

〈표지〉

〈판권〉

## 〈제목 차례〉

1장 생물학과 그 주제들 .....	1
<b>1단원 생물학에서 화학의 역할</b> .....	9
2장 원자와 분자 .....	9
3장 물의 화학 .....	20
4장 탄소: 분자 다양성의 기초 .....	29
5장 생체 거대 분자와 지질 .....	33
6장 에너지와 생명체 .....	40
<b>2단원 세포생물학</b> .....	46
7장 세포의 구조와 기능 .....	46
8장 세포막 .....	54
9장 세포의 신호 교환 .....	60
10장 세포 호흡 .....	66
11장 광합성 과정 .....	73
12장 세포 분열 .....	80
<b>3단원 생명의 유전적 기초</b> .....	84
13장 성생활 주기와 감수 분열 .....	84
14장 멘델 유전학 .....	89
15장 연관과 염색체 .....	94
16장 핵산과 유전 .....	100
17장 유전자의 발현 .....	104
18장 유전자 발현 조절 .....	110
19장 DNA 기술 .....	116
20장 유전체의 진화 .....	121
<b>4단원 진화</b> .....	127
21장 진화는 어떻게 작동하는가? .....	127
22장 계통발생의 재구성 .....	131
23장 소진화 .....	138
24장 종과 종분화 .....	143
25장 대진화 .....	147
<b>5단원 생명의 다양성</b> .....	153
26장 바이러스 .....	153
27장 원핵생물 .....	157
28장 진핵생물의 기원과 진화 .....	164

29장 비관다발 식물과 무종자 관다발 식물 .....	171
30장 종자 식물 .....	175
31장 군류 .....	180
32장 동물의 다양성 .....	186
33장 무척추동물 .....	191
34장 척추동물 .....	197
<b>6단원 식물: 구조와 기능</b> .....	205
35장 식물의 구조와 생장 .....	205
36장 관다발 식물의 수송 .....	211
37장 식물의 영양 .....	218
38장 속씨식물의 생식 .....	222
39장 식물의 신호와 행동 .....	226
<b>7단원 동물: 구조와 기능</b> .....	232
40장 동물의 몸 .....	232
41장 동물의 화학적 신호 .....	237
42장 동물의 소화계 .....	241
43장 동물의 수송 시스템 .....	247
44장 동물의 배설계 .....	255
45장 동물의 생식계 .....	261
46장 동물의 발생 .....	267
47장 동물은 감염에 대항하여 방어한다. ....	271
48장 동물의 전기적 신호 .....	276
49장 동물의 신경 조절 .....	281
50장 동물의 감각과 운동 .....	287
<b>8단원 생태학</b> .....	294
51장 생태학의 개요 .....	294
52장 행동생태학 .....	299
53장 개체군 및 생활사 특징 .....	304
54장 생물다양성과 군집 .....	310
55장 생태계에서의 에너지 흐름과 물질 순환 .....	311
56장 보전과 지구 생태학 .....	317



# 1장 생물학과 그 주제들

## 개념 1.1 생명을 연구하면 통일된 주제가 드러난다.

### 1. 생물의 특징

- 1) 구성: 세포가 기본 단위이다. 그러나 세포보다 작고 큰 구성 단위가 있다.
- 2) 정보: DNA를 유전물질로 가진다.
- 3) 에너지와 물질대사
- 4) 상호작용
- 5) 진화

### 2. 생물학적 구성의 단계

- 1) 원자 < 2) 분자 < 3) 세포소기관 < 4) 세포(cell, 생명체의 구조 및 기능 단위)
- < 5) 조직(tissue, 특별한 기능을 수행하기 위해 협업하는 세포 그룹) < 6) (조직계)
- < 7) 기관(organ, 신체에서 다양한 기능을 수행하는 부위로 다양한 조직으로 구성됨)
- < 8) (기관계) < 9) 개체(organism, 개개의 살아있는 것)
- < 10) 개체군(population, 특정 지역 내에 생존하는 한 종을 구성하는 모든 개체의 집합)
- < 11) 군집(community, 특정 생태계에 거주하는 일련의 생물체들)
- < 12) 생태계(ecosystem, 특정지역의 생물과 무생물을 통칭) < 13) 생물권(biosphere, 지구)

▼ 그림 1.3

#### 탐구 생물학적 구성의 단계들

##### ◀ 1 생물권

심지어 우주 공간에서 바라보아도 지구상 생명의 자취, 즉 지구 행성의 숲에 의해 나타나는 초록색 모자이크가 보이기 시작할 것이다. 우리는 전 생물권의 규모를 볼 수 있게 되는데, 이는 지구상 모든 생물들로 구성되어 있고 생명이 존재하는 모든 장소로 구성되어 있다. 생물권은 대부분의 육상, 물, 수 킬로미터 고도의 대기, 심지어 해양의 바닥 아래 침전토를 포함한다.

##### ◀ 2 생태계

우리가 댄 책을 클로즈업을 하면 많은 활엽낙엽수(데넌 잎을 떨어뜨리고 새 잎을 내는 나무)로 이루어진 북미대륙 산림이 나타난다. 이러한 활엽수 숲은 생태계의 한 예이다. 초원, 사막 혹은 바닷속 산호초 등은 다른 종류의 생태계이다. 생태계는 특정 지역에 살아 있는 모든 생물종뿐만 아니라, 토양, 물, 대기 가스, 빛 등 생물체와 상호작용하는 무생물을 포함한다.

##### ▶ 3 군집

특정 생태계에 거주하는 모든 생물체의 집단을 생물학적 군집이라 한다. 우리의 숲 생태계는 많은 종류의 나무와 다른 식물들, 다양한 동물, 버섯, 곰팡이 등을 포함할 뿐만 아니라 나무 작아서 원미경이 아니면 볼 수 없는 새과 같은 미생물까지 포함한다. 이러한 생명의 형태 각각을 종(species)이라고 부른다.

##### ▶ 4 개체군

개체군이란 특정한 지역 내에 생존하는 한 종을 구성하는 모든 개체의 집합을 말한다. 예를 들어, 우리의 숲에는 단풍나무로 이루어진 개체군과 원코리 사슴 개체군 등이 있다. 따라서 군집이란 특정 지역에 서식하는 개체군의 집합이다.

##### ▲ 5 생물

개개의 살아 있는 것을 생물이라고 한다. 숲 속에 있는 각각의 단풍나무나 여러 식물들은 생물이며, 사슴, 개구리, 박정벌레 등의 숲 속 동물도 생물이다. 토양에는 새과와 같은 미생물이 생존한다.

### ▼ 6 기관과 기관계

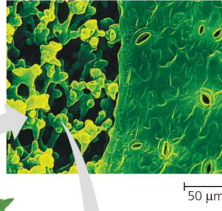
생명의 계층구조는 우리가 좀 더 복잡한 생물체의 구조를 탐구함에 따라 한층 더 펼쳐진다. 단종나무 잎은 신체 중에서 특정한 기능을 수행하는 부위인 기관의 예가 된다. 줄기와 뿌리는 식물의 또 다른 주요 기관이다. 복잡한 동물이나 식물의 기관들은 조직화되어 기관계를 형성하는데, 이는 더 큰 기능을 수행하도록 팀으로 기능한다. 기관은 몇 가지 조직으로 구성된다.

### ▶ 10 분자

우리의 마지막 단계에서는 엽록체에서 생명을 구성하는 분자 수준으로 도약하게 된다. 분자는 원자라고 불리는 작은 화학적 단위가 둘 이상으로 구성되어 있는 화학적 구조를 말한다. 원자는 엽록소 분자를 묘사한 컴퓨터그래픽에서 조그만 공처럼 그려져 있다. 엽록소는 단종나무 잎이 초록색으로 보이도록 하는 색소 분자이다. 지구상의 가장 중요한 분자 중 하나인 엽록소는 광합성 첫 단계에서 태양빛을 흡수하는 역할을 한다. 각 엽록체 안에는 수백만 개의 엽록소와 다른 보조 분자들이 조직화되어 빛에너지를 음식물 속의 화학에너지로 전환시킨다.

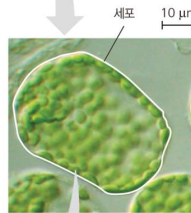
### ▶ 9 세포소기관

엽록체는 세포소기관의 예로서, 세포소기관이란 세포 속에 들어 있는 다양한 기능적 요소이다. 배율이 높은 현미경으로 찍은 이 사진은 하나의 엽록체를 보여준다.



### ◀ 7 조직

잎의 조직을 보기 위해서는 현미경이 필요하다. 각 조직은 특별한 기능을 수행하며 함께 일하는 세포 그룹으로 구성된다. 잎 사진에 있는 잎은 단편을 보기 위해 잘려져 있다. 잎 내부(사진의 왼쪽)에 있는 벌집 모양의 조직은 빛에너지를 당과 같은 화학에너지로 전환시키는 광합성의 주요 장소이다. 퍼즐조각처럼 생긴 잎 표면의 "피부"(사진의 오른쪽)는 표피라는 조직이다. 표피를 관통하는 구멍은 당 생산의 원료물질인 이산화탄소가 잎 내부로 들어오는 통로이다.



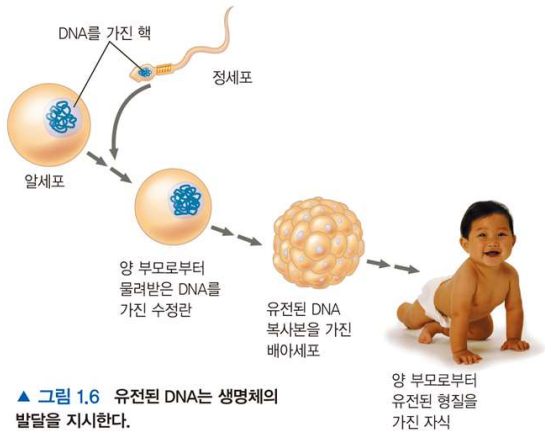
### ▲ 8 세포

세포는 생명체의 기본적인 구조 및 기능의 단위이다. 생물들은 단세포인 경우도 있고 다세포인 경우도 있다. 단세포 생물체는 모든 생명활동을 수행해야 하지만 다세포 생물체는 특별한 세포들 간의 분업이 이루어진다. 이 사진에서 우리는 잎 조직의 세포를 확대해서 보고 있다. 하나의 세포는 약 40 μm 정도에 지나지 않는다. 이 세포들을 500 개 이상 모아야 동전 한 닢 두께가 될 것이다. 이렇게 작은 세포 수준으로 내려오면 광합성을 수행하는 많은 수의 엽록체를 볼 수 있다.

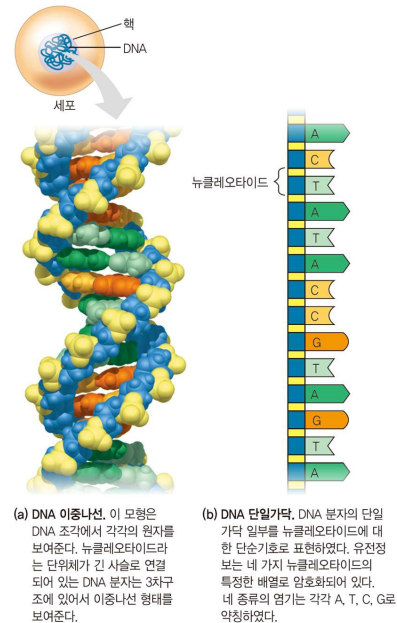


3. 생명 과정은 유전정보의 발현과 전달을 수반한다.

- 1) 세포내에 염색체라는 구조는 DNA(deoxyribonucleic acid) 형태로 유전물질을 저장한다.
- 2) 유전된 DNA는 생명체의 발달을 지시한다.

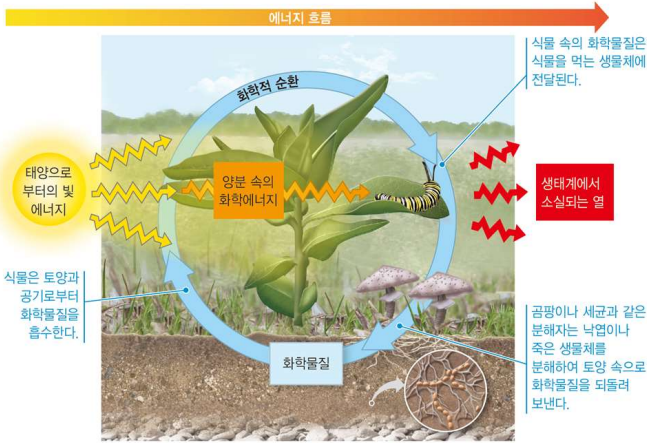


3) DNA:유전물질의 구조 - 뉴클레오타이드라는 단위체가 연결된 단일가닥 2개가 이중나선 형태를 하고 있다.



▲ 그림 1.7 DNA: 유전물질

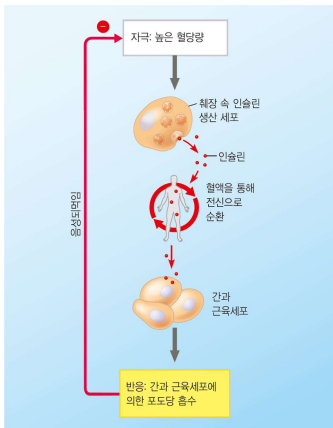
4. 생명은 에너지와 물질의 전달과 변환을 필요로 한다.
- 1) 에너지는 흐른다.
  - 2) 물질은 순환한다.
  - 3) 생명체가 살기 위해서는 에너지와 물질이 필요하다.



◀ 그림 1.9 에너지 흐름과 화학 순환. 생태계에서 에너지 흐름은 단일 방향으로 흐른다: 광합성 동안에 식물은 태양 빛에서 오는 에너지를 화학에너지(당과 같은 양분에 저장된)로 전환한다. 이 에너지는 식물이나 다른 생물이 일을 하는데 사용되며 궁극적으로는 생태계 내에서 열로 소실된다. 이와 달리 화학물질은 생물체와 물리적 환경 사이를 순환한다.

5. 분자에서 생태계에 이르기까지 생물계는 상호작용이 중요하다.

- 1) 생물학적 계층구조 모두에서 상호작용이 일어나 생태계가 매끄럽게 돌아간다.
- 2) 분자 수준의 상호작용의 예: 인슐린에 의한 혈당 조절



▲ 그림 1.11 피떡임 조절. 인간의 신체는 음식에서 유래한, 주요 세포 연료인 포도당의 사용과 저장을 조절한다. 이 그림은 음성피떡임 조절을 보여 준다: 반응(세포에 의한 포도당 흡수)이 인슐린 분비를 촉진시켰던 고농도의 포도당 양을 감소시킴으로써 이 과정을 음으로 조절하게 된다.

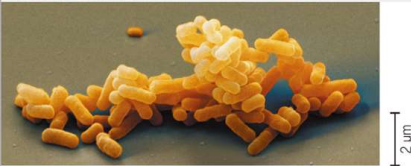
1. 혈액 내 높은 혈당이 췌장 세포를 자극해 인슐린 분비하게 함.
2. 인슐린이 온몸의 혈액 속을 순환함.
3. 인슐린이 체내 세포에 결합하여 포도당을 흡수하게 함. 간세포나 근육세포가 세포 내에 포도당을 저장한다. 그 결과 혈액 내 포도당 농도는 감소한다.
4. 떨어진 혈액 내 포도당 수준은 더 이상 인슐린 분비를 자극하지 않는다.

6. 진화는 생명의 통일성과 다양성을 설명한다.

- 1) 한 조상으로부터 진화한 여러 종들은 비슷하다(통일성).
- 2) 하지만 각각의 독특한 특징을 가지고 있다(다양성).
- 3) 지구상에는 10만종의 균류, 29만종의 식물, 5만7천종의 척추동물, 100만종의 곤충 등이 존재하며, 약 천만에서 일억 종이 존재할 것으로 생각된다.
- 4) 다양한 종을 크게 3가지 영역(domain)으로 나눈다.  
: 세균영역, 고세균영역, 진핵생물영역
- 5) 분류군(taxa)의 계층:  
종(species)-속(genus)-과(family)-목(order)-강(class)-문(phylum)-계(kingdom)-영역

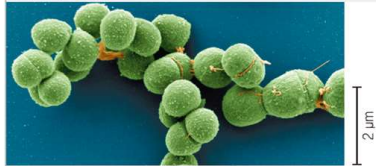
▼ 그림 1.13 생명의 세 영역

(a) 세균영역(진정세균)



세균은 가장 다양하고 널리 퍼져 있는 원핵생물이며 현재 몇 개의 계로 나누어진다. 사진 속 막대 모양의 구조를 하나하나가 세균 세포이다.

(b) 고세균영역



고세균이라 불리는 많은 원핵생물은 지구상의 극단적 환경, 염분호수나 끓어 오르는 온천 등에서 생존한다. 고세균영역에는 몇 개의 계가 들어 있다. 사진은 여러 세포로 구성된 군체를 보여준다.

(c) 진핵생물영역



▲ 식물계는 광합성을 수행하는 다세포 진핵생물로 구성되어 있다. 이들은 광합성을 통해 빛에너지를 영양분에 저장된 화학에너지로 전환한다.



▶ 균계는 그 구성원들의 영양방식에 의해 부분적으로 정의된다. 이들은 그림에서 보는 버섯과 같이 유기물을 분해함으로써 영양원을 흡수한다.



◀ 동물계는 다른 생물체를 섭취하는 다세포 진핵생물로 구성되어 있다.



▶ 원핵생물은 단세포 진핵생물과, 이들과 연관관계가 있는 비교적 단순한 다세포 생물을 말한다. 사진은 연못 속에 살고 있는 원핵생물들의 모임을 보여준다. 과학자들은 최근 진화적 유연관계를 더 잘 반영하기 위해 원핵생물을 어떻게 다른 계로 나눌 것인가에 대해 논쟁 중이다.

## 개념 1.2 자연탐구를 위해 과학자들은 가설을 만들고 검증한다.

## 1. 귀납적 추리(inductive reasoning)

- 1) 관찰을 수집하고 data(=기록된 관찰)를 분석함으로써 중요한 결론을 이끌어낸다.
  - 2) 수많은 구체적 관찰로부터 일반화를 유도
- 예) 태양은 동쪽에서 뜬다.

## 2. 연역적(deduction) 추리 : 관찰로부터 “가설”을 형성한 후 특수한 결과를 유추해 내는 과정.

- ▶ 가설(hypothesis): 관찰을 통해 과학자가 만든 것으로 논리적이며 검증가능 함.  
관찰과 가정에 근거한 설명. 검증 중인 설명. 검증 가능한 예측을 낳는다.
- ▶ 이론 : 가설보다 상위의 개념, 새로운 가설을 파생시킬 만큼 일반적, 엄청난 증거로 뒷받침 됨

- 1) 탐구 과정: 관찰 -> 문제 인식 -> 가설 설정(잠정적 결론) -> 가설 검증 실험  
-> 가설이 맞으면 일반화, 틀리다면 다시 새로운 가설 설정 후 다시 실험.

## 2) 순서도

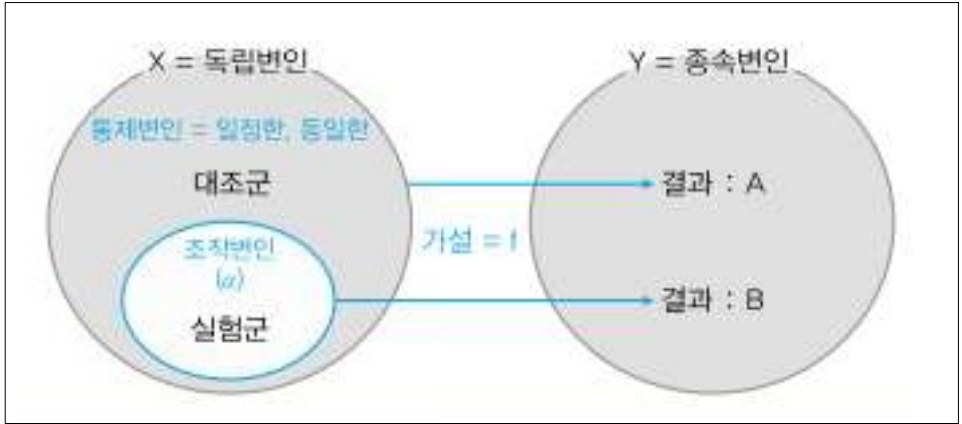
- (1) 자연현상 관찰/문제인식: 자연을 관찰 한 후 의문(문제점)을 가짐
- (2) 가설설정: 문제점에 대한 잠정적 결론(가설)을 만들. “~면, ~것이다”의 형태를 가진다.  
예) 빛이 있으면 식물이 자랄 것이다.
- (3) 탐구 설계/수행: 가설을 검증할 수 있는 실험 계획을 세운 뒤 실험을 한다.  
예) 빛이 있는 조건과 없는 조건을 실험 계획에 넣어야 하며, 자란 정도를 측정해야 한다.

	빛(lx)	온도(℃)	습도(%)	물(mL/day)	자람(cm)
식물A	0	20	50	100	0.1
식물A	10	20	50	100	1
식물A	100	20	50	100	10

- (4) 결과 정리/해석: 실험에서 얻는 결과들을 정리한다.
- (5) 결론 도출: 실험 결과로 가설을 평가하고, 결론을 도출한다.  
가설을 지지하면 다음 단계로 진행하고, 지지하지 않는다면 가설 설정 단계로 돌아간다.
- (6) 일반화



### 3. 생물의 독립변인(통제변인, 조작변인), 종속변인, 가설



- 1) 독립변인 : 연구자에 의해 조작되는 요인으로 종속변인에 영향을 줄 수 있는 요인.
  - ▶ 조작변인 : 실험군과 대조군의 독립 변수 유일하게 다른 변인
  - ▶ 통제변인 : 독립 변인 중 실험군과 대조군에서 일정하게 유지되는 조건
- 2) 종속변인 : 독립변인의 변화에 따라 변하는 실험 결과
- 3) 실험군 : 실험의 결과를 알아보기 위해 특정 조건을 조작하는 군
- 4) 대조군 : 실험 결과를 비교하는 기준군, 실험군과 조작변인을 제외하고는 모두 같은 조건을 가해준 군.
- 5) 해석
  - ㉠ 만약,  $A=B$ 라면, 조작변인(a)은 종속변인에 영향을 미치지 않는다는 뜻이다.
  - ㉡ 만약,  $A \neq B$ 라면, 조작변인(a)은 종속변인에 영향을 준다는 뜻이다.
- 6) 가설의 구성  
(독립변인에 대한 설명/조건)일 때, (조작변인)은 (특정 종속변인)에 영향을 줄 것이다.



# 1단원 생물학에서 화학의 역할

## 2장 원자와 분자

개념 2.1 물질은 화학 원소로 이루어져 있다.

- 1. 원소(element): 물질을 이루는 기본 성분으로, 화학적인 방법으로 더 이상 다른 물질로 분해되지 않는 성분을 말한다. 종류(이름) 개념, 셀 수 없음. 추상적 개념
- 2. 원자(atom): 물질을 구성하는 기본 입자, 실제로 존재하는 입자, 셀 수 있음. 물리적 개념
- 3. 화합물(compound): 두 개 이상의 다른 원소들이 특정 비율로 결합되어 있는 형태  
예) NaCl, H<sub>2</sub>O

4. 인체를 구성하는 원소들

원소	기호	인간의 체중(물을 포함)에서 차지하는 비율	
산소	O	65.0%	96.3%
탄소	C	18.5%	
수소	H	9.5%	
질소	N	3.3%	
칼슘	Ca	1.5%	3.7%
인	P	1.0%	
포타슘	K	0.4%	
황	S	0.3%	
소듐	Na	0.2%	
염소	Cl	0.2%	
마그네슘	Mg	0.1%	

미량원소(trace element, 체중의 0.01% 미만을 차지)  
붕소(B), 크롬(Cr), 코발트(Co), 구리(Cu), 불소(F), 요오드(I), 철(Fe), 망간(Mn),  
몰리브덴 (Mo), 셀레늄(Se), 규소(Si), 주석(Sn), 바나듐(V), 아연(Zn)

## 개념 2.2 원소의 성질은 이를 이루는 원자들의 구조에 의해 결정된다.

### 1. 아원자입자

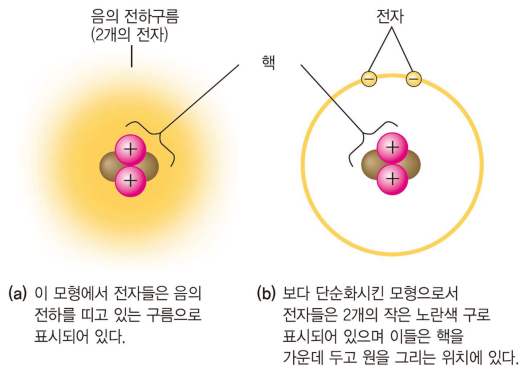
1) 원자는 원소의 성질을 유지하고 있는 가장 작은 단위이지만, 원자역시 이보다 작은 입자인 아원자 입자들로 이루어져 있다.

2) 다뤄볼 아원자입자: 중성자(neutron), 양성자(proton, +1), 전자(electron, -1)

3) 원자핵(atomic nucleus): 양성자와 중성자는 원자의 중앙에서 치밀하게 뭉쳐 원자핵 형성, 원자핵은 양성자 때문에 양전하를 띠게 된다.

4) 전자는 음전하를 띠고 핵 주변에서 구름의 형태를 띠고 있다. 핵의 양전하 때문에 전자가 원자핵 주변에 위치한다.

5) 중성자와 양성자는 하나당 약  $1.7 \times 10^{-24} \text{g}$ 으로 거의 동일한 질량을 가지고 있다. 이 단위는 표현하기 편리하지 않아 위 무게를 1amu(atomic mass unit) 혹은 1달톤(dalton)이라 한다. 전자의 무게는 약 1/2000 달톤으로 원자의 무게를 생각할 때는 무시한다.



▲ **그림 2.4 헬륨(He)원자의 단순화된 모델.** 헬륨원자의 핵은 2개의 중성자(갈색)와 2개의 양성자(분홍색)로 이루어져 있으며, 두 전자(노란색)가 핵 주위를 빠르게 돌아다닌다. 이 모델에서는 실제 축척을 사용하지 않았다. 즉, 전자구름의 크기에 비해서 핵의 크기는 매우 과장되게 나타나 있다.

