

## I 고체 지구의 변화

### 1. 지권의 변동

#### 01 대륙의 이동과 판 구조론

탐구 확인 문제

019쪽

01 ① 02 ④

01 ㄱ. 수심이 깊을수록 음파가 해저면에서 반사되어 되돌아오는 데 걸리는 시간이 길다.

**바로 알기** ㄴ. 탐사 지점 1에서 음파의 왕복 시간이 6초이므로, 수심은  $\frac{1}{2} \times 1500 \times 6 = 4500(\text{m})$ 이다.

ㄷ. 해령은 대양 한가운데에 산맥처럼 솟아오른 지형인데, 탐사 지점 1~3 사이에서는 음파의 왕복 시간이 9.4초(탐사 지점 2)로 길어지므로 수심이 깊어진다.

02 ④ 지점 B에서 음파의 왕복 시간이 4초이므로 수심은

$$\frac{1}{2} \times 1500 \times 4 = 3000(\text{m}) \text{이다.}$$

**바로 알기** ① 지점 A로 갈수록 음파의 왕복 시간이 길어지므로 수심이 깊어지는 것을 의미한다. 따라서 지점 A에는 해구가 분포한다.

② 지점 B로 갈수록 음파의 왕복 시간이 짧아지므로 수심이 얕아지는 것을 의미한다. 따라서 지점 B에는 해령이 분포한다.

③ 지점 A에서 음파의 왕복 시간이 10초이므로 수심은

$$\frac{1}{2} \times 1500 \times 10 = 7500(\text{m}) \text{이다.}$$

⑤ 해령 주변에서 지각 열류량이 높고, 해구에서 해령쪽으로 갈수록 지각 열류량이 증가한다. 따라서 지점 A에서 B로 갈수록 지각 열류량이 증가한다.

개념 모아 정리하기

020쪽

- |        |          |      |       |       |
|--------|----------|------|-------|-------|
| ① 판게아  | ② 해안선    | ③ 빙하 | ④ 원동력 | ⑤ 대류  |
| ⑥ 상승   | ⑦ 음향 측심법 | ⑧ 해령 | ⑨ 용암  | ⑩ 퇴적물 |
| ⑪ 고지자기 | ⑫ 반대     | ⑬ 지진 | ⑭ 맨틀  | ⑮ 경계  |

개념 기본 문제

021쪽

- 01 ㄴ, ㄷ, ㄹ      02 ㄱ, ㄴ      03 (1) ㄱ (2) ㄷ (3) ㄴ  
04 3000 m      05 ㄴ, ㄷ  
06 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × (5) ○      07 ㄱ, ㄴ

01 ㄴ, ㄷ, ㄹ 베게너가 제시한 대륙 이동설의 증거에는 해안선 모습의 유사성, 대륙 간 지질 구조의 연속성, 고생물 화석 분포, 빙하 퇴적층과 빙하 흔적의 분포 등이 있다.

**바로 알기** ㄱ. 지진대와 화산대가 특정한 지역에 띠 모양으로 분포하는 것은 판 경계와 관련이 있다.

02 ㄱ, ㄴ 맨틀 상하부의 온도 차이로 맨틀이 대류하며, 맨틀 대류의 상승부에서 대륙 지각이 분리된다.

**바로 알기** ㄷ. 맨틀 대류설은 발표 당시의 탐사 기술로는 맨틀 대류를 확인할 수 없었기 때문에 학자들에게 인정받지 못하였다. 베게너의 대륙 이동설과 홀스의 맨틀 대류설은 탐사 기술이 발달하여 해저 지형과 지각 변동에 관한 자세한 연구가 진행된 후 재조명 받았다.

03 (1) 음향 측심법을 이용하여 수심을 측정하여 해저 지형의 모습을 밝혀냈고, 해저 지형도를 제작하였다. 그 결과 대양 한가운데에 솟아오른 해령을 발견하였다.

(2) 자력계를 이용하여 해양 지각의 고지자기를 측정한 결과, 해령을 중심으로 고지자기 역전 줄무늬가 대칭적으로 나타나는 것을 발견하였다.

(3) 1960년대 이후 표준화된 지진계를 이용한 전 지구적인 지진 관측을 통해 섭입대 주변의 진원 깊이를 알아냈다.

04 해양에서 음파의 속력이 1500 m/s이고 주어진 지점에서 음파의 왕복 시간이 4초이므로, 수심은

$$\frac{1}{2} \times 1500 \times 4 = 3000(\text{m}) \text{이다.}$$

05 ㄴ, ㄷ 해령 부근의 해양 지각에서 나타나는 고지자기 역전 줄무늬는 지구 자기장이 역전되고 해양 지각이 확장되면서 새로운 해양 지각이 만들어질 당시의 지구 자기장 방향으로 광물이 자화되어 만들어진다.

- 06 (1) 해령은 맨틀 물질이 상승하는 곳이다.  
 (2) 해령에서 새로운 해양 지각이 생성되어 해령의 양쪽으로 멀어지므로, 해령에서 해구쪽으로 갈수록 해양 지각의 연령이 증가한다.  
 (3) 해령에서 생성된 해양 지각은 해구에서 섭입하여 맨틀 속으로 하강한다.  
 (4) 해령에서 멀어질수록 해양 지각의 연령이 증가하므로 해저 퇴적물의 나이와 두께가 증가한다.  
 (5) 해령을 중심으로 고지자기 역전 줄무늬가 대칭적으로 나타난다.

- 07 ㄱ, ㄴ 판 구조론이 정립될 당시에는 해령 주변에 분포하는 변환 단층의 발견과 섭입대 주변의 진원 분포가 증거로 제시되었다.

**바로 알기** ㄷ. 판 구조론이 정립된 이후에 지진파 단층 촬영법을 통해 맨틀 물질의 움직임을 확인할 수 있었다.

#### 개념 적용 문제

022쪽

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

- 01 ㄴ. 고생대 말 빙하의 흔적과 이동 방향은 한곳에서 흩어져 나간 모양을 이루며, 이로부터 빙하의 이동 방향을 역으로 추정하면 고생대 말에는 대륙들이 한곳에 모여 있었음을 알 수 있다.

ㄷ. 베게너가 대륙 이동설을 주장할 당시에 고생물 화석 분포의 연속성(가)과 고생대 말 빙하의 흔적과 이동 방향(나) 및 해안선 모양의 유사성, 유럽과 북아메리카의 지질 구조의 연속성 등을 증거로 제시하였다.

**바로 알기** ㄱ. 메소사우루스는 바다를 건너 헤엄칠 수 없으므로 메소사우루스 화석이 두 대륙에서 발견되는 것은 고생대에 두 대륙이 붙어 있었다는 것을 의미한다.

- 02 ㄱ. 중생대에 초대륙 판게아가 여러 대륙으로 갈라지면서 남아메리카 대륙과 아프리카 대륙이 분리되고 대서양이 생겨났고, 대서양이 넓어지면서 상대적으로 태평양은 좁아졌다.  
 ㄴ. 고생대 후기에 곤드와나 대륙의 일부를 이루고 있던 인도 대륙에 빙하가 분포하였다.

**바로 알기** ㄷ. 대륙 이동의 원동력은 상부 맨틀의 연약권에서 일어나는 맨틀 대류 때문이다.

- 03 ㄱ. 탐사 지점 5에서 음파의 왕복 시간이 8.0초이므로, 수심은  $\frac{1}{2} \times 1500 \times 8 = 6000(\text{m})$ 이다.

ㄴ. 탐사 지점 6에서 음파의 왕복 시간이 10초로 가장 길고 수심은  $\frac{1}{2} \times 1500 \times 10 = 7500(\text{m})$ 이므로 이 지점에 해구가 분포한다.

**바로 알기** ㄷ. 새로운 해양 지각이 생성되는 곳인 해령은 대양 한가운데에 산맥처럼 솟아오른 지형으로, 주변의 해저 지형보다 수심이 얕다. 이 해역에서는 대양 한가운데에서 수심이 얕아지는 구간이 분포하지 않으므로, 새로운 해양 지각이 만들어지는 해령이 분포한다고 볼 수 없다.

- 04 ㄱ. 해저 퇴적물의 두께는 해령에서 멀수록 두꺼워지므로, 해령에서 더 먼 거리에 있는 A가 B보다 해저 퇴적물의 두께가 두 겹다.

ㄷ. 대서양 중앙 해령에서는 마그마의 분출로 새로운 해양 지각이 생성된다.

**바로 알기** ㄴ. 지각 열류량은 해령에서 가장 높고 해령에서 멀수록 낮아진다. 따라서 해령 부근인 B에서 A와 C로 갈수록 지각 열류량이 낮아진다.

- 05 ㄱ. 고지자기 역전 줄무늬는 해령을 중심으로 대칭적으로 나타난다.

ㄴ. 해양 지각의 암석 연령은 해령에서 멀어질수록 증가한다.

**바로 알기** ㄷ. A와 B는 암석의 연령이 같지만 A는 B보다 해령으로부터의 거리가 멀기 때문에 해양 지각의 이동 속도는 태평양 지역이 대서양 지역보다 빠르다는 것을 알 수 있다.

- 06 ① 해령의 하부 A는 맨틀 대류가 상승하면서 마그마가 상승한다.

②, ③ 해령에서 1000 km 거리에 위치한 X 지점의 수심이 4 km이므로, 그림 (나)에서 해양 지각의 연령은 2000만 년임을 알 수 있다. 따라서 해양 지각의 평균 이동 속도는

$$\frac{10^8 \text{ cm}}{2 \times 10^7 \text{ 년}} = 5 \text{ cm/년이다.}$$

⑤ 해령에서 멀어질수록 해양 지각의 연령이 증가하므로 해저 퇴적물의 두께와 연령이 증가한다.

**바로 알기** ④ 해저 지각 열류량은 마그마가 상승하는 해령에서 가장 높고, 해령에서 멀어질수록 마그마가 상승하는 곳으로부터 멀어지므로 지각 열류량이 감소한다.

07 ㄱ. A는 상대적으로 밀도가 큰 태평양판이 밀도가 작은 필리핀판 아래로 섭입하는 지역으로, 마리아나 해구가 발달해 있다.

ㄴ. (나)는 천발 지진부터 심발 지진까지 발생하는 섭입대의 진원 분포에 해당하므로 해양판이 다른 판 아래로 섭입하는 지역이다. 따라서 태평양판이 필리핀판 아래로 섭입하는 A의 진원 분포를 나타낸다.

ㄷ. 섭입대의 진원 분포는 판 구조론이 정립되는 근거가 되었다.

08 ㄱ. 학설이 등장한 순서는 ‘(다)베게너의 대륙 이동설 → (나)홀스의 맨틀 대류설 → (가)헤스와 디츠의 해양저 확장설 → (라)윌슨의 변환 단층 발견’ 순이다.

ㄷ. 해령과 해령 사이에서 해양 지각이 서로 반대 방향으로 움직이는 부분에 변환 단층이 생성되며, 변환 단층의 발견은 판 구조론 정립의 계기가 되었다.

**바로 알기** ㄴ. 음향 측심법을 통한 해저 지형 탐사 결과를 바탕으로 발표된 학설은 (가)의 해양저 확장설이다.

## 02 대륙 분포의 변화와 판 이동의 원동력

### 개념 모아 정리하기

039쪽

- ① 북극 ② 편각 ③ 편각 ④ 지자기 북극(자북극) ⑤ 로디니아  
⑥ 판게아 ⑦ 윌슨 주기 ⑧ 발산 경계 ⑨ 대륙 열곡대  
⑩ 수렴 경계 ⑪ 호상 열도 ⑫ 해양판 ⑬ 습곡 산맥  
⑭ 보존 경계 ⑮ 변환 단층 ⑯ 맨틀 대류 ⑰ 열점  
⑱ 뜨거운 플룸 ⑲ 차가운 플룸

### 개념 기본 문제

040쪽

- 01 ㄱ 02 (1) × (2) ○ (3) × 03 (1) C (2) B (3) D  
04 ㄱ 05 ㄱ, ㄴ, ㄷ 06 ㄴ, ㄷ

01 ㄱ. 현재 지리상 북극과 지자기 북극은 일치하지 않는다.

**바로 알기** ㄴ, ㄷ 나침반의 자침이 수평면과 이루는 각을 북각이라고 하고, 나침반의 자침이 지리상 북극과 이루는 각을 편각이라고 한다.

02 (1) 로디니아는 선캄브리아 시대에 존재하던 초대륙이고, 판게아는 고생대 후기~중생대 전기에 존재하던 초대륙이다.

(2) 판게아는 남북으로 긴 모양으로, 북반구의 로라시아와 남반구의 곤드와나로 이루어져 있었다.

(3) 인도 대륙은 약 1억 년 전에 오스트레일리아 대륙에서 분리되어 북상하기 시작하였고, 약 5000만 년 전부터 유라시아 대륙과 충돌하기 시작하였다.

03 (1) C는 태평양판과 북아메리카판이 서로 반대 방향으로 어긋나게 이동하면서 형성된 변환 단층인 산안드레아스 단층으로, 판의 보존 경계에 해당한다.

(2) B는 태평양판이 유라시아판 아래로 섭입하여 형성된 일본 해구로, 판의 수렴 경계로서 해구가 발달한 곳에 해당한다.

(3) D는 대서양 중앙 해령으로, 새로운 판이 생성되어 확장되는 발산 경계로서 해령이 발달한 곳에 해당한다.

04 ㄱ. A는 해양판과 해양판이 수렴하는 경계로, 해구가 발달해 있다.

**바로 알기** ㄴ. B는 두 판이 서로 어긋나는 보존 경계로, 천발 지진이 발생하지만 화산 활동은 일어나지 않는다.

ㄷ. C는 해령으로, 천발 지진과 화산 활동이 일어나지만 심발 지진은 발생하지 않는다.

ㄹ. 해령에서 새로운 해양 지각이 생성되므로 C(해령)에서 D(해구) 쪽으로 갈수록 해양 지각의 연령이 증가한다.

05 ㄱ. 하와이섬에서는 현재 화산 활동이 일어나고 있으므로, 하와이섬은 열점 위에 위치한다.

ㄴ. 하와이섬의 화산 활동은 열점에서 상승하는 마그마에 의한 것이고, 열점에서 생성된 화산섬은 태평양판의 이동에 따라 이동해 가므로, 하와이섬에서 북서쪽으로 갈수록 화산섬의 연령이 증가한다.

ㄷ. 태평양판이 계속 북서쪽으로 이동함에 따라 하와이섬의 남동쪽에 새로운 화산섬이 만들어질 것이다.

06 ㄴ. 지진과 단층 촬영법으로 맨틀의 내부 구조를 분석한 결과, 현재 아시아 대륙 하부에는 하강하는 차가운 플룸이 위치하는 것을 알아냈다.

ㄷ, 뜨거운 플룸은 과거에 존재했던 초대륙을 분리시키는 역할을 하였을 것으로 추정되며, 대규모의 뜨거운 플룸은 대륙을 분열시킬 수 있다.

**바로 알기** ㄱ. 플룸 구조론에서는 맨틀 대류가 상부 맨틀뿐만 아니라 맨틀 전체에서 일어난다고 설명한다.

#### 개념 적용 문제

041쪽

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

01 ㄴ. 지질 시대 동안 자극의 겉보기 이동은 대륙 이동의 명백한 증거가 된다.

ㄷ. 유라시아 대륙과 북아메리카 대륙은 과거에 그림 (나)처럼 붙어 있었으므로 두 대륙에 분포하는 습곡 산맥의 지질 구조가 연결될 수 있다.

**바로 알기** ㄱ. 지자기 북극은 이동하지만, 동시에 2개의 지자기 북극이 존재할 수는 없다.

02 ㄱ. 암석에 남아있는 고지자기의 북극을 분석하면 암석이 생성될 당시의 위도를 알아낼 수 있고, 이로부터 대륙의 위치 및 이동 경로를 복원할 수 있다.

ㄴ. 7100만 년 전에 인도 대륙의 북극이 (－)의 값을 나타내므로, 인도 대륙은 남반구에 위치하였음을 알 수 있다.

**바로 알기** ㄷ. 인도 대륙과 유라시아 대륙의 충돌은 약 5000만 년 전에 시작되었으며, 인도 대륙의 이동은 현재까지도 계속되고 있다.

03 ㄱ, ㄴ. 인도 대륙이 북상하며 테티스 해가 좁아졌고, 남반구의 곤드와나 대륙에 포함되었던 인도 대륙이 북상하였다.

**바로 알기** ㄷ. 초대륙이 여러 대륙으로 분리되면 대륙의 면적은 크게 변하지 않으나, 해안선의 길이가 길어진다

04 ㄱ, ㄴ. 대륙 지각에 장력이 작용하여 얇아진 곳에 열곡이 형성되고, 맨틀 물질의 상승으로 마그마가 분출하여 새로운 해양 지각이 만들어진다.

ㄷ. 동아프리카 열곡대는 대륙판이 분리되는 초기 단계에 해당하는 곳으로, 킬리만자로산과 케냐산과 같은 높은 화산이 분포한다.

05 ① 두 해양판이 수렴하는 E 지역에는 해구가 발달한다.

② 두 대륙판이 수렴하는 F 지역에는 습곡 산맥이 발달한다.

③ 해양판이 맨틀 속으로 섭입하는 (가)에서 (나)보다 화산 활동이 활발하다. (가)에서는 화산 활동과 함께 지진이 활발하게 일어나지만, (나)에서는 화산 활동은 없고 지진만 발생한다.

④ 판 A가 판 B의 아래로 섭입하므로 판 A의 밀도는 판 B의 밀도보다 크다.

**바로 알기** ⑤ 대륙 지각은 연약권보다 밀도가 작아서 맨틀 속으로 섭입할 수 없다.

06 ㄱ. A는 해양판이 섭입하며 맨틀이 부분 용융하여 만들어진 마그마가 분출하는 호상 열도로서, 화산 활동이 활발하게 일어난다.

**바로 알기** ㄴ. B는 변환 단층으로, 판이 생성되거나 소멸하지 않으며, 화산 활동은 일어나지 않고 천발 지진이 일어난다.

ㄷ. 해구인 D에서는 천발 지진부터 심발 지진까지 모두 발생하는 반면, 해령인 C에서는 천발 지진이 일어나지만 심발 지진은 일어나지 않는다.

07 ㄱ. A는 대륙판과 대륙판이, B와 D는 해양판과 대륙판이, C는 해양판과 해양판이 수렴하는 경계이다.

ㄴ. A에는 습곡 산맥인 히말라야산맥이 발달해 있고, B, C, D에는 해구가 발달해 있다.

**바로 알기** ㄴ. 필리핀판과 태평양판 사이에 해구(마리아나 해구)가 발달한 것은 상대적으로 밀도가 큰 태평양판이 필리핀판 아래로 섭입하기 때문이다.

ㄷ. 습곡 산맥인 A에서는 지진은 발생하지만 화산 활동은 일어나지 않는다. 해구인 B, C, D에서는 지진과 화산 활동이 활발하다.

08 ① A를 경계로 아프리카판과 아라비아판이 서로 멀어지고 있으므로 A의 바다는 점차 넓어질 것이다.

② B(동아프리카 열곡대)를 경계로 동아프리카는 분리될 것이다.

③, ④ A는 해령, B는 동아프리카 열곡대, C는 인도양 해령으로, 모두 발산 경계에 해당하며 화산 활동과 함께 천발 지진이 발생하며, 그 하부에서 맨틀 대류가 상승한다.

**바로 알기** ⑤ B(동아프리카 열곡대)는 판의 발산 경계이고, 북아메리카의 산안드레아스 단층은 판의 보존 경계인 변환 단층이다.

- 09 나. 옴페르 해산군이 형성되는 약 6500만 년 전부터 약 4200만 년 전까지 태평양판은 북북서 방향으로 이동하였고, 약 4200만 년부터 현재까지 하와이 열도가 생성되는 동안 태평양판은 대략 서북서 방향으로 이동하였다. 따라서 태평양판의 이동 방향은 약 4200만 년 전에 바뀌었다고 볼 수 있다.
- ㄷ. 미드웨이 섬의 연령이 약 2700만 년이고 하와이섬에서 미드웨이 섬까지의 거리가 2700 km이므로 태평양판의 평균 이동 속도는  $\frac{2.7 \times 10^8 \text{ cm}}{2.7 \times 10^7 \text{ 년}} = 10 \text{ cm/년}$ 이다.

**바로 알기** ㄱ. 뜨거운 플룸의 상승으로 생성된 열점의 위치는 변하지 않으므로, 태평양판이 이동함에 따라 새로운 화산섬은 하와이섬의 남동쪽에 위치할 것이다.

- 10 ① 뜨거운 플룸은 맨틀과 외핵의 경계부에서 생성되어 상승한다.
- ③ 차가운 플룸은 하부 맨틀까지 하강한다.
- ④ 하와이는 뜨거운 플룸의 상승에 의해 생성된 열점에 위치하여 화산 활동을 일으킨다.
- ⑤ 플룸 구조론은 맨틀 전체의 대류 및 판의 운동과 관계있는 지구 내부 구조 운동을 설명한다.
- 바로 알기** ② 플룸 구조론은 맨틀 전체 규모로 일어나는 대류 운동을 설명하는 이론이다.

### 03 변동대와 화성암

#### 집중 분석

055쪽

#### 유제 ⑤

- 유제 • A는 맨틀 물질이 상승하여 압력이 감소하여 맨틀의 용융 곡선과 만나 용융하는 과정으로, 해령 하부에서의 압력 감소에 따른 현무암질 마그마의 생성 과정에 해당한다.
- B는 맨틀 물질에 물이 첨가되어 암석의 용융 곡선의 위치가 변화하여 맨틀 물질이 용융하는 과정으로, 섭입대에서 섭입하는 해양판에 포함된 물이 빠져나와 그 상부의 맨틀로 공급되면서 맨틀 물질이 용융하여 현무암질 마그마가 생성되는 과정에 해당한다.
- C는 암석의 온도가 상승하여 지하의 온도 분포 곡선이 화강암의 용융 곡선과 만나 용융하는 과정으로, 대륙 지각 하부가 가열되어 유문암질 마그마가 생성되는 과정에 해당한다.

#### 개념 모야 정리하기

056쪽

- ① 유문암 ② 압력 ③ 물 ④ 해령 ⑤ 압력 ⑥ 해구 ⑦ 용융점(녹는점) ⑧ 유문암질 ⑨ 안산암질 ⑩ 조립질 ⑪ 세립질 ⑫ 화산암(분출암) ⑬ 현무암 ⑭ 심성암(관입암) ⑮ 화강암 ⑯ 고철질암 ⑰ 반력암 ⑱ 중성암 ⑲ 유문암 ⑳ 중생대

#### 개념 기본 문제

057쪽

- 01 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) × 02 ㄱ, ㄷ 03 ㄱ, ㄷ
- 04 (1) ○ (2) × (3) × 05 (1) 현무암 (2) 화강암 (3) 사장석
- 01 (1) 마그마는 지하의 암석이 용융된 물질로, 주변 암석보다 밀도가 작아서 상승한다.
- (2) 맨틀 물질의 온도가 높아지면 용융 곡선과 만나서 용융하여 마그마가 생성될 수 있다.
- (3) 맨틀 물질이 상승하여 압력이 낮아지면 용융하여 마그마가 생성될 수 있다.
- (4) 맨틀 물질에 물이 공급되면 용융점이 낮아져서 마그마가 생성될 수 있다.

- 02 ㄱ. A 과정은 압력이 감소하여 맨틀의 용융 곡선과 만나 마그마가 생성되는 과정으로, 해령에서 맨틀 물질이 상승하여 현무암질 마그마가 생성되는 과정에 해당한다.
- ㄷ. C 과정은 온도가 상승하여 화강암의 용융 곡선과 만나 마그마가 생성되는 과정으로, 섭입대에서 섭입하는 해양판 위에 놓인 대륙 지각 하부가 가열되어 유문암질 마그마가 생성되는 과정에 해당한다.
- 바로 알기** ㄴ. B 과정은 맨틀 물질에 물이 공급되어 맨틀의 용융 곡선이 변화하여 마그마가 생성되는 과정으로, 섭입대에서 현무암질 마그마가 생성되는 과정에 해당한다.

- 03 ㄱ. 현무암과 유문암은 모두 화산암으로, 세립질 조직이 잘 나타난다.
- ㄷ. 마그마가 지하 깊은 곳에서 천천히 냉각되면 광물 결정이 성장하여 조립질 조직이 발달한다.
- 바로 알기** ㄴ. 유리질 조직은 지표에서 암석이 매우 빠르게 냉각되어서 광물 결정이 형성되지 않는 것이다.

- 04 (1)  $\text{SiO}_2$  함량이 52 % 이하인 화성암을 염기성암 또는 고철질암이라 하며, 상대적으로 Ca, Fe, Mg의 함량이 많다.  
 (2)  $\text{SiO}_2$  함량이 66 % 이상인 화성암을 산성암 또는 규장질암이라 하며, 무색 광물의 함량이 많아서 암석의 색이 밝은 편이다.  
 (3)  $\text{SiO}_2$  함량이 52 % ~ 66 %인 중성암의 대표적인 예는 안산암, 섬록암 등이 해당하며 화강암은 산성암에 해당한다.
- 05 (1)  $\text{SiO}_2$  함량이 52 % 이하인 화성암 중 대표적인 화산암은 현무암이다.  
 (2)  $\text{SiO}_2$  함량이 66 % 이상인 화성암 중 대표적인 심성암은 화강암이다.  
 (3) 화성암의 주요 조암 광물 중 염기성암(고철질암)과 산성암(규장질암)에서 모두 높은 비율을 차지하는 광물은 사장석이다.

#### 개념 적용 문제

058쪽

01 ③    02 ③    03 ②    04 ③    05 ④    06 ④

- 01 ㄱ. 용암은  $\text{SiO}_2$  함량에 따라 현무암질, 안산암질, 유문암질 용암으로 구분하며, 화산의 분출 형태나 화산체의 모양은 용암의 성질에 따라 다르게 나타난다.  
 ㄴ. 현무암질 용암은  $\text{SiO}_2$  함량이 적고 용융점이 높으며 점성이 작고 유동성이 크다. 현무암질 용암이 분출하면 순상 화산이나 용암 대지가 만들어진다.  
**바로 알기** ㄷ. 유문암질 용암은  $\text{SiO}_2$  함량이 많고 용융점이 낮으며, 점성이 크고 유동성이 작고, 휘발 성분을 많이 포함한다. 유문암질 용암이 분출하면 경사가 급한 중상 화산이나 용암 돔이 만들어진다.
- 02 ㄱ. 맨틀 물질은 자연 상태에서는 현무암의 용융 곡선과 만나지 않으므로 용융될 수 없다.  
 ㄴ.  $A \rightarrow B$  과정은 해령의 하부에서 맨틀 물질이 상승하면서 압력이 감소하여 현무암질 마그마가 생성되는 과정에 해당한다.  
**바로 알기** ㄷ. 대륙 지각의 하부인 C 지점은 화강암질 암석으로 이루어져 있으므로, 암석의 온도가 상승하여 화강암의 용융 곡선과 만나면 용융하여 유문암질(화강암질) 마그마가 생성될 수 있다. 그러나 방사성 동위 원소의 붕괴열만으로는 화강암이 용융하여 마그마가 생성될 수 없다.

- 03 ㄴ. B에서는 섭입하는 해양 지각의 암석과 해저 퇴적물에서 빠져나온 물이 그 상부의 맨틀에 공급되며 맨틀 물질의 암석의 용융점이 낮아져서 맨틀 물질의 부분 용융으로 현무암질 마그마가 생성된다.  
**바로 알기** ㄱ. A는 해령으로, 맨틀 물질이 상승하면서 압력이 감소하여 현무암질 마그마가 생성된다.  
 ㄷ. C에서는 B에서 상승한 마그마의 영향으로 대륙 지각의 하부가 가열되어 용융하여 유문암질 마그마가 생성된다.

- 04 ①, ⑤  $\text{SiO}_2$  함량이 A가 B보다 적으므로 밝은색을 띠는 규장질 광물의 구성비는 A가 B보다 낮다. 따라서 A의 색이 B의 색보다 어둡고, 구성 광물 중 석영의 함량은 A가 B보다 적다.  
 ②  $\text{SiO}_2$  함량이 낮은 A는 고철질 광물이 많으므로 Mg와 Fe의 함량비가 B보다 높다.  
 ④ A는 구성 광물 입자의 크기가 크므로 심성암이고, B는 구성 광물의 입자의 크기가 작으므로 화산암이다. 따라서 마그마의 냉각속도는 A가 B보다 느리다.  
**바로 알기** ③ 심성암인 A는 입자의 크기가 화산암인 B보다 크므로 암석이 생성된 깊이는 A가 B보다 깊다.

- 05 ㄱ. 현무암과 반력암은 모두 염기성암이므로 화학 조성은 비슷하지만, 현무암은 화산암이고 반력암은 심성암이므로 산출 상태가 다르다.  
 ㄴ. 유문암과 화강암은 모두 산성암이고, 석영, 정장석, 운모 등으로 구성되어 있으므로 구성 광물이 비슷하다. 유문암과 화강암은 고철질 광물(감람석, 휘석, 각섬석)보다 규장질 광물(석영, 정장석)을 많이 포함하므로 암석의 색은 밝은색을 띤다.  
**바로 알기** ㄷ.  $\text{SiO}_2$ 의 함량이 많은 암석일수록 Mg, Fe, Ca의 함량은 적어지고, Na, K의 함량이 많아진다.
- 06 ㄱ, ㄷ 설악산은 주로 화강암으로 이루어져 있다.  
 ㄷ. 설악산을 이루는 암석은 중생대에 관입한 마그마가 지하 깊은 곳에서 천천히 식어서 만들어졌다.  
**바로 알기** ㄴ. 설악산을 이루는 암석은 중생대에 관입한 마그마로부터 만들어졌다.

01 ③	02 ⑤	03 ④	04 ④	05 ①	06 ②
07 ③	08 ②	09 ⑤	10 ③	11 ④	12 ③

- 01 ㄱ. A, B 대륙은 각각 고생대 말 초대륙 판게아를 이루었던 남아메리카와 아프리카 대륙이다. 이 두 대륙이 붙어 있었기 때문에 두 대륙의 지질 구조(습곡과 지층)가 서로 연결된다.  
 ㄴ. 두 대륙에서는 고생대 후기의 파충류인 메소사우루스의 화석이 발견된다.  
**바로 알기** ㄷ. 화산이나 단층은 주로 판의 운동에 따라 형성되므로 대륙 이동의 증거로는 타당하지 않다.
- 02 ㄱ. B는 해령의 중심축인 열곡으로, B를 중심으로 고지자기 이상 곡선과 고지자기 역전 줄무늬가 대칭을 이룬다. A와 C의 고지자기는 같은 역자극기에 해당하므로 같은 시기에 생성된 것을 알 수 있다.  
 ㄴ. 해저 확장에 의해 A와 C는 B로부터 멀어지고 있으며, 퇴적물의 두께와 해양 지각의 나이도 B에서 A와 C로 갈수록 증가한다.  
 ㄷ. B와 C 사이, 또는 B와 A 사이의 해양 지각에서 자기 이상이 (-)의 값으로 기록된 시기가 5회이므로, B와 C 사이의 해양 지각이 생성되던 기간 동안 자극이 현재와 반대 방향으로 배열된 시기, 즉 역자극기가 5회 있었다는 사실을 알 수 있다.
- 03 ① 대서양 해저 지각의 가장 높은 연령은 약 1억 8000만 년으로, 중생대 초기에 해당된다.  
 ② 해양 지각은 해령에서 계속 생성되고 해구에서 맨틀 속으로 섭입하기 때문에 해양 지각의 평균 연령은 약 2억 년 이하이다. 그러나 대륙 지각은 맨틀속으로 하강할 수 없기 때문에 한번 생성되면 섭입하지 않아서 평균 연령이 해양 지각보다 높다.  
 ③ 지각 열류량은 단위 면적당 열의 이동량으로, 지각 변동이 활발하거나 지하에 마그마가 존재하는 곳에서 높다. 해령의 하부에서는 마그마가 상승하여 분출하므로 지각 열류량이 높다.  
 ⑤ 해령에서 멀어질수록 해양 지각의 연령이 증가하므로 오랫동안 퇴적되어 해저 퇴적층의 두께가 증가한다.

**바로 알기** ④ 대서양 중앙 해령에서 새로운 해양 지각이 형성되어 확장되기 때문에 시간이 지나면서 대서양은 넓어지고 있다.

- 04 ㄴ. 히말라야산맥은 인도—오스트레일리아판의 대륙 지각 부분과 유라시아판의 대륙 지각 부분이 충돌하여 형성된 습곡 산맥으로, 두 대륙판의 수렴 경계에 해당한다.  
 ㄷ. 인도 대륙과 유라시아 대륙의 사이에 분포하던 테티스 해가 소멸되면서 테티스 해에 쌓여 있던 해저 퇴적물이 솟아올라 히말라야산맥을 이루었다. 그 결과 현재 히말라야 산맥에서는 해양 생물의 화석이 발견된다.  
**바로 알기** ㄱ. 인도 대륙이 유라시아 대륙과 약 5000만 년 전부터 충돌하기 시작하였고, 현재도 두 대륙의 충돌이 계속되며 히말라야산맥이 높아지고 있다.
- 05 ㄱ. A는 동아프리카 열곡대로, 대륙판이 분리되는 발산 경계인 대륙 열곡대에 해당한다. B는 인도—오스트레일리아판과 유라시아판이 충돌하는 수렴 경계로, 습곡 산맥인 히말라야산맥이 형성되어 있다.  
**바로 알기** ㄴ. A는 대륙 지각에 장력이 작용하므로 정단층이 발달해 있고, B는 횡압력이 작용하므로 습곡과 역단층이 발달해 있다.  
 ㄷ. A는 대륙 열곡대로, 천발 지진만 발생한다.
- 06 ㄱ. 해구, 해령은 판이 생성되거나 소멸하는 경계이고, 변환 단층은 판이 생성되거나 소멸하지 않고 어긋나는 경계이므로 A에 알맞은 질문에 해당한다.  
 ㄷ. 해구에서는 천발 지진과 심발 지진이 모두 발생하고, 해령에서는 천발 지진만 발생하므로 B에 알맞은 질문에 해당한다.
- 07 ㄱ. 하와이 열도는 열점에서 분출한 현무암질 마그마의 화산 활동에 의해서 생성된 것이므로 하와이 열도의 화산섬을 이루는 암석은 주로 현무암이다.  
 ㄴ. 열점에서 생성된 화산섬은 태평양판의 이동에 따라 이동해 가므로 하와이섬에서 멀수록 나이가 오래된 것이다. 따라서 화산섬을 이루는 암석의 나이는 A>B>C의 순이다.  
**바로 알기** ㄷ. 열점의 위치는 고정되어 있으나 판이 이동하므로, 장차 화산지대는 하와이섬의 남서쪽에 형성될 것이다.

- 08 ② 해령의 하부인 A와 해양판의 섭입대인 B에서는 현무암질 마그마가 생성된다.

**바로 알기** ① 해령의 하부인 A에서는 맨틀 물질의 상승에 따른 압력 감소로 맨틀 물질이 용융하여 현무암질 마그마가 생성된다.

③, ④, ⑤ 섭입대에서 섭입하는 해양 지각에서 빠져 나온 물이 그 상부의 맨틀에 공급되어 맨틀 물질의 용융점이 낮아지면서 맨틀 물질이 용융하여 현무암질 마그마가 생성된다(B). B의 현무암질 마그마가 상승하면서 대륙 지각 하부에 고여 있다가 대륙 지각을 가열하여 대륙 지각의 화강암질 암석이 용융하여 유문암질 마그마가 생성된다(C). C의 유문암질 마그마가 B에서 상승하는 현무암질 마그마와 섞이면 안산암질 마그마가 만들어지기도 한다. 따라서 C의 지표에서는 유문암질이나 안산암질 마그마에 의한 화산 활동이 일어난다.

- 09 ㄱ. A는 해령에 가까이 위치하는 해양 지각이므로 지각의 연령이 적고, B는 대륙 지각이므로 A가 B보다 지각의 연령이 적다.

ㄴ. B는 해구 부근이므로 천발~심발 지진이 발생하고, C는 변환 단층에 위치하므로 천발 지진이 발생한다. 따라서 천발 지진은 B와 C에서 모두 발생한다.

ㄷ. 산안드레아스 단층은 육지에 노출된 변환 단층으로, 판의 보존 경계에 해당한다.

- 10 ㄱ. ㉠의 마그마는 해령 하부에서 맨틀 물질의 상승에 따른 압력 감소로 용융되는 것이므로 B 과정으로 생성되는 마그마이다.

ㄷ. ㉡의 마그마는 해구에서 해양판이 대륙판 아래로 섭입하며 해양 지각에서 빠져나온 물이 맨틀에 공급되어 맨틀 물질의 용융점을 낮추어 용융되는 것이므로 C 과정으로 생성되는 마그마이다.

**바로 알기** ㄴ. ㉢의 마그마는 열점에서 생성되는 마그마로, 맨틀 물질이 상승에 따른 압력 감소인 B 과정으로 생성되며, 하와이와 같은 화산섬을 형성한다.

- 11 ㄴ.  $\text{SiO}_2$  함량이 66% 이상인 암석이 산성암이므로, B와 D가 산성암에 해당한다.

ㄷ.  $\text{SiO}_2$  함량이 적을수록 암석이 어두운색을 나타내므로, 가장 어두운색의 암석은 A이다.

**바로 알기** ㄱ. 화산암은 세립질 조직이나 유리질 조직, 또는 반상 조직을 이룬다. 따라서 그림에서 세립질 조직을 이루는 C와 D는 화산암에 해당하며, A와 B는 심성암에 해당한다.

- 12 ㄱ. 제주도는 주로 신생대의 화산 분출로 형성되었으며, 주로 현무암으로 이루어져 있다.

ㄷ. 칼데라호는 대규모의 화산 폭발이 일어나며 화구가 붕괴하여 만들어진 호수이다.

**바로 알기** ㄴ. 현무암은 마그마가 지표에서 식어서 굳어 만들어진 화산암이다.

#### 사고력 확장 문제

068쪽

- 01 (1) A는 인도-오스트레일리아판의 대륙 지각 부분과 유라시아판의 대륙 지각 부분이 충돌하는 수렴 경계이고, B는 해양판인 태평양판과 필리핀판이 수렴하는 경계로서 태평양판이 필리핀판 아래로 섭입한다. C는 대서양 중앙 해령으로서 새로운 해양판이 생성되는 곳이고, D는 해양판인 나스카판이 대륙판인 남아프리카판 아래로 섭입하는 곳이다. E는 변환 단층으로서 판의 생성이나 소멸이 없는 곳이다.

(2) 해구에서 해양판이 다른 판 아래로 비스듬히 섭입하는 섭입대에서 천발~심발 지진이 발생하며, 고지자기 역전의 줄무늬가 대칭적으로 나타나는 지역은 해령이고, 판의 생성이나 소멸이 없는 변환 단층에서는 지진만 발생한다. 천발 지진과 함께 화산 활동도 활발한 판 경계는 해령이다.

**모범 답안** (1) A: 두 대륙판의 수렴 경계로, 습곡 산맥(히말라야산맥)이 발달해 있다. B: 두 해양판의 수렴 경계로, 해구가 발달해 있다. C: 발산 경계로, 대서양 중앙 해령이 발달해 있다. D: 해양판과 대륙판의 수렴 경계로, 해구가 발달해 있다. E: 보존 경계로, 변환 단층이 발달해 있다.

(2) 천발 지진부터 심발 지진까지 발생하는 지역은 해양판인 태평양판이 해양판인 필리핀판 아래로 섭입하는 B의 마리아나 해구와 해양판인 나스카판이 대륙판인 남아메리카판 아래로 섭입하는 D의 페루 해구이다. 고지자기 역전의 줄무늬가 대칭적으로 나타나는 지역은 해령에서 새로운 해양판이 생성되어 양쪽으로 확장하는 C의 대서양 중앙 해령이다. 화산 활동은 없고 지진만 발생하는 지역은 변환 단층인 E 지역과 습곡 산맥인 A 지역이다. 주로 천발 지진과 함께 화산 활동이 활발한 지역은 해령이므로 C의 대서양 중앙 해령에 해당한다.

채점 기준		배점(%)
(1)	판 경계의 종류와 각 경계에 발달한 지형을 모두 옳게 서술한 경우	40
	판 경계의 종류나 발달한 지형 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	20
(2)	4가지 경우에 해당하는 지역을 모두 옳게 서술한 경우	60
	4가지 경우에 해당하는 지역 중 3가지만 옳게 서술한 경우	40
	4가지 경우에 해당하는 지역 중 두 가지만 옳게 서술한 경우	30

02 (1) 해령의 열곡에서는 마그마가 분출하여 새로운 해양 지각이 생성되고, 해저 확장에 의해 열곡 양쪽으로 멀어져 간다. 열곡에서 멀어질수록 해양 지각의 연령이 많아지므로, A 지점보다 해령(열곡)으로부터의 거리가 먼 B 지점의 해양 지각의 연령이 더 많다.

(2) C는 해령과 해령 사이에서 두 해양판이 서로 반대 방향으로 이동하는 변환 단층에 해당한다.

**모범 답안** (1) B 지점의 지각의 연령이 더 많다.

(2) C에 발달한 변환 단층은 단층을 경계로 양쪽 판의 이동 속도 차이 때문에 형성된 것이며, 변환 단층에서는 판의 생성이나 소멸은 없고, 판이 서로 반대 방향으로 이동하기 때문에 천발 지진이 발생하고 화산 활동은 일어나지 않는다.

채점 기준		배점(%)
(1)	A 지점과 B 지점의 해양 지각의 나이를 옳게 비교한 경우	40
	A 지점과 B 지점의 해양 지각의 나이를 옳게 비교하지 못한 경우	20
(2)	C에 발달한 변환 단층의 형성 원인 및 지각 변동을 모두 옳게 서술한 경우	60
	C에 발달한 변환 단층의 형성 원인과 지각 변동 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	30

03 (1) A는 해양판이 다른 해양판 아래로 섭입하는 곳에 형성되는 호상 열도이고, B는 해령과 해령 사이에서 두 판이 서로 어긋나며 형성되는 변환 단층이다. C는 해령이고, D는 해구이다.

