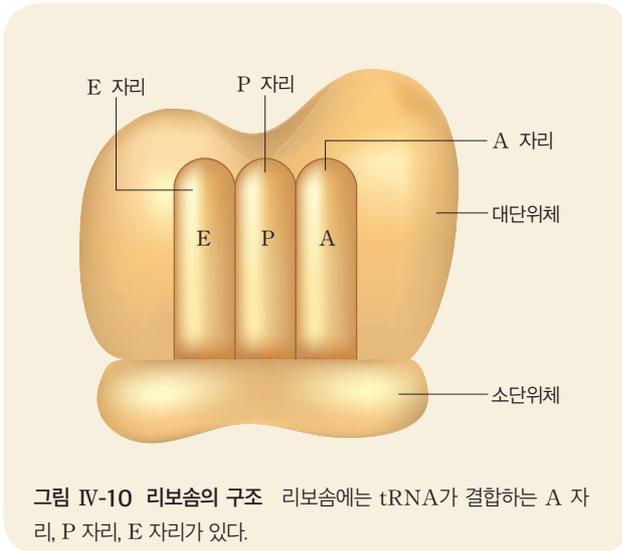


그림 IV-10 리보솜의 구조 리보솜에는 tRNA가 결합하는 A 자리, P 자리, E 자리가 있다.

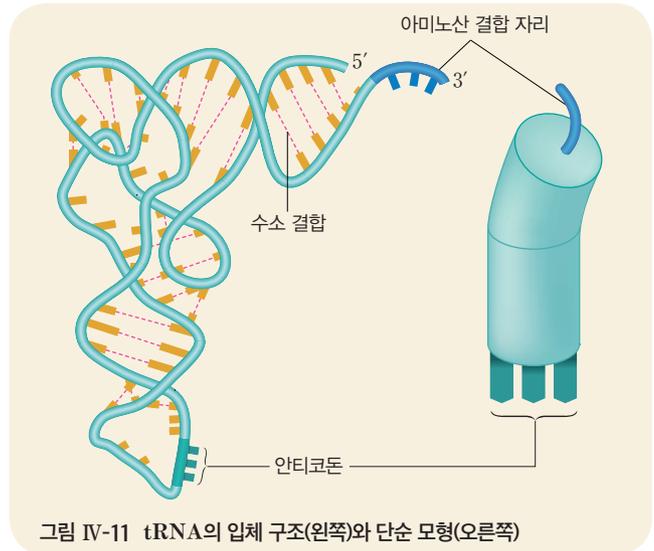


그림 IV-11 tRNA의 입체 구조(왼쪽)와 단순 모형(오른쪽)

**?** tRNA는 긴 가닥의 형태로 존재하지 않고 한 분자 내에서 수소 결합을 통해 입체 구조를 형성한다. tRNA가 입체 구조를 형성할 수 있는 까닭은 무엇일까?

### 핵심 개념 확인하기

- 1 전사 과정에서 DNA 이중 나선이 풀어지면 ( )은/는 주형 가닥에 상보적인 염기를 가진 리보뉴클레오타이드를 차례대로 연결한다.
- 2 번역 과정에서 mRNA의 코돈과 상보적으로 결합하는 tRNA 부위를 무엇이라고 하는가?
- 3 **창의 융합 사고** | DNA를 요리책에 비유한다면 유전자, 전사, 번역, 단백질은 각각 무엇에 비유할 수 있을지 생각해 보자.

• 다음 개념을 이해하였는지 ✓ 표를 하면서 확인해 보자.

- 중심 원리
- 전사
- 번역

## 번역 과정

번역은 mRNA의 개시 코돈에서 시작하여 종결 코돈에서 끝난다. 개시 코돈은 번역을 시작하는 코돈으로 메싸이오닌을 지정하며, 종결 코돈은 번역을 끝내는 코돈으로 아미노산을 지정하지 않는다.

번역은 그림 IV-13과 같이 개시, 신장, 종결의 세 단계로 진행된다.

개시 단계에서는 mRNA에 리보솜 소단위체, 메싸이오닌과 결합한 개시 tRNA, 리보솜 대단위체가 모두 결합한다. 이때 개시 tRNA는 안티코돈을 이용하여 개시 코돈과 상보적으로 결합하며, 리보솜의 P 자리에 위치한다.

신장 단계에서는 비어 있는 A 자리에 두 번째 코돈이 지정하는 아미노산과 결합한 tRNA가 들어오고, P 자리에 있는 개시 tRNA에서 메싸이오닌이 떨어져 A 자리의 tRNA에 결합한 두 번째 아미노산과 펩타이드 결합을 형성한다.

다음으로 리보솜이 mRNA의 3' 말단 방향으로 하나의 코돈만큼 이동하면서 P 자리에 있던 개시 tRNA는 E 자리로 이동했다가 리보솜 밖으로 방출되고, A 자리에 있던 tRNA는 P 자리로 이동한다. 이때부터 P 자리의 tRNA에는 두 개 이상의 아미노산으로 이루어진 펩타이드가 결합해 있다.

비어 있는 A 자리에 다음 코돈이 지정하는 아미노산과 결합한 tRNA가 들어오고, P 자리의 tRNA로부터 펩타이드가 떨어져 A 자리의 아미노산과 결합한다. 이러한 과정을 반복하면서 폴리펩타이드가 길어진다.

폴리펩타이드가 길어지다가 리보솜의 A 자리에 종결 코돈이 오면 번역 과정이 종결된다. 종결 단계에서는 합성된 폴리펩타이드가 리보솜에서 방출되고, 리보솜의 두 단위체와 tRNA가 모두 mRNA로부터 떨어져 나간다.

그림 IV-12와 같이 하나의 리보솜에서 번역이 일어나는 동안 또 다른 리보솜이 같은 mRNA에 결합하여 번역을 시작할 수 있다. 따라서 하나의 mRNA에 여러 개의 리보솜이 결합하여 여러 개의 폴리펩타이드가 동시에 합성될 수 있는데, 이러한 구조를 폴리솜이라고 한다.

### 리보솜의 자리

E는 출구(exit), P는 펩타이드, A는 아미노산과 관련된 약자이다.

### 펩타이드

두 개 이상의 아미노산이 펩타이드 결합으로 연결된 화합물

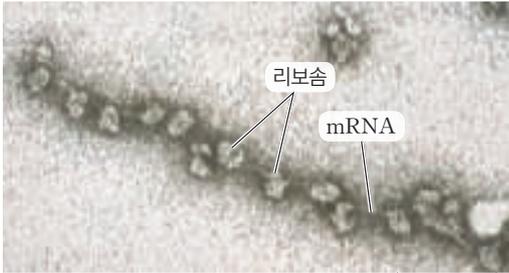


그림 IV-12 폴리솜 폴리솜이 형성되면 하나의 mRNA로부터 많은 양의 폴리펩타이드가 빠르게 합성된다.

### 핵심 개념 확인하기

- 1 번역 과정에서 리보솜은 mRNA를 따라 ( ) → ( ) 방향으로 이동한다.
- 2 번역 과정에서 새로 첨가되는 아미노산과 결합한 tRNA는 리보솜의 어느 자리로 들어오는가?
- 3 **창의 융합 사고** | 어떤 유전자의 mRNA에 상보적인 염기 서열을 가진 RNA가 합성된다면, 이 유전자의 mRNA는 번역될 수 있을지 생각해 보자.

- 다음 개념을 이해하였는지  표를 하면서 확인해 보자.
- 번역 과정

개시

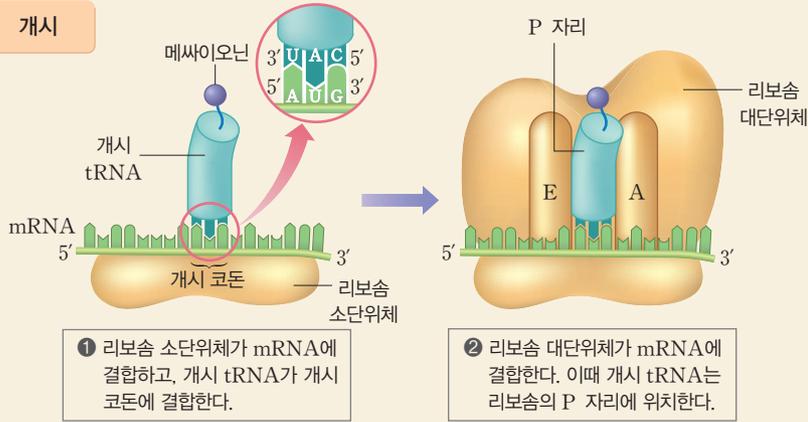
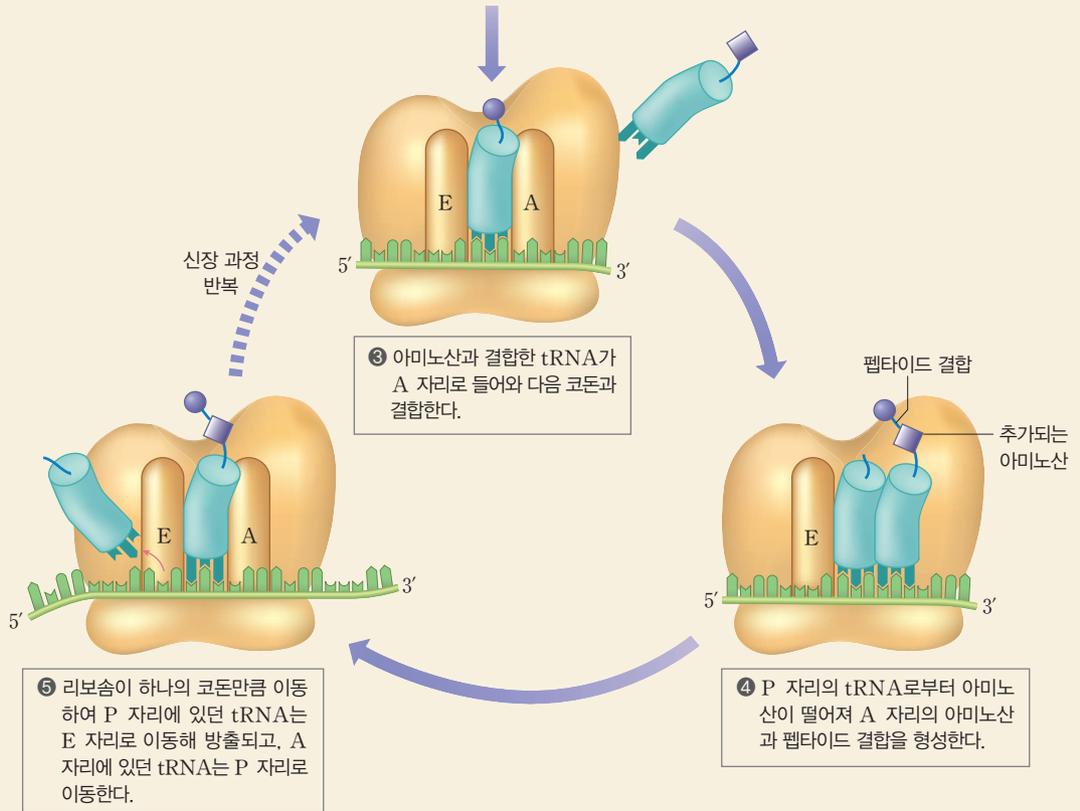
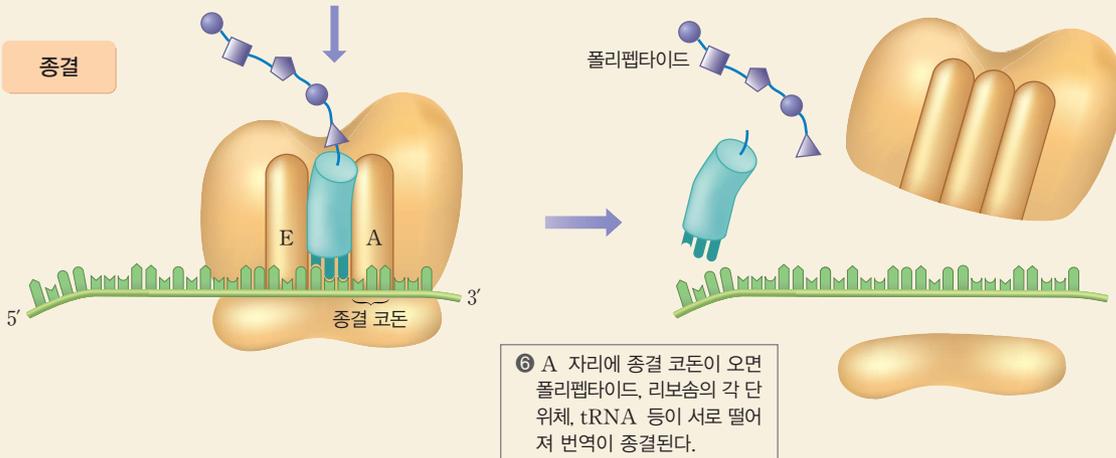


그림 IV-13 번역 과정 번역은 개시, 신장, 종결 단계의 순서로 진행된다.

신장



종결



# 4



## 유전부호의 이해

학습  
목표

- 유전부호를 이해하고 설명할 수 있다.
- 유전부호를 사용하여 유전 정보를 해독할 수 있다.

정보 통신에 이용되는 디지털 정보에서는 0과 1, 단 두 개의 숫자만을 조합하여 모든 정보를 표현한다. 생물의 유전 정보도 4종류 염기의 조합으로 표현된다. 핵산의 염기 조합은 어떻게 유전 정보를 나타낼까?



### 3염기 조합

DNA의 유전 정보를 나타내는 단위로, 트리플렛 코드라고도 한다.

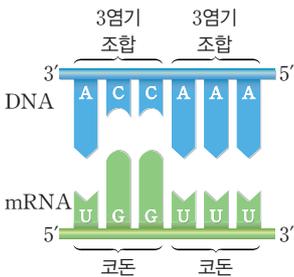


그림 IV-14 3염기 조합과 코돈

DNA의 유전 정보는 그림 IV-14와 같이 연속된 염기 3개가 하나의 **유전부호**로 작용한다. 이를 3염기 조합이라 하고, 여기에 상보적인 mRNA의 유전부호를 코돈이라고 한다. mRNA를 구성하는 염기는 4종류이므로 이것을 3개씩 조합하면 그림 IV-15와 같이 64(=4<sup>3</sup>)종류의 코돈이 만들어진다. 이 중에서 61개는 아미노산을 지정하고, 3개는 아미노산을 지정하지 않는다. 번역 과정에서 아미노산을 지정하지 않는 코돈 UAA, UAG, UGA가 나오면 단백질 합성이 끝나므로 이 코돈들을 종결 코돈이라고 한다. AUG는 단백질 합성을 시작하는 개시 코돈인 동시에 메싸이오닌을 지정하는 코돈이다.

유전부호는 대부분 생물에서 동일하므로 생물이 공통 조상으로부터 진화해 왔다는 증거가 되기도 한다.

### 창의 융합 사고

GCU, GCC, GCA, GCG는 모두 알라닌을 지정하는 코돈들이다. 이 코돈들이 모두 같은 아미노산을 지정하는 것이 유전자 발현 과정에서 장점이 될 수 있는지 생각해 보자.

### 두 번째 염기

		두 번째 염기											
		U	C	A	G								
U	UUU	페닐알라닌	UCU	UAC	타이로신	UGU	시스테인						
	UUC												
	UUA							류신	UCA	UAA	종결 코돈	UGA	종결 코돈
	UUG												
C	CUU	류신	CCU	CAC	히스티딘	CGU	아르지닌						
	CUC												
	CUA							글루타민	CAA	CGA	아르지닌		
	CUG											CCG	CAG
A	AUU	아이소류신	ACU	AAC	아스파라진	AGU	세린						
	AUC												
	AUA							메싸이오닌 (개시 코돈)	ACA	AAA	라이신	AGA	아르지닌
	AUG												
G	GUU	발린	GCU	GAC	아스파르트산	GGU	글리신						
	GUC												
	GUA							알라닌	GCA	GAA	글루탐산	GGA	
	GUG												GCG

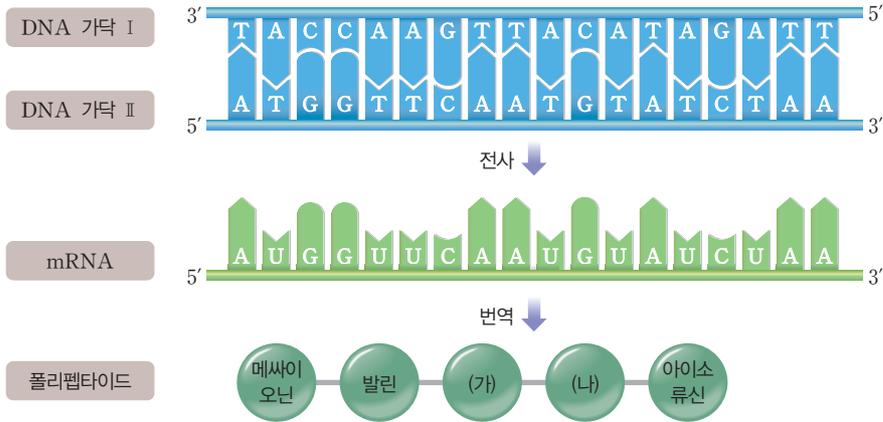
그림 IV-15 코돈표

DNA로부터 mRNA가 전사되고 폴리펩타이드가 합성되는 과정을 알아보자.

자료 해석 해 보기 유전 정보의 해독 과정



그림은 DNA로부터 mRNA가 전사된 후 폴리펩타이드로 번역되는 과정을 나타낸 것이다.



1. DNA 가닥 I과 II 중 mRNA 합성에 이용된 주형 가닥은 어느 것인가?  
.....
2. 130쪽의 그림 IV-15를 참고하여 폴리펩타이드의 (가), (나)에 해당하는 아미노산을 각각 써 보자.  
.....
3. 번역 과정에서 메싸이오닌을 운반하는 tRNA의 안티코돈을 써 보자.  
.....
4. DNA 가닥 I의 12번째 염기 A이 T으로 바뀌는 돌연변이가 일어나면 어떤 결과가 나타날지 토의해 보자.  
.....

한 종류의 mRNA가 번역되어 합성되는 폴리펩타이드들의 아미노산 서열은 모두 같아야 하므로 번역의 시작과 끝이 달라지지 않도록 개시 코돈과 종결 코돈이 사용된다.

핵심 개념 확인하기

- 1 아미노산을 지정하지 않아서 단백질 합성이 끝나게 하는 코돈을 ( )이라고 한다.
- 2 창의 융합 사고 | 메싸이오닌 – 세린 – 아르지닌 – 글루탐산 – 라이신으로 이루어진 폴리펩타이드가 합성될 수 있는 mRNA의 염기 서열은 몇 가지일지 생각해 보자.

- 다음 개념을 이해하였는지 ✓표를 하면서 확인해 보자.
- 유전부호
- 유전 정보의 해독

준비물

- 단백질 합성 기구 모형 (부록 221쪽)
- 가위       칼
- 풀       연필

유의할 점

단백질 합성 기구 모형을 가위로 오리거나 칼로 자를 때 손을 다치지 않도록 주의한다.

개시 코돈은 AUG이고, 종결 코돈에는 UAA, UAG, UGA의 3가지가 있어요.

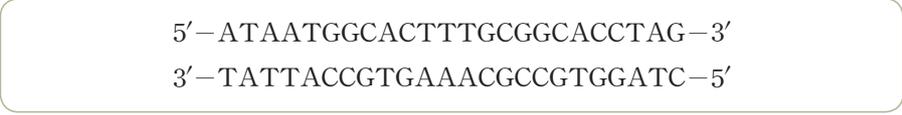


목표

모의 활동을 통해 중심 원리에 따른 유전 정보 흐름을 설명할 수 있다.

과정

- ① 다음은 어떤 유전자의 DNA 이중 가닥의 염기 서열을 나타낸 것이다. 두 가닥 중 전사에 이용되는 주형 가닥을 찾아보자. 전사된 mRNA에는 개시 코돈이 존재한다.



- ② 부록에 있는 mRNA, 리보솜, 아미노산, tRNA 모형을 모두 오려 낸 후 붉은색 실선을 칼로 잘라 홈을 만든다.
- ③ mRNA 모형에 과정 ①에서 선택한 주형 가닥이 전사되어 합성된 mRNA의 염기 서열을 적는다.
- ④ 130쪽의 그림 IV-15를 참고하여 아미노산 모형의 R기 아래의 홈에 각 아미노산을 운반하는 tRNA를 끼운다.
- ⑤ mRNA의 염기 서열이 보이도록 mRNA 모형을 리보솜 모형의 홈에 끼운 다음, mRNA의 개시 코돈이 리보솜의 P 자리에 위치하도록 한다.
- ⑥ 개시 tRNA가 리보솜의 P 자리에, 두 번째 tRNA가 리보솜의 A 자리에 위치하도록 tRNA 모형을 mRNA 모형의 홈에 끼운다.





# 5



## 전사 조절 과정

학습  
목표

- 원핵생물의 전사 조절 과정을 설명할 수 있다.
- 진핵생물의 전사 조절 과정을 원핵생물과 비교하여 설명할 수 있다.

대장균을 배양할 때 배지에 포도당이 있으면 대장균이 활발하게 증식한다. 그런데 배지에 포도당이 없고 젖당이 있어도 대장균은 잘 증식한다. 그 까닭은 무엇일까?



### 원핵생물의 전사 조절

원핵생물은 단세포 생물이므로 환경의 변화에 빨리 적응해야 에너지와 자원을 절약할 수 있고 생존에 유리하다. 따라서 원핵생물에서는 물질대사에 필요한 효소들이 동시에 합성될 수 있도록 전사가 조절된다.

원핵생물인 대장균이 젖당을 물질대사에 이용하려면 젖당의 분해와 이동에 관여하는 효소들이 필요하다. 이 효소들을 암호화하고 있는 구조 유전자들은 대장균의 염색체에서 인접하여 배열되어 있고, 하나의 프로모터에 의해 한꺼번에 전사된다. 프로모터와 구조 유전자 사이에는 억제 단백질이 결합하는 작동 부위가 있다. 작동 부위에 억제 단백질이 결합하면 RNA 중합효소가 프로모터에 결합하지 못하므로 구조 유전자가 전사되지 않는다.

이처럼 프로모터, 작동 부위, 구조 유전자가 나란히 존재하여 하나의 전사 단위로 묶여 있는 유전자 집단을 **오페론**이라고 한다. 특히 그림 IV-16과 같이 젖당 이용에 필요한 효소 유전자들을 포함하는 오페론을 **젖당 오페론**이라고 한다. 젖당 오페론의 앞쪽에는 조절 유전자가 있는데, 조절 유전자는 작동 부위에 결합하는 억제 단백질을 암호화한다.

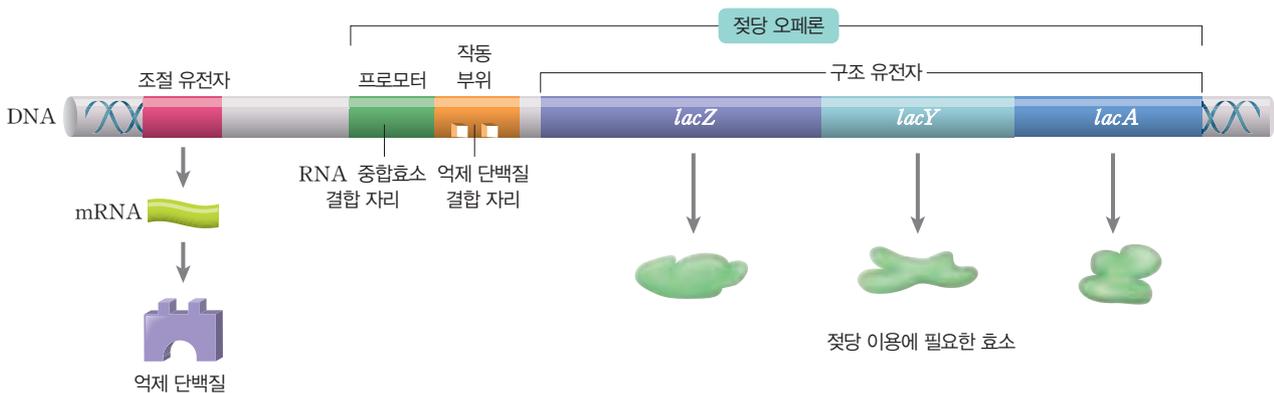


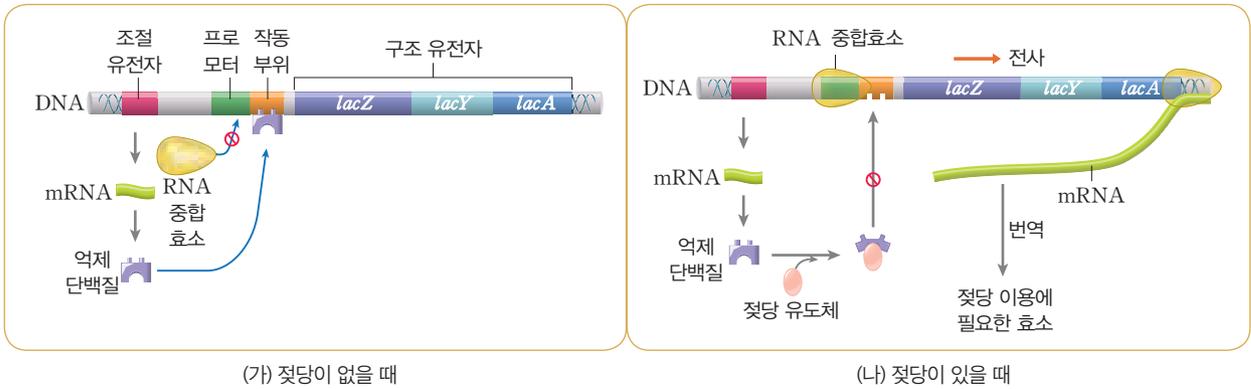
그림 IV-16 젖당 오페론의 구조와 조절 유전자

대장균은 포도당이 있을 때는 포도당을 먼저 이용하여 에너지를 얻지만, 포도당을 모두 소모하고 젖당만 있을 때는 젖당을 분해하여 에너지를 얻을 수 있다. 환경 조건이 다를 때 대장균에서 젖당 오페론의 전사가 어떻게 조절되는지 알아보자.

자료 해석 해 보기 젖당 오페론의 전사 조절 과정



그림은 대장균에서 젖당의 유무에 따른 젖당 오페론의 전사 조절 과정을 나타낸 것이다.



1. 억제 단백질이 합성되는 시기와 억제 단백질의 기능을 설명해 보자.



2. (가)에서는 구조 유전자가 전사되지 않고, (나)에서는 구조 유전자가 전사되도록 조절되는 과정을 설명해 보자.



3. 작동 부위에 돌연변이가 일어나 억제 단백질이 작동 부위에 결합하지 못할 때 구조 유전자의 전사는 어떻게 될지 설명해 보자.



젖당 유도체

젖당이 세포 내부로 들어갈 때 만들어진 젖당의 변형 물질

원핵생물의 전사 조절에서는 젖당 오페론처럼 분해할 물질이 있을 때 전사가 일어나는 경우도 있지만, 특정 물질이 충분하면 전사가 중단되어 그 물질이 더는 합성되지 않도록 하는 경우도 있다.

핵심 개념 확인하기

- 1 원핵생물에서 하나의 프로모터에 의해 전사가 조절되는 유전자 집단을 무엇이라고 하는가?
- 2 대장균을 배양할 때 젖당 오페론의 구조 유전자가 전사되는 조건을 설명해 보자.

- 다음 개념을 이해하였는지 ✓ 표를 하면서 확인해 보자.
- 젖당 오페론

## 진핵생물의 전사 조절

### 사람의 유전자 발현 정도

특정 시기에 특정 세포에서 발현되는 유전자는 전체의 20% 정도이다.

### 염색질

DNA가 히스톤 단백질 등과 결합한 구조로, 뉴클레오솜이 기본 단위이다.

진핵생물에서 발생이 정상적으로 진행되어 각 세포가 기능을 획득하고 유지하기 위해서는 적절한 시기에 서로 다른 유전자가 발현되어야 한다. 따라서 진핵생물은 원핵생물보다 훨씬 복잡하고 다양한 전사 조절 과정을 거친다.

진핵생물에서는 원핵생물과 달리 염색질이 그림 IV-17과 같이 핵 안에서 응축된 상태로 존재한다. 심하게 응축된 부위의 유전자는 전사가 일어나기 어려우므로 염색질의 응축을 푸는 과정을 통해 유전자의 전사를 조절할 수 있다.

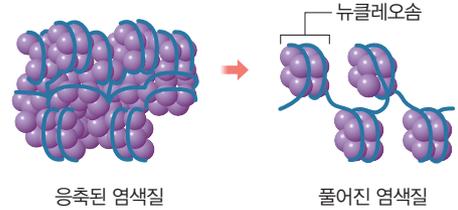


그림 IV-17 염색질의 변화

그림 IV-18과 같이 유전자에서 프로모터의 앞쪽에는 여러 종류의 **조절 부위**가 있다. 조절 부위는 **전사 인자**가 결합하는 DNA 염기 서열로, 유전자에 따라 차이가 난다. 전사 인자는 조절 부위에 결합하거나 전사 개시 복합체 구성에 관여하는 단백질이다. 조절 부위에 전사 인자가 특이적으로 결합하고, 여러 전사 인자와 RNA 중합효소가 전사 개시 복합체를 형성하면 전사가 시작된다.

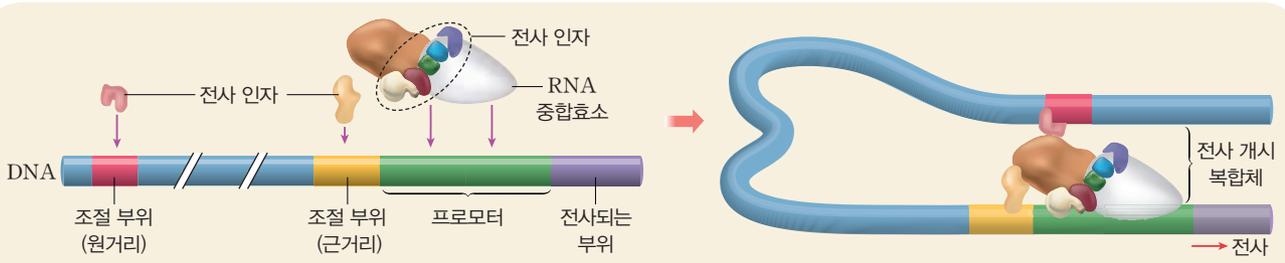


그림 IV-18 진핵생물에서 전사 개시 복합체의 형성 전사 개시 복합체는 여러 전사 인자와 RNA 중합효소가 결합한 형태이다.

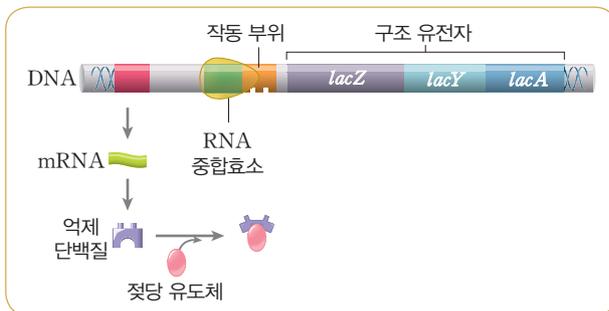
원핵생물과 진핵생물의 전사 조절 과정이 어떻게 다른지 비교해 보자.

### 자료 해 보기

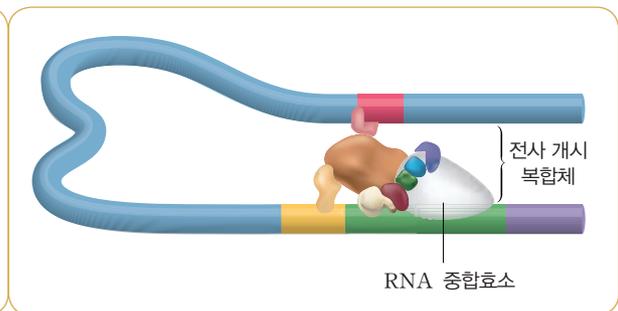
### 원핵생물과 진핵생물의 전사 조절 과정 비교



그림은 원핵생물과 진핵생물의 세포에서 전사가 시작되는 모습을 각각 나타낸 것이다.



▲ 원핵생물(대장균)



▲ 진핵생물

1. 원핵생물과 진핵생물에서 전사가 시작되기 위해 공통으로 필요한 단계는 무엇인지 설명해 보자.



2. 원핵생물과 진핵생물의 전사 조절 과정을 비교하여 어떤 차이가 있는지 정리해 보자.



원핵생물에서는 전사와 번역이 세포질에서 동시에 일어난다. 그러나 진핵생물에서 전사는 핵 안에서 일어나고, 번역은 세포질에서 일어난다. 따라서 전사된 진핵생물의 mRNA는 원핵생물의 mRNA와 달리 핵 안에서 가공 과정을 거친 후 세포질로 이동하여 단백질 합성에 이용된다.

### 자료실 원핵생물과 진핵생물의 유전자 발현 과정 비교

원핵생물에서는 통합적으로 조절되어야 하는 유전자들이 오페론을 이루어 함께 발현된다. 진핵생물에서는 수많은 유전자들 각각이 세포의 종류와 시기에 따라 선택적으로 발현되며, 전사 전 과정, 전사 과정, 전사 후 가공 과정, 번역 과정의 모든 단계에서 유전자 발현이 조절될 수 있다.

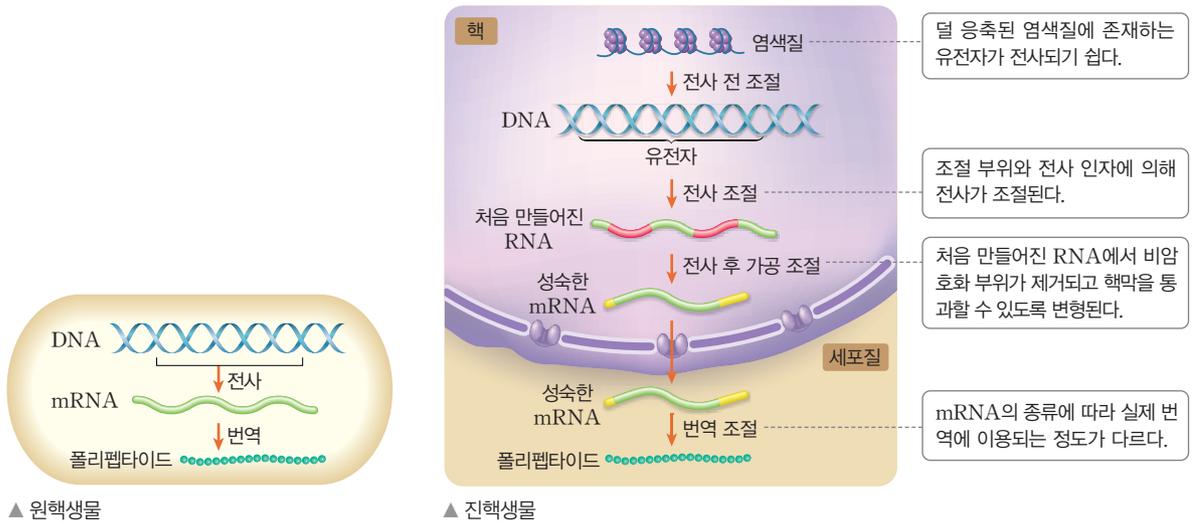


그림 IV-19 원핵생물과 진핵생물의 유전자 발현 과정

### 핵심 개념 확인하기

- 1 진핵생물의 전사 조절에서 조절 부위에 결합하여 전사를 조절하는 물질을 무엇이라고 하는가?
- 2 진핵생물에서는 ( )을/를 형성하면서 유전자의 전사가 시작된다.
- 3 **창의 융합 사고** | 진핵생물에서 각기 다른 기능을 수행하는 세포는 서로 다른 유전자가 전사되어야 한다. 이처럼 전사가 조절될 수 있는 까닭을 설명해 보자.

- 다음 개념을 이해하였는지 ✓ 표를 하면서 확인해 보자.
- 진핵생물의 전사 조절

# 6



## 발생 과정에서의 유전자 발현 조절

학습 목표

- 진핵생물의 세포 분화에서 유전자 발현 조절 과정을 설명할 수 있다.
- 진핵생물의 발생 초기 단계에서 유전자 발현 조절 사례를 설명할 수 있다.

개구리의 수정란이 올챙이가 되기까지는 단 4일이 걸린다. 이 시간 동안 올챙이의 머리 부분과 꼬리 부분의 방향이 정해지고 배에는 창자가 만들어지며, 머리 쪽에 눈과 입이 만들어진다. 올챙이의 각 기관 발생은 어떻게 결정될까?



개체의 발생은 중학교 과학의 '생식과 유전' 단원과 연계됩니다.

### 세포 분화

구조와 기능이 특수화된 서로 다른 종류의 세포가 만들어지는 과정

진핵생물은 발생 과정에서 세포들이 각기 다른 형태를 가지고 특정 기능을 수행하도록 분화되어야 하며, 세포 분화는 유전자 발현 조절의 차이로 일어난다.

유전자가 발현되려면 전사 인자가 필요하며, 전사 인자를 암호화하는 유전자를 **조절 유전자**라고 한다. 조절 유전자가 발현되어 전사 인자가 합성되면, 이 전사 인자에 의해 다른 조절 유전자가 발현되는 과정이 연속적으로 일어난다. 이때 세포의 발생 운명을 결정하는 상위 단계의 조절 유전자를 **핵심 조절 유전자**라고 하며, 세포 분화는 어떤 전사 인자가 합성되어 전사를 조절하는가에 따라 달라진다.

예를 들어 근육 세포는 **그림 IV-20**과 같이 핵심 조절 유전자인 마이오디(MyoD) 유전자가 발현되면서 발생 운명이 결정된다.

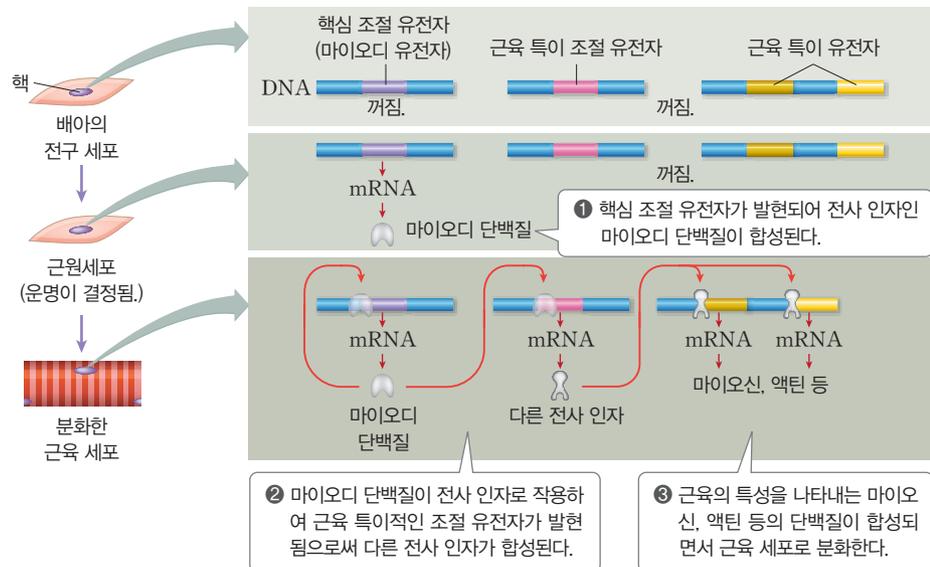


그림 IV-20 근육 세포의 분화 과정 핵심 조절 유전자인 마이오디 유전자가 발현되면 근육 세포로의 발생 운명이 결정된다.

동물은 발생 초기 단계에서 몸의 각 기관이 정확한 위치에 형성되어야 하는데, 이 과정에 관여하는 유전자를 **혹스 유전자**라고 한다.

초파리의 경우 먼저 머리와 꼬리의 방향이 정해지고, 배아 단계에서 몸의 체절이 형성된다. 그다음 단계에서 각 체절에 적절한 기관이 형성되는데, 혹스 유전자는 각 체절에 있는 세포의 발생 운명을 결정하는 전사 인자를 암호화한다.

초파리는 그림 IV-21과 같이 3번 염색체에 혹스 유전자 8개가 배열되어 있는데, 혹스 유전자들은 각각의 유전자가 기능을 결정할 체절들과 같은 순서로 배열되어 있다. 혹스 유전자로부터 합성된 전사 인자에 의해 특정 유전자의 발현이 조절되고, 그 결과 몸의 정확한 위치에 고유한 기능을 수행하기에 적합한 기관이 형성된다.

**체절**

동물의 몸에서 머리-꼬리 방향성을 따라 반복해서 형성되는 구조이다. 초파리의 경우 눈은 머리 체절에서, 날개는 가슴 체절에서 만들어진다.

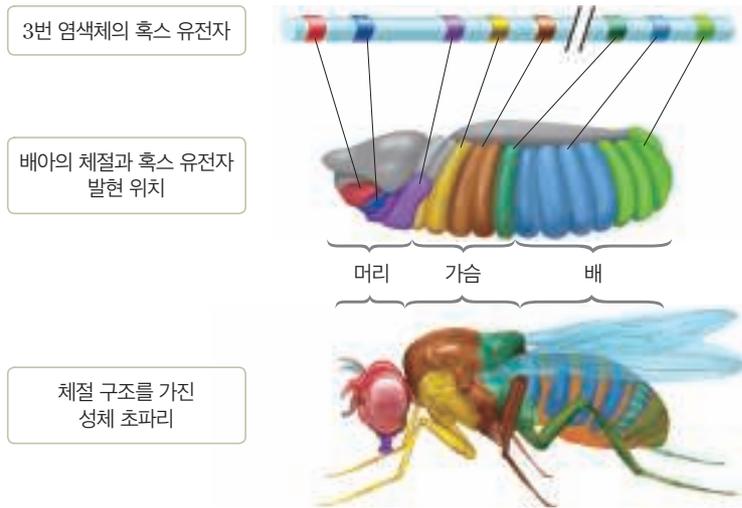
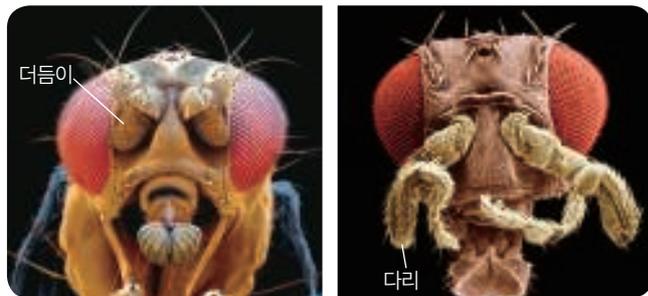


그림 IV-21 초파리 혹스 유전자의 발현 혹스 유전자의 배열 순서는 주로 영향을 미치는 체절의 순서와 같다.

