

완벽한 자율학습서

완자

**자율학습시
비상구
정답친해로
53**

정확한 답과 친절한 해설

생명과학 II



I. 생명 과학의 역사

1 생명 과학의 역사

01 생명 과학의 발달과 연구 방법

개념 확인 문제

15쪽

1 생명 과학 2 세포 3 다윈 4 멘델

1 ㉠ 자연 발생설, ㉡ 생물 속생설 2 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × (5) × 3 (1) 다, 르 (2) L (3) ㄱ (4) 마, 바 4 (1) ㉠ (2) ㉠ (3) ㉡

1 고대부터 사람들은 생물이 흙, 공기와 같은 무기물로부터 저절로 발생한다는 자연 발생설을 믿었으나, 파스퇴르가 백조목(S자형) 플라스크를 이용하여 생물이 기존의 생물에서 생긴다는 것을 입증함으로써 생물 속생설을 확립하였다.

2 (1) 17세기에 현미경이 발명되면서 세포와 미생물을 관찰할 수 있게 되었다.

(2) 플레밍은 푸른곰팡이에서 최초의 항생 물질인 페니실린을 발견하였다.

(3) 환경에 적응한 생물이 살아남아 자손을 남기며 진화한다는 학설은 다윈이 주장한 자연 선택설이다.

(4) 멘델은 유전의 기본 원리를 발견하였으며, 에이버리에 의해 DNA가 유전 물질이라는 것이 증명되었다.

(5) 인체를 해부하여 해부학의 발달에 영향을 준 것은 베살리우스이다. 하비는 혈액 순환의 원리를 발견하였다.

3 (1) DNA가 이중 나선 구조로 되어 있다는 것은 왓슨과 크릭에 의해 밝혀졌다.

(2) 린네는 식물과 동물을 체계적으로 분류하는 생물 분류 방법을 제안하고, 종의 개념을 명확히 하였다.

(3) 혹은 자신이 제작한 현미경으로 코르크 조각을 관찰하고, 이때 발견한 구조가 작은 방과 같다고 하여 이를 세포라고 명명하였다.

(4) 호지킨과 헉슬리는 동물에서 발생하는 전기적 현상을 측정하는 기술을 이용하여 신경 세포에서 막전위의 변화를 측정하고 이를 통해 신경 전도의 원리를 발견하였다.

4 (1) 파스퇴르는 탄저병 등의 백신을 개발하여 감염성 질병을 예방할 수 있는 방법을 제안하였다.

(2) 란트슈타이너가 혈액형을 발견함으로써 수혈의 부작용과 위험성을 줄일 수 있게 되었다.

(3) 멀리스가 DNA 증폭 기술을 개발하여 DNA의 특정 부분을 대량으로 복제하고 사람 간의 DNA 염기 서열 차이를 비교하여 개인을 식별할 수 있게 되었다.

대표 자료 분석

16쪽

자료 1 1 ㉠ 멘델, ㉡ 모건 2 (나) → (마) → (라) → (가) → (다) 3 (1) × (2) × (3) × (4) ○ (5) ○ (6) ×

자료 2 1 연역적 2 백신을 발견하고 효과를 입증하여 감염성 질병을 예방하는 데 기여하였다. 3 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ×

①-1 멘델은 완두를 이용한 실험으로 유전의 기본 원리를 발견하였으며, 모건은 초파리의 교배 실험으로 유전자와 염색체의 관계를 밝혔다.

①-2 근대 유전학은 (나) 유전의 기본 원리 발견으로부터 시작되었으며, (마) 유전자가 염색체에 있다는 것이 밝혀진 후 DNA가 유전 물질이라는 것이 규명되었다. 이후 (라) DNA 이중 나선 구조가 밝혀지고, (가) 유전부호가 해독되었으며 (다) DNA 재조합 기술이 개발되어 생명 공학의 발달에 영향을 주었다.

①-3 (1) 유전부호 해독은 DNA와 RNA의 3개 염기 조합이 어떤 아미노산을 지정하는지를 밝히는 것이다. 사람의 DNA 염기 서열은 2000년대에 밝혀졌다.

(2) 멘델은 유전의 기본 원리를 밝혔지만 형질을 결정하는 유전자가 무엇이며 세포의 어디에 어떤 형태로 존재하는지는 알지 못하였다.

(3) DNA를 대량으로 복제할 수 있는 DNA 증폭 기술은 DNA 재조합 기술 개발 이후에 개발되었다.

(4) 왓슨과 크릭은 염기 조성 비율의 특징, X선 회절 사진 등의 자료를 분석하여 DNA 이중 나선 구조를 밝혔으므로 귀납적 탐구 방법을 사용하였다.

(5) 유전자가 염색체에 있다는 것이 알려진 이후에 DNA가 유전 물질임이 입증되었다.

(6) 사람의 유전체 분석으로 세포에 있는 DNA 염기 서열을 모두 밝혔지만 유전자의 기능은 모두 알아내지 못했다.

②-1 파스퇴르는 가설을 세우고 이를 실험으로 검증하는 연역적 탐구 방법을 사용하였다.

②-2 파스퇴르는 백신을 발견하여 감염성 질병을 예방하는 데 크게 기여하였다.

②-3 (1) 파스퇴르는 백조목 플라스크를 이용한 실험에서 미생물이 이미 존재하는 미생물로부터 생긴다는 것을 증명하였다.
 (2) 파스퇴르는 '백신이 질병을 예방하는 데 효과가 있을 것이다.'라는 가설을 세우고 이를 실험을 통해 증명하였다.
 (3) 백신은 세균의 독성을 없애거나 약화시킨 것이다.
 (4) 세균이 감염병의 원인이라는 것은 코흐에 의해 밝혀졌다.

내신 만점 문제						17쪽~19쪽
01 ⑤	02 ④	03 ③	04 ⑤	05 ②	06 ⑤	
07 ①	08 ⑤	09 ②	10 ④	11 해설 참조		
12 ⑤	13 ⑤	14 ④				

01 ㄱ. 생명 과학은 생명 현상의 특성과 생명의 본질을 밝히고, 생물학적 지식을 다양한 분야에 응용하는 종합적인 학문이다.

ㄴ. 인류는 생명 과학에 대한 지식이 없을 때부터 의식주와 같은 인간의 생활에 생물을 이용하였다.

ㄷ. 아리스토텔레스는 생물의 특징을 바탕으로 생물을 분류하였고, 이는 생명 과학이 탄생하는 계기가 되었다.

02 ① 혹은 자신이 만든 현미경으로 코르크를 관찰한 후 발견한 구조를 세포라고 명명하였으며, ② 모건은 유전자가 염색체의 일정한 위치에 있다는 유전자설을 발표하였다. ③ 레이우엔훅은 현미경으로 미생물을 발견하였으며, ⑤ 호지킨과 헉슬리는 오징어의 신경을 연구하여 신경 전도 원리를 발견하였다.

▣ **바로알기** ④ 파스퇴르는 생물 속생설을 입증하고, 백신을 발견하였다. 감염병의 원인이 세균이라는 것을 규명한 사람은 코흐이다.

03 ㄱ. 현미경의 발명으로 다양한 세포를 관찰할 수 있게 되었다.

ㄷ. 슈라이덴과 슈반은 세포설의 확립에 기여하였다.

▣ **바로알기** ㄴ. 코흐는 결핵균을 발견하였다. 하지만 항생 물질인 페니실린을 발견하여 항생 물질을 이용한 치료법의 개발에 기여한 생명 과학자는 플레밍이다.

04 ㄴ. 호지킨과 헉슬리는 동물에서 발생하는 전기적 현상을 측정하는 기술을 이용하여 신경 세포에서 막전위의 변화를 측정하고 이를 통해 신경 전도의 원리를 발견하였다.

ㄷ. 서덜랜드는 호르몬 작용 기작을 밝혀내면서 내분비 생리학 발달에 기여하였다.

▣ **바로알기** ㄱ. (가)는 하비, (나)는 베살리우스, (다)는 호지킨과 헉슬리, (라)는 서덜랜드의 업적이다.

05 **품** **품** **문제 분석**

- (가) 린네가 생물 분류 체계를 정립하였다.
↳ 1750년대 - 생물 분류 방법을 제안하고 분류 체계 정립
- (나) 다윈이 자연 선택에 의한 진화론을 확립하였다.
↳ 1850년대 - 자연 선택에 기반한 진화론 확립
- (다) 라마르크가 용불용설로 생물의 진화를 설명하였다.
↳ 1800년대 - 용불용설에 의한 진화론 주장
- (라) 진화의 다양한 요인을 연구하여 종합적인 진화론이 제시되었다.
↳ 1920년대 - 종합적인 진화론 등장

(가) 린네에 의해 생물 분류 체계가 정립되었고, 이후 (다) 라마르크의 용불용설, (나) 다윈의 자연 선택설이 제안되었으며, (라) 현재는 다양한 요인에 의한 종합적인 진화론이 등장하였다.

06 ㄴ. 왓슨과 크릭이 DNA 이중 나선 구조를 규명한 후에 유전부호가 해독되었다.

ㄷ. 에이버리는 폐렴 쌍구균에서 형질 전환을 일으키는 물질이 무엇인지를 연구하여 DNA가 유전 물질임을 입증하였다.

▣ **바로알기** ㄱ. 멘델은 완두의 교배 실험으로 유전의 기본 원리인 분리의 법칙과 독립의 법칙을 밝혔다. 염색체의 일정한 위치에 유전자가 있다는 유전자설을 주장한 것은 모건이다.

07 코헨과 보이어는 DNA 조각을 플라스미드에 삽입하여 새로운 재조합 플라스미드를 만들고 이를 대장균에 도입하는 DNA 재조합 기술을 개발하였다.

08 ㄱ. 세포 연구는 세포 수준에서 다양한 생명 현상을 규명하는 데 기초가 된다. 세포 분열에 대한 지식은 노화나 암과 같은 질병 연구에 활용되고, 세포 연구는 줄기세포 연구의 기초가 된다.

ㄴ. 생리학이 발달하여 생물의 기능이 나타나는 원리를 규명함에 따라 질병을 진단하고 치료할 수 있게 되었다. 또한 생리학 지식은 건강과 운동 분야의 과학적 관리에 응용된다.

ㄷ. 진화학은 생명 과학뿐 아니라 철학, 사회학, 심리학과 같은 다양한 학문에 영향을 주었다.

09 ㄱ, ㄴ. 자손은 부모로부터 유전자를 물려받으므로 DNA에서 일부 반복되는 염기 서열을 증폭시켜 얼마나 일치하는지를 비교하면 친자 여부를 확인할 수 있다. 이와 같은 DNA 지문 검사는 유전의 원리를 알아내고, 유전 물질을 분자 수준에서 규명하는 유전학과 분자 생물학의 발달로 가능해졌다.

▣ **바로알기** ㄴ. 생리학은 심장 박동과 혈액 순환 원리, 신경전도 원리, 호르몬의 작용 기작 등과 같은 생리 작용을 연구하는 분야이다.

ㄷ. 미생물학은 미생물을 연구하는 분야이다.

10 DNA 재조합 기술을 이용하여 해충 저항성 작물 또는 사람 인슐린을 생산하거나 오염 물질을 분해하는 형질 전환 미생물을 만들 수 있다. 또한 DNA 재조합 기술은 정상 유전자를 도입하여 유전병을 치료하는 데에도 이용된다.

▣ **바로알기** ④ DNA의 특정 부분을 대량으로 복제하는 DNA 증폭 기술을 이용하여 서로 다른 두 사람의 DNA 일치 정도를 알 수 있다.

11 플레밍은 푸른곰팡이에서 분비하는 물질이 세균의 증식을 억제하였을 것이라 생각하고, 이를 실험으로 검증하였다.

☞ **모범답안** 푸른곰팡이는 세균의 증식을 억제하는 물질을 만들 것이다.

채점 기준	배점
푸른곰팡이가 세균 증식 억제 물질을 생성한다는 것을 가설로 서술한 경우	100%
푸른곰팡이가 세균과 경쟁적으로 증식한다는 것을 가설로 서술한 경우	50%

12 ㄴ. 플레밍은 푸른곰팡이를 접종하였을 때 세균의 증식이 억제된다는 것을 보여줌으로써 푸른곰팡이에서 생성된 물질(페니실린)이 세균의 증식을 억제한다는 것을 실험적으로 입증하였다.

ㄷ. 플레밍은 페니실린의 발견으로 항생제를 이용한 세균 감염성 질병의 치료 방법을 개발하는 데 기여하였다.

▣ **바로알기** ㄱ. 세균 배양 접시 A에만 푸른곰팡이를 접종하였고, 푸른곰팡이는 세균의 증식을 억제한다는 결론을 얻었다. 따라서 푸른곰팡이를 접종한 세균 배양 접시 A에서는 세균이 증식하지 않고, 세균 배양 접시 B에서만 세균이 증식하였을 것이다.

13 ㄱ. 생물 정보학은 생명 과학에 컴퓨터 과학과 통계학이 접목되어 특정 질병에 걸릴 확률 등을 계산할 수 있는 학문이다.

ㄴ. 방사성 동위원소는 세포 내에서 물질의 변화나 위치를 추적하는 데 이용될 수 있다.

ㄷ. 전자 현미경이 발명되어 세포의 내부 구조 및 세포 소기관을 관찰할 수 있게 되었고, 세균보다 작은 바이러스도 관찰할 수 있게 되었다.

14 ㄱ. (가)에서는 방사성 동위원소와 같은 화학적 표지를 사용하여 생명체 내에서의 물질 이동과 전환을 추적한다.

ㄴ. (나)에서는 현미경으로 관찰하여 축적된 다양한 자료를 종합하고 분석하여 결론을 도출하였다.

▣ **바로알기** ㄷ. 밴팅은 문헌 조사를 통해 의문을 갖고 이를 해결하기 위한 가설을 세운 후 반복적인 실험으로 이를 입증하였으므로 (다)에서는 연역적 탐구 방법이 사용되었다.

중단원 핵심 정리

20쪽

- ① 세포설
- ② 생물 속생설
- ③ 베살리우스
- ④ 린네
- ⑤ 자연 선택설
- ⑥ 모건
- ⑦ 이중 나선
- ⑧ 유전부호
- ⑨ 재조합
- ⑩ DNA 지문
- ⑪ 전자 현미경
- ⑫ 가설

중단원 마무리 문제

21쪽~22쪽

- 01 ③
- 02 ①
- 03 ①
- 04 ②
- 05 ④
- 06 ⑤
- 07 ④
- 08 해설 참조
- 09 해설 참조
- 10 해설 참조

01 ③ 술라이텐과 슈반은 여러 관찰 결과를 종합하여 세포설을 주장하였으므로 세포설을 주장하기까지 귀납적 탐구 방법을 사용하였다.

▣ **바로알기** ① 세포를 처음 명명한 사람은 훅이다.

② 세포는 광학 현미경을 발명한 이후에 발견되었으며, 광학 현미경의 발달에 따라 다양한 세포를 관찰할 수 있게 되어 세포설이 제안되었다.

④, ⑤ 슈반은 동물체가, 술라이텐은 식물체가 세포로 이루어져 있다고 주장하였다.

02 ② 코흐가 감염병의 원인이 세균이라는 것을 규명함으로써 감염병의 예방과 치료 방법이 발달하게 되었다.

③ 다윈의 진화설은 생물종이 고정 불변하는 것이 아니라 환경에 적응하고 변화하며 진화한다는 생각을 가지도록 하였다.

④ 최근에 생물의 진화는 다양한 요인에 의해 일어난다고 여겨진다.

⑤ 유전 현상은 부모에게서 물려받은 DNA의 유전 정보가 발현되어 나타나는 것이다.

▣ **바로알기** ① 1800년대 이전까지 사람들은 자연 발생설을 믿고 있었으나 파스퇴르의 실험에 의해 생물은 생물에서 비롯된다는 생물 속생설이 입증되었다.

03 ② 니런버그와 마테이는 인공 RNA로 단백질을 합성하여 유전부호를 해독하였다.

③ 밴팅은 이자에서 분비되는 물질이 당뇨병과 관계있다는 논문을 읽은 후 개의 이자에서 인슐린을 추출하였다.

④ 란트슈타이너는 혈액 응집 반응이 서로 다른 종류의 혈액을 섞어서 나타나는 것이라고 생각하고, 다양한 사람의 혈액을 섞는 실험을 하여 혈액형의 종류를 밝혀냈다.

⑤ 허시와 체이스는 방사성 동위 원소로 표지된 박테리오파지를 대장균에 감염시키는 실험을 통해 DNA가 유전 물질임을 증명하였다.

■ 바로알기 ① DNA 재조합 기술은 코헨과 보이어에 의해 완성되었다. 멀리스는 중합 효소 연쇄 반응(PCR)을 이용하여 DNA 증폭 기술을 개발하였다.

04 ㄷ. (나) 멘델이 완두를 이용한 실험 결과를 해석하는 과정에서 유전의 기본 원리를 발견한 후 (가) 모건이 유전자가 염색체에 있다는 것을 밝혔다. 이후 (다) 에이버리는 폐렴 쌍구균의 형질 전환을 일으키는 물질이 DNA라는 것을 밝힘으로써 DNA가 유전 물질이라는 것을 증명하였다.

■ 바로알기 ㄱ. 모건은 유전자가 염색체의 특정 위치에 있다는 유전자설을 제안하였지만, 유전자를 직접 관찰한 것은 아니다. 또 전자 현미경은 유전자설이 발표된 이후에 발명되었다.

ㄴ. DNA가 유전 물질이라는 것이 밝혀진 후 DNA 이중 나선 구조가 규명되었다.

05 학생 A: 린네는 생물 분류 체계를 정립하였고, 종의 개념을 명확히 제시하였다.

학생 C: 진화론은 생명 과학뿐 아니라 정치, 경제 등 다양한 분야에 영향을 주었다.

■ 바로알기 학생 B: 라마르크는 척추의 유무로 생물을 구분하고 용불용설로 진화를 설명하였다. 자연 선택설은 다윈이 주장한 진화론이다.

06 ㄱ, ㄴ. DNA 재조합 기술을 활용하여 인슐린과 같은 의약품을 대량 생산하고, 작물의 DNA에 병충해에 저항성이 있는 유전자를 재조합하여 생산량을 증대시킬 수 있다.

ㄷ. DNA 증폭 기술로 소량의 혈액이나 머리카락의 모낭 세포 등에 있는 소량의 DNA를 증폭시켜 개인을 식별할 수 있게 됨으로써 DNA 증폭 기술이 친자 감별이나 범인 식별에 활용된다.

07 ㄱ. 세포는 현미경 발명 이후에 발견되었다. 따라서 세포설도 현미경 발명 이후에 수많은 관찰 자료가 축적된 이후 제안되었다.

ㄴ. 다윈의 자연 선택설에서 생존 경쟁과 적자생존은 자본주의의 발달에 영향을 주었다.

■ 바로알기 ㄷ. 세포설을 발표하기까지 다양한 자료를 종합 및 분석하여 생물이 세포로 이루어져 있다는 결론을 내렸고, 다윈이 자연 선택설을 제안하기까지 다양한 자료를 수집하고 분석하여 결론을 도출하였으므로 두 경우에는 모두 귀납적 탐구 방법이 사용되었다.

08 (가)는 생물 속생설, (나)는 자연 발생설에 대한 설명이다. 1800년대 이전까지는 생물은 우연히 자연에서 생길 수 있다고 여겨졌으나 파스퇴르의 백조목 플라스크를 이용한 실험을 통해 생물 속생설이 확립되었다.

모범답안 (나) → (가), 파스퇴르가 백조목 플라스크를 이용하여 실험한 결과 생물 속생설이 입증되었다.

채점 기준	배점
생물의 발생에 대한 생각 변화를 기호를 사용하여 옳게 쓰고, 파스퇴르가 생물 속생설을 확립하게 된 과정을 옳게 서술한 경우	100 %
생물 속생설의 확립 과정만 옳게 서술한 경우	60 %
생물의 발생에 대한 생각 변화만 기호를 사용하여 옳게 쓴 경우	40 %

09 1860년대에 멘델이 유전의 기본 원리를 발견하였으며, 1920년대에 모건이 유전자와 염색체의 관계를 밝히는 유전자설을 발표하였다. 이후 1940년대에 에이버리는 DNA가 유전 물질임을 증명하였으며, 1950년대에 왓슨과 크릭은 DNA 이중 나선 구조를 규명하였다.

모범답안 (가) 멘델 (나) 왓슨과 크릭 (다) 에이버리 (라) 모건, (가) → (라) → (다) → (나)

채점 기준	배점
과학자의 이름을 옳게 쓰고 업적을 오래된 순서대로 옳게 나열한 경우	100 %
과학자의 이름 또는 업적의 순서 중 한 가지만 옳게 쓴 경우	50 %

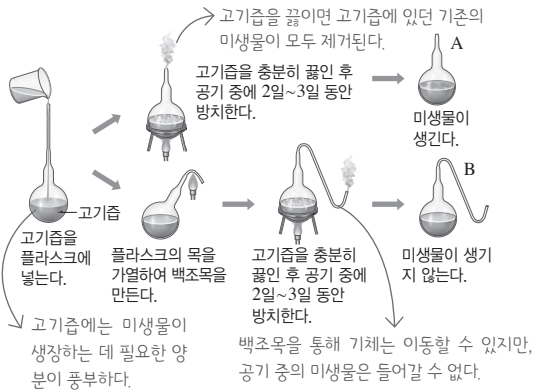
10 플레밍은 푸른곰팡이에서 항생 물질인 페니실린을 발견하였고, 왁스먼은 토양 미생물의 일종인 방선균에서 결핵균의 생장을 억제하는 항생 물질인 스트렙토마이신을 발견하였다. 항생 물질을 추출하여 만든 항생제는 세균성 질병을 치료하는 데 효과적이다.

모범답안 세균성 질병을 치료하여 인류가 건강한 삶을 영위할 수 있도록 하였다.

채점 기준	배점
세균성 질병을 치료할 수 있게 되었다고 서술한 경우	100 %
항생 물질을 발견하여 항생제를 만들 수 있게 되었다고만 서술한 경우	70 %
질병을 치료할 수 있게 되었다고만 서술한 경우	30 %

01 ④ 02 ① 03 ① 04 ⑤

01 **꼼꼼** 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ 이 실험을 통해 생물 속생설을 입증하였다.
- ㉡ A의 미생물은 고기즙 속의 미생물이 증식한 것이다. 공기 중의 미생물이 증식한 것이다.
- ㉢ B에 미생물이 생기지 않은 것은 공기 중의 미생물이 플라스크 안으로 들어가지 못하였기 때문이다.

㉠. 파스퇴르는 미생물도 이전의 미생물로부터 생길 것이라는 가설을 세우고, 이를 실험으로 검증하였다.

㉡. 백조목으로 인해 공기 중의 미생물이 플라스크 안으로 들어가지 못하여 B에는 미생물이 생기지 않는다.

㉢. **바로알기** ㉠. 고기즙을 끓이면 기존의 미생물이 모두 제거되므로 A의 미생물은 공기 중의 미생물이 들어가 증식한 것이다.

02 **꼼꼼** 문제 분석

- 열처리를 하여 죽은 S형균의 추출물을 섞은 배지에 살아 있는 R형균을 배양하면 살아 있는 S형균이 발견된다.
 - 죽은 S형균에 들어 있는 어떤 물질이 살아 있는 R형균을 S형균으로 형질 전환시켰으며, 이 물질은 열에 강하다.
- 열처리를 하여 죽은 S형균의 추출물에 DNA 분해 효소를 처리한 후 배지에 섞어 살아 있는 R형균을 배양하면 살아 있는 S형균이 발견되지 않는다.
 - DNA 분해 효소에 의해 DNA가 분해되면 R형균이 S형균으로 형질 전환되지 않는 것은 DNA가 유전 물질이라는 것을 의미한다.

선택지 분석

- ㉠ DNA가 폐렴 쌍구균의 형질을 결정한다.
- ㉡ 열처리를 하면 S형균의 유전 물질이 파괴된다. 파괴되지 않는다.
- ㉢ 이 실험은 DNA의 구조와 기능이 밝혀진 이후에 이루어진 것이다. 이전

㉣. S형균의 DNA를 섞어 배양한 R형균의 배지에서 R형균이 S형균으로 형질 전환되지만, DNA 분해 효소를 S형균의 추출물에 처리하여 DNA가 분해되면 R형균이 S형균으로 형질 전환되지 않는다. 따라서 폐렴 쌍구균의 형질을 결정하는 유전 물질은 DNA라는 것을 알 수 있다.

㉣. **바로알기** ㉠. 열처리한 S형균의 추출물을 R형균의 배지에 섞었을 때 S형균이 발견되었으므로 S형균의 어떤 물질(유전 물질)이 R형균을 S형균으로 형질 전환시켰고, 이 물질은 열에 강하다는 것을 알 수 있다.

㉣. 이 실험을 통해 DNA가 유전 물질이라는 것이 밝혀진 후 DNA의 구조와 기능에 대한 연구가 활발해졌다.

03

선택지 분석

- ㉠ 자연 선택이 진화의 원동력이라고 설명한다.
- ㉡ 생물의 진화를 직접 관찰하고 실험으로 증명하였다. 직접 관찰하지 못하고 자료를 수집하여 추론하였다.
- ㉢ 철학, 사회학, 심리학 등 다양한 분야의 영향을 받아 탄생한 학설이다. 진화론은 다양한 다른 분야에 영향을 주었다.

㉠. 제시된 자료는 다윈의 진화설이다. 다윈은 진화의 원동력을 환경에 대한 적응 과정에서 일어나는 자연 선택이라고 설명한다.

㉡. **바로알기** ㉠. 다윈은 탐험 과정에서 수집한 자료를 토대로 진화론을 주장하였다.

㉢. 생물이 진화한다는 관점은 철학, 사회학, 심리학, 정치학 등에 영향을 주었다.

04

선택지 분석

- ㉠ 집단 A는 실험군이고, 집단 B는 대조군이다.
- ㉡ 이 실험에는 연역적 탐구 방법이 사용되었다.
- ㉢ '백신은 탄저병을 예방할 수 있다.'는 이 실험의 결론에 해당한다.

㉠. 집단 A에만 백신을 주사하였으므로 백신의 주사 여부는 가설 검증을 위해 의도적으로 변화시키는 조작 변인이다. 따라서 집단 A는 실험군이고, 백신을 주사하지 않은 집단 B는 대조군이다.

㉡. 파스퇴르는 백신은 탄저병을 예방하는 효과가 있을 것이라는 가설을 세운 후 이를 실험으로 검증하는 연역적 탐구 방법을 사용하였다.

㉢. 백신을 주사한 집단의 양만 탄저병에 걸리지 않았으므로 이 실험을 통해 백신이 탄저병을 예방할 수 있다는 결론을 도출할 수 있다.



II. 세포의 특성

1 세포의 특성

1 생명체의 구성

개념 확인 문제

29쪽

- 1 기관계 2 조직계

1 (1) ㉠ 조직계, ㉡ 기관계 (2) 세포 (3) 조직 (4) 기관 2 (1) × (2) ○ (3) ○ 3 기본 조직계

1 (1) 식물체의 구성 단계에는 여러 조직이 모여 일정한 기능을 수행하는 조직계(A)가 있지만 동물체에는 없다. 또 동물체의 구성 단계에는 기능적으로 연관이 있는 여러 기관이 모여 구성된 기관계(B)가 있지만 식물체에는 없다.

(2) 세포는 생명체를 구성하는 구조적 단위이며, 자체적으로 생명 활동이 일어나는 기능적 단위이다.

(3) 다세포 생물에서는 형태와 기능이 비슷한 세포들이 모여 조직을 이룬다.

(4) 다세포 생물에서 서로 연관된 여러 조직이 모여 고유한 형태를 갖추고 특정 기능을 수행하는 기관을 이룬다. 기관은 동물체와 식물체의 구성 단계에 모두 있으며, 동물체의 기관에는 위, 폐, 심장, 콩팥, 뇌 등이 있고, 식물체의 기관에는 잎, 꽃, 줄기, 뿌리 등이 있다.

2 (1) 동물체에서 몸 바깥을 덮어 몸을 보호하는 조직은 상피 조직이다. 표피 조직은 식물체의 바깥 표면을 덮어 식물체를 보호한다.

(2) 뇌, 심장, 콩팥은 모두 동물체에서 여러 조직이 모여 특정 기능을 수행하는 기관의 예에 해당한다.

(3) 적혈구, 백혈구, 난자는 모두 동물체를 구성하는 구조적·기능적 단위인 세포이다.

3 대부분 율타리 조직, 해면 조직 등의 유조직으로 구성된 것은 기본 조직계이다. 기본 조직계는 표피 조직계와 관다발 조직계를 제외한 나머지 부분이며, 광합성, 양분 저장, 지지 작용 등의 기능을 한다.

개념 확인 문제

32쪽

- 1 탄수화물 2 단당류 3 중성 지방 4 인지질
- 5 아미노산 6 뉴클레오타이드 7 디옥시리보스 8 U

1 (1) ㄹ (2) ㄴ (3) ㄷ (4) ㄴ, ㄷ, ㄹ, ㄴ (5) ㄱ 2 (1) × (2) ○ (3) ○
3 중성 지방 4 (1) ○ (2) ○ (3) × 5 (1) 뉴클레오타이드 (2) ㉠ 디옥시리보스, ㉡ 리보스 (3) ㉠ A, G, C, T, ㉡ A, G, C, U (4) ㉠ DNA, ㉡ RNA

1 (1) 단백질(ㄹ)은 효소, 호르몬의 성분으로 물질대사와 생리 작용 조절에 관여하고, 항체의 성분으로 방어 작용을 담당한다.

(2) 생명체에서 주된 에너지원으로 이용되는 물질은 탄수화물(ㄴ)의 단당류이다.

(3) 유전 정보를 저장하거나 전달하며, 단백질 합성에 관여하는 물질은 핵산(ㄷ)이다.

(4) 지질(ㄴ), 핵산(ㄷ), 단백질(ㄹ), 탄수화물(ㄴ)은 공통적으로 탄소(C), 수소(H), 산소(O)를 가지는 탄소 화합물이다.

(5) 생명체에서 가장 많은 양을 차지하는 물질은 물(ㄱ)이다.

2 (1) 엿당, 젓당, 설탕은 모두 단당류 2개가 결합한 이당류이다. 탄수화물의 가장 단순한 형태는 포도당, 과당, 갈락토스 등과 같은 단당류이다.

(2) 포도당과 같은 단당류는 세포의 주된 에너지원으로 이용된다.

(3) 셀룰로스는 다당류이며, 식물의 세포벽을 구성한다.

3 생명체를 구성하는 물질 중 물에 잘 녹지 않고 유기 용매에 잘 녹는 물질은 지질이며, 지질 중 1분자의 글리세롤과 3분자의 지방산으로 구성되고 단열의 역할을 하여 체온 유지에 중요한 역할을 하는 물질은 중성 지방이다.

4 (1) 단백질은 많은 수의 아미노산이 펩타이드 결합으로 연결되어 형성된다.

(2) 단백질을 구성하는 아미노산의 종류와 배열 순서에 따라 단백질의 입체 구조가 달라지며, 입체 구조에 따라 단백질의 고유한 기능이 결정된다.

(3) 단백질은 효소와 호르몬의 주성분이어서 생명체 내의 화학 반응과 생리 작용에 관여한다. 생명체의 주요 에너지 저장 물질은 중성 지방이다.

5 (1) 핵산의 단위체는 뉴클레오타이드이며, 뉴클레오타이드는 당, 인산, 염기가 1 : 1 : 1로 결합되어 있다.

(2) DNA를 구성하는 당은 디옥시리보스이고, RNA를 구성하는 당은 리보스이다.

- (3) DNA를 구성하는 염기는 아데닌(A), 구아닌(G), 사이토신(C), 타이민(T)이고, RNA를 구성하는 염기는 아데닌(A), 구아닌(G), 사이토신(C), 유라실(U)이다.
- (4) DNA는 유전 정보를 저장하고, RNA는 유전 정보를 전달하거나 단백질 합성 과정에 관여한다.

대표 자료 분석

33쪽

- 자료 1** 1 A: 조직, B: 기관, C: 기관계, D: 조직, E: 조직계, F: 기관 2 C, E 3 A, D 4 (1)○(2)×(3)×(4)○(5)○(6)○(7)×(8)○
- 자료 2** 1 (가) 글리코젠 (나) DNA (다) 단백질 2 (가) 단당류(포도당) (나) 뉴클레오타이드 (다) 아미노산 3 펩타이드 결합 4 (1)×(2)×(3)○(4)×(5)×(6)○

- 1-1** 동물체(가)의 구성 단계는 세포 → 조직(A) → 기관(B) → 기관계(C) → 개체이고, 식물체(나)의 구성 단계는 세포 → 조직(D) → 조직계(E) → 기관(F) → 개체이다.
- 1-2** 식물체에는 없고 동물체에만 있는 구성 단계는 기관계(C)이고, 동물체에는 없고 식물체에만 있는 구성 단계는 조직계(E)이다.
- 1-3** 동물체(가)와 식물체(나)에서 형태와 기능이 비슷한 세포들의 모임은 조직(A, D)이다.
- 1-4** (1) 신경 조직은 신경 세포(뉴런)와 이를 지지하는 세포로 구성되는 조직(A)이다.
 (2) 기관(B)은 여러 조직들로 이루어져 있으며, 조직마다 구성하는 세포들이 다르다. 소화계와 배설계는 모두 여러 기관으로 이루어진 기관계(C)이다.
 (3) 간과 콩팥은 동물의 기관(B)에 해당한다.
 (4) 표피 조직은 식물에서 표피 세포, 공변세포 등으로 이루어진 조직(D)이다.
 (5) 해면 조직, 울타리 조직과 같은 유조직이 모여 조직계(E) 중 하나인 기본 조직계를 이룬다.
 (6) 조직계(E)는 표피 조직계, 관다발 조직계, 기본 조직계로 구분된다.
 (7) 성장점과 형성층은 세포 분열이 왕성하게 일어나는 분열 조직이므로 조직(D)에 해당한다.
 (8) 개체는 여러 기관이 모여 독립적으로 생명 활동이 가능한 생명체이다.

2-1 (가)는 동일한 모양의 단위체(단당류)가 결합하여 사슬을 이룬 형태이므로 글리코젠이며, (나)는 이중 나선 구조이므로 DNA, (다)는 모양이 다른 단위체(아미노산)가 결합한 형태이므로 단백질이다.

2-2 글리코젠(가)의 단위체는 단당류(포도당), DNA(나)의 단위체는 뉴클레오타이드, 단백질(다)의 단위체는 아미노산이다.

2-3 단백질(다)은 많은 수의 아미노산이 펩타이드 결합으로 연결된 형태의 화합물이다.

- 2-4** (1) 식물의 뿌리, 열매, 줄기 등에 저장되는 다당류는 녹말이다. 글리코젠은 동물 세포에 저장되는 다당류이다.
 (2) DNA(나)를 구성하는 단위체는 뉴클레오타이드이며, 뉴클레오타이드는 인산, 당, 염기가 1 : 1 : 1로 구성되어 있다.
 (3) DNA(나)는 유전 정보를 저장하며, RNA와 함께 핵산의 한 종류이다.
 (4) 생명체에서 에너지원으로 가장 많이 사용되는 물질은 탄수화물이다.
 (5) 단백질(다)은 하나의 폴리펩타이드가 구부러지고 접혀 특정한 형태의 입체 구조를 나타내지만, 헤모글로빈과 같이 2개 이상의 폴리펩타이드가 모여 기능을 나타내는 것도 있다.
 (6) 글리코젠(가), DNA(나), 단백질(다)은 모두 탄소(C)들 간의 결합을 기본 골격으로 하는 탄소 화합물이다.

내신 만점 문제

34쪽~35쪽

- 01 ① 02 ① 03 ⑤ 04 ⑤ 05 ③ 06 ③
 07 ① 08 ④ 09 해설 참조 10 ④ 11 해설 참조

01 ㄱ. 식물에서 꽃, 열매, 잎, 줄기, 뿌리는 모두 기관에 해당한다.

▮ **바로알기** ㄴ. 소장은 기관에, 혈액은 조직에 해당한다. 따라서 소장과 혈액은 동물체의 구성 단계에서 서로 다른 구성 단계에 해당한다.

ㄷ. 상피 조직, 결합 조직, 근육 조직, 신경 조직은 모두 동물체에 있는 조직들이며, 이들이 모여 기관을 이룬다. 조직계는 동물체의 구성 단계에는 없고, 식물체의 구성 단계에만 있다.

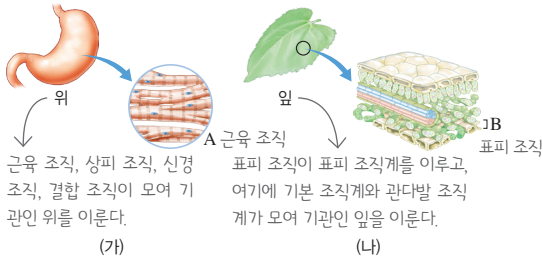
02 A는 조직, B는 기관, C는 조직계, D는 기관이다.

② 동물체(가)의 구성 단계에서 B, 식물체(나)의 구성 단계에서 D는 모두 기관이다.

- ③ 심장과 폐는 모두 동물체(가)의 기관(B)이다.
- ④ 식물체(나)의 구성 단계에서 C는 여러 조직이 모여 일정한 기능을 수행하는 조직계이다.
- ⑤ 물관과 체관은 모두 통도 조직이며, 이들이 모여 조직계(C) 중 관다발 조직계를 이룬다.

▣ **바로알기** ① A는 조직이며, 조직(A)은 비슷한 기능과 형태를 가진 세포들의 모임이다.

03 **꼼꼼** 문제 분석



- ① 근육 조직은 동물체에, 표피 조직은 식물체에 존재하는 조직이므로 A는 근육 조직이다.
- ②, ③ B는 표피 조직이며, 표피 조직은 잎, 줄기, 뿌리까지 식물체 전체에 연속적으로 분포하여 조직계를 이룬다.
- ④ 위는 여러 조직으로 구성되어 고유한 형태와 기능을 가지는 기관이다. 잎은 조직계가 모여 이루어진 기관이다.

▣ **바로알기** ⑤ 위는 상피 조직, 결합 조직, 근육 조직, 신경 조직의 여러 조직으로 이루어져 있다.

04 ① 핵산은 핵이나 세포질에 존재하며, 유전 정보를 저장 및 전달하는 물질이다.

- ② 단백질은 생명체를 구성하는 주성분이며, 대부분의 생명 활동에 관여한다.
- ③ 중성 지방은 같은 양의 탄수화물보다 2배 이상의 에너지를 저장할 수 있어 에너지 저장 물질로 이용된다.
- ④ 물은 분자 사이의 수소 결합으로 강한 응집력이 생겨 기화열과 비열이 커서 체온을 일정하게 유지하는 데 도움을 준다.

▣ **바로알기** ⑤ 셀룰로스, 글리코젠은 다당류이지만, 콜레스테롤은 지질의 한 종류인 스테로이드이다.

05 (가)는 다당류인 셀룰로스, (나)는 단당류인 포도당, (다)는 이당류인 엿당이다.

- ③ 포도당(나)의 화학 에너지는 세포 호흡에 의해 생명 활동에 필요한 에너지 형태로 전환된다. 따라서 포도당은 생명체에서 주된 에너지원으로 사용된다.

▣ **바로알기** ① 셀룰로스(가)의 구성 원소는 탄소(C), 수소(H), 산소(O)이며, 질소(N)는 포함되어 있지 않다.

- ② 셀룰로스(가)는 식물 세포에서 세포벽을 구성하는 물질이다. 식물 세포에서 에너지를 저장하는 물질은 녹말이다.
- ④ 젖당, 설탕은 모두 엿당(다)과 같은 이당류이다.
- ⑤ 탄수화물의 가장 단순한 형태는 포도당(나)과 같은 단당류이다.

06 ① 지질은 물에 잘 녹지 않고 유기 용매에 잘 녹는 화합물이다.

- ② 인지질은 글리세롤 1분자에 지방산 2분자와 인산기를 포함한 화합물이 결합한 것으로, 세포막, 핵막과 같은 생체막의 주성분이다.
- ④ 중성 지방은 동물체에서 피부 밑의 지방층을 구성하여 단열 기능을 함으로써 체온 유지에 관여한다.
- ⑤ 중성 지방은 1분자의 글리세롤과 3분자의 지방산이 결합된 화합물이다.

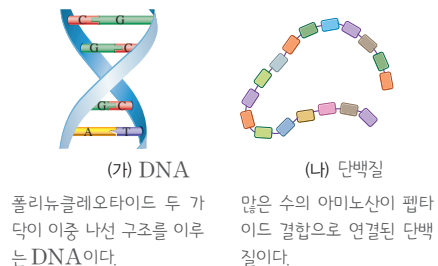
▣ **바로알기** ③ 스테로이드는 탄소(C)로 구성된 고리 화합물 4개가 연결된 구조이다. 지질 중 친수성 머리와 소수성 꼬리로 구성된 것은 인지질이다.

07 ② 단백질은 1개 이상의 폴리펩타이드로 구성되며, 폴리펩타이드가 접히거나 꼬여 입체 구조를 형성하여 단백질이 된다.

- ③ 단백질은 근육과 같은 몸을 구성하는 주성분이며, 아미노산으로 분해되어 세포 호흡에 필요한 에너지원으로 쓰이기도 한다.
- ④ 단백질의 단위체는 아미노산이며, 많은 수의 아미노산이 펩타이드 결합으로 연결되어 폴리펩타이드가 만들어진다.
- ⑤ 폴리펩타이드는 구성하는 아미노산 사이의 상호 작용으로 꼬이고 접혀서 특정한 형태의 입체 구조를 갖는다. 따라서 아미노산의 종류와 배열에 따라 입체 구조가 달라지고, 단백질의 기능은 입체 구조에 따라 결정된다.

▣ **바로알기** ① 사람 성호르몬의 주성분은 스테로이드이다.

08 **꼼꼼** 문제 분석



- ① DNA(가)는 유전 정보를 저장하는 물질이다.
- ② 단백질(나)은 근육, 머리카락 등을 구성한다.
- ③ 단백질은 입체 구조가 온도, pH의 영향을 받기 때문에 온도, pH가 적절하지 않으면 변성되어 제 기능을 할 수 없다.
- ⑤ DNA(가)의 단위체는 뉴클레오타이드이다.

▣ **바로알기** ④ 핵산, 단백질, 지질, 탄수화물과 같은 탄소 화합물 중에서 사람의 몸을 구성하는 비율이 가장 높은 것은 단백질(나)이다.

09 DNA와 RNA는 모두 핵산으로, 단위체가 뉴클레오타이드이다. DNA는 이중 나선 구조를 이루고 있으며, RNA는 단일 가닥 구조이다. DNA를 구성하는 당은 디옥시리보스이며, 구성하는 염기는 아데닌(A), 구아닌(G), 사이토신(C), 타이민(T)이다. RNA를 구성하는 당은 리보스이며, 구성하는 염기는 아데닌(A), 구아닌(G), 사이토신(C), 유라실(U)이다.

모범답안 DNA의 당은 디옥시리보스이고, RNA의 당은 리보스이다. DNA는 염기로 아데닌(A), 구아닌(G), 사이토신(C), 타이민(T)을 가지고, RNA는 염기로 아데닌(A), 구아닌(G), 사이토신(C), 유라실(U)을 가진다.

채점 기준	배점
DNA와 RNA를 구성하는 물질의 차이점을 두 가지 모두 옳게 서술한 경우	100%
DNA와 RNA를 구성하는 물질의 차이점을 한 가지만 옳게 서술한 경우	50%

10 **꼼꼼** 문제 분석

물질	(가) 핵산	(나) 지질	(다) 탄수화물
예	RNA	중성 지방	녹말

- RNA의 단위체는 뉴클레오타이드, 녹말의 단위체는 포도당이다.
- 중성 지방은 지방산과 글리세롤로 구성된다.

ㄱ. 핵산(가)의 단위체는 뉴클레오타이드이다. 뉴클레오타이드는 인산 : 당 : 염기가 1 : 1 : 1로 결합되어 있다.

ㄴ. 지질(나)에는 중성 지방, 인지질, 스테로이드 등이 있다.

ㄷ. 핵산(가), 지질(나), 탄수화물(다)은 모두 탄소(C)를 포함하는 탄소 화합물이다.

▣ **바로알기** ㄷ. 탄수화물(다)의 예인 녹말은 주로 식물의 뿌리, 열매, 줄기, 잎 등에 저장된다. 동물 세포에서 에너지를 저장하는 주된 탄수화물 형태는 글리코젠이다.

11 단백질과 인지질은 모두 세포막의 주성분이며, 구성 원소로 탄소(C), 수소(H), 산소(O)를 가진다. 인지질과 중성 지방은 모두 물에는 잘 녹지 않고 유기 용매에 잘 녹으며, 구성 성분으로 글리세롤과 지방산을 가진다.

모범답안 ㉠에는 '구성 원소로 탄소(C), 수소(H), 산소(O)를 가진다.'가 있다. ㉡에는 '물에 잘 녹지 않고 유기 용매에 잘 녹는다.', '글리세롤과 지방산을 가진다.'가 있다.

채점 기준	배점
㉠과 ㉡을 모두 한 가지씩 옳게 서술한 경우	100%
㉠과 ㉡ 중 하나만 옳게 서술한 경우	50%

02 세포의 연구 방법

38 쪽

완자샘

비법특강

Q1 ㄱ, ㄴ, ㄷ

Q1 ㄱ. 눈금에 숫자가 표시된 A가 접안 마이크로미터이고, B는 대물 마이크로미터이다.

ㄴ. (가)에서 접안 마이크로미터(A) 40(10)눈금과 대물 마이크로미터(B) 20(5)눈금이 일치하므로, (가)에서 측정된 접안 마이크로미터 눈금 한 칸의 길이는 $\frac{20}{40} \left(\frac{5}{10} \right) \times 10 \mu\text{m} = 5 \mu\text{m}$ 이다.

ㄷ. (나)에서 세포의 길이 l 은 접안 마이크로미터(A) 20눈금과 일치한다. 따라서 l 은 $20 \times 5 \mu\text{m} = 100 \mu\text{m}$ 이다.

▣ **바로알기** ㄷ. 대물렌즈의 배율과 관계없이 대물 마이크로미터 눈금 한 칸의 길이는 $10 \mu\text{m}$ 로 일정하다.

개념 확인 문제

39 쪽

- ① 가시광선 ② 전자선 ③ 투과 ④ 주사
⑤ 세포 분획법 ⑥ 자기 방사법

- 1 (1) ㉠ (2) ㉠ (3) ㉡ 2 (1) × (2) × (3) ○ (4) ○ 3 세포 분획법 4 (1) ㉠ 속도, ㉡ 크기 (2) ㉠ 크고 무거운, ㉡ 작은
5 ㉠ 엽록체, ㉡ 리보솜 6 (1) ○ (2) ○ (3) ×

1 (1) 광학 현미경으로 가시광선을 굴절시켜 살아 있는 세포를 확대하여 관찰할 수 있다.

(2) 투과 전자 현미경은 전자선을 시료의 얇은 단면에 투과하여 화면에 시료 단면의 영상을 형성한다.

(3) 주사 전자 현미경은 금속으로 코팅한 시료 표면에 전자선을 주사하여 화면에 시료 표면의 입체 영상을 형성한다.

2 (1) 위상차 현미경과 형광 현미경은 모두 광학 현미경에 속하므로 가시광선을 이용한다.

(2) 주사 전자 현미경은 전자선을 시료 표면에 주사하여 관찰하므로 세포의 표면이나 외부 형태의 관찰에 적합하다. 세포 내부의 미세 구조 관찰에 적합한 것은 투과 전자 현미경이다.

(3) 투과 전자 현미경은 전자선을 시료의 얇은 단면에 투과하여 관찰하므로 세포의 단면을 영상으로 관찰할 수 있다.

(4) 광학 현미경은 전자 현미경에 비해 배율과 해상력이 낮아 세포 소기관의 구조를 상세히 관찰할 수 없지만, 세포에 다른 처리를 하지 않아도 관찰할 수 있어 살아 있는 세포의 관찰이 가능하다.

3 세포 분획법을 이용하면 구조나 기능을 연구하는 데 필요한 특정 세포 소기관을 대량으로 얻을 수 있다.

4 (1) 세포 분획법은 세포 파쇄액을 속도와 시간을 다르게 원심 분리하여 세포 내의 구성 물질이나 세포 소기관을 크기와 밀도에 따라 단계적으로 분리하는 방법이다.

(2) 원심 분리 시 느린 회전 속도에서는 핵과 같이 크고 무거운 세포 소기관이 먼저 가라앉아 분리되고, 회전 속도를 증가시키면 점차 작은 세포 소기관이 가라앉아 분리된다.

5 세포벽을 제거한 식물 세포를 세포 분획하면 가장 먼저 핵이 분리되고 이후에 엽록체, 미토콘드리아, 세포막과 내부 막 조각, 리보솜의 순서로 분리된다.

6 (1), (2) 자기 방사법은 방사성 물질인 방사성 동위 원소로 표지한 물질이 방출하는 방사선을 추적하여 물질의 이동과 변화를 알아보는 방법이다. 방사성 동위 원소 ^{35}S 으로 표지된 아미노산을 세포에 주입하고 이를 추적하면 세포에서 단백질이 합성되어 이동하는 경로를 알 수 있다.

(3) 식물 세포에서 자기 방사법으로 광합성의 과정과 생성물을 알아볼 때에는 방사성 동위 원소 ^{14}C 로 표지된 이산화 탄소를 사용한다.

대표 자료 분석

40쪽

- 자료 1** 1 A: 광학 현미경, B: 주사 전자 현미경, C: 투과 전자 현미경 2 A: 가시광선, B: 전자선, C: 전자선 3 A
4 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ (5) ×
- 자료 2** 1 A: 핵, B: 미토콘드리아, C: 세포막, D: 리보솜 2 (1) A
(2) C, D 3 (1) ○ (2) × (3) × (4) × (5) ○ (6) ○

1-1 B는 짙신벌레의 표면을 입체적으로 상세하게 관찰하였으므로 주사 전자 현미경이고, C는 짙신벌레의 내부 단면을 상세하게 관찰하였으므로 투과 전자 현미경이다. 따라서 A는 광학 현미경이다.

1-2 광학 현미경(A)은 가시광선을, 전자 현미경(B, C)은 전자선을 이용한다.

1-3 배율과 해상력은 가시광선을 이용하는 광학 현미경(A)이 가장 낮다.

1-4 (1) 홈이 파인 받침 유리에 짙신벌레가 담긴 연못 물을 떨어뜨리고 덮개 유리를 덮어 광학 현미경(A)으로 관찰하면 살아 있는 짙신벌레를 관찰할 수 있다.

(2), (3) 주사 전자 현미경(B)은 짙신벌레의 표면에 전자선을 조사하여 입체 영상을 형성하므로 표면이나 외부 형태를 관찰하는데 적합하다.

(4) 투과 전자 현미경(C)은 짙신벌레의 단면에 전자선을 투과하여 화면에 짙신벌레 단면의 영상을 형성한다.

(5) 짙신벌레의 외부 형태를 자세히 관찰하는 데에는 주사 전자 현미경(B)이 적합하다.

2-1 동물 세포를 균질기로 파쇄한 후 파쇄액을 원심 분리기에 속도와 시간을 다르게 하여 세포 분획하면 비교적 크고 무거운 핵이 가장 먼저 분리되고, 회전 속도를 빨리할수록 점차 작은 세포 소기관이 가라앉는다. 따라서 A에는 핵, B에는 미토콘드리아, C에는 세포막, D에는 리보솜이 있다.

2-2 (1) 세포 분획에서 원심 분리기의 회전 속도가 느릴 때에는 무겁고 큰 것이 먼저 가라앉는다. 세포 구조 중 가장 무거운 것은 핵이므로 침전물 A에는 핵이 있다.

(2) 침전물 B가 분리되어 가라앉은 시험관의 상층액에는 침전물 B에 포함된 것보다 가벼운 세포 구조가 들어 있으므로 침전물 C와 D에 포함된 세포 구조가 들어 있다.

2-3 (1) 세포 분획법은 세포 소기관을 크기와 밀도에 따라 단계적으로 분리하는 방법이다.

(2) 설탕 용액은 세포 소기관의 손상을 막기 위해 동물 세포액과 농도가 같은 것을 사용한다.

(3) 세포 소기관 중 DNA를 가장 많이 포함하는 것은 핵이므로 핵이 포함된 침전물 A는 DNA 함량이 가장 많다.

(4) 2중막 구조를 가지며 ATP를 합성하는 세포 소기관은 미토콘드리아이며, 미토콘드리아는 침전물 B에 포함되어 있다.

(5) 초반에 원심 분리기의 속도가 느릴 때에는 크고 무거운 세포 소기관부터 가라앉고 이후 속도가 빨라지면 점차 작은 세포 소기관이 가라앉는다.

(6) 동물 세포를 균질기로 파쇄할 때 얼음을 넣는 것은 세포가 파괴되어 세포로부터 나오는 가수 분해 효소의 작용을 억제하고, 파쇄 시 발생하는 열에 의해 세포가 손상되는 것을 방지하기 위해서이다.

01 나, 다 02 ㉠ 03 해설 참조 04 ㉠ 05 가, 나

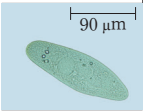
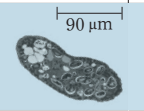
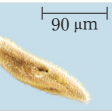
01 나. 자기 방사법(나)은 방사성 동위 원소가 포함된 화합물을 세포에 주입하여 시간 경과에 따라 방사성 동위 원소에서 방출되는 방사선을 추적하는 방법이므로, 세포 안에서의 물질 이동 경로를 파악하는 데 이용된다.

다. 세포 분획법(다)은 세포 소기관을 크기와 밀도에 따라 분리하는 방법이므로 특정 세포 소기관의 구조와 기능을 연구하는 데 이용된다.

▣ **바로알기** ▣ 가. (가)는 현미경 관찰, (나)는 자기 방사법, (다)는 세포 분획법이다.

02 **꼼꼼** 문제 분석

2개의 점이 확실하게 분리되어 보이는 최소한의 거리가 짧아 해상력이 높을수록 상이 선명하게 보인다.

	광학 현미경	투과 전자 현미경	주사 전자 현미경
현미경	A	B	C
해상력	약 0.2 μm	약 0.0002 μm	약 0.005 μm
관찰 결과			
설명	살아 있는 짚신벌레를 관찰하고, 짚신벌레 고유의 색깔을 관찰할 수 있다.	짚신벌레의 내부 단면을 관찰할 수 있다.	짚신벌레 표면의 입체 영상을 형성하여 외부 형태를 관찰할 수 있다.

A는 광학 현미경, B는 투과 전자 현미경, C는 주사 전자 현미경이다.

㉠ 광학 현미경(A)을 사용하면 살아 있는 짚신벌레의 움직임을 관찰할 수 있지만, 전자 현미경을 사용하면 현미경 표본을 만드는 과정에서 짚신벌레를 탈수 및 건조해야 하고 금속으로 코팅하기도 하므로 살아 있는 짚신벌레를 관찰할 수 없다.

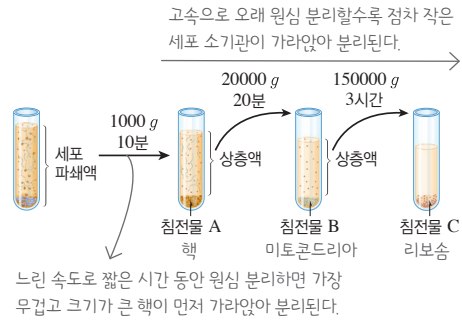
▣ **바로알기** ▣ ① A는 광학 현미경이다.

② 시료의 표면을 금속으로 코팅한 후 전자선을 주사하여 표면의 입체 영상을 형성하는 전자 현미경은 주사 전자 현미경(C)이다.

③ 짚신벌레 고유의 몸 색깔을 구분할 수 있는 것은 광학 현미경(A)이다. 전자 현미경은 시료에서 튀어나온 전자에 의해 형성된 화면을 관찰하므로 짚신벌레 고유의 몸 색깔을 관찰할 수 없다. 주사 전자 현미경(C)의 관찰 결과는 결과 영상을 얻은 후 채색한 것이다.

④ 광학 현미경(A)의 해상력은 0.2 μm 이고, 투과 전자 현미경(B)은 해상력이 0.0002 μm 이므로 광학 현미경(A)은 투과 전자 현미경(B)보다 2개의 점을 구별할 수 있는 최소한의 거리가 길어 해상력이 낮다.

[03~04] **꼼꼼** 문제 분석



03 세포 분획법은 세포 파쇄액을 원심 분리할 때 회전 속도를 점차 빠르게 하여 크기와 밀도에 따라 세포 소기관을 단계적으로 분리하는 방법으로, 가장 크고 무거운 세포 소기관부터 작은 세포 소기관 순으로 분리된다.

▣ **모범답안** ▣ A: 핵, B: 미토콘드리아, C: 리보솜, 처음에는 원심 분리의 회전 속도가 느려 크고 무거운 핵이 먼저 가라앉고, 이후 점차 회전 속도가 빨라질수록 작은 세포 소기관이 가라앉기 때문이다.

채점 기준	배점
A~C에 있는 세포 소기관을 쓰고, 이와 같이 판단한 까닭을 옳게 서술한 경우	100%
A~C에 있는 세포 소기관 중 일부만 옳게 쓰고, 이와 같이 판단한 까닭을 옳게 서술한 경우	70%
A~C에 있는 세포 소기관만 옳게 쓴 경우	30%

04 가. 핵, 리보솜, 미토콘드리아 중 DNA 함량이 가장 많은 것은 핵이고, 핵은 가장 먼저 가라앉으므로 침전물 A에 포함된다.

나. 세포 파쇄액을 원심 분리하면 느린 회전 속도에서는 비교적 크고 무거운 세포 소기관인 핵이 먼저 가라앉으므로 침전물 A의 상층액에는 리보솜, 미토콘드리아 등의 세포 소기관이 포함되어 있다.

다. 산소는 세포 호흡에 이용되며, 세포 호흡은 미토콘드리아에서 일어난다. 미토콘드리아는 침전물 B에 포함되어 있다.

05 가. 자기 방사법에서 X선 필름을 방사성 동위 원소로 표지된 물질에 밀착시키면 방사성 동위 원소에서 방출하는 방사선에 의해 검은색 점이 나타나 세포 내 물질의 이동이나 변화 과정을 알 수 있다.

나. ^{14}C 로 표지한 이산화 탄소를 식물 세포에 주입하고 이를 추적하면 광합성 과정에서 생성되는 물질의 종류와 이동 경로를 알 수 있다.

▣ **바로알기** ▣ 다. 세포 소기관을 크거나 밀도 차에 의해 대량으로 분리하여 구조나 기능을 연구하는 데 쓰이는 것은 세포 분획법이다. 자기 방사법은 세포 내 물질 이동이나 세포 분열, 유전을 연구하는 데 쓰인다.

3 세포 소기관의 구조와 기능

개념 확인 문제

47쪽

- ① 원핵 ② 진핵 ③ 핵 ④ 리보솜 ⑤ 골지체
 ⑥ 엽록체 ⑦ 미토콘드리아 ⑧ 리소좀 ⑨ 액포
 ⑩ 세포 골격

- 1 (1) × (2) ○ (3) × (4) × 2 B: 세포벽, E: 엽록체 3 (1) ㄱ, ㄴ, ㄹ (2) ㄷ, ㄹ (3) ㄴ, ㄹ 4 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ○ (6) ○ (7) × 5 ④

1 (1) 진핵세포는 핵 속에 유전 물질로 여러 개의 선형 DNA를 가진다.

(2) 진핵세포의 리보솜은 원핵세포의 리보솜보다 크기가 크고, 리보솜을 구성하는 단백질, RNA 등도 원핵세포의 리보솜과 다르다.

(3) 원핵세포 중 세균은 펩티도글리칸으로 구성된 세포벽을 가지고 있고, 진핵세포 중 식물을 이루는 세포의 세포벽은 셀룰로스, 버섯과 곰팡이를 이루는 세포의 세포벽은 키틴이 주성분이다.

(4) 원핵세포에는 진핵세포와 달리 핵막과 막으로 둘러싸인 세포 소기관이 없다.

2 A는 세포질, B는 세포벽, C는 세포막, D는 핵, E는 엽록체, F는 미토콘드리아이다. 세포벽(B)과 엽록체(E)는 동물 세포에는 없고 식물 세포에만 있다.

3 (1) 핵, 엽록체, 미토콘드리아는 외막과 내막의 2중막 구조로 되어 있다.

(2) 단일막 구조로, 물질 수송의 통로 역할을 하는 세포 소기관은 소포체이고, 소포체에서 수송한 단백질을 세포의 다른 곳으로 운반하는 세포 소기관은 골지체이다.

(3) 엽록체는 빛에너지를 포도당의 화학 에너지로 전환하고, 미토콘드리아는 포도당의 화학 에너지를 ATP의 화학 에너지로 전환한다. 엽록체와 미토콘드리아는 모두 자체 DNA와 리보솜이 있어 스스로 복제하고 증식할 수 있다.

4 (1) 인지질을 합성하고 독성 물질을 해독하는 세포 소기관은 표면에 리보솜이 붙어 있지 않은 매끈면 소포체이다.

(2) 시스terna가 층층이 쌓인 구조로, 분비 작용이 활발한 세포에 발달해 있는 세포 소기관은 골지체이다.

(3) 엽록체는 자체 DNA와 리보솜을 가지고 있어 스스로 복제하고 증식할 수 있다.

(4) 미토콘드리아는 포도당의 화학 에너지를 ATP의 화학 에너지로 전환한다.

(5) 리소좀은 단백질, 탄수화물 등을 분해하는 여러 가지 가수 분해 효소를 가지고 있어 세포 밖에서 들어온 물질이나 세포 내 물질을 분해한다.

(6) 액포는 식물 세포의 형태 유지에 관여하며, 식물 세포 내부의 수분량과 삼투압을 조절한다.

(7) 세포 골격을 이루는 단백질 섬유 중 세포막 바로 아래에 퍼져 있으며 근육 수축과 세포질 분열에 관여하는 것은 미세 섬유이다.

5 리보솜에서 합성된 단백질은 소포체에서 가공되어 골지체로 이동하고, 골지체에서는 단백질을 가공 및 포장한 후 세포 밖으로 분비하거나 세포의 다른 부분으로 이동시킨다.

대표 자료 분석

48쪽~49쪽

자료 ① 1 (가) 세균 (나) 식물 세포 2 (가) 원핵세포 (나) 진핵세포 3 (가)의 리보솜은 (나)의 리보솜보다 크기가 작다. (가)의 리보솜은 (나)의 리보솜과 구성하는 단백질과 RNA 등이 다르다. 중 한 가지 4 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ○

자료 ② 1 A: 중심체, B: 미토콘드리아, C: 리보솜, D: 핵, E: 골지체, F: 엽록체, G 세포벽 2 (나) 3 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) ○ (5) ○ (6) × (7) ×

자료 ③ 1 A: 핵, B: 거친면 소포체, C: 골지체 2 A 3 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ○ (5) ○

자료 ④ 1 A: 거친면 소포체, B: 골지체, C: 리소좀 2 A 3 세포내 소화 4 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × (5) ×

①-1 (가)는 핵이 없으므로 세균이고, (나)는 핵, 엽록체가 있으므로 식물 세포이다.

①-2 (가)는 핵막이 없어 유전 물질이 세포질에 존재하므로 원핵세포이고, (나)는 막으로 둘러싸인 핵과 막으로 둘러싸인 여러 세포 소기관이 존재하므로 진핵세포이다.

①-3 원핵세포(가)에 존재하는 리보솜은 진핵세포(나)에 존재하는 리보솜보다 크기가 작고, 구성하는 단백질과 RNA의 종류가 진핵세포(나)의 리보솜과 다르다.

①-4 (1) 세균(가)은 유전 물질로 원형의 DNA를 하나만 가지고, 식물 세포(나)는 유전 물질로 핵 속에 선형의 DNA를 여러 개 가진다.

(2) 식물 세포(나)는 진핵세포이므로 미토콘드리아, 엽록체, 소포체, 액포 등 막으로 둘러싸인 세포 소기관을 가진다.

(3) 세균(가)과 식물 세포(나)를 비롯한 모든 세포는 세포막으로 둘러싸여 있다.

(4) 세균(가)은 핵막이 없는 원핵세포이므로 유전 물질이 세포질에 있다.

(5) 세균(가)은 주로 펩티도글리칸으로 구성된 세포벽을 가지고 있으며, 식물 세포(나)는 셀룰로스가 주성분인 세포벽을 가지고 있다.

②-1 A는 핵 근처에 위치한 중심체, B는 세포 호흡의 장소인 미토콘드리아, C는 단백질 합성 장소인 리보솜, D는 유전 물질을 가지는 핵, E는 단백질의 분비에 관여하는 골지체, F는 광합성 장소인 엽록체, G는 식물 세포의 세포막 바깥쪽을 둘러싼 세포벽이다.

②-2 (나)는 동물 세포에는 없고 식물 세포에는 있는 엽록체(F)와 세포벽(G)을 가지므로 식물 세포이다. 따라서 (가)는 동물 세포이다.

②-3 (1) 중심립 2개가 직각으로 배열된 중심체(A)는 주로 동물 세포에서 관찰된다.

(2) 미토콘드리아(B)는 유기물을 분해하여 세포에 필요한 에너지를 생성하므로, 근육 세포와 같이 에너지를 많이 사용하는 세포에 많이 존재한다.

(3) 미토콘드리아(B)와 엽록체(F)는 모두 외막과 내막의 2중막 구조로 되어 있다.

(4) 리보솜(C)에서 세포의 생명 활동에 필요한 단백질이 합성된다.

(5) 유전 물질인 DNA는 핵(D) 안에서 단백질인 히스톤을 감아 뉴클레오솜을 형성하며, 세포가 분열할 때 고도로 응축되어 염색체가 된다.

(6) 리보솜(C)은 막으로 둘러싸여 있지 않다. 핵(D)은 외막과 내막의 2중막으로 둘러싸여 있으며, 골지체(E)는 단일막으로 둘러싸여 있다.

(7) 유기물(포도당)의 화학 에너지가 ATP의 화학 에너지로 전환되는 장소는 세포 호흡이 일어나는 미토콘드리아(B)이며, 엽록체(F)에서는 광합성이 일어나 빛에너지가 유기물(포도당)의 화학 에너지로 전환된다.

③-1 A는 유전 물질인 DNA가 들어 있는 핵, B는 리보솜이 표면에 붙어 있는 거친면 소포체, C는 소포체에서 수송한 단백질을 가공하고, 세포 밖으로 분비하는 골지체이다.

③-2 핵(A)에는 유전 물질인 DNA가 있으며, DNA에 저장된 유전 정보에 따라 리보솜에서 단백질이 합성된다.

③-3 (1) 핵(A)과 거친면 소포체(B)의 내부는 연결되어 있지만, 골지체(C)와는 연결되어 있지 않다.

(2) 거친면 소포체(B)는 합성된 단백질을 운반 소낭(㉠)을 이용하여 이동시키므로 이자 세포와 같이 분비 작용이 활발한 세포에 발달해 있다.

(3) 골지체(C)는 거친면 소포체(B)로부터 운반된 단백질을 가공 및 분류하여 분비 소낭(㉡)을 만들어 세포 밖으로 분비하거나 세포의 다른 곳으로 이동시킨다.

(4) ㉠은 소포체의 막 일부로 단백질을 둘러싸서 만든 운반 소낭이다.

(5) ㉡은 골지체에서 떨어져 나온 분비 소낭이다. 분비 소낭(㉡)의 막이 세포막과 융합되면서 소낭 속에 담긴 단백질이 세포 밖으로 분비된다.

④-1 A는 표면에 리보솜이 붙어 있는 거친면 소포체, B는 소포체에서 온 운반 소낭과 융합하는 골지체, C는 골지체의 일부가 떨어져 나와서 만들어진 리소솜이다.

④-2 거친면 소포체(A)에서는 리보솜에서 합성된 단백질을 가공하여 소포체 막의 일부로 둘러싸 운반 소낭을 만들어 운반한다.

④-3 D는 식균 작용으로 병원체를 끌어들여 형성된 식포와 가수 분해 효소를 포함하는 리소솜이 융합된 것이다. D에서는 리소솜에 포함된 가수 분해 효소에 의해 병원체가 분해되는데, 이를 세포내 소화라고 한다.

④-4 (1) 거친면 소포체(A), 골지체(B), 리소솜(C)은 모두 단일막 구조를 가진다.

(2) 거친면 소포체(A)의 내부는 연결되어 있지만, 골지체(B)는 납작한 주머니 모양인 시스터나가 쌓여 있는 구조로 내부가 서로 연결되어 있지 않다.

(3) 리소솜(C)은 작은 주머니 모양의 세포 소기관으로, 골지체(B)의 일부가 떨어져 나와 만들어진 것이다.

(4) 골지체(B)는 단백질의 가공 및 분비를 담당하며, 손상된 세포 소기관을 분해하는 것은 리소솜(C)이다.

(5) 리소솜(C)에는 단백질, 탄수화물, 지질, 핵산 등의 가수 분해 효소가 들어 있다.

- 01 ⑤ 02 ⑤ 03 ② 04 ⑤ 05 ① 06 해설 참조
 07 해설 참조 08 ② 09 ① 10 ④ 11 ①
 12 ② 13 ① 14 ② 15 ③ 16 ① 17 ④
 18 ③

01 ① (가)는 핵막이 없으므로 원핵세포이고, (나)는 핵막과 막으로 둘러싸인 세포 소기관이 있으므로 진핵세포이다.

② (가)는 원핵세포로, 엽록체, 미토콘드리아, 소포체 등 막으로 둘러싸인 세포 소기관이 없다.

③ (나)는 진핵세포 중 식물 세포이므로 셀룰로스를 포함하는 세포벽을 가진다.

④ (가)와 (나)를 비롯한 모든 세포는 세포막으로 둘러싸여 있고, 단백질 합성 장소인 리보솜을 가진다.

바로알기 ⑤ (가)의 유전 물질은 원형 DNA이고, (나)의 유전 물질은 선형 DNA이다.

02 ⑤ 원핵세포의 리보솜은 진핵세포의 리보솜보다 크기가 작다.

바로알기 ① 원핵세포는 핵막이 없어 유전 물질이 세포질에 존재한다.

② 원핵세포는 핵막은 가지지 않지만 세포벽을 가지며, 세균은 당단백질인 펩티도글리칸을 포함하는 세포벽을 가진다.

③ 원핵세포는 막으로 둘러싸인 세포 소기관이 없다.

④ 원핵세포의 DNA도 단백질과 결합되어 있지만, 히스톤이 없어 뉴클레오솜을 형성하지 못한다.

03 막으로 둘러싸인 세포 소기관을 가진 생물은 진핵생물이며, 곰팡이, 소나무, 아메바, 초파리는 모두 진핵생물이다.

바로알기 ② 대장균은 핵막과 막으로 둘러싸인 세포 소기관이 없는 원핵생물이다.

04 ㄷ. 원핵세포는 보통 진핵세포보다 유전 물질의 양이 적다. ㄹ. 원핵세포는 세포막 바깥에 세포벽이 있지만, 진핵세포 중 동물 세포는 세포벽이 없다.

바로알기 ㄱ. 원핵세포의 크기는 보통 1 μm~10 μm이다. 진핵세포의 크기는 보통 10 μm~100 μm로 원핵세포보다 크다.

ㄴ. 원핵세포는 핵막이 없지만, 진핵세포는 핵막이 있다.

05 사람의 상피 세포와 양파의 표피 세포는 진핵세포이므로 핵막과 리보솜이 있고, 양파의 표피 세포와 대장균은 세포벽이 있다. 따라서 A는 핵막, B는 리보솜, C는 세포벽이다.

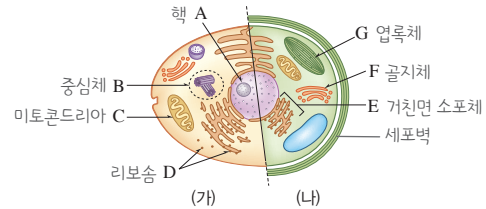
바로알기 미토콘드리아는 진핵세포인 사람의 상피 세포와 양파의 표피 세포에 있다.

06 동물 세포(가)는 핵막과 막으로 둘러싸인 세포 소기관이 있는 진핵세포이고, 세균(나)은 핵막과 막으로 둘러싸인 세포 소기관이 없는 원핵세포이다. 진핵세포와 원핵세포는 모두 유전 물질과 세포질을 둘러싼 세포막을 가지며, 원핵세포는 진핵세포보다 크기가 작은 리보솜을 가진다.

모범답안 유전 물질을 가진다. 세포막을 가진다. 리보솜을 가진다. 중 두 가지

채점 기준	배점
(가)와 (나)의 공통점을 두 가지 모두 옳게 서술한 경우	100%
(가)와 (나)의 공통점을 한 가지만 옳게 서술한 경우	50%

07 **꼼꼼** 문제 분석



(나)에만 엽록체(G)와 세포벽이 있으므로 (가)는 동물 세포, (나)는 식물 세포이다.

식물 세포는 동물 세포와 달리 엽록체와 세포벽을 가진다.

모범답안 (나), 식물 세포에만 있는 엽록체(G)와 세포벽이 있기 때문이다.

채점 기준	배점
(나)라고 쓰고, 그렇게 판단한 까닭을 엽록체와 세포벽을 들어 옳게 서술한 경우	100%
(나)라고 쓰고, 그렇게 판단한 까닭을 엽록체와 세포벽 중 한 가지만 들어 서술한 경우	70%
(나)라고만 쓴 경우	30%

08 ① 핵(A) 속의 인에서 rRNA(리보솜 RNA)가 합성되며, 인에서 합성된 rRNA가 단백질과 함께 리보솜(D) 단위를 구성한다.

③ 미토콘드리아(C)에서는 유기물(포도당)의 화학 에너지가 ATP의 화학 에너지로, 엽록체(G)에서는 빛에너지가 유기물(포도당)의 화학 에너지로 전환된다.

④ 거친면 소포체(E)는 단백질을 가공 및 운반하므로 이자 세포와 같이 분비 작용이 활발한 세포에 발달한다.

⑤ 엽록체(G)는 광합성이 활발한 세포에 많이 존재한다.

바로알기 ② 골지체(F)는 단일막으로 둘러싸여 있지만, 중심체(B)는 미세 소관으로 구성되며 막으로 둘러싸여 있지 않다.

09 A는 중심체, B는 골지체, C는 미토콘드리아, D는 매끈면 소포체, E는 핵이다.

- ② 골지체(B)는 단백질과 지질을 가공한 후 세포의 다른 곳으로 수송하거나 세포 밖으로 분비한다.
- ③ 미토콘드리아(C)는 동물 세포와 식물 세포에 모두 존재한다.
- ④ D는 표면에 리보솜이 붙어 있지 않은 매끈면 소포체이다.
- ⑤ 핵(E) 속에는 DNA가 있으며, DNA에 저장된 유전 정보에 의해 생물의 형질이 결정된다.

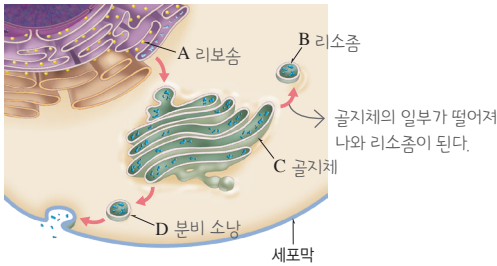
▮바로알기▮ ① 독성 물질 해독과 칼슘 이온 저장에 관여하는 것은 매끈면 소포체(D)이다. 중심체(A)는 세포 분열 시 염색체 이동에 관여한다.

10 ㄱ. A는 핵 속의 인이며, 인(A)은 rRNA의 합성 장소이다. ㄷ. C는 핵막이다. 핵막(C)은 2중막으로, 일부는 소포체 막과 연결되어 있다.

ㄹ. 핵 속에는 유전 물질인 DNA가 단백질인 히스톤과 결합하고 있다.

▮바로알기▮ ㄴ. B는 핵공이다. 단백질, RNA 등과 같은 물질이 핵공(B)을 통해 세포질과 핵 사이를 이동하며, DNA는 세포질로 이동하지 않는다.

11 **꼼꼼** 문제 분석



골지체에서 가공 및 분류된 단백질이나 지질이 분비 소낭에 포함되어 세포막 쪽으로 이동한다. → 분비 소낭의 막이 세포막과 융합되면서 물질이 세포 밖으로 분비된다.

- ② 리보솜(A)에서 단백질이 합성되며, 단백질에 대한 유전 정보는 핵 속의 DNA에 있다.
- ③ 리소좀(B)은 가수 분해 효소가 들어 있어 손상된 세포 소기관을 분해하는 데 관여한다.
- ④ 골지체(C)는 단백질의 분비에 관여하므로 내분비샘과 같이 분비 작용이 활발한 세포에 발달되어 있다.
- ⑤ 리보솜(A) → 골지체(C) → 분비 소낭(D)으로의 물질 이동 과정은 방사성 동위원소를 함유한 물질을 이용한 자기 방사법으로 추적할 수 있다.

▮바로알기▮ ① 리보솜(A)은 막으로 둘러싸여 있지 않으며, 리소좀(B), 골지체(C)는 모두 단일막 구조이다.

12 (가)는 엽록체, (나)는 미토콘드리아이다.

- ① 엽록체(가)는 동물 세포에는 없고 식물 세포에만 있는 세포 소기관이다.
- ③ 미토콘드리아(나)는 유기물을 분해하여 에너지를 방출하는 세포 호흡이 일어나는 장소이므로 근육 세포와 같이 에너지를 많이 사용하는 세포에 많다.
- ④ 엽록체(가)는 내막 안쪽의 스트로마에, 미토콘드리아(나)는 내막 안쪽의 기질에 DNA와 리보솜이 존재한다.
- ⑤ 엽록체(가)와 미토콘드리아(나)는 모두 외막과 내막의 2중막으로 둘러싸여 있다.

▮바로알기▮ ② 엽록체(가)에서는 광합성이 일어나 빛에너지가 화학 에너지로 전환된다. 미토콘드리아(나)에서는 세포 호흡이 일어나 유기물의 화학 에너지가 ATP의 화학 에너지로 전환된다.

13 ㄱ. A는 막의 일부가 핵막과 연결되어 있으며 표면에 리보솜이 붙어 있으므로 거친면 소포체이다.

ㄴ. B는 거친면 소포체의 표면에 붙어 있는 리보솜이다. 리보솜(B)에서 생성된 단백질은 소포체에서 가공된 후 운반 소낭에 담겨 골지체(C)로 운반된다.

▮바로알기▮ ㄷ. C는 골지체이며, 세포내 소화는 리소좀(D)에서 일어난다.

ㄹ. D는 골지체에서 떨어져 나와 이물질이 포함된 소낭과 결합하여 이물질을 분해하므로 리소좀이다. 리소좀(D)에는 단백질, 탄수화물, 지질, 핵산 등을 분해하는 다양한 가수 분해 효소가 들어 있다.

14 A는 2차 세포벽, B는 1차 세포벽이다.

ㄴ. 1차 세포벽(B)을 구성하는 주성분은 셀룰로스이다.

▮바로알기▮ ㄱ. 세포벽은 물과 용질을 모두 통과시킨다. 세포 안팎으로의 물질 출입 조절은 세포막이 담당한다.

ㄷ. 1차 세포벽(B)이 형성된 후 1차 세포벽(B)과 세포막 사이에 2차 세포벽(A)이 형성되며, 2차 세포벽(A)이 1차 세포벽(B)보다 두께가 두껍다.

15 ① (가)는 구형의 액틴 단백질이 결합하여 만들어진 액틴 필라멘트 두 가닥이 서로 꼬인 모양이므로 미세 섬유이다. (나)는 단백질 여러 가닥이 두껍게 꼬여 있는 모양이므로 중간 섬유이고, (다)는 원통형 관 모양이므로 미세 소관이다.

② 미세 섬유(가)는 세포막 바로 아래에 퍼져 있으며, 근육 수축, 세포질 분열 등에 관여한다.

④ 세포 골격을 구성하는 (가)~(다)는 모두 단백질 섬유이다.

⑤ (가)~(다) 중 굵기가 가장 굵은 것은 미세 소관(다)이다.

▮바로알기▮ ③ 중간 섬유(나)는 세포의 형태, 핵막의 유지에 관여한다. 염색체의 이동에 관여하는 것은 미세 소관(다)이다.

16 ㄱ. 섬모를 구성하는 단백질 섬유 A는 미세 소관이다.
▣바로알기 ㄴ. 섬모의 횡단면을 보면 미세 소관(A) 2개로 이루어진 미세 소관 다발 9개가 일정한 간격으로 등골게 배열되고, 가운데에 미세 소관(A) 2개가 있다. 중심립의 횡단면을 보면 미세 소관 3개로 이루어진 미세 소관 다발 9개가 일정한 간격으로 등골게 배열되어 있다.
 ㄷ. 섬모는 사람의 기관지에서 관찰되며, 사람의 정자에서는 편모가 관찰된다.

17 A는 골지체, B는 리소좀, C는 리보솜이다.
 ④ 리소좀(B)은 세포 안으로 들어온 세균과 같은 이물질을 분해하는 세포내 소화를 담당한다.
▣바로알기 ① 골지체(A)는 납작한 주머니 모양의 시스터나가 쌓여 있는 구조로 내부가 서로 연결되어 있지 않다.
 ② 골지체(A)는 세포 외 분비를 담당하며 항체를 분비하는 세포와 같이 분비 작용이 활발한 세포에 많이 존재한다.
 ③ 리소좀(B)은 골지체(A)의 일부가 떨어져 나와서 형성된다.
 ⑤ 거친면 소포체의 표면에만 리보솜(C)이 붙어 있다.

18 ㄷ. 광합성은 엽록체에서만 일어나므로 '광합성이 일어난다.'는 C에 해당한다.
▣바로알기 ㄱ. 2중막 구조인 세포 구조에는 핵, 엽록체, 미토콘드리아가 있으므로 '2중막 구조이다.'는 그림에서 핵과 엽록체의 공통점이다.
 ㄴ. 핵과 리보솜은 동물 세포와 식물 세포에 모두 있지만, 엽록체는 식물 세포에만 있다. 따라서 '동물 세포에 있다.'는 핵과 리보솜의 공통점이다.

중단원 핵심 정리 54쪽~55쪽

1 기관계	2 조직계	3 이당류	4 인지질
5 펩타이드 결합	6 뉴클레오타이드	7 디옥시리보스	
8 투과	9 세포 분획법	10 원핵	11 진핵
12 있음	13 엽록체	14 인	15 리보솜
16 광합성	17 매끈면	18 거친면	19 리소좀
20 미세 소관	21 미세 섬유		

중단원 마무리 문제 56쪽~59쪽

01 ①	02 ②	03 ⑤	04 ④	05 ③	06 ③
07 ④	08 ①	09 ③	10 ②	11 A: 엽록체, B: 액포, C: 미세 소관	
12 ④	13 ③	14 ④	15 ④		
16 해설 참조	17 해설 참조	18 해설 참조			

01 ㄱ. A는 조직, B는 기관, C는 기관계이다. 인대와 혈액은 결합 조직이므로 조직(A)의 구성 단계에 해당한다.
▣바로알기 ㄴ. 독립된 구조와 기능을 가지는 구성 단계는 개체이다.
 ㄷ. 형태와 기능이 비슷한 세포들의 모임은 조직(A)이고, 기관(B)은 여러 조직이 모여 고유한 기능을 수행하는 단계이므로 연관된 기능을 하는 기관(B)들이 모여 구성된 기관계(C)는 형태와 기능이 다양한 세포들로 구성된다.

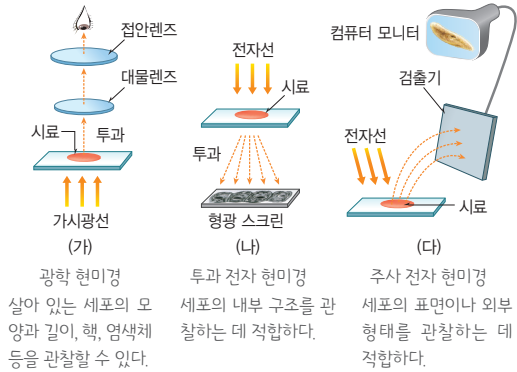
02 ② 소화계(가)는 연관된 기능을 하는 여러 기관들로 구성된 기관계다.
▣바로알기 ① 심장은 순환계에, 콩팥은 배설계에 속한다.
 ③ (나)는 줄기이므로, 기관에 속한다.
 ④ 동물의 근육은 조직에 속한다.
 ⑤ 동물체의 구성 단계에는 조직계가 없다.

03 ㄴ. (나)는 탄수화물이다. 식물 세포벽의 주성분인 셀룰로스는 탄수화물(나)에 해당한다.
 ㄷ. (다)는 핵산이며, 핵산의 단위체는 뉴클레오타이드이다. 뉴클레오타이드는 인산, 당, 염기로 이루어져 있으며, 인산에 인(P)이 포함된다.
▣바로알기 ㄱ. (가)는 단백질이며, 성호르몬의 주성분은 지질에 속하는 스테로이드이다.

04 (가)는 단백질의 단위체인 아미노산, (나)는 녹말의 단위체인 포도당, (다)는 핵산의 단위체인 뉴클레오타이드이다.
 ㄴ. 포도당(나)은 동물의 간에서 다당류인 글리코젠 형태로 저장되며, 저장된 글리코젠은 필요 시 포도당으로 분해되어 쓰인다.
 ㄷ. 핵산의 단위체인 뉴클레오타이드는 인산, 당, 염기가 1 : 1 : 1로 결합된 구조이다.
▣바로알기 ㄱ. 아미노산(가)의 종류는 결사슬(R)의 종류에 따라 달라지는데, 생명체에는 20종류의 아미노산이 있다.

05 (가)는 폴리뉴클레오타이드 두 가닥이 이중 나선 구조를 이루므로 DNA이고, (나)는 단일 가닥의 폴리뉴클레오타이드로 되어 있으므로 RNA이다.
 ① DNA(가)는 히스톤과 함께 염색체를 구성한다.
 ② RNA(나)는 리보솜을 이루므로 미토콘드리아의 기질, 엽록체의 스트로마에서 모두 발견된다.
 ④ DNA(가)의 당은 디옥시리보스, RNA(나)의 당은 리보스이다.
 ⑤ DNA(가)는 유전 정보를 저장하고, RNA(나)는 DNA(가)의 유전 정보를 전달한다.
▣바로알기 ③ DNA(가)를 구성하는 염기는 아데닌(A), 구아닌(G), 사이토신(C), 타이민(T)이고, RNA(나)를 구성하는 염기는 아데닌(A), 구아닌(G), 사이토신(C), 유라실(U)이다.

06 **꼼꼼** 문제 분석



- ① 광학 현미경(가)의 광원은 가시광선, 투과 전자 현미경(나)의 광원은 전자선이다.
- ② 광학 현미경(가)으로는 살아 있는 아메바를 관찰할 수 있다.
- ④ 일반적으로 광학 현미경(가)보다 전자 현미경의 해상력이 높다.
- ⑤ (다)는 시료 표면에 전자선을 주사하여 화면에 시료 표면의 영상이 형성되므로, 주사 전자 현미경이다.

▣ **바로알기** ③ 백혈구의 표면을 입체적으로 관찰할 수 있는 현미경은 주사 전자 현미경(다)이다.

07 A는 DNA와 인이 존재하므로 핵이고, B는 내막이 안쪽으로 주름진 구조인 크리스타가 있으므로 미토콘드리아이다. C는 물질 수송의 통로 역할을 하므로 소포체이다.

- ㄴ. 핵(A)이 소포체(C)보다 크기가 크고 무거워 먼저 침전된다.
- ㄷ. 미토콘드리아(B)는 고유의 DNA와 리보솜이 있어 스스로 복제하여 증식할 수 있다.

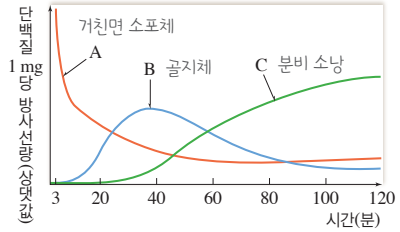
▣ **바로알기** ㄱ. 침전물 I, II, III에는 크고 무거운 세포 소기관에서 작은 세포 소기관 순으로 들어 있다. 이는 세포 분획 시 원심 분리 속도를 느리게 시작하여 점차 빠른 속도로 하였기 때문이다. 따라서 원심 분리 속도는 ㉠ < ㉡ < ㉢이다.

08 세균은 원핵세포이고, 식물 세포는 진핵세포이다.

- ㄱ. 세균은 펩티도글리칸을 포함하는 세포벽을 가지고, 식물 세포는 셀룰로스가 주성분인 세포벽을 가진다.
- ㄴ. 세균과 식물 세포는 모두 효소가 있어 물질대사를 할 수 있다. 세균은 세포 분열을 통해 증식하며, 식물은 세포 분열을 통해 성장, 재생 등을 한다.

▣ **바로알기** ㄷ. 세균은 유전 물질로 원형 DNA를 가지며, 식물 세포는 유전 물질로 선형 DNA를 가진다.
ㄹ. 세균은 막으로 둘러싸인 세포 소기관이 없지만, 식물 세포는 막으로 둘러싸인 세포 소기관이 있다.

09 **꼼꼼** 문제 분석



- A: 방사선이 가장 먼저 검출되었으므로 단백질이 처음 가공되는 거친면 소포체이다.
- B: 거친면 소포체에서 가공된 단백질은 운반 소낭을 통해 골지체로 운반되므로 골지체이다.
- C: 골지체에서 가공 및 분류된 단백질을 운반하는 분비 소낭이다.

ㄱ, ㄴ. 방사성 동위 원소 ³⁵S으로 표지된 아미노산을 세포에 주입하여 시간의 경과에 따라 세포 소기관의 방사선 검출량을 측정함으로써 단백질 합성 및 이동 경로를 파악하는 것은 자기 방사법을 이용한 연구이다. 거친면 소포체(A) 표면에 붙은 리보솜에서 합성된 단백질은 소포체에서 가공된 후 골지체(B), 분비 소낭(C)을 거쳐 세포 밖으로 분비된다.

▣ **바로알기** ㄷ. 합성된 단백질이 거친면 소포체(A)에서 가공된 후 골지체(B)로 전달되면, 골지체(B)에서 단백질을 가공 및 분류하여 막으로 둘러싸 분비 소낭(C)을 만든다. 따라서 합성된 단백질은 A → B → C의 경로로 이동한다.

10 세포 호흡이 일어나는 장소는 미토콘드리아이므로 A는 미토콘드리아이다. 세포내 소화를 담당하는 것은 리소솜이므로 B는 리소솜, C는 엽록체이다.

- ① 식물 세포에는 미토콘드리아(A)와 엽록체(C)가 모두 있다.
- ③, ④ 리소솜(B)은 여러 종류의 가수 분해 효소가 있어 세포내 소화를 담당한다.
- ⑤ 엽록체(C)는 외막과 내막의 2중막으로 둘러싸여 있다.

▣ **바로알기** ② 미토콘드리아(A)와 엽록체(C)는 자체 유전 물질인 DNA를 가지지만, 리소솜(B)은 유전 물질을 가지지 않는다.

11 엽록체(A)의 내막 안쪽은 틸라코이드가 쌓여 층을 이룬 그라나와 기질로 채워진 스트로마로 구성되며, 액포(B)는 식물 세포 내의 수분량을 조절하여 삼투압을 조절한다. 동물 세포의 운동 기관인 섬모와 편모는 모두 미세 소관(C)으로 이루어져 있다.

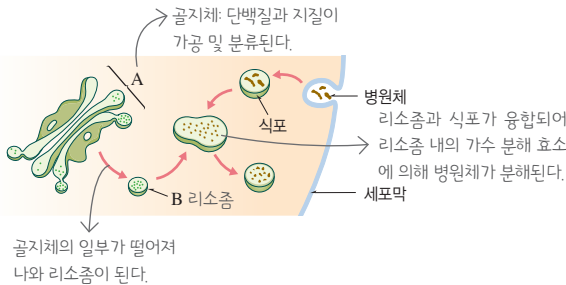
12 ① (가)는 핵, (나)는 미토콘드리아이며, 핵과 미토콘드리아는 모두 2중막 구조를 가진다.

- ② 핵(가)은 세포의 구조와 기능을 결정하고, 물질대사, 증식, 유전 등 세포의 생명 활동의 중심이다.
- ③ 미토콘드리아(나)는 에너지를 생성하는 세포 소기관으로, 에너지를 많이 사용하는 세포에 발달해 있다.

⑤ 핵(가), 미토콘드리아(나), 중심립(다)은 모두 동물 세포에 존재한다.

❗ **바로알기** ④ (다)는 미세 소관으로 이루어진 중심립이다.

13 **꼼꼼** 문제 분석



ㄱ. 납작한 주머니 모양의 구조물을 시스터나라고 한다. A는 시스터나가 쌓여 있는 세포 소기관인 골지체이다.

ㄴ. B는 골지체에서 떨어져 나온 세포 소기관으로, 병원체가 들어 있는 식포와 융합하여 병원체를 분해한다. 따라서 B는 리소좀이다.

❗ **바로알기** ㄷ. 리소좀(B)에 있는 가수 분해 효소의 주성분은 단백질이므로 리보솜에서 합성된다.

14 엽록체, 리보솜, 리소좀 중 2중막 구조를 가지는 세포 소기관은 엽록체이고, 구성 물질에 RNA가 있는 세포 소기관은 엽록체와 리보솜, 세포내 소화 가 일어나는 세포 소기관은 리소좀이다.

ㄱ. A는 엽록체, B는 리보솜, C는 리소좀이다.

ㄴ. 리보솜(B)에서 유전 정보에 따라 단백질이 합성된다.

ㄷ. ㉠은 엽록체(A)와 리보솜(B)의 공통점인 '구성 물질에 RNA가 있다.'이다. 엽록체(A)는 자체 리보솜이 있어 구성 물질에 RNA가 있으며, 리보솜(B)은 RNA와 단백질로 구성된다.

❗ **바로알기** ㄴ. ㉠은 리소좀만이 가지는 특징인 '세포내 소화 가 일어난다.'이다. '2중막 구조를 가진다.'는 ㉡이다.

15 A는 중간 섬유, B는 미세 소관, C는 미세 섬유이다.

ㄱ. 중간 섬유(A)의 두께는 약 8 nm~12 nm, 미세 소관(B)은 약 25 nm, 미세 섬유(C)는 약 7 nm이다. 따라서 A~C 중 미세 소관(B)이 가장 굵다.

ㄷ. 미세 섬유(C)는 세포막 바로 아래에 퍼져 있으며, 세포질 분열, 근육 수축에 관여한다.

❗ **바로알기** ㄴ. 진핵세포의 편모는 미세 소관(B)으로 이루어져 있다.

16 한 아미노산의 카복실기와 다른 아미노산의 아미노기 사이에서 물이 한 분자가 빠져나오면서 펩타이드 결합이 형성된다.

많은 수의 아미노산이 펩타이드 결합으로 연결되어 폴리펩타이드가 만들어지고, 폴리펩타이드는 접히거나 꼬여 입체 구조를 형성하여 단백질이 된다.

❗ **모범답안** 펩타이드 결합, 수많은 아미노산이 펩타이드 결합으로 연결되어 폴리펩타이드가 만들어지며, 폴리펩타이드는 입체 구조를 형성하여 단백질이 된다.

채점 기준	배점
펩타이드 결합이라고 쓰고, 펩타이드 결합으로 단백질이 만들어지는 과정을 옳게 서술한 경우	100 %
펩타이드 결합이라고만 쓴 경우	30 %

17 자기 방사법은 방사성 동위 원소로 표지된 화합물을 세포에 공급하고 시간 경과에 따라 방사성 동위 원소에서 방출되는 방사선을 추적하여 물질의 생성 및 이동 경로를 알아내는 방법이다. ¹⁴C로 표지된 이산화 탄소를 식물 세포에 주입하고 추적하면 세포 내 광합성 과정과 생성물을 연구할 수 있다.

❗ **모범답안** 자기 방사법, 이산화 탄소를 ¹⁴C로 표지하여 식물 세포에 주입하고 방사선을 추적하면 포도당이 합성되기까지의 경로를 알 수 있다.

채점 기준	배점
자기 방사법이라고 쓰고, 이를 통해 포도당이 합성되기까지의 경로를 추적하는 방법을 옳게 서술한 경우	100 %
자기 방사법이라고만 쓴 경우	30 %

18 (가)는 외막과 내막의 2중막으로 둘러싸여 있으며, 내막이 주름진 구조를 하고 있으므로 미토콘드리아이다. (나)는 외막과 내막의 2중막으로 둘러싸여 있으며, 내막 안쪽에는 원반 모양의 구조물인 틸라코이드가 쌓여 그라나를 형성하므로 엽록체이다.

❗ **모범답안** (가) 미토콘드리아, (나) 엽록체, (가)와 (나)는 모두 2중막 구조를 가지며, 에너지 전환이 일어나는 장소이다.

채점 기준	배점
(가), (나)의 이름을 쓰고, 구조적 공통점과 기능적 공통점을 한 가지씩 옳게 서술한 경우	100 %
(가), (나)의 이름을 쓰고, 구조적 공통점과 기능적 공통점 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	70 %
(가), (나)의 이름만 옳게 쓴 경우	30 %

수능 실전 문제

60 쪽~61 쪽

- 01 ④ 02 ④ 03 ⑤ 04 ⑤ 05 ④ 06 ①
07 ③ 08 ④

01

선택지 분석

- Ⓐ '조직 단계가 있다.'는 ㉠에 해당한다.
- Ⓑ (나)를 구성하는 세포에는 세포벽이 있다.
- Ⓒ 생쥐의 뇌와 옥수수의 체관은 생명체의 구성 단계에서 같은 단계에 속한다.

기관계는 동물체의 구성 단계에만 있으므로, '기관계가 있다.'는 ㉠이다. 따라서 (가)는 생쥐, (나)는 옥수수이다.

Ⓐ. 조직 단계는 식물체와 동물체의 구성 단계에 모두 있으므로, '조직 단계가 있다.'는 ㉠에 해당한다.

Ⓝ. 옥수수(나)는 식물이므로 옥수수를 구성하는 세포에는 세포벽이 있다.

바로알기 Ⓒ. 생쥐(가)의 뇌는 기관이고, 옥수수(나)의 체관은 통도 조직이다.

02

선택지 분석

- Ⓐ 은행나무 잎 세포에는 A~C가 모두 포함되어 있다.
- Ⓑ C는 이당류의 한 종류이다. **다당류**
- Ⓒ '펩타이드 결합이 존재하는가?'는 (가)에 해당한다.

셀룰로스는 식물 세포의 세포벽 주성분으로 동물 세포에는 없다. 유전 정보를 가지고 있는 유전 물질은 DNA이다. 따라서 A는 DNA, B는 단백질, C는 셀룰로스이다.

Ⓐ. 은행나무 잎 세포는 식물 세포이므로 DNA(A), 단백질(B), 셀룰로스(C)를 모두 포함한다.

Ⓒ. 단백질은 많은 수의 아미노산이 펩타이드 결합으로 연결되어 있으므로 '펩타이드 결합이 존재하는가?'는 (가)에 해당한다.

바로알기 Ⓝ. 셀룰로스(C)는 많은 수의 단당류가 결합한 다당류이다.

03

선택지 분석

- Ⓐ (가)~(다)의 공통적인 구성 원소는 탄소(C), 수소(H), 산소(O)이다.
- Ⓑ (나)는 친수성 머리와 소수성 꼬리를 가진다.
- Ⓒ (다)는 효소와 호르몬의 성분이다.

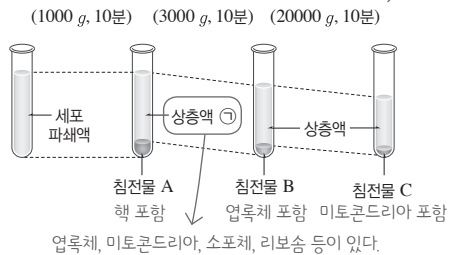
Ⓐ. 탄수화물인 녹말(가)과 지질인 인지질(나)은 탄소(C), 수소(H), 산소(O)로 구성되고, 단백질(다)은 탄소(C), 수소(H), 산소(O), 질소(N) 등으로 구성된다.

Ⓝ. 인지질(나)은 인산을 포함하여 친수성을 띠는 머리 부분과 지방산을 포함하여 소수성을 띠는 꼬리 부분으로 구성된다.

Ⓒ. 단백질(다)은 효소와 호르몬을 구성하여 물질대사와 생리 작용 조절에 관여한다.

04 꼬꼬 문제 분석

회전 속도가 느릴 때 크고 무거운 핵이 분리되고, 이후 회전 속도가 빨라질수록 점차 작은 세포 소기관이 분리된다.



선택지 분석

- Ⓐ 상층액 ㉠에는 리보솜이 있다.
- Ⓑ A~C에는 모두 DNA와 단백질이 있다.
- Ⓒ B에는 엽록체가 있다.

Ⓐ. 세포 분획법에서는 세포 소기관이 크고 무거운 것부터 작은 것 순으로 분리되므로 A에는 핵, B에는 엽록체, C에는 미토콘드리아가 포함된다. 상층액 ㉠에는 핵보다 가벼운 세포 소기관이 모두 포함되므로 엽록체, 미토콘드리아, 리보솜 등이 있다.

Ⓝ. 핵에는 유전 물질인 DNA가 히스톤과 결합되어 있으며, 엽록체와 미토콘드리아는 모두 자체 DNA와 효소를 가진다.

Ⓒ. 세포벽을 제거한 식물 세포를 세포 분획하면 핵 → 엽록체 → 미토콘드리아 순으로 침전되므로 B에는 엽록체가 있다.

05 꼬꼬 문제 분석

	사람의 상피 세포	대장균	시금치의 공변세포
세포	A	B	C
핵막	있음	없음	있음
리보솜	? 있음	있음	있음
세포벽	없음	있음	? 있음

핵막이 있으므로 진행세포이고, 세포벽이 없으므로 동물 세포이다. 핵막이 없으므로 원핵세포이며, 세포벽은 펩티도글리칸을 포함한다. 핵막이 있으므로 진행세포이며, 세포벽은 셀룰로스를 포함한다.

선택지 분석

- Ⓐ A는 진핵세포이다.
- Ⓑ B와 C에는 모두 엽록체가 있다. **C에만**
- Ⓒ B는 펩티도글리칸이 포함된 세포벽을 가진다.

ㄱ. A는 핵막이 있으므로 진핵세포이다.
 ㄴ. 대장균(B)과 같은 세균은 세포벽에 펩티도글리칸을 포함하고 있다.

▣ **바로알기** ▣ ㄴ. 원핵세포인 대장균(B)은 막으로 둘러싸인 세포 소기관이 없으므로 엽록체를 가지지 않는다. 시금치의 공변세포(C)는 엽록체를 가진다.

06

선택지 분석

- (가)로 구성된 물질은 B에 존재한다.
- A의 막은 핵막과 연결되어 있다. C, 거친면 소포체
- A~C는 모두 세균에서 관찰된다. 관찰되지 않는다.

(가)는 아미노산이며, A는 골지체, B는 리소좀, C는 거친면 소포체이다.

ㄱ. 리소좀(B)은 단백질이 주성분인 여러 가지 가수 분해 효소를 가진다. 따라서 아미노산(가)으로 구성된 물질인 단백질은 리소좀(B)에 존재한다.

▣ **바로알기** ▣ ㄴ. 핵막과 연결되어 있는 막을 가진 세포 소기관은 거친면 소포체(C)이다. 골지체(A)의 막은 핵막과 연결되어 있지 않다.

ㄴ. 세균은 핵막과 막으로 둘러싸인 세포 소기관을 가지지 않는 원핵세포이다. 골지체(A), 리소좀(B), 거친면 소포체(C)는 모두 단일막 구조의 세포 소기관이므로 세균에서 관찰되지 않는다.