(2) 해령(C)과 변환 단층(B)에서는 천발 지진만 발생하고, 해구 부근의 섭입대(D)에서는 천발 지진부터 심발 지진까지 모두 발생한다.

**모범 답안** (1) A: 호상 열도, B: 변환 단층, C: 해령, D: 해구

(2) 천발 지진만 발생하는 곳은 B와 C이고, 천발 지진부터 심발 지진까지 모두 발생하는 곳은 D이다. B의 해령의 열곡에서 마그마가 분출하며 천발 지진이 발생하고, C의 변환 단층에서는 두 판이 서로 어긋나는 방향으로 이동하며 천발 지진만 발생하고, D의 해구 부근의 섭입대에서는 해양판이 다른 판 아래로 섭입하며 천발 지진부터 심발 지진까지 모두 발생한다.

채점 기준		배점(%)
(1)	네 가지 지형을 모두 옳게 서술한 경우	50
	네 가지 지형 중 두 가지만 옳게 서술한 경우	20
(2)	천발 지진만 발생하는 곳과 천발~심발 지진이 발생하는 곳을 모두 옳게 서술한 경우	50
	천발 지진만 발생하는 곳 또는 천발~심발 지진이 발생하는 곳 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	20

04 (1) A는 해령으로, 마그마의 상승과 분출에 따른 화산 활동에 의해 새로운 해양 지각이 생성되어 해령 양쪽으로 멀어지며 해저가 확장되는 곳이다. 따라서 해령에서 멀어질수록 해양 지각의 나이와 해저 퇴적물의 연령 및 두께가 증가한다.

(2) 해령에서 분출한 용암이 굳어서 새로운 해양 지각이 생성될 때 자성을 띠는 광물이 지구 자기장 방향으로 자화되고, 해양 지각이 확장되면서 해령으로부터 멀어진다. 지구 자기장의 방향이 바뀌면 새로 만들어진 해양 지각의 암석은 당시 지구 자기장의 방향을 기록하고, 이러한 과정이 반복되면서 해양 지각에 고지자기 역전 줄무늬가 대칭적으로 형성된다.

**모범 답안** (1) 해령의 열곡인 A에서 새로운 해양 지각이 생성되어 해저 확장에 따라 멀어져 가므로 A에서 멀어질수록 해양 지각의 연령이 증가하고 해저 퇴적물의 나이와 두께도 증가한다.

(2) 고지자기 역전 줄무늬가 나타나는 까닭은 해저 확장 때문이다. 즉, 해령에서 분출한 용암이 굳어서 새로운 해양 지각이 만들어질 때 현재 지구 자기장과 같은 방향으로 자화되고, 이 해양 지각이 열곡에서 멀어지고 다시 새로운 해양 지각이 생성될 때 지구 자기장의 방향이 역전된 상태에서 잔류 자기가 기록되면 고지자기 역전 줄무늬가 대칭적으로 나타난다.

채점 기준		배점(%)
(1)	해양 지각의 연령, 퇴적물의 나이와 두께를 모두 옳게 서술한 경우	50
	해양 지각의 연령, 퇴적물의 나이와 두께를 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	20
(2)	고지자기 역전 줄무늬의 형성 원리를 지자기 역전과 해저 확장과 관련지어 옳게 서술한 경우	50
	고지자기 역전 줄무늬의 형성 원리를 해저 확장에 관련지어 서술하였으나, 지자기 역전에 대해 옳지 않게 서술한 경우	20

05 (1) A는 호상 열도로, 해양판과 해양판이 수렴하는 경계에 분포한다. 호상 열도는 안산암질 마그마의 분출로 생성된다. 해양판이 해구에서 다른 해양판 아래로 섭입하면, 해양 지각에서 물이 빠져나와 그 상부의 맨틀에 공급되면서 맨틀 물질의 용융점이 낮아져서 맨틀 물질이 용융하여 현무암질 마그마가 만들어진다. 이렇게 만들어진 현무암질 마그마가 상승하는 과정에서 유문암질 마그마와 혼합되거나, 현무암질 마그마가 상승하는 과정에서 마그마의 조성이 변화하여 안산암질 마그마가 만들어지기도 한다.

(2) B는 해령으로, 해령 하부에서 맨틀 물질이 상승하면 압력이 감소하여 맨틀 물질의 용융 곡선과 만나 용융하여 현무암질 마그마가 만들어진다.

(3) 섭입대의 대륙 지각 하부 맨틀에서 현무암질 마그마가 생성되어 상승하고, 대륙 지각 하부에서 생성된 유문암질 마그마가 상승하는 과정에서 두 마그마가 혼합되어 안산암질 마그마가 생성될 수 있다. 유문암질 마그마와 안산암질 마그마는 폭발적으로 분출하여 경사가 급한 화산체를 형성한다.

**(모범 답안)** (1) A는 호상 열도로, 주로 안산암질 마그마에 의한 화산 활동으로 만들어진다.

(2) B는 해령으로, 해령 하부에서는 현무암질 마그마가 주로 생성되며, 맨틀 물질이 상승하면서 압력 감소로 용융하여 만들어진다.

(3) 섭입대의 대륙 지각 하부에서 유문암질 마그마가 만들어지고, 그 아래쪽에서 상승하던 현무암질 마그마와 혼합되어 안산암질 마그마가 만들어지기도 한다. 유문암질 마그마와 안산암질 마그마는 폭발적으로 분출하여 경사가 급한 화산체가 만들어진다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	A의 지형을 형성하는 마그마의 종류를 옳게 서술한 경우	30
	A의 지형을 형성하는 마그마의 종류를 옳지 않게 서술한 경우	10
(2)	B의 하부에서 생성되는 마그마의 종류와 그 생성 과정을 모두 옳게 서술한 경우	30
	B의 하부에서 생성되는 마그마의 종류와 그 생성 과정 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	10
(3)	C의 하부에서 생성되는 마그마의 종류와 화산 활동의 특징을 모두 옳게 서술한 경우	40
	C의 하부에서 생성되는 마그마의 종류와 화산 활동의 특징 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	20

06 (1) 하와이섬은 열점 위에 형성된 화산섬으로, 열점은 뜨거운 플룸이 상승하는 곳이다.

(2) A섬으로부터의 E섬까지의 거리 2500 km를 이동하는데 약 2500만 년이 걸렸으므로, 태평양판의 평균 이동 속도는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\frac{2.5 \times 10^8 \text{ cm}}{2.5 \times 10^7 \text{ 년}} = 10 \text{ cm/년}$$

**(모범 답안)** (1) 뜨거운 플룸이 상승하며 지표에서 화산 활동이 일어나는 지점이 열점으로, 하와이섬은 열점에 위치한다. 열점은 이동하지 않고 고정되어 있으나, 태평양판이 이동함에 따라 열점에서 만들어진 화산섬이 이동하여 하와이 열도가 생성되었다.

(2) A섬으로부터 2500 km 떨어진 E섬의 연령이 2500만 년이므로, 지난 2500만 년 동안 태평양판의 평균 이동 속도는 약 10 cm/년이다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	하와이 열도의 형성 과정을 열점 및 판의 이동과 관련지어 옳게 서술한 경우	50
	하와이 열도의 형성 과정을 열점 또는 판의 이동 중 한 가지만 관련지어 서술한 경우	20
(2)	화산섬까지의 거리와 화산섬의 연령을 이용하여 태평양판의 평균 이동 속도를 옳게 구한 경우	50
	화산섬까지의 거리와 화산섬의 연령을 이용하여 방정식을 옳게 세웠으나, 태평양판의 평균 이동 속도를 옳게 구하지 못한 경우	20

07 (1) 염기성암에서 산성암으로 갈수록 Fe, Ca, Mg의 산화물 함량이 적어지고, Na, K의 산화물 함량과 SiO<sub>2</sub> 함량이 많아진다.

(2) 염기성암 → 중성암 → 산성암으로 갈수록 SiO<sub>2</sub> 함량이 증가하며 석영, 정장석 등의 규장질 광물 함량이 많아져서 암석의 색이 밝아진다.

**(모범 답안)** (1) 염기성암은 Ca, Mg, Fe의 함량이 많고 SiO<sub>2</sub>의 함량이 적다. 산성암은 Ca, Mg, Fe의 함량이 적고, SiO<sub>2</sub>의 함량이 많다.

(2) SiO<sub>2</sub>의 함량이 증가할수록 석영과 정장석 등의 규장질 광물 함량이 증가하므로, 암석의 색이 밝아진다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	염기성암과 산성암의 구성 원소를 Mg, Fe, Ca의 함량과 SiO <sub>2</sub> 의 함량으로 옳게 비교하여 서술한 경우	50
	염기성암과 산성암의 구성 원소를 Mg, Fe, Ca의 함량 또는 SiO <sub>2</sub> 의 함량 중 한 가지만 옳게 비교하여 서술한 경우	20
(2)	SiO <sub>2</sub> 함량이 증가할수록 암석의 색이 밝아지는 것을 규장질 광물의 함량과 관련지어 옳게 서술한 경우	50
	SiO <sub>2</sub> 함량이 증가할수록 암석의 색이 밝아진다고만 서술한 경우	20

08 (1)  $\text{SiO}_2$ 의 함량이 52 % 이하이면 염기성암(고철질암)이고 66 % 이상이면 산성암(규장질암)이다. 염기성암은 산성암보다 유색 광물의 함량이 많으며, Fe이나 Mg의 성분이 많을수록 암석의 밀도가 커진다. 따라서 A는 염기성암, B는 산성암이고, A가 B보다 암석의 밀도가 크다.

(2) 화산암인 A는 마그마의 냉각 속도가 빨라서 구성 광물의 크기가 매우 작고, 심성암인 B는 마그마가 지하 깊은 곳에서 천천히 냉각되어 구성 광물의 크기가 비교적 크다.

**(모범 답안)** (1) A는  $\text{SiO}_2$ 의 함량이 50 % 미만이고, B는  $\text{SiO}_2$ 의 함량이 70 % 이상이므로, A는 염기성암이고, B는 산성암이다. 염기성암은 Fe, Mg 등의 함량이 산성암보다 많아서 밀도가 크므로, A가 B보다 밀도가 크다.

(2) 화산암인 A는 심성암의 B보다 마그마의 냉각 속도가 빨라서 구성 광물의 크기가 작다.

채점 기준		배점(%)
(1)	화학 조성 중 $\text{SiO}_2$ 함량을 비교하여 A는 염기성암, B는 산성암임을 판단하고, 두 암석의 밀도를 옳게 비교한 경우	50
	A와 B의 화학 조성 비교와 밀도 비교 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	20
(2)	화산암과 심성암의 조직과 마그마의 냉각 속도를 모두 옳게 비교하여 서술한 경우	50
	화산암과 심성암의 조직과 마그마의 냉각 속도 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	20

## 2. 지구의 역사

### 01 퇴적암과 지질 구조

#### 탐구 확인 문제

085쪽

01 ㄱ, ㄴ

02 ㉟

01 ㄱ. 건열은 입자가 매우 작은 퇴적물이 건조한 환경에 노출되면서 표면이 갈라져서 만들어진 것이다.

ㄴ. (나)의 사층리에서 물이나 바람은 층리가 경사진 방향으로 흐른 것이므로, a→b 방향으로 흘렀다.

**(바로 알기)** ㄷ. (가)의 건열의 좁아지는 부분이 아래로 향하고 (나)의 사층리에서 층리면의 경사가 위쪽으로 갈수록 커지므로 (가)와 (나)의 지층 모두 역전되지 않았다.

02 (가)는 점이 층리이고, (나)는 연흔이다. (가)의 점이 층리는 다양한 크기의 입자가 섞인 물질이 빠르게 이동하다가 유속이 갑자기 느려지면서 크고 무거운 입자가 먼저 가라앉고 그 위에 작고 가벼운 입자가 쌓이면서 만들어진 것이다. (나)는 수심이 얕은 물 밑에서 만들어졌고, 입자의 크기가 작은 사암에서 발달한다.

#### 개념 모아 정리하기

086쪽

- ① 교결 작용   ② 쇄설성   ③ 화학적   ④ 유기적   ⑤ 점이 층리  
 ⑥ 사층리   ⑦ 연흔   ⑧ 건열   ⑨ 육상 환경   ⑩ 정습곡  
 ⑪ 횡와 습곡   ⑫ 정단층   ⑬ 역단층   ⑭ 평행 부정합  
 ⑮ 경사 부정합   ⑯ 난정합   ⑰ 압력   ⑱ 주상 절리  
 ⑲ 포획   ⑳ 퇴적 구조

#### 개념 기본 문제

087쪽

01 ㉠ 공극, ㉡ 압축 또는 다짐, ㉢ 교결

02 (1) ㉡ (2) ㉢

(3) ㉢ (4) ㉠

03 (1) ㄱ, ㄷ (2) ㄴ

04 (1) × (2) ○ (3) ○

05 (1) (다) (2) (나) (3) (가)

06 ㄱ, ㄴ, ㄷ

07 ㄱ, ㄷ

01 미교결 상태의 퇴적물이 쌓인 후 퇴적암이 되기까지의 과정을 속성 작용이라 하며, 속성 작용은 압축 작용과 교결 작용으로 이루어진다.

**02** 퇴적물 입자가 모래로 이루어진 퇴적암은 사암이고, 점토로 이루어진 퇴적암은 이암이다. 화산재가 쌓여 만들어진 퇴적암은 응회암이고, 식물의 잔해로 만들어진 퇴적암은 석탄이다.

**03** 석고와 암염은 화학적 퇴적암이고, 석탄은 유기적 퇴적암이며, 집괴암, 응회암, 이암은 쇄설성 퇴적암이다.

**04** (1) 빙하 퇴적물이 쌓여 만들어진 빙퇴석은 분급이 매우 불량하다.  
 (2) 산지와 평지 사이처럼 경사가 급격히 변하는 곳에서는 퇴적물이 부채꼴 모양으로 쌓인 선상지가 발달한다.  
 (3) 대륙 사면에서는 대륙붕의 끝 부분에 쌓인 퇴적물이 갑자기 무너져 흘러내리는 저탁류가 발생하는데, 저탁류가 대륙대에 쌓여 만들어진 저탁암에서는 점이 층리가 발달한다.

**05** (가)는 사층리, (나)는 점이 층리, (다)는 대칭적 연흔을 나타낸 것이다. 연흔은 얇은 물밑 환경에서 파도나 물결의 영향을 받아 만들어지고, 점이 층리는 해저 퇴적물이 해저 지진이나 화산 활동 등에 의해 수심이 깊은 곳으로 한꺼번에 흘러내릴 때 형성되며, 사층리에서 층리가 기울어진 방향으로부터 물이나 바람의 방향을 알아낼 수 있다.

**06** (가)는 정단층, (나)는 역단층, (다)는 주향 이동 단층이다.  
 ㄱ. (가)의 정단층은 장력에 의해 형성된다.  
 ㄴ. (나)의 역단층은 횡압력에 의해 형성된다.  
 ㄷ. 판의 보존 경계에서는 주향 이동 단층의 한 종류인 (다)의 변환 단층이 형성된다.

**07** ㄱ. A층이 습곡 구조를 이루고 역단층이 형성되어 있으므로 이 지역에는 횡압력이 작용하였음을 알 수 있다.  
 ㄷ. A층과 B층은 부정합 관계이므로, 두 지층 사이에는 긴 시간 공백이 나타난다.  
**바로 알기** ㄴ. 단층의 상반이 하반에 대하여 상대적으로 위쪽으로 올라간 모습이므로, 이 단층은 역단층이다.

#### 개념 적용 문제

088쪽

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

**01** ㄴ. 사암, 역암, 응회암은 모두 쇄설성 퇴적암이다.  
 ㄷ. 석회암과 처트는 물에 용해되어 있던 탄산 칼슘이나 규질 물질이 침전하여 만들어지거나 생물의 석회질이나 규질 부분이 퇴적되어 만들어질 수 있으므로, 화학적 퇴적암 또는 유기적 퇴적암으로 분류할 수 있다.

**바로 알기** ㄱ. 암염은 화학적 퇴적암에 해당한다.

**02** ㄱ. (가)는 연흔, (나)는 건열이며, 그림은 모두 층리면의 모습에 해당한다.  
 ㄴ. (다)는 사층리로, 층리면이 경사진 방향으로부터 물이 흐르거나 바람이 분 방향을 유추할 수 있다.  
 ㄷ. 연흔, 건열, 사층리는 지층의 역전을 판단하는 기준으로 사용될 수 있다.

**03** 그림의 퇴적 구조는 점이 층리로, 아래에서 위로 갈수록 입자의 크기가 점점 작아지는 퇴적 구조이며 저탁암에서 잘 나타난다. 점이 층리는 대륙 사면에서 저탁류가 일어나거나 홍수가 발생하여 퇴적물이 빠르게 유입되고, 유속이 급격하게 느려지면서 크고 무거운 입자가 먼저 가라앉고 작고 가벼운 입자가 서서히 가라앉으며 형성된다.

**바로 알기** ④ 점이 층리는 퇴적물의 운반 과정에서 유속이 급격하게 감소할 때 형성된다.

**04** ㄱ. (가)는 정단층으로, 장력이 작용하여 만들어졌다.  
 ㄴ. (나)는 습곡으로, 횡압력이 작용하여 만들어졌다.  
**바로 알기** ㄷ. 단층은 습곡 작용이 일어나는 깊이보다 온도와 압력이 낮은 지각 상부에서 발달한다.

**05** 난정합은 부정합면 아래의 지층이 변성암이나 화성암인 경우이고, 경사 부정합은 부정합면 아래나 위의 지층이 경사져 있는 경우이다. 따라서 변성암 A와 화성암 B는 퇴적암 C와 난정합 관계이고, 퇴적암 E와 퇴적암 F는 평행 부정합 관계이며, 퇴적암 C와 퇴적암 D는 경사 부정합 관계이다.

- 06 ㄱ. (가)는 주상 절리로, 지표에 분출된 용암이 급격히 냉각하면서 수축하여 형성된다.

**바로 알기** ㄴ. (나)는 판상 절리로, 심성암이 응기하고 상부의 암석이 제거되면 압력이 감소하면서 암석이 서서히 팽창하여 표면에서부터 쪼개지면서 형성된다.

ㄷ. (가)의 주상 절리는 화산암에서 나타나며, (나)의 판상 절리는 심성암에서 나타난다. 따라서 (가)의 암석은 (나)의 암석보다 얇은 곳에서 생성되었다.

- 07 ㄷ. 포획암은 마그마가 주변의 지층이나 암체를 뚫고 관입할 때 주변 암석의 일부가 떨어져 나와 마그마 속으로 유입된 것이다.

**바로 알기** ㄱ. 관입암 A는 암맥이므로 세립질 조직을 이룬다. 이는 암맥, 관입암상과 같은 소규모의 관입암체는 지표 부근의 비교적 차가운 암석에 관입하여 빠르게 냉각되기 때문이다.

ㄴ. 포획암을 포함하는 관입암 C는 포획암 D보다 나중에 만들어진 것이다.

- 08 ㄱ. 전라북도 부안 채석강에는 중생대 후기에 생성된 세일층과 역암층이 분포한다.

ㄴ. 제주도 수월봉에는 신생대의 화산 활동으로 분출된 화산쇄설물이 쌓여 만들어진 응회암층이 분포한다.

ㄷ. 채석강과 수월봉의 퇴적층에는 해안을 따라 해식 절벽이 발달해 있다.

## 02 지질 시대와 환경

### 탐구 확인 문제

105쪽

- 01 해설 참조      02 ③

- 01 이 지역에서 지층 A, B, C, D가 차례로 퇴적된 후 습곡 작용을 받았고, 화성암 P가 관입한 후 응기하여 부정합면 X-X'이 형성되었다. 그 후 침강하여 지층 E, F, G가 차례로 퇴적된 후 장력의 작용으로 정단층 f-f'이 형성되었으며, 화성암 Q가 관입한 후 응기하여 현재의 지표면을 형성하였다.

- 02 ㄱ. 그림 (가)에서 지층 A와 B 사이에 부정합면이 존재하므로, 두 지층의 생성 시기 사이에는 큰 시간 간격이 있다.

ㄴ. 암맥 C에 방사성 동위 원소 X가 처음 양의 25% 남아 있으므로, 암맥 C가 생성된 후 방사성 동위 원소 X의 반감기는 2회 경과하였다.

**바로 알기** ㄷ. 그림 (나)에서 방사성 동위 원소 X의 반감기가 2억 5천만 년인 것을 확인할 수 있다. 방사성 동위 원소 X가 처음 양의 25% 남아 있는 암맥 C는 반감기가 2회 경과하였으므로 암맥 C의 절대 연령은 5억 년이다. 방사성 동위 원소 X가 처음 양의 50% 남아 있는 암맥 D는 반감기가 1회 경과하였으므로, 암맥 D의 절대 연령은 2억 5천만 년이다.

### 개념 모아 정리하기

107쪽

- ① 동일 과정의 원리    ② 수평 퇴적의 법칙    ③ 지층 누층의 법칙  
④ 동물군 천이의 법칙    ⑤ 관입의 법칙    ⑥ 부정합의 법칙  
⑦ 상대 연령    ⑧ 지층 대비    ⑨ 암상    ⑩ 건층(열쇠층)  
⑪ 화석    ⑫ 방사성 동위 원소    ⑬ 자원소    ⑭ 반감기  
⑮ 표준 화석    ⑯ 시상 화석    ⑰ 빙하    ⑱ 누대    ⑲ 원생 누대  
⑳ 어류    ㉑ 트라이아스기    ㉒ 포유류

### 개념 기본 문제

108쪽

- 01 (1) 수평 퇴적의 법칙    (2) 지층 누층의 법칙    (3) 부정합의 법칙  
(4) 관입의 법칙    (5) 동물군 천이의 법칙    02 ㄱ, ㄷ  
03 (1) A → C → B    (2) A → B → C    04 ㄴ, ㄷ    05 ㄱ, ㄷ, ㄹ  
06 ㄱ, ㄴ, ㄷ    07 ㄱ, ㄷ    08 (라) - (나) - (다) - (가)  
09 (1) ×    (2) ×    (3) ○    10 ㄴ, ㄷ

- 01 (1) 물속에서 퇴적물이 퇴적될 때 중력의 영향으로 수평면과 나란하게 쌓인다는 법칙을 수평 퇴적의 법칙이라고 한다.  
(2) 지층의 역전이 일어나지 않은 경우에 아래에 놓인 지층은 항상 위에 놓인 지층보다 먼저 퇴적된다는 법칙을 지층 누층의 법칙이라고 한다.  
(3) 부정합면을 경계로 상하의 지층 사이에는 긴 시간 간격이 있다는 법칙을 부정합의 법칙이라고 한다.  
(4) 관입 당한 암석은 관입한 암석보다 먼저 생성되었다는 법칙을 관입의 법칙이라고 한다.

(5) 오래된 지층에서 새로운 지층으로 갈수록 진화한 생물이 발견된다는 법칙을 동물군 천이의 법칙이라고 한다.

**02** ㄱ. (가) 지역은 삼엽충 화석이 발견되는 셰일층과 암모나이트 화석이 발견되는 석회암층이 부정합 관계이므로, 과거에 퇴적이 중단된 시기가 있었다.

ㄷ. (가), (나) 두 지역 모두 응회암층이 분포하므로 과거에 두 지역 모두 화산 활동의 영향을 받았다.

**바로 알기** ㄴ. 응회암층을 건층으로 하여 두 지역의 지층을 대비하면 (나) 지역의 A층은 (가) 지역의 응회암층 위의 셰일층과 연결된다. 따라서 A층은 고생대보다 나중에 생성된 지층이므로 A에서는 삼엽충 화석이 발견될 수 없다.

**03** (1) (가) 지역에서는 화성암 B와 접촉한 지층 A와 C가 변성 작용을 받았으므로 마그마가 관입한 것이다. 따라서 지층의 생성 순서는  $A \rightarrow C \rightarrow B$ 이다.

(2) (나) 지역에서는 화성암 B와 접촉한 지층 A만 변성 작용을 받았으므로 마그마가 분출한 후에 지층 C가 퇴적된 것이다. 따라서 지층의 생성 순서는  $A \rightarrow B \rightarrow C$ 이다.

**04** ㄴ. (가)의 지층의 단면을 해석하면 이 지역에서 일어났던 지질학적 사건의 순서는 'B 퇴적  $\rightarrow$  화성암 Q 관입  $\rightarrow$  용기 및 침식  $\rightarrow$  침강  $\rightarrow$  A 퇴적  $\rightarrow$  화성암 P 관입' 순이다. 또 화성암 Q에 포함된 방사성 동위원소 X가 처음 양의 25%가 남았으므로, 반감기가 2회 경과한 것이어서 화성암 Q의 절대 연령은 14억 년이다. 따라서 퇴적암 B의 절대 연령은 14억 년보다 많다.

ㄷ. 관입암 P는 모든 암석과 지층을 뚫고 있으므로, 가장 나중에 생성된 것이다.

**바로 알기** ㄱ. 부정합면 위에 있는 A층의 하부에 역암층이 분포하므로, 이 지층은 역전되지 않았다.

**05** ㄱ, ㄷ, ㄹ 생물체가 화석으로 보존하려면 생물체의 개체수가 많아야 하고, 넓은 지역에 분포해야 하며, 생물체에 떠나 줄기, 껍데기 등과 같은 단단한 부분이 있거나 땅속에 빨리 매몰되어 미생물에 의해 분해되지 않아야 한다.

**바로 알기** ㄱ. 고생물의 유해가 퇴적물 속에 빠르게 매몰되어야 다른 생물의 먹이가 되지 않고, 박테리아에 의한 분해 작용을 받지 않아 화석으로 보존될 확률이 높다.

**06** ㄱ, ㄷ A는 생존 기간이 길고 분포 면적이 좁으므로 시상 화석이며, 고사리와 산호는 시상 화석에 해당한다.

ㄴ. B는 생존 기간이 짧고 분포 면적이 넓으므로 표준 화석이며, 삼엽충과 공룡은 표준 화석에 해당한다.

**바로 알기** ㄹ. 지질 시대의 구분에 이용되는 것은 표준 화석이다. 시상 화석은 지질 시대의 환경을 유추하는 데 이용된다.

**07** ㄱ. 지질 시대는 시생 누대, 원생 누대, 현생 누대로 구분하며, 현생 누대는 고생대, 중생대, 신생대로 구분하고, 대는 다시 기로 구분한다.

ㄷ. 현생 누대는 생물의 출현과 멸종을 기준으로 고생대, 중생대, 신생대로 구분한다.

**바로 알기** ㄴ. 시생 누대와 원생 누대를 선캄브리아 시대라고 한다. 현생 누대는 고생대, 중생대, 신생대로 구분한다.

**08** (가)의 화폐석, 매머드, 속씨식물은 신생대에 번성하였고, (나)의 삼엽충, 방추충, 갑주어 등은 고생대에 번성하였으며, (다)의 파충류와 공룡은 중생대에 번성하였다. (라)의 남세균의 광합성으로 산소가 생성되기 시작한 지질 시대는 선캄브리아 시대이다. 따라서 오래된 지질 시대부터 순서대로 나열하면 (라) - (나) - (다) - (가)이다.

**09** (1) 선캄브리아 시대, 고생대, 신생대에는 빙하기가 있었으며, 중생대에는 빙하기가 없었다.

(2) 고생대 말 빙하기에는 남극 대륙을 중심으로 빙하가 분포하였으나, 적도 지방은 온난하였다.

(3) 신생대 제4기에는 빙하와 간빙기가 여러 차례 반복되었다.

**10** ㄴ. (가)는 초대륙 판게아가 존재하던 고생대 말의 수륙 분포에 해당하며, 페름기 말 대멸종으로 해양 생물의 약 90%가 멸종되었다.

ㄷ. (나)는 판게아가 분리되기 시작하던 중생대 초의 수륙 분포로, 중생대에는 육지에서 파충류가 번성하였고, 바다에서는 암모나이트가 번성하였다.

**바로 알기** ㄱ. (가)는 고생대 말, (나)는 중생대 초의 수륙 분포를 나타낸 것이다.

개념 적용 문제

110쪽

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

01 나. 삼엽층은 고생대의 화석이고, 암모나이트는 중생대의 화석이다. 따라서 동물군 천이의 법칙에 의해 C가 D보다 오래된 지층이다.

르. 지층 G는 경사층이고 지층 H는 수평층이므로 두 지층은 부정합 관계이다. 따라서 부정합의 법칙에 의해 G가 H보다 오래된 지층이다.

**바로 알기** 가. 퇴적암 B에서 화성암 A와 접촉하고 있는 부분이 변성 작용을 받았으므로 화성암 A가 지층 B를 관입하였다. 따라서 관입의 법칙에 의해 B가 A보다 오래된 지층이다.

다. 지층 E 속에 화성암 F의 조각이 들어 있으므로, 화성암 F는 지층 E를 관입한 것이 아니고 분출한 것이며, 이 화성암이 침식 작용을 받은 후 지층 E가 퇴적된 것이다.

02 나. (가)의 퇴적암 A와 C에서 화성암 B와 접촉하고 있는 경계부가 변성 작용을 받았으므로, 이 지역의 지층은 A 퇴적 → C 퇴적 → 화성암 B 관입 순으로 생성되었다. 따라서 X는 화성암 B가 관입할 때 A나 C의 암석 조각이 포획된 것이다.

르. (나)의 퇴적암 D에서 화성암 E와 접촉하고 경계부가 변성 작용을 받았으나 F는 변성 작용을 받지 않았으므로, 이 지역의 지층과 암석은 D 퇴적 → 화성암 E 분출 → 침식 → F 퇴적 순으로 생성되었다. 따라서 Y는 침식 작용을 받아 생성된 기저 역암이다.

**바로 알기** 가. A와 C가 퇴적된 이후에 화성암 B가 관입하였으므로 C가 B보다 오래된 암석이다.

다. 지층 D의 퇴적 후 화성암 E가 분출하였으므로, 암석의 생성 순서는 D → E → F이다.

03 가. (가)의 포획암은 마그마 관입 당시 기준에 분포하던 암석 조각이 포획된 것이다.

다. (가)와 (나)에서 기저 역암은 지층이 융기한 후 침식 작용을 받아서 생성된 것이다.

**바로 알기** 나. (나)에서 부정합의 종류는 부정합면 아래쪽의 지층이 습곡 작용을 받아 경사져 있으므로 경사 부정합이다. 평행 부정합은 부정합면 위와 아래의 지층이 모두 평행한 경우이다.

04 가. 네 지역에 공통으로 분포하는 응회암층을 건층으로 하여 지층을 대비하면 ① 역암 → ② 사암 → ③ 석회암 → ④ 응회암 → ⑤ 사암 → ⑥ 이암 → ⑦ 역암 → ⑧ 셰일 순으로 총 8개의 지층이 나타난다.

다. (가)~(라) 지역에서 가장 오래된 지층은 (나) 지역의 가장 하부에 분포하는 역암층이며, 가장 최근에 퇴적된 지층은 (다)와 (라) 지역의 가장 위쪽에 분포하는 지층인 셰일층이다.

**바로 알기** 나. (가) 지역의 지층에서 위쪽의 사암과 역암층 사이에 이암층이 분포하지 않으므로, 이 지역의 지층에는 부정합이 존재한다.

05 나. (가)~(다) 지역의 지층에서 공통적으로 산출되는 방추층 화석이 포함된 지층을 기준으로 지층을 대비하면 (나) 지역에는 삼엽층이 산출되는 지층과 방추층이 산출되는 지층 사이의 사암층이 없는데, 이것은 두 지층이 부정합 관계임을 의미한다. 따라서 (나) 지역에는 오랫동안 퇴적이 중단된 시기가 존재한다.

다. (다) 지역의 맨 위의 지층에서 고사리 화석이 산출되므로 이 지층은 육지에서 퇴적되었다는 것을 알 수 있다.

**바로 알기** 가. (가) 지역의 A 지층은 (나), (다)의 삼엽층이 산출되는 지층과 연결된다. 따라서 A 지층에서는 암모나이트 화석이 산출될 수 없다.

06 가. 화성암 P에는 방사성 동위 원소 X가 처음 양의 50% 남아 있으므로 반감기가 1회 경과한 것이어서 절대 연령은 2억 년이다.

나. 화성암 Q에는 방사성 동위 원소 Y가 처음 양의 25% 남아 있으므로 반감기가 2회 경과한 것이어서 절대 연령은 1억 년이다.

르. 이 지역의 지층은 'A 퇴적 → P 관입 → 융기 → 침식(부정합 형성) → 침강 → B 퇴적 → Q 관입 → 융기 → 침식(부정합 형성) → 침강 → C 퇴적 → 융기 후 침식하여 현재의 지표면 형성' 순으로 생성되었다. 따라서 부정합이 2회 있었고, 융기하여 현재의 지표면이 형성되기까지 적어도 3회의 융기가 있었다.

**바로 알기** 다. 지층 B는 2억 년 전~1억 년 전에 생성되었으므로 중생대에 퇴적된 지층이다.

07 ㄱ. 화성암 P와 Q에 포함된 방사성 동위 원소 X가 각각 처음 양의 50%, 12.5% 남아 있고, 방사성 동위 원소 X의 반감기가 1억 년이다. 따라서 화성암 P는 반감기가 1회 경과하였으므로 절대 연령이 1억 년이고, 화성암 Q는 반감기가 3회 경과하였으므로 절대 연령이 3억 년이다.

ㄴ. 이 지역의 암석과 지층의 생성 순서는 'B 지층군 퇴적 → 화성암 Q 관입(3억 년 전) → 단층  $f-f'$  생성 → 용기, 침식 → 부정합면 형성 → 침강 → A 퇴적 → 화성암 P 관입(1억 년 전) → 용기 → 현재의 지표면 형성' 순이다.

ㄷ. 단층  $f-f'$ 은 역단층으로, 화성암 Q가 관입한 3억 년 전 이후에 생성되었다.

**바로 알기** ㄴ. 화성암 P는 지층 A를 관입한 것이다. 따라서 화성암 P에 A의 암석이 포획암으로 나타날 수 있다. A의 암석에 화성암 P의 조각이 포함되어 존재하려면 화성암 P가 분출암이어야 한다.

ㄴ. B 지층군은 3억 년 전 이전에 퇴적된 것이므로 고생대의 지층에 해당하여서 중생대의 화석이 산출될 수 없다.

08 ㄱ. (가)의 삼엽충은 고생대의 표준 화석이고, (나)의 암모나이트는 중생대의 표준 화석이다.

**바로 알기** ㄴ. 삼엽충과 암모나이트는 생존한 지질 시대가 다르므로 동일한 지층에서 함께 발견될 수 없다.

ㄴ. (다)의 산호는 시상 화석이다. 시상 화석은 표준 화석에 비해 분포 면적이 좁고 생존 기간이 길다. 생존 기간이 짧고 분포 면적이 좁은 화석은 표준 화석이다.

09 ㄱ. A 시기는 페름기 말로서, 해양 생물의 약 90%가 멸종하는 대멸종이 일어났으며, 해양 생물 중 삼엽충이 가장 많이 멸종하였다.

ㄴ. 지질 시대는 생물계의 큰 변화를 기준으로 구분하는데, 육상 식물보다는 생물군의 수가 불연속적으로 변하는 해양 동물이 더 적절하다.

**바로 알기** ㄴ. 초대륙 판게아는 고생대 말에 형성되어 중생대 초까지 존재하였다. 따라서 판게아가 존재했던 시기는 A 시기 전후이다.

10 ㄴ. 중생대에는 빙하가 없었고 대체로 온난한 기후였다.

ㄴ. 신생대 제4기에 빙하가 4회 있었는데, 주로 북반구의 고위도에 빙하가 넓게 분포하였다.

**바로 알기** ㄱ. 고생대 말 빙하기에 남극 대륙을 중심으로 빙하가 분포하였으나, 적도 지방은 온난하였다.

#### 통합 실전 문제

116쪽

01 ③	02 ⑤	03 ③	04 ①	05 ③	06 ④
07 ③	08 ③	09 ③	10 ②	11 ④	12 ⑤

01 ㄱ. 화산 쇄설물인 화산재가 쌓여서 굳어지면 응회암이 생성된다.

ㄴ. 석회암이나 치트는 탄산 칼슘( $\text{CaCO}_3$ ) 성분을 포함한 석회질 생물체의 유해가 쌓여서 생성된 것이다.

**바로 알기** ㄴ. 건조한 기후에서 해수에 녹아 있던  $\text{NaCl}$ 이 침전되면 암염이 생성된다.

02 ㄱ. A는 화산재로 이루어진 암석이므로 응회암이다.

ㄴ. B는 묽은 염산과 반응하는 암석이므로 탄산 칼슘 성분으로 이루어져 있는 석회암이다. 석회암은 화학적 또는 유기적 퇴적암에 해당한다.

ㄴ. C는 묽은 염산과 반응하지 않으므로 사암에 해당한다. 사암은 주로 석영 성분의 모래로 이루어진 암석이다.

03 ㄱ. (가)의 사층리는 비교적 얇은 물밑에서 물의 흐르는 방향이 자주 바뀌는 곳이나 바람의 방향이 자주 바뀌는 사막에서 형성된다.

ㄴ. (다)의 점이 층리는 퇴적물이 빠르게 흐르다가 속도가 갑자기 느려질 때 퇴적물 입자의 크기에 따라 크고 무거운 입자가 먼저 퇴적되고 작고 가벼운 입자는 나중에 퇴적되어 형성된다.

**바로 알기** ㄴ. (나)의 건열은 퇴적층이 수면 위로 노출되어 건조되며 갈라져서 형성된다. 따라서 건열은 당시의 기후가 건조했음을 말해준다.

04 ㄱ. 이 실험은 점이 층리의 형성 과정을 알아보기 위한 것으로, 점이 층리는 대륙붕의 끝이나 대륙 사면에 쌓여 있던 해저 퇴적물이 수심이 깊고 평탄한 대륙대로 한꺼번에 흘러내릴 때 형성될 수 있다.

**바로 알기** ㄴ. 이 실험은 점이 층리의 형성 과정을 알아보기 위한 실험이다.

ㄴ. (나)에서 입자의 크기가 큰 것은 먼저 가라앉아 아래쪽에 쌓이고, 작은 것은 나중에 가라앉아 위쪽에 쌓인다.

05 ㄱ. (가)에서 부정합면 아래쪽의 지층이 거의 수직에 가깝게 기울어져 있으므로, 이 부정합은 부정합면을 경계로 상하 지층이 기울어진 정도가 다른 경사 부정합에 해당한다.

ㄴ. (나)의 단층은 상반이 하반에 대하여 상대적으로 내려간 단층이므로 정단층이다. 발산 경계인 해령에서는 장력에 의한 정단층이 발달한다.

**바로 알기** ㄷ. (나)의 정단층은 장력에 의해 형성된 것이지만, (가)의 경사 부정합은 부정합면 아래쪽 지층이 습곡 작용을 받은 것이므로 횡압력에 의해 형성된 것이다.

06 ㄱ. 화성암 P가 퇴적암 A를 관입하였으므로 관입의 법칙을 적용하면 A가 B보다 나중에 생성된 것을 알 수 있다.

ㄷ. 퇴적암 A에서는 삼엽충 화석이 산출되고, 퇴적암 C에서는 암모나이트 화석이 산출된다. 두 지층에서 산출되는 화석이 서로 다르므로 동물군 천이의 법칙을 적용하면 C가 A보다 나중에 생성된 것을 알 수 있다.

**바로 알기** ㄴ. 지층 A와 B는 부정합 관계이므로 두 지층의 선후 관계는 부정합의 법칙을 적용하여 판단할 수 있다.

07 ㄱ. 지층 B에서 연흔이 나타나므로, 이 지층은 얇은 바닷가 환경에서 퇴적되었음을 알 수 있다.

ㄷ. 화성암 P는 고생대 지층인 E와 부정합 관계이고 지층 E보다 먼저 생성된 것이므로 고생대 이전에 관입하였다. 화성암 Q는 중생대 지층인 F가 생성된 이후에 관입하였으므로 중생대 이후에 관입하였다.

**바로 알기** ㄴ. 지층 E에서 고생대의 표준 화석인 삼엽충 화석이 산출되므로 이 지층은 고생대에 생성된 것이고, 지층 F에서 중생대의 표준 화석인 암모나이트 화석이 산출되므로 이 지층은 중생대에 생성되었다. 그러나 E와 F에서 사상 화석인 산호 화석이 산출되므로 두 지층 모두 따뜻하고 비교적 얇은 바다에서 퇴적된 것을 알 수 있다.

08 ㄱ. ㄴ 방사성 동위 원소의 붕괴 곡선에서  $^{232}\text{U}$ 의 반감기는 50억 년이고,  $^{232}\text{Th}$ 의 반감기는 150억 년이다. 따라서 반감기는  $^{232}\text{Th}$ 이  $^{238}\text{U}$ 보다 3배 길고, 붕괴 속도는  $^{232}\text{Th}$ 이  $^{238}\text{U}$ 보다 느리다.

**바로 알기** ㄷ. 150억 년 후에  $^{232}\text{Th}$ 은 처음 양의 50% 남아 있고  $^{238}\text{U}$ 은 처음 양의 12.5% 남아 있으므로,  $^{232}\text{Th}$ 의 양은  $^{238}\text{U}$ 의 4배이다.

09 ㄱ. 단층  $f-f'$ 은 상반이 하반에 대하여 올라가 있으므로 역 단층이고, 이 단층을 화성암 Q가 관입하고 있으므로 관입의 법칙에 의해 단층  $f-f'$ 은 화성암 Q보다 먼저 형성되었다.

ㄷ. 방사성 동위 원소 X의 반감기는 1억 년이고, 화성암 P에 포함된 방사성 동위 원소 X의 양이 처음 양의  $\frac{1}{4}$ 이므로 반감기가 2회 지났다. 따라서 화성암 P의 절대 연령은 2억 년이다. 그리고 화성암 Q에 포함된 방사성 동위 원소 X의 양이 처음 양의  $\frac{1}{8}$ 이므로, 반감기가 3회 지난 것이어서 Q의 절대 연령은 3억 년이다.

**바로 알기** ㄴ. 부정합이 1개 존재하므로 이 지역은 현재까지 최소 1회의 침강과 2회의 융기를 겪었다.

10 ㄴ. 고생대에 육상 식물이 출현할 수 있었던 까닭은 대기 중에 오존층이 형성되어 생물체에 해로운 자외선을 차단하였기 때문이다.