## 2. 원자 번호와 원자량



- 원소 기호(X) : 원소의 종류, 양성자 수에 따라 달라진다.
- 원자 번호(Z, atomic number) = 양성자의 수, 중성자의 수는 양성자 수랑 비슷.
- 질량수(A, mass number) : 양성자 수 + 중성자 수
- 전하량(c) : 전자를 1개 잃으면 +1, 전자를 1개 얻으면 -1이 된다.
- 전자의 수(=Z - c) : 중성 원자에서는 양성자의 수와 같다.

3. 동위원소: 양성자개수는 같고(원자번호 같고) 중성자 개수가 다른 원자들.

동위원소는 화학적 성질이 서로 같다.

4. 방사성 동위원소 = 핵이 자연적으로 붕괴하여 입자와 에너지를 방출하는 원소.



5. 방사성 원소를 진단이나 실험에 이용한다. 또한 반감기(half life, 50%가 붕괴되는 데 걸리는 시간)를 이용해 방사성 연대 측정법(radiometric dating)이 가능하다.

## 6. 전자 배치와 화학적 특성

제1껍질	수소 ${}^1_1\text{H}$	<div><div>원자량</div><div><div>2</div><div>He</div><div>4.003</div></div><div><div>원자번호</div><div>원소 기호</div><div>전자 분포 모식도</div></div></div>						헬륨 ${}^2_2\text{He}$
제2껍질	리튬 ${}^3_3\text{Li}$	베릴륨 ${}^4_4\text{Be}$	붕소 ${}^5_5\text{B}$	탄소 ${}^6_6\text{C}$	질소 ${}^7_7\text{N}$	산소 ${}^8_8\text{O}$	플루오르 ${}^9_9\text{F}$	네온 ${}^{10}_{10}\text{Ne}$
제3껍질	소듐 ${}^{11}_{11}\text{Na}$	마그네슘 ${}^{12}_{12}\text{Mg}$	알루미늄 ${}^{13}_{13}\text{Al}$	규소 ${}^{14}_{14}\text{Si}$	인 ${}^{15}_{15}\text{P}$	황 ${}^{16}_{16}\text{S}$	염소 ${}^{17}_{17}\text{Cl}$	아르곤 ${}^{18}_{18}\text{Ar}$

▲ 그림 2.7 주기율표 앞의 첫 18개 원소에 대한 전자 분포 모식도. 표준 주기율표(부록 B)에서는 위쪽에 삽입해 나타낸 헬륨의 예와 같이 각 원소의 정보를 표시한다. 이 표의 모식도에서 전자는 노란 구로 표시되어 있고 에너지 준위를 나타내는 전

자껍질은 동심원으로 그려져 있다. 그러나 이 모식도는 전자껍질에서 전자들의 분포를 쉽게 보이게 하기 위한 것일 뿐으로 매우 단순화시킨 모델임을 명심해야 할 것이다. 원소들은 가로로 배열되어 있고 전자껍질에 전자가 하나씩 채워지고 있다. 전자

가 채워질 때는 가장 에너지 준위가 낮은 껍질부터 채워진다.

❓ 마그네슘의 원자번호는 무엇인가? 몇 개의 양성자와 전자를 가지고 있는가? 몇 개의 전자껍질을 가지는가? 몇 개의 원자전자(가)를 가지고 있는가?

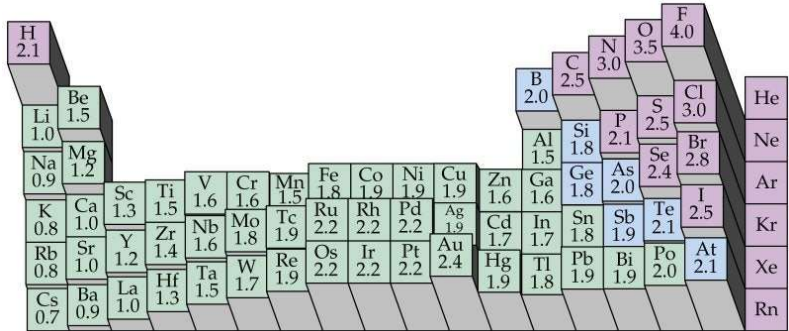
- 1) 원자의 화학적 특성은 전자 배치, 즉 원자의 전자껍질(electron shell)에서 전자의 분포에 의해서 결정된다.
- 2) 화학적 특성은 가장 바깥쪽의 전자껍질에 존재하는 전자의 숫자에 의해 결정된다.
- 3) 가장 바깥쪽의 전자(최외각 전자)들은 원자가 전자(valence electron)이라고 불리며 가장 바깥쪽의 전자껍질은 원자가 껍질(valence shell)이라고 한다.

개념 2.3 분자의 형성과 그 기능은 원자들 사이의 화학 결합에 의해 결정된다.

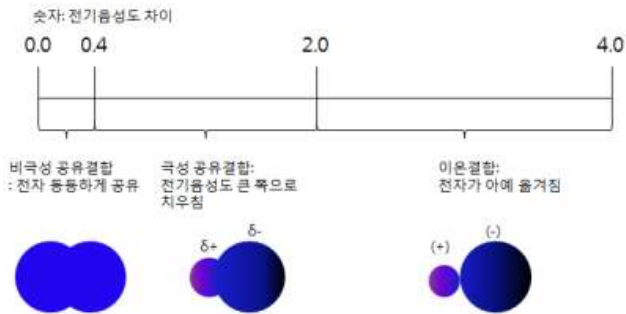
: 완벽히 채워지지 않은 원자가 껍질을 가지는 원자들은 다른 원자들과 상호작용한다. 원자가 전자를 공유하거나 상대 원자에게 넘겨주는 방식으로 원자들은 가까이 놓이게 되는데 이를 화학 결합이라고 한다.

0. 전기 음성도와 화학 결합

1) 전기음성도(electronegativity): 분자에 있는 한 원자가 전자를 잡아당기는 경향을 나타낸다.



2) 전기음성도 차이와 화학 결합



## 1. 공유결합: 한 쌍의 원자가 전자가 두 원자에 의해 공유되는 결합

- 1) 비극성 공유결합 : 두 원자의 전기음성도가 같아 공유 전자를 똑같이 공유하는 결합
- 2) 극성 공유결합: 두 원자에 의해 전자가 동일하게 공유 되지 않는 공유 결합.

명칭과 분자식	전자 분포 모식도	루이스 전자점 구조와 구조식	공간채움 모형
(a) 수소( $H_2$ ). 두 개의 수소원자는 한 쌍의 전자를 공유하여, 단일결합을 형성한다.		$H : H$ $H-H$	
(b) 산소( $O_2$ ). 두 개의 산소원자는 두 쌍의 전자를 공유하여 이중결합을 형성한다.		$\ddot{O} :: \ddot{O}$ $O=O$	
(c) 물( $H_2O$ ). 두 개의 수소원자와 하나의 산소원자는 단일결합을 통해 하나의 물분자를 만든다.		$\begin{array}{c} \ddot{O} : H \\   \\ H \end{array}$ $\begin{array}{c} O-H \\   \\ H \end{array}$	
(d) 메탄( $CH_4$ ). 수소원자 네 개가 탄소원자 한 개의 원자를 만듦으로써 메탄을 형성한다.		$\begin{array}{c} H \\   \\ H : C : H \\   \\ H \end{array}$ $\begin{array}{c} H \\   \\ H-C-H \\   \\ H \end{array}$	

▲ 그림 2.10 네 가지 분자의 공유결합. 원자의 원자가결합을 채우기 위해 필요한 전자의 개수는 일반적으로 원자가 형성하는 공유결합의 개수를 결정한다. 이 그림은 공유결합을 표시하는 여러 가지 방법을 보여준다.

1. 수소분자의 분자식(molecular formula)  $H_2$ 는 분자가 2개의 수소로 이루어져 있음만 말해준다.
2. 루이스 전자점 구조(Lewis dot structure)는 최외각 전자를 의미하는 점들이 원소 기호를 둘러싸고 있는 형태로 나타낸다. 전자 공유 형태를 알기 좋다.
3. 구조식(structural formula)는 루이스 전자점 구조의 간편한 표현법이다. 원소 기호를 잇는 하나의 선은 하나의 공유 결합, 즉, 단일 결합(single bond)을 나타낸다.
4. 공간채움 모형(space-filling model)은 분자의 실제 모양과 가장 가깝게 보여준다.

---

5. 산소는 두 쌍의 원자가 전자를 공유함으로써 산소 분자를 형성한다. 이 때 두 원자는 두 쌍의 공유결합, 혹은 이중결합(double bond)로 묶여있다.
6. 수소와 산소 분자는 비극성 공유 결합, 물은 극성 공유 결합을 한다. 메탄은 약한 극성을 띤다.

산소가 수소보다 전기음성도가 높기 때문에 공유되고 있는 전자는 산소 쪽에 보다 가깝게 끌린다.

그 결과 산소 쪽에는 약한 음전하를 띠게 되고 수소 쪽에는 약한 양전하를 띠게 된다.

1. 산소는 전기 음성도가 높은 원소 중 하나로 공유되는 전자를 수소보다 훨씬 강하게 끌어당긴다. 산소 원자 주변에는 전자가 존재할 확률이 높다.
2. 불균등한 전자 분포로 산소 원자는 약한 음의 전하를 띠고( $\delta^-$ , delta minus) 각 수소 원자는 약한 양전하를 띠게( $\delta^+$ , delta plus) 된다.

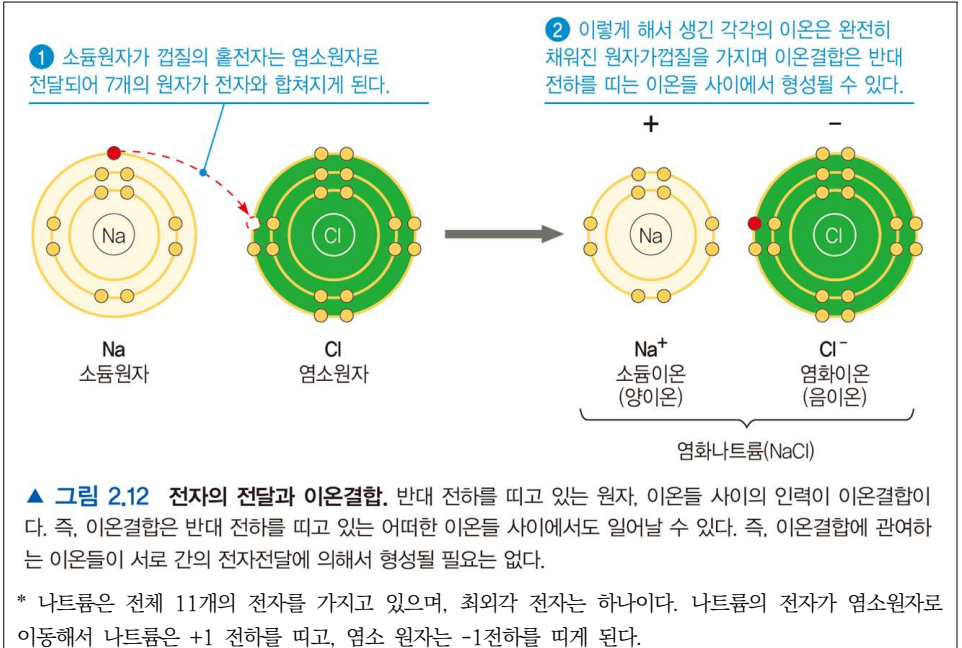
▲ 그림 2.11 물분자의 극성공유결합

## 2. 이온 결합

1) 이온결합(ionic bond): 화학 결합의 한 형태로 전하를 띤 양이온(cation)과 음이온(anion) 사이의 정전기적 인력에 기반을 둔 결합이다. 예) 소금(염화 소듐), 유리(산화 규소)

2) 이온(ion): 원자핵을 구성하는 양성자의 수와 원자핵 주위에 분포하고 있는 전자의 수가 같지 않아서 양전하나 음전하를 갖게 된 원자나 분자를 가리킨다.

3) 이온화합물(ionic compound, salt, 염): 이온 결합에 의해 형성되는 화합물. 예) 소금. 염은 보통 자연 상태에서는 다양한 크기와 모양의 결정구조로 발견된다.

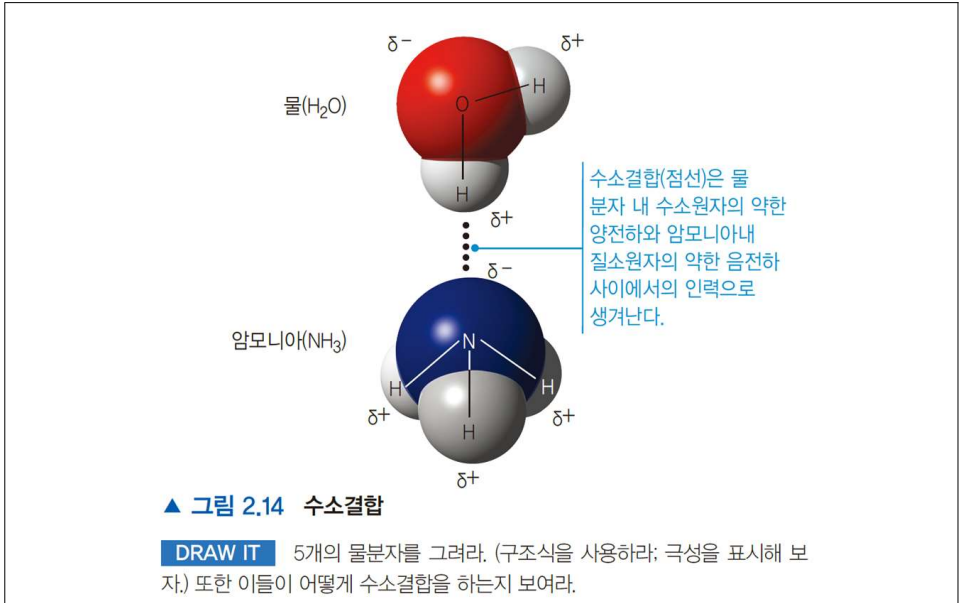




## 3. 약한 화학 결합

## 1) 수소결합(hydrogen bond):

전기음성도(electronegativity)가 강한 질소(N), 산소(O), 플루오린(F) 등의 원자에 수소(H) 원자가 공유결합으로 결합하면 전기음성도가 강한 원자는 부분적인 음(-)전하를 띠고 수소 원자는 부분적인 양(+전하를 띠게 된다. 이러한 수소 원자에 전기음성도가 강한 원자가 서로 이웃하게 되면 이 두 원자 사이에 정전기적 인력이 생기는데 이것을 수소결합(hydrogen bond)이라 한다.



## 2) 반데르발스인력(van der Waals force);

중성 분자 혹은 원자 사이의 거리가 가까워지면 인력이 강해진다. 이 힘의 근원은 쌍극자-쌍극자, 쌍극자-유도 쌍극자, 유도 쌍극자-유도 쌍극자 사이에 작용하는 정전기적 인력이며, 이 힘을 통칭하여 반데르발스 힘이라고 한다. 반데르발스 힘은 네덜란드의 과학자 반데르발스(Johannes Diderik van der Waals, 1837-1923)의 이름에서 유래한다.

예) 도마뱀붙이(gecko lizard) 다리에는 여러 개의 돌기를 갖고 있는 털이 있는데, 이런 해부학적 구조는 벽과의 접촉면을 최대로 해주고 각각의 반데르발스 인력으로 도마뱀은 벽을 기어 올라갈 수 있다.

4. 분자의 구조와 기능

- 1) 분자들은 각각 자신의 특징적인 모양을 가지고 있다. 세포에서 분자의 정확한 구조는 기능에 있어서 매우 중요하다.
- 2) 분자 구조는 어떻게 생체 분자들이 서로를 특이적으로 인지하고 반응할 것인가를 결정한다.

(a) 오비탈의 혼성화. 공유결합에 관여하는 원자가궤도의 하나의 s 오비탈과 세 개의 p 오비탈은 결합하여 4개의 눈물방울 모양의 혼성오비탈을 형성한다. 이 오비탈들은 가상의 사면체(붉은색 선으로 나타냄)의 네 구석으로 뻗어 있다.

공간채움 모형	공-막대 모형	혼성오비탈 모형 (공-막대 모형을 겹쳐 놓았다)

(b) 분자구조 모형. 물과 메탄을 예로 들어 분자의 모양을 나타내는 세 가지 모델이다. 혼성오비탈의 위치가 분자의 구조를 결정한다.

**기호**

- 탄소 (검은색)
- 수소 (흰색)
- 질소 (파란색)
- 황 (노란색)
- 산소 (빨간색)

**자연계의 엔돌핀**

**모르핀**

(a) 엔돌핀과 모르핀의 구조. 엔돌핀분자(왼쪽)의 네모 안 부분이 뇌의 표적세포에 있는 수용체분자에 결합한다. 모르핀분자(오른쪽)의 네모 안 부분이 매우 유사하다.

**자연계의 엔돌핀**

**엔돌핀 수용체**

**뇌세포**

(b) 엔돌핀 수용체에 결합. 뇌세포 표면의 엔돌핀 수용체는 엔돌핀과 모르핀 모두와 결합할 수 있다.

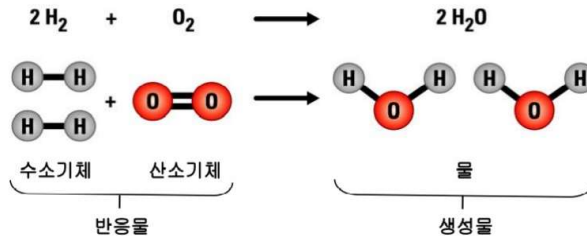
3) 엔돌핀(endogenous morphine)은 뇌하수체에서 분비되는 신호물질로 스트레스 하에서 수용체에 결합하여 행복감을 갖게 하고 통증을 덜어준다. 아편제제들은 엔돌핀과 유사한 구조를 가지고 있으며 뇌세포에서 엔돌핀 수용체와 결합할 수 있다. 이게 바로 아편제제와 엔돌핀이 유사한 효과를 나타내는 이유이다.

## 개념 2.4 화학 반응에 의해 화학 결합들이 형성되고 끊어진다.

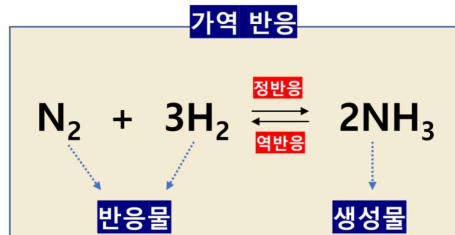
### 1. 화학반응(chemical reaction):

어떤 물질이 자체적으로 또는 다른 물질과 상호작용하여 화학적 성질이 다른 물질로 변하는 현상을 화학반응이라고 한다. 이때 화학결합이 파괴되고 생성되면서 분자를 이루는 원자들의 재배치가 일어난다.

1) 수소와 산소가 반응하여 물을 만드는 과정은 다음과 같다. 이 반응에서 수소와 산소 분자 내의 공유 결합이 끊어지고 물의 새로운 결합이 형성된다. 화학반응에서 화살표는 초기 물질인 반응물(reactant)이 생성물(product)로 전환되는 것을 의미한다.



2) 모든 화학 반응은 가역적이어서 정반응의 생성물이 다시 반응물이 되는 역반응이 일어난다. 양방향을 가리키는 화살표는 이 반응이 가역적임을 의미하고 있다.



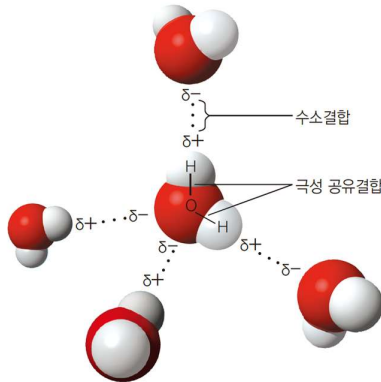
### 3) 화학평형(chemical equilibrium):

정반응 속도와 역반응 속도가 같아서 시간이 지나도 반응물과 생성물의 농도가 변하지 않는 것처럼 보이는 상태.

## 3장 물의 화학

### 개념 3.1 물 분자 내의 극성 공유 결합으로 인해 수소 결합이 생긴다.

1. 물 분자는 극성 공유 결합을 하고 있다. 산소는 부분적 음전하( $\delta^-$ ), 수소는 부분적인 양전하( $\delta^+$ )를 띤다.
2. 물 분자 간에는 수소 결합이 형성된다. 액체 상태의 수소 결합은 공유 결합의 1/20 정도의 결합력을 가진다. 수소 결합은 끊임없이 생기고 없어진다.



▲ 그림 3.2 물분자 간의 수소결합. 물분자 내에서 전하를 띠는 부위는 극성 공유결합 때문이다. 인접한 물분자들의 반대 전하 부위들이 서로 끌어당겨 수소결합이 생긴다. 각 분자는 다수의 물분자와 수소결합할 수 있으며 이들의 결합 상태는 계속 변한다.

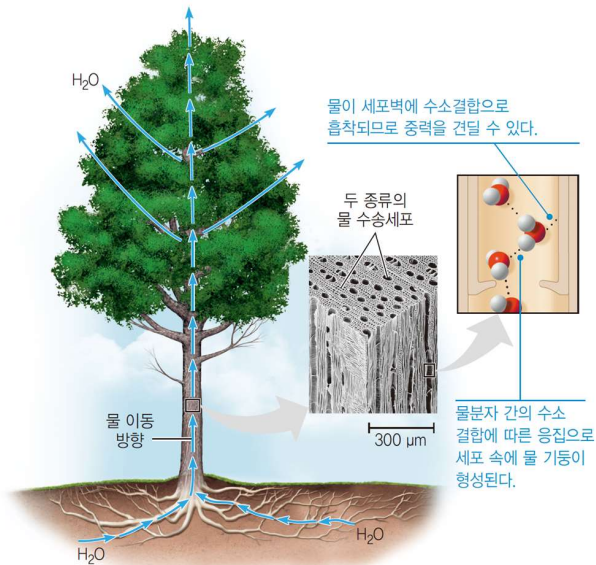
## 개념 3.2 물의 네 가지 창발적 특성이 지구가 생명체에 적합한 환경이 되게 한다.

### 1. 물 분자의 응집

1) 물 분자들 사이의 수소 결합으로 물 전체를 붙들고 있는 현상을 응집(cohesion)이라고 한다.

2) 수소 결합에 의한 응집의 결과 표면 장력(surface tension)이 높아진다. 표면 장력이란 액체의 표면을 퍼지게 하거나 허무는 것이 어느 정도 어려운가에 대한 척도이다.

3) 흡착(adhesion): 한 물질이 다른 물질에 들러붙는 성질.



▲ **그림 3.3** 식물에서의 물 수송. 잎에서의 증발로 인해 물이 물 수송세포들을 통해 뿌리로부터 위로 당겨진다. 응집과 흡착의 성질로 인하여 뉴욕시 엠파이어스테이트 빌딩의 1/4 정도에 해당하는 100 m 이상 되는 나무에서도 물 수송은 일어난다.



▼ **그림 3.4** 물 위를 걷기. 물분자들이 만드는 수소결합의 총합적 힘에 의해 생기는 물의 표면장력이 뱀목거미로 하여금 연못 위를 걸을 수 있게 해준다.

## 2. 물에 의한 온도 조절

## 1) 온도와 열

- 1) 운동에너지(kinetic energy): 운동에너지는 움직이는 물체가 정지 상태에 비해서 얼마나 더 많은 에너지를 갖고 있는지를 나타내는 물리량을 말한다. 움직이는 모든 물체는 운동에너지를 갖는다.
- 2) 열에너지(thermal energy): 원자 또는 분자의 무작위적 운동에 연관되어 있는 운동 에너지. 부피에 의존적이다.
- 3) 온도(temperature): 어떤 물질 속의 분자들의 평균 운동 에너지를 대표하는 에너지의 척도. 부피와 무관하다.
- 4) 같은 온도의 10mL의 물과, 100mL의 물이 있다. 두 액체의 온도는 같지만, 열에너지는 100mL의 물이 10배 더 크다. 왜냐하면 부피가 10배이기 때문이다.
- 5) 열(heat): 한 물질에서 다른 물질로 이동되는 열에너지.
- 6) 열을 나타내는 단위
  - (1) 칼로리(cal): 1 칼로리는 1g의 물을 1°C 올리는데 필요한 열의 양
  - (2) 킬로칼로리(Kcal): 1kg의 물을 1°C 올리는데 필요한 열의 양
  - (3) 줄(J, joule): 1J은 0.239 칼로리이다. 1칼로리는 4.184J이다.

## 2) 물의 높은 비열

- 1) 비열(specific heat): 어떤 물질 1g을 1°C 변화시키는데 필요한 흡수 또는 방출되는 열의 양
- 2) 물은 다른 물질 보다 비열이 높아 온도 변화가 크지 않다. 물의 비열은 1 cal/g°C이다.
- 3) 물은 수소 결합을 가지고 있어 비열이 높다. 수소 결합을 끊기 위해서는 열이 흡수 되어야 하고, 수소 결합이 생기면 열이 방출된다. 1칼로리의 열은 물의 온도를 상대적으로 적게 변화시키는데, 그 이유는 대부분의 열이 물 분자들의 운동이 증가되기 전에 수소 결합을 끊는데 이용되기 때문이다. 또한 물의 온도가 조금만 내려가도 수소 결합이 더 많이 생기게 되고 그 과정에서 상당한 양의 에너지가 열의 형태로 방출된다.
- 4) 물의 비열 때문에 여름 혹은 낮 시간 동안 온도가 조금 올라가고, 밤이나 겨울동안 천천히 온도가 내려간다. 또한 물의 높은 비열 때문에 바다 물 온도는 비교적 안정화되어 바다의 생명체가 살기 좋은 조건이 유지된다. 생명체 자체 또한 대부분 물로 이루어져 있으므로 체온 변화에 대해 더 내성을 가지게 된다.

