

수능특강 과학탐구영역 지구과학 I

정답과 해설

01 판 구조론과 대륙 분포의 변화

2점 수능 테스트

본문 13~15쪽

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

01 대륙 이동설

북아메리카의 애팔래치아산맥과 유럽의 칼레도니아산맥의 지질 구조는 연속성을 보인다.

- ㉠ 애팔래치아산맥과 칼레도니아산맥은 고생대 말에 연결된 하나의 산맥이었으나 대륙이 이동한 결과 분리되어 현재는 북아메리카와 유럽에 각각 위치한다.
- ㉡ (나)는 고생대 말의 대륙 모습이다.
- ㉢ 베게너는 멀리 떨어진 두 대륙의 지질 구조 연속성을 대륙 이동의 증거로 제시하였다.

02 맨틀 대류설

홉스는 맨틀 대류의 상승부에서는 대륙 지각이 분리되면서 새로운 해양 지각이 생성되고 맨틀 대류의 하강부에서는 산맥과 해구가 생성된다고 주장하였다.

- ㉠ 맨틀 내 방사성 원소의 붕괴열에 의해 맨틀 상하부의 온도 차가 생기면 맨틀 대류가 일어날 수 있다.
- ㉡ 맨틀 대류는 대륙 이동의 원동력으로, 맨틀 위의 대륙은 맨틀이 대류하는 방향으로 이동하게 된다.
- ㉢ 새로운 해양은 맨틀 대류의 상승부에서 대륙 지각이 분리되면서 생성된다. 맨틀 대류의 하강부에 위치한 A에서는 기존의 지각이 맨틀 속으로 들어가게 된다.

03 음향 측심법

해수면에서 해저면을 향하여 초음파를 발사하면 초음파는 해저면에 반사되어 되돌아온다. 이때 반사되어 되돌아오는 데 걸리는 시간을 이용하여 해저 지형의 높낮이를 측정할 수 있다.

㉠ 음향 측심 과정에서 수심이 깊을수록 초음파가 왕복하는 거리가 증가하므로 초음파의 왕복 시간은 수심이 깊을수록 길게 측정된다.

㉡ 초음파의 왕복 시간은 $\frac{2 \times \text{수심}}{\text{초음파의 속력}}$ 이므로 수심이 3000 m인

A에서 측정한 초음파의 왕복 시간은 $\frac{2 \times 3000 \text{ m}}{1500 \text{ m/s}} = 4$ 초이다.

㉢ 초음파의 왕복 시간이 B가 A보다 짧으므로 수심은 B가 A보

다 얕다.

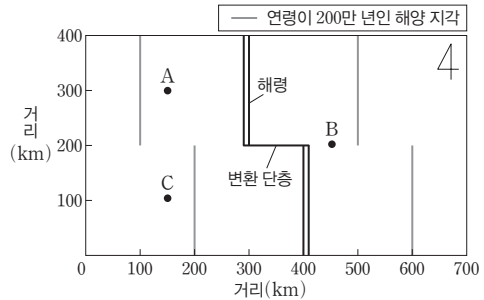
04 해저 확장설

맨틀 대류의 상승부인 해령에서 새로운 해양 지각이 생성되고 해령을 중심으로 확장한다. 따라서 해령에서 멀어질수록 심해 퇴적물의 두께는 대체로 두꺼워진다.

- ㉠ 해령에서 멀어질수록 오랜 시간 퇴적 작용을 받아 심해 퇴적물의 최상층과 최하층의 연령 차이가 증가한다. 해령으로부터의 거리가 A 지점보다 B 지점이 가깝기 때문에 심해 퇴적물의 최상층과 최하층의 연령 차이는 A 지점 상부보다 B 지점 상부에서 작다.
- ㉡ 해령에서 멀어질수록 해양 지각의 연령은 증가한다. 해령으로부터의 거리는 A 지점에서 B 지점으로 갈수록 가까워지므로 해양 지각의 연령은 A 지점에서 B 지점으로 갈수록 적어진다.
- ㉢ C 지점은 새로운 해양 지각이 생성되는 곳으로 맨틀 대류의 상승부에 위치한다.

05 해령과 변환 단층

해령은 새로운 해양 지각이 생성되어 서로 반대 방향으로 멀어지는 발산형 경계이고, 변환 단층은 판의 생성이나 소멸 없이 두 판이 접하면서 서로 반대 방향으로 어긋나는 경계이다. 연령이 같은 해양 지각으로부터 추정된 해령과 변환 단층의 위치는 아래의 그림과 같다.



- ㉠ A는 해령의 서쪽에 위치한 해양판에 속한 지점이다. 해양판은 해령을 중심으로 양쪽으로 확장되므로 A가 속한 판의 확장 방향은 서쪽이다.
- ㉡ 변환 단층은 해령의 열곡과 열곡이 어긋난 구간에 해당하므로 B는 변환 단층에 위치하지 않는다.
- ㉢ 해령에서 멀어질수록 해양 지각의 연령은 증가한다. 해령으로부터의 거리는 C가 A보다 멀기 때문에 해양 지각의 연령은 C가 A보다 많다.

06 해저 확장설

맨틀 대류의 상승부에 위치한 해령에서는 새로운 해양 지각이 생

성되어 양쪽으로 확장된다.

㉠. 해령에서는 새로운 해양 지각이 생성되어 양쪽으로 확장되므로 (가)와 (나) 모두 해령에서 멀어질수록 해양 지각의 연령은 증가한다.

㉡. 해령으로부터 같은 거리에 위치한 지점에서의 수심은 (가)보다 (나)에서 얕으므로 해령으로부터의 거리에 따른 수심 변화는 (가)보다 (나)에서 작다.

㉢. 해령으로부터 해양 지각의 연령이 같은 지점까지의 거리가 (가)보다 (나)에서 멀기 때문에 해양 지각의 평균 확장 속력은 (가)보다 (나)에서 빠르다.

07 해양 지각의 고지자기 분포

해양 지각에 기록된 해저 고지자기 줄무늬는 해령과 거의 나란하며 해령을 축으로 대칭을 이룬다.

㉡. 지구 자기장의 방향이 현재와 같은 시기는 정자극기, 현재와 반대인 시기는 역자극기이다. A 지점의 해양 지각은 역자극기에 생성되었으므로 당시 지구 자기장의 방향은 현재와 반대였다.

㉢. 해양 지각의 연령은 해령에서 멀어질수록 증가하고 해저 고지자기 줄무늬는 해령을 축으로 대칭적으로 분포한다. 기준점으로부터의 거리가 200 km인 지점을 기준으로 양쪽으로 멀어질수록 해양 지각의 연령이 증가하고 고지자기 분포가 대칭을 이루므로 A 지점과 B 지점 사이에는 해령이 존재한다.

㉣. B 지점이 속한 해양판은 4백만 년 동안 200 km를 이동하였다. 따라서 B 지점이 속한 해양판의 평균 이동 속력은 5 cm/년이다.

08 지구 자기장

지구는 내부에 막대자석이 있는 것과 유사한 자기적 성질을 가지며, 지구가 가지고 있는 고유한 자기장을 지구 자기장이라고 한다.

㉠. 자기 적도(A)에서는 자기력선이 수평면과 나란하게 분포하고, 자북극(C)에서는 자기력선이 수평면과 수직으로 분포한다. (나)에서 자기력선은 수평면과 나란하게 분포하므로 (나)는 A의 자기력선 분포이다.

㉢. 북극은 자기력선과 수평면이 이루는 각이다. (다)에서 자기력선과 수평면이 이루는 각이 40° 이고 자기력선의 방향이 지평선 아래를 향하므로 북극은 $+40^\circ$ 이다.

㉣. B는 북극이 $+40^\circ$ 이고, 자북극인 C는 북극이 $+90^\circ$ 이다. 따라서 북극의 크기는 B보다 C에서 크다.

09 잔류 자기

용암이 냉각되어 굳어질 때 자성 광물은 당시의 지구 자기장 방향으로 자화된다. 그 후 지구 자기장 방향이 변해도 당시의 자성 광물의 자화 방향은 그대로 보존되는데, 이를 잔류 자기라고 한다.

㉠. 이 지역에서 지구 자기장의 방향은 지표면을 향해 들어가는 방향이다. 따라서 이 지역은 북반구에 위치한다.

㉢. 용암이 냉각되어 굳어질 때 자성 광물은 지구 자기장 방향으로 자화된다. 따라서 자화된 후의 자성 광물 배열 방향을 나타낸 것은 (나)이다.

㉣. 자성 광물의 배열 방향을 측정하면 암석이 생성될 당시의 위도와 자극의 위치를 추정할 수 있다.

10 인도 대륙의 위치 변화

지질 시대 동안 지리상 북극의 위치가 변하지 않았다고 가정하면 고지자기 북극의 크기는 위도가 높을수록 크다. 따라서 고지자기 북극을 측정하면 대륙의 과거 위도를 알 수 있다.

㉠. 인도 대륙은 7100만 년 전 남반구에 위치하였으나 이후 북상하여 현재 북반구에 위치한다.

㉡. A 지점의 위도는 5500만 년 전이 약 3°N , 1000만 년 전이 약 30°N 이다. 암석이 생성될 당시 위도가 높을수록 고지자기 북극의 크기가 크게 나타나므로, 고지자기 북극의 크기는 1000만 년 전에 A에서 생성된 암석이 5500만 년 전에 A에서 생성된 암석보다 크다.

㉢. A 지점의 위도는 7100만 년 전이 약 18°S , 3800만 년 전이 약 19°N , 현재가 약 33°N 이므로 인도 대륙은 7100만 년 전부터 3800만 년 전까지 3300만 년 동안 위도 약 37° 를 이동하였고, 3800만 년 전부터 현재까지 3800만 년 동안 위도 약 14° 를 이동하였다. 따라서 인도 대륙의 평균 이동 속도는 7100만 년 전 ~ 3800만 년 전이 3800만 년 전 ~ 현재보다 빠르다.

11 지질 시대의 대륙 분포

지질 시대 동안 판의 운동에 의해 대륙의 분포는 변해왔다.

㉠. 남극을 중심으로 대륙 분포를 표현한 (가)에서 인도 대륙은 남반구에 위치하여 판게아를 이루고 있다.

㉡. (가)는 판게아가 형성된 시기인 고생대 말의 대륙 분포를 표현한 것이고, (나)는 대륙이 흩어져 있는 신생대 초의 대륙 분포를 표현한 것이다.

㉣. 판게아가 분리된 이후 현재까지 대서양의 면적은 넓어졌다. 따라서 대서양의 면적은 신생대 초인 (나)의 시기가 현재보다 좁았다.

12 판의 경계와 이동 속력

GPS를 이용하면 판의 이동 방향과 속력을 알아낼 수 있다. 판이 서로 어떻게 이동하는지에 따라 판이 생성, 소멸, 보존된다.

㉡. 유라시아판의 중앙부는 대체로 북동쪽으로 이동하고, 우리나라 부근은 대체로 남동쪽으로 이동한다.

✕. B 지점과 C 지점은 모두 북동쪽으로 이동하지만 B 지점보다 C 지점의 이동 속력이 빠르기 때문에 B 지점과 C 지점 사이의 거리는 점차 멀어지게 된다. 따라서 B 지점과 C 지점 사이에는 해령이 발달한다.

㉔. A 지점은 남동쪽으로 이동하고, D 지점은 북동쪽으로 이동하므로 이러한 판 운동이 계속된다면 A 지점과 D 지점 사이의 거리는 점차 가까워질 것이다.

3점 수능 테스트

본문 16~21쪽

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

01 대륙 이동과 고생대 말 화석 분포

멀리 떨어진 대륙에서 특정 시기에 살았던 같은 종의 화석이 발견되는 것을 통해 대륙이 이동하였음을 알 수 있다.

㉔. 대륙 이동의 증거로 제시된 글로소프테리스, 리스트로사우루스, 키노그나투스 등은 육상 생물이다. 육상 생물은 바다를 건너 다른 대륙으로 이동할 수 없으므로 멀리 떨어진 대륙에서 발견되는 같은 종의 화석은 대륙 이동의 증거로 제시될 수 있다.

✕. 제시된 고생물들은 판게아의 분리 이전에 등장한 생물로, 현재는 흩어진 여러 대륙에서 그 화석이 발견된다.

✕. 제시된 고생물들이 살았던 시기는 고생대 후기부터 중생대 초기 사이에 속한다. 화폐석은 신생대에 살았던 대형 유공충의 화석이다.

02 대륙 이동과 고생대 말 빙하 흔적 분포

대서양 양쪽에 위치한 남아메리카 대륙 동쪽 해안선과 아프리카 대륙 서쪽 해안선의 모양이 유사하고, 남아메리카, 아프리카, 인도, 오스트레일리아, 남극 대륙에서 고생대 말 빙하의 흔적이 발견되는 것을 통해 대륙이 이동하였음을 알 수 있다.

㉔. 남아메리카 대륙 동쪽 해안선과 아프리카 대륙 서쪽 해안선의 모양은 비슷하여 하나로 합치면 잘 들어맞는다.

✕. 고생대 말 A 지점과 B 지점은 남반구의 비슷한 위도에 위치하였지만, 현재 A 지점은 남반구 중위도에, B 지점은 적도에 위치한다. 따라서 고생대 말과 현재의 위도 차이는 A 지점이 B 지점보다 작다.

✕. 고생대 말 빙하 퇴적층은 판게아가 분리되기 이전에 형성되었으므로, 그 이후에 형성되고 확장한 남대서양의 중앙 해령 부근에는 분포하지 않는다.

03 판 구조론의 정립 과정

베게너의 대륙 이동설, 홈스의 맨틀 대류설, 헤스와 디츠의 해저 확장설을 거쳐 판 구조론이 정립되었다.

✕. 베게너가 대륙 이동설을 제시한 이후인 1950년대에 들어와 과학자들은 자력계를 이용하여 해양 지각의 고지자기를 측정하였다.

㉔. 홈스는 맨틀 대류를 대륙 이동의 원동력으로 제시하였다.

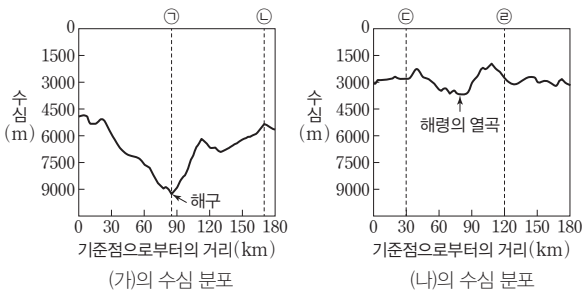
✕. 판 구조론이 정립되는 과정에서 제시된 과학자들의 주장은 베게너의 대륙 이동설 → 홈스의 맨틀 대류설 → 헤스와 디츠의 해

저 확장설 → 판 구조론 순이다.

04 음향 측심법

해수면에서 해저면을 향하여 초음파를 발사하면 초음파가 해저면에 반사되어 되돌아온다. 이때 초음파의 속력을 v , 초음파가 반사되어 되돌아오는 데 걸리는 시간을 t 라고 하면, 수심 d 는 다음과 같다.

$$d = \frac{1}{2}vt$$



㉠ 초음파의 왕복 시간이 길수록 수심이 깊다. 초음파의 왕복 시간이 ㉠ 지점은 약 12초, ㉡ 지점은 약 7초이므로 수심은 ㉠ 지점이 ㉡ 지점보다 깊다.

㉢ (나)에서 기준점으로부터의 거리가 약 80 km인 지점을 중심으로 해령의 열곡이 발달해 있다. 따라서 ㉣ 지점과 ㉤ 지점은 해령을 중심으로 확장하는 서로 다른 해양판에 위치한다.

㉢ (가)에서 초음파의 왕복 시간이 약 12초로 가장 긴 ㉠ 지점은 수심이 약 9000 m이므로 (가)는 맨틀 대류의 하강부에 위치한 해구를 가로지르며 측정된 음향 측심 자료이다.

05 해양 지각의 연령 분포

맨틀 대류의 상승부에 위치한 해령에서는 새로운 해양 지각이 생성되어 양쪽으로 확장되므로 해령에서 멀어질수록 해양 지각의 연령이 증가한다.

㉠ A 지점과 B 지점 사이에는 새로운 해양 지각이 생성되는 해령이 있다. 해령은 맨틀 대류의 상승부에 발달하는 지형이다.

㉢ C 지점에서 D 지점으로 갈수록 해양 지각의 연령은 감소한다. 이는 D 지점의 동쪽에 위치한 해령을 중심으로 해저가 확장한 결과이다. 해령에서 멀어질수록 해저 퇴적물의 두께는 대체로 두꺼워지므로 C 지점에서 D 지점으로 갈수록 해저 퇴적물의 두께는 대체로 얇아진다.

㉡ 판의 이동 속력은 해양 지각의 등연령선 사이의 간격이 넓을수록 빠르다. B 지점이 속한 판이 D 지점이 속한 판보다 해양 지각의 등연령선 간격이 넓으므로 최근 2천만 년 동안 판의 평균 이동 속력은 B 지점이 속한 판이 D 지점이 속한 판보다 빨랐다.

06 베니오프대

해양판이 섭입하는 수렴형 경계에서는 해구에서 섭입 당하는 판 내부로 갈수록 진원의 깊이가 점점 깊어지는데, 이 지진대를 베니오프대라고 한다.

㉢ 섭입대를 따라 진원이 분포하므로 진원 분포를 통해 섭입하는 판의 기울기를 알 수 있다. 섭입하는 판의 기울기는 깊이 0~100 km 구간이 깊이 200~600 km 구간보다 작다.

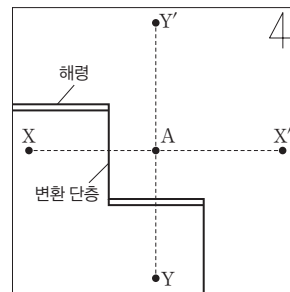
㉣ 판 경계는 기준점으로부터의 거리가 약 500 km인 지점이다. 진원 분포가 판 경계로부터 서쪽을 향해 경사져 있는 것으로 보아 판 경계의 동쪽에 위치한 판은 서쪽에 위치한 판 아래로 섭입한다.

㉤ 베니오프대에서의 화산 활동은 섭입하는 해양판의 영향으로 생성된 마그마가 섭입 당하는 판에서 분출하여 일어난다. 따라서 화산 활동은 판 경계의 서쪽이 동쪽보다 활발하게 일어난다.

07 해령과 변환 단층

해령은 새로운 해양 지각이 생성되어 서로 반대 방향으로 멀어지는 발산형 경계에 발달하고, 변환 단층은 판의 생성이나 소멸 없이 두 판이 접하면서 서로 반대 방향으로 어긋나는 보존형 경계에 발달한다.

㉠ X-X' 구간과 Y-Y' 구간에서 측정된 해양 지각의 연령을 통해 (가)에서 해령과 변환 단층의 위치를 파악하면 아래의 그림과 같다.



X-X' 구간에는 변환 단층이 있고, Y-Y' 구간에는 해령이 있다.

㉡ 시간에 따라 일정한 양의 퇴적물이 퇴적될 때, 해양 지각의 연령 차이가 작을수록 해저 퇴적물의 두께 차이도 작다. X, X', Y, Y' 지점 중 X 지점은 A 지점과의 해양 지각 연령 차이가 가장 작으므로 해저 퇴적물의 두께 차이도 가장 작다.

㉣ A 지점의 남쪽에 동서 방향으로 해령이 위치하므로 A 지점이 속한 판은 북쪽으로 확장한다.

08 지구 자기의 역전

지질 시대 동안 지구 자기장의 방향이 역전되는 현상이 반복되었는데, 지구 자기장의 방향이 현재와 같은 시기를 정자기기, 현재와 반대인 시기를 역자기기라고 한다.

- ✗. 지구 자기의 역전 주기는 일정하지 않다.
- ㉠. (나)는 정자극기의 지구 자기장 모습이다. A 지점은 지구 자기장의 방향과 수평면이 수직을 이루고, B 지점은 지구 자기장의 방향과 수평면이 나란하게 나타난다. 북극은 지구 자기장의 방향이 수평면과 이루는 각이므로 북극의 크기는 A 지점이 B 지점보다 크다.
- ✗. T 시기는 정자극기이다. 정자극기는 현재와 지구 자기장의 방향이 같은 시기로, 지구 자기장 모습은 (나)와 같다. (다)는 역자극기의 지구 자기장 모습이다.

09 고지자기 복각

- 지질 시대 동안 지리상 북극의 위치가 변하지 않았다고 가정하면 고지자기 복각의 크기는 위도가 높을수록 크다. 따라서 암석의 고지자기 복각을 측정하면 암석이 생성될 당시의 위도를 알 수 있다.
- ㉠. 정자극기에 생성된 A의 고지자기 복각이 (-) 값이므로 이 지역은 A가 생성될 당시 남반구에 위치하였다.
 - ✗. B는 역자극기에 생성되었다. 역자극기의 지구 자기장 방향은 현재와 반대 방향이다.
 - ✗. 정자극기에 생성된 A와 C의 고지자기 복각이 (-) 값이고, 역자극기에 생성된 B의 고지자기 복각이 (+) 값이므로 A, B, C는 모두 남반구에서 생성되었다. 고위도에서 생성된 암석일수록 고지자기 복각의 크기가 크므로 A, B, C 중 C가 남반구 가장 고위도에서 생성되었다. 따라서 이 지역은 C가 생성된 이후 대체로 북쪽으로 이동하였다.

10 지질 시대의 대륙 분포

- 지질 시대 동안 대륙이 이동함에 따라 대륙의 분포가 변해왔다.
- ✗. A 시기는 12억 년 전으로, 이 시기의 초대륙은 로디니아이다.
 - ㉠. B는 판게아가 형성된 시기이고, C는 판게아의 분리 이후 대륙이 흩어져 분포하는 시기이다. 해안선의 전체 길이는 초대륙이 형성된 시기가 초대륙이 분리되어 대륙이 흩어져 분포하는 시기보다 짧다.
 - ㉡. C 시기는 5천만 년 전으로, 인도 대륙은 적도 부근에 위치하여 아직 유라시아 대륙과 충돌하지 않았다.

11 초대륙의 형성과 분리

- 판의 운동과 함께 대륙이 이동하면서 분리되었던 대륙들이 합쳐져서 초대륙이 형성되기도 하고, 이 초대륙이 분리되었다가 다시 합쳐지면서 새로운 초대륙이 형성되기도 한다.
- ㉠. A는 대륙과 대륙이 충돌하여 조산 운동에 의해 습곡 산맥이 형성되는 과정이다. 히말라야산맥은 인도 대륙과 유라시아 대륙의 충돌에 의해 형성되었다.
 - ✗. 현재 남대서양의 주변부에서는 섭입대가 거의 존재하지 않는

- 다. 따라서 현재 남대서양과 주변 대륙의 모습은 C보다 B 과정의 모습에 가깝다.
- ㉡. 지질 시대 동안 판의 운동에 따라 초대륙의 형성과 분리 과정은 반복적으로 일어났다.

12 GPS를 이용하여 측정된 판의 이동

- GPS를 이용하여 판의 이동 방향과 이동 속력을 측정할 수 있다. 판의 상대적 이동 방향에 따라 판의 경계를 발산형 경계, 수렴형 경계, 보존형 경계로 분류할 수 있다.
- ✗. A는 (나)에서 시간에 따라 북쪽과 동쪽을 향해 위치가 변화하므로 북동쪽으로 이동하고, 마찬가지로 B도 (다)에서 시간에 따라 북쪽과 동쪽을 향해 위치가 변화하므로 북동쪽으로 이동한다.
 - ㉠. A는 2012년부터 2019년까지 북쪽으로 약 60 cm, 동쪽으로 약 40 cm 이동하였고, B는 같은 기간 동안 북쪽으로 약 15 cm, 동쪽으로 약 15 cm 이동하였다. 따라서 판의 이동 속력은 A가 B보다 빠르다.
 - ✗. 두 판의 이동 방향이 같고, 이동 방향의 앞에 위치한 판의 이동 속력이 더 느릴 때는 수렴형 경계가 발달하게 된다. 따라서 A와 B의 경계는 수렴형 경계이고 해구가 발달한다.

02

판 이동의 원동력과 마그마 활동

2점 수능 테스트

본문 29~31쪽

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

01 판의 구조

지구 내부는 물리적 성질에 따라 암석권, 연약권, 하부 맨틀, 외핵, 내핵으로 구분된다.

- ㉠ 암석권은 지각과 상부 맨틀의 일부를 포함하는 두께 약 100 km의 암석으로 이루어진 층이다.
- ㉡ 암석권은 여러 조각으로 나뉘어져 있는데, 각각의 암석권 조각을 판이라고 한다.
- ㉢ 해양판은 지각의 대부분이 해양 지각인 판이고, 대륙판은 지각의 대부분이 대륙 지각인 판이다. 해양판은 대륙판보다 평균 밀도가 크다.

02 맨틀 대류와 판의 이동

맨틀 대류가 상승하는 해령에서는 새로운 해양 지각이 만들어지고 양쪽으로 확장하며, 오래된 해양 지각은 해구에서 섭입되어 소멸한다.

- ㉠ A는 맨틀 대류의 상승부에 위치한 해령으로, 새로운 해양 지각이 생성되는 곳이다.
- ㉡ 연약권 위에 떠 있는 판은 맨틀 대류를 따라 이동한다.
- ㉢ 해양판은 해령에서 해구로 이동하면서 점차 냉각되어 밀도가 커지며, 섭입하는 과정에서 기존의 판을 잡아당기는 힘이 작용하게 된다.

03 해구

해구는 해양판이 섭입하는 수렴형 경계에 발달하는 수심 약 6000 m 이상의 골짜기이다.

- ㉠ 태평양 주변부에 발달한 이 해저 지형은 주변보다 수심이 깊은 해구이다.
- ㉡ 해구는 맨틀 대류의 하강부에 위치한다.
- ㉢ 인접한 두 판이 양쪽으로 확장하는 경계는 발산형 경계이다. 해구는 해양판이 섭입하는 수렴형 경계에 발달한다.

04 플룸 상승류

플룸은 맨틀에서 주위보다 온도가 낮거나 높은 기둥 모양의 부분

이다.

- ㉠ 가열된 잉크는 찬물보다 밀도가 작으므로 상승하게 된다. 지구 내부에서도 뜨거운 플룸은 주변 맨틀 물질보다 밀도가 작다.
- ㉡ 뜨거운 플룸은 맨틀과 외핵의 경계에서 뜨거운 맨틀 물질이 상승하면서 생성된다. 따라서 ㉠은 맨틀과 외핵의 경계를 의미한다.
- ㉢ 실험에서 가열된 잉크가 상승하는 과정은 지구 내부에서 뜨거운 플룸이 상승하는 과정을 의미한다.

05 플룸 구조론

차가운 플룸은 주변의 맨틀보다 상대적으로 온도가 낮고 지진파의 속도가 빠르며, 뜨거운 플룸은 주변의 맨틀보다 상대적으로 온도가 높고 지진파의 속도가 느리다.

- ㉠ 지구 내부에서 주변보다 지진파 속도가 빠를수록 지진파 속도 편차가 (+)로 크게 나타난다. 깊이가 같은 A 지점과 B 지점의 지진파 속도 편차가 A는 (-), B는 (+)이므로 지진파 속도는 A 지점이 B 지점보다 느리다.
- ㉡ 뜨거운 플룸이 상승하는 영역은 주변보다 밀도가 작으므로 지진파 속도가 느리다. 하지만 B 지점의 하부는 주변보다 지진파 속도가 빠른 것으로 보아 밀도가 큰 물질이 분포할 것이다.
- ㉢ 지구 내부의 지진파 속도 분포를 통해 맨틀의 온도 분포를 파악하여 지구 내부의 플룸 구조를 추정할 수 있다.

06 열점

열점에서는 뜨거운 플룸이 상승하여 생성된 마그마가 지각을 뚫고 분출하여 화산 활동이 일어난다. 뜨거운 플룸은 맨틀과 외핵의 경계에서 상승하므로 맨틀이 대류하여 판이 이동해도 열점의 위치는 변하지 않는다.

- ㉠ 열점은 해양과 대륙 모두에 분포한다. 북아메리카 대륙, 아프리카 대륙 등에도 열점이 존재한다.
- ㉡ 열점은 고정된 지점에서 마그마가 분출하므로 판의 이동을 따라 화산 활동의 흔적이 분포하게 된다. 따라서 열점에 의한 화산 활동 흔적의 분포를 통해 판의 이동 방향을 추정할 수 있다.
- ㉢ A 지점의 열점에 의한 화산 활동 흔적이 북서쪽으로 배열된 것으로 보아 A 지점이 속한 판은 북서쪽으로 이동한다. B 지점의 열점에 의한 화산 활동 흔적이 대체로 동쪽으로 배열된 것으로 보아 B 지점이 속한 판은 대체로 동쪽으로 이동한다. A 지점이 속한 판과 B 지점이 속한 판은 서로 멀어지므로 A 지점과 B 지점 사이에는 발산형 경계가 있다.

07 열점과 판의 운동

하와이 열도는 열점의 화산 활동과 판의 운동에 의해 형성되었다.

- ㉠ ㉠으로부터의 거리가 멀어질수록 화산의 절대 연령이 증가하는 것으로 보아 ㉠은 열점으로부터 마그마가 분출하여 형성된 화

산섬이다. 열점은 뜨거운 플룸의 상승에 의해 형성된다.

㉠. 하와이 열도가 포함된 판은 이동하지만 하와이의 열점은 고정되어 있으므로 열점에 위치한 ㉠으로부터의 거리가 멀어질수록 하와이 열도를 이루는 화산의 절대 연령은 증가한다. 자료에 제시된 하와이 열도의 섬들은 ㉠으로부터의 거리 1000 km당 연령이 약 1000만 년씩 증가하므로 하와이 열도가 포함된 판의 평균 이동 속력은 약 10 cm/년이다.

㉡. ㉠에서 북서쪽으로 갈수록 화산의 절대 연령이 증가하므로 하와이 열도가 포함된 판의 이동 방향은 북서쪽이다. 따라서 새로 생성되는 화산섬은 ㉠의 남동쪽에 위치할 것이다.

08 마그마의 종류

마그마는 SiO₂ 함량에 따라 현무암질 마그마, 안산암질 마그마, 유문암질 마그마로 구분된다.

㉠. A는 SiO₂ 함량이 63 %보다 많으므로 유문암질 마그마이고, B는 SiO₂ 함량이 52 %보다 적으므로 현무암질 마그마이다. 유문암질 마그마가 굳어지면 화강암이 생성될 수 있다.

㉡. 해령에서는 주로 현무암질 마그마가 분출하므로, 해령에서 분출하는 마그마의 화학 조성은 A보다 B에 가깝다.

㉢. 마그마의 생성 과정에서 현무암질 마그마와 유문암질 마그마가 혼합되면 안산암질 마그마가 생성될 수 있다.

09 마그마의 생성

마그마는 지각의 하부나 상부 맨틀의 물질이 온도와 압력의 영향으로 부분 용융되어 생성된 고온의 물질이다. 지하에서 마그마가 생성되기 위해서는 온도나 압력의 변화, 또는 물의 영향이 있어야 한다.

㉠. A → A'는 지하의 온도가 물이 포함된 화강암의 용융 온도보다 높아지면서 마그마가 생성되는 과정이다. 주로 화강암으로 구성된 대륙 지각이 A → A' 과정에 의해 용융되는 경우 유문암질 마그마가 생성될 수 있다.

㉡. 맨틀에 물이 공급되면 맨틀의 용융 온도가 낮아진다. ㉠은 물이 포함된 맨틀의 용융 곡선, ㉡은 물이 포함되지 않은 맨틀의 용융 곡선이다.

㉢. 섭입대에서 해양판이 섭입하여 온도와 압력이 상승하면 해양 지각과 퇴적물의 함수 광물에 포함된 물이 빠져나오고, 이 물의 영향으로 맨틀의 용융 온도가 낮아져 마그마가 생성될 수 있다.

10 심성암과 화산암

마그마가 지하 깊은 곳에서 서서히 냉각되면 심성암이 되고, 지표 부근에서 빠르게 냉각되면 화산암이 된다.

✕. A는 지표 부근이고, B는 지하 깊은 곳이다. 마그마의 냉각 속도는 지표 부근보다 지하 깊은 곳에서 느리다.

㉠. A에서 생성된 화성암은 화산암이고, B에서 생성된 화성암은 심성암이다. 화산암은 마그마가 빠르게 냉각되어 광물 입자의 크기가 상대적으로 작고, 심성암은 마그마가 서서히 냉각되어 광물 입자의 크기가 상대적으로 크다.

✕. 반려암은 심성암이므로 A보다 B와 같은 환경에서 생성된다.

11 한반도의 화성암

북한산 인수봉은 지하 깊은 곳에서 생성된 화강암이 융기하여 지표로 드러나 생성되었고, 제주도 용두암은 마그마가 지표로 분출하여 생성된 현무암으로 이루어져 있다.

✕. (가)의 주요 구성 암석인 화강암은 심성암이고, (나)의 주요 구성 암석인 현무암은 화산암이다.

㉠. 화강암은 광물 입자의 크기가 큰 조립질 조직이 발달한다.

✕. 화성암은 SiO₂ 함량이 많으면 어두운색 광물의 함량이 적고 색이 밝다. SiO₂ 함량은 화강암이 현무암보다 많으므로 어두운색 광물의 함량은 화강암이 현무암보다 적다.

12 한반도의 화성암

제시된 백악산도와 총석정도는 모두 겹재 정선의 작품으로 각각 서울 백악산(북악산)과 금강산 총석정을 묘사하였다.

㉠. 화강암은 SiO₂ 함량이 63 % 이상이고 조립질 조직이 발달하며, 현무암은 SiO₂ 함량이 52 % 이하이고 세립질 조직이 발달한다. 백악산도에 묘사된 (가)는 화강암이고, 총석정도에 묘사된 (나)는 현무암이다.

3점 수능 테스트

본문 32~37쪽

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

01 판 경계와 판을 움직이는 힘

해령에서는 맨틀 대류가 상승하여 새로운 해양 지각이 생성되고, 해구에서는 맨틀 대류가 하강하여 오래된 해양 지각이 섭입되어 소멸한다. 판은 맨틀 대류를 따라 움직이지만 섭입하는 판이 잡아당기는 힘과 해령에서 판을 밀어내는 힘에 의해서도 이동한다.

㉠. A는 두 판이 멀어지는 발산형 경계 부근으로, 맨틀 대류의 상승 부에 위치한다.

㉡. 섭입대에서 해양판의 일부는 침강하면서 해양판 전체를 섭입대 쪽으로 잡아당긴다. B는 해양판과 대륙판이 수렴하는 섭입대의 대륙판 쪽에 위치한 영역이므로 B의 하부에서는 섭입하여 침강하는 판이 잡아당기는 힘이 작용한다.

㉢. A는 새로운 해양 지각이 생성되는 해령 부근이므로 인접한 두 판의 해양 지각은 비슷한 시기에 생성되었다. C는 두 판이 어긋나는 변환 단층 부근으로, 변환 단층의 북쪽 영역은 남쪽 영역보다 해령으로부터 멀리 떨어져 있으므로 더 오래 전에 생성된 해양 지각이 분포한다. 따라서 인접한 두 판의 해양 지각 연령 차이는 C가 A보다 크다.

02 판의 이동

판의 이동 속력은 판이 섭입되는 경계의 유무와 분포 면적 등에 따라 달라진다.

㉠. 판의 평균 이동 속력은 A가 약 7.5 cm/년, B가 약 1.5 cm/년으로 A가 B보다 빠르다.

㉡. A와 B가 만나는 경계에는 해구가 발달해 있다. 판 경계 중 해당 판의 섭입이 일어나는 해구가 차지하는 비율이 A는 30%에 가깝지만 B는 매우 적은 것으로 보아 A가 B의 하부로 섭입하는 것을 알 수 있다.

㉢. 경계를 이루는 두 판의 이동 방향이 같을 때 이동 방향의 앞에 위치한 판이 뒤에 위치한 판보다 속력이 빠르다면 발산형 경계가 발달하게 된다. 판의 평균 이동 속력이 A가 B보다 빠르므로 B가 서쪽으로 이동할 때 A도 서쪽으로 이동한다면 발산형 경계가 발달한다. 하지만 A와 B의 경계에는 해구가 발달해 있으므로, B의 이동 방향이 서쪽일 때 A의 이동 방향은 서쪽이 될 수 없다.

03 맨틀 대류 모형

맨틀 대류를 설명하는 모형에는 맨틀 대류가 상부 맨틀에서만 일어나는 모형과 맨틀 전체에서 일어나는 모형이 있다.

㉣. 뜨거운 플룸에 의해 열점이 생성되는 과정은 맨틀 전체에서 열대류가 일어나는 (나)를 통해 설명할 수 있다.

㉤. 차가운 플룸은 판의 섭입형 수렴형 경계에서 섭입한 판이 상부 맨틀과 하부 맨틀의 경계에 머물다가 일정량 이상이 되면 맨틀과 외핵의 경계 쪽으로 가라앉으면서 생성된다.

㉥. (가)와 (나) 모두 맨틀 대류 상승에 의해 해령이 발달하므로 해령에서 판을 밀어내는 힘이 작용한다.

04 플룸 상승류에 의한 화산섬 생성

뜨거운 플룸은 맨틀과 외핵의 경계에서 상승하므로 맨틀이 대류하여 판이 이동해도 열점의 위치는 변하지 않는다. 고정된 열점에서 오랫동안 많은 양의 마그마가 분출하면 해산, 화산섬 등이 생성될 수 있다.

㉠. 뜨거운 플룸이 상승하는 플룸 상승류는 주위보다 온도가 높고 밀도가 작은 맨틀 물질의 흐름이다.

㉡. 열점에서는 주로 현무암질 마그마가 생성되므로 화산섬 ㉠에서는 주로 현무암질 마그마가 분출한다.

㉢. (다)에서 화산섬 ㉠이 새로운 화산섬의 서쪽에 위치하므로 (나) → (다) 과정에서 판의 이동 방향은 서쪽이다.

05 지진파 단층 촬영 영상

지각과 맨틀의 속도 분포를 나타내는 지진파 단층 촬영 영상에서 지진파의 속도가 빠른 곳은 주위보다 온도가 낮고, 지진파의 속도가 느린 곳은 주위보다 온도가 높다.

㉣. (가)에서 지진파의 속도는 A 지점이 B 지점보다 빠르다. 지진파의 속도가 빠른 곳은 주위보다 온도가 낮고 밀도가 크므로 맨틀 물질의 밀도는 A 지점이 B 지점보다 크다.

㉤. (나)에서 지진파의 속도가 빠르게 나타나는 영역이 동쪽에서 서쪽으로 향해 기울어져 있다. 이는 섭입하는 차갑고 밀도가 큰 물질에 의해 나타난 결과이므로 판의 경계가 화산의 동쪽에 위치함을 알 수 있다.

㉥. 맨틀과 외핵의 경계로부터 뜨거운 맨틀 물질이 상승하는 영역은 지진파 단층 촬영 영상에서 주위보다 지진파의 속도가 느리게 나타난다. (가)에서는 맨틀과 외핵의 경계로부터 화산까지의 영역이 주위보다 지진파의 속도가 느리게 나타나므로 뜨거운 맨틀 물질이 상승하는 것을 알 수 있다.

06 열점에서의 화산 활동

열점에서는 뜨거운 플룸이 상승하여 생성된 마그마가 지각을 뚫고 분출하여 화산 활동이 일어난다. 뜨거운 플룸은 맨틀과 외핵의 경계에서 상승하므로 맨틀이 대류하여 판이 이동해도 열점의 위치는 변하지 않는다.

㉠. 위치가 고정된 열점에서는 화산 활동에 의해 새로운 화산섬이

나 해산이 생성되고 기존에 생성된 화산섬과 해산은 판의 이동을 따라 열점으로부터 멀어지게 되므로 열점으로부터의 거리가 멀수록 화산섬과 해산의 절대 연령은 많아지게 된다. 절대 연령은 ㉠이 ㉡보다 적으므로 이 열점으로부터의 거리는 ㉠이 ㉡보다 가깝다.

ㄱ. ㉠과 130만 년 전에 생성된 해산 사이의 거리와 ㉡과 1490만 년 전에 생성된 해산 사이의 거리는 대체로 비슷하지만 절대 연령 차이는 각각 120만 년과 710만 년이다. 해양판이 비슷한 거리를 이동하는 데 걸린 시간 차이가 크므로 화산섬과 해산이 생성되는 동안 A의 이동 속력은 일정하지 않았다.

㉢. A와 B의 경계에 해구가 발달한 것으로 보아 두 판의 경계는 수렴형 경계이다. 열점에 의해 먼저 생성된 화산섬과 해산이 동쪽에 분포하므로 A의 이동 방향은 동쪽이다. 서쪽에 위치한 A와 동쪽에 위치한 B의 이동 방향이 모두 동쪽일 때, 수렴형 경계가 형성되기 위해서는 판의 평균 이동 속력은 A가 B보다 빨라야 한다.

07 섭입대에서의 마그마 생성 과정

해양판이 대륙판 아래로 섭입하는 판의 경계 부근에서는 주로 안산암질 마그마가 분출한다.

㉠. 해양판이 섭입하여 온도와 압력이 상승하면 해양 지각과 퇴적물의 함수 광물에 포함된 물이 빠져나오고, 이 물의 영향으로 연약권을 구성하는 광물의 용융 온도가 낮아진다.

ㄱ. 물 공급에 의한 맨틀 용융으로 생성된 A는 현무암질 마그마이다. B는 대륙 지각 하부가 가열되어 생성된 유문암질 마그마이다. 마그마의 SiO₂ 함량은 현무암질 마그마가 유문암질 마그마보다 적다.

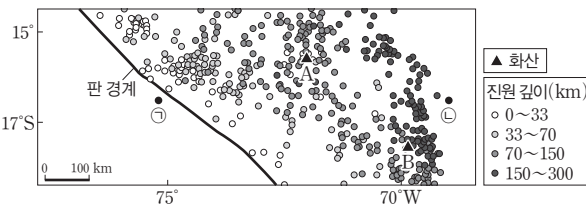
㉢. C는 현무암질 마그마와 유문암질 마그마가 혼합되어 생성된 안산암질 마그마이다. 안산암질 마그마가 지표로 분출하면 주로 안산암이 생성된다.