**바로 알기** ㄱ. 그림의 화석은 최초의 육상 식물로 고생대 실루리아기에 출현한 양치식물의 일종인 쿡소니아이다. 양치식물은 고생대에 번성했고, 속씨식물은 중생대에 출현하였다.

ㄷ. 암모나이트는 중생대에 번성하였다.

11 ㄴ. (나)는 판게아가 분열하던 중생대 중기~말기의 대륙 분포를 나타낸 것이다. 중생대에는 빙하가 없었고 기후가 대체로 온난하였다.

ㄷ. (다)는 신생대의 대륙 분포이다. 신생대에는 포유류와 속씨식물이 번성하였다.

**바로 알기** ㄱ. (가)는 고생대 말 ~ 중생대 초에 존재하였던 초대륙 판게아의 분포이다.

12 ㄱ. A는 고생대 초부터 현재까지 생존하는 생물의 화석으로, 사상 화석에 해당하며 그 대표적인 예는 산호 화석이다. B와 C는 특정한 지질 시대에만 살았던 생물의 화석이므로 표준 화석으로, B는 고생대의 삼엽충이고, C는 중생대의 암모나이트이다.

ㄴ. 고생대의 폐름기 말에 해양 동물의 수가 크게 감소한 것은 초대륙 판게아가 형성되어 수륙 분포가 변하여 생물의 서식 환경이 크게 바뀌었기 때문이고, 또 기후가 한랭해져 남극 대륙을 중심으로 빙하기가 형성되었기 때문이다.

ㄷ. 실루리아기에 육상에 식물이 출현하여 점차 번성한 것은 대기 중에 오존층이 형성되어 태양으로부터 오는 자외선을 차단하였기 때문이다.

01 (1) A층은 아래에서 위로 가면서 입자의 크기가 커지는 퇴적 구조로서 점이 층리이고, B층은 물결 모양의 퇴적 구조로서 연흔이다. C층은 켜기 모양으로 갈라진 퇴적 구조로서 건열이다.

(2) 점이 층리는 퇴적물이 빠르게 흐르다가 속도가 급격하게 느려지며 퇴적될 때 크고 무거운 입자가 먼저 가라앉고 작고 가벼운 입자들이 서서히 가라앉으며 형성되므로, 물속에서 형성된 퇴적 구조이다. 연흔은 수심이 얇은 바다나 호수에서 퇴적물이 쌓일 때 잔물결의 영향으로 퇴적물의 표면에 물결 자국이 만들어지는 것이고, 건열은 물밑에서 입자가 매우 작은 퇴적물이 쌓인 후 표면이 건조한 환경에 노출될 때 형성된다.

**모범 답안** (1) A: 점이 층리, B 연흔, C: 건열

(2) A층의 점이 층리는 깊음 물속에서 퇴적물이 빠르게 흐르다가 속도가 급격하게 느려질 때 무거운 입자가 먼저 가라앉고 작고 가벼운 입자가 서서히 가라앉으면서 형성되는 퇴적 구조이므로, A층이 퇴적된 환경은 심해 또는 수심이 깊은 호수 환경임을 알 수 있다. B층의 연흔은 수심이 얇은 바다나 호수에서 잔물결의 영향을 받아 형성되는 퇴적 구조이므로, B층이 퇴적될 당시에는 얇은 물밑 환경이었음을 알 수 있다. C층의 건열은 퇴적층이 수면 위로 노출되어 말라서 갈라져 형성된 것이므로, C층이 퇴적될 당시에는 기후가 건조한 기후 환경이었음을 알 수 있다.

채점 기준		배점(%)
(1)	A~C층의 퇴적 구조를 모두 옳게 서술한 경우	30
	A~C층의 퇴적 구조 중 2가지만 옳게 서술한 경우	20
	A~C층의 퇴적 구조 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	10
(2)	A~C층에 나타난 퇴적 구조로부터 알 수 있는 사실을 모두 옳게 서술한 경우	70
	A~C층에 나타난 퇴적 구조로부터 알 수 있는 사실 중 2가지만 옳게 서술한 경우	40
	A~C층에 나타난 퇴적 구조로부터 알 수 있는 사실 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	20

02 (1) 화성암 P에 포함된 방사성 동위원소 X의 모원소와 자원소의 비율이 1:3이어서 모원소의 양이 처음의  $\frac{1}{4}$ 이므로 반감기가 2회 경과한 것이다. 따라서 화성암 P의 절대 연령은 2억 년이다. 화성암 Q에 포함된 자원소와 모원소의 비율이 1:1이어서 모원소의 양이 처음의  $\frac{1}{2}$ 이므로, 반감기가 1회 경과한 것이다. 따라서 화성암 Q의 절대 연령은 1억 년이다.

(2) 지층 누층의 법칙에 의해 지층 A가 가장 먼저 퇴적되었고, 그 후 B, C, D층이 차례로 퇴적되었다. 화성암 P가 C와 D 사이를 관입하므로 화성암 P는 지층 D의 퇴적 이후 생성되었다. 그 후 부정합이 형성되었고, 지층 E가 퇴적되었으며, 화성암 Q는 지층 E의 퇴적 이후에 관입(또는 분출)하였고, 침식으로 부정합이 형성되고 침강한 후 지층 F가 퇴적되었다.

**모범 답안** (1) 화성암 P와 Q의 절대 연령은 각각 2억 년과 1억 년이다. 화성암 P와 Q에 남아 있는 방사성 동위원소 X의 양이 각각 처음의  $\frac{1}{4}$ 과  $\frac{1}{2}$ 이어서 반감기가 각각 2회, 1회 경과한 것이기 때문이다.

(2) 이 지역에서 일어났던 지질학적 사건은 'A 퇴적 → B 퇴적 → C 퇴적 → D 퇴적 → 화성암 P 관입 → 융기 및 침식 → 부정합 형성 → 침강 → E 퇴적 → 화성암 Q 관입(분출) → 융기 및 침식 → 부정합 형성 → 침강 → F 퇴적 → 융기하여 현재의 지표면 형성' 순이다.

채점 기준		배점(%)
(1)	화성암 P와 Q의 절대 연령과 그렇게 판단한 까닭을 모두 옳게 서술한 경우	40
	화성암 P와 Q의 절대 연령은 옳게 구하였으나, 그렇게 판단한 까닭을 옳게 서술하지 않은 경우	20
(2)	이 지역에서 일어났던 지질학적 사건의 순서를 모두 옳게 서술한 경우	60
	이 지역에서 일어났던 지질학적 사건의 순서 일부만 옳게 서술한 경우	20

03 (가)에서는 지층 A가 퇴적되고 부정합이 형성된 후 B, C가 차례로 퇴적었고, 이후 장력에 의해 정단층이 형성되었다. (나)에서는 지층 A가 퇴적되고, 부정합이 형성된 후 지층 B가 퇴적되고, 부정합이 또 한 차례 형성된 후 지층 C가 퇴적되었다.

(다)에서는 지층 A가 퇴적되고 부정합이 형성된 후, 지층 C가 퇴적되고, 이후 화강암 B가 관입하였다.

**모범 답안** (가)와 (나), 지질학적 사건의 순서는 (가)에서는 '석회암 A 퇴적 → 융기, 침식(부정합 형성) → 침강 → B 퇴적 → C 퇴적 → 정단층 형성' 순이고, (나)에서는 '석회암 A 퇴적 → 융기, 침식(부정합 형성) → 침강 → B 퇴적 → 지각 변동(지층이 기울어짐) → 융기, 침식(부정합 형성) → 침강 → C층 퇴적' 순이기 때문이다.

채점 기준		배점(%)
(가), (나)를 고르고, 그 까닭을 모두 옳게 서술한 경우		100
(가), (나)를 옳게 골랐으나, 그 까닭을 한 가지만 옳게 서술한 경우		50
(가), (나) 중 한 가지만 옳게 고르고, 그 까닭도 한 가지만 옳게 서술한 경우		30

04 (1) 화성암 P와 Q에는 반감기가 1억 5000만 년인 방사성 동위원소가 각각 처음 양의  $\frac{1}{4}$ 과  $\frac{1}{2}$ 이 남아 있으므로 절대 연령은 각각 3억 년과 1억 5000만 년이다. E층에서 신생대의 표준 화석인 화폐석이 산출되므로 E층은 Q의 분출 이후에 퇴적된 것이다. 따라서 이 지역에서 일어난 지질학적 사건의 순서는 'A층 퇴적 → 습곡 작용 → 화성암 P 관입(3억 년 전, 관입의 법칙) → 장력에 의한 정단층 형성 → 융기, 침식 → 침강(부정합의 법칙) → B층 퇴적 → C층 퇴적 → D층 퇴적(지층 누층의 법칙) → 화성암 Q 분출(1억 5000만 년 전, 관입의 법칙) → E층 퇴적(신생대, 지층 누층의 법칙) → 융기 및 현재의 지표면 형성' 순이다.

(2) (가)는 고생대의 삼엽충 화석이고, (나)는 중생대의 암모나이트 화석이다. 지층 A는 화성암 P의 관입 이전에 생성되었으므로 그 절대 연령은 3억 년보다 많다. 따라서 지층 A에서 (가)가 산출될 수 있다. 또 방사성 동위원소로 추정된 지층 B~D의 절대 연령이 3억 년~1억 5000만 년이고, A층과 B층 사이에 부정합면이 분포하므로 긴 시간 간격이 존재하고, 화성암 Q의 절대 연령이 1억 5000만 년이므로 지층 B~D는 중생대에 생성된 것으로 추정할 수 있다. 따라서 중생대의 표준 화석인 (나)는 지층 B~D에서 산출될 수 있다.

**모범 답안** (1) 화성암 P와 Q에는 반감기가 1억 5000만 년인 방사성 동위원소가 각각 처음 양의  $\frac{1}{4}$ 과  $\frac{1}{2}$ 이 남아 있으므로 절대 연령은 각각 3억 년과 1억 5000만 년이다. 또 E층에서 신생대의 표준 화석인 화폐석이 산출되므로 E층은 Q의 분출 이후에 퇴적된 것이다. 따라서 이 지역에서 일어난 지질학적 사건의 순서는 A층 퇴적 → 습곡 작용 → 화성암 P 관입(3억 년 전, 관입의 법칙) → 장력에 의한 정단층 형성 → 융기, 침식 → 침강(부정합의 법칙) → B층 퇴적 → C층 퇴적 → D층 퇴적(지층 누층의 법칙) → 화성암 Q 분출(1억 5000만 년 전, 관입의 법칙) → E층 퇴적(신생대, 지층 누층의 법칙) → 융기 및 현재의 지표면 형성 순이다. 이렇게 판단하는 데 이용한 지사학의 법칙은 지층 누층의 법칙, 관입의 법칙, 부정합의 법칙 등이다.

(2) A층은 3억 년 전 이전에 생성된 지층이므로 그 형성 시기가 고생대에 해당하여서 삼엽충 화석인 (가)는 A층에서 산출될 수 있다. (나)는 중생대의 암모나이트 화석이므로 중생대 지층에 해당하는 B~D에서 모두 산출될 수 있다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	지질학적 사건의 순서와 지사학의 법칙을 모두 옳게 서술한 경우	70
	지질학적 사건의 순서만 옳게 서술한 경우	40
	지사학의 법칙만 옳게 서술한 경우	10
(2)	두 지층을 모두 옳게 서술한 경우	30
	두 지층 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	10

05 (1) 표준 화석은 생존 기간이 짧고 분포 면적이 넓으며 개체수가 많은 생물의 화석으로, 지질 시대 구분에 이용된다. 시상 화석은 생존 기간이 길고 특정한 환경에 제한적으로 분포하여 분포 면적이 좁으며, 환경 변화에 민감한 생물의 화석으로, 과거의 환경을 추정하는 데 이용된다.

(2) 지질 시대는 동물계의 급격한 변화를 기준으로 구분한다. 지층 C와 D 사이에서 산출되는 화석의 종류가 가장 크게 변하므로 동물계에 큰 변화가 나타났음을 알 수 있다.

**모범 답안** (1) 표준 화석은 특정한 지질 시대에만 살았던 생물의 화석으로 지질 시대를 구분하는 데 이용되므로, 생존 기간이 가장 짧은 d가 표준 화석으로 가장 적절하다.

(2) 지질 시대는 동물계의 변화나 큰 지각 변동에 의한 부정합에 의하여 구분된다. 그림 (나)에서 지층 C와 D 사이에서 화석의 내용이 가장 크게 변하므로 동물계에서 큰 변화가 있었음을 알 수 있다. 따라서 지층 C와 D의 경계를 기준으로 지질 시대를 구분할 수 있다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	표준 화석으로 가장 적절한 것을 옳게 고르고, 그 까닭을 생존 기간과 관련지어 옳게 서술한 경우	50
	표준 화석으로 가장 적절한 것을 옳게 골랐으나, 그 까닭을 옳지 않게 서술한 경우	20
(2)	지층의 경계와 그 까닭을 모두 옳게 서술한 경우	50
	지층의 경계만 옳게 쓴 경우	20

06 (1) 지층 B에서 방추충의 화석이 산출되므로 지층 B는 고생대에 퇴적되었고, 지층 C는 화성암 P(2억 5000만 년 전)과 화성암 Q(1억 2000만 년 전) 사이에 퇴적된 지층이므로 중생대 지층에 해당한다.

(2) 고사리는 온난하고 다습한 육지 환경에서 서식한다.

(3) 이 지역에서 암석과 지층의 생성 순서는 'A → B → P → C → Q → D'의 순이다.

**모범 답안** (1) B: 고생대, C: 중생대

(2) 지층 C에서 고사리 화석이 산출되므로 온난하고 다습한 육지 환경이었음을 알 수 있다.

(3) 가장 먼저 A층(사암)이 퇴적되었고, 그 위에 B층(석회암)이 퇴적되었다. 그 후 화성암 P가 관입하였고, 융기하여 침식 작용을 받아 부정합이 형성되었다. 그리고 다시 침강하여 C층(셰일)이 퇴적되었고, 화성암 Q가 분출(관입)한 후 융기하여 침식 작용을 받아 다시 부정합이 형성되었다. 그 후 침강하여 D층(사암)이 퇴적되어 현재의 지표면이 형성되었다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	지층 B와 C가 생성된 지질 시대를 모두 옳게 답한 경우	35
	B와 C가 생성된 지질 시대 중 한 가지만 옳게 답한 경우	15
(2)	지층 C의 생성 환경을 옳게 서술한 경우	35
	지층 C의 생성 환경을 옳지 않게 서술한 경우	15
(3)	지질학적 사건의 순서를 옳게 서술한 경우	30
	지질학적 사건의 순서를 옳지 않게 서술한 경우	10

07 (1) 육상 식물은 양치식물 → 겉씨식물 → 속씨식물의 순으로 번성하였다.

(2) 고생대 말에는 초대륙 판게아가 형성되어 수륙 분포가 크게 바뀌었고, 남극 대륙을 중심으로 빙하가 넓게 형성되어 생물의 서식 환경이 크게 바뀌었다. 중생대 말에는 소행성 충돌에 따른 기후 변화가 생물의 서식 환경에 크게 영향을 미쳤을 것으로 판단한다.

**모범 답안** (1) 고생대에는 양치식물이 번성하였고, 중생대에는 겉씨 식물이 번성했으며, 신생대에는 속씨식물이 번성하였다.

(2) A 시기 말(고생대 말)에 해양 동물과 수가 크게 줄어든 까닭은 초대륙 판게아의 형성에 따른 수륙 분포의 변화와 남극 대륙을 중심으로 빙하가 형성되어 기온이 낮아져서 기후 변화가 생겼기 때문이다. 이러한 환경 변화에 의해 고생대에 번성했던 해양 동물들이 대량으로 멸종하였다. 그리고 B 시기 말(중생대 말)에 해양 동물 과 수가 크게 줄어든 까닭은 소행성 충돌에 따른 급격한 기후 변화였을 것으로 추정한다. 소행성 충돌에 의해 발생한 먼지와 화산재는 대기 상층으로 올라가 햇빛을 차단하였고 그에 따라 기온이 낮아져서 해수의 온도도 낮아져 해양 생물들의 멸종을 가져왔다고 본다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	육상 식물의 변화 과정을 모두 옳게 서술한 경우	20
	육상 식물의 변화 과정 중 일부만 옳게 서술한 경우	10
(2)	고생대 말과 중생대 말의 생물 대멸종 원인을 모두 옳게 서술한 경우	50
	고생대 말과 중생대 말의 생물 대멸종 원인 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	20

08 (1) 대기의 온도가 높으면 해수의 온도도 높으며, 해수의 온도가 높으면 무거운 산소 동위 원소( $^{18}\text{O}$ )로 이루어진 물 분자가 많이 증발하고 그에 따라 대기 중에  $^{18}\text{O}$ 로 이루어진 수증기의 비율도 증가하므로 빙하 속의 산소 동위 원소비( $\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}$ )가 증가한다.

(2) B 시기는 현재보다 기온이 낮으므로 빙하의 면적이 현재보다 넓었다.

**모범 답안** (1) A 시기와 B 시기에 대기의 온도를 비교하면 A 시기가 B 시기보다 높았다. 따라서 해수의 온도도 A 시기가 B 시기보다 높았다. 해수에서 증발하는 물 분자의  $^{18}\text{O}$ 는 해수의 온도가 높은 경우가 낮은 경우보다 많으므로 A 시기가 B 시기보다 많았고, 그에 따라 대기 중에도  $^{18}\text{O}$ 의 비율이 많아지므로 빙하 속에  $^{18}\text{O}$ 의 비율이 커진다. 따라서 A 시기가 B 시기보다 해수에서 증발하는 산소 동위 원소비( $\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}$ )와 빙하 속의 산소 동위 원소비( $\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}$ )가 모두 크다.

(2) 기온이 낮으면 빙하의 면적은 증가하고 기온이 높으면 빙하의 면적이 감소한다. B 시기의 기온이 현재보다 낮으므로 빙하의 면적은 B 시기가 현재보다 넓었다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	해수와 빙하의 물분자 산소 동위 원소비를 모두 옳게 서술한 경우	60
	둘 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	30
(2)	빙하의 면적 비교를 옳게 서술한 경우	40
	빙하의 면적 비교를 잘 못한 경우	20

실전 문제

1 (1) 판의 구조와 판 이동의 원동력 및 판의 이동에 따른 지각 변동을 설명한다.

(2) 발산 경계, 수렴 경계, 보존 경계로 구분하고, 각 경계에서 일어나는 지각 변동을 설명한다.

**예시 답안** (1) 지구 표면 부근의 단단한 암석으로 되어 있는 평균 약 100 km 두께의 암석권을 판이라고 한다. 이들 판은 크고 작은 10여 개의 판으로 구분되며, 암석권 아래 100 km~400 km 깊이의 연약권에 일어나는 맨틀 대류에 의해 이동하면서 판 경계에서 지진과 화산 활동, 조산 운동을 일으킨다는 이론이 판 구조론이다.

(2) 판의 경계는 크게 발산 경계, 수렴 경계, 보존 경계로 구분된다. 발산 경계는 두 판이 서로 멀어지는 경계로 해령이 이에 해당한다. 해령 하부에서는 맨틀 대류의 상승으로 맨틀 물질이 용융되어 현무암질 마그마가 생성되고, 이 마그마는 분출하여 해양 지각을 생성하여 양쪽으로 멀어지므로 장력이 작용하여 V자형의 열곡이 발달한다. 열곡에서는 화산 활동과 함께 천발 지진이 많이 발생하며, 지각 열류량이 높게 나타난다. 두 판이 서로 가까워지는 경계를 수렴 경계라 한다. 수렴 경계에는 해양판과 해양판이 수렴하는 경계, 대륙판과 해양판이 수렴하는 경계, 대륙판과 대륙판이 충돌하는 경계의 세 종류가 있다. 두 해양판이 수렴하는 경우에는 밀도가 더 큰 해양판이 다른 해양판 아래로 섭입한다. 이러한 경계에서는 해구와 호상 열도가 발달하고, 판의 섭입대를 따라 천발 지진에서 심발 지진까지 발생한다. 대륙판과 해양판이 수렴하는 경우에는 밀도가 큰 해양판이 밀도가 작은 대륙판 아래로 섭입하며, 해양판의 섭입대에서는 마그마가 생성되어 화산 활동과 함께 지진이 발생하고, 대륙 가장자리에 해구와 호상 열도 또는 대륙 화산호가 발달한다. 대륙판과 대륙판이 충돌하는 경우에는 두 대륙판의 경계부와 그 사이의 해양에 퇴적되었던 두꺼운 퇴적물 및 지각 물질이 횡압력에 의한 심한 습곡 작용을 받아 높은 습곡 산맥을 형성한다. 보존 경계는 판의 생성이나 소멸 없이 두 판이 서로 반대 방향으로 움직이는 판 경계이다. 변환 단층은 해령을 가로질러 직각 방향으로 형성된다. 변환 단층에서는 화산 활동은 일어나지 않고 천발 지진만 발생한다.

2 (1) 열점이란 무엇이며, 열점이 생성된 원인을 설명하기 위해 등장한 이론이 플룸 구조론임을 설명한다.

(2) 열점인 하와이섬에서 생성된 화산이 태평양판의 이동에 따라 멀어져 감을 설명한다.

**예시 답안** (1) 열점이란 하부 맨틀에서 기원한 고온의 맨틀 상승류에서 맨틀 물질의 압력 감소로 생성된 마그마에 의해 화산 활동이 지속적으로 일어나는 지점을 말한다. 마그마 생성 과정이 판 구조 운동의 직접적 결과가 아니기 때문에 지표에서 관찰할 때 열점의 위치는 고정되어 있다. 최근 과학자들의 연구 결과 맨틀과 핵의 경계 부분에서는 지표면으로 향하는 뜨거운 상승류(뜨거운 플룸)가, 그리고 지표면에서 맨틀 하부로 향하는 차가운 하강

류(차가운 플룸)가 발견되었다. 이처럼 상승이나 하강하는 맨틀 물질의 열기동을 플룸이라 하고, 플룸에 의한 구조 운동을 플룸 구조론이라고 한다. 지구 내부에는 2개~3개의 거대한 플룸이 존재하는데, 아프리카와 남태평양에는 상승하는 거대한 뜨거운 플룸이 있고, 아시아에는 하강하는 거대한 차가운 플룸이 있다.

(4) 하와이 열도를 이루고 있는 섬들은 열점에서 형성된 화산섬이 태평양판의 이동으로 열점을 벗어나 배열된 것이다. 하와이섬의 가장 남동쪽에 있는 하와이섬에서는 현재 킬라우에아 화산이 활동하고 있는 것으로 보아 열점은 현재 하와이섬 부근에 위치하는 것으로 추정된다. 하와이 열도의 연령은 하와이섬에서 멀어질수록 많아진다. 이러한 사실은 고정된 하와이 열점 위를 태평양판이 대략 북서쪽으로 이동하였음을 말해 준다.

3 (1) 해령과 해구의 섭입대에서 맨틀 물질의 온도와 압력 변화에 따른 마그마의 생성 과정을 설명한다.

(2)  $\text{SiO}_2$ 의 함량에 따른 마그마의 종류와 생성되는 화성암을 설명한다.

(3) 화성암의 산출 상태에 따라 화산암과 심성암으로 구분하고 암석의 조직의 차이점을 설명한다.

**예시 답안** (1) ㉠은 해령에 해당한다. 발산 경계인 해령의 하부에서 고온의 맨틀 물질이 상승하면 압력이 감소하므로 맨틀 물질이 부분 용융되어 현무암질 마그마가 생성된다. 이 마그마는 해령의 열곡으로 분출하여 현무암질 암석의 해양 지각을 만든다. ㉡은 해양판의 섭입대이다. 수렴 경계인 해구에서 해양판이 대륙판 아래로 섭입하면 온도와 압력이 상승하고 해양 지각에 포함된 물이 빠져나온다. 해양 지각에서 빠져나온 물이 섭입하는 판 위의 연약권으로 유입되면 맨틀 물질의 용융점이 낮아져 맨틀 물질이 부분 용융되어 현무암질 마그마가 생성된다. ㉢에서는 ㉡의 현무암질 마그마가 상승하여 대륙 지각 아래에 고여 있다가 마그마에서 방출하는 열에 의해 주변 지각의 암석이 부분 용융되어 유문암질 마그마가 생성될 수 있다. 또 현무암질 마그마와 유문암질 마그마가 섞이거나 현무암질 마그마가 냉각되는 과정에서 안산암질 마그마가 생성될 수 있다.

(2) 마그마는 화학 조성( $\text{SiO}_2$  함량)에 따라 크게 3가지로 분류할 수 있다.  $\text{SiO}_2$  함량이 52 % 이하인 마그마는 현무암질 마그마로, 이에 의해 생성되는 화성암은 현무암이나 반려암이다.  $\text{SiO}_2$  함량이 52 %~66 %인 마그마는 안산암질 마그마로, 이에 의해 생성되는 화성암은 안산암이나 섬록암이다. 그리고  $\text{SiO}_2$  함량이 66 % 이상인 마그마는 유문암질 마그마로, 이에 의해 생성되는 화성암은 유문암이나 화강암이다.

(3) 화성암은 산출 상태에 따라 크게 화산암과 심성암으로 분류한다. 화산암은 마그마가 지표로 분출되어 빠르게 냉각되어 굳어진 암석으로 분출암이라고도 한다. 조직은 유리질이나 세립질 조직을 나타낸다. 대표적인 화산암으로는 현무암, 안산암, 유문암 등이 있다. 심성암은 마그마가 지하 깊은 곳에서 천천히 냉각되어 굳어진 암석으로 저반이나 암주의 형태로 산출되며 조립질 조직을 나타낸다. 대표적인 심성암에는 반려암, 섬록암, 화강암 등이 있다.

4 (1) ‘현재는 과거를 푸는 열쇠’라는 표현은 현재 지구상에서 일어나고 있는 변화가 과거에도 똑같이 일어났다는 것을 파악하고, 그에 해당하는 지사학의 기본 원리를 설명한다.

(2) 부정합의 생성 과정과 지질 시대가 서로 다른 지층에서는 서로 다른 화석이 산출된다는 것을 설명한다.

(3) 방사성 동위 원소의 반감기를 파악하여 그에 따른 절대 연령을 구하고, 지사학의 법칙에 따른 지층과 암석의 생성 순서를 설명한다.

**예시 답안** (1) 영국의 지질학자 허턴이 ‘현재는 과거를 푸는 열쇠이다’라고 표현한 지사학의 기본 원리는 동일 과정의 원리이다. 현재 지구 상에서는 화산과 지진 활동 및 조산 운동, 풍화와 침식 및 퇴적 작용 등 여러 가지 지질 현상이 일어나고 있는데, 이러한 지질 현상은 과거에도 비슷한 속도와 과정으로 일어났다고 할 수 있다. 따라서 현재 일어나고 있는 지질 현상을 바탕으로 과거에 일어났던 지각 변동이나 지질학적 사건을 해석할 수 있다는 것이 동일 과정의 원리이다.

(2) • 부정합의 법칙: 인접한 상하 두 지층 사이에 큰 시간 간격이 있을 때 두 지층의 관계를 부정합이라고 한다. 어떤 지층이 연속적으로 퇴적된 다음 지각 변동으로 융기하여 침식 작용을 받아 깎여 나가면서 오랫동안 퇴적이 중단된 후 다시 침강하여 그 위에 새로운 지층이 퇴적되면 먼저 생성된 아래쪽의 지층과 나중에 생성된 위쪽의 지층 사이에는 긴 시간 간격이 있으므로 부정합이 형성된다. 따라서 부정합면(침식면)을 경계로 상하 두 지층은 지질 구조나 화석에서 크게 차이가 난다.

• 동물군 천이의 법칙: 지질 시대가 다른 지층에서는 서로 다른 종의 생물 화석이 산출되며, 오래된 지층에서 새로운 지층으로 갈수록 복잡하고 진화된 생물의 화석이 나타난다는 법칙이다. 따라서 보다 진화된 생물의 화석이 산출되는 지층은 나중에 생성된 지층이라는 것을 알 수 있다.

(3) 화성암 A와 B에 포함된 방사성 동위 원소 X의 반감기가 7000만 년이므로 방사성 동위 원소 X의 양이 50 % 남아 있는 화성암 A의 절대 연령은 반감기가 1회 경과하였으므로 7000만 년이고, 방사성 동위 원소 X의 양이 12.5 % 남아 있는 화성암 B의 절대 연령은 반감기가 3회 경과하였으므로 2억 1000만 년이다. 지층과 암석의 생성 순서는 ‘C 퇴적 → D 퇴적 → 습곡 작용 → 화성암 B 관입(2억 1000만 년) → 융기 및 침식 → 부정합 형성 → 침강 → E 퇴적 → 화성암 A 관입 또는 분출(7000만 년) → 융기 및 침식 → 부정합 형성 → F 퇴적 → 융기 및 침식으로 현재의 지표면 형성’ 순이다. 이렇게 해석하는 데 이용된 지사학의 법칙은 부정합의 법칙, 관입의 법칙, 지층 누층의 법칙이다.

## II 유체 지구의 변화

### 1. 대기와 해양의 변화

#### 01 기압과 날씨 변화

##### 탐구 확인 문제

024쪽

01 ㄱ, ㄴ      02 ㄷ

01 ㄱ. 9월 3일에 한반도 북부 지역은 한랭 전선 후면에 위치하므로 이 지역에는 비가 내렸다.

ㄴ. 한반도는 온대 저기압의 중심으로부터 벗어나 맑은 날씨가 나타난다.

**바로 알기** ㄷ. 접근하는 태풍은 9월 3일에 950 hPa, 9월 4일에 960 hPa로 중심 기압이 높아지며 약화되다가 9월 5일에는 해상에서 소멸하였다.

02 ㄷ. 맑은 부분일수록 온도가 낮으며 고도가 높은 구름이다.

**바로 알기** ㄱ. 눈에 보이는 구름의 분포를 나타내는 것은 가시 영상이다.

ㄴ. 적외선은 열로 측정하기 때문에 적외 영상을 통해 야간에도 구름을 관측할 수 있다.

ㄹ. 레이더 영상은 레이더가 수증기나 눈송이 등에 반사되는 것을 나타내며, 실제 강수 지역과 강수량을 예측하는 데 유용하다.

##### 개념 모아 정리하기

026쪽

① 하강   ② 상승   ③ 전선   ④ 시베리아   ⑤ 북태평양   ⑥ 정체  
⑦ 폐색   ⑧ 편서풍   ⑨ 적외   ⑩ 레이더   ⑪ 전선   ⑫ 숨은열  
⑬ 눈   ⑭ 오른   ⑮ 왼

##### 개념 기본 문제

027쪽

01 ① ㉠ 시베리아 기단   ㉡ 오호츠크해 기단   ㉢ 여름   ㉣ 양쯔강 기단  
(2) 오호츠크해 기단, 북태평양 기단   02 ㄱ, ㄴ   03 ㄱ, ㄷ  
04 ㉠ 양쯔강, ㉡ 북태평양   05 (라) → (가) → (다) → (나)  
06 ㄱ   07 A: 풍향, B: 풍속, C: 운량(구름의 양)   08 ㄱ, ㄷ  
09 ㄱ, ㄷ, ㄹ   10 P: 기압 Q: 풍속   11 ㄱ, ㄴ

01 (1) 우리나라를 지배하는 기단의 종류와, 영향을 주는 계절, 그 성질과 특징은 표와 같다.

기단의 종류	계절	성질과 특징
시베리아 기단	겨울	한랭 건조, 적은 강수량, 한파
오호츠크해 기단	초여름, 가을	한랭 다습, 장맛비
북태평양 기단	여름	고온 다습, 많은 강수량, 무더위
양쯔강 기단	봄, 가을	온난 건조, 잦은 날씨 변화

(2) 우리나라 주변에서는 초여름에 한랭 다습한 오호츠크해 기단과 고온 다습한 북태평양 기단이 만나 정체 전선인 장마 전선을 형성한다.

02 ㄱ. (가)는 한랭 전선의 단면이고, (나)는 온난 전선의 단면이다. 찬 공기가 따뜻한 공기를 파고드는 경우에는 한랭 전선이 형성되고, 따뜻한 공기가 찬 공기 위로 올라가는 경우에는 온난 전선이 형성된다.

ㄴ. 한랭 전선은 온난 전선보다 이동 속도가 빠르다.

**바로 알기** ㄷ. 비가 오는 면적은 한랭 전선보다 전선면의 경사가 완만한 온난 전선에서 더 넓게 나타난다.

ㄹ. 한랭 전선의 후면에는 소나기성 비가 내리고, 온난 전선의 전면에는 지속적인 비가 내린다.

03 정체성 고기압은 바람이 약하여 큰 규모의 기단이 발달할 수 있다. 우리나라 주변의 정체성 고기압에는 시베리아 고기압과 북태평양 고기압이 있다.

04 우리나라는 봄철에 이동성 고기압인 양쯔강 고기압의 영향을 받는다. 정체성 고기압에는 시베리아 고기압과 북태평양 고기압이 있는데, 우리나라의 여름철에 영향을 주는 것은 북태평양 고기압이다.

05 북반구의 중위도에서는 북쪽의 찬 공기와 남쪽의 따뜻한 공기가 만나 정체 전선을 형성하는데(〔라〕 단계), 지구 자전의 영향으로 전선이 꺾이면서 중심의 남서쪽으로 한랭 전선이 형성되고 남동쪽으로 온난 전선이 형성된다. 이후 전선은 편서풍의 영향으로 동쪽으로 이동하는데, 한랭 전선 사이 거리가 온난 전선보다 이동 속도가 빠르게 때문에 전선 사이의 간격은 좁아지게 되며(〔가〕 단계 → (다) 단계), 나중에는 전선 사이의 거리가 가까운 온대 저기압의 중심부부터 두 전선이 겹쳐져 폐색 전선이 나타나면서 온대 저기압이 약해져 소멸한다(〔나〕 단계).

- 06 ㄱ. A 지점은 한랭 전선의 후면으로, 한랭 전선 통과 전보다 기온이 낮아진다. B 지점은 온난 전선이 통과한 후 기온이 높아지는 곳이다.

**바로 알기** ㄴ. C 지점은 온난 전선의 앞쪽 구역으로, 남동풍이 부는 곳이다. 온난 전선이 통과한 후에는 남동풍이 남서풍으로 바뀐다.

ㄷ. 한랭 전선의 후면인 A 지점에는 좁은 지역에 소나기성 비가 내리고, 온난 전선의 전면인 C 지점에는 넓은 구역에 지속적인 비가 내린다.

- 07 A는 풍향, B는 풍속이며, C는 구름의 양을 표시한 것이다.

- 08 ㄱ. 가시 영상에서 구름의 두께가 두꺼울수록 밝게 보이고, 구름의 두께가 얇을수록 어둡게 보인다.

ㄷ. 적외 영상은 물체가 방출하는 적외선을 관측하여 나타낸다.

**바로 알기** ㄴ. 가시 영상은 구름과 지표면에서 반사된 햇빛의 강약을 나타내며, 반사되는 빛이 강할수록 영상에서 밝게 보인다.

ㄹ. 밤에는 지구가 햇빛을 받지 못하므로 가시 영상을 이용할 수 없다. 그러나 적외 영상은 물체가 방출하는 적외선 에너지양에 의해 영상을 표출하므로 밤낮에 관계없이 24시간 관측이 가능하다.

- 09 ㄱ, ㄷ, ㄹ. 열대 저기압 중에서 풍속이 17 m/s 이상인 것을 태풍이라고 한다. 열대 해상에서 증발된 수증기가 응결할 때 방출하는 숨은열이 태풍의 주된 에너지원이다.

**바로 알기** ㄴ. 태풍은 회전에 의해 나타나는 강한 바람이 특징인데, 초기에 회전을 일으키는 힘은 지구 자전에 따른 전향력이다. 적도에는 전향력이 없기 때문에 적도에서는 태풍이 발생하지 않는다.

ㄹ. 열대 저기압의 일종인 태풍은 온대 저기압과는 달리 전선을 동반하지 않는다.

- 10 태풍은 중심 기압이 낮은 저기압에 속하므로, 중심으로 갈수록 기압이 낮다. 풍속은 중심으로부터 약 30 km~약 50 km에서 가장 크고, 중심으로부터 멀어질수록 풍속이 약해진다.

- 11 ㄱ, ㄴ. 북반구에서 태풍의 진행 방향에 대하여 오른쪽은 풍속이 강한 위험 반원에 해당하고, 왼쪽은 상대적으로 풍속이 약한 안전 반원에 해당한다.

**바로 알기** ㄷ. 태풍은 저기압의 일종이므로 바람이 시계 반대 방향으로 불어 들어가기 때문에 태풍의 진행 방향에 대하여 오른쪽에 위치한 지역에서는 풍향이 시계 방향으로 변하게 된다.

#### 개념 적용 문제

029쪽

01 ④	02 ④	03 ③	04 ⑤	05 ⑤	06 ③
07 ①	08 ②	09 ⑤	10 ③	11 ③	12 ⑤
13 ②	14 ①				

- 01 ㄴ. A는 저기압으로, 상승 기류에 의해 단열 팽창이 일어나 구름이 형성된다.

ㄷ. 지상에서는 기압이 높은 곳(B)에서 기압이 낮은 곳(A)을 향하여 바람이 분다.

**바로 알기** ㄱ. 저기압과 고기압은 1기압을 기준으로 하는 것이 아니라 주변의 기압을 비교하여 결정된다. 즉, 저기압은 중심으로 갈수록 기압이 낮아지는 곳이고, 고기압은 중심으로 갈수록 기압이 높아지는 곳이다.

- 02 ㄴ. 한랭 전선은 밀도가 큰 찬 공기가 상대적으로 밀도가 작은 따뜻한 공기를 파고들면서 형성된 전선이므로 온난 전선보다 이동 속도가 더 빠르다.

ㄷ. 한랭 전선에서는 찬 공기가 따뜻한 공기를 파고들면서 따뜻한 공기를 밀어 올리기 때문에 전선면의 경사가 급하게 형성되고, 이에 따라 전선면에서는 공기의 연직 운동이 활발하게 일어나면서 적운형 구름이 형성된다.

**바로 알기** ㄱ. (가)는 따뜻한 공기가 찬 공기를 타고 올라가면서 만들어지는 온난 전선이고, (나)는 찬 공기가 따뜻한 공기를 파고들면서 형성되는 한랭 전선이다.

- 03 ㄱ. 일기도에 나타난 전선은 찬 공기가 따뜻한 공기를 파고들면서 형성된 한랭 전선이다.

ㄴ. A 지역은 한랭 전선의 뒤쪽 구역에 속하므로 현재 적운형 구름과 함께 소나기가 내릴 가능성이 높다.

**바로 알기** ㄷ. 북반구에서 전선은 편서풍의 영향으로 서쪽에서 동쪽으로 이동하므로 B 지역은 점차 한랭 전선의 영향을 받게 된다.

- 04 ㄱ. (가)는 이동 속도가 빠른 한랭 전선이 이동 속도가 느린 온난 전선과 만나서 형성된 폐색 전선이고, (나)는 세력이 비슷한 두 기단이 만나서 일정한 곳에 오래 머물러 있는 정체 전선이다.

ㄴ. (가)는 온난 전선과 한랭 전선이 합쳐진 폐색 전선으로, 전선의 양쪽 공기의 성질이 비슷해지기 때문에 얼마 후 전선이 소멸한다. (나)는 온도와 습도가 다른 두 기단이 만나서 이루는 정체 전선이다. 따라서 전선을 경계로 양쪽의 온도 차이는 (가)보다 (나)가 더 크다.

ㄷ. (나)에서 A는 B보다 온도가 낮은 찬 기단으로, A가 B를 파고드는 형태가 되므로 찬 공기가 있는 A 지역 쪽이 B 지역보다 구름과 강수 현상이 많이 나타난다.

05 ㄱ. (가)의 고기압은 차가운 지면의 영향으로 공기가 침강하여 형성되는 시베리아 고기압이다.

ㄴ. (나)의 고기압은 중위도 해역에서 대기 대순환의 하강 기류에 의해 형성된 북태평양 고기압이다.

ㄷ. 시베리아 고기압은 겨울철에 발달하고, 북태평양 고기압은 여름철에 발달한다.

06 ① 온대 저기압은 중위도 지역에서 찬 기단과 따뜻한 기단이 만나 형성되며, 한랭 전선이 온난 전선보다 이동 속도가 빠르므로 저기압의 중심에서부터 두 전선이 겹쳐진다. 따라서 발달하는 순서는 (나) → (다) → (가)의 순이다.

② (가) 단계의 폐색 전선은 한랭 전선의 이동 속도가 빠르기 때문에 나타난다.

④ (다) 단계에서 파동의 마루 부분에 상승 기류가 생기면서 온대 저기압의 중심이 만들어지고, 한랭 전선과 온난 전선을 동반한 전형적인 온대 저기압이 발달한다.

⑤ 전선의 형성과 소멸 과정을 통해 찬 공기와 따뜻한 공기가 섞이면서 에너지가 이동하고 교환된다.

**바로 알기** ③ (나) 단계는 정체 전선의 남쪽과 북쪽의 기온 차이에 따라 파동이 발생하고, 한랭 전선과 온난 전선으로 분리되기 시작하는 과정이다.

07 ㄱ. 전선이 통과할 때는 기온과 기압, 풍향 등과 같은 일기 요소가 급하게 변한다. 그러므로 6시~9시 사이와 15시~18시 사이에는 전선이 통과하였음을 알 수 있다. 6시~9시 사이에 기온이 상승하고 기압이 하강하였으므로 온난 전선이 통과하였고, 15시~18시 사이에 기온이 하강하고 기압이 상승하였으므로 한랭 전선이 통과하였다.

**바로 알기** ㄴ. 오전(6시~9시)에는 온난 전선이 통과하면서 넓은 지역에 걸쳐 강수 현상이 있었을 것이다.

ㄷ. 낮에는 온난 전선이 통과하고 비가 그치지만, 습도가 계속 높아진 것으로 보아 습한 날씨였을 것이다.

08 ① (나)에서 북서풍이 불고 소나기가 내리는 것으로 보아 한랭 전선의 후면에 속하는 A 지역의 날씨를 나타낸다.

