정답과 해설

01 판 구조론과 대륙 분포의 변화

2점 수능 테스트

본문 13~15쪽

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

01 대륙 이동의 증거

그림은 중생대 트라이아스기에 번성한 육상 파충류인 리스트로사우루스의 화석이 산출되는 지역을 나타낸 것이다. 리스트로사우루스 화석이 아프리카, 인도, 남극 대륙 등에서 발견되는 것은 대륙 이동의 증거이다.

㉠. 리스트로사우루스는 판게아가 형성되어 있던 시기에 번성한 육상 파충류이다.

✕. 리스트로사우루스는 중생대 트라이아스기에 번성하였다.

✕. 리스트로사우루스 화석이 현재 아프리카 대륙과 인도 대륙 등에서 발견되는 것은 리스트로사우루스가 북반구 중위도 지역에서 주로 서식했던 것이 아니라 리스트로사우루스가 번성한 시기에 이들 대륙들이 남반구에서 판게아를 형성하고 있었으며 이후에 대륙이 이동하였기 때문이다.

02 맨틀 대류설

홈스는 맨틀 상하부의 온도 차로 인해 맨틀 대류가 일어날 수 있으며, 맨틀 위에 떠 있는 지각이 맨틀 대류에 의해 이동한다고 주장하였다.

㉠. 홈스는 맨틀이 유동성이 있는 고체 상태로 대류가 일어날 수 있다고 설명하였다.

㉡. 홈스는 맨틀 대류의 상승부에서 대륙 지각이 분리되면 A와 같이 새로운 섬이 생성된다고 주장하였다.

㉢. 홈스는 맨틀 내에서 주변보다 온도가 높은 영역은 물질이 상승하고 주변보다 온도가 낮은 영역은 물질이 하강하여 대류가 일어난다고 주장하였다.

03 음향 측심법

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

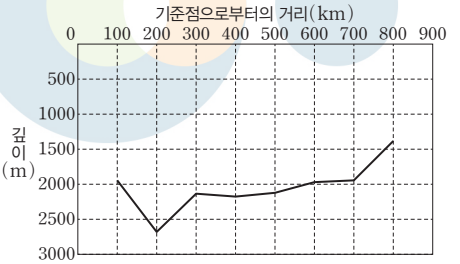
✕. 이 해역은 평균 수심이 약 2000 m이고, 가장 깊은 곳의 수심은 약 2663 m이다. 따라서 이 해역에는 해구가 존재하지 않는다.

㉡. 초음파의 속도를 v, 해수면에서 발사한 초음파가 해저면에서 반사되어 되돌아오는 데 걸리는 시간을 t라고 하면 수심 d는 다음과 같이 구할 수 있다.

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

따라서 초음파의 왕복 시간과 수심은 비례 관계이다.

㉢. 이 해역에서 관측 지점 중 초음파의 왕복 시간(초)이 가장 길 때 3.55초이고, 가장 짧을 때 1.85초이다. 따라서 수심이 가장 깊은 곳과 가장 얕은 곳의 초음파 왕복 시간의 차는 1.7초이고, 수심의 차는 1275 m이다.



04 해저 확장

해령에서는 새로운 해양 지각이 생성되고 해저가 확장되므로, 해령에서 멀어질수록 해양 지각의 연령이 많아지고 심해 퇴적물의 두께가 두꺼워진다.

✕. 해령에서 멀어질수록 심해 퇴적물의 두께가 두꺼워지며, 판의 침강으로 인해 수심이 깊어진다. 따라서 심해 퇴적물의 두께가 두꺼운 곳일수록 수심이 깊다.

✕. 해양 지각은 현무암질 마그마에 의해 생성된 것으로 주로 현무암질 암석으로 이루어져 있다.

㉢. 해령의 하부에서는 맨틀 물질의 상승이 일어나며, 이로 인해 해령에서는 새로운 해양판의 발산이 일어난다.

05 잔류 자기 형성

마그마가 식어서 굳어질 때 자성 광물은 당시의 지구 자기장 방향으로 자화된다. 그 후 지구 자기장의 방향이 변해도 당시 자성 광물의 자화 방향은 그대로 보존되는데, 이를 잔류 자기라고 한다. (가)는 자성 광물이 자화되기 전의 상태를, (나)는 자화된 이후의 상태를 나타낸다.

㉠. 용암이 냉각된 시기는 정자극기이다. (나)에서 잔류 자기가 큰 복각을 나타내며 지표면 아래를 향하고 있기 때문에 용암이 냉각되어 굳어진 장소는 북반구에 위치한다.

㉡. (나)에서 광물 A 안에 있는 자성 물질들이 지구 자기장 방향으로 배열되어 있으므로 광물 A는 자화된 상태이다.

㉢. 고온의 용암에 있는 광물은 자화된 상태가 아니므로 자성을 띠지 않는다. 이에 비해 화성암 내의 자성 광물 A는 자화된 상태이다. ㉠은 용암의 온도를, ㉡은 용암이 냉각되어 굳어진 화성암

의 온도를 나타내므로 ㉠은 ㉡보다 크다.

06 고지자기 줄무늬

해령을 중심으로 양쪽에서는 고지자기 역전 줄무늬가 대칭적으로 나타난다. 이는 해령에서 생성된 해양 지각이 해령을 축으로 양쪽으로 확장되며 이동하기 때문이다.

㉠. ㉠은 현재 해령에서 생성된 암석의 잔류 자기를 나타내므로 정자극기이고, ㉡은 ㉠과 지구 자기장의 방향이 반대인 시기이므로 역자극기이다.

✕. 암석에 기록된 잔류 자기는 지자기 북극 방향을 향하므로 북쪽 방향으로 배열된다. (가)에서 해령 축은 지리상 북극 방향에 대해 기울어져 있으므로, A에서 잔류 자기 방향은 해령 축과 기울어진 모습으로 나타난다.

✕. A는 정자극기, B는 역자극기를 나타낸다. A에서 암석의 잔류 자기로 추정한 지자기 북극의 방향은 대체로 지리상 북극 방향을 향하지만, B에서 암석의 잔류 자기로 추정한 지자기 북극의 방향은 대체로 지리상 남극 방향을 향한다.

07 지구 자기장과 복각

지구가 가지고 있는 고유한 자기장을 지구 자기장이라고 한다. 나침반의 자침은 지구 자기장 방향으로 배열되며, 나침반 자침의 N극은 자북(극)을 향한다. 이때 나침반의 자침이 수평면과 이루는 각을 복각이라고 하며, 복각의 크기는 자기 적도에서 0°, 자북극에서 +90°이다.

㉠. 지리상 북극은 지구의 자전축과 북반구의 지표면이 만나는 지점이다. 현재 지구 자기장 자기력선의 축은 지구 자전축에 대해 약간 기울어져 있으며 지리상 북극에서 복각은 90°보다 작다.

✕. 적도에서 자기력선은 대체로 지자기 북극 방향을 향한다.

㉢. (나)는 복각이 40°인 북반구 중위도이고, (다)는 자기 적도이므로, 위도는 (나)가 (다)보다 높다.

08 대륙의 이동

오랜 시간 동안 평균한 지자기 북극의 위치는 지리상 북극의 위치와 같으므로, 지질 시대 동안 지리상 북극의 위치가 변하지 않았다고 가정하면 지질 시대 동안 대륙에서 측정한 고지자기 복각의 변화를 바탕으로 대륙의 이동을 해석할 수 있다.

㉠. 이 대륙에서 측정한 고지자기 복각이 (−) 값에서 (+) 값으로 바뀐 시기가 있으므로, 이 대륙은 적도에 위치한 적이 있다.

✕. 고지자기 복각의 측정 시기가 모두 정자극기라고 하였으므로, 5500만 년 전에 지자기 북극은 북반구에 위치했다.

㉢. 최근 3800만 년 동안 복각이 +6°에서 +36°로 변했으므로 해당 기간의 위도 변화량은 30°보다 작다.

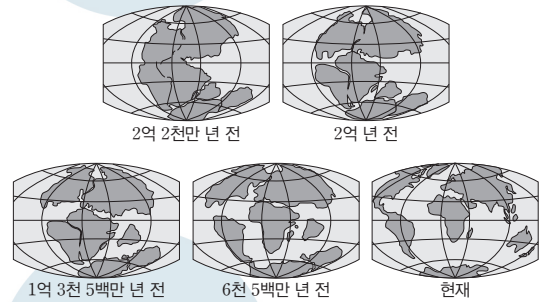
09 지질 시대의 대륙 이동

지질 시대 동안 판의 운동에 의해 대륙의 분포는 변해왔다. 그림에서 대륙의 분포는 (나) → (가) → (다) 순으로 변했다.

㉠. (가)에서 남극 대륙을 기준으로 대륙들이 멀어지고 있으므로 남극 대륙 주변에는 해령이 발달하였다.

✕. (나)는 판게아가 분리되기 시작한 이후의 대륙 분포이며, 판게아의 분리 이후 남아메리카 대륙과 아프리카 대륙은 충돌한 적이 없었다.

㉢. 인도 대륙은 (나) 시기에 남반구에 위치했다. 따라서 인도 대륙에서 2억 년 전에 정자극기일 때 생성된 암석의 고지자기 복각의 부호는 (−)일 것이다.



지질 시대 대륙 분포의 변화

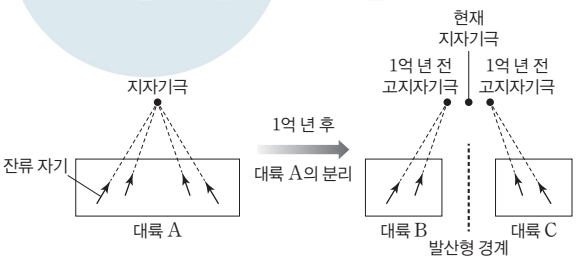
10 대륙의 이동과 고지자기극

지질 시대 동안 지리상 극의 위치가 변하지 않았다고 가정하면 지자기극의 겉보기 이동은 대륙 이동의 증거이다.

㉠. (가) → (나) 과정에서 대륙 A는 대륙 B와 C로 분리되었고, 대륙 B와 C는 판의 경계를 기준으로 볼 때 서로 반대 방향으로 이동했다. 따라서 대륙 B와 C 사이에는 판의 발산형 경계인 해령이 형성된다.

✕. (나)에서 1억 년 전 고지자기극은 대륙의 분리와 이동에 의해 2개로 나타나지만, 현재 지자기 북극은 1개이다.

✕. 마그마가 식어서 굳어질 때 자성 광물이 당시의 지구 자기장 방향으로 자화된다. 그 후 지구 자기장의 방향이 변해도 당시의 자성 광물의 자화 방향은 그대로 보존되는데, 이를 잔류 자기라고 한다. 현재 대륙 B와 대륙 C에서 각각 형성되는 암석의 잔류 자기 방향은 현재의 지자기극으로 수렴하기 때문에 1억 년 전의 고지자기 방향과 다르다.



대륙의 이동과 고지자기극의 이동(예시)

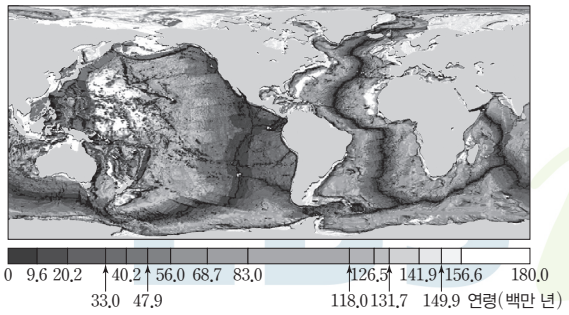
11 판 구조론과 판의 이동

위성 위치 확인 시스템(GPS)으로 측정한 판의 이동 방향과 속력을 통해 판이 이동하고 있으며, 이 과정에서 판의 경계와 대륙 분포가 변한다는 사실을 알아냈다.

✕. 판의 이동 방향과 속력 분포로 보아 인도－오스트레일리아판의 서쪽과 남쪽 경계에는 대체로 발산형 경계가, 동쪽 경계에는 대체로 수렴형 경계가 형성되는 것을 알 수 있다. 따라서 인도－오스트레일리아판의 동쪽 경계에는 대체로 해구가 발달한다.

㉡. 태평양판과 필리핀판의 이동 방향은 대체로 나란하다. 이때 태평양판의 이동 속력이 필리핀판의 이동 속력보다 빠르므로 두 해양판 사이에는 해구가 형성된다.

✕. 나스카판은 섭입대를 가지고 있는 해양판으로, 판의 이동 속력이 매우 빠르며 오래된 해양 지각은 남아메리카판 아래로 섭입하여 소멸된다. 따라서 나스카판에는 가장 오래된 해양 지각이 존재할 수 없다.



해양 지각의 연령 분포

12 해령과 변환 단층

해령에서 새로운 해양 지각이 생성된 후 양쪽으로 확장하면 지역에 따라 해령을 중심으로 양쪽 해양판에 가해지는 힘의 차이가 발생하게 된다. 이로 인해 해령이 끊어져 해령과 해령 사이에 변환 단층이 발달한다. 변환 단층의 발견은 판 구조론의 정립에 기여하였다.

㉠. (가)에서 직선 형태로 분포하던 해령이 (나)에서 곡선 형태로 분포하게 된 것은 해령을 기준으로 양쪽 해양판에 작용하는 힘의 차이가 발생했기 때문이다.

㉡. 그림에서 볼 수 있듯이 (나)에서 해령은 곡선 형태로 나타난다.

㉢. (나) → (다) 과정에서 해령은 힘의 차이에 의해 끊어지게 되고, 해령이 끊어진 경계에는 변환 단층이 발달한다.

3점 수능 테스트

본문 16~21쪽

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

01 대륙 이동의 증거

대륙 이동의 증거로는 대서양 양쪽 대륙 해안선 굴곡의 유사성, 고생물 화석의 분포, 고생대 말 빙하 퇴적층의 분포와 빙하 이동 흔적, 대서양 양쪽 해안에서 발견되는 지질 구조의 연속성 등이 있다.

㉠. 고생대 말 빙하 퇴적층의 분포를 통해 초대륙의 형성을 추정할 수 있다. 초대륙이 형성된 시기에 초대륙에서 번성한 고생물의 화석은 대륙의 분리와 이동에 의해 현재 멀리 떨어진 서로 다른 대륙에서 산출된다.

✕. A와 B는 동일한 지질 구조의 습곡 산맥이다. 습곡 산맥은 횡압력이 작용하여 형성되므로 대륙이 분리되는 과정이 아니라 합쳐지는 과정에서 형성될 수 있다.

㉢. 대서양과 인도양은 초대륙 판게아의 분리 과정에서 새로운 해양 지각의 생성과 함께 해양판의 발산에 의해 만들어졌다. 판게아는 중생대 초에 분리되기 시작하였으므로 인도양은 중생대에 형성되기 시작하였다.

02 판 구조론의 정립

A는 맨틀 대류설을 주장한 홈스, B는 대륙 이동설을 주장한 베게너, C는 변환 단층을 발견하고 설명한 윌슨이다.

㉠. A(홈스)가 주장한 맨틀 대류는 발표 당시의 과학 기술로는 증명될 수 없었기 때문에 발표 당시에는 대륙 이동의 원동력으로 인정받지 못하였다.

㉡. B(베게너)는 과거에 대륙이 모여 있던 초대륙을 판게아라고 하였으며, 판게아의 분리와 대륙의 이동으로 인해 현재의 대륙 분포를 갖추게 되었다고 주장하였다.

㉢. C(윌슨)는 양쪽 해양 지각의 이동 방향이 같은 단열대에서는 변환 단층에서와는 달리 지진이 일어나지 않는다고 설명하였다.

03 음향 측심법

초음파의 속도가 v, 해수면에서 발사한 초음파가 해저면에 반사되어 되돌아오는 데 걸리는 시간이 t라면 수심 d는 다음과 같다.

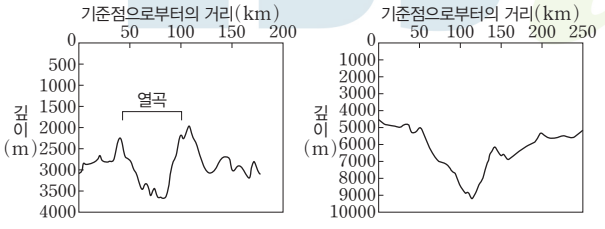
$$\text{수심}(d)=\frac{1}{2}vt$$

음향 측심법을 이용해 수심을 구하고, 기준점으로부터의 거리에 따른 수심 그래프를 그리면 (가)에서는 해령의 열곡이, (나)에서는 해구가 나타나는 것을 알 수 있다.

✕. (가)에서 가장 깊은 곳의 수심이 약 3700 m이므로, (가)에는 해구가 발달할 수 없다.

✕. 해령의 열곡으로부터의 거리는 ㉠ 지점보다 ㉡ 지점이 멀다. 따라서 지각을 이루는 암석의 나이는 ㉠ 지점보다 ㉡ 지점이 대체로 많다.

㉢. 해저 확장설에 의하면 해령에서는 새로운 해양 지각이 생성되고, 해구에서는 오래된 해양 지각이 섭입하여 소멸된다. 따라서 ㉢(해구) 지점에서는 오래된 해양 지각이 침강하여 맨틀로 들어가기 시작한다.



(가) 해령 (나) 해구

04 해저 지형

해령에서 멀어질수록 해양 지각의 연령과 심해 퇴적물의 두께, 수심은 증가한다.

㉠. A와 B 사이에는 나스카판이 남아메리카판 아래로 섭입하는 과정에서 형성된 수렴형 경계가 발달한다. 또한 수렴형 경계가 형성되는 과정에서 발생한 횡압력에 의해 남아메리카판의 서쪽 경계 부근에는 습곡 산맥(안데스산맥)이 발달한다.

㉡. A와 B에서 암석의 생성 시기는 같다. 따라서 암석이 생성될 당시 A와 B의 암석에 기록된 잔류 자기 방향은 암석 생성 당시의 지자기극으로 수렴한다. 하지만 A와 B는 판의 이동에 의해 암석 생성 위치로부터 이동하였으므로 현재 A와 B의 암석으로 추정한 고지자기극은 서로 다른 곳에 위치한다.

✕. 해령에서 해양 지각이 생성되는 속도는 판의 특성 및 분포, 판에 작용하는 힘 등에 의해 결정된다. 따라서 해령을 기준으로 새로운 해양 지각이 생성되어 확장되는 속도는 해령마다 차이가 있다.

05 해저 확장과 고지자기 줄무늬

해령이 지리상 북극 방향인 남북 방향으로 발달할 때 정자극기의 고지자기 방향은 해령과 나란하게 나타난다. 하지만 해령이 지리상 북극 방향에 대해 수직 방향인 동서 방향으로 발달할 때 정자극기의 고지자기 방향은 해령과 대체로 수직으로 나타난다.

㉠. 해령으로부터 180 km 거리까지 고지자기 줄무늬를 비교하면 (가)에 비해 (나)에서 고지자기 줄무늬의 폭이 넓다. 즉, 해양판은 (가)보다 (나)에서 같은 시간 동안 더 빠른 속도로 확장되었음을 알 수 있다.

✕. 고지자기 줄무늬 분포로 해석할 때 A, B, C 중 암석의 나이는 B가 가장 적다.

✕. (나)에서 해령은 지리상 북극 방향에 대해 수직으로 발달한다. 역자극기에 고지자기 방향이 왼쪽(해령 쪽)을 향하기 때문에 북쪽은 그림에서 오른쪽 방향이 된다. 즉, 해령(남반구에 위치)에서 거리가 멀수록 적도 쪽에 가까우며 위도가 낮다. 따라서 B는 C보다 고위도에 위치한다.

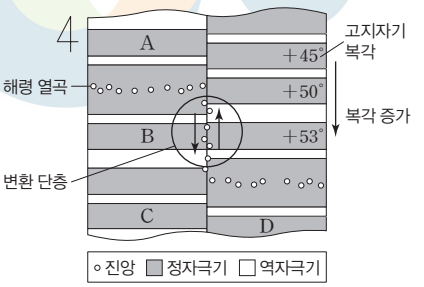
06 해저 확장과 고지자기 줄무늬

해령 주변의 고지자기 줄무늬는 해령을 축으로 양쪽에서 대칭적으로 나타난다. 고지자기 줄무늬 분포로 보아 A와 B 사이에 해령이 존재하며, A와 B는 동일한 시기에 생성되었다.

㉠. 해령에 가까울수록 고지자기 복각이 증가하므로 A가 생성되기 전에 해령은 고위도 쪽으로 이동한 적이 있다.

✕. 심해 퇴적물의 퇴적 속도가 일정할 경우 심해 퇴적물의 평균 두께는 퇴적 시간에 비례한다. 즉, 해양 지각의 연령이 많을수록 심해 퇴적물의 평균 두께가 증가한다. 해령으로부터의 거리는 B가 C보다 가까우므로 해양 지각의 연령은 B보다 C가 많고, 심해 퇴적물의 평균 두께는 B보다 C가 두껍다.

✕. C와 D는 동일한 판에 위치하므로, C와 D 사이에는 판의 경계가 존재하지 않는다.



07 대륙의 이동과 고지자기극의 이동

지질 시대 동안 지리상 남극의 위치가 변하지 않았다고 가정하면 지괴의 이동에 의해 고지자기극의 겉보기 이동이 나타난다. (가)에서 지괴 A는 80 Ma～60 Ma 동안 남극을 통과했으며, 60 Ma～20 Ma 동안 경도선을 따라 북쪽으로 이동한 후 20 Ma～0 Ma 동안 북서쪽으로 이동했다. (나)에서 지괴 B는 80 Ma～60 Ma 동안 북서쪽으로 이동한 후, 60 Ma～0 Ma 동안 경도선을 따라 북쪽으로 이동했다.