08 섭입대에서의 지진과 화산 활동

해양판이 대륙판 아래로 섭입하는 과정에서 베니오프대를 따라 지진이 주로 발생한다. 베니오프대에서 연약권에 물이 공급되면 연약권을 구성하는 광물의 용융 온도가 낮아져 마그마가 생성된다.

㉠. 대륙판과 해양판의 경계 부근에서는 판 경계에서 대륙판 내부로 갈수록 진원 깊이가 깊어진다. 이 지역은 판 경계에서 ㉠이 속한 대륙판 내부로 갈수록 진원 깊이가 깊어지는 것으로 보아 수렴형 경계에 해당한다. 수렴형 경계는 맨틀 대류의 하강부에 위치한다.

㉢. ㉠에서 ㉡으로 갈수록 진원 깊이가 대체로 깊게 나타나므로 판 경계로부터의 최단 거리는 다음 그림과 같이 ㉠이 ㉡보다 가깝다.



ㄱ. A와 B는 베니오프대 부근에서 생성된 마그마가 분출하여 형성된 화산이다. 베니오프대가 발달하는 수렴형 경계 부근에서는 주로 안산암질 마그마가 분출한다.

09 태평양 주변에서의 마그마 활동

태평양 주변부는 지진과 화산 활동이 활발하게 일어나는 변동대에 해당하며, 특히 화산들이 집중적으로 분포하고 있어서 이 지역을 불의 고리라고도 부른다.

㉠. 안산암질은 태평양 주변을 따라 안산암이 분포하는 한계선이다. 이는 섭입대에서의 안산암질 마그마 분출 영역과 현무암질 해양 지각의 경계이므로 판의 수렴형 경계와 대체로 일치하게 된다.

㉢. A는 알류산 열도에 위치한 화산으로 베니오프대 부근에서 생성된 마그마의 분출에 의해 형성되었다. 따라서 화산 A의 하부에는 베니오프대가 있다.

㉤. B는 하와이 열도의 화산으로, 주로 열점으로부터 분출한 현무암질 마그마에 의해 형성되었고, 화산 C는 주로 베니오프대 부근에서 생성되어 분출한 안산암질 마그마에 의해 형성되었다. 마그마의 SiO₂ 함량은 현무암질 마그마가 안산암질 마그마보다 적으므로 화산체를 이루는 암석의 평균 SiO₂ 함량은 화산 B가 화산 C보다 적다.

10 화성암의 분류

화성암은 마그마가 냉각되어 굳어진 암석으로, 마그마의 SiO₂ 함량과 산출 상태 및 조직에 따라 다양한 화성암이 생성된다.

㉠. 어두운색 광물의 함량이 많을수록 암석의 색은 어둡다. 암석의 색이 A가 안산암보다 어두우므로 어두운색 광물의 함량은 A가 안산암보다 많다.

㉢. 안산암과 섬록암은 SiO₂ 함량이 52%~63%로 비슷하지만 광물 입자의 크기는 안산암보다 섬록암이 크다. 따라서 광물 입자의 크기는 ㉠에 들어갈 분류 기준으로 적절하다.

㉤. 광물 입자의 크기는 B가 섬록암보다 작다. 암석이 생성될 당시 마그마의 냉각 속도가 빠를수록 광물 입자의 크기가 작으므로 암석이 생성될 당시 마그마의 냉각 속도는 B가 섬록암보다 빨랐다.

11 화성암의 종류

화성암은 화학 조성에 따라 SiO₂ 함량이 52% 이하인 염기성암,

SiO₂ 함량이 52%~63%인 중성암, SiO₂ 함량이 63% 이상인 산성암으로 구분하고, 암석의 조직에 따라 심성암과 화산암으로 구분한다.

- ㉠ A는 SiO₂ 함량이 52%보다 적으므로 염기성암이다.
 ✕. 화성암을 스케치한 모습에서 광물 입자의 크기는 A보다 B가 크다. 마그마가 지하 깊은 곳에서 서서히 냉각될수록 광물 입자의 크기가 크므로 B는 A보다 지하 깊은 곳에서 생성되었다.
 ✕. B는 SiO₂ 함량이 63%보다 많고 광물 입자의 크기가 큰 심성암이다. 제주도에서 주로 분포하는 암석은 현무암으로, SiO₂ 함량이 52%보다 적고 광물 입자의 크기가 작은 화산암이다.

12 한반도의 화성암 지형

- 삼부연 폭포에는 여러 방향의 절리가 발달한 화강암이 주로 분포하고, 재인 폭포에는 주상 절리가 발달한 현무암이 주로 분포한다.
 ✕. ㉠은 광물 입자가 눈에 보일 정도로 크므로 조립질 조직이 발달한 암석이다.
 ㉡. ㉡은 용암이 빠르게 냉각되는 과정에서 부피가 수축하여 오각형이나 육각형 기둥 모양으로 암석이 갈라진 주상 절리이다.
 ✕. SiO₂ 함량이 적은 염기성암은 SiO₂ 함량이 많은 산성암보다 철과 마그네슘의 함량이 많다. 암석의 색이 밝은 ㉠은 암석의 색이 어두운 ㉡보다 SiO₂ 함량이 많으므로 철과 마그네슘의 함량비는 ㉠이 ㉡보다 낮다.

03 퇴적암과 지질 구조

2점 수능 테스트

본문 45~47쪽

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

01 속성 작용

속성 작용은 퇴적물이 쌓여 퇴적암이 되기까지의 전체 과정으로 다짐 작용과 교결 작용이 있다. 다짐 작용은 아랫부분의 퇴적물이 윗부분의 퇴적물 무게에 의해 치밀하게 다져지는 작용으로 이 과정에 의해서 퇴적 입자 사이의 공극의 크기가 작아진다. 교결 작용은 석회질 물질, 규질 물질 등이 퇴적 입자 사이에 침전되어 퇴적 입자를 단단히 붙게 하여 굳어지게 하는 작용이다. (가) → (나) 과정에서 공극의 크기는 작아졌지만 공극이 교결 물질로 채워지지 않았다.

- ㉠. (가) → (나) 과정에서 퇴적물이 다져져서 공극의 총 부피가 감소하였다.
 ㉡. (가) → (나) 과정에서 공극의 총 부피가 감소하면서 퇴적물의 평균 밀도가 증가하였다.
 ✕. (가) → (나) 과정에서 다짐 작용이 일어났다. 그러나 (가) → (나) 과정에서 공극이 교결 물질로 채워지지 않은 것으로 보아 교결 작용은 일어나지 않았다.

02 사암

그림을 보면 대부분의 쇄설성 퇴적 입자 크기가 $\frac{1}{16}$ ~2 mm이고 쇄설성 퇴적 입자 사이의 공간(공극)이 교결 물질로 채워져 있는 것으로 보아 이 퇴적암은 사암이다.

- ✕. 이 퇴적암은 사암이다.
 ㉠. 그림을 보면 퇴적 입자 사이의 공간(공극)이 교결 물질로 채워져 있다.
 ✕. 모암인 화강암이 풍화·침식 작용을 받는 과정에서 광물은 깨지거나 마모되는 등의 작용으로 모양이 변한다. 따라서 이 퇴적암 구성 광물의 모양은 모암인 화강암과 크게 다르다.

03 퇴적암의 종류

쇄설성 퇴적암은 지표 부근의 암석이 풍화·침식 작용을 받아 생성된 쇄설물이나 화산 쇄설물이 쌓여서 생성된 퇴적암이다. 화학적 퇴적암은 호수나 바다 등에서 물에 녹아 있던 물질이 화학적으로 침전되거나 물이 증발함에 따라 잔류하여 만들어진 퇴적암이

다. 유기적 퇴적암은 생물의 유해나 골격의 일부가 쌓여서 만들어진 퇴적암이다. 암염은 화학적 퇴적암에 해당하므로 A는 화학적 퇴적암이고, 석탄은 유기적 퇴적암에 해당하므로 B는 유기적 퇴적암이다.

㉠. A는 화학적 퇴적암이다.

㉡. 석회암 중 물에 녹아 있던 CaCO_3 가 화학적으로 침전되어 만들어진 것은 화학적 퇴적암(A)에 해당하고, 석회질 생물체가 쌓여 만들어진 것은 유기적 퇴적암(B)에 해당한다. 따라서 석회암은 ㉠에 해당한다.

㉢. B는 생물의 유해나 골격의 일부가 쌓여서 만들어진 유기적 퇴적암이다.

04 암석의 분류

현무암은 마그마가 빠르게 냉각되어 형성된 화산암이고, 사암과 셰일은 쇄설성 퇴적암이다. 사암과 셰일은 형성되는 과정에서 속성 작용을 받고 현무암은 형성되는 과정에서 속성 작용을 받지 않는다. 따라서 A는 현무암이다. 사암은 주로 모래가 퇴적되어 형성되고 셰일은 주로 실트와 점토가 퇴적되어 형성되므로, B는 셰일이고 C는 사암이다.

✕. A(현무암)는 화산암이므로 조립질 조직이 발달하지 않는다.

㉠. B(셰일)와 C(사암)는 암석의 쇄설물이 퇴적되어 형성된 쇄설성 퇴적암이다.

㉡. C는 주로 모래가 퇴적되어 형성된 사암이다.

쇄설성 퇴적암	주요 퇴적 입자의 크기
역암	자갈(2 mm 이상)
사암	모래($\frac{1}{16} \sim 2 \text{ mm}$)
이암, 셰일	실트, 점토($\frac{1}{16} \text{ mm}$ 이하)

쇄설성 퇴적암의 종류와 주요 퇴적 입자의 크기

05 점이 층리

B층에서 위로 갈수록 퇴적 입자의 크기가 점점 작아지는 것으로 보아 B층에 발달하는 퇴적 구조는 점이 층리이다. B층에 발달하는 점이 층리의 모양으로 보아 이 지역의 지층은 역전되지 않았다.

㉠. A층을 구성하는 퇴적물이 주로 자갈인 것으로 보아 A층은 역암층이다.

㉡. B층에서 위로 갈수록 퇴적 입자의 크기가 점점 작아지는 것으로 보아 B층에서는 점이 층리가 나타난다. 점이 층리는 주로 수심이 깊은 물밑에서 크기가 다양한 퇴적물이 한꺼번에 공급될 때 큰 입자가 먼저 가라앉고 위로 갈수록 작은 입자들이 가라앉아 형성된다.

㉢. 이 지역의 지층은 역전되지 않았으므로, 가장 먼저 퇴적된 지

층은 가장 아랫부분에 위치하는 C층이다.

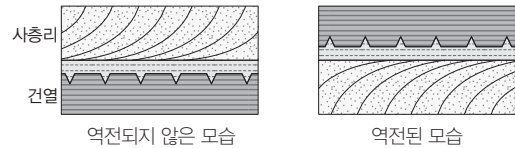
06 건열과 사층리

퇴적물이 건조한 대기에 노출되어 갈라진 퇴적 구조 A는 건열이고, 층리가 나란하지 않고 기울어지거나 엇갈려 나타나는 퇴적 구조 B는 사층리이다.

㉠. 건열은 주로 세립질 퇴적물(주로 실트와 점토)이 물에 의해 퇴적된 이후 건조한 대기에 노출되면 퇴적물 내에 존재하던 물이 증발하고 퇴적물이 갈라져서 만들어진다. 따라서 A(건열)는 사암층보다 세일층에서 잘 나타난다.

㉡. B(사층리)는 물이 흐르거나 바람이 부는 환경에서 지층이 경사진 상태로 쌓인 구조이다. 따라서 B(사층리)를 이용하여 퇴적물이 공급된 방향을 추정할 수 있다.

㉢. A(건열)와 B(사층리) 모두 퇴적 구조의 모습을 이용해 지층의 역전 여부를 추정할 수 있다.



07 연흔

파도와 같이 물의 운동이 양쪽 방향으로 반복적으로 나타나는 경우에는 대칭 형태를 보이는 연흔이 잘 만들어지고, 흐르는 물과 같이 물의 운동이 한쪽 방향으로 나타나는 경우에는 비대칭 형태를 보이는 연흔이 잘 만들어진다. 대칭 형태를 보이는 (가) 연흔은 파도에 의해서 만들어진 것이고, 비대칭 형태를 보이고 단면상에서 사층리가 함께 관찰되는 (나) 연흔은 흐르는 물에 의해서 만들어진 것이다.

㉠. 대칭 형태를 보이는 연흔은 파도의 영향을 받는 수심이 얇은 물밑에서 퇴적물이 퇴적될 때 잘 만들어진다.

㉡. 흐르는 물에 의해서 만들어진 연흔은 비대칭 형태를 보이는 (나)이다.

㉢. (나)는 흐르는 물에 의해서 만들어진 연흔이다. (나)의 비대칭 연흔과 사층리로부터 퇴적물의 이동 방향을 추정할 수 있다.

08 단층의 종류

정단층은 상반이 하반에 대해 아래로 이동한 단층이고, 역단층은 상반이 하반에 대해 위로 이동한 단층이다. A는 정단층이고, B는 역단층이다. 단층 B에 의해서 단층 A가 절단된 것으로 보아 이 지역에서는 지층 퇴적 → 단층 A → 단층 B 순으로 지질학적 사건이 있었다.

㉠. 단층 A는 상반이 하반에 대해 아래로 이동한 정단층이다.

- ✗ 단층 B는 상반이 하반에 대해 위로 이동한 역단층이다.
 ✗ 단층 B에 의해서 단층 A가 절단된 것으로 보아 단층의 생성 순서는 A → B이다.

09 저탁류와 점이 층리

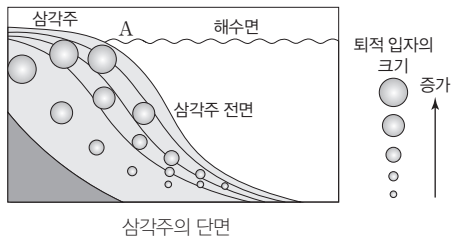
대륙 사면의 계곡을 따라 이동하는 퇴적물의 흐름인 저탁류에 의해 운반된 퇴적물이 가라앉아 지층이 퇴적되는 과정에서 만들어진 퇴적 구조(한 지층 내에서 위로 갈수록 입자의 크기가 작아지는 퇴적 구조)는 점이 층리이다.

- ✗ 저탁류가 대륙 사면의 계곡을 따라 이동하는 것으로 보아 ㉠ (저탁류)의 평균 밀도는 주변 해수보다 크다.
 ㉡ 저탁류에 의해 운반된 다양한 크기의 퇴적물이 가라앉아 지층이 퇴적되는 과정에서 한 지층 내에서 위로 갈수록 입자의 크기가 작아지는 퇴적 구조가 만들어지는 것은 퇴적 입자의 크기에 따른 침강 속도 차이 때문이다. 따라서 '퇴적 입자의 크기에 따른 침강 속도 차이'는 ㉡에 해당한다.
 ㉢ 한 지층 내에서 위로 갈수록 입자의 크기가 작아지는 이 퇴적 구조는 점이 층리이다.

10 삼각주

강물이 바다로 유입되는 환경에서 삼각형 모양으로 형성된 이 퇴적 지형은 삼각주이다.

- ㉠ 이 퇴적 지형은 삼각주이다.
 ㉡ 연안 환경은 육상 환경과 해양 환경이 만나는 곳에서 퇴적암이 만들어지는 환경이다. 삼각주, 조간대, 해변, 사주, 석호 등은 연안 환경에 해당한다.
 ✗ (가) → (나) 과정에서 삼각주가 바다 쪽으로 확장되었다. 삼각주가 점점 바다 쪽으로 확장되면 A 지점의 퇴적물에서는 연직 상방으로 갈수록 퇴적 입자의 크기가 커지는 경향을 보인다.



삼각주의 단면

11 단층의 종류

정단층은 장력을 받아 상반이 하반에 대해 아래로 이동한 단층이다. 역단층은 횡압력을 받아 상반이 하반에 대해 위로 이동한 단층이다. 주향 이동 단층(수평 이동 단층)은 수평 방향으로 어긋나게 작용하는 힘을 받아 지괴가 수평 방향으로 이동한 단층이다.

- ㉣ 지괴의 상대적 이동 방향을 보면, 단층 A와 단층 B는 모두 상반이 하반에 대해 위로 이동한 역단층이고, 단층 C는 지괴가 수평 방향으로 이동한 주향 이동 단층이다.

12 부정합의 종류

부정합면의 경사 유무와 관계없이 부정합면을 기준으로 상하 지층이 나란하면 평행 부정합이고, 부정합면을 기준으로 상하 지층이 서로 경사져 있으면 경사 부정합이다. 부정합면 하부에 심성암이나 변성암이 분포하는 부정합은 난정합이다.

- ㉤ A-A': 부정합면을 경계로 상하 지층이 서로 경사져 있으므로 경사 부정합이다.
 B-B': 부정합면을 경계로 상하 지층면이 나란하므로 평행 부정합이다.
 C-C': 부정합면 하부에 변성암이 분포하므로 난정합이다.

3점 수능 테스트

본문 48~53쪽

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

01 속성 작용

속성 작용은 퇴적물이 쌓여 퇴적암이 되기까지의 전체 과정으로 다짐 작용과 교결 작용이 있다. 다짐 작용은 아랫부분의 퇴적물이 윗부분의 퇴적물 무게에 의해 치밀하게 다져지는 작용으로 이 과정에 의해서 퇴적 입자 사이의 공극의 크기가 작아진다. 교결 작용은 석회질 물질, 규질 물질 등이 퇴적 입자 사이에 침전되어 퇴적 입자를 단단히 붙게 하여 굳어지게 하는 작용이다. A에서 B로 갈수록 퇴적물은 속성 작용을 많이 받았다.

- ㉠ A에서 B로 갈수록 퇴적물의 공극 크기는 작아지는 경향을 보인다. 따라서 A에서 B로 갈수록 퇴적물의 밀도는 증가하는 경향을 보인다.
- ㉡ A에서 B로 갈수록 퇴적물은 속성 작용을 많이 받았다. 따라서 A에서 B로 갈수록 퇴적물의 공극 크기는 감소하는 경향을 보인다.
- ㉢ 퇴적물이 받는 압력은 윗부분 퇴적물의 무게에 비례한다. 따라서 A에서 B로 갈수록 윗부분 퇴적물의 무게가 증가하는 경향을 보이므로 퇴적물이 받는 압력은 증가하는 경향을 보인다.

02 속성 작용

퇴적물이 속성 작용을 받아 퇴적암이 되는 과정에서 공극의 평균 크기가 작아지고 물리량 $P\left(\frac{\text{공극의 총 부피}}{\text{퇴적물의 총 부피}} \times 100\right)$ 도 작아진다. 물리량 P가 상대적으로 작은 A는 사암이고, 물리량 P가 상대적으로 큰 B는 모래 퇴적물이다.

- ㉠ 물리량 P가 상대적으로 작은 A는 사암이다.
- ㉡ 모래 퇴적물(B)이 속성 작용을 받아 사암(A)이 되는 과정에서 물리량 P는 작아지고 평균 밀도는 증가한다.
- ㉢ 모래 퇴적물(B)이 속성 작용을 받아 사암(A)이 되는 과정에서 공극의 평균 크기는 작아진다.

03 퇴적암의 종류

사암과 셰일은 쇄설성 퇴적암이다. 석회암은 화학적 퇴적암에 해당하는 것도 있고 유기적 퇴적암에 해당하는 것도 있다. 석고는 화학적 퇴적암에 해당한다.

- ㉡ A(석회암)는 화학적 퇴적암이나 유기적 퇴적암에 해당하고 쇄설성 퇴적암에 해당하지 않는다.
- ㉢ 주요 구성 성분이 NaCl인 퇴적암은 암염이다. B(석고)의 주

요 구성 성분은 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 이다.

- ㉠ C(사암)의 퇴적 입자는 주로 모래이고, D(셰일)의 퇴적 입자는 주로 실트와 점토이다. 따라서 퇴적 입자의 평균 크기는 C가 D보다 크다.

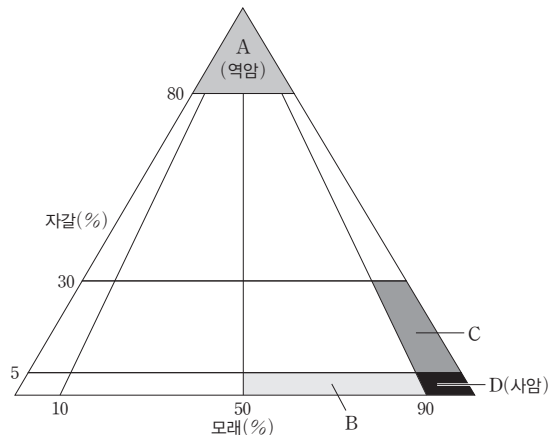
04 퇴적암과 화성암 비교

광물들이 교결 물질에 의해서 붙어 있는 암석은 퇴적암이고, 마그마가 식어서 만들어진 암석은 화성암이다. 0.1~1.0 mm의 광물들이 교결 물질에 의해 붙어 있는 A는 쇄설성 퇴적암 중 사암이다. 마그마가 식어서 만들어진 암석으로, 0.1 mm보다 작은 광물로 이루어져 있는 B는 화성암 중 화산암이다. 마그마가 식어서 만들어진 암석으로, 2 cm보다 큰 광물로 이루어져 있는 C는 화성암 중 심성암이다.

- ㉠ A는 사암이다.
- ㉡ A(사암)와 같은 퇴적암은 지표 부근에서 생성되고, C(심성암)는 지하 깊은 곳에서 생성된다. 따라서 A(사암)는 C(심성암)보다 저온에서 생성되었다.
- ㉢ B(화산암)와 C(심성암)는 모두 화성암이다.

05 쇄설성 퇴적암의 종류

퇴적 입자의 거의 대부분이 자갈인 것으로 보아 A는 역암이다. 퇴적 입자의 거의 대부분이 모래인 것으로 보아 D는 사암이다. B는 퇴적 입자의 대부분이 모래이고 (실트+점토)가 일부 섞여 있는 사암이다. C는 퇴적 입자의 대부분이 모래이고 자갈이 일부 섞여 있는 사암이다.



- ㉠ 역암은 A이다.
- ㉡ A는 역암이고, B는 퇴적 입자의 대부분이 모래이며 (실트+점토)가 일부 섞여 있는 사암이다. 따라서 퇴적 입자의 평균 크기는 A가 B보다 크다.
- ㉢ C는 퇴적 입자의 대부분이 모래이고 자갈이 일부 섞여 있

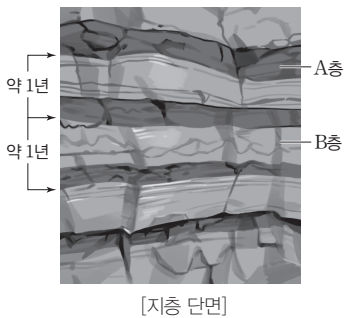
며, D는 퇴적 입자의 거의 대부분이 모래이다. 따라서 퇴적 입자 크기의 균질한 정도는 C가 D보다 낮다.



06 호상 점토

이 지층은 A층과 B층이 교대로 퇴적되어 있다. 빙하가 녹은 물의 양이 많고 유속이 빠를수록 상대적으로 크기가 큰 퇴적 입자가 운반되어 퇴적된다. 따라서 빙하가 녹은 물의 양이 많고 유속이 빠른 여름철에는 상대적으로 크기가 큰 입자가 퇴적되어 B층이 형성되고 빙하가 녹은 물의 양이 적고 유속이 느린 겨울철에는 상대적으로 크기가 작은 입자가 퇴적되어 A층이 형성된다.

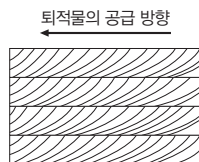
- ㉠ 상대적으로 평균 기온이 높은 여름철의 ㉠(빙하가 녹은 물의 양)이 상대적으로 평균 기온이 낮은 겨울철의 ㉠보다 많다.
- ㉡ A층에 비해 상대적으로 퇴적 입자의 크기가 큰 B층의 퇴적은 상대적으로 평균 기온이 높은 여름철이 겨울철보다 활발하다.
- ㉢ 이 지층은 여름철과 겨울철에 B층과 A층이 교대로 퇴적되어 있으므로, 이 지층을 이용하여 지층이 퇴적된 기간을 추정할 수 있다.



07 퇴적 구조

(가)는 역전된 건열, (나)는 역전되지 않은 사층리, (다)는 역전된 점이 층리이다. 따라서 A는 (나)이다. 입자 크기에 따른 침강 속도 차이에 의해 생성된 지질 구조는 점이 층리이다. 따라서 B는 (가)이고, C는 (다)이다.

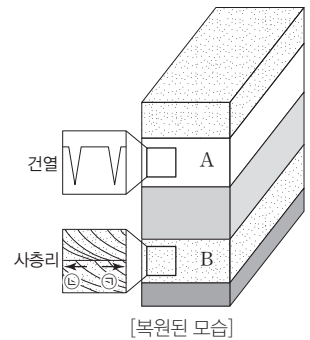
- ㉠ A는 층리가 나란하지 않고 기울어져 나타나는 퇴적 구조인 사층리이다. A(사층리)로부터 퇴적물이 공급된 방향을 추정할 수 있다.



- ㉡ B(건열)는 퇴적물이 대기에 노출되어 갈라진 퇴적 구조이며 심해 환경에서 잘 생성되지 않는다.
- ㉢ C는 점이 층리이다.

08 퇴적 구조

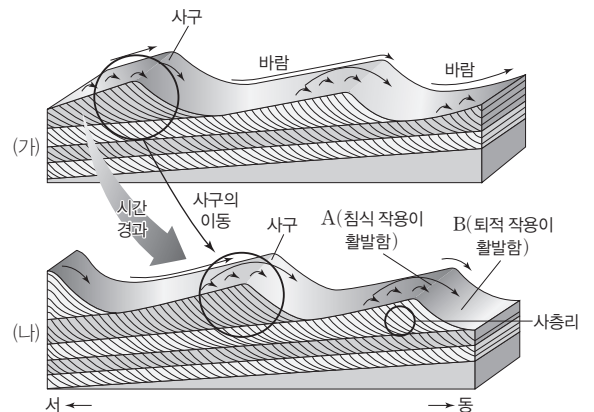
A층에서 관찰되는 퇴적 구조는 건열이고, B층에서 관찰되는 퇴적 구조는 사층리이다. 이 퇴적 구조를 이용하여 지층의 모습을 그림과 같이 복원할 수 있다.



- ㉠ A층에서 관찰되는 퇴적 구조는 건열이며, 건열은 퇴적물이 건조한 대기에 노출되어 갈라져서 만들어진다. 따라서 A층이 퇴적되는 동안에 수면 밖으로 노출된 시기가 있었다.
- ㉡ 지층이 역전되지 않았다면 아래에 있는 지층은 위에 있는 지층보다 오래된 것이다. 따라서 A층이 B층보다 나중에 생성되었다.
- ㉢ B층에서 관찰되는 사층리를 이용하여 퇴적물이 이동한 방향을 알 수 있다. ㉠과 ㉡ 중 B층이 퇴적되었던 당시에 퇴적물이 이동한 방향은 ㉠이다.

09 사층리

그림 (가)와 (나)에서 사층리의 모양으로 보아, 모래가 서쪽에서 동쪽으로 이동하였고 바람은 주로 서쪽에서 동쪽으로 불었다.

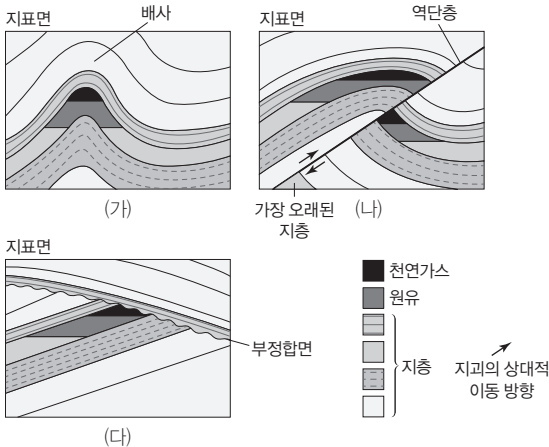


- ㉠ (가)와 (나) 모두에 층리가 나란하지 않고 기울어져 있는 사층리가 나타난다.
- ㉡ 주로 서쪽에서 동쪽으로 부는 바람에 의해 모래가 주로 서쪽에서 동쪽으로 이동하고 사구도 서쪽에서 동쪽으로 이동하였다.
- ㉢ A에서는 바람에 의한 침식 작용이 활발하고, B에서는 바람에 의해 운반된 퇴적물의 퇴적 작용이 우세하다.

10 지질 구조

습곡은 암석이 횡압력을 받아 휘어진 지질 구조이다. 단층은 암석이 깨져 생긴 면을 따라 양쪽의 지괴가 상대적으로 이동하여 어긋나 있는 지질 구조이다. 퇴적이 오랫동안 중단된 후 다시 퇴적이 일어나 지층 사이에 퇴적 시간의 공백이 존재하는 상하 지층의 관계를 부정합이라고 한다.

(가)에는 지층이 휘어져 있는 습곡이 나타난다. (나)에는 지층이 휘어져 있는 습곡과 상반이 하반에 대해 위로 이동한 역단층이 나타난다. (다)에는 부정합면을 경계로 하부 지층과 상부 지층이 경사져 있는 부정합이 나타난다.



- ✗ (가)를 보면 원유와 천연가스는 배사에 주로 매장되어 있다.
- (나)에서 가장 오래된 지층은 하반의 가장 아랫부분에 분포한다.
- 부정합면의 경사 유무와 관계없이 부정합면을 기준으로 상하 지층이 나란하면 평행 부정합이고, 부정합면을 기준으로 상하 지층이 서로 경사져 있으면 경사 부정합이다. (다)의 부정합은 부정합면을 기준으로 상하 지층이 서로 경사져 있는 경사 부정합이다.

11 한반도의 퇴적암 지형

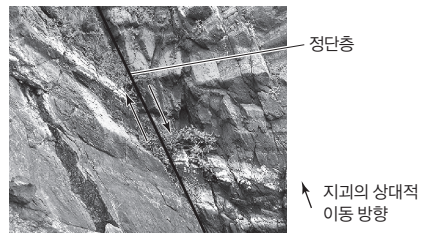
천연기념물 제411호는 경남 고성군 하이면 덕명리 공룡과 새 발자국 화석 산지이다. 천연기념물 제411호는 중생대 호수에서 퇴적된 세일층으로 이루어져 있고 세일층에서 다양한 공룡 발자국 화석과 새 발자국 화석이 발견된다.

- 중생대는 약 2억 5천 2백만 년 전부터 약 6천 6백만 년 전까지이고 ㉠(세일층)에 약 1억 2천만 년 전에 생존했던 다양한 고생물의 생활 흔적이 보존되어 있는 것으로 보아 ㉠(세일층)은 중생대 지층이다.
- 경남 고성군 하이면 덕명리 세일층에서는 공룡 발자국 화석이 산출되므로, 공룡은 ㉠에 해당한다.
- ✗ 공룡은 육상 동물이며 경남 고성군 하이면 덕명리 세일층은 육성층이다. 따라서 ㉠은 얕은 바다에서 만들어진 것이 아니다.

12 한반도의 퇴적암 지형

현무암은 마그마가 지표 부근에서 냉각되어 만들어진 화산암이고, 현무암의 방사성 동위 원소의 함량을 측정하면 현무암의 절대 연령을 밝힐 수 있다. 응회암은 화산에서 분출된 화산재가 퇴적되어 만들어진다.

- 중생대는 약 2억 5천 2백만 년 전부터 약 6천 6백만 년 전까지이고 [1 지점]의 현무암이 중생대 백악기 말에 만들어진 것으로 보아 현무암의 절대 연령은 약 0.6억 년보다 많다.
- [2 지점]의 지층군에 응회암이 포함되어 있는 것으로 보아 [2 지점]의 지층군이 퇴적되는 동안 주변에서 화산 분출이 있었다.
- 상반이 하반에 대해 아래로 이동한 단층은 정단층이다.



04 지구의 역사

2점 수능 테스트

본문 61~64쪽

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

01 수평 퇴적의 법칙과 부정합의 법칙

퇴적이 오랫동안 중단된 후 다시 퇴적이 일어나면 상하 지층 사이에 퇴적 시간의 공백이 생기는데, 이러한 상하 지층 관계를 부정합이라고 한다. (가) → (나) 과정에서 지층이 습곡 작용을 받았다. (나) → (다) 과정에서 지층이 침식 작용을 받아 일부 지층이 침식되었다. (다) → (라) 과정에서 침식된 지층 위에 새로운 지층이 퇴적되었고, (라)에서 이전에 퇴적된 지층과 새롭게 퇴적된 지층은 부정합 관계이다.

㉠ 수평 퇴적의 법칙에 의하면, (가)의 퇴적물이 쌓일 때 중력의 영향으로 수평면과 나란하게 쌓였다.

✗ (나) → (다) 과정에서 일부 지층이 침식된 것으로 보아, (나) → (다) 과정에서 침식 작용이 퇴적 작용보다 우세하게 일어났다.

✗ 부정합면의 경사 유무와 관계없이 부정합면을 기준으로 상하 지층이 나란하면 평행 부정합이고, 부정합면을 기준으로 상하 지층이 서로 경사져 있으면 경사 부정합이다. (라)의 부정합은 부정합면을 기준으로 상하 지층이 서로 경사져 있는 경사 부정합이다.

02 관입의 법칙

마그마가 기존의 암석을 뚫고 들어가는 과정을 관입이라 하고, 관입한 마그마가 식어서 굳어진 암석을 관입암이라고 한다. 마그마가 기존의 암석을 관입한 경우, 관입 당한 암석은 관입한 화성암보다 먼저 생성되었다. 이 지역에서는 석회암 퇴적 → B 관입 → C 관입 → 부정합 → 사암 퇴적 → 응회암 퇴적 → 셰일 퇴적 → A 관입 순으로 지질학적 사건이 일어났다.

㉡ 관입암 A, B, C의 생성 순서는 B → C → A이다.

03 지질 단면 해석과 주향 이동 단층

지질 단면을 보면, 현무암이 지층을 관입하였고 지층과 현무암 모두가 단층 작용을 받았다. 이 지역에서는 셰일 퇴적 → 석회암 퇴적 → 사암 퇴적 → 석회암 퇴적 → 셰일 퇴적 → 현무암 관입 → 단층 순으로 지질학적 사건이 일어났다.

㉢ 현무암이 단층에 의해서 끊어진 것으로 보아 현무암이 관입한

후 단층이 만들어졌다.

㉣ 그림을 보면, 단층면의 왼쪽에 하반이 분포하고 단층면의 오른쪽에 상반이 분포하며 상반이 하반에 대해 수평 방향으로 이동하였다. 이와 같이 지괴가 단층면을 따라 수평으로 이동한 단층을 주향 이동 단층 또는 수평 이동 단층이라 한다.

✗ 가장 오래된 암석은 셰일이고, 가장 새로운 암석은 현무암이다.

04 지사학의 법칙

• 지층 누층의 법칙: 지층의 역전이 없었다면 아래에 있는 지층은 위에 있는 지층보다 먼저 퇴적되었다.

• 동물군 천이의 법칙: 오래된 지층에서 새로운 지층으로 갈수록 더욱 진화된 생물의 화석이 산출되고, 동일한 표준 화석이 산출되는 지층은 같은 시기에 생성되었다.

• 관입의 법칙: 마그마가 주변의 암석을 뚫고 들어가 화성암이 생성되었을 때, 관입 당한 암석은 관입한 화성암보다 먼저 생성되었다.

㉤ 지층 누층의 법칙에 의하면, (가)에서 가장 오래된 지층은 가장 아래에 위치한 셰일층이다.

㉥ 동물군 천이의 법칙에 의하면, (가)에서 완족류와 삼엽충이 산출되는 셰일층(㉠층)과 (나)에서 완족류와 삼엽충이 산출되는 셰일층(㉡층)은 같은 지질 시대인 고생대에 만들어졌다.

✗ (나)에서 화강암이 풍화·침식된 후 화석이 산출되는 셰일층이 퇴적되었다. 화강암이 화석이 산출되는 셰일층을 관입한 것이 아니다.

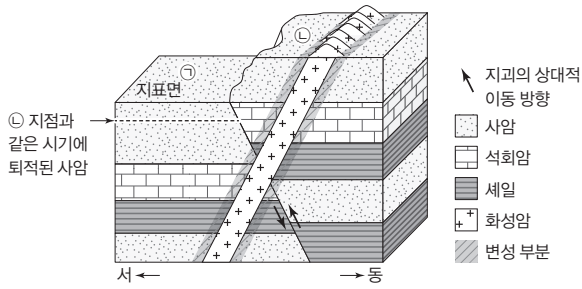
05 지질 단면 해석

역단층은 횡압력에 의해 상반이 하반에 대해 위로 이동한 단층이다. 이 지역에서는 셰일 퇴적 → 사암 퇴적 → 셰일 퇴적 → 석회암 퇴적 → 사암 퇴적 → 역단층 → 화성암 관입 순으로 지질학적 사건이 있었다.

㉦ 이 지역에는 횡압력에 의해 상반이 하반에 대해 위로 이동한 역단층이 있다.

㉧ 가장 새로운 지층은 지표면에 노출되어 있는 사암이고, 화성암이 이 사암을 관입하였다.

㉨ 수평 퇴적의 법칙에 의하면 퇴적물이 쌓일 때는 중력의 영향으로 수평면과 나란한 방향으로 쌓여 지층이 생성된다. 지층 누층의 법칙에 의하면 지층의 역전이 없었다면 아래에 있는 지층은 위에 있는 지층보다 먼저 퇴적되었다. 따라서 ㉣ 지점의 사암과 같은 시기에 퇴적된 사암을 하반에 표시하면 다음 그림과 같고, 지표면에 노출된 사암의 퇴적 시기는 ㉣ 지점이 ㉤ 지점보다 빠르다.



06 관입과 포획

화강암과 접한 석회암에 변성 부분이 나타나는 것으로 보아 화강암이 석회암을 관입하였고, 현무암은 석회암과 화강암을 모두 관입하였다. 따라서 암석의 생성 순서는 석회암 → 화강암 → 현무암이다.

㉠ 마그마가 관입할 때 주변 암석의 일부가 떨어져 나와 마그마 속으로 유입되는 것을 포획이라 하고, 포획된 암석을 포획암이라고 한다. 그림을 보면 화강암 내부에 포획된 석회암이 포획암으로 존재한다.

㉡ 마그마가 기존 암석을 뚫고 들어가는 과정을 관입이라고 한다. 그림을 보면 화강암은 석회암만을 관입하였다.

㉢ 화폐석은 신생대 표준 화석이고, 신생대는 약 0.66억 년 전부터 현재까지이다. 암석의 생성 순서는 석회암 → 화강암(절대 연령: 1억 년) → 현무암(절대 연령: 0.5억 년)이다. 석회암의 생성 시기는 1억 년 전보다 오래되었으므로 석회암에는 신생대 표준 화석인 화폐석 화석이 산출될 수 없다.

07 방사성 동위 원소의 반감기 곡선

시간이 0일 때 방사성 동위 원소 X의 함량이 100%이고, 시간이 T일 때 방사성 동위 원소 X의 함량은 25%이며 자원소의 함량은 75%이다. 따라서 방사성 동위 원소 X의 반감기는 $\frac{1}{2}T$ 이다.

㉠ 방사성 동위 원소 X의 반감기는 $\frac{1}{2}T$ 이다.

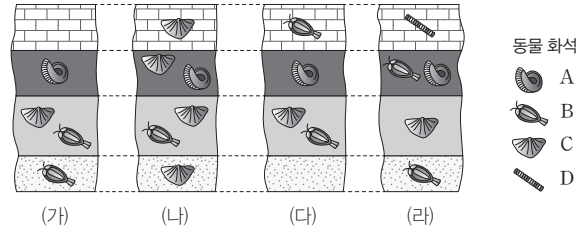
㉡ 방사성 동위 원소 X의 반감기가 $\frac{1}{2}T$ 이므로 $\frac{1}{2}T$ 일 때 X의 함량 P는 50(%)이다.

㉢ 방사성 동위 원소 X의 반감기가 $\frac{1}{2}T$ 이므로, 시간이 2T일 때 방사성 동위 원소 X의 함량은 6.25%이고 자원소의 함량은 93.75%이며 $\frac{\text{자원소의 함량}}{\text{X의 함량}}$ 은 15이다.

08 지층 대비

인접한 (가)~(라) 지역을 암상과 화석을 이용해 지층 대비하면 아

래의 그림과 같다.



㉠ 표준 화석은 지질 시대 중 일정한 기간에만 번성했다가 멸종한 생물의 화석으로, 생존 기간이 짧고 분포 면적이 넓을수록 표준 화석으로 적합하다. A 화석은 (가)~(라) 지역에서 모두 산출되며 특정한 시기의 지층에서만 산출되고, C 화석은 (가)~(라) 지역에서 모두 산출되며 다양한 시기의 지층에서 산출된다. 따라서 생존 기간을 고려할 때, A 화석은 C 화석보다 표준 화석으로 적합하다.

㉡ (가), (나), (다) 지역의 아래에서 두 번째 지층에서 B 화석과 C 화석이 함께 산출되는 것으로 보아 B와 C는 같은 시기에 생존한 적이 있다.

㉢ 가장 먼저 출현한 동물은 가장 오래된 지층에서 산출되는 B 또는 C이다.

09 화석에 의한 지층 대비

동일한 표준 화석이 산출되는 지층은 같은 시기에 생성된 지층이라고 할 수 있으므로, 동일한 표준 화석이 산출되는 지층을 연결하여 지층의 선후 관계를 밝히는 것을 화석에 의한 지층 대비라고 한다.

㉠ 화석을 이용한 지층 대비는 두 지역이 동일한 퇴적 환경에 있지 않아도 동일한 표준 화석이 산출된다면 지층 대비가 가능하다.

㉡ 화석을 이용한 지층 대비에는 표준 화석이 이용된다.

㉢ (가) 지역과 (나) 지역을 대비한 결과를 보면 가장 오래된 지층은 (나) 지역의 가장 아랫부분에 있는 지층이다.

10 지질 단면 해석과 관입의 법칙

이 지역에서는 셰일 퇴적 → 석회암 퇴적 → 사암 퇴적 → 안산암 관입 → 정단층 순으로 지질학적 사건이 있었다.

㉠ 석회암에서 고생대 표준 화석인 삼엽충 화석이 산출되는 것으로 보아 석회암은 고생대 지층이다.

