



w

완자

# 기출 PICK

---

정답과 해설

지구과학 I

# 정답과 해설

## 1 판 구조론의 정립 과정

### 빈출 자료 보기

5쪽

1 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × (5) ○ (6) ○ (7) ○ (8) ×

- 1 (1) 해령에서 해양 지각이 생성되므로 해양 지각의 연령이 0인 C 지점에 해령이 분포한다.  
 (3) C 지점을 중심으로 양쪽으로 갈수록 해양 지각의 연령이 많아지는 것은 해령을 중심으로 해양 지각이 양쪽 방향으로 멀어졌기 때문이다.  
 (5) 600만 년 동안 거리에 따른 해양 지각의 연령 그래프의 기울기는 일정하다. 따라서 해양 지각의 확장 속도는 일정하였다.  
 (6) B와 D 지점은 연령이 같으므로 같은 시기에 생성된 해양 지각이다. 따라서 D 지점의 암석은 B와 같은 정자극기에 생성되었다.  
 (7) 해령에서 멀어질수록 해양 지각의 연령이 증가하는 자료는 해양저 확장설의 증거이다.  
**바로알기** | (2) C 지점에 해령이 분포하며, 해령은 맨틀 대류의 상승부에서 형성된다. 맨틀 대류가 하강하는 곳에는 해구가 분포한다.  
 (4) 해저 퇴적물이 퇴적되는 속도는 거의 일정하므로 해저 퇴적물의 두께는 해양 지각의 연령과 비례한다. 따라서 해저 퇴적물의 두께는 A에서 C 지점까지는 얇아지고, C에서 가장 얇으며, C에서 E 지점까지는 두꺼워진다.  
 (8) 해양 지각의 연령은 방사성 동위 원소 분석으로 알아낼 수 있다. 음향 측심법으로는 해저의 깊이(수심)를 알 수 있다.

### 난이도별 필수 기출

6~11쪽

2 ②	3 해설 참조	4 ③	5 ①
6 ①, ③, ④	7 ②	8 해설 참조	9 ③
10 ①	11 해설 참조	12 ②	13 ②
14 ㄱ, ㄹ, ㄴ	15 ③	16 ④	17 ⑤
19 해설 참조	20 ④	21 ㄱ	22 ①
24 ④	25 ③, ④	26 ②	27 ⑤
29 해설 참조	30 ④	31 ⑤	32 ⑤
34 ④	35 ⑤	36 ③, ⑤, ⑦	33 ⑤

- 2 ① 베게너의 대륙 이동설은 대륙 이동의 원동력을 설명하지 못하여 당시의 많은 학자들에게 지지를 받지 못하였다.  
 ③ 베게너는 모든 대륙이 하나로 모여 있던 초대륙인 판게아가 분리되고 이동하여 현재의 대륙 분포가 되었다고 주장하였다.  
 ④ 베게너는 남아메리카, 아프리카, 인도, 오스트레일리아 등에서 발견된 고생대 말 빙하의 흔적을 대륙 이동의 증거로 제시하였다.  
 ⑤ 베게너는 멀리 떨어진 대륙의 해안선 모양이 유사하여 서로 맞출 수 있다는 점에 착안하여 대륙 이동설을 제시하였다.  
**바로알기** | ② 대륙 이동의 원동력을 맨틀 대류라고 주장한 최초의 사람은 흄스이다. 베게너는 대륙 이동의 원동력을 설명하지 못하였다.

- 3 베게너는 멀리 떨어져 있는 대륙의 해안선 모양의 유사성, 지질 구조의 연속성, 화석의 분포, 고생대 말 빙하의 흔적 분포 등을 증거로 대륙 이동설을 주장하였다.

**모범 답안** 멀리 떨어져 있는 대륙의 해안선 모양이 유사하다. 멀리 떨어져 있는 대륙에서 지질 구조가 연속적으로 나타난다. 멀리 떨어져 있는 대륙에서 같은 종의 화석이 발견된다. 고생대 말 빙하의 흔적이 멀리 떨어진 여러 대륙에서 발견된다.

- 4 ③ 흄스는 1920년대 말, 맨틀의 열대류로 인해 대륙이 이동할 수 있다는 맨틀 대류설을 제시하였다.

**바로알기** | ① 윌슨은 변환 단층을 발견해 해양저 확장설과 판 구조론의 정립에 기여하였다.

- ② 헤스는 해양저 확장설을 제안한 학자 중 하나이다.  
 ④ 베게너는 대륙 이동설을 주장한 학자이다.  
 ⑤ 아이작스는 모건, 매켄지 등과 함께 판 구조론의 틀을 정립하였다.

- 5 ① 흄스는 방사성 동위 원소의 붕괴열과 지구 중심부에서 올라오는 열에 의해 발생한 맨틀 내의 온도 차이로 열대류가 일어나고, 맨틀의 대류가 대륙을 이동시킬 수 있다고 설명하였다.

**바로알기** | ② 맨틀 대류의 상승부에서는 새로운 해양과 지각이 생성된다.

- ③ 맨틀 대류의 하강부에서는 해구나 산맥이 형성되며, 새로운 지각이 생성되지 않는다.  
 ④ 흄스는 맨틀 대류의 관측적 증거를 제시하지 못하였다.  
 ⑤ 맨틀 대류설은 대륙 이동의 원동력을 설명할 수는 있었으나, 맨틀 대류를 설명할 수 있는 관측적 증거를 제시하지 못하여 등장한 당시에는 널리 받아들여지지 않았다.



▲ 흄스의 맨틀 대류설

- 6 ② 남아메리카 대륙의 동해안과 아프리카 대륙의 서해안의 해안선 모양의 유사성은 대륙 이동설의 증거이다.

⑤ 베게너는 고생대 말 빙하의 흔적이 적도를 비롯한 여러 지역의 대륙에서 나타나고 있다는 것을 발견하였다. 이러한 빙하의 흔적은 남극 부근에 모여 있던 대륙이 적도 부근까지 이동한 증거가 된다.

⑥ 서로 멀리 떨어져 있는 대륙에서 같은 종류의 화석(글로소프테리스)이 발견되는 것은 과거에 대륙들이 붙어 있었다는 증거가 된다.

⑦ 멀리 떨어져 있는 대륙들의 고생대 말 빙하의 이동 흔적을 추적하면 빙하가 남극을 중심으로 분포하므로 남극 대륙에서 흩어져나간 것임을 알 수 있다.

⑧ 유럽의 칼레도니아산맥과 북아메리카의 애팔래치아산맥에서의 지질 구조가 연속적으로 나타나는 것은 산맥이 형성되었을 당시에 대륙이 붙어 있었다는 증거가 된다.

**바로알기** | ① 화산대와 지진대가 띠 모양으로 분포하는 것은 판 구조론에서 설명할 수 있는 것으로, 대륙 이동설의 증거는 아니다.

③ 해령에서 멀어질수록 해양 지각의 나이가 증가하는 것은 해양저 확장설의 증거이다.

④ 모든 대륙이 하나로 모였던 초대륙이 분리되고 이동하여 현재와 같은 대륙 분포가 되었다는 것은 베게너가 주장한 대륙 이동설의 내용으로, 증거는 아니다.

개념 보충

베게너가 주장한 대륙 이동설의 증거

현재 떨어져 있는 대륙을 모으면 해안선, 지질 구조, 화석의 분포, 빙하 흔적 분포 등이 연속된다.



7 그림에서 고지자기 줄무늬를 제외한 나머지(고생대 말 습곡 산맥, 메소사우루스 화석 산출지, 고생대 말 빙하 퇴적층, 고생대 말 빙하 이동 흔적)는 베게너가 제시한 대륙 이동의 증거이다.

ㄴ. 북아메리카 대륙과 유럽 대륙의 습곡 산맥의 분포가 연속적으로 나타나는 것은 베게너가 제시한 증거이다.

바로알기 | ㄱ. 해령을 축으로 고지자기 줄무늬가 대칭적으로 나타나는 것은 해양지 확장설의 증거이다.

ㄷ. 판게아가 형성되었을 때, 북아메리카 대륙의 동해안은 아프리카 대륙의 북서부 해안과 맞닿아 있었다. 아프리카의 남서부 해안은 남아메리카 대륙의 동해안과 해안선의 모양이 유사하다.



8 현재 아열대 및 열대 기후대에 속하는 인도, 오스트레일리아, 아프리카 남부, 남아메리카 대륙은 판게아가 형성된 고생대 말에는 남극 대륙 주위에 위치하여 빙하가 분포하였다.

모범 답안 이 대륙들은 고생대 말 초대륙이었을 때 남극 대륙 주위에 분포하였으나 시간이 지나 분리되면서 현재의 위치로 이동하였기 때문이다.

9 고생대 말 빙하 퇴적층의 분포와 이동 흔적으로부터 고생대 말에 남아메리카, 아프리카, 인도, 오스트레일리아 대륙이 남극 대륙 주변에서 하나의 대륙으로 분포하였을 것이라고 추론할 수 있다.

ㄱ. 인도 대륙은 고생대 말의 빙하 퇴적층이 분포하므로 고생대 말에 남극 부근에 있었을 것이다.

ㄷ. 남아메리카 대륙과 아프리카 대륙은 과거에 하나의 대륙으로 분포하였으므로 같은 종류의 화석(예 글로소프테리스)이 발견될 수 있다.

바로알기 | ㄴ. 적도 지역은 지질 시대 동안에도 덥고 습한 기후였으므로 빙하가 존재하기 어렵다. 따라서 현재 적도 부근의 고생대 말 빙하 흔적은 빙하가 형성될 당시에 대륙이 고위도에 위치했다는 것을 알려 준다.

10 흠스는 대륙 이동의 원동력으로 맨틀 대류를 제시하였으며, 맨틀 대류의 상승부에는 새로운 지각과 해양이, 맨틀 대류의 하강부에는 해구와 산맥이 발달한다고 하였다.

② A에서는 맨틀 대류가 하강하면서 지각이 수렴하여 횡압력이 작용한다.

③ B는 맨틀 대류가 상승하는 곳으로, 대륙 지각이 분리되고 새로운 해양이 생성된다.

④ 맨틀 위에 놓여 있는 대륙은 맨틀 대류를 따라 이동한다.

⑤ 방사성 원소의 붕괴열과 지구 중심부에서 올라오는 열에 의한 맨틀 상부와 하부의 온도 차이로 열대류가 발생한다.

바로알기 | ① A는 맨틀 대류가 하강하는 지역이므로 해구와 산맥이 발달한다.

11 (가)는 흠스의 맨틀 대류설, (나)는 베게너의 대륙 이동설이다.

모범 답안 (가) 맨틀 대류설은 맨틀이 대류하는 관측적인 증거를 제시하지 못하였다.

(나) 대륙 이동설은 대륙이 이동하는 원동력을 설명하지 못하였다.

12 (가)는 고생대 말 판게아가 형성되었을 때 습곡 산맥의 분포를, (나)는 현재 판게아가 분리되어 대륙이 이동한 이후의 메소사우루스 화석의 분포를 나타낸 것이다.

ㄴ. 메소사우루스는 고생대 말에 존재한 담수성 파충류로, 대서양의 심해 퇴적층에서는 발견되기 어렵다.

ㄷ. (가)와 (나)는 베게너가 제시한 대륙 이동설의 증거이다.

바로알기 | ㄱ. 북아메리카 대륙의 동쪽에 분포하는 애팔래치아산맥과 유럽 대륙의 서쪽에 분포하는 칼레도니아산맥은 고생대 말에는 연결되어 있었고 그 이후 판게아가 분리되며 갈라졌다. 따라서 중생대 말에는 분리되어 있었다.

ㄷ. 메소사우루스는 판게아가 분리되기 전에 출현하였기 때문에 현재는 떨어져 있는 두 대륙에서 화석으로 발견될 수 있다.

13 음향 측심법을 통해 수심을 구할 수 있다. 수심이  $d$ , 음파의 왕복 시간이  $t$ , 음파의 속도가  $v$ 라고 하면,  $d = \frac{1}{2} \times t \times v$ 이다.

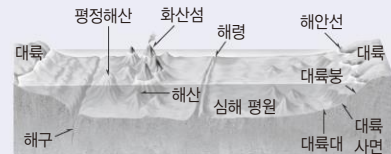
따라서  $d = \frac{1}{2} \times 4.5 \times 1500 \text{ m/s} = 3375 \text{ m}$ 이다.

14 심해저 지형에 해당하는 것은 해령, 해구, 심해 평원, 평정해산 등이 있다. 대륙붕, 대륙 사면 등은 대륙 주변부로 구분되어 심해저 지형에 해당하지는 않는다.

개념 보충

해저 지형

- 해령: 좁고 긴 해저 산맥으로, 중앙에 열곡(V자 모양의 골짜기)이 발달한다.
- 해구: 수심 약 6 km 이상인 좁고 긴 골짜기
- 심해 평원(심해저 평원): 수심 3 km~6 km의 평탄한 지형으로, 해저 지형의 대부분을 차지한다.
- 평정해산: 해산 중 산 정상부가 침식으로 깎여 평평해진 해산
- 대륙붕: 대륙과 접해 있는 수심 약 200 m 이내의 해저 지형
- 대륙 사면: 대륙붕에 접하면서 경사가 급한 지형
- 대륙대: 대륙 사면의 끝에서 이어지는 경사가 완만한 지형



▲ 해저 지형 모식도

15 ① 음향 측심법은 해수면에서 발사한 음파의 왕복 시간을 측정하여 해저의 깊이(수심)를 측정하는 방법이다.

② 수심이 깊을수록 음파가 해저면에 반사되어 되돌아오는 데 걸리는 시간이 길어지므로, 측정된 음파의 왕복 시간이 길수록 수심이 깊다는 것을 알 수 있다.

④ 물속에서 음파의 속도는 공기에서보다 빠르다. 음파의 속도는 매질의 온도나 밀도 등에 따라 달라지지만, 일반적으로 공기에서는 약 330 m/s, 물속에서는 약 1500 m/s이다.

⑤ 음향 측심법으로 밝혀진 해저 지형을 설명하기 위해 해양지 확장설이 등장하였다.

바로알기 | ③ 수심은 ' $\frac{1}{2} \times$  음파의 왕복 시간  $\times$  음파의 속도'로 구한다.

16 ㄱ. 음파의 왕복 시간은 수심이 깊을수록 길다. B 지점은 A 지점보다 수심이 더 깊으므로 음파의 왕복 시간이 더 길다.

ㄴ. 해구는 수심이 6 km 이상인 좁고 깊은 골짜기이고, 해령은 심해저에 발달한 해저 산맥이다. 그림은 해구와 해령이 포함된 해저 지형이므로 심해저 지형에서 수심이 가장 깊은 C 지점에는 해구가, 수심이 가장 얇은 E 지점에는 해령이 분포한다.

**바로알기** | ㄷ. 해양 지각은 해령에서 생성되어 해구로 이동하므로, 해령에서 멀어질수록 해양 지각의 나이가 증가한다. D 지점은 C 지점보다 해령에 가깝기 때문에 해양 지각의 나이가 더 적다.

17 A는 수심이  $6000\text{ m} \left( = \frac{1}{2} \times 8\text{ s} \times 1500\text{ m/s} \right)$ 인 골짜기이므로 해구가 발달하고, B에서는 해령이 발달한다.

ㄱ. 음향 측심법에서 음파의 왕복 시간이 긴 곳일수록 수심이 깊다. 따라서 음파의 왕복 시간이 가장 긴 A가 수심이 가장 깊다.

ㄴ. B는 음파의 왕복 시간이 주변 지역에 비해 짧아 수심이 얇고, W와 같이 대칭적인 모양으로 나타나므로, V자 모양의 골짜기인 열곡이 발달한다.

ㄷ. 해양 지각의 연령은 해령에서 해구로 갈수록 증가한다. A에는 해구가, B에는 해령이 분포하므로 암석의 연령은 A가 B보다 많다.

18 ㄱ. 수심을  $d$ , 음파의 왕복 시간을  $t$ , 음파의 속도를  $v$ 라고 할 때,  $d = \frac{1}{2} \times t \times v$ 이다. 기준점으로부터 5 km에서 음파의 왕복 시간은

6.6초이므로,  $d = \frac{1}{2} \times 6.6\text{ s} \times 1500\text{ m/s} = 4950\text{ m}$ 이다.

ㄴ. 30 km~35 km 구간은 왕복 시간이 2.4초로 주위 지역보다 짧으므로 수심이 얇은 지역이다. 해령은 심해저의 다른 지역에 비해 수심이 얇으므로 이 구간에 해령이 존재한다고 볼 수 있다.

**바로알기** | ㄷ. 25 km~30 km 구간과 35 km~40 km 구간에서의 거리와 시간을 정리하면 다음과 같다.

거리(km)	25	30	35	40
시간(s)	3.5	2.4	2.4	4.5
구간에 따른 시간 차이(s)	1.1		2.1	
구간에 따른 높이 차이(m)	$\frac{1}{2} \times 1.1 \times 1500 = 825$		$\frac{1}{2} \times 2.1 \times 1500 = 1575$	

경사는  $\frac{\text{높이 차이}}{\text{거리 차이}}$ 이다. 따라서 거리 차이가 동일한 구간에서 높이 차이가 더 큰 35 km~40 km 구간이 25 km~30 km 구간보다 평균 경사가 더 급하다.

**다른 해설** | ㄷ. 자료에서 25 km~30 km 구간과 35 km~40 km 구간은 거리 차이가 5 km로 같고, 각각의 높이 차이는 왕복 시간의 차이로 알 수 있다. 따라서 왕복 시간의 차이가 더 큰 35 km~40 km 구간의 평균 경사가 더 급하다.

19 (1), (2) 수심을  $d$ , 음파의 왕복 시간을  $t$ , 음파의 속도를  $v$ 라고 할 때,  $d = \frac{1}{2} \times t \times v$ 이다. 수심은 음파의 왕복 시간에 비례하므로 음파 왕복 시간이 가장 긴 A<sub>2</sub>의 수심이 가장 깊고, 음파 왕복 시간이 가장 짧은 B<sub>4</sub>의 수심이 가장 얇다.

(3) A와 B 해역에 해령과 해구가 존재한다고 하였으므로 수심이 가장 깊은 곳에 해구가, 가장 얇은 곳에 해령이 존재한다. 따라서 ㉠ 해구는 왕복 시간이 가장 긴 A<sub>2</sub>가 존재하는 A 해역에, ㉡ 해령은 왕복 시간이 가장 짧은 B<sub>4</sub>가 존재하는 B 해역에 존재한다.

**모범 답안** (1) A<sub>2</sub>,  $\frac{1}{2} \times 9.4\text{ s} \times 1500\text{ m/s} = 7050\text{ m}$

(2) B<sub>4</sub>,  $\frac{1}{2} \times 4.2\text{ s} \times 1500\text{ m/s} = 3150\text{ m}$

(3) ㉠ A 해역, ㉡ B 해역

20 ④ 해양 지각의 나이는 해령이 분포하는 P<sub>4</sub> 부근에서 멀수록 많아지므로 P<sub>5</sub> 지점이 P<sub>4</sub> 지점보다 많다.

**바로알기** | ① 해저면의 수심은 음파의 왕복 시간에 비례한다. 따라서 음파의 왕복 시간이 가장 짧은 P<sub>4</sub>가 가장 수심이 얇은 지점이다.

② P<sub>2</sub> 지점의 수심 =  $\frac{1}{2} \times 7.36\text{ s} \times 1500\text{ m/s} = 5520\text{ m}$ 이다.

③ 다른 지점에서 P<sub>4</sub> 지점으로 갈수록 음파의 왕복 시간이 짧아지므로 수심이 얇아진다. 따라서 P<sub>3</sub>~P<sub>5</sub> 지점 사이에 해령이 존재한다.

⑤ P<sub>1</sub>~P<sub>6</sub> 구간에 있는 판의 경계는 해령(발산형 경계)이다. 해령은 맨틀 대류의 상승부로, 해양 지각이 생성된다.

21 ㄱ. 해령에서 새로운 해양 지각이 생성되어 양쪽으로 확장된다는 학설이 해양지 확장설이다.

**바로알기** | ㄴ. 해양 지각이 확장되면서 해령에서 멀어질수록 해양 지각의 나이가 많아지므로 해저 퇴적물의 두께가 두꺼워진다.

ㄷ. 섭입대에서는 밀도가 큰 해양 지각이 밀도가 작은 대륙 지각 아래로 비스듬히 들어가면서 지진이 발생하므로 해구에서 대륙 쪽으로 갈수록 지진이 발생하는 깊이가 깊어진다.

22 ① 해령이 끊어져 어긋나는 구간인 변환 단층을 발견하고 형성 과정을 설명한 과학자는 월슨이다.

**바로알기** | ② 헤스는 해양지 확장설을 제안하였다.

③ 홈스는 맨틀 대류설을 주장하였다.

④ 베게너는 대륙 이동설을 주장하였다.

⑤ 아이작스는 판이 상부 맨틀의 일부와 지각으로 이루어져 있음을 밝혀 판 구조론의 정립에 기여하였다.

23 ② 음향 측심 탐사를 통해 수심을 알아내어 해저 지형을 조사할 수 있게 되었다.

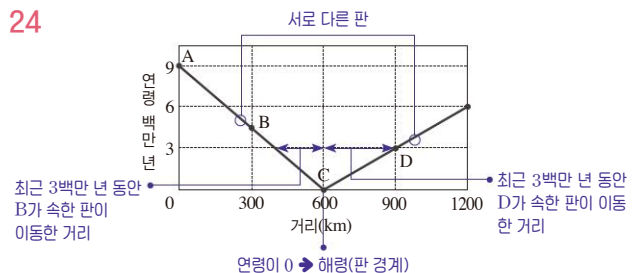
**바로알기** | ① 자력계의 개발은 해양 지각의 정자극기와 역자극기의 발견 및 암석의 고지자기 분석에 도움을 주었다.

③ 방사성 동위원소는 해양 지각의 나이를 측정하는 데 이용되었다.

④ 대서양 중앙 해령 연구로부터 해양 지각이 생성됨을 알 수 있었다. 섭입대 주변의 진원 깊이 분석은 해구를 연구하며 알게된 사실이다.

⑤ 전 세계 지진 관측망의 구축을 통해 섭입대 주변의 진원 깊이 분포 등을 연구할 수 있었다.

24



해령에서는 새로운 해양 지각이 생성되므로 해양 지각의 연령이 0인 C 지점이 해령에 해당한다.

④ 해령을 중심으로 양쪽으로 해양 지각이 확장되어 멀어지므로 서로 다른 판에 존재하는 B와 D 지점 사이의 거리는 점점 멀어질 것이다.



**바로알기** | ① 해양 지각의 연령과 해저 퇴적물의 두께는 비례한다. A에서 C로 갈수록 연령이 감소하므로 해저 퇴적물의 두께가 얇다.

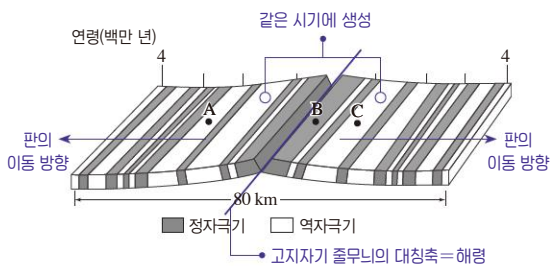
② C는 해령으로, 해양 지각이 생성되는 곳이다.

③ 해령을 경계로 서로 다른 판이 존재한다. 따라서 A와 D는 서로 다른 판에 속한다.

⑤ 판의 이동 속력은  $\frac{\text{거리}}{\text{시간}}$ 이다. 동일한 시간인 3백만 년 동안 이동한 거리가 B가 속한 판이 D가 속한 판에 비해 작으므로 B가 속한 판의 이동 속력이 더 느리다.

**다른 해설** | ⑤ B가 속한 판과 D가 속한 판 모두 거리에 따른 연령 그래프가 직선을 이루므로 이동 속력은 시간에 따라 변하지 않고 일정하다. 해령으로부터 같은 거리에 있는 B와 D 지점 중 연령이 B가 더 많으므로 B가 속한 판의 이동 속도가 더 느리다.

25



① 해령에서 생성된 암석은 서로 다른 양쪽의 판으로 확장되므로 해령을 기준으로 고지자기 줄무늬가 대칭을 이룬다.

② 고지자기 줄무늬의 대칭축은 해령이다. 따라서 A~C 중 해령에 가장 가까운 지점은 B이다.

⑤ A와 B는 해령을 중심으로 서로 다른 판에 위치하므로 A와 B에서 해양 지각의 이동 방향은 서로 반대이다.

⑥ 약 4백만 년 동안 해령을 중심으로 해양 지각이 양쪽으로 각각 40 km씩 이동하였다. 속력 =  $\frac{\text{거리}}{\text{시간}}$ 이고,  $1 \text{ km} = 10^5 \text{ cm}$ 이므로 판의

이동 속력은  $\frac{40 \times 10^5 \text{ cm}}{4000000 \text{ 년}} = 1 \text{ cm/년}$ 이다.

**바로알기** | ③ A와 C의 암석은 모두 역자극기에 생성되었지만, 해령과 A 사이의 고지자기 줄무늬 수가 해령과 C 사이의 고지자기 줄무늬 수보다 많으므로 A의 암석은 C의 암석보다 먼저 생성되었다.

④ 지구 자기장의 방향이 현재와 같을 때가 정자극기이다. C의 암석이 생성될 때는 역자극기였으므로 지구 자기장의 방향은 현재와 반대이다.

26

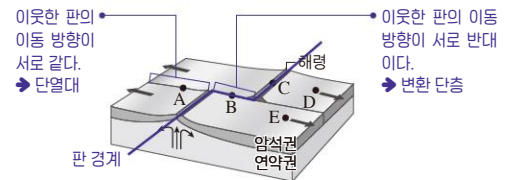


ㄷ. A와 C는 모두 정자극기에 생성된 암석이다. 따라서 암석이 생성될 당시에 지구 자기장의 방향은 같았다.

**바로알기** | ㄱ. 해양 지각의 나이는 고지자기 줄무늬로 비교할 수 있다. 암석이 생성된 후 지구 자기장이 A는 4번 역전되었고, B는 한 번 역전되었으며, C는 역전되지 않았다. 따라서 해양 지각의 나이를 비교하면  $A > B > C$ 이다.

ㄴ. B가 속한 해양 지각은 해령의 오른쪽으로, C가 속한 해양 지각은 해령의 왼쪽으로 이동하므로 이동 방향은 서로 반대이다.

27



A는 단열대, B는 변환 단층, C는 해령에 위치하고, D와 E는 동일한 판에 위치한다.

ㄷ. C는 해령에 위치하고, 해령은 맨틀 대류의 상승부로, 화산 활동이 활발하게 일어난다.

ㄹ. 해양 지각의 나이는 해령으로부터 수직 방향의 거리에 비례한다. E는 D와 같은 판에 위치하며 D보다 해령으로부터 수직 방향으로 먼 거리에 있기 때문에 해양 지각의 나이가 더 많다.

**바로알기** | ㄱ. A를 경계로 이웃한 판의 이동 방향은 동일하므로 A는 단열대에 해당한다. 변환 단층은 B와 같이 해령과 해령 사이에서 나타나며, 판 경계에 이웃한 판이 서로 반대 방향으로 이동하여 어긋나면서 발달하는 지형이다.

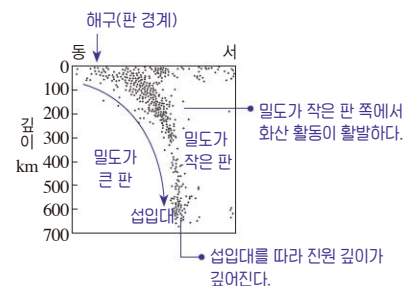
ㄴ. B는 변환 단층으로, 천발 지진이 자주 발생한다.

#### 개념 보충

##### 변환 단층

- 해령과 해령 사이에서 판 경계에 이웃한 두 판이 서로 다른 방향으로 이동하여 어긋나면서 발달하는 지형이다.
- 주로 해저에서 발달하지만, 산안드레아스 단층과 같이 지상에 드러나 있는 경우도 있다.
- 천발 지진이 주로 발생하고, 화산 활동은 거의 일어나지 않는다.

28



그림은 해구와 섭입대가 발달하고 있는 지역의 진원 분포이다.

① 수렴형 경계인 해구는 맨틀 대류의 하강부에 발달한다.

② 진원 분포를 보면, 동쪽에서 서쪽으로 갈수록 깊어진다. 따라서 동쪽의 판이 서쪽의 판 아래로 섭입하고 있으므로 동쪽에 있는 판의 밀도가 서쪽에 있는 판의 밀도보다 크다.

③ 섭입대를 따라 지진이 발생하므로 섭입대는 서쪽의 판 아래에 형성되어 있다.

⑤ 섭입대로 해양 지각의 소멸을 설명할 수 있으므로 섭입대(베니오프대)의 발견은 해양지 확장설의 중요한 증거 중 하나이다.

**바로알기** | ④ 섭입대 부근에서 마그마가 생성되어 지표로 분출하므로 화산 활동은 밀도가 작은 판 쪽에서 활발하게 일어난다. 따라서 서쪽에 있는 판에서 활발하게 일어난다.

29

밀도가 큰 해양판이 밀도가 작은 대륙판 아래로 섭입하면서 섭입대가 비스듬히 형성된다. 따라서 해구에서 섭입대를 따라 대륙 쪽으로 갈수록 진원의 깊이가 깊어진다.

**모범 답안** 맨틀 대류의 하강부인 섭입대에서는 밀도가 큰 해양판이 밀도가 작은 대륙판 아래로 섭입하면서 지진이 발생하기 때문이다.

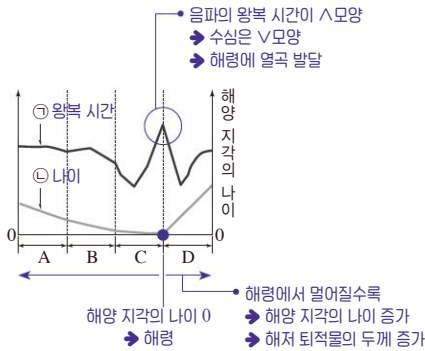
30 A-A'는 필리핀판이 유라시아판 아래로 섭입하는 곳이고, B-B'는 태평양판이 필리핀판 아래로 섭입하는 곳이다.

ㄴ. B-B' 구간에서 필리핀판 아래에 섭입대가 형성되므로 화산 활동은 필리핀판에서 주로 일어난다.

ㄷ. 그림에서 A-A' 구간과 B-B' 구간의 수평 거리가 같고, 진원 분포의 경사가 A-A' 구간이 B-B' 구간보다 작다. 진원 분포는 섭입대를 따라 나타나므로 섭입대의 경사는 A-A' 구간이 B-B' 구간보다 작다.

**바로알기** ㄱ. A-A' 구간에서는 판 경계에서 유라시아판으로 갈수록 진원 깊이가 깊어지므로 필리핀판이 유라시아판 아래로 섭입한다.

31



ㄴ. 수심은 음파의 왕복 시간에 비례한다. A 구간은 B 구간보다 음파의 평균 왕복 시간이 길게 나타나므로 평균 수심이 더 깊다.

ㄷ. B 구간은 C 구간보다 해양 지각의 나이가 많으므로 해저 퇴적물의 두께가 더 두껍다.

ㄹ. 판의 이동 속력은  $\frac{\text{거리}}{\text{시간}}$  이고, ㉠ 그래프에서 가로축이 거리, 세로축이 나이이므로 기울기가 작을수록 속력이 빠르다. C 구간은 D 구간보다 기울기가 작으므로 판의 이동 속력이 더 빠르다.

**바로알기** ㄱ. 해령에서 해양 지각의 나이는 0이므로 그래프에서 0을 지나는 ㉠이 해양 지각의 나이이고, ㉡은 음파의 왕복 시간이다.

32 해양 지각의 나이가 0인 곳이 해령이다. 해령을 중심으로 양 옆으로 멀어질수록 해양 지각의 나이가 증가하고 있다.

ㄱ. A에서 B 지점으로 갈수록 해양 지각의 나이가 감소하므로 수심도 얕아진다.

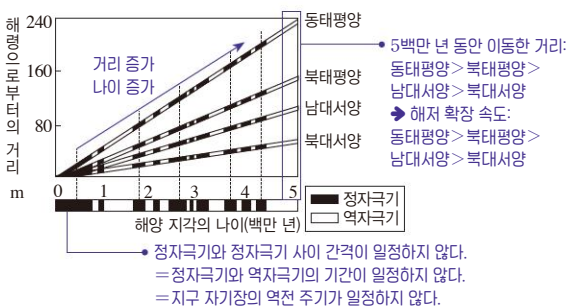
ㄴ. 해령은 새로운 해양 지각이 생성되는 곳이다. B와 C 지점 사이에는 해양 지각의 나이가 0인 곳이 존재하므로 해령이 분포한다.

ㄷ. B와 C 지점은 해양 지각의 나이가 9000만 년으로 동일하다. 같은 시기에 형성된 암석의 잔류 자기 방향은 같다.

#### 개념 보충

해령에서 멀어질수록 증가하는 것  
해양 지각의 나이, 퇴적물의 두께, 수심이 대체로 증가한다.

33



ㄱ. 동태평양, 북태평양, 남대서양, 북대서양 모두 해령으로부터의 거리가 멀어질수록 해양 지각의 나이가 증가한다.

ㄴ. 그림에서 정자극기와 역자극기가 일정한 시간 간격으로 반복되지는 않으므로 지구 자기장의 역전 주기는 규칙성이 없다.

ㄷ. 그림에서 가로축은 해양 지각의 나이, 세로축은 해령으로부터의 거리이므로 기울기  $\left(\frac{\text{거리}}{\text{시간}}\right)$ 는 판의 이동 속력을 의미한다. 동태평양의 기울기가 가장 크므로 해저 확장 속도는 동태평양에서 가장 빠르다.

34 판 구조론의 정립 과정에 등장한 학설은 시간 순서대로 '대륙 이동설 → 맨틀 대류설 → 해양저 확장설 → 판 구조론'이다.

35 ㄴ. 판 구조론은 지권의 변동과 그에 따른 지구 환경 변화를 통합적으로 이해할 수 있도록 하는 중요한 이론적 틀이다.

ㄷ. 음향 측심법의 발달로 해령, 해구 등의 해저 지형이 발견되면서 해양저 확장설이 등장하는 기초가 되었다.

ㄹ. 변환 단층은 해양 지각의 확장 속도 차이로 나타나는 지형이므로 변환 단층의 발견은 해양저 확장설의 증거가 되었다.

**바로알기** ㄱ. 맨틀 대류가 대륙 이동의 원동력이라고 제시한 학자는 흄스이다. 베게너는 대륙 이동의 원동력을 설명하지 못하였다.

36 (가)는 베게너의 대륙 이동설, (나)는 헤스와 디츠의 해양저 확장설, (다)는 흄스의 맨틀 대류설이다.

③ 맨틀 대류설은 대륙 이동의 원동력으로 맨틀 대류를 제시하였다.

⑤ 베게너가 제안한 초대륙의 이름은 판게아이다.

⑦ 음향 측심법을 통한 해저 지형의 연구로 해령, 해구 등의 지형이 밝혀져 해양저 확장설의 발전에 중요한 역할을 하였다.

**바로알기** ① (가)는 대륙 이동설에 대한 내용이다.

② (나)는 헤스와 디츠가 제안하였고, 흄스는 (다) 맨틀 대류설을 제안하였다.

④ 학설이 등장한 시간 순서는 (가) → (다) → (나)이다.

⑥ 베게너가 주장한 대륙 이동설의 증거는 해안선의 유사성, 지질 구조의 연속성, 화석의 분포, 고생대 말 빙하의 흔적이다. 해양 지각의 나이는 (나)의 증거이다.

⑧ 맨틀 대류설은 관측적 증거를 제시하지 못하여 등장한 당시에는 인정받지 못하였다.

⑨ 윌슨은 (나)에서 해령으로부터 해양 지각이 확장되는 속도의 차이로 해령과 해령 사이에 변환 단층이 형성되었다고 설명하였다.



빈출 자료 보기

12쪽

37 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ (5) ○ (6) × (7) ○ (8) ×

**37** (1) A는 판의 수렴형 경계에 발달한 해구, B는 판의 발산형 경계에 발달한 해령, C는 판의 수렴형 경계에 발달한 호상 열도이다.

(2) 해구(A)는 맨틀 대류의 하강부에서 발달한다.

(4) 해령(B)에서는 천발 지진과 화산 활동이 활발하고, 판이 생성된다.

(5) 호상 열도(C)는 수렴형 경계 부근에서 형성되며, 판이 섭입하면서 천발 지진부터 심발 지진까지 모두 나타난다.

(7) 해령에서 해양 지각이 생성되어 양쪽으로 이동하므로 B에서 A로 갈수록 해양 지각의 나이는 증가한다.

**바로알기** | (3) B는 이웃한 판이 서로 멀어지고 있는 발산형 경계에 해당한다.

(6) 밀도가 큰 판은 밀도가 작은 판 아래로 섭입한다. 해양판 P가 해양판 Q 아래로 섭입하므로 해양판 Q는 해양판 P보다 밀도가 작다.

(8) 해구(A)에서는 판이 수렴하면서 횡압력이 작용하므로 역단층이 우세하게 나타난다.

### 난이도별 필수 기출

13~15쪽

38 ①, ③, ⑤	39 ④	40 ②	41 ④, ⑥	42 ③
43 해설 참조	44 ⑤	45 ④	46 ③	
47 해설 참조	48 ⑤	49 ④	50 ③	51 ①
52 ③	53 ①			

**38** ② 판은 암석권의 조각으로, 암석권은 지각과 상부 맨틀의 일부를 포함한 두께 약 100 km의 단단한 부분이다. 따라서 판은 지각과 상부 맨틀의 일부를 포함한다.

④ 해양판은 주로 현무암질 암석으로, 대륙판은 주로 화강암질 암석으로 이루어져 있으므로 해양판은 대륙판보다 밀도가 크다.

⑥ 판은 연약권의 대류를 따라 이동한다.

⑦ 암석권은 연약권보다 밀도가 작으므로 연약권 위에 놓여 있다.

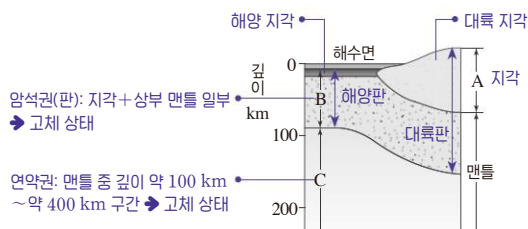
⑧ 판의 경계는 이웃한 판의 상대적인 이동 방향에 따라 발산형, 수렴형, 보존형 경계로 구분한다.

**바로알기** | ① 판 구조론은 해양저 확장설이 등장한 후에 제시되었다.

③ 해양 지각은 주로 현무암질 암석으로 이루어져 있다.

⑤ 암석권 아래의 연약권은 고체 상태이지만 부분 용융으로 유동성이 있다.

**39**



A는 지각, B는 지각과 상부 맨틀의 일부를 포함하는 암석권(판), C는 암석권 아래에 위치하는 연약권에 해당한다.

ㄱ. A는 지각이다. 암석권은 지각과 상부 맨틀의 일부를 포함하므로 A는 암석권에 포함된다.

ㄴ. B는 암석권으로, 지각을 포함하고 있다. 해양 지각은 대륙 지각보다 평균 밀도가 크므로 B의 평균 밀도는 대륙보다 해양에서 크다.

**바로알기** | ㄷ. C는 연약권으로, 맨틀 대류가 일어나는 부분이다. 연약권은 고체 상태이지만, 부분 용융으로 유동성이 있어 대류가 일어난다.

**40** 발산형 경계는 판이 서로 멀어지는 경계로, 해령과 열곡대가 발달한다. E는 유라시아판과 북아메리카판이 멀어지면서 형성된 대서양 중앙 해령이 지나가는 아이슬란드 열곡대로, 발산형 경계에 해당한다.

**바로알기** | A, B, D는 판이 서로 모여드는 수렴형 경계로, A는 히말라야산맥, B는 일본 해구, D는 페루 해구가 발달한 지역이다.

C는 판이 서로 어긋나는 보존형 경계로, 산안드레아스 단층이 발달한 지역이다.

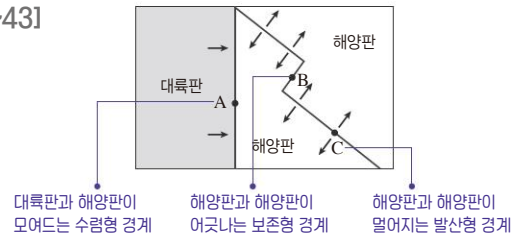
**41** 해양판과 대륙판이 모여드는 경계는 수렴형 경계(섭입형)이다.

①, ②, ③ 수렴형 경계에서는 대륙판과 대륙판의 충돌형 경계를 제외하고는 해구가 발달하고, 화산 활동이 활발하며, 천발 지진부터 심발 지진까지 나타난다.

⑤ 수렴형 경계에서는 두 판이 모이면서 해저 퇴적물이 융기하여 습곡 산맥이 발달할 수 있다.

**바로알기** | ④, ⑥ 수렴형 경계는 맨틀 대류의 하강부에서 나타나며, 판이 모여들면서 횡압력이 작용하여 역단층이 우세하게 나타난다.

[42~43]



이웃한 판의 상대적인 이동 방향에 따라 A는 수렴형 경계, B는 보존형 경계, C는 발산형 경계에 해당한다.

**42** ㄷ. C는 발산형 경계로, 장력이 작용하여 정단층이 우세하다. A는 수렴형 경계로, 횡압력이 작용하여 역단층이 우세하다.

**바로알기** | ㄱ. A는 수렴형 경계에 해당한다.

ㄴ. B는 보존형 경계로, 화산 활동이 일어나지 않는다. A는 수렴형 경계로, 화산 활동이 활발하게 일어난다.

**43** **모범 답안** • 공통점: 천발 지진이 발생한다.

• 차이점: C에서는 화산 활동이 활발하지만, B에서는 화산 활동이 일어나지 않는다.

**44** A는 해령, B는 변환 단층, C는 해구, D는 습곡 산맥이다.

ㄴ. 변환 단층(B)은 보존형 경계로, 판이 생성되거나 소멸되지 않는다.

ㄷ. 해구에서는 해양판이 대륙판 아래로 섭입하므로 C에서 D로 갈수록 진원의 깊이가 깊어진다.

**바로알기** | ㄱ. 변환 단층(B)은 보존형 경계이므로 화산 활동이 일어나지 않지만, 해령(A)은 맨틀 대류의 상승부에 위치한 발산형 경계이므로 화산 활동이 활발하게 일어난다.

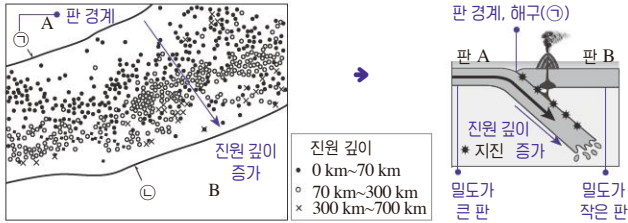
**45** 수렴형 경계 중 (가)는 대륙판과 대륙판이 모여드는 충돌형 경계, (나)는 해양판과 해양판이 모여드는 섭입형 경계이다.

ㄴ. (나)에서 A판은 B판 아래로 섭입한다. 밀도가 큰 판이 밀도가 작은 판 아래로 섭입하므로 판의 밀도는 A가 B보다 크다.

ㄷ. 대륙판과 대륙판이 충돌하는 경우 화산 활동은 거의 일어나지 않는다. 따라서 화산 활동은 (가)보다 (나)에서 활발하며, (나)에서는 해양판이 섭입하면서 화산 활동이 일어나 호상 열도가 발달한다.

**바로알기** | ㄱ. (가)에서는 밀도가 비슷한 대륙판과 대륙판이 충돌하면서 해저 퇴적물이 융기하여 습곡 산맥이 발달하지만, 해구는 발달하지 않는다.





그림에서 진원 깊이는 A에서 B로 갈수록 깊어진다. 섭입대에서 진원 깊이는 판 경계에서 밀도가 작은 판 쪽으로 갈수록 깊어진다. 따라서 판 경계는 ㉠, ㉡ 중 ㉠이고, 판의 밀도는 A가 속한 판이 B가 속한 판보다 크다.

ㄴ. 해구는 섭입형 경계에서 발달하는 지형으로, 해구에서 섭입대를 따라 진원 깊이가 점점 깊어지므로 상대적으로 진원 깊이가 얕은 ㉠에 해구가 발달한다.

ㄷ. 진원 깊이 분포로 보아 A가 속한 판이 B가 속한 판 아래로 섭입하고 있으므로 판의 밀도는 A가 속한 판이 더 크다.

**바로알기** ㄱ. 이 지역은 천발 지진부터 심발 지진까지 나타나므로 섭입대가 발달한 수렴형 경계 부근의 해역이다.

ㄴ. 화산 활동은 밀도가 작은 판에서 주로 발생하므로 B가 속한 판 쪽에서 발생한다.

**47** 판의 이동 방향에 따라 A, D는 수렴형 경계, B는 보존형 경계, C는 발산형 경계로 구분할 수 있다.

- 모범 답안**
- A: 수렴형, 습곡 산맥이 발달한다.
  - B: 보존형, 변환 단층이 발달한다.
  - C: 발산형, 해령이 발달한다.
  - D: 수렴형, 해구와 습곡 산맥이 발달한다.

**48** ㄴ. B는 산안드레아스 단층으로, 보존형 경계이다. 보존형 경계에서는 판의 생성과 소멸이 발생하지 않는다.

ㄷ. C는 동태평양 해령으로, 발산형 경계이다. 발산형 경계에서는 주로 천발 지진이 발생한다.

ㄴ. A는 히말라야산맥으로 대륙판과 대륙판이 수렴하는 곳이고, D는 안데스산맥으로 해양판과 대륙판이 수렴하는 곳이다. 따라서 이웃하는 두 판의 밀도 차이는 D가 A보다 크다.

**바로알기** ㄱ. A는 히말라야산맥으로, 수렴형 경계이다. 수렴형 경계는 맨틀 대류의 하강부에 위치한다.

**49** A와 C는 수렴형 경계이고, B는 발산형 경계이다. A는 알류산 열도 부근의 해구이고, C는 후안테푸카판이 섭입하는 해구이다. B는 후안테푸카 해령이다.

ㄴ. B는 해령으로, 새로운 해양 지각이 생성되는 곳이다. 해저 퇴적물은 해양 지각의 나이가 많을수록 대체로 두꺼워지므로, A~C 중 해양 지각이 생성되는 B에서 해저 퇴적물의 두께가 가장 얇다.

ㄷ. A와 C는 맨틀 대류의 하강부이고, B는 맨틀 대류의 상승부이므로 A~C 부근에서는 모두 화산 활동이 활발하다.

**바로알기** ㄱ. A는 수렴형 경계로, 해양 지각이 소멸한다.

**50** A와 C는 해구 부근이고, B는 변환 단층이 발달한 지역이다.

ㄱ. 판의 이동 방향과 해구의 모습을 보면, A보다 오른쪽에 있는 판이 A가 속한 판 아래로 섭입하므로 A의 하부에는 섭입대가 분포한다.

ㄴ. A~C는 모두 판 경계 부근의 지역이고 천발 지진은 모든 판 경계에서 발생한다.

**바로알기** ㄷ. B는 변환 단층, C는 해구 부근이다. 따라서 화산 활동은 B에서는 일어나지 않으며, C에서는 활발하게 일어난다.

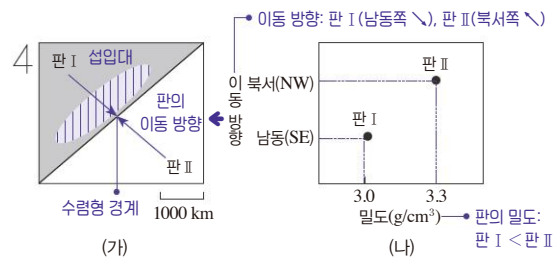
**51** A는 발산형 경계, B는 보존형 경계, C는 수렴형 경계를 나타낸 모식도이다.

ㄱ. 심발 지진은 수렴형 경계에서만 발생하므로 (가)에 해당하는 경계는 C이다.

**바로알기** ㄴ. (가)가 C이고 순서도의 마지막 부분이 A이므로 (나)는 B이다. 보존형 경계인 B에서는 화산 활동이 일어나지 않는다.

ㄷ. 순서도의 마지막 부분이 A이고, (나)에는 B가 들어가야 하므로 질문 (다)에는 보존형 경계에서는 '예'이고, 발산형 경계에서는 '아니요'에 해당하는 질문이 들어가야 한다. '해양 지각이 생성되는가?'는 발산형 경계에서 '예'에 해당하므로 (다)에 적합하지 않다.

**52**



(나)에서 판 I은 남동쪽(↘)으로, 판 II는 북서쪽(↖)으로 이동하고 있으며, 판 II는 판 I보다 밀도가 크다. 따라서 (가)의 경계는 두 판이 모여드는 수렴형 경계이다. 또한, 판 II는 해양판이고 판 I보다 밀도가 크므로 판 I 아래로 섭입되고 있다.

ㄴ. 판 I과 판 II의 경계는 수렴형 경계이므로 두 판은 서로 가까워지고 있다.

ㄷ. 섭입대에서 화산 활동은 밀도가 작은 판에서 주로 일어나므로 판 II보다 밀도가 작은 판 I에서 화산 활동이 더 활발하다.

**바로알기** ㄱ. 이 지역은 수렴형 경계 부근이므로 맨틀 대류가 하강하는 지역이다.

ㄴ. 판 II가 판 I 아래로 섭입하므로 판의 경계에서 판 I 쪽으로 갈수록 진원의 깊이가 깊어진다.

**53** 두 판 중 A에서 주로 지진이 발생하고, 판의 경계로부터 A쪽으로 갈수록 진원의 깊이가 깊어지므로 판 B가 판 A 아래로 섭입하는 수렴형 경계이다.

ㄴ. 판 A 하부에서 마그마가 생성될 수 있으므로 호상 열도는 판 A에서 형성될 것이다.

**바로알기** ㄱ. 진원의 깊이 분포로 보아 판 B가 판 A 아래로 섭입하고 있으므로 판의 밀도는 B가 A보다 더 크다.

ㄷ. 두 판의 이동 방향이 같을 경우, 이동 방향을 기준으로 뒤쪽 판이 앞쪽 판보다 빠를 때 수렴형 경계가 나타난다. 따라서 판 A의 이동 속력 ㉠은 8보다 느려야 한다.

#### 개념 보충

판의 수렴형 경계가 나타나는 경우

판의 경계에 이웃한 두 판이 서로 가까워질 때 나타난다.

이동 방향이 서로 마주보는 경우	이동 방향이 같은 경우
<p>판 I → 판 II</p>	<p>판 A ← 판 B</p>
두 판이 모여든다.	이동 방향을 기준으로 뒤쪽 판의 이동 속도가 더 빠를 때 두 판이 모여든다.



# 고지자기와 대륙 분포의 변화

## 빈출 자료 보기

17쪽

54 (1) ○ (2) × (3) × (4) × (5) ○ (6) × (7) ○

55 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ (5) ×

54 (1) (가) 지역은 지표면과 자기력선이 나란하므로 자기 적도이다.  
(5) 북각의 부호는 북반구에서 (+), 남반구에서 (-)로 나타낸다. 자기력선이 지표면을 향해 들어가는 방향으로 나타나는 곳은 북반구이므로 (나) 지역에서 북각의 부호는 (+)이다.  
(7) 북각은 자기 적도에서 0°이고 자극에서 90°이므로 자기 적도에서 북쪽으로 이동하면 북각의 크기가 커진다.

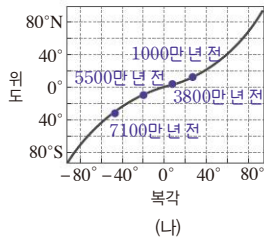
**바로알기 I** (2) (가) 지역에서 수평면과 자기력선이 이루는 각은 0°이므로 북각은 0°이다.

(3) (나)와 같이 자기력선이 지표면을 향해 들어가는 방향으로 나타나는 곳은 북반구이다. 남반구에서는 자기력선이 지표면에서 위로 나가는 방향으로 나타난다.

(4) (나)에 표시된 각도는 자기력선과 수평면이 이루는 각(북각)과 엇각으로 같으므로 북각을 나타낸 것이다. (나)에서 편각은 알 수 없다.

(6) 북각의 크기는 (가)에서 0°, (나)에서 +50°이므로 (나)가 더 크다.

55



구분	북각	위도
7100만 년 전	-49°	약 30°S
5500만 년 전	-21°	약 11°S
3800만 년 전	6°	약 3°N
1000만 년 전	30°	약 16°N

(1) (가)에서 7100만 년 전에 인도 대륙의 북각은 -49°이고, (나)에서 북각 -49°에 해당하는 위도는 약 30°S이므로 7100만 년 전에 인도 대륙은 30°S 부근에 위치하였다.

(3) 인도 대륙은 7100만 년 전에는 남반구에 위치하였으나 현재는 북반구 중위도에 위치하므로 이 기간 동안 북쪽으로 이동하였다.

(4) 유라시아판과 인도 대륙의 경계는 대륙과 대륙이 충돌하는 수렴형 경계로, 습곡 산맥과 같은 지형이 발달한다.

**바로알기 I** (2) 고위도에서 저위도로 갈수록 북각의 크기는 대체로 감소한다.

(5) 인도 대륙은 현재도 계속 북쪽으로 이동하고 있으므로 히말라야산맥의 높이는 점점 높아질 것이다.

## 난이도별 필수 기출

18~23쪽

- 56 ④, ⑤, ⑧      57 (가) +30° (나) 0° (다) -30°      58 ④  
59 ②      60 ⑤      61 ①      62 ③      63 ④  
64 ②, ⑤      65 ②      66 ⑤, ⑥      67 ③      68 ②  
69 해설 참조      70 ②      71 해설 참조      72 ③  
73 ①      74 ⑤      75 ②      76 ①      77 ③  
78 ①, ③, ⑥      79 (나) → (다) → (가) → (라)      80 ⑤  
81 ②      82 ②      83 ③

56 ④ 나침반의 자침은 자기력선을 따라 배열되므로 나침반 자침의 방향이 그 지역의 자기력선 방향이다.

⑤ 북각이 +90°인 지점을 자북극이라고 한다.

⑧ 북각의 크기는 자기 적도에서 0°이고 고위도로 갈수록 커진다.

**바로알기 I** ① 지구 자전축과 북반구의 지표면이 만나는 점을 지리상 북극이라고 한다.

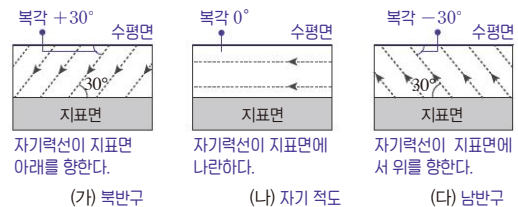
② 지자기 북극을 막대자석에 비유하면 S극에 해당한다.

③ 현재 지리상 북극과 지자기 북극의 위치는 서로 다르다. (2021년 기준 지자기 북극의 위치: 80.7°N, 72.7°W)

⑥ 지리상 북극의 방향을 진북이라고 한다. 자북은 나침반 자침의 N극이 가리키는 방향이다.

⑦ 진북과 자북 사이의 각을 편각이라고 한다. 북각은 나침반의 자침이 수평면과 이루는 각이다.

57 북각은 수평면과 자기력선 사이의 각도이다. 북반구에서는 자기력선이 지표면 아래를 향하고 있으며, 북각이 (+)이다. 남반구에서는 자기력선이 지표면에서 위를 향하고 있으며, 북각이 (-)이다.



• (가): 자기력선이 지표면 아래로 향하고 있으므로 북각의 부호는 (+)이고, 크기는 30°이므로 북각은 +30°이다.

• (나): 자기력선이 지표면과 나란하므로 북각은 0°이다.

• (다): 자기력선이 지표면에서 위를 향하고 있으므로 북각의 부호는 (-)이고, 크기는 30°이므로 북각은 -30°이다.

58 나. 나침반의 자침은 자기력선을 따라 배열되므로 (나)에서 나침반의 자침은 지표면에 나란하다.

다. 자기 적도에서 고위도로 갈수록 북각의 크기가 커진다. 북각의 크기는 (다)가 (나)보다 크므로, (다)는 (나)보다 고위도에 위치한다.

**바로알기 I** ㄱ. (가)는 자기력선이 지표면 아래를 향하고 있으므로 북반구에 위치한다.

59 나. (나)의 A 지역에서 자기력선과 지표면이 이루는 각도는 50°로, 북각은 +50°이다.

**바로알기 I** ㄱ. (가)에서 지구의 자전축과 지구 자기장의 축은 일치하지 않는다.

다. 일반적으로 북각의 크기는 자기 적도에서 고위도로 갈수록 크다. (나)에서 B의 북각은 0°로 B는 자기 적도에 위치하고, A의 북각은 +50°로 B보다 고위도이다. 따라서 B에서 A로 갈수록 고위도이므로 북각은 커진다.

60 나. 북각은 자기 적도에서 0°이고, 고위도로 갈수록 커진다. 북각의 크기는 A와 C가 0°보다 크고 B는 0°이므로 가장 저위도인 지역은 자기 적도에 위치한 B이다.

다. 그림은 자기력선이 지표면을 향해 있고 있으므로 북반구 지역이다. 따라서 북각의 부호가 (+)이므로 C 지역에 해당한다.

**바로알기 I** ㄱ. 자북극은 북각이 +90°인 지점이다. 따라서 A~C 중 자북극에 가장 가까운 지역은 C이다.

**61** ㄱ. 북극은 자북극에서  $+90^\circ$ 로 가장 크다. A는 B보다 자북극에 가까이 위치하므로 북각이 크다.

**바로알기** | ㄴ. 일반적으로 자북극에 가까울수록 북각이 크다. B는 C보다 자북극에 가까이 위치하므로 북각이 더 크다.

ㄷ. 나침반의 자침은 그 지점에서의 자기력선의 방향과 나란하다. 일반적으로 지리상 북극과 어느 지역에서의 자기력선의 방향은 나란하지 않는 경우가 대부분이므로 나침반의 자침은 지리상 북극을 가리키지 않는다.

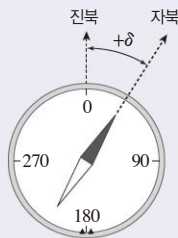
**62** ㄱ. 나침반의 자침이 수평면에서 기울어진 각도는 북각이다. 북각의 크기는 (가)에서  $60^\circ$ , (나)에서  $50^\circ$ 이므로 (가)가 (나)보다 크다.  
ㄴ. 진북과 자북 사이의 각도를 편각이라고 한다. 편각의 크기는 (가)에서  $5^\circ$ , (나)에서  $10^\circ$ 이므로 (가)가 (나)보다 작다.

**바로알기** | ㄷ. (나)는 동편각이므로 (나)에서 볼 때 자북은 진북의 동쪽에 위치한다(=진북은 자북의 서쪽에 위치한다.).

#### 개념 보충

##### 편각

나침반의 자침은 그 지역의 자기력선의 수평 성분과 나란한 방향을 가리키는데, 이를 자북이라고 한다(자북은 어떤 위치가 아니라 방향을 의미한다). 나침반의 자침과 진북 사이의 각도( $\delta$ )를 편각이라 하고, 자침이 가리키는 방향이 진북에 대해 동쪽이면 동편각(+ 또는 E), 서쪽이면 서편각(- 또는 W)이라고 한다.



**63** (가)는 북극 주변의 편각 분포를 나타내었다. 이 중 편각이 +인 곳은 동편각, -인 곳은 서편각이다. A 지점은 편각이  $0^\circ$ 인 곳에, B 지점은 편각이  $-30^\circ(30^\circ W)$ 인 곳에, C 지점은 편각이  $+30^\circ(30^\circ E)$ 인 곳에 위치한다.

- ① A 지점은 편각이  $0^\circ$ 이므로 자북과 진북이 나란하다.
- ② 자북극에 가까울수록 북각은 증가한다. A 지점보다 B 지점이 자북극에 가까우므로 A 지점에서 B 지점으로 이동하면 북각이 증가한다.
- ③ (나)에서 ㉠은 나침반 자침이 북쪽에서 동쪽으로  $30^\circ$  방향을 가리키므로 편각은  $30^\circ E$ 이다.
- ⑤ 편각은 A 지점에서  $0^\circ$ 이고 C 지점에서  $+30^\circ$ 이므로 A 지점에서 C 지점으로 갈수록 편각의 크기는 동쪽으로 증가한다. 따라서 나침반 자침은 진북에 대해 시계 방향으로 회전한다.

**바로알기** | ④ C 지점은 동편각이고, ㉠~㉣ 중 동편각에 해당하는 것은 ㉠이다. 편각이  $0^\circ$ 인 ㉡은 A 지점에서, 서편각인 ㉢은 B 지점에서 관측한 것이다.

**64** ① 어느 시대의 지자기 북극의 개수는 항상 1개이다.

- ③ 암석에 기록된 과거의 지구 자기를 고지자기라고 한다.
- ④ 암석이 생성될 때 지구 자기장을 따라 자성을 띠는 광물이 배열되고, 이후 지구 자기장이 변해도 광물의 배열은 변하지 않는다. 따라서 암석에 남아 있는 잔류 자기를 측정하면 과거 자극의 위치를 추정할 수 있다.
- ⑥ 고지자기 연구로 알아낸 지자기 북극의 겉보기 이동 경로를 통해 과거 대륙이 이동한 경로를 추정할 수 있다.

**바로알기** | ② 과거 지자기 북극의 개수가 2개인 경우는 없었다.

⑤ 위도에 따라 북각이 변하므로 대륙의 위도를 추정하기 위해서는 고지자기 북극 자료가 필요하다.

**65** 화성암의 잔류 자기는 뜨거운 마그마나 용암이 식으면서 퀴리 온도 이하로 떨어질 때 그 당시의 지구 자기장의 방향과 나란하게 자철석과 같은 강자성 광물이 자화되어 발생한다.

ㄷ. 자성 광물이 과거 지구 자기장의 방향을 따라 배열되었으므로 잔류 자기를 통해 과거 자극의 위치를 추정할 수 있다.

**바로알기** | ㄱ. 자성 광물은 퀴리 온도 이하에서 지구 자기장과 나란하게 자화된다. 막 분출한 마그마는 매우 고온이므로 광물이 자화되지 않는다.

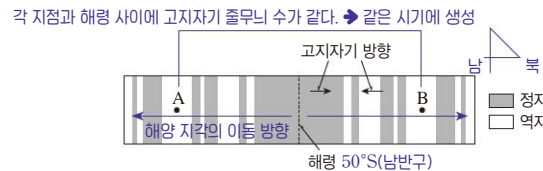
ㄴ. 암석이 굳어 광물의 자화가 이루어지면 지구 자기장의 방향이 변하더라도 이미 형성된 자화 방향은 바뀌지 않는다.

#### 개념 보충

##### 퀴리 온도

퀴리 온도란 물질이 자성을 잃는 온도로, 강자성 광물의 온도를 높여 퀴리 온도 이상이 되면 자성을 잃는다. 반면에 고온의 마그마나 용암이 식어 퀴리 온도보다 낮아지면 정출된 강자성 광물이 자성을 띠면서 지구 자기장의 방향과 나란하게 자화된다(일반적으로 강자성 광물인 자철석의 퀴리 온도는  $575^\circ C$ 이다.).

**66** 해양 지각은 해령에서 생성되며 양옆으로 멀어지기 때문에, 정자극기와 역자극기의 모습은 해령을 기준으로 대칭적이다.



① 현재 이 해령은 남반구( $50^\circ S$ )에 위치하므로 이 해령에서 측정된 북각의 부호는 (-)이다.

② 해령으로부터 A와 B 지점까지 고지자기 줄무늬 모습이 대칭적으로 나타나므로 A와 B 지점에서 해양 지각의 나이는 같다.

③ A와 B 지점은 같은 시기에 같은 해령에서 생성된 암석이므로 고지자기 북각은 같다.

④ 정자극기에는 고지자기 방향이 북쪽이고 역자극기에는 고지자기 방향이 남쪽이다. A 지점은 역자극기에 생성되었으므로 고지자기 방향은 남쪽을 가리킨다.

**바로알기** | ⑤ 그림에서 정자극기의 고지자기 방향은 오른쪽이므로 오른쪽이 북쪽 방향이다. 현재 이 해령은 남반구 위도  $50^\circ$ 에 위치하므로 남쪽으로 갈수록 고위도, 북쪽으로 갈수록 저위도이다. 따라서 B 지점은 A 지점보다 저위도에 위치한다.

⑥ B 지점의 해양 지각은 해령을 기준으로 북쪽으로 이동하고 있다.

**67** 자북극은 북각이  $+90^\circ$ 인 지점으로, 그림에서 그 위치가 시간에 따라 계속 조금씩 변화해 왔다.

ㄱ. 1900년부터 2015년까지 동일한 시간 간격으로 나타나는 자북극의 위치 변화는 일정하지 않으므로 자북극의 이동 속력은 일정하지 않았다.

ㄷ. 그림에서 가장 최근인 2015년에 지리상 북극은 위도  $90^\circ N$ 에, 자북극은 위도  $86^\circ N$  부근에 있었다. 따라서 지리상 북극과 자북극은 일치하지 않는다.

**바로알기** | ㄴ. 자북극에 가까울수록 북각의 크기가 크다. A 지점이 자북극과 가장 가까운 시기는 2010년이므로 북각의 크기는 2010년에 최대이다.

**68** ② 고지자기 북극의 경로를 일치시키면, 두 대륙이 하나로 모인다. 즉, 과거에 두 대륙은 하나였다가 분리된 것이다.

**바로알기** | ① 어느 시대나 지자기 북극의 개수는 1개이다.

③ 그림에서 고지자기 북극의 이동 경로를 보면 A는 (가)와 (나)에서 변함이 없지만, B는 그 위치가 변하였다. 또한 대륙의 분포를 보면, (가)와 (나)에서 유럽 대륙의 위치는 그대로이지만, 북아메리카 대륙의 위치는 변하였다. 따라서 A는 유럽 대륙에서 측정한 고지자기 북극의 이동 경로이고, B는 북아메리카 대륙에서 측정한 고지자기 북극의 이동 경로이다.

④ 유럽 대륙과 북아메리카 대륙이 (나)에서 (가)로 분리되면서 대서양의 면적이 넓어지기 시작하였다.

⑤ 습곡 산맥은 두 판이 충돌하는 경우에 생성된다.

**69** 지질 시대 동안 지구 자기장의 북극은 항상 1개이므로 두 대륙에서 측정한 자북극의 이동 경로가 2개로 나타나는 까닭은 하나로 붙어 있던 두 대륙이 갈라졌기 때문이다.

**모범 답안** 하나였던 북아메리카 대륙과 유럽 대륙이 갈라졌기 때문이다.

**70** 그림에서 7100만 년 전 인도 대륙은 남반구에 있었다. 시간이 지남에 따라 점차 북쪽으로 이동하여 약 3800만 년 전부터 아시아 대륙과 충돌하여 히말라야산맥을 형성하였다.

② 5500만 년 전 인도 대륙과 아시아 대륙은 충돌하지 않았으므로 두 대륙 사이에는 바다가 존재하였다.

**바로알기** | ① 7100만 년 전은 인도 대륙이 남반구에 있어 아시아 대륙과 떨어져 있었으므로 히말라야산맥이 형성되기 이전이다.

③ 인도 대륙과 아시아 대륙은 점점 가까워졌으므로 두 대륙 사이에는 수렴형 경계가 존재하였을 것이다. 이후 인도 대륙이 아시아 대륙과 점차 가까워지다가 충돌하여 습곡 산맥이 형성되었다.

④ A 구간에서 생성된 암석과 B 구간에서 생성된 암석은 생성될 당시에 위도가 달랐으므로 북각이 다르다.

⑤ 인도 대륙의 A 구간에서 평균 이동 속력은  $\frac{\text{약 } 12^\circ}{2800\text{만 년}}$ , B 구간에서 평균 이동 속력은  $\frac{\text{약 } 20^\circ}{1600\text{만 년}}$ 이다. 따라서 B 구간이 A 구간보다 짧은 시간 동안 더 먼 거리를 이동하였으므로 이동 속력이 더 빠르다.

**71** (1) 7100만 년 동안 인도 대륙이 이동한 위도는  $50^\circ$ 이고, 위도  $1^\circ$  사이의 거리가 110 km이므로 이동한 거리를 cm로 변환하면 11000000 cm이다. 따라서 평균 이동 속력은

$$\frac{50 \times 11000000 \text{ cm}}{71000000 \text{ 년}} \approx 7.7 \text{ cm/년이다.}$$

(2) 3800만 년 전부터 현재까지 인도 대륙은 계속해서 북반구에 위치하였고 북쪽으로 이동하였다. 고위도일수록 북각의 크기가 크므로 북각의 크기는 계속 증가하였다.

**모범 답안** (1)  $\frac{50 \times 11000000 \text{ cm}}{71000000 \text{ 년}} \approx 7.7 \text{ cm/년이다.}$

(2) 이 기간 동안 북각의 크기는 점차 증가하였다.

**72** ㄱ. 표에서 7100만 년 전 인도 대륙의 북각은  $-49^\circ$ 이다. 그래프에서 북각은 남반구에서 (-), 북반구에서 (+)이다. 따라서 이 시기에 인도 대륙은 남반구에 있었다.

ㄴ. 인도 대륙은 약 5500만 년 전부터 3800만 년 전 사이에 북각이 (-)에서 (+)로 변하였다. 따라서 인도 대륙은 이 기간 동안 북각이  $0^\circ$ 인 자기 적도를 통과하였다.

**바로알기** | ㄴ. 7100만 년 전부터 현재까지 북각은 (-)에서 (+)로 변하였고, 북각의 크기는 작아졌다 커졌으므로 이 기간 동안 인도 대륙은 북쪽으로 이동하였다.

**73** ㄱ. (가)는 현재(깊이 0 m) 퇴적물이 정자극기에 생성되었고 북각의 부호가 (-)이므로 남반구에 위치한다.

ㄴ. (가)에서 A는 정자극기에 퇴적되었다. 따라서 자북극은 현재의 북반구에 있었을 것이다.

**바로알기** | ㄴ. B는 역자극기에 생성된 퇴적물로, 북각의 부호가 (+)이다. 역자극기에 북반구의 북각은 (-), 남반구의 북각은 (+)이므로 B가 생성될 당시 (나)는 남반구에 위치하였다.

ㄷ. 그림에서 점선은 두 해저 퇴적물 나이가 같은 깊이를 연결한 것이다. (가)가 (나)보다 같은 나이의 퇴적물이 더 깊이까지 나타나므로 퇴적물 0 m~5 m 구간이 퇴적되는 데 걸린 시간이 더 짧다.

**74** ① 북각의 크기는 자북극에 가까울수록 크다. 현재 대륙 B가 A보다 자북극에 가까이 있으므로 북각의 크기는 대륙 B가 A보다 크다.

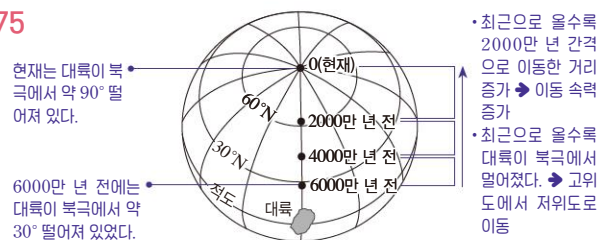
② 위도에 따라 북각이 다르므로 고지자기 북각을 연구하면 암석이 생성된 위도를 알 수 있다.

③ 대륙 A와 B는 (나)일 때 남반구에, (가)일 때 북반구에 위치하였다. 따라서 (나) → (가) 기간 동안 북각이  $0^\circ$ 인 자기 적도를 지났다.

④ (나) 과거에 대륙 A와 B는 같은 위도에 있었지만, (가) 현재에는 대륙 A보다 B의 위도가 높다. 따라서 (나) → (가) 기간 동안 남북 방향 평균 이동 속력은 대륙 B가 A보다 빠르다.

**바로알기** | ⑤ (나) 과거에 대륙 A와 B는 같은 위치에 있었지만, (가) 현재에는 서로 다르다. 따라서 각 대륙에서 측정한 겉보기 자북극의 이동 경로는 서로 다르게 나타난다.

**75**



ㄴ. 6000만 년 전 이후 2000만 년 간격으로 나타난 지리상 북극의 간격이 점점 넓어졌으므로 대륙의 이동 속력은 점점 빨라졌다.

**바로알기** | ㄱ. 6000만 년 전 대륙과 고지자기로 추정된 지리상 북극이 가장 가까웠으므로 대륙에서 측정한 북각도 가장 컸다.

ㄴ. 이 기간 동안 대륙은 지리상 북극에서 점점 더 멀어졌으므로 저위도로 이동하였다.

**76** ② 로디니아가 존재했던 12억 년 전은 선캄브리아 시대이다.

③ 판게아는 약 2.7억 년 전~2.5억 년 전에 생성되었고, 이 시기는 고생대 말이다.

④ 애팔래치아산맥은 판게아가 형성되면서 북아메리카 대륙이 아프리카 대륙 및 유럽 대륙과 충돌하여 형성된 습곡 산맥이다.

⑤ 판게아가 형성되었을 때 인도 대륙은 남극 대륙 부근에 있었다.

**바로알기** | ① 로디니아는 약 12억 년 전에 존재한 초대륙이다. 하지만 그 이전에도 초대륙은 존재하였다고 인정받고 있다.

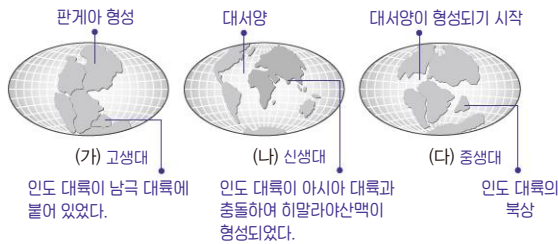
**77** (가) 인도 대륙과 아시아 대륙이 충돌하여 히말라야산맥이 형성되었고, 이 시기는 신생대이다.

(나) 애팔래치아산맥은 판게아가 형성된 고생대 말에 북아메리카 대륙이 아프리카 대륙 및 유럽 대륙과 충돌하여 형성된 것이다.

(다) 대서양은 판게아가 갈라지면서 생성된 바다이다. 판게아가 갈라지기 시작한 시기는 중생대이다.

따라서 대륙 분포의 변화 과정을 나열하면 (나) → (다) → (가)이다.





(가)는 판게아가 있는 고생대 말, (나)는 현재와 유사한 대륙 분포가 갖춰진 신생대, (다)는 판게아 분리가 시작된 중생대이다.

② 대륙 이동의 원동력 중 하나는 맨틀 대류이다.

④ 인도 대륙은 판게아가 갈라지기 시작하면서 계속 북쪽으로 이동하였다.

⑤ 인도 대륙은 판게아 시기에 남극 대륙 부근에 있었으므로 판게아 시기에 생성된 빙하의 흔적이 발견될 수 있다.

⑦ 대서양은 (다) 중생대 초기부터 형성되기 시작하여 (나) 현재와 같이 넓어졌다.

**바로알기** | ① (가) → (다) → (나) 순서로 변화하였다.

③ 히말라야산맥은 신생대인 (나) 시기에 생성되었다.

⑥ 과거 지구에는 여러 번의 초대륙이 존재하였다.

**79** (가)는 중생대 후기~신생대 초, (나)는 고생대 말인 판게아 형성 시기, (다)는 중생대 초 판게아의 분리가 시작된 시기, (라)는 현재와 유사한 대륙 분포가 갖춰진 신생대를 나타낸다. 따라서 시간 순서대로 나열하면 (나) → (다) → (가) → (라)이다.

**80** ㄴ. (나)는 초대륙이 형성되어 있고, (라)는 초대륙이 여러 대륙으로 분리되어 있으므로 해안선의 전체 길이는 (라)가 (나)보다 길다.  
ㄷ. 초대륙은 지질 시대 동안 여러 번 형성되었다. 따라서 (가)~(라) 이후에도 시간이 지나면 새로운 초대륙이 형성될 것이다.

**바로알기** | ㄱ. (나)의 초대륙은 판게아이다. 로디니아는 약 12억 년 전에 형성된 초대륙이다.

**81** ㄴ. (나) 과정은 두 개였던 대륙이 하나의 대륙으로 합쳐지는 과정이다. 따라서 (나) 과정이 반복되며 초대륙이 형성된다.

**바로알기** | ㄱ. (가)의 A 지역은 해양 지각이 대륙 지각 아래로 섭입하고 있다. 따라서 (가)에서는 수렴형 경계가 존재한다.

ㄷ. A에서는 해구가, B에서는 습곡 산맥이 발달한다.

**82** ㄷ. 홍해는 발산형 경계에 형성된 바다이므로 시간이 지남에 따라 점점 넓어질 것이다.

**바로알기** | ㄱ. 동아프리카 열곡대는 맨틀 대류의 상승부인 발산형 경계에서 발달한 지형이다. 따라서 화산 활동이 활발하다.

ㄴ. 동아프리카 열곡대는 발산형 경계이므로 시간이 지남에 따라 열곡대 주변의 지대가 낮아지면서 호수가 발달하고, 대륙이 분리되어 양옆으로 멀어지면서 바다가 형성될 것이다.

**83** ㄱ. 그림에서 판의 이동 속력이 가장 빠른 곳은 태평양으로, 이동 속력이 17.1 cm/년인 동태평양 해령 부근이다.

ㄴ. 태평양 주변부에는 판이 모여들면서 섭입대가 형성되어 환태평양 화산대가 발달한다. 따라서 태평양의 해양 지각은 섭입대로 소멸한다.

**바로알기** | ㄷ. 태평양에서는 해령에서 생성된 해양 지각이 해구에서 소멸하고, 대서양에서는 해령에서 생성된 해양 지각이 점차 확장되므로 태평양의 면적은 점점 좁아지고, 대서양의 면적은 점점 넓어질 것이다.

## 4 맨틀 대류와 플룸 구조론

### 빈출 자료 보기

25쪽

**84** (1) × (2) ○ (3) × (4) ○ (5) × (6) ○

**85** (1) × (2) ○ (3) × (4) ○ (5) ○ (6) ×

**84** (2) 차가운 플룸이 핵과 맨틀의 경계 부근까지 도달하여 온도 교환이 일어나고 물질을 밀어 올리는 힘이 작용하면, 핵과 맨틀의 경계 부근에서 상승류가 형성되는데 이를 뜨거운 플룸이라고 한다.

(4) 차가운 플룸인 B는 주변 맨틀에 비해 온도가 낮고 밀도가 크므로 통과하는 지진파의 속도가 빠르다.

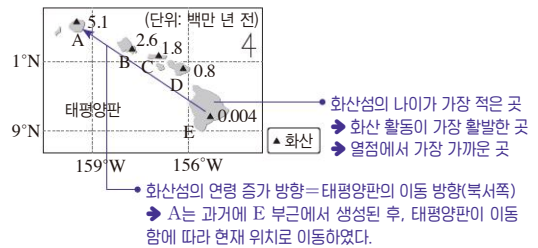
(6) 하와의 열도는 판의 경계가 아닌 곳에서 일어나는 화산 활동에 의해 형성되었다. 따라서 판 구조론으로는 설명할 수 없고, 플룸 구조론으로 설명할 수 있다.

**바로알기** | (1) A는 상승하는 뜨거운 플룸을, B는 하강하는 차가운 플룸을 나타낸 것이다.

(3) 일반적으로 온도가 낮을수록 밀도가 크다. 같은 깊이에서 뜨거운 플룸인 A의 밀도가 차가운 플룸인 B의 밀도보다 작다.

(5) 열점은 뜨거운 플룸인 A에 의해 형성된다.

**85** 하와이 열도는 열점에서 생성된 화산섬으로, 일반적으로 암석의 연령이 적을수록 열점 가까이에 위치한다.



(2) 열점에서 가장 가까운 섬은 화산 활동이 가장 활발한 E이다.

(4) 열점에 가장 가까운 섬 E에서 멀어질수록 화산섬의 나이가 증가한다. 이는 열점의 위치는 그대로이고 태평양판이 움직이기 때문이다.

(5) E에서 A로 갈수록 화산섬의 나이가 많다. A가 E의 북서쪽에 위치하므로 태평양판은 북서쪽으로 이동하였다.

**바로알기** | (1) 화산 활동이 가장 활발한 섬은 가장 최근에 생성되어 암석의 생성 시기가 가장 적은(4천 년 전) E이다.

(3) 열점은 뜨거운 플룸이 지표로 올라오는 곳에 위치한다.

(6) 태평양판이 북서쪽으로 움직이므로 새로운 화산섬은 E의 남동쪽에 생성될 것이다.

### 난이도별 필수 기출

26~29쪽

86 ⑤	87 해설 참조	88 ③	89 ②
90 해설 참조	91 ③	92 ⑤	93 ②, ④ 94 ②
95 ①	96 ④	97 ④	98 ③ 99 ④ 100 ①
101 ①	102 ④	103 ②	104 해설 참조
105 해설 참조	106 해설 참조	107 ③	
108 학생 A, C	109 ①		



- 86 ① 상부 맨틀의 열원 중 하나는 방사성 원소의 붕괴열이다.  
 ② 상부 맨틀 아래에서 공급되는 열에 의한 맨틀 상하부의 온도 차가 상부 맨틀 대류의 원인 중 하나이다.  
 ③ 상부 맨틀의 운동은 맨틀 대류에 의한 수평적인 판의 운동을 설명할 수 있다.  
 ④ 해구에서 해양 지각의 섭입을 맨틀 대류 하강부에서 일어나는 지각 변동으로, 해령에서 해양 지각의 확장을 맨틀 대류 상승부에서 일어나는 지각 변동으로 설명할 수 있다.

**바로알기** | ⑤ 열점에서 일어나는 화산 활동은 판의 경계와 관계없이 발생하므로 상부 맨틀의 대류로 설명할 수 없으며, 플룸 구조론으로 설명할 수 있다.

87 **모범 답안** 섭입하는 판이 잡아당기는 힘, 해령에서 밀어내는 힘, 맨틀 대류(맨틀 대류에 의해 미끄러지는 힘) 등이 있다.

#### 개념 보충

**판을 움직이는 힘**  
 판을 움직이는 힘에는 섭입하는 판이 잡아당기는 힘(①), 해령에서 밀어내는 힘(②), 맨틀 대류(맨틀 대류에 의해 미끄러지는 힘)(③) 등이 있다. ①~③은 모두 판을 움직이는 중요한 역할을 하지만 ①, ②가 가장 중요한 판 운동의 원동력이고 상대적으로 ③은 약한 것으로 알려져 있다.

- 88 (가)는 상부 맨틀 대류 모형, (나)는 맨틀 전체 대류 모형이다.  
 ㄱ. (가), (나) 모두 방사성 동위 원소의 붕괴열과 맨틀 상하부의 온도 차이 때문에 맨틀 대류가 발생한다.  
 ㄴ. (가)에서는 상부 맨틀의 상승부에서 해령이, 하강부에서 해구가 발달하는 것을 설명할 수 있다.  
**바로알기** | ㄷ. (가)는 상부 맨틀 대류 모형으로, 판 내부에서 일어나는 화산 활동을 설명할 수 없으며 판 경계에서 일어나는 화산 활동만 설명할 수 있다.

- 89 ① A는 맨틀 대류에 의한 힘으로, 주로 상부 맨틀에서 나타난다.  
 ③ C는 주로 냉각된 해양판이 섭입하면서 연결된 기존의 판을 잡아당기는 힘이다.  
 ④ B가 작용하는 곳은 해령으로, 새로운 해양 지각이 생성되며 양쪽으로 판을 밀어내는 힘이 작용한다.  
 ⑤ 섭입대는 수렴형 경계에서 발달하므로 C는 수렴형 경계에서 나타난다.  
**바로알기** | ② B는 해령에서 밀어내는 힘이다.

90 **모범 답안** 오스트레일리아판, 남아메리카판에는 해령에서 밀어내는 힘과 맨틀 대류에 의한 힘이 작용하고, 오스트레일리아판에는 이 두 가지 힘에 섭입하는 판이 잡아당기는 힘이 추가로 작용하기 때문이다.

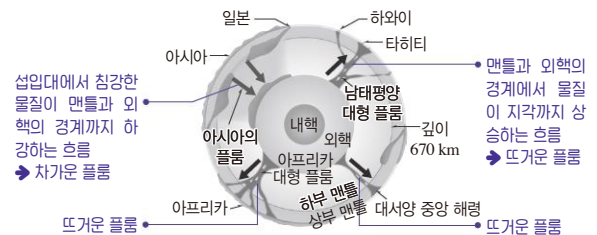
- 91 A는 나스카판이 남아메리카판 아래로 섭입하는 페루 해구 부근이고, B는 대서양 중앙 해령 부근이다.  
 ㄴ. A는 섭입대 부근으로, 섭입대에서는 판을 잡아당기는 힘이 작용한다. 나스카판이 남아메리카판 아래로 섭입하면서 연결된 섭입대 밖의 판을 잡아당긴다.  
 ㄷ. B는 해령 부근으로, 해령에서는 판을 밀어내는 힘이 작용한다.  
**바로알기** | ㄱ. A에서는 해양판인 나스카판이 대륙판인 남아메리카판 아래로 섭입한다.

ㄴ. 남아메리카판에서는 해령에서 밀어내는 힘, 맨틀 대류에 의한 힘이 작용하지만, 나스카판은 이 두 가지 힘에 섭입하는 판이 잡아당기는 힘이 추가로 작용한다. 따라서 판의 평균 이동 속력은 나스카판이 남아메리카판보다 빠르다.

92 ⑤ 플룸 구조론은 하와이 열도와 같이 판의 내부에서 일어나는 화산 활동을 설명할 수 있다.

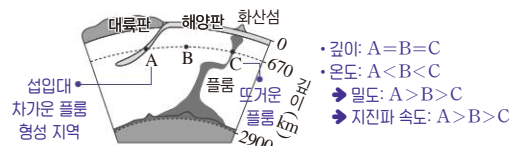
- 바로알기** | ① 플룸의 상승과 하강은 맨틀과 외핵의 경계까지 나타나므로 맨틀 전체에서 일어난다.  
 ② 판이 섭입하는 곳 주위에서는 차가운 플룸이 형성된다.  
 ③ 열점은 뜨거운 플룸이 상승하는 곳에서 생성된다.  
 ④ 플룸 상승류가 있는 곳은 주변보다 온도가 높으므로 지진파의 속도가 느리다.

93



- ① 아시아 대륙 하부에서는 플룸 하강류(차가운 플룸)가 발달한다.  
 ③ 뜨거운 플룸은 맨틀과 외핵의 경계에서부터 생성되어 올라온다.  
 ⑤ 하와이섬의 화산 활동은 열점에서 마그마가 분출하여 발생하므로, 플룸 구조론으로 설명할 수 있다.  
 ⑥ 플룸 구조론은 상부 맨틀 대류 모형과 달리 맨틀과 외핵의 경계까지 수직 운동이 확장되므로 대규모의 수직 운동을 설명할 수 있다.  
**바로알기** | ② 플룸은 외핵과 맨틀의 경계에서부터 올라오는 물질과 에너지 흐름이다.  
 ④ 아프리카 대륙 하부에서는 뜨거운 플룸이 나타난다. 따라서 차가운 플룸이 나타나는 아시아 대륙 하부에 비해 지진파의 평균 속도가 느릴 것이다.

94

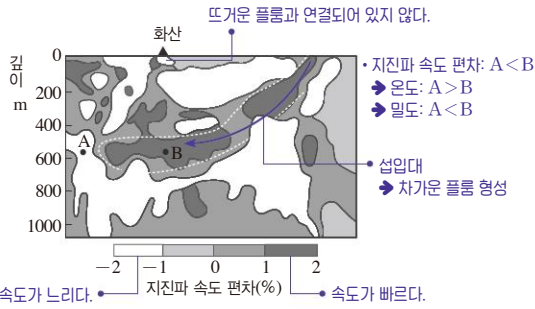


- A, B, C는 모두 상부 맨틀과 하부 맨틀의 경계인 깊이 670 km에 있다. A는 섭입대 부근에서 차가운 플룸이 하강하는 지점에, C는 뜨거운 플룸이 상승하는 지점에 있다.  
 ㄴ. 통과하는 지진파의 속도는 차가운 플룸이 하강하는 곳에 위치한 A가 다른 지점에 비해 빠르다.

**바로알기** | ㄱ. 같은 깊이에서 지구 내부의 온도는 차가운 플룸이 하강하는 곳에 위치한 A보다는 B가 높다.  
 ㄷ. 일본 열도는 섭입하는 판에서 발생한 마그마에 의해 생성된 호상 열도이다. C 위에 생성된 화산섬은 열점에서 생성된 것으로, 대표적인 예는 하와이섬이다.

- 95 ㄴ. 차가운 플룸이 하강하여 맨틀과 외핵의 경계에 도달하면 그 영향으로 맨틀과 외핵의 경계에서 뜨거운 플룸이 생성된다.  
**바로알기** | ㄱ. 차가운 플룸을 만드는 지각 용융물은 상부 맨틀과 하부 맨틀의 경계에 쌓이다가 밀도가 커지면 맨틀과 외핵의 경계까지 침강한다.  
 ㄷ. 차가운 플룸은 수렴형 경계에서 섭입된 지각이 침강하여 생성된다.

96



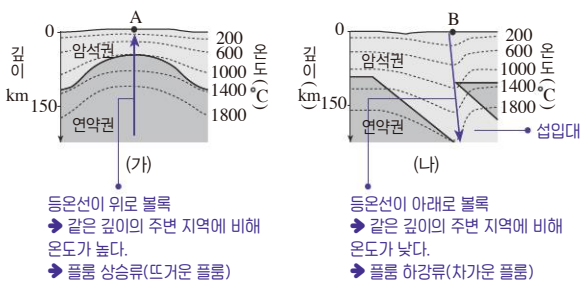
ㄱ. 지진파 단층 촬영 영상에서 뜨거운 부분은 차가운 부분에 비해 지진파의 속도가 느려서 지진파 속도 편차가 작다. 따라서 A 지점이 B 지점보다 온도가 높다.

ㄴ. A 지점은 B 지점보다 고온의 영역이므로 밀도가 작다.