혹스 유전자가 동물의 기관 발생 과정에서 어떤 조절을 하는지는 혹스 유전자의 돌연변이를 통해 밝혀졌다. 초파리의 경우 가슴 체절에서 다리 형성에 관여하는 혹스 유전자에 돌연변이가 일어나면 그림 IV-22와 같이 더듬이가 생겨야 할 부위에 다리가 생긴다. 또, 가슴 체절에서 날개 형성에 관여하는 혹스 유전자에 돌연변이가 일어나면 그림 IV-23과 같이 2쌍의 날개를 가진 초파리가 생긴다.



▲ 정상 초파리 ▲ 더듬이 대신 다리가 생긴 초파리

그림 IV-22 초파리의 비정상적인 다리 형성



▲ 정상 초파리 ▲ 2쌍의 날개를 가진 초파리

그림 IV-23 초파리의 비정상적인 날개 형성

동물 대부분은 흑스 유전자를 가지고 있는 것으로 알려졌다. 척추동물인 생쥐나 사람은 4개의 염색체에 흑스 유전자가 반복해서 배열되어 있는데, 흑스 유전자의 종류와 염색체에 배열된 순서가 초파리와 비슷하다. 초파리와 생쥐의 흑스 유전자를 비교해 보자.

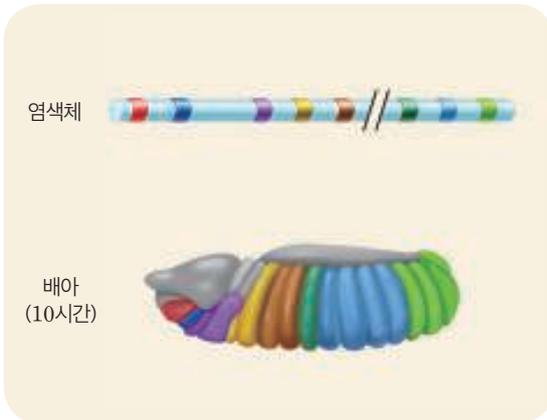
자료  
해석

해 보기

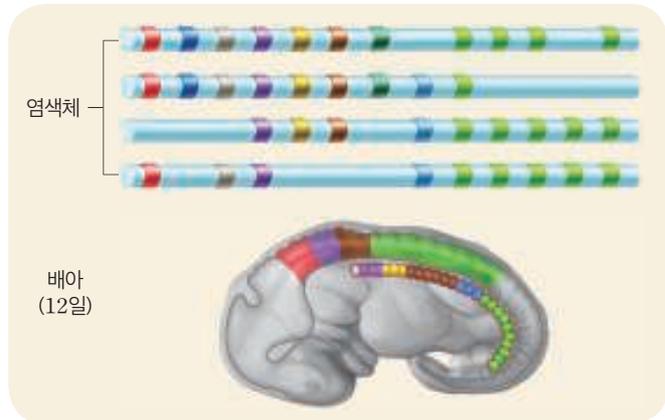
초파리와 생쥐의 흑스 유전자 비교



그림은 초파리와 생쥐의 염색체에 흑스 유전자가 배열된 모습 및 초파리와 생쥐의 배아에서 흑스 유전자의 발현 위치를 나타낸 것이다.



▲ 초파리



▲ 생쥐

1. 초파리와 생쥐의 흑스 유전자의 공통점과 차이점을 정리해 보자.

.....

2. 서로 다른 종인 초파리와 생쥐가 같은 종류의 흑스 유전자를 가진 것을 통해 알 수 있는 사실을 설명해 보자.

.....

흑스 유전자는 종과 상관없이 유사한 방식으로 기관 형성이 이루어지도록 발생 과정에 영향을 미치므로 동물이 공통 조상으로부터 진화해 왔다는 증거가 되기도 한다.

핵심 개념 확인하기

- 1 전사 인자를 암호화하는 유전자 중 세포의 발생 운명을 결정하는 유전자를 무엇이라고 하는가?
- 2 동물의 초기 발생 과정에서 각 기관이 정확한 위치에 형성되는 데 관여하는 유전자를 무엇이라고 하는가?
- 3 **창의 융합 사고** | 초파리의 배아에서 다리가 형성될 부위에 눈 형성에 관여하는 핵심 조절 유전자가 과다 발현되도록 하면 어떤 결과가 나타날지 예측하고, 그 까닭을 설명해 보자.

- 다음 개념을 이해하였는지  표를 하면서 확인해 보자.
- 핵심 조절 유전자
- 흑스 유전자

목표

유전자 발현 조절 및 발생과 관련된 최신 연구 자료를 조사하여 발표할 수 있다.

과정

다음은 식물에서의 유전자 발현 조절과 관련된 설명이다.

식물의 발생 과정에서 꽃 구조 형성에 관여하는 유전자의 연구는 주로 애기장대를 이용하여 이루어졌다. 애기장대의 꽃 구조 형성에는 3가지의 핵심 조절 유전자가 관여하며, 이 유전자들이 다양한 조합으로 발현되어 꽃받침, 꽃잎, 수술, 암술이 각각 형성된다.

조사 활동에 도움이 되는 기관

- 생물학 연구 정보 센터  
www.ibric.org
- 사이언스데일리  
www.sciencedaily.com
- 사이언스온  
scienceon.hani.co.kr



▲ 애기장대의 꽃

- 1 애기장대의 꽃 구조 형성에 관여하는 유전자의 발현이 조절되는 과정을 조사해 보자.
- 2 유전자 발현 조절과 관련된 다른 최신 연구 사례를 조사해 보자.

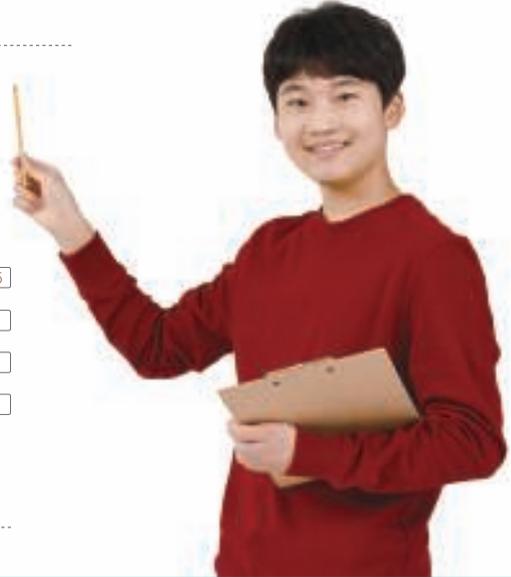
정리

1. 애기장대의 꽃잎과 수술이 형성되려면 각각 어떤 유전자가 발현되어야 하는가? 또, 어떤 경우에 수술이 없고 꽃잎의 수가 많은 꽃이 필지 생각해 보자.

.....

2. 과정 2에서 조사한 사례 중에서 발생과 관련된 것을 정리하여 발표해 보자.

.....



평가하기

- 애기장대의 꽃 구조 형성에 관여하는 유전자의 발현 조절 과정을 설명할 수 있는가?  1  2  3  4  5
- 유전자 발현 조절과 관련된 최신 연구 사례 조사에 적극적으로 참여하였는가?
- 발표 준비를 성실히 하고, 다른 친구의 발표를 집중해서 잘 들었는가?

활동 후기 | 이 활동에서 어떤 것을 배웠는지 자유롭게 적어 보자.

.....



# 생물 정보학자



생물 정보학(bioinformatics)은 생명 과학과 정보학이 융합된 학문으로, 컴퓨터를 이용하여 다양한 생물의 방대한 유전 정보를 처리함으로써 생명 현상을 연구하는 분야이다.

생물 정보학자는 유전자와 단백질의 구조와 기능에 관한 정보를 저장하는 데이터베이스(DB)를 만들고, 이것을 사용자에게 제공하기 위한 도구를 개발한다. 또, 데이터베이스의 정보를 분석하여 유전자와 단백질의 기능을 예측하고, 서로 다른 종의 유전체를 비교하여 공통된 유전자를 찾아내거나, 같은 종 내에서 유전자의 염기 서열을 비교하여 돌연변이와 질병의 상관관계를 밝히는 연구도 한다.

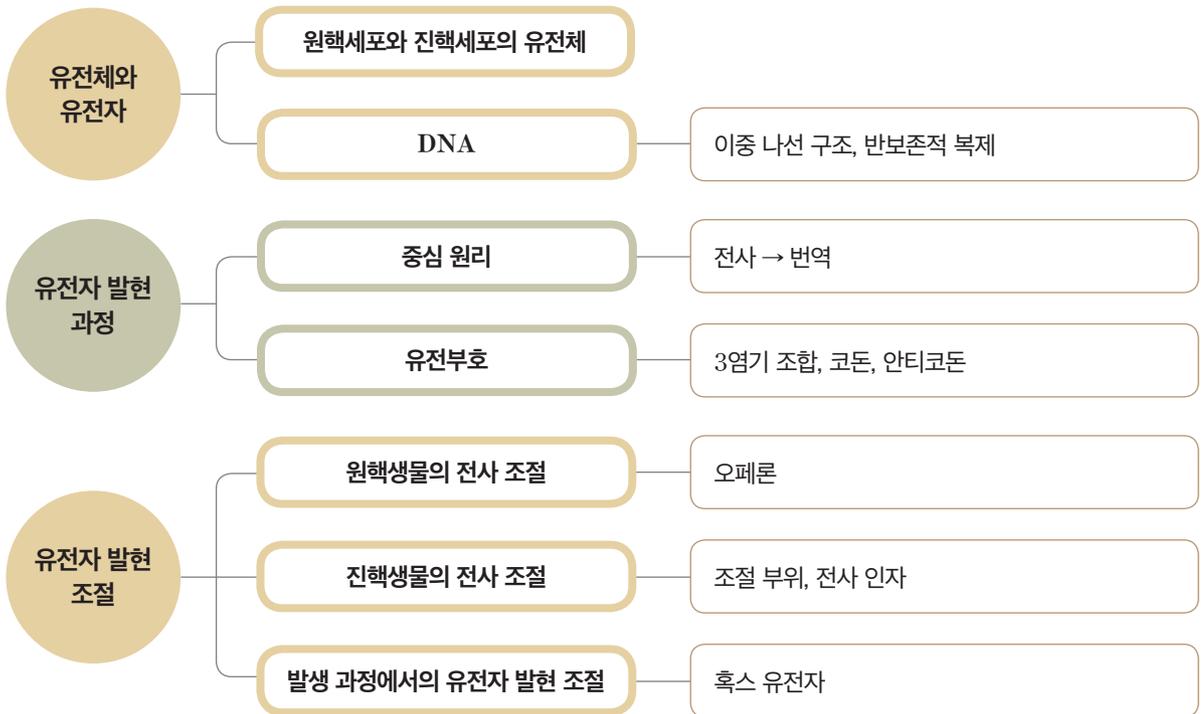
생물 정보학자가 되기 위해서는 유전자 발현 등 생명 과학 분야의 기본 지식이 있어야 하며, 통신망 장비를 관리하고 소프트웨어를 개발할 수 있는 컴퓨터 프로그래밍 능력이 있어야 한다. 또, 정보를 분석하고 해석하는 논리력, 빠르게 변화하는 IT 기술에 대한 적응력 등도 필요하다. 생명 과학의 발전과 함께 생물 정보학의 중요성이 커지고 있으며, 생물 정보학에 대한 국가의 투자와 지원이 확대되고 있으므로 직업으로서 생물 정보학자의 전망은 밝다고 할 수 있다.

**💡 핵심 역량 펼치기** 생물 정보학을 이용하여 질병을 연구하는 방법과 그 사례를 조사해 보자.





🌀 핵심 개념 정리하기



🌀 핵심 개념 적용하기

01 다음 설명 중 옳은 것은 ○표, 옳지 않은 것은 ×표를 해 보자.

- (1) 원핵세포의 유전자는 단백질을 암호화하는 부위로만 이루어져 있고, 진핵세포의 유전자에는 단백질을 암호화하지 않는 부위도 있다. (○, ×)
- (2) DNA는 반보존적으로 복제되며, 새로운 DNA 가닥이 합성되는 방향은 항상 5' → 3'이다. (○, ×)
- (3) 전사가 일어날 때 RNA 중합효소는 주형 가닥에 상보적인 염기를 가진 리보뉴클레오타이드를 프라이머에 차례대로 연결한다. (○, ×)
- (4) 종결 코돈으로 전사되는 주형 가닥 DNA의 3염기 조합은 5'-CAT-3'이다. (○, ×)
- (5) 오페론은 조절 유전자와 프로모터, 구조 유전자로 이루어져 있다. (○, ×)
- (6) 혹스 유전자는 몸의 각 체절에 있는 세포의 발생 운명을 결정하는 전사 인자를 암호화한다. (○, ×)



1. 유전체와 유전자 ㉠ 114쪽

02 진핵생물의 유전체가 원핵생물의 유전체와 다른 점으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

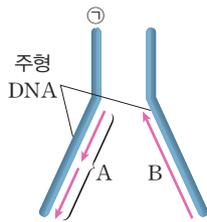
<보기>

- ㄱ. 선형의 염색체로 이루어져 있다.
- ㄴ. 일반적으로 유전체 크기가 더 크다.
- ㄷ. 하나의 DNA에서 유전자가 차지하는 비율이 높다.

- ① ㄴ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄱ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

2. DNA 복제 ㉡ 118쪽

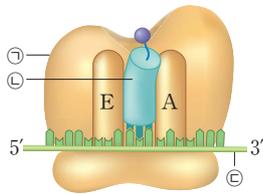
03 그림은 주형 DNA로부터 새로운 DNA 가닥 A, B가 합성되는 과정을 나타낸 것이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것은?



- ① ㉠은 5' 말단이다.
- ② A는 선도 가닥이다.
- ③ B는 불연속적으로 합성된다.
- ④ A의 합성 과정에서 DNA 연결 효소가 사용된다.
- ⑤ B의 합성 과정에 RNA 중합효소가 필요하다.

3. 유전자 발현 ㉢ 124쪽

04 그림은 유전자 발현 과정 중 번역이 일어나는 모습을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 골라 보자.

<보기>

- ㄱ. ㉠, ㉡, ㉢에는 모두 리보솜이 포함되어 있다.
- ㄴ. E 자리에서 펩타이드 결합이 형성된다.
- ㄷ. 아미노산과 결합한 새로운 tRNA는 A 자리로 들어와 단백질 합성에 관여한다.

4. 유전부호의 이해 ㉣ 130쪽

05 그림은 어떤 DNA의 염기 서열과 이 DNA로부터 합성된 폴리펩타이드 X의 아미노산 서열을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 개시 코돈은 AUG이고, 종결 코돈은 UAA, UAG, UGA이다.)

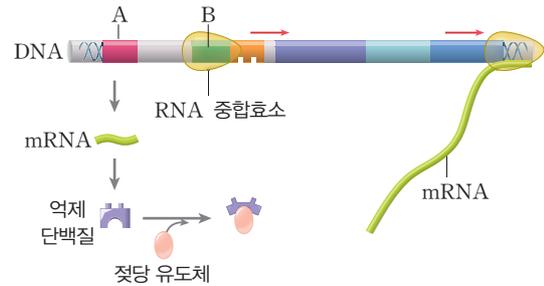
<보기>

- ㄱ. 전사된 주형 가닥은 가닥 I이다.
- ㄴ. 번역을 끝낸 mRNA의 종결 코돈은 5' - UAG - 3'이다.
- ㄷ. 폴리펩타이드 X의 합성에 참여한 tRNA는 4가지이다.

- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

5. 전사 조절 과정 ㉤ 134쪽

06 그림은 젓당이 있을 때 젓당 오페론의 작동 과정을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 골라 보자. (단, 돌연변이는 고려하지 않는다.)

<보기>

- ㄱ. A는 젓당이 있을 때만 발현되는 유전자이다.
- ㄴ. B는 프로모터이다.
- ㄷ. 젓당 오페론은 젓당이 없을 때만 발현된다.

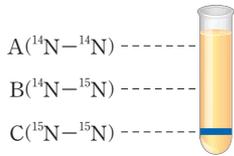
핵심 역량 키우기

1. 유전체와 유전자 114쪽

**07 과학적 사고력** 진핵생물의 유전자 구조가 원핵생물의 유전자 구조와 다른 점을 설명해 보자.

2. DNA 복제 118쪽

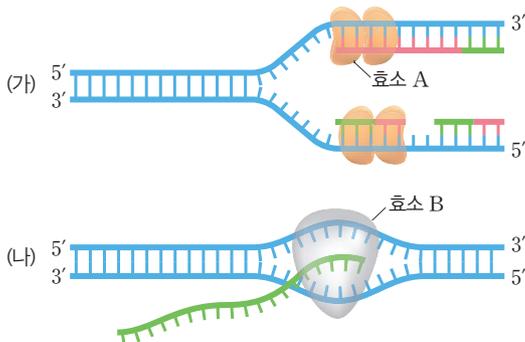
**08 과학적 탐구 능력** 그림은  $^{15}\text{N}$ 로 표지된 대장균( $G_0$ )의 DNA를 추출하여 원심 분리한 결과를 나타낸 것이다.



$G_0$ 를  $^{14}\text{N}$ 가 들어 있는 배양액으로 옮겨 두 세대 배양하여 2세대 대장균( $G_2$ )을 얻었다.  $G_2$ 의 DNA를 추출하여 원심 분리하였을 때 예상되는 결과를 DNA 복제 방식에 따라 설명하되, 위 그림의 A, B, C층에 분리되는 비율과 함께 설명해 보자.

2. DNA 복제 118쪽

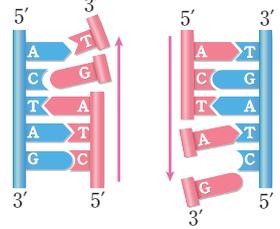
**09 과학적 문제 해결력** 그림은 대장균의 DNA에서 일어나는 두 가지 과정을 나타낸 것이다.



(가)와 (나) 과정에 관여하는 효소 A, B의 이름을 각각 쓰고, (가)와 (나) 과정의 차이점을 설명해 보자.

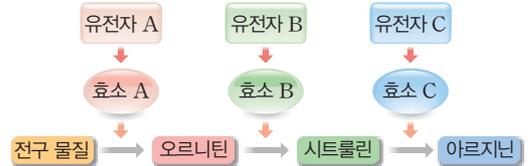
2. DNA 복제 118쪽

**10 과학적 사고력** 그림은 DNA 복제 과정을 나타낸 것이다. DNA가 복제될 때 새로운 가닥이 5' → 3' 방향으로 합성되는 까닭을 설명해 보자.



3. 유전자 발현 124쪽

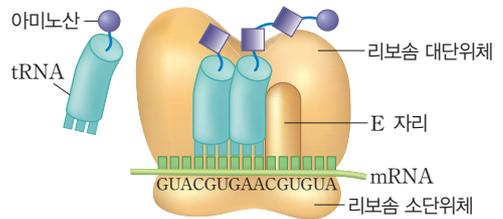
**11 과학적 사고력** 그림은 야생형의 붉은빵곰팡이에서 아르지닌 합성에 관여하는 유전자와 효소를 나타낸 것이다.



유전자 A에 돌연변이가 일어나 효소 A가 합성되지 않는 붉은빵곰팡이가 최소 배지에서 자랄 수 있는지를 판단하고, 그 까닭을 설명해 보자.

3. 유전자 발현 124쪽

**12 과학적 문제 해결력** 그림은 단백질 합성 과정의 일부를, 표는 코돈의 일부를 나타낸 것이다.



AAG	라이신	GAA	글루탐산
AUG	메싸이오닌	GUA	발린
CGU	아르지닌	UGC	시스테인

그림에 제시된 mRNA의 염기 서열로부터 합성되는 폴리펩타이드 부위의 아미노산 서열을 써 보자.



4. 유전부호의 이해 130쪽

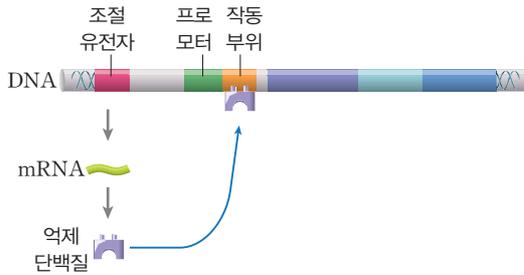
**13 과학적 탐구 능력** 표는 어떤 DNA의 염기 서열과 이 DNA로부터 전사된 mRNA의 염기 서열을 나타낸 것이다.

DNA	(가) 5' - CTACTGAGGCATTAACCG - 3'
	(나) 3' - GATGACTCCGTAATTTGGC - 5'
mRNA	(다) 5' - CGGUUUA AUGCCUCAGUAG - 3'

(다)가 전사될 때 주형으로 작용한 DNA 가닥의 기호를 쓰고, (다)가 번역되면 몇 개의 아미노산으로 이루어진 폴리펩타이드가 합성되는지 그 근거와 함께 설명해 보자. (단, 번역은 개시 코돈에서 시작하여 종결 코돈에서 끝난다.)

5. 전사 조절 과정 134쪽

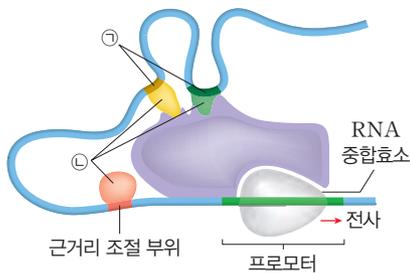
**14 과학적 사고력** 그림은 어떤 조건에서 대장균의 조절 유전자와 젓당 오페론을 나타낸 것이다.



그림과 같은 조건에서 젓당 이용에 필요한 효소가 합성되는지를 판단하고, 그 까닭을 설명해 보자.

5. 전사 조절 과정 134쪽

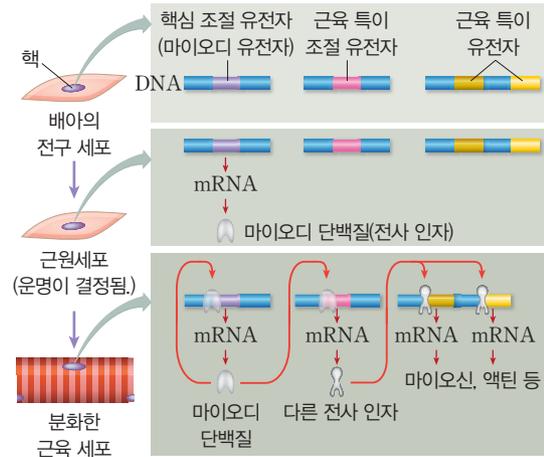
**15 과학적 탐구 능력** 그림은 진핵세포의 전사 개시 과정을 나타낸 것이다.



㉠과 ㉡의 이름을 각각 쓰고, 이들의 기능을 설명해 보자.

6. 발생 과정에서의 유전자 발현 조절 138쪽

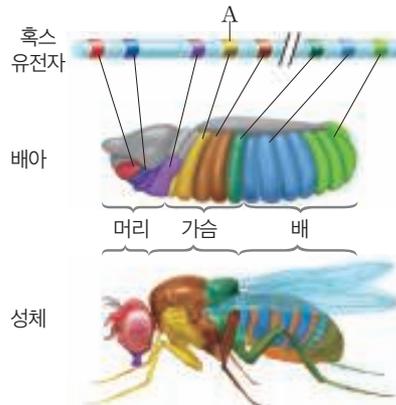
**16 과학적 문제 해결력** 그림은 핵심 조절 유전자인 마이오디(MyoD) 유전자에 의해 근육 세포가 분화하는 과정을 나타낸 것이다.



근육 세포의 분화 과정을 조절 유전자의 작용과 관련지어 설명해 보자.

6. 발생 과정에서의 유전자 발현 조절 138쪽

**17 과학적 탐구 능력** 그림은 초파리의 흑스 유전자 및 배아와 성체의 체절을 나타낸 것이다.



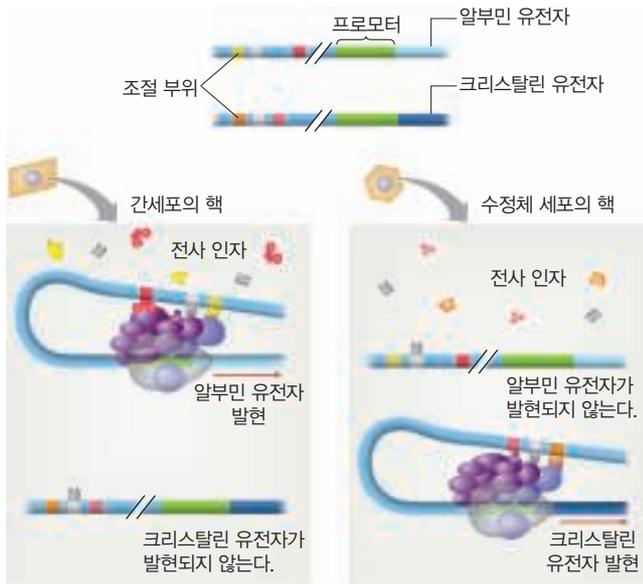
- (1) 유전자 A의 기능을 간단히 설명해 보자.
- (2) 유전자 A가 초파리의 머리 체절에서 과다 발현되었을 때 나타나는 돌연변이 개체의 특징을 설명해 보자.



18 다음은 진핵생물의 유전자 발현 과정과 관련된 자료이다.

(가) 세포에는 서로 다르게 조절되어야 하는 유전자들이 많으며, 하나의 유전자 앞쪽에 보통 10개 정도의 조절 부위가 존재한다. 그리고 조절 부위를 구성하는 염기 서열이 완전히 다른 경우도 있지만, 12개 정도의 짧은 염기 서열이 여러 다른 유전자의 조절 부위에서 반복해서 나타나기도 한다.

(나) 사람의 간세포와 수정체 세포는 모두 같은 유전자를 가지고 있지만, 서로 다른 단백질인 알부민과 크리스탈린을 각각 합성한다. 그림은 간세포와 수정체 세포에서 서로 다른 단백질이 합성되도록 유전자 발현이 조절되는 과정을 나타낸 것이다.



🔍 검색

인터넷에서 조절 부위, 전사 인자 등에 관한 정보를 더 찾아보자.

(1) 간세포와 수정체 세포에서 서로 다른 유전자가 발현되는 과정을 설명해 보자.



.....

.....

(2) 진핵생물은 원핵생물과 달리 물질대사 과정에서 동시에 발현되어야 하는 유전자들이 여러 염색체에 흩어져 있다. 그런데도 이 유전자들이 통합적으로 발현될 수 있는 원리는 무엇인지 생각해 보고 글로 써 보자.



.....

.....



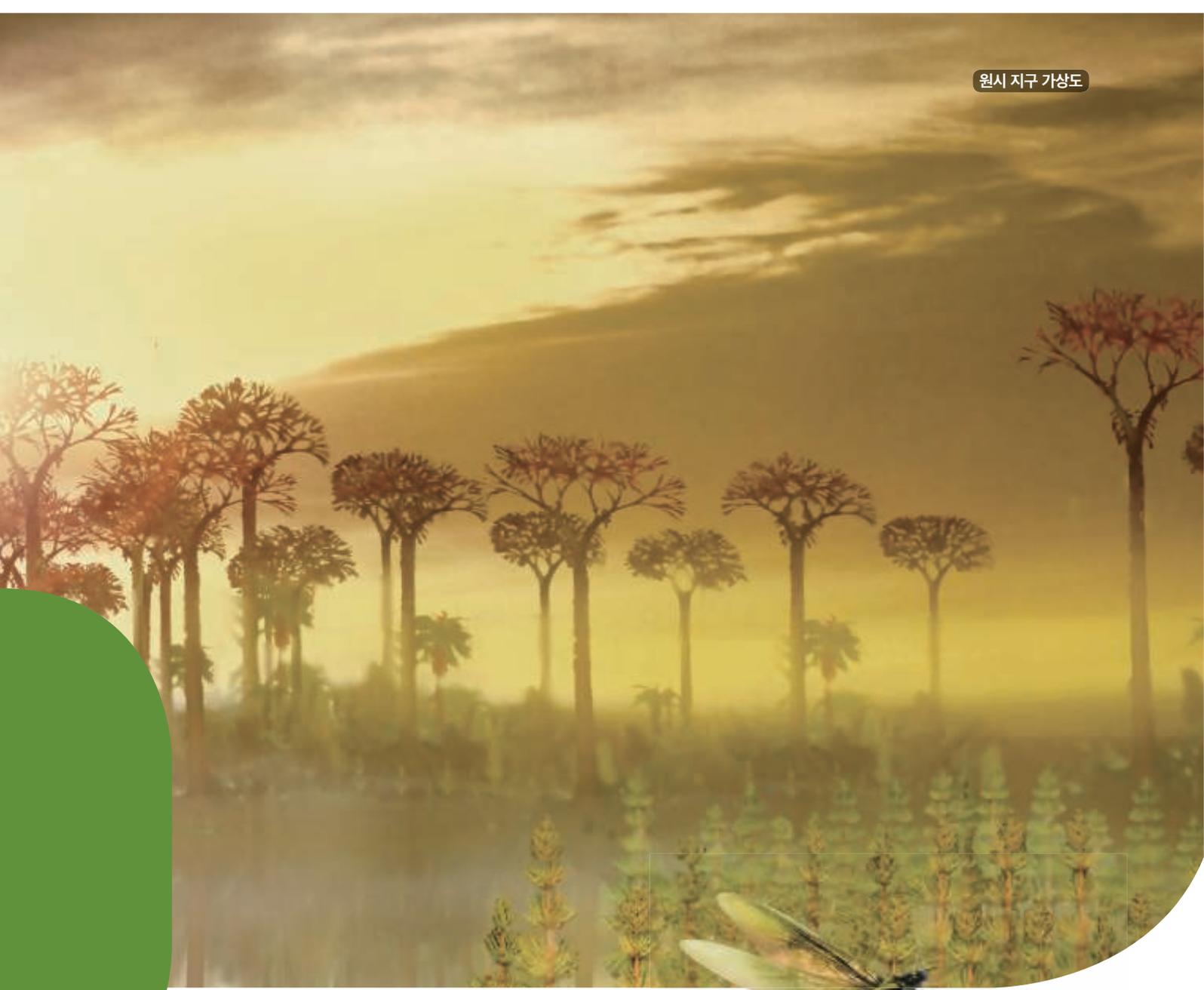


# V

## 생물의 진화와 다양성

현재 지구에서 공식적으로 명명된 생물종은 180만 종 이상이며, 이보다 더 많은 수의 생물종이 존재할 것으로 추측된다. 이와 같은 생물의 다양성은 수십억 년에 걸친 진화의 결과이다. 오늘날 우리가 볼 수 있는 생명체는 원시 지구에서 탄생한 최초의 생명체로부터 시작하여 변화하는 환경에 적응하면서 살아남은 후손들이다.

이 단원에서는 원시 지구 환경에서 최초의 생명체가 탄생하는 과정을 설명하는 화학적 진화설, 원핵생물에서 진핵생물로 진화하는 과정과 단세포 생물에서 다세포 생물로 진화하는 과정, 계통수의 개념과 이에 기초한 생물 분류, 그리고 집단 수준에서 일어나는 진화의 원리와 종분화 과정을 알아보자.



① 생명의 기원

② 진핵생물과 다세포 생물의 출현

③ 생물의 분류 체계

④ 식물과 동물의 분류

⑤ 진화의 원리

⑥ 종분화

## 생물 자원과 생물 분류

각 나라가 가지고 있는 생물 자원과 유전자원의 권리를 인정한 나고야 의정서가 2014년에 발효되었다. 나고야 의정서가 효력을 발휘함에 따라 우리나라 고유의 생물이지만 외국인에 의해 자원화된 생물 자원이 주목받고 있다.

미스킴 라일락은 북한산에서 채집된 털개회나무의 종자로부터 개발된 품종으로 미국 라일락 시장의 30%를 차지할 정도로 인기가 좋으며 우리나라 정원수 시장에 역수입되고 있다. 미국의 크리스마스트리 시장에서 높은 인기를 누리고 있는 품종 역시 우리나라의 구상나무를 개량한 것이다. 이처럼 우리 주변에서 흔히 볼 수 있는 생물이라 하더라도 유용한 자원으로 잠재적인 가치를 지닌 것들이 많다.

이러한 생물 자원을 발굴하기 위해서는 정확한 생물 분류가 필요하다.



미스킴 라일락

구상나무



상어 비늘은 표면에 생기는 물의 저항을 줄여 준다. 이 구조를 본떠 저항을 줄인 진신 수영복이 개발되었다.

청자고등은 신경 독소를 이용하여 먹이를 잡는다. 이 신경 독소인 코노톡신을 이용하여 만든 진통제는 모르핀보다 수천 배나 강한 진통 효과가 있으면서 부작용도 적다.



**1. 탐구 능력** 연잎은 물을 밀어내는 성질을 가지고 있어서 물에 젖지 않는다. 이러한 원리를 이용하여 방수성이 좋은 우산을 개발하였다. 이처럼 생물의 특징을 활용한 제품을 실생활에서 찾아보자.

\_\_\_\_\_

**2. 문제 해결력** 우리 주변에서 자원으로서의 높은 가치를 지닌 생물을 찾아 분류해 보자.

\_\_\_\_\_

**학습 계획하기**

다음의 '단원 학습'에서 알고 있는 것에 ✓표를 해 보고, 스스로 학습 계획을 세워 보자.

**선수 학습**

- » **통합과학**
  - 생물 다양성과 유지
- » **생명과학 I**
  - 생태계와 상호 작용

**단원 학습**

- |  |  |  |
|--|--|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> 원시 세포  | <input checked="" type="checkbox"/> 진핵생물과 다세포 생물의 출현 | <input checked="" type="checkbox"/> 종      |
| <input checked="" type="checkbox"/> 학명     | <input checked="" type="checkbox"/> 계통수              | <input checked="" type="checkbox"/> 3억 6계  |
| <input checked="" type="checkbox"/> 식물의 분류 | <input checked="" type="checkbox"/> 동물의 분류           | <input checked="" type="checkbox"/> 진화의 증거 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 진화의 원리 | <input checked="" type="checkbox"/> 유전적 평형           | <input checked="" type="checkbox"/> 종분화    |

나는 \_\_\_\_\_

할 수 있다.

# 1

## 생명의 기원

### 학습 목표

- 원시 세포의 탄생 과정을 설명할 수 있다.
- 외부 환경과 구별 짓는 막 형성의 중요성을 설명할 수 있다.

호주 서부 와라우나총군에서 35억 년 전에 생성된 스트로마톨라이트가 발견되었다. 이것은 가장 오래된 생명체의 화석이다. 최초의 생명체는 어떤 과정을 거쳐 생겨났을까?



### 원시 세포의 탄생 과정

원시 지구의 환경은 현재의 환경과 매우 다르고 불안정하였을 것이다. 대기 중에는 수소, 암모니아, 메테인, 수증기 등이 풍부하고 산소는 거의 없었을 것이다. 그리고 활발한 지각 활동으로 생성된 열에너지, 불안정한 대기로 인해 발생한 번개와 같은 전기 에너지, 우주에서 복사되는 자외선과 같은 복사 에너지가 풍부하게 있었을 것이다.

이러한 원시 지구 환경에서 최초의 생명체가 탄생하는 과정을 설명하는 여러 가설이 존재하는데, 오파린은 『생명의 기원』이라는 저서를 통해 **화학적 진화설**을 제안하였다. 이 가설에 따르면 그림 V-2와 같이 원시 지구의 화학적·물리적 환경으로부터 아미노산과 같은 단순한 유기물이 생성되었다. 단순한 유기물이 농축되어 복잡한 유기물이 생성되었고, 이 유기물이 모여 유기물 복합체를 형성하였다. 형성된 유기물 복합체가 스스로 분열할 수 있고 유전 물질을 전달할 수 있게 되면서 오늘날의 원핵세포와 유사한 최초의 생명체가 출현하였을 것으로 보인다.

오파린(Oparin, A. I., 1894~1980)

러시아의 생화학자로, 『생명의 기원』을 저술하였다.

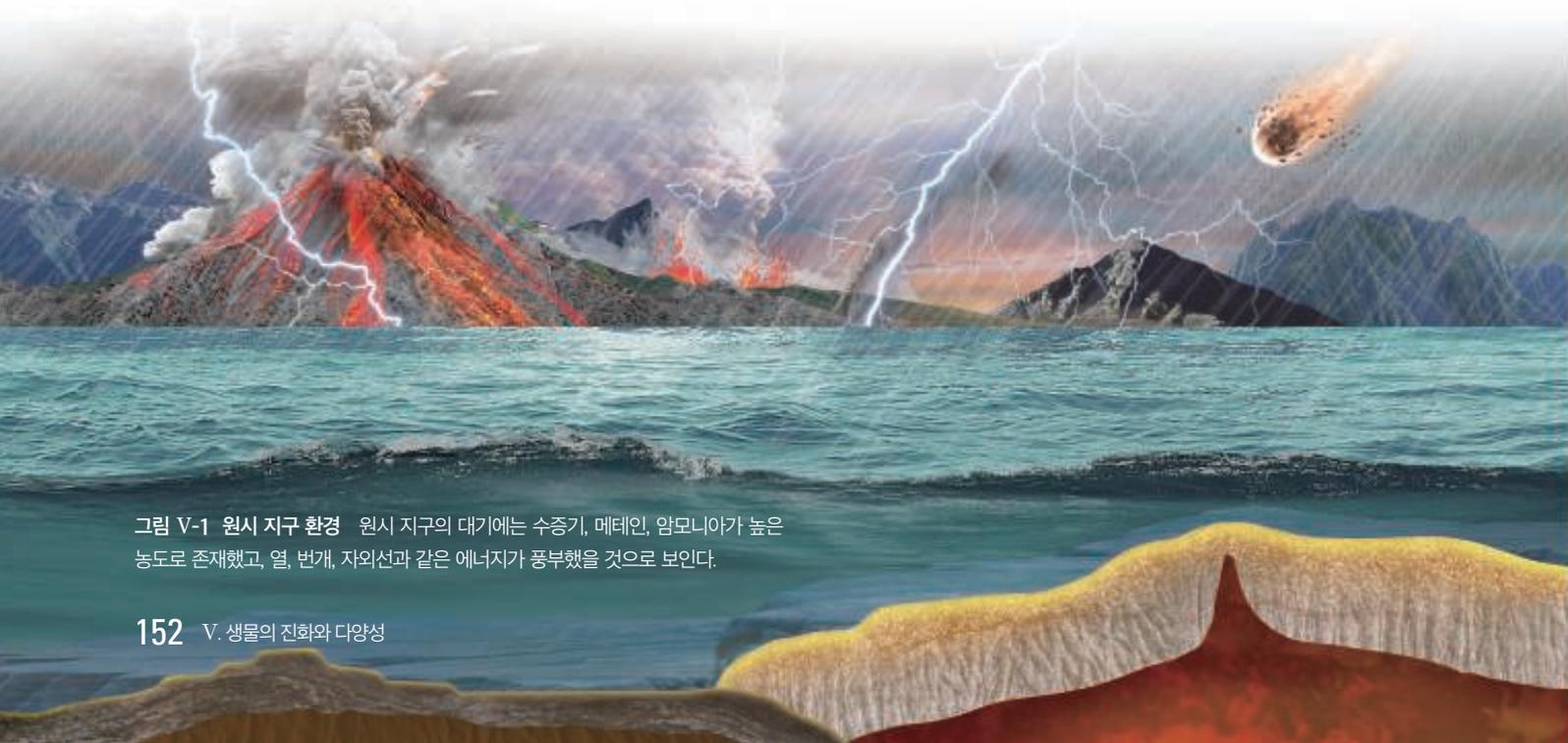


그림 V-1 원시 지구 환경 원시 지구의 대기에는 수증기, 메테인, 암모니아가 높은 농도로 존재했고, 열, 번개, 자외선과 같은 에너지가 풍부했을 것으로 보인다.

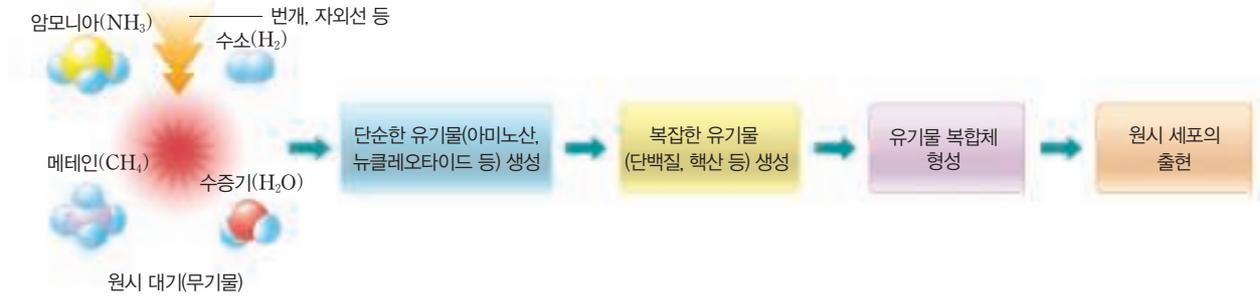


그림 V-2 오파린의 화학적 진화설에 따른 원시 세포의 출현 과정

밀러(Miller, S. L., 1930~2007)와 유리(Urey, H. C., 1893~1981)는 실험을 통해 무기물로부터 단순한 유기물이 만들어질 수 있음을 확인하여 오파린의 가설을 뒷받침하였다. 밀러와 유리의 실험을 살펴보자.

자료  
해석

### 해 보기

#### 원시 지구에서의 유기물 합성

사고력  
 탐구 능력

1953년에 밀러와 유리는 원시 지구 환경을 모방한 실험 장치를 만들고, 전기 에너지와 열에너지를 가해 주어 일주일 동안 반응을 시키면서 생성되는 물질을 살펴보았다.

1. 밀러와 유리의 실험 장치에서 원시 대기에 해당하는 것은 무엇인가?  
.....
2. U자관에 어떤 물질이 생성되었는지 조사한 후, 이를 통해 알 수 있는 사실을 써 보자.  
.....