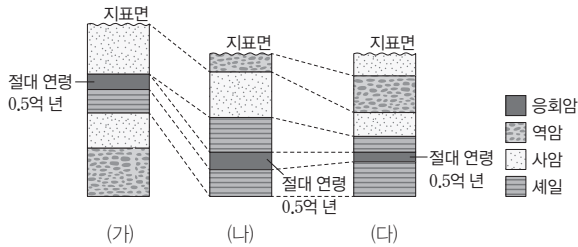
㉡ 정단층은 장력에 의해서 상반이 하반에 대해 아래로 이동한 단층이고, 역단층은 횡압력에 의해서 상반이 하반에 대해 위로 이동한 단층이다. 이 지역에는 정단층이 있으며, 정단층은 장력에 의해 만들어진 단층이다.

㉢ 고생대는 약 5.41억 년 전부터 약 2.52억 년 전까지이며, 안산암은 고생대 지층인 석회암보다 나중에 생성되었다. 따라서 안산

암의 절대 연령은 6억 년보다 적다.

11 암상에 의한 지층 대비

(가), (나), (다) 지역 모두에서 응회암의 절대 연령이 0.5억 년이므로 응회암을 기준으로 (가), (나), (다) 지역을 암상을 이용해 지층 대비하면 아래의 그림과 같다.



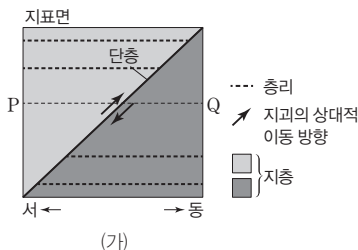
㉠ 지층을 대비한 그림을 보면, 가장 오래된 지층은 (가)의 가장 아래에 위치한 역암층이고 가장 새로운 지층은 (다)의 지표면에 노출된 사암층이다.

✕ (가)의 역암층은 응회암보다 먼저 생성되었고, (다)의 역암층은 응회암보다 나중에 생성되었다.

✕ 중생대는 약 2.52억 년 전부터 약 0.66억 년 전까지이며, 암모나이트는 중생대 표준 화석이다. (나)의 사암층은 응회암(절대 연령: 0.5억 년)보다 나중에 생성되었으므로 (나)의 사암층에서 암모나이트 화석이 산출될 수 없다.

12 단층과 지층의 퇴적 시기

수평 퇴적의 법칙에 의하면, 퇴적물이 쌓일 때 중력의 영향으로 수평면과 나란하게 쌓이고 지각 변동을 받지 않은 경우에 같은 수평면상에 위치하는 지층은 연령이 같다. 그림 (나)를 보면 P-Q 구간에서 단층 서쪽의 지괴가 단층 동쪽의 지괴보다 지층 연령이 많은 것으로 보아 이 단층은 역단층이다.



㉠ 상반은 단층을 기준으로 위에 있는 지괴이고, 하반은 단층을 기준으로 아래에 있는 지괴이다. 그림 (가)에서 보면 상반은 단층의 서쪽에 위치하고, 하반은 단층의 동쪽에 위치한다.

㉡ P-Q 구간의 상반과 하반 각각에서 지층 연령이 일정한 것으로 보아 두 지층 모두 수평으로 분포하고 두 지층의 층리는 나란

하다.

✕ P-Q 구간에서 상반의 지층 연령이 하반의 지층 연령보다 많은 것으로 보아 단층이 형성되는 과정에서 상반이 하반에 대해 위로 이동하였다.

13 지질 시대의 구분 기준

대멸종 등 생물계에서 일어난 급격한 변화는 지질 시대를 구분하는 기준이 될 수 있으며, C 시기는 고생대 페름기 말이고 E 시기는 중생대 백악기 말이다.

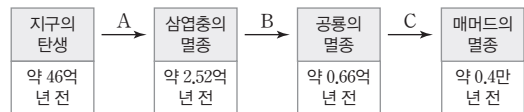
✕ A 시기는 고생대 오르도비스기 말이고, 삼엽충은 C 시기(고생대 페름기 말)에 멸종하였다.

✕ B 시기는 고생대 데본기 후기이고, C 시기는 고생대 페름기 말이다. 공룡은 중생대 트라이아스기에 출현하였다. 따라서 공룡은 C 시기 이후에 출현하였다.

㉢ 해양 생물의 멸종 비율이 가장 큰 시기는 C 시기(고생대 페름기 말)이다.

14 지구의 역사

주요 지질학적 사건을 정리하면 아래의 그림과 같다.



삼엽충은 고생대 말에 멸종하였고, 공룡은 중생대 말에 멸종하였다.

㉠ 최초의 사지동물은 삼엽충이 멸종하기 전인 고생대 중기에 출현하였다.

㉡ 지구의 역사는 약 46억 년이고 삼엽충은 약 2,52억 년 전에 멸종하였다. 따라서 지구의 역사에서 A 기간이 차지하는 비율은 약 95% $(= \frac{(46-2.52)억 년}{46억 년} \times 100\%)$ 이다.

㉢ 현생 누대는 고생대, 중생대, 신생대로 구분되며, B 기간은 중생대로 현생 누대에 속한다.

㉣ B 기간은 중생대이며, 중생대에 겉씨식물이 번성했다.

✕ C 기간은 1억 년보다 짧다.

15 지질 시대의 대륙 분포 변화

판게아가 존재하는 (나)는 고생대 페름기의 대륙 분포이고, 판게아가 분리되어 있는 (가)는 중생대 백악기의 대륙 분포이다.

✕ 방추충은 고생대 페름기 말에 멸종하였다. 따라서 중생대 백악기에 해당하는 (가) 시기에 바다에는 방추충이 생존하지 않았다.

㉢ (나)는 고생대 페름기의 대륙 분포이고 초대륙 로디니아는 선캄브리아 시대에 존재했다. 따라서 초대륙 로디니아가 존재하던 시기는 (나) 시기보다 빠르다.

✗. 히말라야산맥은 신생대에 형성되었고, (나) 시기는 고생대 폐름기이다. 따라서 (나) 시기에 히말라야산맥은 존재하지 않았다.

16 고생대의 환경과 생물

약 5.41억 년 전부터 약 2.52억 년 전까지의 지질 시대는 고생대이다.

- . 이 지질 시대는 고생대이다.
- . A 시기는 고생대의 석탄기 후기와 폐름기 전기에 해당하며, 이 시기에 빙하기가 있었다.
- ✗. A 시기는 고생대의 석탄기 후기와 폐름기 전기에 해당하며, 삼엽충은 고생대 폐름기 말기에 멸종하였다.

3점 수능 테스트

본문 65~7쪽

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

01 수평 퇴적의 법칙과 지층 누층의 법칙

퇴적물이 쌓일 때는 중력의 영향으로 수평면과 나란하게 쌓인다. 따라서 지층이 기울어져 있다면 퇴적물이 쌓인 후 지각 변동을 받았다라는 것이다.

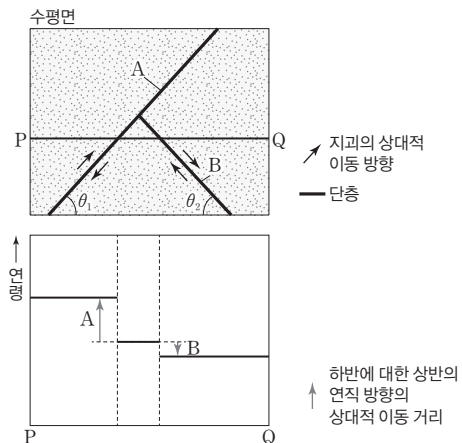
✗. 지층 A, B, C가 남쪽 방향으로 경사져 있는 것은 강물에 의해 침식되었기 때문이 아니라 지각 변동을 받았기 때문이다.

○. 지층 A, B, C의 생성 순서는 A → B → C이다. 따라서 지표면에서 강물이 흐르는 방향을 따라 지층의 퇴적 시기를 조사해 보면 퇴적 시기가 늦어지는 경향을 보인다.

✗. 지층 B와 지층 C의 경계면은 같은 시기에 생성되었다. 따라서 지표면에서 지층 B와 지층 C의 경계를 따라가면서 산출되는 화석을 조사해 보면 어느 부분에서나 같은 시기의 표준 화석이 산출될 것이다.

02 단층의 종류

정단층은 상반이 하반에 대해 아래로 이동한 단층이고, 역단층은 상반이 하반에 대해 위로 이동한 단층이다. 지층이 수평하게 분포할 때, 정단층의 경우에는 같은 수평면상에서 상반의 지층 연령이 하반보다 적고 역단층의 경우에는 같은 수평면상에서 상반의 지층 연령이 하반보다 많다. P-Q 구간 각각의 지괴에서 지층 연령이 일정한 것으로 보아 이 지층의 층리는 수평하게 분포한다. A 단층의 경우 같은 수평면상에서 상반의 지층 연령이 하반보다 많은 것으로 보아 A 단층은 역단층이다. B 단층의 경우 같은 수평면상에서 상반의 지층 연령이 하반보다 적은 것으로 보아 B 단층은 정단층이다.



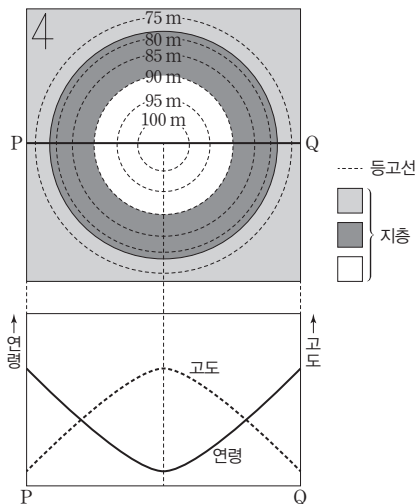
✕. P-Q 구간 각각의 지괴에서 지층 연령이 일정한 것으로 보아 이 지층의 층리는 수평하다.

㉠. A 단층의 경우 같은 수평면상에서 상반의 지층 연령이 하반보다 많다. 따라서 A 단층은 역단층이다.

㉡. 지층이 퇴적되는 동안 퇴적 속도는 일정했고 θ_1 과 θ_2 의 크기가 같으나 P-Q 구간에서 상반과 하반의 지층 연령 차는 A 단층이 B 단층보다 크다. 따라서 하반에 대한 상반의 연직 방향의 이동 거리는 A 단층이 B 단층보다 크다.

03 수평 퇴적의 법칙과 지층 누층의 법칙

이 지역의 지층은 수평층이다. 퇴적물이 쌓일 때는 중력의 영향으로 수평면과 나란하게 쌓이고 지층이 역전되지 않았다면 아래의 지층은 위의 지층보다 먼저 퇴적되었다.



㉢. 이 지역의 모든 지층은 서로 정합 관계이고 지층이 퇴적되는 동안 퇴적 속도가 일정했으므로 P-Q 구간에서 지층의 연령은 연속적으로 변한다. 이 지역의 지층은 수평으로 분포하므로, P-Q 구간에서 고도가 낮은 곳에 위치한 P와 Q 부근의 지층이 먼저 퇴적되었고 고도가 높은 곳에 위치한 중앙부의 지층이 나중에 퇴적되었다.

04 관입의 법칙

마그마가 기존 암석을 뚫고 들어가는 과정을 관입이라 하고, 관입한 마그마가 식어서 굳어진 화성암을 관입암이라고 한다. 관입한 마그마에 의해 기존 암석이 열에 의한 변성 작용을 받을 수 있으며, 관입 당한 암석은 관입한 화성암보다 먼저 생성되었다. 마그마가 관입할 때 주변 암석의 일부가 떨어져 나와 마그마 속에 유입되는 것을 포획이라 하고, 포획된 암석을 포획암이라고 한다.

㉣. 화성암 속에 사암이 포획암으로 존재하는지를 조사하여, 포획암으로 존재한다면 화성암이 사암을 관입하였다는 가설을 검증할

수 있다.

㉤. 화성암과 접촉한 사암에 변성 작용의 흔적이 있는지를 조사하여, 변성 작용의 흔적이 존재한다면 화성암이 사암을 관입하였다는 가설을 검증할 수 있다.

㉥. 화성암의 생성 시기 및 사암의 퇴적 시기를 조사하여, 사암의 퇴적 시기가 화성암의 생성 시기보다 빠르다면 화성암이 사암을 관입하였다는 가설을 검증할 수 있다.

05 부정합과 지질 단면 해석

지질학적 사건의 순서는 A 지층 퇴적 → (습곡과 역단층) → 부정합(U-U') → B 지층 퇴적이다.

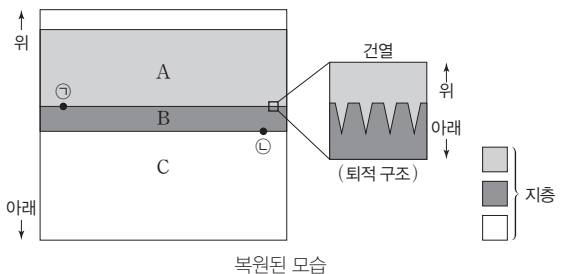
✕. A 지층에는 지층이 휘어진 습곡과 상반이 하반에 대해 위로 이동한 역단층이 발달해 있으나, 상반이 하반에 대해 아래로 이동한 정단층은 없다.

㉦. A 지층과 B 지층은 부정합 관계이다. 따라서 A 지층과 B 지층의 퇴적 시기 사이에는 큰 시간 간격이 있다.

✕. 부정합면의 경사 유무에 관계없이 부정합면을 경계로 상하 지층이 서로 경사져 있어야만 경사 부정합이다. A 지층과 B 지층이 서로 경사져 있는 것으로 보아 U-U'는 경사 부정합면이다. 그러나 ㉧(A 지층과 B 지층의 경계면(U-U')이 8° 정도 기울어져 있다.)은 U-U'가 경사 부정합면이라는 증거가 아니다.

06 퇴적 구조를 이용한 지층의 복원

관찰된 퇴적 구조는 건열이다. 역전되지 않은 지층에서 건열의 쉼기 모양으로 갈라진 부분은 표면에서 아래로 가면서 좁아지는 경향을 보인다. 관찰되는 건열의 모습을 이용해 이 지역의 지층을 지각 변동을 받기 전의 모습으로 복원하면 지층의 생성 순서는 C → B → A이다.



✕. 복원된 모습을 보면 지층의 두께는 A층이 C층보다 얇다.

㉧. B층에 건열이 나타나는 것으로 보아, B층은 퇴적된 후에 건조한 대기에 노출된 시기가 있었다.

㉨. 지층의 생성 순서가 C → B → A이다. 따라서 ㉣ 지점이 ㉤ 지점보다 나중에 퇴적되었다.

07 지질 단면 해석

응회암은 화산 활동에 의해 분출된 화산재가 쌓여서 만들어진다. 지질 단면에서 C 지층 위에 응회암이 분포하는 것으로 보아 A, B, C 지층이 퇴적된 후 응회암이 생성되었으며, D, E 지층은 응회암이 생성된 후 퇴적되었다.

- ㉠. 응회암은 화산재가 쌓여서 만들어진 암석이다. 따라서 D 지층은 응회암이 생성된 후 퇴적되었다.
- ㉡. 응회암의 절대 연령이 0.8억 년이고 방사성 동위 원소 X의 반감기가 0.8억 년이므로, 응회암에서 방사성 동위 원소 X의 함량은 50%이다. 현무암의 절대 연령이 1.6억 년이고 방사성 동위 원소 X의 반감기가 0.8억 년이므로, 현무암에서 방사성 동위 원소 X의 함량은 25%이다.
- ㉢. 응회암의 절대 연령이 0.8억 년이고 현무암의 절대 연령이 1.6억 년인 것으로 보아 현무암은 응회암보다 먼저 생성되었다. 따라서 (가) 부분에서 현무암이 응회암을 관입한 모습이 나타나지 않는다.

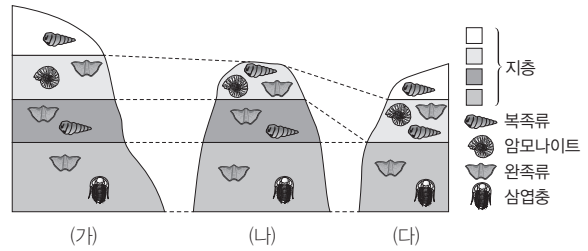
08 방사성 동위 원소의 반감기

반감기는 방사성 동위 원소가 붕괴하여 처음 함량의 반으로 줄어드는 데 걸리는 시간이다. 그림 (가)를 보면 방사성 동위 원소 X의 반감기는 T 이고, 그림 (나)를 보면 방사성 동위 원소 Y의 반감기는 $\frac{1}{2}T$ 이다.

- ㉠. 방사성 동위 원소 X의 반감기가 T 이므로, 시간이 $2T$ 일 때 방사성 동위 원소 X의 함량 P 는 25%이다.
- ㉢. 방사성 동위 원소 Y의 반감기가 $\frac{1}{2}T$ 이므로 Y의 함량이 처음의 5%가 되는 데 걸리는 시간은 $2T$ 와 $\frac{5}{2}T$ 사이이다.
- ㉤. 반감기가 짧을수록 동일한 시간 동안 방사성 동위 원소 함량의 감소량이 크다. 따라서 암석이 생성되고 $4T$ 동안 방사성 동위 원소 함량의 감소량은 X가 Y보다 작다. $4T$ 동안 방사성 동위 원소 X 함량의 감소량은 93.75% (= 100% - 6.25%)이고, $4T$ 동안 방사성 동위 원소 Y 함량의 감소량은 약 99.6% (= 100% - 0.390625%)이다.

09 화석에 의한 지층 대비

고생대 표준 화석인 삼엽충과 중생대 표준 화석인 암모나이트와 암상을 이용해 (가), (나), (다)를 지층 대비하면 다음 그림과 같다.



- ㉠. (가), (나) 중에서 가장 새로운 지층은 복족류만 산출되는 지층이며 이 지층은 (가)에 분포한다.
- ㉡. (나)와 (다)를 비교해 보면 (다)에는 완족류와 복족류만이 산출되는 지층이 존재하지 않는다. 따라서 (다)에는 부정합이 있다.
- ㉢. 삼엽충은 고생대 표준 화석이다. 따라서 (가), (나), (다) 모두에서 가장 오래된 지층은 고생대 지층이다.
- ㉣. 표준 화석은 지질 시대 중 일정한 기간에만 번성했다가 멸종한 생물의 화석으로, 생존 기간이 짧고 분포 면적이 넓을수록 표준 화석으로 적합하다. 암모나이트는 (가), (나), (다) 모두에서 산출되며 특정한 시기의 지층에서만 산출되고, 복족류는 (가), (나), (다) 모두에서 산출되며 다양한 시기의 지층에서 산출된다. 따라서 암모나이트는 복족류보다 표준 화석으로 적합하다.
- ㉤. 완족류 화석은 고생대 표준 화석인 삼엽충 화석과 함께 산출되기도 하고 중생대 표준 화석인 암모나이트 화석과도 함께 산출되기도 한다. 따라서 완족류는 고생대 말에 멸종하지 않았다.

10 부정합과 지질 단면 해석

사암과 같은 퇴적암에서는 아래로 갈수록 퇴적 시기가 빠르고 암석의 연령이 증가한다. 그러나 하나의 화성암체 전체에서 화성암의 연령은 거의 동일하다. 따라서 지질 단면의 윗부분인 암석 A는 사암이고 아랫부분인 암석 B는 화강암이다.

- ㉠. 암석 A는 사암이다.
- ㉡. 암석 B의 연령이 약 1억 년인 것으로 보아 암석 B가 생성되던 시기에 육지에는 공룡이 생존했다.
- ㉢. 사암(A)의 연령 최댓값이 약 0.5억 년이고 화강암(B)의 연령이 약 1억 년인 것으로 보아 사암(A)과 화강암(B)은 부정합 관계이다.

11 지질 시대의 생물

고생대의 기는 캄브리아기 → 오르도비스기 → 실루리아기 → 데본기 → 석탄기 → 페름기 순이며, 중생대의 기는 트라이아스기 → 쥐라기 → 백악기 순이다.

- ㉢. (가) 지층군은 중생대 백악기에 퇴적되었으며, 화폐석은 신생대 표준 화석이다. 따라서 (가)에서는 화폐석 화석이 산출될 수 없다.
- ㉤. (가) 지층군은 중생대 백악기에 퇴적되었으며, 중생대에는 빙하기가 없었다.

㉔ 고생대 석탄기와 중생대 백악기 사이에는 고생대 페름기 말 등의 시기에 생물의 대멸종이 있었다.

12 지질 시대의 생물

(가): 화성암 내부에 A층이 포획암으로 존재하고 A층에 변성된 부분이 있는 것으로 보아 화성암이 A층을 관입하였다.

(나): A층 내부에서 화성암의 침식물이 나타나는 것으로 보아 화성암이 생성된 이후에 A층이 퇴적되었다.

방사성 동위 원소 X의 반감기가 1억 년이고 (가)의 화성암에서 (X의 함량 : 자원소의 함량)이 (50% : 50%)인 것으로 보아, (가) 화성암의 절대 연령은 1억 년이다. 방사성 동위 원소 X의 반감기가 1억 년이고 (나)의 화성암에서 (X의 함량 : 자원소의 함량)이 (25% : 75%)인 것으로 보아, (나) 화성암의 절대 연령은 2억 년이다.

암석의 생성 순서는 (나)의 화성암(절대 연령: 2억 년) → A층(해성층) → (가)의 화성암(절대 연령: 1억 년)이다. 따라서 A층(해성층)에서 산출될 수 있는 화석은 2억 년 전~1억 년 전에 생존했던 해양 생물이다. 2억 년 전~1억 년 전은 중생대에 속한다.

✗ 삼엽충은 해양 동물이고 고생대 표준 화석이다.

✗ 화폐석은 해양 동물이고 신생대 표준 화석이다.

✗ 공룡은 육상 동물이고 중생대 표준 화석이다.

㉔ 암모나이트는 해양 동물이고 중생대 표준 화석이다.

✗ 방추충은 해양 동물이고 고생대 표준 화석이다.

13 지질 시계

지구의 역사 46억 년을 24시간의 지질 시계에 대비할 때, 지구의 역사 1억 년은 지질 시계에서 약 0.52시간($\approx \frac{24\text{시}}{46\text{억 년}}$)에 해당한다.

㉔ 지질 시계에서 1시간은 지구의 역사 약 1.9억 년($\approx \frac{46\text{억 년}}{24\text{시}}$)에 해당한다.

✗ 지구의 역사에서 선캄브리아 시대가 차지하는 비율이 88.2%이므로, 지질 시계에서 고생대의 시작은 약 21.2시($\approx 24\text{시} \times \frac{88.2}{100}$)에 표시된다.

✗ 지구의 역사 46억 년에서 선캄브리아 시대가 차지하는 비율은 88.2%이다. 지질 시계에서 선캄브리아 시대의 지속 시간은 약 21.2시간($\approx 24\text{시간} \times \frac{88.2}{100}$)이다.

14 지질 시대의 생물

공룡은 중생대 트라이아스기에 출현했으며, 어류는 고생대 오르도비스기에 출현했고, 암모나이트는 중생대 백악기 말에 멸종했

으며, 생물계에서 가장 큰 규모의 대멸종은 고생대 페름기 말에 있었다.

㉔ ㉔(공룡의 출현)은 중생대 트라이아스기이고 ㉔(어류의 출현)은 고생대 오르도비스기이므로, 지질 시계에서 ㉔은 ㉔보다 늦은 시각에 표시된다.

㉔ 암모나이트는 중생대 백악기 말에 멸종하였다. 중생대 백악기 말은 지질 시계에서 약 23.7시($\approx 24\text{시} \times \frac{(100-1.4)}{100}$)에 표시된다.

✗ 생물계에서 ㉔(가장 큰 규모의 대멸종)은 고생대 말에 있었다. 따라서 ㉔을 기준으로 선캄브리아 시대와 고생대가 구분되지 않는다.

05 대기의 변화

2점 수능 테스트

본문 85~89쪽

- 01 ② 02 ⑤ 03 ③ 04 ③ 05 ② 06 ④ 07 ③
 08 ② 09 ③ 10 ② 11 ③ 12 ① 13 ① 14 ②
 15 ⑤ 16 ⑤ 17 ④ 18 ① 19 ② 20 ①

01 고기압과 저기압

고기압에서는 바람이 중심에서 주변으로 불어 나가고, 저기압에서는 바람이 주변에서 중심으로 불어 들어온다.

✕. (가)는 바람이 시계 방향으로 불어 나가고, (나)는 바람이 시계 방향으로 불어 들어오기 때문에 (가)는 북반구 고기압, (나)는 남반구 저기압이다.

✕. A는 고기압의 중심으로 주변보다 기압이 높다.

⊙. 중심부에서 상승 기류가 나타나는 저기압이 하강 기류가 나타나는 고기압보다 구름이 발달할 가능성이 높다.

02 일기도

(가)는 북태평양 고기압이 뚜렷하게 발달한 것으로 보아 여름철에 잘 나타나는 일기도이고, (나)는 이동성 고기압과 온대 저기압이 우리나라 주변에서 보이는 것으로 보아 봄철에 잘 나타나는 일기도이다.

⊙. A에는 정체성 고기압인 북태평양 고기압이 위치한다.

⊙. (가)는 북태평양 고기압(A)이 발달한 여름철의 일기도이다.

⊙. (나)에서 우리나라를 통과하는 고기압은 서쪽에서 동쪽으로 이동하는 이동성 고기압이다.

03 온난 고기압과 한랭 고기압

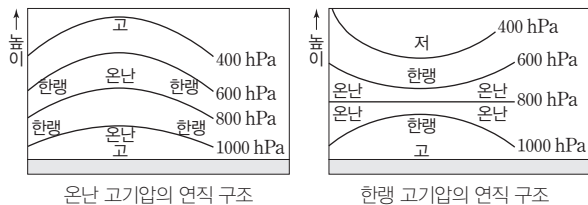
고기압권 내의 기온이 주위보다 높은 고기압을 온난 고기압, 고기압권 내의 기온이 주위보다 낮은 고기압을 한랭 고기압이라고 한다.

⊙. 지상에서 모두 고기압의 성질을 나타내기 때문에 1000 hPa 등압면의 고도는 (가)와 (나)에서 모두 고기압의 중심이 주변보다 높다.

✕. (가)는 온난 고기압의 연직 분포, (나)는 한랭 고기압의 연직 분포이다. 따라서 고기압 중심에서의 기온은 (나)보다 (가)에서 더 높다.

⊙. (나)는 지표 냉각에 의해 기온이 주변보다 낮아져 발생한 한랭 고기압으로 고기압의 중심부는 지표 부근에서는 주변보다 기압이

높지만, 상공에서는 주변보다 기압이 낮은 모습이 나타난다.



04 전선

한랭 전선과 온난 전선은 온대 저기압과 함께 편서풍에 의해 서쪽에서 동쪽으로 이동하지만, 정체 전선은 한곳에 오랫동안 머물면서 남북 방향으로의 위치 변화가 생긴다.

⊙. A는 정체 전선으로 찬 기단과 따뜻한 기단이 만나는 한대 전선대에서 주로 형성된다.

✕. B는 한랭 전선으로 전선이 통과한 지역은 찬 기단의 영향을 받기 때문에 기온은 대체로 낮아진다.

⊙. C는 온난 전선으로 전선면의 기울기가 완만하여 전선면 부근에서 주로 층운형 구름이 만들어진다.

05 온대 저기압

온대 저기압은 우리나라 부근에서 주로 편서풍에 의해 서쪽에서 동쪽으로 이동한다. 온난 전선이 통과한 지역은 기온이 상승하고, 한랭 전선이 통과한 지역은 기온이 하강한다.

✕. 온대 저기압의 중심이 더 서쪽에 위치한 (나)가 (가)보다 먼저 관측한 것이다.

⊙. 저기압의 중심 기압은 (나)보다 (가)에서 낮으며, 저기압의 중심과 우리나라 사이의 거리도 (나)보다 (가)에서 더 가깝다. 따라서 우리나라의 평균 기압은 (가)가 (나)보다 낮다.

✕. A 지역은 관측 기간 동안 온난 전선과 한랭 전선이 차례로 통과하였다. 따라서 A 지역의 기온은 온난 전선이 통과한 후 높아졌다가 한랭 전선이 통과한 후 낮아졌다.

06 위성 영상

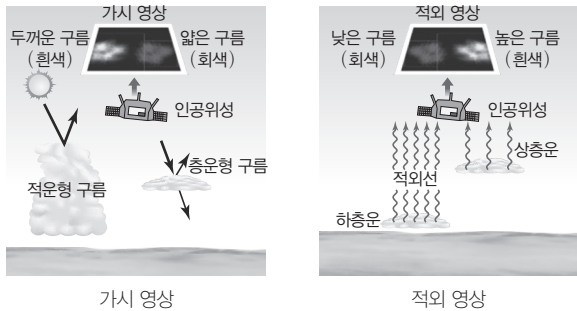
가시 영상에서 밝게 보이는 부분은 구름의 두께가 두껍고, 적외 영상에서 밝게 보이는 부분은 구름의 최상부 높이가 높은 곳이다.

⊙. 물체가 방출하는 적외선의 세기가 강할수록 적외 영상에서 어둡게 보인다. 적외 영상에서 A가 B보다 어둡게 보이므로 구름이 방출하는 적외선의 세기는 A가 B보다 강하다.

⊙. A는 B보다 가시 영상에서 상대적으로 덜 밝게 보이고, 적외 영상에서는 어둡게 보인다. 이에 반해 B는 가시 영상과 적외 영상에서 모두 밝게 보이므로 구름의 두께는 A보다 B가 두껍다.

✕. 가시 영상은 가시광선을 관측한 것이기 때문에 밤에는 관측되

지 않는다.



07 온대 저기압

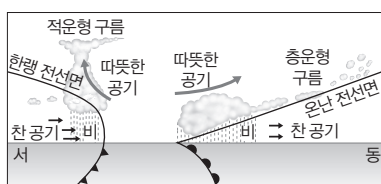
우리나라 주변에 발달한 온대 저기압에는 저기압 중심의 남서쪽에 한랭 전선이, 남동쪽에 온난 전선이 발달한다. 온난 전선의 전면에서는 층운형 구름이 발달하고 넓은 지역에 이슬비가 내리는 반면, 한랭 전선의 후면에서는 적운형 구름이 발달하고 좁은 지역에 소나기가 내린다.

- ✗. (나)는 북서풍이 불고 소나기가 내리는 지역의 일기 기호로 A에 해당한다. A의 기압이 985.0 hPa이고, 등압선 분포로 보아 온대 저기압의 중심 기압은 이보다 낮으며, 850.0 hPa보다는 높다.
- ✗. (나)는 A의 일기 기호이므로, A에서는 소나기가 내린다.
- . B는 A보다 남쪽에 위치하고 온난 전선과 한랭 전선의 사이에 위치하므로 A보다 기온이 높다. 따라서 B의 기온은 14 °C보다 높다.

08 온난 전선과 한랭 전선

지표면과 맞닿아 있는 온난 전선의 전선면 기울기는 한랭 전선의 전선면 기울기보다 완만하다. 따라서 온난 전선 부근에서는 비교적 얇은 구름이 만들어질 수 있고, 한랭 전선 부근에서는 비교적 두꺼운 구름이 만들어질 수 있다.

- ✗. 지표면 부근에서 온난 전선의 전선면 기울기(θ_1)는 한랭 전선의 전선면 기울기(θ_2)보다 완만하다.
- ✗. 온대 저기압에서 한랭 전선의 이동 속도는 온난 전선의 이동 속도보다 빠르다.
- . (가)와 (나) 모두 전선면에서 따뜻한 기단이 찬 기단 위로 상승하기 때문에 구름은 따뜻한 기단의 상승에 의해 발생한다.



한랭 전선과 온난 전선

09 저기압의 이동 경로

태풍은 주로 포물선 궤도를 그리며 이동하고, 온대 저기압은 편서풍에 의해 서쪽에서 동쪽으로 이동한다.

- . 우리나라 주변에서 (가)와 (나) 모두 서쪽에서 동쪽으로 이동하고 있는 것으로 보아 편서풍의 영향을 받아 이동하였다.
- . (가)와 (나) 모두 시간이 지남에 따라 저기압의 중심은 고위도로 이동하고 있다.
- ✗. (가)에서 A 지역은 태풍 중심의 이동 경로에 대해 오른쪽에 위치하였기 때문에 풍향 변화가 시계 방향으로 나타나지만, (나)에서 A 지역은 온대 저기압 중심의 이동 경로에 대해 왼쪽에 위치하므로 풍향 변화가 시계 반대 방향으로 나타난다.

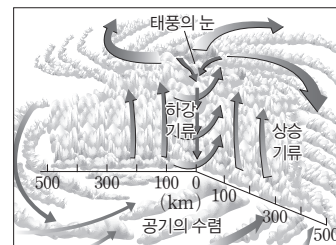
10 태풍의 발생과 이동

태풍은 수온이 27 °C 이상인 열대 해상에서 주로 발생하며, 대부분 저위도에서 고위도로 이동하는 특징이 있다.

- ✗. 태풍은 전향력이 없거나 약한 적도 해역에서는 잘 발생하지 않는다.
- . 태풍은 수온이 27 °C 이상인 위도 5°~25°의 열대 해상에서 주로 발생한다. 따라서 태풍은 발생 초기에 주로 무역풍의 영향을 받는다.
- ✗. 7월~8월에 발생한 태풍의 개수는 14개로 같은 해 발생한 전체 태풍의 개수(29개)의 50%가 되지 않는다.

11 태풍의 구조

태풍은 지상에서는 시계 반대 방향으로 회전하며 공기가 수렴하지만, 상공에서는 시계 방향으로 회전하며 공기가 발산한다. 태풍의 눈은 태풍의 중심으로 기압이 가장 낮다.



- . 태풍은 열대 저기압으로 강한 상승 기류에 의해 적란운이 발달한다. 뇌우는 강한 상승 기류에 의해 적란운이 발달할 때 일어나는 현상으로 태풍에 동반되어 나타날 수 있다.
- ✗. B는 태풍의 중심에 위치한 곳으로 기압은 A가 B보다 높다.
- . 북상하고 있는 태풍의 이동 경로에 대해 오른쪽에 위치한 C는 위험 반원에 놓여 있다. 위험 반원은 태풍 내 바람 방향과 이동 방향이 같기 때문에 풍속이 상대적으로 더 강하다. 따라서 태풍의 위험 반원에 해당하는 C에서 풍속은 태풍의 이동 속도가 빠를 수

록 더 크게 나타난다.

12 태풍과 날씨

태풍의 눈이 통과하지 않은 지역에서는 태풍이 관측소에 가장 가까이 접근할 때 풍속이 최대가 된다. 또한 태풍이 이동할 때 관측소가 안전 반원에 위치한다면 풍향은 시계 반대 방향으로 변한다.

㉠. 관측소에서의 풍향 변화가 시계 반대 방향으로 나타나기 때문에 관측소는 안전 반원에 위치하였다.

✕. 관측소에서 풍향이 북동풍 → 북풍 → 북서풍 → 서풍 → 남서풍으로 나타나는 것으로 보아 태풍은 대체로 이 지역의 서쪽에서 동쪽으로 이동하였다.

✕. 관측된 풍속이 최대일 때 태풍은 관측소로부터의 거리가 가장 가까울 때이다. 풍속이 최대일 때 관측 기압이 964 hPa보다 낮았으므로 실제 태풍의 중심 기압은 관측소에서의 기압보다 더 낮았다.

13 태풍의 이동

태풍이 차가운 바다 위를 지나거나 육지에 상륙하면 열과 수증기의 공급이 감소하므로 세력이 약해진다.

㉠. 태풍은 일반적으로 우리나라 주변을 통과하는 과정에서 편서풍의 영향을 받아 이동 속도가 빨라진다. (가)와 (나) 모두 일정한 시간에 따라 예상되는 태풍의 위치 변화량이 고위도로 갈수록 커지고 있다.

✕. (가)에서 태풍은 육지에 상륙한 후 수증기의 공급이 감소하고 지표 마찰의 영향이 커지므로 중심 기압이 높아지고 세력은 약해질 것이다.

✕. (나)에서 제주도는 태풍 이동 경로상의 왼쪽에 위치하므로 풍향 변화가 시계 반대 방향으로 나타날 것이다.

14 태풍과 날씨

태풍이 우리나라를 통과할 때 관측소의 위치에 따라 풍향 변화가 다르게 나타난다. 태풍의 안전 반원에 위치한 관측소에서는 풍향 변화가 시계 반대 방향으로 나타나지만, 위험 반원에 위치한 관측소에서는 풍향 변화가 시계 방향으로 나타난다.

✕. 태풍이 우리나라를 통과할 때 A에서 풍향 변화가 시계 방향으로 나타났기 때문에 A의 위치는 ㉠에 해당한다.

✕. ㉠은 안전 반원, ㉡은 위험 반원에 위치하며 태풍이 통과할 때 태풍 중심과의 평균 거리는 ㉠이 ㉡보다 더 가깝다. 따라서 관측 기간 동안 평균 풍속은 ㉠에서보다 ㉡에서 더 크게 나타났을 것이다.

㉢. 태풍은 중심 기압이 낮을수록 세력이 강하고, 순간 최대 풍속이 빠르다. T_1 시기에 태풍의 중심 기압은 985 hPa이고, T_4 시기에 태풍의 중심 기압은 992 hPa이므로 태풍의 세력은 T_1 시기가 T_4 시기보다 강하다.

15 뇌우의 발달 단계

뇌우의 발달 단계 중에서 (가)는 성숙 단계, (나)는 소멸 단계이다. 성숙 단계에서는 상승 기류와 하강 기류가 함께 나타나며 천둥, 번개, 소나기, 우박 등이 동반된다. 소멸 단계에서는 전체적으로 하강 기류가 우세하게 나타나고 비가 약해진다.

㉠. (가)는 성숙 단계로 상승 기류와 하강 기류가 함께 나타나며, 주로 천둥, 번개를 동반한 소나기는 하강 기류와 함께 발생한다.

㉡. (나)는 하강 기류만 존재하는 소멸 단계이다.

㉢. (가)와 (나) 모두 두꺼운 적운형의 구름으로 구름 최상부의 온도는 0°C 이하로 나타난다.

16 폭설

폭설은 짧은 시간에 많은 양의 눈이 내리는 기상 현상이다. 우리나라에서는 겨울철에 시베리아 기단의 찬 공기가 남하하면서 황해상에서 변질되어 기층이 불안정해질 때 폭설이 잘 발생한다.

㉠. 황해상에서 눈구름이 만들어져 유입되는 것이기 때문에 강설량은 동해안보다 서해안에 많을 것이다.

㉡. 겨울철에 우리나라에서는 시베리아 기단에서 남하한 찬 기단이 황해상에서 변질되어 만들어진 눈구름에 의한 폭설이 잘 발생한다. 북쪽에서 내려온 차가운 공기는 시베리아 기단의 세력 확장에 의해 나타난다.

㉢. 불안정한 대기 상태에서 상승 기류가 발달할 때 폭설이 발생하기 때문에 '불안정'은 ㉡에 해당한다.

17 장마 전선과 일기도

우리나라 부근에서 장마 전선은 주로 북쪽의 차고 습윤한 기단과 남쪽의 따뜻하고 습윤한 기단이 만나 형성된다. 두 기단의 세력이 비슷하여 전선은 거의 이동이 없지만 때에 따라 어느 한쪽 기단의 세력이 강화 또는 약화되면 전선은 남쪽 또는 북쪽으로 이동할 수 있다.

✕. 장마 전선을 기준으로 북쪽과 남쪽의 두 기단은 모두 고기압을 나타내기 때문에 장마 전선 A는 주변보다 기압이 비교적 낮은 곳에 형성되었다.

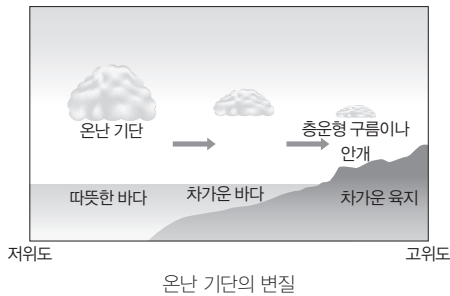
㉠. ㉠은 장마 전선의 북쪽 해상에 발달한 기단으로 한랭 다습한 성질을 지닌다.

㉡. ㉡이 발달하여 세력이 커지면 장마 전선 A는 북상하게 될 것이다.

18 기단의 변질

따뜻한 해양에서 형성된 온난한 기단이 상대적으로 차가운 바다 쪽으로 이동하면 기단의 하부가 냉각되어 안정해지는 기단의 변질이 발생한다.

- ㉠ 기단이 이동함에 따라 기단의 하부가 냉각되고 있기 때문에 기단은 저위도에서 고위도로 이동했음을 알 수 있다.
- ✕ 기단이 이동하는 동안 기단의 하층부는 더욱 냉각되었으므로 안정한 상태로 변했다.
- ✕ 따뜻한 해양에서 형성된 기단이 차가운 바다 위로 이동해 기단 하부가 냉각되면 기단이 안정해져서 층운형 구름이나 안개를 형성할 수 있다.



19 우리나라 악기상

- 얼음의 결정 주위에 차가운 물방울이 얼어붙어 땅 위로 떨어지는 얼음덩어리를 우박이라고 한다. 10분 동안 평균 풍속이 14 m/s 이상인 바람을 강풍이라고 하며, 국지적으로 단시간 내에 많은 양의 비가 집중하여 내리는 현상을 집중 호우라고 한다.
- ✕ 우박과 집중 호우는 적란운에서 발생하는 현상으로 한랭 전선의 후면에서 발생할 수 있다.
 - ㉠ 집중 호우와 강풍은 태풍의 영향권에 있을 때 태풍에 의해 발생할 수 있다.
 - ✕ 우박, 집중 호우, 강풍 등의 악기상은 기상 현상의 규모가 작아 현상의 발생 및 피해 예측이 수월하지 않다.

20 황사

- 황사는 발원지에서 발생한 모래 먼지가 상층의 편서풍을 타고 멀리까지 이동하여 서서히 내려오는 현상을 말한다. 우리나라에 영향을 미치는 황사의 주요 발원지는 중국 북부나 몽골의 사막 또는 건조한 황토 지대이다.
- ㉠ 우리나라의 10년 단위의 평균 황사 발생 일수를 전체적으로 볼 때, 1981년~1990년보다 1991년~2000년의 황사 발생 일수가 많다. 따라서 10년 단위의 평균 황사 발생 일수는 대체로 증가했다.
 - ✕ 우리나라에서 발생한 10년 단위의 평균 황사 일수는 도시의 규모와 상관없이 대체적으로 서쪽 도시가 동쪽 도시보다 많다.
 - ✕ 중국 내륙의 사막화가 심해지면 토양이 더 건조해지기 때문에 황사 발생 횟수가 증가할 것이다.