ㄷ. B 지점은 주변 지역에 비해 지진파의 속도가 빠르고, 지진파의 속도가 빠른 지역이 지각으로부터 비스듬히 나타나므로 섭입하는 판에 포함된 모습이다.

**바로알기** ㄹ. 그림에서 화산 아래에 지진파 속도 편차가 작은 지역은 지구 하부에서 올라오는 뜨거운 플룸과 연결되어 있지 않다. 따라서 뜨거운 플룸에 의해 만들어지는 열점에서 생성된 화산이 아니다.

97



(가)는 지하의 온도 분포가 위로 볼록하고, 연약권이 지표 쪽으로 볼록하게 나타나므로 플룸 상승류가 나타난다. (나)는 암석권이 연약권을 파고드는 모습이 나타나므로 플룸 하강류가 나타난다.

ㄴ. 플룸 상승류가 존재하는 지역은 (가)이다.

ㄷ. (나)에서는 판이 섭입되는 모습이 나타나고 있다. 따라서 섭입하는 판이 잡아당기는 힘이 작용한다.

**바로알기** ㄱ. 지하의 온도 약 1000 °C가 나타나는 암석권의 깊이가 B보다 A의 하부에서 얇게 나타나므로 깊이에 따른 암석권의 온도 변화는 B보다 A의 하부에서 크다.

98

맨틀과 핵의 경계에서 상승하는 물질과 에너지의 흐름을 뜨거운 플룸이라 하고, 상부 맨틀과 하부 맨틀의 경계에서 맨틀 최하부까지 차가운 물질이 하강하는 흐름을 차가운 플룸이라고 한다. 상승하는 플룸은 판 내부의 고정된 위치에서 계속 마그마를 분출하는 열점을 생성하기도 한다. 따라서 (가)는 플룸, (나)는 열점이 해당한다.

99 ④ 열점은 위치가 고정되어 있으므로, 열점에서 생성된 화산섬은 판의 이동 방향과 나란하게 배열된다.

**바로알기** ① 열점은 뜨거운 플룸이 지표면과 만나는 지점 아래에 마그마가 생성된 곳이다.

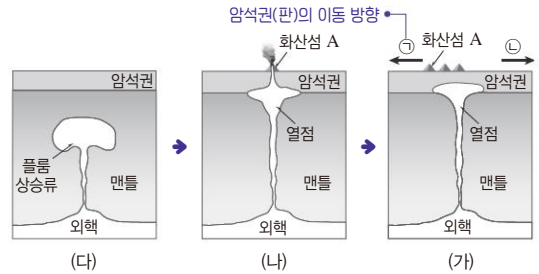
② 열점은 판 경계를 따라 분포하지는 않으며 하와이섬과 같이 판 내부에도 분포한다.

③ 열점은 판의 이동과 상관없이 위치가 고정되어 있다.

⑤ 열점에서 멀어지면 화산섬의 화산 활동은 멈춘다.

100

ㄱ. 플룸 상승류가 지표면 아래에서 마그마가 모여있는 열점을 만들고, 열점에서 마그마가 지표로 분출되어 화산섬이 생성된다. 생성된 화산섬은 판을 따라 이동하고 열점이 있는 곳에서는 새로운 화산섬이 생성되어 판의 이동 방향에 나란하게 열도를 이룬다. 따라서 화산섬이 생성되는 순서는 (다) → (나) → (가)이다.



**바로알기** ㄴ. 이 지역은 뜨거운 플룸이 상승하여 형성된 열점에서 화산섬이 생성되고 있다.

ㄷ. (가)에서 화산섬은 열점을 기준으로 왼쪽으로 배열되어 있다. 따라서 시간이 지날수록 화산섬 A는 ㉠ 방향으로 이동할 것이다.

101

ㄱ. 열점에서 생성된 마그마가 지표로 분출하므로 열점은 화산 활동이 활발한 ㉡의 아래에 분포한다.

ㄴ. ㉠, ㉡, ㉢ 중 열점이 위치한 곳은 ㉡의 하부이다. 따라서 가장 나중에 생성된 섬은 ㉡이므로 화산섬의 나이는 ㉠ > ㉡ > ㉢이다.

**바로알기** ㄷ. ㉠이 가장 나이가 많고, 열점의 위치는 변하지 않으므로 태평양판은 B 방향으로 이동하였다.

ㄹ. 열점의 위치는 변하지 않는다.

102

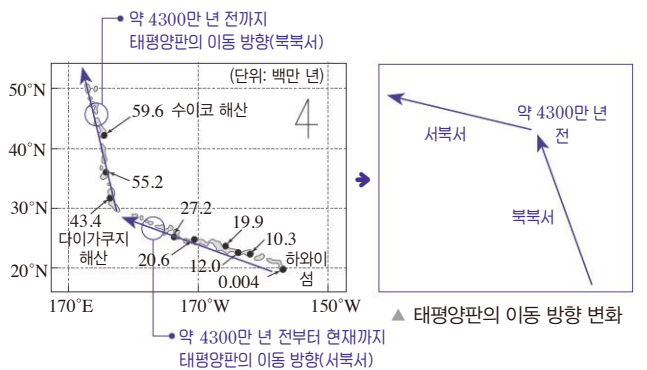
ㄴ. 하와이섬은 열점에 의해 생성되었으므로 섬의 하부에는 플룸 상승류인 뜨거운 플룸이 존재한다.

ㄷ. 열점은 위치가 변하지 않으므로 열도를 이루는 섬들의 위치와 암석의 나이로부터 태평양판의 평균 이동 속도를 알아낼 수 있다.

**바로알기** ㄱ. 엠퍼리 해산 열도와 하와이 열도는 판 내부의 열점에서 생성된 화산섬들이므로 판의 경계와는 상관없다. 열점에서 생성된 화산섬이 판의 이동 방향을 따라 멀어지므로 하와이 열도는 태평양판의 이동 방향에 나란하게 배열된다.

103

열도를 이루는 화산섬의 나이가 많아지는 방향으로 태평양판이 이동하였다. 태평양판의 이동 방향은 북북서에서 약 4300만 년 전에 서북서로 변하였다.



104

**모범 답안** 하와이섬은 뜨거운 플룸의 상승류가 지표면과 만나는 지점 아래에 마그마가 생성되는 곳인 열점에서 마그마가 분출하여 생성된 화산섬이다.

# 5 마그마 활동과 화성암

## 빈출 자료 보기

31 쪽

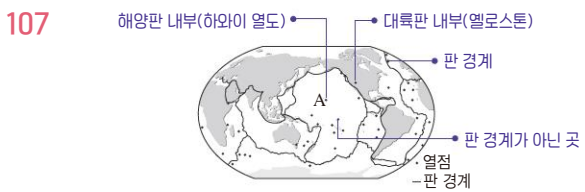
110 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ○ (6) ○

**105** 열점의 위치는 바뀌지 않지만 판은 계속 이동하므로 화산섬은 판의 이동 방향에 나란하게 배열된다. 따라서 판의 이동 방향이 변하면 화산섬의 배열 방향도 변한다.

**모범 답안** 하와이섬들이 나란하게 배열된 까닭은 열점은 고정되어 있지만, 태평양판이 이동하기 때문이다. 배열된 방향이 변한 까닭은 태평양판의 이동 방향이 변하였기 때문이다.

**106** 이미 생성된 화산섬은 판의 이동을 따라 위치가 변하고 열점에서는 새로운 화산섬이 계속 생성된다.

**모범 답안** 새로운 섬은 하와이섬의 남동쪽에 생성될 것이다. 열점의 위치는 고정되어 있고, 태평양판은 현재 북서쪽으로 이동하고 있기 때문이다.

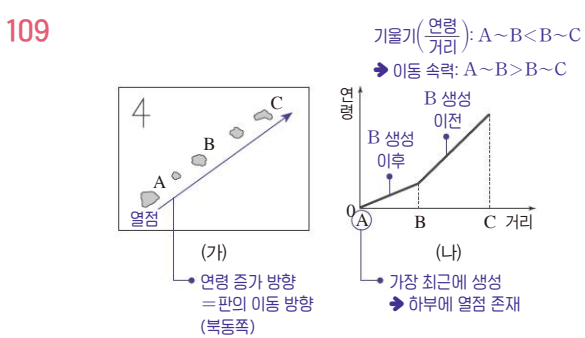


**107** ㄱ. 그림에서 열점은 판 경계와 관계없이 분포한다.  
 ㄴ. A 지점 부근에는 하와이 열도가 생성된다.  
**바로알기** | ㄴ. 열점은 해양판뿐만 아니라 엘로스톤과 같이 대륙판 내부에도 분포한다.

**108** • 학생 A: 맨틀 대류의 상승부에서 발산형 경계가, 하강부에서는 수렴형 경계가 발달하므로 상부 맨틀의 운동은 판이 섭입되기 전까지 판 경계에서 발생하는 지각 변동을 잘 설명할 수 있다.

• 학생 C: 플룸 상승류는 맨틀과 외핵의 경계에서부터 상승하고, 플룸 하강류는 깊이 약 670 km 부근에서 맨틀 최하부까지 침강하므로 플룸 구조론은 지각에서 맨틀 하부까지의 대규모의 수직 운동을 설명할 수 있다.

**바로알기** | • 학생 B: 상부 맨틀의 대류 운동으로 판 경계가 발달하므로 판 경계에서 일어나는 화산 활동을 판 경계에서 상부 맨틀의 운동으로 설명할 수 있지만, 판 내부에서 일어나는 화산 활동을 설명할 수 없다. 따라서 하와이섬과 같이 판의 내부에서 일어나는 화산 활동은 플룸 구조론으로 설명해야 한다.



ㄱ. (나)에서 열점에 의해 생성된 화산섬의 연령이  $A < B < C$ 이므로 (가)에서 현재 열점의 위치는 A의 아래에 위치한다.

ㄴ. 화산섬의 연령이 북동쪽으로 갈수록 많아지므로 판은 북동쪽으로 이동하였다.

**바로알기** | ㄴ. (나)에서 기율기는  $\frac{\text{시간}}{\text{거리}}$ 이므로 기율기가 클수록 속력이 느리다. A~B 구간이 B~C 구간보다 기율기가 작으므로 속력이 더 빠르다. 따라서 B가 생성된 이후 판의 이동 속력은 빨라졌다.

ㄷ. 섬 A, B, C는 생성된 이후 판을 따라 이동하고 있으므로 앞으로 도 섬 A, B, C 사이의 거리는 변하지 않는다.

**110** (가)에서 A는 해령 하부, B는 열점, C는 섭입대 부근의 대륙 지각 하부, D는 섭입대 부근의 맨틀에서 마그마가 생성되는 장소이다. (나)에서 ㉠은 대륙 지각 하부의 온도 상승, ㉡은 맨틀 물질의 상승에 따른 압력 감소, ㉢은 맨틀에 물이 공급되어 일어나는 맨틀의 용융점 하강을 나타낸 것이다.

(2) B에서는 플룸 상승류를 따라 맨틀 물질이 상승하면서 압력이 감소하여(㉡) 현무암질 마그마가 생성된다.

(3) C에서는 온도 상승(㉠)으로 대륙 지각이 부분 용융되어 유문암질 마그마가 생성되고 유문암질 마그마와 현무암질 마그마가 혼합되어 안산암질 마그마가 생성되므로 지표에서는 주로 안산암질 마그마가 분출된다.

(5) 하와이섬은 플룸 상승류에서 압력 감소에 의한 맨틀의 부분 용융으로 생성된 현무암질 마그마가 열점(B)에서 분출하여 생성되었다.

(6) 발산형 경계에서는 맨틀 대류의 상승에 의해 압력 감소(㉡)로 마그마가 생성된다.

**바로알기** | (1) A에서는 맨틀 물질이 상승하면서 압력 감소(㉡)로 맨틀의 용융점이 하강한다. 이에 따라 맨틀 물질의 부분 용융이 일어나 현무암질 마그마가 생성된다.

(4) D에서는 섭입되는 해양 지각의 함수 광물에서 빠져나온 물이 맨틀(연각권)에 공급되어 ㉢과 같이 맨틀의 용융점이 낮아져 현무암질 마그마가 생성된다.

## 난이도별 필수 기출

32~37 쪽

111 ②	112 ⑤	113 해설 참조	114 해설 참조
115 ③	116 ⑤	117 해설 참조	118 ②
119 해설 참조	120 ②, ⑤	121 ④	122 ② 123 ④
124 ②	125 ⑤	126 ⑤	127 ⑤ 128 ③ 129 ①
130 ⑤	131 해설 참조	132 ③	133 ③ 134 ④
135 ③	136 ④	137 ①	138 ② 139 ④ 140 ①
141 ④, ⑤, ⑥			

**111** ① 유문암질 마그마는  $\text{SiO}_2$  함량이 63 % 이상이고, 현무암질 마그마는  $\text{SiO}_2$  함량이 52 % 이하이다.

③, ⑤ 유문암질 마그마는 점성이 커서 중상 화산과 같이 경사가 급한 화산체를 형성한다. 현무암질 마그마는 상대적으로 점성이 작아 순상 화산과 같이 경사가 완만한 화산체를 형성한다.

④ 유문암질 마그마는 휘발성 가스의 함량이 많아 폭발적으로 분출하고, 현무암질 마그마는 휘발성 가스의 함량이 적어 상대적으로 조용히 분출한다.

**바로알기** | ② 유문암질 마그마의 온도는 약  $800^\circ\text{C}$  이하이고, 현무암질 마그마의 온도는 약  $1000^\circ\text{C}$  이상이다.



**112** (가)는 화산체의 경사가 완만한 순상 화산, (나)는 화산체의 경사가 급한 종상 화산의 모습이다.

ㄱ. 용암(마그마)의 유동성이 클수록 경사가 완만한 화산체를 형성하므로 용암의 유동성은 (가)가 (나)보다 컸다.

ㄴ.  $\text{SiO}_2$  함량이 많은 마그마가 경사가 급한 화산체를 형성하고 휘발 성분이 많아 폭발적으로 분출하므로 (나)는 (가)보다 폭발적으로 분출하였다.

ㄷ. 현무암질 마그마는 유문암질 마그마보다 온도가 높고 점성이 작아서 유동성이 크므로 경사가 완만한 화산체를 형성한다. 따라서 (가)는 현무암질 마그마가, (나)는 유문암질 마그마가 분출하여 형성되었다.

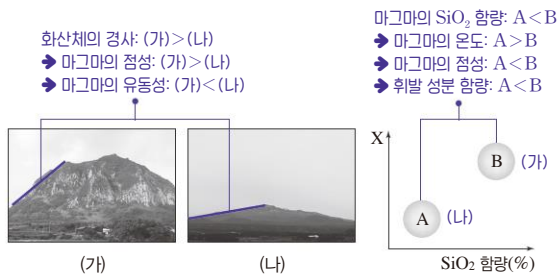
**113** (가)는  $\text{SiO}_2$  함량이 63 % 이상이므로 유문암질 마그마이이고, (나)는  $\text{SiO}_2$  함량이 52 % 이하이므로 현무암질 마그마이다. 유문암질 마그마는 현무암질 마그마에 비해 온도가 낮고 점성이 크므로 유동성이 작다. 따라서 마그마가 굳어져 만들어진 화산체의 경사가 급하다.

**모범 답안** (가)는 (나)보다 마그마의 온도가 낮고, 형성되는 화산체의 경사가 급하다. (가)는 종상 화산, (나)는 순상 화산이나 용암 대지를 형성한다.

**114** (1) A는  $\text{SiO}_2$  함량이 52 % 이하이므로 현무암질 마그마이이고, B는  $\text{SiO}_2$  함량이 63 % 이상이므로 유문암질 마그마이다.  
(2) A는 B보다 온도가 높은 마그마이므로, B보다 점성이 작고 유동성이 더 크다.

**모범 답안** (1) A: 현무암질 마그마, B: 유문암질 마그마  
(2) A는 B보다 점성이 작고 유동성이 크다.

**115**



(가) 산방산은 주로 유문암질 마그마가, (나) 한라산은 주로 현무암질 마그마가 굳어 형성되었다.

ㄱ. (가)는 (나)보다 화산체의 경사가 급한 것으로 보아  $\text{SiO}_2$  함량이 더 많은 마그마로부터 형성되었다.  $\text{SiO}_2$  함량이 많은 마그마에는 휘발 성분 함량이 더 많으므로 (가)는 (나)보다 휘발 성분이 많은 마그마가 분출되어 형성되었다.

ㄴ. (나)는 (가)보다 경사가 완만하므로  $\text{SiO}_2$  함량이 더 적은 A가 분출하여 형성되었다.

**바로알기** ㄷ. X에는  $\text{SiO}_2$  함량이 많은 마그마에서 큰 값을 나타내는 물리량이 적합하므로, 점성, 휘발 성분 함량 등이 적합하다.  $\text{SiO}_2$  함량이 많은 마그마는 온도가 낮으므로 온도는 적합하지 않다.

**116** 해령 하부와 열점에서는 모두 압력 감소에 의해 현무암질 마그마가 생성된다. 해령 하부에서는 맨틀 대류의 상승에 의해, 열점에서는 플룸 상승류에 의해 압력이 감소하여 맨틀의 부분 용융이 일어난다.

**개념 보충**

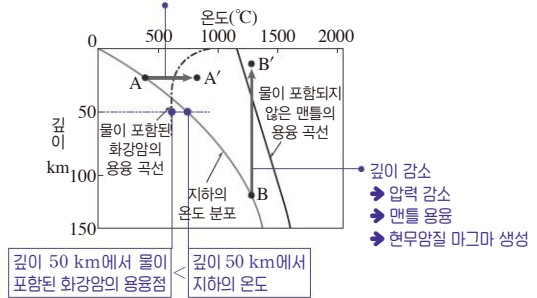
**마그마의 종류**  
 마그마의 종류는 현무암질 마그마, 안산암질 마그마, 유문암질 마그마로 구분한다. 현무암질 마그마는 주로 맨틀의 부분 용융으로, 유문암질 마그마는 주로 대륙 지각의 부분 용융으로, 안산암질 마그마는 주로 현무암질 마그마와 유문암질 마그마의 혼합으로 생성된다.

**117** 하와이 열도는 열점에서 분출한 마그마가 식어 생성된 화산섬들로 이루어져 있고, 열점은 플룸 상승류에서 형성된다. 상승하는 플룸에 의해 압력이 감소하면서 맨틀의 부분 용융이 일어나 생성된 현무암질 마그마가 분출하여 화산섬이 만들어졌다.

**모범 답안** 현무암질 마그마, 플룸 상승류를 따라 맨틀 물질이 상승하여 압력 감소로 맨틀의 부분 용융이 일어나 마그마가 생성되었다.

**118**

온도 상승 → 화강암 용융 → 유문암질 마그마 생성



A → A' 과정은 깊이가 일정하므로 압력은 일정하고, 온도가 상승하는 조건이다. B → B' 과정은 온도는 일정하고 깊이가 감소하므로 압력이 감소하는 조건이다.

① 지하의 온도 분포 곡선에서 깊이가 깊어질수록, 즉, 지구 내부로 갈수록 온도가 상승한다.

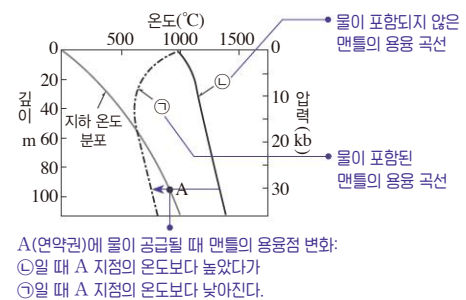
③ B → B' 과정은 압력 감소로 마그마가 생성되는 과정이다. 열점과 해령에서는 이 과정으로 마그마가 생성된다.

④ 물이 포함된 화강암은 깊이 50 km에서 지하의 온도 분포보다 용융점이 낮으므로 마그마 상태로 존재한다.

⑤ A → A' 과정으로 생성된 마그마는 화강암이 용융되어 생성된 유문암질 마그마이이고, B → B' 과정으로 생성된 마그마는 맨틀이 용융되어 생성된 현무암질 마그마이다.  $\text{SiO}_2$  함량은 유문암질 마그마가 현무암질 마그마보다 많다.

**바로알기** ② A → A' 과정은 물을 포함한 화강암이 주위로부터 열을 얻어 용융되는 과정으로, 섭입대 부근에서 대륙 지각 하부가 가열되어 용융될 때 나타난다. 해령은 맨틀 대류의 상승부이므로 해령에서는 B → B' 과정(압력 감소)으로 마그마가 생성된다.

**119**



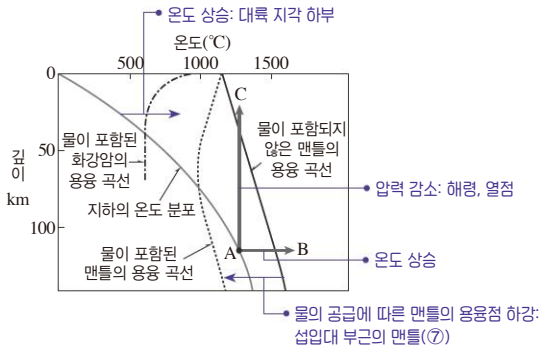
(1) 맨틀에 물이 포함되면 물이 포함되지 않았을 때보다 용융점이 낮아진다. ㉠, ㉡ 중 같은 깊이에서 용융점이 낮은 것은 ㉠이므로 ㉠이 물이 포함된 맨틀의 용융 곡선이고, ㉡이 물이 포함되지 않은 맨틀의 용융 곡선이다.

(2) 섭입대 부근에서 함수 광물에서 빠져나온 물이 맨틀에 공급되면 맨틀의 용융점이 낮아진다(㉡ → ㉠). 이때 지하의 온도 분포보다 용융점이 낮아지면 부분 용융이 일어나 마그마가 생성된다.

**모범 답안** (1) ㉠은 물이 포함된 맨틀의 용융 곡선이고, ㉡은 물이 포함되지 않은 맨틀의 용융 곡선이다.

(2) A 지점의 맨틀(연약권)에 물이 공급되어 맨틀의 용융점이 A 지점의 온도보다 낮아지면서 맨틀이 부분 용융되어 현무암질 마그마가 생성된다.





② 물이 포함되지 않은 맨틀의 용융 곡선에서 깊이가 깊어질수록 맨틀의 용융점은 높아진다.

⑤ 해령에서는 맨틀 물질이 상승하면서 압력 감소(A → C 과정)에 의해 마그마가 생성된다.

**바로알기 I** ① 물이 포함된 화강암의 용융 곡선에서 깊이가 깊어질수록 용융점은 낮아진다.

③ 물이 포함된 맨틀의 용융 곡선은 물이 포함되지 않은 맨틀의 용융 곡선보다 낮은 온도에서 나타나므로 같은 깊이일 때 물이 포함된 맨틀은 물이 포함되지 않은 맨틀보다 용융점이 낮다.

④ A → B 과정은 열을 공급받아 온도가 높아지는 과정이다. 맨틀 물질이 상승하면 압력이 감소한다(A → C 과정).

⑥ 변환 단층에서는 마그마가 생성되지 않는다.

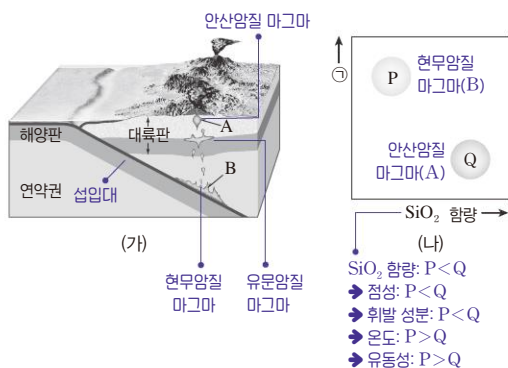
⑦ 섭입대 부근에서 생성되는 현무암질 마그마는 주로 물의 공급에 따른 맨틀의 용융점 하강으로 생성된다.

**121** A는 해령 하부, B는 섭입대 부근의 맨틀(연약권), C는 섭입대 부근의 대륙 지각 하부이다.

ㄱ. 해령은 맨틀 대류의 상승부에 위치하므로 A에서는 압력 감소에 의해 현무암질 마그마가 생성된다.

ㄴ. B에서 생성되어 상승한 현무암질 마그마로부터 대륙 지각(C)이 열을 공급받는다. 대륙 지각은 주로 화강암질 암석으로 구성되어 있으므로 온도가 상승하여 용융되면 유문암질 마그마가 생성된다.

**바로알기 I** ㄴ. B에서는 섭입하는 해양 지각 및 해저 퇴적물의 함수 광물에서 빠져나온 물이 맨틀에 공급되어 맨틀의 용융점을 낮춘다.



B는 맨틀에 물이 공급되어 생성된 현무암질 마그마이고, A는 현무암질 마그마와 유문암질 마그마가 혼합되어 생성된 안산암질 마그마이다.

ㄴ. P는 Q보다  $\text{SiO}_2$  함량이 적으므로 P는 현무암질 마그마(B), Q는 안산암질 마그마(A)에 해당한다.

**바로알기 I** ㄱ. A는 B에서 생성되어 상승한 현무암질 마그마와 대륙 지각이 용융되어 생성된 유문암질 마그마가 혼합되어 생성된 안산암질 마그마이다.

ㄴ. ㉠에 적합한 물리량은  $\text{SiO}_2$  함량이 적은 마그마에서 크게 나타나는 물리량으로 온도가 적절하다. 점성은  $\text{SiO}_2$  함량이 많은 마그마에서 크게 나타나는 물리량이다.

**123** ㄴ. A 지역은 수렴형 경계로 하부에 섭입대가 형성되어 있다. 따라서 화산섬은 주로 안산암질 마그마가 분출하여 생성되었다.

ㄴ. B 지역의 하와이 열도는 열점에서 분출한 마그마가 식어 생성되었다. 열점은 플룸 상승류에 의한 맨틀의 압력 감소로 생성된 마그마가 모여 있는 곳이므로 B 지역에서 마그마는 (나)의 ㉠ 과정(압력 감소)으로 생성되었다.

**바로알기 I** ㄱ. A는 유라시아판과 태평양판의 경계에 위치하지만, B는 판의 경계가 아닌 태평양판의 내부에 위치한다.

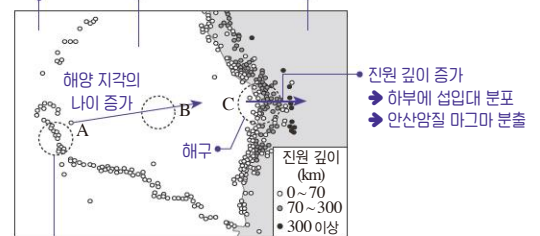
**124** (가)에서 ㉠은 물이 포함된 화강암의 용융 곡선, ㉡은 물이 포함된 맨틀의 용융 곡선, ㉢은 물이 포함되지 않은 맨틀의 용융 곡선이다. (나)에서 A는 히말라야산맥, B는 쿠릴 해구, C는 하와이 열도이다.

ㄴ. 섭입대 부근인 B 지역에서는 주로 안산암질 마그마가 분출하고, 열점 부근인 C 지역에서는 주로 현무암질 마그마가 분출한다. 안산암질 마그마는 현무암질 마그마보다 휘발 성분을 많이 포함하므로 더 폭발적으로 분출한다.

**바로알기 I** ㄱ. (가)에서 물이 포함된 맨틀의 용융 곡선은 ㉡이다.

ㄴ. c → c' 과정은 물의 공급으로 맨틀의 용융점이 하강하여 마그마가 생성되는 과정이므로 섭입대 부근인 B 지역에서 나타난다. A는 히말라야산맥으로, 마그마가 거의 생성되지 않는다.

**125** 태평양판(해양판) 나스카판(해양판) 남아메리카판(대륙판)



해령: 압력 감소로 생성된 현무암질 마그마 분출

A는 천발 지진이 주로 발생하고 C는 심발 지진까지 발생하므로 A는 발산형 경계, C는 수렴형 경계에 해당하며, B는 판의 경계가 아니다.

⑤ C에서는 주로 안산암질 마그마가, A에서는 현무암질 마그마가 분출된다. 따라서 분출되는 마그마의  $\text{SiO}_2$  함량은 C가 A보다 많다.

**바로알기 I** ① A는 동태평양 해령으로, 발산형 경계이다.

② 해양 지각의 나이는 해령에서 가장 적고 해령에서 멀어질수록 많아지므로 A가 B보다 적다.

③ A에는 해령이, B에는 심해저 평원이, C에는 해구가 발달하므로 수심은 A가 B보다 얕다.

④ A를 경계로 이웃하는 두 판은 모두 해양판이지만, C를 경계로 왼쪽에 해양판, 오른쪽에 대륙판이 위치한다. 따라서 인접한 판의 밀도 차이는 A가 C보다 작다.

**126** •  $\text{SiO}_2$  함량이 많을수록 상대적으로 Fe, Mg와 같은 원소를 많이 포함한 고철질 광물의 함량이 적다.

• Fe과 Mg가 많은 조암 광물(유색 광물)에는 감람석, 휘석, 각섬석, 흑운모 등이 있고, Fe과 Mg가 적은 조암 광물(무색 광물)에는 석영, 장석 등이 있다.

**127**  $\text{SiO}_2$  함량이 63 % 이상이면 산성암, 52 % 이하이면 염기성암, 그 사이이면 중성암이다. 이 화성암은  $\text{SiO}_2$  함량이 50 %이므로 염기성암이고, Fe, Mg 등의 함량이 많은 고철질암이다. 또한, 세립질이나 유리질 조직이 나타나므로 지표 부근에서 빠르게 냉각되어 생성된 화산암이다. 따라서 이 화성암은 염기성암이면서 화산암이다.

⑤ 염기성암이면서 화산암인 암석의 대표적인 예는 현무암이다.

**바로알기** | ① 반력암은 염기성암이지만, 심성암이다.

② 안산암은 화산암이지만, 중성암이다.

③ 유문암은 화산암이지만, 산성암이다.

④ 화강암은 산성암이고, 심성암이다.

#### 개념 보충

화성암의 분류				
$\text{SiO}_2$ 함량(%)		52 63		
산출 상태	조직	분류		
		염기성암 (고철질암)	중성암	산성암 (규장질암)
		어두운색 Ca, Fe, Mg (많은 원소)	(색) → 밝은색 (Na, K, Si)	
화산암	세립질	현무암	안산암	유문암
심성암	조립질	반력암	섬록암	화강암
마그마 온도(°C)		높다. ← 1000 ————— 800 → 낮다.		
마그마 점성		적다.	중간	크다.

**128** 유문암은 화학 조성( $\text{SiO}_2$  함량)에 따라 산성암으로 분류되고, 조직(산출 상태)에 따라 화산암으로 분류된다.

ㄱ. 유문암은  $\text{SiO}_2$  함량이 63 % 이상인 산성암이다.

ㄴ. 유문암은 산성암이므로 주로 석영, 장석 등의 광물로 구성되어 있는 규장질암이다.

**바로알기** | ㄴ. 유문암은 지표 근처에서 급격하게 식어서 생성된 화산암이므로 입자의 크기가 작아(세립질 조직) 맨눈으로 광물의 입자를 구분하기 어렵다.

**129** ① 화강암은 유문암질 마그마에서 생성된 산성암이다. 따라서  $\text{SiO}_2$  함량이 63 % 이상이다.

**바로알기** | ② 반력암은 현무암질 마그마에서 생성된 염기성암이다. 따라서 감람석, 휘석과 같은 유색 광물의 함량이 상대적으로 많다.

③ 화산암은 지표 부근에서 급격하게 냉각되어 생성된 암석이다. 따라서 입자가 성장할 시간이 충분하지 않아 심성암에 비해 광물 입자의 크기가 작다.

④ 섬록암은 심성암이고, 안산암은 화산암이다. 따라서 마그마의 냉각 속도는 섬록암이 더 느렸다.

⑤ 심성암에는 화강암, 섬록암, 반력암 등이 있다. 안산암은 화산암으로 분류된다.

**130** A~D에 해당하는 암석에는 A에 현무암, B에 반력암, C에 유문암, D에 화강암이 있다.

⑤  $\text{SiO}_2$  함량이 적을수록 유색 광물의 함량이 많다. 따라서 유색 광물의 함량은 B가 D보다 많다.

**바로알기** | ① A는  $\text{SiO}_2$  함량이 52 % 이하이므로 염기성암이다.

② B는 마그마의 냉각 속도가 느리므로 지하 깊은 곳에서 천천히 냉각되어 생성된 심성암이다.

③ 지하 깊은 곳에서는 마그마가 천천히 식는다. 따라서 마그마의 냉각 속도가 더 느린 D가 C보다 지하 깊은 곳에서 생성되었다.

④ B는 심성암이고, 심성암에서는 조립질 조직이 나타난다.

**131**

구분	염기성암	중성암	산성암
화산암 (빠른 냉각)	현무암	B 안산암	C 유문암
심성암 (느린 냉각)	A 반력암	섬록암	화강암
$\text{SiO}_2$ 함량	적다. ←		→ 많다.
유색 광물 함량	→ 많다.		← 적다.

(2) 화산암은 마그마가 빠르게 냉각되어 세립질이나 유리질 조직이 나타나고, 심성암은 마그마가 천천히 냉각되어 조립질 조직이 나타난다.

(3)  $\text{SiO}_2$  함량이 적을수록 감람석, 휘석 등 유색 광물의 함량이 많고,  $\text{SiO}_2$  함량이 많을수록 장석, 석영 등 무색 광물의 함량이 많다.

**모범 답안** (1) A: 반력암, B: 안산암, C: 유문암

(2) A는 마그마가 천천히 냉각되어 조립질 조직이 나타나고, B는 마그마가 빠르게 냉각되어 세립질이나 유리질 조직이 나타난다.

(3) A는 C보다  $\text{SiO}_2$  함량이 적고, 감람석, 휘석 등 유색 광물의 함량이 많다.

**132** A는 유색 광물의 함량이 많고, C는 무색 광물의 함량이 많으므로 A는 염기성암, B는 중성암, C는 산성암이다.

①  $\text{SiO}_2$  함량이 많을수록 석영, 장석 등 무색 광물의 부피비가 크므로  $\text{SiO}_2$  함량은  $A < B < C$  순으로 많다.

② 현무암질 마그마는 유문암질 마그마에 비해 온도가 높고, 현무암질 마그마가 굳으면 염기성암이, 유문암질 마그마가 굳으면 산성암이 된다. 따라서 온도가 가장 높은 마그마가 굳은 암석은 A이다.

④ Ca, Fe, Mg과 같은 원소가 많은 암석은 휘석, 감람석, 각섬석 등 유색 광물의 부피비가 크다. 따라서 이 원소들은 A가 가장 많다.

⑤  $\text{SiO}_2$  함량이 많을수록 무색 광물의 부피비가 크므로 암석의 색이 밝다. 따라서 A~C 중 C가 가장 밝다.

**바로알기** | ③ 지하 깊은 곳에서 생성된 암석은 심성암이다. 안산암은 B에 해당하지만 지표 부근에서 빠르게 냉각되어 생성된 화산암이다. 지하 깊은 곳에서 생성된 B(중성암)의 예로는 섬록암이 있다.

**133** (가)와 (나)는 각각 화강암과 현무암 중 하나이고, (가)에서는 세립질 조직이, (나)에서는 조립질 조직이 관찰된다. 따라서 (가)는 화산암인 현무암이고, (나)는 심성암인 화강암이다.

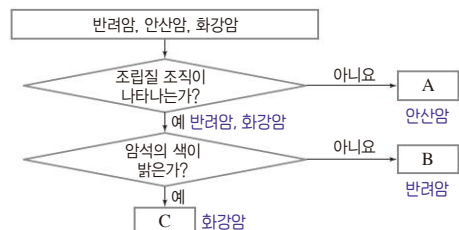
ㄱ. 마그마의 냉각 속도가 빠를수록 입자의 크기는 작다. (가)가 (나)보다 입자의 크기가 작으므로 냉각 속도가 더 빨랐다.

ㄴ. (가)는 현무암이고, (나)는 화강암이므로 암석의 색은 (가)가 (나)보다 어둡다.

**바로알기** | ㄴ. 암석의 생성 깊이가 얕을수록 마그마가 빠르게 식어 입자가 작다. 따라서 생성 깊이는 (나)가 (가)보다 깊었다.

**134**

반력암	안산암	화강암
• 심성암 → 조립질 조직 • 염기성암 → 어두운색	• 화산암 → 세립질 조직 • 중성암 → 중간 밝기	• 심성암 → 조립질 조직 • 산성암 → 밝은색



• A: 반력암, 안산암, 화강암 중 조립질 조직은 반력암과 화강암에서 나타난다. 따라서 A는 안산암이다.

• B, C: 반력암은  $\text{SiO}_2$  함량이 적은 염기성암이고, 화강암은  $\text{SiO}_2$  함량이 많은 산성암이므로 화강암이 반력암보다 암석의 색이 밝다. 따라서 B는 반력암, C는 화강암에 해당한다.

**135** ㄱ. (가)의 A는 SiO<sub>2</sub> 함량이 63 % 이상으로 산성암(규장질암)에 해당하고, B는 SiO<sub>2</sub> 함량이 52 % 이하이므로 염기성암(고철질암)에 해당한다.

ㄴ. B는 A에 비해 SiO<sub>2</sub> 함량이 적고, Fe, Ca 등의 함량이 많으므로 상대적으로 더 어두운색을 띤다.

**바로알기** | ㄷ. (나)에서 A는 지표 근처에서 생성된 화산암이고, B는 지하 깊은 곳에서 생성된 심성암이다. 따라서 A는 산성암 중 화산암인 유문암에 해당하고, B는 염기성암 중 심성암인 반력암에 해당한다.

**136** A와 B는 화산암, C와 D는 심성암이다. A와 C는 현무암질 마그마가 식어서 생성된 염기성암, B와 D는 유문암질 마그마가 식어서 생성된 산성암이다.

① A와 B는 냉각 속도가 빠르므로 광물 결정이 자랄 시간이 충분하지 않아 세립질이나 유리질 조직이 나타난다.

② 마그마의 냉각 속도가 빠를수록 지표 근처에서 식은 것이다. 따라서 암석의 생성 깊이는 C가 A보다 깊다.

③ 마그마의 SiO<sub>2</sub> 함량이 많을수록 Fe, Mg과 같은 원소의 양이 적고, Na, K과 같은 원소의 양이 많다. C는 B보다 SiO<sub>2</sub> 함량이 적으므로 암석의  $\frac{\text{Fe의 질량비}}{\text{Na의 질량비}}$ 가 높다.

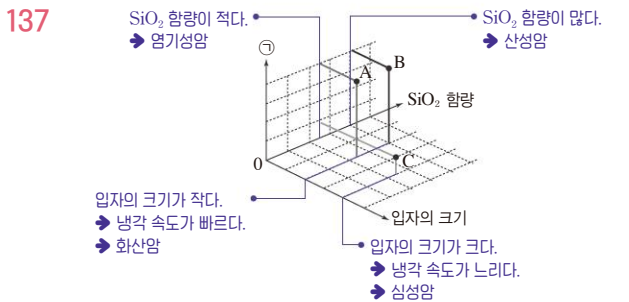
⑤ 해양 지각은 현무암질 마그마가 식어 생성되므로 주로 A(현무암)나 C(반력암)로 구성되어 있다.

**바로알기** | ④ D는 SiO<sub>2</sub> 함량이 많으므로 규장질암에 속한다.

**개념 보충**

**해양 지각을 이루는 암석**

해양 지각의 상부는 주로 현무암으로 구성되어 있으나 하부에는 반력암도 존재한다.



ㄱ. A는 B보다 SiO<sub>2</sub> 함량이 적으므로 Fe과 Mg의 함량이 더 많다. 따라서 밀도가 더 크다.

ㄷ. ㉠은 입자의 크기가 작은 A와 B에서 크고, 입자의 크기가 큰 C에서 작은 물리량이다. 마그마의 냉각 속도가 빠를수록 입자의 크기가 작으므로 마그마의 냉각 속도는 ㉠에 적합하다.

**바로알기** | ㄴ. C는 A보다 입자의 크기가 크므로 냉각 속도가 느리다. 지하 깊은 곳에서 식을수록 냉각 속도가 느리므로 C는 A보다 지하 깊은 곳에서 생성되었다.

ㄹ. A, B, C는 각각 반력암, 유문암, 현무암 중 하나이다. A, B는 입자의 크기가 작고 C는 입자의 크기가 크므로 C는 반력암이다. A와 B 중 SiO<sub>2</sub> 함량은 B가 더 많으므로 B는 유문암, A는 현무암이다.

**138** 백두산, 울릉도, 제주도, 한탄강 일대는 모두 화산암으로 구성되어 있다.

**바로알기** | ② 설악산은 중생대 화강암으로 구성되어 있으므로 심성암 지형에 해당한다.

**139** ① 제주도, 백두산, 한탄강 일대 등 신생대에 생성된 화성암 지형은 대부분 화산암이다.

② 우리나라의 심성암 중 중생대의 화강암이 차지하는 비율이 가장 크다.

③ 화강암이 지표로 드러나면 압력이 감소하면서 암석이 판 모양으로 쪼개지는 판상 절리가 나타날 수 있다.

⑤ 북한산 인수봉은 중생대 화강암으로 구성되어 있다.

**바로알기** | ④ 울릉도, 독도는 신생대에 형성된 화산섬이다.

**140** ㄱ. 설악산 울산바위는 중생대에 생성된 화강암이다.

**바로알기** | ㄴ. 화강암은 심성암이므로 마그마가 지하 깊은 곳에서 천천히 식어서 생성되었다.

ㄷ. 화강암은 산성암(규장질암)이므로 주요 구성 광물은 석영, 장석이다. 휘석, 감람석은 유색 광물로, 화강암에는 유색 광물의 함량이 적다.

**141** (가)는 신생대 현무암, (나)는 중생대 화강암으로 이루어져 있다.

④ (나) 화강암은 (가) 현무암보다 SiO<sub>2</sub> 함량이 많다.

⑤, ⑥ (가)에서는 주상 절리가, (나)에서는 판상 절리가 나타난다.

**바로알기** | ① (가)는 화산암, (나)는 심성암이다.

② 제주도는 신생대에, 북한산은 중생대에 형성되었다. 따라서 (가)는 (나)보다 나중에 생성되었다.

③ (가) 현무암은 화산암으로, 심성암인 (나) 화강암보다 마그마가 빠르게 냉각되어 구성 광물 입자의 크기가 작다.

⑦ (나)의 절리는 판상 절리로, 심성암이 지표로 드러나면서 압력이 감소하여 형성된 것이다. 용암이 급격히 식어서 만들어진 것은 (가)의 주상 절리이다.

**최고 수준 도전 기출 (01~05강)**

38~39쪽

142 ⑤	143 ①	144 ②	145 ④	146 ⑤	147 ①
148 ②	149 ①				

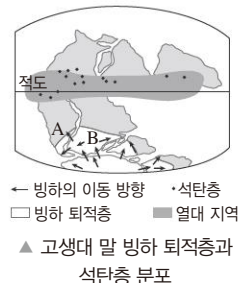
**142** ⑤ 고생대 말 빙하 퇴적층은 남극 대륙 부근에서, 석탄층은 적도 부근에서 생성된 것이다. 각각 고생대 말보다 현재 북쪽에 있으므로 북쪽으로 이동하였다고 볼 수 있다.

**바로알기** | ① 현재 고생대 말에 생성된 빙하 퇴적층은 적도 부근에도 있다. 이는 이 대륙들이 고생대 말에 남극 대륙 근처에 있다가 현재 위치로 이동한 것으로, 고생대 말에 적도 지역까지 빙하가 분포한 것은 아니다.

② A와 B는 고생대 말에 남극 대륙 주변에 붙어 있었다. 따라서 같은 종류의 고생대 말 화석이 발견될 수 있다.

③ 고생대 말 A와 B가 붙어 있었을 때의 초대륙을 판게아라고 한다. 로디니아는 약 12억 년 전 형성된 초대륙의 이름이다.

④ 고온 다습한 열대 기후대는 적도 지역이다. 현재 석탄층이 분포하는 지역은 예전에 적도 부근에서 생성되어 중위도로 이동한 것이다.





143 표에서 A 해역은 지점 6 부근에 해구가, B 해역은 지점 6 부근에 해령이, C 해역은 지점 7 부근에 해령이 존재한다.

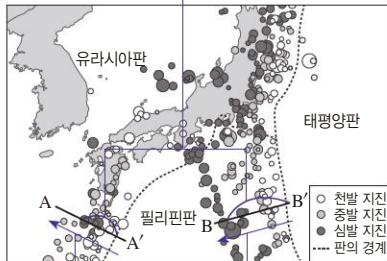
ㄱ. 음향 측심법에서 음파의 왕복 시간이 가장 긴 곳이 수심이 가장 깊은 곳이다. A 해역의 지점 6은 왕복 시간이 10초로 가장 길다. 따라서 가장 수심이 깊다.

ㄴ. B 해역은 해령이 존재하므로 주로 현무암질 마그마가 생성된다.

바로알기 | ㄷ. C 해역에서 지점 5의 왕복 시간은 6초이다. 따라서 수심( $d$ )은  $d = \frac{1}{2} \times t \times v = \frac{1}{2} \times 6 \text{ s} \times 1500 \text{ m/s} = 4500 \text{ m}$ 이다.

ㄹ. A 해역에만 해구가 나타난다.

144 판 경계에서부터 심발 지진이 나타나는 지점까지의 거리: A-A' 구간 < B-B' 구간 → 섭입대의 경사: A-A' 구간 > B-B' 구간



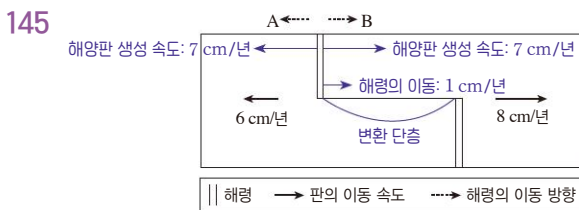
진원 깊이 증가: 필리핀판이 유라시아판 아래로 섭입  
→ 판의 밀도: 유라시아판 < 필리핀판

진원 깊이 증가: 태평양판이 필리핀판 아래로 섭입  
→ 판의 밀도: 필리핀판 < 태평양판

ㄴ. 섭입형 경계에서의 지진은 섭입대에서 발생하므로 진원의 깊이와 지진 분포를 보면 경사를 알 수 있다. 심발 지진이 발생한 지점이 판의 경계로부터 가까이 있는 지역이 판의 경계로부터 멀리 있는 지역에 비해 판의 경사가 크다. A-A' 구간이 B-B' 구간보다 판의 경계에서 심발 지진이 발생하는 지점까지의 거리가 가까우므로 판의 경사가 더 크다.

바로알기 | ㄱ. A-A' 구간은 판의 경계에서 유라시아판 쪽으로 갈수록 진원 깊이가 깊다. 따라서 필리핀판이 유라시아판 아래로 섭입하므로 필리핀판의 밀도가 더 크다.

ㄷ. 이 지역은 섭입대가 발달한 판의 경계로, 일본 열도를 형성한 마그마는 주로 안산암질 마그마이다. 섭입대에서 맨틀에 물이 공급되어 용융점 하강으로 생성된 현무암질 마그마와 대륙 지각 하부가 온도 상승으로 용융되어 생성된 유문암질 마그마의 혼합으로 생성되었다.



ㄴ. 해령과 해령 사이는 변환 단층으로, 판이 생성되거나 소멸되지 않는다.

ㄷ. 고지자기 줄무늬가 해령에 대해 대칭이므로 해령에 대해서 두 판이 멀어지는 속도는 같다. 그런데 왼쪽 판은 A 방향으로 6 cm/년, 오른쪽 판은 B 방향으로 8 cm/년의 속도로 움직이므로 해령은 B 방향으로 1 cm/년의 속도로 이동하고 있다(6 cm/년 + 1 cm/년 = 8 cm/년 - 1 cm/년).

바로알기 | ㄱ. 해령에서 1년에 판이 6 cm + 8 cm = 14 cm가 생성되었고, 고지자기 줄무늬가 해령에 대해 대칭이므로 해령에서 두 판은 각각 1년에 7 cm씩 생성되었다.

146 ① 150만 년 전은 역자극기이다. 현재가 정자극기이고, 자북극이 지리상 북극 근처에 위치하므로 역자극기인 150만 년 전에는 자북극이 지리상 남극 근처에 있었다.

② 해령 A는 남반구 중위도에 위치한다. 현재 남반구에서 북극의 부호는 (-)이므로 역자극기였던 150만 년 전에는 (+)이다.

③ 일반적으로 해양 지각의 나이가 많을수록 해저 퇴적물의 두께도 두껍다. 해령 C로부터 80 km 지점은 40 km 지점에 비해 해양 지각의 나이가 많으므로 퇴적물의 두께도 두껍다.

④ 속도 =  $\frac{\text{거리}}{\text{시간}}$  이므로 해양 지각의 평균 확장 속도는

$\frac{\text{해령으로부터의 거리}}{\text{해양 지각의 나이}}$ 로 구할 수 있다.

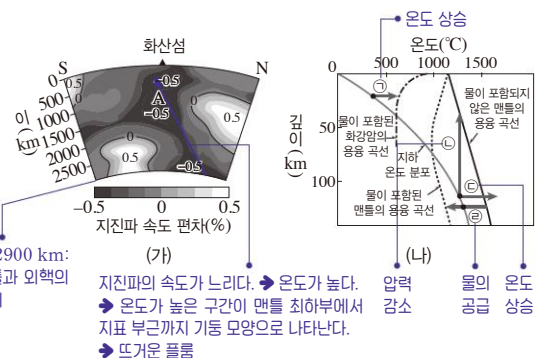
바로알기 | ⑤ 그래프에서 기울기는  $\frac{\text{해령 지각의 나이}}{\text{해령으로부터의 거리}}$ 이므로 확장 속도에 반비례한다. 따라서 기울기가 완만할수록 확장 속도가 빠르다. 최근 3백만 년 동안 그래프의 기울기는 해령 A가 가장 급하므로 해양 지각의 평균 확장 속도는 해령 A에서 가장 느렸다.

147 ㄱ. 2억 년 전부터 2백만 년 전까지 고지자기 북극의 크기가 증가하였으므로 이 지각은 계속 고위도로 이동하였다.

바로알기 | ㄴ. 진북의 위치는 변하지 않았는데, 이 지각에 기록된 고지자기로 추정된 진북 방향은 실제 진북 방향에 대해 시계 방향으로 회전하였다. 그 까닭은 이 지각이 시계 방향으로 회전하였기 때문이다.

ㄷ. 암석에 기록된 잔류 자기의 방향은 변하지 않는다.

148



ㄷ. (가)의 화산섬은 뜨거운 플룸에 의해 맨틀 물질이 상승하면서 압력 감소(㉠ 과정)로 생성된 마그마가 열점에서 분출되어 생성되었다.

바로알기 | ㄱ. A 지점은 지진파의 속도 편차가 (-)이다. 따라서 주변 맨틀에 비해 지진파의 속도가 느리므로 온도가 높다.

ㄴ. A 지점에서는 맨틀과 핵의 경계에서 상승하는 뜨거운 플룸이 나타난다. 맨틀과 핵의 경계까지 하강하는 차가운 플룸은 섭입하는 판 부근에서 형성된다.

149 화강암을 형성하는 유문암질 마그마는 주로 A → A' 과정으로, 현무암을 형성하는 현무암질 마그마는 압력 감소인 B → B' 과정이나 물의 공급에 의한 용융점 하강 등으로 생성된다.

ㄱ. A → A' 과정으로 생성된 유문암질 마그마는 B → B' 과정으로 생성된 현무암질 마그마에 비해 점성이 크다.

ㄴ. (다)에서 기둥 모양의 주상 절리가 나타난다. 주상 절리는 지표 부근에서 마그마가 급격히 식을 때 발달한다.

바로알기 | ㄴ. 해령에서는 맨틀 물질이 상승하면서 압력 감소로 마그마가 생성되므로 (나)에서 B → B' 과정으로 생성된다.

ㄷ. (나)는 화강암이므로 A → A' 과정으로 생성된 유문암질 마그마가 지하 깊은 곳에서 굳은 것이다.

# 퇴적 구조

## 빈출 자료 보기

41쪽

150 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) × (5) × (6) ○

151 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ○ (5) × (6) ○ (7) × (8) ×

150 A는 유기적 퇴적암, B는 화학적 퇴적암, C는 쇄설성 퇴적암에 해당한다.

(2) 해수의 증발은 건조한 환경에서 잘 일어나므로 해수의 증발로 염류가 침전되어 암석(B)이 생성되려면 건조한 환경이어야 한다.

(3) C는 쇄설성 퇴적암으로, 입자의 크기에 따라 역암, 사암, 이암 등으로 구분할 수 있다.

(6) 쇄설성 퇴적암(C) 중 자갈이 포함된 퇴적물이 굳어 생성된 암석은 역암이다.

**바로알기** | (1) 생물의 유해나 공극이 쌓여 생성된 암석(A)은 유기적 퇴적암이다. 화학적 퇴적암은 B이다.

(4) 암염은 해수의 증발로 염류인 염화 나트륨이 침전되어 생성된 것이므로 화학적 퇴적암인 B에 해당한다.

(5) 석탄은 식물체가 묻혀 생성되므로 유기적 퇴적암에 해당한다. 처트, 석회암은 유기적 퇴적암과 화학적 퇴적암에 모두 해당할 수 있다.

151 (가)는 사층리, (나)는 연흔, (다)는 점이 층리, (라)는 건열이다.

(2) (가) 사층리는 퇴적물이 물이나 바람을 따라 이동하면서 쌓여 형성되었으므로 사층리로부터 물이나 바람의 방향을 추정할 수 있다.

(3) 저탁류는 대륙붕 끝에 쌓인 퇴적물이 갑자기 무너져 해저 경사면을 따라 빠르게 흘러내리는 흐름으로, 이때 퇴적물이 한꺼번에 쌓이면서 크고 무거운 입자가 먼저 가라앉아 (다) 점이 층리가 형성된다.

(4) (라) 건열은 건조한 대기에 노출된 퇴적물의 표면이 갈라져 형성된다.

(6) (가)~(라) 모두 지층의 상하 판단에 이용된다.

**바로알기** | (1) (가)는 퇴적물이 비스듬히 쌓여 있는 사층리이고, (나)는 물결 모양의 흔적이 남은 연흔이다.

(5) (라) 건열은 역암층보다 입자의 크기가 작은 이암층, 세일층에서 잘 나타난다.

(7) 지층이 역전된 것은 (라)이다. (라) 건열에서 V 모양의 틈이 넓은 쪽이 지층의 아래쪽을 향하므로 지층이 역전되었다.

(8) (가) 사층리는 사막이나 하천에서, (나) 연흔은 얇은 바다나 호수에서, (다) 점이 층리는 깊은 호수나 바다에서, (라) 건열은 건조한 기후 지역의 지표에서 형성된다. 따라서 (가)~(라) 중 가장 깊은 곳에서 형성된 퇴적 구조는 (다)이다.

## 난이도별 필수 기출

42~45쪽

152 ③ 153 ④, ⑦ 154 ②, ⑤ 155 퇴적물 입자의 크기

156 ④ 157 ① 158 해설 참조 159 ①, ②

160 ③ 161 ① 162 (가), (나), (다) 163 ①

164 ①, ⑦ 165 해설 참조 166 ⑤

167 (가) ㄱ, ㄹ, ㄷ (나) ㄴ, ㄷ, ㄱ (다) ㄴ, ㄷ 168 ② 169 ①

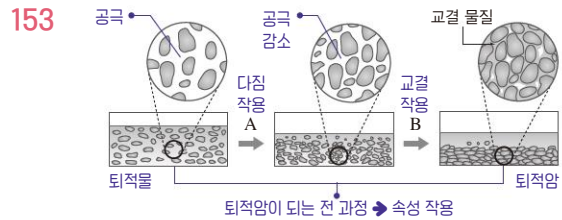
170 ⑤ 171 ⑤ 172 ③ 173 ⑤, ⑥

152 ①, ② 퇴적암은 물이나 바람과 함께 운반되어 온 퇴적물들이 굳어져 만들어진 암석이다.

④ 퇴적물에 묻힌 생물의 유해가 화석으로 발견될 수 있고, 서로 다른 퇴적물이 쌓이면서 층리가 발견될 수 있다.

⑤ 방사성 동위 원소를 이용한 절대 연령 측정은 퇴적암의 생성 시기는 알 수 없고, 퇴적물을 이루는 암석 조각들의 생성 시기를 알려 주므로 퇴적암 나이의 상한선을 알려 준다.

**바로알기** | ③ 속성 작용에서 퇴적물의 무게에 눌러 다짐 작용이 일어날 때 압력이 작용한다.



153 ① 퇴적암은 퇴적물이 운반된 후 속성 작용(다짐 작용+교결 작용)을 받아 생성된다. 따라서 A, B 과정 전체를 속성 작용이라고 한다.

② A는 다짐 작용(압축 작용), B는 교결 작용이다.

③ 다짐 작용(A)은 위쪽 퇴적물의 무게에 아래쪽 퇴적물이 압축되어 다져지는 작용이다.

⑤, ⑥ B 과정은 물에 녹아 있던 물질이 침전되면서 퇴적물 입자 사이를 메우고 입자들을 붙여 굳어지게 하는 교결 작용이다. 이때 입자들을 붙이는 물질을 교결 물질이라 하고, 석회질, 규질, 철질 성분이 교결 물질에 해당한다.

**바로알기** | ④ A 과정에서 퇴적물 입자 사이의 공간이 줄어들면서 공극률은 감소하고 밀도는 증가한다.

⑦ 유문암은 화성암으로, 용암이 굳어져서 생성된 암석이다.

### 개념 보충

#### 공극률

공극은 퇴적물 입자 사이의 틈을 일컫는 용어이고, 공극률은 전체 암석에서 차지하는 공극의 비율을 뜻한다. 퇴적물이 다짐 작용을 받으면, 압력을 받아 입자 사이의 간격이 줄어들어 공극이 감소하므로 공극률이 감소한다.

154 ② 자갈이 포함되어 굳은 것은 역암이다.

⑤ 식물체가 쌓여 굳은 것은 석탄이다.

**바로알기** | ① 모래가 쌓여 굳은 것은 사암이다.

③ 점토가 쌓여 굳은 것은 세일, 이암이다.

④ 화산재가 쌓여 굳은 것은 응회암이다.

⑥ 산호, 조개껍데기가 쌓여 굳은 것은 석회암이고, 암염을 이루는 퇴적물은 염화 나트륨이다.

155 쇄설성 퇴적암 중 이암, 사암, 역암은 퇴적물 입자의 크기에 따라 분류한 것으로, 퇴적물 입자의 크기는 역암>사암>이암이다.

### 개념 보충

#### 쇄설성 퇴적물 입자의 크기와 퇴적암

풍화, 침식 작용		화산 분출물	
퇴적물 입자	퇴적암	퇴적물 입자	퇴적암
자갈(2 mm 이상)	역암, 각력암	화산암괴(64 mm 이상)	화산 각력암
모래( $\frac{1}{16}$ mm ~ 2 mm)	사암	화산재(2 mm ~ 64 mm)	라필리 응회암
점토( $\frac{1}{16}$ mm 이하)	이암, 세일	화산재(2 mm 이하)	응회암

**156** 나. 화학적 퇴적암은 화학 성분의 침전으로 만들어진 것이다. (나) 암염은 화학적 퇴적암으로, 물에 녹아 있던 염화 나트륨이 물이 증발하면서 침전되어 굳어져 생성된 것이다.

ㄷ. 석회암은 물에 녹아 있던 탄산 칼슘이 침전되거나, 탄산 칼슘 성분으로 이루어진 생물의 유해가 쌓여 생성된다. 따라서 화학 성분의 침전인 화학적 퇴적암이나 유기물의 퇴적인 유기적 퇴적암으로 모두 만들어질 수 있다.

**바로알기** | ㄱ. 유기적 퇴적암은 생물에 기원한 퇴적암이고, 셰일의 퇴적물은 암석이 풍화 침식 작용을 받아 만들어진 점토이므로 셰일은 쇄설성 퇴적암이다.

**157** 암염은 화학적 퇴적암이고, 석회암은 유기적 퇴적암과 화학적 퇴적암이 모두 될 수 있으며, 응회암은 쇄설성 퇴적암이다.

ㄱ. 쇄설성 퇴적암에는 역암, 사암, 셰일, 응회암 등이 있다. 암염, 석회암, 응회암 중 쇄설성 퇴적암은 응회암이므로 A는 응회암이다.

**바로알기** | 나. 묽은 염산은 탄산 칼슘 성분인 석회암과 반응하여 이산화 탄소를 방출한다. 따라서 B는 석회암이다. 규질 성분이 침전되어 만들어진 암석은 찰트이다.

ㄷ. C는 암염으로, 암염은 화학적 퇴적암에 해당한다.

**158** (1) 사암은 모래가, 이암은 점토가 퇴적되어 굳은 암석이다. 석고와 암염은 물에 녹아 있던 성분이 물이 증발함에 따라 잔류하여 굳은 암석이다. 석탄은 식물체가 퇴적되어 만들어진 암석이다.

**모범 답안** (1) • 쇄설성 퇴적암: 사암, 이암

• 화학적 퇴적암: 석고, 암염

• 유기적 퇴적암: 석탄

(2) 유기적 퇴적암은 생물의 유해나 골격의 일부가 쌓여 생성된다.

**159** A는 유기적 퇴적암, B는 화학적 퇴적암, C는 쇄설성 퇴적암이다.

③, ④ 암염과 석고는 물이 증발하고 잔류된 물질이 굳어져 생성되므로 건조한 환경에서 주로 생성된다.

⑤ 빙하와 함께 운반되면서 풍화 침식 작용을 받아 생성된 빙하 퇴적물은 쇄설성 퇴적물이다. 빙하 퇴적물이 쌓이는 곳에서 생성된 퇴적암은 빙퇴석으로, 쇄설성 퇴적암(C)에 해당한다.

⑥ 쇄설성 퇴적암에서 역암, 사암, 셰일은 퇴적물 입자의 크기에 따라 분류한 것이다. 역암의 입자가 가장 크고, 셰일의 입자가 가장 작다.

**바로알기** | ① 찰트와 석회암은 유기적, 화학적으로 모두 생성될 수 있지만, 석탄은 식물체가 묻혀 생성되므로 A는 유기적 퇴적암에 해당한다.

② 응회암은 쇄설성 퇴적암이므로 C에 해당한다.

**160** ㄱ. A → C 과정으로 생성된 퇴적암은 화학적 퇴적암이고, B → C 과정으로 생성된 퇴적암은 쇄설성 퇴적암이다.

ㄷ. 퇴적물이 퇴적암이 되기 위해서는 속성 작용을 거쳐야 한다. 그 과정에서 퇴적물이 다져짐에 따라 퇴적물의 공극률은 감소한다.

**바로알기** | 나. 석회암은 유기적 퇴적암에 속하거나, 화학적 퇴적암(A → C)에 속한다. 하지만 쇄설성 퇴적암(B → C)에는 속하지 않는다.

**161** **바로알기** | ② 단층은 지층이나 암석이 힘을 받았을 때 갈라진 지질 구조로, 퇴적 구조가 아니다.

③ 연흔은 호수나 얇은 바다에 생성된 물결 무늬의 퇴적 구조이다.

④ 사층리는 물이나 바람에 의해 퇴적물이 운반되면서 비스듬히 쌓인 퇴적 구조이다.

⑤ 점이 층리는 물속에서 입자들의 침강 속도 차이로 퇴적물이 분리되어 상부로 갈수록 퇴적물의 입자가 작아지는 퇴적 구조이다.

**162** (가)는 사층리, (나)는 점이 층리, (다)는 연흔, (라)는 건열이다.

(가) 사층리에서는 층리의 폭이 넓은 쪽이 위쪽이다. ➔ 역전

(나) 점이 층리에서는 입자가 작아지는 쪽이 위쪽이다. ➔ 역전

(다) 연흔에서는 뾰족한 쪽이 위쪽이다. ➔ 역전

(라) 건열에서는 V 모양의 틈이 넓은 쪽이 위쪽이다.

따라서 (가), (나), (다)는 역전되었고, (라)는 역전되지 않았다.

**163** 그림은 상부로 갈수록 퇴적물의 입자가 작아지는 퇴적 구조이므로 점이 층리이다.

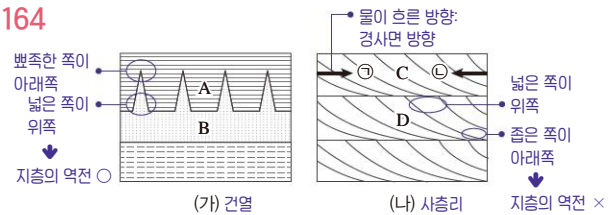
ㄱ. 점이 층리는 물속에서 퇴적물 입자들의 침강 속도 차이로 퇴적물이 입자의 크기에 따라 분리되어 형성된다. 수심이 얇은 환경에서는 퇴적물이 분리되는 데 시간이 충분하지 않으므로 수심이 깊은 환경에서 형성되기 쉽다.

나. 점이 층리는 한 개의 층 내에서 하부에는 입자의 크기가 크고, 상부로 갈수록 입자의 크기가 작아지는 퇴적 구조로, 입자의 크기가 다양한 퇴적물이 한꺼번에 쌓일 때 나타난다.

**바로알기** | ㄷ. 그림에서 위로 갈수록 입자의 크기가 작아지므로 지층은 역전되지 않았다.

ㄴ. 퇴적물이 쌓일 당시에 바람이나 물의 방향을 알 수 있는 것은 사층리이다.

**164**



② 건열은 지층의 표면이 건조한 대기에 노출되었을 때 형성된다.

③ (가)는 지층이 역전되었다. 따라서 A가 B보다 먼저 형성되었다.

④ 건조한 환경일 때 입자가 작은 점토층에서 표면이 갈라지기 쉬우므로 (가) 건열은 A가 사암일 때보다 셰일일 때 잘 나타난다.

⑤ 건열은 주로 셰일에서 많이 발견된다. 따라서 A에서 쇄설성 퇴적암이 발견될 수 있다.

⑥ 물이 흐르는 방향에서 경사면에 퇴적물이 쌓여 사층리가 형성되므로 (나)에서 물이 흐른 방향은 경사면 방향인 ㉠이다.

**바로알기** | ① (가)는 건열, (나)는 사층리이다.

⑦ (나)는 지층이 역전되지 않았으므로 C는 D보다 나중에 생성된 지층이다.

**165**



(2) (가), (나), (다)의 퇴적 구조가 모두 위와 아래가 뒤집혀서 나타나므로 이 지역의 지층은 역전되었다. 역전되지 않았을 때의 모습으로 판단해 보면 퇴적물이 경사면을 따라 쌓이므로 B가 물이 흐른 방향이다.

(3) (나)는 연흔으로, 얇은 바다나 호수 환경에서 형성되었다.



(4) 저탁류가 흐를 때 입자의 무게에 따른 침강 속도 차이로 무거운 입자가 아래에, 가벼운 입자가 위에 놓이면서 한 층 내에서 입자의 크기가 다르게 분포한다.

**모범 답안** (1) (가) 사층리 (나) 연흔 (다) 점이 층리

(2) B

(3) 얇은 바다 또는 호수였다.

(4) 저탁류와 같은 흐름이 나타날 때 크고 무거운 입자는 빠르게 가라앉고, 작고 가벼운 입자는 천천히 가라앉으므로 한 층 내에서 입자의 크기가 위로 갈수록 작아지는 점이 층리가 만들어진다.

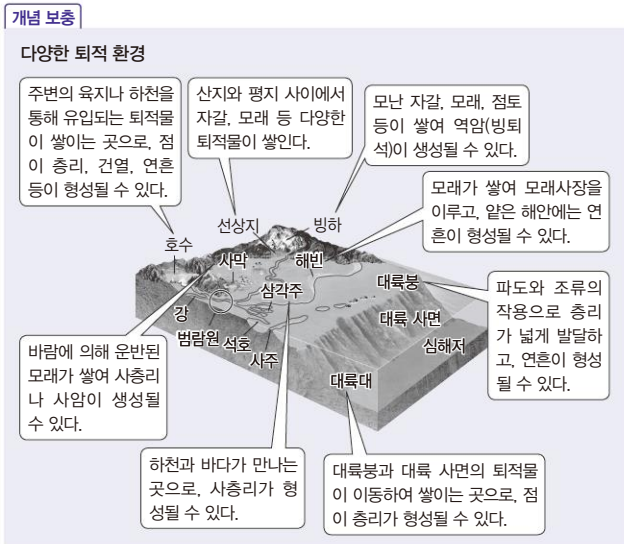
**166** ① 빙하에서는 빙퇴석이 생성될 수 있으며, 빙퇴석은 역암에 해당한다.

② 대륙대는 대륙 사면 아래 쪽에 놓인 환경으로, 대륙 사면에서 발생한 저탁류에 의해 대륙대에서 점이 층리가 형성될 수 있다.

③ 얇은 호수에서는 연흔이 만들어질 수 있고, 호수가 마르면 건열이 형성될 수 있다.

④ 사막에서는 바람에 의해 퇴적물이 비스듬히 쌓여 사층리가 형성될 수 있고, 모래가 쌓여 사암이 생성될 수 있다.

**바로알기** ⑤ 삼각주에서는 사층리가 형성될 수 있다. 점이 층리는 훨씬 깊은 수심에서 형성된다.



**167** (가) 육상 환경에 해당하는 것은 빙하, 호수, 선상지이다.

(나) 연안 환경은 육지와 바다의 경계에 존재하는 곳으로, 석호, 해변(모래사장), 삼각주가 해당한다.

(다) 해양 환경에 해당하는 것은 대륙대, 대륙붕이다.

**168** ① 육지에서는 침식 작용이 잘 일어나므로 육상 환경에서는 쇄설성 퇴적물이 많이 생성된다.

③ 대륙대는 대륙 사면과 접해 있는 해양 환경으로, 급경사를 따라 흐르는 저탁류가 운반한 다양한 크기의 퇴적물이 쌓여 점이 층리가 형성될 수 있다.

④ 선상지는 경사가 급한 산지에서 평지로 이어지는 육상 환경으로, 다양한 크기의 입자들이 퇴적되어 있다.

⑤ 지구에서 바다는 육지보다 훨씬 넓게 분포하므로 해양 환경이 육상 환경보다 더 넓은 면적을 차지한다.

**바로알기** ② 대륙붕은 해양 환경으로 층리가 발달하고, 연흔이 생성될 수 있다.

**169** (가)에서 빙하, 호수(A), 선상지(B)는 육상 환경이고, 해변, 삼각주(C)는 연안 환경이며, 대륙붕, 대륙 사면, 대륙대(D), 심해저는 해양 환경이다. (나)는 사층리, (다)는 연흔이다.

ㄱ. 호수(A)는 육상 환경에 해당하고, 삼각주(C)는 강이나 호수의 하구에서 바다로 이어지는 곳에서 유속이 느려지면서 형성된 지형이므로 연안 환경에 해당한다.

ㄴ. 퇴적물은 입자의 크기가 클수록 멀리 운반되기 어렵다. 선상지(B)는 강의 상류에서, 삼각주(C)는 강의 하류에서 나타나는 퇴적 지형이므로 퇴적물 입자의 크기는 선상지보다 삼각주보다 대체로 크다.

**바로알기** ㄴ. 사층리는 흐르는 물을 따라 형성되므로 호수(A)에서는 (나) 사층리보다 (다) 연흔이 형성되기 쉽다.

ㄷ. 대륙 사면에서 대륙대로 흐르는 저탁류에 의해 대륙대(D)에는 점이 층리가 잘 발달한다. (다)는 연흔으로 수심이 얇은 곳에서 잔물결이나 파도에 의해 형성된다.

**170** ㄱ. 강원도 태백시 구문소의 지층은 고생대 바다에서 생성되었다. 삼엽충 화석은 고생대를 대표하는 표준 화석이다.

ㄴ. 세일층은 쇄설성 퇴적암으로 이루어진 층이다.

ㄷ. 연흔이 발견된 것으로 보아 수심이 얇은 물 밑에서 퇴적된 적이 있다.

**171** ㄱ. (가) 마이산은 역암으로 구성된 중생대 퇴적층이고, (나) 덕명리 해안은 공룡 발자국 화석이 발견되는 중생대 퇴적층이다.

ㄴ. (가)는 역암으로 구성되어 있으므로 쇄설성 퇴적암이 분포한다.

ㄷ. (나)는 육상 환경인 호수에서 퇴적되어 연흔과 건열이 관찰되기도 한다.

**172** (가) 수월봉은 신생대에 화산재가 쌓여서 생성된 곳이고, (나) 시화호 공룡알 화석지는 중생대에 육상 환경에서 퇴적된 곳이다.

ㄱ. (가)는 화산재가 쌓여서 생성된 응회암이 분포하는 지역이다.

ㄴ. (나)의 지층에서는 공룡알 화석이 발견되므로 육상 환경에서 퇴적되었다.

**바로알기** ㄷ. (가)는 신생대에, (나)는 중생대에 생성된 퇴적암 지형이므로 (가)는 (나)보다 나중에 생성되었다.

**173**



① ①은 공룡알 화석지이므로 육지에서 퇴적되었고, ②에서는 삼엽충 화석이 발견되므로 바다에서 퇴적되었다.

② ③은 고생대에 주로 퇴적된 석회암 지대로, 환선굴과 같은 석회 동굴이 있다.

③ ④ 채석강에서는 해안 절벽, 해식 동굴 등이 관찰된다.

④ ⑤ 마이산은 주로 역암으로 구성되어 있으며, 차별 침식으로 역암에서 자갈이 떨어져 나가면서 생긴 구멍인 타포니가 관찰된다.

⑦ ⑦ 수월봉은 응회암층으로, 퇴적암에서는 층리가 관찰된다.

**바로알기** ⑤ ⑥은 중생대에, ②는 고생대에 생성된 퇴적암 지형이므로 ②가 ⑥보다 먼저 생성되었다.

⑥ ⑥은 중생대 육지에서 생성된 지층이다. 삼엽충과 산호는 해양 생물이므로 ⑥에서는 삼엽충과 산호 화석이 발견될 수 없다.

## 지질 구조

### 빈출 자료 보기

47쪽

174 (1) × (2) × (3) ○ (4) × (5) ○ (6) ○

175 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○ (5) × (6) ○

174 (가)는 단층면을 경계로 상반이 위로 올라갔으므로 역단층이고, (나)는 지층이 휘어져 있으므로 습곡이다.

(3) (나) 습곡은 지층이 양쪽에서 미는 힘인 횡압력을 받아 휘어져 형성된 지질 구조이다.

(5) (나)는 습곡측면이 수평면에 대해 거의 수직이고, 날개가 축에 대해 대칭이므로 정습곡이다.

(6) 습곡 산맥은 횡압력이 작용하는 수렴형 경계에서 발달한다. 따라서 (가)와 (나)처럼 횡압력이 작용하여 생성되는 지질 구조가 잘 발달한다.

**바로알기** | (1) 단층면 아래에 놓인 지층이 하반, 위에 놓인 지층이 상반이다. (가)에서는 상반이 위로 이동하였다.

(2) (가)는 양쪽에서 미는 힘인 횡압력이 작용하여 형성된 역단층이다.

(4) (나)에서 위로 볼록한 부분을 배사, 아래로 볼록한 부분을 향사라고 한다.

175 (가)는 부정합면 아래에 심성암인 화강암이 존재하므로 난정합이고, (나)는 부정합면 아래의 지층이 경사져 있으므로 경사 부정합이며, (다)는 부정합면 아래의 지층이 위의 지층과 평행하므로 평행 부정합이다.

(2) 부정합은 '퇴적 → 융기 → 침식 → 침강 → 퇴적'의 과정을 거쳐 형성된다. 지층이 지표에 드러나는 경우에는 융기가 한 번 더 일어나야 한다. (가)~(다) 모두 부정합면이 1개씩 존재하며 육지로 드러난 지형이므로 최소 2회의 융기가 있었다.

(4) (나)에서는 습곡이 나타나므로 횡압력을 받은 적이 있다.

(6) 평행 부정합은 다른 부정합에 비해 부정합면을 알기가 상대적으로 어렵다. 따라서 기저 역암, 지층에 포함된 화석 등을 이용하여 알아내야 한다.

**바로알기** | (1) (가)는 부정합면 아래에 심성암인 화강암이 존재하므로 난정합이다.

(3) 기저 역암은 주로 부정합면 아래에 놓인 지층의 암석으로 구성되어 있으며 부정합면 위쪽에서 발견된다. 기저 역암이 발견되면 부정합 관계임을 알 수 있으나 항상 발견되는 것은 아니다.

(5) 다른 부정합에 비해 상하 지층의 시간 차이가 큰 부정합은 (가) 난정합이다. 지하 깊은 곳의 심성암이나 변성암이 지표까지 융기하여 풍화·침식 작용을 받는 데는 오랜 시간이 걸리기 때문이다.

### 난이도별 필수 기출

48~51쪽

176 ㄱ, ㄴ, ㄷ	177 ①	178 ②	179 해설 참조
180 ③	181 ③	182 ④	183 ④
184 ③	185 해설 참조	186 ①	187 ②
188 ④	189 해설 참조	190 ②	191 ④
192 ④	193 ①	194 ②	195 ④
196 ③			

176 ㄱ. 횡압력이 작용하여 지층이 휘어진 습곡이고, 습곡측면이 수평면에 거의 수직이므로 정습곡이다.

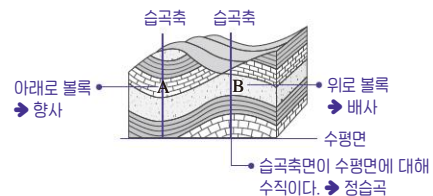
ㄴ. 횡압력이 작용하여 상반이 위로 올라간 역단층이다.

ㄷ. 횡압력이 작용하여 지층이 휘어진 습곡이고, 습곡측면이 수평면에 거의 평행하므로 횡와 습곡이다.

**바로알기** | ㄴ. 지층이 수평 방향으로 힘을 받아 이동한 주향 이동 단층이다.

ㄷ. 장력이 작용하여 상반이 아래로 내려간 정단층이다.

177



② 습곡이 나타나므로 이 지역은 횡압력을 받은 적이 있다.

③ 이 지역의 습곡축은 수평면에 대해 거의 수직이다.

④ 지층의 역전이 없었다면 아래에 쌓인 B가 위에 쌓인 A보다 나이가 많다.

⑤ 수렴형 경계에서는 횡압력이 작용하여 습곡이나 역단층이 잘 나타난다.

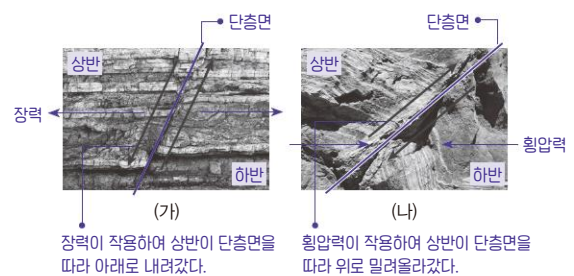
**바로알기** | ① A는 지층이 아래로 볼록하게 휘어졌으므로 향사 구조가 나타나고, B는 지층이 위로 볼록하게 휘어졌으므로 배사 구조가 나타난다.

178 ㄴ. (가)는 상반(B)이 단층면에 대해 아래로 이동하였으므로 정단층이고, (나)는 상반(D)이 단층면에 대해 위로 이동하였으므로 역단층이다.

**바로알기** | ㄱ. A와 C는 단층면 아래에 놓여 있으므로 하반에 해당하고, B와 D가 단층면 위에 놓여 있으므로 상반에 해당한다.

ㄷ. 발산형 경계에서는 주로 장력(양쪽에서 당기는 힘)이 작용한다. 장력이 작용하면 상반이 단층면을 따라 아래로 미끄러져 (가)와 같은 정단층이 발달한다.

179



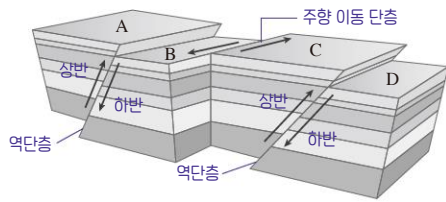
(가)는 상반이 아래로 내려갔으므로 정단층에, (나)는 상반이 위로 올라갔으므로 역단층에 해당한다. 정단층은 장력이, 역단층은 횡압력이 작용할 때 나타난다.

**모범 답안** (가)는 정단층이고, 장력이 작용하였다. (나)는 역단층이고, 횡압력이 작용하였다.

180 ㄱ. 상반과 하반이 단층면을 따라 수평으로 이동하였다.

ㄷ. 산안드레아스 단층은 판의 보존형 경계에서 발달한 변환 단층이다. 변환 단층은 판 경계에 해당하는 단층면을 기준으로 양쪽 판의 지층이 수평 방향으로 이동하였으므로 주향 이동 단층에 해당한다.

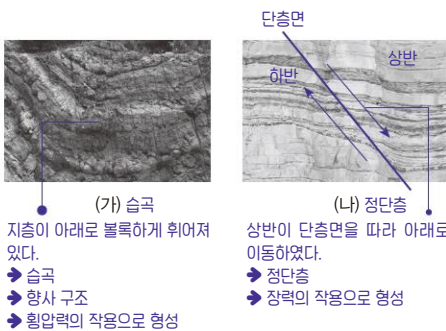
**바로알기** | ㄴ. 단층면을 따라 상반과 하반이 수평 방향으로 이동한 단층을 주향 이동 단층이라고 한다.



ㄱ. A와 B 사이의 단층면을 경계로 위에 놓여 있는 A는 상반, 아래에 놓여 있는 B는 하반에 해당한다.

ㄴ. C와 D 사이의 단층면을 경계로 위에 놓여 있는 C는 상반, 아래에 놓여 있는 D는 하반에 해당한다. 상반인 C가 단층면을 따라 위로 올라갔으므로 역단층이며, 역단층은 횡압력이 작용하여 형성된다.

**바로알기** ㄴ. B와 C는 높이 변화 없이 단층면에 대해 수평 방향으로 이동하였으므로 B와 C 사이의 단층은 주향 이동 단층에 해당한다.

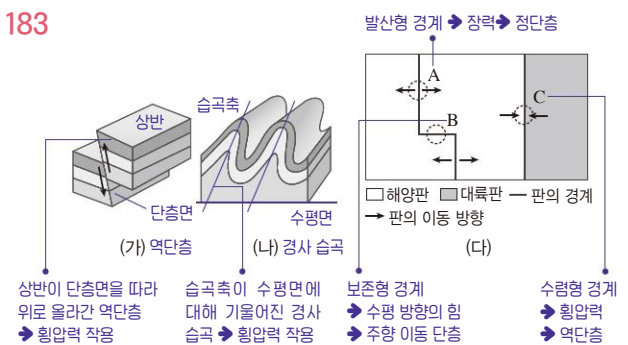


ㄱ. (가)에서 지층이 아래로 볼록하게 휘어졌으므로 향사 구조가 나타난다.

ㄴ. (나)에서 단층면을 경계로 왼쪽의 지층이 하반이고, 오른쪽의 지층이 상반이다. 상반이 아래로 내려갔으므로 정단층이다.

ㄷ. 온도가 높은 지하 깊은 곳에서는 암석이 힘을 받았을 때 끊어지기보다 휘어지기 쉬우므로 습곡이 주로 형성되는 반면, 온도가 낮은 지하 얕은 곳에서는 상대적으로 단층이 형성되기 쉽다.

**바로알기** ㄷ. (가)는 횡압력이, (나)는 장력이 작용하여 형성되었다.



(가)는 역단층, (나)는 경사 습곡의 모습이고, (다)에서 A는 발산형 경계, B는 보존형 경계, C는 수렴형 경계이다.

① (가)는 상반이 위로 올라갔으므로 역단층이고, (나)는 습곡축이 수평면에 대해 기울어져 있으므로 경사 습곡이다.

② (가)와 같은 단층은 암석의 수직적인 위치 변화가 발생한다. 따라서 해일이 일어날 수 있다.

③ 발산형 경계인 A와 보존형 경계인 B에서는 천발 지진이, 수렴형 경계인 C에서는 천발 지진부터 심발 지진까지 발생한다. 따라서 A, B, C에서는 모두 천발 지진이 발생한다.

⑤ B는 보존형 경계로, 판 경계를 기준으로 양쪽의 판이 수평 방향으로 이동하므로 주향 이동 단층이 발달한다.

**바로알기** ④ (가)와 (나)는 모두 횡압력의 작용으로 형성되었으므로 수렴형 경계인 C에서 잘 발달한다. A에서는 장력의 작용으로 정단층이 잘 발달한다.

**184** ① 기저 역암은 주로 부정합면 아래 지층의 암석이 풍화·침식되어 생성된 조각이 부정합면 위에 남아 있는 것으로, 기저 역암이 발견되면 부정합면을 찾을 수 있다.

② 부정합의 형성 과정은 '퇴적 → 융기 → 침식 → 침강 → 퇴적'이다. 지층이 융기되어 육지로 드러난 후 침식 작용을 받으므로 부정합면은 과거에 육지로 드러났던 적이 있다.

④ 평행 부정합은 부정합면 위아래 지층이 평행하므로 경사 부정합이나 난정합에 비해 부정합면을 찾기 어렵다.

⑤ 평행 부정합은 지각의 융기와 침강 운동인 조륙 운동만을 받은 지역에서 주로 나타난다.

**바로알기** ③ 부정합면을 경계로 상하 지층이 형성된 시간의 차이가 크다. 따라서 부정합면을 경계로 상하 지층에서 발견되는 화석의 종류는 비슷하지 않다.

#### 개념 보충

##### 조산 운동과 조륙 운동

조산 운동은 수렴형 경계에서 거대한 습곡 산맥이 만들어지는 운동으로, 지층이 힘을 받아 습곡이 만들어지거나 변성 작용이 일어난다. 조륙 운동은 넓은 범위에 걸쳐 융기와 침강이 나타나는 지각의 상하 운동을 의미한다.

**185** (1) A층과 B층 사이의 부정합면을 경계로 아래쪽은 습곡이 나타나 지층이 경사져 있으며, 위쪽은 지층이 평행하게 쌓여 있으므로 이 부정합의 종류는 경사 부정합이다.

**모범 답안** (1) 경사 부정합, 습곡

(2) 이 부정합은 '지층의 퇴적 → 습곡 → 융기 → 침식 → 침강 → 퇴적' 과정을 거쳐 형성되었다.

(3) B층이 퇴적되기 전에 A층이 침식 과정을 거치기 때문이다.

**186** '퇴적 → A(습곡 → 융기 → 침식) → B(침강 → 퇴적)' 과정을 거쳐 부정합이 형성되었다.

② A 과정에서 지층이 침식되면서 (나)에서 기저 역암이 나타날 수 있다.

③ 부정합면 아래에 습곡이 있고 그 위에 평행한 층리가 나타나므로 경사 부정합의 형성 과정이다.

④ ㉠은 ㉡보다 위에 놓여 있는 지층이므로 나중에 퇴적된 지층이다.

⑤ ㉠에서는 지층이 위로 볼록하게 휘어졌으므로 배사 구조가 나타난다.

**바로알기** ① A를 거치며 지층이 수면 위로 올라왔으므로 융기가 있었고, B를 거치며 또 다른 층이 쌓였으므로 침강이 있었다.

**187** ㄷ. 이 지역은 부정합이 2번 있으므로 부정합의 형성 과정(퇴적 → 융기 → 침식 → 침강 → 퇴적)에서 융기가 최소 2회 있었고, 이 지역의 지층 단면이 육지로 드러났으므로 1회의 융기가 더 있었다. 따라서 최소 3회의 융기가 있었다.

**바로알기** ㄱ. A는 부정합면을 경계로 상하 지층의 경사가 나란하지 않으므로 경사 부정합이고, B는 부정합면을 경계로 상하 지층의 경사가 나란하므로 평행 부정합이다.

ㄴ. 조산 운동을 받으면 역단층이나 습곡이 발달한다. 부정합면 B의 아래층에 역단층이나 습곡이 발달하지 않았으므로 B가 형성될 때 이 지역은 조산 운동을 받지 않았다. 반면에, 부정합면 A를 경계로 아래층이 기울어져 있으므로 A가 형성되기 전에 조산 운동을 받았을 것이다.



**188** (가)는 절리, (나)는 단층에 대한 설명이다. 단층과 절리의 가장 큰 차이점은 절리는 틈을 경계로 암석이 이동하지 않지만 단층은 끊어진 양쪽의 암석이 이동한다는 점이다.

**바로알기** | ① 습곡은 지층이 횡압력을 받아 휘어진 구조이다.  
③ 부정합은 상하 지층 사이의 시간 간격이 큰 지질 구조이다.

**189** (가)는 주로 화산암에서, (나)는 주로 심성암에서 나타난다.

**모범 답안** (가)는 주상 절리로, 마그마가 급격히 냉각될 때 가장자리부터 냉각되어 수축하면서 형성된다. (나)는 판상 절리로, 지하 깊은 곳에서 생성된 암석이 지표로 드러날 때 주변의 압력이 감소하여 암석이 팽창하면서 형성된다.

**190** (가)는 판상 절리, (나)는 주상 절리가 관찰된다.

ㄷ. (가)와 (나)는 모두 화성암에서 관찰될 수 있으며, (가)는 심성암에서, (나)는 화산암에서 주로 형성된다.

**바로알기** | ㄱ. (가)는 판상 절리로, 암석이 지표로 드러날 때 주변의 압력 감소로 형성된다. 용암이 급격히 식으면서 수축하여 형성되는 것은 (나) 주상 절리이다.

ㄴ. 판상 절리는 주로 심성암에서, 주상 절리는 주로 화산암에서 나타난다. 따라서 (나)보다 (가)의 암석이 지하 깊은 곳에서 형성된다.

**191** (가)는 마그마의 냉각과 수축으로 만들어진 주상 절리의 형성 과정을, (나)는 압력 감소로 만들어진 판상 절리의 형성 과정을 나타낸 것이다.

ㄱ. (가)의 과정으로 마그마가 냉각될 때 가장자리부터 수축하면서 다각형 기둥 모양의 주상 절리가 형성된다.

ㄷ. (가)는 주로 화산암에서, (나)는 주로 심성암에서 나타난다. 따라서 암석이 생성될 때 마그마의 냉각 속도가 (가)에서는 빠르므로 세립질 조직이 나타나고, (나)에서는 느리므로 조립질 조직이 나타난다.