07

선택지 분석

- A는 대장균에 존재한다.
- ㉠은 '크리스타 구조를 가진다.'이다.
- C에는 핵산이 있다. 없다.

단백질 합성 장소는 리보솜이며, 미토콘드리아의 기질에는 리보솜이 있다. 그리고 크리스타 구조를 가지는 것은 미토콘드리아이다. 따라서 특징 ㉠은 '단백질이 합성된다.', 특징 ㉡은 '크리스타 구조를 가진다.'이며, A는 리보솜, B는 미토콘드리아, C는 골지체이다.

ㄱ. 대장균은 원핵세포이며, 원핵세포는 일반적으로 진핵세포보다 작은 리보솜(A)을 가진다.

ㄴ. 특징 ㉡은 세포 소기관 A~C 중 B에만 해당하는 특징이므로 '크리스타 구조를 가진다.'이다.

▣ **바로알기** ▣ ㄴ. 골지체(C)에는 DNA, RNA와 같은 핵산이 없다. 핵산은 리보솜(A), 미토콘드리아(B)에 있다.

08 **꼼꼼** 문제 분석

구분	방사선 검출 여부			세포 밖
	A 골지체	B 소포체	C 리보솜	
정상 세포	○	○	○	○
세포 I	-	-	○	-
세포 II	○	○	○	-
세포 III	-	○	○	-

(○: 방사선 검출됨, -: 방사선 검출 안 됨)

골지체, 리보솜, 소포체에서 모두 방사선이 검출되었으나 세포 밖에서 방사선이 검출되지 않았다. → 단백질 분비 기능에 이상이 있다.

선택지 분석

- 세포 I에서는 단백질이 합성된다.
- 세포 II는 골지체에 이상이 생긴 돌연변이이다.
- 세포 III에서는 합성된 단백질이 들어 있는 분비 소낭이 형성된다. 형성되지 않는다.
- 정상 세포에서 단백질의 합성과 이동은 C → B → A의 경로로 일어난다.

ㄱ. 단백질은 리보솜에서 합성되어 소포체, 골지체를 거쳐 세포 밖으로 분비된다. 세포 I~III의 C에서 모두 방사선이 검출되었으므로 C는 아미노산의 펩타이드 결합으로 단백질이 합성되는 장소인 리보솜임을 알 수 있다. 세포 I에서는 리보솜(C) 이외의 세포 소기관에서 방사선이 검출되지 않았고, 세포 III에서는 리보솜(C)과 세포 소기관 B에서 방사선이 검출되었으므로, 세포 III에서는 리보솜(C)에서 소포체(B)로 단백질이 이동되었음을 알 수 있다. 세포 II에서는 세포 소기관 A에서도 방사선이 검출되었으므로 리보솜(C)에서 생성된 단백질이 소포체(B)를 거쳐 골지체(A)로 이동하였다는 것을 알 수 있다. 따라서 A는 골지체, B는 소포체이다.

ㄴ. 세포 II는 리보솜(C), 소포체(B), 골지체(A) 모두에서 방사선이 검출되고, 세포 밖에서는 검출되지 않았다. 이를 통해 세포 II는 단백질을 분비하는 골지체(A)에 이상이 생긴 돌연변이라는 것을 알 수 있다.

ㄷ. 정상 세포에서 단백질의 합성과 이동은 리보솜(C) → 소포체(B) → 골지체(A)의 경로로 일어난다.

▣ **바로알기** ▣ ㄴ. 골지체(A)에서는 단백질을 가공 및 분류하고 막 일부로 둘러싸 분비 소낭을 만든다. 세포 III에서는 리보솜(C)에서 합성된 단백질이 소포체(B)로는 이동하였지만 골지체(A)와 세포 밖으로는 이동하지 못하였으므로 분비 소낭이 형성되지 않았음을 알 수 있다.

2 세포막과 효소

01 세포막을 통한 물질 이동

개념 확인 문제 65 쪽

① 친수성 ② 소수성 ③ 막단백질 ④ 선택적 투과성
⑤ 유동 모자이크막

1 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × 2 선택적 투과성 3 ⑤

- (1) 세포막의 주성분은 인지질(A)과 단백질(B)이며, 세포막은 인지질 2중층 곳곳에 막단백질이 관통하거나 파묻혀 있거나 표면에 붙어 있는 구조로 되어 있다.
(2) 세포막은 인지질 2중층으로 된 막 구조이다. 2중막은 핵이나 미토콘드리아, 엽록체의 막과 같이 외막과 내막으로 구성된 것이다.
(3) 세포막을 구성하는 인지질(A)과 단백질(B)은 특정 위치에 고정되어 있는 것이 아니라 유동성이 있다. 인지질은 수평, 수직으로 이동할 수 있으며, 인지질 2중층에 박혀 있는 단백질도 인지질을 따라 이동할 수 있다.
(4) 세포의 안과 밖은 물이 풍부한 환경이고, 인지질(A)의 꼬리 부분은 지방산으로 되어 있어 소수성이며, 머리 부분은 인산 등을 포함하고 있어 친수성이다. 따라서 세포막에서 인지질(A)은 친수성인 머리 부분이 바깥쪽으로 배열되고, 소수성인 꼬리 부분이 서로 마주 보며 안쪽으로 배열되어 2중층을 이룬다.

2 세포가 생명 현상을 유지하기 위해서는 물질대사에 필요한 물질은 세포 안으로 들어오고, 그렇지 않은 물질은 세포 밖으로 배출되어야 한다. 물질의 특성에 따라 세포막을 통한 물질의 이동이 선택적으로 일어나는데, 이러한 세포막의 특성을 선택적 투과성이라고 한다.

- ①, ②, ③, ④ 세포막을 구성하는 막단백질에는 물질 운반에 관여하는 수송 단백질, 세포 밖의 특정 화학 물질을 인식하여 신호 전달에 관여하는 수용체 단백질, 물질대사에 관여하는 효소, 탄수화물이 막단백질에 붙어 있어 세포를 구별하는 데 관여하는 당단백질 등이 있다.
⑤ 세포막의 유동성은 온도에 따라 달라지며, 동물 세포의 경우 인지질 2중층 곳곳에 있는 콜레스테롤에 의해 세포막의 유동성이 조절된다.

개념 확인 문제 69 쪽

① 단순 확산 ② 촉진 확산 ③ 물 ④ 용혈 ⑤ 저장
⑥ 팽윤 ⑦ 저장 ⑧ 원형질 분리 ⑨ 고장 ⑩ 삼투압
⑪ 팽압

1 (가) 산소 (나) Na^+ , 포도당, 아미노산 2 (1) ○ (2) × (3) ×
3 A, 통로 단백질 4 (1) A는 낮아지고, B는 높아진다. (2) 삼투
5 저장액: (다), 등장액: (나), 고장액: (가) 6 (1) 고장액 (2) 저장액 (3) ① 증가, ② 감소, ③ 감소

1 산소와 같이 크기가 작은 분자는 세포막의 인지질 2중층을 직접 통과한다. Na^+ 과 같이 전하를 띠는 이온이나 포도당, 아미노산과 같이 비교적 크기가 큰 분자는 막단백질을 통해 세포막을 통과한다.

- (1) 단순 확산과 촉진 확산은 모두 세포막을 경계로 세포 안팎의 농도 기울기에 따라 물질이 이동하는 방식이며, 세포가 에너지를 사용하지 않는다.
(2) 폐포와 모세 혈관 사이에서의 기체 교환은 단순 확산에 의해 일어난다. 산소는 모세 혈관보다 폐포에서 농도가 높아 폐포에서 모세 혈관으로 단순 확산하고, 이산화 탄소는 폐포보다 모세 혈관에서 농도가 높아 모세 혈관에서 폐포로 단순 확산한다.
(3) 단순 확산으로 물질이 이동하는 속도는 세포 안팎의 농도 차에 비례하여 증가한다. 촉진 확산은 막단백질이 관여하므로 물질 이동 속도가 세포 안팎의 농도 차에 비례하여 증가하다가 일정 수준 이상에서는 더 이상 증가하지 않는다.

3 A는 물질이 세포막을 통과하는 통로 역할을 하는 통로 단백질이다. B는 자신의 결합 부위의 구조에 들어맞는 물질이 결합하면 구조가 변하여 물질을 운반하는 운반체 단백질이다. 뉴런에서 흥분 전도 시 Na^+ 은 통로 단백질(A)을 통해 유입된다.

4 반투과성 막을 경계로 농도가 다른 두 용액이 있으면 물의 농도가 높은 용액(A, 용질의 농도가 낮은 용액)에서 물의 농도가 낮은 용액(B, 용질의 농도가 높은 용액)으로 물이 확산하는데, 이를 삼투라고 한다.

5 (가)에서 적혈구의 모양이 쭈그러든 것은 적혈구를 고장액에 넣어 적혈구 밖으로 물이 빠져나갔기 때문이다. (나)에서 적혈구의 모양이 변하지 않은 것은 적혈구를 등장액에 넣었기 때문이다. (다)에서 적혈구가 부풀다가 터진 것은 적혈구를 저장액에 넣어 적혈구 안으로 물이 들어갔기 때문이다.

- 6** (1) 식물 세포를 고장액에 넣어 두면 삼투에 의해 세포 안에서 밖으로 물이 빠져나가 세포질의 부피가 작아지다가 세포막이 세포벽에서 떨어지는 원형질 분리가 일어난다.
- (2) 식물 세포를 저장액에 넣어 두면 삼투에 의해 세포 밖에서 안으로 물이 들어와 세포의 부피가 커진다.
- (3) 팽압은 세포 내부로부터 세포벽이 받는 압력이고, 흡수력은 삼투압에서 팽압을 뺀 값이다. 따라서 식물 세포가 삼투로 물을 흡수하면 팽압은 증가하고, 삼투압은 감소하므로, 흡수력은 작아진다.

개념 확인 문제

72쪽

- ① 능동 수송 ② 운반체 단백질 ③ 밖 ④ 안 ⑤ 세포 내 섭취 ⑥ 세포의 배출

- 1 (1) × (2) ○ (3) ○ 2 ⑤ 3 ㉠ Na⁺, ㉡ K⁺ 4 (1) ○ (2) × (3) × 5 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○

- 1** (1), (2) 능동 수송은 농도 기울기를 거슬러 농도가 낮은 쪽에서 높은 쪽으로 물질을 이동시키는 방식으로, 운반체 단백질을 통해 일어나며, 에너지를 사용한다.
- (3) 능동 수송은 에너지를 사용하여 특정 물질을 농도가 낮은 곳에서 높은 곳으로 이동시키므로 특정 물질의 세포 안 농도를 세포 밖보다 높거나 낮게 유지하는 데 관여한다.

2 조직 세포와 모세 혈관 사이에서의 산소 이동은 단순 확산에 의해 일어난다.

3 Na⁺-K⁺ 펌프에 의해 Na⁺은 세포 안에서 밖으로, K⁺은 세포 밖에서 안으로 이동한다.

- 4** (1) 세포내 섭취와 세포의 배출은 모두 에너지를 사용하여 물질을 이동시키는 방식이다.
- (2), (3) 음세포 작용과 식세포 작용은 세포 안으로 물질을 이동시키는 방식인 세포내 섭취에 해당한다. 음세포 작용은 액체에 녹아 있는 물질을 세포 안으로 이동시킬 때 일어나고, 식세포 작용은 크기가 큰 고체 물질을 세포 안으로 끌어들이는 때 일어난다.

5 소낭이 세포막과 융합하면서 물질을 세포 밖으로 분비하므로 세포의 배출에 의한 물질의 이동이다.

- (1) 백혈구의 식균 작용은 세포내 섭취에 의해 일어난다.
- (2), (4) 이자 세포에서 인슐린을 분비할 때, 뉴런의 축삭 돌기 말단에서 시냅스 틈으로 신경 전달 물질을 방출할 때 세포의 배출이 일어난다.
- (3) 흥분 전도 시 Na⁺은 축진 확산에 의해 뉴런 안으로 유입된다.

대표 자료 분석

73쪽~74쪽

- 자료 1** 1 A: 인지질, B: 단백질 2 ㉠ 친수성, ㉡ 소수성
3 (1) × (2) × (3) × (4) ○ (5) ○ (6) ○
- 자료 2** 1 A: 축진 확산, B: 단순 확산 2 수송 단백질의 수는 한정되어 있기 때문에 모든 수송 단백질이 운반에 관여하면 물질 A의 이동 속도가 더 이상 증가하지 않기 때문이다.
3 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ (5) × (6) ○ (7) ○
- 자료 3** 1 원형질 분리 2 ㉠ 고장액, ㉡ 저장액 3 0
4 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × (5) ×
- 자료 4** 1 (가) 축진 확산 (나) 능동 수송 (다) 단순 확산 2 (나)
3 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ (5) ○ (6) ×

1-1 세포막은 인지질(A) 2중층 곳곳에 단백질(B)이 박혀 있는 구조이다.

1-2 세포의 안쪽과 바깥쪽은 모두 물이 풍부한 환경이므로 인지질에서 친수성인 부분이 바깥을 향하고, 소수성인 부분이 안쪽으로 마주 보며 2중층을 이룬다. 따라서 ㉠은 친수성 부분이고, ㉡은 소수성 부분이다.

1-3 (1) 세포 안과 밖에는 물이 풍부하여 인지질은 친수성인 머리 부분이 양쪽 바깥으로 배열하여 물과 접하고, 소수성인 꼬리 부분이 서로 마주 보며 배열하여 2중층을 이룬다.

(2) 인지질의 머리 부분(㉠)은 인산 등을 포함하고 있고, 꼬리 부분(㉡)은 지방산으로 되어 있다.

(3) 세포막에서 인지질(A)과 단백질(B)은 모두 유동성이 있어 이동할 수 있다.

(4) 크기가 작고 극성이 없는 물질은 인지질(A) 2중층을 직접 통과할 수 있다.

(5) 세포막에서 인지질(A)은 막의 기본 구조를 형성하고, 단백질(B)은 물질 운반, 세포 인식, 신호 전달, 효소 작용 등 막의 기능을 결정한다.

(6) 세포막의 단백질(B) 중 운반체 단백질은 능동 수송으로 농도 기울기를 거슬러 물질을 이동시킬 수 있다.

2-1 (가)는 물질 A의 이동 속도가 세포 안팎의 농도 차에 따라 증가하다가 일정해지므로 축진 확산이고, (나)는 물질 B의 이동 속도가 세포 안팎의 농도 차에 비례하여 증가하므로 단순 확산이다.

2-2 물질 A를 운반하는 수송 단백질의 수는 한정되어 있기 때문에 모든 수송 단백질이 운반에 관여하는 최대 속도에 도달하면 물질 A의 이동 속도가 일정해진다.

- 2-3** (1) 물질 A와 B는 모두 확산에 의해 세포막을 통과하므로 세포는 물질 A와 B를 이동시키는 데 에너지를 사용하지 않는다.
 (2) 물질 A와 B는 세포막을 경계로 세포 안팎의 농도 기울기에 따라 확산하므로 농도가 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 세포막을 통해 이동한다.
 (3) 세포 안팎의 농도 차를 '세포 밖 농도 - 세포 안 농도'로 구하였으므로 두 물질 모두 세포 밖 농도가 세포 안 농도보다 높다. 따라서 물질 A와 B는 모두 세포 바깥쪽에서 안쪽으로 이동한다.
 (4) 물질 A는 촉진 확산에 의해 세포막을 통과하므로 물질 A가 세포막을 통과하는 데 막단백질인 수송 단백질이 관여한다.
 (5) 세포막을 통한 산소의 이동 방식은 단순 확산이므로 물질 B의 이동 방식과 같다.
 (6), (7) 물질 B는 단순 확산을 통해 이동하므로 인지질 2층층을 직접 통과하며, 이동 속도는 세포 안팎의 농도 차에 비례하여 증가한다.

3-1 세포질의 부피가 줄어들어 세포막이 세포벽에서 떨어지는 현상을 원형질 분리라고 한다.

3-2 (가)에서 식물 세포에서 밖으로 물이 빠져나가 원형질 분리가 일어났으므로 용액 ㉠은 고장액이다. (나)에서 세포의 부피가 1.0 이상으로 증가하므로 용액 ㉡은 저장액이다.

3-3 흡수력은 삼투압에서 팽압을 뺀 값이다. 세포의 부피가 1.3일 때 삼투압과 팽압은 모두 5이므로 흡수력은 0이다.

- 3-4** (1) 용액 ㉠은 고장액, 용액 ㉡은 저장액이므로, 용액 ㉢의 농도는 용액 ㉡보다 높다.
 (2) 용액 ㉢은 고장액이므로 등장액에 있던 식물 세포를 용액 ㉢에 넣으면 삼투에 의해 세포 안의 물이 밖으로 빠져나간다. 이는 세포 밖으로 물이 빠져나가는 속도가 안으로 들어오는 속도보다 빨라서이며, 그 결과 원형질 분리가 일어난다.
 (3) 최대 팽윤 상태는 팽압이 최대일 때이므로 세포의 부피가 1.3일 때이다.
 (4) 흡수력은 삼투압에서 팽압을 뺀 값이므로 삼투압이 높을수록, 팽압이 낮을수록 커진다.
 (5) 용혈은 세포가 터지는 현상이다. 식물 세포는 세포벽이 있어 팽압이 증가하여도 세포가 일정 부피 이상으로 커지지 않으므로 식물 세포에서는 용혈이 일어나지 않는다.

4-1 (가)는 물질이 농도 기울기를 따라 막단백질을 통해 세포막을 통과하므로 촉진 확산이다. (나)는 농도 기울기를 거슬러 에너지를 사용하면서 물질이 막단백질을 통해 세포막을 통과하므로 능동 수송이다. (다)는 농도 기울기를 따라 물질이 인지질 2층층을 직접 통과하므로 단순 확산이다.

4-2 세포막을 통한 물질 이동 시 ATP를 사용하는 (나)가 에너지를 사용하는 물질 이동 방식이다.

- 4-3** (1) 촉진 확산(가)과 능동 수송(나)에는 모두 막단백질이 관여하지만, 단순 확산(다)에는 막단백질이 관여하지 않는다.
 (2) 에너지를 사용하는 능동 수송(나)은 세포 호흡이 일어나는 세포에서만 일어난다.
 (3) 농도 기울기를 거슬러 저농도에서 고농도로 물질을 이동시키는 방식은 능동 수송(나)이다.
 (4) 인슐린의 작용으로 혈액의 포도당이 세포막을 통해 세포 내로 이동할 때 농도 기울기를 따라 운반체 단백질을 통해 이동한다.
 (5) $Na^+ - K^+$ 펌프는 능동 수송(나)의 예이다.
 (6) 적혈구를 증류수에 일정 시간 넣어 두면 삼투가 일어나 적혈구 안으로 물이 들어와 세포막이 터지는 용혈 현상이 일어난다. 삼투는 물의 농도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 물이 확산하는 현상이다.

내신 만점 문제

75쪽~79쪽

01 ②	02 ②	03 ④	04 ⑤	05 ①	06 ㄱ, ㄴ
07 ④	08 해설 참조	09 ②	10 ②	11 ②	
12 ⑤	13 ①	14 ①	15 해설 참조	16 ④	
17 ②	18 ②	19 ③	20 ①	21 ④	22 ⑤
23 ③					

01 A는 막단백질에 붙어 있는 탄수화물, B는 인지질, C는 막단백질이다.

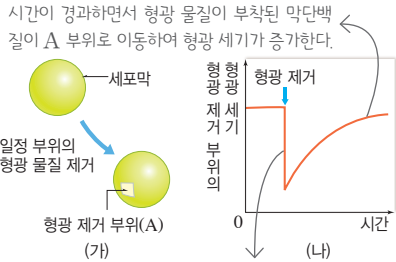
- ① 세포막은 인지질 2층층으로 이루어진 단일막 구조이다.
 ③ 인지질(B)은 친수성 머리와 소수성 꼬리로 이루어진다.
 ④ 인지질 2층층에 박혀 있거나 붙어 있는 막단백질(C)은 인지질 2층층에서 수평으로 이동할 수 있는 유동성이 있다.
 ⑤ 인지질(B)은 세포막의 기본 구조를 형성하고, 막단백질(C)은 물질 운반, 신호 전달, 효소 작용 등 막의 기능을 결정한다.

바로알기 ② 막단백질에 붙어 있는 탄수화물(A)은 세포를 구별하는 데 이용된다. 콜레스테롤은 동물 세포막의 인지질과 인지질 사이에 균대균데 있다.

02 (가)는 물질이 세포막을 통과하는 통로 역할을 하는 수송 단백질, (나)는 물질대사에 관여하는 효소, (다)는 신호 물질을 인식하여 세포 안으로 신호를 전달하는 수용체 단백질이다.

바로알기 탄수화물이 붙어 있는 당단백질이 세포 인식에 관여한다.

03 **꼼꼼** 문제 분석



A 부위의 형광 물질을 제거하여 형광 세기가 크게 감소하였다.

ㄱ. A 부위는 형광 물질이 제거되었을 때 형광 세기가 감소하였지만 시간이 지나면서 형광 세기가 점차 증가하였다. 이는 형광 물질이 부착된 막단백질이 A 부위로 이동하였기 때문이다. 따라서 막단백질이 유동성이 있다는 것을 알 수 있다.

ㄷ. 인지질 2중층에 막단백질이 군데군데 박혀 있고, 인지질과 막단백질이 유동성이 있다는 것을 바탕으로 세포막의 구조를 나타낸 것을 유동 모자이크막 모델이라고 한다.

▶ **바로알기** ㄴ. 세포막을 구성하는 인지질은 수평, 수직으로 이동할 수 있으며, 인지질 2중층에 박혀 있는 막단백질도 인지질을 따라 움직일 수 있다.

04 ㄷ. 산소, 이산화 탄소 등과 같은 크기가 작고 극성이 없는 분자는 인지질 2중층 안쪽의 소수성 부위를 확산에 의해 통과할 수 있다.

ㄹ. 세포막은 물질의 종류에 따라 선택적으로 출입을 조절할 수 있다. 특히 세포막의 막단백질을 통해 특정 물질을 능동 수송함으로써 세포 안과 밖의 농도 차를 유지할 수 있다.

▶ **바로알기** ㄱ. 지방산과 같은 소수성 물질은 인지질 2중층을 직접 통과할 수 있다.

ㄴ. 이온과 같이 전하를 띠는 물질은 수송 단백질을 통해 이동한다.

05 ② 확산은 농도 기울기에 따라 농도가 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 물질이 이동하는 현상이다.

③, ⑤ 세포막을 통한 확산에는 물질이 막단백질인 수송 단백질을 통해 이동하는 촉진 확산과 물질이 인지질 2중층을 직접 통과하여 이동하는 단순 확산이 있다.

④ 단순 확산에서 물질의 이동 속도는 세포 안팎의 농도 차에 비례하므로 세포 안팎의 물질 농도 차가 클수록 이동 속도가 빨라진다.

▶ **바로알기** ① 크기가 작은 물질은 단순 확산으로 이동하며, 포도당, 아미노산과 같이 비교적 크기가 큰 물질도 세포막의 수송 단백질을 통해 촉진 확산으로 이동한다.

06 ㄱ. A는 막단백질을 통해 물질이 고농도에서 저농도로 이동하는 촉진 확산, B는 물질이 인지질 2중층을 직접 통과하여 고

농도에서 저농도로 이동하는 단순 확산이다.

ㄴ. 촉진 확산(A)과 단순 확산(B)이 일어날 때에는 세포가 에너지를 사용하지 않는다.

▶ **바로알기** ㄷ. 촉진 확산(A)과 단순 확산(B) 모두 농도 기울기를 따라 물질이 농도가 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 세포막을 통해 이동하는 방식이다.

07 Na^+ , K^+ 과 같이 전하를 띤 이온, 포도당, 아미노산과 같이 비교적 크기가 큰 물질은 인지질 2중층을 직접 통과하기 어려워 막단백질을 이용해 세포막을 통과한다. 산소와 이산화 탄소는 크기가 작고 극성이 없는 분자이므로 인지질 2중층을 직접 통과한다. 촉진 확산(A)으로 이동하는 물질의 예에는 Na^+ , K^+ , 포도당, 아미노산 등이 있고, 단순 확산(B)으로 이동하는 물질의 예에는 산소, 이산화 탄소 등이 있다.

08 세포 안팎의 농도 기울기가 커질수록 물질 A의 이동 속도는 증가하다가 일정 수준 이상으로 증가하지 않으므로 A의 이동 방식은 촉진 확산이며, 세포 안팎의 농도 기울기가 커질수록 물질 B의 이동 속도는 계속 증가하므로 B의 이동 방식은 단순 확산이다.

▶ **모범답안** A: 촉진 확산, B: 단순 확산, 촉진 확산은 막단백질이 관여하지만, 단순 확산은 막단백질이 관여하지 않는다. 촉진 확산은 농도 기울기가 커질수록 물질의 이동 속도가 증가하다가 일정 수준 이상에서는 일정해지지만, 단순 확산은 농도 기울기에 비례하여 물질의 이동 속도가 증가한다. 중 한 가지

채점 기준	배점
물질 A와 B의 이동 방식을 각각 쓰고, 두 이동 방식의 차이점 한 가지를 옳게 서술한 경우	100%
물질 A와 B의 이동 방식만 옳게 쓴 경우	30%

09 ①, ③ 삼투는 반투과성 막을 경계로 농도가 다른 두 용액이 있을 때 물의 농도가 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 물이 확산하는 현상이므로 에너지가 사용되지 않는다.

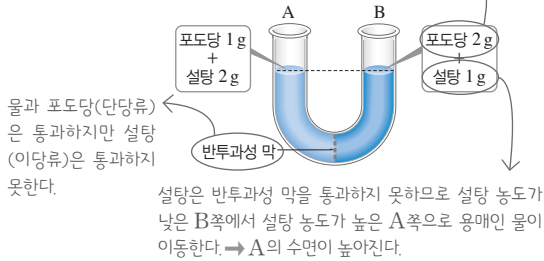
④ 삼투가 일어날 때 반투과성 막은 용질의 농도가 낮은 용액 쪽에서 농도가 높은 용액 쪽으로 물이 이동하려는 압력을 받는데, 이를 삼투압이라고 한다.

⑤ 적혈구를 저장액에 넣어 두면 삼투에 의해 적혈구 안으로 물이 들어와 적혈구의 부피가 커지다가 시간이 지나면 적혈구가 터져 내용물이 흘러나오는 용혈 현상이 나타난다.

▶ **바로알기** ② 삼투는 용매나 크기가 작은 용질은 통과할 수 있지만 크기가 큰 용질은 통과하지 못하는 반투과성 막을 사이에 두고 크기가 큰 용질의 농도가 서로 다른 용액이 있을 때 용질의 농도가 낮은 쪽에서 높은 쪽으로 물이 이동하는 현상이다. 따라서 용질이 반투과성 막을 통과할 수 없을 때 삼투가 일어난다.

10 **꼼꼼** 문제 분석

포도당은 반투과성 막을 통과하므로 농도가 높은 B쪽에서 농도가 낮은 A쪽으로 양쪽의 농도가 같아질 때까지 확산한다.



나. 설탕은 통과하지 못하고 물은 통과하는 반투과성 막을 경계로 설탕의 농도 차이가 있으므로 설탕의 농도가 낮은 B쪽에서 설탕의 농도가 높은 A쪽으로 삼투에 의해 물이 이동한다. 따라서 B쪽의 용액 높이는 낮아지고, A쪽의 용액 높이는 높아진다.

바로알기 ㄱ. 삼투에 의해 물이 B쪽에서 A쪽으로 이동하면서 설탕의 농도는 A쪽과 B쪽에서 같아질 것이다.

ㄷ. 포도당의 농도는 B쪽이 더 높으므로 포도당은 B쪽에서 A쪽으로 확산한다. 따라서 B쪽에서 포도당의 양은 감소할 것이다.

11 (가)는 원형질 분리가 일어났으므로 식물 세포를 고장액에 넣어 두었을 때의 모습이고, (나)는 팽윤 상태가 되었으므로 식물 세포를 저장액에 넣어 두었을 때의 모습이다.

② 세포가 삼투에 의해 물을 흡수하면 삼투압이 감소하고 팽압은 증가한다. 따라서 세포의 삼투압은 (가)가 (나)보다 높다.

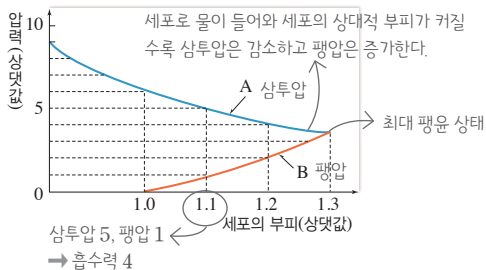
바로알기 ① 흡수력은 삼투압과 팽압의 차이이므로 삼투압이 높을수록 커진다. 따라서 흡수력은 (가)가 (나)보다 크다.

③ (가)의 세포는 고장액에, (나)의 세포는 저장액에 일정 시간 동안 넣어 둔 것이다.

④ 원형질 분리는 고장액에 식물 세포를 넣었을 때 삼투에 의해 세포 밖으로 나가는 물의 양이 세포 안으로 들어오는 물의 양보다 많기 때문에 나타난다.

⑤ 원형질 분리는 (가)에서 일어났다.

12 **꼼꼼** 문제 분석



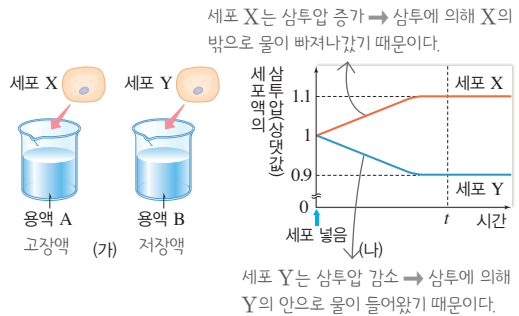
ㄷ. 흡수력은 삼투압(A)에서 팽압(B)을 뺀 값이다. 세포의 부피가 1.1일 때 삼투압(A)은 5, 팽압(B)은 1이므로 흡수력은 $5-1=4$ 이다.

ㄹ. 최대 팽윤 상태는 팽압(B)이 최대일 때이다. 따라서 세포의 부피가 1.3일 때가 최대 팽윤 상태이다.

바로알기 ㄱ. 세포의 부피가 커질수록 삼투압(A)은 감소하고, 팽압(B)은 증가한다.

ㄴ. 세포의 부피가 커질수록 삼투압(A)과 팽압(B)의 차이가 감소하므로 흡수력은 작아진다.

13 **꼼꼼** 문제 분석

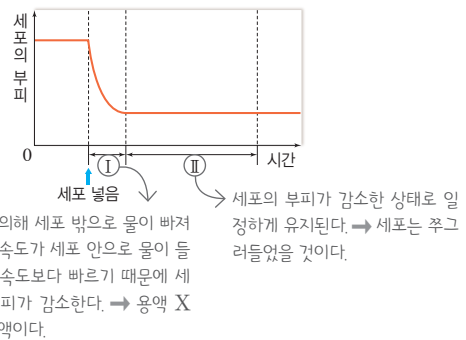


ㄴ. t 시점에서 세포 X의 삼투압은 1.1이고, 용액 A에 넣기 전 세포 X의 삼투압은 1이다. 세포 X의 삼투압이 증가한 것은 용액 A가 고장액이어서 삼투에 의해 세포 X의 밖으로 물이 빠져나갔기 때문이다. 따라서 세포 X의 부피는 용액 A에 넣기 전보다 작다.

바로알기 ㄱ. 용액 A는 고장액, 용액 B는 저장액이므로 용액 A는 용액 B보다 농도가 높다.

ㄷ. t 시점에서 세포 Y의 삼투압이 일정하게 유지되는 것은 세포 Y의 안으로 물이 들어오는 속도와 세포 Y에서 물이 빠져나가는 속도가 평형을 이루고 있기 때문이며, 이때 세포막을 통해 물이 양방향으로 이동하고 있다.

14 **꼼꼼** 문제 분석



ㄱ. 용액 X에 동물 세포를 넣으면 세포의 부피가 감소한다. 이는 용액 X가 고장액이어서 삼투에 의해 동물 세포 내의 물이 밖으로 빠져나갔기 때문이다.

▣ **바로알기** ▮. 구간 I에서 세포의 부피가 감소하는 것은 세포 안으로 물이 들어오는 속도가 세포 밖으로 물이 빠져나가는 속도보다 느려 세포에서 물이 빠져나가기 때문이다.

ㄷ. 시간이 지남에 따라 동물 세포의 부피가 감소하므로 구간 II에서 동물 세포는 쭈그러들었을 것이다. 용혈 현상은 동물 세포를 저장액에 넣었을 때 삼투에 의해 물이 세포 안으로 들어와 나타난다.

15 (가)와 (나)에서 감자 조각의 질량이 증가한 것은 저장액에 감자 조각을 넣어 두었기 때문이고, (다)에서 감자 조각의 질량이 변화하지 않은 것은 등장액에 감자 조각을 넣어 두었기 때문이다. (라)에서 감자 조각의 질량이 감소한 것은 고장액에 감자 조각을 넣어 두었기 때문이다. 감자 세포가 삼투에 의해 물을 많이 흡수할수록 삼투압은 낮아지고 팽압은 높아지며, 감자 조각의 질량은 커진다.

▣ **모범답안** (가), 질량이 가장 많이 증가하였으므로 삼투로 물을 가장 많이 흡수하였음을 알 수 있다. 삼투로 물을 흡수하면 팽압은 증가하고 삼투압은 감소한다.

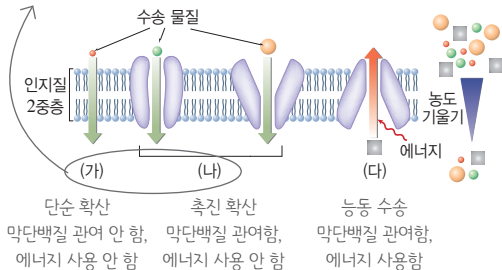
채점 기준	배점
감자 세포의 삼투압이 가장 낮고 팽압이 가장 높은 것의 기호를 쓰고, 그렇게 판단한 근거를 삼투와 연관 지어 옳게 서술한 경우	100%
감자 세포의 삼투압이 가장 낮고 팽압이 가장 높은 것의 기호만 옳게 쓴 경우	30%

16 식세포 작용, 음세포 작용은 모두 세포내 섭취이므로 세포가 ATP(에너지)를 사용하여 일어난다. $Na^+ - K^+$ 펌프와 식물 뿌리털에서의 무기 양분 흡수는 능동 수송의 예이므로 세포가 ATP를 사용한다.

▣ **바로알기** ④ 원형질 분리는 삼투에 의해 일어나는 현상이다. 삼투에는 에너지가 사용되지 않는다.

17 **꼼꼼 문제 분석**

확산은 에너지를 사용하지 않고 물질이 고농도에서 저농도로 이동하는 현상이다.



② (나)와 (다)는 막단백질의 종류에 따라 특정 물질을 수송한다.

▣ **바로알기** ① (가)는 단순 확산, (나)는 막단백질이 관여하지만 에너지를 사용하지 않으므로 촉진 확산, (다)는 능동 수송이다.

③ 촉진 확산(나)은 에너지를 사용하지 않고, 능동 수송(다)은 에너지를 사용한다. 따라서 세포 호흡 저해제를 처리하면 능동 수송(다)만 억제된다.

④ 폐포와 모세 혈관 사이에서는 산소와 이산화 탄소가 농도가 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 인지질 2중층을 직접 통과하여 이동하므로 이때 물질 이동 방식은 단순 확산(가)과 같다.

⑤ 능동 수송(다)은 물질을 저농도에서 고농도로 이동시키므로 능동 수송의 결과 특정 물질의 세포 안팎의 농도 차가 유지된다.

18 ① Na^+ 이 $Na^+ - K^+$ 펌프에 먼저 결합하여 운반되고, 이후 K^+ 이 $Na^+ - K^+$ 펌프에 결합하여 운반된다. 따라서 ①은 Na^+ , ②은 K^+ 이다.

③ ATP가 사용되어 인산기가 $Na^+ - K^+$ 펌프에 결합하면 $Na^+ - K^+$ 펌프의 구조가 바뀌고, 이에 따라 Na^+ 과 K^+ 이 운반된다. 따라서 Na^+ 과 K^+ 의 이동에 에너지가 사용된다.

④ $Na^+ - K^+$ 펌프는 운반체 단백질로, 막단백질의 한 종류이다.

⑤ $Na^+ - K^+$ 펌프는 농도 기울기를 거슬러 Na^+ 은 세포 밖으로, K^+ 은 세포 안으로 이동시킨다.

▣ **바로알기** ② $Na^+ - K^+$ 펌프를 통해 Na^+ 은 세포 밖으로 유출되고, K^+ 은 세포 안으로 유입된다. 또 능동 수송에는 세포 안의 ATP가 사용되므로 (가)는 세포 바깥쪽, (나)는 세포 안쪽이다.

19 물질 X를 세포막으로 감싸 소낭을 만들어 세포 안으로 끌어들이므로 세포내 섭취이다.

ㄱ. 물질 X를 막으로 둘러싸 소낭을 만들어 세포 안으로 이동시키는 것은 물질 X가 운반체 단백질을 통해 세포막을 통과하기 어렵기 때문이다.

ㄷ. 물질 X는 세포내 섭취에 의해 세포 안으로 이동되었으며, 백혈구의 식균 작용도 세포내 섭취이다.

▣ **바로알기** ▮. 물질 X의 이동 과정에서 세포막의 일부가 소낭을 만드는 데 이용되므로 세포막의 표면적이 일시적으로 감소한다.

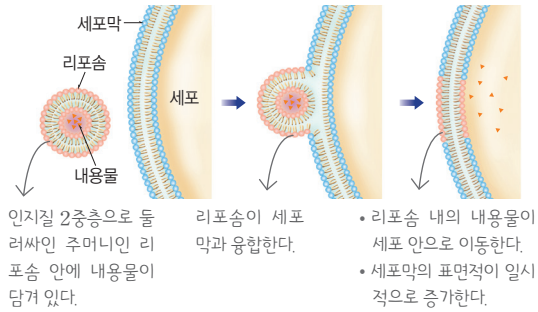
20 (가)는 세포 안의 소낭이 세포막과 융합하면서 소낭 속 물질이 세포 밖으로 나가므로 세포의 배출이다. (나)는 세포 밖의 물질이 세포막에 둘러싸여 소낭이 형성되어 세포 안으로 들어오므로 세포내 섭취이다.

ㄴ. 세포의 배출(가)과 세포내 섭취(나)에서 모두 에너지가 사용된다.

▣ **바로알기** ㄱ. (가)는 세포의 배출, (나)는 세포내 섭취이다.

ㄷ. 리보솜에서 합성된 단백질은 크기가 커서 막단백질을 통해 이동하지 못하므로 세포의 배출(가)에 의해 세포 밖으로 분비된다.

21 **꼼꼼** 문제 분석



ㄱ. 리포솜은 인지질 2중층으로 둘러싸여 있는 원형 또는 타원형의 인공 구조물이다.

ㄴ. 리포솜의 막은 인지질로 이루어져 있어 세포막과 쉽게 융합될 수 있다. 따라서 리포솜 안에 약물을 담아 주사하면 리포솜이 암세포의 세포막과 융합하여 암세포에 직접적으로 약물을 전달할 수 있다.

바로알기 ㄴ. 리포솜이 세포막과 융합하면 세포막의 표면적이 일시적으로 증가한다.

22 ① (가)는 막단백질이 관여하므로 촉진 확산이다. 혈액 속 포도당이 세포막을 통해 세포 내로 들어올 때 촉진 확산(가)에 의해 이동한다.

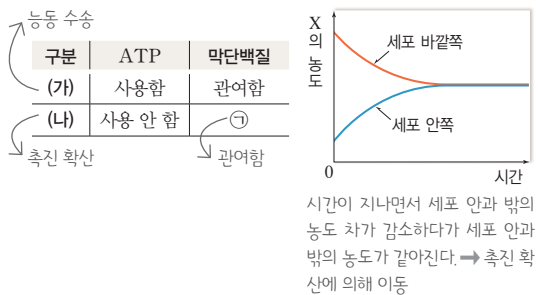
② 촉진 확산(가)에서는 농도 기울기에 따라 농도가 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 물질이 세포막을 통해 이동한다.

③ (나)는 세포 안에 있는 소나가 세포막과 융합하면서 소나 속의 물질을 세포 밖으로 내보내는 세포의 배출이다.

④ 이자 세포에서 인슐린을 분비할 때 세포의 배출(나)에 의해 분비된다.

바로알기 ⑤ 세포의 배출(나)에서는 에너지가 사용되지만, 촉진 확산(가)에서는 에너지가 사용되지 않는다.

23 **꼼꼼** 문제 분석



③ (가)는 ATP를 사용하므로 능동 수송, (나)는 ATP를 사용하지 않으므로 촉진 확산이다. 촉진 확산(나)은 농도 기울기를 따라 물질이 세포막을 통해 이동하는 방식이다.

바로알기 ① 촉진 확산(나)에도 수송 단백질이 관여하므로 ㉠은 '관여함'이다.

② 시간이 경과하면서 세포 안과 밖에서 X의 농도가 같아졌으므로 X는 농도 기울기를 따라 세포 밖에서 안으로 확산했다는 것을 알 수 있다. 따라서 X의 이동 방식은 촉진 확산(나)이다.

④ $Na^+ - K^+$ 펌프를 통한 Na^+ 의 이동 방식은 능동 수송(가)이다.

⑤ X는 막단백질이 관여하는 촉진 확산(나)에 의해 이동하므로 세포 안과 밖의 농도 차이가 일정 수준 이상으로 커지면 수송 단백질이 모두 물질 이동에 관여하여 더 이상 물질 이동 속도가 빨라지지 않고 최대 상태를 유지한다.

02 **효소**

개념 확인 문제

82쪽

- ① 활성화 ② 감소 ③ 기질 특이성 ④ 효소·기질 복합체
⑤ 전효소 ⑥ 주효소 ⑦ 산화 환원 ⑧ 가수 분해

1 ㉠ 물질대사, ㉡ 효소, ㉢ 활성화 에너지 2 B 3 A: 기질, B: 효소, C: 효소·기질 복합체, D: 생성물 4 (1) × (2) ○ (3) ○
5 (1) A: 보조 인자, B: 주효소, C: 전효소 (2) A 6 (1) ㉡ ㉠ (3) ㉡

1 생명체에서 일어나는 모든 화학 반응을 물질대사라고 하며, 물질대사에는 생체 촉매인 효소가 관여한다. 효소는 활성화 에너지를 낮추어 물질대사가 빠르게 일어나게 한다.

2 A는 효소가 없을 때의 활성화 에너지이고, B는 효소가 있을 때의 활성화 에너지이다. C는 반응열이다.

3 물질 A는 효소의 활성 부위에 결합하는 반응물인 기질이고, B는 생체 촉매인 효소이다. 효소와 기질이 결합한 형태인 C는 효소·기질 복합체이며, 효소와 기질이 결합하고 있는 동안 기질은 생성물인 D로 변한다.

4 (1) 효소는 화학 반응 전과 후에 소모되거나 변형되지 않으므로 반복적으로 사용된다.

(2) 효소와 기질이 결합하고 있는 동안 화학 반응의 활성화 에너지가 낮아지며, 기질이 생성물로 변한다.

(3) 효소는 활성 부위의 입체 구조에 들어맞는 특정 기질하고만 결합하여 작용하는 기질 특이성이 있다.

5 A는 효소의 작용을 도와 주는 비단백질 부분인 보조 인자, B는 효소에서 단백질 부분인 주효소, C는 보조 인자(A)와 주효소(B)가 결합하여 완전한 기능을 나타내는 전효소이다.

6 전이 효소는 기질의 작용기를 떼어 다른 분자로 옮기며, 산화 환원 효소는 수소나 산소, 전자를 다른 분자에 전달하여 물질의 산화 환원을 촉진한다. 가수 분해 효소는 물 분자를 첨가하여 기질을 분해한다.

개념 확인 문제 86쪽

① 최적 ② 다르다 ③ 단백질 ④ 증가 ⑤ 경쟁적
⑥ 비경쟁적

1 ㄱ, ㄴ, ㄷ, ㄹ 2 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) × 3 효소의 입체 구조가 변하기 때문이다. 4 A: 비경쟁적 저해제, B: 경쟁적 저해제 5 (1) 경쟁적 (2) 비경쟁적 (3) ㉠ 감소, ㉡ 감소하지 않는다
6 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○

1 효소의 주성분은 단백질이므로 온도와 pH에 따라 효소의 반응 속도는 다르다. 효소의 반응 속도는 일정 수준까지 기질의 농도와 비례하여 증가하며, 효소의 농도가 높으면 효소·기질 복합체가 많이 형성되므로 반응 속도는 빨라진다.

2 (1) 효소의 최적 온도는 생물의 종류에 따라 다르고, 최적 pH는 효소의 종류에 따라 다르다.
(2) 주효소는 단백질 부분이므로 온도와 pH의 영향을 받는다.
(3) 효소의 반응 속도는 일반적으로 최적 온도에 이르기까지 온도가 높아질수록 증가하다가, 최적 온도보다 높아지면 급격히 감소한다.
(4) 효소의 농도가 일정할 때 기질의 농도가 높아질수록 효소의 반응 속도는 증가하지만, 기질의 농도가 일정 수준에 이르면 더 이상 증가하지 않고 일정해진다.

3 40 °C 이상의 온도에서는 효소가 입체 구조가 변하여 효소·기질 복합체를 형성하기 어려워지므로 반응 속도가 급격하게 느려진다.

4 물질 A는 효소의 활성 부위가 아닌 다른 부위에 결합하여 효소의 작용을 방해하므로 비경쟁적 저해제이다. 물질 B는 효소의 활성 부위에 기질과 경쟁적으로 결합하여 효소의 작용을 방해하므로 경쟁적 저해제이다.

5 (1) 기질과 입체 구조가 유사하여 효소의 활성 부위에 결합하는 저해제는 경쟁적 저해제이다.

(2) 효소의 활성 부위의 구조를 변형시켜 기질이 효소와 결합하지 못하게 하는 저해제는 비경쟁적 저해제이다.

(3) 경쟁적 저해제는 기질의 농도가 높아지면 효소의 활성 부위에 결합할 확률이 낮아지므로 저해 효과가 감소하지만, 비경쟁적 저해제는 활성 부위가 아닌 효소의 다른 부위에 결합하므로 기질의 농도가 증가하더라도 저해 효과가 감소하지 않는다.

6 (1) 유용 미생물(EM)에는 다양한 효소가 있어 옷에 묻은 얼룩을 제거할 수 있다.

(2) 페니실린은 세균의 세포벽을 합성하는 효소의 활성 부위에 결합하는 저해제이다.

(3) 유전자 재조합 기술에서 DNA를 자르고 붙일 때 효소가 이용된다.

(4) 배즙에는 단백질 분해 효소가 있기 때문에 불고기를 썰 때 배즙을 이용하면 고기를 연하게 할 수 있다.

대표 자료 분석 87쪽~88쪽

자료 1 1 ㉠ 반응물, ㉡ 생성물 2 B+D 3 D 4 (1) ○ (2) × (3) × (4) × (5) ○ (6) × (7) ×

자료 2 1 기질: B, 생성물: D, 효소·기질 복합체: C 2 기질 특이성 3 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ○ (6) × (7) ○ (8) ○

자료 3 1 A: 주효소, B: 보조 인자, C: 기질, D: 전효소 2 ㉠ 금속 이온, ㉡ 조효소 3 (1) × (2) × (3) ○ (4) ○ (5) × (6) ○

자료 4 1 A: pH 2, B: pH 7, C: pH 8 2 (1) ㉠ 증가, ㉡ 감소 (2) ㉠ 효소, ㉡ 감소 3 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) × (5) × (6) ○

①-1 화학 반응은 반응물이 생성물로 변하는 과정이므로 ㉠은 반응물, ㉡은 생성물이다.

①-2 활성화 에너지는 화학 반응이 일어나는 데 필요한 최소한의 에너지이며, 효소는 활성화 에너지를 낮추어 주는 역할을 한다. 따라서 효소가 없을 때의 활성화 에너지는 C+D이고, 효소가 있을 때의 활성화 에너지는 B+D이다.

①-3 반응열은 반응물(㉠)의 에너지와 생성물(㉡)의 에너지 차이이므로 D이다.

①-4 (1) 반응물(㉠)의 에너지보다 생성물(㉡)의 에너지가 크므로 이 반응은 흡열 반응이다. 간단한 물질이 복잡한 물질로 합성되는 동화 작용에서 흡열 반응이 일어난다.

(2) 효소의 유무와 관계없이 화학 반응은 동일하게 일어나므로 생성물의 종류는 같다.

(3) 효소는 활성화 에너지를 낮추어 주는 역할을 하므로 효소가 있을 때보다 없을 때 활성화 에너지가 더 크다.

(4) 효소가 있을 때의 활성화 에너지(B+D)는 효소의 농도와 관계없이 일정하다.

(5) 반응열(D)은 효소의 유무와 관계없이 일정하다.

(6) 이 반응은 동화 작용이므로 반응물(㉠)보다 생성물(㉡)이 고분자 물질이다.

(7) 반응이 진행될수록 반응물(㉠)의 농도는 감소하고, 생성물(㉡)의 농도는 증가한다.

②-1 B가 효소 X와 결합하여 D가 되므로 B는 기질이고, D는 생성물이다. 기질(B)과 효소 X가 결합한 C는 효소·기질 복합체이다.

②-2 효소는 효소의 활성 부위의 입체 구조에 들어맞는 구조를 가진 기질과만 결합하여 작용하는 기질 특이성이 있다.

②-3 (1) B가 D로 분해되는 반응 과정에서 물(H₂O)이 첨가되므로 가수 분해 반응이다.

(2), (8) 효소는 반응 전후에 변하지 않으므로 반응이 끝나 생성물(D)과 분리된 효소는 새로운 기질(B)과 결합하여 촉매 작용을 반복할 수 있다.

(3) 화학 반응에서 효소는 소모되거나 변형되지 않고 반응이 끝나면 생성물과 분리되므로 반응 전후의 효소 농도는 동일하다.

(4), (5) A는 효소의 활성 부위의 입체 구조에 맞지 않으므로 효소에 결합하지 못한다. 효소의 활성 부위에 들어맞는 기질(B)이 효소와 결합하여 효소·기질 복합체를 형성한다.

(6) 이 반응은 이화 작용이므로 발열 반응이다. 따라서 반응물인 기질(B)은 생성물(D)보다 분자당 에너지양이 크다.

(7) 효소는 효소·기질 복합체(C)를 형성하고 있는 동안 반응의 활성화 에너지를 낮춘다.

③-1 C는 생성물로 변하므로 기질이고, A와 B가 결합하여 D가 되고, D는 반응 전후에 변하지 않으므로 전효소이다. B는 A보다 크기가 작으므로 보조 인자이고, A는 주효소이다.

③-2 보조 인자에는 아연 이온(Zn²⁺), 철 이온(Fe²⁺), 구리 이온(Cu²⁺) 등과 같은 금속 이온과 비타민과 같은 유기 화합물로 된 조효소가 있다.

③-3 (1) 주효소(A)는 효소의 단백질 부분이고, 보조 인자(B)는 효소의 비단백질 부분이다.

(2) 보조 인자(B)는 열에 강하며, 주효소(A)가 단백질로 구성되어 열에 약하다.

(3), (4) 주효소(A)에 보조 인자(B)가 결합하여야 활성 부위가 기질(C)과 결합하기 적합한 형태가 되어 완전한 기능을 나타내는 전효소(D)가 된다.

(5) 보조 인자(B) 중 조효소는 한 종류가 여러 가지 주효소의 작용에 관여한다.

(6) 보조 인자(B)가 필요한 경우 주효소(A)에 보조 인자(B)가 결합하지 않으면 기질(C)이 결합하지 못해 효소·기질 복합체가 형성되지 않는다.

④-1 각 효소의 반응 속도가 최대인 지점이 최적 pH이다.

④-2 (1) 효소에 의한 반응에서 최적 온도까지는 온도가 높아질수록 효소와 기질의 운동성이 활발해지므로 효소·기질 복합체의 형성 속도가 빨라져 반응 속도가 증가한다. 하지만 최적 온도보다 높아지면 효소의 입체 구조가 변하여 효소·기질 복합체가 잘 형성되지 않으므로 반응 속도가 급격히 감소한다.

(2) 효소는 주성분이 단백질이므로 최적 pH를 벗어나면 입체 구조가 변하여 반응 속도가 급격히 감소하거나 반응이 일어나지 않는다.

④-3 (1) 효소 A~C는 약 35 °C~40 °C에서 반응 속도가 최대이다.

(2) 효소 A가 작용할 수 있는 pH의 범위는 pH 0~4이므로 효소 C의 최적 pH인 8에서는 효소 A가 작용할 수 없다.

(3) 효소의 주성분은 단백질이므로 최적 온도 이상의 온도에서는 활성 부위의 입체 구조가 변하여 활성이 감소한다.

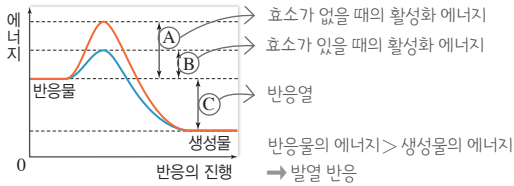
(4) 효소 A의 최적 pH는 2로 산성 범위이지만 효소 B의 최적 pH는 7로 중성이므로 각 효소가 작용하기 적합한 환경이 서로 달라 같은 소화 기관에서 작용할 수 없다.

(5) 주변 환경의 pH가 5에서 7로 변하면 효소 A의 반응 속도는 0으로 변화했고, 효소 B, C의 반응 속도는 증가하므로 효소 B, C의 활성이 증가한다.

(6) 효소 A~C는 모두 20 °C에서보다 30 °C에서 반응 속도가 더 빠르므로 기질과 더 잘 결합한다는 것을 알 수 있다.

- 01 ③ 02 ③ 03 ③ 04 해설 참조 05 ④
 06 ③ 07 ④ 08 ③ 09 ⑤ 10 ③ 11 나, 다
 12 ⑤ 13 ③ 14 가, 나 15 ① 16 해설 참조
 17 ③

01 **꼼꼼** 문제 분석



가. 반응물의 에너지보다 생성물의 에너지가 작으므로 반응 진행 과정에서 에너지가 방출되었음을 알 수 있다. 따라서 이 반응은 발열 반응이다.

나. 효소는 활성화 에너지를 낮추므로 효소가 있을 때의 활성화 에너지는 B이다.

바로알기 다. C는 반응열이며, 효소의 유무에 영향을 받지 않는다.

02 E_1 이 E_2 보다 작으므로 E_1 이 효소가 있을 때의 활성화 에너지이고 E_2 가 효소가 없을 때의 활성화 에너지이다. 활성화 에너지가 낮아지면 반응에 참여하는 분자 수가 많아져 활성화 에너지가 낮아지기 전보다 반응이 빠르게 일어난다.

다. 효소가 있을 때와 없을 때는 화학 반응을 일으킬 수 있는 분자 수가 면적 A에 해당하는 만큼 다르다.

바로알기 가. 활성화 에너지가 낮아지면 반응에 참여하는 분자 수가 많아진다. 따라서 E_1 보다 E_2 에서 반응을 일으킬 수 있는 분자 수가 적다.

나. E_1 은 효소가 있을 때, E_2 는 효소가 없을 때의 활성화 에너지이다.

03 ① 효소는 생명체에서 일어나는 화학 반응인 물질대사를 촉진하는 생체 촉매이다.

② 효소는 기질과 결합하는 특정 부위를 가지며, 이를 활성 부위라고 한다.

④ 효소는 주성분이 단백질이므로 일정 온도와 pH의 범위를 벗어나면 변성되어 정상적으로 작용할 수 없다.

⑤ 효소는 효소·기질 복합체를 형성하고 있는 동안 활성화 에너지를 낮추어 화학 반응을 촉진한다.

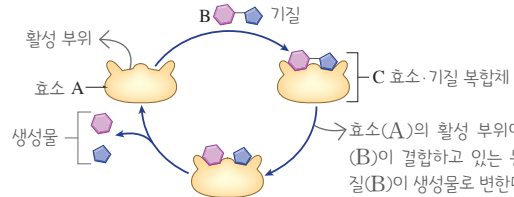
바로알기 ③ 효소는 반응에 참여한 후에도 그 구조가 변하지 않으므로 반복적으로 다시 작용할 수 있다.

04 효소는 활성 부위의 입체 구조와 맞는 기질하고만 결합하여 효소·기질 복합체를 형성함으로써 반응을 촉매한다.

모범답안 효소는 활성 부위에 들어맞는 입체 구조를 가진 기질과만 결합하여 작용하는 기질 특이성이 있다.

채점 기준	배점
효소의 특성을 기질, 활성 부위를 포함하여 옳게 서술한 경우	100 %
기질 특이성이 있다고만 서술한 경우	70 %

05 **꼼꼼** 문제 분석



① 기질(B)이 두 분자의 물질로 분해되었으므로 효소 A는 이화 작용을 촉진한다.

② 효소(A)는 반응이 끝나 생성물과 분리된 후에도 그 구조가 변하지 않으므로 반복적으로 재사용된다.

③ 효소에서 기질이 결합하는 특정 부위를 활성 부위라고 한다. 효소 A의 기질은 B이므로, A는 B와 결합할 수 있는 활성 부위를 가진다.

⑤ 효소는 기질과 결합하여 효소·기질 복합체(C)를 형성하고 있는 동안 활성화 에너지를 낮춘다.

바로알기 ④ 효소(A)의 농도가 일정할 때 기질(B)의 농도가 증가하면 효소·기질 복합체를 형성하는 빈도가 높아지므로 반응 속도는 증가한다. 그러나 기질(B)의 농도가 일정 수준에 이르면 모든 효소(A)가 기질(B)과 결합하므로 반응 속도는 더 이상 증가하지 않고 일정해진다.

06 ① 효소 중에는 아밀레이스, 펩신과 같이 단백질 성분만으로 활성을 나타내는 것이 있고, 탈수소 효소와 같이 단백질과 비단백질 성분인 보조 인자가 있어야 활성을 나타내는 것이 있다.

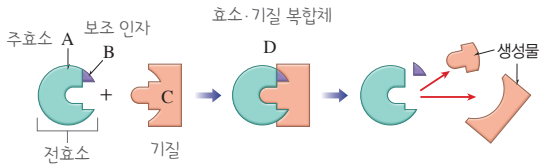
② 보조 인자는 효소의 비단백질 부분이며, 주효소에 비해 크기가 작다.

④ 보조 인자에는 아연 이온(Zn^{2+}), 철 이온(Fe^{2+}) 등의 금속 이온과 비타민과 같은 유기 화합물로 된 조효소가 있다.

⑤ 보조 인자가 필요한 경우 주효소에 보조 인자가 결합해야 활성 부위의 구조가 기질과 결합하기 적합한 형태로 되어 효소·기질 복합체가 형성될 수 있다.

바로알기 ③ 보조 인자 중에는 기질이 결합할 때에만 주효소의 활성 부위에 결합하는 것도 있고, 활성 부위에 강하게 결합하여 잘 분리되지 않는 것도 있다.

07 **꼼꼼** 문제 분석



ㄴ. 주효소(A)와 보조 인자(B)는 반응 전후에 변하지 않으므로 반응이 끝난 후 다시 사용된다.

ㄹ. C는 전효소의 활성 부위에 결합하는 기질이다.

▣ **바로알기** ㄱ. 주효소(A)는 효소의 단백질 부분이다.

ㄷ. 보조 인자(B)는 주효소(A)에 결합하여 활성 부위의 구조를 기질과 결합하기 적합한 형태로 만든다. 따라서 보조 인자가 필요한 경우 보조 인자(B)가 없으면 효소·기질 복합체(D)가 형성되지 못한다.

08 **꼼꼼** 문제 분석



A 조효소(비단백질)	B 주효소(단백질)	생성물
열처리함	열처리함	생성 안 됨
열처리함	열처리 안 함	생성됨
열처리 안 함	열처리함	㉠ 생성 안 됨

A는 보조 인자인데 유기 화합물이라고 하였으므로 A는 보조 인자 중 조효소이다.

① 조효소(A)는 비단백질 부분, 주효소(B)는 단백질 부분이므로 조효소(A)는 주효소(B)보다 열에 강하다.

② 주효소(B)는 열처리하면 입체 구조가 변해 기질과 결합할 수 없다. 따라서 ㉠은 '생성 안 됨'이다.

④ 조효소(A)에 해당하는 물질에는 NAD^+ , FAD 등이 있다.

⑤ 효소·기질 복합체(C)가 형성되면 화학 반응의 활성화 에너지가 낮아진다.

▣ **바로알기** ③ 조효소가 필요한 경우 조효소(A)와 주효소(B)가 결합하여야 촉매 작용을 할 수 있는 전효소가 된다.

09 효소 A는 수소를 다른 분자에 전달하여 산화 환원 반응에 관여하므로 산화 환원 효소이다. 효소 B는 물을 첨가하여 기질을 분해하므로 가수 분해 효소이다. 효소 C는 기질의 작용기인 아미노기($-NH_2$)를 떼어 다른 분자로 옮기므로 전이 효소이다.

10 ㄱ. 기름종이가 떠오르는 것은 과산화 수소의 분해로 발생한 산소 기포가 기름종이에 달라붙어 부력이 생기기 때문이다.

따라서 기름종이가 떠오르는 데 걸린 시간이 짧을수록 카탈레이스의 활성도가 높아 과산화 수소가 빨리 분해되었음을 의미한다. 실험 결과에서 35 °C의 감자즙을 적신 기름종이를 넣은 비커 B에서 기름종이가 떠오르는 데 걸린 시간이 가장 짧다. 이를 통해 카탈레이스는 35 °C에서 가장 활발하게 작용하였다는 것을 알 수 있다.

ㄷ. 60 °C의 감자즙을 적신 기름종이를 넣은 비커 C에서 기름종이가 떠오르는 데 걸린 시간이 비커 B보다 길므로 높은 온도에서 효소의 활성이 저하된다는 것을 알 수 있다.

▣ **바로알기** ㄴ. 카탈레이스에 의해 과산화 수소가 분해되는 속도는 $B > C > A$ 순이다.

11 ㄴ. 효소의 최적 pH는 효소의 반응 속도가 최대일 때의 pH이다. 효소 A의 최적 pH는 2, 효소 B의 최적 pH는 7, 효소 C의 최적 pH는 8이므로, 효소의 종류에 따라 최적 pH가 다르다는 것을 알 수 있다.

ㄷ. 효소 C는 pH 7일 때보다 pH 8일 때 반응 속도가 높으므로 활성이 더 높다.

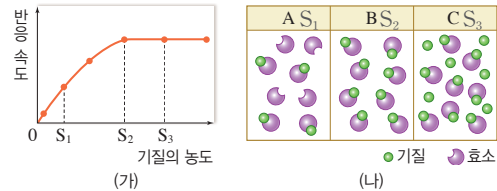
▣ **바로알기** ㄱ. 효소 A의 최적 pH는 2이고, 효소 B의 최적 pH는 7이므로 효소 A와 B는 같은 소화 기관에서 작용할 수 없다.

12 ㄴ. (가)에서 효소는 반응 후에도 구조가 변하지 않으므로 반응이 끝난 후에 반복적으로 재사용될 수 있다.

ㄷ. 이 효소의 최적 pH는 7이므로 pH 7에서 단위 시간당 효소·기질 복합체의 형성량이 가장 많다.

▣ **바로알기** ㄱ. (가)에서 물 분자가 첨가되어 기질이 생성물 두 분자로 분해되므로 이 효소는 가수 분해 효소이다.

13 **꼼꼼** 문제 분석



- A: 기질의 농도가 낮아 효소 X의 일부는 기질과 결합하지 못한다. $\Rightarrow S_1$
- B: 모든 효소 X가 기질과 결합하여 반응 속도가 최대가 된다. $\Rightarrow S_2$
- C: 모든 효소 X가 포화된 상태이며, 효소 X와 결합하지 않은 기질이 있다. $\Rightarrow S_3$

ㄷ. 기질의 농도가 S_3 일 때 반응 속도가 더 이상 증가하지 않으므로 모든 효소 X는 기질과 결합한 상태이고, 기질의 농도는 S_2 보다 증가하였으므로 효소 X와 결합하지 않은 기질이 남아 있다. 따라서 S_3 일 때 효소 X를 더 첨가하면 남은 기질들이 효소 X와 결합하여 반응하므로 반응 속도가 증가할 것이다.

▣ **바로알기** ▣ ㄱ. 활성화 에너지는 기질의 농도와 관계없이 일정하다.
 ㄴ. 기질의 농도가 S_2 일 때 반응 속도가 더 이상 증가하지 않으므로 모든 효소와 기질은 효소·기질 복합체를 형성한 상태이다. 따라서 S_2 일 때 효소·기질 복합체의 형성 정도는 B와 같다.

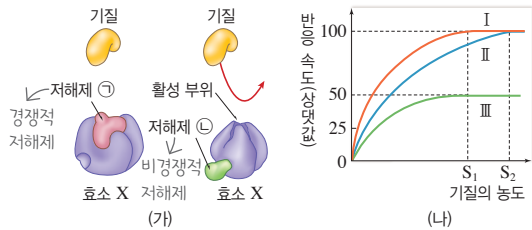
14 ㉠은 효소와 결합하여 효소·기질 복합체를 형성한 후 생성물로 분해되므로 기질이고, ㉡은 효소의 활성 부위에 결합하여 반응이 일어나는 것을 저해하므로 경쟁적 저해제이다.

ㄱ. 기질(㉠)이 반응 후에 생성물이 되므로 기질(㉠)의 농도는 반응 전보다 후에 낮다.

ㄴ. 경쟁적 저해제(㉡)는 입체 구조가 기질(㉠)과 유사하여 효소의 활성 부위에 기질(㉠)과 경쟁적으로 결합한다.

▣ **바로알기** ▣ ㄴ. 경쟁적 저해제(㉡)는 효소·기질 복합체의 형성 속도에 영향을 준다. 활성화 에너지의 크기는 효소의 작용 여부에 따라 달라지며 경쟁적 저해제(㉡)의 유무에 영향을 받지 않는다.

15 **꼼꼼 문제 분석**



- I: 저해제가 없을 때의 반응 속도
- II: 기질의 농도가 아주 높아지면 저해 효과가 사라진다. → 경쟁적 저해제(㉠)가 있을 때의 반응 속도
- III: 기질의 농도가 높아지더라도 저해 효과가 사라지지 않는다. → 비경쟁적 저해제(㉡)가 있을 때의 반응 속도

저해제 ㉠은 효소 X의 활성 부위에 기질과 경쟁적으로 결합하므로 경쟁적 저해제이다. 저해제 ㉡은 효소 X의 활성 부위가 아닌 다른 부위에 결합하므로 비경쟁적 저해제이다.

ㄱ. 비경쟁적 저해제(㉡)는 효소의 활성 부위가 아닌 다른 부위에 결합하여 활성 부위의 구조를 변형시켜 효소·기질 복합체의 형성을 방해한다.

▣ **바로알기** ▣ ㄴ. 경쟁적 저해제(㉠)가 있는 경우는 II이며, II에서 S_1 일 때 반응 속도가 100(최대값)이 아니므로 효소는 기질에 의해 포화된 상태는 아니다. S_1 일 때 효소가 기질에 의해 포화되어 반응 속도가 더 이상 증가하지 않는 경우는 저해제가 없는 경우(I)와 비경쟁적 저해제(㉡)가 있는 경우(III)이다.

ㄴ. 기질의 농도가 S_2 일 때 비경쟁적 저해제(㉡)가 있는 경우(III)의 반응 속도는 50, 저해제가 없는 경우(I)의 반응 속도는 100이다.

16 저해제 A가 있을 때가 없을 때보다 반응 속도가 느리지만 기질의 농도 X에서 반응 속도가 같은 것은 저해제 A가 경쟁적 저해제이기 때문이다.

▣ **모범답안** 저해제 A는 입체 구조가 기질과 유사하여 효소의 활성 부위에 기질과 경쟁적으로 결합하여 효소의 작용을 억제하므로 기질의 농도가 X와 같이 충분히 높으면 저해 효과가 없어지기 때문이다.

채점 기준	배점
기질의 농도 X에서 저해제 A가 있을 때와 없을 때 반응 속도가 같은 까닭을 경쟁적 저해제의 특성과 연관 지어 옳게 서술한 경우	100%
기질의 농도 X에서 저해제 A가 있을 때와 없을 때 반응 속도가 같은 까닭을 저해제 A가 경쟁적 저해제이기 때문이라고만 서술한 경우	40%

17 ① 모두 아밀레이스, 단백질 분해 효소, 지방 분해 효소 등의 효소가 관여하는 현상이다.

② 밥을 오랫동안 씹으면 단맛이 나는 것은 침 속의 아밀레이스가 녹말을 엿당으로 분해하기 때문이다.

④ 효소 세제는 단백질 분해 효소와 지방 분해 효소가 들어 있어 일반 세제보다 때나 얼룩을 효과적으로 제거한다.

⑤ 식해를 만들 때 따뜻하게 하는 것은 엿기를 속의 아밀레이스가 온도의 영향을 받기 때문이다.

▣ **바로알기** ▣ ③ 배와 키위에는 소고기에 포함된 단백질을 분해하는 효소가 들어 있다.

중단원 핵심 정리

93쪽~94쪽

- ① 친수성
- ② 소수성
- ③ 단순
- ④ 촉진
- ⑤ 물
- ⑥ 용혈
- ⑦ 원형질 분리
- ⑧ 흡수력
- ⑨ 능동 수송
- ⑩ 식세포
- ⑪ 활성화 에너지
- ⑫ 기질 특이성
- ⑬ 전효소
- ⑭ 보조 인자
- ⑮ 전이 효소
- ⑯ 최적 온도
- ⑰ 경쟁적
- ⑱ 비경쟁적

중단원 마무리 문제

95쪽~98쪽

- 01 ①
- 02 ②
- 03 ③
- 04 ⑤
- 05 ③
- 06 ⑤
- 07 ⑤
- 08 ④
- 09 ③
- 10 ⑤
- 11 ③
- 12 ④
- 13 ⑤
- 14 ③
- 15 해설 참조
- 16 해설 참조
- 17 해설 참조

01 A는 막단백질이고 B는 인지질의 친수성 머리 부분, C는 인지질의 소수성 꼬리 부분이다.

② 인지질의 머리 부분(B)은 인산과 글리세롤 등으로 구성된다.

③ 인지질의 꼬리 부분(C)은 지방산 두 분자로 이루어져 있어 소수성을 띤다.

④ 세포의 안과 밖은 물이 많은 환경이므로 인지질은 친수성인 머리(B)가 바깥으로 향하고, 소수성인 꼬리(C)가 서로 마주 보며 안쪽으로 배열되어 2중층을 이룬다.

⑤ 막단백질(A) 중 수송 단백질은 세포막을 통한 물질 이동에 관여한다.

▶ **바로알기** ① 단백질(A) 중 인지질 2중층을 관통하거나 일부분이 파묻혀 있는 것은 소수성이 강하다.

02 물질 A는 단순 확산, 물질 B는 촉진 확산으로 세포막을 통해 이동한다.

나. 산소는 A와 같이 단순 확산에 의해 인지질 2중층을 직접 통과하여 폐포에서 모세 혈관으로 이동한다.

▶ **바로알기** ㄱ. 단순 확산에서는 농도 기울기에 비례하여 물질의 이동 속도가 증가하지만, 촉진 확산에서는 막단백질이 모두 물질 운반에 관여하면 물질의 이동 속도가 더 이상 증가하지 않는다. 따라서 물질 A는 ㉠, 물질 B는 ㉡이다.

ㄷ. 물질 B는 촉진 확산에 의해 이동하므로 물질 B의 이동에는 에너지가 사용되지 않는다.

03 ① A는 수송 단백질이 관여하지 않으므로 단순 확산이다. 단순 확산은 물질이 인지질 2중층을 직접 통과하여 이동하는 방식이다.

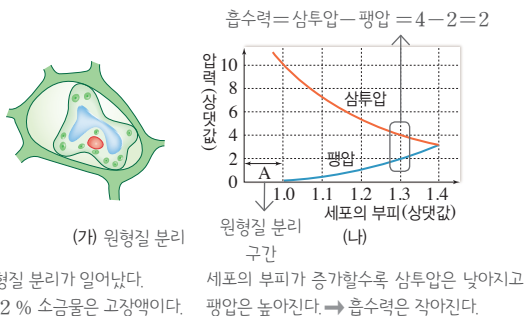
② B는 수송 단백질이 관여하지만 세포가 에너지를 사용하지 않으므로 촉진 확산이다.

④ 신경 세포의 흥분으로 Na^+ 이 세포 밖에서 세포 안으로 이동할 때, Na^+ 은 Na^+ 통로를 통해 농도가 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 이동한다. 이는 촉진 확산(B)에 해당한다.

⑤ 수송 단백질이 관여하고 세포가 에너지를 사용하는 C는 능동 수송이며, 능동 수송의 예로는 $Na^+ - K^+$ 펌프가 있다.

▶ **바로알기** ③ 촉진 확산(B)은 농도 기울기에 따라 농도가 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 물질이 이동하는 방식이지만, 능동 수송(C)은 농도 기울기를 거슬러 농도가 낮은 쪽에서 높은 쪽으로 물질이 이동하는 방식이다.

04 **꼼꼼** 문제 분석



① 원형질 분리(가)가 일어났을 때 세포의 팽압은 0이다. 따라서 (가)는 (나)의 A 구간에서 관찰되는 현상이다.

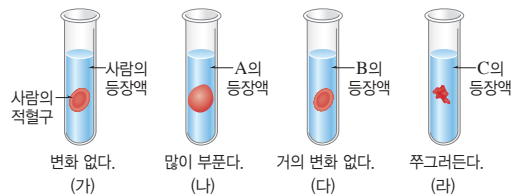
② 흡수력은 삼투압과 팽압의 차이이며, (나)에서 팽압이 2일 때 삼투압은 4이다. 따라서 팽압이 2일 때 흡수력의 크기는 삼투압 - 팽압 = 4 - 2 = 2이다.

③ 세포의 부피가 작을수록 삼투압과 팽압의 차이가 커지므로 흡수력은 커진다.

④ 2% 소금물에 담가 둔 식물 세포에서 원형질 분리가 일어났으므로 2% 소금물은 이 식물 세포의 세포액보다 삼투압이 높은 고장액이다.

▶ **바로알기** ⑤ 삼투압과 팽압의 차이가 클수록 흡수력은 커지므로 세포 안으로 들어오는 물의 양이 많아진다.

05 **꼼꼼** 문제 분석



- (가): 사람의 등장액과 적혈구 안의 농도는 같으므로 적혈구의 모양 변화가 없다.
 - (나): 적혈구가 많이 부른 것은 A의 등장액이 적혈구 안의 농도보다 낮기 때문이다.
 - (다): B의 등장액과 적혈구 안의 농도가 거의 같기 때문에 적혈구의 모양이 거의 변하지 않았다.
 - (라): 적혈구가 쭈그러든 것은 C의 등장액이 적혈구 안의 농도보다 높기 때문이다.
- ▶ 등장액의 농도 비교: A의 등장액 < B의 등장액 < C의 등장액

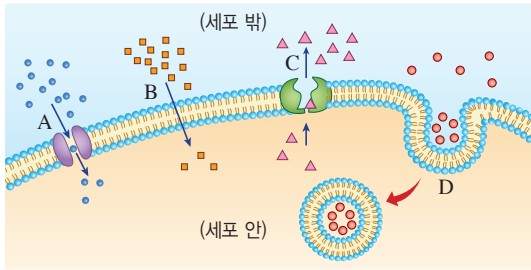
나. (나)에서 적혈구가 많이 부풀었으므로 A의 등장액은 저장액이며, (다)에서 적혈구의 모양이 거의 변하지 않으므로 B의 등장액과 적혈구 안의 농도가 거의 같다. (라)에서 적혈구가 쭈그러들었으므로 C의 등장액이 고장액이다. 따라서 등장액의 농도는 $A < B < C$ 순이다.

ㄷ. (다)에서 적혈구의 모양 변화가 거의 없으므로 사람의 등장액과 농도가 가장 비슷한 혈장을 가진 동물은 B이다.

▶ **바로알기** ㄱ. B의 등장액보다 C의 등장액이 더 농도가 높으므로 B의 적혈구를 C의 등장액에 넣으면 쭈그러들 것이다. 용혈은 적혈구를 저장액에 넣었을 때 적혈구가 부풀다가 터져 내용물이 밖으로 빠져나오는 현상이다.

ㄷ. (다)에서 적혈구 모양이 거의 변하지 않은 것은 B의 등장액과 적혈구 안의 농도가 거의 같아 적혈구로 물이 들어오는 속도와 적혈구에서 물이 나가는 속도가 거의 같기 때문이다. 즉, 적혈구 막을 통한 물의 이동은 일어난다.

06 **꼼꼼** 문제 분석



- A: 농도 기울기에 따라 막단백질을 통해 물질이 이동한다. → 촉진 확산
- B: 농도 기울기에 따라 물질이 인지질 2중층을 직접 통과한다. → 단순 확산
- C: 농도 기울기를 거슬러 막단백질을 통해 물질이 이동한다. → 능동 수송
- D: 세포 밖의 물질을 세포막으로 둘러싸 세포 내로 끌어들이는다. → 세포 내 섭취

① A와 B는 모두 확산이므로 농도 기울기에 따라 물질이 이동한다.

② 촉진 확산(A)에는 통로 단백질과 운반체 단백질이 관여하고, 능동 수송(C)에는 운반체 단백질이 관여한다.

③ 촉진 확산(A)과 단순 확산(B)은 모두 에너지를 사용하지 않는 수동 수송이다.

④ 능동 수송(C)과 세포내 섭취(D)에는 모두 에너지가 사용된다.

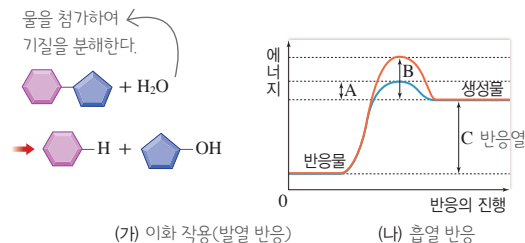
▶바로알기 ⑤ 이자 세포에서 생성된 인슐린은 세포의 배출에 의해 분비된다.

07 나. $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ 펌프는 Na^+ 을 세포 밖으로, K^+ 을 세포 안으로 이동시키는 운반체 단백질이다.

다. $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ 펌프는 ATP를 사용하여 구조가 바뀌므로써 Na^+ 과 K^+ 을 운반한다.

▶바로알기 가. B에서 리포솜 내부의 Na^+ 농도가 증가하였으므로 $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ 펌프에 의해 Na^+ 은 리포솜 안쪽으로, K^+ 은 리포솜 바깥쪽으로 이동하였음을 알 수 있다. 따라서 B에서 리포솜 외부의 K^+ 농도는 증가하였을 것이다.

08 **꼼꼼** 문제 분석



④ 반응열(C)은 반응물과 생성물의 에너지 차이로, 효소가 없을 때와 있을 때가 같다.

▶바로알기 ① (가)에서는 물을 첨가하여 기질을 분해하므로 가수 분해 효소가 관여한다.

② (가)는 이화 작용인 가수 분해 반응이므로 발열 반응이다. 이화 작용은 반응물의 에너지가 생성물의 에너지보다 크다. 따라서 (가)에서 반응 진행에 따른 에너지 변화는 (나)와 다르다.

③ 효소가 있을 때의 활성화 에너지는 $A + C$ 이고, 효소가 없을 때의 활성화 에너지는 $B + C$ 이다. 따라서 효소가 있을 때의 활성화 에너지는 효소가 없을 때보다 $B - A$ 만큼 작다.

⑤ (나)는 흡열 반응이므로 분자당 에너지량은 반응물이 생성물보다 작다.

09 가. 실험 I과 II에서는 반응이 일어나지 않았으므로 시간이 경과하더라도 기질의 농도는 변하지 않고 일정하게 유지된다. 나. 실험 III에서는 반응이 일어났으므로 (가)와 (나)가 함께 있어야 효소의 기능을 할 수 있는 전효소가 된다는 것을 알 수 있다.

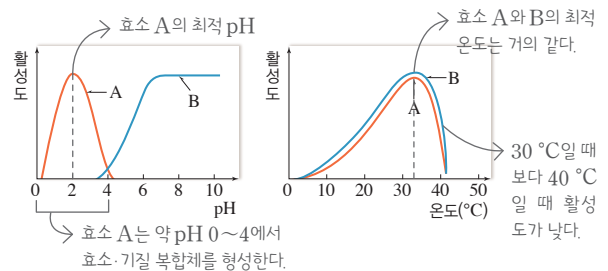
▶바로알기 다. 실험 IV에서 (가)를 가열했을 때는 반응이 일어났고, 실험 V에서 (나)를 가열했을 때는 반응이 일어나지 않았다. 이를 통해 (가)는 열에 강한 보조 인자, (나)는 열에 약한 주효소라는 것을 알 수 있다.

10 가. 알코올 탈수소 효소는 메탄올과 에탄올의 수소를 떼어 조효소에 붙여 주므로 산화 환원 효소이다.

나. 메탄올과 에탄올은 모두 알코올 탈수소 효소의 활성 부위와 유사한 구조를 가지고 있어 활성 부위에 결합한다.

다. 메탄올에 중독되었을 때 에탄올을 주사하면 에탄올이 메탄올과 경쟁적으로 알코올 탈수소 효소의 활성 부위에 결합한다. 따라서 메탄올의 분해 산물인 폼알데하이드의 생성을 억제할 수 있다.

11 **꼼꼼** 문제 분석



가. (가)에서 효소 A는 약 pH 0~4의 범위에서 활성을 나타내고, 효소 B는 약 pH 4 이상에서 활성을 나타낸다. 즉, pH 6에서 효소 B는 작용하지만 효소 A는 작용하지 못한다.

다. 30°C 이하에서는 온도가 높아질수록 효소의 활성도가 증가한다. 따라서 30°C 이하에서는 온도가 높아질수록 효소·기질 복합체가 잘 형성되어 반응이 촉진된다는 것을 알 수 있다.

▣ **바로알기** ▣ 나. 효소 A와 B는 모두 40 °C일 때보다 30 °C일 때 활성이 높다.

12 나. (가)에서 거품이 가장 높게 발생한 것은 카탈레이스가 중성에서 활성이 가장 높기 때문이다.

나. 감자즙에는 과산화 수소를 분해하는 효소인 카탈레이스가 있으며, 카탈레이스의 주성분은 단백질이다. 단백질은 높은 열에 변성되므로 감자즙을 끓이면 카탈레이스의 입체 구조가 변하여 그 기능을 할 수 없다. 따라서 끓인 감자즙을 넣으면 과산화 수소가 분해되지 않아 산소가 발생하지 않으므로 거품이 거의 발생하지 않을 것이다.

▣ **바로알기** ▣ 다. 이 실험에서는 카탈레이스 외의 다른 효소의 최적 pH를 알 수 없다.

13 나. 기질의 농도가 일정할 때 효소의 농도가 높아지면 반응 속도가 빨라진다. S₃에서 A일 때의 반응 속도는 1.0이고, B일 때의 반응 속도는 0.5이므로 효소 X의 농도 A는 B의 2배임을 알 수 있다.

나. S₃에서 A일 때의 반응 속도가 B일 때의 2배인 것은 효소 X의 농도가 2배이기 때문이다. 하지만 같은 종류의 효소에 의한 반응이므로 A와 B일 때 활성화 에너지의 크기는 같다.

다. 효소 X의 농도가 B일 때, S₂일 때가 S₁일 때보다 반응 속도가 빠르다. 이를 통해 효소·기질 복합체의 양은 S₂일 때가 S₁일 때보다 많다는 것을 알 수 있다.

14 나. X는 효소의 활성 부위에 기질과 경쟁적으로 결합하는 경쟁적 저해제이다.

나. ㉠은 효소와 기질이 결합한 상태이므로 효소·기질 복합체이다.

▣ **바로알기** ▣ 다. 경쟁적 저해제(X)는 효소의 활성 부위에 결합하여 기질이 결합하지 못하게 한다. 비경쟁적 저해제는 활성 부위가 아닌 효소의 다른 부위에 결합하여 활성 부위의 입체 구조를 바꾼다.

15 사람 세포와 생쥐 세포의 막단백질을 서로 다른 색깔의 형광 물질로 표지한 후 융합하였을 때 두 가지 형광 물질이 고루 섞였다. 이를 통해 막단백질이 한 곳에 고정되어 있는 것이 아니라 유동성이 있어 이동할 수 있음을 알 수 있다.

▣ **모범답안** ▣ 막단백질은 세포막의 특정 위치에 고정되어 있지 않고 유동성이 있어 이동할 수 있다.

채점 기준	배점
세포막의 특성을 막단백질, 유동성이 포함되도록 옳게 서술한 경우	100%
세포막의 특성을 막단백질이 이동한다라고만 서술한 경우	50%

16 Na⁺ 농도는 혈장이 적혈구 내부보다 높고, K⁺ 농도는 혈장이 적혈구 내부보다 낮다. 이는 Na⁺-K⁺ 펌프가 Na⁺은 적혈구 바깥쪽으로, K⁺은 적혈구 안쪽으로 이동시키기 때문이다.

▣ **모범답안** ▣ 능동 수송에 관여하는 Na⁺-K⁺ 펌프가 농도 기울기를 거슬러 농도가 낮은 쪽에서 높은 쪽으로 이온을 이동시키기 때문이다.

채점 기준	배점
적혈구 안팎의 이온 분포가 불균등하게 유지되는 까닭을 능동 수송, Na ⁺ -K ⁺ 펌프, 농도 기울기 역행과 연관 지어 옳게 서술한 경우	100%
적혈구 안팎의 이온 분포가 불균등하게 유지되는 까닭을 능동 수송 때문이라고만 서술한 경우	40%

17 ㉠은 활성 부위에 기질과 경쟁적으로 결합하여 효소의 작용을 방해하므로 경쟁적 저해제이다. ㉡은 활성 부위가 아닌 다른 부위에 결합하여 활성 부위의 구조를 변화시켜 기질이 활성 부위에 결합하지 못하도록 하므로 비경쟁적 저해제이다.

▣ **모범답안** ▣ ㉠은 기질의 농도가 높아지면 저해 효과가 감소하지만, ㉡은 기질의 농도가 높아져도 저해 효과가 감소하지 않는다.

채점 기준	배점
기질의 농도가 높아질수록 ㉠과 ㉡의 저해 효과가 어떻게 달라지는지 모두 옳게 서술한 경우	100%
㉠과 ㉡의 저해 효과 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50%

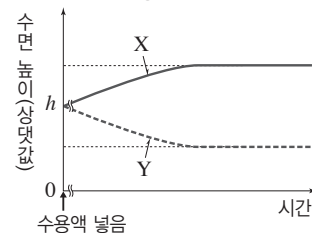
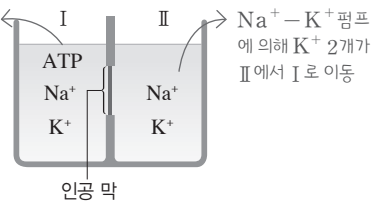
수능 실전 문제

99쪽~101쪽

01 ⑤ 02 ③ 03 ④ 04 ② 05 ② 06 ④
07 ④ 08 ⑤ 09 ② 10 ① 11 ①

01 꼼꼼 문제 분석

ATP가 분해되어 나온 인산이 Na⁺-K⁺ 펌프에 결합하면 Na⁺ 3개가 I에서 II로 이동



Na⁺-K⁺ 펌프에 의해 I보다 II의 이온 농도가 높게 유지되므로 물이 삼투에 의해 I에서 II로 이동한다. → X는 II의 수면 높이 변화이고, Y는 I의 수면 높이 변화이다.

선택지 분석

- ㉠ 삼투에 의해 물이 인공 막을 통과한다.
- ㉡ 실험 결과에서 Y는 I의 수용액 높이 변화이다.
- ㉢ I에서는 K⁺의 양이 증가하고, II에서는 Na⁺의 양이 증가할 것이다.

ㄱ. Na⁺-K⁺ 펌프에 의해 I과 II의 이온 농도 차가 형성되므로 삼투에 의해 물이 인공 막을 통과하는 현상이 일어난다.
 ㄴ. Na⁺-K⁺ 펌프에 의해 Na⁺은 3개가, K⁺은 2개가 이동하므로 I보다 II의 이온 농도가 높아지고, 그 결과 물은 삼투에 의해 I에서 II로 이동하게 된다. 따라서 Y는 I의 수용액 높이 변화이다.
 ㄷ. I에 ATP를 첨가했으므로 Na⁺-K⁺ 펌프에 의해 Na⁺은 I에서 II로, K⁺은 II에서 I로 이동한다. 따라서 I에서는 K⁺의 양이, II에서는 Na⁺의 양이 증가한다.

02

선택지 분석

- ㉠ 설탕 용액의 농도는 A가 B보다 낮다. 높다.
- ㉡ V₁일 때 이 세포의 삼투압은 팽압보다 작다. 크다.
- ㉢ V₂일 때 이 세포는 팽윤 상태이다.

ㄷ. 흡수력은 삼투압에서 팽압을 뺀 값이므로 세포의 부피가 1.0일 때는 삼투압과 같고, 세포의 부피가 커질수록 흡수력은 삼투압보다 작다. 따라서 ㉠은 삼투압, ㉡은 흡수력이므로 V₂일 때 이 세포의 흡수력은 0이고, 물이 더 이상 흡수되지 않는 최대 팽윤 상태이다.
바로알기 ㄱ. 설탕 용액 A에 담겨 있던 식물 세포를 B로 옮긴 후 세포의 부피가 증가하고 삼투압(㉠)과 흡수력(㉡)이 작아지므로 고장액(A)에 있던 식물 세포를 저장액(B)으로 옮겼을 때의 변화이다. 따라서 설탕 용액 A의 농도는 B보다 높다.
 ㄴ. V₁일 때 이 세포의 흡수력(㉡)은 0보다 크므로 삼투압(㉠)은 팽압보다 크다.

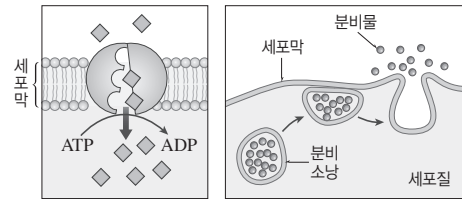
03

선택지 분석

- ㉠ ㉠의 이동에 막단백질이 관여한다.
- ㉡ 세포막을 통한 산소의 이동 방식은 물질 ㉠의 이동 방식과 같다. 단순 확산
- ㉢ 세포 밖에서 안으로의 ㉠의 이동 속도는 t₁일 때가 t₂일 때보다 빠르다.

[세포 밖 농도]-[세포 안 농도]는 세포 안과 밖의 농도 차이이다. 농도 차가 0일 때 ㉠의 이동 속도가 0이고, 농도 차가 커짐에 따라 ㉠의 이동 속도가 증가하다가 농도 차가 일정 수준을 넘으면 ㉠의 이동 속도가 더 이상 증가하지 않는다. 또 (나)에서 세포 안과 밖의 농도가 X로 같아질 때까지 ㉠의 이동이 일어나므로 ㉠의 이동 방식은 막단백질이 관여하는 촉진 확산이다.
 ㄱ. 촉진 확산에는 통로 단백질이나 운반체 단백질과 같은 막단백질이 관여한다.
 ㄷ. (나)에서 t₁일 때 그래프의 기울기가 t₂일 때보다 크므로 t₁일 때의 물질 ㉠의 이동 속도가 t₂일 때보다 빠르다.
바로알기 ㄴ. 산소는 인지질을 직접 통과하여 이동하는 단순 확산으로 세포막을 통해 이동한다. 따라서 세포막을 통한 산소의 이동 방식은 물질 ㉠의 이동 방식(촉진 확산)과 다르다.

04 **꼼꼼** 문제 분석



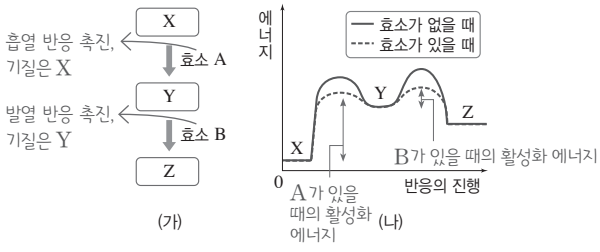
(가) 능동 수송
 막단백질 관여, ATP(에너지) 사용 → 능동 수송
 (나) 세포의 배출
 소낭이 세포막과 융합하여 세포 밖으로 물질 분비 → 세포의 배출

선택지 분석

- ㉠ (가)에 의해 물질이 농도 기울기에 따라 이동한다. 농도 기울기를 거슬러
- ㉡ (가)의 경우 세포 호흡 저해제를 처리하면 물질 이동이 억제된다.
- ㉢ (나)에 의한 물질 이동이 활발해지면 세포막의 표면적이 일시적으로 감소한다. 증가한다.

(가)는 막단백질이 관여하고 ATP를 사용하므로 능동 수송이고, (나)는 소낭이 세포막과 융합하여 세포 밖으로 물질을 분비하므로 세포의 배출이다.
 ㄴ. 능동 수송(가)은 ATP를 사용하며, ATP는 세포 호흡에 의해 만들어진다. 따라서 세포 호흡 저해제를 처리하면 능동 수송(가)에 의한 물질 이동이 억제된다.
바로알기 ㄱ. 능동 수송(가)은 에너지를 사용하여 물질을 저농도에서 고농도로 농도 기울기를 거슬러 이동시키는 방식이다.
 ㄷ. 세포의 배출(나)에서는 소낭의 막이 세포막과 합쳐지므로 세포의 배출에 의한 물질 이동이 활발해지면 세포막의 표면적이 일시적으로 증가한다.

05 **꼼꼼** 문제 분석



선택지 분석

- 효소 A의 기질은 Y이다. X
- 효소 A와 B가 모두 있을 때 활성화 에너지는 X → Y의 반응에서 Y → Z의 반응에서보다 크다.
- X → Y의 반응에서 반응열은 효소 A가 있을 때가 없을 때보다 크다.

ㄴ. 효소 A가 있을 때 활성화 에너지는 (나)에서 X가 Y로 될 때 점선으로 표시된 에너지 언덕이고, 효소 B가 있을 때 활성화 에너지는 (나)에서 Y가 Z로 될 때 점선으로 표시된 에너지 언덕이다. 따라서 효소 A와 B가 모두 있을 때 활성화 에너지는 X → Y의 반응에서 Y → Z의 반응에서보다 크다.

▣ **바로알기** ㄱ. 효소 A는 물질 X가 물질 Y로 되는 과정에 관여하므로 효소 A는 X와 결합하여 반응을 촉진한다. 따라서 효소 A의 기질은 X이다.

ㄷ. 반응열은 반응물과 생성물의 에너지 차이이며, 효소가 있을 때와 없을 때 그 크기가 같다.

06

선택지 분석

- ㉠은 효소의 활성 부위에 결합한다.
- ㉡은 효소·기질 복합체이다.
- 이 반응의 활성화 에너지는 t_2 일 때가 t_1 일 때보다 작다. 일정하다.

ㄱ. 효소가 관여하는 화학 반응에서 기질은 생성물로 변화된다. ㉠은 시간이 지날수록 농도가 감소하므로 효소의 활성 부위에 결합하는 기질이다.

ㄴ. 반응 초기에 ㉡의 농도가 감소하다가 기질(㉠)의 농도가 감소할수록 ㉡의 농도가 증가하여 반응 전의 상태를 회복하므로, ㉡은 반응 전후에 변하지 않는 효소이다. 또 ㉡은 반응 초기에 농도가 증가하다가 기질(㉠)의 농도가 감소할수록 감소하므로 효소·기질 복합체이다.

▣ **바로알기** ㄷ. 활성화 에너지는 기질의 농도와 관계없이 일정하다.

07

선택지 분석

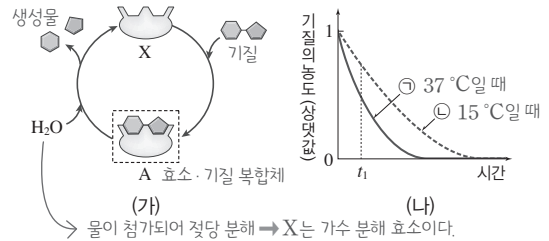
- 무즙에 있는 아밀레이스는 전이 효소에 해당한다. 가수 분해 효소
- 무즙에 있는 아밀레이스는 녹말과 효소·기질 복합체를 형성한다.
- (가)의 B에서는 녹말이 엿당으로 분해되는 반응이 일어나지 않았다.

ㄴ. 무즙에 있는 아밀레이스가 녹말을 엿당으로 분해하므로 녹말은 아밀레이스의 기질이다.

ㄷ. A에서는 아이오딘 반응이 일어나지 않았으므로 A에서 무즙에 의해 녹말이 엿당으로 분해되었음을 알 수 있다. B에서는 아이오딘 용액을 떨어뜨렸을 때 청람색이 나타났으므로 녹말이 엿당으로 분해되지 않았음을 알 수 있다.

▣ **바로알기** ㄱ. 무즙에 있는 아밀레이스는 가수 분해 효소이다. 전이 효소는 기질의 작용기를 다른 분자에 전달하는 효소이다.

08 **꼼꼼** 문제 분석



선택지 분석

- (가)는 가수 분해 반응이다.
- ㉠은 37 °C일 때의 기질의 농도 변화이다.
- t_1 에서 A의 수는 ㉠일 때가 ㉡일 때보다 많다.

ㄱ. X는 물을 첨가하여 엿당을 두 분자의 생성물로 분해하므로 가수 분해 효소이다.

ㄴ. (나)에서 t_1 일 때 기질의 농도가 ㉡일 때보다 ㉠일 때가 낮다. 이는 ㉡일 때보다 ㉠일 때가 반응이 활발하게 일어났기 때문이며, 사람의 효소 반응은 37 °C일 때가 15 °C일 때보다 활발히 일어나므로 ㉠은 37 °C, ㉡은 15 °C일 때의 기질의 농도 변화이다.

ㄷ. A는 효소·기질 복합체이다. t_1 에서 ㉠일 때가 ㉡일 때보다 기질의 농도가 높기 때문에 효소의 반응 속도가 더 빠르다. 효소의 반응 속도가 빠른 것은 효소·기질 복합체(A)가 더 많이 형성되기 때문이다.

09

선택지 분석

- 시험관 A와 D에서는 색깔이 변하지 않을 것이다. **시험관 D**
- 시험관 A, B, C를 비교하면 아밀레이스의 작용이 온도의 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.
- 이 실험 결과 기질의 농도가 높을수록 반응 속도가 빨라지는 것을 알 수 있다. **알 수 없다.**

ㄴ. 시험관 A, B, C는 조작 변수가 온도이므로, A, B, C를 비교하면 아밀레이스의 작용이 온도의 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.

바로알기 ㄱ. 시험관 A에서는 아밀레이스의 작용에 의해 녹말이 엷당으로 분해되므로 청람색의 색깔이 흐려지거나 사라진다. 아밀레이스의 최적 pH는 7인데 시험관 D는 산성 상태이므로 시험관 D에서는 아밀레이스의 작용이 억제되어 색깔 변화가 나타나지 않을 것이다.

ㄷ. 시험관 A~C의 실험 결과를 통해 효소의 활성이 온도의 영향을 받는다는 것을, 시험관 D~F의 실험 결과를 통해 효소의 활성이 pH의 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.

10

선택지 분석

- A는 X의 활성 부위에 결합할 수 있다.
- 효소 X가 관여하는 반응의 활성화 에너지는 **b**이다. **a**
- A의 양이 많아지면 (나)에서 **a**는 감소한다.

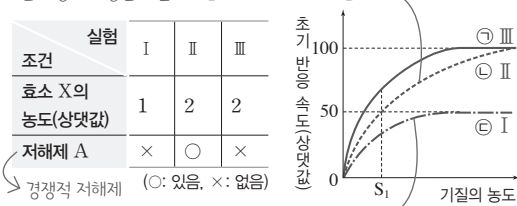
ㄱ. A는 효소 X의 활성 부위에 결합하여 기질이 활성 부위에 결합하는 것을 방해하는 경쟁적 저해제이다.

바로알기 ㄴ. 활성화 에너지는 기질이 생성물로 되는 반응이 일어나는 데 필요한 최소한의 에너지이므로 **a**이다.

ㄷ. 경쟁적 저해제(A)는 활성화 에너지의 크기에 영향을 미치지 않으므로 A의 양이 많아져도 (나)에서 **a**는 변하지 않고 일정하다.

11 **꼼꼼** 문제 분석

기질의 농도가 충분히 높아지면 저해 효과가 사라진다. ←



㉢은 반응 속도가 ㉠의 절반이다. → ㉢은 반응에 관여하는 효소의 농도가 ㉠의 절반이다.

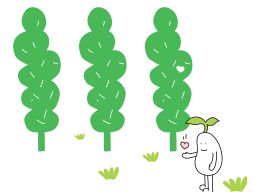
선택지 분석

- ㉠은 실험 III에서의 초기 반응 속도를 나타낸 것이다.
- A는 비경쟁적 저해제이다. **경쟁적 저해제**
- S₁일 때 ㉡에서 $\frac{\text{효소} \cdot \text{기질 복합체의 수}}{\text{효소 X의 총 수}}$ 의 값은 1이다. **1보다 작다.**

ㄱ. 실험 I과 III은 저해제 A가 없고 효소 X의 농도가 III이 I의 2배이므로 기질의 농도가 같을 때 초기 반응 속도도 III이 I의 2배일 것이다. 따라서 ㉠은 실험 III, ㉢은 실험 I에서의 초기 반응 속도를 나타낸 것이다.

바로알기 ㄴ. ㉢은 실험 II에서의 초기 반응 속도이다. ㉢에서 기질의 농도가 충분히 높아지면 저해제 A가 있어도 저해 효과는 사라진다. 경쟁적 저해제는 기질과 구조가 유사하여 기질과 경쟁적으로 효소의 활성 부위에 결합함으로써 기질을 활성 부위에 결합하지 못하게 하여 효소의 작용을 방해하므로 기질의 농도가 충분히 높아지면 저해 효과가 사라진다. 따라서 A는 경쟁적 저해제이다.

ㄷ. S₁일 때 ㉡에서 초기 반응 속도가 증가하고 있으므로 효소·기질 복합체를 형성하지 않은 효소가 있다. 따라서 효소 X의 총 수는 효소·기질 복합체의 수보다 더 많으므로 S₁일 때 ㉡에서 $\frac{\text{효소} \cdot \text{기질 복합체의 수}}{\text{효소 X의 총 수}}$ 의 값은 1보다 작다.