화학적 진화설이 원시 지구 환경을 충분히 고려하지 못한다는 한계점이 있어 이를 보완하기 위해 여러 가설이 제시되었으며, 그중 하나가 **심해 열수구설**이다. 이 가설은 원시 지구에서 유기물이 합성된 장소로 열수 분출구를 제시하고 있다. 열수 분출구는 심해에서 마그마에 의해 뜨거워진 물이 분출되는 곳으로, 여기에는 아미노산과 같은 유기물이 합성될 때 필요한 재료와 에너지, 금속 촉매 등이 풍부하다. 심해 열수구설에 따르면 열수 분출구에서 최초의 생명체가 탄생하였을 것으로 보인다.

원시 지구 환경에서 무기물로부터 합성된 단순한 유기물은 여러 과정을 통해 농축되어 핵산, 단백질과 같은 복잡한 유기물을 형성하였을 것이다. 폭스(Fox, S. W., 1912~1998)는 아미노산을 가열해 단백질과 유사한 중합체를 합성함으로써 원시 지구 환경에서 풍부한 열에너지에 의해 복잡한 유기물이 생성될 수 있음을 입증하였다.

## 막 형성의 중요성

원시 생명체가 생성되기 위해서는 물질대사와 생식이 일어나야 한다. 물질대사와 생식을 위해서는 외부 환경과 분리되어 독자적인 화학 반응이 일어날 수 있는 공간이 필요하다. 이를 위해서는 주변 환경과의 경계, 즉 세포막이 필요하다. 또, 세포막은 세포에 필요한 물질을 선택적으로 흡수하여 세포 내 환경을 안정적으로 유지하는 데도 필수적이다. 세포막의 형성이 세포의 생명 활동에 중요한 까닭을 알아보자.

자료  
해석

해 보기

세포막의 중요성



사고력



탐구 능력

그림은 현미경으로 관찰한 대장균의 모습과 대장균을 배양하기 위해 만든 액체 배지를 나타낸 것이다.

1. 액체 배지에서 자란 대장균 내부의 물질 조성은 액체 배지와 같을까? 그렇게 생각한 까닭을 설명해 보자.

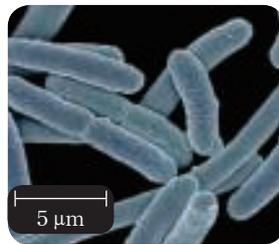


.....

2. 초음파를 가하여 배지에 있는 대장균의 세포막을 터뜨린다면, 배지에서도 단백질 합성과 물질대사가 대장균의 세포 내부와 동일하게 일어날까? 그렇게 생각한 까닭을 설명해 보자.



.....



▲ 대장균



▲ 액체 배지

오파린을 비롯한 여러 과학자는 원시 지구 환경에서 합성된 중합체로부터 액체 방울을 합성함으로써 원시 생명체가 탄생하는 데 필요한 막 구조를 재현하였다.

오파린은 탄수화물, 단백질, 핵산의 혼합체를 이용하여 그림 V-3과 같이 **코아세르베이트**라고 하는 막에 둘러싸인 작은 액체 방울을 만들었다. 코아세르베이트는 주변 환경에서 물질을 선택적으로 받아들여 계속 성장하며, 어느 정도의 크기에 도달하면 둘로 나누어지는 등 세포와 유사한 행동을 나타냈다.

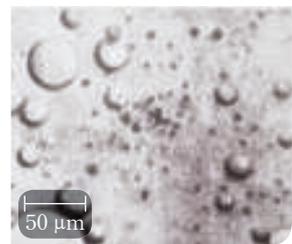


그림 V-3 코아세르베이트

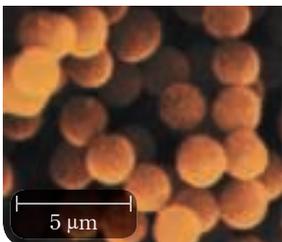


그림 V-4 마이크로스피어

폭스는 아미노산을 가열하여 만든 중합체를 뜨거운 물에 넣었다가 서서히 식혀 그림 V-4와 같이 작은 액체 방울 모양의 **마이크로스피어**를 만들었다. 마이크로스피어는 코아세르베이트와 달리 단백질로만 구성된 막을 가지고 있지만, 선택적으로 물질을 흡수하며 스스로 분열하는 특성이 있다.

리포솜도 막 구조를 가진 유기물 복합체이다. 물속에 들어 있는 인지질은 뭉쳐서 리포솜을 형성한다. 리포솜의 인지질 2중층 구조는 현재의 세포와 거의 유사하므로, 리포솜은 최초의 생명체 탄생과 관련이 있을 것으로 보인다.

최초의 생명체는 원시 바닷속에 높은 농도로 축적된 유기물을 이용하여 에너지와 필요한 물질을 얻는 종속 영양 생물이었을 것이다. 또한, 유전 물질과 효소를 가지고 있으며, 막을 통해 물질의 이동을 조절할 수 있는 원핵생물이었을 것이다. 최초의 생명체에서 유전 물질과 효소 역할을 하는 물질이 무엇인지에 대한 여러 가설이 있는데, 그중 하나가 그림 V-5의 **RNA 우선 가설**이다. RNA 우선 가설에서는 촉매 기능을 가진 RNA인 리보자임이 그 역할을 했을 것이라고 제시하고 있다.

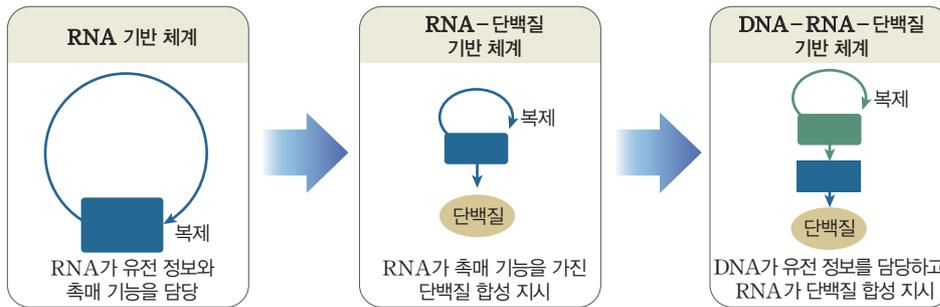


그림 V-5 RNA 우선 가설

**자료실 광합성 생물의 출현과 지구 환경의 변화**

스트로마톨라이트에는 원시 광합성 생물의 특징이 남아 있다. 또, 약 25억 년 전에 퇴적된 지층을 통해 광합성 생물이 산소를 생산하였음을 확인할 수 있다. 광합성 생물의 출현으로 대기 중의 산소 농도가 증가하였을 것이다.

증가한 산소를 이용하여 유기물을 분해함으로써 훨씬 더 효율적으로 에너지를 얻을 수 있는 산소 호흡 생물이 출현하게 되었다. 또, 풍부한 산소에 의해 대기 상층부에 형성된 오존층은 지표에 도달하는 자외선의 대부분을 차단해 수중에서 육상으로 생물이 진출할 수 있도록 하였다.

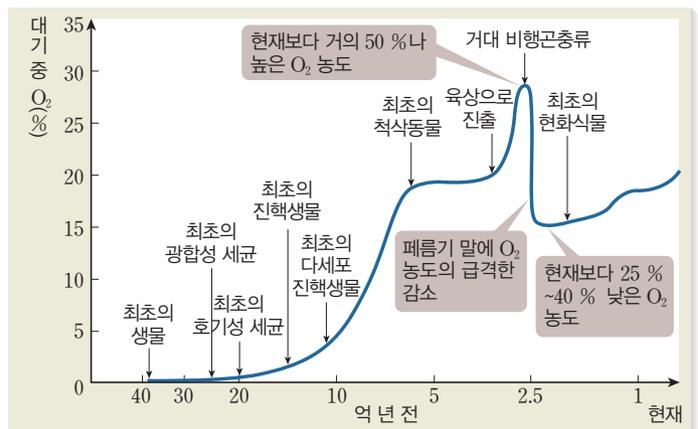


그림 V-6 산소 농도의 변화와 생물의 출현

(출처: 『생명의 원리』, 2015.)

**핵심 개념 확인하기**

- 1 오파린이 만든 막에 둘러싸인 작은 액체 방울은 무엇인가?
- 2 **창의 융합 사고** | 마이크로스피어와 같은 유기물 복합체의 막과 현재 생물의 세포막은 어떤 공통점과 차이점이 있는지 생각해 보자.

- 다음 개념을 이해하였는지 ✓ 표를 하면서 확인해 보자.
- 원시 지구 환경  원시 세포
- 막 형성의 중요성

# 2

## 진핵생물과 다세포 생물의 출현

### 학습 목표

- 원핵생물에서 진핵생물로 진화하는 과정을 설명할 수 있다.
- 단세포 생물에서 다세포 생물로 진화하는 과정을 설명할 수 있다.

아메바는 다른 세포를 자신의 세포 속으로 끌어들이어 포식한다. 아메바가 포식하는 과정과 원핵생물에서 진핵생물로 진화하는 과정 사이에는 어떤 공통점이 있을까?

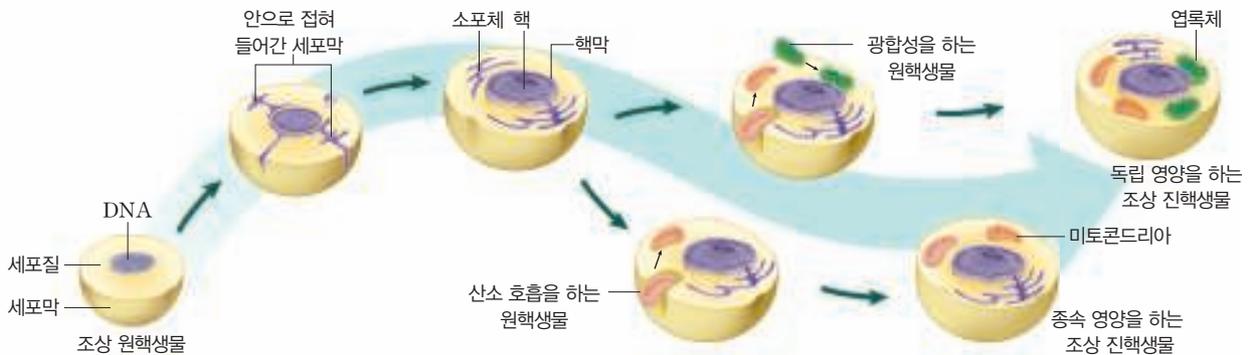


약 21억 년 전의 지층에서 광합성을 하는 조류의 화석이 발견되었는데, 이 생물은 진핵세포의 구조를 나타내고 있었다. 진핵생물은 다양한 기능을 하는 원핵생물의 상호작용으로 생겨났을 것이다.

진핵생물의 출현 과정은 그림 V-7과 같이 막 진화설과 세포내 공생설로 설명하고 있다.

**막 진화설**은 원핵생물에서 세포막이 안으로 함입되어 겹쳐지면서 진핵생물의 핵, 골지체, 소포체와 같은 막으로 구성된 세포 소기관이 생겨났다고 보는 가설이다.

**세포내 공생설**은 원핵생물이 다른 원핵생물에 들어가 공생하면서 미토콘드리아, 엽록체와 같은 세포 소기관이 되었다고 보는 가설이다. 세포내 공생설에 따르면 미토콘드리아는 산소 호흡을 하는 원핵생물에서, 엽록체는 광합성을 하는 원핵생물에서 각각 유래한 것으로 보인다.



**그림 V-7 진핵생물의 출현 과정** 세포막 함입을 통해 막 구조를 가진 세포 소기관이 생성되었다. 동물 세포는 산소 호흡을 하는 원핵생물이 세포내 공생을 하였고, 식물 세포는 산소 호흡을 하는 원핵생물과 광합성을 하는 원핵생물이 모두 세포내 공생을 한 것으로 보인다.

**?** 미토콘드리아와 엽록체가 세포내 공생 이전에 원핵생물이었다는 증거는 무엇인가?

막 진화설과 세포내 공생설을 통해 원핵생물에서 진핵생물이 출현하는 과정을 알아보자.

과정

- ① 종이에 색연필로 DNA, RNA, 리보솜, 단백질의 모형을 그린 후 가위로 오린다.
- ② 작은 비닐 지퍼 백에 DNA를 넣고, 이 비닐 지퍼 백을 나머지 모형과 함께 큰 비닐 지퍼 백에 넣는다.
- ❓ 큰 비닐 지퍼 백과 작은 비닐 지퍼 백은 각각 세포의 구조 중 무엇에 비유한 것인가?
- ③ 또 다른 작은 비닐 지퍼 백에 DNA, RNA, 리보솜, 단백질을 모두 넣는다.
- ④ 과정 ③에서 만든 작은 비닐 지퍼 백을 과정 ②에서 만든 큰 비닐 지퍼 백에 집어 넣는다.

정리

- 1. 과정 ②와 ③에서 만들어진 지퍼 백을 각각 하나의 세포라고 할 때 이 두 세포의 차이점은 무엇인가?  
.....
- 2. 과정 ④는 진핵생물의 진화 과정의 일부를 표현한 것인데, 어떤 과정을 표현한 것인지 토의해 보자.  
.....

준비물

- 종이       가위
- 색연필
- 큰 비닐 지퍼 백
- 작은 비닐 지퍼 백 2개

유의할 점

- DNA, RNA, 리보솜, 단백질은 'II. 세포의 특성' 단원을 참고하여 그린다.
- 그린 모형을 가위로 오릴 때 손을 다치지 않도록 주의한다.

다세포 생물은 그림 V-8과 같이 동일 종의 단세포 진핵생물이 모여서 군체를 형성하고, 군체를 형성하는 세포들 사이에서 기능적 분화가 일어나 생성되었을 것이다. 다세포 생물이 출현한 이후 생물 다양성은 급격히 증가하였다.

군체

같은 종류의 세포들이 모여서 이루어진 생물



그림 V-8 다세포 생물의 출현 과정

핵심 개념 확인하기

- 1 산소 호흡을 하는 원핵생물이 다른 원핵생물로 들어가 공생하면서 생성된 세포 소기관은 무엇인가?
- 2 창의 융합 사고 | 온도가 급격히 변할 때 단세포 생물과 비교하여 다세포 생물이 가지는 장점은 무엇인지 설명해 보자.

- 다음 개념을 이해하였는지 표를 하면서 확인해 보자.
- 진핵생물의 출현 과정
- 다세포 생물의 출현 과정

# 3

## 생물의 분류 체계

학습  
목표

- 3역 6계의 분류 체계를 설명할 수 있다.
- 3역 6계에서 각 분류군의 차이를 설명할 수 있다.

대형 할인 매장에서 판매되는 여러 종류의 상품은 사람들이 구매하기 쉽도록 종류별로 잘 분류되어 있다. 지구에 존재하는 수백만 종의 생물은 어떻게 분류할까?



### 생물의 분류와 계통수

생물의 분류는 중학교 과학의 '생물의 다양성' 단원과 연계됩니다.

지구에 존재하는 다양한 생물을 체계적으로 연구하기 위해 분류한다. 생물의 분류는 공통된 특징을 바탕으로 생물을 여러 무리로 나누는 것을 말한다. 예를 들어 사람은 그림 V-9의 곰, 코끼리, 고양이 등과 함께 포유류로 분류된다. 포유류와 같이 생물을 분류한 무리를 **분류군**이라고 한다.



그림 V-9 포유류에 속하는 여러 종

생물 분류의 가장 기본이 되는 분류군은 **종**이다. 종은 다른 종과 생식적으로 격리된 자연 집단이고, 같은 종의 개체 사이에서는 생식 능력이 있는 자손이 태어난다.

종은 학명으로 표시되는데, 학명은 사용하는 언어와 상관없이 국제적으로 통용되는 종의 이름이다. 학명은 린네에 의해 제시된 이명법에 기초해 만들어진다. 이명법은 속명과 종소명으로 구성되며, 종소명 뒤에 명명자의 이름을 쓴다. 속명과 종소명은 이탤릭체로 쓰거나 밑줄을 그어 표시하고, 속명의 첫 글자는 대문자로, 종소명의 첫 글자는 소문자로 표기한다.

명명자는  
생략할 수  
있어요.



학명(이명법): 속명 + 종소명 + 명명자

예) 사람: *Homo sapiens* Linné

구상나무: *Abies koreana* E. H. Wilson

대형 할인 매장에서 상품을 분류하는 것처럼 생물 분류는 계층적 특징을 나타낸다. 사람은 포유류에 속하기도 하지만, 고릴라(*Gorilla gorilla*), 침팬지(*Pan troglodytes*) 등과 함께 더 작은 규모의 분류군인 영장류에 속하기도 하며, 파충류, 양서류, 어류 등과 함께 더 큰 규모의 분류군인 척추동물에 속하기도 한다.

가까운 공통 조상을 공유하는 생물들은 좁은 범위에서 분류군을 형성하며, 더 먼 공통 조상을 공유하는 생물들은 좀 더 넓은 범위에서 분류군을 형성한다. 그리고 좁은 범위에서 넓은 범위로 가면서 종, 속, 과, 목, 강, 문, 계, 역과 같은 분류 단계가 배정된다. 이와 같은 계층적인 생물 분류는 생물이 진화해 온 역사인 유연관계에 기초한다. 공통 조상에서 유래한 공통된 특징을 이용하여 작성하는 **계통수**를 통해 생물 사이의 유연관계를 쉽게 이해할 수 있다.

그림 V-10과 같이 계통수는 생물이 진화해 온 역사를 나뭇가지 모양으로 나타낸 그림이다. 계통수에서 현재 존재하는 종들은 나뭇가지의 맨 끝부분에 있으며, 계통수에 나타난 모든 종의 공통 조상은 나무의 뿌리에 자리 잡고 있다. 공통 조상에서 나뭇가지를 따라가면 가지가 갈라지는 분기점이 있는데, 분기점은 한 조상에서 두 계통이 나누어져 진화하였음을 뜻한다. 계통수에서 가까운 분기점을 공유할수록 종 사이의 유연관계가 가깝다.

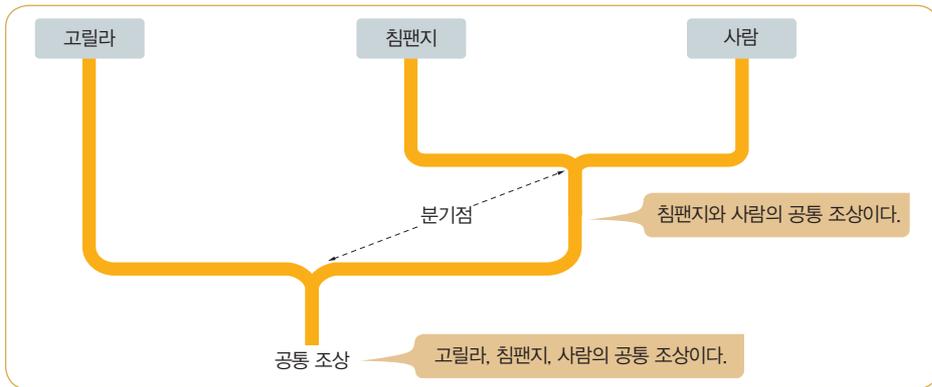


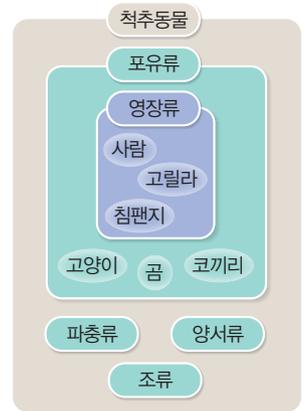
그림 V-10 계통수 고릴라, 침팬지, 사람 사이의 유연관계를 나타낸 것으로, 사람은 고릴라보다 침팬지와 유연관계가 가깝다.

계통수 작성에는 생물의 형태와 발생, 지리적인 분포, DNA의 염기 서열 등 진화 과정을 보여 주는 다양한 형질이 이용된다.

**핵심 개념 확인하기**

- 1 공통된 특징을 바탕으로 생물을 여러 무리로 나누는 것을 ( )이라고 한다.
- 2 생물이 진화해 온 역사를 나뭇가지 모양으로 나타낸 그림을 무엇이라고 하는가?
- 3 계통수에 나타난 모든 생물의 ( )은/는 나무의 뿌리에 자리 잡고 있다.

**사람이 속한 분류군**



사람은 영장류, 포유류, 척추동물에 속한다.

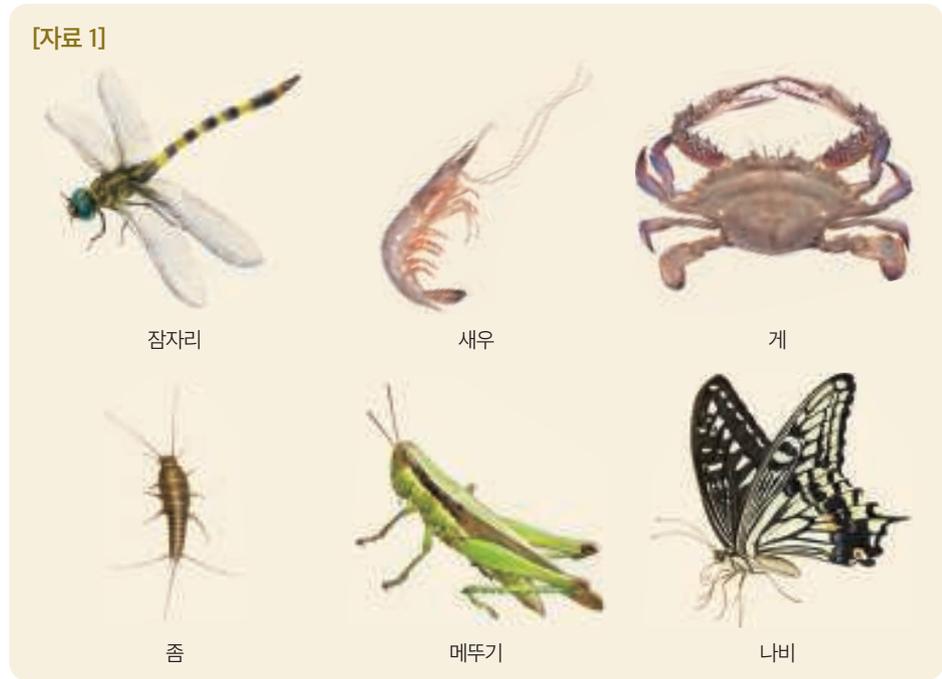
- 다음 개념을 이해하였는지 ✓ 표를 하면서 확인해 보자.
- 생물 분류
- 분류군
- 계통수

**목표**

특정 형질에 기초하여 생물의 계통수를 작성할 수 있다.

**과정**

[자료 1]은 주변에서 관찰할 수 있는 동물들을 나타낸 것이고, [자료 2]는 동물들의 몇 가지 분류 형질을 나타낸 것이다.



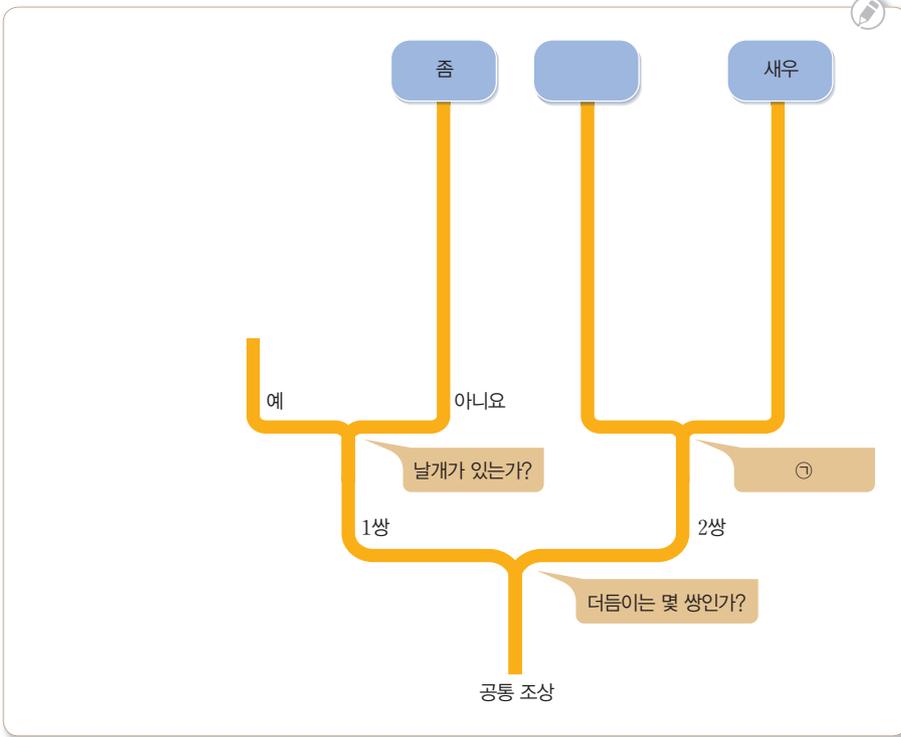
**[자료 2]**

분류 형질	분류 형질의 구분
가. 더듬이는 몇 쌍인가?	1쌍/2쌍
나. 날개가 있는가?	예/아니오
다. 날개를 몸 위로 접어 올리는가?	예/아니오/해당 사항 없음
라. 번데기 시기가 있는가?	예/아니오

① [자료 2]의 분류 형질을 토대로 아래 표를 작성해 보자.

분류 형질	잠자리	새우	게	좀	메뚜기	나비
가						
나						
다						
라						

② 다음은 과정 ①의 표를 기준으로 작성한 계통수의 일부이다. 계통수를 완성해 보자.



**결과 및 정리**

1. 완성된 계통수를 이용하여 이들의 유연관계를 설명해 보자.

.....

.....

2. 창의력 (+) 완성된 계통수에서 ㉠에 해당하는 분류 형질은 무엇인지 찾아보자.

.....

.....

**평가하기**

1 2 3 4 5

- 생물의 분류 형질을 적극적으로 조사하였는가?
- 계통수를 정확하게 완성하였는가?
- 계통수를 이용하여 동물 사이의 유연관계를 설명할 수 있는가?

**활동 후기** | 이 활동에서 어떤 것을 배웠는지 자유롭게 적어 보자.

.....



### 3역 6계 분류 체계

다양한 종을 비교하여 계통적으로 관련 있는 종끼리 묶어서 정리한 것을 **분류 체계**라고 한다. 분류 체계는 생물의 진화적 유연관계를 반영하고 있다.

최근에는 DNA의 염기 서열을 이용하여 지구에 존재하는 모든 생물의 진화적 유연관계를 분석할 수 있게 되어 모든 생물을 포괄하는 분류 체계를 작성할 수 있게 되었다.

우즈는 특정 rRNA의 염기 서열을 이용하여 생물의 계통수를 작성하였고, 이를 바탕으로 그림 V-11과 같이 **세균역**, **고세균역**, **진핵생물역**의 3역 분류 체계를 제시하였다. 이 계통수에 따르면 5계 분류 체계에서 원핵생물계에 속했던 세균과 고세균이 별도의 무리로 구분될 뿐만 아니라 고세균역은 세균역보다 진핵생물역과 더 가까운 유연관계를 나타낸다.

세균역에 속하는 생물은 원핵세포로 구성되어 있으며, 펩티도글리칸이 결합한 세포벽을 가지고 있다. 고세균역에 속하는 생물은 대부분 극한 환경에 서식한다. 또, 세균과 유사하게 원핵세포로 구성되어 있지만, 유전 정보의 발현이 진핵생물과 유사하다. 진핵생물역에 속하는 생물은 진핵세포로 구성되어 있으며, 단세포와 다세포, 세포의 구조, 영양 방식 등에서 매우 다양한 특징이 나타난다. 이러한 특징에 따라 진핵생물역을 원생생물계, 식물계, 균계, 동물계로 구분할 수 있다.

❓ 사람은 3역 중 어느 역에 속하는가?

**우즈(Woose, C. R., 1928~2012)**  
미국의 생명 과학자로, 특정 rRNA의 계통 분류를 통해 새로운 분류군인 고세균을 처음 정의하였다.

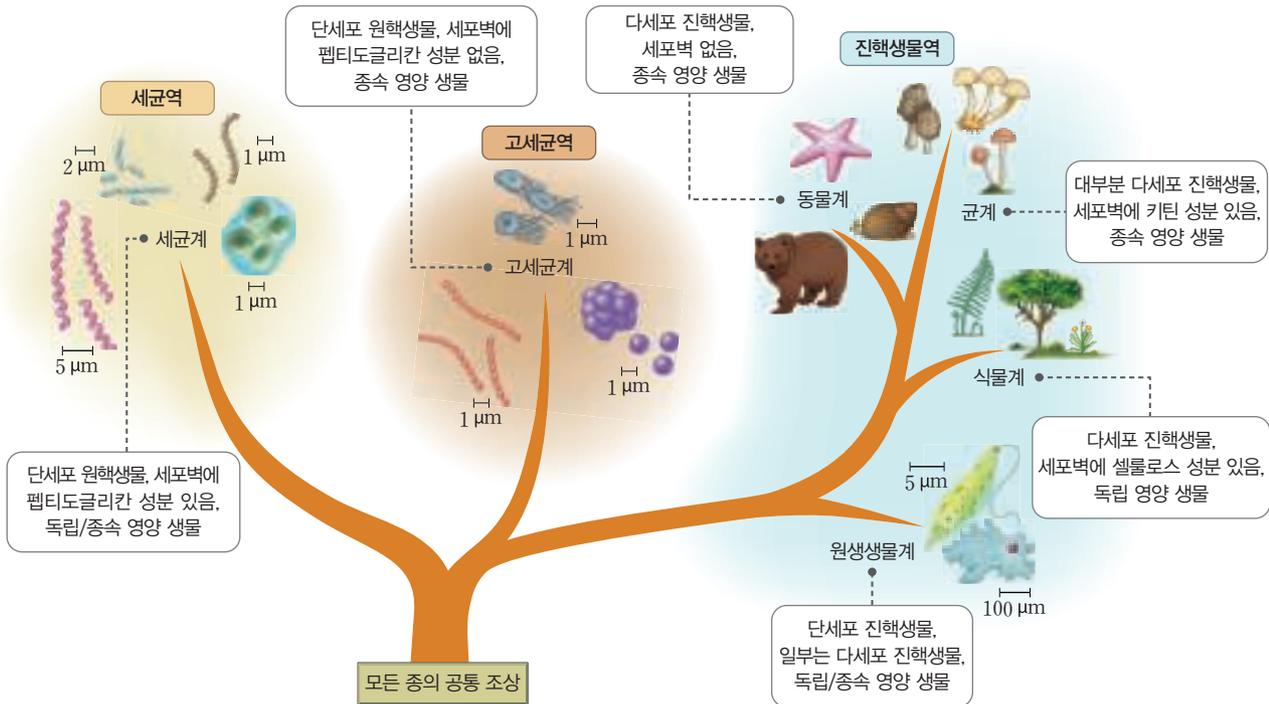


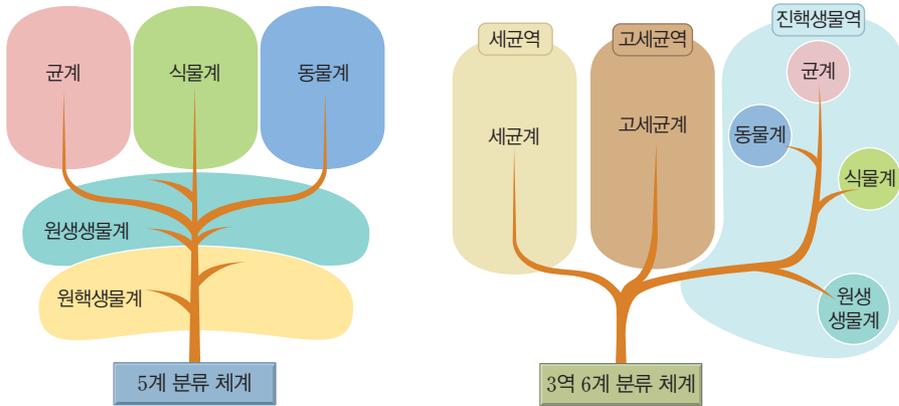
그림 V-11 3역 6계 분류 체계

목표

5계 분류 체계와 3역 6계 분류 체계의 차이점을 이해하고, 이를 토의할 수 있다.

과정

그림은 생물의 5계 분류 체계와 3역 6계 분류 체계를 계통수로 나타낸 것이다.



① 5계 분류 체계와 3역 6계 분류 체계를 각각 구성하는 분류군의 명칭과 각 분류군에 속하는 생물의 예를 조사해 보자.

5계 분류 체계		3역 6계 분류 체계		
		3역	6계	
분류군	생물의 예		역	분류군
계		역	계	
계			계	
계			계	
계			계	
계			계	
계			계	

② 5계 분류 체계와 3역 6계 분류 체계의 주요 차이점을 찾아서 토의해 보자.

결과 및 정리

1. 두 분류 체계를 구성하는 분류군 중에서 공통으로 있는 분류군과 그렇지 않은 분류군을 찾아보자.

.....

2. 5계 분류 체계에서 3역 6계 분류 체계로 바뀌게 된 까닭을 조사하여 토의해 보자.

.....

평가하기

1 2 3 4 5

● 분류 체계와 각 분류군에 속하는 생물의 예를 조사하는 데 적극적으로 참여하였는가?

□ □ □ □ □

● 5계 분류 체계와 3역 6계 분류 체계의 차이를 설명할 수 있는가?

□ □ □ □ □

| 활동 후기 | 이 활동에서 어떤 것을 배웠는지 자유롭게 적어 보자.

.....

# 4

## 식물과 동물의 분류

### 학습 목표

- 식물과 동물 분류군의 특징을 설명할 수 있다.
- 식물과 동물의 주요 문들 사이의 유연관계를 계통수로 표현할 수 있다.

집 근처에 있는 산에 올라가면 많은 식물과 동물을 만날 수 있다. 우리가 마주치는 소나무, 고사리, 이끼, 다람쥐, 나비, 딱정벌레 등은 어느 문에 속할까?



### 식물계

식물과 동물의 분류는 생명 과학 I의 '생태계와 상호 작용' 단원과 연계됩니다.

식물은 다세포 진핵생물로 엽록체가 있어서 광합성을 한다. 세포막 바깥에는 셀룰로스 성분의 세포벽이 있다. 식물은 관다발의 유무, 종자의 유무에 따라 비관다발 식물, 비종자 관다발 식물, 종자식물로 구분할 수 있다.

#### 비관다발 식물

우산이끼문, 선태식물문, 각태식물문이 있다.

**비관다발 식물** ✨ 최초의 육상 식물이며 관다발이 없다. 관다발을 통한 물과 양분의 수송이 이루어지지 못하므로, 크기가 작고 물을 쉽게 구할 수 있는 습한 지역에 주로 서식한다. 포자로 번식하며 우산이끼, 솔이끼, 빨이끼 등이 있다.

#### 포자

수정을 거치지 않고 발아하여 다세포를 형성할 수 있는 세포

**비종자 관다발 식물** ✨ 관다발을 가지고 있으며 포자로 번식한다. 잎, 줄기, 뿌리가 분화되어 있지만, 형성층이 없는 관다발 구조로 되어 있다. 석송, 고사리, 고비, 속새, 쇠뜨기 등이 있다.

#### 비종자 관다발 식물

석송문과 양치식물문이 있다.



그림 V-12 우산이끼(비관다발 식물)



그림 V-13 고사리(비종자 관다발 식물)

**종자식물** ✨ 육상 생활에 가장 잘 적응한 식물의 무리로서, 식물 중 가장 많은 종을 포함하고 있다. 뿌리, 줄기, 잎의 구별이 뚜렷하고, 관다발이 잘 발달하였다. 종자로 번식하며, 종자는 단단한 껍질에 둘러싸여 있어서 육상의 건조하고 추운 환경을 잘 견딜 수 있다. 씨방의 유무에 따라 겉씨식물과 속씨식물로 구분된다. 겉씨식물은 씨방이 없어서 밑씨가 겉으로 드러나 있고, 속씨식물은 밑씨가 씨방에 들어 있다.

겉씨식물은 소철식물문, 은행식물문, 마황식물문, 구과식물문으로 구성되어 있다. 가장 대표적인 겉씨식물의 문은 구과식물문이며, 소나무, 전나무 등이 구과식물문에 속한다.

속씨식물문은 오늘날 지구에서 가장 번성하는 식물 무리이며, 꽃잎과 꽃받침이 잘 발달하였다. 대표적인 속씨식물에는 외떡잎식물강과 쌍떡잎식물강이 있으며, 이들은 종자 속에 들어 있는 배의 떡잎 수에 의해 구분된다. 외떡잎식물에는 벼, 보리, 옥수수 등이 있고, 쌍떡잎식물에는 배추, 장미, 민들레, 고추, 호박, 콩 등이 있다.

속씨식물의 꽃 구조



속씨식물의 암술에는 밑씨가 씨방에 싸여 있는데, 밑씨는 수정 후 종자로 발달한다.



소나무(구과식물)



벼(속씨식물)



장미(속씨식물)

그림 V-14 종자식물

조사 해 보기

식물의 계통수



다음 식물들의 특징을 조사하여 아래의 표를 완성하고, 계통수를 작성해 보자.

분류 형질	우산이끼	고사리	소나무	옥수수
관다발이 있는가?	아니요			
종자로 번식하는가?				
씨방이 있는가?				

식물의 계통수

식물은 생태계를 구성하는 생물적 요인으로 생산자에 속한다. 식물은 광합성을 통해 유기물을 합성하고 산소를 방출함으로써 생태계를 유지하고 뒷받침하는 데 중요한 역할을 한다.

핵심 개념 확인하기

- 1 식물의 세포벽을 구성하는 주요 성분은 무엇인가?
- 2 겉씨식물과 속씨식물을 분류하는 가장 중요한 기준은 무엇인가?
- 3 선태식물이 양치식물과 달리 길이 생장을 할 수 없는 까닭은 무엇인가?

- 다음 개념을 이해하였는지 ✓ 표를 하면서 확인해 보자.
- 비관다발 식물
- 비종자 관다발 식물
- 종자식물

## 동물계

동물은 엽록체와 세포벽이 없으며, 종속 영양을 하는 다세포 진핵생물이다. 대부분의 동물은 감각 기관과 운동 기관이 발달해 있어서 주위 환경의 변화에 빠르고 적극적으로 반응한다.

동물은 조직의 유무, 몸의 대칭성, 초기 발생 과정의 특징, DNA의 염기 서열 등을 기준으로 여러 개의 큰 무리로 분류할 수 있다.

동물의 몸은 그림 V-15와 같이 대칭 형태에 따라 방사 대칭과 좌우 대칭으로 나눌 수 있다.



그림 V-15 방사 대칭과 좌우 대칭 방사 대칭을 나타내는 동물에서는 몸을 동일한 절반으로 나눌 수 있는 평면이 두 개 이상 존재하지만, 좌우 대칭을 나타내는 동물은 오직 한 개의 평면에 의해서만 몸이 동일한 절반으로 나누어진다.

몸의 대칭 형태는 감각 기관의 분포와 관련이 있다. 방사 대칭을 나타내는 동물은 감각 기관이 온몸에 고르게 분포해 있어서 모든 방향에서 오는 자극에 반응한다. 좌우 대칭을 나타내는 동물은 몸의 앞쪽에 감각 기관이 집중되어 있다.

**?** 몸을 절반으로 나눌 수 있는 평면이 두 개 이상 존재하는 대칭 형태는 무엇인가?

그림 V-16과 같이 동물의 초기 발생 과정에서 수정란은 체세포 분열 과정인 난할을 거쳐 포배, 낭배가 된다. 포배는 속이 빈 둥근 공 모양이며, 낭배는 발생 초기의 조직인 배엽과 원장을 가진다. 원장은 소화관으로 발생하며, 원장이 외부와 통하는 입구인 원구는 입이나 항문이 된다.

발생 과정에서 원구가 입이 되는 동물은 선구동물이며, 원구가 항문이 되는 동물은 후구동물이다.

**원장**  
낭배에서 내배엽으로 둘러싸인 공간이다.

**원구**  
낭배에서 원장이 열린 부분이다.

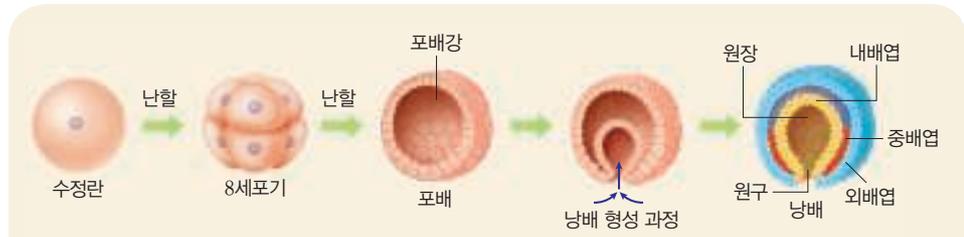


그림 V-16 동물의 초기 발생 과정

최근 동물의 계통수에 가장 큰 영향을 미친 형질은 DNA의 염기 서열이다. DNA의 염기 서열을 이용하여 작성된 계통수에 따라 선구동물은 촉수담륜동물과 탈피동물로 구분된다. 촉수담륜동물은 호흡과 먹이 포획에 이용되는 촉수관을 가지거나 담륜자 유생 시기를 갖는다. 탈피동물은 성장을 위해 탈피하는 특징을 나타낸다.