㉠. 지괴의 이동 경로에 따른 고지자기극의 이동을 고려할 때, A에서 구한 8000만 년 전 고지자기극은 현재 A의 위치보다 저위도에 위치하지만, B에서 구한 8000만 년 전 고지자기극은 현재 B의 위치보다 고위도에 위치한다. 따라서 8000만 년 전 고지자기

극의 위치는 A에서 구한 값이 B에서 구한 값보다 저위도에 해당한다.

ㄴ. 6000만 년 전에 A는 B보다 고위도에 위치하므로 고지자기 복각의 절댓값은 A가 B보다 크다.

✕. 최근 4000만 년 동안 지괴의 이동 거리는 A가 B보다 길다. 따라서 지괴의 평균 이동 속력은 A가 B보다 빠르다.

08 대륙의 이동과 회전

화산암체가 이동할 때 고지자기 복각의 변화를 통해 화산암체의 위도 변화에 대한 정보를 얻을 수 있고, 고지자기로 추정한 지리상 북극 방향의 변화를 통해 지리상 북극 방향을 기준으로 한 화산암체의 회전에 대한 정보를 얻을 수 있다. 최근에 만들어진 화성암의 고지자기 복각이 클수록 화산암체가 위치한 위도는 높아진다.

ㄱ. 이 화산암체의 C 시기에는 B 시기나 A 시기에 비해 오래된 암석이 분포한다. a가 C 시기에 고지자기로 추정한 지리상 북극 방향이라면, 새로 만들어진 화성암에서 고지자기로 추정한 지리상 북극 방향은 b 또는 c가 되므로 이 화산암체는 지리상 북극 방향에 대해 시계 방향으로 회전한 적이 있다.

ㄴ. 고지자기 복각이 클수록 화산암체는 지리상 북극에 가깝게 위치한다. 따라서 화산암체는 A 시기가 B 시기보다 지리상 북극에 가깝게 위치한다.

✕. 화산암체의 고지자기극의 겉보기 이동 경로가 동일한 경도선 상에 나타나기 위해서는 화산암체가 회전하지 않은 상태로 동일한 경도선을 따라 이동하거나, 이동하지 않고 회전만 해야 한다. 이 화산암체는 복각의 변화가 나타나며 고지자기로 추정한 지리상 북극 방향이 현재 지리상 북극 방향에 대해 변화가 나타나므로 고지자기극의 겉보기 이동 경로가 동일한 경도선 상에 나타날 수 없다.

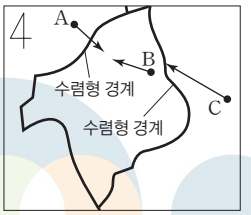
09 GPS를 이용하여 측정한 판의 이동

GPS를 이용하여 판의 이동 방향과 이동 속력을 측정할 수 있다. 판의 경계는 판의 상대적 이동에 따라 발산형 경계, 수렴형 경계, 보존형 경계로 구분한다. A와 B 사이, B와 C 사이에는 모두 수렴형 경계가 형성된다.

✕. 관측 기간 동안 A 지점은 남쪽으로 약 24 cm, 동쪽으로 약 31 cm 이동하였고, B 지점은 북쪽으로 약 12 cm, 서쪽으로 약 35 cm 이동하였다. 한편 관측 기간 동안 C 지점은 북쪽으로 약 25 cm, 서쪽으로 약 75 cm 이동하였다. 따라서 GPS 측정 결과 남북 방향, 동서 방향의 판의 이동 속력을 모두 고려할 때 판의 이동 속력은 세 지점 중 C에서 가장 빠르다.

ㄴ. A와 B 사이의 판의 경계는 수렴형 경계이므로, A와 B 사이에는 맨틀 대류의 하강부가 존재한다.

ㄷ. B와 C 사이의 판의 경계는 수렴형 경계이므로, 2013년부터 2022년까지 B와 C 사이의 거리는 점차 가까워졌다.



판의 경계와 이동

10 한반도를 이루는 지괴의 이동

한반도를 이루는 대부분의 지괴들은 고생대 초에 남반구에 위치하였다가 점차 북상하여 중생대 쥐라기에 현재의 위도 부근에 위치하게 되었다.

✕. 판게아는 고생대 말에 형성되었다.

ㄴ. 한반도를 이루는 대부분의 지괴들은 남반구에 위치하였다가 현재의 위도로 이동하였으므로, 고지자기 복각이 (−) 값에서 (+) 값으로 바뀐 것이 있다.

✕. 대서양은 판게아가 분리되기 시작할 무렵에 형성되기 시작하였다. 판게아는 트라이아스기 이후에 분리되었으며, 판게아가 분리되기 시작할 무렵에 한반도를 이루는 지괴들은 대부분 북반구에 위치하였다.

11 초대륙의 형성과 분리

과학자들은 초대륙이 분리되었다가 합쳐져 새로운 초대륙을 형성하고 다시 분리되었다가 모이는 과정을 되풀이한다고 생각한다. 그리고 초대륙이 형성되는 주기를 약 3억 년~5억 년으로 추정한다.

ㄱ. (가)는 판의 발산형 경계가 형성되어 대륙판의 분리가 일어나는 과정으로, 대륙판이 분리되어 열곡대가 형성될 때 열곡대 부근의 대륙판은 두께가 얇아진다.

ㄴ. (나)는 해구와 섭입대가 형성되는 과정으로, 새로운 수렴형 경계가 만들어진다.

ㄷ. (다)는 해양 지각이 소멸되고, 대륙과 대륙이 충돌하여 새로운 초대륙이 형성되는 과정을 나타낸다.

12 판 구조론과 판의 경계

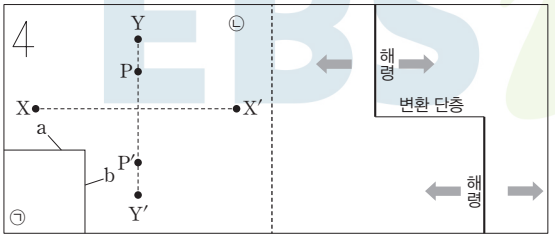
해령은 새로운 해양 지각이 생성되어 해령을 축으로 서로 반대 방향으로 멀어지는 발산형 경계에 발달한다. 판의 이동 속력이 일정할 경우 해령에서 멀어질수록 해양 지각의 연령은 일정하게 증가한다. 해령과 해령 사이에는 보존형 경계가 발달한다. 다음 그림(예시)과 같이 해령은 (가) 그림의 동쪽에 존재하며, 해령을 기준으로 X, X′, Y, Y′의 모든 지점은 해령의 서쪽에 위치한다. 해

령으로부터의 거리는 Y 지점이 Y′ 지점보다 가깝다.

㉠. ㉠ 판이 정북 방향으로 이동한다면 a와 b에서는 모두 판이 수렴하고 해구가 발달한다.

✕. 판의 이동 속력이 일정하다고 하였으므로, 동일한 해양판에 위치한 Y－Y′ 구간에는 주향 이동 단층이 발달할 수 없다.

✕. 지점 P와 P′은 동일한 해양판에 위치하므로 이동 속력이 같다. 따라서 두 지점 사이의 거리는 일정하다.



판의 경계와 해령의 위치(예시)

02 판 이동의 원동력과 마그마 활동

2점 수능 테스트

본문 29~31쪽

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

01 판 이동의 원동력

판은 맨틀 대류에 의해 이동하지만 판 자체에서 만들어지는 물리적인 힘에 의해서도 이동할 수 있다. 판 자체에서 만들어지는 물리적인 힘에는 섭입하는 판이 잡아당기는 힘(C)과 해령에서 판을 밀어내는 힘(B) 등이 있다.

㉠. A는 맨틀 대류에 의해 나타나는 판을 움직이는 힘이기 때문에 연약권의 운동에 의해 나타난다.

㉡. B는 해령에서 작용하는 힘으로, 서로 접해 있는 판을 밀어내는 힘이다.

㉢. C는 섭입대에서 섭입하는 판에 의해 발생하는 힘으로, 섭입하는 판이 주변 대륙판 하부의 연약권보다 밀도가 크기 때문에 발생한다.

02 판의 경계와 판의 평균 이동 속력

섭입대에서 침강하는 판은 냉각되어 밀도가 커지므로 무거운 상태로 침강하면서 판을 섭입대 쪽으로 잡아당긴다. 따라서 섭입대를 포함하는 판이 섭입대를 포함하지 않는 판보다 이동 속력이 대체로 빠르다.

✕. $\frac{\text{대륙판의 면적}}{\text{판 전체의 면적}}$이 큰 북아메리카판이나 아프리카판은 $\frac{\text{해양판의 면적}}{\text{판 전체의 면적}}$이 큰 태평양판이나 필리핀판에 비해 평균 이동 속력이 대체로 느리다.

✕. 다른 판에 비해 비교적 면적이 좁은 필리핀판이나 코코스판의 평균 이동 속력이 북아메리카판이나 아프리카판의 평균 이동 속력보다 빠르고 태평양판의 평균 이동 속력보다 느린 것으로 보아 판의 면적과 판의 평균 이동 속력은 직접적인 관련이 없다.

㉢. A 판은 판의 경계 중 해구가 차지하는 비율이 높은 나스카판이고, B 판은 판의 경계 중 해구가 차지하는 비율이 낮은 남아메리카판이다. 따라서 판의 평균 이동 속력은 A 판이 B 판보다 빠를 것이다.

03 판의 경계

A와 D는 수렴형 경계, B는 보존형 경계, C는 발산형 경계이다.

✕. A는 해양판과 해양판의 수렴형 경계이고, D는 해양판과 대륙판의 수렴형 경계이다. 따라서 인접한 판의 밀도 차는 A보다 D가 크다.

㉡. 발산형 경계에서는 지진과 화산 활동이 활발하게 일어나고, 보존형 경계에서는 지진은 활발하게 일어나지만 화산 활동은 거의 일어나지 않는다. 따라서 화산 활동은 B보다 C에서 활발하게 일어난다.

✕. 새로운 해양 지각은 판의 발산형 경계에서 생성된다. ㉠ 지점과 ㉡ 지점은 같은 해양판에 속하므로, 두 지점 사이에는 판의 경계가 존재하지 않는다. 따라서 두 지점 사이에서는 새로운 해양 지각이 생성될 수 없다.

04 판 구조론과 플룸 구조론

판 구조론은 연약권의 대류로 인해 판의 이동이 일어나며, 판의 경계에서 지각 변동이 일어난다고 설명한다. 플룸 구조론은 판과 맨틀 전체의 상호 작용을 설명하며, 맨틀 전체 영역에서 연직적인 물질의 운동이 나타난다고 설명한다.

✕. ㉠은 상부 맨틀에서 맨틀 대류가 일어나는 한계 깊이에 해당하므로 상부 맨틀과 하부 맨틀의 경계이다.

㉡. A는 플룸 구조론에서 설명하는 주변보다 밀도가 큰 물질이 연직 방향으로 하강하는 흐름으로, 차가운 플룸에 해당한다. 따라서 A는 주변보다 밀도가 큰 물질이다.

✕. B는 플룸 구조론에서 설명하는 뜨거운 플룸으로, B를 이루는 물질의 성분은 맨틀과 같다.

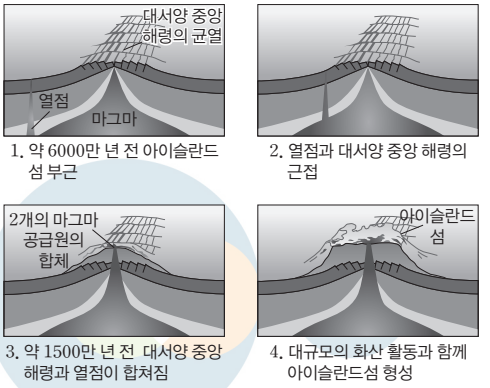
05 플룸과 지각 변동

열점에서는 뜨거운 플룸이 상승하여 생성된 마그마가 지각을 뚫고 분출하여 화산 활동이 일어난다. 열점에 의한 화산 활동으로 해산이나 화산섬이 형성될 수 있다. 열점과 해령이 합쳐져서 마그마의 공급원이 겹쳐지면 다량의 마그마가 분출해 규모가 큰 화산섬이 형성될 수 있다.

✕. 열점은 맨틀 내에 고정된 마그마의 생성 장소이다. 따라서 열점은 맨틀 대류에 의해 이동하지 않는다.

✕. 호상 열도는 판이 섭입하는 수렴형 경계 부근에서 형성되며, 열점과는 관계가 없다.

㉢. (나) 과정에서 열점과 해령은 점차 가까워진다. 결과적으로 화산섬 A는 뜨거운 플룸과 맨틀 대류의 상승 영역이 합쳐져 만들어졌다. 열점과 해령이 합쳐지면서 화산섬이 형성되는 과정은 다음 그림과 같이 아이슬란드 화산섬의 형성 과정을 참고할 수 있다.



아이슬란드 화산섬의 형성 과정

06 맨틀 대류 실험

맨틀은 고체 상태이지만 온도가 높으므로 유동성이 있고 매우 느리게 대류가 일어난다. 상부 맨틀에서 대류가 일어나는 모형에서는 연약권의 대류로 인해 판이 이동한다고 설명한다.

㉠. (가)에서 나무토막은 암석권(판)에 해당하고, 식용유는 열대류가 일어나는 연약권에 해당한다.

㉡. (나)에서 열대류가 일어나면 나무토막 사이의 거리는 멀어진다. 이는 판 구조론에서 설명하는 발산형 경계의 형성에 해당한다.

㉢. 색소 가루의 움직임을 통해 열대류를 확인할 수 있으므로 ㉠은 맨틀 물질의 대류에 해당한다.

07 판의 경계와 지각 변동

발산형 경계를 기준으로 양쪽의 두 판은 서로 멀어지고, 수렴형 경계를 기준으로 양쪽의 두 판은 서로 가까워진다. A, B, C는 모두 판의 경계를 기준으로 두 판이 가까워지는 수렴형 경계 부근에 위치한다.

㉠. A에서는 대륙판과 대륙판이 충돌하는 과정에서 횡압력을 받아 형성된 습곡 산맥이 발달한다. C에서는 해양판과 대륙판이 수렴하는 과정에서 횡압력을 받아 형성된 습곡 산맥이 발달한다.

㉡. 판의 이동 방향과 속도를 고려할 때 B에서는 수렴형 경계가 나타난다.

✕. 심발 지진은 판의 섭입이 일어나는 수렴형 경계 부근에서 발생한다. 태평양에는 판의 섭입이 일어나는 수렴형 경계가 발달하지만, 대서양에는 판의 섭입이 일어나는 수렴형 경계가 거의 나타나지 않는다. 따라서 심발 지진은 대서양 연안보다 태평양 연안에서 활발하게 일어난다.

08 마그마의 생성

마그마는 압력이 일정한 상태에서 온도가 상승(A → A′)하여 지구 내부의 물질이 용융되는 과정이나 온도가 일정한 상태에서 압

력이 감소(B → B′)하여 지구 내부 물질이 용융되는 과정에서 생성될 수 있다. A → A′은 주로 대륙 지각의 물질이 용융되어 마그마가 생성되는 과정이고, B → B′은 주로 맨틀 물질의 상승에 따른 압력 감소에 의해 마그마가 생성되는 과정이다.

✗. 열점은 판의 내부와 판의 경계에 모두 분포한다.

○. ㉠은 열점이 분포하는 영역으로, 열점에서는 맨틀 물질의 상승에 따른 압력 감소에 의해 마그마가 생성된다. 따라서 ㉠에서는 주로 B → B′ 과정에 의해 마그마가 생성된다.

○. ㉡은 판의 발산형 경계(해령)이면서 열점이 분포하는 영역으로, 해령과 열점에서는 맨틀 물질의 상승에 따른 압력 감소에 의해 마그마가 생성된다. 따라서 ㉡에서는 맨틀 물질의 용융에 의해 생성된 마그마로 인한 화산 활동이 일어난다.

09 지구 내부의 층상 구조

암석권은 지각과 상부 맨틀의 일부를 포함하는 두께 약 100 km의 암석으로 이루어진 층이다. 연약권은 상부 맨틀 중에서 암석권의 하부에서부터 깊이 약 400 km까지에 해당한다. 연약권에서는 지진파의 전파 속도가 느려지는 구간이 나타나며, 이 구간의 존재를 통해 부분 용융 상태인 것을 추정할 수 있다.

○. ㉠은 지진파의 전파 속도가 느려지는 구간이 나타나는 영역으로, 부분 용융 상태인 연약권이다.

✗. 지각의 평균 두께는 대륙 지각이 해양 지각보다 두껍고, 지각의 평균 밀도는 해양 지각이 대륙 지각보다 크다.

✗. 대륙판은 해양판보다 평균 두께가 두꺼우므로, 연약권의 평균 깊이도 대륙판의 하부가 해양판의 하부보다 깊다. 따라서 a는 해양판이 위치한 A 지점의 하부에서 측정한 지진파 전파 속도에 해당한다.

10 우리나라의 화강암 지형

정선의 금강전도는 금강산을 표현한 그림으로, 금강산을 이루는 화강암의 봉우리들이 잘 묘사되어 있다.

○. 금강산의 봉우리를 이루는 주된 암석은 화강암이다.

✗. 금강산은 심성암인 화강암이 지표에 노출된 암봉으로 이루어진 산이며, 심성암 지형에 해당한다.

○. 심성암이 지표에 노출된 지형은 심성암이 융기하여 지표에 노출되는 과정에서 풍화 작용이 일어나 이와 관련된 다양한 지질 구조가 나타난다.

11 화성암

심성암은 마그마가 지하 깊은 곳에서 서서히 냉각되어 조립질 조직이 나타나고, 화산암은 마그마가 지표 부근에서 빠르게 냉각되어 세립질 조직이나 유리질 조직이 나타난다. 또한 화성암은 화학 조성을 기준으로 구분할 수도 있는데, SiO_2 함량에 따라 염기성암, 중성암, 산성암으로 구분한다.

○. ㉠은 입자의 크기가 작은 세립질 조직의 화산암이므로 (나)의 B에 해당하고, ㉡은 입자의 크기가 큰 조립질 조직의 심성암이므로 (나)의 A에 해당한다. 암석의 SiO_2 함량은 ㉠이 ㉡보다 많으므로 암석의 색은 ㉠이 ㉡보다 밝다.

✗. 암석의 SiO_2 함량은 ㉠이 ㉡보다 많으므로 ㉠이 염기성암이라면 ㉡ 역시 염기성암이 되어야 한다.

✗. 화성암의 입자 크기는 마그마의 냉각 속도에 의해 결정된다. A는 조립질 조직이 나타나고 B는 세립질 조직이 나타나므로, 마그마의 냉각 속도는 A보다 B가 빠르다.

12 우리나라의 화성암 지형

설악산 공룡 능선은 지하 깊은 곳에서 마그마가 관입하여 생성된 화강암이 융기하여 지표면에 노출되어 형성된 지형이고, 제주도 중문 대포 해안은 현무암질 마그마가 지표 부근에서 빠르게 냉각되어 형성된 지형이다.

○. ㉠은 화강암으로 심성암이고, ㉢은 현무암으로 화산암이다.

○. ㉡은 심성암이 융기하여 지표로 노출되는 과정에서 압력 감소에 의해 발달한 판상 절리이다.

○. 마그마가 지표 부근에서 빠르게 냉각되면 부피가 급격히 수축하여 기둥 모양으로 갈라진 주상 절리가 형성된다. ㉣은 주상 절리이다.

3점 수능 테스트

본문 32~37쪽

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

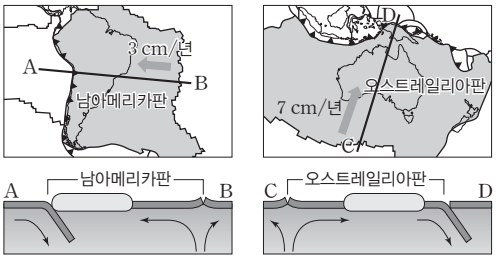
01 판의 경계와 판의 이동

섭입대에서 침강하는 판은 냉각되어 밀도가 커지므로 무거운 상태로 침강하면서 판을 섭입대 쪽으로 잡아당긴다. 따라서 섭입대를 포함하는 판이 섭입대를 포함하지 않는 판보다 이동 속도가 빠르다. 오스트레일리아판은 북쪽에 위치한 판과의 경계에서 넓은 영역에 걸쳐 판의 섭입이 발생하므로, 판의 평균 이동 속도는 오스트레일리아판이 남아메리카판보다 빠르다.

㉠. 남아메리카판의 서쪽 경계에는 나스카판(해양판)과의 수렴형 경계가 발달하고, 나스카판의 섭입이 일어난다. 따라서 남아메리카판의 서쪽 경계 부근에는 해구가 발달한다.

㉡. 오스트레일리아판의 평균 이동 속도가 남아메리카판의 평균 이동 속도보다 빠른 것은 오스트레일리아판이 북쪽에 위치한 판 아래로 섭입하기 때문이다.

✗. 오스트레일리아판은 넓은 영역에 걸쳐 북쪽에 있는 판 아래로 섭입하지만 남아메리카판은 판의 섭입이 일어나는 영역이 판의 북쪽과 남쪽에 상대적으로 매우 좁게 나타난다. 따라서 판의 평균 이동 속도를 고려할 때, 섭입대에서 판을 잡아당기는 힘은 오스트레일리아판이 남아메리카판보다 상대적으로 클 것이다.