Ⅲ. 세포 호흡과 광합성

1 세포 호흡과 발효

01 세포 호흡

개념 확인 문제

108쪽

- ① 광합성 ② 화학 ③ ATP ④ 2중막 ⑤ 내막
⑥ 이산화 탄소 ⑦ TCA 회로

1 (1) × (2) × (3) ○ (4) ○ 2 A: 기질, B: 막 사이 공간, C: 외막, D: 내막 3 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ 4 (1) 기질 (2) 내막 (3) 내막 (4) 기질 5 A: 해당 과정, B: 피루브산의 산화, C: TCA 회로, D: 산화적 인산화

- 1** (1) 광합성은 동화 작용, 세포 호흡은 이화 작용이다.
(2) 빛에너지를 흡수하여 이산화 탄소와 물을 포도당으로 합성하는 (가)는 광합성이다. 포도당을 물과 이산화 탄소로 분해하고, 이 과정에서 방출된 에너지를 이용하여 ATP를 합성하는 (나)는 세포 호흡이다.
(3) 광합성(가)은 빛에너지를 포도당에 화학 에너지 형태로 저장하는 과정이고, 세포 호흡(나)은 포도당의 화학 에너지를 ATP의 화학 에너지로 전환하는 과정이다.
(4) 광합성(가)은 엽록체에서 일어난다. 세포 호흡(나) 과정 중 해당 과정은 세포질, 피루브산의 산화 및 TCA 회로는 미토콘드리아 기질, 산화적 인산화는 미토콘드리아 내막에서 일어난다.
- 2** 미토콘드리아는 외막(C)과 내막(D)의 2중막 구조이다. 외막과 내막은 막 사이 공간(B)을 두고 분리되어 있으며, 내막 안쪽은 기질(A)로 채워져 있다.
- 3** (1) 미토콘드리아는 외막과 내막의 2중막 구조이다.
(2) 미토콘드리아 내막은 안쪽으로 접혀 들어가 주름진 구조의 크리스탈라를 형성한다.
(3) 미토콘드리아 내막에 전자 전달계와 ATP 합성 효소가 있다.
(4) 미토콘드리아는 유기물에 저장된 화학 에너지를 생명 활동에 사용되는 에너지 형태인 ATP로 전환하는 세포 소기관이다. 따라서 근육 세포와 같이 에너지를 많이 소비하는 세포에는 미토콘드리아가 많이 들어 있다.

4 DNA, 리보솜, TCA 회로에 관여하는 효소는 미토콘드리아 기질에, 전자 전달 효소, ATP 합성 효소는 미토콘드리아 내막에 있다.

5 세포 호흡은 포도당과 같은 유기물을 산화하여 에너지를 방출하는 과정으로, 해당 과정(A), 피루브산의 산화(B) 및 TCA 회로(C), 산화적 인산화(D)로 구분한다.

개념 확인 문제

113쪽

- ① 피루브산 ② 2 ③ 2 ④ 이산화 탄소 ⑤ 3 ⑥ 4
⑦ 1 ⑧ 화학 삼투 ⑨ ATP

1 (1) ○ (2) ○ (3) × 2 (1) (가) 세포질 (나) 미토콘드리아 기질
(2) ㉠ NADH, ㉡ CO₂, ㉢ 아세틸 CoA 3 (1) 기질 (2) 아세틸 CoA (3) ㉠ 탈탄산, ㉡ 탈수소 (4) 기질 수준 4 (1) B, C
(2) ㉠ 2, ㉡ 3, ㉢ 1, ㉣ 1 5 (1) O₂ (2) (가) (3) ATP 합성 효소

- 1** (1) 해당 과정은 ATP를 소모하는 단계와 생성하는 단계로 구분할 수 있다. 해당 과정에서는 포도당 1분자당 ATP 2분자를 소모하여 과당 2인산으로 활성화된 후, 과당 2인산이 피루브산 2분자로 분해되면서 ATP 4분자를 생성한다.
(2) 해당 과정에서 포도당이 분해될 때 탈수소 효소의 작용으로 H⁺과 전자가 기질로부터 떨어져 나오며, 탈수소 효소의 조효소인 NAD⁺가 H⁺과 전자를 받아 NADH로 환원된다.
(3) 해당 과정에서는 산소가 사용되지 않으며, 6탄소 화합물인 포도당이 3탄소 화합물인 피루브산 2분자로 분해되므로 이산화탄소가 방출되지 않는다.
- 2** (1) 피루브산은 세포질에서 미토콘드리아 기질로 들어가 산화된다. 따라서 (가)는 세포질, (나)는 미토콘드리아 기질이다.
(2) 피루브산은 CO₂(㉡)를 방출하고 H⁺과 전자를 잃으면서 조효소 A와 결합하여 아세틸 CoA(㉢)가 되고, NAD⁺가 H⁺과 전자를 받아 NADH(㉠)로 환원된다.
- 3** (1), (2) TCA 회로는 미토콘드리아 기질에서 일어나며, 아세틸 CoA가 탈탄산 효소, 탈수소 효소의 작용으로 산화되는 과정이다.
(3) 이산화 탄소는 탈탄산 효소에 의한 탈탄산 반응으로 방출되며, H⁺과 전자는 탈수소 효소에 의한 탈수소 반응으로 기질에서 떨어져 나온다.
(4) TCA 회로에서는 5탄소 화합물이 4탄소 화합물로 되는 과정에서 기질 수준 인산화로 ATP가 합성된다.

4 (1) 탈탄산 효소가 작용하면 탄소 수가 줄어든다. 따라서 6탄소 화합물인 시트르산이 5탄소 화합물로 되는 단계(B)와 5탄소 화합물이 4탄소 화합물로 되는 단계(C)에서 탈탄산 효소가 작용한다.

(2) 아세틸 CoA 1분자가 TCA 회로를 거치면 CO₂ 2분자, NADH 3분자, FADH₂ 1분자, ATP 1분자가 생성된다.

5 (1) 전자 전달계에서 전자의 최종 수용체는 O₂(㉠)이다.

(2) 전자 전달 과정에서 방출된 에너지를 이용하여 H⁺이 미토콘드리아 기질(나)에서 막 사이 공간(가)으로 능동 수송되므로 H⁺ 농도는 막 사이 공간(가)에서가 기질(나)에서보다 높다.

(3) H⁺의 농도 기울기에 따라 ATP 합성 효소(㉡)를 통해 H⁺이 확산될 때 ATP가 합성된다.

개념 확인 문제

115 쪽

1 32 2 4 3 28 4 34 5 호흡 기질 6 호흡률

1 ㉠ 2, ㉡ 28 2 (가) 탄수화물 (나) 지방 (다) 단백질

1 해당 과정과 TCA 회로에서 기질 수준 인산화로 각각 2ATP가 생성되고, 산화적 인산화로 10NADH와 2FADH₂로부터 최대 28ATP(=10×2.5ATP+2×1.5ATP)가 생성된다.

2 (가)는 당으로 분해되어 호흡 기질로 이용되므로 탄수화물, (나)는 글리세롤과 지방산으로 분해되어 호흡 기질로 이용되므로 지방, (다)는 아미노산으로 분해되어 호흡 기질로 이용되므로 단백질이다.

대표 자료 분석

116쪽~117쪽

자료 1 1 (가) 2 (가) 3 (라) 4 (1) × (2) ○ (3) × (4) × (5) ○ (6) ○

자료 2 1 (가) 2 (나) 3 기질 수준 인산화 4 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ (5) × (6) ○

자료 3 1 (가) ㉠, ㉡, ㉢, ㉣ (나) ㉤ 2 ㉥ 3 (1) × (2) × (3) × (4) ○ (5) ○ (6) ○

자료 4 1 (가) 막 사이 공간 (나) 기질 2 산소(O₂) 3 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ×

1-1 (가)는 해당 과정, (나)는 피루브산의 산화, (다)는 TCA 회로, (라)는 산화적 인산화이며, 세포질에서 일어나는 단계는 해당 과정(가)이다.

1-2 산소가 없어도 진행되는 단계는 해당 과정(가)이다. 해당 과정의 산물인 피루브산은 산소가 있을 때 미토콘드리아로 들어간 후 (나), (다), (라) 과정을 거친다.

1-3 해당 과정(가), 피루브산의 산화(나) 및 TCA 회로(다)에서 생성된 NADH와 FADH₂는 고에너지 전자를 가지고 있으며, 고에너지 전자에서 방출된 에너지를 이용한 산화적 인산화(라) 단계에서 가장 많은 양의 ATP가 생성된다.

1-4 (1) 세포 호흡에서는 해당 과정이 TCA 회로보다 먼저 일어나며, (가)는 해당 과정, (다)는 TCA 회로이다.

(2) (가)~(라)는 모두 물질대사이므로 효소가 작용한다. 효소의 주성분은 단백질이며, 단백질은 온도와 pH의 영향을 받는다. 따라서 효소의 촉매 작용으로 조절되는 (가)~(라)는 모두 온도와 pH의 영향을 받는다.

(3) 피루브산의 산화(나) 및 TCA 회로(다)에 관여하는 효소는 미토콘드리아 기질에 존재하며, 산화적 인산화(라)에 관여하는 효소는 미토콘드리아 내막에 존재한다.

(4) 해당 과정(가)과 TCA 회로(다)에서의 ATP 합성은 기질에 결합해 있던 인산기가 ADP로 전달됨으로써 일어난다(기질 수준 인산화).

(5) (라)는 산화적 인산화이며, 산화적 인산화에서 NADH와 FADH₂로부터 방출된 고에너지 전자는 전자 전달 과정을 거친 후 최종적으로 산소와 결합한다. 따라서 산화적 인산화는 전자의 최종 수용체인 산소가 있어야 진행된다.

(6) 세포 호흡 과정에서 포도당은 이산화 탄소로 산화되고, 산소는 물로 환원되며, 포도당의 에너지는 ATP의 화학 에너지와 열로 전환된다. 따라서 포도당이 세포 호흡의 전 과정 (가)~(라)를 모두 거쳐 완전히 산화되면 이산화 탄소와 물이 생성되고 ATP가 합성된다.

2-1 포도당이 과당 2인산으로 활성화되는 (가)에서 2ATP가 소모된다.

2-2 (나)에서 탈수소 효소의 작용으로 NAD⁺가 NADH로 환원된다.

2-3 (다)에서 효소의 작용으로 기질에 결합해 있던 인산기가 ADP로 전달되어 ATP가 합성되는데, 이러한 ATP 합성 과정을 기질 수준 인산화라고 한다.

2-4 (1) 포도당 1분자가 여러 단계의 반응을 거쳐 피루브산 2분자로 분해되는 과정을 해당 과정이라고 한다.

- (2) 해당 과정의 (가)~(다)는 모두 세포질에서 일어난다.
- (3) 6탄소 화합물인 포도당을 구성하고 있던 탄소는 모두 3탄소 화합물인 피루브산 2분자를 구성하는 탄소를 전환되기 때문에 해당 과정에서는 이산화 탄소가 방출되지 않는다.
- (4) 해당 과정에서는 산소가 사용되지 않는다.
- (5) 포도당이 과당 2인산으로 되는 (가)에서 ATP 2분자가 투입되어 에너지가 과당 2인산에 저장된다. 따라서 1분자당 에너지 양은 포도당이 과당 2인산보다 적다.
- (6) 포도당 1분자가 해당 과정을 거칠 때, 먼저 ATP 2분자가 소모된 후 NADH 2분자와 ATP 4분자가 생성된다. 따라서 해당 과정 전체로는 NADH 2분자와 ATP 2분자가 생성된다.

3-1 NADH는 ㉠, ㉡, ㉢, ㉣에서 각각 생성되고, FADH₂는 ㉤에서 생성된다.

3-2 5탄소 화합물이 4탄소 화합물로 되는 ㉢에서 기질 수준 인산화로 ATP가 합성된다.

3-3 (1) 피루브산의 산화 및 TCA 회로는 모두 미토콘드리아 기질에서 일어난다.

- (2) 아세틸 CoA에서 아세틸기는 탄소를 2개 가지고 있으므로, 아세틸 CoA 1분자가 TCA 회로를 거치면 이산화 탄소 2분자가 방출된다.
- (3) 피루브산 1분자가 피루브산의 산화 및 TCA 회로를 거쳐 이산화 탄소를 분해되면 NADH 4분자, FADH₂ 1분자, ATP 1분자가 생성된다.
- (4) ㉠, ㉡, ㉢에서 모두 탄소 수가 하나씩 줄어드는 것은 탈탄산 반응이 일어나 이산화 탄소가 방출되기 때문이다.
- (5) ㉣에서 아세틸 CoA는 CoA가 떨어져 나오면서 옥살아세트산과 결합하여 시트르산이 된다.
- (6) 아세틸 CoA가 TCA 회로에서 산화되면서, 가지고 있던 에너지의 일부가 방출되어 NADH와 FADH₂에 저장된다.

4-1 미토콘드리아에서 H⁺이 ATP 합성 효소를 통해 막 사이 공간에서 기질로 확산되면서 ATP가 합성되므로 (가)는 막 사이 공간, (나)는 기질이다.

4-2 NADH나 FADH₂가 전달한 전자(e⁻)는 미토콘드리아 내막에 있는 전자 전달계를 따라 이동하여 최종적으로 산소(O₂)에 전달된다. 따라서 NADH나 FADH₂가 전달한 전자(e⁻)의 최종 수용체는 산소(O₂)이다.

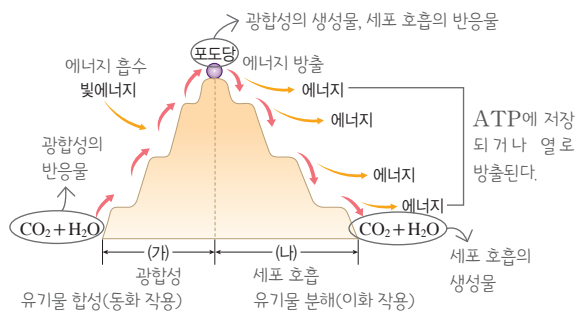
4-3 (1) NADH가 전달한 고에너지 전자는 전자 전달계에서 전자 운반체의 산화 환원 반응으로 이동하면서 에너지를 조금씩 방출한다. 따라서 NADH가 전달한 전자는 전자 전달계를 거치면서 에너지 수준이 점차 낮아진다.

- (2) 전자가 전자 전달계를 거치는 동안 방출한 에너지를 이용하여 일부 전자 운반체는 H⁺을 미토콘드리아 기질(나)에서 막 사이 공간(가)으로 능동 수송한다.
- (3) 미토콘드리아 내막을 경계로 형성된 H⁺의 농도 기울기에 따라 막 사이 공간(가)의 H⁺이 ATP 합성 효소를 통해 미토콘드리아 기질(나)로 확산될 때 ATP가 합성된다.
- (4) 막 사이 공간(가)의 H⁺ 농도가 높고, 미토콘드리아 기질(나)의 H⁺ 농도가 낮을 때 화학 삼투가 일어난다. 따라서 (가)의 pH가 (나)의 pH보다 낮을 때 화학 삼투에 의해 ATP가 합성된다.
- (5) NADH는 FADH₂보다 에너지 수준이 높다. NADH 1분자로부터는 약 2.5ATP가, FADH₂ 1분자로부터는 약 1.5ATP가 생성된다.

내신 만점 문제 118쪽~121쪽

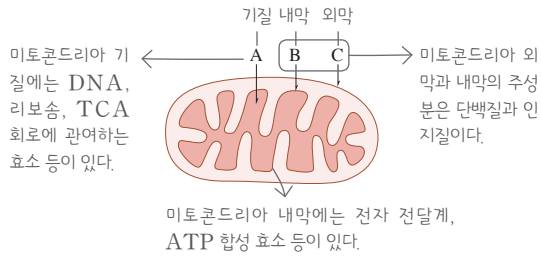
01 ㉠	02 ㉣	03 ㉠	04 ㉠	05 ㉢	06 ㉠
07 ㉡	08 ㉢	09 ㉢	10 ㉣	11 해설 참조	12 ㉢
13 ㉠	14 ㉠	15 ㉣	16 ㉠	17 ㉣	18 ㉡, ㉢
19 ㉡					

01 **꼼꼼** 문제 분석



- ㉠. (가)는 광합성, (나)는 세포 호흡이다. 광합성(가)의 생성물인 포도당은 세포 호흡(나)의 반응물로 사용된다.
- ㉡. 광합성(가)에서 빛에너지는 포도당의 화학 에너지로 전환된다.
- ㉢. 세포 호흡(나)에서 포도당의 에너지 일부는 ATP에 화학 에너지 형태로 저장되었다가 근육 수축, 성장, 발성 등 다양한 생명 활동에 사용된다.

02 **꼼꼼** 문제 분석



- ㄴ. B는 미토콘드리아 내막이며, 미토콘드리아 내막에는 전자 전달계가 있다.
- ㄷ. C는 미토콘드리아 외막이며, 외막의 주성분은 단백질과 인지질이다.

바로알기 ㄱ. A는 미토콘드리아 기질이다.

03 미토콘드리아는 외막과 내막의 2중막 구조이며, 외막과 내막 사이의 공간을 막 사이 공간, 내막 안쪽을 기질이라고 한다. 내막은 안쪽으로 접혀 들어가 주름진 구조인 크리스탈을 형성한다. 내막에는 전자 전달 효소와 ATP 합성 효소가 있어 산화적 인산화에 의한 ATP 합성이 일어나며, 기질에는 DNA, 리보솜, TCA 회로에 관여하는 효소가 있다.

바로알기 ⑤ ATP 합성 효소는 내막에 있다.

04 ⑤ 세포 호흡에서 포도당은 해당 과정 → 피루브산의 산화 및 TCA 회로 → 산화적 인산화를 거쳐 이산화 탄소와 물로 완전히 분해된다.

바로알기 ① 세포 호흡은 포도당과 같은 유기물을 산화하여 에너지를 방출하는 과정이다.

② 해당 과정은 세포질에서 일어나고, 피루브산의 산화 및 TCA 회로는 미토콘드리아 기질에서, 산화적 인산화는 미토콘드리아 내막에서 일어난다.

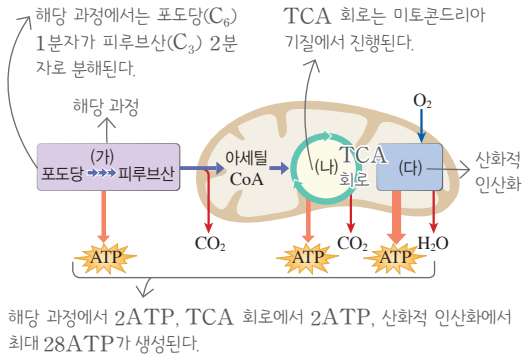
③ 포도당 1분자는 세포질에서 해당 과정에 의해 피루브산 2분자로 분해되고, 피루브산은 산소가 있을 때 미토콘드리아로 들어가 아세틸 CoA로 산화된 후 TCA 회로와 산화적 인산화를 거쳐 이산화 탄소와 물로 완전히 분해된다.

④ 산화적 인산화에서 전자를 최종적으로 수용하는 산소가 없으면 전자 전달계에서의 전자 흐름이 정지되어 ATP 합성이 일어나지 않으며, NADH와 FADH₂로부터 NAD⁺와 FAD가 생성되지 않는다. 따라서 TCA 회로에 NAD⁺와 FAD가 공급되지 않아 TCA 회로도 중단된다. 산소 없이도 진행되는 과정은 해당 과정이다.

05 ㄱ, ㄴ. 세포 호흡에서 O₂는 수소(H⁺ + e⁻)를 받아 H₂O로 환원되고, 포도당은 수소(H⁺ + e⁻)를 잃고 CO₂로 산화된다.

바로알기 ㄷ. 세포 호흡에서 포도당의 에너지는 ATP의 화학 에너지와 열로 전환된다. 즉, 포도당에 저장된 에너지의 일부가 ATP의 화학 에너지로 전환된다.

[06~07] **꼼꼼** 문제 분석



06 세포 호흡은 크게 해당 과정, 피루브산의 산화 및 TCA 회로, 산화적 인산화의 세 단계로 구분할 수 있다. (가)는 포도당 1분자가 피루브산 2분자로 분해되는 해당 과정이다. 해당 과정에서 생성된 피루브산이 미토콘드리아로 들어가 아세틸 CoA로 산화된 후 TCA 회로와 산화적 인산화를 거쳐 CO₂와 H₂O로 완전히 분해된다. 따라서 (나)는 TCA 회로, (다)는 산화적 인산화이다.

07 ㄷ. 포도당 1분자당 해당 과정(가)에서 2ATP, TCA 회로(나)에서 2ATP, 산화적 인산화(다)에서 최대 28ATP가 생성된다. 따라서 (가)~(다) 중 ATP를 가장 많이 생성하는 단계는 (다)이다.

바로알기 ㄱ. 해당 과정(가)에서는 6탄소 화합물인 포도당 1분자가 3탄소 화합물인 피루브산 2분자로 분해되므로 CO₂가 방출되지 않는다. 따라서 탈탄산 효소가 작용하지 않는다.

ㄴ. TCA 회로(나)는 미토콘드리아 기질에 있는 효소의 작용에 의해 조절된다.

08 ① 해당 과정에서는 산소가 사용되지 않으므로 산소가 없어도 진행된다.

② 해당 과정에서는 효소의 작용으로 기질에 결합해 있던 인산기가 ADP로 전달되어 ATP가 합성되는 기질 수준 인산화가 일어난다.

④ 포도당은 해당 과정에서 피루브산으로 분해된 후 피루브산의 산화 및 TCA 회로, 산화적 인산화를 거쳐 이산화 탄소와 물로 완전히 분해된다. 따라서 해당 과정은 TCA 회로보다 먼저 진행된다.

⑤ 포도당 1분자는 6개의 탄소로 구성되고, 피루브산 1분자는 3개의 탄소로 구성된다. 따라서 해당 과정에서 포도당 1분자를 구성하는 탄소는 모두 피루브산 2분자를 구성하는 탄소로 전환된다.

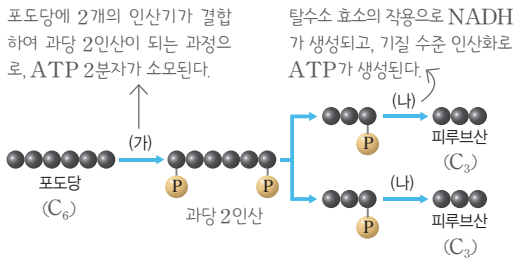
▣ **바로알기** ③ 해당 과정에서 포도당 1분자는 ATP 2분자를 소모하여 과당 2인산으로 활성화되고, 과당 2인산이 피루브산 2분자로 분해되면서 NADH 2분자와 기질 수준 인산화로 ATP 4분자가 생성된다.

09 ㄱ. 그림은 해당 과정을 나타낸 것이다. 해당 과정에서는 탈수소 효소의 작용으로 포도당으로부터 H^+ 과 전자가 방출되며, 탈수소 효소의 조효소인 NAD^+ 가 H^+ 과 전자를 받아 NADH로 환원된다.

ㄷ. 해당 과정에서는 효소의 작용에 의한 기질 수준 인산화로 ATP가 합성된다.

▣ **바로알기** ㄴ. 해당 과정에서는 산소가 사용되지 않으므로 산소가 없어도 일어난다.

10 **꼭꼭** 문제 분석



ㄱ. (가)는 포도당에 2개의 인산기가 결합하여 과당 2인산이 되는 과정이며, 2개의 인산기는 ATP 2분자의 분해로 얻어진 것이다. 따라서 (가)에서는 ATP 2분자가 소모된다.

ㄷ. 포도당 1분자가 피루브산 2분자로 분해되는 해당 과정은 세포질에서 일어난다.

▣ **바로알기** ㄴ. (나)에서 탄소 수의 변화가 없으므로 이산화 탄소는 방출되지 않는다.

11 피루브산은 효소의 작용으로 이산화 탄소를 방출하고 H^+ 과 고에너지 전자를 잃으면서 조효소 A(CoA)와 결합하여 아세틸 CoA가 된다. 이때 방출된 H^+ 과 고에너지 전자는 NAD^+ 에 전달되어 NADH가 생성된다. NADH는 미토콘드리아 내막의 전자 전달계에 고에너지 전자를 전달하고 NAD^+ 로 산화된다.

▣ **모범답안** (가) 이산화 탄소(CO_2) (나) NADH, (나)는 산화적 인산화가 진행되는 전자 전달계에 고에너지 전자를 전달하는 역할을 한다.

채점 기준	배점
(가)와 (나)의 이름과 (나)의 역할을 모두 옳게 서술한 경우	100 %
(가)와 (나)의 이름만 옳게 쓴 경우	40 %

12 ① 세포질에서 해당 과정을 통해 생성된 피루브산은 산소가 있을 때 미토콘드리아 기질로 들어가 아세틸 CoA로 산화된 후 TCA 회로를 거친다.

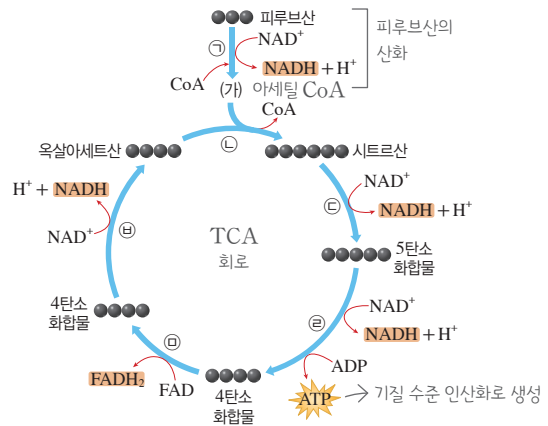
② 미토콘드리아 기질로 들어간 피루브산은 이산화 탄소를 방출하고 조효소 A와 결합하여 아세틸 CoA가 된다. 따라서 피루브산이 아세틸 CoA가 되는 과정에서 탈탄산 반응이 일어난다.

④ TCA 회로에서는 탈수소 효소의 작용으로 반응물로부터 H^+ 과 전자가 방출되는 탈수소 반응이 일어나며, 그 결과 NADH와 $FADH_2$ 가 생성된다.

⑤ TCA 회로에서 산화 환원 반응이 일어나 아세틸 CoA에 저장된 화학 에너지의 일부가 NADH와 $FADH_2$ 에 저장된다.

▣ **바로알기** ③ 피루브산 1분자가 아세틸 CoA로 산화된 후 TCA 회로를 거치면 기질 수준 인산화로 ATP 1분자가 생성된다.

13 **꼭꼭** 문제 분석



TCA 회로는 미토콘드리아 기질에서 일어난다.

- 탈탄산 효소가 작용하는 단계: ㉠, ㉢, ㉤
- 탈수소 효소가 작용하는 단계: ㉠, ㉢, ㉤, ㉥, ㉦
- 기질 수준 인산화가 일어나는 단계: ㉥

① 피루브산은 이산화 탄소를 방출하고 H^+ 과 전자를 잃으면서 조효소 A(CoA)와 결합하여 아세틸 CoA가 된다. 따라서 (가)는 아세틸 CoA이다.

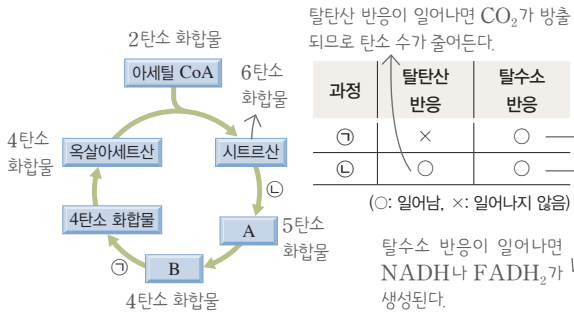
② TCA 회로에서는 기질 수준 인산화로 ATP가 생성된다.

③ TCA 회로는 미토콘드리아 기질에서 일어난다.

④ 탈탄산 효소가 작용하면 이산화 탄소가 방출되므로 탄소 수가 줄어든다. 따라서 탈탄산 효소가 작용하는 단계는 ㉠, ㉢, ㉤이다.

▣ **바로알기** ⑤ 산화적 인산화는 NADH와 $FADH_2$ 의 에너지로부터 ATP를 합성하는 과정이다. 피루브산 1분자가 아세틸 CoA로 산화된 후 TCA 회로를 거쳐 분해되면 NADH 4분자와 $FADH_2$ 1분자가 생성된다. 따라서 산화적 인산화에서 총 $11.5ATP(=4 \times 2.5ATP + 1 \times 1.5ATP)$ 가 생성된다.

14 **꼼꼼** 문제 분석



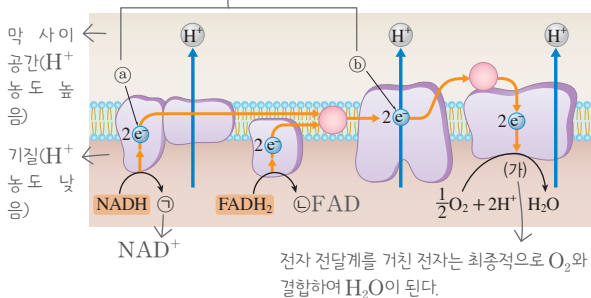
㉠. 시트르산은 6탄소 화합물이고, ㉡ 과정에서 탈탄산 반응이 일어나므로 A는 5탄소 화합물이다. 또 B가 4탄소 화합물로 되는 ㉠ 과정에서 탈탄산 반응이 일어나지 않으므로 B는 4탄소 화합물이다.

▶ **바로알기** ㉠. TCA 회로에서 ATP는 5탄소 화합물(A)이 4탄소 화합물(B)로 되는 과정에서 생성된다.

㉡. ㉡ 과정에서는 탈수소 반응이 일어나 NADH가 생성되며, FADH₂는 4탄소 화합물인 B가 또 다른 4탄소 화합물로 되는 ㉠ 과정에서 생성된다.

15 **꼼꼼** 문제 분석

NADH가 전달한 고에너지 전자는 전자 운반체의 산화 환원 반응으로 이동하면서 에너지를 조금씩 방출한다. → NADH가 전달한 전자는 ㉠에 있을 때보다 ㉡에 있을 때 에너지 수준이 더 낮다.

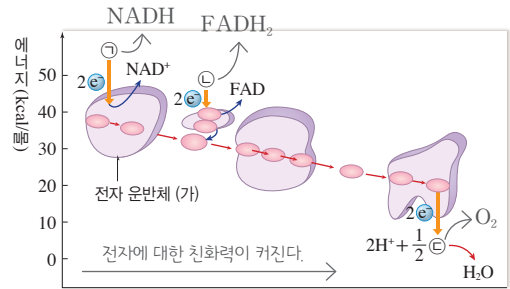


㉠. ㉠은 NADH가 H⁺과 전자를 내놓고 산화된 것이므로 NAD⁺, ㉡은 FADH₂가 H⁺과 전자를 내놓고 산화된 것이므로 FAD이다. NAD⁺와 FAD는 모두 탈수소 효소의 조효소이다.

㉡. (가)는 전자 전달계를 거친 전자가 최종적으로 O₂와 결합하여 H₂O이 되는 반응이다. (가) 반응이 활발히 진행되면 전자 전달계에서 전자의 흐름이 활발해지고, 이때 전자에서 방출된 에너지를 이용하여 일부 전자 운반체가 H⁺을 미토콘드리아 기질에서 막 사이 공간으로 능동 수송한다. 그 결과 미토콘드리아 기질은 H⁺ 농도가 낮아지고 막 사이 공간은 H⁺ 농도가 높아지므로 막 사이 공간과 기질의 pH 차이는 커진다.

▶ **바로알기** ㉠. NADH가 전달한 전자는 고에너지 상태이며, 이 전자는 전자 운반체의 산화 환원 반응으로 이동하면서 에너지를 조금씩 방출한다. 따라서 NADH가 전달한 전자는 ㉠에 있을 때보다 ㉡에 있을 때 에너지 수준이 더 낮다.

16 **꼼꼼** 문제 분석



전자 전달계에서 전자 운반체는 전자에 대한 친화력이 작은 것에서 큰 것으로 나열되어 있다. → 전자에 대한 친화력이 가장 큰 물질은 전자의 최종 수용체인 O₂(㉡)이다.

㉠. ㉠은 전자 운반체 (가)에게 H⁺과 고에너지 전자를 내놓고 NAD⁺로 산화되는 NADH이며, TCA 회로에서는 NADH가 생성된다.

▶ **바로알기** ㉡. ㉡은 NADH와 같이 전자 전달계에서 H⁺과 고에너지 전자를 내놓고 산화되는 FADH₂이다. FADH₂는 TCA 회로에서 생성되며, 해당 과정에서는 생성되지 않는다.

㉢. ㉢은 O₂이며, O₂는 전자의 최종 수용체이므로 전자에 대한 친화력이 전자 운반체 (가)보다 크다.

17 ① 전자 전달계를 따라 이동한 전자는 최종적으로 O₂와 결합하여 H₂O을 생성한다. 따라서 전자의 최종 수용체는 O₂이다.

② 전자 전달계에서 전자가 이동하면서 방출된 에너지를 이용하여 미토콘드리아 내막을 경계로 H⁺의 농도 기울기가 형성되며, H⁺의 농도 기울기에 따라 H⁺이 ATP 합성 효소를 통해 막 사이 공간에서 기질로 확산된다.

③ 전자 전달 과정에서 방출된 에너지를 이용하여 미토콘드리아 기질에서 막 사이 공간으로 H⁺이 능동 수송된다.

⑤ 전자 전달계에 H⁺과 고에너지 전자를 제공하는 물질은 해당 과정과 피루브산의 산화 및 TCA 회로에서 생성된 NADH와 FADH₂이다.

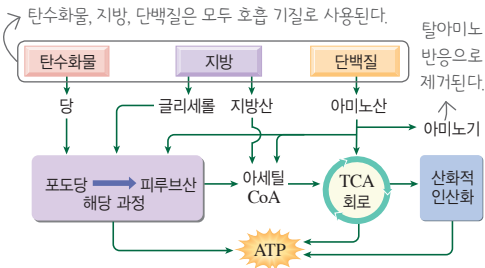
▶ **바로알기** ④ H⁺이 미토콘드리아 기질에서 막 사이 공간으로 능동 수송됨에 따라 막 사이 공간의 H⁺ 농도가 기질보다 높아져 미토콘드리아 내막을 경계로 H⁺의 농도 기울기가 형성되며, H⁺의 농도 기울기에 따라 H⁺이 ATP 합성 효소를 통해 확산될 때 ATP가 합성된다. 따라서 막 사이 공간의 pH가 기질의 pH보다 낮을 때 ATP가 합성된다.

18 나. 포도당 1몰에 저장되어 있는 에너지는 686 kcal이고, 포도당 1몰이 세포 호흡을 통해 CO₂와 H₂O로 완전히 분해되면 최대 32(㉠)몰의 ATP가 생성되며, ATP 1몰에는 7.3 kcal의 에너지가 저장된다. 따라서 포도당 1몰이 세포 호흡을 통해 완전히 분해되면 233.6 kcal(=32×7.3 kcal)의 에너지가 ATP에 저장된다. 그러므로 포도당에 저장되어 있는 화학 에너지(686 kcal)의 일부가 ATP 합성에 이용된다.

다. 세포 호흡의 에너지 효율은 $\frac{32 \times 7.3 \text{ kcal/몰}}{686 \text{ kcal/몰}} \times 100 \approx 34\%$ 이다. 따라서 포도당에 저장되어 있는 에너지의 약 66%(=100-34)는 세포 호흡 과정에서 열로 방출된다.

▮ **바로알기** ▮ 가. ㉠은 32이다.

19 **꼼꼼** 문제 분석



- 탄수화물은 당으로 분해된 후 해당 과정으로 들어가 세포 호흡에 이용된다.
- 지방은 글리세롤과 지방산으로 분해된 후 글리세롤은 해당 과정으로 들어가고, 지방산은 아세틸 CoA로 전환되어 TCA 회로로 들어간다.
- 단백질은 아미노산으로 분해된 후 아미노기(-NH₂)가 제거된다. 이후 해당 과정을 거치지 않고 피루브산, 아세틸 CoA, TCA 회로의 중간 산물 등으로 전환되어 산화된다.

① 세포 호흡을 통해 분해되어 에너지를 방출할 수 있는 호흡 기질에는 탄수화물, 지방, 단백질이 있다.

③ 아미노산은 탈아미노 반응으로 아미노기(-NH₂)가 제거된 후 호흡 기질로 사용된다.

④ 호흡률이란 세포 호흡에서 소비된 산소의 부피에 대해 발생한 이산화 탄소의 부피 비를 말한다. 탄수화물의 호흡률은 1.0, 단백질은 약 0.8, 지방은 약 0.7이다.

⑤ 글리세롤은 해당 과정으로 들어가 피루브산으로 전환된 후 피루브산의 산화 및 TCA 회로를 거쳐 산화되고, 지방산은 아세틸 CoA로 전환된 후 TCA 회로를 거쳐 산화된다.

▮ **바로알기** ▮ ② 지방은 글리세롤과 지방산으로 분해된 후 글리세롤은 해당 과정으로 들어가고, 지방산은 해당 과정을 거치지 않고 아세틸 CoA로 전환된 후 TCA 회로로 들어간다. 단백질은 아미노산으로 분해된 후 아미노기(-NH₂)가 제거된 다음, 해당 과정을 거치지 않고 피루브산, 아세틸 CoA, TCA 회로의 중간 산물 등으로 전환되어 산화된다.

02 발효

개념 확인 문제

126 쪽

① 산소 ② 발효 ③ 젖산 ④ 2 ⑤ 에탄올 ⑥ 2

1 (1)○ (2)○ (3)× 2 산소 호흡: A, B, C, 발효: A, D
 3 ㉠ NADH, ㉡ 피루브산 4 (1)○ (2)○ (3)× (4)× (5)○
 5 (1) A (2) C (3) B 6 (1) 나, 다, 모 (2) 가, 르

1 (1) 산소 호흡은 세포 호흡의 세 단계인 해당 과정, 피루브산의 산화 및 TCA 회로, 산화적 인산화를 모두 거치므로 세포질과 미토콘드리아에서 일어난다. 그러나 발효는 해당 과정만 거치므로 세포질에서만 일어난다.

(2) 산소 호흡에서는 포도당이 이산화 탄소와 물로 완전히 분해되지만, 발효에서는 포도당이 불완전 분해되어 에탄올, 젖산 등이 생성된다.

(3) 산소 호흡에서는 포도당이 완전히 분해되므로 많은 양의 에너지가 방출되지만, 발효에서는 포도당이 완전히 분해되지 않으므로 적은 양의 에너지가 방출된다. 따라서 산소 호흡에서보다 발효에서 더 적은 양의 ATP가 생성된다.

2 산소 호흡에서는 포도당이 피루브산으로 분해되는 해당 과정(A), 피루브산의 산화(B) 및 TCA 회로, 산화적 인산화가 일어난다. 발효에서는 산소가 없는 상태에서 해당 과정(A)과 피루브산이 젖산 또는 에탄올로 환원되는 과정(D)이 일어난다.

3 해당 과정에서는 포도당이 피루브산으로 분해될 때 NAD⁺가 NADH(㉠)로 환원된다. 산소가 없으면 피루브산(㉡)은 해당 과정에서 생성된 NADH로부터 H⁺과 전자를 받아 젖산이나 에탄올로 환원되고, NADH는 NAD⁺로 산화되며, NAD⁺는 해당 과정에 공급된다.

4 (1), (2) 젖산 발효는 젖산균에서 일어나며, 사람의 근육 세포에서도 일어날 수 있다.

(3) 젖산 발효는 산소가 없는 상태에서 포도당 1분자로부터 젖산 2분자가 생성되는 과정이다.

(4) 피루브산(C₃H₄O₃)과 젖산(C₃H₆O₃)은 모두 3탄소 화합물이다. 즉, 젖산 발효에서는 탈탄산 효소가 작용하지 않아 이산화 탄소가 방출되지 않는다.

(5) 젖산 발효와 알코올 발효에서는 모두 해당 과정에서만 기질 수준 인산화로 포도당 1분자당 ATP 2분자가 생성된다.

- 5** (1) 포도당이 피루브산으로 분해되는 해당 과정(A)에서 기질 수준 인산화로 ATP가 생성된다.
 (2) 아세트알데하이드는 NADH로부터 H⁺과 전자를 받아 에탄올로 환원되므로, C에서 NADH가 NAD⁺로 산화된다.
 (3) 피루브산은 3탄소 화합물이고, 아세트알데하이드는 2탄소 화합물이므로 B에서 탈탄산 반응이 일어나 이산화 탄소가 방출된다.

6 젖산 발효는 김치, 치즈, 요구르트 등을 만들 때 이용되고, 알코올 발효는 빵이나 술(포도주 등)을 만들 때 이용된다.

대표 자료 분석

127쪽

- 자료 1** 1 (가) 발효 (나) 산소 호흡 2 (나) 3 (1)○ (2)○ (3)× (4)× (5)○ (6)○ (7)○
자료 2 1 (가), (다) 2 (가), (나) 3 (가), (나) 4 (1)○ (2)○ (3)× (4)○ (5)○ (6)× (7)×

1-1 (가)에서는 포도당이 완전히 분해되지 않아 분해 산물에 에너지가 많이 포함되어 있고, (나)에서는 포도당이 완전히 분해된다. 따라서 (가)는 발효이고, (나)는 산소 호흡이다.

1-2 ATP 생성에 산소가 필요한 산화적 인산화가 일어나는 과정은 산소 호흡(나)이다.

- 1-3** (1) 발효(가)와 산소 호흡(나)은 모두 물질대사이므로 효소가 관여한다.
 (2) 발효(가)는 세포질에서, 산소 호흡(나)은 세포질과 미토콘드리아에서 일어난다.
 (3), (4) 발효(가)에서 분해 산물은 젖산, 에탄올 등이고, 산소 호흡(나)에서 분해 산물은 이산화 탄소와 물이다. 젖산 또는 에탄올의 에너지양이 이산화 탄소, 물보다 많다. 따라서 분해 산물의 에너지양은 발효(가)에서가 산소 호흡(나)에서보다 많다.
 (5) 발효(가)에서는 해당 과정에서만 적은 양의 ATP(2분자)가 생성된다.
 (6) 산소 호흡(나)에서는 산소가 이용되는 산화적 인산화로 대부분의 ATP가 생성된다.
 (7) 발효(가)에서는 포도당이 완전히 분해되지 않으므로 적은 양의 에너지가 방출되고, 산소 호흡(나)에서는 포도당이 완전히 분해되므로 많은 양의 에너지가 방출된다. 따라서 포도당 1분자로부터 생성되는 ATP의 양은 발효(가)에서가 산소 호흡(나)에서보다 적다.

2-1 (가)는 알코올 발효, (나)는 젖산 발효 과정이고, (다)는 산소 호흡 과정 중 피루브산의 산화 과정이다. 피루브산은 3탄소 화합물이고, 에탄올과 아세틸 CoA는 2탄소 화합물이므로 (가)와 (다)에서는 이산화 탄소가 발생한다. 그러나 젖산은 3탄소 화합물이므로 (나)에서는 이산화 탄소가 발생하지 않는다.

2-2 (가)와 (나)에서 NADH가 NAD⁺로 산화되며, (다)에서는 NAD⁺가 NADH로 환원된다.

2-3 (가)와 (나)는 모두 세포질에서 진행되고, (다)는 미토콘드리아 기질에서 진행된다.

2-4 (1) 피루브산으로부터 에탄올이 생성되는 (가)는 알코올 발효 과정이고, 피루브산으로부터 젖산이 생성되는 (나)는 젖산 발효 과정이다.

(2) 사람의 근육 세포에서 산소가 부족할 때 젖산 발효(나)가 일어나 운동에 필요한 ATP를 생성한다.

(3) 발효 과정인 (가)와 (나)에서는 해당 과정에서 생성된 NADH가 NAD⁺로 산화되고, NAD⁺는 해당 과정에 공급되므로 (가)와 (나) 과정에는 산소가 필요하지 않다. 그러나 산소가 없으면 전자 전달계가 작동하지 않아 피루브산의 산화에 필요한 NAD⁺가 공급되지 않으므로 피루브산의 산화는 일어나지 않는다. 따라서 (다) 과정은 산소가 있어야 일어난다.

(4) 빵을 만들 때 밀가루 반죽이 부풀어 오르는 것은 알코올 발효(가) 과정에서 이산화 탄소가 발생하기 때문이다. 따라서 빵을 만들 때 알코올 발효(가)가 이용된다.

(5) (가)와 (나)에서는 NADH가 NAD⁺로 산화되고, (다)에서는 NAD⁺가 NADH로 환원된다.

(6) (가)와 (나)에서는 모두 기질 수준 인산화가 일어나지 않는다. 발효에서는 포도당이 피루브산으로 분해되는 해당 과정에서 기질 수준 인산화가 일어난다.

(7) 치즈와 요구르트를 만드는 데는 젖산 발효(나)가 이용된다.

내신 만점 문제

128쪽~131쪽

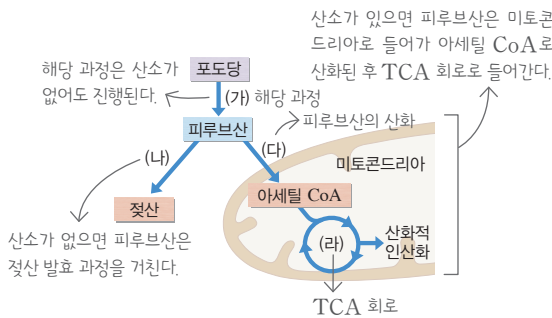
- 01 ③ 02 ④ 03 해설 참조 04 ① 05 ④
 06 해설 참조 07 ③ 08 ① 09 ④ 10 ⑤
 11 ⑤ 12 ② 13 ④ 14 ② 15 ① 16 ②
 17 ② 18 ③ 19 해설 참조 20 ④

01 ①, ④, ⑤ 산소 호흡은 산소를 이용하여 포도당을 이산화탄소와 물로 완전히 분해하는 과정으로, 세포질과 미토콘드리아에서 일어난다. 발효는 산소가 없는 상태에서 포도당이 피루브산으로 분해된 후 젖산이나 에탄올로 환원되는 과정으로, 세포질에서 일어난다.

② 산소 호흡에서는 미토콘드리아 내막에 존재하는 전자 전달계가 관여하지만, 발효에서는 전자 전달계가 관여하지 않는다.

▮바로알기▮ ③ 산소 호흡에서는 기질 수준 인산화와 산화적 인산화가 일어나 다량의 ATP가 생성되지만, 발효에서는 기질 수준 인산화만 일어나 소량의 ATP가 생성된다.

02 **꼼꼼** 문제 분석



- (가) → (나): 젖산 발효의 경로
- (가) → (다) → (라) → 산화적 인산화: 산소 호흡의 경로

④ (다)는 피루브산의 산화 과정으로, NAD^+ 가 H^+ 과 전자를 받아 $NADH$ 로 환원된다.

▮바로알기▮ ① 포도당 1분자가 (가) → (나)의 경로를 거치면 해당 과정(가)에서 2ATP가 생성된다.

② (나)에서는 탈탄산 반응이 일어나지 않아 이산화탄소가 방출되지 않는다.

③ 해당 과정(가)은 산소의 유무와 관계없이 진행되므로, 산소가 없을 때는 (가)와 (나)가 진행된다.

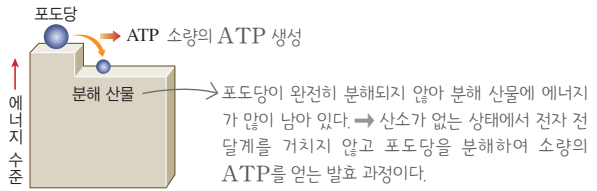
⑤ 포도당 1분자가 산소 호흡을 통해 이산화탄소와 물로 완전히 분해되면 해당 과정(가)과 TCA 회로(라)에서 기질 수준 인산화로 각각 2ATP가, 산화적 인산화로 최대 28ATP가 생성된다. 따라서 포도당 1분자가 (가) → (다) → (라) → 산화적 인산화의 경로를 거치면 최대 32ATP가 생성된다.

03 산소 호흡에서는 포도당이 이산화탄소와 물로 완전히 분해되어 많은 양의 에너지가 방출되지만, 발효에서는 포도당이 완전히 분해되지 않아 적은 양의 에너지가 방출된다.

모범답안 발효에 비해 산소 호흡을 통해 생성되는 ATP의 양이 훨씬 많다. 산소 호흡에서는 포도당이 이산화탄소와 물로 완전히 분해되므로 방출되는 에너지양이 많지만, 발효에서는 포도당이 완전히 분해되지 않으므로 방출되는 에너지양이 적기 때문이다.

채점 기준	배점
산소 호흡과 발효를 통해 생성되는 ATP의 양을 포도당의 분해 정도와 연관 지어 옳게 비교한 경우	100%
발효에 비해 산소 호흡을 통해 생성되는 ATP의 양이 많다는 것만 서술한 경우	30%

04 **꼼꼼** 문제 분석

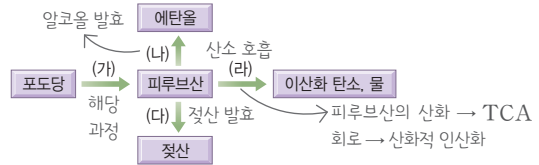


ㄱ. 그림은 포도당이 불완전 분해되는 발효 과정을 나타낸 것으로, 산소가 없는 상태에서 일어난다.

▮바로알기▮ ㄴ. 포도당이 이산화탄소와 물로 완전히 분해되지 않아 에너지를 많이 포함한 분해 산물이 생성된 것이다.

ㄷ. 전자 전달과 화학 삼투가 일어나려면 산소가 필요하며, 전자 전달계와 화학 삼투를 통해 ATP가 생성되는 과정이 일어나면 포도당은 이산화탄소와 물로 완전히 분해된다.

[05~06] **꼼꼼** 문제 분석



- (가) → (나)는 알코올 발효, (가) → (다)는 젖산 발효, (가) → (라)는 산소 호흡 과정이다.
- (가)에서 기질 수준 인산화, (라)에서 기질 수준 인산화와 산화적 인산화로 각각 ATP가 생성된다.
- 피루브산이 환원되는 과정은 (나)와 (다)이고, 피루브산이 산화되는 과정은 (라)이다.
- (가), (나), (다)는 세포질에서, (라)는 미토콘드리아에서 일어난다.

05 ① (라)에서 산화적 인산화가 일어날 때 산소가 사용된다.
 ② (가)에서 기질 수준 인산화, (라)에서 기질 수준 인산화와 산화적 인산화로 각각 ATP가 생성되며, (나)와 (다)에서는 ATP가 생성되지 않는다.

③ 해당 과정(가)과 피루브산이 에탄올이나 젖산으로 환원되는 과정(나, 다)은 모두 세포질에서 일어나고, 피루브산이 이산화탄소와 물로 완전히 분해되는 과정(라)은 미토콘드리아에서 일어난다.

⑤ 산소 호흡과 발효에서 공통적으로 진행되는 과정은 산소가 없어도 일어나는 해당 과정(가)이다.

▣ **바로알기** ④ 피루브산이 산화되는 과정에서는 NADH나 FADH₂가 생성되므로 피루브산이 산화되는 과정은 (라)이다. (나)와 (다)에서는 피루브산이 환원되어 NAD⁺가 생성된다.

06 (나)는 피루브산이 에탄올로 환원되는 알코올 발효 과정이고, (다)는 피루브산이 젖산으로 환원되는 젖산 발효 과정이다.

▣ **모범답안** 공통점: NADH가 피루브산을 환원시키고 NAD⁺로 산화된다. 차이점: (나)에서는 탈탄산 반응이 일어나 이산화 탄소가 방출되지만, (다)에서는 탈탄산 반응이 일어나지 않아 이산화 탄소가 방출되지 않는다.

채점 기준	배점
공통점과 차이점을 모두 옳게 서술한 경우	100 %
공통점과 차이점 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

07 ① (가)는 젖산 발효, (나)는 알코올 발효이다.

② 젖산 발효(가)는 산소가 없을 때 젖산균에서 일어난다.

④ 젖산 발효(가)에서는 2ATP가 생성되고, 산소 호흡(다)에서는 최대 32ATP가 생성된다.

⑤ (나)와 (다)에서 모두 이산화 탄소(CO₂)가 생성되므로 탈탄산 반응이 일어남을 알 수 있다.

▣ **바로알기** ③ (나)에서는 포도당이 이산화 탄소와 물로 완전히 분해되지 않고 에탄올이 생성된다. 이를 통해 (나)는 산소가 없을 때 효모에서 일어나는 알코올 발효임을 알 수 있다.

08 **꼼꼼** 문제 분석

NADH가 산화되어 NAD⁺가 생성되고, 탈탄산 반응이 일어나지 않아 CO₂가 생성되지 않는다. → 피루브산이 젖산으로 환원되는 과정이다. → ㉠은 젖산이다.

	과정	NAD ⁺	CO ₂
㉠ 젖산	(가)	○	×
(가) ↑ 아세틸 CoA	(나)	? ×	○
피루브산	(다)	○	○
(다) ↓ 에탄올			

(○: 생성됨, ×: 생성되지 않음)

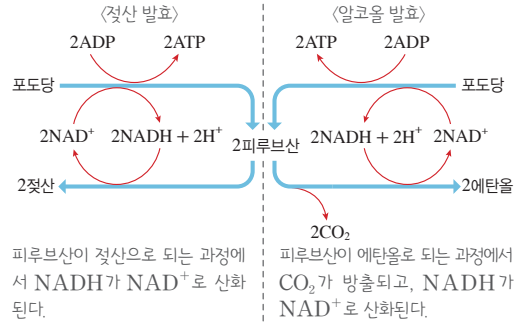
→ NADH가 산화되어 NAD⁺가 생성되고, 탈탄산 반응이 일어나 CO₂가 생성된다. → 피루브산이 에탄올로 환원되는 과정이다. → ㉡은 에탄올이다. 따라서 ㉢은 아세틸 CoA이다.

ㄱ. NAD⁺가 생성되고, CO₂가 생성되지 않는 (가)는 피루브산이 젖산으로 되는 과정이고, NAD⁺와 CO₂가 모두 생성되는 (다)는 피루브산이 에탄올로 되는 과정이다. 따라서 ㉠은 젖산, ㉡은 에탄올이므로, ㉢은 아세틸 CoA이다.

▣ **바로알기** ㄴ. (가)는 젖산 발효 과정이며, 이 과정에서는 피루브산이 NADH로부터 H⁺과 전자를 받아 젖산으로 환원된다.

ㄷ. (나)는 산소가 있을 때 미토콘드리아 기질에서 일어나는 피루브산의 산화 과정이다. (다)는 알코올 발효 과정이므로 세포질에서 일어난다.

09 **꼼꼼** 문제 분석



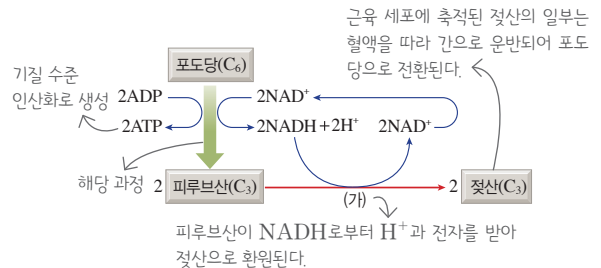
① 젖산 발효에서는 피루브산이 젖산으로 되는 과정에서, 알코올 발효에서는 피루브산이 에탄올로 되는 과정에서 NADH가 산화되어 NAD⁺가 생성된다.

②, ③ 젖산 발효와 알코올 발효는 모두 세포질에서 일어나며, 산소가 없는 상태에서 효모는 알코올 발효를, 젖산균은 젖산 발효를 한다.

⑤ 젖산 발효에서는 탈탄산 효소가 작용하지 않아 CO₂가 방출되지 않지만, 알코올 발효에서는 탈탄산 효소가 작용하여 CO₂가 방출된다.

▣ **바로알기** ④ 젖산 발효와 알코올 발효에서는 모두 해당 과정에서만 ATP가 생성되므로, 젖산 발효와 알코올 발효에서 포도당 1분자로부터 생성되는 ATP의 양은 2ATP로 같다.

10 **꼼꼼** 문제 분석



① (가) 과정에서 피루브산은 NADH로부터 H⁺과 전자를 받아 젖산으로 환원된다.

② 근육 세포에서의 젖산 발효는 근육 세포에 산소 공급이 부족할 때 빠르게 ATP를 생성하기 위해 일어난다.

③ 젖산 발효에서는 포도당이 피루브산으로 분해되는 해당 과정에서 기질 수준 인산화로 ATP가 생성된다.

④ 근육 세포에 축적된 젖산의 일부는 간으로 이동하여 피루브산을 거쳐 포도당으로 전환된다.

▣ **바로알기** ⑤ 젖산 발효에는 전자 전달계가 관여하지 않으며, 해당 과정에서 생성된 NADH는 피루브산에 H⁺과 전자를 전달하고 NAD⁺로 산화된다.

11 ⑤ 그림은 효모에서 일어나는 알코올 발효 과정을 나타낸 것이다. 알코올 발효에서는 아세트알데하이드가 에탄올로 환원되는 과정(가)에서 NADH의 산화로 생성된 NAD⁺가 해당 과정에 공급된다.

바로알기 ① 포도당이 피루브산으로 되는 과정에서는 CO₂가 방출되지 않으므로, CO₂는 ㉠에 해당하지 않는다. ㉠은 NADH와 ATP이다.

② 3탄소 화합물인 피루브산이 2탄소 화합물인 아세트알데하이드로 되는 과정에서 CO₂가 방출되며, ATP는 생성되지 않는다. 따라서 ATP는 ㉡에 해당하지 않으며, ㉡은 CO₂이다.

③ 젖산균에서는 젖산 발효가 일어난다.

④ 알코올 발효는 빵이나 술을 만드는 데 이용되며, 치즈를 만드는 데는 젖산 발효가 이용된다.

12 ① 효모에서 일어나는 알코올 발효에서는 포도당이 피루브산으로 분해되는 해당 과정에서 기질 수준 인산화가 일어난다.

③, ④ 알코올 발효 과정에서 피루브산은 탈탄산 반응을 거쳐 아세트알데하이드가 된다. 아세트알데하이드는 NADH로부터 H⁺과 전자를 받아 에탄올로 환원되고, NADH는 NAD⁺로 산화된다.

⑤ 산소 호흡은 산화적 인산화를 거치므로 많은 양의 ATP가 생성되지만, 발효는 해당 과정에서만 ATP가 생성되므로 적은 양의 ATP가 생성된다.

바로알기 ② 피루브산이 아세트알데하이드로 되는 과정에서 탈탄산 반응이 일어나 CO₂가 방출된다.

13 ㄱ. 알코올 발효에서는 포도당이 피루브산으로 분해되는 해당 과정이 일어나 2ATP가 생성된다.

ㄴ. 피루브산이 아세트알데하이드로 되는 과정에서 탈탄산 효소가 작용하여 CO₂가 방출된다.

바로알기 ㄴ. 아세트알데하이드는 NADH로부터 H⁺과 전자를 받아 에탄올로 환원되고, NADH는 NAD⁺로 산화된다. 따라서 NADH가 NAD⁺로 산화되는 반응에서 전자 수용체는 아세트알데하이드이다.

14 ② (가)는 해당 과정이므로 탈수소 효소의 작용으로 산화 환원 반응이 일어나 NADH가 생성된다.

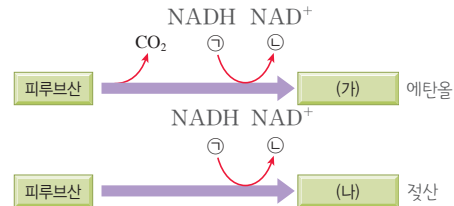
바로알기 ① ㉠과 ㉡은 각각 젖산과 에탄올 중 하나인데, 피루브산이 아세트알데하이드를 거쳐 생성된 ㉠이 2탄소 화합물인 에탄올이므로 ㉡은 3탄소 화합물인 젖산이다. 1분자당 탄소 수는 젖산(㉡)이 에탄올(㉠)보다 많다.

③ (나)는 알코올 발효 과정이며, 피루브산이 아세트알데하이드를 거쳐 에탄올로 환원되는 과정에서는 NADH가 산화되어 NAD⁺가 생성된다.

④ 해당 과정(가)에서는 탈탄산 반응이 일어나지 않아 CO₂가 방출되지 않고, (나) 과정 중 피루브산이 아세트알데하이드로 되는 과정에서 탈탄산 반응이 일어나 CO₂가 방출된다.

⑤ (다)는 피루브산이 젖산으로 환원되는 과정으로, ATP가 소모되지 않는다.

15 **꼼꼼** 문제 분석



알코올 발효에서는 CO₂가 방출되고, 젖산 발효에서는 CO₂가 방출되지 않는다. → (가)는 에탄올, (나)는 젖산이다.

ㄱ. 발효 과정에서는 피루브산이 NADH로부터 H⁺과 전자를 받아 환원되고, NADH는 NAD⁺로 산화된다. 따라서 ㉠은 NADH, ㉡은 NAD⁺이다. 해당 과정에서는 과당 2인산이 NAD⁺에게 H⁺과 전자를 내주고 산화되고, NAD⁺는 NADH로 환원된다. 따라서 해당 과정에서 NADH(㉠)가 생성된다.

바로알기 ㄴ. 피루브산이 아세트알데하이드로 전환될 때 CO₂가 방출되고, 아세트알데하이드는 NADH에 의해 환원되어 에탄올이 된다. 따라서 (가)는 에탄올, (나)는 젖산이다.

ㄷ. 해당 과정에서 ATP 2분자가 생성되며, 피루브산이 젖산(나)으로 환원될 때는 ATP가 생성되지 않는다.

16 ㄴ. 젖산 발효에서 (나)는 해당 과정에 필요한 NAD⁺를 재 생성하기 위한 과정이다. 즉, (나)에서 생성된 NAD⁺는 해당 과정(가)에서 NADH로 환원된다.

바로알기 ㄱ. 피루브산이 에탄올로 되는 과정에서 탈탄산 반응이 일어나 CO₂가 생성되므로, ㉠은 CO₂이다.

ㄷ. 발효는 산소가 없는 상태에서 일어나므로 전자 전달계에 전자를 전달하지 않는다.

17 젖산 발효에서는 피루브산으로부터 젖산이, 알코올 발효에서는 피루브산으로부터 에탄올이, 아세트산 발효에서는 에탄올로부터 아세트산이 생성된다. 따라서 ㉠은 젖산, ㉡은 아세트산, ㉢은 피루브산, ㉣은 에탄올이다.

② Ⅲ은 피루브산이 에탄올로 환원되는 과정으로, NADH가 NAD⁺로 산화된다.

바로알기 ① I에서는 ATP가 생성되지 않으며, II에서 산소를 이용하여 ATP가 생성된다.

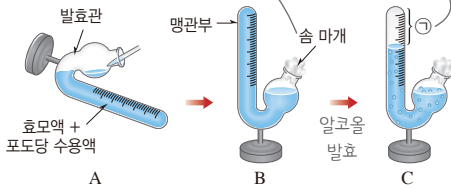
③ ㉠은 3탄소 화합물인 젖산, ㉢은 2탄소 화합물인 에탄올이다. 따라서 ㉠과 ㉢의 1분자당 탄소 수는 다르다.

④ ㉔은 아세트산이다.

⑤ ㉕은 피루브산이다. 1분자의 피루브산이 아세틸 CoA로 된 후 TCA 회로와 산화적 인산화를 거쳐 완전히 분해되면 CO₂ 3분자가 생성된다.

[18~19] **꼼꼼** 문제 분석

숨 마개를 하면 산소가 없는 상태가 되므로 효모는 포도당을 호흡 기질로 이용하여 알코올 발효를 한다. 알코올 발효 결과 이산화 탄소가 발생하여 맹관부 용액의 높이가 낮아진다.



18 ㄱ. B → C 과정에서 알코올 발효가 일어나 이산화 탄소가 발생하므로, C의 ㉑ 부분에는 이산화 탄소가 들어 있다.

ㄴ. B → C 과정에서 알코올 발효가 일어나므로, 아세트알데하이드가 NADH로부터 H⁺과 전자를 받아 에탄올로 환원되는 반응이 일어난다.

바로알기 ㄷ. B에서 발효관 입구를 숨 마개로 막지 않으면 산소 호흡이 일어나며, 산소 호흡에서도 탈탄산 반응이 일어나 이산화 탄소가 발생하므로 맹관부 용액의 높이가 낮아진다.

19 수산화 칼륨(KOH)은 이산화 탄소를 흡수하는 성질이 있어 이산화 탄소의 발생 여부를 확인할 때 사용한다.

모범답안 맹관부에 모인 기체의 부피가 감소하여 맹관부 용액의 높이가 높아진다. 이를 통해 효모의 알코올 발효 결과 이산화 탄소가 발생함을 알 수 있다.

채점 기준	배점
예상되는 결과와 알 수 있는 사실을 모두 옳게 서술한 경우	100%
예상되는 결과와 알 수 있는 사실 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50%

20 ① 고추장, 된장, 젓갈은 모두 미생물의 발효로 만들어진 식품이다.

② 감이나 사과로 식초를 만들 때 에탄올이 아세트산으로 되는 아세트산 발효를 이용한다.

③ 밀가루에 효모를 넣어 반죽한 후 비닐로 감싸 따뜻한 곳에 놓아두면, 효모가 알코올 발효를 하여 이산화 탄소가 발생하기 때문에 밀가루 반죽이 부풀어 올라 부드러운 빵이 만들어진다.

⑤ 요구르트와 치즈는 젖산균의 젖산 발효를 이용하여 만든 식품이다.

바로알기 ④ 식혜는 엿기름 속의 효소(아밀레이스)를 이용하여 만든 전통 음료이다.

중단원 핵심 정리

132쪽~133쪽

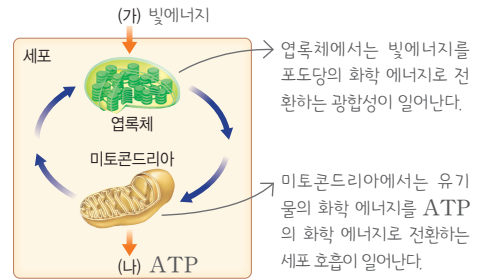
- ① 화학 ② 화학 ③ 내막 ④ 미토콘드리아 ⑤ 산화적 인산화
- ⑥ 세포질 ⑦ 2 ⑧ 산소 ⑨ NADH
- ⑩ 2 ⑪ 전자 전달계 ⑫ 화학 삼투 ⑬ 32 ⑭ 3
- ⑮ 아미노기(-NH₂) ⑯ 1.0 ⑰ 필요하지 않음 ⑱ 세포질
- ⑲ 2 ⑳ CO₂

중단원 마무리 문제

134쪽~137쪽

- 01 ⑤ 02 ③ 03 ② 04 ① 05 ⑤ 06 ①
- 07 ⑤ 08 ② 09 ④ 10 ⑤ 11 ④ 12 ①
- 13 ④ 14 ③ 15 해설 참조 16 해설 참조 17 해설 참조

01 **꼼꼼** 문제 분석



ㄴ. 세포에서의 단백질 합성은 동화 작용이므로 에너지를 필요로 하며, 이때 에너지를 제공하는 물질이 ATP이다. 따라서 세포에서 단백질을 합성할 때는 미토콘드리아에서 생성된 ATP(나)가 사용된다.

ㄷ. 엽록체에서 흡수한 빛에너지(가)가 광합성을 통해 포도당의 화학 에너지로 전환되고, 포도당의 화학 에너지 중 일부가 세포 호흡을 통해 ATP(나)의 화학 에너지로 전환된다. 따라서 ATP(나)에 저장되는 에너지의 근원은 빛에너지(가)이다.

바로알기 ㄱ. (가)는 엽록체의 광합성 색소에서 흡수하는 빛에너지이고, (나)는 미토콘드리아에서 세포 호흡을 통해 생성되는 ATP이다.

02 ① ㉑은 기질이며, 기질에서 피루브산이 아세틸 CoA로 산화된다.

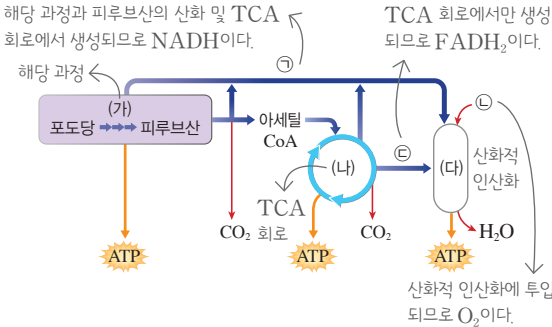
② ㉒은 내막이며, 내막에 전자 전달계가 존재한다.

④ ㉔은 내막, ㉕은 외막이다. 내막(㉔)은 안쪽으로 접혀 들어가 주름진 구조를 형성하고 있어 외막(㉕)보다 표면적이 넓다.

⑤ 미토콘드리아는 외막과 내막의 2중막 구조이며, 각각의 막은 인지질 2중층으로 이루어져 있다.

▣ **바로알기** ③ ⊖은 외막이며, ATP 합성 효소는 내막(ⓐ)에 존재한다.

03 **꼼꼼** 문제 분석

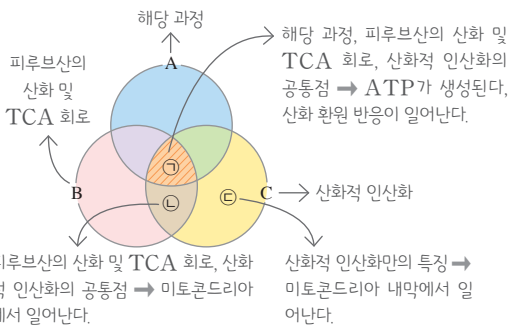


ㄴ. (가)는 해당 과정, (나)는 TCA 회로이므로, (가)와 (나)에서 모두 기질 수준 인산화가 일어난다.

▣ **바로알기** ㄱ. 해당 과정과 피루브산의 산화 및 TCA 회로에서 생성되는 물질은 NADH, TCA 회로에서만 생성되는 물질은 FADH₂, 산화적 인산화에 필요한 물질은 O₂이다. 따라서 ⊖은 NADH, ⊕은 O₂, ⊗은 FADH₂이다.

ㄷ. (다)는 산화적 인산화이며, 산화적 인산화에 관여하는 전자 전달계와 ATP 합성 효소는 모두 미토콘드리아 내막에 존재한다. 따라서 (다)는 미토콘드리아 내막에서 일어난다.

04 **꼼꼼** 문제 분석



ㄱ. 해당 과정과 피루브산의 산화 및 TCA 회로에서 기질 수준 인산화로 ATP가 생성되며, 산화적 인산화에서도 ATP가 생성된다. 따라서 'ATP가 생성된다.'는 ⊖에 해당한다.

▣ **바로알기** ㄴ. 해당 과정은 세포질, 피루브산의 산화 및 TCA 회로는 미토콘드리아 기질, 산화적 인산화는 미토콘드리아 내막에서 일어난다. 따라서 '미토콘드리아 내막에서 일어난다.'는 ⊗에 해당한다.

ㄷ. 해당 과정과 피루브산의 산화 및 TCA 회로, 산화적 인산화는 모두 산화 환원 반응에 의한 과정으로 탈수소 효소가 관여한다. 따라서 '산화 환원 반응이 일어난다.'는 ⊖에 해당한다.

05 ⑤ 포도당 1분자가 피루브산 2분자로 분해되는 과정은 해당 과정이다. 해당 과정에서 포도당 1분자는 ATP 2분자를 소모하여 과당 2인산으로 활성화된 후 피루브산 2분자로 분해되는 과정에서 ATP 4분자를 생성한다. 따라서 해당 과정 전체로는 포도당 1분자로부터 ATP 2분자가 생성된다.

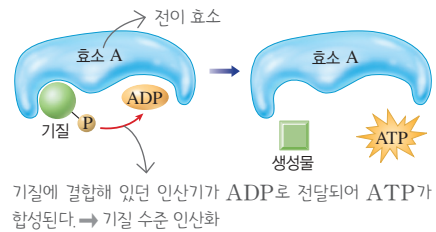
▣ **바로알기** ① 해당 과정에서는 탈탄산 효소가 작용하지 않아 이산화 탄소가 방출되지 않는다.

② 해당 과정은 젖산균과 같은 원핵세포에서도 일어난다.

③ 해당 과정은 산소가 없을 때에도 진행된다.

④ 포도당이 2ATP를 소모하여 과당 2인산으로 활성화된 후 피루브산으로 분해되는 과정에서 4ATP를 생성하므로, ATP 소모가 ATP 생성보다 먼저 일어난다.

06 **꼼꼼** 문제 분석

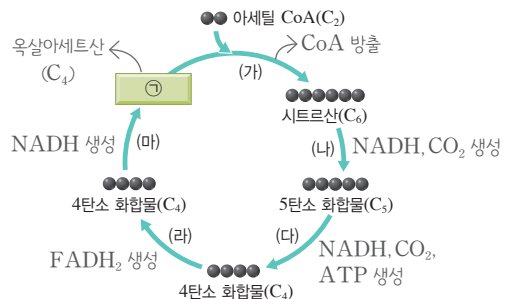


ㄴ. 기질 수준 인산화는 해당 과정과 TCA 회로에서 일어난다.

▣ **바로알기** ㄱ. 효소에 의해 기질에 결합해 있던 인산기가 ADP로 전달되어 ATP가 합성되므로 기질 수준 인산화 과정이다.

ㄷ. 탈수소 효소는 기질로부터 수소 원자(H)를 떼어 내는 산화 환원 효소이므로, A에 해당하지 않는다. 기질의 인산기를 ADP로 전달하는 효소 A는 전이 효소이다.

07 **꼼꼼** 문제 분석



① 아세틸 CoA가 옥살아세트산(ⓐ)과 결합하여 시트르산으로 되는 과정(가)에서 조효소 A(CoA)가 방출된다.

② (다)는 5탄소 화합물이 4탄소 화합물로 되는 과정이다. 이 과정에서 기질 수준 인산화로 ATP가 생성된다.

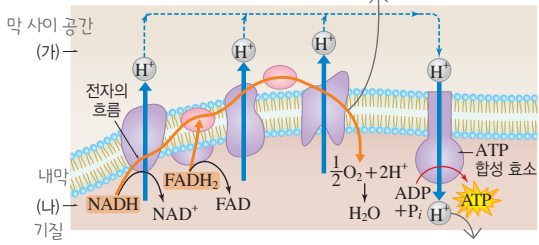
③ ㉠은 4탄소 화합물인 옥살아세트산이다.

④ (나)와 (다)에서 화합물의 탄소 수가 1개씩 줄어든다. 이는 탈탄산 반응이 일어나 이산화 탄소가 방출되었기 때문이다.

▮ **바로알기** ⑤ 산화 환원 반응에 의해 (라)에서는 $FADH_2$ 가, (마)에서는 NADH가 생성된다. 따라서 (라)에서의 조효소는 FAD이고, (마)에서의 조효소는 NAD^+ 이다.

08 **꼼꼼** 문제 분석

전자 전달계에서 전자 운반체의 산화 환원 반응으로 이동한 전자는 H^+ 과 함께 최종적으로 O_2 에 전달되어 H_2O 을 생성한다.



ATP 합성 효소를 통한 H^+ 의 이동은 내막을 경계로 형성된 H^+ 의 농도 기울기에 의한 확산으로 일어나며, 확산에는 ATP가 소모되지 않는다.

② 전자 전달계를 따라 이동한 전자는 H^+ 과 함께 최종적으로 O_2 에 전달되므로 전자의 최종 수용체는 O_2 이다.

▮ **바로알기** ① (가)는 막 사이 공간, (나)는 미토콘드리아 기질이다. 시트르산의 산화는 TCA 회로의 일부 과정이며, TCA 회로는 미토콘드리아 기질(나)에서 일어난다.

③, ④ 전자가 전자 전달계를 따라 이동할 때 방출된 에너지를 이용하여 일부 전자 운반체는 H^+ 을 미토콘드리아 기질에서 막 사이 공간으로 능동 수송한다. H^+ 의 이동으로 막 사이 공간의 H^+ 농도가 기질보다 높아져 내막을 경계로 H^+ 의 농도 기울기가 형성되면 막 사이 공간의 H^+ 이 ATP 합성 효소를 통해 기질로 확산되며, 이때 ATP 합성 효소가 ATP를 합성한다.

⑤ 전자의 이동이 활발할수록 (가)의 pH는 낮아지고, (나)의 pH는 높아진다.

09 ㄴ. 미토콘드리아에서 전자 전달계는 내막에 존재한다. 따라서 A는 미토콘드리아 내막이다.

ㄷ. NADH는 $FADH_2$ 보다 에너지 수준이 높아 전자 전달계에서 $FADH_2$ 보다 먼저 전자 운반체에 전자를 전달하므로 ㉠은 $FADH_2$ 이다. $FADH_2$ (㉠) 1분자에서 방출된 2개의 전자가 $\frac{1}{2}O_2$ 에 $2H^+$ 과 함께 전달되면 물(H_2O) 1분자가 생성된다. 따라서 $FADH_2$ (㉠) 1분자로부터 $\frac{1}{2}O_2$ 로 전달되는 전자의 수는 2이다.

▮ **바로알기** ㄱ. ㉠은 $FADH_2$ 이다.

10 ㄱ. 아미노산은 탈아미노 반응으로 아미노기가 제거된 후 호흡 기질로 사용된다.

ㄴ. 피루브산이 아세틸 CoA로 산화되는 과정(가)에서 탈탄산 반응이 일어나 이산화 탄소가 방출된다.

ㄷ. 아세틸 CoA 1분자가 TCA 회로를 거치면 NADH 3분자가 생성된다.

11 ㄱ. 호흡률은 $\frac{\text{발생한 } CO_2 \text{의 부피}}{\text{소비된 } O_2 \text{의 부피}}$ 이므로, (가)의 호흡률은 1.0, (나)는 약 0.7, (다)는 약 0.8이다. 따라서 호흡률은 (가) > (다) > (나)이다.

ㄷ. (나)보다 (다)의 호흡률이 크므로, 동일한 부피의 O_2 가 소비될 때 발생하는 CO_2 의 부피는 (나)가 호흡 기질로 사용될 때보다 (다)가 호흡 기질로 사용될 때 더 크다.

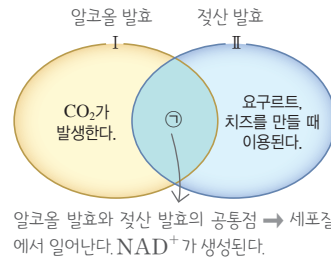
▮ **바로알기** ㄴ. 호흡률이 (가)는 1.0, (나)는 약 0.7, (다)는 약 0.8이므로 (가)는 탄수화물, (나)는 지방, (다)는 단백질이다. 탄수화물(가)은 당으로 분해되어 해당 과정으로 들어간 후 세포 호흡의 나머지 단계를 거친다. 지방산과 글리세롤로 분해되어 호흡 기질로 사용되는 것은 지방(나)이다.

12 ㄱ. (가)는 포도당이 피루브산으로 분해되는 해당 과정이며, 해당 과정에는 ATP를 소모하는 단계와 ATP를 생성하는 단계가 있다. 따라서 해당 과정에서는 ATP가 ADP와 무기 인산으로 분해되는 반응이 일어난다.

▮ **바로알기** ㄴ. (나)에서 피루브산은 이산화 탄소를 방출하고 아세트알데하이드가 되며, NADH나 NAD^+ 가 생성되는 탈수소 반응은 (가)와 (다)에서 일어난다.

ㄷ. 탈탄산 반응은 (나)에서 일어난다.

13 **꼼꼼** 문제 분석



알코올 발효와 젖산 발효의 공통점 → 세포질에서 일어난다. NAD^+ 가 생성된다.

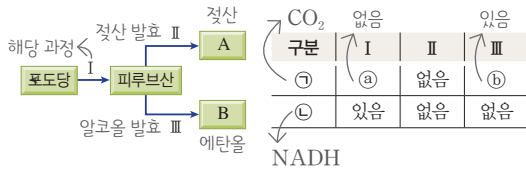
알코올 발효에서는 CO_2 가 발생하고, 젖산 발효에서는 CO_2 가 발생하지 않는다. → I은 알코올 발효, II는 젖산 발효이다.

ㄱ. '세포질에서 일어난다.'는 알코올 발효와 젖산 발효의 공통점(㉠)에 해당한다.

ㄴ. I은 알코올 발효, II는 젖산 발효이며, 산소가 없을 때 효모는 알코올 발효(I)를 한다.

▣ **바로알기** ▣ **ㄷ.** 알코올 발효와 젖산 발효에서는 모두 해당 과정에 필요한 NAD⁺가 생성된다.

14 **꼼꼼** 문제 분석



- 해당 과정(I)에서 CO₂는 생성되지 않고 NADH는 생성된다. → ㉠은 CO₂, ㉡은 NADH이다.
- 피루브산이 젖산으로 되는 과정에서는 CO₂와 NADH가 모두 생성되지 않고, 피루브산이 에탄올로 되는 과정에서는 CO₂가 생성되고 NADH가 생성되지 않는다. → A는 젖산, B는 에탄올이다.

③ A는 젖산, B는 에탄올이다. 1분자당 탄소 수는 젖산(C₃)이 에탄올(C₂)보다 많다.

▣ **바로알기** ▣ ① ㉠은 CO₂, ㉡은 NADH이다.

② 해당 과정(I)에서는 CO₂가 생성되지 않으므로 ㉢는 '없음'이다. 피루브산이 에탄올(B)로 되는 과정(III)에서는 CO₂가 생성되므로 ㉣는 '있음'이다.

④ 사람의 근육 세포에서는 포도당이 피루브산으로 분해된 후 젖산(A)으로 환원되는 젖산 발효(I → II)가 일어난다.

⑤ 피루브산(C₃)이 젖산(C₃)으로 되는 과정(II)에서는 탈탄산 반응이 일어나지 않는다.

15 해당 과정은 포도당 1분자가 피루브산 2분자로 분해되는 과정으로, CO₂는 방출되지 않는다.

모범답안 CO₂가 방출되지 않는다. 해당 과정에서는 탈탄산 효소가 작용하지 않아 탈탄산 반응이 일어나지 않고, 6탄소 화합물인 포도당을 구성하는 탄소는 모두 3탄소 화합물인 피루브산 2분자를 구성하는 탄소를 전환되기 때문이다.

채점 기준	배점
탈탄산 효소가 작용하지 않는다는 것과 6탄소 화합물인 포도당이 3탄소 화합물인 피루브산 2분자로 분해되기 때문이라는 것을 모두 포함하여 옳게 서술한 경우	100%
탈탄산 효소가 작용하지 않는다는 것과 6탄소 화합물인 포도당이 3탄소 화합물인 피루브산 2분자로 분해되기 때문이라는 것 중 한 가지만 포함하여 서술한 경우	50%

16 해당 과정과 TCA 회로에서 기질 수준 인산화로 각각 2ATP가 생성되고, 산화적 인산화로 최대 28ATP가 생성되므로 세포 호흡을 통해 최대 32ATP가 생성된다.

모범답안 ㉠은 2, ㉡은 5, ㉢은 5, ㉣은 3, ㉤은 15, ㉥은 20이다. 해당 과정과 TCA 회로에서는 기질 수준 인산화로 ATP가 생성되고, NADH와 FADH₂로부터는 산화적 인산화로 ATP가 생성된다.

채점 기준	배점
㉠~㉥과 각 과정에서의 ATP 생성 방법을 모두 옳게 서술한 경우	100%
㉠~㉥ 중 일부를 옳게 쓰고, 각 과정에서의 ATP 생성 방법을 옳게 서술한 경우	80%
각 과정에서의 ATP 생성 방법만 옳게 서술한 경우	60%
㉠~㉥만 모두 옳게 쓴 경우	40%

17 산소가 없으면 전자 전달계에 전자를 전달하지 못하므로 세포에 NAD⁺가 부족해진다. 따라서 해당 과정이 계속 일어나기 위해서는 발효를 통해 NAD⁺가 생성되어야 한다.

모범답안 산소가 없는 상태에서 효모는 알코올 발효를 하며, 해당 과정에서 ATP가 생성된다. 해당 과정이 계속 일어나기 위해서는 NAD⁺가 공급되어야 하는데, NAD⁺는 피루브산이 에탄올로 전환되는 과정에서 생성된다.

채점 기준	배점
알코올 발효에서는 해당 과정에서만 ATP가 생성된다는 것과 해당 과정이 일어나려면 NAD ⁺ 가 공급되어야 한다는 것을 포함하여 옳게 서술한 경우	100%
NAD ⁺ 를 공급하기 위해서라고만 서술한 경우	50%

수능 실전 문제

138쪽~141쪽

- | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|
| 01 ⑤ | 02 ③ | 03 ③ | 04 ③ | 05 ④ | 06 ③ |
| 07 ⑤ | 08 ① | 09 ④ | 10 ① | 11 ⑤ | 12 ① |
| 13 ② | 14 ③ | 15 ⑤ | 16 ③ | | |

01

▣ **선택지 분석** ▣

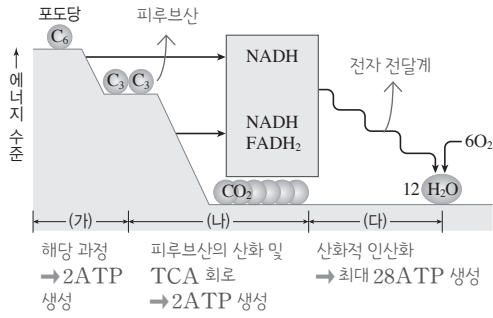
- ㉠ ㉠은 세포 호흡의 산화적 인산화에 사용된다.
- ㉡ ㉡은 식물의 광합성에 의해 빛에너지가 화학 에너지로 전환된다.
- ㉢ ㉢은 식물의 광합성과 동물의 세포 호흡이 일어나는 세포 소기관은 다르다.

㉠. 식물의 광합성으로 O₂가, 동물의 세포 호흡으로 CO₂가 생성된다. 따라서 ㉠은 O₂, ㉡은 CO₂이다. 세포 호흡의 산화적 인산화는 전자 전달계와 화학 삼투를 통한 ATP 합성 과정이며, 전자 전달계에서 전자 흐름의 마지막 단계는 전자가 O₂와 결합하여 H₂O이 되는 것이다. 따라서 산화적 인산화에 O₂가 사용된다.

㉡. 광합성에서는 빛에너지가 포도당의 화학 에너지로 전환된다.

㉢. 광합성은 엽록체에서 일어나고, 세포 호흡은 세포질과 미토콘드리아에서 일어난다.

02 **꼼꼼** 문제 분석



선택지 분석

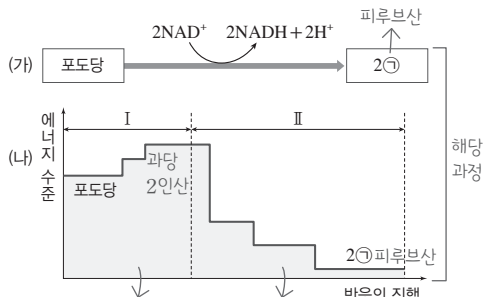
- ㉠ (가)는 세포질에서 일어난다.
- ㉡ (나)는 O₂가 있어야 일어난다.
- ㉢ (나)와 (다)에서 생성되는 ATP 분자 수는 같다. **다르다.**

㉠. (가)는 6탄소 화합물인 포도당이 3탄소 화합물인 피루브산 2분자로 분해되는 해당 과정이므로 세포질에서 일어난다.

㉡. (나)는 피루브산의 산화 및 TCA 회로, (다)는 산화적 인산화이다. 피루브산의 산화 및 TCA 회로(나)가 일어나려면 NAD⁺와 FAD가 필요하며, 피루브산의 산화 및 TCA 회로(나)에서 생성된 NADH와 FADH₂는 산화적 인산화(다)에서 H⁺과 고에너지 전자를 방출하고 NAD⁺와 FAD가 된다. 이때 방출된 H⁺과 전자를 최종적으로 받는 수용체는 O₂이다. 따라서 O₂가 있어야 산화적 인산화(다)가 일어나 NAD⁺와 FAD를 피루브산의 산화 및 TCA 회로(나)에 공급할 수 있으므로, 피루브산의 산화 및 TCA 회로(나)는 O₂가 있어야 일어난다.

바로알기 ㉢. 포도당 1분자가 세포 호흡을 통해 완전히 분해되면 해당 과정(가)에서 2ATP, 피루브산의 산화 및 TCA 회로(나)에서 2ATP, 산화적 인산화(다)에서 최대 28ATP가 생성된다.

03 **꼼꼼** 문제 분석



포도당이 ATP 2분자를 소모하면서 과당 2인산으로 활성화되므로 에너지 수준이 높아진다. → 2ATP 소모
과당 2인산이 피루브산 2분자로 분해되면서 NADH 2분자와 ATP 4분자가 생성되므로 에너지 수준이 낮아진다.

선택지 분석

- ㉠ (가)에서 포도당은 2분자의 ㉠으로 환원된다. **산화**
- ㉡ (나)의 I에서 탈수소 효소의 작용으로 수소(H)가 방출된다. **탈수소 효소가 작용하지 않는다.**
- ㉢ (나)의 I에서 ATP 2분자가 소모되고, II에서 ATP 4분자가 생성된다.

㉢. (나)의 I에서 에너지 수준이 높아진 것은 ATP 2분자를 소모하면서 포도당이 과당 2인산으로 활성화되었기 때문이다. (나)의 II에서는 과당 2인산이 피루브산 2분자로 분해되면서 ATP 4분자가 생성된다.

바로알기 ㉠. ㉠은 피루브산이며, (가)에서 포도당이 피루브산 2분자로 분해될 때 NAD⁺가 H⁺과 전자를 받아 NADH로 환원되므로, 포도당은 산화된다.

㉡. (나)의 I은 포도당이 과당 2인산으로 활성화되는 과정으로, 탈수소 효소가 작용하지 않는다.

04

선택지 분석

- ㉠ (가)에서 탈탄산 반응이 일어난다. **일어나지 않는다.**
- ㉡ (나)에서 탈수소 반응이 일어난다. **일어나지 않는다.**
- ㉢ ㉡은 6탄소 화합물이다.

㉢. 2탄소 화합물인 아세틸 CoA는 TCA 회로로 들어가 4탄소 화합물인 옥살아세트산과 결합하여 6탄소 화합물인 시트르산이 되므로 ㉠은 아세틸 CoA, ㉡은 4탄소 화합물, ㉢은 옥살아세트산, ㉣은 시트르산이다.

바로알기 ㉠. ㉡은 4탄소 화합물, ㉢은 4탄소 화합물인 옥살아세트산이므로 (가)에서는 탈탄산 반응이 일어나지 않아 탄소 수의 변화가 없다.

㉡. (나)에서 옥살아세트산과 아세틸 CoA가 결합하여 시트르산이 되며, 이 과정에서 탈수소 반응은 일어나지 않는다.

05

선택지 분석

- ㉠ ㉠에서 (나)의 인산화 반응이 일어난다. ㉡
- ㉡ ㉡과 ㉢에서 모두 탈수소 효소가 작용한다.
- ㉢ 아세틸 CoA 1분자가 TCA 회로를 거치면 CO₂ 2분자가 방출된다.

㉡. 5탄소 화합물이 4탄소 화합물로 되는 ㉡과 4탄소 화합물이 옥살아세트산으로 되는 ㉢에서 탈수소 효소의 작용으로 각각 NADH가 생성된다.

㉔. 6탄소 화합물인 시트르산이 5탄소 화합물로 되는 ㉑과 5탄소 화합물이 4탄소 화합물로 되는 ㉒에서 각각 CO_2 1분자가 방출된다. 따라서 아세틸 CoA 1분자가 TCA 회로를 거치면 CO_2 2분자가 방출된다.

▣ **바로알기** ㉑. (나)의 인산화 반응은 효소의 작용으로 기질에 결합해 있던 인산기가 ADP로 전달되어 ATP가 합성되는 기질 수준 인산화이다. TCA 회로에서 기질 수준 인산화는 5탄소 화합물이 4탄소 화합물로 되는 ㉒에서 일어난다.

06 **꼼꼼** 문제 분석

5탄소 화합물이 4탄소 화합물인 옥살아세트산으로 되는 과정에서 NADH 2분자, FADH_2 1분자, CO_2 1분자가 생성된다. → ㉑은 5탄소 화합물, ㉒은 옥살아세트산이고, ㉓는 3이다.

과정	NADH 분자 수 + FADH_2 의 분자 수	CO_2 의 분자 수
㉑ → ㉒	㉓	1
㉒ → ㉓	4	㉔

6탄소 화합물인 시트르산이 4탄소 화합물인 옥살아세트산으로 되는 과정에서 NADH 3분자, FADH_2 1분자, CO_2 2분자가 생성된다. → ㉑은 시트르산이고, ㉒는 2이다.

▣ **선택지 분석**

- ㉑ ㉓ + ㉔ = 5이다.
- ✗ 1분자당 탄소 수는 ㉑이 ㉒보다 많다. 적다.
- ㉒ ㉑이 ㉒으로 되는 과정에서 기질 수준 인산화가 일어난다.

㉑. 6탄소 화합물인 시트르산이 4탄소 화합물인 옥살아세트산으로 되는 과정에서 NADH 3분자, FADH_2 1분자, CO_2 2분자가 생성되고, 5탄소 화합물이 4탄소 화합물인 옥살아세트산으로 되는 과정에서 NADH 2분자, FADH_2 1분자, CO_2 1분자가 생성된다. 따라서 ㉑은 5탄소 화합물, ㉒은 시트르산, ㉓은 옥살아세트산이며, ㉓는 3, ㉔는 2이다.

㉔. 5탄소 화합물(㉑)이 옥살아세트산(㉒)으로 되는 과정에서 기질 수준 인산화로 ATP가 합성된다.

▣ **바로알기** ㉑. ㉑은 5탄소 화합물이고, ㉒은 6탄소 화합물인 시트르산이다. 따라서 1분자당 탄소 수는 ㉑이 ㉒보다 적다.

07

▣ **선택지 분석**

- ㉑ (가)는 미토콘드리아 기질에서 일어난다.
- ㉒ NAD^+ 는 ㉑에 해당한다.
- ㉓ ㉒은 시트르산이다.

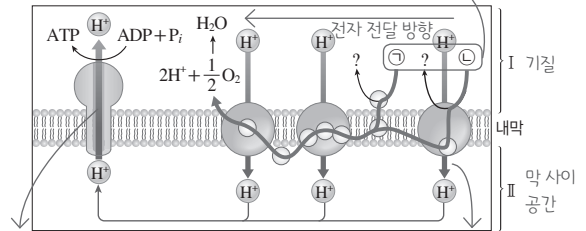
㉑. (가)는 TCA 회로의 일부 과정이므로 미토콘드리아 기질에서 일어난다.

㉑. (나)는 젖산 발효 과정이며, 피루브산은 NADH로부터 H^+ 과 전자를 받아 젖산으로 환원되고, NADH는 NAD^+ 로 산화된다. 따라서 NAD^+ 는 ㉑에 해당한다.

㉔. (다)는 TCA 회로의 일부 과정이며, TCA 회로에서 6탄소 화합물은 시트르산뿐이다. 따라서 ㉒은 시트르산이다.

08 **꼼꼼** 문제 분석

전자 전달계가 왼쪽 방향으로 진행되므로 전자 전달계에 전자를 먼저 전달하는 ㉑이 NADH이고, ㉒은 FADH_2 이다.



H^+ 의 농도가 높은 막 사이 공간에서 미토콘드리아 기질로 H^+ 이 ATP 합성 효소를 통해 확산된다. 일부 전자 운반체는 H^+ 을 미토콘드리아 기질에서 막 사이 공간으로 능동 수송하므로 I은 미토콘드리아 기질이고, II는 막 사이 공간이다.

▣ **선택지 분석**

- ㉑ ㉑ 1분자와 ㉒ 1분자에서 각각 방출된 전자에 의해 생성되는 H_2O 분자 수는 같다.
- ✗ 내막을 경계로 형성된 H^+ 의 농도 기울기에 따라 I에서 II로 H^+ 이 확산된다. II에서 I로
- ✗ TCA 회로에서 아세틸 CoA 1분자로부터 생성된 ㉑이 모두 전자 전달계에서 산화되려면 O_2 3분자가 필요하다. $\frac{3}{2}$ 분자

㉑. ㉑은 FADH_2 이고, ㉒은 NADH이다. FADH_2 (㉑) 1분자와 NADH(㉒) 1분자는 각각 2개의 전자를 방출하며, 이 전자는 전자 전달계에서 2H^+ 과 함께 $\frac{1}{2}\text{O}_2$ 에 전달되어 H_2O 1분자를 생성한다. 따라서 ㉑ 1분자와 ㉒ 1분자에서 각각 방출된 전자에 의해 생성되는 H_2O 분자 수는 같다.

▣ **바로알기** ㉑. I은 미토콘드리아 기질이고, II는 막 사이 공간이다. 내막을 경계로 형성된 H^+ 의 농도 기울기에 따라 막 사이 공간(II)에서 기질(I)로 H^+ 이 ATP 합성 효소를 통해 확산되면서 ATP가 합성된다.

㉔. 전자 전달계에서 NADH 1분자가 산화되는 데 $\frac{1}{2}\text{O}_2$ 가 필요하며, 아세틸 CoA 1분자가 TCA 회로를 거치면 NADH(㉒) 3분자가 생성된다. 따라서 TCA 회로에서 아세틸 CoA 1분자로부터 생성된 NADH(㉒)가 모두 전자 전달계에서 산화되려면 O_2 $\frac{3}{2}$ 분자가 필요하다.

09

선택지 분석

- ㉠ 세포 호흡이 활발할 때, H^+ 농도는 ㉡에서가 ㉢에서보다 낮다.
- ㉡ ㉢에는 (나)의 산화적 인산화에 필요한 전자 전달계가 존재한다.
- ㉢ (나)에서 ㉠+㉡=3이다. 4

㉡는 미토콘드리아 기질, ㉢는 내막, ㉣는 막 사이 공간이다.
 ㄱ. 세포 호흡이 활발하게 일어나면 미토콘드리아 내막(㉢)에 있는 전자 운반체들에 의해 고에너지 전자가 전달되고, 이때 방출된 에너지에 의해 H^+ 이 기질(㉡)에서 막 사이 공간(㉣)으로 능동 수송되어 막 사이 공간(㉣)의 H^+ 농도가 기질(㉡)보다 높아진다.
 ㄴ. 미토콘드리아 내막(㉢)에는 산화적 인산화에 필요한 전자 전달계가 존재한다.
바로알기 ㄷ. 미토콘드리아 내막(㉢)에서 전자 전달계를 거친 전자($2e^-$)는 미토콘드리아 기질에 있는 $2H^+$ 과 함께 최종적으로 $\frac{1}{2}O_2$ 에 전달되어 H_2O 1분자를 생성한다. (나)에서 산화적 인산화를 통해 H_2O 4분자가 생성되었으므로 O_2 는 2분자가 필요함을 알 수 있다. 따라서 ㉠은 2이다. 아세틸 CoA 1분자가 TCA 회로를 거치면 CO_2 2분자가 방출되므로 ㉡는 2이다. 그러므로 ㉠+㉡=4이다.

10

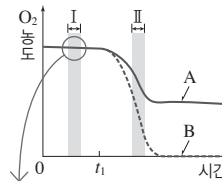
선택지 분석

- ㉠ (가)에서 탈탄산 반응이 일어난다.
- ㉡ 전자에 대한 친화력은 ㉠>㉡>㉢이다. ㉠<㉡<㉢
- ㉢ ㉠에서 ㉡으로의 전자 전달을 차단하면 (나)의 pH는 차단하기 전보다 낮아진다. 높아진다.

ㄱ. (가)는 미토콘드리아 기질이며, 기질에서는 피루브산의 산화 및 TCA 회로가 진행된다. 피루브산의 산화 및 TCA 회로에서는 탈탄산 반응이 일어나 CO_2 가 방출된다.
바로알기 ㄴ. 전자 전달계에서 전자 운반체는 전자에 대한 친화력이 작은 것에서 큰 것 순으로 나열되어 있다. 따라서 전자에 대한 친화력은 ㉠<㉡<㉢이다.
 ㄷ. (나)는 막 사이 공간이다. 전자 운반체 ㉠~㉢은 NADH로부터 방출된 고에너지 전자가 이동할 때 방출된 에너지를 이용하여 H^+ 을 기질(가)에서 막 사이 공간(나)으로 능동 수송한다. 따라서 ㉠에서 ㉡으로의 전자 전달을 차단하면 기질(가)에서 막 사이 공간(나)으로의 H^+ 이동이 감소하므로 막 사이 공간(나)의 pH는 전자 전달을 차단하기 전보다 높아진다.

11 꼼꼼 문제 분석

- (가) 쥐의 간세포로부터 분리한 미토콘드리아를 피루브산과 무기 인산이 충분히 들어 있는 시험관 A와 B에 각각 넣은 후, 시간에 따라 O_2 농도를 측정한다.
 (나) t_1 시점에서 A에는 ADP를, B에는 ADP와 물질 X를 첨가한다. X는 미토콘드리아 내막에 있는 인지질을 통해 H^+ 을 새어 나가게 한다. \checkmark
 내막에 있는 인지질을 통해 H^+ 이 새어 나가면 미토콘드리아 기질과 막 사이 공간의 H^+ 농도 차이가 감소한다. \rightarrow 내막을 경계로 한 H^+ 의 농도 기울기가 정상적으로 형성되지 않는다.
 (다) 그림은 각 시험관에서 시간에 따른 O_2 농도를, 표는 구간 II에서의 ATP 합성 여부를 나타낸 것이다.



시험관	ATP 합성
A	합성됨
B	합성 안 됨

구간 I에서는 O_2 농도가 거의 감소하지 않으며, ADP가 없어 산화적 인산화에 의한 ATP 합성은 일어나지 않는다.
 구간 II에서는 A에서는 ATP가 합성되지만, B에서는 ATP가 합성되지 않는다. \rightarrow B에서는 X로 인해 내막을 경계로 한 H^+ 의 농도 기울기가 정상적으로 형성되지 않기 때문이다.

구간 II에서 A에서는 ATP가 합성되지만, B에서는 ATP가 합성되지 않는다. \rightarrow B에서는 X로 인해 내막을 경계로 한 H^+ 의 농도 기울기가 정상적으로 형성되지 않기 때문이다.

선택지 분석

- ㉠ A에서는 구간 I에서 산화적 인산화가 일어난다. 일어나지 않는다.
- ㉡ B에서 단위 시간당 전자 전달계를 통해 이동하는 전자의 수는 구간 II에서가 구간 I에서보다 많다.
- ㉢ 구간 II에서 미토콘드리아의 막 사이 공간의 H^+ 농도 기질의 H^+ 농도는 A에서가 B에서보다 크다.

ㄴ. O_2 는 전자의 최종 수용체이므로 전자 전달이 활발하게 일어날수록 O_2 농도가 빠르게 감소한다. B의 경우 구간 I에서보다 구간 II에서 O_2 농도가 빠르게 감소하므로 단위 시간당 전자 전달계를 통해 이동하는 전자의 수는 구간 II에서가 구간 I에서보다 많다.
 ㄷ. A의 구간 II에서는 H^+ 의 농도 기울기가 정상적으로 형성되므로, 미토콘드리아의 $\frac{\text{막 사이 공간의 } H^+ \text{ 농도}}{\text{기질의 } H^+ \text{ 농도}}$ 는 1보다 크다. X는 미토콘드리아 내막에 있는 인지질을 통해 H^+ 을 새어 나가게 하여 내막을 경계로 한 H^+ 의 농도 차이를 감소시키므로 B의 구간 II에서 $\frac{\text{막 사이 공간의 } H^+ \text{ 농도}}{\text{기질의 } H^+ \text{ 농도}}$ 는 1에 가깝다. 따라서 구간 II에서 미토콘드리아의 $\frac{\text{막 사이 공간의 } H^+ \text{ 농도}}{\text{기질의 } H^+ \text{ 농도}}$ 는 A에서가 B에서보다 크다.
바로알기 ㄱ. A에서 구간 I일 때 ADP가 없으므로 산화적 인산화가 일어나지 않는다.

12

선택지 분석

- ㉠ I에서 기질 수준 인산화가 일어난다.
- ㉡ II에서 탈탄산 반응이 일어난다. 일어나지 않는다.
- ㉢ III에서 ㉠이 ㉡으로 산화된다. 환원

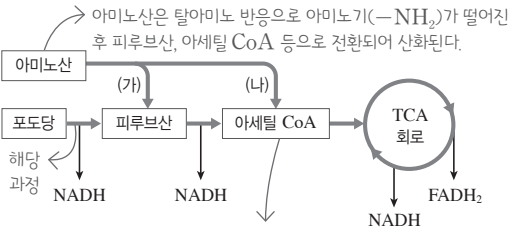
㉠은 피루브산이고, 1분자당 탄소 수는 ㉡이 ㉢보다 많으므로 ㉡은 3탄소 화합물인 젖산, ㉢은 2탄소 화합물인 에탄올이다.

㉠. I은 해당 과정이며, 해당 과정에서는 기질 수준 인산화가 일어난다.