③ 구름의 양이 가장 적은 지역은 온난 전선과 한랭 전선의 사이인 B이다.

④ 이 시간 이후로 C 지역은 온난 전선이 다가오면서 점차 구름이 낮아진다.

⑤ A~C 중에서 바람이 가장 강한 지역은 등압선의 간격이 가장 좁게 나타나는 A 지역이다. A 지역의 현재 풍속은 (나)에서 7m/s이므로 B와 C 지역의 풍속은 7m/s보다 약하게 불고 있다.

**바로 알기** ② 기압은 등압선으로 판단한다. A~C 중에서 A는 현재 기압이 가장 낮은 지역이다.

09 ㄱ. 가시 영상은 구름이 두꺼울수록 빛의 반사량이 많아 밝게 보이는 원리를 이용한다. 따라서 (가)로부터 우리나라를 덮고 있는 구름의 두꺼운 정도를 알 수 있다.

ㄴ. 적외 영상은 높은 구름일수록 밝게 나타내는데, 높은 구름은 온도가 낮다. 따라서 (나)에서 북한 쪽의 구름이 밝은 것으로 보아 남한 쪽보다 고도가 높다는 것을 알 수 있다.

ㄷ. 레이더 영상은 구름 속 강수 입자의 분포와 양을 알려준다. 따라서 (다)로부터 강수 구역과 강수량을 알 수 있다.

10 ㄱ. 우리나라에 걸쳐 있는 전선은 정체 전선의 일종인 장마 전선이다.

ㄷ. 정체 전선에서 구름은 찬 공기가 있는 쪽(정체 전선의 위쪽)이 따뜻한 공기가 있는 쪽(정체 전선의 아래쪽)보다 많이 나타난다.

**바로 알기** ㄴ. 바람은 기압이 높은 곳에서 낮은 곳으로 불기 때문에 A 지점에는 남풍 계열의 바람이 분다.

11 ㄱ. 태풍은 저기압이므로 북반구에서 시계 반대 방향으로 회전한다. 주어진 자료에서 풍향은 동 → 남 → 서로 바뀌었으므로 관측소에서 풍향은 시계 방향으로 변하였다.

ㄴ. 28일 약 10시에 기압이 가장 낮아지고 풍속이 가장 강했다는 것은 이때 관측소에 태풍이 가장 근접했음을 의미한다. 따라서 10시를 기준으로 태풍이 접근했다가 멀어졌음을 알 수 있다.

**바로 알기** ㄷ. 태풍은 저기압이므로 북반구에서 시계 반대 방향으로 회전한다. 주어진 자료에서 관측소에서 풍향이 시계 방향으로 변했다는 것은 관측소가 태풍의 진행 방향에 대하여 오른쪽인 위험 반원에 위치했다는 것을 의미한다.

12 ㄱ. 태풍이 발생하기 위해서는 수증기의 공급이 활발해야 하므로 대부분의 태풍은 위도 5°~25°의 열대 해상에서 발생한다.

ㄴ. 7월 이전이나 8월 이후에 발생한 태풍은 대부분 우리나라를 벗어나고, 대부분 7월~8월에 발생한 태풍이 우리나라에 영향을 미친다.

ㄷ. 겨울에는 열대 해상에서도 수온이 낮아 태풍이 거의 발생하지 않으며, 발생하더라도 세력이 약해 북상하지 못하고 금방 소멸한다.

13 ① 태풍의 진로는 북위 25°를 기준으로 북서에서 북동으로 바뀐다. 이는 북위 25° 이하에서는 무역풍의 영향을 받고, 그 이상에서는 편서풍의 영향을 받기 때문이다.

③ 태풍의 이동 속도는 같은 시간 동안 이동 거리로 판단할 수 있으므로 무역풍대보다 중위도의 편서풍대에서 더 빨랐음을 알 수 있다.

④ 이 태풍이 통과하면서 우리나라는 태풍의 진로 방향에 대하여 왼쪽에 위치하였으므로 우리나라에서의 풍향은 시계 반대 방향으로 바뀌었다.

⑤ 태풍의 진로에 대하여 우리나라는 안전 반원에 속하고, 일본은 위험 반원에 속하는 위치에 있었으므로 태풍에 의한 피해는 우리나라보다 일본이 더 컸을 것이다.

**바로 알기** ② a에서 b를 통과하는 동안 태풍의 중심 기압이 높아진 것으로 보아 태풍의 세력이 약해졌음을 알 수 있다.

14 ㄱ. 태풍은 저기압이므로 중심 기압이 낮을수록 세력이 강해짐을 의미한다. 따라서 중심 기압이 낮을수록 최대 풍속이 강하게 나타난다.

**바로 알기** ㄴ. 태풍의 이동 속도는 태풍의 강도와는 관련이 없고, 태풍이 북서 방향에서 북동 방향으로 진로가 바뀌면서 이동 속도가 빨라졌음을 알 수 있다. 즉, 태풍은 무역풍보다 편서풍의 영향을 받으면서 이동 속도가 빨라짐을 알 수 있다.

ㄷ. 서울의 위도와 경도로 볼 때 태풍 난마들은 서울의 오른쪽을 통과했음을 알 수 있다. 따라서 서울은 난마들이 지날 때 안전 반원에 위치했다.

## 02 우리나라의 주요 악기상

### 개념 모아 정리하기

044쪽

- ① 번개   ② 한랭   ③ 상승   ④ 적란운   ⑤ 가을   ⑥ 30  
⑦ 적란운   ⑧ 폭설   ⑨ 몽골   ⑩ 편서풍

### 개념 기본 문제

045쪽

01 ㄱ, ㄴ, ㄷ   02 ㄴ   03 ㄱ, ㄴ, ㄷ   04 적란운   05 (1) 국지성 호우(집중 호우) (2) 열대야   06 ㄱ, ㄴ   07 황사

01 뇌우는 연직 방향으로 발달하는 적란운에서 나타나며, 구름 안에 강한 상승 기류와 하강 기류가 나타나면서 세력이 커진다. 뇌우의 하단부와 지표면 사이에 대전 현상이 나타나고 이들의 방전에 의해 번개와 천둥이 발생한다.

02 ㄴ. 우박은 연직 방향으로 강하게 발달하는 적란운에서 상승 기류와 하강 기류에 따라 상승과 하강을 반복하면서 크게 성장한다.

**바로 알기** ㄱ. 우박은 대기가 불안정한 날에 수직으로 발달한 적란운에서 만들어진다.

ㄷ. 우박은 겨울과 한여름에는 거의 발생하지 않는데, 겨울에는 기온이 낮고 대기가 건조하여 적란운이 생기지 않으며, 한여름에는 기온이 너무 높아서 우박이 생겨도 금방 녹아 비로 되어 버리기 때문이다.

03 국지성 호우는 태풍, 장마 전선, 저기압과 고기압의 가장자리에서 대기가 불안정할 때 강한 상승 기류에 의해 형성되는 적란운에서 주로 발생한다.

04 우박은 구름 내부에서 과냉각 물방울로부터 증발한 수증기가 빙정에 달라붙어 상승과 하강을 반복하면서 형성되므로 주로 적란운에서 만들어진다. 뇌우는 천둥과 번개를 동반한 강한 비를 발생시키는 기상 현상으로, 적란운이 발생할 때 잘 나타난다. 국지성 호우는 대기가 불안정할 때 강한 상승 기류에 의해 형성되는 적란운에서 주로 발생한다.

05 (1) 국지성 호우는 일반적으로 1시간에 30 mm 이상의 비가 내리거나 하루에 80 mm 이상의 비가 내릴 때, 또는 연강수량의 10%에 상당하는 비가 하루에 내릴 때를 일컫는다.  
(2) 열대야는 해가 진 후 다음날 아침 해가 뜰 때까지 기온이 25℃ 이하로 내려가지 않을 때를 일컫는다.

06 ㄱ, ㄴ. 차가운 대륙 고기압이 황해를 지나면서 열과 수증기를 공급 받아 눈구름으로 발달하고, 이 눈구름이 북서풍을 따라 이동해 와서 우리나라 서해안에 폭설을 내린다.

**바로 알기** ㄷ. 우리나라 상층의 찬 공기가 동해에서 수증기를 공급 받아 눈구름이 만들어지고, 이것이 태백산맥에 부딪쳐 더욱 발달하여 내리는 폭설은 동해안 폭설이다.

- 07 몽골이나 중국 북부의 황토 지대에서 강한 바람이 불면 미세한 토양 입자가 솟아오르고, 이것이 상승 기류와 함께 상승 대기까지 올라가 편서풍을 타고 이동하면서 황사가 시작된다.

개념 적용 문제

046쪽

- 01 ②    02 ③    03 ③    04 ⑤    05 ③    06 ③  
07 ⑤    08 ②

- 01 ① (가)는 뇌우의 발달 단계 중 소멸 단계이다.  
③ (나) 단계는 뇌우 발달 단계 중 초기 단계인 적운 단계에 해당한다.  
④ 낙뢰는 벼락이라고도 하며, 성숙 단계의 뇌우에서 발생하는 방전(放電) 현상이다.  
⑤ 뇌우는 적운 단계(나) → 성숙 단계(다) → 소멸 단계(가)를 거쳐 발달한다.  
**바로 알기** ② 우박이 가장 많이 발생하는 단계는 성숙 단계에 해당하는 (다)이다.
- 02 ㄱ. 구름은 주로 저기압의 중심과 전선 부근에서 생기며, 한랭 전선의 뒤쪽 구역(A 지역)과 온난 전선의 앞쪽 구역(C 지역)에 많이 생긴다.  
ㄴ. 번개는 연직으로 발달한 적란운의 하부와 지표면 사이에서 방전이 일어나 발생한다.  
**바로 알기** ㄷ. 번개와 우박은 연직으로 발달한 적란운에서 많이 나타난다. 적란운이 형성될 수 있는 곳은 한랭 전선의 뒤쪽 구역(A 지역)이다.
- 03 ㄱ. 시간과 공간의 규모에 관계없이 많은 비가 연속적으로 내리는 것을 호우라고 하고, 짧은 시간 동안 좁은 영역에 일정량 이상의 많은 양의 비가 집중적으로 내리는 것을 국지성 호우 또는 집중 호우라고 한다. 국지성 호우가 발생하면 1시간에 30 mm 이상 또는 하루에 80 mm 이상의 비가 내린다.  
ㄴ. 국지성 호우는 대기가 불안정할 때 강한 상승 기류에 의해 만들어지는 적란운에서 주로 발생하며, 천둥과 번개를 동반하기도 한다.  
**바로 알기** ㄷ. 국지성 호우의 지속 시간은 대체로 수십 분~수 시간 정도이고, 보통 반지름 약 10 km ~ 약 20 km의 비교적 좁은 지역에서 집중적으로 내린다.
- 04 ㄱ. A는 저위도 해상에서 형성되어 이동해 오는 따뜻하고 습윤한 공기이다.

ㄴ. B 지역의 공기는 북쪽에 위치한 차고 건조한 공기와 만난다. 이때 기층이 불안정해지면서 적란운이 형성되고, 이 지역에 집중 호우가 발생한다.

ㄷ. 저지 고기압이란 세력이 강해서 이동하는 공기를 막는 역할을 하는 고기압을 말한다. 따라서 북동진하는 A가 북동쪽에 위치한 저지 고기압에 가로막히면서 우리나라에 오래 머물러 국지성 호우가 나타난 것이다.

- 05 ㄱ. 등압선의 배치로 보아 현재 우리나라는 시베리아 고기압 확장의 영향을 받고 있음을 알 수 있다.  
ㄷ. 시베리아 고기압의 확장으로 이동하는 찬 기단이 황해를 지나면서 수증기를 공급 받아 눈구름이 만들어지고 있으므로 우리나라 서해안 일부 지역에서는 폭설의 가능성이 있다.  
**바로 알기** ㄴ. 황해의 구름은 시베리아 고기압의 확장에 의해 내려오는 찬 기단이 황해를 지나면서 수증기를 공급 받아 만들어진 것이다.
- 06 ① 겨울철 우리나라에 한파를 발생시키는 고기압은 시베리아 고기압으로, 이는 한 지역에 오랫동안 머물러서 형성된 정체성 고기압이다.  
② 겨울철에는 서쪽에 고기압이 형성되고, 동쪽에 저기압이 형성되어 서고 동저형의 기압 배치가 나타난다.  
④ 찬 대륙에서 형성된 기단이 서해상의 따뜻한 해수면을 지나면서 수증기가 공급되어 습도가 높아지고, 기단의 하층부터 가열되어 불안정해지므로 적운이나 적란운이 형성된다.  
⑤ 공기가 산맥을 넘기 전에는 공기가 상승하면서 단열 팽창하고, 산맥을 넘으며 공기가 하강하면서 단열 압축되는 과정을 통해 건조해진다.  
**바로 알기** ③ 찬 기단이 따뜻한 해상을 지나면 기단의 하층이 가열되어 상승 기류가 나타나면서 불안정해진다.
- 07 ㄱ. 폭염 주의보는 하루 최고 기온이 33 °C 이상인 상태가 2일 이상 지속될 것으로 예상될 때 발령된다. 따라서 8월 13일과 8월 14일에 서울에는 폭염 주의보가 내려졌다.  
ㄴ. 열대야는 해가 진 후부터 다음 날 해가 뜰 때까지 기온이 25 °C 이상으로 나타나는 현상이다. 8월 13일과 14일에 열대야가 나타났으며, 15일에 사라졌다.  
ㄷ. (나)에서 북태평양 고기압이 발달하고 있음을 알 수 있다. 북태평양 고기압은 온도와 습도가 높기 때문에 8월 13일부터 15일까지 서울에 고온 다습한 일기 현상이 나타났다.
- 08 ① 황사는 주로 모래와 같은 작은 입자가 공기 중에 유입되면서 발생하므로 황사의 발원지는 주로 사막이나 고원과 같은 건조한 지역이다.

③ 황사의 모래 먼지가 구름에 섞이면 중간에 떨어지지 않고 구름과 함께 먼 곳으로 이동할 수 있다.

④ 우리나라에 영향을 주는 황사는 편서풍의 영향으로 서쪽에서 동쪽으로 이동하면서 유입된다.

⑤ 황사가 대기 오염이 심한 지역을 통과하면 그 지역에 있는 미세 먼지도 함께 유입될 수 있으므로 더 큰 피해가 나타난다.

**바로 알기** ② 흙먼지나 모래가 공중으로 올라가 바람을 타고 이동하는 황사가 되기 위해서는 상승 기류가 발달해야 한다. 따라서 황사 발원지에 저기압이 형성될 때 황사가 더 쉽게 발생할 수 있다.

### 03 해수의 성질

#### 집중 분석

058쪽

##### 유제 ①

ㄱ. 혼합층은 표층에서 수심에 따라 수온의 변화가 없는 층으로, 두께는 약 150m에 이른다.

**바로 알기** ㄴ. 수온 약층은 수심에 따라 수온이 급격히 감소하는 층으로, 150m~800m 구간에 해당한다.

ㄷ. 2000m~5000m 구간에서는 수괴의 밀도가 등밀도선과 거의 평행하게 나타나므로 밀도의 변화는 없다.

#### 개념 모아 정리하기

059쪽

- ① psu   ② 염화 나트륨   ③ 증발량   ④ 중   ⑤ 수온   ⑥ 대기  
⑦ 이산화 탄소   ⑧ 바람   ⑨ 수온 약층   ⑩ 심해층   ⑪ 염분  
⑫ 밀도   ⑬ 황해   ⑭ 동해   ⑮ 강수량   ⑯ 황해   ⑰ 동해

#### 개념 기본 문제

060쪽

- 01 (1) 염분 (2) psu (3) 염화 나트륨   02 (1) ㄱ, ㄷ (2) ㄴ, ㄹ, ㄷ  
03 ㄱ, ㄷ, ㄹ   04 (1) A: (표층) 염분, B: 증발량-강수량 (2) 중  
위도 지역의 바다는 고기압대이므로 증발량이 강수량보다 많아서 염  
분이 높다.   05 (1) 해수 표층에는 대기 중의 산소가 녹아 들어가고, 광합성을 하는 생물이 많이 분포하기 때문이다. (2) 수온 (3) 이산  
화 탄소   06 (1) A: 혼합층, B: 수온 약층, C: 심해층 (2) 바람의  
세기 (3) 낮아, 안정   07 (1) A: 수온, B: 밀도 (2) 수온 약층  
(3) 수압, 염분   08 (1) C>A>B (2) 염분 (3) 수온   09 ㄱ, ㄷ

- 01 (1) 염분은 해수 1kg에 들어 있는 염류의 총량을 나타낸다.  
(2) 염분의 단위는 실용 염분 단위인 psu를 사용한다.  
(3) 해수에 녹아 있는 물질들을 염류라고 하며, 이 중에는 염  
화 나트륨이 가장 많이 포함되어 있다.

- 02 (1) 염분을 증가시키는 요인에는 증발량 증가와 해수의 결빙이  
있다.  
(2) 염분을 감소시키는 요인에는 강수량 증가와 해빙, 하천수  
의 유입 등이 있다.

- 03 염분은 강수량이 적을수록, 증발량이 많을수록 높게 나타난  
다. 육지와 맞닿아 있는 연안은 육지로부터 하천수가 유입되어  
염분이 낮게 나타나고, 중위도 고압대는 증발량이 강수량보다  
많아서 염분이 높다. 수온과 염분은 직접적인 관계가 없다.

- 04 (1) A는 실제로 측정한 염분(표층 염분)이고, B는 (증발량-  
강수량)의 값이다. 극 해역에서 실제로 측정한 염분이 (증발  
량-강수량)의 값보다 낮게 나타나는 것은 빙하의 해빙과 관  
련이 있다.  
(2) 중위도 해역은 대기 대순환에 따른 하강 기류에 의해 고기  
압이 우세하게 나타나 증발량이 강수량보다 많기 때문에 염  
분이 높게 나타난다.

- 05 (1) 해수 표층에는 대기 중의 산소가 녹아 들어가고, 광합성  
을 하는 생물이 많이 분포하기 때문에 광합성의 결과물인 산  
소가 많이 녹아 있다.  
(2) 해수 중 기체의 용해도에 영향을 미치는 것은 수온, 수압,  
염분이다. 이 중에서 영향을 가장 많이 미치는 것은 수온으  
로, 수온과 기체의 용해도는 반비례한다.  
(3) 지구 온난화가 지속되면 해수의 온도가 상승하여 기체의  
용해도가 감소하기 때문에 해수에 녹아 있던 이산화 탄소가  
대기 중으로 방출하게 된다. 온실 기체인 이산화 탄소의 대기  
중 농도가 높아지면 지구 온난화는 더욱 가속화된다.

- 06 (1) A는 바람의 영향으로 수온이 균일해진 표층의 혼합층이  
고, B는 바람의 영향과 태양 복사 에너지량이 급격히 감소하  
여 수온이 급격히 낮아지는 수온 약층이며, C는 바람의 영향  
이 없고 태양 복사 에너지가 거의 도달하지 않아 수온의 변화  
가 거의 나타나지 않는 심해층이다.  
(2) 혼합층은 바람의 혼합 작용으로 형성되므로, 혼합층의 두  
께는 바람이 강할수록 두꺼워진다.

(3) 수온 약층은 수심에 따라 수온이 낮아지므로 연직 방향으로 매우 안정한 특징을 나타낸다.

**07** (1) A는 수온이고, B는 밀도이다. 해수의 밀도는 수온이 높을수록 낮게 나타난다.

(2) 해수의 밀도의 변화에 가장 큰 영향을 미치는 것은 수온이다. 따라서 수심에 따른 수온 변화가 가장 큰 수온 약층에서 밀도 변화가 가장 크게 나타난다.

(3) 수심에 따른 해수의 밀도 변화에 가장 큰 영향을 미치는 것은 수온이고, 수온 이외에 다른 요인으로 수압과 염분이 있다. 수압이 높거나 염분이 높으면 해수의 밀도가 높게 나타난다.

**08** (1) 해수의 밀도는 염분이 높아질수록, 수온이 낮아질수록 크게 나타나므로  $C > A > B$ 의 순서이다.

(2) A와 C는 수온이 같지만 A보다 C의 염분이 더 높아 C의 밀도가 더 크다.

(3) B와 C는 염분은 같지만 B보다 C의 수온이 더 낮아 C의 밀도가 더 크다.

**09** ㄱ. 여름철에는 강수량이 많기 때문에 전 해역의 염분이 겨울철보다 낮게 나타난다.

ㄴ. 쿠로시오 해류는 수온과 염분이 높은 해류로, 남해는 쿠로시오 해류의 영향을 받아 염분이 높게 나타난다. 여름철에는 강수량의 증가로 하천수의 유입량이 많으므로 겨울철보다 염분이 훨씬 낮다. 따라서 남해는 표층 염분의 연교차가 가장 크다.

**바로 알기** ㄴ. 황해는 지형적으로 대륙으로 둘러싸여 있기 때문에 하천수의 유입이 많아 동해에 비해 염분이 낮게 나타난다.

#### 개념 적용 문제

062쪽

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

**01** ㄱ. 동일 위도에서 표층 염분은 대서양이 태평양보다 높게 나타난다.

ㄴ. 위도 약  $20^{\circ}$ ~약  $30^{\circ}$ 에서는 두 대양 모두 염분이 높게 나타나는데, 이는 중위도 고기압대에서 증발량이 강수량보다 많기 때문이다.

**바로 알기** ㄴ. 해수의 염분은 다르더라도 구성하는 각 염류 사이의 비율은 일정하다.

**02** ㄱ. 기체의 용해도는 수온에 반비례한다. 고위도의 해수는 저위도의 해수보다 수온이 낮기 때문에 용존 산소량이 많다.

ㄴ. 해수의 표층에는 광합성 생물이 많이 분포하기 때문에 표층에서 산소의 농도가 높게 나타난다.

**바로 알기** ㄴ. 수심 1km 이하에서 이산화 탄소의 농도가 높은 것은 이산화 탄소를 많이 포함하는 표층수가 침강하기 때문이다. 수심 1km 이하에서 해양 생물이 거의 나타나지 않는다.

**03** ㄱ. 혼합층은 수심에 따라 수온이 일정한 해수의 표층으로, 바람이 약한 8월~9월 사이에 가장 얇게 형성된다.

ㄴ. 해지면 부근은 바람의 영향이 없고 태양 복사 에너지가 거의 도달하지 않아 계절에 관계없이 수온이 거의 일정하다.

**바로 알기** ㄴ. 수온 약층은 수심에 따라 수온이 급격히 낮아지는 층으로 등수온선이 조밀하게 나타난다. 수온 약층은 표층의 온도가 높고 바람이 약한 여름에 강하게 발달한다.

**04** ㄱ. 수온 약층은 등수온선이 조밀한 곳이고, 표층에서 수온 약층이 시작되는 수심까지가 혼합층이다. 자료에서 혼합층의 두께는 연안에서 멀어질수록 두껍게 나타난다.

ㄴ. 수온 약층은 수심이 깊어질수록 수온이 급격히 낮아지는 층이기 때문에 연직 방향으로 등수온선의 간격이 조밀하게 나타난다.

**바로 알기** ㄴ. 수심이 낮은 연안에서 먼바다로 갈수록 심해층이 나타나는 수심이 조금씩 깊어지는 경향을 보이고 있다.

**05** ㄱ. 해수의 밀도는 등밀도선으로 판단한다. 해수의 밀도는  $C = D > B > A$ 의 순서이다.

ㄴ. D는 B와 수온이 비슷하지만 염분이 B보다 높기 때문에 밀도가 더 크다.

**바로 알기** ㄴ. C와 D는 수온과 염분이 다르지만 밀도가 같기 때문에 두 수괴가 만나면 C와 D 모두 수심을 그대로 유지할 것이다.

**06** ㄱ. 혼합층은 수온이 일정한 해수의 표층으로, 주어진 자료에서는 수심 약 100m까지 혼합층이다. 따라서 혼합층에서는 수온보다 염분의 변화가 크다.

ㄷ, 등밀도선의 연직 방향으로 변화가 큰 수온 약층(수심 100 m~300 m)에서 수심에 따른 밀도의 변화가 가장 크게 나타난다.

**바로 알기** ㄴ, 수심 100 m~300 m 사이에는 수심에 따라 수온이 낮아지는 수온 약층이 나타나므로 해수층이 안정하여 대류가 잘 일어나지 않는다.

**07** ㄱ, A 해역은 양쯔강의 하구로, 대륙으로부터 하천수가 유입되어 염분이 낮게 나타난다.

ㄴ, B 해역은 염분이 높은 쿠로시오 해류의 영향으로 주변보다 염분이 높게 나타난다.

**바로 알기** ㄷ, C와 D는 인접한 곳이므로 증발량과 강수량도 비슷할 것이다. 그런데 연안에 가까운 D 해역이 하천수의 영향을 크게 받으므로 C 해역의 염분이 D 해역보다 높게 나타난 것으로 볼 수 있다.

**08** ㄱ, (나)에서 A 해역은 B 해역에 비해 수온과 염분이 낮음을 알 수 있다.

ㄴ, B 해역은 C 해역에 비해 염분이 높지만 수온도 높아 밀도가 낮게 나타난다.

ㄷ, C 해역은 A 해역과 수온이 다소 높지만 염분이 높기 때문에 밀도가 높게 나타난다.

**09** ㄱ, 수온 약층은 수심에 따라 수온이 급격하게 감소하는 층으로, 같은 해역에서는 표층의 수온이 높을수록 수온 약층이 강하게 발달한다. 주어진 자료에서 수온 약층은 봄보다 가을에 더 강하게 발달하였다.

ㄷ, 해수의 밀도는 수온이 높을수록 감소하고, 염분이 높을수록 증가한다. 따라서 표층 해수의 밀도는 가을보다 봄에 더 높다.

**바로 알기** ㄴ, 표층 해수의 염분 변화에 영향을 주는 요인은 수온과는 관련이 없고 강수량 또는 하천수의 유입 등과 관련이 있다. 주어진 자료를 측정한 시기에는 봄보다 가을에 강수량이 더 많았다고 판단할 수 있다.

**10** ㄱ, 수온의 연교차는 황해가 동해보다 크다. 이는 황해의 수심이 낮아서 대륙의 영향을 많이 받기 때문이다.

ㄴ, 대한해협은 수온이 높게 나타나는 것은 저위도에서 북상하는 난류의 영향을 받기 때문이다.

ㄷ, 조정 수역은 난류와 한류가 만나는 해역으로, 난류가 강해지는 여름에는 동해의 조정 수역이 겨울보다 고위도에서 형성된다.

## 통합 실전 문제

068쪽

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

**01** ㄱ, 현재 우리나라는 이동성 고기압의 전면에 위치하여 맑은 날씨가 나타난다.

**바로 알기** ㄴ, 현재 우리나라에 영향을 주는 고기압은 양쯔강 유역에서 발달한 이동성 고기압이 편서풍을 타고 이동해 온 것이다.

ㄷ, 우리나라는 편서풍의 영향을 받기 때문에 기압 배치가 서에서 동으로 이동한다. 따라서 현재 우리나라 서쪽에 위치한 고기압의 영향으로 당분간 맑은 날씨가 나타날 것이다.

**02** ㄱ, (가)는 온대 저기압이 성숙된 상태이고, (나)는 중심부에 폐색 전선이 생긴 것으로 보아 온대 저기압이 소멸하는 단계이다. 따라서 온대 저기압은 (가)에서 (나)의 형태로 바뀐다.

**바로 알기** ㄴ, (가)의 A와 B에는 모두 찬 기단이 위치하고, 두 전선 사이에 따뜻한 기단이 위치한다.

ㄷ, (나)에서는 한랭 전선과 온난 전선이 겹쳐져서 형성되는 폐색 전선이 나타난다. 따라서 얼마 후 두 기단의 온도 차가 사라지면서 전선은 소멸한다.

**03** ㄱ, 북반구 저기압 주변에서는 바람이 저기압 중심으로 반시계 방향으로 불어 들어가므로 A에서는 남동풍이 분다. (나)에서 남동풍은 c일 때이므로 풍속은 5 m/s보다 약하게 불고 있음을 알 수 있다.

ㄷ, (나)에서 온난 전선이 통과할 때는  $c \rightarrow b$ 이고, 한랭 전선이 통과할 때는  $b \rightarrow a$ 이다. 따라서 풍속의 변화는 온난 전선보다 한랭 전선이 통과할 때 크게 나타났다.

**바로 알기** ㄴ, 관측소 A에서는 현재 남동풍이 불고 있으며, 시간이 지나 온난 전선이 통과한 후 남서풍으로 바뀌고, 한랭 전선이 통과하면 북서풍으로 바뀐다. 따라서 (나)에서 시간에 따라 풍향과 풍속을 측정한 순서는  $c \rightarrow b \rightarrow a$ 의 순이다.

**04** ㄴ, 태풍은 반시계 방향으로 회전하기 때문에 태풍의 진행 방향에 대하여 오른쪽에 위치한 지역에서는 태풍의 이동에 따라 풍향이 시계 방향으로 바뀐다. 따라서 곤파스의 이동 경로에 대하여 오른쪽에 위치한 대전에서는 태풍이 통과하면서 풍향이 시계 방향으로 바뀐다.

**바로 알기** ㄱ, 태풍은 발생 후 이동하면서 수증기를 공급 받아 세력이 강해지다가, 수온이 낮아지거나 수증기의 공급이 감소하면 세력이 약해진다.

태풍의 세기는 중심 기압으로 알 수 있는데, 9월 1일 오전까지 중심 기압이 낮아지는 것으로 보아 그때까지 고파스의 세력이 강해지다가 그 이후로 중심 기압이 높아지면서 세력이 약해졌음을 알 수 있다.

ㄷ. 태풍이 육지에 상륙하면 수증기의 공급이 끊기므로 세력이 약해져서 중심 기압이 상승한다.

- 05 ㄱ. 태풍은 저기압의 일종이기 때문에 중심으로 갈수록 기압이 낮아지고, 풍속은 태풍의 눈을 제외한 중심부에서 가장 강하게 나타난다. 따라서 ㉠은 기압이고, ㉡은 풍속이다.

ㄷ. B 지역은 태풍의 눈으로, 약한 하강 기류에 의해 날씨가 맑고 바람이 약하게 불 것이다.

**바로 알기** ㄴ. 북반구에서 태풍은 시계 반대 방향으로 회전하므로 북상하는 태풍의 서쪽인 A 지역에는 북풍 계열, 동쪽인 C 지역에는 남풍 계열의 바람이 분다.

- 06 ㄴ. 레이더 영상은 가시광선을 이용하지 않는 방법이므로 빛이 없는 밤에도 촬영이 가능하다.

ㄷ. 현재 중부 지방과 동해안 일대에는 비구름이 분포하고 있으며, 특히 서울은 게릴라성 호우의 가능성이 있다.

**바로 알기** ㄱ. 레이더 영상은 전파를 보내 구름 속에 있는 빔방울이나 눈송이에 부딪혀 돌아오는 반사파를 분석하여 영상으로 나타낸 것이다. 레이더 영상을 통해 구름 속에 강수 입자가 얼마나 있는지 알 수 있다. 구름의 두께는 가시 영상으로 알 수 있고, 구름의 고도는 적외 영상으로 알 수 있다.

- 07 ㄱ. 빙정이 구름 내에서 상승과 하강을 반복하면서 성장하여 무거워지면 우박이 되어 떨어진다.

**바로 알기** ㄴ. 우박은 중심부를 투명한 얼음층과 불투명한 얼음층이 번갈아 둘러싸는 층상 구조를 가진다. 불투명한 층은 빙정이 적란운 내에서 강한 상승 기류를 타고 상승과 하강을 반복하여 성장하는 과정에서 기포가 포함되어 나타나는 것이다.

ㄷ. 우박은 겨울과 한여름에는 거의 발생하지 않는데, 기온이 너무 낮으면 적란운이 형성되지 않으며, 기온이 너무 높으면 우박이 떨어지는 동안에 녹아 버리기 때문이다.

- 08 ① A는 고위도에 위치한 시베리아 지역의 상공에서 형성된 차고 건조한 공기이다.

② 차고 건조한 기단인 A가 동해의 따뜻한 해수면을 통과하면서 해수면 위의 습한 공기를 냉각시켜 눈구름대가 형성되었다.

③ 우리나라 남쪽의 저기압이 찬 공기의 남하를 저지하는 역할을 함으로써 눈구름대가 동해로 유입되어 이 일대에 폭설을 내렸다.

④ 북동쪽에서 부는 바람이 동해에 형성된 눈구름을 강원도 지역으로 이동시키는 역할을 하였다.

**바로 알기** ⑤ 문제의 폭설은 상공의 찬 공기가 습한 해수 위의 공기를 냉각시켜서 눈구름을 만들기 때문에 나타난다. 따라서 동해의 수온이 높을수록 공기 중에 수증기를 더 많이 공급하므로 폭설이 더 잘 발생할 수 있다.

- 09 ㄱ. 황사의 발원지는 대부분 중위도의 사막이나 고원 지역과 같이 건조하여 모래나 먼지가 많은 지역이다.

ㄴ. 황사의 발원지는 대부분 중위도에 위치하고 있기 때문에 편서풍의 영향을 받아 황사가 서에서 동으로 이동한다.

**바로 알기** ㄷ. 황사 유입의 빈도는 황사 발원지의 거리가 가까울수록 높은 것이 아니라 황사의 종류와 규모 및 발원지의 성격과 관련이 있다. 즉, 발원지가 가깝더라도 황사의 규모가 작거나 황사를 구성하는 입자의 크기가 클 경우에는 멀리까지 이동하기 어렵다.

- 10 ㄱ. 중위도는 대기 대순환에 의해 고기압대가 나타나는 곳으로, 증발량이 강수량보다 많아서 염분이 높게 나타난다.

ㄴ. 적도 해역은 대기 대순환에 의해 저기압대가 나타나는 곳으로 증발량보다 강수량이 더 많아서 중위도 해역에 비해 염분이 상대적으로 낮게 나타난다.

**바로 알기** ㄷ. 고위도 해역은 (증발량-강수량)의 값보다 실측한 염분이 대체로 더 낮게 나타나는데, 이는 증발량과 강수량 이외의 요인이 더 작용하기 때문이다. 즉, 고위도 해역에서는 빙하가 녹은 물에 의해 해수가 희석되어 염분이 낮게 나타난다. 결빙이 나타날 경우에는 염분이 증가한다.

- 11 ㄱ. 산소는 해수의 표층에 많이 분포하고, 이산화 탄소는 수심이 깊어질수록 증가한다. 해수 중에 포함되어 있는 양은 산소보다 이산화 탄소가 더 많다. 따라서 A는 산소, B는 이산화 탄소이다.

ㄷ. 해수의 표층에는 광합성 생물이 많이 분포하기 때문에 산소의 농도가 높다. 이산화 탄소의 경우에 해수 표층에서 광합성으로 유기물이 생성되는 과정에서 이산화 탄소가 쓰임으로 표층에서의 농도가 낮다.

**바로 알기** ㄴ. 산소는 표층에 많이 분포하지만 절대적인 양은 이산화 탄소가 약 10배 이상 많다. 그래프의 x축에서 위에 있는 값이 산소의 양이고, 아래에 있는 값이 이산화 탄소의 양임에 주의해야 한다.

- 12 ㄱ. 혼합층의 두께는 바람의 세기에 비례한다. 저위도보다 중위도에서 혼합층이 두껍게 나타나는 것은 바람이 강하게 불고 있음을 의미한다.

ㄴ, 수온 약층의 두께는 저위도보다 중위도에서 다소 두껍다. 그러나 수온 약층에서 수온 변화의 폭은 중위도보다 저위도에서 더 크게 나타난다. 따라서 수온 약층은 저위도에서 더 강하게 발달함을 알 수 있다.

**바로 알기** ㄷ, 고위도 해역은 해수에 도달하는 태양 복사 에너지가 적기 때문에 표층과 심층 사이의 수온 차이가 거의 나타나지 않는다. 따라서 고위도 해역에서는 해수의 성층 구조가 잘 나타나지 않는다.

- 13 ㄷ, 심해층에서는 태양 복사 에너지의 영향이 거의 없고 물의 이동도 거의 나타나지 않으므로 수심에 따른 수온 변화와 염분 변화가 작다.

**바로 알기** ㄱ, A 부분의 표층에는 난류가 유입되어 수온이 상승하였고, 염분의 연직 분포를 나타낸 그림에서 이 난류는 염분이 낮은 것을 알 수 있다.

ㄴ, A 부분은 표층이기 때문에 계절에 따라 수온의 변화가 크게 나타나지만 B 부분은 계절에 따른 영향을 상대적으로 적게 받으므로 표층보다 수온의 변화가 작게 나타난다.

- 14 ㄱ, 수심이 깊어질수록 수온이 낮아지고, 밀도가 증가한다. 즉, 수심에 따른 수온과 밀도는 반비례하여 나타난다.

ㄴ, 수온 약층에서는 수심에 따라 수온이 급격히 낮아지므로 밀도는 급격히 증가한다.

**바로 알기** ㄷ, 하천수는 해수보다 염분이 낮으므로 밀도가 작다. 따라서 바다로 유입된 하천수는 밀도 차에 의해 해수 표층을 따라 흐르게 된다.

- 15 ㄱ, 증발량이 많을수록 염분이 높고, 강수량이 많을수록 염분이 낮다. 즉, 염분은 증발량에 비례하고, 강수량에 반비례한다.

ㄴ, 적도를 포함한 저위도 해역에서는 증발량도 많지만 대기 대순환에 의한 저압대의 형성으로 강수량이 더 많아 염분이 상대적으로 낮게 나타난다. 반면, 중위도 해역에서는 대기 대순환에 의한 하강 기류에 의해 고압대가 형성되어 증발량이 강수량보다 많으므로 염분이 높게 나타난다.

**바로 알기** ㄷ, 염분은 기온과 직접적인 관련이 없다. 기온이 높다고 해서 증발량이나 강수량이 반드시 많다고 할 수 없기 때문이다.

- 16 ㄴ, 해수의 밀도는 수온이 낮을수록, 염분이 높을수록 높다. b 구간에서는 수온이 낮아지고 염분이 높아지므로 밀도가 증가한다.

ㄷ, c 구간과 d 구간에서는 수온이 급격히 변화하지만 염분의 변화는 작다. 따라서 c 구간과 d 구간의 밀도 변화는 염분보다 수온의 영향을 많이 받았다.

**바로 알기** ㄱ, a 구간은 수심에 따라 수온이 급격히 감소하므로 수온 약층에 해당한다.

## 사고력 확장 문제

076쪽

- 01 (1) 저기압은 중심으로 갈수록 기압이 낮으므로 바람이 바깥에서 중심을 향하여 불어 들어오고, 고기압은 중심으로 갈수록 기압이 높으므로 바람이 중심에서 바깥을 향하여 불어 나간다.

(2) 공기가 상승을 하면 단열 팽창하여 온도가 내려가고, 공기가 하강을 하면 단열 압축되어 온도가 높아진다.

**모범 답안** (1) 북반구의 저기압에서는 시계 반대 방향으로 바람이 불어 들어가고, 고기압에서는 시계 방향으로 불어 나온다.

(2) 저기압에서는 상승 기류가 발생하므로 공기가 단열 팽창하여 기온이 하강하면서 구름이 만들어지고, 고기압에서는 하강 기류가 발생하므로 공기가 단열 압축되어 기온이 높아져서 구름이 소멸하므로 맑은 날씨가 된다.

채점 기준		배점(%)
(1)	저기압, 고기압에서 바람의 방향을 모두 옳게 서술한 경우	40
	저기압과 고기압에서의 바람 방향 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	20
(2)	공기의 상승과 하강에 따른 단열 변화와 기온 변화를 모두 옳게 서술한 경우	60
	공기의 상승과 하강에 따른 단열 변화와 기온 변화 중 일부만 옳게 서술한 경우	30

- 02 (1) 한랭 전선은 찬 공기가 따뜻한 공기를 파고들면서 형성된다.

(2) 전선의 경계에서는 두 기단의 밀도 차에 의해 공기가 상승하는데, 이때 에너지의 변화가 발생한다.

**모범 답안** (1) 한랭 전선이며, 전선의 후면에서 적운형 구름이 발달하여 전선 후면의 좁은 구역에 소나기성 비가 내린다.

(2) 찬 기단이 따뜻한 기단을 파고들면서 따뜻한 기단이 상승하게 된다. 이때 두 기단의 무게 중심 변화에 따라 위치 에너지가 감소하게 되고, 감소한 위치 에너지가 운동 에너지로 바뀌어 전선의 에너지원으로 쓰인다.

채점 기준		배점(%)
(1)	전선의 명칭, 구름의 종류, 강수 구역의 특징을 모두 옳게 서술한 경우	50
	전선의 명칭, 구름의 종류, 강수 구역의 특징 중 일부 만 옳게 서술한 경우	20
(2)	기단의 상승에 따른 위치 에너지의 변화를 옳게 서 술한 경우	50
	위치 에너지라는 표현을 포함하지 않은 경우	10

- 03** (1) 정체성 고기압은 그 중심이 대륙이나 해양의 특정 지역에 오랫동안 머무르며 주위 지역에 영향을 미치는 고기압이다.  
(2) 한랭 고기압은 지표면의 냉각에 의해 생기고, 온난 고기압은 대기 대순환의 하강 기류에 의해 생긴다.  
**모범 답안** (1) 한랭 고기압의 예로는 시베리아 고기압이 있고, 온난 고기압의 예로는 북태평양 고기압이 있다.  
(2) 한랭 고기압은 지표면의 냉각에 의한 하강 기류로 나타나는 고기압이고, 온난 고기압은 대기 대순환의 하강 기류에 의해 나타나는 고기압이기 때문에 온난 고기압이 한랭 고기압보다 연직 높이가 높다.