## 3) 증발에 의한 냉각 작용

- 1) 기화(vaporization), 증발(evaporation): 액체 상태에서 기체 상태로 변화하는 것.
- 2) 기화열(heat of vaporization): 1g의 액체가 기체로 변하기 위해서 흡수해야 하는 열의 양.
- 3) 물은 비열이 높은 이유와 같은 이유(수소 결합)로 기화열이 높다. 25°C의 물 1g을 기화시키기 위해서 약 580칼로리의 열이 필요하다. 적도 바다 표면에 도달하는 태양열의 상당 부분이 물을 증발시키는데 쓰이므로 기후 변화가 크지 않게 된다.
- 4) 증발냉각(evaporative cooling): 액체가 기화되는 동안 남아있는 액체의 표면이 식게 되는 현상. 증발 냉각 현상으로 호수나 연못의 온도가 유지되며, 생명체의 과열을 막아준다. 땀을 흘리면 체온이 낮아진다.

## 3. 고체인 얼음이 액체인 물에 뜨는 현상

- 1) 물은 고체에서의 밀도가 액체 상태보다 낮음. 그 결과 고체 상태의 얼음이 액체 상태의 물 위에 뜬다.
- 2) 물은 고체화 될 때 부피가 팽창하는데 그 이유는 수소 결합 때문이다.
- 3) 온도에 따른 수소 결합, 부피 변화

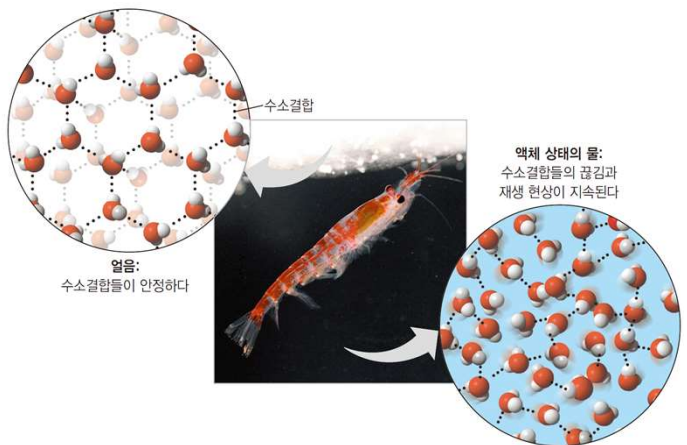
- 1) 온도가 4℃에서 0℃로 내려가면 물은 얼게 되는데, 점점 더 많은 분자들이 너무 천천히 움직여서 수소 결합을 깰 수 없게 된다. 0℃가 되면 물 분자들은 결정 상태로 묶이게 되고 이 상태에서는 각 물 분자가 인접한 4개의 물 분자와 수소 결합을 한 상태가 된다. 이 수소 결합들이 각 분자를 일정한 거리에 두게 하는데 이로 인해 얼음은 4℃에 비해 부피가 10% 정도 증가한다.
- 2) 얼음이 열을 충분히 흡수해서 0℃이상의 온도가 되면 분자간의 수소 결합이 끊어지기 시작하고 이로 인해 결정 구조가 무너지면서 물 분자들이 미끄러져 들어갈 수 있게 되며 4℃에서 가장 높은 밀도가 된다.
- 3) 4℃를 넘어가면 분자운동이 더 커지게 되면서 다시 부피가 늘어난다.

## 4) 얼음이 물 위에 뜨게 되는 현상은 생명체 유지에 도움이 된다.

- 1) 얼음이 가라앉았다면, 호수, 연못, 바다는 결국에 다 얼게 될 것이고, 생명체는 살 곳을 잃었을 것이다. 여름 동안에도 바다의 가장 표면 쪽 몇 인치만 녹을 것이다.
- 2) 표면에 얼음이 존재하므로, 단일 효과를 내어 아래쪽은 얼지 않고, 생명을 유지할 수 있다. 또한 북극곰에게 얼음은 단단한 서식지를 제공해 준다.

▶ **그림 3.6 얼음: 결정구조와 떠 있는 장벽.** 얼음에서는 각 물분자가 인접한 네 개의 분자와 수소결합을 하며 3차원적 결정을 이루게 된다. 이런 모양의 결정은 공간적인 여유가 있는 상태여서 단위 부피당 물분자의 수가 액체 상태에 비해 적다. 따라서 얼음은 물 위에 뜨게 되고 아주 차가운 공기로부터 얼음 아래쪽의 물의 온도를 유지시켜 주는 장벽 역할을 한다. 사진의 해양생물은 크릴 새우인데, 남극의 얼음 밑에 있는 모습이다.

**WHAT IF?** 물이 수소결합을 하지 않는다면 크릴 새우는 어떻게 될까?





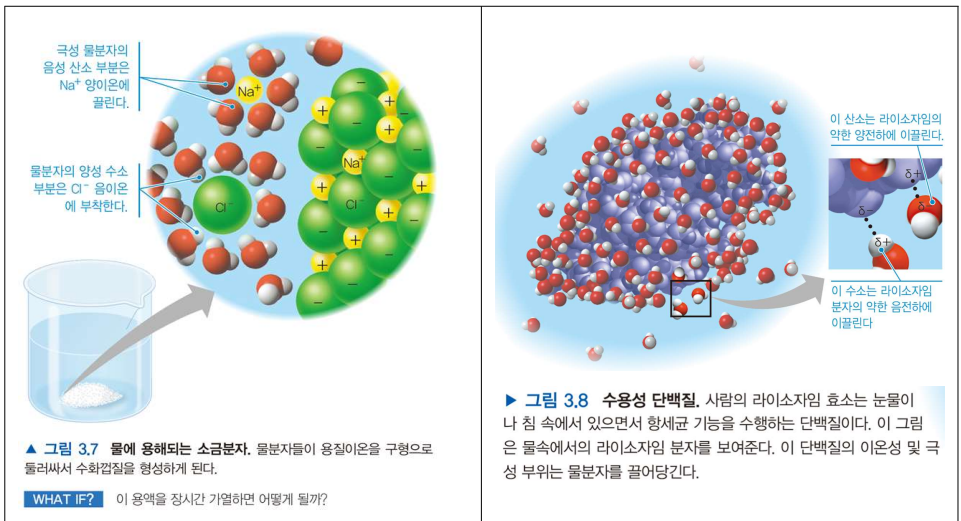
## 4. 물: 생명의 용매

## 1) 용어 정리

- 1) 용액(solution): 두 개 이상의 물질이 완전히 균질한 상태로 섞여 있는 것. 예) 설탕물
- 2) 용매(solvent): 녹이는 물질. 예) 물
- 3) 용질(solute): 녹는 물질. 예) 설탕
- 4) 수용액(aqueous solution): 용매가 물인 용액

## 2) 물은 다양한 능력을 가진 용매이다. 물 분자는 극성이다.

- 1) 소금: 물 분자의 산소 원자는 약한 음전하를 띠므로 나트륨 양이온에 끌리고, 수소 원자는 약한 양전하를 띠므로 염소 음이온에 끌리게 된다.  
→ 그 결과 물 분자들이 용해된 이온을 둘러싸는 수화껍질(hydration shell)을 형성하게 된다.
- 2) 비이온성이지만 극성을 가지는 물질: 설탕과 같은 분자는 물 분자가 각각의 용질을 둘러싸서 수소 결합함으로써 용해시킨다.
- 3) 단백질: 단백질 분자 표면의 이온성이나 극성인 부분에 물 분자가 상호작용해서 녹인다.



## 3) 친수성과 소수성 물질

- 1) 친수성(hydrophilic, hydro는 물을 philios는 사랑한다는 뜻): 물에 대해 친화도가 있는 물질의 성질  
물에 녹지 않아도 친수성일 수 있다. 예) 분자량이 큰 면(cotton)
- 2) 소수성(hydrophobic, phobos는 두려워한다는 뜻): 물에 대해 친화성을 가지지 않은 물질의 성질.  
이온성이 아니면서 비극성인 물질. 예) 기름

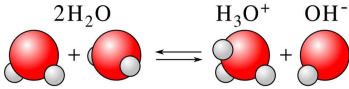
## 4) 수용액에서 용질의 농도

- (1) 몰농도(molarity)= 1L에 녹아있는 용질의 몰수. Z의 분자량g을 1L에 녹여서 만들.

### 개념 3.3 산성과 염기성 조건이 생명체에 영향을 준다.

#### 1. 물 분자의 (자동)이온화

1) 종종 두 개의 물 분자 사이에서 수소 결합에 참여하고 있던 수소 원자가 한 분자에서 다른 분자로 이전되기도 한다.



이때 수소 원자는 전자를 남겨 두고 수소 이온(hydrogen ion,  $H^+$ )만 이동하는데, 이는 +1 전하를 띠는 양성자 하나이다. 수소 이온을 잃어버린 분자는  $OH^-$ (수산화이온)이라고 하며, 이는 -1 전하를 띤다.

수소 이온은 다른 물 분자에 붙어서 하이드로늄 이온(hydronium ion,  $H_3O^+$ )이 된다. 관례적으로  $H_3O^+$ 를 표시할 때  $H^+$ 를 사용할 것이다. 하지만 수용액에서는  $H^+$ 로 존재하는 것이 아니라  $H_3O^+$ 로 존재한다는 것을 잊지 말자.

2) 물의 이온화는 가역적이며 양방향으로 평형상태에서 물 분자의 농도가 훨씬 높다. 25°C에서 각 이온의 농도는  $10^{-7}M$ 이다.

물의 이온 곱(ion product of water,  $K_w$ )이란 물 분자에 미량으로 존재하는 이온종인 수소 이온 농도와 수산 이온 농도를 곱한 것으로 아래와 같은 식이다. 대괄호는 몰 농도를 표시한다.

$$K_w = [H_3O^+][OH^-] = (1.0 \times 10^{-7})(1.0 \times 10^{-7}) = 1.0 \times 10^{-14}$$

#### 2. 산과 염기

1) 산(acid): 용액의  $H^+$ 의 농도를 증가시키는 물질. 예) 염산( $HCl$ )

1. 강산인 염산에 물이 가해지면  $H^+$ ,  $Cl^-$ 가 분리되어 나온다. 화살표가 한 방향이다.  
 $HCl \rightarrow H^+ + Cl^-$
2. 약산인 탄산은  $H^+$ 을 가역적으로 방출하기도 하고 받아들이기도 한다. 화살표가 양방향이다(가역적).  
 $H_2CO_3 \leftrightarrow H^+ + HCO_3^-$

2) 염기(base): 용액 속의  $H^+$ 의 농도를 낮추는 물질. 예) 암모니아( $NH_3$ ),  $NaOH$

1. 강염기인 수산화나트륨이 물에 녹으면  $OH^-$ 를 방출하게 된다. 화살표가 한 방향이다.  
 $NaOH \rightarrow Na^+ + OH^-$
2. 약염기인 암모니아는 질소의 원자가 껍질 내 비공유 전자쌍이  $H^+$ 을 용액으로부터 끌어당겨 암모늄 이온( $NH_4^+$ )을 만듦으로써 염기로 작용한다. 화살표가 양방향이다.  
 $NH_3 + H^+ \leftrightarrow NH_4^+$

3) 산성 용액: 물속의  $H^+$ 의 농도가  $OH^-$ 의 농도보다 높은 용액.

4) 염기성 용액: 물속의  $OH^-$ 의 농도가  $H^+$ 의 농도보다 높은 용액.

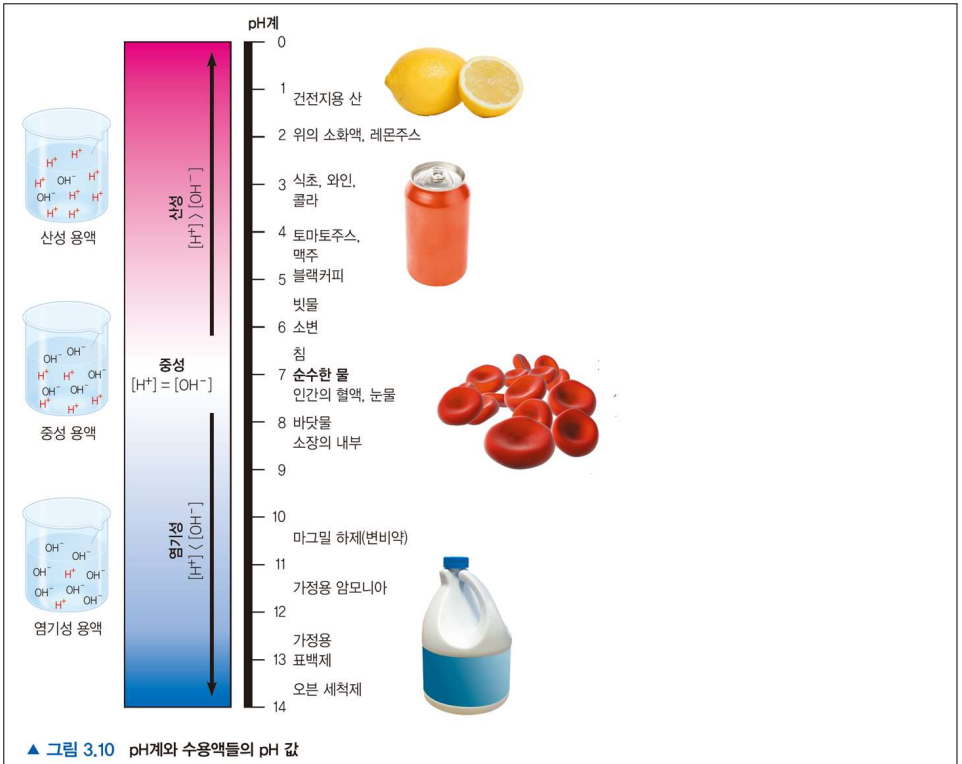
5) 중성 용액: 물속의  $H^+$ 의 농도와  $OH^-$ 의 농도가 같은 용액

## 3. pH 척도

- 1) 25°C 수용액에서 항상  $[H^+][OH^-]=10^{-14}M$ 이다.
- 2) 중성용액에서는  $[H^+]$ 와  $[OH^-]$ 이 각각  $10^{-7}M$ 이다.
- 3) 산이 더해져서  $[H^+]$ 가  $10^{-5}M$ 이 되면  $[OH^-]$ 은  $10^{-9}M$ 이다.
- 4) pH의 정의는 다음과 같다.

- 1) pH는 용액의 수소이온지수 즉, 수소이온농도를 지수로 나타낸 것이다.  
물의 이온 곱을 이용하면 수소이온의 농도를 알 때, 수산화이온의 농도는 알 수 있다.
- 2)  $pH = -\log[H^+]$
- 3) 그러므로 중성용액의 pH는 7이다.  $-\log 10^{-7} = -(-7) = 7$
- 4) pH가 7보다 작을수록 더 강한 산성용액이다.
- 5) pH의 1 차이는 농도차이가 10배라는 것을 기억하자.

## 5) pH 척도와 수용액들의 pH 값



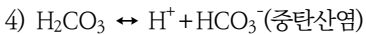
### 4. 완충용액

#### 1) 완충 용액(buffer solution):

완충 용액은 산이나 염기를 첨가하여도 수소 이온 농도(pH)의 변화가 적은 용액으로, 주로 약산과 그 짝염기 또는 약염기와 그 짝산의 혼합물로 구성되어 있다.

2) 인간의 혈액의 pH는 7.4 정도로 유지되고 있다. pH가 7(산증)이 되거나 7.8(알칼리증)이 되면 수 분 안에 인간은 죽는다. 그러지 않기 위해서 인간의 혈액은 pH를 일정하게 유지하는 화학적 체계가 갖추어져 있다.

3) 인간의 혈액을 비롯한 여러 생물학적 용액에는 pH 안정성에 기여하는 여러 완충제들이 존재한다. 그 대표적인 예가 탄산( $\text{H}_2\text{CO}_3$ )이다. 탄산은 혈액 속에서 물과 이산화탄소가 반응하여 생성된다.



탄산과 중탄산염 사이에서의 화학적 평형이 pH의 조절자 역할을 한다.

혈액의 수소 이온의 농도가 감소하면(pH가 오르면), 오른쪽 반응이 진행되어 수소 이온을 공급. 수소이온의 농도가 증가하면, 왼쪽반응이 진행된다.

## 4장 탄소: 분자 다양성의 기초

### 개념 4.1 유기 화학은 생명 기원의 열쇠이다.

1. 유기물: 탄소를 포함한 화합물(예외 있음, 이산화탄소는 무기물로 간주된다.)

2. 유기 화학(organic chemistry)

유기 화학은 탄소를 포함하는 유기 화합물과 유기 물질의 구조, 물리적 성질, 화학 반응, 합성과 디자인을 실험 및 이론과 계산 대상으로 연구하는 화학 분야이다.

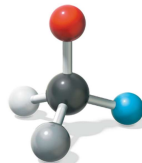
3. 탄소는 생물 분자들의 기초이다.

## 개념 4.2 탄소 원자는 4개의 다른 원자와 결합하여 다양한 분자를 형성한다.

### 1. 탄소와의 결합 형성

1) 탄소: 6개의 전자를 가짐. 2개는 첫 번째 전자껍질, 4개는 두 번째 전자껍질.

- 탄소는 대개 다른 원자와 4개의 전자를 공유해 최외각 전자껍질에 8개의 전자를 가짐.
- 단일 혹은 이중 공유 결합을 형성함
- 각각의 탄소는 최대 4 방향으로 가지치기를 할 수 있다.



▲ 탄소는 네 가지 다른 원자 혹은 원자단과 결합할 수 있어 매우 다양한 분자들을 만든다.

### 2) 3가지 단순한 탄화수소(유기분자)의 모양

분자와 분자 모양	분자식	구조식	공-막대 모형 (핑크색은 분자 형태)	공간배열 모형
(a) 메탄(methane). 탄소가 다른 원자와 4개의 단일결합을 가지면, 이 분자는 정사면체가 된다.	$\text{CH}_4$	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\   \\ \text{H} \end{array}$		
(b) 에탄(ethane). 어떤 분자는 단일결합으로 연결된 하나 이상의 정사면체 그룹으로 구성된다. (에탄은 2개의 그룹으로 구성된다.)	$\text{C}_2\text{H}_6$	$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\   &   \\ \text{H}-\text{C} & -\text{C}-\text{H} \\   &   \\ \text{H} & \text{H} \end{array}$		
(c) 에틸렌(ethene; 에틸렌, ethylene). 2개의 탄소원자가 이중결합으로 연결되면, 이 탄소들에 결합된 모든 원자들은 같은 평면상에 놓이게 된다. 이 분자는 평평해진다.	$\text{C}_2\text{H}_4$	$\begin{array}{c} \text{H} & & \text{H} \\ & \backslash & / \\ & \text{C} = \text{C} \\ & / & \backslash \\ \text{H} & & \text{H} \end{array}$		

▲ 그림 4.3 세 가지 단순한 유기분자의 모양

- 탄소 원자가 4개의 단일 공유 결합을 할 때, 정사면체 구조를 가지며, 메탄의 결합각은 109.5도이다.
- 에탄은 두 개의 정사면체를 중첩해 놓은 모습이다. 더 많은 탄소를 가지고 있어도 4개의 다른 원자와 결합된 탄소 그룹은 모두 정사면체 모양이다
- 에틸렌은 2개의 탄소가 2중결합을 해서 탄소와 결합되어 있는 원자들은 탄소와 같은 평면상에 놓인다.

3) 최외각 전자 껍질을 채우는데 필요한 전자의 수는 일반적으로 원자의 원자가(valence, 공유결합의 수)와 같다.

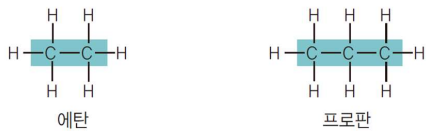
예) 수소(원자가=1), 산소(원자가=2) 질소(원자가=3), 탄소 (원자가=4)

2. 탄소 골격의 변이에서 기인한 분자 다양성

1) 탄소 사슬은 대부분의 유기 분자의 골격을 형성한다. 이때 길이, 가지치기, 이중결합의 위치, 고리의 존재의 다양성 때문에 유기 분자의 종류는 다양할 수 있다.

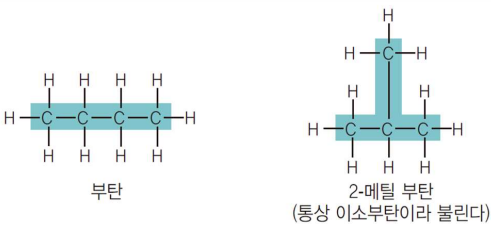
▼ 그림 4.5 탄소골격이 바뀔 수 있는 네 가지 방법

(a) 길이



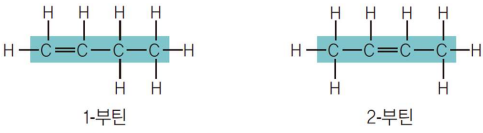
탄소골격은 길이가 다양하다.

(b) 가지치기



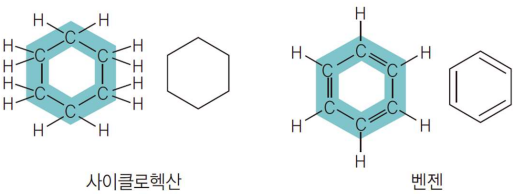
골격은 가지를 치기도 하고, 안 치기도 한다.

(c) 이중결합 위치



골격은 다양한 위치에서 다양한 이중결합을 가지기도 한다.

(d) 고리의 존재



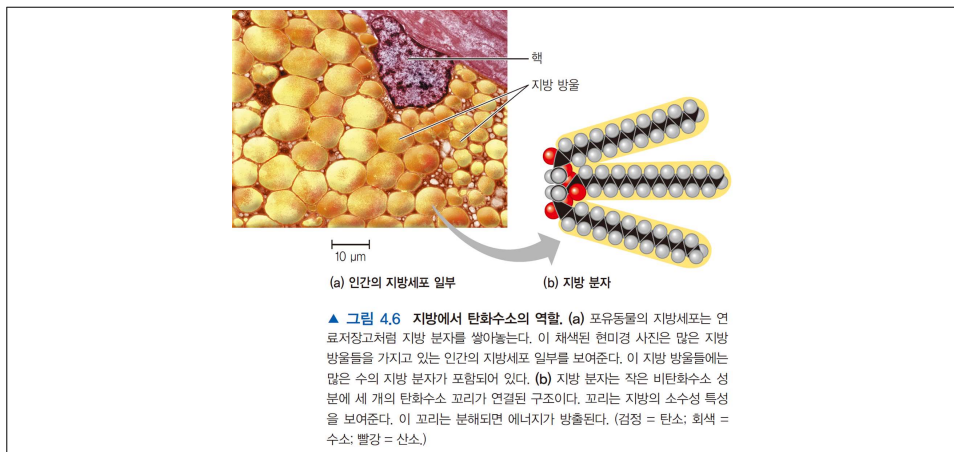
어떤 탄소골격은 고리형태로 배열된다. 각 화합물에 대한 약식 구조식 (오른쪽)에서 각 모서리는 탄소와 여기에 결합된 수소들을 나타낸다.



2) 탄화수소: 탄소와 수소로만 이루어진 유기분자, 탄화수소는 석유의 주요 구성성분이다.

(1) 살아있는 생물체에서는 탄화수소가 흔치 않다.

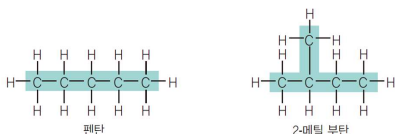
예) 지방 중 지방산 꼬리 부분: 이 부분은 비극성 공유결합을 하고 있어 소수성 부위이다.



3) 이성질체: 같은 원소, 같은 수의 원자로 이루어져 있지만, 서로 다른 구조를 가지고, 서로 다른 특성을 가진 화합물을 말한다.

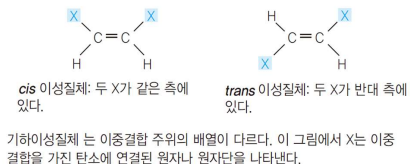
▼ 그림 4.7 분자식은 같지만 서로 다른 구조를 가진 세 가지 형태의 이성질체

(a) 구조이성질체

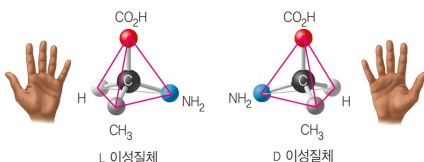


구조이성질체는 여기  $C_5H_{12}$ 의 두 이성질체 보기에서처럼 공유결합 방식이 서로 다르다.

(b) 기하이성질체



(c) 거울상이성질체



거울상이성질체는 비대칭탄소 주위의 공간적 배열이 달라 마치 왼손, 오른손처럼 두 분자가 거울상을 이룬다. 두 이성질체는 라틴어의 왼쪽(levor)과 오른쪽(dextro)을 의미하는 L과 D 이성질체로 표기한다. 거울상이성질체는 서로 포개어지지 않는다.

© Pearson Education, Inc.

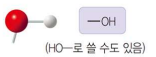
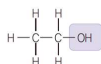
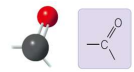
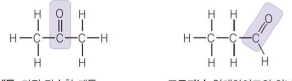
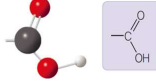


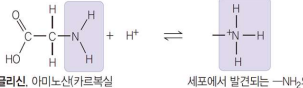
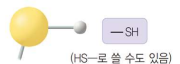
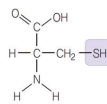
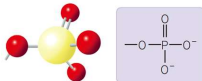
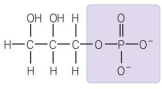
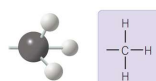
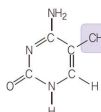
1. 구조 이성질체: 각 원자들의 공유 결합 배열이 다른 이성질체.
2. 시스템스 이성질체: 2개의 탄소가 이중결합을 하고 있고, 각 탄소에 결합된 원자 혹은 원자단이 다를 때, 배치에 따라 같은 방향일 때 cis 이성질체, 반대 방향일 때 trans 이성질체라 함.
- 예) 시스레티날, 트랜스레티날
3. 거울상 이성질체: 4개의 다른 원자나 원자단이 결합한 비대칭탄소의 존재로 두 분자가 거울상인 경우

## 개념 4.3 몇 가지 화학 그룹은 분자의 기능에 중요하다.

### 1. 생명의 과정에서 가장 중요한 화학 그룹들

- 1) 유기 분자의 특성은 탄소 골격뿐만 아니라 그 골격에 결합한 다양한 화학 그룹에 따라 결정된다.
- 2) 어떤 경우 화학 그룹이 화학반응에 직접 참여하는데 이런 화학 그룹을 작용기(functional group)라고 한다. 아래 그림에서 메틸기를 제외한 6개 화학 그룹 모두 작용기이다.
- 3) 아래 화학 그룹 중 설프하이드릴기만 제외하고 모두 친수성이어서, 유기 화합물의 용해도를 증가시킨다.
- 4) 카르복실기와 아미노기는 정상 생체내 pH에서 이온화 되어있다.