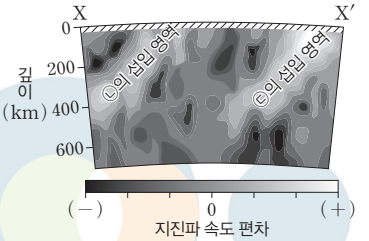


남아메리카판과 오스트레일리아판의 이동 속도

02 맨틀 대류와 판의 이동

지진파 단층 촬영법을 이용하면 지구 내부의 지진파 통과 속도 분포를 알 수 있고, 이를 바탕으로 지구 내부의 물질 분포를 해석할 수 있다. 지진파의 속도 편차가 (+)인 곳은 밀도가 큰 물질이 분포하는 영역이고, 지진파의 속도 편차가 (−)인 곳은 밀도가 작은 물질이 분포하는 영역이다.

㉠. X−X′ 구간의 하부에 서로 다른 두 개의 섭입대가 분포하므로, ㉡과 ㉢은 각각 ㉠ 아래로 섭입하는 것을 알 수 있다. 따라서 ㉡과 ㉢은 해양판이고, 판의 경계 부근에서 두 판의 밀도 차는 대륙판과 해양판의 경계 부근이 해양판과 해양판의 경계 부근보다 크다.



✗. ㉡이 ㉠ 아래로 섭입하므로, ㉠과 ㉡의 경계는 맨틀 대류의 하강 영역에 해당한다.

✗. ㉠과 ㉢의 판의 경계를 기준으로 ㉠과 ㉢은 서로 수렴한다. 따라서 ㉠은 ㉢에 대해 대체로 남동쪽으로 이동하고, ㉢은 ㉠에 대해 대체로 북서쪽으로 이동한다.

03 판의 경계와 지각의 연령

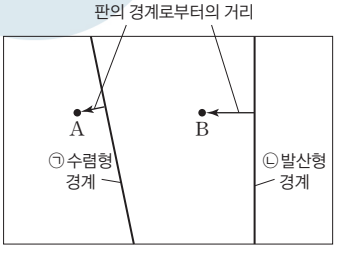
해양 지각은 판의 경계에서 끊임없이 생성과 소멸의 과정을 거친다. 이에 비해 대륙 지각은 판의 경계에서 생성과 소멸의 과정이 나타나지 않으므로, 지각의 연령은 대체로 대륙 지각이 해양 지각보다 많다. 또한 해양 지각의 연령은 해령에서 멀어질수록 많아진다. 가장 가까운 판의 경계(㉠)로부터 A 지점까지의 지각의 연령은 일정하게 적어지므로 A 지점은 해양판 위에 있고, ㉠은 수렴형 경계이다. 가장 가까운 판의 경계(㉡)로부터 B 지점까지의 지각의 연령은 0에서부터 일정하게 많아지다가 불연속적으로 급격히 많아진 후 일정하게 나타난다. 따라서 B 지점은 대륙판 위에 있고, B 지점과 발산형 경계인 ㉡ 사이에는 ㉡에서 새로 만들어진 해양 지각이 존재한다.

✗. ㉠은 수렴형 경계이며, A가 속한 판은 ㉠에서 섭입하고 있기 때문에 A는 해양판에 위치한다.

✗. ㉡은 발산형 경계이며, B는 대륙판에 위치한다. B와 ㉡의 사이에는 새로 만들어진 해양 지각이 존재한다. 습곡 산맥은 대륙판과 대륙판이 충돌하는 경계나 해양판이 대륙판 아래로 섭입하는 경계 부근에서 발달한다.

㉢. ㉠은 수렴형 경계, ㉡은 발산형 경계이므로 A와 B 사이의 거리는 시간이 지날수록 점차 짧아진다.

4



04 호상 열도의 형성

호상 열도는 해양판의 섭입이 일어나는 수렴형 경계 부근에서 발달하는 화산 지형이다. 밀도가 큰 해양판이 밀도가 작은 판 아래로 섭입할 때 밀도가 작은 판 위의 해양에는 호상 열도가 형성될 수 있다.

㉠. 해양판의 섭입이 일어나는 수렴형 경계 부근에서는 해양판이 섭입하는 과정에서 섭입대를 따라 지진이 주로 발생하므로, 해구에서 ㉠ 판 쪽으로 갈수록 진원의 평균 깊이가 깊어진다. 따라서 (나)는 a−a′ 구간의 진원 분포에 해당한다.

㉡. b−b′ 구간은 수렴형 경계와 호상 열도 사이에 위치하므로 b−b′ 구간의 하부에는 ㉡ 판이 ㉠ 판 아래로 섭입하는 과정에서 발달하는 베니오프대가 존재한다.

✕. 호상 열도를 이루는 화산암체는 해양판의 섭입 과정에서 발생한 물의 작용에 의해 주로 ㉠ 판 하부의 연약권과 ㉠ 판이 용융되면서 발생한 마그마에 의해 형성되었다.

05 판의 경계와 판의 이동

해령 주변의 고지자기 줄무늬가 정확히 대칭이라면 해령에서 새로운 해양 지각이 생성되어 해저가 확장되는 속력은 해령을 기준으로 양쪽 판에서 동일하다. 해령을 기준으로 해저가 양쪽으로 확장되는 속력이 3 cm/년으로 일정할 때, 해령이 2 cm/년의 속력으로 동쪽으로 이동한다면 해령을 기준으로 양쪽에 위치한 두 해양판의 실제 이동 속력은 각각 1 cm/년, 5 cm/년이 된다.

✕. 해령을 기준으로 해저가 확장되는 속력이 해령을 기준으로 양쪽 방향으로 3 cm/년이므로, 지점 A는 지점 B에 대해 서쪽으로 6 cm/년의 속력으로 멀어진다.

㉡. 대륙판이 동쪽으로 이동하는 속력이 1 cm/년, 해령이 동쪽으로 이동하는 속력이 2 cm/년이라면 해령은 점차 대륙판에 가까워질 것이다.

㉢. 해령과 해령을 잇는 판의 경계는 보존형 경계이다. 보존형 경계에서는 판과 판이 반대 방향으로 어긋나는 변환 단층이 발달하며, 변환 단층에서는 지진이 활발하게 일어나지만 화산 활동은 거의 일어나지 않는다.

06 플룸과 지구 내부 물질의 운동

판의 섭입이 일어나는 수렴형 경계 부근에서는 섭입한 판이 상부 맨틀과 하부 맨틀의 경계에 머물다가 일정량 이상이 되면 맨틀과 외핵의 경계 쪽으로 가라앉으면서 차가운 플룸이 형성될 수 있다. 차가운 플룸이 맨틀과 외핵의 경계 쪽으로 가라앉으면 그 영향으로 맨틀과 외핵의 경계에서 뜨거운 맨틀 물질이 상승하여 뜨거운 플룸이 형성될 수 있다. 뜨거운 플룸의 상승이 있는 곳에서는 열점이 만들어지며, 플룸은 장소에 따라 다양한 규모로 나타난다.

㉠. 화산섬 A는 뜨거운 플룸이 상승한 곳에서 만들어졌기 때문에 현무암질 마그마에 의해 형성된다.

㉡. 뜨거운 플룸이 상승하는 곳에는 열점이 존재하며, 열점에서 만들어진 마그마에 의해 화산 활동이 일어난다. B와 C는 모두 뜨거운 플룸이 상승하는 곳에서 만들어진 화산섬이므로 B와 C의 하부에는 열점이 존재한다.

㉢. (나)는 수렴형 경계에서 밀도가 큰 해양판이 밀도가 작은 판 아래로 섭입하고 있다. 해양판의 섭입이 일어나는 곳에서는 차가운 플룸이 형성될 수 있다.

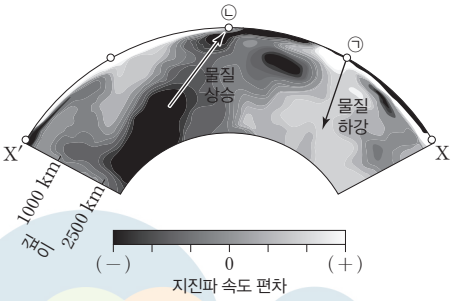
07 판 구조론과 플룸 구조론

판 구조론은 판의 경계에서 일어나는 지각 변동을 설명할 수 있고, 플룸 구조론은 열점에서의 화산 활동과 같이 맨틀 전체에서 일어나는 물질의 연직적인 운동에 의한 화산 활동을 설명할 수 있다. 지구 내부에서 뜨거운 플룸의 상승이 일어나는 곳은 지진파의 전파 속도가 주위보다 느리고, 차가운 플룸의 하강이 일어나는 곳은 지진파의 전파 속도가 주위보다 빠르다.

㉠. ㉠과 ㉡ 사이에는 홍해가 존재하며, 홍해에서 아프리카판과 아라비아판의 발산이 일어난다.

㉡. (나)에서 ㉠의 하부에는 지진파의 속도 편차가 (+) 값인 영역이 깊게 나타난다. 따라서 ㉠의 하부에는 차가운 플룸이 존재한다.

㉢. (나)에서 ㉡의 하부에는 지진파의 속도 편차가 (−) 값인 영역이 존재한다. 따라서 ㉡의 하부에서는 맨틀 물질이 상승한다.



08 열점과 판의 이동

열점은 맨틀에 고정된 마그마의 생성 장소이므로 열점에서 분출된 마그마에 의해 형성된 화산암체의 고지자기는 일정한 방향으로 나타난다. 열점에 의한 화산 활동으로 형성된 화산섬과 해산은 판에 실려 이동하므로, 이를 이용하면 판의 이동 방향과 속도를 추정할 수 있다.

✕. A, B, C는 모두 고정된 열점에서 분출된 마그마에 의해 형성된 화산암체이므로 고지자기 복각의 절댓값은 A, B, C에서 모두 같다.

✕. C 부근 아래에는 열점이 위치하며, 열점은 새로운 지각이 생성되는 판의 경계가 아니다.

○. C는 가장 최근에 형성된 화산암체이다. B와 C의 분포로 보아 현재 이 지역에서 판의 이동 방향은 북북서 방향(㉠)보다 서북서 방향(㉡)에 가깝다.

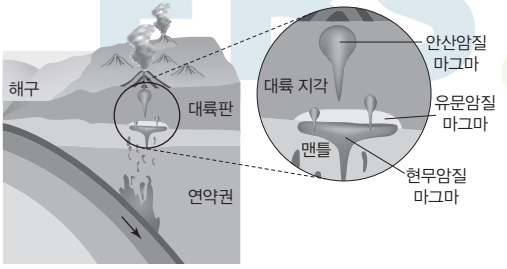
09 섭입대 부근의 마그마 생성

해양판이 섭입하여 온도와 압력이 상승하면 해양 지각과 퇴적물의 함수 광물에 포함된 물이 빠져나오고, 이 물의 영향으로 연약권을 구성하는 광물의 용융 온도가 낮아져(B → B′) 현무암질 마그마(㉢)가 생성된다. 이 현무암질 마그마가 상승하여 대륙 지각 하부에 도달하면 대륙 지각을 이루고 있는 암석이 가열되어(A → A′) 유문암질 마그마(㉡)가 생성된다. 또한 상승한 현무암질 마그마와 유문암질 마그마가 혼합되면 안산암질 마그마(㉠)가 생성된다.

○. ㉠은 안산암질 마그마, ㉡은 유문암질 마그마이다. 따라서 ㉠은 ㉡보다 SiO_2 함량(%)이 적다.

✕. ㉢은 섭입대 부근에서 맨틀 물질의 용융점 하강으로 생성된 현무암질 마그마로, B → B′ 과정에 의해 생성된다.

✕. (가)는 판의 섭입이 일어나는 수렴형 경계 부근에서 마그마가 생성되는 모습이다.



섭입대 부근의 마그마 생성

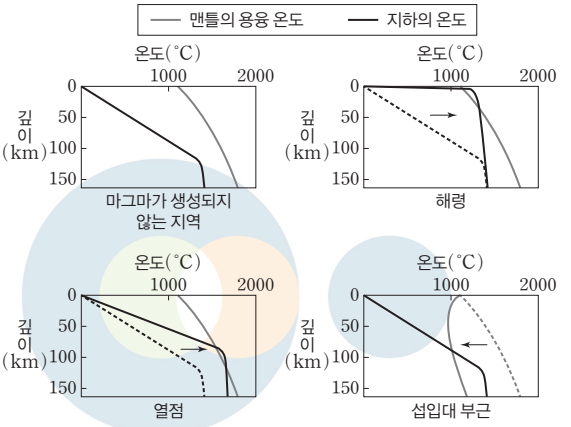
10 지하 온도와 물질의 용융 온도

지하의 온도가 물질의 용융 온도보다 높으면 마그마가 생성된다. 열점과 해령에서는 맨틀 물질의 상승에 따른 압력 감소에 의해 마그마가 생성되고, 섭입대 부근에서는 맨틀 물질의 용융 온도가 낮아져 마그마가 생성된다. (가)는 해령, (나)는 열점, (다)는 섭입대 부근에서 마그마가 생성될 때의 지하 온도와 물질의 용융 온도이다.

✕. (가)에서는 지표 부근의 비교적 얕은 깊이에서 마그마가 생성되고, (나)에서는 깊이 약 100 km에서 마그마가 생성된다. 따라서 마그마의 생성 깊이는 (가) 지역이 (나) 지역보다 얕다.

○. (가)는 해령, (다)는 섭입대 부근이므로 암석권의 평균 두께는 (가) 지역보다 (다) 지역이 두껍다.

✕. (다)는 섭입대 부근의 지하 온도와 물질의 용융 온도이므로 (다) 지역의 하부에서는 뜨거운 플룸이 상승할 수 없다.



11 화성암의 분류

화성암은 마그마의 냉각 속도와 입자 크기에 따라 화산암과 심성암으로 분류할 수 있고, SiO_2 함량에 따라 염기성암, 중성암, 산성암으로 분류할 수 있다. A는 설악산 울산바위를 이루는 화강암이고, B는 제주도 용두암을 이루는 현무암이다.

✕. A는 화강암이고, B는 현무암이다. 어두운색 광물의 함량은 염기성암인 B가 산성암인 A보다 많다.

○. 암석이 생성될 당시 마그마의 냉각 속도는 심성암인 A가 화산암인 B보다 느리다.

○. A와 B는 모두 화성암으로 마그마의 냉각 과정에서 자성 광물이 지구 자기장 방향으로 자화되어 잔류 자기가 형성된다.

12 우리나라의 화성암 지형

도봉산에서는 지하 깊은 곳에서 마그마가 관입하여 생성된 화강암이 융기하여 지표면에 노출되면서 만들어진 지질 구조를 관찰할 수 있다. 한탄강에서는 지표 부근에서 마그마가 빠르게 냉각되어 생성된 현무암과 관련된 지질 구조를 관찰할 수 있다.

○. ㉠은 심성암인 화강암이고, ㉢은 화산암인 현무암이다. 따라서 ㉠은 ㉢보다 지하 깊은 곳에서 생성되었다.

✕. ㉡은 지하 깊은 곳에서 만들어진 심성암이 융기하여 지표면에 노출되는 과정에서 압력 감소에 의해 만들어진 지질 구조(판상 절리)이다. 따라서 지질 구조(판상 절리)가 형성된 시기는 화성암의 생성 시기보다 늦다.

✕. ㉣은 주상 절리로, 마그마가 빠르게 냉각되는 과정에서 부피가 급격히 수축되어 만들어진다.

03 퇴적암과 지질 구조

2점 수능 테스트

본문 45~47쪽

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

01 속성 작용

퇴적물이 쌓여 퇴적암이 되기까지의 전체 과정을 속성 작용이라고 한다. 속성 작용에는 다짐 작용과 교결 작용이 있다. 다짐 작용은 아랫부분의 퇴적물이 윗부분의 퇴적물 무게에 의해 치밀하게 다져지는 작용으로, 이 과정에 의해 퇴적 입자 사이의 공극 크기가 작아진다. 교결 작용은 석회질 물질, 규질 물질 등이 공극에 침전되어 퇴적 입자를 단단히 붙게 하여 굳어지게 하는 작용이다.

㉠. (가) → (나) 과정에서 속성 작용에 의해 퇴적물의 총 부피가 작아졌다.

㉡. (가) → (나) 과정에서 속성 작용에 의해 공극의 평균 크기가 작아졌다.

㉢. (가) → (나) 과정에서 공극이 교결 물질로 채워지는 교결 작용이 일어났다.

02 속성 작용과 퇴적물의 변화

(나)를 보면 특성이 같은 쇄설성 퇴적 입자가 지속적으로 퇴적되는 바다에서 퇴적물의 물리량 $\varphi\left(\frac{\text{공극의 총 부피}}{\text{퇴적물의 총 부피}}\right)$는 깊이가 깊어질수록 감소한다.

✕. 퇴적물이 속성 작용을 받으면 퇴적물의 총 부피가 감소하고 공극의 평균 크기가 작아지며 공극이 교결 물질로 채워지므로, 퇴적물의 밀도가 커진다. 따라서 깊이 2 km의 퇴적물보다 깊이 1 km의 퇴적물 밀도가 작다.

㉡. 퇴적물이 속성 작용을 받으면 공극의 평균 크기가 작아진다. 따라서 깊이 2 km의 퇴적물보다 깊이 1 km의 퇴적물 공극의 평균 크기가 크다.

✕. 퇴적물이 받는 압력은 윗부분의 무게에 비례한다. 따라서 깊이 2 km의 퇴적물보다 깊이 1 km의 퇴적물이 받는 압력이 작다.

03 쇄설성 퇴적암의 종류

관찰 내용(연한 회색을 띠고 있으며, 나란한 줄무늬가 관찰된다. 표본을 손으로 만져보면 약간 거칠다. 퇴적 입자 대부분의 크기는 진흙보다 크다.)으로 보아 A는 사암이다. 관찰 내용(여러 색의 굵은 자갈이 뚜렷하게 관찰된다. 굵은 자갈 사이에 모래, 실트, 점토가 포함되어 있다.)으로 보아 B는 역암이다.

㉠. 퇴적암의 층리는 크기, 모양, 색깔 등이 서로 다른 퇴적물들이 겹겹이 쌓여 만들어진 층상 구조로, 일반적으로 나란하게 형성된다. 따라서 A에서 관찰되는 ㉠(나란한 줄무늬)은 층리이다.

✕. 관찰 내용으로 보아 B는 역암이다.

㉢. 쇄설성 퇴적암은 지표 부근의 암석이 풍화·침식 작용을 받아 생성된 쇄설성 퇴적물이나 화산재와 같은 화산 쇄설물이 쌓여 생성된 퇴적암이다. 따라서 A(사암)와 B(역암) 모두 쇄설성 퇴적암에 해당한다.

04 쇄설성 퇴적 입자의 종류

쇄설성 퇴적 입자는 크기에 따라 자갈, 모래, 실트, 점토로 구분되고, 그 기준은 아래 표와 같다. 따라서 A는 실트, B는 모래, C는 자갈이다.

쇄설성 퇴적 입자	크기
자갈	2 mm 이상
모래	$\frac{1}{16}$~2 mm
실트	$\frac{1}{16}$~$\frac{1}{256}$ mm
점토	$\frac{1}{256}$ mm 이하

㉠. A, B, C 중 크기가 가장 작은 A는 실트이다.

㉡. 모래가 주로 퇴적되어 만들어진 퇴적암은 사암이다. 따라서 구성 입자 중 A(실트)의 함량이 5 %이고 B(모래)의 함량이 95 %인 쇄설성 퇴적암은 사암이다.

✕. 암석이 풍화·침식 작용을 받아 생성된 쇄설물이 쌓여 만들어진 퇴적암은 쇄설성 퇴적암이고, 생물의 유해가 집적되어 만들어진 퇴적암은 유기적 퇴적암이다. 따라서 C와 같은 크기의 석회질 생물체의 파편이 집적되어 만들어진 퇴적암은 유기적 퇴적암인 석회암이다.

05 퇴적암의 종류

이암과 사암은 쇄설성 퇴적암에 해당하고, 석회암은 화학적 퇴적암이나 유기적 퇴적암에 해당한다. 주요 구성 물질이 암석이 풍화·침식 작용을 받아 생성된 파편으로 이루어진 퇴적암은 쇄설성 퇴적암이다. 따라서 A는 석회암이다. 퇴적 입자의 평균 크기는 사암이 이암보다 크므로, 손가락 바닥으로 암석의 표면을 문질렀을 때 구성 입자가 상대적으로 잘 느껴지는 C는 사암이고 그렇지 않은 B는 이암이다.

㉠. A는 석회암이고 석회암의 주요 성분은 $CaCO_3$이다. 따라서 칼슘(Ca)은 A의 주요 구성 원소이다.

㉡. 손가락 바닥으로 암석의 표면을 문질렀을 때 구성 입자가 상

대적으로 잘 느껴지는 C는 상대적으로 퇴적 입자가 큰 사암이고, 그렇지 않은 B는 상대적으로 퇴적 입자가 작은 이암이다.

✕. 이암과 사암은 쇄설성 퇴적암에 해당한다. 사암의 주요 퇴적 입자는 모래이고, 이암의 주요 퇴적 입자는 실트와 점토이다. 따라서 퇴적 입자의 평균 크기는 B(이암)가 C(사암)보다 작다.

06 쇄설성 퇴적암의 생성 과정

역암은 풍화·침식 작용을 받아 생성된 자갈 등이 쌓여 생성된 쇄설성 퇴적암이다. 어느 화강암이 풍화·침식 작용을 받아서 만들어진 자갈이 퇴적되어 역암이 생성되었고 역암이 퇴적된 후 역암이 깨져서 절리가 형성되었다.

① ㉠(자갈을 구성하는 광물의 생성 시기), ㉡(역암의 퇴적 시기), ㉢(절리의 형성 시기)을 시간 순으로 나열하면 ㉠ → ㉡ → ㉢이다.