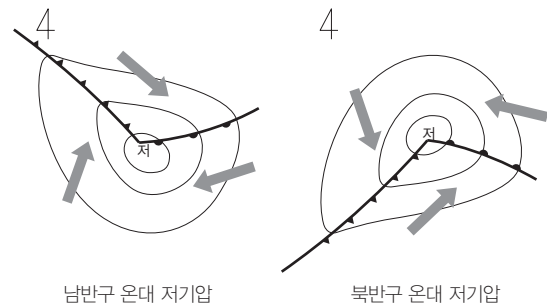
3점 수능 테스트

본문 90~99쪽

- 01 ㉠ 02 ㉡ 03 ㉡ 04 ㉠ 05 ㉡ 06 ㉠ 07 ㉡
 08 ㉢ 09 ㉡ 10 ㉣ 11 ㉠ 12 ㉢ 13 ㉢ 14 ㉣
 15 ㉣ 16 ㉡ 17 ㉡ 18 ㉠ 19 ㉡ 20 ㉢

01 저기압

- 저기압은 주변보다 기압이 낮은 곳으로, 북반구에서는 바람이 시계 반대 방향으로 불어 들어가고 남반구에서는 바람이 시계 방향으로 불어 들어간다. 저기압의 중심부에서는 상승 기류가 발달하고, 구름이 형성되어 대체로 날씨가 흐리다.
- ㉠ (가)는 바람이 시계 방향으로 불어 들어가기 때문에 남반구에서 발달한 저기압이다. A 지점은 저위도로 따뜻한 기단이 위치한 곳이고, B는 고위도로 찬 기단이 위치한 곳이기 때문에 기온은 A 지점이 B 지점보다 높다.
 - ㉡ (가)는 남반구에서 발달한 저기압으로, 한랭 전선은 저기압을 중심으로 대체로 북쪽에 위치하기 때문에 B 지점보다 A 지점에 가깝게 위치한다.
 - ✕ 온대 저기압은 중위도 지방에서 발달하므로 저기압의 중심은 편서풍에 의해 대체로 동쪽 방향으로 이동한다.



02 저기압과 날씨

- 우리나라 부근에 위치한 저기압은 편서풍에 의해 서쪽에서 동쪽으로 이동하며 날씨 변화를 일으킨다. 우리나라에 저기압이 놓이면 구름이 많아지고 날씨는 흐려진다.
- ㉠ (가)에서 우리나라에 위치한 저기압(A)이 (나)에서는 (가)보다 동쪽으로 이동한 위치에 나타나므로 관측 시기는 (가)가 (나)보다 먼저이다.
 - ㉡ (다)는 (가)로부터 12시간 후의 위성 영상이므로 관측 시기가 3월 2일 오전 3시이다. 오전 3시에 구름의 모습을 관측할 수 있으므로 적외 영상이다.
 - ㉢ (가)에서 A는 우리나라에 위치하다가 동해상으로 이동하기 때문에 (가)와 (나)를 통해 A가 저기압임을 확인할 수 있다. 뿐만

아니라, (다)의 동해상에서 A가 많은 구름을 만들어내고 있음을 확인할 수 있기 때문에 위성 영상 분석을 통해서도 A가 저기압임을 확인할 수 있다.

03 온대 저기압과 폐색 전선

온대 저기압이 형성된 후 이동 속도가 빠른 한랭 전선이 상대적으로 이동 속도가 느린 온난 전선을 따라잡으면 폐색 전선이 형성되기 시작한다. 폐색 전선이 형성되기 시작할 때 저기압 중심부의 넓은 영역에 구름이 형성된다.

- ㉠. ㉠ 과정에서 폐색 전선이 형성되어 발달한다. 이때 저기압 중심부에서는 한랭 전선과 온난 전선이 겹쳐져 많은 양의 구름이 넓은 영역에 형성된다.
- ㉡. A 영역은 한랭 전선의 후면에 위치한 곳으로 가시 영상에서 밝은색을 띠는 것으로 보아 두꺼운 적운형의 구름이 형성되었음을 확인할 수 있다. 따라서 구름의 최상부에서 방출되는 적외 복사선의 세기는 지표면에서 방출되는 적외 복사의 세기보다 약하다.
- ㉢. 폐색 전선이 만들어진 이유는 온대 저기압에서 한랭 전선의 이동 속도가 온난 전선의 이동 속도보다 빠르기 때문이다.

04 온대 저기압의 이동

온대 저기압이 이동하는 동안 한랭 전선이 통과한 지역은 풍향이 남서풍에서 북서풍으로 변하고, 온난 전선이 통과한 지역은 풍향이 남동풍에서 남서풍으로 변한다.

- ㉠. A 지역에서는 6시경에 풍향 변화가 남서풍에서 북서풍으로 나타났기 때문에 이 무렵에 한랭 전선이 통과하였다. B 지역에서는 풍향 변화가 18시경에 남동풍에서 남서풍으로 나타났기 때문에 이 무렵에 온난 전선이 통과하였다. 따라서 A 지역은 B 지역보다 서쪽에 위치한다.
- ㉡. A 지역은 6시경에 한랭 전선이 통과했고, B 지역은 18시경에 온난 전선이 통과했다.
- ㉢. 20시경에 A 지역은 찬 기단의 영향을 받지만, B 지역은 따뜻한 기단의 영향을 받는다.

05 한랭 전선과 온난 전선

북반구에서 형성된 온대 저기압은 저기압 중심의 남서쪽에 한랭 전선이, 남동쪽에 온난 전선이 위치한다. 한랭 전선의 후면에서는 좁은 영역에 적운형 구름이 발달하고, 온난 전선의 전면에서는 넓은 영역에 층운형 구름이 발달한다.

- ㉡. 온대 저기압에서 구름은 전선면 부근과 저기압의 중심에서 주로 발달하며 전선으로부터의 거리와 전선면의 기울기에 따라 구름의 형태와 두께가 달라진다. A 지점은 한랭 전선으로부터의 거리가 멀고, 상공에서는 전선면이 거의 수평적으로 나타나기 때문에 두꺼운 구름이 형성되기 어렵다. B 지점은 한랭 전선으로부터

의 거리가 가깝고, 전선면이 수직적으로 발달하기 때문에 전선면 부근에서 두꺼운 적운형의 구름이 형성되기 쉽다.

- ㉢. 한랭 전선의 후면 가까이에 위치하여 적운형 구름이 발달하는 B 지점은 온난 전선으로부터의 거리가 멀고 층운형 구름이 발달하는 C 지점에 비해 시간당 강수량이 많다.
- ㉣. 단면상에서 전선면이 나타나고 있으며 한랭 전선이 왼쪽에, 온난 전선이 오른쪽에 위치한 것으로 보아 (나)는 Y-Y'의 단면에 해당한다.

구분		한랭 전선	온난 전선
전선면의 기울기		급하다	완만하다
구름과 강수 형태		적운형, 소나기	층운형, 지속적인 비
구름과 강수 구역		전선 후면의 좁은 구역	전선 전면의 넓은 구역
전선의 이동 속도		빠르다	느리다
통과 전후의 변화	기온	하강	상승
	기압	상승	하강
	바람(북반구)	남서풍 → 북서풍	남동풍 → 남서풍

06 전선과 날씨

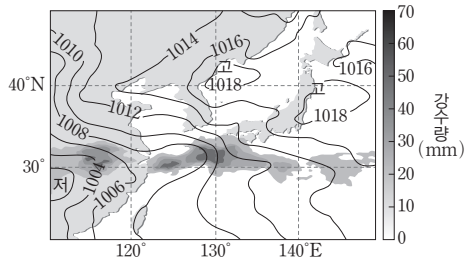
온대 저기압이 이동함에 따라 온난 전선이 통과한 지역은 기온이 높아지고 대체로 기압이 낮아지며, 한랭 전선이 통과한 지역은 기온이 낮아지고 대체로 기압이 높아지는 경향이 있다.

- ㉠. $T_1 \rightarrow T_2 \rightarrow T_3$ 순서로 지표면의 기온이 내려가고 있으므로 이 지역은 관측 기간 동안 한랭 전선이 통과하였다.
- ㉡. 높이에 따른 기온 변화는 T_1 시기가 T_2 시기보다 크다.
- ㉢. 관측소에 관측 기간 동안 한랭 전선이 통과하였으므로 전선을 통과한 시점 이후부터는 저기압의 중심과 멀어짐에 따라 지상의 평균 기압은 대체로 높아진다.

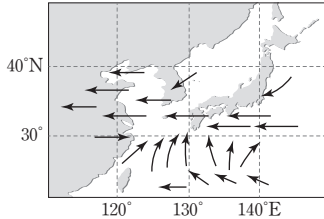
07 장마 전선

우리나라 부근에서 장마 전선은 주로 초여름에 전선을 기준으로 북쪽에 위치한 찬 기단의 고기압과 남쪽에 위치한 따뜻한 기단의 고기압이 만나는 경계 부근에서 형성된다. 고기압의 세력이 유지되는 기간 동안 전선은 비교적 오랫동안 머무르게 된다.

- ㉡. A는 장마 전선을 만든 북쪽 기단의 고기압으로 정체성 고기압이다.
- ㉢. 기압 분포를 볼 때 ㉠을 기준으로 대체로 동쪽보다 서쪽의 기압이 낮기 때문에 ㉠에서 바람은 동풍 계열의 바람이 분다.
- ㉣. 12시간 누적 강수량을 볼 때 ㉡에는 두꺼운 적운형 구름이 상대적으로 ㉢보다 더 많이 발달했음을 알 수 있다. 따라서 공기의 상승 운동은 대체로 ㉢보다 ㉠에서 강했을 것이다.



지상 일기도와 12시간 누적 강수량



정마 전선 주변의 지상에서 부는 바람(모식도)

08 저기압과 날씨 변화

온대 저기압이 통과한 지역은 전선이 통과하는 과정에서 기온의 급격한 변화가 뚜렷하게 나타나지만 열대 저기압이 통과한 지역은 전선의 영향을 받지 않기 때문에 기온의 급격한 변화가 뚜렷하게 나타나지 않는다. 그림에서 점선(---)은 기온 변화률, 실선(—)은 기압 변화를, 점(●)은 풍향 변화를 나타낸다.

㉠ (나)에서 온난 전선과 한랭 전선이 관측소를 차례로 통과할 때, 풍향이 남동풍에서 남서풍으로, 남서풍에서 북서풍으로 변하는 것으로 보아 관측소의 위치는 북반구임을 알 수 있다.

㉡ (나)에서는 온난 전선이 통과한 후 기온이 상승하고, 한랭 전선이 통과한 후 기온이 하강하는 변화가 뚜렷한 반면에 (가)에서는 기온의 변화가 뚜렷하지 않다. 따라서 (가)는 열대 저기압, (나)는 온대 저기압이 통과할 때 관측한 결과이다.

㉢ (나)에서 풍향이 남동풍 → 남서풍 → 북서풍으로 시계 방향으로 변하기 때문에 관측소는 저기압 중심이 이동하는 경로에 대해 오른쪽(또는 남쪽)에 위치한다.

09 열대 저기압과 온대 저기압

열대 저기압은 일기도상에서 등압선이 원형으로 나타나며 등압선 간격이 좁지만, 온대 저기압은 일기도상에서 등압선이 일그러진 타원형으로 나타나며 등압선 간격이 대체로 열대 저기압보다 넓다.

㉣ (나)에서 강수량 분포가 원형에서 한 방향으로 늘어진 모습으로 나타나며 저기압의 중심에는 강수량이 거의 없는 것으로 보아 태풍에 의한 강수량 분포임을 알 수 있다.

㉤ B는 태풍이며, 태풍의 에너지원은 수증기가 응결하면서 방출

하는 잠열(숨은열, 응결열)이다.

㉥ A는 온대 저기압, B는 태풍이다. 열대 저기압인 태풍은 열대 해상에서 형성되고 전선을 동반하지 않는 저기압이기 때문에, 전선을 동반한 온대 저기압의 중심 기압이 낮아진다고 해도 태풍과 같은 저기압으로 발달할 수 없다.

10 태풍의 구조

북반구에서 태풍은 지상에서는 바람이 시계 반대 방향으로 회전하며 불어 들어가고, 상공에서는 바람이 시계 방향으로 회전하며 불어 나간다. 또한 태풍의 이동 경로에 대해 오른쪽에 위치한 위험 반원에서 풍속이 대체로 크게 측정된다.

㉦ (가)에서 태풍의 풍속 분포를 볼 때 상대적으로 남동쪽이 북서쪽에 비해 풍속이 크게 나타나므로 태풍의 이동 방향은 북동쪽이다.

㉧ A는 태풍의 풍속이 0에 가까운 태풍의 중심(태풍의 눈)에 위치한다. 기압 효과만을 고려할 때 기압이 낮은 곳에서 해수면의 높이가 높으므로 해수면 높이는 A가 B보다 높다.

㉨ 지상에서 시계 반대 방향으로 회전하며 저기압 중심으로 모여든 공기는 상공에서 시계 방향으로 회전하며 주변으로 불어 나간다.

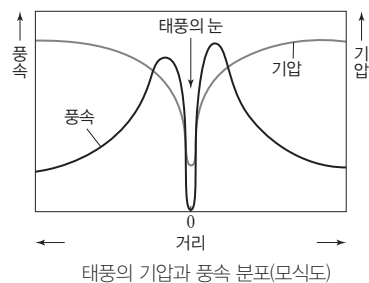
11 태풍의 이동

태풍이 이동할 때 태풍의 안전 반원에 위치한 관측소에서는 풍향 변화가 시계 반대 방향으로 나타나며 위험 반원에 위치한 관측소에서는 풍향 변화가 시계 방향으로 나타난다.

㉩ (가)에서 관측소는 안전 반원에 위치하므로 태풍이 지나가는 동안 풍향 변화는 시계 반대 방향으로 나타난다.

㉪ 1일 간격으로 측정된 태풍의 위치를 비교하면 태풍이 20°N ~ 30°N을 통과하는 동안 평균 이동 속도는 (가)가 (나)보다 빨랐다.

㉫ 태풍의 중심이 통과하지 않은 지역은 관측소에서 관측된 기압이 최소일 때 태풍 중심과의 거리가 최소가 되며, 이때 풍속이 최대로 나타날 수 있다. 하지만 태풍의 중심이 통과한 지역은 관측소에서 관측된 기압이 최소일 때 태풍의 중심에 위치하므로 풍속이 최대가 될 수 없다. 따라서 (나)의 관측소에서는 관측된 기압이 최소일 때 풍속이 최대가 될 수는 없다.



12 안전 반원과 위험 반원

태풍의 이동 경로상 오른쪽에 위치한 지역에서는 태풍의 이동 속도가 관측소에서 관측되는 풍속을 더 빠르게 하는 데 기여하고, 왼쪽에 위치한 지역에서는 태풍의 이동 속도가 관측소에서 관측되는 풍속을 더 느리게 하는 데 기여한다.

✕. (나)에서 태풍의 중심부를 향해 바람이 시계 반대 방향으로 회전하며 불어 들어가고 있고, 위험 반원이 태풍의 북동쪽에 형성되는 것으로 보아 태풍은 북반구에서 북서쪽으로 이동하고 있다.

✕. 태풍의 풍속이 태풍의 중심에 대해 북동쪽에서 더 크게 나타나고, 남서쪽에 더 작게 나타나므로 태풍은 북서쪽으로 이동하고 있으며 이동 방향을 경계로 안전 반원과 위험 반원이 구분된다.

㉠. (가)에서 구름은 태풍의 눈을 중심으로 남동쪽이 북서쪽보다 넓게 분포한다.



13 태풍의 이동

우리나라에 영향을 주는 태풍의 이동 경로는 대체로 포물선 궤도로 나타난다. 태풍이 북상하는 과정에서 수온이 낮은 해역을 통과하거나 육지에 상륙하면 수증기의 공급이 줄어들면서 세력이 약해진다.

㉠. 태풍의 중심이 이동한 경로에 대해 제주도는 왼쪽에 위치하므로 안전 반원에 속해 있었다.

✕. 태풍 중심에서 하강 기류가 강하게 나타날수록 태풍의 눈이 뚜렷하게 관측된다. (가)는 (다)보다 태풍의 눈이 뚜렷하게 관측되므로 태풍 중심에서의 하강 기류는 (가)가 (다)보다 강하다.

㉠. (나)에서 A 지역은 구름이 존재하지 않는 지역으로 고기압이 위치한다. 태풍이 A 지역 고기압의 가장자리를 따라 이동하는 것으로 보아 A 지역에는 정체성 고기압이 위치한다.

14 폭풍 해일

태풍은 강한 저기압으로 태풍이 지나가는 해역은 공기가 해수면을 누르는 힘이 약해 해수면의 높이가 평상시보다 높아진다.

✕. (나)에서 A 해역의 해수면 높이는 평상시 변화 경향에 비해 D₃일 0시 직전에 급격히 높아졌으므로 이 시기에 태풍의 중심이 A 해역을 통과했다고 할 수 있다.

㉠. 태풍이 A 해역을 지나 B 해역까지 이동하는 데 걸린 시간이 약 12시간이라고 하였으므로 D₃일 12시에는 태풍의 중심이 B 해

역 부근에 위치한다. D₃일 12시 이후 태풍은 B 해역을 벗어나 멀어질 것이기 때문에 B 해역의 해면 기압은 D₃일 12시 이후 점차 높아질 것이다.

㉠. 태풍이 통과한 해역은 바람에 의한 해수의 혼합과 용승이 활발하게 일어난다. 따라서 바람 효과만을 고려할 때 태풍이 통과한 해역의 표층 수온은 태풍 통과 후가 태풍 통과 전에 비해 낮아진다.

15 우리나라의 주요 약기상

(가)는 뇌우, (나)는 우박, (다)는 집중 호우이다. 세 현상 모두 대기가 불안정하고 상승 기류가 강할 때 발생하며 예측이 어렵다.

✕. 우리나라에서 뇌우는 한여름에 발생 빈도가 높지만, 우박은 한여름에는 쉽게 발생하지 않는다.

㉠. 집중 호우는 주로 강한 상승 기류에 의해 형성된 적란운이 한 곳에 정체하여 많은 비를 내리는 현상으로 홍수, 산사태 등을 일으킬 수 있다.

㉠. 뇌우, 우박, 집중 호우 모두 상승 기류가 강할 때 발달하는 적란운에서 발생한다.

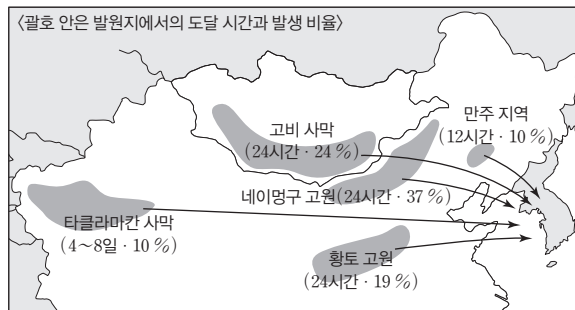
16 황사의 발생과 이동

우리나라에서 관측되는 황사의 발원지는 주로 중국 북부의 사막 지대나 몽골 고원이다. 황사가 발원한 후 평균 24시간 이후에 우리나라에 황사 현상이 나타난다.

✕. 서울의 미세먼지 농도 변화를 볼 때 황사가 관측된 시기는 D₂일 15시 직후로 볼 수 있다. 따라서 황사의 이동 시간을 고려할 때 황사가 발원한 시기는 D₁일 15시경이 된다.

㉠. 황사는 모래 먼지와 미세먼지를 포함하고 있기 때문에 황사가 관측된 시기에 미세먼지 농도는 평상시보다 높게 측정된다.

✕. 우리나라에서 황사가 주로 관측되는 시기는 봄철로 양쯔강 기단이 세력을 확장하는 시기이다.



주요 황사 발원지와 이동 경로 및 이동 시간

17 집중 호우

(가)는 태풍에 의해, (나)는 장마 전선에 의해 발생한 집중 호우의 시간당 강수량 분포이다. 태풍 주변의 강수 구역은 원형 또는 원

형에서 한 방향으로 늘어진 형태로 나타나며, 태풍의 중심부에서는 강수 현상이 잘 나타나지 않는다. 장마 전선 주변의 강수 구역은 장마 전선 주변에 띠 형태로 나타난다.

✕. (가)에서 제주도는 태풍의 중심보다 북쪽에 위치한다. 따라서 제주도 부근은 주로 북풍 계열의 바람이 분다.

○. (나)에서 남부 지방은 장마 전선에 의한 강수 현상이 나타나고 있다. 장마 전선은 여름철에 주로 나타나는 집중 호우 형태이다.

✕. 집중 호우는 적란운에서 발생하는 현상이다. (나)는 장마 전선 주변에서 집중 호우가 발생하기 때문에 시간당 강수량이 많은 곳의 기압이 주변보다 대체로 낮지만, (가)는 태풍으로 시간당 강수량이 가장 많은 곳은 태풍의 눈 주변이기 때문에 시간당 강수량이 가장 많은 곳에서 기압이 가장 낮을 수 없다.

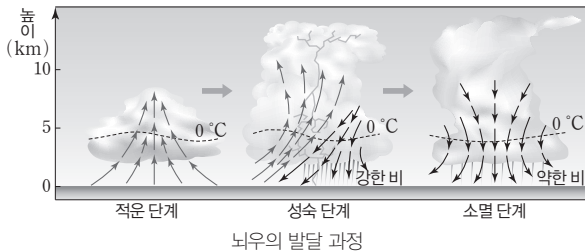
18 뇌우의 발달 단계

뇌우의 발달 단계는 적운 단계, 성숙 단계, 소멸 단계로 구분되며, 이 중 천둥과 번개를 동반하여 강한 비가 내리는 현상은 성숙 단계에서 발생한다.

○. (가)는 적운 단계, (나)는 성숙 단계에 해당한다. 일반적으로 구름의 두께는 성숙 단계에서 최대가 된다.

✕. 성숙 단계에서 집중 호우는 하강 기류와 동반하여 발생한다. 따라서 B 영역에서 주로 발생한다.

✕. 불균등 가열에 의해 발생하는 뇌우 현상은 비교적 규모가 작은 기상 현상으로 예측하기 어렵다.



적운 단계	강한 상승 기류가 발생하여 적운이 급격하게 성장한다. 강수 현상은 거의 나타나지 않는다.
성숙 단계	상승 기류와 하강 기류가 함께 나타나며 천둥, 번개, 소나기, 우박 등의 현상이 동반된다.
소멸 단계	전체적으로 약한 하강 기류만 남게 되어 구름이 사라지면서 뇌우가 소멸된다.

19 다양한 기상 현상

큰물(홍수)은 주로 집중 호우에 의해 발생하고, 안개는 대기가 매우 안정한 상태일 때 잘 발생한다. 강풍은 주로 겨울철에 발생하지만 태풍과 같은 강한 저기압의 영향을 받을 때도 나타날 수 있다.

○. 큰물(홍수)은 집중 호우가 발생한 지역에서 주로 나타난다.

○. 안개는 대기가 안정한 상태에서 연직 운동이 활발하지 않을 때 발생할 수 있다.

○. 기록에 나타난 폭풍은 나무를 부러뜨리고 기와를 날려 보냈다는 내용으로 보아 강한 바람을 설명한 것으로 해석할 수 있다.

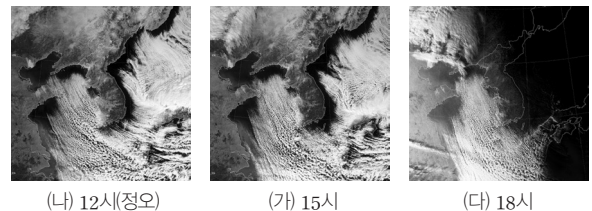
20 겨울철 폭설

우리나라 겨울철 폭설은 주로 시베리아 기단의 변질로 인해 발생한다. 북서쪽에서 이동해 온 찬 기단이 따뜻한 황해를 지나면서 대기가 불안정해지고 상승 기류가 활발해지면서 두꺼운 눈구름이 형성된다. 이 눈구름의 영향으로 주로 서해안 지역에 폭설이 내린다.

○. A 지점은 가시 영상 (가)에서는 밝게 보이지만 가시 영상 (나)에서는 어둡게 보인다. 가시 영상에서 밝게 보일수록 구름이 두껍게 분포한다. 따라서 A에서 구름의 두께는 (가)가 (나)보다 두껍다.

✕. 겨울철에는 우리나라 북서쪽에 위치한 시베리아 기단의 발달로 인해 북서쪽에 강한 고기압이 자리잡기 때문에 황해상에서 대체로 북서풍의 계절풍이 분다.

○. (다)에서 우리나라의 동쪽 지역이 모두 어둡게 나타난 이유는 태양 빛의 반사광이 관측되지 않았기 때문이다. (다)는 관측 시각이 해가 진 이후 저녁 때임을 의미한다. 따라서 (다)의 관측 시각은 18시이고, (가)와 (나)에 비해 촬영 시각이 늦다. 참고로 문제에 주어진 가시 영상의 촬영 순서는 다음과 같다.



(가) 12시(정오)

(나) 15시

(다) 18시

06 해양의 변화

2점 수능 테스트

본문 108~111쪽

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

01 해양의 층상 구조

혼합층은 깊이에 따라 수온이 일정한 층으로, 바람이 강한 시기에 두껍게 형성된다. 수온 약층은 깊이가 깊어질수록 수온이 급격히 낮아지는 층으로, 표층 수온이 높을수록 뚜렷하게 나타난다.

- ㉠. 혼합층의 두께가 8월보다 11월에 더 두꺼운 것으로 보아 이 해역에서 바람의 평균 풍속은 8월보다 11월에 더 크다.
 ㉡. 심해층의 수온은 계절에 따라 큰 차이가 없으므로, 수온 약층은 표층 수온이 높을수록 뚜렷하게 나타난다.
 ✕. 표층 용존 산소량은 수온이 낮을수록 많다. 따라서 수온만을 고려할 때, 표층 용존 산소량은 수온이 가장 낮은 2월에 가장 많다.

02 북반구 해양의 표층 수온 분포

전 세계 해양의 표층 수온은 태양 복사 에너지의 영향을 가장 크게 받는다. 따라서 해양의 표층에서 등수온선은 대체로 위도에 나란하다. 그러나 대륙과 해양의 분포와 해류의 영향 등으로 등수온선이 위도에 나란하지 않은 해역도 나타난다.

- ㉠. 동일한 위도에서 난류가 흐르는 해역은 한류가 흐르는 해역보다 표층 수온이 높다. 30°N 부근에서 대양의 서쪽에는 난류가, 대양의 동쪽에는 한류가 흐르므로 30°N 부근에서 표층 수온은 대양의 서쪽이 동쪽보다 대체로 높다.
 ㉡. 그림을 보면 등수온선은 A 해역이 B 해역보다 조밀하다. 이는 A 해역에는 난류와 한류가 만나고 있어서 위도에 따른 표층 수온 변화가 크게 나타나기 때문이다.
 ㉢. 동일한 위도에서 표층 용존 산소량은 한류가 흐르는 해역이 난류가 흐르는 해역보다 많다. 따라서 B 해역과 C 해역은 동일한 위도에 위치하며, B 해역에는 한류가 흐르고, C 해역에는 난류가 흐르고 있으므로, 표층 용존 산소량은 B 해역이 C 해역보다 많다.

03 해수의 염분 분포

이 해역의 표층 염분은 봄(5월)이 가을(11월)보다 대체로 높다.

- ㉠. 그림을 보면 표층 염분은 5월이 11월보다 높다.
 ㉡. 그림을 보면 수심 0~100 m 구간에서 5월에는 깊이가 깊어

질수록 염분이 감소한다.

- ✕. 5월과 11월의 염분 차는 표층에서는 약 1 psu이지만, 수심 0~100 m 구간에서는 깊이가 깊어질수록 염분이 5월에는 감소하고, 11월에는 증가하여 수심 약 100 m보다 깊은 깊이에서는 5월과 11월의 염분이 거의 같아진다. 따라서 같은 수심에서 5월과 11월의 염분 차는 깊이가 깊어질수록 작아지다가 거의 없어진다.

04 표층 염분

육지에서 담수가 흘러들어오는 연안은 주변 해역보다 표층 염분이 낮다. 해수의 밀도는 수온이 낮을수록, 염분이 높을수록 크다.

- ✕. 그림을 보면 A 해역은 B 해역보다 표층 염분이 낮다. 따라서 표층 해수 1 kg 속에 녹아 있는 염류의 총량은 A 해역이 B 해역보다 적다.
 ✕. 수온이 같은 해역에서 표층 해수의 밀도는 염분이 낮을수록 작다. 따라서 상대적으로 표층 염분이 낮은 A 해역이 표층 염분이 높은 B 해역보다 표층 해수의 밀도가 작다.
 ㉠. 육지로부터 담수 유입량이 많은 해역은 주변 해역보다 염분이 낮다. 따라서 상대적으로 표층 염분이 낮은 A 해역이 표층 염분이 높은 B 해역보다 육지로부터의 담수 유입량이 많다.

05 월별 연직 수온 분포

혼합층은 깊이에 따라 수온이 일정한 층이고, 수온 약층은 수심이 깊어질수록 수온이 급격히 낮아지는 층이다.

- ✕. 표층에서 수온의 연교차는 약 8 °C이고, 수심 60 m에서는 약 2.5 °C이다. 따라서 수온의 연교차는 표층이 수심 60 m보다 크다.
 ㉡. 깊이에 따라 수온이 일정한 혼합층의 평균 두께는 여름철(6월~8월)보다 겨울철(12월~2월)이 두껍다.
 ✕. 수심 40 m에서 수온의 변화는 4월~5월에는 1 °C 이상이고, 7월~8월에는 1 °C 미만이다. 따라서 수심 40 m에서 수온의 변화 폭은 4월과 5월 사이가 7월과 8월 사이보다 크다.

06 우리나라 주변 해역의 표층 수온 분포

우리나라 주변 해역의 표층 수온은 8월이 2월보다 높다. 남북 간의 표층 수온 차는 2월이 8월보다 크고, 동해가 황해보다 크다.

- ㉠. 우리나라 주변 해역의 평균 표층 수온이 더 높은 (가)가 8월에 관측한 자료이다.
 ✕. 위도에 따른 수온 변화는 등수온선이 더 조밀한 B 해역이 A 해역보다 크다.
 ✕. 2월에 황해의 평균 표층 수온이 동해보다 낮은 이유는 평균 수심이 얕고 대륙 및 바람의 영향을 많이 받기 때문이다. 황해는 한류의 영향을 비교적 적게 받는다. 또한 동해는 동한 난류의 영향으로 겨울철 수온이 비교적 높다.

07 해수의 수온과 염분 분포

우리나라 동해에서 표층 해수의 수온은 8월이 2월보다 높으며, 표층 해수의 염분은 2월이 8월보다 높다.

✗. A는 표층 수온이 낮고 표층 염분은 높은 것으로 보아 2월의 자료이다.

○. 수온 약층이 시작되는 깊이는 깊이가 깊어질수록 수온이 일정하다가 수온이 낮아지기 시작하는 깊이이므로, 혼합층의 두께가 두꺼울수록 수온 약층이 시작되는 깊이는 깊게 나타난다. 따라서 수온 약층이 시작되는 깊이는 혼합층이 더 두꺼운 A가 B보다 깊다.

✗. 8월에 수심 0~100 m 구간에서 깊이가 깊어질수록 수온은 낮아지고, 염분은 높아진다. 따라서 이 구간에서 깊이가 깊어질수록 해수의 밀도는 증가한다.

08 해수의 용존 기체량

용존 산소량은 광합성과 대기로부터의 산소 공급으로 인해 표층에서 가장 많고, 용존 이산화 탄소량은 광합성 때문에 표층에서 가장 적다.

✗. A, B 해역 모두 표층에서 용존 기체량이 가장 많고, 깊이에 따라 용존 기체량이 감소하다가 해역마다 다소 차이는 보이지만 수심 약 1000 m보다 깊은 곳에서는 수심이 깊어질수록 용존 기체량이 어느 정도 증가하는 모습을 보인다. 이러한 특징을 보이는 용존 기체는 산소이다.

○. 표층 염분이 같은 해역에서 표층 용존 기체량은 표층 수온이 낮을수록 많다. A와 B 두 해역 중에서 표층 용존 기체량은 A 해역이 B 해역보다 적으므로, 표층 수온은 A 해역이 B 해역보다 높다.

○. A 해역에서 용존 산소의 농도는 표층이 수심 500 m보다 높게 나타난다. 그 이유는 표층에서 해양 생물에 의한 광합성과 대기로부터의 산소 공급 때문이다.

09 대기 대순환

위도에 따른 에너지 불균형으로 일어나는 대기 대순환은 지구 자전에 의한 전향력의 영향으로 각 반구에 3개의 순환 세포를 형성한다. A는 극순환, B는 해들리 순환, C는 페렐 순환이다. 표층 해류는 바람에 의해 형성되므로, 표층 해류의 방향은 대기 대순환의 영향을 받는다.

○. 극순환(A)은 지표 부근에 극동풍을, 해들리 순환(B)은 지표 부근에 동풍 계열의 무역풍을 형성한다.

○. 위도 60°N 부근의 지표에서는 극순환(A)의 지표 부근 바람인 극동풍과 페렐 순환(C)의 지표 부근 바람인 편서풍이 만나고, 위도 30°N 부근의 지표에서는 해들리 순환(B)과 페렐 순환(C)의 하강하는 공기에 의해 형성된 지표 부근 바람인 무역풍과 편서풍

이 서로 반대 방향으로 분다. 따라서 지표 부근에서 남북 간의 기온 차는 서로 다른 위도에서 이동해 오는 공기가 만나는 지역이 동일한 위도에서 서로 다른 위도로 이동해 가는 공기가 있는 지역보다 크다.

○. 대기 대순환으로 지표 부근에 바람이 일정하게 계속해서 불면 표층의 해수는 일정한 방향으로 흐르는 해류를 형성한다. 페렐 순환(C)에 의해 30°N~60°N의 지표 부근에서 부는 바람은 편서풍이다. 편서풍은 30°N~60°N의 해역에서 서쪽에서 동쪽으로 흐르는 북태평양 해류의 형성에 영향을 준다.

10 태평양의 주요 표층 해류

A, B, C, D 해역에 흐르는 해류는 각각 쿠로시오 해류, 캘리포니아 해류, 남적도 해류, 남극 순환 해류이다. A 해역에는 난류가, B 해역에는 한류가 흐른다.

○. 동일한 위도에서 표층 염분은 난류가 한류보다 높으므로, 난류가 흐르는 A가 한류가 흐르는 B보다 높다.

○. 표층 용존 산소량은 수온이 가장 낮은 D가 가장 많다.

○. A에 흐르는 해류(쿠로시오 해류)는 북적도 해류가 동쪽에서 서쪽으로 흐르다가 유라시아 대륙에 부딪혀 북쪽으로 흐르면서 형성되고, B에 흐르는 해류(캘리포니아 해류)는 북태평양 해류가 서쪽에서 동쪽으로 흐르다가 북아메리카 대륙에 부딪혀 남쪽으로 흐르면서 형성된다. C와 D에 흐르는 해류는 각각 대기 대순환에 의한 지표 바람인 무역풍과 편서풍에 의해 형성된다.

11 북대서양의 주요 표층 해류

북대서양 아열대 표층 순환은 북적도 해류, 멕시코 만류, 북대서양 해류, 카나리아 해류로 이루어져 있으며, 시계 방향으로 순환한다. A는 멕시코 만류, B는 북대서양 해류, C는 카나리아 해류이다.

✗. 동일 위도에서 표층 해류의 평균 용존 산소량은 한류(C)가 난류(A)보다 많다.

○. B는 북대서양 해류로 북대서양 아열대 표층 순환의 일부를 형성한다.

○. 해역 ①은 저위도에서 고위도로 흐르는 난류와 고위도에서 저위도로 흐르는 한류가 만나는 곳이다. 해역 ②은 해류 B에서 일부는 고위도로, 일부는 저위도로 나뉘어져 흐르는 곳이다. 따라서 해역 ①은 해역 ②보다 영양염, 식물성 플랑크톤, 용존 산소량이 풍부하다.

12 우리나라 주변의 표층 해류

우리나라 주변 난류의 근원은 쿠로시오 해류이다. 쿠로시오 해류의 지류가 동중국해에서 갈라져 나와 북상하여 황해 난류, 대마 난류(쓰시마 난류), 동한 난류를 형성한다.

- ㉠ 우리나라 난류의 근원은 쿠로시오 해류(㉠)이다.
 ✕. 동한 난류(㉡)는 대한 해협에서 대마 난류로부터 갈라져 나와 동해안을 따라 북상하여 북한 한류와 만나 조정 수역을 형성한 후 동진하여 대마 난류와 다시 합류한다. 동한 난류는 겨울철보다 여름철에 더 북상한다.
 ✕. 난류는 영양염과 용존 산소량이 적어 식물성 플랑크톤이 적고, 한류는 영양염과 용존 산소량이 많아 식물성 플랑크톤이 많다. 따라서 위도 40°N 해역에서 동한 난류(㉡)가 북한 한류(㉢)보다 식물성 플랑크톤이 적다.

13 북대서양 표층 해류

- 표층 해류는 저위도의 에너지를 고위도로 수송하는 역할을 하며, 전 세계의 기후와 해양 환경에 영향을 미친다.
 ㉠. 해류 A는 멕시코 만류와 북대서양 해류가 연결되어 있는 해류로, 저위도에서 고위도로 흐르기 때문에 난류이다.
 ✕. B는 그린란드 서쪽 해안을 따라 고위도에서 저위도로 흐르는 한류인 래브라도 해류이다. 북대서양 아열대 표층 순환을 형성하는 해류에는 북적도 해류, 멕시코 만류, 북대서양 해류, 카나리아 해류가 있다. 따라서 B는 북대서양 아열대 표층 순환을 형성하는 해류 중 하나가 아니다.
 ㉡. 난류가 흐르는 지역은 따뜻한 난류의 영향을 받아 겨울철 평균 기온이 동일 위도의 다른 지역에 비해 높은 편이다. 동일 위도에 있는 두 지역 ㉠과 ㉡의 1월 평균 기온을 비교해 보면, 난류인 해류 A가 흐르면서 공급해 주는 열에너지를 많이 받는 지역 ㉡이 그렇지 않은 지역 ㉠보다 1월 평균 기온이 높다.

14 심층 순환

- 심층 순환 모형에서는 극 해역의 냉각된 해수가 밀도가 커져 침강하고, 침강한 해수는 저위도로 이동하여 온대나 열대 해역에 걸쳐 매우 천천히 상승하고 표층을 따라 다시 극 쪽으로 이동한다.
 ✕. 심층 순환 모형에서 해역 A에서는 해수의 상승이, 해역 B에서는 해수의 침강이 일어나고 있으므로 해수의 평균 밀도는 해역 A가 해역 B보다 작다.
 ㉢. 해수가 표층에서 침강한 뒤 심층 순환을 거쳐 다시 처음의 표층으로 되돌아오는 데는 수백 년에서 천 년에 가까운 오랜 시간이 걸린다. 따라서 해수의 심층 순환은 표층 순환에 비해 해수의 이동 속도가 매우 느리다. 해류 ㉠은 표층 순환을 형성하는 해류이고, 해류 ㉡은 심층 순환을 형성하는 해류이므로, 해류의 평균 유속은 표층 순환을 형성하는 해류인 ㉠이 심층 순환을 형성하는 해류인 ㉡보다 빠르다.
 ㉣. 해수의 심층 순환은 해수의 밀도 차에 의해 일어나는 순환이다.

15 대서양의 심층 순환

- A는 남극 중층수, B는 북대서양 심층수, C는 남극 저층수이다.
 ㉠. A는 60°S 부근에서 형성되어 수심 1 km 부근을 따라 이동하는 것으로 보아 남극 중층수이다.
 ㉡. 심층 순환을 이루는 해류는 물의 밀도 차에 기인하기 때문에 밀도가 큰 해수일수록 깊은 곳에서 흐르게 된다. 따라서 북대서양 심층수(B)는 남극 저층수(C)보다 위쪽에 위치하는 것으로 보아, 해수의 평균 밀도는 B가 C보다 작다.
 ㉢. 심층 순환은 용존 산소량이 많은 표층의 찬 해수가 가라앉으면서 심해에 산소를 공급하는 역할을 한다.

16 전 세계 해수의 순환

- 해수의 심층 순환과 표층 순환은 서로 연결되어 전체 해양에서 큰 순환을 이루고 있다. A는 침강 해역에서 침강이 일어나는 것으로 보아 표층 순환이고, B는 침강한 해류가 흐르고 있는 것으로 보아 심층 순환이다.
 ✕. A는 표층 순환이고 B는 심층 순환이므로, 해수가 이동하는 평균 깊이는 A가 B보다 얕다.
 ㉢. 해수의 심층 순환은 표층 순환에 비해 해수의 평균 유속이 매우 느리다. 따라서 해수의 평균 유속은 표층 순환인 A가 심층 순환인 B보다 빠르다.
 ✕. 침강 해역에 담수가 유입되면 해수의 염분이 낮아지고, 그 결과 해수의 밀도가 작아져서 해수의 침강은 약해질 것이다.

3점 수능 테스트

본문 112~119쪽

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

01 위도에 따른 표층 염분과 수온의 분포

표층 염분은 증발량이 강수량보다 많은 중위도 고압대의 해양에서 대체로 높다. 한편, 표층 수온은 저위도에서 고위도로 갈수록 대체로 낮아진다.

✗. 표층 수온은 적도 해역에서 가장 높고, 표층 염분은 중위도 고압대의 해양에서 가장 높다. 따라서 표층 염분은 표층 수온이 가장 높은 위도에서 가장 높은 것은 아니다.

○. 표층 염분은 대체로 (증발량-강수량) 값이 클수록 높다. 따라서 (증발량-강수량) 값은 표층 염분이 높은 위도 30° 해역이 적도 해역보다 크다.

✗. 고위도 지역은 증발량이 적고 빙하가 용해되어 표층 염분이 낮다. 그러나 해수의 결빙이 일어나는 해역에서는 표층 염분이 높게 나타난다.

02 월별 연직 수온 분포

월별 수심에 따른 수온 분포 그래프에서 수심별 수온 그래프가 거의 겹치는 곳은 깊이에 따라 수온이 일정한 혼합층을 의미한다.