▼ 그림 4.9 생물학적으로 중요한 몇 가지 화학 그룹

화학 그룹	그룹의 특성과 화합물 이름	보기
<p>수산기(하이드록시기)(-OH)</p>  <p>(H-O-로 쓸 수도 있음)</p>	<p>전기음성도가 커 전자를 끌어당기는 산소 때문에 극성이다. 물과 수소결합을 형성하여 당과 같은 화합물을 용해하는 데 도움이 된다.</p> <p>화합물 이름: 알코올(이름은 대개 -올로 끝난다)</p>	 <p>에탄올, 알코올 음료에 들어 있는 알코올</p>
<p>카르보닐기(&gt;C=O)</p> 	<p>케톤 그룹을 가진 당은 케토스라 하고, 알데하이드를 가진 것은 알도스라 한다.</p> <p>화합물 이름: 케톤(카르보닐기가 탄소골격에 들어 있음) 혹은 알데하이드(카르보닐기가 탄소골격의 끝에 있음)</p>	 <p>아세톤, 가장 단순한 케톤      프로파날, 알데하이드의 하나</p>
<p>카르복실기(-COOH)</p> 	<p>산소와 수소 간의 공유결합이 워낙 극성을 띠기 때문에 산-H<sup>+</sup>를 공여어로 작용한다.</p> <p>화합물 이름: 카르복실산, 혹은 유기산</p>	 <p>아세트산, 식초가 신맛을 내는 이유      세포에서 발견되는 -COOH (카르복실 이온)의 이온화된 형태</p>
<p>아미노기(-NH<sub>2</sub>)</p> 	<p>염기로 작용; 주변 용액(생물체에서는 물)으로부터 H<sup>+</sup>를 받아들인다.</p> <p>화합물 이름: 아민</p>	 <p>글리신, 아미노산(카르복실 그룹에 주목)      세포에서 발견되는 -NH<sub>2</sub>의 이온화된 형태</p>
<p>설프하이드릴기(-SH)</p>  <p>(H-S-로 쓸 수도 있음)</p>	<p>두 -SH 그룹은 반응하여 상호연결되면 단백질의 구조 안정화에 도움이 된다. 머리카락 단백질은 상호연결되면 직모 혹은 곱슬기를 유지시킨다. 미장원에서 퍼머를 하면 상호연결 구조가 끊어졌다 새로 형성되면서 머리가 원하는 모양이 되도록 한다.</p> <p>화합물 이름: 티올</p>	 <p>시스테인, 항을 함유하는 아미노산</p>
<p>인산기(-OPO<sub>3</sub><sup>2-</sup>)</p> 	<p>음전하에 기여한다(인산 사슬의 내부에 있으면 1-, 끝에 있으면 2-). 분자에 붙으면 그 분자에 물과 반응하여 에너지를 방출할 수 있는 능력을 부여한다.</p> <p>화합물 이름: 유기인산</p>	 <p>글리세린 인산, 세포내 많은 중요한 화학반응에 가담한다.</p>
<p>메틸기(-CH<sub>3</sub>)</p> 	<p>DNA나 DNA에 결합한 단백질에 있으면 유전자 발현에 영향을 미친다. 남성, 여성 호르몬의 구조와 기능에 영향을 미친다.</p> <p>화합물 이름: 메틸화 화합물</p>	 <p>5-메틸 사이토신, 메틸 그룹 첨가로 변형된 DNA의 구성요소</p>

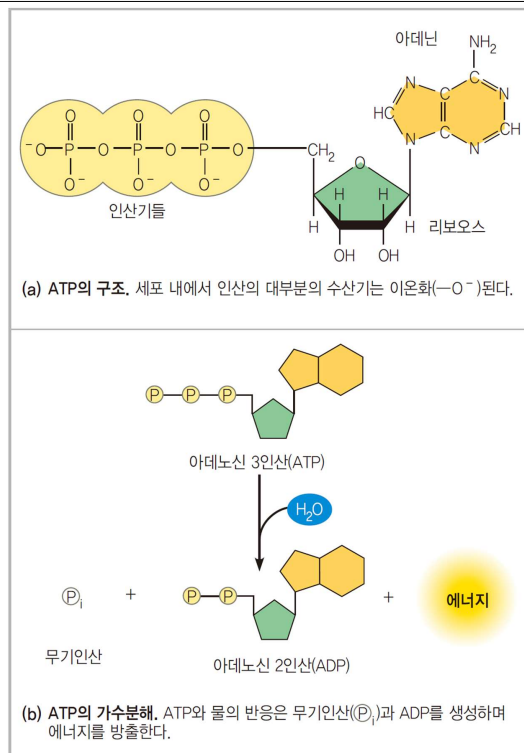
## 2. ATP: 세포 활동을 위한 중요한 에너지원

1) 복잡한 유기 인산인 아데노신 3인산(adenosine triphosphate), 즉 ATP는 세포 기능에 있어서 매우 중요하다. 리보오스(ribose)와 아데닌(adenine)을 합쳐서 아데노신이라고 한다.

2) ATP는 아데노신에 3개의 연속한 인산기가 결합된 유기 분자이다.

3) ATP의 인산 3개 중 제일 끝의 인산 1개는 쉽게 떨어져 나간다. 이 무기 인산 이온은 보통 Pi(inorganic phosphate,  $\text{PO}_4^{2-}$ )로 표기한다. 유기 분자에 있는 인산은 노란 동그라미 P로 표시한다.

4) ATP가 한 개의 인산기를 잃으면 ADP(아데노신 2인산)이 된다.



▲ 그림 6.9 아데노신 3인산(ATP)의 구조와 가수분해. 이 책 전체에서 (a)에서의 삼인산기의 화학구조는 (b)에 보여주는 것처럼 3개의 결합된 노란 동그라미로 표시될 것이다.

## 5장 생체 거대 분자와 지질

## 개념 5.1 거대 분자는 단량체로 이루어진 중합체이다.

- 크기 때문에 거대 분자로 알려진 탄수화물, 단백질, 핵산은 중합체(polymer)라고 불리는 사슬 형태의 분자이다. 중합체는 단량체(monomer)라는 작은 반복 단위가 공유 결합으로 연결된 긴다란 분자이다.

: 단백질은 다양한 기능을 한다. 탄수화물은 에너지원 혹은 구조적지지 기능을 한다. 핵산은 유전정보를 저장하고 유전자 발현 기능을 가진다.

- 지질은 중합체가 아니며 거대 분자도 아니다. 물에 잘 녹지 않음. 에너지 제공, 세포막 구성, 호르몬의 역할을 한다.

### 1. 중합체의 합성과 분해

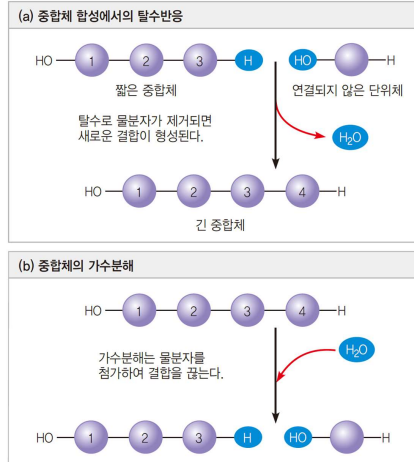
1) 중합체를 만들거나 분해하는 화학작용은 모든 종류의 생체 거대 분자에서 같고, 이러한 과정은 효소(enzyme)에 의해 촉진된다.

2) 축합반응(condensation reaction): 하나의 단량체를 다른 단량체나 중합체에 연결하는 반응.

: 만약 축합 반응 시 하나의 물 분자가 소실된다면 탈수 반응(dehydration reaction)이라고 한다.

3) 가수분해(hydrolysis): 탈수 반응의 역과정으로 중합체에 물이 첨가되어 단량체로 분해되는 과정.

▼ 그림 5.2 중합체의 합성과 분해



### 2. 중합체의 다양성.

: 알파벳 26개 글자로 수십만 개 이상의 단어를 만들 듯이, 수십 가지의 단량체들의 조합으로 다양한 중합체를 만든다.

개념 5.2 탄수화물은 연료와 구성물질의 역할을 한다.

1. 탄수화물(carbohydrate)

1) 탄수화물은 탄소화합물의 일종으로 생물체를 구성하는 주요 유기화합물 중 하나이다. 생명체 내에서 주로 섭취되는 에너지의 형태(4Kcal/g)이고, 일반적으로 가장 많은 열량을 공급해 지질, 단백질과 더불어 3대 영양소라고 불린다. 체내에서는 주로 에너지원으로 사용되는 포도당이나 그 저장 형태인 글리코젠으로 존재하며, 세포막 구성원으로도 소량 존재한다. 탄소에 물 분자가 결합한 것처럼 보여서 탄수화물이란 이름이 붙게 되었다.

2) 구조: 탄수화물의 기본적인 형태는  $C_n(H_2O)_m$ 을 가지는 분자이다. 탄수화물 한 분자는 1개의 알데히드기(CHO) 또는 케톤기(CO)와 1개 이상의 알코올기(OH)를 가지는 화합물 또는 그 축합물로 구성된다.

3) 탄수화물과 관련된 용어

① carbohydrate(탄수화물) ② ~ose(탄수화물 접미어) ③ saccharide(당류) ④ glyco~(당~)

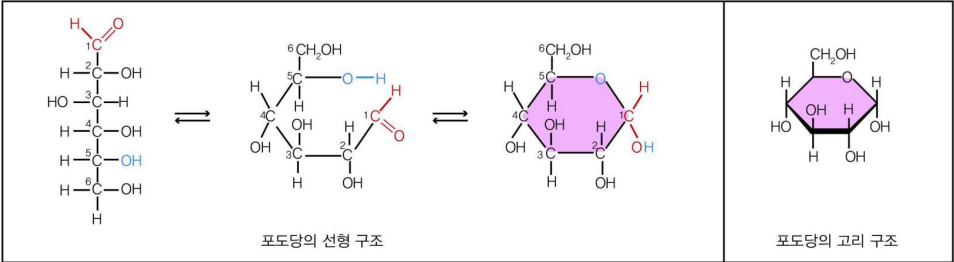
4) 탄수화물의 분류

- 1) 작용기에 따라 : 케토오스(케톤기를 가진 당), 알도오스(알데히드기를 가진 당)

2) 탄소 수에 따라 : 3탄당, 4탄당, 5탄당, 6탄당, 7탄당 등이 있다.

3) 이성질체 수가 많다(포도당과 갈락토오스는 이성질체이다).

4) 사슬형과 고리형이 있다.

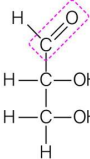
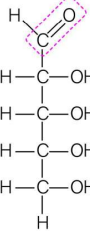
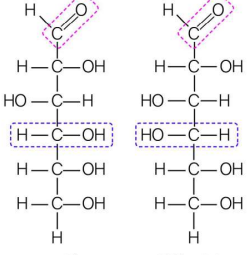
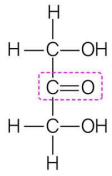
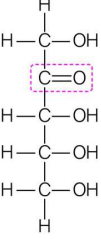
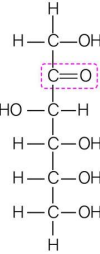


선형구조와 고리구조 사이의 화학적 평형은 주로 고리구조로 치우친다. 당의 탄소는 1부터 6까지 번호가 붙여졌다. 포도당의 고리구조를 만들기 위해 1번 탄소가 5번 탄소에 붙어 있는 산소에 결합한다.

\* 원소 표기가 없는 각 모서리는 탄소를 나타낸다. 고리의 두꺼운 가장자리는 위에서 내려다보고 있음을 나타내며, 고리에 결합된 성분들은 고리평면의 위나 아래에 위치한다.

## 2. 단당류(monosaccharide): 하나의 당이라는 의미.

〈일부 단당류의 구조와 분류〉 당은 카르보닐기(박스형태)의 위치, 탄소 골격의 길이, 비대칭 탄소 주변의 공간적 배열에 따라 다양하다.

구분	삼탄당( $C_3H_6O_3$ )	오탄당( $C_5H_{10}O_5$ )	육탄당( $C_6H_{12}O_6$ )
알도오스 (Aldehyde Sugars)	 글리세르알데하이드	 리보오스	 포도당      갈락토오스
케토오스 (Ketone Sugars)	 디하이드록시아세톤	 리불로오스	 과당

글리세르알데하이드와 디하이드록시아세톤은 해당과정의 초기 산물이다.

리보오스는 RNA의 구성요소이고, 리불로오스는 광합성의 중간산물이다.

6탄당은 생명의 에너지원으로 사용된다.

1. 포도당(glucose): 1개의 카르보닐과 여러 개의 수산기(-OH)가 있다. 카르보닐기가 알데히드기이므로 포도당은 알도오스이다. 6개의 탄소로 구성되어 있으므로 6탄당이다.

알도오스는 탄소골격 끝에 카르보닐기를 가지고, 케토오스는 탄소골격 내에 카르보닐기를 가진다.

2. 포도당과 갈락토오스는 왼쪽 그림의 색칠해진 비대칭 탄소 주변의 공간적 배열만 다르다. 서로 이성질체이다.

3. 용액 상태에서 포도당을 비롯한 5탄당과 6탄당은 대부분 고리 구조를 하고 있다. 왜냐하면 생리적 조건에서 고리구조가 당들의 가장 안정된 형태이기 때문이다.

4. 단당류, 특히 포도당은 세포의 주된 영양분이다.

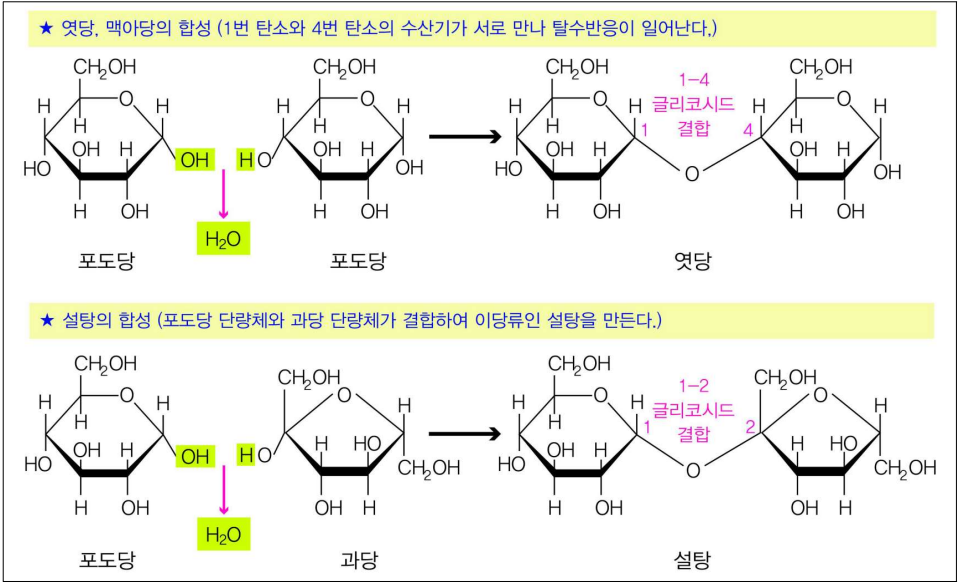
5. 단당류의 탄소 골격은 아미노산과 지방산과 같은 다른 종류의 다른 유기 분자를 합성하는 원료로도 제공된다.

6. 탄소에 번호가 있음을 인식하세요!

7. 단당류의 고리형은 입체로 생각해야 합니다. 그림에서 위아래는 실제 원자, 원자단의 위아래를 의미합니다.

3. 이당류(disaccharide) : 단당류 2개가 글리코시드 결합(glycosidic linkage)으로 연결된 것. 글리코시드 결합은 탈수반응에 의해 두 단당류 사이에 형성된 공유결합이다.

- 1) 엿당: 포도당 + 포도당. 1-4 글리코시드 결합.
- 2) 설탕: 포도당 + 과당. 1-2 글리코시드 결합.
- 3) 젖당: 포도당 + 갈락토오스.  $\beta$ 1-4 글리코시드 결합.





3. 다당류(polysaccharide): 수백에서 수천 개의 단당류가 글리코시드 결합으로 연결된 중합체. 저장 다당류와 구조 다당류로 나눌 수 있다.

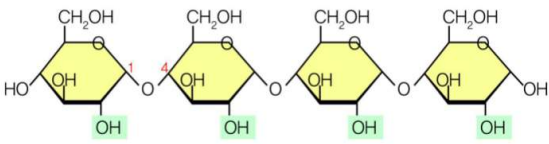
저 장 성 다 당 류	녹말 (starch)	<ul style="list-style-type: none"> <li>단위체: <math>\alpha</math> 포도당</li> <li>위치: 식물 세포내의 <u>엽록체</u> 혹은 <u>색소체</u> 내에 과립 형태로 존재</li> <li>녹말은 <u>가지가 없는 아밀로오스(amylose)</u>와 <u>가지가 있는 아밀로펙틴</u>으로 구성되어 있다. 보통 녹말은 10~20%의 아밀로오스와 80~90%의 아밀로펙틴으로 구성된다. 아밀로오스는 <u>나선형 구조</u>를 가진다.</li> <li>아밀로오스는 포도당의 <math>\alpha(1 \rightarrow 4)</math> 글리코시드 결합만 가지고, 아밀로펙틴(amylopectin)은 포도당의 <math>\alpha(1 \rightarrow 4)</math>와 <math>\alpha(1 \rightarrow 6)</math> 글리코시드 결합을 가진다. 24~30 포도당 잔기마다 <math>\alpha(1 \rightarrow 6)</math> 결합의 가지가 형성됨.</li> </ul>
	글리코젠 (glycogen)	<ul style="list-style-type: none"> <li>단위체: <math>\alpha</math> 포도당</li> <li>위치: 동물의 <u>간이나 근육 세포</u> 내 과립 형태로 존재</li> <li>① 결합방법 : 포도당의 <math>\alpha(1 \rightarrow 4)</math> 및 <math>\alpha(1 \rightarrow 6)</math></li> <li>② 8~12 포도당 잔기마다 <math>\alpha(1 \rightarrow 6)</math>가지가 형성. <u>아밀로펙틴보다 짧고 많은 가지 형성(단량체로 분해할 때 더 유리한 구조).</u></li> <li>③ 동물의 단기 에너지 저장형(탄수화물) <math>\rightarrow</math> 성인의 경우 간에 100g, 골격근에 250g의 글리코젠을 저장한다. 간의 글리코젠은 주로 혈당 유지, 근육은 운동에너지원으로 이용된다. <math>\rightarrow</math> 장기 에너지 저장 형태는 지방.</li> </ul>
구 조 다 당 류	셀룰로오스 (cellulose)	<ul style="list-style-type: none"> <li>단위체: <math>\beta</math> 포도당</li> <li>위치: 식물의 세포벽, 지구상에서 가장 풍부한 다당류(혹은 유기화합물)</li> <li>① 결합방법 : 포도당의 <math>\beta(1 \rightarrow 4)</math> 글리코시드결합. 가지가 없으며 직선 구조.</li> <li>② 셀룰로오스 분자의 수산기가 이웃한 분자와 수소 결합으로 미세원섬유(microfibril)이라는 다발 구조를 가진다.</li> <li>③ 종이, 면을 구성하는 성분이다. 사람을 비롯한 대부분의 동물은 소화하지 못한다. 원생생물이나 원핵세포 중에는 분해 가능한 생물이 있다.</li> </ul>
	키틴 (chitin)	<ul style="list-style-type: none"> <li>단위체: NAG(N-아세틸글루코사민)</li> <li>① 결합방법 : NAG의 <math>\beta(1 \rightarrow 4)</math> 글리코시드 결합</li> <li>② <u>균류의 세포벽, 절지동물의 외골격 구성요소</u></li> </ul>

★  $\alpha$ 와  $\beta$ 포도당 링 구조

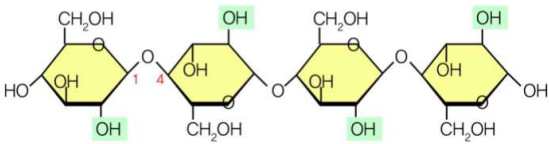
그림에서 왼쪽이 알파포도당 오른쪽이 베타포도당이다.

둘은 상호 전환이 가능하다. 1번 탄소에 붙은 수산기 (파란색으로 강조 됨)의 위치가 다르다.

★ 녹말: α포도당끼리 1-4 글리코시드 결합을 이룸

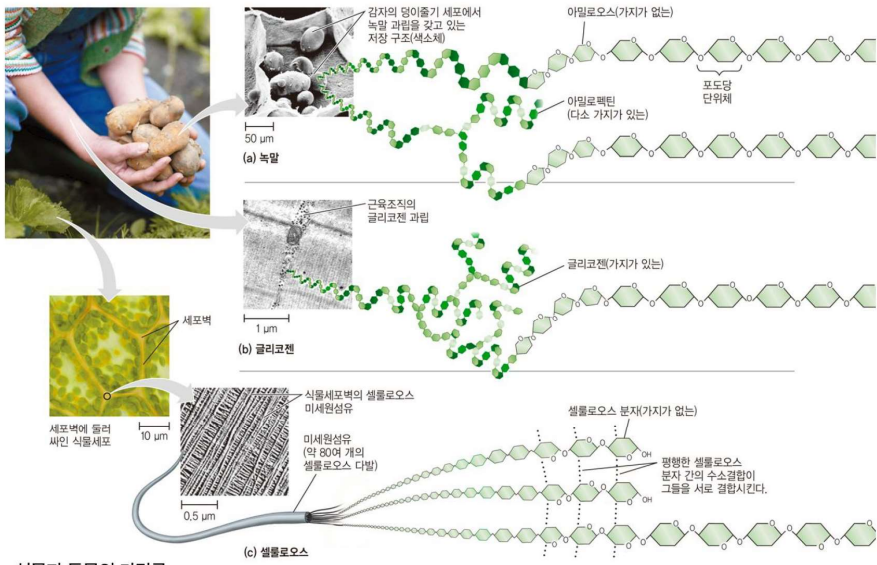


★ 셀룰로오스: β포도당끼리 1-4 글리코시드 결합을 이룸



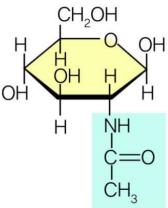
<녹말과 셀룰로오스의 구조>

- 녹말은 모든 단위체가 동일한 방향으로 놓여있다. 수산기 (-OH)의 위치를 셀룰로오스와 비교해보자.
- 셀룰로오스의 경우, 모든 베타 포도당의 단위체는 이웃한 단위체에 대해 거꾸로 뒤집혀 있다.



식물과 동물의 다당류

(a) 식물세포에 저장된 녹말, (b) 근육세포에 저장된 글리코겐, (c) 식물세포벽의 구조 셀룰로오스 섬유 모두 전적으로 포도당 단위체(녹색 육각형)로 구성된 다당류이다. 녹말과 글리코겐의 중합체 사슬은 가치가 없는 부위에서 포도당 분자의 결합 각도 때문에 나선상을 형성하기도 한다. 아밀로오스와 아밀로펙틴, 두 종류의 녹말이 있다. 다른 포도당 결합 형태인 셀룰로오스는 항상 가치가 없다.



- 왼쪽은 구조 다당류인 키틴의 단위체인 NAG(N-acetyl glucosamine)의 구조이다.
- 단백질에 묻혀있는 키틴은 절지동물(예, 곤충)의 외골격을 형성한다.
- 키틴은 상처 혹은 수술 자리가 치유된 후에 분해되는 강하고 유연한 수용성 실을 만드는데 사용된다.

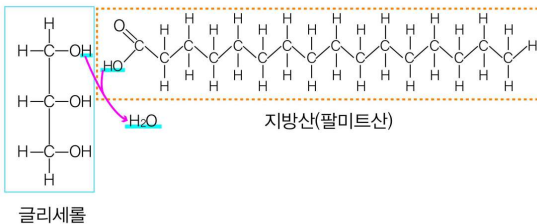
## 개념 5.3 지질은 소수성 분자의 다양한 그룹이다.

1. 지질(lipid): 일반적으로 지질은 비극성 용매에 녹고 물에는 녹지 않는 생물학적 기원 물질로 정의 된다(대부분 비극성인 탄화수소로 구성되어 있어서 소수성이다). 지질은 매우 크고 다양한 그룹에 속하는 자연적으로 발생하는 물질이며, 지방, 왁스, 스테로이드, 지용성 비타민(A,D,E,K), 모노글리세라이드, di-, tri-글리세라이드, 인지질 등을 포함한다. 지질의 주요 기능은 에너지 저장(9Kcal/g, 식물의 종자, 동물의 지방조직), 신호전달, 세포막의 구성 성분, 단열, 기관보호로서의 역할이다. 지질은 화장품, 식품 산업 뿐 만 아니라 나노기술까지 응용 분야가 다양하다.

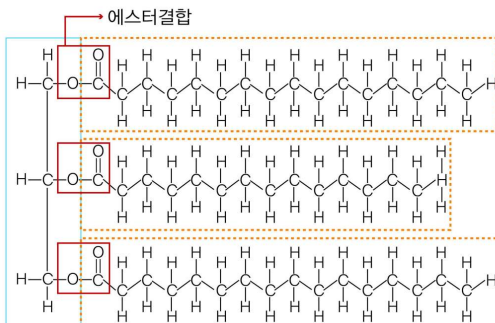
### 2. 지방(fat)

- 1) 지방산(탄화수소 끝에 카르복실기 가짐)과 글리세롤(3개 탄소를 갖는 알코올)로 구성됨.
- 2) 탄화수소 부분이 비극성인 C-H 결합이라서 지방은 소수성이다.
- 3) 글리세롤의 수산기와 지방산의 카르복실기 사이에 공유 결합인 에스터 결합으로 연결
- 4) 지방=triacylglycerol=triglyceride은 글리세롤 한분자에 3개의 지방산이 결합 됨.
- 5) 한 지방 분자내의 지방산은 같을 수도 다를 수도 있다.