07 퇴적 환경

퇴적암이 생성되는 퇴적 환경은 크게 육상 환경, 연안 환경, 해양 환경으로 구분된다. 대륙붕, 대륙대, 심해저 평원은 해양 환경이고, 사막, 하천, 호수는 육상 환경이며, 조간대, 해빈, 석호는 연안 환경이다. 따라서 A는 해양 환경, B는 육상 환경, C는 연안 환경이다.

㉠. 지구 표면의 약 70 %가 바다이다. 따라서 A, B, C 중 지구에서 분포 면적이 가장 넓은 것은 A(해양 환경)이다.

㉡. 석회암 중 석회질 생물체가 쌓여 만들어진 것은 유기적 퇴적암에 해당하고 물에 녹아 있던 $CaCO_3$이 화학적으로 침전되어 만들어진 것은 화학적 퇴적암에 해당하는데, 석회암은 주로 해양 환경에서 석회질 생물체가 쌓여 생성된다. 따라서 석회암이 생성될 수 있는 퇴적 환경의 분포 면적은 A(해양 환경)에서가 B(육상 환경)에서보다 넓다.

㉢. 연안 환경은 육상 환경과 해양 환경이 만나는 곳에서 퇴적물이 퇴적되는 환경이다. 따라서 강물이 바다로 유입되는 곳에서 형성되는 삼각주는 C(연안 환경)에 해당한다.

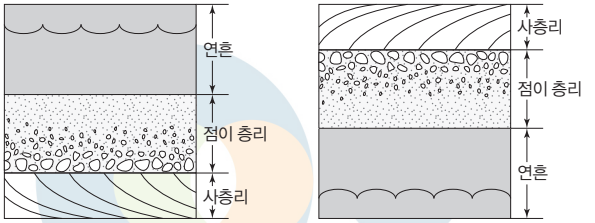
08 퇴적 구조

층리가 나란하지 않고 비스듬히 기울어지거나 엇갈려 나타나는 (가)는 사층리이다. 한 지층 내에서 위로 갈수록 퇴적 입자의 크기가 점점 작아지는 (나)는 점이 층리이다. 물결 모양의 흔적이 나타나는 (다)는 연흔이다.

✕. (가)는 지층의 단면에서 관찰된 사층리이고, (나)는 지층의 단면에서 관찰된 점이 층리이며, (다)는 층리면에서 관찰된 연흔이다.

✕. (가) 사층리, (나) 점이 층리, (다) 연흔 모두 퇴적물이 퇴적되는 과정에서 만들어진 구조이다.

㉢. 역전되지 않은 지층에서, 사층리는 일반적으로 위로 갈수록 층리의 폭이 넓어지고 점이 층리는 위로 갈수록 퇴적 입자의 크기가 점점 작아지며 연흔의 물결 모양은 일반적으로 윗부분이 아랫부분보다 뾰족하다. 따라서 (가), (나), (다) 퇴적 구조를 이용해 지층의 역전 여부를 판단할 수 있다.



역전되지 않은 모습 역전된 모습

09 단층의 종류

(가)는 상반이 하반에 대해 아래로 이동한 정단층이고, (나)는 상반이 하반에 대해 위로 이동한 역단층이며, (다)는 지괴가 수평 방향으로 이동한 주향 이동 단층(수평 이동 단층)이다.

㉠. (가), (나), (다) 중 하반에 대한 상반의 연직 방향의 이동 거리가 가장 긴 단층은 (가)이며, (가)는 정단층이다.

✕. 단층면이 기울어져 있을 때 단층면 위쪽에 있는 지괴를 상반이라 하고, 단층면 아래쪽에 있는 지괴를 하반이라고 한다. (나)에서 A는 하반, B는 상반이다.

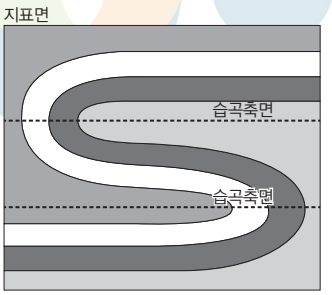
㉢. 변환 단층은 판이 수평 방향으로 미끄러지면서 어긋나는 곳에서 만들어진 단층이다. 따라서 변환 단층의 구조는 (나)보다 (다)에 가깝다.

10 습곡과 지층의 역전

(가)를 보면 이 지역에는 횡와 습곡이 나타나며, (나)를 보면 B층과 C층이 역전되었다. 따라서 지층의 생성 순서는 A층 → B층 → C층 → D층이다.

㉠. 지층의 생성 순서는 A층 → B층 → C층 → D층이고, 가장 먼저 퇴적된 지층은 A층이다.

✕. 습곡을 거의 대칭으로 나누는 가상면을 습곡축면이라고 하며, 습곡축면에는 배사축면과 향사축면이 있다. (가)에서 습곡축면이 지표면과 거의 평행하다.

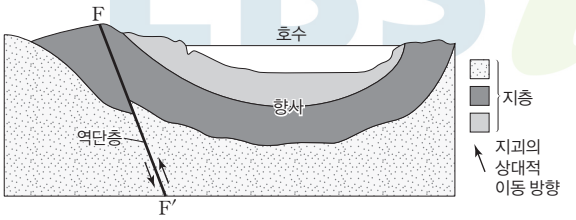


(가)

ㄷ. 이 지역에는 습곡이 나타나며, 습곡은 암석이 횡압력을 받아 휘어진 구조이다.

11 습곡과 역단층

정단층은 상반이 하반에 대해 아래로 이동한 단층이고, 역단층은 상반이 하반에 대해 위로 이동한 단층이다. 습곡에서 위로 볼록하게 휘어진 부분을 배사, 아래로 오목하게 휘어진 부분을 향사라고 한다.



ㄱ. 습곡에서 아래로 오목하게 휘어진 부분을 향사라고 한다. 따라서 호수가 위치하는 곳의 지하에는 향사 구조가 나타난다.

ㄴ. 단층 F−F′은 역단층이며, 역단층은 지층이 횡압력을 받아 형성된다.

✕. 이 지역에서는 습곡 작용을 받은 지층이 단층 F−F′에 의해 절단되었다. 따라서 단층 F−F′은 습곡보다 나중에 형성되었다.

12 부정합의 종류

퇴적이 연속으로 일어난 경우 상하 지층의 관계를 정합이라고 한다. 그러나 퇴적이 오랫동안 중단된 후 다시 퇴적이 일어나면 지층 사이에 퇴적 시간의 공백이 생기는데, 이와 같은 상하 지층 관계를 부정합이라고 한다. 부정합면의 경사 유무와 관계없이 부정합면을 기준으로 상하 지층이 나란하면 평행 부정합이고, 부정합면을 기준으로 상하 지층이 경사져 있으면 경사 부정합이며, 부정합면 하부에 심성암이나 변성암이 분포하는 부정합은 난정합이다.

ㄱ. (가)의 부정합은 경사 부정합이다. 따라서 (가)에서 부정합면을 경계로 상하 지층의 경사가 서로 다르다.

✕. (나)에서 부정합면을 경계로 상하 지층은 부정합 관계이다. 따라서 (나)에서 부정합면을 경계로 상하 지층의 퇴적은 불연속적으로 일어났다.

✕. (다)의 부정합은 난정합이다. 따라서 (다)에서 부정합면의 하부에는 퇴적암이 분포하지 않고 심성암이나 변성암이 분포한다.

3점 수능 테스트

본문 48~53쪽

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

01 속성 작용에 의한 퇴적물의 변화

퇴적물이 속성 작용을 받으면 공극의 크기가 작아지고 물리량 P가 작아진다. (나)에서 입자 크기가 상대적으로 작은 오른쪽 것이 진흙층이고 지표면에서 물리량 P는 진흙층이 모래층보다 크다. 따라서 A는 진흙층이고 B는 모래층이다.

✕. (나)를 보면 지표면에서 물리량 P는 진흙층이 모래층보다 크고, (가)를 보면 깊이 0 km(지표면)에서 물리량 P는 A가 B보다 크다. 따라서 A는 진흙층이고 B는 모래층이다.

✕. 퇴적 입자 사이의 빈틈을 공극이라고 한다. (나)를 보면 지표면에서 공극의 평균 크기는 A(진흙층)가 B(모래층)보다 작다.

ㄷ. (가)를 보면 깊이 0~5 km 구간에서 깊이에 따른 P의 평균 감소율은 모래층(B)이 진흙층(A)보다 작다.

02 우리나라의 퇴적 지형

현무암은 마그마가 지표 부근에서 냉각되어 만들어진 화산암이고, 응회암은 화산에서 분출된 화산재가 주로 퇴적되어 만들어진다.

✕. ㉠(현무암)은 화산암이며, 현무암은 주로 세립질 조직이 발달한다.

ㄴ. 응회암은 화산에서 분출된 화산재가 주로 퇴적되어 만들어진다. 따라서 ㉡(응회암)의 주요 구성 물질은 화산재이다.

ㄷ. 퇴적 환경 중 연안 환경은 육상 환경과 해양 환경이 만나는 곳에서 퇴적물이 퇴적되는 환경으로, 삼각주, 조간대, 해빈은 연안 환경에 해당한다. ㉢(바닷가 모래사장)은 연안 환경에서 주로 모래가 퇴적되어 형성된 지형이다.

03 쇄설성 퇴적암의 종류

자갈과 모래가 속성 작용을 받아 만들어진 A는 역암이고, 실트와 점토가 속성 작용을 받아 만들어진 B는 셰일이며, 모래가 속성 작용을 받아 만들어진 C는 사암이다.

✕. A의 퇴적 입자는 자갈과 모래가 섞여 있고, C의 퇴적 입자는 모래이다. 따라서 퇴적 입자 크기의 균질한 정도는 C보다 A가 낮다.

ㄴ. 층리는 크기, 모양, 색깔 등이 서로 다른 퇴적물들이 겹겹이 쌓여 만들어진 층상 구조이다. (나)를 보면 층리는 A보다 B에서 뚜렷하게 나타난다.

ㄷ. 모래가 속성 작용을 받아 만들어진 C는 사암이다.

04 퇴적암의 종류

산호의 유해가 집적되어 생성되었고 주성분이 $CaCO_3$인 A는 석회암이다. 바닷물에 녹아 있던 SiO_2가 침전되어 생성된 B는 처트이다. 암석이 풍화·침식 작용을 받아 생성된 쇄설물이 퇴적되어 생성되었고 얇은 층이 여러 겹으로 나타나는 C는 셰일이다.

㉠. ㉠(산호의 유해)이 집적되어 생성된 A는 석회암이며, A에서 ㉠이 보존되어 화석으로 산출될 수 있다.

✕. B는 바닷물에 녹아 있던 SiO_2가 침전되어 생성된 처트이다. 처트 중에서 물에 녹아 있던 SiO_2가 화학적으로 침전되어 만들어진 것은 화학적 퇴적암에 해당하고, 규질 생물체가 쌓여 만들어진 것은 유기적 퇴적암에 해당한다. 따라서 B는 화학적 퇴적암이다.

㉢. C는 셰일이며, 셰일에서 얇은 층이 여러 겹으로 나타나는 퇴적 구조는 층리이다.

05 사암과 석탄의 특징

쇄설성 퇴적 입자로 이루어져 있고 퇴적 입자 대부분의 크기가 1 mm 정도인 A는 사암이다. 검은색을 띠고 식물 화석이 산출되는 B는 석탄이다.

㉠. 절벽에서는 수평 방향으로 발달한 층리가 잘 나타난다.

㉡. B는 석탄이고, 석탄은 식물 유해가 집적되어 만들어진 유기적 퇴적암이다.

✕. 석탄의 주요 구성 원소는 탄소, 수소, 산소 등이며, 이 중에서 탄소의 함량이 가장 많다. 옅은 노란색을 띠는 사암에는 탄소가 거의 없다.

06 선상지

경사가 급한 산지의 좁은 골짜기를 흐르던 유수가 경사가 완만한 평지에 이르면 유속이 급격히 느려지면서 부채를 펼친 모양으로 만들어진 이 퇴적 지형은 선상지이다.

㉠. 부채를 펼친 모양의 이 퇴적 지형은 선상지이다.

✕. A 지점에서는 유속이 급격히 느려지면서 다양한 크기의 퇴적 입자가 한꺼번에 퇴적된다. 따라서 A 지점의 퇴적물이 속성 작용을 받아 만들어진 퇴적암은 이암보다 역암에 가까울 것이다.

㉢. A 지점에서 B 지점으로 갈수록 지형의 경사가 완만해지고 수로의 폭이 넓어지는 것으로 보아 유수의 평균 유속은 B 지점 부근보다 A 지점 부근이 빠를 것이다.

07 사층리의 형성 과정

층리가 나란하지 않고 비스듬히 기울어진 퇴적 구조는 사층리이다. (가)와 (나)에서 사층리의 모양으로 보아 하천에 의해 퇴적물은 주로 서쪽에서 동쪽으로 이동하였다.

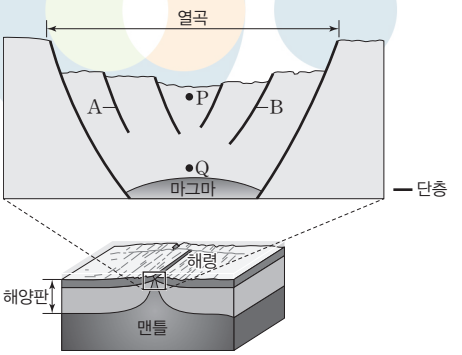
㉠. 이 퇴적 구조는 사층리이다.

✕. (가)와 (나)에서 사층리의 모양으로 보아 퇴적물은 주로 동쪽으로 이동하였고, 하천수도 주로 동쪽으로 흐른다.

㉢. (가)와 (나)에서 사층리의 모양을 비교해 보면 (가) → (나) 과정에서 A에서는 침식 작용보다 퇴적 작용이 우세했다.

08 해령의 열곡에 발달하는 단층

해령의 열곡은 판이 확장되는 발산형 경계에서 형성된 지형이다.



해령과 열곡

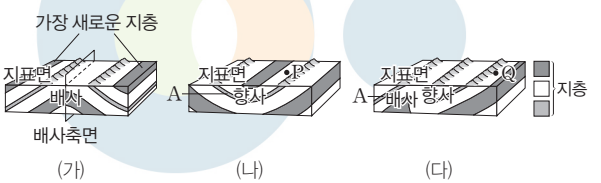
✕. 정단층은 상반이 하반에 대해 아래로 이동한 단층이고, 역단층은 상반이 하반에 대해 위로 이동한 단층이다. A와 B 모두 정단층이다.

㉡. P 지점의 화성암은 마그마가 상대적으로 빨리 냉각되어 만들어진 화성암이고 Q 지점의 화성암은 마그마가 상대적으로 서서히 냉각되어 만들어진 화성암이다. 따라서 암석을 구성하는 광물 입자의 평균 크기는 P 지점이 Q 지점보다 작다.

㉢. 열곡은 단층에 의해 지면이 주변에 비해 상대적으로 함몰되어 만들어진 지형이다.

09 습곡

습곡은 암석이 횡압력을 받아 휘어진 지질 구조이다. 습곡에서 위로 볼록하게 휘어진 부분을 배사, 아래로 오목하게 휘어진 부분을 향사라고 한다.



✕. (가)에서 가장 새로운 지층은 지표면의 양쪽에 분포하는 지층이며, 이 지층은 배사축면에 분포하지 않는다.

✕. (가)의 중앙부에는 배사가 나타나고 (나)의 중앙부에는 향사가 나타난다. 배사와 향사 모두 횡압력에 의해 형성되었다.

㉢. (나)와 (다)에서 A 지층의 퇴적 시기는 같다. P 지점의 지층

은 A 지층보다 나중에 퇴적되었고, Q 지점의 지층은 A 지층보다 먼저 퇴적되었다. 따라서 지표면에 분포하는 지층의 퇴적 시기는 P 지점이 Q 지점보다 늦다.

10 절리와 단층

단층과 절리는 암석이 깨졌다는 공통점이 있다. 깨진 면(단층면)을 기준으로 양쪽 암석의 상대적 이동이 있으면 단층이고, 깨진 면(절리면)을 기준으로 양쪽 암석의 상대적 이동이 거의 없거나 전혀 없으면 절리이다. (가)에서 형성된 지질 구조는 절리이고 (나)에서 형성된 지질 구조는 단층이다.

㉠. (가)와 (나)를 비교해 보면 깨진 면을 기준으로 양쪽 암석의 상대적 이동 거리는 (나)가 (가)보다 길다.

㉡. (가)에서 형성된 지질 구조는 절리이고 (가)의 깨진 면은 절리면이다.

㉢. (나)에서 형성된 지질 구조는 정단층이며 정단층은 장력에 의해 형성된다.

11 주상 절리

지표면 부근에서 현무암질 마그마가 냉각되면서 기둥 모양으로 갈라진 이 지질 구조는 주상 절리이다.

㉠. 이 지질 구조는 주상 절리이다.

✕. (가) → (나) 과정에서 마그마가 냉각되면서 부피가 수축하여 주상 절리가 형성되는데, 마그마의 모든 부분에서 부피의 수축 정도가 같지는 않았기 때문에 육각형 기둥 모양으로 갈라지게 된다.

✕. 지표면 부근에서 현무암질 마그마가 냉각되어 만들어지는 화성암은 화산암인 현무암이다.

12 판상 절리

지하 깊은 곳에 있던 심성암이 지표면에 노출되는 과정에서 판상으로 깨진 이 지질 구조는 판상 절리이다.

㉠. (가) → (나) 과정에서 형성된 절리는 판상 절리이다.

✕. 심성암은 마그마가 지하 깊은 곳에서 서서히 냉각되어 만들어진 화성암이고, 화산암은 마그마가 지표 부근에서 빨리 냉각되어 만들어진 화성암이다. (가) → (나) 과정에서 심성암이 풍화·침식 작용을 받지만 심성암이 화산암으로 변하지는 않는다.

㉢. (가) → (나) 과정에서 A 부분 심성암에 가해지는 압력의 감소량은 연직 방향이 수평 방향보다 크다. 따라서 A 부분 심성암의 부피 변화는 연직 방향이 수평 방향보다 크다.

04 지구의 역사

2점 수능 테스트

본문 61~64쪽

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

01 수평 퇴적의 법칙

수평 퇴적의 법칙에 의하면 퇴적물이 쌓일 때는 중력의 영향으로 수평면과 나란한 방향으로 쌓여 지층이 생성되며, 현재 지층이 기울어져 있거나 휘어져 있다면 지층이 쌓인 후 지각 변동을 받은 것이다. 지층이 수평으로 분포하는 (나)는 지층이 퇴적되던 당시의 모습이고, 지층이 휘어져 있는 (가)는 지층이 지각 변동을 받은 후의 모습이다.

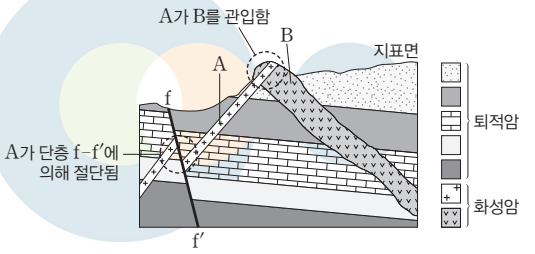
✕. 지층이 퇴적되던 당시의 모습은 지층이 수평으로 분포하는 (나)이다.

㉡. 지층이 지각 변동을 받은 후의 모습은 (가)이고, (가)에는 습곡이 나타나며 습곡은 지층이 횡압력을 받아 휘어진 지질 구조이다. 따라서 지층이 지각 변동을 받는 동안 횡압력을 받았다.

✕. 횡압력은 수평 방향으로 양쪽에서 미는 힘이다. 따라서 (가)의 지층이 횡압력을 받을 경우 (나)의 모습으로는 변할 수 없다.

02 관입의 법칙과 암석의 생성 순서

관입의 법칙에 의하면 마그마가 주변의 암석을 뚫고 들어가 화성암이 생성되었을 때 관입 당한 암석은 관입한 화성암보다 먼저 생성되었다. 암석이 단층에 의해 절단되었다면 암석은 단층보다 먼저 생성되었다.



② 화성암 A가 화성암 B를 관입하였으므로 생성 순서는 화성암 B → 화성암 A이다. 화성암 A가 단층 f–f′에 의해 절단되었으므로 생성 순서는 화성암 A → 단층 f–f′이다. 화성암 A, 화성암 B, 단층 f–f′의 생성 순서는 화성암 B → 화성암 A → 단층 f–f′이다.

03 관입의 법칙과 지질 단면 해석

침식은 지표면 부근의 암석, 토양 등이 깎여 나가는 과정이고, 관입은 마그마가 기존 암석을 뚫고 들어가는 과정이다.

㉠. (가) → (나) 과정에서 지층의 일부가 제거된 것으로 보아 지층의 일부가 침식되었다.

㉡. (나) → (다) 과정에서 화성암이 기존에 있던 지층을 관입하였다.

✕. 지층이 생성된 후 화성암이 지층을 관입하였으므로, (다)의 지층에서는 관입한 화성암의 침식물이 발견될 수 없다.

04 지질 단면 해석

이 지역에서는 F 퇴적 → E 퇴적 → D 퇴적 → 습곡 → 부정합 P−P′ → C 퇴적 → B 퇴적 → A 퇴적 → 화성암 관입 순으로 지질학적 사건이 있었다.

✕. 가장 새로운 암석은 화성암이고 가장 오래된 암석은 F이다.