**바로알기** | ㄴ. (나)는 지하 깊은 곳에서 생성된 심성암이 지표로 용기할 때, 암석에 작용하는 주변의 압력이 감소하면서 암석이 팽창하여 판 모양으로 갈라져 판상 절리가 형성되는 과정이다.

**192** (가)는 연흔, (나)는 주상 절리이다.

④ (가)와 같은 퇴적 구조는 지층의 상하 판단에 이용될 수 있다. (가)에서 연흔의 뾰족한 부분이 향하는 쪽이 위쪽이므로 지층이 역전되지 않았다.

**바로알기** | ① 연흔은 퇴적물의 표면에 물결 모양의 자국이 남은 퇴적 구조이다. 횡압력을 받아 형성되는 지질 구조에는 습곡이나 역단층이 있다.

② 연흔은 얇은 바다나 호수에서 만들어진다.

③ (나)는 마그마의 냉각과 수축으로 만들어진다. 암석이 용기하면서 압력이 감소하여 형성되는 것은 판상 절리이다.

⑤ (가)는 퇴적암에서, (나)는 화성암 중 화산암에서 잘 발견된다.

**193** (가)는 변성암 지형으로 습곡이 관찰되고, (나)는 신생대 화산암 지형으로 주상 절리가 관찰된다. (다)는 중생대 퇴적암 지형으로 층리가 관찰되고, (라)는 고생대 석회암 지형으로 석회 동굴이 관찰된다.

② (나)에는 주상 절리가 발달해 있다. 주상 절리는 용암이 지표 부근에서 빠르게 냉각, 수축되어 형성되었다.

③ (다)는 층리가 발달된 퇴적암 지형이다.

④ (라)는 석회암이 지하수에 용해되어 형성된 석회 동굴이다.

⑤ (라)의 석회암층은 고생대에, (나)의 화산암은 신생대에 형성되었다.

**바로알기** | ① (가)의 습곡은 횡압력의 작용으로 형성되었다.

**194** ①, ③ 마그마가 주변 암석을 뚫고 들어가는 것을 관입이라 하고, 마그마가 층상 구조와 나란하게 뚫고 들어가 굳은 것을 관입암상, 층상 구조를 가로질러 뚫고 들어가 굳은 것을 암맥이라고 한다.

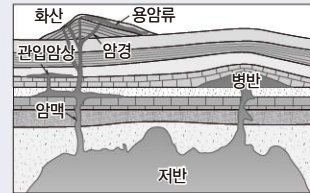
④ 포획은 마그마가 관입할 때 주변의 암석이 떨어져 나와 마그마에 포함되는 것이다. 따라서 관입암은 포획암보다 나중에 생성되었다.

⑤ 관입이 일어나면 주변의 암석은 관입하는 마그마의 열에 의해 변성되기도 한다.

**바로알기** | ② 관입한 암석은 관입당한 암석보다 나중에 생성되었다.

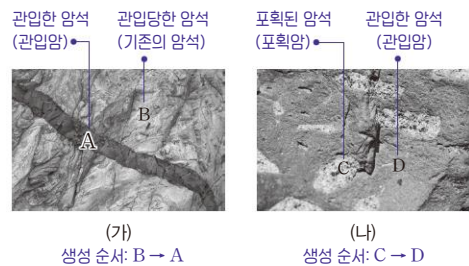
#### 개념 보충

##### 관입암과 용암류



- **저반:** 마그마가 지하 깊은 곳에서 큰 규모로 관입하여 천천히 굳은 것
- **암맥:** 마그마가 층상 구조를 가로질러 관입하여 굳은 것
- **관입암상(암상):** 마그마가 층상 구조에 평행하게 관입하여 굳은 것
- **병반:** 마그마가 불록 렌즈 모양으로 관입하여 굳은 것
- **암경:** 마그마가 지표로 나오는 화도에서 굳은 것
- **용암류:** 마그마가 지표로 분출하여 굳은 것

**195**



ㄱ. (가)에서 A는 관입암, B는 관입당한 암석이고, (나)에서 C는 포획암, D는 관입암이다.

ㄴ. B 암석이 생성된 이후에 마그마가 관입하여 굳은 암석이 A이다. 따라서 A(관입암)은 B(관입당한 암석)에 비해 나중에 생성되었다.

ㄷ. 관입당한 기존의 암석(B)은 관입하는 마그마(A)의 열에 의해 변성 작용을 받을 수 있다.

**바로알기** | ㄷ. 포획암(C)은 마그마가 관입할 때 주변 암석이 떨어져 나와 마그마에 포함된 것이다. 따라서 포획암은 주변 관입암(D)에 비해 먼저 생성되었다.

#### 개념 보충

##### 맨틀 포획암

마그마가 상승할 때 맨틀의 일부가 떨어져서 포획된 것을 맨틀 포획암이라고 한다. 일반적으로 맨틀 포획암은 맨틀의 주 구성 암석인 감람암의 색을 띠므로 초록색 계열이다. 이러한 맨틀 포획암은 맨틀 기원 물질이므로 지구 내부 연구에 중요한 역할을 한다.

**196** A는 관입한 마그마가 굳어 생성된 심성암이고, B는 관입한 마그마에 포획된 암석이다.

ㄷ. 포획암은 주변 심성암보다 먼저 생성되었으므로 암석의 나이는 B가 A보다 많다.

**바로알기** | ㄱ. A가 B를 둘러싸고 있으므로 A는 관입암이고, B는 A의 마그마에 포획된 포획암이다.

ㄴ. B는 A보다 암석의 색이 어두우므로  $\text{SiO}_2$  함량이 적다.

# 지층의 나이

## 빈출 자료 보기

53쪽

197 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ (5) × (6) × (7) ○ (8) ○ (9) ○ (10) ×

- 197 (1) 이 지역은 지층의 역전이 없었으므로 지층 누층의 법칙이 성립한다. 따라서 아래에 있는 지층인 C가 B보다 먼저 생성되었다.  
 (2) 관입의 법칙은 관입한 암석이 관입당한 암석보다 나중에 생성되었다는 것이다. 따라서 관입당한 B는 관입한 Q보다 먼저 생성되었다.  
 (4) 반감기는 방사성 동위 원소가 처음 양의 절반(50%)이 되는 데 걸리는 시간이다. 따라서 방사성 동위 원소 X의 반감기는 1억 년이다.  
 (7) 화성암 Q에 포함된 X의 양은 처음 양의  $\frac{1}{4} = \left(\frac{1}{2}\right)^2$ 이므로 반감기는 2회 지났다.  
 (8) X의 반감기는 1억 년이고, 화성암 Q는 반감기가 2회 지났으므로 절대 연령이 2억 년이다. 따라서 2억 년 전인 중생대에 관입하였다.  
 (9) C층에서는 암모나이트 화석이 발견된다. 암모나이트는 중생대 바다 환경에서 서식하였으므로 C층은 중생대 바다에서 생성되었다.  
**바로알기** | (3) 암석의 생성 순서는 C → B → Q → A → P이다.  
 (5) 화성암 P에 포함된 방사성 동위 원소 X의 양이 처음 양의  $\frac{1}{2}$ 이므로 자원소의 양은 줄어든 모원소의 양과 같다. 따라서 화성암 P에 포함된 모원소 : 자원소 = 1 : 1이다.  
 (6) 화성암 P에 포함된 X의 양은 처음 양의  $\frac{1}{2}$ 로, 반감기(1억 년)가 1회 지났으므로 절대 연령은 1억 년이다.  
 (10) B는 C보다 나중에 생성되었고 C는 중생대 지층이므로, B에서는 고생대 표준 화석인 삼엽충 화석이 발견될 수 없다.

## 난이도별 필수 기출

54~59쪽

198 ②, ③	199 해설 참조	200 ④	201 ①
202 ①	203 ②	204 ④	205 ①
206 ②	207 ④	208 ④	209 ④
210 ㄱ, ㄴ, ㄹ	211 ③, ⑤	212 ③	213 해설 참조
214 ②	215 ④	216 ③	217 ②
218 해설 참조	219 ④	220 ④	221 해설 참조
222 ③	223 ①, ④	224 ②	225 해설 참조
226 ②	227 ④		

- 198 ② 지질학적 변화는 과거에도 현재와 동일하게 일어났을 것이라는 내용은 동일 과정설로, 지사학을 해석하는 기본 원리이다.  
 ③ 지층의 역전이 없을 경우 지층 누층의 법칙에 따라 아래 지층일수록 먼저 생성된 것이다.  
**바로알기** | ① 수평 퇴적의 법칙에 따라 지층은 해수면과 나란하게 퇴적된다. 따라서 기울어져 있는 지층은 생성된 이후 지각 변동을 받은 적이 있다.  
 ④ 진화된 화석이 발견되는 지층일수록 나중에 생성되었다.  
 ⑤ 관입한 암석은 관입당한 암석보다 나중에 생성되었다.  
 ⑥ 부정합의 형성 과정에서 지층이 침식된 후 새로운 지층이 퇴적되므로 부정합면의 아래층과 위층은 불연속적으로 생성되었다.

199 마그마의 관입이나 분출로 화성암이 생성될 때 마그마와 접촉한 주변 암석이 열을 받아 변성된다.

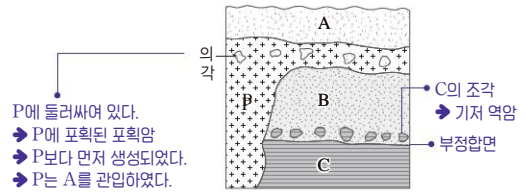
- (1) (가) 지역에서 화성암의 위아래 암석 A와 C에 모두 변성 부분이 나타난다. 따라서 A와 C가 먼저 생성되고, B가 관입한 것이다.  
 (2) (나) 지역에서는 화성암 위의 암석 C에는 변성 부분이 없고 기저역암이 나타나므로 B가 분출한 후 C가 생성되었다.

**모범 답안** (1) 관입, A → C → B

(2) 분출, A → B → C

(3) 화성암의 위아래 지층에 모두 변성 부분이 나타나면 관입이고, 화성암의 위 지층에 변성 부분이 나타나지 않으면 분출이다.

200



- ④ B의 하부에 C의 조각이 기저역암으로 존재하므로 B와 C는 부정합 관계이다. 따라서 C가 퇴적된 후 부정합이 형성되는 과정에서 이 지역은 융기한 적이 있다(C 퇴적 → 융기 → 침식 → 침강 → B 퇴적).  
**바로알기** | ① A의 조각은 화성암 P에 포함되어 있으므로 포획암이다.  
 ② P는 화성암이고 A의 조각이 포획암으로 나타나므로, P는 마그마가 관입하여 생성된 암석이다.  
 ③ P에 A의 조각이 포획암으로 나타나므로, P가 A보다 나중에 생성된 것이다. 따라서 지층의 생성 순서는 C → B → A → P이다.  
 ⑤ A가 생성된 후 P의 마그마가 관입하였으므로 A는 열 변성 작용을 받았다.

201 ㄱ. (가) 지역은 화강암(A)에서 사암(B) 조각이 포획암으로 발견되므로, 화강암의 마그마가 사암을 관입하였다. 따라서 생성 순서는 B → A이고, B는 마그마에 의해 열 변성 작용을 받을 수 있다.

**바로알기** | ㄴ. (나) 지역은 사암(C)에서 화강암(D)으로 구성된 기저역암이 나타나므로, 사암(C)과 화강암(D)은 부정합 관계이다. 따라서 생성 순서는 D → C이고, (나) 지역에서 화강암의 순서를 결정하는 데 부정합의 법칙이 적용된다.

ㄷ. 두 지역의 화강암(A, D)의 절대 연령은 같은데, (가) 지역의 사암(B)은 화강암보다 먼저 생성되었고 (나) 지역의 사암(C)은 화강암보다 나중에 생성되었다.

202 (가) 지역의 지각 변동 순서는 '퇴적 → 화강암 관입 → 부정합 → 퇴적'이고, (나) 지역의 지각 변동 순서는 '퇴적 → 습곡 → 부정합 → 퇴적 → 화강암 관입'이다.

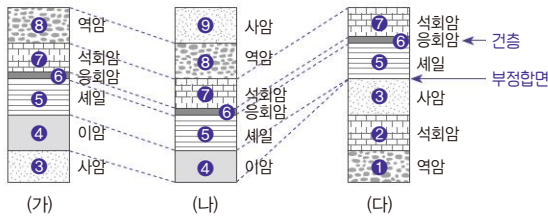
ㄱ. (가) 지역에서 화강암은 부정합의 법칙에 따라 석회암보다 먼저 생성되었다.

ㄴ. (나) 지역은 습곡 작용을 받아 지층이 휘어져 경사진 상태에서 부정합이 형성되었으므로 부정합이 형성되기 전에 지각 변동을 받은 적이 있다.

**바로알기** | ㄴ. (나) 지역의 부정합은 아래층과 위층의 경사가 서로 다르므로 경사 부정합이다. 난정합은 (가) 지역에서 나타난다.

ㄷ. (가), (나)의 부정합이 생성된 시기가 같은데, (가)에서 화강암은 부정합이 형성되기 전에 관입하였고, (나)에서 화강암은 부정합이 형성된 후에 관입하였으므로 화강암의 절대 연령은 (나) 지역이 (가) 지역보다 적다.

203



비교적 가까운 거리에서는 암석을 비교하여 지층의 선후 관계를 정할 수 있다. 이때 응회암층, 석탄층 등이 건층으로 이용된다.

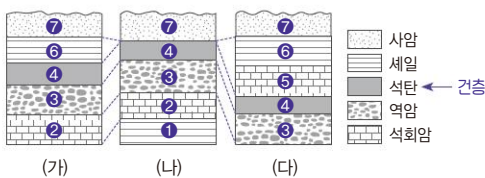
ㄷ. 응회암층 아래의 지층을 보면, (가) 지역은 사암층 → 이암층 → 세일층 순으로, (나) 지역은 이암층 → 세일층 순으로 쌓여 있다. 반면 (다) 지역에서는 사암층 → 세일층 순으로 쌓여 있어 이암층이 존재하지 않으므로 퇴적이 중단된 시기가 있었다.

**바로알기** ㄱ. 건층으로 가장 적합한 지층은 응회암층이다.

ㄴ. 건층인 응회암층의 생성 시기는 같고 (가)의 사암층은 응회암층 아래에, (나)의 사암층은 응회암층 위에 퇴적되어 있으므로 (가) 지역의 사암층보다 (나) 지역의 사암층이 나중에 생성되었다.

**204** 지층의 생성 순서는 역암층 → 석회암층 → 사암층 → 이암층 → 세일층 → 응회암층 → 석회암층 → 역암층 → 사암층이다. 따라서 지층의 총 개수는 9개이고, 가장 젊은 지층은 (나) 지역의 사암층이다.

205

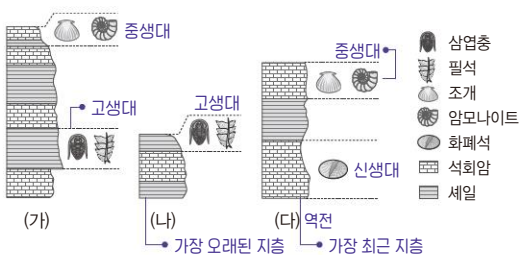


ㄱ. 석탄층은 넓은 지역에서 분포하므로 인접한 지층을 비교할 때 석탄층은 생성 시기가 같아서 건층으로 사용될 수 있다.

**바로알기** ㄴ. (나)의 세일층은 석탄층 아래에, (다)의 세일층은 석탄층 위에 존재한다. 따라서 서로 다른 시기에 퇴적되었다.

ㄷ. 지층의 생성 순서는 세일층 → 석회암층 → 역암층 → 석탄층 → 석회암층 → 세일층 → 사암층이므로 가장 오래된 지층은 (나)에 있다.

206



(가)와 (나)에서 삼엽충과 필석이 산출되는 지층은 고생대에 생성되었다. (가)와 (다)에서 암모나이트와 조개가 산출되는 지층은 중생대에 생성되었다. (다)에서 화폐석이 산출되는 지층은 신생대에 생성되었다.

ㄴ. (나)의 최상부 지층은 삼엽충이 발견되므로 바다에서 퇴적되었다. ㄷ. (다)에는 신생대 화석이 발견된 지층이 중생대 화석이 발견된 지층보다 아래에 위치하므로 역전된 지층이 존재한다.

**바로알기** ㄱ. (가)에서 최하부의 석회암층은 삼엽충과 필석이 발견된 고생대 지층보다 먼저 생성되었고, (나)에서 최하부의 세일층은 (가) 최하부의 석회암층보다 먼저 생성되었으며, (다)에서 가장 오래된 지층은 암모나이트 화석이 발견된 중생대 지층이다. 따라서 (가)~(다)에서 가장 오래된 지층은 (나)에 있는 세일층이다.

ㄴ. (가)와 (나)에는 고생대 지층이 나타나지만, (다)에서는 중생대와 신생대 지층이 나타나며 고생대 지층은 나타나지 않는다.

**207** (가) 지역에서 생성 순서는 방추충이 발견된 지층(고생대) → P → 부정합 → 암모나이트가 산출된 지층(중생대)이다.

(나) 지역에서 생성 순서는 필석이 발견된 지층(고생대) → 부정합 → 매머드가 산출된 지층(신생대)이다.

④ (가)는 부정합면을 경계로 고생대와 중생대 지층이 있고, (나)는 부정합면을 경계로 고생대와 신생대 지층이 있어 중생대 지층이 없으므로 퇴적이 중단된 기간은 (가)가 (나)보다 짧다.

**바로알기** ① (가) 지역에서 산출된 방추충과 암모나이트는 모두 바다에서 살았던 생물이므로 (가) 지역에는 육지에서 퇴적된 지층이 없다.

② (나) 지역에서 필석이 산출된 지층은 고생대에 퇴적되었다.

③ P는 암모나이트가 산출된 중생대 지층이 퇴적되기 전에 생성되었다. 따라서 매머드가 산출된 신생대 지층보다 먼저 생성되었다.

⑤ (나) 지역에서는 위층에 신생대, 아래층에 고생대 지층이 분포하여 아래에 있는 지층이 오래된 지층이므로 지층의 역전은 없었다.

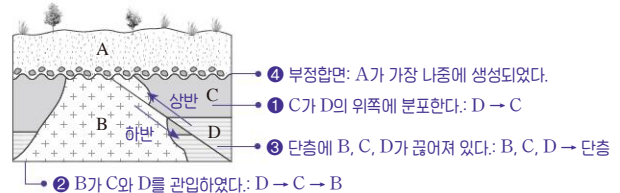
**208** 지층의 생성 순서는 C → B → D → A이다.

• A와 D 사이: 지층 A는 지층 B와 C, 화성암 D를 덮고 있으며 A의 하단부에 기저 역암이 관찰된다. 따라서 부정합이 나타나고 있으며, A는 B, C, D보다 나중에 생성되었다. ➔ 부정합의 법칙

• B와 C 사이: C는 삼엽충 화석이 발견되므로 고생대, B는 공룡 화석이 발견되므로 중생대에 퇴적된 지층이다. ➔ 동물군 천이의 법칙

• B와 D 사이: 화성암 D는 기존의 암석 B와 C를 관입하였으므로 B와 C보다 나중에 생성되었다. ➔ 관입의 법칙

[209~210]



**209** 화성암 B는 지층 C와 D를 관입하였고, B, C, D는 모두 단층에 의해 끊어져 있다. 또한, A의 아래에 부정합면이 나타나므로 지층과 단층의 생성 순서는 D → C → B(관입) → 단층 → A이다.

**210** ㄱ. 화성암 B가 관입하였다.

ㄴ. 지층 A와 C 사이에 부정합면이 존재한다.

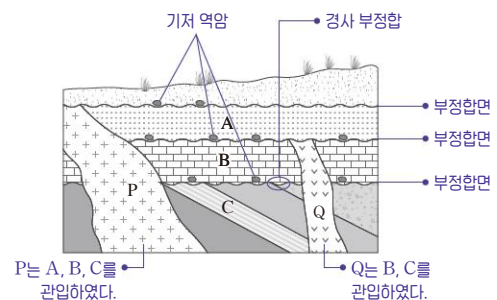
ㄷ. 단층면을 경계로 상반이 위로 올라갔으므로 역단층이 나타난다.

**바로알기** ㄴ. 지층의 틈(단층면)을 경계로 양쪽의 지층이 이동하였으므로 단층이 나타나며, 절리는 나타나지 않는다.

ㄷ. 지층이 휘어진 부분이 없이 평행하므로 습곡이 발달하지 않았다.

ㄹ. 정단층은 단층면을 기준으로 상반이 아래로 내려가는 단층이므로 이 지역에서 나타나지 않는다.

211



① 지층의 생성 순서는 C → (부정합) → B → Q(관입) → (부정합) → A → P(관입) → (부정합)이다.



② Q는 A가 퇴적되기 전에 관입하였고, P는 A를 관입하였다. 따라서 Q는 P보다 먼저 생성되었으므로 절대 연령이 많다.

④ B와 C 사이에서 부정합면을 경계로 아래에 있는 C 지층이 경사져 있으므로 경사 부정합이 나타난다.

⑥ Q는 B가 생성된 이후에 관입하였으므로, 관입 과정에서 B의 암석 조각이 마그마에 포함되어 포획암으로 발견될 수 있다.

**바로알기** | ③ 부정합은 '퇴적 → 융기 → 침식 → 침강 → 퇴적'의 과정을 거쳐 형성되므로 부정합의 형성 과정에서 융기가 1회 일어난다. 또한 지층이 육지로 드러나면서 융기가 1회 더 일어난다. 이 지역에서 부정합은 3번 나타나고, 지층이 육지로 드러나 있으므로 최소 4회의 융기가 있었다.

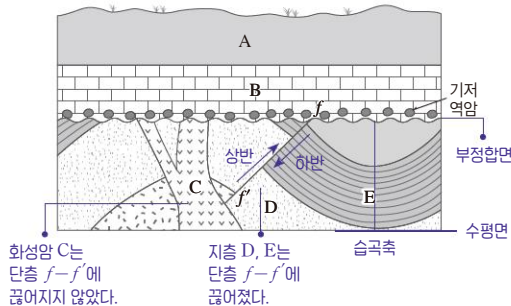
⑤ A와 B 사이에 부정합이 형성된 이후에 P가 관입하였으므로 A에서는 P의 암석 조각이 기저 역암으로 발견될 수 없다.

**212** 지층의 생성 순서는 세일(중생대) → P(관입) → (부정합) → 사암 → 석회암 → 이암 → (부정합) → 응회암(신생대) → Q(관입)이다.  
ㄱ. 부정합은 퇴적 → 융기 → 침식 → 침강 → 퇴적의 과정을 거쳐 형성된다. 따라서 1번의 부정합에 대해 1회의 퇴적이 중단된 시기가 존재한다. 이 지역은 부정합이 2번 나타나므로 최소 2회 이상 퇴적이 중단된 적이 있다.

ㄴ. Q는 응회암이 생성된 이후 관입하였다. 따라서 응회암이 포획암으로 발견될 수 있다.

**바로알기** | ㄴ. P는 중생대 표준 화석인 암모나이트가 발견된 지층이 생성된 이후에 관입하였다. 따라서 P는 중생대 또는 중생대 이후에 관입하였다.

## 213



(1) 이 지역에서 C는 관입암이다. 단층  $f-f'$ 는 지층 D, E를 끊었지만, C를 끊지 않았으므로 생성 순서는  $D \rightarrow E \rightarrow$  단층  $f-f' \rightarrow C$ 이다. 또한, B에 기저 역암이 나타나므로 부정합이 존재한다. 따라서 지층의 생성 순서와 지각 변동을 정리하면 다음과 같다.

$D \rightarrow E \rightarrow$  습곡  $\rightarrow$  단층  $f-f' \rightarrow C$ (관입)  $\rightarrow$  (부정합)  $\rightarrow B \rightarrow A$

(2) 지사학 법칙 중 D와 E, A와 B의 순서에는 지층 누층의 법칙이, C와 단층의 순서에는 관입의 법칙이, B와 C의 순서에는 부정합의 법칙이 이용되었다.

(3) 부정합은 '퇴적 → 융기 → 침식 → 침강 → 퇴적'의 과정을 거쳐 형성된다. 이 지역은 1번의 부정합이 나타났고, 육지에서 관찰되므로 융기는 최소 2회, 침강은 최소 1회가 있었다.

(4) 단층  $f-f'$ 는 단층면을 따라 상반이 올라갔으므로 역단층이다. 습곡의 종류는 습곡축이 수평면에 수직이므로 정습곡이다. 역단층과 습곡은 모두 횡압력을 받아 형성된다.

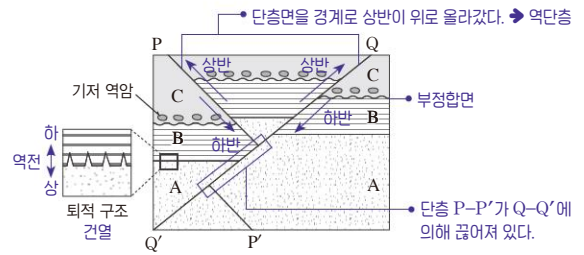
**모범 답안** (1)  $D \rightarrow E \rightarrow$  습곡  $\rightarrow$  단층  $f-f' \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow A$

(2) 지층 누층의 법칙, 관입의 법칙, 부정합의 법칙

(3) 융기 2회, 침강 1회

(4) 역단층과 정습곡이 나타나고, 횡압력이 작용하였다.

## 214

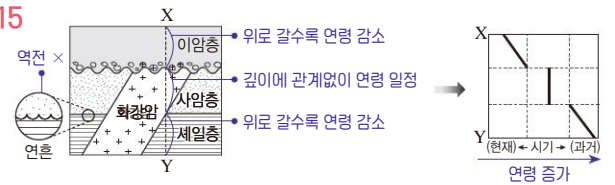


ㄴ. B와 A의 경계에서 건열이 나타나므로 B는 과거에 건조한 환경에 노출된 적이 있다.

**바로알기** | ㄱ. A와 B의 경계면에서 건열이 거꾸로 나타나므로 이 지역의 지층은 역전되었고, B는 A보다 먼저 생성되었다. C의 하부에 기저 역암이 나타나므로 B와 C는 부정합 관계이고, 기저 역암이 지층 C에 포함되어 있으므로 C가 나중에 생성되었다. 단층은 모두 지층 C를 나누고 있으므로 C가 퇴적된 이후에 발생하였고, P-P'가 먼저, Q-Q'가 나중에 형성되었다. 따라서 생성 순서는  $B \rightarrow A \rightarrow$  (부정합)  $\rightarrow C \rightarrow P-P' \rightarrow Q-Q'$ 이다.

ㄴ. P-P', Q-Q' 모두 단층면을 따라 상반이 위로 올라가 있으므로 역단층이다.

## 215



연흔의 뿔족한 부분이 위쪽을 향하므로 세일층과 사암층은 역전되지 않았다. 따라서 지층의 생성 순서는 세일층  $\rightarrow$  사암층  $\rightarrow$  화강암  $\rightarrow$  (부정합)  $\rightarrow$  이암층이다.

퇴적암에서는 지층의 아래 부분이 위부분보다 먼저 생성된 것이므로 한 층 내에서 위로 올수록 나이가 젊어진다. 또한, 화강암은 마그마가 굳어져서 만들어지므로 생성 시기는 깊이와 상관없이 일정하다.

따라서 Y에서 X로 갈수록 암석의 연령은 세일층 내에서 감소하다가 화강암 내에서 일정하고, 이암층 내에서 감소한다. 이때 화강암은 사암층이 퇴적된 이후에 관입하였으므로 화강암과 세일층의 경계에서 암석의 연령은 불연속적이고, 화강암과 이암층은 부정합 관계이므로 화강암과 이암층의 경계에서 암석의 연령은 불연속적이다.

**216** ③ 방사성 동위 원소는 자연 상태에서 불안정하여 열과 압력 등 외부 환경에 상관없이 붕괴되어 안정한 원소로 변한다.

**바로알기** | ① 방사성 동위 원소를 이용한 연대 측정은 화성암, 변성암에 주로 이용하며, 퇴적암에는 잘 이용하지 않는다.

② 방사성 동위 원소를 이용하여 지층의 절대 연령을 알 수 있다.

④ 방사성 동위 원소는 모원소, 붕괴되어 생성된 원소는 자원소이다.

⑤ 오래된 암석의 연대 측정에는 반감기가 긴 원소를 사용한다.

**217** 모원소와 자원소의 비가 1 : 3이므로 반감기가 2회 지났고, 반감기가 1억 년이므로 절대 연령은 2억 년(=1억 년  $\times$  2회)이다.

### 개념 보충

#### 모원소와 자원소의 함량비와 반감기 횟수

모원소 : 자원소	1 : 1	1 : 3	1 : 7	1 : 15
모원소의 양	1	1	1	1
처음 모원소의 양(=모원소+자원소)	2	4	8	16
반감기 횟수	1	2	3	4

**218**  $^{14}\text{C}$ 는 반감기가 약 5730년으로 짧아 가까운 과거의 정확한 연대를 측정할 수 있다. 반면  $^{238}\text{U}$ 의 반감기는 약 45억 년으로 매우 길어 지질 시대 암석의 연령을 측정하는 데 유리하다.

**모범 답안**  $^{14}\text{C}$ 의 반감기가 짧아 가까운 과거의 정확한 연대 측정에 유리하기 때문이다.

**219** ④ 고고학적 유물은 생성 연대가 비교적 짧으므로 연대 측정에 가장 적합한 것은 반감기가 짧은  $^{14}\text{C}$ 이다. 반감기가 짧으므로 가까운 과거의 정확한 연대 측정이 가능하다.

**바로알기** ① 모원소인 방사성 동위 원소( $^{238}\text{U}$ )는 불안정하기 때문에 붕괴되어 안정한 자원소( $^{206}\text{Pb}$ )로 변한다.

②  $^{40}\text{K}$ 의 반감기는 13억 년,  $^{235}\text{U}$ 의 반감기는 7억 년이다. 따라서 붕괴 속도는  $^{40}\text{K}$ 이  $^{235}\text{U}$ 보다 느리다.

③ 반감기가 길다고 하여 반드시 연대 측정에 유리한 것은 아니며, 방사성 동위 원소의 양과 자원소의 양이 충분해야 측정하는 데 유리하다. 측정하려는 암석의 나이에 비해 반감기가 너무 길면 자원소의 양이 너무 적고, 반감기가 너무 짧으면 모원소의 양이 너무 적어서 절대 연령을 측정하기 어렵다.

⑤ 방사성 원소의 반감기는 외부의 온도나 압력 조건에 영향을 받지 않는다.

#### 개념 보충

##### 방사성 동위 원소를 이용한 연대 측정

$^{14}\text{C}$ 는 반감기가 약 5730년으로 매우 짧다. 따라서 고고학적 유물의 연대 측정과 아주 최근에 생성된 암석의 연대 측정에 주로 사용된다. 반면  $^{235}\text{U}$ 의 경우 반감기가 7억 년으로 생성 시기가 오래된 화성암에서의 연대 측정에 사용된다. 가장 일반적인 연대 측정에는 U이 많이 쓰이고, K, Rb 측정법도 사용된다.

**220**

암석	(가)	(나)	(다)	(라)
방사성 동위 원소	X	Y	Y	X
생성 당시 방사성 동위 원소의 양	40 g	24 g	12 g	20 g
반감기 횟수	2회	1회	1회	2회
2억 년 후 남아 있는 모원소의 양	10 g	12 g	6 g	5 g

방사성 원소 X의 반감기가 1억 년, Y의 반감기가 2억 년이다. 따라서 암석이 생성된 후 2억 년이 지났을 때 X는 반감기가 2회, Y는 반감기가 1회 지났으므로 모원소의 양은 각각 처음 양의  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ 이 남아 있다. 따라서 2억 년 후 모원소의 양이 가장 많이 남아 있는 것은 (나)이고, 가장 적게 남아 있는 것은 (라)이다.

**221** (1) 모원소의 양은 시간이 지날수록 감소하고, 자원소의 양은 시간이 지날수록 증가한다. 따라서 A가 모원소, B가 자원소이다. 모원소가 처음 양의 절반(50%)이 되는 데 걸리는 시간이 반감기이므로 반감기는 2억 년이다.

(2) 모원소의 양이 25%( $=\frac{1}{4}$ )가 남아 있으면 반감기가 2회 지났으므로 A : B(모원소 : 자원소)는 1 : 3이다.

**모범 답안** (1) 모원소: A, 자원소: B, 반감기: 2억 년

(2) 1 : 3

(3) 모원소의 양이 처음 양의  $\frac{1}{8}$ 이므로 반감기가 3회 지났다. 따라서 암석의 절대 연령은 반감기(2억 년)×3회=6억 년이다.

**222** 방사성 동위 원소 X의 붕괴 곡선에서 X의 반감기(X의 양이 50%인 시간)는 2억 년이다.

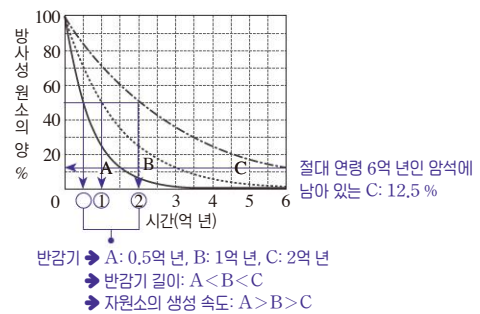
ㄱ. X의 반감기가 2억 년이므로 반감기가 세 번 지나는데 6억 년이 걸린다.

ㄴ. (가)에는 X : Y의 비율이 1 : 1이므로 반감기가 1회 지났다. 따라서 (가)의 절대 연령은 2억 년(반감기)×1회=2억 년이다.

**바로알기** ㄷ. (나)에는 X : Y의 비율이 3 : 1이므로 아직 1회의 반감기도 지나지 않았다. 따라서 절대 연령은 (나)가 (가)보다 적다.

**다른 해설** ㄷ. (나)에는 X : Y의 비율이 3 : 1이므로 X의 양은 75%가 남아 있고, 붕괴 곡선에서 이때 암석의 연령은 1억 년보다 적다.

**223**



① 반감기가 A는 0.5억 년, B는 1억 년, C는 2억 년으로, A가 가장 짧다.

④ 절대 연령이 6억 년인 암석 속에 포함된 C는 반감기를 3회 지났으므로 그 양은 처음의  $\frac{1}{8}$ 이다. 따라서 처음 양의 12.5%가 남았다.

**바로알기** ② 자원소의 생성 속도는 반감기가 가장 짧은 A가 가장 빠르다.

③ B의 반감기는 1억 년이고, B가 처음 양의  $\frac{1}{4}$ 이 되는 데 걸리는 시간은 반감기가 2회 지나야 하므로 2억 년이다.

⑤ 4억 년 후에 C는 반감기가 2회, B는 반감기가 4회 지났다. 따라서 모원소의 양 : 자원소의 양은 C가 1 : 3, B가 1 : 15이므로

자원소의 양 : 모원소의 양은 C가 3, B가 15이다. 따라서 B가 C의 5배이다.

⑥ 선사 시대 유물은 가까운 과거의 물건이므로 연대 측정에 가장 적합한 것은 반감기가 가장 짧은 A이다.

**224** 그림에서 방사성 동위 원소 X의 반감기는 1억 년이다.

ㄴ. X의 반감기는 1억 년이고, 화성암 (나)는 절대 연령이 2억 년이므로 반감기가 2회 지났다. 따라서 ㉠에 해당하는 화성암 (나)의 X(모원소) : Y(자원소)=1 : 3이다.

ㄷ. X의 반감기는 1억 년이고, 화성암 (가)의 X는 반감기가 4회 지났으므로 절대 연령 ㉡은 4억 년(=1억 년×4회)이다.

**바로알기** ㄱ. 화성암 (가)에서 X : Y=1 : 15로, 모원소의 양이 처음 양의  $\frac{1}{16}$ 이므로 X는 반감기를 4회 지났다.

ㄴ. 모원소인 X는 붕괴하여 자원소인 Y로 변하므로 시간이 지날수록 X의 양은 감소하고 Y의 양은 증가한다. 따라서  $\frac{Y}{X}$ 는 증가한다.

**225** (1) (가)에서 암석의 생성 순서는 C → B → E(관입) → (부정합) → A → D(관입)이다.

(2) (나)에서 방사성 동위 원소 X의 양이 50%가 되는 데 걸리는 시간(반감기)은 0.5억 년이다. D와 E의 방사성 동위 원소 X의 함량은 각각 처음 양의  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{16}$ 이므로 반감기가 각각 2회, 4회 지났다. 따라서 절대 연령은 각각 0.5억 년×2=1억 년, 0.5억 년×4=2억 년이다.

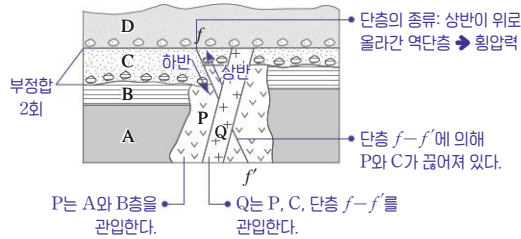
(3) 암석 A는 2억 년 전과 1억 년 전 사이에 생성되었으므로 중생대에 생성되었다.

**모범 답안** (1)  $C \rightarrow B \rightarrow E \rightarrow A \rightarrow D$

(2) 방사성 동위 원소 X의 반감기는 0.5억 년이다. 화성암 D와 E에 포함된 방사성 동위 원소 X는 각각 반감기가 2회, 4회 지났으므로 절대 연령은 각각 1억 년, 2억 년이다.

(3) 중생대

226



구분	X	Y	반감기	절대 연령
P	25 %	75 %	2회	1억 년 $\times$ 2회 = 2억 년(중생대)
Q	50 %	50 %	1회	1억 년 $\times$ 1회 = 1억 년(중생대)

• 지질 단면도에서 지층의 생성 순서는  $A \rightarrow B \rightarrow P(\text{관입}) \rightarrow (\text{부정합}) \rightarrow C \rightarrow \text{단층 } f-f'(\text{역단층}) \rightarrow Q(\text{관입}) \rightarrow (\text{부정합}) \rightarrow D$ 이다.

• 표에서 P는 반감기가 2회 지났고, Q는 반감기가 1회 지났다. X의 반감기는 1억 년이므로 P의 절대 연령은 2억 년이고, Q의 절대 연령은 1억 년이다.

ㄴ. 단층  $f-f'$ 는 P의 관입과 Q의 관입 사이에 생성되었다. P의 절대 연령은 2억 년, Q는 1억 년이므로 이 단층은 2억 년 전~1억 년 전인 중생대에 형성되었다.

ㄷ. Q는 P보다 나중에 관입하였으므로 Q에서 P의 조각이 포획함으로 발견될 수 있다.

**바로알기 I** ㄱ. P에서  $X : Y = 1 : 3$ 이므로 반감기가 2회 지났다. 따라서 P의 절대 연령은 2억 년( $=1\text{억 년} \times 2\text{회}$ )이므로 P가 관입한 시기는 2억 년 전이다.

ㄹ. 이 지역은 역단층(단층  $f-f'$ )이 발달하였으므로 횡압력을 받았다. 따라서 발산형 경계보다 수렴형 경계에 있었을 가능성이 크다.

227 ① 퇴적암 A, B, C는 지층 누층의 법칙에 따라  $C \rightarrow B \rightarrow A$  순으로 퇴적되었다. 화성암 Q 주변의 C는 변성되었고 B는 변성되지 않았으므로 화성암 Q는 B가 퇴적되기 전에 관입하였고 B와 부정합 관계이다. 화성암 P 주변의 암석 A, B, C, Q는 모두 변성 작용을 받았으므로 P는 A가 생성된 후 관입하였다. 따라서 암석의 생성 순서는  $C \rightarrow Q(\text{관입}) \rightarrow (\text{부정합}) \rightarrow B \rightarrow A \rightarrow P(\text{관입})$ 이다.

② Q는 P보다 먼저 생성된 화성암이고, P, Q 모두 모원소와 자원소의 비가 1 : 1이므로 반감기가 1회 지났다. 따라서 Q에 포함된 방사성 동위 원소의 반감기가 P에 포함된 방사성 동위 원소의 반감기보다 길다. (나)에서 X의 반감기는 2억 년, Y의 반감기는 4억 년이므로 Q에는 Y가, P에는 X가 포함되어 있다.

③ Y의 반감기는 4억 년이다. Q는 Y의 반감기가 1회 지났으므로 4억 년 전에 생성되었다. 따라서 고생대에 생성되었다.

⑤ 난정합은 부정합면 아래에 변성암 또는 심성암이 분포한다. 화강암인 Q 위에 퇴적층인 B가 쌓여 있으므로 Q와 B는 난정합 관계이다.

**바로알기 I** ④ A는 P보다 먼저 생성되었다. P에 포함된 X의 반감기는 2억 년이고 반감기가 1회 지났으므로 P의 절대 연령은 2억 년이다. 따라서 A는 중생대 또는 그 이전에 퇴적된 지층이고, 화폐석은 신생대 표준 화석이므로 A에서는 화폐석이 발견될 수 없다.

## 지질 시대의 환경과 생물

### 빈출 자료 보기

61쪽

228 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ×

229 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ (5) ○

228 고기후를 알아내는 방법 중 (가)는 화석 연구, (나)는 나무의 나이테 연구, (다)는 빙하 코어(빙하 시추물) 연구 방법이다.

(1) 고사리 화석은 시상 화석으로, 과거의 환경을 알려 주는 역할을 한다. 고사리 화석이 발견된 지층은 온난 다습한 육지 환경이었다.

(3) 빙하가 형성되는 과정에서 그 당시의 공기가 빙하 속에 갇히므로 빙하 속 공기 방울을 분석하여 그 당시의 대기 성분 중 이산화 탄소 농도를 알아낼 수 있다.

**바로알기 I** (2) 나무의 나이테 간격은 온난 습윤한 시기에는 넓게, 한랭한 시기에는 좁게 나타난다.

(4) 빙하 속 공기 방울 연구는 수십만 년 단위의 기후를 알 수 있고, 선캄브리아 시대 등 전 지질 시대의 기후는 알 수 없다.

229 (1) (가)는 중생대 바다, (나)는 신생대 바다, (다)와 (라)는 고생대 바다에서 살았던 생물의 화석이다.

(4) 최초의 척추동물은 (다)가 번성한 고생대에 출현하였다.

(5) 삼엽충은 고생대 전 기간에 걸쳐 번성하였고, 암모나이트는 중생대 전 기간에 걸쳐 번성하였다. 고생대 기간은 약 5.41억 년 전~2.52억 년 전, 중생대 기간은 약 2.52억 년 전~0.66억 년 전이므로 (라)가 번성한 기간은 (가)가 번성한 기간보다 길었다.

**바로알기 I** (2) (가)가 번성한 중생대에는 빙하가 없었고, (나)가 번성한 신생대에 4회의 빙하기와 3회의 간빙기가 있었다.

(3) (나)가 번성한 신생대에는 속씨식물이 번성하였다. 겉씨식물이 번성한 시기는 중생대이다.

### 난이도별 필수 기출

62~67쪽

230 ③	231 ③, ⑥	232 ②	233 ②	234 해설 참조
235 ②, ⑤		236 ②	237 ②	238 ④
240 ③	241 ②	242 해설 참조		243 ⑤
245 ①	246 ②, ③, ⑦	247 ④	248 ⑤	249 ②
250 ②, ④	251 ①	252 ④	253 ①	
254 ④, ⑥	255 ③	256 해설 참조		
257 ③, ④	258 ②			

230 ③ 생물체에 뼈, 줄기, 껍데기처럼 단단한 부분이 있어야 화석이 되기 쉽다.

**바로알기 I** ① 화석이 되기 위해서는 생물의 개체수가 많아야 하고, 단단한 부분이 있어야 하며, 빠르게 묻혀야 한다.

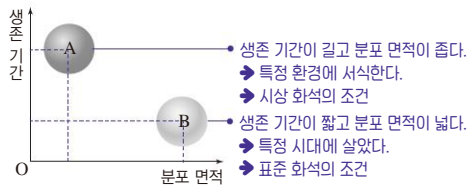
② 생물이 죽고 미생물에 의해 분해되기 전에 빨리 묻혀야 한다.

④ 변성 작용을 받으면 열이나 압력에 의해 화석이 대부분 훼손되거나 소멸된다.

⑤ 생물의 유해뿐만 아니라 공룡 발자국과 같이 흔적이 보존된 것도 화석으로 인정된다.



231



A는 분포 면적이 좁고 생존 기간이 길므로 시상 화석에 해당하고, B는 분포 면적이 넓고 생존 기간이 짧으므로 표준 화석에 해당한다.

③ 삼엽충, 공룡은 표준 화석(B)에 해당한다.

⑥ 지층의 대비에는 표준 화석(B)이 적합하다.

**바로알기** | ① A는 시상 화석이다.

② 산호는 시상 화석에 해당한다. 따라서 B보다 A에 가깝다.

④ 환경 변화에 민감한 생물은 분포 지역이 한정된다. 따라서 시상 화석(A)이 표준 화석(B)에 비해 환경 변화에 민감하다.

⑤ 표준 화석(B)은 특정한 시기에만 번성하여 지층의 생성 시대를 알려 주는 화석이므로, 시상 화석(A)에 비해 발견되는 지층의 지질 시대의 기간이 짧다.

**232** (가)는 고사리 화석으로 시상 화석에 해당하고, (나)는 암모나이트 화석으로 중생대 표준 화석에 해당한다.

ㄴ. (나)는 바다에서 서식하였으므로 (나)를 포함하는 지층은 바다에서 생성된 해성층이다.

**바로알기** | ㄱ. (가)는 따뜻하고 습한 육지 환경을 알려 주는 시상 화석에 해당한다.

ㄷ. 표준 화석인 (나)는 시상 화석인 (가)보다 생존 기간이 짧고, 분포 면적이 넓다. 암모나이트는 중생대 말에 멸종하였으며, 고사리는 현재도 생존하고 있다.

**233** (가)의 A는 생존 기간이 짧고 분포 면적이 넓으므로 표준 화석이고, B는 생존 기간이 길고 분포 면적이 좁으므로 시상 화석이다. (나) 산호는 시상 화석(B)에 해당하고, (다) 화폐석은 표준 화석(A)에 해당한다.

ㄱ. 지층의 생성 순서 판단에는 표준 화석인 A가 유용하다.

ㄷ. (다) 화폐석이 번성한 신생대에는 육지에서 포유류가 번성하였다.

**바로알기** | ㄴ. 표준 화석(A)에 해당하는 화석은 (다) 화폐석이다.

ㄷ. (나) 산호는 따뜻하고 얕은 바다에서 서식하였다.

**234** 온난한 시기는 한랭한 시기에 비해  $^{18}\text{O}$ 를 포함한 물 분자와  $^{16}\text{O}$ 를 포함한 물 분자의 증발이 모두 잘 일어나며, 한랭한 시기에 비해 고위도에서  $^{18}\text{O}$ 를 포함한 눈이 많이 내려 빙하 속 물 분자의 산소 동위 원소비( $\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}$ )가 높아진다.

**모범 답안** 한랭한 시기보다 온난한 시기에 빙하 속 물 분자를 이루는 산소 동위 원소비( $\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}$ )가 높아진다.

**235** ① 산호는 수온이 높을수록 성장률이 높으므로 산호의 성장률을 연구하여 과거의 기후를 추정할 수 있다.

③ 석순의 성분은 탄산 칼슘( $\text{CaCO}_3$ )이므로 탄소 동위 원소의 연대 측정으로 석순의 생성 시기를 알 수 있다.

④ 빙하 속 공기 방울의  $\text{CO}_2$  농도가 높았던 시기에는 그 당시 대기 중에 온실 기체인  $\text{CO}_2$  농도가 높았던 것이므로 기온이 높았을 것이다.

⑥ 간빙기는 빙하기보다 따뜻한 시기이므로, 빙하를 이루는 물 분자의 산소 동위 원소비( $\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}$ )가 높았다.

⑦ 온난한 시기에 해수를 이루는 물 분자의 산소 동위 원소비( $\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}$ )는 낮아진다.

**바로알기** | ② 고온 다습한 기후에서는 나무의 나이테 간격이 넓고 덜 조밀하다.

⑤ 증발암은 고온 건조한 환경에서 생성되므로 증발암이 발견되는 지층이 퇴적될 당시에는 고온 건조한 기후였을 것이다.

**236** ㄴ. 산호는 따뜻하고 얕은 바다에서 서식하는 생물이므로 (나) 산호 화석이 발견되면 과거에 따뜻하고 얕은 바다였음을 알 수 있다.

**바로알기** | ㄱ. (가) 나무 나이테의 간격이 좁은 시기는 나무의 성장 속도가 느린 시기이고, 강수량이 많고 온도가 높아 나무의 성장 속도가 빠른 시기는 나무 나이테의 간격이 넓다.

ㄷ. 빙하를 이루는 물 분자의 산소 동위 원소비( $\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}$ )가 높은 시기는 온난한 기후이다. 온난한 기후에는 해수에서  $^{18}\text{O}$ 와  $^{16}\text{O}$ 를 포함한 물 분자의 증발이 잘 일어났다.

**237** ㄷ. 지구 전체의 빙하 면적은 상대적으로 한랭한 A 시기가 B 시기보다 넓었을 것이다.

**바로알기** | ㄱ. 지구의 평균 기온이 높을수록 빙하를 이루는 물 분자의 산소 동위 원소비( $\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}$ )가 높다. A 시기는 B 시기보다 산소 동위 원소비( $\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}$ )가 낮으므로 B 시기보다 한랭한 기후였다.

ㄴ. 해수에서 증발한 수증기의  $^{18}\text{O}$ 의 양은 한랭한 A 시기가 온난한 B 시기보다 적었다.

**238** 기온이 높을수록 빙하 속 산소 동위 원소비( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ )는 높고, 해수나 해양 생물 속 산소 동위 원소비( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ )는 낮다.

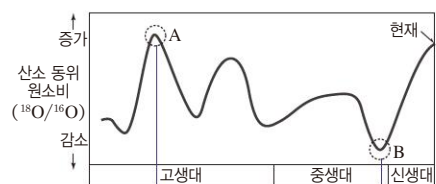
구분	빙하기	간빙기
빙하 속 산소 동위 원소비( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ )	낮다.	높다.
해수 속 산소 동위 원소비( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ )	높다.	낮다.
해양 생물(유공충) 속 산소 동위 원소비( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ )	높다.	낮다.

ㄱ. 빙하기일 때는 고위도에서 산소 동위 원소비( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ )가 낮은 구름이 형성되어 눈이 내리므로 빙하를 이루는 산소 동위 원소비( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ )는 평년에 비해 낮다. 기온에 따라 빙하 속 산소 동위 원소비( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ )가 변화하므로 이를 이용하여 과거 기온 변화를 추정할 수 있다.

ㄴ. 빙하기일 때 빙하 속 산소 동위 원소비( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ )는 낮아지지만, 해수 속 산소 동위 원소비( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ )는 높아지므로 산소 동위 원소비( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ )의 편차는 빙하에 비해 해수에서 높다.

**바로알기** | ㄷ. 간빙기일 때는 빙하기일 때보다 기온이 높으며, 기온이 높을수록 해수 속 산소 동위 원소비( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ )가 낮으므로 해양 유공충 화석 속의 산소 동위 원소비( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ )도 낮다.

239



해양 생물 속 산소 동위 원소비( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ )가 높다.

→ 한랭한 기후

→ 빙하 면적이 넓다. 해수면이 낮다.

→ 빙하 속 산소 동위 원소비( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ )가 낮다.

해양 생물 속 산소 동위 원소비( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ )가 낮다.

→ 온난한 기후

→ 빙하 면적이 좁다. 해수면이 높다.

→ 빙하 속 산소 동위 원소비( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ )가 높다.

해양 생물 화석의 산소 동위 원소비( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ )는 한랭한 시기에 높고 온난한 시기에 낮다. 따라서 A 시기는 B 시기보다 한랭한 시기이다.  
 ㄴ. B 시기가 A 시기보다 온난하며, 극지역 빙하의 산소 동위 원소비( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ )는 온난한 시기(B)에 더 높다.

ㄷ. 산호는 따뜻하고 얕은 바다에서 서식하는 생물로, 온난한 시기에 고위도 지역까지 분포 면적이 확장될 수 있다. 따라서 A 시기보다 온난한 B 시기에 고위도 지역에서 산호 화석이 발견되기 쉽다.

**바로알기** ㄱ. 기온이 높을수록 해수의 열팽창 및 빙하의 용해로 해수면의 높이가 높아진다. A 시기가 B 시기에 비해 한랭한 시기이므로 해수면의 높이는 A 시기가 B 시기보다 낮았다.

**240** ③ 원생 누대는 약 25억 년 전~5.41억 년 전, 현생 누대는 약 5.41억 년 전~현재로, 원생 누대가 더 오래 지속되었다.

- 바로알기** ① 지질 시대를 구분하는 가장 큰 단위는 '누대'이다.  
 ② 생물계의 변화(화석) 및 대규모 지각 변동(부정합)은 지질 시대 구분의 기준이 될 수 있다.  
 ④ 중생대보다 현재에 더 진화된 생물이 존재한다.  
 ⑤ 최초의 생물은 이미 시생 누대에 출현하였다. 원생 누대에는 에디아카라 동물군과 같은 생물체가 살았으나, 대부분 단단한 골격이 없는 생물체이므로 화석이 많이 발견되지 않는다.



지층에서 발견되는 화석의 변화가 가장 큰 경계를 기준으로 지질 시대를 나눌 수 있다.

ㄴ. (가)와 (나)의 경계에서 가장 많은 화석의 변화가 나타난다. 따라서 시간의 단절이 있는 부정합 관계일 가능성이 가장 크다.

**바로알기** ㄱ. C는 지층 (가)~(마)에서 모두 발견되므로 특정한 지층의 생성 시기를 알려 주지 않는다. 따라서 표준 화석으로 적합하지 않다. 반면, F는 (나)에서만 발견되므로 표준 화석으로 가장 적합하다.

ㄷ. 지층 (가)~(마)에서 가장 많은 화석의 변화가 나타나는 경계는 (가)와 (나) 사이이다. 따라서 두 지질 시대로 구분한다면 가장 적합한 것은 (가)와 (나)의 경계이다.

**242** (1) 지질 시대의 길이는 '선캄브리아 시대>고생대>중생대>신생대'이다.

(3) 선캄브리아 시대인 시생 누대와 원생 누대는 현생 누대에 비해 기간이 훨씬 길지만, 발견되는 화석이 거의 없어 지질 시대의 구분이 자세하지 못하다.

- 모범 답안** (1) A: 선캄브리아 시대, B: 고생대, C: 중생대, D: 신생대  
 (2) 캄브리아기 → 오르도비스기 → 실루리아기 → 데본기 → 석탄기 → 페름기  
 (3) A는 B, C, D에 비해 발견되는 화석이 거의 없기 때문이다.

**243** (가)는 고생대, (나)는 중생대, (다)는 신생대이다.  
 ㄱ. 고생대 말에는 빙하기가 있었다.  
 ㄴ. 중생대는 고생대보다 평균 기온이 대체로 높았고, 빙하기가 없었다.  
 ㄷ. 신생대에는 후기에 빙하기와 간빙기가 여러 번 반복되었다.

**244** ㄴ. 중생대는 온난하여 빙하기가 없었다.  
 ㄷ. 신생대 전기는 후기보다 대륙 빙하의 분포 범위가 좁고 온난했으므로 해수면의 높이가 더 높았을 것이다.

**바로알기** ㄱ. 고생대 말기에는 기후가 추워졌기 때문에 대륙 빙하의 분포 범위가 넓어졌다. 따라서 산호의 서식지는 고생대 말기보다 온난한 고생대 초기에 더 고위도까지 분포했을 것이다.

**245** ㄱ. B 시기는 A 시기에 비해 평균 기온이 대체로 낮고 평균 해수면이 낮았으므로 빙하의 면적은 A 시기보다 넓었을 것이다.

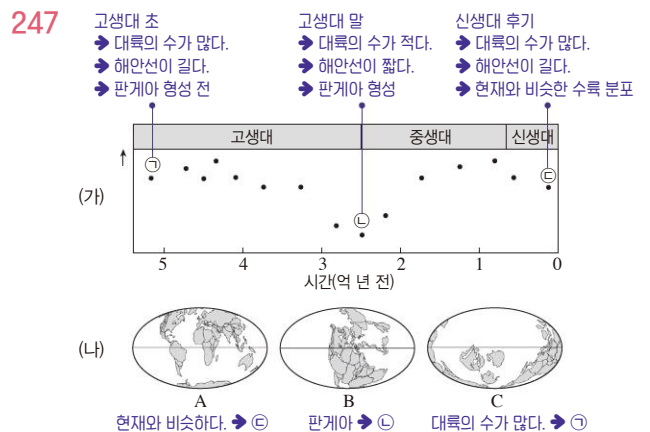
**바로알기** ㄴ. B 시기는 C 시기보다 평균 기온이 낮으므로 빙하 속 산소 동위 원소비( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ )도 낮을 것이다.

ㄷ. 현생 누대의 기후는 중생대에는 전반적으로 온난하였지만, 나머지 시기에는 대체로 한랭한 기후와 온난한 기후가 반복되었다.

**246** (가)는 판게아가 분리되기 시작하는 단계이므로 중생대, (나)는 현재와 비슷한 수륙 분포이므로 신생대, (다)는 판게아가 생성되었으므로 고생대의 모습이다.

- ① 순서대로 배열하면 (다) 고생대 → (가) 중생대 → (나) 신생대이다.  
 ④ 히말라야산맥은 (가)에서 남극 대륙에서 분리된 인도 대륙이 북상하여 (나) 시기에 아시아 대륙과 충돌하면서 형성되었다.  
 ⑤ 겉씨식물은 (다) 고생대에 출현하였다가 (가) 중생대에 번성하였다.  
 ⑥ 양치식물은 (다) 고생대에 번성하였다.

**바로알기** ② (가) 중생대에는 빙하기가 없었다.  
 ③ 방추충은 고생대 해양에 서식했던 생물로, 고생대 말에 멸종하였다. 따라서 (나) 신생대에는 생존하지 않았다.  
 ⑦ (다)는 판게아가 생성된 시기이고, (가)는 판게아가 분리되고 있으므로 (가)와 (다) 시기 사이에 대륙이 갈라지면서 해안선의 길이가 증가하여 해양 생물의 서식지가 넓어졌다.



(가)에서 ㉠은 고생대 초, ㉡은 판게아가 형성된 시기, ㉢은 현재의 수륙 분포와 유사한 신생대이다. (나)에서 A는 현재와 비슷한 신생대의 수륙 분포, B는 판게아가 형성된 고생대 말의 수륙 분포, C는 고생대 초기의 수륙 분포이다.

ㄴ. 대륙이 여러 개로 갈라져 있을수록 해안선의 길이가 길다. 따라서 대륙의 수가 많은 ㉢은 대륙의 수가 적은 ㉡ 시기보다 해안선의 길이가 길었다.

ㄷ. 최초의 육상 식물은 고생대 실루리아기에 출현하였으므로 B와 C 시기 사이에 출현하였다.

**바로알기** ㄱ. 고생대 초의 ㉠은 대륙의 수가 많으므로 대륙이 여러 개로 갈라져 있고 현재와는 다른 모습이므로 C이다.

**248** ① 선캄브리아 시대에 남세균과 같은 생명체가 생성한 산소가 대기 중으로 나와 축적되면서 오존층을 형성하기 시작하였다.

② 고생대 초기에는 캄브리아기 대폭발이라고 하는 생물체가 급격히 증가한 시기가 있었다.

③ 고생대 실루리아기에 오존층이 자외선을 차단하여 생물이 육지로 진출하였다.

④ 대서양과 인도양은 중생대에 판게아가 분리되면서 형성되기 시작하였다.

**바로알기** | ⑤ 겉씨식물은 고생대에 출현하였으며 중생대에 번성하였다.

**249** 판게아가 형성된 시기는 고생대 페름기이고, 최초의 육상 식물이 출현한 시기는 고생대 실루리아기이다. 고생대의 표준 화석으로는 삼엽충, 필석, 갑주어, 방추충 등이 있다.

**바로알기** | ①, ④ 매머드, 화폐석은 신생대의 표준 화석이다.

③, ⑤ 시조새, 암모나이트는 중생대의 표준 화석이다.

**250** 선캄브리아 시대는 약 46억 년 전~5.41억 년 전이고, 현생 누대는 약 5.41억 년 전~현재이다. 현생 누대는 고생대, 중생대, 신생대로 구분할 수 있으며, 고생대가 약 5.41억 년 전~2.52억 년 전, 중생대가 2.52억 년 전~0.66억 년 전, 신생대가 0.66억 년 전 이후이다. 따라서 가장 긴 D가 선캄브리아 시대, A는 고생대, B는 중생대, C는 신생대에 해당한다.

① 삼엽충은 고생대 캄브리아기에 출현하여 페름기에 멸종하였다. 따라서 고생대(A) 전 기간에 걸쳐 번성하였다.

③ 속씨식물은 신생대(C)에 번성하였다.

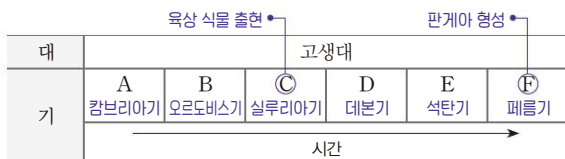
⑤ 에디아카라 동물군 화석은 선캄브리아 시대(D)인 원생 누대에 생성되었다.

⑥ 선캄브리아 시대(D)는 고생대 캄브리아기 이전의 시대를 통틀어 일컫는 말로, 시생 누대와 원생 누대가 포함된다.

**바로알기** | ② 중생대(B)는 현재보다 온난했던 시기로 빙하의 분포 면적이 현재보다 좁았다.

④ 다세포 생물은 선캄브리아 시대(D)인 원생 누대에 출현하였다.

**251**



ㄱ. 최초의 육상 식물이 등장한 시기는 실루리아기(C)이다.

**바로알기** | ㄴ. A 시기 이후에도 대기 중 산소는 계속해서 축적되었고 오존층이 현재와 같이 완성된 실루리아기에는 현재와 비슷한 산소 농도가 되었다. 따라서 오존층이 완성되기 전인 캄브리아기(A)는 데본기(D)보다 대기 중의 산소 농도가 낮았다.

ㄷ. 판게아는 고생대 페름기(F)에 형성되어 중생대 트라이아스기에 분리되기 시작하였다.

**252** (가)는 갑주어, (나)는 시조새, (다)는 매머드, (라)는 방추충이다.

① (가) 갑주어는 고생대 데본기에 번성하였다가 데본기 말에 멸종하였다.

② (나) 시조새는 중생대의 화석이다.

③ (다) 매머드가 번성한 신생대에는 현재와 비슷한 수목 분포가 되었다.

⑤ (라) 방추충은 고생대 말기의 표준 화석이다. 삼엽충은 고생대 전 시기에 걸쳐 살았으므로 두 화석은 함께 발견될 수 있다.

**바로알기** | ④ (라) 방추충은 폐름기 말 판게아가 형성되던 시기에 멸종하였다.

**253** A는 고생대, B는 중생대, C는 신생대를 나타낸다.

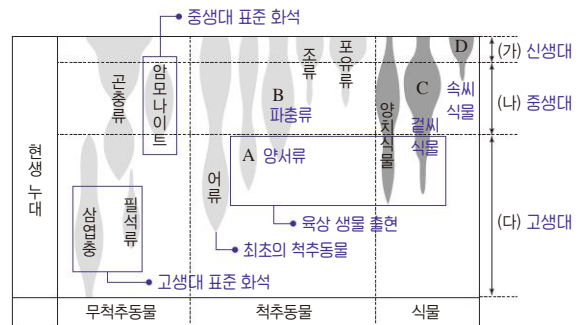
ㄱ. 최초의 척추동물은 원시 어류로, 고생대 오르도비스기에 출현하였다.

ㄴ. 현재와 같은 오존층은 실루리아기인 약 4억 년 전쯤 형성되어 양서류와 같은 육상 생물이 출현할 수 있게 되었다.

**바로알기** | ㄴ. 양치식물은 고생대인 A 시기에 출현하여 번성하였다.

ㄷ. 암모나이트는 중생대인 B 시기에 바다에서 번성하였다.

**254**



④ 고사리와 같은 양치식물은 현재에도 존재한다.

⑥ 삼엽충은 (다) 고생대의 대표적인 표준 화석이다.

**바로알기** | ① (가)는 신생대, (나)는 중생대, (다)는 고생대이다.

② A는 어류 다음에 등장하였으므로 양서류이다. 파충류는 양서류(A)보다 나중에 등장하였으므로 B에 해당한다.

③ C는 양치식물 다음에 등장하였으므로 겉씨식물이다. 속씨식물은 겉씨식물(C)보다 나중에 등장하였으므로 D에 해당한다.

⑤ 육상 생물은 (다) 고생대에 처음 출현하였다.

**255** ① 선캄브리아 시대의 화석으로는 남세균이 층상으로 쌓여 생성된 퇴적 구조인 스트로마톨라이트가 있다.

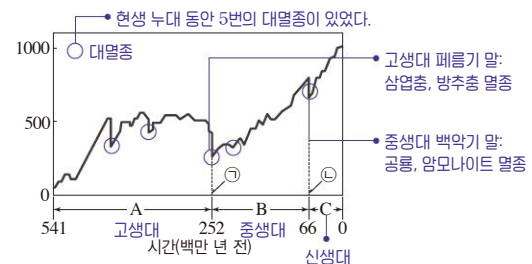
② 양치식물은 육상 생물로, 오존층이 형성된 후 자외선이 차단되어 육지에서 번성할 수 있었다.

④ 인류의 조상이 출현한 시대는 신생대로, 신생대에 속씨식물이 번성하였다.

⑤ 포유류가 번성한 시대는 신생대로, 신생대에 히말라야산맥이 형성되었다.

**바로알기** | ③ 겉씨식물이 번성한 시대는 중생대로, 빙하가 없이 전반적으로 온난하였다.

**256**

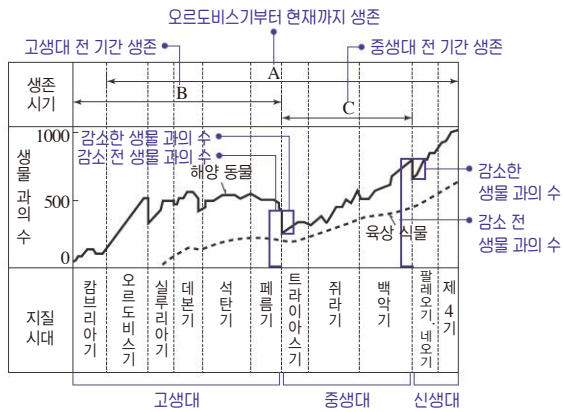


지질 시대는 생물의 변화로 구분할 수 있다. A는 고생대, B는 중생대, C는 신생대에 해당하고, ㉠은 페름기 말 대멸종, ㉡은 백악기 말 대멸종이다. 페름기에는 삼엽충, 방추충 같은 해양 생물이, 백악기 말에는 공룡, 암모나이트와 같은 생물이 멸종하였다.

**모범 답안** (1) A: 고생대, B: 중생대, C: 신생대

(2) ㉠: 삼엽충, 방추충 등, ㉡: 공룡, 암모나이트 등





A는 오르도비스기부터 현재까지 생존해 있는 생물이고, B는 고생대 전 기간, C는 중생대 전 기간에 걸쳐 생존했던 생물이다.

③ 생물의 멸종 원인은 지구 환경의 변화가 큰 부분을 차지한다.

④ 해양 생물과의 감소 비율은 감소 전 생물의 수에 대한 감소한 생물의 수  $(= \frac{\text{감소한 해양 생물과의 수}}{\text{감소 전 해양 생물과의 수}})$ 로 비교할 수 있으며 백악기 말보다 페름기 말에 더 컸다.

**바로알기 ①** 표준 화석은 특정 시기에 번성했던 생물이 적합하다. A는 오르도비스기부터 현재까지 생존하고 있으므로 고생대에만 생존했던 B보다 표준 화석으로 적합하지 않다.

② 판게아는 고생대 페름기에 형성되었다. 따라서 중생대 백악기 말에 C가 멸종한 원인에 해당하지 않는다.

⑤ 육상 식물은 지질 시대 동안 큰 변화 없이 증가하는 추세이지만, 해양 동물은 큰 생물과의 수 변화가 나타나고 있다. 따라서 지질 시대의 구분에는 해양 동물이 더 적합하다.

⑥ 육상 식물은 오존층이 형성된 후에 출현하였으므로 광합성 생물은 실루리아기 이전에 등장하였다. 최초의 광합성 생물은 선캄브리아 시대에 등장한 남세균(시아노박테리아)이다.

**258** A는 오르도비스기 말 대멸종, B는 페름기 말 대멸종, C는 백악기 말 대멸종에 해당한다.

ㄷ. C 시기의 생물의 대멸종은 중생대와 신생대 구분의 기준이다.

**바로알기 ㄱ.** 판게아는 페름기에 형성되었다. 따라서 A 시기는 판게아가 생성되기 전이고, B 시기에 판게아가 존재하였다.

ㄴ. 갑주어는 데본기 말에 멸종하였다. 따라서 A와 B 시기 사이에 멸종하였다. B 시기는 페름기 말 대멸종으로, 삼엽충, 방추충 등이 멸종하였다.

#### 개념 보충

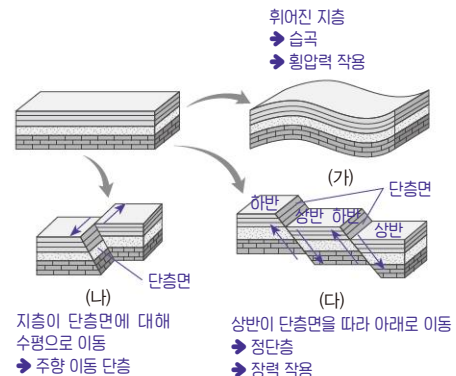
현생 누대의 5대 생물 대멸종



- ① 오르도비스기 말 대멸종
- ② 데본기 말 대멸종
- ③ 페름기 말 대멸종: 가장 큰 규모의 대멸종이다.
- ④ 트라이아스기 말 대멸종
- ⑤ 백악기 말 대멸종: 공룡이 멸종하고 이후에 포유류가 지상의 주류로 등장하였다.

- 259 ② 260 ① 261 해설 참조 262 ① 263 ④  
264 ④ 265 ⑤ 266 ①

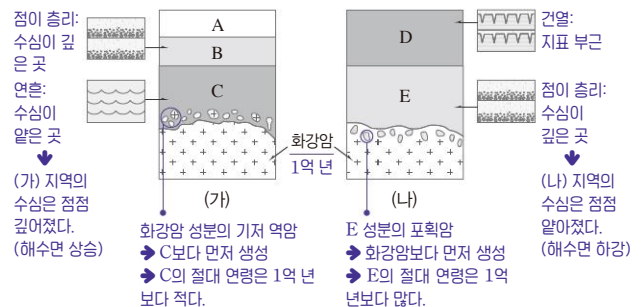
259



(가)는 습곡, (나)는 주향 이동 단층, (다)는 정단층이다. 습곡은 힘압력이 작용하는 수렴형 경계에서, 주향 이동 단층은 지층의 수평 이동이 일어나는 보존형 경계에서, 정단층은 장력이 작용하는 발산형 경계에서 주로 발생한다. 히말라야산맥과 안데스산맥은 수렴형 경계, 산안드레아스 단층은 보존형 경계, 동아프리카 열곡대와 대서양 중앙 해령은 발산형 경계에 해당한다. 따라서 (가)~(다)와 같은 지질 구조가 주로 나타나는 지역은 다음과 같이 정리할 수 있다.

(가) 습곡	(나) 주향 이동 단층	(다) 정단층
히말라야산맥, 안데스산맥	산안드레아스 단층	동아프리카 열곡대, 대서양 중앙 해령

260

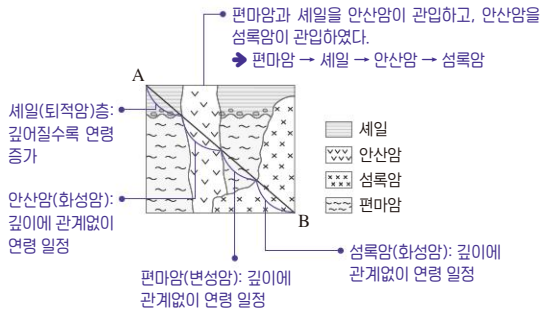


ㄱ. B의 퇴적 구조는 점이 층리이다. 점이 층리는 크기가 다른 입자들의 침강 속도가 서로 달라서 생성되는 구조이다. 크고 무거운 입자는 빠르게, 작고 가벼운 입자는 느리게 가라앉는다.

ㄷ. (가)에서 퇴적 구조의 모습을 보아 지층은 역전되지 않았고, 화강암이 C의 하부에서 기저 역암으로 나타나므로 암석의 생성 순서는 화강암 → C → B → A이다. 이때 화강암과 C는 부정합 관계이다.

**바로알기 ㄴ.** (가)는 C에서 연흔, B에서 점이 층리가 관찰된다. 연흔보다 점이 층리가 수심이 깊은 지역에서 생성되는 퇴적 구조이므로 (가)는 해수면이 상승하는 지역에서 생성된 퇴적층이다. (나)는 E에서 점이 층리, D에서 건열이 관찰된다. 건열이 점이 층리보다 수심이 얕은 지역에서 생성되는 퇴적 구조이므로 (나)는 해수면이 하강하는 지역에서 생성된 퇴적층이다.

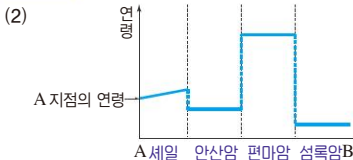
ㄹ. 화강암의 절대 연령이 1억 년이므로 중생대에 생성되었다. (나)에서 E의 조각이 화강암 안에 포획되어 있으므로 E는 화강암보다 먼저 생성되었다. 따라서 E에서는 신생대 표준 화석인 화폐석이 발견될 수 없다.



(1) 이 지역에서 편마암 위에 놓인 셰일은 기저 역암을 포함하고 있으므로 편마암과 셰일은 부정합 관계이고, 부정합 법칙과 지층 누층의 법칙에 따라 편마암 → 셰일 순으로 생성되었다. 가장 상부에 있는 지층인 셰일을 섬록암과 안산암이 관입하였으므로 관입의 법칙에 따라 셰일 → 섬록암과 안산암 순으로 생성되었다. 또한, 안산암을 섬록암이 관입하였으므로 안산암 → 섬록암 순으로 생성되었다. 따라서 생성 순서는 '편마암 → 셰일 → 안산암 → 섬록암'이다.

(2) A에서 B로 갈수록 퇴적암인 셰일층 내에서의 연령은 증가한다. 화성암인 안산암, 변성암인 편마암, 화성암인 섬록암 내에서는 연령이 거의 일정하며, 세 암석 중에서는 편마암의 나이가 가장 많고, 섬록암의 나이가 가장 적다.

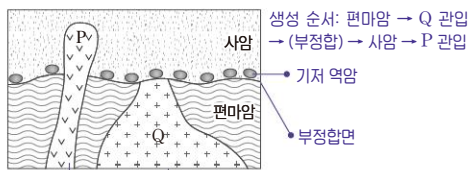
**모범 답안** (1) 편마암 → 셰일 → 안산암 → 섬록암



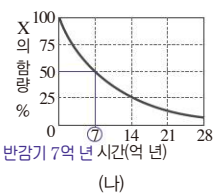
**개념 보충**

**암석의 연령**

- 퇴적암: 하나의 지층에서 아랫 부분이 위부분보다 먼저 퇴적되어 암석이 생성되었으므로 위로 올라갈수록 연령이 젊어진다.
- 화성암: 하나의 지층이 거의 동시에 굳어져 생성되므로 연령이 거의 유사하다.
- 변성암: 하나의 지층이 거의 동시에 변성 작용을 받아 생성되므로 화성암처럼 연령이 거의 유사하다.



7억 년(선캄브리아 시대) (가) 14억 년(선캄브리아 시대)



ㄱ. 화성암 Q에서 방사성 동위 원소 X의 모원소 : 자원소 = 1 : 3이므로 반감기가 2회 지났다. (나)에서 X의 반감기가 7억 년이므로 Q는 약 14억 년 전에 생성되었다. 이때는 원생 누대로, 오존층이 형성되지 않아 생명체는 바다에서만 서식하였다.

**바로알기** ㄴ. 이 지역은 사암과 Q 사이가 부정합 관계이고, 지층이 육지로 드러나 있으므로 Q가 생성된 이후 최소 2회의 육기가 있었다.

ㄷ. 사암과 같은 퇴적암은 쇄설성 퇴적물이 굳어 생성되므로 방사성 동위 원소 측정법으로 퇴적암이 생성된 정확한 연대를 측정할 수 없다. 퇴적암에서의 연대 측정은 퇴적암의 퇴적 시기의 상한선을 알려 준다.

**263** ④ ㉠은  $\frac{\text{자원소}}{\text{모원소}} = 1$ 이므로 모원소가 처음 양의  $\frac{1}{2}$ 로 반감기를 1회 지났다. P는 매머드가 발견된 E를 관입하였으므로 신생대 이후에 관입하였다. 신생대는 0.66억 년 전에 시작되었으므로 P의 나이 (㉠의 반감기 × 1회)는 0.66억 년보다 적을 것이다. 따라서 ㉠의 반감기는 6600만 년보다 짧다.

㉡은  $\frac{\text{자원소}}{\text{모원소}} = 7$ 이므로 모원소가 처음 양의  $\frac{1}{8}$ 로 반감기를 3회 지났다. Q는 방추충이 발견된 D가 퇴적되기 전에 관입하였으므로 고생대나 고생대 이전에 관입하였다. 고생대는 2.52억 년 전에 끝났으므로 Q의 나이 (㉡의 반감기 × 3회)는 2.52억 년보다 많다. 따라서 ㉡의 반감기는 8400만 년보다 길다.

**바로알기** ① Q의 양으로 변성 부분이 나타나므로 Q는 B와 C를 관입하였다. 따라서 생성 순서는 A → B → C → Q → D → E → P이다.

② E는 매머드가 발견되므로 육지에서 생성된 육생충이고, D는 방추충이 발견되므로 바다에서 생성된 해생충이다.

③ Q와 D는 부정합 관계이고, D는 고생대 표준 화석인 방추충이 발견된다. 따라서 Q는 고생대나 고생대 이전에 생성되었다. 겉씨식물은 중생대에 번성하였으므로 Q가 관입한 시기에 번성하지 않았다.

⑤ D와 E 사이에 중생대 지층이 없고, E 하부에 기저 역암이 나타나므로 D와 E는 부정합 관계이다.

**264** ㄴ. (나)에서 살아 있는 생물체 내의  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 가 대기 중의  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  비율과 같다는 것을 알 수 있다. 그 까닭은 생물체가 호흡과 광합성 등으로 대기와 물질 교환을 하기 때문이다.

ㄷ. 죽은 생물체에서는 물질 교환이 일어나지 않고, 생물체 내의  $^{14}\text{C}$ 는 붕괴되어  $^{14}\text{N}$ 로 변환된다. 따라서 죽은 생물체 내의  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 는 대기 중의  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 보다 작을 것이다.

**바로알기** ㄱ. 자연계에서 탄소는 주로 안정한  $^{12}\text{C}$ 로 존재한다.

**265** ㄷ. 석순은 강수량이 많은 지역에서 잘 자란다. 따라서 빙하기보다 간빙기에 성장이 활발하다.

ㄴ. 석순은 탄산 칼슘( $\text{CaCO}_3$ )으로 구성되어 있다. 따라서 탄소 동위 원소비를 이용하여 생성 시기를 알 수 있다.

**바로알기** ㄱ. 빙하 코어로 알 수 있는 고기후는 약 100만 년 이내이다. 그보다 오래된 경우 기상 화석을 이용하거나 유공충 화석의 산소 동위 원소비( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ )를 연구해야 한다.

ㄴ. 유공충은 해양 생물이므로 해수 속 산소 동위 원소비( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ )가 높을 때 유공충의 산소 동위 원소비도 높다. 지구의 평균 기온이 높은 시기에는 해수 속 산소 동위 원소비( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ )가 낮으므로 유공충 화석 껍데기의 산소 동위 원소비( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ )도 낮다.

**266** ㄱ. 지구의 나이가 46억 년이고, 지구의 나이에 해당하는 종이 띠 길이가 92 cm이므로 1억 년은  $92 \text{ cm} \div 46 = 2 \text{ cm}$ 에 해당한다.

**바로알기** ㄴ. ㉠은 중생대로 약 2.52억 년 전에 시작되었다. 따라서  $92 \text{ cm} - 2.52 \text{억 년} \times 2 \text{ cm/억 년} = 86.96 \text{ cm}$ 에 해당한다.

ㄷ. 삼엽충은 고생대 전 기간 동안 번성하였으므로 5.41억 년 전 - 2.52억 년 전 = 2.89억 년에 해당한다. 따라서 전체 지질 시대 중  $\frac{2.89 \text{억 년}}{46 \text{억 년}} \times 100 \approx 6.3 \%$ 를 차지한다.

# 10 기압과 날씨

## 빈출 자료 보기

71쪽

- 267 (1) ○ (2) × (3) × (4) × (5) ○ (6) ×  
268 (1) × (2) × (3) ○ (4) ○ (5) ○ (6) ×

267 A는 시베리아 기단, B는 양쯔강 기단, C는 북태평양 기단, D는 오호츠크해 기단이다.

- (1) 시베리아 기단(A)과 양쯔강 기단(B)은 넓은 대륙에서 형성된 대륙성 기단이다.  
(5) 북태평양 기단(C)과 오호츠크해 기단(D)이 만나면 오랫동안 비를 내리는 장마 전선이 형성될 수 있다.  
**바로알기** | (2) D 기단은 오호츠크해 기단으로, 고위도 바다에서 형성되어 한랭 다습한 성질을 나타낸다.  
(3) B 기단은 양쯔강 기단으로, 봄이나 가을에 영향을 미친다. 여름철에 무더위가 나타나는 것은 북태평양 기단(C) 때문이다.  
(4) C 기단은 북태평양 기단이다.  
(6) 황사는 양쯔강 기단(B)이 영향을 미치는 봄철에 주로 발생한다.

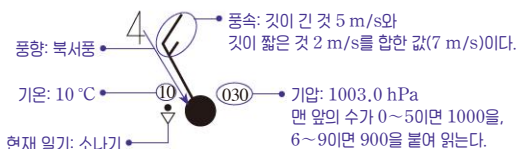
- 268 (3) (가) 겨울철에는 북서 계절풍이 분다.  
(4) (나) 여름철에는 열대야 현상이 나타난다.  
(5) 풍속은 일기도의 등압선이 조밀할수록 강하므로 우리나라에서 풍속은 (가) 겨울철보다 (나) 여름철에 약하다.  
**바로알기** | (1) (가)는 겨울철 일기도, (나)는 여름철 일기도이다.  
(2) (나) 여름철에는 정체성 고기압(북태평양 고기압)의 영향을 받고, 이동성 고기압의 영향을 받는 시기는 봄철이나 가을철이다.  
(6) 서고 동저형 기압 배치가 나타나는 일기도는 (가) 겨울철이다. (나) 여름철에는 남고 북저형 기압 배치가 나타난다.

## 난이도별 필수 기출

72~75쪽

- 269 (1) 북서풍 (2) 7 m/s (3) 10 °C (4) 1003.0 hPa (5) 소나기  
270 ①, ⑦      271 ④      272 ①      273 ③  
274 해설 참조      275 ⑤      276 ③      277 ③  
278 ⑥, ⑦      279 ⑤      280 ②      281 해설 참조  
282 ②      283 ⑤      284 (가) 겨울 (나) 여름 (다) 봄, 가을  
285 ④      286 ④      287 ④      288 ①, ②, ⑦      289 ③

269



- (1) 관측 지점과 구름의 양을 나타내는 원에서 바람이 불어오는 방향으로 그은 직선이 풍향이다.  
(4) 기압은 천의 자리와 백의 자리를 생략하고, 십의 자리와 일의 자리와 소수 첫째 자리인 세 자리 수로 나타낸다.

270 ① (가)는 바람이 시계 방향으로 불어나가고, (나)는 바람이 시계 반대 방향으로 불어 들어가므로 북반구에서 형성되었다.

⑦ (나) 저기압 중심에서는 상승 기류가 발달하므로 구름이 활발하게 만들어질 가능성이 높고, (가) 고기압 중심에서는 하강 기류가 발달하므로 구름이 소멸한다.

**바로알기** | ② (가)는 바람이 불어나가므로 고기압이고, (나)는 바람이 불어 들어가므로 저기압이다.

③ (가) 고기압의 중심부에는 하강 기류가 나타난다.

④ (가)는 고기압 지역으로, 구름이 소멸되므로 날씨가 맑다.

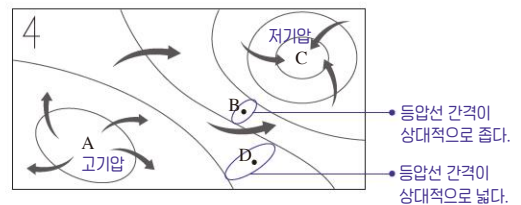
⑤, ⑥ (나) 저기압 중심에는 상승 기류가 발달한다. 중심부의 상승하는 공기 덩어리는 단열 팽창하여 부피가 증가하고 기온이 하강하므로 상대 습도는 증가한다.

## 개념 보충

### 고기압과 저기압에서의 단열 변화

- 고기압: 중심부의 하강 기류로 단열 압축이 일어난다. → 공기 덩어리의 부피가 감소하고 기온이 상승하며 상대 습도가 감소하여 구름이 소멸하고 날씨가 맑다.
- 저기압: 중심부의 상승 기류로 단열 팽창이 일어난다. → 공기 덩어리의 부피가 증가하고 기온이 하강하며 상대 습도가 증가하여 구름이 잘 형성되며 날씨가 흐리거나 비가 내린다.

271



ㄱ. 바람은 고기압에서 불어나와 저기압으로 불어 들어간다. 그림에서는 바람이 A에서 불어나와 C로 불어 들어가고 있으므로 기압은 A보다 C에서 낮다.

ㄷ, ㄹ. A는 고기압, C는 저기압이고, 고기압(A)에서는 중심부에 하강 기류가, 저기압(C)에서는 중심부에 상승 기류가 발달한다. 구름은 상승 기류가 발달하는 저기압(C)의 상공에서 형성될 가능성이 높다.

**바로알기** | ㄴ. 풍속은 등압선 간격이 좁을수록 빠르다. B 주위의 등압선 간격이 D 주위보다 좁으므로 풍속은 B보다 D에서 느리다.

272 ㄱ. A는 주위보다 기압이 낮으므로 저기압이다.

**바로알기** | ㄴ. B는 주위보다 기압이 높으므로 고기압이고, 중심에서는 하강 기류가 발달하므로 구름이 소멸하여 날씨가 맑을 것이다.

ㄷ. 우리나라의 동쪽에는 고기압이 분포하고, 북서쪽에는 저기압이 분포하므로 이날 우리나라에는 동풍 계열의 바람이 분다.

273 ㄱ. (가) 일기도에서 A는 저기압이고, (나) 가시 영상에서 (가)의 A 지역을 보면 구름이 분포한다. (가) 일기도에서 B는 고기압이고, (나) 가시 영상에서 (가)의 B 지역을 보면 구름이 분포하지 않는다.

ㄴ. (가) 일기도에서 독도 부근에는 고기압이 분포하고, (나) 가시 영상에서 독도 부근에는 구름이 없다. 따라서 독도는 날씨가 맑을 것이다.

**바로알기** | ㄷ. (나)는 가시 영상이다. 가시 영상은 구름과 지표면에서 반사된 햇빛의 세기를 나타내며, 밤에는 햇빛이 존재하지 않기 때문에 촬영이 불가능하다.

274 레이더는 전파가 반사 및 산란되는 것을 이용하여 물체가 위치한 방향과 거리에 관한 정보를 얻는 장치이다. 기상 레이더 영상은 전파를 대기 중에 발사한 후 구름이나 물방울에 부딪혀 되돌아오는 반사파를 분석하여 영상으로 나타낸 것이다. 따라서 기상 레이더 영상은 구름 속에 물방울이 얼마나 있는지를 나타내므로 강수량 및 비 또는 눈이 내리는 강수 구역과 이동 경향을 파악하는 데 효과적이다.



**모범 답안** 가시 영상이나 적외 영상은 반사하는 가시광선이나 방출하는 적외선을 측정하지만 기상 레이더 영상은 대기 중에 전파를 발사하여 물방울에서 반사 및 산란된 전파를 수신하므로 강수량이나 강수 구역을 파악하는 데 가시 영상이나 적외 영상보다 효과적이다.

**275** ㄷ. 적외 영상에서는 구름 윗부분의 고도가 높을수록 온도가 낮아 밝게 나타난다. (나)에서 A는 B보다 밝게 보이므로 구름 윗부분의 고도는 A가 B보다 더 높다.

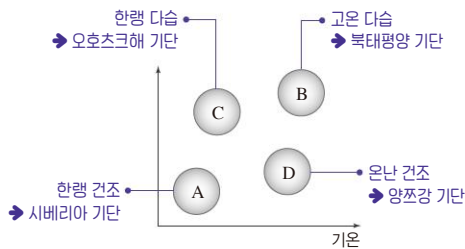
ㄹ. (가) 가시 영상은 구름과 지표면에서 반사된 햇빛의 세기를 나타내고, (나) 적외 영상은 구름이 방출하는 적외선 에너지량을 나타낸다. 밤에는 햇빛이 없으므로 가시 영상을 촬영할 수 없지만, 구름이나 지표면은 항상 적외선을 방출하므로 적외 영상은 밤과 낮에 모두 촬영이 가능하다.

**바로알기 I** ㄱ. 가시 영상에서는 반사도가 클수록 밝게 보이고, 구름의 두께가 두꺼울수록 반사도가 크다. 따라서 가시 영상에서 밝게 보일수록 구름의 두께가 두껍다. 구름의 온도는 적외 영상으로 알 수 있다.

ㄴ. 가시 영상에서 A는 B보다 밝으므로 구름의 두께는 A가 B보다 더 두껍다.