#### ★ 지방 합성에서의 탈수반응



#### ★ 트리아실글리세롤(지방 분자)



- 지방 혹은 트리아실글리세롤의 합성과 구조: 지방의 분자적 구성요소는 한분자의 글리세롤과 세분자의 지방산이다.


- 하나의 지방산이 글리세롤과 결합할 때마다 물 한 분자가 빠져나간다.

- 3개의 지방산 단위를 갖고 있으며 그중 2개는 동일한 지방산을 갖는 지방 분자를 그림으로 표시했다. 지방산의 탄소가 지그재그로 배열되어 있어, 각 탄소에서 뻗어 나온 4개의 단일 결합의 실제 방향을 암시해준다.

3. 포화지방산(saturated fatty acid)과 불포화(unsaturated) 지방산

	구성	이중결합 유무	특징
포화지방	지방을 구성하는 지방산이 모두 포화지방산으로 구성됨.	포화지방산: 지방산에 이중결합 없음	대부분의 동물성 지방 실온에서 고체 지방 분자가 촘촘하게 배열 동맥경화와 관련성 높음. 식물성 지방을 수소화시켜 만들기도 함 (땅콩버터, 마가린).
불포화지방	지방을 구성하는 지방산 3개중 하나 이상이 불포화지방산으로 구성.	불포화지방산: 지방산에 이중결합 하나 이상 있음. 거의 cis 결합.	식물, 생선 지방 실온에서 액체. 기름(oil) 지방산의 탄화수소 사슬내의 꺾임 구조 때문에 지방 분자가 촘촘하지 않게 배열
trans지방	식물성 지방을 수소화시켜 포화지방으로 만드는 과정에서 생성	불포화지방산을 가지나 trans 이중결합을 가짐.	동맥경화 유발 구운 식품과 가공식품에 많음.

포화지방



실온에서의 버터 (포화지방분자)


포화지방분자의 구조식

CCCCCCCCCCCCCCCC(=O)OCC(C(=O)CCCCCCCCCCCCCCC(=O)OCC)C

스테아르산 공간채움 모형 (포화지방산)

탄소, 수소, 산소

불포화지방



올리브 유 (불포화지방분자)

불포화지방분자의 구조식

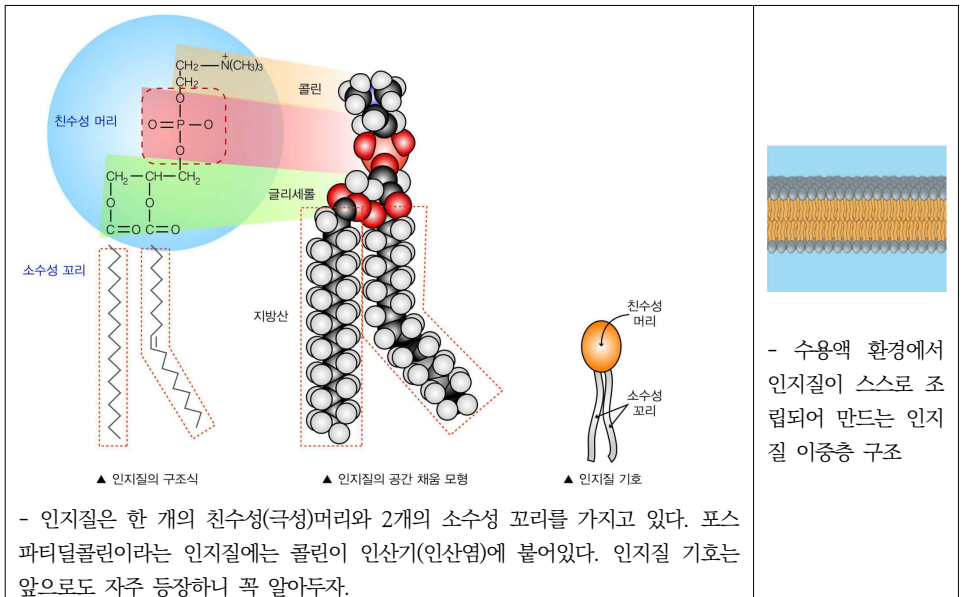
CCCCCCCCCCCCCCCC(=O)OCC(C(=O)CCCCCCCCCCCCCCC(=O)OCC)C/C=C/C

Cis 이중결합

올레산 공간채움 모형 (불포화지방산)

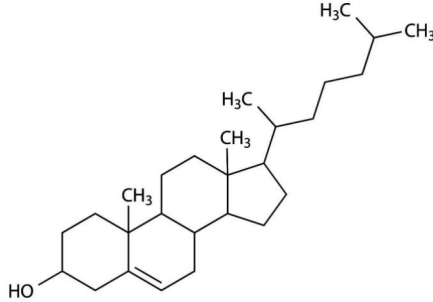
## 4. 인지질(phospholipid)

- 1) 기능: 세포막의 주된 구성 성분
- 2) 구조: 글리세롤+2개의 지방산+인산기+X(전하를 띠거나 극성인 작은 물질, 그림은 콜린)
  - 글리세롤의 3개의 수산기 중 2개는 지방산의 카르복실기와 에스터(ester) 결합
  - 글리세롤의 3번째 수산기는 인산기와 연결
- 3) 양친매성(amphiphilic): 친수성 머리+소수성 꼬리(탄화수소 부위)
- 4) 물에 넣으면 인지질분자들은 스스로 조립되어 인지질 이중층(bilayer)을 형성
  - : 친수성 머리 부분이 세포의 바깥과 안쪽의 수용액과 접하게 된다.



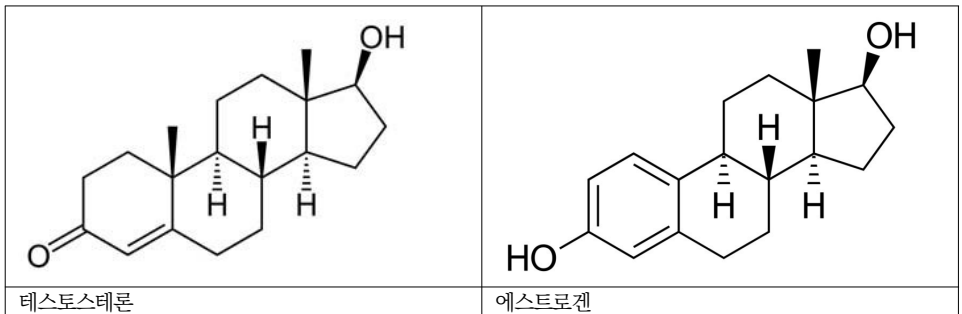
## 5. 스테로이드(steroid): 4개의 연결된 고리로 구성된 탄소 골격의 지질

- 1) 4개의 고리에 연결된 작용기에 따라 여러 가지 스테로이드들이 존재
- 2) 콜레스테롤(cholesterol): 동물의 스테로이드. 동물 세포막 구성성분. 척추동물 성호르몬의 전구체. 척추동물의 간에서 합성 하거나 음식물로 섭취. 혈중 농도가 높으면 동맥경화 유발함.



\* 스테로이드의 하나인 콜레스테롤: 콜레스테롤 분자로부터 성호르몬을 포함한 다른 스테로이드가 합성된다. 스테로이드들은 4개의 서로 연결된 고리에 붙어 있는 화학기가 다양하다.

- 메틸기, 수산화기, 케톤기, 탄화수소 사슬에서 차이가 난다.
- 성호르몬은 5각 고리에 달린 탄화수소 고리가 없다.
- 테스토스테론은 수산화기가 케톤기로 산화된 형태이다.
- 에스트로젠은 6각 고리 사이의 메틸기가 없다.



## 개념 5.4 단백질은 다양한 구조로 되어 있어서 광범위한 기능을 수행한다.

### 1. 단백질(protein)

1) 생명체의 역동적인 기능을 담당. 아래 그림 참고.

특히 효소(enzyme)도 대부분 단백질로 구성. 효소는 생물의 촉매(catalyst)이다.

2) 세포의 건조 중량의 50% 이상을 차지.

3) 종류가 다양하고, 각 단백질마다 구조가 다르며 구조와 기능은 밀접한 연관 있음.

4) 모든 단백질은 20개의 아미노산(단량체)로부터 만들어진다. 가지 없는 중합체를 만들

5) 폴리펩티드(polypeptide): 아미노산 중합체

6) 펩타이드 결합(peptide bond): 아미노산 사이의 공유 결합

7) 단백질(protein): 3차원적 구조를 가지는 하나 이상의 폴리펩타이드로 이뤄진 생물학적 기능을 가지는 분자.

▼ 그림 5.13 단백질 기능의 개요

#### 효소 단백질

기능: 화학반응의 선택적 가속화

예시: 소화효소는 음식을 분자에 있는 결합의 가수분해를 촉매한다.



#### 방어 단백질

기능: 질병에 대한 보호

예시: 항체는 세균이나 바이러스를 불활성화시키고 처리하는 데 도움을 준다.



#### 저장 단백질

기능: 아미노산의 저장

예시: 우유 단백질인 카제인은 포유동물 새끼에게 주된 아미노산 공급원이다. 식물은 씨앗에 저장 단백질을 갖고 있다. 오브알부민은 달걀 흰자의 단백질인데, 발달 과정 중에 있는 배에게 아미노산 공급원으로 사용된다.



오브알부민

배를 위한 아미노산

#### 수송 단백질

기능: 물질의 수송

예시: 적수동물 혈액에서 철을 함유하고 있는 단백질인 헤모글로빈은 산소를 폐로부터 몸의 다른 부분으로 운반한다. 또 다른 단백질은 세포막을 가로질러 물질분자를 수송한다.



#### 호르몬 단백질

기능: 생물체의 활성 조절

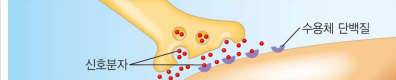
예시: 이자에서 분비되는 호르몬인 인슐린은 다른 조직이 포도당을 흡수하게 하여 혈당 농도를 조절하게 된다.



#### 수용체 단백질

기능: 화학 자극에 대한 세포의 반응

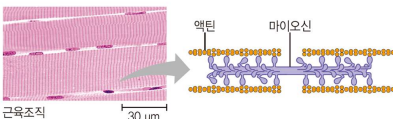
예시: 다른 신경세포가 분비한 신호분자를 감지하는 신경세포 막의 수용체



#### 수축 및 운동 단백질

기능: 운동

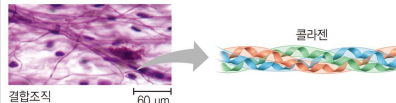
예시: 운동 단백질은 성모나 편모의 파동운동에 관여한다. 액틴과 마이오신 단백질은 근육수축운동에 관여한다.



#### 구조 단백질

기능: 지지

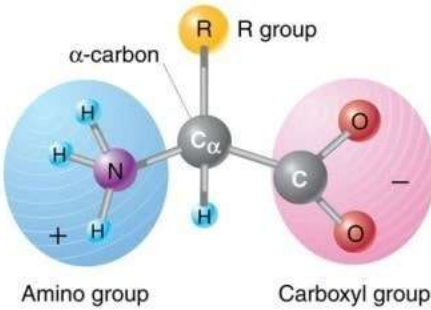
예시: 케라틴은 머리카락, 뿔, 깃털, 그 밖의 피부 부속물의 단백질이다. 곤충과 거미는 각각 고치와 거미줄을 만드는 데에 비단섬유를 사용한다. 콜라겐과 엘라스틴 단백질은 동물의 결합조직에서 섬유상 구조를 제공해 준다.





2. 아미노산(amino acid): 단백질의 단량체

1) 아미노산의 공통 구조

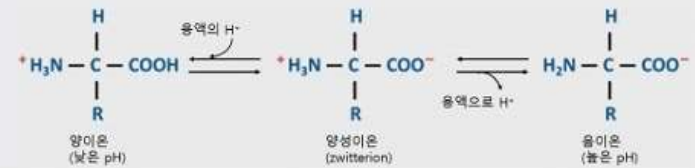


1. 아미노산에서 작용기들이 붙어있는 탄소를 알파 탄소라고 한다. 비대칭탄소이다.

2. 20개 아미노산의 알파탄소에는 모두 아미노기와 카르복실기, 수소분자가 있고, 아미노산의 종류는 R 그룹에 의해 결정된다.

3. R 그룹(결사슬)의 물리적, 화학적 성질이 특정 아미노산의 성질을 결정한다. 또한 폴리펩타이드의 구조 및 기능을 결정한다.

4. 세포내 pH인 pH 7.2에서는 아미노기와 카르복실기는 이온화 되어있다.



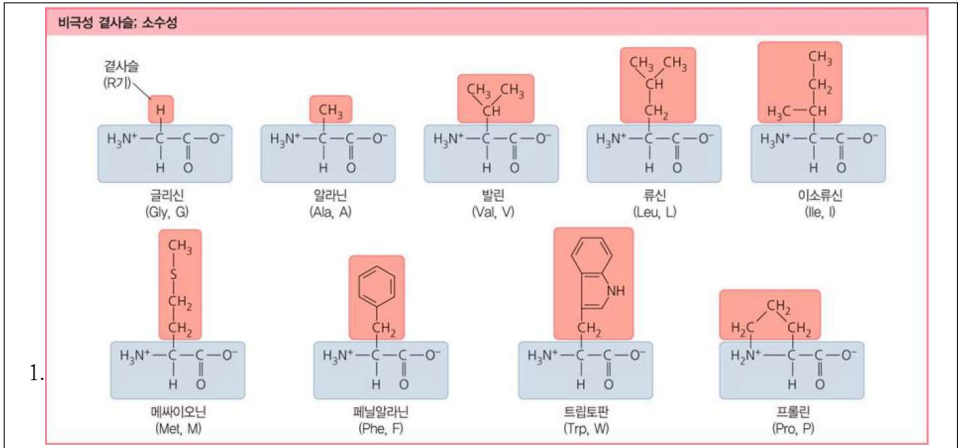
[그림 4] pH 변화와 아미노산 구조변화

- 양극성이온(zwitterion)  
: 양[극]성이온(兩[極]性~). 양전하(陽電荷)와 음전하(陰電荷)를 모두 가지고 있는 이온.



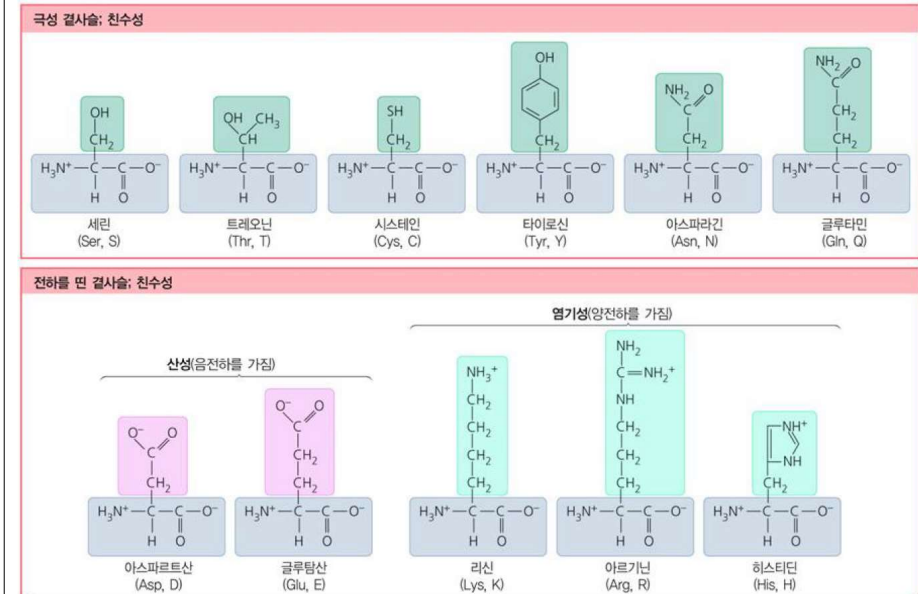
2) R 그룹에 따른 아미노산의 분류: 단백질의 20개 아미노산

그림에서 아미노산은 곁사슬(R기)의 성질에 따라 분류되었고, 세포 내 pH 7.2에서 주로 존재하는 이온형태의 아미노산을 나타내고 있다. 아미노산 세 글자와 한 글자 약자는 괄호 안에 표시되어 있다. 단백질에 사용되는 모든 아미노산은 L형 거울상 이성질체이다.



2. 극성 곁사슬

3. 전하를 띤 곁사슬: 친수성 (1) 산성아미노산: 세포내 pH 조건에서 곁사슬에 이온화된 카르복실기를 가져 음전하를 띤. (2) 염기성: 곁사슬이 세포내 pH 조건에서 양전하를 띤.



3. 폴리펩타이드(아미노산 중합체)

1) 펩타이드 결합(peptide bond): 한 아미노산의 카르복실기가 다른 아미노산의 아미노기가 인접할 때, 효소에 의해 물 분자가 제거되는 탈수 반응에 의해 두 분자가 연결되는데, 이 공유 결합을 펩티드 결합이라고 한다.

2) 폴리펩타이드: 많은 아미노산이 펩타이드 결합으로 연결된 중합체.

▲ 그림 5.15 폴리펩타이드 사슬 만들기. 한 아미노산의 카르복실기와 다음 아미노산의 아미노기를 연결하는 탈수반응에 의해 펩타이드 결합이 형성된다. 펩타이드 결합은 아미노 말단(N-말단)의 아미노산에서부터 시작되어, 한번에 1개씩 형성된다. 폴리펩타이드는 아미노산 결사슬(노란색과 녹색)이 붙어 있는 반복적인 골격(보라색)을 갖고 있다.

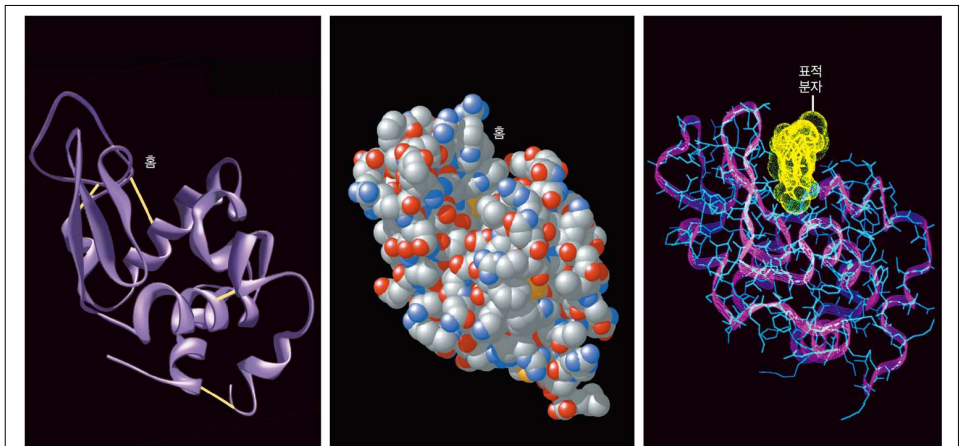
1. 폴리펩타이드 골격: 보라색으로 표시된 원자들이 반복된 서열
2. 결사슬(R기): 폴리펩타이드 골격으로부터 뻗어 나온 것.
3. 각 특정 폴리펩타이드는 아미노산의 독특한 선상 서열을 가지고 있다.
4. 폴리펩타이드 한쪽 끝에는 자유 아미노기(폴리펩타이드의 N-말단, 아미노 말단)가, 반대쪽 끝에는 자유 카르복실기(C-말단, 카르복시말단)가 있다. (중요) 펩타이드 결합은 아미노 말단의 아미노산에서부터 시작되어, 한번에 1개씩 형성된다.
5. 폴리펩타이드의 화학적 성질, 구조는 결사슬의 종류와 서열에 의해 결정된다.
6. 폴리펩타이드는 아미노산 결사슬이 붙어 있는 반복적인 골격(보라색)을 갖고 있다.

#### 4. 단백질 구조

1) 폴리펩티드 사슬의 부분 간 다양한 결합(수소결합, 공유결합...)에 의해 자발적으로 기능적 구조로 접히게 된다(예외 있음).

2) 최종 구조에 따라 구형 단백질(globular protein), 섬유상 단백질(fibrous protein)로 나눌 수 있는데 대부분의 단백질은 구형 단백질이다.

3) 구조와 기능은 밀접한 관련성을 가진다. 항체와 독감 바이러스 단백질의 결합은 형태가 정확히 들어맞기 때문이고, 수용체에 약물이 결합하는 것도 약물이 수용체에 꼭 들어맞는 구조를 가지고 있기 때문이다.

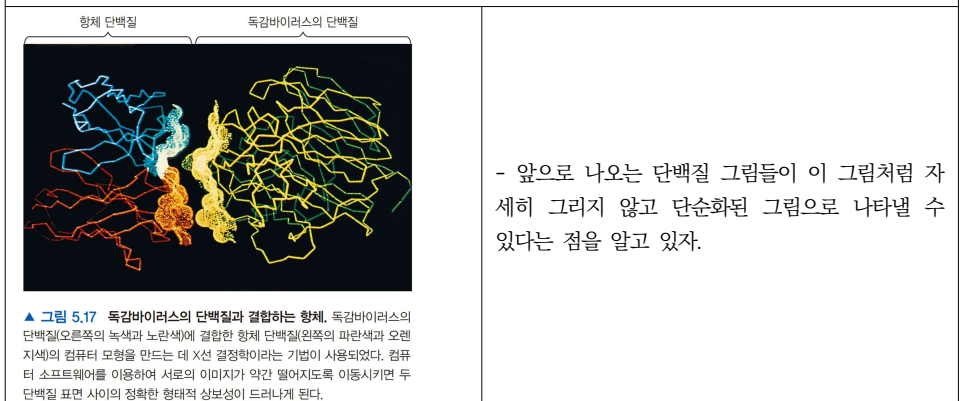


(a) 리본 모형은 단일 폴리펩티드 사슬이 어떻게 접히고 꼬여 기능적 단백질을 만드는지 보여준다. (노란색 선은 단백질 형태를 안정화시키는 이황화결합을 나타낸다.)

(b) 공간채움 모형은 라이소자임에서 독특하게 나타나는 특별한 3차원적 구조뿐 아니라, 많은 단백질에서 볼 수 있는 구 형태를 보다 명확히 보여준다.

(c) 여기서는 리본 모형과 전선을 모형을 포개놓았다. 전선을 모형은 골격과 골격으로부터 뻗어 있는 결사슬을 보여준다. 노란색 구조는 표적분자이다.

▲ 그림 5.16 효소 라이소자임의 단백질 구조. 머, 눈물, 침에 존재하는 라이소자임은 여러 종류의 세균 표면 에 있는 특정 분자에 결합하고 파괴함으로써 감염을 막도록 도와주는 효소이다. 작은 홈은 세균 세포벽에 있는 표적분자를 인식하고 결합하는 부분이다.



▲ 그림 5.17 독감바이러스의 단백질과 결합하는 항체. 독감바이러스의 단백질(오른쪽의 녹색과 노란색)에 결합한 항체 단백질(왼쪽의 파란색과 오렌지색)의 컴퓨터 모형을 만드는 데 X선 결정학이라는 기법이 사용되었다. 컴퓨터 소프트웨어를 이용하여 서로의 이미지가 약간 떨어지도록 이동시키면 두 단백질 표면 사이의 정확한 형태적 상보성이 드러나게 된다.

- 앞으로 나오는 단백질 그림들이 이 그림처럼 자세히 그리지 않고 단순화된 그림으로 나타낼 수 있다는 점을 알고 있자.

## 5. 단백질 구조의 4가지 단계(매우 중요)

### 1) 1차 구조(primary structure)

: 단백질의 아미노산의 서열. 유전정보에 의해 결정됨. 1차 구조에 의해 2~3차 구조가 결정됨.

### 2) 2차 구조 : 단백질 단편들에서 발견되는 꼬임과 접힘.

▶ 2차 구조의 중요한 힘: 결사슬이 아닌 폴리펩타이드 골격에서 반복되는 구성요소 간의 수소결합.

부분적 음전하를 띠는 산소와 부분적 양전하를 띠는 질소에 결합한 수소간의 수소결합.

▶ 알파나선( $\alpha$  helix)구조: 매 네 번째 아미노산 사이에 형성되는 수소 결합으로 생기는 나선구조

▶ 베타병풍( $\beta$  pleated sheet)구조: 나란히 놓여있는 폴리펩타이드 사슬의 두 군데 이상의 부분이 평행인 두 부분 사이에서 수소 결합으로 연결된 구조.

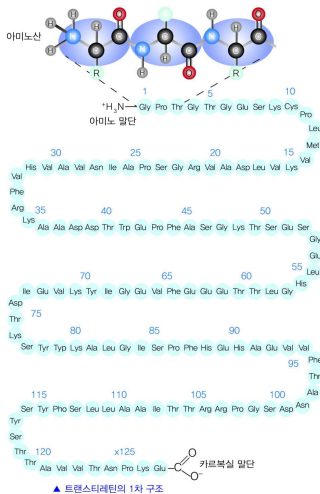
### 3) 3차 구조 : 한 폴리펩타이드의 총체적 구조

▶ 3차 구조를 이루는 힘: 수소결합, 소수성 상호작용(소수성 부분이 단백질 중심으로 모임), 이온 결합, 이황화 결합(결사슬에 황화수소기(-SH)를 가지는 시스테인 2개가 가까이 위치할 때, 이황화결합 형성)

### 4) 4차 구조 : 둘 이상의 폴리펩타이드가 모여서 하나의 기능적 거대 분자를 이루는 것.

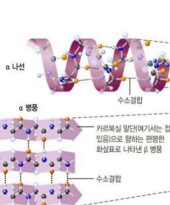
▶ 예: 콜라겐, 헤모글로빈, 트랜스티레틴

1차 구조 : 아미노산 선형사슬



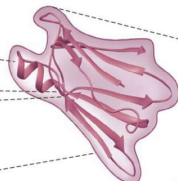
### 2차 구조

폴리펩타이드 골격의 원자 사이의 수소결합에 의해 안정화된 부위



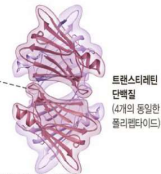
### 3차 구조

결사슬 간의 상호작용에 의해 안정화된 3차 구조의 형태



### 4차 구조

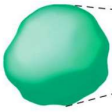
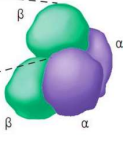
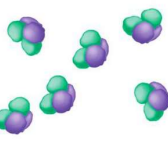

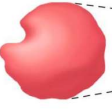
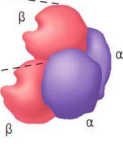
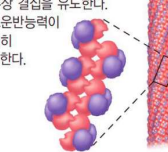

기능적 단백질을 형성하는 다수 폴리펩타이드의 관계



## 6. 낫모양적혈구 빈혈증(sickle-cell anemia)

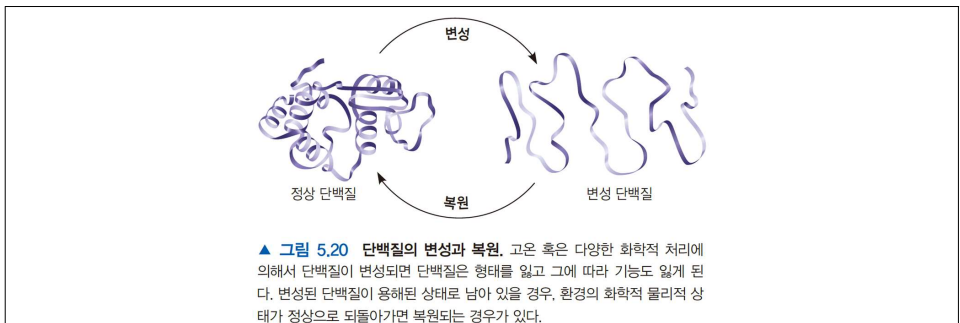
1) 헤모글로빈 단백질의 6번째 아미노산(글루탐산에서 발린으로 바뀐)이 달라지는 1차 구조 변화로 2~4구조 및 기능과 세포 모양에도 변화를 일으키게 된다.