✕. C와 (D, E, F) 사이에 침식면이 나타나고, C의 층리면과 (D, E, F)의 층리면이 서로 나란하지 않은 것으로 보아 지질 구조 P−P′은 부정합이다. 부정합면의 경사 유무와 관계없이 부정합면을 기준으로 상하 지층이 나란하면 평행 부정합이고, 부정합면을 기준으로 상하 지층이 서로 경사져 있으면 경사 부정합이며, 부정합면 하부에 심성암이나 변성암이 분포하는 부정합은 난정합이다. C의 층리면과 (D, E, F)의 층리면은 서로 경사져 있으므로 지질 구조 P−P′은 경사 부정합이다.

㉢. 부정합은 퇴적 → 융기 → 침식 → 침강 → 퇴적의 과정을 거치면서 형성되고, 암석이 융기하여 지표에 노출되면 침식 작용을 받는다. 이 지역에는 1개의 부정합이 존재하고, 퇴적암 A와 B, 화성암이 지표에 노출되고 침식된 것으로 보아 이 지역에서는 최소 2번의 융기가 있었다.

05 지사학의 법칙

- 수평 퇴적의 법칙: 퇴적물이 쌓일 때는 중력의 영향으로 수평면과 나란한 방향으로 쌓여 지층이 퇴적된다.
- 지층 누중의 법칙: 퇴적물이 쌓일 때 새로운 퇴적물은 이전에 쌓인 퇴적물 위에 쌓이므로, 지층의 역전이 없었다면 아래에 있는 지층은 위에 있는 지층보다 먼저 퇴적되었다.
- 부정합의 법칙: 부정합면을 경계로 상부 지층과 하부 지층의 퇴적 시기 사이에는 큰 시간적 간격이 존재한다.

Ⓐ. ㉠과 ㉡ 지층이 수평하게 분포하지 않고 오른쪽으로 경사져 있다. 따라서 수평 퇴적의 법칙에 의하면 ㉠과 ㉡ 지층이 수평면과 나란하게 퇴적된 후 지각 변동을 받아 오른쪽으로 경사지게 되었다.

Ⓑ. 지층이 역전되지 않았으며 ㉠ 지층이 ㉡ 지층 아래에 분포한다. 따라서 지층 누중의 법칙에 의하면 ㉠ 지층은 ㉡ 지층보다 먼저 생성되었다.

✕. 서로 접하고 있는 두 지층이 연속적으로 퇴적되었다면 두 지층은 정합 관계이다. 서로 접하고 있는 두 지층이 불연속적으로 퇴적되었다면 두 지층은 부정합 관계이다. ㉠과 ㉡ 지층은 서로 접하고 있다. ㉠과 ㉡ 지층이 연속적으로 퇴적되었다면 ㉠과 ㉡ 지층은 정합 관계이다.

06 화석의 생성

고생대는 약 5.41억 년 전~2.52억 년 전이고, 중생대는 약 2.52억 년 전~0.66억 년 전이며, 신생대는 약 0.66억 년 전~현재이다.

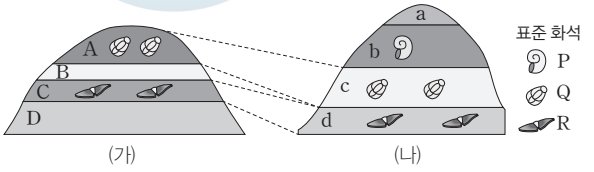
Ⓐ. ㉠의 사암층은 약 3억 년 전에 퇴적되었고, 고생대는 약 5.41억 년 전~2.52억 년 전이다. 따라서 ㉠은 고생대에 퇴적되었다.

✕. 사지동물의 발자국 화석이 발견되는 사암층은 고생대에 퇴적되었고, 포유류는 중생대에 출현하였다. 따라서 이 화석은 포유류의 발자국 화석일 수 없다.

✕. 사암층이 수평면과 나란하게 퇴적되었고 사지동물의 발자국이 수평한 퇴적물에 찍혔으며 이후에 사암층이 지각 변동을 받아 수직하게 분포하게 되었다.

07 화석을 이용한 지층 대비

같은 종류의 표준 화석이 산출되는 지층은 같은 시기에 생성된 지층이라고 할 수 있으므로, 같은 종류의 표준 화석이 산출되는 지층을 연결하여 지층의 선후 관계를 판단할 수 있다. (가)와 (나) 대륙을 화석을 이용해 지층 대비하면 아래 그림과 같다.



✕. (가)와 (나) 대륙을 화석을 이용해 지층 대비하면, 가장 오래된 지층은 (가)의 D 지층이고 가장 새로운 지층은 (나)의 a 지층이다.

㉡. (가)의 C 지층과 (나)의 d 지층에서 같은 표준 화석이 산출된다. 따라서 (가)의 C 지층과 대비되는 (나)의 지층은 d이다.

㉢. (나)에서 지층의 생성 순서가 d → c → b → a이므로, 생물의 출현 시기는 R → Q → P 순이다.

08 관입의 법칙

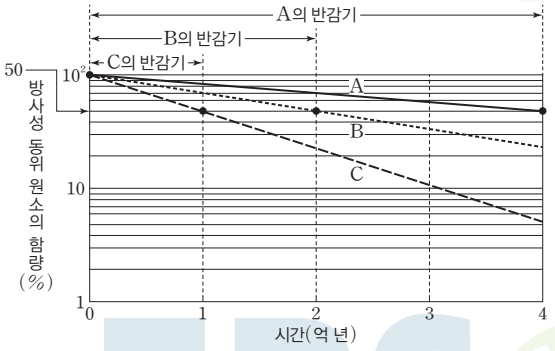
관입의 법칙에 의하면 마그마가 주변의 암석을 뚫고 들어가 화성암이 생성되었을 때 관입 당한 암석은 관입한 화성암보다 먼저 생성되었다. 어두운색을 띠는 A는 현무암이고 밝은색을 띠는 B는 화강암이다. 현무암은 화산암이며 화강암은 심성암이다.

㉠. A는 현무암이고 B는 화강암이다. 현무암이 화강암을 관입하였으므로 A(현무암)가 B(화강암)보다 나중에 생성되었다.

✕. 현무암은 화산암이고 화강암은 심성암이다. 따라서 생성된 깊이는 A(현무암)가 B(화강암)보다 얕다.
✕. A(현무암)가 B(화강암)를 관입하였으므로, B와 접한 A에는 변성된 부분이 나타날 수 없고 A와 접한 B에서 변성된 부분이 나타날 수 있다.

09 방사성 동위 원소의 반감기

방사성 동위 원소의 반감기는 방사성 동위 원소가 붕괴하여 처음 함량의 반으로 줄어드는 데 걸리는 시간이다. A의 반감기는 4억 년, B의 반감기는 2억 년, C의 반감기는 1억 년이다.



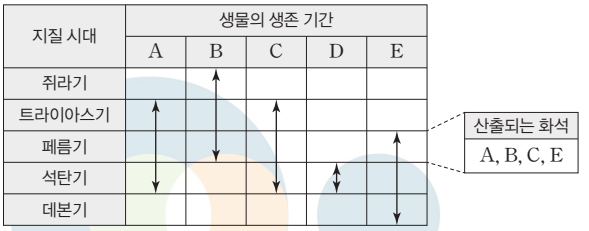
㉠. A의 반감기는 4억 년이고 C의 반감기는 1억 년이므로, A의 반감기는 C의 4배이다.
㉡. B의 반감기는 2억 년이므로, B가 2번의 반감기를 지나는 데 걸리는 시간은 4억 년(=2 반감기×2억 년)이다.
㉢. C의 반감기는 1억 년이므로, 암석이 생성되고 4억 년(=4 반감기)이 지나면 C의 함량은 처음의 $\frac{1}{16}$이다.

10 현생 누대

현생 누대는 고생대, 중생대, 신생대로 세분된다. 현생 누대는 약 5.41억 년 전~현재까지이며, 고생대는 약 5.41억 년 전~2.52억 년 전, 중생대는 약 2.52억 년 전~0.66억 년 전, 신생대는 약 0.66억 년 전~현재이다.
⑤ 현생 누대에서 고생대가 차지하는 비율은 약 53.4 %$\left(\fallingdotseq\frac{(5.41-2.52)\text{억 년}}{5.41\text{억 년}}\times100\right)$, 중생대가 차지하는 비율은 약 34.4 %$\left(\fallingdotseq\frac{(2.52-0.66)\text{억 년}}{5.41\text{억 년}}\times100\right)$, 신생대가 차지하는 비율은 약 12.2 %$\left(\fallingdotseq\frac{0.66\text{억 년}}{5.41\text{억 년}}\times100\right)$이다.

11 표준 화석과 화석에 의한 지층 대비

(나)의 지층에서 A, B, C, E 화석이 산출되므로 (나)의 지층은 페름기에 퇴적되었다. 표준 화석은 지질 시대 중 일정 기간에만 번성했다가 멸종한 생물의 화석으로, 지질 시대 결정과 지층 대비에 이용되며, 생존 기간이 짧을수록 표준 화석으로 적합하다.



✕. 생존 기간만을 고려할 때 생존 기간이 짧을수록 표준 화석으로 적합하다. 따라서 생존 기간만을 고려할 때 A~E 중 표준 화석으로 가장 적합한 것은 D이다.
㉡. C의 생존 기간은 고생대 석탄기에서 중생대 트라이아스기까지이며, 포유류는 중생대 트라이아스기에 출현하였다.
㉢. (나)의 지층은 페름기에 생성되었으며, 삼엽충은 고생대 캄브리아기에 출현하여 고생대 페름기 말에 멸종하였다. 따라서 (나)의 지층이 퇴적되던 시기에 삼엽충이 생존했다.

12 에디아카라 동물군 화석

호주 에디아카라 등에서 화석이 발견되었으며 선캄브리아 시대에 생존했던 이 생물군은 에디아카라 동물군이다. 원생 누대 말기에 최초의 다세포 동물이 출현하였으며, 그 일부가 에디아카라 동물군 화석으로 남아 있다.
✕. 이 생물군은 에디아카라 동물군이므로, 에디아카라 동물군에 해당하는 ㉠(카르니아)은 다세포 동물이다.
㉡. 고생대 최초의 기가 캄브리아기이고 이보다 앞선 시기를 선캄브리아 시대라고 한다. 선캄브리아 시대는 전체 지질 시대의 대부분$\left(\text{약 }88\text{ %}\fallingdotseq\frac{(46-5.41)\text{억 년}}{46\text{억 년}}\times100\right)$을 차지한다.
✕. ㉢(캄브리아기)은 고생대 최초의 기이며 고생대는 현생 누대에 해당한다.

13 지질 시대의 대륙 분포

고생대 말~중생대 초에 초대륙 판게아가 존재하였으며, 중생대 초에 초대륙 판게아가 분리되면서 대서양이 형성되기 시작하였다. 따라서 그림의 대륙 분포가 나타나는 지질 시대는 중생대이다.
Ⓐ. 암모나이트 화석은 중생대의 표준 화석이며, 중생대에 바다에서는 암모나이트가 생존했다.
✕. 강원도 태백시 구문소의 석회암층은 고생대에 퇴적되었다.
✕. 중생대에는 매머드가 생존하지 않았다. 매머드가 유라시아 지역을 비롯한 넓은 지역에서 번성했던 지질 시대는 신생대이다.

14 지질 시대의 구분

약 46억 년 전부터 시작된 지구의 역사에서 시생 누대는 약 40억 년 전~25억 년 전, 원생 누대는 약 25억 년 전~5.41억 년 전, 현생 누대는 약 5.41억 년 전~현재까지이며, 상대적 길이는 원생 누대>시생 누대>현생 누대이다. 따라서 A는 현생 누대, B는 원생 누대, C는 시생 누대이다.

㉠. 육상 식물은 고생대에 출현하였고 고생대는 현생 누대에 해당한다. 따라서 육상 식물이 출현한 시기는 A(현생 누대)이다.

㉡. 원생 누대는 상대적 길이가 가장 긴 B이다.

✕. 지질 시대는 시생 누대(C) → 원생 누대(B) → 현생 누대(A) 순이다. 따라서 C가 B보다 앞선 지질 시대이다.

지질 시대			절대 연대 (백만 년 전)
누대		대	
현생 누대		신생대	66.0
		중생대	252.2
		고생대	541.0
선캄브리아 시대	원생 누대	신원생대	1000
		중원생대	1600
		고원생대	2500
	시생 누대	신시생대	2800
		중시생대	3200
		고시생대	3600
		초시생대	4000
			4600

지질 시대의 구분과 절대 연대

15 지질 시대의 생물

에디아카라 동물군은 원생 누대 말기에 출현하여 고생대가 시작되기 전에 멸종한 해양 동물이다. 갑주어는 고생대에 생존했던 해양 동물이고, 암모나이트는 중생대에 생존했던 해양 동물이며, 화폐석은 신생대에 생존했던 해양 동물이다.

㉠. 에디아카라 동물군은 해양 동물이므로 에디아카라 동물군 화석이 산출되는 (가)의 석회암층은 바다에서 퇴적되었다. 갑주어도 해양 동물이므로 갑주어 화석이 산출되는 (가)의 셰일층도 바다에서 퇴적되었다.

㉡. (가)의 석회암층과 셰일층 사이에 침식면이 나타나고, 에디아카라 동물군은 고생대가 시작되기 전에 멸종하였으며 어류는 고생대 오르도비스기에 출현하였다. 따라서 (가)의 석회암층과 셰일층은 부정합 관계이다.

㉢. 화폐석은 신생대의 표준 화석이며, (나)에서 화폐석 화석이 산출되는 석회암층이 퇴적된 후에 A가 관입하였다. 따라서 (나)의 A는 신생대에 관입하였다.

16 지질 시대의 생물

현생 누대는 고생대, 중생대, 신생대로 세분되며, 고생대는 약 5.41억 년 전~2.52억 년 전이고, 중생대는 약 2.52억 년 전~0.66억 년 전이며, 신생대는 약 0.66억 년 전~현재이다. 양서류는 고생대 데본기에 출현하였고, 겉씨식물은 고생대 페름기에 출현하였으며, 조류(새무리)는 중생대 쥐라기에 출현하였다. 따라서 A는 양서류, B는 겉씨식물, C는 조류(새무리)이다.

㉠. 가장 먼저 출현한 A는 양서류이다.

✕. A(양서류)는 고생대 데본기에 출현하였고, B(겉씨식물)는 고생대 페름기에 출현하였으며, 방추충은 고생대 페름기 말에 멸종하였다. 따라서 방추충은 B가 출현한 이후에 멸종하였다.

㉢. 조류(새무리)는 중생대 쥐라기에 출현하였고, 공룡은 중생대 트라이아스기에 출현하였다.

지질 시대	
대	기
신생대	제4기
	네오기
	팔레오기
중생대	백악기
	쥐라기
	트라이아스기
고생대	페름기
	석탄기
	데본기
	실루리아기
	오르도비스기
	캄브리아기

현생 누대 구분

3 수능 테스트

본문 65~71쪽

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

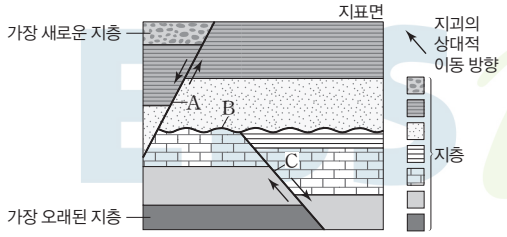
01 지질 단면 해석

지질 구조 A와 C는 모두 상반이 하반에 대해 아래로 이동한 정단층이다. 지질 구조 B를 경계로 아래의 지층이 침식된 후 위의 지층이 퇴적되었으므로, 지질 구조 B는 부정합이다.

㉠. A와 C는 모두 상반이 하반에 대해 아래로 이동한 정단층이다.

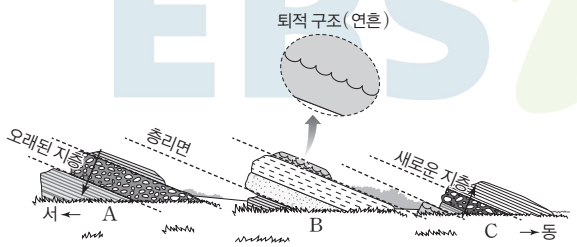
㉡. 이 지역에서는 지층 퇴적 → 정단층 C → 부정합 B → 지층 퇴적 → 정단층 A 순으로 지질학적 사건이 있었다.

㉢. 단층면이 기울어져 있을 때 상반은 단층면을 기준으로 위에 있는 지괴이고 하반은 단층면을 기준으로 아래에 있는 지괴이다. 정단층이 나타나는 경우 단층면 부근에서 하반의 지층 연령이 상반의 지층 연령보다 많다. 따라서 지표면에 노출된 지층의 연령은 A의 하반이 A의 상반보다 많다.



02 수평 퇴적의 법칙과 지층 누중의 법칙

B 지점에서 관찰되는 퇴적 구조는 연흔이며, 연흔의 모양으로 보아 이 지역의 지층은 역전되지 않았다. 이 지역의 지층은 수평 방향으로 퇴적된 후 지각 변동을 받아 동쪽으로 기울어지게 되었다. 따라서 A 지점에서는 아래로 갈수록 오래된 지층이 나타나고 C 지점에서는 위로 갈수록 새로운 지층이 나타난다.



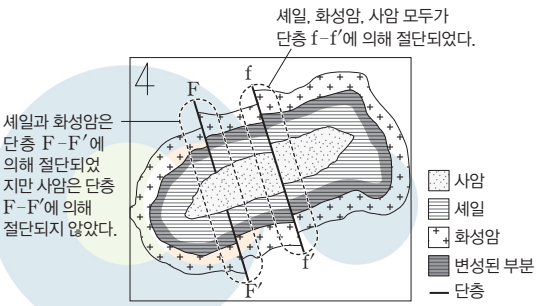
㉠. 가장 오래된 지층은 A 지점에서 가장 아래에 위치한 지층이고, 가장 새로운 지층은 C 지점에서 가장 위에 위치하는 지층이다.

㉡. B 지점에서 관찰되는 퇴적 구조는 물결 모양의 흔적이 지층에 남아 있는 연흔이다.

㉢. 수평 퇴적의 법칙에 의하면 지층은 수평 방향으로 퇴적되며 같은 층리면에 분포하는 지층은 같은 시기에 퇴적되었다. 따라서 B 지점에서 가장 위에 분포하는 지층과 C 지점에서 가장 아래에 위치하는 지층은 같은 시기에 퇴적되었다.

03 상대 연령

세일에 변성된 부분이 나타나는 것으로 보아 화성암이 세일을 관입하였다. 세일과 화성암은 단층 F−F′에 의해 절단되었지만 사암은 단층 F−F′에 의해 절단되지 않았으므로, 단층 F−F′은 세일과 화성암보다 나중에 형성되었고 단층 F−F′은 사암보다 먼저 형성되었다. 세일, 화성암, 사암 모두가 단층 f−f′에 의해 절단되었으므로 단층 f−f′은 세일, 화성암, 사암보다 나중에 형성되었다. 이 지역에서는 세일 퇴적 → 화성암 관입 → 단층 F−F′ → 사암 퇴적 → 단층 f−f′ 순으로 지질학적 사건이 있었다.



㉠. 지질학적 사건의 순서가 세일 퇴적 → 화성암 관입 → 단층 F−F′ → 사암 퇴적 → 단층 f−f′이므로, 세일은 사암보다 먼저 퇴적되었다.

✕. 화성암이 관입한 후 사암이 퇴적되었다. 화성암은 세일을 관입하였지만 사암을 관입하지는 않았다.

㉢. 사암은 단층 F−F′에 의해서는 절단되지 않았고 단층 f−f′에 의해 절단되었으므로, 생성 순서는 단층 F−F′ → 사암 → 단층 f−f′이다.

04 부정합과 지질 시대

A층의 층리면과 B층의 층리면이 서로 경사져 있는 것으로 보아 A층과 B층은 연속적으로 퇴적되지 않았으며 A층과 B층은 부정합 관계이다.

✕. 팔레오기는 신생대에 해당하고 백악기는 중생대에 해당한다. 따라서 A층은 신생대에, B층은 중생대에 퇴적되었다.

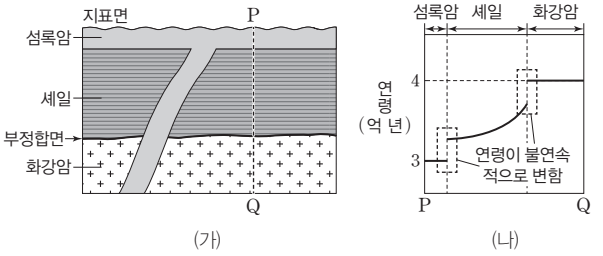
㉡. A층과 B층은 부정합 관계이며, B층이 A층보다 먼저 퇴적되었다. 따라서 이 지역에서는 B층 퇴적 → B층 침식 → A층 퇴적 순으로 지질학적 사건이 있었다.

㉢. 백악기는 중생대 마지막 기이고 팔레오기는 신생대 첫 번째

기이다. 중생대 백악기 말에 공룡, 암모나이트를 비롯하여 많은 생물이 멸종하는 생물의 대멸종이 있었다.

05 관입과 부정합

(나)에서 화강암의 연령과 섬록암의 연령은 각각 일정하고, 셰일의 연령은 Q에서 P로 갈수록 작아지며, 암석의 평균 연령은 화강암>셰일>섬록암 순이다. (나)의 P−Q 구간에서, 화강암의 연령과 셰일의 연령은 불연속적으로 변하고 셰일의 연령과 섬록암의 연령도 불연속적으로 변한다. 이와 같은 연령의 특징으로 보아 이 지역에서는 화강암 생성 → 부정합 → 셰일 퇴적 → 섬록암 생성 순으로 지질학적 사건이 있었다.



㉠. 셰일의 연령은 약 3.7억 년~3.3억 년이고 고생대는 약 5.41억 년 전~2.52억 년 전이다. 따라서 셰일은 고생대에 퇴적되었다.