바로알기 ㉡. II는 피루브산이 젖산으로 환원되는 과정으로, 탈탄산 반응이 일어나지 않아 CO_2 가 방출되지 않는다.

㉢. III에서 피루브산(㉠)은 NADH로부터 H^+ 과 전자를 받아 에탄올(㉢)로 환원된다.

13 꼬꼬 문제 분석



아세틸 CoA 1분자가 TCA 회로를 거치면 ATP 1분자, NADH 3분자, FADH₂ 1분자가 생성된다.

선택지 분석

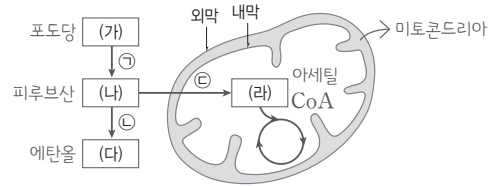
- ㉠ 아미노산과 포도당은 모두 해당 과정을 거치지 않는다.
- ㉡ (가)와 (나) 경로에서 모두 아미노기(-NH₂)가 떨어져 나온다.
- ㉢ 아세틸 CoA 1분자가 TCA 회로와 산화적 인산화를 거쳐 완전히 산화되면 15ATP가 생성된다. 10ATP

㉡. 아미노산은 탈아미노 반응으로 아미노기(-NH₂)가 떨어진 후 호흡 기질로 사용된다. 따라서 (가)와 (나) 경로에서 모두 아미노기(-NH₂)가 떨어져 나온다.

바로알기 ㉠. 포도당은 해당 과정을 거쳐 산화되며, 아미노산은 해당 과정을 거치지 않고 피루브산, 아세틸 CoA 등으로 전환되어 산화된다.

㉢. 아세틸 CoA 1분자가 TCA 회로를 거치면 ATP 1분자, NADH 3분자, FADH₂ 1분자가 생성된다. 산화적 인산화를 통해 1분자의 NADH와 FADH₂로부터 각각 2.5ATP와 1.5ATP가 생성되므로, NADH 3분자와 FADH₂ 1분자로부터 총 9ATP가 생성된다. 따라서 아세틸 CoA 1분자가 TCA 회로와 산화적 인산화를 거쳐 완전히 산화되면 10ATP가 생성된다.

14 꼬꼬 문제 분석



• 효모는 산소가 있을 때는 산소 호흡을 하므로, 해당 과정에서 생성된 피루브산은 미토콘드리아 기질로 들어가 아세틸 CoA로 산화된 후 TCA 회로를 거쳐 분해된다.

• 효모는 산소가 없을 때는 알코올 발효를 하므로, 해당 과정에서 생성된 피루브산은 세포질에서 에탄올로 전환된다.

➔ (가)는 포도당, (나)는 피루브산, (다)는 에탄올, (라)는 아세틸 CoA이다.

선택지 분석

- ㉠ ㉠과 ㉡에서 모두 산화 환원 반응이 일어난다.
- ㉡ ㉢에서 탈탄산 반응이 일어난다.
- ㉢ 1분자당 수소(H) 수 / 탄소(C) 수 는 (가)가 (나)보다 작다. 크다.
- ㉣ (다)는 효모를 이용하여 술을 만들 때 생성된다.
- ㉤ (라)는 산소가 없을 때는 생성되지 않는다.

㉠ 포도당(가)이 피루브산(나)으로 분해되는 ㉠과 피루브산(나)이 에탄올(다)로 환원되는 ㉡에서 모두 탈수소 효소의 작용에 의한 산화 환원 반응이 일어난다.

㉡ ㉢은 피루브산(나)이 아세틸 CoA(라)가 되는 과정으로, 탈탄산 반응이 일어나 CO_2 가 방출된다.

㉣ 에탄올(다)은 효모를 이용하여 술을 만들 때 생성된다.

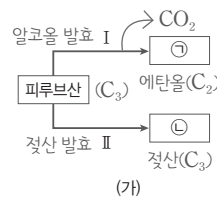
㉤ 효모는 산소가 없으면 세포질에서 알코올 발효를 하므로, 아세틸 CoA(라)는 산소가 없으면 생성되지 않는다.

바로알기 ㉢ 분자식이 포도당은 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, 피루브산은 $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_3$

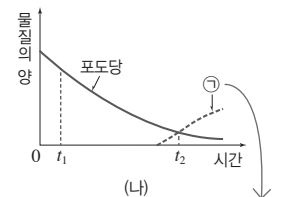
이므로 1분자당 수소(H) 수 / 탄소(C) 수 는 포도당이 $\frac{12}{6}$, 피루브산이 $\frac{4}{3}$

다. 따라서 1분자당 수소(H) 수 / 탄소(C) 수 는 포도당(가)이 피루브산(나)보다 크다.

15 꼬꼬 문제 분석



알코올 발효에서는 탈탄산 반응이 일어나지만, 젖산 발효에서는 탈탄산 반응이 일어나지 않는다.



효모는 산소가 없는 상태에서 알코올 발효를 하여 에탄올을 생성하므로 ㉡은 에탄올이다.

선택지 분석

- ㉠ 1분자당 탄소 수는 ㉡보다 ㉢이 많다.
- ㉡ I과 II에서 모두 NADH의 산화가 일어난다.
- ㉢ (나)에서 t_1 과 t_2 일 때 모두 기질 수준 인산화가 일어난다.

㉠. 효모는 산소가 없는 상태에서 알코올 발효를 하여 에탄올을 생성한다. 따라서 ㉠은 에탄올, ㉡은 젖산이다. 에탄올은 2탄소 화합물이고, 젖산은 3탄소 화합물이므로 1분자당 탄소 수는 에탄올(㉠)보다 젖산(㉡)이 많다.

㉡. 알코올 발효(I)와 젖산 발효(II)에서 피루브산은 NADH로부터 H^+ 과 전자를 받아 환원된다. 따라서 I과 II에서 모두 NADH의 산화가 일어난다.

㉢. (나)에서 t_1 일 때는 배양액에 남아 있는 산소를 이용해 산소 호흡이 일어나며, t_2 일 때는 알코올 발효가 일어난다. 따라서 t_1 과 t_2 일 때 모두 해당 과정이 일어나며, 해당 과정에서는 기질 수준 인산화가 일어난다.

16 **꼼꼼** 문제 분석

특징	알코올 발효		특징(㉠~㉢)
	I	II	
㉠	×	×	NADH의 산화가 일어난다. ㉡ 산화적 인산화가 일어난다. ㉠ 탈탄산 효소가 작용한다. ㉢
㉡	○	○	
㉢	○	×	

(○: 있음, ×: 없음)

- 알코올 발효와 젖산 발효에서는 모두 산화적 인산화가 일어나지 않는다. → ㉠은 '산화적 인산화가 일어난다.'이다.
- 알코올 발효와 젖산 발효에서는 모두 NADH의 산화가 일어난다. → ㉡은 'NADH의 산화가 일어난다.'이다.
- 알코올 발효에서는 탈탄산 효소가 작용하여 CO_2 가 방출되지만, 젖산 발효에서는 탈탄산 효소가 작용하지 않는다. → ㉢은 '탈탄산 효소가 작용한다.'이며, I은 알코올 발효, II는 젖산 발효이다.

선택지 분석

- ✗ I은 사람의 근육 세포에서 일어날 수 있다. II는
- ✗ II는 빵을 만들 때 이용된다. I은
- ㉠ 'NADH의 산화가 일어난다.'는 ㉡에 해당한다.

㉠. 알코올 발효에서는 NADH의 산화가 일어나며, 탈탄산 효소가 작용하여 CO_2 가 방출된다. 젖산 발효에서는 NADH의 산화가 일어나며, 탈탄산 효소가 작용하지 않는다. 또 알코올 발효와 젖산 발효에서는 모두 산화적 인산화가 일어나지 않는다. 따라서 ㉠은 '산화적 인산화가 일어난다.', ㉡은 'NADH의 산화가 일어난다.', ㉢은 '탈탄산 효소가 작용한다.'이다.

바로알기 ㉠. 사람의 근육 세포에서는 젖산 발효(II)가 일어난다. ㉡. 빵을 만들 때 이용되는 것은 알코올 발효(I)이다.

2 광합성

01 광합성(1)

개념 확인 문제

148쪽

- 1 틸라코이드 2 스트로마 3 광합성 색소 4 화학
- 5 카로티노이드계 6 엽록소 7 적색 8 명 9 NADPH
- 10 물 11 포도당

- 1 (1) C, 틸라코이드 (2) A, 그러나 (3) B, 스트로마 2 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) × 3 (1) (가) 흡수 스펙트럼 (나) 작용 스펙트럼 (2) 청자색, 적색 4 (1) ㉠ 산소, ㉡ 포도당 (2) ㉠ NADPH, ㉡ 명반응 (3) ㉠ 명반응, ㉡ 탄소 고정 반응

1 (1) 납작한 주머니 모양이며, 막에 빛에너지를 흡수하는 광합성 색소, 전자 전달계, ATP 합성 효소 등이 있는 것은 틸라코이드(C)이다.

(2) 틸라코이드가 여러 개 쌓여 이루어진 것은 그러나(A)이다.
(3) 엽록체에서 DNA, 리보솜, 포도당 합성에 관여하는 효소 등이 있는 기질 부분은 스트로마(B)이다.

2 (1) 엽록체는 외막과 내막의 2중막 구조이며, 내막 안쪽에 틸라코이드라고 하는 또 다른 막 구조가 있다. 스트로마는 내막 안쪽에서 그러나를 제외한 기질 부분이다.

(2) 틸라코이드 막에 광합성 색소, 전자 전달계, ATP 합성 효소가 있으므로, 틸라코이드가 여러 개 쌓여 이루어진 그러나에서 빛에너지가 화학 에너지로 전환되는 명반응이 일어난다.

(3) 스트로마에는 포도당 합성에 관여하는 효소들이 있어 이산화탄소가 포도당으로 환원되는 반응이 일어난다.

(4) 광합성을 하는 모든 식물의 엽록체에는 엽록소 a와 b가 있으며, 이 중 광합성에서 가장 중심적인 역할을 하는 것은 엽록소 a이다.

3 (1) (가)는 빛의 파장에 따른 엽록소 a와 b의 빛 흡수율을 나타낸 것이므로 흡수 스펙트럼이다. (나)는 빛의 파장에 따른 엽록체의 광합성 속도를 나타낸 것이므로 작용 스펙트럼이다.

(2) 식물은 주로 엽록소 a와 b가 잘 흡수하는 청자색과 적색의 빛을 이용하여 광합성을 한다.

4 (1) 광합성의 명반응에서는 물이 분해되어 산소가 발생하고, 탄소 고정 반응에서는 이산화탄소가 포도당으로 환원된다.

- (2) 광합성에서 빛에너지를 ATP와 NADPH의 화학 에너지로 전환하는 과정은 명반응이다.
- (3) 명반응 산물인 ATP와 NADPH가 탄소 고정 반응에 공급되어야 탄소 고정 반응이 일어나 포도당이 합성된다. 따라서 탄소 고정 반응이 일어나기 전에 명반응이 먼저 일어난다.

대표 자료 분석

149쪽

- 자료 1** 1 I: 엽록소 a, II: 엽록소 b 2 (1) ㉠ 적색, ㉡ 초록색 (2) 적색 3 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ×
- 자료 2** 1 B, E, F 2 C, F 3 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ (5) × (6) ○

①-1 (가)의 TLC 판에 분리된 각 광합성 색소의 전개율과 (나)의 흡수 스펙트럼을 비교하면 I과 II의 이름을 알 수 있는데, I은 엽록소 a, II는 엽록소 b이다.

- ①-2 (1) (나)의 흡수 스펙트럼을 통해 엽록소 a(I)와 엽록소 b(II)는 모두 청자색과 적색의 빛을 잘 흡수하고, 초록색 빛은 거의 흡수하지 않는다는 것을 알 수 있다.
- (2) (나)의 작용 스펙트럼을 통해 식물은 청자색과 적색의 빛에서 광합성이 가장 활발하게 일어난다는 것을 알 수 있다.

- ①-3 (1) 전개율은 $\frac{\text{원점에서 색소까지의 거리}}{\text{원점에서 용매 전선까지의 거리}}$ 이므로 원점에서 멀리 전개된 것일수록 전개율이 크다. 따라서 전개율이 큰 것부터 순서대로 광합성 색소를 나열하면 카로틴 > 잔토필 > 엽록소 a(I) > 엽록소 b(II)이다.
- (2), (3) (나)에서 엽록소 a와 b의 흡수 스펙트럼과 엽록체의 작용 스펙트럼은 거의 일치하므로, 식물은 주로 엽록소 a와 b가 흡수한 청자색과 적색의 빛을 이용하여 광합성을 한다는 것을 알 수 있다.
- (4) (나)에서 작용 스펙트럼을 보면 광합성은 파장이 550 nm인 빛에서보다 450 nm인 빛에서 더 활발하게 일어난다는 것을 알 수 있다.

②-1 명반응은 빛에너지를 필요로 하는 반응이므로 빛이 있는 B, E, F 구간에서 일어난다.

②-2 탄소 고정 반응은 명반응 산물과 CO₂를 필요로 하는 반응이므로 C, F 구간에서 일어난다.

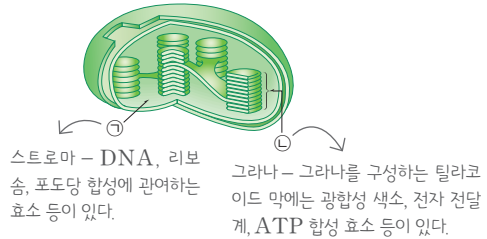
- ②-3 (1) A와 C 구간의 조건은 같은데 결과에 차이가 나는 것은 A와 달리 C 구간은 전 단계인 B 구간에서 빛이 공급되었기 때문이다. 이를 통해 광합성이 일어나려면 CO₂보다 빛이 먼저 공급되어야 한다는 것을 알 수 있다.
- (2) A와 D 구간에서는 광합성이 일어나지 않았다. 이를 통해 빛이 없으면 CO₂가 있어도 광합성이 일어나지 않는다는 것을 알 수 있다.
- (3) C 구간에서 광합성이 일어난 것은 B 구간에서 생성된 명반응 산물인 ATP, NADPH와 포도당 합성에 필요한 CO₂가 모두 있기 때문이다.
- (4) 명반응은 빛을 필요로 하고 탄소 고정 반응은 CO₂를 필요로 하는데, F 구간에는 빛과 CO₂가 모두 있다. 따라서 명반응과 탄소 고정 반응이 모두 일어난 구간은 F이다.
- (5) A 구간과 달리 C 구간에서 일시적으로 광합성이 일어난 것은 B 구간에서 명반응이 일어나 ATP와 NADPH가 생성되었기 때문이다. 이를 통해 광합성은 빛이 필요한 명반응과 CO₂가 필요한 탄소 고정 반응으로 구분할 수 있으며, 명반응이 먼저 일어나고 탄소 고정 반응이 나중에 일어난다는 것을 알 수 있다.
- (6) 명반응은 일어나지만 탄소 고정 반응은 일어나지 않는 구간은 빛은 있지만 CO₂가 없는 구간인 B와 E이다.

내신 만점 문제

150쪽~151쪽

- 01 ㉠ 02 ㉡ 03 ㉠ 04 ㉡ 05 ㉢ 06 ㉡
07 ㉠ 08 ㉡ 09 해설 참조

01 **꼼꼼** 문제 분석



- ㉠. ㉠은 스트로마이며, 스트로마에는 DNA와 리보솜이 있다.
- ㉡. 스트로마(㉠)에는 탄소 고정 반응에 관여하는 효소들이 있어 광합성의 탄소 고정 반응이 일어난다.
- ㉢. ㉡은 틸라코이드가 여러 개 쌓여 이루어진 그라나이다. 그라나를 구성하는 틸라코이드 막에는 광합성 색소인 엽록소 a가 있다.

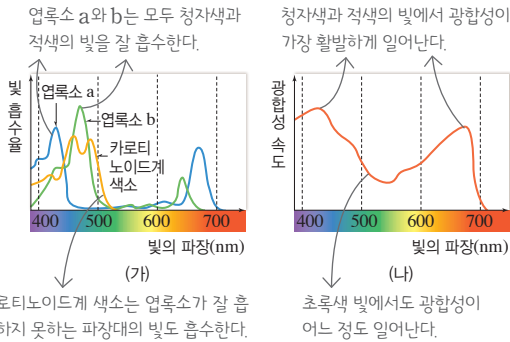
02 ① 미토콘드리아에서는 세포 호흡이, 엽록체에서는 광합성이 일어나며, 세포 호흡과 광합성은 모두 물질대사이다.

②, ③ 미토콘드리아 기질과 엽록체의 스트로마에는 모두 DNA와 리보솜이 있어 미토콘드리아와 엽록체는 독자적으로 증식하고 단백질을 합성할 수 있다.

⑤ 미토콘드리아 내막과 엽록체의 틸라코이드 막에는 모두 전자 전달계와 ATP 합성 효소가 있다.

||바로알기|| ④ 에너지 전환에 관여하는 막단백질은 미토콘드리아 내막과 엽록체의 틸라코이드 막에 있다.

03 **꼼꼼** 문제 분석



②, ⑤ (가)에서 엽록소가 잘 흡수하는 빛은 청자색과 적색의 빛이고, (나)에서 광합성이 가장 활발하게 일어나는 빛도 청자색과 적색의 빛이다. 따라서 식물은 주로 엽록소가 잘 흡수하는 빛을 이용하여 광합성을 한다는 것을 알 수 있다.

③ 식물은 주로 엽록소에서 흡수한 빛에너지를 이용하여 광합성을 하므로, 엽록소의 흡수 스펙트럼과 엽록체의 작용 스펙트럼은 거의 일치한다.

④ 카로티노이드계 색소의 흡수 스펙트럼을 보면 빛의 파장에 따라 빛을 흡수하는 정도가 다르다는 것을 알 수 있다.

||바로알기|| ① (나)를 보면 초록색 빛에서도 광합성이 어느 정도 일어난다는 것을 알 수 있다.

04 ㄱ. 광합성 색소는 틸라코이드 막에서 단백질과 결합하여 광계를 이루고 있다.

ㄴ. 카로틴, 잔토필과 같은 카로티노이드계 색소는 빛에너지를 흡수하여 엽록소 a에 전달하는 역할을 한다.

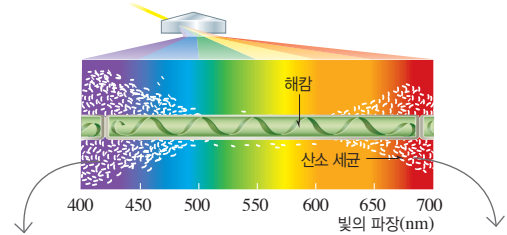
||바로알기|| ㄴ. 과도한 빛으로부터 식물을 보호하는 역할을 하는 것은 카로티노이드계 색소이다.

05 ㄱ. ㉠은 카로틴, ㉡은 잔토필, ㉢은 엽록소 a, ㉣은 엽록소 b이다. 광합성 색소는 모두 그라나의 틸라코이드 막에 존재한다.

ㄴ. 전개울은 색소 원점에서 멀리 떨어져 있을수록 크다. 따라서 전개울은 엽록소 a보다 카로틴이 크다.

||바로알기|| ㄴ. 엽록소 a(㉢)는 청자색과 적색의 빛을 잘 흡수하고, 초록색 빛은 대부분 반사하거나 통과시킨다.

06 **꼼꼼** 문제 분석



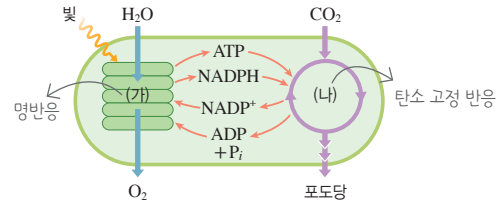
산소 세균은 주로 청자색과 적색의 빛이 비친 부위에 모여 있다. → 청자색과 적색의 빛이 비친 부위에서 해감의 광합성이 활발하게 일어나 산소가 많이 발생했기 때문이다. → 해감은 주로 청자색과 적색의 빛을 흡수하여 광합성을 한다.

ㄱ. 해감 엽록체의 그라나에서는 명반응이 일어나며, 이때 물이 분해되어 산소가 발생한다.

ㄴ. 산소 세균은 산소를 이용하므로, 산소가 많은 곳으로 모여드는 성질이 있다. 황색 빛이 비친 부위보다 적색 빛이 비친 부위에 산소 세균이 많이 모인 것은 해감이 황색 빛보다 적색 빛에서 광합성을 활발하게 하기 때문이다.

||바로알기|| ㄴ. 산소 세균은 빛을 흡수하여 생명 활동을 하는 생물이 아니다. 산소 세균이 청자색과 적색의 빛이 비친 부위에 많이 모인 것은 해감이 주로 청자색과 적색의 빛을 흡수하여 광합성을 한 결과 그 부위에서 산소가 많이 발생했기 때문이다.

07 **꼼꼼** 문제 분석



- 명반응: 빛에너지를 ATP와 NADPH에 화학 에너지 형태로 저장하며, 이 과정에서 H₂O이 분해되어 O₂가 발생한다.
- 탄소 고정 반응: 명반응 산물인 ATP와 NADPH를 이용하여 CO₂를 포도당으로 합성한다.

② (가)는 명반응이며, 명반응에서는 빛에너지가 ATP와 NADPH의 화학 에너지로 전환된다.

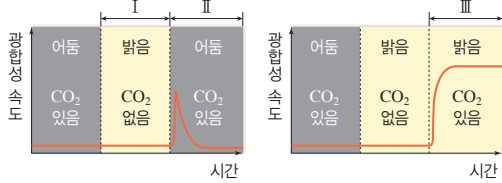
③ (나)는 탄소 고정 반응이며, 탄소 고정 반응에서는 CO₂가 포도당으로 환원된다.

④ 탄소 고정 반응(나)에서 포도당이 합성되려면 명반응 산물인 ATP와 NADPH가 필요하다.

⑤ 빛이 없어도 엽록체에 ATP, NADPH, CO₂를 공급하면 탄소 고정 반응이 일어나 포도당이 합성된다.

▣ **바로알기** ① 명반응(가)은 그라나에서 일어나고, 탄소 고정 반응(나)은 스트로마에서 일어난다.

[08~09] **꼼꼼 문제 분석**



- 구간 I: 빛을 이용해 명반응이 일어나고, CO₂가 없어 포도당을 합성하는 탄소 고정 반응은 일어나지 않는다.
- 구간 II: 빛이 없지만 구간 I에서 만들어진 명반응 산물을 이용해 일시적으로 탄소 고정 반응이 일어나 포도당이 합성된다. → 명반응이 일어난 후에 탄소 고정 반응이 일어나며, 명반응 산물이 공급되어야 탄소 고정이 일어난다.
- 구간 III: 빛과 CO₂가 계속 공급되므로 명반응과 탄소 고정 반응이 지속적으로 일어난다.

08 ㄷ. 구간 III에서는 빛이 공급되므로 명반응이 일어나고, 이 과정에서 H₂O이 분해되어 O₂가 발생한다. 또 CO₂가 있으므로 탄소 고정 반응이 일어나 포도당이 합성된다.

▣ **바로알기** ㄱ. 구간 I에서는 CO₂가 공급되지 않으므로 탄소 고정 반응이 일어나지 않는다.

ㄴ. 구간 II에서는 빛이 공급되지 않으므로 명반응이 일어나지 않는다.

09 구간 I에서 빛이 있어도 CO₂가 없으면 광합성이 일어나지 않는다. 그러나 구간 II에서는 빛이 없어도 CO₂가 있으면 잠시 동안 광합성이 일어난다. 이는 구간 I에서 명반응이 일어나 탄소 고정 반응에 필요한 물질이 만들어졌고, 이 물질을 이용하여 구간 II에서 탄소 고정 반응이 일시적으로 일어나 포도당이 합성되었기 때문이다. 이를 통해 광합성 과정은 빛을 이용하는 명반응과 CO₂를 포도당으로 합성하는 탄소 고정 반응의 두 단계로 구분하며, 명반응이 먼저 일어난 후 탄소 고정 반응이 일어난다는 것을 알 수 있다.

모범답안 광합성 과정은 빛이 필요한 명반응과 CO₂가 필요한 탄소 고정 반응으로 나누어지며, 명반응에서 만들어진 물질이 공급되어야 탄소 고정 반응이 일어나 포도당이 합성된다.

채점 기준	배점
광합성은 빛이 필요한 명반응과 CO ₂ 가 필요한 탄소 고정 반응으로 나누어진다는 것과 명반응 산물이 공급되어야 탄소 고정 반응이 일어난다는 것을 모두 옳게 서술한 경우	100%
광합성은 빛이 필요한 명반응과 CO ₂ 가 필요한 탄소 고정 반응으로 나누어진다는 것과 명반응 산물이 공급되어야 탄소 고정 반응이 일어난다는 것 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50%

02 광합성(2)

개념 확인 문제

155 쪽

- ① 틸라코이드 ② NADPH ③ 산소(O₂) ④ ATP ⑤ 비순환적
⑥ NADPH ⑦ 순환적 ⑧ I ⑨ ATP 합성

- 1 O₂ 2 (1) 단백질 (2) a (3) ㉠ I, ㉡ II 3 (1) ○ (2) ○ (3) × 4 ㉠ 물(H₂O), ㉡ NADP⁺ 5 ATP, NADPH 6 (1) ㉠ H₂O, ㉡ NADPH, ㉢ ATP (2) (가) 틸라코이드 내부 (나) 스트로마 (3) C (4) (가)

1 물(H₂O)이 광분해되면 수소 이온(H⁺), 전자(e⁻), 산소(O₂)가 생성된다.

2 (1) 광계는 광합성 색소와 단백질의 복합체로, 틸라코이드 막에 있다.

(2) 광계에는 반응 중심 색소와 안테나 색소 등이 있으며, 반응 중심 색소는 한 쌍의 엽록소 a로 구성된다.

(3) 광계는 반응 중심 색소가 주로 흡수하는 빛의 파장에 따라 광계 I과 광계 II로 구분한다. 광계 I의 반응 중심 색소는 P₇₀₀, 광계 II의 반응 중심 색소는 P₆₈₀이다.

3 (1) 빛에너지를 흡수한 광계에서 방출된 전자가 전자 전달계를 거치면서 에너지를 방출하고, 이 에너지는 ATP 합성에 이용된다.

(2) 비순환적 전자 흐름에는 광계 I과 광계 II가 모두 관여하지만, 순환적 전자 흐름에는 광계 I만 관여한다.

(3) 비순환적 전자 흐름에서 물(H₂O)이 분해되어 산소(O₂)가 발생하며, 순환적 전자 흐름에서는 물이 분해되지 않으므로 산소가 발생하지 않는다.

4 명반응의 비순환적 전자 흐름에서 물(H₂O)의 광분해로 전자가 방출되며, 최종적으로 NADP⁺가 이 전자를 받아 NADPH로 환원된다.

5 명반응에서 생성된 ATP와 NADPH를 이용하여 탄소 고정 반응이 일어나 포도당이 합성된다.

6 (1) 물질 ㉠의 분해로 H⁺, 전자(e⁻), O₂가 생성되므로 ㉠은 H₂O이고, NADP⁺가 H⁺과 전자를 받아 ㉡으로 환원되므로 ㉡은 NADPH이다. ATP 합성 효소에 의해 합성되는 ㉢은 ATP이다.

- (2) 전자 전달계(A, B), 광계, ATP 합성 효소는 틸라코이드 막에 있다. 따라서 (가)는 틸라코이드 내부, (나)는 스트로마이다.
- (3) 화학 삼투는 틸라코이드 막을 경계로 형성된 H^+ 의 농도 기울기에 따라 H^+ 이 확산되는 과정이므로 C이다. A와 B는 모두 전자 전달계이다.
- (4) ATP 합성 효소가 ATP를 합성하려면 틸라코이드 내부(가)의 H^+ 농도가 스트로마(나)보다 높아서, 틸라코이드 내부(가)의 H^+ 이 ATP 합성 효소를 통해 스트로마(나)로 확산되어야 한다.

개념 확인 문제

161 쪽

- ① 6 ② 18 ③ 12 ④ 캘빈 회로 ⑤ 3PG ⑥ 미토콘드리아
 ⑦ ATP ⑧ NAD^+ ⑨ 화학 삼투

- 1 (1) × (2) ○ (3) × 2 (1) 3PG (2) ⊖ PGAL, ⊖ NADPH (3) PGAL 3 ⊕ NADPH, ⊖ ATP, ⊖ O_2 , ⊕ 포도당 ($C_6H_{12}O_6$) 4 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ○

- 1** (1) 탄소 고정 반응은 이산화 탄소를 환원시켜 포도당을 합성하는 과정으로, 엽록체의 스트로마에서 일어난다.
 (2) 탄소 고정 반응에서는 명반응 산물인 ATP와 NADPH를 이용하여 이산화 탄소를 포도당으로 합성한다.
 (3) 탄소 고정 반응에서는 이산화 탄소가 포도당으로 환원되며, 여러 종류의 효소가 관여한다.
- 2** (1) 캘빈 회로에서 이산화 탄소(CO_2)가 RuBP와 결합하여 3PG가 생성될 때 탄소가 고정된다.
 (2) 3PG가 DPGA로 될 때 ATP가 사용되고, DPGA가 PGAL로 될 때 NADPH가 사용된다.
 (3) 캘빈 회로에서 만들어지는 탄소 화합물 중 PGAL이 포도당 합성에 이용된다.
- 3** 포도당 1분자를 합성할 때 탄소 고정 반응에 공급되는 명반응 산물은 NADPH(⊖) 12분자, ATP(⊖) 18분자이다. 명반응에서는 H_2O 이 분해되어 O_2 (⊖)가 생성되고, 탄소 고정 반응에서는 CO_2 가 포도당(⊕)으로 환원된다.
- 4** (1)~(3) 광합성과 세포 호흡에서는 모두 전자 전달계에서 연속적인 산화 환원 반응이 일어나며, 그 결과 ATP가 합성된다.
 (4) 산화적 인산화는 세포 호흡에서 일어나고, 광합성에서는 광인산화가 일어난다.
 (5) 광합성과 세포 호흡은 모두 생명체 내에서 일어나는 물질대사이다.

대표 자료 분석

162 쪽~163 쪽

- 자료 ① 1 ⊖ O_2 , ⊖ NADPH 2 광계 I 3 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ○ (5) ○ (6) × (7) ×
- 자료 ② 1 A: 틸라코이드 내부, B: 틸라코이드 막, C: 스트로마
 2 ATP 합성 효소 3 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○ (5) ○ (6) ○
- 자료 ③ 1 (가) 2 ⊕ RuBP, ⊖ 3PG, ⊖ PGAL 3 (1) × (2) × (3) ○ (4) × (5) × (6) ○ (7) ×
- 자료 ④ 1 ⊖ O_2 , ⊖ CO_2 , ⊖ 포도당 2 ⊕ 캘빈, ⊕ TCA
 3 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ (5) × (6) ○

①-1 ⊖은 H_2O 의 광분해로 생성된 O_2 이고, ⊖은 $NADP^+$ 가 H^+ 과 전자를 받아 생성된 NADPH이다.

①-2 경로 (가)는 광계 I에서 방출된 전자가 광계 I로 되돌아오므로 순환적 전자 흐름이다. 경로 (나)는 광계 II에서 방출된 전자가 광계 I을 거쳐 $NADP^+$ 로 전달되어 원래의 광계로 돌아가지 않으므로 비순환적 전자 흐름이다. 순환적 전자 흐름에는 광계 I이, 비순환적 전자 흐름에는 광계 I과 광계 II가 관여한다.

①-3 (1) 경로 (가)는 순환적 전자 흐름, 경로 (나)는 비순환적 전자 흐름이다.

(2) 비순환적 전자 흐름과 순환적 전자 흐름에서 방출된 에너지는 틸라코이드 막을 경계로 H^+ 의 농도 기울기를 형성하게 하고, 이 H^+ 의 농도 기울기에 의해 ATP가 합성된다.

(3) 비순환적 전자 흐름에서는 NADPH와 O_2 가 생성된다. 그러나 순환적 전자 흐름에서는 P_{700} 에서 방출된 전자가 P_{700} 으로 되돌아오므로 NADPH가 생성되지 않고, H_2O 의 광분해도 일어나지 않아 O_2 도 생성되지 않는다.

(4) 비순환적 전자 흐름에서는 광계 I의 P_{700} 에서 방출된 전자와 전자 전달계를 거쳐 $NADP^+$ 에 최종적으로 전달되므로 P_{700} 으로 되돌아가지 않는다.

(5) 순환적 전자 흐름과 비순환적 전자 흐름에 관여하는 광계와 전자 전달계는 모두 틸라코이드 막에 있다.

(6) H_2O 의 광분해는 비순환적 전자 흐름(나)에서 일어난다.

(7) ⊖은 O_2 , ⊖은 NADPH이며, 탄소 고정 반응에는 명반응 산물 중 ATP와 NADPH가 사용된다.

②-1 엽록체에서 H^+ 은 일부 전자 운반체를 통해 스트로마에서 틸라코이드 내부로 능동 수송된다. 따라서 A는 틸라코이드 내부, C는 스트로마이며, B는 ATP 합성 효소가 있는 틸라코이드 막이다.

②-2 H⁺이 ㉠을 통과할 때 ATP가 합성되므로 ㉠은 틸라코이드 막에 있는 ATP 합성 효소이다.

②-3 (1) H⁺은 ATP 합성 효소(㉠)를 통해 확산되므로 에너지가 필요하지 않다.

(2) 엽록체가 충분한 시간 동안 빛을 받으면 스트로마(C)에서 틸라코이드 내부(A)로 H⁺이 능동 수송되어 틸라코이드 내부(A)의 H⁺ 농도가 스트로마(C)보다 높아진다. 따라서 틸라코이드 내부(A)의 pH가 스트로마(C)의 pH보다 낮아진다.

(3) ATP 합성이 일어나려면 H⁺ 농도는 틸라코이드 내부(A)에서가 스트로마(C)에서보다 높아야 한다.

(4) 비순환적 전자 흐름과 순환적 전자 흐름에서 전자가 이동하면서 방출된 에너지를 이용하여 일부 전자 운반체가 H⁺을 능동 수송한다.

(5) 엽록체에서 명반응 결과 합성된 ATP는 캘빈 회로의 3PG 환원 단계와 RuBP 재생 단계에서 사용된다.

(6) 엽록체에서 틸라코이드 막을 경계로 H⁺의 농도 기울기를 형성하게 하는 에너지는 전자 전달계를 통해 고에너지 전자가 이동할 때 방출된 에너지이며, 고에너지 전자는 빛에너지를 흡수한 반응 중심 색소에서 방출된 것이다. 따라서 엽록체에서 막을 경계로 H⁺의 농도 기울기를 형성하게 하는 에너지의 원천은 빛에너지이다.

③-1 (가)는 탄소 고정, (나)는 3PG 환원, (다)는 RuBP 재생 단계이므로, CO₂가 고정되는 단계는 (가)이다.

③-2 ㉠은 5탄소 화합물인 RuBP, ㉡은 RuBP가 CO₂와 결합하여 생성된 3PG, ㉢은 3PG가 ATP와 NADPH를 사용하여 생성된 PGAL이다.

③-3 (1) 캘빈 회로는 엽록체의 스트로마에서 진행된다.
 (2) RuBP가 재생되는 단계는 (다)이다.
 (3) 3PG가 PGAL로 될 때 ATP와 NADPH가 소모되므로 1분자당 에너지량은 PGAL이 3PG보다 많다.
 (4) 캘빈 회로에서 ATP와 NADPH의 에너지는 PGAL에 저장된다.
 (5) 3PG와 PGAL은 모두 3탄소 화합물이고, RuBP는 5탄소 화합물이다. 따라서 1분자당 탄소 수는 3PG=PGAL < RuBP이다.
 (6) 포도당은 6탄소 화합물이므로, 포도당 1분자를 합성하기 위해서는 캘빈 회로에서 CO₂ 6분자가 고정되어야 한다.
 (7) 캘빈 회로에서 RuBP는 CO₂와 결합하여 3PG가 되므로 엽록체에 CO₂의 공급을 차단하면 3PG의 농도는 감소하고, RuBP의 농도는 증가한다.

④-1 (가)에서 일어나는 물질대사는 빛에너지를 흡수하여 포도당을 합성하는 광합성, (나)에서 일어나는 물질대사는 유기물을 분해하여 ATP를 합성하는 세포 호흡이다. 따라서 (가)는 엽록체, (나)는 미토콘드리아이며, ㉠은 광합성의 명반응에서 H₂O의 광분해로 방출되는 O₂, ㉡은 세포 호흡의 TCA 회로에서 탈탄산 효소의 작용으로 방출되는 CO₂, ㉢은 광합성의 탄소 고정 반응에서 합성되는 포도당이다.

④-2 ㉠ 회로는 명반응 산물인 ATP와 NADPH를 사용해서 CO₂를 포도당으로 합성하는 캘빈 회로이고, ㉡ 회로는 유기물을 산화하여 ATP, NADH, FADH₂를 생성하는 TCA 회로이다.

④-3 (1) 식물 세포에는 엽록체(가)와 미토콘드리아(나)가 모두 있다.

(2) 광합성에서는 태양의 빛에너지가 포도당에 화학 에너지 형태로 저장되고, 세포 호흡에서는 포도당의 화학 에너지가 ATP의 화학 에너지와 열에너지로 전환된다. 따라서 (가)에서 흡수되는 E₁(빛에너지)의 양이 (나)에서 방출되는 E₂(열에너지)의 양보다 많다.

(3) 엽록체(가)의 틸라코이드 막에 있는 전자 전달계에서 최종 전자 수용체는 NADP⁺이다. 비순환적 전자 흐름에서 고에너지 전자는 전자 전달계를 거쳐 최종적으로 NADP⁺에 전달되어 NADPH가 생성된다.

(4) 엽록체(가)와 미토콘드리아(나)의 전자 전달계에서 전자는 모두 연속적인 산화 환원 반응을 통해 이동하며, 이 과정에서 단계적으로 에너지가 방출된다.

(5) 엽록체(가)에서는 광인산화를 통해 ATP가 합성되고, 미토콘드리아(나)에서는 기질 수준 인산화와 산화적 인산화를 통해 ATP가 합성된다.

(6) 캘빈(㉠) 회로와 TCA(㉡) 회로에서는 모두 반응물이 여러 단계의 화학 반응을 거치며, 생명체 내에서 일어나는 화학 반응은 모두 효소가 관여하는 물질대사이다.

내신 만점 문제

164쪽~167쪽

01 ②	02 ③	03 해설 참조	04 ③	05 ④
06 ④	07 ④	08 ⑤	09 ③	10 해설 참조
11 ④	12 해설 참조	13 ①	14 ⑤	15 ⑤
16 ④	17 ④	18 □		

01 ① 명반응에서는 물의 광분해로 산소가 발생하며, 광인산화가 일어나 ATP가 합성된다.

③ 명반응에서 생성되는 물질은 ATP, NADPH, 산소이다. 이 중 ATP와 NADPH는 탄소 고정 반응에 이용되지만, 산소는 탄소 고정 반응에 이용되지 않는다.

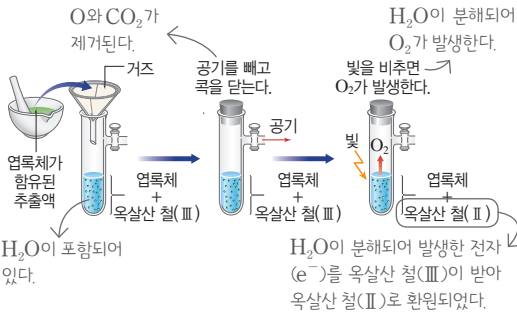
④ 명반응에서는 엽록체의 틸라코이드 막에 있는 광계에서 빛에너지를 흡수하여 고에너지 전자가 방출된다. 이 고에너지 전자가 전자 전달계를 거치면서 방출된 에너지를 이용해 막을 경계로 H^+ 의 농도 기울기가 형성되고, H^+ 의 농도 기울기에 따라 H^+ 이 ATP 합성 효소를 통해 확산될 때 ATP가 합성된다.

⑤ 비순환적 전자 흐름과 순환적 전자 흐름에서 전자가 전달될 때 에너지가 방출되며, 이 에너지를 이용하여 ATP가 합성된다.

▮바로알기▮ ② 명반응에서는 광합성 색소에서 흡수한 빛에너지가 ATP와 NADPH의 화학 에너지로 전환된다.

02 **꼼꼼** 문제 분석

광합성 결과 발생하는 산소(O_2)가 물(H_2O)과 이산화 탄소(CO_2) 중 어느 것에서 유래한 것인지를 확인하는 실험이다.



[결론] 광합성 결과 발생하는 O_2 는 H_2O 에서 유래한 것이고, 옥살산 철(III)은 전자 수용체로서의 역할을 하였다.

ㄱ. 힐의 실험에서 시험관 속의 공기를 빼내어 O_2 와 CO_2 가 없는 상태에서 엽록체가 함유된 추출액에 빛을 비추었더니 O_2 가 발생하였다. 이를 통해 빛을 받은 엽록체에서 H_2O 의 분해로 O_2 가 발생하였음을 알 수 있다.

ㄴ. 힐의 실험에서 옥살산 철(III)은 물의 분해로 생긴 전자(e^-)를 받아 옥살산 철(II)로 환원되었다. 광합성 과정에서 옥살산 철(III)과 같이 전자를 받는 물질은 비순환적 전자 흐름에서 최종 전자 수용체인 $NADP^+$ 이다.

▮바로알기▮ ㄷ. 힐의 실험에서 H_2O 이 분해되었고, 이때 나온 전자가 옥살산 철(III)을 옥살산 철(II)로 환원시켰다.

03 루벤은 클로렐라 배양액에 산소의 동위 원소 ^{18}O 로 표지된 이산화 탄소($C^{18}O_2$)와 물(H_2O)을 공급하거나, 이산화 탄소(CO_2)와 ^{18}O 로 표지된 물($H_2^{18}O$)을 각각 공급하면서 발생하는 산소를 분석하였다. 빛을 받으면 엽록체에서 물의 광분해가 일어나 산소가 발생한다. 따라서 광합성 결과 발생한 산소는 물에서 유래한 것이다.

모범답안 ㉠은 O_2 , ㉡은 $^{18}O_2$ 이다. 광합성에서는 물의 분해로 산소가 발생하기 때문이다.

채점 기준	배점
㉠과 ㉡을 모두 옳게 쓰고, 이와 같이 판단한 까닭을 광합성에서 물의 분해와 연관 지어 옳게 서술한 경우	100 %
㉠과 ㉡만 옳게 쓴 경우	40 %

04 ①, ② 광인산화는 엽록체의 틸라코이드 막에서 빛에너지를 흡수하는 광계의 도움을 받아 전자 전달계와 화학 삼투에 의해 ATP가 합성되는 과정이다.

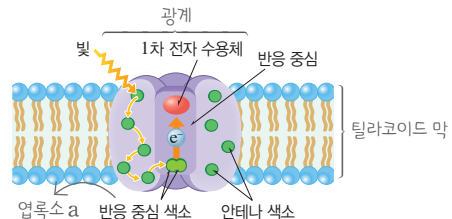
④ 광계에서 방출된 고에너지 전자가 전자 전달계를 따라 이동할 때 방출된 에너지에 의해 막을 경계로 형성된 H^+ 의 농도 기울기를 이용하여 ATP가 합성된다.

⑤ 빛에너지에 의해 광계에서 방출된 고에너지 전자는 전자 전달계의 산화 환원 반응을 통해 이동하며, 이 과정에서 방출된 에너지를 이용하여 ATP가 합성된다.

▮바로알기▮ ③ 전자 전달계에서 전자가 이동하면서 방출된 에너지에 의해 틸라코이드 막을 경계로 H^+ 의 농도 기울기가 형성된다. H^+ 의 농도 기울기에 따라 ATP 합성 효소를 통해 H^+ 이 확산될 때 ATP가 합성된다.

05 **꼼꼼** 문제 분석

- 광계는 틸라코이드 막에 있으며, 빛을 흡수하는 광합성 색소와 1차 전자 수용체 등으로 구성된 단백질 복합체이다.
- 광계는 반응 중심 색소가 주로 흡수하는 빛의 파장에 따라 광계 I과 광계 II로 구분한다.



④ 광계의 반응 중심 색소에서 방출된 전자는 1차 전자 수용체에 전달되므로, 1차 전자 수용체를 환원시킨다.

▮바로알기▮ ① 광계는 엽록체의 틸라코이드 막에 존재한다.

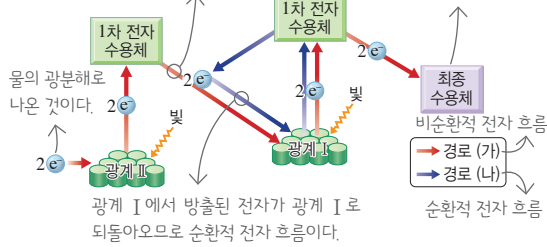
② 안테나 색소는 광계에서 반응 중심 색소를 제외한 나머지 엽록소 a와 엽록소 b, 카로티노이드계 색소로 구성되며, 빛에너지를 흡수하여 반응 중심 색소로 전달하는 역할을 한다. 광합성 색소는 모두 주로 가시광선을 흡수한다.

③ 광계의 반응 중심 색소는 엽록소 a이다.

⑤ 광계 I의 반응 중심 색소는 P_{700} 으로 파장이 700 nm인 빛을 가장 잘 흡수하고, 광계 II의 반응 중심 색소는 P_{680} 으로 파장이 680 nm인 빛을 가장 잘 흡수한다. 따라서 광계 I과 광계 II의 반응 중심 색소는 가장 잘 흡수하는 빛의 파장이 다르다.

06 **꼼꼼** 문제 분석

광계 II에서 방출된 전자가 광계 I을 거쳐 최종 수용체에 전달되고 원래의 광계로 돌아가지 않으므로 비순환적 전자 흐름이다. 비순환적 전자 흐름에서 전자의 최종 수용체는 NADP⁺이다.



- ① 광계 II의 반응 중심 색소는 P₆₈₀으로, 파장이 680 nm인 빛을 가장 잘 흡수한다.
- ② 경로 (가)는 비순환적 전자 흐름이며, 비순환적 전자 흐름에서 전자 전달계를 거친 전자는 최종적으로 NADP⁺에 H⁺과 함께 전달되어 NADPH가 생성된다.
- ③ 경로 (나)는 광계 I에서 방출된 전자가 전자 전달계를 거쳐 광계 I로 되돌아오므로 순환적 전자 흐름이다.
- ⑤ 경로 (가)와 (나)의 전자 전달계에서 모두 에너지가 방출되며, 이 에너지를 이용하여 틸라코이드 막을 경계로 H⁺의 농도 기울기가 형성된다.

▮ **바로알기** ▮ ④ 물의 광분해는 비순환적 전자 흐름(가)에서 일어난다.

07 ④ 광계 ⑦의 반응 중심 색소에서 방출된 전자가 1차 전자 수용체로 전달된 후 전자 전달계를 거쳐 광계 ①의 반응 중심 색소로 되돌아오므로, 순환적 전자 흐름을 나타낸 것이다.

▮ **바로알기** ▮ ①, ② 순환적 전자 흐름에서는 전자가 순환하므로 물의 광분해와 NADP⁺의 환원은 일어나지 않는다.

③ 순환적 전자 흐름에 관여하는 ⑦은 광계 I이며, 광계 I의 반응 중심 색소는 P₇₀₀이다.

⑤ 전자 전달계에서 전자가 전자 운반체의 산화 환원 반응으로 이동할 때 에너지(A)가 단계적으로 방출되며, 이 에너지(A)를 이용하여 일부 전자 운반체가 H⁺을 스트로마에서 틸라코이드 내부로 능동 수송한다.

08 ① 명반응에서는 광계에서 빛에너지를 흡수하여 형성된 H⁺의 농도 기울기를 이용해 ATP가 합성된다(광인산화).

② ⑦은 전자의 최종 수용체인 NADP⁺이다.

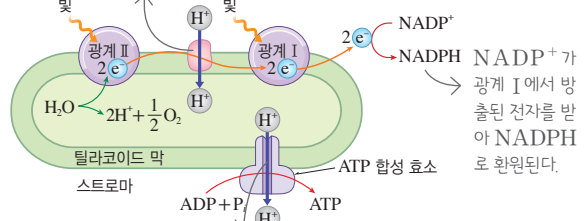
③ ③은 비순환적 전자 흐름의 산물인 NADPH이며, NADPH는 스트로마에서 진행되는 캘빈 회로에서 사용된다.

④ 효소 X를 통해 H⁺이 확산될 때 발생하는 에너지를 이용하여 ATP가 합성되므로, 효소 X는 ATP 합성 효소이다.

▮ **바로알기** ▮ ⑤ (가)는 틸라코이드 내부, (나)는 스트로마이다.

09 **꼼꼼** 문제 분석

전자가 이동하면서 방출된 에너지에 의해 스트로마의 H⁺이 틸라코이드 내부로 능동 수송된다. → 틸라코이드 내부의 H⁺ 농도가 높아진다.



H⁺ 농도가 높은 틸라코이드 내부에서 H⁺ 농도가 낮은 스트로마로 H⁺이 ATP 합성 효소를 통해 확산되면서 ATP가 합성된다.

ㄱ. 광계 II에서 빛에너지를 흡수하면 반응 중심 색소인 P₆₈₀은 전자를 방출하고 산화되며, 산화된 P₆₈₀은 H₂O의 분해로 방출된 전자를 받아 환원된다.

ㄴ. 비순환적 전자 흐름에서는 광계 I에서 방출된 전자가 1차 전자 수용체와 전자 전달계를 거쳐 NADP⁺에 전달되며, NADP⁺는 이 전자와 H⁺을 받아 NADPH로 환원된다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. H⁺이 ATP 합성 효소를 통해 스트로마로 이동하는 것은 틸라코이드 막을 경계로 형성된 H⁺의 농도 기울기에 따라 확산되는 것이므로 에너지가 사용되지 않는다.

10 엽록체에서는 틸라코이드 내부의 H⁺ 농도가 높고, 스트로마의 H⁺ 농도가 낮아 틸라코이드 막을 경계로 H⁺의 농도 기울기가 형성되고, H⁺의 농도 기울기에 따라 H⁺이 ATP 합성 효소를 통해 확산될 때 ATP가 합성된다. 제시된 실험에서 틸라코이드 내부의 pH가 ④이고 수용액의 pH가 ⑥일 때 ATP가 합성되었으므로 ④가 ⑥보다 작다.

▮ **모범답안** ▮ ④가 ⑥보다 작다. 엽록체에서는 H⁺ 농도가 높은(pH가 낮은) 틸라코이드 내부에서 H⁺ 농도가 낮은(pH가 높은) 스트로마로 H⁺이 ATP 합성 효소를 통해 확산될 때 ATP가 합성되기 때문이다.

채점 기준	배점
④와 ⑥의 크기를 옳게 비교하고, 그 까닭을 ATP 합성 과정과 연관 지어 옳게 서술한 경우	100%
④와 ⑥의 크기만 옳게 비교한 경우	30%

11 ① 탄소 고정 반응은 광합성 과정에서 이산화 탄소가 고정되어 포도당이 합성되는 반응으로, 엽록체의 스트로마에서 일어난다.

②, ⑤ 탄소 고정 반응에서 캘빈 회로는 탄소 고정(CO₂ 고정), 3PG 환원, RuBP 재생의 세 단계로 구분할 수 있다. CO₂ 고정에는 루비스코라는 효소가 관여한다.

③ 캘빈 회로에서는 3PG 환원 단계에서 ATP와 NADPH가 사용되고, RuBP 재생 단계에서 ATP가 사용된다.

▣ **바로알기** ④ 캘빈 회로에서 생성된 PGAL의 일부가 포도당 합성에 이용된다.

12 캘빈 회로에서 명반응 산물인 ATP는 직접적인 에너지원으로 사용되고, NADPH는 3PG를 환원하는 데 사용된다. 따라서 빛이 차단되어 클로렐라에서 명반응이 일어나지 않으면 ATP와 NADPH가 생성되지 않으므로 캘빈 회로에서 3PG 환원, RuBP 재생 단계가 일어나지 않아 RuBP의 농도는 감소하고, 3PG의 농도는 증가하게 된다. 따라서 빛을 차단했을 때 농도가 감소하는 ㉠은 RuBP이다.

▣ **모범답안** ㉠은 RuBP이다. 빛을 차단하면 명반응이 일어나지 않아 ATP와 NADPH가 캘빈 회로에 공급되지 않으므로 3PG 환원, RuBP 재생 단계가 진행되지 않기 때문이다.

채점 기준	배점
㉠을 옳게 쓰고, 그 까닭을 캘빈 회로와 연관 지어 옳게 서술한 경우	100%
㉠만 옳게 쓴 경우	30%

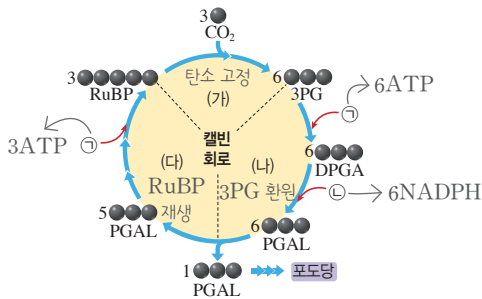
13 ㉠은 CO₂가 고정되어 최초로 생성되는 물질인 3PG이고, 두 번째로 검출되는 ㉡은 PGAL이며, ㉢은 RuBP이다.

ㄱ. 3PG(㉠)와 PGAL(㉡)은 모두 3탄소 화합물이므로 1분자당 탄소 수가 같다.

▣ **바로알기** ㄴ. 3PG(㉠)는 명반응 산물인 ATP로부터 인산기를 받고 NADPH에 의해 환원되어 PGAL(㉡)이 된다.

ㄷ. 물질이 시료 원점에서 멀리 이동할수록 전개율이 크다. 따라서 5분 후 결과에서 1차 전개율은 RuBP(㉢)가 6탄당 인산보다 작다.

14 **꼼꼼** 문제 분석



(가) 탄소 고정(CO₂ 고정): CO₂ 3분자가 RuBP 3분자와 결합하여 3PG 6분자로 된다.

(나) 3PG 환원: 3PG 6분자는 6ATP로부터 인산기를 받아 DPGA 6분자로 되었다가, 6NADPH로부터 수소(H)를 받아 PGAL 6분자로 환원된다.

(다) RuBP 재생: PGAL 6분자 중 1분자는 회로를 빠져나와 포도당을 합성하는 데 이용되고, 5분자는 3ATP를 사용하여 RuBP 3분자로 전환된다.

① ㉠은 ATP, ㉡은 NADPH이며, ATP와 NADPH는 모두 명반응에서 생성된 물질이다.

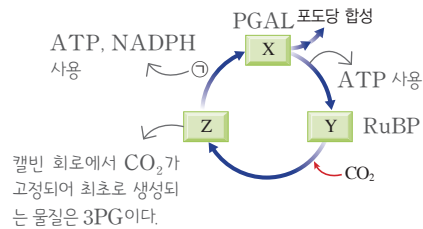
② 3PG가 PGAL로 되는 과정에서 ATP와 NADPH가 사용되므로 1분자당 에너지량은 3PG보다 PGAL이 많다.

③ 캘빈 회로의 각 단계는 모두 효소의 작용에 의해 조절된다.

④ (가)에서 탄소가 고정되며, 이때 생성되는 물질은 3PG이다.

▣ **바로알기** ⑤ 포도당 1분자를 합성하려면 캘빈 회로를 빠져나온 PGAL 2분자가 필요하므로 이 과정에서 사용되는 ATP(㉠)의 분자 수는 18, NADPH(㉡)의 분자 수는 12이다. 따라서 포도당 1분자를 합성하는 데 사용되는 ㉠과 ㉡의 분자 수 비는 18 : 12 = 3 : 2이다.

15 **꼼꼼** 문제 분석



ㄴ. 캘빈 회로에서 CO₂는 RuBP와 결합하여 3PG가 된다. 따라서 X는 PGAL, Y는 RuBP, Z는 3PG이다.

ㄷ. 과정 ㉠에서는 3PG가 PGAL로 환원되는데, 이때 명반응 산물인 ATP와 NADPH가 사용된다.

▣ **바로알기** ㄱ. X는 3탄소 화합물인 PGAL이고, Y는 5탄소 화합물인 RuBP이다. 따라서 1분자당 탄소 수는 Y(RuBP)가 X(PGAL)보다 많다.

16 ① 탄소 고정 반응에서 생성된 ADP는 명반응의 광인산화에서 무기 인산(P_i)과 결합하여 ATP가 된다.

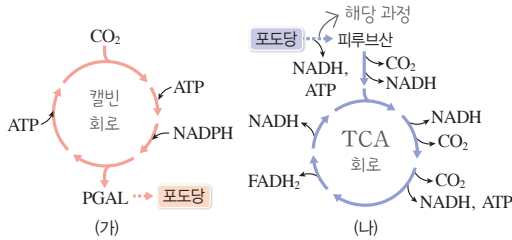
② H₂O의 광분해가 일어나는 비순환적 전자 흐름에서는 H₂O 1분자가 분해될 때 NADPH 1분자가 생성되며, 탄소 고정 반응에서 포도당 1분자가 합성되려면 NADPH 12분자가 필요하다. 따라서 탄소 고정 반응에서 포도당 1분자가 합성되려면 명반응에서는 H₂O 12분자가 필요하다.

③ 탄소 고정 반응에서 CO₂가 포도당으로 환원되려면 명반응 산물인 ATP와 NADPH가 공급되어야 한다.

⑤ 비순환적 전자 흐름에서 전자의 최종 수용체는 NADP⁺이다. 따라서 탄소 고정 반응에서 NADP⁺가 계속 생성되어야 비순환적 전자 흐름이 지속적으로 일어날 수 있다.

▣ **바로알기** ④ 탄소 고정 반응에서 포도당 1분자가 합성되려면 ATP 18분자와 NADPH 12분자가 필요하다. 따라서 포도당 1분자가 합성될 때 탄소 고정 반응에 공급되는 ATP의 분자 수는 NADPH의 분자 수보다 많다.

17 **꼼꼼** 문제 분석



CO₂를 고정하여 포도당을 합성하는 탄소 고정 반응으로, 엽록체의 스트로마에서 일어난다. 포도당이 피루브산으로 분해된 후 산화되고 TCA 회로를 거쳐 CO₂로 분해되는 과정으로, 세포질과 미토콘드리아 기질에서 일어난다.

ㄱ. (가)는 CO₂가 고정되어 포도당이 합성되는 과정이므로 광합성의 탄소 고정 반응이다. (나)는 포도당이 피루브산을 거쳐 CO₂로 분해되는 과정이므로 세포 호흡의 해당 과정, 피루브산의 산화 및 TCA 회로이다.

ㄴ. (가)의 탄소 고정 반응은 엽록체의 스트로마에서 일어난다. (나)의 해당 과정은 세포질에서, 피루브산의 산화 및 TCA 회로는 미토콘드리아 기질에서 일어난다.

▣ **바로알기** ㄷ. CO₂가 방출되는 탈탄산 반응은 (나)에서, CO₂가 환원되는 반응은 (가)에서 일어난다.

18 (가)는 엽록체의 틸라코이드 막에서, (나)는 미토콘드리아 내막에서 전자 전달계와 화학 삼투에 의해 ATP가 합성되는 과정이다.

ㄷ. (가)와 (나)에서 모두 막을 경계로 형성된 H⁺의 농도 기울기에 따라 H⁺이 ATP 합성 효소를 통해 확산될 때 ATP가 합성된다.

▣ **바로알기** ㄱ. (가)에서는 NADP⁺, (나)에서는 O₂가 최종 전자 수용체이다.

ㄴ. (가)는 엽록체의 틸라코이드 막, (나)는 미토콘드리아 내막에서 일어난다.

중단원 핵심 정리

168쪽~169쪽

- ① 화학 에너지 ② 스트로마 ③ 청자색 ④ 이산화 탄소 (CO₂)
- ⑤ 명반응 ⑥ NADPH ⑦ 전자(e⁻) ⑧ P₇₀₀
- ⑨ 광계 I ⑩ NADP⁺ ⑪ P₇₀₀ ⑫ 생성되지 않음
- ⑬ 화학 삼투 ⑭ 스트로마 ⑮ ATP 합성 효소 ⑯ 스트로마
- ⑰ 3PG 환원 ⑱ 18 ⑲ ADP ⑳ NADP⁺
- ㉑ 광인산화 ㉒ 산화적 인산화

중단원 마무리 문제

170쪽~173쪽

01 ④	02 ③	03 ③	04 ②	05 ⑤	06 ①
07 ④	08 ②	09 ③	10 ①	11 ③	12 ⑤
13 ④	14 ①	15 해설 참조	16 해설 참조	17 해설 참조	

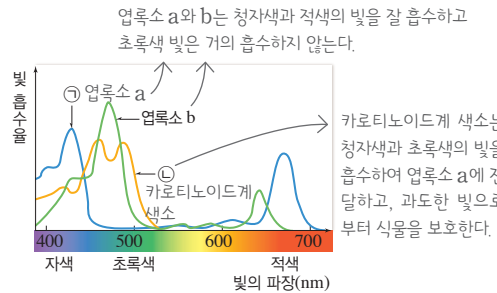
01 ㄱ. A는 틸라코이드 막, B는 틸라코이드 내부, C는 스트로마이다.

ㄷ. 이산화 탄소를 포도당으로 환원시키는 반응은 탄소 고정 반응이다. 스트로마(C)에는 탄소 고정 반응에 관여하는 효소들이 있어 탄소 고정 반응이 일어난다.

▣ **바로알기** ㄴ. B는 틸라코이드 내부이다. 광합성 색소는 틸라코이드 막(A)에서 단백질과 결합하여 복합체를 이루고 있는데, 이를 광계라고 한다.

02 **꼼꼼** 문제 분석

흡수 스펙트럼: 빛의 파장에 따른 광합성 색소의 빛 흡수율을 그래프로 나타낸 것



① 흡수 스펙트럼에서 엽록소 a는 엽록소 b와 유사한 그래프 형태를 나타내므로 ㉠은 엽록소 a, ㉡은 카로티노이드계 색소이다.

② 엽록소 a(㉠)뿐만 아니라 모든 광합성 색소는 엽록체의 틸라코이드 막에 있다.

④ ㉡은 카로티노이드계 색소로, 빛에너지를 흡수하여 반응 중심 색소인 엽록소 a에 전달하는 역할을 한다.

⑤ 식물의 잎이 주로 초록색을 띠는 까닭은 광합성 색소 중 엽록소가 초록색 빛을 거의 흡수하지 않고 대부분 반사하거나 통과시키기 때문이다.

▣ **바로알기** ③ 카로티노이드계 색소(㉡)가 흡수하는 빛에너지도 광계의 반응 중심 색소에 전달되어 광합성에 이용된다.

03 ㄱ. (가) 과정에서 NADPH와 ATP가 생성되므로 (가)는 명반응이고, (나) 과정에서 포도당이 합성되므로 (나)는 탄소 고정 반응이다. 탄소 고정 반응(나)에서는 CO₂(㉠)가 환원되어 포도당이 합성된다.

나. 명반응(가)에서는 엽록체의 광계에서 흡수한 빛에너지의 일부가 ATP에 화학 에너지 형태로 저장되고, 일부는 NADPH에 저장된다.

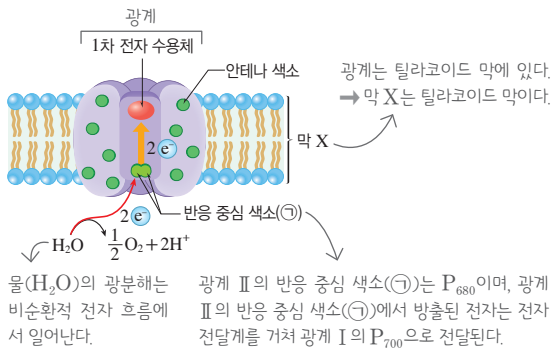
▣ **바로알기** ▣ 나. 명반응(가)은 엽록체의 그라나에서, 탄소 고정 반응(나)은 스트로마에서 일어난다.

04 나. 시험관 안의 공기를 빼내어 CO₂가 없는데도 O₂가 발생하고, 옥살산 철(Ⅲ)이 옥살산 철(Ⅱ)로 되었다. 이를 통해 H₂O의 분해로 방출된 전자를 옥살산 철(Ⅲ)이 받아 옥살산 철(Ⅱ)로 환원되었음을 알 수 있다.

▣ **바로알기** ▣ 가. H₂O이 분해되면서 발생한 O₂는 공기 중으로 방출되며, H₂O의 분해로 방출된 전자에 의해 옥살산 철(Ⅲ)이 옥살산 철(Ⅱ)로 환원된다.

나. 옥살산 철(Ⅲ)이 H₂O의 분해로 방출된 전자를 받으므로, 광합성 과정에서의 전자 수용체인 NADP⁺에 해당하는 것은 옥살산 철(Ⅲ)이다.

05 **꼼꼼** 문제 분석

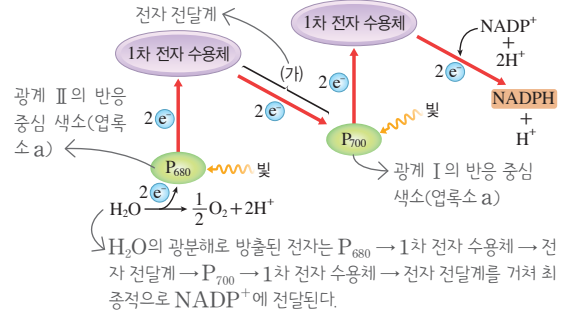


물(H₂O)의 광분해는 광계 II의 반응 중심 색소(㉠)인 P₆₈₀이며, 광계 II의 반응 중심 색소(㉠)에서 방출된 전자는 전자 전달계를 거쳐 광계 I의 P₇₀₀으로 전달된다.

- 광합성에서 중심적인 역할을 하는 색소인 반응 중심 색소(㉠)는 엽록소 a이다.
- 물(H₂O)의 광분해로 방출된 전자는 전자를 잃고 산화된 광계 II의 반응 중심 색소를 환원시키므로, 이 광계는 광계 II이다.
- 광계는 틸라코이드 막에 있으므로 막 X는 틸라코이드 막이다. 틸라코이드 막에는 광계뿐만 아니라 전자 전달계와 ATP 합성 효소도 있다.
- 광계 II의 반응 중심 색소는 파장이 680 nm인 빛을 가장 잘 흡수하는 엽록소 a인 P₆₈₀이다. 광계 II에서 흡수한 빛에너지가 P₆₈₀에 도달하면 P₆₈₀에서 고에너지 전자가 방출되며, 이 전자는 전자 전달계를 거쳐 전자를 잃은 광계 I의 P₇₀₀으로 전달된다. 따라서 광계 II의 반응 중심 색소(㉠)에서 방출된 전자는 P₇₀₀을 환원시킨다.

▣ **바로알기** ▣ ⑤ 이 광계는 광계 II이며, 광계 II는 비순환적 전자 흐름에만 관여한다.

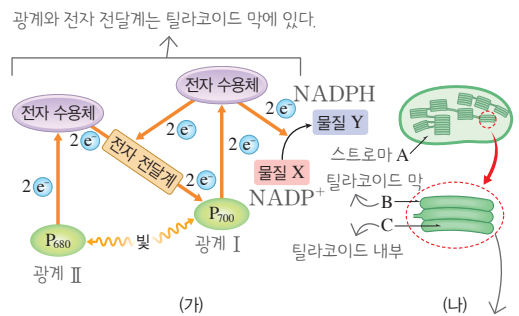
06 **꼼꼼** 문제 분석



- H₂O에서 방출된 전자는 광계 II(P₆₈₀) → 1차 전자 수용체 → 전자 전달계 → 광계 I(P₇₀₀) → 1차 전자 수용체 → 전자 전달계를 거쳐 최종적으로 NADP⁺에 전달되어 NADPH가 생성된다. 따라서 H₂O에서 방출된 전자의 최종 수용체는 NADP⁺이다.
- P₇₀₀과 1차 전자 수용체는 광계를 구성하며, 광계는 틸라코이드 막에 있다.
- 명반응에서 생성된 NADPH는 탄소 고정 반응에서 3PG가 PGAL로 환원되는 과정에 사용된다.
- (가)는 전자 전달계이며, 전자 전달계에서 전자가 이동할 때 방출된 에너지를 이용하여 틸라코이드 막을 경계로 H⁺의 농도 기울기가 형성된다. H⁺의 농도 기울기에 따라 H⁺이 ATP 합성 효소를 통해 확산될 때 ATP가 합성된다.

▣ **바로알기** ▣ ① P₆₈₀과 P₇₀₀은 모두 광계의 반응 중심 색소이며, 반응 중심 색소는 엽록소 a이다.

07 **꼼꼼** 문제 분석



틸라코이드 내부가 스트로마보다 H⁺ 농도가 높을 때(pH가 낮을 때) 틸라코이드 내부의 H⁺이 ATP 합성 효소를 통해 스트로마로 확산되면서 ATP가 합성된다.

- (가)의 물질 X는 전자의 최종 수용체인 NADP⁺이며, NADP⁺는 스트로마(A)에서 진행되는 캘빈 회로에서 3PG가 PGAL로 환원될 때 생성된다.
- P₇₀₀은 파장이 700 nm인 빛을 가장 잘 흡수하는 엽록소 a로, 광계 I의 반응 중심 색소이다.
- (가)의 전자 전달계는 (나)의 틸라코이드 막(B)에 있다.

⑤ 빛에너지를 흡수하여 고에너지 전자를 방출한 P_{680} 은 산화된 상태이며, 물의 분해로 방출된 전자를 받아 환원된다.

바로알기 ④ 엽록체(나)에서는 틸라코이드 내부(C)의 H^+ 농도가 스트로마(A)의 H^+ 농도보다 높을 때, 즉 틸라코이드 내부(C)의 pH가 스트로마(A)의 pH보다 낮을 때 틸라코이드 내부(C)의 H^+ 이 스트로마(A)로 확산되면서 ATP가 합성된다.

08 (가)는 비순환적 전자 흐름의 일부이며, 전자는 광계 II → 전자 전달계 → 광계 I 순으로 전달된다. 따라서 ㉠은 광계 I, ㉡은 광계 II이다.

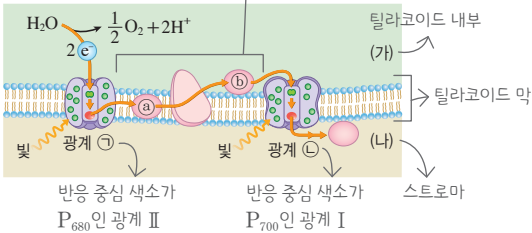
ㄴ. 광계 I(㉠)과 광계 II(㉡)의 반응 중심 색소는 모두 엽록소 a 이므로, 전개율이 같다.

바로알기 ㄱ. 광계 I(㉠)은 순환적 전자 흐름과 비순환적 전자 흐름에 모두 관여한다.

ㄷ. (가)에서 A는 전자의 최종 수용체인 $NADP^+$ 가 전자와 H^+ 을 받아 생성된 NADPH이다. RuBP가 CO_2 와 결합하여 3PG로 되는 단계에서는 NADPH(A)가 사용되지 않는다.

09 **꼼꼼** 문제 분석

광계 II의 반응 중심 색소에서 방출된 고에너지 전자는 전자 전달계를 거치면서 에너지를 방출한다. → 전자는 ㉡에 있을 때보다 ㉠에 있을 때 에너지양이 더 많다.



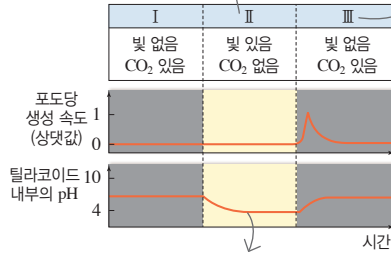
ㄱ. 광계 ㉠은 광계 II이며, 광계 II에서 빛에너지를 흡수하면 반응 중심 색소인 P_{680} 에서 고에너지 전자가 방출된다. 고에너지 전자는 전자 전달계를 거치면서 에너지를 방출하므로 광계 ㉠(II)의 반응 중심 색소에서 방출된 전자는 ㉡에 있을 때보다 ㉠에 있을 때 에너지양이 더 많다.

ㄷ. H_2O 의 광분해는 틸라코이드에서 일어나므로 (가)는 틸라코이드 내부이고, (나)는 스트로마이다. H_2O 의 분해로 방출된 전자가 광계 ㉠(II)을 거쳐 광계 ㉡(I)으로 전달되는 동안 에너지가 방출되며, 이 에너지는 스트로마(나)에서 틸라코이드 내부(가)로 H^+ 을 능동 수송하는 데 이용된다.

바로알기 ㄴ. 광계 ㉡(II)의 반응 중심 색소는 P_{680} 으로 파장이 680 nm인 빛을 가장 잘 흡수하고, 광계 ㉠(I)의 반응 중심 색소는 P_{700} 으로 파장이 700 nm인 빛을 가장 잘 흡수한다. 따라서 광계 ㉡(II)의 반응 중심 색소는 광계 ㉠(I)의 반응 중심 색소보다 더 짧은 파장의 빛을 잘 흡수한다.

10 **꼼꼼** 문제 분석

명반응이 일어난다 (ATP, NADPH 생성). 구간 II에서 만들어진 명반응 산물을 이용하여 탄소 고정 반응이 일시적으로 일어난다.



빛이 있는 조건(II)에서 틸라코이드 내부의 pH가 낮아진 것은 명반응이 일어나 스트로마에서 틸라코이드 내부로 H^+ 이 운반되어 틸라코이드 내부의 H^+ 농도가 높아졌기 때문이다.

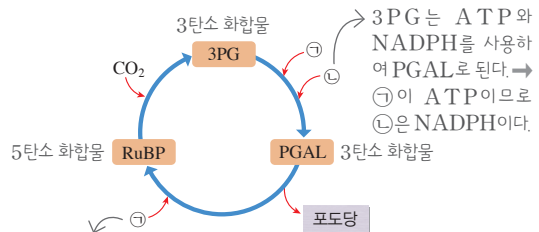
- 구간 I: 빛이 없으므로 명반응 산물이 생성되지 않아 탄소 고정 반응도 일어나지 않는다.
- 구간 II: 빛이 있으므로 명반응이 일어나 ATP와 NADPH가 생성되지만, CO_2 가 없으므로 탄소 고정 반응이 일어나지 않는다.
- 구간 III: 빛이 없고 CO_2 가 있는 조건이므로 명반응은 일어나지 않고, 구간 II에서 만들어진 ATP와 NADPH를 이용하여 탄소 고정 반응이 일어나 포도당이 합성된다. 그러나 구간 II에서 만들어진 ATP와 NADPH를 모두 사용하면 탄소 고정 반응도 더 이상 일어나지 않는다.

ㄴ. 구간 II는 빛이 있는 조건으로, 엽록체의 광계에서 빛에너지를 흡수하여 전자 전달계를 통한 전자 흐름이 일어나며, 이때 방출된 에너지를 이용하여 틸라코이드 막을 경계로 H^+ 의 농도 기울기가 형성된다.

바로알기 ㄱ. 구간 I은 빛이 없는 조건이므로 명반응 산물이 생성되지 않는다. 따라서 CO_2 가 있는 조건이어도 탄소 고정 반응이 일어나지 않는다.

ㄷ. 구간 III은 빛이 없는 조건이므로 명반응이 일어나지 않아 ATP가 합성되지 않는다.

11 **꼼꼼** 문제 분석



PGAL은 ATP를 사용하여 RuBP로 전환된다. → ㉠은 ATP이다.

③ 3PG가 PGAL로 되는 과정과 PGAL이 RuBP로 되는 과정에 필요한 ㉠은 ATP이므로 ㉡은 NADPH이다. 3PG는 ATP와 NADPH로부터 에너지와 전자를 받아 PGAL로 환원된다.

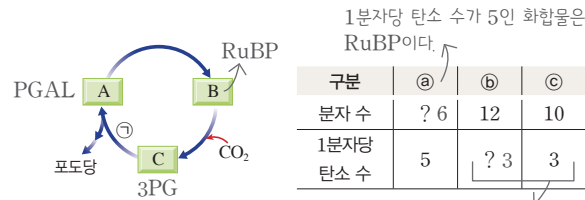
▣ **바로알기** ① ㉗은 ATP, ㉘은 NADPH이다.

② RuBP는 5탄소 화합물, PGAL과 3PG는 모두 3탄소 화합물이다. 따라서 1분자당 탄소 수는 RuBP > PGAL = 3PG이다.

④ 포도당 1분자를 합성하는 데는 ATP 18분자, NADPH 12분자가 필요하다. 따라서 포도당 1분자를 합성하는 데 필요한 분자 수는 NADPH(㉘)보다 ATP(㉗)가 많다.

⑤ CO₂ 공급이 중단되면 탄소 고정 반응이 일어나지 않으므로 RuBP의 농도가 증가한다.

12 **꼼꼼** 문제 분석



CO₂는 RuBP와 결합하여 3PG로 되고, 3PG는 PGAL로 환원된다. → A는 PGAL, B는 RuBP, C는 3PG이다. CO₂ 6분자가 고정되면 3PG 12분자가 생성된다. → ㉘는 3PG, ㉙는 PGAL이다.

- ㉗. A와 ㉙는 PGAL이다.
- ㉘. ㉗은 3PG(C)가 PGAL(A)로 환원되는 과정으로, 명반응 산물인 NADPH가 산화되어 NADP⁺가 생성된다.
- ㉙. 탄소 고정 반응에서 CO₂가 고정되어 최초로 생성되는 물질은 3PG(㉘, C)이다.

13 C가 A로 되는 과정에서 명반응 산물 중 ATP(㉗)만 사용되므로, C가 A로 되는 과정은 RuBP 재생 단계이다. 따라서 A는 RuBP, B는 3PG, C는 PGAL이다.

① ㉗은 NADPH, ㉘은 ATP이다. 과정 ㉗은 3PG 환원 단계이며, 3PG 6분자를 PGAL 6분자로 환원시키는 데 NADPH 6분자, ATP 6분자가 사용된다. 따라서 이 과정에서 사용되는 NADPH(㉗)와 ATP(㉘)의 분자 수는 같다.

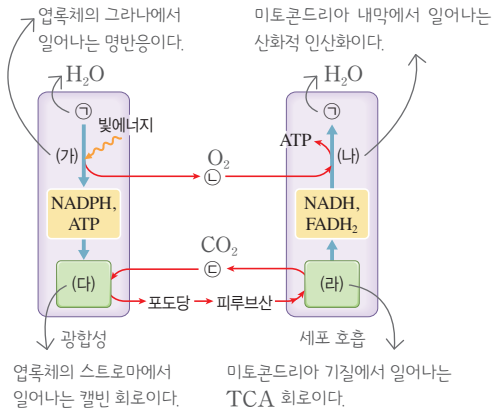
② ㉘은 RuBP(A)가 CO₂와 결합하여 3PG(B)로 되는 과정이므로, 과정 ㉘에서 CO₂가 고정된다.

③ RuBP(A)는 인산기를 2개 가지고, PGAL(C)은 인산기를 1개 가진다. 따라서 1분자당 인산기 수는 RuBP(A)가 PGAL(C)보다 많다.

⑤ 명반응의 비순환적 전자 흐름과 화학 삼투에 의한 ATP 합성이 지속적으로 일어나려면 탄소 고정 반응으로부터 ADP와 NADP⁺가 계속 공급되어야 한다.

▣ **바로알기** ④ 캘빈 회로에서 빠져나와 포도당 합성에 이용되는 물질은 PGAL(C)이다.

14 **꼼꼼** 문제 분석



② (나)는 미토콘드리아 내막에서 ATP를 합성하는 과정인 산화적 인산화이다.

③ 캘빈 회로(다)와 TCA 회로(라)는 모두 각 단계가 효소에 의해 조절되는 일련의 화학 반응이다.

④ 광합성의 명반응(가)에서는 빛에너지에 의해 광계의 반응 중심 색소에서 고에너지 전자가 방출되며, H₂O이 분해되어 전자가 공급되고 O₂가 발생한다. 세포 호흡의 산화적 인산화(나)에서 NADH와 FADH₂로부터 방출된 전자는 전자 전달계를 따라 이동하며, 최종적으로 O₂에 전달되어 H₂O이 생성된다. 따라서 ㉗은 H₂O이고, ㉘은 O₂이다.

⑤ 세포 호흡에서는 포도당이 해당 과정을 거쳐 피루브산으로 분해된 후 아세틸 CoA로 산화되어 TCA 회로(라)로 들어가 CO₂로 분해된다. 또 광합성의 탄소 고정 반응에서는 CO₂가 포도당으로 환원된다. 따라서 ㉙은 CO₂이다.

▣ **바로알기** ① 명반응(가)은 엽록체의 그라나에서 일어나며, 캘빈 회로(다)가 스트로마에서 일어난다.

15 비순환적 전자 흐름에서는 광계의 반응 중심 색소에서 방출된 전자가 원래의 반응 중심 색소로 돌아가지 않으며, 물(H₂O)의 광분해가 일어난다. 그러나 순환적 전자 흐름에서는 광계의 반응 중심 색소에서 방출된 전자가 원래의 반응 중심 색소로 되돌아오며 물(H₂O)의 광분해가 일어나지 않는다.

모범답안 • 공통점: 광계 I이 관여하며, 에너지를 방출하여 ATP가 합성되도록 한다.

• 차이점: 비순환적 전자 흐름에서는 물(H₂O)이 광분해되어 산소(O₂)가 발생하고 NADPH가 생성되지만, 순환적 전자 흐름에서는 물(H₂O)의 광분해가 일어나지 않아 산소(O₂)가 발생하지 않으며 NADPH도 생성되지 않는다.

채점 기준	배점
순환적 전자 흐름과 비순환적 전자 흐름의 공통점과 차이점을 한 가지씩 짧게 서술한 경우	100%
순환적 전자 흐름과 비순환적 전자 흐름의 공통점과 차이점 중 한 가지만 짧게 서술한 경우	50%

16 엽록체에서는 전자 전달계에서의 전자 흐름에 의해 틸라코이드 내부의 H^+ 농도가 스트로마의 H^+ 농도보다 높아져 틸라코이드 막을 경계로 H^+ 의 농도 기울기가 형성된다. H^+ 의 농도 기울기에 따라 틸라코이드 내부의 H^+ 이 ATP 합성 효소를 통해 스트로마로 확산되며, 이때 발생하는 에너지를 이용하여 ATP 합성 효소가 ATP를 합성한다.

모범답안 A에서만 ATP가 합성된다. ATP가 합성되려면 외부 용액(스트로마)의 H^+ 농도보다 틸라코이드 내부의 H^+ 농도가 높아야 하기 때문이다.

채점 기준	배점
A에서만 ATP가 합성되며, 그 까닭을 틸라코이드 내부와 외부 용액(스트로마)의 H^+ 농도 차이와 연관 지어 옮겨 서술한 경우	100%
A에서만 ATP가 합성된다고 쓴 경우	30%

17 캘빈 회로에서 생성되는 물질 중 3PG와 PGAL은 모두 3탄소 화합물이고, RuBP는 5탄소 화합물이다. 캘빈 회로에 CO_2 가 투입되면 $3PG \rightarrow PGAL \rightarrow RuBP$ 순으로 물질이 생성된다.

모범답안 캘빈 회로 반응의 방향은 ㉑이다. 3PG와 PGAL의 1분자당 탄소 수는 3이고, RuBP의 1분자당 탄소 수는 5이므로, B는 RuBP이다. 3PG가 PGAL로 되는 과정과 PGAL이 RuBP로 되는 과정에서 ATP가 소모된다. 따라서 A는 PGAL, C는 3PG이므로, ㉑가 캘빈 회로 반응의 방향이다.

채점 기준	배점
캘빈 회로 반응의 방향을 옮겨 쓰고, 이와 같이 판단한 까닭을 1분자당 탄소 수 및 ATP가 소모되는 단계와 연관 지어 옮겨 서술한 경우	100%
캘빈 회로 반응의 방향만 옮겨 쓴 경우	30%

수능 실전 문제

174쪽~177쪽

- 01 ③ 02 ① 03 ② 04 ① 05 ③ 06 ③
 07 ③ 08 ② 09 ④ 10 ⑤ 11 ⑤ 12 ③
 13 ② 14 ⑤ 15 ② 16 ④

01

선택지 분석

- ㉑ 전자 전달이 일어난다.
- ✗ 산화적 인산화가 일어난다. - 미토콘드리아 내막(A)에서만 일어난다.
- ㉒ ATP 합성 효소가 존재한다.

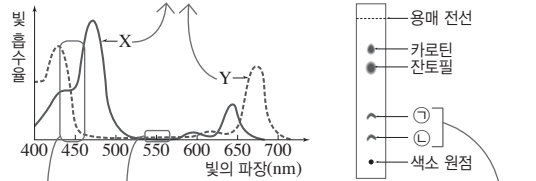
A는 미토콘드리아 내막, B는 엽록체의 틸라코이드 막이다.

㉑, ㉒. 미토콘드리아 내막(A)과 엽록체의 틸라코이드 막(B)에는 모두 전자 전달계와 ATP 합성 효소가 존재하여 전자 전달 과정에서 방출되는 에너지를 이용한 ATP 합성이 일어난다.

바로알기 ㉑. 산화적 인산화는 미토콘드리아 내막(A)에서 일어난다, 엽록체의 틸라코이드 막(B)에서는 광인산화가 일어난다.

02 **꼼꼼** 문제 분석

파장이 680 nm~700 nm인 빛을 잘 흡수하는 Y는 엽록소 a이고, X는 엽록소 b이다.



X와 Y는 모두 파장이 550 nm인 빛보다 450 nm인 빛을 잘 흡수한다.

㉑과 ㉒ 중 전개율이 큰 ㉑은 엽록소 a이고, 전개율이 작은 ㉒은 엽록소 b이다.

선택지 분석

- ㉑ ㉑은 틸라코이드 막에 있다.
- ✗ 광계 I의 반응 중심 색소는 X이다. Y
- ✗ ㉒은 파장이 550 nm인 빛을 450 nm인 빛보다 잘 흡수한다.

Y와 ㉑은 엽록소 a이고, X와 ㉒은 엽록소 b이다.

㉑. 광합성 색소인 엽록소 a(㉑)와 엽록소 b(㉒)는 모두 엽록체의 틸라코이드 막에 있다.

바로알기 ㉑. 광계 I과 광계 II의 반응 중심 색소는 모두 엽록소 a(Y)이다.

㉒. 엽록소 a(㉑)와 엽록소 b(㉒)는 모두 파장이 450 nm인 빛을 550 nm인 빛보다 잘 흡수한다.

03 **꼼꼼** 문제 분석

구간 I과 II에서는 광합성이 일어나지 않았고, 구간 III에서는 일시적으로 광합성이 일어나 포도당이 합성되었다. → 구간 III에서 CO_2 와 빛이 모두 있으면 광합성이 지속적으로 일어나야 하는데, 일시적으로 일어났으므로 구간 III에서는 명반응이 일어나지 않았다. → A는 빛, B는 CO_2 이고, ㉑은 '×'이다.

조건	구간		
	I	II	III
빛 A	×	? ○	㉑ ×
CO_2 B	○	㉒ ×	○

(○: 있음, ×: 없음)

구간 III에서 광합성이 일시적으로 일어났으므로 구간 II에서는 빛이 있어 명반응이 일어나 ATP와 NADPH가 생성되었고, CO_2 가 없어 포도당이 합성되지 않았다. → ㉒은 '×'이다.

선택지 분석

- A는 CO₂이다. 빛
- ㉠과 ㉡은 모두 '×'이다.
- 스트로마에서 ATP의 농도는 t₁일 때가 t₂일 때보다 낮다. 높다.

ㄴ. A는 빛, B는 CO₂이다. 구간 II에는 빛이 있고 CO₂가 없으며, 구간 III에는 빛이 없고 CO₂가 있다. 따라서 ㉠과 ㉡은 모두 '×'이다.

바로알기 ㉠. A는 빛이다.

ㄷ. t₁일 때는 스트로마에 명반응 산물인 ATP가 있지만, t₂일 때는 탄소 고정 반응에서 ATP가 모두 소모되었다. 따라서 스트로마에서 ATP의 농도는 t₁일 때가 t₂일 때보다 높다.

04

선택지 분석

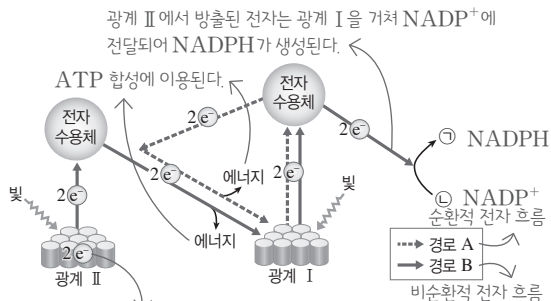
- (가)는 비순환적 전자 흐름 과정에서 일어난다.
- (나)는 ㉡에서 일어난다. 틸라코이드
- ㉠의 pH가 ㉡의 pH보다 높을 때 (다)가 일어난다. 낮을

㉠. (가)는 NADP⁺가 물의 광분해로 방출된 H⁺과 전자를 최종적으로 받아 NADPH로 환원되는 반응으로, 비순환적 전자 흐름 과정에서 일어난다.

바로알기 ㄴ. ㉠은 틸라코이드 내부이고, ㉡은 스트로마이다. (나)는 물의 광분해로, 틸라코이드에서 일어난다.

ㄷ. 틸라코이드 막을 경계로 형성된 H⁺의 농도 기울기에 따라 H⁺ 농도가 높은 틸라코이드 내부(㉠)에서 H⁺ 농도가 낮은 스트로마(㉡)로 H⁺이 확산될 때 ATP가 합성된다. 즉, 틸라코이드 내부(㉠)의 pH가 스트로마(㉡)의 pH보다 낮을 때 ATP 합성(다)이 일어난다.

05 **꼼꼼** 문제 분석



광계 II에서 빛에너지를 흡수하여 고에너지 전자를 방출하고 산화된 반응 중심 색소는 물이 광분해되면서 나온 전자를 받아 환원된다.

선택지 분석

- ㉠. 캘빈 회로에서 3PG가 PGAL로 환원될 때 ㉠이 사용된다.
- 경로 A가 진행되려면 물의 광분해가 일어나야 한다. B
- ㉡. 경로 A와 B에서 방출되는 에너지는 공통적으로 ATP를 합성하는 데 이용된다.

㉠. 경로 A는 순환적 전자 흐름, 경로 B는 비순환적 전자 흐름이다. 비순환적 전자 흐름에서 전자의 최종 수용체는 NADP⁺이며, NADP⁺는 H⁺과 광계 I에서 방출된 전자를 받아 NADPH가 된다. 따라서 ㉠은 NADPH, ㉡은 NADP⁺이다. 캘빈 회로에서 3PG가 PGAL로 환원될 때 NADPH(㉠)가 사용된다.

ㄷ. 순환적 전자 흐름과 비순환적 전자 흐름에서 전자는 전자 전달계의 산화 환원 반응에 의해 이동한다. 이 과정에서 방출된 에너지를 이용하여 틸라코이드 막을 경계로 H⁺의 농도 기울기가 형성되며, 이 H⁺의 농도 기울기에 의해 ATP가 합성된다. 따라서 경로 A와 B에서 방출되는 에너지는 공통적으로 ATP를 합성하는 데 이용된다.

바로알기 ㄴ. 경로 A(순환적 전자 흐름)에서는 광계 I에서 방출된 전자가 다시 광계 I로 돌아오므로 광계 I에 전자를 따로 공급하지 않아도 된다. 따라서 경로 A가 일어나는 데 물의 광분해는 필요하지 않다. 물의 광분해는 경로 B(비순환적 전자 흐름)에서 일어난다.

06

선택지 분석

- ㉠. ㉠에 공급된 빛에너지는 틸라코이드 막을 경계로 H⁺의 농도 기울기를 형성하는 데 이용된다.
- ㉡. ㉡에서 방출된 전자는 최종적으로 탈수소 효소의 조효소인 NADP⁺에 전달된다.
- ㉠에서 ㉡으로의 전자 이동으로 전자를 잃은 ㉠은 주변의 안테나 색소로부터 방출된 전자를 받는다. 물의 광분해로 방출된 전자를 받는다.

㉠. 그림은 비순환적 전자 흐름에서의 전자 전달 과정이므로, ㉠은 광계 II의 반응 중심 색소, ㉡은 광계 I의 반응 중심 색소이다. 빛에너지를 흡수한 광계 II의 반응 중심 색소(㉠)에서 고에너지 전자가 방출되며, 이 전자가 전자 전달계를 거치는 동안 방출된 에너지를 이용하여 H⁺이 스트로마에서 틸라코이드 내부로 능동 수송된다. 그 결과 틸라코이드 막을 경계로 H⁺의 농도 기울기가 형성된다. 따라서 광계 II의 반응 중심 색소(㉠)에 공급된 빛에너지는 틸라코이드 막을 경계로 H⁺의 농도 기울기를 형성하는 데 이용된다.

나. 광계 I의 반응 중심 색소(㉠)에서 방출된 전자는 최종적으로 탈수소 효소의 조효소인 NADP⁺에 H⁺과 함께 전달된다.

▣ **바로알기** ▣. 빛에너지를 흡수하여 전자를 방출하고 산화된 광계 II의 반응 중심 색소(㉡)는 물의 광분해로 방출된 전자를 받아 환원된다.

07

선택지 분석

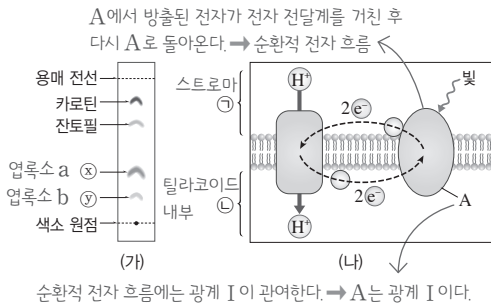
- ㉠ 'NADPH가 생성된다.'는 ㉠에 해당한다.
- ㉡ 'ATP 합성에 이용되는 에너지를 방출한다.'는 ㉡에 해당한다.
- ㉢ '광계 II가 관여한다.'는 ㉢에 해당한다. ㉠

㉠. NADPH는 비순환적 전자 흐름(A)에서만 생성된다. 따라서 'NADPH가 생성된다.'는 ㉠에 해당한다.

나. 비순환적 전자 흐름(A)과 순환적 전자 흐름(B)에서 모두 에너지를 방출하여 ATP가 합성되도록 한다. 따라서 'ATP 합성에 이용되는 에너지를 방출한다.'는 ㉡에 해당한다.

▣ **바로알기** ▣. 광계 II는 비순환적 전자 흐름(A)에만 관여하고, 순환적 전자 흐름(B)에는 관여하지 않는다.

08 **꼼꼼** 문제 분석



선택지 분석

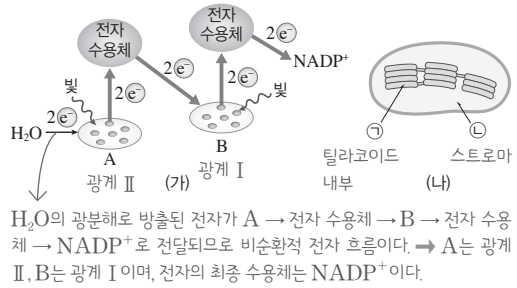
- ㉠ A의 반응 중심 색소는 ㉡이다. ㉢
- ㉡ 탄소 고정 반응은 ㉠에서 일어난다.
- ㉢ (나)는 비순환적 전자 흐름 과정의 일부이다. 순환적

나. (나)의 전자 전달 과정에서 H⁺이 ㉠에서 ㉡으로 능동 수송된다. 따라서 ㉠은 스트로마, ㉡은 틸라코이드 내부이다. 탄소 고정 반응은 스트로마(㉠)에서 일어난다.

▣ **바로알기** ▣. (가)에서 전개율이 ㉡보다 큰 ㉢은 엽록소 a, ㉣은 엽록소 b이며, 광계의 반응 중심 색소는 모두 엽록소 a(㉢)이다.

㉠. (나)를 보면 A에서 방출된 전자가 전자 전달계를 거친 후 다시 A로 돌아온다. 이를 통해 (나)는 순환적 전자 흐름 과정의 일부를 알 수 있다.

09 **꼼꼼** 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ A의 반응 중심 색소는 P₆₈₀이다.
- ㉡ (가)에서 전자의 최종 수용체는 NADP⁺이다.
- ㉢ (가)에서의 전자 이동이 활발하면 pH는 ㉠에서 ㉡에서보다 높다.

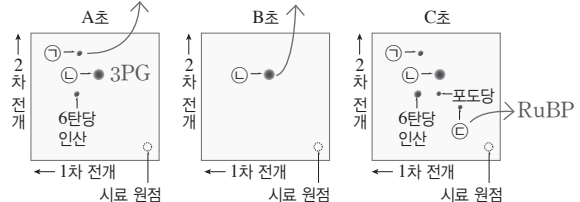
㉠. (가)의 A는 H₂O의 광분해로 방출된 전자를 받아들이므로 광계 II이다. 광계 II의 반응 중심 색소는 P₆₈₀이다.

나. 광계 I(B)의 반응 중심 색소에서 방출된 고에너지 전자는 전달 전달계를 거친 후 최종적으로 NADP⁺에 전달된다. 따라서 비순환적 전자 흐름 과정인 (가)에서 전자의 최종 수용체는 NADP⁺이다.

▣ **바로알기** ▣. (가)에서의 전자 이동이 활발하면 전자 이동 과정에서 방출된 에너지를 이용하여 H⁺이 스트로마(㉡)에서 틸라코이드 내부(㉠)로 능동 수송된다. 그 결과 스트로마(㉡)의 H⁺ 농도는 낮아지고, 틸라코이드 내부(㉠)의 H⁺ 농도는 높아진다. 따라서 pH는 스트로마(㉡)에서 틸라코이드 내부(㉠)에서보다 높다.

10 **꼼꼼** 문제 분석

3PG는 PGAL로 환원되며, 캘빈 회로에서 CO₂가 고정되어 최초로 생성되는 물질인 3PG이다.



시간이 지날수록 전개되는 물질의 종류가 많아진다. → 전개 순서는 B초 → A초 → C초이다.

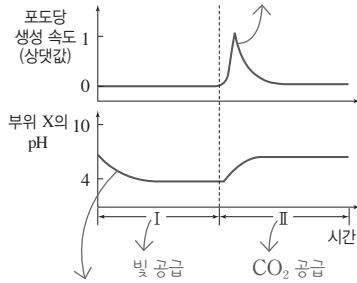
선택지 분석

- ㉠ B초가 C초보다 먼저 얻은 결과이다.
- ㉡ 1분자당 인산기 수는 ㉠과 ㉡이 같다.
- ㉢ 캘빈 회로에서 CO₂와 결합하는 물질은 ㉢이다.

- ㄱ. 전개 결과를 시간 순으로 나열하면 B초 → A초 → C초이다. 캘빈 회로에서 CO₂가 고정되어 최초로 생성되는 물질은 3PG이고, 3PG는 PGAL로 환원되며, PGAL은 RuBP로 재생된다. 따라서 ㉠은 PGAL, ㉡은 3PG, ㉢은 RuBP이다.
- ㄴ. 3PG(㉡)와 PGAL(㉠)은 모두 1분자당 인산기 수가 1이다.
- ㄷ. 캘빈 회로에서 CO₂와 결합하는 물질은 RuBP(㉢)이다.

11 **꼼꼼** 문제 분석

빛만 공급되면 포도당이 생성되지 않고, 빛이 공급된 후 CO₂가 공급되면 탄소 고정 반응이 일어나 포도당이 생성된다. → 구간 I에서는 빛만, 구간 II에서는 CO₂만 공급되었다.



빛이 공급되어 명반응이 일어날 때 pH가 낮아졌다. 즉, H⁺ 농도가 높아졌다. → X는 틸라코이드 내부이다.

선택지 분석

- X는 스트로마이다. 틸라코이드 내부
- 구간 I에서 H⁺이 스트로마에서 틸라코이드 내부로 능동 수송된다.
- 구간 II에서 3PG의 환원이 일어난다.

ㄴ. 구간 I에서는 빛에너지를 흡수한 광계에서 방출된 고에너지 전자가 전달 전달계를 거치는 동안 방출된 에너지를 이용하여 H⁺이 스트로마에서 틸라코이드 내부로 능동 수송된다.

ㄷ. 구간 II에서 틸라코이드 내부(X)의 pH가 높아지고 포도당이 일시적으로 생성되는 것을 통해, 빛이 공급되지는 않았지만 CO₂가 공급되어 구간 I에서 생성된 명반응 산물(ATP, NADPH)을 사용하여 탄소 고정 반응이 일어났음을 알 수 있다. 따라서 구간 II에서는 캘빈 회로의 한 단계인 3PG의 환원이 일어난다.

▮ **바로알기** ㄱ. X는 틸라코이드 내부이다.

12

선택지 분석

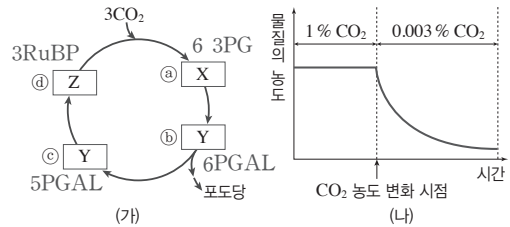
- ㉠의 분자 수와 ㉡의 분자 수는 같다.
- 과정 ㉠에서 ATP가 ADP와 P_i로 분해된다. 사용되지 않는다.
- ㉢은 명반응의 비순환적 전자 흐름에서 전자의 최종 수용체이다.

ㄷ. 3PG가 PGAL로 되는 과정에서는 ATP와 NADPH가 사용되며, 그 결과 ADP와 NADP⁺가 생성된다. 따라서 ㉢은 NADP⁺, ㉡은 ATP이다. NADP⁺(㉢)은 명반응의 비순환적 전자 흐름에서 전자의 최종 수용체로 작용하여 전자와 H⁺을 받아 NADPH가 된다.

▮ **바로알기** ㄱ. 캘빈 회로에서 RuBP가 3PG로 되는 과정은 탄소 고정 단계이며, 이때 CO₂가 사용되므로 ㉢은 CO₂이다. RuBP는 5탄소 화합물이고, 3PG는 3탄소 화합물이다. 따라서 RuBP 1분자는 CO₂(㉢) 1분자와 결합하여 3PG 2분자로 되며, 3PG 2분자는 ATP(㉡) 2분자와 NADPH 2분자를 사용하여 PGAL 2분자로 환원된다. 따라서 ㉠의 분자 수는 ㉢의 분자 수보다 적다.

ㄴ. 과정 ㉠은 CO₂가 고정되는 단계로 ATP가 사용되지 않는다. 따라서 ATP가 ADP와 P_i로 분해되지 않는다.

13 **꼼꼼** 문제 분석



CO₂는 RuBP와 결합하여 3PG가 되고, 3PG는 PGAL로 환원되며, PGAL의 일부는 RuBP로 재생된다. → X는 3PG, Y는 PGAL, Z는 RuBP이다.

RuBP와 CO₂가 결합하여 3PG가 되므로 CO₂ 농도가 감소하면 3PG의 농도는 감소하고, RuBP의 농도는 증가한다. → (나)는 3PG의 농도 변화이다.

선택지 분석

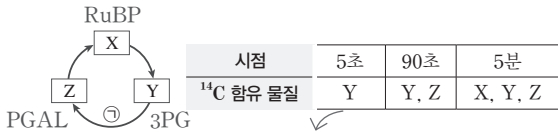
- ㉠ + ㉡ + ㉢ = 15이다. ㉢(6) + ㉡(5) + ㉢(3) = 14
- 1분자당 $\frac{\text{탄소 수}}{\text{인산기 수}}$ 는 Y보다 Z가 작다.
- (나)는 Z의 농도 변화이다. X

ㄴ. (가)에서 X는 3PG, Y는 PGAL, Z는 RuBP이다. PGAL(Y) 1분자당 $\frac{\text{탄소 수}}{\text{인산기 수}} = \frac{3}{1} = 3$ 이고, RuBP(Z) 1분자당 $\frac{\text{탄소 수}}{\text{인산기 수}} = \frac{5}{2} = 2.5$ 이다.