✗. 표층 해수의 수온 분포에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 태양 복사 에너지로, 표층 수온은 저위도에서 고위도로 갈수록 대체로 낮아진다. 표층 해수의 최고 수온이 (가)가 (나)보다 더 높으므로 보아 (가)의 분포를 보이는 해역의 위도가 (나)의 분포를 보이는 해역의 위도보다 더 낮다.

○. 그림에서 수심별 수온 그래프가 거의 겹치는 곳이 깊이에 따라 수온이 일정한 혼합층이므로, 겨울철 혼합층의 두께는 (나)의 분포를 보이는 해역보다 (가)의 분포를 보이는 해역에서 더 두껍다.

✗. 표층 염분이 같을 경우, 표층 용존 산소량은 수온이 낮을수록 더 많다. 따라서 연평균 표층 용존 산소량은 연평균 표층 수온이 높은 (가)의 분포를 보이는 해역보다 연평균 표층 수온이 낮은 (나)의 분포를 보이는 해역에서 더 많다.

03 연평균 혼합층의 두께 분포

혼합층은 태양 복사 에너지에 의한 가열로 수온이 높고, 바람의 혼합 작용으로 인해 깊이에 따라 수온이 거의 일정한 층이다. 혼합층의 두께는 대체로 바람이 강한 해역에서 두껍고, 같은 해역에서는 바람이 강한 시기에 더 두껍다.

○. 우리나라 동해의 A, B, C 해역 중에서 연평균 혼합층 두께가

가장 두꺼운 해역은 A이다. 혼합층의 두께는 대체로 바람이 강한 해역에서 두껍게 나타나므로, 바람의 평균 풍속이 가장 빠른 해역은 A이다.

✗. 그림에서 해역 B의 연평균 혼합층 두께는 약 20~30 m이다. 그런데 여름철은 혼합층의 두께가 연평균보다 얇은 계절이므로 여름철에 B의 평균 혼합층 두께는 40 m보다 두꺼울 수 없다.

✗. 혼합층은 바람의 혼합 작용으로 형성되므로, 연평균 혼합층의 두께가 두꺼운 해역일수록 표층 해수의 연직 혼합이 대체로 활발하다고 해석할 수 있다. 따라서 표층 해수의 연직 혼합은 혼합층의 두께가 더 두꺼운 해역 C가 혼합층의 두께가 덜 두꺼운 해역 B보다 대체로 활발하다.

04 동해와 남해의 연직 수온 분포

우리나라 겨울철 남해는 연안에서 멀어질수록 난류의 영향으로 수온이 높아진다. 수온 약층은 혼합층 아래에서 깊이가 깊어질수록 수온이 급격히 낮아지는 층이다.

✗. 그림 (가)에서 관측 지점이 남해에서는 남동쪽 방향으로 위치하고, 동해에서는 동쪽 방향으로 위치한다. 이런 경우 남해의 관측 지점에서는 해안에서 멀어질수록 위도가 낮아져서 위도에 따른 표층 수온 변화가 나타나지만, 동해의 관측 지점에서는 연안에서 멀어져도 위도가 변하지 않아 위도에 따른 표층 수온 변화가 거의 나타나지 않게 된다. 따라서 해안에서 멀어져도 표층 수온 변화가 거의 나타나지 않는 (나)는 동해에서, 해안에서 멀어질수록 표층 수온 변화가 비교적 뚜렷이 나타나는 (다)는 남해에서 측정한 것이다.

○. 수온 약층은 깊이가 깊어질수록 수온이 급격히 낮아지는 층으로 (나)가 (다)보다 뚜렷하다. 즉, 수온 약층은 동해가 남해보다 뚜렷하다.

✗. 남해에서 해안으로부터 먼 바다로 갈수록 대체로 표층 수온이 높아지는 가장 큰 이유는 제주도 남동쪽에서 남해를 거쳐 대한 해협을 통과한 후 동해로 흘러가는 대마 난류 때문이다.

05 수온 염분도

수온 염분도는 해수의 특성을 나타내는 그래프로 해수의 밀도와 수괴의 특성을 알아내는 데 이용된다. 해수의 밀도는 주로 수온이 낮을수록, 염분이 높을수록 커진다.

○. 해수의 평균 깊이는 수온이 가장 높은 A가 가장 얇고, 수온이 가장 낮은 C가 가장 깊다.

○. 수온 염분도에서 왼쪽 위에서 오른쪽 아래로 갈수록 수온은 낮아지고, 염분은 높아지므로 밀도가 커진다. 따라서 해수의 평균 밀도는 수온 염분도에서 가장 오른쪽 아래에 위치한 C가 가장 크다.

✗. 해수의 밀도는 주로 수온과 염분에 의해 결정된다. A와 B의 평균 염분 차와 B와 C의 평균 염분 차가 거의 같음에도 불구하고,

A와 B의 평균 밀도 차가 B와 C의 평균 밀도 차보다 작은 이유는 염분보다 수온의 영향이 더 크기 때문이라고 할 수 있다.

06 일별 연직 수온 분포

위성에서 관측한 표층 수온과 임의의 깊이에서 측정한 수온이 일치할 때, 표층 수온과 일치하는 깊이 중 가장 깊은 깊이가 혼합층의 두께이다.

㉠. 그림에서 P 기간 동안 수온의 평균 변동 폭은 수심 16 m에서 가장 크다.

㉡. 수온 약층에서 수온 변화는 표층 수온이 높을수록 크게 나타
깊이 변화

난다. 따라서 수온 약층에서 수온 변화는 표층 수온이 높은 ㉠ 시
깊이 변화 기가 표층 수온이 낮은 ㉡ 시기보다 크다.

㉢. A 시기에는 표층 수온이 8 m, 16 m, 24 m, 32 m 수온과
모두 일치하고, B 시기에는 표층 수온이 8 m 수온과 일치하므로
혼합층의 두께는 A 시기가 B 시기보다 두껍다.

07 표층 염분 분포

우리나라의 동해에서 표층 염분은 대체로 강수량이 많은 8월에
가장 낮고, 2월에 가장 높다. 따라서 (가)는 8월, (나)는 2월의 염
분 분포이다.

㉠. (가)는 표층 염분이 낮은 것으로 보아 8월의 염분 분포이다.

㉡. 표층 해수의 밀도는 수온이 낮을수록, 염분이 높을수록 크다.
(가) 시기는 8월로, 표층 해수의 염분이 낮고, 표층 수온이 높은
시기이므로 표층 해수의 평균 밀도가 (나) 시기보다 작다.

㉢. 그림에서 보면 수심 10~30 m 구간에서 수심에 따른 염분
변화는 등치선이 덜 조밀한 (나)보다 등치선이 더 조밀한 (가) 시
기에 더 크다.

08 해양의 층상 구조

북반구 중위도 해역에서 깊이에 따른 수온 분포는 혼합층, 수온
약층, 심해층의 층상 구조를 나타낸다.

㉠. ㉠과 ㉡은 수심 0~약 500 m 구간에서 깊이에 따른 변화 경
향이 비슷하지만, 수심 약 500 m보다 깊은 곳에서 ㉠은 깊이가
깊어질수록 값이 거의 일정하지만, ㉡은 깊이가 깊어질수록 값이
증가하는 경향을 보인다. 따라서 ㉠은 수온 분포 곡선이고, ㉡은 염
분 분포 곡선이다.

㉢. 이 해역에서 표층 해수의 수온은 약 16 °C이고, 표층 해수의
염분은 약 34.0 psu이므로 (나)의 수온 염분도에서 표층 해수의
밀도를 구하면 약 1.025 g/cm³이다. 따라서 이 해역에서 표층
해수의 밀도는 1.026 g/cm³보다 작다.

㉣. (나)에서 A와 B는 염분은 같지만 밀도는 다르므로, A와 B의
밀도 차는 염분보다 수온의 영향이 더 크다고 할 수 있다.

09 태평양 아열대 표층 순환

아열대 태평양의 서쪽 해안에서는 저위도에서 고위도로 난류가
흐르고, 동쪽 해안에서는 고위도에서 저위도로 한류가 흐른다. 동
일 위도에서 한류가 흐르는 해역은 난류가 흐르는 해역보다 표층
용존 산소량이 많다.

㉠. A에서는 저위도에서 고위도로 난류가 흐르고, B에서는 고위
도에서 저위도로 한류가 흐른다. 따라서 저위도에서 고위도로 수
송하는 에너지량은 A가 B보다 많다.

㉡. C에서는 남극 순환 해류가 서쪽에서 동쪽으로 대체로 위도에
나란하게 흐른다. 또한 C에서 등수온선은 대체로 위도에 나란하
므로, C에서는 표층 해류가 등수온선과 대체로 나란하게 흐른다.

㉢. D는 동일 위도의 주변 해역보다 표층 수온이 낮으므로, 동일
위도의 주변 해수보다 표층 용존 산소량이 많다.

10 대기 대순환과 표층 순환

표층 해류는 바람에 의해 형성되므로 표층 해류의 방향은 대기 대
순환에 의한 지표 부근 바람의 영향을 받는다. 북적도 해류는 무
역풍에 의해 형성된다.

㉠. A 해역에는 카나리아 해류가 흐르고 있고, 탐험가가 유럽에
서 출발하여 아프리카 서쪽 해안을 따라 항해하는 동안 A 해역에
서는 카나리아 해류를 이용하여 항해했다.

㉡. B 해역과 C 해역은 위도가 같으며, B 해역에서는 난류가 흐
르고 C 해역에서는 한류가 흐른다. 같은 위도에서는 한류가 흐르
는 해역이 난류가 흐르는 해역보다 표층 용존 산소량이 많으므로,
표층 용존 산소량은 C 해역이 B 해역보다 많다.

㉢. D 해역에는 무역풍의 영향으로 형성된 북적도 해류가 흐른다.

11 표층 해류의 역할

멕시코 만류와 연결된 북대서양 해류는 고위도로 흘러 유럽의 서
쪽 지역을 온난하게 하여 영국의 런던은 비슷한 위도에 있는 캐나
다의 퀘벡보다 1월 평균 기온이 더 높다.

㉡. 빙하가 녹은 물은 담수이므로, 담수가 A 해역으로 흘러 들어
가면 A 해역의 표층 염분은 낮아진다.

㉣. 난류가 흐르는 지역의 기온은 따뜻한 해류의 영향으로 1월 평
균 지상 기온이 동일 위도의 다른 지역보다 높은 편이다. 해류 ㉠
은 멕시코 만류와 연결된 북대서양 해류로 B 해역을 흐르는 난류
이다. 따라서 B 해역의 기온이 동일 위도의 다른 지역보다 높은
이유 중 하나는 해류 ㉠의 영향 때문이다.

㉔ A 해역에서 표층 해수의 밀도가 낮아지면, A 해역에서 해수의 침강이 약해지고, 저위도에서 고위도로 수송되는 해류 ㉑의 세기는 약해질 것이다.

12 우리나라 주변의 표층 해류

우리나라 동해에는 난류인 동한 난류와 한류인 북한 한류가 흐른다. 동한 난류는 대한 해협에서 대마 난류로부터 갈라져 나와 동해안을 따라 북상하기도 하고, 독도 주변에 시계 반대 방향의 소용돌이를 형성하기도 한다.

㉑ 표층 뜰개는 해류를 따라 이동하면서 자신의 위치와 수온을 위성에 전송하도록 만들어진 장치이다. 우리나라 동해에는 동해안을 따라 북상하는 동한 난류가 흐르므로, 표층 뜰개의 위치를 선으로 연결해 보면 동한 난류의 흐름을 추정할 수 있다.

㉒ 130°E 부근에서 동한 난류는 (가) 시기에는 40°N 부근까지 북상하지만, (나) 시기에는 38.5°N 부근까지 북상한다. 따라서 130°E 부근에서 동한 난류는 (나) 시기보다 (가) 시기에 더 높은 위도까지 북상하였다.

㉓ (나) 시기에 동한 난류의 일부는 A 해역을 중심으로 시계 반대 방향의 소용돌이를 형성하였다.

13 용존 산소량 분포

해수의 용존 산소량은 일차적으로 기체의 용해도에 영향을 미치는 온도, 대기압 및 염분에 의해 결정된다. 또한 해수의 용존 산소량은 수중 생물의 활동과 해수의 용승 및 침강의 영향을 받는다.

㉑ 해역 A는 해역 B보다 표층 용존 산소량이 적으므로, 표층 수온은 해역 B보다 해역 A에서 높다.

㉒ 해역 C에 담수가 유입되면 염분이 감소하고, 염분이 감소하면 표층 해수의 밀도가 감소하여 해수의 침강이 약해진다. 해수의 침강이 약해지면 저위도에서 고위도로 흐르던 북대서양 해류의 흐름이 약화되어, 북대서양의 저위도의 수온은 높아지고, 고위도의 수온은 낮아져서 북대서양의 남북 간 수온 차는 증가한다.

㉓ 해역 C에서 해수 침강으로 형성된 북대서양 심층수는 수심 약 1500~4000 m에서 60°S까지 이동하면서 전 세계 해양에 걸쳐서 용존 산소가 풍부한 표층 해수를 심해로 운반하여 심해에 산소를 공급해 주는 역할을 한다. 따라서 북대서양으로부터 멀리 떨어져 있는 남대서양의 중위도 해역에서 수심 1500~4000 m 사이의 용존 산소량 증가도 해역 C에서 일어나는 해수의 침강과 관련이 있다.

14 북대서양 표층 순환

북대서양 해류는 아열대 표층 순환의 일부로 멕시코 만류와 연결되어 북쪽으로 흐르는 난류이다. 동그린란드 해류는 그린란드 동쪽 연안에서 남쪽으로 흐르는 한류이다.

㉑ A는 동일 위도에서 표층 수온이 높게 측정되는 것으로 보아 난류인 북대서양 해류에서 나뉘어져 나온 해류의 표층 수온 분포이다.

㉒ 조경 수역은 난류와 한류가 만나는 곳으로 수온이 급변한다. (나)에서 경도 27°W 부근 해역보다는 경도 39°W 부근 해역에서 수온 변화가 더 크므로, 조경 수역은 경도 27°W 부근 해역보다는 경도 39°W 부근 해역에 형성되기 쉽다.

㉓ 관측 구간 내에서 수온이 상대적으로 높은 해역의 경도 범위가 수온이 상대적으로 낮은 해역의 경도 범위보다 넓으므로, 난류인 북대서양 해류에서 나뉘어져 나온 해류가 흐르는 해역이 한류인 동그린란드 해류가 흐르는 해역보다 넓다.

15 주요 심층 해수와 수온 염분도

심층 순환의 모습을 보면 심층 해수의 밀도는 A가 B보다 작다. A는 북대서양 심층수이고, B는 남극 저층수이다. 남극 저층수는 남극 대륙 주변의 웨델해에서 만들어지며, 북대서양 심층수보다 염분과 수온이 모두 낮다.

㉑ A 순환을 형성하는 수괴는 B 순환을 형성하는 수괴보다 밀도가 작으므로 수온 염분도에서 ㉑이다.

㉒ 빙하가 녹은 물을 섞으면 염류의 양은 일정한 상태에서 물의 양이 증가하는 경우이므로, 같은 양의 해수 속에 들어 있는 염류의 양이 상대적으로 줄어들기 때문에 해수의 표층 염분은 낮아진다. 해수의 표층 염분이 낮아지면 해수의 밀도는 감소한다. 따라서 수괴 ㉑에 빙하 녹은 물을 섞으면 해수의 밀도는 감소한다.

㉓ 해수의 밀도는 수온이 낮을수록, 염분은 높을수록 크다. 수괴 ㉑은 수괴 ㉒보다 염분과 수온이 모두 낮으면서도 밀도는 더 큰데, 이는 염분보다 수온의 영향이 더 크기 때문이다.

16 전 세계 해수의 순환과 표층 염분

해수의 심층 순환은 수온과 염분 변화에 따른 해수의 밀도 차에 의해 일어난다. 또한 심층 순환은 거의 전체 수심에 걸쳐 일어나면서 해수를 순환시키는 역할을 하며, 표층 순환과 연결되어 열에너지 수송하여 위도 간의 에너지 불균형을 해소시킨다.

㉑ (나)에서 관측 기간 동안 A와 B 해역 모두에서 표층 염분은 감소하는 추세이다.

㉒ A 해역에서는 표층 순환이 심층 순환으로, C 해역에서는 심층 순환이 표층 순환으로 바뀌고 있으므로, A 해역에서는 해수의 침강이, C 해역에서는 해수의 용승이 일어난다.

㉓ (나)에서 표층 염분이 감소하는 추세이므로, 표층 해수의 밀도는 대체로 감소할 것이다. 표층 해수의 밀도가 감소하면 A 해역과 B 해역 모두에서 해수의 침강이 약해지고, 그 결과 북대서양 심층수의 침강 속도는 느려질 것이다.

07 대기와 해양의 상호 작용

2점 수능 테스트

본문 128~131쪽

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

01 연안 용승과 적도 용승

대륙의 연안에서는 지속적으로 부는 바람이 표층 해수를 외해로 이동시키고, 적도 부근에서는 북동 무역풍과 남동 무역풍이 각각 표층 해수를 북서쪽과 남서쪽으로 이동시키므로, 이를 보충하기 위해서 용승이 일어난다.

㉠ 지속적으로 부는 바람에 의한 평균적인 표층 해수의 이동은 북반구에서는 바람 방향에 대해서 오른쪽 90° 방향으로, 남반구에서는 바람 방향에 대해서 왼쪽 90° 방향으로 일어난다. 이 해역은 남반구에 위치하고, 평균적인 표층 해수의 이동이 외해인 동쪽으로 일어나고 있으므로, 이 해역에서 부는 바람은 북풍이다.

㉡ 표층 해수가 외해로 이동하여 연안의 해수면 높이가 낮아지면 이를 보충하기 위해 심층의 찬 해수가 올라오는 용승이 일어나므로, 표층 수온은 A 해역이 B 해역보다 낮다.

㉢ 대기 대순환에 의해 부는 바람은 ㉠ 지점에서는 북동 무역풍,

㉡ 지점에서는 남동 무역풍이다. 따라서 ㉠과 ㉡ 지점에서 대기 대순환에 의해 부는 바람은 서풍 계열이 아니다.

02 연안 용승

우리나라 동해안에 남풍이 지속적으로 불 때, 표층 해수가 외해로 이동하여 이를 보충하기 위해 심층의 찬 해수가 올라와 주변 해역보다 수온이 낮은 저수온대가 형성된다.

㉠ 이 자료와 같이 동해안에 저수온대가 형성되기 위해서는 표층 해수가 외해로 이동하고, 심층의 찬 해수가 올라와야 한다. 그러기 위해서는 남풍이 지속적으로 불어야 하는데, 우리나라에서는 겨울철보다 여름철에 남풍 계열의 바람이 빈번하다.

㉡ 영양염은 규산염, 인산염, 질산염 등과 같이 식물성 플랑크톤의 영양분이 되는 물질로, 해양 생물체의 배출물과 유해를 많이 포함하는 심층 해수에 풍부하다. 심층의 찬 해수가 올라오는 용승이 일어날 때, 심층 해수에 풍부한 영양염이 표층으로 운반된다. 따라서 심층에서 표층으로 운반되는 영양염의 양은 용승이 일어나 수온이 낮은 A 해역이 외해인 B 해역보다 많다.

㉢ 연안 용승이 일어나면 표층 해수가 외해로 이동하여 연안의

해수면 높이가 낮아지므로, 해수면의 높이는 A 해역이 B 해역보다 낮다.

03 엘니뇨와 라니냐

엘니뇨 시기에 동태평양 적도 해역에서는 평년보다 기압이 낮아지고(기압 편차: -), 서태평양 적도 해역에서는 평년보다 기압이 높아진다(기압 편차: +).

㉠ (가)는 동태평양 적도 해역에서 기압 편차가 (+)이고 서태평양 적도 해역에서 기압 편차가 (-)이다. (나)는 동태평양 적도 해역에서 기압 편차가 (-)이고 서태평양 적도 해역에서 기압 편차가 (+)이다. 따라서 (가)는 라니냐 시기, (나)는 엘니뇨 시기이다. ㉡ 무역풍의 세기는 엘니뇨 시기인 (나)가 라니냐 시기인 (가)보다 약하다.

㉢ 동태평양 적도 부근 해역에서는 엘니뇨 시기에 상승 기류에 의해 구름의 양이 증가하지만, 라니냐 시기에는 강수량이 적은 건조한 날씨가 나타난다.

04 엘니뇨와 라니냐

엘니뇨 시기에는 동태평양 적도 부근 해역의 표층 수온이 평년보다 높아지고, 라니냐 시기에는 동태평양 적도 부근 해역의 표층 수온이 평년보다 낮아진다. 동태평양 적도 부근 해역의 표층 수온 편차가 (+)인 A, B는 엘니뇨 시기이고, 표층 수온 편차가 (-)인 C는 라니냐 시기이다.

㉠ 평년에 비해 동태평양에서 기압이 하강하고, 서태평양에서 기압이 상승하게 되면, 무역풍의 세기가 약해진다. 무역풍이 약해지면 엘니뇨가 발생하게 되는데, 무역풍의 세기가 약할수록 강한 엘니뇨가 발생한다.

㉡ 엘니뇨 시기(B)에는 열대 동태평양의 표층 수온이 상승하고, 공기가 상승하는 지역과 강수대가 동쪽으로 이동하여, 동태평양 적도 부근 해역에서는 평상시 또는 라니냐 시기(C)보다 구름의 양과 강수량이 많아진다.

㉢ 심층 해수에 풍부한 영양염은 용승이 일어날 때 표층으로 운반되기 때문에, 동태평양의 표층 해수에서 영양염이 가장 많은 시기는 용승이 가장 활발하게 일어나는 시기인 C이다.

05 엘니뇨 시기의 특징

평상시에는 열대 서태평양에 따뜻한 해수로부터 열과 수증기를 공급받은 공기가 상승하여 강수대가 형성되고, 엘니뇨 시기에는 공기가 상승하는 지역과 강수대가 동쪽으로 이동한다.

㉠ 공기가 상승하는 지역과 구름대가 평상시보다 더 동쪽으로 이동하여 열대 태평양 중앙 부근에 있는 것으로 보아 엘니뇨 시기의 대기 순환 모습이다.

㉡ 엘니뇨 시기에는 평상시보다 남동 무역풍의 세기가 약해진다.

✕. 평상시에 서태평양 적도 해역의 표층 수온은 동태평양 적도 해역의 표층 수온보다 높다. 엘니뇨 시기에는 동태평양 적도 부근 해역에서 용승이 약해지고, 서태평양의 따뜻한 해수가 동쪽으로 이동하므로 동태평양 적도 해역의 표층 수온이 평상시보다 높아진다. 따라서 엘니뇨 시기에는 평상시에 비해 서태평양 적도 해역의 표층 수온은 크게 변하지 않고 동태평양 적도 해역의 표층 수온은 높아지므로, 적도 해역에서 (서태평양의 표층 수온—동태평양의 표층 수온)은 평상시보다 작다.

06 엘니뇨 시기의 특징

엘니뇨 시기에 평상시보다 무역풍의 세기가 약해지면 동쪽에서 서쪽으로 흐르는 해류의 양이 줄어들어, 동태평양 해역의 해수면 높이가 평상시보다 높아진다. 이 시기는 해수면 높이 편차가 동태평양 적도 해역에서 (+)이고, 서태평양 적도 해역에서 (-)인 것으로 보아 엘니뇨 시기이다.

✕. 엘니뇨 시기에는 위극 순환의 상승 영역이 동쪽으로 이동하여 서태평양 적도 해역에서는 고기압이 형성되고, 그 영향으로 평년보다 건조하여 가뭄이 발생한다.

㉠. 엘니뇨 시기에는 평상시보다 무역풍의 세기가 약해져 페루 연안의 용승이 평년보다 약해진다.

㉡. 엘니뇨 시기에는 동태평양 적도 해역에서 따뜻한 해수층의 두께가 평상시보다 두꺼워지므로 혼합층이 평년보다 두껍게 나타난다.

07 과거의 기후 연구

지구의 과거 기후에 대한 정보는 지질 시대에 쌓인 퇴적물과 그 속에 포함된 화석, 나무의 나이테, 빙하 시추물 등을 통해 알 수 있다.

㉠. (가)는 빙하가 생성될 당시의 대기 성분, 기온 변화를 알 수 있는 것으로 보아 빙하 시추물 분석에 해당한다.

㉡. 과거의 기후를 해석할 때 사용되는 화석은 지질 시대를 알려주는 표준 화석보다 지질 시대의 환경을 알려주는 시상 화석이 더 적합하다.

✕. 나무 나이테 연구로는 최근 1만 년 이내, 빙하 시추물 분석으로는 최근 80만 년 이내의 기온 변화를 알아낼 수 있다.

08 기후 변화의 요인

지구의 기후 변화를 일으키는 요인에는 자연적 요인과 인위적 요인이 있다.

㉠. 자연적 요인에는 지구 외적 요인과 지구 내적 요인이 있다.

✕. 화산 활동은 자연적 요인 중 지구 내적 요인에 해당한다.

㉡. 자연적 요인에 의한 기후 변화는 인간이 제어하기 어렵지만, 인위적 요인에 의한 기후 변화는 인간의 산업 활동 등으로 초래된

결과이므로 인간의 노력으로 어느 정도는 제어할 수 있다.

09 빙하 코어 연구

빙하는 해마다 내린 눈이 오랫동안 겹겹이 쌓여서 만들어지기 때문에 눈이 얼음이 될 때 그 안에 공기가 갇히게 된다. 그러므로 빙하 얼음 속 공기 성분은 빙하가 만들어질 당시의 대기 성분을 나타낸다. 또한 빙하 코어에 포함된 이산화 탄소, 산소, 메테인 등을 분석하면 약 80만 년 전까지의 시간대에서 각 성분의 농도가 어떻게 변화했는지, 과거의 기온이 어떠한지를 유추할 수 있다.

㉠. 그림을 보면 기온이 높았을 때는 대체로 적설량이 많았고, 기온이 낮았을 때는 대체로 적설량이 적었다.

㉡. 그린란드 지역에서 A 시기는 B 시기보다 적설량이 적다. 빙하는 해마다 내린 눈이 오랫동안 겹겹이 쌓여서 만들어지기 때문에, 적설량에 의한 빙하의 두께는 적설량이 적은 A 시기가 적설량이 많은 B 시기보다 얇다.

✕. 평균 해수면은 평균 기온이 높은 시기가 평균 기온이 낮은 시기보다 높으므로, B 시기가 A 시기보다 높다.

10 기후 변화의 지구 외적 요인-태양 활동

태양 활동이 달라지면 지구에 도달하는 태양 복사 에너지의 양이 달라진다. 태양 활동의 변화는 흑점 수 변화로 알 수 있고, 역사적으로 소빙하기로 알려진 시기에 태양 흑점 수가 매우 적었던 시기(마운더 극소기, A)가 존재한다.

✕. 태양 활동은 흑점 수의 변화로 알 수 있고, 태양 활동이 활발할수록 흑점 수가 많다. A 시기는 B 시기보다 태양 흑점 수가 적으므로, 태양 활동은 A 시기가 B 시기보다 활발하지 않다.

✕. 태양 활동만을 고려할 때, 태양 활동이 활발하면 지구에 도달하는 태양 복사 에너지양이 증가하여 기후에 영향을 미친다. 따라서 지구의 평균 기온은 소빙하기에 속하면서 태양 흑점 수가 적은 A 시기가 태양 흑점 수가 많은 B 시기보다 낮을 것이다.

㉡. 태양 활동만을 고려할 때, A 시기는 B 시기보다 지구의 평균 기온이 낮은 시기이므로, 지구의 평균 빙하 면적은 A 시기가 B 시기보다 넓을 것이다.

11 지구 자전축의 경사 방향 변화

지구 자전축의 세차 운동에 의해 약 13000년 후에는 지구 자전축의 경사 방향이 현재와 반대가 된다. 현재 북반구는 근일점에서 겨울이지만, 지구 자전축의 세차 운동에 의해 약 13000년 후에는 북반구는 근일점에서 여름이 된다.

㉠. 약 13000년 후에 지구 자전축의 경사 방향이 현재와 반대가 되므로, 약 26000년을 주기로 지구 자전축의 경사 방향이 변한다는 것을 알 수 있다. 즉, 지구 자전축의 세차 운동 주기는 약 26000년이다.

✗. 태양의 한낮 최대 고도는 지구 자전축의 경사각의 변화와 관련이 있다. 지구와 태양 사이의 거리가 매우 멀어서 지구가 근일점에 위치하든 원일점에 위치하든 태양 빛은 지구에 평행하게 도달하기 때문에 같은 계절을 비교할 때, 태양의 한낮 최대 고도는 지구 자전축의 경사 방향과는 관련이 없다. 따라서 A에서 여름철 한낮의 태양의 최대 고도는 (가)일 때와 (나)일 때가 같다.

㉠. 남반구(B)에서 (가)일 때는 근일점에서 여름이고, 원일점에서 겨울이지만, (나)일 때는 근일점에서 겨울이고, 원일점에서 여름이 된다. 따라서 남반구(B)에서 기온의 연교차는 (가)일 때가 (나)일 때보다 크다.

12 지구 자전축의 경사각 변화

지구 자전축의 경사각이 약 41000년을 주기로 $21.5^\circ \sim 24.5^\circ$ 사이에서 변한다. 지구 자전축의 경사각이 변하면 각 위도의 지표에 입사하는 태양 복사 에너지양이 변하므로 기후 변화가 생긴다. 지구 자전축의 경사각이 커지면 북반구와 남반구 모두 여름철과 겨울철 태양의 최대 고도 차가 커지므로 기온의 연교차가 커진다.

✗. 지구 자전축의 경사각이 작아지면, 북반구 중위도에서 여름철과 겨울철의 태양의 최대 고도 차가 작아지므로, 여름철 기온은 하강하고, 겨울철 기온은 상승하여 기온의 연교차는 작아진다.

✗. 지구 자전축의 경사각이 작아지면, 북반구 중위도에서 여름철 태양의 최대 고도가 낮아지므로 여름철 평균 일사량이 감소한다.

㉠. 지구 자전축의 경사각이 작아지면, 북반구 중위도에서 겨울철 태양의 최대 고도가 높아지므로 겨울철 낮의 평균 길이는 길어진다.

13 대기 중 이산화 탄소 농도 변화

과거 약 40만 년 동안 대기 중 이산화 탄소 농도는 현재보다 대체로 낮았으며, 시기별로 증감을 반복하였다.

㉠. 온실 효과를 일으키는 이산화 탄소의 농도가 과거 약 40만 년 동안이 현재보다 낮으므로, 이산화 탄소 농도만을 고려할 때 지구의 평균 기온은 과거 약 40만 년 동안이 현재보다 낮았을 것이다.

㉡. 대기 중 이산화 탄소는 지표면에서 방출되는 지구 복사 에너지를 흡수하여 지표면으로 재방출하는 온실 효과를 일으킨다. 따라서 대기에서 흡수되는 지표면의 복사 에너지양은 이산화 탄소 농도가 높은 ㉠ 시기가 이산화 탄소 농도가 낮은 ㉡ 시기보다 많았을 것이다.

✗. ㉠ 시기와 ㉡ 시기는 인류가 출현하기 이전 시대이므로 대기 중 이산화 탄소 농도가 높은 이유는 화석 연료의 소비량 증가 때문은 아니다.

14 지구의 열수지

지표면에서 에너지 흡수량과 방출량이 같다.

✗. 지표면에서 에너지 흡수량(A+C)과 방출량(B)이 같다. 즉,

$A+C=B$ 이다.

㉠. A는 지표면에 흡수되는 태양 복사 에너지이고, B는 지표면에서 방출되는 지표면 복사, 전도·대류, 잠열을 포함하는 에너지이며, C는 지표면에 흡수되는 대기 복사 에너지이다. A는 주로 가시광선 영역, B와 C는 주로 적외선 영역의 복사이다. 따라서 최대 복사 에너지의 파장은 A가 가장 짧다.

㉡. B의 지표면 복사 에너지양은 지구의 평균 온도가 높을수록 방출되는 양이 증가한다.

15 빙하 면적 변화

지구 온난화의 영향으로 북극해의 빙하 면적이 감소하는 추세에 있고, 그린란드 빙하와 남극 대륙 빙하도 많이 녹은 것으로 관측된다.

㉠. 지구 온난화의 영향으로 그린란드 빙하와 남극 대륙 빙하와 같은 대륙 빙하는 녹아서 해양으로 흘러 들어가면 해수면의 높이를 상승시킨다. 그러나 북극해 빙하와 같이 바다에 떠 있는 빙하는 녹을지라도 해수면의 높이를 상승시키지는 않는다. 이는 컵에 얼음을 넣고 물을 넣은 뒤 물의 높이를 측정한 값과 얼음이 다 녹은 뒤 물의 높이를 측정한 값이 같은 것과 같은 원리이다. 즉, 얼음으로 인한 물 높이의 증가가 이미 반영되어 있기 때문이다. 따라서 평균 해수면의 상승에 대한 기여도는 그린란드 빙하와 남극 대륙 빙하(㉠)가 북극해 빙하(㉡)보다 크다.

㉡. 북극해 빙하가 녹으면 극지방의 지표면의 반사율이 감소하여 북반구 여름철에 지표가 흡수하는 태양 복사 에너지양이 증가한다.

㉢. 지구 온난화의 영향으로 북극해의 표층 해수의 평균 수온은 1979년이 현재보다 낮고, 표층 해수의 평균 염분은 결빙으로 인해 1979년이 현재보다 높다. 따라서 북극해의 표층 해수의 평균 밀도는 1979년이 현재보다 크다.

16 우리나라 주변 해역의 표층 수온 변화

1968년~2018년에 우리나라 주변 해역의 평균 표층 수온은 증가하는 추세이다.

㉠. 그래프의 추세선을 보면 1968년~2018년에 우리나라 주변 해역의 평균 표층 수온은 증가하는 추세이다.

㉡. 우리나라 주변 해역의 평균 수온이 증가하였으므로, 평균 해수면의 높이는 높아졌을 것이다.

㉢. 지구 온난화로 인해 표층 수온이 상승하고, 우리나라의 온대 과일 재배지가 북상하였을 것이다.

3점 수능 테스트

본문 132~139쪽

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

01 연안 용승

우리나라 동해안에서 남풍 계열의 바람이 지속적으로 불면 표층 해수가 외해로 이동하여 연안 용승이 일어난다. 용승이 일어난 해역은 주변보다 수온이 낮고, 심층에서 찬 해수가 올라와 영양염이 풍부하며, 표층 용존 산소량이 많다.

X. A 해역에서 수온은 ① 기간에 비해 ② 기간에 5°C 이상 낮게 나타난다. 이는 이 해역에 지속적으로 부는 남풍에 의해 표층 해수가 외해로 이동하여 연안 용승이 일어났기 때문이다. 따라서 A 해역에서 남풍의 세기는 연안 용승이 일어난 ② 기간이 ① 기간보다 강하다고 할 수 있다.

○. (나)에서 ② 기간에 A 해역에는 B 해역보다 표층 수온이 5°C 이상 낮은 해수가 존재한다.

○. ① 기간에 A 해역에서는 용승이 일어났다. 용승이 일어난 해역에는 표층 용존 산소량이 많다.

02 세계 주요 용승 해역

전 세계의 주요 연안 용승 해역은 미국의 서부 연안, 페루 연안, 남아프리카 서부 연안과 같은 대양의 동쪽에 위치한다. 이외에도 적도 부근에서는 북동 무역풍은 해수를 북서쪽으로, 남동 무역풍은 해수를 남서쪽으로 이동시키기 때문에 이를 채우기 위해 용승이 일어난다.

○. 그림에서 A와 B 해역에서는 용승이, C 해역에서는 침강이 일어난다. A 해역에서 북동 무역풍은 해수를 북서쪽으로, 남동 무역풍은 해수를 남서쪽으로 이동시키기 때문에 이를 채우기 위해 용승이 일어나고, B 해역에서는 표층 해수가 외해로 이동하기 때문에 이를 채우기 위해 용승이 일어난다.

X. B 해역에서는 지속적으로 부는 남풍 계열의 바람에 의해 표층 해수가 외해(서쪽)로 이동하기 때문에 해수면의 높이는 연안(B)이 주변 해역보다 낮다.

X. A 해역에서는 북동 무역풍에 의해 표층 해수가 북서쪽으로, 남동 무역풍에 의해 표층 해수가 남서쪽으로 이동한다. B 해역에서는 지속적으로 부는 남풍 계열의 바람에 의해 표층 해수가 외해(서쪽)로 이동한다.

03 연안 용승

남반구의 서해안에서 남풍이 지속적으로 불면 용승이 일어나 해

안 부근의 수온이 외해보다 낮아지며, 영양염이 풍부해진다.

○. 남반구에서는 지속적으로 부는 바람에 의해 해수는 바람 방향에 대해 왼쪽 90° 방향으로 이동하므로, (가)에서는 남풍이, (나)에서는 북풍이 분다.

○. 해수의 이동 방향(→)을 보면, (가)에서 해수는 연안에서 외해로 이동하므로 연안에서 해수의 용승이 일어나고, (나)에서 해수는 외해에서 연안으로 이동하므로 연안에서 해수의 침강이 일어난다.

○. (다)에서 표층 영양염의 농도는 연안에서 외해로 갈수록 급격히 감소한다. 연안에서 심층의 찬 해수가 올라오는 용승이 일어날 때 심층 해수에 풍부한 영양염이 표층 해수로 운반된다. 따라서 (다)와 같은 영양염의 분포는 연안에서 침강이 일어날 때보다 연안에서 용승이 일어날 때 더 잘 나타난다.

04 엘니뇨와 라니냐

엘니뇨 시기에 동태평양 적도 해역에서는 평상시보다 강수량이 많고, 서태평양 적도 해역에서는 평상시보다 강수량이 적어 건조한 날씨가 나타난다.

X. (가)에서 총 강수량은 적도 해역이 약 600~800 mm이고, 20°N 해역이 약 100 mm 미만이다.

○. 강수량 편차가 (+)인 해역, 즉 평년보다 강수량이 많은 해역은 중앙 태평양 적도 부근 해역에서 동태평양 적도 부근 해역에 걸쳐 분포한다. 강수량이 (-)인 해역, 즉 평년보다 강수량이 적은 해역은 주로 서태평양 적도 부근 해역에 분포한다. 특히 강수량 편차가 +50 mm 이상인 해역은 서태평양 적도 부근 해역보다 주로 동태평양 적도 부근 해역에 위치한다.

○. 중앙 태평양 적도 부근 해역에서 동태평양 적도 부근 해역에 걸쳐 강수량이 평년보다 많고, 서태평양 적도 부근 해역에서는 강수량이 평년보다 적은 것으로 보아 이 시기는 엘니뇨 시기이다. 엘니뇨 시기에 동태평양 적도 부근 해역에서는 평상시보다 기압이 하강하고, 서태평양 적도 부근 해역에서는 평상시보다 기압이 상승한다. 따라서 서태평양 적도 부근 평균 해수면 기압은 평상시보다 크다. 동태평양 적도 부근 평균 해수면 기압은 평상시보다 크다.

05 엘니뇨와 남방 진동

남방 진동은 열대 태평양에서 엘니뇨 시기와 라니냐 시기에 나타나는 대기의 기압 분포의 시소 현상으로, 서태평양의 기압이 평상시보다 높아지면 동태평양의 기압은 평상시보다 낮아지고, 서태평양의 기압이 평상시보다 낮아지면 동태평양의 기압은 평상시보다 높아진다. 남방 진동 지수는 남태평양 타히티의 해면 기압 편차와 호주 북부 다윈의 해면 기압 편차의 차를 수치화하여 나타낸 것으로, 엘니뇨 시기에는 큰 (-)의 값을 갖고, 라니냐 시기에는

큰 (+)의 값을 갖는다.

✗. ㉠ 시기는 남방 진동 지수가 큰 (+)의 값을 가지므로 라니냐 시기이다. 라니냐 시기에는 동태평양 연안의 용승이 평상시보다 강화되어 동태평양 적도 부근 해역의 따뜻한 해수층이 평상시보다 얇다.

㉡. ㉠ 시기는 남방 진동 지수가 큰 (-)의 값을 가지므로 엘니뇨 시기이다. 엘니뇨 시기에는 무역풍이 약해지면서 동태평양 연안의 용승이 약해지고, 서태평양의 따뜻한 해수가 동쪽으로 이동하여 중앙 태평양 적도 부근 해역의 수온이 평년보다 상승한다. 따라서 ㉡ 시기에 C 구역에서 측정된 수온은 평년보다 높다.

㉢. 엘니뇨 시기에는 남적도 해류가 약해져서 동태평양 적도 해역의 해수면 높이가 평상시보다 높아지고, 라니냐 시기에는 남적도 해류가 강해져서 동태평양 적도 해역의 해수면 높이가 평상시보다 낮아진다. 따라서 서태평양 적도 해역과 동태평양 적도 해역 사이의 해수면 높이 차는 라니냐 시기(㉢)가 엘니뇨 시기(㉡)보다 크다.

06 라니냐의 특징

적도 부근의 남아메리카 연안으로부터 열대 태평양 중앙에 이르는 해역에 걸쳐 해수면의 온도가 평상시보다 0.5 °C 이상 낮은 상태로 6개월 이상 지속되는 현상을 라니냐라고 한다. (가)에서 적도 부근의 남아메리카 연안으로부터 열대 태평양 중앙에 이르는 해역에 걸쳐 해수면의 온도가 평년보다 낮은 것으로 보아 이 시기는 라니냐 시기이다.

✗. 라니냐 시기에 A 해역에서는 평상시보다 심층에서 찬 해수가 올라오는 용승이 강해져서 수온 약층이 시작되는 깊이가 얇다.

㉡. 라니냐 시기에 A 해역에 식물성 플랑크톤의 농도가 높은 것으로 보아 표층 영양염의 농도가 평상시보다 높다.

✗. 라니냐 시기에는 무역풍의 강화로 인해 A 해역에서의 용승이 강해져서 평상시보다 동태평양 적도 부근 해역의 표층 수온이 하강한다. 라니냐 시기에 서태평양 적도 부근 해역의 표층 수온은 크게 변하지 않은 상태에서 동태평양 적도 부근 해역의 표층 수온이 하강하였으므로, 동태평양 적도 부근 해역과 서태평양 적도 부근 해역의 표층 수온 차는 평상시보다 크다.