**276** 북태평양 기단(A)은 여름에 영향을 미치는 해양성 기단으로 고온 다습하고, 양쯔강 기단(B)은 봄, 가을에 영향을 미치는 대륙성 기단으로 온난 건조하다. 시베리아 기단(C)은 겨울에 영향을 미치는 대륙성 기단으로 한랭 다습하다.

**277**



ㄴ. A는 한랭 건조한 시베리아 기단이다.

ㄷ. C는 한랭 다습한 오호츠크해 기단이다.

**바로알기 I** ㄱ. A는 수증기량이 적으므로 습도가 낮고, C는 수증기량이 많으므로 습도가 높은 기단이다.

ㄹ. 장마와 같이 지속적인 비는 수증기량이 많은 북태평양 기단(B)과 오호츠크해 기단(C)이 만날 때 발생할 수 있다.

**278** A는 시베리아 기단, B는 오호츠크해 기단, C는 북태평양 기단, D는 적도 기단, E는 양쯔강 기단이다.

① A는 우리나라 겨울철에 영향을 주는 시베리아 기단으로, 겨울철 북서풍의 원인이 된다.

② B는 한랭 다습한 오호츠크해 기단으로, 우리나라 초여름에 영향을 준다.

③ C는 고온 다습한 북태평양 기단으로, 우리나라 여름철에는 이 기단의 영향으로 무더위가 나타난다.

④ D는 고온 다습한 적도 기단으로, 태풍과 함께 북상해서 우리나라에 영향을 준다.

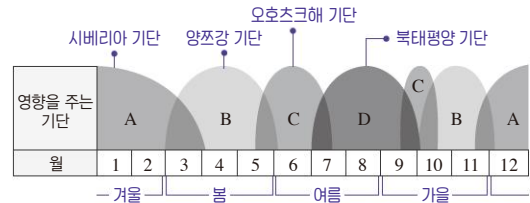
⑤ E는 온난 건조한 양쯔강 기단으로, 우리나라 봄철, 가을철 이동성 고기압의 원인이 된다. 따라서 봄, 가을에 날씨 변화가 심하다.

⑧ 겨울철에 시베리아 기단인 A가 확장하여 따뜻한 황해를 지나면서 열과 수증기를 공급받으면 서해안 지역에 폭설이 내릴 수 있다.

**바로알기 I** ⑥ 시베리아 기단인 A는 북태평양 기단인 C보다 고위도에 서 형성되었다. 따라서 기온은 A가 C보다 낮다.

⑦ 우리나라에서 황사는 주로 봄철에 발생하고, 우리나라 봄철에는 양쯔강 기단인 E의 영향을 받는다.

**279**



ㄱ. A는 한랭 건조한 시베리아 기단으로, 우리나라 겨울철 한파의 원인이다.

ㄴ. D는 고온 다습한 북태평양 기단으로, 우리나라 여름철에 영향을 준다. 여름철에는 남고 북저형 기압 배치로 남동 계절풍이 분다.

ㄷ. 우리나라 초여름에 나타나는 장마는 한랭 다습한 오호츠크해 기단(C)과 고온 다습한 북태평양 기단(D)의 영향으로 발생한다.

**280** ② 한대 기단은 우리나라의 북서쪽에 발달한 시베리아 기단이고, 이 기단은 우리나라 겨울철에 영향을 준다.

**바로알기 I** ① 한대 기단이 황해를 지나면서 상승 기류가 발달하여 우리나라에 적운형 구름을 형성한다.

③ 한대 기단이 황해를 지나면 수증기가 공급되어 다습해진다.

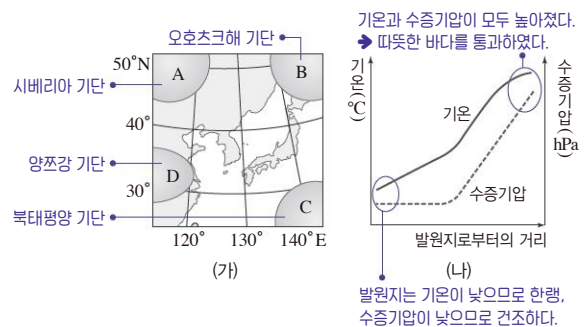
④ 한대 기단이 따뜻한 바다인 황해를 지나면 기단의 하층이 가열되어 불안정해진다.

⑤ 기단의 변질로 대규모 안개가 발생하는 현상은 고온 다습한 기단이 북상하여 찬 바다나 찬 지표면 위를 이동하면서 기단의 하층이 냉각될 때 일어난다.

**281** 기단이 발원지를 떠나 다른 지역으로 이동하면 통과하는 지표면의 영향을 받아 기단의 성질이 변하면서 기상 현상이 나타난다. 고위도에서 발생한 찬 기단이 따뜻한 해수면 위로 이동하면 기단의 하층이 가열되어 불안정해지므로 적운이나 적란운이 형성된다. 저위도에서 발생한 따뜻한 기단이 찬 해수면 위로 이동하면 기단의 하층이 냉각되어 안정해지므로 층운이나 안개가 형성된다.

**모범 답안** 한대 기단인 시베리아 기단이 따뜻한 황해를 지나면서 수증기를 공급받아 수증기량이 증가하고, 기단의 하층이 가열되어 기층이 불안정해진다. 이에 따라 상승 기류가 발달하여 적운형 구름이 형성되므로 서해안에 폭설이 내릴 수 있다.

**282**



ㄷ. (나)에서 기단이 이동하는 동안 기단 하층부의 기온이 계속 상승하고, 수증기압도 증가하여 수증기량이 많아졌다. 따라서 이 기단은 이동하는 동안 하층이 불안정해졌다.

**바로알기 I** ㄱ. 저위도에서 고위도로 갈수록 지표면의 온도가 낮으므로 고위도에서 저위도 쪽으로 이동하는 기단은 기온이 상승하고, 저위도에서 고위도 쪽으로 이동하는 기단은 기온이 하강한다. (나)에서 기단이 우리나라로 이동하는 동안 기단 하층부의 기온이 점차 상승한 것으로 보아 이 기단의 발원지는 우리나라보다 고위도이다.

ㄴ. (나)에서 기단 하층부의 기온이 지속적으로 상승한 것으로 보아 이 기단은 고위도에서 저위도 쪽으로 이동하였다. 그리고 기단 하층부의 수증기압이 처음에는 낮은 상태로 유지되다가 일정 시간이 지난 후 증가하는 것으로 보아 건조한 대륙성 기단이 바다 위를 지나 우리나라로 이동해 온 것임을 알 수 있다. 따라서 (나)는 (가)의 A인 시베리아 기단이 이동할 때 나타나는 변화이다.

**283** ㄱ. 기단이 A→B→C 지역으로 이동하는 동안 기온이 약  $-15^{\circ}\text{C}$ 에서 약  $5^{\circ}\text{C}$ 로 상승했고, 수증기압이 약 5 hPa에서 약 16 hPa로 증가했다. 따라서 이 기간 동안 기단 하층부는 불안정해지고 상승 기류가 나타날 것이다.

ㄴ. 기단이 이동하면서 기온과 수증기압이 높아지므로 C 지역에서는 기단 하층부가 불안정해지고 상승 기류가 발달하여 적운형 구름이 형성될 것이다.

ㄷ. 기단의 발원지 부근에서 기온은 약  $-15^{\circ}\text{C}$ 이고, 수증기압은 약 5 hPa이므로 이 기단은 한랭 건조한 성질을 나타낸다. 따라서 이러한 기단의 변질은 한랭 건조한 시베리아 기단이 따뜻한 황해를 지날 때 기단의 하층부에서 나타날 수 있는 변화이다.

**284** (가) 우리나라 겨울철에는 북서쪽에 발달한 시베리아 고기압의 영향으로 춥고 건조한 날씨가 나타난다.

(나) 우리나라 여름철에는 남동쪽에 발달한 북태평양 고기압의 영향으로 무덥고 습한 날씨가 나타난다.

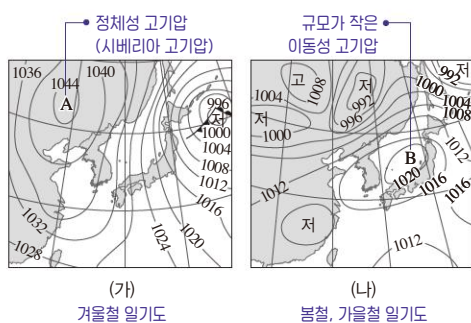
(다) 우리나라 봄, 가을에는 서쪽에서 다가오는 이동성 고기압과 저기압의 영향으로 날씨의 변화가 심하게 나타난다.

**285** ㄴ. 서고 동저형 기압 배치는 우리나라 겨울철에 나타나는 기압 배치이다. 이 계절에 우리나라에서는 북서 계절풍이 분다.

ㄷ. 우리나라 서쪽에 위치한 고기압은 시베리아 고기압이다. 시베리아 고기압이나 북태평양 고기압은 정체성 고기압에 해당한다.

**바로알기** ㄱ. 우리나라 서쪽에 고기압, 동쪽에 저기압이 위치하는 서고 동저형 기압 배치는 겨울철의 특징적인 기압 배치이다.

**286**



ㄴ. 고기압의 규모는 정체성 고기압인 A가 이동성 고기압인 B보다 크다.

ㄷ. (가)는 시베리아 고기압의 영향을 받는 겨울철 일기도이고, (나)는 이동성 고기압과 저기압의 영향을 받는 봄철이나 가을철 일기도이다. 이동성 고기압과 저기압의 영향을 받는 봄철이나 가을철에는 시베리아 고기압의 영향을 받는 겨울철에 비해 날씨 변화가 심하게 나타난다.

**바로알기** ㄱ. (가)에서 우리나라 북서쪽에 발달한 A는 정체성 고기압인 시베리아 고기압이고, (나)에서 우리나라 동쪽에 위치한 B는 이동성 고기압이다.

ㄷ. (가)는 서고 동저형 기압 배치를 보이는 우리나라 겨울철의 전형적인 일기도이다. 우리나라 여름철에는 남고 북저형 기압 배치가 나타난다.

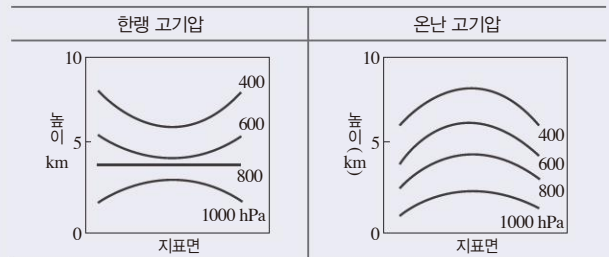
**287** ㄴ. (가)는 고위도 지역에서 형성되는 한랭 고기압, (나)는 중위도 지역에서 형성되는 온난 고기압이다. 따라서 (가)는 (나)보다 고위도에서 형성된 것이다.

ㄷ. (가)가 (나)보다 고위도에서 형성되므로 지표 부근에서 고기압 중심부의 기온은 (가)보다 (나)에서 높다.

**바로알기** ㄱ. (나)는 온난 고기압으로 북태평양 고기압이 이에 속한다. 시베리아 고기압은 한랭 고기압이다.

#### 개념 보충

##### 한랭 고기압과 온난 고기압



# 11 온대 저기압과 날씨

## 빈출 자료 보기

77쪽

- 290 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) × (5) × (6) ○ (7) ○ (8) ×  
291 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ (5) × (6) × (7) ○

290 (1) (가)는 따뜻한 공기가 찬 공기 위로 타고 올라갈 때 형성되는 온난 전선이고, (나)는 찬 공기가 따뜻한 공기 아래로 파고들 때 형성되는 한랭 전선이다.

(2) (가)는 전선면의 기울기가 완만하므로 층운형 구름이 발달하고, (나)는 전선면의 기울기가 급하기 때문에 적운형 구름이 발달한다. 따라서 구름의 평균 두께는 (가)보다 (나)에서 더 두껍다.

(3) (가) 온난 전선에서는 전선 앞쪽으로 넓은 지역에 지속적으로 약한 비가 내리고, (나) 한랭 전선에서는 전선 뒤쪽으로 좁은 지역에 소나기가 내린다. 따라서 (가)에 비해 (나)에서 좁은 지역에 비가 내린다.

(6) 구름은 따뜻한 공기와 찬 공기가 만나는 전선면에서 형성되므로 강수 현상은 주로 찬 공기가 위치한 지역에서 나타난다. 따라서 강수 현상은 (가) 온난 전선에서는 B 지역, (나) 한랭 전선에서는 C 지역에서 주로 나타난다.

(7) (가) 온난 전선이 통과하기 전에는 남서풍이 불고, 통과한 후에는 남서풍이 분다. 따라서 (가) 온난 전선이 통과하는 동안 풍향은 시계 방향으로 변한다.

**바로알기 I** (4) 전선의 이동 속도는 한랭 전선인 (나)가 온난 전선인 (가)보다 빠르다.

(5) (가)에서 A 지역은 따뜻한 공기의 영향을 받고, B 지역은 찬 공기의 영향을 받는다. 따라서 기온은 A 지역이 B 지역보다 높다.

(8) (가)에서는 온난 전선 앞쪽(B)에 형성된 층운형 구름에서 약한 비가 내리고, (나)에서는 한랭 전선 뒤쪽(C)에 형성된 적운형 구름에서 소나기가 내린다.

291 (1) 중위도 온대 지방에서 형성되는 온대 저기압은 편서풍의 영향으로 서쪽에서 동쪽으로 이동한다.

(2) 온대 저기압은 서 → 동으로 이동하므로 온대 저기압이 서쪽에 있을수록 이전의 일기도이다. (나)는 (가)보다 12시간 전의 일기도이다.

(4) (나)에서 A 지역은 온난 전선과 한랭 전선 사이에 위치하며, (가)에서 A 지역은 한랭 전선의 뒤쪽에 위치한다. 따라서 이 기간 동안 한랭 전선이 A 지역을 통과했다.

(7) (나)의 A 지역은 온난 전선과 한랭 전선 사이이므로 남서풍이 불고, (가)의 A 지역은 한랭 전선 뒤쪽이므로 북서풍이 분다. 따라서 A 지역의 풍향은 남서풍에서 북서풍으로 바뀌었다.

**바로알기 I** (3) 저기압은 중심 기압이 낮을수록 세력이 강하다. 온대 저기압의 중심 기압이 (가)에서는 약 1008 hPa, (나)에서는 약 1012 hPa이다. 따라서 온대 저기압의 세력은 (가)가 (나)보다 강하다.

(5) (가)에서 A 지역은 한랭 전선의 뒤쪽에 위치하므로 찬 공기의 영향을 받고, (나)에서 A 지역은 온난 전선과 한랭 전선 사이에 위치하므로 따뜻한 공기의 영향을 받는다. 따라서 A 지역의 기온은 (가)보다 (나)에서 더 높다.

(6) (나)에서 A 지역은 온난 전선과 한랭 전선 사이에 위치한다. 온난 전선과 한랭 전선 사이에서는 따뜻한 공기의 영향으로 구름이 없고 맑은 날씨가 나타난다.

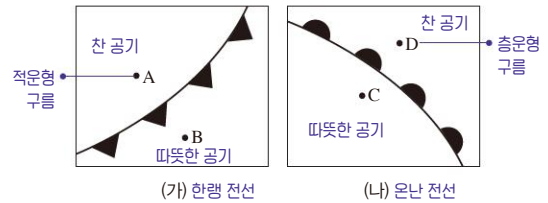
## 난이도별 필수 기출

78~83쪽

292 ②	293 ④	294 해설 참조	295 ④	296 ②
297 ①	298 해설 참조	299 ②	300 ②	301 ④
302 ⑤	303 ⑤	304 A: 폐색 전선, B: 한랭 전선, C: 온난 전선	305 ⑤	306 ⑤, ⑦
307 ③	308 ⑤, ⑥	309 해설 참조	310 ③	311 해설 참조
312 ③	313 ②	314 ②	315 ①	316 ③
317 ②	318 ③	319 ①	320 ⑤	321 ③

292 그림은 찬 공기가 따뜻한 공기 아래로 파고들어 따뜻한 공기를 밀어 올리면서 적운형 구름이 형성된 한랭 전선의 모습이다.

293



ㄱ. 강수 현상은 찬 공기가 있는 한랭 전선의 뒤쪽과 온난 전선의 앞쪽에서 나타난다. 따라서 강수 현상이 나타나는 곳은 A와 D이다.

ㄴ. (가)의 A는 찬 공기의 영향을 받고, B는 따뜻한 공기의 영향을 받는다. 따라서 A는 B보다 기온이 낮다.

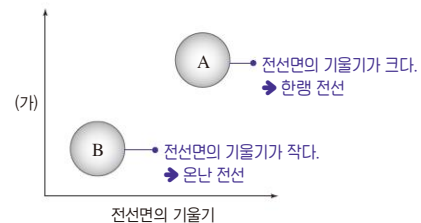
ㄷ. (가)는 한랭 전선, (나)는 온난 전선이고, 전선의 이동 속도는 (가) 한랭 전선이 (나) 온난 전선보다 빠르다.

**바로알기 I** ㄴ. (나) 온난 전선의 앞쪽에는 층운형 구름이 형성된다. 적운형 구름은 (가) 한랭 전선의 뒤쪽인 A에서 형성된다.

294 (가) 한랭 전선이 통과한 후에는 기온이 하강하며 기압이 높아지고, (나) 온난 전선이 통과한 후에는 기온이 상승하며 기압이 낮아진다. 온난 전선의 앞쪽에서는 남서풍이 불다가 온난 전선이 통과하면 풍향이 남서풍으로 바뀌고, 한랭 전선 앞쪽에서는 남서풍이 불다가 한랭 전선이 통과하면 풍향이 북서풍으로 바뀐다.

**모범 답안** (가)는 한랭 전선이고, (나)는 온난 전선이다. (가) 한랭 전선이 통과한 후에 기압은 높아지고, 풍향은 남서풍에서 북서풍으로 변한다. (나) 온난 전선이 통과한 후에 기압은 낮아지고, 풍향은 남서풍에서 북서풍으로 변한다.

295



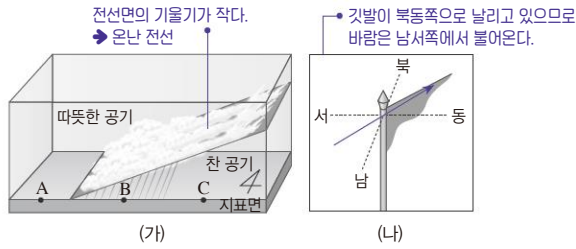
ㄴ. (가)는 한랭 전선이 온난 전선보다 큰 값을 갖는 물리량이어야 한다. 한랭 전선의 이동 속도는 비교적 빠르고, 온난 전선의 이동 속도는 비교적 느리다. 또 한랭 전선에서는 구름의 두께가 두꺼운 적운형 구름이 형성되고, 온난 전선에서는 구름의 두께가 얇은 층운형 구름이 형성된다. 따라서 (가)는 전선의 이동 속도나 구름의 두께이다.

ㄷ. 온난 전선이 통과하기 전에는 남서풍이 불고, 온난 전선이 통과한 후에는 남서풍이 분다. 따라서 온난 전선(B)이 통과할 때 풍향은 시계 방향으로 변한다.

**바로알기 I** ㄱ. 전선면의 기울기가 큰 A는 한랭 전선이고, 전선면의 기울기가 작은 B는 온난 전선이다.



296

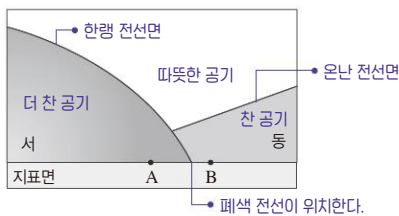


나. (나) 지역에서는 남서풍이 불고 있다. (가)에서 온난 전선 앞쪽에 위치한 B와 C 지역에서는 남동풍이 불고, 온난 전선 뒤쪽에 위치한 A 지역에서는 남서풍이 분다. 따라서 (나)는 (가)의 A 지역에서 관측한 것이다.

**바로알기** ㄱ. (가)의 B 지역은 온난 전선 앞쪽에 위치하고 있으므로 층운형 구름에서 지속적으로 약한 비가 내린다.

ㄷ. (가) 온난 전선에서는 따뜻한 공기가 찬 공기 위로 타고 올라가면서 전선 앞쪽에 층운형 구름이 형성된다.

297

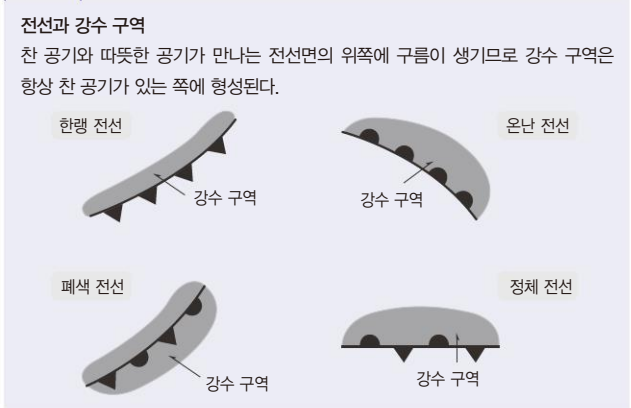


ㄱ. 폐색 전선은 상대적으로 이동 속도가 빠른 한랭 전선이 이동 속도가 느린 온난 전선을 따라잡아 겹쳐져 형성되는 전선이다. 그림에서 한랭 전선 쪽의 더 찬 공기가 온난 전선 쪽의 찬 공기 아래로 파고들고 있으므로 이 전선은 한랭형 폐색 전선이다.

**바로알기** 나. 폐색 전선에서는 전선의 앞쪽(B)과 뒤쪽(A) 모두에서 비가 내린다.

ㄷ. 폐색 전선은 한랭 전선이 온난 전선보다 이동 속도가 빠르기 때문에 한랭 전선이 온난 전선을 따라잡아 겹쳐져 형성된 것이다.

#### 개념 보충



298 폐색 전선 중 온난형 폐색 전선은 온난 전선 앞쪽의 찬 공기가 한랭 전선 뒤쪽의 찬 공기보다 기온이 낮아 한랭 전선 뒤쪽의 찬 공기가 온난 전선 앞쪽의 더 찬 공기 위로 타고 올라가며 형성된 폐색 전선이다. 한랭형 폐색 전선은 한랭 전선 뒤쪽의 찬 공기가 온난 전선 앞쪽의 찬 공기보다 기온이 낮아 한랭 전선 뒤쪽의 더 찬 공기가 온난 전선 앞쪽의 찬 공기 아래로 파고들며 형성된 폐색 전선이다.

**모범 답안** 한랭 전선이 온난 전선을 따라잡아 겹쳐지면 폐색 전선이 형성된다. 이때 한랭 전선 뒤쪽인 A 지역 공기가 온난 전선 앞쪽인 B 지역 공기보다 온도가 더 낮기 때문에 한랭 전선 뒤쪽의 더 찬 공기(A)가 온난 전선 앞쪽의 찬 공기(B) 아래로 파고드는 한랭형 폐색 전선이 형성된다.

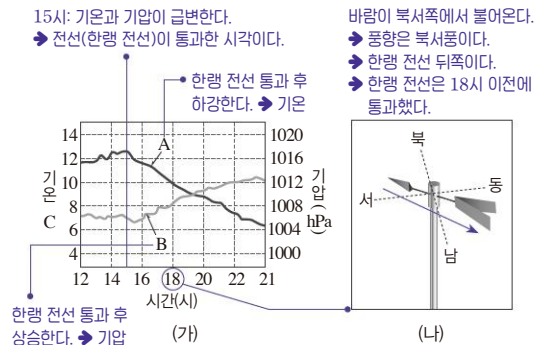
299

(가)는 한랭 전선, (나)는 온난 전선, (다)는 정체 전선이다. 나. (나)는 온난 전선으로 A 지역은 따뜻한 공기의 영향을 받고, B 지역은 찬 공기의 영향을 받는다. 따라서 기온은 B 지역보다 A 지역에서 높다.

**바로알기** ㄱ. (가) 한랭 전선이 (나) 온난 전선보다 빠르게 이동하기 때문에 두 전선이 겹쳐지면 폐색 전선(—▲▲▲—)이 형성된다. (다)는 정체 전선으로, 찬 공기와 따뜻한 공기의 세력이 비슷하여 한곳에 오래 머물러 있는 전선이다.

ㄷ. 온대 저기압이 소멸할 때는 한랭 전선과 온난 전선이 겹쳐진 폐색 전선이 형성된다.

300



ㄱ. 기온과 기압이 급격히 변했을 때가 전선이 통과한 때이다. (가)에서 기온과 기압이 급변한 시각은 15시경이다.

ㄷ. (가)에서 15시경에 전선이 통과하였고, 전선이 통과한 후인 18시경에 북서풍이 불고 있으므로 이 지역에는 한랭 전선이 통과하였다.

**바로알기** 나. (나)에서 18시경에 북서풍이 불었으므로 이 지역은 한랭 전선이 통과하였다. (가)에서 15시경에 한랭 전선이 통과한 후 A는 하강하고, B는 상승하였으므로 A는 기온 변화를, B는 기압 변화를 나타낸다.

ㄷ. 한랭 전선에서는 전선 뒤쪽에 강수 현상이 나타난다. 따라서 15시경 이전보다 한랭 전선이 통과한 15시경 이후에 비가 많이 내렸을 것이다.

#### 개념 보충

**전선 통과 후 변화**

- 온난 전선이 통과한 후에는 기온이 상승하고, 기압이 하강하며, 풍향이 남동풍 → 남서풍으로 변한다.
- 한랭 전선이 통과한 후에는 기온이 하강하고, 기압이 상승하며, 풍향이 남서풍 → 북서풍으로 변한다.

301

(가)에서 형성된 전선은 정체 전선에 속하는 장마 전선이다. ㄱ. 전선 부근에서는 따뜻한 공기가 찬 공기 위로 타고 오르면서 구름이 형성된다. (나)에서 A 지역은 따뜻한 공기, B 지역은 찬 공기의 영향을 받으며 따뜻한 공기가 전선면을 따라 B 쪽으로 상승하므로 A 지역보다 B 지역에 구름이 형성되어 강수량이 많다.

ㄷ. (나)에서 A 지역은 따뜻한 공기, B 지역은 찬 공기가 분포하고 있고, (가)에서 따뜻한 공기는 남쪽, 찬 공기는 북쪽에 분포하고 있다. 따라서 A 지역에 영향을 주는 따뜻한 기단인 북태평양 기단의 세력이 커지면 전선은 북쪽으로 이동한다.

**바로알기** 나. 우리나라 남부 지방에 동서 방향으로 정체 전선이 형성되어 있다.

302

① 온대 저기압은 중위도 온대 지방에서 찬 공기와 따뜻한 공기가 만나 형성된다.

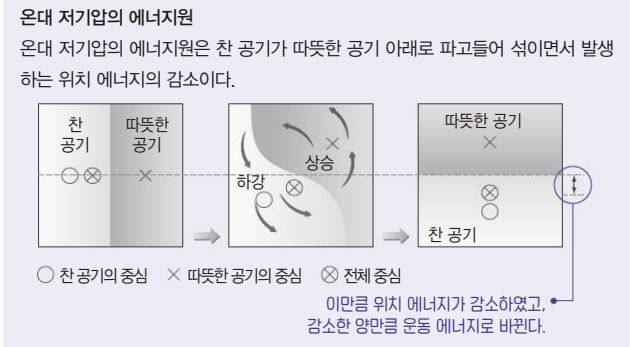
② 온대 저기압은 중위도 온대 지방에서 발생하는 저기압으로 편서풍의 영향을 받아 서쪽에서 동쪽으로 이동한다.

③ 온대 저기압은 찬 공기와 따뜻한 공기가 만나 형성된다. 이때 찬 공기가 따뜻한 공기 아래로 내려가면서 위치 에너지가 감소하고, 이 감소한 위치 에너지가 운동 에너지로 전환되어 온대 저기압의 에너지원이 된다.

④ 저기압은 중심 기압이 낮을수록 세력이 강하다.

**바로알기** | ⑤ 온대 저기압은 중심의 남서쪽에 한랭 전선을, 남동쪽에 온난 전선을 동반한다.

#### 개념 보충



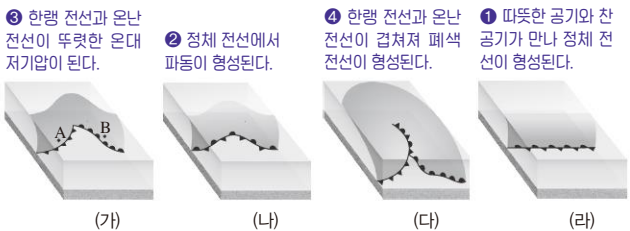
**303** ㄱ. 우리나라 주변을 지나가는 온대 저기압은 편서풍의 영향으로 서쪽에서 동쪽으로 이동한다. 따라서 온대 저기압이 서쪽에 있을수록 먼저 작성된 일기도이다.

ㄴ. 저기압은 중심 기압이 낮을수록 세력이 강하다. (가)에서 저기압의 중심 기압은 약 1000 hPa, (나)에서 저기압의 중심 기압은 약 996 hPa이므로 저기압의 세력은 (나)보다 (가)에서 약하다.

ㄷ. (가)에서 제주도 지역은 온난 전선과 한랭 전선 사이에 위치한다. 온난 전선과 한랭 전선 사이의 지역은 구름이 없고 날씨가 맑다.

**304** 온대 저기압은 전선을 동반한 저기압이다. 온대 저기압의 중심에서 남동쪽으로는 온난 전선(C), 남서쪽으로는 한랭 전선(B)이 형성된다. 한랭 전선이 온난 전선보다 이동 속도가 빠르기 때문에 시간이 지나면 한랭 전선과 온난 전선이 겹쳐져 폐색 전선(A)이 형성된다.

#### [305~306]



**305** (라) 찬 공기와 따뜻한 공기가 만나 정체 전선이 형성되고, (나) 정체 전선에서 파동이 형성되면서 (가) 한랭 전선과 온난 전선을 동반한 온대 저기압이 발달한다. 이후 (다) 한랭 전선과 온난 전선이 겹쳐져 폐색 전선이 형성되면 온대 저기압의 세력이 약해지면서 소멸한다. 따라서 온대 저기압의 생성 순서는 (라) → (나) → (가) → (다)이다.

**306** ⑤ 한랭 전선이 온난 전선보다 이동 속도가 빨라 두 전선이 겹쳐지면서 폐색 전선이 형성된다.

⑦ 한랭 전선과 온난 전선이 겹쳐져 폐색 전선이 형성되면 찬 공기는 아래로, 따뜻한 공기는 위로 올라가 분리되어 온대 저기압은 소멸한다.

**바로알기** | ① A는 한랭 전선의 뒤쪽으로, 좁은 지역에 적운형 구름이 만들어진다. B는 온난 전선의 앞쪽으로, 넓은 지역에 층운형 구름이 만들어진다. 따라서 구름 발생 지역은 A가 B보다 좁다.

② (가)의 A에서는 적운형 구름에서 소나기, B에서는 층운형 구름에서 약한 비가 내린다.

③ (다)에서는 한랭 전선과 온난 전선이 겹쳐져 폐색 전선이 만들어진다.

④ 중위도 지역에서 고위도의 찬 공기와 저위도의 따뜻한 공기가 만나 (라)와 같은 정체 전선을 형성한다.

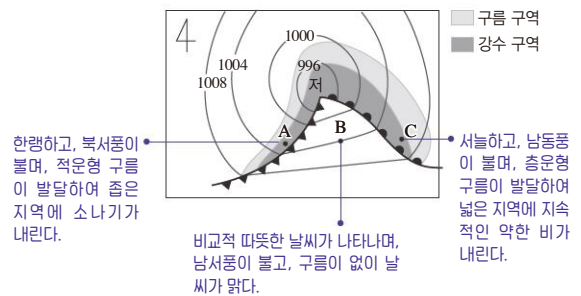
⑥ 온대 저기압은 편서풍의 영향으로 서쪽에서 동쪽으로 이동한다.

**307** ㄱ. (가)에는 한랭 전선이 온난 전선보다 이동 속도가 빨라 두 전선이 겹쳐진 폐색 전선이 발달해 있다. (나)에는 온대 저기압 중심의 남동쪽에 온난 전선, 남서쪽에 한랭 전선이 발달해 있다. 따라서 온대 저기압은 (나)에서 (가)로 발달한다.

ㄴ. (나)의 A 지역은 한랭 전선의 뒤쪽으로 좁은 지역에 소나기성 강수가, (나)의 B 지역은 온난 전선의 앞쪽으로 넓은 지역에 지속적으로 약한 강수가 내린다.

**바로알기** | ㄷ. (가)에서 한랭 전선과 온난 전선이 겹쳐진 폐색 전선이 형성된 이후에 따뜻한 공기는 상승, 찬 공기는 하강하여 분리되면서 온대 저기압이 소멸한다.

#### 308



⑤ C 지역은 온난 전선 앞쪽에 위치하고 있으며 이후 온난 전선이 통과하면 기온은 높아지고, 기압은 낮아진다.

⑥ 한랭 전선과 온난 전선 사이에 위치한 B 지역은 구름이 없고 비교적 날씨가 맑다.

**바로알기** | ① A 지역은 한랭 전선의 뒤쪽으로 두꺼운 적운형 구름이 발달한다.

② 온대 저기압에서 한랭 전선과 온난 전선 사이에 위치한 B 지역에서는 남서풍이 분다.

③ 온난 전선의 앞쪽인 C 지역에서는 층운형 구름에서 약한 비가 내리고, 한랭 전선의 뒤쪽인 A 지역에서는 적운형 구름에서 소나기가 내린다.

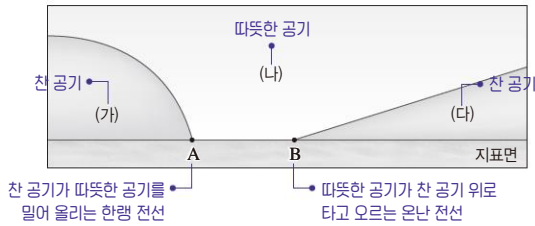
④ 온난 전선의 앞쪽인 C 지역에서는 남동풍이 불고, 한랭 전선의 뒤쪽인 A 지역에서는 북서풍이 분다.

⑦ A와 C 지역에는 찬 공기가 위치하고, B 지역에는 따뜻한 공기가 위치한다. 따라서 기온이 가장 높은 지역은 B이다.

**309** 온난 전선의 앞쪽에서는 남동풍, 한랭 전선과 온난 전선 사이에서는 남서풍, 한랭 전선의 뒤쪽에서는 북서풍이 분다. 온대 저기압이 편서풍을 따라 서쪽에서 동쪽으로 이동하기 때문에 온난 전선이 먼저 통과한 후 한랭 전선이 통과하면서 날씨가 변한다.

**모범 답안** 현재 C 지역은 온난 전선 앞쪽으로 남동풍이 불고 있다. 이후 온난 전선이 통과하면 남서풍으로 풍향이 바뀌고, 한랭 전선이 통과하면 북서풍으로 바뀐다.

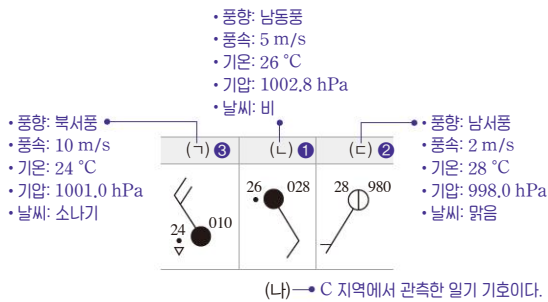
310



- ① 전선면이 형성될 때 찬 공기는 따뜻한 공기 아래에 위치한다. 따라서 (가)와 (다)는 찬 공기, (나)는 따뜻한 공기이다.
- ② (나)는 따뜻한 공기로, 전선면을 따라 찬 공기 위로 상승한다.
- ④ B는 온난 전선으로, 전선의 앞쪽에서 약한 비가 내린다. A는 한랭 전선으로, 전선의 뒤쪽에서 소나기가 내린다.
- ⑤ 한랭 전선인 A는 온난 전선인 B보다 이동 속도가 빠르다.

**바로알기** | ③ A는 한랭 전선이고, 전선면을 따라 적운형 구름이 발달한다. B는 온난 전선이고, 전선면을 따라 층운형 구름이 발달한다.

311



(나)에서 북서풍이 부는 (가)는 한랭 전선 통과 후, 남동풍이 부는 (다)는 온난 전선 앞쪽, 남서풍이 부는 (나)는 온난 전선 통과 후의 날씨를 나타낸다. 따라서 관측 순서는 (다) → (나) → (가)이다. C 지역에서 온난 전선이 통과한 후에는 기온이 26°C에서 28°C로 상승하고, 기압이 1002.8 hPa에서 998.0 hPa로 하강했다. 또, C 지역에서 한랭 전선이 통과한 후에는 기온이 28°C에서 24°C로 하강하고, 기압이 998.0 hPa에서 1001.0 hPa로 상승했다.

**모범 답안** 관측 순서는 (다) → (나) → (가)이다. 우리나라 주변에서 온대 저기압은 편서풍의 영향으로 서쪽에서 동쪽으로 이동하고, C 지역은 온대 저기압이 이동하면서 온난 전선과 한랭 전선이 차례로 통과하여 날씨가 달라지기 때문이다.

**312** ㄱ. A는 한랭 전선의 뒤쪽으로 좁은 지역에 소나기가 내리고, C는 온난 전선의 앞쪽으로 넓은 지역에 약한 비가 내린다. 따라서 A보다 C에서 넓은 지역에 약한 비가 내린다.

ㄴ. C 지역에 온난 전선이 통과하기 전에는 풍속이 5 m/s였고(ㄴ), 온난 전선이 통과한 후에는 풍속이 2 m/s였다(ㄷ). 따라서 C 지역에서 온난 전선이 통과한 후 풍속이 약해졌다.

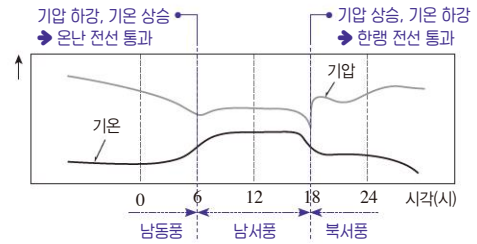
**바로알기** | ㄷ. C → B → A로 갈수록 온대 저기압의 중심에 가까워졌다가 멀어지므로 기압이 낮아졌다가 높아진다.

**313** ㄷ. C 지역은 온난 전선 앞쪽으로 현재 남동풍이 불고 있지만 온난 전선이 통과하면 남서풍, 한랭 전선이 통과하면 북서풍으로 풍향이 변한다. 따라서 온대 저기압이 통과하는 동안 C 지역의 풍향은 시계 방향(남동풍 → 남서풍 → 북서풍)으로 변한다.

**바로알기** | ㄱ. 한랭 전선의 뒤쪽에 위치한 A 지역과 온난 전선의 앞쪽에 위치한 C 지역은 찬 공기의 영향을 받고, 온난 전선과 한랭 전선 사이에 위치한 B 지역은 따뜻한 공기의 영향을 받는다. 따라서 A 지역보다 B 지역의 기온이 더 높다.

ㄴ. 온난 전선 앞쪽에 위치한 C 지역에는 층운형 구름이, 한랭 전선 뒤쪽에 위치한 A 지역에는 적운형 구름이 발달해 있다. 온난 전선과 한랭 전선 사이에 위치한 B 지역은 구름이 거의 없고 날씨가 맑다.

314



ㄱ. 5시경은 온난 전선이 통과하기 전이므로 남풍 계열의 바람(남동풍)이 불었다.

ㄷ. 18시경에 기온이 하강하고, 기압이 상승한 것으로 보아 한랭 전선이 지나갔다.

**바로알기** | ㄴ. 0시~6시경은 온난 전선이 통과하기 전이므로 층운형 구름이 형성되었다.

ㄴ. 온대 저기압이 통과하면서 온난 전선, 한랭 전선이 차례로 지나므로 서울의 풍향은 남동풍 → 남서풍 → 북서풍(시계 방향)으로 변했다.

**315** A 지역은 북서풍이 불고, 적운형 구름에서 소나기가 내리고 있으므로 한랭 전선의 뒤쪽이다. B 지역은 남동풍이 불고, 층운형 구름에서 약한 비가 내리고 있으므로 온난 전선의 앞쪽이다. C 지역은 남서풍이 불고, 날씨가 맑으므로 온난 전선과 한랭 전선 사이에 위치한다.

ㄱ. C 지역은 현재 온난 전선과 한랭 전선 사이에 위치하고 있으므로 이후 한랭 전선이 통과하면 기온은 낮아지고, 기압은 높아질 것이다.

**바로알기** | ㄴ. A와 B 지역은 찬 공기의 영향을 받고, C 지역은 따뜻한 공기의 영향을 받는다. 따라서 현재 기온은 A 지역이 C 지역보다 낮다.

ㄷ. 온난 전선은 B와 C 지역 사이에 형성되어 있고, 한랭 전선은 A와 C 지역 사이에 형성되어 있다.

**316** ㄱ. 온대 저기압은 편서풍의 영향으로 서쪽에서 동쪽으로 이동한다. 따라서 일기도는 (가) → (나) 순으로 작성되었다.

ㄴ. (가)와 (나) 기간 동안 A 지역에는 한랭 전선이 통과하였으므로 소나기가 내렸을 것이다.

**바로알기** | ㄷ. (가)의 A 지역은 온난 전선과 한랭 전선 사이에 위치하므로 남서풍이 분다.

**317** 온대 저기압은 편서풍의 영향으로 서쪽에서 동쪽으로 이동하므로 A 지역은 온난 전선과 한랭 전선 사이에 위치하였다가 12시간 후에는 한랭 전선의 뒤쪽에 위치할 것이다. 따라서 A 지역에 한랭 전선이 통과하면 찬 공기의 영향을 받으므로 기압은 상승하고, 기온은 하강한다.

**318** (나)에서 P 지점은 12시에 남동풍이 불고 있으므로 온난 전선의 앞쪽에 위치하였다. 15시에는 남서풍이 불고 있으므로 온난 전선과 한랭 전선 사이에 있었으며, 18시에는 북서풍이 불고 있으므로 이때는 한랭 전선 뒤쪽에 위치하였다.

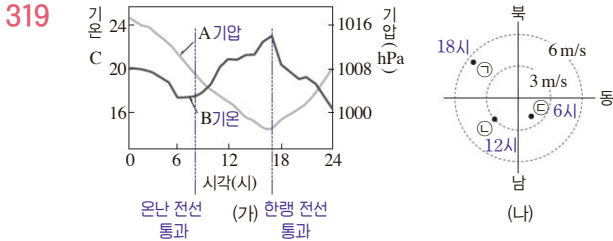
ㄷ. 15시와 18시 사이에 P 지점에는 한랭 전선이 통과했으므로 이때 이 지역에 소나기가 내렸다.

**바로알기** | ㄱ. 온대 저기압의 중심이 어느 지역의 북쪽으로 지나면 이 지역은 온난 전선과 한랭 전선이 차례로 통과하면서 풍향이 시계 방향으로 변한다. 온대 저기압의 중심이 어느 지역의 남쪽으로 지나면 이 지역은 전선이 통과하지 않으며 풍향이 시계 반대 방향으로 변한다.



(나)에서 P 지점의 풍향이 시계 방향으로 변한 것으로 보아 P 지점의 북쪽으로 온대 저기압의 중심이 지나갔다. 따라서 온대 저기압의 중심은 A 경로를 이동하였다.

ㄴ. 12시와 15시 사이에 P 지점에 온난 전선이 통과했다. 따라서 12시보다 15시에 기온이 더 높았다.



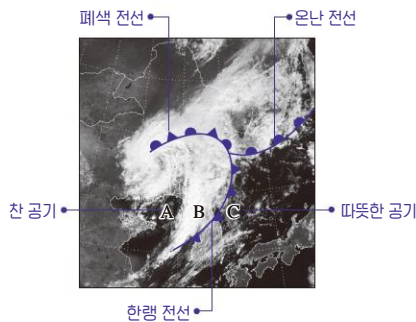
(가)에서 온대 저기압이 통과하는 동안 온대 저기압의 중심에 가까워졌다 멀어지므로 기압은 낮아졌다 높아지고, 기온은 높아졌다가 낮아진다. 따라서 A는 기압, B는 기온이다.

ㄴ. 12시는 온난 전선이 통과한 후이므로 남서풍(㉠)이 분다.

**바로알기 |** ㄱ. (가)에서 8시경 이후에 기온이 상승하고, 17시경 이후에 기온이 하강한다. 따라서 8시경에 온난 전선이 통과하였고, 17시경에 한랭 전선이 통과하였다.

ㄷ. 온난 전선과 한랭 전선이 차례로 지나갔으므로 이 온대 저기압의 중심은 관측소의 북쪽을 통과하였다.

### 320



ㄱ. A 지역은 한랭 전선의 뒤쪽으로 찬 공기의 영향을 받고, C 지역은 한랭 전선의 앞쪽으로 따뜻한 공기의 영향을 받는다. 따라서 A 지역보다 C 지역의 기온이 높다.

ㄴ. 이 영상은 가시광선 영상이므로 밝게 보일수록 구름의 두께가 두껍다. B 지역은 한랭 전선의 뒤쪽으로, 두꺼운 적운형 구름이 형성되었을 것이다.

ㄷ. C 지역은 한랭 전선의 앞쪽으로 남풍 계열의 바람이 분다.

**321** 정체 전선은 북쪽의 찬 기단과 남쪽의 따뜻한 기단이 만나 형성되며 전선의 북쪽에 강수 구역이 나타난다. 초여름에 우리나라 부근에 형성되는 장마 전선은 정체 전선의 일종이다.

ㄱ. (가)에서 강수 구역이  $D_1$ 일보다  $D_2$ 일에 더 북쪽까지 분포하는 것으로 보아 정체 전선은  $D_1$ 일보다  $D_2$ 일에 더 북쪽에 위치한다.

ㄷ. 북태평양 기단의 영향이 강할수록 정체 전선의 위치가 북쪽으로 이동한다. 정체 전선이  $D_1$ 일보다  $D_2$ 일에 더 북쪽에 위치한 것으로 보아 A 지점에서 북태평양 기단의 영향은  $D_1$ 일보다  $D_2$ 일에 더 크게 받았다.

**바로알기 |** ㄴ. A 지점에서  $D_2$ 일에 풍향 빈도는 남서풍이 약 40% (= 4% + 6% + 14% + 16%), 남동풍이 약 60% (= 4% + 16% + 40%) 관측되었다. 따라서 A 지점에서  $D_2$ 일에 풍향 빈도는 남서풍의 빈도가 남동풍의 빈도보다 작다.

## 12 태풍과 우리나라 주요 악기상

### 빈출 자료 보기

86쪽

**322** (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × (5) × (6) ○ (7) ×

**323** (1) × (2) × (3) ○ (4) ○ (5) × (6) ○ (7) ○

**322** (1) 태풍의 에너지원은 수증기가 응결하면서 방출하는 응결열(숨은열)이다.

(2) 태풍은 저위도 열대 해상에서 발생하여 위도  $25^{\circ}\text{N} \sim 30^{\circ}\text{N}$ 까지 이동하는 동안은 무역풍의 영향을 받고, 위도  $25^{\circ}\text{N} \sim 30^{\circ}\text{N}$  이상에서는 편서풍의 영향을 받는다. 따라서 태풍이 북반구 중위도에 위치한 우리나라를 통과할 때 태풍의 이동에 영향을 주는 바람은 편서풍이다.

(6) 태풍 이동 경로의 왼쪽 지역은 태풍의 진행 방향과 태풍의 풍향이 반대가 되어 상대적으로 풍속이 느린 안전 반원에 해당하고, 태풍 이동 경로의 오른쪽 지역은 태풍의 진행 방향과 태풍의 풍향이 같아 상대적으로 풍속이 빠른 위험 반원에 해당한다. 서울은 안전 반원, 부산은 위험 반원에 속하므로 서울보다 부산에서 피해가 더 컸을 것이다.

**바로알기 |** (3) 태풍의 세력을 유지하려면 열과 수증기를 계속 공급받아야 하므로 태풍이 육지에 상륙하면 세력이 약해진다. 따라서 태풍의 세력은 A에 있을 때보다 B에 있을 때 약하다.

(4) 태풍은 열대 저기압이므로 기압이 낮을수록 세력이 강하다. 태풍은 육지에 상륙하면 에너지원인 수증기의 공급이 줄어들고 지표면과 마찰 때문에 세력이 약해지므로 중심 기압이 높아진다.

(5) 서울은 태풍 이동 경로의 왼쪽에 위치하므로 안전 반원에 속해 있었다.

(7) 태풍이 이동하는 동안 태풍 이동 경로의 왼쪽 지역(안전 반원)에서는 풍향이 시계 반대 방향으로 변하고, 태풍 이동 경로의 오른쪽 지역(위험 반원)에서는 풍향이 시계 방향으로 변한다. 서울은 태풍 이동 경로의 왼쪽에 위치하므로 태풍이 이동하는 동안 서울에서 풍향은 시계 반대 방향으로 변하였다.

**323** (3) (다)는 상승 기류와 하강 기류가 함께 나타나는 것으로 보아 성숙 단계에 해당한다.

(4) 뇌우는 강한 상승 기류로 적란운이 발달하면서 천둥, 번개와 함께 소나기가 내리는 현상으로, (나) 적운 단계 → (다) 성숙 단계 → (가) 소멸 단계를 거친다.

(6) 뇌우는 여름철 강한 햇빛으로 국지적으로 가열된 공기가 빠르게 상승할 때 잘 발생한다. 또한, 한랭 전선에서 따뜻한 공기가 찬 공기 위로 빠르게 상승하여 적란운이 형성될 때, 온대 저기압이나 태풍의 중심에서 강한 상승 기류가 발달할 때와 같이 대기가 불안정한 경우에 잘 발생한다.

(7) 국지성 호우나 낙뢰로 발생하는 피해는 하강 기류만 나타나는 (가) 소멸 단계보다 상승 기류와 하강 기류가 함께 나타나는 (다) 성숙 단계에서 잘 발생한다.

**바로알기 |** (1) (가)는 적란운 전반에 걸쳐 하강 기류만 나타나므로 소멸 단계에 해당한다.

(2) (나)는 강한 상승 기류로 적운이 형성되고 있으므로 뇌우 발달 초기인 적운 단계에 해당한다.

(5) 천둥이나 우박이 나타나는 단계는 상승 기류와 하강 기류가 함께 나타나는 (다) 성숙 단계이다.

324 ①	325 ⑤, ⑦	326 ③	327 ②
328 ⑤, ⑦	329 ③	330 B>C	331 ②
332 해설 참조	333 ①	334 ④	335 해설 참조
336 ④	337 해설 참조	338 ③	339 ③
340 ⑤	341 ④	342 ③	343 ④
344 ②	345 ④	346 ①	
347 ⑤, ⑧	348 ②	349 ③	350 ③
351 ④	352 ③	353 해설 참조	354 ⑤
355 ②, ③	356 ⑤	357 ④	

**324** 태풍은 표층 수온이 27℃ 이상인 위도 5°~25°의 열대 해상에서 발생하고, 중심 부근의 순간 최대 풍속이 17 m/s 이상인 열대 저기압이다.

**바로알기** | ② 토네이도는 바다나 넓은 평지에서 발생하는 깔때기 모양의 매우 강한 회오리 바람이다.

**325** ① 수온이 높은 열대 해상에서 발생하는 저기압을 열대 저기압이라고 한다. 태풍은 표층 수온이 27℃ 이상인 북서 태평양의 열대 해상에서 발생한 열대 저기압이다.

② 열대 저기압은 온대 저기압과 달리 전선을 동반하지 않는다.

③ 태풍은 수증기를 많이 포함하고 있어 많은 비를 내리고, 등압선 간격이 매우 조밀하여 강풍이 분다.

④ 태풍의 에너지원은 상승하는 공기 속에 포함된 수증기가 응결할 때 발생하는 숨은열이다.

⑥ 태풍의 발생 초기에는 무역풍의 영향을 받아 북서쪽으로 이동하다가 위도 25°N~30°N 부근부터는 편서풍의 영향을 받아 북동쪽으로 방향을 바꾸어 이동한다. 따라서 태풍의 이동 경로는 대부분 포물선 궤도를 이룬다.

⑧ 일기도에서 태풍의 등압선은 동심원 형태로 조밀하게 나타난다.

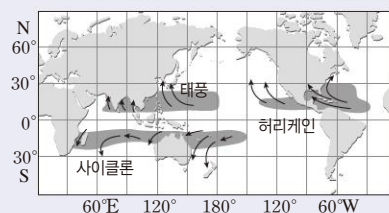
**바로알기** | ⑤ 태풍이 발생하려면 지구 자전의 효과(전향력)가 있어야 한다. 적도 지역은 지구 자전의 효과(전향력)가 거의 없기 때문에 태풍이 발생하지 않는다. 따라서 태풍은 주로 위도 5°~25° 사이의 열대 해상에서 발생한다.

⑦ 태풍은 열대 저기압으로 상승 기류가 발달하지만, 상승한 공기의 일부가 중심부로 모여 태풍의 눈에서는 약한 하강 기류가 나타난다.

**326** 열대 해상에서 발생하는 열대 저기압은 발생 해역에 따라 태풍, 허리케인, 사이클론으로 이름이 달라진다. 북대서양과 북태평양 동부 등에서 발생하여 북아메리카 대륙에 영향을 주는 열대 저기압은 허리케인이라고 부른다.

개념 보충

열대 저기압의 발생 해역과 이름



- 태풍: 북서 태평양에서 발생하여 우리나라를 비롯한 중국, 일본 등에 영향을 준다.
- 허리케인: 북대서양과 북태평양 동부에서 발생하여 북아메리카 대륙에 영향을 준다.
- 사이클론: 인도양, 벵골만 연안, 오스트레일리아 북부 해역에서 발생하여 주변 지역에 영향을 준다.

**327** ② 태풍은 위도 5°~25°인 열대 해상에서 발생하며, 온대 저기압은 편서풍대인 중위도 온대 지방에서 발생한다.

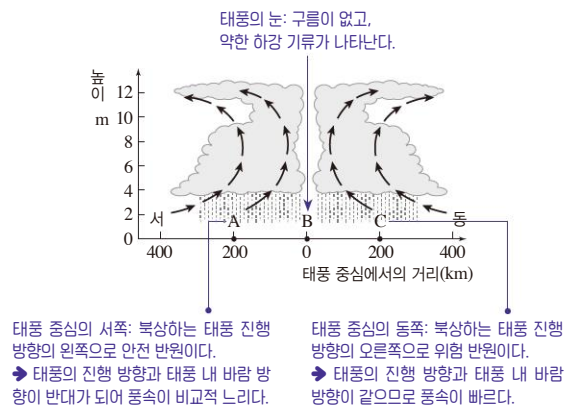
**바로알기** | ① 온대 저기압은 전선을 동반하지만 열대 저기압인 태풍은 전선을 동반하지 않는다.

③ 태풍은 무역풍대에서 발생하여 북서쪽으로 이동하다가 25°N~30°N 부근에 도달하면 방향을 바꿔 편서풍의 영향으로 북동쪽으로 이동하며 포물선 궤도를 그린다. 온대 저기압은 편서풍의 영향으로 서쪽에서 동쪽으로 이동한다.

④ 일기도에서 태풍의 등압선 모양은 동심원 형태로 등압선 간격이 조밀하고, 온대 저기압의 등압선 모양은 곡선 및 타원형으로 등압선 간격이 태풍의 등압선보다 넓다.

⑤ 태풍의 주요 에너지원은 수증기가 응결할 때 방출하는 숨은열이다. 온대 저기압의 주요 에너지원은 찬 공기가 따뜻한 공기 아래로 가라앉으면서 감소한 위치 에너지가 운동 에너지로 전환된 것이다.

328



⑤ 태풍의 에너지원은 수증기가 응결할 때 방출하는 숨은열(응결열)이다.

⑦ C는 태풍 중심의 동쪽으로 태풍 진행 방향의 오른쪽에 위치한다. 태풍이 이동함에 따라 태풍 진행 방향의 오른쪽 지역에서는 풍향이 시계 방향으로 변하고, 태풍 진행 방향의 왼쪽 지역에서는 풍향이 시계 반대 방향으로 변한다.

**바로알기** | ① A는 태풍 중심의 서쪽으로 태풍 진행 방향의 왼쪽인 안전 반원에 위치한다. 위험 반원은 태풍 진행 방향의 오른쪽인 C이다.

② 태풍은 열대 저기압이므로 태풍의 중심에서 기압이 가장 낮다. 따라서 A는 태풍의 중심인 B보다 기압이 높다.

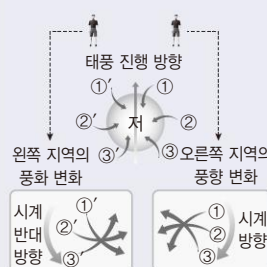
③ B는 태풍의 중심이므로 기압이 가장 낮다.

④ A와 C는 중심으로부터 같은 거리에 있고 A는 안전 반원에 속하고, C는 위험 반원에 속하므로 풍속은 A보다 C에서 빠르다.

⑥ B에는 태풍의 눈이 위치하고, 약한 하강 기류가 나타난다.

개념 보충

태풍이 통과할 때 풍향 변화



- 태풍 진행 방향의 왼쪽 지역에서 풍향 변화: 태풍은 저기압이고, 북반구에 발달한 저기압 주변에서 바람은 저기압의 중심부를 향해 시계 반대 방향으로 불어 들어간다. 따라서 태풍이 이동함에 따라 태풍 진행 방향의 왼쪽 지역에서는 풍향이 시계 반대 방향으로 변한다.
- 태풍 진행 방향의 오른쪽 지역에서 풍향 변화: 태풍이 이동함에 따라 태풍 진행 방향의 오른쪽 지역에서는 풍향이 시계 방향으로 변한다.

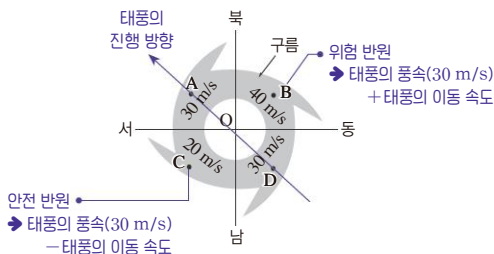
**329** ㄱ. 태풍은 열대 저기압으로 중심부로 갈수록 기압이 낮아져 중심에서 기압이 가장 낮다. 풍속은 태풍의 중심 부근에서 가장 빠르고, 태풍의 눈에서는 풍속이 느리다. 따라서 (나)의 X는 기압, Y는 풍속이다.

ㄴ. (가)의 B는 태풍의 중심으로, 태풍의 눈에 위치하므로 약한 하강 기류가 나타난다.

**바로알기** ㄷ. (가)에서 태풍 중심의 동쪽은 서쪽보다 적란운이 두껍게 발달하고 풍속이 빠르므로 태풍 중심의 동쪽은 위험 반원, 서쪽은 안전 반원이다. 따라서 (가)에서 서쪽의 A는 안전 반원, 동쪽의 C는 위험 반원에 속한다.

**330** 태풍이 해수면 위에 있을 때 낮은 중심 기압과 강한 바람 때문에 해수면의 높이가 변한다. 기압의 영향만 고려할 때 해수면의 높이는 기압이 낮을수록 높으므로 태풍의 중심인 B 해역이 C 해역보다 해수면의 높이가 높다.

**331**

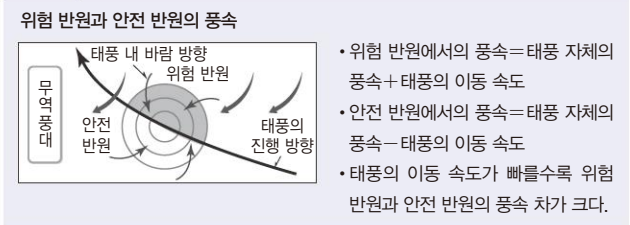


ㄴ. 풍속이 40 m/s로 가장 빠른 B 지역은 태풍 진행 방향의 오른쪽인 위험 반원이고, 풍속이 20 m/s로 가장 느린 C 지역은 태풍 진행 방향의 왼쪽인 안전 반원이다. 태풍은 A 지역 방향인 북서쪽으로 이동하고 있으므로 무역풍의 영향을 받고 있는 것이다.

**바로알기** ㄱ. B 지역의 풍속 40 m/s는 태풍 진행 방향과 태풍 내 바람의 방향이 같아 태풍의 이동 속도와 태풍의 풍속이 합쳐진 것이고, C 지역의 풍속 20 m/s는 태풍 진행 방향과 태풍 내 바람의 방향이 반대여서 태풍의 풍속에서 태풍의 이동 속도가 빠진 것이다. 또한, 태풍 진행 방향과 수직 방향으로 바람이 부는 A와 D 지역의 풍속 30 m/s는 태풍의 풍속과 같다. 따라서 태풍의 풍속은 30 m/s이고, 태풍의 이동 속도는 10 m/s이다.

ㄷ. 북반구의 저기압 주변에서 바람은 시계 반대 방향으로 불어 들어간다. 태풍은 열대 저기압이므로 B 지역에서는 동풍 계열의 바람이 태풍의 중심부로 불어 들어간다.

**개념 보충**



**332** (가) 일기도에서 A는 중위도의 온대 지방에서 형성되어 전선을 동반하며 편서풍의 영향으로 서쪽에서 동쪽으로 이동하는 온대 저기압이고, B는 위도 5°~25°인 열대 해상에서 발생하여 북상하는 열대 저기압인 태풍이다.

**모범 답안** A는 온대 저기압, B는 열대 저기압(태풍)이다. 일기도 상에서 온대 저기압은 등압선이 원형이 아니고 전선을 동반하지만 열대 저기압은 등압선이 원형이고 등압선 간격이 조밀하며, 전선을 동반하지 않는다.

**333** ㄱ. (나)는 태풍의 연직 구조를 나타낸 것으로, (가)의 B에 해당한다.

**바로알기** ㄴ. (나) 태풍의 연직 구조에서 ㉠ 지역은 태풍의 중심으로, 태풍의 눈이 위치하여 약한 하강 기류가 나타나 비교적 날씨가 맑고 풍속이 느리다.

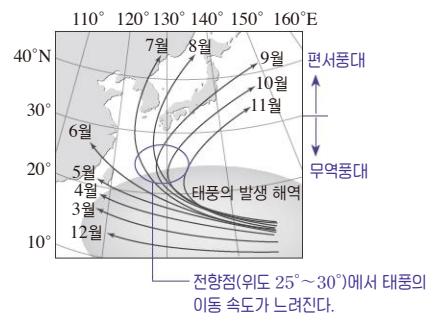
ㄷ. (나) 태풍의 연직 구조에서 태풍의 중심인 ㉠에서는 풍속이 느리고, 태풍의 눈벽인 ㉡에서 풍속이 가장 빠르며, ㉢에서는 풍속이 ㉠보다 느리다.

**334** 태풍 진행 방향의 오른쪽 반원은 태풍 내 풍향과 태풍의 이동 방향이 같아서 풍속이 빠른 위험 반원이고, 태풍 진행 방향의 왼쪽 반원은 태풍 내 풍향과 태풍의 이동 방향이 반대이므로 풍속이 상대적으로 느린 안전 반원이다. 따라서 무역풍대와 편서풍대에서 태풍 진행 방향의 오른쪽에 위치한 B와 C는 위험 반원이고, 태풍 진행 방향의 왼쪽에 위치한 A와 D는 안전 반원이다.

**335** 태풍은 수증기가 응결하면서 방출하는 숨은열(응결열)을 에너지원으로 하기 때문에 수온이 높아 수증기의 증발이 잘 일어나는 열대 해상에서 태풍이 잘 발생한다. 적도 지역은 지구 자전의 효과(전향력)가 약하기 때문에 태풍은 주로 북위 5°~25° 사이의 표층 수온이 27°C 이상인 열대 해상에서 발생한다.

**모범 답안** 북위 25° 이상인 해역은 수온이 낮아 수증기의 공급이 충분하지 않기 때문에 태풍의 에너지원을 얻기 어려우므로 태풍이 발생하기 어렵다.

**336**



ㄴ. 태풍은 발생 해역에서 일반적으로 위도 25°N~30°N 부근까지는 무역풍의 영향으로 북서쪽으로 이동하다가 이후부터는 편서풍의 영향을 받아 북동쪽으로 방향을 바꾸어 이동하면서 우리나라에 영향을 준다. 따라서 우리나라에 영향을 주는 태풍의 이동 경로는 무역풍과 편서풍의 영향을 모두 받는다.

ㄷ. 태풍이 진로를 바꾸는 위치를 전향점이라고 하는데, 위도 25°N~30°N이 이에 해당한다. 태풍의 이동 속도는 전향점 부근에서 느리고, 전향점을 지난 후에는 태풍의 진행 방향과 편서풍의 방향이 비슷하여 이동 속도가 대체로 빨라진다.

**바로알기** ㄱ. 태풍의 이동 경로가 10월보다 7월에 더 북서쪽으로 치우친 것으로 보아 7월에 북태평양 고기압의 영향을 더 크게 받은 것이다. 따라서 북태평양 고기압의 세력은 7월보다 10월에 더 약하다.

**337** 태풍의 세력이 유지되려면 에너지원이 되는 열과 수증기의 공급이 지속적으로 이루어져야 한다. 태풍이 이동하다가 육지에 상륙하면 수증기의 공급이 줄어들고 지표면과 마찰력이 작용하기 때문에 태풍의 세력이 약해진다. 또한, 태풍이 수온이 낮은 해역을 통과할 때에도 수증기와 열을 충분히 공급받기 어려우므로 세력이 약해진다.

**모범 답안** 태풍이 육지에 상륙하면 수증기의 공급이 거의 없고 지표면과 마찰 때문에 태풍의 세력이 약해지다가 소멸한다. 태풍이 찬 바다를 만나면 열과 수증기의 공급이 줄어들기 때문에 태풍의 세력이 약해지다가 소멸한다.



**338** ㄴ. 태풍 진행 방향의 오른쪽 반원을 위험 반원, 왼쪽 반원을 안전 반원이라고 한다. 12일 0시~21시 동안 제주도는 태풍 진행 방향의 오른쪽에 위치하므로 위험 반원에 위치하고 있었다.

ㄷ. 태풍은 열대 저기압이므로 중심 기압이 낮을수록 세력이 강하다. 12일 0시 이후 태풍이 육지에 상륙하면서 수증기 공급이 줄어들어 태풍의 세력이 약해졌으므로 중심 기압은 높아졌을 것이다.

**바로알기** ㄱ. 이 태풍은 8일에 북서쪽으로 이동하고 있었으므로 무역풍의 영향을 받았다.

ㄹ. 태풍이 황해를 지나가는 동안 서울은 태풍 진행 방향의 오른쪽인 위험 반원에 속해 있었고, 위험 반원에서는 풍향이 시계 방향으로 변한다. 풍향이 시계 반대 방향으로 변하는 곳은 태풍 진행 방향의 왼쪽에 위치한 안전 반원이다.

**339** ㄱ. a 지역은 태풍 이동 경로의 왼쪽인 안전 반원, b 지역은 태풍 이동 경로의 오른쪽인 위험 반원에 속한다. 따라서 a 지역보다 b 지역에서 풍속이 빠르다.

ㄷ. 태풍이 육지인 우리나라를 지나가는 동안 에너지원이 되는 수증기의 공급이 줄어들어 세력이 약해진다.

**바로알기** ㄴ. 관측소에서 관측한 풍향을 보면 시간이 지나면서 풍향이 시계 방향으로 변하고 있다. 따라서 관측소는 태풍 이동 경로의 오른쪽인 b에 위치하고 있다.

**340** ㄴ. 태풍은 열대 저기압이므로 중심 기압이 낮을수록 세력이 강하다. (나)에서 7일경에 중심 기압이 가장 낮고, 최대 풍속이 가장 큰 것으로 보아 이때 세력이 가장 강했다.

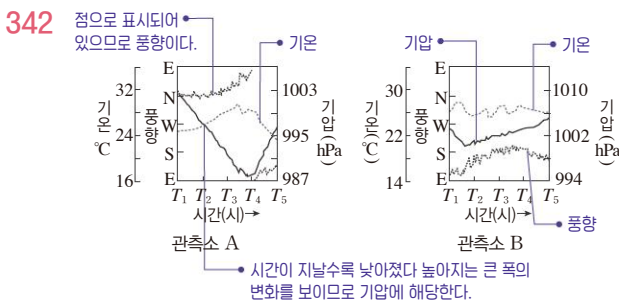
ㄷ. 태풍이 통과하는 동안 태풍 진행 방향의 왼쪽에 위치한 지역에서는 풍향이 시계 반대 방향으로 변하고, 태풍 진행 방향의 오른쪽에 위치한 지역에서는 풍향이 시계 방향으로 변한다. 태풍이 대한 해협을 통과할 때 부산은 태풍 진행 방향의 왼쪽에 위치해 있었다. 따라서 부산의 풍향은 시계 반대 방향으로 변했다.

**바로알기** ㄱ. 4일 12시 발생 당시 이 태풍의 위치는 위도 20°보다 낮은 위도이므로 무역풍대이다.

**341** ㄱ. 6월 30일부터 7월 2일까지 태풍의 중심 경도가 129.8°E → 127.4°E → 127.1°E로 변하고 있으므로 서쪽 방향으로 이동한 것이다. 따라서 이 태풍은 7월 1일 9시에는 무역풍의 영향을 받으며 이동하였다.

ㄴ. 태풍의 중심 기압은 7월 1일 9시에 985 hPa, 7월 2일 9시에 975 hPa로 7월 2일 9시에 중심 기압이 더 낮았다. 따라서 태풍의 세력은 7월 2일 9시에 더 강해졌다.

**바로알기** ㄷ. 관측소의 위치는 138.5°E로 태풍 진행 방향의 동쪽(오른쪽)에 위치한다. 따라서 태풍이 진행할 때 관측소에서 측정한 풍향은 시계 방향으로 변했을 것이다.



ㄷ.  $T_4 \sim T_5$  동안 A와 B 지역의 기온은 모두 하강했다.

**바로알기** ㄱ. 관측 기간 동안 관측소 A의 풍향은 북풍(N) → 북동풍(NE) → 동풍(E) → 남동풍(SE)으로 시계 방향으로 변했다. 따라서 관측소 A는 태풍 이동 경로의 오른쪽에 위치한다.

ㄴ. 관측 기간 동안 관측소 B의 풍향은 동풍(E) → 남동풍(SE) → 남풍(S) → 남동풍(SE)으로 변했다.

**343** ㄱ. (나)에서 풍향은 북동풍(NE) → 동풍(E) → 남동풍(SE) → 남풍(S) → 남서풍(SW) → 서풍(W) → 북서풍(NW)으로 시계 방향으로 변하였으므로 관측소는 태풍 이동 경로의 오른쪽에 위치한다. 따라서 (나)는 태풍 A의 영향을 받을 때 ㉠ 지역에서의 기상 관측 자료이다.

ㄴ. (나)에서 기압이 낮아질수록 풍속이 빨라져 반비례 관계를 나타낸다. 11시경에 기압이 가장 낮았고, 풍속은 가장 빨랐다.

**바로알기** ㄷ. 태풍 B의 영향을 받을 때 ㉡ 지역은 태풍 이동 경로의 왼쪽인 안전 반원에 속한다.

**344**



뇌우는 (가) 적운 단계 → (나) 성숙 단계 → (다) 소멸 단계를 거치며 발달하고 소멸한다.

**345** 뇌우는 적운 단계 → 성숙 단계 → 소멸 단계를 거친다. (나) 적운 단계에서는 강한 상승 기류로 적운이 성장한다. → (다) 성숙 단계에서는 상승 기류와 하강 기류가 함께 존재하고, 돌풍, 천둥, 번개, 소나기, 우박 등이 나타난다. → (가) 소멸 단계에서는 하강 기류만 나타나다가 구름이 소멸한다.

**346** ㄱ. (다)는 상승 기류와 하강 기류가 함께 존재하는 성숙 단계이다. 이때 돌풍, 소나기, 우박, 번개 등이 동반되어 나타난다.

**바로알기** ㄴ. (다) 성숙 단계에서는 상승 기류와 하강 기류가 함께 나타난다.

ㄷ. 뇌우는 일반적으로 규모가 작고, 발달 과정 전 단계가 나타나는 시간이 보통 1시간 이내로 짧기 때문에 예측하기 어렵다.

**347** ⑤ 성숙 단계에서는 상승 기류와 하강 기류가 모두 나타나고, 돌풍, 소나기, 우박, 번개 등이 동반되어 나타난다.

⑧ 뇌우는 여름철 강한 햇빛으로 국지적 가열이 일어나 강한 상승 기류가 형성될 때, 한랭 전선면에서 공기가 빠르게 상승할 때, 온대 저기압이나 태풍에서 강한 상승 기류가 형성될 때와 같이 대기가 불안정할 때 잘 발생한다.

**바로알기** ① (가) 단계는 하강 기류만 존재하는 소멸 단계이다. 강수량은 (다) 성숙 단계에서 가장 많다.

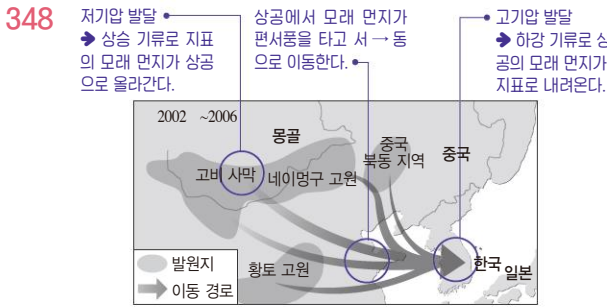
② (나) 단계는 뇌우가 형성되기 시작하는 적운 단계이다. 뇌우가 소멸되는 단계는 (가)이다.

③ (다)는 성숙 단계이다. 적운 단계는 (나)이다.

④ 낙뢰 위험이 가장 큰 단계는 성숙 단계인 (다)이다.

⑥ 뇌우는 한랭 전선에서 찬 공기 위로 따뜻한 공기가 빠르게 상승할 때 발생할 수 있다.

⑦ 뇌우는 여름철 강한 햇빛으로 국지적으로 가열된 공기가 빠르게 상승할 때 발생할 수 있다.



ㄴ. 황사는 중국이나 몽골의 건조 지역에서 발생한 모래 먼지가 상층 바람을 타고 이동하였다가 서서히 지표로 내려오는 현상이다. 따라서 황사의 발원지인 중국과 몽골의 사막화가 진행될수록 황사의 발생 빈도는 증가할 것이다.

**바로알기** ㄱ. 황사는 서풍 계열의 바람을 타고 동쪽으로 이동해 우리나라에 영향을 준다.

ㄷ. 고비 사막에 저기압이 형성되면 모래 먼지가 상승 기류를 타고 상공으로 올라가고, 이후 편서풍을 타고 동쪽으로 이동한다. 이때 우리나라에 고기압이 위치하면 모래 먼지가 하강 기류를 타고 지표로 내려오기 때문에 황사가 잘 발생한다.

**349** ㄱ. (가)에서 황사의 발원지인 중국이나 몽골 지역의 모래 먼지가 편서풍을 타고 동쪽으로 이동해 우리나라에 황사가 나타난다.

ㄴ. (나)에서 황사 발생 일수는 3월~5월인 봄철에 가장 많다. 황사는 겨울철에 얼어 있던 발원지의 건조한 토양이 봄철에 조금씩 녹아 잘게 부서지면서 잘 발생한다.

**바로알기** ㄷ. 12월~2월에 해당하는 겨울철의 황사 일수는 서울보다 부산이 적다.

**350** ㄱ. 흙가루, 흙비 등의 표현으로 보아 황사에 대한 기록임을 알 수 있다.

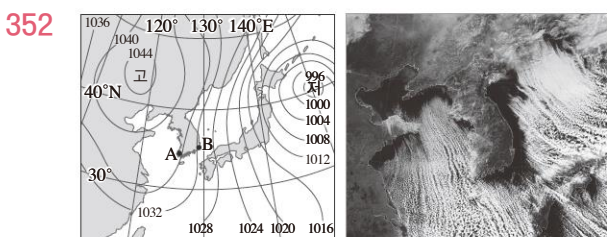
ㄴ. 황사는 주로 봄철에 발생하는 현상이고, 우리나라 봄철에 영향을 주는 기단은 양쯔강 기단이다.

**바로알기** ㄷ. 우리나라에 상승 기류가 형성되면 상공에 있던 모래 먼지가 지표로 내려오기 어렵기 때문에 피해가 적을 것이다. 황사 피해는 우리나라에 하강 기류가 나타나는 고기압이 형성될 때 크다.

**351** ㄴ. (나) 뇌우는 천둥, 번개, 소나기, 우박 등을 동반하여 짧은 시간 동안 큰 피해를 줄 수 있다.

ㄷ. 천둥, 번개, 소나기, 우박 등의 현상은 뇌우의 발달 과정 중 성숙 단계에서 주로 나타난다.

**바로알기** ㄱ. (나) 기상 현상은 뇌우를 나타낸 것이다. 뇌우는 한랭 전선에서 찬 공기 위로 따뜻한 공기가 빠르게 상승하여 적란운이 형성될 때 잘 발생하므로 (가)의 A 지역에서 나타난다.



(가)는 우리나라가 차고 건조한 시베리아 기단의 영향을 받는 겨울철의 일기도이고, (나)는 이날 시베리아 기단이 확장하여 황해를 지날 때 기단의 변질로 서해안에 구름이 형성된 모습이다.

ㄱ. 이날 우리나라의 북서쪽에 고기압이 발달해 있고, 우리나라 주변에 분포하는 등압선 간격이 조밀한 것으로 보아 우리나라에는 북서풍이 강하게 불었을 것이다.

ㄷ. (나) 구름 사진에서 A 지역이 B 지역보다 구름이 많이 분포하는 것으로 보아 B 지역보다 A 지역에서 눈이 많이 내렸을 것이다.

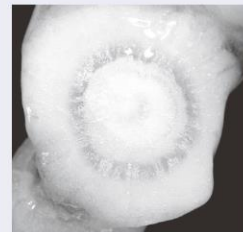
**바로알기** ㄴ. 시베리아 기단이 확장하여 황해를 지나는 동안 수증기를 공급받고 하층이 가열되어 점차 불안정해지고 상승 기류가 발달하므로 우리나라 서해안 지역(A)에는 적운형 구름이 형성되어 폭설이 내릴 수 있다.

**353** 적란운은 두껍게 형성되어 구름 속에 물방울, 과냉각 물방울, 빙정이 모두 존재하고, 과냉각 물방울과 빙정이 함께 존재하는 구간이 있다. 과냉각 물방울과 빙정이 함께 존재하는 구간(A)에서 과냉각 물방울과 빙정의 포화 수증기압 차이로 과냉각 물방울에서 증발한 수증기가 승화되어 빙정 표면에 얼어붙으면서 빙정이 커진다. 커진 빙정은 0℃보다 기온이 높은 곳으로 하강하면 표면부터 녹기 시작하는데, 이때 강한 상승 기류를 만나면 다시 0℃보다 기온이 낮은 곳으로 올라가 얼어붙고, 수증기가 달라붙어 더욱 커진다. 이렇게 하강과 상승을 반복하면서 우박으로 성장하고, 상승 기류가 밀어 올리지 못할 정도로 커진 우박은 지상으로 떨어진다.

**모범 답안** A 구간에는 과냉각 물방울과 빙정이 공존하는데 과냉각 물방울과 빙정의 포화 수증기압 차이로 과냉각 물방울에서 증발한 수증기가 승화되어 빙정 표면에 얼어붙으면서 빙정이 커진다.

#### 개념 보충

##### 우박의 단면 모습



- 우박의 단면은 핵을 중심으로 투명한 얼음층과 불투명한 얼음층이 번갈아 둘러싸고 있는 층상 구조로 이루어져 있다.
- 보통 지름이 1cm 미만이지만 이보다 훨씬 큰 것도 있다.

**354** ㄷ. 대기가 불안정할 때 강한 상승 기류가 나타나 적란운이 잘 발생한다. 따라서 우박과 뇌우 모두 대기가 불안정할 때 잘 나타난다.

ㄴ. (나)에서 A는 뇌우의 발달 과정 중 소멸 단계, B는 성숙 단계를 나타낸다. 강한 상승 기류로 하강과 상승을 반복하면서 눈 결정 주위에 차가운 물방울이 얼어붙어 무거워지면 땅으로 떨어지는 얼음 덩어리인 우박은 주로 성숙 단계(B)에서 발생한다.

**바로알기** ㄱ. 북태평양 고기압의 영향을 받는 6월~8월에는 우박의 발생 일수가 비교적 적다.

ㄴ. 뇌우는 적은 단계 → 성숙 단계(B) → 소멸 단계(A)를 거치며 발달한다. 따라서 A보다 B가 먼저 나타난다.

**355** ① 뇌우, 국지성 호우, 폭설, 강풍, 우박, 황사 등과 같이 일상 생활에 큰 피해를 주는 기상 현상을 악기상이라고 한다. 이러한 악기상은 규모가 작고 짧은 시간 동안 발생하는 경우가 많기 때문에 정확하게 예보하기 어렵다.

④ 태풍의 등압선은 동심원 모양이고, 등압선 간격이 조밀하며, 온대 저기압과 달리 전선을 동반하지 않는다.

⑤ 10분 동안 평균 풍속이 14 m/s 이상인 강한 바람을 강풍이라고 한다. 강풍은 주로 겨울철에 시베리아 고기압의 영향을 받거나 여름철에 태풍의 영향을 받을 때 나타난다.

⑥ 국지성 호우는 일반적으로 한 시간에 30 mm 이상 또는 하루에 80 mm 이상의 비가 내리거나 연 강수량의 10 %에 해당하는 비가 내리는 경우를 말한다.

⑦ 폭설은 짧은 시간 동안 많은 눈이 내리는 현상으로, 시간당 1 cm ~ 3 cm 이상 또는 24시간 이내에 5 cm ~ 20 cm 이상의 눈이 내리는 현상이다. 우리나라에서 폭설은 겨울철에 발달한 저기압의 영향으로 발생하거나 시베리아 고기압의 확장으로 찬 공기가 상대적으로 따뜻한 황해를 지나면서 열과 수증기를 공급받아 발생한다.

⑧ 우박은 구름 속 얼음 덩어리가 상승과 하강을 반복하며 크기가 커져 무거워지면 지표로 떨어지는 것이다. 적란운에서 잘 발생한다.

**바로알기 | ②** 황사는 중국, 몽골의 사막 지대나 황토 지대에서 바람에 날려 대기에 퍼진 다량의 모래 먼지가 상층의 편서풍을 타고 이동하여 우리나라에서 서서히 지표로 내려오는 현상이다.

③ 뇌우는 강한 상승 기류로 적란운이 발달하면서 천둥, 번개와 함께 소나기가 내리는 현상이다.

**356** ㄱ. 약기상 중 (가)는 눈이 많이 내린 폭설, (나)는 모래 먼지가 우리나라로 불어오는 황사이다.

ㄴ. 시베리아 고기압이 확장되어 따뜻한 황해를 지날 때 하층부가 가열되어 대기가 불안정해지고 수증기를 공급받으면 두꺼운 적운형 구름이 형성되어 우리나라 서해안에 폭설이 내릴 수 있다.

ㄷ. 황사는 주로 봄철에 중국이나 몽골의 사막 지대에서 발생하여 편서풍을 타고 이동해 우리나라에 영향을 준다.

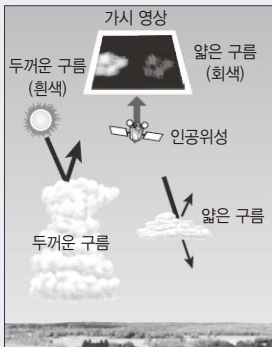
**357** ㄱ. 태풍에 동반된 비구름은 짧은 시간 동안에 많은 비를 내릴 수 있으므로 국지성 호우가 발생할 수 있다.

ㄴ. 가시 영상은 햇빛이 없는 밤에는 촬영할 수 없고, 적외 영상은 햇빛이 없는 밤에도 촬영할 수 있다. (가)~(다) 영상은 같은 시각이고, (나) 가시 영상에서 구름이 나타나는 것으로 보아 낮에 촬영한 것이다. ㄷ. (가) 레이더 영상에서 A 지역에서는 집중 호우가 발생하고, (나)와 (다)의 A 지역에서는 구름이 나타나므로 A 지역의 대기는 불안정함을 알 수 있다.

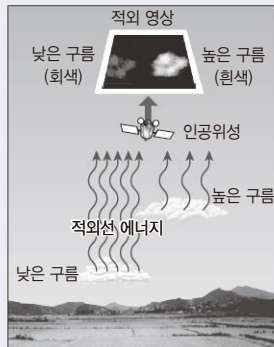
**바로알기 | ㄴ.** 적외 영상에서 구름 정상부의 고도가 높을수록 밝게 나타난다. (다) 적외 영상에서 A 지역의 구름은 B 지역의 구름보다 밝으므로 구름 정상부의 고도는 A 지역이 B 지역보다 높다.

#### 개념 보충

##### 가시 영상과 적외 영상의 이용 원리



가시 영상에서 밝다. → 구름의 두께가 두껍다.



적외 영상에서 밝다. → 구름의 고도가 높다.

## 13 해수의 성질

### 빈출 자료 보기

95쪽

**358** (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ (5) ○ (6) ○

**359** (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ (5) ○ (6) ×

**358** (1) 대기에서 해수의 표층으로 산소가 녹아 들어가고, 식물성 플랑크톤의 광합성으로 산소가 방출되기 때문에 용존 산소량은 표층에서 가장 높다. 식물성 플랑크톤이 광합성으로 이산화 탄소를 소비하므로 용존 이산화 탄소량은 표층에서 적고, 깊어질수록 점점 많아진다. 따라서 A는 용존 산소량, B는 용존 이산화 탄소량이다.

(4) 심해층에는 극 해역의 산소가 풍부한 표층 해수가 침강하여 유입되므로 용존 산소량(A)이 증가한다.

(5) 표층에서 용존 산소량(A)이 높은 것은 식물성 플랑크톤이 광합성으로 산소를 만들고, 대기의 산소가 표층에 녹아들기 때문이다.

(6) 이산화 탄소는 대기에서 해수면으로 용해되지만, 해수의 표층에서는 식물성 플랑크톤의 광합성이 활발히 일어나 소비되기 때문에 용존 이산화 탄소량(B)이 낮다.

**바로알기 | (2)** 용존 산소량은 최대 약 6 mL/L까지 분포하고, 용존 이산화 탄소량은 약 44 mL/L ~ 52 mL/L까지 분포한다. 따라서 해수에는 산소가 이산화 탄소보다 적게 녹아 있다.

(3) 해수에서 기체의 용해도는 수온이 낮을수록, 염분이 낮을수록, 수압이 클수록 증가한다.

**359** (1) 수온 염분도에서 해수의 밀도는 오른쪽 아래로 갈수록 증가한다. 즉, 염분이 높을수록, 수온이 낮을수록 해수의 밀도는 커진다.

(4) B와 C는 1.026 g/cm<sup>3</sup>인 등밀도선에 놓여 있으므로 밀도가 같다.

(5) 하천수는 염분이 매우 낮으므로 C에 하천수가 유입되면 염분이 낮아져 밀도가 작아진다.

**바로알기 | (2)** A의 밀도는 약 1.0225 g/cm<sup>3</sup>이고, B의 밀도는 1.026 g/cm<sup>3</sup>이다. 따라서 A는 B보다 밀도가 작다.

(3) A는 B보다 수온은 높고, 염분은 같다.

(6) 두 해수를 같은 양만큼 섞으면 수온과 염분이 두 해수의 평균값이 되므로 밀도는 1.026 g/cm<sup>3</sup>보다 조금 더 커진다.

### 난이도별 필수 기출

96 ~ 101쪽

<b>360</b> ②, ③	<b>361</b> A: 30, B: 33, C: 31	<b>362</b> ④
<b>363</b> ①, ⑥	<b>364</b> ②	<b>365</b> ③
<b>367</b> 해설 참조	<b>368</b> 해설 참조	<b>369</b> ②
<b>370</b> 해설 참조	<b>371</b> ③	<b>372</b> ②
<b>374</b> ⑤	<b>375</b> ①	<b>376</b> ③
<b>380</b> 해설 참조	<b>381</b> ②	<b>382</b> ①
<b>384</b> ②, ④	<b>385</b> ⑤	<b>386</b> ⑤
	<b>387</b> ③	<b>388</b> ④

**360** ① 해수에는 다양한 물질이 녹아 있는데, 이 물질을 염류라고 한다. 염분은 해수 1 kg 속에 녹아 있는 염류의 총량을 g 수로 나타낸 것이다.



④ 해양마다 염분은 다르지만 해수에 녹아 있는 주요 성분의 상대적인 비율은 모든 해양에서 거의 일정한데, 이를 염분비 일정 법칙이라고 한다.

⑤ 염분비 일정 법칙에 따라 어느 해양에서 한 가지 염류의 양을 알면 그 해양의 염분을 알 수 있다.

⑥ 강수량이 증발량보다 많은 해양의 염분은 낮고, 강수량이 증발량보다 적은 해양의 염분은 높다. 담수가 유입되는 해양은 염분이 낮다. 빙하가 녹으면 염분이 낮아지고, 결빙이 일어나면 염분이 높아진다.

**바로알기 |** ② 전 세계 해수의 평균 염분은 약 35 psu이다.

③ 해수 속에 가장 많이 녹아 있는 이온은  $\text{Cl}^-$ 이다.

**361** 북극해의 해수 1 kg 속에 녹아 있는 염류의 총량(A)은 염화 나트륨 23.3 g + 염화 마그네슘 3.3 g + 황산 마그네슘 1.4 g + 기타 2.0 g = 30 g이다. 북극해, 동해, 홍해의 해수 1 kg 속에 녹아 있는 염류의 총량은 다르지만 각 해양의 해수에 녹아 있는 주요 염류의 상대적인 비율은 일정하다. 따라서 북극해와 동해에서  $30.0 \text{ g} : 23.3 \text{ g} = B : 25.6 \text{ g}$ 이 성립하므로 B는 33 g이다. 또한 북극해와 홍해에서도  $30.0 \text{ g} : 23.3 \text{ g} = 40 \text{ g} : C$ 가 성립하므로 C는 31 g이다.