2) 단백질 구조 변화로 적혈구 모양이 낫모양으로 바뀌게 되면 적혈구가 혈관을 막거나 잘 터지게 되고, 빈혈 증상이 나타난다.

	1차 구조	2차와 3차 구조	4차 구조	기능	적혈구의 모양
정상 헤모글로빈	1 Val 2 His 3 Leu 4 Thr 5 Pro 6 Glu 7 Glu	정상 β 소단위체 	정상 헤모글로빈 	정상 헤모글로빈 단백질은 서로 엉키지 않는다; 각각은 산소를 운반한다. 	정상 적혈구 세포는 개별 헤모글로빈 단백질로 채워져 있다.  5 μm
낫모양적혈구	1 Val 2 His 3 Leu 4 Thr 5 Pro 6 Val 7 Glu	낫모양 β 소단위체 	낫모양적혈구 헤모글로빈 	낫모양적혈구 헤모글로빈 단백질 사이의 소수성 상호작용은 섬유상 결집을 유도한다. 산소분반능력이 현저히 감소한다. 	비정상 헤모글로빈 섬유는 적혈구를 낫모양으로 변형시킨다.  5 μm

- 아미노산 한 개의 치환이 낫모양적혈구빈혈증을 일으킨다.
- 2~3차 구조에서 움푹 들어간 부위를 소수성 포켓이라고 한다.
- 헤모글로빈은 알파글로빈 2개와 베타글로빈 2개로 구성된 4차 구조를 가지는 단백질이다.
- 낫모양적혈구 빈혈증인 사람 헤모글로빈의 소수성 부위의 상호작용으로 섬유상 덩어리가 형성된다.

## 7. 단백질 변성(denaturation): 물리적, 화학적 환경의 변화(pH, 염의 농도, 온도 등)에 의해 단백질의 고유한 형태를 잃는 과정.



## 개념 5.5 핵산은 유전정보를 저장하고 전달하며 발현되도록 돕는다.

### 1. 핵산(nucleic acid)

: 핵산(Nucleic acids)은 핵에서 발견되는 산이라는 뜻으로, 뉴클레오티드(nucleotides)라는 단위체로 구성된 중합체이다. 핵산에는 DNA(deoxyribonucleic acid)와 RNA(ribonucleic acid)라는 두 가지 유형이 있으며, 유전정보의 저장과 전달, 그리고 발현을 돕는 기능을 담당한다. 단백질의 형태를 결정하는 데 중요한 폴리펩티드(polypeptides)의 일차 구조인 아미노산 서열은 유전자에 의해 설계되어 있다. 이런 유전자는 바로 DNA라는 핵산에 의해 구성된다. DNA의 유전 정보는 전사 과정에 의해 RNA라는 핵산으로 전환되어 리보솜과 tRNA의 기능에 의해 폴리펩티드의 아미노산 서열로 번역된다.

유전자(gene): 유전자는 유전형질의 기능적 단위 모든 생명체가 세포 내에 가지고 있는 유전체 DNA의 특정 부위에 위치하는 정보서열로서 세포를 형성하며 유기적 생명현상을 유지하는 데 필요한 단백질 등을 생산해낼 수 있는 정보를 담고 있으며, 각 개체 고유의 특징을 나타내게 할 뿐만 아니라 복제를 통해 다음 세대의 자손에게 유전된다. 좁은 의미에서 유전자는 DNA 서열 상에서 특정 단백질의 아미노산 사슬을 만드는 정보서열(coding DNA sequence, CDS)이 위치한 부위만을 의미하나, 넓은 의미에서는 단백질을 직접 만들지 않더라도 다양한 기능을 하는 RNA를 만드는 부위와 그 전사과정을 조절하는 부위까지 포함하기도 한다.

### 2. 핵산의 구성 성분

: 핵산은 폴리뉴클레오타이드(polynucleotide)라는 중합체로 존재하는 거대 분자

- 1) 단량체: 뉴클레오타이드(nucleotide)
  - 2) 뉴클레오사이드(nucleoside): 5탄당(펜토스, 리오보스 or 디옥시리보오스) + 질소함유 염기
  - 3) 뉴클레오타이드: 5탄당 + 질소 염기 + 하나 이상의 인산기
  - 4) 질소성 염기(nitrogenous base): 질소 원자를 갖는 하나 또는 두 개의 고리 구조
- : 질소 원자는 용액으로부터  $H^+$ 를 가져오는 경향이 있어 염기로 작용해서 질소 염기라고 함.

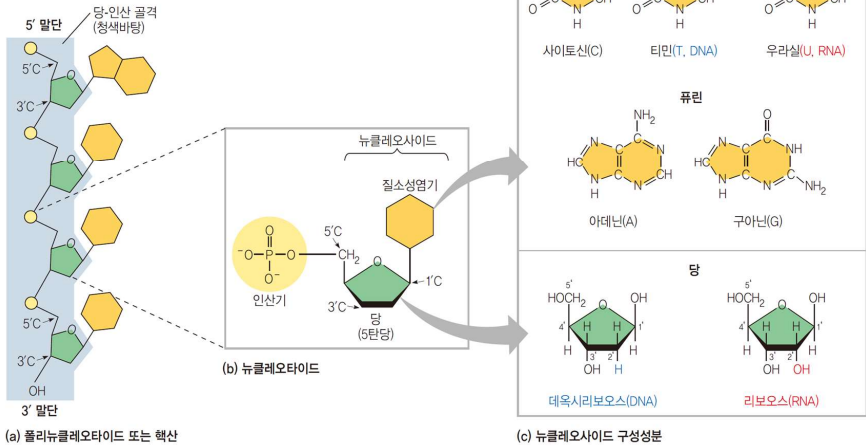
#### 1. 질소성 염기의 종류

- 1) 피리미딘(pyrimidine): 탄소와 질소 원자로 구성된 하나의 육각 고리로 되어 있다. 사이토신(cytosine, C), 타이민(thymine, T), 유라실(Uracil, U)이 있다.
- 2) 퓨린(purine): 오각고리와 육각 고리 두 개의 고리로 되어있다. 아데닌(adenine, A)과 구아닌(guanine, G)이 있다.
- 3) 아데닌, 구아닌, 사이토신은 DNA, RNA에 모두 존재하지만, 타이민은 DNA, 유라실은 RNA에만 존재한다.

5) 오탄당: DNA는 디옥시리보오스(deoxyribose), RNA는 리보오스(ribose)를 갖는다. 두 분자의 유일한 차이는 2' 탄소의 산소 유무뿐이다.

6) 인산기: 뉴클레오타이드를 구성하는 인산기는 5' 탄소에 공유 결합인 인산에스테르 결합으로 연결되어 있다. 인산기는 1~3개 연결되어 있다.

▼ 그림 5.24 핵산의 구성성분. (a) 폴리뉴클레오타이드는 질소성염기인 다양한 부속물을 당-인산 골격에 갖고 있다. (b) 뉴클레오타이드 단위체는 질소성염기, 당, 인산기로 구성되어 있다. 당의 탄소 번호에는 프라임(') 기호를 붙이는 것을 주목하라. (c) 뉴클레오타이드는 퓨린 또는 피리미딘의 질소성염기와 데옥시리보오스 또는 리보오스의 5탄당을 포함한다.



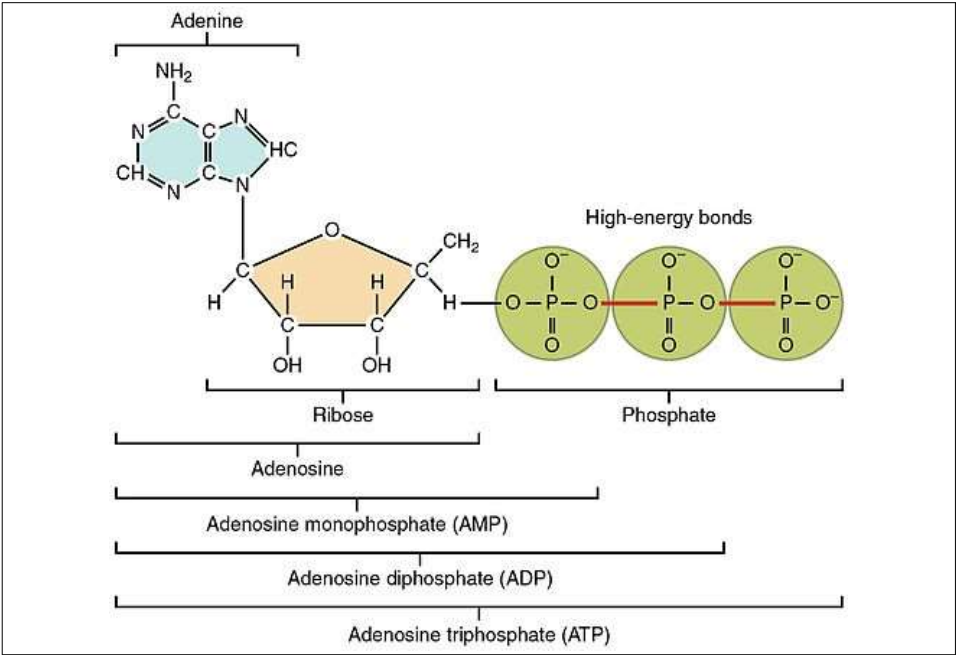
### 3. 뉴클레오타이드 중합체

- 1) 폴리뉴클레오타이드는 인접한 두 뉴클레오타이드 사이의 축합반응의 결과 인산디에스터 결합으로 연결된다.
- 2) 인산디에스터 결합은 두 뉴클레오타이드의 당들을 연결하는 인산기로 구성되어 있다.
- 3) **당-인산 골격(sugar-phosphate backbone)**: 폴리뉴클레오타이드의 당-인산 반복 부위(질소성 염기는 골격의 일부가 아니다). 당-인산 골격을 따라 염기들이 부착되어 있고 이 염기서열은 각 유전자마다 독특하다.
- 4) 중합체의 한쪽 말단은 5' 탄소에 붙어있는 인산기를 갖고 있고, 다른 쪽 말단은 3' 탄소에 수산기를 갖고 있다. 이들은 각각 **5'말단**과 **3'말단**이라고도 부른다.



4. 뉴클레오타이드, 뉴클레오사이드의 종류와 명칭

Base(염기)		뉴클레오시드(nucleoside)	뉴클레오타이드	핵산
Purine	Adenine		Adenylate(리보스+아데닌+인산)	RNA
		Adenosine(리보스+아데닌)	= 아데노신1 인산(AMP), 아데노신2인산(ADP), 아데노신3인산(ATP)	
	Guanine	Deoxyadenosine	Deoxyadenylate (dATP)	DNA
		Guanosine	Guanylate	RNA
Pyrimidine	Cytosine	Deoxyguanosine	Deoxyguanylate (dGTP)	DNA
		Cytidine	Cytidylate	RNA
	Thymidine	Deoxycytidine	Deoxycytidylate (dCTP)	DNA
		Deoxythymidine	Deoxythymidylate (dTTP)	DNA
	Uracil	Uridine	Uridylate	RNA





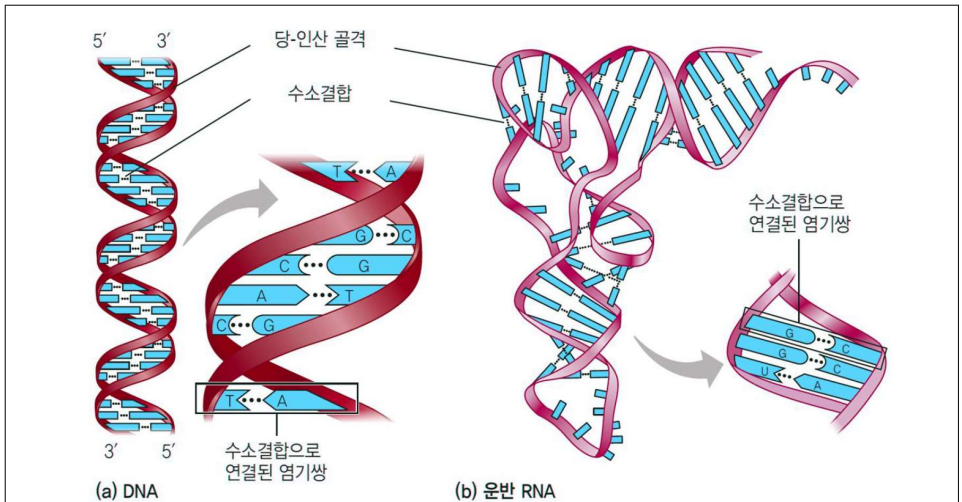
## 5. DNA와 RNA의 구조

## 1) DNA

- DNA 분자는 2개의 폴리뉴클레오타이드 또는 가닥이 가상의 축을 중심으로 감겨서 이중나선(double helix)을 형성한다.
- 두 개의 당-인산 골격은 각 골격이 5'-3' 방향으로 서로 반대로 뻗어있어, 마치 상하행선의 고속도로처럼 역평행(antiparallel) 배열을 한다.
- 당-인산 골격은 나선의 바깥쪽에 위치하며, 질소성 염기는 나선의 안쪽에서 쌍을 이룬다. 질소성 염기 사이의 수소 결합으로 두 가닥을 이루게 된다.
- : 한 가닥의 아데닌(A)은 항상 다른 가닥의 타이민(T)과 쌍을 이루고  
구아닌(G)은 항상 사이토신(C)과 쌍을 이룬다.
- : DNA 한 가닥 부위가 5'-AGGT-3' 염기서열을 갖고 있다면, 다른 가닥의 동일한 부위는 3'-TCCA-5' 서열을 갖는다. 이를 상보적(complementary)라고 한다.
- 대부분의 DNA 분자는 매우 길어서 수천 개에서 수백만 개에 이르는 염기쌍으로 이루어져 있다. 진핵 생물의 염색체에 있는 하나의 기다란 DNA 이중나선에는 많은 유전자가 포함되어 있다.

## 2) RNA

- RNA는 거의 단일가닥으로 존재한다. 하지만 두 분자나 분자 내 상보적 염기쌍을 형성할 수 있다. 즉, RNA도 이중나선, 이차구조를 가질 수 있다.
- 분자 내 염기쌍이 RNA를 3차원적 구조를 가지게 한다. 아래 그림의 tRNA는 80개 정도의 뉴클레오타이드로 구성되어 있는데, 기능을 하기 위해서는 상보적 염기쌍을 형성해야 한다.
- RNA에서 아데닌(A)은 유라실(U)과 짝을 이루며, 타이민(T)은 존재하지 않는다.



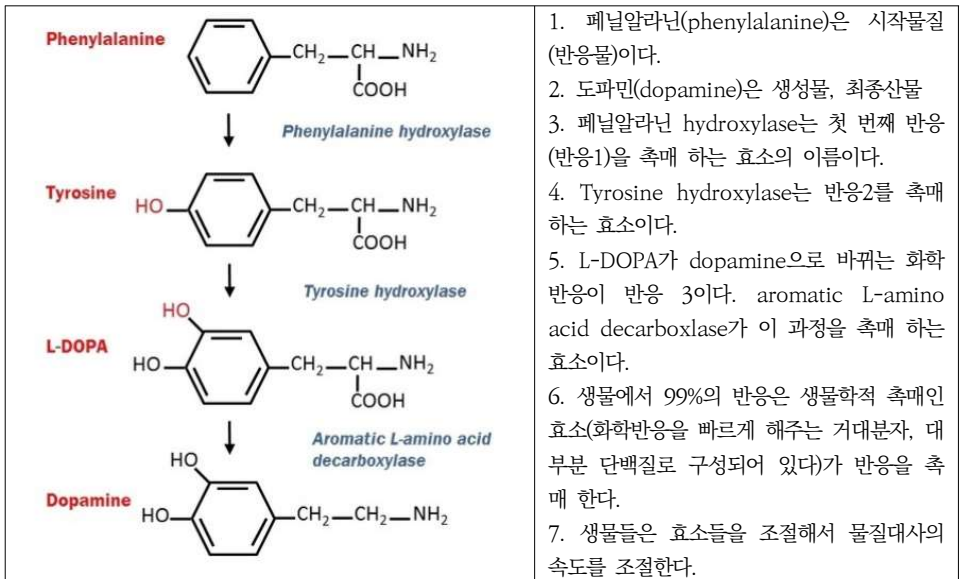
## 6장 에너지와 생명체

## 개념 6.1 생명체의 물질대사는 물질과 에너지를 변형시킨다.

### 1. 물질대사(metabolism): 생명체의 화학적 반응을 총칭.

동화작용	단순 분자로부터 복잡한 분자를 만드는 과정	흡열반응 : 에너지를 흡수	[예] 광합성
이화작용	복잡한 분자를 보다 단순한 화합물로 분해하는 과정	발열반응 : 에너지를 방출	[예] 호흡, 소화

2. 대사 경로(metabolic pathway): 생체 내의 화학변화의 순서. 생체 내에서 어떤 물질이 각종 효소작용을 순차적으로 받아 다른 물질로 변화하는 과정. 예) 아래그림처럼 페닐알라닌은 일련의 한정된 단계를 거쳐 최종 생성물인 도파민을 만들게 된다.



### 3. 에너지의 형태

- 1) 에너지(energy): 변화를 일으키는 능력
- 2) 에너지의 형태: 운동 에너지, 열에너지, 열, 위치에너지, 화학에너지

### 4. 에너지 변환의 법칙

: 물질 더미에서 발생하는 에너지 변환에 관한 학문을 열역학(thermodynamics)라 한다. 생물에서도 열역학 1법칙(에너지 보존의 법칙)과 2법칙(엔트로피 법칙)을 따른다.

## 개념 6.2 반응의 자유에너지 변화는 그 반응이 자발적으로 일어날지 아닐지를 말해준다.

### 1. 자유에너지 변화, $\Delta G$

#### 1) 깁스 자유 에너지, $G$

: 자유에너지(free energy)는 살아있는 세포에서와 같이 계 전체에 걸쳐 온도와 압력이 일정 할 때 일을 수행할 수 있는 계 에너지 일부이다.

#### 2) 자유에너지 변화, $\Delta G$

:  $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ ,  $\Delta H$ : 엔탈피(enthalpy),  $T$ : 절대온도(K),  $\Delta S$ : 엔트로피의 변화

3) 모든 화학 반응의  $\Delta G$ 를 측정 할 수 있다. 그리고  $\Delta G$ 의 값으로 이 반응이 자발적일지 아닐 지를 예측할 수 있다.

4)  $\Delta G$ 의 값이 마이너스인 과정들만 자발적이다. 이 값이 양이거나 0이면 그 과정들은 자발적이지 않다.

### 2. 자유에너지, 안정성 그리고 평형

1)  $\Delta G$ 는 마지막 상태의 자유에너지와 최초 상태의 자유에너지 간의 차이이다.

$$\Delta G = G_{\text{마지막 상태}} - G_{\text{최초상태}}$$

2)  $\Delta G$ 가 음일 때 자발적으로 반응이 일어난다는 것은 초기 상태에서 최종 상태로 변화하는 동안 자유에너지의 손실이 수반되어야 한다.

3) 자유에너지가 높다는 것은 덜 안정적이며, 더 많은 작업 능력을 가지고 있다는 뜻이다.

4) 평형(equilibrium)상태는 반응물과 생성물의 혼합액의 자유에너지가 감소하는 방향이다.

• 더 많은 자유에너지(높은  $G$ )

• 덜 안정적

• 더 많은 작업능력

**자발적인 변화에서**

• 계의 자유에너지는 감소한다 ( $\Delta G < 0$ ).

• 계는 더 안정된다.

• 방출된 자유에너지는 일을 할 수 있게 동력화시킨다.

↓

• 더 적은 자유에너지(낮은  $G$ )

• 더 안정적

• 더 적은 작업능력

(a) 중력운동. 물체는 높은 고도에서 낮은 곳으로 자발적으로 이동한다.

(b) 확산. 한 방울의 색소에 들어 있는 분자들은 무작위로 흩어지게 될 때까지 확산한다.

(c) 화학반응. 세포 내에서 포도당 분자체는 더 단순한 분자체로 분해된다.

**안정성과 작업능력 그리고 자발적 변화에 대한 자유에너지 관계**

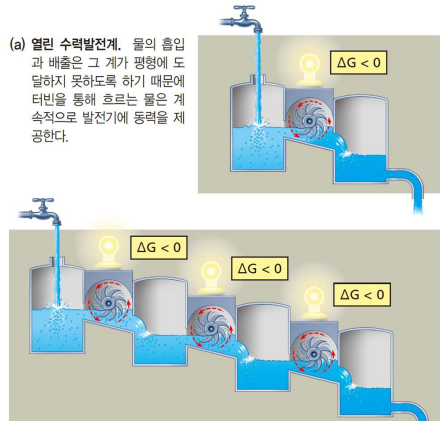
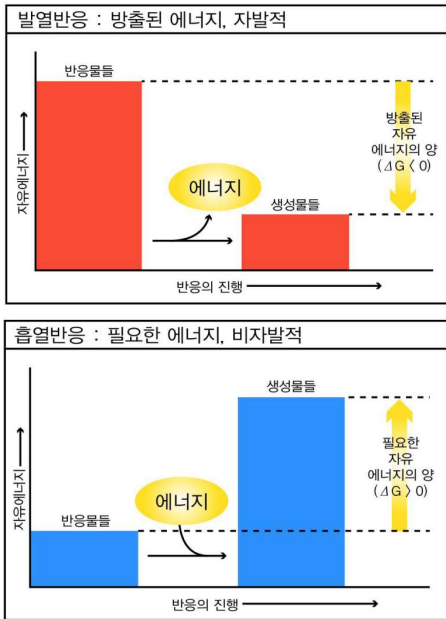
불안정한 계들(그림 위)은 자유에너지 혹은  $G$ 가 풍부하다. 그들은 자발적으로 더 안정적인 상태(그림 아래)로 변화하는 경향을 가지며, 이러한 “내리막(downhill)” 변화는 일을 수행하게 할 수 있다.

## 3. 자유에너지와 물질대사

## 1) 발열반응(exergonic reaction)과 흡열반응(endergonic reaction)

- 1) 발열 반응 : 자유에너지가 순방출 되는 반응.  $\Delta G$ 가 음의 값. 자발적.
  - 2) 흡열 반응 : 자유에너지를 순흡수 하는 반응.  $\Delta G$ 가 양의 값. 비자발적.
- 자발적이라는 말과 반응속도가 빠르다는 것은 무관하다.
- 어떤 반응의  $\Delta G$ 값은 그 반응이 수행할 수 있는 일의 최대량을 나타낸다. 이 값의 일부는 열로 방출되고 이 열은 일을 할 수 없다.

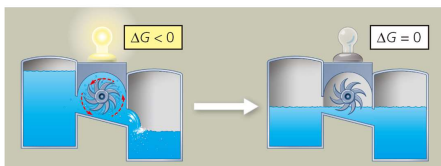
## 2) 어떤 화학반응의 정반응이 흡열 반응이면, 역반응은 발열 반응이어야만 한다.

그림. 발열, 흡열반응에서 자유에너지변화( $\Delta G$ )

▲ 그림 6.8 열린계에서의 평형과 일

: 살아있는 세포는 위 그림처럼 평형에 있지 않다. 생명체는 열린계이다.

## 3) 평형과 물질대사



▲ 그림 6.7 고립된 수력발전계에서의 평형과 일. 내리막으로 흐르는 물은 터빈을 돌려서 백열전구에 전력을 제공하는 발전기에 동력을 제공하는데 그 계가 평형에 도달할 때까지 돌린다.

그림의 고립된 수력 발전계 처럼 평형에 도달하게 되면 일을 할 수 없게 된다. 물질대사도 만약에 시험관에서 일어난다면 평형에 이르게 되고, 평형에 있는 계는 최저 G에 있으며 일을 할 수 없다. 생명체는 전체 물질대사가 절대 평형에 도달하지 않는 특성을 가진다.

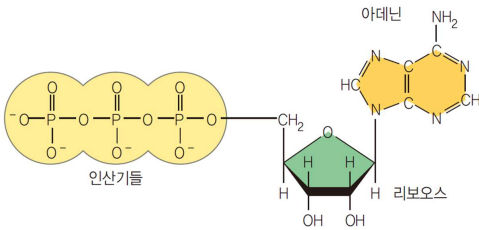
## 개념 6.3 ATP는 발열 반응과 흡열반응을 짝지어줌으로써 세포 작업에 필요한 동력을 공급한다.