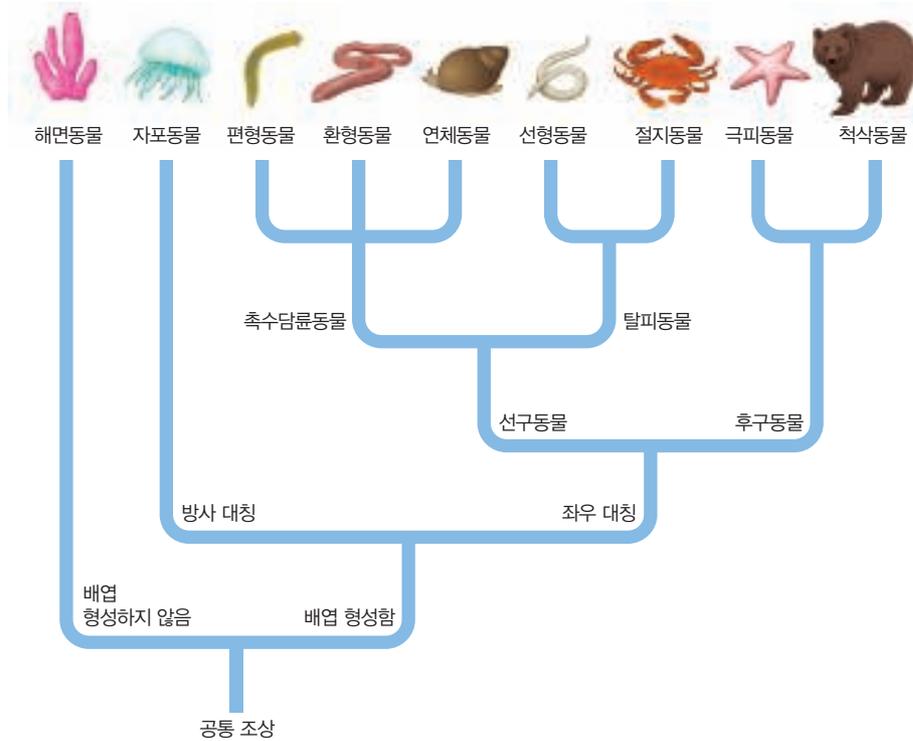


그림 V-17 주요 동물문의 계통수

**해면동물** >> 포배 단계의 동물로 조직이나 기관이 분화되어 있지 않다. 물의 흐름을 일으켜 물속에 떠 있는 먹이를 걸러 섭취한다.

**자포동물** >> 방사 대칭의 몸을 가지며, 먹이를 잡는 데 자포를 이용한다. 말미잘, 산호, 해파리, 히드라 등이 있다.

**편형동물** >> 입은 있지만 항문이 없으며, 납작한 몸을 갖는다. 플라나리아, 촌충, 간흡충 등이 있다.

**연체동물** >> 몸은 부드러운 막으로 둘러싸여 있으며, 대부분은 단단한 껍데기로 몸을 보호한다. 주로 아가미 호흡을 하지만 육상에 진출한 달팽이 등은 폐 호흡을 한다. 달팽이, 오징어, 홍합 등이 있다.

**환형동물** >> 원통형의 몸을 가지며, 몸은 마디인 체절로 구성되어 있다. 지렁이, 갯지렁이, 거머리 등이 있다.

**촉수관**

입 주위를 둘러싸고 있는 섬모가 달린 촉수로, 먹이를 섭취할 때 이용된다.

**담륜자**

일부 환형동물과 연체동물 등에서 관찰되는 유생



해면(해면동물)



말미잘(자포동물)



플라나리아(편형동물)



달팽이(연체동물)



지렁이(환형동물)

그림 V-18 동물계의 여러 동물



그림 V-19 예쁜꼬마선충  
(선형동물)

**선형동물** ✨ 몸은 원통형이며, 겉은 큐티클층으로 덮여 있다. 거의 모든 서식 환경에 존재하며, 자유 생활이나 기생 생활을 한다. 예쁜꼬마선충, 회충 등이 있다.

**절지동물** ✨ 전체 동물 종의 85 % 이상을 차지할 정도로 다양하다. 체절이 발달하였으며 각 체절은 기능에 맞게 변형되어 있다. 키틴질의 외골격을 가지고 있으므로 성장 시 탈피를 한다. 절지동물에는 잠자리와 파리 등의 곤충류, 새우와 게 등의 갑각류, 지네와 노래기 등의 다지류, 호랑거미와 산왕거미 등의 거미류가 있다.



그림 V-20 절지동물



그림 V-21 불가사리(극피동물)

**극피동물** ✨ 후구동물에 속하며, 유생은 좌우 대칭이지만 성체는 방사 대칭의 몸 구조를 갖는다. 순환, 호흡, 운동의 복합적인 역할을 담당하는 수관계를 가지고 있다. 수관계와 연결된 관족을 움직여 운동한다. 불가사리, 해삼, 성게 등이 있다.

❓ 선구동물 중에서 체절이 있는 동물문에는 어떤 것이 있는가?

**척삭**

척삭동물의 생활사에서 나타나는 유연성 있는 막대 모양의 조직으로, 등쪽에서 몸의 앞뒤를 따라 뻗어 있다.

**척삭동물** ✨ 일생 동안 척삭을 갖는 시기가 반드시 존재한다. 창고기가 속하는 두삭류, 멍게와 미더덕이 속하는 미삭류, 먹장어가 속하는 먹장어류와 척추동물로 구분된다.

척추동물은 발생 초기에 척삭을 가지지만, 발생이 진행되면서 척삭은 퇴화하고 척추가 발달한다. 칠성장어, 상어, 개구리, 카멜레온, 도마뱀, 참새, 갈매기, 곰, 사람 등이 있다.

**오개념 바로잡기**

척수와 척추는 같은 것일까

척수는 중추 신경계를 구성하는 신경이며, 척추는 척수를 보호하는 골격이다.



그림 V-22 척삭동물

척추동물은 사람을 포함하고 있으며, 가축으로 기르거나 애완용으로 키우는 동물이 많아 우리에게 매우 친숙하다. 또, 척추동물은 소비자로서 생태계에서 중요한 역할을 담당하고 있다. 우리 주변에서 쉽게 관찰할 수 있는 척추동물의 특징을 살펴보고 이 종들 사이의 유연관계를 알아보자.

1. 다음 척추동물에 속하는 동물들의 특징을 조사하여 아래의 표를 완성해 보자.

종	몸의 표면 (비늘, 피부, 깃털)	호흡 기관 (아가미, 피부, 폐)	수정 (체내, 체외)	번식 (난생, 태생)
붕어		아가미		
개구리				난생
도마뱀	비늘			
참새			체내	
곰				태생

**체내 수정과 체외 수정**

체내 수정은 정자와 난자가 결합하는 수정이 생식 기관 내에서 일어나는 것이며, 체외 수정은 수정이 생식 기관 바깥에서 일어나는 것이다.

**난생과 태생**

난생은 어린 새끼가 모체 밖에 낳은 알에서 부화하는 것이며, 태생은 자궁에서 길러진 후 새끼가 태어나는 것이다.

2. 1에서 조사한 특징을 이용하여 계통수를 작성하고, 유연관계를 설명해 보자.





**파충류와 조류**

조류를 파충류의 한 계통인 공룡의 후손으로 보면서 최근 파충류가 조류를 포함하는 분류군이라는 주장이 제기되기 시작하였다.

척추동물은 칠성장어류, 어류, 양서류, 파충류, 조류, 포유류로 구분된다. 파충류, 조류, 포유류는 건조한 육상에서 자손을 낳고 생존하기 위한 특징을 가지고 있다.

**핵심 개념 확인하기**

- 1 절지동물은 외골격을 가지고 있어 성장하기 위해 ( )을/를 한다.
- 2 창의 융합 사고 | 좌우 대칭 동물이 방사 대칭 동물보다 환경의 변화에 빠르게 반응할 수 있는 까닭을 생각해 보자.

- 다음 개념을 이해하였는지 ✓ 표를 하면서 확인해 보자.
- 선구동물
- 후구동물

목표

주변에 서식하는 식물과 동물을 문 수준에서 분류할 수 있으며, 이들 사이의 계통 유연관계를 파악할 수 있다.

한반도 생물 자원 포털

species.nibr.go.kr

다양한 생물 관련 정보를 찾아보자.

과정

다음은 우리 주변에서 볼 수 있는 식물과 동물이다.



흰민들레



집파리



전나무



옥수수



고비



산왕거미



보름달물해파리



별이끼



반달가슴곰



보라성게



주황해변해면



참새

① 제시된 식물과 동물의 특징을 파악하고, 어떤 문에 속하는지 조사해 보자.

생물	문	생물	문
흰민들레		보름달물해파리	
집파리		뽕이끼	
전나무		반달가슴곰	
옥수수		보라성게	
고비		주황해변해면	
산왕거미		참새	

② 제시된 식물과 동물의 유연관계를 파악하여 계통수를 작성해 보자.

**결과 및 정리**

1. 계통수에서 반달가슴곰과 유연관계가 가장 가까운 생물은 무엇인가?

.....

2. 계통수의 각 분기점에서 나타나는 공통 특징을 써 보자.

.....

**평가하기**

- ◆ 제시된 식물과 동물이 속하는 문을 정확히 찾았는가?  1  2  3  4  5
- ◆ 유연관계를 파악하여 계통수를 정확히 작성하였는가?
- ◆ 계통수의 각 분기점에서 나타나는 특징을 설명할 수 있는가?

**활동 후기** | 이 활동에서 어떤 것을 배웠는지 자유롭게 적어 보자.

.....



# 5

## 진화의 원리

### 학습 목표

- 진화의 증거 사례를 조사하여 변이와 자연 선택에 의한 진화의 원리를 설명할 수 있다.
- 하디·바인베르크 법칙과 유전적 평형을 설명할 수 있다.

말라리아가 빈번하게 발생하는 지역은 다른 지역에 비해 낫 모양 적혈구 빈혈증의 발병률이 높다. 그 까닭은 무엇일까?



.....

진화의 증거와 원리는 통합과 학의 '생물 다양성과 유지 단원과 연계됩니다.

### 진화의 증거

지구에 존재하는 모든 생물은 공통 조상에서 기원하였으며 오랜 시간에 걸친 진화의 산물이다. 생명 과학이 발달하면서 진화는 많은 증거에 의해 뒷받침되고 있다.

**화석상의 증거** ✨ 과거에 살았던 생물 중 일부가 화석의 형태로 발견된다. 화석이 발견된 지층의 연대를 추정할 수 있으므로 화석은 생물의 형태와 다양성이 시간에 따라 어떻게 변화하였는지 알려준다. 고래의 화석을 통해 포유류의 일부가 고래로 진화하는 과정과 시점을 알 수 있게 되었다.

**비교해부학적 증거** ✨ 생물은 공통 조상으로부터 유래한 형태적 유사성을 공유한다. 형태적 특징 중 공통 조상에서 물려받은 특징은 생물의 진화와 유연관계를 밝히는 데 도움이 되며 이러한 특징을 **상동 형질**이라고 한다. 예를 들어 척추를 가진 공통 조상의 특징을 물려받은 척추동물은 척추라는 상동 형질을 가지고 있다.

**상사 형질**은 공통 조상에서 물려받지 않았지만 서로 형태적으로 유사해진 특징이다. 예를 들어 새와 박쥐의 공통 조상은 날개를 가지지 않았으므로 이들의 날개는 각자 독립적으로 진화한 상사 형질이다.

**생물지리학적 증거** ✨ 생물은 고유한 자신의 분포 영역을 나타내는데, 이러한 분포는 생물의 진화 과정과 관련이 있다. 따라서 유연관계가 가까운 생물들은 지리적으로 인접해 있다. 예를 들어 캥거루와 같은 유대류는 지리적으로 인접한 호주와 남미 대륙에 대부분 분포한다.

**진화발생학적 증거** ✨ 유연관계가 가까운 생물들은 가까운 공통 조상을 공유하므로 발생 초기 단계에서 나타나는 배아의 형태가 매우 유사하다. 예를 들어 척추동물의 발생 초기 배아의 형태는 매우 유사하다.

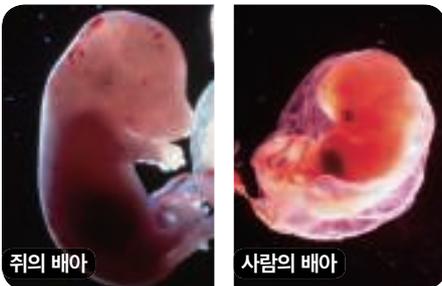


그림 V-23 척추동물의 발생 초기 배아

**분자진화학적 증거** ✨ DNA의 염기 서열이나 단백질의 아미노산 서열과 같은 분자 생물학적 특징은 그림 V-24와 같이 생물 사이에서 유연관계를 보여준다. 공통 조상에서 물려받은 동일한 DNA 서열은 종들이 진화하면서 서로 달라지므로 종들의 유연관계가 가까울수록 DNA 서열은 더욱 유사해진다.

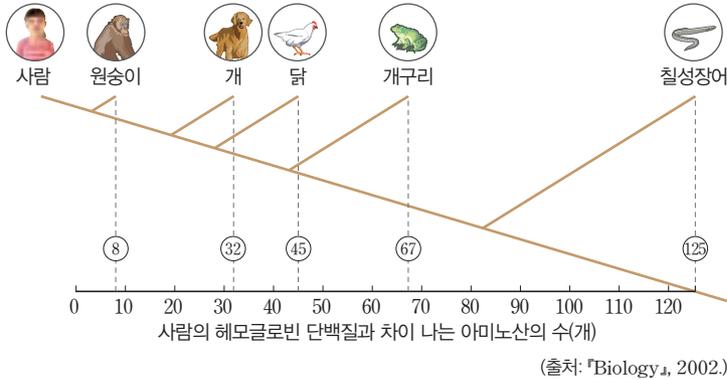


그림 V-24 분자진화학적 자료를 이용하여 작성한 척추동물의 계통수

### 변이와 자연 선택

같은 지역에 서식하는 같은 종의 개체들의 모임을 집단이라고 하며, 집단 내에는 변이를 가진 개체가 존재한다. 아프리카 남부 지역의 인류 집단에는 정상적인 모양의 적혈구와 비정상적인 낫 모양 적혈구를 가진 사람들이 존재한다. 이러한 적혈구의 형태적 차이, 즉 표현형의 변이는 그림 V-25와 같이 유전자의 변이 때문에 나타난다. 낫 모양 적혈구를 가진 사람은 비정상 헤모글로빈 대립유전자를 가지고 있다.

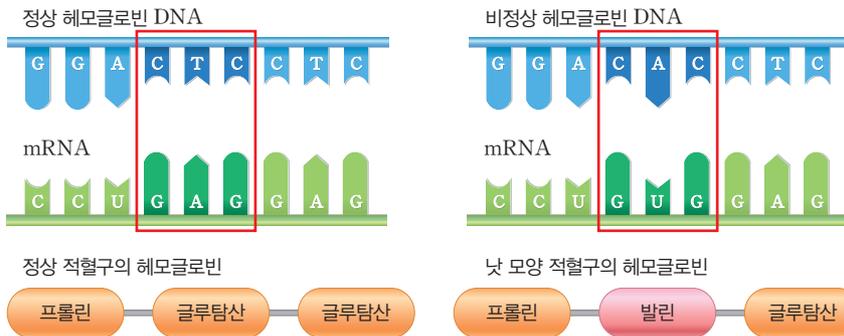


그림 V-25 적혈구의 형태를 결정하는 헤모글로빈 유전자의 변이 정상 헤모글로빈 대립유전자와 비정상 헤모글로빈 대립유전자는 한 개의 뉴클레오타이드가 다르다. 뉴클레오타이드의 차이는 아미노산 서열의 차이를 유발하여 적혈구의 형태를 변형시킨다.

매년 세계적으로 약 320만 명의 낫 모양 적혈구 빈혈증 환자가 발생하며, 이 중 약 80%가 아프리카 남부 지역에서 발병한다. 그런데 이 지역은 세계에서 말라리아 발병률이 가장 높은 지역으로 매년 수백만 명이 말라리아로 사망한다. 다른 지역보다 말라리아 발병률이 높은 지역에서 낫 모양 적혈구 빈혈증 환자가 많은 것은 자연 선택이 작용한 결과이다.

**창의 융합 사고** 💡 자연 선택이 개체 사이의 변이에 작용하여 집단이 진화하는 사례를 조사해 보자.

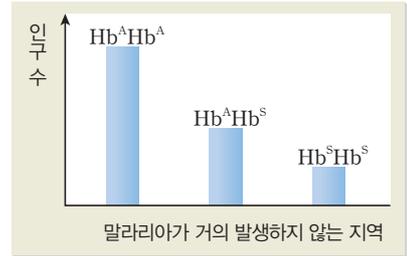
.....  
 .....

자연 선택은 집단이 변화하는 환경에 적응하도록 해 준다. 낫 모양 적혈구 빈혈증과 말라리아의 관계를 통해 변이와 자연 선택에 의한 진화의 원리를 알아보자.

자료 해석 해 보기 낫 모양 적혈구 빈혈증과 진화



그림은 말라리아가 거의 발생하지 않는 지역과 자주 발생하는 지역에서 정상 헤모글로빈 대립유전자(Hb<sup>A</sup>)와 비정상 헤모글로빈 대립유전자(Hb<sup>S</sup>)를 지닌 사람들의 상대적인 비율을 나타낸 것이다.

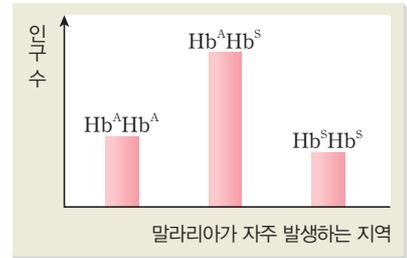


1. 말라리아가 거의 발생하지 않는 지역과 자주 발생하는 지역 중 비정상 헤모글로빈 대립유전자(Hb<sup>S</sup>)의 비율이 높은 곳은 어디인가?

.....

2. 말라리아의 발병이 아프리카 남부 지역에서의 인류 진화에 어떤 영향을 미쳤는지 조사하여 발표해 보자.

.....



유전자풀과 대립유전자 빈도

같은 집단에 속하는 개체들은 서로 잠재적인 교배 상대이므로, 한 집단은 유전자풀을 공유한다. 유전자풀은 한 집단 내 모든 개체가 가지고 있는 모든 대립유전자의 총합이다. 한 집단의 유전자풀은 다른 집단의 유전자풀과 구분되며, 환경의 변화에 적응하여 집단이 진화할 수 있는 밑바탕이 된다. 따라서 집단에서의 진화는 유전자풀의 변화를 뜻한다. 그림 V-26과 같이 털색을 결정하는 대립유전자 B와 b를 가지고 있는 어떤 고양이 집단을 생각해 보자. 고양이 집단의 유전자형에 따른 개체 수로부터 대립유전자 B와 b의 빈도를 다음과 같이 계산할 수 있다.

표현형			
	검은색	검은색	흰색
유전자형	BB	Bb	bb
개체 수	36	48	16

유전자형	대립유전자 B의 수	대립유전자 b의 수
BB	2 × 36 = 72	0
Bb	1 × 48 = 48	1 × 48 = 48
bb	0	2 × 16 = 32
합계	120	80

대립유전자 빈도

$p = \frac{120}{200} = 0.6$   
 $q = \frac{80}{200} = 0.4$

그림 V-26 고양이 털색의 표현형과 유전자형 고양이 털색의 유전자형이 BB와 Bb이면 검은색, bb이면 흰색 표현형을 나타낸다.

이 유전자풀 내에서 대립유전자 B의 빈도  $p$ 는 0.6, 대립유전자 b의 빈도  $q$ 는 0.4이므로, 대립유전자 빈도의 총합인  $p+q$ 는 1이 된다.

## 하디·바인베르크 법칙과 유전적 평형

특정 조건을 만족하는 집단에서는 시간이 흘러도 대립유전자 빈도와 유전자형 빈도가 변하지 않게 되는데, 이를 **하디·바인베르크 법칙**이라고 한다. 하디·바인베르크 법칙을 따르는 집단은 **유전적 평형**을 나타내며, 이러한 집단을 **멘델 집단**이라고 한다.

멘델 집단이 되기 위해서는 집단이 충분히 커야 하며 집단의 개체 사이에서 무작위로 교배가 일어나야 하고, 돌연변이나 집단 사이의 유전자 흐름, 자연 선택이 없어야 한다.

앞에서 제시된 고양이 집단이 멘델 집단이라고 가정하자. 이 집단에서 대립유전자 B의 빈도  $p$ 는 0.6, 대립유전자 b의 빈도  $q$ 는 0.4이며, 다음 세대에서 나타나는 유전자형 빈도와 대립유전자 빈도를 그림 V-27과 같이 계산할 수 있다.

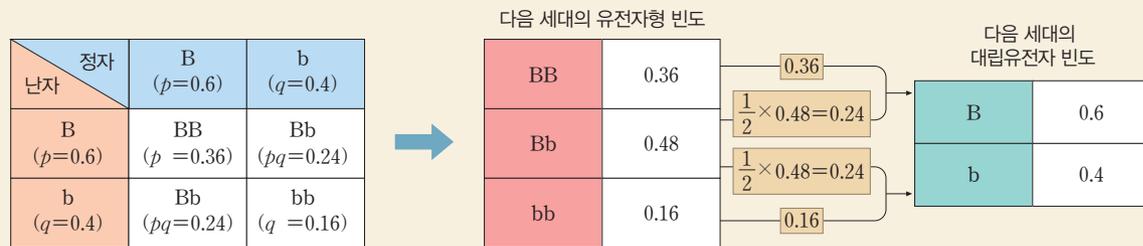


그림 V-27 고양이 털색을 결정하는 대립유전자 빈도의 변화 유전적 평형을 나타내는 고양이 집단에서 털색을 결정하는 대립유전자 B와 b의 빈도는 다음 세대에서도 동일하게 유지된다.

자손 세대에서 나타나는 유전자형 BB, Bb, bb의 빈도는 각각  $p^2$ ,  $2pq$ ,  $q^2$ 으로 계산할 수 있으므로, 각각 0.36, 0.48, 0.16이다. 자손 세대의 유전자형 빈도로부터 대립유전자 빈도를 계산하면 대립유전자 B의 빈도  $p$ 는 0.6, b의 빈도  $q$ 는 0.4로 부모 세대와 같다. 이처럼 세대를 거듭해도 대립유전자 빈도가 변하지 않는 멘델 집단은 진화하지 않는다.

하디·바인베르크 법칙을 따르는 생물 집단은 매우 드물며, 실제 생물 집단은 여러 가지 요인에 의해 유전자풀이 변한다. 유전적 평형 상태에서 예측한 대립유전자 빈도와 실제 집단의 대립유전자 빈도를 비교함으로써 어떤 진화의 요인이 작용하는지 분석할 수 있다.

**창의 융합 사고** 범죄 현장에 남은 DNA 증거로부터 유전자형을 조사한 후, 용의자의 유전자형과 비교하여 범인 여부를 판별하는 것을 유전자 감식이라고 한다. 유전자 감식에서 하디·바인베르크 법칙을 어떻게 이용하는지 조사해 보자.

### 핵심 개념 확인하기

- 1 멘델 집단에서 세대를 거듭했을 때 대립유전자 빈도는 변하는가?
- 2 유전적 평형을 나타내는 집단에서 대립유전자 A의 빈도를  $p$ , a의 빈도를  $q$ 라고 한다면 유전자형 aa의 빈도가 0.04일 때  $p$ 는 얼마인가?

- 다음 개념을 이해하였는지  표를 하면서 확인해 보자.
- 진화의 증거
- 변이와 자연 선택
- 유전자풀
- 하디·바인베르크 법칙

준비물

- 흰색 바둑알 100개
- 검은색 바둑알 100개
- 상자 2개

유의할 점

바둑알을 꺼낼 때 상자 안을 보지 않는다.

두 개의 상자는 부모 세대의 두 개체를 의미해요.



목표

모의 활동을 통해 하디·바인베르크 법칙을 이해할 수 있다.

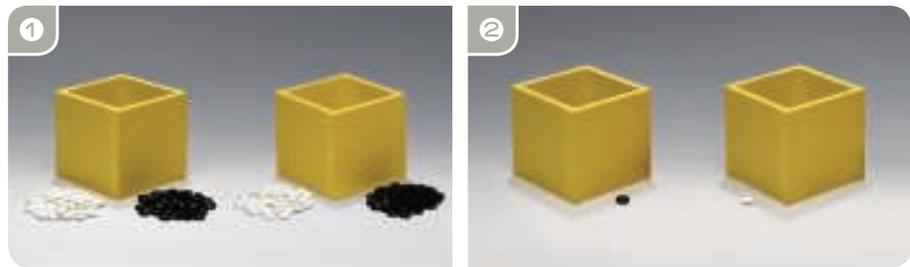
과정

① 두 개의 상자를 준비한 후, 각 상자 안에 흰색 바둑알(대립유전자 A) 50개와 검은색 바둑알(대립유전자 a) 50개를 모두 넣고 잘 섞어 준다.

❓ 상자 안 유전자풀의 대립유전자 빈도를 구해 보자.

② 각 상자에서 무작위로 한 번에 1개의 바둑알을 꺼내어 유전자형을 기록한 다음, 꺼낸 바둑알은 원래의 상자에 다시 집어넣는다. 모둠별로 이 과정을 20회 반복한다.

횟수	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
유전자형										
횟수	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
유전자형										



결과 및 정리

1. 모의 활동을 통해 얻은 모둠별 결과를 합산하여 정리해 보자.

유전자형	출현 수	유전자형 빈도 $\left( \frac{\text{해당 유전자형의 출현 수}}{\text{전체 유전자형의 출현 수 합}} \right)$
AA		
Aa		
aa		
합계		

• 대립유전자 A의 빈도:

• 대립유전자 a의 빈도:

2. 과정 ①에서 구한 대립유전자 빈도와 모의 활동을 통해 얻은 대립유전자 빈도를 비교해 보자. 이를 통해 알 수 있는 사실을 써 보자.

평가하기

1 2 3 4 5

● 하디·바인베르크 법칙에 관한 모의 활동에 적극적으로 참여하였는가?

● 대립유전자 빈도와 유전자형 빈도의 개념을 이해하였는가?

| 활동 후기 | 이 활동에서 어떤 것을 배웠는지 자유롭게 적어 보자.

## 유전자풀의 변화 요인

진화는 유전자풀의 변화를 뜻한다. 유전적 평형을 이루는 데 필요한 조건이 충족되지 않으면 대립유전자 빈도가 변하게 되므로 집단은 진화하게 된다. 유전자풀의 변화 요인으로는 돌연변이, 유전적 부동, 자연 선택, 유전자 흐름이 있다.

**돌연변이** ✨ DNA의 염기 서열에 변화가 생겨, 새로운 대립유전자가 나타나는 현상을 **돌연변이**라고 한다. 돌연변이는 집단 내에 존재하는 모든 유전적 변이의 원천이다.

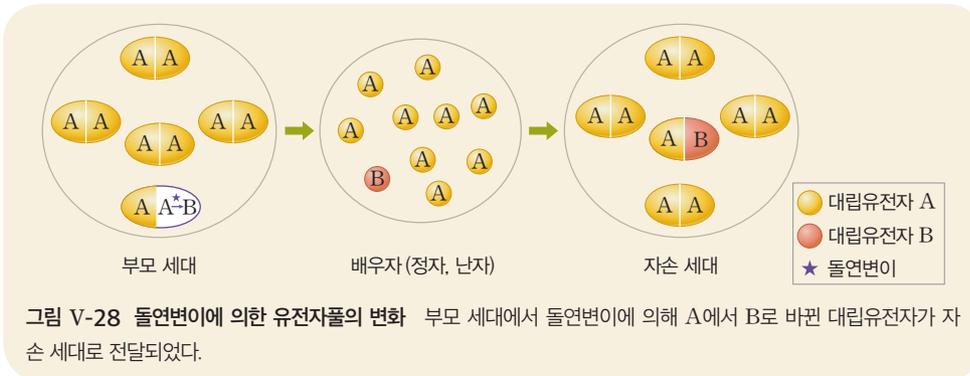


그림 V-28과 같이 돌연변이에 의해 생겨나는 대립유전자는 집단 내에서 매우 낮은 빈도로 존재하므로, 돌연변이 그 자체로는 집단의 진화에 미치는 영향이 크지 않다.

**유전적 부동** ✨ 집단을 구성하는 개체는 자손에게 자신이 가지고 있는 대립유전자 중 하나를 무작위로 전달하게 된다. 대립유전자가 자손에게 무작위로 전달되기 때문에 세대와 세대 사이에서 대립유전자 빈도는 예측할 수 없는 방향으로 변화한다. 이와 같은 현상을 **유전적 부동**이라고 한다. 유전적 부동은 집단의 크기가 작을수록 강하게 작용한다. 집단의 크기가 뚜렷이 작아지는 병목 효과나 창시자 효과가 일어나는 상황에서 집단은 유전적 부동의 영향을 받아 대립유전자 빈도가 급격히 변할 수 있다.

### 병목 효과

질병, 자연재해 등에 의해 집단의 크기가 급격히 작아지는 현상

### 창시자 효과

원래의 집단을 구성하는 개체 중 일부 개체들이 모여 새로운 집단을 형성할 때 나타나는 현상

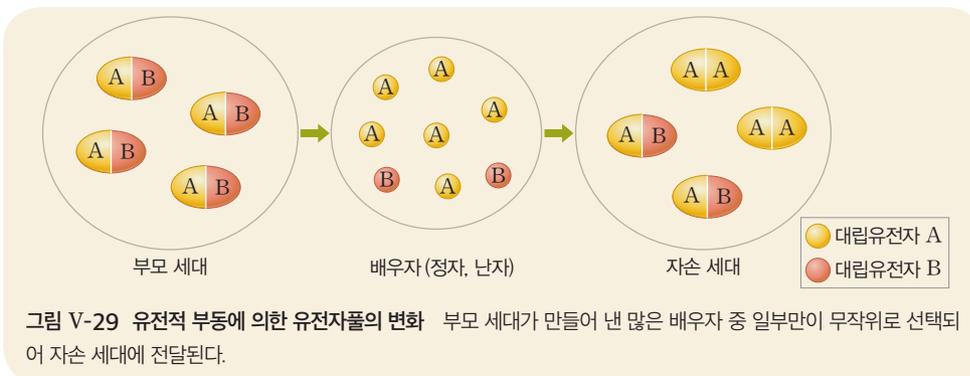


그림 V-29와 같은 유전적 부동은 집단의 유전적 다양성에 영향을 미친다. 유전적 부동이 집단의 유전자풀에 어떤 영향을 미치는지 알아보자.

준비물

- 주황색 초콜릿
- 초록색 초콜릿
- 검은 봉지

초콜릿은 대립유전자를 뜻해요.

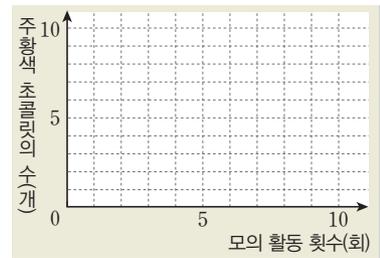


과정

- ① 주황색과 초록색의 초콜릿을 10개씩 준비하여 속이 보이지 않는 검은 봉지에 함께 넣는다.
- ② 검은 봉지에서 초콜릿 10개를 무작위로 선택해 꺼낸 후 주황색 초콜릿의 숫자를 기록한다.
- ③ 과정 ②에서 꺼낸 주황색과 초록색 초콜릿에 각각 같은 숫자만큼 초콜릿을 추가하여 새로운 검은 봉지에 함께 넣는다.
- ④ 과정 ②와 ③을 10회 반복한다.

결과 및 정리

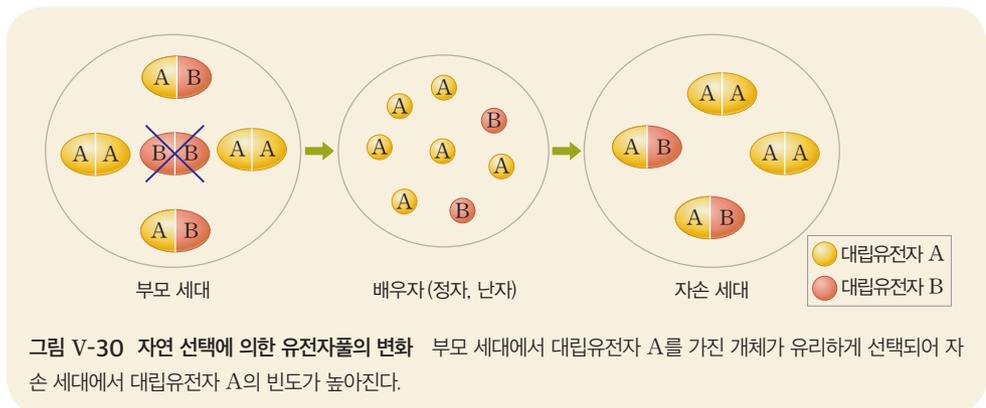
1. 과정 ②에서 꺼낸 주황색 초콜릿의 수를 그래프에 표시해 보자.
2. 결과 및 정리 1에서 얻은 그래프의 결과를 친구의 결과와 비교해 보고, 이를 통해 알 수 있는 것을 써 보자.



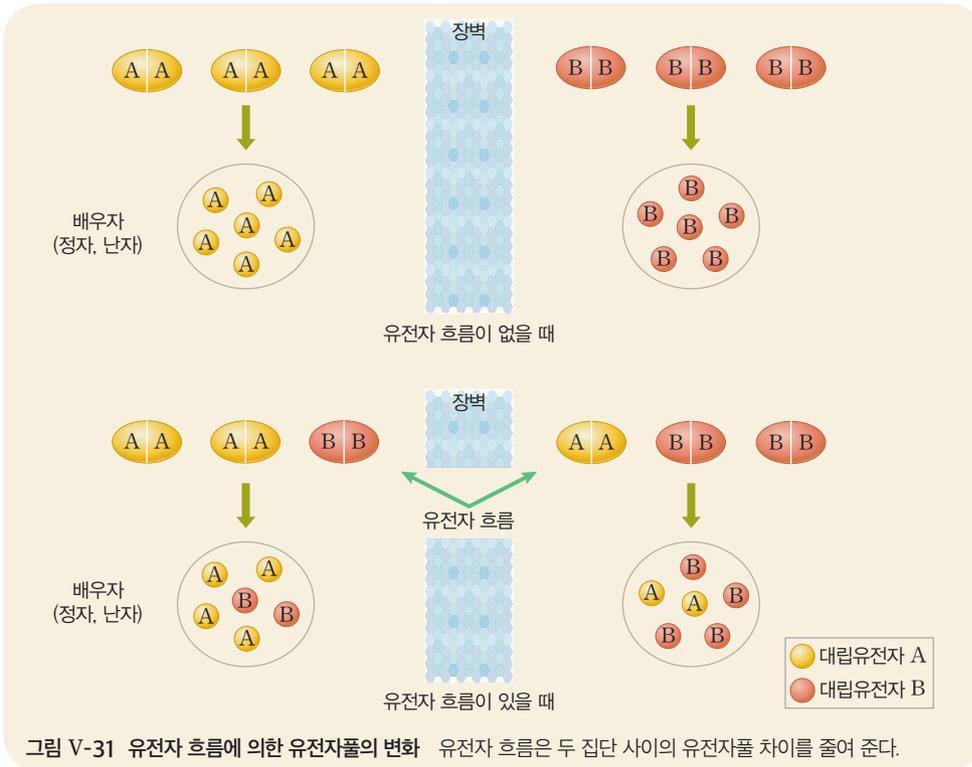
3. 무작위로 꺼내는 초콜릿의 수를 50개로 늘린다면 어떤 결과가 나타날지 생각해 보고, 그렇게 생각한 까닭을 써 보자.



**자연 선택** ✨ 집단 내 개체 사이에 변이가 존재하며 특정 형질을 가진 개체가 다른 개체보다 생존과 번식에 유리하여 더 많은 유전자를 다음 세대에 남기면 집단의 유전자 풀이 변한다. 이러한 현상을 **자연 선택**이라고 한다. 자연 선택이 일어나면 시간이 지남에 따라 환경의 변화에 가장 적합한 대립유전자를 가진 개체들로 집단이 구성된다.



**유전자 흐름** ✨ 분리된 두 집단 사이에서 개체의 이주나 배우자의 이동이 일어나면 두 집단의 유전자풀이 섞이는데, 이러한 현상을 **유전자 흐름**이라고 한다. 두 집단 사이를 개체가 직접 이주하기도 하지만, 식물에서는 꽃가루를 통해 유전자 흐름이 일어나기도 한다. 유전자 흐름은 집단에 없던 새로운 대립유전자를 도입시킬 수 있다. 살충제 내성 유전자가 전 세계의 모기 집단으로 확산된 것이 그 예에 해당한다.



또, 장벽에 의해 격리된 집단이 연결되면 유전자 흐름이 일어나 하나의 큰 집단이 된다. 이렇게 커진 집단은 유전적 부동의 영향을 적게 받게 된다. 사람이 만든 도로에 의해 단절된 집단을 연결해 주는 그림 V-32의 생태 통로는 유전자 흐름을 위한 것이다.

유전자풀을 변화시키는 여러 요인은 집단의 진화에 영향을 미친다. 일반적으로 하나의 요인만 작용하지 않으며, 여러 요인이 동시에 작용한다.



그림 V-32 생태 통로

**핵심 개념 확인하기**

- 1 유전자풀을 변화시키는 요인 중에서 집단의 크기가 작을 때 더 큰 영향을 미치는 요인은 무엇인가?
- 2 ( )은/는 새로운 유전적 변이의 궁극적 원천이다.
- 3 **창의 융합 사고** | 멸종 위기종의 유전자풀 변화를 최소화하기 위해 어떤 노력을 할 수 있는지 생각해 보자.

- 다음 개념을 이해하였는지 ✓ 표를 하면서 확인해 보자.
- 돌연변이
- 유전적 부동
- 자연 선택
- 유전자 흐름

**목표**

유전자풀의 변화 사례를 조사하여 발표할 수 있다.

**과정**

치타(*Acinonyx jubatus*)와 북방코끼리물범(*Mirounga angustirostris*)은 병목 효과로 개체 수가 줄어들어 유전자풀이 변화한 사례이다.



치타



북방코끼리물범

- ① 두 종이 각각 경험한 병목 효과의 원인이 무엇인지 조사해 보자.
- ② 유전자풀의 변화로 치타와 북방코끼리물범에서 어떤 현상이 나타났는지 조사하여 발표해 보자.

**결과 및 정리**

1. 치타와 북방코끼리물범에서 병목 효과가 나타난 원인을 각각 써 보자.



.....

.....

2. 병목 효과는 유전자풀에 어떤 영향을 미치는가?



.....

3. 유전자풀이 변화하는 또 다른 사례를 조사하여 발표해 보자.



.....

**평가하기**

1 2 3 4 5

- 치타와 북방코끼리물범에서 나타난 병목 효과를 조사하는 활동에 적극적으로 참여하였는가?
- 병목 효과가 유전자풀에 미치는 영향을 설명할 수 있는가?
- 유전자풀이 변화하는 또 다른 사례를 조사하는 데 적극적으로 참여하였는가?

| **활동 후기** | 이 활동에서 어떤 것을 배웠는지 자유롭게 적어 보자.



.....



# 6



## 종분화

학습  
목표

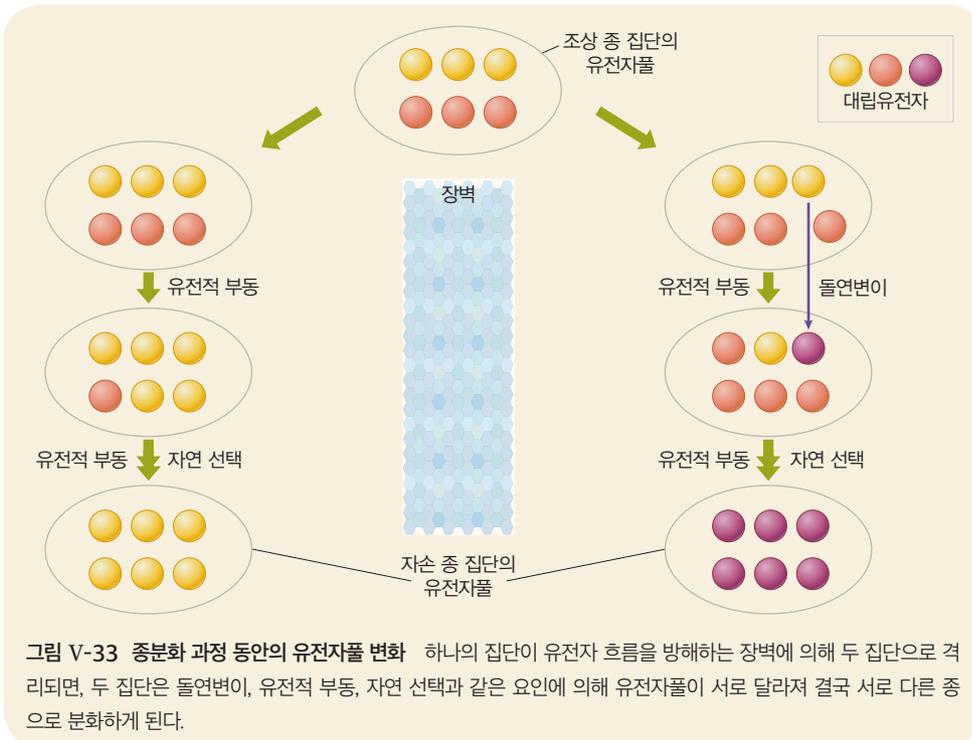
- 지리적 격리에 의한 종분화 과정을 설명할 수 있다.
- 종분화의 사례를 조사하여 발표할 수 있다.

크고 작은 100여 개의 화산섬으로 구성된 하와이에는 800여 종의 초파리가 서식하고 있다. 하와이에서는 많은 종의 초파리가 어떻게 생겨났을까?



새로운 종이 생겨나는 과정을 **종분화**라고 하며, 종분화를 통해 지구에는 수많은 종이 생겨났다.

종분화가 일어나는 가장 일반적인 과정은 지리적 격리에 의한 종분화이다. 이때 한 집단은 물리적인 장벽에 의해 격리되어 두 집단으로 분리된 후, 서서히 종분화가 일어난다. 그림 V-33과 같이 원래 한 집단이었지만 물리적 장벽에 의해 분리된 두 집단에 돌연변이, 유전적 부동, 자연 선택 등이 작용하면 두 집단 각각의 유전자풀은 점차 서로 다르게 변한다. 오랜 시간이 지나서 두 집단이 다시 만나게 되더라도 두 집단의 개체 사이에서 교배가 일어나지 않거나, 교배가 일어나더라도 번식 가능한 자손이 태어나지 않는다. 즉, 두 집단은 유전자풀을 공유할 수 없게 되어 생식적으로 격리되고, 그 결과 두 집단은 서로 다른 종으로 분화된다.



종분화를 일으키는 지리적 격리에는 어떤 것이 있는지 알아보자.

자료 해석 해 보기 종분화



그림은 포크피시와 다람쥐의 종분화 사례를 나타낸 것이다.



▲ 파나마 지협에서의 포크피시 종분화

▲ 그랜드 캐니언에서의 다람쥐 종분화

● 위의 두 사례에서 나타난 종분화를 조사하여 발표해 보자.