▮ **바로알기** ㄱ. CO₂ 3분자가 고정되려면 RuBP 3분자가 필요하며, 그 결과 3PG 6분자가 생성된다. 3PG 6분자는 6ATP와 6NADPH를 사용하여 PGAL 6분자로 된다. PGAL 6분자 중 1분자는 캘빈 회로를 빠져나가 포도당 합성에 이용되고, 5분자는 RuBP 3분자로 재생된다. 따라서 ㉠(6) + ㉡(5) + ㉢(3) = 14이다.

㉔. CO₂ 농도가 감소하면 탄소 고정 단계가 억제되므로 3PG의 농도는 감소하고, RuBP의 농도는 증가한다. 따라서 (나)는 3PG(X)의 농도 변화이다.

14 **꼼꼼** 문제 분석



캘빈 회로에서 CO₂가 고정되어 최초로 생성되는 물질은 3PG이고, 3PG는 PGAL로 환원되며, PGAL은 RuBP로 재생된다. → 5초 후 검출된 Y는 3PG, 90초 후 검출된 Z는 PGAL, 5분 후 검출된 X는 RuBP이다.

선택지 분석

- ㉑ 과정 ㉑에서 NADPH가 산화된다.
- ㉒ 1분자당 탄소 수는 X가 Y보다 많다.
- ㉓ Z의 일부는 포도당 합성에 이용된다.

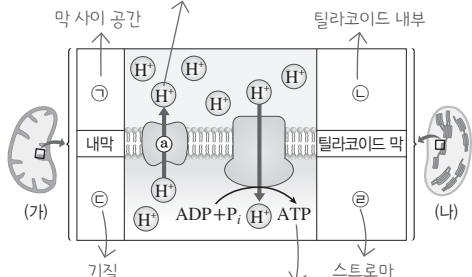
㉑. ㉑은 3PG(Y)가 ATP로부터 에너지를 공급받고 NADPH가 산화되면서 방출한 전자를 받아 PGAL(Z)로 환원되는 과정이다.

㉒. RuBP는 5탄소 화합물이고, 3PG는 3탄소 화합물이다. 따라서 1분자당 탄소 수는 RuBP(X)가 3PG(Y)보다 많다.

㉓. Z는 PGAL이며, 캘빈 회로에서 생성된 PGAL의 일부는 캘빈 회로에서 빠져나와 포도당 합성에 이용된다.

15 **꼼꼼** 문제 분석

전자 전달계를 통해 전자가 이동하면서 방출된 에너지를 이용하여 H⁺이 미토콘드리아에서는 기질에서 막 사이 공간으로 능동 수송되고, 엽록체에서는 스트로마에서 틸라코이드 내부로 능동 수송된다. → ㉑는 능동 수송으로 일어난다.



미토콘드리아에서는 막 사이 공간의 H⁺ 농도가 기질의 H⁺ 농도보다 높을 때, 엽록체에서는 틸라코이드 내부의 H⁺ 농도가 스트로마의 H⁺ 농도보다 높을 때 H⁺이 ATP 합성 효소를 통해 확산되면서 ATP가 합성된다.

미토콘드리아에서 일어나는 산화적 인산화 과정에서는 막 사이 공간이 기질보다 H⁺ 농도가 높고, 엽록체에서 일어나는 광인산화 과정에서는 틸라코이드 내부가 스트로마보다 H⁺ 농도가 높다. → ㉑은 막 사이 공간, ㉒은 틸라코이드 내부, ㉓은 미토콘드리아 기질, ㉔은 스트로마이다.

선택지 분석

- ㉑ (가)에서 ㉑의 pH가 ㉒의 pH보다 낮을 때 ATP가 합성된다.
- ㉒ ㉑과 ㉒에서는 모두 단계적으로 순환하는 형태의 화학 반응이 일어난다.
- ㉓ ㉑은 (가)와 (나)에서 모두 H⁺의 농도 기울기에 따른 확산으로 일어난다. 능동 수송

㉑. 미토콘드리아(가)에서 막 사이 공간(㉑)의 pH가 기질(㉒)의 pH보다 낮을 때 H⁺의 농도 기울기에 따라 막 사이 공간의 H⁺이 ATP 합성 효소를 통해 기질로 확산되며, 이때 ATP가 합성된다.

㉒. 미토콘드리아 기질(㉒)에서는 TCA 회로가, 엽록체의 스트로마(㉓)에서는 캘빈 회로가 진행된다. TCA 회로와 캘빈 회로는 모두 효소에 의해 조절되며, 단계적으로 순환하는 형태의 화학 반응이다.

㉓. ㉑은 미토콘드리아 내막과 엽록체의 틸라코이드 막에서 일부 전자 운반체에 의한 H⁺의 이동으로, 전자 전달계를 통해 전자가 이동하는 과정에서 방출된 에너지를 이용한 능동 수송으로 일어난다.

16

선택지 분석

- ㉑ ㉑은 H₂O, ㉒은 O₂이다.
- ㉓ (가)에서 ㉒은 탄소 고정 반응에 사용된다. 사용되지 않는다.
- ㉔ (가)와 (나)의 전자 전달계는 모두 생체막에 존재한다.

㉑. (가)는 탈수소 효소의 조효소가 NADP⁺이므로 엽록체의 틸라코이드 막에서 일어나는 전자 전달 과정이다. (나)는 탈수소 효소의 조효소가 NAD⁺이므로 미토콘드리아 내막에서 일어나는 전자 전달 과정이다. (가)에서 전자 전달계에 전달되는 전자는 H₂O의 광분해로 방출된 것이며, (나)에서 전자 전달계에 전달되는 전자는 NADH의 산화로 방출된 것이다. (가)에서 H₂O의 광분해로 O₂가 발생하며, (나)에서 전자 전달계를 따라 이동한 전자는 미토콘드리아 기질에 있는 H⁺과 함께 최종적으로 O₂에 전달되어 H₂O이 생성된다. 따라서 ㉑은 H₂O, ㉒은 O₂이다.

㉓. (가)의 전자 전달계는 엽록체의 틸라코이드 막에, (나)의 전자 전달계는 미토콘드리아 내막에 존재한다. 엽록체의 틸라코이드 막과 미토콘드리아 내막은 모두 인지질 2중층으로 이루어진 생체막이다.

㉔. (가)에서 ㉒은 H₂O의 광분해로 발생한 O₂이며, O₂는 탄소 고정 반응에 사용되지 않는다.



IV. 유전자의 발현과 조절

1 유전 물질

01 유전 물질

개념 확인 문제

183쪽

- 1 S형균 2 DNA 3 DNA

1 (1) ○ (2) × (3) × 2 ㉠ 단백질 분해 효소, ㉡ DNA 분해 효소 3 ㉠

1 (1) (가)에서 살아 있는 S형균을 주입한 쥐가 죽었으므로 S형균은 병원성이 있다. 그러나 (나)에서 살아 있는 R형균을 주입한 쥐는 죽지 않았으므로 R형균은 병원성이 없다.

(2) (라)에서 열처리된 죽은 S형균과 살아 있는 R형균의 혼합액을 쥐에 주입하였을 때 쥐가 죽고, 쥐에서 살아 있는 S형균이 발견되었으므로 죽은 S형균의 유전 물질에 의해 살아 있는 R형균이 형질 전환되었다는 것을 알 수 있다. 따라서 S형균의 유전 물질은 열에 강하여 변성되지 않는다.

(3) (라)에서 S형균의 유전 물질에 의해 살아 있는 R형균이 S형균으로 형질 전환되어 병원성을 나타낸다. 즉, S형균의 유전 물질은 R형균에서 형질을 나타낸다.

2 (가)에서 효소 ㉠을 처리하더라도 형질 전환이 일어나 S형균이 발견되었으므로 효소 ㉠은 죽은 S형균의 유전 물질을 분해하지 않는다. 따라서 효소 ㉠은 단백질 분해 효소이다. (나)에서 효소 ㉡을 처리하면 죽은 S형균의 유전 물질이 분해되어 형질 전환이 일어나지 않아 S형균이 발견되지 않는다. 따라서 효소 ㉡은 DNA 분해 효소이다.

3 허시와 체이스는 방사성 동위 원소 ³⁵S로 단백질을 표지한 파지를 대장균에 감염시킨 경우에는 파지의 단백질 껍질에서만 방사선이 검출되고, 방사성 동위 원소 ³²P로 DNA를 표지한 파지를 대장균에 감염시킨 경우에는 대장균에서만 방사선이 검출되는 것을 확인하였다. 이 실험 결과를 근거로 허시와 체이스는 파지가 대장균에 감염시키는 과정에서 DNA(㉠)가 대장균 안으로 들어가 다음 세대의 파지 DNA와 단백질을 생성하는 유전 물질이라고 결론을 내렸다.

개념 확인 문제

187쪽

- 1 크 2 뉴클레오솜 3 많 4 뉴클레오타이드
- 5 디옥시리보스 6 A, G, C, T 7 이중 나선 8 수소
- 9 T 10 C 11 3'

1 (1) × (2) ○ (3) × (4) × 2 ㉠ 적고, ㉡ 높다, ㉢ 원핵
3 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ 4 (1) 6개 (2) 디옥시리보스 (3) ㉠ T, ㉡ C (4) ㉢, ㉣ 5' 5 ...TAGGCTAGC... 6 16개

1 (1) 원핵세포의 유전체는 진핵세포의 유전체보다 작다.
(2) 원핵세포는 유전체가 세포질에 있으며, 진핵세포의 유전체는 핵막으로 싸인 핵 속에 있다.
(3) 원핵세포의 염색체는 원형이고, 진핵세포의 염색체는 선형이다.
(4) 진핵세포는 히스톤이 있어 DNA가 히스톤을 감싸 뉴클레오솜을 형성한다.

2 원핵세포는 진핵세포보다 유전자 수가 적고, 하나의 DNA에서 유전자 비율이 높으며 유전자는 단백질을 암호화하는 부위로만 구성되어 있다.

3 (1) DNA 이중 나선은 10개의 염기쌍마다 한 바퀴 회전한다.
(2) DNA 이중 나선에서 바깥쪽에는 당과 인산이 골격을 이루며, 안쪽에는 염기가 존재한다.
(3) 두 가닥의 염기가 쌍을 이룰 때 염기 A는 T와 2중 수소 결합, G은 C와 3중 수소 결합으로 연결된다.
(4) A와 G은 퓨린 계열 염기이고, C와 T은 피리미딘 계열 염기이다. DNA 이중 나선에서 A은 T과, G은 C과 상보적으로 결합하므로 퓨린 계열 염기와 피리미딘 계열 염기의 비율은 1:1이다.

4 (1) DNA를 구성하는 단위체는 뉴클레오타이드이며, 각 뉴클레오타이드는 인산, 당, 염기가 1:1:1로 결합되어 있다. 따라서 단위체인 뉴클레오타이드의 수는 6개이다.

(2) DNA를 구성하는 당은 5탄당인 디옥시리보스이다.
(3) 염기 A은 항상 T과 2중 수소 결합, G은 항상 C과 3중 수소 결합으로 연결되므로 염기 ㉠은 A과 상보적으로 결합하는 T이고, ㉡은 G과 상보적으로 결합하는 C이다.

(4) DNA 이중 나선의 각 가닥의 방향은 서로 반대이므로, ㉢는 3' 말단이고, ㉣는 5' 말단이다.

5 DNA 이중 나선에서 염기 A은 T과, G은 C과 상보적으로 결합한다.

6 DNA에서 A이 24개이면 T도 24개이다. 40쌍의 염기 중 A과 T이 각각 24개이므로, G과 C의 합은 80 - 48 = 32개이고 G과 C의 수는 각각 16개이다.

자료 1 1 ㉠ ³⁵S, ㉡ ³²P 2 A, D 3 (1) ○ (2) × (3) × (4) × (5) ○

자료 2 1 디옥시리보스 2 ㉢ T, ㉣ A, ㉤ G, ㉥ C 3 (1) × (2) × (3) ○ (4) × (5) × (6) × (7) ○

①-1 박테리오파지를 구성하는 성분은 DNA와 단백질이다. 두 가지 물질에서 인(P)은 DNA에만, 황(S)은 단백질에만 있으므로 방사성 동위 원소인 ³⁵S은 단백질을 표지하고, ³²P은 DNA를 표지한다.

①-2 파지의 증식 과정에서 DNA는 대장균 속으로 들어가고, 단백질 껍질은 대장균 밖에 남아 있어 원심 분리 결과 A, C에는 파지의 단백질 껍질이, B와 D에는 대장균과 그 속에 들어간 파지의 DNA가 있다. 따라서 (가)에서는 ³⁵S(㉠)으로 단백질을 표지한 파지를 사용하였으므로 A에서 방사선이 검출되고, (나)에서는 ³²P(㉡)으로 DNA를 표지한 파지를 사용하였으므로 D에서 방사선이 검출된다.

①-3 (1) 이 실험을 통해 파지의 DNA만이 대장균 속으로 들어가 파지가 증식하는 데 관여한다는 것이 밝혀졌다.
 (2) 파지의 DNA에는 파지의 유전 정보가 저장되어 있다. 파지는 대장균 속으로 DNA를 주입하고 대장균의 효소를 이용하여 자신의 DNA를 복제하고 단백질 껍질을 합성한다.
 (3) (가)에서는 파지의 단백질이 방사성 동위 원소로 표지되었으며, 단백질은 다음 세대의 파지 생성에 관여하지 않는다. 따라서 (가)에서 새로 만들어진 파지에서는 방사선이 검출되지 않는다.
 (4) (나)의 C에는 파지의 단백질 껍질, D에는 대장균 속에 들어간 파지의 DNA가 있다.
 (5) 이 실험을 통해 다음 세대의 파지를 만드는 데 필요한 유전 정보를 저장하고 있는 물질은 DNA라는 것이 밝혀졌다.

②-1 (가)는 DNA를 구성하는 5탄당인 디옥시리보스이다.

②-2 ㉢는 1개의 고리 구조를 가지므로 피리미딘 계열 염기이고, 2중 수소 결합을 하므로 T이다. ㉣는 T와 상보적으로 결합하므로 A이다. ㉤는 2개의 고리 구조를 가지므로 퓨린 계열 염기이고, 3중 수소 결합을 하므로 G이다. ㉥는 G와 상보적으로 결합하므로 C이다.

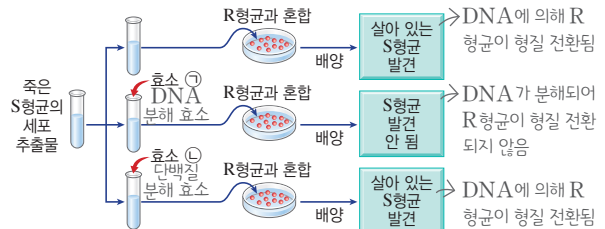
②-3 (1) 이중 나선을 이루는 DNA의 두 가닥은 서로 반대 방향이므로 ㉠은 5' 말단, ㉡은 3' 말단이다.
 (2) 당과 인산은 공유 결합으로 연결되어 이중 나선의 바깥쪽 골격을 이룬다.

(3) ㉢는 T이며, T은 RNA에는 없고 DNA에만 있는 염기이다.
 (4) 1개의 고리 구조로 되어 있는 ㉢와 ㉣는 피리미딘 계열 염기이다. 퓨린 계열 염기는 2개의 고리 구조로 되어 있는 ㉤와 ㉥이다.
 (5) DNA 두 가닥의 염기는 수소 결합으로 연결된다.
 (6) ㉢와 ㉣는 피리미딘 계열 염기이고, ㉤와 ㉥는 퓨린 계열 염기이다. DNA 이중 나선에서 퓨린 계열 염기와 피리미딘 계열 염기는 상보적으로 결합하므로, 염기 조성 비율은 ㉢+㉣=㉤+㉥의 관계가 성립한다. 따라서 $\frac{㉢+㉣}{㉤+㉥} = 1$ 이다. 그러나 ㉢+㉤와 ㉣+㉥의 값은 항상 같은 것은 아니다.
 (7) 전체 염기에서 3중 수소 결합을 하는 G+C(㉤+㉥)의 비율이 높을수록 수소 결합의 수가 많아 DNA 이중 나선이 안정적이다.

01 ㉣	02 ㄱ, ㄷ	03 ㉠	04 ㉢	05 ㉡
06 ㄱ, ㄹ	07 ㉡	08 해설 참조	09 ㉢	10 ㉢
11 ㉠	12 ㄱ, ㄴ, ㄷ	13 ㉡	14 해설 참조	

01 ㄱ. S형균을 주입하면 쥐가 죽었으므로 S형균은 병원성이 있다.
 ㄷ. (라)의 죽은 쥐에서 살아 있는 S형균이 발견되었으므로 S형균의 유전 물질에 의해 R형균이 S형균으로 형질 전환되었음을 알 수 있다.
▶바로알기 ㄴ. (라)에서 열처리로 죽은 S형균의 유전 물질이 살아 있는 R형균을 S형균으로 형질 전환시켰으므로 형질 전환을 일으키는 유전 물질은 열에 강하다는 것을 알 수 있다.

02 **꼼꼼** 문제 분석



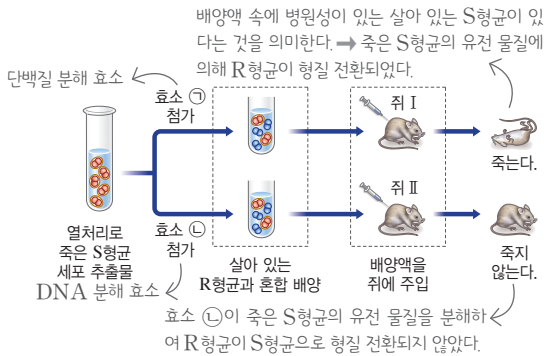
- 효소 ㉠을 처리하면 S형균이 발견되지 않는다. → 효소 ㉠은 유전 물질인 DNA를 분해하는 효소이다.
- 효소 ㉢을 처리하면 S형균이 발견된다. → 효소 ㉢은 유전 물질인 DNA에 영향을 주지 않는다.

ㄱ. 효소 ㉠을 처리하였을 때 R형균이 S형균으로 형질 전환되지 않으므로 효소 ㉠이 유전 물질인 DNA를 분해한다는 것을 알 수 있다.

ㄴ. 죽은 S형균의 세포 추출물에는 S형균의 DNA가 포함되어 있어 죽은 S형균의 세포 추출물을 R형균과 혼합하여 배양하면 살아 있는 S형균이 발견된다.

▶ **바로알기** ㄴ. 효소 ㉡을 처리하였을 때 R형균이 S형균으로 형질 전환된 것은 효소 ㉡이 S형균의 세포 추출물 속 단백질만 분해하여 S형균의 DNA는 남아 있었기 때문이다.

03 **꼼꼼** 문제 분석

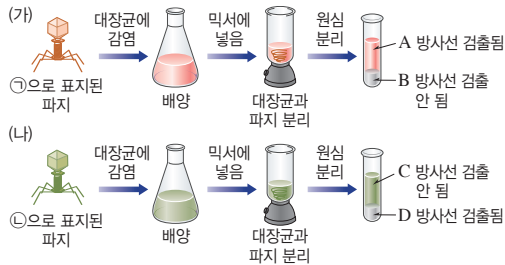


ㄱ. 폐렴 쌍구균의 S형균은 병원성이 있고, R형균은 병원성이 없다. 쥐 I은 폐렴에 걸려 죽었으므로 쥐 I에서는 살아 있는 S형균이 발견된다.

▶ **바로알기** ㄴ. 쥐 II는 효소 ㉡(DNA 분해 효소)이 S형균의 유전 물질을 분해하여 R형균이 S형균으로 형질 전환되지 않아 죽지 않았다. 따라서 쥐 II에 주입한 배양액에는 R형균이 있다.

ㄴ. 효소 ㉡을 첨가하였을 때 죽은 S형균의 유전 물질이 분해되어 R형균이 S형균으로 형질 전환되지 않았다. 따라서 형질 전환을 일으키는 물질(DNA)은 효소 ㉡의 기질이다.

04 **꼼꼼** 문제 분석



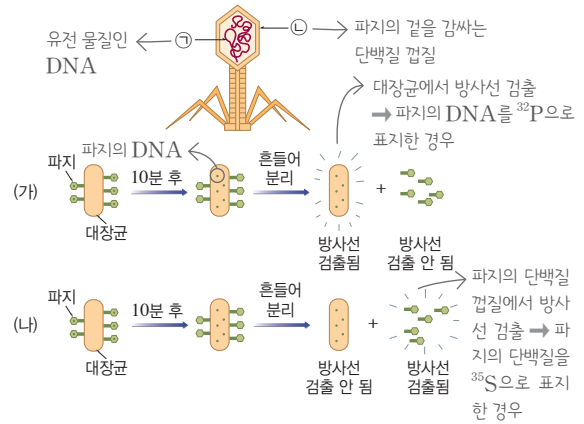
- (가)의 A에서 방사선이 검출되었으므로 ①은 대장균 속으로 들어가지 못한 파지의 단백질 껍질에 있다. → ①은 파지의 단백질을 표지한 ^{35}S 이다.
- (나)의 D에서 방사선이 검출되었으므로 ②은 대장균 속으로 들어간 파지의 DNA에 있다. → ②은 파지의 DNA를 표지한 ^{32}P 이다.

ㄴ. (가)와 (나)에서 파지의 유전 물질만이 대장균 속으로 들어가 새로운 파지를 만드는 데 사용된다.

ㄴ. (나)의 D에는 대장균이 있으며, 대장균 속에는 파지의 DNA가 있다. 파지의 DNA는 새로운 파지를 합성하는 데 필요한 유전 물질이다.

▶ **바로알기** ㄱ. ①은 단백질 껍질을 표지하였으므로 ^{35}S 이다.

05 **꼼꼼** 문제 분석



ㄴ. 파지의 DNA(①)는 대장균 속으로 들어가 새로운 파지를 만드는 데 이용되므로 파지의 DNA(①)를 ^{32}P 으로 표지하면 대장균에서 방사선이 검출되는 (가)와 같은 결과를 얻을 수 있다.

▶ **바로알기** ㄱ. 질소(N)는 핵산과 단백질의 공통 구성 원소이므로 ^{15}N 를 사용하면 DNA(①)와 단백질 껍질(②)이 모두 표지되어 구분할 수 없다.

ㄴ. (나)는 파지의 단백질 껍질(②)을 ^{35}S 으로 표지하였을 때의 결과이다. 파지의 단백질 껍질(②)은 대장균 속으로 들어가지 않으며, 새로운 파지의 생성에 이용되지 않는다. 따라서 (나)에서 새로 생기는 파지에서는 방사선이 검출되지 않는다.

06 ㄱ. 유전체는 한 개체의 유전 정보가 저장되어 있는 DNA 전체이다.

ㄴ. 원핵세포는 히스톤이 없어 유전체에서 뉴클레오솜을 형성하지 않지만, 진핵세포는 DNA가 히스톤을 감아 뉴클레오솜을 형성한다.

▶ **바로알기** ㄴ. 일반적으로 유전체의 크기는 원핵세포보다 진핵세포가 크다.

ㄴ. 원핵세포에서는 일반적으로 유전체가 원형으로 된 하나의 DNA로 되어 있지만, 진핵세포에서는 선형인 여러 개의 DNA로 이루어져 있다.

07 ㄴ. (나)는 진핵세포의 유전체이다. 진핵세포에서는 DNA가 히스톤과 결합하여 뉴클레오솜을 형성한다.

▣ **바로알기** ㄱ, ㄴ, (가)는 유전체가 세포질에 있으며 원형의 DNA 하나로 이루어져 있으므로 원핵세포의 유전체이다. (나)는 유전체가 핵막으로 둘러싸여 있으며, 여러 개의 선형 DNA로 이루어진 진핵세포의 유전체이다.

08 원핵생물의 유전체는 유전자 사이의 빈 부분이 적지만, 진핵생물의 유전체는 유전자 사이에 빈 부분이 많고, 하나의 유전자 내에서도 단백질을 암호화 하지 않는 부위가 많다.

☞ **모범답안** (나), 유전자에 단백질을 암호화하지 않는 부위가 있다. DNA에서 유전자 사이에 빈 부위가 많다.

채점 기준	배점
(나)라고 쓰고, 근거 두 가지를 모두 옳게 서술한 경우	100%
(나)라고 쓰고, 근거를 한 가지만 옳게 서술한 경우	70%
(나)라고만 쓴 경우	30%

09 ⑤ DNA의 염기는 A, G, C, T으로 4종류이다.

▣ **바로알기** ① DNA를 구성하는 당은 디옥시리보스이며, 디옥시리보스는 5탄당이다.

② DNA는 진핵세포에서는 핵 속에, 원핵세포에서는 세포질에 있다. 또 진핵세포의 엽록체와 미토콘드리아에도 DNA가 있다.

③ DNA는 유전 정보를 저장한다. 유전 정보의 전달과 아미노산 운반에 관여하는 것은 RNA이다.

④ DNA에는 당, 염기, 인산이 1:1:1의 비율로 결합되어 있다.

10 ① DNA를 이루는 두 가닥의 방향은 서로 반대이므로 ①은 5' 말단이다.

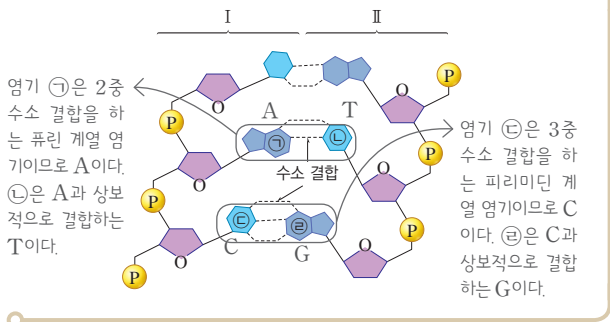
② DNA 이중 나선의 폭은 2 nm로 일정하다.

④ DNA 이중 나선의 1회전에는 10개의 염기쌍이 있다. 따라서 (가) 구간에 염기 A이 4개 있다면 T이 4개, G과 C는 각각 6개가 있을 것이다.

⑤ 이중 나선을 이루는 두 가닥의 폴리뉴클레오타이드는 염기 사이의 수소 결합으로 연결된다.

▣ **바로알기** ③ DNA 이중 나선 1회전의 길이는 3.4 nm이다.

11 **꼼꼼** 문제 분석



ㄱ. ㉡는 염기 C이며, 염기 A, C, G은 DNA와 RNA에 공통적으로 있는 염기이다.

ㄴ. 이중 나선 DNA (가)에서 A은 T과, G은 C과 상보적으로 결합한다. 따라서 퓨린 계열 염기 ㉠+㉡(A+G)과 피리미딘 계열 염기 ㉢+㉣(T+C)의 개수는 항상 같다.

▣ **바로알기** ㄷ. A(㉠)과 T(㉢)은 상보적으로 결합하므로 ㉠+㉢(A+T)의 함량은 가닥 I과 II에서 60%로 같다. 따라서 ㉣+㉡(C+G)의 함량은 가닥 I과 II에서 각각 100-60=40%로 같다.

ㄹ. DNA의 구조는 수소 결합의 수가 많을수록 안정적이다. 따라서 3중 수소 결합으로 연결되는 ㉣+㉡(C+G)의 함량이 높을수록 DNA의 구조가 안정적이다.

12 ㄱ. 5종의 생물에서 DNA 염기 조성 비율이 다르다. 실제로 생물중에 따라 DNA를 구성하는 A, G, C, T의 조성 비율이 다르다.

ㄴ. 생물중에 관계없이 DNA에서 A은 T과, G은 C과 상보적으로 결합하므로 조성 비율이 각각 비슷하여 $\frac{A+G}{C+T} \approx 1$ 로 그 값이 거의 비슷하다.

ㄷ. DNA에서 G과 C은 3중 수소 결합으로 연결된다. 5종의 생물 중에서 G+C의 비율은 사람이 39.5%로 가장 낮다.

13 ㄴ. DNA 이중 나선을 형성할 때 인접한 뉴클레오타이드는 당과 인산의 공유 결합으로 연결된다.

▣ **바로알기** ㄱ. (가)는 총 100개, 50쌍의 염기로 구성되어 있다. 따라서 DNA의 한 가닥에는 50개의 염기가 있으며, 인접한 뉴클레오타이드 사이의 거리는 0.34 nm이므로 (가)의 길이는 $0.34 \text{ nm} \times 49 = 16.66 \text{ nm}$ 이다. DNA의 길이는 염기 사이의 거리만 고려한다고 하였으므로 (가)의 길이는 17 nm보다 짧다.

ㄷ. DNA 이중 나선에서 1회전에는 10쌍의 염기가 있다. DNA (가)는 총 50쌍의 염기로 구성되므로 이중 나선의 회전은 5회 나타난다.

14 이중 나선 DNA (가)에서 4종류의 염기는 총 100개이고, A과 T, G과 C의 수는 각각 같다.

☞ **모범답안** $A+T=1.5(G+C)$ 이고, $A+T+G+C=100$ 이다. $1.5(G+C)+G+C=100$ 에서 $G+C=100 \times \frac{1}{2.5} = 40$ 이므로 G과 C의 염기쌍은 20쌍이다. 따라서 G의 총 수는 20개이다.

채점 기준	배점
염기 G의 총 수와 계산 과정을 모두 옳게 서술한 경우	100%
염기 G의 총 수만 옳게 쓴 경우	50%

02 DNA 복제

개념 확인 문제

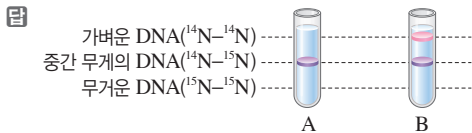
195 쪽

1 반보존적 2 수소 3 프라이머 4 3' 5 5' → 3'

1 (1) ○ (2) × (3) × 2 해설 참조 3 (1) × (2) ○ (3) ×
 4 (라) → (가) → (나) → (마) → (다) 6 (1) ㉠ 5', ㉡ 3',
 ㉢ 5', ㉣ 3' (2) (가) (3) (나)

- 1 (1) (가)는 복제를 거듭하더라도 원래의 DNA 이중 나선이 보존되는 보존적 복제를 나타낸 것이다.
 (2) (나)는 새로 만들어진 DNA 이중 나선의 한 가닥은 원래의 것이고, 나머지 한 가닥은 새로 합성된 것으로 이루어지는 반보존적 복제를 나타낸 것이다. 이 경우 복제가 여러 번 일어나도 원래의 DNA 가닥을 가지는 DNA가 있다.
 (3) (다)는 원래의 DNA가 작은 조각으로 나뉘어 복제된 후 합쳐지는 분산적 복제 모델을 나타낸 것이다.

- 2 DNA가 반보존적 복제를 한다면 A에서는 모든 DNA에서 한 가닥은 ^{15}N 를 가지고, 다른 한 가닥은 ^{14}N 를 가져 중간 무게의 DNA 위치에 띠가 나타난다. 이것이 다시 반보존적 복제를 한다면 B에서 절반은 중간 무게의 DNA 위치에, 나머지 절반은 가벼운 DNA 위치에 띠가 나타난다.



- 3 (1) DNA 복제가 일어날 때는 이중 나선을 이루던 DNA의 두 가닥이 모두 주형으로 작용한다.
 (2) 프라이머는 프라이메이스에 의해 주형 가닥에 합성되어 새로운 뉴클레오타이드가 결합할 수 있는 3' 말단을 제공한다.
 (3) DNA 중합 효소는 DNA를 구성하는 뉴클레오타이드의 5탄당의 3' 말단에 새로운 뉴클레오타이드의 인산을 결합시켜 DNA를 신장시킨다.

- 4 DNA가 복제될 때는 이중 나선의 염기 사이의 수소 결합이 끊어지고(라) RNA 프라이머가 합성되어 각 주형 가닥에 결합한 후(가) DNA 중합 효소가 결합하여(나) 주형 가닥에 상보적인 염기를 가진 뉴클레오타이드를 1개씩 차례로 결합시켜(마) 폴리뉴클레오타이드 가닥이 길어진다. 복제가 다 끝나면 원래의 가닥과 염기 서열이 같은 DNA 2개가 생긴다(다).

- 5 (1) DNA에서 염기 사이의 수소 결합으로 연결된 두 가닥의 폴리뉴클레오타이드는 서로 반대 방향이다. 따라서 ㉠은 5', ㉡은 3'이며, ㉢은 5', ㉣은 3'이다.
 (2) 5' → 3' 방향으로 연속적으로 합성되는 (가)는 선도 가닥이고, 작은 DNA 조각인 (나)와 (다)가 연결되어 지연 가닥을 이룬다.
 (3) 복제가 일어나는 방향은 그림의 오른쪽에서 왼쪽 방향이므로 (나)는 (다)보다 먼저 합성되었다.

대표 자료 분석

196 쪽

자료 1 1 반보존적 복제 2 부모 세대(P): A층 : B층 : C층 = 0 : 0 : 1, 3세대(G_3): A층 : B층 : C층 = 3 : 1 : 0
 3 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × (5) ○
 자료 2 1 RNA 프라이머 2 (가) DNA 중합 효소 (나) DNA 연결 효소 3 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × (5) × (6) × (7) ×

- 1-1 1세대(G_1)의 실험 결과를 통해 보존적 복제 모델이 배제되고, 2세대(G_2)의 실험 결과를 통해 분산적 복제 모델도 배제된다. DNA 복제는 한 가닥은 원래의 것이고 다른 한 가닥은 새로 만들어진다는 반보존적 복제 방식을 따른다.

- 1-2 1세대(G_1)의 DNA는 모두 B층에서 발견되고, 2세대(G_2)의 DNA는 A층과 B층에서 발견되고 C층에서는 발견되지 않는다. 부모 세대(P)의 DNA는 모두 ^{15}N 로 표지되어 C층에서만 발견된다. 반면에 ^{14}N 가 포함된 배지에서 3세대(G_3)를 얻으면 $^{14}\text{N}-^{15}\text{N}$ DNA는 $^{14}\text{N}-^{15}\text{N}$ DNA와 $^{14}\text{N}-^{14}\text{N}$ DNA로, $^{14}\text{N}-^{14}\text{N}$ DNA는 $^{14}\text{N}-^{14}\text{N}$ DNA와 $^{14}\text{N}-^{14}\text{N}$ DNA로 복제된다. 따라서 3세대(G_3)의 DNA를 추출하여 원심 분리하면 A층과 B층에서만 DNA가 발견되며, A층에는 B층에 비해 DNA가 3배 정도 많다.

- 1-3 (1) 질소(N)는 염기의 구성 원소이므로 ^{15}N 는 DNA의 염기를 표지하는 데 사용된다.
 (2) 1세대(G_1)의 DNA에서 한 가닥은 부모 세대(P)의 DNA이고, 다른 한 가닥은 새로 합성된 것이다.
 (3) DNA는 반보존적 복제를 하므로 복제가 거듭되어도 부모 세대(P)의 DNA 가닥이 남아 있다. 4세대(G_4)의 DNA 중 12.5%는 부모 세대의 DNA 한 가닥을 가진다.
 (4) 세대를 거듭할수록 $^{14}\text{N}-^{14}\text{N}$ DNA가 증가하므로 $\frac{\text{A층의 DNA양}}{\text{B층의 DNA양}}$ 의 값이 커진다.

(5) DNA가 보존적 복제를 한다면 1세대(G_1)의 DNA는 $^{14}\text{N}-^{14}\text{N}$ DNA와 $^{15}\text{N}-^{15}\text{N}$ DNA이므로 이를 원심 분리하면 A층과 C층 두 군데에서 DNA 띠가 나타날 것이다.

2-1 ㉠은 새로운 뉴클레오타이드가 결합할 수 있는 3' 말단을 제공하는 RNA 프라이머이다.

2-2 (가)는 DNA 사슬의 3' 말단에 새로운 뉴클레오타이드를 1개씩 결합시키는 DNA 중합 효소이다. (나)는 작은 DNA 조각의 뉴클레오타이드 사이를 연결하여 하나의 DNA 가닥으로 만드는 DNA 연결 효소이다.

2-3 (1) 진핵세포는 핵막이 있으므로 DNA 복제는 핵 속에서 세포 주기 중간기의 S기에 일어난다.

(2) ㉠은 5' → 3' 방향으로 연속적으로 합성되고 있으므로 선도가닥이다.

(3) ㉠은 주형 가닥 I에 상보적인 염기를 가진 뉴클레오타이드가 결합하여 형성되므로 염기 서열은 주형 가닥 II와 같다.

(4) DNA 복제는 5' → 3' 방향으로만 일어난다.

(5) RNA 프라이머(㉠)는 새로운 뉴클레오타이드가 결합할 수 있는 3' 말단을 제공한다.

(6) DNA 이중 나선의 염기 사이의 수소 결합을 끊어 주는 효소는 헬리케이스이다.

(7) DNA의 3' 말단에 새로운 뉴클레오타이드를 1개씩 결합시켜 DNA를 신장시키는 것은 DNA 중합 효소(가)이다.

내신 만점 문제

197쪽~199쪽

- 01 ㉠ 02 해설 참조 03 ㉠ 04 ㉠ 05 ㉠
 06 ㄴ 07 해설 참조 08 ㉠ 09 ㉠ 10 ㉠
 11 (1) 1200개 (2) 1.5 12 ㉠ 13 ㉠

01 ㄱ. (가)는 원래의 DNA 두 가닥이 모두 보존되므로 보존적 복제를 나타낸 것이다.

ㄴ. (나)는 복제된 DNA 이중 나선이 원래의 DNA 한 가닥과 새로 합성된 DNA 한 가닥으로 구성되는 반보존적 복제를 나타낸 것이다.

▣ 바로알기 ㄷ. DNA가 1회 복제된 후 (가)는 원래 DNA 가닥 2개가 그대로 남아 있고, (나)에서도 원래 DNA 가닥 2개가 그대로 남아 있다. 그러나 (다)에서는 원래 DNA 가닥이 DNA 조각으로 되어 새로 합성되는 조각과 섞이므로 원래 DNA 가닥의 비율은 (가)와 (나)에서 같고, (다)에서 가장 적다.

02 (가)의 대장균에서 DNA 양은 가벼운 무게에서 1이고, DNA 복제가 1회 일어난 후 분열하여 얻어진 (나)의 1세대 대장균(G_1)에서는 DNA의 양이 중간 무게에서 2가 된다. 반보존적 복제를 하여 얻어지는 2세대 대장균(G_2)의 DNA 양은 중간 무게와 무거운 무게가 각각 2가 되고, 3세대 대장균(G_3)의 DNA 양은 중간 무게와 무거운 무게가 각각 2와 6이 된다. 따라서 3세대 대장균(G_3)의 DNA 상대량 분석 결과는 그래프와 같다.



03 ㄴ. 1세대(G_1)의 이중 나선 DNA의 한 가닥은 부모 세대(P)의 것이고, 나머지 한 가닥은 새로 합성된 것이므로 1세대(G_1)의 이중 나선 DNA의 한 가닥에 있는 염기는 ^{15}N 를 가지고, 다른 한 가닥에 있는 염기는 ^{14}N 를 가진다.

ㄷ. 1세대(G_1)에서 반보존적 복제를 하면 $^{14}\text{N}-^{15}\text{N}$ DNA는 $^{14}\text{N}-^{15}\text{N}$ DNA와 $^{14}\text{N}-^{14}\text{N}$ DNA로 복제되므로 2세대(G_2)에서 $\frac{^{14}\text{N}-^{14}\text{N}}{^{14}\text{N}-^{15}\text{N}} = 1$ 이다.

▣ 바로알기 ㄱ. 부모 세대(P)의 DNA 띠는 모두 $^{15}\text{N}-^{15}\text{N}$ 에 나타나고, 1세대(G_1)의 DNA 띠는 모두 $^{14}\text{N}-^{15}\text{N}$ 에 나타나므로 DNA는 보존적 복제를 하지 않는다.

04 2세대(G_2)에서 반보존적 복제를 하면 $^{14}\text{N}-^{15}\text{N}$ DNA는 $^{14}\text{N}-^{15}\text{N}$ DNA와 $^{14}\text{N}-^{14}\text{N}$ DNA로, $^{14}\text{N}-^{14}\text{N}$ DNA는 $^{14}\text{N}-^{14}\text{N}$ DNA와 $^{14}\text{N}-^{14}\text{N}$ DNA로 복제되므로 3세대(G_3)에서 $^{14}\text{N}-^{14}\text{N}$ DNA와 $^{14}\text{N}-^{15}\text{N}$ DNA가 3 : 1로 나타난다.

05 세포 주기가 24시간이며 세포가 분열하기 전에 DNA의 반보존적 복제가 일어나므로 48시간 동안 세포를 증식시키면 세포는 2회 분열한다. 따라서 세포의 절반은 $^{14}\text{N}-^{15}\text{N}$ DNA를 가지고, 나머지 절반은 $^{14}\text{N}-^{14}\text{N}$ DNA를 가진다.

06 DNA는 반보존적 복제를 한다. 부모 세대(P)의 DNA는 모두 $^{15}\text{N}-^{15}\text{N}$ 이며, ^{15}N 는 ^{14}N 보다 무겁기 때문에 원심 분리를 하면 하층에 존재한다. 부모 세대(P)부터 4세대 대장균(G_4)의 DNA 비율은 다음과 같다.

구분	$^{14}\text{N}-^{14}\text{N}$	$^{14}\text{N}-^{15}\text{N}$	$^{15}\text{N}-^{15}\text{N}$
부모 세대(P)	0	0	1
1세대(G_1)	0	1	0
2세대(G_2)	1	1	0
3세대(G_3)	0	3	1
4세대(G_4)	0	3	5

나. (다)에서 ㉠층에는 DNA가 없었고, ㉡과 ㉢층에는 DNA의 양의 비가 5 : 3으로 나타나는 세대가 있다고 하였다. (다)에서 4세대(G_4)는 상층 : 중층 : 하층 = 0 : 3 : 5로 나타나므로 ㉠은 상층, ㉡은 하층, ㉢은 중층이다. 따라서 (다)에서 2세대(G_2)는 ㉠(상층) : ㉡(하층) : ㉢(중층) = 1 : 0 : 1로 나타난다.

▣ **바로알기** ▣ ㉠. 질소(N)는 DNA의 구성 성분 중 염기에 존재하므로 ^{15}N 는 염기를 표지하는 데 쓰인다. 5탄당인 디옥시리보스의 구성 원소는 탄소(C), 수소(H), 산소(O)이다.

㉡. 중층(㉢)에 존재하는 이중 나선 DNA의 한 가닥에는 ^{15}N 가, 다른 가닥에는 ^{14}N 가 있다.

07 ^{15}N 가 포함된 배지에서 배양한 대장균을 ^{14}N 가 포함된 배지로 옮겨 배양하여 4세대(G_4)를 얻으면 대장균 한 마리는 16마리($2^4=16$ 배)로 증가하고 그 중에는 부모 세대(P)의 이중 나선 DNA를 구성하던 DNA 가닥을 가진 것이 두 마리 있으므로 ^{15}N 를 포함한 DNA 가닥을 가진 대장균의 비율은 $\frac{2}{16} = \frac{1}{8}$ 이다.

🟢 **모범답안** 4세대 대장균(G_4)에서 $^{14}N-^{15}N$ DNA를 가진 대장균의 비율은 $\frac{1}{8}$ 이다. 따라서 $1600 \times \frac{1}{8} = 200$ 마리이다.

채점 기준	배점
풀이 과정을 포함하여 ^{15}N 로 표지된 DNA 가닥을 가지는 대장균이 200마리라고 옳게 서술한 경우	100%
^{15}N 로 표지된 DNA를 가지는 대장균이 200마리라고 서술하였으나 풀이 과정의 일부가 틀린 경우	60%
풀이 과정 없이 ^{15}N 로 표지된 DNA를 가지는 대장균이 200마리라고 서술한 경우	30%

08 ① DNA는 세포 주기 중 간기의 S기에 복제되어 2배가 된다.

② RNA 프라이머의 3' 말단에 새로운 뉴클레오타이드가 추가되므로 DNA 복제는 5' → 3' 방향으로만 일어난다.

③ DNA 이중 나선의 각 가닥이 모두 주형으로 사용되어 DNA 복제가 완료되면 원래의 DNA와 염기 서열이 같은 DNA 분자가 2개 생성된다.

⑤ DNA 중합 효소는 3' 말단에 주형 가닥에 상보적인 염기를 가진 새로운 뉴클레오타이드를 결합시킨다.

▣ **바로알기** ▣ ④ DNA 복제 시 선도 가닥은 연속적으로 복제되지만, 지연 가닥은 작은 DNA 조각이 불연속적으로 합성된 후 DNA 연결 효소에 의해 한 가닥으로 연결된다.

09 ③ DNA 중합 효소에 의해 주형 가닥에 상보적인 염기를 가진 새로운 뉴클레오타이드가 결합하여 새로운 DNA 가닥이 합성되므로 새로 합성된 각 DNA 가닥은 원래 DNA 이중 나선 중 주형이 아닌 가닥과 염기 서열이 같다. 따라서 DNA 복제 결과 새로 만들어진 2개의 DNA는 원래의 DNA와 염기 서열이 같다.

▣ **바로알기** ▣ ① DNA 복제 과정에서 사용되는 프라이머 ㉠은 RNA이다.

② (가)에서 DNA 이중 나선을 이루는 염기 사이의 수소 결합이 끊어지면서 이중 나선이 풀어진다.

④ (라)에서 DNA 중합 효소에 의해 3' 말단에 새로운 뉴클레오타이드가 결합한다.

⑤ DNA 이중 나선이 풀어진 후 RNA 프라이머가 합성되고, DNA 중합 효소에 의해 프라이머의 3' 말단에 새로운 뉴클레오타이드가 결합하여 DNA가 복제된다. 따라서 DNA 복제는 (가) → (다) → (라) → (나)의 순으로 일어난다.

10 ① ㉠은 3' 말단에 뉴클레오타이드를 1개씩 연결하는 DNA 중합 효소이고, ㉡은 작은 DNA 조각을 연결하는 DNA 연결 효소이다.

② 가닥 I은 연속적으로 폴리뉴클레오타이드가 합성되는 선도 가닥이다.

③ 선도 가닥은 5' → 3' 방향으로 연속적으로 합성되므로 가닥 I의 오른쪽 끝은 5' 말단이다. 지연 가닥인 가닥 II의 방향은 가닥 I과 반대이므로 가닥 II의 오른쪽 끝은 3' 말단이다.

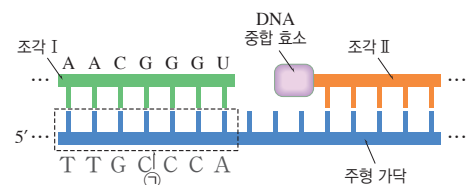
④ 가닥 I의 염기 서열은 주형 가닥과 상보적이므로 DNA 이중 나선 중 주형이 아닌 가닥, 즉 가닥 II의 주형 가닥과 같다.

▣ **바로알기** ▣ ⑤ DNA 연결 효소(㉢)는 하나의 작은 DNA 조각의 당과 다른 작은 DNA 조각의 인산을 연결한다.

11 (1) Y는 X가 50% 복제되었을 때의 DNA이므로 Y를 구성하는 뉴클레오타이드의 수는 X의 1.5배이다. 따라서 $X \times 1.5 = 1800$ 이므로 X를 구성하는 뉴클레오타이드의 수는 $1800 \times \frac{2}{3} = 1200$ 개이다.

(2) 복제된 부분과 복제되지 않은 부분에서 G+C 함량은 각각 35%와 45%이므로 X의 전체 200%에서 G+C의 함량은 80%이다. 따라서 A+T의 함량은 120%이므로 $\frac{A+T}{G+C} = \frac{120}{80} = 1.5$ 이다.

12 **꼼꼼** 문제 분석



- 지연 가닥에서 주형 가닥의 5' 방향에 있는 조각 I이 3' 방향 쪽에 가까운 조각 II보다 먼저 합성된 것이다.
- 조각 I의 염기 U은 RNA 프라이머에 포함된 것이다.

ㄱ. 조각 I 과 조각 II 는 새로 만들어진 가닥이며, 작은 DNA 조각을 형성한 후 연결되므로 지연 가닥을 구성한다.

ㄴ. ㉑의 염기 서열은 조각 I 과 상보적이므로 5'...TTGCCCA...3'이다. 퓨린 계열 염기는 A와 G으로 ㉑에는 총 2개가 있고, 피리미딘 계열 염기는 C와 T으로 ㉑에는 총 5개가 있다. 따라서 ㉑에서 염기 수의 비는 퓨린 계열 염기 : 피리미딘 계열 염기 = 2 : 5이다.

▣ **바로알기** ㄷ. 지연 가닥의 작은 DNA 조각은 DNA 연결 효소에 의해 연결되어 한 가닥의 DNA가 된다.

13 ㉑과 ㉒은 지연 가닥을 이룬다.

ㄱ. DNA 복제는 5' → 3' 방향으로 DNA 이중 나선이 풀어지는 만큼 진행되고, DNA 이중 나선은 왼쪽에서 오른쪽 방향으로 풀어진다. 따라서 지연 가닥에서 ㉑이 ㉒보다 먼저 합성된 것이다.

ㄴ. DNA 복제가 시작될 때에는 3' 말단을 제공하는 RNA 프라이머에 새로운 뉴클레오타이드가 결합된다. 따라서 ㉒에는 리보스가 포함되어 있다.

ㄷ. ㉑ 부분의 염기는 $1600 \times \frac{40}{100} = 640$ 개이고, 그 중 G+C의 함량이 60%이므로 ㉑ 부분에서 G+C의 수는 $640 \times \frac{60}{100} = 384$ 개이다. 따라서 A+T의 수는 $640 - 384 = 256$ 개이며, A와 T의 수는 같으므로 T의 개수는 128개이다.

중단원 핵심 정리

200쪽

- ① R형균 ② S형균 ③ DNA ④ DNA ⑤ 크
- ⑥ 진핵세포 ⑦ 뉴클레오타이드 ⑧ T ⑨ C ⑩ 이중 나선
- ⑪ 반보존적 ⑫ 수소 결합 ⑬ 프라이머
- ⑭ DNA 중합 ⑮ 선도 가닥 ⑯ 지연 가닥

중단원 마무리 문제

201쪽~203쪽

- 01 ㉑ 02 ㄷ 03 ㉑ 04 ㉑ 05 ㉑ 06 ㉑
- 07 ㉑ 08 ㄴ, ㄷ 09 ㉑ 10 ㉑ 11 해설 참조
- 12 해설 참조

01 ㄴ. 페렴 쌍구균 ㉒을 주사하였을 때 쥐가 폐렴에 걸려 죽었으므로 페렴 쌍구균 ㉒은 병원성이 있는 S형균이다. 따라서 페렴 쌍구균 ㉑은 R형균이다. 페렴 쌍구균 S형균(㉒)을 열처리한 후 페렴 쌍구균 R형균(㉑)과 혼합하여 쥐에 주사하면 쥐가 폐렴에 걸려 죽었다. 이는 열처리한 S형균(㉒)에 의해 R형균(㉑)이 S형균으로 형질 전환되었기 때문이다. 따라서 죽은 쥐 A에서 살아 있는 S형균(㉒)이 발견된다.

▣ **바로알기** ㄱ. 페렴 쌍구균 ㉑을 주사하였을 때 쥐가 살았으므로 ㉑은 병원성이 없는 R형균이다.

ㄷ. 그리피스는 이 실험을 통해 S형균(㉒)의 어떤 물질이 R형균(㉑)을 S형균(㉒)으로 형질 전환시켰다는 것을 밝혔지만, 이 물질이 무엇인지는 밝히지 못하였다.

02 **꼼꼼 문제 분석**

→ S형균
살아 있는 페렴 쌍구균 ㉑을 열처리하여 얻은 세포 추출물이 들어 있는 시험관 I~III에 표와 같이 처리하여 배양한 후 페렴 쌍구균의 종류를 조사한다.

시험관	I	II	III
첨가 효소	㉑	㉒	없음
첨가 세균	㉑	㉑	없음
페렴 쌍구균 종류	R형균	R형균, S형균	없음

공통적으로 R형균이 발견되었으므로 페렴 쌍구균 ㉑은 R형균이다. → 페렴 쌍구균 ㉑은 S형균이다.
효소 ㉑을 첨가하였을 때는 S형균이 발견되지만, 효소 ㉒을 첨가하였을 때는 S형균이 발견된다. → 효소 ㉑은 죽은 S형균의 유전 물질을 분해하는 DNA 분해 효소이고, ㉒은 단백질 분해 효소이다.

ㄷ. II의 S형균은 열처리하여 죽은 S형균의 세포 추출물에 들어 있던 S형균의 유전 물질에 의해 R형균이 형질 전환된 것이다.

▣ **바로알기** ㄱ. I에서는 S형균이 발견되지 않으므로 효소 ㉑에 의해 S형균의 유전 물질이 분해되었음을 알 수 있다. 따라서 ㉑은 DNA 분해 효소이고, ㉒은 단백질 분해 효소이다.

ㄴ. 시험관 I, II에 R형균이 공통적으로 있으므로 페렴 쌍구균 ㉑은 살아 있는 R형균이다.

03 ㄴ. 인(P)은 인산의 구성 원소이므로 ³²P은 DNA를 표지하는 데 사용된다. 배양액을 원심 분리하면 침전물에는 파지의 DNA가 포함된 대장균이 있고, 상층액에는 파지의 단백질 껍질이 있다. 따라서 시험관의 침전물에서 방사선이 검출된다.

ㄷ. 시험관의 침전물에는 파지의 DNA가 포함되므로 침전물을 배양하면 ³²P으로 표지된 DNA가 복제되고 이로부터 새로운 파지가 생성되므로 새로 생성된 파지 일부에서 방사선이 검출될 것이다.

▣ **바로알기** ㄱ. ³²P으로는 DNA가 표지된다.

04 나. (가)의 유전자 밀도는 $\frac{4400}{4.6 \times 10^6} \approx 0.00096$ 이고, (라)의 유전자 밀도는 $\frac{22000}{2.6 \times 10^9} \approx 0.0000085$ 이므로 (가)가 (라)보다 유전자 밀도가 크다.

다. (나)는 유전체가 여러 개의 선형 염색체로 구성되므로 진핵생물이다. 진핵세포에는 히스톤이 있어 DNA가 히스톤을 휘감아 뉴클레오솜을 형성한다.

르. (다)는 유전체가 여러 개의 선형 염색체로 구성되므로 진핵생물이다. 따라서 염색체는 막으로 둘러싸인 핵 속에 있다.

▣ **바로알기** ▣ 가. (다)는 (나)보다 염색체 수가 많지만 유전체 크기는 작다.

05 ⑤ 대장균을 ^{15}N 가 포함된 배지에서 배양하면 질소(N)를 구성 원소로 갖는 염기 ㉠과 ㉡이 ^{15}N 로 표시된다.

▣ **바로알기** ▣ ① 당과 인산 사이의 결합 (가)는 공유 결합, 염기 사이의 결합 (나)는 수소 결합이다.

② DNA의 단위체는 뉴클레오타이드이며, 이는 인산, 당, 염기가 1 : 1 : 1로 구성된다. 따라서 ㉠ + ㉡ + ㉢으로 나타낼 수 있다.

③ ㉢은 2중 수소 결합하는 퓨린 계열 염기이므로 A이고, ㉣은 A와 상보적으로 결합하는 염기인 T이다.

④ ㉤은 2개의 고리 구조를 갖는 퓨린 계열 염기이고, ㉥은 1개의 고리 구조를 갖는 피리미딘 계열 염기이다.

06 **꼼꼼** 문제 분석

이중 가닥 DNA에서 A와 T, G와 C의 조성 비율은 각각 같다.

구분	염기 조성(%)				$\frac{A+T}{G+C}$
	A	T	G	C	
I	28	? 28	? 22	㉠ 22	약 1.27
II	? 30	30	㉡ 20	? 20	1.50
III	㉢	?	㉣	?	?
IV	? 18	18	? 32	? 32	㉤ 약 0.56

이중 가닥 DNA에서 퓨린 계열 염기(A+G)와 피리미딘 계열 염기(C+T)의 조성 비율은 각각 50%로 같다. → ㉢ + ㉣ = 50%

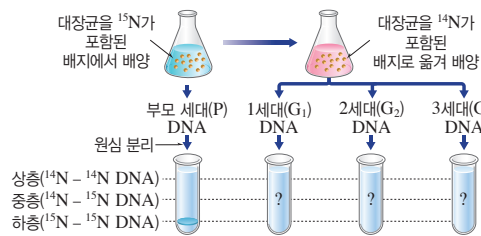
가. ㉠ + ㉡ = 22 + 20 = 42이고, ㉢ + ㉣ = 50이다.

다. A은 T과, G은 C과 항상 상보적으로 결합하므로 생물종에 관계없이 퓨린 계열 염기(A+G)의 비율과 피리미딘 계열 염기(C+T)의 비율은 50%로 같다.

▣ **바로알기** ▣ 나. A과 T은 2중 수소 결합, G과 C은 3중 수소 결합으로 연결된다. 따라서 염기쌍의 수가 같다면 G+C의 비율이 높은 IV가 I보다 DNA에 수소 결합의 수가 많다.

르. ㉤의 값은 $\frac{18+18}{32+32} \approx 0.56$ 으로, 0.5보다 크다.

07 **꼼꼼** 문제 분석



- DNA의 복제는 반보존적 복제 방식으로 일어난다.
- 제시된 자료에서 각 세대별 DNA가 나타나는 위치와 상대적인 비는 다음과 같다.

구분	부모 세대(P)	1세대(G ₁)	2세대(G ₂)	3세대(G ₃)
상층	0	0	1	3
중층	0	1	1	1
하층	1	0	0	0

다. 3세대 대장균(G₃)에서 상층과 중층에 나타나는 DNA 상대량을 4라고 할 때 각 DNA는 두 가닥으로 이루어져 있으므로 전체 DNA 가닥은 8이다. 그 중에서 부모 세대의 ^{15}N 를 포함한 DNA 가닥은 중층에서 발견되는 DNA의 한 가닥이므로 $\frac{^{15}\text{N}$ 를 포함한 DNA 가닥}{전체 DNA 가닥} = $\frac{1}{8}$ 이다.

▣ **바로알기** ▣ 가. 1세대 대장균(G₁)에서 DNA 띠는 중층 한 군데에서만 나타난다.

나. 2세대 대장균(G₂)에서 상층과 중층에 같은 비율로 DNA가 나타나므로 DNA를 원심 분리하면 DNA양의 비는 상층 : 중층 = 1 : 1로 나타난다.

08 **꼼꼼** 문제 분석

(가) ㉠을 포함한 배지에서 여러 세대를 배양한 대장균(P)을 ㉡을 포함한 배지로 옮겨 1세대 대장균(G₁), 2세대 대장균(G₂)을 얻었다.

(나) 2세대 대장균(G₂)을 다시 ㉠을 포함한 배지로 옮겨 배양하여 3세대 대장균(G₃)을 얻었다.

(다) 2세대 대장균(G₂)의 DNA를 추출하였더니 조성비가 $^{14}\text{N}-^{15}\text{N} : ^{15}\text{N}-^{15}\text{N} = 1 : 1$ 로 나타났다.

• 2세대(G₂)의 DNA에서 $^{14}\text{N}-^{15}\text{N}$, $^{15}\text{N}-^{15}\text{N}$ 가 같은 비율로 나타났으므로 부모 세대(P)를 배양하였던 배지의 ㉠은 ^{14}N 이고, 바뀐 배지의 ㉡은 ^{15}N 이다.

• 배지를 바꾸면서 세대를 얻은 후 DNA를 추출하여 원심 분리하였을 때 세대별 DNA가 나타나는 위치와 상대적인 비는 다음과 같다.

구분	부모 세대(P)	1세대(G ₁)	2세대(G ₂)	3세대(G ₃)
$^{14}\text{N}-^{14}\text{N}$	1	0	0	1
$^{14}\text{N}-^{15}\text{N}$	0	1	1	3
$^{15}\text{N}-^{15}\text{N}$	0	0	1	0

나. 2세대(G_2) DNA는 $^{14}\text{N}-^{15}\text{N}$ 와 $^{15}\text{N}-^{15}\text{N}$ 가 같은 비율로 나타난다. 이를 ^{14}N 가 포함된 배지로 옮겨 배양하면 $^{14}\text{N}-^{15}\text{N}$ DNA의 각 가닥이 주형이 되어 ^{14}N 를 가진 DNA 가닥이 새롭게 만들어져 $^{14}\text{N}-^{14}\text{N}$ DNA와 $^{14}\text{N}-^{15}\text{N}$ DNA가 각각 1 : 1로 나타난다. 또 $^{15}\text{N}-^{15}\text{N}$ DNA로부터는 각 가닥이 주형이 되어 ^{14}N 를 가진 DNA 가닥이 새로 만들어져 $^{14}\text{N}-^{15}\text{N}$ DNA, $^{14}\text{N}-^{15}\text{N}$ DNA가 만들어진다. 따라서 3세대(G_3)의 DNA는 $^{14}\text{N}-^{14}\text{N} : ^{14}\text{N}-^{15}\text{N} : ^{15}\text{N}-^{15}\text{N} = 1 : 3 : 0$ 의 비로 나타난다.

다. 3세대(G_3)를 다시 C^{15}N 을 포함한 배지로 옮겨 4세대 대장균(G_4)을 얻으면 $^{14}\text{N}-^{14}\text{N}$ DNA가 $^{14}\text{N}-^{15}\text{N}$ DNA 두 분자로 복제되고, $^{14}\text{N}-^{15}\text{N}$ DNA 세 분자가 $^{14}\text{N}-^{15}\text{N}$ DNA 세 분자와 $^{15}\text{N}-^{15}\text{N}$ DNA 세 분자로 복제된다. 따라서 DNA는 $^{14}\text{N}-^{14}\text{N} : ^{14}\text{N}-^{15}\text{N} : ^{15}\text{N}-^{15}\text{N} = 0 : 5 : 3$ 의 비로 나타난다.

▣ **바로알기** ▣ 가. 배지를 바꾸어 배양하여 2세대(G_2) 대장균을 얻었을 때 $^{15}\text{N}-^{15}\text{N}$ DNA가 나타난 것은 바뀐 배지에 ^{15}N (C)가 포함되어 있기 때문이다. 따라서 ㉠은 ^{14}N 이고, ㉡은 ^{15}N 이다.

09 가. DNA를 구성하는 폴리뉴클레오타이드 두 가닥은 서로 반대 방향이므로 ㉠은 3' 말단이다.

나. ㉡은 DNA 복제 과정에서 3' 말단을 제공하는 RNA 프라이머이다. RNA를 구성하는 당은 리보스이다.

▣ **바로알기** ▣ 다. ㉢은 DNA 중합 효소의 작용으로 만들어진 DNA 조각이다. 따라서 ㉢에는 RNA에만 있는 염기인 U이 포함될 수 없다.

10 가. DNA 복제는 세포가 분열하기 전 간의 S기에 일어난다.

나. DNA 복제는 항상 5'(C) → 3'(G) 방향으로만 일어난다.
 르. (가)+(나)의 염기 수는 64개이고, 그 중 A와 T의 수는 각각 20개이므로 (가)와 (나)에 있는 염기 G와 C 수의 합은 64-40=24개이다.

▣ **바로알기** ▣ 다. 지연 가닥(나)은 DNA 복제가 불연속적으로 이루어지므로 선도 가닥(가)에 비해 복제 속도가 느리다.

11 퓨린 계열 염기와 피리미딘 계열 염기의 비율은 같다.

▣ **모범답안** DNA 이중 나선에서 퓨린 계열 염기(A, G)와 피리미딘 계열 염기(C, T)가 상보적으로 결합하므로 생물종에 관계없이 퓨린 계열 염기와 피리미딘 계열 염기의 비율은 각각 50%로 서로 같다.

채점 기준	배점
DNA에서 퓨린 계열 염기와 피리미딘 계열 염기가 상보적으로 결합하므로 생물종에 관계없이 퓨린 계열 염기와 피리미딘 계열 염기의 비율이 서로 같다고 서술한 경우	100%
퓨린 계열 염기와 피리미딘 계열 염기의 비율이 같다고만 서술한 경우	50%

12 DNA가 복제될 때는 염기 사이의 수소 결합이 끊어져 두 가닥이 풀리고, 각 가닥을 주형으로 하여 DNA 중합 효소에 의해 새로운 뉴클레오타이드가 1개씩 결합하여 새로운 가닥을 합성한다. 그런데 DNA 중합 효소는 기존의 3' 말단에 새로운 뉴클레오타이드를 결합시키므로 DNA는 항상 5' → 3' 방향으로만 복제가 일어난다. 이 때문에 한쪽 가닥은 연속적으로 복제되는 선도 가닥이 되고, 다른 한쪽은 불연속적으로 복제되는 지연 가닥이 된다.

▣ **모범답안** (1) 효소 E는 DNA 중합 효소이며, 새로운 가닥의 3' 말단에만 새로운 뉴클레오타이드를 결합시킨다. 따라서 역평행 구조의 이중 나선 DNA를 이루는 두 가닥을 각각 주형으로 할 때 한 가닥은 연속적으로, 다른 한 가닥은 불연속적으로 복제된다.

(2) 3'-ACTTAG-5'

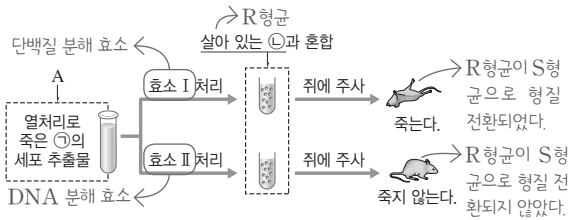
채점 기준	배점
(1) 선도 가닥과 지연 가닥이 형성되는 까닭을 효소 E의 특성과 DNA 두 가닥의 방향성을 근거로 들어 옮겨 서술한 경우	50%
선도 가닥과 지연 가닥이 형성되는 까닭을 효소 E가 5' → 3' 방향으로만 복제하기 때문이라고만 서술한 경우	30%
(2) 방향성과 염기 서열을 모두 옮겨 쓴 경우	50%
염기 서열만 옮겨 쓴 경우	30%

수능 실전 문제

204 쪽 ~ 205 쪽

01 ⑤ 02 ② 03 ④ 04 ② 05 ⑤ 06 ②

01 **꼼꼼** 문제 분석



- 효소 I 과 II 를 처리하였을 때 모두 C 을 첨가하였는데 효소 II 를 처리한 경우에는 쥐가 죽지 않았으므로 C 은 병원성이 없는 R형균이다. 따라서 ㉠은 병원성이 있는 S형균이다.
- 효소 I 을 처리한 경우: 쥐가 죽었으므로 R형균이 S형균으로 형질 전환되었다. → S형균의 유전 물질이 남아 있으므로 효소 I 은 단백질 분해 효소이다.
- 효소 II 를 처리한 경우: 쥐가 죽지 않았으므로 R형균이 S형균으로 형질 전환되지 않았다. → S형균의 유전 물질이 효소 II 에 의해 분해되었으므로 효소 II 는 DNA 분해 효소이다.

선택지 분석

- ✗ ㉠은 S형균이다. R형균
- ㉡ 효소 II의 기질은 DNA이다.
DNA 분해 효소
- ㉢ 형질 전환을 일으키는 물질은 A에 들어 있다.

나. 효소 II는 DNA 분해 효소이므로 효소 II와 결합하는 기질은 DNA이다.

다. S형균(㉠)의 세포 추출물 A를 살아 있는 R형균(㉡)에 혼합하여 배양하였을 때 R형균(㉡)이 S형균(㉠)으로 형질 전환되었으므로 A에 형질 전환을 일으키는 물질이 들어 있다는 것을 알 수 있다.

바로알기 ㉠. ㉠은 병원성이 있는 S형균이고, ㉡은 병원성이 없는 R형균이다.

02

선택지 분석

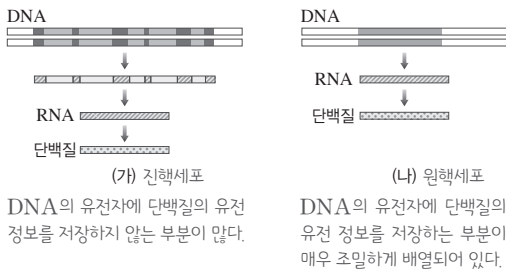
- ✗ ㉠에는 ³⁵S이 포함되어 있다.
포함되어 있지 않다.
- ✗ (가) 과정에서는 원심 분리를 통해 단백질 껍질을 대장균으로부터 분리한다. 믹서를 사용하여
- ㉡ (나)에서 파지의 DNA를 복제하는 데 필요한 효소와 뉴클레오타이드는 대장균에 있던 것이다.

다. 파지는 자체 효소가 없어 독립적으로 물질대사를 하지 못하므로 (나)에서 파지의 DNA가 복제될 때는 숙주인 대장균의 효소와 뉴클레오타이드를 이용한다.

바로알기 ㉠. 황(S)은 DNA에는 없고 단백질에는 있는 원소이므로 ³⁵S은 파지의 단백질 껍질을 표지한다. DNA는 대장균 속으로 들어가 새로운 파지를 만드는 데 사용되는데, 단백질 껍질에 표지한 ³⁵S은 대장균 속으로 들어가지 않아 ㉠에는 ³⁵S이 포함되어 있지 않다.

나. (가)에서 대장균에 붙어 있는 파지의 단백질 껍질을 분리할 때는 믹서를 사용한다.

03 **꼼꼼** 문제 분석



선택지 분석

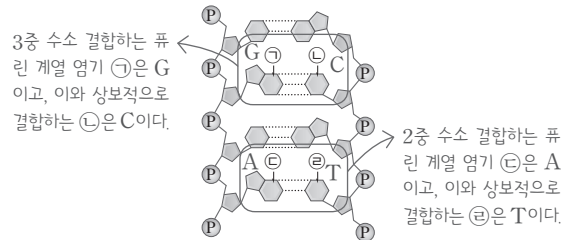
- ㉠ (가)의 유전자에는 단백질을 암호화하지 않는 부위가 있다.
- ✗ ㉡ (가)의 유전체는 대부분 하나의 원형 염색체로 이루어진다. (나)
- ㉢ (나)는 유전체가 세포질에 있다.

㉠. (가)는 DNA에 단백질을 암호화하지 않는 부위가 있어 RNA를 합성할 때 단백질을 암호화하지 않는 부위를 제거하는 과정이 있다. 따라서 (가)는 진핵세포의 단백질 합성 과정이다.

㉡. (나)는 유전자에 유전 정보가 연속적으로 저장되어 있으므로 원핵세포의 단백질 합성 과정이다. 원핵세포(나)는 막으로 둘러싸인 핵이 없으므로 유전체가 세포질에 있다.

바로알기 ㉠. 진핵세포(가)의 유전체는 대부분 여러 개의 선형 염색체로 이루어진다.

04 **꼼꼼** 문제 분석



$$A+T+G+C=100. \frac{㉠+㉡}{㉢+㉣} = \frac{G+C}{A+T} = \frac{2}{3} \text{이므로 } G+C = \frac{2}{5} \times 100 = 40 \text{이다. 따라서 G와 C의 개수는 각각 20개이고, A+T는 60개이므로 A와 T의 개수는 각각 30개이다.}$$

선택지 분석

- ✗ ㉠은 RNA에는 없고 DNA에만 있는 염기이다. ㉢(T)
- ✗ DNA X에서 퓨린 계열 염기와 피리미딘 계열 염기의 비율은 2 : 3이다. 1 : 1
- ㉡ DNA X에서 염기 간 수소 결합은 총 120개이다.

다. DNA X에서 염기 간 수소 결합의 총 수는 $20 \times 3(G+C)$ 의 3중 수소 결합 + $30 \times 2(A+T)$ 의 2중 수소 결합 = 120개이다.

바로알기 ㉠. ㉠은 C이며, DNA와 RNA에 공통적으로 존재하는 염기이다. RNA에는 없고 DNA에만 있는 염기는 T(㉢)이다.

나. 이중 나선 DNA에서 퓨린 계열 염기(A, G)와 피리미딘 계열 염기(C, T)가 상보적으로 결합하므로 퓨린 계열 염기와 피리미딘 계열 염기의 비율은 1 : 1로 같다.

05 **꼼꼼** 문제 분석

세대 구분	P	G ₁	G ₂	G ₃	G ₄	G ₅
A중층	0	1	0.5	? 0.25	㉠0.875 ㉡0.4375	
B하층	0	0	㉢0.5	? 0.75	? 0	㉣0
C상층	1	0	? 0	? 0	㉤0.125 ㉥0.5625	

선택지 분석

- ㉠ ㉠은 0.5이다.
- ㉡ ㉡과 ㉢의 합은 1이다.
- ㉣ 5세대 대장균(G₅)의 DNA 상대량은 ㉤ > ㉥ > ㉦이다.

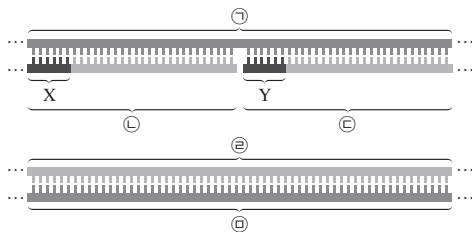
ㄱ. 부모 세대(P)의 ¹⁴N-¹⁴N DNA가 나타나는 C는 상층이고, 1세대 대장균(G₁)의 ¹⁴N-¹⁵N DNA가 나타나는 A는 중층이다. 따라서 B가 하층이다. 2세대 대장균(G₂)의 DNA는 ¹⁴N-¹⁵N DNA, ¹⁵N-¹⁵N DNA이므로 중층(A)과 하층(B)에 1 : 1로 나타난다.

ㄴ. 4세대 대장균(G₄)은 ¹⁴N-¹⁴N DNA와 ¹⁴N-¹⁵N DNA의 비가 1 : 7이므로 ¹⁴N-¹⁴N DNA의 비율(㉠)은 0.125, ¹⁴N-¹⁵N DNA의 비율(㉡)은 0.875이다. 따라서 ㉡과 ㉢의 합은 1이다.

ㄷ. 4세대 대장균(G₄)을 배양하여 얻은 5세대(G₅) 대장균은 ¹⁴N-¹⁴N DNA와 ¹⁴N-¹⁵N DNA의 비가 9 : 7이므로 DNA를 원심 분리하면 DNA 상대량은 중층(A) : 하층(B) : 상층(C) = 7 : 0 : 9로 나타난다. 따라서 ㉤ > ㉥ > ㉦이다.

06 **꼼꼼** 문제 분석

- ㉠과 ㉡은 주형 가닥이고 서로 상보적이며, ㉢, ㉣, ㉤은 새로 합성된 가닥이다.
- ㉠, ㉡, ㉢은 각각 60개의 염기로 구성되며, ㉣과 ㉤은 각각 30개의 염기로 구성되고, 프라이머 X와 Y는 각각 동일한 6개의 염기로 구성된다.
- ㉠과 ㉡ 사이의 수소 결합의 총 개수는 ㉠과 ㉡ 사이의 수소 결합의 총 개수와 같다.
- ㉠에서 $\frac{A+T}{G+C} = \frac{3}{2}$ 이고, ㉡에서 $\frac{A+T}{G+C} = 1$ 이다.
- ㉢에서 $\frac{T}{A} = 1$ 이고, $\frac{C}{G} = \frac{7}{5}$ 이다.



• ㉠과 ㉡은 상보적인 염기 서열을 가진다. → ㉠과 ㉡을 합쳐서 A과 T의 수가 같고, G과 C의 수가 같다. ㉢에서 $\frac{T}{A} = 1$ 이므로 ㉠에서도 A과 T의 수는 같다. ㉠에서 $A+T+G+C=60$ 이고, $\frac{A+T}{G+C} = \frac{3}{2}$ 이므로 $A+T = \frac{3}{5} \times 60 = 36$ 이 되어 A과 T은 각각 18개이다.

• ㉢에서 $\frac{C}{G} = \frac{7}{5}$ 이므로 상보적으로 결합하는 ㉣에서는 이 비율이 거꾸로 나타나 $\frac{C}{G} = \frac{5}{7}$ 이고, $G+C=60-36=24$ 이다. 따라서 ㉣에서 $C=24 \times \frac{5}{12} = 10$ 개이고, G은 14개이다.

• ㉣과 상보적으로 결합하는 가닥 사이에서 생길 수 있는 수소 결합의 총 수는 $(A+T) \times 2 + (G+C) \times 3 = (18+18) \times 2 + (10+14) \times 3 = 144$ 개이다. ㉣과 ㉤의 염기 수는 30개로 같으며, ㉣과의 수소 결합의 총 수도 같다. 따라서 ㉣과 ㉤, ㉣과 ㉥ 사이의 수소 결합의 수는 각각 72개이다.

• ㉣에서 염기 30쌍 사이의 수소 결합의 총 수는 72개이다. 프라이머는 RNA로 구성되므로 ㉣을 구성할 수 있는 염기는 A, G, C, T, U이다. $2(A+T+U) + 3(G+C) = 72$ 이고, $A+T+U+G+C = 30$ 이므로 $A+T+U = 18$ 이고 $G+C = 12$ 이다. 그런데 ㉣에서 $\frac{A+T}{G+C} = 1$ 이라고 하였으므로 ㉣에서 A+T도 12개이다. 따라서 나머지 6개는 프라이머 X를 구성하는 염기 U이라는 것을 알 수 있다.

선택지 분석

- ✗ ㉣과 ㉤ 사이의 수소 결합의 개수는 18개이다. 12개
- ✗ $\frac{A+T}{G+C}$ 는 ㉢에서가 ㉣에서보다 작다. 크다.
- ㉣ ㉣에서 염기 G의 개수는 14개이다.

ㄷ. ㉢은 ㉣과 염기 서열이 같으므로 구아닌(G)의 개수는 ㉣과 같은 14개이다.

▣ **바로알기** ㄱ. X는 UUUUUU로 구성되므로 X와 ㉣ 사이의 수소 결합의 개수는 $2 \times 6 = 12$ 개이다.

ㄴ. ㉢에서 $A+T$ 은 ㉣과 같이 36개이고, $G+C$ 은 24개이다.

따라서 ㉢에서 $\frac{A+T}{G+C} = \frac{36}{24} = 1.5$ 이다.

㉣과 상보적인 ㉣과 ㉤에서의 염기 수는 다음 표와 같다.

염기	A	G	C	T
가닥 ㉣	18	14	10	18
	↓	↓	↓	↓
염기	T+U	C	G	A
가닥 ㉣+㉤	18	14	10	18

프라이머의 U 6개를 제외하면 ㉢에서 $A+T+G+C=24$ 개이고, ㉣에서 $G+C=12$ 개이므로 ㉢에서 $G+C=12$ 개이고, $A+T=12$ 개이다. 따라서 ㉢에서 $\frac{A+T}{G+C} = 1$ 이다.

2

유전자 발현



1 유전자 발현

개념 확인 문제

210 쪽

- 1 발현 2 단백질 3 형질 4 효소설 5 1단백질설
6 폴리펩타이드설

1 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) × 2 (1) ○ (2) ○ (3) × 3 (1) 아
르지닌 (2) ㉠ 오르니틴, ㉡ 시트룰린 (3) I형 (4) 효소 C (5) 전구
물질 → 오르니틴 → 시트룰린 → 아르지닌 (6) 효소 B를 합성하지
못하여 오르니틴을 시트룰린으로 전환하지 못한다.

- 1** (1) 유전자는 단백질 합성에 필요한 정보를 저장하며, 합성
된 단백질이 특정 기능을 수행함으로써 생물의 형질이 나타난다.
(2) 비들과 테이텀은 붉은뽕곰팡이의 영양 요구주를 이용한 실험
을 통해 1유전자 1효소설을 제안하였다.
(3) 하나의 유전자는 효소뿐만 아니라 인슐린과 같은 호르몬이나
머리카락을 구성하는 케라틴 등 효소로 작용하지 않는 단백질의
합성에도 관여한다.
(4) 하나의 단백질을 구성하는 다른 종류의 폴리펩타이드는 서로
다른 유전자에 의해 합성된다.

- 2** (1) 하나의 유전자가 하나의 효소를 합성되게 하는 1유전자
1효소설을 나타내고 있다.
(2) 유전자 A에는 효소 A의 합성 정보가 저장되어 있다.
(3) 유전자 B에 이상이 생기면 효소 B가 정상적으로 생성되지 않
기 때문에 물질 (가)로부터 (나)가 합성되지 않는다.

- 3** (1) 최소 배지에 아르지닌을 첨가하면 영양 요구주 I형, II
형, III형이 모두 성장하므로 붉은뽕곰팡이의 성장에 반드시 필요
한 물질은 아르지닌이다.
(2) 영양 요구주 II형은 최소 배지에 시트룰린이나 아르지닌을
첨가하였을 때 성장하였으므로 물질 ㉡은 시트룰린이고, ㉠은
오르니틴이다.
(3) 영양 요구주 I형은 오르니틴의 합성에 관여하는 효소를 만들
지 못하여 전구 물질로부터 오르니틴(㉠)을 합성하지 못한다.
(4) 영양 요구주 III형은 오르니틴이나 시트룰린을 첨가하였을 때
는 성장하지 못하고 아르지닌을 첨가하였을 때만 성장하므로 시
트룰린(㉡)을 아르지닌으로 전환하는 효소 C가 정상적으로 생성
되지 않는다.

- (5) 붉은뽕곰팡이에서 '전구 물질 → 오르니틴 → 시트룰린'을 거
쳐 아르지닌이 합성된다.
(6) 유전자 B에 이상이 생긴 붉은뽕곰팡이는 정상 기능을 하는
효소 B를 생성하지 못한다. 그 결과 오르니틴(㉠)을 시트룰린
(㉡)으로 전환하지 못하므로 최소 배지에 시트룰린(㉡)이나 아르
지닌을 첨가해야만 성장할 수 있다.

개념 확인 문제

214 쪽

- 1 중심 원리 2 전사 3 번역 4 3염기 조합 5 코돈
6 RNA 중합 효소 7 5'→3'

1 (1) ㉠ 전사, ㉡ 번역 (2) ㉠ 핵, ㉡ 리보솜 2 (1) × (2) ×
(3) ○ (4) ○ 3 (1) RNA 중합 효소 (2) 5' 4 5'-
UAGGCUAGC-3' 5 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) × 6 (1) tRNA
(2) rRNA (3) mRNA

- 1** 진핵세포에서 DNA의 유전 정보가 RNA로 전달되는 전사
(가) 과정은 핵 속에서 일어나며, RNA로 전달된 유전 정보에 따
라 단백질이 합성되는 번역(나) 과정은 세포질의 리보솜에서 일
어난다.

- 2** (1) DNA에서 연속된 3개의 염기로 이루어진 유전부호를
3염기 조합이라고 한다.
(2) AUG는 메싸이오닌을 지정하면서 개시 코돈으로 작용한다.
(3) 아미노산은 20종류이지만, 코돈은 64종류이다. 따라서 여러
개의 코돈이 하나의 아미노산을 지정하는 경우도 있다.
(4) 세균과 사람은 유전부호 체계가 같으므로 세균과 사람에서
동일한 코돈은 동일한 아미노산으로 번역된다.

- 3** (1) 효소 A는 RNA를 합성하는 RNA 중합 효소이다.
(2) RNA의 합성은 5' → 3' 방향으로 일어난다. 따라서 가장 먼
저 만들어져 DNA와 분리되어 있는 ㉠은 5' 말단이다.

- 4** 전사가 일어날 때는 DNA의 주형 가닥에 상보적인 염기를
가진 리보뉴클레오타이드가 결합하여 RNA를 합성하며, DNA
와 RNA의 염기는 상보적 대응 관계이고, 방향은 반대이다. 이
때 DNA와는 달리 RNA에는 타이민(T)이 없고 유라실(U)이
있으므로 DNA 주형 가닥의 아데닌(A)에 상보적인 mRNA의
염기는 유라실(U)이다.

- 5** (1) RNA 중합 효소는 처음부터 주형 가닥에 상보적인 염기
를 가진 리보뉴클레오타이드를 결합시킬 수 있으므로 프라이머
가 필요하지 않다.

- (2) RNA 중합 효소는 리보뉴클레오타이드를 5' → 3' 방향으로 연결시킨다.
- (3) RNA 중합 효소가 프로모터에 결합하여 DNA 이중 나선의 일부를 풀면서 전사가 시작된다.
- (4) 복제는 DNA 이중 나선의 두 가닥이 모두 주형이 되지만, 전사는 DNA 이중 나선의 두 가닥 중 한 가닥을 주형으로 하여 일어난다.

6 mRNA는 DNA 염기 서열에 저장되어 있는 단백질 합성 정보를 리보솜에 전달하고, rRNA는 단백질과 결합하여 리보솜을 구성하며, tRNA는 단백질 합성에 필요한 아미노산을 리보솜으로 운반한다.

개념 확인 문제

217쪽

- ① 단백질 ② 안티코돈 ③ 아미노산 ④ A ⑤ P
- ⑥ E ⑦ mRNA ⑧ 개시 코돈 ⑨ P ⑩ 펩타이드
- ⑪ 종결 코돈

1 (1) A (2) C 2 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × (5) × 3 (1) A: tRNA, B: mRNA, C: 코돈 (2) ㉠ → ㉡ 4 (가) → (마) → (바) → (나) → (라) → (다)

- 1** (1) tRNA의 3' 말단에 아미노산이 결합하는 자리가 있다.
- (2) C는 mRNA의 특정 코돈과 상보적으로 결합하는 안티코돈이다.
- 2** (1) tRNA는 코돈과 상보적으로 결합하는 안티코돈이 있어 코돈이 지정하는 아미노산을 리보솜으로 운반한다.
- (2) tRNA에 따라 결합할 수 있는 아미노산의 종류가 다르다. 따라서 20종류의 아미노산은 서로 다른 tRNA에 의해 운반된다.
- (3) 리보솜을 구성하는 대단위체와 소단위체는 단백질을 합성하지 않을 때는 분리되어 있다가 단백질을 합성할 때 결합한다.
- (4) tRNA와 아미노산은 세포질에서 결합하고, 리보솜에서는 아미노산과 아미노산 사이의 펩타이드 결합이 일어난다.
- (5) 리보솜 대단위체에는 tRNA의 결합 자리가 있고, mRNA의 결합 자리는 리보솜 소단위체에 있다.
- 3** (1) A는 아미노산을 리보솜으로 운반하는 tRNA, B는 유전 정보를 전달하는 mRNA, C는 mRNA의 코돈이다.

(2) 번역은 mRNA의 5' → 3' 방향으로 일어나며, 새로 추가되는 아미노산을 결합한 tRNA가 결합하는 A 자리는 3' 말단 쪽에 있다. 따라서 번역은 ㉠ → ㉡ 방향으로 일어난다.

4 (가) mRNA가 세포질에 있는 리보솜 소단위체와 결합하면, 아미노산(메싸이오닌)을 운반하는 개시 tRNA가 개시 코돈에 상보적으로 결합한다. 이어서 리보솜 대단위체가 mRNA에 결합하여 완전한 리보솜을 만드는데, (마) 이때 개시 tRNA는 P 자리에 위치한다. (바) 리보솜 대단위체의 A 자리에 아미노산과 결합한 tRNA가 들어와 위치하면 (나) A 자리의 아미노산과 P 자리의 아미노산(메싸이오닌) 사이에 펩타이드 결합이 형성된다. 리보솜이 하나의 코돈만큼 이동하면 A 자리의 tRNA는 P 자리에 오며, A 자리에는 새로운 tRNA가 들어와 새로운 펩타이드 결합이 형성되고, P 자리의 tRNA는 E 자리로 이동하여 분리된다. 이 과정이 반복되면서 폴리펩타이드가 길어진다. (라) 리보솜의 A 자리에 mRNA의 종결 코돈이 위치하면 단백질 합성이 종료되고, (다) 리보솜은 대단위체와 소단위체로 분리된다.

218쪽

완자샘
비법 특강

- Q1 5'-UACUCG-3'
- Q2 A 자리
- Q3 P 자리

Q1 mRNA의 염기 서열은 DNA 주형 가닥의 염기 서열과 상보적이며 방향은 반대이다. DNA 주형 가닥의 아데닌(A)에는 RNA의 상보적인 염기인 유라실(U)이 결합한다.

Q2 A 자리는 새롭게 추가되는 아미노산이 붙은 tRNA가 들어오는 자리이다.

Q3 개시 tRNA는 리보솜의 P 자리에 결합한다.

대표 자료 분석

219쪽~220쪽

- 자료 1 1 1유전자 1효소설 2 ㉠ 시트룰린, ㉡ 아르지닌, ㉢ 오르니틴 3 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × (5) ○
- 자료 2 1 A 2 RNA 중합 효소 3 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ (5) × (6) ○ (7) ×
- 자료 3 1 GTT 2 메싸이오닌 3 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ (5) ○ (6) × (7) ○
- 자료 4 1 tRNA 2 rRNA, 단백질 3 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ○ (5) × (6) × (7) ○

①-1 하나의 유전자가 하나의 효소를 합성되게 한다고 설명하는 학설을 1유전자 1효소설이라고 한다.

①-2 최소 배지에 ㉠을 첨가하면 I형, II형, III형이 모두 생장하므로 ㉠은 붉은뽕곰팡이의 생장에 필요한 아르지닌이다. I형은 ㉠을 첨가하였을 때는 생장하지 못하지만, ㉡을 첨가하였을 때는 생장하므로 ㉠이 오르니틴이고, ㉢이 시트룰린이다.

①-3 (1) 야생형은 최소 배지에서도 생장하므로 효소 A를 합성할 수 있다.

(2) 아르지닌(㉠)이 합성되기까지 물질의 전환 과정은 오르니틴(㉡) → 시트룰린(㉢) → 아르지닌(㉠)이다.

(3) I형은 오르니틴(㉡)을 첨가한 배지에서 생장하지 못하므로 효소 B를 합성하지 못한다. 그러나 시트룰린(㉢)을 첨가한 배지에서는 생장하므로 효소 C는 합성할 수 있다.

(4) II형은 오르니틴(㉡)을 첨가하였을 때와 시트룰린(㉢)을 첨가하였을 때 모두 생장하지 못하므로 유전자 C에 돌연변이가 생겨 효소 C가 합성되지 않는다.

(5) III형은 오르니틴(㉡)을 첨가하면 생장할 수 있으므로 효소 B와 C를 정상적으로 합성할 수 있다. 따라서 오르니틴을 시트룰린으로, 시트룰린을 아르지닌으로 합성할 수 있다.

②-1 A는 전사, B는 번역이다. (나)는 DNA로부터 RNA가 전사되는 A 과정을 나타낸 것이다.

②-2 DNA에 결합하여 RNA 합성에 관여하는 효소 ㉠은 RNA 중합 효소이다.

②-3 (1) 진핵세포는 핵막으로 둘러싸인 핵 속에 DNA가 있으므로, 전사(A)는 핵 속에서 일어난다.

(2) 번역(B) 과정에는 mRNA, rRNA, tRNA 및 아미노산, 리보솜 등이 관여한다.

(3) RNA 중합 효소가 주형 가닥에 상보적인 염기를 가진 리보뉴클레오타이드를 5' → 3' 방향으로 결합시켜 RNA를 합성한다.

(4) ㉠은 RNA이므로 염기 유라실(U)이 포함될 수 있다.

(5) RNA(㉠)의 유전부호는 코돈, DNA(㉡)의 유전부호는 3염기 조합이다.

(6) ㉡은 이중 나선 구조의 DNA이며, DNA는 당으로 디옥시 리보스를 갖는다.

(7) RNA 중합 효소(㉠)는 DNA 중합 효소와 달리 처음부터 주형 가닥에 상보적인 염기를 가진 리보뉴클레오타이드를 5' → 3' 방향으로 결합시켜 RNA 가닥을 만들 수 있으므로 프라이머가 필요하지 않다. RNA 중합 효소는 프로모터에 결합한다.

③-1 DNA 이중 나선을 이루는 (가)와 (나)는 염기 서열이 상보적이므로 (가)의 빈칸에 들어갈 염기는 5'-GTT-3'이다.

③-2 (다)는 코돈 AUG가 지정하는 메싸이오닌이다.

③-3 (1) mRNA의 염기 서열은 주형 가닥의 염기 서열과 상보적이다. 따라서 (나)가 주형 가닥이다.

(2) DNA는 3개의 연속된 염기가 한 조가 되어 하나의 아미노산을 지정하는데, 이를 3염기 조합이라고 한다.

(3) 번역은 mRNA의 5' → 3' 방향으로 일어나므로 제시된 유전 정보로부터 합성되는 아미노산을 순서대로 나열하면 (다) - 발린 - 류신이다.

(4) 제시된 번역 과정에서 3개의 아미노산이 펩타이드 결합으로 연결되었으므로 3개의 tRNA가 사용되었다.

(5) 아미노산 사이의 펩타이드 결합은 리보솜에서 일어난다.

(6) 주형 가닥 DNA의 염기 3'-AAT-5'가 전사된 mRNA는 5'-UUA-3'이므로 류신을 지정한다.

(7) 주형 가닥 DNA의 염기 3'-CAA-5'가 전사된 mRNA는 5'-GUU-3'이므로 발린을 지정한다.

④-1 ㉠은 아미노산을 운반하는 tRNA이다.

④-2 리보솜은 rRNA와 단백질로 구성된다.

④-3 (1), (3) tRNA ㉠은 새롭게 추가되는 아미노산과 결합하고 있으므로 A 자리에 위치하고, tRNA ㉡는 폴리펩타이드가 있으므로 P 자리에 위치한다. 따라서 A 자리에 있는 ㉠이 P 자리에 있는 ㉡보다 나중에 리보솜에서 분리된다.

(2) 진핵세포에서 RNA는 핵 속에서 DNA로부터 전사되어 만들어진다.

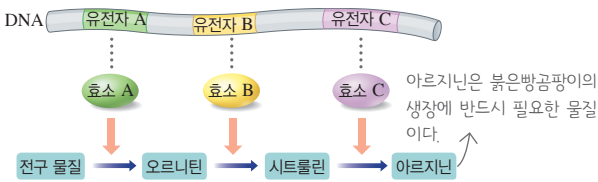
(4), (5) 번역이 일어날 때는 P 자리에 있던 tRNA는 E 자리로 가서 분리되고, A 자리에 있던 tRNA는 P 자리로 이동하며, A 자리에는 새로 추가되는 아미노산을 결합한 tRNA가 들어온다. 따라서 리보솜은 (나) → (가) 방향으로 이동하며, 개시 코돈은 (나) 방향에 있다.

(6) 길어지고 있는 폴리펩타이드의 맨 끝에 있는 아미노산부터 하나씩 차례대로 결합된 것이다. 따라서 ㉠이 ㉡보다 맨 끝부분에 가깝기 때문에 ㉠은 ㉡보다 먼저 폴리펩타이드 사슬에 결합된 아미노산이다.

(7) 여러 개의 아미노산은 펩타이드 결합에 의해 연결되어 폴리펩타이드 사슬을 형성한다.

- 01 ④ 02 ② 03 ③ 04 해설 참조 05 ③
 06 ⑤ 07 ② 08 ① 09 ④ 10 ④ 11 ③
 12 ③ 13 ① 14 ② 15 ③ 16 ④ 17 ④
 18 ⑤ 19 ①

01 **꼼꼼** 문제 분석



- 유전자 A에 이상이 있는 경우: 효소 A가 합성되지 않아 전구 물질로부터 오르니틴이 합성되지 않는다.
- 유전자 B에 이상이 있는 경우: 효소 B가 합성되지 않아 오르니틴으로부터 시트룰린이 합성되지 않는다.
- 유전자 C에 이상이 있는 경우: 효소 C가 합성되지 않아 시트룰린으로부터 아르지닌이 합성되지 않는다.

ㄱ. 유전자 A는 효소 A, 유전자 B는 효소 B, 유전자 C는 효소 C에 대한 유전 정보를 가지고 있다.

ㄴ. 효소 B는 오르니틴이 시트룰린으로 합성되는 데 관여하므로 효소 B가 합성되지 않으면 오르니틴으로부터 시트룰린을 합성할 수 없다.

▣ **바로알기** ▣. 유전자 C에 이상이 있는 붉은빵곰팡이는 시트룰린 → 아르지닌의 물질 전환 과정이 정상적으로 일어나지 않으므로 오르니틴과 시트룰린 중 하나가 있는 경우 아르지닌을 생성할 수 없어 정상적으로 성장할 수 없다.

02 붉은빵곰팡이의 영양 요구주는 최소 배지에 물질 B나 C를 첨가하면 성장하지만 A를 첨가하면 성장하지 못한다. 따라서 이 영양 요구주는 물질 A로부터 B를 합성하는 (나) 과정에 이상이 생긴 것이다.

03 **꼼꼼** 문제 분석

첨가 물질		A	B	C
영양 요구주	I형	-	+	-
	II형	+	+	+
	III형	+	+	-

(+: 성장함, -: 성장 못함)

모든 영양 요구주에 물질 B를 첨가하면 성장할 수 있다.
 → 붉은빵곰팡이의 성장에 반드시 필요한 물질은 B이다.

- 영양 요구주 I형은 물질 A를 B로 합성하지 못한다.
- 영양 요구주 II형은 최소 배지의 전구 물질을 물질 C로 합성하지 못한다.
- 영양 요구주 III형은 물질 C를 A로 합성하지 못한다.

ㄱ. 최소 배지에 B를 첨가하면 영양 요구주 I형, II형, III형이 모두 성장하므로 붉은빵곰팡이의 성장에 반드시 필요한 최종 형태의 물질은 B이다. 영양 요구주 III형은 A를 첨가하면 성장하지만 C를 첨가하면 성장하지 못하므로 C를 A로 전환하지 못한다. 따라서 물질의 합성 과정은 C → A → B이다.

ㄴ. 영양 요구주 I형은 A를 첨가하면 성장하지 못하므로 A에서 B를 합성하는 데 필요한 효소에 이상이 있다.

▣ **바로알기** ▣. 영양 요구주 III형은 C에서 A를 합성하지 못하므로 C를 첨가한 배지에서 배양하더라도 A는 생성되지 않는다.

04 헤모글로빈은 하나의 단백질이지만, 두 종류의 폴리펩타이드로 구성되어 있다.

▣ **모범답안** ▣ 1유전자 1폴리펩타이드설, 하나의 유전자가 하나의 폴리펩타이드를 합성되게 한다.

채점 기준	배점
가설의 이름을 쓰고, 유전자와 단백질의 관계를 옳게 서술한 경우	100%
가설의 이름만 옳게 쓴 경우	40%

05 ① (가)는 DNA의 유전 정보가 RNA로 전달되는 전사이고, (나)는 RNA의 유전 정보에 따라 단백질이 합성되는 번역이다. ② 진핵세포에서 전사(가)는 핵 속에서, 번역(나)은 세포질의 리보솜에서 일어난다.

④ 번역(나) 과정에서 RNA의 염기 서열에 저장된 유전 정보에 따라 아미노산이 결합하여 단백질이 합성되므로 RNA의 염기 서열 정보가 단백질의 아미노산 서열로 바뀐다고 할 수 있다.

⑤ RNA는 DNA의 유전 정보를 전달한다.

▣ **바로알기** ▣ ③ 전사(가) 과정을 거쳐 DNA의 주형 가닥과 상보적인 염기 서열을 가지는 RNA가 합성되며, RNA는 DNA의 염기 중 타이민(T)이 없고 유라실(U)을 가진다.

06 ㄱ. 물질 X는 RNA이며, RNA는 염기 아데닌(A), 구아닌(G), 사이토신(C), 유라실(U)을 가진다.

ㄴ. 물질 Y는 단백질이며, 단백질의 단위체는 아미노산이다. 단백질은 아미노산이 펩타이드 결합으로 연결되어 형성된다.

ㄷ. (가)는 리보솜이며, 리보솜은 rRNA와 단백질로 구성된다.

07 ㄴ. 코돈은 총 64종류가 있는데, 그 중 종결 코돈 3종류는 아미노산을 지정하지 않는다. 따라서 아미노산을 지정하는 코돈은 총 61종류이다.

▣ **바로알기** ▣ ㄱ. 코돈은 3개의 염기로 이루어진 mRNA의 유전부호이다.

ㄷ. 아미노산보다 코돈의 종류가 더 많으므로 하나의 아미노산을 지정하는 코돈이 여러 종류인 경우가 있다.

08 ② DNA 주형 가닥 3'-AAA-5'에서 전사된 mRNA의 코돈은 5'-UUU-3'이며, 코돈 UUU가 지정하는 아미노산 ㉠은 페닐알라닌이다.

③ (가)는 전사이며, RNA 중합 효소가 프로모터에 결합하면서 전사가 시작된다.

④ (나)는 번역이며, 이 과정에서 mRNA의 유전 정보에 따라 아미노산이 차례로 결합하여 폴리펩타이드가 형성된다.

⑤ DNA 주형 가닥의 3'-GCA-5'에서 전사된 mRNA의 코돈은 5'-CGU-3'이며, 코돈 CGU가 지정하는 아미노산은 아르지닌이다.

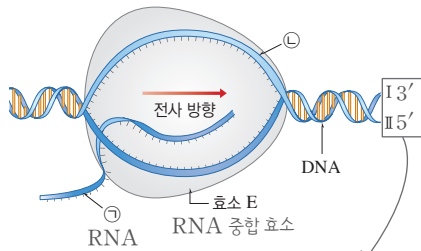
▶바로알기 ① mRNA의 유전부호인 ㉠은 코돈이다. 3염기 조합은 DNA의 유전부호이다.

09 • 학생 B: 전사가 일어날 때 작용하는 RNA 중합 효소는 처음부터 주형 가닥에 상보적인 염기를 가진 리보뉴클레오타이드를 결합시킬 수 있으므로 프라이머를 필요로 하지 않는다.

• 학생 C: 전사는 DNA가 있는 곳에서 이루어진다. 따라서 진핵 세포에서는 핵 속에서 전사가 일어나고, 원핵세포에서는 세포질에서 전사가 일어난다.

▶바로알기 • 학생 A: 전사가 일어날 때는 DNA 이중 나선의 두 가닥 중 한 가닥만 주형으로 작용한다.

10 **꼼꼼** 문제 분석



전사는 5'→3' 방향으로 일어나므로 주형 가닥의 II는 5' 말단이고, 이중 가닥을 이루고 있는 DNA 가닥의 I은 3' 말단이다.

ㄱ. 전사될 때 RNA는 5'→3' 방향으로 합성되므로 주형 가닥은 이와 반대 방향이다. 따라서 RNA가 전사되는 방향의 주형 가닥의 II는 5' 말단이다.

ㄴ. 효소 E는 RNA 중합 효소이다. RNA 중합 효소는 RNA 합성을 촉매하는 효소로 DNA에 결합하여 DNA에 상보적인 염기를 가진 리보뉴클레오타이드를 5'→3' 방향으로 결합시킨다.

▶바로알기 ㄷ. ㉠은 주형 가닥과 결합되어 있던 DNA의 다른 쪽 가닥으로 ㉡(RNA)의 염기 서열은 타이민(T) 자리에 유라실(U)이 있는 것을 제외하고는 가닥 ㉠과 같다.

11 **꼼꼼** 문제 분석

DNA 가닥 I 과 II는 염기의 상보적 결합으로 연결된다.

구분	염기 조성 비율(%)					계
	A	G	C	T	U	
DNA 가닥 I	㉠30	?25	20	?25	? 0	100
DNA 가닥 II	25	㉡20	?25	㉢30	㉣0	100
mRNA	㉤30	㉥25	20	? 0	?25	100

DNA 가닥 I 과 DNA 가닥 II에서 상보적으로 결합하는 염기의 조성 비율은 서로 같다. → DNA 가닥 I의 아데닌(A)의 비율과 DNA 가닥 II의 타이민(T)의 비율이 같다.