**362** ㄱ. A 해수 1 kg에 포함된 주요 이온의 양을 모두 더하면 30 psu이다. 따라서 A 해수의 염분은 30 psu이다.

ㄴ. 모든 해양에서 해수에 녹아 있는 염류의 상대적인 비율은 일정하므로 주요 이온의 상대비도 일정하다.

**바로알기 |** ㄴ. A와 B 해수를 각각 1 kg씩 섞은 해수 2 kg에는  $\text{Na}^+$ 이  $9.1 \text{ g} + 12.1 \text{ g} = 21.2 \text{ g}$  들어 있다. 따라서 A와 B 해수를 같은 양으로 혼합한 해수 1 kg에는  $\text{Na}^+$ 이 10.6 g 들어 있다.

**363** ① 표층 염분은 (증발량-강수량) 값이 큰 위도  $30^\circ$  부근에서 가장 높다.

② 대체로 (증발량-강수량) 값이 크면 표층 염분이 높고, (증발량-강수량) 값이 작으면 표층 염분이 낮다. 따라서 표층 염분과 (증발량-강수량) 값은 비슷한 경향을 보인다.

**바로알기 |** ② 강수량은 염분을 낮추는 요인이다. 적도 해역은 저압대가 위치하여 강수량이 많으므로 표층 염분이 낮다.

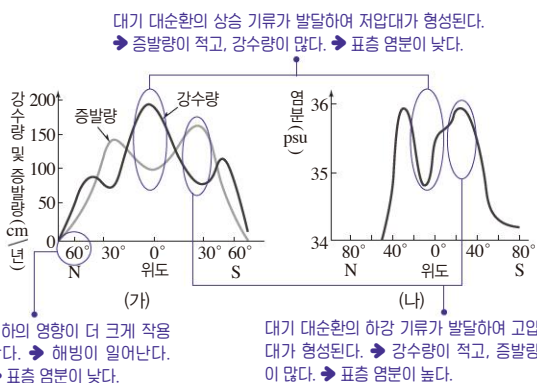
③ 극 해역에서 해수의 결빙이 일어나면 물만 얼기 때문에 해수의 결빙은 염분을 높이는 요인이다.

④ 중위도 해역은 적도 해역보다 (증발량-강수량) 값이 더 크다.

⑤ 적도 해역과 위도  $60^\circ$  부근 해역은 (증발량-강수량) 값이 0보다 작다. 따라서 증발량보다 강수량이 더 많다.

⑦ 중위도 해역은 적도 해역보다 표층 염분이 높다.

**364**



ㄴ. 증발량이 강수량보다 많은 위도  $30^\circ$  부근에서 표층 염분이 높게 나타난다.

**바로알기 |** ㄱ. 적도 해역은 저압대가 분포하므로 강수량이 많다.

ㄴ. 표층 염분 분포는 대체로 (증발량-강수량) 분포와 일치하지만 극 해역에서는 빙하의 영향이 더 크게 작용하여 (증발량-강수량) 값과 일치하지 않는다.

**365** ㄱ. 위도  $30^\circ$  부근의 중위도 해역은 (증발량-강수량) 값이 크기 때문에 다른 위도에 비하여 표층 염분이 높다. 이는 위도  $30^\circ$  부근에서 증발량이 많다는 것이므로 육지에는 사막이 발달할 수 있다.

ㄴ. 담수의 유입은 염분을 낮추는 요인이다. 대양의 연안 해역은 육지로부터 유입되는 담수의 양이 많으므로 대양의 중앙 해역보다 표층 염분이 낮다.

**바로알기 |** ㄴ. 대서양 중앙 해역은 태평양 중앙 해역보다 표층 염분이 더 높다. 그러나 염분비 일정 법칙에 따라 해수에 녹아 있는 주요 염류의 상대적인 비율은 거의 일정하므로 대서양 중앙 해역과 태평양 중앙 해역의 해수에 들어 있는  $\text{Cl}^-$  비율은 같다.

**366** ㄴ. 황해의 표층 염분은 2월에 약 31.0 psu ~ 33.0 psu이고, 8월에 약 30.0 psu ~ 32.0 psu로 8월이 2월보다 낮다. 이는 2월보다 8월에 강수량이 많아져 강물의 유입량이 많기 때문이다.

**바로알기 |** ㄱ. 육지 부근의 연안 해역은 강물(담수)의 유입으로 염분이 낮다. 따라서 표층 염분은 육지에서 멀어질수록 대체로 높아진다.

ㄴ. 황해는 대륙에 둘러싸여 있어 동해보다 강물의 유입량이 많다. 따라서 2월과 8월 모두 동해보다 황해의 표층 염분이 낮다.

**367** 이산화 탄소는 대기에서 해수면으로 용해되지만, 해수의 표층에서는 식물성 플랑크톤 등 해양 생물이 광합성을 할 때 소비되기 때문에 이산화 탄소의 농도가 낮다. 이산화 탄소의 농도는 수심이 깊어질수록 증가하는데, 이는 광합성량이 줄어들고, 낮은 수온과 높은 수압으로 기체의 용해도가 커지기 때문이다.

**모범 답안** 해양 생물이 표층에 녹아 있는 이산화 탄소를 소비하여 광합성을 하기 때문이다.

**368** 대기에서 표층으로 산소가 녹아 들어가고, 해양 생물의 광합성으로 산소가 방출되어 표층에는 용존 산소량이 많다. 이후 용존 산소량은 수심이 깊어질수록 적어지다가 심해에서는 산소가 많이 녹아 있는 극 해역의 표층 해수가 침강하여 용존 산소량이 증가한다.

**모범 답안** 산소가 많이 녹아 있는 극 해역의 표층 해수가 침강하여 심해로 유입되기 때문이다.

**369** ㄱ. 표층에 많은 A는 산소, 표층에 적은 B는 이산화 탄소를 나타낸다.

ㄴ. 심해층의 산소(A)는 극 해역의 산소가 많이 녹아 있는 차가운 표층 해수가 침강하여 공급된 것이다.

**바로알기 |** ㄴ. 표층에서 이산화 탄소(B)의 농도가 낮은 것은 해양 생물의 광합성 과정에서 이산화 탄소를 소비하기 때문이다.

ㄴ. 산소(A)의 농도는 약 1 ppm ~ 8 ppm 범위에 있고, 이산화 탄소(B)의 농도는 약 90 ppm ~ 104 ppm 범위에 있다. 따라서 산소(A)가 이산화 탄소(B)보다 용해도가 더 작다.

**370** 표층에는 대기에서 산소(A)가 녹아 들어가고, 해양 생물이 광합성을 하는 과정에서 산소(A)를 방출하기 때문에 다른 수심보다 용존 산소량이 많다. 이에 반해 이산화 탄소(B)는 해양 생물이 광합성을 하는 과정에서 소비되기 때문에 표층에서 적게 나타난다.

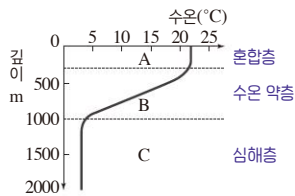
**모범 답안** 대기에서 표층으로 산소(A)가 녹아 들어가기 때문이다. 해양 생물이 광합성을 하여 산소(A)를 방출하기 때문이다.

**371** ㄱ. C 해역의 용존 산소량은 5.0 mL/L 미만이고, D 해역의 용존 산소량은 5.0 mL/L 이상이므로 C 해역이 D 해역에 비해 용존 산소량이 적다. 용존 산소량은 기체의 용해도와 관련이 있고, 기체의 용해도는 수온과 염분이 낮을수록 크다. 따라서 용존 산소량이 적은 C 해역이 D 해역보다 염분이 높을 것이다.

ㄷ. 표층 해수에는 대기에서 녹아 들어가는 산소 때문에 다른 깊이보다 용존 산소량이 많다. 즉, 표층 해수의 용존 산소량은 수권과 기권의 상호 작용에 영향을 받는다.

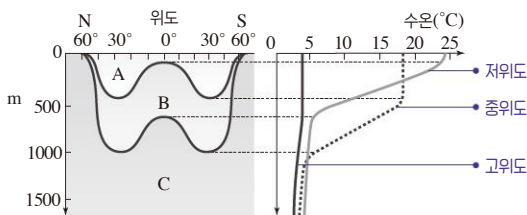
**바로알기** | ㄴ. 용존 산소량은 수온이 낮을수록 증가한다. A 해역은 B 해역보다 위도에 따른 용존 산소량의 변화가 크므로 위도에 따른 표층 수온의 변화는 A 해역이 B 해역보다 크다.

**372**



해수는 깊이에 따른 수온 분포를 기준으로 혼합층(A), 수온 약층(B), 심해층(C)으로 구분한다.

**373**



- ① 태양 복사 에너지는 대부분 혼합층(A)에서 흡수된다.
- ③ 수온 약층(B)은 깊이에 따라 급격히 수온이 낮아지므로 깊이에 따른 수온 변화가 가장 크고 안정한 층이다.
- ④ 수온 약층(B)은 깊어질수록 수온이 낮아지므로 안정하여 혼합층(A)과 심해층(C) 사이의 물질 교환을 차단한다.
- ⑥ 혼합층(A)은 바람의 혼합 작용으로 형성된 층으로, 수온 약층(B)이나 심해층(C)보다 해수의 혼합 작용이 활발하게 일어난다.
- ⑦ 위도 30°N 해역이 적도 해역보다 혼합층(A)의 두께가 두껍다. 혼합층(A)은 바람이 강할수록 두꺼워지므로 위도 30°N 해역이 적도 해역보다 바람이 강하게 부는 것을 알 수 있다.

**바로알기** | ② 혼합층(A)은 바람이 약한 저위도에서 얇고, 바람이 강하게 부는 중위도에서 두껍다.

⑤ 심해층(C)은 수온이 가장 낮고, 연중 온도 변화가 거의 없다.

**374** ㄱ. 해수면에 도달하는 태양 복사 에너지량은 저위도에서 고위도로 갈수록 적어지므로 표층 수온은 저위도에서 고위도로 갈수록 낮아진다. 표층 수온이 A 해역보다 B 해역에서 더 높은 것으로 보아 A 해역이 B 해역보다 더 고위도에 위치한다.

ㄴ. 혼합층은 바람의 혼합 작용으로 형성되므로 바람이 강할수록 혼합층의 두께가 두껍다. A 해역이 B 해역보다 혼합층이 더 두꺼운 것으로 보아 바람의 세기는 A 해역이 B 해역보다 강하다.

ㄷ. 수온 약층은 깊이에 따라 수온이 급격히 낮아지는 층으로, 상부와 하부의 온도 차이가 클수록 잘 발달한 것이다. 따라서 수온 약층은 B 해역이 A 해역보다 뚜렷하게 발달하였다.

**375** ㄱ. 혼합층의 두께가 8월보다 11월에 더 두꺼운 것으로 보아 월평균 풍속은 8월보다 11월에 더 빠르다.

**바로알기** | ㄴ. 월 혼합층의 두께가 7월보다 5월에 더 두꺼우므로 5월보다 7월에 혼합층이 얇게 나타난다.

ㄷ. 수온 약층이 가장 뚜렷하게 발달한 시기는 혼합층과 심해층의 수온 차가 가장 큰 8월이다. 3월에는 깊이에 따른 수온 변화가 나타나지 않는다.

**376** ㄱ. 태양의 등수온선은 대체로 위도와 나란하며 고위도로 갈수록 표층 수온이 낮아진다.

ㄷ. A 해역이 B 해역보다 표층 수온이 높다. 기체의 용해도는 수온이 낮을수록 크므로 A 해역은 B 해역보다 용존 산소량이 적다.

**바로알기** | ㄴ. 수온의 분포는 태양 복사 에너지양에 가장 큰 영향을 받는다. 저위도에서 고위도로 갈수록 태양 복사 에너지양이 적어지기 때문에 고위도로 갈수록 표층 수온은 낮아지며 등수온선은 대체로 위도와 나란한 분포를 보인다.

**377** ㄱ. 2월에서 표층 수온이 가장 높은 바다는 남해이고, 8월에서 표층 수온이 가장 높은 바다도 남해이다. 남해는 난류의 영향을 받아 연중 표층 수온이 높게 나타난다.

ㄴ. 동해는 동한 난류와 북한 한류의 영향을 받는다. 이 때문에 동해는 남북 간의 표층 수온 차이가 가장 크다.

ㄷ. 황해는 수심이 얕아 대륙의 영향을 크게 받기 때문에 표층 수온의 연교차가 가장 크게 나타난다.

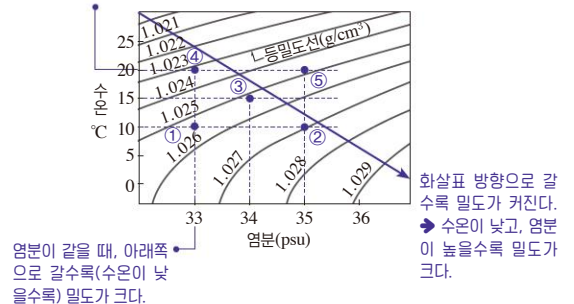
**378** ㄱ. 혼합층과 심해층 사이에 깊이에 따라 수온이 급격히 낮아지는 층이 수온 약층이다. 혼합층의 수온은 저위도에서 가장 높고, 심해층의 수온은 위도에 관계없이 거의 일정하므로 수온 약층은 저위도에서 가장 뚜렷하게 발달한다.

ㄷ. 혼합층에서는 해양 생물의 광합성으로 이산화 탄소가 소비되므로 용존 이산화 탄소의 농도가 낮다.

**바로알기** | ㄴ. 표층의 용존 산소 농도는 약 6 mL/L이고, 용존 이산화 탄소 농도는 약 43.5 mL/L이다. 따라서 표층에서 용존 산소 농도는 용존 이산화 탄소 농도보다 더 낮다.

ㄷ. 약 100 m~1000 m 사이에서 용존 산소 농도가 낮아지는 까닭은 박테리아와 동물 등 생물의 호흡으로 산소가 소비되기 때문이다.

**379** 수온이 같을 때, 오른쪽으로 갈수록 (염분이 높을수록) 밀도가 크다.

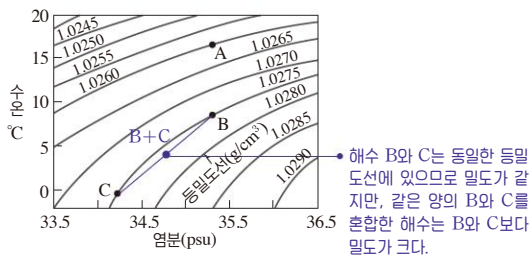


해수의 밀도는 수온이 낮을수록, 염분이 높을수록 크다. 따라서 수온이 가장 낮고(10 °C), 염분이 가장 높은(35 psu) ② 해수의 밀도가 가장 크다.

**380** 해수의 밀도는 주로 수온과 염분에 따라 결정된다. 수온 염분도에서 왼쪽 위로 갈수록 밀도가 감소하고, 오른쪽 아래로 갈수록 밀도가 증가한다. 즉, 해수의 밀도는 수온이 낮을수록, 염분이 높을수록 크다.

**모범 답안** 수온이 낮을수록, 염분이 높을수록 해수의 밀도는 크다.

381



ㄱ. 해수 A의 밀도는  $1.0260 \text{ g/cm}^3$ , 해수 B의 밀도는  $1.0275 \text{ g/cm}^3$ 로 A가 B보다 밀도가 작다.

ㄴ. 해수에서 결빙이 일어날 때는 염분이 증가하므로 해수 C에서 결빙이 일어나면 밀도가 커진다.

**바로알기** | ㄴ. 해수 B는 해수 C보다 수온과 염분이 모두 높다.

ㄷ. 해수 B와 C는 현재 밀도가  $1.0275 \text{ g/cm}^3$ 로 같다. 그러나 해수 B와 C를 같은 양으로 섞으면 수온과 염분이 해수 B와 C의 평균값이 되어 밀도는  $1.0275 \text{ g/cm}^3$ 보다 커진다.

382 ㄱ. 해수의 밀도는 수온이 낮을수록, 염분이 높을수록 크다. A가 C보다 수온은 높고, 염분은 낮으므로 밀도는 A가 C보다 작다.

**바로알기** | ㄴ. A의 염분이 B의 염분보다 낮으므로 해수 1 kg에 녹아 있는 NaCl의 양은 A가 B보다 적다.

ㄷ. A, B, C에서 수온과 염분의 관계성은 나타나지 않는다.

383 ㄱ. 담수인 중국 연안수가 우리나라 근해로 유입되면 표층 염분이 낮아진다. A, B, C 해역 모두 8월에 염분이 가장 낮은 것으로 보아 이 시기에 중국 연안수의 영향을 가장 많이 받는 것을 알 수 있다.

ㄴ. 쿠로시오 해류는 저위도에서 고위도 쪽으로 흐르는 난류이다. B 해역은 약  $15^\circ\text{C} \sim 27^\circ\text{C}$  범위에서 수온이 나타나고, C 해역은 약  $17^\circ\text{C} \sim 29^\circ\text{C}$  범위에서 수온이 나타나므로 B 해역보다 C 해역이 연중 표층 수온이 더 높다. 따라서 B 해역보다 C 해역이 쿠로시오 해류의 영향을 더 많이 받는다.

**바로알기** | ㄴ. A~C 해역에서 밀도가 가장 작은 시기는 8월이고, 밀도가 가장 큰 시기는 2월이다. A~C 해역 중 8월의 밀도는 A와 B 해역에서 동일하게 가장 작고, 2월의 밀도는 B 해역에서 가장 크다. 따라서 2월과 8월의 밀도 변화가 가장 큰 해역은 B이다.

384 ② C-D 구간에서는 밀도가 거의 변하지 않았고, A-B 구간에서는 밀도가 약  $0.0004 \text{ g/cm}^3$  증가했다. 따라서 밀도 변화는 A-B 구간이 C-D 구간보다 크다.

④ 밀도는 수온과 염분에 영향을 받고, A와 D는 염분이 거의 같으며 수온은 A보다 D가 낮다. 따라서 A보다 D에서 밀도가 높은 까닭은 A보다 D의 수온이 낮기 때문이다.

**바로알기** | ① 해수의 연직 혼합이 일어나면 수온과 염분이 비슷해져 밀도도 거의 일정하다. B-C 구간에서는 수심이 깊어짐에 따라 수온이 거의 일정하지만 밀도가 증가하므로 해수의 연직 운동이 활발하지 않은 것이다.

③ B-C 구간에서 수온은 거의 일정하고 염분이 증가함에 따라 밀도가 증가한다. 따라서 이 구간에서 밀도 변화는 수온보다 염분의 영향을 크게 받는다.

⑤ 수온 약층은 수심이 깊어짐에 따라 수온이 급격히 낮아지는 층이다. 이 해역에서 수온 약층은 수온 변화가 큰 A-B 구간에서 형성되었을 것이다.

⑥ 이 해역에서 밀도는 수심이 깊어짐에 따라 대체로 증가하는 경향을 보이지만 일정하게 증가하지는 않는다.

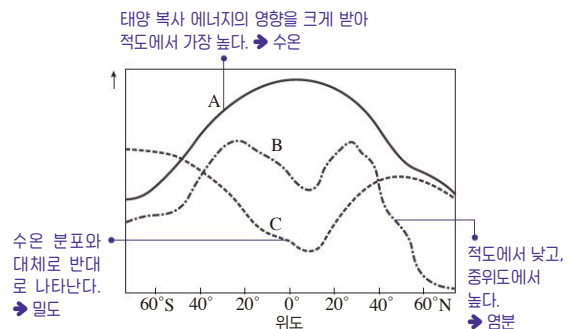
385

ㄴ. 수심 300 m 이상에서는 수온이 거의 변하지 않는다. 따라서 수심 300 m 이상에서 해수의 밀도는 수온보다 염분의 영향을 많이 받는다.

ㄷ. 해수면에서 A 해역의 밀도는  $1.0248 \text{ g/cm}^3$ , B 해역의 밀도는  $1.0255 \text{ g/cm}^3$ 로 차이가 있다. 그러나 수심이 깊어질수록 밀도 차가 점점 작아져서 수심 400 m에서는 A와 B 해역 모두 약  $1.028 \text{ g/cm}^3$ 로 밀도가 비슷하다. 따라서 두 해역의 밀도 차는 수심이 깊어질수록 작아진다.

**바로알기** | ㄱ. 해수면에서 수심 50 m까지 밀도의 차이는 A 해역이 B 해역보다 크다. 따라서 이 구간에서 해수의 혼합은 B 해역이 A 해역보다 더 활발하다.

386



① C는 표층 해수의 밀도로, 수온이 높고 염분이 낮은 저위도에서 가장 작다.

② C는 표층 해수의 밀도이고, 해수의 밀도에 영향을 주는 것은 수온과 염분이다. 해수의 밀도는 수온(A)이 낮을수록, 염분(B)이 높을수록 크다.

③ A는 수온이고, 표층에서 수온에 가장 큰 영향을 미치는 것은 태양 복사 에너지이다. 적도에서 고위도로 갈수록 태양 복사 에너지의 입사량이 감소하므로 수온은 낮아진다.

④ 남반구에서는 고위도로 갈수록 수온(A)은 점점 낮아지고, 밀도(C)는 점점 증가하여 수온과 밀도가 반비례하는 경향을 보인다.

**바로알기** | ⑤ B는 염분을 나타낸다. 표층에서 염분은 (증발량-강수량) 값이 클수록 높다.

387 ㄴ. A 해역의 염분이 가장 높은 것으로 보아 (증발량-강수량) 값은 A에서 가장 크다.

**바로알기** | ㄱ. 해수의 밀도는 수온이 낮을수록, 염분이 높을수록 크다. A와 B 해역의 밀도가  $1.027 \text{ g/cm}^3$ 로 같고, A 해역이 B 해역보다 염분이 높으므로 수온은 A 해역이 B 해역보다 높아야 한다. 따라서 ㉠은 10보다 크다.

ㄴ. C 해역은 B 해역과 수온은 같고 염분은 더 낮으므로 C 해역의 밀도는 B 해역보다 작고 순수한 물보다는 밀도가 커야 한다. 따라서 ㉡은  $1 \text{ g/cm}^3$ 보다 크고  $1.027 \text{ g/cm}^3$ 보다 작은 값을 갖는다.

388 ㄱ. 수온은 깊이가 깊어질수록 낮아지고, 염분은 강수량이나 하천수 유입 등으로 표층이 심층보다 낮을 수 있다. 따라서 깊이에 따라 감소하는 경향성을 보이는 (가)는 수온이고, (나)는 염분 분포이다. ㄴ. 2월은 8월보다 표층 수온이 낮고, 표층 염분은 높으므로 표층 해수의 밀도는 2월이 8월보다 크다.

**바로알기** | ㄷ. 2월과 8월 모두 표층에서 깊이 300 m 정도까지는 깊이에 따라 염분이 변하지만 이보다 깊은 곳에서는 염분의 변화가 거의 나타나지 않는다. 따라서 깊이가 깊어질수록 염분 변화의 정도는 작아진다.



389 ⑤ 390 ⑤ 391 ① 392 ③ 393 ③ 394 ①  
395 ① 396 ③

**389** ㄱ. (가) 일기도는 우리나라 주변에 태풍이 위치하는 것으로 보아 여름철의 일기도이다. 여름철에 우리나라는 A 부근에 있는 북태평양 고기압의 영향을 받는다.

ㄴ. (나)의 ㉠ 구름은 (가)의 온대 저기압에서 형성된 구름이다. 온대 저기압의 온난 전선과 한랭 전선에서 따뜻한 기단이 찬 기단 위로 상승하면서 구름이 발생한다.

ㄷ. (나)의 ㉡ 구름은 (가)의 태풍에서 형성된 구름이다. 태풍에서는 강한 상승 기류로 적운형 구름이 발생한다.

**390** ① P 지역은 고기압의 중심부에 위치한다. 고기압의 중심부에서는 하강 기류가 나타난다.

② A는 열대 저기압인 태풍이다. 태풍의 에너지원은 수증기가 응결할 때 발생하는 숨은열이다. 태풍이 육지에 상륙하면 수증기의 공급이 줄어들어 세력이 약해지므로 중심 기압이 높아진다.

③ B는 온대 저기압이다. 우리나라 부근을 지나는 온대 저기압은 편서풍의 영향으로 서쪽에서 동쪽으로 이동한다.

④ 풍속은 등압선 간격이 조밀할수록 빠르다. A는 B보다 등압선 간격이 더 조밀하므로 최대 풍속은 A가 B보다 빠르다.

**바로알기** ⑤ A는 저위도의 열대 해상에서 열과 수증기를 공급받아 발생한 열대 저기압인 태풍이고, B는 중위도 온대 지방에서 찬 기단과 따뜻한 기단이 만나 발생한 온대 저기압이다.

**391** ㄱ. 전선은 성질이 다른 두 기단이 만나서 형성되고, 전선면을 경계로 기온, 기압, 풍향 등이 크게 변한다. 이 지역에 발달한 전선은 지표에서 높이가 높아짐에 따라 전선면이 서쪽으로 기울어져 있으며, 찬 공기가 따뜻한 공기 아래로 파고드는 형태이다. 따라서 이 지역에 발달한 전선은 한랭 전선이다.

**바로알기** ㄴ. B 지점에서는 높아질수록 기온이 하강하다가 전선면 부근에서 따뜻한 공기를 만나면 기온이 상승한 후 다시 하강한다.

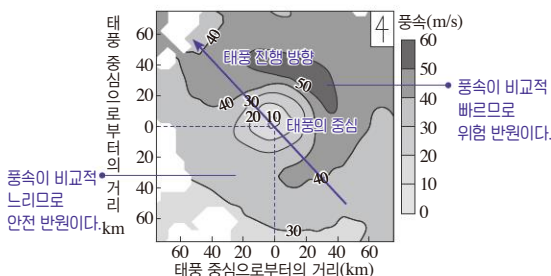
ㄷ. 한랭 전선이 통과한 후에는 기압이 점점 높아지므로 전선에서 멀리 떨어져 있는 A 지점보다 B 지점에서 기압이 낮다.

**392** ㄱ. 9시~10시 사이에 비가 내리기 시작하면서 10시 이후에 기온과 기압이 크게 변한 것으로 보아 이 무렵에 전선이 관측 지점을 통과했으며, 강수량이 주로 전선이 통과한 후에 기록된 것으로 보아 이때 통과한 전선은 한랭 전선이다. 한랭 전선이 통과한 후에는 기온이 하강하고, 기압은 상승한다. 따라서 A는 기온, B는 기압이다.

ㄴ. 12시는 한랭 전선이 통과한 후이므로 북풍 계열의 바람이 불었다.

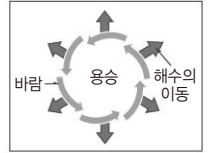
**바로알기** ㄷ. 16시 이후 기압이 상승했으므로 온대 저기압의 중심은 이 지역에서 더 멀어졌다.

**393**



ㄱ. 태풍 진행 방향의 오른쪽 반원은 태풍의 진행 방향과 태풍 내 풍향이 같아서 풍속이 비교적 빠르므로 위험 반원이고, 태풍 진행 방향의 왼쪽 반원은 태풍의 진행 방향과 태풍 내 풍향이 반대여서 풍속이 비교적 느린 안전 반원이다. 이 태풍에서 풍속 분포를 보면 남서쪽보다 북동쪽의 풍속이 빠르므로 북동쪽이 위험 반원, 남서쪽이 안전 반원이다. 따라서 이 태풍은 북서쪽으로 이동하고 있다.

ㄴ. 태풍은 열대 저기압이므로 북반구에서 태풍 주변의 바람은 태풍 중심부를 향해 시계 반대 방향으로 불어 들어간다. 북반구에서 시계 반대 방향으로 부는 저기압성 바람이 지속적으로 불면 표층의 해수가 저기압의 중심부에서 바깥쪽으로 발산이 일어나므로 수온 약층의 차가운 물이 올라오는 용승이 일어난다.



**바로알기** ㄷ. 태풍은 열대 저기압이므로 태풍의 중심에서 기압이 가장 낮다.

**394** ㄱ. 태풍은 위도 30°N 부근의 전향점까지는 무역풍의 영향으로 북서쪽으로 이동하고, 그 이후부터는 편서풍의 영향으로 북동쪽으로 이동한다. 12일에 이 태풍은 위도 약 36°N 부근에 위치하고 있었으므로 북동쪽으로 이동하였다. 따라서 12일에 이 태풍은 편서풍의 영향을 받고 있다.

**바로알기** ㄴ. 태풍 진행 방향의 오른쪽에 위치한 지역에서는 풍향이 시계 방향으로 변하고, 왼쪽에 위치한 지역에서는 풍향이 시계 반대 방향으로 변한다. 11일~13일 동안 제주도는 태풍 진행 방향의 오른쪽에 위치하므로 풍향이 시계 방향으로 변한다.

ㄷ. 해양 열용량이 클수록 해양에서 태풍으로 공급되는 열량이 많다. 11일에 해양 열용량은 0 kJ/cm<sup>2</sup>~50 kJ/cm<sup>2</sup>이고, 5일~6일에 해양 열용량은 100 kJ/cm<sup>2</sup>을 초과하였다. 따라서 해양에서 이 태풍으로 공급되는 에너지량은 5일~6일에 가장 많았다.

**395** ㄱ. 수온 약층은 깊이가 깊어짐에 따라 수온이 낮아지는 층이다. 2월에는 깊이에 따른 수온 변화가 거의 없지만, 8월에는 깊이에 따라 수온이 급격히 변한다. 따라서 수온 약층은 2월보다 8월에 뚜렷하게 발달한다.

**바로알기** ㄴ. 표층 수온의 연교차는 10 °C 이상이지만 깊이 125 m에서의 수온의 연교차는 3 °C 정도이다. 따라서 깊이가 깊어질수록 수온의 연교차는 작아진다.

ㄷ. 25 m 깊이까지 3월에는 수온의 변화가 거의 없지만 8월에는 수온이 낮아지고 있다. 따라서 25 m 깊이까지에서 연직 방향의 혼합 작용은 3월이 8월보다 활발하다.

**396** ㄱ. 해수의 표층 수온은 태양 복사 에너지의 영향을 크게 받고, 해수면에 도달하는 태양 복사 에너지량은 저위도에서 고위도로 갈수록 적어지므로 해수의 표층 수온은 고위도로 갈수록 낮아진다. 따라서 상대적으로 표층 수온이 낮은 A는 고위도 해역, B는 저위도 해역이다.

ㄷ. 염분이 34 psu일 때 수온이 15 °C에서 20 °C로 상승하면 밀도는 1025.2 kg/m<sup>3</sup>에서 1024.0 kg/m<sup>3</sup>로 1.2 kg/m<sup>3</sup> 낮아지고, 수온이 0 °C에서 5 °C로 상승하면 밀도는 1027.3 kg/m<sup>3</sup>에서 1026.9 kg/m<sup>3</sup>로 0.4 kg/m<sup>3</sup> 낮아진다. 따라서 염분이 일정할 때, 수온 변화에 따른 밀도 변화는 수온이 높을 때가 낮을 때보다 크다.

**바로알기** ㄴ. 같은 부피의 ㉠과 ㉡이 혼합되어 형성된 해수는 ㉠과 ㉡의 평균 수온과 염분을 가지므로 ㉠, ㉡보다 밀도가 커진다.

# 14 해수의 표층 순환

## 빈출 자료 보기

105쪽

397 (1) × (2) ○ (3) × (4) × (5) × (6) ○ (7) ○ (8) ○

398 (1) × (2) ○ (3) × (4) × (5) ○ (6) × (7) ○

397 (2) B 해류는 저위도에서 고위도 쪽으로 흐르는 난류이다.

(6) 북태평양의 아열대 해역에서 표층 해류는 시계 방향으로 순환한다(북적도 해류(A) → 쿠로시오 해류(B) → 북태평양 해류 → 캘리포니아 해류(C)).

(7) 북대서양에서 표층 순환은 북태평양의 표층 순환과 같은 시계 방향으로 일어난다(북적도 해류 → 멕시코 만류 → 북대서양 해류 → 카나리아 해류).

(8) B 해류는 북태평양 서안을 따라 북상하는 쿠로시오 해류이다. 쿠로시오 해류에서 갈라져 나온 해류의 일부가 우리나라 동해로 유입되어 동해안을 따라 북상하는 동한 난류가 된다.

**바로알기** | (1) A 해류는 북태평양 적도 부근에서 동쪽에서 서쪽으로 흐르는 북적도 해류이다.

(3) A 해류는 북태평양에서 북동 무역풍의 영향으로 동쪽에서 서쪽으로 흐르는 북적도 해류이다.

(4) 난류는 한류보다 수온과 염분이 높다. B 해류는 난류이고, C 해류는 한류이므로 B 해류의 수온과 염분은 C 해류에 비해 높다.

(5) 기체의 용해도는 수온이 낮을수록 크므로 용존 산소량은 한류가 난류보다 많다. 쿠로시오 해류(B)는 저위도에서 고위도 쪽으로 흐르는 난류이고, 캘리포니아 해류(C)는 고위도에서 저위도 쪽으로 흐르는 한류이므로 용존 산소량은 C 해류가 B 해류보다 많다.

398 (2) 수온은 난류인 A 해류가 한류인 C 해류보다 높다.

(5) B 해류는 동한 난류이다. 동한 난류는 쿠로시오 해류에서 갈라져 나온 해류의 일부가 남해를 거쳐 동해안을 따라 북상하는 해류이다.

(7) 부산 앞바다에서 해류는 남해를 거쳐 동해로 흐른다. 따라서 부산 앞바다에서 적조가 발생하면 황해보다 동해로 확산될 가능성이 크다.

**바로알기** | (1) A 해류는 난류인 쿠로시오 해류의 일부가 제주도 남쪽의 동중국해에서 갈라져 나와 황해로 유입된 황해 난류이다.

(3) B 해류는 동한 난류이고, C 해류는 북한 한류이다. 용존 산소량은 한류인 C 해류가 난류인 B 해류보다 많다.

(4) 난류와 한류가 만나는 해역을 조경 수역이라고 한다. 우리나라 주변 해역에서 조경 수역은 북한 한류와 동한 난류가 만나는 동해에서 형성된다.

(6) C 해류는 북한 한류이다. 한류는 주변의 열에너지를 흡수하므로 연안 지역의 기후는 주변보다 차가워진다.

## 난이도별 필수 기출

106~109쪽

399 ⑤ 400 해설 참조 401 ②, ⑥  
402 A: 극순환, B: 해들리 순환 403 ②, ④, ⑥ 404 ③  
405 ⑤ 406 ① 407 해설 참조 408 ④ 409 ①  
410 ④ 411 해설 참조 412 ④ 413 ⑤ 414 ②  
415 ① 416 ⑤ 417 ⑤ 418 ③ 419 해설 참조

399 ㄱ. A 지점은 B 지점에 비해 태양의 고도가 높으므로 같은 넓이에 흡수되는 태양 복사 에너지가 B 지점보다 많다. 따라서 연평균 기온은 A 지점이 B 지점보다 높다.

ㄴ. 열에너지는 온도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동한다. A 지점은 B 지점보다 흡수되는 태양 복사 에너지가 많아 온도가 높으므로 열에너지는 A 지점에서 B 지점으로 이동한다.

ㄷ. 대기 대순환은 위도에 따른 태양 복사 에너지량과 지구 복사 에너지 차이인 에너지 불균형 때문에 일어난다. 따라서 태양 복사 에너지는 대기 대순환을 일으키는 주요 에너지원 중 하나이다.

## 개념 보충

### 위도에 따른 태양 복사 에너지 흡수량

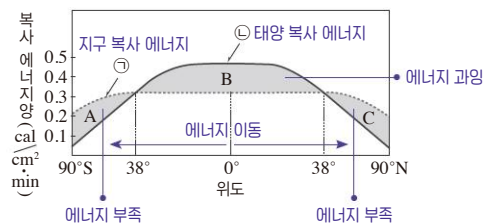


- ① 저위도 지역: 태양의 고도가 높다. → 햇빛을 받는 면적이 좁다. → 온도가 높다.
- ② 고위도 지역: 태양의 고도가 낮다. → 햇빛을 받는 면적이 넓다. → 온도가 낮다.

400 지구는 구형이므로 위도에 따라 지표면에 흡수되는 태양 복사 에너지가 달라진다. 저위도 지역은 태양의 고도가 높기 때문에 단위 면적당 태양 복사 에너지 흡수량이 많고, 고위도 지역은 태양의 고도가 낮기 때문에 단위 면적당 태양 복사 에너지 흡수량이 적다.

**모범 답안** ㉠, 지구가 구형이므로 저위도에서 고위도로 갈수록 태양의 고도가 낮아져 고위도로 갈수록 태양 복사 에너지 흡수량이 급격히 줄어들기 때문이다.

401



② A와 C는 고위도 지역의 에너지 부족량이고, B는 저위도 지역의 에너지 과잉량이다. 지구는 위도별로 태양 복사 에너지 흡수량과 지구 복사 에너지 방출량이 같지 않아 에너지 불균형이 나타나지만 전 지구적으로는 복사 평형을 이루고 있다. 따라서 저위도 지역의 에너지 과잉량(B)과 고위도 지역의 에너지 부족량(A+C)은 같다.

⑥ 저위도 지역은 에너지 과잉이고, 고위도 지역은 에너지 부족 상태이므로 대기와 해수의 순환을 통해 저위도의 과잉 에너지를 고위도로 운반한다.

**바로알기** | ① 위도 38°보다 저위도 지역은 태양 복사 에너지 흡수량이 지구 복사 에너지 방출량보다 많고, 위도 38°보다 고위도 지역은 지구 복사 에너지 방출량이 태양 복사 에너지 흡수량보다 많다. 따라서 ㉠은 지구 복사 에너지, ㉡은 태양 복사 에너지이다.

**다른 해설** ① 지구가 둥글기 때문에 흡수되는 태양 복사 에너지량은 위도에 따라 달라지지만, 지구에서 방출되는 지구 복사 에너지량은 위도에 따른 차이가 크지 않다. 따라서 ㉠은 지구 복사 에너지, ㉡은 태양 복사 에너지이다.

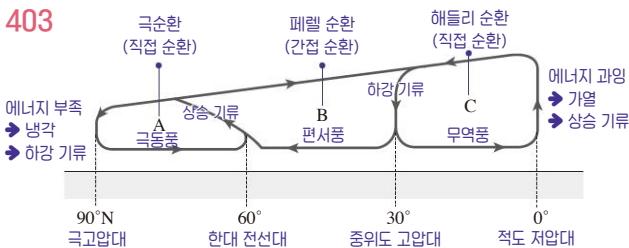
③ A는 지구 복사 에너지 방출량에서 태양 복사 에너지 흡수량을 뺀 에너지양으로 에너지 부족을, B는 태양 복사 에너지 흡수량에서 지구 복사 에너지 방출량을 뺀 에너지양으로 에너지 과잉을 나타낸다.

④ 위도 38°보다 고위도 지역은 지구 복사 에너지 방출량이 태양 복사 에너지 흡수량보다 많다.

⑤ 위도 38°에서는 태양 복사 에너지 흡수량과 지구 복사 에너지 방출량이 같으므로 에너지 출입이 균형을 이루고 있다. 그러나 위도 38°보다 저위도에서는 태양 복사 에너지 흡수량이 지구 복사 에너지 방출량보다 많고, 고위도에서는 지구 복사 에너지 방출량이 태양 복사 에너지 흡수량보다 많으므로 에너지 출입이 균형을 이루고 있지 않다. 따라서 모든 위도에서 에너지 출입이 균형을 이루는 것은 아니다.

⑦ 위도 38°에서는 태양 복사 에너지 흡수량과 지구 복사 에너지 방출량이 같다. 위도 38°보다 저위도의 과잉 에너지는 위도 38°를 거쳐 에너지가 부족한 고위도로 수송되므로 에너지의 이동량은 위도 38°에서 가장 많다.

**402** A는 극순환, B는 페렐 순환, C는 해들리 순환이다. 저위도 지역(적도~위도 30°)에 형성되는 해들리 순환(C)과 고위도 지역(위도 60°~90°)에 형성되는 극순환(A)은 지표의 가열과 냉각으로 일어나는 열대류의 원리로 형성된 직접 순환이고, 중위도 지역(위도 30°~60°)에 형성되는 페렐 순환(B)은 해들리 순환(C)과 극순환(A)의 영향으로 역학적으로 형성된 간접 순환이다.



② B는 중위도 지역(위도 30°N~60°N)에서 형성되는 페렐 순환이다. 페렐 순환(B)은 해들리 순환(C)과 극순환(A)의 영향으로 역학적으로 형성되는 간접 순환으로 지구가 자전하지 않는다면 형성되지 않는다.

④ 적도에서 가열된 공기가 상승하여 중위도로 이동하다가 북반구 중위도(30°N) 상공에서 냉각과 수렴으로 하강하여 해들리 순환(C)을 이룬다. 30°N 상공에서 하강한 공기의 일부는 적도 방향으로 이동하면서 지구 자전의 영향(전향력)을 받아 오른쪽으로 휘어져 부는 무역풍이 된다.

⑥ 대기 대순환인 A~C는 저위도의 과잉 에너지를 고위도로 수송하여 위도별 에너지 불균형을 해소시키는 역할을 한다.

**바로알기 I** ① A는 고위도 지역(위도 60°N~90°N)에서 형성되는 극순환이다. 해들리 순환은 저위도 지역(적도~위도 30°N)에서 형성되는 C이다.

③ 북반구 중위도 상공(30°N)에서 하강한 공기의 일부가 고위도 쪽으로 이동하여 위도 60°N에서 상승하면서 페렐 순환(B)이 형성된다. 페렐 순환(B)이 형성되는 지상에서는 편서풍이 분다.

⑤ 극순환(A)과 해들리 순환(C)은 지표의 가열과 냉각으로 일어나는 열대류의 원리로 형성된 직접 순환이고, 페렐 순환(B)은 해들리 순환과 극순환의 영향으로 역학적으로 형성된 간접 순환이다.

⑦ 적도 지역에서 상승한 공기의 일부는 북쪽으로 이동하다가 위도 30°N 부근에서 하강하여 지표에 고압대를 형성하는데, 이를 중위도 고압대(아열대 고압대)라고 한다. 따라서 위도 30°N 부근에서는 고기압이 발달한다.

⑧ 적도 지역에는 상승 기류가 발달하는 적도 저압대가 형성되어 강수량이 많고, 위도 30°N 지역에는 하강 기류가 발달하는 중위도 고압대가 형성되어 강수량이 적다. 따라서 연평균 강수량은 30°N 지역보다 적도 지역이 많다.

**개념 보충**

**대기 대순환과 날씨**

- 적도 지역(적도 저압대)과 위도 60° 부근(한대 전선대): 상승 기류가 발달하므로 구름이 잘 형성되고, 강수량이 많다.
- 위도 30° 부근(중위도 고압대)과 극지역(극고압대): 하강 기류가 발달하여 날씨가 맑고 강수량이 적다. 위도 30° 부근의 육지에는 사막이 분포하고, 위도 30° 부근의 바다는 염분이 높다.

**404** ㄱ. 저위도에서 고위도 쪽으로 운반되는 에너지량은 대기의 에너지 수송량이 해양의 에너지 수송량보다 많다. 연평균 에너지 수송량은 A가 B보다 적으므로 A는 해양, B는 대기이다.

ㄴ. 적도에서는 대기와 해양에 따른 에너지 수송량이 0에 가까우므로 남북 방향의 에너지 수송은 거의 일어나지 않는다.

**바로알기 I** ㄷ. 태양 복사 에너지 흡수량과 지구 복사 에너지 방출량이 같은 값을 갖는 복사 평형은 위도 38° 부근에서 일어난다. A와 B가 교차하는 ㉠ 위도는 위도 38°보다 저위도로 태양 복사 에너지 흡수량이 지구 복사 에너지 방출량보다 많은 에너지 과잉 상태이다.

**405** ㄱ. (가)에서 적도~위도 30° 사이에서는 무역풍이 불고, 위도 30°~60° 사이에서는 편서풍이 불며, 위도 60°~90° 사이에서는 극동풍이 분다. 따라서 지구가 자전하는 경우에 해당하며, 이때 지구의 풍계는 3개로 나뉜다.

ㄴ. (나)는 지구가 자전하지 않아 하나의 풍계가 나타난 것이다. 이때 지상에서는 북극 지역에서 하강한 공기가 적도 쪽으로 이동하며 북풍 계열의 바람이 분다.

ㄷ. (가)와 (나) 모두 북극에서는 찬 지표면의 냉각으로 하강 기류가 나타난다.

**406** 저위도에서 고위도 쪽으로 흐르는 따뜻한 해류를 난류라고 하고, 고위도에서 저위도 쪽으로 흐르는 차가운 해류를 한류라고 한다.

구분	이동 방향	수온	염분
난류	저위도 → 고위도	높다.	높다.
한류	고위도 → 저위도	낮다.	낮다.
구분	밀도	용존 산소량	영양 염류
난류	작다.	적다.	적다.
한류	크다.	많다.	많다.

**바로알기 I** ① 난류는 한류에 비해 밀도가 작다.

**407** 대기 대순환으로 지표 부근에서 바람이 일정한 방향으로 계속 불면 표층의 해수는 바람으로부터 에너지를 얻어 일정한 방향으로 흐르게 되는데, 이를 표층 해류라고 한다. 이러한 표층 해류는 대기 대순환으로 동서 방향으로 흐르다가 대륙에 부딪치면 남북 방향으로 갈라져 흐르면서 커다란 환류를 형성하는데, 이를 표층 순환이라고 한다.

**모범 답안** 표층 해류는 대기 대순환으로 생긴 바람의 영향으로 발생한다. 대륙으로 둘러싸인 대양에서 표층 해류는 바람을 따라 동서 방향으로 흐르다가 대륙에 부딪치면 남북 방향으로 갈라져 흐르면서 환류를 이룬다.

**408** ㄱ. 남극 순환 해류는 남극 대륙 주위를 서쪽에서 동쪽으로 순환하는 해류로, 위도 30°S~60°S에서 부는 편서풍의 영향으로 형성된다.

ㄷ. 쿠로시오 해류는 저위도에서 고위도 쪽으로 흐르는 난류이고, 캘리포니아 해류는 고위도에서 저위도 쪽으로 흐르는 한류이다. 따라서 동일한 위도에서 용존 산소량은 한류인 캘리포니아 해류가 난류인 쿠로시오 해류보다 많다.



**바로알기** | ㄴ. 전 세계 해양의 표층 해류는 대기 대순환으로 일정하게 부는 바람에 따라 형성되고, 대륙의 분포에도 영향을 받는다. 북반구와 남반구에서 해류의 이동 방향은 대체로 대칭을 이루고 있다.

**409** ① 조경 수역은 한류와 난류가 만나는 해역에서 형성된다. ㉠ 해역에서는 고위도에서 저위도 쪽으로 흐르는 한류와 저위도에서 고위도 쪽으로 흐르는 난류가 만나므로 조경 수역이 형성될 수 있다.

**바로알기** | ② ㉠ 해역에서는 한류와 난류가 만나고, ㉡ 해역에서는 서에서 동으로 흐르는 북태평양 해류가 남북으로 나뉜다. 따라서 위도에 따른 수온 변화는 ㉠ 해역이 ㉡ 해역보다 크다.

③ A 해류는 저위도에서 고위도 쪽으로 흐르는 난류인 쿠로시오 해류이고, B 해류는 고위도에서 저위도 쪽으로 흐르는 한류인 캘리포니아 해류이다.

④ C 해류는 적도~30°N 사이에서 부는 무역풍의 영향으로 형성된 북적도 해류이다.

⑤ 용존 산소량은 한류가 난류보다 많다. A 해류는 난류이고, B 해류는 한류이므로 용존 산소량은 A 해류가 B 해류보다 적다.

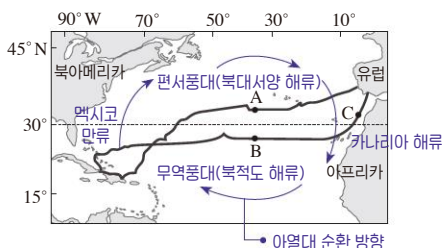
**410** ㄱ. 위도 30°N~60°N 사이는 편서풍이 부는 지역이므로 해류 A는 편서풍의 영향으로 형성되어 서쪽에서 동쪽으로 흐른다.

ㄴ. 적도~위도 30°N 사이는 무역풍이 부는 지역이므로 해류 B는 무역풍의 영향으로 형성되어 동쪽에서 서쪽으로 흐른다.

ㄷ. 해류 C는 저위도에서 고위도 쪽으로 흐르는 난류인 멕시코 만류이고, 해류 D는 고위도에서 저위도 쪽으로 흐르는 한류인 카나리아 해류이다. 난류는 한류보다 수온과 염분이 높으므로 해류 C는 해류 D보다 수온과 염분이 높다.

**바로알기** | ㄷ. 해류 D는 유럽과 아프리카 대륙의 서부 연안을 따라 저위도 쪽으로 흐르는 카나리아 해류로, 고위도에서 저위도 쪽으로 흐르는 한류이다.

**411**



콜럼버스가 1492년~1493년 신대륙인 북아메리카 대륙을 탐험할 때 바람과 해류를 이용하였다. 콜럼버스는 유럽 대륙에서 북아메리카 대륙으로 갈 때는 아프리카 서안의 저위도로 내려가 무역풍과 북적도 해류를 이용하였고, 북아메리카 대륙에서 유럽 대륙으로 돌아올 때는 고위도 쪽으로 올라가 편서풍과 북대서양 해류를 이용하였다.

**모범 답안** 콜럼버스가 유럽 대륙으로 돌아올 때 편서풍과 북대서양 해류를 이용하였고, 이때 북대서양 중위도의 A 지점을 통과하였다.

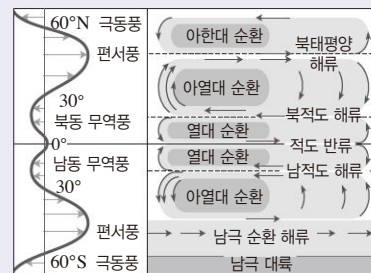
**412** ㄴ. C 지점에 흐르는 해류는 카나리아 해류이다. 카나리아 해류는 유럽과 아프리카 서부 연안을 따라 저위도 쪽으로 흐르는 한류이다.

ㄷ. 북대서양 아열대 순환을 이루는 해류는 멕시코 만류, 북대서양 해류, 카나리아 해류, 북적도 해류이다. 이 해류들은 북대서양 아열대 해역에서 시계 방향으로 순환한다.

**바로알기** | ㄱ. B 지점은 북대서양 저위도 해역이고, 이 해역에서는 동쪽에서 서쪽으로 무역풍이 분다. 따라서 B 지점을 항해할 때는 무역풍을 이용하였다.

**개념 보충**

**대기 대순환과 표층 순환의 관계**



- **열대 순환:** 무역풍의 영향으로 적도 해류가 서쪽으로 흐르고, 해양의 서쪽에 쌓인 해수가 해수면이 낮은 동쪽으로 흐르는 적도 반류로 이루어진 순환이다.
- **아열대 순환:** 무역풍의 영향으로 적도 해류가 서쪽으로 흐르고, 편서풍의 영향으로 생긴 해류가 동쪽으로 흐르는 순환이다. 대양의 서쪽과 동쪽에서는 각각 대양의 서안과 동안을 따라 난류와 한류가 흐른다.
- **아한대 순환:** 편서풍의 영향으로 생긴 해류의 일부가 해양의 동쪽에서 고위도로 이동하고, 극동풍의 영향으로 서쪽으로 흐르는 순환이다.

**413** A는 남적도 해류, B는 동오스트레일리아 해류, C는 남극 순환 해류, D는 페루 해류이다.

ㄷ. 페룰 순환은 위도 30°~60° 지역에서 형성되고, 지상에서 부는 바람은 편서풍이다. A~D 중 편서풍으로 형성된 해류는 서쪽에서 동쪽으로 흐르는 C(남극 순환 해류)이다.

ㄴ. 캘리포니아 해류는 북태평양에서 흐르는 한류이다. 따라서 A~D 중 캘리포니아 해류와 유사한 성질을 나타내는 해류는 고위도에서 저위도로 흐르는 한류인 D(페루 해류)이다.

**바로알기** | ㄱ. 저위도의 남는 에너지가 고위도로 이동하므로 저위도에서 고위도 쪽으로 흐르는 표층 해류가 열에너지를 수송한다. A와 C는 동서 방향으로 흐르고, B는 저위도에서 고위도 쪽으로 흐르며, D는 고위도에서 저위도 쪽으로 흐르므로 남북 방향의 열에너지 수송량은 B가 가장 많다.

ㄴ. B는 무역풍으로 형성된 남적도 해류(A)의 일부가 오스트레일리아 동쪽 해역을 따라 남하하는 동오스트레일리아 해류이다. 따라서 동오스트레일리아 해류는 대륙의 영향으로 형성된 해류이다.

**414** ㄷ. C는 남반구 저위도 해역에서 부는 무역풍 때문에 동쪽에서 서쪽으로 흐르는 남적도 해류이다. 남적도 해류(C)의 유속은 무역풍의 세기가 강할수록 빠르다.

**바로알기** | ㄱ, ㄴ. A는 북반구 저위도 해역에서 부는 무역풍 때문에 동쪽에서 서쪽으로 흐르는 북적도 해류이고, B는 북적도 해류와 남적도 해류의 영향으로 대양의 서쪽에 쌓여 있던 해류가 동쪽으로 흐르는 적도 반류이다. 북적도 해류와 적도 반류로 이루어진 표층 순환은 열대 순환이다.

**415** ㄱ. A 해역에서 용존 산소량을 나타내는 등치선이 조밀한 까닭은 수온 변화가 크기 때문이다.

**바로알기** | ㄴ. B 해역에는 난류가 흐르므로 연평균 수온은 B 해역이 C 해역보다 높다.

**다른 해설** | ㄴ. 표층 해수의 용존 산소량은 표층 수온이 낮을수록 많다. B 해역은 C 해역보다 연평균 용존 산소량이 적으므로 연평균 수온은 B 해역이 C 해역보다 높다.

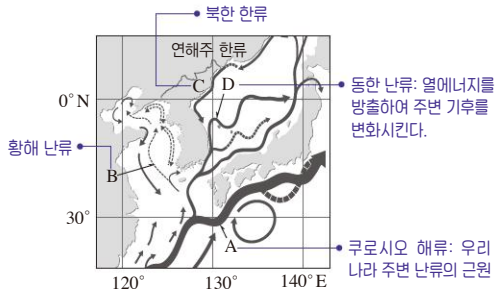
ㄷ. C 해역에서는 고위도에서 저위도 쪽으로 한류인 캘리포니아 해류가 흐른다. 카나리아 해류는 북대서양에서 유럽과 아프리카 대륙의 서부 연안을 따라 저위도 쪽으로 흐르는 한류이다.

## 개념 보충

### 표층 해수의 용존 산소량

- 해수에서 기체의 용해도는 수압이 클수록, 염분이 낮을수록, 수온이 낮을수록 증가한다.
- 표층 해수의 용존 산소량은 표층 수온에 큰 영향을 받으므로 위도에 따른 용존 산소량의 변화가 클수록 해수의 수온 변화도 크다.
- 표층 해수의 용존 산소량은 대체로 위도와 나란한 분포를 보이지만 난류가 흐르는 해역에서는 등치선이 고위도 쪽으로 치우치고, 한류가 흐르는 해역에서는 등치선이 저위도 쪽으로 치우친다.

[416~417]



**416** ㄱ. C 해류는 연해주 한류에서 갈라져 나와 함경도 연안을 따라 남하하는 북한 한류이고, D 해류는 쿠로시오 해류에서 갈라져 나와 우리나라 동해안을 따라 북상하는 동한 난류이다. 용존 산소량은 한류인 북한 한류가 난류인 동한 난류보다 많다.

ㄴ. 북한 한류(C)와 동한 난류(D)는 동해 중부 해역에서 만나 조정 수역을 이룬다.

ㄷ. 동한 난류(D)는 저위도에서 고위도 쪽으로 흐르는 난류로, 열에너지를 방출하여 주변 지역의 기후를 동일 위도의 다른 지역보다 따뜻하게 한다.

**417** ①, ② A는 북태평양의 남서쪽에서 북동쪽으로 북상하는 쿠로시오 해류이고, 우리나라 주변을 흐르는 난류의 근원이다.

③ 영양 염류는 한류가 난류보다 많다. B는 난류인 황해 난류이고, C는 한류인 북한 한류이므로 영양 염류는 B보다 C가 많다.

④ 조정 수역은 한류와 난류가 만나는 해역에서 형성된다. 동해에서는 북한 한류와 동한 난류가 만나 조정 수역이 형성된다.

**바로알기** ⑤ 부산 앞바다에서 해류는 동쪽으로 흐른다. 따라서 부산 앞바다에서 유조선 사고로 기름이 유출되면 황해보다 동해로 확산될 가능성이 크다.

**418** ㄱ. (가)보다 (나)에서 동한 난류가 더 북상하였으므로 (가)는 겨울철, (나)는 여름철의 해류 분포를 나타낸 것이다.

ㄴ. 남해는 연중 난류의 영향을 받으므로 동해나 황해에 비해 연중 표층 수온이 높게 나타난다.

**바로알기** ㄷ. 동해에 흐르는 한류는 북한 한류이다. 북한 한류는 계절에 따라 남하하는 위치는 다르지만 여름철과 겨울철 모두 동해에 나타난다.

**419** 우리나라 주변 해역에서 조정 수역은 동한 난류와 북한 한류가 만나는 동해에서 형성되고, 조정 수역의 위치는 계절에 따라 달라진다. 동한 난류의 세기가 강한 여름철에 조정 수역은 함경도 먼 바다에 형성되고, 북한 한류의 세기가 강한 겨울철에는 울릉도와 주문진 먼 바다에 형성된다.

**모범 답안** 동한 난류와 북한 한류가 만나는 동해 중부 해역에 형성되는 조정 수역은 동한 난류의 세기가 강한 여름철에는 그 위치가 북상하고, 북한 한류의 세기가 강한 겨울철에는 그 위치가 남하한다.

## 15 해수의 심층 순환

### 빈출 자료 보기

111쪽

**420** (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ (5) × (6) ○ (7) ○

**421** (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) ○ (5) ○ (6) ○ (7) × (8) ○

**420** (1) (가)와 같은 심층 순환은 해수의 밀도 차로 발생한다. 해수의 밀도는 수온이나 염분의 영향을 받으므로 심층 순환을 열염 순환이라고도 한다.

(2) 밀도가 큰 해수일수록 심층으로 가라앉는다. A~C 중 C가 가장 아래에 위치하므로 C의 밀도가 가장 크고, 가장 위쪽에 위치한 B의 밀도가 가장 작다.

(4) (가)에서 A는 북대서양 심층수, B는 남극 중층수, C는 남극 저층수이다.

(6) (가)에서 A~C 중 C가 가장 아래에 위치하므로 C가 밀도가 가장 크다. (나)에서 ㉠~㉣ 중 밀도가 가장 큰 수괴는 ㉣이다. 따라서 (가)의 C는 (나)에서 ㉣에 해당한다. (가)의 A는 (나)에서 ㉡, (가)의 B는 (나)에서 ㉠에 해당한다.

(7) (나)에서 ㉠~㉣ 중 염분이 가장 높은 수괴인 ㉡의 밀도는 ㉠~㉣ 중 중간이고, 대서양 수괴의 밀도는 (가)에서 C(남극 저층수) > A(북대서양 심층수) > B(남극 중층수)이다. 따라서 (나)에서 염분이 가장 높은 ㉡은 (가)에서 A인 북대서양 심층수에 해당한다.

**바로알기** (3) 남위 60° 부근 해역에서는 밀도가 커진 해수가 심층으로 가라앉는 침강 현상이 일어난다.

(5) (가)에서 A는 북대서양 심층수로, 그린란드 주변 해역에서 침강하여 형성된다. B는 남극 중층수로, 60°S 부근에서 냉각되어 침강하여 형성된다. C는 남극 저층수로, 남극 대륙 주변의 웨델해에서 침강하여 형성된다.

**421** 전 지구적인 해수의 순환은 심층 순환과 표층 순환이 연결되어 이루어진다. 그린란드 주변 해역에서 침강한 북대서양 심층수가 대서양 서쪽을 따라 남하하다가 남극 대륙 주변에서 남극 저층수와 만나 뒤섞인다. 이후 남극 대륙 주위를 돌다가 인도양과 태평양으로 퍼져 나가 인도양과 태평양에서 표층으로 상승한 해수는 표층 순환을 거쳐 북대서양으로 흘러간다.

(1) 표층수는 적도 부근에 위치할수록 수온이 높다. 따라서 A~C 중 가장 따뜻한 해수는 적도 부근의 표층수인 B이다.

(2) A는 그린란드 주변 해역으로, 차갑고 염분이 높아 밀도가 큰 해수가 침강하여 북대서양 심층수를 형성한다.

(3) A에서 침강한 해수는 북대서양 심층수를 형성한다.

(4) A에서 침강한 해수는 수온이 낮으므로 용존 산소량이 많다. 따라서 이 해수는 심층에 산소를 공급하는 역할을 한다.

(5) A에서 침강한 해수는 남쪽으로 흐르다가 인도양과 태평양으로 퍼져 나간 후 북태평양의 C에서 상승하여 표층 순환과 연결된다.

(6) A에서 침강한 해수는 남쪽으로 흐르다가 남극 대륙 주변의 웨델해(D)에서 침강한 더 차가운 남극 저층수와 혼합되어 인도양과 태평양으로 퍼져 나간다.

(8) 전 지구적인 해수의 순환을 통해 저위도에서 고위도로 에너지가 운반되어 위도별 에너지 불균형이 줄어든다.

**바로알기** (7) 심층 해류는 표층 해류에 비해 유속이 매우 느리다.

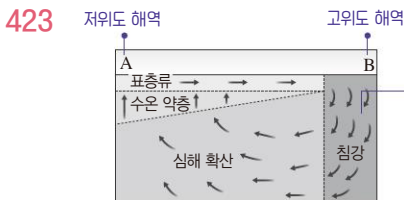
- 422 ④ 423 ③ 424 ⑤ 425 ⑤ 426 ③, ④  
 427 ⑤ 428 ② 429 ③ 430 해설 참조  
 431 해설 참조 432 ④, ⑤ 433 ③ 434 ②  
 435 ⑤ 436 ②, ⑥ 437 ① 438 ③

**422** 해수의 심층 순환은 해수의 밀도 차로 해수가 침강하여 발생한다. 해수의 수온이 낮거나 염분이 높으면 밀도가 커지므로 침강이 잘 일어난다.

ㄴ. (나)에서 종이컵에 넣는 물에 얼음을 넣으면 소금물의 온도가 낮아져 밀도가 증가하므로 소금물의 침강이 더 활발히 일어난다.

ㄷ. (나)에서 종이컵에 넣는 물에 소금을 더 많이 녹이면 소금물의 염분이 높아져 밀도가 증가하므로 소금물의 침강이 더 활발히 일어난다.

**바로알기** | ㄱ. (가)에서 수조의 물에 소금을 녹이면 수조의 물의 밀도가 증가한다. 이때는 수조의 물과 종이컵의 물 간의 밀도 차이가 작아지기 때문에 소금물의 침강이 잘 일어나지 않는다.



ㄱ. 해수의 수온이 낮거나 염분이 높아서 밀도가 커지면 해수가 침강하여 심층 순환을 형성한다.

ㄷ. B 해역은 고위도 해역으로, 밀도가 큰 해수가 침강한다. B 해역의 염분이 높아지면 밀도가 더 커지므로 침강이 강화된다.

**바로알기** | ㄴ. B 해역에서 침강이 일어나므로 B 해역은 수온이 낮거나 염분이 높아 밀도가 커지는 것을 뜻한다. 따라서 A 해역은 저위도 해역, B 해역은 고위도 해역이다.

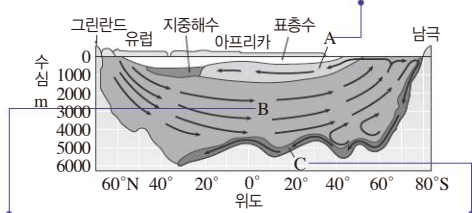
**424** ㄱ. 소금물은 수돗물(담수)보다 밀도가 크기 때문에 수돗물(담수) 아래로 가라앉는다.

ㄴ. A가 B의 아래로 가라앉았으므로 밀도는 A가 B보다 크다.

ㄷ. 북대서양 심층수와 남극 저층수의 밀도를 비교하면 대서양 해저를 따라 이동하는 남극 저층수의 밀도가 북대서양 심층수보다 크다. 따라서 A는 남극 저층수, B는 북대서양 심층수에 해당한다.

**425** 밀도가 큰 해수가 밀도가 작은 해수의 아래에 위치한다. 따라서 A~C 해수의 밀도는 C>B>A이다.

**426** 남극 중층수: 대서양 60°S 부근에서 형성되며, 수심 약 1000 m 부근에서 20°N 해역까지 흐른다.



북대서양 심층수: 그린란드 주변 해역에서 차고 염분이 높은 표층 해수가 침강하여 형성되며, 수심 약 1500 m~4000 m 사이에서 남반구 고위도까지 흐른다.

남극 중층수: 남극 대륙 주변의 웨델해에서 침강하여 형성되며, 밀도가 매우 큰 해수로 해저면을 따라 30°N 해역까지 흐른다.

③ B는 북대서양 심층수로, 그린란드 주변 해역에서 침강하여 남극 쪽으로 흐른다.

④ C는 남극 저층수로, 수온이 낮아 용존 산소량이 많으므로 침강하여 심해에 산소를 공급한다.

**바로알기** | ①, ② A는 남극 중층수, B는 북대서양 심층수, C는 남극 저층수이다.

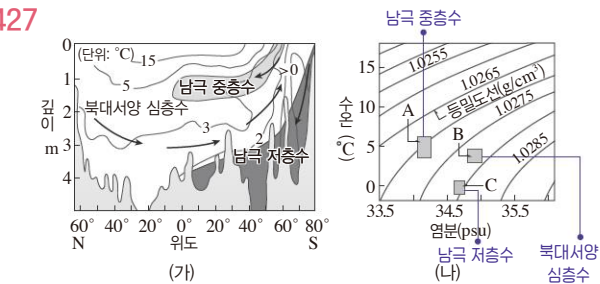
⑤ 남극 중층수(A)가 북대서양 심층수(B)의 위에 위치하므로 A는 B보다 밀도가 작다.

⑥ 남극 저층수(C)는 남극 중층수(A)보다 수온이 낮아 밀도가 더 크다.

⑦ 수괴는 수온과 염분이 거의 균일한 해수 덩어리로, 주변 해수와 잘 섞이지 않는다. 바람은 표층 순환의 발생 원인이다.

⑧ 심층 순환은 표층 순환보다 유속이 매우 느리다.

**427**



ㄱ. (가)에서 남극 중층수의 밀도가 가장 작고, 남극 저층수의 밀도가 가장 크다. 따라서 (나)에서 A는 남극 중층수, B는 북대서양 심층수, C는 남극 저층수이다. (나)에서 염분은 남극 중층수인 A가 가장 낮다.

ㄴ. C는 A~C 중 밀도가 가장 크므로 (가)에서 가장 아래에 위치해 있는 남극 저층수이다.

ㄷ. 지구 온난화가 지속되면 고위도의 수온이 상승하고 빙하가 녹아 염분이 낮아져 고위도 해수의 밀도가 작아지므로 침강이 잘 일어나지 않는다. 따라서 지구 온난화가 지속되면 심층 순환이 약해질 수 있다.

**428** 대서양 심층 순환은 남극 중층수, 북대서양 심층수, 남극 저층수로 이루어져 있으며, 밀도가 가장 큰 해수는 남극 저층수이고, 밀도가 가장 작은 해수는 남극 중층수이다. 따라서 A는 남극 중층수, B는 남극 저층수, C는 북대서양 심층수이다.

ㄷ. 북대서양 심층수(C)는 그린란드 주변 해역에서 침강하여 형성된다.

**바로알기** | ㄱ. 남극 중층수(A)는 60°S 부근에서 냉각된 해수가 가라앉아 형성된 해수이다.

ㄴ. B는 남극 저층수이다.

**429** ㄱ. 북대서양 심층수는 그린란드 주변 해역에서 냉각된 해수가 침강하여 형성된다.

ㄴ. (가)에서 남극 저층수의 수온은 북대서양 심층수보다 낮고, (나)에서 남극 저층수의 염분은 북대서양 심층수보다 낮다. 해수의 밀도는 수온이 낮고 염분이 높을수록 크므로 남극 저층수의 밀도는 염분보다 수온의 영향을 더 많이 받는다.

**바로알기** | ㄷ. (나)에서 북대서양 심층수의 염분은 34.8 psu~35 psu 정도이고, 남극 중층수의 염분은 34.6 psu보다 낮다. 따라서 북대서양 심층수의 평균 염분이 남극 중층수보다 높다.

**430** 심층 순환은 수온과 염분 변화에 따른 밀도 차로 발생하기 때문에 열염 순환이라고도 한다. 심층 순환을 이루는 해수는 표층에서 수온이 낮아지거나 염분이 높아지면 밀도가 커진 해수가 심해로 가라앉아 형성된다.

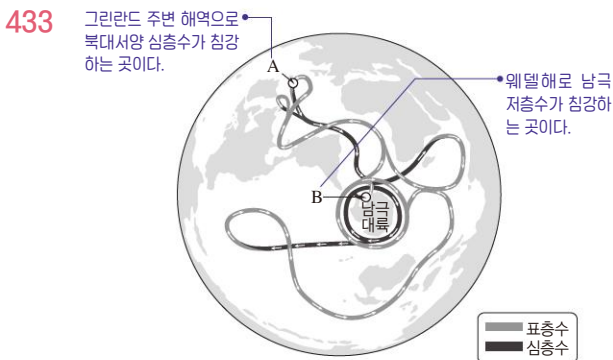
**모범 답안** 해수의 밀도는 수온과 염분의 영향을 받는다. 수온이 낮을수록, 염분이 높을수록 해수의 밀도가 크다.



**431** 남극 저층수는 남극 대륙 주변의 웨델해에서 수온이 낮은 해수가 결빙하는 동안 염분이 높아져 밀도가 커진 해수가 침강하여 형성된다. 북대서양 심층수는 그린란드 주변 해역의 염분이 높은 해수가 냉각되어 밀도가 커져 침강하여 형성된다. 남극 중층수는 60°S 부근에서 해수가 냉각되어 밀도가 커져 침강하여 형성된다.

**모범 답안** 남극 저층수는 남극 대륙 주변의 웨델해에서 해수가 침강하여 형성되며, 북대서양 심층수는 그린란드 주변 해역에서 해수가 침강하여 형성되고, 남극 중층수는 60°S 부근에서 해수가 침강하여 형성된다. 세 해수의 밀도 관계는 남극 저층수 > 북대서양 심층수 > 남극 중층수이다.

- 432** ① 해수의 표층 순환과 심층 순환으로 저위도의 과잉 에너지가 고위도로 운반되어 위도별 에너지 불균형이 줄어든다.  
 ② 심층 해류는 표층 해류에 비해 유속이 매우 느리다.  
 ③ A 해역은 표층 수온이 낮아 기체의 용해도가 크므로 표층 해수의 용존 산소량이 많다. 따라서 A 해역에서 침강한 북대서양 심층수는 산소를 심해로 운반하여 심해에 산소를 공급한다.  
 ⑥ 지구 온난화가 심해지면 해수 수온이 상승하고 빙하가 녹으면서 염분이 낮아져 해수의 밀도가 작아진다. 따라서 해수의 침강이 약해질 것이다.  
 ⑦ A 해역에서 침강한 해수가 북대서양 심층수를 이루고, B 해역에서는 심층 순환이 상승하는 용승이 일어나 표층 순환과 연결된다.  
 ⑧ B 해역에서는 심층 순환을 이루는 해수가 상승하여 표층 순환으로 이어진다.  
**바로알기 I** ④ 차갑고 염분이 높은 해수가 침강하는 곳은 A 해역이고, B 해역에서는 심층 순환을 이루는 해수가 상승하여 표층 순환과 연결된다.  
 ⑤ 남극 중층수는 60°S 부근에서 해수가 침강하여 형성된다.

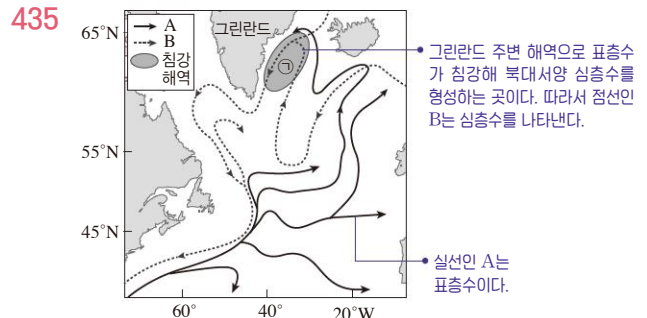


- ㄱ. A 해역은 그린란드 주변 노르웨이해이고, 이곳에서 침강한 해수가 북대서양 심층수를 형성하여 남쪽으로 흐른다.  
 ㄴ. 남극 대륙 주변의 웨델해(B)에서 침강한 해수는 남극 저층수를 형성한다.

**바로알기 I** ㄷ. 지구의 평균 기온이 상승하면 표층 해수의 수온이 상승하고 빙하가 녹으면서 염분이 낮아져 해수의 밀도가 작아진다. 따라서 심층 순환은 약해진다.

**434** ㄴ. (나)에서 A와 B 해역의 표층 염분이 낮아졌음을 알 수 있다. 해수의 염분이 낮아지면 밀도가 작아지기 때문에 침강이 잘 일어나지 않아 북대서양의 열염 순환이 약해진다.

**바로알기 I** ㄱ. A와 B 해역은 그린란드 주변 해역으로, 북대서양 심층수가 만들어지는 곳이다.  
 ㄷ. 빙하가 녹아 A와 B 해역에 유입되면 해수의 염분이 낮아지기 때문에 침강이 잘 일어나지 않아 심층 순환이 약해진다.



- ㄱ. B는 침강 해역에서 대서양 서쪽 해안을 따라 남쪽으로 흐르므로 심층수의 흐름을 나타내고, A는 표층수의 흐름을 나타낸다.  
 ㄴ. 유속은 심층수인 B가 표층수인 A보다 느리다.  
 ㄷ. ㉠ 해역은 침강 해역이고, 이곳으로 빙하가 녹은 물이 유입되면 염분이 낮아져 해수의 밀도가 작아지기 때문에 해수의 침강이 약해진다.

- 436** ① 심층 순환은 해수의 밀도 차로 발생하는 것으로, 해수의 밀도는 수온과 염분의 영향을 받기 때문에 심층 순환을 열염 순환이라고도 한다.  
 ③ 심층 순환이 약해지면 표층 순환도 약해지면서 저위도에서 고위도로 운반되는 에너지의 양이 적어지기 때문에 지구 기후에 영향을 줄 수 있다.  
 ④ 심층 순환은 전 수심과 위도에 걸쳐 일어나면서 해수를 순환시킨다.  
 ⑤ 수온이 낮아지거나 염분이 높아져 해수의 밀도가 커지면 표층 해수가 침강하여 심층 순환을 형성한다.  
 ⑦ 표층 순환과 심층 순환은 컨베이어 벨트처럼 연결되어 전 지구적인 해수의 순환을 이룬다.  
 ⑧ 심층 순환이 표층 순환으로 연결되기 때문에 심층 순환으로 심층수에 많이 포함되어 있는 영양 염류 등이 표층으로 운반된다.  
**바로알기 I** ② 심층 순환은 용존 산소량이 많은 찬 해수가 침강하면서 심층에 산소를 공급해 생물이 살 수 있게 한다.  
 ⑥ 심층 순환의 이동 속도는 매우 느리므로 직접 관측하기 어렵다.

**437** ㄱ. (나)를 보면 최근 30년 동안 북극해에서 얼음 면적은 감소하는 경향을 보이고 있다. 북극해의 얼음 면적이 감소하면 얼음이 녹은 물이 유입되어 염분이 낮아져 해수의 밀도가 작아지므로 P 해역에서 해수의 침강이 약해진다.

**바로알기 I** ㄴ. 북대서양 심층수는 그린란드 주변 해역에서 만들어진 심층수로 심해에 산소를 공급한다. 따라서 그린란드 주변의 P 해역에서 침강이 약해지면 북대서양 심해의 용존 산소량이 감소한다.  
 ㄷ. 심층 순환은 표층 순환과 연결되어 저위도의 에너지를 고위도로 수송한다. 따라서 심층 순환이 약해지면 표층 순환도 약해지면서 저위도에서 고위도로 수송하는 에너지의 양이 적어진다.

- 438** ① 북대서양의 서안을 따라 북상하는 난류는 멕시코 만류이다.  
 ② 북극 부근의 빙하가 녹은 물이 북대서양으로 흘러 들어가면 해수의 염분이 낮아지기 때문에 해수의 밀도가 작아진다.  
 ④ 북대서양 해수의 밀도가 감소하면 북대서양 해역에서 해수의 침강이 약해진다.  
 ⑤ 심층 순환과 표층 순환은 서로 연결되어 커다란 순환을 이룬다. 따라서 해수의 침강이 약해져서 심층 순환이 약해지면 표층 순환도 약해진다.

**바로알기 I** ③ 빙하가 녹은 물은 담수에 가깝다. 따라서 빙하가 녹은 물이 북대서양으로 흘러 들어가면 북대서양 해수의 염분은 낮아진다.

# 16 해양 변화와 기후 변화

## 빈출 자료 보기

118쪽

439 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○ (5) ○ (6) ○

440 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × (5) ○ (6) ○ (7) ○ (8) ○

439 (2) 적도 부근에서 무역풍이 불면 표층 해수가 북반구에서는 북쪽으로, 남반구에서는 남쪽으로 이동하여 적도의 해수가 발산되기 때문에 찬 해수가 표층으로 올라오는 적도 용승이 일어난다.

(4) 용승이 일어나는 해역은 표층 수온이 주변에 비해 낮기 때문에 해수면 위의 공기가 냉각되어 안개가 자주 발생한다. 따라서 A 해역에서는 안개가 자주 발생한다.

(5) 용승으로 영양 염류가 풍부한 심층의 찬 해수가 올라오기 때문에 용승이 일어나는 A, C 해역에서는 좋은 어장이 형성된다.

(6) A, B, C 해역에서는 심층의 찬 해수가 올라오는 용승이 일어나기 때문에 주변 해역에 비해 표층 수온이 낮다.

**바로알기 |** (1) A 해역은 북반구 대륙의 서안에 위치하고 있고, 북반구에서는 대륙의 서안에서 지속적으로 북풍이 불면 표층 해수는 풍향의 오른쪽 직각 방향인 서쪽으로 이동하므로 심층의 찬 해수가 표층으로 올라오는 용승이 일어난다.

(3) 남반구에서는 표층 해수가 풍향의 왼쪽 직각 방향으로 이동한다. 따라서 C 해역에서 표층 해수의 이동 방향은 풍향의 왼쪽 방향이다.

440 (1) 엘니뇨 시기에는 무역풍이 평상시보다 약해져 열대 태평양의 동쪽 해역에서 용승이 약해지고 수온 약층의 경사가 완만해지며, 서태평양의 따뜻한 해수가 동쪽으로 이동하여 동태평양의 표층 수온이 높아진다. 라니냐 시기에는 무역풍이 평상시보다 강해져 열대 태평양의 동쪽 해역에서 용승이 강해지고 동태평양의 표층 수온이 더 낮아진다. 따라서 (가)는 엘니뇨 시기, (나)는 라니냐 시기를 나타낸다.

(3) (가) 엘니뇨 시기에는 동태평양의 용승이 약해지기 때문에 동태평양 해역의 표층 수온은 평년보다 높다.

(5) (가) 엘니뇨 시기에는 평상시보다 무역풍이 약해지고, (나) 라니냐 시기에는 평상시보다 무역풍이 강해진다.

(6) (가) 엘니뇨 시기보다 (나) 라니냐 시기일 때 무역풍의 세기가 강하기 때문에 서태평양 쪽으로 이동하는 표층 해수의 흐름은 (가)보다 (나)일 때 더 강하다.

(7) 엘니뇨 시기에는 무역풍이 약화되어 동태평양에서 서태평양으로 이동하는 표층 해수의 흐름이 약해지므로 동서 방향의 해수면 기울기가 평상시보다 완만해지고, 라니냐 시기에는 무역풍이 강화되어 동태평양에서 서태평양으로 이동하는 표층 해수의 흐름이 강해지므로 동서 방향의 해수면 기울기가 평상시보다 급해진다. 따라서 동서 방향의 해수면 기울기는 (가) 엘니뇨 시기보다 (나) 라니냐 시기일 때에 급하다.

(8) (가) 엘니뇨 시기에는 평상시보다 동태평양 해역에서 용승이 약하게 일어나고, (나) 라니냐 시기에는 평상시보다 동태평양 해역에서 용승이 강하게 일어난다.

**바로알기 |** (2) (가) 엘니뇨 시기일 때는 무역풍이 약해져 서태평양의 따뜻한 해수가 동쪽으로 이동하므로 강수대가 동쪽으로 이동한다. 따라서 서태평양은 건조한 날씨로 가뭄이 나타난다.

(4) (나) 라니냐 시기일 때는 무역풍이 강해져 서태평양 해역의 수온이 평상시보다 더 높아지므로 강한 저기압이 형성된다.

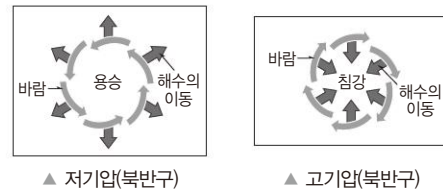
## 난이도별 필수 기출

119~123쪽

441 ④	442 ④	443 해설 참조	444 ③	445 ③
446 ④	447 해설 참조	448 ⑤, ⑥, ⑧	449 ②	
450 ㉠ 무역풍, ㉡ 남방 진동, ㉢ 엘니뇨 남방 진동 또는 엔소(ENSO)				
451 ①	452 ⑤	453 ①, ③	454 ③, ⑤	
455 ②	456 ④	457 ④	458 ①	459 ④
461 ①	462 ①	463 ①	464 ③	

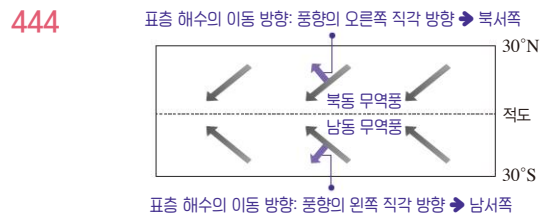
441 적도 부근 해역인 A에서는 무역풍으로 표층 해수가 북반구에서는 북쪽으로, 남반구에서는 남쪽으로 이동하여 적도 용승이 일어난다. 북반구 대륙의 서안인 B에서는 해안선과 나란하게 지속적으로 부는 북풍 때문에 표층 해수가 서쪽으로 이동하여 용승이 일어난다. 남반구 대륙의 서안인 C에서는 해안선과 나란하게 지속적으로 부는 남풍 때문에 표층 해수가 서쪽으로 이동하여 용승이 일어난다.

442 북반구에서는 바람이 부는 방향의 오른쪽 직각 방향으로 표층 해수가 이동한다. 북반구 저기압에서는 바람이 시계 반대 방향으로 불어 표층 해수가 저기압 중심에서 바깥쪽으로 이동하기 때문에 저기압 중심에서는 용승이 일어난다. 북반구 고기압에서는 바람이 시계 방향으로 불어 표층 해수가 고기압 바깥쪽에서 고기압 중심으로 이동하기 때문에 고기압 중심에서 침강이 일어난다.



443 태풍은 등심원 모양으로 등압선이 나타나는 열대 저기압이다. 북반구 저기압에서는 바람이 시계 반대 방향으로 불어 들어간다.

**모범 답안** 열대 저기압인 태풍은 북반구에서 시계 반대 방향으로 바람이 불어 들어가기 때문에 표층 해수는 태풍 중심에서 바깥쪽으로 이동하여 태풍의 중심에서 해수면의 높이가 낮아지면서 용승이 일어난다.



ㄱ. 북반구에서는 지구 자전 효과(전향력)로 표층의 해수가 바람이 부는 방향의 오른쪽 직각 방향으로 이동한다. 따라서 적도와 30°N 사이에서는 북동 무역풍 때문에 표층의 해수가 북서쪽으로 이동한다.

ㄴ. 적도 부근 해역에서는 북반구에서 북동 무역풍으로 표층 해수가 북서쪽으로 이동하고, 남반구에서 남동 무역풍으로 표층 해수가 남서쪽으로 이동하여 해수가 발산되므로 적도 용승이 일어난다.

**바로알기 |** ㄴ. 남반구에서는 표층 해수가 바람이 부는 방향의 왼쪽 직각 방향으로 이동한다. 따라서 적도와 30°S 사이에서는 남동 무역풍 때문에 표층 해수가 남서쪽으로 이동한다.

445 ㄱ. 태평양의 A 해역에서는 무역풍의 영향으로 표층 해수가 북반구에서는 북서쪽으로, 남반구에서는 남서쪽으로 이동하여 적도 용승이 일어난다.

ㄴ. B 해역은 북반구의 대륙 서안으로, 해안선과 나란하게 지속적으로 부는 북풍 계열의 바람 때문에 표층 해수가 서쪽으로 이동하면서 용승이 일어난다.

**바로알기** | ㄷ. 용승이 일어나는 해역은 심해의 찬 해수가 표층으로 올라오기 때문에 주변보다 수온이 낮다.

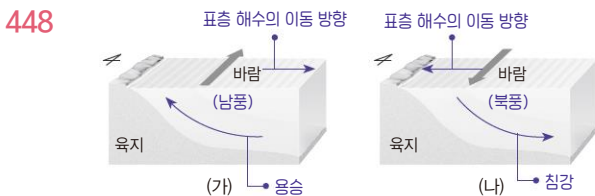
**446** ㄱ. 먼 바다의 표층 수온이 25℃까지 나타나는 것으로 보아 우리나라의 여름철에 관측한 것이다.

ㄴ. 울산 앞바다는 주변 해역보다 표층 수온이 낮은 것으로 보아 이 해역에서 용승이 일어났음을 알 수 있다.

**바로알기** | ㄷ. 우리나라는 북반구에 위치하며 여름철에는 남풍 계열풍이 분다. 여름철에 남풍 계열의 바람이 불어 표층 해수가 동쪽으로 이동하기 때문에 울산 앞바다에서 용승이 일어난 것이다.

**447** (가)와 같이 북반구의 대륙 동안에서는 지속적으로 부는 남풍 계열의 바람 때문에 표층 해수가 먼 바다로 이동한다. 이때 연안의 해수를 채우기 위해 심층의 차가운 해수가 올라오는데, 이를 연안 용승이라고 한다.

**모범 답안** 지속적인 남풍이 불고 있으므로 표층 해수는 동쪽으로 이동하고, 해안에 용승이 일어난다. 해안에 심해의 찬 해수가 올라오므로 육지에서 바다 쪽으로 가면서 표층 수온은 높아진다.



① (가)의 해안에는 용승으로 심해의 차가운 해수가 올라온다. 이 때문에 바다 위의 공기가 냉각되어 안개가 자주 발생한다.

② (가)에서 해안선과 나란하게 남풍이 불고 있으므로 표층 해수는 풍향의 오른쪽 직각 방향인 동쪽으로 이동한다.

③ (가)에서는 용승으로 영양 염류가 풍부한 심해의 해수가 올라오므로 좋은 어장이 형성된다.

④ (나)에서는 해안선과 나란하게 북풍이 불고 있으므로 표층 해수는 풍향의 오른쪽 직각 방향인 서쪽으로 이동한다.

⑦ (가)에서는 용승이 일어나고, (나)에서는 침강이 일어나므로 육지 부근 해수면의 수온은 (가)보다 (나)에서 높다.

**바로알기** | ⑤ (나)에서는 침강이 일어난다. 해안 지역의 기온이 낮아지는 것은 심해의 찬 해수가 올라오는 용승이 일어나는 (가)이다.

⑥ (가)에서는 용존 산소가 풍부한 심해의 찬 해수가 올라오는 용승이 일어나므로 육지 부근 해수의 용존 산소량은 (가)가 (나)보다 많다.

⑧ 남반구에서는 지속적인 바람이 부는 방향의 왼쪽 직각 방향으로 표층 해수가 이동한다. 따라서 남반구에서는 (나)와 같이 지속적인 북풍이 부는 대륙의 동안에서 용승이 일어난다.

**449** ㄴ. (가)에서는 남풍 때문에 표층 해수가 동쪽으로 이동하므로 연안 용승이 일어난다. 따라서 해수면의 수온은 먼 바다 쪽인 B가 A보다 높다.

**바로알기** | ㄱ. (가)에서는 남풍 때문에 표층 해수가 동쪽으로 이동하여 연안 용승이 일어난다. (나)에서는 적도 부근에 부는 무역풍 때문에 적도 부근의 표층 해수가 북반구에서는 북쪽으로, 남반구에서는 남쪽으로 이동하여 적도 용승이 일어난다. 따라서 (가)와 (나)에서 모두 용승이 일어난다.

ㄷ. (나)에서 무역풍 때문에 적도 부근 표층 해수가 북반구에서는 북쪽으로, 남반구에서는 남쪽으로 이동하므로 적도 해역의 해수면이 낮아져 적도 용승이 일어나는 것이다. 무역풍이 평상시보다 약해지면 적도 해역에서 북쪽과 남쪽으로 이동하는 해수의 양이 적어지므로 적도 해역의 해수면은 평상시보다 높아질 것이다.

**450** 엘니뇨는 평상시보다 무역풍이 약해져 적도 부근 동태평양에서 수온이 상승하는 현상이다. 라니냐는 반대로 평상시보다 무역풍이 강해져 적도 부근 동태평양에서 수온이 하강하는 현상이다. 평상시에는 적도 부근 태평양의 표층 수온 변화로 서태평양에 상승 기류가 형성되지만 엘니뇨 시기에는 상승 기류가 동쪽으로 이동한다. 이렇게 엘니뇨와 라니냐로 적도 부근 태평양의 기압 분포가 변하는 현상을 남방진동이라고 한다. 해양의 수온 변화인 엘니뇨와 라니냐 때문에 대기의 기압 분포가 변하므로 엘니뇨, 라니냐와 남방진동은 해양과 대기가 서로 영향을 주고받아 나타나는 하나의 현상이며 이를 엘니뇨 남방진동 또는 엔소(ENSO)라고 한다.