채점 기준		배점(%)
(1)	고기압의 예를 각각 옳게 답한 경우	50
	고기압의 예를 한 가지만 옳게 답한 경우	20
(2)	고기압의 형성 원인을 모두 옳게 답한 경우	50
	고기압의 형성 원인을 한 가지만 옳게 답한 경우	20

- 04** (1) 온대 저기압이 동반하는 온난 전선이 통과하면 기온이 상승하고 기압은 하강하며, 한랭 전선이 통과하면 기온이 하강하고 기압은 상승한다. 그림에서 15시경에 기온이 급격히 하강하고 기압은 급격히 상승하였으므로, 15시경에 한랭 전선이 통과하였음을 알 수 있다.  
(2) 한랭 전선이 통과할 때는 적운형 구름이 만들어지므로 소나기가 내릴 확률이 높다.  
**모범 답안** (1) 15시 전후에 한랭 전선이 통과하였다.  
(2) 오후에는 한랭 전선이 통과하면서 바람이 남서풍에서 북서풍으로 바뀌며 한차례 소나기가 내릴 것이다.

채점 기준		배점(%)
(1)	전선 통과 시각과 전선의 종류를 옳게 답한 경우	50
	전선 통과 시각과 전선의 종류 중 한 가지만 옳게 답한 경우	30
(2)	풍향의 변화, 강수 형태를 모두 옳게 서술한 경우	50
	풍향의 변화, 강수 형태 중 일부만 옳게 서술한 경우	30

- 05** (1) 가시 영상에서는 두꺼운 구름일수록 밝게 보이고, 적외 영상에서는 고도가 높은 구름일수록 밝게 보인다.

- (2) 레이더 영상에 나타나는 것은 물이나 얼음 입자에서 산란 또는 반사된 것으로, 비나 눈 입자의 양을 알 수 있다.  
(3) 우리나라의 서쪽에 기압골이 길게 형성되어 있다.  
**모범 답안** (1) (가)의 가시 영상에서 밝게 보이는 구름은 두꺼운 구름이고, (나)의 적외 영상에서 밝게 보이는 구름은 온도가 낮으며 고도가 높은 구름이다.  
(2) 레이더 영상에서 흐린 색부터 짙은 색까지 나타나는 것은 강수 입자로, 이를 통해 실제 강수량가 비나 눈이 오는 위치를 알 수 있다.  
(3) 서쪽에서 다가오는 기압골의 영향으로 우리나라에 구름이 많아지고 강수 현상이 나타난다.

채점 기준		배점(%)
(1)	(가), (나)에서 밝게 보이는 구름의 특징을 모두 옳게 서술한 경우	30
	(가), (나)에서 밝게 보이는 구름의 특징을 일부만 옳 게 서술한 경우	10
(2)	레이더 영상에 나타나는 물질과 이로부터 알 수 있 는 사실을 옳게 서술한 경우	30
	레이더 영상에 나타나는 물질과 이로부터 알 수 있 는 사실 중 일부만 옳게 서술한 경우	10
(3)	우리나라에 구름이 많아지고 강수 현상이 나타난 까 닭을 기압골을 언급하여 옳게 서술한 경우	40
	기압골을 언급하지 않고 서술한 경우	20

- 06** (1) 수온이 높은 열대 해상에서 해수면 위의 공기 덩어리가 상승하여 적란운이 되면 전향력의 영향을 받아 회전하므로 바람이 발생한다.  
(2) 적란운 내의 수증기가 응결하면서 숨은열이 방출되는데, 이것이 태풍의 회전력을 증가시켜 강풍과 강우를 일으키는 에너지원이 된다.  
**모범 답안** (1) 태풍은 수온이 27℃ 이상으로 높아서 수증기의 증발이 강하게 일어나는 열대 해역에서 발생한다. 해수면 위의 공기 덩어리가 빠르게 상승하여 적란운이 만들어지고, 이것이 전향력의 영향으로 회전하면서 이동하는 태풍이 된다. 수온이 높은 열대 해상에서도 적도 부근은 전향력이 작용하지 않기 때문에 태풍은 위도 5°~25°의 해역에서 형성될 수 있다.  
(2) 수증기의 응결에 의한 숨은열

채점 기준		배점(%)
(1)	수증기의 증발, 열대 해역, 전향력을 모두 언급하여 옳게 서술한 경우	70
	수증기의 증발만을 언급하여 서술한 경우	30
	전향력만을 언급하여 서술한 경우	20
	전향력을 포함하지 않고 서술한 경우	10
(2)	수증기의 응결과 숨은열이라는 용어를 포함하여 옳 게 설명한 경우	30
	숨은열이라는 용어를 포함하지 않은 경우	10

- 07 북반구에서 태풍 진행 방향에 대하여 오른쪽은 태풍의 진행 속도에 회전 속도가 더해져 풍속이 강해지고, 왼쪽은 태풍의 진행 속도에서 회전 속도가 감해져 풍속이 약해진다.

**모범 답안** 풍속이 각각 A는 100 km/h이고, B는 160 km/h이므로, B가 위험 반원에 해당한다.

채점 기준	배점(%)
A와 B의 값과 위험 반원 지역을 모두 옳게 답한 경우	100
A와 B의 값과 위험 반원 지역 중 일부만 옳게 답한 경우	50

- 08 (1) 우리나라의 겨울철에는 대륙에서 발달한 시베리아 고기압의 영향으로 북서 계절풍이 발달한다.

(2) 차가운 기단이 따뜻한 해수를 통과하면 수증기의 공급이 많아지고, 이 수증기가 눈구름으로 발달한다.

**모범 답안** (1) 북서풍, 시베리아 고기압

(2) 차가운 대륙 고기압이 상대적으로 수온이 높은 황해를 통과하면서 열과 수증기를 공급 받으면 눈구름을 형성하고, 이 눈구름이 북서풍을 따라 이동해 오므로 서해안에 폭설이 내린다.

채점 기준	배점(%)
(1) 바람의 방향과 대륙 고기압의 명칭을 모두 옳게 답한 경우	40
(1) 바람의 방향과 대륙 고기압의 명칭 중 한 가지만 옳게 답한 경우	20
(2) 황해에서 눈구름이 발달하는 과정을 모두 옳게 서술한 경우	60
(2) 황해에서 수증기가 공급되었다는 사실을 언급하지 않은 경우	20

- 09 황사는 건조한 지역에서 형성되며, 저기압이 생길 때 상승하여 편서풍을 타고 이동하다가 고기압의 하강 기류를 따라 하강한다.

**모범 답안** •발원지의 특성: 모래나 먼지가 많이 생길 수 있는 건조한 지역으로, 주로 중위도 고압대가 황사의 발원지가 된다.

•황사의 상승 조건: 상승 기류가 발생하는 저기압에서 황사가 상승하게 된다.

•황사의 이동: 중위도에서 황사는 편서풍을 따라 서에서 동으로 이동한다.

•황사의 하강 조건: 하강 기류가 발생하는 고기압에서 황사가 하강하게 된다.

채점 기준	배점(%)
4가지 단계를 모두 옳게 서술한 경우	100
4가지 단계 중 일부만 옳게 서술한 경우	각 20

- 10 (1) 적도에서 상승한 공기는 고위도로 이동하는 과정에서 점차 냉각되어 위도 30° 부근에 이르러 하강하게 되므로 중위도 고압대가 형성된다. 즉, 중위도는 대기 대순환에 의해 고기압이 우세하게 나타난다.

(2) 대륙 연안 해역은 하천수의 유입이 많으므로 염분이 낮게 나타난다.

**모범 답안** (1) 중위도 해역은 대기 대순환에 의해 고기압이 우세하게 나타나며, 이에 따라 증발량이 강수량보다 많아져 염분이 높게 나타난다.

(2) 대륙의 연안은 하천수의 유입이 많기 때문에 먼바다에 비해 염분이 상대적으로 낮게 나타난다.

채점 기준	배점(%)
(1) 중위도 고압대 및 증발량과 강수량의 관계를 모두 옳게 서술한 경우	50
(1) 중위도 고압대 및 증발량과 강수량 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	30
(2) 하천수의 유입을 언급하여 염분이 낮은 까닭을 옳게 서술한 경우	50
(2) 하천수의 유입을 포함하여 서술하지 않은 경우	5

- 11 (1) 혼합층은 바람의 혼합 작용에 따라 표층의 수온이 균일한 층이다.

(2) 수온 약층은 수심에 따라 수온이 급격히 하강하므로 매우 안정한 층이다.

**모범 답안** (1) 여름은 수심 10 m까지 수온 변화가 크지 않으므로 혼합층의 두께가 약 10 m이고, 겨울은 수심 150 m까지 수온 변화가 거의 없으므로 혼합층의 두께가 약 150 m 이다. 즉, 여름보다 겨울에 혼합층이 더 두껍게 발달한다. 겨울에는 여름보다 바람이 강하게 불기 때문이다.

(2) 여름에 수온 약층이 더 발달하므로 해수가 겨울보다 여름에 연직 방향으로 더 안정하다.

채점 기준	배점(%)
(1) 혼합층의 두께와, 혼합층과 바람의 관계를 모두 옳게 서술한 경우	50
(1) 혼합층의 두께와, 혼합층과 바람의 관계 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	30
(2) 계절 따른 수온 약층의 변화를 비교하여 옳게 서술한 경우	50
(2) 수온 약층의 비교가 잘못된 경우	5

## 2. 대기와 해양의 상호 작용

### 01 대기와 해양의 상호 작용

#### 탐구 확인 문제

097쪽

01 ⑤ 02 ①

- 01 엘니뇨는 무역풍이 평상시보다 약해질 때 열대 동태평양의 표층 수온이 높아지는 현상으로, 기권과 수권의 상호 작용으로 대기의 순환에 변화가 일어난다.

**바로 알기** ⑤ 엘니뇨가 발생하면 열대 태평양뿐만 아니라 아시아와 아메리카 등 전 세계의 기후에 영향을 미친다.

- 02 ㄱ. 평상시 열대 동태평양 지역은 연안 용승으로 해수면 온도가 낮아서 하강 기류가 발달하여 날씨가 맑다.

**바로 알기** ㄴ. 엘니뇨 발생 시 무역풍이 약해지면 페루 연안의 용승이 약화되고, 열대 서태평양 지역의 따뜻한 해수가 동태평양으로 이동하여 동태평양의 표층 수온은 평상시보다 높아진다.

ㄷ. 엘니뇨 발생 시 동남아시아 지역은 고기압이 분포하여 건조하고 강수량이 감소한다.

#### 개념 모아 정리하기

100쪽

- ① 무역풍 ② 편서풍 ③ 표층 순환 ④ 시계 ⑤ 반시계  
⑥ 쿠로시오 ⑦ 염분 ⑧ 남극 ⑨ 북대서양 심층수  
⑩ 산소 ⑪ 연안 ⑫ 무역풍 ⑬ 엘니뇨 ⑭ 라니냐  
⑮ 무역풍 ⑯ ENSO

#### 개념 기본 문제

101쪽

- 01 ㉠: 극순환, ㉡: 극동풍, ㉢: 페렐 순환, ㉣: 편서풍,  
㉤: 해들리 순환, ㉥: 무역풍 02 ㉠: 아열대 순환, ㉡: 열대 순환  
03 A: 북적도 해류, B: 쿠로시오 해류, C: 북태평양 해류,  
D: 캘리포니아 해류 04 (1) 동한 난류 (2) 조정 수역  
05 (1) 남극 중층수 (2) ㄱ, ㄴ, ㄷ 06 ㄴ, ㄷ 07 ㄱ, ㄴ, ㄷ  
08 ㄱ

- 01 북반구의 고위도에는 극순환으로 지상에 극동풍이 불고, 중위도 지방에는 페렐 순환으로 지상에 편서풍이 불며, 저위도 지방에는 해들리 순환으로 지상에 무역풍이 분다.

- 02 중위도 해역에 형성되는 표층 순환은 아열대 순환이고, 저위도 해역에는 남적도 해류와 북적도 해류 및 적도 반류로 구성되는 열대 순환이 형성된다.

- 04 (1) A 해류는 쿠로시오 해류에서 갈라져 동해안을 따라 북상하는 동한 난류이다.

(2) 한류와 난류가 만나는 곳에 플랑크톤, 용존 산소량, 영양염류가 풍부하여 좋은 어장이 형성되는 해역을 조정 수역이라고 한다.

- 05 (1) A 해류는 남극 주변에서 수온 하강으로 밀도가 커져서 침강하는 남극 중층수이다.

(2) ㄱ. 심층 순환은 해수의 밀도 차에 의해 발생한다.

ㄴ. 가장 수심이 깊은 해저까지 도달하는 남극 저층수는 밀도가 가장 크다.

ㄷ. 북대서양 심층수는 수심 2 km ~ 3 km로 침강하여 남반구까지 이동한다.

- 06 ㄴ. 연안 용승으로 차가운 해수가 상승하여 표층 수온이 낮아진다.

ㄷ. 연안 용승은 해수가 먼 바다로 이동할 때 일어나므로, 이날 해안에는 남풍이 지속적으로 불었음을 알 수 있다.

**바로 알기** ㄱ. 용승이 일어나면 심층의 차가운 해수가 상승하므로 해안 부근의 기온이 낮아진다.

- 07 ㄱ, ㄴ 북반구에서 바람의 방향에 대하여 오른쪽 직각 방향으로 표층 해수가 이동하므로 저기압의 중심에서 바깥쪽으로 해수가 이동하고, 저기압 중심부에서는 용승이 일어난다.

ㄷ. 중심부에서 용승이 일어나서 찬 해수가 상승하므로 표층 수온이 낮아진다.

- 08 ㄱ. 엘니뇨가 발생하면 페루 연안은 용승이 약해져서 표층 수온이 상승하고, 상승 기류에 의한 구름대가 형성되어 강수량이 증가한다.

**바로 알기** ㄴ. 엘니뇨 발생 시 페루 연안의 용승이 약해져서 표층 수온이 평상시보다 높아진다.

ㄷ. 표층 수온이 상승하면 용존 산소와 플랑크톤 등이 감소하여 어장이 황폐화된다.

#### 개념 적용 문제

103쪽

01 ③	02 ⑤	03 ④	04 ①	05 ④	06 ④
07 ③	08 ③	09 ①	10 ③	11 ④	12 ④
13 ③	14 ④				

- 01 ㄱ. ㉠은 북반구 중위도 해역의 아열대 순환이다.  
ㄷ. 아열대 순환은 저위도에서는 무역풍의 영향으로 형성되고, 중위도에서는 편서풍의 영향으로 형성된다.

**바로 알기** ㄴ. 북반구의 아열대 해역에서는 무역풍과 편서풍의 영향으로 시계 방향의 아열대 순환이 나타난다. 따라서 A에서는 저위도에서 고위도로 이동하는 난류가, B에서는 고위도에서 저위도로 이동하는 한류가 흐른다.

- 02 ㄱ. 북적도 해류와 남적도 해류는 저위도에서 서쪽으로 흐르는 해류로, 무역풍의 영향을 받아 형성된다.

ㄴ. 열대 순환의 일부는 아열대 순환과 합해져서 고위도로 이동할 수 있으며, 반대로 아열대 순환의 일부는 열대 순환으로 이어짐으로써 표층 해류는 지구 전체를 순환할 수 있다.

ㄷ. 북반구와 남반구에서 무역풍과 편서풍이 적도를 중심으로 대칭을 이루므로 아열대 순환도 적도를 중심으로 대칭적으로 나타난다.

- 03 ㄴ. 중위도 해역에서는 편서풍, 저위도 해역에서는 무역풍의 영향으로 표층 해류가 발생한다.

ㄷ. ㉠ 해역에서는 난류와 한류가 만나기 때문에 위도에 따른 수온의 변화가 ㉡ 해역에서보다 크게 나타난다.

**바로 알기** ㄱ. A는 난류, B는 한류로, 수온은 A가 B보다 높다. 한편 A는 아열대 해역을 통과하여 북상하므로 B에 비해 염분도 높게 나타난다.

- 04 ㄱ. A는 쿠로시오 해류로, 북상하면서 그 일부가 대한 해협으로 갈라져 들어와 대마(쓰시마) 난류와 동한 난류를 형성한다. 따라서 대마(쓰시마) 난류와 동한 난류는 수온과 염분 등의 물리량이 서로 비슷하게 나타난다.

**바로 알기** ㄴ. 동해에서 겨울에 한류가 강해져서 남하하므로 조정 수역은 여름보다 낮은 위도에서 형성된다.

ㄷ. 난류의 영향을 받으면 대기의 하층부가 가열되어 기층이 불안정해지므로 상승 기류에 의해 강수 현상이 나타난다. 안개는 기층이 안정되었을 때 나타난다.

- 05 ㄱ. 북대서양 심층수는 남극 중층수보다 수온이 낮고 염분이 높으므로 남극 중층수보다 더 낮은 곳에서 순환한다.

ㄷ. 심층 순환은 고위도에서 저위도로 해수가 이동함으로써 남북 간 에너지를 수송하여 지구의 열평형에 기여한다.

**바로 알기** ㄴ. 남극 저층수는 염분은 낮지만 수온이 낮기 때문에 밀도가 커져 형성된 심층수이다.

- 06 ㄴ. B에서는 북대서양에서 침강한 심층수가 남극 해역에서 침강한 찬 해수와 합류하면서 해수가 더 냉각되어 인도양과 태평양 해저로 흘러간다.

ㄷ. C에서는 해저를 따라 북상하던 심층수가 점차 표면으로 상승하여 표층 순환과 연결된다.

**바로 알기** ㄱ. A에서 해수의 침강 속도가 느려지면 표층 순환의 흐름이 약해진다.

- 07 ① 용승이 일어나는 해안은 표층 수온이 낮기 때문에 기층이 안정해지므로 안개가 자주 발생한다.

② 울산 연안에서 용승이 일어나려면 표층 해수가 동쪽으로 이동해야 하므로 남풍이 지속적으로 불어야 한다.

④ 해수의 용승이 일어나면 해저에 있던 영양 염류가 표층으로 상승하기 때문에 표층 해수의 영양 염류가 증가한다.

⑤ 울산 연안의 수온이 낮아진 것은 연안 용승 때문이다.

**바로 알기** ③ 울산 연안의 수온이 다른 해역에 비해 낮은 것은 수온이 낮은 심층수가 용승하였기 때문이다.

08 ㄱ. 무역풍은 저위도에서 부는 바람으로 풍향은 적도를 중심으로 대칭을 이룬다.

ㄴ. 북반구에서는 바람의 방향에 대하여 오른쪽, 남반구에서는 왼쪽 직각 방향으로 표층 해수가 이동한다.

**바로 알기** ㄷ. 무역풍에 의한 표층 해수의 이동이 남반구와 북반구에서 서로 반대 방향이므로 적도 부근에서 표층 해수가 발산하고, 그 결과 용승이 일어난다.

09 ㄱ. 용승 해역은 수온이 낮은 심층의 해수가 상승하기 때문에 주위보다 표층 수온이 낮다.

**바로 알기** ㄴ. A 해역은 적도를 중심으로 양쪽에서 부는 무역풍의 영향으로 적도 용승이 일어나는 곳이다.

ㄷ. B 해역에서 용승이 일어나기 위해서는 표층 해수가 서쪽으로 이동해야 하므로 북풍이 불어야 한다.

10 ㄱ. 북반구의 고기압 중심부에서는 바람이 시계 방향으로 불어 나간다.

ㄴ. 북반구에서는 바람이 부는 방향의 오른쪽 직각 방향으로 표층 해수가 이동한다. 따라서 북반구의 고기압 중심부에서는 시계 방향으로 바람이 불기 때문에 표층 해수가 고기압 중심부 쪽으로 이동한다.

**바로 알기** ㄷ. 고기압 중심에서 지속적으로 부는 바람에 의해 표층 해수가 수렴하므로, 해수의 침강이 발생하여 수온이 약간 상승한다.

11 ㄴ. 엘니뇨 발생 시 페루 연안의 연안 용승이 약화되어 표층 수온이 상승하고, 적도 해역에서 따뜻한 해수가 분포하는 영역이 동쪽으로 확장된다.

ㄷ. 무역풍이 약해지면 C 해역에서 일어나는 용승 현상이 약화되므로 표층 수온이 상승한다.

**바로 알기** ㄱ. 엘니뇨가 발생할 때 무역풍의 세기는 약화된다.

12 ㄱ. 엘니뇨 발생 시 남아메리카 연안의 용승이 약화되어 표층 수온이 상승하고, 적도 해역에서 따뜻한 해수가 분포하는 영역이 동쪽으로 확장된다. 그 결과 저기압이 분포하는 위치가 동쪽으로 이동하여 페루 연안은 평상시보다 강수량이 증가한다.

ㄷ. 엘니뇨 발생 시 적도 부근 동태평양의 수온이 높아져서 상승 기류가 발달하기 때문에 워커 순환의 모습이 달라진다.

**바로 알기** ㄴ. 엘니뇨가 발생하면 적도 부근 동태평양의 표층 수온이 높아지므로 상승 기류가 발달하는 지역 또한 동쪽으로 이동하여 오스트레일리아 일대는 강수량이 감소한다.

13 ㄱ. A 해역의 표층 수온은 엘니뇨가 발생할 때보다 라니냐가 발생할 때 낮다.

ㄴ. 적도 부근 동태평양의 표층 수온은 엘니뇨 발생 시 평상시보다 높아지고, 라니냐 발생 시에는 평상시보다 낮아진다.

**바로 알기** ㄷ. 엘니뇨 발생 시 A 해역에서 용승이 억제되고, 라니냐 발생 시 용승이 활발해진다.

14 ㄱ. 남방 진동은 무역풍의 세기 변화에 따라 적도 해역의 수온 분포가 달라져 기압 배치가 주기적으로 변하는 현상이다.

ㄷ. 엘니뇨 발생 시 타히티 해역에는 높아진 수온에 의해 저기압이 형성된다.

**바로 알기** ㄴ. 엘니뇨가 발생 시 타히티의 기압이 다윈 지역의 기압보다 낮아지므로 남방 진동 지수(타히티의 기압-다윈의 기압)는 (-)의 값을 나타낸다.

## 02 기후 변화

### 탐구 확인 문제

125쪽

#### 01 해설 참조

#### 02 해설 참조

01 현재 추세대로 온실 기체가 배출될 경우 지구 온난화가 계속되어 우리나라의 평균 기온이 상승하고 연강수량도 증가할 것이다.

**모범 답안** 우리나라의 평균 기온이 상승하고 연강수량이 증가할 것이다.

채점 기준	배점(%)
평균 기온 변화와 연강수량의 변화를 모두 옳게 서술한 경우	100
평균 기온 변화와 연강수량 변화 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	40

02 우리나라의 기후 변화에 따라 한라봉의 재배지는 제주도에서 전북 김제로, 포도의 재배지는 전북 경산에서 강원도 영월로, 녹차의 재배지는 전남 보성에서 강원도 고성으로 이동하는 등, 주요 작물의 재배지가 북상하고 있다.

**모범 답안** 우리나라가 아열대 기후로 변하면서 주요 작물의 재배지가 고위도로 북상한다.

채점 기준	배점(%)
주요 작물의 재배지가 고위도로 북상하고 있다고 옳게 서술한 경우	100
주요 작물의 재배지가 변화하였다고만 서술한 경우	10

개념 모아 정리하기

126쪽

- ① 판    ② 대기    ③ 천문학적    ④ 경사 방향    ⑤ 태양 복사 에너지양  
⑥ 태양    ⑦ 지구    ⑧ 복사 평형    ⑨ 온실 효과  
⑩ 아열대    ⑪ 이산화 탄소

개념 기본 문제

127쪽

- 01 대기 투과율    02 ㄷ    03 ㉠ 가시광선, ㉡ 적외선  
04 (1) × (2) ○ (3) ×    05 A: 해빙 또는 빙하의 감소, B: 화석 연료의 사용  
06 ㄴ, ㄷ, ㄹ

01 태양 복사 에너지가 대기를 통과하여 지표면에 도달하는 양의 비율을 대기 투과율이라고 하며, 대기 투과율은 대기의 상태에 따라 달라진다.

02 지구 공전 궤도의 이심률이란 공전 궤도의 납작한 정도로, 이심률이 클수록 타원 형태를 띤다.

ㄷ. 공전 궤도의 이심률이 커지면 근일점과 원일점의 거리 차이가 커진다. 우리나라의 겨울은 근일점에서 나타나므로 공전 궤도의 이심률이 커지면 겨울의 기온이 높아지고, 반대로 여름은 태양으로부터 더 멀어지므로 기온이 낮아져 기온의 연교차가 작아진다.

**바로 알기** ㄱ. 계절은 자전축의 방향에만 관련이 있으므로 공전 궤도의 이심률이 변해도 여름과 겨울의 시기가 바뀌지 않는다.

ㄴ. 낮과 밤의 길이는 지구의 자전 주기에 관련되어 있으므로 공전 궤도의 이심률이 변해도 밤낮의 길이가 바뀌지 않는다.

03 태양 복사 에너지는 가시광선 영역이, 지구 복사 에너지는 적외선 영역이 대부분을 차지한다.

04 (1) F는 지구에서 우주로 방출하는 에너지의 양으로, 지구에 입사하는 태양 복사 에너지(A-B)의 양과 같아야 복사 평형이 이뤄진다.

(2) B는 대기와 지표에 의해 반사 또는 산란되어 지구에 흡수되지 못하는 태양 복사 에너지양으로, 반사율이라고 한다.

(3) 지표에서 복사 평형을 이루기 위해서는 지표가 흡수한 에너지(C+E)의 양과 지표에서 방출한 에너지(D)의 양이 같아야 한다.

05 A: 지구 온난화가 진행되면 기온이 상승하여 극지방의 빙하가 녹고, 이에 따라 해수면이 상승한다.

B: 대기 중 이산화 탄소 증가의 주된 요인은 화석 연료의 사용이다.

06 ㄴ, ㄷ, ㄹ 지구 온난화를 방지하기 위해서는 대기 중 온실 기체의 양을 줄여야 한다. 즉, 화석 연료의 대체 에너지 개발을 통한 화석 연료 사용의 감소, 삼림 훼손 방지 및 삼림 조성, 매연 감소 장치 및 탈황 장치의 설치를 통한 대기 오염 방지 등의 노력을 해야 한다.

**바로 알기** ㄱ. 가축의 분뇨에서 온실 기체인 메테인이 발생하므로 가축 방목은 대기 중 온실 기체의 농도가 증가하는 요인이 된다.

개념 적용 문제

128쪽

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

01 ㄱ. 화산 분출은 지권을 구성하는 물질이 기권으로 유입되는 현상으로, 지권과 기권의 상호 작용이다.

ㄷ. 화산 분출은 대기에 영향을 줄 뿐만 아니라 지형을 변화시키고, 화산재가 수권에 유입되는 등과 같은 다양한 경로를 통해 생물권의 변화를 초래한다.

**바로 알기** ㄴ. 화산이 분출하면 화산 가스와 함께 화산재 등이 대기로 유입되어 대기 투과율이 낮아진다. 그 결과 지구의 평균 기온이 일시적으로 낮아진다.

02 ㄴ. B 시기에는 지구의 자전축의 기울기가 현재보다 크므로 여름철 태양의 남중 고도가 현재보다 커서 기온이 더 높아지고, 겨울에는 기온이 더 낮아지므로 기온의 연교차가 현재보다 커진다.

**바로 알기** ㄱ. A 시기는 현재보다 지구 자전축의 기울기가 작을 때이므로 태양의 남중 고도가 낮아진다. 따라서 우리나라에서 여름철의 기온이 현재보다 더 낮았을 것이다.

ㄷ. 지구에 도달하는 태양 복사 에너지양은 태양과의 거리와 관련있다. 자전축의 경사 변화와는 관계없이 태양과의 거리가 변하지 않으면 지구에 도달하는 태양 복사 에너지의 총량은 같다.

- 03 나. 그림에서 지구 공전 궤도가 원일 때 북반구의 여름은 원일점에서 나타나는데, 공전 궤도가 타원이 되면 원일점의 거리가 더 멀어지므로 여름의 평균 기온이 낮아진다.

**바로 알기** ㄱ. 원일점에서 지구의 공전 속도가 근일점에서보다 느리므로 지구 공전 궤도가 원에서 타원으로 변할 때 북반구의 여름은 북반구의 여름은 겨울보다 길어진다.

ㄴ. 밤과 낮의 길이의 변화는 지구의 자전 주기와 관련이 있다. 지구 공전 궤도가 변해도 자전 주기가 변하지 않으면 밤낮의 길이 변화는 나타나지 않는다.

- 04 ㄱ. (나)는 지구 자전축의 방향이 반대로 바뀐 것으로, 세차운동의 결과이다.

나. 현재 북반구의 여름은 원일점에서 나타나는데, (나)일때 북반구의 여름은 근일점에서 나타나므로 (가)일 때보다 더워진다.

ㄴ. (다)일 때는 현재보다 지구 자전축의 기울기가 작아지므로 우리나라의 겨울은 기온이 높아지고, 여름은 기온이 낮아져서 기온의 연교차는 (가)일 때보다 작아진다.

- 05 ㄱ. A는 지구에 입사하는 태양 복사 에너지 중에서 대기와 지표에서 반사 또는 산란에 의해 지구에 흡수되지 못하는 태양 복사 에너지양으로, 반사율을 나타낸다.

나. B와 C를 합한 값은 지구가 방출하는 지구 복사 에너지양이므로, 지구가 복사 평형을 유지하기 위해서는 지구가 흡수한 태양 복사 에너지양과 같아야 한다.

**바로 알기** ㄴ. 지구 온난화가 진행되면 대기가 흡수하는 지구 복사 에너지양이 증가한다. 그러나 지구 전체적으로는 복사 평형을 이루어야 하기 때문에 우주로 방출하는 에너지양(B+C)은 이전과 같아야 한다.

ㄴ. 지구 온난화에 따라 대기가 흡수한 에너지양은 많아지지만 지구가 복사 평형을 이루기 위해서는 우주로 방출하는 C의 양은 일정해야 한다. 따라서 대기가 이전보다 많이 흡수한 에너지는 다시 지표 쪽으로 방출(D)함으로써 지표의 온도가 더 높아진다.

- 06 ㄱ. 지구 온난화의 주된 원인은 화석 연료의 사용 증가에 의한 대기 중 온실 기체 농도 증가이다.

ㄴ. C는 반사율이 감소하는 원인을 나타내므로, 지구 온난화에 따라 기온이 상승하면 극지방이나 고산 지대의 빙하가 녹아 지표의 반사율이 감소하므로 지구에 흡수되는 태양 복사 에너지양이 증가하여 지구의 기온이 더 상승한다.

**바로 알기** 나. 해수의 수온이 높아지면 기체의 용해도가 감소(B)하기 때문에 해수에 녹아 있던 이산화 탄소가 대기 중으로 방출된다.

- 07 ㄱ. 산업 혁명 이후 에너지 소비량이 증가함에 따라 석탄과 석유 등의 화석 연료의 사용이 증가하였다.

나. 최근 이산화 탄소 농도 증가율이 더 커지고 있기 때문에 지구 온난화의 진행 속도 역시 가속화되고 있다.

**바로 알기** ㄴ. 대기 중 이산화 탄소 농도가 높아지면 지구 온난화가 진행되어 해수의 수온이 상승하며, 수온 상승으로 기체의 용해도가 감소하므로 해수에서 방출되는 이산화 탄소의 양이 증가한다.

- 08 나. 여름이 길어지고 겨울이 짧아짐으로써 우리나라의 연평균 기온이 계속 상승하였다.

ㄴ. 지구 온난화가 진행되면 우리나라의 겨울이 점점 짧아질 것이다.

**바로 알기** ㄱ. 여름이 길어지고 겨울이 짧아지는 변화는 지구 온난화의 결과로 나타난 것이다. 지구 자전축의 경사 변화는 약 41000년의 긴 주기로 나타나기 때문에 지난 100여 년 동안의 단기간의 기온 상승의 원인으로 보기 어렵다.

- 09 나. A → B 시기를 지나면서 지구 온난화에 따라 기온이 상승하였으므로 극지방의 빙하 분포 면적이 감소하였다.

**바로 알기** ㄱ. A 시기보다 B 시기에 해수면이 높아진 것은 지구 온난화로 인한 빙하의 용융 및 해수의 열팽창에 의한 결과이다.

ㄴ. 지구 온난화의 주요 원인은 산업화 이후 화석 연료의 사용 증가에 따른 대기 중 온실 기체 농도 증가이므로, 화석 연료의 사용량을 감축해야만 해수면 상승을 억제할 수 있다.

- 10 ㄴ. 온실 기체는 대부분 에너지의 생산과 화학 제품을 생산하는 산업 공정에서 배출된다. 따라서 온실 기체를 감소시키기 위해서는 대체 에너지 개발과 화학 비료 및 냉매의 대체 물질을 개발하는 것이 시급하다.

**바로 알기** ㄱ. 같은 양일 경우 지구 온난화에 미치는 정도를 나타낸 값을 지구 온난화 지수라고 한다. 지구 온난화 지수가 가장 큰 물질은 육플루오린화 황으로, 에어컨의 냉매를 제조할 때 발생한다. 화석 연료의 연소 시 배출되는 이산화 탄소나 메테인 등은 지구 온난화 지수는 낮지만 배출량이 많아서 지구 온난화에 큰 영향을 미친다.

나. 이산화 탄소나 메테인, 이산화 질소의 지구 온난화 지수는 다른 온실 기체에 비해 작지만 대기 중 농도가 높아져 지구 온난화에 미치는 영향이 크므로 이에 대한 감축이 우선적으로 시행되어야 한다.

01 ⑤	02 ③	03 ⑤	04 ④	05 ③	06 ③
07 ⑤	08 ②	09 ①	10 ⑤	11 ⑤	12 ⑤

- 01 ㄱ. A의 지상에는 무역풍이 나타나고, B의 지상에는 편서풍이 나타난다.  
 ㄴ. A와 B 순환은 북태평양 해수의 아열대 순환을 일으키는 원동력이다.  
 ㄷ. 대기 대순환은 위도별 태양 복사 에너지의 입사량 차이와 지구의 자전에 의해 형성된다.

- 02 ㄱ. 난류는 저위도에서 고위도로, 한류는 고위도에서 저위도로 흐르는 해류이다. 따라서 A는 난류, B는 한류이다.  
 ㄴ. 아열대 순환은 무역풍과 편서풍에 의해 북반구에서는 시계 방향, 남반구에서는 반시계 방향으로 순환한다. 따라서 해류 A~C는 모두 아열대 순환에 포함된다.  
**바로 알기** ㄷ. C는 남극 주위를 순환하는 남극 순환 해류로, 편서풍의 영향으로 형성된다.

- 03 ㄱ. 해류 A는 아열대 해역에서 형성되어 염분과 수온이 높은 쿠로시오 해류이다.  
 ㄴ. 해류 B와 C는 각각 황해 난류와 동한 난류로, 쿠로시오 해류(A)에서 갈라져 나왔기 때문에 쿠로시오 해류의 영향을 받는다.  
 ㄷ. 해류 C는 난류이고, 해류 D는 한류로, 두 해류가 만나 조정 수역이 형성되는 위치는 난류가 강해지는 여름에 겨울보다 고위도에서 나타난다.

- 04 ① A에서는 수온이 낮고 염분이 높아 밀도가 커진 해수가 침강하여 북대서양 심층수가 형성되는 곳이다.  
 ② B는 남극 주변에서 차가워진 해수가 침강하는 곳이다.  
 ③ 표층 순환과 심층 순환은 서로 연결되어 있으므로, A와 B에서 해수의 침강 속도가 느려지면 표층 순환도 느려진다.  
 ⑤ A와 B에서 침강한 해수는 해저를 통해 이동하여 인도양과 북태평양에서 상승하여 표층 순환과 연결된다.  
**바로 알기** ④ B에서 해수가 침강하는 주된 원인은 표층 해수의 수온 하강으로 인한 밀도 증가 때문이다.

- 05 ㄱ. 지중해는 대륙으로 가로막혀 북대서양에 비해 해수의 밀도가 높게 나타난다.  
 ㄴ. 밀도가 큰 지중해의 해수가 북대서양 밑으로 빠져나가고, 북대서양의 해수는 반대로 표층을 따라 지중해로 유입되어 평형을 이룬다.  
**바로 알기** ㄷ. 지중해의 해수는 북대서양의 해수보다 염분이 높아 밀도가 크기 때문에 북대서양의 밑으로 빠져나가는데, 남극 저층수보다 밀도가 작아서 저층수를 형성하지는 못한다.

- 06 ㄱ. 북반구에서 표층 해수는 바람이 부는 방향의 오른쪽 직각 방향으로 흐른다. 따라서 북반구 동해안에서 남풍이 지속적으로 불면 표층 해수는 외해로 이동한다.  
 ㄴ. 연안 용승이 일어나면 표층 수온이 낮아져서 기층이 안정되어 안개가 자주 끼고 날씨가 서늘해진다.  
**바로 알기** ㄷ. 연안 용승으로 수온이 하강므로, 수온 상승으로 인한 적조 현상은 발생하지 않는다.

- 07 ㄱ. 북반구에서 표층 해수는 바람이 부는 방향의 오른쪽 직각 방향으로 흐르므로, A는 북반구 저위도에서 부는 무역풍에 의한 표층 해수의 이동 방향을 나타낸다.  
 ㄴ. 북반구와 남반구에서 전향력이 반대 방향으로 작용하므로 무역풍에 의한 표층 해수의 이동 방향이 서로 반대이다.  
 ㄷ. C 해역에서는 해수가 발산하기 때문에 C에서는 용승 현상이 일어나 수온이 낮아지며, 이를 적도 용승이라고 한다.

- 08 (가) 시기는 평상시, (나) 시기는 온수대가 동쪽으로 이동한 것으로 보아 엘니뇨가 나타난 시기이다.  
 ㄴ. 엘니뇨 발생 시에는 따뜻한 해수가 동태평양까지 이동하므로 수온 약층의 경사가 완만해진다.  
**바로 알기** ㄱ. 엘니뇨 발생 시에는 평상시보다 무역풍이 약해진다.  
 ㄷ. 엘니뇨 발생 시 인도네시아 부근에 고기압이 발달하므로, (나)의 A 해역에는 고기압이 발달하고, 온수대가 형성된 B 해역에는 저기압이 발달한다.

- 09 ㄱ. 엘니뇨 발생 시 무역풍의 약화로 적도 부근 동태평양의 용승이 약해져서 표층 수온이 상승하므로, 동태평양의 해수면 온도의 편차(관측 수온 - 평년 수온)는 (+)값이 된다. 반대로 라니냐가 발생하면 (-)값이 된다. 따라서 A는 엘니뇨가, B는 라니냐가 발생한 시기이다.

**바로 알기** ㄴ. 엘니뇨 발생시(A) 적도 부근 동태평양은 연안 용승이 약화되어 표층 수온이 상승한다.

ㄷ. 라니냐 발생시(B) 적도 부근 동태평양에는 용승이 활발하게 일어나 수온이 낮아져서 하강 기류가 발달하여 고기압이 분포한다.

- 10 ㄴ. 여름이 근일점에서 나타나므로 태양과의 거리가 더 가까워져서 여름의 평균 기온이 상승한다.

ㄷ. 지구 자전축의 경사 방향이 달라지면 공전 궤도의 같은 위치에서 나타나는 계절이 달라진다.

**바로 알기** ㄱ. 근일점에서 여름, 원일점에서 겨울이 나타나므로 연교차가 현재보다 더 크게 나타나서 계절 구분이 강해진다.

- 11 ㄱ. 인간 활동에 의해 방출되는 온실 기체의 대부분은 이산화탄소로, 화석 연료의 사용과 관련있다.

ㄴ. 엘니뇨 현상은 해수의 수온이 상승할수록 세력이 강화된다.

ㄷ. 해수면 상승의 주된 원인은 해빙과 해수의 열팽창이다.

- 12 ㄱ. 이산화 탄소는 온실 효과율은 작지만 절대적인 양이 많아 온실 효과 기여도가 가장 크다.

ㄴ. 메테인과 이산화 질소는 주로 농업 분야와 쓰레기에서 방출되기 때문에 이를 줄이기 위해서는 농업 분야 선진화 및 쓰레기 분리 수거가 필요하다.

ㄷ. 수소 플루오린화 탄소, 과플루오린화 탄소, 육플루오린화 황 등은, 대기 중 농도가 적지만 온실 효과율이 매우 높으므로 대체 물질의 개발이 시급하다.

## 사고력 확장 문제

140쪽

- 01 (1) A는 극순환, B는 페렐 순환, C는 해들리 순환이다.  
(2) 대륙이 없을 때 표층 해류는 지상에 부는 바람의 방향과 같은 방향으로 평행하게 흐르지만, 대륙이 있는 경우에는 표층 해류가 대륙에 가로막혀 순환하는 환류의 형태로 나타난다.

**모범 답안** (1) A는 극순환, B는 페렐 순환, C는 해들리 순환이다.

(2) 대륙이 없을 때는 지상에 부는 바람의 방향과 평행하게 흐르는 적도 해류와 서풍 피류만 나타나지만, 대륙이 있을 때는 해류가 대륙에 막혀 북반구에는 북적도 해류와 북대서양 해류, 캘리포니아 해류로 구성된 시계 방향으로의 아열대 순환이 나타나고, 남반구에서는 남적도 해류와 남극 순환류로 구성된 반시계 방향으로의 아열대 순환이 나타난다.

채점 기준		배점(%)
(1)	3가지 순환의 명칭을 모두 옳게 답한 경우	30
	3가지 순환의 명칭 중 일부만 옳게 답한 경우	10
(2)	대륙의 유무에 따른 해류의 차이와 아열대 순환의 구성을 모두 옳게 서술한 경우	70
	대륙의 유무에 따른 해류의 차이와 아열대 순환의 구성 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	30

- 02 (1) 쿠로시오 해류는 아열대 해역을 통과하므로 수온과 염분이 높다.

(2) 조정 수역은 난류가 강해지면 고위도에서 형성되고, 난류가 약해지면 저위도에서 형성된다.

**모범 답안** (1) 쿠로시오 해류는 수온과 염분이 높은 아열대 해상을 통과하기 때문에 수온과 염분이 높다.

(2) 여름에는 난류가 강해지므로 조정 수역이 고위도에 형성되고, 겨울에는 한류가 강해지므로 조정 수역이 저위도에 형성된다.