ㄱ. mRNA의 염기 서열은 주형 가닥에 상보적이므로 상보적인 염기의 조성 비율이 같은 DNA 가닥 II가 전사의 주형으로 사용되었다.

ㄷ. DNA 가닥 I에서 퓨린 계열 염기(아데닌(A), 구아닌(G))의 비율은 $A+G=30+25=55$ 로, 피리미딘 계열 염기(사이토신(C), 타이민(T))의 비율 $C+T=20+25=45$ 보다 많다.

▶바로알기 ㄴ. ㉠+㉡+㉣=20+30+0=50이고, ㉤+㉥=30+25=55이다.

12 ㄱ. ㉠은 리보솜을 구성하므로 rRNA이다.

ㄷ. ㉡은 DNA의 유전 정보를 전달하므로 mRNA이다. 리보솜에서 mRNA의 유전 정보에 따라 번역 과정에서 아미노산이 차례로 결합하여 단백질이 합성된다.

▶바로알기 ㄴ. ㉢은 폴리펩타이드 합성에 필요한 아미노산을 운반하므로 tRNA이다. tRNA에는 안티코돈이 있다.

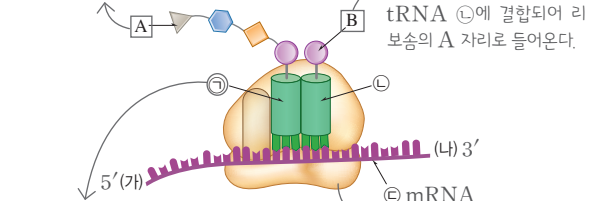
13 ㄱ. tRNA의 3' 말단에 아미노산이 결합하는 부위가 있다.

▶바로알기 ㄴ. (다)는 안티코돈으로, 안티코돈의 염기 서열에 의해 tRNA에 결합하는 아미노산의 종류가 달라진다.

ㄷ. tRNA에 따라 안티코돈은 다르지만 3' 말단의 염기 서열 CCA는 모든 tRNA에서 공통적이다.

14 **꼼꼼** 문제 분석

각 아미노산은 mRNA의 코돈이 번역되어 운반되어 온 것으로, 펩타이드 결합에 의해 연결된다.



폴리펩타이드 사슬이 tRNA ㉠에 붙어 있으므로 리보솜이 (가)→(나) 방향으로 이동하면서 번역이 일어난다.

- ① A는 개시 tRNA에 의해 운반되는 메싸이오닌이다.
- ③ 폴리펩타이드가 연결되어 있는 tRNA ㉠은 리보솜의 P 자리에 있다.
- ④ ㉠과 ㉡은 tRNA이고, ㉢은 mRNA이다. 세 가지 모두 공통적으로 뉴클레오타이드로 구성된 핵산이다.
- ⑤ (가)는 5' 말단, (나)는 3' 말단이다. 리보솜이 5' → 3' 방향으로 하나의 코돈만큼 이동하면서 폴리펩타이드에 새로운 아미노산을 첨가하여 폴리펩타이드가 신장된다.

▶바로알기 ② B는 tRNA ㉠에 직접 연결된 아미노산과 결합한다. A는 번역 과정에서 가장 먼저 리보솜으로 운반되어 들어온 아미노산으로, B와 펩타이드 결합을 형성하지 않는다.

15 ③ 폴리펩타이드에 새로 추가되는 아미노산과 결합한 tRNA는 리보솜의 A 자리로 들어온다.

▶바로알기 ① 리보솜은 mRNA를 따라 5' → 3' 방향으로 옮기 3개 즉, 코돈 1개씩 이동한다.

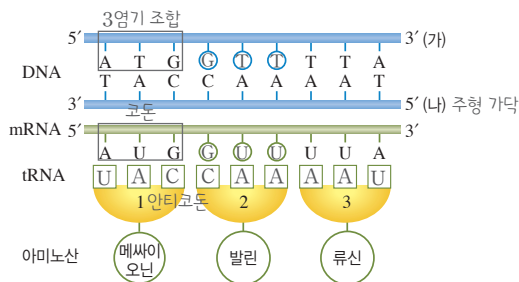
- ② 개시 코돈(AUG)은 지정하는 아미노산(메싸이오닌)이 있고, 종결 코돈은 지정하는 아미노산이 없다.
- ④ 종결 코돈은 지정하는 아미노산이 없어 결합할 tRNA가 없다. 종결 코돈에 리보솜이 도달하면 단백질 합성이 종결된다.
- ⑤ 합성된 폴리펩타이드를 구성하는 아미노산의 수는 mRNA의 개시 코돈에서부터 종결 코돈 이전까지의 코돈의 수와 같다.

16 ① DNA에서 RNA를 합성하는 ㉠은 전사, RNA의 유전 정보에 따라 폴리펩타이드를 합성하는 ㉡은 번역이다.

- ② A는 rRNA, B는 mRNA, C는 tRNA이다. 진핵세포에서 RNA를 합성하는 전사는 핵 속에서 일어나므로 A~C는 핵 속에서 합성된 후 핵공을 통해 세포질로 이동한다.
- ③ B는 mRNA이며, mRNA에 개시 코돈이 있다.
- ⑤ tRNA(C)는 코돈이 지정하는 아미노산을 리보솜으로 운반한다.

▶바로알기 ④ 아미노산을 운반하는 C는 tRNA이며, 안티코돈은 mRNA의 코돈과 상보적이므로 tRNA는 20종류보다 많다.

17 **꼼꼼** 문제 분석



나. DNA의 염기 3'-CAA-5'는 5'-GUU-3'로 전사되고, 코돈 GUU는 발린을 지정한다.

다. 안티코돈은 코돈에 상보적이다. 메싸이오닌을 지정하는 코돈은 5'-AUG-3'이고, 메싸이오닌을 운반하는 tRNA의 안티코돈의 염기 서열은 3'-UAC-5'이다.

▶바로알기 ㉠. mRNA는 주형 가닥과 염기 서열이 상보적이다. 따라서 mRNA의 전사에 주형으로 사용된 것은 (나)이다.

18 ㉠. ㉠은 코돈 GAG가 지정하는 글루탐산이다. 글루탐산을 지정하는 코돈은 이 자료를 통해 GAA, GAG가 있음을 알 수 있으므로 최소 2개이다.

나. 돌연변이 I에서 만들어진 β 시슬은 두 번째 아미노산이 글루탐산에서 발린으로 바뀐 것 외에는 모두 같으므로 폴리펩타이드를 구성하는 아미노산 개수는 정상과 같다.

다. 돌연변이 II는 두 번째 아미노산을 지정하는 염기가 1개 바뀌었지만 지정하는 아미노산이 글루탐산으로 같으므로 β 시슬이 정상적으로 만들어진다. 형질의 발현은 단백질에 의해 나타나므로 돌연변이에 의한 이상 형질이 나타나지 않는다.

19 제시된 염기 서열에서 전사된 mRNA의 염기 서열을 표기하면 다음과 같다.

5'-AC/AUG(개시 코돈)/UAU/GCU/AGU/UGC/GAG/CGC/UGA(종결 코돈)/GUAACAUGC-3'

X는 W의 세 번째 아미노산을 암호화하는 부위에 1개의 염기가 결실된 것이므로 X를 암호화하는 mRNA의 염기 서열은 다음과 같다.

5'-AC/AUG(개시 코돈)/UAU/○OA/GUU/GCG/AGC/GCU/GAG/UAA(종결 코돈)/CAUGC-3'

㉠. W를 암호화하는 mRNA의 종결 코돈은 UGA이고, X를 암호화하는 mRNA의 종결 코돈은 UAA이다.

▶바로알기 나. W는 7개의 아미노산(AUG(메싸이오닌)-UAU(타이로신)-GCU(알라닌)-AGU(세린)-UGC(시스테인)-GAG(글루탐산)-CGC(아르지닌))으로 구성되고, X는 8개의 아미노산(AUG(메싸이오닌)-UAU(타이로신)-□-GUU(발린)-GCG(알라닌)-AGC(세린)-GCU(알라닌)-GAG(글루탐산))으로 구성된다. X의 세 번째 코돈 GCU에서 G가 결실될 경우 CUA, C가 결실될 경우 GUA, U가 결실될 경우 GCA가 되므로 W의 세 번째 아미노산은 류신(CUA), 발린(GUA), 알라닌(GCA) 중 하나가 될 수 있다. 그에 따라 번역틀이 바뀌어 9번째 코돈이 UAA로 종결 코돈이 되므로 X를 구성하는 아미노산의 개수는 8개로 W보다 1개 많다.

다. W의 여섯 번째 코돈은 GAG로 글루탐산을 지정하고, X의 다섯 번째 코돈은 GCG로 알라닌을 지정한다.

02 유전자 발현 조절

개념 확인 문제

230 쪽

- ① 오페론 ② 없 ③ 작동 부위 ④ 있 ⑤ 젓당 유도체
⑥ 염색질 ⑦ 전사 인자

- 1 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ 2 (1) × (2) × (3) ○ (4) ○
3 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ○ 4 (1) ㉠ 전사 (촉진) 인자,
㉡ (근거리) 조절 부위 (2) 전사 개시 복합체

- 1 (1), (2) 오페론은 프로모터, 작동 부위(B), 구조 유전자(C)로 구성된다. 조절 유전자(A)는 오페론에 포함되지 않는다.
(3) 오페론은 진핵생물에는 없고, 원핵생물에만 있는 유전자 발현 조절 방식이다.
(4) 여러 개의 구조 유전자는 하나의 프로모터와 작동 부위에 의해 동시에 발현되거나 억제된다.

- 2 (1) 조절 유전자는 젓당의 유무에 관계없이 항상 발현되어 억제 단백질이 합성된다.
(2) 포도당이 없고 젓당만 있는 배지에서는 억제 단백질이 젓당 유도체와 결합하여 구조가 변형되고, 변형된 억제 단백질은 작동 부위에 결합하지 못한다.
(3), (4) 포도당이 없고 젓당이 있으면 억제 단백질이 젓당 유도체와 결합하여 작동 부위에 결합하지 못하므로 RNA 중합 효소가 프로모터에 결합하여 구조 유전자가 전사된다. 전사된 구조 유전자의 mRNA가 번역되면 젓당 이용에 필요한 세 가지 효소(젓당 분해 효소, 젓당 투과 효소, 아세틸기 전이 효소)가 생성되어 대장균이 젓당을 분해한다.

- 3 (1) 진핵세포에서 전사는 DNA가 있는 핵 속에서 일어나고, 번역은 세포질에서 일어난다.
(2) 진핵세포에서는 전사와 번역이 각기 다른 장소에서 일어나므로 전사 전 단계, 전사 단계, 전사 후 단계, 번역 단계, 번역 후 단계 등 유전자 발현의 전체 과정에서 조절이 일어난다.
(3) 전사 촉진 인자는 RNA 중합 효소의 결합이나 활성을 자극하여 전사 개시를 촉진한다.
(4) 전사 후 조절 단계에서는 처음 만들어진 RNA에서 암호화하지 않는 인트론을 제거하여 엑손만을 남기고 양쪽 끝부분을 변형하는 등 RNA를 가공하여 유전자 발현을 조절한다.
(5) 번역 조절 단계에서는 mRNA의 분해 속도를 조절하여 합성되는 단백질의 양을 결정하고, 번역의 개시 단계를 조절하여 번역 속도를 조절함으로써 유전자 발현을 조절한다.

- 4 (1) ㉠은 조절 부위에 결합하는 전사 (촉진) 인자이고, ㉡은 프로모터 상단에 위치하는 (근거리) 조절 부위이다.
(2) (가)는 RNA 중합 효소와 전사 인자가 결합한 전사 개시 복합체이다.

개념 확인 문제

233 쪽

- ① 세포 분화 ② 핵심 조절 유전자 ③ 혹스 유전자
④ 공통 조상

- 1 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○ 2 마이오디 유전자 3 ㉠ 혹스 유전자, ㉡ 공통 조상 4 (1) × (2) ○ (3) ×

- 1 (1) 세포 분화가 일어나더라도 각 세포의 유전체 구성은 분화되기 전과 동일하다.
(2) 분화된 세포들 사이에 형태와 기능의 차이가 생기는 것은 유전자 발현 조절로 서로 다른 단백질이 생성되기 때문이다.
(3) 진핵세포에는 세포의 종류에 관계없이 모두 핵심 조절 유전자가 있다. 세포의 종류는 핵심 조절 유전자의 발현으로 생성된 산물을 비롯한 여러 전사 인자들이 어떻게 조합되어 작용하는가에 따라 특정 유전자가 선택적으로 발현되어 세포가 분화함으로써 결정된다.
(4) 핵심 조절 유전자는 진핵생물에서 유전자를 선택적으로 발현시키는 조절 유전자 중 가장 상위 조절 유전자이다. 진핵생물에서 핵심 조절 유전자가 발현되면 하위 조절 유전자들이 연속적으로 발현된다.

- 2 핵심 조절 유전자는 유전자 발현을 조절하는 유전자 중 가장 상위 조절 유전자로, 제시된 자료에서는 마이오디 유전자가 다른 조절 유전자의 발현을 조절하는 핵심 조절 유전자이다.

- 3 혹스 유전자는 동물의 발생 초기 단계에서 각 기관이 정확한 위치에 형성되도록 하는 데 관여하는 핵심 조절 유전자이며, 다양한 동물에서 유사하게 발견되어 여러 동물이 공통 조상에서 진화하였다는 증거가 되기도 한다.

- 4 (1) 초파리의 혹스 유전자는 1개의 염색체에 존재한다.
(2), (3) 혹스 유전자는 종에 관계없이 각 유전자가 기능을 결정할 체질들과 같은 순서로 배열되어 있고, 기관이 정확한 위치에 생성되도록 조절한다.

- 자료 1** 1 (1) 프로모터 (2) 작동 부위 (3) 조절 유전자 2 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ (5) ○ (6) ×
- 자료 2** 1 ㉠ 핵, ㉡ 핵, ㉢ 세포질(세포질의 리보솜) 2 조절 부위 3 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × (5) × (6) ×

1-1 (1) RNA 중합 효소가 결합하여 전사가 시작되는 부위는 프로모터이다.
 (2) 작동 부위는 억제 단백질이 결합하는 부위로 전사를 조절하는 스위치 역할을 한다.
 (3) 조절 유전자는 오페론에 포함되지 않으며, 항상 발현되어 억제 단백질을 합성한다.

1-2 (1) 조절 유전자는 젓당의 유무와 관계없이 항상 발현되어 억제 단백질을 합성한다.
 (2) 젓당 오페론은 포도당이 없고, 젓당이 있을 때 활성화된다.
 (3) 젓당 유도체는 억제 단백질과 결합하여 억제 단백질이 작동 부위에 결합하지 못하게 함으로써 구조 유전자의 전사가 일어나게 한다.
 (4) 조절 유전자가 결실되면 억제 단백질이 합성되지 않는다.
 (5) 작동 부위에 억제 단백질이 결합하는지에 따라 구조 유전자가 전사되어 젓당 이용에 필요한 세 가지 효소가 합성되므로 작동 부위는 구조 유전자의 전사를 조절하는 스위치 역할을 한다.
 (6) RNA 중합 효소가 프로모터에 결합하면 전사가 개시되어 구조 유전자의 전사가 일어난다.

2-1 진핵세포에서 전사(㉠)와 전사 후 조절 단계인 RNA 가공(㉡)은 핵 속에서 일어난다. 성숙한 mRNA는 세포질로 나가 리보솜에 결합하여 폴리펩타이드로 번역된다. 따라서 번역 과정(㉢)은 세포질(세포질의 리보솜)에서 일어난다.

2-2 전사 인자는 DNA의 조절 부위에 결합한다.

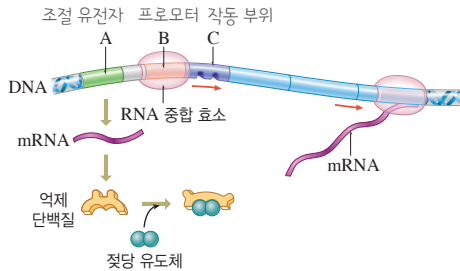
2-3 (1) (나)는 전사 개시 복합체를 형성하여 전사가 일어나는 것을 나타내므로 전사(㉠) 과정에서 나타난다.
 (2) RNA 가공(㉡) 과정은 전사 후 조절 단계에서 일어난다.
 (3) 번역(㉢) 과정에는 아미노산을 운반하는 tRNA와 단백질을 합성하는 리보솜이 필요한데, 리보솜은 단백질과 rRNA로 이루어져 있다.
 (4), (5) ㉠과 I은 모두 단백질을 암호화하지 않는 부위인 인트론이다. ㉠는 처음 만들어진 RNA에서 I 부분이 떨어진 것이다.
 (6) 전사 인자는 프로모터와 가까운 근거리 조절 부위 또는 프로모터와 먼 원거리 조절 부위에 결합한다.

- 01 ㉢ 02 ㉣ 03 ㉠ 04 ㉤ 05 ㉠ 06 ㉣
 07 ㉤ 08 해설 참조 09 ㉢ 10 ㉡ 11 ㉢ 12 ㉤
 13 해설 참조 14 ㉣ 15 ㉤ 16 ㉣ 17 해설 참조

01 ① 오페론은 원핵생물에서만 볼 수 있는 유전자 발현 조절 방식이다.
 ② 오페론의 구조 유전자는 mRNA로 전사되어 단백질을 합성하도록 암호화되어 있는 부위이다.
 ④ 조절 유전자는 오페론에는 포함되어 있지 않지만, 항상 유전자가 발현되어 억제 단백질을 합성한다.
 ⑤ 억제 단백질이 작동 부위에 결합하면 RNA 중합 효소가 프로모터에 결합하지 못하므로 구조 유전자의 전사가 일어나지 않는다.

▶바로알기 ③ 프로모터는 RNA 중합 효소가 결합하는 부위로 RNA 중합 효소가 프로모터에 결합하면 전사가 시작된다.

02 **꼼꼼** 문제 분석



- 조절 유전자(A): 오페론에 포함되지 않으며, 항상 유전자가 발현되어 억제 단백질을 합성한다.
- 프로모터(B): RNA 중합 효소가 결합하여 전사가 시작되는 부위이다.
- 작동 부위(C): 억제 단백질이 결합하는 부위로 전사를 조절한다.
- 구조 유전자: 단백질 합성에 대한 유전 정보를 암호화하고 있는 부위로 mRNA로 전사된다.

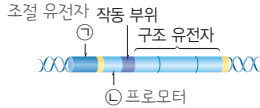
①, ② A는 억제 단백질을 합성하는 조절 유전자이고, B는 RNA 중합 효소가 결합하여 전사가 시작되는 프로모터이다.
 ③ 젓당이 없을 때는 작동 부위(C)에 억제 단백질이 결합하여 구조 유전자의 전사가 일어나지 않지만, 젓당이 있을 때는 젓당 유도체가 억제 단백질과 결합하고 억제 단백질은 구조가 변형되므로 작동 부위(C)에 결합하지 못한다.
 ⑤ 억제 단백질이 작동 부위에 결합하면 RNA 중합 효소가 프로모터에 결합하지 못하므로 구조 유전자의 전사가 일어나지 않는다.

▶바로알기 ④ 젓당 유도체가 있으면 억제 단백질이 작용하지 못하므로 구조 유전자가 전사된다.

03 ㄱ. 젓당 오페론은 하나의 프로모터와 작동 부위 아래에 젓당을 체내로 흡수하여 이용하는 데 필요한 세 가지 효소의 유전자가 모여 있는 구조이다.

▣ **바로알기** ▣ ㄴ. 포도당과 젓당이 모두 있는 경우 대장균은 포도당을 우선적으로 사용하므로 젓당 오페론이 거의 활성화되지 않는다.
 ㄷ. 젓당이 없을 때에는 억제 단백질이 작동 부위에 결합하여 구조 유전자의 전사가 일어나지 않는다.

04 **꼭꼭** **문제 분석**

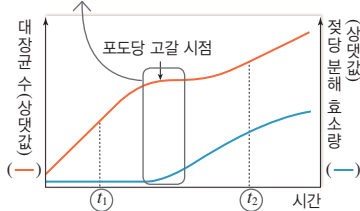


대장균	배양 결과
I	젓당 오페론의 구조 유전자가 발현되지 않는다. ㉠은 프로모터이다. 프로모터가 결실되면 RNA 중합 효소가 결합하지 못하므로 구조 유전자가 발현되지 않는다. 따라서 I 은 ㉠이 결실된 대장균이다.
II	젓당 오페론의 구조 유전자가 발현된다. 야생형 대장균은 포도당이 없고 젓당만 있는 배지에서 구조 유전자가 발현되어 젓당 분해 효소를 합성한다. 따라서 II 가 야생형이다.
III	억제 단백질을 생성하지 않는다. ㉡은 조절 유전자이다. 조절 유전자가 결실되면 억제 단백질이 만들어지지 않으므로 III 은 ㉡ 부분이 결실된 대장균이다.

ㄱ. I 은 프로모터(㉠)가 결실된 대장균으로 구조 유전자가 발현되지 않는다.
 ㄴ. II 는 야생형 대장균이며, 포도당이 없고 젓당만 있는 배지에서는 젓당 유도체가 억제 단백질과 결합한다.
 ㄷ. III 은 조절 유전자(㉡)가 결실되어 억제 단백질을 생성하지 않으므로 젓당의 유무에 관계없이 구조 유전자가 발현된다.

05 **꼭꼭** **문제 분석**

이 시점부터 젓당 분해 효소량이 증가하기 시작한다.
 → 포도당이 고갈되면 대장균에서는 젓당을 에너지원으로 이용하기 위하여 젓당 오페론이 작동한다.



대장균은 배지의 포도당을 에너지원으로 이용한다.
 대장균은 배지의 젓당을 흡수한 후 포도당으로 분해하여 에너지원으로 이용한다. → 젓당 오페론이 활발하게 작동한다.

ㄱ. t_1 에서 대장균은 배지의 포도당을 에너지원으로 이용하여 빠르게 성장하므로 젓당 분해 효소량이 매우 적다.

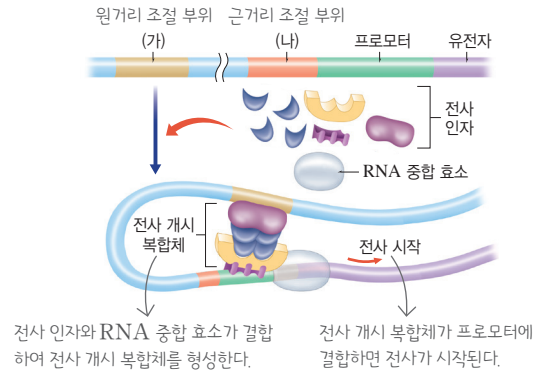
▣ **바로알기** ▣ ㄴ. t_1 에서는 젓당 분해 효소량이 매우 적다. 따라서 젓당 오페론에서 RNA 중합 효소에 의한 구조 유전자의 전사가 거의 일어나지 않는다는 것을 알 수 있다.

ㄷ. 조절 유전자는 항상 발현되어 억제 단백질을 만든다. t_2 에서 젓당 오페론이 활발하게 작동하여 젓당 분해 효소가 만들어지는 것은 억제 단백질이 만들어지지 않기 때문이 아니라 젓당 유도체에 의해 억제 단백질이 비활성화되었기 때문이다. 즉, t_2 에서는 억제 단백질이 작동 부위에 결합하지 않아 RNA 중합 효소가 프로모터에 결합하여 구조 유전자의 전사가 활발하게 일어난다.

06 ④ 원핵생물은 오페론이 있지만, 진핵생물은 오페론이 없으며 각각의 유전자마다 프로모터가 있다.

▣ **바로알기** ▣ ① 조절 부위는 진핵생물의 DNA에서 전사 인자가 결합하는 특정 부위이다.
 ② 전사 촉진 인자는 진핵생물에서 RNA 중합 효소의 결합이나 활성을 촉진하여 유전자의 전사를 조절하는 단백질이다.
 ③ 원핵생물의 유전자에는 인트론이 없다. RNA 가공은 진핵생물에서만 나타나며, mRNA의 정확한 번역과 안정성을 위하여 필요하다.
 ⑤ 오페론은 진핵생물에는 없고, 원핵생물에만 있는 유전자 발현 조절 방식이다.

07 **꼭꼭** **문제 분석**



ㄱ. (가)는 진핵세포 DNA의 프로모터에서 멀리 떨어진 원거리 조절 부위이며, (나)는 프로모터에서 가까이 위치한 근거리 조절 부위이다. (가)와 (나)에 전사 인자가 결합하여 유전자의 발현이 조절된다.
 ㄴ. 다양한 전사 인자가 RNA 중합 효소와 함께 프로모터에 결합하여 전사 개시 복합체를 형성한다.
 ㄷ. 전사 개시 복합체는 전사 조절 단계에서 형성되며, 전사 개시 복합체가 프로모터에 결합하면 전사가 개시된다.

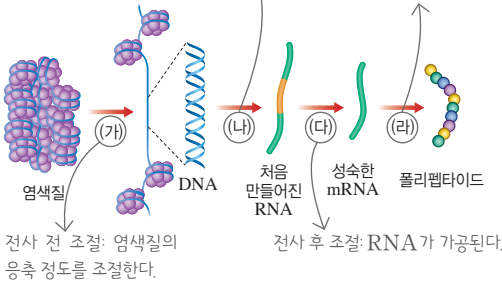
08 하나의 진핵생물 내에서 모든 세포가 가지는 유전자는 동일하지만 세포의 종류와 시기 등에 따라 유전자가 선택적으로 발현된다.

모범답안 세포의 종류와 시기 등에 따라 세포가 가진 전사 인자가 달라지고 전사 인자의 조합이 달라져 유전자를 선택적으로 발현시킬 수 있기 때문이다.

채점 기준	배점
유전자가 선택적으로 발현되는 까닭을 전사 인자와 관련지어 옳게 서술한 경우	100%
유전자가 선택적으로 발현되는 까닭을 전사 인자와 관련지어 서술하였지만 설명이 부족한 경우	70%

09 **꼼꼼** 문제 분석

전사 조절: 전사 인자의 결합에 의해 유전자의 전사가 조절된다. 번역 조절: mRNA의 분해 속도를 조절하거나 번역의 개시 단계를 조절한다.



ㄷ. (다) 과정에서 핵막을 통과할 수 있도록 RNA의 양쪽 끝부분이 변형되며, 가공이 끝나면 성숙한 mRNA가 된다.

바로알기 ㄱ. 전사 인자는 전사 조절 단계(나)에서 작용한다. ㄴ. 전사 후 조절 단계(다)에서 전사된 RNA에서 인트론이 제거되는 RNA 가공 과정이 일어나므로 전사되었지만 아미노산 서열로 번역되지 않는 부분이 있다.

10 ㄴ. ㉠은 아미노산 서열에 대한 정보가 암호화되어 있지 않은 인트론이고, ㉡은 아미노산 서열에 대한 정보가 암호화되어 있는 엑손이다.

바로알기 ㄱ. 디옥시리보스는 DNA에 포함된다. RNA에는 리보스가 있다.

ㄷ. 원핵세포의 유전자에는 인트론이 없으므로 원핵세포의 유전자 발현 조절 과정에서는 RNA 가공이 일어나지 않는다.

11 ① 대장균은 원핵생물이고, 생쥐는 진핵생물이다. (가)는 하나의 프로모터와 작동 부위에 의해 구조 유전자의 전사가 조절되는 대장균의 젓당 오페론을 나타낸 것이고, (나)는 프로모터 앞에 다양한 전사 인자가 결합하는 조절 부위가 있는 생쥐의 유전자 구조를 나타낸 것이다.

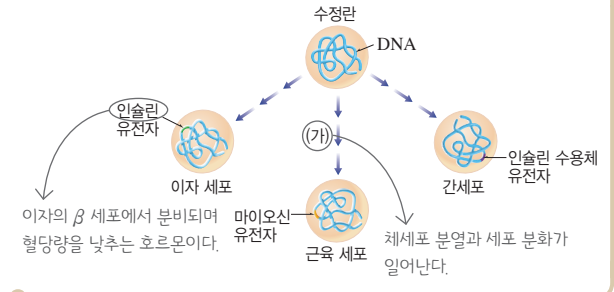
② (가)의 작동 부위에는 억제 단백질이 결합한다.

④ 조절 부위는 프로모터의 상단부에 있으므로 (나)에서 A~C는 전사 인자가 결합하는 조절 부위이다.

⑤ (가)의 구조 유전자와 (나)의 유전자 X는 RNA 중합 효소에 의해 전사되는 부분이다.

바로알기 ③ (가)와 (나)의 프로모터는 RNA 중합 효소가 결합하는 부위이다. 전사 개시 복합체는 진핵생물(생쥐)의 전사 과정에서만 형성된다.

12 **꼼꼼** 문제 분석



ㄴ. 수정란이 분열하고 이로부터 생긴 세포들이 분화할 때 유전체는 변하지 않는다. 따라서 수정란과 간세포의 유전체는 같다. ㄷ. 이자 세포에서 인슐린이 합성되는 것은 세포에 인슐린 유전자의 전사 촉진 인자가 있기 때문이다.

바로알기 ㄱ. (가) 과정에서 인슐린 유전자는 있지만 인슐린 유전자의 발현이 억제된다.

13 발생 과정이나 세포 분화 과정에서 세포의 유전체 구성은 수정란일 때와 같게 유지된다.

모범답안 세포 분화 과정에서 유전체의 구성은 변하지 않는다.

채점 기준	배점
세포 분화 과정에서 유전체의 구성이 변하지 않는다고 서술한 경우	100%
분화된 세포의 유전자는 수정란과 같다고 서술한 경우	100%

14 ㄱ. 유전자 X는 근육 세포 분화에 관여하는 가장 상위의 조절 유전자인 핵심 조절 유전자이다.

ㄷ. 전사 인자 X는 유전자 Y의 전사를 촉진하고, 전사 인자 Y는 마이오신 유전자와 액틴 유전자의 전사를 촉진한다.

바로알기 ㄴ. 마이오신 유전자와 액틴 유전자는 모든 세포에 들어 있지만 특정 세포에서만 발현된다.

15 ㄱ. 호미오 도메인은 특정 유전자의 프로모터나 조절 부위에 결합하여 전사를 조절한다.

ㄴ. 흑스 유전자의 종류와 염색체에서의 배열 순서는 생물종에 관계없이 비슷하므로 다양한 동물이 공통 조상에서 진화해 왔다는 증거가 되기도 한다.

ㄷ. 혹스 유전자는 동물의 발생 초기 배아 단계에서 각 기관이 정확한 위치에 형성되도록 하는 데 관여하는 핵심 조절 유전자이다.

16 ㄴ, ㄷ. *Ubx*는 핵심 조절 유전자로서 이로부터 합성된 단백질은 다른 유전자의 발현을 조절한다.

바로알기 ㄱ. *Ubx*의 기능이 사라지면 평균곤 대신 날개가 형성되므로 *Ubx*는 날개 형성을 억제하는 기능을 한다.

17 여러 동물에서 혹스 유전자의 구성이 유사하고 유사한 방식으로 기관의 형성에 영향을 주는 것은 다양한 동물이 공통 조상에서 진화하였다는 증거가 되기도 한다.

모범답안 초파리, 생쥐, 사람은 공통 조상에서 진화하였다.

채점 기준	배점
초파리, 생쥐, 사람이 공통 조상에서 진화하였다고 서술한 경우	100%
초파리, 생쥐, 사람에서 혹스 유전자가 같은 기능을 한다고 서술한 경우	30%

중단원 핵심 정리

239쪽~240쪽

- ① 1효소설 ② 전사 ③ 번역 ④ 3염기 조합 ⑤ 코돈
- ⑥ RNA 중합 효소 ⑦ 아미노산 ⑧ rRNA ⑨ P 자리
- ⑩ 신장 ⑪ 펩타이드 ⑫ 폴리펩타이드 ⑬ 종결
- ⑭ 작동 부위 ⑮ 젖당 유도체 ⑯ 염색질 ⑰ 전사 개시 복합체
- ⑱ 세포 분화 ⑲ 핵심 조절 유전자 ⑳ 혹스 유전자

중단원 마무리 문제

241쪽~244쪽

- 01 ⑤ 02 ④ 03 ③ 04 ⑤ 05 ④ 06 ⑤
- 07 ② 08 ⑤ 09 ⑤ 10 ③ 11 ④ 12 해설 참조
- 13 해설 참조 14 해설 참조

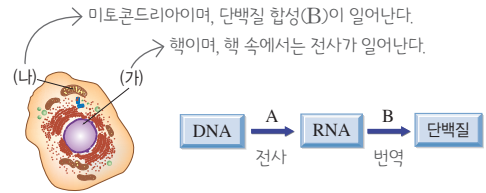
01 영양 요구주 I형~III형은 모두 최소 배지에 물질 ㉠을 첨가하였을 때 성장하므로 물질 ㉠은 붉은빵곰팡이의 성장에 반드시 필요한 아르지닌이다. 영양 요구주 II형은 아르지닌(㉠)을 첨가하였을 때만 성장하므로 효소 C가 결핍된 돌연변이이다. 영양 요구주 III형은 물질 ㉠을 첨가하였을 때는 성장하고, 물질 ㉠을 첨가하였을 때는 성장하지 못하므로 물질 ㉠은 시트룰린이고, 물질 ㉡은 오르니틴이며 영양 요구주 III형은 효소 B가 결핍된 돌연변이이다. 따라서 영양 요구주 I형은 효소 A가 결핍된 돌연변이이다.

ㄴ. 영양 요구주 I형은 효소 A, II형은 효소 C, III형은 효소 B가 결핍된 것이다.

ㄷ. 최소 배지에 아르지닌(㉠)을 첨가하면 영양 요구주 I형~III형이 모두 성장하므로 붉은빵곰팡이의 성장에 반드시 필요한 물질은 아르지닌이다.

바로알기 ㄱ. ㉠은 시트룰린, ㉡은 오르니틴, ㉢은 아르지닌이다.

02 **꼼꼼 문제 분석**



ㄱ. 전사(A) 과정은 핵(가) 속에서 일어난다.

ㄴ. 전사(A)는 DNA 주형 가닥에 RNA 중합 효소가 결합하여 주형 DNA의 염기에 상보적인 리보뉴클레오타이드를 결합시켜 RNA를 합성하는 과정이다.

바로알기 ㄷ. 번역(B) 과정은 리보솜에서 일어난다. 핵(가)은 리보솜이 없으므로 번역이 일어나지 않고, 미토콘드리아(나)는 리보솜을 가지고 있으므로 번역이 일어난다.

03 ① 가닥 I의 G 비율은 $100 - (20 + 20 + 25) = 35\%$ 이다. 복제 가닥의 G 비율은 주형 가닥의 C 비율과 같으므로 ㉠은 25이다. 따라서 ㉠ + ㉡ = $35 + 25 = 60$ 이다.

② 전사된 RNA 가닥의 염기 서열과 상보적인 염기 서열을 갖는 가닥 II가 주형 가닥이다.

④ 염기에 N가 포함되고 DNA와 RNA는 모두 염기를 가지므로 ^{15}N 로 표지될 수 있다.

⑤ 가닥 I을 주형으로 하여 복제된 가닥의 염기 서열과 방향은 가닥 I과 이중 나선을 이루고 있던 가닥 II와 일치한다. 따라서 ㉢은 DNA 가닥 II의 C의 비율과 같다.

바로알기 ③ 가닥 II는 전사의 주형 가닥이므로 RNA와는 방향이 반대이고, 염기 서열은 가닥 I과 RNA에 모두 상보적이다. 따라서 (가)에 들어갈 DNA 염기 서열은 $3' - \text{AAT} - 5'$ 이다.

04 ㄴ. II에서 가능한 코돈은 AUA, UAA, AAU이다. 이중 AUA는 I에도 존재하는 코돈이므로 아이소류신을 지정하며, UAA는 종결 코돈이므로 AAU는 아스파라진을 지정하는 코돈임을 알 수 있다. III에서 가능한 코돈은 AUC, UCG, CGA, GAC, ACU, CUG, UGC, GCA, CAA, AAU이므로 III에는 아스파라진을 지정하는 코돈이 있다.

다. IV에서 가능한 코돈은 AAC-ACG-CGU-GUC-UCU-CUG-UGG-GGU-GUA-UAA이다. 이 중 UAA가 종결 코돈이므로 IV로부터 합성될 수 있는 폴리펩타이드는 최대 9개의 아미노산이 연결되어 형성되며, 펩타이드 결합의 수는 아미노산의 수보다 1개 적다. 따라서 IV로부터 8개의 펩타이드 결합을 가진 폴리펩타이드가 합성될 수 있다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. I에서 가능한 코돈은 AUA, UAU이다. 이중 AUA는 II에도 존재하므로 AUA는 아이소류신, UAU는 타이로신을 지정한다는 것을 알 수 있다.

05 ㉠에서 전사된 RNA의 염기 서열은 다음과 같다.
3'-GCC/GAU(종결 코돈)/CAG/UUU/CAA/UCC/CGG/UUA/GUA(개시 코돈)/GCG-5'

나. ㉠이 전사되어 합성된 y에는 개시 코돈(AUG)과 종결 코돈(UAG)이 있다.

다. 개시 코돈에서 종결 코돈 전까지 아미노산으로 번역되므로 z는 7개의 아미노산으로 이루어진다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. y에는 1개의 개시 코돈이 포함된다.

06 **꼼꼼** 문제 분석

• x의 이중 나선 DNA 중 한 가닥의 염기 서열과 이로부터 합성된 폴리펩타이드의 아미노산 서열은 다음과 같다.

염기 서열	3'-GGTACAGTTCTAAGTAGTCCATCCATCT-5' mRNA: 5'-CCAUGUCAAGAUUCAUCAGGUAGGUAGA-3'
아미노산 서열	메싸이오닌-세린-아르지닌-페닐알라닌-아이소류신-아르지닌 AGA UUC AUC

• x*는 x에서 이웃한 2개의 뉴클레오타이드가 동시에 결실되고, 1개의 뉴클레오타이드가 삽입된 것이다. x*로부터 합성된 폴리펩타이드의 아미노산 서열은 다음과 같다.

아미노산 서열	메싸이오닌-세린-메싸이오닌-트레오닌-세린-글리신-아르지닌 AUG ACA UCA GGU →U 삽입 →UU 결실
---------	--

- x*는 x에서 2개의 뉴클레오타이드가 결실되고 하나의 뉴클레오타이드가 삽입되었으므로 결국 중간에 1개의 염기가 결실된 것이다.
- ① 세 번째 아미노산이 메싸이오닌이 되었으므로 세 번째 코돈 A와 G 사이에 U가 삽입되어 코돈이 AUG로 바뀌었다.
- ② 세 번째 코돈이 AUG로 되면 다음 코돈은 AUU가 되어 아이소류신을 지정해야 하는데 네 번째 아미노산이 트레오닌이 되었으므로 UU 2개가 결실되어 네 번째 코돈이 트레오닌을 지정하는 ACA로 되었음을 알 수 있다.
- ③ 따라서 x*에서 전사된 mRNA의 염기 서열은 다음과 같다.
5'-CC/AUG/UCA/AUG/ACA/UCA/GGU/AGG/UAG/A-3'

ㄱ. x*의 mRNA에서 결실된 염기는 5'-UU-3'이므로 전사의 주형 가닥에서 결실된 뉴클레오타이드의 염기 서열은 3'-AA-5'이다.

나. x*의 mRNA에서 삽입된 염기는 U이므로 전사의 주형 가닥에서 삽입된 뉴클레오타이드의 염기는 A이다.

다. x에서 전사된 mRNA의 염기 서열은 5'-CC/AUG(개시 코돈)/UCA/AUG/ACA/UCA/GGU/AGG/UAG(종결 코돈)/A-3'이다. 따라서 x에서 전사된 mRNA와 x*에서 전사된 mRNA에서 종결 코돈은 모두 UAG이다.

07 ㉠은 리보솜 대단위체, ㉡은 개시 코돈에 상보적으로 결합한 개시 tRNA, ㉢은 mRNA, ㉣은 리보솜 소단위체이다.

- ① 리보솜(㉠)은 rRNA와 단백질로 구성된다.
- ③ mRNA(㉢)는 리보솜 소단위체(㉣)와 먼저 결합하고, 개시 tRNA(㉡)와 결합한 후 리보솜 대단위체(㉠)와 결합한다.
- ④ 개시 tRNA(㉡)에는 mRNA의 개시 코돈과 결합하는 3개의 염기 조합(안티코돈)이 있다.
- ⑤ 이후에 새로 추가될 아미노산과 결합한 새로운 tRNA가 A 자리로 들어오고, P 자리와 A 자리에 있는 tRNA에 결합된 아미노산 사이에 펩타이드 결합이 일어난다.

▮ **바로알기** ▮ ② DNA에는 디옥시리보스, RNA에는 리보스가 포함되어 있으므로 tRNA(㉡)와 mRNA(㉢)에는 리보스가 포함되어 있다.

08 ㄱ. A는 구조 유전자로, 젓당 분해 효소(β 갈락토시데이스)와 젓당 분해에 필요한 효소(투과 효소, 아세틸기 전이 효소)에 대한 유전 정보를 암호화하여 가지고 있다.

- 나. 조절 유전자에는 억제 단백질(B)의 아미노산 서열 정보가 저장되어 있으므로 전사되면 억제 단백질(B)을 합성한다.
- 다. 억제 단백질(B)에 젓당 유도체가 결합하면 입체 구조가 변형되어 비활성화되므로 DNA의 작동 부위에 결합하지 못한다.

09 ① ㉠은 RNA 가공 과정에서 제거되는 인트론이다. 인트론은 RNA의 일부이므로 당으로 리보스가 있다.

- ② (나)는 전사 개시 복합체가 형성된 상태이며, 이것은 DNA로부터 RNA가 전사되는 과정 I에서 나타난다.
- ③ A는 전사 인자이며, DNA의 조절 부위와 다른 전사 인자인 단백질 B와도 결합하여 전사 개시 복합체를 형성한다.
- ④ 과정 III은 번역 과정이며, 번역에는 코돈이 있는 mRNA, 아미노산을 운반하는 tRNA, 리보솜을 구성하는 rRNA가 모두 관여한다.

▮ **바로알기** ▮ ⑤ 진핵세포의 유전자 중에는 단백질을 암호화하지 않는 부분(㉠, 인트론)이 있고, 이는 RNA 가공 과정에서 제거된다. 따라서 X의 DNA 염기 서열 중에 아미노산 서열로 번역되지 않는 부위가 있다.

10 ㄱ. 섬유 아세포에 도입된 액틴 유전자와 마이오신 유전자에 의해 근육 단백질이 생성되었으므로 세포에 인위적으로 도입된 유전자도 발현될 수 있다.

ㄴ. 전사 촉진 인자의 유전자인 마이오디 유전자를 도입하여 발현시킨 경우 섬유 아세포가 근육 세포로 분화되었다. 이는 전사 인자가 특정 유전자의 전사 여부를 조절함으로써 세포 분화가 일어난다는 것을 의미한다.

▶바로알기 ㄷ. 섬유 아세포에 액틴 유전자와 마이오신 유전자를 도입하여 발현시킨 경우 근육 단백질과 같은 특이적인 단백질이 생성되지만 근육 세포로 분화되지 않았다. 즉, 단순히 각 세포에서 특이적인 단백질이 생성된다고 하여 세포 분화와 기관 형성이 일어나는 것은 아니다.

11 ㄱ. 흡수 유전자는 몸의 앞뒤 축을 따라 기관이 정확한 위치에 형성되도록 하는 핵심 조절 유전자이다.

ㄴ. 생쥐는 4개의 염색체에 여러 개의 흡수 유전자가 있다.

▶바로알기 ㄷ. 특정 기관의 형성을 조절하는 흡수 유전자의 배열 순서는 생물종에 관계없이 비슷하다.

12 (1) (가)는 DNA로부터 RNA로 유전 정보가 전달되는 과정이고, (나)는 RNA의 유전 정보에 따라 폴리펩타이드가 형성되는 번역 과정이다. 진핵세포에서 DNA는 핵 속에 있어 전사는 핵 속에서 일어나고 번역은 세포질의 리보솜에서 일어난다.
(2) 알라닌을 지정하는 코돈은 5'-GCC-3' 또는 5'-GCA-3'이다. 세 번째 코돈이 G으로 시작되려면 mRNA는 오른쪽에서 왼쪽으로 번역되어야 하므로, DNA에서 주형 가닥은 위쪽에 있는 것이다.

▶모범답안 (1) (가)는 전사이며, 핵 속에서 일어나고, (나)는 번역이며, 세포질에서 일어난다.

(2) 3'-ACGCCGUGU-5'

채점 기준	배점
(1) (가)와 (나) 과정의 이름과 일어나는 장소를 모두 옳게 쓴 경우	50%
(가)와 (나) 과정 중 하나의 이름과 일어나는 장소만 옳게 쓴 경우	25%
mRNA의 염기 서열과 방향을 옳게 쓴 경우	50%
(2) mRNA의 염기 서열은 옳게 썼지만 방향을 쓰지 않거나 틀린 경우	30%

13 대장균의 젓당 오페론에서 프로모터가 결실되면 RNA 중합 효소가 결합하지 못하므로 구조 유전자의 전사가 일어나지 않는다. 작동 부위가 결실되면 억제 단백질이 결합하지 못하므로 구조 유전자의 전사가 일어난다.

▶모범답안 프로모터, 프로모터 결실로 인해 RNA 중합 효소가 결합하지 못하므로 젓당 분해 효소를 합성하지 못하고, 그로 인해 젓당을 에너지원으로 이용하지 못하기 때문이다.

채점 기준	배점
A에서 돌연변이가 일어난 부위를 옳게 쓰고, 그렇게 판단한 근거를 옳게 서술한 경우	100%
A에서 돌연변이가 일어난 부위만 옳게 쓴 경우	40%

14 당근 뿌리 세포가 조직 배양 결과 완전한 개체로 성장한 것은 당근 뿌리 세포에 완전한 개체로 발생하는 데 필요한 유전자가 모두 있다는 것을 의미한다.

▶모범답안 일치한다. 세포 분화 과정에서 유전체가 그대로 유지되기 때문이다.

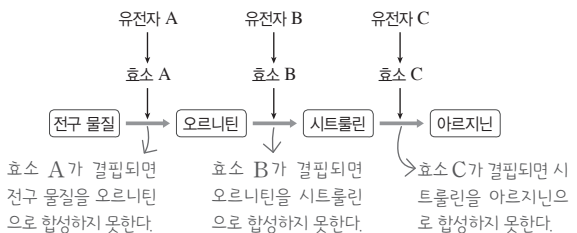
채점 기준	배점
일치한다고 쓰고, 그렇게 판단한 근거를 옳게 서술한 경우	100%
일치한다고만 쓴 경우	30%

수능 실전 문제

245쪽~249쪽

- 01 ⑤
- 02 ③
- 03 ③
- 04 ④
- 05 ②
- 06 ③
- 07 ③
- 08 ①
- 09 ⑤
- 10 ①
- 11 ⑤
- 12 ⑤
- 13 ⑤

01 **문제 분석**



선택지 분석

- 효소 B의 기질은 ㉠이다. ㉠, 오르니틴
- ㉡은 시트룰린이다.
- ㉢은 유전자 C에 돌연변이가 일어난 것이다.

ㄴ. 최소 배지에 ㉠을 첨가하였을 때 야생형과 영양 요구주 I, II가 모두 성장하였으므로 ㉠은 아르지닌이다. 영양 요구주 I은 ㉠을 첨가한 최소 배지에서는 ㉡을 합성하고, ㉠을 첨가한 최소 배지에서 ㉡을 합성하지 못하므로 ㉠으로부터 ㉡이 합성된다는 것을 알 수 있다. 따라서 영양 요구주 I은 유전자 A에 돌연변이가 일어난 것이고 ㉠은 오르니틴, ㉡은 시트룰린이다.

ㄷ. 영양 요구주 II는 최소 배지와 오르니틴(㉠), 아르지닌(㉢)을 첨가한 배지에서 모두 시트룰린(㉡)을 합성하므로 효소 A와 효소 B는 정상적으로 생성된다. 따라서 영양 요구주 II는 효소 C를 합성하는 유전자 C에 돌연변이가 일어난 것이다.

▣ **바로알기** ㄱ. 효소 B는 오르니틴이 시트룰린으로 전환되는 과정에 관여하므로 효소 B의 기질은 오르니틴(㉠)이다.

02

선택지 분석

- ㉠ (가)에서 ㉠+㉡=8이다. ㉠=2, ㉡=6
- ㉡ (나)의 용액에는 리보솜, tRNA, 아미노산이 포함되어야 한다.
- ㉢ (다)에서 ㉢는 12이다. 36

ㄱ. II에서 염기가 C일 확률은 $\frac{3}{\textcircled{1}+3}$ 이고, U일 확률은 $\frac{\textcircled{1}}{\textcircled{1}+3}$ 이다.

• II에서 류신을 지정할 확률: 류신을 지정하는 코돈은 CUU, CUC이다. 이중 CUU을 지정할 확률은 $\frac{3}{\textcircled{1}+3} \times \frac{\textcircled{1}}{\textcircled{1}+3} \times \frac{\textcircled{1}}{\textcircled{1}+3}$ 이고, CUC을 지정할 확률은 $\frac{3}{\textcircled{1}+3} \times \frac{\textcircled{1}}{\textcircled{1}+3} \times \frac{3}{\textcircled{1}+3}$ 이다. 따라서 II에서 류신을 지정할 확률은 $\frac{3\textcircled{1}^2}{(\textcircled{1}+3)^3} + \frac{9\textcircled{1}}{(\textcircled{1}+3)^3}$ 이다.

• II에서 페닐알라닌을 지정할 확률: 페닐알라닌을 지정하는 코돈은 UUU, UUC이다. 이중 UUU을 지정할 확률은 $\frac{\textcircled{1}}{\textcircled{1}+3} \times \frac{\textcircled{1}}{\textcircled{1}+3} \times \frac{\textcircled{1}}{\textcircled{1}+3}$ 이고, UUC을 지정할 확률은 $\frac{\textcircled{1}}{\textcircled{1}+3} \times \frac{\textcircled{1}}{\textcircled{1}+3} \times \frac{3}{\textcircled{1}+3}$ 이다. 따라서 페닐알라닌을 지정할 확률은 $\frac{\textcircled{1}^3}{(\textcircled{1}+3)^3} + \frac{3\textcircled{1}^2}{(\textcircled{1}+3)^3}$ 이다.

• II에서 류신과 페닐알라닌을 지정하는 비율은 6 : 4이므로 $\frac{3\textcircled{1}^2}{(\textcircled{1}+3)^3} + \frac{9\textcircled{1}}{(\textcircled{1}+3)^3} : \frac{\textcircled{1}^3}{(\textcircled{1}+3)^3} + \frac{3\textcircled{1}^2}{(\textcircled{1}+3)^3}$ 은 6 : 4이다. 따라서 ㉠=2이다.

• III에서 염기가 C일 확률은 $\frac{1}{\textcircled{1}+1}$ 이고, U일 확률은 $\frac{\textcircled{1}}{\textcircled{1}+1}$ 이다.

• III에서 류신을 지정할 확률: 류신을 지정하는 코돈은 CUU, CUC이다. 이중 CUU을 지정할 확률은 $\frac{1}{\textcircled{1}+1} \times \frac{\textcircled{1}}{\textcircled{1}+1} \times \frac{\textcircled{1}}{\textcircled{1}+1}$ 이고, CUC을 지정할 확률은 $\frac{1}{\textcircled{1}+1} \times \frac{\textcircled{1}}{\textcircled{1}+1} \times \frac{1}{\textcircled{1}+1}$ 이다. 따라서 III에서 류신을 지정할 확률은 $\frac{\textcircled{1}^2}{(\textcircled{1}+1)^3} + \frac{\textcircled{1}}{(\textcircled{1}+1)^3}$ 이다.

• III에서 프롤린을 지정할 확률: 프롤린을 지정하는 코돈은 CCU, CCC이다. 이중 CCU을 지정할 확률은 $\frac{1}{\textcircled{1}+1} \times \frac{1}{\textcircled{1}+1} \times \frac{\textcircled{1}}{\textcircled{1}+1}$ 이고, CCC을 지정할 확률은 $\frac{1}{\textcircled{1}+1} \times \frac{1}{\textcircled{1}+1} \times \frac{1}{\textcircled{1}+1}$

$\times \frac{1}{\textcircled{1}+1}$ 이다. 따라서 III에서 프롤린을 지정할 확률은 $\frac{\textcircled{1}}{(\textcircled{1}+1)^3} + \frac{1}{(\textcircled{1}+1)^3}$ 이다.

• III에서 류신과 프롤린을 지정하는 비율은 6 : 1이므로 $\frac{\textcircled{1}^2}{(\textcircled{1}+1)^3} + \frac{\textcircled{1}}{(\textcircled{1}+1)^3} : \frac{\textcircled{1}}{(\textcircled{1}+1)^3} + \frac{1}{(\textcircled{1}+1)^3}$ 은 6 : 1이다. 따라서 ㉡=6이다.

그러므로 (가)에서 ㉠+㉡=2+6=8이다.

ㄴ. RNA로부터 번역이 일어나려면 리보솜, tRNA, 아미노산 등이 있어야 한다.

▣ **바로알기** ㄷ. 페닐알라닌을 지정하는 코돈은 UUU과 UUC이다. III에서 UUU을 지정할 확률은 $\frac{\textcircled{1}}{\textcircled{1}+1} \times \frac{\textcircled{1}}{\textcircled{1}+1} \times \frac{\textcircled{1}}{\textcircled{1}+1}$ 이고, UUC을 지정할 확률은 $\frac{\textcircled{1}}{\textcircled{1}+1} \times \frac{\textcircled{1}}{\textcircled{1}+1} \times \frac{1}{\textcircled{1}+1}$ 이다. 따라서 III에서 페닐알라닌을 지정할 확률은 $\frac{\textcircled{1}^3}{(\textcircled{1}+1)^3} + \frac{\textcircled{1}^2}{(\textcircled{1}+1)^3} = \frac{36}{49}$ 이다. 프롤린을 지정할 확률 $\frac{\textcircled{1}}{(\textcircled{1}+1)^3} + \frac{1}{(\textcircled{1}+1)^3} = \frac{1}{49}$ 이 폴립타이드를 구성하는 아미노산의 상대적인 비에서 1을 나타내므로 페닐알라닌 수의 상대적인 비인 ㉢=36이다.

03 **꼼꼼** 문제 분석

- 이중 나선 DNA X와 Y는 각각 300개의 염기쌍으로 이루어져 있다.
 - X와 Y의 염기 수는 각각 600개이다.
- X는 단일 가닥 X₁과 X₂로, Y는 단일 가닥 Y₁과 Y₂로 이루어져 있다.
- X에서 $\frac{A+T}{G+C} = \frac{3}{2}$ 이고, Y에서 $\frac{A+T}{G+C} = \frac{3}{7}$ 이다.
 - X에서 A+T = $\frac{3}{2+3} \times 600 = 360$ 이다. 따라서 아데닌(A)과 타이민(T)의 수는 각각 180개이고, 구아닌(G)과 사이토신(C)의 수는 각각 120개이다.
 - Y에서 A+T = $\frac{3}{7+3} \times 600 = 180$ 이다. 따라서 아데닌(A)과 타이민(T)의 수는 각각 90개이고, 구아닌(G)과 사이토신(C)의 수는 각각 210개이다.
- X₁에서 구아닌(G)의 비율은 16%이고, 피리미딘 계열 염기의 비율은 52%이다.
 - X₁에서 구아닌(G)의 비율은 16%, 피리미딘 계열 염기(타이민(T), 사이토신(C))의 비율은 52%이므로 아데닌(A)의 비율은 100 - (16 + 52) = 32%이고, X에서 A+T의 비율이 60%이므로 타이민(T)의 비율은 28%이다. 따라서 X₁ 염기 조성 비율은 아데닌(A) 32%, 구아닌(G) 16%, 사이토신(C) 24%, 타이민(T) 28%이고, X₂의 염기 조성 비율은 아데닌(A) 28%, 구아닌(G) 24%, 사이토신(C) 16%, 타이민(T) 32%이다.
- Y₁에서 사이토신(C)의 비율은 30%이다.
- Y₂에서 아데닌(A)의 비율은 12%이다.
 - Y₁의 타이민(T)의 비율은 Y₂의 아데닌(A)의 비율과 같고, Y₁의 사이토신(C)+구아닌(G)=70%이다. 따라서 Y₁의 염기 조성 비율은 아데닌(A) 18%, 구아닌(G) 40%, 사이토신(C) 30%, 타이민(T) 12%이고, Y₂의 염기 조성 비율은 아데닌(A) 12%, 구아닌(G) 30%, 사이토신(C) 40%, 타이민(T) 18%이다.

선택지 분석

- 유전자 x 의 전사 주형 가닥에서 ㉠에 있는 염기는 타이민(T)이다. 아데닌(A)
- ㉠ 부분은 전사될 때 염기 유라실(U)로 된다. 아데닌(A)
- X가 합성될 때 사용된 종결 코돈은 UAG이고, Z가 합성될 때 사용된 종결 코돈은 UAA이다.

㉠. 종결 코돈은 UAA, UAG, UGA이다. X가 합성될 때 사용된 종결 코돈은 UAG이고, Z가 합성될 때 사용된 종결 코돈은 UAA이다.

▣ **바로알기** ㉡. x 의 mRNA에서 결실된 염기가 유라실(U)이므로 전사 주형 가닥에서 ㉠에 있는 염기는 아데닌(A)이다.

㉢. Z의 mRNA에서 삽입된 동일한 염기 2개는 AA이므로 주형 가닥 DNA인 z 에서 ㉠ 부분은 TT이다. TT가 mRNA로 전사될 때 염기 아데닌(A)으로 된 것이다.

07 **꼼꼼** 문제 분석

• 유전자 x 가 포함된 주형 가닥의 DNA 염기 서열은 다음과 같다.

3'-AATACGAGGTGACAAGGTCTCTCGTATTTCG-5'

- 유전자 x 가 전사되어 1차 mRNA가 합성된다.
→ 5'-UU/AUG(개시 코돈)/CUC/CAC/UGU/UCC/AGA/GAG/CAU/AAG/C-3'
- 1차 mRNA로부터 ㉠ 연속된 7개의 뉴클레오타이드가 제거되어 새로운 종결 코돈을 갖는 성숙한 mRNA가 만들어진다.
- 성숙한 mRNA가 번역되어 폴리펩타이드 Y가 생성된다.
→ 개시 코돈은 유지되어야 하고, 종결 코돈은 모두 첫 번째 염기가 U이 되어야 하므로 U 다음부터 제거되거나 U 앞까지 제거된 후 U로부터 코돈이 시작되어야 한다. 따라서 제거된 뉴클레오타이드는 5'-GUUCCAG-3'이다. 7개의 뉴클레오타이드가 제거되면 5'-UU/AUG(개시 코돈)/CUC/CAC/UAG(종결 코돈)/AGC/AUAAGC-3'가 되어 새로운 종결 코돈(UAG)이 만들어진다.

선택지 분석

- Y에 있는 펩타이드 결합의 수는 2개이다.
- ㉠의 3' 말단에 있는 염기는 구아닌(G)이다.
- 성숙한 mRNA가 폴리펩타이드 Y로 번역될 때 사용된 종결 코돈은 UGA이다. UAG

㉡. 폴리펩타이드 Y는 AUG(개시 코돈)-CUC-CAC의 코돈이 지정하는 3개의 아미노산으로 구성되므로 Y에 있는 펩타이드 결합의 수는 아미노산의 수보다 1개 적은 2개이다.

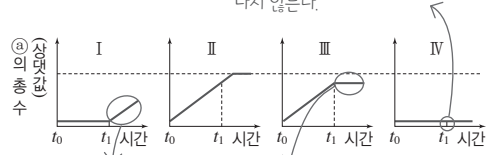
㉢. 제거된 7개의 염기 서열은 5'-GUUCCAG-3'로 ㉠의 3' 말단에 있는 염기는 구아닌(G)이다.

▣ **바로알기** ㉣. 성숙한 mRNA가 폴리펩타이드 Y로 번역될 때 사용된 종결 코돈은 UAG이다.

08 **꼼꼼** 문제 분석

시험관 \ 물질	t_0 에 첨가한 물질	t_1 에 첨가한 물질
I	mRNA	㉠
II	mRNA+㉠	㉡
III	mRNA+㉠	㉢
IV	mRNA+㉡	㉠
V	mRNA+㉢	㉠

㉡은 mRNA와 리보솜 소단위체의 결합을 차단하므로 IV에서는 폴리펩타이드 합성이 일어나지 않는다.



t_1 시기에 시험관 I에 ㉠을 첨가하였더니 방사성 동위원소로 표지된 아미노산의 총 수가 증가하는 것으로 보아 ㉠은 개시 tRNA이다.

시험관 III에서 폴리펩타이드가 합성되고 있는 상태에서 ㉢을 첨가하면 아미노산의 총 수가 증가하지 않으므로 ㉢은 리보솜 A 자리에 tRNA가 결합하는 것을 차단하는 물질이다.

- I에서 mRNA에 ㉠을 첨가하면 폴리펩타이드에 아미노산이 첨가되기 시작하므로 ㉠은 개시 tRNA이다.
- III에서 폴리펩타이드가 합성되고 있는 상태에서 ㉢을 첨가하면 즉시 아미노산의 첨가가 중지되므로 ㉢은 리보솜 A 자리에 tRNA가 결합하는 것을 차단하는 물질이다.
- IV의 t_0 에서 ㉡을 첨가한 후 t_1 에서 tRNA(㉡)를 첨가하여도 방사성 동위원소로 표지된 아미노산이 증가하지 않으므로 ㉡은 mRNA와 리보솜 소단위체의 결합을 차단하는 물질이다.

선택지 분석

- II에서 t_1 이후에 mRNA에 새로운 리보솜 소단위체가 결합하지 않는다.
- III에서 t_1 이후에 세포질에는 아미노산과 결합한 tRNA가 없다.
- V에서 폴리펩타이드에 포함된 ㉠의 총 수는 t_0 이후에 계속 증가한다. V에서는 폴리펩타이드가 합성되지 않는다.

㉡. II의 t_1 에서 ㉡을 첨가한 이후로 방사성 동위원소로 표지된 아미노산이 일정 시간 증가하다가 증가하지 않으므로 mRNA에 새로운 리보솜 소단위체가 결합하지 않는다.

▣ **바로알기** ㉢. III에서 t_1 에 ㉢을 첨가하면 리보솜 A 자리에 tRNA가 결합하는 것을 차단하기 때문에 폴리펩타이드의 합성이 중지된다. 그러나 tRNA와 아미노산의 결합은 세포질에서 효소의 촉매 작용으로 일어나므로 ㉢에 의하여 직접적으로 영향을 받지 않는다.

㉣. V에서 리보솜의 A 자리에 tRNA가 결합하는 것을 차단하는 물질 ㉡을 함께 넣으면 폴리펩타이드가 형성되지 않으므로 삽입된 ㉠의 총 수는 t_0 이후에 증가하지 않고 유지된다.

09 **꼼꼼** 문제 분석

억제 단백질과 젓당 오페론의 작동 부위 결합

억제 단백질과 젓당 유도체의 결합 억제 단백질과 젓당 유도체의 결합 젓당 오페론의 프로모터와 RNA 중합 효소의 결합

구분	㉠	㉡	㉢	젓당 분해 효소의 생성
야생형	○	×	○	생성됨
작동 부위 결실 I	○	×	○	생성됨
조절 유전자 결실 II	×	㉠×	○	생성됨
프로모터 결실 III	?	?	㉢×	생성 안 됨

(○: 결합함, ×: 결합 못함)

- 야생형에서 ㉠의 결합이 일어나도 젓당 분해 효소가 생성되므로 ㉠은 '억제 단백질과 젓당 유도체의 결합'이고, ㉡의 결합이 일어나지 않았으므로 ㉡은 '억제 단백질과 젓당 오페론의 작동 부위 결합'이다. 따라서 ㉢은 '젓당 오페론의 프로모터와 RNA 중합 효소의 결합'이다.
- 젓당 오페론의 프로모터가 결실되면 RNA 중합 효소가 결합하지 못하므로 어떤 경우에도 젓당 분해 효소가 생성되지 않는다. → III은 프로모터가 결실된 돌연변이이다.
- 조절 유전자가 결실되면 억제 단백질이 합성되지 않아 '억제 단백질과 젓당 유도체의 결합(㉠)'이 일어나지 않아도 '젓당 오페론의 프로모터와 RNA 중합 효소의 결합(㉢)'이 일어나 구조 유전자가 전사되어 젓당 분해 효소가 생성된다. → II는 조절 유전자가 결실된 돌연변이이다.
- I은 젓당 오페론의 작동 부위가 결실된 돌연변이로 '억제 단백질과 젓당 오페론의 작동 부위 결합(㉡)'이 일어나지 않는다.

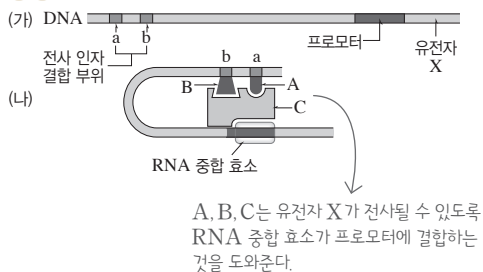
선택지 분석

- ㉠은 '억제 단백질과 젓당 오페론의 작동 부위 결합'이다. 젓당 유도체
- ㉡와 ㉢은 모두 '×'이다.
- II에서는 억제 단백질이 합성되지 않는다.

㉠, ㉡. II는 조절 유전자가 결실되어 억제 단백질이 생성되지 않으므로 억제 단백질과 젓당 오페론의 작동 부위 결합(㉡)이 일어나지 않는다. 따라서 작동 부위의 결합 ㉡는 '×'이다. III은 프로모터가 결실된 돌연변이이므로 젓당 오페론의 프로모터와 RNA 중합 효소의 결합(㉢)이 일어나지 않는다. 따라서 ㉢는 '×'이다.

바로알기 ㉠. ㉠에 상관없이 젓당 분해 효소가 생성되므로 ㉠은 '억제 단백질과 젓당 유도체의 결합'이다.

10 **꼼꼼** 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ a의 염기 서열은 심장 세포의 핵 DNA에도 있다.
- ㉡ a, b, 프로모터, 유전자 X는 오페론을 구성한다.
 - 사람은 진핵생물이므로 오페론이 없다.
- ㉢ (나)는 유전자 X의 전사 후에 일어나는 단계이다. 전사 전

㉠. 세포 분화가 일어나더라도 각 세포의 유전체 구성은 변하지 않아 분화 전과 동일하므로 a의 염기 서열은 심장 세포의 핵 DNA 뿐만 아니라 사람의 몸을 구성하는 모든 체세포의 핵 DNA에 있다.

바로알기 ㉡. 오페론은 원핵생물의 유전자 발현 조절 방식이고, 사람은 진핵생물이다.

㉢. (나)는 특정 조절 부위에 결합한 다양한 전사 인자와 RNA 중합 효소가 결합하여 전사 개시 복합체를 형성한 것이므로 전사 조절 단계에서 일어난다.

11

선택지 분석

- ㉠ ㉡의 결합 부위는 D이다.
- ㉡ I에서는 ㉢이 발현되지 않는다. I에서는 ㉠과 ㉡이 발현된다.
- ㉢ I에서는 y가 발현된다. I에서는 x와 y가 발현된다.
- ㉣ II와 III에서는 z가 발현된다.
- ㉤ III에서는 x가 발현되지 않는다. x와 z가 발현된다.

유전자 x는 전사 인자 ㉠ 또는 ㉡이 있으면 전사되고, 유전자 y는 전사 인자 ㉠과 ㉢ 또는 ㉠과 ㉡, 유전자 z는 ㉡ 또는 C에 결합하는 전사 인자가 있으면 전사된다.

II에서는 전사 인자 ㉢만 발현되는데, x~z 중 적어도 하나가 발현되므로 x와 y는 발현하지 않으므로 z가 발현되고, 전사 인자 ㉢은 C에 결합한다. 따라서 ㉢은 D에 결합한다.

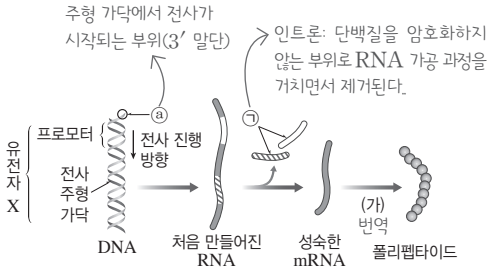
I에서는 전사 인자 ㉡이 발현되지 않지만 x~z 중 두 가지가 발현되는데, 전사 인자 ㉠이 발현되지 않으면 x와 y 모두 발현되지 않으므로 ㉠이 발현된다. 이때 전사 인자 ㉢이 발현되면 y와 z가 모두 발현되므로 ㉢은 발현되지 않고 ㉡이 발현된다. 그 결과 x와 y가 발현된다.

III에서는 ㉠이 발현되지 않으며 x~z 중 두 가지가 발현되므로 ㉠이 반드시 필요한 y를 제외한 x와 z가 발현된다.

- ㉠ ㉢의 결합 부위가 C이므로 ㉢의 결합 부위는 D이다.
- ㉡ I에서는 ㉠과 ㉡이 발현되고, ㉢이 발현되지 않는다.
- ㉢ I에서는 x와 y가 발현되고, z는 발현되지 않는다.
- ㉣ II에서는 z가, III에서는 x와 z가 발현된다.

바로알기 ㉤ III에서는 x와 z가 발현된다.

12 **꼼꼼** 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ ㉠은 전사 주형 가닥의 3' 말단이다.
- ㉡ ㉡에는 염기 타이민(T)이 포함될 수 있다. **포함될 수 없다.**
- ㉢ (가)에 mRNA, rRNA, tRNA가 모두 관여한다.

㉠. 전사는 항상 5' → 3' 방향으로 일어나므로 전사 주형 가닥에서 전사가 시작되는 부위 ㉠은 RNA와는 반대이므로 3' 말단이다.

㉡. (나)는 번역 단계이며, 번역 단계에서는 유전 정보를 저장하고 있는 mRNA, 리보솜을 구성하는 rRNA, 아미노산을 운반하는 tRNA가 모두 관여한다.

▣ **바로알기** ㉢. ㉢은 처음 만들어진 RNA에서 단백질을 암호화하지 않는 부위인 인트론이다. 인트론은 RNA 가공 과정을 거치면서 제거되며 RNA의 일부이므로 염기로 아데닌(A), 유라실(U), 구아닌(G), 사이토신(C)을 가진다. 따라서 ㉢에는 염기 타이민(T)이 포함될 수 없다.

13 **꼼꼼** 문제 분석

- 유전자 A, B, C는 꽃 구조 형성에 관여하는 핵심 조절 유전자이다.
- 유전자 A만 발현되면 꽃받침, 유전자 A와 B가 발현되면 꽃잎, 유전자 B와 C가 발현되면 수술, 유전자 C만 발현되면 암술이 형성된다.
- 야생형과 돌연변이 식물체 (가)~(다)의 꽃에서 형성된 구조는 표와 같다. 돌연변이 (가)~(다)는 각각 유전자 A~C 중 하나 이상이 결실된 것이다.

꽃받침과 꽃잎은 모두 형성되었고, 수술과 암술은 모두 형성되지 않았다. → 꽃잎과 꽃받침 형성은 유전자 A가 관여한다.

구분	꽃받침	꽃잎	수술	암술
야생형	형성	형성	형성	형성
(가)	형성	형성	형성 안 됨	형성 안 됨
(나)	형성	형성 안 됨	형성 안 됨	형성
(다)	형성 안 됨	㉠	형성	형성

꽃받침이 형성되지 않았으므로 유전자 A가 결실되었다.

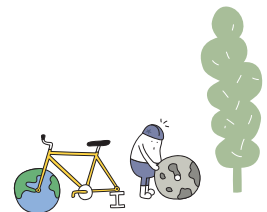
선택지 분석

- ㉠ (가)에서는 유전자 C가 결실되었다.
- ㉡ ㉡은 '형성'이다. **형성 안 됨**
- ㉢ 야생형의 꽃받침에는 유전자 A와 B가 모두 있다.

㉠. 돌연변이 (가)에서 꽃받침과 꽃잎은 모두 형성되었고, 수술과 암술은 모두 형성되지 않았다. 꽃받침과 꽃잎의 형성은 모두 유전자 A가 관여하며, 수술의 형성에는 유전자 B와 C, 암술의 발현에는 유전자 C가 관여한다. 따라서 (가)에서는 유전자 C가 결실되었다.

㉡. 세포 분화 과정에서 유전체의 구성은 변하지 않으므로 유전자 A와 B는 이 식물체를 구성하는 세포에 모두 있다.

▣ **바로알기** ㉢. 돌연변이 (다)에서는 꽃받침이 형성되지 않았으므로 유전자 A가 결실되었다. 꽃잎은 유전자 A와 B가 발현되어야 형성되므로 유전자 A가 결실되면 꽃잎도 형성되지 않는다.





V. 생물의 진화와 다양성

1 생명의 기원과 다양성

1 생명의 기원

개념 확인 문제 256쪽

① 화학적 진화설 ② 무기물 ③ 유기물 복합체 ④ 리보자임

1 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○ (5) × (6) ○ 2 (1) ㉞ (2) ㉟ (3) ㉟
3 (1) ○ (2) ○ (3) ×

1 (1) 원시 지구의 대기는 산소가 거의 포함되지 않았다.
 (2) 원시 지구는 빈번한 운석 충돌과 대규모 화산 활동으로 열이 많이 발생하였고, 대기에 오존층이 없어 태양의 강한 자외선이 지구 표면에 도달하였으며, 대기가 불안정하여 번개와 같은 방전 현상이 자주 일어났다. 그 결과 지구에 에너지가 매우 풍부하였다.
 (3) 원시 지구에는 오존층이 형성되지 않아 태양의 강한 자외선이 지구 표면에 도달하였다.
 (4) 화학적 진화설에 따르면 '무기물(암모니아 등) → 간단한 유기물(뉴클레오타이드 등) → 복잡한 유기물(단백질 등) → 유기물 복합체(코아세르베이트 등) → 원시 세포' 순으로 형성된다.
 (5) 유리와 밀러는 무기물에서 간단한 유기물이 합성된다는 오파린의 가설을 실험을 통해 입증하였다. 폭스는 실험을 통해 아미노산에서 복잡한 유기물이 만들어질 수 있음을 입증하였다.
 (6) 원시 세포가 되기 위해서는 막 구조가 있어야 하는데, 이는 내부를 외부 환경과 분리시켜 생명 활동이 일어날 수 있는 공간을 만들어 주고, 물질을 선택적으로 흡수하여 내부 환경을 안정적으로 유지하게 해 주기 때문이다.

2 리포솜, 마이크로스피어, 코아세르베이트는 모두 유기물 복합체이다. 코아세르베이트는 액상의 막을 가지며, 리포솜은 인지질 2중층의 막, 마이크로스피어는 단백질 2중층의 막을 가진다.

3 (1), (2) 리보자임은 유전 정보의 저장과 효소 기능이 모두 있는 특정한 RNA 분자로 최초의 유전 물질로 추정된다.
 (3) RNA-단백질 기반 체계에서 리보자임(RNA)은 유전 정보를 저장하고 있는 유전 물질의 기능을 담당하였으며, 단백질이 효소 기능을 담당하였다.

개념 확인 문제 259쪽

① 무산소 호흡 ② 광합성 ③ 산소 호흡 ④ 막 ⑤ 미토콘드리아
 ⑥ 군체 ⑦ 산소 ⑧ 오존층

1 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ 2 (1) (가) (2) A: 미토콘드리아, B: 엽록체 3 ④ 4 (1) × (2) × (3) ○ 5 ㉠ 자외선, ㉡ 육상(육지)

1 (1), (4) 원시 지구에 최초의 생명체(원핵생물)가 출현한 이후 생명체는 '단세포 진핵생물의 출현 → 다세포 진핵생물의 출현 → 육상 생물의 출현' 과정을 거치며 진화하였다.

(2), (3) 원핵생물은 '무산소 호흡 종속 영양 생물 → 광합성 독립 영양 생물 → 산소 호흡 종속 영양 생물'로 진화하였다.

2 (1) (가)에서 세포막의 합성이 일어나 핵막이 형성되었으므로 이 과정이 막 진화설로 설명된다.

(2) A는 원시 진핵생물에 산소 호흡 세균이 공생하면서 형성된 미토콘드리아, B는 산소 호흡이 가능해진 원시 진핵생물에 광합성 세균이 공생하면서 형성된 엽록체이다.

3 미토콘드리아와 엽록체는 모두 2중막 구조이며, 이것은 세포내 공생설을 지지하는 근거에 해당한다.

4 (1) 군체는 세포 분화가 일어나기 전 단세포 진핵생물이 모여서 형성된 것이다.

(2), (3) 단세포 진핵생물이 출현한 이후 이들이 모여 군체를 형성하였고, 군체가 환경에 적응하는 과정에서 세포 분화가 일어나 다세포 진핵생물이 출현하였다.

5 광합성 독립 영양 생물의 출현 이후 대기 중의 산소 농도가 증가하면서 오존층이 형성된 결과 태양의 강한 자외선(㉠)이 차단되었으며, 이로 인해 다세포 진핵생물이 육상(㉡)으로 진출할 수 있게 되었다.

대표 자료 분석 260쪽

자료 ① 1 무산소 호흡 종속 영양 생물 2 ㉡ 3 ㉡
 4 (1) ○ (2) × (3) × (4) ×

자료 ② 1 ㉡ 2 ㉡, ㉢ 3 (가) 4 (1) × (2) ○ (3) × (4) × (5) × (6) ○ (7) ○

①-1 ㉠은 원시 지구에 출현한 최초의 생명체이므로 무산소 호흡 종속 영양 생물이고, ㉡은 빛에너지와 대기의 CO₂를 이용하여 유기물을 합성하는 광합성 독립 영양 생물이며, ㉢은 산소 호흡을 통해 유기물을 얻는 산소 호흡 종속 영양 생물이다.

①-2 무기물을 이용하여 유기물을 합성하는 생물은 독립 영양을 하는 생물이므로 ㉡이다.

①-3 광합성 독립 영양 생물(㉡)은 대기로 산소를 배출하였고, 그 결과 대기의 산소 농도가 증가하였다.

①-4 (1) 무산소 호흡 종속 영양 생물(㉠)이 출현하기 전에 화학적 진화가 일어나 유기물이 합성되었다.

(2) 무산소 호흡 종속 영양 생물(㉠)은 무산소 호흡으로 유기물을 분해하여 대기로 CO₂를 방출하였다.

(3) 광합성 독립 영양 생물(㉡)은 원핵생물이므로 세포 소기관인 엽록체가 없다.

(4) 대기의 오존층에 의해 강한 자외선이 차단되어 생물이 육상으로 진출하였으므로 지표에 도달하는 자외선의 세기는 오존층이 형성되기 전인 ㉢이 출현하였을 때가 오존층이 형성된 후인 생물이 육상으로 진출하였을 때보다 더 강했다.

②-1 ㉠은 세포 호흡이 일어나는 미토콘드리아로 분화되는 산소 호흡 세균이고, ㉡은 광합성이 일어나는 엽록체로 분화되는 광합성 세균이다.

②-2 산소 호흡 세균(㉠)과 광합성 세균(㉡)은 모두 유전 물질을 가지고 있으며, 이로부터 형성된 미토콘드리아와 엽록체에는 자체 DNA가 존재하여 스스로 복제하고 증식할 수 있다.

②-3 동물 세포에는 엽록체가 없으므로 동물 세포의 기원이 된 것은 엽록체가 없는 (가)이다.

②-4 (1), (2) 핵막은 A 과정에서 세포막의 함입이 일어나면서 형성되었다.

(3) 세포 내 공생은 A 과정 이후에 산소 호흡 세균(㉠)이 원시 진핵생물 안에 공생하면서 처음 일어났다.

(4) 빛에너지를 화학 에너지로 전환하는 세균은 광합성 세균(㉡)이다.

(5) 산소 호흡 세균(㉠)과 광합성 세균(㉡)은 모두 단일 막 구조이지만, 이들이 원시 진핵생물 안으로 들어가면서 원시 진핵생물의 세포막으로 둘러싸여 2중막 구조의 미토콘드리아와 엽록체로 진화되었다.

(6) 미토콘드리아와 엽록체는 모두 자체 DNA와 리보솜이 있어 스스로 복제를 하여 증식할 수 있다.

(7) 미토콘드리아와 엽록체가 모두 원핵세포에 존재하는 원형 DNA를 갖는 것은 세포내 공생설을 지지하는 근거가 된다.

내신 만점 문제

261쪽~263쪽

01 ②	02 ③	03 ④	04 ①	05 ②	06 ⑤
07 ①	08 ③	09 ①	10 ⑤	11 해설 참조	
12 ③	13 ②				

01 • 학생 B: 원시 지구는 빈번한 운석 충돌과 대규모 화산 활동으로 많은 열이 발생하여 에너지가 매우 풍부하였다.

▮ **바로알기** ▮ 학생 A, 학생 C: 원시 대기에는 산소가 거의 없었으며, 오존층이 없어 태양의 강한 자외선이 그대로 지구 표면에 도달하였다.

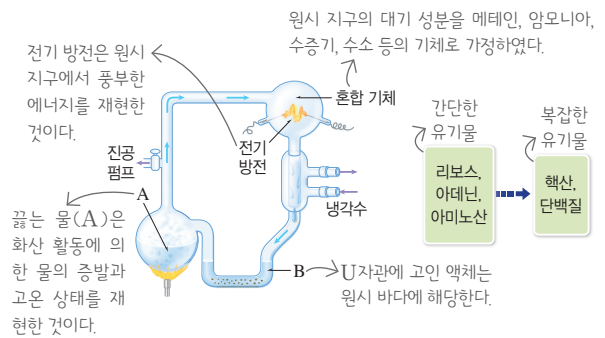
02 화학적 진화는 '무기물 → 간단한 유기물 합성 → 복잡한 유기물 합성 → 유기물 복합체 형성 → 원시 세포의 출현' 순으로 일어났다. 메테인은 무기물, 아미노산은 간단한 유기물, 핵산은 복잡한 유기물, 마이크로스피어는 유기물 복합체이다.

03 가. ㉠은 무기물로, 암모니아를 포함한다.

다. ㉡은 코아세르베이트 등과 같은 유기물 복합체이다.

▮ **바로알기** ▮ 나. ㉢은 단백질, 핵산 등과 같은 복잡한 유기물이다. 원시 대기를 구성하는 물질은 수소, 수증기, 메테인, 암모니아 등의 기체로 무기물(㉠)에 해당한다.

04 **꼼꼼** 문제 분석



가. 유리와 밀러의 실험에서 혼합 기체는 원시 대기를 가정한 것으로, 여기에는 수소, 수증기, 메테인, 암모니아 등의 기체가 포함되어 있다.

바로알기 나. A는 혼합 기체에 수증기와 열을 공급하기 위한 끓는 물이고, B는 U자관에 고인 액체로 혼합 기체가 들어 있는 플라스크 안에서 합성된 물질이 포함되어 있다. 따라서 원시 바다에 해당하는 것은 B이다.

다. (나)는 간단한 유기물로부터 복잡한 유기물이 합성되는 과정이다. 유리와 밀러의 실험을 통해서서는 원시 지구의 무기물로부터 간단한 유기물이 합성되는 과정만 증명되었다.

05 다. 마이크로스피어(가)와 리포솜(나)에서는 모두 간단한 화학 반응이 일어난다.

바로알기 가. (가)는 단백질 2중층의 막을 가지므로 마이크로스피어이다.

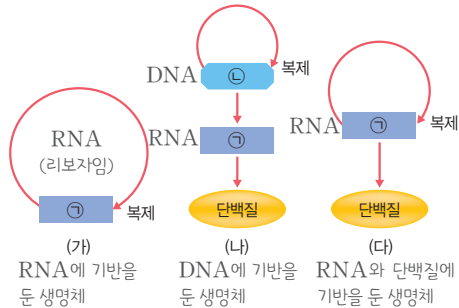
나. (나)는 인지질 2중층의 막을 갖는 리포솜이다. 농축된 아미노산 용액에 열을 가하여 만드는 것은 마이크로스피어(가)이다.

06 가. 원시 세포는 유전 물질에 유전 정보를 저장하고 자기 복제를 할 수 있어야 한다. 원시 세포는 유전 물질을 통해 유전 정보를 자손에게 전달해 준다.

나. 원시 세포는 막을 형성하여 원시 세포와 외부 환경을 구분하고, 막을 경계로 외부와의 물질 출입을 조절할 수 있어야 한다.

다. 원시 세포는 물질대사에 필요한 효소(단백질)를 스스로 합성할 수 있어야 하며, 세포 내에 유입된 물질을 전환시키는 물질대사를 통하여 생명 활동에 필요한 에너지와 물질을 얻는다.

07 **꼼꼼** 문제 분석



나. 생물의 초기 유전 정보는 RNA에 기반하였으나, 이후 효소의 기능을 담당하는 단백질이 출현하면서 RNA-단백질을 기반으로 하는 중간 단계를 거쳐, 정보의 저장 기능을 수행하는 DNA의 출현으로 오늘날과 같은 DNA-RNA-단백질의 유전 정보 체계가 형성되었다.

바로알기 가. 리보자임은 유전 정보 저장과 물질대사를 촉매하는 효소의 기능을 모두 가진 RNA(㉠)이다.

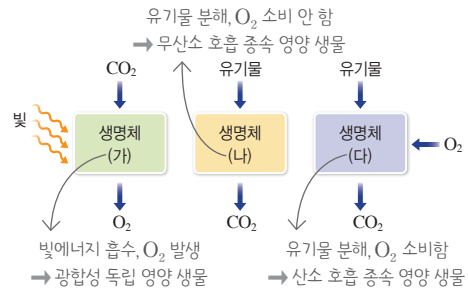
다. RNA에 기반을 둔 생명체(가)에서 RNA(㉠)는 유전 정보를 저장하지만, DNA에 기반을 둔 생명체(나)에서 유전 정보를 저장하는 것은 RNA(㉠)가 아닌 DNA(㉡)이다.

08 다. A~C는 모두 육상 생물이 출현하기 전에 원시 바다에서 출현하였다.

바로알기 가. A는 최초로 산소를 이용하여 유기물을 분해하였으므로 산소 호흡 종속 영양 생물이다. 최초의 산소 호흡 종속 영양 생물(A)은 원핵생물이므로 미토콘드리아를 가지지 않는다.

나. 출현한 순서는 '무산소 호흡 종속 영양 생물(C) → 광합성 독립 영양 생물(B) → 산소 호흡 종속 영양 생물(A)'이다.

09 **꼼꼼** 문제 분석

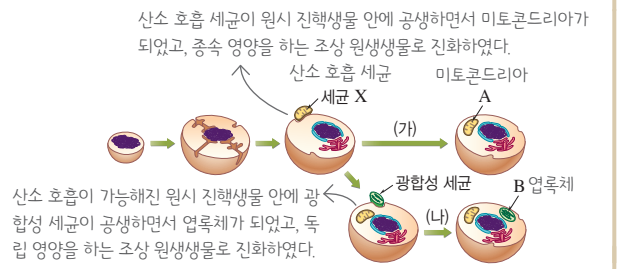


가. (가)는 빛에너지를 흡수하고, 산소(O₂)를 발생시키므로 광합성 독립 영양 생물이다. 이 생물의 출현과 번성으로 대기의 산소 농도가 증가하였다.

바로알기 나. (가)~(다)는 모두 원핵생물이므로 막으로 둘러싸인 세포 소기관을 가지지 않는다.

다. (나)는 산소를 이용하지 않고 유기물을 분해하는 무산소 호흡 종속 영양 생물, (다)는 산소를 이용하여 유기물을 분해하는 산소 호흡 종속 영양 생물이므로 원시 지구에 (나)가 (다)보다 먼저 출현하였다.

10 **꼼꼼** 문제 분석



나. 세포내 공생을 통하여 미토콘드리아(A)가 된 세균 X는 산소 호흡 세균이다. 미토콘드리아(A)의 내막은 산소 호흡 세균 X의 세포막에서, 외막은 숙주가 된 원핵생물의 세포막에서 유래하였다.

다. 세포내 공생설은 원핵생물이 다른 생물에 들어가 공생하면서 미토콘드리아와 엽록체로 분화하였다는 가설이다. 따라서 세포내 공생설은 (가)와 (나) 과정을 설명하는 학설이다.

▣ **바로알기** ▣ ㄱ. 산소 호흡 세균(X)은 중속 영양을 하고, 남세균은 광합성을 하므로 독립 영양을 한다. 따라서 산소 호흡 세균(X)은 남세균과 영양 방식이 다르다.

11 A는 산소 호흡 세균(X)이 세포내 공생을 하여 형성된 미토콘드리아이고, B는 광합성 세균이 세포내 공생을 하여 형성된 엽록체이다.

▣ **모범답안** ▣ A: 미토콘드리아, B: 엽록체, 2종막 구조이다. 자체 DNA와 리보솜을 가진다. DNA가 원핵생물과 유사한 형태이다. 분열법으로 증식한다.

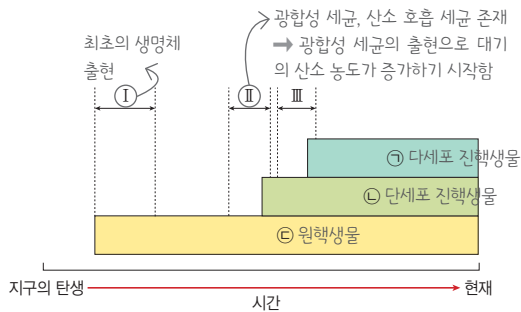
채점 기준	배점
A와 B의 이름과 공통점 두 가지를 모두 옳게 쓴 경우	100%
A와 B의 이름은 옳게 썼지만, 공통점을 한 가지만 옳게 쓴 경우	70%
A와 B의 이름만 옳게 쓴 경우	30%

12 ㄷ. (다)는 초기 다세포 진핵생물로, 세포 분화가 일어나 모양과 기능이 다양한 세포로 구성된다.

▣ **바로알기** ▣ ㄱ. (가)는 단세포 진핵생물이다.

ㄴ. A 과정에서 단세포 진핵생물이 모여서 군체를 형성하였으며, B 과정에서 세포 분화가 일어났다.

13 **꼼꼼** 문제 분석



ㄴ. 생물은 '원핵생물(㉡) → 단세포 진핵생물(㉣) → 다세포 진핵생물(㉤)'의 순서로 나타났다. 산소 호흡을 하는 세균은 단세포 진핵생물(㉣)이 나타나기 전에 출현하였으므로 II에서 지구에 산소 호흡을 하는 세균이 존재하였다.

▣ **바로알기** ▣ ㄱ. 세포내 공생이 일어나 단세포 진핵생물(㉣)이 출현하였으므로 세포내 공생은 II에서 일어났다.

ㄷ. 대기의 산소 농도는 광합성 독립 영양 세균이 출현하면서 증가하기 시작하였고, 광합성 독립 영양 세균은 단세포 진핵생물(㉣)이 나타나기 전에 출현하였다. 따라서 대기의 산소 농도는 III 이전에 증가하기 시작하였다.

02 생물의 분류

개념 확인 문제

267쪽

- ① 종 ② 속 ③ 역 ④ 이명법 ⑤ 유연관계 ⑥ 계통수
⑦ 3역 6계 ⑧ 진핵생물

- 1 (1) 역 (2) 목 (3) 같은 (4) 생식적 2 ④ 3 (1) × (2) × (3) ○ (4) ○ 4 (1) × (2) × (3) ○ (4) ○ (5) ○ 5 (1) A: 균계, B: 진정세균계, C: 고세균계, D: 진핵생물역 (2) B

1 (1) 생물의 분류 단계는 종, 속, 과, 목, 강, 문, 계, 역으로 구분되며, 가장 큰 분류군은 역이다.

(2) 속이 과보다 더 작은 분류군이므로 여러 속이 모여 하나의 과를 이루고, 목이 과보다 더 큰 분류군이므로 여러 과가 모여 하나의 목을 이룬다.

(3) 몇몇 유사한 목이 모여 하나의 강을 이루므로 같은 목에 속한 두 생물종은 같은 강에 속한다.

(4) 종은 자연 상태에서 자유롭게 교배하여 생식 능력이 있는 자손을 낳을 수 있는 개체들의 집단이므로, 생식적 격리 여부가 종을 판정하는 가장 중요한 기준이 된다.

2 학명은 이명법에 따라 '속명+종소명+(명명자)'로 표기한다. 이때 속명의 첫 글자는 대문자로, 종소명의 첫 글자는 소문자로 쓰고, 속명과 종소명은 모두 이탤릭체로 쓴다.

3 (1) 계통수에 위치한 생물종은 공통 조상으로부터 자신에게 이르는 경로에 위치한 특징을 모두 가진다. 따라서 침팬지는 특징 ㉠과 ㉡을 모두 가진다.

(2) 까치와 개가 공통 조상으로부터 갈라진 시기가 까치와 악어가 공통 조상으로부터 갈라진 시기보다 더 오래되었으므로 까치는 악어보다 개와 유연관계가 더 멀다.

(3) 분기점에는 해당 분기점에서 갈라진 모든 생물종의 공통 조상이 위치한다. 따라서 도마뱀과 악어의 공통 조상은 분기점 C에 위치한다.

(4) 개와 도마뱀이 공통 조상으로부터 갈라진 시기가 개와 침팬지가 공통 조상으로부터 갈라진 시기보다 더 오래되었다.

4 (1) 2계 분류 체계(식물계, 동물계)에서 3계 분류 체계(원생생물계, 식물계, 동물계)로 변하면서 원생생물계가 새롭게 분류되었다. 균계는 생물의 영양 방식을 반영하여 5계 분류 체계(원핵생물계, 원생생물계, 식물계, 균계, 동물계)로 변하면서 새롭게 분류되었다.

(2) 5계 분류 체계에서는 생물을 원핵생물계, 원생생물계, 식물계, 균계, 동물계로 분류한다.

(3) 3역 6계 분류 체계에서 진핵생물(원생생물계, 식물계, 균계, 동물계)은 모두 진핵생물역으로 분류한다.

(4) 5계 분류 체계에서 원핵생물은 원핵생물계로 분류하지만, 3역 6계 분류 체계에서 원핵생물은 진정세균계와 고세균계로 나누어 분류한다.

(5) 5계 분류 체계와 3역 6계 분류 체계의 공통점은 핵막이 있는 진핵생물을 원생생물계, 식물계, 균계, 동물계의 4개의 계로 분류한 것이다.

5 (1) A는 균계, B는 세균역에 속하는 진정세균계, C는 고세균역에 속하는 고세균계, D는 원생생물계, 식물계, 균계, 동물계가 속한 진핵생물역이다.

(2) B(진정세균계)에 속한 생물은 펩티도글리칸 성분의 세포벽을 가진다.

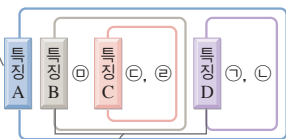
대표 자료 분석

268쪽

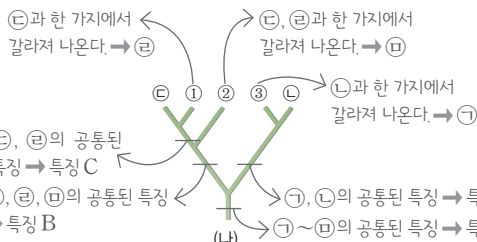
- 자료 1** 1 ①: ㉔, ②: ㉔, ③: ㉑ 2 ㉑ 3 (1) 〇 (2) × (3) 〇 (4) 〇 (5) 〇 (6) × (7) × (8) 〇
- 자료 2** 1 (가) 5계 분류 체계 (나) 3역 6계 분류 체계 2 A: 고세균계, B: 원생생물계 3 (1) 〇 (2) 〇 (3) × (4) 〇 (5) × (6) 〇

1-1 **꼼꼼** 문제 분석

특징 A는 ㉑~㉔의 공통된 특징이다.



특징 B와 특징 D에 의해 생물종이 ㉑, ㉒, ㉓과 ㉑, ㉒으로 나뉜다.



①에 해당하는 생물종은 ㉑과 한 가지에서 갈라져 나온 것이므로 특징 C를 공통으로 가지는 ㉑이다. ②에 해당하는 생물종은 ㉑, ㉒과 한 가지에서 갈라져 나온 것이므로 ㉑, ㉒과 공통된 특징 B를 가지는 ㉑이다. ③에 해당하는 생물종은 ㉑과 한 가지에서 갈라져 나온 것이므로 ㉑과 특징 D를 공통으로 가지는 ㉑이다.

1-2 생물종 ㉑과 유연관계가 가장 가까운 생물종은 ㉑과 한 가지에서 갈라져 나온 ㉑이다.

1-3 (1) ①에 해당하는 생물종은 ㉑과 가장 최근까지 공통 조상을 공유하므로 유연관계가 가장 가깝다.

(2) ②에 해당하는 생물종은 특징 A와 B를 모두 가진다. 특징 C는 ㉑과 ①에 해당하는 생물종이 가진다.

(3) ③에 해당하는 생물종은 ㉑~㉔의 공통된 특징인 특징 A와 ③과 ㉑에 해당하는 생물종의 공통된 특징인 특징 D를 가진다.

(4) 특징 A는 생물종 ㉑~㉔이 모두 가지고 있는 특징이다.

(5), (7) 특징 B를 가지고 있는 ㉑, ①(㉑), ②(㉒)와 특징 D를 가지고 있는 ③(㉑), ㉑으로 분화된 후 ㉑, ①(㉑), ②(㉒)는 다시 특징 C를 가지고 있는 ㉑, ①(㉑)로 분화되었다. 따라서 특징 B는 C보다 먼저 나타났고, ㉑과 ②(㉒)의 분화는 ㉑과 ①(㉑)의 분화보다 먼저 이루어졌다.

(6) ㉑에 해당하는 생물종은 ㉑과 가장 최근의 공통 조상을 공유하므로 ㉑보다 유연관계가 가깝다.

(8) ㉑, ①(㉑), ②(㉒)는 ㉑~㉔의 공통된 특징인 특징 A와 ㉑, ①(㉑), ②(㉒)의 공통된 특징인 특징 B를 모두 가진다.

2-1 (가)는 원핵생물계, 원생생물계, 균계, 식물계, 동물계로 분류한 5계 분류 체계이고, (나)는 3역(세균역, 고세균역, 진핵생물역), 6계(진정세균계, 고세균계, 원생생물계, 식물계, 균계, 동물계)로 분류한 3역 6계 분류 체계이다.

2-2 A는 고세균역에 속한 고세균계이고, B는 진핵생물역에 속한 원생생물계이다.

2-3 (1) 5계 분류 체계(가)는 3역 6계 분류 체계(나)보다 먼저 제시되었다.

(2) 5계 분류 체계(가)에서 원핵생물계를 제외한 4계(원생생물계, 균계, 식물계, 동물계)는 모두 3역 6계 분류 체계(나)에서 진핵생물역에 속한다.

(3) 고세균역은 rRNA 염기 서열, 세포벽의 성분, DNA 복제 및 단백질 합성 과정 등이 세균역보다 진핵생물역과 더 유사하다. 따라서 고세균역은 세균역보다 진핵생물역과 유연관계가 더 가깝다.

(4) 5계 분류 체계(가)와 3역 6계 분류 체계(나)의 공통점은 핵막이 있는 진핵생물을 원생생물계, 식물계, 균계, 동물계의 4계로 분류한 것이다.

(5) 5계 분류 체계(가)와 3역 6계 분류 체계(나)는 모두 원핵생물계를 포함하며, 5계 분류 체계(가)와 달리 3역 6계 분류 체계(나)에서는 원핵생물계를 진정세균계와 고세균계로 분류한다.

(6) 형태 형질 이외에도 염기 서열 등 다양한 정보를 추가한 통합 계통수를 작성할 수 있게 되었기 때문에 5계 분류 체계(가)에서 3역 6계 분류 체계(나)로 변하게 되었다.

내신 만점 문제

269쪽~271쪽

- 01 ⑤ 02 ③ 03 ④ 04 해설 참조 05 ⑤
 06 ② 07 ① 08 ② 09 ③ 10 ⑤ 11 ⑤
 12 ④ 13 ①

01 나, 다. 생식적 격리는 종을 판정하는 중요한 기준으로, 같은 생물종인 두 개체는 생식적으로 격리되어 있지 않다. 따라서 같은 생물종인 두 개체 사이에서는 자연 상태에서 교배하여 생식 능력이 있는 자손이 태어날 수 있다.

▣ **바로알기** 가. 종은 생물을 분류하는 가장 작은 분류군이다.

02 가. 사자와 호랑이는 모두 같은 *Panthera*속에 속하므로 같은 과에 속한다.

나. 사자와 호랑이 사이에서 태어난 라이거는 생식 능력이 없으므로 사자와 호랑이는 생식적으로 격리되어 있다.

▣ **바로알기** 다. 사자와 호랑이는 서로 다른 생물학적 종이지만, 생식 능력이 없는 라이거는 독립된 종으로 분류하지 않는다. 따라서 이 자료에 제시된 생물학적 종은 사자와 호랑이 두 가지뿐이다.

03 ④ A~C는 모두 같은 ㉠에 속하는데 B와 C는 서로 다른 ㉡에 속하므로 ㉠은 ㉡보다 큰 분류군인 과이고, ㉡은 ㉠보다 작은 분류군인 속이다. A와 B는 같은 속이며, A와 C는 같은 과이지만 다른 속이기 때문에 A는 C보다 B와 유연관계가 더 가깝다.

▣ **바로알기** ①, ⑤ B와 C는 서로 다른 속에 속하므로 서로 다른 종이다. 따라서 B와 C 사이에서 생식 능력을 가진 자손이 태어나지 않는다.

② A와 B는 같은 속에 속하므로 같은 목에 속한다.

③ B와 C는 같은 과에 속하므로 같은 강에 속한다.

04 학명은 생물종의 고유한 이름이므로 학명이 서로 다른 두 생물은 서로 다른 종이다. 학명은 속명과 종소명으로 표기하며, 속명과 종소명 중 하나만 달라도 서로 다른 종이다.

모범답안 생식 능력을 가진 자손은 태어나지 않는다. A와 B는 학명이 달라 서로 다른 종이기 때문이다.

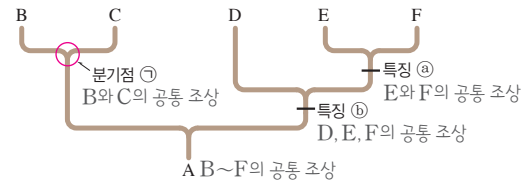
채점 기준	배점
생식 능력을 가진 자손이 태어나지 않는다고 쓰고, 그 근거를 두 동물의 학명이 다르기 때문이라고 서술한 경우	100%
생식 능력을 가진 자손이 태어나지 않는다는 것과 두 동물의 학명이 다른 것 중 하나만 서술한 경우	50%

05 가. (가)와 (나)는 종소명이 모두 *japonica*이다.

나. (가)~(다)의 학명은 모두 속명+종소명+(명명자)로 구성된 이명법을 사용하였다.

다. (가)는 *Camellia*속에 속하고, (나)와 (다)는 모두 *Styrax*속에 속하므로 서로 다른 속에 속하는 (가)와 (나)의 유연관계보다 같은 속에 속하는 (나)와 (다)의 유연관계가 더 가깝다.

06 꼼꼼하게 문제 분석



① A는 계통수의 가장 아래에 있으므로 생물 B~F의 공통 조상이다.

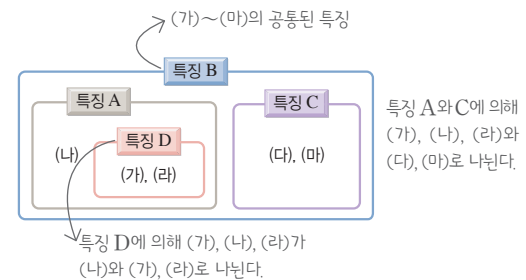
③ E와 F는 모두 특징 ㉠을 가지는 공통 조상으로부터 유래되었으므로 모두 특징 ㉠을 가진다.