**451** ㄱ. 평상시에는 무역풍 때문에 적도 부근에서 동태평양의 해수가 서태평양으로 이동하여 동서 해수면의 기울기가 크다(B). 엘니뇨 시기에 무역풍이 평상시보다 약해지면서 동태평양의 해수가 서태평양 쪽으로 이동하는 양이 줄어들므로 엘니뇨 시기에는 적도 부근에서 동태평양 해역의 해수면 높이는 평상시보다 높아진 A와 같이 나타난다.

**바로알기** | ㄴ. 평상시에는 적도 부근 동태평양 해역에서 용승이 활발하게 일어나지만 엘니뇨 시기에는 용승이 약해지기 때문에 수온 약층의 경사가 완만해진다. 따라서 엘니뇨 시기의 수온 약층은 C이다.

ㄷ. 엘니뇨 시기에는 무역풍이 약해지기 때문에 적도 부근에서 동태평양 해역의 용승이 평상시보다 약해진다.

**개념 보충**

**엘니뇨와 라니냐**

- 엘니뇨: 무역풍 약화 → 적도 부근 동태평양 해수의 서쪽으로 이동 약화 → 동태평양의 용승 약화 → 동태평양 수온 상승, 서태평양 수온 하강 → 동태평양 강수량 증가 및 어획량 감소, 서태평양 가뭄 발생
- 라니냐: 무역풍 강화 → 적도 부근 동태평양 해수의 서쪽으로 이동 강화 → 동태평양의 용승 강화 → 동태평양 수온 하강, 서태평양 수온 상승 → 동태평양 강수량 감소, 서태평양 폭우 발생

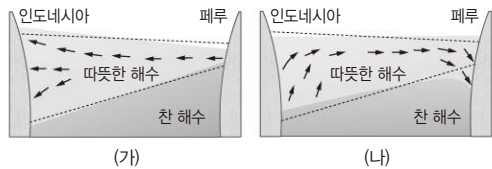
**452** ㄱ. 평상시 적도 부근 동태평양에서 용승이 일어나므로 표층 수온은 서태평양보다 동태평양이 낮다. 이 때문에 서태평양에는 저기압이, 동태평양에는 고기압이 되어 동서 방향의 거대한 대기 순환이 형성되는데 이를 워커 순환이라고 한다.

ㄴ. 워커 순환은 해양과 대기의 상호 작용으로 형성된다.

ㄷ. 평상시에는 적도 부근 동태평양의 표층 수온이 낮기 때문에 이 해역에는 고기압이 형성된다.

**453** 무역풍이 평상시보다 약해지는 엘니뇨 시기에 동태평양 적도 해역에서 용승이 약해지기 때문에 이 해역의 표층 수온이 상승하고, 수온 약층의 시작 깊이가 평상시보다 깊어진다. 평상시에는 동태평양 적도 해역에서 용승으로 영양 염류가 공급되어 어획량이 많았지만 엘니뇨 시기에는 용승이 약해져 영양 염류의 공급이 줄어들기 때문에 어획량이 감소한다. 또, 평상시에는 동태평양 적도 해역의 수온이 낮아 이 해역에 고기압이 형성되지만 엘니뇨 시기에는 표층 수온이 상승하여 이 해역에 저기압이 형성되므로 강수량이 증가한다. 따라서 무역풍이 평상시보다 약해지는 엘니뇨 시기에 동태평양 적도 해역에서는 기압과 어획량이 감소한다.





(가) 동태평양에서 평상시보다 찬 해수가 더 높이 올라와 있다. ➔ 용승이 강해졌다. ➔ 무역풍이 강한 라니냐 시기이다.  
(나) 동태평양에서 평상시보다 찬 해수가 더 낮게 가라앉아 있다. ➔ 용승이 약해졌다. ➔ 무역풍이 약한 엘니뇨 시기이다.

③ (나) 엘니뇨 시기에는 무역풍이 평상시보다 약하므로 동태평양인 페루 연안의 용승이 약해지고, 따뜻한 해수층의 두께가 두꺼워지며, 수온 약층의 시작 깊이가 깊어진다.

⑤ (가) 라니냐 시기에는 무역풍이 강하기 때문에 페루 연안의 용승이 평상시보다 강하고, (나) 엘니뇨 시기에는 무역풍이 평상시보다 약하기 때문에 페루 연안의 용승이 평상시보다 약하다.

**바로알기 I** ① (가)는 라니냐, (나)는 엘니뇨 시기의 열대 태평양에서 해수의 동서 방향 연직 단면과 해수의 이동 방향을 나타낸 것이다.

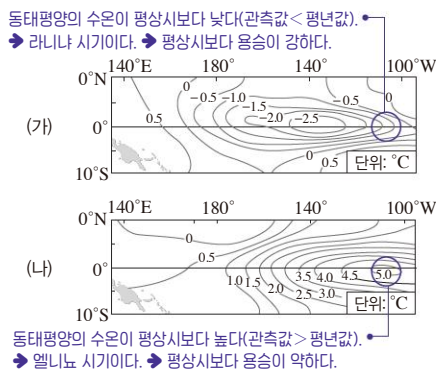
② (가) 라니냐 시기에 적도 부근 서태평양의 표층 수온이 높고, 동태평양은 용승으로 표층 수온이 낮다. 따라서 인도네시아 부근의 서태평양에 상승 기류가 나타나고, 페루 부근의 동태평양에 하강 기류가 나타난다.

④ (가) 라니냐 시기에 동태평양에서 심해의 영양 염류가 풍부한 해수가 용승으로 올라오므로 페루 연안의 영양 염류는 (나)보다 (가)에서 풍부하다.

⑥ (가) 라니냐 시기에 강한 무역풍 때문에 적도 부근 동태평양의 해수가 서쪽으로 평상시보다 더 많이 이동한다. 따라서 동서 방향의 해수면 높이 차는 (가)보다 (나)에서 작다.

⑦ (가) 라니냐 시기에는 적도 부근 동태평양에 용승이 평상시보다 더 많이 일어나 표층 수온이 낮다. 따라서 동태평양과 서태평양의 수온 차이는 (나)보다 (가)에서 크다.

## 455



나. (나) 엘니뇨 시기에 동태평양의 표층 수온은 평상시보다 높아져 이 해역에 상승 기류가 발달하므로 저기압이 형성된다. 따라서 동태평양의 기압은 평상시보다 낮다.

**바로알기 I** ㄱ. (가)는 동태평양에서 관측값이 평년값보다 작으므로 수온이 낮은 라니냐 시기이다. 라니냐 시기에는 무역풍이 평상시보다 강해져 동태평양의 용승이 더 활발해진다.

ㄴ. (가) 라니냐 시기에는 평상시보다 용승이 활발하게 일어나므로 동태평양의 표층 수온이 평상시보다 낮다. (나) 엘니뇨 시기에는 평상시보다 용승이 약해져서 동태평양의 표층 수온이 평상시보다 높다. 따라서 동태평양 해역의 용승은 (나) 시기가 (가) 시기보다 약하다.

**456** (가)는 동태평양의 표층 수온이 높으므로 엘니뇨 시기이고, (나)는 동태평양의 표층 수온이 낮으므로 라니냐 시기이다.

④ 수심 100 m~200 m 구간에서 (가)가 (나)보다 등온선이 더 조밀하게 분포하므로 깊이에 따른 수온 감소율이 (가)보다 (나) 시기에 작다.

**바로알기 I** ① (가)는 엘니뇨 시기, (나)는 라니냐 시기이다.

② (나) 라니냐 시기에는 평상시보다 무역풍이 강해 동태평양의 해수가 평상시보다 서쪽으로 많이 이동한다. 따라서 평균 해수면은 (가)보다 (나) 시기에 낮다.

③ (가) 엘니뇨 시기에는 무역풍이 평상시보다 약해 동태평양의 용승이 약해지기 때문에 표층 수온이 높아진다. (나) 라니냐 시기에는 무역풍이 평상시보다 강해 동태평양의 용승이 강해지기 때문에 표층 수온이 낮아진다. 따라서 이 해역의 용승은 (가)보다 (나) 시기에 더 활발하다.

⑤ 수온 약층이 시작되는 깊이는 용승이 약한 (가) 시기에는 깊게, 용승이 강한 (나) 시기에는 얇게 나타난다.

**457** (가)는 평상시보다 무역풍이 약해져 동태평양의 용승이 약해지는 엘니뇨 시기이고, (나)는 평상시보다 무역풍이 강해져 동태평양의 용승이 강해지는 라니냐 시기이다.

나. (가)는 엘니뇨 시기로 무역풍이 평상시보다 약해 서태평양 쪽으로 흐르는 표층 해수의 흐름이 평상시보다 약하다. (나)는 라니냐 시기로 무역풍이 평상시보다 강해 서태평양 쪽으로 흐르는 표층 해수의 흐름이 평상시보다 강하다.

ㄴ. 평상시에는 적도 부근 서태평양에 저기압, 동태평양에 고기압이 발달한다. (가) 엘니뇨 시기에는 동태평양의 표층 수온이 평상시보다 높아져 서태평양에 고기압, 동태평양에 저기압이 형성된다. (나) 라니냐 시기에는 동태평양의 표층 수온이 평상시보다 낮아져 서태평양에 평상시보다 강한 저기압, 동태평양에 평상시보다 강한 고기압이 형성된다. 따라서 서태평양과 동태평양 기압 차이는 (가)보다 (나)일 때 더 크다.

**바로알기 I** ㄱ. (가)는 엘니뇨 시기, (나)는 라니냐 시기이다.

**458** ㄱ. 동태평양 적도 해역의 해수면 수온 편차가 (+)로 나타나는 A는 표층 수온이 평상시보다 높은 엘니뇨 시기이고, 해수면 수온 편차가 (-)로 나타나는 B는 라니냐 시기이다.

나. 엘니뇨는 무역풍이 평상시보다 약해져 발생하고, 라니냐는 무역풍이 평상시보다 강해져 발생한다. 따라서 무역풍의 세기는 엘니뇨 시기(A)보다 라니냐 시기(B)일 때 강하다.

**바로알기 I** ㄴ. A보다 B일 때 무역풍의 세기가 강하므로 무역풍의 영향으로 흐르는 남적도 해류의 세기는 A보다 B일 때 강하다.

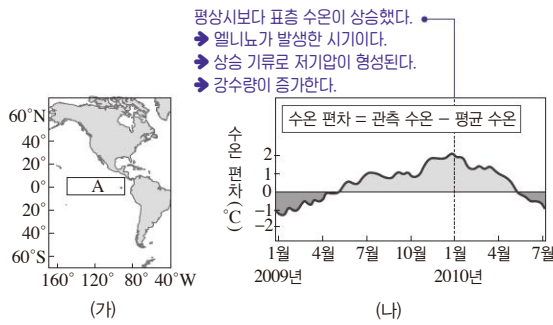
ㄴ. 엘니뇨인 A 시기에 동태평양 적도 해역의 표층 수온이 상승하고, 이 해역에 상승 기류가 발달하여 강수량이 증가한다. 반면에 라니냐인 B 시기에는 하강 기류가 발달하여 강수량이 감소한다. 따라서 동태평양 적도 해역의 강수량은 A보다 B일 때 적다.

**459** ㄱ. 평상시에는 서태평양에 저기압이 형성되어 상승 기류가 발달하지만 엘니뇨 시기에는 상승 기류가 동쪽으로 이동한다. 이렇게 엘니뇨와 라니냐로 열대 태평양에서 동태평양과 서태평양의 기압 분포가 변하는 현상을 남방 진동이라고 한다.

나. (나)에서 다윈의 기압이 평년보다 상승하면 타히티의 기압은 평년보다 하강하므로 다윈과 타히티의 기압 변화는 대체로 반대로 나타난다.

ㄴ. A 시기에 서태평양에 위치한 다윈의 기압은 평상시보다 높고, 동태평양에 위치한 타히티의 기압은 평상시보다 낮다. 따라서 A 시기는 무역풍이 약해진 엘니뇨 시기에 해당한다.

**바로알기 I** ㄴ. 엘니뇨 시기(A)에는 페루 연안의 용승이 평상시보다 약해진다.



ㄱ. A 해역은 동태평양이고, 2010년 1월에 A 해역의 표층 수온은 평상시보다 높아졌다. 따라서 이 시기는 엘니뇨가 발생한 시기이다.

ㄴ. 2010년 1월에 A 해역의 표층 수온은 평상시보다 높아져 저기압이 형성되고, 평상시보다 강수량이 많아진다.

**바로알기** | ㄷ. 해양과 대기는 서로 영향을 주고받기 때문에 해양의 수온 변화와 대기의 기압 변화는 함께 나타난다. A 해역의 수온 변화에 따라 열대 태평양의 수온도 변하고, 이에 따라 기압 분포도 달라진다.

**461** ㄱ. (가)에서 A 시기에 동태평양 페루 연안의 표층 수온이 평상시보다 상승했다. 이는 엘니뇨 시기에 나타나는 현상이다.

**바로알기** | ㄴ. 용승으로 영양 염류가 풍부한 심해의 찬 해수가 상승하면 플랑크톤이 풍부해진다. (나)에서 B 시기에 동태평양 페루 연안의 플랑크톤 양이 평상시보다 감소하였다. 따라서 용승이 약해진 엘니뇨 시기이다.

ㄷ. 엘니뇨 시기(A)에는 페루 연안의 용승이 약해져 영양 염류와 플랑크톤의 양이 감소하기 때문에 좋은 어장이 형성되지 않는다.

**462** ㄱ. (가)에서 표층 해류의 속도와 (나)에서 해류의 속도 편차의 방향이 서로 반대이고, 화살표 길이가 짧은 것으로 보아 (나) 시기에 해류의 속도는 평상시보다 약해졌다.

**바로알기** | ㄴ. (나) 시기에 적도 부근 표층 해수의 서쪽 방향 흐름이 평년보다 약해졌으므로 엘니뇨 시기이다. (나) 엘니뇨는 동풍 계열의 바람인 무역풍이 평상시보다 약해지기 때문에 발생한다.

ㄷ. (나) 엘니뇨 시기에는 동태평양 적도 해역인 A 해역의 표층 수온이 상승하여 A 해역에 저기압이 형성된다. 따라서 A 해역의 기압은 (가)보다 (나)가 더 낮다.

**463** ㄱ. (가)의 ㉠은 동태평양의 기압이 서태평양의 기압보다 높은 상태로 라니냐일 때의 기압 차 분포이고, ㉡은 동태평양의 기압이 서태평양의 기압보다 낮은 상태로 엘니뇨일 때의 기압 차 분포이다.

**바로알기** | ㄴ. (나)에서 동태평양의 표층 수온은 평년보다 높다.

ㄷ. (나)에서 동태평양의 따뜻한 해수층이 평년보다 더 두꺼우므로 용승이 약해진 엘니뇨 시기를 나타낸다. 따라서 (나)는 (가)의 ㉡에 해당한다.

**464** (가)에서 서쪽으로 향하는 방향을 양(+)으로 하므로 a 시기는 무역풍이 평년보다 강한 라니냐 시기이고, b 시기는 무역풍이 평년보다 약한 엘니뇨 시기이다.

ㄱ. (나)의 A는 라니냐 시기(a)에 기압이 낮아지고 엘니뇨 시기(b)에 기압이 높아지므로 서태평양 해역이고, B는 라니냐 시기(a)에 기압이 높아지고 엘니뇨 시기(b)에 기압이 낮아지므로 동태평양 해역이다.

ㄴ. 라니냐 시기(a)에 평년보다 표층 수온이 낮아져 표층 수온 편차값(-) 값인 해역은 동태평양 해역인 B이다.

**바로알기** | ㄷ. 라니냐 시기(a)보다 엘니뇨 시기(b)에 서태평양 쪽으로 표층 해수의 흐름이 약하다.

## 17 지구 기후 변화

### 빈출 자료 보기

126쪽

**465** (1) × (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ○ (6) ○ (7) ×

**466** (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × (5) × (6) ○ (7) ×

**465** (2) 현재 지구의 북반구는 근일점에서 겨울, 원일점에서 여름이다. (나) 시기에 지구 자전축의 방향이 반대가 되므로 북반구는 근일점에서 여름, 원일점에서 겨울이 된다. 따라서 현재보다 여름철 평균 기온은 상승하고, 겨울철 평균 기온은 하강하여 기온의 연교차는 현재보다 커진다.

(3) (나)에서 북반구는 근일점에서 여름, 원일점에서 겨울이고, 남반구는 근일점에서 겨울, 원일점에서 여름이다. 따라서 기온의 연교차는 북반구가 남반구보다 크다.

(5) 연간 지구 전체가 받는 태양 복사 에너지량은 지구와 태양 사이의 거리에 따라 달라진다. (다)에서 지구 공전 궤도의 모양은 변하지 않았으므로 연간 지구에 입사하는 태양 복사 에너지량은 현재와 같다.

(6) (다)일 때 자전축의 경사각이 현재보다 작으므로 우리나라 겨울철 태양의 남중 고도는 현재보다 높다. 따라서 (다)일 때 우리나라 겨울은 현재보다 더 따뜻해진다.

**바로알기** | (1) 지구 자전축은 약 26000년을 주기로 팽이의 축처럼 회전하는데, 이를 세차 운동이라고 한다. 세차 운동의 주기가 약 26000년이므로 지구 자전축의 경사 방향이 (나)와 같이 현재와 반대가 되는 시기는 약 13000년 후이다.

(4) (나)에서 지구가 근일점일 때 우리나라가 위치하는 북반구는 여름이다.

(7) (다)와 같이 자전축의 경사각이 현재보다 작아지면 남반구 여름에 태양의 남중 고도는 현재보다 낮아지고, 남반구 겨울에 태양의 남중 고도는 현재보다 높아진다. 따라서 남반구에서 기온의 연교차는 현재보다 작아진다.

**466** (1) 지구에 입사한 태양 복사 에너지 100 단위 중 25 단위는 대기에 흡수되고, 45 단위는 지표에 흡수되므로 대기와 지표에 흡수되지 않고 우주 공간으로 반사된 에너지 A는 30 단위이다.

**다른 해설** (1) 지구는 복사 평형을 이루므로 지구에 입사한 태양 복사 에너지(100)=지구가 방출하는 지구 복사 에너지(70)+반사된 에너지(A)이다. 따라서 A는 30 단위이다.

(2) 지구는 복사 평형 상태이므로 지구 전체, 대기, 지표 각각에서 흡수하는 에너지의 양과 방출하는 에너지의 양이 같다. 지표가 흡수하는 에너지 (45+B) 단위는 지표가 방출하는 에너지 (29+104) 단위와 같으므로 B는 88이다.

(6) 대기가 지표가 방출한 에너지를 흡수한 후 지표로 재복사하기 때문에 이를 지표가 흡수(B)하여 온실 효과가 일어난다.

**바로알기** | (3) 지구의 평균 기온은 약 15°C로 주로 적외선의 형태로 복사 에너지를 방출한다.

(4) 지구의 대기는 파장이 짧은 가시광선은 거의 투과시키고, 파장이 긴 적외선은 잘 흡수한다.

(5) 지구에 대기가 없다면 온실 효과가 일어나지 않아 현재보다 지구의 평균 온도가 낮아지고, 대기의 재복사가 일어나지 않으므로 지표에서 방출되는 에너지도 감소한다.

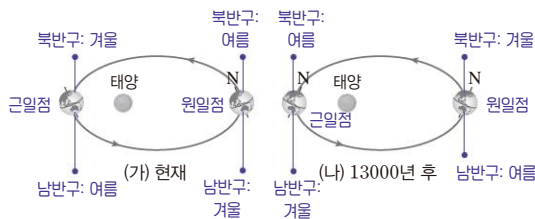
(7) 대기 중 온실 기체의 양이 증가하면 온실 효과로 대기에서 지표로 재복사되는 에너지의 양이 증가하므로 지표가 흡수하는 에너지량과 지표에서 방출되는 에너지량이 모두 증가한다.

## 난이도별 필수 기출

127~133쪽

467 ①, ③, ④	468 ⑤	469 해설 참조	470 ①
471 ④	472 해설 참조	473 ④	474 ①
475 ③	476 해설 참조	477 ⑤	478 ④
480 ④	481 ③	482 ⑤	483 ⑤
485 ㉠ 가시광선, ㉡ 적외선	486 ④	487 ②	
488 A: 30, B: 20, C: 102, D: 94, D	489 ③		
490 ①, ⑥, ⑧	491 ⑤	492 ③	493 ②
495 해설 참조	496 ③	497 ④	498 ②
499 ⑤, ⑦	500 ③	501 ⑤	502 해설 참조
503 ②, ⑤			

467



① 우리나라는 북반구에 위치하므로 (가)의 근일점에서 겨울, 원일점에서 여름이다.

③ (가) 현재 북반구는 근일점에서 겨울, 원일점에서 여름이다. (나) 13000년 후 북반구는 근일점에서 여름, 원일점에서 겨울이다. 따라서 (가)보다 (나)에서 북반구 기온의 연교차가 더 크다.

④ (나)에서 북반구는 근일점에서 여름, 원일점에서 겨울이고, 남반구는 근일점에서 겨울, 원일점에서 여름이다. 따라서 기온의 연교차는 북반구가 남반구보다 크다.

**바로알기** | ② (가)에서 지구가 받는 태양 복사 에너지량은 태양으로부터 거리가 가까운 근일점보다 태양으로부터 거리가 먼 원일점에서 더 적다.

⑤ 우리나라에서 태양의 남중 고도는 여름이 겨울보다 높다. (가)의 원일점에서 우리나라는 여름이고, (나)의 원일점에서 우리나라는 겨울이다. 따라서 원일점일 때 우리나라에서 태양의 남중 고도는 (나)가 (가)보다 낮다.

⑥ 우리나라에서 낮의 길이는 여름이 겨울보다 길다. (가)의 근일점에서 우리나라는 겨울이고, (나)의 근일점에서 우리나라는 여름이다. 따라서 근일점일 때 우리나라에서 낮의 길이는 (가)가 (나)보다 짧다.

⑦ (가)에서 남반구는 근일점에서 여름, 원일점에서 겨울이고, (나)에서 남반구는 근일점에서 겨울, 원일점에서 여름이다. 따라서 남반구 중위도에서 기온의 연교차는 (가)가 (나)보다 크다.

⑧ (가) 현재에는 자전축 방향에 북극성이 위치하지만, (나) 13000년 후에는 자전축의 방향이 현재와 반대이기 때문에 자전축 방향에 북극성이 위치하지 않는다.

**468** ㄱ. 세차 운동의 주기는 약 26000년이고, 세차 운동의 방향은 지구 자전의 방향과 반대 방향(시계 방향)이다. 따라서 약 6500년 후 지구 자전축의 경사 방향은 A이다.

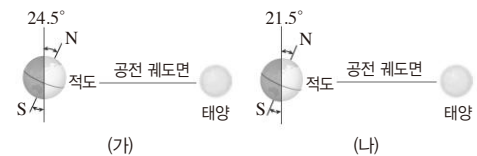
ㄴ. 현재 북반구는 원일점에서 여름, 근일점에서 겨울이다. 약 6500년 후에는 원일점에서 가을, 근일점에서 봄이므로 북반구 겨울에 지구와 태양 사이의 거리는 현재보다 멀어지고, 북반구가 여름일 때 지구와 태양 사이의 거리는 현재보다 가까워진다. 따라서 약 6500년 후 북반구에서 기온의 연교차는 현재보다 커진다.

ㄷ. 지구가 태양과 가장 먼 위치는 원일점이고, 현재 원일점에서 남반구는 겨울이다. 약 13000년 후에는 자전축의 경사 방향이 현재와 반대가 되면 남반구는 원일점에서 여름이다.

**469** 현재 지구 자전축은 지구 공전 궤도의 수직축에 대하여 약  $23.5^\circ$  기울어져 있고, 지구 자전축의 경사각은 약 41000년을 주기로  $21.5^\circ \sim 24.5^\circ$  사이에서 변한다. (나)와 같이 지구 자전축의 경사각이 현재보다 작아지면 북반구 여름에 태양의 남중 고도는 낮아지고, (가)와 같이 지구 자전축의 경사각이 현재보다 커지면 북반구 여름에 태양의 남중 고도가 높아진다.

**모범 답안** | 지구 자전축의 경사각이 현재의  $23.5^\circ$ 보다 작아지면 북반구는 여름에 태양의 남중 고도가 현재보다 낮아지고, 겨울에 태양의 남중 고도가 현재보다 높아진다. 따라서 (나) 시기에 우리나라에서 기온의 연교차는 현재보다 작아진다.

470



지구 자전축 경사가 현재( $23.5^\circ$ )보다 증가 → 북반구는 여름에 태양의 남중 고도가 높아지고, 겨울에 낮아진다. → 여름의 기온이 높아지고, 겨울의 기온이 낮아진다. → 기온의 연교차가 커진다.

지구 자전축 경사가 현재( $23.5^\circ$ )보다 감소 → 북반구는 여름에 태양의 남중 고도가 낮아지고, 겨울에 높아진다. → 여름의 기온이 낮아지고, 겨울의 기온이 높아진다. → 기온의 연교차가 작아진다.

ㄱ. 연간 지구에 입사하는 태양 복사 에너지량은 지구와 태양 사이의 거리에 따라 달라진다. (가)와 (나)에서 태양과 지구 사이의 거리는 변하지 않았으므로 연간 지구에 입사하는 태양 복사 에너지량은 (가)와 (나)에서 같다.

ㄴ. 적도 지역에서 태양의 남중 고도는 지구 자전축의 경사각이 작을수록 크다. 지구 자전축의 경사각은 (가)보다 (나)일 때 작으므로 적도 지역의 연평균 기온은 (가)보다 (나)일 때 높다.

**바로알기** | ㄷ. (가)와 같이 지구 자전축의 경사각이 커지면 북반구는 원일점인 겨울에 태양의 남중 고도가 낮아진다. (나)와 같이 지구 자전축의 경사가 작아지면 북반구는 원일점인 겨울에 태양의 남중 고도가 높아진다. 따라서 원일점일 때 우리나라에서 태양의 남중 고도는 (가)보다 (나)일 때 높다.

ㄹ. 지구 자전축의 경사각이 변하는 주기가 약 41000년이므로 (가)  $24.5^\circ$ 에서 (나)  $21.5^\circ$ 로 변하는 데 걸린 시간은 약 20500년이다.

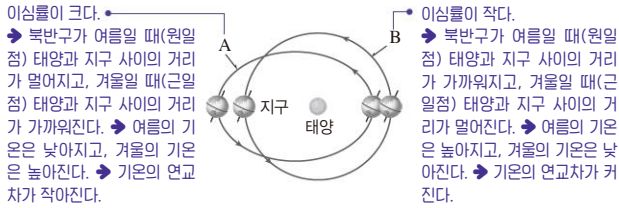
**471** ㄴ. 현재 북반구는 근일점에서 겨울, 원일점에서 여름이다. (가)와 같이 지구 자전축 경사 방향이 반대가 되면 북반구는 근일점에서 여름, 원일점에서 겨울로 계절이 달라진다.

ㄷ. (나)와 같이 지구 자전축의 경사각이 작아지면 근일점인 남반구 여름철에 태양의 남중 고도가 낮아지므로 남반구 지역의 여름철 평균 기온은 현재보다 낮아진다.

**바로알기** | ㄱ. (나)일 때 지구 자전축의 경사각이 현재보다 작아지므로 북반구는 원일점인 여름철 태양의 남중 고도가 낮아지고, 근일점인 겨울철 태양의 남중 고도가 높아져 현재보다 기온의 연교차가 작아진다. 따라서 우리나라의 연교차는 현재보다 작아진다.



## [472~473]



**472** 이심률은 공전 궤도의 납작한 정도를 나타내는 것으로, 공전 궤도가 완전한 원일 때는 이심률이 0이며, 타원일 때는 이심률이 0과 1 사이의 값을 나타낸다.

**모범 답안** 지구 공전 궤도가 B에서 A로 변할 때 이심률이 커지고, 이때 북반구는 겨울에 기온이 높아지고, 여름에 기온이 낮아지므로 북반구 기온의 연교차는 작아진다.

**473** ㄴ. 북반구의 여름철인 원일점에서 태양과 지구 사이의 거리는 A보다 B가 가까우므로 북반구의 여름철 기온은 A보다 B에서 높다.  
ㄷ. A에서 B로 변하여 이심률이 작아지면 원일점에서 태양과 지구 사이의 거리는 가까워지고, 근일점에서는 멀어진다.

**바로알기** ㄱ. 공전 궤도가 원에 가까울수록 이심률이 작고, 납작한 타원일수록 이심률이 크다. 지구 공전 궤도 A는 B보다 납작한 타원이므로 공전 궤도 이심률은 A보다 B가 작다.

**474** ㄱ. 현재 북반구는 근일점에서 겨울, 원일점에서 여름이다. 13000년 후에 북반구는 근일점에서 여름, 원일점에서 겨울이다. 따라서 13000년 후 다른 조건이 동일하고 자전축의 경사 방향만 변한다면 북반구에서 기온의 연교차는 커진다.

**바로알기** ㄴ. 지구 공전 궤도 이심률만 현재보다 커지면 북반구가 겨울인 근일점의 거리는 현재보다 가까워지고, 여름인 원일점 거리는 현재보다 멀어진다. 따라서 북반구에서 기온의 연교차는 작아진다.

ㄷ. 다른 조건이 동일하고, 지구 자전축의 경사각이 현재보다 커지면 북반구가 여름일 때 태양의 남중 고도가 높아지고, 북반구가 겨울일 때 태양의 남중 고도는 낮아진다. 따라서 북반구 기온의 연교차는 커진다.

**475** ㄱ. 현재는 ㉠ 시기보다 지구 자전축의 경사각이 작으므로 기온의 연교차도 작다. 따라서 30°S인 남반구에서 기온의 연교차는 현재가 ㉠ 시기보다 작다.

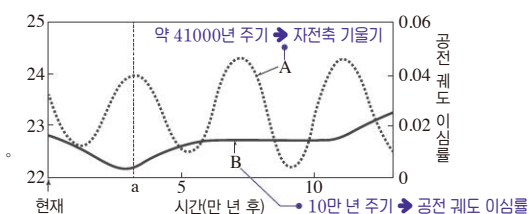
ㄴ. ㉠ 시기는 현재보다 지구 자전축의 경사각이 작았으므로 기온의 연교차도 작았다. 30°N은 북반구이므로 ㉠ 시기에 여름일 때 태양의 남중 고도는 현재보다 더 낮고, 겨울일 때 현재보다 높다.

**바로알기** ㄷ. ㉠ 시기와 ㉡ 시기에 태양과 지구 사이의 거리는 변하지 않으므로 일 년 동안 지구에 입사하는 평균 태양 복사 에너지량은 ㉠ 시기와 ㉡ 시기가 같다.

**476** 흑점 수가 많을수록 태양 활동이 활발해져 지구에 도달하는 태양 복사 에너지량이 증가하므로 지구의 기온이 상승한다.

**모범 답안** A 시기에는 태양 흑점 수가 매우 적으므로 태양 활동이 활발하지 않아 지구에 들어오는 태양 복사 에너지량이 감소하였다. 따라서 지구의 연평균 기온은 낮아졌을 것이다.

## 477



ㄱ. 지구 자전축 기울기는 약 41000년을 주기로 변하고, 지구 공전 궤도 이심률은 약 10만 년을 주기로 변한다. 따라서 변화 주기가 상대적으로 짧은 A는 지구 자전축 기울기의 변화를, 변화 주기가 상대적으로 긴 B는 지구 공전 궤도 이심률의 변화를 나타낸다.

ㄴ. 10만 년 후 지구 공전 궤도 이심률은 현재와 같고, 자전축 기울기도 현재와 유사하다. 따라서 계절 변화에 영향을 주는 요인은 세차 운동이다. 세차 운동의 주기는 약 26000년이고 10만 년 후에는 세차 운동이 약 4회 지나 현재와 유사하게 지구가 근일점에 있을 때이므로 우리나라는 겨울이다.

ㄷ. 지구 자전축 기울기는 현재보다 a 시기가 커지므로 북반구 중위도에 위치한 우리나라는 a 시기에 여름과 겨울에 받는 태양 복사 에너지량의 차이가 현재보다 커져 기온의 연교차가 커진다. 또한, 지구 공전 궤도 이심률은 현재보다 a 시기가 작아지므로 북반구가 여름인 원일점에서 지구와 태양 사이의 거리는 현재보다 a 시기가 가깝고, 북반구가 겨울인 근일점에서 지구와 태양 사이의 거리는 현재보다 a 시기가 멀어져 기온의 연교차가 커진다. 따라서 a 시기에 우리나라에서 기온의 연교차는 현재보다 커진다.

**478** ㄴ. 현재 근일점에서 남반구는 여름이다. 6500년 후에는 지구 자전축 방향이 현재보다 시계 방향으로 약 90° 회전하므로 근일점에서 남반구는 가을이 된다.

ㄷ. 13000년 전에는 지구 자전축 경사 방향이 현재와 반대이고, 이심률이 현재보다 컸으므로 북반구가 여름일 때 근일점 위치이고, 근일점까지의 거리는 현재보다 태양에 더 가까웠다. 26000년 후에는 지구 자전축 경사 방향이 현재와 같고, 이심률이 작아지므로 북반구가 여름일 때 원일점 위치이고, 원일점까지의 거리는 현재보다 태양에 더 가까울 것이다. 따라서 북반구가 여름일 때 지구에 입사하는 태양 복사 에너지량은 13000년 전이 26000년 후보다 많다.

**바로알기** ㄱ. 13000년 전에는 지구 자전축의 방향이 현재와 반대이고, 지구 공전 궤도의 이심률은 현재보다 더 컸다. 현재 남반구는 근일점에서 여름, 원일점에서 겨울이므로 13000년 전에 남반구는 근일점에서 겨울, 원일점에서 여름이었다. 그리고 지구 공전 궤도 이심률이 현재보다 컸기 때문에 근일점은 현재보다 태양에 더 가까웠고, 원일점은 현재보다 태양에서 더 멀었다. 따라서 약 13000년 전에 남반구 겨울의 평균 기온은 현재보다 높았고, 남반구 여름의 평균 기온은 현재보다 낮았다. 따라서 13000년 전 남반구 기온의 연교차는 현재보다 작았다.

**479** 기후 변화의 요인 중 지구 내적 요인으로는 수목 분포의 변화, 빙하 면적의 변화, 화산 폭발로 발생하는 화산재 분출 등이 있고, 지구 외적 요인으로는 지구의 세차 운동, 지구 자전축의 경사각 변화, 지구 공전 궤도 이심률의 변화 등이 있다.

**480** ① 화산이 폭발할 때는 수증기, 이산화 탄소, 질소, 이산화 황 등의 화산 기체가 대기로 방출된다. 이 중 수증기와 이산화 탄소는 온실 효과를 일으켜 지구의 기온을 상승시킨다.

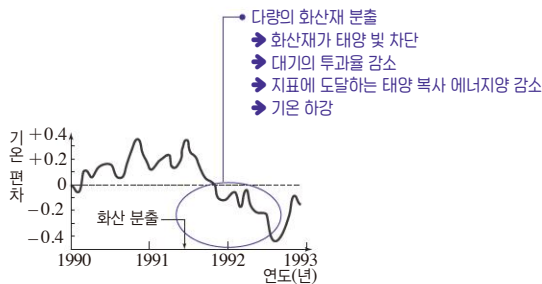
② 발산형 경계에서 이산화 탄소가 방출되어 대기 중 이산화 탄소의 농도가 높아지면 온실 효과가 심해져 지구의 평균 기온이 상승한다.

③ 대기 중으로 화산재가 방출되면 태양 빛을 차단하여 지표에 도달하는 태양 복사 에너지량이 감소한다.

⑤ 빙하가 녹아 바다에 유입되면 염분이 낮아져 해수의 밀도가 작아지므로 해수의 침강이 약해지기 때문에 심층 순환이 약해지고 표층 순환에도 영향을 주어 기후가 변한다.

**바로알기 | ④** 빙하는 태양 복사 에너지를 잘 반사한다. 빙하의 면적이 감소하면 반사되는 태양 복사 에너지양이 감소하기 때문에 지표에 흡수되는 태양 복사 에너지양이 증가한다.

481

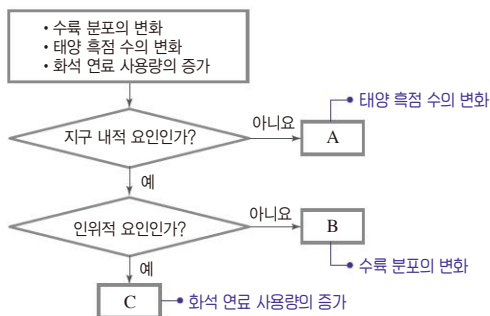


ㄱ. 화산 분출로 지구의 평균 기온이 낮아지는 현상은 지권과 기권의 상호 작용에 해당한다.

ㄷ. 화산 활동 결과 대기로 분출된 화산재는 성층권에 머물면서 태양 빛을 차단하여 대기의 투과율을 감소시켜 지구의 평균 기온을 낮추는 역할을 한다.

**바로알기 |** ㄴ. 화산 폭발로 대기로 분출된 화산재는 태양 빛을 차단하므로 지표에 입사하는 태양 복사 에너지를 감소시킨다.

482



ㄱ. 태양 흑점 수의 변화는 11년 주기로 일어나므로 수목 분포의 변화보다 지구 기후에 영향을 주는 속도가 빠르다.

ㄴ. 수목 분포의 변화로 표층 해류의 순환 양상이 달라지며 이 때문에 기후 변화가 나타난다.

ㄷ. 화석 연료의 사용량이 증가하면 대기 중 이산화 탄소 등 온실 기체의 농도가 증가하여 지구의 평균 기온이 급격히 상승한다.

483 ㄴ. 오래된 아스팔트는 반사율이 12%, 새 아스팔트는 반사율이 4%이므로 오래된 아스팔트를 걷어내고 새 아스팔트를 깔면 지표면 평균 반사율이 감소한다.

ㄷ. 콘크리트의 반사율은 55%, 녹색 잔디의 반사율은 25%이므로 콘크리트 건물을 허물고 잔디 공원을 조성하면 지표면 평균 반사율이 감소한다.

**바로알기 |** ㄱ. 토양의 반사율은 17%, 녹색 잔디의 반사율은 25%이므로 운동장에 잔디를 심어 잔디 구장을 만들면 지표면 평균 반사율이 증가한다.

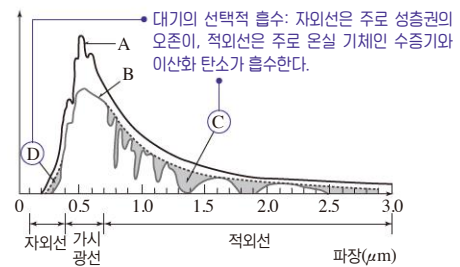
484 ㄴ. (나) 판의 운동으로 수목 분포가 변하면 해류의 순환이 변하고, 이 때문에 기후에도 변화가 나타난다.

ㄷ. (다) 화석 연료 사용의 증가로 대기 중 이산화 탄소 농도가 증가하면 온실 효과가 증대되어 지구의 평균 기온이 상승한다.

**바로알기 |** ㄱ. (가) 지구 공전 궤도 이심률의 변화는 기후 변화를 일으키는 지구 외적 요인에 해당한다.

485 대기 중의 온실 기체는 주로 파장이 짧은 가시광선의 태양 복사 에너지는 거의 투과시키고, 파장이 긴 적외선의 지구 복사 에너지는 흡수하여 지표로 재복사함으로써 지구 온도를 높이는 효과를 일으키는 데 이를 온실 효과라고 한다.

486



ㄴ. C는 적외선 영역으로, 주로 온실 기체인 대기 중 수증기나 이산화 탄소가 흡수한다.

ㄷ. D는 자외선 영역으로, 주로 성층권의 오존이 흡수한다.

**바로알기 |** ㄱ. A는 대기 밖에서의 태양 복사 에너지, B는 지표면에서의 태양 복사 에너지를 나타낸다.

487 ㄴ. 지표에서 복사 평형을 이루고 있으므로 지표에서 방출하는 에너지양(133)은 지표가 흡수하는 에너지양(45)+C와 같다. 따라서 C는 88이다.

**바로알기 |** ㄱ. 우주 공간에서 복사 평형을 이루고 있으므로  $A = 100 - 30 = 70$ 이다. B는  $133 - 4 = 129$ 이다. 따라서 A는 B보다 작다.

ㄷ. 화석 연료 사용량이 증가하면 대기 중의 온실 기체인 이산화 탄소가 증가하여 지표에서 방출되는 에너지 중 대기가 흡수하는 에너지양(B)이 증가한다.

488 A는 지구에 입사하는 태양 복사 에너지 중 대기와 지표에서 반사되는 에너지양으로  $30 (= 25 + 5)$ 이다. B는 지구에 입사하는 태양 복사 에너지 중 대기에 흡수되는 에너지양으로  $20 (= 100 - 25 - 5 - 50)$ 이다. C는 지표면 복사 중 대기가 흡수하는 에너지양으로  $102 (= 114 - 12)$ 이다. D는 대기에서 지표로 재복사되는 에너지양으로  $94 (= 20 + 23 + 7 + 102 - 58)$ 이다. 온실 효과는 지구 대기가 지표 복사 에너지를 흡수하였다가 지표로 재복사(D)하여 지구의 온도를 높이는 현상이다.

489 ㄱ. 빙하는 반사율이 높아 태양 복사 에너지를 잘 반사한다. 따라서 빙하 면적이 감소하면 지표면에서 반사되는 태양 복사 에너지양이 감소하므로 A는 감소한다.

ㄷ. 대기가 없다면 대기의 반사가 없기 때문에 지구 반사는 30보다 작아지고, 우주로 방출되는 지구 복사 에너지양은 증가할 것이다.

**바로알기 |** ㄴ. 대기 중 오존은 자외선을 흡수하고, 온실 기체는 적외선을 흡수한다.

490 ① 지표가 흡수하는 에너지양은  $A + C$ 이고, 지표가 방출하는 에너지양은  $B + 25$ 이다. 지구는 복사 평형을 이루고 있으므로 지표가 흡수하는 에너지( $A + C$ )와 방출하는 에너지( $B + 25$ )의 양은 같다.

⑥ 성층권의 오존은 태양 복사 에너지 중 자외선을 흡수한다. 만일 성층권의 오존이 감소한다면 지표로 들어오는 태양의 자외선이 증가하기 때문에 A가 증가한다.

⑧ 대기는 지표로 101만큼 에너지를 방출하고, 우주 공간으로 66만큼 에너지를 방출한다.

**바로알기** | ② 지표는 적외선 형태로 복사 에너지를 방출한다.

③  $A=100-30-25=45$ 이다.  $B=117+4=121$ 이다. 지표가 흡수하는 에너지량은  $45(A)+C$ 이고, 지표가 방출하는 에너지량은  $25+121(B)=146$ 이다. 지표가 흡수하는 에너지와 방출하는 에너지의 양이 같아야 하므로  $45+C=146$ 이 성립한다. 따라서  $C$ 는 101이다.

④ 지구가 흡수하는 태양 복사 에너지량이  $70(=100-30)$ 이므로 지구가 방출하는 지구 복사 에너지량( $D+4$ )도 70과 같아야 한다. 따라서  $D$ 는 66이다.

⑤ 온실 기체가 증가하면 지표가 방출하는 지구 복사 에너지를 더 많이 흡수하므로 대기에서 지표로 재복사하는 에너지량( $C$ )이 증가한다.

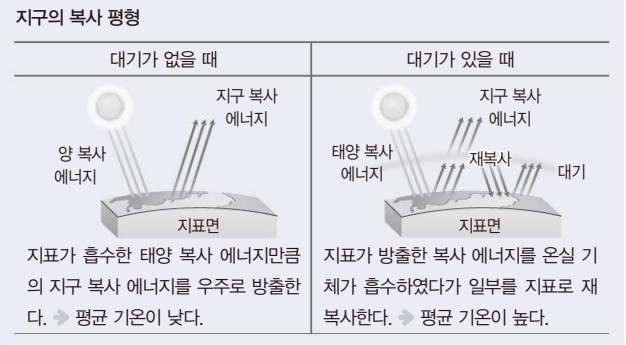
⑦  $D$ 는 대기가 우주로 방출하는 에너지량이고, 지표에서 우주로 직접 방출되는 에너지량은 4이다.

**491** 나. (나)와 같이 대기가 있을 때 지표에서 방출하는 지구 복사 에너지를 대기에서 흡수한 후 지표로 다시 재복사하기 때문에 (가)와 같이 대기가 없을 때보다 지구의 평균 기온이 더 높다.

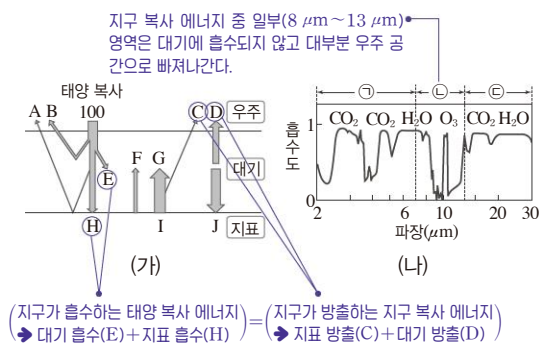
ㄷ. (나)에서 대기가 흡수하는 에너지량은  $(25+29+A)$ 이고, 대기가 방출하는 에너지량은  $(66+88)$ 이다. 대기가 흡수하는 에너지와 방출하는 에너지의 양이 같아야 하므로  $A$ 는 100이다.

**바로알기** | ㄱ. (가)와 (나)에서 모두 복사 평형이 일어난다.

**개념 보충**



**492**



ㄱ. 지구가 흡수하는 태양 복사 에너지량( $E+H$ )은 지구가 방출하는 지구 복사 에너지량( $C+D$ )과 같다.  $E+H=C+D$ 이므로  $E-D=C-H$ 이다.

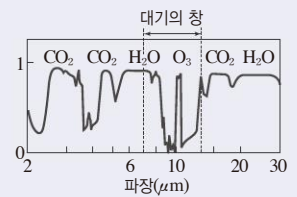
ㄴ. 지구 복사 에너지 중 일부 파장대( $8\mu\text{m} \sim 13\mu\text{m}$ )는 대기에 거의 흡수되지 않고 그대로 우주 공간으로 빠져나가는데, 이 파장대를 대기의 창이라고 한다.

**바로알기** | ㄷ. 대규모 화산 분출로 발생한 화산재는 지구에 입사하는 태양 복사 에너지를 반사하여 지구가 흡수하는 에너지량을 감소시킨다. 지구가 흡수하는 에너지량이 감소하면 지구가 방출하는 에너지량도 감소하므로 대규모 화산 분출로 발생한 화산재는 지구가 방출하는 에너지량인  $C+D$ 의 값을 감소시킨다.

**개념 보충**

**대기의 창**

지표 복사 에너지의 일부 파장대는 대기에 거의 흡수되지 않고 우주 공간으로 방출된다. 특히 파장  $8\mu\text{m} \sim 13\mu\text{m}$  영역에서는 대부분의 에너지가 그대로 우주 공간으로 빠져나가는데, 이 영역을 대기의 창이라고 한다. 인공위성을 이용하여 지구 표면으로부터 오는 적외선 정보를 얻고자 할 때는 이 영역에 속한 파장을 이용하여야 대기의 방해를 줄일 수 있다.



**493** ② 지구 온난화 때문에 해수의 수온이 상승하면 해수의 열팽창으로 평균 해수면의 높이가 높아진다.

**바로알기** | ① 대기 중 에어로졸 농도가 증가하면 대기의 태양 복사 에너지 반사량이 증가하여 지구의 평균 기온이 하강한다.

③ 화산 폭발로 다량의 화산재가 방출되면 대기 중의 화산재가 태양 빛을 차단하여 지구의 평균 기온이 하강한다.

④ 빙하의 증가로 태양 복사 에너지의 지표면의 반사율이 증가하면 지구의 평균 기온이 하강한다.

⑤ 수륙 분포가 변하여 해수의 흐름이 달라지면 기후 변화가 일어난다.

**494** 기체의 용해도는 수온이 높을수록 작다. 지구 온난화가 진행되면 해수 수온이 상승하기 때문에 이산화 탄소의 용해율이 감소한다(D). 또한, 지구 온난화로 빙하 면적이 감소하므로 태양 빛의 지표 반사율이 감소한다(E).

**바로알기** | 지구 온난화가 진행되면 해수 수온이 상승하고(B), 증발량이 증가하며(C), 대기 중 수증기량이 증가한다(A).

**495** 지구 온난화는 과거에 비해 점차 강화되고 있으며, 지구 온난화가 진행되면서 북극해의 얼음 면적은 줄어들고, 해수의 열팽창과 대륙 빙하의 용해로 해수면은 상승한다. 따라서 A는 북극해 얼음 면적, B는 전 지구의 평균 해수면 높이이다.

**모범 답안** A는 북극해 얼음 면적, B는 전 지구의 평균 해수면 높이이다. ㉠ 기간에 비해 ㉡ 기간에 북극해 얼음 면적이 줄어들고, 평균 해수면 높이가 상승한 것으로 보아 북극해역의 평균 기온은 ㉠ 기간보다 ㉡ 기간에 더 높아졌다.

**496** ㄱ.  $\text{CO}_2$  농도가 높아지면 온실 효과가 강화되어 지구의 평균 기온이 상승하고,  $\text{CO}_2$  농도가 낮아지면 온실 효과가 약화되어 지구 평균 기온이 하강한다. 따라서 45만 년 동안 기온과  $\text{CO}_2$  농도의 변화 경향이 유사하다.

ㄴ. 약 35만 년 전에는 현재보다 지구의 평균 기온이 낮았으므로 빙하의 면적이 더 넓었을 것이다. 따라서 현재보다 빙하로 인한 지표 반사율이 더 높았을 것이다.

**바로알기** | ㄷ. 약 15만 년 전에는 대기 중  $\text{CO}_2$  농도가 현재보다 낮았다. 따라서 대기의 온실 효과는 현재보다 작았을 것이다.

**497** ㄴ. 이산화 탄소( $\text{CO}_2$ )는 ppm 단위, 메테인( $\text{CH}_4$ )이나 산화 이질소( $\text{N}_2\text{O}$ )는 ppb 단위이고, 1000 ppb는 1 ppm과 같다. 따라서 온실 기체 중 이산화 탄소( $\text{CO}_2$ )의 농도가 가장 높으므로 지구 온난화에 가장 큰 영향을 준다.

ㄷ. 대기 중 온실 기체의 양이 점점 증가하면 온실 효과가 강화되어 지구의 평균 기온이 상승하고, 이에 따라 대륙 빙하의 용해와 해수의 열팽창으로 해수면이 상승하여 저지대 해안가는 침수될 수 있다.



**바로알기** | ㄱ. 1000 ppb는 1 ppm과 같다. 따라서 온실 기체 중 농도가 가장 큰 것은 이산화 탄소( $\text{CO}_2$ )이다.

**개념 보충**

주요 온실 기체의 온실 효과 기여도				
온실 기체	수증기	이산화 탄소	메테인	오존
온실 효과 기여도(%)	36~70	9~26	4~9	3~7

• 수증기는 온실 효과 기여도가 가장 크지만 인간의 활동 때문에 나타나는 대기 중 수증기의 농도 변화는 크지 않다.  
 • 이산화 탄소가 온실 효과에 미치는 영향이 가장 큰 까닭은 다른 온실 기체에 비해 대기 성분 중에 차지하는 절대량이 많기 때문이다.  
 • 메테인은 같은 농도의 이산화 탄소에 비해 21배 정도 효과가 강하지만 대기 중 농도가 매우 작아 온실 효과 기여도가 낮다.

**498** ㄷ. ㉔ 구름의 양이 증가하면 구름의 태양 복사 에너지 반사량이 증가하여 지구 온난화를 완화시키는 역할을 할 수 있다.

**바로알기** | ㄱ. ㉑ 화석 연료 사용량이 증가하면 지구의 평균 기온이 상승하는 지구 온난화가 진행되어 극지역에 분포하는 빙하 면적이 감소하므로 극지역의 반사율이 감소한다.

ㄴ. 지구 온난화로 ㉕ 극지역의 빙하가 녹아 빙하량이 감소하면 해수면의 높이가 상승한다.

**499** ① 지구 온난화로 기후가 변하면 작물 재배지가 달라지고, 생태계가 교란된다.

② 지구 온난화로 지구의 평균 기온이 상승하면 고산 지대와 남극 대륙 빙하 면적이 감소한다.

③ 지구 온난화로 건조 지역은 고기압이 강화되어 사막화가 확대된다.

④ 지구 온난화로 해수의 수온이 상승하면 적조 현상이 증가하여 어패류 양식 등 수산업에 피해를 준다.

⑥ 지구 온난화로 해수가 열팽창하고, 극지역 빙하가 녹아 해수면이 상승한다.

**바로알기** | ⑤ 고위도의 토탄 습지가 따뜻해지면 토탄이 분해되어 메테인을 대기로 배출하므로 메테인 농도가 증가한다.

⑦ 성층권의 오존은 태양의 자외선을 흡수하는 역할을 하지만, 대류권의 오존은 대기 오염과 호흡기 질환의 원인이 된다. 그러나 대류권의 오존 농도가 증가하는 것은 지구 온난화와 직접적인 관련이 없다.

**500** ㄱ. 강수 일수는 감소하였지만 집중 호우의 발생 빈도는 증가하여 강수량은 대체로 증가하고 있다.

ㄴ. 평균 기온이 상승하여 여름이 길어지고, 겨울이 짧아졌다.

ㄷ. 지구 온난화로 한반도의 평균 기온이 상승하면서 겨울이 짧아지고 봄꽃의 개화 시기가 빨라지고 있다.

**바로알기** | ㄹ. 지구 온난화로 해수의 수온이 상승하여 난류성 어종이 증가하고, 한류성 어종이 감소하고 있다.

**501** ㄱ. 태양 변화, 화산 활동 등 자연적 요인만 고려했을 때 장기간 지구의 기온은 크게 변화가 없으며 1960년경이나 1990년경에 약간의 냉각 현상이 있었을 것이다.

ㄴ. 온실 기체의 증가라는 인위적 요인만 고려했을 때 예상되는 기온 변화는 관측 값보다 더 높게 나타난다.

ㄷ. 자연적 요인으로는 지구의 평균 기온이 크게 변화하지 않아야 하고, 인위적 요인으로는 지구의 평균 기온이 급격히 상승해야 한다. 따라서 현재 지구의 평균 기온이 계속 상승하고 있는 것은 자연적 요인과 인위적 요인이 함께 작용한 것이고, 주로 인위적 요인으로 나타난다.

**502** **모범 답안** 환경적 영향으로는 해수면 상승, 생태계 변화, 기상 이변 등이 있다. 사회적 영향으로는 전염병 증가, 자연 재해로 생긴 피해 증가 등이 있다. 경제적 영향으로는 작물 재배지 변화, 작물 생산성 변화, 수산 자원 변화 등이 있다.

**503** ① 대규모 산림을 조성하면 식물의 광합성으로 대기 중 이산화 탄소 흡수량이 증가한다.

③ 에너지 효율을 높이는 기술을 개발하면 화석 연료 사용을 줄여 온실 기체 배출량을 줄일 수 있다.

④ 재생 가능한 에너지 사용을 늘리면 화석 연료의 사용으로 발생하는 온실 기체의 양을 줄일 수 있다.

⑥ 해양 비옥화를 통해 식물성 플랑크톤의 양을 늘리면 식물성 플랑크톤의 광합성이 활발해져 해수에 용해된 이산화 탄소를 소비하므로 대기의 이산화 탄소를 흡수할 수 있다.

⑦ 이산화 탄소를 발생원에서 분리, 포집하여 석탄층이나 심해저에 장기간 저장하면 발생원에서 대기로 배출되는 이산화 탄소의 양을 줄일 수 있다.

**바로알기** | ② 성층권에 에어로졸을 뿌리면 지구의 반사율이 증가하여 지구가 흡수하는 태양 복사 에너지양이 줄어든다.

⑤ 우주에 반사막을 설치하면 지구에 흡수되는 태양 복사 에너지양을 줄일 수 있다.

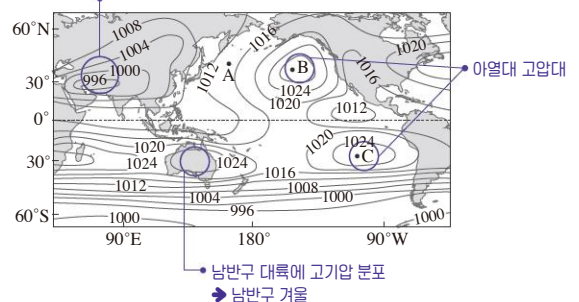
**최고 수준 도전 기출 (14~17강)**

134~135쪽

**504** ③   **505** ③   **506** ①   **507** 해설 참조   **508** ④  
**509** ③   **510** ③   **511** ③

**504** 북반구 대륙에 저기압 분포

→ 북반구 여름



ㄱ. 북반구에서 여름에는 대륙에 저기압이 발달하고, 겨울에는 대륙에 고기압이 발달한다. 북반구에 위치한 유라시아 대륙에 저기압이 분포하므로 이 평년 기압 분포는 북반구가 여름인 7월에 해당한다.

ㄴ. A 해역에서는 편서풍으로 형성된 북태평양 해류가 서쪽에서 동쪽으로 흐른다.

**바로알기** | ㄷ. B와 C 해역의 고기압은 해들리 순환의 하강으로 형성된 아열대 고기압이다. 해들리 순환의 상승으로는 적도 부근의 저압대가 형성된다.

**505** ㄱ. B 해역에는 저위도에서 고위도 쪽으로 난류가 흐르고, C 해역에는 고위도에서 저위도 쪽으로 한류가 흐른다. 난류는 한류에 비해 수온과 염분이 높으므로 (나)의 ㉠은 B 해역, ㉡은 C 해역의 관측 값이다.

ㄴ. A 해역에 흐르는 해류는 북태평양 해류이고, 편서풍의 영향으로 형성된다.

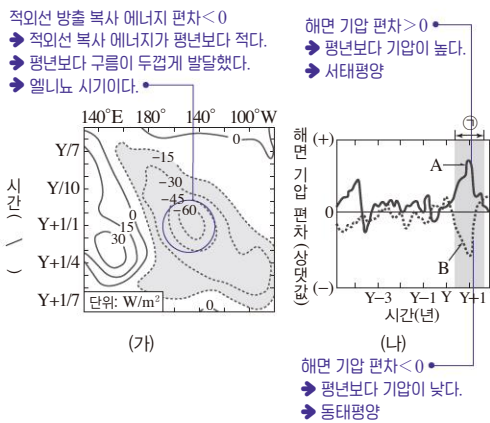
**바로알기** | ㄷ. 용존 산소량은 표층 수온이 낮을수록 많고, 표층 수온은 B, C 해역보다 고위도인 A 해역이 가장 낮다. 따라서 용존 산소량은 A 해역에서 가장 많게 관측된다.

**506** ㄱ. A 부근 해수의 연령이 가장 낮은 것으로 보아 A 해역에서 침강이 활발하게 일어나고 있으며, 침강한 해수가 다른 해역으로 이동했다는 것을 알 수 있다.

**바로알기** | ㄴ.  $\text{속력} = \frac{\text{거리}}{\text{시간}}$  이므로 등연령선의 간격이 좁은 C 해역보다 등연령선의 간격이 넓은 D 해역에서 해수의 흐름이 빠르다. 따라서 수심 4000 m에서 해수의 흐름은 C가 D보다 느리다.

ㄷ. 대서양에서 해수의 연령은 105~655년 정도의 범위를 보이고, 태평양에서 해수의 연령은 대부분 1000년 이상이다. 따라서 해수의 평균 연령은 대서양이 태평양보다 낮다.

**507**



(가)에서 적외선 방출 복사 에너지 편차가 음(-)의 값이면 구름이 평년보다 복사 에너지를 적게 방출함을 뜻하고, 이는 평년보다 구름이 두껍게 형성되었음을 알 수 있다. 동태평양에서 적외선 방출 복사 에너지 편차가 음(-)의 값을 나타내므로 동태평양에 저기압과 구름이 형성되었다. 동태평양에 저기압이 형성되는 시기는 엘니뇨 시기에 해당한다.

**모범 답안** (가) 시기는 동태평양에서 구름의 적외선 방출 복사 에너지 편차가 0보다 작으므로 동태평양에 평년보다 구름이 두껍게 형성된 엘니뇨 시기이다. 엘니뇨 시기에는 동태평양에 저기압이 형성되므로 A는 서태평양, B는 동태평양의 해면 기압 편차를 나타낸다.

**508** A는 무역풍의 풍속 편차가 대부분 0이므로 평상시를 나타낸다. B는 무역풍의 풍속 편차가 음(-)의 값이므로 평상시보다 무역풍이 약한 엘니뇨 시기이다. C는 무역풍의 풍속 편차가 양(+)의 값이므로 평상시보다 무역풍이 강한 라니냐 시기이다.

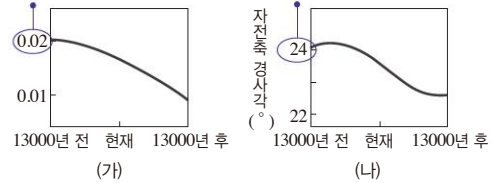
ㄴ. 라니냐 시기인 C는 동태평양에서 용승이 활발하기 때문에 동태평양의 온난 수역의 두께가 평년보다 얇아진다. 따라서 동태평양과 서태평양의 온난 수역의 두께 차이는 A보다 C가 크다.

ㄷ. 엘니뇨 시기인 B는 서태평양에 고기압, 동태평양에 저기압이 형성된다. 라니냐 시기인 C에는 서태평양에 저기압, 동태평양에 고기압이 형성된다. 따라서  $\frac{\text{동태평양의 해수면 평균 기압}}{\text{서태평양의 해수면 평균 기압}}$  은 B보다 C가 크다.

**바로알기** | ㄱ. 엘니뇨 시기에는 동태평양 적도 부근 해역의 용승이 약해지고, 라니냐 시기에는 동태평양 적도 부근 해역의 용승이 강해진다. 엘니뇨 시기인 B는 평상시인 A보다 동태평양의 용승이 약하다.

**509**

이심률이 현재보다 크다. 원일점에서 지구-태양 사이 거리가 현재보다 멀다. 북반구 겨울철 기온이 현재보다 낮다. 자전축 경사각이 현재보다 크다. 원일점에서 태양의 남중 고도가 현재보다 낮다. 북반구 겨울철 기온이 현재보다 낮다.

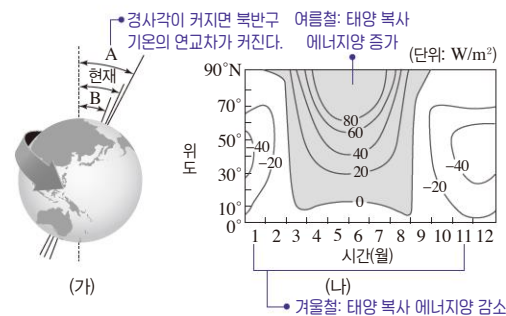


ㄱ. 13000년 전에는 자전축 경사 방향이 현재와 반대이므로 북반구는 원일점에서 겨울이고, 근일점에서 여름이다. 13000년 전에는 지구 공전 궤도 이심률이 현재보다 컸으므로 근일점에서 태양과 지구 사이의 거리는 현재보다 가까웠고, 원일점에서 태양과 지구 사이의 거리는 현재보다 멀었다. 또한 13000년 전에는 지구 자전축 경사각이 현재보다 컸으므로 북반구에서 여름과 겨울에 태양의 남중 고도 차이가 컸다. 따라서 세 요인을 모두 고려하였을 때 30°N에서 기온의 연교차는 현재가 13000년 전보다 작다.

ㄴ. 현재 지구가 원일점에 위치했을 때 남반구는 겨울이고, 13000년 전에는 세차 운동으로 지구가 원일점에 위치했을 때 남반구는 여름이었다. 따라서 원일점에서 30°S의 밤의 길이는 현재가 13000년 전보다 길다.

**바로알기** | ㄷ. 6500년 후에는 자전축 경사각은 현재보다 작아진다. 따라서 30°S의 겨울철 태양의 남중 고도는 6500년 후가 현재보다 높다.

**510**



ㄱ. 지구 자전축 경사각이 커지면(A) 북반구 여름철에 태양의 남중 고도가 높아져 태양 복사 에너지 입사량이 증가하고, 지구 자전축 경사각이 작아지면(B) 북반구 여름철에 태양의 남중 고도가 낮아져 태양 복사 에너지 입사량이 감소한다. (나)에서 북반구 여름철에는 현재보다 태양 복사 에너지의 양이 증가하고 북반구 겨울철에는 현재보다 태양 복사 에너지의 양이 감소한다. 따라서 (나)는 지구 자전축 경사각이 현재보다 더 큰 A일 때의 에너지 변화를 나타낸다.

ㄴ. (나)와 같이 지구 자전축 경사가 현재보다 더 커지면 6월에 북반구의 평균 기온은 현재보다 상승하고, 남반구의 평균 기온은 현재보다 하강한다. 따라서 6월에 북반구와 남반구의 평균 온도 차는 현재가 (나)보다 작다.

**바로알기** | ㄷ. (나)에서 북반구 겨울철에 입사하는 태양 복사 에너지량이 (-)이므로 현재보다 적다. 따라서 위도 40°N에서 겨울철에 입사하는 태양 복사 에너지량은 현재가 (나)보다 많다.

**511** ㄱ. 북반구 고위도는 평균 기온이 10°C 정도 상승하지만 적도 지역은 2°C 정도 상승한다. 따라서 북반구 고위도는 적도에 비해 기온 변화량이 크다.

ㄴ. 수권에서 해수 다음으로 큰 비중을 차지하는 것은 담수인 육지의 빙하이다. 지구의 평균 기온이 상승하면 빙하가 녹아 바다로 흘러들어 가므로 수권에서 담수가 차지하는 비율은 감소할 것이다.

**바로알기** | ㄷ. 지구의 평균 기온이 상승하면 해수의 열팽창과 대륙 빙하의 용해로 평균 해수면이 상승할 것이다.

# 18 별의 물리량

## 빈출 자료 보기

137쪽

512 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ○ (6) ○ (7) × (8) ○ (9) ×

512 (1) 별의 표면 온도가 높을수록 최대 에너지를 방출하는 파장이 짧다. A는 B보다 표면 온도가 높으므로 최대 에너지를 방출하는 파장이 더 짧다.

(2) 별의 표면 온도가 높을수록 색지수가 작다. A는 B보다 표면 온도가 높으므로 색지수가 더 작다.

(3) 분광형이 K형인 별은 표면 온도가 상대적으로 낮은 별로, 스펙트럼에서는 이온화된 헬륨(He II)보다 이온화된 칼슘(Ca II) 흡수선이 강하게 나타난다.

(5) 별의 '겉보기 등급-절대 등급'이 클수록 별까지의 거리가 멀다. '겉보기 등급-절대 등급'은 A가 5, B가 0이므로 A가 B보다 별까지의 거리가 더 멀다.

(6) 별이 단위 시간 동안 단위 면적에서 방출하는 에너지양( $E$ )은 슈테판·볼츠만 법칙( $E=\sigma T^4$ )에 따르면 별의 표면 온도( $T$ )가 높을수록 많다. A는 B보다 표면 온도가 높으므로 단위 시간 동안 단위 면적에서 방출하는 에너지양이 더 많다.

(8) 절대 등급은 A가 -8등급, B가 -3등급으로 A가 B보다 5등급 작으므로 광도는 A가 B의 100배이다.

바로알기 | (4) A와 B는 겉보기 등급이 같으므로 같은 밝기로 보인다.

(7) 별이 단위 시간 동안 방출하는 총에너지양은 광도로, 광도는 절대 등급이 작을수록 크다. 절대 등급이 A가 B보다 작으므로 단위 시간 동안 방출하는 총에너지양은 A가 B보다 많다.

(9) A의 표면 온도( $T$ )가 B의 2배이고 광도( $L$ )는 B의 100배이므로 광도를 구하는 식  $L=4\pi R^2 \cdot \sigma T^4$ 에 따라 반지름( $R$ )은 A가 B의 2.5배이다.

## 난이도별 필수 기출

138~143쪽

513 ①, ⑥	514 ④	515 ③	516 O, B, A, F, G, K, M	517 ③	518 ①, ⑤	519 ②	520 해설 참조
521 ④	522 ③, ⑥	523 ③	524 ③				
525 ③, ⑦	526 ①	527 ④, ⑥	528 ③				
529 ⑤	530 ⑤	531 해설 참조	532 ②	533 ⑤			
534 해설 참조	535 ②	536 해설 참조					
537 해설 참조	538 해설 참조	539 ⑤	540 ①				
541 해설 참조	542 ③	543 ⑤	544 ④				
545 해설 참조	546 ①						

513 ② 별은 표면 온도에 따라 최대 에너지를 방출하는 파장이 다르므로 색이 다양하게 나타난다.

③ 별의 표면 온도가 높을수록 색지수가 작으므로 색지수를 이용하여 두 별의 표면 온도를 비교할 수 있다.

④ 색지수로로는 사진 등급-안시 등급, B-V 등을 사용하는데 보통 B-V를 색지수로 많이 활용한다.

⑤ 절대 등급은 별의 실제 밝기를 의미하며, 등급이 작을수록 밝은 별이므로 절대 등급이 작은 별이 실제로 밝은 별이다.

⑦ 광도는 별이 단위 시간 동안 표면에서 방출하는 에너지의 총량이다.

⑧ 광도는 별의 고유 밝기이므로 지구로부터의 거리에 관계없이 일정하다.

바로알기 | ① 별은 표면 온도가 높을수록 짧은 파장의 전자기파를 강하게 방출한다.

⑥ 슈테판·볼츠만 법칙( $E=\sigma T^4$ )으로 유도되는 별의 광도 식  $L=4\pi R^2 \cdot \sigma T^4$ 을 사용하여 표면 온도( $T$ )와 광도( $L$ )가 알려진 별의 반지름( $R$ )을 구할 수 있다.

514 분광형(ㄷ)은 별을 표면 온도에 따라 분류한 것이고, 색지수(ㄹ)는 별의 표면 온도에 따라 값이 달라지며, 최대 에너지를 방출하는 파장(ㄱ)은 별의 표면 온도에 반비례하므로 이들을 이용하면 별의 표면 온도를 추정할 수 있다.

515 ㄱ. 분광형은 별을 표면 온도에 따라 흡수선의 종류와 세기가 달라지는 원리를 이용하여 분류한 것이다.

ㄴ. 분광형이 O형인 별은 표면 온도가 30000 K 이상으로 매우 높고, M형으로 갈수록 표면 온도가 낮아진다.

바로알기 | ㄴ. O형 별은 표면 온도가 매우 높은 별로 파란색을 띤다.

516 별의 분광형은 별을 표면 온도가 높은 것부터 순서대로 O, B, A, F, G, K, M형의 7가지로 분류한다.

517 ㄱ. 별은 흑체와 유사하게 온도에 따라 각 파장에서 복사 에너지를 방출하므로 표면 온도와 광도는 별을 흑체로 가정하여 추정한다.

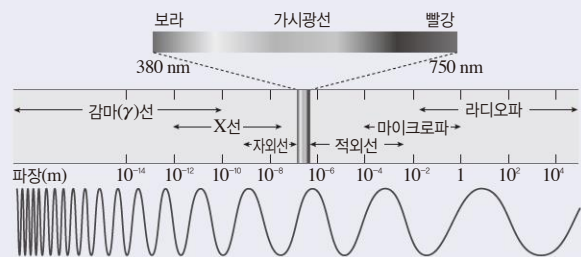
ㄴ. 빈의 변위 법칙( $\lambda_{\max}=\frac{a}{T}$ )에 따르면 흑체가 최대 복사 에너지를 방출하는 파장( $\lambda_{\max}$ )은 흑체의 표면 온도( $T$ )에 반비례한다.

바로알기 | ㄴ. 표면 온도가 높은 별은 짧은 파장의 빛을 많이 방출하므로 파란색으로 보일 것이다.

## 개념 보충

### 전자기파의 파장 영역

- 전자기파를 비슷한 성질에 따라 파장별로 구간을 나누면 파장이 짧은 영역부터 감마(γ)선, X선, 자외선, 가시광선, 적외선, 전파(마이크로파, 라디오파)로 구분할 수 있다.
- 가시광선은 전자기파 중 사람이 눈으로 볼 수 있는 영역으로, 보라색 빛의 파장이 가장 짧고 빨간색 빛의 파장이 가장 길다. → 표면 온도가 높은 별은 최대 에너지를 방출하는 파장이 짧아 파란색에 가깝게 보이고, 표면 온도가 낮은 별은 최대 에너지를 방출하는 파장이 길어 붉은색에 가깝게 보인다.



518 ① A의 플랑크 곡선에서  $0.5 \mu\text{m}$  파장에서 에너지 세기가 최대이므로 최대 에너지를 방출한다.

⑤  $L=4\pi R^2 \cdot \sigma T^4$ 에서 별 A와 B의 반지름( $R$ )이 같으므로 단위 시간 동안 방출하는 총에너지양( $L$ )은 표면 온도( $T$ )가 더 높은 A가 B보다 많다.



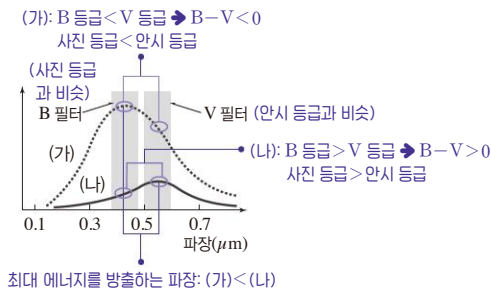
**바로알기** | ② 최대 에너지를 방출하는 파장은 A가  $0.5 \mu\text{m}$ 이고 B가  $1.0 \mu\text{m}$ 이므로 A가 B보다 짧다.

③ 별이 최대 에너지를 방출하는 파장은 표면 온도에 반비례한다. 최대 에너지를 방출하는 파장이 A가 B의  $\frac{1}{2}$ 이므로 표면 온도는 A가 B의 2배이다.

④ 표면 온도가 높은 별일수록 짧은 파장의 빛을 많이 방출하므로 표면 온도가 더 높은 A는 B보다 파랗게 보인다.

⑥ 색지수는 표면 온도가 높을수록 작으므로 A가 B보다 작다.

519



② (가)는 V 필터를 통과하는 복사 에너지 세기가 B 필터를 통과하는 복사 에너지의 세기보다 작으므로 V 등급이 B 등급보다 크다.

**바로알기** | ① 별이 최대 에너지를 방출하는 파장은 표면 온도에 반비례한다. 최대 에너지를 방출하는 파장이 (가)가 (나)보다 짧으므로 표면 온도는 (가)가 (나)보다 높다.

③ 색지수( $B-V$ )는 별의 표면 온도가 높을수록 작으므로 표면 온도가 더 높은 (가)가 (나)보다 작다.

④ 사진 등급과 비슷한 밝기는 파란색 파장의 빛을 잘 통과시키는 B 필터를 사용한 B 등급이다.

⑤ (나)는 사진 등급과 비슷한 B 필터보다 안시 등급과 비슷한 V 필터를 통과하는 빛의 세기가 강하므로 사진 등급보다 안시 등급에서 더 밝은 별로 측정된다.

520 (1) 빈의 변위 법칙  $\lambda_{\text{max}} = \frac{a}{T}$ 에 따르면, 별  $S_1$ 의 표면 온도( $T$ )

는  $S_2$ 의  $\frac{1}{10}$ 이므로 최대 복사 에너지 파장( $\lambda_{\text{max}}$ )은  $S_2$ 의 10배이다.

따라서 ①은  $100 \text{ nm}$ 의 10배인  $1000 \text{ nm}$ 이다.

(2) 광도( $L$ )는  $L = 4\pi R^2 \cdot \sigma T^4$ 이므로 별의 반지름( $R$ )이 클수록, 표면 온도( $T$ )가 높을수록 크다. 별  $S_1$ 과  $S_2$ 의 반지름이 같고 표면 온도는  $S_2$ 가  $S_1$ 의 10배이므로, 광도는  $S_2$ 가  $S_1$ 보다  $10^4$ 배 크다.

**다른 해설** | (2) 별의 표면에서 방출되는 파장에 따른 복사 에너지의 총량, 즉 광도는 파장에 따른 복사 에너지 세기의 분포 곡선의 밑면적과 같다. 따라서 곡선의 밑면적이 상대적으로 더 넓은  $S_2$ 의 광도가 더 크다.

(3) 색지수( $B-V$ )는 별의 표면 온도가 높을수록 작다.

**모범 답안** | (1)  $1000 \text{ nm}$

(2) 광도는  $S_2$ 가  $S_1$ 보다  $10^4$ 배 크다.

(3)  $S_2$ 가  $S_1$ 보다 색지수가 작다.  $S_2$ 가  $S_1$ 보다 표면 온도가 높기 때문이다.

521 나. 별의 표면 온도가 높을수록 색지수가 작다. (가)가 (나)보다 색지수가 작으므로 표면 온도가 더 높다.

다. 별의 광도는 반지름의 제곱에, 표면 온도의 네제곱에 비례한다. (가)와 (나)는 반지름이 같으므로 표면 온도가 높은 (가)가 (나)보다 광도가 크다.

**바로알기** | 나. 색지수( $B-V$ )는 (가)가  $-3$ , (나)가  $0$ 이므로 (가)가 (나)보다 작다.

522 ① (가)는 연속 스펙트럼으로 태양 빛을 프리즘에 통과시킬 때 나타난다.

② (나)는 검은 흡수선이 나타나는 흡수 스펙트럼이고, (다)는 밝은 방출선이 나타나는 방출 스펙트럼이다.

④ (다)는 원소의 주변에 고온의 에너지원이 존재할 때 가열된 원소가 특정 파장의 빛을 방출하기 때문에 나타난다.

⑤ 동일한 원소의 경우 흡수선과 방출선의 위치가 모두 같다. (나)의 흡수선과 (다)의 방출선의 위치가 모두 같으므로 (나)와 (다)는 같은 원소에 의해 나타나는 스펙트럼이다.

**바로알기** | ③ (나)의 검은 선은 저온의 기체에 의해 특정 파장의 에너지가 흡수되어 나타난다.

⑥ 백열등은 (가)와 같은 연속 스펙트럼이 나타난다.

523 나. (가)는 빛이 모든 파장 영역에서 연속적으로 나타나는 연속 스펙트럼이고, (나)는 연속 스펙트럼에 검은 흡수선이 나타나는 흡수 스펙트럼이다. (다)는 검은 바탕에 밝은 방출선이 나타나는 방출 스펙트럼이다.

나. (나) 흡수 스펙트럼은 별의 대기에 존재하는 저온의 기체에 포함된 원소가 특정 파장의 빛을 흡수하여 나타난다.

**바로알기** | 다. 별의 표면 온도에 따른 흡수선의 종류와 세기가 다르므로 별을 표면 온도에 따라 분류할 때 흡수 스펙트럼인 (나)를 이용한다.

524 나. (가)는 표면 온도가 매우 높은 별로 파란색을 띠고, (다)는 상대적으로 표면 온도가 낮은 별로 붉은색을 띤다.

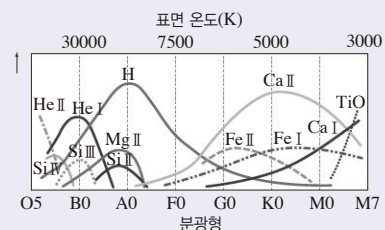
나. (나)는 표면 온도가  $10000 \text{ K}$ 로 분광형이 A형인 별의 스펙트럼에 해당한다.

**바로알기** | 다. (가)는 주로 수소와 헬륨 흡수선이 나타나고, (다)는 금속 원소와 분자들에 의한 흡수선이 나타난다.

#### 개념 보충

##### 별의 분광형에 따른 흡수선의 종류와 세기

- 표면 온도가 높은 O형, B형 별에서는 이온화된 헬륨(He II) 또는 중성 헬륨(He I) 흡수선이 강하게 나타난다.
- 표면 온도가 낮은 K형, M형 별에서는 금속 원소와 분자에 의한 흡수선이 강하게 나타난다.
- 표면 온도가 약  $10000 \text{ K}$ 인 A형 별에서는 중성 수소(H) 흡수선이 가장 강하게 나타난다.



525 ① B0형 별에서 가장 강하게 나타나는 흡수선은 He I 흡수선이다.

② He II 흡수선이 가장 강하게 나타나는 별은 표면 온도가 높은 O형 별이므로 파란색을 띤다.

④ 상대적으로 표면 온도가 낮은 K형, M형 별에서는 Ca, Fe과 같은 금속 원소나 분자(TiO)의 스펙트럼이 강하게 나타난다.

⑤ 태양의 분광형은 G2형으로, G2형 별의 스펙트럼에서는 H 흡수선보다 Ca II 흡수선이 강하게 나타난다.

⑥ H 흡수선이 가장 강하게 나타나는 별은 분광형이 A0형인 별로, 분광형이 G2형인 태양보다 표면 온도가 높다.

**바로알기** | ③ G0형보다 표면 온도가 낮은 별 중 H 흡수선이 약하게 나타나는 별이 있다.

⑦ 별의 분광형에 따라 흡수선의 종류와 세기가 다른 까닭은 별의 표면 온도에 따라 원소들이 이온화되는 정도가 다르고, 각각 가능한 이온화 단계에서 특정한 흡수선을 형성하기 때문이다.

**526** ㄱ. 중성 수소(H) 흡수선이 가장 강하게 나타나는 (가)는 A0형 별이다.

**바로알기** | ㄴ. 칼슘 이온(Ca II) 흡수선이 가장 강하게 나타나는 (나)는 K0형 별이고, 중성 헬륨(He I) 흡수선이 가장 강하게 나타나는 (다)는 B0형 별이다. 따라서 표면 온도는 (나)가 (다)보다 낮다.

ㄷ. 중성 수소(H) 흡수선은 K0형 별인 (나)보다 B0형 별인 (다)에서 강하게 나타난다.

**527** ④  $L=4\pi R^2 \cdot \sigma T^4$ 에서 광도( $L$ )는 별의 표면 온도의 네제곱( $T^4$ )에 비례한다.

⑥  $L=4\pi R^2 \cdot \sigma T^4$ 에서 광도( $L$ )와 표면 온도( $T$ )를 알면 별의 반지름( $R$ )을 구할 수 있다.

**바로알기** | ① 광도는 단위 시간 동안 별의 전체 표면적에서 방출하는 에너지양이다.

② 별의 실제 밝기가 밝을수록 절대 등급이 작아지므로, 광도가 클수록 절대 등급이 작다.

③ 광도가 같아도 별의 거리가 다르면 별의 겉보기 밝기가 달라진다. 광도가 같으면 별의 절대 밝기가 같다.

⑤  $L=4\pi R^2 \cdot \sigma T^4$ 에서 광도( $L$ )는 별의 반지름의 제곱( $R^2$ )에 비례한다.

**528** 5등급 사이의 밝기는 100배 차이가 난다. 별 A의 광도는 태양의 100배이므로 절대 등급은 태양보다 5등급 작다. 태양의 절대 등급이 5등급이므로 별 A의 절대 등급은 0등급이다.

**529** ㄴ. 별의 겉보기 등급이 작을수록 밝게 보이므로 가장 밝게 보이는 별은 (다)이다. ➔ 겉보기 밝기: (다) > (나) > (가)

ㄷ. '겉보기 등급-절대 등급'이 클수록 먼 거리에 있는 별이다. '겉보기 등급-절대 등급'은 (나)가 +5.0, (다)가 -0.5이므로 (나)는 (다)보다 지구로부터의 거리가 더 멀다. ➔ 거리: (가) > (나) > (다)

**바로알기** | ㄱ. 표면 온도는 B형 > F형 > K형이므로 B형 별인 (다)가 가장 높다. ➔ 표면 온도: (다) > (가) > (나)

**530** ㄱ. 연주 시차는 거리에 반비례하므로 거리가 상대적으로 가까운 A가 B보다 크다.

ㄴ. A는 B보다 거리가 가까운데 겉보기 등급은 B와 같으므로 실제 밝기가 B보다 어두운 별이다. 따라서 절대 등급이 B보다 크다.

**다른 해설** | ㄴ. A는 10 pc에 있는 별이므로 절대 등급은 겉보기 등급과 같은 10등급이다. 100 pc에 있는 B의 밝기는 10 pc에 있다고 가정할 때의 밝기의  $\frac{1}{10^2}$ 이므로 B의 절대 등급은 겉보기 등급보다 5등급이 작은 5등급이다.

ㄷ. 표면 온도가 높을수록 색지수가 작으므로, 표면 온도는 상대적으로 색지수가 작은 A가 B보다 높다.

**531** **모범 답안** 슈테판-볼츠만 법칙에 의하면 표면 온도가  $T$ 인 별의 단위 시간 동안 단위 면적에서 방출되는 복사 에너지( $E$ )는  $E=\sigma T^4$ ( $\sigma$ : 슈테판-볼츠만 상수)이다. 반지름이  $R$ 인 별의 전체 표면적은  $4\pi R^2$ 이며, 별의 전체 표면에서 방출되는 총에너지양인 광도  $L$ 은  $E=\sigma T^4$ 과  $4\pi R^2$ 의 곱인  $L=4\pi R^2 \cdot \sigma T^4$ 으로 나타낼 수 있다.

**532** ㄴ. 광도( $L$ )는 단위 시간 동안 단위 면적에서 방출되는 에너지양( $E=\sigma T^4$ )에 별의 표면적( $4\pi R^2$ )을 곱한  $L=4\pi R^2 \cdot \sigma T^4$ 이다.

**바로알기** | ㄱ. 반지름이  $R$ 인 별의 표면적은  $4\pi R^2$ 이다.  $\frac{4}{3}\pi R^3$ 은 별의 부피이다.

ㄷ. 표면 온도가 태양과 같고, 반지름이 태양의 2배인 별의 광도( $L$ )는  $L=4\pi(2R_{\text{태양}})^2 \cdot \sigma T_{\text{태양}}^4=4L_{\text{태양}}$ 이므로 태양의 4배이다.

**533** 반지름이 태양의  $\frac{1}{4}$ 이고, 표면 온도가 태양의 4배인 별의 광도( $L$ )는  $L=4\pi\left(\frac{1}{4}R_{\text{태양}}\right)^2 \cdot \sigma(4T_{\text{태양}})^4=16L_{\text{태양}}$ 이므로 태양의 16배이다.

**534** **모범 답안** (나)의 반지름은 (가)의 3배이고, 표면 온도는 (가)의  $\frac{1}{3}$ 이므로 광도( $L$ )는  $L=4\pi(3R_{\text{가}})^2 \cdot \sigma\left(\frac{1}{3}T_{\text{가}}\right)^4=\frac{1}{9}L_{\text{가}}$ 이다. 따라서 (나)의 광도는 (가)의  $\frac{1}{9}$ 이다.

**535** ㄷ. C의 반지름은 A의 20배이고, 표면 온도는 A의  $\frac{1}{2}$ 이므로  $L=4\pi(20R_A)^2 \cdot \sigma\left(\frac{1}{2}T_A\right)^4=25L_A$ 에서 C의 광도( $L$ )는 A의 25배이다. 거리가 같다면 광도가 클수록 밝은 별이므로 C가 A보다 밝다.

**바로알기** | ㄱ. 단위 시간 동안 단위 면적에서 방출하는 에너지양( $E$ )은  $E=\sigma T^4$ 에 따라 표면 온도( $T$ )가 가장 높은 A가 가장 많다.

ㄴ. A의 반지름은 B의  $\frac{1}{5}$ 이고, 표면 온도는 B의 2배이다.

$L=4\pi\left(\frac{1}{5}R_B\right)^2 \cdot \sigma(2T_B)^4=\frac{16}{25}L_B$ 에서 A의 광도( $L$ )는 B의  $\frac{16}{25}$ 이므로 B보다 작다.

**536**  $L=4\pi R^2 \cdot \sigma T^4$ 에서 별의 광도( $L$ )가 같다면 반지름( $R$ )이 작을수록 표면 온도( $T$ )가 높다.

**모범 답안** 표면 온도는 반지름이 큰 별이 반지름이 작은 별보다 낮다.

**537** (1) 절대 등급은 광도가 작을수록 크므로 B가 A보다 크다.

(2) A의 반지름을 B의  $x$ 배라고 하면 A의 광도는 B의 4배, 표면 온도는 B의  $\frac{1}{2}$ 이므로,  $4L_B=4\pi(xR_B)^2 \cdot \sigma\left(\frac{1}{2}T_B\right)^4$ 으로 나타낼 수 있다.

**모범 답안** (1) B

(2) A의 광도는 B의 4배이고 표면 온도는 B의  $\frac{1}{2}$ 이므로 A의 반지름을 B의  $x$ 배라고 하면,  $4=x^2 \cdot \frac{1}{16}$ 에서  $x=8$ 이다. 따라서 A의 반지름은 B의 8배이다.

**538** **모범 답안** A와 B는 색지수가 같으므로 표면 온도가 같다. A의 절대 등급은 B보다 10등급 작으므로 광도는 B보다  $100^2=10000$ 배 크다.

따라서 B의 광도에 대한 A의 광도의 비  $\frac{L_A}{L_B}=10^4=\frac{4\pi(R_A)^2 \cdot \sigma T^4}{4\pi(R_B)^2 \cdot \sigma T^4}$ 에서  $\frac{R_A}{R_B}=100$ 이므로 A의 반지름은 B의 100배이다.

**539** 분광형이 (가)는 A0형, (나)는 G0형, (다)는 F0형이므로 표면 온도는 (가) > (다) > (나)이다. 절대 등급이 작을수록 광도가 크므로 광도는 (다) > (나) > (가)이다.

ㄱ.  $E=\sigma T^4$ 에 따르면 별이 단위 시간 동안 단위 면적에서 방출하는 에너지양( $E$ )은 표면 온도( $T$ )의 네제곱에 비례한다. 표면 온도는 (가)가 (나)보다 높으므로 단위 시간 동안 단위 면적에서 방출하는 에너지양은 (가)가 (나)보다 많다.