07 엘니뇨와 라니냐

엘니뇨 시기에 무역풍이 약해지면 동태평양 연안에서의 연안 용승이 약해지고, 서태평양에서 동쪽으로 따뜻한 해수가 이동하여 태평양 중앙부에서 페루 연안에 이르는 해역의 표층 수온이 상승한다.

✗. (가)에서 동태평양 적도 해역의 표층 수온 편차는 A 기간에는 (+)이고, B 기간에는 (-)이므로, 표층 수온은 A 기간이 B 기간보다 높다.

㉡. (나)에서 B 기간에 적도 해역의 동서 방향 풍속 편차가 (-) 값이므로, 적도 해역에서 무역풍의 세기는 평년보다 대체로 강하다.

㉢. (다)에서 동태평양 적도 해역의 20 °C 등수온선의 깊이 편차가 A 기간에는 (+)이고, B 기간에는 (-)이다. 이는 A 기간에는 따뜻한 해수층이 두껍고, B 기간에는 따뜻한 해수층이 얇다는 것을 의미하므로, 혼합층의 두께는 A 기간이 B 기간보다 두껍다.

08 빙하 코어 분석

빙하 코어를 분석하면 빙하가 생성될 당시의 대기 성분과 화산 폭발 등을 알 수 있다. 빙하는 해마다 내린 눈이 겹겹이 쌓여서 만들어지기 때문에, 얼음의 깊이가 얼음의 생성 시기를 의미한다.

㉠. 화산이 폭발할 때 대기 중으로 방출되는 화산 분출물과 화산 가스는 강설 입자에 녹아 눈의 산성도를 증가시킨다.

㉡. 빙하 코어의 전기 전도도 값에서 각 피크에 해당하는 화산 폭발을 찾아내고, 각 피크에 해당하는 화산 폭발의 시기를 알면 빙하가 생성된 시기를 알 수 있다.

㉢. 대규모의 화산 폭발은 대기 중으로 다량의 화산 분출물을 방출하여 대기 중의 먼지 양을 증가시키고, 빙하 코어의 전기 전도도 값을 증가시킨다. 따라서 전기 전도도가 크게 나타나는 얼음 깊이가 A인 시기가 얼음 깊이가 B인 시기보다 대기 중의 먼지 양이 많았을 것이다.

09 대기 중 이산화 탄소 농도 변화

대기 중 이산화 탄소 농도가 높으면 지구의 평균 기온이 높고, 대기 중의 먼지 양이 많으면 일사량은 적다.

㉠. ㉠은 ㉡보다 대기 중 이산화 탄소의 농도가 낮아 지구의 평균 기온이 낮은 시기이다. 따라서 지구의 평균 빙하 면적은 ㉠ 시기가 ㉡ 시기보다 넓다.

✗. ㉠ 시기는 ㉡ 시기보다 대기 중 먼지 양이 많으므로 지표에도 달하는 평균 일사량은 ㉠ 시기가 ㉡ 시기보다 적다.

✗. 나무의 나이테 연구는 나무의 나이테 간격을 통해 최근 1만 년 이내의 비교적 가까운 시기의 기온 변화를 알아낼 수 있다. 그런데 주어진 자료는 약 80만 년 동안의 기온 변화뿐만 아니라 이산화 탄소 농도, 먼지 양에 대한 자료이므로, 모두 나무의 나이테를 분석하여 얻을 수 있는 것은 아니다.

10 기후 변화의 요인

기후 변화를 일으키는 요인에는 크게 자연적 요인과 인위적 요인이 있고, 이 중에서 화산 활동, 수륙 분포의 변화는 자연적 요인 중 지구 내적 요인에 해당한다.

✗. 화산이 폭발할 때 분출된 화산재 등이 성층권에 퍼지면 태양 빛의 산란과 반사가 많이 일어나 지구의 반사율이 커진다.

✗. 수륙 분포가 변한 이후(㉠) 북아메리카 대륙과 남아메리카 대

륙이 연결된 후)에 북극해로 흘러드는 따뜻한 해류의 양이 감소하여 A 지역의 기온은 이전(㉠)보다 낮아져 빙하가 형성되었다.

㉡. 화산이 폭발할 때 분출된 화산재 등이 성층권에 퍼지면 지구의 반사율이 증가하여 지구의 평균 기온이 하강한다. 육지와 해양은 비열과 반사율이 다르므로 판의 운동에 의한 수륙 분포의 변화는 기후를 변화시킨다. 따라서 화산 폭발과 수륙 분포의 변화는 모두 기후 변화를 일으키는 자연적 요인 중 지구 내적 요인에 해당한다.

11 지구 공전 궤도 이심률의 변화

지구 공전 궤도 이심률이 현재보다 작아지면 근일점 거리는 현재보다 멀어지고, 원일점 거리는 현재보다 가까워진다. 공전 주기가 일정하면, 공전 궤도 긴반지름($= \frac{\text{근일점 거리} + \text{원일점 거리}}{2}$)은 일정하다. 따라서 다른 요인의 변화가 없다면 북반구에서 겨울철은 더 추워지고, 여름철은 더 더워진다.

✕. 현재 지구가 근일점에 있을 때 북반구는 겨울철이고, 남반구는 여름철이다.

✕. ㉠ 시기는 현재보다 지구 공전 궤도 이심률이 크다. 지구 공전 궤도 이심률이 현재보다 커지면 근일점 거리는 현재보다 가까워지고, 원일점 거리는 현재보다 멀어진다. 따라서 다른 요인의 변화가 없다면 우리나라의 겨울철은 덜 추워지고, 여름철은 덜 더워진다.

㉢. 지구 전체에 도달하는 태양 복사 에너지량은 지구와 태양 사이의 거리에 의해서 달라진다. 따라서 근일점과 원일점에서 지구로 입사되는 태양 복사 에너지량의 차는 지구 공전 궤도의 이심률이 큰 ㉠ 시기가 지구 공전 궤도의 이심률이 작은 ㉢ 시기보다 크다.

12 기후 변화의 지구 외적 요인

지구 자전축의 경사각이 변하면 각 위도에서 받는 일사량이 변하므로 기후 변화가 생긴다. 다른 요인의 변화가 없다면 지구 자전축 경사각이 커질수록 기온의 연교차가 커진다.

✕. ㉠ 시기와 ㉢ 시기 모두 북반구 지역이 여름철일 때 지구는 공전 궤도상에서 근일점에 위치하는 것으로 보아, 지구 자전축의 경사 방향이 현재와 모두 반대이다. 지구 자전축의 경사각이 커질수록 여름철 태양의 최대 고도가 높아져 여름철 태양 복사 에너지량이 많다. 따라서 35°N 지역에서 여름철 동안 받는 태양 복사 에너지량은 지구 자전축의 경사각이 더 큰 ㉢ 시기가 ㉠ 시기보다 많다.

㉢. ㉢ 시기에는 북반구가 여름철일 때 지구는 공전 궤도상에서 근일점에 있고, 북반구가 겨울철일 때 지구는 지구 공전 궤도상에서 원일점에 위치한다. 현재는 북반구가 겨울철일 때 지구는 지구 공전 궤도상에서 근일점에 위치하므로, 우리나라 겨울철 기온은 ㉢ 시기가 현재보다 낮다. 지구 자전축의 경사각은 ㉢ 시기가 현

재보다 크고, 경사각이 커지면 겨울철 기온은 더 낮아진다. 따라서 우리나라 겨울철 기온은 ㉢ 시기가 현재보다 낮다. (가)와 (나)의 경우를 모두 고려했을 때, 우리나라의 겨울철 기온은 ㉢ 시기가 현재보다 낮다.

㉢. ㉢ 시기와 현재 모두 북반구가 여름철일 때, 즉 남반구가 겨울철일 때 지구는 공전 궤도상에서 원일점에 위치한다. 따라서 남반구 중위도 지역에서 지구 자전축의 경사 방향 변화에 의한 연교차는 현재와 ㉢ 시기가 같다. 다음으로, 지구 자전축의 경사각은 현재가 ㉢ 시기보다 크다. 지구 자전축의 경사각이 클수록 남반구 중위도 지역과 북반구 중위도 지역에서 모두 기온의 연교차가 커진다. 따라서 남반구 중위도 지역의 기온 연교차는 현재가 ㉢ 시기보다 크다.

13 지구 복사 평형과 온실 효과

지구 대기는 짧은 파장의 태양 복사 에너지(가시광선)는 잘 통과시키지만, 긴 파장의 지구 복사 에너지(적외선)는 대부분 흡수한 후 지표로 재복사하여 지표면의 온도를 높인다.

㉠. 지구에 입사하는 태양 복사 에너지가 100 단위이고, 지구 복사가 70 단위이므로 반사는 30 단위이다. $A + 45 = 70$ 이므로 A는 25 단위이다. $C = 4 + B$ 이므로 C는 B보다 크다. $A(25) + B = 66 + D$ 이므로, $B = 41 + D$ 이므로 B는 A보다 크다. 따라서 $A < B < C$ 이다.

㉢. ㉠은 태양 복사 에너지로 적외선 영역의 에너지양보다 가시광선 영역의 에너지양이 많고, ㉢은 대기 복사 에너지로 적외선 영역의 에너지양이 가시광선 영역의 에너지양보다 많다. 따라서 가시광선 영역의 에너지양은 ㉠이 ㉢보다 크다. 적외선 영역의 에너지양

✕. 산업 활동이나 화석 연료 사용 과정에서 대기로 배출된 에어로졸은 지표면에 도달하는 태양 복사 에너지(㉠)를 감소시켜 지구의 기온을 낮추는 역할을 한다.

14 지구 온난화

대기 중 온실 기체가 증가함에 따라 온실 효과가 증대하여 지구의 평균 기온이 상승하는 현상을 지구 온난화라고 한다.

㉠. (가)와 (나)의 그래프에서 대기 중 이산화 탄소 농도가 높아질수록 전 지구 평균 기온은 높아지는 경향을 보인다.

㉢. (나)와 같이 이산화 탄소의 농도가 증가하면 지구의 평균 기온이 상승하며, 그 결과 지구의 평균 해수면의 높이는 상승할 것이다.

㉢. 과도한 삼림 벌채는 식물(나무)의 광합성에 의해 흡수되는 이산화 탄소량을 감소시켜, 대기 중의 이산화 탄소 농도를 증가시킨다.

15 전 지구 해수면 높이 변화

전 지구 해수면 높이를 상승시키는 요인에는 대륙 빙하가 녹아 더

해지는 물과 해수의 수온 상승에 따른 열팽창이 있다.

㉠ 지구 온난화로 지구의 평균 기온이 상승하면 해수의 부피가 팽창하고, 극지방이나 고산 지역의 대륙 빙하가 녹아 바다로 유입 되면 해수면의 높이가 상승한다.

㉡ 온실 기체가 최소로 배출되는 경우는 해수면 높이의 상승이 완만하게 나타나고(㉠), 온실 기체가 현재의 추세로 배출되는 경우는 해수면 높이의 상승이 급격하게 나타난다(㉢).

㉢ 인간 활동에 의해 온실 기체가 증가하면 대기 및 지표의 평균 기온이 상승하고 해수면의 높이도 높아진다. (나)에서 온실 기체가 현재의 추세로 배출되는 경우 해수면의 높이가 2000년 이전보다 이후에 급격히 증가한 것으로 보아, 인위적 요인에 의한 지구 온난화는 2000년 이전보다 이후에 더 크다.

16 우리나라의 기온 변화

우리나라는 1912년~2017년까지 일 최고 기온과 일 최저 기온이 모두 상승하는 경향이 있다. 이 기간의 최근 30년은 과거 30년에 비해 겨울의 길이는 짧아지고, 여름의 길이는 길어졌다.

㉠ 일 최고 기온은 하루 중 가장 높은 기온을, 일 최저 기온은 하루 중 가장 낮은 기온을 나타내므로, 일 최고 기온은 일 최저 기온보다 항상 높다. 따라서 기온이 높은 A가 일 최고 기온, 기온이 낮은 B가 일 최저 기온이다.

㉡ 이 기간 동안 우리나라의 연평균 일 최고 기온과 연평균 일 최저 기온이 모두 상승하였으므로 연평균 기온은 상승하였다.

㉢ (나)에서 최근 30년(1988년~2017년) 동안은 과거 30년(1912년~1941년)에 비해 겨울 일수는 109일에서 91일로 감소하였고, 여름 일수는 98일에서 117일로 증가하였다.

08 별의 특성

2점 수능 테스트

본문 154~159쪽

- | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|
| 01 ② | 02 ② | 03 ④ | 04 ④ | 05 ② | 06 ① | 07 ① |
| 08 ① | 09 ③ | 10 ④ | 11 ⑤ | 12 ④ | 13 ③ | 14 ⑤ |
| 15 ① | 16 ④ | 17 ③ | 18 ③ | 19 ⑤ | 20 ③ | 21 ④ |
| 22 ⑤ | 23 ② | 24 ⑤ | | | | |

01 별의 분광형과 플랑크 곡선

분광형을 이용하여 별 a, b, c의 표면 온도를 비교하면 $a > b = c$ 이다.

㉠ a와 b는 절대 등급이 같으므로 광도가 같다.

㉡ a와 b는 광도가 같은데, 표면 온도는 a가 b보다 높으므로 반지름은 b가 a보다 크다. b와 c의 표면 온도는 같은데 광도는 절대 등급이 작은 b가 c보다 크므로 반지름은 b가 c보다 크다. 따라서 a, b, c 중 반지름이 가장 큰 별은 b이다.

㉢ 최대 복사 에너지를 방출하는 파장은 별의 표면 온도에 반비례하므로 (나)와 같은 분포를 갖는 별의 표면 온도는 태양의 $\frac{1}{2}$ 이다. 별의 광도(L)는 별의 반지름과 표면 온도가 각각 R, T라고 할 때, $L \propto R^2 \cdot T^4$ 의 관계이므로 (나)와 같은 분포를 갖는 별의 광도는 태양 광도의 $40^2 \times \left(\frac{1}{2}\right)^4 = 100$ 배이다. 따라서 (나)는 태양보다 표면 온도가 낮고 광도는 100배인 b의 파장에 따른 복사 에너지의 상대적 세기이다.

02 별의 물리량

별은 절대 등급이 작을수록 광도가 크다. 별은 표면 온도가 높을수록 최대 복사 에너지를 방출하는 파장이 짧아 파란색을 띠고, 표면 온도가 낮을수록 최대 복사 에너지를 방출하는 파장이 길어 붉은색을 띤다.

㉠ 별은 절대 등급이 작을수록 광도가 크므로 광도는 A가 B보다 작다.

㉡ 노란색 별보다 흰색 별의 표면 온도가 높다.

㉢ 별의 광도(L)는 별의 반지름과 표면 온도를 각각 R, T라고 할 때, $L \propto R^2 \cdot T^4$ 의 관계이다. A가 B보다 표면 온도는 높는데, 광도가 작은 이유는 반지름이 B보다 작기 때문이다.

03 별의 표면 온도와 광도 계급

광도 계급 III은 거성이고, V는 주계열성이다.

✗. A와 B는 광도 계급이 V인 주계열성이다. 주계열성은 표면 온도가 높을수록 광도가 크고 절대 등급이 작다. 따라서 절대 등급은 A가 B보다 작다.

㉠. 표면 온도가 높은 별은 짧은 파장에서 많은 에너지를 방출하여 상대적으로 파란색으로 보이고, 표면 온도가 낮은 별은 긴 파장에서 많은 에너지를 방출하여 상대적으로 붉은색으로 보인다. C는 표면 온도가 3000 K인 별로, 표면 온도가 낮아 붉은색으로 보인다.

㉡. C는 광도 계급이 III이므로 거성이다. 따라서 거성인 C가 주계열성인 A보다 진화가 더 진행된 별이다.

04 별의 물리량

A는 백색 왜성, B는 거성이므로 C는 주계열성에 해당한다.

✗. C는 주계열성에 해당하므로 절대 등급이 2.6등급일 때 색지수는 약 0.4이다. 절대 등급이 2.6등급일 때 색지수가 1보다 크면 주계열의 범위에 속하지 않는다.

㉠. 표면 온도는 색지수가 작을수록 높다. A는 색지수가 -0.03 이고, B는 1.23이므로 표면 온도는 A가 B보다 높다.

㉡. 최대 복사 에너지를 방출하는 파장은 별의 표면 온도가 낮을수록 길고, 표면 온도가 낮을수록 색지수가 크므로 A, B, C 중 최대 복사 에너지를 방출하는 파장은 색지수가 가장 큰 B가 가장 길다.

05 수소 핵융합 반응

별의 중심 온도에 따라 우세하게 일어나는 수소 핵융합 반응의 종류가 달라진다.

✗. (가)는 4개의 수소 원자핵이 1개의 헬륨 원자핵으로 바뀌면서 에너지를 생성하는 과정에서 탄소, 질소, 산소가 촉매 역할을 하는 탄소·질소·산소 순환 반응(CNO 순환 반응)이다.

㉠. (나)에서 A는 p-p 반응, B는 CNO 순환 반응에 해당하므로 (나)에서 (가)에 해당하는 것은 B이다.

✗. p-p 반응은 약 1800만 K 이하의 온도에서 우세하고, CNO 순환 반응은 약 1800만 K 이상의 온도에서 우세하다. 태양의 중심부 온도는 약 1500만 K이므로 p-p 반응인 A가 우세하다.

06 질량이 다른 주계열성의 내부 구조

질량이 태양 질량의 약 2배보다 작은 주계열성은 중심핵-복사층-대류층의 내부 구조를 가지고, 질량이 태양 질량의 약 2배보다 큰 주계열성은 대류핵-복사층의 내부 구조를 가진다.

㉠. 중심핵-복사층-대류층의 내부 구조를 가지는 (나)가 (가)보다 질량이 작다.

✗. 주계열성은 질량이 큰 별일수록 반지름과 광도가 크고, 표면

온도가 높으며, 주계열에 머무르는 시간이 짧다. 따라서 주계열에 머무르는 시간은 질량이 큰 (가)가 (나)보다 짧다.

✗. 질량이 태양 질량의 약 2배보다 큰 주계열성은 중심부 온도가 1800만 K 이상이므로 p-p 반응보다는 CNO 순환 반응이 우세하게 일어난다.

07 주계열성의 물리량

주계열성은 질량이 큰 별일수록 반지름과 광도가 크고, 표면 온도가 높으며, 절대 등급이 작고, 주계열에 머무르는 시간이 짧다.

㉠. 주계열성은 표면 온도와 광도가 클수록 반지름이 크다.

✗. 별의 표면 온도가 높을수록 최대 복사 에너지를 방출하는 파장이 짧다.

✗. 주계열성은 질량이 클수록 중심부 온도가 높다.

08 H-R도

H-R도는 가로축에 표면 온도나 분광형을, 세로축에 절대 등급 또는 광도를 나타낸 그래프이다.

㉠. 절대 등급이 작을수록 광도가 크다. 따라서 광도는 물리량 X로 적절하다.

✗. 별은 표면 온도가 높은 것부터 순서대로 스펙트럼을 O, B, A, F, G, K, M형의 7개로 분류한다. 따라서 표면 온도는 ㉠ 방향으로 갈수록 높다.

✗. 별이 H-R도에서 오른쪽 위에 분포할수록 표면 온도가 낮고 광도가 크므로 반지름은 크다. 따라서 반지름은 a가 b보다 크다.

09 별의 진화 경로

주계열 이후의 별의 진화 경로는 별의 질량에 따라 달라진다. 태양 정도의 질량을 가지는 별의 최후 단계는 백색 왜성이며, 질량이 매우 큰 별은 마지막 단계에서 중력 수축을 하다가 초신성 폭발을 하고 이후 중심핵은 질량에 따라 중성자별이나 블랙홀로 진화한다.

㉠. 주계열성은 질량이 작을수록 광도가 작고 절대 등급이 크다. 별의 절대 등급은 질량이 작은 A가 B보다 크다.

✗. ㉠은 백색 왜성이다. 질량이 태양 정도인 별은 적색 거성 단계에서 헬륨 핵융합 반응으로 탄소핵을 생성하고, 이후 중심핵의 온도가 탄소 핵융합 반응이 일어나기 위한 온도에 이르지 못해 더 이상의 핵융합 반응은 일어나지 않고 백색 왜성으로 진화한다.

㉡. 질량이 매우 큰 별은 초신성 폭발 이후 중심부가 수축하여 밀도가 매우 큰 중성자별이 된다. 중심핵의 질량이 더 큰 경우에는 더 많이 수축하므로 밀도와 표면 중력이 매우 커서 빛조차 빠져나올 수 없는 블랙홀이 된다. 따라서 주계열성의 질량은 $A < B < C$ 순이다.

10 별의 물리량

별의 광도(L)는 표면 온도(T)의 4제곱과 반지름(R)의 제곱에 비례한다.

$$L = 4\pi R^2 \cdot \sigma T^4$$

✗. ㉠과 ㉡의 광도는 같지만, ㉠은 주계열성으로 광도 계급이 V이고 ㉡은 거성으로 광도 계급이 III이다.

㉢. 질량이 큰 별일수록 주계열에 머무르는 시간이 짧으므로 질량이 더 큰 ㉠이 ㉡보다 주계열에 머무르는 시간이 짧다.

㉣. 별의 광도(L)는 별의 반지름과 표면 온도를 각각 R , T 라고 할 때, $L \propto R^2 \cdot T^4$ 의 관계이다. 표면 온도는 ㉠이 ㉡보다 낮는데, 광도는 ㉠이 ㉡보다 100²배 크므로 반지름은 ㉠이 ㉡보다 100배 이상 크다.

11 정역학 평형 상태

별의 내부에서 기체 압력 차에 의한 힘과 중력이 평형을 이룰 때를 정역학 평형 상태라고 한다. A는 기체 압력 차에 의한 힘, B는 중력이다.

㉠. 원시별에서는 별의 중력(B)이 기체 압력 차에 의한 힘(A)보다 크므로 정역학 평형 상태를 이루지 못하고 중력 수축이 일어나 크기가 작아진다.

㉡. 기체 압력 차에 의한 힘(A)과 중력(B)이 평형을 이루는 정역학 평형 상태에서는 수축이나 팽창을 하지 않고 크기가 거의 일정하게 유지된다.

㉢. 별의 중심핵에서 핵융합 반응이 멈추면 중심핵에서는 기체 압력 차에 의한 힘(A)이 줄어 상대적으로 중력(B)이 더 우세하기 때문에 수축이 일어난다.

12 별의 분류

㉠은 초거성, ㉡은 거성, ㉢은 주계열성, ㉣은 백색 왜성이다.

✗. 평균 광도는 초거성인 ㉠이 거성인 ㉡보다 크다.

㉢. ㉢은 주계열성으로 중심핵에서 수소 핵융합 반응으로 에너지를 생성한다.

㉣. 질량이 태양 정도인 별은 원시별 → 주계열성 → 적색 거성 → 행성상 성운과 백색 왜성으로 진화한다. 따라서 진화가 가장 많이 진행된 것은 백색 왜성인 ㉣이다.

13 원시별의 진화

성운의 중심부에서는 중력 수축으로 온도가 높아지고 밀도가 커져 원시별이 생성된다. 원시별이 수축하여 중심부에서 수소 핵융합 반응이 일어나는 온도가 되면 주계열성이 된다.

㉠. 원시별이 주계열성으로 진화하는 과정에서 중력 수축이 일어나므로 반지름은 감소한다.

✗. 원시별에서 주계열성이 되는 데 걸리는 시간은 원시별의 질량이 클수록 짧으므로 주계열에 도달하는 데 걸리는 시간은 A가 B보다 짧다.

㉢. 원시별은 중력 수축으로 중심부 온도가 상승하며, 중심부 온도가 약 1000만 K에 이르면 중심부에서 수소 핵융합 반응이 일어나는 주계열성이 된다.

14 분광형과 광도 계급

광도 계급 V는 주계열성이고, VII은 백색 왜성이다.

㉠. 색지수는 표면 온도가 낮을수록 크다. 따라서 A2형인 c보다 G2형인 a가 표면 온도가 낮고 색지수는 크다.

㉡. 주계열성은 표면 온도가 높을수록 반지름, 질량, 광도가 크다. b가 a보다 표면 온도가 높은 주계열성이므로 반지름은 b가 a보다 크다.

㉢. a와 b는 광도 계급이 V로 모두 주계열성이다. 주계열성은 표면 온도가 높을수록 광도가 크므로 b가 a보다 광도가 크다. 또한 분광형이 같을 때 광도 계급이 작을수록 광도가 크므로 b가 c보다 광도가 크다. 따라서 a, b, c 중 광도가 가장 큰 별은 b이다.

15 별의 진화

태양 정도의 질량을 가진 별은 원시별 → 주계열성 → 적색 거성 → 행성상 성운과 백색 왜성으로 진화한다.

㉠. ㉠ → ㉡은 원시별이 주계열성으로 진화하는 과정으로, 별의 표면에서 중력이 기체 압력 차에 의한 힘보다 크기 때문에 중력 수축이 일어난다.

✗. ㉢ → ㉣은 주계열성에서 적색 거성으로 진화하는 과정으로, 헬륨핵의 중력 수축으로 발생한 에너지로 헬륨핵 외곽에서 수소 핵융합 반응이 일어난다.

✗. ㉣은 적색 거성으로 중심핵에서 헬륨 핵융합 반응으로 탄소가 생성된다.

16 원시별의 진화

거대한 성운이 수축하면 성운의 밀도가 점점 커지고 기체 원반이 형성되며, 성운의 중심부에서는 중력 수축에 의해 온도가 높아지고 밀도가 커져 원시별이 생성된다.

✗. 별은 밀도가 크고 온도가 낮은 성운에서 탄생한다. 성운의 온도가 높으면 기체의 분자 운동이 활발하여 중력 수축하기 어렵다.

㉢. 원시별이 중력 수축함에 따라 중심부 온도가 상승하고, 약 1000만 K에 이르면 중심부에서 수소 핵융합 반응이 일어나 주계열성이 된다.

㉣. 원시별은 질량이 클수록 주계열성에 이르는 시간이 짧다.

17 별의 스펙트럼

중성 원자는 원소 기호 뒤에 로마자 I을 붙여 표현하고, 전자 1개가 떨어져 나가 +1가로 이온화된 원자는 II, 전자 2개가 떨어져 나가 +2가로 이온화된 원자는 III을 붙여 표현한다.

㉠ 별의 대기에 존재하는 원소들은 별의 표면 온도에 따라 이온화하는 정도가 다르기 때문에 각각 가능한 이온화 단계에서 특정 흡수선을 형성하므로, 흡수 스펙트럼선의 종류와 세기는 별의 표면 온도에 따라 달라진다.

㉡ 수소 흡수선은 표면 온도가 약 10000 K인 A형 별에서 가장 강하게 나타난다.

㉢ 태양에서는 +1가로 이온화된 칼슘 흡수선(CaII)이 수소 흡수선보다 강하게 나타난다.

18 별의 표면 온도

별이 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 복사 에너지의 양은 표면 온도의 4제곱에 비례하므로 표면 온도를 비교하면 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 복사 에너지를 비교할 수 있다.

㉠ 최대 복사 에너지를 방출하는 파장은 표면 온도에 반비례하므로 별의 표면 온도에 대한 정보를 얻을 수 있다. 따라서 최대 복사 에너지를 방출하는 파장을 비교하면 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 복사 에너지를 비교할 수 있다.

㉡ 별의 절대 등급으로 광도를 비교할 수 있다. 별의 광도는 반지름의 제곱과 표면 온도의 4제곱에 비례한다. 따라서 광도는 온도 뿐만 아니라 반지름에 의해서도 달라지므로 절대 등급만을 비교해서는 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 복사 에너지를 비교할 수 없다.

㉢ 별의 광도(L)는 별의 반지름과 표면 온도를 각각 R , T 라고 할 때 $L=4\pi R^2 \cdot \sigma T^4$ 의 관계이므로, $T^4 \propto \frac{L}{4\pi R^2}$ 이다. 따라서 표면적($4\pi R^2$)에 대한 광도의 비를 비교하면 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 복사 에너지를 비교할 수 있다.

19 광도 계급

광도 계급은 별을 I~VI(백색 왜성을 포함하면 I~VII)으로 분류하며, 분광형이 같을 때 광도 계급의 숫자가 클수록 별의 반지름과 광도가 작다. ㉠은 광도 계급이 II인 밝은 거성, ㉡은 광도 계급이 III인 거성, ㉢은 광도 계급이 V인 주계열성이다.

㉠ 분광형이 같을 때, 광도 계급이 II인 별은 III인 별보다 광도가 크다.

㉡ 분광형이 같을 때, 광도가 큰 별일수록 반지름이 크다.

㉢ ㉡은 광도 계급이 V인 주계열성이다.

20 플랑크 곡선

흑체가 복사하는 파장에 따른 복사 에너지의 세기를 나타낸 곡선을 플랑크 곡선이라고 한다.

㉠ 슈테판·볼츠만 법칙에 의하면 흑체가 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 복사 에너지량은 표면 온도의 4제곱에 비례하므로, 표면 온도가 높은 별일수록 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 복사 에너지의 양이 많다. 그림에서 별이 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 복사 에너지의 양은 각각의 곡선 아래의 면적에 해당한다.

㉡ 빈의 법칙에 의하면 흑체가 최대 복사 에너지를 방출하는 파장은 표면 온도가 낮을수록 길다. 그림에서 각 곡선의 극댓값을 갖는 파장이 별에서 최대 복사 에너지를 방출하는 파장에 해당하며, 이는 별의 표면 온도가 낮을수록 길다.

㉢ 별의 광도는 반지름의 제곱과 표면 온도의 4제곱에 비례한다. 표면 온도가 같아도 반지름이 다르면 광도는 다르다.

21 별의 내부 구조

주계열성 내부에서 수소 핵융합 반응이 끝나면 중심에 헬륨핵이 생성되고, 헬륨핵의 중력 수축으로 발생한 에너지가 중심부 외곽에 공급되어 헬륨핵 외곽(수소 껍질)에서 수소 핵융합 반응이 일어난다. 또한 바깥층은 팽창하여 크기가 커지므로 (가)와 같은 내부 구조를 가진다. 중심부 온도가 계속 상승하여 약 1억 K에 도달하면 헬륨 핵융합 반응이 일어나 탄소와 산소로 구성된 핵이 만들어지므로 (나)와 같은 내부 구조를 가진다.

㉡ 주계열성의 중심부에서 수소 핵융합 반응이 끝나면 중심부에는 헬륨핵이 생성되며, 헬륨 핵융합 반응이 일어날 때까지 중심부에서 중력 수축이 일어나므로, 주계열 단계 직후의 내부 구조는 (가)와 같다.

㉢ ㉠은 수소 껍질(수소각)로, 헬륨핵이 수축하는 과정에서 발생한 열에너지에 의해 온도가 상승하여 수소 핵융합 반응이 일어난다.

㉣ ㉡은 헬륨 핵융합 반응을 하는 중심핵이다. 주계열 단계 이후 수축하던 헬륨핵의 온도가 약 1억 K에 이르면 헬륨 핵융합 반응이 일어나 탄소가 생성된다.

22 색지수

별의 표면 온도가 높은 순서대로 스펙트럼을 O, B, A, F, G, K, M형의 7개로 분류하며 표면 온도가 높을수록 색지수는 작다. 색지수는 별의 표면 온도를 나타내는 척도로 사용되며, U, B, V 필터로 정해지는 겉보기 등급의 차를 이용한다. U, B, V 필터는 각각 $0.36 \mu\text{m}$, $0.44 \mu\text{m}$, $0.54 \mu\text{m}$ 부근 파장의 빛만을 통과시킨다.

㉠ 색지수는 짧은 파장대의 등급에서 긴 파장대의 등급을 뺀 값으로 정의한다. ㉠이 B 등급이고 ㉡이 V 등급인 경우에는 a의 색지수가 -1.73 이고, c의 색지수가 -0.55 이다. ㉠이 V 등급이고

㉠이 B 등급인 경우에는 a의 색지수가 1.73이고, c의 색지수가 0.55이다. a는 c보다 표면 온도가 낮은 별이므로 색지수는 a가 c보다 크다. 따라서 ㉠이 V 등급, ㉡이 B 등급이다.

㉢. a는 b보다 색지수가 크므로, 표면 온도는 a가 b보다 낮다. 주계열성은 표면 온도가 낮을수록 질량이 작으므로 질량은 a가 b보다 작다.

㉣. 표면 온도는 색지수가 작을수록 높으므로 색지수가 가장 작은 b가 가장 높다.

23 별의 진화 경로

별은 질량이 클수록 진화 속도가 빠르다.

✕. A는 B보다 질량이 큰 별이다. 별의 질량이 클수록 진화 속도가 빠르므로 주계열성에서 거성으로 진화하는 데 걸리는 시간은 A가 B보다 짧다.

㉠. A와 B는 주계열성이므로 표면 온도가 높을수록 반지름이 크다.

✕. B'는 거성이므로 중심핵에서 헬륨 핵융합 반응이 일어난다.

24 별의 물리량

C는 반지름이 A의 10배이고, 절대 등급이 A보다 5등급 작으므로 광도는 A의 100배이다. 그러므로 A와 C는 표면 온도와 분광형이 같다. B는 표면 온도가 10000 K이므로 세 별 중 표면 온도는 가장 높고 절대 등급이 가장 크므로 광도가 가장 작은 백색 왜성이다. 따라서 A는 주계열성, C는 거성이다.

㉠. B는 A보다 표면 온도는 높는데 광도가 작다. 따라서 반지름은 A가 B보다 크다.

㉢. C는 A와 표면 온도가 같으므로 분광형이 A와 같은 G형인 별이다.

㉣. A는 주계열성이므로 중심핵에서 수소 핵융합 반응이 일어난다.

3점 수능 테스트

본문 160~171쪽

- 01 ④ 02 ② 03 ② 04 ③ 05 ③ 06 ⑤ 07 ②
 08 ① 09 ① 10 ⑤ 11 ⑤ 12 ② 13 ③ 14 ③
 15 ③ 16 ⑤ 17 ① 18 ③ 19 ① 20 ③ 21 ④
 22 ③ 23 ④ 24 ②

01 별의 스펙트럼

별의 스펙트럼을 분석하면 별의 여러 가지 물리량을 알아낼 수 있다. a, b에서 관측되는 스펙트럼은 각각 흡수 스펙트럼, 연속 스펙트럼이다.

✕. a에서 관측되는 스펙트럼은 흡수 스펙트럼이며 스펙트럼의 파장에 따른 복사 에너지의 상대적 세기는 ㉠이다.

㉠. 별의 대기에 존재하는 원소들은 별의 표면 온도에 따라 이온화되는 정도가 다르기 때문에 각각 가능한 이온화 단계에서 특정 흡수선을 형성하므로 별의 스펙트럼을 관측하면 ㉠과 같은 흡수 스펙트럼이 관측된다.

㉢. 연속 스펙트럼이 나타나는 빛이 상대적으로 온도가 낮은 기체를 통과하면 기체가 특정한 파장의 빛을 흡수하여 연속 스펙트럼 위에 검은색 선(흡수선)이 나타난다.

02 B, V 등급

고온의 별(파란색 별)은 B 필터를 통해 관측했을 때 더 밝고, 저온의 별(붉은색 별)은 V 필터를 통해 관측했을 때 더 밝다.

✕. V 필터보다 B 필터를 통해 관측했을 때 더 밝은 a는 고온의 별이고, B 필터보다 V 필터를 통해 관측했을 때 더 밝은 b는 저온의 별이다. 따라서 표면 온도는 a가 b보다 높다.

✕. a와 b는 주계열성이고, 주계열성은 표면 온도가 높을수록 광도가 크고 절대 등급은 작다. 따라서 표면 온도가 높은 a가 b보다 절대 등급이 작다.

㉠. (나)는 B 필터를 투과하는 빛의 양이 V 필터를 투과하는 빛의 양보다 많다. 따라서 (나)는 B 필터를 통해 관측했을 때 더 밝게 보이는 a의 파장에 따른 복사 에너지의 상대적 세기 분포이다.

03 분광 관측

분광 관측을 통해 천체를 구성하고 있는 원소, 표면 온도, 광도를 추정할 수 있다.

✕. 1814년 프라운호퍼는 분광기로 태양을 관측하여 태양에서 수백 개의 흡수선을 찾아내었다. 20세기 초 캐넌은 다양한 흡수선의 세기에 따라 별을 O, B, A, F, G, K, M형으로 분류하였다. 1943년 모건과 키넌은 광도 계급을 개발하여 별을 다시 분류하였으며, 오늘날 이를 기초로 하여 별의 광도 계급까지 한꺼번에

표시할 수 있게 되었다. 따라서 분광 관측 과학사의 시간 순서는 (나) → (가) → (다)이다.

✕. 별을 표면 온도에 따라 고온에서 저온 순으로 O, B, A, F, G, K, M형의 7가지로 분류하는데, 이를 별의 분광형 또는 스펙트럼형이라고 하며 각 분광형은 다시 고온의 0에서 저온의 9까지 10단계로 세분한다. 그러나 같은 분광형의 별이라도 별의 크기가 다르면 별의 광도는 다르다. 따라서 흡수선의 종류와 세기에 대한 정보로 표면 온도는 알 수 있지만 광도는 알 수 없다.

㉠. 별의 광도가 큰 I에서 광도가 작은 VII까지의 계급으로 구분하는 것을 광도 계급이라고 한다. 모건과 키넌은 분광형과 광도 계급을 고려한 별의 분류법을 고안하였으며, 이를 통해 별의 종류와 반지름에 대한 정보를 얻을 수 있다.

04 H-R도 작성하기

탐구 결과에서 집단 a는 주계열성, 집단 b는 거성, 집단 c는 초거성, 집단 d는 백색 왜성에 해당한다.

㉠. ㉠은 분광형이 A형으로 표면 온도는 높는데 절대 등급이 11.3등급으로 광도가 작은 별이다. 따라서 ㉠은 백색 왜성으로 집단 d에 속한다.

㉡. 모든 별의 약 80~90%가 H-R도의 왼쪽 위에서 오른쪽 아래로 이어지는 대각선을 따라 분포하는 주계열성이다. 따라서 별이 가장 많이 모여 있는 집단은 주계열성인 집단 a이다.

✕. ㉠은 거성인 집단 b와 초거성인 집단 c에서는 대체로 크며, 백색 왜성인 집단 d에서는 작은 물리량이므로 평균 밀도는 이에 해당한다고 볼 수 없다. ㉠에 적절한 물리량에는 별의 반지름이 있다.

05 별의 물리량

단위 시간당 별의 표면에서 방출하는 파장에 따른 복사 에너지 세기 그래프에서 곡선 아래의 면적은 별의 광도에 해당한다. 별에서 최대 에너지를 방출하는 파장은 표면 온도가 높을수록 짧으며, 표면 온도가 같을 때 별의 크기가 클수록 광도가 크다.

㉠. A와 B는 최대 복사 에너지를 방출하는 파장이 같으므로 표면 온도는 같다. A의 그래프 곡선 아래의 면적이 B의 그래프 곡선 아래의 면적보다 크므로 A의 광도가 B의 광도보다 크다. 따라서 표면 온도가 같을 때 별의 반지름이 클수록 광도가 크므로 반지름은 A가 B보다 크다.

㉡. 최대 복사 에너지를 방출하는 파장의 비는 B : C가 1 : 2이므로 표면 온도의 비는 2 : 1이다. 따라서 표면 온도는 B가 C의 2배이다.

✕. 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 에너지는 표면 온도의 4제곱에 비례한다. A와 B는 표면 온도가 같으므로 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 에너지가 같다.

06 별의 물리량

별의 절대 등급이 5등급 차이일 때 광도는 100배 차이가 난다.

㉠. a는 절대 등급이 -0.2등급이므로 절대 등급이 4.8등급인 태양보다 광도가 100배 크며 표면 온도는 태양의 2배이다. 별의 광도(L)는 별의 반지름과 표면 온도를 각각 R, T라고 할 때, $L = 4\pi R^2 \cdot \sigma T^4$

이므로 반지름 $R \propto \frac{\sqrt{L}}{T^2}$ 이다. 따라서 $\frac{R_a}{R_{태양}} = \frac{\sqrt{L_a}}{\frac{T_{태양}^2}{T_a^2}} = \frac{10}{4} = 2.5$

이다. 따라서 ㉠은 2.5이다.

㉡. b는 절대 등급이 -5.2등급이므로 b의 광도는 a보다 100배 크다. c의 표면 온도가 a와 같고 c의 반지름은 a의 40배이므로 c의 광도는 a의 광도보다 1600배 크다. 따라서 a, b, c 중 광도는 c가 가장 크다.

㉢. 별의 광도(L)는 별의 반지름과 표면 온도를 각각 R, T라고 할 때, $L \propto R^2 \cdot T^4$ 의 관계이므로 $T \propto \frac{L^{\frac{1}{4}}}{R^{\frac{1}{2}}}$ 이다. b와 c의 광도비는 1 : 16이고, 반지름 비는 1 : 5이므로 b와 c의 표면 온도 비는 $1 : \frac{16^{\frac{1}{4}}}{5^{\frac{1}{2}}} = \sqrt{5} : 2$ 이다. 따라서 표면 온도는 b가 c보다 높다.

07 슈테판·볼츠만 법칙과 별의 광도

별이 단위 시간에 방출하는 에너지의 양을 광도라고 한다. 별의 광도는 별의 표면적과 별이 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 에너지양을 곱하여 얻을 수 있다.

✕. 별의 광도(L)는 별의 반지름과 표면 온도를 각각 R, T라고 할 때, $L \propto R^2 \cdot T^4$ 의 관계이므로 A와 B의 광도비는 $E_A \cdot R_A^2 : E_B \cdot R_B^2 = 100 : 1$ 이다.

㉠. 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 에너지(E)는 별의 표면 온도가 T일 때 $E \propto T^4$ 의 관계이므로 표면 온도는 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 에너지가 큰 A가 B보다 높다.

✕. 별의 표면 온도가 T일 때 최대 복사 에너지를 방출하는 파장(λ_{\max})은 T에 반비례한다. A와 B의 표면 온도의 비는 $\sqrt{5} : 1$ 이므로 최대 에너지를 방출하는 파장의 비는 $1 : \sqrt{5}$ 이다. 따라서 최대 에너지를 방출하는 파장은 B가 A보다 약 2.24배이므로 3배보다 긴 것은 아니다.