그림 V-34와 같이 미국 서부에 분포하는 엔사티나도롱뇽(*Ensatina eschscholtzii*)에서는 지리적으로 인접한 집단 사이에 생식적 격리가 없어 교배를 통한 유전자 흐름이 일어난다. 그러나 가장 남쪽에 있는 두 집단은 생식적인 격리가 일어나 서로 다른 종으로 분화하였다. 이러한 현상이 나타나는 이웃 집단들의 모임을 **고리종**이라고 한다. 고리종은 종분화가 연속적이며, 점진적인 과정이라는 것을 보여 준다.

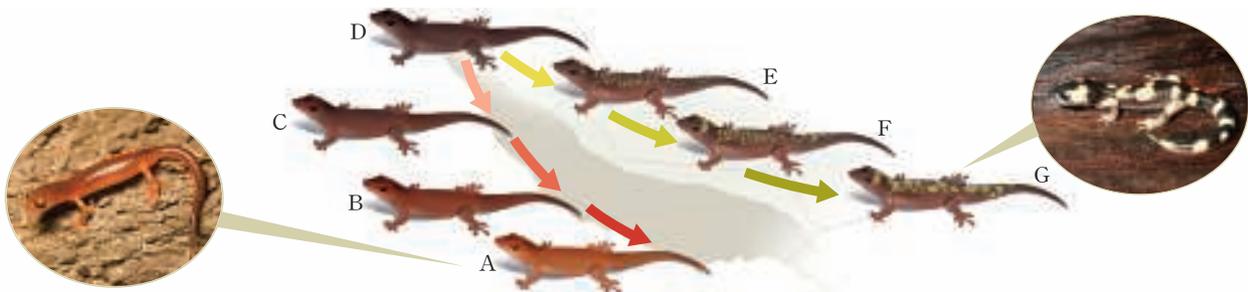


그림 V-34 엔사티나도롱뇽에서 나타나는 고리종의 사례 인접한 집단들은 생식적으로 격리되어 있지 않지만, 집단 A와 G는 생식적으로 격리되어 있다.

핵심 개념 확인하기

- 1 한 종으로부터 새로운 종이 생겨나는 과정을 ( )이라고 한다.
- 2 **창의 융합 사고** | 생쥐가 속한 설치목은 2000종 이상이 알려져 있는데, 사람이 속한 영장목은 600여 종에 불과하다. 설치목과 영장목의 종 수가 이처럼 차이 나는 까닭을 생각해 보자.

- 다음 개념을 이해하였는지  표를 하면서 확인해 보자.
- 종분화
- 고리종



목표

고리종의 사례를 조사하여 토의할 수 있다.

과정

① 다음은 북극 주변에 서식하는 재갈매기 집단에 관한 내용이다.

북극 주변에 서식하는 재갈매기 7집단(A~G)은 과정 ②의 그림과 같이 고리 모양으로 분포하고 있다. 재갈매기 7집단에서 A와 G를 제외하고 인접한 두 집단 사이에서만 생식적으로 격리되어 있지 않다. 예를 들어 B와 C는 교배를 통해 자손을 얻을 수 있으나, B와 D 사이에서는 교배를 통해 자손을 얻을 수 없다.

② 그림의 재갈매기 7집단 중에서 서로 교배를 하여 자손을 얻을 수 있는 집단 사이를 선으로 연결해 보자.



🔍 검색

인터넷에서 고리종을 검색해 보자.



▲ 재갈매기(Larus argentatus)

결과 및 정리

1. 재갈매기 집단 A와 B 사이에서는 교배가 가능하다. 집단 A와 C 사이에서도 교배가 가능한지 설명해 보자.



2. 북극 주변에 서식하는 재갈매기 집단들이 고리종인 까닭을 토의하여 발표해 보자.



평가하기

1 2 3 4 5

● 재갈매기 7집단 중에서 번식 가능한 집단끼리 정확히 선으로 연결하였는가?

● 재갈매기 집단을 통해 고리종의 개념을 이해하였는가?

| 활동 후기 | 이 활동에서 어떤 것을 배웠는지 자유롭게 적어 보자.



## 섬 생물의 다양성과 멸종



섬은 육지에서 고립된 환경으로 종분화가 활발하게 일어날 수 있는 좋은 여건을 갖추고 있어 육지에 없는 독특한 생물종이 많이 서식하고 있다. 다윈도 남미 대륙에서 수백 km 떨어진 갈라파고스 군도의 독특한 생물을 연구하면서 자연 선택에 의한 종분화 이론을 세울 수 있었다. 그러나 섬은 새로운 종이 생성되는 곳이기도 하지만 종이 쉽게 멸종될 수 있는 곳이기도 하다.



▲ 태즈메이니아늑대

태즈메이니아늑대(*Thylacinus cynocephalus*)는 유대류 중에서 가장 큰 육식 동물이었는데 현재는 멸종하였다. 유럽인들이 오스트레일리아를 발견했을 때 이 종은 태즈메이니아섬에만 서식하고 있었다. 하지만 태즈메이니아늑대는 갑작스럽게 늘어난 정착민들에 의한 서식지 파괴, 각종 질병과 외래종의 유입 때문에 멸종되었다.

도도(*Raphus cucullatus*)는 마다가스카르 동쪽에 있는 모리셔스섬의 고유종으로, 새이지만 몸집이 1 m 정도로 커서 날지 못했다. 포식자가 없고 먹이가 풍부한 모리셔스섬에서 살아왔던 도도는 사람들을 두려워하지 않아 섬을 찾는 사람들에게 쉽게 잡혔고, 사람들과 함께 들어온 개, 돼지, 고양이, 쥐, 원숭이 등의 외래종과 경쟁하면서 결국 멸종되었다.

태즈메이니아늑대와 도도 외에도 섬에만 존재하는 독특한 생물들이 멸종한 사례는 많다.

섬에 서식하는 종들은 제한된 섬의 크기 때문에 개체 수가 많지 않다. 집단의 크기가 크지 않기 때문에 유전적 다양성은 매우 낮아 환경의 변화에 적응하지 못할 가능성이 매우 크다. 또, 사람에 의한 서식지 파괴, 외래종의 도입 등으로 개체 수가 감소할 수 있다. 따라서 섬에 서식하는 생물의 보존을 위한 관심과 노력이 요구된다.



▲ 도도

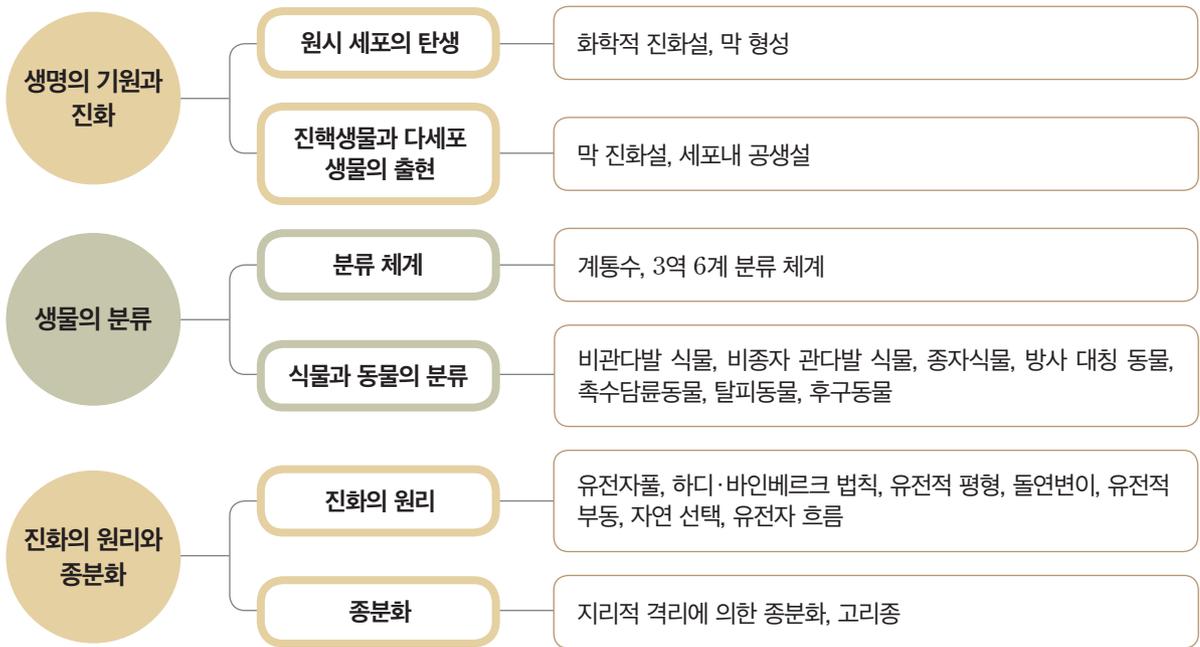
### 💡 핵심 역량 펼치기

제시된 사례 이외에 멸종 위기에 있는 섬 생물을 조사해 보자.





🌀 핵심 개념 정리하기



🌀 핵심 개념 적용하기

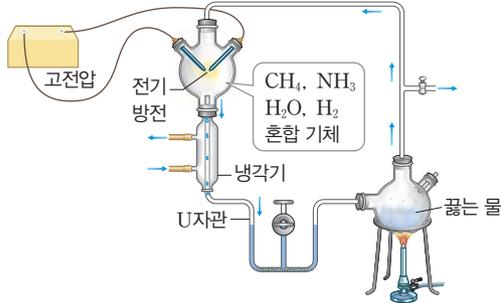
01 다음 설명 중 옳은 것은 ○표, 옳지 않은 것은 ×표를 해 보자.

- (1) 원시 지구의 대기에는 산소가 풍부하였다. (○, ×)
- (2) 진핵생물의 미토콘드리아는 세포내 공생을 통해 생성되었다. (○, ×)
- (3) 계통수의 분기점에서 종분화가 발생하였다. (○, ×)
- (4) 대장균은 고세균역에 포함된다. (○, ×)
- (5) 사람은 척삭동물문에 속한다. (○, ×)
- (6) 자연 상태에 존재하는 모든 생물 집단은 하디·바인베르크 법칙을 따른다. (○, ×)
- (7) 유전자 흐름은 종분화를 촉진한다. (○, ×)



1. 생명의 기원 152쪽

02 그림은 밀러와 유리의 실험을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

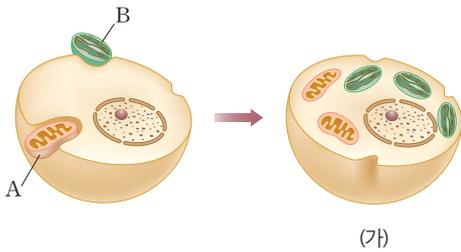
<보기>

- ㄱ. 원시 대기는 환원성 기체로 구성되어 있다.
- ㄴ. 전기 방전은 유기물 합성에 필요한 에너지를 제공해 준다.
- ㄷ. U자관에서는 단백질, 핵산 등의 고분자 유기물이 발견되었다.

- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄷ    ④ ㄱ, ㄴ    ⑤ ㄴ, ㄷ

2. 진핵생물과 다세포 생물의 출현 156쪽

03 그림은 진핵생물의 진화 과정 중 일부를 나타낸 것이다. A와 B는 각각 광합성 세균과 산소 호흡 세균 중 하나이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

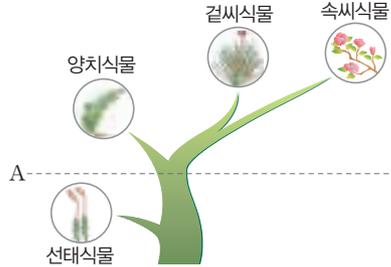
<보기>

- ㄱ. A는 산소 호흡을 하는 생물이다.
- ㄴ. B는 진핵생물이다.
- ㄷ. 세포 (가)는 광합성을 할 수 있다.

- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄱ, ㄷ  
④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

4. 식물과 동물의 분류 164쪽

04 그림은 식물의 계통수를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보기>

- ㄱ. 분류 기준 A는 관다발의 유무이다.
- ㄴ. 선대식물과 양치식물은 모두 종자로 번식한다.
- ㄷ. 외떡잎식물과 쌍떡잎식물은 속씨식물에 속한다.

- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄱ, ㄷ  
④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

5. 진화의 원리 172쪽

05 표는 100명으로 구성된 집단에서 어떤 유전 형질의 유전자형을 조사한 것이다.

유전자형	BB	Bb	bb
사람 수(명)	30	60	10

이 집단에서 대립유전자 B의 빈도는?

- ① 0.1    ② 0.3    ③ 0.4  
④ 0.6    ⑤ 0.9

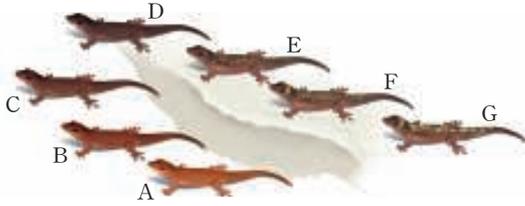
5. 진화의 원리 172쪽

06 다음 중 유전자풀이 변하는 경우가 아닌 것은?

- ① 돌연변이가 일어났다.
- ② 어떤 형질이 자연 선택되었다.
- ③ 힘이 센 수컷이 암컷을 모두 독차지한다.
- ④ 집단의 구성원 사이에서 무작위 교배가 일어났다.
- ⑤ 이웃한 집단에서 몇몇 개체가 들어와 교배하였다.



07 그림은 고리종인 어떤 동물을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

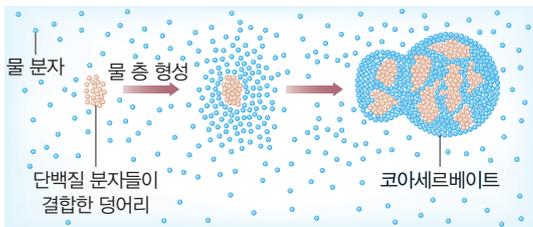
<보기>

- ㄱ. A와 B 사이에는 생식적 격리가 일어나지 않는다.
- ㄴ. A와 G 사이에서 직접적인 유전자 흐름이 일어나지 않는다.
- ㄷ. 종분화가 어느 시점에서 급격하게 나타나는 과정임을 보여 준다.

- ① ㄴ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄱ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

핵심 역량 키우기

08 과학적 사고력 그림은 코아세르베이트의 형성 과정을 나타낸 것이다.



최초의 생명체가 탄생할 때 코아세르베이트와 같은 막 구조가 필요한 까닭을 설명해 보자.

09 과학적 사고력 표는 생물종 (가)~(마)의 특징을 조사한 것이다.

특징 \ 생물종	(가)	(나)	(다)	(라)	(마)
A	있음.	있음.	있음.	있음.	있음.
B	없음.	있음.	있음.	있음.	있음.
C	없음.	있음.	없음.	없음.	있음.
D	없음.	없음.	없음.	없음.	없음.
E	없음.	없음.	있음.	있음.	없음.
F	없음.	없음.	없음.	없음.	있음.
G	없음.	없음.	없음.	있음.	없음.

자료를 이용하여 생물종 (가)~(마)의 유연관계를 나타내는 계통수를 작성하고, 유연관계를 설명해 보자.

10 과학적 탐구 능력 그림은 식물계에 속하는 식물의 무리를 나타낸 것이다.



선태식물

양치식물



겉씨식물

속씨식물

선태식물과 양치식물보다 겉씨식물과 속씨식물이 육상 환경에 잘 적응할 수 있었던 까닭을 식물의 구조, 번식 방법과 관련하여 설명해 보자.

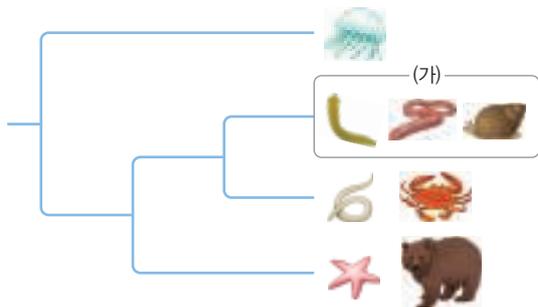


4. 식물과 동물의 분류 164쪽

**11 과학적 문제 해결력** 동물을 분류하는 과정에서 DNA의 염기 서열은 매우 중요한 분류 형질이다. 형태적 특징에 비해 DNA의 염기 서열이 분류 형질로서 가지는 장점을 설명해 보자.

4. 식물과 동물의 분류 164쪽

**12 과학적 사고력** 그림은 동물계의 계통수 일부를 나타낸 것이다.



분류군 (가)에 속한 동물들이 가지는 공통 특징을 설명해 보자.

5. 진화의 원리 172쪽

**13 과학적 탐구 능력** 그림은 회색가지나방에서 관찰되는 두 가지 색깔의 표현형을 나타낸 것이다.



환경 오염으로 배경색이 어두워진다면 회색가지나방 집단에서 몸 색깔의 표현형은 어떻게 변화하는가? 그렇게 변화하는 까닭을 설명해 보자.

5. 진화의 원리 172쪽

**14 과학적 참여와 평생 학습 능력** 그림은 도로 위에 조성된 생태 통로를 나타낸 것이다.



생태 통로가 야생 동물 집단의 유전자풀에 미치는 영향을 설명해 보자.

5. 진화의 원리 172쪽

**15 과학적 사고력** 다음은 진화 요인 중 하나를 설명한 것이다.

1971년에 뉴잉글랜드의 어느 목장에서 다리의 길이가 정상인 양들 사이에서 다리가 매우 짧은 양이 태어났다.

이 진화 요인이 집단의 유전자풀에 미치는 영향을 설명해 보자.

6. 종분화 181쪽

**16 과학적 사고력** 그림은 갈라파고스 군도의 지도를 나타낸 것이다.



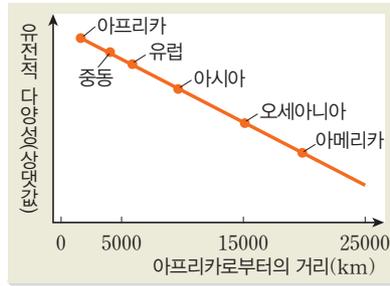
남미 대륙에서 건너온 공통 조상으로부터 많은 종의 핀치가 생겨날 수 있었던 까닭을 설명해 보자.



17 다음은 현대인의 기원에 관한 연구와 창시자 효과를 설명한 내용이다.

(가) 전 세계에 걸쳐 분포하고 있는 현대인의 기원에 대해서는 두 가지 가설이 존재한다. 하나는 세계 각지의 직립 원인이 아프리카, 아시아, 유럽 등지에서 각각 현대인으로 진화하였다는 다지역 진화설이다.

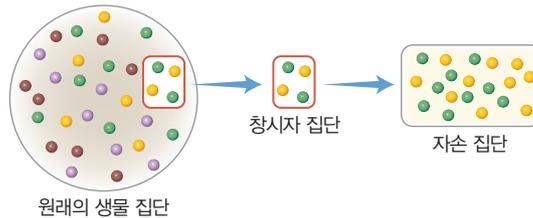
또 다른 가설은 현대인이 아프리카에서 탄생하여 유럽과 아시아로 퍼져 각 지역에 사는 직립 원인을 대신하게 되었다는 아프리카 단일 기원설이다. 이 가설을 증명하기 위해 일부 유전학자들은 전 세계 각 지역에 사는 원주민들의 유전적 다양성을 조사하고 분석하여 그림과 같은 결과를 얻었다.



(출처: voxeu, 2011.)

아프리카로부터 떨어진 거리와 유전적 다양성

(나) 생물 집단을 구성하는 일부 개체들이 떨어져 나와 새로운 집단을 구성할 때 유전자 풀의 구성이 달라지는 현상을 창시자 효과라고 한다. 창시자 집단은 원래의 생물 집단보다 크기가 작고, 유전적 다양성이 낮다. 또, 유전적 부동의 영향으로 원래의 생물 집단과는 다른 유전적 조성을 갖는다.



인터넷에서 다지역 진화설과 아프리카 단일 기원설을 찾아보자.

(1) (가)에 제시된 유전학자들의 연구 결과는 아프리카 단일 기원설을 증명한다고 한다. 그 까닭을 창시자 효과로 설명하는 글을 써 보자.



.....

.....

(2) 유전학자들의 연구 결과를 이용하여 아프리카 단일 기원설에 따라 인류가 이동한 경로를 설명해 보자.



.....

.....

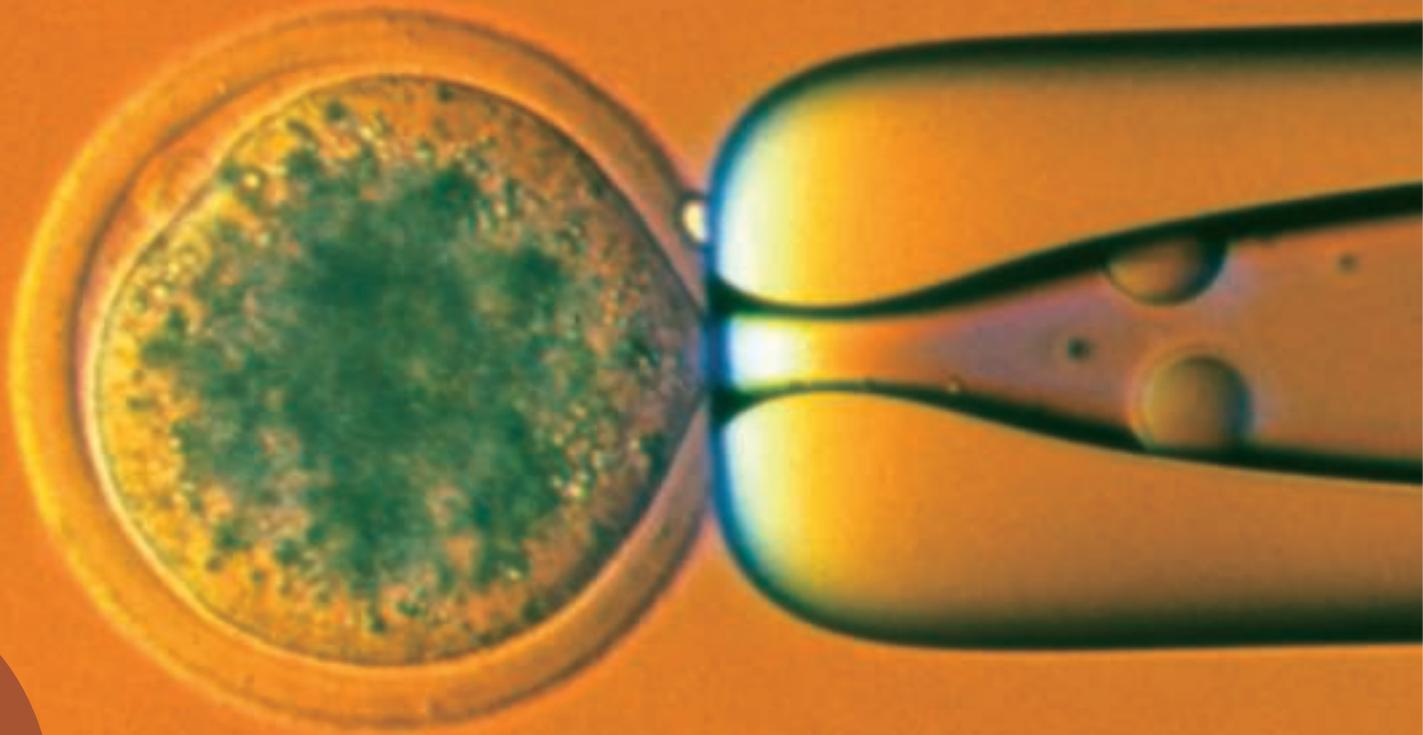


# VI

## 생명 공학 기술과 인간 생활

생명 공학이란 물질대사, 생장, 생식, 유전 등의 지식을 이용해 인간에게 필요한 물질을 생산하고 가공하거나, 질병 치료에 활용하는 기술을 말한다. 생명 공학 기술을 활용한 산물은 우리 생활에서 다양하게 쓰이고 있다.

이 단원에서는 생명 공학 기술의 원리를 이해하고, 그 활용 사례를 알아보자. 또, 생명 공학 기술의 개발과 활용 시 고려해야 할 법적, 윤리적, 사회적 문제점을 알아보고, 생명 공학 기술이 미래 사회에 미칠 영향을 예측해 보자.



- ① 유전자 재조합 기술의 원리
- ② 복제와 관련된 생명 공학 기술
- ③ 생명 공학 기술을 이용한 난치병 치료
- ④ 생명 공학 기술의 영향
- ⑤ 생명 공학 기술의 현재와 미래

## 버블 보이와 유전자 치료

DNA 결함으로 태어날 때부터 면역력이 거의 없다면 어떻게 살 수 있을까?



베테(Vetter, D., 1971~1984)는 선천성 면역 결핍증을 앓아 태어나면서부터 무균 상태로 유지되는 투명한 플라스틱 공간(버블 공간)에서 살아야 했다. 베테는 플라스틱 공간에서 살면서 치료법이 개발될 때까지 기다렸지만 그 기대는 쉽게 이루어지지 않았다. 베테가 열두 살이 되던 해에 누나의 골수를 이식받았으나 불행히도 누나의 골수는 바이러스에 감염되어 있었고, 베테는 이를 방어할 능력이 없어 결국에는 세상을 떠났다.



1. **문제 해결력** 베테가 투명한 플라스틱 공간에서 살아가는 이야기는 영화로 제작되었다. 자신이 작가라면 생명 공학 기술과 관련된 내용이 포함된 영화의 각본을 어떻게 쓸 것인지 구상해 보자.





데실바(DeSilva, A., 1986~)는 중증 복합 면역 결핍증에 걸렸지만 1990년에 최초의 유전자 치료를 통해 면역력이 회복되었다.



2. 탐구 능력 데실바가 받은 유전자 치료를 조사하여 발표해 보자.

학습  
계획하기

다음의 '단원 학습'에서 알고 있는 것에 ✓표를 해 보고, 스스로 학습 계획을 세워 보자.

선수 학습

» 중학교 과학

- 과학과 나의 미래
- 과학 기술과 인류 문명

» 생명과학 I

- 항상성과 몸의 조절

» 생명과학 II

- 생명 과학의 역사

단원 학습

유전자 재조합 기술

조직 배양

단일 클론 항체

줄기세포

핵치환

세포 융합

유전자 치료

LMO

나는

할 수 있다.



# 유전자 재조합 기술의 원리

## 학습 목표

- 유전자 재조합 기술의 원리를 설명할 수 있다.
- 유전자 재조합 기술의 활용 사례를 조사하여 발표할 수 있다.

바위에 달라붙은 홍합이 거친 파도에도 떨어지지 않는 까닭은 접착 단백질 때문이다. 홍합의 접착 단백질은 의약품 접착제로 이용할 수 있어 생명 공학 기술로 생산하고 있다. 이와 관련된 생명 공학 기술은 무엇일까?



## 플라스미드

일부 세균 내에 존재하는 고리 모양의 작은 DNA이다. 여러 개의 유전자를 포함하고 있으며, 복제할 수 있고 한 세균에서 다른 세균으로 이동할 수 있다.



80 nm

## 제한 효소

원핵생물에서 발견되는 효소이다. 바이러스나 다른 생물의 DNA가 원핵생물에 침입했을 때 침입한 DNA를 잘라서 자신을 보호하는 역할을 한다.

특정 생물에서 추출한 유용한 유전자를 다른 생물의 DNA에 끼워 넣어 재조합 DNA를 만든 후, 이를 세균 등에 넣어 유용한 유전자를 증식하거나 유전자의 산물을 얻는 기술을 **유전자 재조합 기술**이라고 한다. 유전자 재조합 기술을 활용하여 세균에서 홍합의 접착 단백질을 생산하는 방법은 그림 VI-1과 같다.

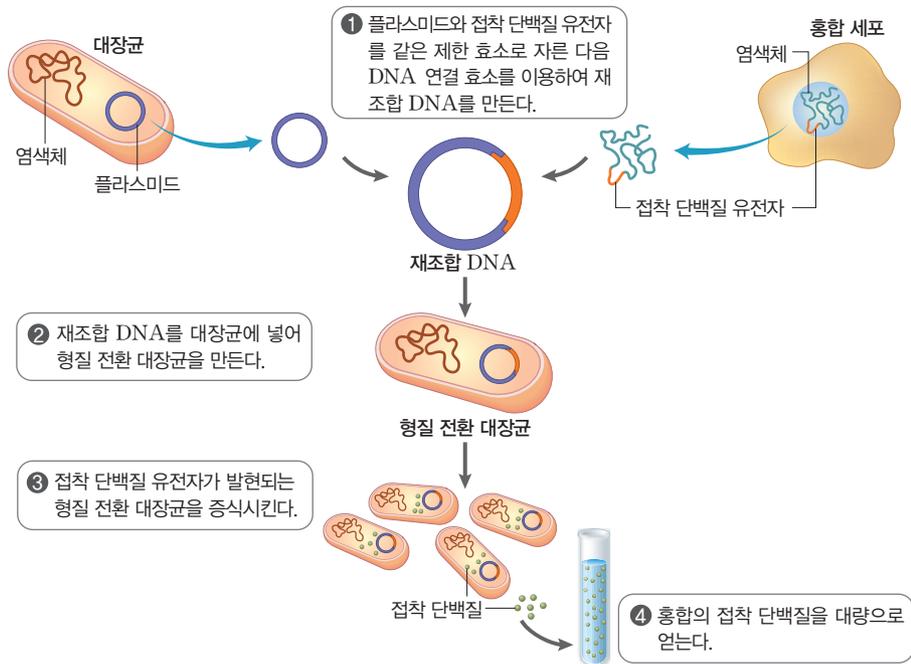
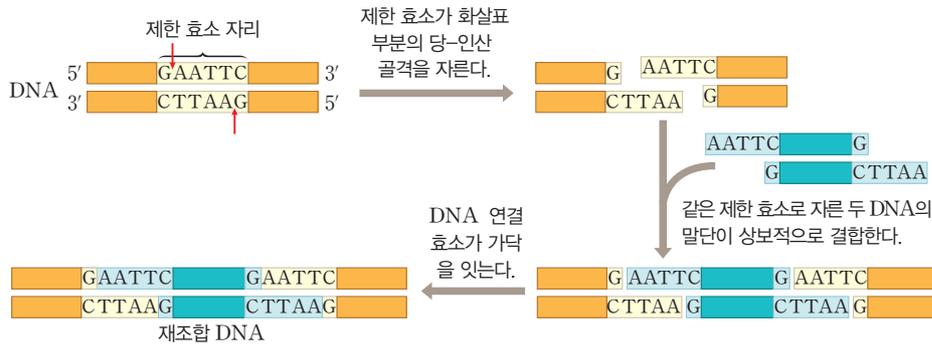


그림 VI-1 유전자 재조합 기술을 활용한 홍합의 접착 단백질 생산 과정

유전자 재조합 기술에는 재조합할 유용한 유전자, DNA 운반체, 제한 효소, DNA 연결 효소가 필요하다. DNA 운반체는 유용한 유전자를 숙주 세포 안으로 운반하는 역할을 하는 DNA이며, 주로 플라스미드가 이용된다.

**제한 효소**는 DNA의 특정 염기 서열을 인식하여 자르는 역할을, **DNA 연결 효소**는 자른 DNA를 붙이는 역할을 한다. 그림 VI-2와 같이 제한 효소로 잘린 DNA의 양쪽 말단은 상보적인 염기 서열을 가진 다른 DNA 말단과 결합할 수 있다. 같은 제한 효소로 잘라 만들어진 유전자 말단과 DNA 운반체 말단의 염기 간에는 수소 결합이 형성된다. 수소 결합을 통해 일시적으로 결합한 두 DNA의 말단을 DNA 연결 효소로 연결하면 재조합 DNA가 된다.



#### 제한 효소 자리

각각의 제한 효소가 인식하여 자르는 DNA의 특정 염기 서열로, 일반적으로 4~8개의 염기를 포함한다.

**그림 VI-2 제한 효소 *EcoRI*과 DNA 연결 효소의 작용** *EcoRI*은 DNA 염기 서열 중 5'-GAATTC-3'을 인식하여 잘라 단일 가닥이 노출된 말단을 가진 DNA 조각을 만든다. 상보적인 염기 서열의 말단을 가진 DNA 조각들은 서로 결합할 수 있다.

현재까지 많은 세균에서 수백 종류의 제한 효소가 발견되었다. 제한 효소마다 제한 효소 자리가 다르므로 제한 효소의 종류를 선택하여 이용하면 DNA를 원하는 대로 자를 수 있다.

1970년대 후반에 최초로 유전자 재조합 기술을 활용하여 대장균에서 사람의 인슐린을 생산하였다. 이후 유전자 재조합 기술은 많은 분야에서 활발하게 활용되고 있다. 유전자 재조합 기술이 활용된 사례에는 어떤 것이 있는지 알아보자.

### 조사 해 보기 유전자 재조합 기술의 활용 사례



그림은 유전자 재조합 기술이 활용되고 있는 여러 분야를 나타낸 것이다.



▲ 농업



▲ 의약품



▲ 환경 정화



▲ 식품

- 모둠별로 위 분야를 포함한 여러 분야에서 유전자 재조합 기술이 활용된 사례를 조사하여 발표해 보자.



유전자 재조합 기술로 형질 전환 대장균을 만드는 과정에서는 재조합 플라스미드(재조합 DNA)가 도입된 대장균, 원래의 플라스미드가 도입된 대장균, 플라스미드가 도입되지 않은 대장균이 있을 수 있다. 따라서 재조합 플라스미드가 도입된 대장균을 선별하는 과정이 필요하다.

### ☞ 자료실

### 재조합 플라스미드가 도입된 대장균의 선별

재조합 플라스미드가 도입된 대장균을 선별하는 방법 중 하나는 그림 VI-3과 같이 엮피실린 저항성 유전자와 젓당 분해 효소 유전자가 있는 플라스미드를 이용하는 것이다. 이 플라스미드가 도입된 대장균은 항생제인 엮피실린이 있는 배지에서 증식하여 군체를 형성한다. 그리고 젓당 분해 효소로 젓당 유사 물질을 분해하여 푸른색의 생성물을 만들어 내므로 군체의 색깔이 푸른색을 띤다. 젓당 분해 효소 유전자 부위에 유전자가 삽입된 재조합 플라스미드를 대장균에 도입했을 때 대장균은 젓당 분해 효소를 만들지 못한다. 따라서 엮피실린과 젓당 유사 물질을 포함한 배지에서 증식하여 흰색 군체를 형성한다.

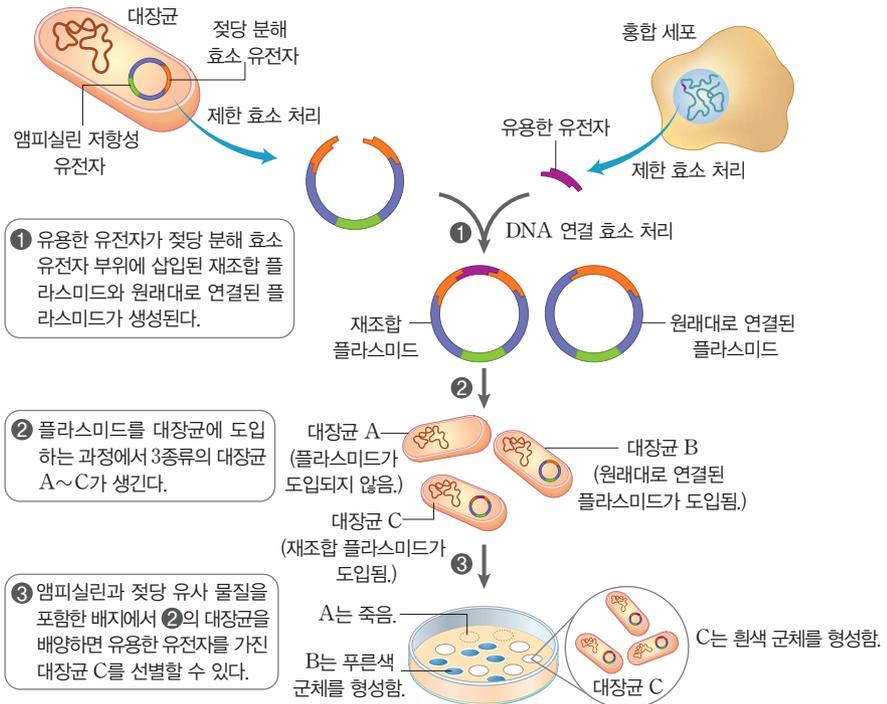


그림 VI-3 형질 전환 대장균 선별

#### 핵심 개념 확인하기

- 1 유전자 재조합 기술에 이용되는 효소를 써 보자.
- 2 유전자 재조합 과정에서 유용한 유전자를 가진 DNA와 플라스미드를 같은 제한 효소로 처리하는 까닭을 써 보자.

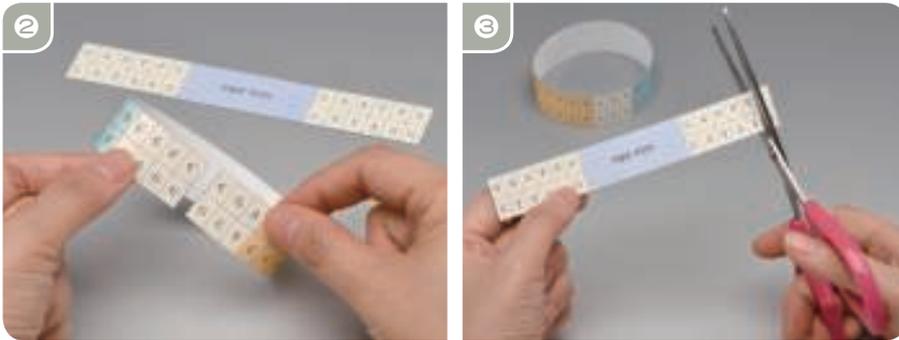
- 다음 개념을 이해하였는지 ✓ 표를 하면서 확인해 보자.
- 유전자 재조합 기술
- 제한 효소

목표

모의 활동을 통해 유전자 재조합 기술의 원리를 이해하고 설명할 수 있다.

과정

- 1 부록에 있는 플라스미드 모형과 인슐린 유전자가 포함된 DNA 모형을 각각 자른다.
- 2 플라스미드 모형의 양 끝을 셀로판테이프로 붙여 고리 모양으로 만든다.
- 3 플라스미드 모형과 인슐린 유전자가 포함된 DNA 모형에서 제한 효소 *EcoRI*의 제한 효소 자리를 찾아 각각 가위로 자른다.
- 4 잘린 플라스미드 모형에 인슐린 유전자가 포함된 DNA 모형을 맞추어 넣고 셀로판테이프로 붙여 재조합 DNA를 만든다.



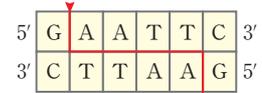
준비물

- 유전자 재조합 모형 (부록 223쪽)
- 가위
- 셀로판테이프

유의할 점

유전자 재조합 모형을 가위로 오릴 때 손을 다치지 않도록 주의한다.

*EcoRI*의 제한 효소 자리



결과

1. 과정 3에서 이용한 가위와 과정 4에서 이용한 셀로판테이프는 유전자 재조합 기술에서 각각 무엇에 비유할 수 있는가?

.....

2. 과정 4에서 플라스미드와 인슐린 유전자가 포함된 DNA를 연결하는 원리를 설명해 보자.

.....

정리

1. 재조합 DNA가 도입된 대장균을 선별하는 방법을 설명해 보자.

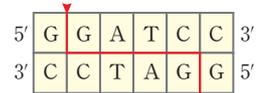
.....

2. 창의력 (+) 제한 효소 *BamHI*을 이용하여 재조합 DNA를 만들 수 있도록 플라스미드 모형과 인슐린 유전자가 포함된 DNA 모형을 제작해 보자.

.....

.....

*BamHI*의 제한 효소 자리



평가하기

1 2 3 4 5

● 재조합 DNA를 만드는 활동에 적극적으로 참여하였는가?

● 재조합 DNA를 만드는 원리를 이해하였는가?

| 활동 후기 | 이 활동에서 어떤 것을 배웠는지 자유롭게 적어 보자.

.....

# 2

## 복제와 관련된 생명 공학 기술

### 학습 목표

- 핵치환, 조직 배양, 세포 융합의 원리를 설명할 수 있다.
- 핵치환, 조직 배양, 세포 융합의 활용 사례를 조사하여 발표할 수 있다.

영국의 윌멧(Wilmot, I., 1944~) 박사는 생명 공학 기술을 활용하여 복제 양 돌리를 탄생시켰다. 동물 복제와 관련된 생명 공학 기술에는 어떤 것이 있을까?



### 핵치환

한 세포에서 핵을 꺼내어 핵을 제거한 난자에 이식하는 기술을 **핵치환**이라고 하며, 핵치환으로 핵을 제공한 개체와 유전적으로 같은 개체를 복제할 수 있다. 핵치환을 활용하면 교배 과정을 거치지 않고 체세포의 핵을 이용하여 생물을 탄생시킬 수 있다.

다음에서 복제 양 돌리가 탄생하기까지의 과정을 알아보자.

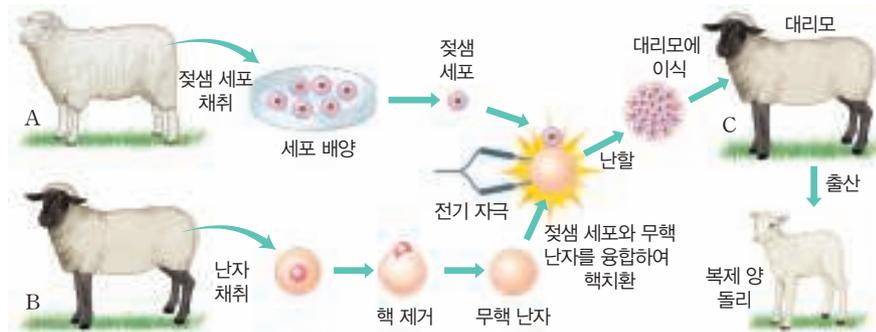
### 자료 해석

#### 해 보기

#### 복제 양 돌리의 탄생 과정



그림은 생명 공학 기술로 복제 양 돌리가 탄생하기까지의 과정을 나타낸 것이다.



1. 복제 양 돌리를 탄생시키는 데 활용된 생명 공학 기술을 설명해 보자.



2. 젓샘 세포의 핵을 이식받은 난자가 완전한 개체로 발생할 수 있는 까닭은 무엇인가?



3. 복제 양 돌리의 핵 DNA는 A~C 중 어느 양으로부터 물려받은 것인가?