### 1. 세포의 세 가지 종류의 중요한 작업

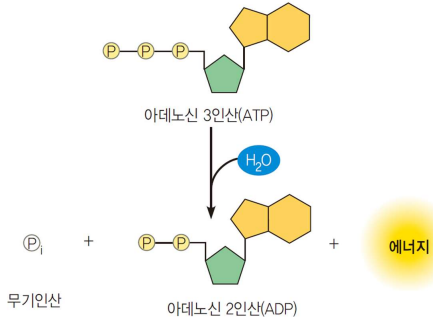
- 1) 화학적 작업: 단량체로부터 중합체 합성과 같은 흡열반응
- 2) 수송 작업: 자발적인 이동 방향을 거슬러서 물질을 이동시키는 작업
- 3) 기계적인 작업: 섬모, 근육과 같은 기계적인 움직임.

: 위와 같은 작업을 수행하기 위해서는 발열과정을 이용해 흡열과정을 추진하게 하는 에너지 짝물림(energy coupling)을 수행한다. ATP는 세포에서 대부분의 에너지 짝물림을 매개하는 역할을 담당하며, 세포 작업에 동력을 공급하는 즉각적인 에너지원으로서 작용한다.

### 2. ATP 구조와 가수분해



(a) ATP의 구조. 세포 내에서 인산의 대부분의 수산기는 이온화( $-O^-$ )된다.



(b) ATP의 가수분해. ATP와 물의 반응은 무기인산( $P_i$ )과 ADP를 생성하며 에너지를 방출한다.

▲ 그림 6.9 아데노신 3인산(ATP)의 구조와 가수분해. 이 책 전체에서 (a)에서의 삼인산기의 화학구조는 (b)에 보여주는 것처럼 3개의 결합된 노란 동그라미로 표시될 것이다.

- 1) ATP(아데노신3인산)은 에너지 짝물림 역할뿐만 아니라 RNA 생산의 재료로 사용된다.
- 2) ATP 인산기들 간의 결합은 가수분해로 끊어질 수 있다. ATP가 한번 가수분해 되면 무기 인산과 ADP가 된다. 이 반응은 발열 반응이며 가수분해 되는 ATP 1몰당 7.3Kcal의 에너지가 방출된다. 이것은 표준 조건하에서 측정된 자유에너지이다. 세포내 조건에서 ATP가 가수분해 되면 실제  $\Delta G =$  약 -13Kcal/mol이다.
- 3) ATP 인산 결합들의 가수분해는 에너지를 방출하기 때문에 고에너지 인산 결합이라고 불리기도 한다. 그러나 ATP 가수 분해동안 방출되는 에너지는 더 낮은 자유에너지 상태로 가는 계의 화학적 변화에서 나오는 것이 지 인산 결합 자체에서 나오는 것은 아니다.

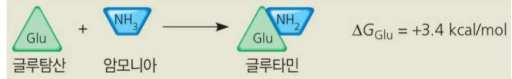
## 3. ATP 가수분해는 어떻게 일을 수행하나.

1. 세포는 특정한 효소들의 도움을 받아 ATP 가수분해에서 방출되는 에너지를 직접 사용하여 그 자체로는 흡열 과정인 화학 반응이 일어나도록 할 수 있다.

: (a)과정은 흡열반응이지만 ATP 가수분해 반응과 짝물림 되면, 전체 반응은 발열반응이 된다.

## (a) 글루탐산을 글루타민으로 변환.

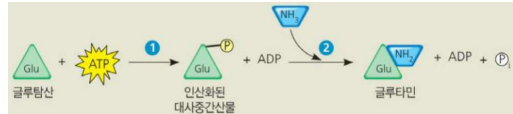
글루탐산(Glu)으로부터 글루타민의 합성 그 자체는 흡열반응( $\Delta G$ 는 양의 값)이어서, 반응은 자발적이지 않다.



## (b) ATP 가수분해와 연계된 변환반응

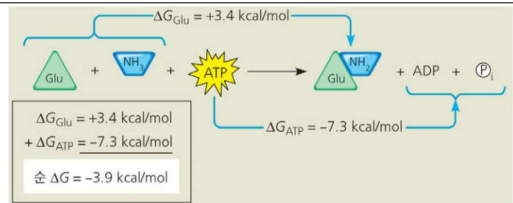
세포에서 글루타민 합성은 인산화된 대사 중간 산물과 연계되어 두 단계로 일어난다.

① ATP는 글루탐산을 인산화하여 덜 안정적이게 만든다. ② 암모니아는 인산기를 떨어지게 해서 글루타민을 만든다.



## (c) 연계된 반응의 자유에너지 변화

글루탐산의 글루타민으로의 변환에 대한  $\Delta G$ (+3.4 kcal/mol)를 ATP 가수분해에 대한  $\Delta G$ (-7.3 kcal/mol)와 합치면 전체 반응에 대한 자유에너지 변화(-3.9 kcal/mol)가 나온다. 전체 반응은 발열반응(순  $\Delta G$ 가 음의 값)이므로 자발적으로 일어난다.

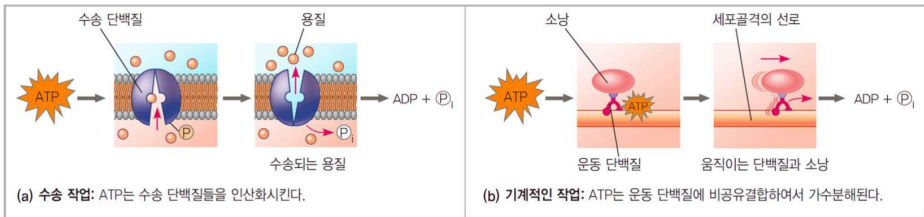


▶ ATP는 어떻게 화학적 일을 수행하는가? ATP 가수분해를 이용한 에너지 연계.

이번 예에서 ATP 가수분해의 발열과정은 흡열과정(글루탐산과 암모니아로부터 아미노산인 글루타민의 세포내 합성)을 추진하는 데 이용된다.

2. ATP의 가수분해로 단백질의 모양을 바꿔 다른 분자와 결합하는 능력을 변화시킨다.

3. ATP가 운동 단백질에 비공유 결합으로 붙으면서 기계적인 작업의 cycle을 시작한다. 각 단계마다 운동 단백질은 모양과 세포골격에 결합하는 능력이 변하면서 세포골격의 선로를 따라 단백질이 이동하게 된다.



ATP는 어떻게 수송 및 기계적인 작업을 추진하는가.

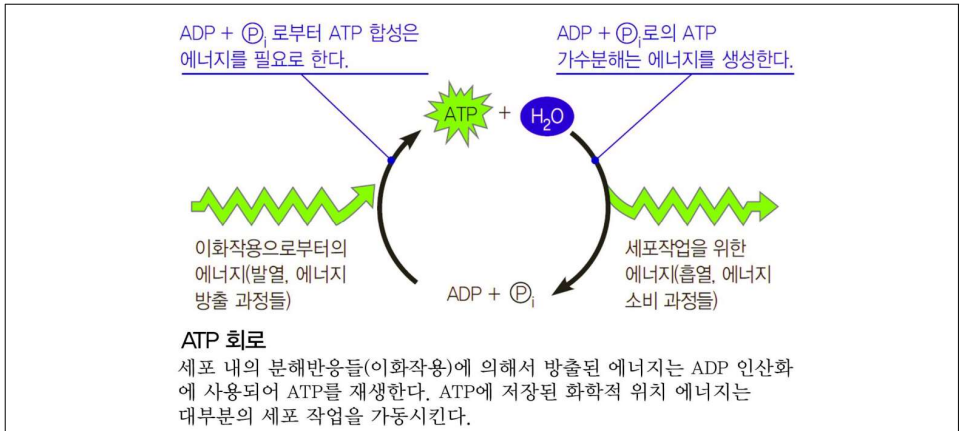
ATP 가수분해는 단백질의 모양과 결합 친화력을 변화시킨다. 이는 (a) 용질의 적극적 수송을 수행하는 막단백질에서 보여주는 것처럼 인산화에 의해서 직접적으로, 혹은 (b) 세포 내에서 세포골격의 “선로”를 따라 소낭들(그리고 다른 소기관들)을 이동시키는 운동 단백질의 경우에서처럼 ATP의 비공유결합과 그 가수분해산물을 통해서 간접적으로 일어난다.

### 4. ATP의 재생

: 작업을 하는 생명체는 계속적으로 ATP를 사용하지만, ATP는 ADP에 인산을 첨가하여 재생될 수 있는 재생 가능한 자원이다. ADP를 인산화시키는 데 필요한 자유에너지는 세포 내의 발열 분해 반응(이화반응)으로부터 나온다.

: 이러한 무기 인산과 에너지의 순환을 ATP회로라고 부르기도 하며, 이는 세포의 에너지 생성과 에너지 소비 과정을 연계시킨다.

: 근육세포는 1분 이내에 전체 ATP를 모두 재순환시킨다. 이 전환율은 세포당 1초에 1천만 분자의 ATP가 소비, 재생된다는 뜻이다.

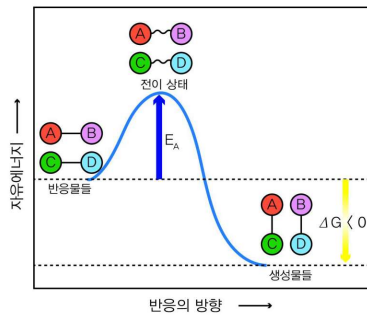




## 개념 6.4 효소는 에너지 장벽을 낮춤으로써 대사 반응을 촉진한다.

## 1. 활성화 에너지 장벽

- 활성화 에너지(activation energy,  $E_A$ ): 어떤 반응을 시작하기 위해 초기에 투입되는 에너지. 활성화 에너지는 대개 반응 분자들이 주변으로부터 받아들이는 열에너지(열)의 형태로 공급된다.
- 전이 상태(transition state): 분자가 결합을 끊기에 충분한 에너지를 흡수했을 때, 반응물이 도달하는 불안정한 상태



발열반응의 에너지 도표

- 1) 가상적인 분자 A, B, C, D로 표시하였다.
- 2) 위 반응은 열역학적으로 발열반응으로  $\Delta G$ 는 음의 값이다. 반응은 자발적이다.
- 3) 활성화 에너지는 반응 속도를 결정한다.
- 4) AB, CD가 주변으로부터 충분한 에너지를 흡수해야 불안정한 전이상태에 도달할 수 있다.
- 5) 전이상태의 결합이 절단되면 새로운 결합이 형성 될 수 있다. 생성물이 만들어지면서 에너지 방출됨.

## 2. 효소(enzyme, 생물학적 촉매)

### 1) 생물학적 촉매

- (1) 거대분자(대부분 단백질)이며, 반응에 의해 소모되지 않는 촉매(재사용, 1초에 수 천번 반응)이다.
- (2) RNA 촉매(리보자임)도 존재한다.

### 2) 효소는 대부분 단백질이다. 즉 단백질의 성격을 그대로 따른다!!!!

- (1) 전효소(holoenzyme) = 주효소(apoenzyme, 단백질) + 보조인자 (cofactor, 비단백)

#### ▶ 보조인자의 종류

- 1) 무기이온 :  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ 과 같은 금속원소. 산화환원을 반복한다.
- 2) 조효소(coenzyme) : 보조인자가 유기물 분자이면 조효소라고 한다. . 비타민이나 유기 영양분. NAD, FAD, 비타민들이 여기에 속한다.
- 3) 보결족 : 보조 인자 1) 2)이 효소와 공유 결합되면 보결족이라고 한다.

### 3) 기질 특이성이 있다. 효소와 반응하는 물질을 기질(substrate, S)라고 한다.

- (1) 효소는 기질과 결합해서 효소-기질 복합체(enzyme-substrate complex, ES)를 형성한다. 이 때 기질과 결합하는 효소의 부위를 활성부위(active site)라고 한다. 활성부위는 기질과 딱 맞는 구조를 가지고 있기 때문에 기질 특이성이 있다. 활성부위는 촉매작용이 일어나는 효소의 홈 부위이며, 보통 아미노산 몇 개에 의해 형성된다.

- (2) 유도 적합(induced fit) : 기질이 효소의 활성부위에 결합하면 단백질이 기질과 더 잘 맞는 구조로 변화 한다. 활성 부위 모양은 단단한 그릇처럼 생기지 않았다. 전체적인 모양은 어느 정도 정해져 있지만 약간의 역동적 상태(모양)를 가진다.

- (3) 기질과 효소의 결합은 대부분 수소결합이나 이온 결합 같은 약한 결합이다.

### 4) 최적의 pH, 온도 조건에서 효소는 최대 활성을 가진다.

효소는 단백질로 구성되어 있으므로 pH, 온도에 영향을 받는다.

### 5) 효소는 반응물들을 전이 상태에 쉽게 도달하게 한다.

- ▶ 전이 상태 : 화학 반응에서 계의 자유 에너지가 최대로 되는 상태.

### 6) 활성화 에너지를 감소시킨다. 반응 속도를 빠르게 해준다.

#### ▶ 활성화 에너지를 낮추는 기작

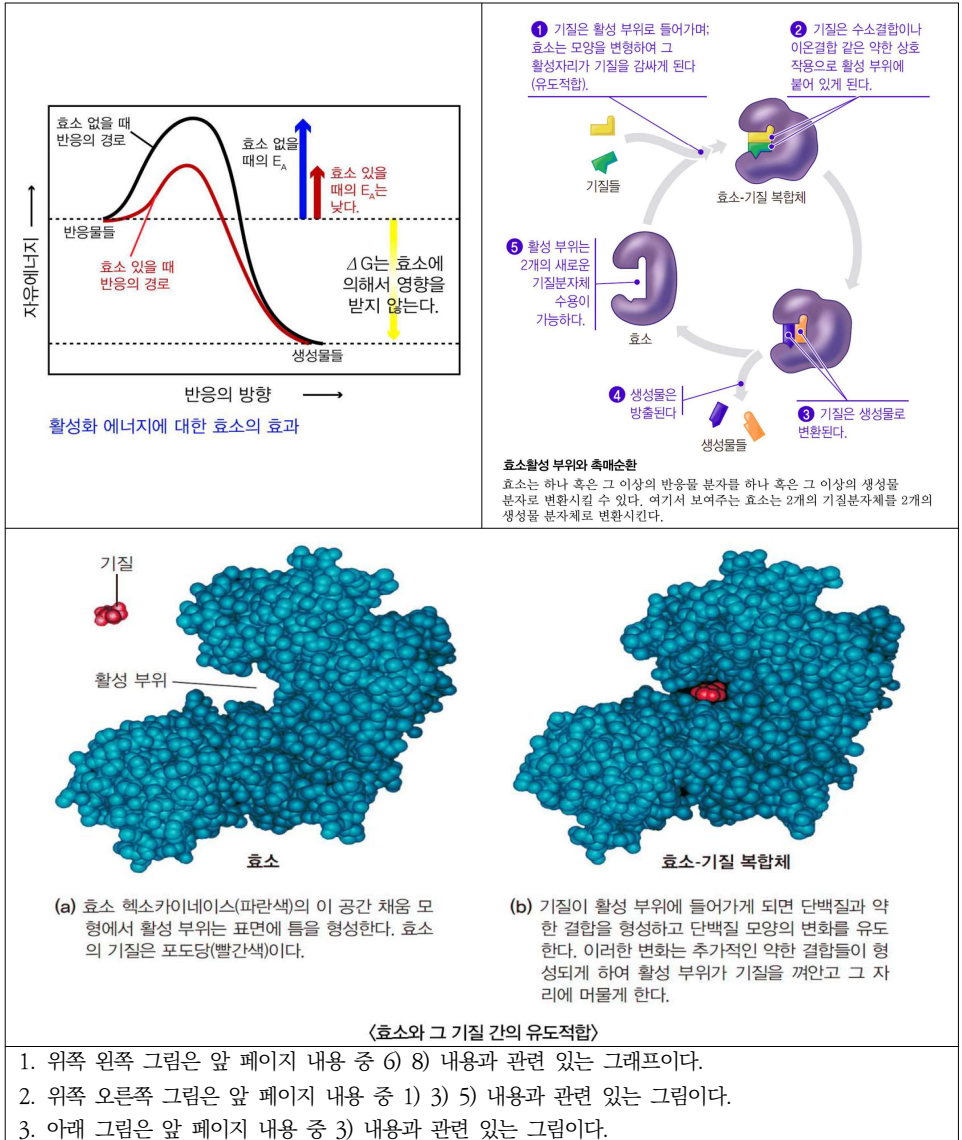
- (1) 2개 이상의 기질이 반응할 때, 적절하게 배치 해준다.
- (2) 기질을 전이 상태 모양으로 잡아준다.
- (3) 반응이 잘되는 미세 환경을 제공([예] pH).
- (4) 반응에 효소의 활성부위가 직접 참여 ([예] 일시적 공유 결합)한 형태를 잃는 과정.

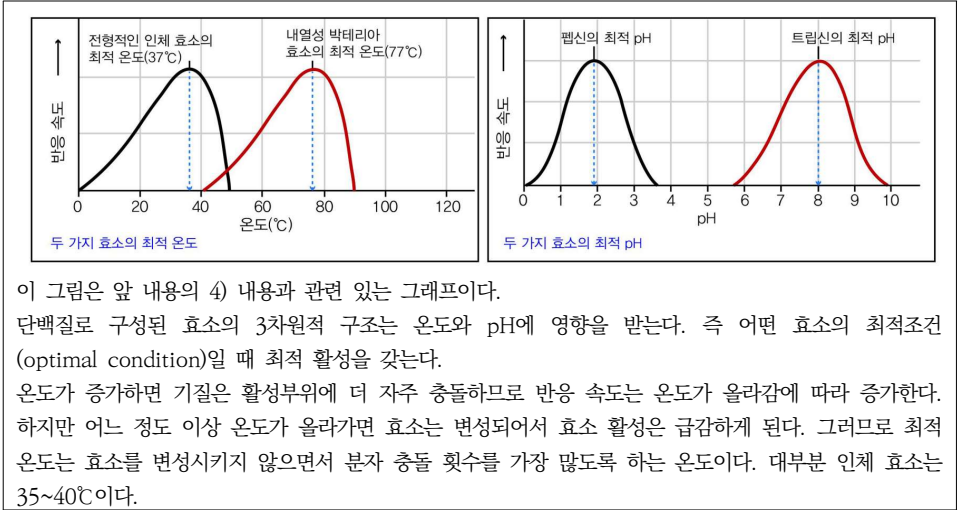
### 7) 평형농도 및 평형상수는 변화시키지 않고, 평형농도에 빨리 도달하게 한다.

### 8) 효소는 반응의 $\Delta G$ 값을 변화시키지 않는다.

### 9) 효소 반응은 대부분 가역적이며, 조건에 따라 정반응, 역반응 모두 가능하다.

### 10) 생물의 물질대사 조절은 효소로 한다. 효소의 양을 조절하거나 효소의 활성을 조절해서 반응 속도를 조절한다. 온도가 올라가면 반응 속도는 증가하지만 사람의 체온은 일정해야 하므로 온도로 반응 속도를 조절하지 않는다.





이 그림은 앞 내용의 4) 내용과 관련 있는 그래프이다.

단백질로 구성된 효소의 3차원적 구조는 온도와 pH에 영향을 받는다. 즉 어떤 효소의 최적조건 (optimal condition)일 때 최적 활성을 갖는다.

온도가 증가하면 기질은 활성부위에 더 자주 충돌하므로 반응 속도는 온도가 올라감에 따라 증가한다. 하지만 어느 정도 이상 온도가 올라가면 효소는 변성되어서 효소 활성은 급감하게 된다. 그러므로 최적 온도는 효소를 변성시키지 않으면서 분자 충돌 횟수를 가장 많도록 하는 온도이다. 대부분 인체 효소는 35~40℃이다.

## 개념 6.5 효소 활성의 조절은 물질 대사 제어를 돕는다.

## 1. 효소 조절의 방식

- 가역적 조절: 효소에 가역적 조절 분자가 붙거나 떨어져서 활성을 조절한다.
- 비가역적 조절: 효소에 비가역적 조절 분자가 붙으면 떨어지지 않는다.
- 경쟁적 조절: 효소의 조절 분자가 효소의 활성부위에 붙어서 조절.
- 비경쟁적 조절: 효소의 조절 분자가 효소의 활성부위가 아닌 곳에 붙어서 조절.
- 저해제: 효소의 기능을 억제하는 물질.
- 촉진제: 효소의 기능을 촉진하는 물질.

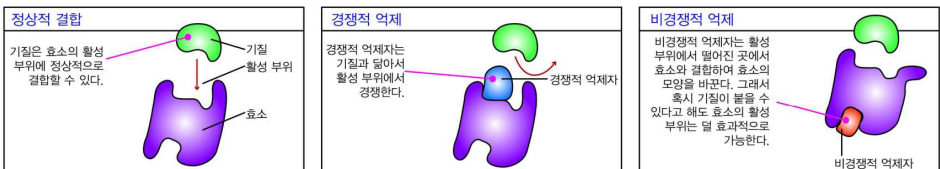
## 1) 가역적 경쟁적 저해제(competitive inhibitor)

- 경쟁적 저해제는 기질과 유사한 모양을 가짐
- 경쟁적 저해제는 효소의 활성 부위에 들어갈 수 있어서 기질과 경쟁함으로써 효소 반응을 저해한다.
- 기질의 농도를 경쟁적 저해제보다 아주 많게 하면 저해제의 효과는 거의 안나타난다.

## 2) 가역적 비경쟁적 저해제(noncompetitive inhibitor)

- 비경쟁적 저해제는 기질과 다른 모양을 가지고 있음.
- 효소의 활성부위가 아닌 자리(다른 자리)에 결합해 효소의 반응을 저해한다.
- 다른 자리에 비경쟁적 저해제가 붙으면 효소의 전체 모양, 활성부위의 모양이 바뀌어 기질과 효소의 결합 및 반응을 억제하게 된다.

## 효소활성의 저해

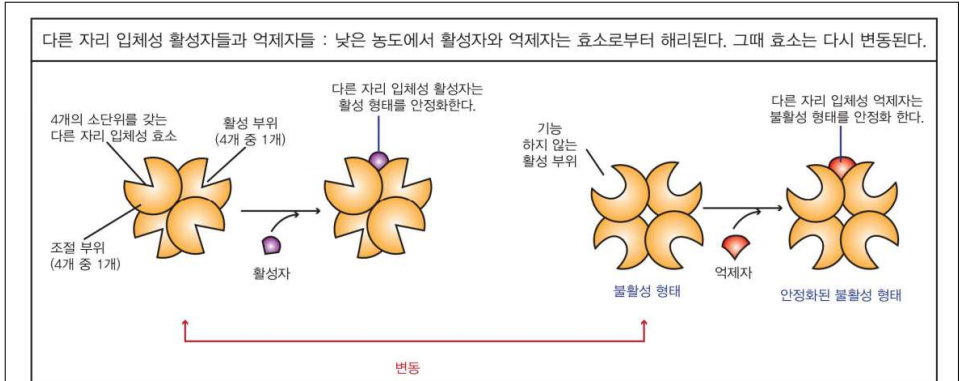


## 3) 비가역적 경쟁적 저해제

- 예 1) 신경가스 사린(sarin): 아세틸콜린 에스테레이스 효소의 활성부위에 존재하는 아미노산인 세린의 R기에 공유결합으로 붙는다.
- 예 2) 신경계 핵심효소 저해제: 살충제 DDT, 파라티온(parathion)
- 예 3) 페니실린은 박테리아 세포벽 합성 효소의 활성 부위에 공유결합 한다.

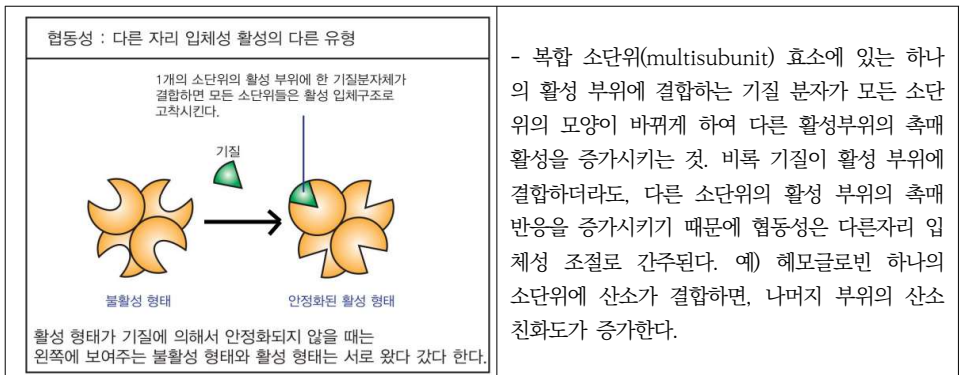
## 2. 효소의 다른자리 입체성 조절

- 1) 세포내의 효소 활성 조절은 대부분 **가역적 비경쟁적 저해제/활성자**로 한다.
- 2) **다른자리 입체성조절(allosteric regulation)**: 활성부위가 아닌 자리에 결합한 조절 분자로 단백질(효소 포함)의 기능이 영향을 받는 모든 경우를 말한다. 즉, 가역적 비경쟁적 저해제/활성자 모두 다른자리 입체성 조절자라고 할 수 있다.