④ C는 특징 ㉡를 가지지 않지만, F는 특징 ㉡를 가지므로 특징 ㉡를 이용하여 C와 F를 구분할 수 있다.

⑤ 분기점 ㉢에서 B와 C가 갈라졌으므로 분기점 ㉢에는 B와 C의 공통 조상이 위치한다.

▣ **바로알기** ② 공통 조상으로부터 갈라진 시기가 D와 E보다 D와 C가 더 오래되었으므로 D는 E보다 C와 유연관계가 더 멀다.

07 꼼꼼하게 문제 분석



가. 계통의 가장 아래에 공통 조상에 해당하는 줄기를 그린다.

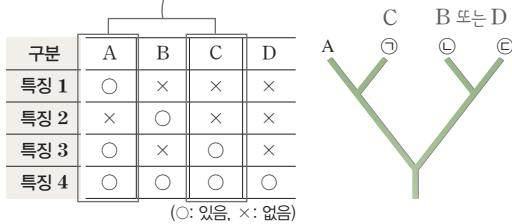
▣ **바로알기** ㄴ. (가)와 (나)는 모두 특징 A와 B를 가지지만 (가)와 (라)는 모두 특징 A, B, D를 가지므로 (가)와 (나)의 분기점은 (가)와 (라)의 분기점보다 아래에 있다.

ㄷ. (다)와 (라)는 공통된 특징을 B만 가지므로 (다)와 (라)의 분기점은 가장 아래에 있다.

08 A는 B와 네 가지 특징이 같으므로 A는 B와 유연관계가 가장 가깝다. D는 E와 네 가지 특징이 같으므로 D는 E와 유연관계가 가장 가깝다. 따라서 주어진 계통수 중에서 식물 중 A~E의 계통수로 가장 적절한 것은 ②이다.

09 **꼼꼼** 문제 분석

생물종 A와 C는 모두 특징 2를 가지지 않고, 특징 3과 특징 4를 공통적으로 가지므로 유연관계가 가장 가깝다.

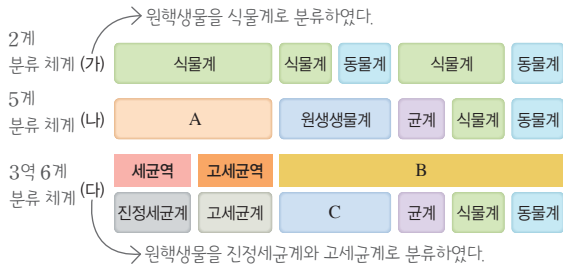


ㄷ. A는 B~D 중 C와 가장 많은 특징이 일치하므로 A와 유연관계가 가장 가까운 ㉠은 C이고, ㉠과 ㉡은 각각 B와 D 중 하나이다. 따라서 ㉠(C)과 ㉡의 공통 조상은 특징 4를 가진다.

▣ **바로알기** ㄱ. ㉠이 A와 유연관계가 가장 가까운 C이다.

ㄴ. B는 D와 가장 많은 특징이 일치하므로 유연관계가 가장 가깝다.

10 **꼼꼼** 문제 분석



①, ③ (가)는 식물계와 동물계로 분류한 2계 분류 체계, (나)는 원핵생물계, 원생생물계, 균계, 식물계, 동물계로 분류한 5계 분류 체계, (다)는 세균역(진정세균계), 고세균역(고세균계), 진핵생물역(원생생물계, 균계, 식물계, 동물계)으로 분류한 3역 6계 분류 체계이다. 따라서 A는 원핵생물계이고, C는 원생생물계이다. ② 3역 6계 분류 체계에서 핵막이 있는 생물은 모두 진핵생물역(B)에 속한다.

④ 생물 분류 체계는 '2계 분류 체계(가) → 3계 분류 체계 → 4계 분류 체계 → 5계 분류 체계(나) → 3역 6계 분류 체계(다)'로 변화했다.

▣ **바로알기** ⑤ 대장균과 호염성 고세균은 2계 분류 체계(가)에서는 모두 식물계에, 5계 분류 체계(나)에서는 모두 원핵생물계(A)에 속한다. 따라서 (가)~(다) 중 대장균과 호염성 고세균이 같은 분류군에 속하는 분류 체계는 (가)와 (나)이다.

11 ㄱ. (가)는 휘태커가 생물의 영양 방식을 근거로 제안한 5계 분류 체계이고, (나)는 우즈가 rRNA 염기 서열 정보 등을 근거로 제안한 3역 6계 분류 체계이다.

ㄴ, ㄷ. 3역 6계 분류 체계가 5계 분류 체계와 다른 점은 원핵생물계를 진정세균계와 고세균계로 분류한 것과 계보다 상위 분류군인 역을 사용한 것이다.

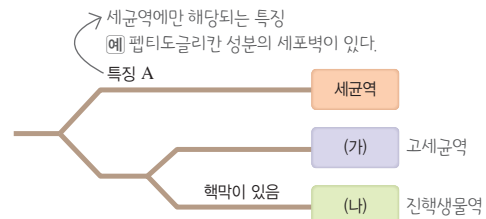
12 ①, ③ 3역은 세균역, 고세균역, 진핵생물역이며, 6계는 진정세균계, 고세균계, 원생생물계, 식물계, 균계, 동물계이다.

② 진핵생물역의 4계 중 주로 단세포 진핵생물로 구성된 원생생물계가 가장 먼저 출현한 이후 식물계, 균계, 동물계가 출현하였다.

⑤ 5계 분류 체계에서 3역 6계 분류 체계로 변하게 된 까닭은 형태 형질 이외에도 rRNA 염기 서열, 단백질의 아미노산 서열, 전자 현미경으로 관찰한 초미세 구조 등 다양한 정보를 추가한 통합 계통수가 작성되었기 때문이다.

▣ **바로알기** ④ 세균역과 고세균역이 먼저 나누어졌고, 고세균역 가지에서 진핵생물역이 나왔다.

13 **꼼꼼** 문제 분석



→ 3역 분류 체계에서 고세균역은 세균역보다 진핵생물역과 유연관계가 더 가깝다.

ㄴ. (가)는 핵막이 없는 고세균역이다. 고세균역에 속한 생물 중에는 히스톤과 결합한 DNA를 가진 생물이 있다.

▣ **바로알기** ㄱ. 세균역뿐만 아니라 고세균역(가)에 속한 생물도 1개의 원형 DNA를 가진다. 따라서 '1개의 원형 DNA를 가진다.'는 특징 A가 될 수 없다.

ㄷ. (나)는 핵막이 있는 진핵생물역이다. 펩티도글리칸 성분의 세포벽을 가진 생물은 세균역에 해당한다.

3 생물의 다양성

개념 확인 문제

275 쪽

- ① 진핵생물 ② 셀룰로스 ③ 독립 ④ 선택 ⑤ 포자
 ⑥ 양치 ⑦ 헛물관 ⑧ 포자 ⑨ 종자 ⑩ 밀씨
 ⑪ 씨방

- 1 (1) ㉠ (2) ㉡ (3) ㉢ (4) ㉣ (5) ㉤ (6) ㉥ 2 (1) 고세균계
 (2) ㉦ 독립, ㉧ 종속 (3) ㉨ 진핵, ㉩ 포자 3 (1) × (2) ○
 (3) ○ 4 (1) A, B, C (2) B, C, D 5 (1) × (2) × (3) ○
 6 (1) 석송, 은행나무 (2) 백합, 무궁화

1 곰팡이는 균계, 대장균은 진정세균계, 솔이끼는 식물계, 침팬지는 동물계, 짙신벌레는 원생생물계, 메테인 생성균은 고세균계에 각각 속한다.

2 (1) 세균역에 속하는 진정세균계와 고세균역에 속하는 고세균계는 모두 단세포 원핵생물이다.

(2) 식물은 광합성을 하는 독립 영양 생물이며, 균류와 동물은 모두 종속 영양 생물이다.

(3) 균류는 대부분 다세포 진핵생물로, 주로 키틴질로 이루어진 세포벽이 있으며, 포자로 번식하고, 분해자 역할을 한다.

3 (1), (2) 식물은 진핵생물역, 식물계에 속하며, 광합성 색소를 이용해 흡수한 빛에너지를 이용하여 유기물을 합성하는 독립 영양 생물이다.

(3) 식물의 기원인 녹조류는 뿌리와 몸체로 이루어져 있지만, 식물은 뿌리, 줄기, 잎으로 기관이 분화되어 있다.

4 (1) 씨방은 속씨식물만 있다. 따라서 씨방이 없는 분류군은 선택식물(A), 양치식물(B), 겉씨식물(C)이다.

(2) 선택식물은 뿌리, 줄기, 잎의 구별이 뚜렷하지 않다. 따라서 뿌리, 줄기, 잎의 구별이 뚜렷한 분류군은 양치식물(B), 겉씨식물(C), 종자식물(D)이다.

5 (1) 비관다발 식물인 선택식물은 기관이 분화되지 않아 뿌리, 줄기, 잎의 구별이 뚜렷하지 않지만, 비종자 관다발 식물인 석송류와 양치식물은 모두 기관이 분화되어 뿌리, 줄기, 잎의 구별이 뚜렷하다.

(2) 양치식물은 포자로, 겉씨식물은 종자로 번식한다.

(3) 속씨식물은 떡잎의 수에 따라 외떡잎식물과 쌍떡잎식물로 분류한다.

6 석송은 석송류, 백합은 속씨식물, 솔이끼는 선택식물, 무궁화는 속씨식물, 은행나무는 겉씨식물에 각각 속한다.

(1) 헛물관은 비종자 관다발 식물과 겉씨식물이 가지고 있다. 따라서 헛물관을 가지는 식물은 석송과 은행나무이다.

(2) 속씨식물(백합, 무궁화)은 꽃잎이나 꽃받침이 발달한 꽃이 핀다.

개념 확인 문제

280 쪽

- ① 종속 ② 운동 ③ 방사 ④ 좌우 ⑤ 2 ⑥ 3
 ⑦ 입 ⑧ 항문 ⑨ 담낭자 ⑩ 척추동물

- 1 (1) ○ (2) × (3) × (4) × 2 (1) B, C (2) E 3 (1) ㉠
 (2) ㉡ (3) ㉢ (4) ㉣ (5) ㉤ (6) ㉥ 4 (1) × (2) × (3) ○
 (4) ○ (5) ○ 5 (1) 붕어, 개구리 (2) 비둘기, 토끼, 도마뱀

1 (1) 동물은 몸의 대칭성에 따라 무대칭 동물(해면동물), 방사대칭 동물(자포동물), 좌우 대칭 동물(해면동물과 자포동물을 제외한 대부분의 동물)로 분류한다.

(2) 2배엽성 동물은 낭배 단계에서 발생이 끝나 외배엽과 내배엽을 갖는 동물이다.

(3) 선구동물은 원구가 입이 되고, 원구의 반대쪽에 항문이 생긴다.

(4) DNA 염기 서열에 따라 선구동물은 축수담륜동물(편형동물, 연체동물, 환형동물)과 탈피동물(선형동물, 절지동물)로 분류한다.

2 (1) A는 자포동물, B는 연체동물, C는 극피동물, D는 방사대칭 동물, E는 선구동물, F는 후구동물이다. 중배엽이 형성되는 분류군은 3배엽성 동물로 편형동물, 연체동물(B), 환형동물, 선형동물, 절지동물, 극피동물(C), 척삭동물이 있다.

(2) 원구가 입이 되는 분류군은 선구동물(E)이다. 선구동물에는 편형동물, 연체동물(B), 환형동물, 선형동물, 절지동물이 있다.

3 회충은 선형동물, 촌충은 편형동물, 가재는 절지동물, 지렁이는 환형동물, 우렁쉥이는 척삭동물, 불가사리는 극피동물에 해당한다.

4 (1) 해면동물은 포배 상태에서 발생이 완료되므로 낭배 시기가 나타나지 않으며, 자포동물은 낭배 시기가 나타난다.

(2) 환형동물은 폐쇄 혈관계를 가진다.

- (3) 연체동물의 몸은 근육으로 된 발, 대부분의 기관이 포함되어 있는 내장낭, 폐각을 분비하는 외투막으로 이루어져 있다.
- (4) 절지동물의 몸은 키틴질의 단단한 외골격으로 덮여 있다.
- (5) 극피동물은 순환, 호흡, 운동의 복합적인 역할을 하는 수관계를 가지며, 수관계에 연결된 관족을 움직여 이동하고 음식을 섭취한다.

5 (1) 체내 수정은 생식 기관 내에서 정자와 난자가 결합하는 수정이 일어나는 것으로 파충류(도마뱀), 조류(비둘기), 포유류(토끼)에서 일어나며, 체외 수정은 생식 기관 밖에서 수정이 일어나는 것으로 어류(붕어)와 양서류(개구리)에서 일어난다.
 (2) 파충류(도마뱀), 조류(비둘기), 포유류(토끼)는 모두 건조한 육상 환경에 적응한 여러 특징(예 호흡, 체내 수정 등)을 가진다.

대표 자료 분석 281쪽

자료 1 1 III 2 ⓐ: ○, ⓑ: ○, ⓒ: × ⓓ: × 3 번식 방법
 4 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × (5) ○ (6) ○ (7) ○ (8) ×

자료 2 1 A, B, D 2 ⓐ 3 D 4 (1) ○ (2) ○ (3) ○
 (4) ○ (5) × (6) × (7) ×

1-1 I은 관다발이 없는 선태식물, II는 씨방이 있는 속씨식물, III은 관다발이 있지만 종자를 형성하지 않는 양치식물, IV는 종자를 형성하지만 씨방이 없는 겉씨식물이다. 그러므로 (가)는 선태식물, (나)는 양치식물, (다)는 겉씨식물, (라)는 속씨식물이다. 따라서 (나)에 해당하는 것은 III(양치식물)이다.

1-2 모든 식물에는 엽록체가 있고, 양치식물(III)은 관다발이 있지만 종자를 형성하지 않으며, 겉씨식물(IV)은 씨방이 없다.

1-3 선태식물(가)과 양치식물(나)은 모두 포자로 번식하고, 겉씨식물(다)과 속씨식물(라)은 모두 종자로 번식하므로 '번식 방법'이 A에 해당한다. 양치식물(나)과 겉씨식물(다)은 모두 관다발이 있으므로 관다발 유무는 A에 해당하지 않는다.

1-4 (1) 선태식물(I)은 비관다발 식물이다.
 (2) 속씨식물(II)은 포자로 번식하는 양치식물(III)보다 종자로 번식하는 겉씨식물(IV)과 유연관계가 더 가깝다.
 (3) 양치식물(III)은 비종자 관다발 식물이다. 종자식물은 겉씨식물(IV)과 속씨식물(II)이다.

(4) 속씨식물(II)은 떡잎의 수에 따라 쌍떡잎식물과 외떡잎식물로 분류한다.

(5) 선태식물(가)과 양치식물(나)은 모두 포자로 번식한다.

(6) 식물의 공통 조상인 녹조류는 엽록체를 가지므로 모든 식물은 엽록체를 가지고 있다.

(7) 고사리는 양치식물(나)에, 소나무는 겉씨식물(다)에 각각 속한다.

(8) 겉씨식물(다)과 속씨식물(라)은 모두 밑씨를 가진다. 따라서 '밑씨의 유무'는 (다)와 (라)를 구분하는 기준이 될 수 없다. (다)와 (라)를 구분하는 기준은 '씨방의 유무'가 될 수 있다.

2-1 3배엽성 동물은 뱀(척추동물), 갯지렁이(환형동물), 해삼(극피동물)이며, 이 중 뱀만 척추를 가지는 동물이다. 뱀, 해파리, 갯지렁이, 해삼 중 해파리(자포동물)만 방사 대칭성 동물이며, 뱀과 해삼만 원구가 향문이 되는 후구동물이다. 따라서 ㉠은 '원구가 향문이 된다.', ㉡은 '방사 대칭성이다.', ㉢은 '척추를 가진다.', ㉣은 '3배엽성이다.'이고, A는 해삼, B는 뱀, C는 해파리, D는 갯지렁이이다.

2-2 해파리(자포동물)는 낭배 단계에서 발생이 끝나 외배엽과 내배엽을 갖는 2배엽성 동물이고, 뱀(척추동물), 갯지렁이(환형동물), 해삼(극피동물)은 낭배 단계에서 발생이 더 진행되어 외배엽, 내배엽, 중배엽을 갖는 3배엽성 동물이다. 따라서 세 종의 생물에서 '○'가 있는 ㉢이 '3배엽성이다.'가 된다.

2-3 해파리(C)는 원구가 형성되지 않으며, 해삼(A)과 뱀(B)은 후구동물이다.

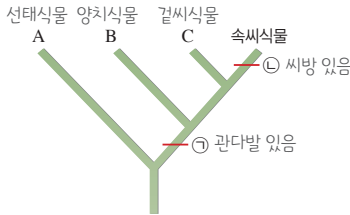
2-4 (1) 해삼(A)은 극피동물에 속한다.
 (2) 뱀(B)은 육상 생활에 적응하여 체내 수정을 한다.
 (3) 해파리(C)는 낭배 단계에서 발생이 끝나 외배엽과 내배엽만 형성되는 2배엽성 동물이다.
 (4) 촉수담륜동물은 촉수관을 가지거나 담륜자 유생 시기를 거치는 동물로 편형동물, 연체동물, 환형동물이 이에 해당한다. 따라서 환형동물인 갯지렁이(D)는 촉수담륜동물에 속한다.
 (5) 오징어는 촉수담륜동물에 속하는 연체동물이므로 같은 촉수담륜동물에 속하는 갯지렁이(D)가 A~D 중 유연관계가 가장 가깝다.
 (6) 뱀(B)과 갯지렁이(D)는 모두 3배엽성 동물이므로 모두 중배엽이 형성된다. 따라서 발생 과정에서 중배엽의 형성 여부는 B와 D를 구분하는 기준이 될 수 없다. B와 D를 구분하는 기준에는 척추의 유무, 원구의 발생 차이 등이 있다.
 (7) ㉠이 '원구가 향문이 된다.'이다.

나. (나)는 씨방이 없어 밑씨가 길로 노출되어 있는 겉씨식물이므로 체관과 헛물관으로 이루어진 관다발이 있다.

다. 속씨식물(가)과 겉씨식물(나)은 종자식물로, 육상 환경에 가장 잘 적응하여 식물 중 가장 번성한 무리이다.

▶ **바로알기** ㄱ. (가)는 밑씨가 씨방에 싸여 있는 속씨식물이므로 꽃잎이나 꽃받침이 발달한 꽃이 핀다.

09 **꼼꼼** 문제 분석



나. A는 선태식물, B는 양치식물, C는 겉씨식물이다. 양치식물(B), 겉씨식물(C), 속씨식물은 모두 관다발이 있으므로 '관다발 있음'은 ㉠에 해당한다.

▶ **바로알기** ㄱ. 쇠뜨기는 양치식물(B)에 속한다.

다. 겉씨식물(C)과 속씨식물은 모두 종자로 번식하므로 '종자 있음'은 ㉡에 해당하지 않는다.

10 ①, ② 동물은 진핵생물역, 동물계에 속하는 다세포 진핵생물로 원생생물의 한 계통으로부터 진화하였으며, 엽록체와 세포벽이 없다.

③ 대부분의 동물은 정자와 난자의 수정을 통해 수정란을 형성하는 유성 생식을 한다.

④ 대부분의 동물은 감각 기관이 있어 환경 변화에 빠르게 반응하며, 운동 기관이 발달하여 장소를 이동할 수 있다.

▶ **바로알기** ⑤ 동물은 먹이를 섭취한 후 영양소를 소화·흡수하여 살아가는 종속 영양 생물이다.

11 **꼼꼼** 문제 분석

분류군	몸의 대칭성	배엽의 수
해면동물 (가)	없음	무배엽
자포동물 (나)	방사 대칭	2배엽
환형동물 (다)	㉠ 좌우 대칭	3배엽

- 해면동물은 포배 단계에서 발생이 끝나는 무배엽성 동물이다.
- 자포동물은 낭배 단계에서 발생이 끝나 외배엽과 내배엽만 형성하는 2배엽성 동물이다.
- 환형동물은 낭배 단계에서 발생이 더 진행되어 외배엽, 내배엽, 중배엽을 형성하는 3배엽성 동물이다.

나, 다. (가)는 무배엽성 동물인 해면동물, (나)는 2배엽성 동물인 자포동물, (다)는 3배엽성 동물인 환형동물이다. 지렁이(환형동물)는 3배엽성 동물이고, 좌우 대칭 동물이므로 (다)에 속한다.

▶ **바로알기** ㄱ. (가)는 무배엽성 동물이므로 포배 단계에서 발생이 멈추는 해면동물이다. 해면동물은 진정한 의미의 조직을 가지지 않는다.

12 발생 과정에서 원구가 입이 되고, 원구의 반대쪽에 항문이 생기는 동물은 선구동물이다. 선구동물에는 편형동물, 환형동물, 연체동물, 선형동물, 절지동물이 있다. 촌충은 편형동물, 달팽이는 연체동물, 지렁이는 환형동물, 잠자리는 절지동물에 속하므로 선구동물이다. 미더덕(척삭동물)은 후구동물이다.

13 낭배 단계에서 발생이 더 진행되어 외배엽, 내배엽, 중배엽을 갖는 동물은 3배엽성 동물이고, 3배엽성 동물에는 편형동물, 환형동물, 연체동물, 선형동물, 절지동물, 극피동물, 척삭동물이 있다. 또한 발생 과정에서 원구가 항문이 되는 동물은 후구동물이고, 후구동물에는 극피동물과 척삭동물이 있다. 따라서 3배엽성 후구동물에는 극피동물과 척삭동물이 있다. 해파리는 자포동물, 지렁이는 환형동물, 예쁜꼬마선충은 선형동물, 메뚜기는 절지동물, 성게는 극피동물이므로 이 분류군에 해당하는 동물은 성게이다.

14 ㄱ. 연체동물과 환형동물은 모두 축삭담륜동물에 해당하므로 연체동물과 유연관계가 더 가까운 (가)는 환형동물이고, 먼 (나)는 절지동물이다. 환형동물(가)은 폐쇄 혈관계를 가진다.

나. 거미와 새우는 모두 절지동물(나)에 속한다.

다. 환형동물(가)과 절지동물(나)은 모두 체절이 있다.

15 사람(척추동물), 창고기(두삭동물), 미더덕과 우렁쉥이(미삭동물)는 모두 척삭동물이다. 척삭동물은 발생 과정에서 척삭이 나타나며, 배 발생 초기에 공통된 특징으로 등 쪽의 속 빈 신경 다발, 아가미 틈, 항문 뒤 근육성 꼬리 등이 나타난다.

▶ **모범답안** 발생 과정에서 척삭이 나타난다. 등 쪽에 속이 빈 신경 다발이 나타난다. 아가미 틈이 나타난다. 항문 뒤 근육성 꼬리가 나타난다. 원구가 항문이 되고 원구의 반대쪽에 입이 생긴다.

채점 기준	배점
공통적인 특징 중 한 가지를 옳게 서술한 경우	100 %
후구동물이라고만 서술한 경우	50 %

16 ① 말미잘(자포동물), 메뚜기(절지동물), 조개(연체동물), 성게(극피동물), 우렁쉥이(척삭동물)는 모두 낭배 단계를 거치므로 내배엽이 형성된다.

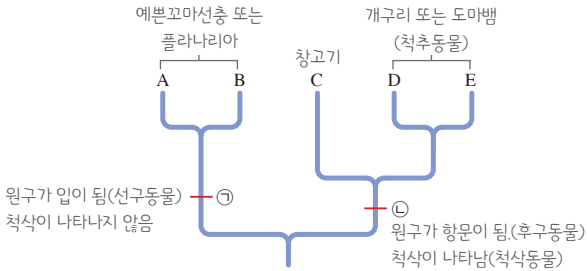
② 절지동물(메뚜기)과 연체동물(조개)은 모두 원구가 입이 되고, 원구의 반대쪽에 항문이 형성되는 선구동물이다.

③ 연체동물(조개)은 담륜자 유생 시기를 거친다.

⑤ 척삭동물(우렁쟁이)은 발생 과정에서 척삭을 갖는 시기가 나타난다.

▣ **바로알기** ④ 해면동물을 제외한 나머지 동물은 모두 진정한 의미의 조직이 있다.

17 **꼼꼼** 문제 분석

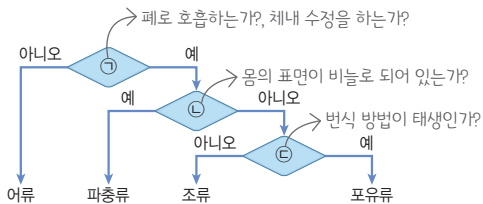


ㄷ. A와 B는 각각 예쁜꼬마선충과 플라나리아 중 하나이고, C는 참고기이며, D와 E는 각각 개구리와 도마뱀 중 하나이다. 해삼(극피동물)은 후구동물이므로 선구동물인 B보다 후구동물인 C(참고기)와 유연관계가 더 가깝다.

▣ **바로알기** ㄱ. 예쁜꼬마선충은 탈피동물이지만, 플라나리아는 탈피를 하지 않는다. 따라서 ①은 '탈피를 한다.'가 될 수 없다.

ㄴ. 개구리와 도마뱀은 턱이 있는 척추동물이지만, 참고기는 척추동물이 아니다.

18 **꼼꼼** 문제 분석



구분	호흡 기관	몸의 표면	수정 방법	번식 방법
어류	아가미	비늘	체외	난생
양서류	아가미, 피부, 폐	피부	체외	난생
파충류	폐	비늘	체내	난생
조류	폐	깃털	체내	난생
포유류	폐	피부	체내	태생

ㄱ. 어류는 아가미로 호흡하지만, 파충류, 조류, 포유류는 모두 폐로 호흡하므로 ①은 '폐로 호흡하는가?'가 될 수 있다.

ㄷ. 어류, 파충류, 조류는 모두 알에서 새끼가 부화하는 난생이지만, 포유류는 모체 속에서 발생한 후 새끼가 태어나는 태생이다.

▣ **바로알기** ㄴ. 파충류, 조류, 포유류는 모두 체내 수정을 하므로 '체내 수정을 하는가?'는 ①이 될 수 없다.

19 ① (가)는 '척삭이 나타나지 않는다.'이고, (바)는 '척삭이 나타난다.'이다.

② 동물은 배엽의 수에 따라 무배엽성 동물, 2배엽성 동물, 3배엽성 동물로 분류한다. 따라서 '3배엽성 동물이다.'는 (나)에 해당한다.

③ (다)는 척삭이 없고, 3배엽성 동물이며, 선구동물이고, 탈피를 하며, 가늘고 긴 몸을 가지므로 선형동물이다.

⑤ 환형동물은 원통형의 몸을 가지므로 '원통형의 몸을 가진다.'는 (라)에 해당한다.

▣ **바로알기** ④ 촌충은 편형동물에 속하는 생물이다. (다)는 선형동물이므로 촌충은 (다)에 속하지 않는다.

중단원 핵심 정리

286쪽~287쪽

- ① 무기물
- ② 에너지
- ③ 유기물
- ④ 유기물
- ⑤ 리보자임
- ⑥ 무산소
- ⑦ 광합성
- ⑧ 산소
- ⑨ 미토콘드리아
- ⑩ 엽록체
- ⑪ 다세포
- ⑫ 산소
- ⑬ 오존층
- ⑭ 증
- ⑮ 과
- ⑯ 계
- ⑰ 없음
- ⑱ 있음
- ⑲ 없음
- ⑳ 없음
- ㉑ 선형
- ㉒ 진정세균계
- ㉓ 원생생물계
- ㉔ 없음
- ㉕ 있음
- ㉖ 없음
- ㉗ 있음
- ㉘ 헛물관
- ㉙ 씨방
- ㉚ 좌우
- ㉛ 3배엽

중단원 마무리 문제

288쪽~291쪽

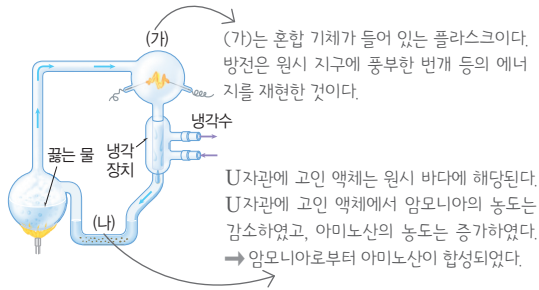
- 01 ④
- 02 ①
- 03 ④
- 04 ①
- 05 ⑤
- 06 ④
- 07 ①
- 08 ⑤
- 09 ③
- 10 ③
- 11 ⑤
- 12 ②
- 13 ④
- 14 ③
- 15 해설 참조
- 16 해설 참조
- 17 해설 참조

01 ㄱ. 강한 자외선, 대규모 화산 활동, 빈번한 운석 충돌 등으로 인해 원시 지구에는 에너지가 풍부하였다.

ㄴ. 원시 대기 성분(수소, 수증기, 메테인, 암모니아 등)으로부터 아미노산 등과 같은 유기물이 생성되는 과정에서 화학 반응이 일어났다.

▣ **바로알기** ㄷ. 코아세르베이트는 막 구조를 가지고 있지만 유전물질과 효소를 가지고 있지 않아 원시 세포(㉔)가 아니며, 원시 생명체의 기원으로 추정되는 유기물 복합체이다.

02 **꼼꼼** 문제 분석



ㄱ. 방전 장치가 연결된 플라스크 안의 혼합 기체가 냉각 장치를 거치며 냉각되므로 (가)는 방전 장치가 연결된 플라스크이다.

▣ **바로알기** ㄴ. (가)에 들어 있는 혼합 기체에는 산소가 포함되어 있지 않다.

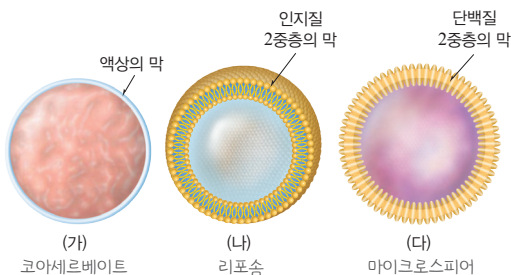
ㄷ. (나)는 원시 바다에 해당하는 U자관이다. 실험 결과 U자관에 고인 액체에서 아미노산과 같은 간단한 유기물은 검출되었지만, 단백질과 같은 복잡한 유기물은 검출되지 않았다.

03 ㄴ. (가)는 원시 대기의 성분, (나)는 복잡한 유기물, (다)는 간단한 유기물이다. 원시 대기의 성분으로부터 유기물이 합성되는 데 에너지가 사용되었다.

ㄷ. 유리 및 밀러의 실험에서 (가)는 (다)의 합성에 탄소(C)를 제공하는 물질로 사용되었다.

▣ **바로알기** ㄱ. 심해 열수구는 메테인(가), 암모니아 등의 물질이 풍부하며, 화산 활동에 의해 지속적으로 에너지가 공급되어 생명체 탄생을 필요한 유기물의 합성이 일어났을 것이라고 추정된다.

04 **꼼꼼** 문제 분석



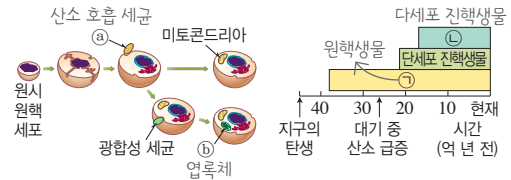
- 공통점: 물질을 선택적으로 흡수해 생장하고, 일정 크기가 되면 분열한다. 간단한 화학 반응이 일어난다.
- 차이점: 코아세르베이트는 액상의 막, 리포솜은 인지질 2중층의 막, 마이크로스피어는 단백질 2중층의 막을 가진다.

ㄴ. 코아세르베이트(가), 리포솜(나), 마이크로스피어(다)는 모두 주위 환경으로부터 물질을 흡수하여 크기가 커지는 생장을 하며, 일정 크기가 되면 둘로 나누어지는 분열을 한다.

▣ **바로알기** ㄱ. (가)는 액상의 막으로 둘러싸인 코아세르베이트, (나)는 인지질 2중층의 막을 가진 리포솜, (다)는 단백질 2중층의 막을 가진 마이크로스피어이다.

ㄷ. (가)~(다) 중 세포와 가장 유사한 막을 가지는 것은 인지질 2중층의 막을 가진 리포솜(나)이다.

05 **꼼꼼** 문제 분석



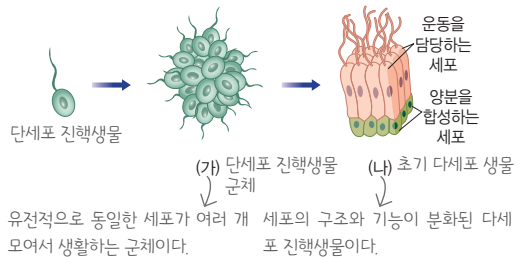
- ㉠ 원핵생물: 약 39억 년 전에 출현한 것으로 추정되며, 지구에 나타난 최초의 생명체이다.
- ㉡ 다세포 진핵생물: 약 15억 년 전에 출현한 것으로 추정되며, 이때 출현한 다세포 생물은 원핵생물, 식물, 균류, 동물의 조상이 되었다.

ㄴ. 세포내 공생설에 따르면 산소 호흡 세균(㉠)이 원시 진핵생물 안에 공생하면서 미토콘드리아로 분화되었고, 산소 호흡이 가능해진 원시 진핵생물 안에 광합성 세균이 공생하면서 엽록체(㉡)로 분화하였다. 따라서 ㉠은 산소 호흡 세균이고, ㉡는 엽록체이다.

ㄷ. 지구에 나타난 최초의 생명체 ㉠은 원핵생물이고, ㉡은 약 15억 년 전에 출현한 다세포 진핵생물이다.

▣ **바로알기** ㄱ. ㉠은 산소 호흡 세균이므로 ㉠(원핵생물)에 속한다. ㉡은 다세포 진핵생물이다.

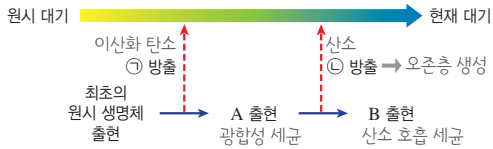
06 **꼼꼼** 문제 분석



ㄴ, ㄷ. 초기 다세포 진핵생물인 (나)는 몸을 이루는 세포가 운동을 담당하는 세포와 양분을 합성하는 세포로 구조와 기능이 분화되어 있으므로, (가)에서 (나)로 될 때 세포 분화가 일어났음을 알 수 있다.

▣ **바로알기** ㄱ. (가)는 유전적으로 동일한 단세포 진핵생물이 여러 개 모여 군체를 형성한 것이다. 이후 세포들은 각각 특수한 기능을 담당하도록 분화되었다.

07 꼬꼬 문제 분석



ㄱ. A는 광합성 세균이므로 스스로 유기물을 합성하여 생활하는 독립 영양을 한다.

▣ **바로알기** ㄴ. ㉠은 최초의 원시 생명체인 무산소 호흡 중속 영양 세균에 의해 유기물이 분해되면서 발생한 이산화 탄소이다. 오존층은 대기의 산소(㉡) 농도 증가로 형성되었다.

ㄷ. 스트로마톨라이트에서 발견된 생명체 화석은 남세균과 비슷하게 광합성을 하는 생물이었으므로 A에 해당한다. B는 산소 호흡 세균이다.

08 ㄱ. A와 B 사이에서 태어난 자손 L과 M의 교배를 통하여 자손 X와 Y를 얻을 수 있었다. 따라서 A와 B 사이에서 태어난 자손이 생식 능력이 있는 것이므로, A와 B는 같은 종이다.

ㄴ. B와 C 사이에서 태어난 자손 P와 Q의 교배에서는 자손을 얻을 수 없었다. 따라서 B와 C 사이에서 태어난 자손이 생식 능력이 없는 것이므로 B와 C는 다른 종이다.

ㄷ. X와 Y는 성별이 다르고 같은 종이므로, X와 Y 간의 교배에서는 자손이 태어난다.

ㄹ. 서로 다른 종인 B와 C 사이에서 태어난 P와 Q는 생물학적 종이 아니라 종간 잡종이다.

09 꼬꼬 문제 분석

• 생물의 분류 계급(종 < 속 < 과 < 목 < 강 < 문 < 계 < 역)은 하위 분류 단계에 함께 속하는 생물군일수록 유연관계가 가깝다.

	종	과명	학명
호랑이	A	고양이과	<i>Panthera tigris</i>
큰곰	B	곰과	<i>Ursus arctos</i>
스라소니	C	고양이과	<i>Lynx lynx</i>
북극곰	D	곰과	<i>Ursus maritimus</i>
재규어	E	고양이과	<i>Panthera onca</i>

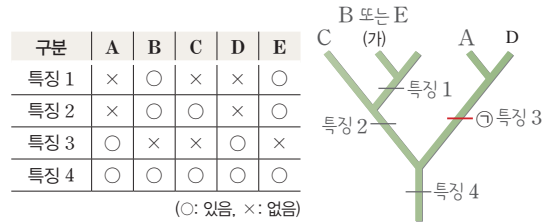
• 고양이과에 속한 생물종(A, C, E)은 *Panthera*속(A, E)과 *Lynx*속(C)으로 분류된다.

• 곰과에 속한 종들(B, D)은 모두 *Ursus*속에 속한다.

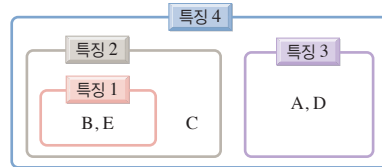
학명(속명+종소명)을 비교할 때 A와 E가 같은 속, B와 D가 같은 속이므로 A는 E와, B는 D와 유연관계가 가장 가깝다. 또한 C는 A, E와 속은 다르지만 같은 고양이과에 속하므로 B, D 보다는 A, E와 유연관계가 가깝다. 따라서 주어진 계통수 중 가장 적절한 것은 ㉢이다.

10 꼬꼬 문제 분석

• D와 유연관계가 가장 가까운 것은 A이고, B, C, E 중에 B와 E의 유연관계가 가장 가까우므로 계통수를 그리면 다음과 같다.



• 표에 있는 생물 A~E의 특징을 벤다이어그램으로 나타내면 다음과 같다.



5종의 생물은 모두 특징 4를 가지고 있으며, 특징 2를 가진 B, C, E와 특징 3을 가진 A, D로 분류할 수 있다. 그리고 특징 2를 가진 생물들은 특징 1을 가진 B, E와 특징 1을 가지지 않는 C로 분류할 수 있다. → ㉠은 특징 3이며, (가)는 B 또는 E이다.

ㄱ. D와 유연관계가 가장 가까운 것은 A이다. D와 A는 특징 3과 4를 공통으로 가지고 있으며, 특징 4는 모든 생물이 공통으로 가지고 있는 특징이므로 D와 A의 공통된 특징인 ㉠은 특징 3이다.

ㄴ. B, C, E 중 B와 유연관계가 가장 가까운 것은 E이므로 (가)는 B 또는 E이다. 따라서 (가)는 특징 1, 2, 4를 모두 가진다.

▣ **바로알기** ㄷ. C와 B의 유연관계가 C와 A의 유연관계보다 가깝다.

11 ㄴ. (가)와 (나)는 핵막과 막성 소기관이 없으므로 원핵생물에 해당한다. 3역 중 원핵생물은 세균역과 고세균역에 속하는데, (가)는 펩티도글리칸 성분의 세포벽을 가지므로 세균역이고, (나)는 펩티도글리칸 성분의 세포벽을 가지지 않으므로 고세균역이다. (다)는 핵막과 막성 소기관이 있고, 염색체 모양이 선형이므로 진핵생물역에 해당한다. 호염성 고세균은 고세균계에 속하므로 (나)에 포함된다.

ㄷ. 고세균역(나)은 세균역(가)보다 진핵생물역(다)과 유연관계가 더 가깝다.

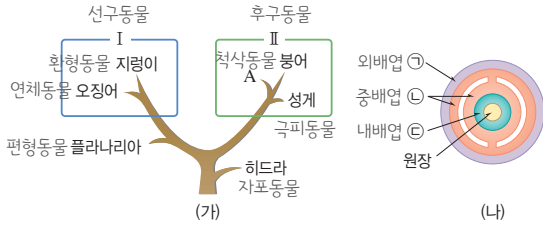
▣ **바로알기** ㄱ. 동물계는 진핵생물역(다)에 속한다.

12 ㄴ. ㉠은 관다발이 없으므로 비관다발 식물인 선태식물이다. 선태식물은 뿌리, 줄기, 잎의 구별이 뚜렷하지 않으며, 헛뿌리를 가진다.

▣ **바로알기** ㄱ. B는 식충류와 양치식물(㉡)이다. ㉢은 종자로 번식하며, 씨방이 없으므로 겉씨식물이다.

ㄷ. 석송류와 양치식물(B)은 기관이 분화되어 뿌리, 줄기, 잎의 구별이 뚜렷하므로 ㉠ 시기 이전에 기관의 분화가 처음 일어났다.

13 꼬꼬 문제 분석

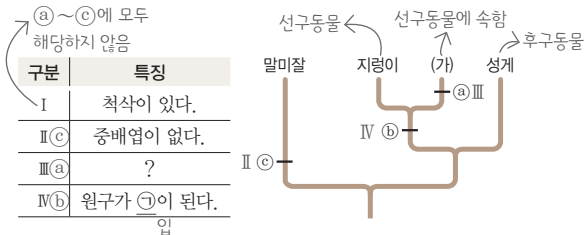


ㄱ. 붕어는 척삭동물(척추동물)이고, 성게는 극피동물이므로 미더덕과 같은 척삭동물(미삭동물)은 A에 해당한다.

ㄷ. ㉠은 몸의 가장 안쪽에 있는 내배엽이다. (가)에 제시된 동물은 모두 낭배를 형성하므로 모두 내배엽을 가진다.

▶ **바로알기** ㄴ. 환형동물인 지렁이와 연체동물인 오징어는 모두 선구동물이고, 극피동물인 성게와 척추동물인 붕어는 모두 후구동물이다.

14 꼬꼬 문제 분석



- 말미잘은 중배엽이 없으므로 ㉠은 II이다.
- 성게와 지렁이 모두 척삭을 가지고 있지 않으므로 I은 없다.
- 지렁이는 선구동물, 성게는 후구동물이므로 ㉢은 IV이다. → ㉣은 III이다.

ㄷ. 해파리(자포동물)는 2배엽성 동물이므로 중배엽이 없고, 가재(절지동물)는 3배엽성 동물이므로 중배엽이 있다. 따라서 해파리와 가재는 II를 이용하여 구분할 수 있다. 또한 해파리와 가재 중 가재만 원구가 입이 되므로 IV를 이용하여 해파리와 가재를 구분할 수 있다.

▶ **바로알기** ㄱ. (가)는 선구동물이므로 I을 가지지 않는다.

ㄴ. 지렁이는 담류자 유생 시기를 거치므로 '담류자 유생 시기를 거친다.'는 III(㉡)에 해당하지 않는다.

15 리보자임은 단일 가닥 RNA 분자이면서 상보적 RNA 복사본을 만드는 물질대사를 촉매한다.

▶ **모범답안** 리보자임, 유전 정보의 저장과 물질대사를 촉매하는 효소의 기능을 모두 가지고 있기 때문이다.

채점 기준	배점
리보자임을 쓰고, 유전 정보 저장과 물질대사를 촉매하는 효소의 기능을 모두 갖기 때문이라고 옳게 서술한 경우	100%
리보자임을 쓰고, 유전 정보 저장과 물질대사를 촉매하는 효소의 기능 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	70%
리보자임만 쓴 경우	40%

16 (가)는 선대식물에 속하는 뿌이끼, (나)는 양치식물에 속하는 고비, (다)는 겉씨식물에 속하는 향나무, (라)는 속씨식물에 속하는 콩이다.

▶ **모범답안** 고비, 종자 형성의 유무(종자로의 번식 여부)로 나눈 것이다.

채점 기준	배점
두 가지를 모두 옳게 서술한 경우	100%
두 가지 중 하나만 옳게 서술한 경우	40%

17 개구리는 양서류, 도마뱀과 거북은 파충류, 토끼는 포유류이다. 양서류는 체외 수정을 하고, 파충류와 포유류는 체내 수정을 한다. 파충류는 난생으로 번식하지만, 포유류는 태생으로 번식한다.

▶ **모범답안** A는 수정 방법, B는 번식 방법이다.

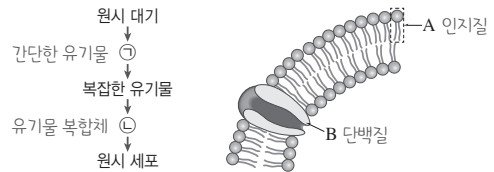
채점 기준	배점
분류 기준 A와 B를 모두 옳게 서술한 경우	100%
분류 기준 A와 B 중 하나만 옳게 서술한 경우	40%

수능 실전 문제

292쪽~293쪽

- 01 ⑤ 02 ④ 03 ① 04 ① 05 ④ 06 ①
07 ⑤ 08 ②

01 꼬꼬 문제 분석



원시 대기(수소, 수증기, 메테인, 암모니아 등) → 간단한 유기물(뉴클레오타이드, 아미노산 등) → 복잡한 유기물(단백질, 핵산 등) → 유기물 복합체(코어세르베이트, 마이크로소피어, 리포솜) → 원시 세포

선택지 분석

✗ B는 ㉠에 해당한다. 복잡한 유기물

⊙ 원시 세포에는 A와 B가 모두 존재한다.

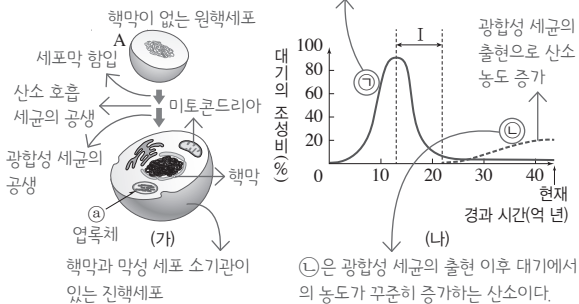
⊙ 리포솜은 ㉡에 해당하며, A로 이루어진 막 구조를 가진다.

나. A는 인지질, B는 단백질이다. 원시 세포는 세포막으로 둘러싸여 있으므로 원시 세포에는 인지질과 단백질이 모두 존재한다.
 다. ㉠은 유기물 복합체이다. 리포솜은 유기물 복합체에 해당하며, 인지질(A) 2중층의 막을 가진다.

▣ **바로알기** ▣ 가. ㉠은 간단한 유기물이고, B는 단백질이다. 단백질은 복잡한 유기물이므로 B는 ㉠에 해당하지 않는다.

02 **꼼꼼** 문제 분석

최초의 생명체는 유기물을 분해하여 이산화탄소를 방출하였다. → ㉠은 대기에서의 농도가 급격히 증가했다 감소하므로 이산화탄소이다.



선택지 분석

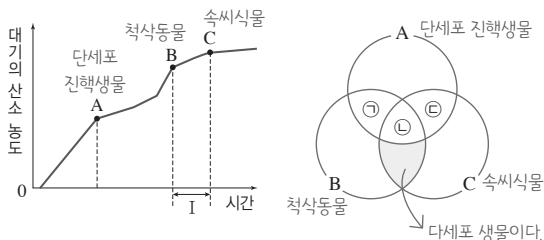
- ㉠ A는 무산소 호흡을 한다.
- ㉡ ㉠을 흡수하고, ㉢을 방출한다.
- ✗ (가) 과정은 모두 (나)의 I 시기에 일어난다. I 시기 이후에

가. A는 산소 호흡 세균의 세포내 공생이 일어나기 전의 원핵세포이므로 무산소 호흡을 한다.

나. 엽록체(㉡)는 광합성 과정에서 이산화탄소(㉠)를 흡수하고 산소(㉢)를 방출한다.

▣ **바로알기** ▣ 다. (가)는 원핵세포가 미토콘드리아와 엽록체를 모두 갖는 진핵세포로 진화되는 과정이다. 이 과정은 광합성 세균이 출현하여 대기의 산소(㉢) 농도가 증가하기 시작한 이후에 일어났으므로 I 시기 이후에 일어났다.

03 **꼼꼼** 문제 분석



선택지 분석

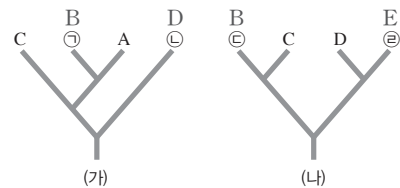
- ✗ B가 출현한 이후에 미토콘드리아가 형성되었다. 출현하기 이전에
- ㉢ I 시기에 생물이 육상으로 진출하였다.
- ✗ '다세포 생물이다.'는 ㉠~㉢ 중 하나에 해당한다. 해당하지 않는다.

나. A는 단세포 진핵생물, B는 생물의 육상 진출 이전에 출현한 척삭동물, C는 생물의 육상 진출 이후에 출현한 속씨식물이므로 I 시기에 생물이 육상으로 진출하였다.

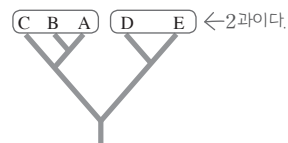
▣ **바로알기** ▣ 가. B는 진핵생물인 척삭동물이므로 미토콘드리아를 가진다. 따라서 B가 출현하기 이전에 미토콘드리아가 형성되었다.
 다. A는 단세포 진핵생물이다. 척삭동물(B)과 속씨식물(C)은 모두 다세포 생물이므로 '다세포 생물이다.'는 A에 속하지 않으며, B와 C의 공통점에만 해당한다.

04 **꼼꼼** 문제 분석

- (나)에서 C는 D와 서로 다른 가지에 위치하므로 (가)에서 ㉢은 D이고, ㉠은 B이다. → (나)에서 ㉡은 B이고, ㉣은 E이다.
- 만약 (가)에서 ㉢이 B라면, C는 B보다 D와 유연관계가 가까우므로 (나)에서 B는 ㉣일 수밖에 없다. 이 경우 (가)에서 D는 B보다 C와 유연관계가 가까우므로 모순이 된다.



• 두 계통수를 합치면 그림과 같다.



선택지 분석

- ㉠ ㉠과 ㉢은 모두 B이다.
- ✗ A와 B는 같은 과, 서로 다른 속에 속한다. 같은
- ✗ C와 D의 공통 조상보다 B와 E의 공통 조상이 먼저 출현하였다. C와 D의 공통 조상과 B와 E의 공통 조상은 같다.

가. (나)에서 C와 D는 서로 다른 가지에 위치하므로 (가)에서 ㉢은 D이고, ㉠은 B이다. 그러므로 (나)에서 ㉡은 B이고, ㉣은 E이다.

▣ **바로알기** ▣ 나. A~E가 2과 3속으로 이루어져 있으므로 과는 ABC/DE로 구분되며, 속은 C/AB/DE 또는 ABC/D/E로 구분된다. 따라서 A와 B는 같은 과, 같은 속에 속한다.
 다. C와 D의 공통 조상과 B와 E의 공통 조상은 같다.

05

선택지 분석

- ✗ (나)는 ㉠에 속한다. A
- ㉠은 산화적 인산화 일어나는 세포 소기관을 가진다.
- A와 B에 속하는 생물은 모두 세포벽과 리보솜을 가진다.

나. ㉠은 균계이다. 균계에 속한 생물은 진핵생물이므로 산화적 인산화가 일어나는 세포 소기관인 미토콘드리아를 가진다.

다. 세균역(A)과 고세균역(B)에 속하는 생물은 모두 세포벽과 리보솜을 가진다.

▶ **바로알기** ㄱ. (가)는 다세포 생물이며 엽록소 a를 가지므로 진핵생물역(C)에 속하는 식물계(㉡)이며, (나)는 엽록소 a를 가지지만 (가)와 서로 다른 역에 속하므로 세균역(A)에 속하는 남세균이다. 따라서 (나)는 ㉠(식물계)에 속하지 않는다.

06

선택지 분석

- B와 ㉠은 모두 호열성 고세균이다.
- ✗ '중속 영양을 함'은 ㉠에 해당한다. 해당하지 않는다.
- ✗ '세포벽에 펩티도글리칸이 없음'은 ㉡에 해당한다. 해당하지 않는다.

ㄱ. 3억 6천만 년 전 분류 체계에서 고세균역은 세균역보다 진핵생물역과 유연관계가 가까우므로 A는 남세균(진정세균계), B는 호열성 고세균(고세균계)이다. ㉠~㉣ 중 호열성 고세균은 핵막이 없는 원핵생물이므로 ㉠이다.

▶ **바로알기** 나. C와 D는 각각 메뚜기와 푸른곰팡이 중 하나이다. 메뚜기와 푸른곰팡이는 모두 중속 영양을 하므로 '중속 영양을 함'은 ㉠에 해당하지 않는다.

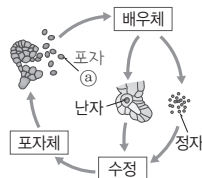
다. ㉠은 호열성 고세균이고, ㉡과 ㉢은 각각 메뚜기와 푸른곰팡이 중 하나이다. 호열성 고세균, 메뚜기, 푸른곰팡이는 모두 세포벽에 펩티도글리칸이 없으므로 '세포벽에 펩티도글리칸이 없음'은 ㉡에 해당하지 않는다.

07 **꼼꼼** 문제 분석

고사리 소나무 솔이끼 무궁화

구분	A	B	C	D
관다발 ㉠	○	○	?×	?○
씨방 ㉡	×	?×	×	○
종자로 번식함	?×	?○	×	○

(○: 있음, ×: 없음)



선택지 분석

- ✗ ㉠은 종자이다. 포자
- B는 A보다 D와 유연관계가 가깝다.
- '뿌리, 줄기, 잎의 구별이 뚜렷한가?'를 이용하여 C와 D를 구분할 수 있다.

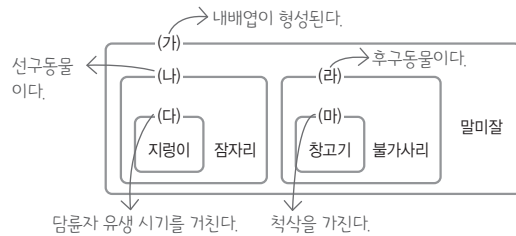
고사리(양치식물), 무궁화(속씨식물), 소나무(겉씨식물), 솔이끼(선대식물) 중 무궁화에만 씨방이 있으므로 ㉡이 씨방, ㉠이 관다발이다. 관다발이 있는 A와 B는 각각 고사리와 소나무 중 하나인데, 그림은 포자체에서 만들어지는 포자(㉠)에 의해 번식하는 식물의 생활사이므로 A는 고사리이고, B는 소나무이다. 따라서 C는 솔이끼, D는 무궁화이다.

나. 소나무(B)는 종자로 번식하는 종자식물이므로 비종자 관다발 식물인 고사리(A)보다 종자식물인 무궁화(D)와 유연관계가 가깝다.

다. 솔이끼(C)는 기관이 분화되지 않아 뿌리, 줄기, 잎의 구별이 뚜렷하지 않은 반면, 무궁화(D)는 기관이 분화되어 뿌리, 줄기, 잎의 구별이 뚜렷하다. 따라서 '뿌리, 줄기, 잎의 구별이 뚜렷한가?'를 이용하여 C와 D를 구분할 수 있다.

▶ **바로알기** ㄱ. ㉠은 포자체에서 만들어져 배우체로 발아하는 포자이다.

08 **꼼꼼** 문제 분석



선택지 분석

- ✗ '중배엽이 형성된다.'는 (가)에 해당한다. 내배엽
- ✗ (나)는 후구동물이다. 선구동물
- '담륜자 유생 시기를 거친다.'는 (다)에 해당한다.

다. 환형동물인 지렁이는 담륜자 유생 시기를 거치므로 (다)에 해당한다.

▶ **바로알기** ㄱ. 중배엽은 3배엽성 동물에서만 형성된다. 자포동물인 말미잘은 2배엽성 동물이므로 중배엽이 형성되지 않는다. 제시된 모든 동물에서 내배엽이 형성되므로 '내배엽이 형성된다.'는 (가)에 해당한다.

나. (나)에 속하는 지렁이(환형동물)와 잠자리(절지동물)는 원구가 입이 되고, 반대쪽에 항문이 생기는 선구동물이다.

2 생물의 진화

01 진화의 증거

개념 확인 문제

299쪽

- 1 비교해부학적
- 2 상동
- 3 상사
- 4 흔적
- 5 유연관계
- 6 발생

1 (1) ㉠ 뒷다리, ㉡ 뒷다리 (2) ㉠ 수중, ㉡ 육상 (3) 화석상의
 2 (가) 상동 기관 (나) 흔적 기관 (다) 상사 기관 3 생물지리학적
 증거 4 붉은털원숭이, 칠성장어 5 (1) × (2) ○ (3) ○

1 (1), (2) 고래의 조상은 육상 생활을 하여 4개의 완전한 다리가 있었지만, 서식지를 육상에서 수중으로 옮기면서 뒷다리는 퇴화하고 앞다리가 지느러미 형태로 변화했다.

(3) 고래의 진화 과정은 고래 화석을 통하여 알 수 있다.

2 (가) 척추동물의 앞다리는 생김새와 기능이 다르지만 해부학적 구조나 발생 기원이 같은 상동 기관이다.

(나) 사람의 꼬리뼈는 더 이상 기능을 수행하지 않고 흔적만 남아 있는 흔적 기관이다.

(다) 독수리의 날개와 잠자리의 날개는 발생 기원은 다르지만 생김새와 기능이 비슷한 상사 기관이다.

3 생물의 분포 양상은 대륙의 이동, 산맥, 해협 등과 같은 물리적 장벽에 따라 달라지므로 생물 분포 양상을 비교하여 진화의 과정을 밝히는 것은 생물지리학적 증거이다. 유대류가 오스트레일리아구에서만 서식하는 것은 생물지리학적 증거의 예이다.

4 사람과 아미노산 서열이 95% 일치하는 붉은털원숭이가 사람과 유연관계가 가장 가깝고, 아미노산 서열이 14% 일치하는 칠성장어가 사람과 유연관계가 가장 멀다.

5 (1) 진화발생학적 증거는 발생 과정에서의 유사성을 통하여 생물이 공통 조상으로부터 진화하였음을 알 수 있다.

(2) 조류와 포유류는 척추동물로, 발생 초기에 근육성 꼬리, 아가미 틈, 척삭이 나타난다.

(3) 연체동물인 조개와 환형동물인 갯지렁이는 모두 담류사 유생 시기를 거치므로 연체동물인 조개와 환형동물인 갯지렁이는 공통 조상에서 진화하였다.

대표 자료 분석

300쪽

자료 1 1 (가) 비교해부학적 증거 (나) 비교해부학적 증거 (다) 진화발생학적 증거 2 (1) (나) (2) (가) 3 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ○

자료 2 1 유연관계 2 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × (5) × (6) ×

1-1 (가)는 척추동물의 앞다리 구조로 생김새와 기능은 다르지만 해부학적 구조와 발생 기원이 같은 상동 기관이고, (나)는 곤충과 박쥐의 날개로 발생 기원은 다르지만 생김새가 비슷한 상사 기관이다. 상동 기관과 상사 기관은 모두 비교해부학적 증거이다. (다)는 척추동물의 발생 초기 배아를 나타낸 것으로 진화발생학적 증거이다.

1-2 (1) 발생 기원은 다르지만 비슷한 환경에 적응하여 모양과 기능이 유사하게 진화한 상사 기관은 (나)이다.

(2) 발생 기원은 같으나 다른 환경에 적응하여 모양과 기능이 다르게 진화한 상동 기관은 (가)이다.

1-3 (1), (3) 고래의 가슴 지느러미와 고양이의 앞다리는 발생 기원은 같지만 모양과 기능이 다른 상동 기관이다. 이를 통해 고래와 고양이가 공통 조상에서 유래하였음을 알 수 있다.

(2) 사람의 폐와 어류의 부레도 고래의 가슴 지느러미와 고양이의 앞다리처럼 상동 기관의 예이다.

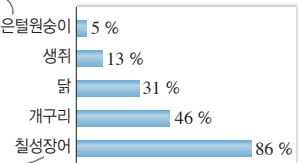
(4) 곤충의 날개와 박쥐의 날개는 상사 기관으로 서로 다른 조상으로부터 날개 형질을 물려받은 것이다.

(5) 닭과 사람의 배아에는 모두 아가미 틈이 존재한다. 이를 통하여 닭과 사람의 공통 조상이 수중 생활을 하였음을 알 수 있다.

2-1 **끼끼** 문제 분석

사람과 차이 나는 아미노산 비율이 가장 낮다 → 최근에 공통 조상에서 분화되어 사람과 유연관계가 가장 가깝다.

사람과 차이 나는 아미노산 비율이 가장 높다 → 가장 오래 전에 공통 조상에서 분화되어 사람과 유연관계가 가장 멀다.



생명체를 구성하는 기본 물질인 DNA 염기 서열이나 단백질의 아미노산 서열을 비교해 보면 생물 간의 유연관계와 진화 과정을 알 수 있다.

2-2 (1) 서로 다른 생물종의 아미노산 서열을 비교하여 유연관계를 판단하는 것은 분자진화학적 증거에 해당한다.

(2) 사람의 글로빈 단백질과 차이 나는 아미노산의 비율이 낮은 생물일수록 최근에 공통 조상에서 분화된 생물이므로 사람과 유연관계가 가깝다.

- (3) 사람과 아미노산 서열의 차이가 클수록, 오래전에 공통 조상에서 분화한 것이다.
- (4) 사람의 글로빈 단백질과 차이 나는 아미노산 비율이 가장 낮은 붉은털원숭이가 사람과 유연 관계가 가장 가깝다.
- (5) 사람의 글로빈 단백질과 차이 나는 아미노산의 비율이 낮을수록 최근에 공통 조상에서 분화하였다. 따라서 붉은털원숭이는 닭보다 최근에 공통 조상에서 분화되었다.
- (6) 사람을 기준으로 여러 동물의 글로빈 단백질 아미노산 서열을 비교한 것으로, 닭과 개구리의 유연관계는 이 자료를 통해서 알 수 없다.

내신 만점 문제

301쪽~303쪽

- 01 ④ 02 ① 03 ④ 04 ③ 05 ② 06 해설 참조
 07 ⑤ 08 ④ 09 ⑤ 10 ⑤ 11 ④
 12 (나)-(가)-(다)-(라) 13 ③ 14 해설 참조

01 • 학생 A: 생물의 화석을 연구하면 생물의 진화 과정을 알 수 있다.

• 학생 C: 윌리스선을 경계로 한 생물의 분포는 생물지리학적 증거의 예 중 하나이다.

바로알기 • 학생 B: 상동 기관, 상사 기관, 흔적 기관은 모두 비교해부학적 증거의 예이다.

02 (가) 대륙 이동 후 태반류의 등장으로 태반이 발달하지 않은 유대류가 멸종되었지만, 다른 대륙으로부터 분리된 오스트레일리아에서는 유대류가 살아남아 현재까지 캥거루, 코알라 등이 서식한다. 이것은 진화의 생물지리학적 증거이다.

(나) 종자고사리 화석은 양치식물과 종자식물의 특징을 모두 가지고 있으므로 생물의 진화 과정에서 중간 단계의 생물임을 알 수 있다. 이것은 진화의 화석상의 증거이다.

03 ㄴ, ㄷ. 고래의 조상 화석에서 짧은 지느러미 형태로 변한 뒷다리 흔적이 나타나므로 고래의 조상은 뒷다리를 가졌고, 육상 생활을 하는 포유류였음을 알 수 있다.

바로알기 ㄱ. 고래 화석을 시간 순으로 배열하여 고래의 진화 과정을 살펴본 것으로, 이는 진화의 화석상의 증거에 해당한다.

04 ㄱ. 말은 몸집이 점점 커지는 방향으로 진화하였다. ㄷ. 어금니가 커지고 표면에 주름이 많아진 것은 초원의 풀을 먹기에 적합하게 변한 것이고, 발가락 수가 줄어든 것은 초원에서 달리기에 적합하게 변한 것이다.

바로알기 ㄴ. 말은 발가락 수가 점점 줄어드는 방향으로 진화하였다.

05 ㄷ. 박쥐의 날개, 바다사자의 앞다리, 사자의 앞다리, 침팬지의 팔, 사람의 팔은 상동 기관으로 모두 공통 조상에서 유래하였음을 알 수 있다.

바로알기 ㄱ, ㄴ. 박쥐의 날개와 바다사자의 앞다리, 사자의 앞다리, 침팬지의 팔, 사람의 팔은 생김새와 기능은 다르지만 발생 기원이 같은 상동 기관이다.

06 나비의 날개는 표피가 변한 것이고, 박쥐의 날개는 앞다리가 변한 것이다.

모범답안 상사 기관. 나비의 날개와 박쥐의 날개는 발생 기원은 다르지만 환경에 적응하면서 형태와 기능이 유사하게 진화하였다.

채점 기준	배점
상사 기관이라고 쓰고, 세 가지 용어를 모두 사용하여 옳게 서술한 경우	100%
상사 기관이라고 쓰고, 두 가지 용어만 사용하여 옳게 서술한 경우	70%
상사 기관이라고 쓰고, 한 가지 용어만 사용하여 옳게 서술한 경우	50%
상사 기관이라고만 쓴 경우	30%

07 사람의 꼬리뼈, 귀를 움직이는 근육은 기능을 더 이상 수행하지 않고 흔적만 남아 있는 흔적 기관이다. 흔적 기관은 비교적 부화적 증거에 해당한다.

08 ㄴ. 윌리스선은 가상의 생물 분포 경계선으로, 윌리스선을 기준으로 A(로라시아 대륙에서 유래한 동남아시아구)와 B(곤드와나 대륙에서 유래한 오스트레일리아구)로 나뉜다.

ㄷ. 오스트레일리아구가 곤드와나 대륙으로부터 분리되면서 유대류가 B 지역에서만 나타났다. 이를 통해 유대류는 원시 포유류에서 독자적으로 진화하였음을 알 수 있다.

바로알기 ㄱ. 유대류는 B 지역(오스트레일리아구)에서만 서식한다.

09 ⑤ 갈라파고스 군도의 서로 다른 섬에 서식하는 핀치의 부리 모양이 다른 것은 지리적 격리에 따라 각 섬의 먹이 환경에 적응한 결과로 진화의 생물지리학적 증거에 해당한다. 이것은 같은 생물종이 지리적으로 다른 환경에서 서식하면 다양한 생물종으로 진화할 수 있음을 보여준다.

바로알기 ①은 진화발생학적 증거, ②는 비교해부학적 증거, ③은 화석상의 증거, ④는 진화발생학적 증거에 해당한다.

10 ㄱ. 서로 다른 생물종의 단백질 아미노산 서열을 비교한 것이므로 분자진화학적 증거에 해당한다.

ㄴ. 단백질 아미노산 서열이 D와 가장 차이 나는 생물종은 C이므로 D는 C와 유연관계가 가장 멀다.

ㄷ. 단백질 아미노산 서열이 B는 D와 2개가 차이 나고, A와는 1개가 차이므로 B는 D보다 A와 유연관계가 더 가깝다.

11 ㄴ. 사람을 기준으로 차이 나는 아미노산의 수를 비교하여 사람과 여러 동물의 유연관계를 알아보는 것이다.

ㄷ. 사이토크롬 c는 호흡에 관여하는 효소로 단백질이다. 공통 조상으로부터 갈라진 시간이 오래될수록 유전자의 변화가 크므로 효소와 같은 단백질의 아미노산 서열 차이도 크다. 그러므로 단백질의 아미노산 서열 차이가 클수록 유연관계가 멀다고 할 수 있다. 따라서 사람과 유연관계가 가까운 순으로 나열하면 침팬지-붉은털원숭이-개-닭-뱀-거북-효모이다.

▶바로알기 ㄱ. 제시된 그림은 사람을 기준으로 사람과 각 동물의 유연관계를 나타낸 것이므로 개를 기준으로 유연관계를 알기는 어렵다.

12 **꼼꼼** 문제 분석

생물종	DNA 염기 서열											
공통 조상	T	G	A	G	C	C	T	T	C	G	T	A
(가)	T	G	A	Ⓒ	Ⓓ	C	T	T	C	G	T	A
(나)	T	G	A	G	C	C	T	T	C	G	Ⓒ	A
(다)	T	G	A	Ⓓ	Ⓒ	C	T	T	Ⓐ	G	T	A
(라)	Ⓐ	G	A	Ⓓ	Ⓒ	C	T	T	Ⓒ	G	T	A

공통 조상과 비교하였을 때 (가)는 2개, (나)는 1개, (다)는 3개, (라)는 4개의 염기가 다르다.

공통 조상과 염기 서열 차이가 적을수록 유연관계가 가깝다. 따라서 (나) - (가) - (다) - (라) 순으로 유연관계가 가깝다.

13 ㄱ. 여러 척추동물들의 발생 초기 배아에서 나타나는 유사성을 통하여 이들이 공통 조상으로부터 진화하였음을 알 수 있으며, 이는 진화발생학적 증거에 해당한다.

ㄷ. 무척추동물은 담류자 유생 시기를 거치는 데 이것도 척추동물의 발생 초기 배아와 같은 진화발생학적 증거에 해당한다.

▶바로알기 ㄴ. 진화발생학적 증거는 발생 과정에서의 유사성을 통하여 생물이 공통 조상에서 진화하였음을 알 수 있다.

14 **모범답안** 척추동물의 발생 초기 배아에 공통적으로 아가미 틈과 근육성 꼬리가 존재하는 것으로 보아 육상 척추동물은 수중 생활을 하던 척추동물(공통 조상)로부터 진화하였다.

채점 기준	배점
아가미 틈과 근육성 꼬리를 언급하여 육상 척추동물이 수중 생활을 하던 척추동물(공통 조상)에서 유래하였다고 서술한 경우	100%
육상 척추동물이 수중 생활을 하였던 척추동물(공통 조상)에서 유래하였다고만 서술한 경우	50%

02 진화의 원리

개념 확인 문제

305쪽

- ① 변이 ② 과잉 생산과 변이 ③ 생존 경쟁 ④ 자연 선택
⑤ 높아 ⑥ 진화

- 1 (1) ○ (2) ○ (3) × 2 자연 선택 3 (가) → (라) → (다) → (나) 4 ㉠ 유리, ㉡ 높다

1 (1) 변이는 자연 선택에 영향을 주며, 자연 선택된 개체의 유전적 변이는 자손에게 전달될 수 있다.

(2), (3) 변이는 한 집단(개체군)을 구성하는 개체 간에 나타나는 형질(몸의 형태, 습성, 기능 등)의 차이이다. 형질의 차이에 따라 개체의 환경 적응 능력이 달라져 생존율이 달라질 수 있다.

2 여러 세대에 걸쳐 자연 선택이 일어나면 집단은 생존에 유리한 형질을 가진 집단으로 진화하게 된다.

3 기린 목의 진화를 자연 선택설로 설명하면 과잉 생산된 집단에는 목 길이가 다양한 변이를 가진 기린이 존재하였고(가), 이들 사이에는 먹이, 서식지 등을 두고 생존 경쟁이 일어났다(라). 생존에 유리한 목이 긴 기린 개체는 살아남아 더 많은 자손을 남겼고(다), 이러한 자연 선택 과정이 누적된 결과 진화가 일어나 목이 긴 기린 집단이 형성되었다(나).

4 말라리아가 자주 발생하는 지역에서는 낫 모양 적혈구 헤모글로빈 대립유전자(Hb^s)가 생존에 ㉠유리하게 작용하여 자연 선택되므로 말라리아가 자주 발생하는 지역에서는 Hb^s를 가진 사람의 비율이 다른 지역에 비해 ㉡높게 나타난다.

308쪽

완자샘
비법 특강

Q1 $\frac{4}{49}$ Q2 $\frac{21}{22}$

Q1 회색 털의 암수 개체로부터 흰색 털을 가진 자손이 태어나기 위해서는 회색 털인 부모의 유전자형이 모두 Aa이어야 한다. 집단 ㉡에서 회색 털의 개체(AA와 Aa) 중 유전자형이 Aa인 개체의 비율은 $\frac{2pq}{p^2+2pq} = \frac{2pq}{1-q^2} = \frac{4}{7}$ 이고, 유전자형이 Aa인 부모 사이에서 유전자형이 aa인 자손이 태어날 확률은 $\frac{1}{4}$ 이므로

구하고자 하는 확률은 $\frac{4}{7} \times \frac{4}{7} \times \frac{1}{4} = \frac{4}{49}$ 이다.

Q2 정상인 여자의 유전자형은 X^AX^A 또는 X^AX^a 이다. 정상인 남자(X^AY)와 정상인 여자 사이에서 태어나는 아이가 정상일 확률은 여자의 유전자형이 X^AX^A 일 때 ($\frac{p^2}{p^2+2pq} = \frac{9}{11}$)에는 1이고, X^AX^a 일 때 ($\frac{2pq}{p^2+2pq} = \frac{2}{11}$)에는 $\frac{3}{4}$ 이므로 이 집단에서 정상인 남자와 정상인 여자 사이에서 아이가 태어날 때, 이 아이가 정상일 확률은 $\frac{9}{11} + (\frac{2}{11} \times \frac{3}{4}) = \frac{21}{22}$ 이다.

개념 확인 문제

309쪽

- ① 집단 ② 유전자풀 ③ 유전적 평형 ④ 진화 ⑤ p^2
 ⑥ $2pq$ ⑦ q^2 ⑧ p ⑨ q ⑩ 멘델 집단

- 1 (1) × (2) ○ (3) ○ 2 대립유전자 R의 빈도: 0.8, 대립유전자 r의 빈도: 0.2 3 (1) 유전자풀 (2) 유전적 평형 (3) 멘델 집단
 4 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) × (5) × 5 (1) ㉠ 32, ㉡ 16, ㉢ 2 (2) 1

1 (1) 진화는 같은 종의 개체들이 모여 있는 집단(개체군) 수준에서 관찰된다.
 (2) 유전자풀은 한 집단을 구성하는 모든 개체가 가지고 있는 대립유전자 전체를 의미하는 것으로, 집단에서 일어나는 유전자풀의 변화는 진화를 일으킨다.
 (3) 환경 적응력이 뛰어난 형질을 나타내는 대립유전자는 자연선택되어 세대를 거듭할수록 그 빈도가 높아지므로 자연선택이 일어나면 유전자풀이 변한다.

2 전체 개체 수가 100이므로 전체 대립유전자 수는 $100 \times 2 = 200$ 이다. 이 중 대립유전자 R의 수는 $(64 \times 2) + 32 = 160$ 이고, 대립유전자 r의 수는 $32 + (4 \times 2) = 40$ 이므로 대립유전자 R의 빈도는 $\frac{160}{200} = 0.8$, 대립유전자 r의 빈도는 $\frac{40}{200} = 0.2$ 이다.

3 (1) 한 집단에 속하는 모든 개체가 가지고 있는 대립유전자 전체를 유전자풀이라고 한다.
 (2) 세대를 거듭해도 대립유전자의 종류와 빈도가 변하지 않는 상태를 유전적 평형이라고 하며, 유전적 평형이 일어나는 집단은 진화가 일어나지 않는다.
 (3) 하디·바인베르크 법칙이 적용되는 유전적 평형 상태의 가상 집단을 멘델 집단이라고 한다.

4 (1) 확률적으로 통계 처리가 가능해야 하기 때문에 집단의 크기가 커야 한다.
 (2) 새로운 대립유전자가 생기지 않아야 하기 때문에 돌연변이가 일어나지 않아야 한다.
 (3) 집단 내에서 각 개체가 다른 개체와 교배할 수 있는 확률이 같아야 하기 때문에 개체들 간에 자유로운 교배가 일어나야 한다.
 (4) 각 대립유전자가 자손에게 전달될 확률이 같아야 하기 때문에 특정 유전자에 대한 자연선택이 일어나지 않아야 하며, 집단에서 개체들의 생존력이 같아야 한다.
 (5) 다른 집단과 유전자 흐름이 없어야 한다. 즉, 대립유전자가 들어오거나 나가지 않아야 한다.

5 (1) 대립유전자 A의 빈도는 $\frac{160}{200} = 0.8$, 대립유전자 a의 빈도는 $\frac{40}{200} = 0.2$ 이므로 자손의 유전자형이 AA가 될 확률은 $p^2 = (0.8)^2 = 0.64$, Aa가 될 확률은 $2pq = 0.32$, aa가 될 확률은 $q^2 = 0.04$ 이다. 따라서 ㉠은 $0.64 \times 50 = 32$, ㉡은 $0.32 \times 50 = 16$, ㉢은 $0.04 \times 50 = 2$ 이다.
 (2) 대립유전자 빈도 $p + q = 0.8 + 0.2 = 1$ 이다.

개념 확인 문제

312쪽

- ① 돌연변이 ② 자연 선택 ③ 병목 ④ 유전자 흐름
 ⑤ 대립유전자 ⑥ 진화

- 1 (1) × (2) × (3) ○ 2 돌연변이 3 A 4 자연 선택
 5 ㉠ 병목, ㉡ 유전적 부동 6 (1) ○ (2) ×

1 (1), (3) 유전자풀의 변화 요인에는 돌연변이, 자연 선택, 유전적 부동, 유전자 흐름이 있으며, 멘델 집단에서 작용하지 않는다.
 (2) 크기가 작은 집단일수록 유전적 부동에 의한 유전자풀의 변화가 크게 나타난다.

2 대립유전자 A로부터 새로운 대립유전자 B가 만들어졌으므로 유전자풀의 변화 요인에서 돌연변이에 해당한다.

3 자연 선택된 대립유전자는 집단에서 빈도가 증가한다. 대립유전자 A의 빈도는 부모 세대에서 0.5였는데 자손 세대에서 0.75로 증가하였으므로, 이 집단에서는 A가 자연 선택되었다.

4 (다)의 어두운 용암 지대에서 털 색깔이 진한 포켓쥐가 자연선택된 결과 털 색깔이 진한 포켓쥐의 비율이 증가하였다.

5 북방코끼리바다표범은 ㉠병목 효과로 개체 수가 급격하게 감소하면서 대립유전자 빈도가 달라져 유전자풀이 변화된 ㉡유전적 부동의 예이다.

6 (1) 두 집단 사이에 유전자 흐름이 활발하게 일어나면 집단 간 유전적 차이는 줄어들고, 각 집단에서의 유전적 다양성은 증가한다.
 (2) 이입과 이출의 개체 수가 같더라도 들어오고 나간 개체들이 가진 유전자가 같지 않을 경우에는 유전자풀이 변한다.

개념 확인 문제

314쪽

- 1 중분화 2 유전자풀 3 생식적 4 고리종 5 가능
 6 불가능

1 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × 2 (1) ○ (2) × (3) ○

1 (1) 중분화를 일으키는 지리적 장벽에는 산맥 형성, 협곡 형성, 가뭄으로 하나의 호수가 여러 개의 작은 호수로 나누어지는 경우 등이 있다.

(2), (4) 중분화가 일어난 두 집단은 유전자풀이 서로 다르며, 생식적 격리가 일어난 상태이므로 교배가 일어나지 않거나, 교배가 일어나더라도 생식 능력이 있는 자손이 태어나지 않는다.

(3) 지리적 장벽에 의해 분리된 두 집단에서는 돌연변이, 자연 선택 등과 같은 독자적인 진화 과정을 겪는다.

2 (1), (2) 고리종의 경우 인접한 두 집단 사이에서는 생식이 가능하므로 집단 B와 C 사이에서는 생식이 가능하지만, 고리의 양 끝에 있는 두 집단 A와 E 사이에는 생식적 격리가 일어나 교배가 일어나지 않거나 교배가 일어나도 생식 능력이 있는 자손이 태어나지 않으므로 중분화 가능성이 가장 높다.

(3) 고리종은 한 생물종으로부터 분화된 집단들 사이에 생식적 격리가 생겨 중분화가 일어날 수 있음을 보여 주며, 중분화가 연속적이고 점진적으로 일어난다는 것을 보여 준다.

대표 자료 분석

315쪽

자료 1 1 대립유전자 A의 빈도: 0.7, 대립유전자 B의 빈도: 0.3 2 0.42 3 ㄱ, ㄴ, ㄷ 4 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) ×

자료 2 1 ㉠ 2 ㉡ 3 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ (5) ○ (6) ○ (7) ×

①-1 이 집단에서 대립유전자의 수는 총 2000개이고, 대립유전자 A의 수는 $(490 \times 2) + 420 = 1400$ 개, 대립유전자 a의 수는 $420 + (90 \times 2) = 600$ 개이다. 따라서 대립유전자 A의 빈도는 $\frac{1400}{2000} = 0.7$ 이고, 대립유전자 a의 빈도는 $\frac{600}{2000} = 0.3$ 이다.

①-2 유전자형이 Aa인 개체의 비율은 $2pq$ 이므로 $2 \times 0.7 \times 0.3 = 0.42$ 이다.

①-3 ㄱ, ㄴ, ㄷ. 멘델 집단은 집단의 크기가 충분히 커야 하며, 돌연변이가 일어나지 않아야 한다. 또한, 특정 대립유전자에 대한 자연 선택이 일어나지 않아야 한다.

▮바로알기▮ ㄷ. 다른 집단과 유전자 흐름이 없어야 한다. 즉, 대립유전자가 들어오거나 나가지 않아야 한다.

①-4 (1) 대립유전자 A와 a의 빈도 합은 $p + q = 0.7 + 0.3 = 1$ 이다.

(2) 이 집단은 멘델 집단으로, 하디·바인베르크 법칙이 적용된다.

(3) 자손 세대(F_1)에서 유전자형이 AA인 개체가 나타날 확률은 $p^2 = (0.7)^2 = 0.49$ 이다.

(4) 멘델 집단은 세대가 거듭되더라도 대립유전자 빈도는 일정하다. 따라서 세대가 거듭되더라도 집단에서 회색 몸 대립유전자 빈도는 일정하다.

②-1 서식지의 일부가 떨어져 나가면서 지리적 격리가 일어난 시기는 ㉠이다.

②-2 A로부터 B가 먼저 분화되었고, 이후에 A로부터 C가 분화되었으므로 A는 B보다 최근에 분화된 C와 유연관계가 더 가깝다. 따라서 B는 ㉡이다.

②-3 (1) ㉠에서 유전자풀의 변화가 일어나 두 집단의 유전자풀이 서로 달라졌다.

(2) A로 구성된 집단에서 ㉡가 일어나 새로운 종 C가 분화되었으므로, 이 과정에서 유전자풀의 변화가 일어났다. 따라서 이 집단은 멘델 집단이 아니다.

(3) ㉠에서 지리적 격리가 일어난 후 ㉡에서 B의 분화가 일어났으므로 지리적 격리는 B의 분화에 영향을 주었다.

(4) A와 B는 서로 다른 종이므로 생식적 격리가 일어나 교배가 일어나지 않거나 교배가 일어나도 생식 능력이 있는 자손이 태어나지 않는다.

(5) 가장 최근에 A로부터 C가 분화되었으므로 C는 B보다 A와 유연관계가 더 가깝다.

(6) ㉠은 B, ㉡과 ㉢은 A 또는 C이고, A~C는 모두 서로 다른 종이다. 따라서 ㉠과 ㉡으로 각각 구성된 두 집단은 유전자풀이 서로 다르다.

(7) ㉠과 ㉢은 각각 A와 C 중 하나이며, A와 C는 서로 다른 종이므로 이 두 종을 교배하여도 생식 능력이 있는 자손은 태어나지 않는다.

내신 만점 문제

316쪽~319쪽

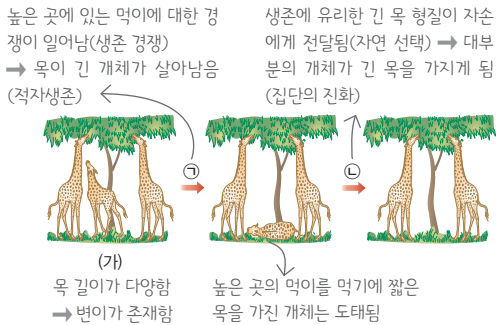
- 01 ㉣ 02 ㉢ 03 ㉡ 04 ㉠ 05 ㉣ 06 ㉢
 07 ㉠ 08 ㉡ 09 ㉡ 10 ㉠ 11 ㉠ 12 해설
 참조 13 ㉢ 14 ㉢ 15 ㉤ 16 ㉢

01 ㉠ 변이에 따라 개체의 환경 적응 능력이 달라져 생존율이 달라질 수 있다.

㉡, ㉢, ㉤ 집단 내에서 생존에 유리한 변이를 가진 개체가 살아남아 자손을 많이 남긴 결과(자연 선택) 진화가 일어난다.

▶ **바로알기** ㉣ 집단 내에서 자연 선택된 형질의 대립유전자 빈도는 증가한다.

02 **꼼꼼** 문제 분석



ㄱ. (가)에는 목 길이가 서로 다른 개체가 존재하는데, 이는 변이로 인해 기린의 목 길이가 다양해진 것이다.

ㄴ. ㉠에서 높은 곳에 있는 먹이를 차지하기 위한 생존 경쟁이 일어났으며, 그 결과 경쟁에서 목이 긴 개체가 이겨 살아남았다.

▶ **바로알기** ㄷ. ㉡ 과정을 통하여 자연 선택과 진화가 일어났음을 알 수 있으며, 당시에는 유전의 원리가 알려지지 않았기 때문에 변이의 원인을 명확하게 설명하지 못하였다.

03 ㄴ. A 과정을 거친 후 크고 두꺼운 부리를 가진 개체가 살아남았으므로 A 과정에서 자연 선택이 일어났다.

▶ **바로알기** ㄱ. 결과적으로 이 섬에는 크고 두꺼운 부리를 가진 개체가 살아남았으므로, 이 섬에서 핀치의 먹이는 크고 두꺼운

부리로 먹을 수 있는 크고 단단한 씨앗이다.

ㄷ. A 과정 이전에 이 집단에 부리 모양이 서로 다른 개체들이 존재하며, 이 개체들은 부리 모양을 결정하는 대립유전자가 서로 다르므로 유전자 구성이 서로 다르다.

04 ㄱ. 진화는 집단의 유전자풀을 구성하는 대립유전자 빈도를 통해 알 수 있다.

▶ **바로알기** ㄴ, ㄷ. 하디·바인베르크 법칙이 적용되는 집단은 시간이 지나도 유전자풀이 변하지 않는 유전적 평형 상태의 가상 집단으로, 진화가 일어나지 않는다. 자연 상태의 집단은 유전적 평형 상태에 놓여 있지 않다.

05 **꼼꼼** 문제 분석

유전자형	AA	Aa	aa
개체 수	360	480	160

㉠ 전체 대립유전자 수 $(360 \times 2) + (480 \times 2) + (160 \times 2) = 2000$
 전체 개체 수가 1000이므로 $1000 \times 2 = 2000$ 으로도 구할 수 있다.

㉡ 대립유전자 A의 수 $(360 \times 2) + 480 = 1200$
 대립유전자 a의 수 $480 + (160 \times 2) = 800$

㉢ 대립유전자 A의 빈도 $= \frac{1200}{2000} = 0.6$
 대립유전자 a의 빈도 $= \frac{800}{2000} = 0.4$

ㄱ, ㄴ. 전체 개체 수가 1000이므로 이 집단의 대립유전자 수는 2000이다. 이중 대립유전자 A의 수는 $(360 \times 2) + 480 = 1200$ 이고, 대립유전자 a의 수는 $480 + (160 \times 2) = 800$ 이므로 대립유전자 A의 빈도는 $\frac{1200}{2000} = 0.6$ 이고, 대립유전자 a의 빈도는 $\frac{800}{2000} = 0.4$ 이다.

▶ **바로알기** ㄷ. 이 집단은 멘델 집단이므로 다음 세대에서도 대립유전자 A의 빈도는 0.6이고, 대립유전자 a의 빈도는 0.4이다. 따라서 유전자형이 AA인 개체가 태어날 확률은 $(0.6)^2 = 0.36$ 이다.

06 (i) 멘델 집단 ㉠에서 정상 대립유전자(A) 빈도를 p , 유전병 대립유전자(a) 빈도를 q 라고 하면, 유전병 (가)를 나타내는 신생아(aa)의 빈도는 $q^2 = \frac{9}{100} = \left(\frac{3}{10}\right)^2$ 이므로 $q = \frac{3}{10}$, $p = \frac{7}{10}$ 이다.

(ii) 유전병 (가)를 나타내는 남자(aa)와 정상 여자(AA, Aa) 사이에 유전병 (가)를 나타내는 아이가 태어나려면 정상 여자는 유전자형이 이형접합성(Aa)이어야 한다. 유전자형 Aa의 빈도는 $2pq$ 이므로 정상 여자 중에서 유전자형이 Aa인 여자의 비율은 $\frac{2pq(\text{Aa인 여자})}{p^2 + 2pq(\text{정상인 여자})}$ 이므로 $\frac{2(0.7 \times 0.3)}{(0.7)^2 + 2(0.7 \times 0.3)} = \frac{6}{13}$ 이다.

(iii) 유전병 (가)를 나타내는 남자(aa)와 정상 여자(Aa) 사이에서 태어난 아이가 유전병(aa)을 나타낼 확률은 $aa \times Aa \rightarrow Aa, Aa, aa, aa$ 로 $\frac{1}{2}$ 이다.

(iv) 따라서 유전병 (가)를 나타내는 어떤 남자(aa)와 정상 여자(Aa) 사이에서 아이가 태어날 때 이 아이가 유전병 (가)일 확률은 $\frac{6}{13} \times \frac{1}{2} = \frac{3}{13}$ 이다.

07 ㄱ. (나)에서 검은색 몸 개체의 비율이 0.75이므로 검은색 몸이 흰색 몸에 대해 우성 형질이다. 그런데 ㉠은 ㉡보다 크므로 A는 흰색 몸 대립유전자이고, A*는 검은색 몸 대립유전자이다. 따라서 A는 A*에 대해 열성이다.

▣ **바로알기** ㄴ. A*의 빈도를 p, A의 빈도를 q라고 하면 검은색 몸 개체(A*A*, A*A)의 비율은 $p^2 + 2pq = 1 - q^2$ 이다. 따라서 ㉠은 $(1 - q^2) = 1 - (0.3)^2 = 0.91$ 이고, ㉡은 $(1 - q^2) = 1 - (0.8)^2 = 0.36$ 이다. 따라서 ㉠과 ㉡의 합은 1.5보다 작다.

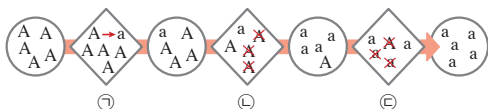
ㄷ. (라)에서 $\frac{\text{흰색 몸 개체의 비율}}{\text{유전자형이 AA*인 개체의 비율}} = \frac{q^2}{2pq} = \frac{1}{3}$ 이다. $p + q = 1$ 이므로 A*의 빈도(p)는 0.6, A의 빈도(q)는 0.4이다.

08 적록 색맹은 X 염색체에 의한 유전이다. 정상 대립유전자(A) 빈도를 p, 적록 색맹 대립유전자(a) 빈도를 q라고 하면 적록 색맹인 남자(X^aY)의 빈도는 q, 적록 색맹인 여자(X^aX^a)의 빈도는 q²이다. 적록 색맹인 남자는 1000명당 100명의 비율로 나타나므로 적록 색맹 대립유전자 빈도(q)는 $\frac{100}{1000} = 0.1$ 이다. 남자는 적록 색맹 대립유전자가 하나만 있어도 적록 색맹이 나타나지만, 여자는 적록 색맹 대립유전자가 2개 있어야 적록 색맹이 나타나므로 여자 1000명 중 적록 색맹인 여자의 수는 $1000 \times q^2 = 10$ (명)이다.

09 유전자풀이 변하는 요인에는 돌연변이, 자연 선택, 유전적 부동, 유전자 흐름 등이 있다.

▣ **바로알기** ② 개체들 간에 자유로운 교배가 일어나는 것은 유전자풀이 변하지 않는 멘델 집단의 조건이다.

10 **꼬꼬** 문제 분석



유전자 A로부터 유전자 a가 새롭게 만들어졌다. → 돌연변이
 유전자 a의 빈도는 증가하였고, 유전자 A의 빈도는 감소하였다. → 자연 선택
 유전자 A와 유전자 a가 무작위로 제거되었다. → 유전적 부동

ㄱ. ㉠에 의해 대립유전자 A로부터 대립유전자 a가 새롭게 만들어졌으므로 ㉠은 돌연변이이다.

▣ **바로알기** ㄴ. ㉠은 자연 선택이다. 자연 선택이 일어나기 전과 후에 대립유전자 A와 대립유전자 a가 모두 존재하므로 변이가 감소하지는 않았다.

ㄷ. ㉡에 의해 대립유전자 A와 대립유전자 a의 일부가 제거되었으므로 ㉡은 무작위로 유전자풀이 변하는 유전적 부동이다. 유전적 부동에 의한 유전자풀의 변화는 집단의 크기가 작을 때 잘 일어난다.

11 ㄴ. 모집단의 일부 개체들이 소집단을 구성할 때 대립유전자 빈도가 무작위로 변하였다. 이것은 유전적 부동에 의한 유전자풀의 변화를 나타낸 것이다.

▣ **바로알기** ㄱ. 모집단에서 유전적 부동이 일어나 유전자풀이 변하였으므로 모집단은 멘델 집단이 아니다.

ㄷ. 일반적으로 소집단의 크기가 작을수록 유전적 부동에 의한 유전자풀의 변화가 크게 나타나므로 소집단의 유전자풀이 모집단과 차이가 크게 난다. (가)의 유전자풀은 대립유전자 A, a로 구성되고, (나)는 a로 구성되므로 (나)의 유전자풀은 (가)보다 모집단과 덜 유사하다.

12 두 가지 모두 개체 수가 급격히 감소한 후 유전적 다양성이 감소하면서 유전자풀이 변화된 것이므로 유전적 부동(병목 효과)에 의한 유전자풀이 변화된 예에 해당한다.

▣ **모범답안** 개체 수가 감소하면서 유전적 부동(또는 병목 효과)이(가) 일어나 대립유전자 빈도가 변하였다.

채점 기준	배점
개체 수의 감소와 유전적 부동(병목 효과)에 의한 대립유전자 빈도의 변화를 모두 옳게 서술한 경우	100%
유전적 부동(병목 효과)에 의한 대립유전자 빈도의 변화만 옳게 서술한 경우	70%
개체 수의 감소와 대립유전자 빈도의 변화만 서술한 경우	50%

13 ①, ② (가)는 개체의 이입에 의해 대립유전자의 교류가 일어나면서 두 집단의 유전자풀이 섞이는 유전자 흐름이다. ④, ⑤ (나)는 우연한 사건에 의해 대립유전자 빈도가 변하는 유전적 부동이다. 질병이나 자연재해로 인해 집단의 크기가 급격히 줄어들면서 살아남은 집단의 유전자풀이 처음 집단의 유전자풀과 달라지는 병목 효과는 유전적 부동에 해당한다.

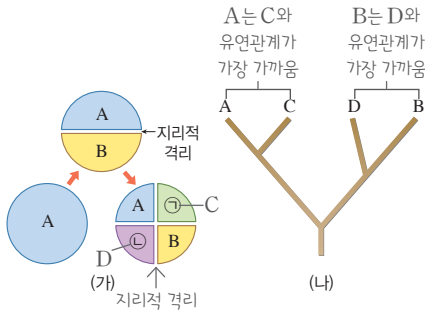
▣ **바로알기** ③ 유전자 흐름이 일어나기 위해서는 어떤 집단으로 이주한 개체가 그 집단의 다른 개체와 교배하여 생식 능력이 있는 자손을 낳음으로써 유전자풀에 변화가 일어나야 한다. 따라서 생식적으로 격리된 두 집단 사이에서는 유전자 흐름(가)이 일어나지 않는다.

14 ㄱ. A에 의해 새로운 대립유전자(■)가 만들어졌으므로 A는 돌연변이이다.

ㄴ. 한 집단이 둘로 나누어졌으므로 B는 지리적 격리이다.

▣ **바로알기** ▣. ㉠의 빈도는 증가하였고, ㉡은 사라졌으므로 C는 자연 선택이다. 생존에 유리한 형질이 자연 선택되므로 ㉡보다 ㉠에 의해 나타난 형질이 생존에 유리하게 작용하였다.

15 **꼼꼼** 문제 분석



- 중분화는 A로부터 B의 분화 → A로부터 ㉠의 분화, B로부터 ㉡의 분화 순서로 일어났다.
- A는 ㉠과 유연관계가 가장 가깝다. → ㉠은 C이다.
- B는 ㉡과 유연관계가 가장 가깝다. → ㉡은 D이다.

ㄱ. A와 유연관계가 가장 가까운 ㉠은 C이다.
 ㄴ. A와 B는 서로 다른 종이므로 유전자풀이 서로 달라 생식적으로 격리되어 있다.
 ㄷ. ㉡은 B와 유연관계가 가장 가까운 D이다. B는 지리적 격리로 인해 A로부터 분화한 것이고, D(㉡)는 지리적 격리로 인해 B로부터 집단이 둘로 분리되면서 분화한 것이다.

16 ㄱ. A~G는 모두 한 생물종으로부터 분화된 고리종이다.
 ㄴ. A와 B는 서로 다른 집단이므로 유전자풀이 서로 다르다.

▣ **바로알기** ▣. 고리의 양 끝에 있는 두 집단인 A와 G 사이에는 거리가 가까우면서도 불구하고 생식적 격리가 일어났기 때문에 생식 능력이 있는 자손이 태어날 수 없다.

중단원 핵심 정리

320쪽~321쪽

- | | | | |
|----------|---------|-----------|-----------|
| 1 화석 | 2 상동 기관 | 3 상사 기관 | 4 지리적 |
| 5 윌리스선 | 6 염기 | 7 아미노산 | 8 유연관계 |
| 9 공통 조상 | 10 척추동물 | 11 변이 | 12 자연 선택 |
| 13 자연 선택 | 14 집단 | 15 유전적 평형 | 16 멘델 |
| 17 돌연 변이 | 18 교배 | 19 대립유전자 | 20 유전적 부동 |
| 21 병목 | 22 창시자 | 23 생식적 | 24 가능 |
| | | 25 격리 | |

중단원 마무리 문제

322쪽~325쪽

- 01 ③ 02 ④ 03 ④ 04 ③ 05 ④ 06 ⑤
 07 ① 08 ② 09 ⑤ 10 ① 11 ⑤ 12 (가) D
 (나) A (다) C 13 ④ 14 ③ 15 해설 참조 16 해설 참조
 17 해설 참조

01 ① (가)는 생물지리학적 증거, (나)는 비교해부학적 증거 중 상동 기관, (다)는 분자진화학적 증거이다.

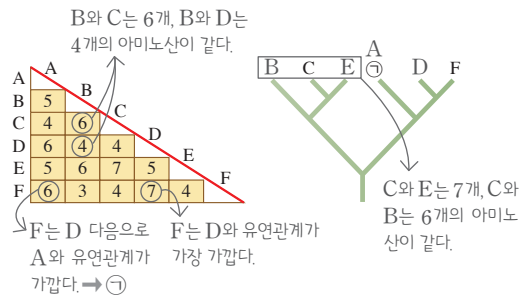
② 갈라파고스 군도의 각 섬에 사는 핀치는 먹이의 종류에 따라 부리의 모양이 다른 방향으로 진화하였는데, 이는 (가)와 같은 생물지리학적 증거에 해당한다.

④ 사람의 팔과 사자의 앞다리는 생김새와 기능은 다르지만 해부학적 구조나 발생 기원이 같은 상동 기관이다.

⑤ 글로빈 단백질을 이루는 아미노산의 서열 차이가 적을수록 최근에 공통 조상으로부터 분화하여 유연관계가 가깝다.

▣ **바로알기** ▣ ③ (나)는 비교해부학적 증거이고, 고래의 진화는 화석상의 증거의 예이다.

02 **꼼꼼** 문제 분석



ㄱ. F와 유연관계가 가장 가까운 D를 제외하고 F와 같은 아미노산의 개수가 가장 많은 생물종은 A이므로 ㉠은 A이다.

ㄴ. C와 E는 서로 다른 생물종이므로 생식적으로 격리되어 있다.

▣ **바로알기** ▣. B와 C는 6개의 아미노산이 같지만 B와 D는 4개의 아미노산이 같다. 따라서 B는 D보다 C와 유연관계가 더 가깝다.

03 ㄱ. (가)에서 귀를 움직이는 근육, 꼬리뼈는 모두 기능을 더 이상 수행하지 않고 현재는 흔적만 남겨나 쓰임새가 처음의 목적과 많이 달라진 흔적 기관이다.

ㄷ. 조류와 사람의 초기 배아에 모두 아가미 틈과 근육성 꼬리가 있다. 이것은 조류와 사람이 아가미와 근육성 꼬리를 가지고 있던 수중 척추동물로부터 진화하였음을 뒷받침한다.

▣ **바로알기** ▣ 나. (가)는 흔적 기관이므로 비교해부학적 증거이고, (나)는 척추동물의 발생 초기 배아의 유사성을 나타낸 것으로 진화발생학적 증거이다.

04 ▣. 대립유전자 Hb^S는 말라리아가 자주 발생하는 지역(가)에서 생존에 유리하게 작용하여 자연 선택된다. 따라서 Hb^S를 가진 사람의 비율은 말라리아가 발생하지 않는 지역보다 말라리아가 자주 발생하는 지역에서 높다.

나. (나)에서 유전자형이 Hb^AHb^A인 사람이 유전자형이 Hb^SHb^S인 사람보다 많으므로 대립유전자 Hb^A 빈도가 대립유전자 Hb^S의 빈도보다 높다.

▣ **바로알기** ▣ 다. 집단 내 대립유전자 Hb^S의 빈도가 (가)보다 (나)에서 낮으므로 말라리아 발생 빈도는 (가)보다 (나)에서 낮다.

05 ▣. 과정 (가)에서 돌연변이가 일어나 항생제 내성 대립유전자가 새롭게 만들어졌으며, 그 결과 집단의 개체들 사이에 변이가 나타났다.

다. 과정 (가)에서는 돌연변이가 일어났으며, 과정 (나)에서는 항생제 내성 형질에 대한 자연 선택이 일어났다. 돌연변이와 자연 선택은 모두 집단의 유전자풀을 변화시키는 요인이다.

▣ **바로알기** ▣ 나. 과정 (나) 이후 항생제 내성 세균 B의 비율이 증가하였으므로 과정 (나)에서 항생제가 사용되어 항생제 내성 세균 B가 생존에 유리한 환경이 되었다.

06 **꼼꼼** 문제 분석

구분	검푸른 날개 (AA)	푸른 날개 (Aa)	흰 날개 (aa)
부모 세대	220마리	190마리	90마리
자손 세대	440마리	380마리	180마리

- [부모 세대] 대립유전자의 총 수: $500 \times 2 = 1000$
 $\left\{ \begin{array}{l} \text{대립유전자 A의 빈도} = \frac{(220 \times 2) + 190}{1000} = 0.63 \\ \text{대립유전자 a의 빈도} = \frac{190 + (90 \times 2)}{1000} = 0.37 \end{array} \right.$
- [자손 세대] 대립유전자의 총 수: $1000 \times 2 = 2000$
 $\left\{ \begin{array}{l} \text{대립유전자 A의 빈도} = \frac{(440 \times 2) + 380}{2000} = 0.63 \\ \text{대립유전자 a의 빈도} = \frac{380 + (180 \times 2)}{2000} = 0.37 \end{array} \right.$

나. 부모 세대와 자손 세대에서도 날개 색과 유전자형에 따른 개체 수의 비율이 서로 같으므로 대립유전자 A의 빈도도 서로 같다.