핵치환은 우수한 동물이나 멸종 위기 생물을 복제함으로써 종을 보존하고 번식시키는 데 활용된다. 또, 유용한 유전자가 도입된 형질 전환 세포를 핵치환에 이용하여 형질 전환 복제 동물을 만들고, 이 동물로부터 의약품 등 유용한 물질을 생산하고 있다. 특히 우리나라에서는 마약을 탐지하거나 인명을 구조하는 특수견, 우수한 한우 등을 복제하여 실생활에서 이용하고 있거나 실용화하기 위한 안전성 연구를 진행하고 있다.



그림 VI-4 핵치환으로 탄생한 복제 동물

### 조직 배양

핵치환으로 복제 동물이 탄생하려면 체세포의 핵이 이식된 난자를 배아 수준까지 배양해야 한다. 그림 VI-5와 같이 조직이나 세포를 영양분이 첨가된 영양 배지에서 배양하는 기술을 **조직 배양**이라고 한다. 특히 식물의 세포나 조직 일부분을 분리하여 배양하면 세포 분열이 일어나고, 하나의 개체로 성장한다. 따라서 하나의 개체로부터 똑같은 형질을 가진 개체를 대량으로 번식시킬 수 있다.



### 캘러스

조직 배양으로 만들어진 미분화 상태의 세포 덩어리

무추



세포 융합으로 만들어진 잡종 식물로, 뿌리는 무, 잎은 배추이다.

## 세포 융합

복제 동물을 만드는 과정에서 핵을 제거한 난자와 체세포를 융합하는 기술이 활용되었다. 이처럼 서로 다른 특징을 가진 두 종류의 세포를 융합하여 하나의 세포로 만드는 기술을 **세포 융합**이라고 한다. 세포 융합을 활용하면 우리가 원하는 특성을 가진 융합 세포를 만들 수 있고, 두 식물 종의 특성을 모두 가진 잡종 식물을 만들 수 있다.

동물 복제와 관련된 생명 공학 기술은 어떻게 활용되고 있을까?

조사 해 보기

핵치환, 조직 배양, 세포 융합의 활용 사례



그림은 생명 공학 기술로 만들어진 동물과 의료 기구를 나타낸 것이다.



▲ 면역 결핍 돼지



▲ 임신 진단 기구

1. 면역 결핍 돼지와 임신 진단 기구는 각각 어떤 생명 공학 기술을 활용하여 만든 것인지 조사하여 발표해 보자.



2. 핵치환, 조직 배양, 세포 융합을 활용한 사례 중 우리 생활과 밀접한 관계가 있는 것을 찾아 발표해 보자.



핵치환은 동물 복제에 필수적인 기술이며, 세포 융합은 새로운 작물을 개발하는 데 활용되기도 한다. 최근에는 암의 발생 원인, 치료 등을 위한 연구에 동물 세포를 배양하는 기술이 많이 활용되고 있다.

### 핵심 개념 확인하기

- 1 체세포의 핵을 꺼내어 핵을 제거한 난자에 이식하는 기술을 무엇이라고 하는가?
- 2 두 종류의 생물이 가지고 있는 서로 다른 형질을 모두 가진 새로운 생물을 만드는 데 활용되는 기술은 무엇인가?
- 3 복제 양 돌리와 형질 전환 동물을 각각 만드는 데 활용된 생명 공학 기술의 공통점과 차이점은 무엇인지 생각해 보자.

• 다음 개념을 이해하였는지  표를 하면서 확인해 보자.

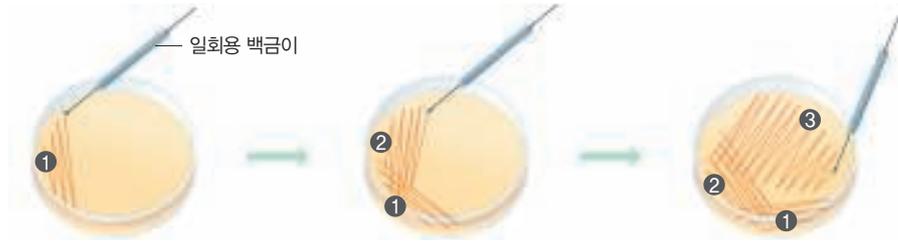
- 핵치환
- 조직 배양
- 세포 융합

목표

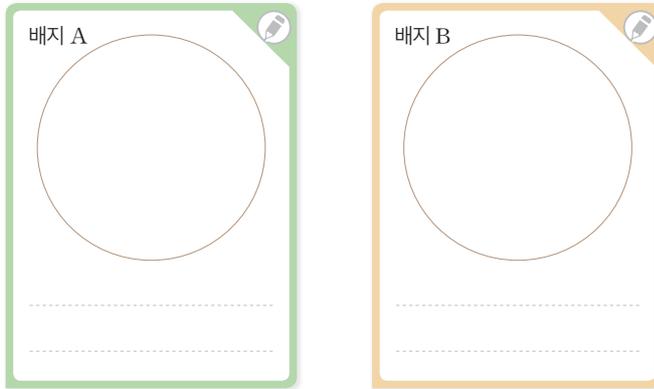
대장균을 배양하여 군체(콜로니)를 관찰할 수 있다.

과정

- 1 두 개의 LB 배지를 준비한다.
- 2 두 개의 LB 배지 중 하나는 그대로 두고, 다른 하나에는 살아 있는 대장균이 들어 있는 액체 배지를 일회용 백금으로 찍어 그림과 같은 방법으로 배지의 표면에 퍼 준다.



- 3 대장균을 접종하지 않은 배지(A)와 접종한 배지(B)의 뚜껑을 모두 닫는다.
- 4 과정 3의 두 개의 배지를 37 °C의 항온기에서 15시간 이상 배양하면서 군체가 보이면 관찰한 모습을 그리고, 그 특징을 기록한다.



결과 및 정리

1. 군체를 이루는 대장균들의 유전적 구성에는 어떤 차이가 있는지 쓰고, 그렇게 판단한 까닭을 설명해 보자.  
.....
2. 대장균 군체가 잘 형성되지 않았다면 그 까닭이 무엇인지 토의해 보고, 군체가 잘 형성되게 하려면 어떻게 해야 할지 써 보자.  
.....

준비물

- LB 배지       일회용 백금이
- 살아 있는 대장균이 들어 있는 액체 배지       항온기
- 실험복       보안경
- 실험용 고무장갑

유의할 점

- 실험하기 전에 실험대를 알코올로 닦아 배지가 오염되지 않도록 한다.
- 실험하기 전에 배지의 밑바닥에 대장균을 접종하지 않은 것과 접종한 것, 이름, 실험 날짜를 기재한다.
- 일회용 백금이 오염되지 않도록 주의한다.
- 실험 후 대장균과 배지는 멸균한 뒤 따로 모아 배출한다.

LB 배지

세균 배양에 주로 이용되는 영양분이 풍부한 배지

평가하기

1 2 3 4 5

- 대장균 배양 실험에 적극적으로 참여하였는가?
- 대장균 군체가 잘 형성되었는가?
- 실험 후 배지를 잘 폐기하였는가?

| 활동 후기 | 이 활동에서 어떤 것을 배웠는지 자유롭게 적어 보자.

.....

# 3

## 생명 공학 기술을 이용한 난치병 치료

학습  
목표

- 단일 클론 항체, 유전자 치료, 줄기세포를 난치병 치료에 활용한 사례를 설명할 수 있다.
- 생명 공학 기술을 활용한 난치병 치료법의 전망을 토의할 수 있다.

운동 신경 세포가 퇴화하여 근력 약화와 근육 위축을 초래하는 근위축성 측삭 경화증(루게릭 병)을 앓고 있는 환자에게 줄기세포를 시술하면 증상을 완화할 수 있다. 줄기세포와 같이 난치병 치료에 활용할 수 있는 생명 공학 기술에는 어떤 것이 있을까?



### 단일 클론 항체

항원 항체 반응은 생명과학 I의 '항상성과 몸의 조절' 단원과 연계됩니다.

#### 혈청

혈액의 일부 성분인 혈장에서 혈액 응고 관련 단백질이 제거된 노란색 액체

우리 몸에 병원체와 같은 특정 항원이 침입하면, 면역 세포는 이 항원을 인식하는 특정 항체를 만들어 낸다. 이 항체는 특정 항원과 결합함으로써 항원의 작용을 무력화해 우리 몸을 건강하게 유지하도록 한다.

우리 몸 밖에서 항체를 얻는 일반적인 방법으로는 쥐나 토끼와 같은 동물에 항원을 주입하고 일정 기간이 지난 후 혈청을 채취하는 것이다. 혈청 속에는 여러 종류의 항체가 들어 있지만 얻을 수 있는 양이 제한되고, 많은 양을 지속해서 얻기 어렵다. 이러한 문제점을 극복하는 방법은 그림 VI-6과 같이 세포 융합 기술로 하나의 항원만을 특이적으로 인식하는 **단일 클론 항체**를 생산하는 것이다.

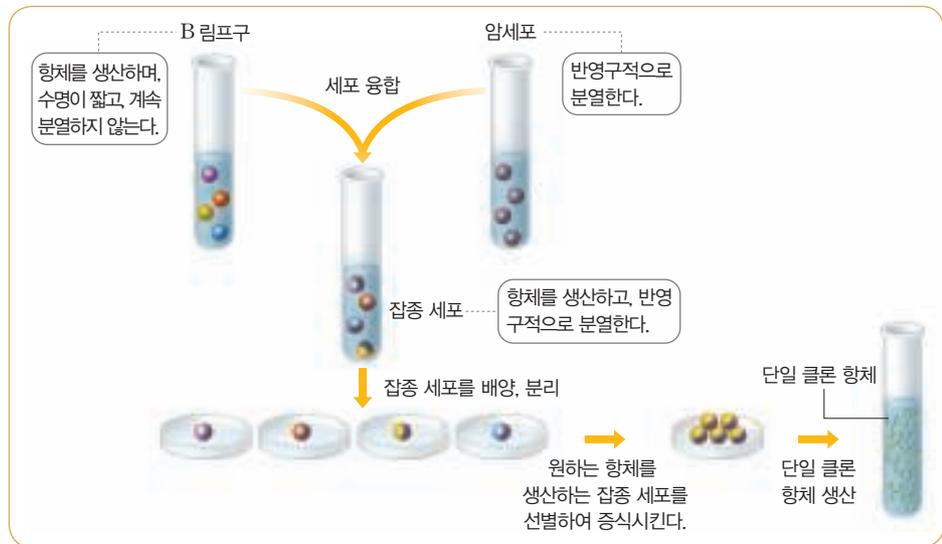


그림 VI-6 단일 클론 항체의 생산 과정 B 림프구와 암세포를 융합하여 얻은 잡종 세포 중 원하는 항체를 생산하는 잡종 세포를 선별하여 증식시키면 단일 클론 항체를 얻을 수 있다.

단일 클론 항체는 병원체에 의한 질환의 진단과 치료, 암 치료 등 다양한 분야에 활용될 수 있다.

## 유전자 치료

DNA 운반체를 이용해 치료에 필요한 유전자를 환자의 몸 안에 넣어 결함 유전자를 대체하거나, 그 부위에 치료용 단백질을 생산하게 하는 것을 **유전자 치료**라고 한다. 유전자 치료는 그림 VI-7과 같이 치료에 필요한 유전자를 투여하는 방법에 따라 체내 유전자 치료와 체외 유전자 치료로 구분한다.

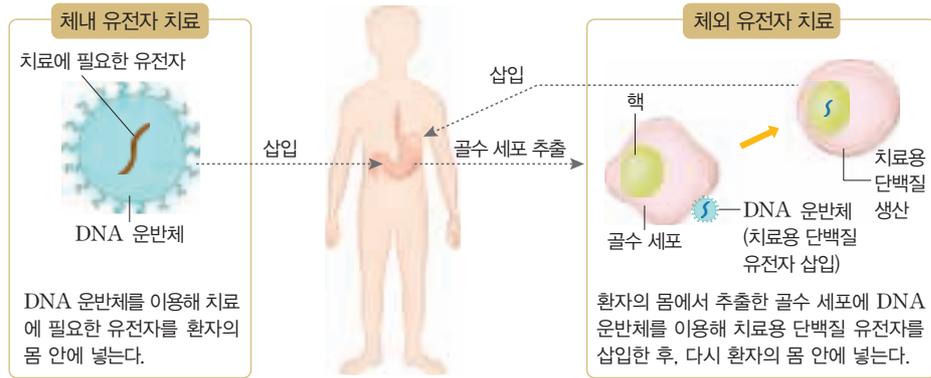
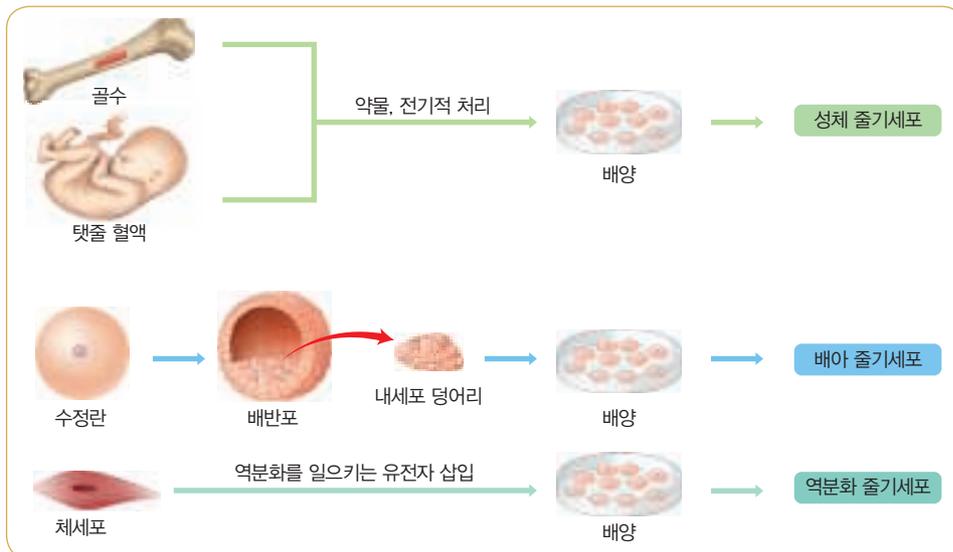


그림 VI-7 유전자 치료

유전자 치료에 관한 연구가 활발히 진행되어 실제 치료에 적용된다면 암, 후천성 면역 결핍증(AIDS), 유전병 등 많은 난치병을 치료하는 새로운 대안이 될 수 있다.

## 줄기세포

여러 종류의 세포로 발달할 수 있는 분화 능력을 가진 세포를 **줄기세포**라고 한다. 줄기세포에는 그림 VI-8과 같이 성체 줄기세포, 배아 줄기세포, 역분화 줄기세포가 있다. 성체 줄기세포는 골수, 탯줄 등에 있으며, 배아 줄기세포는 배아 조직 중 내세포 덩어리에서 얻을 수 있다. 역분화 줄기세포는 성인의 피부 세포와 같은 체세포를 역분화시켜 얻을 수 있다.



### 배반포와 내세포 덩어리

배반포는 사람의 초기 발생 단계에서 형성되는 포배이며, 안쪽에 내세포 덩어리가 있다. 내세포 덩어리는 발생을 거쳐 개체가 된다.

그림 VI-8 줄기세포의 종류 성체 줄기세포는 분화 능력이 제한적이지만, 배아 줄기세포와 역분화 줄기세포는 신체를 구성하는 거의 모든 종류의 세포로 분화할 수 있는 능력이 있다.

성체 줄기세포는 배아 줄기세포보다 생명 윤리적인 논란이 적어 백혈병, 척수 손상 등과 같은 질환의 치료에 이용되고 있다. 역분화 줄기세포는 생명 윤리적인 문제가 없고, 환자의 체세포를 이용할 수 있다. 그러나 배아 줄기세포와 역분화 줄기세포는 모두 종양을 일으킬 가능성이 있어 실용화를 위한 연구와 임상 시험이 진행되고 있다.

생명 공학 기술을 활용하여 난치병을 치료한 사례에는 어떤 것이 있는지 알아보자.

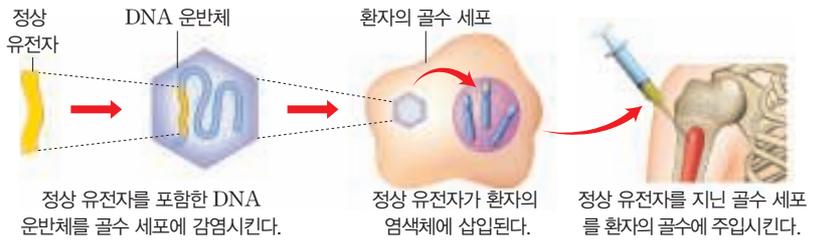
**자료 해석** **해 보기**

**생명 공학 기술을 활용한 난치병 치료**

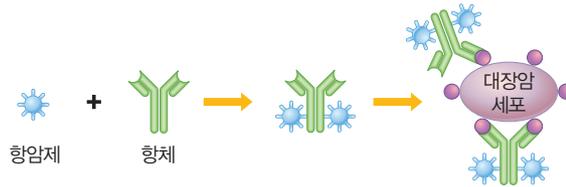


다음은 생명 공학 기술을 활용하여 난치병을 치료한 사례이다.

(가) 선천성 면역 결핍증 환자에게 DNA 운반체를 이용해 정상 유전자를 넣어 주어 증상을 치료하였다.



(나) 대장암 세포에만 특이적으로 존재하는 항원에 결합하는 항체를 만들고, 이 항체에 항암제를 부착한 후 환자의 몸 안에 주입하여 대장암을 치료하였다.



1. (가)와 (나)에서 활용한 생명 공학 기술을 각각 써 보자.

.....

2. (가), (나)와 같이 생명 공학 기술을 활용한 난치병 치료 사례를 조사해 보고, 그 치료법의 전망을 토의해 보자.

.....

.....

최근에는 뇌 질환, 심장 질환 등과 같이 완치되기 어려운 질환의 치료에 생명 공학 기술을 활용하고 있어 난치병 치료의 가능성이 커지고 있다.

감염성 질환의 치료, 면역 등에 관한 연구를 하기 위해 1980년대 이전까지는 동물의 혈청에서 항체를 얻었지만, 1980년대 이후부터는 생명 공학 기술을 활용하여 단일 클론 항체를 생산할 수 있게 되었다.



그림 VI-9 혈청에 포함된 항체 생산

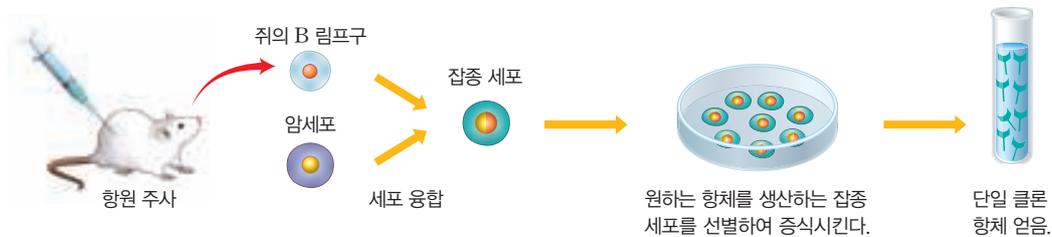


그림 VI-10 세포 융합 기술을 활용한 항체 생산

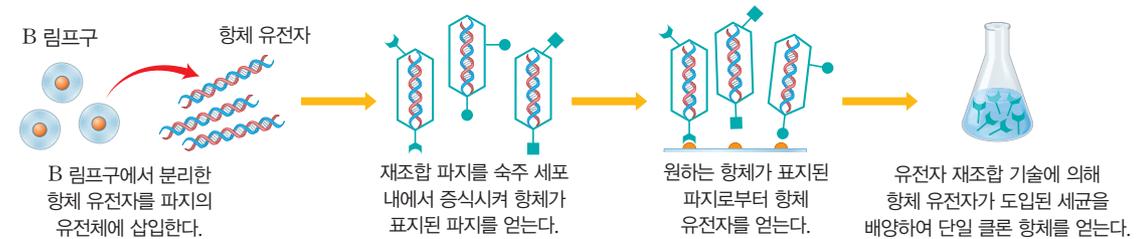


그림 VI-11 유전자 재조합 기술을 활용한 항체 생산

현재 대부분의 항체는 동물을 이용한 방법으로 만들어지고 있지만, 유전자 재조합 기술을 활용한 항체 생산 방법이 점차 일반화되고 있다.

**창의 융합 사고** 항체 유전자와 같은 유용한 유전자를 대량으로 복제할 수 있는 생명 공학 기술을 조사해 보자.



핵심 개념 확인하기

- 1 B 림프구와 암세포를 이용하여 단일 클론 항체를 만드는 데 활용되는 생명 공학 기술을 써 보자.
- 2 치료에 필요한 유전자를 환자의 몸 안에 넣어 질환을 치료하는 생명 공학 기술은 무엇인가?
- 3 다른 세포로 발달할 수 있는 분화 능력을 가진 세포를 무엇이라고 하는가?

- 다음 개념을 이해하였는지 ✓ 표를 하면서 확인해 보자.
- 단일 클론 항체
- 유전자 치료
- 줄기세포

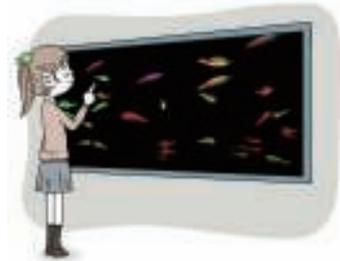
# 4

## 생명 공학 기술의 영향

학습  
목표

- LMO에 대해 설명할 수 있다.
- LMO가 우리 생활과 생태계에 미치는 긍정적인 영향과 부정적인 영향을 조사하고 토론할 수 있다.

관상용 형광 열대어는 대부분 유전자 변형 생물(LMO)이며, 수입과 판매가 금지되어 있다. LMO 관상어의 국내 생산을 위해서는 사전에 위해성 심사와 승인을 받아야 한다. 그 까닭은 무엇일까?



생명 공학 기술을 활용하여 새롭게 조합된 유전 물질을 포함하고 있는 동물, 식물, 미생물을 **유전자 변형 생물(LMO)**이라고 하며, 교배를 통해 얻는 생물과는 구분된다. LMO의 대표적인 예로는 제초제 내성 콩, 해충 저항성 목화 등과 같은 유전자 변형 작물이 있으며, 이외에도 환경 정화를 목적으로 하는 나무, 사람의 질환을 연구하기 위한 모델 동물, 빠르게 성장하는 연어, 고기능 효소 생산을 위한 미생물 등 다양하다.



▲ 비타민 A 강화 황금쌀



▲ 유전자 변형 연어



▲ 형광 고양이

그림 VI-12 여러 가지 LMO

### 자료실

### LMO와 GMO

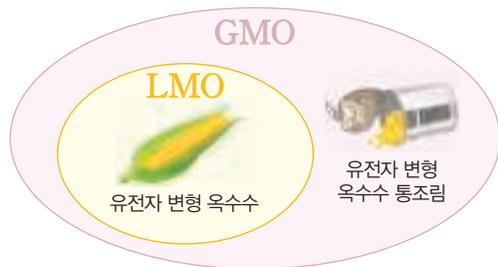


그림 VI-13 LMO와 GMO 생식과 번식을 할 수 있는 유전자 변형 옥수수는 LMO이며, GMO에 속한다.

LMO(Living Modified Organisms)는 유전자 변형 생물이 생식과 번식을 할 수 있다는 것, 즉 살아 있음을 강조하는 용어로서 국제 협약에서 주로 사용하는 용어이다. 반면에 GMO(Genetically Modified Organisms)는 1990년대 중반 이후에 유전자 변형 농산물이 본격적으로 상업화되기 시작하면서 보편적으로 많이 사용하는 용어이다. GMO는 유전자 변형 농산물 그 자체뿐만 아니라 유전자 변형 농산물을 원료로 이용한 식품과 사료도 포함하므로, 그림 VI-13과 같이 LMO는 GMO의 한 부분이다. 우리나라에서는 LMO와 GMO를 구분 없이 사용하고 있다.

우리 주변에서 LMO가 활용되는 사례를 알아보자.

조사  
토의

해 보기

LMO의 활용 사례



다음은 LMO와 관련된 설명이다.



1. 교배를 통해 품종을 개량한 생물과 LMO의 공통점과 차이점을 토의해 보자.  
.....
2. 우리 생활에서 LMO를 원료로 이용한 식품 또는 LMO가 생산한 물질을 활용한 사례를 조사하여 발표해 보자.  
.....
3. 각 모둠이 LMO 개발 연구 팀이라면 어떤 LMO를 개발할 것인지 토의하여 발표해 보자.  
.....

LMO는 식량, 환경, 에너지, 축산, 의약, 바이오 산업 등에서 폭넓게 활용되고 있다. 그러나 LMO가 식품과 사료의 원료로 이용되기 시작하면서부터 우리 생활과 생태계에 영향을 미치는 다양한 측면에서 우려가 제기되고 있다. 따라서 LMO를 개발하고 활용하면서 잠재적 위험성에 대비한 철저한 관리가 필요하다.

한국 바이오 안전성 정보 센터  
www.biosafety.or.kr  
LMO에 관해 알아보자.

핵심 개념 확인하기

- 1 생명 공학 기술을 활용하여 새롭게 조합된 유전 물질을 포함하고 있는 생식 가능한 생물을 무엇이라고 하는가?
- 2 초초제 내성 콩을 만드는 데 활용된 생명 공학 기술을 써 보자.
- 3 **창의 융합 사고** | 만약 슈퍼마켓에서 구매한 제품에서 LMO를 원료로 이용했다는 표시를 봤다면 이 제품을 사용할 것인지, 사용하지 않을 것인지를 판단하고, 그 까닭을 써 보자.

• 다음 개념을 이해하였는지  표  
를 하면서 확인해 보자.  
 LMO

**유의할 점**

토론이 원활하게 이루어지도록 다른 사람의 의견을 귀 기울여 듣는다.

**목표**

LMO가 우리 생활에 미치는 영향을 조사하여 토론할 수 있다.

**과정**

다음은 LMO와 관련된 자료이다.



일반 옥수수(왼쪽)와 해충 저항성 옥수수(오른쪽)가 해충에 해를 입은 모습



제초제 내성 콩을 재배하는 지역에서 제초제에 내성이 강한 슈퍼 잡초가 출현한 모습



고농도의 납이 함유된 토양에서 중금속을 흡수하는 포플러가 자란 모습

LMO

- ① LMO가 우리 생활에 미치는 영향을 조사하여 빈칸을 채워 보자.
- ② 위 자료에서 LMO가 우리 생활과 생태계에 미치는 긍정적인 영향과 부정적인 영향을 찾아 보자.
- ③ 인터넷과 관련 서적을 활용하여 LMO의 개발 및 재배에 관한 찬성과 반대의 견해를 조사해 보자.

**평가하기**

1 2 3 4 5

● LMO가 우리 생활과 생태계에 미치는 영향을 적극적으로 조사하였는가?

● LMO의 개발 및 재배에 관한 자신의 견해를 과학적인 근거를 들어 주장하였는가?

**| 활동 후기 |** 이 활동에서 어떤 것을 배웠는지 자유롭게 적어 보자.

.....

**정리**

1. 과정 ③에서 조사한 LMO의 개발 및 재배에 관한 찬성과 반대의 견해 중 자신의 견해를 결정한 다음 과학적인 근거를 들어 토론해 보자.

.....

2. LMO의 안전성을 확보하기 위해 정부 차원에서 어떤 노력을 하고 있는지 조사하여 글로 써 보자.

.....

# 5

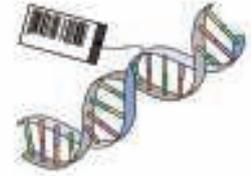


## 생명 공학 기술의 현재와 미래

학습  
목표

- 생명 공학의 발달 과정에서 나타나는 생태학적, 윤리적, 법적, 사회적 문제점을 설명할 수 있다.
- 생명 공학 기술이 미래 사회에 미칠 영향을 예측하여 발표할 수 있다.

미국의 연방 대법원에서는 유전자가 특허 대상이 될 수 없다는 판결을 내렸다. 그러나 유전자 특허를 찬성하는 의견도 있어 계속 논란이 되고 있다. 생명 공학의 발달 과정에서 나타나는 문제점은 무엇이며, 생명 공학 기술은 미래 사회에 어떤 영향을 미칠까?



생명 공학은 생물의 생명 현상을 해석하고 응용하기 위한 핵심 분야가 되면서 생명 과학의 발달에 중요한 역할을 하고 있다. 그러나 생명 공학의 발달 과정에서 예기치 않은 문제가 나타날 수 있어 이를 염려하는 목소리도 크다. 생명 공학의 발달 과정에서 나타나는 문제점과 생명 공학 기술이 미래 사회에 미칠 영향을 알아보자.

바이ოს쿨

<http://edu.kribb.re.kr>

생명 공학 기술의 현재와 미래, 생명 공학의 중요성을 찾아보자.

### 조사 해 보기 생명 공학 기술이 미래 사회에 미칠 영향



다음은 동물 복제와 관련된 자료이다.

#### 장기 이식용 형질 전환 복제 돼지 소망이

농촌진흥청의 한 연구팀은 장기가 손상된 사람에게 장기를 이식해 주기 위한 목적으로 생명 공학 기술을 활용하여 형질 전환 돼지 소망이를 생산했다. 소망이의 장기는 사람에게 이식하여도 면역 거부 반응을 일으키지 않는다.

소망이와 같은 장기 이식용 형질 전환 복제 돼지가 생산되면서 돼지의 장기를 사람의 몸에 이식하는 의료 행위가 현실화할 가능성이 커졌다.



1. 소망이와 같은 LMO를 생산하는 과정에 활용된 생명 공학 기술의 발달 과정에서 나타나는 생태학적, 윤리적, 법적, 사회적 문제점을 조사하여 발표해 보자.



2. 생명 공학 기술이 미래 사회에 미칠 영향을 예측하여 발표해 보자.



1982년에 처음으로 생산된 슈퍼 마우스를 시작으로 형질 전환 동물에 관한 연구가 진행되면서 형질 전환 동물의 생산이 증가하고 있다. 특히 장기 이식용 형질 전환 복제 동물을 개발하여 바이오 장기를 얻기 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 그러나 체세포 핵치환 기술의 발달로 동물 복제가 보편화되면서 인간 복제로 이어질 가능성이 제기되고 있다. 우리나라에서는 생명 윤리 및 안전에 관한 법률인 「생명 윤리법」을 확정하여 인간 복제를 법으로 금지하고 있다.



그림 VI-14 슈퍼 마우스 사람 생장 호르몬 유전자를 주입한 쥐의 수정란을 발생시켜 탄생한 쥐이다. 일반 생쥐보다 두 배 정도 무겁고, 사람의 생장 호르몬을 합성한다.

**국가 생명 윤리 정책 연구원**

www.nibp.kr:5002

생명 윤리 관련 정보 및 생명 존중을 위한 선언문을 찾아보자.

**국가 생명 윤리 심의 위원회**

https://bioethics.go.kr

생명 윤리의 정의와 원리를 찾아보자.

생명 공학은 보건 의료, 환경과 함께 21세기의 유망 산업으로 주목받고 있으며, 생명 공학 기술로 만들어진 제품은 고부가 가치를 창출하므로 국가 산업 경쟁력의 핵심이 되고 있다. 우리나라에서도 「생명 공학 육성법」을 제정하여 생명 공학 분야에 집중적으로 투자하고 있다. 그러나 생명 공학의 발달 과정에서 생명 윤리 문제의 심각성이 나타나고 있어 생명 공학 기술이 인류 전체의 존립을 위협할 수 있음을 경고하고 있다. 따라서 생명 공학 관련 분야에 종사하는 사람들의 연구 윤리가 중요하며, 생명 공학 기술의 안전과 생명 윤리에 관한 사회 구성원들의 합의가 필요하다.

생명 공학 기술의 개발과 활용 시 나타나는 생명 윤리를 비롯한 여러 문제를 인식하고 올바르게 대처하도록 노력한다면 생명 공학은 의약품의 생산, 질환의 진단·예방·치료, 식량 문제 해결, 인간의 수명 연장 등 인류의 미래를 위해 많은 성과를 낼 것이다.



**자료실 생명 윤리와 생명 윤리법**

생명 윤리란 생명과 윤리로 이루어진 합성어로서, 생명 과학 기술의 발달 과정에서 나타난 ‘생명을 어디까지 조작해야 하는가?’ 등의 여러 문제들을 과학, 종교, 철학 등 여러 관점에서 생각하려는 학문이다. 생명 공학 기술 발전의 산물들이 현실적으로 활용되려면 생명의 존엄과 윤리의 중요성을 모두 고려해야 한다.

생명 윤리법은 인간을 대상으로 연구하거나 배아, 유전자 등을 취급할 때, 인간의 존엄과 가치를 침해하거나 인체에 위해를 끼치는 것을 방지함으로써 생명 윤리 및 안전을 확보하고, 국민의 건강과 삶의 질 향상에 이바지함을 목적으로 제정된 법률이다.

**핵심 개념 확인하기**

- 1 생명 공학 기술의 개발과 활용 시에는 인간의 존엄, 가치와 관련된 ( )을/를 인식하고 올바르게 대처하도록 노력해야 한다.
- 2 **창의 융합 사고** | 생명 윤리에 어긋난 예를 한 가지 들어 내가 생각하는 생명 윤리란 어떤 뜻인지 설명해 보자.

• 다음 개념을 이해하였는지  표를 하면서 확인해 보자.

- 생명 공학 기술의 문제점
- 생명 공학 기술의 영향

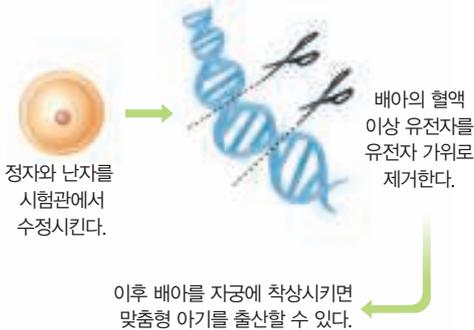
목표

생명 공학 기술의 발달 과정에서 나타나는 생명 윤리 쟁점에 관한 자신의 견해를 결정할 수 있다.

과정

① 다음 자료를 참고하여 인간 배아의 유전자 편집 실험에 관한 대화를 완성해 보자.

중국의 한 연구 팀이 독자 생존이 불가능한 인간 배아를 얻은 뒤 질환을 일으킬 수 있는 혈액 이상 유전자를 크리스퍼 유전자 가위로 제거했다. 이 실험은 독자 생존이 불가능한 인간 배아를 대상으로 한 실험이지만, 처음으로 인간 배아를 대상으로 유전자 편집 실험이 이루어지면서 생명 윤리 논란이 일고 있다.

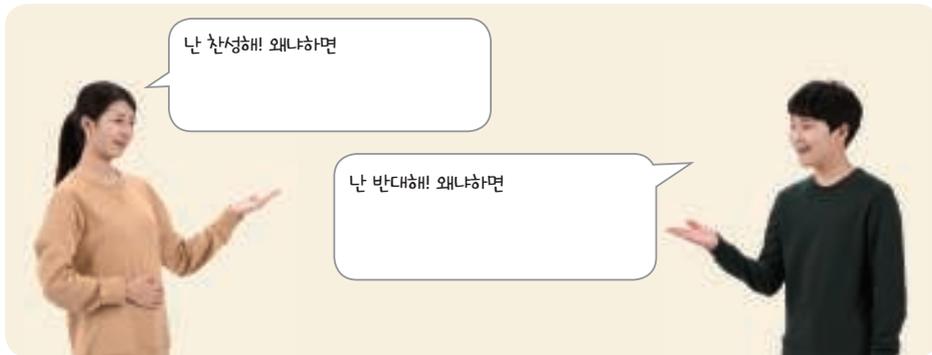


유의할 점

토론이 원활하게 이루어지도록 다른 사람의 의견을 귀 기울여 듣는다.

크리스퍼 유전자 가위

RNA와 효소를 이용해 표적 유전자를 찾아 DNA 염기 서열을 자르는 기술



② 인간 배아의 유전자 편집 실험에 관한 자신의 견해를 결정한 다음, 이를 토론해 보자.

정리

1. 토론 결과를 바탕으로 생명 윤리 준수를 위한 선언문을 작성해 보자.

 .....

.....

2. 인간 배아의 유전자 편집 실험 이외에 생명 윤리와 관련된 신문 기사를 찾아보고, 자신의 견해를 써 보자.

 .....

.....

평가하기

1 2 3 4 5

● 생명 윤리 쟁점을 토론하는 활동에 적극적으로 참여하였는가?

● 생명 윤리 준수를 위한 선언문을 작성하였는가?

| 활동 후기 | 이 활동에서 어떤 것을 배웠는지 자유롭게 적어 보자.

 .....



# 생명 공학 연구원



생명 공학 연구원은 생명 현상에 관한 기초 연구를 비롯하여 보건 의료, 식량 증산, 바이오 신소재, 환경 정화, 신에너지 개발 등 첨단 생명 공학을 연구하는 직업이다. 생명 복제를 연구하는 생명 공학 연구원의 이야기를 들어 보자.



**Q** 우리나라 생명 복제 연구의 전망은 어떠한가요?

**A** 생명 복제 연구를 수행하는 데는 분자 생물학, 세포 생물학, 수의학, 의학 등 여러 분야의 전문가가 참여하게 됩니다. 따라서 우수한 인력이 가장 중요한 요소입니다. 지속적으로 관심이 있는 연구자가 늘어난다면 전망은 매우 밝습니다.

**Q** 생명 복제 연구를 하게 된 계기는 무엇인가요?

**A** 1997년에 복제 양 돌리의 탄생을 공식 발표하기 전까지는 생명의 탄생에 정자와 난자가 필수적인 요소라고 알려져 있었습니다. 체세포 복제가 가능하다는 것이 알려진 이후 여러 동물 종을 복제하였지만, 생명을 복제하는 것은 값비싼 비용과 고도의 기술이 필요하여 식품으로서의 가치를 생산하는 것에는 맞지 않았습니다. 그래서 저는 의생명 공학 분야 및 특수 분야에 활용할 수 있는 개를 중심으로 한 생명 복제 연구를 시작하게 되었습니다.

**Q** 생명 복제 연구를 할 때 생명 윤리는 어떻게 지켜지나요?

**A** 연구를 수행하는 각 기관 및 대학에서 연구를 시작하기 전에 사전 승인을 받고 시작하며, 실험자들은 동물 실험 교육 등의 과정을 수료하게 됩니다.



**핵심 역량 펼치기** 우리나라에는 한국 생명 공학 연구원이라는 연구 기관이 있다. 이 기관의 홈페이지를 방문하여 생명 공학 기술을 활용한 사례를 조사해 보자.





🌀 핵심 개념 정리하기



🌀 핵심 개념 적용하기

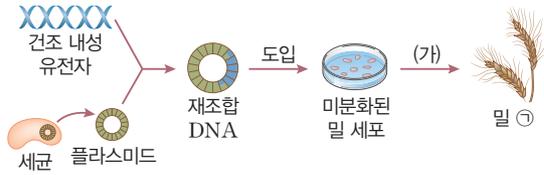
01 다음 설명 중 옳은 것은 ○표, 옳지 않은 것은 ×표를 해 보자.

- (1) 제한 효소는 DNA의 특정 염기 서열을 인식하여 자르는 효소이다. (○, ×)
- (2) 핵치환으로 복제된 동물의 핵 DNA는 핵을 제공한 개체와 같다. (○, ×)
- (3) 단일 클론 항체는 항체 생성 세포와 정상 체세포를 융합하여 만든 잡종 세포로부터 얻는다. (○, ×)
- (4) 유전자 치료란 치료에 필요한 유전자를 환자의 몸 안에 넣어 결함 유전자를 대체하거나, 치료용 단백질을 만들도록 하여 질환을 치료하는 방법이다. (○, ×)
- (5) 줄기세포는 여러 종류의 조직으로 분화할 수 있는 능력을 가진 미분화된 세포이다. (○, ×)
- (6) 생명 공학 기술을 활용하여 새롭게 조합된 유전 물질을 포함하고 있는 생물이 만든 산물을 LMO라고 한다. (○, ×)



1. 유전자 재조합 기술의 원리 ㉠ 194쪽

02 그림은 생명 공학 기술을 활용하여 특정 형질을 가지는 밀 ㉠을 만드는 과정을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

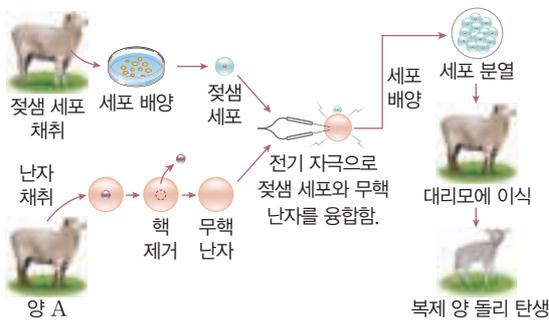
<보기>

- ㄱ. ㉠은 유전자 변형 생물(LMO)이다.
- ㄴ. ㉠을 만드는 데 제한 효소가 이용되었다.
- ㄷ. (가) 과정에서 세포 융합 기술이 활용되었다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

2. 복제와 관련된 생명 공학 기술 ㉡ 198쪽

03 그림은 복제 양 돌리를 만드는 과정을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

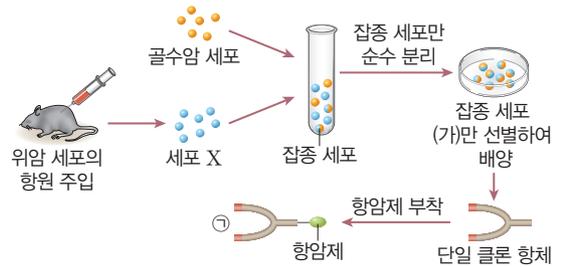
<보기>

- ㄱ. A와 돌리의 성별은 다르다.
- ㄴ. 핵치환 기술이 활용되었다.
- ㄷ. 돌리의 유전 정보는 대리모와 같다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

3. 생명 공학 기술을 이용한 난치병 치료 ㉢ 202쪽

04 그림은 암 치료를 위한 단일 클론 항체를 생산하는 과정을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것은?

- ① 잡종 세포 (가)는 유전자 재조합 기술로 얻은 것이다.
- ② ㉠은 골수암 치료에 이용된다.
- ③ 단일 클론 항체를 얻는 데 조직 배양 기술이 활용되었다.
- ④ 세포 X는 항체 생성 능력이 없다.
- ⑤ 세포 X와 잡종 세포는 모든 유전자의 염기 서열이 같다.