08 적색 거성으로의 진화

주계열성의 중심부에서 수소 핵융합 반응이 끝나면 중심부에는 헬륨핵이 생성되며, 헬륨 핵융합 반응이 일어날 때까지 중심부에서 중력 수축이 일어난다.

㉠. (가)의 표면에서는 팽창이 일어나고 있는데 이는 별의 표면에

서 기체 압력 차에 의한 힘이 중력보다 크기 때문이다. (나)에서 힘의 크기는 A가 B보다 크므로 A가 기체 압력 차에 의한 힘이고 B가 중력이다.

✕. (가)의 중심부는 수축하고 있다. 이는 (가)의 중심부는 중력이 기체 압력 차에 의한 힘보다 크기 때문이다. 따라서 B가 A보다 크다.

✕. (가)의 중심부는 중력 수축이 일어나고 있는 단계이며, 헬륨 핵융합 반응을 하기 위해서는 중심핵에서 중력 수축이 일어나 중심부 온도가 더 높아져야 한다.

09 태양의 에너지원

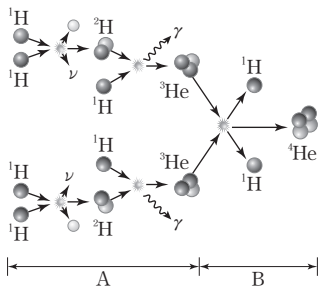
주계열성의 내부에서는 중심핵에서 수소 핵융합 반응이 일어나면서 헬륨이 차지하는 비율이 점점 높아진다.

㉠. 중심부에서 원소의 질량 비율이 A는 감소하였고 B는 증가하였다. 따라서 A는 수소 핵융합 반응의 반응물인 수소이고, B는 생성물인 헬륨이다.

✕. 수소 핵융합 반응은 반응물인 수소의 양이 많을수록, 온도가 높을수록 더 활발하게 일어난다. 태양이 주계열 단계에 처음 도달했을 때 수소는 전체적으로 골고루 분포하였는데, 온도가 높은 중심부가 바깥쪽보다 반응이 더 활발하게 일어나 50억 년 후 수소 질량 비율은 중심부 쪽으로 갈수록 더 많이 감소하였다. 이는 수소 핵융합 반응이 태양의 중심에서 더 활발하기 때문이다.

[참고]

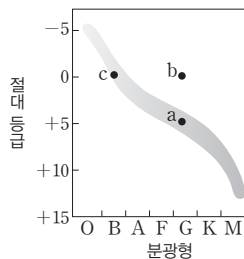
㉠. 부근에서 ${}^3\text{He}$ 의 질량 비율이 중심부보다 높은 것은 중심부에서 멀어질수록 온도가 낮아지기 때문이다. 그림에서 4개의 ${}^1\text{H}$ 가 융합하여 1개의 ${}^4\text{He}$ 이 생성되는 수소 핵융합 반응은 여러 반응 과정을 거치는데, 온도가 낮아지면 A 과정보다 B 과정의 반응률이 더 낮아지므로 생성된 ${}^3\text{He}$ 이 융합하여 ${}^4\text{He}$ 이 되는 비율이 줄어 ${}^3\text{He}$ 의 질량 비율이 증가한다.



✕. B는 헬륨이다. 주계열성이 된 50억 년 후에 중심부에서 헬륨이 증가한 것은 중력 수축으로 가라앉았기 때문이 아니라 수소 핵융합 반응으로 헬륨이 생성되었기 때문이다.

10 별의 물리량

별 a, b, c의 위치를 H-R도에 나타내면 a는 주계열성, b는 거성, c는 주계열성이다.



㉠. a와 b는 분광형이 같으므로 표면 온도가 같고, a와 b의 반지름 비는 1 : 10이므로 a와 b의 광도비는 1 : 100이다. 따라서 b의 절대 등급이 0등급이므로 a의 절대 등급은 5등급이다.

㉡. a와 c는 주계열성이고 a의 절대 등급은 5등급, c의 절대 등급은 0등급이므로 c의 표면 온도는 a보다 높다. 그러므로 반지름은 c가 a보다 크다. 또한 c와 b의 절대 등급은 0등급으로 같은데 표면 온도는 c가 높으므로 반지름은 c보다 b가 크다. 따라서 반지름이 가장 큰 별은 b이다.

㉢. a와 c는 주계열성이고 a의 절대 등급은 5등급, c의 절대 등급은 0등급이므로 c의 표면 온도는 a보다 높다. 따라서 표면 온도가 가장 높은 별은 c이다.

11 주계열성의 질량-광도 관계

주계열성은 질량이 큰 별일수록 중심부 온도가 높아 수소 핵융합 반응이 빠르게 일어나 수소를 빨리 소비하기 때문에 별이 주계열 단계에 머무르는 기간이 짧다.

㉠. A는 태양보다 절대 등급이 10만큼 작으므로 광도가 태양보다 10^4 배 큰 별이다. A는 질량이 $0.4M_{\odot}$ (M_{\odot} : 태양 질량)보다 큰 별이므로 주계열성의 질량(M)-광도(L) 관계는 $L \propto M^4$ 이다. 따라서 광도가 태양의 10^4 배인 A의 질량은 태양 질량의 약 10배이다.

㉡. 태양의 표면 온도(T_{\odot})는 B의 약 2배이고, 태양의 절대 등급이 B보다 약 5등급 작으므로 태양의 광도(L_{\odot})는 B의 약 10^2 배이다. 따라서 B의 표면 온도(T), 광도(L)를 각각 1이라고 했을 때,

$$\frac{\text{태양의 반지름}}{\text{B의 반지름}} = \sqrt{\frac{L_{\odot}}{L}} = \sqrt{\frac{10^2}{1}} = \sqrt{10} = \frac{10}{\sqrt{10}} = \frac{10}{3.16} \approx 3.16$$

양이 B보다 약 2.5배 크다.

㉢. 질량이 $0.4M_{\odot}$ (M_{\odot} : 태양 질량) 이상인 주계열성의 질량(M)-광도(L) 관계는 $L \propto M^4$ 이므로 태양 광도의 16배인 주계열성의 질량은 태양 질량(M_{\odot})의 2배이다. 별의 수명(t)은 질량에 비례하고, 광도에 반비례하므로 별의 수명 $t \propto \frac{M}{L} = \frac{M}{M^4} = \frac{1}{M^3}$

이다. 따라서 태양의 수명(t_{\odot})이 약 1×10^{10} 년이므로 태양 광도의 16배인 주계열성의 수명 $t = \frac{M_{\odot}^3}{M^3} t_{\odot} = \frac{1}{2^3} \times 1 \times 10^{10} \text{년} = 1.25 \times 10^9 \text{년}$ 이다.

12 별의 진화

성단의 별들은 하나의 성운에서 거의 동시에 만들어진 별들이므로 나이가 같다. 동일 성단에 있는 서로 다른 질량의 별들은 진화 속도가 다르므로 어느 한 시기에 원시별, 주계열성, 거성이 공존할 수 있다.

✕. 별의 질량이 클수록 진화 속도가 빠르는데, 질량이 큰 별은 원시별에서 주계열성에 도달하는 데 걸리는 시간도 짧고, 주계열성에 머무르는 시간도 짧다. (가)에서는 질량이 큰 주계열성들이 거성으로 이동했고, (나)에서는 질량이 더 작은 주계열성까지 거성으로 이동했다. (다)에서는 질량이 작은 별들이 아직 주계열성에 이르지 못했다. 따라서 시간 순서는 (다) → (가) → (나)이다.

✕. A는 주계열성에서 거성으로 진화하고 있는 단계의 별로, 중심부에서 수소 핵융합 반응이 끝나 중심부에는 헬륨핵이 생성되어 있으며, 헬륨 핵융합 반응이 일어날 때까지 중심부에서 중력 수축이 일어난다. 이 과정에서 중력 수축 에너지가 발생하고 이 에너지에 의해 중심핵의 바깥 껍질에서는 수소 핵융합 반응(수소 껍질 연소)이 일어난다.

㉠. B는 아직 주계열성에 도달하지 않은 원시별이다. 원시별에서는 별의 중력이 기체 압력 차에 의한 힘보다 크므로 중력 수축이 일어나고, 이때 위치 에너지의 감소로 인해 중력 수축 에너지가 발생하는데 이 에너지가 원시별의 에너지원이다.

13 별의 스펙트럼형

별의 대기를 구성하는 기체는 온도에 따라 이온화되는 정도가 다르고, 각각 가능한 이온화 단계에서 특정한 흡수선을 형성하기 때문에 별빛의 스펙트럼에는 별들마다 다양한 흡수선이 나타난다.

㉠. HI 흡수선은 A형 별에서 가장 강하다.

㉡. G형 별에서 표면 온도가 낮을수록 CaII 흡수선의 세기가 강하다. G8형인 c가 G2형인 b보다 표면 온도가 낮은 별이므로 CaII 흡수선의 세기는 b보다 c에서 강하게 나타난다.

✕. 별은 표면 온도가 높을수록 이온선이, 표면 온도가 낮을수록 분자선이 강하게 나타나는 경향이 있다.

14 태양 정도의 질량을 가진 별의 진화 과정

태양 정도의 질량을 가진 별은 원시별 → 주계열성 → 적색 거성 → 행성상 성운과 백색 왜성으로 진화한다.

㉠. (가)는 헬륨핵 융합 반응이 일어나고 있는 적색 거성 단계,

(나)는 주계열 단계, (다)는 중심부에서 수소 핵융합 반응이 끝나고 헬륨핵이 생성되었으며, 헬륨 핵융합 반응이 일어날 때까지 중심부에서 중력 수축이 일어나는 단계, (라)는 헬륨핵 융합 반응이 끝나고 탄소핵이 생성되었으며, 중심부 바깥쪽에서 이중 연소가 일어나고 있는 단계이다. 따라서 이 별의 진화 과정 동안 내부 구조의 변화 순서는 (나) → (다) → (가) → (라)이다.

㉡. (다) 단계에서는 별의 바깥층이 팽창함에 따라 표면 온도는 감소하지만, 표면 온도의 감소보다 반지름의 증가가 광도 변화에 미치는 영향이 더 크므로 광도는 점차 커진다.

✕. (라) 단계에서는 헬륨 핵융합 반응이 끝나고 탄소핵이 생성된 단계이지만, 이후 탄소 핵융합 반응이 일어날 수 있을 만큼 중심부 온도가 상승하지 못하므로 탄소 핵융합 반응은 일어나지 않는다.

15 수소 핵융합 반응

태양의 에너지원은 태양의 중심핵에서 수소 원자핵 4개가 융합하여 1개의 헬륨 원자핵이 될 때 줄어든 질량이 에너지로 전환되어 방출하는 에너지이다.

㉠. 수소 핵융합 반응은 4개의 수소 원자핵이 반응하여 1개의 헬륨 원자핵이 만들어지는 과정에서 에너지가 생성된다. 따라서 ㉠은 헬륨이다.

✕. 원시별의 에너지원은 중력 수축 에너지이다.

㉡. 핵융합 반응에서 감소한 질량을 Δm 이라 하고 빛의 속도를 c 라고 할 때, 핵융합 반응으로 생성되는 에너지양(E)은 Δmc^2 에 해당한다. 따라서 $E = \Delta mc^2 = (5.02 \times 10^{-29} \text{ kg}) \times (3 \times 10^8 \text{ m/s})^2 = 4.518 \times 10^{-12} \text{ J}$ 이다.

16 별의 물리량

별이 최대 복사 에너지를 방출하는 파장은 표면 온도에 반비례하고, 별의 표면 온도가 높을수록 색지수가 작다.

㉠. 색지수($B-V$)는 표면 온도가 높을수록 작다. 최대 복사 에너지를 방출하는 파장이 X가 Y의 0.5배이므로, 표면 온도는 X가 Y의 2배이며 색지수($B-V$)는 X가 Y보다 작다.

㉡. 별의 광도(L)는 별의 반지름과 표면 온도를 각각 R , T 라고 할 때, $L \propto R^2 \cdot T^4$ 의 관계이므로 X와 Y의 광도비는 $\left(\frac{1}{4}\right)^2 \times 2^4 : 1^2 \times 1^4 = 1 : 1$ 이다. 따라서 X와 Y의 광도가 같으므로 절대 등급은 같다.

㉢. 파장에 따른 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 복사 에너지의 상대적 세기 그래프에서 파장의 축과 이루는 면적은 표면 온도의 제곱에 비례한다. 따라서 X와 Y의 그래프 밀면적의 비는 약 16 : 1이다.

17 별의 물리량

별의 광도가 클수록 절대 등급이 작다.

㉠. 별의 반지름과 표면 온도가 각각 R , T 라고 할 때, 별의 광도 (L)는 $L \propto R^2 \cdot T^4$ 의 관계이므로 $R \propto \sqrt{\frac{L}{T^4}}$ 이다. B는 절대 등급이 0등급으로 절대 등급이 5등급인 A보다 광도가 100배 크다. B의 표면 온도는 A의 표면 온도의 2배이다. 따라서 A의 반지름에 대한 B의 반지름은 $\sqrt{\frac{100}{2^4}} = 2.5$ 이다. 따라서 ㉠은 2.5이다. C의 표면 온도는 A의 표면 온도의 0.5배이며 C의 반지름은 A의 반지름의 4배이므로 A의 광도에 대한 C의 광도는 $4^2 \times 0.5^4 = 1$ 이다. 그러므로 A와 C의 광도는 같고 C의 절대 등급은 5등급이다. 따라서 ㉡은 5이며, ㉠+㉡은 7.5이다.

㉢. 별이 최대 복사 에너지를 방출하는 파장은 표면 온도에 반비례하고, 별의 표면 온도가 높을수록 색지수가 작다. 따라서 색지수가 가장 큰 별은 최대 복사 에너지를 방출하는 파장이 가장 긴 C이다.

㉣. 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 에너지는 표면 온도의 4제곱에 비례한다. 그러므로 최대 복사 에너지를 방출하는 파장이 가장 짧은 B가 표면 온도가 가장 높으므로 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 에너지가 가장 크다.

18 별의 진화 과정

별은 질량에 따라 서로 다른 진화 과정을 거친다.

㉠. 최종 진화 단계가 중성자별인 별은 최종 진화 단계가 백색 왜성인 별보다 질량이 큰 별이다. 따라서 질량은 A가 B보다 작다.
 ㉡. I단계에서 II단계로 진화하는 과정에서 별의 중심부는 수축하여 온도가 높아진다.
 ㉢. 철보다 무거운 원소는 태양보다 질량이 매우 큰 별의 진화 과정 중 초신성 폭발이 일어날 때 생성된다. 행성상 성운 단계에서는 철보다 무거운 원소가 생성될 수 없다.

19 질량에 따른 별의 진화

별의 진화 단계는 성운으로부터 별이 만들어질 때의 질량에 따라 달라진다. 질량이 태양 정도인 별은 행성상 성운 단계를 거쳐 최종 진화 단계인 백색 왜성이 되고, 질량이 매우 큰 별의 최종 진화 단계는 중성자별이나 블랙홀이다. 따라서 질량은 B가 A보다 크다.
 ㉠. ㉠은 백색 왜성으로 대부분 탄소로 이루어져 있다. 적색 거성 단계에서 헬륨 핵융합 반응으로 탄소핵이 만들어지는데, 별의 바깥층 물질은 우주 공간으로 방출되어 행성상 성운을 만들고 남은 중심부가 수축하여 만들어진 것이 백색 왜성이다.
 ㉢. ㉠은 초거성 단계로, 질량이 매우 큰 초거성의 중심부에서는

헬륨 핵융합 반응 이후에 탄소, 산소, 네온, 마그네슘, 규소 등의 핵융합이 순차적으로 일어나 철로 이루어진 핵을 생성한다. 중심부에서 핵융합 반응이 멈추면, 빠르게 중력 수축하여 초신성 폭발이 일어나고 이 과정에서 발생한 강력한 에너지에 의해 철보다 무거운 원소가 생성된다.

㉣. 별의 질량이 클수록 진화 속도가 빠르므로 진화 속도는 A보다 B가 빠르다.

20 별의 진화

A는 백색 왜성, B는 블랙홀, C는 중성자별이다.

㉠. 중성자별은 대부분 가시광선에서 너무 어둡고, 블랙홀은 주변으로 끌려 들어가는 물질에서 빛을 방출하지만 그 자체로는 빛을 낼 수 없다. 백색 왜성은 반지름이 작지만 표면 온도가 높기 때문에 H-R도에서 주계열의 왼쪽 아래에 위치한다.
 ㉢. 질량이 매우 큰 별은 초신성 폭발 이후 중심부가 수축하여 밀도가 매우 큰 중성자별(C)이 만들어진다. 중심핵의 질량이 더 큰 경우에는 더 많이 수축하므로 밀도와 표면 중력이 매우 커서 빛조차 빠져나올 수 없는 블랙홀(B)이 된다. 따라서 평균 밀도는 백색 왜성인 A보다 블랙홀인 B가 크다.
 ㉣. 중성자별(C)은 초신성 폭발과 함께 중심핵이 수축하면서 만들어진다.

21 핵융합 반응

(가)는 중심부에서 3개의 헬륨 원자핵이 융합하여 1개의 탄소 원자핵이 생성되는 헬륨 핵융합 반응이 일어나고 있는 거성 단계의 별이고, (나)는 p-p 반응으로 에너지를 생성하고 있는 주계열 단계의 별이다.
 ㉢. 주계열성의 중심부에서 수소 핵융합 반응이 일어나며, 적색 거성의 중심부에서 중심부 온도가 약 1억 K에 도달하였을 때 헬륨 핵융합 반응이 일어나므로 (가)는 주계열성이 아니라 적색 거성이다.
 ㉣. 헬륨 핵융합 반응은 중심부 온도가 약 1억 K 이상에서 일어나고, 수소 핵융합 반응은 중심부 온도가 약 1000만 K 이상에서 일어난다. 따라서 중심부 온도는 (가)가 (나)보다 높다.
 ㉣. 수소 핵융합 반응과 마찬가지로 헬륨 핵융합 반응에서도 반응물의 질량 결손이 에너지로 전환된다. 따라서 반응물인 ${}^4\text{He}$ 3개의 질량의 합은 생성물인 ${}^{12}\text{C}$ 1개의 질량보다 크다.
 ㉣. (가)는 적색 거성, (나)는 주계열성, (다)는 백색 왜성 단계이다.

22 별의 진화

㉓ ㉑은 주계열성이며, 수소 핵융합 반응으로 안정적으로 에너지를 생성하므로 별은 일생 중 가장 오랜 시간을 주계열 단계에서 머무른다. ㉒은 적색 거성으로 중심부에서 헬륨 핵융합 반응이 일어난다. ㉔은 백색 왜성으로 행성상 성운 단계를 거치며 핵융합 반응이 멈춘 별의 중심부가 계속 수축하여 크기가 매우 작고 밀도가 큰 상태이다.

23 정역학 평형

중심부에서 온도가 상승하면 핵융합 반응이 활발해져 에너지 생성률이 높아지고 기체 압력 차에 의한 힘이 커지게 된다. 그러면 중심부는 팽창하여 온도가 다시 하강하고, 핵융합 반응이 약해져 기체 압력 차에 의한 힘이 약해지면서 다시 정역학 평형에 이르게 된다. 반대로 중심부에서 온도가 하강하면 핵융합 반응이 약해져 에너지 생성률이 낮아지고 기체 압력 차에 의한 힘이 작아진다. 그러면 중심부는 수축하여 온도가 다시 상승하고, 핵융합 반응이 활발해져 기체 압력 차에 의한 힘이 커지면서 다시 정역학 평형에 이르게 된다.

✗. 핵융합 반응이 약해졌으므로 중심부 온도가 하강했을 때의 변화 과정이다.

○. 기체 압력 차에 의한 힘보다 중력이 커서 별의 중심부가 수축하면 중심 온도가 상승하게 된다.

㉔. 힘의 작용 방향이 별의 중심 방향인 B는 중력, 중력의 반대 방향인 A는 기체 압력 차에 의한 힘이다.

24 주계열성의 내부 구조

(가)는 질량이 태양 질량의 2배보다 큰 별의 내부 구조이고, (나)는 질량이 태양과 비슷한 별의 내부 구조이다.

✗. 주계열성은 질량이 큰 별일수록 광도가 크다. 광도가 클수록 절대 등급은 작으므로 절대 등급은 질량이 큰 (가)가 질량이 작은 (나)보다 작다.

○. 질량이 태양 질량의 약 2배보다 큰 주계열성은 중심부 온도가 매우 높으므로 중심부에 대류가 일어나는 대류핵이 나타나고, 바깥쪽에 복사층이 나타난다. 따라서 A층은 복사층으로 복사의 형태로 에너지를 전달한다.

✗. (나)는 질량이 태양과 비슷한 별이므로 중심핵에서는 CNO 순환 반응보다 p-p 반응에 의한 에너지 생성률이 더 높다.

09

외계 행성계와 외계 생명체 탐사

2점 수능 테스트

본문 178~179쪽

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

01 외계 행성 탐사 방법

외계 행성 탐사에는 직접 관측, 중심별의 시선 속도 변화 관측, 식 현상 관측, 미세 중력 렌즈 현상 관측 등의 방법이 이용된다.

○. (가)는 중심별이 행성과 공통 질량 중심을 중심으로 같은 주기로 공전하는 과정에서 중심별의 스펙트럼에서 관측되는 시선 속도 변화를 이용한다. 이때 행성의 질량이 클수록 공통 질량 중심이 중심별에서 멀어지므로 중심별의 공전 궤도가 커지고, 시선 속도 변화가 크게 나타난다.

✗. (나)는 행성이 공전하는 과정에서 중심별의 앞을 지나갈 때 나타나는 중심별의 밝기 감소를 관측하여 행성의 존재를 확인한다. 그러나 (다)는 같은 시선 방향에 위치하는 두 별 중 행성을 가진 앞쪽 별이 아닌 뒤쪽 별(배경별)의 밝기 변화를 관측하여 앞쪽 별이 행성을 거느리고 있다는 것을 확인한다.

✗. (가)와 (나)는 행성의 공전 궤도면이 관측자의 시선 방향에 수직일 때에는 행성의 존재를 확인할 수 없지만, (다)는 시선 방향과 공전 궤도면이 이루는 각에 상관없이 행성의 존재를 확인할 수 있다.

02 시선 속도 변화를 이용한 외계 행성 탐사

중심별과 행성이 공통 질량 중심을 중심으로 공전함에 따라 중심별의 시선 속도가 변하면서 도플러 효과에 의한 별빛의 파장 변화가 나타나는데 이를 이용하여 행성의 존재를 확인할 수 있다.

✗. T_1 일 때, 시선 속도가 (-)이므로 중심별은 지구에 가까워진다.
✗. $T_1 \sim T_2$ 기간에 중심별은 지구에 접근하고, T_2 일 때 지구와 가장 가까우며, $T_2 \sim T_3$ 기간에 중심별은 지구에서 멀어진다. 행성은 공통 질량 중심을 기준으로 중심별의 반대 방향에 위치하므로, T_2 일 때 행성은 지구에서 가장 멀다. 따라서 T_2 일 때, 지구로부터의 거리는 중심별이 행성보다 가깝다.

○. 중심별과 행성이 공통 질량 중심을 중심으로 같은 주기로 공전하므로, 중심별의 시선 속도 변화 주기는 행성의 공전 주기와 같다. 따라서 T_1 에서 T_3 까지의 시간은 행성의 공전 주기에 해당한다.

03 식 현상을 이용한 외계 행성 탐사

중심별 주위를 공전하는 행성이 중심별의 앞면을 지날 때 중심별

의 일부가 가려지는 식 현상이 일어난다. 식 현상에 의한 중심별의 밝기 변화를 관측하여 행성의 존재를 확인할 수 있다.

✗. t_1 무렵 중심별의 겉보기 밝기가 최소이므로 이때 별은 행성에 의해 식 현상이 일어났다. 특히 t_1 은 중심별의 겉보기 밝기가 최소인 기간의 가운데에 해당하므로, t_1 일 때 행성과 별은 시선 방향에 위치하며 중심별의 시선 속도는 0이다.

㉠. 행성의 반지름이 클수록 중심별을 가리는 면적이 넓어지므로 중심별의 겉보기 밝기 변화가 크다.

㉡. 중심별의 겉보기 밝기 변화는 중심별 주위를 공전하는 행성이 중심별의 앞을 지나가면서 일부를 가리기 때문에 나타난다. 따라서 중심별의 겉보기 밝기 변화 주기인 t_1 에서 t_2 까지의 시간은 행성의 공전 주기와 같다.

04 미세 중력 렌즈 현상을 이용한 외계 행성 탐사

거리가 다른 두 개의 별이 같은 방향에 있을 경우 뒤쪽 별의 별빛이 앞쪽 별의 중력에 의해 굴절되어 밝기가 변하는데, 이를 미세 중력 렌즈 현상이라고 한다.

㉠. ㉠ 시기에는 별 B의 겉보기 밝기에 추가적인 밝기 변화가 나타났다. 이는 별 A에 의해서뿐 아니라 행성 a에 의해서도 추가적인 미세 중력 렌즈 현상이 나타났기 때문이다.

✗. (나)의 밝기 변화는 행성을 거느린 별 A가 별 B의 앞을 지나가는 동안 일어났다. 따라서 이 현상은 주기적으로 나타날 수 없다.

✗. 미세 중력 렌즈 현상은 행성의 공전 궤도면이 시선 방향에 수직인 경우에도 나타날 수 있다.

05 발견된 외계 행성들의 특징

도플러 효과를 이용하여 발견한 행성들은 대체로 질량이 크며, 식 현상을 이용하여 발견한 행성들은 대체로 공전 궤도 반지름이 작다.

㉠. 행성에 의해 중심별에 식 현상이 일어나면 중심별의 주기적인 밝기 변화가 나타난다. 따라서 식 현상을 이용하여 발견한 외계 행성의 개수는 미세 중력 렌즈 현상을 이용하여 발견한 외계 행성의 개수보다 많다.

㉡. 직접 관측으로 발견한 행성의 공전 궤도 반지름은 대체로 지구의 공전 궤도 반지름인 1 AU보다 크다. 직접 촬영을 통해 외계 행성을 관측할 경우, 행성의 밝기가 중심별에 비해 매우 어두우므로 중심별을 가리고 촬영하여 행성의 존재를 확인하게 되는데, 행성의 공전 궤도 반지름이 너무 작으면 직접 관측을 통해 행성의 존재 여부를 확인하기 어렵다.

㉢. 중심별의 시선 속도 변화, 즉 도플러 효과를 이용하여 발견한 행성들은 대체로 지구보다 질량이 크다. 도플러 효과를 이용할 때 행성의 질량이 클수록 중심별의 시선 속도 변화가 커서 행성의 존재를 확인하기 쉽다.

06 별의 표면 온도와 생명 가능 지대

생명 가능 지대는 중심별 주변에서 물이 액체 상태로 존재할 수 있는 거리 범위이다.

㉠. 별의 표면 온도는 분광형이 A0인 (나)가 가장 높고, K5인 (다)가 가장 낮다. 주계열성은 별의 표면 온도가 높을수록 질량이 크므로, 별의 질량은 분광형이 A0인 (나)가 가장 크다.

㉡. (나)는 (가)보다 표면 온도가 높고 질량이 크다. 주계열성인 중심별의 질량이 클수록 생명 가능 지대의 폭은 넓어지므로, (나)에서 생명 가능 지대의 폭은 (가)의 생명 가능 지대 폭인 0.2 AU보다 넓다.

✗. (다)는 (가)보다 표면 온도가 낮으므로 질량이 작다. 별의 질량이 작을수록 생명 가능 지대의 위치는 중심별에 가까워지므로, (다)에서 생명 가능 지대는 (가)의 생명 가능 지대보다 안쪽에 위치하게 된다. 따라서 (다)로부터 1.15 AU보다 먼 거리에 있는 행성 표면에서는 물이 고체 상태로 존재할 것이다.

07 별의 광도와 생명 가능 지대

중심별의 광도가 클수록 생명 가능 지대는 중심별에서부터 멀어지고 폭도 넓어진다.

㉠. 글리제-581의 생명 가능 지대가 태양의 생명 가능 지대보다 안쪽에 위치하는 것으로 보아 글리제-581은 태양보다 광도가 작다.

㉡. 주계열성일 경우, 별의 질량이 작을수록 광도가 작고 수명이 길다. 글리제-581은 태양보다 광도가 작으므로 진화가 매우 느린 속도로 일어난다. 따라서 글리제-581과 태양의 생명 가능 지대에 각각 위치한 글리제-581d와 지구의 경우 중심별의 진화 속도가 느린 글리제-581d가 지구보다 생명 가능 지대에 머무르는 기간이 길다.

✗. 중심별로부터의 거리는 글리제-581f와 금성이 비슷하지만, 글리제-581의 광도가 태양보다 작으므로 중심별로부터 단위 면적당 단위 시간에 받는 복사 에너지량은 글리제-581f가 금성보다 적다.

08 태양의 진화에 따른 생명 가능 지대의 변화

태양이 진화함에 따라 태양의 광도는 증가하고, 태양으로부터 생명 가능 지대의 거리는 점점 멀어진다.

㉠. 이 기간 동안 태양의 광도가 점점 증가했으므로 생명 가능 지대의 위치는 점점 태양으로부터 멀어졌다.

✗. 20억 년 전에는 현재보다 태양의 광도가 작았으므로 생명 가능 지대의 폭은 현재보다 좁았다.

✗. 태양의 광도는 10억 년 전이 현재보다 작았으므로 생명 가능 지대는 현재보다 안쪽에 위치하였다. 따라서 지구보다 공전 궤도 반지름이 더 큰 화성은 10억 년 전에 생명 가능 지대에 위치하지 않았다.

3점 수능 테스트

본문 180~183쪽

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

01 시선 속도 변화를 이용한 외계 행성 탐사

행성과 중심별이 공통 질량 중심을 중심으로 공전할 때 공전 주기와 공전 방향이 같으므로 행성과 중심별은 항상 공통 질량 중심을 중심으로 서로 반대 방향에 위치하게 된다.

㉠ 행성의 공전 궤도면이 시선 방향에 나란하므로 행성이 공전하는 과정에서 중심별의 앞쪽을 지날 때 식 현상이 일어난다. 따라서 행성에 의한 중심별의 밝기 감소가 관측된다.

㉡ 중심별과 행성이 공통 질량 중심을 중심으로 같은 주기와 같은 방향으로 공전하므로 행성이 ㉠에서 ㉡으로 이동하면서 지구로부터 멀어질 때, 중심별은 지구로 접근하게 된다. 즉, 이때 중심별의 스펙트럼에는 청색 편이가 나타난다.

㉢ 중심별에서 흡수선의 파장 변화량은 행성의 시선 속도에 비례한다. 행성에서 나타나는 최대 시선 속도의 절댓값은 행성의 공전 궤도면상에서 시선 방향에 직각인 두 지점에서 나타나며, ㉠을 지날 때 시선 속도는 최대 시선 속도 값의 $\sin 60^\circ$ 배, 즉 $\frac{\sqrt{3}}{2}$ 배이며,

㉡을 지날 때 시선 속도는 최대 시선 속도 값의 $\sin 30^\circ$ 배, 즉 $\frac{1}{2}$ 배이므로, 중심별에서 어느 흡수선의 파장 변화량은 행성이 ㉠을 지날 때가 ㉡을 지날 때의 $\sqrt{3}$ 배이다.

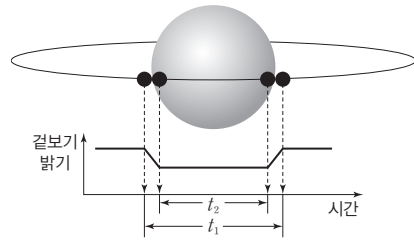
02 식 현상을 이용한 외계 행성 탐사

행성에 의한 식 현상이 일어나는 데 걸리는 시간은 중심별의 반지름, 행성의 반지름, 행성의 공전 속도와 관계가 있다.

㉠ (나)의 a는 행성이 중심별의 앞쪽을 지나갈 때 중심별의 일부를 가리면서 나타난 겉보기 밝기 변화로 행성의 단면적에 비례한다. 따라서 행성의 반지름이 2배가 되면 a는 4배가 된다.

㉡ t_1 은 행성이 중심별의 앞쪽을 지나가는 데 걸리는 시간이므로 공전 속도가 일정하다면, 중심별의 반지름이 클수록 크다.

㉢ t_2 는 행성 전체가 중심별을 가리는 동안 걸리는 시간이다. $(t_1 - t_2)$ 는 (행성의 일부가 중심별을 가리기 시작한 후 행성 전체가 중심별을 가릴 때까지 걸리는 시간) $\times 2$ 이므로 공전 속도가 같다면 행성의 반지름이 클수록 크고, 행성의 반지름이 같다면 공전 속도가 느릴수록 크다.



03 시선 속도 변화를 이용한 외계 행성 탐사

(가)는 (나)보다 시선 속도의 변화 주기가 짧고, 시선 속도의 변화량이 작다.

㉠ 중심별의 시선 속도의 변화 주기는 행성의 공전 주기와 같다. 따라서 행성의 공전 주기는 시선 속도 변화 주기가 짧은 (가)가 (나)보다 짧다.

㉡ (가)가 (나)보다 행성의 공전 주기가 짧으므로 공통 질량 중심에 대한 중심별의 공전 주기도 (가)가 (나)보다 짧다. 만약 중심별의 공전 궤도 반지름이 같다면, 중심별의 공전 주기가 (가)가 (나)보다 짧으므로 (가)의 시선 속도 변화량이 더 커야 한다. 그러나 시선 속도의 변화량이 (가)가 (나)보다 작는데, 이는 (가)가 (나)보다 공통 질량 중심에 대한 중심별의 공전 궤도 반지름이 작기 때문이다.

㉢ (가)가 (나)보다 공통 질량 중심에 대한 중심별의 공전 궤도 반지름이 작고, 시선 속도 변화도 작은 것은 행성의 질량이 (가)가 (나)보다 작기 때문이다.

04 시선 속도 변화를 이용한 외계 행성 탐사

별이 관측자로부터 멀어질 때에는 적색 편이가, 관측자를 향해 접근할 때에는 청색 편이가 나타난다.

㉠ 중심별이 (가)의 A에 위치할 때 중심별은 청색 편이를 나타낸다. 즉, 중심별이 지구 쪽으로 접근하고 있다. 따라서 중심별은 A \rightarrow D \rightarrow C \rightarrow B 방향으로 공전한다. 공통 질량 중심을 중심으로 중심별과 행성이 공전할 때, 두 천체의 공전 방향은 같으므로 행성의 공전 방향은 ㉡이다.

㉢ 중심별과 행성이 공통 질량 중심을 같은 주기, 같은 방향으로 공전하므로 공통 질량 중심을 기준으로 중심별과 행성은 항상 반대 방향에 위치한다. 중심별이 D에 위치할 때 지구와 중심별과의 거리는 가장 가깝고, 지구와 행성과의 거리는 가장 멀다.

㉣ 스펙트럼의 최대 편이량($\Delta\lambda_{\max}$)은 중심별의 공전 속도가 빠를수록 크다. 다른 조건이 같을 때, 행성의 질량이 커질수록 공통 질량 중심에 대한 중심별의 공전 궤도 반지름이 커지므로 공전 속도가 빨라지고 스펙트럼의 최대 편이량, 즉 $\Delta\lambda_{\max}$ 도 커진다.

05 식 현상을 이용한 외계 행성 탐사

중심별의 밝기 변화 주기는 A가 B보다 짧고, 행성에 의한 중심별의 밝기 변화는 A보다 B에 의해서 크게 나타난다.

- ㉠. 행성에 의한 중심별의 밝기 변화 주기는 행성의 공전 주기와 같고, 같은 행성계에서는 행성의 공전 주기가 길수록 공전 궤도 반지름이 크므로 공전 궤도 반지름은 A가 B보다 작다.
- ㉡. 행성에 의한 중심별의 밝기 감소량은 B가 A의 약 3배이다. 이는 B의 단면적이 A의 약 3배이기 때문이며, 따라서 행성의 반지름은 B가 A의 약 $\sqrt{3}$ 배이다.
- ㉢. A와 B의 질량은 같고 행성의 공전 궤도 반지름은 B가 A보다 크므로 중심별과 공통 질량 중심 사이의 거리도 B가 A보다 크다.

06 미세 중력 렌즈 현상을 이용한 외계 행성 탐사

별 A가 별 B의 앞쪽을 지나갈 때, A의 중력에 의해 B의 별빛이 미세하게 굴절되면서 B의 밝기 변화가 나타난다.

- ㉠. 미세 중력 렌즈 현상을 이용하여 외계 행성을 탐사할 때에는 관측자의 시선 방향에 있는 두 별 중 뒤쪽 별, 즉 B의 밝기 변화를 관측한다.
- ㉡. (나)에서 ΔL 은 행성 a의 미세 중력 렌즈 현상 때문에 나타나고, 이때 관측자-a-B는 거의 일직선상에 위치(II)한다. 또한 (나)에서 B가 최대 밝기를 나타내는 시기는 A의 미세 중력 렌즈 현상 때문에 나타나는 것으로 이때에는 관측자-A-B가 거의 일직선상에 위치(I)한다. (나)에서 ΔL 이 먼저 나타나고 밝기 최댓값이 나중에 나타나는 것으로 보아 (가)의 II가 I보다 시간적으로 먼저이다. 즉, A는 ㉠ 방향으로 이동하였다.
- ㉢. ΔL 은 행성 a의 미세 중력 렌즈 현상으로 발생한 추가적인 밝기 변화에 해당한다.

07 생명 가능 지대

주계열성의 질량이 태양과 같을 때, 생명 가능 지대는 1 AU 부근에서 나타난다.

- ㉡. A와 B의 중심별은 태양보다 질량이 크므로 생명 가능 지대는 중심별에서 1 AU보다 먼 곳에 나타난다. 따라서 액체 상태의 물이 존재할 가능성은 A보다 B에서 크다.
- ㉢. 행성이 중심별에 너무 가까이 위치하면 중심별의 만유인력에 의해 행성의 자전 주기와 공전 주기가 같아지는 동주기 자전이 일어나게 된다. 따라서 동주기 자전으로 인해 낮과 밤의 변화가 나타나지 않을 가능성은 중심별에 더 가까운 C가 D보다 크다.
- ㉣. 주계열성은 질량이 클수록 광도가 크므로, 중심별로부터 같은 거리에 있는 두 행성이 중심별로부터 단위 면적당 단위 시간 동안 받는 복사 에너지의 양은 중심별의 질량이 클수록 많으므로 중심별의 질량이 더 큰 B가 D보다 많다.

08 외계 생명체 탐사 방법

외계 생명체 탐사 방법 중 (가)는 지상의 전파 망원경 이용, (나)는 우주 탐사선 이용, (다)는 우주 망원경을 이용한 탐사 방법에 해당한다.

- ㉠. SETI(Search for Extra-Terrestrial Intelligence) 프로젝트는 외계 지적 생명체를 찾기 위한 일련의 활동을 통틀어 부르는 말로, 전파 망원경을 이용하여 외계 행성으로부터 오는 전파를 찾거나 전파를 보내서 외계 지적 생명체를 찾고 있다. 따라서 (가)는 SETI 프로젝트에 이용할 수 있다.
- ㉡. (나)에서 큐리오시티는 화성 탐사 로봇으로 화성의 기후와 지질 조사 및 생명체 존재 여부에 대한 탐사를 진행하고 있다.
- ㉢. (다)에서 케플러 망원경은 행성의 식 현상에 의해 나타나는 중심별의 주기적인 밝기 변화를 관측하여 외계 행성을 탐사한다.

10

외부 은하와 우주 팽창

2점 수능 테스트

본문 194~198쪽

01 ⑤ 02 ③ 03 ① 04 ③ 05 ⑤ 06 ④ 07 ③
 08 ② 09 ⑤ 10 ① 11 ① 12 ③ 13 ③ 14 ②
 15 ⑤ 16 ④ 17 ② 18 ① 19 ④ 20 ③

01 허블의 은하 분류

(가)는 타원 은하, (나)는 정상 나선 은하, (다)는 막대 나선 은하, (라)는 불규칙 은하에 해당한다.

✕ 타원 은하 중 모양이 가장 원에 가깝게 보이는 은하를 E0, 가장 납작한 타원형으로 보이는 은하를 E7이라고 한다. ㉠은 원에 가깝게 보이므로 E0에 해당한다.

✕ 정상 나선 은하인 (나)는 S, 막대 나선 은하인 (다)는 SB로 표현한다.

✕ 허블은 은하의 형태가 진화와 관련이 있다고 설명하였으나, 은하의 형태와 진화 사이에는 특별한 관계가 없는 것으로 밝혀졌다.

✕ 막대 나선 은하인 (다)에서 성간 물질은 주로 나선팔에 분포한다.

⑤ 불규칙 은하인 (라)는 주로 젊은 파란 별로 구성되어 있다. 반면 정상 나선 은하인 (나)의 경우 중앙 팽대부와 헤일로에는 주로 붉은 별이, 나선팔에는 주로 파란 별이 분포하고 있다. 따라서 (라)는 (나)보다 파란 별의 분포 비율이 높다.

02 은하의 특징

(가)는 타원 은하, (나)는 불규칙 은하이다.

㉠ 타원 은하는 불규칙 은하보다 붉은 별의 비율이 높으므로 색 지수가 크게 나타난다.

✕ 타원 은하에는 성간 물질이 거의 없고, 불규칙 은하에는 다량의 성간 물질이 있으므로 성간 물질의 비율은 (가)가 (나)보다 낮다.

㉡ 타원 은하는 주로 늙은 별, 불규칙 은하는 주로 젊은 별로 구성되어 있으므로 구성하는 별의 평균 연령은 (가)가 (나)보다 많다.

03 나선 은하

나선 은하에서 A는 중앙 팽대부, B는 나선팔에 해당한다.

㉠ 이 은하는 나선팔을 가지고 있고, 중심부에 막대 모양 구조가 나타나지 않으므로 정상 나선 은하에 해당한다.

✕ 중앙 팽대부인 A에는 주로 늙고 붉은 별이, 나선팔인 B에는 주로 젊고 파란 별이 분포한다. 따라서 붉은 별의 비율은 B보다 A에서 높다.

✕ 중앙 팽대부인 A에는 성간 물질이 거의 없지만, 나선팔인 B에는 성간 물질이 많이 분포한다. 따라서 새로운 별의 탄생은 A보다 성간 물질이 많은 B에서 활발하다.

04 전파 은하

전파 은하는 보통의 은하보다 수백 배 이상 강한 전파를 방출하는 은하이다.