✕. P−Q 구간에서 셰일의 연령과 섬록암의 연령이 불연속적으로 변하는 것은 셰일과 섬록암이 부정합 관계이기 때문이 아니라 셰일이 퇴적된 후 섬록암이 셰일을 관입하였기 때문이다.

✕. 퇴적 속도는 $\frac{\text{지층의 두께}}{\text{퇴적 시간}}$이며, (나)에서 기울기가 작을수록 퇴적 속도가 빠르다. 따라서 셰일이 퇴적되는 동안 퇴적 속도는 지속적으로 빨라졌다.

06 지질 단면 해석과 절대 연령

(가)에서는 셰일 속에 화강암의 침식물이 포함되어 있고, 셰일과 화강암 사이에 화강암이 침식된 면이 나타난다. 따라서 (가)에서 화강암과 셰일은 부정합 관계이며, 화강암 → 부정합 → 셰일 순으로 지질학적 사건이 있었다. (나)에서는 사암 속에 셰일의 침식물이 포함되어 있고, 사암과 셰일 사이에 셰일이 침식된 면이 나타난다. 따라서 (나)에서 셰일과 사암은 부정합 관계이며, 셰일 → 부정합 → 사암 → 화강암 순으로 지질학적 사건이 있었다. 반감기는 방사성 동위 원소가 붕괴하여 처음 함량의 반으로 줄어드는 데 걸리는 시간이며, P의 반감기는 1억 년이고 Q의 반감기는 0.5억 년이다.

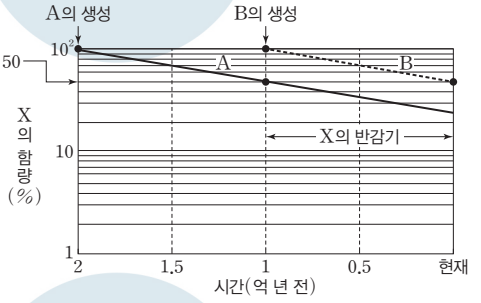
㉠. P의 반감기는 1억 년이고 Q의 반감기는 0.5억 년이다. (가)의 화강암에 포함된 P의 함량은 화강암이 생성될 당시의 $\frac{1}{2}$이고, (나)의 화강암에 포함된 Q의 함량은 화강암이 생성될 당시의 $\frac{1}{4}$이다. 따라서 (가) 화강암의 절대 연령은 1억 년이고, (나) 화강암의 절대 연령도 1억 년이다.

✕. (가) 화강암과 (나) 화강암의 절대 연령은 모두 1억 년이다. (가)에서는 화강암 → 부정합 → 셰일 순으로 지질학적 사건이 있었고, (나)에서는 셰일 → 부정합 → 사암 → 화강암 순으로 지질학적 사건이 있었다. 따라서 (가)의 셰일은 (나)의 셰일보다 나중에 생성되었다.

✕. (가)에서는 부정합면 아래에 화강암이 분포하므로 (가)의 부정합면은 난정합면이고, (나)에서는 부정합면을 경계로 상부 지층과 하부 지층이 서로 경사져 있으므로 (나)의 부정합면은 경사 부정합면이다.

07 방사성 동위 원소의 반감기

방사성 동위 원소의 반감기는 방사성 동위 원소가 붕괴하여 처음 함량의 반으로 줄어드는 데 걸리는 시간이다. 1억 년 전에 B에 포함된 X의 함량이 100 %이고 현재 B에 포함된 X의 함량이 50 %이므로, X의 반감기는 1억 년이다. 화성암 생성 당시에 X의 함량이 100 %이고 1억 년 전에 A에서 X의 함량이 50 %였으므로, 현재 A의 절대 연령은 2억 년(=2 반감기×1억 년)이다. 화성암 생성 당시에 X의 함량이 100 %였고 현재 B에서 X의 함량이 50 %이므로, 현재 B의 절대 연령은 1억 년(=1 반감기×1억 년)이다.



㉠. 방사성 동위 원소 X의 반감기는 1억 년이다.

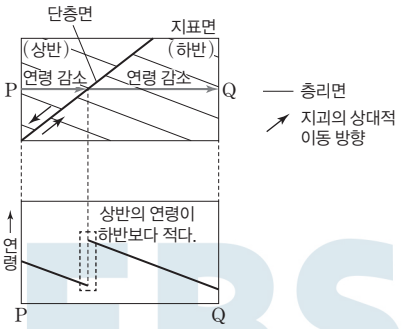
㉡. 현재 A의 절대 연령은 2억 년이고 현재 B의 절대 연령은 1억 년이다. 따라서 현재 B의 절대 연령은 A의 $\frac{1}{2}$이다.

✕. 현재 A의 X 함량은 25 %이고 B의 X 함량은 50 %이므로, 현재 $\frac{\text{B의 X 함량}}{\text{A의 X 함량}}$은 2이다. 현재로부터 1억 년 후에 A의 X 함량은 12.5 %이고 B의 X 함량은 25 %이므로 현재로부터 1억 년 후에 $\frac{\text{B의 X 함량}}{\text{A의 X 함량}}$도 2이다. 이와 같이 시간이 경과해도 방사성 동위 원소의 반감기는 일정하게 유지되므로, 현재로부터 1억 년 동안 $\frac{\text{B의 X 함량}}{\text{A의 X 함량}}$은 일정하다.

08 단층과 지층의 연령

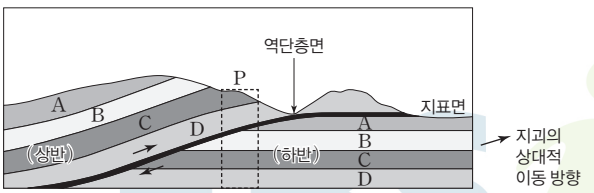
정단층은 상반이 하반에 대해 아래로 이동한 단층이고 역단층은 상반이 하반에 대해 위로 이동한 단층이다. 따라서 정단층이 나타나는 경우 단층면 부근에서 상반의 지층 연령이 하반의 지층 연령보다 적고, 역단층이 나타나는 경우 단층면 부근에서 상반의 지층 연령이 하반의 지층 연령보다 많다. 이 지역의 단층은 상반이 하반에 대해 아래로 이동한 정단층이다. 지층이 역전되지 않았다면 아래의 지층은 위의 지층보다 먼저 생성되었다.

④ P에서 단층면으로 접근함에 따라 지층이 연령은 적어진다. 이 지역의 단층은 정단층이므로 단층면 부근에서 상반의 지층 연령이 하반의 지층 연령보다 적다. 단층면에서 Q로 접근함에 따라 지층의 연령이 적어진다.



09 역단층

고생대는 캄브리아기 → 오르도비스기 → 실루리아기 → 데본기 → 석탄기 → 페름기 순으로 세분되고, 중생대는 트라이아스기 → 쥐라기 → 백악기 순으로 세분된다. 따라서 지층의 생성 순서는 D → C → B → A이다.



㉠. B의 퇴적 시기는 고생대 석탄기이고 A의 퇴적 시기는 중생대 백악기이며, 삼엽충은 고생대 페름기 말에 멸종하였다. 따라서 A의 퇴적 시기와 B의 퇴적 시기 사이에 삼엽충이 멸종하였다.

㉡. 역단층은 상반이 하반에 대해 위로 이동한 단층이다. 산맥의 단면에서 단층면을 기준으로 상반은 왼쪽에 위치하고 하반은 오른쪽에 위치하며, 상반이 하반에 대해 위로 이동하였다. 따라서 상반에 분포하는 D의 하부에는 역단층면이 나타난다.

㉢. 지층의 생성 순서는 D → C → B → A이며, P 부분에는 오래된 지층이 새로운 지층 위에 분포하는 곳이 있다.

10 초대륙과 지질 시대의 대륙 분포

지구상에 존재하는 대부분의 대륙들이 하나로 합쳐진 거대한 대륙을 초대륙이라고 한다. 로디니아는 원생 누대 후기에 존재했던 초대륙이고, 판게아는 고생대 말~중생대 초에 존재했던 초대륙이다. (가)는 로디니아가 존재하던 시기의 대륙 분포이고 (나)는 판게아가 존재하던 시기의 대륙 분포이다.

✕. 글로소프테리스 화석 분포는 고생대 후기~중생대 초기의 대륙 분포에 대한 중요한 증거로 제시되는데, 글로소프테리스는 고생대 후기~중생대 초기에 번성한 식물이다. 따라서 (가) 시기에 남반구의 대륙에서는 글로소프테리스가 생존하지 않았다.

㉡. 초대륙 로디니아는 원생 누대 후기에 존재했으며, 초대륙 판게아는 고생대 말~중생대 초에 존재했다. 따라서 (가) 시기가 (나) 시기보다 먼저이다.

㉢. 대부분의 대륙들이 하나로 합쳐진 거대한 대륙을 초대륙이라고 한다. (가) 시기에는 초대륙 로디니아가 존재했고, (나) 시기에는 초대륙 판게아가 존재했다.

11 지질 단면 해석과 절대 연령

응회암은 주로 화산재가 쌓여 만들어지며, 지층의 역전이 없었다면 아래의 지층이 위의 지층보다 오래되었다. 따라서 이 지역에서 지층의 생성 순서는 지층 b → 응회암 B → 지층 a → 응회암 A이다.

㉠. 응회암 A가 응회암 B보다 새로운 지층이므로, 응회암 A에 포함된 X의 함량은 생성 당시의 50 %이고 B에 포함된 X의 함량은 생성 당시의 25 %이다. X의 반감기가 1억 년이므로, 응회암 A의 절대 연령은 1억 년이고 응회암 B의 절대 연령은 2억 년이다.

㉡. X의 반감기가 1억 년이며, 응회암 A에 포함된 X의 함량은 생성 당시의 50 %이고 B에 포함된 X의 함량은 생성 당시의 25 %이다. 따라서 현재로부터 1억 년 후에 A의 X 함량은 25 %이고 B의 X 함량은 12.5 %이므로, X의 함량(%)은 A가 B의 2배이다.

✕. 화폐석 화석은 신생대의 표준 화석이고, 신생대는 약 0.66억 년 전부터 현재까지이다. 지층 a의 퇴적 시기는 2억 년 전과 1억 년 전 사이이므로, a에서는 화폐석 화석이 산출될 수 없다.

12 표준 화석

표준 화석은 지질 시대 중 일정한 기간에만 번성했다가 멸종한 생물의 화석으로, 생존 기간이 짧고 분포 면적이 넓을수록 표준 화석으로 적합하다.

✕. 고생대는 캄브리아기 → 오르도비스기 → 실루리아기 → 데본기 → 석탄기 → 페름기 순으로 세분된다. ㅁ 동물 화석은 캄브리아기 지층에서 산출되고, 어류는 오르도비스기에 출현하였다. 따

라서 어류는 ㅁ 동물 화석에 해당할 수 없다.

✕. △ 동물 화석은 실루리아기, 데본기, 석탄기, 페름기 지층에서 산출되고, × 동물 화석은 석탄기, 페름기 지층에서 산출된다. 따라서 △가 ×보다 먼저 출현하였다.

㉢. 생존 기간이 짧고 분포 면적이 넓을수록 표준 화석으로 적합하다. ☆ 동물 화석은 (나) 대륙에서만 산출되고 캄브리아기 지층에서만 산출된다. ○ 동물 화석은 (가), (나), (다) 대륙 모두에서 산출되고 데본기 지층에서만 산출된다. 따라서 분포 면적만을 고려할 때 ○ 동물 화석은 ☆ 동물 화석보다 표준 화석으로 적합하다.

13 지질 시대와 생물계의 변화

원생 누대는 약 25억 년 전부터 약 5.41억 년 전까지이다. 에디아카라 동물군은 원생 누대 말기에 출현하여 고생대가 시작되기 전에 멸종한 다세포 동물이다. 방추충은 고생대 말에 멸종하였다. 따라서 A는 방추충의 멸종, B는 에디아카라 동물군의 멸종, C는 원생 누대의 시작이다.

㉠. 지질학적 사건의 순서는 원생 누대의 시작 → 에디아카라 동물군의 멸종 → 방추충의 멸종이다. 따라서 에디아카라 동물군의 멸종은 B이다.

㉡. B 시기~A 시기는 고생대 전체에 해당하는 기간이며, 필석류는 고생대 초기에 출현하여 고생대 후기에 멸종하였다. 따라서 B 시기~A 시기 동안 필석류가 출현하였고 멸종하였다.

✕. C 시기는 원생 누대가 시작되는 약 25억 년 전이며, 이 시기에는 다세포 동물이 아직 출현하지 않았다. 따라서 C 시기에 다세포 동물인 해파리는 생존하지 않았다.

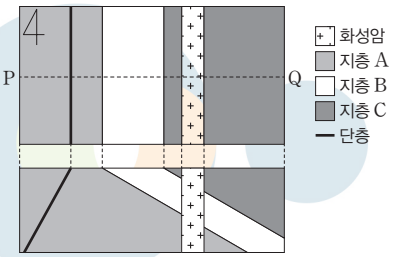
14 수평 퇴적의 법칙과 관입의 법칙

암석의 평균 연령은 지층 A > 지층 B > 지층 C > 화성암이고, 화성암이 지층 C를 관입하였다. 따라서 이 지역에서는 A 퇴적 → B 퇴적 → C 퇴적 → 화성암 관입 순으로 지질학적 사건이 있었다.

✕. 지층 A, B, C의 층리면은 서로 나란하고, 지층 A, B, C는 모두 동쪽으로 갈수록 암석의 연령이 적어진다. 따라서 지층 A, B, C의 층리면은 모두 동쪽으로 경사져 있다.

㉡. 평균 퇴적 속도는 $\frac{\text{지층의 두께}}{\text{퇴적 시간}}$이며, (나)에서 기울기가 작을수록 평균 퇴적 속도가 빠르다. 따라서 평균 퇴적 속도는 지층 A가 지층 B보다 빨랐다.

✕. 정단층은 상반이 하반에 대해 아래로 이동한 단층이고, 역단층은 상반이 하반에 대해 위로 이동한 단층이다. 따라서 정단층이 나타나는 경우 단층면 부근에서 상반의 지층 연령이 하반의 지층 연령보다 적고, 역단층이 나타나는 경우 단층면 부근에서 상반의 지층 연령이 하반의 지층 연령보다 많다. 단층이 지층 A를 절단하고 있지만 지층 A의 연령은 연속적으로 변한다. 따라서 단층의 상반과 하반은 연직 방향으로 이동하지 않았고 수평 방향으로 이동하였으며, A를 절단한 단층은 주향 이동 단층(수평 이동 단층)이다.



05 대기의 변화

2점 수능 테스트

본문 85~89쪽

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

01 고기압과 저기압

북반구의 고기압에서는 지표 부근의 바람이 중심에서 시계 방향으로 불어 나가고, 저기압에서는 지표 부근의 바람이 주변에서 시계 반대 방향으로 불어 들어온다.

㉠. A 지역은 고기압 중심 지역이므로 하강 기류가 발달하여 날씨가 맑다.

✕. B 지역은 저기압 중심의 남쪽에 있으므로 저기압 중심으로 시계 반대 방향으로 불어 들어가는 남풍 또는 서풍 계열의 바람이 분다.

㉢. 우리나라의 겨울철에는 주로 시베리아 기단의 영향을 받으므로 서쪽에는 고기압이, 동쪽에는 저기압이 형성되는 서고동저형의 기압 배치가 자주 나타난다. 따라서 이 일기도는 겨울철에 자주 관측되는 기압 배치이다.

02 우리나라에 영향을 미치는 기단

고위도에서 발생한 기단은 온도가 낮고, 저위도에서 발생한 기단은 온도가 높다. 대륙 위에서 발생한 기단은 건조하고, 해상에서 발생한 기단은 다습하다.

㉠. A와 B는 모두 다습한 기단이므로, A와 B의 발원지는 해상이다.

✕. C는 발원지의 위도가 낮고 건조하므로 온난 건조한 양쯔강 기단이다. 한편 겨울철 한파를 유발하는 기단은 한랭 건조한 시베리아 기단(D)이다.

㉢. D는 발원지의 위도가 높고 건조하므로 한랭 건조한 시베리아 기단이다. 이동성 고기압은 봄철이나 가을철에 양쯔강 기단에서 형성되거나 시베리아 기단에서 일부가 떨어져 나와 형성된다.

03 이동성 고기압과 기단

이동성 고기압은 시베리아 기단에서 일부가 떨어져 나오거나 양쯔강 기단에서 발달하여 편서풍의 영향을 받아 이동하는 비교적 규모가 작은 고기압이다.

㉠. 우리나라는 편서풍의 영향을 받아 대체로 일기 현상이 서쪽에서 동쪽으로 이동한다. 온대 저기압의 중심이 (가)에서는 동해 상에 위치하고 (나)에서는 일본의 동쪽에 위치하므로, (가)는 (나)보다 앞선 시기의 일기도이다.

㉡. 이동성 고기압이 통과하기 전 우리나라의 기압은 약 1004~1008 hPa 사이이다. 중심 기압이 1016 hPa보다 높은 이동성 고기압이 우리나라를 통과하였으므로 이 이동성 고기압이 접근할 때 우리나라의 기압은 높아졌다.

㉢. 이동성 고기압은 편서풍의 영향을 받아 서쪽에서 동쪽으로 이동하였다.

04 정체 전선

우리나라의 장마 전선은 주로 찬 오호츠크해 기단과 따뜻한 북태평양 기단이 만나 형성되며, 전선이 거의 이동하지 않고 한곳에 오랫동안 머무르며 많은 비를 내린다.

✕. 장마 전선은 정체 전선이므로 일기도에는 ▼●▼●▼으로 표기한다.

㉡. 장마 전선은 주로 북쪽의 찬 기단과 남쪽의 따뜻한 기단이 만나 형성된다.

✕. 찬 공기와 따뜻한 공기가 만나면 찬 공기는 따뜻한 공기 아래로 파고들고 따뜻한 공기는 찬 공기를 타고 올라간다. 따라서 장마 전선의 전선면은 상대적으로 찬 공기가 위치한 북쪽 방향으로 주로 기울어져 있고, 구름은 전선면을 따라 주로 분포하므로 전선을 기준으로 북쪽 지역에 주로 분포한다.

05 온대 저기압의 형성과 소멸

온대 저기압의 형성 전에는 찬 기단과 따뜻한 기단이 정체 전선을 형성하며, 온대 저기압이 소멸한 후에는 따뜻한 공기는 위로 올라가고 찬 공기는 아래에 위치한다.

㉠. (가)에서 찬 공기의 방향을 가리키는 삼각형 기호들이 남쪽을 향하고 있다. 또한 전선면이 북쪽으로 기울어져 있으며 A가 B보다 위도가 높은 북쪽에 위치하고 있으므로 A는 B보다 기온이 낮은 찬 공기이다.

㉡. (가)는 정체 전선이 형성되어 있으므로 온대 저기압의 형성 전 모습이고, (나)는 찬 공기가 아래에 위치하고 따뜻한 공기가 위에 위치하므로 온대 저기압의 소멸 후 모습이다.

㉢. 온대 저기압의 주요 에너지원은 따뜻한 공기와 찬 공기가 만나는 과정에서 나타나는 기단의 위치 에너지이다. 온대 저기압이 형성되고 소멸하는 과정에서 위치 에너지가 감소한다.

06 온난 전선과 한랭 전선

한랭 전선은 찬 공기가 따뜻한 공기 쪽으로 이동하여 따뜻한 공기 밑으로 파고들 때 형성되고, 온난 전선은 따뜻한 공기가 찬 공기 쪽으로 이동하여 찬 공기 위로 올라갈 때 형성된다.

㉠. (가)의 전선면은 찬 공기가 따뜻한 공기 밑으로 파고들 때 형성되는 한랭 전선면이다.
✕. (나)는 따뜻한 공기가 찬 공기 위로 올라갈 때 형성되는 온난 전선이다. 온난 전선이 통과하기 전에 강수 현상이 나타나고 통과한 후에는 대체로 맑은 날씨가 나타난다.
✕. (가)에서는 적운형 구름이 형성되고 (나)에서는 층운형 구름이 형성되므로, (가)에서가 (나)에서보다 구름이 연직 방향으로 더 발달한다.

07 온대 저기압과 전선

온대 저기압은 온난 전선과 한랭 전선을 동반하며, 온난 전선은 한랭 전선보다 동쪽에 위치한다.
✕. 온난 전선이 통과하기 전에는 서쪽에서 다가오는 구름의 높이가 점차 낮아지며, 온난 전선이 통과한 후에는 바람이 동풍 계열에서 서풍 계열로 바뀐다. 따라서 관측 시각에 A는 온난 전선이 통과한 지역에 있고, C는 온난 전선이 통과하기 전 지역에 있다.
㉡. 한랭 전선이 통과한 후에는 기온이 낮아지고 소나기가 내린다. 따라서 관측 시각에 B는 한랭 전선의 후면에 위치한다.
✕. C는 온난 전선의 전면에, A는 온난 전선의 후면에, B는 한랭 전선의 후면에 위치한다. 따라서 가장 서쪽에 위치하는 관측자는 B이다.

08 온대 저기압과 일기 기호

온대 저기압의 온난 전선과 한랭 전선이 차례로 통과하면 약한 비, 맑음, 소나기 순으로 기상 현상이 나타난다.
㉠. 현재 A 지역은 온난 전선과 한랭 전선 사이에 위치하므로, 구름이 거의 없는 맑은 날씨가 나타난다.
✕. ㉠의 풍향은 남동풍, 일기는 가랑비를 나타낸다.
㉢. 온대 저기압은 편서풍의 영향으로 점차 동쪽으로 이동하므로, 앞으로 A 지역에는 한랭 전선이 통과한다. 따라서 앞으로 A 지역은 전선 통과 후 ㉠(남동풍, 가랑비)보다 ㉡(북서풍, 소나기)의 일기 현상이 나타날 것이다.