4. 생명 공학 기술의 영향 ㉣ 206쪽

05 다음 중 LMO에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

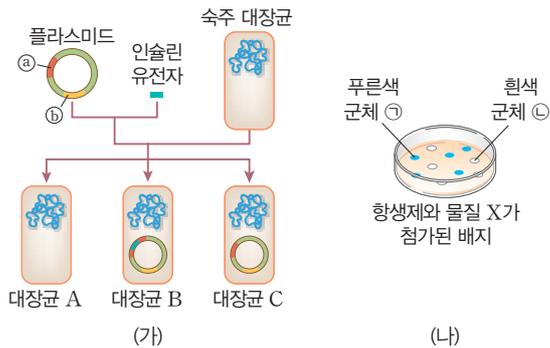
- ① LMO의 생산은 생물 다양성을 증가시킬 수 있다.
- ② 인위적인 교배를 통해 품종 개량한 식물을 포함한다.
- ③ LMO의 예로는 형광 고양이, 제초제 내성 콩 등이 있다.
- ④ 유전자 재조합 기술은 LMO의 생산에 활용되는 생명 공학 기술 중 하나이다.
- ⑤ 생명 공학 기술을 활용하여 새롭게 조합된 유전 물질을 포함하고 있는 생물이다.



핵심 역량 키우기

1. 유전자 재조합 기술의 원리 194쪽

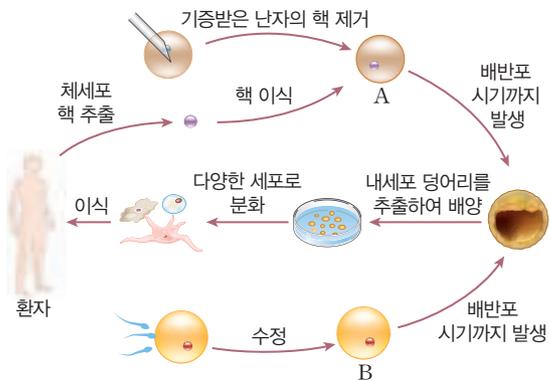
**06 과학적 사고력** 그림 (가)는 인슐린 유전자와 플라스미드를 재조합하여 숙주 대장균에 도입하는 과정에서 만들어진 대장균 A~C를, (나)는 대장균 A~C를 항생제와 물질 X가 첨가된 배지에서 배양한 결과를 나타낸 것이다. 물질 X가 젓당 분해 효소에 의해 분해되면 푸른색 물질이 만들어지며, ㉠은 젓당 분해 효소 유전자, ㉡는 항생제 저항성 유전자이다.



㉠과 ㉡은 각각 대장균 A~C 중 어느 것의 균체인지 쓰고, 그렇게 판단한 까닭을 설명해 보자.

3. 생명 공학 기술을 이용한 난치병 치료 202쪽

**07 과학적 문제 해결력** 그림은 줄기세포를 활용하여 환자를 치료하는 두 가지 과정을 나타낸 것이다.



A와 B에서 얻은 줄기세포를 환자에게 이식하였을 때 어느 것이 이식 거부 반응을 최소화할 수 있는지 판단해 보고, 그렇게 판단한 까닭을 써 보자.

**08** 다음은 Bt 옥수수(살충제 저항성 옥수수)와 관련된 자료이다.

Bt 옥수수는 바실러스 튜링겐시스(Bt)라는 미생물로부터 얻은 살충성 단백질 유전자를 일반 옥수수의 유전체에 삽입하여 만든 LMO이다. Bt 옥수수에서 살충성 단백질 유전자가 발현되면 살충성 단백질이 분비되어 옥수수의 해충인 조명총나방의 유충을 죽이므로 살충제 사용량을 대폭 줄일 수 있다. 하지만 Bt 옥수수는 옥수수밭에 서식하는 다른 식물의 잎을 먹으며 살아가는 제왕나비에게도 영향을 줄 수 있다.

Bt 옥수수인 Bt176 옥수수, Bt11 옥수수와 재래 품종 옥수수를 각각 심은 옥수수밭과 재배 시 살충제를 살포한 재래 품종 옥수수밭에서 옥수수 개화 6일 후 제왕나비 애벌레의 생존율을 조사한 결과, Bt176 옥수수밭에서는 40%, Bt11 옥수수밭에서는 80%, 재래 품종 옥수수밭에서는 80%, 살충제를 살포한 재래 품종 옥수수밭에서는 20%로 나타났다.

Bt176 옥수수는 꽃가루 1g당 20 μg의 살충성 단백질을, Bt11 옥수수는 1g당 1 μg의 살충성 단백질을 만들지만, 옥수수의 해충인 조명총나방을 줄이는 효과는 유사하다.

(1) 제왕나비 애벌레의 생존율을 조사한 결과를 해석하여 두 가지 결론을 도출해 보자.



(2) 내가 옥수수를 재배하는 농민이라면 Bt176 옥수수, Bt11 옥수수, 재래 품종 옥수수 중 어느 품종을 재배할 것인지 결정하고, 그 옥수수를 재배하기 위해 어떤 대책이 필요한지 설명해 보자.



# 부록

- 탐구 활동지
- 정답 및 해설
- 찾아보기
- 자료 출처

DNA 복제 모형지

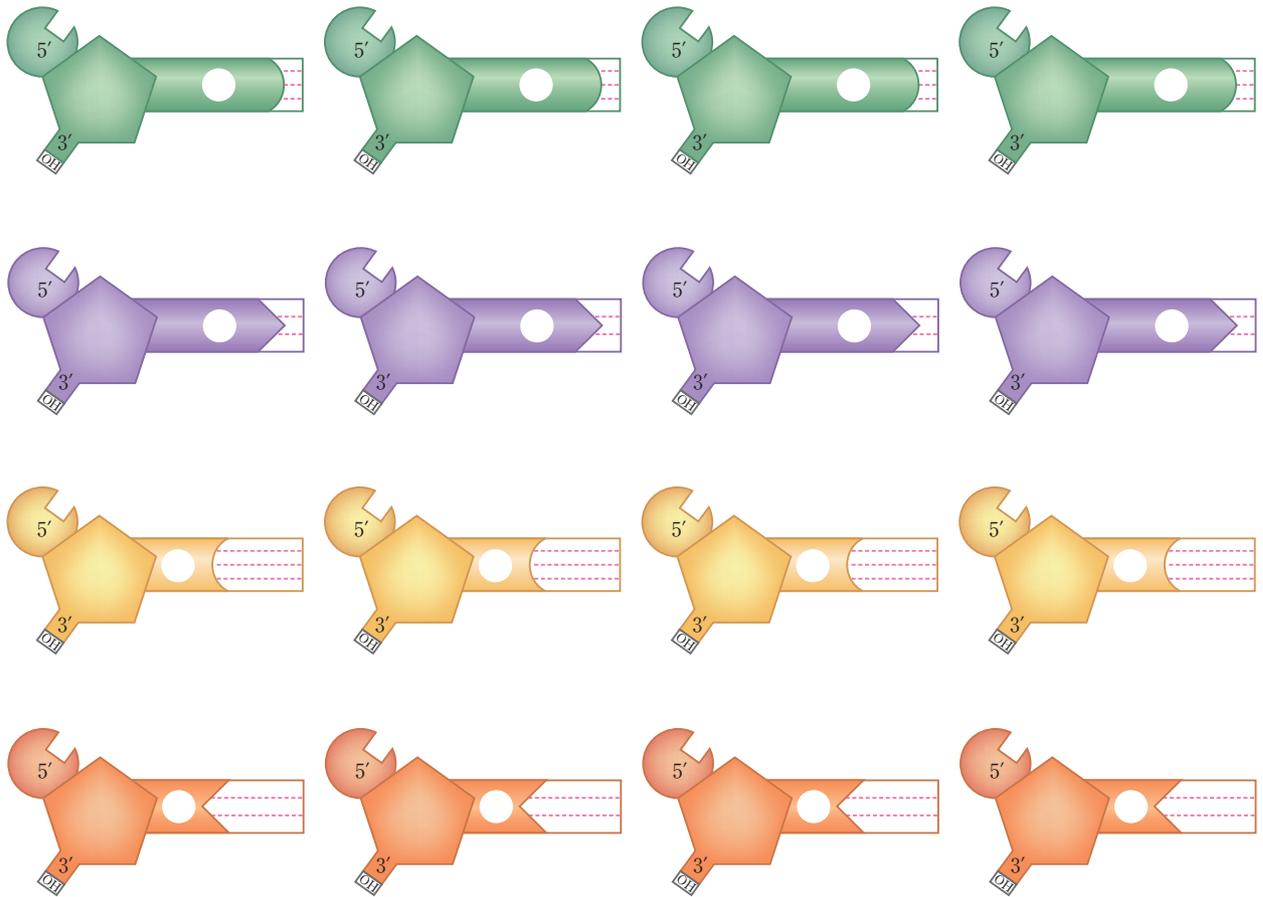
이 쪽은 앞쪽

이 쪽은 뒷쪽

	I 편
Empty space for student work	III 편
Empty space for student work	IV 편
	II 편

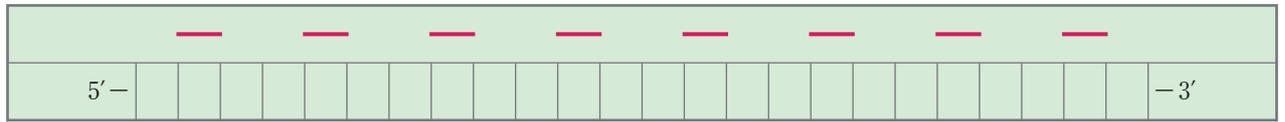


뉴클레오타이드 모형

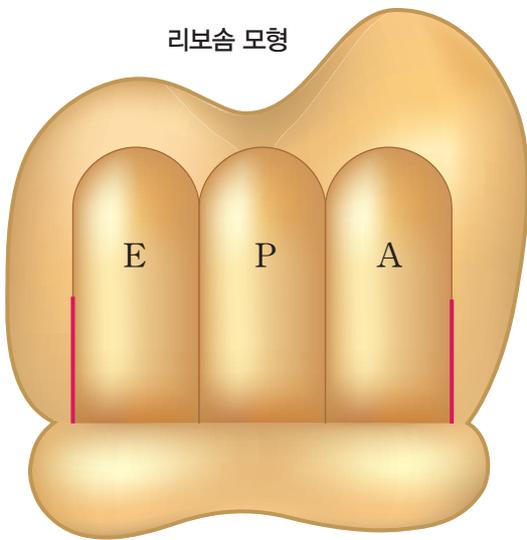




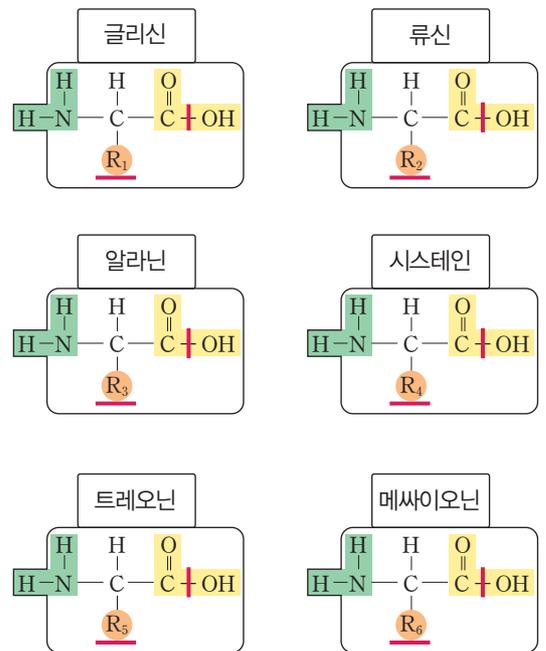
mRNA 모형



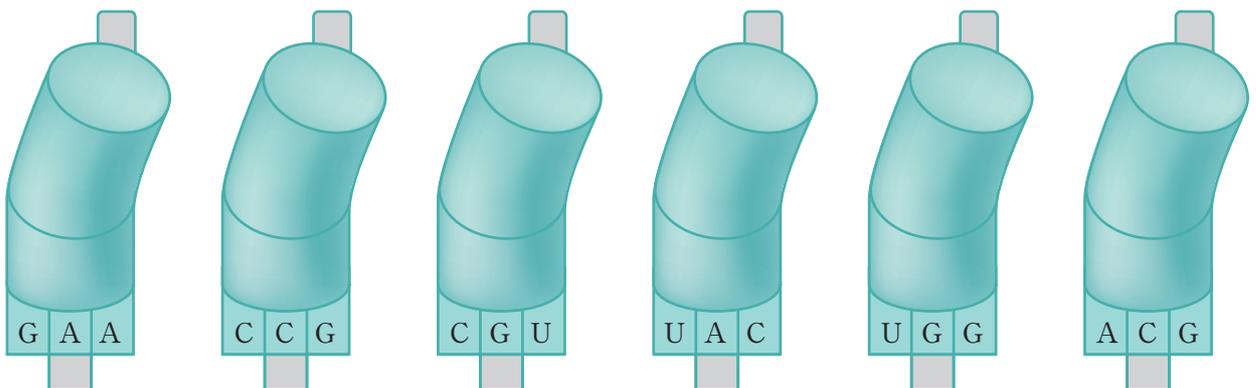
리보솜 모형



아미노산 모형



tRNA 모형





③ 유전자 재조합 모형 (본문 197쪽)

인슐린 유전자가 포함된 DNA 모형

G	A	A	T	T	A	A	G	인슐린 유전자						G	A	A	T	T	A	A	G
C	T	T	A	A	A	C	C							C	C	C	C	C	C	C	C

플라스미드 모형

C	G	A	G	G	T	T	G	C	T	T	G	G	A	A	T	T	C	C	C	C	G
G	C	T	C	C	A	A	C	C	A	A	C	C	T	T	A	A	G	T	T	G	G

항생제 I 내성 유전자
항생제 II 내성 유전자





## I 생명 과학의 역사

### 1 생명 과학의 역사와 발달 과정

핵심 개념 확인하기 16쪽

- 1 ㉠→㉡→㉢→㉣
- 2 광학 현미경이 발달하면서 세균이 발견되었는데, 바이러스는 세균보다 크기가 작아 광학 현미경으로 관찰하기 어려워서 세균보다 늦게 발견되었다.

핵심 개념 확인하기 20쪽

- 1 멘델
- 2 ㉠→㉡→㉢→㉣→㉤ | 1952년에 허시와 체이스는 DNA가 유전 물질임을 밝혀냈고, 1953년에 왓슨과 크릭은 DNA 이중 나선 구조를 알아냈다. 1961년에 니런버그는 유전부호를 해독하였고, 이후 유전자 재조합 기술이 탄생하였으며, 사람의 유전체가 분석되었다.

### 2 생명 과학의 연구 방법

핵심 개념 확인하기 23쪽

- 1 관찰
- 2 멸종 위기 동물의 새끼를 발견했을 때 사람이 어미로 각인되지 않도록 직접 키우거나 보호하지 말고, 반드시 주변에 그 동물의 부모가 있는지 살펴보거나 근처 안전한 장소에 두어 부모가 찾을 수 있도록 한다. 사정이 여의치 않아 데리고 와야 하는 상황이라면 야생동물 구조 센터와 같은 전문 기관으로 보내 그곳에서 보호받다가 자연으로 되돌아갈 수 있도록 한다.

#### 대단원 마무리

25~27쪽

#### 핵심 개념 적용하기

- 01 (1) ○ (2) × (3) × (4) × (5) ○ (6) ○
- 02 ㉢ | 세포설의 확립은 1800년대에, 전자 현미경의 발달은 1900년대에 이루어졌다. 세포설은 광학 현미경의 발달로 식물 세포와 동물 세포를 관찰하게 되면서 확립된 이론이다.
- 03 ㉤ | 결핵균은 코흐가 발견하였으며, 세포를 처음 발견한 사람은 훅이다. 발효를 일으키는 것이 미생물이라는 것을 입증한 사람은 파스퇴르이며, 담배모자이크바이러스를 결정으로 분리한 사람은 스탠리이다.

04 가, 다 | 항생제는 세균의 성장과 증식을 억제하는 약물이므로 세균의 구조가 밝혀지면서 항생제 개발이 더욱 활발하게 진행되었다.

05 ㉣ | 멘델이 완두 교배 실험을 통해 유전의 기본 원리를 발견하였고, 모건이 유전자와 염색체의 관계를 밝혀낸 후 멀러가 초파리의 인공 돌연변이 유도에 성공하였다. 그리고 왓슨과 크릭이 DNA 분자 구조를 밝혀냈고, 이후 생어가 DNA 염기 서열 분석법을 개발하였다.

06 ㉣ | 파스퇴르는 ‘탄저병 백신은 탄저병 예방에 효과가 있을 것이다.’라는 가설을 입증하기 위하여 실험군(㉠)과 대조군(㉡)을 설정하여 실험을 수행하였으며, 실험 결과 가설이 옳음을 확인하였다. 이처럼 가설을 설정한 후 가설의 옳고 그름을 확인하는 탐구 방법은 연역적 탐구 방법이다.

#### 핵심 역량 키우기

07 현미경 제작 기술의 향상으로 살아 있는 세포의 내부를 관찰하게 되면서 세포설이 등장하였고, 세포 소기관의 기능을 자세히 연구하게 됨으로써 사람의 질병 치료를 위한 연구에 이바지하였다.

08 파스퇴르는 고기즙을 넣은 플라스크의 목 부분을 S자형으로 구부려 공기는 통하면서 미생물이 유입될 수 없도록 한 다음, 가열하여 고기즙을 끓였다. 그리고 상온에 두었는데, 일정 시간이 지난 후에도 고기즙에서 미생물이 발견되지 않았다. 이를 통해 미생물은 자연적으로 생기지 않는다는 것을 확인함으로써 생물 속생설이 확립되었다.

09 플레밍과 왁스먼은 모두 항생 물질을 발견하였다. 항생 물질은 세균 감염에 의한 질병으로 고통받는 환자들을 치료하는 데 사용됨으로써 수많은 생명을 구하였다.

#### 논술 | 과학 글쓰기

10  예시 답안 (1) 모건은 초파리를 오랫동안 배양한 결과 및 붉은색 눈 초파리와 흰색 눈 초파리의 교배 실험 결과를 종합하여 초파리의 눈 색깔을 결정하는 유전자는 X 염색체에 있다는 결론을 내렸다. 그리고 이 귀납적 사실을 증명하기 위해 가설을 세우고 실험하여 X 염색체에 의한 유전의 원리를 밝혀냈다. 따라서 모건은 귀납적 탐구 방법과 연역적 탐구 방법을 모두 사용하였다.

(2) 나는 예쁜꼬마선충을 이용하여 카페인 함유된 음료가 노화와 어떤 관련이 있는지 연구해 보고 싶다.

## II 세포의 특성

### 1 생명체의 유기적 구성

핵심 개념 확인하기 33쪽

- 1 조직 | 동물에는 상피 조직, 결합 조직 등이 있고, 식물에는 표피 조직, 통도 조직 등이 있다.
- 2 예시 답안 | 세포 - 학생, 조직 - 학급, 기관 - 학년, 개체 - 학교

### 2 생명체를 구성하는 주요 물질

핵심 개념 확인하기 37쪽

- 1 글리코젠 | 식물에서는 녹말의 형태로 저장한다.
- 2 DNA의 당은 디옥시리보스이며, RNA의 당은 리보스이다. 또, DNA를 구성하는 염기에는 타이민이 있으나 RNA를 구성하는 염기에는 타이민 대신 유라실이다.

### 3 원핵세포와 진핵세포

핵심 개념 확인하기 39쪽

- 1 핵막의 유무와 막으로 둘러싸인 세포 소기관의 유무 | 원핵세포는 막으로 둘러싸인 핵과 세포 소기관이 없다.
- 2 진핵세포 | 원핵세포와 진핵세포는 염색체의 모양과 수가 다르다.
- 3 진핵세포의 리보솜이 원핵세포의 리보솜보다 크기와 밀도가 크다. | 원핵세포와 진핵세포는 리보솜을 구성하는 단백질과 RNA의 종류가 다르다.

### 4 세포 소기관의 구조와 기능

핵심 개념 확인하기 43쪽

- 1 전자 현미경 | 광학 현미경은 가시광선을 이용한다.
  - 2 세포 분획법 | 세포 분획법은 세포 내의 구성 물질이나 세포 소기관을 서로 분리하는 기술이다.
  - 3 식물 세포에서는 CO<sub>2</sub>를 이용하여 포도당을 합성하므로, CO<sub>2</sub>를 <sup>14</sup>C로 표지하여 포도당이 합성되어 이동하는 경로를 추적하면 될 것이다.
- 44쪽 | 일부 단백질, mRNA, 리보솜 단위체
- 49쪽 | 세포가 분열할 때 염색체 이동에는 방추사가 관여하며, 방추사를 구성하는 세포 골격은 미세 소관이다.

핵심 개념 확인하기 49쪽

- 1 거친면 소포체
- 2 리소좀 | 리소좀은 가수 분해 효소가 들어 있는 작은 주머니 모양의 세포 소기관이다.
- 3 아메바가 위족을 형성하지 못하여 이동할 수 없게 되며, 원형의 세포 모양이 될 것이다.

### 5 세포막을 통한 물질의 출입

핵심 개념 확인하기 55쪽

- 1 촉진 확산 | 촉진 확산은 특정 분자나 이온이 농도 기울기를 따라 막단백질을 통과하는 현상이다.
- 2 원형질 분리 | 고장액 속의 세포에서는 물이 세포 안으로 들어 오는 속도보다 세포 밖으로 빠져나가는 속도가 빠르다.
- 3 세포의 배출이 일어날 때는 소낭이 세포막과 합쳐지므로 세포막의 표면적이 일시적으로 늘어나며, 세포내 섭취가 일어날 때는 세포막의 일부가 떨어져 소낭이 형성되므로 세포막의 표면적은 일시적으로 줄어든다.

### 6 효소의 작용

핵심 개념 확인하기 61쪽

- 1 기질 특이성 | 효소는 활성 부위에 맞는 입체 구조를 가진 기질과만 결합하여 반응한다.
- 2 온도, pH, 저해제 등 | 효소의 주성분은 단백질이다.
- 3 기질의 농도가 충분하고 반응 속도가 더는 증가하지 않을 때, 효소를 첨가하면 반응 속도를 다시 증가시킬 수 있다.

## 대단원 마무리

67~71쪽

### 핵심 개념 적용하기

- 01 (1) × (2) × (3) ○ (4) × (5) ○ (6) × (7) ○
- 02 ③ | B는 표피 조직계에 속한다.
- 03 ④ | (가)는 핵산, (나)는 지질, (다)는 탄수화물이다.
- 04 ① | 리보솜은 원핵세포와 진핵세포에 모두 존재한다.
- 05 ③ | A는 골지체, B는 리소좀, C는 리보솜이다.

### 핵심 역량 키우기

- 06 (가)와 (나) 모두 세포가 모여 조직을 이루고, 조직이 모여 기관을 형성한다. (가)에서는 조직계가 형성되지 않고, (나)에서는 조직이 모여 조직계를 형성한다.

07 (가)에서 접안 마이크로미터 눈금 한 칸의 길이는  $5\ \mu\text{m}$ 이다. 대물 렌즈의 배율을 2배 높이면 접안 마이크로미터 눈금 한 칸의 길이는  $\frac{1}{2}$ 로 줄어든다. 따라서 세포의 길이는  $2.5\ \mu\text{m} \times 20 = 50\ \mu\text{m}$ 이다.

08 원심 분리를 이용하여 세포 내 구성 물질이나 세포 소기관을 서로 분리하는 기술인 세포 분획법을 이용한다.

09  예시 답안 | ㉠ 염색체와 인이 있고, 핵막에 핵공이 있다. ㉡ RNA가 있다. ㉢ 광합성 색소가 있어 빛에너지를 이용하여 포도당을 합성한다.

10 리소좀(D)에는 가수 분해 효소가 들어 있어 이물질의 세포내 소화를 담당한다. 리소좀에 들어 있는 가수 분해 효소가 합성되려면 핵의 유전 정보에 따라 리보솜(B)에서 단백질이 합성되어 소포체(A)와 골지체(C)를 통해 이동해야 한다.

11 (가)는 물질이 세포막에 있는 막단백질을 통해 농도 기울기에 따라 이동하는 촉진 확산으로, 포도당, 아미노산 등의 물질이 이동하는 방식이다. (나)는 세포 내에서 합성된 물질이나 노폐물을 세포 밖으로 내보내는 세포외 배출로, 호르몬, 효소 등의 물질이 이동하는 방식이다.

12 I, I에서는 세포 밖으로 나가는 물의 양보다 세포 안으로 들어오는 물의 양이 가장 많아 세포 부피가 가장 크다. 세포의 부피가 커지면 팽윤 상태가 되므로 세포벽이 받는 압력인 팽압이 높아진다.

13 소금물 B, (가)와 달리 (나)의 세포는 원형질 분리가 일어났으므로 소금물 A보다 B의 농도가 높음을 알 수 있다.

14 효소가 있을 때의 활성화 에너지는  $A+C$ , 효소가 없을 때의 활성화 에너지는  $B+C$ 이다. 효소는 반응의 활성화 에너지를 낮추어 준다.

15 (가)는 산화 환원 효소, (나)는 가수 분해 효소, (다)는 전이 효소에 의해 촉진되며, ㉠은 물이 첨가되어 기질을 분해하는 것이다.

16 B, 조건 A보다 B일 때 반응물의 양이 줄어드는 데 걸린 시간이 짧다. 따라서 효소 X의 최적 조건은 A보다 B가 가깝다.

**논술 | 과학 글쓰기**

17  예시 답안 (1) A는 소포체, B는 골지체, C는 분비 소낭이다. 방사성 동위 원소로 표지한 아미노산을 공급한 직후 방사선량이 가장 많이 나타난 A가 리보솜에서 합성된 단백질이 이동하는 소포체임을 알 수 있다. 또, 시간이 지남에 따라 A의 방사선량은 감소하고 B에서 증가하는 것으로 보아 소포체에서 골지체로 이동하였음을 알 수 있다.

(2) 근육 세포에는 이자 세포보다 세포 밖으로 분비되는 단백질의 양이 적고, 근육을 형성하기 위한 액틴, 마이오신과 같은 단백질의 양이 많다. 따라서 세포외 배출을 위한 소낭에서 방출되는 방사선량은 낮고 세포질에서 방출되는 방사선량은 높을 것이다.

**III 세포 호흡과 광합성**

**1 미토콘드리아와 엽록체**

**핵심 개념 확인하기** 77쪽

- 1 틸라코이드 막
- 2 미토콘드리아는 세포 호흡에 필요한 단백질 일부를, 엽록체는 엽록체를 구성하는 단백질 일부를 만드는 데 자체의 DNA와 리보솜을 이용하며, 스스로 복제하여 증식할 수 있다.

**2 세포 호흡 과정과 광합성의 탄소 고정 반응**

**핵심 개념 확인하기** 81쪽

- 1 해당 과정 | 해당 과정은 세포질에서 일어나며, 포도당 1분자가 여러 가지 화학 반응을 거쳐 2분자의 피루브산으로 분해되는 과정이다.
- 2 미토콘드리아 기질
- 3 시트르산

**핵심 개념 확인하기** 84쪽

- 1 탄소, RuBP
- 2 3PG
- 3 탄소 고정 반응이 일어나지 않으므로 일시적으로 RuBP의 농도는 증가하고, 3PG의 농도는 감소한다.

**핵심 개념 확인하기** 87쪽

- 1 산소 | 미토콘드리아 내막의 전자 전달계를 따라 이동한 전자는  $H^+$ 과 함께 최종적으로 산소에 전달되어 물을 생성한다.
- 2 산화적 인산화
- 3 최종 전자 수용체인 산소가 없어 전자 전달이 중단되므로  $H^+$ 의 농도 기울기가 형성되지 않아 ATP 합성 효소를 통과하는  $H^+$ 에 의한 ATP 합성이 진행되지 않는다.

**3 발효**

**핵심 개념 확인하기** 90쪽

- 1 알코올 발효 | 효모는 알코올 발효를 하면서 이산화 탄소를 방출하므로, 빵을 만들 때 효모를 이용하면 빵이 쉽게 부풀어 오르고 식감이 좋아진다.
- 2 젖산 발효
- 3 아세트알데하이드, 피루브산 | 알코올 발효에서 아세트알데하이드는 NADH에 의해 환원되어 에탄올이 되며, 젖산 발효에서 피루브산은 NADH에 의해 환원되어 젖산이 된다.

## 4 광합성의 명반응 과정

핵심 개념 확인하기 95쪽

- 1 틸라코이드 막
  - 2 엽록소 a | 광계에서 반응 중심 색소는 한 쌍의 엽록소 a로 구성된다.
  - 3 광계가 여러 종류의 광합성 색소로 구성되어 있어 다양한 파장의 가시광선을 광합성에 이용할 수 있다.
- 99쪽 | 광계 II가 빛을 흡수하면 P680에서 전자가 방출되는데, 전자를 잃어 산화된 P680은 물이 분해될 때 방출되는 전자를 받아 다시 환원된다.

핵심 개념 확인하기 99쪽

- 1  $\text{NADP}^+$  | 비순환적 전자 흐름에서  $\text{H}^+$ 과 전자는 최종적으로  $\text{NADP}^+$ 에 전달되고,  $\text{NADP}^+$ 는  $\text{NADPH}$ 로 환원된다.
- 2 틸라코이드 내부의 pH는 작아지고, 스트로마의 pH는 커진다. | 엽록소에서 방출된 전자가 전자 전달계를 따라 이동할 때 방출되는 에너지는 스트로마에서 틸라코이드 내부로  $\text{H}^+$ 을 이동시켜  $\text{H}^+$ 의 농도 기울기를 형성하게 한다.
- 3 순환적 전자 흐름에 의한 광인산화는 캘빈 회로에 필요한 ATP 이외에 엽록체의 대사 활동에 필요한 ATP를 공급하는 역할을 한다.

## 5 세포 호흡과 광합성의 전자 전달계

핵심 개념 확인하기 103쪽

- 1 전자 전달계
- 2 미토콘드리아의 전자 전달계는 내막에, 엽록체의 전자 전달계는 틸라코이드 막에 존재한다.
- 3 미토콘드리아 기질의  $\text{H}^+$  농도가 막 사이 공간보다 높아지면 ATP 합성 효소를 통해  $\text{H}^+$ 이 확산하지 못하므로 ATP가 합성되지 않는다.

대단원 마무리

105~109쪽

### 핵심 개념 적용하기

- 01 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ (5) ○
- 02 ③ | A는 내막, B는 기질, C는 틸라코이드 막, D는 스트로마이다. 미토콘드리아 내막과 틸라코이드 막에는 모두 ATP 합성 효소가 존재하며, 미토콘드리아 기질과 스트로마에는 모두 리보솜이 있다. 미토콘드리아에서는 산화적 인산화, 엽록체에서는 광인산화에 의해 ATP가 합성된다.

03 ③ | 해당 과정은 산소가 없어도 진행되며, 해당 과정을 거치는 동안 포도당을 이루는 모든 탄소는 2분자의 피루브산으로 전환되므로 이산화 탄소가 방출되지 않는다.

04 ⑤ | (다) 과정에서 산화 환원 반응의 조효소는 FAD이고, (가), (나), (라) 과정에서 산화 환원 반응의 조효소는  $\text{NAD}^+$ 이다.

05 ① |  $\text{H}^+$ 은 막 사이 공간에서 기질로  $\text{H}^+$ 의 농도 기울기를 따라 ATP 합성 효소를 통해 확산하며, 이 과정에서 ATP가 합성된다. 미토콘드리아의 전자 전달계에서 전자 전달 효소 복합체 중 일부는  $\text{H}^+$ 을 미토콘드리아 기질에서 막 사이 공간으로 능동 수송한다.

06 ② | (가)는 에탄올, (나)는 젖산이다. 알코올 발효와 젖산 발효 과정에서 피루브산이 각각 에탄올과 젖산으로 전환될 때는 ATP가 합성되지 않으며,  $\text{NADH}$ 가  $\text{NAD}^+$ 로 산화된다.

### 핵심 역량 키우기

07 (1) ⑥ | ⑥는 틸라코이드 내부, ⑤는 스트로마이며, 캘빈 회로는 엽록체의 스트로마에서 일어난다.

(2) ATP, NADPH

(3) 빛을 차단하면 명반응 산물인 ATP와 NADPH가 공급되지 않아 ① 과정의 진행이 느려지므로 일시적으로 3PG의 농도는 증가하고 RuBP의 농도는 감소한다.

08 (1) 포도당의 농도는 감소하고 피루브산, ATP의 농도는 증가한다.

(2) 해당 과정이 일어나기 위해서는 초기에 에너지가 투입되어 포도당이 과당 2인산이 되어야 하기 때문이다.

09 (1) (나)는 캘빈 회로, (다)는 TCA 회로이다.

(2) (가)는 명반응, (라)는 산화적 인산화이다. 명반응과 산화적 인산화에는 모두 전자 전달계, ATP 합성 효소가 관여하며, 전자의 이동이 일어나고, ATP가 합성된다.

10 (1) t 이전에는 시험관 내부에 산소가 있어 산소 호흡이 진행되었다. 즉, t 이후부터 알코올 발효가 진행된 것은 시험관 내부의 산소가 고갈되었기 때문이다.

(2) t 이전에는 주로 산소 호흡이 일어나며, t 이후에는 주로 알코올 발효가 일어난다. 산소 호흡에서는 포도당 1분자가 분해될 때 포도당의 탄소가 모두 산화되어 6분자의 이산화 탄소가 발생하고, 알코올 발효에서는 포도당 1분자가 분해될 때 2분자의 이산화 탄소가 발생한다.

11 (1) 경로 A는 순환적 전자 흐름, B는 비순환적 전자 흐름이다. 순환적 전자 흐름에서는 비순환적 전자 흐름과 달리 광계 I에서 방출된 전자가 전자 전달계를 거쳐 다시 광계 I로 돌아오며, 산소가 방출되지 않고 NADPH가 생성되지 않는다.

(2) 전자의 이동으로 방출된 에너지에 의해 틸라코이드 막을 경계

로  $H^+$ 의 농도 기울기가 형성되고,  $H^+$ 의 농도 기울기에 의해 ATP가 합성된다.

- 12 (1) ㉠은 물, ㉡은 산소이며, (가)는 틸라코이드 내부, (나)는 스트로마이다.  
 (2)  $H^+$ 은 ATP 합성 효소를 통해  $H^+$ 의 농도가 높은 틸라코이드 내부에서  $H^+$ 의 농도가 낮은 스트로마 방향으로 확산한다.
- 13 (1) 엽록체에 A를 처리하면 전자의 이동이 차단되어 물의 분해가 억제되므로 산소 발생량이 감소한다. 미토콘드리아에 B를 처리하면 막 사이 공간의  $H^+$  농도가 낮아지므로 내막을 경계로  $H^+$ 의 농도 기울기를 형성하기 위해 전자 전달계에서 전자의 이동이 촉진되고, 그 결과 산소 소모량이 증가한다.  
 (2) 엽록체에 A를 처리하면 전자의 이동과 물의 분해가 억제되므로 틸라코이드 막을 경계로  $H^+$ 의 농도 기울기가 형성되지 않아 ATP 합성량이 감소한다. 미토콘드리아에 B를 처리하면 내막을 경계로  $H^+$ 의 농도 기울기가 충분하지 않아 ATP 합성량이 감소한다.

**논술 | 과학 글쓰기**

- 14  예시 답안 (1) 인공 광합성은 자연 광합성의 명반응에서 엽록소가 빛에너지를 흡수해 일어나는 전자 전달 과정을 모방한 것이며, 흡수된 에너지로 NADPH를 합성한다. 인공 광합성에서는 명반응과 달리 황화 카드뮴과 같은 광촉매를 이용하여 빛에너지를 흡수하며, 전자 전달계와 ATP 합성 효소를 거쳐 ATP를 합성하는 과정이 일어나지 않는다.  
 (2) 캘빈 회로에서 탄소 고정에 사용되는 효소 이외에 다른 산물을 만드는 효소를 사용하면 다른 화학 물질을 합성할 수 있다.

**IV 유전자의 발현과 조절**

**1 유전체와 유전자**

핵심 개념 확인하기 116쪽

- 크고, 많다
- 열쇠와 자물쇠, 효소와 기질, 항원과 항체 등이 있다.

**2 DNA 복제**

핵심 개념 확인하기 121쪽

- 반보존적 복제
- 5', 3'
- DNA 복제 과정에서 실수가 일어나 돌연변이가 발생하면 유전자에 변화가 생겨 새로운 형질이 나타날 수 있다. 때때로 돌연변이 형질이 생존에 유리하게 작용하여 다음 세대로 전달될 수 있으며, 오랜 시간에 걸쳐 이러한 돌연변이 형질이 축적됨으로써 새로운 생물 종이 출현하는 진화가 일어날 수 있다. 따라서 DNA 복제 과정에서 일어나는 실수는 진화에 필요한 유전적 다양성을 높이는 이점이 있다.

**3 유전자 발현**

핵심 개념 확인하기 125쪽

- 유전자 발현
- 1효소설
- 유전자에 돌연변이가 일어나면 일반적으로 정상 단백질과 아미노산 서열이 다른 돌연변이 단백질이 만들어진다. 단백질은 정확한 입체 구조가 형성되었을 때 제 기능을 할 수 있는데, 돌연변이로 아미노산의 수나 종류가 달라지면 정확한 입체 구조가 형성되지 않을 가능성이 크다. 따라서 돌연변이 단백질은 정상적인 기능을 하지 못하는 경우가 많으므로 생존에 불리한 유전병 증상이 나타날 수 있다.

 127쪽 | tRNA는 단일 가닥이며, 한 가닥 내에 상보적인 염기 서열 부위가 존재한다. 따라서 상보적인 부위끼리 수소 결합을 통해 염기쌍을 형성함으로써 꼬이고 접혀 입체 구조를 형성한다.

핵심 개념 확인하기 127쪽

- RNA 중합효소
- 안티코돈
- DNA를 요리책에 비유한다면, DNA에서 유전 정보가 저장된 특정 부위인 유전자는 요리책에서 만들고자 하는 특정 요리의 요리법

이 적힌 쪽에 해당하고, DNA의 유전 정보가 RNA로 옮겨지는 전사는 이 요리법을 주방으로 가져가기 편하도록 메모지에 옮겨 적는 과정에 해당한다. 그리고 mRNA의 유전 정보를 이용하여 단백질을 합성하는 번역은 메모지에 옮겨 적은 요리법에 따라 주방에서 실제로 요리를 만드는 과정에 해당하며, 최종 산물인 단백질은 완성된 요리에 해당한다.

핵심 개념 확인하기 128쪽

- 1 5', 3'
- 2 A 자리
- 3 mRNA가 번역되려면 단일 가닥의 mRNA에 존재하는 개시 코돈을 인식하여 리보솜과 개시 tRNA가 mRNA에 결합해야 한다. 그런데 어떤 유전자의 mRNA에 상보적인 염기 서열을 가진 RNA가 합성되면 mRNA와 이 RNA가 결합하여 이중 가닥을 형성하므로 개시 코돈이 노출되지 않아 리보솜 및 개시 tRNA가 mRNA에 결합할 수 없게 된다. 따라서 이 경우 mRNA는 번역되지 않을 것이다.

#### 4 유전부호의 이해

핵심 개념 확인하기 131쪽

- 1 종결 코돈
- 2 메싸이오닌을 지정하는 코돈은 한 종류이지만, 세린과 아르지닌을 지정하는 코돈은 각각 6종류이다. 또, 글루탐산과 라이신을 지정하는 코돈은 각각 2종류이고, 폴리펩타이드 합성을 끝내는 종결 코돈은 3종류이다. 따라서 메싸이오닌-세린-아르지닌-글루탐산-라이신으로 이루어진 폴리펩타이드가 합성될 수 있는 mRNA의 염기 서열은  $1 \times 6 \times 6 \times 2 \times 2 \times 3 = 432$ 가지이다.

#### 5 전사 조절 과정

핵심 개념 확인하기 135쪽

- 1 오페론
- 2 포도당을 모두 소모하고 젓당만 있을 때 구조 유전자가 전사된다.  
| 포도당을 모두 소모하여 더는 에너지를 얻을 수 없을 때, 젓당이 변형된 젓당 유도체가 억제 단백질과 결합하면 프로모터에 RNA 중합효소가 결합하여 구조 유전자의 전사가 시작된다.

핵심 개념 확인하기 137쪽

- 1 전사 인자
- 2 전사 개시 복합체
- 3 진핵생물에서는 전사 인자가 조절 부위에 특이적으로 결합하고, 여

러 전사 인자와 RNA 중합효소가 전사 개시 복합체를 형성하면 전사가 시작된다. 유전자에 따라 조절 부위에 차이가 있고, 세포 내에 존재하는 전사 인자가 다르므로 각기 다른 기능을 수행하는 세포에서 서로 다른 유전자가 발현될 수 있다.

#### 6 발생 과정에서의 유전자 발현 조절

핵심 개념 확인하기 140쪽

- 1 핵심 조절 유전자
- 2 후속 유전자
- 3 핵심 조절 유전자는 기관의 발생 운명을 결정한다. 초파리의 다리가 형성될 부위에서 눈 형성에 관여하는 핵심 조절 유전자가 과다 발현되면, 해당 부위의 세포에서 눈 형성에 관여하는 다른 조절 유전자들을 활성화하는 전사 인자가 합성된다. 따라서 눈 형성에 관여하는 조절 유전자들이 차례대로 활성화되어 다리가 형성될 부위에 눈이 형성될 것이다.

대단원 마무리

143~147쪽

핵심 개념 적용하기

- 01 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × (5) × (6) ○
- 02 ③ | 하나의 DNA에서 유전자가 차지하는 비율은 원핵생물보다 높다.
- 03 ④ | A는 여러 개의 짧은 조각이 만들어진 후 나중에 하나로 길게 연결되는 지연 가닥이고, B는 연속적으로 합성되는 선도 가닥이다. ㉠은 3' 말단이다.
- 04 ㄱ, ㄷ | ㉠은 리보솜, ㉡은 tRNA, ㉢은 mRNA이며, 리보솜은 rRNA와 단백질로 구성된다. RNA를 구성하는 5탄당은 리보스이다. 아미노산과 결합한 새로운 tRNA가 리보솜의 A 자리로 들어오면 P 자리에 있는 tRNA에서 아미노산(또는 펩타이드)이 떨어져 A 자리의 tRNA에 결합한 아미노산과 펩타이드 결합을 형성한다. 아미노산과 분리된 P 자리의 tRNA는 E 자리를 거쳐 리보솜 밖으로 방출된다.
- 05 ③ | 개시 코돈인 5'-AUG-3'에 상보적인 DNA 3염기 조합은 가닥 I에 포함되어 있다. 가닥 I로부터 합성되는 mRNA 염기 서열은 5'-AUG AAG UUU UAG-3'이므로 3개의 아미노산이 연결된 후 종결 코돈 5'-UAG-3'에 의해 번역이 끝난다.
- 06 ㄴ | A는 조절 유전자로, 젓당의 유무와 관계없이 항상 발현되어 억제 단백질을 합성한다. RNA 중합효소가 결합하는 B는 프로모터이다. 포도당이 없고 젓당만 있을 때 젓당

유도체가 억제 단백질과 결합하여 억제 단백질이 작동 부위에 결합하지 못할 때 구조 유전자가 발현될 수 있다.