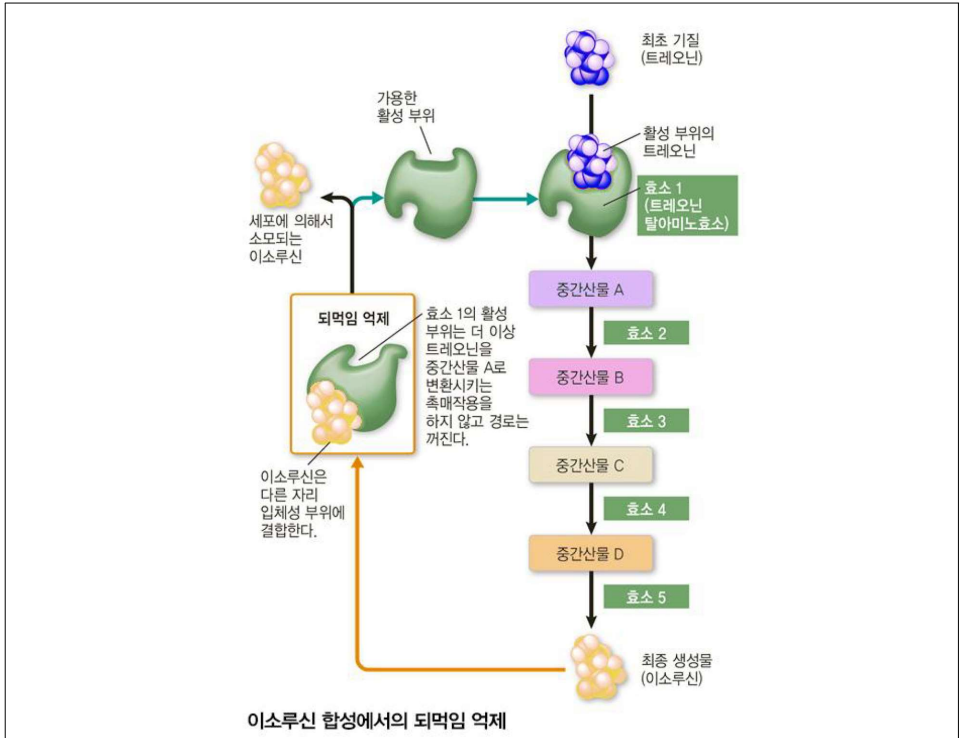
1. 다른자리 입체성으로 조절되는 대부분의 효소들은 2개 이상의 소단위로 구성되어 있으며, 각 소단위는 저마다의 활성 부위를 갖는 단일 폴리펩타이드 사슬로 구성된다.
2. 전체 복합체는 활성형과 불활성형 사이를 왔다 갔다 한다.
3. 활성 혹은 저해 조절 분자들은 조절 부위(혹은 다른자리 입체성 부위라고 함)에 결합한다.
4. 활성자(activator)가 조절 부위에 결합하면 효소는 활성형으로만 존재하게 된다. 예) ADP
5. 억제자(inhibitor)가 조절 부위에 결합하면 효소의 불활성형 형태가 안정화 된다. 예) ATP
6. 위 그림에서 기질(substrate)은 그려져 있지 않지만 활성 부위에 꼭 들어맞는 모양, 피자 1/6 조각의 모양을 하고 있을 것이다.

### 3) 협동성(cooperativity): 다른자리 입체성조절의 활성화의 또 다른 방식.



## 4) 되먹임 억제(feedback inhibition)

- 물질 대사 조절의 통상적인 방식 중 하나이다.
- 다른자리 입체성 억제 방식 중 하나이다.
- 대사의 최종 생성물이 경로의 초기의 효소에 결합해(다른자리에 결합) 물질 대사 경로가 중단되거나 억제된다.



# 2단원 세포생물학

## 7장 세포의 구조와 기능



## 개념 7.1 세포 연구를 위해 현미경과 생화학적 도구를 이용한다. ]

## 1. 현미경

〈 현미경의 3 요소 〉

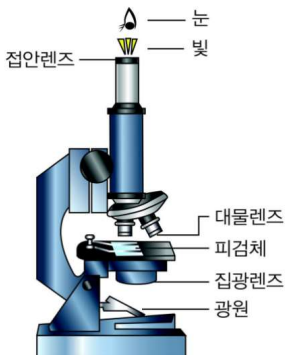
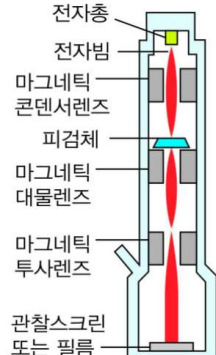
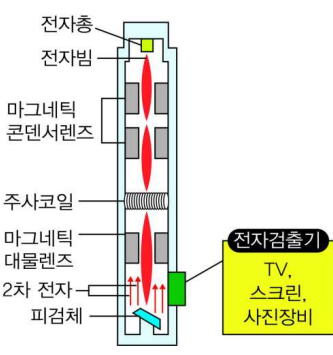
## 1) 배율(magnification)

- (1) 물체의 이미지와 그것의 실제 크기의 비율. (접안렌즈 × 대물렌즈)의 배율로 결정된다.
  - (2) 확대율이 2배로 증가하면, 어두워지고, 시야의 직경은 1/2, 보이는 면적은 1/4 감소한다.
  - (3) 배율이 높아질수록 상이 흐려 보인다.
- 2) 대비(contrast) : 시료 내 지역의 차이점을 강조한 것, 염색을 통해 대비를 증가시킴.
- 3) 해상력(resolution) : 이미지가 또렷하게 보이는 정도. 가까운 거리의 두 점이 확실히 2개의 점으로 보이는 최소거리. 광학현미경의 해상력 한계는  $0.2\mu\text{m}(200\text{nm})$ 이다.

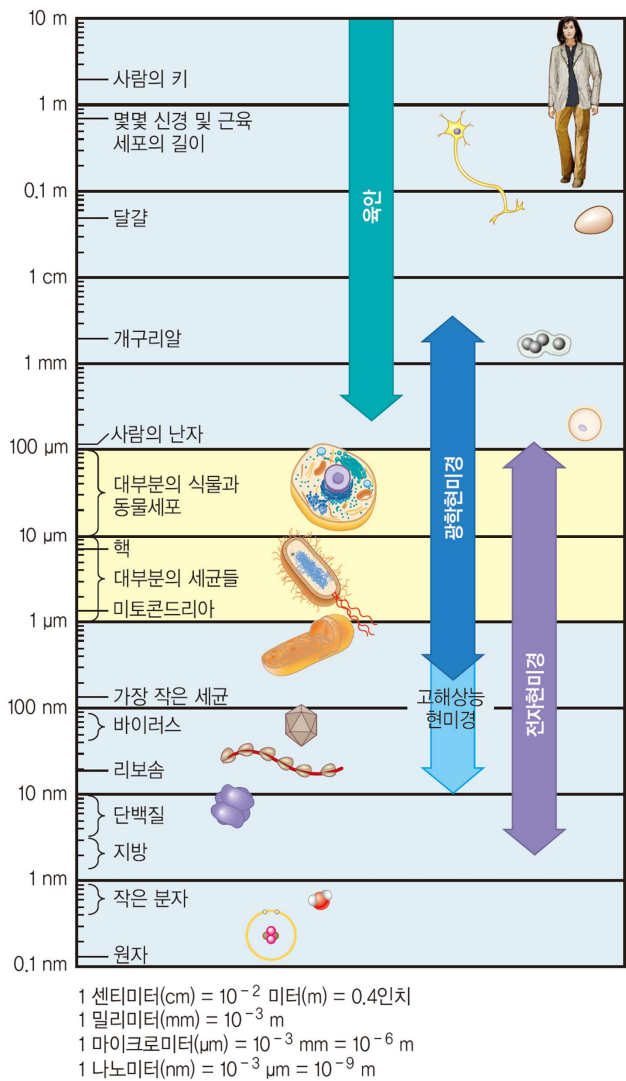
▶ 분해능(d) = 두 점이 두 점으로 보이는 최소거리 =  $(0.61\lambda)/n \sin\theta$

- $\lambda$  : 광원의 파장으로 전자의 파장과 같이 짧은 파장일수록 분해능(d)의 값이 작아져 분해능이 우수하다
- $N(\text{numerical aperture}) = n \times \sin\theta$
- $n$  : 각 대물렌즈의 고유한 수치로 단위 면적당 광원이 유입되는 개구수를 말하며 렌즈의 밀도가 고르고 표면적이 매끄러울수록 개구수가 커진다.
- $\theta$  : 시료를 통과한 광원이 대물렌즈에 유입되는 입사각의 절반 값으로  $\theta$ 가  $90^\circ$ 까지 커질수록  $\sin\theta$ 의 값도 커지므로 개구수가 증가하여 분해능이 좋아진다. 즉, 작동거리에 밀도가 큰 오일을 채우면  $\sin\theta$ 가 증가하여 분해능이 좋아진다.

## 2. 현미경의 구조

광학현미경	투과전자현미경(TEM)	주사전자현미경(SEM)
 <p>접안렌즈, 눈, 빛, 대물렌즈, 피검체, 집광렌즈, 광원</p>	 <p>전자총, 전자빔, 마그네틱 콘덴서렌즈, 피검체, 마그네틱 대물렌즈, 마그네틱 투사렌즈, 관찰스크린 또는 필름</p>	 <p>전자총, 전자빔, 마그네틱 콘덴서렌즈, 주사코일, 마그네틱 대물렌즈, 2차 전자, 피검체, 전자검출기 (TV, 스크린, 사진장비)</p>

3. 세포의 크기 범위: 대부분의 세포는 지름이 1~100 $\mu$ m이다. 세포 소기관은 바이러스 처럼 작다. 왼쪽 스케일은 로그 스케일이다.

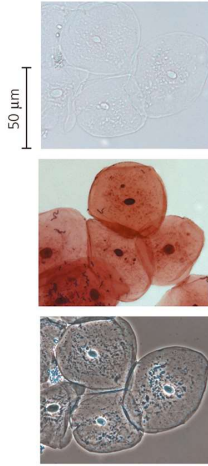


## 4. 현미경의 종류

현미경	해상력	특징
광학현미경(light microscope, LM)	200nm	세포소기관을 볼 수 없음. 세포 관찰시 세포 죽이지 않아도 됨 다양한 종류의 광학현미경이 있다.
주사전자현미경(scanning electron microscope, SEM)	약 2nm	시료 제작 시 세포 죽음. 시료표면 연구에 적합. 얇은 금막으로 코팅된 샘플 표면에 전자빔 주사.
투과전자현미경(transmission electron microscope, TEM)	약 2nm	세포 내부의 초미세구조 연구 시 사용. 매우 얇게 잘려진 시료에 전자빔을 쏜 후 통과된 정도 측정. 시료 제작 시 세포 죽음.

## 광학현미경(LM)

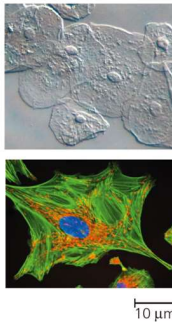
**명시야(염색하지 않은 시료).** 빛이 시료를 직접 통과한다. 세포가 원래 색소를 가지지 않거나 인위적으로 염색되지 않는다면 대비되어 보이지 않는다. (처음 네 개의 광학현미경 사진은 사람의 구강 상피세포를 보여준다. 첫 번째 사진의 눈금자는 모든 사진에 적용됨.)



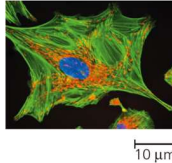
**명시야(염색한 시료).** 다양한 염료들은 대비를 향상시킨다. 대부분의 염색 과정들은 세포들이 고정되는(보존되는) 과정을 필요로 하기 때문에 세포는 죽게 된다.

**위상차(phase-contrast)현미경.** 시료 자체의 다양한 밀도 차이를 증폭하여 염색하지 않은 세포가 대비되어 보인다. 특히 살아 있거나 색소가 없는 세포에 유용하다.

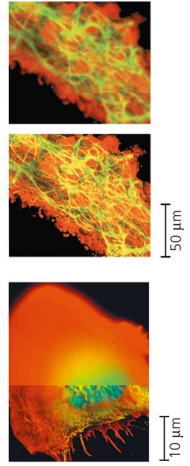
**차동간섭위상차(differential-interference contrast, Normarski)현미경.** 위상차현미경과 같이 밀도차를 증가시켜 이미지를 3D에 가깝게 얻을 수 있다.



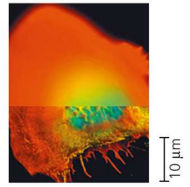
**형광(fluorescence)현미경.** 형광염색약이나 항체로 세포의 특정 분자를 표지하여 세포 내에서의 위치를 확인할 수 있다. 몇몇 세포들은 스스로 형광을 내는 물질을 가지고 있기도 한다. 이러한 형광물질은 UV를 흡수하여 가시광선을 방출한다. 염의 그림은 형광으로 표지한 자궁세포로 핵 물질은 파란색, 미토콘드리아는 오렌지색, "세포 골격"은 초록색을 띠고 있다.



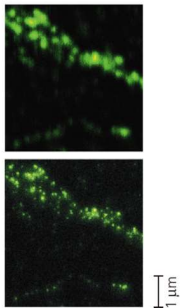
**공초점(confocal)현미경.** 위의 사진은 신경조직에 대한 일반 형광현미경 상으로 신경세포는 녹색, 보조세포(support cell)는 노란색, 겹쳐지는 부분은 노란색을 나타낸다. 아래 사진은 같은 조직에 대한 공초점현미경 상을 보여준다. 레이저를 이용한 광학적 절단기술은 두꺼운 시료로부터 초점에서 벗어난 위치에서 나오는 빛을 제거하여 단면의 형광을 보여준다. 여러 다른 단면의 상을 합쳐 3차원으로 재구성된 상을 만들 수 있다. 일반 형광현미경으로 찍는 상은 초점에서 벗어난 빛을 제거하지 못해 흐려 보인다.



**디콘볼루션(deconvolution)현미경.** 두 부분으로 나누어진 사진의 뒷부분은 백혈구 세포의 속까지 보여주는 편집된 형광현미경 사진이다. 아래는 디콘볼루션 소프트웨어를 이용해서 각각 다른 면에서 찍은 흐릿한 사진을 재구성하여 만든 사진이다. 이 과정을 통해 초점이 맞지 않는 빛을 기술적으로 제거하여 더 선명한 3D 이미지를 얻을 수 있다.



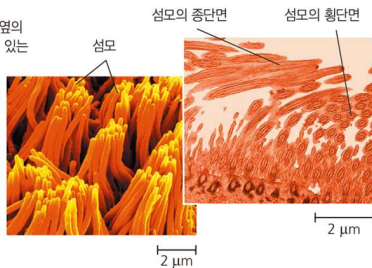
**고해상능(super-resolution)현미경.** 위의 사진은 지름이 40 nm 되는 신경세포의 소낭에 들어 있는 물질을 형광 표지하여 공초점현미경으로 찍은 사진이다. 초록빛이 감도는 노란색의 점들은 흐릿한데, 그 이유는 지름 40 nm가 일반 광학현미경의 200 nm 해상능의 범위에 있지 않기 때문이다. 아래 사진은 고해상능현미경으로 같은 세포를 찍은 것이다. 정교한 장치가 형광물질의 빛을 밝히는 데 사용되었고 따라서 이들의 위치도 정확히 알 수 있다. 다른 위치에 있는 많은 분자들로부터 오는 정보를 합치면 해상능의 한계를 뛰어넘을 수 있으며, 결과적으로 사진에서처럼 선명한 이미지의 초록빛이 감도는 노란색 점들을 볼 수 있다.



## 전자현미경(EM)

**(a) 주사전자현미경(scanning electron microscopy, SEM).**

주사전자현미경에서 얻은 사진은 시료의 표면이 3D 이미지로 보인다. 옆의 주사전자현미경 사진은 토끼의 호흡기관으로 세포 표면이 섬모로 덮여 있는 것을 보여준다. 섬모의 움직임은 흡입된 피라기들이 기도에서 빠져나오도록 돕는다. 우측의 SEM 및 TEM 사진은 인위적으로 채색된 것이다. (전자현미경 상은 흑백이지만, 특정 구조를 강조하기 위하여 인위적으로 색깔을 넣었다.)



책 속의 약어:

LM = 광학현미경

SEM = 주사전자현미경

TEM = 투과전자현미경

**(b) 투과전자현미경(transmission electron microscopy, TEM).**

투과전자현미경은 시료의 얇은 단면을 보여준다. 옆의 사진은 기관 세포의 단면으로서, 그 내부구조를 보여준다. 투과전자현미경 사진을 보면 어떤 섬모는 종단면으로, 다른 섬모는 횡단면으로 절단되어 있는 것을 볼 수 있다.

## 5. 세포 분획법

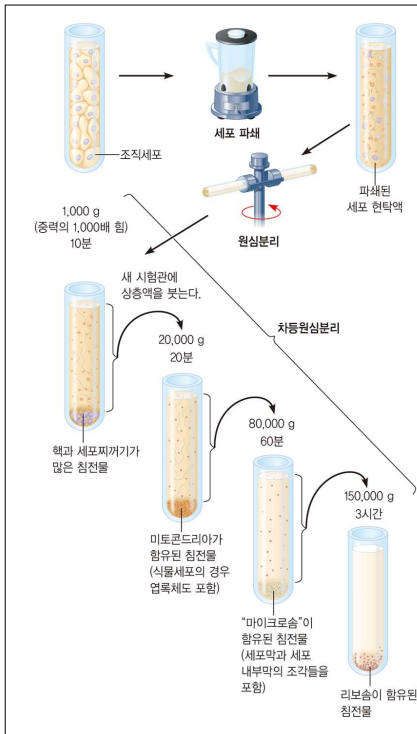
1) 세포 분획법(cell fractionation): 세포를 파괴하여 원심 분리시킨 다음 세포 소기관들을 분리해 내는 방법이다.

세포를 세포 안의 각각의 구성 요소로 분리하는 방법으로 세포소기관의 기능과 화학조성을 조사하기 위해 실시한다. 호모지나이저(균질기)를 사용하여 동식물의 조직을 짓이겨 세포를 파괴하여 얻어지는 현탁액을 homogenate라고 한다. 이 호모제네이트 속에서 각 세포 안의 구성요소를 크기·밀도·모양 등에 따라 분획한다. 분획법으로는 원심분획법과 밀도기울기원심법이 이용된다.

크기에 따라 세포를 분획하는 방법으로는 원심분획법을 사용한다. 원심분획법이란 호모제네이트에 원심력의 세기를 점차 변화(차등원심분리, differential centrifugation)시키면서 큰 세포기관부터 분획하는 것이다. 원심력의 세기가 커질수록 **미토콘드리아, 마이크로솜, 리보솜, 원형질의 과립 성분 순으로 침전**된다. 좀 더 정밀하게 분획하기 위해서는 밀도의 차이를 이용하는 밀도기울기원심법을 사용한다. 이 방법은 크기가 일정하지 않은 세포기관을 정밀하게 분리하고자 할 때 쓰인다. 세포의 핵은 다른 세포기관에 비해 비중이 매우 크므로 농도가 높은 설탕용액 속에서도 침전하는 성질을 이용하여 분획한다.

- 원심 분리(centrifugation)

부유물이 있는 불균일 혼합물을 내버려 두면 중력에 의해 밀도가 높은 물질의 침전이 일어난다. 혼합물을 튜브에 넣고 빠른 속도로 회전시키면 원심력에 의해 침전이 더 빠르게 일어난다. 이와 같은 방법으로 혼합물을 분리하는 방법이 원심분리이다. 원심분리법을 이용하면 중력에 의한 단순 침전 방법보다 훨씬 빠르며, 튜브 바닥에 거의 완벽한 침전이 만들어진다.



- 세포분획은 세포 내의 구성물질을 크기나 밀도 차를 이용하여 분리하기 위해 이용한다.

- 방법

- 1) 세포를 파쇄기에 넣고 부순다.
- 2) 그 결과 얻어진 세포 현탁액(cell homogenate)을 원심분리기에 넣고 원심분리한다.
- 3) 침전물을 모아두고 상층액을 다른 튜브로 옮겨 속도를 높이고 더 긴 시간동안 원심 분리한다.
- 4) 이런 과정을 몇 번 더 반복한다.
- 5) 이런 차등 원심분리를 이용하면 단계적으로 서로 다른 세포내 구성 물질을 얻을 수 있다.

- 결과

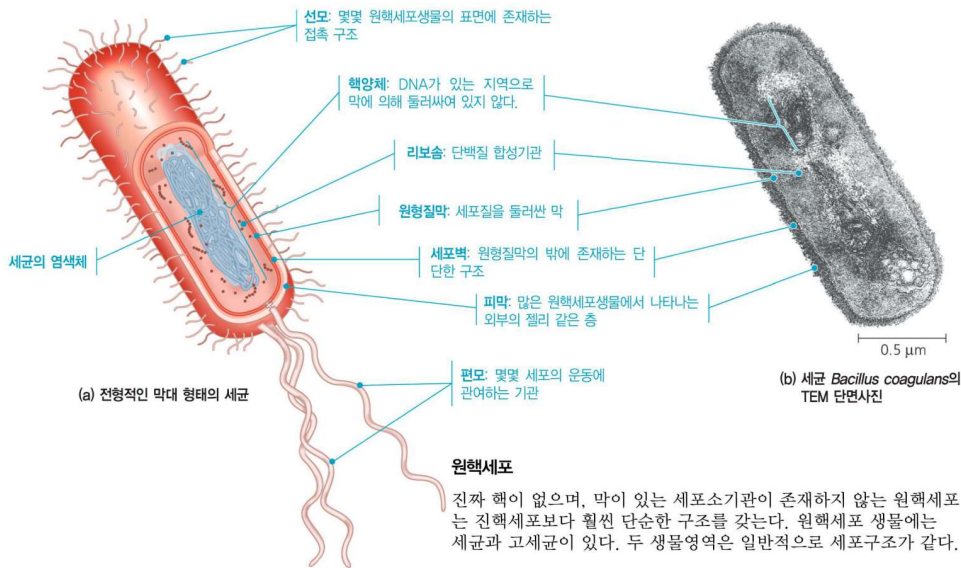
- 1) 초창기의 연구자들은 현미경을 이용하여 각 침전물에서 소기관을 찾아낸 후, 이들의 기능을 결정하기 위해 생화학적 방법을 이용하였다.
- 2) 초기의 실험들로 오늘날의 연구자들이 특정한 세포소기관을 얻어 연구하고자 할 때 어떤 세포 분획을 얻어야 하는지 알 수 있게 되었다.

개념 7.2 진핵세포들은 내부 구획을 나누는 내막을 갖는다.

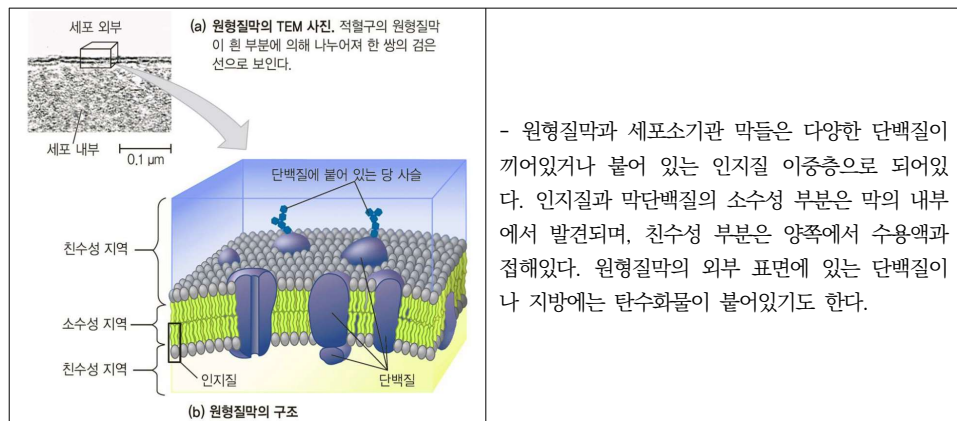
1. 원핵세포(prokaryotic cell)와 진핵세포(eukaryotic cell)의 비교

	원핵세포(진정세균영역과 고세균영역)	진핵세포
공통점	1. 세포막(원형질막)으로 싸여 있다. 2. 막 내부에 반유동성의 세포기질(cytosol)이 있다. :세포기질은 세포에서 핵과 세포소기관을 뺀 영역, 세포질은 세포에서 핵을 뺀 영역. 3. DNA 형태로 유전자를 운반하는 염색체(chromosome)를 가진다. 4. 리보솜(ribosome)을 갖고, 리보솜에서 단백질을 만든다.	
차이점	핵이 없다. 대신 핵양체(nucleoid)가 있음	핵(nucleus)이 있다.
	막성 세포소기관(organelle)이 없다.	세포질(cytoplasm)내에 막으로 둘러싸인 세포소기관이 있다.
	세포 크기 1~10 $\mu$ m 가장 작은 세포인 마이코플라즈마(mycoplasma)는 지름이 0.1~1 $\mu$ m	세포 크기 10~100 $\mu$ m
	세포골격이 없다.	세포 골격이 있다.

2. 원핵세포

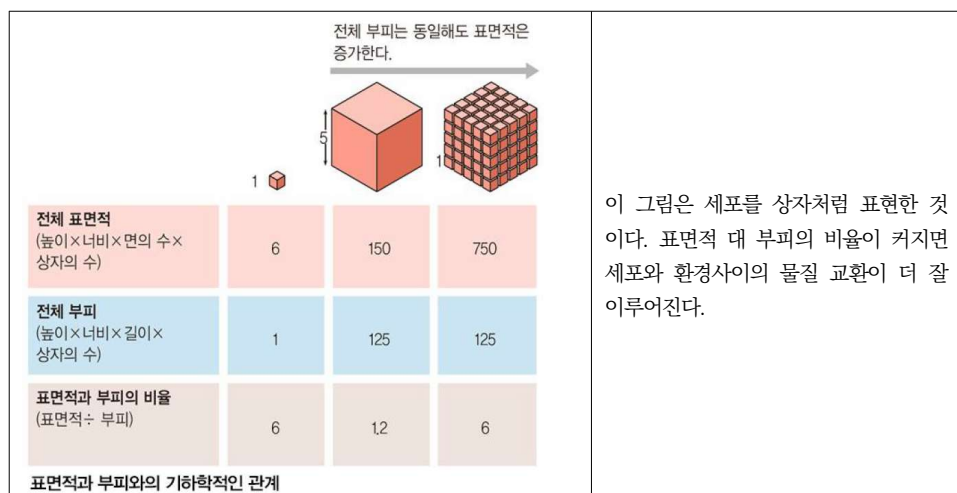


3. 원형질막(plasma membrane): 모든 세포의 경계면에 존재해 선택적 장벽으로 작용하여 세포 전체에 산소와 양분을 공급하고 노폐물을 제거하게 한다.



#### 4. 세포의 크기 제한

- 1) 단위 면적의 원형질막을 통해 1초 동안 통과할 수 있는 물질의 양은 한정적이다.
- 2) 세포가 생명을 유지하기 위해서는 원형질막을 통과해서 물질들이 이동이 필요하다.
- 3) 세포의 크기가 증가하면 표면적은 반지름의 제곱에 비례해서, 부피는 세제곱에 비례해서 커진다.
- 4) 세포의 모든 부피를 감당하기 위해서는 충분한 표면적이 필요하므로 대부분의 세포가 현미경적 크기로 작아지거나, 신경세포처럼 얇고 길어질 수밖에 없다.





5. 진핵세포의 개관적인 모습

1) 동물세포(일반적인 세포의 단면도, 다양한 세포가 존재한다)