ㄴ. 별이 단위 시간 동안 방출하는 총에너지량은 광도를 의미하므로 광도가 가장 큰 (다)가 가장 많다.  
 ㄷ.  $L=4\pi R^2 \cdot \sigma T^4$ 에 따르면 (다)는 (가)보다 표면 온도( $T$ )가 낮는데 광도( $L$ )는 크므로 별의 반지름( $R$ )이 (가)보다 크다.

**540** (가) A와 B의 겹보기 등급을 각각  $m_A, m_B$ , 겹보기 밝기를 각각  $I_A, I_B$ 라고 하자.

1등급 사이의 밝기 차는  $100^{\frac{1}{5}}$ 배이므로 두 별의 겹보기 등급과 겹보기 밝기 사이에는

$$100^{\frac{1}{5}(m_B-m_A)} = 10^{\frac{2}{5}(m_B-m_A)} = \frac{I_A}{I_B} \text{의 관계가 성립하고,}$$

양변에 상용 로그를 취하여 정리하면,

$$\log 10^{\frac{2}{5}(m_B-m_A)} = \log \frac{I_A}{I_B}, \quad \frac{2}{5}(m_B-m_A) = \log \frac{I_A}{I_B}$$

$$m_B-m_A = 2.5 \log \frac{I_A}{I_B}, \quad m_B-m_A = -2.5 \log \frac{I_B}{I_A}$$

$$\therefore \textcircled{1} = -2.5 \log \frac{I_B}{I_A} \text{이다.}$$

(나)  $m_A=4, m_B=-1$ 을 대입하면,

$$-5 = -2.5 \log \frac{I_B}{I_A}, \quad 2 = \log \frac{I_B}{I_A}, \quad 10^2 = \frac{I_B}{I_A}, \quad 100 I_A = I_B$$

$\therefore \textcircled{1} = 100$ 이다. 즉, B의 겹보기 밝기는 A의 겹보기 밝기의 100배이다.

**541** **모범 답안** A와 B의 절대 등급을 각각  $M_A, M_B$ , 광도를 각각  $L_A, L_B$ 라고 할 때, 1등급 사이의 밝기 차는  $100^{\frac{1}{5}}$ 배이므로 두 별 사이에는  $100^{\frac{1}{5}(M_B-M_A)} = 10^{\frac{2}{5}(M_B-M_A)} = \frac{L_A}{L_B}$ 의 관계가 성립한다.

위 식의 양변에 상용 로그를 취하면  $M_B-M_A = -2.5 \log \frac{L_B}{L_A}$  (포그슨 공식)가 성립한다.

**542** ㄱ.  $\lambda_{\max} = \frac{a}{T}$ 에 따르면 별이 최대 에너지를 방출하는 파장( $\lambda_{\max}$ )은 표면 온도( $T$ )에 반비례한다. 최대 에너지를 방출하는 파장은 A가 483 nm, B가 966 nm로 A가 B의  $\frac{1}{2}$ 이므로 표면 온도는 A가 B의 2배이다.

ㄷ. A와 B는 광도( $L$ )가 같고, 표면 온도( $T$ )는 A가 B의 2배이다. 따라서  $\frac{L_A}{L_B} = 1 = \frac{4\pi(R_A)^2 \cdot \sigma(2T)^4}{4\pi(R_B)^2 \cdot \sigma T^4}$ 으로부터  $R_B = 4R_A$ 이므로 반지름( $R$ )은 B가 A의 4배이다.

**바로알기** | ㄴ. A와 B는 절대 등급이 같으므로 광도가 같다.

**543**

별	겹보기 등급	절대 등급	겹보기 등급 - 절대 등급	분광형
A	1	1	0	M2
B	6	6	0	G2
C	6	1	5	A0

표면 온도:  $C > B > A$   
 $\rightarrow$  색지수:  $C < B < A$

광도:  $A = C > B$

별까지의 거리:  $A = B < C$

⑤ A와 C는 절대 등급이 같으므로 광도가 같고, 표면 온도는 A가 C보다 낮다.  $L=4\pi R^2 \cdot \sigma T^4$ 에서 광도( $L$ )가 같을 때 표면 온도( $T$ )가 낮은 별일수록 반지름( $R$ )이 크므로 반지름은 A가 C보다 크다.

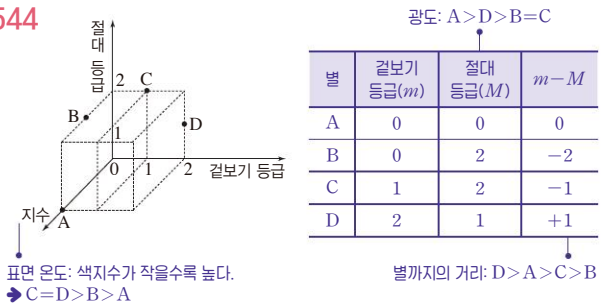
**바로알기** | ① 색지수는 표면 온도가 높을수록 작다. A~C 중 분광형이 M2형인 A의 표면 온도가 가장 낮으므로 색지수는 가장 크다.

② B는 분광형이 G2형으로 노란색을 띠는 별이다.

③ 거리가 가장 먼 별은 '겹보기 등급 - 절대 등급'이 가장 큰 C이다.

④ C는 B보다 절대 등급이 5등급 작으므로 광도는 B의 100배이다.

**544**



① (사진 등급 - 안시 등급)은 색지수에 해당하므로 (사진 등급 - 안시 등급)이 가장 큰 별은 색지수가 가장 큰 A이다.

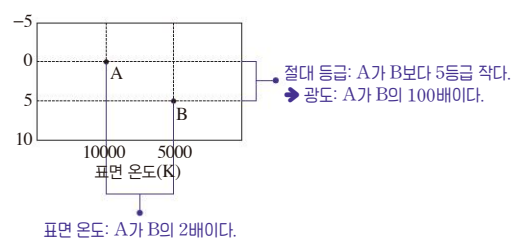
② 별의 표면 온도가 낮을수록 색지수가 크다. A는 B보다 색지수가 크므로 표면 온도가 낮다.

③ 단위 시간 동안 방출하는 총 에너지의 양은 광도를 의미한다. B와 C는 절대 등급이 같으므로 광도가 같다.

⑤ '겹보기 등급 - 절대 등급'이 클수록 별까지의 거리가 멀다. '겹보기 등급 - 절대 등급'은 C가 -1, D가 +1이므로 별까지의 거리는 C가 D보다 가깝다.

**바로알기** | ④ 같은 거리에서의 밝기는 절대 등급이 작은 D가 B보다 밝다.

**545**



(1) 별 A는 별 B보다 절대 등급이 5등급 작으므로 광도는 별 B의 100배이다.

(2) 별 A의 광도는 별 B의 100배이고, 표면 온도는 별 B의 2배이다.  $\frac{L_A}{L_B} = 100 = \frac{4\pi(R_A)^2 \cdot \sigma(2T)^4}{4\pi(R_B)^2 \cdot \sigma T^4}$ 에서  $R_A = 2.5R_B$ 이므로 별 A의 반지름은 별 B의 2.5배이다.

**모범 답안** (1) 별 A의 광도는 별 B의 100배이다.

(2) 별 A의 반지름은 별 B의 2.5배이다.

**546**

별	A	B
절대 등급	4	
표면 온도(상댓값)	1	$\sqrt{2}$
반지름(상댓값)	1	5
광도(상댓값)	1	100

광도는 B가 A의 100배이다.  
 $\rightarrow$  절대 등급은 B가 A보다 5등급 작다.

ㄱ. 최대 에너지를 방출하는 파장은 별의 표면 온도에 반비례하므로 표면 온도가 낮은 A가 B보다 길다.

**바로알기** | ㄴ.  $\frac{L_B}{L_A} = \frac{4\pi(5R)^2 \cdot \sigma(\sqrt{2}T)^4}{4\pi R^2 \cdot \sigma T^4}$ 에서  $L_B = 100L_A$ 이므로 광도는 B가 A의 100배이다.

ㄷ. 광도가 B가 A의 100배이므로 절대 등급은 B가 A보다 5등급 작다. 따라서 B의 절대 등급은 -1등급이다.



# 19 H-R도와 별의 진화

## 빈출 자료 보기

145쪽

**547** (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ (5) ○ (6) ○ (7) × (8) × (9) ×

**547** (1) H-R도의 가로축에는 표면 온도 대신 표면 온도를 나타내는 분광형을 쓸 수 있다.

(3) C는 표면 온도가 높지만 반지름이 작아 광도가 작은 백색 왜성이다.

(4) A와 D는 주계열성으로, 주계열성은 표면 온도가 높을수록 질량과 광도가 크므로 A는 D보다 질량과 광도가 크다.

(5) A는 D보다 질량이 큰 주계열성이므로 진화 속도가 D보다 빠르다. 따라서 A는 D보다 원시별에서 주계열 단계에 도달하는 시간이 짧다.

(6) B는 표면 온도가 A보다 낮지만 광도는 A와 비슷하므로 반지름이 A보다 크다.

**바로알기** | (2) H-R도의 오른쪽 위로 갈수록 별의 반지름은 커지고 밀도는 작아진다.

(7) C는 백색 왜성으로, 질량이 태양과 비슷한 별의 마지막 진화 단계이다.

(8) C는 백색 왜성으로, 더 이상 핵융합 반응을 할 수 없게 된 중심핵이 수축하여 형성되므로 내부에서 핵융합 반응이 일어나지 않는다.

(9) C는 핵융합 반응이 더 이상 진행되지 않는 진화의 마지막 단계이므로 A~D 중 수소가 차지하는 비율이 가장 낮다.

## 난이도별 필수 기출

146~151쪽

**548** ㄱ, ㄴ **549** ⑤ **550** (가) 초거성 (나) 거성 (다) 주계열성 (라) 백색 왜성 **551** ④ **552** ② **553** ⑤, ⑥ **554** ②  
**555** ⑤ **556** ⑤, ⑥ **557** ④ **558** ⑤  
**559** 해설 참조 **560** ① **561** ① **562** ②, ④  
**563** ① **564** ③ **565** ③ **566** ① **567** 해설 참조  
**568** 해설 참조 **569** ③ **570** ②, ⑧ **571** ③  
**572** 해설 참조 **573** ⑤ **574** 해설 참조  
**575** ④, ⑦ **576** ⑤ **577** ② **578** ③

**548** ㄱ, ㄴ. H-R도의 세로축에는 광도 또는 광도와 관련 있는 절대 등급을 쓸 수 있다.

**바로알기** | ㄷ, ㄹ. H-R도의 가로축에는 표면 온도 또는 표면 온도를 나타내는 색지수, 분광형을 쓸 수 있다.

**549** ① H-R도에서 가로축에 해당하는 물리량에는 표면 온도와 표면 온도를 나타내는 분광형, 색지수가 있다.

② H-R도의 왼쪽 하단에 위치한 별일수록 반지름이 작고 밀도가 크다.

③ 중성자별이나 블랙홀과 같은 별은 H-R도에 나타나지 않는다.

④ 거성은 표면 온도가 낮고 광도가 크므로 H-R도의 오른쪽 상단에 위치한다.

**바로알기** | ⑤ H-R도의 왼쪽 위에서 오른쪽 아래로 길게 이어지는 영역에 분포하는 별은 주계열성이다. 백색 왜성은 H-R도의 왼쪽 하단에 위치한다.

**550** (다)는 H-R도의 왼쪽 위에서 오른쪽 아래로 길게 이어지는 영역에 분포하는 주계열성이다.

(나)는 H-R도의 오른쪽 상단에 위치하여 표면 온도가 낮고 광도가 큰 거성이다.

(가)는 거성인 (나)보다 광도가 커서 반지름이 더 큰 초거성이다.

(라)는 H-R도의 왼쪽 아래에 위치하여 표면 온도가 같은 주계열성보다 반지름이 작고 밀도가 큰 백색 왜성이다.

**551** A와 C는 주계열성으로, 주계열성은 표면 온도가 높을수록 반지름이 크다. ➔ 반지름:  $A > C$

B는 C와 표면 온도가 같고 광도는 C보다 크다. ➔ 반지름:  $B > C$

B는 A보다 표면 온도가 낮지만 광도는 A와 같다. ➔ 반지름:  $B > A$  따라서 반지름의 크기는  $B > A > C$ 이다.

**552** ㄷ. (다)는 H-R도의 왼쪽 하단에 분포하는 백색 왜성으로, 세 집단 중 평균 밀도가 가장 크다.

**바로알기** | ㄱ. H-R도에서 왼쪽으로 갈수록 별의 표면 온도가 높으므로 (가)는 (다)보다 대체로 표면 온도가 낮다.

ㄴ. (나)는 H-R도의 왼쪽 위에서 오른쪽 아래로 길게 분포하는 주계열성으로, 질량이 클수록 표면 온도가 높고 광도가 크다.

**553** A는 주계열성, B와 C는 초거성, D는 백색 왜성이다.

① A는 태양보다 광도가 큰 주계열성이므로 질량이 태양보다 크다.

② A는 B보다 절대 등급이 작으므로 광도가 크다.

③ A는 C보다 절대 등급이 5등급 작으므로 실제로 100배 밝다.

④ B는 분광형이 G형이고 C는 분광형이 K형이므로 B가 C보다 표면 온도가 높다.

⑦ C는 B와 비교하여 표면 온도는 낮지만 절대 등급이 같아 광도가 같으므로, B보다 반지름이 크다.

⑧ D는 분광형이 A형에 가까워 표면 온도가 높지만 광도가 작으므로 반지름이 작은 별이다. 따라서 D는 백색 왜성이다.

⑨ D는 백색 왜성으로, 주계열성인 태양보다 평균 밀도가 크다.

**바로알기** | ⑤ B는 태양과 분광형이 같아 표면 온도가 같고, 절대 등급이 태양보다 10등급 작으므로 광도는 태양보다  $100^2 = 10000$ 배 크다. 두 별의 표면 온도가 같은 경우, 광도는 반지름의 제곱에 비례하므로 B의 반지름은 태양의 100배이다.

⑥ C는 분광형이 K형으로 주황색을 띤다.

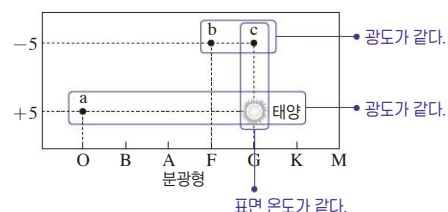
**554** 집단 A는 초거성, B는 거성, C는 주계열성, D는 백색 왜성이다.

ㄷ. 거성(B)이 백색 왜성(D)보다 광도가 크므로 단위 시간 동안 방출하는 총에너지양이 더 많다.

**바로알기** | ㄱ. 가로축(㉠)에는 왼쪽으로 갈수록 값이 커지는 물리량인 표면 온도가, 세로축(㉡)에는 위로 갈수록 값이 커지는 물리량인 광도가 들어갈 수 있다.

ㄴ. 태양은 주계열성(C)이고 안타레스는 거성보다 더 큰 초거성(A)이다. 주계열성은 초거성보다 평균 밀도가 크므로 태양이 안타레스보다 평균 밀도가 크다.

**555**

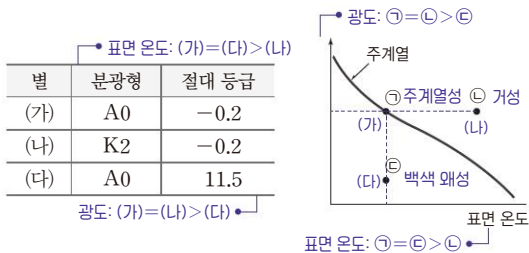


별	a	b	c	태양
분광형	O	F	G	G
절대 등급	+5	-5	-5	+5

→ 표면 온도:  $a > b > c = \text{태양}$   
→ 광도:  $b = c > a = \text{태양}$

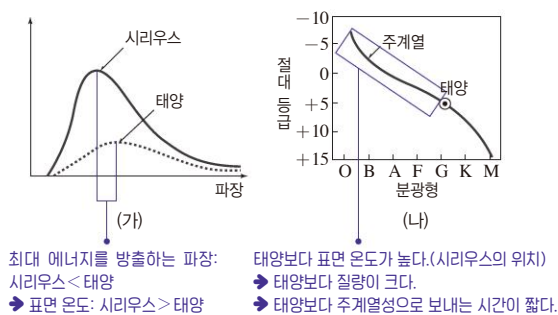
- ㄱ. a는 분광형이 O형이므로 G형인 태양보다 표면 온도가 높다.  
 ㄴ. b와 c는 절대 등급이 같으므로 광도가 같다.  
 ㄷ. 별의 반지름은 표면 온도가 낮을수록, 광도가 클수록 크다. c는 a보다 표면 온도가 낮고 광도가 크므로 반지름이 더 크다. c는 b와 광도는 같지만 b보다 표면 온도가 낮으므로 반지름이 더 크다. 따라서 a~c 중 c의 반지름이 가장 크다.

556



- (가)는 ㉠에, (나)는 ㉡에, (다)는 ㉢에 해당한다.  
 ① 분광형이 (가)와 (다)는 A0형이고 (나)는 K2형이므로 표면 온도는 (가)와 (다)가 같고, (나)가 가장 낮다.  
 ② 절대 등급이 작을수록 광도가 크므로 광도는 (가)와 (나)가 같고, (다)가 가장 작다.  
 ③ (가)는 (나)보다 표면 온도가 높고 (나)와 광도가 같으므로, (가)는 ㉠에, (나)는 ㉡에 해당한다. (다)는 (가)와 표면 온도가 같고, (가)보다 광도가 작으므로 ㉢에 해당한다.  
 ④ (가)는 ㉠에 해당하므로 주계열성이다.  
**바로알기** | ⑤ (나)는 H-R도의 오른쪽 위에 위치하여 표면 온도가 낮지만 반지름이 커서 광도가 큰 거성이다. (다)는 H-R도의 왼쪽 아래에 위치하여 표면 온도가 높지만 반지름이 작아 광도가 작은 백색 왜성이다.  
 ⑥ (나)는 거성, (다)는 백색 왜성이므로 (나)가 (다)보다 반지름이 크다.

557



- ㄱ. 최대 에너지를 방출하는 파장이 시리우스가 태양보다 짧으므로 표면 온도는 시리우스가 태양보다 높다.  
 ㄴ. 시리우스는 태양보다 표면 온도가 높은 주계열성이므로 (나)의 H-R도에서 태양의 왼쪽 위에 위치한다.  
 ㄷ. 시리우스는 H-R도에서 태양의 왼쪽 위에 위치하는 주계열성이므로 태양보다 질량이 크다.  
**바로알기** | ㄹ. 별의 질량이 클수록 주계열성으로 보내는 시간이 짧으므로 시리우스가 태양보다 주계열성으로 보내는 시간이 짧다.

558 ⑤ 두 별의 분광형(표면 온도)이 같다면, 광도 계급의 숫자가 작을수록 광도와 반지름이 크다. 따라서 광도 계급이 I인 별은 IV인 별보다 반지름이 크다.

- 바로알기** | ① 광도 계급의 숫자가 작을수록 광도가 크므로 광도 계급이 III인 ㉠은 광도 계급이 Ia인 ㉡보다 광도가 작다.  
 ② 태양은 분광형이 G2형이고 광도 계급은 주계열성인 V로, ㉢과 광도 계급은 일치하지만 분광형이 다르므로 ㉢에 해당하지 않는다.  
 ③ 광도 계급이 V인 별은 주계열성으로, 주계열성은 표면 온도가 높을수록 절대 등급이 작으므로 광도가 크다.  
 ④ 두 별의 광도 계급이 같아도 분광형이 다르면 표면 온도가 다르다.

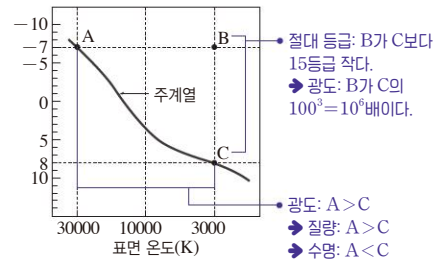
#### 개념 보충

##### 분광형과 광도 계급

- 분광형이 동일한 별의 스펙트럼이라도 별의 반지름이 클수록 흡수선의 선폭이 좁아진다.
- 광도 계급: 흡수선의 선폭을 기준으로 별을 광도가 큰 I에서 광도가 작은 VII까지 7개의 계급으로 분류한다. → 초거성(I), 밝은 거성(II), 거성(III), 준거성(IV), 주계열성(V), 준왜성(VI), 백색 왜성(VII)
- 분광형이 같은 경우, 광도 계급의 숫자가 클수록 별의 광도와 반지름이 작아진다.

광도 계급	광도	반지름	별의 종류
I	크다.	크다.	초거성
II			밝은 거성
III			거성
IV			준거성
V			주계열성
VI			준왜성
VII	작다.	작다.	백색 왜성

559



- (1) 주계열성의 질량이 클수록 광도가 크다. A는 C보다 절대 등급이 작아 광도가 큰 주계열성이므로 질량이 더 크다.

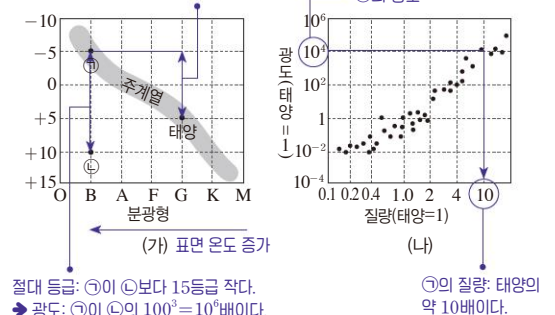
**모범 답안** (1) 질량이 작은 주계열성일수록 수명이 길므로 C가 A보다 수명이 더 길다.

- (2) B는 C보다 절대 등급이 15등급 작으므로 광도가  $100^3 = 10^6$ 배 크다. 따라서 B와 C의 광도비는 1000000 : 1이다.

- (3) B는 C와 표면 온도는 같지만 광도가 C의  $10^6$ 배이다. 따라서  $\frac{L_B}{L_C} = 10^6 = \frac{4\pi(R_B)^2 \cdot \sigma T^4}{4\pi(R_C)^2 \cdot \sigma T^4}$ 에서  $R_B = 1000R_C$ 이므로 B의 반지름은 C의 1000배이다.

560

- 절대 등급: ㉠이 태양보다 10등급 작다.  
 → 광도: ㉠이 태양의  $100^2 = 10^4$ 배이다.



- ㄱ. ㉠의 분광형은 B형이고, 태양의 분광형은 G형이므로 ㉠이 태양보다 표면 온도가 높다.

**바로알기** | 나. 절대 등급이 5등급 작으면 광도는 100배 크다. ㉠이 ㉡보다 절대 등급이 15등급 작으므로 광도는 ㉠이 ㉡의  $100^3=10^6$ 배이다.

ㄷ. ㉠은 태양보다 절대 등급이 10등급 작으므로 광도는 ㉠이 태양의  $100^2=10^4$ 배이다. 따라서 (나)에서 광도가  $10^4$ 인 ㉠의 질량은 태양의 약 10배이다.

**561** 성운은 주로 분자 상태의 수소(㉠)로 구성되어 있으며, 원시별은 성운 중 중력 수축하여 물질이 모이지 쉬워 밀도가 높고(㉡), 온도가 낮은(㉢) 영역에서 형성된다.

**562** ① 원시별이 중력 수축하여 표면 온도가 높아져 1000 K 정도에 이르면 빛(가시광선)을 방출하는 전주계열 단계가 된다.

③ 질량이  $0.08 M_{\odot}$  이하인 원시별은 중심 온도가 1000만 K에 이르지 못해 수소 핵융합 반응이 일어나지 않으므로 그대로 식어 갈색 왜성이 된다.

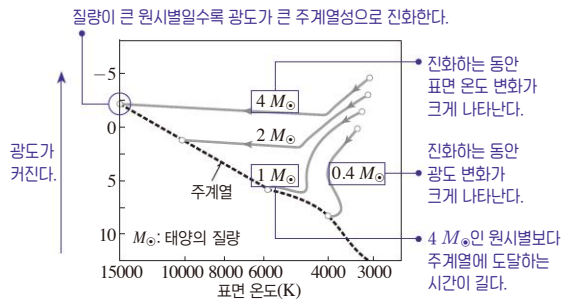
⑤ 질량이 큰 원시별일수록 중력 수축이 빠르게 일어나므로 주계열 단계에 빨리 도달하여, 광도가 크고 표면 온도가 높은 주계열성이 된다.

⑥ 원시별의 질량에 따라 원시별이 주계열 단계에 도달하는 데 걸리는 시간과 진화하는 동안 광도 변화와 표면 온도 변화가 다르게 나타나므로 H-R도에서 진화 경로가 달라진다.

**바로알기** | ② 별이 될 수 있는 원시별의 최소 질량은  $0.08 M_{\odot}$ 이므로 질량이  $0.01 M_{\odot}$ 인 원시별은 중력 수축하여도 중심 온도가 1000만 K까지 높아지지 않아 별이 되지 못한다.

④ 질량이  $1 M_{\odot}$ 인 원시별은 중력 수축하는 동안 광도가 크게 변한다.

**563**



ㄱ. 질량이 큰 원시별일수록 절대 등급이 작은 주계열성이 되므로 광도가 큰 주계열성으로 진화한다.

**바로알기** | 나. 주계열에 도달하는 동안 표면 온도의 변화는 질량이  $4 M_{\odot} > 2 M_{\odot} > 1 M_{\odot} > 0.4 M_{\odot}$ 인 원시별의 순서로 나타나고 있다. 광도의 변화는 원시별의 질량이 작을수록 크게 나타난다.

ㄷ. 원시별의 질량이 클수록 중력 수축이 빠르게 일어나므로 질량이  $4 M_{\odot}$ 인 원시별은  $1 M_{\odot}$ 인 원시별보다 주계열에 도달하는 시간이 짧다.

**564** ① 원시별의 에너지원은 원시별이 중력에 의해 수축할 때 발생하는 중력 수축 에너지이다.

② 전주계열 단계에서 중심핵의 온도가 약 1000만 K에 이르면 수소 핵융합 반응이 시작되어 별(주계열성)이 탄생한다.

④ 적색 거성의 헬륨 핵을 둘러싼 바로 바깥의 수소층에서 수소 핵융합 반응이 일어난다.

⑤ 적색 거성의 중심부에서 헬륨 핵융합 반응이 끝나면 더 이상 핵융합 반응이 일어나지 않고 중심핵은 계속 수축하여 백색 왜성이 된다. 따라서 백색 왜성의 중심부에서는 핵융합 반응이 일어나지 않는다.

**바로알기** | ③ 별의 중심부에서 일어나는 핵융합 반응으로는 철까지만 들어지며, 초신성 폭발 과정에서 철보다 무거운 원소가 만들어진다.

**565** ① 별은 대부분 수소로 이루어져 있으므로, 중심부에서 수소 핵융합 반응이 일어나는 주계열성으로 일생의 대부분을 보낸다.

② 주계열성의 중심부에서는 수소 핵융합 반응이 일어나 헬륨이 생성된다.

④ 주계열성은 내부 기체의 압력 차이로 발생한 힘과 중력이 평형을 이루면서 크기가 일정하게 유지된다.

⑤ 주계열성은 질량이 클수록 중심부에서 핵융합 반응이 활발하게 일어나므로 방출되는 에너지량이 많고 표면 온도가 높다.

**바로알기** | ③ 별의 질량이 클수록 수소 핵융합 반응이 빠르게 일어나 중심부의 수소가 빠르게 소진되므로 주계열성으로 짧게 머무른다.

**566** 질량이 태양과 비슷한 별은 원시별 이후 주계열성 → 적색 거성 → 행성상 성운 → 백색 왜성의 진화 과정을 거친다.

**567** **모범 답안** 질량이 태양보다 매우 큰 별은 원시별 이후 주계열성 → 초거성 → 초신성 → 중성자별 또는 블랙홀의 진화 과정을 거친다.

**568** 별의 질량이 클수록 중력 수축이 빠르게 일어나고, 중심부의 온도가 높아 핵융합 반응이 빠르게 진행되므로 진화 속도가 빠르다.

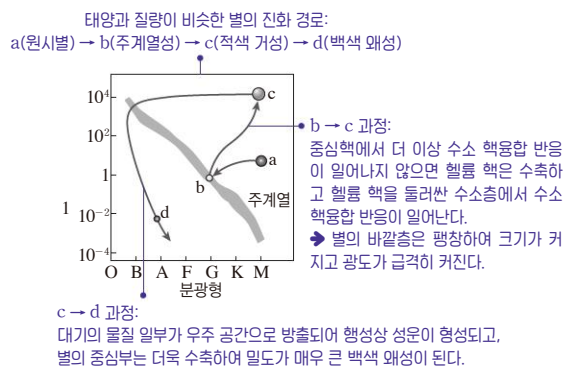
**모범 답안** 질량, 별의 질량이 클수록 수명이 짧다.

**569** ㄱ. 진화의 마지막 단계의 천체가 백색 왜성이므로 그림은 질량이 태양과 비슷한 별의 진화 과정이고, (가)는 주계열성, (나)는 적색 거성, (다)는 행성상 성운이다.

ㄴ. 적색 거성은 주계열성 이후 별의 바깥층이 팽창하여 형성되므로 적색 거성인 (나)는 주계열성인 (가)보다 반지름이 크고 표면 온도가 낮다.

**바로알기** | ㄷ. 행성상 성운인 (다)는 적색 거성 이후 별의 바깥층의 물질이 서서히 우주 공간으로 방출되면서 형성된다.

**570**



① 분광형이 M형인 a는 분광형이 A형에 가까운 d보다 표면 온도가 낮으므로 색지수가 크다.

③ 별은 일생의 약 90 %를 주계열성인 b 단계에서 보낸다.

④, ⑤ b(주계열성) → c(적색 거성) 과정에서 별의 중심부는 수축하고 바깥층은 팽창하면서, 표면 온도는 낮아진다.

⑥, ⑦ c(적색 거성) 이후 맥동 변광성과, 행성상 성운 단계를 거친 후 d(백색 왜성)로 진화하면서 별의 밀도가 커진다.

**바로알기** | ② 주계열성이 적색 거성으로 진화하는 과정에서 별의 바깥층이 팽창하므로 b(주계열성)는 c(적색 거성)보다 반지름이 작다.

⑧ 철보다 무거운 원소는 태양보다 질량이 매우 큰 별의 진화 단계 중 초신성 폭발 과정에서 생성된다.

**571** 그림은 태양의 진화 경로이므로 (가)는 원시별, (나)는 주계열성, (다)는 적색 거성, (라)는 백색 왜성이다.

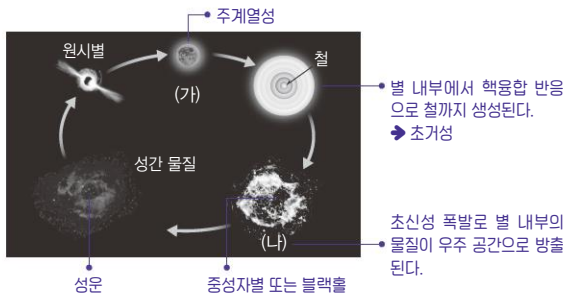


ㄱ. 현재 태양은 주계열성이므로 진화 단계는 (나)이다.  
 ㄴ. (다)에서 (라)로 진화하는 동안 별의 광도가 작아지므로 절대 등급은 커진다.

**바로알기** ㄴ. 원시별인 (가)에서 주계열성인 (나)로 진화하는 과정의 에너지원은 별이 중력 수축할 때 방출되는 중력 수축 에너지이다.

**572** **모범 답안** 광도가 커진다. (나)에서 (다)로 진화하는 동안 별의 표면 온도는 낮아지지만 바깥층이 팽창하면서 반지름이 매우 커지기 때문이다.

**573**



ㄱ. 별의 중심부에서 철까지 생성되는 핵융합 반응이 진행되므로 (가)는 태양보다 질량이 매우 큰 주계열성이다.  
 ㄴ. (나)는 초신성 폭발 과정으로, 많은 양의 에너지와 별 내부의 물질이 우주 공간으로 방출된다.  
 ㄴ. (나) 초신성 폭발 이후 별의 중심핵은 더욱 수축하여 밀도가 매우 큰 중성자별이나 블랙홀이 된다.

**574** 중심핵의 질량이 태양 질량의 약 1.4배보다 크고, 약 3배보다 작은 별은 내부에서 철까지 생성되고 핵융합 반응이 멈추면 급격하게 수축하면서 초신성 폭발이 일어난다. 이 과정에서 철보다 무거운 원소가 만들어지고, 별의 중심부는 수축하여 중성자별이 된다.

**모범 답안** 중성자별, 초신성 폭발 과정에서 철보다 무거운 원소가 만들어진다.

**575** ① 질량이 태양과 비슷한 별의 최종 진화 단계는 백색 왜성이므로 태양은 (가)의 과정으로 진화한다.  
 ② (가)는 질량이 태양과 비슷한 별의 진화 과정, (나)는 질량이 태양보다 매우 큰 별의 진화 과정으로, 진화 경로는 별의 질량에 의해 결정된다.  
 ③ 원시별(A) 단계에서는 별의 중심부에서 핵융합 반응이 일어나지 않고, 주계열성(B) 단계에서는 별의 중심부에서 수소 핵융합 반응이 일어난다. 따라서 별의 중심부 온도는 A보다 B 단계에서 높다.  
 ⑤ 초신성 폭발이 일어나는 C 단계에서 철보다 무거운 원소가 생성된다.  
 ⑥ 별의 질량이 작을수록 수명이 길므로 별의 수명은 (나)보다 상대적으로 질량이 작은 (가)에서 더 길다.

**바로알기** ④ 별의 질량이 클수록 주계열성으로 짧게 머무르므로, 별이 주계열성(B) 단계에 머무는 시간은 (가)보다 상대적으로 질량이 큰 (나)에서 짧다.  
 ⑦ 백색 왜성보다 상대적으로 질량이 큰 별이 수축하여 형성된 중성자별의 밀도가 더 크다.

**576** ⑤ (가)의 중심부에는 백색 왜성이 남고, (나)의 중심부에는 중성자별 또는 블랙홀이 남으므로 성운의 중심부에 존재하는 천체의 질량은 (나)가 (가)보다 크다.

**바로알기** ① (가)는 질량이 태양과 비슷한 별의 진화 과정 중 일부이고, (나)는 질량이 태양보다 매우 큰 별의 진화 과정 중 일부이다. 따라서 (가)는 (나)보다 질량이 더 작은 별에서 진화한 것이다.

② 행성상 성운의 중심부에는 별의 중심핵이 수축하여 형성된 백색 왜성이 남는다.  
 ③ 철보다 무거운 원소는 (나)의 형성 과정에서 만들어진다.  
 ④ 별의 질량이 클수록 주계열 단계에 짧게 머무르므로 (나) 과정을 거치는 별이 주계열 단계에 머무는 시간이 더 짧다.

**577** ㄴ, ㄷ. 주계열성인(B) 거성(D)으로 진화하는 동안 중심핵은 수축하고 바깥층은 팽창하므로 별의 반지름이 커진다.

**바로알기** ㄱ. 색지수는 별의 표면 온도가 낮을수록 크므로 D가 가장 크고, A가 가장 작다.

ㄴ. C와 D의 중심핵은 주계열 단계일 때 일어난 수소 핵융합 반응으로 수소가 거의 소진된 상태이다.

**578** ㄴ. 주계열성의 질량이 클수록 광도가 크며, 주계열 단계에서 A가 B보다 광도가 크므로 질량이 더 크다.

ㄴ. (나)에서 B는 적색 거성으로 진화하는 동안 표면 온도가 낮아지만 광도는 커지므로 반지름이 커진다.

**바로알기** ㄱ. (가)는 원시별에서 주계열 단계에 도달하는 주계열 이전의 진화 경로이고, (나)는 주계열 단계에서 거성 단계로 진화하는 주계열 이후의 진화 경로이다.

ㄷ. (가)에서 A는 원시별에서 주계열 단계에 도달하는 진화 단계에 있으므로 주요 에너지원은 중력 수축 에너지이다. 수소 핵융합 반응은 주계열 단계에서의 주요 에너지원이다.

## 20 별의 에너지원과 내부 구조

**빈칸 자료 보기**

153 쪽

**579** (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × (5) × (6) ○ (7) ×

**579** 질량이 태양과 비슷한 주계열성의 내부 구조는 중심으로부터 '핵 → 복사층 → 대류층'이고, 질량이 태양의 약 2배 이상인 주계열성의 내부 구조는 중심으로부터 '대류핵 → 복사층'이다.

(1) (가)의 내부 구조는 '핵 → 복사층 → 대류층'이므로 (가)는 질량이 태양과 비슷한 주계열성이다.

(2) 질량이 태양과 비슷한 주계열성인 (가)의 중심부 온도는 약 1800만 K보다 낮아 P-P 반응이 우세하게 나타난다.

(6) 별의 질량이 클수록 원시별에서 주계열성이 되는 데 걸리는 시간이 짧다. (가)는 (나)보다 질량이 작으므로 원시별에서 주계열성이 되는 데 걸린 시간이 더 길다.

**바로알기** (3) (나)의 내부 구조는 '대류핵 → 복사층'이므로 (나)는 질량이 태양의 약 2배 이상인 주계열성이다. 따라서 (나)는 (가)보다 질량이 큰 주계열성이다.

(4) 질량이 태양의 약 2배 이상인 주계열성인 (나)의 중심부 온도는 약 1800만 K보다 높으므로 CNO 순환 반응이 우세하게 나타난다.

(5) (가)와 (나)는 주계열성이므로 내부의 기체 압력 차이로 발생한 힘과 중력의 크기가 같은 정역학 평형 상태이다.

(7) 별의 질량이 클수록 주계열성으로 머무는 시간이 짧다. (나)는 (가)보다 질량이 크므로 주계열성으로 머무는 시간이 더 짧다.

## 난이도별 필수 기출

154~159쪽

580 원시별: 중력 수축 에너지, 주계열성: 수소 핵융합 반응	581 ③
582 해설 참조	583 해설 참조
584 ④	585 ④
586 ③	587 ②, ④
588 ①	589 ②, ⑥
590 ②	591 ②, ④
592 ②	593 ⑤
594 ④	
595 해설 참조	596 ⑤
597 ③	598 해설 참조
599 ③	600 ①
601 ②	602 ⑧, ⑨
603 해설 참조	604 ⑤
605 ①	606 ⑤, ⑥
607 ⑤	608 ②

**580** 핵융합 반응이 일어나지 않는 원시별의 주요 에너지원은 중력 수축 에너지이고, 핵융합 반응이 시작되는 주계열성의 주요 에너지원은 수소 핵융합 반응이다.

**581** ㄱ. 주계열성의 에너지원은 가장 낮은 온도에서 일어나는 핵융합 반응인 수소 핵융합 반응이다.

ㄴ. 주계열성의 중심부는 표면보다 온도가 높아 1000만 K 이상으로 높아지므로 수소 원자핵이 융합하여 헬륨 원자핵을 생성하는 수소 핵융합 반응이 일어난다.

**바로알기** | ㄷ. 수소 핵융합 과정에서 질량 결손이 발생하며, 감소한 질량( $\Delta m$ )은 질량·에너지 등가 원리( $E = \Delta mc^2$ ,  $c$ : 광속)에 따라 에너지( $E$ )로 전환된다. 따라서 핵융합 반응으로 발생하는 에너지는 감소한 질량에 비례한다.

**582** **모범 답안** 양성자·양성자 반응(P-P 반응)은 중심부 온도가 약 1800만 K보다 낮은 주계열 하단부의 별에서 우세하게 일어난다.

**583** **모범 답안** 탄소·질소·산소 순환 반응(CNO 순환 반응)에서 탄소, 질소, 산소는 촉매 역할을 한다. 이 반응은 중심부 온도가 약 1800만 K보다 높은 주계열 상단부의 별에서 우세하게 일어난다.

**584** ①, ③ 태양은 표면 온도가 약 5800 K(G2형)인 주계열성(V)이므로 M-K 분류법에 따르면 G2V로 분류된다.

② 태양의 중심부 온도는 약 1500만 K으로, 중심부에서는 P-P 반응이 우세하게 일어난다.

⑤ 수소 핵융합 반응이 태양의 에너지원임을 에딩턴이 주장하였고, 베테가 이를 입증하였다.

**바로알기** | ④ 주계열성으로서 태양의 수명은 약 100억 년으로, 현재 약 50억 년이 지났고, 앞으로 약 50억 년을 더 주계열 단계에 머무를 것이다.

**585** ④ 별 내부에서 헬륨 핵융합 반응이 일어날 수 있는 최저 온도는 약 1억 K이다.

**바로알기** | ② 별의 내부 온도가 약 1000만 K에 도달하면 수소 핵융합 반응이 일어나기 시작한다.

**586** ① 원시별의 주요 에너지원은 자체 중력에 의해 수축이 일어날 때 생성되는 중력 수축 에너지이다.

② 원시별에는 기체 압력 차이로 발생한 힘보다 중력이 크게 작용하므로 중력 수축이 일어난다.

④, ⑤ 원시별에서 중력 수축으로 발생한 에너지의 일부는 방출되어 빛을 내고, 일부는 원시별의 중심부 온도를 높인다. 원시별이 계속 중력 수축하여 중심부 온도가 1000만 K 이상이 되면 수소 핵융합 반응이 시작되고, 이때부터 주계열성이라고 한다.

**바로알기** | ③ 원시별에서는 중력 수축으로 에너지가 발생한다. 중심부에서 수소 핵융합 반응으로 에너지가 발생하는 진화 단계는 주계열성이다.

**587** ① 결과적으로 수소 원자핵 4개가 융합하여 헬륨 원자핵 1개를 만드는 핵융합 반응이므로 수소 핵융합 반응의 원리이다.

③ 수소 핵융합 반응은 별의 중심부 온도가 약 1000만 K 이상일 때 일어난다.

⑤ 모든 핵융합 과정 중 감소한 질량( $\Delta m$ )은  $E = \Delta mc^2$ 만큼 에너지( $E$ )로 전환된다.

⑥ 중심핵에서 수소 핵융합 반응이 일어나는 별의 진화 단계는 주계열성으로, 주계열성은 정역학 평형 상태를 유지하여 크기가 일정하게 유지된다.

**바로알기** | ② 수소 핵융합 반응은 주계열성에서는 중심핵에서 일어나며, 거성 단계에서는 별의 헬륨 핵을 둘러싼 바로 바깥의 수소층에서 일어난다(수소각 연소).

④ 4개의 수소 원자핵이 융합하는 과정에서 질량 결손이 일어나므로 1개의 헬륨 원자핵의 질량은 4개의 수소 원자핵 질량의 합보다 작다.

**588** 주계열성의 중심부에서는 수소 핵융합 반응이 일어나고, 수소 핵융합 반응에는 P-P 반응과 CNO 순환 반응이 있다.

ㄱ. 그림은 수소 원자핵 6개가 헬륨 원자핵 1개와 수소 원자핵 2개로 바뀌면서 에너지를 생성하므로 P-P 반응에 해당한다.

**바로알기** | ㄴ. P-P 반응은 중심부 온도가 약 1800만 K보다 낮은 질량이 작은 별의 중심부에서 우세하게 일어난다. 질량이 태양의 3배인 별은 중심부의 온도가 1800만 K보다 높으므로 CNO 순환 반응이 우세하게 일어난다.

ㄷ. 핵융합 과정에서 별의 질량은 감소하고, 감소한 질량만큼의 에너지가 방출된다.

**589** ② 4개의 수소 원자핵이 융합하여 1개의 헬륨 원자핵이 생성되는 과정에서 탄소, 질소, 산소는 촉매 역할을 한다.

⑥  $^{13}\text{N} \rightarrow$  (가) 과정에서  $^{13}\text{N}$ 는 양성자 하나가 중성자로 변하면서 양전자와 중성미자를 방출하여 질량수는 같지만 원자 번호가 1 작아져  $^{13}\text{C}$ 가 된다.  $^{14}\text{N} \rightarrow$  (나) 과정에서  $^{14}\text{N}$ 는 양성자가 하나 더해져 질량수와 원자 번호가 1 커진  $^{15}\text{O}$ 가 된다.

**바로알기** | ① 탄소, 질소, 산소가 촉매 역할을 하여 수소 원자핵을 융합시켜 헬륨 원자핵을 생성하는 반응으로, 수소 핵융합 반응 중 하나이다.

③, ④ 태양과 같이 중심부 온도가 약 1800만 K보다 낮은 주계열성의 중심핵에서는 P-P 반응이 우세하게 일어난다. CNO 순환 반응은 태양보다 질량이 약 2배 이상 커서 중심부 온도가 약 1800만 K보다 높은 주계열성의 중심핵에서 우세하게 일어난다.

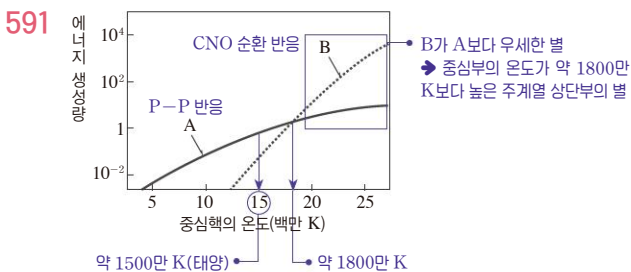
⑤ 이 반응이 우세하게 일어나는 별은 질량이 큰 별로, 중심에는 대류로 에너지가 전달되는 대류핵이 존재한다. 대류는 온도 차가 클 때 에너지를 효과적으로 전달하는데, 질량이 큰 별일수록 중심부의 온도가 매우 높아 표면과 온도 차가 크다.

**590** ㄱ. (가)는 탄소, 질소, 산소가 촉매 역할을 하여 수소 원자핵을 융합시켜 헬륨 원자핵을 만드는 CNO 순환 반응이고, (나)는 수소 원자핵 6개가 헬륨 원자핵 1개와 수소 원자핵 2개로 바뀌면서 에너지를 생성하는 P-P 반응이다.

ㄴ. CNO 순환 반응인 (가)에서 탄소, 질소, 산소는 반응물에 영향을 주지 않고 촉매 역할을 한다.

**바로알기** | ㄴ. (가)와 (나)는 모두 수소 핵융합 반응으로, 최종적으로 헬륨 원자핵이 생성된다.

ㄷ. (가)는 약 1800만 K보다 높은 온도에서, (나)는 약 1800만 K보다 낮은 온도에서 우세하게 일어난다. 따라서 (나)는 (가)보다 중심부의 온도가 낮은 별에서 우세하게 나타난다.



① A는 상대적으로 낮은 온도에서 우세하게 일어나므로 P-P 반응이고, B는 상대적으로 높은 온도에서 우세하게 일어나므로 CNO 순환 반응이다.

③ 중심부 온도가 1000만 K인 별에서 B 반응은 일어나지 않는다.

⑤ 태양은 중심부 온도가 약 1500만 K이므로 중심부에서는 A 반응이 B 반응보다 우세하게 일어난다.

⑥ 분광형이 O형인 별은 주계열 상단부의 별로, 표면 온도는 30000 K 이상이고 질량이 매우 크다. 별의 중심부는 온도가 약 1800만 K보다 높은 상태이므로 중심부에서는 B 반응이 더 우세하게 일어난다.

**바로알기** | ② A와 B는 모두 수소 핵융합 반응으로 헬륨 원자핵을 생성한다.

④ 그림에서 중심부 온도가 약 1800만 K보다 높은 별에서의 에너지 생성률은 A 반응이 B 반응보다 낮다.

**592** ㄴ. 백색 왜성 단계에서는 별 내부에서 핵융합 반응이 일어나지 않으며 별은 천천히 식어간다.

**바로알기** | ㄱ. 주계열 단계 이후에 별의 중심부 온도가 1억 K이 되면 헬륨 핵융합 반응이 일어나기 시작한다.

ㄷ. 질량이 태양보다 매우 큰 별은 주계열 단계 이후에 별의 중심에서  $\text{He} \rightarrow \text{C} \rightarrow \text{Ne} \rightarrow \text{O} \rightarrow \text{Si}$ 의 순서로 핵융합 반응이 일어난다.

**593**

주계열성	질량(태양=1)	수소 핵융합 반응	최종 진화 단계
(가)	$0.26 \leq M \leq 1.5$	P-P 반응 우세	A 백색 왜성
(나)	$8 \leq M < 25$	CNO 순환 반응 우세	중성자별
(다)	$M \geq 25$	CNO 순환 반응 우세	B 블랙홀

ㄱ. (가)는 질량이 태양 정도인 별이므로 최종 진화 단계(A)가 백색 왜성이고, (다)는 질량이 태양보다 매우 큰 별이므로 최종 진화 단계(B)가 블랙홀이다.

ㄴ. 별의 질량이 클수록 주계열 단계에 머무는 시간이 짧다. (가)는 (나)보다 질량이 작으므로 주계열 단계에 머무는 시간이 더 길다.

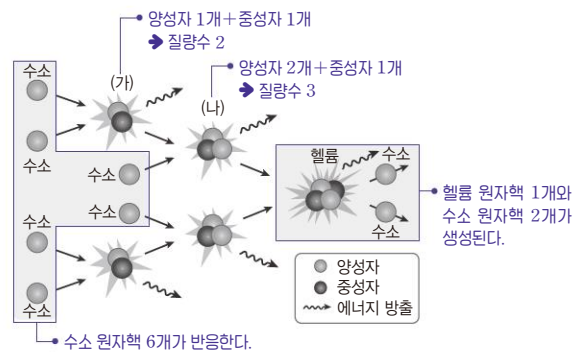
ㄷ. (다)는 질량이 태양 질량의 25배 이상으로, 질량이 매우 커서 중심부의 온도가 약 1800만 K보다 높다. 따라서 (다)의 중심부에서는 CNO 순환 반응이 우세하게 나타난다.

**개념 보충**

**별의 진화의 최종 단계**

- **행성상 성운과 백색 왜성**: 적색 거성 중심핵에서 핵융합 반응 중지 → 질량이 태양과 비슷한 별은 바깥층의 물질 일부가 우주 공간으로 방출되어 행성상 성운 형성. 중심핵은 수축하여 밀도가 높은 백색 왜성 형성
- **초신성과 중성자별, 블랙홀**: 초거성 중심핵에서 철이 생성된 후 핵융합 반응 중지 → 질량이 태양보다 매우 큰 별은 급격한 중력 수축이 일어나면서 초신성 폭발 → 중심핵은 계속 수축하여 밀도가 매우 큰 중성자별 또는 블랙홀 형성

**594**



주계열성인 태양의 중심부에서는 수소 핵융합 반응이 일어나며, P-P 반응이 우세하게 일어난다.

ㄱ. 수소 원자핵 6개가 헬륨 원자핵 1개와 수소 원자핵 2개로 바뀌면서 에너지를 생성하는 반응이므로 P-P 반응을 나타낸 것이다.

ㄴ. (가)는 양성자 1개+중성자 1개이므로 질량수는 2이고, (나)는 양성자 2개+중성자 1개이므로 질량수는 3이다.

ㄷ. 수소 원자핵 6개가 반응하여 헬륨 원자핵 1개와 수소 원자핵 2개를 생성하며 에너지를 방출하는 반응이다.

**바로알기** | ㄴ. P-P 반응은 중심부의 온도가 약 1800만 K보다 낮은 별에서 우세하게 일어나므로 주계열 하단부에 위치하여 질량이 작은 별의 중심부에서 우세하게 일어난다.

**595** (1) 태양 전체 질량  $2 \times 10^{30} \text{ kg}$  중 수소 핵융합 반응에 참여하는 중심핵의 질량은 10 %이고, 그중 0.7 %가 결손되며, 이때 결손된 질량이 에너지로 전환된다. 결손된 질량( $\Delta m$ )과 광속( $c$ )을 질량·에너지 등가 원리  $E = \Delta mc^2$ 에 대입하면 태양이 수소 핵융합 반응으로 방출할 수 있는 총 에너지( $E$ )를 구할 수 있다.

(2) 총 에너지인  $1.26 \times 10^{44} \text{ J}$ 을 태양의 광도인  $4 \times 10^{26} \text{ J/s}$ 로 나누면 태양이 주계열 단계에 머무르는 시간이 된다. (약 100억 년)

**모범 답안** (1)  $E = \Delta mc^2$ 에서  $\Delta m$ 은  $2 \times 10^{30} \text{ kg} \times 0.1 \times 0.007$ 이고,  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ 이므로  $E = 2 \times 10^{30} \text{ kg} \times 0.1 \times 0.007 \times (3 \times 10^8 \text{ m/s})^2 = 1.26 \times 10^{44} \text{ J}$ 이다.

(2) 태양의 광도

**596**

주계열성	중심핵 질량(태양=1)	수소 핵융합 반응	최종 진화 단계
(가)	$M < 1.4$	P-P 반응 우세	백색 왜성
(나)	$1.4 < M < 3$	CNO 순환 반응 우세	중성자별
(다)	$M > 3$	CNO 순환 반응 우세	A 블랙홀

• 원시별에서 주계열성으로 진화할 때 광도 변화가 크다.      • 초신성 폭발을 거쳐 형성된다.



① (다)는 중심핵 질량이 태양의 3배보다 커서 질량이 매우 큰 별로, 최종 진화 단계에서 블랙홀(A)이 된다.

② A는 블랙홀이므로 초신성 폭발을 거쳐 형성되었다.

③ (가)는 질량이 태양 정도인 별로, 중심부에서는 상대적으로 저온에서 일어나는 P-P 반응이 우세하게 일어난다.

④ 별의 수명은 질량이 작은 (가)가 질량이 큰 (나)보다 길다.

**바로알기** | ⑤ 질량이 큰 원시별은 주계열에 도달하는 동안 광도 변화에 비해 표면 온도의 변화가 크고, 질량이 작은 원시별은 표면 온도 변화에 비해 광도 변화가 크다. 따라서 원시별에서 주계열성으로 진화할 때 광도 변화는 질량이 상대적으로 작은 (가)에서 더 크다.

#### 개념 보충

##### 찬드라세카르 한계

인도의 천문학자 찬드라세카르는 백색 왜성으로 최후를 맞는 별은 중심핵 질량이 태양 질량의 1.4배를 넘지 않는다는 것을 밝혀내었고, 이를 찬드라세카르 한계라고 한다. 따라서 최종 진화 단계에서 별의 중심핵 질량이 태양 질량의 1.4배가 넘지 않으면 백색 왜성이, 1.4배가 넘으면 중성자별이 되며, 특히 태양 질량의 3배가 넘는 경우에는 중력 수축이 계속 일어나 밀도와 중력이 매우 커져 블랙홀이 된다.

**597** ㄱ. 정역학 평형 상태일 때 별은 구형을 이루며, 중력과 기체 압력 차이로 발생한 힘이 평형을 이루어 크기가 변하지 않는 안정적인 상태를 유지한다.

ㄴ. 대류는 에너지 전달률이 좋은 열전달 방법으로, 별 내부의 온도 차이가 클 때 에너지를 효과적으로 전달하는 방식이다.

**바로알기** | ㄷ. 질량이 태양의 약 2배 이상인 주계열성의 중심부는 에너지 발생률이 많아 온도가 매우 높으므로 표면과 온도 차이가 크다. 따라서 중심부에서는 대류의 형태로 에너지를 전달한다.

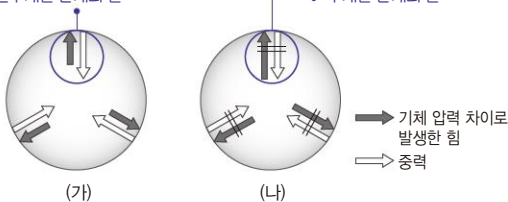
**598** **모범 답안** 주계열성은 중력과 기체 압력 차이로 발생한 힘이 평형을 이루는 정역학 평형 상태에 있으므로 수축이나 팽창을 하지 않고 크기가 일정하게 유지된다.

**599** ㄱ. 별의 크기가 일정하게 유지되고 있고 중심핵에서 수소 핵융합 반응이 일어나고 있는 별은 주계열 단계에 있는 별이다.

ㄷ. 기체 압력 차이로 발생한 힘(A)과 중력(B)의 크기가 같아 힘의 평형을 이루고 있으므로 별의 크기가 일정하게 유지된다.

**바로알기** | ㄴ. A는 바깥쪽으로 작용하는 기체 압력 차이로 발생한 힘이고, B는 중심 쪽으로 작용하는 중력이다.

**600** 중력 > 기체 압력 차이로 발생한 힘  
→ 중력 수축  
→ 전주계열 단계의 별  
중력 = 기체 압력 차이로 발생한 힘  
→ 정역학 평형  
→ 주계열 단계의 별



② 전주계열 단계의 별은 중력이 기체 압력 차이로 발생한 힘보다 커서 중력 수축이 일어나므로 (가)에 해당한다.

③ 주계열 단계의 별은 중력과 기체 압력 차이로 발생한 힘의 크기가 같아 정역학 평형 상태이므로 (나)에 해당한다.

④ (가)는 중력 수축이 일어나므로 시간이 지날수록 중심부의 밀도가 커진다.

⑤ (나)는 정역학 평형 상태이므로 별의 크기가 일정하게 유지된다.

**바로알기** | ① (가)는 중력이 기체 압력 차이로 발생한 힘보다 크므로 정역학 평형 상태가 아니며, 중력에 의해 수축이 일어난다.

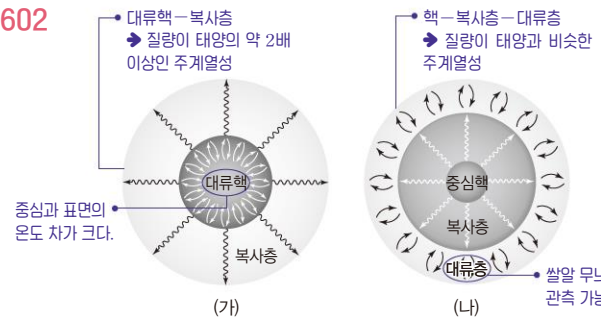
**601** 에너지는 전도, 대류, 복사의 형태로 전달되는데, 별은 물질의 밀도가 매우 작으므로 전도를 통한 에너지 전달은 거의 일어나지 않으며 주로 복사와 대류로 에너지가 전달된다. 질량이 태양과 비슷한 별의 내부의 중심으로부터 ‘핵-복사층-대류층’으로 구성되어 에너지를 전달한다. 따라서 A는 복사층, B는 대류층이다.

ㄷ. B는 대류층으로 대류에 의해 에너지를 전달한다.

**바로알기** | ㄱ. 주계열성의 중심핵에서는 수소 핵융합 반응이 일어나며, 수소 핵융합 반응으로 헬륨이 생성된다.

ㄴ. A는 복사층이므로 복사 형태로 물질의 이동 없이 에너지의 이동만 일어난다.

**602**



⑧ P-P 반응은 중심부 온도가 약 1800만 K보다 낮은 별에서 우세하게 일어나므로 (가)보다 질량이 작은 (나)에서 우세하게 일어난다.

⑨ (가)와 (나)는 모두 주계열성이므로 정역학 평형 상태이다.

**바로알기** | ① 태양의 내부 구조는 (나)와 같이 ‘핵-복사층-대류층’으로 이루어져 있다.

② (가)는 내부 구조가 ‘대류핵-복사층’으로 이루어져 있으므로 질량이 태양의 약 2배 이상인 주계열성이다. 따라서 (가)는 (나)보다 질량이 크다.

③ 진화 속도는 상대적으로 질량이 큰 (가)가 (나)보다 빠르다.

④ 중심 온도는 상대적으로 질량이 큰 (가)가 (나)보다 높다.

⑤ 표면 온도는 질량이 더 크고 중심핵에서 에너지 발생률이 더 많은 (가)가 (나)보다 높다.

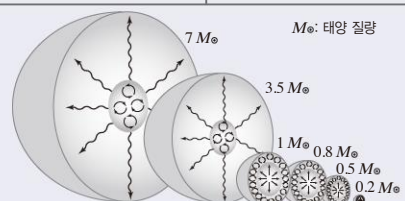
⑥ 주계열성은 질량이 클수록 반지름이 크다. 따라서 질량이 더 큰 (가)가 (나)보다 반지름이 더 크다.

⑦ 쌀알 무늬는 태양의 표면에서 물질의 대류에 의해 형성되므로 바깥층이 복사층인 (가)에서는 관측되지 않고, 바깥층이 대류층인 (나)에서 잘 관측된다.

#### 개념 보충

##### 질량에 따른 주계열성 비교

질량	$M \leq 2 M_{\odot}$	$2 M_{\odot} \leq M$
수소 핵융합	P-P 반응 우세	CNO 순환 반응 우세
에너지 전달 방식	중심부와 주변부의 온도 차이가 작다. → 중심부에서는 복사를 통해, 바깥층에서는 대류를 통해 에너지를 전달한다.	중심부와 주변부의 온도 차이가 매우 크다. → 빠른 에너지 전달을 위해 중심부에서는 대류를 통해, 바깥층에서는 복사를 통해 에너지를 전달한다.



▲ 질량에 따른 에너지 전달 방법

**603** (1) 중심에서 헬륨 핵은 수축하고, 바깥층(외층)은 헬륨 핵을 둘러싼 바로 바깥의 수소층에서 일어난 수소 핵융합 반응에 의해 팽창하므로 별은 주계열성에서 거성으로 진화하고 있는 단계이다.

(2) 바깥층(외층)이 팽창함에 따라 별의 표면 온도는 낮아지고, 표면 온도가 낮아지지만 반지름이 매우 커지면서 광도는 커진다.

(3) 중심핵이 수축하면서 방출되는 중력 수축 에너지에 의해 중심핵의 온도는 높아진다.

**모범 답안** (1) 주계열성에서 거성으로 진화하는 단계이다.

(2) 표면 온도는 낮아지고, 광도는 커진다.

(3) 중심핵의 온도는 높아진다.

**604** ⑤ 헬륨 핵의 중력 수축으로 발생한 에너지가 중심부 외곽에 공급되어 헬륨 핵 바로 바깥의 수소층에서 수소 핵융합 반응(수소각연소)이 일어난다.

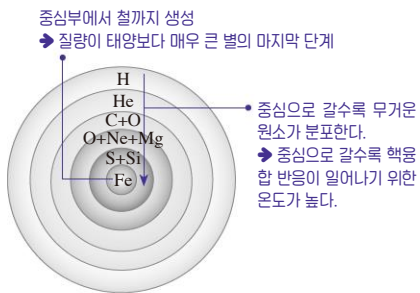
**바로알기** | ① 별의 바깥층이 팽창하여 별의 반지름이 커지면서 광도는 커진다.

② 별이 팽창하면서 표면 온도는 낮아진다.

③ 별의 크기가 커지므로 정역학 평형 상태가 아니다.

④ 헬륨 핵이 수축하지만 바깥층은 팽창하므로 별의 반지름은 커진다.

**605**



별의 중심에 철이 분포하므로 질량이 태양보다 매우 큰 별의 마지막 단계의 내부 구조이다.

ㄱ. 중심핵에서 점점 높은 온도에서 핵융합 반응이 일어나면 중심으로 갈수록 무거운 원소가 만들어진다.

ㄴ. 중심으로 갈수록 무거운 원소가 분포하므로 핵융합 반응이 일어나기 위한 온도가 높다.

**바로알기** | ㄷ. 별의 질량이 충분히 크면 중심핵에서 더 무거운 원소를 만드는 핵융합 반응이 연속적으로 일어나므로 중심에 분포한 원소일수록 나중에 생성된 것이다.

ㄹ. 이 별은 중심부에서 핵융합 반응으로 철까지 형성된 매우 큰 질량의 별이므로 최종적으로 중성자별이나 블랙홀로 진화할 것이다.

**606** (가)는 중심핵에 탄소가 생성되어 있으므로 질량이 태양 정도인 별이 적색 거성 단계를 거쳐 중심에서 핵융합 반응이 멈춘 후이다. (나)는 중심핵에 철이 생성되어 있으므로 질량이 태양보다 매우 큰 별이 초거성 단계를 거쳐 중심에서 핵융합 반응이 멈춘 후이다.

① 질량이 태양 정도인 별의 중심에서는 (가)와 같이 탄소, 산소까지 생성될 수 있다.

② (나)는 질량이 태양보다 매우 큰 별의 내부 구조로, 별은 이후 초신성 폭발이 일어나 블랙홀로 진화할 수 있다.

③ 질량이 큰 별일수록 중심핵에서 무거운 원소가 생성되므로 주계열성일 때 별의 질량은 (가)보다 (나)가 더 크다.

④ 별의 중심부 온도가 높을수록 무거운 원소가 생성되므로 철이 생성된 (나)가 탄소가 생성된 (가)보다 중심부 온도가 더 높다.

**바로알기** | ⑤ (가)는 별의 바깥 물질이 우주 공간으로 서서히 방출되어 행성상 성운을 형성하지만, (나)는 초신성 폭발로 별의 바깥 물질이 급격하게 우주로 방출된다.

⑥ (가)와 (나)를 구성하는 원소 중 대부분은 핵융합 반응으로 생성되었지만 수소는 핵융합 반응으로 생성될 수 없고 빅뱅 과정에서 생성되었다.

**607** (가)에서 a와 c는 주계열성, b는 거성, d는 백색 왜성에 해당한다. (나)는 중심핵에서 수소 핵융합 반응이 일어나고, 내부 구조가 '핵-복사층-대류층'이므로 질량이 태양과 비슷한 주계열성의 내부 구조이다.

⑤ (나)와 같은 내부 구조가 나타나는 별은 태양과 질량이 비슷한 주계열성이므로 c이다.

**바로알기** | ① a는 c보다 절대 등급이 10등급 작으므로 광도는 약  $100^2=10000$ 배 크다.

② 별의 광도는 반지름의 제곱에, 표면 온도의 네제곱에 비례한다. b는 분광형이 K형으로, G형인 c보다 표면 온도는 낮지만 절대 등급이 작아서 광도가 크므로 반지름이 더 크다.

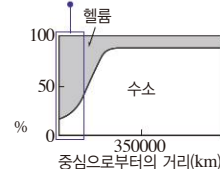
**다른 해설** | ② b는 c보다 H-R도의 오른쪽 위에 위치하므로 반지름이 크다.

③ 진화 단계를 가장 많이 거친 별은 진화의 마지막 단계의 별인 d(백색 왜성)이다.

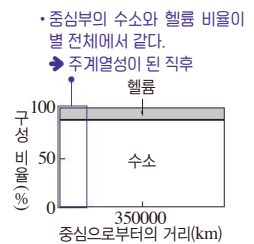
④ (나)는 질량이 태양 정도로 중심부 온도가 약 1800만 K보다 낮은 별의 내부 구조이므로 중심부에서 P-P 반응이 우세하게 일어난다.

**608**

- 중심부의 헬륨 비율이 높다.
- 수소 핵융합 반응이 진행된 상태
- 탄소, 산소가 존재하지 않는다.
- 헬륨 핵융합 반응은 일어나지 않았다.
- 주계열성 단계



(가) 50억 년 후



(나) 주계열성이 된 직후

ㄷ. 50억 년 후에도 별은 주계열성이므로 (가)와 (나) 사이의 기간 동안 별은 주계열성으로 머물고 있다. 주계열성은 정역학 평형 상태이므로 이 기간 동안 별의 크기는 일정하게 유지된다.

**바로알기** | ㄱ. (가)는 중심핵의 헬륨 비율이 수소 비율보다 높으므로 수소 핵융합 반응이 많이 진행된 50억 년 후이고, (나)는 수소와 헬륨 비율이 중심핵을 포함하여 별 전체에서 같으므로 수소 핵융합 반응이 일어나기 시작한 주계열성이 된 직후이다.

ㄴ. (가)에서 중심핵에 수소가 일부 남아 있는 것으로 보아 별은 수소 핵융합 반응이 일어나는 주계열성이다. 앞으로 중심부의 수소 핵융합 반응이 멈춘 후 중심부가 중력 수축하여 온도가 높아지면 헬륨 핵융합 반응이 일어날 수 있다.

## 21 외계 행성계와 외계 생명체 탐사

**빈출 자료 보기**

161쪽

**609** (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ (5) ○ (6) ×

**610** (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ×

**609** (1) 중심별과 행성이 공통 질량 중심 주위를 공전함에 따라 중심별의 시선 속도가 변하므로 별빛의 도플러 효과가 나타난다. 따라서 중심별의 스펙트럼에서 흡수선의 파장 변화를 관측하여 행성의 존재를 확인할 수 있다.

(4) 중심별이 관측자의 시선 방향에서 멀어질 때 별빛의 파장이 길어지므로 흡수선의 적색 편이가 나타난다.

(5) 행성의 질량이 클수록 중심별의 공전 궤도 반지름이 커지므로 시선 속도 변화가 크게 나타난다.

**바로알기** | (2) 중심별과 행성은 공통 질량 중심을 서로 공전하며, 천체의 질량이 클수록 공통 질량 중심에 가깝게 공전한다. 별은 행성에 비해 질량이 매우 크므로 공통 질량 중심을 가깝게 공전하는 A는 중심별이고, B는 행성이다.

(3) 행성의 질량이 클수록 공통 질량 중심은 중심별에서 멀어진다.

(6) 행성의 공전 궤도면이 관측자의 시선 방향과 수직이면 중심별의 시선 속도 변화가 거의 나타나지 않는다.

**610** (1), (2) 지구는 태양으로부터 1 AU 거리에 위치한다. 태양계의 생명 가능 지대에 유일하게 지구가 포함되어 있으므로 태양계에서 약 1 AU 내외의 범위에 생명 가능 지대가 존재한다.

**바로알기** | (3) 화성은 생명 가능 지대 바깥쪽에 위치하므로 지구보다 표면 온도가 낮아 표면에는 물이 고체 상태로 존재할 것이다.

(4) 태양의 질량이 현재보다 작았다면 방출하는 복사 에너지도 현재보다 적었을 것이므로 생명 가능 지대는 현재보다 태양에 가까운 곳에 위치하였을 것이다.

## 난이도별 필수 기출

162~167쪽

**611** 중심별의 시선 속도 변화 이용, 식 현상 이용, 미세 중력 렌즈 현상 이용 **612** ③ **613** ① **614** ⑤ **615** 해설 참조  
**616** ③, ⑥ **617** ① **618** 해설 참조 **619** ①  
**620** ③ **621** ②, ⑧ **622** 해설 참조 **623** ①  
**624** ① **625** ② **626** ③ **627** ③, ⑤ **628** ④  
**629** ③ **630** ④ **631** ⑤, ⑥ **632** 해설 참조  
**633** ⑤ **634** ③, ⑥ **635** 해설 참조  
**636** 해설 참조 **637** ② **638** ② **639** ②

**611** 외계 행성계 탐사 방법은 주로 간접적인 방법을 이용하면 중심별의 시선 속도 변화를 이용하는 방법, 행성에 의한 식 현상을 이용하는 방법, 미세 중력 렌즈 현상을 이용하는 방법이 있다.

**612** ㄴ. 중심별과 행성이 공통 질량 중심 주위를 공전하면서 중심별의 시선 속도가 변하므로 도플러 효과가 나타난다. 따라서 중심별의 스펙트럼에 나타나는 흡수선의 파장 변화를 관찰하면 행성의 존재를 확인할 수 있다.

ㄷ. 행성의 중력에 의해 배경별의 밝기가 불규칙하게 변하는 미세 중력 렌즈 현상을 이용하면 행성의 존재를 확인할 수 있다.

**바로알기** | ㄱ. 행성은 크기가 작고 매우 어둡기 때문에 사진을 촬영하여 외계 행성을 관측하는 직접적인 방법보다는 간접적인 방법을 주로 이용한다.

ㄷ. 행성이 중심별의 앞쪽을 지날 때 중심별의 밝기가 변하는 현상인 식 현상을 이용하면 행성의 존재를 확인할 수 있다.

**613** ㄱ. 중심별이 1에 위치할 때 지구(관측자)로 다가오면서 별빛의 파장이 짧아지므로 스펙트럼에서 청색 편이가 나타난다.

**바로알기** | ㄴ. 중심별이 2에 위치할 때 지구(관측자)로부터 멀어지면서 별빛의 파장이 길어져 스펙트럼에서 적색 편이가 나타나므로 흡수선은 파장이 긴 쪽으로 이동한다.

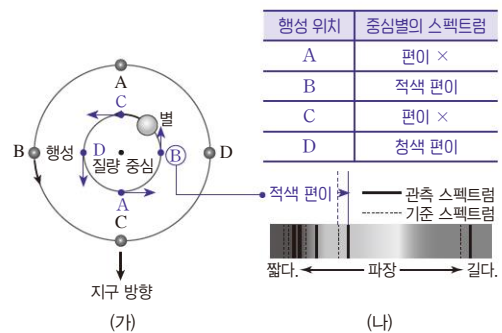
ㄷ. 중심별과 행성은 공통 질량 중심 주위를 같은 주기로 공전한다.

**614** ㄱ. 행성과 중심별은 같은 방향으로 공전하므로 행성은 ㉠ 방향으로 공전한다.

ㄴ. 행성이 A에 위치할 때 중심별은 지구에서 멀어지고 있으므로 스펙트럼에서 적색 편이가 관측된다.

ㄷ. 행성의 질량이 클수록 공통 질량 중심이 행성 쪽으로 이동하면서 중심별의 공전 궤도 반지름이 커진다. 그에 따라 중심별의 시선 속도 변화가 커지면서 도플러 효과가 크게 나타난다.

**615**



(1) (나)는 스펙트럼에서 적색 편이가 나타나므로 중심별이 지구에서 멀어지고 있을 때 관측한 것이다. 행성이 B에 위치할 때, 행성은 지구에 가까워지지만 중심별은 지구로부터 멀어지므로 스펙트럼에서 적색 편이가 관측된다.

(2) 행성이 A 또는 C에 위치할 때 중심별의 공전 방향과 관측자의 시선 방향이 수직이므로 시선 속도가 0이다. 따라서 중심별의 스펙트럼에서 적색 편이와 청색 편이가 모두 나타나지 않는다.

(3) 행성의 공전 궤도면과 관측자의 시선 방향이 수직인 경우에는 공전하는 동안 중심별의 시선 속도 변화가 나타나지 않는다. 행성의 질량이 작거나 행성이 중심별에서 멀리 떨어져 있는 경우 중심별의 시선 속도 변화가 작게 나타나므로 행성의 존재를 확인하기 어렵다.

**모범 답안** (1) B

(2) A, C

(3) 행성의 공전 궤도면과 관측자의 시선 방향이 수직일 때에는 관측이 불가능하다. 행성의 질량이 작은 경우에는 행성을 발견하기 어렵다. 행성이 중심별에서 멀리 떨어져 있는 경우에는 행성을 발견하기 어렵다.

**616** ③ 행성의 공전 주기에 따라 행성이 중심별을 가리는 식 현상이 반복되므로 중심별의 밝기 변화가 공전 주기를 따라 주기적으로 나타난다.

⑥ 식 현상이 일어날 때 행성의 대기 성분에 의해 특정 파장의 별빛이 흡수되므로 행성의 대기를 통과하는 별빛의 스펙트럼을 분석하면 행성의 대기 성분을 알 수 있다.

**바로알기** | ① 행성이 중심별을 가리는 식 현상에 의해 중심별의 밝기가 변한다.

② 행성의 크기가 클수록 행성이 중심별을 가리는 면적이 커지므로 중심별의 밝기 변화가 크게 나타난다.

④ 식 현상이 일어났으므로 관측자의 시선 방향과 행성의 공전 궤도면이 거의 나란할 때 관측한 것이다.



⑤ 행성이 3의 위치에 있을 때 중심별은 시선 방향과 수직인 방향으로 이동하므로 시선 속도 변화가 나타나지 않는다. 따라서 중심별의 스펙트럼에서 편이량은 0이 된다.

**617** ㄱ. A는 식 현상이 일어나는 주기로 행성의 공전 주기와 같다. 따라서 행성의 공전 주기가 길수록 A가 길어진다.

**바로알기** ㄴ. 행성의 반지름( $R$ )이 2배가 되면 행성의 단면적( $\pi R^2$ )은 4배가 되므로 행성이 중심별을 가리는 면적도 4배가 된다. 따라서 중심별의 밝기 변화량인  $a$ 는 4배로 커진다.

ㄷ. 중심별의 밝기가 최소일 때 중심별은 시선 방향에 수직이거나 수직에 가깝게 이동하므로 스펙트럼의 파장 변화가 거의 나타나지 않는다. 따라서 스펙트럼의 파장 변화를 거의 관측할 수 없다.

**618** **모범 답안** 거리가 다른 두 별이 같은 시선 방향에 위치할 때, 배경별의 빛이 중심별의 중력에 의해 미세하게 굴절되면서 배경별의 밝기가 변한다. 이때 중심별이 행성을 거느리고 있다면 행성의 중력에 의해 배경별의 밝기가 추가적으로 변한다.

**619** ㄱ. 미세 중력 렌즈 현상을 이용하여 외계 행성을 탐사하는 방법은 중심별 A와 행성의 중력에 의해 배경별인 B의 밝기가 변하는 현상을 관측하여 행성의 존재를 확인하는 방법이다.

**바로알기** ㄴ. 행성의 공전 궤도 반지름이 큰 것이 배경별의 추가적인 밝기 감지에 유리하므로 행성의 존재를 확인하는 데 유리하다.

ㄷ. 관측자의 시선 방향과 행성의 공전 궤도면이 나란하지 않아도 중력이 작용하므로 행성의 중력에 의해 배경별의 추가적인 밝기 증가가 나타날 수 있다.

**620** ㄱ. 별 X와 행성의 중력에 의해 별 S의 밝기가 변하므로 미세 중력 렌즈 현상을 이용하는 방법이다.

ㄷ. X 항성계에 행성이 많을수록 행성의 중력에 의해 별 S의 추가적인 밝기 변화가 여러 번 나타날 수 있으므로 별 S의 밝기는 더 불규칙하게 변할 것이다.

**바로알기** ㄴ. 별 S는 A에서 C로 이동하는 동안 별 X의 중력에 의한 미세 중력 렌즈 효과가 최대일 때(B) 가장 밝게 관측된다.

**621** ① 미세 중력 렌즈 현상을 이용한 외계 행성 탐사는 배경별인 A의 밝기 변화를 관측한다.

③  $a$ 는 별 S의 중력에 의해 나타나는 별 A의 밝기 변화이다.

④  $b$ 는 행성의 중력에 의해 나타나는 별 A의 추가적인 밝기 변화이다.

⑤ 관측자-별 S-별 A가 일직선상에 위치할 때의 미세 중력 렌즈 현상으로 별 A의 최대 밝기가 나타난다.

⑥ 행성의 질량이 클수록 행성의 중력이 크므로 행성에 의한 추가적인 밝기 변화인  $b$ 의 변화가 크게 나타난다.

⑦ 미세 중력 렌즈 효과는 지구 정도의 크기나 질량을 가진 행성을 찾는 데 이용할 수 있으므로 다른 탐사 방법에 비해 질량이 작은 행성 탐사에 유리하다.

**바로알기** ② 배경별은 중심별과 중력으로 묶여 있지 않아 외계 행성계가 배경별 앞을 여러 번 지나가지 않으므로 밝기 변화가 주기적으로 나타나지 않는다.

⑧ 미세 중력 렌즈 현상을 이용한 행성의 탐사는 다른 탐사 방법에 비해 공전 궤도 반지름이 큰 행성의 탐사에 유리하다. 행성의 공전 궤도 반지름이 크면 언제 식 현상이 일어날지 몰라 식 현상을 이용하기 어렵고, 행성과 별의 공전 속도가 너무 느려 별빛의 스펙트럼 편이량이 매우 작게 나타나기 때문에 시선 속도 변화를 이용하기 어렵다.

**622** 미세 중력 렌즈 현상으로 배경별의 밝기가 추가적으로 변하는 현상은 드물게 일어나므로 항상 하늘을 관측해야 하며, 주기적인 관측이 불가능하다.

**모범 답안** 미세 중력 렌즈 현상은 드물게 일어난다. 주기적인 관측이 불가능하다.

**623** (가)는 중심별의 시선 속도 변화를 이용하는 방법이고, (나)는 식 현상을 이용하는 방법이다.

② (가)에서 중심별의 시선 속도 변화가 클수록 도플러 효과가 크게 나타나므로 스펙트럼 흡수선의 파장 변화가 크게 나타난다.

③ (나)에서 중심별의 밝기가 감소하는 주기를 구하면 행성의 공전 주기를 구할 수 있다.

④ (나)에서 식 현상을 일으키는 행성의 반지름이 클수록 행성에 의해 가려지는 중심별의 면적이 넓어지므로 중심별의 밝기 변화가 크게 나타난다.

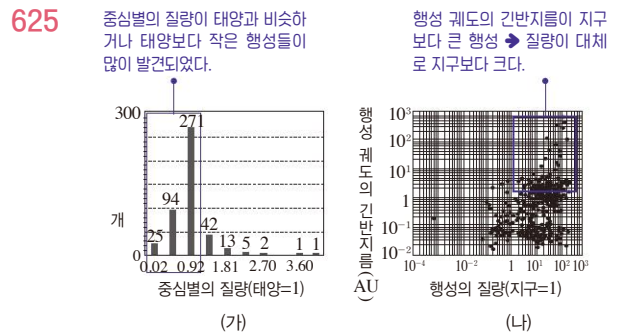
⑤ 행성의 공전 궤도면이 시선 방향과 나란한 경우, (가)에서 중심별의 스펙트럼 변화와 (나)에서 중심별의 밝기 변화 관측에 유리하다.

**바로알기** ① (가)는 중심별의 스펙트럼에 나타나는 흡수선의 변화를, (나)는 중심별의 밝기 변화를 관측한다. 행성의 스펙트럼 변화나 밝기 변화는 관측할 수 없다.

**624** ㄱ. 그림에서 세로축의 수치를 보면 발견된 행성의 대부분은 지구보다 질량이 크다.

**바로알기** ㄴ. 그림에서 미세 중력 렌즈 현상을 이용하여 발견한 행성이 가장 적다.

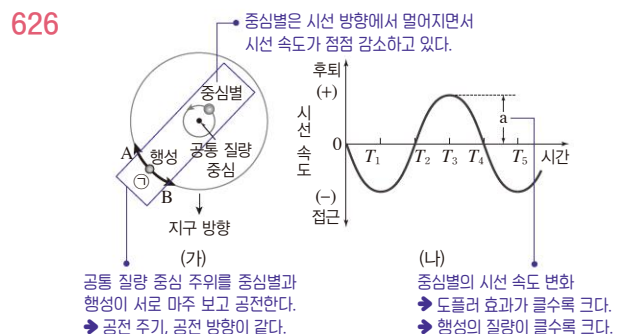
ㄷ. 공전 궤도 반지름이 1 AU가 넘는 행성은 중심별의 시선 속도 변화를 이용한 방법으로 많이 발견되었으므로 이를 이용하여 탐사하는 것이 유리하다.



ㄷ. 대부분의 외계 행성들은 시선 속도 변화, 식 현상 등을 이용한 간접적인 탐사 방법을 통해 발견되었다.

**바로알기** ㄱ. (가)에서 외계 행성이 많이 발견되는 중심별은 질량이 태양과 비슷하거나 태양보다 작은 경우가 많다.

ㄴ. 발견된 행성 중 행성 궤도의 긴반지름이 지구보다 큰 행성들은 대체로 질량이 지구보다 크다.



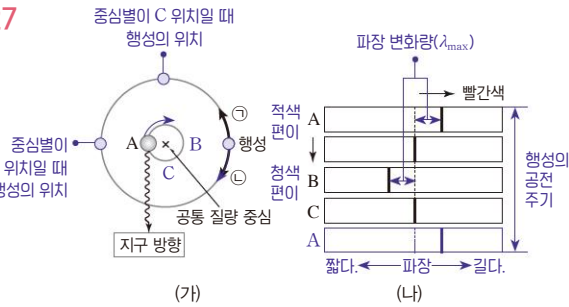
ㄴ. 행성이 ㉠에 위치할 때 중심별은 시선 방향에서 멀어지면서 시선 속도가 점점 감소하므로, 이때의 시간은 (나)에서  $T_3 \sim T_4$ 에 해당한다.

ㄷ. 행성의 질량이 클수록 중심별이 공통 질량 중심에서 멀어지므로 중심별의 시선 속도 변화가 크게 나타난다. 따라서 (나)에서 a가 크게 나타난다.

**바로알기 |** ㄱ. 행성과 중심별은 공통 질량 중심 주위를 같은 방향으로 공전하므로 행성은 B 방향으로 공전한다.

ㄹ. 행성의 공전 궤도면과 관측자의 시선 방향이 수직에 가까울수록 중심별의 시선 속도 변화가 작아지므로 (나)에서 a가 작게 나타난다.

627



① (나)에서 중심별이 A 위치일 때 흡수선의 적색 편이가 나타나므로 중심별은 지구에서 멀어지고 있다. 따라서 중심별은 시계 방향으로 공전하고 있으며, 행성도 시계 방향인 ㉠ 방향으로 공전한다.

② 중심별이 A 위치일 때 흡수선의 적색 편이가 가장 크게 나타나므로 중심별의 시선 속도는 최대가 된다.

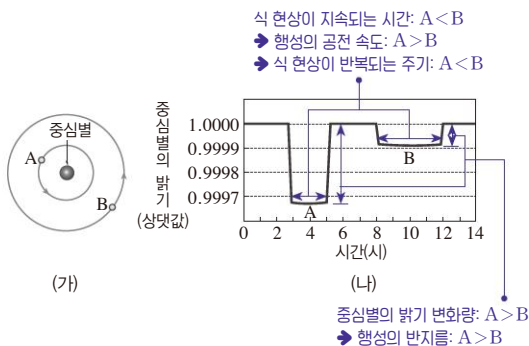
④ 행성의 질량이 클수록 별의 움직임이 커서 별빛의 시선 속도 변화가 크게 나타나므로 스펙트럼의 파장 변화가 크게 나타난다.

⑥ 중심별이 C 위치일 때 지구—중심별—행성 순으로 시선 방향에 나란하게 위치한다. 따라서 지구에서 관측한 외계 행성과 중심별의 각 거리는 C에서 최소가 되고, A와 B에서 최대가 된다.

**바로알기 |** ③ 중심별이 B 위치일 때 흡수선의 청색 편이가 가장 크므로 행성의 위치는 중심별이 A일 때의 행성의 위치와 정반대이다. 행성과 지구의 거리는 중심별이 C 위치일 때 가장 멀다.

⑤ 행성의 공전 주기는 중심별이 A부터 다시 A에 위치할 때까지 걸린 시간이다. A부터 C까지 관측하는 데 걸린 시간은 행성의 공전 주기보다 짧다.

628



ㄴ. (나)에서 식 현상이 지속되는 시간은 최소 밝기가 지속되는 시간이므로 B가 A보다 길다.

ㄷ. 식 현상이 지속되는 시간이 B가 A보다 길므로 공전 속도는 B가 A보다 느리다. 따라서 B가 중심별을 공전하는 시간이 A보다 길므로 B에 의해 식 현상이 반복되는 주기가 A보다 길다.

**바로알기 |** ㄱ. 행성의 식 현상에 의한 중심별의 밝기 변화량이 A가 B보다 크므로 행성의 반지름은 A가 B보다 크다.

629 ① 생명 가능 지대는 중심별의 주변 공간에서 물이 액체 상태로 존재할 수 있는 거리의 영역을 의미한다.

② 물이 액체 상태로 존재하기 위해서는 행성이 생명 가능 지대에 위치하여 표면 온도가 적절하게 유지되어야 한다.

④, ⑤ 주계열성인 중심별의 질량이 클수록 광도가 크므로 생명 가능 지대는 중심별에서 멀어지고, 생명 가능 지대의 폭이 넓어진다.

**바로알기 |** ③ 생명 가능 지대는 물이 액체 상태로 존재할 수 있는 범위를 의미하며, 생명체가 존재하는 범위를 의미하는 것은 아니다.

630 ① 행성에 외계 생명체가 존재하기 위해서는 생명체에 필요한 물질을 쉽게 공급할 수 있는 액체 상태의 물이 존재해야 한다.

② 적절한 두께의 대기는 우주에서 오는 유해 광선을 막아주고, 온실효과를 일으켜 생명체가 살기에 적절한 온도를 유지해 준다.

③ 자기장은 우주에서 오는 고에너지 입자를 차단할 수 있다.

⑤ 행성의 자전축이 안정적으로 유지되어 기후 시스템에 급격한 변화가 생기는 것을 방지할 수 있어야 한다.

**바로알기 |** ④ 생명체가 탄생하여 진화하기까지 상당한 시간이 필요하므로 중심별의 진화 속도가 느리고, 수명은 충분히 길어야 한다.

631 ① 액체 상태의 물이 존재할 가능성은 A~C 중 생명 가능 지대에 위치한 B가 가장 높다.

② 행성의 표면 온도는 생명 가능 지대보다 중심별로부터 가까이에 위치한 A가 생명 가능 지대에 위치한 B보다 높다.

③ 주계열성인 중심별의 질량이 클수록 수명이 짧다. 중심별의 질량은 A보다 C의 중심별이 크므로 중심별의 수명은 C가 더 짧다.

④ 주계열성인 중심별의 질량이 클수록 광도가 크고, 생명 가능 지대의 폭은 중심별의 광도가 클수록 넓어진다.

**바로알기 |** ⑤ 중심별의 절대 등급이 작을수록 광도가 크므로 생명 가능 지대까지의 거리가 멀어진다.

⑥ 중심별의 질량이 클수록 별의 진화 속도가 빨라 행성이 생명 가능 지대에 머무는 시간이 짧으므로 생명체가 탄생하여 진화할 시간이 충분하지 않다.

632 (1) 생명 가능 지대의 폭과 중심별로부터의 거리는 중심별의 광도에 영향을 받으며 주계열성은 질량이 클수록 광도가 크다. 따라서 A에는 광도, 질량이 들어갈 수 있다.

(2) (가)는 (나)보다 질량이 큰 주계열성으로, 주계열성의 질량이 클수록 수명이 짧으므로 (가)가 (나)보다 수명이 짧다.

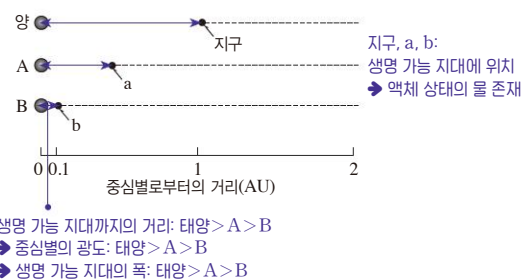
(3) (가)의 물리량인 광도가 매우 큰 경우 중심별의 질량이 매우 커서 수명이 짧으므로, 행성이 생명 가능 지대에 머무는 시간이 짧다. 이 경우 행성에서 생명체가 탄생하여 진화할 시간이 부족해지므로 생명체가 존재하기 어려워진다.