### ❁ 핵심 역량 키우기

- 07** 원핵생물의 유전자와 달리 진핵생물의 유전자에는 단백질을 암호화하지 않는 부위가 있다.
- 08** DNA는 반보존적으로 복제되므로  $^{15}\text{N}$ 로 표지된 대장균( $G_0$ )이  $^{14}\text{N}$ 가 들어 있는 배양액에서 한 번 분열하면( $G_1$ )  $^{15}\text{N}$ 를 포함한 원래의 가닥과  $^{14}\text{N}$ 를 포함한 새로 합성된 가닥이 이중 나선을 형성하고( $^{14}\text{N}-^{15}\text{N}$  DNA), 한 번 더 분열하면( $G_2$ )  $^{14}\text{N}-^{15}\text{N}$ 로 이루어진 DNA와  $^{14}\text{N}-^{14}\text{N}$ 로 이루어진 DNA가 만들어진다. 즉,  $G_2$ 의 DNA를 원심 분리하면  $^{14}\text{N}-^{15}\text{N} : ^{14}\text{N}-^{14}\text{N} = 1 : 1$ 로 나타나므로 A층과 B층에 1:1의 비율로 분리된다.
- 09** 효소 A는 DNA 중합 효소, 효소 B는 RNA 중합효소이다. (가)는 DNA 복제 과정, (나)는 전사 과정으로, 합성에 사용되는 단위체가 (가)는 디옥시리보뉴클레오타이드, (나)는 리보뉴클레오타이드이다. 또, (가)에서는 DNA의 두 가닥이 모두 주형으로 사용되고, (나)에서는 한 가닥이 주형으로 사용된다. (가) 과정에는 RNA 프라이머가 필요하다.
- 10** DNA 중합 효소는 새로 합성되는 DNA 가닥의 3' 말단에 새로운 디옥시리보뉴클레오타이드를 연결하므로 DNA 복제는 항상 5' → 3' 방향으로 진행된다.
- 11** 유전자 A에 돌연변이가 일어나 효소 A가 합성되지 않는 붉은뽕 곰팡이는 최소 배지에서 자라지 못한다. 그 까닭은 효소 A가 합성되지 않으면 최소 배지에서 오르니틴이 합성되지 않아 최종 산물인 아르지닌을 합성할 수 없기 때문이다.
- 12** 메싸이오닌-시스테인-라이신-시스테인-메싸이오닌 | 리보솜의 E 자리가 있는 쪽이 mRNA의 5' 말단이며, 5' 말단 쪽에서 번역이 시작된다. 따라서 번역이 일어나는 mRNA 염기 서열은 5'-AUG UGC AAG UGC AUG-3'이다.
- 13** 전사된 mRNA의 염기 서열에 상보적인 DNA의 염기 서열이 3'-GCCAAATTACGGAGTCATC-5'이므로 주형 가닥은 (가)이다. 번역은 개시 코돈 5'-AUG-3'에서 시작하고, 염기 3개가 하나의 아미노산을 지정하며, 종결 코돈 5'-UAG-3'에서 번역이 끝나므로 번역 결과 3개의 아미노산으로 이루어진 펩타이드가 합성된다.
- 14** 젓당 이용에 필요한 효소는 합성되지 않는다. 그 까닭은 조절 유전자로부터 합성된 억제 단백질이 작동 부위에 결합한 상태이므로 RNA 중합효소가 프로모터에 결합할 수 없어 구조 유전자가 전사되지 않기 때문이다.
- 15** ㉠은 (원거리) 조절 부위이고, ㉡은 전사 인자이다. 조절 부위와 전사 인자가 결합하여 특정 유전자의 전사 여부를 조절한다.
- 16** 핵심 조절 유전자인 마이오디 유전자가 발현되어 근육 특이 조절

유전자의 발현을 위한 전사 인자로 작용함으로써 근육 특이 조절 유전자가 발현된다. 근육 특이 조절 유전자의 산물은 근육 특이 단백질인 마이오신과 액틴의 유전자 발현을 위한 전사 인자로 작용하여 근육 특이 유전자가 전사되고, 그 결과 근육 세포로 분화한다.

- 17** (1) 유전자의 위치를 초파리의 배아 및 성체에서 발현되는 위치와 비교해 보면 유전자 A가 초파리의 가슴 체절에서 다리가 발생하는 데 관여함을 알 수 있다.  
(2) 머리 체절에서 더듬이가 형성되는데, 다리의 발생을 유도하는 유전자 A가 머리 체절에서 과다 발현되면 더듬이가 생겨야 할 부위에 다리가 생기는 돌연변이가 나타날 수 있다.

### 논술 | 과학 글쓰기

- 18**  예시 답안 (1) 간세포와 수정체 세포는 모두 알부민 유전자와 크리스탈린 유전자를 가지고 있다. 유전자의 종류에 따라 존재하는 조절 부위에 차이가 나고, 세포의 종류에 따라 세포 내에 존재하는 전사 인자의 종류가 다르다. 간세포에 존재하는 전사 인자들은 알부민 유전자 앞쪽에 있는 조절 부위에 결합하여 알부민 유전자가 전사되게 하고, 수정체 세포에 존재하는 전사 인자들은 크리스탈린 유전자 앞쪽에 있는 조절 부위에 결합하여 크리스탈린 유전자가 전사되게 한다. 따라서 세포 내에 존재하는 전사 인자의 조합에 따라 세포 내에서 발현되는 유전자가 달라지고, 그 결과 서로 다른 기능을 수행하는 세포로 분화한다.  
(2) 원핵세포는 통합적으로 조절되어야 하는 유전자들이 오페론을 형성하여 하나의 프로모터에 의해 조절된다. 진핵생물도 물질대사에 관여하는 효소를 합성하는 유전자들이 동시에 발현되어야 물질대사가 진행될 수 있다. 여러 염색체에 흩어져 있는 유전자들이 동시에 발현되려면 이 유전자들이 같은 조합의 조절 부위를 가져야 한다. 같은 조합의 조절 부위를 가진 유전자들은 세포 내에 있는 전사 인자에 의해 동시에 전사가 촉진될 수 있다. 외부에서 호르몬과 같은 신호 물질이 전달되면 특정 전사 인자들이 활성화되어 관련된 여러 유전자가 한꺼번에 발현되게 조절할 수 있다.

## V 생물의 진화와 다양성

### 1 생명의 기원

핵심 개념 확인하기 155쪽

- 1 코아세르베이트 | 오파린은 탄수화물, 단백질, 핵산의 혼합체를 이용하여 막으로 둘러싸인 작은 액체 방울인 코아세르베이트를 만들었다.
- 2 유기물 복합체의 막과 현재 생물의 세포막은 선택적으로 물질을 흡수한다는 공통점을 가지고 있다. 하지만 유기물 복합체의 막은 인지질이 아닌 탄수화물, 단백질, 핵산 등의 성분으로 구성되어 있다.

### 2 진핵생물과 다세포 생물의 출현

- 156쪽 | 미토콘드리아와 엽록체는 자신의 DNA와 리보솜 등을 가지고 있다.

핵심 개념 확인하기 157쪽

- 1 미토콘드리아 | 미토콘드리아는 산소를 이용하여 ATP를 생산하는 원핵생물의 세포내 공생으로 생성된 세포 소기관이다.
- 2 다세포 생물은 단세포 생물에 비해 큰 몸을 가지고 있으므로 온도가 급격히 변할 때 다세포 생물의 체온은 서서히 변한다. 따라서 단세포 생물보다 다세포 생물이 몸의 항상성을 유지하는 데 좋다.

### 3 생물의 분류 체계

핵심 개념 확인하기 159쪽

- 1 (생물) 분류 | 생물 분류는 생물이 공통으로 가지고 있는 특징을 이용하여 생물을 여러 무리로 나누는 것이다.
- 2 계통수 | 계통수를 작성하면 생물 사이의 유연관계를 쉽게 이해할 수 있다.
- 3 공통 조상 | 현재 존재하는 종들은 나뭇가지의 맨 끝부분에 있으며, 공통 조상은 나무의 뿌리에 자리 잡고 있다.

162쪽 | 진핵생물역

### 4 식물과 동물의 분류

핵심 개념 확인하기 165쪽

- 1 셀룰로스 | 식물은 셀룰로스 성분의 세포벽을 가진다.
- 2 씨방의 유무 | 씨방이 없어서 종자가 겉으로 드러난 식물이 겉씨식물이고, 종자가 씨방 속에 들어 있는 식물이 속씨식물이다.

- 3 선태식물은 관다발이 없어 길이 생장을 할 수 없다. 양치식물은 관다발을 가지고 있으나 선태식물은 관다발이 없으므로 높은 곳까지 물과 양분을 수송할 수 없다.

166쪽 | 방사대칭

168쪽 | 환형동물문, 절지동물문

핵심 개념 확인하기 169쪽

- 1 탈피 | 딱딱한 외골격이 있는 절지동물은 성장하기 위해 탈피를 해야 한다.
- 2 좌우 대칭 동물은 몸의 앞쪽에 감각 기관이 집중되어 있다. 따라서 앞으로 움직이면서 집중된 감각 기관을 이용하여 주변 환경의 변화를 인지하고 이에 빠르게 반응할 수 있다.

### 5 진화의 원리

핵심 개념 확인하기 175쪽

- 1 변하지 않는다. | 멘델 집단은 유전적 평형이 일어나기 때문에 세대 사이에서 대립유전자 빈도가 변하지 않는다.
- 2  $p=0.8$  |  $q^2=0.04$ 이므로  $q=0.2$ 이다.  $p=1-q$ 이므로  $p=1-0.2=0.8$ 이다.

핵심 개념 확인하기 179쪽

- 1 유전적 부동 | 집단의 크기가 작을수록 유전적 부동은 집단에 더 큰 영향을 미친다.
- 2 돌연변이 | 돌연변이는 집단에 새로운 대립유전자를 생겨나게 한다.
- 3 멸종 위기종은 집단의 크기가 매우 작으므로 멸종 위기종의 유전자 풀은 유전적 부동의 영향을 강하게 받는다. 유전적 부동의 영향을 최소화하기 위해서는 집단의 크기를 크게 만드는 것이 필요하다. 멸종 위기종의 서식지를 넓혀 나가고 인공 사육한 후 자연에 방출하여 개체 수를 증가시키면 멸종 위기종의 집단 크기가 증가할 것이다.

### 6 종분화

핵심 개념 확인하기 182쪽

- 1 종분화 | 새로운 종이 생겨나는 과정을 종분화라고 하며, 종분화 결과 다양한 생물종이 생겨났다.
- 2 생물의 진화와 종분화는 세대와 세대 사이에서 발생하므로 세대의 길이는 진화의 속도와 관련이 있다. 설치목의 생물이 영장목의 생물보다 한 세대가 짧으므로 같은 시간 동안 더 빨리 진화할 수 있다.

☞ 핵심 개념 적용하기

01 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ○ (6) × (7) ×

02 ④ | 원시 대기는 수소, 암모니아, 메테인과 같은 환원성 기체로 구성되어 있으며, 전기 방전은 유기물 합성에 필요한 에너지를 제공해 준다. 실험 장치의 U자관에서는 아미노산 등 단순한 유기물이 발견되었다.

03 ③ | A는 산소 호흡을 하는 원핵생물로 세포내 공생을 통해 미토콘드리아가 되었으며, B는 광합성을 하는 원핵생물로 세포내 공생을 통해 엽록체가 되었다. 미토콘드리아와 엽록체를 모두 가진 세포 (가)는 광합성을 할 수 있다.

04 ③ | 선대식물은 관다발이 없지만, 양치식물, 겉씨식물, 속씨식물은 모두 관다발을 가지고 있다. 선대식물과 양치식물은 종자를 가지지 않는다. 외떡잎식물과 쌍떡잎식물은 속씨식물에 속한다.

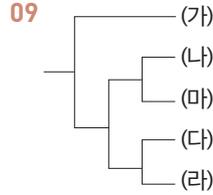
05 ④ | 100명이 가진 전체 대립유전자의 수는  $2 \times 100 = 200$  이고, 대립유전자 B의 수는  $30 \times 2(BB) + 60(Bb) = 120$  이다. 따라서 대립유전자 B의 빈도는  $\frac{120}{200} = 0.6$ 이다.

06 ④ | 유전자풀이 변하지 않는 멘델 집단이 되기 위해서는 집단이 충분히 커야 하며, 집단의 개체 사이에서 무작위로 교배가 일어나야 한다. 또, 돌연변이, 유전자 흐름, 자연선택이 없어야 한다. ①은 돌연변이가 발생한 것이고, ②는 자연선택이 일어난 것이다. ③에서는 무작위로 교배가 일어나지 않았으며, ⑤는 유전자 흐름이 일어났다. 이러한 요인으로 유전자풀은 변화한다.

07 ③ | 이웃한 집단 사이에서는 생식적 격리 없이 유전자 흐름이 일어나지만, 멀리 떨어진 집단 사이에는 생식적 격리가 일어나 서로 다른 종으로 분화한 집단들의 모임을 고리종이라고 한다. A와 B 사이에서는 유전자 흐름으로 생식적 격리가 일어나지 않지만, A와 G 사이에서는 생식적 격리가 일어나므로 직접적인 유전자 흐름은 일어나지 않는다. 그리고 고리종의 존재는 종분화가 연속적이며 점진적인 과정이라는 것을 보여 주는 것이지, 종분화가 어느 시점에 급격하게 나타나는 과정임을 보여 주는 것은 아니다.

☞ 핵심 역량 키우기

08 최초의 생명체가 탄생하기 위해서는 물질대사와 생식이 일어나야 한다. 물질대사와 생식이 일어나기 위해서는 외부 환경과 분리되어 독자적인 화학 반응이 일어날 수 있는 공간이 필요하다. 세포막은 이러한 반응이 일어나는 공간을 주변 환경과 분리해 준다.



(나)와 (마) 모두 특징 C를 가지므로 가까운 유연관계를 가지며, (다)와 (라) 모두 특징 E를 가지므로 가까운 유연관계를 가지는 것을 알 수 있다. (나), (다), (라), (마)는 모두 특징 B를 가지므로 공통 조상으로부터 진화하여 종분화한 것으로 보인다.

10 겉씨식물과 속씨식물은 종자로 번식하는데, 종자는 단단한 껍질에 둘러싸여 있어서 육상의 건조하고 추운 환경을 잘 견딜 수 있다. 또, 관다발이 잘 발달하여 있으므로 땅속 깊은 곳에서 흡수한 물과 양분을 광합성이 일어나는 잎으로 수송할 수 있다.

11 DNA의 염기 서열은 형태적 특징보다 환경의 영향을 적게 받는다. 그리고 모든 생물은 DNA를 가지고 있으므로, 세균과 사람처럼 형태적 특징을 비교할 수 없을 만큼 유연관계가 먼 생물 사이에서도 DNA의 염기 서열을 비교할 수 있다.

12 분류군 (가)는 척수동물이다. 척수동물은 호흡과 먹이 포획에 이용되는 척수관을 가지거나 담낭자 유생 시기를 갖는다.

13 환경 오염에 의해 배경색이 어두워진다면 밝은색의 회색가지나방은 줄어들고 어두운색의 회색가지나방이 증가할 것이다. 어두운 배경에서는 밝은색의 회색가지나방이 눈에 잘 띄게 되지만 어두운색의 회색가지나방은 잘 띄지 않게 된다. 그러면 새와 같은 회색가지나방의 포식자는 눈에 잘 띄는 밝은색의 회색가지나방을 주로 잡아먹게 되어 어두운색의 회색가지나방이 증가하게 될 것이다.

14 야생 동물의 서식지를 가로지르는 도로는 야생 동물 집단을 단절시켜 작은 집단으로 나누어지게 한다. 야생 동물 집단의 크기가 작아지게 되면 유전적 부동에 의한 유전적 다양성의 감소로 야생 동물이 쉽게 멸종할 수 있다. 따라서 생태 통로는 도로에 의해 단절된 야생 동물 집단을 연결함으로써 유전자 흐름이 일어나게 하여 유전적 다양성의 감소와 야생 동물의 멸종을 막는다.

15 돌연변이는 DNA 염기 서열의 변화로 새로운 대립유전자가 나타나는 현상이다. 돌연변이는 집단 내에 존재하는 모든 유전적 변이의 원천이다. 하지만 돌연변이는 매우 드문 현상이므로 돌연변이에 의해 새롭게 생성된 대립유전자는 집단의 유전자풀에서 매우 낮은 빈도를 나타낸다. 따라서 돌연변이가 그 자체로는 집단의 진화에 큰 영향을 미칠 수 없고, 유전적 부동이나 자연선택으로 빈도가 증가하게 되면 그 영향이 커질 수 있다.

16 갈라파고스 군도는 많은 섬으로 구성되어 있다. 남미 대륙에서 건너온 공통 조상이 정착해 살아가다가 새로운 섬으로 이주하면서 지리적 격리에 의한 종분화가 일어나 새로운 종이 생겨났으며, 이러한 종분화가 여러 섬에서 일어나면서 많은 종의 핀치가 생겨났다.

17  예시 답안 (1) 창시자 효과에 의해 새롭게 생성된 집단은 이들이 기원한 집단보다 유전적 다양성이 낮다. 아프리카 단일 기원설에 따라 인류가 아프리카에서 기원하여 주변 지역으로 점차 이동해 나갔다면 기원 집단인 아프리카 집단의 유전적 다양성이 가장 높고 아프리카에서 멀어질수록 다양성은 낮아질 것이다. 자료에서 제시된 연구 결과는 아프리카에서 멀어질수록 유전적 다양성이 감소하는 것을 보여 주고 있으므로 인류 집단의 아프리카 단일 기원설을 지지해 준다.

(2) 아프리카에서 멀어질수록, 유전적 다양성이 줄어들수록 나중에 기원한 집단이다. 연구 결과에서 나타난 자료에 따르면 아프리카, 중동, 유럽, 아시아, 오세아니아, 아메리카 순으로 거리는 증가하고 유전적 다양성은 감소하였다. 따라서 이 경로를 따라 인류 집단이 이동하여 전 세계로 확산되었을 것이다.

## VI 생명 공학 기술과 인간 생활

### 1 유전자 재조합 기술의 원리

핵심 개념 확인하기 196쪽

- 1 제한 효소, DNA 연결 효소
- 2 유용한 유전자와 플라스미드를 같은 제한 효소로 자르면 제한 효소로 잘린 유용한 유전자의 양쪽 말단과 플라스미드의 양쪽 말단은 상보적인 염기 서열을 가지므로 수소 결합을 하게 된다. 이후 DNA 연결 효소로 두 가닥을 연결하면 재조합 DNA가 만들어진다.

### 2 복제와 관련된 생명 공학 기술

핵심 개념 확인하기 200쪽

- 1 핵치환
- 2 세포 융합
- 3 복제 양 돌리와 형질 전환 동물을 만드는 데는 모두 핵치환이 활용되었다. 형질 전환 동물은 복제 양 돌리와 달리 유용한 유전자가 도입되어 형질 전환된 세포를 이용해 만들었으므로 이 과정에서 유전자 재조합 기술이 활용되었다.

### 3 생명 공학 기술을 이용한 난치병 치료

핵심 개념 확인하기 205쪽

- 1 세포 융합, 조직 배양 | B 림프구와 암세포를 융합하여 얻은 잡종 세포를 선별하여 증식시키면 단일 클론 항체를 얻을 수 있다.
- 2 유전자 치료
- 3 줄기세포

### 4 생명 공학 기술의 영향

핵심 개념 확인하기 207쪽

- 1 LMO
- 2 유전자 재조합 기술, 조직 배양
- 3  예시 답안
  - LMO는 환경 영향 평가에 의해 안전하게 생산되므로 인체에 해롭지 않다고 생각한다. 따라서 나는 LMO를 원료로 이용한 제품을 사용할 것이다.
  - LMO가 인체에 미치는 영향은 오랜 시간에 걸쳐 나타나므로 안전을 확신할 수 없다. 따라서 나는 LMO를 원료로 이용한 제품을 사용하지 않을 것이다.

## 5 생명 공학 기술의 현재와 미래

핵심 개념 확인하기 210쪽

### 1 생명 윤리

2 예시 답안 | 생명 공학 기술로 개발한 신약의 효과를 알아보기 위해 많은 동물을 대상으로 실험하고, 실험한 동물을 함부로 버리는 행위는 생물을 물건으로 취급하고 존중하지 않는 것이기 때문에 생명 윤리에 어긋난다고 생각한다. 따라서 생명 윤리란 생물이라는 도구로 인식하지 말고 존중해야 한다는 것이다.

### 대단원 마무리

213~215쪽

#### 핵심 개념 적용하기

01 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ (5) ○ (6) ×

02 ③ | 밀 ㉠은 유전자 재조합 기술에 의해 건조 내성 유전자가 도입된 유전자 변형 생물(LMO)이다. 유전자 재조합 기술에는 제한 효소가 이용되며, (가) 과정에서는 조직 배양 기술이 활용되었다.

03 ② | A와 돌리는 모두 암컷으로 성별이 같으며, 돌리의 유전 정보는 젖샘 세포를 채취하여 핵을 제공한 양과 같다.

04 ③ | 잡종 세포 (가)는 세포 융합 기술로 얻은 것이며, 단일 클론 항체 ㉠은 위암 치료에 이용된다. 잡종 세포는 골수암 세포와 세포 X(B 림프구)의 융합으로 만들어진 것이므로 잡종 세포에는 세포 X(B 림프구)에 없는 유전자의 염기 서열이 있다.

05 ② | LMO는 생명 공학 기술을 활용하여 새롭게 조합된 유전 물질을 포함하고 있는 생물이므로, 인위적인 교배를 통해 품종 개량한 식물과는 구별된다. LMO는 기존 생물에는 없던 유전자를 가진 생물이므로 유전적 다양성을 증가시킬 수 있다.

#### 핵심 역량 키우기

06 ㉠은 대장균 C, ㉡은 대장균 B의 균체이다. 대장균 A는 항생제 저항성 유전자가 있는 플라스미드가 없으므로 항생제가 첨가된 배지에서 생존할 수 없어 균체를 형성하지 못한다. 대장균 B는 젖당 분해 효소 유전자(ⓐ)에 인슐린 유전자가 삽입된 재조합 플라스미드를 가지고 있으므로 항생제에 저항성은 갖지만, 젖당 분해 효소를 합성하지 못해 물질 X를 분해하지 못하므로 흰색 균체를 형성한다. 대장균 C는 젖당 분해 효소 유전자(ⓐ)와 항생제 저항성 유전자(ⓑ)가 포함된 플라스미드를 가지고 있으므로 항생제에 저항성을 가지며, 젖당 분해 효소를 합성하므로 물질 X를 분해하여 푸른색 물질을 만든다.

07 A에서 얻은 줄기세포는 환자의 체세포 핵을 무핵 난자에 이식하는 핵치환으로 만들어진 줄기세포로, 환자의 체세포 핵과 유전적 구성이 거의 같으므로 이식 거부 반응을 최소화할 수 있다.

#### 논술 | 과학 글쓰기

08 예시 답안 (1) 첫째, 제왕나비 애벌레의 생존율 비교를 통해 재래 품종 옥수수에 살충제를 살포했을 때가 Bt 옥수수를 재배할 때보다 제왕나비 애벌레의 생존에 더 나쁜 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 둘째, 제왕나비 애벌레의 생존율 비교를 통해 살충성 단백질을 적게 만들어 내는 Bt11 옥수수는 살충성 단백질을 많이 만들어 내는 Bt176 옥수수와 달리 제왕나비 애벌레 생존율에 큰 영향을 주지 않는다는 것을 알 수 있다.

(2) 살충제를 사용하지 않고 조명충나방의 애벌레를 죽임으로써 옥수수의 생산성을 증가시킬 수 있으며, 제왕나비와 같은 다른 곤충에는 큰 해를 입히지 않는 Bt11 옥수수를 재배할 것이다. Bt11 옥수수와 같은 LMO를 재배할 때, Bt11 옥수수의 살충성 단백질 유전자가 다른 식물로 옮겨 가는 유전자 전이가 일어남으로써 생태계 평형을 파괴하는 일이 일어나지 않도록 해야 한다. 이를 위해 Bt11 옥수수가 생태계에 어떤 영향을 미치는지에 관한 연구가 여러 방향으로 이루어져야 하며, 이 연구를 의무화하는 정책이 수립되어야 한다.



# 찾아보기

## · ㄱ ·

각인	22
개시 코돈	128
겉씨식물	164
경쟁적 저해제	61
계통수	159
고리종	182
고세균역	162
고장액	53
골지체	45
광계	95
광인산화	99
광학 현미경	40
광합성	82
광합성 색소	94
구조 유전자	134
군체	157
그라나	47, 76
극피동물	168
기질	58
기질 수준 인산화	79
기질 특이성	58

## · ㄴ ·

능동 수송	54
니런버그	19

## · ㄷ ·

다윈	17
단백질	36
단순 확산	52
단일 클론 항체	202
담류자	167
담배모자이크바이러스	16
돌연변이	177
등장액	53
DNA	36, 115
DNA 복제	118
DNA 연결 효소	195
디옥시리보뉴클레오타이드	120

## · ㄹ ·

라마르크	17
레이우엔훅	14
리보뉴클레오타이드	126
리보솜	45
리소좀	47
린네	17, 158

## · ㄴ ·

마이크로스피어	154
막 진화설	156
멀러	18
멀리스	20
멘델	18
멘델 집단	175
명반응	97
모건	18
미토콘드리아	46, 76

## · ㄷ ·

반보존적 복제	120
반응 중심 색소	95
반응열	58
발효	88
방사성 동위 원소	43
번역	127
병목 효과	177
보조 인자	60
분류	158
분류 체계	162
분류군	158
분자 생물학	18
비관다발 식물	164
비들	19
비순환적 전자 흐름	98
비종자 관다발 식물	164

## · ㄷ ·

산소 호흡	88
산화적 인산화	85

3역 6계 분류 체계	162
3염기 조합	130
삼투	53
생어	20
선형동물	168
섬모	49
세균역	162
세포 골격	49
세포 분화	138
세포 분획법	42
세포 융합	200
세포 호흡	78
세포내 공생설	156
세포내 섭취	55
세포내 소화	47
세포막	50
세포벽	48
세포설	14
세포외 배출	55
소포체	45
속씨식물	164
순환적 전자 흐름	98
슈반	14
솔라이덴	14
스트로마	47, 76
식포	47
심해 열수구설	153

## · ㄷ ·

안티코돈	127
RNA	36, 127
RNA 우선 가설	155
알코올 발효	89
암반응	97
액포	48
ATP 합성 효소	86
FAD	80
NAD <sup>+</sup>	79
NADPH	83
연체동물	167

염색질	136
엽록소	94
엽록체	47, 76
오파린	152
오페론	134
왓슨	19
용혈	53
원구	166
원심 분리기	42
원핵세포	38
원형질 분리	54
위상차 현미경	40
유전부호	130
유전자 발현	124
유전자 변형 생물(LMO)	206
유전자 재조합 기술	194
유전자 치료	203
유전자 흐름	179
유전자풀	174
유전적 부동	177
유전적 평형	175
유전체	114
유전학	18
1유전자 1폴리펩타이드설	125
1유전자 1효소설	125

· ㅈ ·

자기 방사법	43
자연 선택	178
자포동물	167
작동 부위	134
작용 스펙트럼	94
저장액	53
저해제	61
전사	126
전사 인자	136
전자 전달계	85
절지동물	168
젓당 오페론	134
젓산 발효	89
제한 효소	194
조절 부위	136

조절 유전자	134, 138
조직	32
조직 배양	199
조직계	33
종	158
종결 코돈	128
종분화	181
증자식물	164
주사 전자 현미경(SEM)	42
줄기세포	203
중심 원리	126
중심체	49
지질	35
진핵생물역	162
진핵세포	38
진화론	17

· ㅊ ·

창시자 효과	177
척삭동물	168
체질	139
촉매	58
촉진 확산	52
최소 배지	124

· ㅋ ·

카로티노이드	94
캘빈 회로	82
코돈	127
코아세르베이트	154
코흐	15
크리스타	46, 76
크릭	19

· ㅌ ·

탄수화물	34
탄저병	16
테이텀	19
투과 전자 현미경(TEM)	42
TCA 회로	80
틸라코이드	47, 76

· ㅍ ·

파스퇴르	15
팽윤 상태	54
편모	49
편형동물	167
포자	164
폴리솜	128
폴리펩타이드	36, 128
프로모터	126
플라스미드	194
플레밍	15

· ㅎ ·

하디·바인베르크 법칙	175
학명	158
해당 과정	79
해면동물	167
해상력	42
핵	44
핵산	36
핵심 조절 유전자	138
핵치환	198
형광 현미경	40
형질 전환	19
호흡 기질	87
호흡률	87
혹스 유전자	139
화학 삼투	86
화학적 진화설	152
확산	52
환형동물	167
활성 부위	58
활성화 에너지	58
효소·기질 복합체	58
혹	14
흡수 스펙트럼	94

## I 생명 과학의 역사

- ▶ 10쪽(새싹, 현미경), 14쪽(폐포와 모세 혈관, 흑의 세포), 17쪽(핀치), 22쪽(로렌츠): 포트폴리오
- ▶ 12쪽(배경): 셔터스톡
- ▶ 13쪽(난자에 접근하고 있는 정자): Alamy/이매진스
- ▶ 14쪽(말피기), 18쪽(완두), 22쪽(벤틱과 베스트): 이미지클릭
- ▶ 15쪽(세균 배양 접시의 푸른곰팡이): 이미지코리아
- ▶ 16쪽(담배모자이크바이러스), 23쪽(DNA의 X선 회절 사진, 왓슨과 크릭), 24쪽(매클린톡): Science Photo Library/이매진스
- ▶ 17쪽(다윈 풍자 그림), 22쪽(인슐린), 24쪽(옥수수), 27쪽(붉은색 눈 초파리, 흰색 눈 초파리): Getty Images Korea/이매진스
- ▶ 20쪽(사람과 DNA), 24쪽(옥수수밭): 토픽
- ▶ 21쪽(란트슈타이너): 포토파크

## II 세포의 특성

- ▶ 28쪽(식물 세포), 29쪽(동물 세포), 30쪽(고흐의 「귀가 잘린 자화상」), 38쪽(콩과식물), 40쪽(소핑물), 44쪽(핵 TEM, 핵 SEM, 핵공), 45쪽(거친면 소포체, 매끈면 소포체, 리보솜, 골지체 SEM), 46쪽(미토콘드리아 TEM, 미토콘드리아 SEM), 47쪽(엽록체 SEM, 리소솜 TEM, 리소솜 SEM), 48쪽(액포 TEM, 액포 SEM), 49쪽(미세 소관): 포트폴리오
- ▶ 30쪽(고흐의 귀): 연합뉴스
- ▶ 30쪽(배경), 31쪽(3D 프린터), 66쪽(DNA 배경, 혈액 검체 용기), 71쪽(책): 셔터스톡
- ▶ 32쪽(시계), 42쪽(투과 전자 현미경), 63쪽(식혜): 토픽
- ▶ 34쪽(연주), 50쪽(세포막), 54쪽(양파 세포의 등장액 사진), 66쪽(세포 검사 기사): Getty Images Korea/이매진스
- ▶ 35쪽(감자 캐는 아이), 40쪽(짚신벌레 형광 현미경 사진): 이미지코리아
- ▶ 35쪽(지방 조직), 40쪽(짚신벌레 광학 현미경 사진, 짚신벌레 위상차 현미경 사진), 42쪽(살모넬라균 TEM, 살모넬라균 SEM), 45쪽(골지체 TEM), 47쪽(엽록체 TEM), 48쪽(세포벽 TEM, 세포벽 SEM), 49쪽(세포 골격), 53쪽(적혈구의 저장액, 등장액, 고장액 사진), 54쪽(양파 세포의 저장액, 고장액 사진): 이미지클릭

- ▶ 54쪽(세포 안팎의 이온 농도): Silverthorn, 『Human Physiology』 2nd, Prentice-Hall, 2001. 책을 참고하였음.
- ▶ 61쪽(그림 II-33 효소의 활성): Campbell 외, 『Biology』 10th, PEARSON, 2015.
- ▶ 71쪽(그림 (나)): Freeman 외, 『Biological Science』 5th, PEARSON, 2014.

## III 세포 호흡과 광합성

- ▶ 72쪽(벼), 74쪽(하늘 배경), 104쪽(바이오 에너지), 109쪽(책): 셔터스톡
- ▶ 74쪽(모네의 정원, 「수련 연못 위의 다리」, 「수련 연못, 적색의 조화」): Alamy/이매진스
- ▶ 74쪽(「수련과 일본식 다리」), 78쪽(코알라), 83쪽(캘빈), 90쪽(요구르트, 김치): 포트폴리오
- ▶ 76쪽(해변), 88쪽(밀가루 반죽), 91쪽(고초균, 푸른곰팡이): Getty Images Korea/이매진스
- ▶ 85쪽(그림 III-9 전자 전달계의 에너지 수준): Campbell 외, 『Biology』 10th, PEARSON, 2015.
- ▶ 89쪽(효모, 젖산균): Science Photo Library/이매진스
- ▶ 90쪽(와인, 막걸리), 94쪽(태양열), 102쪽(수력 발전소): 토픽
- ▶ 91쪽(김치젖산균, 메테인 생성균): 천종식 저, 『고마운 미생물, 알미운 미생물』, 숲, 2005.
- ▶ 104쪽(바이오 에너지 연구원): 연합뉴스

## IV 유전자의 발현과 조절

- ▶ 110쪽(DNA 모형): Getty Images Bank/이매진스
- ▶ 112쪽(「인 타임」): 20세기폭스코리아(주)
- ▶ 112쪽(바다와 시계), 142쪽(염색체): 토픽
- ▶ 113쪽(염색체와 말단 소체), 139쪽(정상 초파리 1, 더듬이 대신 다리가 생긴 초파리, 정상 초파리 2, 2쌍의 날개를 가진 초파리), 141쪽(애기장대의 꽃): Science Photo Library/이매진스
- ▶ 114쪽(세균과 백혈구), 134쪽(대장균 배지), 138쪽(개구리의 발생): 포트폴리오

- ▶ 114쪽(원핵생물과 진핵생물의 유전체): Milo 외, 『CELL BIOLOGY by the numbers』, Garland Science, 2015.
- ▶ 118쪽(판화), 124쪽(유전자 분석), 130쪽(디지털 정보), 142쪽(생물 정보학자): Getty Images Korea/이매진스
- ▶ 128쪽(폴리솜): Campbell 외, 『Biology』 10th, PEARSON, 2015.
- ▶ 147쪽(책): 셔터스톡

## V 생물의 진화와 다양성

- ▶ 148쪽(원시 지구), 151쪽(상어, 청자고둥), 154쪽(대장균), 158쪽(곰, 코끼리, 고양이), 164쪽(산, 우산이끼), 165쪽(소나무, 버), 167쪽(해면, 달팽이), 168쪽(예쁜꼬마선충, 잠자리, 새우, 거미, 멧개, 봉어), 169쪽(도마뱀), 170쪽(흰민들레, 집파리, 전나무, 보름달물해파리), 180쪽(치타), 184쪽(태즈메이니아늑대): 포트폴리오
- ▶ 150쪽(미스킴 라일락, 구상나무), 151쪽(상어 비늘), 158쪽(대형 할인 매장), 166쪽(히드라, 무당벌레), 167쪽(말미잘, 플라나리아), 170쪽(산왕거미, 뿔이끼), 172쪽(적혈구, 쥐의 배아, 사람의 배아), 180쪽(북방코끼리물범): Getty Images Korea/이매진스
- ▶ 150쪽(하늘 배경), 151쪽(해양 배경), 189쪽(책): 셔터스톡
- ▶ 152쪽(스트로마톨라이트), 164쪽(고사리), 168쪽(불가사리), 170쪽(고비, 참새), 182쪽(엔사티나도롱뇽 A와 G), 183쪽(재갈매기), 187쪽(코스모스): 이미지코리아
- ▶ 154쪽(코아세르베이트): Brooker 외, 『Biology』 2nd, McGraw-Hill, 2010.
- ▶ 154쪽(마이크로스피어): 전진석 외 역, 『생명과학』, 지코사이언스, 2007.
- ▶ 155쪽(그림 V-6): 김원 외 역, 『생명의 원리』 2판, 라이프사이언스, 2015.
- ▶ 156쪽(아메바), 165쪽(장미), 170쪽(반달가슴곰), 184쪽(섬): 토픽
- ▶ 167쪽(지렁이), 170쪽(옥수수, 보라성게, 주황해변해면), 184쪽(도도): 이미지클릭
- ▶ 168쪽(창고기): Campbell 외, 『Biology』 10th, PEARSON, 2015.
- ▶ 173쪽(척추동물의 계통수): Raven 외, 『Biology』 6th, McGraw-Hill, 2002.
- ▶ 179쪽(생태 통로): 연합뉴스
- ▶ 181쪽(하와이 초파리): 방재욱 외 역, 『생명과학』 9판, 녹문당, 2012.

- ▶ 188쪽(회색가지나방): Alamy/이매진스
- ▶ 189쪽(자료 (가)의 그래프): <http://voxeu.org/article/out-africa-hypothesis-human-genetic-diversity-and-comparative-economic-development>

## VI 생명 공학 기술과 인간 생활

- ▶ 190쪽(핵치환), 191쪽(돌리), 194쪽(플라스미드): Science Photo Library/이매진스
- ▶ 192쪽(배경), 193쪽(배경), 210쪽(손과 나무), 212쪽(DNA 배경): 셔터스톡
- ▶ 192쪽(베타 1): 이미지클릭
- ▶ 192쪽(베타 2): Lewis, 『Life』 2nd, WCB, 1995.
- ▶ 193쪽(데실바 1, 데실바 2): <https://primaryimmune.org/first-gene-therapy-patients-attend-conference>
- ▶ 194쪽(홍합), 198쪽(윌멧 박사와 돌리), 199쪽(켈러스): 포트폴리오
- ▶ 195쪽(농업): 토픽
- ▶ 195쪽(환경 정화), 199쪽(카피캣), 208쪽(옥수수): Campbell 외, 『Biology』 10th, PEARSON, 2015.
- ▶ 199쪽(스놀프와 스놀피, 투피, 스너피), 200쪽(무추, 면역 결핍 돼지), 206쪽(글로피시, 황금쌀, 유전자 변형 언어, 형광 고양이), 209쪽(소망이), 210쪽(슈퍼 마우스), 212쪽(생명 공학 연구원): 연합뉴스
- ▶ 199쪽(기관 분화): 전상학 외 역, 『생명과학』 7판, 라이프사이언스, 2006.
- ▶ 208쪽(공발, 포플러): 포토파크

### • 부속

- ▶ 표지(빙하): 셔터스톡
- ▶ 2쪽, 9쪽, 235쪽(화분, 달팽이): 셔터스톡

※ 집필진의 직접 집필인 경우 출처를 밝히지 않았음.

※ 출처 표시를 안 한 사진 및 삽화는 저작자 및 발행사에서 저작권을 가지고 있는 경우임.

## 검정심의회

위원장 | 남상욱(강원대학교)

간사 | 임승환(한국과학창의재단)

### 연구위원 |

〈내용 조사〉 계명찬(한양대학교)

고영규(고려대학교)

김경환(충북대학교)

김호찬(총렬여자중학교)

오정균(목포대학교)

이상재(경희대학교)

이창로(명지대학교)

최현주(일산대진고등학교)

〈표기·표현〉 김형배(국립국어원)

정은주(前 국립국어원)

하영우(한국과학기술원)

검정위원 | 김윤희(경상대학교)

박대호(광주과학기술원)

송점석(세일고등학교)

이신춘(동지여자고등학교)

이윤호(대구일과학고등학교)

정기화(공주대학교)

천충일(숙명여자대학교)

허해룡(공주대학교사범대학부설고등학교)

한국과학창의재단 조향숙, 김기상, 최임정, 김대수, 나준영, 남소현, 조혜정

개발 책임 | 정장아

편집 | 오진경, 장민이, 문지혜, 소정신

디자인 | 오영숙, 하은진, 디자인틀, 디자인토픽

일러스트·삽화 | 윤효순, 박현정, 김유아, 이정숙, 김예슬, 황병선, 정중훈, 이대열, 송진욱, 김태형

사진 촬영 | 필름피아

실험 기자재 협조 | 세원과학사

교육부의 위탁을 받아 한국과학창의재단이 검정 심사를 하였음.

## 고등학교 생명과학Ⅱ

초판 발행 | 2018. 3. 1.

지 은 이 | 오현선 외 5인

발 행 인 | (주)미래엔 (서울특별시 서초구 신반포로 321)

인 쇄 인 | (주)미래엔 (서울특별시 서초구 신반포로 321)

정가 원

이 교과서의 본문 용지는 우수 재활용 제품 인증을 받은 재활용 종이를 사용하였습니다.

교과서에 대한 문의 사항이나 의견이 있으신 분은 '교과서민원바로처리센터(전화: 1566-8572, [www.textbook114.com](http://www.textbook114.com) 또는 [www.교과서114.com](http://www.교과서114.com))'에 문의하여 주시기 바랍니다.

이 도서에 게재된 저작물에 대한 보상금은 문화체육관광부 장관이 정하는 기준에 의거 사단법인 한국복제전송저작권협회(전화: 02-2608-2800, [www.korra.kr](http://www.korra.kr))에서 저작권산권자에게 지급합니다.

내용 관련 문의 | (주)미래엔 교육사업본부 전화 1800-8890 전송 (02) 541-8150

공급 업무 대행 | (사)한국검인정교과서협회 (10881) 경기도 파주시 문발로 439-1(신촌동 734-1)

개별 구입 문의 | 누리집 주소 [www.klbook.com](http://www.klbook.com) 전화 031-956-8581~4 (사)한국검인정교과서협회

ISBN | 979-11-6233-326-6