09 기상 위성 영상

적외 영상은 물체가 온도에 따라 방출하는 적외선 에너지양의 차이를 이용하는 것으로, 온도가 높을수록 어둡게, 온도가 낮을수록 밝게 나타난다. 따라서 구름의 꼭대기 높이가 높을수록 밝게 나타나며, 물체의 표면에서 방출하는 적외선 에너지양을 탐지하는 것이므로 태양 빛이 없는 야간에도 관측이 가능하다.
✕. 가시 영상은 구름과 지표면에서 반사된 태양 빛의 반사 강도를 나타내는 것으로, 야간에는 태양 빛이 없으므로 이용할 수 없다. (나)는 태양이 뜨지 않은 새벽 4시에 관측한 영상이므로, 가시 광선 영역으로 관측한 것이 아니다.
✕. (나)의 영상에서 황해 상공에는 구름이 없으므로, 황해 상공의 구름의 양은 (가)가 (나)보다 많다.
㉢. A 해상의 위성 사진을 비교해보면 (가)에서는 주로 회색으로, (나)에서는 주로 흰색으로 보인다. 따라서 구름의 꼭대기 고도는 (나)가 (가)보다 높다.

10 열대 저기압의 발생

열대 저기압은 주로 위도 5°～25°의 열대 해상에서 발생한다. 열대 저기압이 발생하기 위해서는 해상에서 열과 수증기를 공급받아야 하며, 주변의 공기가 회전하면서 수렴해야 하기 때문에 전향력이 작용해야 한다.
✕. 적도 부근 해역에서는 전향력이 약해 공기가 회전하는 데 필요한 힘을 얻지 못하므로 열대 저기압이 발생하기 어렵다.
㉡. 열대 저기압은 무역풍의 영향으로 표층 수온이 높은 서태평양이 동태평양보다 발생하기에 유리하여 발생 빈도가 높다.
㉢. 열대 저기압은 무역풍과 편서풍에 의해 점차 고위도 쪽으로 이동하다가 소멸한다. 따라서 열대 저기압이 소멸하는 곳은 발생한 곳보다 대체로 위도가 높다.

11 태풍의 이동

북반구의 태풍에서는 주변의 공기가 태풍의 중심을 향해 시계 반대 방향으로 불어 들어간다. 태풍 진행 방향의 오른쪽 지역은 위험 반원이고, 왼쪽 지역은 안전 반원이다.
㉠. T_1～T_5 동안 태풍의 중심 기압은 계속 높아졌고 최대 풍속은 계속 느려졌으므로, 태풍의 세력은 계속 약해졌다.
✕. 관측 시간 동안 풍향이 시계 반대 방향으로 변했으므로, 관측소는 이 태풍의 안전 반원에 위치했다.
㉢. T_3일 때 서풍이 불며, 주변의 공기는 태풍의 중심을 향해 시계 반대 방향으로 휘어져서 불어 들어간다. 따라서 T_3일 때 태풍의 중심이 위치한 곳은 관측소보다 위도가 높다.

12 태풍의 이동 경로

태풍은 발생 초기에 무역풍과 북태평양 고기압의 영향을 받아 대체로 북서쪽으로 진행하다가 북위 25°～30° 부근에서 편서풍의 영향으로 진로를 바꾸어 북동쪽으로 진행하는 포물선 궤도를 그린다.
✕. 태풍이 진로를 바꾸는 위치를 전향점이라고 한다. 따라서 이 태풍의 전향점은 30°N 부근에 위치한다.
✕. 이 태풍은 포물선 궤도를 따라 북서쪽으로 이동하다가 북동쪽으로 이동하였다. 따라서 태풍 위치의 경도값은 작아졌다가 커졌다.

㉢. 적도~30°N 사이에서는 북동 무역풍이 분다. 이 태풍은 10°N ~15°N 사이에서 발생하였고, 발생 초기에는 북동 무역풍과 북태평양 고기압의 영향을 받아 북서쪽으로 이동했다.

13 태풍의 풍속과 기압

기압은 태풍의 중심으로 갈수록 계속 낮아지므로 태풍의 중심에서 최소가 되며, 풍속은 태풍의 중심부로 갈수록 빨라지다가 태풍의 눈이 있는 중심에서 급격히 느려진다.

㉠. 풍속은 태풍의 중심에서 급격히 느려지므로, 풍속을 나타내는 그래프는 ㉡이다.

✗. 태풍 중심 부근에서는 기압이 낮을수록 풍속이 빨라지지만, 중심 기압이 가장 낮은 태풍의 눈에서는 풍속이 느리다. 따라서 기압이 낮을수록 풍속이 빠르다고 할 수 없다.

㉢. 태풍이 정북쪽 방향으로 이동하고 있으므로 동쪽이 위험 반원, 서쪽이 안전 반원이다. 태풍의 중심 부근에서 A 방향의 풍속이 B 방향의 풍속보다 빠르므로, A 방향은 위험 반원인 동쪽이고 B 방향은 안전 반원인 서쪽이다.

14 열대 저기압의 발생과 구조

열대 저기압은 북반구와 남반구에서 모두 발생한다. 전향력의 영향으로 북반구의 열대 저기압은 지표 부근의 바람이 시계 반대 방향으로 중심을 향해 불어 들어가고, 남반구의 열대 저기압은 지표 부근의 바람이 시계 방향으로 중심을 향해 불어 들어간다. 따라서 (가)는 남반구, (나)는 북반구에서 발생한 태풍의 모습이다.

✗. 열대 저기압은 북반구와 남반구에서 모두 바람이 중심을 향해 불어 들어간다. (가)의 구름을 보면 지표 부근의 바람이 시계 방향으로 불어 들어가는 것을 알 수 있다.

㉡. (나)의 구름을 보면 지표 부근의 바람이 시계 반대 방향으로 불어 들어가는 것을 알 수 있다. 따라서 (나)는 북반구에서 발생한 열대 저기압이다.

✗. (가)와 (나)의 회전 방향이 반대이므로 발생 지역에서 작용하는 전향력의 방향은 서로 반대이다.

15 뇌우와 태풍

뇌우와 태풍은 모두 강한 상승 기류에 의해 적운형 구름이 형성된다. 한편 뇌우는 상대적으로 지속 시간이 짧고 공간 규모가 비교적 작으며, 태풍은 상대적으로 지속 시간이 길고 공간 규모가 크다.

㉠. (나)의 태풍에는 중심에 구름이 없는 영역인 태풍의 눈이 있다.

✗. (가)의 뇌우는 발생 초기이므로 주로 상승 기류가 나타나고, (나)의 태풍은 상승 기류와 하강 기류가 모두 나타난다.

✗. (가)의 뇌우는 한랭 전선 부근에서 공기가 상승하여 발생할 수 있다. 한편 (나)의 태풍은 열대 해상에서 열과 수증기를 공급받아 발생한다.

16 온대 저기압과 열대 저기압

A는 등압선이 동심원이고 등압선 간격이 좁으므로 열대 저기압이다. B는 한랭 전선과 온난 전선을 가지고 있으므로 온대 저기압이다.

㉠. A는 B보다 등압선 간격이 좁으므로, 최대 풍속은 A가 B보다 빠르다.

㉡. A는 열대 지방인 저위도에서 발생하였고, B는 중위도에서 발생하였다.

㉢. A와 B 모두 우리나라 부근에 위치하므로, A와 B의 이동은 편서풍의 영향을 받는다.

17 기단의 변질

기단이 발원지를 떠나 성질이 다른 지역으로 이동하면 이동한 지역의 지표면이나 해수면의 영향을 받아 성질이 변한다. 기단의 하부가 냉각되면 안정해져 층운형 구름이나 안개가 형성되고, 기단의 하부가 가열되면 불안정해져 적운이나 적란운이 형성된다.

㉠. 안개가 발생하였으므로 기단의 하층부는 안정한 상태로 변했다.

✗. 안개가 발생한 것으로 보아 기단은 이동한 지표면에 열을 빼앗겨 냉각되었다. 따라서 기단의 높이에 따른 온도는 ㉠으로 변했다.

㉢. 6월은 초여름으로 북태평양 고기압의 세력이 점차 강해지는 시기이므로, 부산 지역에는 고온 다습한 기단이 이동해와서 변질된 것이다. 따라서 (가)의 안개를 발생시킨 기단의 발원지는 부산보다 저위도 지역이다.

18 뇌우와 우박

우박은 얼음의 결정 주위에 차가운 물방울이 얼어붙어 크기가 커진 얼음 덩어리가 땅 위로 떨어진 것이다. 얼음 덩어리를 상승시킬 정도로 상승 기류가 강하게 발달해야 우박이 생성될 수 있다.

㉠. 우박이 생성되었으므로 (가)의 구름은 차가운 물방울이 얼음으로 바뀔 수 있는 기온이 0 ℃ 이하인 높이까지 발달했다.

✗. 우박은 구름 속에서 다양한 크기의 얼음 결정들이 병합하여 생성되는 것이 아니라 얼음의 결정 주위에 차가운 물방울이 얼어붙어 생성된다.

㉢. 구름 속에서 얼음 결정이 상승하여 기온이 0 ℃ 이하인 높이에서는 주위의 차가운 물방울이 빨리 얼어 불투명한 얼음층이 형성되고, 얼음 결정이 하강하여 기온이 0 ℃ 이상인 높이에서는 주위의 차가운 물방울이 서서히 얼어 투명한 얼음층이 형성된다. 우

박의 단면에 불투명층과 투명층이 2개 이상 나타나고, 우박이 하강하면서 녹는 것까지 고려하면 (나)는 구름 속에서 최소 2회 이상 상승과 하강을 반복하였다.

19 황사

우리나라에 영향을 미치는 황사의 주요 발원지는 중국 북부나 몽골의 사막, 건조한 황토 지대이다. 황사는 주로 서쪽에서 동쪽으로 이동하므로, 우리나라의 서쪽 지역이 동쪽 지역보다 비교적 황사가 많이 관측된다.

㉠. 이 기간 동안 2006년을 제외하고 ㉠ 지역은 ㉡ 지역보다 연간 황사 일수가 적다.

✕. 2001년에 연간 황사 일수가 가장 많았으며, 2001년 이후에는 2001년에 비해 연간 황사 일수가 적었다.

㉢. 황사는 대체로 우리나라의 서쪽에서 편서풍을 타고 이동해오므로, 우리나라의 서쪽 지역이 동쪽 지역보다 황사가 자주 발생한다. 따라서 ㉠은 속초, ㉡은 서울의 자료이다.

20 황사의 이동과 피해

기상청에서는 황사 발원지를 관측하여 황사의 이동을 감시하고 예보를 한다. 황사는 호흡기 질환, 눈병 등 사람에게 피해를 준다.

✕. 우리나라의 북쪽에서 저기압이 동쪽으로 이동 중인데 황사의 발원지는 저기압의 후면인 서쪽이므로, 황사는 북서풍을 따라 우리나라에 유입되었다.

㉡. 황사의 유입에 의해 미세먼지 농도가 높게 나타나므로, 황사는 PM10 농도를 높인다는 것을 알 수 있다.

㉢. 황사는 입자의 크기가 작기 때문에 호흡기 질환을 유발할 수 있다.

3점 수능 테스트

본문 90~99쪽

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

01 고기압과 저기압

북반구와 남반구에서 고기압, 저기압의 공기가 휘어지는 방향은 각각 반대이다. 고기압의 공기는 북반구에서 시계 방향으로, 남반구에서 시계 반대 방향으로 휘어지고, 저기압의 공기는 북반구에서 시계 반대 방향으로, 남반구에서 시계 방향으로 휘어진다. 따라서 (가)는 북반구에서 발생한 고기압, (나)는 북반구에서 발생한 저기압, (다)는 남반구에서 발생한 저기압이다.

㉠. (가)에서 공기가 중심으로부터 불어 나가므로 (가)는 고기압이다. 고기압 중심은 1000 hPa 등압선으로부터 두 개의 등압선 안쪽에 있으므로 중심 기압은 1004 hPa보다 높다.

㉡. (가)에서 공기가 시계 방향으로 불어 나가므로 (가)는 북반구의 고기압, (나)에서 공기가 시계 반대 방향으로 불어 들어오므로 (나)는 북반구의 저기압, (다)에서 공기가 시계 방향으로 불어 들어오므로 (다)는 남반구의 저기압이다. 따라서 북반구에서 형성된 기압은 (가)와 (나)이다.

✕. (나)와 (다)에서의 공간 규모가 동일하므로 등압선 간격을 통해 풍속을 비교할 수 있다. (나)의 등압선 간격은 (다)의 등압선 간격보다 넓으므로, ㉠에서의 풍속은 ㉡에서의 풍속보다 느리다.

02 정체성 고기압과 이동성 고기압

(가)는 이동성 고기압이 나타나므로 봄철의 일기도이고, (나)는 서고동저형의 기압 배치가 나타나므로 겨울철의 일기도이다.

㉠. A는 주변보다 기압이 낮으므로 저기압이다.

㉡. B는 이동성 고기압이고, C는 정체성 고기압이다. 이동성 고기압은 편서풍의 영향으로 동쪽으로 이동하고, 정체성 고기압은 대체로 한곳에 머물러 있다.

㉢. (가)는 봄철의 일기도이고 (나)는 겨울철의 일기도이므로, 계절의 평균 기온은 (가)가 (나)보다 높다.

03 온대 저기압 주변의 날씨

온대 저기압에서 등온선의 간격이 좁은 곳에 전선이 형성되어 있다.

㉠. ㉠은 한랭 전선 후면에서 관측되는 내용이므로 A에 해당한다.

㉡. ㉡은 온난 전선과 한랭 전선 사이에서 관측되는 내용이므로 B에 해당하고, ㉢은 온난 전선 전면에서 관측되는 내용이므로

C에 해당한다. ㉡을 관측한 곳(B)은 ㉢을 관측한 곳(C)보다 남쪽에 위치하므로, 지표 부근의 기온은 C보다 B가 높다.

㉢. 등온선의 분포를 통해 저기압의 중심은 A, C 사이의 북쪽에 있다는 것을 알 수 있다. 저기압 중심은 정동쪽 방향으로 이동하고 있고 ㉢을 관측한 곳인 C는 저기압 중심보다 남쪽에 있으므로 온대 저기압이 우리나라를 통과하는 동안 풍향이 시계 방향으로 바뀐다.

04 온대 저기압의 이동

온대 저기압은 온난 전선과 한랭 전선을 동반하며, 우리나라를 통과하는 온대 저기압은 편서풍의 영향을 받아 서쪽에서 동쪽으로 이동한다.

✕. (가)일 때 관측자는 한랭 전선의 후면에 위치하고, (나)일 때 관측자는 온난 전선의 전면에 위치한다. 온대 저기압에서 온난 전선은 한랭 전선보다 동쪽에 위치하므로, (나)는 (가)보다 앞선 시기의 기록이다.

㉡. (나)일 때 관측자는 온난 전선의 전면에 위치하므로, 관측 지역은 전선이 통과하기 전이다.

✕. ㉠은 한랭 전선이 통과할 때의 풍향 변화를 나타낸 것이므로 대체로 남서풍에서 북서풍으로 변한다.

05 온난 전선과 한랭 전선

온난 전선이 통과한 후에는 기온이 상승하고 기압이 하강한다. 한랭 전선이 통과한 후에는 기온이 하강하고 기압이 상승한다.

✕. ㉠에서 기온이 상승하므로 기압은 하강해야 한다. 따라서 ㉠의 기압 변화는 ㉣이다.

㉡. $T_1 \sim T_2$ 사이에 기온이 급격히 낮아지는 것으로 보아 한랭 전선이 통과하였다.

✕. ㉣은 기압이 낮아지므로 온난 전선이 통과할 때이다. 따라서 비가 내렸다면 약한 비가 내렸을 것이다.

06 장마 전선

장마 전선은 정체 전선의 일종으로 북쪽의 찬 기단과 남쪽의 따뜻한 기단이 만나 형성되는데, 두 기단의 세력이 비슷하여 거의 이동하지 않고 한곳에 오랫동안 머무르며 많은 비를 내린다. 전선면을 기준으로 따뜻한 기단은 밀도가 작아 찬 기단 위로 올라가고, 찬 기단은 밀도가 커서 따뜻한 기단 아래로 파고든다. 따라서 A 지역에 영향을 주는 기단은 북쪽의 찬 기단이고, B 지역에 영향을 주는 기단은 남쪽의 따뜻한 기단이다.

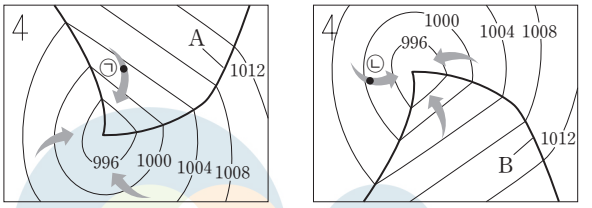
㉠. A 지역에 영향을 주는 기단은 북쪽의 찬 기단이고 B 지역에 영향을 주는 기단은 남쪽의 따뜻한 기단이므로, 기단 발원지의 위도는 A 지역에 영향을 주는 기단이 B 지역에 영향을 주는 기단보다 높다.

✕. 전선면의 구름은 찬 기단 위로 올라가는 따뜻한 기단의 수증기가 응결하여 형성되므로, 전선면에서 구름을 형성하는 수증기를 공급하는 기여도는 B 지역에 영향을 주는 기단이 A 지역에 영향을 주는 기단보다 크다.

✕. 초여름 장마철 이후 남쪽의 따뜻한 기단의 세력이 강해지므로, 장마철 이후 한여름이 되었을 때의 세력은 B 지역에 영향을 주는 기단이 A 지역에 영향을 주는 기단보다 크다.

07 북반구와 남반구의 온대 저기압

북반구와 남반구의 중위도 지방에서는 온대 저기압이 형성되고 소멸한다. 온대 저기압은 편서풍의 영향을 받아 북반구와 남반구에서 모두 동쪽으로 이동하지만, 전향력의 방향이 달라 북반구의 온대 저기압은 시계 반대 방향으로 바람이 불어 들어가고, 남반구의 온대 저기압은 시계 방향으로 바람이 불어 들어간다.



㉠. A와 B 전선은 모두 온대 저기압 중심의 동쪽 방향에 형성된 온난 전선이다.

✕. (가)는 바람이 시계 방향으로 불어 들어오고 (나)는 바람이 시계 반대 방향으로 불어 들어온다. ㉠의 풍향은 북서풍, ㉡의 풍향도 북서풍으로 동일하다.

✕. (가)는 남반구의 온대 저기압으로 편서풍의 영향을 받으므로 시간이 지남에 따라 온대 저기압은 서쪽이 아닌 동쪽으로 이동한다.

08 기상 위성 영상

가시 영상은 구름과 지표면에서 반사된 태양 빛의 반사 강도를 나타낸 것으로, 반사율이 클수록 밝게 나타난다. 적외 영상은 물체의 온도에 따라 방출하는 적외선 에너지양의 차이를 나타낸 것으로, 온도가 낮을수록 밝게 나타난다.

㉠. 구름이 두꺼울수록 태양 빛을 많이 반사하므로, 낮에 태양 빛을 가장 많이 반사하는 구름은 A이다.

✕. ㉠ 지역은 적외 영상에서 밝게 나타나므로 구름 꼭대기의 온도가 낮은 구름이다. 구름 꼭대기의 고도가 높을수록 온도가 낮으므로 ㉠ 지역의 상공에 발달한 구름의 형태는 B보다 꼭대기의 고도가 높은 A에 가깝다.

✕. 구름 꼭대기가 높을수록 온도가 낮으므로 적외선을 적게 방출한다. 따라서 구름 꼭대기에서 방출하는 적외선 에너지양이 가장 많은 구름은 B이다.

09 열대 저기압의 발생 과정

열대 저기압은 위도 5°~25°의 열대 해상에서 해수로부터 수증기와 열을 공급받아 발생한다.

㉠. 해상의 바람이 시계 반대 방향으로 휘어져 불어 들어가므로, 그림은 북반구에 위치한 열대 저기압의 발생 과정을 나타낸 것이다.

✕. 적도 부근에서는 전향력이 거의 작용하지 않아서 공기가 회전하는 데 필요한 힘을 얻지 못하므로 열대 저기압이 발생하지 않는다.

㉢. 숨은열은 기체 상태인 수증기가 액체 상태인 물로, 또는 고체 상태인 얼음으로 변할 때 방출하는 열이다.

10 태풍의 이동 경로

(가)의 Ta~(Ta+1) 사이에 바람이 동풍 → 남풍 → 남서풍으로 시계 방향으로 변했고, (나)의 (Tb+1) 전후로 바람이 북풍 → 북서풍 → 서풍 → 남서풍으로 시계 반대 방향으로 변했다.

㉠. (가)의 풍향은 시계 방향으로, (나)의 풍향은 시계 반대 방향으로 변했다. ㉠과 ㉡ 지역은 태풍 경로를 기준으로 반대쪽에 위치해야 하므로 태풍의 경로는 B이다.

✕. (가)는 풍향이 시계 방향으로 변했으므로 태풍 진행 경로의 오른쪽인 위험 반원에 위치하며 ㉡ 지역이 이에 해당한다. (나)는 풍향이 시계 반대 방향으로 변했으므로 태풍 진행 경로의 왼쪽인 안전 반원에 위치하며 ㉠ 지역이 이에 해당한다. 풍향이 급변하였을 때가 태풍이 가장 근접했을 때이므로 ㉠ 지역은 (Tb+1)경에 태풍과 가장 근접했고 ㉡ 지역은 Ta~(Ta+1) 사이에 태풍과 가장 근접했다. 따라서 Tb는 Ta보다 빠른 시각이다.