㉠ 전파 영상에서 제트(jet)로 연결된 로브(lobe)가 뚜렷하게 나타난다. 이 은하는 전파 영역에서 매우 강한 에너지를 방출하는 전파 은하이다.

㉡ 가시광선 영상에 나타난 모습을 보았을 때 이 은하는 형태상 타원 은하에 해당한다.

✕ 전파 은하에는 은하 중심부에서 분출되는 물질의 흐름인 제트가 나타나는데, 이는 관측 방향에 따라 다른 형태로 관측된다. 만약 시선 방향으로 제트가 분출된다면 중심부가 뚜렷한 전파원으로 관측되지만, 그 외의 방향에서는 제트로 연결된 로브가 중심부의 양쪽에 대칭으로 나타나는 모습으로 관측된다. 전파 영상에 나타난 모습을 보면 이 은하에서 제트는 관측자의 시선 방향으로 분출되고 있지 않다.

05 특이 은하

가시광선 영상에서 전파 은하는 대부분 타원 은하로, 세이퍼트는 은하 대부분 나선 은하의 형태로 관측된다. 따라서 (가)는 전파 은하, (나)는 세이퍼트 은하에 해당한다.

㉠ (가)는 전파 은하로 보통의 은하보다 전파 영역에서 수백 배 이상의 강한 에너지를 방출한다.

㉡ (나)는 세이퍼트 은하로 은하 내의 가스운이 매우 빠른 속도로 움직이고 있어 스펙트럼에서 폭이 넓은 방출선이 관측되는 특징이 있다.

㉢ 전파 은하와 세이퍼트 은하는 특이 은하에 해당하며, 공통적으로 중심부에 질량이 거대한 블랙홀을 가지고 있다.

06 충돌 은하

우주에 무리를 지어 분포하는 은하들 중 서로 가까이 있는 은하들 사이에는 큰 인력이 작용하여 서로 충돌하기도 한다.

✕ 은하가 충돌할 때, 별들끼리 충돌할 확률은 거의 없다.

㉠ 은하가 충돌할 때는 거대한 분자운들이 충돌하게 되고 급격히 기체가 압축되어 많은 별들이 탄생할 수 있다.

㉡ 충돌하는 과정에서 두 은하가 서로 가까워지므로, 어느 한 은하에서 다른 은하를 관측하면 청색 편이가 나타난다.

07 허블 법칙

가로축이 은하까지의 거리, 세로축이 은하의 후퇴 속도인 그래프에서 기울기는 허블 상수(H)에 해당한다.

㉠. 같은 거리에 있는 은하의 후퇴 속도는 (가)가 (나)보다 크다. 후퇴 속도는 스펙트럼에 나타난 적색 편이와 비례하므로 같은 거리에 있는 은하의 적색 편이는 (가)가 (나)보다 크다.

㉡. 그래프의 기울기는 허블 상수에 해당한다. 기울기, 즉 허블 상수(H)는 (가)가 (나)보다 크다.

✕. 관측 가능한 우주의 크기(r)는 우주의 나이($\frac{1}{H}$)에 빛의 속도(c)를 곱한 값이므로, 허블 상수(H)가 더 큰 (가)가 (나)보다 관측 가능한 우주의 크기가 작다.

08 외부 은하의 스펙트럼 관측과 후퇴 속도

외부 은하의 후퇴 속도(v)와 흡수선의 파장 변화량($\Delta\lambda$) 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{v}{c} \quad (c: \text{빛의 속도})$$

✕. 흡수선의 파장 변화량($\Delta\lambda$)은 기준 파장(λ_0)에 비례하므로 기준 파장이 짧은 A의 파장 변화량(a)이 B의 파장 변화량(b)보다 작다. 실제로 a는 8 nm, b는 10 nm이다.

✕. 기준 파장이 600 nm인 C의 파장 변화량이 12 nm이므로 기준 파장이 500 nm인 B의 파장 변화량 b는 10 nm이다. 따라서 B는 510 nm로 관측된다.

㉢. 외부 은하의 후퇴 속도(v)와 흡수선의 파장 변화량($\Delta\lambda$)의 관계에서 $v = c \times \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}$ 이므로 $v = 300000 \text{ km/s} \times \frac{12 \text{ nm}}{600 \text{ nm}} = 6000 \text{ km/s}$ 이다.

09 빅뱅 우주론과 정상 우주론

정상 우주론은 우주의 팽창에도 불구하고 우주가 항상 일정한 상태를 유지한다는 이론이고, 빅뱅 우주론은 우주가 온도와 밀도가 매우 높은 한 점에서 대폭발이 일어난 후 점점 팽창한다는 이론이다.

㉠. (가)는 우주가 팽창함에 따라 우주의 밀도가 감소하는 것으로 보아 빅뱅 우주론에 해당한다.

㉡. (나)에서도 우주 공간의 팽창이 일어나므로 어느 한 은하를 기준으로 관측했을 때 멀리 있는 은하일수록 더 빠른 속도로 멀어지는 것으로 나타난다.

㉢. 빅뱅 우주론인 (가)에서는 시간이 지남에 따라 공간의 팽창에 의해 우주의 밀도와 온도가 감소하지만, 정상 우주론인 (나)에서는 우주가 항상 일정한 상태를 유지하므로 우주의 밀도와 온도도 항상 일정한 값을 가지게 된다.

10 우주 배경 복사

현재 관측되는 우주 배경 복사는 약 2.7 K의 흑체 복사와 같은 에

너지 분포를 보인다.

㉠. COBE에서 관측된 우주 배경 복사의 파장에 따른 복사 에너지의 상대적 세기 분포는 2.7 K의 흑체 복사와 거의 일치한다.

✕. 우주 배경 복사는 빅뱅 이후 약 38만 년이 지났을 무렵 우주의 온도가 약 3000 K일 때 방출된 복사로, 우주가 팽창하는 동안 파장이 길어져 현재는 온도가 약 2.7 K의 복사로 관측된다.

✕. COBE의 우주 배경 복사 관측 결과는 빅뱅 우주론의 증거가 된다.

11 우주 배경 복사

우주 배경 복사는 빅뱅 후 약 38만 년이 지났을 때 원자핵과 전자가 결합해 중성 원자가 만들어짐에 따라 투명해진 우주에서 우주 공간으로 방출된 빛이다.

㉠. (가) 시기에는 아직 원자핵과 전자가 결합되지 않았으나, (나) 시기에는 원자핵과 전자가 결합되어 중성 원자가 만들어져 있다. 따라서 (가) 시기가 (나) 시기보다 먼저이다. 빅뱅 우주론에서 우주의 온도는 빅뱅 이후 시간이 지날수록 낮아지므로, 우주의 온도는 (가) 시기가 (나) 시기보다 높다.

✕. (가) 시기에는 아직 원자핵과 전자가 결합되지 않은 상태로 빛이 자유롭게 진행하지 못하므로 불투명한 우주에 해당한다.

✕. 우주 배경 복사는 중성 원자가 만들어짐에 따라 전자의 방해 없이 자유롭게 우주 공간으로 방출된 빛이다. 따라서 우주 배경 복사는 적어도 (나) 시기 무렵에는 형성되어 있었다.

12 빅뱅 우주론의 한계

빅뱅 우주론의 한계는 우주의 평탄성 문제, 우주의 지평선 문제, 우주의 자기 홀극 문제 등을 설명하지 못한다는 것이다.

㉠. (가)는 우주의 평탄성 문제에 해당한다. 현재 우주는 평탄하며, 우주의 곡률은 0이다.

㉡. (나)에서 현재 관측 결과 우주의 모든 방향에서 우주 배경 복사가 균일하게 관측되는 것은 멀리 떨어진 두 지역에서 과거에는 정보 교환이 있었다는 것을 의미한다. 하지만 빅뱅 우주론에서는 빛이 상호 작용할 수 있는 크기보다 우주의 크기가 더 크기 때문에 이를 설명하지 못하는데, 이를 우주의 지평선 문제라고 한다.

✕. (가)와 (나)의 문제는 빅뱅 직후 우주가 급격히 팽창했다는 이론인 급팽창 이론(인플레이션 이론)으로 설명할 수 있다.

13 우주의 기하학적 구조

구 모양의 기하학적 구조를 가지는 (가)는 닫힌 우주, 평면의 기하학적 구조를 가지는 (나)는 평탄 우주, 말안장 모양의 기하학적 구조를 가지는 (다)는 열린 우주에 해당한다.

㉠. (가)는 우주의 평균 밀도가 임계 밀도보다 클 때, (나)는 우주의 평균 밀도가 임계 밀도와 같을 때, (다)는 우주의 평균 밀도가

임계 밀도보다 작을 때에 해당한다. 따라서 우주의 평균 밀도는 (가)의 우주, 즉 닫힌 우주가 가장 크다.

Ⓒ. 곡률은 (가)의 우주가 양(+), (나)의 우주가 0, (다)의 우주가 음(-)의 값을 가진다. 따라서 곡률은 (나)의 우주가 (다)의 우주보다 크다.

✕. 현재 우주는 평탄 우주로 (나)의 우주에 해당한다.

14 급팽창 우주

급팽창 이론(인플레이션 이론)은 우주가 탄생한 후 $10^{-36} \sim 10^{-34}$ 초 사이에 우주가 빛보다 빠른 속도로 팽창하였다는 이론으로, 빅뱅 우주론에서 설명할 수 없었던 여러 문제들을 해결할 수 있었다.

✕. (가)는 우주의 반지름이 일정하게 증가하는 것으로 보아 대폭발 우주론, (나)는 우주 생성 초기에 우주의 반지름이 급격히 증가하는 것으로 보아 급팽창 이론에 해당한다.

✕. (나)에서 A는 급팽창 시기에 해당하며, 이 시기에 우주는 빛보다 빠른 속도로 팽창하였다.

Ⓒ. (나)에서는 A 시기 이전, 즉 급팽창 시기 이전에 우주의 크기가 우주의 지평선보다 작았고, 이때 우주가 전체적으로 상호 작용할 수 있었기 때문에 현재 우주가 모든 방향에서 균질할 수 있다고 설명하여 우주의 지평선 문제를 해결하였다.

15 우주의 구성 요소

최근의 관측 자료에 의하면 우주의 구성 요소의 상대적 비율은 보통 물질(C) 약 4.9%, 암흑 물질(B) 약 26.8%, 암흑 에너지(A) 약 68.3%이다.

Ⓒ. A는 우주에서 약 68.3%의 비율을 차지하는 암흑 에너지이다.
Ⓓ. B는 암흑 물질로 가시광선과 같은 전자기파로 관측되지 않아 중력을 이용한 방법으로 존재를 추정한다.

Ⓒ. 우리은하의 회전 속도 곡선으로부터 우리은하 외곽에는 보통 물질(C)보다 전자기파로는 관측되지 않는 암흑 물질(B)이 다량 존재하고 있다는 것을 알게 되었다.

16 우주의 구성 요소의 변화

우주에서 물질의 질량은 항상 일정하므로, 우주가 팽창함에 따라 물질의 밀도는 점점 감소한다.

Ⓒ. 빅뱅 이후 시간이 경과함에 따라 우주에서 차지하는 비율이 감소하는 A가 물질, 상대적으로 우주에서 차지하는 비율이 증가하는 B가 암흑 에너지에 해당한다.

✕. 우주 공간이 팽창함에 따라 우주에서 물질(A)의 밀도가 점점 감소하는데, 이는 물질(A)의 질량이 항상 일정하기 때문이다.

Ⓒ. t_1 시기에는 우주 공간에 대해 척력으로 작용하는 암흑 에너지(B)의 비율이 인력으로 작용하는 물질(A)의 비율보다 높아서 우주는 가속 팽창한다. 즉, t_1 시기의 우주에서 공간에 작용하는

힘은 인력보다 척력이 크다.

17 우주의 팽창 가속도 변화

현재 우주는 팽창 가속도가 양(+), 즉, 가속 팽창을 하고 있다.

✕. 암흑 에너지의 비율이 물질 비율보다 높으면 우주는 가속 팽창을 한다. 우주의 나이가 69억 년일 때 우주의 팽창 가속도는 음(-)의 값을 가진다. 이는 이 당시 우주가 감속 팽창을 하고 있었다는 것을 의미한다.

✕. 우주의 팽창 속도는 시기에 따라 달랐지만, 우주는 빅뱅 이후 지속적으로 팽창했다. 우주의 나이가 70억 년일 때 우주의 팽창 가속도가 0이며, 이 당시에도 우주는 계속 팽창하고 있었다.

Ⓒ. 현재 이후에 우주의 팽창 가속도는 양(+), 즉, 가속 팽창을 하고 있다. 즉, 현재 이후에도 우주는 팽창 속도가 점점 증가하는 가속 팽창을 한다.

18 우주의 크기 변화

우주 공간에서 물질은 인력으로 작용하여 공간을 수축시키는 역할을 하고 암흑 에너지는 척력으로 작용하여 공간을 밀어내는 역할을 한다.

Ⓒ. A 시기에는 시간에 따른 우주의 크기 변화율이 감소하고 있다. 즉, 우주는 감속 팽창하고 있다.

✕. 빅뱅 이후 시간이 흐를수록 우주에서 암흑 에너지 비율은 증가하고 물질 비율은 감소한다. 따라서 $\frac{\text{암흑 에너지 비율}}{\text{물질 비율}}$ 은 B 시기가 A 시기보다 크다.

✕. 우주가 팽창함에 따라 우주의 온도는 낮아지므로 우주의 온도는 A 시기가 B 시기보다 높다.

19 우주의 미래 모형

A는 열린 우주, B는 평탄 우주, C는 닫힌 우주에 해당한다.

✕. 우주의 평균 밀도가 임계 밀도보다 작을 때 열린 우주(A), 같을 때 평탄 우주(B), 클 때 닫힌 우주(C)가 된다. 따라서 우주의 평균 밀도는 A가 가장 작다.

Ⓒ. 우주의 곡률은 열린 우주(A)가 음(-)의 값, 평탄 우주(B)가 0, 닫힌 우주(C)가 양(+), 즉, 양의 값을 가진다. 따라서 우주의 곡률은 C가 가장 크다.

Ⓒ. B는 평탄 우주로 우주의 평균 밀도는 임계 밀도와 같다.

20 가속 팽창 우주

현재 우주는 암흑 에너지 밀도(ρ_Λ)가 물질 밀도(ρ_m)보다 크며, 암흑 에너지의 영향으로 가속 팽창하고 있다.

Ⓒ. 그림에서 적색 편이(z)가 1.0일 때, Ia형 초신성의 겉보기 등

급은 A로 예측한 값이 B로 예측한 값보다 크다. 최대로 밝아졌을 때 Ia형 초신성의 절대 등급이 같으므로 겉보기 등급이 클수록 거리가 먼 초신성에 해당한다. 따라서 $z=1.0$ 인 Ia형 초신성의 거리는 A로 예측했을 때가 B로 예측했을 때보다 멀다.

㉠. A는 Ia형 초신성의 관측 자료와 잘 일치한다. 현재 우주는 가속 팽창하고 있으므로 A는 가속 팽창하는 우주 모형에 해당한다.

✕. (가)와 (나)는 둘 다 $\frac{\rho_m}{\rho_c} + \frac{\rho_\Lambda}{\rho_c} = 1$ 이므로 암흑 에너지 밀도 (ρ_Λ)와 물질 밀도(ρ_m)의 합이 임계 밀도와 같은 평탄 우주이지만, (나)는 암흑 에너지가 없으므로 물질의 인력에 의해 팽창 속도는 점점 감소할 것이다. 반면 (가)는 척력으로 작용하는 암흑 에너지의 밀도(ρ_Λ)가 물질 밀도(ρ_m)보다 크므로 우주가 가속 팽창하게 된다. 따라서 (가)는 모형 A, (나)는 모형 B에 해당한다.

3점 수능 테스트

본문 199~208쪽

- 01 ⑤ 02 ② 03 ③ 04 ② 05 ③ 06 ② 07 ①
 08 ⑤ 09 ③ 10 ① 11 ③ 12 ① 13 ② 14 ③
 15 ① 16 ③ 17 ① 18 ④ 19 ② 20 ⑤

01 허블의 은하 분류

은하의 평균 색지수는 타원 은하 > 나선 은하 > 불규칙 은하 순이다. 구성하는 별의 평균 연령은 타원 은하 > 나선 은하 > 불규칙 은하 순이다. 관측되는 은하 중 구성 비율은 나선 은하 > 타원 은하 > 불규칙 은하 순이다. 따라서 (가)는 평균 색지수와 구성하는 별의 평균 연령이 다른 두 은하 (나)와 (다)보다 큰 타원 은하이고, 관측되는 은하의 구성 비율로 보아 (나)는 불규칙 은하, (다)는 나선 은하이다.

- ㉠. (가)는 타원 은하로 편평도에 따라 E0에서 E7로 세분한다.
 ㉡. 은하의 질량에 대한 성간 물질의 비는 불규칙 은하인 (나)가 가장 크다.
 ㉢. 우리은하는 막대 나선 은하로 나선 은하인 (다)에 속한다.

02 허블의 은하 분류

은하의 평균 색지수는 타원 은하 > 나선 은하 > 불규칙 은하 순이고, $\frac{\text{성간 물질 중 수소 질량}}{\text{전체 질량}}$ 은 불규칙 은하 > 나선 은하 > 타원 은하 순이므로 (가)는 불규칙 은하, (나)는 나선 은하, (다)는 타원 은하이다.

- ✕. (가), (나), (다)의 절대 등급은 특별한 경향성을 보이지 않으므로 절대 등급을 기준으로 분류하기 어렵다.
 ✕. (가)는 불규칙 은하로 주로 파란 별로 구성되어 있으므로 세 종류의 은하 중 색지수가 가장 작다. 따라서 ㉠은 1.0보다 작다.
 ㉡. 구성하는 별들의 평균 연령은 주로 늙은 별로 구성된 (다) 타원 은하가 가장 많다. 또한 타원 은하는 $\frac{\text{성간 물질 중 수소 질량}}{\text{전체 질량}}$ 이 거의 0이므로 새로운 별의 탄생이 잘 일어나지 않는다.

03 특이 은하

- 퀘이사는 매우 먼 거리에 있어 적색 편이가 크게 나타난다.
 ㉠. (가)와 (나) 중 적색 편이의 크기가 상대적으로 작은 (가)가 세이퍼트 은하, 상대적으로 큰 (나)가 퀘이사에 해당한다.
 ㉡. (가) 세이퍼트 은하는 대부분 나선 은하의 형태로 관측되지만, (나) 퀘이사는 매우 멀리 있어 은하임에도 불구하고 하나의 별처럼 점상으로 보인다. 따라서 시지름은 (가)가 (나)보다 크다.
 ✕. 먼 거리에 있는 천체일수록 과거의 모습을 보여준다. 퀘이사는 매우 먼 거리에 있으며, 이는 우주 생성 초기에 생성되었다는

것을 의미한다. 따라서 (가) 세이퍼트은하는 (나) 퀘이사보다 최근에 생성되었다.

04 퀘이사

퀘이사(Quasar)는 처음 발견 당시 별처럼 관측되었기 때문에 항성과 비슷하다는 의미를 가진 준항성체(Quasi-Stellar-Object)라고 불렸다.

ⓧ. 퀘이사인 3C 273은 매우 먼 거리에 있는 은하로 별처럼 점상으로 보이는 외부 은하이다.

ⓧ. 퀘이사는 대부분 우주 생성 초기에 만들어졌다.

㉠. 거리가 먼 퀘이사일수록 적색 편이가 크게 나타난다. 먼 거리의 퀘이사일수록 퀘이사에서 방출된 빛이 지구에 도달하는 데 걸리는 시간이 오래 걸리므로, 적색 편이가 큰 퀘이사일수록 보다 과거의 모습으로 관측된다.

05 세이퍼트은하

세이퍼트은하는 특이 은하에 해당하며, 중심부에 거대한 블랙홀이 있을 것이라고 추정된다.

㉠. 세이퍼트은하는 은하 내의 가스운이 매우 빠른 속도로 움직이고 있어 스펙트럼에서 폭넓은 방출선이 발견되는 것이 특징이다. 따라서 (가)가 세이퍼트은하, (나)가 일반적인 나선 은하이다.

ⓧ. 지구에서 은하까지의 거리는 [OIII] 방출선의 관측 파장이 더 길게 나타나는 (나)가 (가)보다 멀다.

㉠. 세이퍼트은하는 일반적인 은하에 비해 중심핵이 다른 부분보다 상대적으로 매우 밝다. 따라서 $\frac{\text{중심핵 밝기}}{\text{은하 전체 밝기}}$ 는 (가)가 (나)보다 크다.

06 외부 은하의 스펙트럼 관측과 후퇴 속도

외부 은하의 스펙트럼에서 흡수선의 파장 변화량($\Delta\lambda$)이 클수록 적색 편이(z)가 크고, 후퇴 속도(v)가 빠르며, 은하까지의 거리(r)가 멀다.

ⓧ. 같은 은하에서 흡수선의 파장 변화량($\Delta\lambda$)은 기준 파장(λ_0)에 비례한다. 따라서 기준 파장이 긴 b 의 파장 변화량이 기준 파장이 짧은 a 보다 크다.

㉠. 흡수선 c 의 적색 편이($z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}$)는 기준 파장(λ_0)에 대해 파장 변화량($\Delta\lambda$)이 큰 C가 A보다 크다.

ⓧ. 후퇴 속도(v)는 적색 편이($z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}$)가 클수록 크므로, A가 B보다 작다.

ⓧ. 지구에서 은하까지의 거리(r)는 후퇴 속도(v)가 클수록 크므로, C가 B보다 먼 은하이다.

ⓧ. $\frac{\text{후퇴 속도}(v)}{\text{은하까지의 거리}(r)}$ 는 허블 상수(H)에 해당한다. 세 은하가 허블 법칙을 만족하므로 허블 상수는 모든 은하에서 같은 값으로 계산된다.

07 허블 법칙

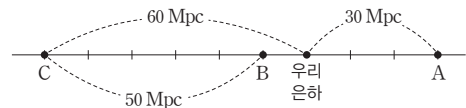
은하 C의 후퇴 속도 $v = c \times \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = 300000 \text{ km/s} \times \frac{7 \text{ nm}}{500 \text{ nm}} =$

4200 km/s 이고, 은하까지의 거리 $r = \frac{v}{H} = \frac{4200 \text{ km/s}}{70 \text{ km/s/Mpc}}$

$= 60 \text{ Mpc}$ 이다. C에서 B를 관측했을 때, B가 3500 km/s 의 속도로 멀어진다는 것은 B와 C 사이의 거리(r)가 $r = \frac{v}{H} =$

$\frac{3500 \text{ km/s}}{70 \text{ km/s/Mpc}} = 50 \text{ Mpc}$ 이라는 것을 의미한다. 만약 A와 C

가 같은 방향에 있다면 세 은하가 모두 동일 방향에 있어야 하므로 조건에 위배된다. 따라서 A와 C는 서로 반대 방향에 위치한다. 한편 B와 C 사이의 거리가 50 Mpc 이고, A와 B 사이의 거리가 이 값보다 작아야 하므로 세 은하는 아래와 같이 위치해야 한다.



㉠. 은하 A의 거리는 30 Mpc 이므로 후퇴 속도 $v = H \cdot r = 70 \text{ km/s/Mpc} \cdot 30 \text{ Mpc} = 2100 \text{ km/s}$ 이고, 500 nm 의 기준 파장(λ_0)을 갖는 흡수선의 파장 변화량 $\Delta\lambda = \lambda_0 \times \frac{v}{c} = 500 \text{ nm} \times$

$\frac{2100 \text{ km/s}}{300000 \text{ km/s}}$ 이므로 A의 스펙트럼에서 500 nm 의 기준 파장을 갖는 흡수선은 503.5 nm 로 관측된다.

ⓧ. 가장 빠른 속도로 멀어지는 은하는 우리 은하로부터 가장 먼 거리에 있는 C이다.

ⓧ. C와 A 사이의 거리가 90 Mpc 이므로 C에서 A를 관측한다면 A는 $v = H \cdot r = 70 \text{ km/s/Mpc} \cdot 90 \text{ Mpc} = 6300 \text{ km/s}$ 의 속도로 멀어질 것이다.

08 허블 법칙

허블 법칙은 은하까지의 거리(r)와 후퇴 속도(v)가 비례한다는 것이다.

㉠. 외부 은하까지의 거리를 가로축, 후퇴 속도를 세로축으로 나타낸 그래프에서 기울기는 허블 상수에 해당하므로 허블 상수는 70 km/s/Mpc 이다.

㉠. (나) 은하까지의 거리(r)가 90 Mpc , 허블 상수가 70 km/s/Mpc 이므로 (나)의 후퇴 속도 $v = H \cdot r = 70 \text{ km/s/Mpc} \times 90 \text{ Mpc} = 6300 \text{ km/s}$ 이다. (나)에서 방출선 A의 파장 변화량

($\Delta\lambda$)이 6.3 nm이므로 A의 기준 파장 $\lambda_0 = \Delta\lambda \times \frac{c}{v} = 6.3 \text{ nm} \times \frac{300000 \text{ km/s}}{6300 \text{ km/s}} = 300 \text{ nm}$ 이다.

㉔. (가)에서 기준 파장(λ_0)이 300 nm인 흡수선 A의 파장 변화량($\Delta\lambda$)이 2.1 nm이므로 후퇴 속도 $v = c \times \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = 300000 \text{ km/s} \times \frac{2.1 \text{ nm}}{300 \text{ nm}} = 2100 \text{ km/s}$ 이다.

09 빅뱅 우주론

빅뱅 우주론은 온도와 밀도가 높은 한 점에서 대폭발이 일어난 후 점차 우주가 팽창하면서 온도가 낮아져 현재와 같은 우주가 되었다는 이론이다.

㉑. (가)에서 우주가 팽창함에 따라 공간의 밀도가 감소하는 것으로 보아 (가)는 빅뱅 우주론에 해당한다.

✕. 빅뱅 우주론에서 우주의 밀도는 점점 감소한다. 이 우주론에서 시간이 지남에 따라 일정하게 유지되는 물리량은 우주의 질량이다.

㉒. 우주 배경 복사는 빅뱅 이후 약 38만 년이 지났을 때 우주 공간에 방출된 빛으로 우주가 팽창함에 따라 파장이 길어져서 현재 약 2.7 K의 복사로 관측될 것이라고 예측되었다. 따라서 2.7 K 우주 배경 복사의 관측은 빅뱅 우주론의 증거가 된다.

10 빅뱅 우주론과 우주의 진화

빅뱅 이후 우주의 온도가 낮아짐에 따라 기본 입자 생성 → 양성자, 중성자 생성 → 원자핵 생성 → 원자 형성 등의 과정이 순서대로 일어났다.

㉑. 빅뱅 우주론은 온도와 밀도가 높은 한 점에서 대폭발이 일어난 후 점차 우주가 팽창한다는 이론으로 빅뱅 이후 우주의 크기는 증가하고 우주의 온도와 밀도는 감소한다.

✕. 우주 배경 복사는 빅뱅 이후 약 38만 년이 지났을 때 원자가 형성되면서 투명해진 우주에서 공간으로 방출된 빛이다. 따라서 우주 배경 복사가 최초로 방출된 시기는 원자가 형성된 B 시기 무렵이다.

✕. 빅뱅 우주론은 정상 우주론과 달리 우주가 팽창하면서 생겨난 빈 공간에 새로운 물질이 생성되지 않으므로 우주의 질량이 항상 일정하다.

11 우주 배경 복사

빅뱅 이후 약 38만 년이 지날 무렵 우주의 온도는 약 3000 K이었고, 이때 방출된 우주 배경 복사는 우주가 팽창하는 동안 파장이 길어져 현재는 약 2.7 K의 흑체 복사로 관측된다.

㉑. 빅뱅 이후 우주가 팽창함에 따라 우주의 온도는 점점 하강하였다. 따라서 우주의 온도는 빅뱅 이후 약 38만 년이 지났을 때가 현재보다 높다.

㉒. 빅뱅 이후 약 38만 년이 지났을 때는 현재보다 우주의 온도가 더 높았으므로 당시의 우주 배경 복사는 현재보다 더 고온의 흑체 복사 곡선과 잘 일치할 것이다. 흑체는 온도가 높을수록 단위 면적당 단위 시간에 방출되는 에너지가 많으며, 파장이 짧은 복사 에너지를 많이 방출한다. 따라서 A는 빅뱅 이후 약 38만 년 무렵 고온의 우주에서, B는 약 2.7 K에 해당하는 현재의 우주에서 방출된 우주 배경 복사의 파장에 따른 복사 에너지 곡선에 해당한다. ✕. 빈의 변위 법칙에 의하면 흑체가 최대 복사 에너지를 방출하는 파장(λ_{max})은 온도(T)에 반비례한다($\lambda_{\text{max}} \propto \frac{1}{T}$). λ_A 는 우주의 온도가 약 3000 K일 때 방출된 복사의 λ_{max} 이고, λ_B 는 온도가 약 2.7 K인 현재의 우주에서 방출된 복사의 λ_{max} 이므로, λ_B 는 λ_A 보다 1000배 이상 길다.

12 우주 배경 복사의 관측

㉑. (가) 코비(COBE) 망원경은 우주 배경 복사의 비등방성을 관측하기 위해 발사된 최초의 우주 망원경이다. 따라서 이후 발사된 (나) 플랑크(Planck) 우주 망원경(2013년)에 비해 해상도가 낮아 정밀도가 다소 떨어진다.

✕. 우주 배경 복사는 마이크로파(전파) 영역의 복사이므로 (가)와 (나) 모두 마이크로파(전파) 영역을 관측한 결과이다.

✕. (나)의 관측 결과 우주 배경 복사로 알아낸 초기 우주의 온도 분포가 거의 균일하지만, 미세한 온도 편차가 있다는 것을 확인하였고, 이러한 온도 편차로부터 별이나 은하가 탄생할 수 있었음을 밝혔다.

13 표준 우주 모형

표준 우주 모형은 급팽창 이론을 포함한 대폭발 우주론에 암흑 물질과 암흑 에너지의 개념까지 모두 포함한 최신 우주론이다.

✕. A 시기는 급팽창이 일어나고 있는 시기로, 급팽창 당시 우주는 빛보다 빠른 속도로 팽창하였다.

㉑. 우주 배경 복사는 빅뱅 이후 약 38만 년이 지났을 때, 중성 원자가 형성됨에 따라 물질로부터 분리되어 우주 공간으로 방출된 빛이다. 즉, 우주 배경 복사가 방출된 시기는 B 시기 무렵이다.

✕. 우주가 팽창함에 따라 우주 공간 내에서 진공이 차지하는 영역이 넓어졌고, 이로 인해 우주 구성 물질 중 암흑 에너지가 차지하는 비율은 시간이 지남에 따라 점점 증가하였다.

14 빅뱅 우주론의 증거

(가)는 우주 초기 헬륨 원자핵이 생성되기 전의 양성자와 중성자

의 개수비를, (나)는 헬륨 원자핵이 생성된 후 수소 원자핵과 헬륨 원자핵의 개수비를 나타낸다.

㉠ 빅뱅 이후 우주가 식어감에 따라 양성자와 중성자가 생성되었고, 이후 양성자와 중성자가 결합하여 헬륨 원자핵이 순차적으로 만들어졌다. 따라서 시간 순서는 (가) 시기가 (나) 시기보다 먼저이며, 우주의 온도는 (가) 시기가 (나) 시기보다 높다.

✕. (나) 시기에 수소 원자핵(양성자)과 헬륨 원자핵의 개수비는 약 12 : 1이다.

㉡ (나) 시기, 즉 헬륨 원자핵이 생성된 후 수소 원자핵과 헬륨 원자핵의 질량비는 약 3 : 1로, 이는 현재 우주에서 관측되는 수소와 헬륨의 질량비인 약 3 : 1과 거의 일치한다. 이러한 수소와 헬륨의 질량비는 빅뱅 우주론에서 예측한 결과가 실제 관측 자료와 잘 들어맞는 것을 의미하므로, 빅뱅 우주론의 증거가 되었다.

15 우주의 구성 요소

최근의 관측 자료에 의하면 우주는 약 68.3 %의 암흑 에너지, 약 26.8 %의 암흑 물질, 약 4.9 %의 보통 물질로 구성되어 있다. 따라서 A는 보통 물질, B는 암흑 물질, C는 암흑 에너지이다.

㉠ 중성자는 보통 물질, 즉 A에 해당한다.

✕. ㉠ 시기에 우주는 감속 팽창하고 있으므로 암흑 에너지(C)가 물질(A+B)보다 우주 공간 내에서 차지하는 비율이 높지 않다. 만약 C가 B 보다 많으면 우주는 가속 팽창하게 된다.

✕. 시간이 흘러도 암흑 에너지(C)의 밀도는 항상 일정하다. 따라서 우주가 팽창함에 따라 암흑 에너지의 총량은 증가하며, 물질(A+B)의 밀도가 감소함에 따라 암흑 에너지가 우주 공간 내에서 차지하는 비율이 증가하게 된다.

16 우주의 구성 요소

현재 우주에서는 암흑 에너지의 비율이 물질의 비율보다 높다.

㉠ 현재 우주에서 차지하는 비율이 작고, 시간이 경과함에 따라 상대적 비율이 감소하는 A는 물질이다. 우주에서 물질의 질량은 변하지 않고, 공간은 팽창하므로 물질의 밀도는 점점 감소하고 우주에서 차지하는 상대적 비율도 감소한다.

✕. B는 현재 우주에서 가장 높은 비율을 차지하는 암흑 에너지이다. 암흑 에너지는 우주 공간에서 척력으로 작용하는 미지의 에너지이다. 중력 렌즈 현상은 물질에 의해 일어난다.

㉡ 현재 이후 우주에는 물질(A)보다 암흑 에너지(B)가 차지하는 비율이 더 커지므로 우주의 팽창 속도는 점점 증가할 것이다.

17 가속 팽창 우주와 감속 팽창 우주

적색 편이가 클수록 더 과거의 시기에 해당하며, 가로축이 적색 편이(후퇴 속도), 세로축이 은하까지의 거리인 그래프에서 기울

기는 허블 상수의 역수에 해당한다. A의 경우 과거에는 기울기가 컸지만, 현재로 올수록 기울기가 작아지고 있다. 이는 허블 상수(기울기의 역수) 즉, 우주의 팽창률이 점점 증가하고 있다는 의미이므로 A는 가속 팽창 우주 모형에 해당한다. 반면 B의 경우 과거에는 기울기가 작았지만, 현재로 올수록 기울기가 커지고 있다. 이는 허블 상수, 즉 우주의 팽창률이 점점 감소하고 있다는 의미이므로 B는 감속 팽창 우주 모형에 해당한다.

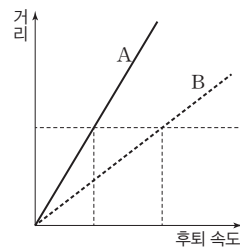
㉠ A와 B는 모두 은하까지의 거리가 멀수록 적색 편이가 커진다. 즉, 거리가 먼 은하일수록 후퇴 속도가 빠르다.

✕. 적색 편이가 ㉠일 때, B보다 A로 추정된 은하까지의 거리가 더 멀기 때문에 은하의 겉보기 밝기는 더 어두운 것으로 나타난다.

✕. B는 감속 팽창 우주 모형이다. 암흑 에너지 밀도가 물질 밀도보다 크면 우주는 가속 팽창을 한다.

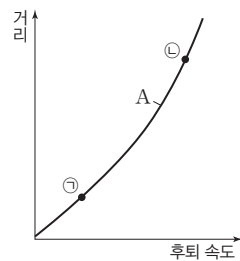
거리(세로축)-후퇴 속도(가로축) 그래프 해석

1. 그래프에서 기울기가 클수록 우주의 팽창 속도가 작다.



- 그래프에서 기울기는 A가 B보다 크다.
- 같은 거리에 있는 은하의 후퇴 속도는 A가 B보다 작다.
- 우주 팽창 속도는 같은 거리에 있는 은하의 후퇴 속도가 작은 A가 B보다 작다.
- 거리(세로축)-후퇴 속도(가로축) 그래프에서 기울기가 큰 A는 B에 비해 같은 거리에 있는 은하의 후퇴 속도가 작으므로 우주의 팽창 속도가 작다.

2. 거리가 먼 은하일수록 더 오래된 과거의 우주 정보를 알려준다.



- A는 가속 팽창 우주 모형에서의 후퇴 속도에 따른 거리 변화 그래프이다.
- ㉠은 우리은하 가까이에 있는 은하로 상대적으로 최근의 우주 정보를 알려주며, ㉡은 우리은하로부터 멀리 떨어져

있는 은하로 상대적으로 과거의 우주 정보를 알려준다.

- 만약 ㉠이 우리은하로부터 1억 광년 떨어져 있다면, 이 은하로부터 방출된 빛은 약 1억 년 전에 방출되었으므로 약 1억 년 전의 정보를 알려준다. 따라서 그래프상에서 ㉡에서 ㉠ 쪽으로 갈수록 최근의 우주 정보이다.

18 우주의 모형 비교

우주의 밀도는 물질 밀도(ρ_m)와 암흑 에너지 밀도(ρ_Λ)의 합이다. 우주의 밀도가 임계 밀도보다 크면 닫힌 우주, 같으면 평탄 우주, 작으면 열린 우주가 된다.

✕. A는 $\frac{\rho_m}{\rho_c} + \frac{\rho_\Lambda}{\rho_c} = 1$ 이므로 우주의 밀도($\rho_m + \rho_\Lambda$)가 임계 밀도(ρ_c)와 같은 평탄 우주에 해당한다. A는 암흑 에너지 밀도가 물질 밀도보다 크므로 평탄하지만 가속 팽창하는 우주이다.

○. A와 B는 둘 다 $\frac{\rho_m}{\rho_c} + \frac{\rho_\Lambda}{\rho_c} = 1$ 이므로 평탄 우주에 해당한다. 평탄 우주의 곡률은 0이다.

○. C는 팽창하다가 어느 순간 팽창을 멈추고 수축하여 우주의 크기가 0에 수렴하는 우주로 닫힌 우주에 해당한다. 닫힌 우주는 우주의 밀도가 임계 밀도보다 크므로 $\frac{\rho_m}{\rho_c} + \frac{\rho_\Lambda}{\rho_c} > 1$ 이다. 따라서 ㉠은 1.0보다 크다.

✕. 과거에 우주의 크기가 0일 때가 빅뱅이 일어나는 순간에 해당하며, 빅뱅부터 현재까지의 시간이 우주의 나이이다. 우주의 나이는 $A > B > C$ 순이다.

19 우주의 모형 비교

임계 밀도(ρ_c)에 대한 물질 밀도(ρ_m) 및 암흑 에너지 밀도(ρ_Λ) 비를 비교했을 때, $\frac{\rho_m}{\rho_c} + \frac{\rho_\Lambda}{\rho_c} > 1$ 이면 닫힌 우주, $\frac{\rho_m}{\rho_c} + \frac{\rho_\Lambda}{\rho_c} = 1$ 이면 평탄 우주, $\frac{\rho_m}{\rho_c} + \frac{\rho_\Lambda}{\rho_c} < 1$ 이면 열린 우주에 해당한다.

✕. A는 $\frac{\rho_m}{\rho_c} + \frac{\rho_\Lambda}{\rho_c} = 0.3 + 0.7 = 1$ 이므로 평탄 우주, B는 $\frac{\rho_m}{\rho_c} + \frac{\rho_\Lambda}{\rho_c} = 0.3 + 0.2 = 0.5$ 이므로 열린 우주이다. 우주의 곡률은 평탄 우주가 0, 열린 우주가 음(-)의 값을 나타내므로 우주의 곡률은 A가 B보다 크다.

✕. A는 $\frac{\rho_m}{\rho_c} + \frac{\rho_\Lambda}{\rho_c} = 0.3 + 0.7 = 1$ 이고, C는 $\frac{\rho_m}{\rho_c} + \frac{\rho_\Lambda}{\rho_c} = 0.8 + 0.2 = 1$ 이므로 A와 C는 모두 평탄 우주에 해당한다. 따라서 A와 C 모두 우주의 평균 밀도가 임계 밀도와 같다.

○. D는 $\frac{\rho_m}{\rho_c} + \frac{\rho_\Lambda}{\rho_c} = 0.8 + 0.7 = 1.5$ 이므로 닫힌 우주에 해당한다.

20 Ia형 초신성

Ia형 초신성은 매우 밝으며 최대로 밝아졌을 때의 절대 등급이 일정하기 때문에 멀리 있는 외부 은하의 거리를 측정하는 데 이용된다.

○. Ia형 초신성은 모두 질량이 태양 질량의 1.44배가 될 때 폭발하므로 최대 밝기일 때의 절대 등급이 약 -19등급으로 거의 일정하다.

○. Ia형 초신성은 최대 밝기일 때의 절대 등급이 일정하므로 최대 밝기일 때의 겉보기 등급이 클수록, 즉 어두워 보이는 Ia형 초신성일수록 먼 거리에 있는 초신성이다.

○. 최근 Ia형 초신성을 관측하여 얻은 자료는 가속 팽창하는 우주 모형의 추정 값과 거의 일치하는 결과를 보여줬다. 이로써 현재 우주가 가속 팽창하고 있다는 것을 알게 되었다.

[인용 사진 출처]

39p_응회암: ©Susan E. Degginger / Alamy Stock Photo

39p_처트: ©Susan E. Degginger / Alamy Stock Photo

39p_암염: ©Peter Hermes Furian / Alamy Stock Photo

40p_사층리: ©Gabbro / Alamy Stock Photo

40p_점이 층리: ©James St.John / www.flickr.com/photos/jsigeology/40920514014

41p_태백시 구문소: ©김지호-한국관광공사

44p_관입암: ©parker1992 / Alamy Stock Photo

44p_포획암: ©PRAWNS / Alamy Stock Photo

59p_필석: ©The Natural History Museum / Alamy Stock Photo

60p_화폐석: ©Natural Visions / Alamy Stock Photo

60p_매머드: ©Martin Shields / Alamy Stock Photo

60p_단풍나무 화석: ©The Natural History Museum / Alamy Stock Photo

123p_빙하 시추물: ©Daniel J. Cox / Alamy Stock Photo

124p_화산 분출: ©Hemis / Alamy Stock Photo

126p_홍수 피해: ©Mario Tama / Getty Images / 게티이미지코리아

177p_앨런 망원경 집합체: ©M2 Photography / Alamy Stock Photo