다. 자손 세대에서 푸른 날개 두 개체의 유전자형은 각각 Aa이므로 이 두 개체 사이에서 태어나는 자손이 흰 날개(aa)일 확률은 $\frac{1}{4}$ 이다. (Aa × Aa → AA, Aa, Aa, aa)

▣ **바로알기** ▣ 가. 부모 세대와 자손 세대에서도 대립유전자 A의 빈도

는 0.63이고, 대립유전자 a의 빈도는 0.37이다. 그런데 자손에서 유전자형이 AA인 개체의 비율은 0.44로 $(0.63)^2$ 이 아니다. 따라서 이 집단은 유전적 평형 상태에 있지 않다.

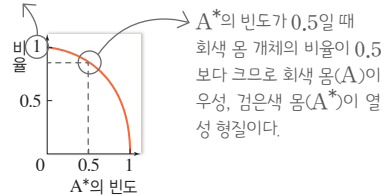
07 ▣. 대립유전자 A의 빈도를 p, 대립유전자 a의 빈도를 q라고 하면 멘델 집단의 경우 유전자형이 aa인 개체의 비율은 $q^2 = \frac{160}{1000} = 0.16$ 이므로 $p = 0.6$ 이고, $q = 1 - p$ 이므로 $q = 0.4$ 이다. 이 경우 유전자형이 AA인 개체의 비율은 $p^2 = 0.36$ 이고, Aa인 개체의 비율은 $2pq = 0.48$ 이다. ㉠보다 ㉡가 더 크므로 ㉠은 360, ㉡는 480이다. 따라서 ㉡ - ㉠ = 120이다.

▣ **바로알기** ▣ 나. (가)에서 유전자형이 AA인 개체의 비율은 0.36으로 $(0.6)^2$ 과 같다. 따라서 (가) 집단은 멘델 집단이다. (나)에서 유전자형이 AA인 개체의 비율은 0.48로 $(0.66)^2$ 과 같지 않다. 따라서 (나) 집단은 멘델 집단이 아니다.

다. (가)에서 대립유전자 A의 빈도는 $\frac{(360 \times 2) + 480}{2000} = 0.6$ 이고, (나)에서 대립유전자 A의 빈도는 $\frac{(480 \times 2) + 360}{2000} = 0.66$ 이다. 따라서 대립유전자 A의 빈도는 (가)보다 (나)에서 높다.

08 **꼼꼼** 문제 분석

A*의 빈도가 0일 때 회색 몸 개체의 비율이 1이므로 A*는 검은색 몸 대립유전자이다.



나. A의 빈도가 A*의 빈도의 2배인 집단에서는 A의 빈도(p)가 $\frac{2}{3}$, A*의 빈도(q)가 $\frac{1}{3}$ 이므로 회색 몸 개체의 비율은 $(p^2 + 2pq) = \left(\frac{2}{3}\right)^2 + 2\left(\frac{2}{3} \times \frac{1}{3}\right) = \frac{8}{9}$ 이고, 유전자형이 AA*인 개체의 비율은 $2pq = 2\left(\frac{2}{3} \times \frac{1}{3}\right) = \frac{4}{9}$ 이므로 회색 몸 개체 중 절반은 유전자형이 AA*이다.

▣ **바로알기** ▣ 가. 대립유전자 A*의 빈도가 0.5일 때 회색 몸 개체의 비율이 0.5보다 크므로 유전자형이 AA*일 때 회색 몸이 나타난다. 따라서 A는 A*에 대해 우성이다.

다. A*의 빈도(q)가 각각 0.1, 0.3, 0.5인 세 집단에서 각 집단의 검은색 몸 개체의 비율(q^2)은 각각 0.01, 0.09, 0.25이므로 검은색 몸 개체의 비율을 모두 더하면 합은 0.35이다.

09 ㄱ. 상자 2개에 흰색 바둑알(대립유전자 A)이 40개, 검은색 바둑알(대립유전자 a)이 60개씩 들어있으므로 부모 집단에서 대립유전자 A의 빈도는 $\frac{40 \times 2}{100 \times 2} = 0.4$, 대립유전자 a의 빈도는

$$\frac{60 \times 2}{100 \times 2} = 0.6 \text{이다.}$$

ㄴ. 자손 집단에서 A의 빈도(p)는 $\frac{(8 \times 2) + 24}{50 \times 2} = \frac{40}{100} = 0.4$,

a의 빈도(q)는 $\frac{24 + (18 \times 2)}{50 \times 2} = \frac{60}{100} = 0.6$ 이다.

ㄷ. 대립유전자 A와 a의 빈도가 세대를 거듭해도 변화가 일어나지 않으므로 이 집단은 멘델 집단이다.

10 ㄱ. X가 작용하여 특정 형질에 대한 개체 빈도가 증가하였으므로 환경에 유리한 형질을 가진 개체의 빈도를 증가시키는 자연 선택은 X에 해당한다.

▣ **바로알기** ㄴ. X가 작용하여 형질에 따른 개체 빈도가 변하였으므로 X는 유전자풀에 영향을 주었다.

ㄷ. 환경 변화에 대한 적응력이 큰 개체는 생존에 유리하기 때문에 점점 개체의 빈도가 높아지는 방향으로 자연 선택이 일어난다. 따라서 환경 변화에 대한 개체의 적응 능력의 차이는 자연 선택(X)에 중요한 요인으로 작용한다.

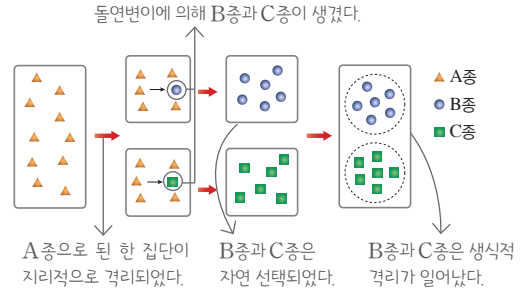
11 ㄴ. 육지에 서식하는 어떤 집단의 일부 개체가 섬으로 이주하여 새로운 집단을 형성하였으므로 어떤 집단에서 일부 개체가 떨어져 나와 새로운 집단을 형성할 때 나타나는 창시자 효과가 일어났다. 창시자 효과는 이주 직후 ㉠의 유전자풀이 이주 전 ㉡과 달라지게 한 요인에 해당한다.

ㄷ. 이주 직후 ㉠에서 A의 빈도는 $\frac{(4 \times 2) + 4}{10 \times 2} = \frac{12}{20} = 0.6$, a의 빈도는 $1 - 0.6 = 0.4$ 이다. 이주 직후부터 섬에 서식하는 집단 ㉠은 멘델 집단이 되었으므로 하디-바인베르크 법칙에 따라 다음 세대에 유전자형이 aa인 개체가 태어날 확률은 $(0.4)^2 = 0.16$ 이다.

▣ **바로알기** ㄱ. 이주 전 ㉡에서 A의 빈도(p)는 $\frac{(40 \times 2) + 120}{200 \times 2} = 0.5$, a의 빈도(q)는 $1 - p = 0.5$ 이다. 그런데 유전자형이 AA인 개체의 비율이 $\frac{40}{200} = 0.2$ 이므로 $(0.5)^2$ 과 같지 않다. 따라서 이주 전 ㉡은 유전적 평형 상태에 있지 않다.

12 A는 돌연변이, B는 자연 선택, C는 유전적 부동, D는 유전자 흐름의 모형이다. (가)는 이웃 집단과의 교류로 두 집단의 유전자풀이 섞이는 현상이므로 유전자 흐름, (나)는 집단에 없던 살충제 내성 해충이 출현하였으므로 돌연변이, (다)는 사냥에 의한 개체 수의 급격한 감소에 의해 유전자 빈도가 변하였으므로 유전적 부동의 예이다.

13 **꼼꼼** 문제 분석



ㄱ. 지리적 격리가 일어난 후 종분화가 일어났다.

ㄴ. 격리된 각 집단에서 B종과 C종은 돌연변이에 의해 생긴 것이고, 이들 종이 많아진 것은 자연 선택이 일어난 것이다.

▣ **바로알기** ㄷ. B와 C는 생식적으로 격리된 서로 다른 종이므로 이들이 교배하여도 생식 능력이 있는 자손을 낳을 수 없다.

14 ㄱ. A~D는 서로 다른 생물종이므로 생식적으로 격리되어 있다.

ㄴ. A가 섬으로 이주한 후 B의 종분화가 일어났으므로 지리적 격리는 B의 종분화에 영향을 준 요인이다.

▣ **바로알기** ㄷ. C와 D는 서로 다른 종이므로 C로부터 D가 분화될 때 유전자풀의 변화가 일어났다.

15 분자진화학적 증거에 따르면 DNA 염기 서열이나 단백질의 아미노산 서열 차이가 클수록 오래전에 공통 조상으로부터 분화한 것이므로 유연관계가 멀다.

▣ **모범답안** 개구리, 사람과 차이 나는 아미노산의 비율이 가장 높기 때문이다.

채점 기준	배점
개구리라고 쓰고, 그 근거를 옳게 서술한 경우	100 %
개구리만 쓴 경우	50 %

16 달팽이는 총 10마리이므로 달팽이 집단의 대립유전자의 총 수는 20개이다. 이중 대립유전자 A의 수는 4개이므로 대립유전자 A의 빈도(p)는 $\frac{4}{20} = 0.2$ 이다. 따라서 대립유전자 a의 빈도(q)는 0.8이다.

▣ **모범답안** 대립유전자 A의 빈도(p)가 0.2이므로 대립유전자 a의 빈도(q)는 0.8이다. 자손 세대에서 흰색 달팽이가 나타날 확률은 q^2 이므로 $(0.8)^2 = 0.64$ 이다. 따라서 400마리 중에서 흰색 달팽이는 $0.64 \times 400 = 256$ (마리)이다.

채점 기준	배점
흰색 달팽이의 개체 수와 풀이 과정을 모두 옳게 서술한 경우	100 %
흰색 달팽이의 개체 수만 옳게 쓴 경우	50 %

17 고리종은 인접한 집단 사이에는 교배가 가능하지만 고리의 양 끝에 있는 집단 사이에는 교배가 불가능한 집단들의 모임이다.

모범답안 A-B, F-G 사이에서는 각각 교배가 가능하지만, A-G 사이에서는 생식적 격리가 일어나 교배가 불가능하다.

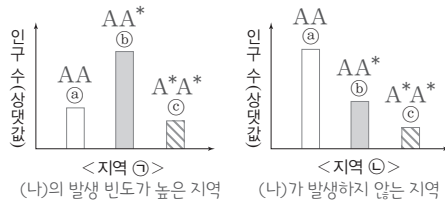
채점 기준	배점
A-B, F-G 사이에서 교배가 가능한 것과, A-G 사이에서 생식적 격리가 일어났다는 것을 모두 옳게 서술한 경우	100%
A-B, F-G 사이에서 교배가 가능한 것과, A-G 사이에서 생식적 격리가 일어났다는 것 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50%

수능 실전 문제

326쪽~327쪽

01 ② 02 ② 03 ① 04 ⑤ 05 ① 06 ②

01 **꼼꼼** 문제 분석



- A*은 (나)의 발생 빈도가 높은 지역(①)에서는 생존에 유리하게 작용하여 자연 선택된다. → A*을 가진 사람의 비율은 (나)가 발생하지 않는 지역(②)보다 (나)의 발생 빈도가 높은 지역(①)에서 높다.
- (나)가 발생하지 않는 지역(②)에서는 유전자형에 따른 환경 적응력이 (가)가 나타나지 않는 AA(③)가 가장 높고, (가)가 약하게 나타나는 AA*(⑥)가 그 다음, (가)가 심하게 나타나는 A*A*(⑦)가 가장 낮다. (나)의 발생 빈도가 높은 지역인 ①에서는 유전자형이 AA*(⑥)와 A*A*(⑦)인 인구 수가 각각 ②에서보다 높다.

선택지 분석

- A를 가진 사람이 (나)에 대한 저항성을 나타낸다. A*
- 유전자형이 AA*인 사람의 빈도는 ①보다 ②에서 높다.
- 자연 선택에 의해 ①과 ②에서 A*의 빈도가 서로 다르다.

다. A*의 빈도는 ②보다 ①에서 높는데, 이것은 ②보다 ①에서 A*를 가진 개체가 생존에 유리하여 자연 선택이 일어났기 때문이다.

바로알기 ㄱ. A*의 빈도가 ②보다 ①에서 높으므로 A*를 가진 사람이 (나)에 대한 저항성을 나타낸다.

ㄴ. 유전자형이 AA*(⑥)인 사람의 빈도는 ①보다 ②에서 낮다.

03

선택지 분석

- ① $\frac{1}{15}$
- ② $\frac{1}{30}$
- ③ $\frac{1}{32}$
- ④ $\frac{1}{45}$
- ⑤ $\frac{1}{64}$

(i) 자손 세대에서 부모(회색 몸과 긴 날개)와 형질이 다른 노란색 몸과 짧은 날개의 개체가 각각 나타났으므로 회색 몸(A)이 노란색 몸(a)에 대해 우성이고, 긴 날개(B)가 짧은 날개(b)에 대해 우성이다.

(ii) 자손 세대에서 같은 수컷이라도 노란색 몸 수컷의 비율(노란색일 확률($\frac{1}{2}$) × 수컷일 확률($\frac{1}{2}$) = $\frac{1}{4}$)이 짧은 날개 수컷(짧은 날개일 확률($\frac{1}{4}$) × 수컷일 확률($\frac{1}{2}$) = $\frac{1}{8}$)의 비율보다 높으므로 몸 색깔은 X 염색체에 의한 유전 형질이고, 날개 길이는 상염색체에 의한 유전 형질이다.

(iii) 따라서 부모 중 회색 몸·긴 날개 암컷(⊖)의 유전자형은 X^AX^a·Bb이고, 회색 몸·긴 날개 수컷의 유전자형은 X^AY·Bb이다. 암컷 5000마리와 수컷 5000마리로 구성된 P에서 A의 빈도를 p, a의 빈도를 q라고 하면, 노란색 몸 암컷(X^aX^a)의 개체 수는 5000q²=3200이므로 q=0.8이고, p=1-0.8=0.2이다.

(iv) P에서 B의 빈도를 p', b의 빈도를 q'라고 하면, 짧은 날개 수컷의 개체 수는 5000q'²=1250이므로 q'=0.5, p'=1-0.5=0.5이다.

(v) ⊖의 유전자형은 X^AX^aBb이므로 몸 색깔의 경우, 암컷 자손이 노란색 몸(X^aX^a)을 가지기 위해서는 임의의 수컷의 유전자형이 X^AY와 X^aY 중 X^aY이어야 하며, 이 확률은 q=0.8이다.

(vi) 따라서 자손이 노란색 몸 암컷(X^aX^a)일 확률은 $0.8 \times \frac{1}{4}$ (X^AX^a × X^aY → X^AX^a, X^AY, X^aX^a, $\overline{X^aY}$ X^aY) = $\frac{1}{5}$ 이다.

날개 길이의 경우, 자손이 짧은 날개(bb)를 가지기 위해서는 긴 날개 수컷의 유전자형이 BB와 Bb 중 Bb이어야 하며, 이 확률은 $\frac{2p'q'}{p'^2+2p'q'} = \frac{0.50}{0.25+0.50} = \frac{2}{3}$ 이다. 따라서 자손이 짧은 날개

(bb)일 확률은 $\frac{2}{3} \times \frac{1}{4}$ (Bb × Bb → BB, Bb, Bb, \overline{bb}) = $\frac{1}{6}$ 이다.

(vii) 구하고자 하는 확률은 $\frac{1}{5} \times \frac{1}{6} = \frac{1}{30}$ 이다.

03

선택지 분석

- ㉠ 병목 효과는 유전적 부동의 한 현상이다.
- 자연 선택은 개체 간 변이의 원인 중 하나이다.
 - 개체 간의 변이를 발생시키는 원인에는 돌연변이 등이 있다.
- 유전자 흐름은 환경 변화에 의해 집단의 크기가 줄어들면서 그 집단의 대립유전자 빈도가 변하는 것이다. **병목 효과**

ㄱ. 유전적 부동이란 가뭄, 산불, 지진 등과 같은 천재지변이나 이주 등 우연한 사건에 의해서 대립유전자 빈도가 변하는 현상으로, 집단의 크기가 작을 때 잘 일어난다. 유전적 부동에는 병목 효과와 창시자 효과가 있다.

▶ **바로알기** ㄴ. 개체 간의 변이를 발생시키는 대표적인 원인에는 돌연변이가 있다.

ㄷ. 유전자 흐름은 집단 사이에서 개체의 이주 등으로 인해 대립유전자의 교류가 일어나면서 대립유전자 빈도가 달라지는 것이다. 환경 변화에 의해 집단의 크기가 줄어들면서 집단의 대립유전자가 변하는 현상은 유전적 부동 중 병목 효과이다.

04

▶ 선택지 분석

- 습지가 형성되면서 종분화 가능성이 낮아졌다. **높아졌다.**
- 유전자풀의 변화 요인으로 자연 선택이 작용하였다.
- 습지가 형성되면서 중간 크기 부리를 나타나게 하는 대립유전자 빈도가 감소하였다.

ㄴ. 습지가 형성된 후에는 핀치의 먹이가 딱딱하거나 부드러운 씨앗만 존재하였다. 따라서 중간 크기 부리 개체의 비율이 높은 (나)는 습지가 형성되기 전이고, 작은 크기 부리와 큰 크기 부리 개체의 비율이 각각 높은 (가)는 습지가 형성된 후이다. (나)에서 (가)로 변화된 것은 먹이 종류에 따른 부리 형질에 대해 자연 선택이 작용하였기 때문이다.

ㄷ. 습지가 형성되면서 중간 크기 부리 개체 비율이 감소하였으므로 중간 크기 부리를 나타나게 하는 대립유전자 빈도가 감소하였다.

▶ **바로알기** ㄱ. 습지가 형성되면서 집단 X를 구성하는 개체의 부리 크기가 작은 집단과 큰 집단으로 나누어졌으므로 종분화 가능성이 높아졌다.

05 **꼼꼼** 문제 분석



동물 종	염기 서열
I	GT T AAAC
II	GT G AAAG → A와 2개 차이
III	GT G TAGC → A와 3개 차이

I과 II는 유전자의 염기 서열이 2개가 차이 나지만, I과 III은 유전자의 염기 서열이 3개가 차이 난다. → II의 분화가 III의 분화보다 나중에 일어났다.

▶ 선택지 분석

- II의 분화가 III의 분화보다 **먼저** 일어났다. **나중에**
- II는 지리적 격리에 의한 종분화로 출현하였다.
- II와 III 사이에서 태어나는 자손은 생식 능력이 있다.

ㄴ. I과 II는 섬이 분리되면서 서로 떨어진 지역에 분포하므로 II의 종분화는 지리적 격리에 의해 일어났다.

▶ **바로알기** ㄱ. 유전자의 염기 서열이 I과 II는 2개가 차이 나지만, I과 III은 3개가 차이 난다. 따라서 I은 III보다 II와 유연관계가 가까우므로 II의 분화가 III의 분화보다 나중에 일어났다.

ㄷ. II와 III은 서로 다른 종이므로 이 둘 사이에서 생식 능력이 있는 자손은 태어나지 않는다.

06

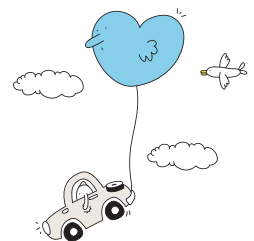
▶ 선택지 분석

- 과정 I에서 창시자 효과가 일어났다.
 - 자연 선택이 일어났거나 유전적 부동(천재지변) 등이 일어났음을 알 수 있다.
- A와 B의 유연관계보다 A와 C의 유연관계가 가깝다.
 - 유연관계를 알 수 없다.
- B와 C는 생식적으로 격리되어 있다.

ㄷ. A~C는 서로 다른 생물학적 종이므로 B와 C는 생식적으로 격리되어 있다.

▶ **바로알기** ㄱ. A가 사라지고, B와 C만 남은 것으로 보아 격리된 두 지역에서 자연 선택이 일어났거나 천재지변 등이 일어났음을 알 수 있다.

ㄴ. 이 자료를 통해서 A와의 유연관계를 알 수 없다.





VI. 생명 공학 기술과 인간 생활

1 생명 공학 기술

01 생명 공학 기술의 원리

개념 확인 문제

335쪽

- ① 유전자 재조합 기술 ② 플라스미드 ③ 제한 효소
 ④ DNA 연결 효소 ⑤ 대장균(숙주 세포) ⑥ 재조합 DNA(재조합 플라스미드)

- 1 (1) ○ (2) × (3) ○ 2 (1) ≙ (2) ≡ (3) ≡ (4) ≡
 3 플라스미드 4 (마) → (라) → (가) → (다) → (나)

1 유전자 재조합 기술은 DNA를 인위적으로 자르고 연결하여 새로운 유전자 조합을 가진 DNA를 만드는 생명 공학 기술이다.

- (1) 재조합 DNA는 플라스미드와 같은 DNA 운반체에 유용한 유전자를 삽입하여 만들 수 있다.
 (2) 사람의 인슐린 유전자가 재조합된 플라스미드를 대장균에 도입하여 인슐린을 생산하는 대장균을 만드는 것처럼 서로 다른 생물종의 유전자를 재조합할 수 있다.
 (3) 유전자 재조합 기술을 활용하면 특정 유전자나 유용한 단백질을 대량으로 생산할 수 있다.

2 유전자 재조합에는 유용한 유전자 외에 DNA 운반체, 제한 효소, DNA 연결 효소, 숙주 세포가 필요하다.

- (1) 제한 효소에 의해 잘린 두 DNA 조각을 연결하는 효소는 DNA 연결 효소이다.
 (2) 재조합 DNA를 도입 받는 세포는 숙주 세포로, 주로 대장균이 사용된다.
 (3) 유용한 유전자를 숙주 세포로 운반하는 DNA는 DNA 운반체로, 주로 플라스미드가 사용된다.
 (4) DNA의 특정 염기 서열을 인식하여 자르는 효소는 제한 효소이다.

3 플라스미드는 세균이 가진 작은 원형의 DNA로, 숙주의 염색체와는 독립적으로 증식하고, 크기가 작아 세균에서 분리하여 조작하기 쉬우며, 세포 안으로 쉽게 도입될 수 있다. 따라서 플라스미드는 유전자 재조합 과정에서 유용한 유전자를 숙주 세포로 운반하는 DNA 운반체로 사용된다.

4 적절한 제한 효소로 사람의 유용한 유전자와 대장균의 플라스미드를 자르고(마), DNA 연결 효소로 유용한 유전자와 플라스미드를 연결하여 재조합 DNA를 만든다(라), 재조합 DNA를 대장균에 도입하고(가), 재조합 DNA를 가진 대장균을 선별하여(다) 배양하면 유용한 단백질을 대량으로 얻을 수 있다(나).

개념 확인 문제

337쪽

- ① 핵치환 ② 조직 배양 ③ 세포 융합

- 1 (1) ○ (2) × (3) × 2 (1) × (2) × (3) ○ (4) ○

1 (1) 복제 동물의 핵 DNA는 핵을 제공한 A와 같다.
 (2), (3) 복제 동물은 A의 체세포(젓샘 세포)와 B의 무핵 난자를 융합하는 핵치환 기술을 활용하여 만들어졌다.

2 (1) 핵치환 기술을 통해 태어난 개체는 핵을 제공한 개체와 유전적으로 같으며, 난자를 제공한 개체와는 유전적으로 다르다.
 (2), (3) 식물은 하나의 체세포로부터 완전한 식물체를 만들 수 있으므로 조직 배양을 통해 유전적으로 같은 여러 개체를 만들 수 있지만, 동물은 조직 배양을 하더라도 하나의 체세포로부터 완전한 개체를 만들 수 없다.
 (4) 단일 클론 항체(B 림프구+암세포), 무추(무+배추)는 모두 서로 다른 두 종류의 세포를 융합하여 새로운 잡종 세포를 만드는 세포 융합 기술을 활용한 예이다.

대표 자료 분석

338쪽

- 자료 ① 1 (가) 제한 효소 (나) DNA 연결 효소 2 플라스미드
 3 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ (5) ○ (6) ○ (7) ×
 자료 ② 1 핵치환 2 A 3 (1) × (2) × (3) ○ (4) ×
 (5) × (6) ○ (7) ○ (8) ○

①-1 (가)는 사람의 DNA와 대장균의 플라스미드에 제한 효소를 처리하여 인슐린 유전자와 플라스미드를 자르는 과정이고, (나)는 인슐린 유전자와 플라스미드에 DNA 연결 효소를 처리하여 재조합 DNA를 만드는 과정이다.

①-2 대장균에서 분리한 A는 염색체와는 별도로 존재하는 플라스미드이다.

- ①-3 (1) 플라스미드(A)는 인슐린 유전자를 대장균으로 운반하는 DNA 운반체로 사용되었다.
- (2) 인슐린 유전자와 플라스미드를 자를 때는 같은 제한 효소를 사용하여 잘린 DNA 말단의 염기가 상보적으로 결합할 수 있다.
- (3) ㉠은 숙주 세포로 사용되는 대장균으로, 형질 전환 대장균의 선별을 쉽게 하기 위해 플라스미드가 없는 것을 사용한다. 대장균 염색체가 없으면 대장균은 생존할 수 없다.
- (4) ㉡은 사람의 인슐린 유전자가 도입된 형질 전환 대장균이다.
- (5), (6) (다) 과정에서는 조직 배양 기술을 활용하여 대장균을 증식시키며, 이때 재조합 DNA가 복제된다.
- (7) 이와 같은 방법을 활용하면 형질 전환 생물을 만들 수 있다. 복제 동물을 만드는 데는 핵치환 기술이 활용된다.

②-1 C를 만드는 과정에서 A의 젓샘세포와 B의 무핵 난자를 융합하는 핵치환 기술이 활용되었다.

②-2 C를 만들 때 핵을 제공한 개체는 A이므로 C의 핵 DNA는 A의 것과 같다.

- ②-3 (1) C는 핵을 제공한 A를 복제한 양이다.
- (2) A와 C는 핵 DNA가 같으므로 성별이 같다.
- (3) ㉠ 과정에서 B의 난자로부터 핵을 제거해 무핵 난자를 만들었다.
- (4) ㉡는 젓샘 세포(2n)와 무핵 난자가 융합되어 만들어진 세포이므로 핵상이 2n이다.
- (5) C의 체세포에는 B에서 유래된 미토콘드리아 DNA가 있다.
- (6) C는 핵을 제공한 A와 세포질의 미토콘드리아를 제공한 B로부터는 DNA를 물려받았지만, 대리모로부터는 DNA를 물려받지 않았다.
- (7) C를 만드는 과정 중 젓샘 세포를 배양하는 과정과 융합된 세포(㉡)를 배양하는 과정에서 조직 배양 기술이 활용되었다.
- (8) C를 만드는 데 활용된 핵치환 기술을 통해 특정 개체를 복제할 수 있으므로, 이 기술은 멸종 위기 동물을 보존하는 데에도 활용될 수 있다.

내신 만점 문제

339쪽~341쪽

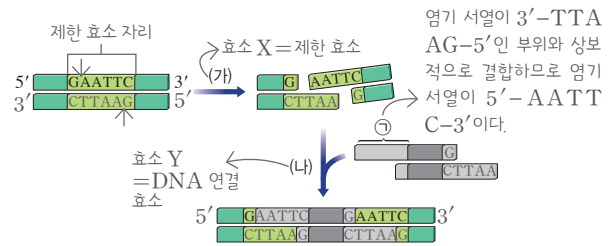
- | | | | | |
|------|------|------|------|----------|
| 01 ④ | 02 ③ | 03 ④ | 04 ② | 05 해설 참조 |
| 06 ② | 07 ④ | 08 ③ | 09 ⑤ | 10 ⑤ |
| 12 ④ | 13 ⑤ | | | |

01 • 학생 A: 유전자 재조합 과정에서는 유용한 유전자와 DNA 운반체를 연결하여 재조합 DNA를 만든다.

• 학생 C: 유전자 재조합 기술을 활용하면 유용한 유전자가 도입된 형질 전환 생물을 만들 수 있다.

▮ **바로알기** ▮ 학생 B: 사람의 인슐린을 생산하는 대장균과 같이 사람의 유전자가 재조합된 DNA는 사람이 아닌 다른 생물의 세포에 도입될 수 있다.

02 **꼼꼼** 문제 분석



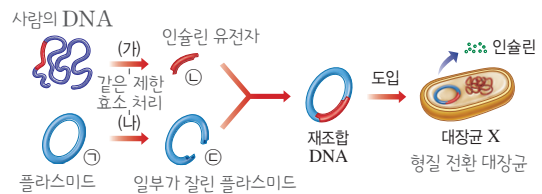
한 가지 제한 효소는 DNA의 특정 염기 서열 부위만을 인식해 DNA를 자른다.
→ 제한 효소 X는 염기 서열이 5'-GAATTC-3'인 부위만 자르는 *EcoRI* 이다.

다. (나)는 잘린 두 DNA를 하나로 연결시키는 과정이므로 이 과정에 사용된 Y는 DNA 연결 효소이다. DNA 연결 효소는 두 DNA의 말단에서 5'-인산기와 3'-OH기 사이의 공유 결합 형성을 촉매한다.

▮ **바로알기** ▮ ㉠. ㉠ 부위는 효소 X에 의해 잘린 DNA 조각의 말단 부위와 상보적인 염기 서열을 가지므로 염기 서열이 5'-AATTC-3'이다.

㉡. (가)는 DNA가 잘리는 과정이므로 이 과정에 사용된 X는 제한 효소이다. 한 종류의 제한 효소는 DNA의 특정 염기 서열 부위만을 인식하여 자른다.

03 **꼼꼼** 문제 분석



유전자 재조합 기술을 활용하여 사람의 인슐린을 생산하는 형질 전환 대장균을 만드는 과정이다.

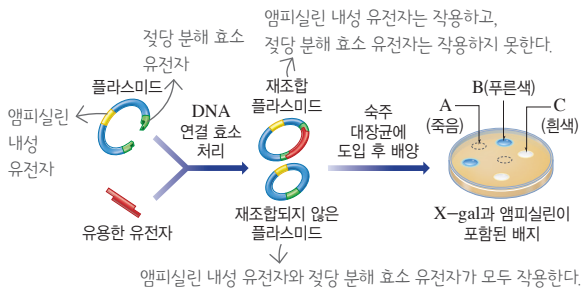
㉠. ㉠은 세균의 플라스미드로, 인슐린 유전자를 대장균으로 운반하는 DNA 운반체로 사용된다.

르. X는 사람의 인슐린 유전자(ⓐ)가 포함된 재조합 DNA를 가지고 있어 사람의 인슐린을 생산하므로 유전자 재조합 기술을 통해 새로운 형질을 갖게 된 형질 전환 대장균이다.

▣ **바로알기** ▣ ㄱ. (가)는 사람의 DNA로부터 인슐린 유전자를 잘라내는 과정이고, (나)는 세균의 플라스미드를 자르는 과정으로, 인슐린 유전자와 플라스미드의 결합을 위해 같은 제한 효소가 사용된다.

ㄷ. ⓐ는 사람의 DNA로부터 잘라낸 인슐린 유전자이고, ⓑ은 고리 모양의 플라스미드를 자른 것이다.

04 **꼼꼼** 문제 분석



- A: 앰피실린 내성이 없다. → 플라스미드를 가지지 않은 숙주 대장균이다.
- B: 앰피실린 내성이 있고, 젓당 분해 효소를 합성한다. → 유용한 유전자가 재조합되지 않은 플라스미드를 가진다.
- C: 앰피실린 내성이 있고, 젓당 분해 효소를 합성하지 못한다. → 유용한 유전자가 재조합된 플라스미드를 가진다.

ㄴ. X-gal과 앰피실린이 포함된 배지를 이용하여 형질 전환 대장균을 선별하므로 형질 전환 대장균은 숙주 대장균과 달리 앰피실린에 내성을 가진다. 따라서 유용한 유전자는 플라스미드의 젓당 분해 효소 유전자 내부에 재조합되며, 유용한 유전자가 도입된 형질 전환 대장균은 앰피실린 내성은 가지지만, 젓당 분해 효소는 합성하지 못하므로 X-gal을 분해하지 못해 배지에서 흰색 군체를 형성한다. 따라서 선별하여 증식시키고자 하는 대장균은 C이다.

▣ **바로알기** ▣ ㄱ. 숙주 대장균은 재조합 플라스미드가 도입되었는지를 확인하기 쉽도록 플라스미드가 없는 것을 사용한다. 따라서 숙주 대장균은 앰피실린 내성이 없고 젓당 분해 효소를 합성하지 못한다.

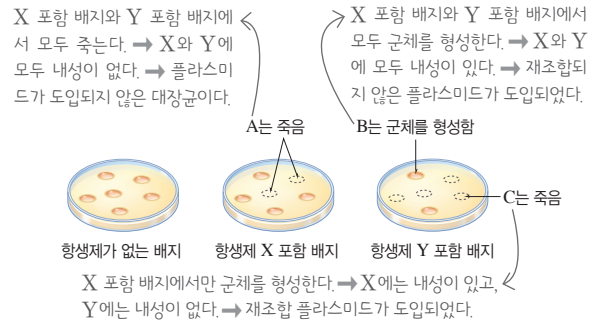
ㄷ. 유용한 유전자는 플라스미드의 젓당 분해 효소 유전자 내부에 삽입된다.

05 재조합되지 않은 플라스미드가 도입된 대장균은 앰피실린 내성을 가지면서 젓당 분해 효소를 합성한다.

모범답안 B. 젓당 분해 효소를 합성하므로 배지의 X-gal을 분해하여 군체가 푸른색을 띠기 때문이다.

채점 기준	배점
B를 쓰고, 젓당 분해 효소를 합성해 X-gal을 분해하여 군체가 푸른색을 띠기 때문이라고 서술한 경우	100%
B를 쓰고, 군체가 푸른색을 띠기 때문이라고만 서술한 경우	60%
B만 쓴 경우	30%

06 **꼼꼼** 문제 분석

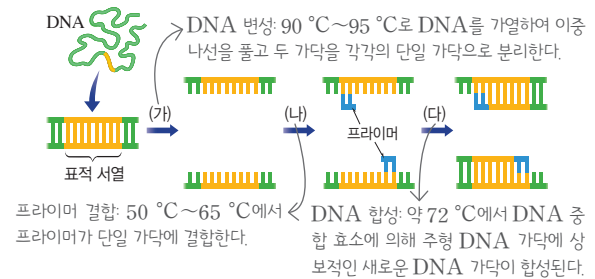


ㄴ. C는 항생제 X가 포함된 배지에서는 증식하지만, Y가 포함된 배지에서는 증식하지 못한다. 따라서 C는 Y에 대한 내성을 갖지 않으므로 X와 Y가 모두 포함된 배지에서 생존하지 못한다.

▣ **바로알기** ▣ ㄱ. 재조합 플라스미드가 도입된 형질 전환 대장균은 항생제 X와 Y 중 한 가지에만 내성을 나타내므로 X에는 내성이 있고 Y에는 내성이 없는 C가 형질 전환 대장균이다.

ㄷ. C는 Y에 대한 내성을 갖지 않으므로 유용한 유전자는 항생제 Y 내성 유전자 내부에 삽입되었다.

07 **꼼꼼** 문제 분석

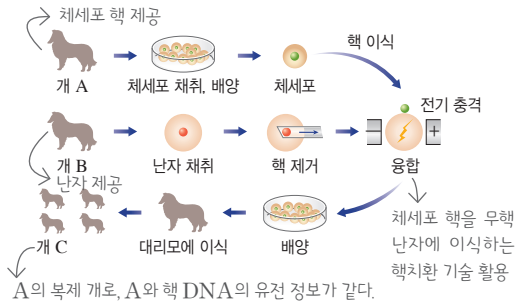


ㄱ. (가)에서는 열을 가해 두 가닥 DNA 사이의 수소 결합을 끊어 이중 가닥을 단일 가닥으로 분리하는 DNA 변성이 일어난다.

ㄷ. 분리된 주형 가닥에 프라이머가 결합한 후 (다)에서 DNA 중합 효소에 의해 주형 가닥과 상보적인 가닥이 합성되면서 DNA가 복제된다.

▶ **바로알기** ㄴ. PCR 과정 중 DNA를 변성시키는 (가) 과정에서 온도가 가장 높다.

08 **꼼꼼** 문제 분석

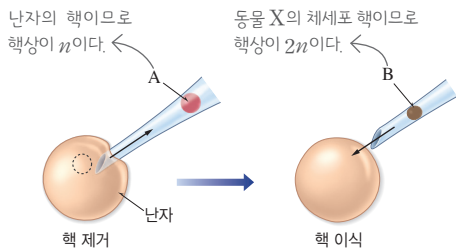


ㄱ. C를 만들 때 A의 체세포 핵과 B의 무핵 난자가 이용되었으므로 A와 C의 핵 DNA의 유전 정보는 같다.

ㄴ. C를 만드는 데 무핵 난자에 체세포 핵을 이식하는 핵치환 기술이 활용되었다.

▶ **바로알기** ㄷ. C는 미토콘드리아 DNA를 미토콘드리아가 존재하는 세포질(무핵 난자)을 제공한 B로부터 물려받았다.

09 **꼼꼼** 문제 분석



동물 X를 복제하기 위해 핵이 제거된 난자에 동물 X의 체세포 핵을 이식하는 핵치환 과정이다.

ㄴ. 핵치환 기술을 활용하여 동물 X를 복제하기 위한 과정이므로 이식하는 B는 동물 X로부터 채취한 체세포의 핵이다.

ㄷ. 핵치환 기술을 활용하면 교배 과정을 거치지 않고 체세포의 핵을 이용하여 생물을 탄생시킬 수 있다.

▶ **바로알기** ㄱ. A는 난자의 핵이므로 핵상이 n이고, B는 동물 X의 체세포 핵이므로 핵상이 2n이다.

10 ㄱ. 당근 세포를 영양 배지에서 배양하였으므로 조직 배양 기술이 활용되었다.

ㄴ. ㉠은 영양 배지에서 배양하면 세포 분열을 통해 증식하므로 뿌리에 있는 분열 조직에서 추출한 세포이다.

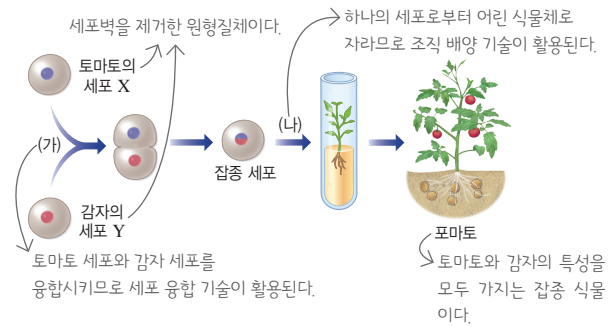
ㄷ. 식물은 하나의 체세포가 완전한 개체로 발생할 수 있으므로 ㉠은 적절한 배양 조건에서 완전한 식물체로 발생할 수 있다.

11 ㄴ. ㉠은 캘러스로, 캘러스를 구성하는 세포에는 개체를 형성하는 데 필요한 모든 정보가 들어 있어 적절한 조건에서 계속 분열시키면 새로운 식물체로 발생한다.

ㄷ. 식물은 하나의 세포로부터 완전한 개체로의 발생이 가능하므로 개체의 복제가 가능하다. 따라서 (라)의 결과 얻은 개체는 식물 X와 유전적으로 동일하다.

▶ **바로알기** ㄱ. 뿌리의 형성층을 구성하는 세포는 활발하게 분열하므로 조직 배양에 적합한 반면, 물관을 구성하는 세포는 더 이상 분열하지 않는 세포이므로 조직 배양에 적합하지 않다.

12 **꼼꼼** 문제 분석



ㄱ. 식물 세포는 단단한 세포벽이 있어 그대로는 두 세포를 하나로 융합시키기 어려우므로 융합 전에 세포벽을 제거해야 한다. 세포 X와 Y는 세포 융합이 일어나기 전 단계의 세포이므로 세포 융합을 위해 세포벽을 제거한 원형질체이다.

ㄷ. 포마토는 토마토 세포와 감자 세포를 융합시켜 만든 것이므로 토마토와 감자의 특성을 모두 가진다.

▶ **바로알기** ㄴ. (가)에서는 토마토 세포와 감자 세포를 융합시키는 세포 융합 기술이 활용된다. 핵치환은 핵이 제거된 세포에 다른 세포의 핵을 이식하는 기술이다. (나)에서는 잡종 세포를 영양 배지에서 배양하여 어린 식물체로 발생시키므로, 이 과정에 조직 배양 기술이 활용된다.

13 ㄱ. (가)는 무핵 난자와 같은 핵이 제거된 세포에 다른 세포의 핵을 이식하는 핵치환 기술이다.

ㄴ. (나)는 무균 상태에서 세포를 배양하는 조직 배양 기술이다. 조직 배양 기술을 활용하면 식물의 세포를 완전한 개체로 발생시킬 수 있으므로 식물 복제가 가능하다.

ㄷ. (다)는 두 세포를 융합시켜 잡종 세포를 만드는 세포 융합 기술이다. 무추는 세포 융합 기술을 활용하여 무의 세포와 배추의 세포를 융합시켜 만든다.



2 생명 공학 기술의 활용과 전망

개념 확인 문제

344쪽

- ① 단일 클론 항체 ② 항체 ③ 암세포 ④ 항체
 ⑤ 유전자 치료 ⑥ 배아 ⑦ 성체 ⑧ 유도 만능

- 1 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ 2 ㉠ B 림프구, ㉡ 암세포
 3 유전자 치료 4 (1) × (2) ○ (3) × (4) ×

- 1** (1) 단일 클론 항체는 유전 정보가 같은 잡종 세포 집단인 클론에서 만들어지는 한 종류의 항체이다.
 (2) 단일 클론 항체는 모두 동일한 항원 결정기에 결합하는 단일한 구조로 되어 있다.
 (3) 단일 클론 항체는 세포 융합 기술을 활용하여 B 림프구와 암세포를 융합시켜 만든다.
 (4) 단일 클론 항체를 활용하면 암, 간염, 말라리아, 후천성 면역결핍증(AIDS) 등의 질병을 신속하고 정확하게 진단할 수 있다.

- 2** 단일 클론 항체는 항체를 생산하지만 생명체 밖에서는 분열하지 않고 수명이 짧은 B 림프구(㉠)와 인공 배지에서 빠르게 분열하며 수명이 반영구적인 암세포(㉡)를 융합시켜 만든 잡종 세포로부터 얻는다.

- 3** 제시된 질병 치료 방법은 바이러스를 DNA 운반체로 사용하여 정상 유전자를 환자의 골수 세포에 도입함으로써 유전병을 치료하는 유전자 치료이다.

- 4** (1) 수정란으로부터 얻은 배아 줄기세포는 환자에게 이식하였을 때 면역 거부 반응이 나타날 수 있다.
 (2) 복제 배아 줄기세포는 핵치환 기술을 활용하여 환자의 체세포 핵을 추출한 다음 핵을 제거한 난자에 이식해 만든 배아로부터 얻는다.
 (3) 배아 줄기세포는 발생 초기의 배아로부터 얻어 인체를 구성하는 모든 세포로 분화할 수 있지만, 성체 줄기세포는 성체의 조직으로부터 얻어 분화될 수 있는 세포의 종류가 제한적이다.
 (4) 유도 만능 줄기세포를 만드는 과정에는 환자 자신의 체세포가 사용되며, 만드는 과정에 난자가 필요한 줄기세포는 복제 배아 줄기세포이다.

개념 확인 문제

347쪽

- ① 유전자 변형 생물체(LMO) ② 안전성 ③ 인간 복제
 ④ 배아

- 1 (1) × (2) ○ (3) × (4) × 2 (1) L (2) ㄱ (3) ㄷ 3 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○ 4 ㉠ 생명 윤리법, ㉡ 생명 윤리

- 1** (1) 유전자 변형 생물체(LMO)는 세포 융합 기술뿐만 아니라 유전자 재조합 기술 등 다양한 생명 공학 기술을 활용하여 만든다.
 (2) 유전자 변형 생물체(LMO)는 다른 생물의 유용한 유전자를 가지고 이를 발현시킨다.
 (3) 중금속을 흡수하는 식물, 바이오 에탄올용 고구마 등과 같은 유전자 변형 생물체(LMO)는 환경 문제와 에너지 문제를 해결하는데 활용된다.
 (4) LMO는 생물 그 자체를 의미하고, GMO는 LMO뿐 아니라 LMO로 만든 식품이나 가공물까지 모두 포함한다. 따라서 유전자 변형 옥수수는 LMO에 해당하며, 이를 이용하여 만든 통조림은 GMO에 해당한다.

- 2** 독성 물질을 분해하는 세균(ㄱ)은 오염 물질을 분해하여 환경 정화에 도움을 주도록 개발된 생물이고, 성장 속도가 빠르고 크게 자라는 연어(ㄴ)는 생산성이 높은 식량 자원으로 개발된 생물이며, 사람의 혈액 응고 단백질을 젖으로 분비하는 염소(ㄷ)는 의학적으로 유용한 물질을 생산하도록 개발된 생물이다.

- 3** (1) 질병 치료, 식량 증산을 통한 기아 문제 해결은 생명 공학 기술 활용의 긍정적인 면에 해당한다.
 (2) 핵치환 기술의 발달로 동물 복제가 인간 복제로 이어지면 인간의 존엄성이 훼손될 수 있다.
 (3) LMO로 만든 식품은 안전성이 충분히 검증되지 않아 인류의 건강을 위협할 수 있다.
 (4) 특정 유전자나 LMO가 특허 대상이 되어 이를 소수 기업이 독점하게 되면 유전자 사용에 대한 법적 분쟁이 생길 수 있다.

- 4** 생명 공학 기술의 올바른 활용을 위해 우리나라에서는 인간, 배아, 유전자 등을 연구할 때 인간의 존엄과 가치를 침해하거나 인체에 위해를 끼치는 것을 방지하기 위해 생명 윤리법(㉠)이 제정되어 있다. 또한 모든 생명은 존귀하며 수단이 아닌 그 자체로서의 목적성을 가진다는 것을 인식하고, 인간과 자연의 동반자적 관계가 바탕이 된 올바른 생명 윤리(㉡)가 확립되어야 한다.

자료 1 1 ㉠, ㉡ 2 세포 융합 기술 3 (1)○ (2)× (3)○ (4)× (5)○

자료 2 1 유전자 재조합 기술 2 체외 유전자 치료 3 (1)○ (2)× (3)× (4)○ (5)○ (6)×

자료 3 1 A: 배아 줄기세포, B: 복제 배아 줄기세포, C: 유도 만능 줄기세포, D: 성체 줄기세포 2 B, C, D 3 (1)○ (2)× (3)○ (4)× (5)○ (6)×

자료 4 1 무리지 않는 토마토 2 (가) 유전자 재조합 기술 (나) 조직 배양 기술 3 (1)× (2)○ (3)○ (4)× (5)○ (6)× (7)○

①-1 ㉠은 쥐에 항원 X를 주입한 후 얻은 B 림프구로, 항체를 생산한다. ㉡은 항체는 생산하지 못하지만 반영구적으로 증식이 가능한 암세포이다. ㉢은 B 림프구(㉠)와 암세포(㉡)가 융합된 잡종 세포로, 항체를 생산하며 반영구적으로 증식한다.

①-2 (가) 과정에서 B 림프구(㉠)와 암세포(㉡)를 하나로 융합시켜 잡종 세포를 만들기 위해 세포 융합 기술이 활용되었다.

①-3 (1) 잡종 세포(㉢)는 B 림프구(㉠)와 달리 수명이 길고 인공 배지에서 빠르게 증식하므로, 세포 분열 속도는 B 림프구보다 잡종 세포가 빠르다.

(2) 잡종 세포(㉢)는 B 림프구와 암세포를 융합시켜 만든 것이므로 암세포의 DNA뿐 아니라 B 림프구의 DNA도 가져 무한 증식하는 암세포의 특성과 항체를 생산하는 B 림프구의 특성을 모두 나타낸다. 따라서 암세포(㉡)와 잡종 세포(㉢)에 각각 존재하는 DNA에 저장된 유전 정보는 서로 다르다.

(3) (가) 과정에서 활용된 세포 융합 기술은 토마토 세포와 감자 세포를 융합시켜 토마토와 감자의 특성을 모두 갖는 포마토를 만드는 데에도 활용된다.

(4) 단일 클론 항체를 만들 때 잡종 세포를 배양하는 과정에서 조직 배양 기술이 활용된다.

(5) 항원 X를 쥐에게 주입한 후 추출한 B 림프구를 이용하여 단일 클론 항체를 만들었으므로 이 단일 클론 항체는 항원 X에 특이적으로 결합한다.

②-1 정상 유전자와 바이러스 DNA는 유전자 재조합 기술에 의해 재조합된다.

②-2 주어진 유전자 치료 방법은 환자의 세포를 채취하여 정상 유전자를 도입한 후 이 세포를 환자의 몸 안에 다시 넣어 유전병을 치료하므로 체외 유전자 치료에 해당한다. 체내 유전자 치

료는 DNA 운반체를 이용하여 치료에 필요한 유전자를 환자의 몸에 직접 넣는 방법이고, 유전자 가위는 DNA에서 이상이 있는 부위를 잘라 내고 새로운 DNA로 교체하는 방법이다.

②-3 (1) 바이러스는 정상 유전자를 환자의 골수 세포로 도입하는 DNA 운반체로 사용되었다.

(2) 환자는 정상 유전자가 없어서 질병이 나타나는 것이므로 정상 유전자는 정상인으로부터 추출한다.

(3) 바이러스를 삽입하는 골수 세포는 환자의 것을 사용하므로 환자에게 다시 주입하여도 면역 거부 반응이 일어나지 않는다.

(4) 바이러스에는 정상 유전자가 포함되어 있으므로 바이러스가 삽입된 골수 세포는 정상 유전자를 가진다.

(5) 환자의 체내에서 골수 세포에 도입된 정상 유전자가 발현되면 환자의 증상이 치료된다.

(6) 이 방법으로 치료한 환자는 증상은 치료되지만, 생식세포의 유전자는 그대로이므로 유전병은 자손에게 유전된다.

③-1 A는 정자와 난자의 수정으로 형성된 배아에서 얻어지는 배아 줄기세포이고, B는 체세포의 핵을 무핵 난자에 이식하여 만든 배아에서 얻어지는 복제 배아 줄기세포이다. C는 성인의 체세포를 역분화시켜 만드는 유도 만능 줄기세포이고, D는 뱀줄의 혈액이나 골수에서 얻어지는 성체 줄기세포이다.

③-2 B는 체세포 핵을 제공한 환자와 유전적으로 동일하므로 면역 거부 반응이 일어나지 않고, C와 D는 환자의 세포를 사용하므로 면역 거부 반응이 일어나지 않는다. 반면에 A는 어느 한 사람과 유전적으로 동일하지 않으므로 환자에게 이식했을 때 면역 거부 반응이 일어날 수 있다.

③-3 (1) 배아 줄기세포는(A)는 인체의 모든 세포로 분화할 수 있다.

(2) 복제 배아 줄기세포(B)는 핵치환 기술을 활용하여 체세포의 핵을 무핵 난자에 이식한 후 배양한 배아로부터 만들어진다.

(3) 복제 배아 줄기세포(B)는 체세포의 핵을 제공한 개체와 유전적으로 동일하므로 이를 개체로 발생시킬 경우 인간 복제가 가능할 수 있다.

(4) 유도 만능 줄기세포(C)는 체세포로부터 만들어지므로 핵상이 $2n$ 이다.

(5) 성체 줄기세포(D)는 분화될 수 있는 세포의 종류가 제한적이어서 특정 세포로만 분화할 수 있다는 한계가 있다.

(6) 유도 만능 줄기세포(C)와 성체 줄기세포(D)는 모두 환자의 체세포를 이용하므로 생명 윤리적인 문제가 발생하지 않지만, 배아 줄기세포(A)와 복제 배아 줄기세포(B)는 발생 중인 배아를 희생시키므로 생명 윤리적인 문제가 발생한다.

4-1 유전자 변형 생물은 생명 공학 기술을 활용하여 새로운 유전자를 가지게 된 생물체이므로 유전자 A가 도입된 무르지 않는 토마토가 유전자 변형 생물체이다.

4-2 (가) 과정에서는 유전자 A를 플라스미드에 연결하여 재조합 DNA를 만드는 유전자 재조합 기술이 활용되었다. (나) 과정에서는 재조합 DNA가 도입된 형질 전환 세포를 무균 상태의 배지에서 배양하여 어린 식물로 발생시키므로 조직 배양 기술이 활용되었다.

4-3 (1) 유전자 A는 효소 X 유전자의 발현을 억제하므로 A가 도입된 무르지 않는 토마토에서는 효소 X가 생성되지 않는다. 따라서 단위 무게당 효소 X의 양은 무르지 않는 토마토가 무른 토마토보다 적다.

(2) (가) 과정에서 유전자 A를 잘라내고 플라스미드를 자를 때 제한 효소가 사용되며, 유전자 A와 플라스미드를 하나로 연결시킬 때 DNA 연결 효소가 사용된다.

(3) (가) 과정에서 플라스미드는 유전자 A와 재조합되어 식물 세포로 도입되므로 DNA 운반체로 사용된다.

(4) (가) 과정에서 유전자 A와 플라스미드는 같은 종류의 제한 효소로 잘려야 양쪽 말단의 염기 서열이 상보적이 되어 DNA 연결 효소에 의해 연결된다.

(5), (6) (나) 과정에서 재조합 DNA가 도입된 형질 전환 세포가 배양되어 어린 식물로 자라므로 이 과정에서 체세포 분열이 일어난다.

(7) 어린 식물은 새로운 유전자 A를 가지므로 LMO(유전자 변형 생물체)에 해당한다.

내신 만점 문제 350쪽~353쪽

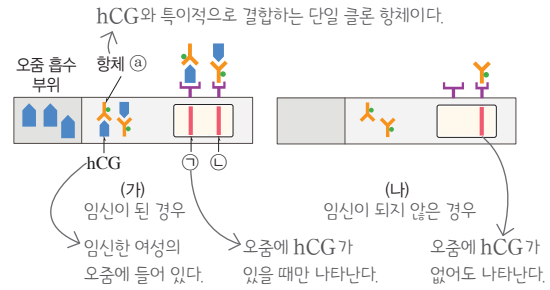
01 ⑤	02 ③	03 해설 참조	04 ①	05 ⑤
06 ②	07 해설 참조	08 ⑤	09 ④	10 ⑤
11 ⑤	12 ④	13 ①	14 ⑤	15 ⑤
16 해설 참조				

01 가. (가) 과정에서 B 림프구(㉠)와 암세포(㉡)를 융합시켜 잡종 세포를 만들기 위해 세포 융합 기술이 활용된다.

나. ㉠은 쥐에 항원을 주입하여 얻은 B 림프구로, 각각의 B 림프구는 특정한 항원 결정기에 결합하는 항체를 생산한다.

다. 암세포(㉡)와 잡종 세포는 모두 수명이 반영구적이며, 인공 배지에서 분열하므로 배양이 가능하다.

02 **꼼꼼 문제 분석**



- 항체 ㉠은 (가)에서만 hCG와 결합해 ㉠에서 띠가 나타나게 한다. → ㉠의 띠는 임신한 여성에서만 나타난다.
- ㉡의 띠는 (가)와 (나)에서 모두 나타난다. → 임신 여부(오줌의 hCG 포함 여부)와 상관없이 항체 ㉠이 결합하여 나타난다.

㉠. ㉠은 여성의 오줌에 포함된 hCG와 결합하므로 hCG와 특이적으로 결합하는 단일 클론 항체이다.

나. ㉠의 띠는 오줌에 hCG가 포함되어 ㉠에 hCG가 결합한 경우에만 나타난다. 따라서 ㉠의 띠는 임신한 여성에서만 나타나며, (가)는 임신이 된 경우이다.

▶바로알기 다. ㉡의 띠는 키트의 hCG 항체(㉠)가 결합하여 나타나는 것으로, (나)에서와 같이 임신이 되지 않아 오줌에 hCG가 포함되지 않은 경우에도 나타난다. hCG가 ㉠과 결합한 경우에만 나타나는 띠는 ㉠이다.

03 항암제 X는 항암제와 단일 클론 항체를 결합시켜 만들며, 단일 클론 항체가 특정 항원과 결합하는 특성을 이용하여 특정 암세포에만 작용한다.

▶모범답안 표적 항암제, 특정 암세포만 선택적으로 파괴하여 정상 세포의 손상을 최소화한다.

채점 기준	배점
표적 항암제를 쓰고, 장점을 옳게 서술한 경우	100%
표적 항암제만 쓰거나, 장점만 옳게 서술한 경우	50%

04 가. 유전자 ㉠이 재조합된 DNA를 가진 바이러스 ㉡를 환자의 골수 세포에 삽입시켜 골수 세포가 ㉠을 가지게 하므로 ㉡는 DNA 운반체로 사용된다.

▶바로알기 나. ㉠은 이 환자의 체세포인 골수 세포에 도입되었으므로 자녀에게 전달되지 않는다.

다. 이 유전자 치료 과정은 유전자 X가 결핍된 환자를 대상으로 한 것이므로, ㉠은 X이거나 X의 작용을 대신하는 유전자이다.

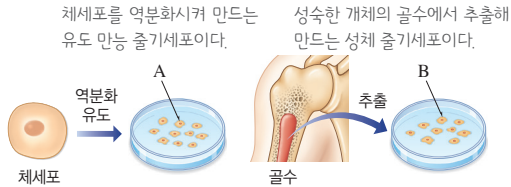
05 나. (나)는 DNA에서 이상이 있는 부위를 잘라내므로 유전자 가위이다. 유전자 가위는 제한 효소보다 효율적으로 DNA에

서 원하는 부위를 잘라낼 수 있으므로 재조합 DNA를 만드는 데 활용될 수 있다.

㉔. (다)에서 세포 X에 정상 유전자를 도입하므로 X는 환자의 몸에서 추출한 비정상 세포이다.

▣ **바로알기** ㉓. (가)는 정상 유전자가 포함된 DNA 운반체를 환자에게 직접 투여하는 체내 유전자 치료이다. 체외 유전자 치료는 (다)이다.

06 **꼼꼼** 문제 분석



㉔. A와 B는 모두 줄기세포이므로 분화되지 않은 상태로 배지에서 증식하며, 적절한 조건에서 특정한 종류의 세포로 분화될 수 있다.

▣ **바로알기** ㉓. 유도 만능 줄기세포(A)는 환자 자신의 체세포를 이용하므로 면역 거부 반응이 일어나지 않는다.

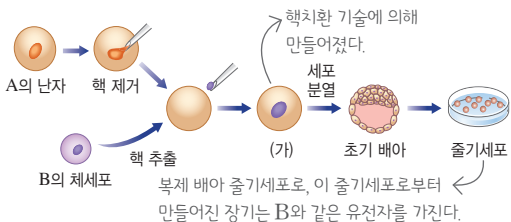
㉔. 유도 만능 줄기세포(A)는 인체를 구성하는 다양한 종류의 세포로 분화될 수 있지만, 성체 줄기세포(B)는 분화될 수 있는 세포의 종류가 제한적이다.

07 이 줄기세포는 발생 초기 배아인 포배(배반포)의 내부에 존재하는 내세포 덩어리를 추출하여 만드는 것으로, 배아 줄기세포이다.

◉ **모범답안** 배아 줄기세포, 발생 중인 배아를 희생시켜야 하므로 생명 윤리적인 문제가 발생한다.

채점 기준	배점
배아 줄기세포를 쓰고, 까닭을 포함하여 문제점을 옳게 서술한 경우	100%
배아 줄기세포를 쓰고, 배아를 사용해야 하는 문제가 발생한다고만 서술한 경우	70%
배아 줄기세포만 쓴 경우	30%

08 **꼼꼼** 문제 분석



㉔. 체세포 핵을 무핵 난자에 이식하여 만든 배아로부터 줄기세포를 얻으므로 복제 배아 줄기세포(환자 맞춤형 줄기세포)를 만드는 과정을 나타낸 것이다.

㉔. 이 줄기세포는 핵을 제공한 B와 유전적으로 동일하므로 이 줄기세포로부터 만들어진 장기를 B에게 이식하면 면역 거부 반응이 일어나지 않는다.

▣ **바로알기** ㉓. (가)는 B의 체세포 핵을 A의 무핵 난자에 이식하여 만들었으므로 핵치환 기술이 활용되었다.

09 ㉓. (가)~(다)는 모두 다른 생물종의 유전자가 도입되어 유용한 형질을 가지므로 LMO(유전자 변형 생물체)에 해당한다.

㉔. 독성 유기 화합물을 분해하는 세균은 식유 유출 등 환경 문제를 해결하는 데 활용할 수 있다.

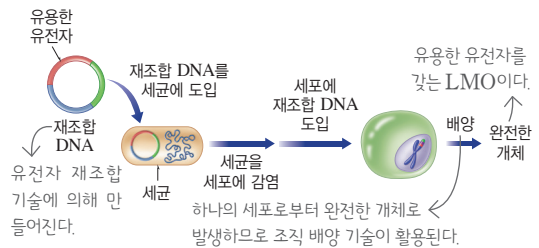
▣ **바로알기** ㉔. 사람의 혈액 응고 단백질을 젖으로 분비하는 염소는 사람의 혈액 응고 단백질 유전자를 가진다.

10 ㉔. LMO는 유전자 변형 생물체로서, 생식과 번식이 가능한 생물 자체이고, GMO는 LMO뿐 아니라 LMO로 만든 식품이나 가공물까지 모두 포함한다. 따라서 (가)는 GMO, (나)는 LMO이고, A는 유전자 변형 옥수수, B는 유전자 변형 옥수수 통조림이다.

㉔. GMO(가)와 달리 LMO(나)는 살아 있는(living) 생물체임을 강조한 용어이다.

▣ **바로알기** ㉓. (가)는 GMO이다.

11 **꼼꼼** 문제 분석

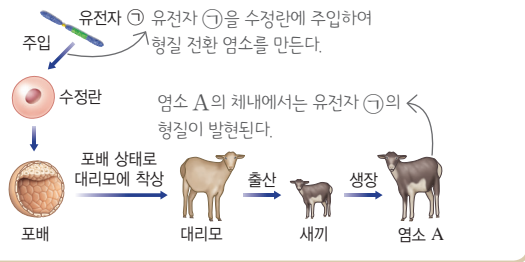


㉔. 세균은 유용한 유전자가 재조합된 DNA를 세포로 도입하는 DNA 운반체로 사용된다.

㉔. 유용한 유전자가 재조합된 DNA를 만들 때 유전자 재조합 기술이 활용되며, 재조합 DNA가 도입된 세포를 완전한 개체로 배양할 때 조직 배양 기술이 활용된다.

▣ **바로알기** ㉓. 동물은 식물과 달리 하나의 세포를 배양하여 완전한 개체로 발생시킬 수 없다. 따라서 이 과정은 형질 전환 동물을 만드는 과정이 아니라 형질 전환 식물을 만드는 과정이다.

12 **꼼꼼** 문제 분석



ㄱ. 유전자 ①이 주입된 수정란을 포배 상태까지 발생시킨 후 대리모의 자궁에 착상시켜 염소 A를 얻었으므로 새로운 유전자를 가지는 LMO(유전자 변형 생물체)를 만드는 과정이다.

ㄴ. A는 유전자 ①을 가지므로 ①의 형질이 발현된다.

▶바로알기 ㄴ. 생명 공학 기술을 활용하여 한 생물종에 다른 생물종의 유전자를 도입시켜 유전자 변형 생물체를 만들 수 있으므로 ①은 염소가 아닌 생물종의 유전자가 될 수 있다.

13 ② 병충해에 강하고 생산성이 높은 작물의 개발은 농업 생산성을 증가시켜 식량 문제를 해결할 수 있다.

③ LMO를 활용한 의약품의 대량 생산은 질병 치료에 도움을 준다.

④ 바이오 에탄올용 고구마 등을 이용한 바이오 연료의 생산은 화석 연료를 대체하여 에너지 문제를 해결할 수 있다.

⑤ 기름이나 독성 유기 화합물을 분해하는 세균은 환경 오염 물질을 제거하여 환경 문제 해결에 도움을 준다.

▶바로알기 ① LMO를 장기간 재배하면 유전자 전이로 슈퍼 잡초와 같은 새로운 변형 생물체가 출현하게 되어 생태계 교란이 일어날 가능성이 높아진다.

14 • 학생 B: 병충해에 강한 옥수수, 독성 유기 화합물을 분해하는 세균 등 생명 공학은 인류가 당면한 식량, 환경, 에너지 등의 여러 문제를 해결해 줄 수 있다.

• 학생 C: 배아를 사용하는 배아 줄기세포 연구와 같이 생명 공학을 활용하는 과정에서 윤리적인 문제가 생길 수 있으며, 이러한 문제를 잘 해결해야 생명 공학을 올바른 방향으로 활용할 수 있다.

▶바로알기 • 학생 A: 생명 공학은 화학, 의학 등 여러 학문 분야와 긴밀한 관계를 맺으며 의료, 식량, 농업, 환경 등 인류의 생활 향상에 기여하였다.

15 ㄱ. LMO에 유전자를 도입하는 데 사용되는 기술은 유전자 재조합 기술이다. LMO에 도입된 유전자가 다른 생물체에 전이되어 의도하지 않는 새로운 변형 생물체가 나타날 경우 생태계가 교란될 수 있다.

ㄴ. (나)는 동물을 복제하는 데 이용되는 핵치환 기술이다. 핵치환 기술은 멸종 위기 동물을 보존하는 데 활용할 수 있다.

ㄷ. (다)는 배아 줄기세포 기술이다. 배아 줄기세포 기술은 손상된 조직이나 장기를 회복시켜 난치병을 치료하는 데 활용할 수 있으며, 인간의 생명 연장을 위한 방법을 제공한다.

16 아실로마 합의는 유전자 재조합 실험의 기준을 마련한 것이고, 바이오 안전성 의정서는 유전자 변형 생물체의 국가 간 이동을 규제하는 국제 협약이다. 생명 윤리 및 안전에 관한 법률은 인간, 배아, 유전자 등을 연구할 때 인간의 존엄과 가치를 침해하거나 인체에 위해를 끼치는 것을 방지함으로써 생명 윤리 및 안전을 확보하기 위한 목적으로 제정되었다.

▶모범답안 생명 공학의 연구 범위와 생명 윤리를 제도적으로 규정하고 있다.

채점 기준	배점
생명 공학의 연구 범위 규정과 생명 윤리의 규정을 모두 서술한 경우	100 %
생명 공학의 연구 범위 규정과 생명 윤리의 규정 중 하나만 서술한 경우	50 %

중단원 핵심 정리

354쪽

- ① DNA
- ② 제한 효소
- ③ DNA 연결 효소
- ④ 핵
- ⑤ 단일 클론 항체
- ⑥ 유전자 치료
- ⑦ 배아
- ⑧ 성체
- ⑨ 생명 윤리법

중단원 마무리 문제

355쪽~357쪽

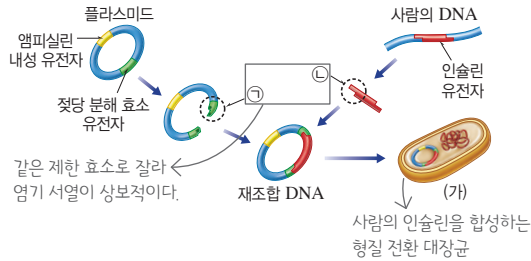
- 01 ③
- 02 ④
- 03 ②
- 04 ④
- 05 ③
- 06 ④
- 07 ⑤
- 08 ⑤
- 09 ⑤
- 10 ④
- 11 해설 참조
- 12 해설 참조
- 13 해설 참조

01 ㄷ. (다)의 잘린 DNA의 양쪽 말단에서 노출된 가닥의 염기 서열이 각각 3'-TTAA-5'와 5'-GATC-3'이므로 상보적이지 않다. 따라서 (다)를 만들 때 두 가지 제한 효소가 사용되었다.

▶바로알기 ㄱ. ①과 ②에서 노출된 가닥의 염기 서열이 각각 5'-AATT-3'와 3'-CTAG-5'이므로 상보적이지 않다. 따라서 ①과 ②은 서로 다른 제한 효소에 의해 잘린 부위이다.

나. (가)와 (다), (나)와 (다)는 각각 잘린 DNA의 양쪽 말단에서 노출된 가닥의 염기 서열이 상보적이므로 DNA 연결 효소에 의해 연결될 수 있다. 따라서 ㉔는 (가) 또는 (나)에 해당한다. 그러나 (가)와 (나)는 잘린 DNA의 양쪽 말단에서 노출된 가닥의 염기 서열이 상보적이지 않으므로 연결될 수 없다.

02 **꼼꼼** 문제 분석



① 재조합 DNA를 만들 때 플라스미드와 인슐린 유전자를 하나로 연결시키기 위해 DNA 연결 효소가 사용된다.

② (가)에 도입된 재조합 DNA를 만들 때 DNA를 자르고 연결하는 유전자 재조합 기술이 활용된다.

③ ㉑과 ㉒은 특정 염기 서열 부위를 인식하는 한 가지 제한 효소에 의해 잘린 말단이므로 서로 상보적인 염기 서열이 존재한다.

⑤ (가)는 엮피실린 내성 유전자와 인슐린 유전자를 가지므로, (가)를 플라스미드가 도입되지 않은 숙주 대장균과 인슐린 유전자가 재조합되지 않은 플라스미드가 도입된 대장균으로부터 선별해 내기 위해서는 엮피실린과 물질 S가 포함된 배지를 이용해야 한다.

▣ **바로알기** ④ (가)는 젓당 분해 효소 유전자 내부에 사람의 인슐린 유전자가 재조합된 DNA를 가지므로 젓당 분해 효소를 합성하지 않는다. 따라서 (가)는 물질 S를 분해하지 못하므로 S가 포함된 배지에서 푸른색 균체를 형성하지 않는다.

03 나. PCR 과정에서 DNA가 합성될 때(Ⅲ 단계) DNA 중합 효소가 주형 가닥에 결합한 프라이머의 3' 말단에 주형 가닥의 염기와 상보적인 염기를 가진 새로운 뉴클레오타이드를 첨가하면서 새로운 가닥을 합성한다.

▣ **바로알기** 가. PCR 과정에서 DNA를 변성시킬 때(Ⅰ 단계)의 온도가 가장 높으며, 프라이머를 주형 가닥에 결합시킬 때(Ⅱ 단계)의 온도가 가장 낮다. 따라서 각 단계의 온도는 $I > III > II$ 이다.

나. PCR에 사용되는 프라이머는 주형 가닥에서 증폭시키고자 하는 부위의 3' 말단에 결합한다. 이 경우, 증폭시키고자 하는 부위의 3' 말단 염기 서열이 각각 3'-AGTCA-5'와 3'-CCTTG-5'이므로 사용되는 프라이머의 염기 서열은 각각 5'-TCAGT-3'와 5'-GGAAC-3'이다.

04 **꼼꼼** 문제 분석

(가) A의 난자를 채취한 후 핵을 제거한다.

↳ 난자를 제공한다.

(나) B의 세포 ㉑을 배양한 후 핵을 채취한다.

↳ 체세포 핵을 제공한다.

(다) A의 무핵 난자에 ㉑의 핵을 이식한다.

↳ 핵치환 기술이 활용된다.

(라) 핵이 이식된 난자의 난황을 유도하여 일정 단계까지 발생시킨 후 C의 자궁에 착상시킨다.

대리모로, 자궁을 제공한다. ↳

(마) 일정 기간 후 C로부터 D가 태어난다.

↳ B의 복제 동물로, B와 D는 유전적으로 동일하다.

나. D는 A로부터 무핵 난자에 존재하는 미토콘드리아를 물려받으므로 A로부터 미토콘드리아 DNA를 물려받는다.

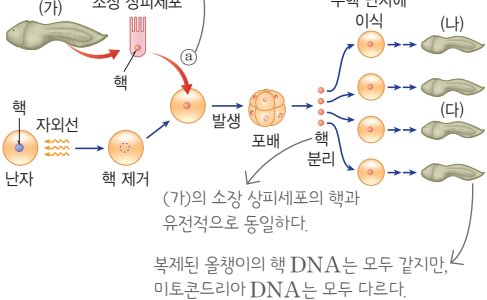
다. D를 만드는 과정에서 A의 무핵 난자에 ㉑의 핵을 이식하므로 핵치환 기술이 활용되고, 세포 ㉑을 배양하는 과정과 핵이 이식된 난자를 일정 단계까지 발생시키는 과정에서 조직 배양 기술이 활용된다.

▣ **바로알기** 가. A의 무핵 난자에 ㉑의 핵을 이식하여 만든 배아를 D로 발생시키므로 ㉑은 핵상이 $2n$ 인 B의 체세포이다.

05 **꼼꼼** 문제 분석

핵치환 기술을 활용하여 소장 상피세포에서 추출한 핵을 무핵 난자에 이식하였다.

무핵 난자는 각기 다른 개구리로부터 제공된 것이므로, 유전적으로 각기 다른 미토콘드리아가 존재한다.



가. ㉑ 과정에서 (가)의 소장 상피세포(체세포) 핵을 무핵 난자에 이식하는 데 핵치환 기술이 활용된다.

나. (나)를 만들 때 (가)의 소장 상피세포 핵이 이식된 난자를 포배 단계까지 발생시킨 후 핵을 분리하였다. 따라서 이 핵은 (가)의 소장 상피세포 핵과 유전적으로 동일하며, 이 핵을 다시 무핵 난자에 이식한 후 발생시켜 (나)를 만들었으므로 (가)와 (나)의 핵 DNA는 같다.

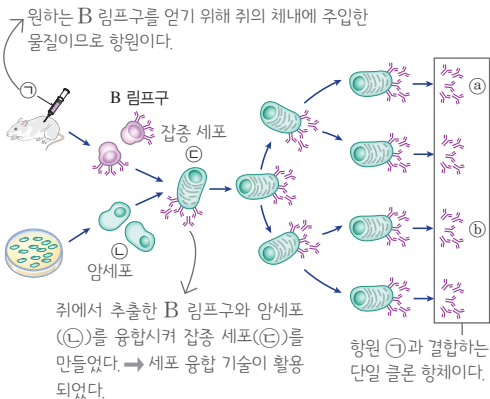
▣ **바로알기** 다. (나)와 (다)는 (가)에서 유래된 핵을 각각 서로 다른 무핵 난자에 이식해 발생시켜 만들었다. 서로 다른 개구리로부터 제공된 무핵 난자에는 유전적으로 다른 미토콘드리아가 존재하므로 (나)와 (다)의 미토콘드리아 DNA는 다르다.

06 ㄱ. 당근(A)의 뿌리에서 분열 조직의 일부를 분리한 후 조각내어 영양 배지에서 배양하여 캘러스(B)를 얻었으며, 이 캘러스를 배양하여 완전한 개체(C)로 발생시켰다. 즉, 당근(A)의 체세포가 체세포 분열하여 캘러스(B)가 형성되었고, 캘러스(B)가 체세포 분열하여 개체(C)가 형성되었으므로 A, B, C는 모두 유전적으로 동일하다.

ㄷ. 식물 세포의 배양을 통해 만든 캘러스(B)는 미분화된 상태의 세포 덩어리로, 모든 기관으로 분화할 수 있는 특성을 가진다. 따라서 적절한 조건에서 계속 분열시키거나 호르몬을 처리하면 완전한 개체(C)로 발생시킬 수 있다.

▣ 바로알기 ▣ ㄴ. (가) 과정에서는 세포 덩어리인 캘러스를 인공 배지에서 배양하는 조직 배양 기술이 활용되며, 두 세포를 하나로 합치는 세포 융합 기술은 활용되지 않는다.

07 **꼼꼼** 문제 분석



① 쥐의 체내에 ㉠을 주입한 후 항체를 생산하는 B 림프구를 추출하였으므로 ㉠은 쥐의 체내에서 면역 반응을 일으켜 항체를 생산하게 하는 항원이다.

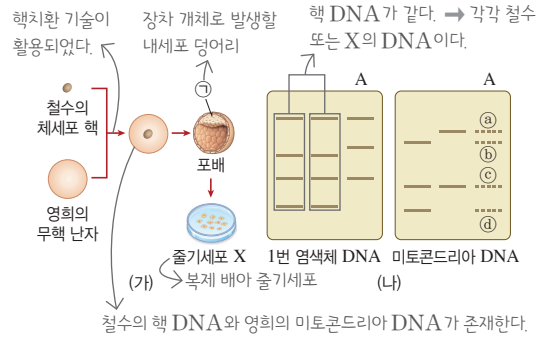
② 쥐에서 추출한 B 림프구와 암세포(㉢)를 융합시켜 잡종 세포(㉣)를 만들 때 세포 융합 기술이 활용되었다.

③ ㉤와 ㉥는 하나의 잡종 세포(㉣)가 증식하여 형성된 하나의 클론으로부터 생산된 항체이므로 모두 항원 ㉠과 결합하는 동일한 구조의 단일 클론 항체이다.

④ B 림프구는 항체는 생산하지만 수명이 짧고 체외에서 배양이 어려우므로 체외에서 반영구적으로 증식이 가능한 암세포(㉢)와 융합시켜 잡종 세포를 만들으로써 많은 양의 단일 클론 항체를 얻는다.

▣ 바로알기 ▣ ⑤ 잡종 세포(㉣)는 B 림프구와 암세포(㉢)를 융합시켜 만든 것이므로 B 림프구와 암세포(㉢)의 유전자를 모두 가지고 있다.

08 **꼼꼼** 문제 분석



- 줄기세포 X는 철수의 체세포에서 유래된 핵과 영희의 무핵 난자에서 유래된 미토콘드리아를 가진다. → 핵 DNA는 철수와 같고, 미토콘드리아 DNA는 영희와 같다.
- A는 1번 염색체 DNA(핵 DNA)가 나머지 둘과 다르다. → A는 영희의 전기 영동 결과이다.

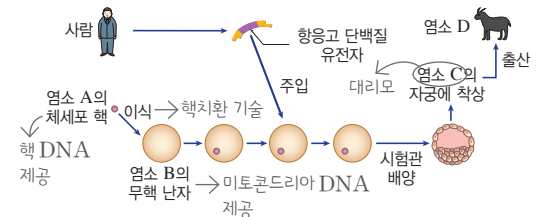
① X는 사람의 발생 초기 단계에서 형성되는 포배(배반포) 내에 존재하며 장차 개체로 발생할 세포 집단인 ㉠(내세포 덩어리)을 추출한 후 배양하여 만든 배아 줄기세포이다.

② X를 만들 때 철수의 체세포 핵을 영희의 무핵 난자에 이식하는 과정에서 핵치환 기술이 활용되었다.

③, ④ X의 핵 DNA는 체세포 핵을 제공한 철수의 핵 DNA와 같다. 따라서 X를 철수의 체내에 이식하면 면역 거부 반응이 일어나지 않는다. (나)에서 핵 DNA에 해당하는 1번 염색체 DNA의 전기 영동 결과, A는 나머지 둘(철수와 X)과 띠가 나타난 위치가 다르므로 영희의 전기 영동 결과이다.

▣ 바로알기 ▣ ⑤ X의 미토콘드리아 DNA는 무핵 난자(세포질)를 제공한 영희의 미토콘드리아 DNA와 같다. 따라서 영희의 전기 영동 결과인 A에서는 ㉡, ㉢, ㉣에서만 띠가 나타나거나 ㉠, ㉡에서만 띠가 나타난다.

09 **꼼꼼** 문제 분석



ㄷ. 영소 D의 체내에서는 항응고 단백질 유전자가 발현되어 사람의 항응고 단백질이 만들어진다.

ㄴ. D를 만드는 과정에서 A의 체세포 핵을 B의 무핵 난자에 이식할 때 핵치환 기술이 활용되었다.

▶ **바로알기** ㄱ. D는 A의 체세포 핵이 이식된 난자를 발생시켜 만들었지만, 핵치환 후 사람의 항응고 단백질 유전자가 주입되었다. 따라서 D는 A와 달리 사람의 항응고 단백질 유전자를 가지므로 A와 유전적으로 다르다.

ㄴ. D는 미토콘드리아 DNA를 미토콘드리아가 존재하는 무핵 난자를 제공한 B로부터 물려받았으며, 대리모인 C로부터는 DNA를 물려받지 않았다.

10 ㄴ. 이들 생물체는 모두 생명 공학 기술을 활용하여 만들어진 새롭게 조합된 유전 물질을 포함하고 있는 유전자 변형 생물체(LMO)이다.

ㄷ. 유전자 변형 생물체는 식량(비타민 A가 강화된 황금쌀), 의약(사람의 인슐린을 생산하는 세균), 환경(중금속을 흡수하는 식물), 에너지(바이오 에탄올용 고구마) 등 여러 분야에 폭넓게 활용되어 인간 생활에 긍정적인 영향을 준다.

▶ **바로알기** ㄱ. 유전자 변형 생물체(LMO)는 다른 생물종의 유용한 유전자가 도입되어 새롭게 재조합된 유전 물질을 가지고 있다.

11 유전자 치료 과정에서 환자의 체세포에 바이러스를 감염시키는데, 이 바이러스는 정상 유전자 X를 환자 세포에 도입시키는 DNA 운반체 역할을 한다.

▶ **모범답안** 정상 유전자 X를 잘라 바이러스 DNA에 삽입(재조합)한다.

채점 기준	배점
X를 잘라 바이러스의 DNA에 삽입(재조합)한다고 서술한 경우	100%
X가 포함된 재조합 DNA를 만든다고만 서술한 경우	70%
재조합 DNA를 만든다고만 서술한 경우	40%

12 (가)는 핵치환 기술을 활용하여 환자의 체세포 핵을 무핵 난자에 이식하여 만든 것이고, (나)는 정자와 난자의 수정을 통해 만들어진 수정란이다.

▶ **모범답안** (가), 무핵 난자에 환자의 체세포 핵을 이식하여 만든 배아로부터 얻은 줄기세포는 환자와 유전적으로 동일하기 때문이다.

채점 기준	배점
(가)를 쓰고, 환자의 체세포 핵을 이식하여 만들어 환자와 유전적으로 동일하기 때문이라고 서술한 경우	100%
(가)를 쓰고, 환자와 유전적으로 동일하기 때문이라고만 서술한 경우	70%
(가)만 쓴 경우	30%

13 유전자 변형 생물체(LMO)는 식량과 의약품을 생산하고, 환경과 에너지 문제를 해결하는 등 인간 생활에 긍정적인 영향을 미치기도 하지만, 부정적인 영향을 미치기도 한다. 즉, 인체에 대한 안전성이 충분히 검증되지 않아 LMO로 만든 식품을 장기간 섭취하면 건강상의 문제를 일으킬 수 있다. 또한 LMO의 장기간 재배는 유전자 전이로 새로운 변형 생물체가 출현하게 되어 생태

계가 교란될 가능성이 있으며, 단일 품종의 LMO 재배는 생물 다양성을 감소시키는 결과를 가져올 수 있다.

▶ **모범답안** LMO로 만든 식품은 인체에 대한 안전성이 충분히 검증되지 않았으므로 장기간 섭취할 경우 건강상에 문제가 생길 수 있다. 단일 품종의 LMO를 대규모로 재배하면 생태계의 생물 다양성이 감소할 수 있다.

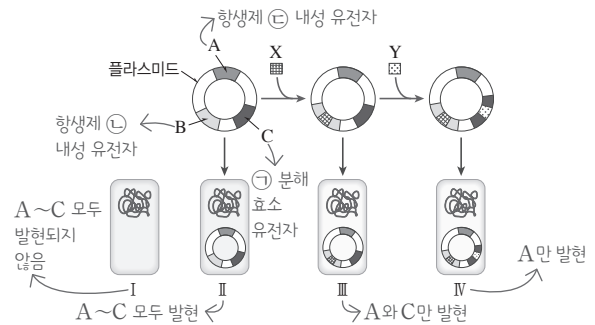
채점 기준	배점
인간 생활과 생태계에 미치는 부정적인 영향을 모두 옳게 서술한 경우	100%
두 가지 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50%

수능 실전 문제

358쪽~360쪽

- 01 ⑤ 02 ③ 03 ④ 04 ④ 05 ③ 06 ③
07 ④ 08 ①

01 **문제 분석**



특성	대장균의 가짓수
① 포함 배지에서 푸른색 군체를 형성함 ② 분해 효소 유전자 정상	두 가지
항생제 ㉠ 내성을 가짐 항생제 ㉡ 내성 유전자 정상	한 가지
항생제 ㉢ 내성을 가짐 항생제 ㉣ 내성 유전자 정상	세 가지

- A는 Ⅱ~Ⅳ에서 모두 발현된다. → A는 항생제 ㉠ 내성 유전자이다.
- B는 Ⅱ에서만 발현된다. → B는 항생제 ㉡ 내성 유전자이다.
- C는 Ⅱ와 Ⅲ에서만 발현된다. → C는 ②의 분해 효소 유전자이다.

선택지 분석

- ✗ A는 ② 분해 효소 유전자이다. 항생제 ㉠ 내성 유전자
- 항생제 ㉠ 내성을 가지는 대장균은 항생제 ㉠ 내성도 가진다.
- ①과 항생제 ㉠이 모두 포함된 배지에서 증식하여 흰색 군체를 형성하는 대장균은 Ⅳ뿐이다.

대장균 II~IV는 모두 정상적인 A를 가지며, 항생제 ㉔ 내성을 가지는 대장균은 세 가지이므로 A는 항생제 ㉔ 내성 유전자이다. 항생제 ㉔ 내성을 가지는 대장균은 한 가지인데, 정상적인 B를 가지는 대장균이 II의 한 가지이므로 B는 항생제 ㉔ 내성 유전자이고, C는 ㉔ 분해 효소 유전자이다.

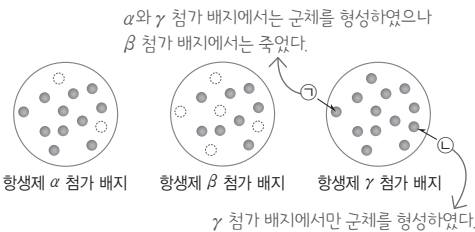
ㄴ. 대장균 I~IV 중 항생제 ㉔ 내성을 가지는 대장균은 정상적인 B를 갖는 II이며, II는 정상적인 A도 가지므로 항생제 ㉔ 내성도 가진다.

ㄷ. ㉔과 항생제 ㉔이 모두 포함된 배지에서 증식하여 흰색 군체를 형성하는 대장균은 A는 정상이고 C는 정상이 아니어야 하므로 IV뿐이다.

▶ **바로알기** ㄱ. A는 항생제 ㉔ 내성 유전자이고, ㉔ 분해 효소 유전자는 C이다.

02 **꼼꼼** 문제 분석

- 유전자 재조합에 플라스미드 P가 사용되었다. P에는 유전자 A~C가 있으며, A~C는 각각 항생제 α ~ γ 내성 유전자이다.
 - ↳ A: α 내성 유전자, B: β 내성 유전자, C: γ 내성 유전자
- P에 유전자 X를 재조합시켜 플라스미드 P*를, P*에 유전자 Y를 재조합시켜 플라스미드 P**를 각각 만들었다. X와 Y는 각각 A~C 중 서로 다른 유전자의 내부에 삽입되었다.
 - ↳ P*는 유전자 X를 포함하고, P**는 유전자 X와 Y를 포함한다.
- 그림은 숙주 대장균 배양액에 P, P*, P**를 모두 첨가하여 플라스미드를 도입시키는 과정에서 얻은 모든 대장균을 각각 α ~ γ 가 첨가된 배지에서 배양한 결과를 나타낸 것이다.



- 각 배지에 존재하는 대장균 군체의 수: γ 첨가 배지 > α 첨가 배지 > β 첨가 배지
 - P*를 만들 때 X가 B의 내부에 삽입되었으며, P**를 만들 때 Y가 A의 내부에 삽입되었다.
- X와 Y가 모두 재조합되지 않은 P가 도입된 대장균은 α ~ γ 에 모두 내성을 가지고, X가 재조합된 P*가 도입된 대장균은 α 와 γ 에 내성을 가지며, X와 Y가 모두 재조합된 P**가 도입된 대장균은 γ 에만 내성을 가진다.
- 대장균 ㉔: α 와 γ 에 대한 내성은 있으나 β 에 대한 내성은 없다. → 유전자 A와 C는 발현되지만, B는 발현되지 않는다. → 유전자 X가 재조합되었다.
- 대장균 ㉔: γ 에만 내성이 있다. → 유전자 C만 발현된다. → 유전자 X와 Y가 재조합되었다.

▶ **선택지 분석**

- ㉔ P*에서 X는 B의 내부에 삽입되었다.
- ㉔ 대장균 ㉔과 ㉔에서는 모두 X가 발현된다.
- ✗ ㉔은 P, P*, P**가 모두 도입된 대장균에 해당한다.
 - P* 또는 P*와 P**가 도입된 대장균

ㄱ. 각 배지에 존재하는 대장균 군체의 수가 γ 첨가 배지 > α 첨가 배지 > β 첨가 배지이므로 P*를 만들 때 X가 B의 내부에 삽입되었으며, P**를 만들 때 Y가 A의 내부에 삽입되었다.

ㄴ. ㉔은 α 와 γ 에 대한 내성은 있으나 β 에 대한 내성은 없으므로 P*를 가져 A와 C가 발현되며, ㉔은 γ 에만 내성을 가지므로 P**를 가져 C만 발현된다. 따라서 ㉔에서는 X가 발현되고, ㉔에서는 X와 Y가 모두 발현된다.

▶ **바로알기** ㄷ. P, P*, P**가 모두 도입된 대장균은 P에 의해 A~C가 모두 발현되므로 α ~ γ 에 모두 내성을 가진다. 그러나 ㉔은 β 에 내성을 가지지 않는다.

03 **꼼꼼** 문제 분석

구분	반응 온도	반응
(가) DNA 변성	90 °C~95 °C	이중 나선 DNA를 2개의 단일 가닥으로 분리한다. 분리된 단일 가닥은 새로운 DNA를 합성하는 주형 역할을 한다.
(나) 프라이머 결합	50 °C~65 °C	프라이머가 단일 가닥에 결합한다. 온도를 낮추어 두 가지 프라이머가 각 가닥의 표적 서열 말단에 결합한다.
(다) DNA 합성	72 °C	주형 DNA 가닥에 상보적인 새로운 DNA 가닥이 합성된다. DNA 중합 효소가 새로운 DNA 가닥을 합성한다.

▶ **선택지 분석**

- ✗ 반응 온도는 ㉔ < ㉔이다. ㉔ > ㉔
- ㉔ (나)에서 프라이머는 단일 가닥 DNA의 3' 말단 부위에 결합한다.
- ㉔ (가)~(다)를 반복하여 이중 나선 DNA 1분자를 8분자로 증폭시켰을 때, (나)의 반응에서 사용된 프라이머는 14분자이다.

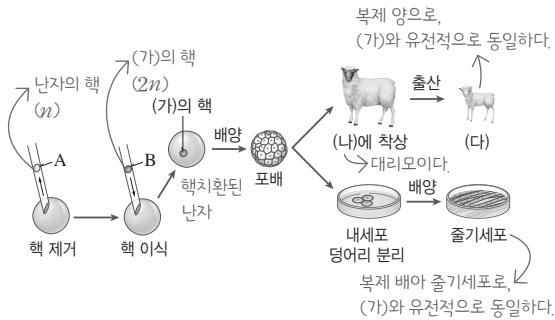
중합 효소 연쇄 반응(PCR)은 DNA의 특정 부분을 반복적으로 복제하여 적은 양의 DNA로부터 짧은 시간 안에 다량의 DNA를 얻는 기술이다. (가)는 90 °C~95 °C로 DNA를 가열하여 이중 나선을 풀고 두 가닥을 각각 단일 가닥으로 분리하는 DNA 변성 단계, (나)는 온도를 50 °C~65 °C로 낮추어 프라이머가 단일 가닥에 결합하게 하는 프라이머 결합 단계, (다)는 약 72 °C에서 DNA 중합 효소에 의해 주형 DNA 가닥에 상보적인 새로운 가닥이 합성되는 DNA 합성 단계이다.

ㄴ. DNA 중합 효소는 항상 5'→3' 방향으로만 새로운 가닥을 합성하므로 (나)에서 프라이머는 DNA 단일 가닥의 3' 말단 부위에 결합하여 새로운 DNA 가닥이 5'→3' 방향으로 합성될 수 있도록 한다.

ㄷ. 중합 효소 연쇄 반응(PCR)을 1회 실시하면 DNA의 분자 수는 2배로 증폭된다. 따라서 (가)~(다)를 3회 반복하면 DNA 분자 수는 8배로 증폭된다. 따라서 (나) 반응에 사용된 프라이머는 1회 반복하였을 때 2분자, 2회 반복하였을 때 4분자, 3회 반복하였을 때 8분자이므로 총 14분자가 사용된다.

▶ **바로알기** ㄱ. (가)~(다) 중 (가)가 가장 높은 온도(90 °C~95 °C)에서 진행되며, (나)가 가장 낮은 온도(50 °C~65 °C)에서 진행된다. 따라서 반응 온도는 ㉠ > ㉡이다.

04 **꼼꼼** 문제 분석



▶ 선택지 분석

- ① 염색체 수는 B가 A의 두 배이다.
- ② 성염색체 구성은 (다)와 줄기세포가 같다.
- ③ 배양된 줄기세포는 모두 유전적으로 같다.
- ④ (다)의 미토콘드리아 DNA는 (가)와 같다. **다르다.**
- ⑤ 줄기세포를 (나)에 이식하면 면역 거부 반응이 일어날 수 있다.

① A는 난자로부터 제거되는 핵이므로 핵상이 n 이고, B는 무핵 난자에 이식되는 체세포 핵이므로 핵상이 $2n$ 이다. 따라서 염색체 수는 B가 A의 두 배이다.

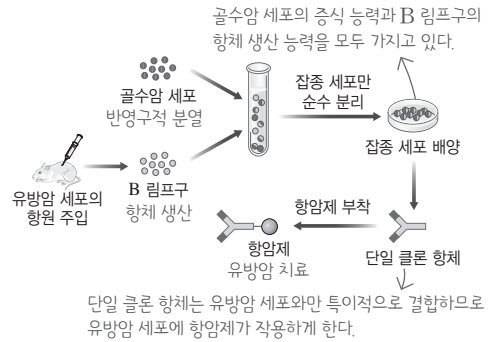
② 무핵 난자에 (가)의 핵을 이식해 얻은 배아를 배양하여 각각 (다)와 줄기세포를 만들었으므로 (가), (다), 줄기세포는 모두 유전적으로 동일하다. 따라서 성염색체 구성은 (다)와 줄기세포가 같다.

③ 줄기세포는 핵치환된 난자를 발생시켜 얻은 배아로부터 추출한 내세포 덩어리를 배양한 것이므로 모두 유전적으로 같다.

⑤ (나)는 대리모이며, (가)와 다른 양이므로 (가)와 유전적으로 다르다. 그런데 줄기세포는 (가)와 유전적으로 같으므로 줄기세포를 (나)에 이식하면 면역 거부 반응이 일어날 수 있다.

▶ **바로알기** ④ (다)의 미토콘드리아 DNA는 미토콘드리아가 존재하는 무핵 난자를 제공한 양으로부터 유래된 것이며, 수컷 양인 (가)로부터 유래된 것이 아니다. 따라서 (다)의 미토콘드리아 DNA는 (가)와 다르다.

05 **꼼꼼** 문제 분석



단일 클론 항체는 유방암 세포와만 특이적으로 결합하므로 유방암 세포에 항암제가 작용하게 한다.

▶ 선택지 분석

- ㉠ 유방암 세포의 항원은 잡종 세포가 빠르게 분열할 수 있도록 한다. **골수암 세포**
- ㉡ 잡종 세포의 항체 생산 능력은 B 림프구에서 유래한 것이다.
- ㉢ 단일 클론 항체는 항암제가 암세포에 작용하게 하는 역할을 한다.
- ㉣ 표적 항암제는 골수암 치료에 사용된다. **유방암**

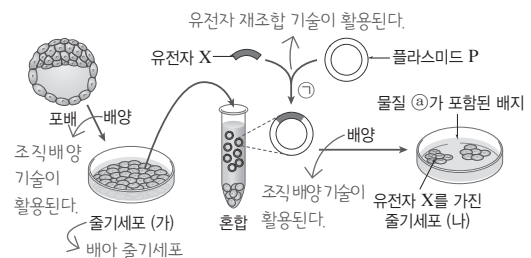
ㄴ. 잡종 세포가 항체를 생산할 수 있는 것은 B 림프구로부터 유래된 특성이다.

ㄷ. 단일 클론 항체는 항체를 만들게 한 유방암 세포의 항원과 특이적으로 결합함으로써 항암제가 유방암 세포에 작용하게 하는 역할을 한다.

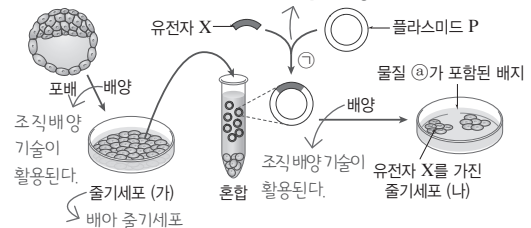
▶ **바로알기** ㄱ. 유방암 세포의 항원은 쥐에서 이에 대한 항체를 생산하는 B 림프구를 얻기 위해 주입한 것으로, B 림프구를 추출하여 만든 단일 클론 항체는 유방암 세포에만 특이적으로 결합한다. 잡종 세포가 빠르게 분열할 수 있는 것은 골수암 세포로부터 유래된 특성이다.

ㄹ. 표적 항암제의 단일 클론 항체는 항암제를 유방암 세포로 운반하여 결합함으로써 항암제가 유방암 세포에 작용하게 하여 유방암을 치료한다.

06 **꼼꼼** 문제 분석



유전자 재조합 기술이 활용된다.



선택지 분석

- ㉠ (가)는 배아 줄기세포이다.
- ㉡ 플라스미드 P에 물질 ㉠ 내성 유전자가 존재한다.
- ㉢ (나)를 만드는 과정에 세포 융합 기술과 유전자 재조합 기술이 모두 활용된다. 조직 배양 기술

㉠. (가)는 발생 초기 단계의 포배로부터 세포를 추출한 후 배양하여 만든 것이므로 배아 줄기세포이다.

㉡. 유전자 X를 가진 형질 전환 세포를 선별하기 위해 물질 ㉠가 포함된 배지에서 배양하였다. 그런데 형질 전환되지 않은 (가)는 ㉠에 노출되면 죽으므로 플라스미드 P에 ㉠ 내성 유전자가 존재하며, 재조합 플라스미드가 도입된 형질 전환 세포는 ㉠에 대한 내성을 가진다.

바로알기 ㉢. (나)를 만드는 과정 중 포배로부터 추출한 세포를 배양하고 재조합 플라스미드가 도입된 형질 전환 세포를 배양할 때 조직 배양 기술이 활용되었으며, X가 포함된 재조합 플라스미드를 만들 때 유전자 재조합 기술이 활용되었다. 그러나 두 세포를 하나로 합치는 세포 융합 기술은 활용되지 않았다.

07 **꼼꼼** 문제 분석

- (가) 세균에서 아미노산 X를 합성하게 하는 효소 E의 유전자를 분리한다.
- (나) 효소 E의 유전자를 식물에 전달할 수 있는 ㉠유전자 운반체에 삽입한다.
유전자 재조합 기술에서 유전자 운반체로 세균의 플라스미드가 주로 사용된다.
- (다) 재조합된 유전자 운반체를 일반 감자 세포에 도입한다.
- (라) ?
- (마) 감자 ㉠에서 아미노산 X의 양을 측정한다.
→ 효소 E의 유전자가 새롭게 조합된 유전자 변형 생물체(LMO)이다.

선택지 분석

- ㉠ ㉠로 세균의 플라스미드가 사용될 수 있다.
- ㉡ 감자 ㉠으로 만든 식품은 LMO에 해당한다. GMO
- ㉢ 형질 전환 세포를 선별하고 배양하는 과정은 (라)에 해당한다.

㉠. 효소 E의 유전자를 식물 세포로 도입하기 위해 특정 세균(예 아그로박테리아)의 플라스미드를 유전자 운반체(㉠)로 사용할 수 있다. 세균의 플라스미드에 E의 유전자를 재조합시켜 재조합 DNA를 만들고, 재조합 DNA를 세균에 도입한 후 형질 전환 세균을 식물 세포에 감염시키면 된다.

㉡. E가 포함된 재조합 DNA(유전자 운반체)를 일반 감자 세포에 도입한 후에는 재조합 DNA가 제대로 도입된 형질 전환 세포를 선별하고 배양하여 감자 ㉠으로 발생시켜야 한다.

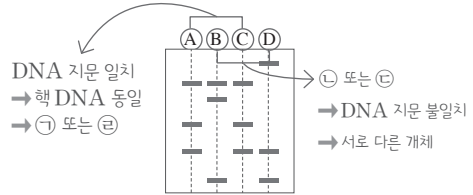
바로알기 ㉢. 감자 ㉠은 새롭게 효소 E의 유전자를 갖게 된 LMO(유전자 변형 생물체)이다. 그러나 ㉠으로 만든 식품은 살아 있는 생물체가 아니므로 LMO가 아닌 GMO에 해당한다.

08 **꼼꼼** 문제 분석

[과정]

- (가) 염소 ㉠의 젖새 세포를 채취하여 배양한다.
→ 체세포의 핵(핵 DNA) 제공
- (나) 염소 ㉡으로부터 난자를 채취한 후, 핵을 제거한다.
→ 난자(미토콘드리아 DNA) 제공
- (다) 무핵 난자에 배양한 ㉠의 젖새 세포 핵을 이식한 후, 염소 ㉡의 자궁에 착상시킨다.
- (라) 염소 ㉠~㉡과 새롭게 태어난 염소 ㉢의 체세포 핵에서 DNA를 추출한다.
→ ㉢은 ㉠의 복제 염소 → 핵 DNA 동일
- (마) ㉠~㉢의 DNA를 제한 효소로 자른 후 전기 영동으로 분리한다.

[결과]



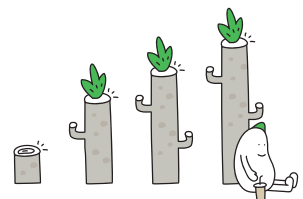
선택지 분석

- ㉠ ㉠과 ㉡은 모두 사람의 성장 호르몬을 생산하는 LMO이다.
- ㉡ ㉠과 ㉡은 같은 개체이다. 서로 다른
- ㉢ (마)에서 ㉠~㉢의 DNA는 서로 다른 제한 효소로 자른다. 같은

㉠. ㉠은 사람의 성장 호르몬을 생산하므로 생명 공학 기술을 활용하여 사람의 성장 호르몬 유전자를 갖게 된 LMO(유전자 변형 생물체)이다. 그런데 ㉡은 무핵 난자에 ㉠의 젖새 세포 핵을 이식하여 만든 배아로부터 발생 과정을 거쳐 태어났으므로 ㉠과 핵 DNA가 같다. 따라서 ㉡도 사람의 성장 호르몬 유전자를 가지는 LMO이다.

바로알기 ㉢. ㉠과 ㉡은 핵 DNA가 같다. 전기 영동 결과에서 A와 C의 분리 결과가 같으므로 A와 C는 각각 ㉠과 ㉡ 중 하나이다. 그런데 B와 D의 분리 결과는 다르므로 ㉠과 ㉡은 핵 DNA가 서로 다른 개체이다.

㉣. (마)에서 ㉠~㉢의 DNA는 같은 제한 효소로 잘라야 염기 서열의 차이에 따라 생성되는 DNA 조각의 크기와 수가 달라져 전기 영동으로 결과를 비교하여 유전적으로 같은지 다른지를 확인할 수 있다.



Memo



A large white rectangular area with rounded corners, containing numerous horizontal dashed lines for writing. The lines are evenly spaced and extend across the width of the page.

Memo



A large white rectangular area with rounded corners, containing numerous horizontal dashed lines for writing. The lines are evenly spaced and extend across the width of the page, providing a template for a memo or note.