채점 기준		배점(%)
(1)	쿠로시오 해류가 아열대 해역을 통과하면서 수온과 염분이 높아진다고 서술한 경우	50
	쿠로시오 해류의 수온과 염분의 특성은 옳게 서술했으나, 아열대 해역에 대한 언급이 없는 경우	10
(2)	난류와 한류의 계절별 세력 변화에 조정 수역의 변화를 옳게 서술한 경우	50
	조정 수역이 형성되는 위도에 대한 언급이 없는 경우	30

**03** (1) 표층 해수의 염분은 강수량보다 증발량이 많은 중위도 고압대 해역에서 가장 높게 나타난다.

(2) 표층 해수가 침강하는 해역은 고위도 해역이며, 남극 저층수는 북대서양 심층수에 비해 염분이 낮지만 수온이 매우 낮아서 밀도가 크므로 북대서양 심층수의 아래쪽에서 흐른다.

**모범 답안** (1) 표층 해수의 염분은 중위도 고압대 해역에서 가장 높게 나타나는데, 중위도 고압대에서는 증발량이 강수량보다 많기 때문이다.

(2) 북반구에서는 60°N 부근, 남반구에서는 70°S 부근에서 표층 해수가 침강하며, 남극 저층수는 북대서양 심층수에 비해 염분은 낮지만 수온이 매우 낮아 밀도가 크므로 북대서양 심층수보다 더 아래쪽에서 흐른다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	염분이 가장 높은 위도대와 염분이 높은 까닭을 모두 옳게 서술한 경우	50
	염분이 가장 높은 위도대와 염분이 높은 까닭 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	20
(2)	표층 해수가 침강하는 위도대와 남극 저층수가 더 아래쪽에 위치하는 까닭을 모두 옳게 서술한 경우	50
	표층 해수가 침강하는 위도대와 남극 저층수가 더 아래쪽에 위치하는 까닭 중 일부만 옳게 답한 경우	30

**04** 표층 순환과 심층 순환은 서로 연결되어 있으므로 저위도에서 고위도로 열에너지를 수송하고, 심층 생물에 산소를 공급하고 표층 해수에 영양 염류를 공급한다.

**모범 답안** 심층 순환은 표층 순환과 서로 연결되어 있어서 저위도에서 고위도로 열에너지를 수송하여 지구의 열적 평형에 기여하며, 표층에서 침강하는 해수에 포함된 용존 산소를 심층 생물에 공급하고, 심층 해수에 풍부한 영양 염류를 표층 해수에 공급하는 역할을 한다.

	채점 기준	배점(%)
	심층 순환의 역할을 에너지와 물질 수송 측면에서 모두 옳게 서술한 경우	100
	심층 순환의 역할을 에너지와 물질 수송 측면 중 한 가지에 서만 옳게 서술한 경우	20

**05** 엘니뇨 발생 시 무역풍이 약화되어 페루 연안의 용승이 약화되고, 적도 부근 동태평양의 표층 수온이 상승하여 적도 태평양의 기압 배치(위커 순환)이 변한다.

**모범 답안** [1단계] 무역풍 약화 → [2단계] 페루 연안의 용승 약화 → [3단계] 적도 동태평양의 표층 수온 상승 → [4단계] 적도 동태평양에 상승 기류가 형성되어 저기압이 분포하여 위커 순환의 형태 변화

	채점 기준	배점(%)
	엘니뇨 발생부터 위커 순환의 변화까지의 과정을 4단계로 나누어 옳게 서술한 경우	100
	엘니뇨 발생부터 위커 순환의 변화까지의 과정의 일부만 옳게 서술한 경우	40

**06** 지구 자전축의 기울기가 현재보다 커지면 기온의 연교차가 커지고, 현재보다 작아지면 연교차가 작아진다.

**모범 답안** (1) 3만 년 전에는 지구 자전축의 기울기가 현재보다 작았으므로 여름의 기온은 현재보다 낮고, 겨울의 기온은 현재보다 높아 연교차가 작았을 것이다.

(2) 3만 년 후에는 지구 자전축의 기울기가 현재보다 크므로 여름의 기온은 현재보다 높아지고, 겨울의 기온은 현재보다 낮아지므로 연교차가 커질 것이다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	지구 자전축의 기울기 변화와 현재 및 과거의 우리나라 여름과 겨울의 기온 변화를 모두 옳게 서술한 경우	50
	지구 자전축의 기울기 변화와 현재 및 과거의 우리나라 여름과 겨울의 기온 변화 중 일부만 옳게 서술한 경우	30
(2)	지구 자전축의 기울기 변화와 현재 및 미래의 우리나라 여름과 겨울의 기온 변화를 모두 옳게 서술한 경우	50
	지구 자전축의 기울기 변화와 현재 및 미래의 우리나라 여름과 겨울의 기온 변화 중 일부만 옳게 서술한 경우	30

**07** (1) 지구가 복사 평형을 이루기 위해서는 지구가 흡수한 에너지와 방출하는 에너지의 양이 같아야 한다.

(2) 지구 온난화는 대기 중 온실 기체의 양이 증가하여 온실 효과가 강화된 결과 지구의 평균 기온이 상승하는 현상이다.

**모범 답안** (1)  $A - B = F$  (또는  $A = B + F$ )

(2) D와 E가 증가한다. 대기 중 온실 기체 증가로 지표면에서 방출하여 대기가 흡수하는 에너지(D)의 양이 증가하면 온실 효과가 증대되고, 대기 복사 에너지(E)가 증가하여 지구 온난화가 진행된다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	관계식을 옳게 나타낸 경우	50
	관계식을 옳게 나타내지 못한 경우	0
(2)	D와 E의 관계로 지구 온난화를 옳게 서술한 경우	50
	D와 E의 증가만 옳게 서술한 경우	30

- 08 지구 온난화가 진행이 되면 지구의 기온이 상승하고 이에 따라 온실 기체의 방출이 더욱 증가하여 지구 온난화가 가속화된다. 이를 지구 온난화의 양의 되먹임이라고 한다.

**모범 답안** 지구 온난화가 진행되면 기온이 상승하고, 이에 따라 A와 같이 해수의 수온이 상승하면 기체의 용해도가 감소하여 해수에 녹아 있던 이산화 탄소가 대기로 방출되어 지구 온난화가 가속된다. 또 B에서 빙하가 녹으면 지구의 반사율이 감소하여 지구에 흡수되는 태양 복사 에너지량이 증가하므로 지구 온난화가 가속된다. 따라서 A와 B 모두 양의 되먹임에 해당한다.

채점 기준	배점(%)
해수의 온도 상승과 빙하의 용해가 지구 온난화를 가속시키는 까닭을 모두 옳게 서술한 경우	100
해수와 온도 상승과 빙하의 용해가 지구 온난화를 가속시키는 까닭 중 한 가지만 서술한 경우	40

## 논구술 대비 문제

## II. 유체 지구의 변화

146쪽

### 실전 문제

1 (1) 황사는 건조한 지역에서 모래나 먼지 입자가 상승하여 이동하여 오는 현상이다.

(2) 황사가 이동하면서 대기 오염이 심한 지역을 통과하면 황사 내에 중금속 물질이 증가한다.

(3) 미세먼지는 황사를 구성하는 입자에 비해 크기가 작기 때문에 몸안에 축적이 될 경우 체외로 배출되기 어렵다.

**예시 답안** (1) 황사는 모래와 같은 입자로 구성되어 있고 가벼워서 상승하기 쉽다. 따라서 황사의 발원지는 건조한 중위도 고압대에 주로 분포하며 황사 발원지에 저기압이 나타날 때 상승 기류와 함께 공기 중으로 황사입자가 상승하여 이동한다. 또 황사 발원지는 우리나라를 기준으로 서쪽에 위치해서 편서풍의 영향으로 동쪽으로 이동하면서 우리나라에 영향을 미친다. 특히 황사가 다가올 때 고기압이 형성되면 하강 기류에 의해 황사가 침강하여 황사 피해가 크게 나타난다.

(2) 최근 중국의 산둥 반도에는 산업의 발달로 공장이 많이 들어서서 대기 오염이 심해지고 있다. 황사의 발원지는 산둥반도의 서쪽에 많이 분포하고 있기 때문에 황사가 편서풍에 의해 동쪽으로 이동하면서 이러한 대기 오염 지역을 통과하면 대기 오염 물질인 중금속 물질이 황사와 섞여 더 큰 피해를 주게 된다.

(3) 미세먼지는 황사와는 다르게 자동차나 공장의 매연 등에 많이 포함되어 있어서 인구 밀집 지역에서 지속적인 영향을 미친다. 미세먼지를 구성하는 물질은 황사를 구성하는 물질보다 입자의 크기가 작고 중금속의 비율이 높은 특징을 가지고 있어서 체내에 들어오면 체외로 빠져나가기 어려워 체내에 계속 축적되기 때문에 황사보다 위험성이 더 크다.

2 (1) 북반구에서 바람에 의한 표층 해수의 이동은 바람의 방향에 대하여 오른쪽 직각, 남반구에서는 왼쪽 직각 방향으로 나타난다.

(2) 엘니뇨는 무역풍이 약해질 때 발생한다. 무역풍이 약해지면 적도를 따라서 서에서 동으로 이동하는 난류인 적도 반류의 세력이 강해져서 동태평양의 수온이 상승하게 된다.

**예시 답안** (1) 바람에 의한 표층 해수의 이동은 북반구에서는 바람의 방향에 대하여 오른쪽 직각, 남반구에서는 왼쪽 직각 방향으로 나타난다. 따라서 적도를 중심으로 표층 해수가 반대 방향으로 이동하므로 해수가 발산되어 용승이 일어나게 된다.

(2) 엘니뇨는 3년~7년을 주기로 무역풍이 약해지면서 나타난다. 무역풍이 약해지면 페루 연안의 용승이 약해져서 적도 부근 동태평양의 수온이 상승한다. 이러한 과정으로 적도 부근 서태평양에 위치하던 온난 수역이 동쪽으로 이동하는데, 이를 엘니뇨라고 한다.

3 (1) 온실 효과는 지구의 대기가 지구 복사 에너지를 흡수했다가 방출함으로써 지구의 평균 온도가 높게 유지될 수 있도록 하는 역할을 한다.

(2) 온실 효과를 일으키는 에너지는 대기가 흡수한 에너지 중에서 우주로 방출하고 남은 에너지이다.

**예시 답안** (1) 지구에 대기가 없을 경우에는 대기에 의한 온실 효과가 나타나지 않기 때문에 태양 복사 에너지를 받는 낮에는 온도가 높아지지만 태양 빛이 없는 밤에는 온도가 내려가서 지구의 평균 온도가 낮게 나타나므로 생명체가 존재할 수 없다.

(2) 지표면은 태양 복사 에너지 50을 받은 후 123의 지구 복사 에너지를 방출하는데 실제 지구가 전체적으로 에너지 평형을 이루기 위해서 우주로 다시 내보내야 하는 복사 에너지는 단지 70뿐이다. 따라서 나머지 53은 그대로 대기 중에 머물러서 지구의 온도를 높게 유지시키는 온실 효과를 일으킨다.

4 (1) 기후 변화의 자연적 요인 중 지구 외적 요인에는 지구 자전축의 변화, 지구 공전 궤도의 변화, 태양 활동의 변화 등이 있다.

(2) 온실 기체 배출량을 감축하기 위해서 가장 필요한 것이 온실 기체의 대부분을 차지하고 있는 이산화 탄소량을 감소시키는 것이다.

(3) 온실 기체는 지구 전체의 대기에 퍼져 분포하기 때문에 어느 한 나라에서의 노력만으로 온실 기체의 양을 감축할 수 없다.

**예시 답안** (1) 세차 운동에 의해 지구 자전축의 방향이 변하거나 지구 자전축의 기울기가 변하면 기후 변화가 나타난다.

(2) 온실 기체가 증가하게 된 것은 인류의 산업 발달과 관련이 깊다. 즉 인류의 산업이 발달하면서 에너지가 필요함에 따라 화석 연료의 사용이 증가하여 대기 중 이산화 탄소량이 증가하였다. 따라서 온실 기체 배출량을 감축하기 위해서는 화석 연료의 사용을 줄이고 대체 에너지를 개발해야 하며, 이산화 탄소를 흡수할 수 있는 삼림의 면적을 넓히고, 화학 비료보다 천연 비료를 개발하여 사용해야 한다.

(3) 온실 기체가 대기 중으로 배출되면 대기의 순환에 의해 전 세계로 퍼지게 된다. 따라서 어느 한 나라에서 온실 기체를 감축하고 다른 나라에서는 온실 기체를 계속 배출하면 전체적으로 온실 기체의 감축 효과는 나타나지 않는다. 따라서 온실 기체의 감축을 위해서는 국가 간 협력이 필요한 것이다.

## III 우주의 신비

### 1. 별과 외계 행성계

#### 01 별의 특성과 종류

##### 탐구 확인 문제

020쪽

01 ㄱ, ㄴ 02 (1) 주계열성 영역 (2) 질량이 클수록 수명이 짧다.

01 H-R도에서 세로축 위로 갈수록 광도가 커지므로 별이 방출하는 에너지양이 많다. 거성은 주계열성보다 반지름이 크고, 초거성은 거성보다 반지름이 크다. 적색 거성은 백색 왜성에 비해 표면 온도가 낮다.

02 (1) 별은 일생의 약 90 %를 주계열성으로 보낸다. 성단이 짧은 별들로 이루어져 있다고 했으므로, 대부분의 별들이 주계열 단계에 머무르고 있을 것이다.  
(2) 질량이 큰 주계열성일수록 에너지를 많이 소모하므로 수명이 짧다.

##### 개념 모아 정리하기

021쪽

- ① 플랑크    ② 짧아진다    ③ 파란    ④ 붉은    ⑤ 높은  
⑥ 낮은    ⑦ O    ⑧ M    ⑨ 슈테판 · 볼츠만    ⑩ 분광형  
⑪ 절대 등급    ⑫ 주계열성    ⑬ 붉은    ⑭ 초거성    ⑮ 백색 왜성

##### 개념 기본 문제

022쪽

01 (가) 연속 스펙트럼 (나) 흡수선 스펙트럼 (다) 방출선 스펙트럼

02 ㄱ, ㄴ    03 (1)  $T^4$  (2)  $4\pi R^2 \cdot \sigma T^4$  (3)  $R = \frac{1}{2T^2} \sqrt{\frac{L}{\pi\sigma}}$

04 (1) (라), (바) (2) (나), (사)    05 (1) A: 초거성, B: 주계열성, C: 적색 거성, D: 백색 왜성 (2) B>D>C>A

(3) A<B<C<D

01 (가)는 연속적인 빛의 띠가 나타나는 연속 스펙트럼이다. (나)에서는 어두운 흡수선 스펙트럼이 나타난다. (다)에서는 특정 파장의 빛이 강하게 보이는 방출선 스펙트럼이 나타난다.

02 ㄱ. 태양을 하버드 분광 분류법에 따라 분류하면 G2형에 해당한다.

ㄴ. 별의 표면 온도에 따라 대기를 이루고 있는 원소들의 이온화 정도가 달라지므로 스펙트럼에 나타나는 흡수선의 파장과 그 세기가 다르다.

**바로 알기** ㄷ. 분광형이 O형인 별은 파란색으로 보이고, M형으로 갈수록 점점 붉게 보인다.

ㄹ. 별의 분광형과 가장 관련 깊은 물리량은 표면 온도이다.

03 (1) 별은 흑체에 가까우며, 흑체가 단위 시간 동안 단위 면적에서 방출하는 복사 에너지양은 표면 온도( $T$ )의 4제곱에 비례한다.

(2) 별이 단위 시간 동안 전체 면적에서 방출하는 에너지양( $L$ )은 단위 면적에서 방출하는 에너지양( $E$ )을 별의 전체 표면적에 곱한 값과 같다. 그러므로  $L = \text{별의 표면적} \times E = 4\pi R^2 \cdot \sigma T^4$ 이다.

(3) 별의 광도  $L$ 과 별의 표면 온도  $T$ 를 알면 다음과 같이 별의 반지름  $R$ 를 구할 수 있다.

$$L = 4\pi R^2 \cdot \sigma T^4 \Rightarrow R = \frac{1}{2T^2} \sqrt{\frac{L}{\pi\sigma}}$$

04 H-R도에서 가로축은 별의 분광형 또는 표면 온도로 나타내고, 세로축은 별의 절대 등급 또는 광도로 나타낸다. H-R도는 이 도표를 작성하였던 헤르츠스프룽(Hertzsprung)과 러셀(Russell)의 이름에서 첫 글자를 따서 붙인 명칭이다.

05 (1) A는 H-R도의 왼쪽 최상단에 분포하는 초거성이다. B는 주계열성으로, H-R도의 왼쪽 위에서 오른쪽 아래로 향하는 좁은 띠 영역에 분포한다. C는 H-R도에서 주계열성보다 위쪽에 분포하는 적색 거성이며, 초거성보다 아래쪽에 분포한다. D는 주계열성의 아래쪽에 분포하는 백색 왜성이다.  
(2) H-R도에서 왼쪽으로 갈수록 표면 온도가 높아진다. 따라서 별의 표면 온도는 B>D>C>A이다.  
(3) H-R도에서 위쪽으로 갈수록 광도가 증가하므로 절대 등급이 작아진다. 따라서 절대 등급은 A<B<C<D이다.

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

- 01 ㄱ. 최대 에너지를 나타내는 파장은 A가 B보다 짧다. 따라서 별의 표면 온도는 A가 B보다 높다.  
 ㄴ. A와 B의 절대 등급이 같으므로 등급과 밝기 관계로부터 별의 광도는 A와 B가 같다는 것을 알 수 있다.  
**바로 알기** ㄷ. 별의 반지름은 광도가 클수록, 표면 온도가 낮을수록 크다. 광도는 A와 B가 같으므로, 표면 온도가 낮은 B가 A보다 반지름이 크다.
- 02 ㄴ. 별의 표면 온도에 따라 분광형을 나열하면 O, B, A, F, G, K, M 순이다. 따라서 표면 온도는 별 (나)가 가장 높다.  
**바로 알기** ㄱ. (가)는 분광형이 A형인 별이므로 흰색으로 보인다.  
 ㄷ. 태양의 분광형은 G2형이다. 따라서 G형인 (다)의 스펙트럼과 가장 비슷할 것이다.
- 03 ㄷ. 태양의 분광형은 G2형이므로 철( $\text{Fe I}$ ) 흡수선이 수소 흡수선보다 강하게 나타난다. 수소 흡수선은 A형 별에서 강하게 나타난다.  
**바로 알기** ㄱ. 별의 스펙트럼에 나타난 흡수선은 대부분 별빛이 별의 대기층을 통과하는 과정에서 형성된다.  
 ㄴ. 파란색 별인 O형, B형의 경우 헬륨 흡수선이 잘 나타난다. 분자 흡수선은 M형 별에서 잘 나타난다.
- 04 ㄱ. ㉠은 ㉡보다 최대 에너지를 나타내는 파장이 더 짧다. 따라서 표면 온도는 ㉠이 ㉡보다 높다.  
 ㄴ. 별 ㉠은 U 필터 영역을 통과한 빛이 B 필터를 통과한 빛보다 세기가 크다. 따라서 별 ㉠은 U 등급이 B 등급보다 작고 밝다.  
 ㄷ. ㉡의 B 필터 영역을 통과한 별빛의 세기가 V 필터를 통과한 별빛의 세기보다 작다. 따라서 B 등급이 V 등급보다 커서 별 ㉡의 색지수 ( $B-V$ )는 (+)값을 나타낸다.
- 05 ㄱ. 별의 표면 온도가 같아서 분광형이 같더라도 광도가 다르면 스펙트럼의 특징도 다르다. M-K 분류법은 별의 스펙트럼을 분류할 때 광도와 표면 온도를 모두 고려한 것이다.  
 ㄷ. M-K 분류법에 따르면 태양은 표면 온도를 기준으로 G2형에 속하고, 광도를 기준으로 왜성(주계열성) V에 속한다. 따라서 태양은 G2V형으로 분류된다.

**바로 알기** ㄴ. 광도 계급의 I형(초거성)에서 VI형(준왜성)으로 갈수록 별의 반지름이 작아진다.

- 06 ㄱ. (가)는 분광형이 B3형이고, (나)는 G2형이며, 질량은 (가)가 (나)의 15배이다. 따라서 (가)는 (나)보다 표면 온도가 높고 밝은 별이므로 절대 등급이 더 작다.  
 ㄷ. (다)는 (나)에 비해 절대 등급이 크고(어둡고), 표면 온도가 높은 별이다. 따라서 (다)는 H-R도에서 주계열성의 왼쪽 아래에 위치하는 백색 왜성에 해당하고, 반지름이 (가)와 (나)에 비해 작다.  
**바로 알기** ㄴ. 단위 면적에서 단위 시간 동안 방출하는 에너지량은 표면 온도의 4제곱에 비례하므로 분광형이 G2형인 (나)보다 A0형인 (다)가 더 많다.
- 07 ㄱ. H-R도에서 가장 아래쪽에 위치한 별은 광도가 작아서 절대 등급이 가장 큰 별이다. 따라서 별 (나)가 H-R도에서 가장 아래쪽에 위치한다.  
**바로 알기** ㄴ. 별 (다)는 분광형이 B0로, (가)~(라) 중에서 표면 온도가 가장 높다. 따라서 최대 에너지를 방출하는 파장( $\lambda_{\text{max}}$ )이 가장 짧다.  
 ㄷ. 별의 반지름은 H-R도에서 왼쪽 아래에 위치할수록 작다. 즉, 광도가 작고, 표면 온도가 높을수록 반지름이 작다. (가)는 (다)보다 광도가 크고, 표면 온도는 낮기 때문에 반지름이 더 크다.
- 08 ㄴ. H-R도에서 왼쪽으로 갈수록 표면 온도가 높으므로 Y는 태양보다 표면 온도가 높다.  
**바로 알기** ㄱ. H-R도에서 주계열성은 태양을 포함하여 왼쪽 위에서 오른쪽 아래로 대각선의 띠 모양으로 나타난다. X는 주계열성인 태양의 오른쪽 위에 위치하고, 절대 등급이 -5등급에 이르므로 초거성에 해당한다.  
 ㄷ. 별의 밀도는 초거성인 X가 가장 작고, 백색 왜성인 Y가 가장 크다.
- 09 ㄱ. 주계열성은 질량이 클수록 중심부의 온도가 높고 수소 핵융합에 의해 생성되는 에너지량이 많다. 따라서 별이 방출하는 에너지량은 질량이 클수록 많다.  
 ㄴ. 주계열성은 표면 온도가 높을수록 광도가 크므로 절대 등급이 작다.  
**바로 알기** ㄷ. 색지수가 클수록 표면 온도가 낮으며, 주계열성은 표면 온도가 낮을수록 반지름과 질량이 작다.
- 10 ㄱ. H-R도에서 주계열성은 왼쪽 위에서 오른쪽 아래로 대각선의 띠 모양으로 나타난다. 따라서 태양 주변의 별들은 주계열성이 가장 많다는 것을 알 수 있다.

르, 시리우스 B가 프로키온 B보다 H-R도의 왼쪽에 위치하므로 표면 온도가 높다. 표면 온도가 높을수록 색지수가 작으므로 시리우스 B가 프로키온 B보다 색지수가 작다.

**바로 알기** ㄴ. 리겔은 태양보다 H-R도의 위쪽에 위치하므로 절대 등급이 작다. 즉, 광도가 크다.

ㄷ. H-R도에서 안타레스는 알데바란 A보다 오른쪽 위에 분포하므로 광도가 더 크고, 표면 온도는 더 낮다. 따라서 안타레스가 알데바란 A보다 반지름이 크다.

## 02 별의 진화와 에너지원

### 개념 모아 정리하기

039쪽

- ① 질량   ② 표면 온도   ③ 철   ④ 백색 왜성   ⑤ 중성자별  
⑥ 수소 핵융합   ⑦ 헬륨   ⑧ 정역학   ⑨ 탄소   ⑩ 철

### 개념 기본 문제

040쪽

- 01 ㄱ   02 (1) (나)의 질량이 (가)의 질량보다 크다. (2) (가)  
(3) 진화하는 데 걸리는 시간은 (가)가 (나)보다 길다. (4)  $C > B > A$   
03 (1) 헬륨 (2) (가)   04 (1) ㉠: 복사층, ㉡: 대류핵  
(2) 질량: (가) < (나), 중심 온도: (가) < (나)   05 (1) ㉠: C(탄소),  
㉡: Fe(철) (2) (나)

- 01 ㄱ. (가) → (나) 과정은 성운 내부에서 원시별이 탄생하는 과정이다. 원시별은 성운 내부의 밀도가 높고 온도가 낮은 곳에서 성간 물질이 모여 탄생한다.

**바로 알기** ㄴ. (나) → (다) 과정은 원시별이 중력 수축하여 주계열성으로 진화하는 과정이다. 이 과정에서 별의 크기는 점점 작아진다.

ㄷ. 별의 질량이 클수록 원시별을 거쳐 주계열성이 되는 데 걸리는 시간이 짧다.

- 02 (1), (2) (가)는 질량이 태양 정도인 별의 진화 과정이고, (나)는 태양보다 질량이 훨씬 큰 별의 진화 과정이다.  
(3) 질량이 클수록 진화가 빠르므로 (가)가 (나)보다 진화 시간이 오래 걸린다.  
(4) 백색 왜성 A보다 초신성 폭발로 만들어진 중성자별 B의 평균 밀도가 더 크다. 블랙홀 C는 중성자별보다 더 심하게 수축되었을 때 만들어지므로 평균 밀도가 가장 크다.

- 03 (1), (2) 수소 원자핵 4개가 융합하여 헬륨 원자핵 1개를 생성한다. 이때 질량이 약 0.7% 감소하며, 감소된 질량에 해당하는 만큼 에너지가 발생한다. 즉, 질량은 수소 원자핵 4개가 헬륨 원자핵 1개보다 크다.

- 04 (1) (가)는 별의 외곽층에 대류층이 존재하므로 질량이 태양의 2배보다 작은 별이며, ㉠은 복사층이다. (나)는 질량이 태양의 2배 이상인 별이며, ㉡은 대류가 일어나는 핵이다.  
(2) 주계열성은 질량이 클수록 중심부의 온도가 높다. 따라서 질량과 중심 온도는 (나)가 (가)보다 높다.

- 05 (1) (가)는 질량이 태양 정도인 별(적색 거성)이므로 헬륨 핵융합 반응까지 일어날 수 있다. 따라서 중심부에는 탄소로 이루어진 핵이 존재한다. (나)는 질량이 태양보다 훨씬 큰 별(초거성)이므로 핵융합 반응에 의해 최종적으로 철 원자핵이 형성된다.  
(2) (나)의 중심부에 철이 생성되면 더 이상 핵융합 반응이 일어나지 못하여 급격한 수축이 일어난다. 이때 발생한 열이 외부로 전달되어 매우 짧은 시간 동안 폭발적인 핵융합 반응을 일으키는데, 이를 초신성 폭발이라고 한다.

### 개념 적용 문제

041쪽

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

- 01 ㄱ. A와 B는 모두 주계열로 진화하는 별이다. 따라서 A와 B는 원시별에 해당한다.

ㄴ. 질량이 클수록 원시별에서 주계열성으로 진화하는 데 걸리는 시간이 짧다. A는 B보다 질량이 큰 주계열성으로 진화하므로 A가 B보다 질량이 크다는 것을 알 수 있다.

ㄷ. 원시별인 A와 B는 모두 진화하는 동안 중력 수축에 의해 반지름이 감소한다.

- 02 ㄱ. 현재 이 별은 주계열 단계에 위치한다. 따라서 별의 중심부에서는 수소 핵융합 반응이 진행 중이다.

ㄴ. 탄생 후 약 100억 년이 지나면 적색 거성으로 진화한다. 적색 거성이 되었을 때의 표면 온도는 주계열성인 현재보다 낮아진다.

**바로 알기** ㉔. 탄생 후 약 110억 년이 지나면 행성상 성운을 거쳐 백색 왜성으로 별의 일생을 마감한다. 따라서 이 별은 초신성 폭발을 일으키지 않는다.

- 03 ㉔. III 단계에서 형성된 (가)는 백색 왜성이고, (나)는 중성자 별 또는 블랙홀이다. 따라서 반지름 (가)가 (나)보다 크다.

**바로 알기** ㉕. I 단계에서 별 A와 B는 모두 주계열성이다. 주계열성은 질량이 클수록 표면 온도가 높다. 별 B는 별 A와 달리 초신성 폭발을 일으키므로, 질량이 더 크고 표면 온도가 더 높음을 알 수 있다. ㉖. II 단계에서 별의 중심부 온도가 높을수록 더 무거운 원자핵이 만들어질 수 있다. 별 A는 적색 거성 단계에서 탄소 핵이 생성될 수 있고, 별 B는 초거성 단계에서 철 핵이 생성될 수 있다. 따라서 중심부의 온도는 B가 A보다 높다.

- 04 ㉕. (가)는 행성상 성운이고, (나)는 초신성 잔해이다. (가)는 (나)보다 질량이 작은 별이 진화하여 형성되었다.

㉖. (나)는 초신성 폭발에 따른 잔해이므로 중심부에 중성자 별 또는 블랙홀이 존재할 것이다.

**바로 알기** ㉔. (가)와 (나)의 물질들은 모두 우주 공간으로 점점 흩어져 성간 물질로 되돌아간다.

- 05 ㉔. 적색 거성에서 백색 왜성이 형성되는 동안 별은 매우 불안정하여 팽창과 수축을 반복하고, 별의 외곽 물질이 우주 공간으로 방출되어 행성상 성운이 형성된다.

**바로 알기** ㉕. 이 별은 진화의 마지막 단계에서 백색 왜성이 형성되므로 태양 정도의 질량을 가진 별이다.

㉖. (나)에서는 중심에서 헬륨 핵융합 반응이 일어나고, 중심부를 둘러싼 외곽층에서 수소 핵융합 반응이 일어나고 있으므로 적색 거성 단계 B에 해당한다.

- 06 원시별은 중력 수축에 의해 발생하는 열에너지가 별의 주요 에너지원이고, 주계열성은 중심부에서 일어나는 수소 핵융합 반응이 주요 에너지원이다. 적색 거성은 중심부에서 헬륨 핵융합 반응이 일어난다. 따라서 A는 원시별, B는 적색 거성, C는 주계열성이다.

- 07 ㉕. 자료에서 제시된 수소 핵융합 반응의 경로는 탄소, 질소, 산소가 촉매 역할을 하여 헬륨 원자핵이 생성되는 CNO 순환 반응이다.

㉖. CNO 순환 반응에서는 4개의 수소 핵이 촉매 역할을 하는 탄소, 질소, 산소 원자핵들과의 반응을 거쳐 최종적으로 1개의 헬륨 원자핵을 생성한다.

**바로 알기** ㉔. CNO 순환 반응은 태양보다 질량이 약 2배 이상 큰 주계열성의 중심부에서 활발하다. 질량이 태양 정도인 주계열성에서는 P-P 반응이 활발하다.

- 08 ㉕. ㉖. 이 별은 크기가 일정하게 유지되는 주계열성이다. 주계열성은 중심부로 향하는 중력과 바깥쪽으로 향하는 기체 압력 차로 발생하는 힘 A가 균형을 이루어 정역학 평형 상태를 유지한다.

**바로 알기** ㉔. 원시별의 내부에서는 힘 A보다 중력이 우세하여 중력 수축이 일어난다.

- 09 ㉕. (가)에서는 중심부에 대류가 일어나는 핵(대류핵)이 존재하므로 태양보다 질량이 큰 주계열성이다. (나)에서는 별의 중심부 바깥에 대류층이 존재하므로 태양과 질량이 비슷한 별이다. 따라서 별의 질량은 (가)가 (나)보다 크다.

**바로 알기** ㉖. 주계열성은 질량이 클수록 표면 온도가 높다. 따라서 별의 표면 온도는 질량이 큰 (가)가 (나)보다 높다.

㉔. (나)는 태양과 질량이 비슷한 별이므로 중심부에서는 주로 P-P 반응에 의해 헬륨 핵이 생성된다.

- 10 ㉕. (가)는 중심부에 철 핵이 존재하는 초거성의 내부 구조이고, (나)는 주계열성의 내부 구조이다. (다)는 주계열 이후 거성 단계에서 중심부에 아직 철이 생성되지 않았다. 따라서 이 별의 진화 순서는 (나) → (다) → (가)이다.

㉖. 별의 반지름은 주계열성인 (나)가 거성 단계인 (다)보다 작다.

㉔. 중심부의 온도가 높을수록 더욱 무거운 원자핵이 만들어질 수 있다. 따라서 철 원자핵이 존재하는 (가)가 탄소 원자핵이 존재하는 (다)보다 중심부의 온도가 높다.

### 03 외계 행성계 탐사

#### 탐구 확인 문제

055쪽

01 ㉕ 02 (1) ㉕ > ㉖ > ㉔ (2) ㉔ (3) ㉖

- 01 ㉕. 태양계에서 액체 상태의 물이 존재하는 행성은 지구뿐이며, 생명 가능 지대는 금성과 화성 궤도 사이에 있다.

**바로 알기** ㉖. 주계열성의 분광형이 O형에 가까울수록 광도가 크고 질량이 크며, 질량이 클수록 수명이 짧아 생명체 존재가 어렵다.

ㄷ. 별의 질량이 너무 크거나 작으면 생명체가 탄생하고 진화하기에 적합하지 않다.

- 02** (1) 행성 ㉠, ㉡, ㉢의 중심별은 분광형이 각각 B형, G형, M형이므로 생명 가능 지대까지의 거리는 B형>G형>M형 순이다. 따라서 공전 궤도 반지름의 크기는 ㉠>㉡>㉢ 순이다.  
 (2) 중심별의 질량이 작을수록 진화 속도가 느리므로 행성 ㉢이 생명 가능 지대에 가장 오래 머물 수 있다.  
 (3) 중심별의 분광형이 B형이면 진화 속도가 너무 빠르고, M형이면 생명 가능 지대가 별에서 너무 가까운 곳에 위치한다. 따라서 생명체가 탄생하고 진화하기에 적합한 행성은 ㉡이다.

#### 개념 모아 정리하기

057쪽

① 도플러 ② 식 ③ 중력 ④ 태양 ⑤ 기체 ⑥ 생명 가능 지대 ⑦ 온실 효과 ⑧ 자기장 ⑨ 위성 ⑩ 대기

#### 개념 기본 문제

058쪽

- 01** ㄱ. 태양이 아닌 별 주위를 공전하는 행성을 외계 행성이라고 한다.  
 ㄷ. 행성이 별 주위를 공전할 때는 공통 질량 중심을 기준으로 공전한다.  
**바로 알기** ㄴ. 외계 행성은 직접 관측이 어렵기 때문에 대부분 간접적인 방법으로 탐사한다.
- 02** 외계 행성은 직접 관측이 어렵기 때문에 대부분 간접적인 방법을 통해 탐사한다. 간접적인 탐사 방법에는 크게 시선 속도 변화를 이용하는 방법, 식 현상에 의한 밝기 변화를 이용하는 방법, 미세 중력 렌즈 현상을 이용하는 방법 등이 있다.

- 03** ㄱ. 별이 행성과의 공통 질량 중심을 회전함에 따라 관측자에게 접근하거나 멀어지는 시선 속도 변화가 나타난다.

ㄷ. 별과 행성이 각각 1과 1'에 위치할 때는 별이 관측자에게 가까워지므로 별빛 스펙트럼의 청색 편이가 나타난다.

**바로 알기** ㄴ. 행성의 질량이 클수록 중심별의 시선 속도 변화가 크게 나타나므로 외계 행성을 찾는 데 유리하다.

- 04** ㄴ, ㄷ. 행성이 중심별의 앞면을 지날 때 별의 일부가 가려져 별의 밝기가 감소한다. 이때 별의 밝기 변화가 나타나는 주기는 행성의 공전 주기와 같다.

**바로 알기** ㄱ. 행성의 공전 궤도면과 관측자의 시선 방향이 거의 나란해야 행성에 의한 식 현상을 관측할 수 있다.

- 05** (1) 멀리 있는 별의 별빛이 가까운 별과 그 주변 행성의 중력에 의해 미세하게 휘어져서 더 밝게 보이는 현상이 나타난다.  
 (2) 미세 중력 렌즈 현상을 이용하여 외계 행성을 탐사하는 방법은 가까운 별 및 그 별이 거느리는 행성에 의해 멀리 있는 별의 밝기가 미세하게 변화하는 현상을 관측하는 것이다. 따라서 멀리 있는 별 주변에 있는 행성의 존재 여부는 알아낼 수 없다.

- 06** ㄱ. 외계 행성은 시선 속도 변화와 식 현상을 이용하여 발견된 것들이 비교적 많다. 따라서 미세 중력 렌즈 현상을 이용하여 발견한 행성보다 도플러 효과(시선 속도 변화)를 이용하여 발견한 행성이 많다.

**바로 알기** ㄴ. 외계 행성의 질량은 목성과 비슷한 경우가 가장 흔하다. 따라서 크기는 대부분 지구보다 크다는 것을 알 수 있다.

ㄷ. 발견된 외계 행성 중 공전 궤도 반지름은 1 AU보다 작은 경우가 더 많다. 이 행성들의 공전 주기는 대체로 목성의 공전 주기보다 짧다.

- 07** (1) A는 별 주변에서 액체 상태의 물이 존재할 수 있는 영역이며, 생명 가능 지대라고 한다.  
 (2) 생명 가능 지대는 별의 광도가 클수록 중심별에서 멀어지고, 그 폭이 넓어진다.  
 (3) 중심별의 질량이 작을수록 별의 광도가 작고, 수명이 길다. 별의 수명이 길수록 그 주변의 생명 가능 지대의 폭은 좁다.

- 08** ㄴ. 행성에 생명체가 존재하기 위한 가장 중요한 요소는 액체 상태의 물이다.

ㄷ. 행성 대기의 두께가 적당하여 온실 효과가 알맞게 일어나면 생명체가 탄생하여 살아가기에 안정된 환경이 유지될 수 있다.

**바로 알기** ㄱ. 대기 중 질소나 산소의 존재 여부는 생명체가 존재하기 위한 필수적인 조건에 해당하지 않는다.

ㄷ. 행성에 자기장이 존재하면 우주 또는 중심별로부터 입사하는 고에너지 입자를 차단할 수 있다.

**09** ㄱ. 최근에는 지구와 비슷한 환경을 가진 외계 행성의 탐사에 집중하고 있다. 즉, 생명 가능 지대에 위치한 지구 규모의 외계 행성의 탐사가 주류를 이루고 있다.

ㄴ. 행성 대기의 스펙트럼을 분석하면 생명체 존재 가능성과 관련 있는 특정 성분(오존, 메테인, 수증기 등)의 존재 여부를 확인할 수 있다.

**바로 알기** ㄷ. 별까지의 거리는 매우 멀기 때문에 현재로서는 외계 행성에 우주 탐사선을 보내는 일이 어렵다.

**10** 액체 상태의 물은 생명체가 존재하기 위한 가장 필수적인 조건으로 꼽히고 있다. 물은 생명 활동에 필수가 되는 여러 가지 물질들을 녹여 생물체가 쉽게 흡수할 수 있게 하며, 비열이 커서 생명체가 항상성을 유지하는 데 중요한 역할을 한다. 또 물은 액체에서 고체가 될 때 밀도가 감소하기 때문에 겨울철에 호수의 표면부터 언다. 그 결과 얼음 밑의 수중 생태계가 유지될 수 있다.

#### 개념 적용 문제

060쪽

01 ②	02 ①	03 ①	04 ②	05 ⑤	06 ④
07 ④	08 ①	09 ②	10 ③	11 ②	12 ④
13 ③	14 ⑤				

**01** ㄷ. 행성의 공전 궤도면이 관측자의 시선 방향과 나란하므로 식 현상이 나타난다. 따라서 행성이 중심별 앞을 지날 때 나타나는 별의 밝기 변화를 관측하여 행성의 존재를 확인할 수 있다.

**바로 알기** ㄱ. 별빛 스펙트럼을 분석하여 별의 분광형을 알아내면 별의 표면 온도를 추정할 수 있다. 그러나 분광형으로부터 행성의 존재 여부를 확인할 수는 없다.

ㄴ. 행성의 중력에 의해 중심별의 빛이 굴절하는 현상이 나타나더라도 중심별의 밝기 변화에 미치는 영향(밝기 증가율)은 미미하다. 따라서 이를 관측하여 행성의 존재를 확인하기 어렵다.

**02** ㄱ.  $t_1$ 일 때 중심별의 시선 속도가 (-)이므로 관측자 방향으로 가까워진다. 따라서 도플러 효과에 의해 별빛 스펙트럼의 청색 편이가 나타난다.

**바로 알기** ㄴ.  $t_1$ 일 때 최대 시선 속도로 접근하고  $t_3$ 일 때 최대 시선 속도로 멀어지므로, 중간 위치인  $t_2$ 에서 외계 행성과 별은 일직선상에 위치하지만 행성은 별 뒤로 지나가기 때문에 식 현상이 나타나지 않는다.

ㄷ. 외계 행성의 공전 주기는 시선 속도 변화가 나타나는 주기와 같다. 따라서 외계 행성의 공전 주기는  $(t_3 - t_1)$ 의 2배이다.

**03** ㄱ. (가)는 식 현상을 이용한 외계 행성 탐사 방법이므로 행성의 반지름이 클수록 탐사에 유리하다. 따라서 (가)는 지구 규모의 행성보다 목성 규모의 행성 탐사에 유리하다.

**바로 알기** ㄴ. (나)에서 B일 때 배경 별과 가까운 별이 일직선상에 위치하므로, 중력 렌즈 효과에 의해 배경 별빛의 밝기가 가장 밝아진다.

ㄷ. (가)에서 식 현상은 행성의 공전 궤도면이 시선 방향에 나란할 경우에 일어나지만, (나)의 미세 중력 렌즈 현상은 행성의 공전 궤도면이 기울어진 정도에 상관없이 발생한다.

**04** ㄴ. 별과 행성은 공통 질량 중심을 같은 주기, 같은 방향으로 공전한다.

**바로 알기** ㄱ. 행성이 A에 위치할 때 지구로부터 멀어지고, 이때 공통 질량 중심의 반대편에 위치한 별은 지구로 접근한다. 따라서 별빛 스펙트럼에서 청색 편이가 나타난다.

ㄷ. 행성의 질량이 현재보다 작아지면 공통 질량 중심의 위치는 별 쪽으로 이동할 것이다.