**모범 답안** (1) 광도, 질량

(2) (가)가 (나)보다 수명이 짧다.

(3) 생명체가 탄생하여 진화할 수 있는 시간이 부족하기 때문이다.

633



ㄱ. 행성 a와 b는 생명 가능 지대에 위치하므로 행성 a와 b에는 액체 상태의 물이 존재할 것이다.

ㄴ. 생명 가능 지대까지의 거리는 별 A보다 태양이 더 멀므로 광도는 태양이 별 A보다 크다. 주계열성은 질량이 클수록 광도가 크므로 질량은 태양이 별 A보다 크다.

ㄷ. 생명 가능 지대의 폭은 중심별의 광도가 클수록 넓다. 태양은 별 B보다 광도가 크므로 생명 가능 지대의 폭이 더 넓다.

**634** (가)에서 태양의 생명 가능 지대까지의 거리는 1 AU 부근이고, (나)에서 별 A의 생명 가능 지대까지의 거리는 1 AU보다 가깝다.

① 중심별의 광도가 클수록 생명 가능 지대까지의 거리가 멀므로, 광도는 태양이 별 A보다 크다.

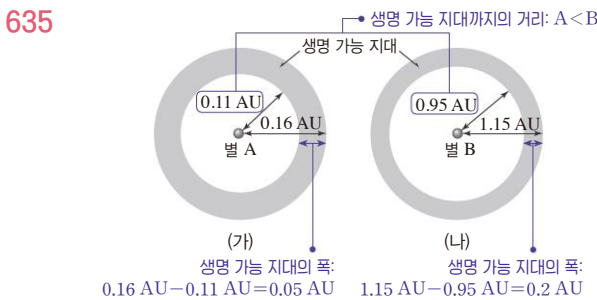
② 주계열성의 질량이 클수록 광도가 크다. 광도는 태양이 별 A보다 크므로 질량도 태양이 별 A보다 크다.

④ 중심별의 광도가 클수록 생명 가능 지대의 폭이 넓다. 광도는 태양이 별 A보다 크므로 생명 가능 지대의 폭은 태양이 별 A보다 넓다.

⑤ 별 A는 태양보다 표면 온도가 낮고 광도가 작은 주계열성이므로 H-R도상에서 태양의 오른쪽 아래에 위치한다.

**바로알기** | ③ 행성 a는 생명 가능 지대보다 바깥쪽에 위치하므로 표면 온도가 낮아 물이 고체 상태로 존재할 것이다.

⑥ 질량이 큰 주계열성일수록 별이 진화하는 데 걸리는 시간이 짧다. 질량은 태양이 별 A보다 크므로 주계열성에서 거성으로 진화하는 데 걸리는 시간은 태양이 별 A보다 짧다.



**모범 답안** (1) 별 B

(2) 별 B, 중심별의 질량이 클수록 광도가 커서 중심별에서 생명 가능 지대까지의 거리가 멀고 생명 가능 지대의 폭이 넓으므로, 별 B가 별 A보다 질량이 크다.

**636** • 물은 비열이 커서 많은 양의 열을 오래 보존할 수 있으므로 생명체의 항상성을 유지하는 데 중요한 역할을 한다.

• 물은 다양한 물질을 녹일 수 있는 용매이므로 생명체가 생명 활동에 필요한 물질들을 흡수하기에 용이하다.

• 물은 액체보다 고체의 밀도가 작아 표면의 물이 얼더라도 얼음 아래쪽에 수중 생태계가 유지될 수 있다.

**모범 답안** 비열이 크다. 다양한 물질을 녹일 수 있는 용매이다. 고체가 될 때 밀도가 작아진다.

**637** ㄱ. 태양 탄생 시점부터 시간이 지날수록 생명 가능 지대의 폭이 넓어지고 있다.

ㄴ. 40억 년 후 태양의 광도가 현재보다 커서 지구가 생명 가능 지대보다 안쪽에 위치하므로 지구의 표면 온도는 현재보다 높을 것이다.

**바로알기** | ㄴ. 태양이 탄생했을 당시 금성은 생명 가능 지대보다 안쪽에 위치하였으므로 액체 상태의 물이 존재하지 않았을 것이다.

ㄷ. 40억 년 후 생명 가능 지대의 폭은 현재보다 넓고, 생명 가능 지대까지의 거리는 현재보다 멀므로 태양의 광도는 현재보다 클 것이다.

**638** ㄱ.  $t_1$ 일 때가  $t_0$ 일 때보다 생명 가능 지대까지의 거리가 멀므로 별의 광도가 더 크다.

ㄴ. 행성 A는  $t_0$ 일 때, 행성 B는  $t_0 \sim t_1$ 일 때 생명 가능 지대에 위치하므로 행성 B가 행성 A보다 생명 가능 지대에 오래 머물 수 있다.

**바로알기** | ㄴ.  $t_1$ 일 때가  $t_0$ 일 때보다 별의 광도가 크므로 생명 가능 지대의 폭이 더 넓다.

ㄷ. 행성 A는  $t_0$ 일 때 생명 가능 지대에 위치하고,  $t_1$ 일 때 생명 가능 지대보다 안쪽에 위치하므로 표면 온도는  $t_1$ 일 때가  $t_0$ 일 때보다 높다.

**639** ② ㉠ 시기에 A의 표면 온도는 물이 액체 상태로 존재할 수 있는 온도 범위 안에 있으므로 A는 생명 가능 지대에 위치한다.

**바로알기** | ① 중심별이 탄생한 시기(0억 년)에 A의 표면 온도는 물이 액체 상태로 존재할 수 있는 온도보다 낮았으므로 A에는 물이 고체 상태로 존재했을 것이다.

③ 중심별의 나이가 20억 년일 때 A는 생명 가능 지대에 위치하지 않았으므로 A에는 생명체가 살지 않았을 것이다.

④ A의 표면 온도는 ㉠ 시기보다 ㉡ 시기에 높았으므로, A에 도달하는 중심별의 복사 에너지는 ㉠ 시기보다 ㉡ 시기에 많다.

⑤ 중심별의 나이가 많아지면서 A의 표면 온도가 높아지므로 중심별의 광도는 커진다. 따라서 생명 가능 지대의 폭은 점점 넓어지고 있다.

### 최고 수준 도전 기출 (18~21강)

168~169쪽

- |       |           |       |       |
|-------|-----------|-------|-------|
| 640 ② | 641 해설 참조 | 642 ④ | 643 ⑤ |
| 644 ④ | 645 해설 참조 | 646 ④ | 647 ② |

**640** • 표면 온도: 분광형이  $O \rightarrow B \rightarrow A \rightarrow F \rightarrow G \rightarrow K \rightarrow M$ 으로 갈수록 낮으므로 표면 온도는 (다) > (나) > (가)이다.

• 광도: 절대 등급이 (가) < (다) < (나)이므로 광도는 (가) > (다) > (나)이다.

ㄱ. 최대 에너지를 방출하는 파장은 표면 온도에 반비례한다. (다)는 분광형이 A1형으로 표면 온도가 가장 높으므로, 최대 에너지를 방출하는 파장이 가장 짧다.

ㄴ. (가)는 분광형이 M2형이므로 분광형이 A1형인 (다)보다 표면 온도( $T$ )가 낮지만 절대 등급이 (다)보다 작아 광도( $L$ )가 크다. 따라서  $L = 4\pi R^2 \cdot \sigma T^4$ 에 의해 반지름( $R$ )은 (가)가 (다)보다 크다.

**바로알기** | ㄴ. 단위 시간당 단위 면적에서 방출하는 에너지양( $E$ )은  $E = \sigma T^4$ 에서 표면 온도( $T$ )가 높을수록 많으므로 (다)가 가장 많다.

ㄷ. 단위 시간 동안 방출하는 에너지의 총량은 광도를 의미하며, 광도는 절대 등급이 더 작은 (가)가 (나)보다 크다. (가)와 (나)의 절대 등급의 차가 5등급보다 크므로 광도는 (가)가 (나)의 100배보다 크다.

**641** (1) 별의 표면 온도가 높을수록 색지수가 작다.

(2) 거리가 10 pc인 A의 절대 등급은 겉보기 등급과 같은 -3등급이고, 겉보기 등급( $m$ )이 -3등급, 거리( $r$ )가 100 pc인 B의 절대 등급( $M$ )은  $m - M = 5 \log r - 5$ 에서 -8등급이다. B가 A보다 절대 등급이 5등급 작으므로 광도는 B가 A의 100배이다.

(3) 광도는 B가 A의 100배이고, 표면 온도는 B가 A의 2배이다.

$\frac{L_B}{L_A} = 100 = \frac{4\pi(R_B)^2 \cdot \sigma(2T)^4}{4\pi(R_A)^2 \cdot \sigma T^4}$ 에서  $R_B = 2.5R_A$ 이므로 B의 반지름은 A의 2.5배이다.

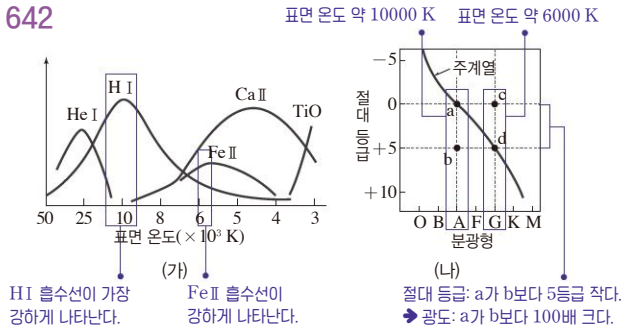


**모범 답안** (1) B가 A보다 색지수가 작다.

(2) A의 절대 등급은 -3등급, B의 절대 등급은 -8등급으로 B가 A보다 절대 등급이 5등급 작으므로 광도는 B가 A의 100배이다.

(3) 광도는 B가 A의 100배, 표면 온도는 B가 A의 2배이고, 광도는 반지름의 제곱과 표면 온도의 네제곱에 비례하므로 B의 반지름은 A의 2.5배이다.

642



① a와 b는 A형 별로, 표면 온도가 약 10000 K이므로 모두 HI 흡수선이 가장 강하게 나타난다.

② c는 G형 별로, 표면 온도가 약 6000 K이므로 FeII 흡수선이 강하게 나타난다.

③ a와 d는 주계열성이므로 광도 계급이 모두 V이다.

⑤ 태양은 분광형이 G2형으로, 표면 온도가 약 5800 K이므로 CaII 흡수선이 HI 흡수선보다 강하게 나타난다.

**바로알기** | ④ a와 b는 표면 온도가 같고, a는 b보다 절대 등급이 5등급 작으므로 광도가 100배 크다. 표면 온도가 같은 경우 광도는 반지름의 제곱에 비례하므로 a는 b보다 반지름이 10배 크다.

643 (가)는 질량이 태양과 비슷한 별의 진화 과정이고, (나)는 질량이 태양보다 매우 큰 별의 진화 과정이다.

ㄱ. 진화의 최종 단계가 (가)는 백색 왜성이고, (나)는 중성자별 또는 블랙홀이므로 (가)가 (나)보다 질량이 작은 별의 진화 과정이다.

ㄴ. 주계열성 이후 (가)는 적색 거성 단계로, (나)는 초거성 단계로 진화하고, 이 단계에서 중심핵에서 헬륨 핵융합 반응이 일어난다.

ㄷ. 주계열 단계인 별의 중심부에서는 (가)에서 P-P 반응이, (나)에서 CNO 순환 반응이 우세하게 일어나므로

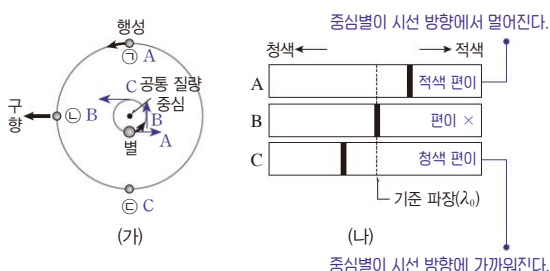
P-P 반응에 의한 에너지 생성량은 (나)보다 (가)에서 크다.

644 ㄴ. (가) P-P 반응과 (나) CNO 순환 반응에서 수소 원자핵이 융합하여 모두 헬륨 원자핵(He)이 생성된다.

ㄷ. (나) CNO 순환 반응이 우세하게 일어나는 별은 질량이 큰 별로 중심부와 표면의 온도 차이가 커 중심부에서 대류로 에너지를 전달한다. 따라서 중심부에 대류핵이 존재한다.

**바로알기** | ㄱ. (가)와 (나)는 수소 핵융합 반응으로 (가)는 P-P 반응이고, (나)는 CNO 순환 반응이다. 수소 핵융합 반응으로 헬륨 원자핵 1개가 생성되는 과정에서 (가)에서는 수소 원자핵 6개가 필요하고, (나)에서는 수소 원자핵 4개가 필요하다.

645



(1) 행성이 ㉠에 위치할 때 중심별은 (가)와 같은 위치에 있으므로 시선 방향에서 멀어지고 있으며, 시선 속도가 최대이다. 따라서 중심별의 스펙트럼에서 흡수선의 적색 편이가 최대로 나타난다.

(2) 행성이 ㉠에 위치할 때 중심별은 시선 방향에서 멀어지므로 스펙트럼에서 적색 편이가 나타나는 A에 해당하고, 행성이 ㉡에 위치할 때 중심별은 시선 속도가 0이므로 스펙트럼에서 편이가 나타나지 않는 B에 해당한다. 행성이 ㉢에 위치할 때 중심별은 시선 방향으로 다가오므로 스펙트럼에서 청색 편이가 나타나는 C에 해당한다.

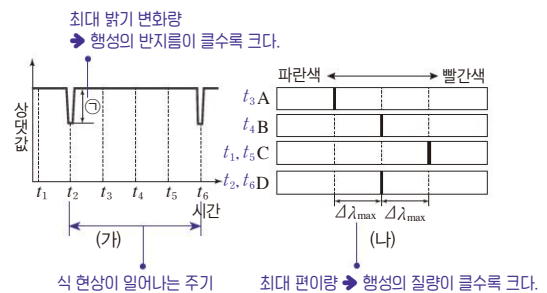
(3) 행성의 질량이 지금보다 클 경우 공통 질량 중심이 행성 쪽으로 치우치면서 중심별의 공전 궤도 반지름이 커진다. 따라서 중심별의 시선 속도가 커지므로 스펙트럼의 편이량도 커진다.

**모범 답안** (1) 스펙트럼에서 흡수선의 적색 편이가 최대로 나타난다.

(2) ㉠ A, ㉡ B, ㉢ C

(3) 스펙트럼의 편이량은 지금보다 크게 나타난다.

646



ㄱ. 행성의 공전 주기는 식 현상이 일어나는 주기와 같으므로  $t_2$ 에서  $t_6$ 까지의 시간이다.

ㄷ. 행성의 반지름이 클수록 식 현상으로 가려지는 별의 면적이 넓어지므로 최대 밝기 변화량인 ㉠이 크게 관측된다.

ㄴ. 행성의 질량이 클수록 공통 질량 중심이 중심별에서 멀어지면서 중심별의 공전 궤도 반지름이 커지므로 시선 속도 변화량이 커진다. 따라서 (나)에서 스펙트럼의 편이량인  $\Delta\lambda_{\max}$ 가 크게 관측된다.

**바로알기** | ㄴ. (가)의  $t_2$ 는 식 현상이 일어난 때이므로 지구-행성-중심별이 시선 방향과 나란하게 위치한다. 따라서 별의 시선 속도가 0이므로 스펙트럼 편이량이 0이고, 식 현상 이후 행성은 시선 방향에서 멀어지고 중심별은 시선 방향으로 다가오므로 스펙트럼의 청색 편이가 나타난다. 따라서  $t_2$ 에 관측한 스펙트럼은 (나)에서 D에 해당한다.

647 생명 가능 지대에 위치한 행성의 공전 궤도 반지름이  $B > A > C$ 이므로 생명 가능 지대까지의 거리는  $B > A > C$ 이다. 따라서 주계열성인 중심별의 광도와 질량은  $B > A > C$ 이다.

ㄴ. 항성계 C의 생명 가능 지대까지의 최소 거리는 0.3 AU로, 항성계 A보다도 중심별에 가까이 위치한다. 중심별의 질량이 작을수록 생명 가능 지대까지의 거리가 가까우므로 ㉠은 항성계 A의 중심별의 질량인 1.2보다 작다.

**바로알기** | ㄱ. 항성계 A의 생명 가능 지대는 1.2 AU~2.0 AU로 태양계의 생명 가능 지대보다 먼 거리에 분포하므로 항성계 A의 중심별은 태양보다 광도가 크다. 주계열성은 광도가 클수록 질량이 크고 표면 온도가 높으므로 항성계 A의 중심별은 태양보다 표면 온도가 높다.

ㄷ. 생명 가능 지대의 폭은 항성계 A가 0.8 AU( $=2.0 \text{ AU} - 1.2 \text{ AU}$ )이고, 항성계 C가 0.2 AU( $=0.5 \text{ AU} - 0.3 \text{ AU}$ )이다. 항성계 B의 중심별의 질량이 가장 크므로 생명 가능 지대의 폭은 항성계 A의 0.8 AU와 항성계 C의 0.2 AU보다 넓다. 따라서 항성계 B의 생명 가능 지대의 폭은 0.8 AU보다 넓다.

## 2 외부 은하

### 빈출 자료 보기

171쪽

- 648 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ○ (6) ○ (7) ×  
649 (1) × (2) × (3) × (4) ○ (5) ○ (6) ○

- 648 (2) (가)는 나선팔이 없고 타원 모양이므로 타원 은하이고, (나)와 (다)는 나선팔이 있으므로 나선 은하이다.  
(3) (라)는 불규칙 은하로, 규칙적인 형태가 없는 은하이다.  
(5) 타원 은하는 성간 물질이 적어 늙은 별의 비율이 높다. 따라서 나이가 많은 별의 비율은 타원 은하인 (가)가 나선 은하인 (나)보다 높다.  
(6) 나선 은하의 은하핵에는 나선팔과 달리 성간 물질이 적어 늙은 별들의 비율이 높다.  
**바로알기** | (1) 허블은 외부 은하를 모양(형태)에 따라 (가)~(라)로 분류하였다.  
(4) (나)와 (다)는 모두 나선 은하로, 나선팔이 있다. (나) 은하의 중심부에는 막대 구조가 없고, (다) 은하의 중심부에는 막대 구조가 있다.  
(7) 불규칙 은하인 (라)는 성간 물질이 많아 별의 탄생이 활발하므로 주로 나이가 적은 파란색을 띠는 별들로 구성되어 있다.

- 649 (4) 가시광선 영역에서 관측하면 허블의 분류 기준으로 (나) 세이퍼트 은하는 대체로 나선 은하로 분류되고, (가) 전파 은하는 대체로 타원 은하로 분류된다.  
(5) 퀘이사인 (다)는 매우 먼 거리에 있는 은하로, 빠른 속도로 멀어지고 있으므로 스펙트럼에서 적색 편이가 매우 크게 나타난다.  
(6) 특이 은하인 (가)~(다) 모두 중심부에 거대 블랙홀이 있을 것으로 추정된다.  
**바로알기** | (1) (가)는 제트로 이어진 로브가 관측되는 전파 은하, (나)는 상대적으로 밝은 핵이 있는 세이퍼트 은하, (다)는 하나의 별처럼 보이는 퀘이사이다.  
(2) 별처럼 점 모양으로 관측되는 것은 퀘이사인 (다)이다.  
(3) (나) 세이퍼트 은하는 은하 전체 광도에 대한 중심부의 광도가 크다.

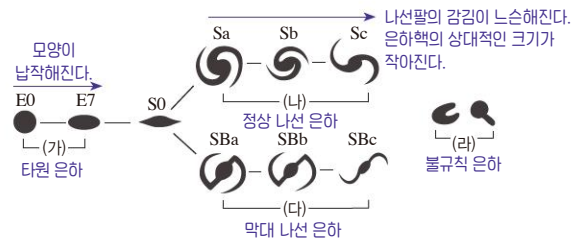
### 난이도별 필수 기출

172~175쪽

- 650 ㄷ 651 ③, ④, ⑦ 652 해설 참조  
653 B, D, C 654 ① 655 A: 불규칙 은하, B: 타원 은하, C: 정상 나선 은하, D: 막대 나선 은하 656 ⑤ 657 ③  
658 ⑤ 659 ⑤ 660 퀘이사 661 ①, ⑥  
662 ④ 663 ④ 664 ① 665 ③ 666 ①  
667 해설 참조 668 ③, ⑤

- 650 ㄷ. 허블의 은하 분류에 따르면 우리 은하는 나선팔과 은하 중심을 가로지르는 막대 구조가 있는 막대 나선 은하에 해당한다.  
**바로알기** | ㄱ. 허블의 은하 분류에 따르면 은하들은 모양에 따라 크게 타원 은하, 나선 은하, 불규칙 은하로 분류된다.  
ㄴ. 허블의 은하 분류는 은하를 모양에 따라 분류한 것으로, 은하의 진화와 관계가 없다. 따라서 타원 은하가 시간이 지나 나선 은하가 되는 것은 아니다.

651



- ③ 타원 은하인 (가)는 성간 물질이 적어 대부분 늙은 별들로 구성되어 있다.  
④ 정상 나선 은하인 (나)는 나선팔이 감긴 정도와 은하핵의 상대적인 크기에 따라 Sa, Sb, Sc로 구분한다.  
⑦ 나선 은하에서 젊은 별은 나선팔에 많이 분포한다.  
**바로알기** | ① 타원 은하인 (가)는 납작한 정도(편평도)에 따라 E0~E7로 구분한다.  
② (가)에서 E0은 E7보다 구에 가까우므로 편평도가 작다.  
⑤ (나)는 Sa에서 Sc로 갈수록 나선팔의 감긴 정도가 작다.  
⑥ 우리 은하는 막대 나선 은하로 분류되므로 (나)보다 (다)에 가깝다.  
⑧ 규칙적인 구조가 없는 은하들은 허블의 은하 분류에서 (라) 불규칙 은하로 분류된다.  
⑨ 타원 은하인 (가)보다 불규칙 은하인 (라)에 성간 물질이 많고 젊은 별이 많이 분포한다.

- 652 B는 불규칙 은하, C는 타원 은하, D는 나선 은하, E는 정상 나선 은하, F는 막대 나선 은하이다.  
(1) A는 규칙적인 구조가 있고, B는 규칙적인 구조가 없다.  
(2) C는 나선팔이 없고, D는 나선팔이 있다.  
(3) E는 중심부에 막대 구조가 없고, F는 중심부에 막대 구조가 있다.  
**모범 답안** | (1) 모양의 규칙성 유무에 따라 분류하였다.  
(2) 나선팔의 유무에 따라 분류하였다.  
(3) 막대 구조의 유무에 따라 분류하였다.

- 653 성간 물질이 많을수록 별이 활발하게 탄생한다. 따라서 성간 물질은 젊은 별의 비율이 가장 높은 불규칙 은하(B)에 가장 많고 젊은 별의 비율이 가장 낮은 타원 은하(C)에 가장 적다.

- 654 ㄱ. 불규칙 은하인 B에는 성간 물질이 많으므로 새로운 별의 탄생을 활발하여 젊은 별의 비율이 높다.  
**바로알기** | ㄴ. 허블의 은하 분류는 은하를 모양에 따라 분류한 것으로, 은하의 진화 방향이나 모양 변화와는 관계가 없다.  
ㄷ. 나선 은하인 E와 F에는 공통적으로 나선팔과 은하핵이 있다.

- 655 • A: 모양에 규칙성이 없는 은하는 불규칙 은하이다.  
• B: 모양에 규칙성이 있고, 나선팔이 없는 은하는 타원 은하이다.  
• C: 나선팔이 있는 은하는 나선 은하로, 이중 은하 중심을 가로지르는 막대 구조가 없는 은하는 정상 나선 은하이다.  
• D: 나선팔이 있는 은하는 나선 은하로, 이중 은하 중심을 가로지르는 막대 구조가 있는 은하는 막대 나선 은하이다.

- 656 ① 타원 은하인 B는 납작한 정도인 편평도에 따라 세분된다.  
② 타원 은하(B)에는 성간 물질이 매우 적고 늙은 별의 비율이 높다.  
③ 표면 온도가 높은 젊은 별의 비율은 타원 은하(B)보다 정상 나선 은하(C)에서 높다.  
④ 우리 은하는 막대 나선 은하인 D에 해당한다.  
**바로알기** | ⑤ 허블의 은하 분류는 은하의 진화 순서와는 관계가 없다.

**657** ㄴ. 표면 온도가 높아 파란색을 띠는 젊은 별의 비율은 (나)가 (가)보다 높다.

ㄷ. (나)의 나선팔은 은하핵에 비해 파란색을 띠는 젊은 별의 비율이 높으므로 표면 온도가 높은 별의 비율이 높다.

**바로알기** | ㄱ. (가)는 나선팔이 없고 타원 모양이므로 타원 은하이고, (나)는 나선팔이 있는 나선 은하이다. 타원 은하는 성간 물질이 매우 적고, 나선 은하는 나선팔에 성간 물질이 풍부하므로 성간 물질의 비율은 (가)보다 (나)에서 높다.

ㄴ. 어떤 모양의 은하가 시간이 지나면 다른 특정한 모양의 은하로 진화하지 않는다.

**658** ① (가)는 규칙적인 구조가 없는 불규칙 은하이다.

② (나)는 타원 은하로, 납작한 정도에 따라 E0~E7로 세분된다.

③ 우리은하는 막대 나선 은하로 분류되므로 (가)~(다) 중 막대 나선 은하인 (다)와 형태가 가장 비슷하다.

④ (다)의 나선팔에는 은하핵보다 성간 물질이 많으므로 젊고 표면 온도가 높은 파란색 별이 많이 분포한다.

**바로알기** | ⑤ (나) 타원 은하는 성간 물질이 매우 적어 새로운 별의 탄생이 활발하지 않으므로 성간 물질을 많이 포함하는 (가) 불규칙 은하보다 젊은 별의 비율이 낮다.

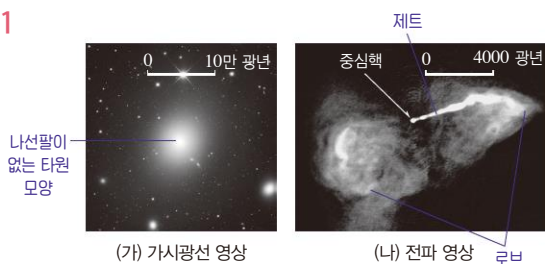
**659** ㄱ. 은하핵이 유난히 밝은 특이 은하의 중심에는 엄청난 양의 에너지를 방출하는 거대 질량의 블랙홀이 있을 것으로 추정된다.

ㄴ. 가시광선 영역에서 관측되는 은하를 허블의 분류 기준(모양)에 따라 분류하면, 전파 은하는 대체로 타원 은하로 분류되고, 세이퍼트는 하는 대체로 나선 은하로 분류된다.

ㄷ. 별의 크기에 비해 별 사이의 공간이 훨씬 크기 때문에 은하의 충돌이 일어나는 동안에도 별들은 거의 충돌하지 않는다.

**660** 퀘이사는 은하이지만 하나의 별처럼 보이므로 준항성체라고도 한다. 퀘이사는 지구에서 매우 멀리 떨어져 있어 후퇴 속도가 매우 빠르므로 스펙트럼에서 적색 편이가 매우 크게 나타난다.

**661**



② 보통의 은하에 비해 매우 강한 전파를 방출하는 은하를 전파 은하라고 한다.

③ 전파 영상인 (나)에서는 중심핵 양쪽에 강력한 전파를 방출하는 로브라고 하는 둥근 돌출부가 있고, 중심핵에서 로브로 이어지는 제트가 관측된다.

④ 로브와 제트 영역에서는 강한 X선을 방출하는데, 이것은 블랙홀에 의해 고속으로 움직이는 전자와 강한 자기장 때문으로 추정된다.

⑤ 특이 은하의 중심에는 거대 블랙홀이 있을 것으로 추정된다.

**바로알기** | ① 전파 은하는 가시광선 영상인 (가)에서 나선팔이 없는 타원 모양으로 관측되며 허블의 은하 분류 체계에 따라 타원 은하로 분류된다.

⑥ 빛을 내는 영역인 로브는 블랙홀에 의해 고속으로 가속된 전자와 강한 자기장 때문에 형성되는 것으로 추정된다.

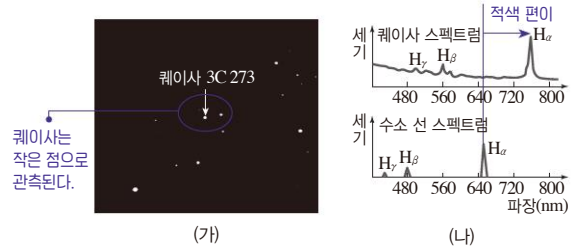
**662** ㄱ. (가)는 나선팔이 존재하므로 모양에 따라 분류하면 나선 은하에 해당한다.

ㄷ. (나)에서 폭이 넓은 수소 방출선( $H_\alpha$ )이 나타난다.

ㄴ. 세이퍼트는하는 중심핵이 매우 밝고 스펙트럼에서 폭넓은 방출선이 관측되는데, 이는 중심부에 거대 블랙홀이 있기 때문으로 추정된다.

**바로알기** | ㄴ. 스펙트럼 파장이 대부분 가시광선 영역(약 380 nm~약 750 nm)에서 나타나므로, (나)는 주로 가시광선 영역에서 관측한 것이다.

**663**



① (가)에서 퀘이사는 은하이지만 매우 멀리 있어 작은 점으로 보인다.

② (나)에서 비교 수소 선 스펙트럼과 비교하여 퀘이사 스펙트럼에서는 수소 방출선 파장이 길어졌으므로 적색 편이가 크게 나타난다.

③ 광원이 관측자에게서 빠른 속도로 멀어질수록 적색 편이가 크게 나타난다. 퀘이사는 스펙트럼의 적색 편이가 크게 나타나므로 우리는 하로부터 빠른 속도로 멀어지고 있다.

⑤ 퀘이사가 우리은하로부터 매우 먼 거리에 있다는 것은 그만큼 오래 전에 형성된 천체라는 것으로, 우주 탄생 초기에 형성된 것이다.

**바로알기** | ④ 퀘이사는 우리은하로부터 매우 빠른 속도로 멀어지고 있으므로 우리은하로부터 매우 먼 거리에 위치한 천체이다.

**664** ㄱ. 전파 은하인 (가)는 전파 영역에서 관측하면 중심핵 양쪽에 강력한 전파를 방출하는 로브와 중심핵에서 로브로 이어지는 제트가 대칭적으로 나타난다.

ㄷ. 세이퍼트는하인 (나)는 보통의 은하에 비해 아주 밝은 핵을 가지고 있어 은하 전체의 광도에 대한 중심부의 광도가 매우 크다.

**바로알기** | ㄴ. (나)는 중심부에 블랙홀이 있는 것으로 추정되므로 중심부의 밀도가 주변보다 매우 크다.

ㄴ. 가시광선 영역에서 (가)는 대체로 타원 은하로 관측되고, (나)는 대체로 나선 은하로 관측된다.

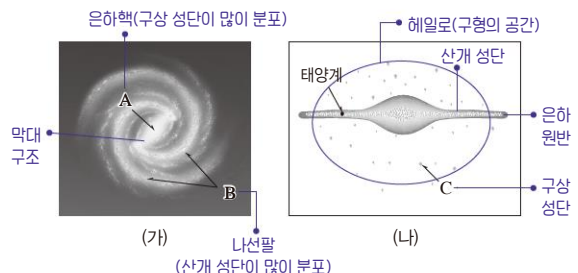
**665** ㄴ. 두 은하가 충돌하는 과정에서 큰 은하가 작은 은하를 흡수하여 형태가 변하기도 한다.

ㄷ. 은하 내의 분자 구름들이 충돌하고 압축되어 가스와 티끌의 밀도가 증가하면서 새로운 별이 탄생하기도 한다.

**바로알기** | ㄱ. 은하끼리 충돌하더라도 별의 크기보다 별 사이의 공간이 훨씬 크기 때문에 별들은 거의 충돌하지 않는다.

ㄴ. 허블 법칙은 멀리 있는 은하일수록 빠르게 멀어진다는 내용이다. 충돌하는 은하들은 서로 가까워지므로 허블 법칙이 성립하지 않는다.

**666**





ㄱ. 우리은하는 나선팔과 중심을 가로지르는 막대 구조가 있는 막대 나선 은하이다.

ㄷ. 은하 원반을 둘러싸고 있는 거대한 구형의 헤일로에 분포하는 C는 구상 성단이다.

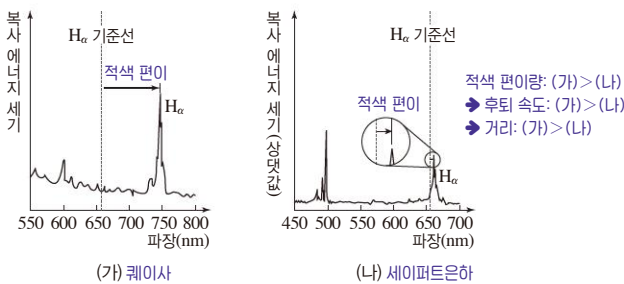
**바로알기** | 나. 은하핵인 A보다 나선팔인 B에 성간 물질이 많이 분포한다.

르. 구상 성단이 많이 분포하는 A와 구상 성단인 C는 높고 붉은색 별의 비율이 높고, 나선팔인 B는 젊고 파란색 별의 비율이 높다.

**667** 스펙트럼에서 수소 방출선의 폭이 일반 은하에 비해 매우 넓게 나타나는 (가)는 세이퍼트은하이고, 스펙트럼의 적색 편이가 매우 크게 나타나는 (나)는 퀘이사이다.

**모범 답안** 스펙트럼의 적색 편이가 더 크게 나타나는 (나)가 퀘이사이다.

**668**



① 스펙트럼의 적색 편이가 더 크게 나타나는 (가)가 퀘이사이고, (나)는 세이퍼트은하이다.

② 퀘이사인 (가)는 은하이지만 매우 먼 거리에 있어서 하나의 별처럼 관측된다.

④ (가)는 (나)보다 적색 편이가 크게 나타나므로 우리은하로부터 더 빠르게 멀어지고 있다. 허블 법칙에 따르면 은하의 후퇴 속도는 거리에 비례하므로 (가)가 우리은하로부터 더 먼 거리에 있다.

⑥ (가)와 (나)는 일반적인 은하에 비해 전파나 X선 영역에서 강한 에너지를 방출할 뿐만 아니라 그 밝기가 시간에 따라 변하는 특이 은하로, 모두 중심부에 거대 블랙홀이 있을 것으로 추정된다.

**바로알기** | ③ 세이퍼트은하인 (나)는 가시광선 영상에서 대체로 나선 은하로 관측된다.

⑤ (가)와 (나)는 모두 스펙트럼의 적색 편이가 나타나므로 우리은하로부터 멀어지고 있다.

**669** (1) A 시기와 B 시기 모두 은하의 후퇴 속도가 거리에 비례하므로 멀리 있는 은하일수록 후퇴 속도가 빠르다.

(2) 그래프는 멀리 있는 은하일수록 후퇴 속도가 빠르다는 사실을 나타내고 있으며, 이는 우주가 팽창하고 있음을 의미한다.

(3) 100 Mpc의 거리에서 은하의 후퇴 속도는 A 시기가 B 시기보다 빠르다. 같은 거리에 있는 은하의 후퇴 속도는 A 시기가 더 빠르므로 1 Mpc당 우주가 팽창하는 속도, 즉 허블 상수 또한 A 시기가 B 시기보다 크다.

(5) 허블 법칙  $v = H \cdot r$ 에 A 시기에 측정된 은하의 거리( $r$ )와 후퇴 속도( $v$ )를 적용하면,  $7000 \text{ km/s} = H \cdot 100 \text{ Mpc}$ 이므로 허블 상수( $H$ )는  $70 \text{ km/s/Mpc}$ 이다.

**바로알기** | (4) 허블 법칙은  $v = H \cdot r$ ( $v$ : 후퇴 속도,  $r$ : 거리)이므로 그래프의 기울기( $H$ )가 허블 상수에 해당한다.

(6) B 시기 그래프의 기울기가 A 시기보다 작으므로 B 시기의 허블 상수는 A 시기의 허블 상수인  $70 \text{ km/s/Mpc}$ 보다 작다.

(7) 우주의 나이는 허블 상수의 역수( $\frac{1}{H}$ )이므로 허블 상수가 큰 A 시기가 B 시기보다 적게 계산된다.

(8) 우주의 크기는  $\frac{c}{H}$ ( $c$ : 빛의 속도)이므로 허블 상수가 큰 A 시기가 B 시기보다 작게 계산된다.

### 난이도별 필수 기출

178~181쪽

670 ②	671 ①	672 ③	673 해설 참조	674 ③
675 ③, ⑤, ⑨	676 ①	677 ②	678 ①	
679 ①, ⑥	680 ③	681 ⑤	682 해설 참조	
683 해설 참조	684 ③	685 ①	686 해설 참조	

**670** 별빛은 빛의 속도( $c$ )로 이동한다. 정지 상태인 은하에서 온 별빛이 관측자에게 도착할 때의 흡수선 파장을  $\lambda_0$ 이라고 하면, 관측자에게서 속도  $v$ 로 멀어지는 은하에서 온 별빛은 도플러 효과에 의해  $\Delta\lambda$ 만큼 파장 변화가 생긴다. 따라서  $c : \lambda_0 = v : \Delta\lambda$ 의 관계가 성립하므로  $\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{v}{c}$ 에서  $v = c \times \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}$ 이다.

**671** ㄱ. (가)~(다)는 모두 스펙트럼에서 흡수선의 적색 편이가 나타나므로 우리은하로부터 멀어지고 있다.

**바로알기** | 나. 흡수선의 적색 편이량이 클수록 은하의 후퇴 속도가 빠르다. (가)는 (나)보다 흡수선이 적색 편이된 정도가 작으므로 느린 속도로 멀어지고 있다.

ㄷ. 허블 법칙에 따르면 거리가 먼 은하일수록 후퇴 속도가 빠르다. (나)는 (다)보다 적색 편이된 정도가 작아 후퇴 속도가 느리므로 우리은하로부터 더 가까운 거리에 있다.

**672** 은하의 후퇴 속도가  $v$ , 원래의 파장이  $\lambda_0$ , 파장 변화량이  $\Delta\lambda$ , 빛의 속도가  $c$ 일 때, 후퇴 속도와 적색 편이량 사이에는  $v = c \times \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}$ 의 관계식이 성립한다.  $\lambda_0 = 400 \text{ nm}$ ,  $\Delta\lambda = 10 \text{ nm}$ 이므로  $v = 3 \times 10^5 \text{ km/s} \times \frac{10 \text{ nm}}{400 \text{ nm}} = 7500 \text{ km/s}$ 이다.

## 23 허블 법칙과 우주 팽창

빈출 자료 보기

177쪽

**669** (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ○ (6) × (7) × (8) ×

673

외부 은하	(가)	(나)
칼슘 이온 흡수선의 파장	425 nm	410 nm
칼슘 이온 흡수선의 원래 파장	395 nm	395 nm
파장 변화량	30 nm	15 nm
후퇴 속도( $c$ : 빛의 속도)	$c \times \frac{30 \text{ nm}}{395 \text{ nm}}$	$c \times \frac{15 \text{ nm}}{395 \text{ nm}}$
후퇴 속도의 비	2	1

(가) 은하의 적색 편이량은  $\frac{(425-395) \text{ nm}}{395 \text{ nm}}$ 이므로 후퇴 속도는

$$c \times \frac{30 \text{ nm}}{395 \text{ nm}} \text{이다.}$$

(나) 은하의 적색 편이량은  $\frac{(410-395) \text{ nm}}{395 \text{ nm}}$ 이므로 후퇴 속도는

$$c \times \frac{15 \text{ nm}}{395 \text{ nm}} \text{이다.}$$

따라서 외부 은하 (가)와 (나)의 후퇴 속도의 비는 2:1이다.

**모범 답안** 빛의 속도를  $c$ 라고 하면, (가)의 후퇴 속도는  $c \times \frac{30 \text{ nm}}{395 \text{ nm}}$ 이고,

(나)의 후퇴 속도는  $c \times \frac{15 \text{ nm}}{395 \text{ nm}}$ 이므로 (가)와 (나)의 후퇴 속도의 비는 2:1이다.

674 ③ 우주가 팽창함에 따라 공간이 확장되면서 은하들은 서로 멀어지고 있다.

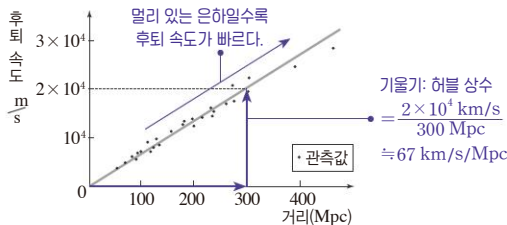
**바로알기** | ① 허블 법칙  $v=H \cdot r$ ( $H$ : 허블 상수)에 따르면 은하의 후퇴 속도( $v$ )는 은하까지의 거리( $r$ )에 비례한다.

② 어느 은하를 기준으로 하여도 은하가 서로 멀어지고 있으므로 우주 팽창의 중심은 없다.

④ 우주가 팽창하여도 은하 내의 별들은 중력에 의해 서로 붙들려 있으므로 별과 별 사이가 멀어져 은하 자체의 크기가 커지는 않는다.

⑤ 우리은하뿐만 아니라 다른 은하에서 관측하는 경우에도 허블 법칙이 성립한다.

675



① 그래프에서 은하까지의 거리가 멀수록 후퇴 속도가 빠르다. 이처럼 은하의 후퇴 속도가 거리에 비례한다는 것을 허블 법칙이라고 한다.

② 은하의 후퇴 속도( $v$ )를 알면, 허블 법칙( $v=H \cdot r$ ,  $H$ : 허블 상수)을 이용하여 은하까지의 거리( $r$ )를 구할 수 있다.

④ 허블 법칙  $v=H \cdot r$ 에서 허블 상수( $H$ )는 비례 상수로, 1 Mpc당 우주가 팽창하는 속도(km/s)를 의미한다.

⑥ 허블 상수( $H$ )는 그래프에서 기울기를 의미하므로,  $v=H \cdot r$ 에서 후퇴 속도( $v$ )를 거리( $r$ )로 나누어 구할 수 있다. 따라서

$$H = \frac{2 \times 10^4 \text{ km/s}}{300 \text{ Mpc}} \approx 67 \text{ km/s/Mpc} \text{이다.}$$

⑦ 허블 법칙에서 허블 상수는 우주의 팽창 비율에 해당하는 상수이므로 우주는 일정한 비율로 팽창하고 있음을 의미한다.

⑧ 우주의 질량이 일정하다면, 허블 법칙을 통해 우주가 팽창함에 따라 우주의 온도가 낮아지며 냉각되고 있음을 추측할 수 있다(빅뱅 우주론).

**바로알기** | ③ 외부 은하까지의 거리가 멀수록 후퇴 속도가 빠르므로 은하의 스펙트럼에서 적색 편이가 크게 나타난다.

⑤ 허블 법칙을 나타낸 그래프의 기울기는 허블 상수를 의미한다. 기울기의 역수는 허블 상수의 역수로, 우주의 나이를 의미한다.

⑨ 우주의 질량이 일정하다면, 허블 법칙을 통해 우주가 팽창함에 따라 우주의 밀도는 작아지고 있음을 추측할 수 있다(빅뱅 우주론).

676 ㄱ. 그래프에서 후퇴 속도는 A가 B보다 작다.

**바로알기** | ㄴ. 은하 A와 B의 광도가 같고, B는 A보다 우리은하로부터 먼 거리에 있으므로 겉보기 밝기는 거리가 더 먼 B가 A보다 어둡게 보인다. 따라서 겉보기 등급은 B가 A보다 크다.

ㄷ. 우주 팽창의 중심은 없으므로 우주가 팽창함에 따라 B에서 관측하더라도 A가 멀어진다. 따라서 B에서 관측한 A의 스펙트럼에서 적색 편이가 나타날 것이다.

677 ㄷ. 그래프의 기울기가 허블 상수이므로 외부 은하 B의 거리와 후퇴 속도를 허블 법칙에 적용하여 허블 상수를 구하면,

$$\frac{3 \times 10^4 \text{ km/s}}{500 \text{ Mpc}} = 60 \text{ km/s/Mpc} \text{이다.}$$

**바로알기** | ㄱ. 우주는 팽창의 중심이 없으므로 어느 은하를 기준으로 하여도 주변 은하는 멀어지고 있다. 따라서 B에서 관측하면 A와 C는 모두 후퇴할 것이다.

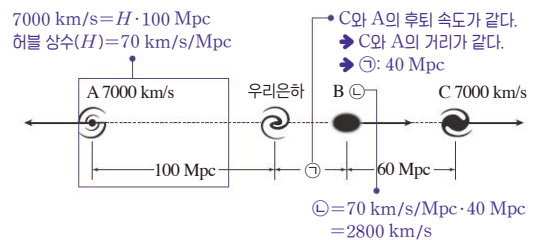
ㄴ. A~C가 시선 방향으로 일직선상에 위치하므로 C에서 관측하면 B보다 A가 더 멀리 떨어져 있다. 따라서 C에서 관측하면 A가 B보다 더 빠른 속도로 후퇴하므로 A의 스펙트럼에서 적색 편이가 더 크게 나타날 것이다.

678 ㄱ. 허블 법칙( $v=H \cdot r$ )에 은하 A의 거리( $r$ )와 후퇴 속도( $v$ )를 적용하면,  $42000 \text{ km/s} = H \cdot 600 \text{ Mpc}$ 이므로 허블 상수( $H$ )는  $70 \text{ km/s/Mpc}$ 이다.

**바로알기** | ㄴ. 허블 상수는  $70 \text{ km/s/Mpc}$ 이므로 은하 B의 거리(㉠)는 은하 B의 후퇴 속도  $10500 \text{ km/s}$ 를 허블 법칙에 적용하여 구할 수 있다. 따라서  $10500 \text{ km/s} = 70 \text{ km/s/Mpc} \cdot \text{㉠}$ 에서  $\text{㉠} = 150 \text{ Mpc}$ 이다.

ㄷ. 스펙트럼에서 적색 편이가 가장 크게 나타나는 은하는 후퇴 속도가 가장 빠른 A이다.

679



② 은하 A의 거리 100 Mpc와 후퇴 속도 7000 km/s를 허블 법칙에 적용하면,  $7000 \text{ km/s} = H \cdot 100 \text{ Mpc}$ 이므로 허블 상수( $H$ )는  $70 \text{ km/s/Mpc}$ 이다.

③ 우리은하에서 관측한 A와 C의 후퇴 속도가 같으므로 A와 C는 우리은하로부터 같은 거리에 있다. C까지의 거리가 100 Mpc이므로 B까지의 거리(㉠)는 40 Mpc이다.

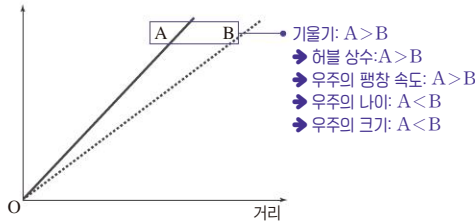
④ 허블 상수는  $70 \text{ km/s/Mpc}$ 이고 B까지의 거리가 40 Mpc이므로, 이를 허블 법칙에 적용하면 B의 후퇴 속도(㉡)는  $70 \text{ km/s/Mpc} \cdot 40 \text{ Mpc} = 2800 \text{ km/s}$ 이다.

⑤ A는 우리은하에서 멀어지고 있으므로 A에서 우리은하를 관측하면 우리은하가 멀어지고 있다. 따라서 A에서 우리은하의 스펙트럼을 관측하면 적색 편이가 나타날 것이다.

**바로알기** | ① 그림은 우리은하에서 관측한 외부 은하의 거리와 후퇴 속도를 나타낸 것으로, 우리은하는 관측한 기준일 뿐 팽창하는 우주의 중심은 아니다.

⑥ 은하의 후퇴 속도는 거리에 비례한다. A에서 측정하면, A로부터 우리은하까지의 거리와 A로부터 C까지의 거리의 비가 1:2이므로 A에서 측정된 우리은하와 C의 후퇴 속도의 비도 1:2이다.

680



나. 우주의 나이는 허블 상수의 역수에 해당하므로 허블 상수가 작은 B가 A보다 우주의 나이가 많게 계산된다.

다. 관측 가능한 우주의 크기는  $\frac{c}{H}$  ( $c$ : 빛의 속도,  $H$ : 허블 상수)이므로 허블 상수가 작은 B가 A보다 우주의 크기가 크게 계산된다.

**바로알기** | ㄱ. 허블 상수는 그래프의 기울기에 해당하므로 기울기가 큰 A가 B보다 허블 상수가 크다.

ㄴ. 그래프에서 같은 거리에 있는 은하의 후퇴 속도는 A가 B보다 빠르다. 허블 상수가 클수록 1 Mpc당 우주가 팽창하는 속도(km/s)가 빠르므로 같은 거리에 있는 은하의 후퇴 속도는 A가 B보다 빠르다.

681 ㄱ. 은하의 후퇴 속도는 거리에 비례한다. 우리은하로부터 멀리 떨어진 외부 은하일수록 후퇴 속도가 빨라서 적색 편이가 크게 일어나므로  $\Delta\lambda$ 가 커진다.

나. 은하의 후퇴 속도를  $v$ , 흡수선의 원래의 파장을  $\lambda_0$ , 파장 변화량을  $\Delta\lambda$ 라고 할 때,  $v = c \times \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}$  ( $c$ : 빛의 속도)의 관계식이 성립한다.

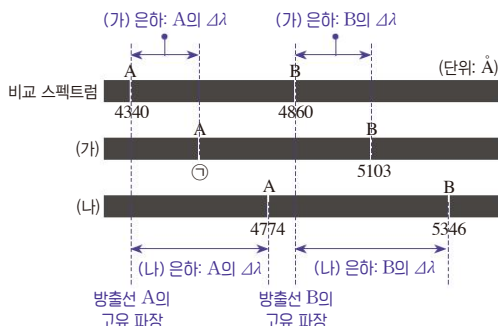
그림에서  $\lambda_0$ 은 400 nm,  $\Delta\lambda$ 는 20 nm이므로 외부 은하 X의 후퇴 속도를 구하면,  $v = 3 \times 10^5 \text{ km/s} \times \frac{20 \text{ nm}}{400 \text{ nm}} = 15000 \text{ km/s}$ 이다.

다. X의 후퇴 속도와 거리를 허블 법칙에 적용하면,  $15000 \text{ km/s} = H \cdot 300 \text{ Mpc}$ 이므로 허블 상수( $H$ )는 50 km/s/Mpc이다.

682 **모범 답안** (1)  $v = c \times \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}$  ( $v$ : 후퇴 속도,  $c$ : 빛의 속도)에  $\lambda_0 = 400 \text{ nm}$ ,  $\Delta\lambda = 30 \text{ nm}$ 를 적용하면,  $v = 3 \times 10^5 \text{ km/s} \times \frac{30 \text{ nm}}{400 \text{ nm}} = 22500 \text{ km/s}$ 이다.

(2) 허블 법칙( $v = H \cdot r$ )에  $v = 22500 \text{ km/s}$ ,  $r = 430 \text{ Mpc}$ 를 적용하면,  $22500 \text{ km/s} = H \cdot 430 \text{ Mpc}$ 이므로 허블 상수( $H$ )는 약 52 km/s/Mpc이다.

683



(1) 도플러 효과에 의해 적색 편이가 클수록 은하의 후퇴 속도가 빠르고, 허블 법칙에 의해 후퇴 속도가 빠를수록 더 멀리 있는 은하이다.

(2) 동일한 은하의 스펙트럼에서 각 방출선의 적색 편이가 일어난 양을 이용하여 구한 후퇴 속도는 서로 같아야 한다. 따라서 방출선 B를 이용하여 구한 후퇴 속도와 A를 이용하여 구한 후퇴 속도를 비교한다.

(3) 방출선의 적색 편이가 일어난 양을 이용하여 후퇴 속도를 구하고, 후퇴 속도와 거리를 허블 법칙에 적용하여 허블 상수를 구한다.

**모범 답안** (1) (나), (나)가 (가)보다 적색 편이가 크므로 후퇴 속도가 빠르다. 은하의 후퇴 속도는 거리에 비례하므로 (나)가 (가)보다 멀리 떨어져 있다.

(2) (가)의 후퇴 속도는

$$3 \times 10^5 \text{ km/s} \times \frac{(5103 - 4860) \text{ Å}}{4860 \text{ Å}} = 3 \times 10^5 \text{ km/s} \times \frac{(7 - 4340) \text{ Å}}{4340 \text{ Å}}$$

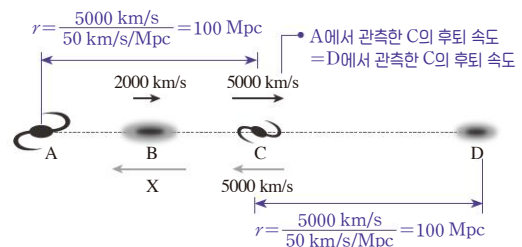
이므로 7은 4557 Å이다.

(3) (나)의 후퇴 속도는

$$3 \times 10^5 \text{ km/s} \times \frac{(5346 - 4860) \text{ Å}}{4860 \text{ Å}} = 30000 \text{ km/s}$$

이므로 30000 km/s =  $H \cdot 600 \text{ Mpc}$ 이므로 허블 상수( $H$ )는 50 km/s/Mpc이다.

684

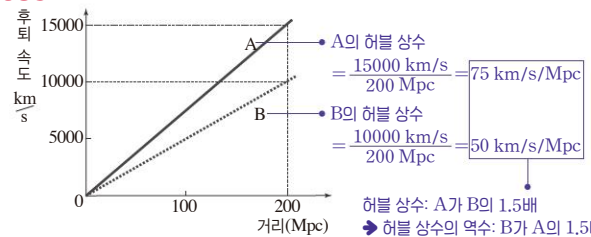


ㄱ. 후퇴 속도는 은하 사이의 거리에 비례한다. A에서 관측한 C의 후퇴 속도가 D에서 관측한 C의 후퇴 속도와 5000 km/s로 같으므로 A와 C 사이의 거리는 C와 D 사이의 거리와 같다.

나. C에서 관측한 B의 후퇴 속도는 5000 km/s - 2000 km/s = 3000 km/s이다. 따라서 D에서 관측한 B의 후퇴 속도 X는 5000 km/s + 3000 km/s = 8000 km/s이다.

**바로알기** | 다. C에서 관측한 B의 후퇴 속도는 3000 km/s이고, 허블 상수는 50 km/s/Mpc이므로 B와 C 사이의 거리( $r$ )는  $3000 \text{ km/s} = 50 \text{ km/s/Mpc} \cdot r$ 에서  $r = 60 \text{ Mpc}$ 이다.

685



ㄱ. 후퇴 속도가 빠를수록 적색 편이가 크게 나타나므로 같은 거리에 있는 은하의 적색 편이는 A가 B보다 크게 나타난다.

나. A와 B는 모두 거리가 멀어지면서 후퇴 속도가 빨라지므로 우주가 팽창하고 있음을 나타낸다.

**바로알기** | 다. B에서 허블 법칙을 적용하여 허블 상수( $H$ )를 구하면  $10000 \text{ km/s} = H \cdot 200 \text{ Mpc}$ 에서  $H = 50 \text{ km/s/Mpc}$ 이다.

ㄴ. A에서 허블 법칙을 적용하여 허블 상수( $H$ )를 구하면  $15000 \text{ km/s} = H \cdot 200 \text{ Mpc}$ 에서  $H = 75 \text{ km/s/Mpc}$ 이다. 허블 상수( $H$ )는 A가 B의 1.5배이고, 우주의 나이는 허블 상수의 역수 ( $\frac{1}{H}$ )이므로 B가 A의 1.5배이다.



**686** (1) 허블 상수는 그래프의 기울기에 해당하므로 A~C의 허블 상수의 크기를 비교하면  $A > B > C$ 이다.

**모범 답안** (1)  $A > B > C$

(2) C, 우주의 나이는 허블 상수의 역수이므로 우주의 나이가 가장 많은 것은 허블 상수가 가장 작은 C이다.

(3) C, 관측 가능한 우주의 크기는  $\frac{c}{H}$  ( $c$ : 빛의 속도,  $H$ : 허블 상수)이므로 관측 가능한 우주의 크기가 가장 큰 것은 허블 상수가 가장 작은 C이다.

## 2 빅뱅 우주론

### 빈출 자료 보기

184쪽

**687** (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × (5) ○

**688** (1) × (2) ○ (3) × (4) × (5) ○ (6) ○

**687** (1) (가)는 우주의 밀도가 시간이 지남에 따라 작아지고 있으므로 빅뱅 우주론이고, (나)는 우주의 밀도가 시간이 지나도 일정하므로 정상 우주론이다.

(3) (나) 정상 우주론에서는 시간이 지날수록 우주가 팽창하지만 우주의 빈 공간에 새로운 은하가 만들어지면서 우주의 밀도는 일정하다.

(5) 오늘날에는 여러 관측적 증거들이 발견된 (가) 빅뱅 우주론이 더 설득력 있게 받아들여지고 있다.

**바로알기** | (2) (가) 빅뱅 우주론에서는 시간이 지날수록 우주의 부피는 증가하지만 질량은 일정하게 유지된다.

(4) 우주 배경 복사와 우주를 구성하는 수소와 헬륨의 질량비 약 3:1은 빅뱅 우주론인 (가)를 뒷받침하는 관측적 증거이다.

**688** (2) 암흑 에너지(A)는 우주에서 척력으로 작용하여 우주의 팽창을 가속화한다.

(5) 보통 물질(C)은 대부분 빅뱅 초기에 만들어진 수소와 헬륨으로 이루어져 있다.

(6) 보통 물질(C)은 광학적으로 관측 가능하지만 암흑 에너지(A)와 암흑 물질(B)은 광학적으로 관측되지 않으므로, 우주에는 광학적으로 관측 가능한 요소(C)보다 관측할 수 없는 요소(A+B)의 비율이 더 높다.

**바로알기** | (1) 현재 우주를 구성하는 요소의 분포비는 암흑 에너지(A) > 암흑 물질(B) > 보통 물질(C)이다.

(3) 암흑 물질(B)은 광학적으로 관측되지 않고, 중력적인 방법에서만 존재를 추정하고 있다.

(4) 우주가 팽창할수록 공간이 커지므로 암흑 에너지(A)의 비율이 커지면서 우주 팽창에 미치는 영향이 커진다.

### 난이도별 필수 기출

185~190쪽

689 해설 참조	690 ⑤	691 ①	692 ③
693 해설 참조	694 ②, ⑥	695 ③	696 ③
697 ③	698 ⑤	699 ①	700 해설 참조
701 ②	702 ⑤	703 해설 참조	704 ③
705 ⑤	706 ⑤	707 ④	708 ①
709 ②, ⑥	710 ③	711 ②	712 해설 참조
713 해설 참조	714 ③	715 ②	716 ②
717 ③	718 ①	719 ②	

**689** 빅뱅 이후 시간이 지나면서 우주는 질량이 일정한 가운데 팽창하므로 우주의 부피는 증가하고, 밀도와 온도는 감소한다.

**모범 답안** 우주의 부피는 증가하고, 질량은 일정하며, 밀도와 온도는 감소한다.

**690** 빅뱅 우주론에서는 시간이 지남에 따라 우주의 부피는 증가하고, 질량은 일정하며 밀도와 온도는 감소한다. 따라서 A에는 부피가, B에는 질량, C에는 온도가 적합하다.

**691** 정상 우주론에서는 시간이 지남에 따라 우주가 팽창하면서 새로운 물질이 계속 만들어지므로 우주의 부피와 질량은 증가하고, 우주의 밀도와 온도는 일정하게 유지된다.

**692** ㄴ, 빅뱅 우주론에서는 현재 우주 배경 복사의 온도가 약 2.7 K이라는 것을 예측하였는데, 이에 해당하는 우주 배경 복사가 관측되어 빅뱅 우주론의 증거가 되었다.

ㄷ, 빅뱅 우주론에서 예측한 우주에 분포하는 수소와 헬륨의 질량비는 약 3:1이었으며, 이는 별의 스펙트럼을 분석한 결과와 일치하여 빅뱅 우주론의 증거가 되었다.

**바로알기** | ㄱ, Ia형 초신성의 밝기 분포 자료는 가속 팽창 우주의 증거가 된다.

ㄹ, 나선 은하의 중심으로부터의 거리에 따른 회전 속도는 암흑 물질의 존재를 확인할 수 있는 자료이다.

**693** **모범 답안** 우주가 팽창함에 따라 우주 배경 복사의 온도는 낮아지고, 파장은 길어진다.

**694** ① (가)는 시간이 지나도 우주의 밀도가 일정한 정상 우주론 모형이고, (나)는 시간이 지날수록 우주의 밀도가 감소하는 빅뱅 우주론 모형이다.

③, ④ (가) 정상 우주론에서는 우주의 빈 공간에서 새로운 물질이 계속 만들어지므로 시간이 지나도 우주의 밀도가 일정하게 유지된다.

⑤ (나) 빅뱅 우주론에서 고온·고밀도의 한 점에서 대폭발이 일어나 형성된 우주는 시간이 지날수록 팽창하면서 온도가 낮아지고 밀도가 감소한다.

⑦ (나) 빅뱅 우주론에서 우주 배경 복사의 파장은 우주가 팽창함에 따라 점점 길어진다.

⑧ (나) 빅뱅 우주론에서 현재 수소와 헬륨이 우주 구성 원소의 대부분을 차지하며 그 질량비는 약 3:1이다. 따라서 우주 구성 원소 중 수소가 가장 큰 질량비를 차지한다.

**바로알기** | ② 온도와 밀도가 매우 높은 한 점에서 빅뱅(대폭발)이 일어나 우주가 형성되었다는 이론은 빅뱅 우주론인 (나)이다.

⑥ (나) 빅뱅 우주론에서는 시간이 지나면서 우주가 팽창하여도 우주 전체의 질량은 일정하다.

**695** ① 현재 우주 배경 복사는 온도가 2.7 K인 흑체 복사와 같은 파장과 복사 강도로 관측되므로 온도가 약 2.7 K로 관측된다.

② 우주 배경 복사는 빅뱅 약 38만 년 후 우주의 온도가 약 3000 K일 때 물질로부터 빠져나와 우주 전역으로 퍼져 나간 빛이다.

④ 우주 배경 복사는 우주 전체에 균일하게 퍼져 있어 우주 전역에서 관측된다.

⑤ 빅뱅 우주론에서 빅뱅 우주 초기에 방출된 빛이 우주가 팽창함에 따라 파장이 길어져 2.7 K의 복사로 관측될 것으로 예측한 내용과 실제로 관측한 결과가 거의 일치한다.

**바로알기** | ③ 우주가 팽창함에 따라 우주의 온도는 점점 낮아진다. 최대 에너지를 나타내는 파장은 온도에 반비례하므로 우주 배경 복사가 최대 에너지를 나타내는 파장은 우주 탄생 초기보다 현재가 더 길다.

**696** ㄱ. 우주 배경 복사 분포가 대체로 균일하지만, 완벽히 균일하지는 않고 위치에 따라 미세한 온도 차이가 관측된다.

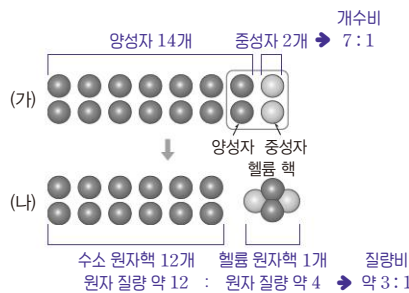
ㄴ. 그림은 빅뱅 약 38만 년 후 우주의 온도가 약 3000 K일 때 형성된 우주 배경 복사의 흔적이다.

**바로알기** | ㄷ. 관측된 우주 배경 복사는 빅뱅 우주론에서 예측한 내용과 일치하므로 빅뱅 우주론의 증거가 된다.

**697** ㄱ. 풍선의 표면이 팽창함에 따라 A, B, C는 서로 멀어진다.  
ㄷ. 우주가 팽창할수록 우주의 온도가 낮아지므로 우주 배경 복사의 파장은 길어진다.

**바로알기** | ㄴ. A, B, C 중 어느 단추를 중심으로 보아도 나머지 단추들이 모두 멀어지므로 우주는 팽창의 중심이 없다.

**698**



ㄱ. (가)에서 양성자와 중성자의 개수비는 14:2=7:1이다.

ㄴ. (나)에서 수소 원자핵과 헬륨 원자핵의 개수비는 12:1이고, 헬륨 원자핵 1개의 질량이 수소 원자핵 1개 질량의 약 4배이므로 수소 원자핵과 헬륨 원자핵의 질량비는 약 12:4=약 3:1이다.

ㄷ. 우주에 분포하는 수소와 헬륨의 질량비는 빅뱅 우주론에서 예측한 값과 관측한 값이 일치하므로 빅뱅 우주론의 증거가 된다.

**699** ㄱ. 빅뱅 우주론에서 우주는 온도와 밀도가 매우 높은 한 점에서 폭발하여 형성되었고, 계속 팽창하였다.

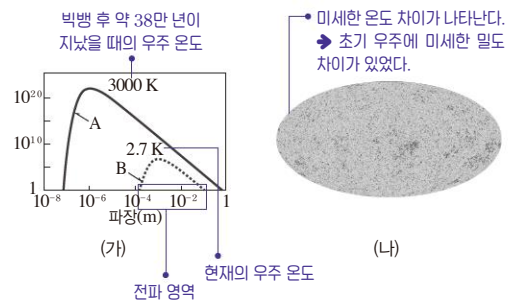
**바로알기** | ㄴ. 우주 배경 복사는 빅뱅 약 38만 년 후 우주의 온도가 약 3000 K일 때, 원자가 생성되는 B 시기에 방출되어 우주 전역으로 퍼져 나갔다.

ㄷ. A 시기에 수소 원자핵과 헬륨 원자핵의 개수비는 12:1이고, 원자핵 1개의 질량은 헬륨이 수소의 약 4배이므로 수소 원자핵과 헬륨 원자핵의 질량비는 약 3:1이다. 전자의 질량은 매우 작으므로 B 시기에 우주에 존재하는 수소와 헬륨의 질량비는 약 3:1이다.

**700** 우주에 존재하는 수소와 헬륨의 질량비는 약 3:1이다. 헬륨은 초기 우주에는 빅뱅에 의한 핵합성으로 생성되었고, 별이 탄생한 이후에는 별 내부에서 일어나는 수소 핵융합 반응으로 생성되었다.

**모범 답안** 약 3:1, 빅뱅 핵합성으로 헬륨이 생성되었다. 별 내부에서 일어나는 수소 핵융합 반응으로 헬륨이 생성된다.

**701**



① 빅뱅 후 약 38만 년이 지났을 때 우주의 온도는 약 3000 K이었고 우주가 팽창함에 따라 점점 냉각되어 현재 우주의 온도는 약 2.7 K이다.

③ 최대 복사 에너지의 세기가 나타나는 파장은 온도에 반비례하므로 현재가 빅뱅 후 약 38만 년이 지났을 때보다 더 길다.

④ 현재의 우주 배경 복사는 온도가 약 2.7 K으로 전파 영역에서 나타난다.

⑤ (나)에서 나타나는 온도 차이는 초기 우주에 물질이 불균일하게 분포하여 미세한 밀도 차이가 있었음을 의미한다.

**바로알기** | ② 현재 우주의 온도는 약 2.7 K이므로 현재의 우주 배경 복사 곡선은 B에 해당하고, 빅뱅 후 약 38만 년이 지났을 때의 우주 배경 복사 곡선은 A에 해당한다.

**702** (가)는 가속 팽창 우주(1990년대 이후), (나)는 급팽창 이론(1980년), (다)는 빅뱅 우주론(1948년)으로, 우주론이 발전한 순서는 (다) → (나) → (가)이다.

**703** (1) • 우주의 지평선 문제: 빅뱅 우주론에서는 빛의 속도로 팽창하는 우주의 지평선에 있는 양 끝 지점은 서로 정보를 교환할 수 없기 때문에 우주 배경 복사의 균일성을 설명하기 어렵다.

• 우주의 편평성 문제: 빅뱅 우주론에서는 편평한 현재의 우주를 설명하기 위해 우주의 밀도가 특정 값을 가져야 하는 까닭을 설명하기 어렵다.

• 자기 홀극 문제: 빅뱅 우주론에서는 빅뱅 초기에 생성된 자기 홀극이 현재 우주에서 발견되지 않는 까닭을 설명하기 어렵다.

(2) 빅뱅 우주론으로 설명할 수 없는 대표적인 문제점들은 1980년 앨런 구스가 제안한 빅뱅 직후 빛보다 빠른 속도로 우주가 급팽창하였다는 급팽창 이론으로 설명할 수 있게 되었다.

**모범 답안** (1) 우주의 지평선 문제, 우주의 편평성 문제, 자기 홀극 문제  
(2) 급팽창 이론

**704** ① A는 기존의 빅뱅 우주론이고, B는 (가) 시기에 우주 반지름이 급격히 증가하였으므로 급팽창 이론이다.

② 급팽창 이론(B)에 따르면 (가) 시기에 우주가 빛보다 빠른 속도로 급격히 팽창하였다.

④ 급팽창 이전에는 우주의 크기가 우주의 지평선보다 작았지만, 급팽창 이후에는 우주의 크기가 우주의 지평선보다 커졌다.

⑤ 급팽창 이론(B)에서는 빅뱅 우주 초기에 우주의 급팽창으로 우주 공간이 매우 커지면 관측되는 우주의 영역은 편평하게 보인다고 설명한다.

**바로알기** | ③ 우주 배경 복사는 빅뱅 약 38만 년 후 방출되었고, 우주가 급팽창한 (가) 시기는 빅뱅 후 약  $10^{-36}$ 초 ~  $10^{-34}$ 초이므로 우주 배경 복사가 방출되기 전이다.

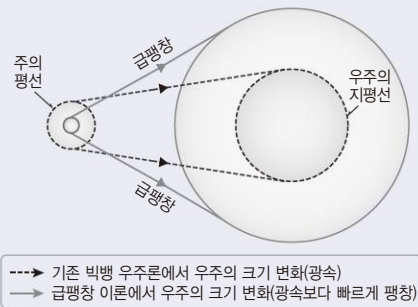
## 개념 보충

### 급팽창 이론

- 우주의 지평선: 우주가 빛의 속도로 팽창한다고 가정할 때의 우주의 크기로, 우주의 지평선의 반지름은 빛의 속도와 우주의 나이를 곱한 값이다.
- 우주는 기존의 빅뱅 우주론에서는 빛의 속도로 팽창하였고, 급팽창 이론에서는 빅뱅 초기에 빛보다 빠른 속도로 팽창하였다. → 급팽창 이론에 따르면 급팽창 이전에는 우주의 크기가 우주의 지평선보다 작았으나 급팽창 이후에는 우주의 크기가 우주의 지평선보다 커졌다.
- 급팽창 이론에서는 빅뱅 우주 초기에 우주가 급팽창하여 우주의 밀도와 임계 밀도가 같은 값을 가지는 것으로 계산되므로 관측되는 우주는 편평하다.

급팽창 이전 우주의 크기

급팽창 이후 우주의 크기



**705** ㄱ. 기존의 빅뱅 우주론에서 빛의 속도로 팽창하는 우주의 크기는 우주의 지평선까지이므로 우주 크기 변화는 (가)에 해당한다.

ㄴ. (나)는 급팽창 이론에서의 우주의 크기 변화로, 급팽창 이전에는 우주의 크기가 우주의 지평선보다 작았고, 급팽창 이후에 우주의 크기가 우주의 지평선보다 커졌다.

ㄷ. 우주의 지평선 문제는 현재 우주의 지평선의 양 끝 지점은 서로 정보를 교환할 수 없는데, 관측되는 우주 배경 복사가 우주 전역에서 어떻게 거의 균일할 수 있는가에 관한 문제이다. (나) 급팽창 이론에서는 우주가 급팽창하기 전 우주의 크기가 우주의 지평선보다 작아 서로 정보 교환이 가능하여 우주의 온도 분포가 균일해질 수 있었다. 따라서 (나)는 우주 지평선 문제를 설명할 수 있다.

**706** ① Ia형 초신성은 거의 일정한 질량에서 폭발하기 때문에 절대 등급이 항상 거의 일정하다.

② 적색 편이량이 큰 멀리 있는 초신성일수록 관측된 겉보기 등급이 허블 법칙으로 구한 겉보기 등급보다 크므로 허블 법칙으로 구한 밝기보다 어둡게 관측되는 경향이 있다.

③ Ia형 초신성은 허블 법칙으로 구한 밝기보다 대체로 어둡게 관측되므로 예상보다 먼 거리에 위치한다.

④ 관측 결과에 따르면 Ia형 초신성은 우주가 일정한 비율로 팽창해 왔다고 가정할 때보다 더 멀리 있으므로, 우주는 가속 팽창하고 있다.

**바로알기** | ⑤ 관측 결과와 허블 법칙으로 구한 결과가 다른 까닭은 우주가 가속 팽창하기 때문으로, 우주의 가속 팽창은 우주에서 척력으로 작용하는 암흑 에너지에 의한 것으로 추정된다.

**707** ㄴ. 암흑 에너지는 우주에서 척력으로 작용하며, 우주가 팽창할수록 영향력이 커지므로 우주가 가속 팽창하는 원인이 된다.

ㄷ. 보통 물질은 현재의 관측 기술로 관측이 가능한 우주 구성 요소이다.

**바로알기** | ㄱ. 우주 구성 요소 중 가장 많은 비율을 차지하는 것은 암흑 에너지이다.

**708** ㄱ. 은하의 회전 속도가 은하 중심에서 멀어져도 거의 일정한 A가 실제 관측한 우리은하의 회전 속도 곡선이고, B는 눈에 보이는 물질만을 고려하여 이론적으로 계산한 회전 속도 곡선이다.

**바로알기** | ㄴ. 이론적으로 계산한 결과(B)와 달리 관측 결과 은하 중심에서 멀어져도 은하의 회전 속도가 거의 일정(A)한 것으로 보아 은하의 외곽부에 보이지는 않지만 질량을 가진 암흑 물질이 존재한다는 것을 추정할 수 있다.

ㄷ. 우리은하에는 보이지 않는 암흑 물질이 분포하고 있으므로 눈에 보이는 물질만을 고려하여 계산한 은하의 질량은 실제 관측으로 추정된 은하의 질량보다 작다.

**709** ① A는 현재 우주의 구성 요소 중 가장 많은 분포비를 차지하는 암흑 에너지이고, B는 암흑 물질, C는 보통 물질이다.

③ 암흑 물질(B)의 존재는 나선 은하의 회전 속도의 예측값과 관측값의 차이를 통해 추정할 수 있다.

④ 우리은하의 질량 중 광학적으로 관측 가능한 물질의 질량은 극히 일부이며 나머지는 암흑 물질의 질량이다. 따라서 암흑 물질(B)이 우리은하 질량의 대부분을 차지한다.

⑤ 보통 물질(C)의 가장 작은 단위는 쿼크, 전자 등 여러 종류의 기본 입자이다.

**바로알기** | ② 암흑 에너지(A)는 시간이 지나도 우주에서 밀도가 일정하게 유지되므로 우주가 팽창할수록 상대적인 영향력이 커진다.

⑥ 급팽창 이후 우주 팽창 초기에는 척력으로 작용하는 암흑 에너지(A)보다 물질에 의한 중력의 영향이 커서 우주가 감속 팽창하였다.

**710** ① 우주는 보통 물질, 암흑 물질, 암흑 에너지로 구성되며, (가)는 현재 우주의 구성 요소 중 가장 많은 분포비를 차지하므로 암흑 에너지이고, (나)는 암흑 물질이다.

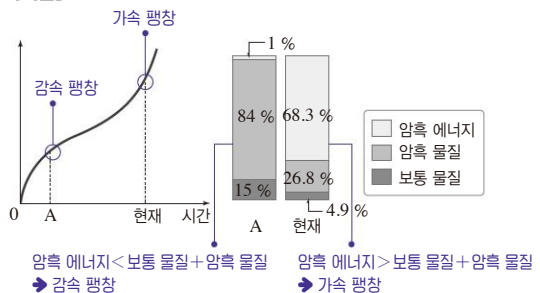
② (나) 암흑 물질이 보통 물질보다 상대적으로 높은 비율을 차지하므로 A가 B보다 크다.

④ (나) 암흑 물질은 나선 은하의 회전 속도 및 중력 렌즈 현상 등을 통해 간접적으로 그 존재를 추정할 수 있다.

⑤ 보통 물질은 대부분 수소와 헬륨으로 이루어져 있으며, 약 3:1의 질량비로 우주에 분포한다.

**바로알기** | ③ 우주에서 척력으로 작용하는 (가) 암흑 에너지에 의해 우주가 가속 팽창한다.

## [711~712]



**711** ㄴ. 암흑 물질의 비율은 A 시점에서 84%이고 현재가 26.8%이므로 A 시점이 현재보다 높다.

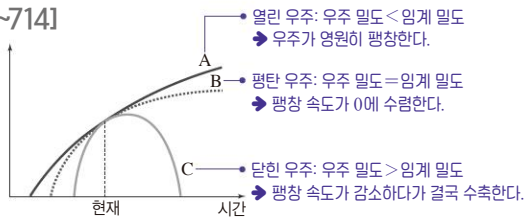
**바로알기** | ㄱ. A 시점에서 곡선의 기울기가 작아지고 있으므로 우주의 팽창 속도는 감소하고 있다.

ㄷ. 우주는 팽창하고 있으므로 밀도는 현재가 A 시점보다 작다.

**712** **모범 답안** 현재가 A 시점보다 우주의 팽창 속도가 빠르다. A 시점에는 물질(보통 물질 + 암흑 물질)의 비율이 암흑 에너지의 비율보다 커서 우주는 감속 팽창하였고, 현재는 암흑 에너지의 비율이 물질의 비율보다 커서 우주는 가속 팽창하기 때문이다.



[713~714]



**713** A는 우주가 영원히 팽창하고 있으므로 열린 우주, B는 우주의 팽창 속도가 0에 수렴하고 있으므로 평탄 우주, C는 우주가 팽창하다가 다시 수축하고 있으므로 닫힌 우주이다.

**모범답안** A는 열린 우주, B는 평탄 우주, C는 닫힌 우주이다. 열린 우주(A)는 우주의 평균 밀도가 임계 밀도보다 작고, 평탄 우주(B)는 우주의 평균 밀도가 임계 밀도와 같다. 닫힌 우주(C)는 우주의 평균 밀도가 임계 밀도보다 크다.

**714** ㄱ. A는 열린 우주로, 음(-)의 곡률을 갖는다.

ㄴ. B는 평탄 우주로, 팽창 속도가 점점 느려지다가 0에 수렴한다.

**바로알기** ㄷ. C는 닫힌 우주로, 중력이 우세하게 작용하여 우주의 팽창 속도가 감소한다.

**715** (가)는 우주의 평균 밀도가 임계 밀도와 같으므로 평탄 우주이고, (나)는 우주의 평균 밀도가 임계 밀도와 같지 않고 음(-)의 곡률을 갖는 우주이므로 열린 우주이다. (다)는 닫힌 우주이다.

① (가)는 평탄 우주로, 곡률은 0이다.

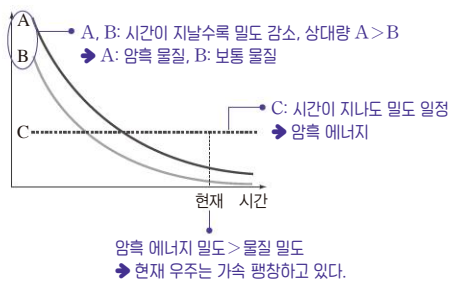
③ (나)는 열린 우주로, 영원히 팽창한다.

④ (다)는 닫힌 우주로, 우주의 팽창 속도가 점점 감소하다가 결국 우주의 크기가 작아진다.

⑤ (나) 열린 우주는 우주의 평균 밀도 < 임계 밀도이고, (다) 닫힌 우주는 우주의 평균 밀도 > 임계 밀도이므로 우주의 평균 밀도는 (나)가 (다)보다 작다.

**바로알기** ② (가) 평탄 우주는 우주에서 척력으로 작용하는 암흑 에너지의 영향이 물질의 영향보다 커지면 가속 팽창한다.

**716**



ㄷ. 시간이 지나면서 우주가 팽창함에 따라 암흑 에너지(C)는 밀도가 일정하게 유지되고 암흑 물질(A)과 보통 물질(B)은 밀도가 점점 감소한다. 따라서 암흑 에너지(C)가 우주에서 차지하는 비율은 시간이 지날수록 높아진다.

**바로알기** ㄱ. A와 B는 우주가 팽창함에 따라 밀도가 감소하므로 물질에 해당하며, 상대적으로 밀도가 큰 A는 암흑 물질이고 B는 보통 물질이다.

ㄴ. 우주의 팽창에 가장 큰 영향을 미치는 것은 우주에서 척력으로 작용하는 암흑 에너지(C)이다.

**717** (가)는 물질(보통 물질+암흑 물질)에 암흑 에너지까지 고려한 모델로 암흑 에너지에 의해 가속 팽창하는 우주 모델이고, (나)는 물질만을 고려한 감속 팽창하는 우주 모델이다.

ㄱ. 그림에서 Ia형 초신성의 관측 결과와 잘 일치하는 것은 (가) 모델이다.

ㄷ. 관측 결과 우주는 가속 팽창하고 있으므로 과거보다 최근에 우주가 빠르게 팽창하고 있다.

**바로알기** ㄴ. (가)는 가속 팽창 우주 모델, (나)는 감속 팽창 우주 모델이므로 우주의 크기는 (나)보다 (가) 모델에서 크다.

**718** A는 은하 사이의 거리가 점점 더 빠르게 멀어지는 가속 팽창 우주이고, B는 열린 우주, C는 평탄 우주, D는 닫힌 우주이다.

ㄱ. A~D 모두에서 빅뱅 이후 현재까지 은하 사이의 거리가 멀어졌으므로 우주가 팽창하였다.

ㄴ. Ia형 초신성의 관측 결과로 우주가 가속 팽창한다는 것을 알 수 있으므로, Ia형 초신성의 관측 자료는 가속 팽창 우주인 A를 뒷받침하는 증거이다.

**바로알기** ㄷ. 현재 우주는 팽창 속도가 점점 빨라지고 있으므로 현재의 우주에 가장 가까운 모형은 가속 팽창 우주(A)이다.

ㄹ. 닫힌 우주(D)는 우주가 팽창하려는 힘보다 물질에 의한 중력이 커서 우주의 크기가 다시 작아진다.

**719**

우주 모형	A	B	C
$\frac{\rho_A}{\rho_c}$	0 (암흑 에너지 고려 ×)	0.6	0 (암흑 에너지 고려 ×)
$\frac{\rho_m}{\rho_c}$	1.0	0.4	0.4
	$\rho_m = \rho_c$ → 평탄 우주	$\rho_A + \rho_m = \rho_c$ → 평탄 우주	$\rho_m < \rho_c$ → 열린 우주

$\rho_A$ (암흑 에너지 밀도) >  $\rho_m$ (물질 밀도)  
→ 가속 팽창 우주

ㄷ. C는 물질 밀도( $\rho_m$ ) < 임계 밀도( $\rho_c$ )이므로 열린 우주이다. 열린 우주(C)는 팽창 속도가 점점 감소하고 가속 팽창 우주(B)는 팽창 속도가 점점 빨라지므로, 우주의 온도는 B가 C보다 빠르게 감소한다.

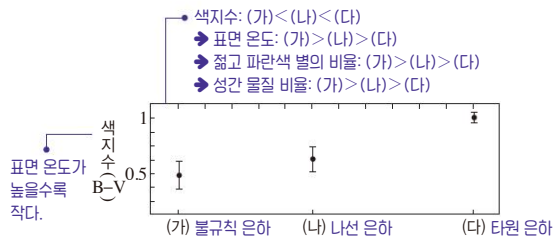
**바로알기** ㄱ. A는 물질 밀도( $\rho_m$ ) = 임계 밀도( $\rho_c$ )이므로 평탄 우주이고, 평탄 우주(A)의 곡률은 0이다.

ㄴ. B는 암흑 에너지 비율( $\frac{\rho_A}{\rho_c}$ )이 물질 비율( $\frac{\rho_m}{\rho_c}$ )보다 큰 가속 팽창 우주이고, 암흑 에너지를 포함한 우주의 밀도( $\rho_A + \rho_m$ )가 임계 밀도( $\rho_c$ )와 같으므로 평탄 우주이다.

최고 수준 도전 기출 (22~24량)

191쪽

720 ① 721 해설 참조 722 해설 참조 723 ④  
724 ④



ㄱ. 젊은 별의 표면 온도가 대체로 높으며, 표면 온도가 높은 은하일수록 색지수가 작다. (가)의 색지수가 가장 작으므로 (가)에서 새로운 별의 탄생이 가장 활발하다.

**바로알기 |** ㄴ. 색지수로 미루어 보아 (가)는 젊은 별의 비율이 가장 높은 불규칙 은하, (다)는 늙은 별의 비율이 가장 높은 타원 은하, (나)는 나선 은하이다. 따라서 편평도에 따라 세분하는 것은 (다) 타원 은하이다.

ㄷ. 은하 전체에서 성간 물질이 차지하는 비율은 (나) 나선 은하가 (다) 타원 은하보다 높으므로  $\frac{\text{성간 물질 질량}}{\text{보통 물질 질량}}$  은 (나)가 (다)보다 크다.

**721** (2) 우주의 나이는 허블 상수의 역수이다. 이 기간 동안 측정된 허블 상수가 대체로 작아지는 경향을 띠므로 계산한 우주의 나이는 많아진다.

(3) 관측 가능한 우주의 크기  $= \frac{c}{H}$  ( $c$ : 빛의 속도)이다. 이 기간 동안 허블 상수( $H$ )가 대체로 작아지는 경향을 띠므로 계산한 우주의 크기는 더 커진다.

**모범 답안** (1) 1920년대 이후 측정된 허블 상수는 시간이 지날수록 대체로 작아졌다. 점차 관측 결과가 많아지고, 정밀한 관측이 가능해졌기 때문이다.  
(2) 우주의 나이는 더 많게 계산된다.  
(3) 우주의 크기는 더 크게 계산된다.

**722** 외부 은하의 거리  $r=300$  Mpc와 후퇴 속도  $v=21000$  km/s를 허블 법칙( $v=H \cdot r$ )에 적용하여 허블 상수  $H$ 를 구하면,  
 $21000 \text{ km/s} = H \cdot 300 \text{ Mpc}$ 에서  $H=70 \text{ km/s/Mpc}$ 이다.

1 Mpc는  $10^6$  pc이고, 우주의 나이는 허블 상수의 역수( $\frac{1}{H}$ )이므로,

$$\frac{1}{H} = \frac{1}{70 \text{ km/s/Mpc}} = \frac{1}{70 \text{ km}} \times \text{s(초)} \times (3 \times 10^{13} \times 10^6 \text{ km}) \\ = \frac{1}{70} \times 3 \times 10^{19} \text{ 초이다.}$$

이를 1년 단위로 나타내기 위해 1년( $3.2 \times 10^7$  초)으로 나눈 후 천만 년 자리에서 반올림하여 우주의 나이를 구한다.

**모범 답안** 허블 법칙( $v=H \cdot r$ )을 적용하여 구한 허블 상수( $H$ )는  $21000 \text{ km/s} = H \cdot 300 \text{ Mpc}$ 에서  $70 \text{ km/s/Mpc}$ 이다. 우주의 나이는 허블 상수의 역수이므로  $\frac{1}{70} \times (3 \times 10^{13} \times 10^6)$ (초)이고, 이를 1년( $3.2 \times 10^7$  초)으로 나누면 약 134억 년이다.

**723** ㄴ. Ia형 초신성은 계산된 것보다 더 어둡게 관측되므로 예상보다 먼 거리에 위치한다.

ㄷ. Ia형 초신성의 관측 결과는 우주가 가속 팽창하고 있음을 의미하므로, 이를 설명하기 위해서는 암흑 에너지를 고려해야 한다.

**바로알기 |** ㄱ. 평탄한 우주에서 계산된 겉보기 등급보다 실제로 관측한 Ia형 초신성의 겉보기 등급이 크므로 실제로 관측한 Ia형 초신성의 겉보기 밝기가 더 어둡다.

**724** ㄴ. B 구간에서는 은하 중심에서 멀어질수록 회전 속도가 느려지는 케플러 회전을 한다.

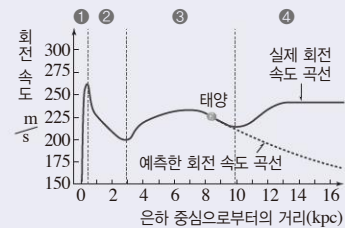
ㄷ. C 구간에서는 은하 중심에서 멀어져도 회전 속도가 감소하지 않고 거의 일정한데, 이는 은하의 외곽부에 관측할 수 없지만 질량이 있는 암흑 물질이 분포하기 때문으로 추정된다.

**바로알기 |** ㄱ. A 구간에서는 강체 회전하므로 은하 중심에서 멀어질수록 회전 속도가 빨라지지만, 회전 주기는 일정하다.

#### 개념 보충

##### 우리은하의 회전 속도 곡선—강체 회전과 케플러 회전

- 강체 회전: 회전 중심으로부터의 거리에 상관없이 모든 지점에서 회전 주기가 동일한 회전
- 케플러 회전: 중심에서 멀어질수록 회전 속도가 감소하는 회전



▲ 우리은하의 회전 속도 곡선

구간	회전 속도 분포
①	회전 속도가 급격히 증가하여 최댓값을 나타내며, 강체 회전을 한다.
②	은하 중심에서 멀어질수록 회전 속도가 감소하는 케플러 회전을 한다.
③	3 kpc 이후부터 회전 속도가 다시 증가하다가 태양 부근에서 감소한다.
④	회전 속도가 증가하다가 약 15 kpc 이후부터는 거의 일정해진다.