**05** ㄱ. A는 행성이 중심별의 앞면을 통과하는 데 걸린 시간에 해당한다. 따라서 중심별의 반지름이 크면 A가 길어진다.

ㄴ. B는 행성에 의해 중심별이 가려져 중심별의 밝기가 감소한 비율에 해당한다. 따라서 행성의 반지름이 클수록 중심별이 가려지는 면적이 커지므로 B가 커진다.

ㄷ. C는 행성에 의한 식 현상이 일어나는 데 걸린 시간이다. 따라서 C는 행성의 공전 주기에 해당한다.

**06** ㄱ. (가)에서 먼 별의 밝기가 증가하는 까닭은 가까운 별과 행성의 중력에 의해 별빛이 휘기 때문이다. 특히 먼 별의 밝기가 최대일 때는 가까운 별과 먼 별이 일직선상에 위치하여 가장 가까워졌을 때이다.

ㄷ. (가)와 (나)는 모두 가까운 별의 질량이 클수록 먼 별의 밝기 변화가 크다.

**바로 알기** L. (나)에서는 (가)와 달리 멀리 있는 별의 밝기 변화가 대칭으로 나타난다. 이는 (나)의 가까운 별이 행성을 거느리고 있지 않기 때문에 별에 의해서만 미세 중력 렌즈 현상이 나타났기 때문이다.

**07** L. (나)의 행성들은 식 현상에 의해 발견되었으므로 공전 궤도면이 관측자의 시선 방향에 거의 나란하다.

ㄷ. 외계 행성을 직접 관측하는 방법으로 발견하는 것은 외계 행성까지의 거리가 지구로부터 매우 가까운 경우에만 가능하다. 따라서 지구로부터의 거리는 (가)의 행성이 (나)의 행성보다 대체로 가깝다.

**바로 알기** ㄱ. 행성은 주로 가시광선보다 적외선 복사를 방출하기 때문에 (가)에서 직접 발견된 행성들은 대부분 적외선 영역에서 관측한 것이다.

**08** ㄱ. (가)에서 외계 행성이 발견된 중심별의 질량은 대부분 태양 질량의 1배~1.2배에 해당한다. 따라서 외계 행성은 태양과 질량이 비슷한 별 주변에서 가장 많이 발견되고 있음을 알 수 있다.

**바로 알기** L. 직접 관측을 통해 발견된 외계 행성의 수는 극히 적다. 케플러 우주 망원경은 식 현상이 일어나는 동안 별의 밝기 변화를 관측하여 행성의 존재를 확인한다.

ㄷ. 발견된 외계 행성들은 대부분 목성이나 해왕성과 같은 목성형 행성이다. 행성들의 구성 성분은 성간 물질에서 유래한 것이며, 성간 물질에서 가장 풍부한 성분은 수소와 헬륨이다. 따라서 거대 행성인 목성형 행성은 가스형 행성일 가능성이 매우 높다.

**09** ㄷ. (다)의 외계 행성계에서 중심별은 분광형과 질량이 모두 태양과 같은 주계열성이므로 생명 가능 지대는 태양계의 생명 가능 지대와 비슷한 거리에 위치한다. 따라서 태양-지구의 거리인 1 AU 거리에 위치한 행성은 생명 가능 지대에 해당하여 행성 표면에 액체 상태의 물이 존재할 수 있다.

**바로 알기** ㄱ. 생명 가능 지대의 폭은 중심별의 광도가 클수록 넓다. 따라서 (가)~(다) 중 분광형이 B5형인 (나)에서 생명 가능 지대의 폭이 가장 넓을 것이다.

L. 중심별의 질량이 클수록 진화 속도가 빠르므로 행성에서 안정된 환경이 유지되는 시간이 짧다. 따라서 (나)는 안정된 환경이 유지되는 시간이 가장 짧다.

**10** ㄷ. A~C 중에서 생명 가능 지대에 위치한 행성은 B이다. 따라서 액체 상태의 물이 존재할 가능성이 가장 높은 행성은 B이다.

**바로 알기** ㄱ. A의 중심별은 태양보다 질량이 작은 주계열성이므로 표면 온도가 더 낮다.

L. B는 생명 가능 지대에 위치하지만 C는 생명 가능 지대의 바깥쪽에 위치하며, 중심별로부터의 거리도 더 멀다. 따라서 행성의 단위 면적에 입사하는 중심별의 에너지량은 B가 C보다 많다.

**11** L. 지구는 탄생한 이후 현재까지 1 AU 위치에 머물고 있으므로 생명 가능 지대에 머물 수 있는 총 기간은 대략 50억 년이다.

**바로 알기** ㄱ. 이 별은 태양과 질량이 같으므로 수명도 태양과 거의 비슷할 것이다. 태양의 예상 수명은 약 100억 년이며, 일생의 대부분을 주계열성으로 보낸다. 적색 거성이 되면 급격하게 광도가 커지므로 생명 가능 지대가 중심별로부터 급격하게 멀어진다. 제시된 자료에서 별이 탄생한 후 약 50억 년이 지났을 때 생명 가능 지대가 중심별로부터 서서히 멀어지고 있으므로 아직 주계열 단계에 해당한다는 것을 알 수 있다.

ㄷ. 금성은 지구보다 태양으로부터 더 가까운 거리에 위치한다. 즉, 중심별인 태양으로부터의 거리는 1 AU보다 작다. 태양이 진화함에 따라 생명 가능 지대가 태양으로부터 멀어지므로 금성은 미래에 생명 가능 지대에 위치할 수 없다.

**12** ㄱ. 별의 질량이 클수록 수명이 짧다. 주계열성의 수명이 짧을수록 광도가 크므로 중심별로부터 생명 가능 지대의 거리가 멀다.

ㄷ. 스피카는 태양 질량의 약 10배인 별이므로 진화 속도가 태양보다 빠르다. 따라서 스피카를 공전하는 행성에서는 생명체가 진화하는 데 필요한 시간을 확보하기 어렵다.

**바로 알기** L. 백조자리 61B는 태양보다 광도가 훨씬 작으므로 별 주변에서 액체 상태의 물이 존재할 수 있는 범위, 즉 생명 가능 지대의 범위가 태양계보다 좁다.

**13** ㄱ. 화성의 지표에 액체 상태의 물이 흘렀던 흔적이 존재하므로, 과거에 화성의 표면 온도는 현재보다 높았을 것이라고 추정할 수 있다.

L. 유로파의 표면은 얼음으로 덮여 있으므로, 지표면의 평균 반사율은 암석으로 이루어진 화성보다 유로파가 높을 것이라고 추정할 수 있다.

**바로 알기** ㄷ. 태양계에서 생명 가능 지대에 위치하는 행성은 지구뿐이다. 화성과 유로파의 경우는 대기 조건이나 지표 조건에 따라 모두 액체 상태의 물이 존재했거나, 존재할 가능성이 있는 사례에 해당한다.

**14** ㄱ. 생명 활동과 관련 있을 것으로 추정할 수 있는 대기 성분에는 오존, 메테인, 수증기 등이 있다. 이 중 오존은 산소의 존재와 관련 있으며, 자외선을 차단해 주는 역할을 할 수 있다.

메테인은 유기물과 관련된 성분이며, 수증기는 행성에 액체 상태의 물이 존재할 가능성을 암시한다.

ㄴ. 전파는 다른 전자기파에 비해 공간 물질에 의해 흡수되거나 산란될 가능성이 가장 적다. 따라서 멀리 떨어진 두 지역에서 신호를 주고받을 경우 주로 전파를 이용하며, 외계 지적 생명체도 전파를 이용할 것으로 보아 전파 신호를 탐색한다.  
ㄷ. (가)와 (나)와 같이 외계 생명체를 탐사하는 주요 목적 중 하나는 우주와 생명에 대한 이해의 폭을 넓히는 것이다.

### 통합 실전 문제

068쪽

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

- 01 ㄷ. 수소 흡수선은 A0형 별에서 가장 강하게 나타난다. 따라서 (가)~(라) 중 스펙트럼에 나타난 수소 흡수선의 세기는 (라)에서 가장 강하다.

**바로 알기** ㄱ. 분광형이 K5형인 (나)의 표면 온도는 분광형이 B0형인 (가)의 표면 온도보다 더 낮다. 그런데 별 (가)와 (나)의 광도는 같으므로 표면 온도가 더 낮은 (나)가 (가)보다 크다.

ㄴ. 별의 단위 면적에서 방출되는 에너지량은 슈테판·볼츠만 법칙에 의해 표면 온도의 4제곱에 비례한다. 분광형이 A0형인 (라)의 표면 온도가 분광형이 G2형인 (다)의 표면 온도보다 더 높으므로 별의 단위 면적에서 방출되는 에너지량은 (라)가 (다)보다 많다.

- 02 ⑤ ㉠의 분광형은 K형이고, ㉡의 분광형은 G형이다. 태양이 표면 온도가 약 5800 K인 G형 별이라는 것을 알고 있으므로, (나)에서 Ca II 흡수선의 상대적 세기는 G형보다 K형에서 강하다는 것을 알 수 있다. 따라서 Ca II 흡수선의 상대적인 세기는 ㉠이 ㉡보다 강하다.

**바로 알기** ① 정역학 평형을 유지하는 별은 주계열성이다. 따라서 ㉠~㉢ 중 정역학 평형 상태를 유지하는 별은 ㉠과 ㉡이다.

② ㉢은 적색 거성이므로 중심부의 수소를 모두 소진한 상태이다.

③ ㉢은 주계열성이므로 별의 중심부에서 수소 핵융합 반응이 일어나고 있다.

④ H I 흡수선의 상대적 세기는 표면 온도가 약 9000 K~약 10000 K에서 가장 강하므로 A형 별에 해당한다. 따라서 B형 별인 ㉠보다 A형 별인 ㉡에서 H I 흡수선의 상대적 세기가 강하다.

- 03 ㄴ. ㉠의 중심부에서는 수소 핵융합 반응이 일어나고, ㉡의 중심부에서는 헬륨 핵융합 반응이 일어난다. 따라서 중심핵의 온도는 ㉠ 단계보다 ㉡ 단계일 때 높다.

**바로 알기** ㄱ. ㉠ 단계는 주계열 단계이며, 별은 일생의 대부분을 이 단계에서 보낸다.

ㄷ. ㉢ → ㉡ 단계에서는 행성상 성운이 형성되면서 중심부에 백색 왜성이 만들어진다. 철보다 무거운 원소는 초신성 폭발 단계에서 만들어진다.

- 04 ㄱ. (가)는 (나)에 비해 표면 온도가 낮은 별들이 많다. 따라서 붉은색 별의 비율은 (가)가 (나)보다 높다.

ㄷ. 성단을 이루는 별들은 거의 동시에 만들어지지만 질량에 따라 진화 속도가 다르다. 성단의 나이가 많을 경우 (가)와 같이 질량이 작은 주계열성도 적색 거성으로 진화한다. 그러나 성단의 나이가 적을 경우 (나)와 같이 대부분의 별들이 주계열성으로 존재한다. 따라서 성단이 형성된 시기는 (가)가 (나)보다 오래되었다.

**바로 알기** ㄴ. (가)는 질량이 큰 별들이 대부분 거성 단계에 위치하고, (나)는 성단을 이루는 별들의 대부분이 주계열성이다. 따라서 (나)가 (가)보다 주계열성의 비율이 높다.

- 05 ㄷ. A는 B보다 질량이 큰 주계열성이다. 따라서 표면 온도는 A가 B보다 높다.

ㄴ. 헬륨 흡수선은 태양보다 질량이 훨씬 큰 O형 별이나 B형 별에서 관측된다. B는 태양과 질량이 같으므로 G형 별이며, 헬륨 흡수선이 관측되지 않는다.

**바로 알기** ㄱ. A는 B보다 질량이 크므로 수명이 짧다.

ㄴ. 광도가 클수록 절대 등급이 작으므로 질량이 큰 A가 B보다 광도가 크고, 절대 등급이 작다.

- 06 ㄱ. 수소 핵융합 반응은 수소 원자핵 4개가 헬륨 원자핵 1개로 융합하는 반응으로, 온도가 1000만 K 이상일 경우에 일어날 수 있다.

ㄷ. 이 반응에서는 감소된 질량이 아인슈타인의 질량-에너지 등가 원리( $E=Δmc^2$ )에 따라 에너지로 전환된다. 질량 감소량이  $5.02 \times 10^{-29}$  kg이고, 빛의 속도가  $3 \times 10^8$  m/s이므로, 이 반응에서 생성되는 핵에너지 E는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$E = (5.02 \times 10^{-29} \text{ kg}) \times (3 \times 10^8 \text{ m/s})^2 \\ \approx 4.5 \times 10^{-12} \text{ J}$$

**바로 알기** ㄴ. 수소 핵융합 반응은 주계열성의 중심부뿐만 아니라 거성의 중심핵을 둘러싼 외곽층에서도 일어날 수 있다.

**07** ㄱ. 주계열성에서 일어나는 수소 핵융합 반응에는 양성자-양성자 반응(P-P 반응)과 탄소·질소·산소 순환 반응(CNO 순환 반응)이 있다. 질량이 작은 주계열성에서는 (가)의 P-P 반응이 우세하게 일어나고, 질량이 큰 주계열성에서는 (나)의 CNO 순환 반응이 우세하게 일어난다.

ㄴ. (가)의 P-P 반응과 (나)의 CNO 순환 반응은 별 중심부의 온도에 따라 결정된다. 별의 질량이 큰 경우 중심부의 온도가 높아 (가)보다 (나)의 반응이 우세해진다.

ㄷ. 별의 질량이 태양의 2배 이상인 경우, 중심부에는 대류가 일어나는 핵이 존재한다. 이러한 대류핵에서는 (가)의 P-P 반응보다 (나)의 CNO 순환 반응이 우세하게 일어난다.

**08** ㄴ. 주계열성은 기체의 압력 차로 발생한 힘과 중력이 평형을 이루어 일정한 크기를 유지하는데, 이를 정역학 평형 상태라고 한다.

**바로 알기** ㄱ. A는 내부의 기체 압력에 따른 힘이고, B는 중력이다.  
ㄷ. 주계열성이 거성으로 진화할 때 중심부에서는 중력이 더 우세하여 수축이 일어나고, 바깥층에서는 압력 차에 의한 힘이 더 우세하여 팽창이 일어난다.

**09** ㄱ. 초거성인 (가)의 질량이 적색 거성인 (나)의 질량보다 크다.  
ㄴ. (가)의 철 핵에서는 핵융합 반응이 일어날 수 없으므로 중력 수축이 일어날 것이다.

ㄷ. (나)의 적색 거성은 앞으로 팽창과 수축을 반복하면서 별의 외곽층이 바깥으로 분출되어 행성상 성운을 형성하고, 중심부는 수축하여 백색 왜성이 만들어질 것이다.

**10** ㄱ. 별의 진화 속도는 질량이 클수록 빠르다. (나)에서 초신성 폭발이 일어나므로 별의 질량은 (나)가 더 크고, 별의 진화 속도도 (나)가 더 빠르다.

ㄴ. A는 적색 거성, B는 백색 왜성에 해당한다. 별의 표면 온도는 적색 거성보다 백색 왜성이 더 높다.

**바로 알기** ㄷ. C는 초신성 폭발 시 중심부가 심하게 수축하여 형성되는 블랙홀이다. 블랙홀은 밀도가 너무 커서 표면에서 빛조차 빠져나오지 못한다.

**11** ㄴ. 행성이 A에 위치할 때 별은 지구로 접근하고, 행성이 B에 위치할 때 별은 지구로부터 멀어진다. 따라서 별빛 스펙트럼에 나타난 흡수선의 파장은 별이 지구로 접근하여 청색 편이가 나타나는 A일 때보다 별이 멀어져서 적색 편이가 나타나는 B일 때 더 길다.

**바로 알기** ㄱ. 별과 행성은 공통 질량 중심을 같은 방향과 같은 주기로 회전한다.

ㄷ. 별빛 스펙트럼에 나타나는 파장 변화량은 별과 관측자 사이의 상대적인 운동(접근 또는 후퇴)에 따라 달라지며, 지구로부터 이 외계 행성까지의 거리와는 무관하다.

**12** ㄱ. 밝기 변화가 나타나는 주기는 (나)보다 (가)에서 길다. 따라서 행성의 공전 주기는 A가 B보다 길다.

ㄷ. 스펙트럼에 나타난 흡수선의 파장 변화량은 중심별의 시선 속도에 비례한다. 두 별의 질량이 같다면 중심별로부터 행성까지의 거리가 가까울수록 중력 효과가 커서 행성의 공전 주기가 짧아지며 중심별의 시선 속도가 크다. (가), (나) 중심별의 질량이 같고 행성의 공전 주기는 A가 B보다 더 길기 때문에 중심별로부터의 거리는 A가 B보다 더 멀다. 따라서 스펙트럼에 나타난 흡수선의 파장 변화량은 (가)보다 (나)에서 크다.

**바로 알기** ㄴ. (가), (나)의 중심별은 질량이 같은 주계열성이므로 별의 반지름과 표면 온도는 거의 같다고 할 수 있다. 따라서 식 현상에 의한 밝기 변화량은 행성의 반지름에 의해 결정된다. (가)보다 (나)에서 별의 밝기 감소율이 크므로 행성의 반지름은 B가 A보다 크다는 것을 알 수 있다.

**13** ㄱ. 이 탐사 방법은 미세 중력 렌즈 현상을 이용하여 외계 행성을 탐사하는 방법이다.

**바로 알기** ㄴ. (나)는 멀리 있는 배경 별 B의 밝기 변화를 나타낸 것이다.

ㄷ. (나)의 ①은 관측자로부터 가까운 별 A의 주위를 공전하는 외계 행성에 의해 나타난 밝기 변화이다.

**14** ㄴ. 태양과 질량이 비슷한 별의 생명 가능 지대는 1 AU 부근에 위치하며, 이곳에 위치한 행성의 공전 주기는 지구와 비슷한 365일 정도로 (나)의 B 부근에 해당한다. 생명 가능 지대는 중심별의 질량이 클수록 멀어지므로, 태양보다 질량이 큰 별의 경우 액체 상태의 물이 존재하는 생명 가능 지대가 위치할 가능성은 A보다 B가 더 크다.

ㄷ. 외계 행성 A, B의 질량은 같고, A 외계 행성계 중심별의 질량은 B 외계 행성계 중심별의 질량보다 크다. 중심별의 질량이 클수록 중심별과 공통 질량 중심 사이의 거리가 가깝다. 중심별과 공통 질량 중심 사이의 거리는 A의 행성계가 B의 행성계보다 작다.

**바로 알기** ㄱ. (가)에서, 발견된 외계 행성들의 공전 주기는 거의 대부분 100일 미만이다. 따라서 지구보다 공전 주기가 짧다.

- 15 ㄱ. 중심별에서 생명 가능 지대까지의 거리는 (가)가 (나)보다 멀다. 따라서 중심별의 광도는 (가)가 (나)보다 크다.

**바로 알기** ㄴ. 중심별의 반지름은 광도가 크고 표면 온도가 낮을수록 크다. (가)의 중심별이 (나)의 중심별보다 광도가 크고 표면 온도는 같으므로 반지름은 (가)가 더 크다.

ㄷ. A는 생명 가능 지대보다 중심별과 가까운 쪽에 있고, B와 C는 생명 가능 지대에 위치한다. 따라서 행성의 표면 온도가 가장 높은 행성은 A이다.

- 16 ㄷ. 타이탄에는 거대한 메테인 호수가 존재한다. 지구에서 액체 상태의 물이 증발과 응결을 거쳐 순환이 일어나는 것처럼 타이탄에서도 액체 상태의 메테인이 증발과 응결을 거쳐 순환이 일어날 수 있다.

**바로 알기** ㄱ. 행성 X는 화성보다 태양으로부터 먼 궤도에 위치한 목성형 행성(토성)이다.

ㄴ. 엔켈라두스는 생명 가능 지대보다 먼 곳에 위치하여 표면에 액체 상태의 물이 존재하기 어렵다. 그러나 표면의 두꺼운 얼음층 밑에는 액체 상태의 물이 존재할 것으로 추정한다.

#### 사고력 확장 문제

076쪽

- 01 (1) 1등급인 별은 6등급인 별보다 약 100배 밝으므로 1등급 사이에는 약  $100^{\frac{1}{5}}$ 배(약 2.5배)의 밝기 차이가 있다. 즉, 1등급 차이 나는 두 별의 밝기 비 =  $100^{\frac{1}{5}} \approx 2.5$ 이다. 따라서 겉보기 등급이 각각  $m_1, m_2$ 인 두 별의 겉보기 밝기를 각각  $I_1, I_2$ 라고 하면, 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$m_2 - m_1 = -2.5 \log \frac{I_2}{I_1}$$

- (2)  $M_2 - M_1 = -2.5 \log \frac{L_2}{L_1}$ 에 별 S의 절대 등급과 광도 및 태양의 절대 등급과 광도를 대입하여 정리하면, 별 S의 광도를 구할 수 있다.

**모범 답안** (1) ㉠:  $-2.5 \log \frac{I_2}{I_1}$     ㉡:  $-2.5 \log \frac{L_2}{L_1}$

- (2) 별 S의 절대 등급  $M$ 과 광도  $L$  및 태양의 절대 등급  $M_\odot$ , 광도  $L_\odot$ 을 포그슨 공식에 대입하면 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$M - M_\odot = -2.5 \log \frac{L}{L_\odot}$$

그런데 별 S의 절대 등급이 태양보다 7.5등급 작다고 했으므로

$$-7.5 = -2.5 \log \frac{L}{L_\odot}$$

$$\log \frac{L}{L_\odot} = 3$$

$$L = 1000 L_\odot$$

그러므로 이 별 S의 광도는 태양의 1000배이다.

채점 기준		배점(%)
(1)	㉠과 ㉡을 모두 옳게 답한 경우	40
	㉠과 ㉡ 중에서 한 가지만 옳게 답한 경우	20
(2)	풀이 과정과 답을 모두 옳게 나타낸 경우	60
	풀이 과정에 부적절한 내용이 포함된 경우	30

- 02 (1) 흑체는 표면 온도( $T$ )가 높을수록 최대 에너지를 방출하는 파장( $\lambda_{\max}$ )이 짧아지는데, 이를 빈의 법칙이라고 한다.

(2), (3) 표면 온도가 높은 별일수록 파장이 짧은 파란 빛이 상대적으로 강하고, 노란 빛이 약하다. 따라서 B 영역에서 측정한 등급이 작고, V 영역에서 측정한 등급이 커서 색지수( $B-V$ )는 (-)값을 나타낸다. 이와 반대로 표면 온도가 낮은 별은 색지수가 (+)값을 나타낸다.

**모범 답안** (1) 최대 에너지를 방출하는 파장은 ㉠이 ㉡보다 짧으므로 표면 온도는 ㉠이 ㉡보다 높다.

(2) ㉠에서 색지수  $(B-V) < 0$ 이고, ㉡에서 색지수  $(B-V) > 0$ 이다.

(3) 별의 표면 온도가 높을수록 짧은 파장의 빛이 더 강하여 B등급이 V등급보다 작다. 따라서 색지수  $(B-V)$ 가 작아진다.

채점 기준		배점(%)
(1)	표면 온도와 $\lambda_{\max}$ 의 관계를 옳게 서술한 경우	30
	㉠의 표면 온도가 더 높다고만 서술한 경우	15
(2)	㉠의 색지수 $(B-V)$ 는 (-)이고, ㉡의 색지수 $(B-V)$ 는 (+)라고 옳게 서술한 경우	30
	㉠과 ㉡의 상대적인 크기만 비교한 경우	15
(3)	색지수와 표면 온도의 관계를 옳게 서술한 경우	40
	색지수와 표면 온도의 관계를 일부만 옳게 서술한 경우	20

- 03 (1) A는 백색 왜성, B는 주계열성, C는 거성이다.

(2) 거성 단계의 별은 중심핵에서 헬륨 핵융합이 일어나고, 중심핵을 둘러싼 외곽층에서 수소 핵융합 반응이 진행되면서 표면 온도가 상승하며 광도가 약간 감소하여 다시 주계열성의 위치인 ㉠ 부근에 잠시 머물기도 한다. 이 위치에 있더라도 중심부에서 안정적으로 수소 핵융합 반응이 일어나는 별이 아니므로 주계열성이 아니다.

**모범 답안** (1) A에서는 핵융합 반응이 일어나지 않는다. B에서는 중심핵에서 수소 핵융합 반응이 일어난다. C에서는 중심부에서 헬륨 핵융합 반응이 일어나고, 중심부를 둘러싼 외곽층에서 수소 핵융합 반응이 일어난다.

(2) ①은 거성 단계에 있는 별이 표면 온도와 광도가 빠르게 변하는 과정에서 잠시 머무는 위치이다. 주계열성은 질량이 클수록 주계열 단계에 머무는 시간이 짧다. 성단의 H-R도에서 ①보다 질량이 작은 주계열성도 거성으로 진화하였다. 즉, ①의 별들은 내부가 불안정하여 정역학 평형을 유지하지 못하는 거성이므로 주계열성이 아니다.

채점 기준		배점(%)
(1)	A~C 핵융합 반응 종류를 모두 옳게 서술한 경우	40
	A~C 중 일부만 옳게 서술한 경우	20
(2)	정역학 평형을 유지하지 못하는 거성임을 옳게 서술한 경우	60
	정역학 평형과 관련지어 일부만 옳게 서술한 경우	30

04 (1) (가)의 행성상 성운의 중심부에는 백색 왜성이 있고, (나)의 초신성 잔해의 중심부에는 중성자별 또는 블랙홀이 존재할 수 있다.

(2) 행성상 성운과 초신성 잔해를 이루는 물질들은 처음에 별을 만들었던 성간 물질로 되돌아간다.

**모범 답안** (1) (가)는 행성상 성운이고 (나)는 초신성 잔해이다. 중심부에 위치한 천체는 (가)의 경우 백색 왜성이고, (나)의 경우 중성자별 또는 블랙홀이다. 중심부 천체의 밀도는 (가)<(나)이다.

(2) (가)와 (나)의 밝은 부분은 별의 외곽층을 이루고 있던 물질이다. 이 물질들이 팽창하면서 온도가 낮아지며 점점 밀도가 희박해지면서 성간 물질의 일부가 된다.

채점 기준		배점(%)
(1)	(가)와 (나) 천체의 명칭을 옳게 답하고, 중심부 천체의 밀도를 옳게 비교한 경우	50
	(가)와 (나)의 명칭과 중심부 천체의 밀도 비교 중 한 가지만 옳게 답한 경우	25
(2)	팽창하여 온도가 낮아지면서 성간 물질이 된다고 옳게 서술한 경우	50
	성간 물질이 된다고만 서술한 경우	25

05 철 원자핵은 다른 원자핵에 비해 안정하기 때문에 철보다 더 무거운 원자핵을 만들기 위해서는 에너지를 흡수하는 반응이 일어나야 한다.

**모범 답안** 철 원자핵은 핵자당 결합 에너지가 가장 크므로 가장 안정한 원자핵이다. 따라서 핵융합에 의해 철보다 무거운 원자핵이 만들어지더라도 붕괴하여 철 원자핵이 된다.

채점 기준		배점(%)
(1)	핵자당 결합 에너지의 크기와 원자핵의 안정성의 관계를 통해 철보다 무거운 원자핵이 생성되지 않는 까닭을 옳게 서술한 경우	100
	철 원자핵이 가장 안정하기 때문이라고만 서술한 경우	50

06 (1) A는 행성의 식 현상으로 나타난 중심별의 밝기 감소량을 나타낸다. 행성의 반지름이 클수록 중심별이 많이 가려지므로 A도 커진다.

(2)  $t_2$ 일 때 식 현상이 일어났으므로 행성은  $t_3$ 일 때 지구로부터 멀어진다. 이때 중심별은 지구 쪽으로 접근한다.

(3) 중심별의 질량이 클수록 행성이 중심별에 미치는 중력 효과가 작아져 중심별의 시선 속도 변화가 작아진다. 이와 반대로 행성의 질량이 크면 중심별에 미치는 중력 효과가 커져 중심별의 시선 속도 변화가 커진다.

**모범 답안** (1) 행성의 반지름(또는 크기)

(2) a

(3) 중심별의 질량이 클수록  $\Delta\lambda_{\max}$ 가 작아지고, 행성의 질량이 클수록  $\Delta\lambda_{\max}$ 가 커진다.

채점 기준		배점(%)
(1)	행성의 반지름 또는 크기라고 옳게 답한 경우	20
	그 외의 답	0
(2)	a라고 옳게 답한 경우	20
	그 외의 답	0
(3)	중심별의 질량과 행성의 질량이 시선 속도의 변화에 따른 스펙트럼 흡수선의 파장 변화량에 미치는 영향을 모두 옳게 서술한 경우	60
	중심별의 질량과 행성의 질량이 시선 속도 변화에 따른 스펙트럼 흡수선의 파장 변화량에 미치는 영향 중 일부만 옳게 서술한 경우	30

07 (1) 중심별의 밝기 감소가 지속되는 시간은 행성이 중심별의 앞면을 통과하는 데 걸리는 시간에 해당한다. 따라서 B는 A보다 식 현상이 지속되는 시간이 길다는 것을 알 수 있다. 한편, 행성이 중심별의 앞면을 통과하는 데 걸리는 시간은 행성의 공전 속도가 느릴수록 길어지므로 B가 A보다 공전 궤도 반지름이 커서 공전 속도가 느리다는 것을 알 수 있다.

(2) 중심별의 밝기 감소량은 행성이 가리는 면적에 비례하므로 행성 반지름의 제곱에 비례한다.

**모범 답안** (1) 행성에 의해 식 현상이 지속되는 시간은 B가 A보다 길다. 따라서 공전 속도가 느리고 공전 궤도 반지름이 큰 행성은 B이다.

(2) 중심별의 밝기 변화량은 A가 B의 3배이다. 따라서 반지름은 A가 B의  $\sqrt{3}$ 배이다.

채점 기준		배점(%)
(1)	공전 궤도 반지름이 큰 행성만 옳게 제시하고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	50
	공전 궤도 반지름이 큰 행성만 옳게 답한 경우	20
(2)	행성 반지름은 A가 B의 $\sqrt{3}$ 배 크다고 옳게 답하고, 그 까닭을 중심별의 밝기 변화와 관련지어 서술한 경우	50
	A의 반지름이 B의 반지름보다 크다고만 서술한 경우	25

- 08 (1) 현재까지 알려진 생명과학 지식을 바탕으로 할 때, 생명체가 존재하기 위한 필수적인 요소는 액체 상태의 물이다. 지구 생명체를 기준으로 할 때, 생명 현상이 지속되려면 반드시 액체 상태의 물이 필요하다. 즉, 생명체가 존재하기 위해서는 행성에 액체 상태의 물이 있어야 한다. 행성에 액체 상태의 물이 존재하기 위해서는 중심별로부터 적당한 거리만큼 떨어져 있어야 하는데, 별 주변에서 액체 상태의 물이 존재할 수 있는 영역을 생명 가능 지대라고 한다. 생명 가능 지대는 별의 광도가 클수록 중심별에서 멀어지고, 그 폭이 넓어진다. 그러므로 생명 가능 지대가 중심별로부터 가장 멀리 떨어져 있는 케플러-452의 광도가 가장 크고, 생명 가능 지대가 중심별과 가장 가까운 케플러-186의 광도가 가장 작다.
- (2) 광도가 작은 별은 질량이 작고, 광도가 큰 별은 질량도 크다. 별의 질량이 크면 별의 수명은 짧으므로 진화 속도가 빠르고, 별의 질량이 크면 수명이 상대적으로 길어 진화 속도도 느리다.

**모범 답안** (1) 광도는 케플러-452 > 태양 > 케플러-186 순이다.  
 (2) 케플러-186f의 중심별이 광도가 가장 작으므로 질량도 작아 진화 속도가 가장 느리다. 따라서 생명 가능 지대에 가장 오래 머물 수 있는 행성은 케플러-186f이다.

채점 기준		배점(%)
(1)	케플러-452, 태양, 케플러-186의 순으로 옳게 답한 경우	40
	그 외의 답	0
(2)	생명 가능 지대에 가장 오래 머물 수 있는 행성을 옳게 답하고, 그 까닭을 별의 진화 속도와 관련지어 옳게 서술한 경우	60
	행성은 옳게 제시하였으나 그 까닭에 대한 설명이 부족한 경우	30

## 2. 외부 은하와 우주 팽창

### 01 외부 은하와 빅뱅 우주론

#### 탐구 확인 문제

094쪽

01 ③, ④ 02 (1) 약 43.6 km/s/Mpc (2) 약 43600 km/s

- 01 **바로 알기** ①, ② 후퇴 속도는 적색 편이량에 비례하며, 멀리 있는 외부 은하일수록 후퇴 속도가 크다.  
⑤ 우주 팽창에 따라 은하들 사이의 간격이 모두 멀어지므로 (라) 은하에서 (가) 은하를 보더라도 적색 편이가 나타난다.

- 02 (1) 탐구 활동에서 작성한 그래프의 추세선을 이용하면 기울기는 43.6 km/s/Mpc이며, 이 값이 허블 상수에 해당한다.  
(2) 허블 법칙을 이용하면 후퇴 속도 = 허블 상수 × 거리이므로 후퇴 속도는  $43.6 \text{ km/s/Mpc} \times 1000 \text{ Mpc} = 43600 \text{ km/s}$ 이다.

#### 개념 모야 정리하기

095쪽

- |            |               |          |
|------------|---------------|----------|
| ① 외부 은하    | ② 나선팔         | ③ 불규칙    |
| ④ 제트       | ⑤ 퀘이사         | ⑥ 세이퍼트은하 |
| ⑦ 적색       | ⑧ $H$ (허블 상수) | ⑨ 헬륨     |
| ⑩ 우주 배경 복사 | ⑪ 편평성         | ⑫ 지평선    |

#### 개념 기본 문제

096쪽

- 01 ㄱ 02 ㄷ, ㄹ 03 (1) (가) 타원 은하, (나) 막대 나선 은하, (다) 불규칙 은하, (라) 정상 나선 은하 (2) (나), (라) (3) (가)  
04 ㉠: 전파, ㉡: 제트 05 ㄱ, ㄷ 06 ㄱ, ㄴ, ㄹ 07 ㄱ, ㄷ  
08 ㄴ, ㄹ 09 (1)  $A < B$  (2) 약 67 km/s/Mpc (3) 약 670 km/s  
10 ㄷ 11 ㄱ, ㄴ 12 ㄴ, ㄷ  
13 (1) ㉠: 편평성, ㉡: 지평선 (2) 급팽창 이론

- 01 ㄱ. 안드로메다은하는 20세기 초까지 정확한 거리를 측정하지 못하여 우리은하 내부에 있는 성운으로 알고 있었으나 허블의 관측으로 우리은하 밖에 있는 외부 은하임이 알려졌다.  
**바로 알기** ㄴ. 안드로메다은하는 비교적 가까운 거리에 있는 외부 은하이다. 거리가 매우 멀어 하나의 별처럼 보이는 은하는 퀘이사이다.  
ㄷ. 연주 시차를 관측하여 거리를 측정할 수 있는 천체는 주로 태양 주변에 있는 100 pc 이내의 별들이다.

- 02 ㄷ, ㄹ. 특정한 모양이 없는 은하는 불규칙 은하로 분류하며, 우리은하는 나선팔과 막대 구조를 나타내고 있으므로 막대 나선 은하로 분류한다.

**바로 알기** ㄱ. 은하들 중에 가장 많은 비율을 차지하는 은하는 나선 은하이다.

ㄴ. 허블은 외부 은하의 모양이 일정한 방향으로 진화하고 있다고 생각하였으나, 훗날 은하의 진화와 형태 사이에는 아무런 관련이 없음이 밝혀졌다.

- 03 (1) (가)는 타원 모양이고 나선팔이 없는 타원 은하이다. (나)는 나선팔과 막대 구조가 있는 막대 나선 은하이다. (다)는 일정한 모양이 존재하지 않는 불규칙 은하이고, (라)는 나선팔이 있으나 막대 구조가 없는 정상 나선 은하이다.  
(2) 중앙 팽대부와 원반 구조를 가지고 있는 은하는 나선 은하이므로 (나)와 (라)가 여기에 속한다.  
(3) 새로 탄생하는 젊은 별이 거의 존재하지 않으며, 주로 나이가 많은 별들로 이루어져 있는 은하는 타원 은하이다.

- 04 전파 은하는 대부분 가시광선 영역에서 관측할 때보다 전파 영역에서 관측할 때 잘 나타난다. 이들은 중심에 핵을 가지고 있고, 양쪽에 로브라고 불리는 거대한 돌출부가 있으며, 로브와 핵이 제트로 연결되어 있다.

- 05 ㄱ. 퀘이사는 하나의 별처럼 보이므로 준항성체라고도 한다.  
ㄷ. 퀘이사는 우주 탄생 초기의 천체로, 거리가 멀기 때문에 매우 큰 적색 편이가 나타난다.

**바로 알기** ㄴ. 퀘이사는 우리은하로부터 매우 멀리 떨어져 있는 천체이다.

ㄹ. 스펙트럼의 방출선 폭이 상대적으로 매우 넓은 특이 은하는 세이퍼트은하이다.

- 06 ㄱ, ㄴ, ㄹ. 특이 은하에는 전파 은하, 세이퍼트은하, 퀘이사 등이 있으며, 이들은 모두 중심부에 거대 블랙홀이 있을 것으로 추정되는 활동성 은하들이다.

**바로 알기** ㄷ. 렌즈형 은하는 타원 은하와 나선 은하의 중간 형태를 나타내고 있는 은하로, 특이 은하에 속하지 않는다.

- 07 ㄱ, ㄷ. 서로 다른 두 은하가 충돌하여 형성되는 충돌 은하 내부의 거대한 분자 구름에서는 새로운 별들이 활발하게 만들어질 수 있는 것으로 알려져 있다.

**바로 알기** ㄴ. 은하의 충돌은 우주 탄생 초기뿐만 아니라 최근에도 활발하게 일어나고 있다.

08 허블 상수는 은하의 거리와 후퇴 속도와의 상관 관계를 나타내는 상수로, 우주의 팽창 정도를 나타낸다. 허블 상수를 결정하기 위해서는 은하의 거리와 후퇴 속도를 알아야 하는데, 후퇴 속도는 스펙트럼에 나타난 적색 편이량으로부터 알 수 있다.

09 (1) A는 B보다 후퇴 속도가 작다. 후퇴 속도가 작을수록 스펙트럼에 나타난 적색 편이량도 작다.  
(2) 후퇴 속도를  $v$ , 은하의 거리를  $r$ 라고 할 때 허블 법칙은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$v = H \times r \quad (H: \text{허블 상수})$$

따라서 허블 상수는 거리와 후퇴 속도를 나타낸 그래프에서 기울기에 해당한다. 제시되어 있는 그래프에서 기울기는 약 67 km/s/Mpc이다.

(3) 허블 법칙을 이용하여 구하면 후퇴 속도는 약 670 km/s이다.

$$\begin{aligned} v &= H \times r \quad (H: \text{허블 상수}) \\ &= 67 \text{ km/s/Mpc} \times 10 \text{ Mpc} = 670 \text{ km/s} \end{aligned}$$

10 다. 우주가 팽창함에 따라 은하들은 서로 멀어지고 있다. 따라서 멀리 있는 외부 은하에서 우리은하를 관측하면 적색 편이가 나타난다.

**바로 알기** 가. 팽창하는 우주에서 특별한 팽창의 중심은 존재하지 않는다.

나. 우주의 팽창 속도는 시간에 따라 다르지만 팽창 속도는 위치에 따라 다르지 않다. 우주는 현재 모든 방향으로 균일하게 팽창하고 있다.

11 가, 나. 빅뱅 우주론에 따르면 우주는 과거의 어느 시점에서 탄생하여 팽창하기 시작하였고, 팽창에 따라 온도와 밀도가 계속 낮아졌다.

**바로 알기** 다. 허블 법칙은 빅뱅 우주론뿐만 아니라 정상 우주론으로도 설명할 수 있다.

르. 빅뱅 직후 핵합성으로 생성된 원소는 수소와 헬륨이다. 헬륨보다 무거운 원소들은 별의 진화 과정에서 생성되었다.

12 나, 다. 우주 배경 복사는 우주의 나이 약 38만 년일 때 우주가 투명해지면서 우주 전체에 퍼진 복사의 흔적으로, 빅뱅 우주론의 강력한 증거이다. 우주 배경 복사는 거의 균일하지만 방향에 따라 미세한 온도 차이가 존재한다.

**바로 알기** 가. 우주 배경 복사는 우주의 온도가 약 3000 K일 때 형성되었으나, 우주의 지속적인 팽창에 따라 현재는 약 2.7 K의 흑체 복사로 관측된다.

13 빅뱅 우주론이 해결하지 못한 3가지 문제점은 편평성 문제, 지평선 문제, 자기 단극 문제이다. 편평성 문제는 현재의 우주가 거의 완벽하게 평탄한 까닭을 설명하기 어렵다는 것이고, 지평선 문제는 우주의 정반대 방향에서 오는 우주 배경 복사의 온도가 동일한 까닭을 설명하기 어렵다는 것이다. 자기 단극 문제는 초기 우주에서 형성된 자기 단극이 발견되지 않는 까닭을 설명하기 어렵다는 것이다. 최근에는 빅뱅 직후 우주가 극히 짧은 시간 동안 급격히 팽창했다는 급팽창 이론을 통해 빅뱅 우주론이 해결하지 못한 중요한 문제들을 밝히고 있다.

#### 개념 적용 문제

098쪽

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

01 ④ ㉠은 정상 나선 은하이고, ㉡은 막대 나선 은하이다. 두 은하 모두 은하 원반이 존재한다.

**바로 알기** ① ㉢은 타원 은하이다. 은하핵이 없는 은하는 타원 은하와 불규칙 은하이다.

② 은하의 진화와 형태 사이에는 아무런 관련이 없음이 밝혀졌다.

③ ㉠과 ㉡을 나누는 기준은 막대 구조의 유무이다.

⑤ 나선팔이 없는 은하는 ㉠의 타원 은하와 ㉢의 불규칙 은하이다.

02 가. ㉠은 편평도에 따라 세분할 수 있는 타원 은하이고, ㉡은 렌즈형 은하이다. 렌즈형 은하는 은하 원반을 가지고 있지만 나선팔은 보유하지 않는다. 따라서 ㉠과 ㉡은 모두 나선팔이 존재하지 않는다.

다. 나이 많은 별은 주로 질량이 작은 별이며, 질량이 작은 별은 표면 온도가 낮아 붉은색으로 보인다. 따라서 붉은색 별의 비율은 주로 나이가 많은 별로 이루어진 타원 은하 ㉠에서 가장 높다.

**바로 알기** 나. ㉢의 나선 은하에는 중앙 팽대부에 주로 나이 많은 별이 분포한다. 따라서 중앙 팽대부의 크기가 작을수록 표면 온도가 높은 파란색 별의 비율이 상대적으로 높다.

03 나. 이 은하는 세이퍼트 은하이다. 세이퍼트 은하의 중심부에는 거대 블랙홀이 존재할 것으로 추정하고 있다.

**바로 알기** 가. 세이퍼트 은하는 매우 밝은 핵과 넓은 방출선 스펙트럼이 관측된다.

ㄷ. 세이퍼트는 은하의 대부분 나선 은하 형태로 관측되며, 나선 은하가 은하 충돌을 거쳐 형성되지는 않는다.

- 04 ㄱ. A는 하나의 별처럼 보이고, 후퇴 속도가 매우 큰 퀘이사이다. 퀘이사는 에너지 방출량이 우리은하의 수백 배~수천 배에 이른다.

**바로 알기** ㄴ. B는 제트와 로브가 관측되는 전파 은하이다. 우주 초기에 형성된 천체는 퀘이사인 A이다.

ㄷ. 원래 파장이 390 nm인 흡수선의 관측 파장은 A가 440 nm이고, B가 400 nm이다. 따라서 적색 편이량  $\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}$ 는 A가 B의 5배이다.

$v = c \times \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}$  ( $v$ : 후퇴 속도,  $c$ : 빛의 속도)이므로, 후퇴 속도도 A가 B의 5배가 되어 A가 B보다 5배 멀리 있다는 것을 알 수 있다.

- 05 ㄷ. 충돌 과정에서 은하 안의 거대한 분자 구름들이 서로 충돌하고 압축되면서 가스와 먼지의 밀도가 증가한다. 이곳에서 새로운 별이 만들어질 수 있다.

**바로 알기** ㄱ. 은하가 충돌하더라도 별 사이의 평균 거리가 매우 멀기 때문에 별들이 서로 충돌하여 파괴되는 경우는 거의 없다.

ㄴ. 은하의 분포가 훨씬 더 균일하다면 은하에 작용하는 중력이 특정한 방향으로 쏠리는 경우가 더 드물 것이고, 그에 따라 은하의 충돌 빈도가 훨씬 낮을 것이다.

- 06 ㄴ. 은하 A와 B의 스펙트럼에서 모두 적색 편이가 나타나므로 두 은하 모두 우리은하로부터 멀어지고 있다.

**바로 알기** ㄱ.  $v = H \times r$ 로부터  $\frac{\text{후퇴 속도}(v)}{\text{거리}(r)} = \text{허블 상수}(H)$ 이다.

ㄷ. 그러므로 (나)에서 허블 상수는  $\frac{b}{a}$ 이다.

ㄷ. B에서 A를 관측하면 A는 B로부터 멀어지는 것으로 관측된다. 따라서 A의 스펙트럼에서 적색 편이가 나타날 것이다.

- 07 ㄴ. 우주의 팽창 속도가 일정했다고 가정하면 허블 상수의 역수는 우주의 나이에 해당한다. 1930년대 측정된 허블 상수가 1980년대에 측정된 허블 상수보다 크므로, 허블 상수를 기준으로 계산한 우주의 나이는 1980년대에 더 크게 계산되었다.
- ㄷ. 관측된 적색 편이량으로부터 외부 은하의 후퇴 속도를 알 수 있다. 후퇴 속도를 허블 상수로 나누면 은하까지의 거리가 된다. 1980년대 측정된 허블 상수가 더 작으므로 1930년대보다 은하까지의 거리가 더 크게 계산된다.

**바로 알기** ㄱ. 측정된 허블 상수 값이 달라지는 까닭은 측정 과정의 오차 때문이다. 특히, 은하까지의 거리를 측정한 값이 크게 달라지면 서 이와 관련된 허블 상수도 크게 수정되었다.

- 08 ㄴ. 천체의 시직경은 거리에 반비례한다. 따라서 B의 시직경은 A의 시직경의  $\frac{1}{4}$ 배이므로 거리는 4배 멀다. 허블 법칙에 따르면 거리와 후퇴 속도는 비례하고, 후퇴 속도는 적색 편이량에 비례한다. 따라서 흡수선의 적색 편이량  $\left(\frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}\right)$ 도 B가 A의 4배인 0.004이다.

ㄷ.  $v = c \times \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}$  ( $c$ : 빛의 속도)이고, B의 적색 편이량은

A의 4배이므로,  $\frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}$ 는 0.004이다. 따라서 후퇴 속도  $v = 0.004c$ 이다. 그러므로 B는 지구로부터 빛의 속도의 약 0.4%로 멀어지고 있다.

**바로 알기** ㄱ. 같은 크기를 가진 은하의 시직경의 비가 4배이므로 거리의 비도 4배이다. 따라서 지구로부터의 거리는 B가 A의 4배이다.

- 09 ㄱ. 우리은하에서 측정된 허블 상수는 외부 은하 A, B, C의 거리에 대한 후퇴 속도의 비와 같다. 따라서 허블 상수는

$$\frac{3500 \text{ km/s}}{50 \text{ Mpc}} = \frac{1400 \text{ km/s}}{20 \text{ Mpc}} = 70 \text{ km/s/Mpc}$$

ㄴ. A에서 측정한 우리은하의 후퇴 속도는 3500 km/s이고, C의 후퇴 속도는 7000 km/s로 우리은하의 2배이다.

ㄷ. A~C 은하에서 측정된 허블 상수는 모두 동일하다. 따라서 우주 팽창의 특별한 중심은 존재하지 않으며, 우주의 어느 곳에서 관측하더라도 허블 법칙이 동일하게 성립한다.

- 10 ㄱ. 이 우주론에서는 우주의 질량이 계속 증가하고, 평균 밀도가 일정하다. 따라서 이 우주론은 우주가 팽창하면서 새로운 물질이 계속 생성되는 정상 우주론이며, 연속 창조설이라고도 한다.

**바로 알기** ㄴ. 정상 우주론에서는 우주가 계속 팽창하고 있으며 허블 법칙이 성립한다고 설명한다.

ㄷ. 우주 배경 복사는 빅뱅 우주론의 근거이다.

- 11 ㄱ. (가)의 ㉠은 현재 우주의 모든 방향에서 관측되고 있는 약 2.7 K의 흑체 복사 곡선이다.

ㄴ. (나)로부터 우주 배경 복사가 방향에 따라 미세한 차이가 있었음을 알 수 있다. 이러한 미세한 차이는 초기 우주에서 물질 분포의 차이를 의미하며, 은하와 별을 생성하는 씨앗 역할을 하였다.

ㄷ. 우주가 팽창함에 따라 우주 배경 복사의 세기는 점점 낮아지고 파장은 길어질 것이다.

- 12  $\gamma$ , (가)에서 양성자와 중성자의 개수비는 14:2이다. 양성자와 중성자의 질량은 거의 같으므로 질량비는 약 7:1이다.  
 다, (나)에서 수소 원자핵과 헬륨 원자핵의 개수비가 12:1이고, 질량비는 3:1이다. 현재 우주에 존재하는 수소와 헬륨의 질량비를 이 모형으로 잘 설명할 수 있다.  
**바로 알기** 나, (나)에서 수소 원자핵은 양성자에 해당한다. 따라서 수소 원자핵과 헬륨 원자핵의 개수비는 12:1이다.

- 13  $\gamma$ , 우주의 온도가 낮아진 이후에 원자핵과 전자가 결합하였다. 따라서 우주의 온도는 (가) 시기보다 (나) 시기에 높았다.  
**바로 알기** 나, 우주의 급팽창은 빅뱅 직후 물질이 존재하기 이전에 일어났다.  
 다, 우주 배경 복사는 중성 원자가 생성된 직후에 형성되었으므로 (가) 시기에 존재하였다.

- 14 우주의 곡률이 완전하게 0인 편평한 우주로 관측되는 것은 편평성 문제(A)이고, 우주 배경 복사가 우주의 정반대 쪽에서 거의 균질하게 관측되는 것은 지평선 문제(B)이다. 초기 우주에서 풍부했던 자기 단극이 발견되지 않는 문제는 자기 단극 문제(C)이다.

- 15  $\gamma$ , 나, A 시기에 우주는 빛보다 빠른 속도로 급격한 팽창이 일어났으며, 이를 우주의 급팽창이라고 한다. 급팽창 이전에는 우주의 크기가 우주의 지평선보다 훨씬 작았기 때문에 충분히 균질해질 수 있었다.  
 다, 우주 배경 복사는 급팽창 이후에 우주의 나이가 약 38만 년이 되었을 때 형성되었다.

- 16  $\gamma$ , 현재 우주의 지평선 부근에 위치한 A와 B 방향에서 오는 우주 배경 복사가 거의 균일하게 관측된다.  
**바로 알기** 나, 현재 A와 B는 상호 작용을 할 수 없는 우주의 지평선 부근에 위치한다.  
 다, 급팽창 이전에는 우주의 크기가 우주의 지평선보다 훨씬 작았기 때문에 충분히 상호 작용을 하여 우주의 에너지 밀도가 균일해질 수 있었다.

## 02 우주의 구성과 운명

### 개념 모아 정리하기

114쪽

- ① 중력 ② 중력 렌즈 ③ Ia형 초신성 ④ 가속 ⑤ 급팽창  
 ⑥ 암흑 에너지 ⑦ 암흑 물질 ⑧ 암흑 에너지

### 개념 기본 문제

115쪽

- 01 (1) 중력 렌즈 현상 (2) 암흑 물질의 양이 많을수록 멀리 있는 은하로부터 오는 빛이 많이 휘어진다. 02 (가)  $\rightarrow$  (다)  $\rightarrow$  (나)  $\rightarrow$  (라)  
 03 나 04 A-다, B-나, C- $\gamma$  05 (1) A: 열린 우주, B: 평탄 우주, C: 닫힌 우주 (2) A: 우주 밀도 < 임계 밀도, B: 우주 밀도 = 임계 밀도, C: 우주 밀도 > 임계 밀도  
 06 (1) (다) > (나) > (가) (2) (다) > (나) > (가) (3) (나) 07  $\gamma$ , 다

- 01 (1) 은하단의 질량에 의해 멀리서 오는 빛이 휘어지는 현상을 중력 렌즈 현상이라고 한다.

(2) 빛이 휘어질 것으로 예상했던 것과 실제 관측에서 휘어지는 정도를 비교하여 암흑 물질의 존재를 확인할 수 있다. 멀리서 오는 빛이 휘어지는 정도는 가까운 은하단에 존재하는 암흑 물질의 양이 많을수록 더 크다.

- 02 빅뱅 우주론에 따르면 우주는 빅뱅에 의해 시작되었고, 그 직후 급팽창이 일어났다. 이후 물질의 중력에 의해 팽창 속도가 조금씩 줄어드는 감속 팽창을 하다가 암흑 에너지 효과가 상대적으로 우세해진 이후부터 현재까지 가속 팽창을 하고 있다.

- 03 나, 현재 우주는 가속 팽창 중이며, 그 원인은 암흑 에너지 때문인 것으로 추정하고 있다.

**바로 알기**  $\gamma$ , 빅뱅 직후 우주는 급팽창하였고, 한동안 팽창 속도가 줄어드는 감속 팽창을 하다가 다시 팽창 속도가 빨라지는 가속 팽창을 하고 있다.

다, 우주가 가속 팽창하는 까닭은 우주가 팽창함에 따라 물질에 의한 중력 효과가 작아지고, 암흑 에너지 효과가 상대적으로 커지기 때문이다.

르, 미래에 우주의 팽창 속도는 현재보다 더 빨라질 것으로 예상하고 있다.

- 04  $\gamma$ , 우주에는 약 68.3%의 암흑 에너지(A)와 약 26.8%의 암흑 물질(B), 약 4.9%의 보통 물질(C)이 존재하는 것으로 추정한다. 보통 물질 C는 전자기파를 흡수하거나 방출하기 때문에 이 영역에서 관측이 가능하다.

ㄴ. 암흑 물질 B는 전자기파와 상호 작용을 하지 않아서 직접 관측할 수 없지만 질량을 가지므로 중력에 의한 상호 작용이 나타나기 때문에 이를 관측하여 그 존재를 확인할 수 있다. 암흑 물질이 분포하는 곳에서는 그 중력의 효과에 의해 천체로부터 오는 빛의 경로가 휘어지거나 밝기가 증가하는 중력 렌즈 현상이 일어날 수 있다.

ㄷ. 암흑 에너지 A는 중력에 반대 방향으로 작용하여 우주를 가속 팽창시키는 원인으로 추정되고 있다.

**05** A는 우주의 밀도가 임계 밀도보다 작아 우주의 곡률이 (-)인 열린 우주이고, B는 우주의 밀도가 임계 밀도와 같아 우주의 곡률이 0인 평탄 우주이다. C는 우주의 밀도가 임계 밀도보다 커서 우주의 곡률이 (+)인 닫힌 우주이다.

**06** (1) (가)는 열린 우주, (나)는 평탄 우주, (다)는 닫힌 우주이다. 따라서 우주의 곡률은 (다)가 가장 크고, (가)가 가장 작다.

(2) 우주의 밀도를 임계 밀도와 각각 비교할 때 (나)는 임계 밀도와 같지만 (가)는 임계 밀도보다 작고, (다)는 임계 밀도보다 크다.

(3) 현재의 정밀한 관측을 통해 알아낸 우주의 곡률은 평탄 우주인 (나)이다.

**07** ㄱ, ㄷ. 우주는 보통 물질, 암흑 물질, 암흑 에너지로 구성되어 있다. 관측 결과, 우주는 암흑 에너지 효과로 인해 팽창 속도가 점차 증가하는 가속 팽창 중이다.

**바로 알기** ㄴ. 우주가 팽창함에 따라 물질의 효과가 작아지므로 암흑 에너지 효과가 상대적으로 커진다.

#### 개념 적용 문제

116쪽

01 ②	02 ③	03 ①	04 ④	05 ③	06 ②
07 ④	08 ①	09 ①	10 ②	11 ⑤	12 ③

**01** ㄷ. 별의 회전 속도가 태양보다 멀리 떨어진 곳에서도 거의 일정한 까닭은 태양의 바깥쪽에 중력 작용을 일으키는 암흑 물질이 존재하기 때문이다.

**바로 알기** ㄱ. 우리은하의 물질이 중심부에 대부분 분포한다면 은하 중심으로부터 멀어짐에 따라 별의 회전 속도가 점점 감소해야 한다.

ㄴ. 은하의 회전 곡선은 물질의 중력 분포에 의해 결정된다. 따라서 이 자료는 전자기파를 방출하는 보통 물질뿐만 아니라 암흑 물질의 효과까지 합한 결과이다.

**02** ㄱ. (가)에서 가까운 은하단 물질의 중력에 의해 멀리서 오는 빛의 경로가 휘어지는데, 이를 중력 렌즈 현상이라고 한다.

ㄷ. 전자기파로 관측할 수 있는 질량은 보통 물질의 질량에 해당하며, 역학적 질량은 중력과 상호 작용을 하는 물질의 질량으로, 보통 물질과 암흑 물질을 합한 질량을 의미한다. 따라서 아벨 1689 은하단에 암흑 물질이 존재한다면 광학적 관측으로 추정된 질량보다 역학적인 방법으로 계산한 질량이 더 크다.

**바로 알기** ㄴ. 모양이 길쭉하게 휘어진 빛은 아벨 1689 은하단보다 멀리 있는 천체들이며, 중력 렌즈 현상에 의해 상이 왜곡되어 나타난 것이다.

**03** ㄱ. A와 B는 Ia형 초신성이므로 가장 밝아졌을 때의 절대 등급은 동일하다.

**바로 알기** ㄴ. A는 B보다 적색 편이량이 작다. 따라서 후퇴 속도는 A가 B보다 느리다.

ㄷ. 적색 편이량으로 추정된 거리는 허블 법칙으로 추정된 거리에 해당한다. 겉보기 등급을 관측한 결과, A와 B를 포함한 Ia형 초신성들은 대부분 가속 팽창하는 영역에서 분포하고 있다. 따라서 허블 법칙에 따라 일정하게 팽창하는 우주(가속 팽창 우주와 감속 팽창 우주의 경계에서 추정된 거리, 즉 적색 편이량으로 추정된 거리보다 겉보기 등급을 관측하여 알아낸 거리가 더 멀다.

**04** ㄱ. 우주의 급팽창은 빅뱅 직후 매우 짧은 시간 동안 지속되었고, 이후 우주의 감속 팽창이 한동안 지속되었다.

ㄷ. Ia형 초신성의 관측을 통해 우주의 팽창 속도가 점점 빨라지고 있다는 것을 확인할 수 있다.

**바로 알기** ㄴ. 감속 팽창 시기에도 우주의 팽창은 계속되었고, 팽창하는 속도가 조금씩 줄어들었을 뿐이었다. 따라서 이 시기에도 우주의 크기는 계속 증가하였다.

**05** ㄱ. A는 현재의 우주에서 가장 많은 비율을 차지하는 암흑 에너지이다. 암흑 에너지는 우주의 가속 팽창을 일으키는 원인으로 추정된다.

ㄷ. C는 전자기파와 상호 작용을 하는 보통 물질이다. 보통 물질은 대부분 수소와 헬륨으로 이루어져 있다.

**바로 알기** ㄴ. B는 중력과 상호 작용을 하지만 전자기파와는 상호 작용을 하지 않는 암흑 물질이다.

- 06 ㄷ. 가속 팽창의 원인은 중력의 반대 방향인 척력으로 작용하는 암흑 에너지 효과가 상대적으로 커지기 때문이다.

**바로 알기** ㄱ. 우주의 급팽창 시기에는 우주의 온도가 너무 높아 물질이 존재할 수 없었다. 우주의 보통 물질은 급팽창 이후부터 우주의 나이가 약 3분이 될 때까지의 시간 동안 생성되었다.

ㄴ. 표준 우주 모형에 따르면 암흑 물질은 우주 배경 복사가 형성되기 이전인 초기 우주에 이미 존재했던 것으로 추정하고 있다.

- 07 ㄱ, ㄴ. A는 중력 렌즈 현상을 관측하여 그 존재를 확인할 수 있는 암흑 물질이고, B는 별과 은하 등을 구성하는 보통 물질로 전자기파와의 상호 작용을 통해 그 존재를 확인할 수 있다.

**바로 알기** ㄷ. C는 암흑 에너지이다. 암흑 에너지는 우주의 팽창과 관계없이 일정하지만 우주가 팽창함에 따라 보통 물질과 암흑 물질의 영향이 상대적으로 감소하기 때문에 암흑 에너지가 미래의 우주 팽창에 미치는 영향이 점점 커진다.

- 08 ㄱ. (가)는 우주의 곡률이 0인 편평 우주이다. 편평 우주에서 우주의 밀도는 임계 밀도와 같다.

**바로 알기** ㄴ. (나)는 열린 우주로, 우주의 곡률은 (-)이다. 열린 우주에서 우주의 밀도는 임계 밀도보다 작다.

ㄷ. 우주의 밀도는 (다) 닫힌 우주 > (가) 평탄 우주 > (나) 열린 우주 순이다.

- 09 (가) 거리가 먼 은하일수록 후퇴 속도가 크다는 것은 우주가 팽창하고 있다는 것을 의미한다. 거리와 후퇴 속도의 관계를 나타낸 법칙을 허블 법칙이라고 한다.

(나) Ia형 초신성의 겉보기 등급이 예상보다 더 어둡게 나타나 있는 것은 예상했던 거리보다 더 먼 곳에 위치하기 때문이며, 이는 우주가 가속 팽창하고 있다는 근거이다.

(다) 나선 은하에서, 은하 중심에서 멀어지더라도 별의 회전 속도는 거의 일정하다. 만약 보통 물질만 존재한다면 은하 중심에서 멀어질수록 회전 속도가 감소해야 하지만 암흑 물질이 존재하기 때문에 회전 속도가 거의 일정하게 나타난다.

- 10 ㄴ. A 시기에는 암흑 물질의 비율이 가장 컸으며, 그에 따른 중력 효과가 우세하여 우주의 팽창 속도가 감소하였다.

**바로 알기** ㄱ. 빅뱅 직후 급팽창이 일어났다. 그 후 우주는 감속 팽창하다가 다시 가속 팽창하고 있다.

ㄷ. 암흑 에너지의 양은 일정하지만 우주의 크기가 커짐에 따라 물질 밀도의 영향이 감소하므로 전체 구성 성분 중 암흑 에너지의 비율이 늘어나 암흑 에너지의 효과가 상대적으로 커진다.

- 11 ㄱ. 약 38억 년 전에 A에서 출발한 빛이 우주의 나이가 약 138억 년인 현재 지구에서 관측되었다. 따라서 지구에 도달된 정보(빛)는 약 38억 년 전의 A 모습이다.

ㄴ. 현재 우주 배경 복사의 온도는 약 2.7 K이다. 따라서 우주 나이가 약 100억 년이었던 (가)에서 우주 배경 복사의 온도는 약 2.7 K보다 높았다.

ㄷ. 이 기간 동안에 우주는 계속 가속 팽창하였다. 따라서 우주가 (가)~(나) 기간에 팽창한 정도보다 (나)~(다) 기간에 팽창한 정도가 크다. 그리고 같은 기간 동안 우주 팽창에 따른 빛의 적색 편이량도 (가)~(나) 기간보다 (나)~(다) 기간이 크다.

- 12 ㄱ. A는 가속 팽창하는 우주 모형이므로 시간에 따라 팽창 속도가 증가한다.

ㄷ. C 우주 모형은 다시 수축하는 우주이며, 우주의 밀도가 임계 밀도보다 커서 팽창 속도가 감소하여 우주의 크기가 다시 작아진다.

**바로 알기** ㄴ. B는 관성 우주로, 중력에 영향을 주는 물질이나 에너지가 전혀 없고 척력으로 작용하는 암흑 에너지도 없어서 현재의 팽창 속도를 일정하게 유지하는 우주이다.

#### 통합 실전 문제

122쪽

01 ⑤	02 ②	03 ①	04 ⑤	05 ③	06 ②
07 ⑤	08 ②	09 ④	10 ②	11 ①	12 ②

- 01 ㄴ. B는 나선팔이 존재하지 않는 타원 은하이다. 타원 은하는 편평도에 따라 E0~E7까지 세분하여 분류한다.

ㄷ. C와 D는 모두 나선 은하이다. 나선 은하는 나선팔 구조와 은하 원반이 존재한다.

ㄹ. 우리은하는 막대 나선 은하이므로 D에 속한다.

**바로 알기** ㄱ. A는 불규칙 은하이다. 불규칙 은하는 성간 물질이 풍부하여 나이가 적은 별들이 많은 편이다.

02 나. (가)는 나선 은하이고, (나)는 타원 은하이다. 타원 은하는 나선 은하에 비해 전체 질량 중 성간 물질이 차지하는 비율이 작다.

**바로 알기** ㄱ. 타원 은하는 나이가 많은 붉은색 별이 상대적으로 많다. 따라서 별의 평균 색지수는 (가)의 나선 은하보다 (나)의 타원 은하가 크다.

ㄴ. 은하의 진화와 은하의 형태 사이에는 아무런 관련이 없다.

03 우주 탄생 초기의 천체로, 매우 큰 적색 편이가 나타나며 별처럼 보이는 특이 은하는 퀘이사이다.

04 나. 제트는 핵에서 로브를 향하여 고속으로 뻗어나가는 물질의 흐름이다. 제트의 분출 모습은 전파 영역에서 특히 잘 나타난다.

ㄴ. 전파 은하는 우리은하에 비해 전파 영역에서 수백 배 이상의 에너지를 방출한다.

**바로 알기** ㄱ. 세이퍼트은하는 은하 전체의 광도에 비해 중심핵의 광도가 비정상적으로 크며, 나선 은하로 관측된다.

05 외부 은하의 거리가 멀어질수록 후퇴 속도가 커진다. 후퇴 속도는 적색 편이량을 측정하여 알아낼 수 있다. 따라서 물리량  $X$ 로 적절한 것은 적색 편이량과 시선 방향으로 멀어지는 속도(후퇴 속도)이다.

06 나. 은하 사이의 거리가 멀수록 멀어지는 속도가 더 빠르다. 따라서 풍선이 팽창할 때 단추 A~C 사이의 거리는 ㉠보다 ㉡에서 더 멀다. 즉, 단추 A~C가 서로 멀어지는 속도는 ㉠보다 ㉡에서 더 빠르다.

**바로 알기** ㄱ. 풍선 모형 실험에서 팽창하는 우주 공간에 해당하는 것은 풍선 표면이다.

ㄴ. 우주가 팽창함에 따라 우주 공간을 채우고 있던 우주 배경 복사의 적색 편이량이 커진다. 즉, 우주 배경 복사의 파장은 점점 길어진다.

07 우주론의 원리에 따라 은하들이 모든 방향으로 균질적이고 등방적으로 분포한다면 거리가 멀어지더라도 우주 공간에서 은하의 개수 밀도는 일정하게 유지되어야 한다. 따라서 은하의 개수 분포는 거리의 세제곱에 비례한다.

08 나. (나)는 지평선 문제이다. 급팽창 이론에 따르면 급팽창이 일어나기 전까지는 우주의 크기가 작아 정보를 충분히 교환할 수 있었다. 따라서 우주 내부의 빛은 충분히 뒤섞여 에너지 밀도가 균일해질 수 있었다고 설명한다.

**바로 알기** ㄱ. (가)는 편평성 문제이다. 급팽창 이론에 따르면 우리는 전체 우주의 극히 일부분만을 보고 있는 것이기 때문에 우주가 둥근 풍선의 표면처럼 휘어져 있더라도 관측 가능한 우주의 영역은 편평하게 보인다고 설명한다.

ㄴ. (다)는 자기 단극 문제이다. 급팽창 이론에서는 우주가 급격하게 팽창하여 관측 가능한 우주 안에 자기 단극의 밀도가 크게 감소하여 발견하기 어렵다고 설명한다.

09 ㄱ. (가)는 시간이 흐름에 따라 우주의 크기가 다시 작아지는 닫힌 우주이다.

ㄴ. (다)는 우주의 팽창 속도가 점점 증가하는 열린 우주이다. 허블 상수는 우주의 팽창 속도를 나타내므로 미래의 허블 상수 값은 (다) 모형에서 가장 크다.

**바로 알기** 나. (나)는 평탄 우주이고, (다)는 열린 우주이다. (나)에서 우주의 평균 밀도는 임계 밀도와 같고, (다)에서 우주의 평균 밀도는 임계 밀도보다 작다.

10 나. B는 암흑 물질, C는 보통 물질이다. 암흑 물질과 보통 물질은 모두 중력과 상호 작용을 하므로 중력 렌즈 현상을 일으킬 수 있다.

**바로 알기** ㄱ. A는 암흑 에너지이다. 전자기파와 상호 작용을 하는 것은 보통 물질이다.

ㄴ. 우주의 가속 팽창을 일으키는 원인으로 추정되는 것은 암흑 에너지이다.

11 ㄱ. Ia형 초신성 ㉠과 ㉡은 거의 일정한 질량에서 초신성 폭발을 일으키기 때문에 최대 광도가 같다.

**바로 알기** 나. Ia형 초신성의 관측 결과, 모형 A가 모형 B보다 관측 결과와 잘 일치한다. 따라서 가속 팽창의 원인이 되는 암흑 에너지 효과는 모형 A에서 더 크다.

ㄴ. 모형 A는 암흑 에너지에 의해 가속 팽창하는 우주를 나타내고 있다. 즉, ㉠에서는 적색 편이로부터 구한 거리(허블 법칙으로 예상한 거리)보다 겉보기 등급으로 구한 거리(관측으로부터 구한 실제 거리)가 더 멀다. 따라서 ㉠과 ㉡은 모두 적색 편이로부터 구한 것보다 더 먼 거리에 위치한다.

12 나. 우주의 밀도는 임계 우주인 B 모형보다 다시 수축하는 우주인 C 모형에서 크다.

**바로 알기** ㄱ. 빅뱅 이후 현재까지 우주의 평균 팽창 속도는 우주의 크기를 우주의 나이로 나눈 값이다. 우주의 크기는 세 모형에서 모두 같지만 우주의 나이는 C 모형이 가장 작다. 따라서 우주의 평균 팽창 속도는 C 모형이 가장 크다.

ㄴ. 암흑 에너지는 현재의 우주를 가속 팽창시키고 있으며, 우주의 미래는 A의 가속 팽창 우주 모형에 가까울 것으로 예상된다.

- 01 (가)는 핵, 제트, 로브가 잘 나타나 있는 전파 은하이다. 전파 은하에서는 중심부를 기준으로 강력한 물질의 흐름인 제트가 대칭적으로 관측되는데, 이는 은하 중심부의 블랙홀과 관련이 있다. (나)는 나선 은하로 관측되는 세이퍼트 은하로, 보통의 은하들에 비해 은하핵이 매우 밝으며, 스펙트럼 방출선의 폭이 넓게 나타난다. 세이퍼트 은하의 중심부에도 블랙홀이 있을 것으로 추정한다.

**모범 답안** (1) 중심에 핵을 가지고 양쪽에 로브라고 불리는 거대한 돌출부가 있으며, 로브와 핵이 제트로 연결되어 있다.

(2) 스펙트럼에서 폭이 넓은 방출선이 나타난다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	전파 은하의 구조적 특징을 옳게 서술한 경우	30
	전파 은하의 구조적 특징을 부분적으로 옳게 서술한 경우	15
(2)	스펙트럼에서 관측되는 특징을 옳게 서술한 경우	30
	스펙트럼 방출선의 폭이 넓다는 점을 언급하지 않고 서술한 경우	5

- 02 (1) (가)에서 파장 증가량이 8 nm이므로, 외부 은하 X의 적색 편이량( $z$ )은  $z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} \approx 0.02$ 이다. 외부 은하의 스펙트럼에 나타난 적색 편이량으로부터 다음과 같이 후퇴 속도를 구할 수 있다.

$$v = c \times z \quad (c \text{는 빛의 속도})$$

- (2) (가)에서 구한 은하의 후퇴 속도가 6000 km/s이므로 (나)에서 후퇴 속도가 6000 km/s에 해당하는 거리를 찾는다.

**모범 답안** (1) 파장 증가량이 8 nm이므로, 적색 편이량  $z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} \approx 0.02$ 이다. 따라서 후퇴 속도는 약 6000 km/s이다.

$$v = c \times \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \approx 6000 \text{ km/s} \quad (c = 3.0 \times 10^5 \text{ km/s})$$

- (2) (가)에서 구한 은하의 후퇴 속도가 6000 km/s이므로 (나)의 그래프로부터 X의 거리가 약 90 Mpc임을 알 수 있다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	적색 편이량을 이용하여 후퇴 속도를 구하는 과정을 옳게 서술한 경우	60
	적색 편이량을 이용하여 후퇴 속도를 구하는 과정을 일부만 옳게 서술한 경우	30
(2)	후퇴 속도를 이용하여 거리를 구하는 과정을 옳게 서술한 경우	40
	후퇴 속도를 이용하여 거리를 구하는 과정을 일부만 옳게 서술한 경우	20

- 03 (1) 허블 상수는 단위 시간 동안 우주가 팽창하는 정도를 의미한다. 따라서 우주의 팽창 속도는 A 시기가 B 시기에 비해 훨씬 크다.

- (2) 우주가 현재의 우주 팽창 속도로 한 점까지 수축하는 데 걸리는 시간을 허블 시간이라고 한다. 허블 시간은 허블 상수의 역수이며, 이 값으로부터 우주의 나이를 추정해 볼 수 있다.

**모범 답안** (1) 우주의 팽창 속도는 A 시기가 B 시기보다 크다.

- (2) • A 시기에 측정된 허블 상수로 구한 우주의 나이

$$\begin{aligned} \frac{1}{H} &= \frac{1}{500 \text{ km/s/Mpc}} \\ &\approx \frac{3 \times 10^{19} \text{ km}}{500 \text{ km/s}} = 6 \times 10^{16} \text{ s} \approx 19 \text{ 억 년} \end{aligned}$$

- B 시기에 측정된 허블 상수로 구한 우주의 나이

$$\begin{aligned} \frac{1}{H} &= \frac{1 \text{ Mpc}}{72 \text{ km/s/Mpc}} \\ &\approx \frac{3 \times 10^{19} \text{ km}}{72 \text{ km/s}} \approx 4.2 \times 10^{17} \text{ s} \approx 133 \text{ 억 년} \end{aligned}$$

허블 상수의 역수가 우주의 나이에 해당하므로 A에서 우주의 나이는 약 19억 년이고, B에서 우주의 나이는 약 133억 년이다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	우주의 팽창 속도를 옳게 비교한 경우	30
	그 외의 답	0
(2)	A 시기와 B 시기의 우주의 나이를 옳게 답한 경우	70
	우주의 나이를 구한 값과 계산 과정 중 일부만 옳게 답한 경우	35

- 04 (가)는 가모 등이 주장한 빅뱅 우주론이다. 이 우주론에 따르면 우주가 초고온·초고밀도 상태의 한 점에서 팽창을 시작하여 점차 온도와 밀도가 감소한다고 설명한다. (나)는 호일 등이 주장한 정상 우주론이다. 정상 우주론에 따르면 우주는 무한하며, 시작도 끝도 없다. 우주가 팽창함에 따라 새로운 물질이 생성되어 우주의 밀도가 항상 일정하게 유지된다고 하여 연속 창조설이라고도 한다.

**모범 답안** (1) (가)는 빅뱅 우주론, (나)는 정상 우주론이다.

- (2) (가)에서는 우주가 팽창함에 따라 우주의 크기가 커지고 온도와 밀도가 계속 감소한다. (나)에서는 우주가 팽창하더라도 새로운 물질이 생성되면서 우주의 온도와 밀도가 일정하게 유지된다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	(가)와 (나)를 모두 옳게 답한 경우	30
	(가)와 (나) 중 한 가지만 옳게 답한 경우	15
(2)	두 우주론의 특징을 모두 옳게 서술한 경우	70
	두 우주론의 특징 중에서 일부만 옳게 서술한 경우	20

- 05 빅뱅 우주론을 지지하는 증거에는 우주 배경 복사 및 우주 공간에 존재하는 가벼운 원소의 비율이 있다. 정상 우주론으로 허블 법칙을 설명할 수는 있으나, 우주 배경 복사의 존재와 우주에 존재하는 가벼운 원소의 비율을 설명하지 못한다.

**모범 답안** (1) (다), 정상 우주론과 빅뱅 우주론 모두 우주가 허블 법칙에 따라 팽창하고 있다고 설명한다. 따라서 우주의 균질적, 등방적 팽창은 두 우주론에서 모두 설명 가능하다.

(2) (가)와 (나), 우주 배경 복사는 과거에 우주가 매우 뜨거운 상태였으며 현재는 우주의 온도가 낮아졌음을 나타낸다. 또 우주에 존재하는 가벼운 원소들의 비율은 빅뱅 우주론에서 이론적으로 예측한 값과 거의 일치한다.

채점 기준		배점(%)
(1)	(다)를 고르고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	40
	(다)를 옳게 고른 경우	20
(2)	(가)와 (나)를 고르고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	60
	(가)와 (나)를 옳게 골랐으나 그 까닭을 옳게 서술하지 못한 경우	30

- 06 우주의 지평선 양쪽 끝에서 오는 우주 배경 복사는 거의 완전히 균일하다. 그러나 두 지역은 서로에게 영향을 주고받을 수 없는 위치에 있다. 급팽창 이론에 따르면, 빅뱅 직후 급팽창이 일어나기 전까지는 크기가 작아 정보를 충분히 교환할 수 있었기 때문에 우주의 지평선 양쪽 끝으로부터 오는 우주 배경 복사가 균일하다.

**모범 답안** (1) 급팽창 이전에는 우주의 크기가 우주의 지평선보다 작았으나, 급팽창 이후에는 우주의 크기가 우주의 지평선보다 훨씬 커졌다.

(2) 급팽창이 일어나기 전까지는 우주의 크기가 작아 정보를 충분히 교환할 수 있었다. 따라서 현재 관측하는 우주 배경 복사가 방향에 관계없이 거의 같은 온도로 나타날 수 있다.

채점 기준		배점(%)
(1)	우주의 크기와 우주의 지평선을 옳게 비교한 경우	40
	우주의 크기와 우주의 지평선을 부분적으로 옳게 비교한 경우	10
(2)	급팽창 이론에 따라 지평선 문제를 옳게 서술한 경우	60
	지평선 문제에 대해 일부만 옳게 서술한 경우	30

- 07 Ia형 초신성은 매우 밝게 빛나기 때문에 거리가 먼 은하의 거리를 구하는 데 이용된다. 특히 Ia형 초신성은 최대 밝기가 항상 일정하므로 겉보기 등급을 관측하여 거리를 구할 수 있다. 관측을 통해 구한 거리는 허블 법칙으로 예상했던 거리보다 더 크게 나왔으며, 그 차이는 거리가 먼 초신성일수록 더 컸다. 이로부터 우주가 가속 팽창하고 있다는 것을 알 수 있게 되었다.

**모범 답안** (1) Ia형 초신성은 가장 밝아졌을 때의 절대 등급이 항상 일정하다. 따라서 Ia형 초신성의 겉보기 등급은 거리에 따라 달라지고, 겉보기 등급을 알면 거리를 구할 수 있다.

(2) 허블 법칙으로 구한 Ia형 초신성의 겉보기 등급은 실제 측정된 Ia형 초신성의 겉보기 등급보다 작다(밝다). 이 차이는 거리가 멀어질수록, 즉 적색 편이량이 클수록 더 커진다.

채점 기준		배점(%)
(1)	Ia형 초신성의 특성을 옳게 서술한 경우	40
	Ia형 초신성의 특성을 일부만 옳게 서술한 경우	20
(2)	실제 측정된 등급과 예상했던 등급의 차이를 거리와 관련지어 옳게 서술한 경우	60
	등급 차이를 거리와 관련지어 일부만 옳게 서술한 경우	30

- 08 우주 팽창의 초기에는 물질에 의한 중력 효과가 우세하여 팽창 속도가 조금씩 줄어드는 감속 팽창을 하였으나, 암흑 에너지 효과가 더 우세해진 이후부터 가속 팽창하기 시작하였다.

**모범 답안** (1) A 시기와 B 시기에 우주는 계속 팽창하여 크기가 증가하였다. A 시기에는 감속 팽창하였고, B 시기에는 가속 팽창하였다.

(2) A의 감속 팽창은 우주에 존재하는 물질(보통 물질과 암흑 물질)의 중력 효과 때문이고, B의 가속 팽창은 척력으로 작용하는 암흑 에너지 효과 때문이다.

채점 기준		배점(%)
(1)	우주의 크기와 팽창 속도 변화를 모두 옳게 서술한 경우	50
	우주의 크기와 팽창 속도 변화 중 일부만 옳게 서술한 경우	25
(2)	A와 B의 팽창 속도 변화를 모두 옳게 서술한 경우	50
	A와 B의 팽창 속도 변화 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	25

- 09 (1) 비슷한 시기에 제안되었던 정상 우주론과 빅뱅 우주론이 대립하였으나, 우주 배경 복사의 관측을 통해 빅뱅 우주론이 옳다는 것이 확인되었다.

(2) 20세기 후반까지, 과학자들은 빅뱅 이후 우주가 꾸준히 팽창하고 있지만 우주 내부 물질의 중력 때문에 급팽창 이후 우주의 팽창 속도가 서서히 줄어들고 있을 것이라고 생각하였다. 그러나 Ia형 초신성을 이용하여 실제 우주의 팽창 속도를 측정한 결과 우주의 팽창 속도는 점점 커지는 있다는 사실이 밝혀졌다. 이러한 관측 결과를 바탕으로 암흑 에너지를 도입한 표준 우주 모형이 제안될 수 있었다.

**모범 답안** (1) 우주를 구성하는 물질로부터 오는 빛의 스펙트럼을 관측하여 가벼운 원소의 비율을 확인하였고, 빅뱅 우주론의 강력한 증거가 되는 우주 배경 복사를 발견하였다.

(2) Ia형 초신성을 관측하여 우주의 가속 팽창을 알아내었다.

채점 기준		배점(%)
(1)	우주 배경 복사와 가벼운 원소의 비율을 모두 옳게 서술한 경우	50
	빅뱅 우주론을 증명하는 두 가지 과학적 발견 중 한 가지만 서술한 경우	25
(2)	Ia형 초신성을 관측하여 우주의 가속 팽창을 알아냈다고 옳게 서술한 경우	50
	우주의 팽창 속도 변화를 관측하였다고만 서술한 경우	25

- 10** 우주는 보통 물질과 암흑 물질, 암흑 에너지로 구성되어 있다. 우주는 탄생 이후 암흑 물질의 비율이 가장 높았으나, 현재는 암흑 에너지의 비율이 가장 높다. 우주가 계속 팽창하면서 물질의 밀도가 낮아지므로 중력의 영향이 줄어들었으나 암흑 에너지의 밀도는 우주의 팽창과 관계없이 일정하기 때문에 다른 것들에 비해 영향력이 커지게 되었다.

**모범 답안** (1) A 암흑 에너지, B 암흑 물질, C 보통 물질  
(2) 우주의 팽창으로 크기가 커짐에 따라 우주의 전체 구성에서 A(암흑 에너지)가 차지하는 비율이 B(암흑 물질)과 C(보통 물질)에 비해 커졌다. 암흑 에너지는 척력으로 작용하므로 미래에 우주는 점점 더 빠른 속도로 팽창할 것이다.

채점 기준		배점(%)
(1)	A~C를 모두 옳게 답한 경우	30
	A~C 중 일부만 옳게 답한 경우	각 10
(2)	A에 의한 가속 팽창을 옳게 서술한 경우	60
	A에 의한 가속 팽창을 일부만 옳게 서술한 경우	30