㉢. 북서풍이던 풍향이 (Tb+1)일 때 서풍으로 급변하였다. ㉠ 지역에서 서풍이 불려면 ㉠ 지역은 태풍의 중심보다 남쪽에 위치해야 한다.

11 태풍의 구조와 피해

태풍 진행 경로의 오른쪽을 위험 반원, 왼쪽을 안전 반원이라고 한다. 위성 영상 중 가시 영상은 가시광선 파장의 영역을 관측하는 것이므로, 태양 빛이 있는 낮에만 관측할 수 있다.

㉠. 태풍의 중심이 황해 상에 있고 태풍의 진행 방향은 북쪽이므로, 태풍 진행 경로의 오른쪽에 위치하는 우리나라는 위험 반원에 속한다.

✕. 촬영 시각에 한반도의 서쪽은 가시광선 영역으로 관측한 모습이 일부 보일 수 있지만 동쪽은 가시광선 영역으로 관측한 모습이 보일 수 없다. 태양 빛이 없는 한반도의 동쪽에 구름의 모습이 관측되므로 (가)는 가시광선 영역으로 관측한 사진이 아니다.

✕. B에서 A로 갈수록 강수 세기가 강해지는 경향이 있지만 구름벽들 사이에 강수 세기가 약한 부분들이 있으며 태풍의 눈에 위치한 A 부근에서도 강수 세기가 약하다.

12 위험 반원과 안전 반원

A와 C는 풍향이 시계 반대 방향으로 변하므로 태풍 진행 경로의 왼쪽에 위치하고, B는 풍향이 시계 방향으로 변하므로 태풍 진행 경로의 오른쪽에 위치한다.

㉠. 풍향 변화의 칸 수를 세어보면 풍향 변화를 비교할 수 있다. 23일 18시~24일 6시 사이의 풍향 변화는 A, B, C 중 C가 가장 작다.

㉡. A는 풍향이 시계 반대 방향으로 변했으므로 태풍 진행 경로의 왼쪽인 안전 반원에서 관측한 것이다.

㉢. A와 C는 풍향이 시계 반대 방향으로 변했고, B는 풍향이 시계 방향으로 변했다. ㉢ 지역은 태풍 진행 경로의 오른쪽에 위치하고 있으므로 풍향이 시계 방향으로 변했을 것이다. 따라서 B는 ㉢ 지역에서 관측한 것이다.

13 태풍의 이동

태풍은 열대 해상에서 열과 수증기를 공급받아 세력이 강해지며, 육지에 상륙하면 열과 수증기의 공급이 줄어들어 세력이 약해진다. 또한 지표면과의 마찰이 증가하여 세력이 급격히 약해진다.

㉠. (다)에서 태풍의 소멸 위치가 (가)에서보다 북쪽에 있으므로 태풍 소멸 위치의 위도는 (다)가 (가)보다 높다.

㉡. (가)에서는 태풍 중심이 육지에 27일 9시 이후에 상륙하고, (다)에서는 27일 9시 이전에 상륙하므로 (다)가 (가)보다 빠르다.

㉢. 23일 9시부터 25일 9시까지 태풍의 중심 기압이 낮아졌고 최대 풍속이 빨라졌으므로 태풍의 세력이 강해졌다.

14 뇌우

뇌우는 지표 부근의 공기가 국지적으로 가열되어 활발하게 상승할 때, 한랭 전선에서 찬 공기가 따뜻한 공기를 파고들어 따뜻한 공기가 빠르게 상승할 때, 온대 저기압이나 태풍에 의해 대기가 불안정하여 강한 상승 기류가 발달할 때 잘 발생한다.

㉠. 우리나라에 위치한 한랭 전선은 편서풍의 영향을 받아 서쪽에서 동쪽으로 이동한다.

✕. (나)는 강한 강수 현상이 동반되고 있는 뇌우이므로 적운 단계를 지났다.

✕. (가)는 (나)보다 강수 영역이 넓으므로 뇌우의 분포 영역이 넓다.

15 태풍과 폭풍 해일

태풍의 중심이 가장 가까울 때 태풍의 영향을 가장 많이 받으며 낮은 저기압과 강한 바람으로 인해 해안 지역에서는 해일이 관측될 수 있다.

✕. 태풍에 의해 상승한 해수면의 최대 높이는 (나)에서 약 120 cm, (다)에서 80 cm 미만이다.

✕. (나)에서 기압이 가장 낮을 때는 28일 12시경이고, 태풍에 의해 상승한 해수면 높이가 최대로 기록된 때는 28일 18시경이므로 두 시점이 일치하지 않는다.

㉢. (다)에서 태풍에 의해 상승한 해수면 높이가 최대일 때는 28일 2시경이고 이때 기압이 계속 낮아지는 중이므로 태풍이 접근하고 있다고 판단할 수 있다. 태풍은 북상하고 있으므로 관측 지점보다 남쪽에 있었다.

16 기단의 변질

우리나라의 겨울철에는 서고동저형의 기압 배치가 자주 나타나 주로 북서풍이 분다. 또한 한랭 건조한 시베리아 기단이 상대적으로 따뜻한 황해 상을 지나면서 열과 수증기를 공급받아 기층의 하부가 불안정해지므로 적운형 구름이 형성되고 서해안 지역에 폭설을 내린다.

✕. A 지역은 시베리아 고기압의 영향을 받으므로 날씨가 맑고, 서풍 계열의 바람이 분다. 따라서 A 지역은 ㉡에 해당한다. B 지역은 북동쪽에 저기압이 발달하고 북서쪽에 시베리아 고기압이 발달하므로 북서풍 계열의 바람이 불고, 시베리아 기단의 변질에 의해 눈이 내릴 수 있다. 따라서 B 지역은 ㉠에 해당한다.

㉡. A 지역의 대기는 한랭 건조하며 안정하다. 한편 B 지역의 대기는 A 지역의 대기가 황해 상을 지나오며 열과 수증기를 공급받아 불안정하다.

㉢. B 지역은 변질된 시베리아 기단의 영향을 받으므로, A와 B 지역에 영향을 주는 기단은 시베리아 기단으로 발원지가 동일하다.

17 집중 호우

집중 호우는 홍수, 산사태 등을 일으킬 수 있어 많은 인명과 재산 피해를 가져온다. 집중 호우는 한 시간에 30 mm 이상이나 하루에 80 mm 이상의 비가 내릴 때, 또는 연 강수량의 10 % 정도의 비가 하루에 내리는 것을 말한다.

㉠. 이 지역은 시간당 30 mm 이상 비가 내리는 지속 시간이 길수록 산사태가 자주 발생한 것으로 보아 산사태가 발생할 가능성이 크다.

✕. 이 지역에는 비가 시간당 30 mm 이상 내리고 24시간 동안 누적 강수량이 150 mm 이하일 때 산사태가 발생한 적이 있다.

㉢. 집중 호우가 예보되면 이 지역에 한 시간에 30 mm 이상이나 24시간 동안 80 mm 이상 비가 내릴 것으로 예보한 것이므로 산사태에 대비해야 한다.

18 한랭 전선과 날씨

한랭 전선의 후면에는 적운형 구름이 발달하여 소나기성 강수 현상이 나타나고 낙뢰가 동반되기도 한다. 낙뢰 분포가 시간이 지남에 따라 남동쪽으로 이동하므로, 우리나라를 통과하는 한랭 전선도 남동쪽으로 이동하는 것을 알 수 있다.

✕. 낙뢰가 관측된 지역이 시간이 지남에 따라 남동쪽으로 옮겨갔으므로 한랭 전선도 남동쪽 방향으로 이동하였다.

㉡. (가)의 한랭 전선 위치와 (나)의 8시～12시 사이 낙뢰 분포(●)를 비교해보면 대체로 한랭 전선의 후면에서 낙뢰가 관측되는 것을 알 수 있다.

㉢. 한랭 전선의 후면에는 적운형 구름이 발달하므로, 낙뢰가 관측된 지역에 비가 내렸다면 소나기성 강수 형태로 내렸을 것이다.

19 우박

우박은 주로 적란운에서 강한 상승 기류를 타고 상승과 하강을 반복하여 성장하므로, 상승 기류가 강할수록 우박이 더 크게 성장할 가능성이 있다.

㉠. 우박은 뇌우에 동반되어 나타나기도 하며, 우박이 내릴 때 강풍이 동반되기도 한다.

㉡. 우박은 국지적인 기상 현상으로, 우박이 내리는 공간 규모는 온대 저기압의 공간 규모보다 작다.

㉢. (가)의 우박은 '사람 주먹 정도의 크기' 이고, (나)의 우박은 '몇 사람이 들 수도 없을 정도의 크기'이며 우박에 동물이 맞아 죽었다고 묘사하였다. 따라서 (가)와 (나)에 기록된 우박은 모두 강한 상승 기류 속에서 형성되었다.

20 황사의 발생과 이동

황사는 주로 얼었던 토양이 녹기 시작하는 봄철에 발생하지만 다른 계절에도 발생할 수 있다. 황사 발생량, 대기 상태 등 다양한 원인에 의해 황사가 우리나라에 머무르는 시간이 달라진다.

㉠. 2월, 4월, 5월, 6월, 10월, 11월에 황사가 관측되었으므로 봄철뿐만 아니라 다른 계절에도 발생했다.

✕. 황사의 발원지가 가장 가까웠던 사례 2는 지속 시간이 12시간으로 발원지가 먼 다른 사례들보다 대체로 짧았다. 따라서 우리나라와 발원지가 가까울수록 황사의 지속 시간이 길었다고 할 수 없다.

㉢. 사례 1, 3, 4, 5, 6, 7의 발원지가 모두 고비 사막을 포함하고 있으므로 우리나라에 영향을 준 황사는 주로 중국 북부와 몽골 지역에서 발생했다.

06 해양의 변화

2점 수능 테스트

본문 108~111쪽

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

01 북태평양의 표층 해류

북반구 아열대 해역에서 표층 해류는 시계 방향으로 순환한다. A에는 쿠로시오 해류, B에는 북태평양 해류, C에는 캘리포니아 해류, D에는 북적도 해류가 흐른다.

㉠. 난류는 수온과 염분이 높고, 한류는 수온과 염분이 낮다. 따라서 동일한 위도에서 난류가 흐르는 A가 한류가 흐르는 C보다 표층 염분이 높다.

㉡. B에는 편서풍에 의해 형성된 북태평양 해류가 흐른다.

✕. D에는 무역풍에 의해 형성된 북적도 해류가 흐른다. 무역풍은 대기 대순환의 해들리 순환에 의해 발생한 지표 부근의 바람이다.

02 위도별 증발량과 강수량

표층 염분에 가장 큰 영향을 주는 요인은 증발량과 강수량이다.

㉠. 적도 지역은 저압대가 위치하므로 증발량보다 강수량이 많고, 중위도 지역은 고압대가 위치하므로 강수량보다 증발량이 많다. 따라서 A는 증발량, B는 강수량 분포이다.

㉡. 증발량이 강수량보다 많은 해양에서는 표층 염분이 높게 나타난다. 적도 해역은 증발량보다 강수량이 많고, 20°N 부근의 해역은 강수량보다 증발량이 많다. 따라서 표층 해수의 평균 염분은 적도 부근보다 20°N 부근에서 높다.

㉢. 저압대가 위치하는 적도 지역은 고압대가 위치하는 중위도 지역보다 강수량이 많고 증발량이 적다.

03 해수의 수온과 염분 분포

우리나라 주변 해역에서 표층 해수의 수온은 8월이 2월보다 높고, 표층 해수의 염분은 2월이 8월보다 높다. 따라서 (가)는 수온 분포, (나)는 염분 분포이다.

㉠. (가)에서 2월에는 혼합층이 형성되어 있고, 8월에는 혼합층이 거의 나타나지 않는다. 따라서 평균 풍속은 2월이 8월보다 크다.

㉡. (나)에서 표층 염분은 2월이 8월보다 높다. 표층 염분은 증발량이 많을수록, 강수량이 적을수록 대체로 높게 나타난다. 따라서 (증발량−강수량)은 2월이 8월보다 크다.

✕. 표층에서는 2월이 8월보다 수온이 낮고 염분이 높으므로 밀도가 크고, 수심 100 m에서는 2월과 8월의 수온과 염분이 각각 비슷하므로 밀도가 비슷하다. 밀도는 수심이 깊을수록 대체로 크므로 2월보다 표층의 밀도가 작은 8월이 표층에서 수심 100 m까지 해수의 밀도 변화가 크다.

04 증발량과 강수량

중위도 해역은 증발량이 강수량보다 많으므로 표층 염분이 높다.

㉠. 표층 염분은 증발량이 강수량보다 많은 해역에서 높다. 따라서 표층 염분은 (증발량−강수량) 값이 (+)인 A 해역이 (−)인 B 해역보다 높다.

✕. A 해역은 30°N 부근으로, A 해역 부근에는 대기 대순환에 의해 고압대가 발달한다.

㉢. B 해역은 대기 대순환에 의한 상승 기류가 발달하는 적도 저압대 부근이다.

05 해수의 용존 기체

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

✕. 해수의 용존 산소량보다 용존 이산화 탄소량이 많다. A는 용존 산소량, B는 용존 이산화 탄소량이므로, 해수에 대한 기체의 용해도는 B가 A보다 크다.

㉡. 해수의 표층에서는 식물성 플랑크톤의 광합성과 대기로부터의 산소 공급으로 인해 용존 산소량이 많다.

㉢. 수심 약 1000 m에서보다 수심 약 3000 m에서 A가 많은 것은 고위도 지역에서 산소가 풍부한 표층수가 침강하였기 때문이다.

06 심층 순환

심층 순환 모형에서는 극 해역의 냉각된 해수가 밀도가 커져 가라앉는다. 가라앉은 해수는 저위도로 이동하여 온대나 열대 해역에 걸쳐 매우 천천히 상승하고 표층을 따라 다시 극 쪽으로 이동한다.

✕. 심층 순환 모형의 ㉠에서는 상승한 해수가 극 쪽으로 이동하고 ㉡에서는 이동한 해수의 침강이 일어나므로, 해수의 평균 밀도는 ㉠에서보다 ㉡에서 크다.

✕. 해수가 표층에서 침강한 뒤 심층 순환을 거쳐 다시 처음의 표층으로 되돌아오는 데는 수백 년에서 천 년에 가까운 오랜 시간이 걸린다. 따라서 심층 순환은 표층 순환과 비교하면 해수의 이동 속도가 매우 느리다. ㉠의 해류는 표층 순환을 형성하는 해류이고 ㉢의 해류는 심층 순환을 형성하는 해류이므로, 해류의 평균 속력은 ㉠에서보다 ㉢에서 느리다.

㉢. 용존 산소량이 많은 표층의 찬 해수가 가라앉으면서 심해층에 산소를 공급한다.

07 전 세계 해수의 순환

해수의 심층 순환과 표층 순환은 서로 연결되어 전체 해양에서 큰 순환을 이루고 있다.

✕. A는 심층수의 용승이 일어나는 해역이다.

㉡. B에서는 북대서양 심층수가 형성되고, C에서는 남극 저층수가 형성된다. B와 C에서 침강하는 해수는 용존 산소량이 많아 심층 해수에 산소를 공급한다.

✕. 심층 순환과 표층 순환은 서로 연결되어 있으므로 심층 순환이 약해지면 표층 순환도 약해진다.

08 우리나라 주변 해역의 표층 염분 분포

우리나라 주변 해역에서는 여름철에 강수가 집중되므로, 여름철이 겨울철보다 표층 염분이 낮다. 따라서 (가)는 8월, (나)는 2월의 관측 자료이다.

㉠. 황해가 동해보다 표층 염분이 낮은 것은 육지로부터의 담수 유입량이 동해보다 많기 때문이다.

㉡. 해수의 밀도는 수온이 낮을수록, 염분이 높을수록 크다. 2월이 8월보다 표층 해수의 수온이 낮고 염분이 높으므로, 표층 해수의 밀도는 2월이 8월보다 크다.

㉢. 8월이 2월보다 표층 염분이 대체로 낮은 이유는 8월이 2월보다 강수량이 많기 때문이다. 즉, 8월과 2월의 표층 염분 분포 차이에 가장 큰 영향을 주는 요인은 강수량 차이이다.

09 대기 대순환

지구 전체 규모에서 일어나는 대기 대순환은 저위도 지방에서 일어나는 해들리 순환, 중위도 지방에서 일어나는 페렐 순환, 고위도 지방에서 일어나는 극순환으로 이루어져 있다. 극순환은 지표 부근에 극동풍(A)을, 페렐 순환은 지표 부근에 편서풍(B)을, 해들리 순환은 지표 부근에 무역풍(C)을 형성한다.

㉠. 극순환과 해들리 순환은 열적 순환에 해당한다. A는 극순환에 의해 지표 부근에 형성된 극동풍이다.

✕. 쿠로시오 해류는 북적도 해류가 동쪽에서 서쪽으로 흐르다가 대륙에 부딪혀 북쪽으로 흐르면서 형성된 해류이다.

✕. 대기 대순환에 의해 지표 부근에 일정한 방향으로 바람이 지속적으로 불면 표층 해수가 일정한 방향으로 흐르게 되어 해류를 형성한다. 무역풍인 C는 동풍 계열의 바람으로, 동쪽에서 서쪽으로 흐르는 해류를 형성한다.

10 표층 해류의 역할

표층 해류는 저위도의 에너지를 고위도로 수송하는 역할을 하며, 전 세계의 기후와 해양 환경에 영향을 미친다.

✕. 난류의 영향을 받는 지역은 겨울철 평균 기온이 동일 위도의 다른 지역에 비해 높은 편이다. 유럽의 서쪽 지역은 멕시코 만류가 열을 공급하므로, 영국의 런던이 비슷한 위도에 있는 캐나다의 퀘벡보다 1월 평균 기온이 높다. 따라서 ㉠은 ㉡보다 작다.

㉡. ㉢은 북대서양의 저위도에서 고위도 쪽으로 흐르는 난류인 멕시코 만류이다.

㉢. 난류는 저위도에서 고위도 쪽으로 흘러 저위도의 남는 에너지를 고위도로 수송한다.

11 남태평양의 표층 해류

A에는 남적도 해류, B에는 동오스트레일리아 해류, C에는 페루 해류, D에는 남극 순환 해류가 흐른다.

㉠. A는 적도와 30°S 사이에 위치하며, 이 해역에서는 무역풍이 분다. 따라서 A에는 무역풍에 의해 형성된 해류가 흐른다. D는 30°S와 60°S 사이에 위치하며, 이 해역에서는 편서풍이 분다. 따라서 D에는 편서풍에 의해 형성된 해류가 흐른다.

㉡. B에는 저위도에서 고위도 쪽으로 난류가 흐르고, C에는 고위도에서 저위도 쪽으로 한류가 흐른다. 영양염의 양은 한류가 난류보다 많으므로 B보다 C에서 많다.

㉢. 남반구 해양에서의 아열대 순환은 시계 반대 방향으로 나타난다.

12 해수의 수온과 밀도 분포

해수의 밀도는 주로 수온과 염분에 의해 결정되며 수온이 낮을수록, 염분이 높을수록 밀도가 크다. 수온과 염분 외에 해수의 밀도에 영향을 주는 요인으로는 수압이 있다. 해수의 밀도는 수압이 높을수록 커진다. 수압에 의해 나타나는 해수의 밀도 변화는 매우 작고, 수온에 의해 나타나는 해수의 밀도 변화가 염분에 의해 나타나는 해수의 밀도 변화보다 크다. 따라서 해수의 밀도 분포는 수온 분포와 반비례하는 경향이 있다.

㉠. 저위도 지역이 고위도 지역보다 많은 양의 태양 복사 에너지를 받기 때문에 표층 해수의 수온은 위도가 높을수록 대체로 낮다. 따라서 A는 수온, B는 밀도이다.

㉡. 60°S와 60°N 지역의 표층 수온이 거의 같은데, 60°N 지역의 표층 해수의 밀도가 60°S 지역의 표층 해수의 밀도보다 작은 이유는 담수의 유입 등에 의해 60°S 지역보다 60°N 지역의 표층 해수의 평균 염분이 낮기 때문이다.

✕. 표층 해수의 수온은 고위도로 갈수록 대체로 낮아진다. 이것은 저위도에서 고위도로 갈수록 태양 복사 에너지를 적게 받기 때문이다.

13 수온 염분도

수온 염분도는 해수의 특성을 나타내는 그래프이며, 이를 이용하여 해수의 밀도와 수괴의 특성을 알 수 있다.

㉠. (나) 해역은 수심 0~50 m 사이의 수온이 거의 일정한 것으

로 보아 혼합층이 형성되어 있다. 혼합층은 대체로 바람이 강할수록 두껍게 발달한다. 따라서 바람은 (가) 해역보다 (나) 해역에서 강하게 분다.

✕. 표층 해수의 밀도는 (가) 해역에서는 약 1.023 g/cm^{3}이고 (나) 해역에서는 약 1.022 g/cm^{3}이다. 따라서 표층 해수의 밀도는 (나) 해역보다 (가) 해역이 크다.

✕. 해수의 밀도는 주로 수온과 염분에 의해 결정되며 수온이 낮을수록, 염분이 높을수록 밀도가 크다. (가) 해역에서는 표층에서 수심 50 m까지의 염분 변화는 크지 않지만, 수온은 수심이 깊어짐에 따라 급격하게 낮아진다. 따라서 표층에서 수심 50 m까지의 밀도 변화는 염분보다 수온의 영향을 더 크게 받는다.

14 월별 연직 수온 분포

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

㉠. 2월에는 0 m와 100 m 깊이의 수온이 같으므로, 혼합층의 두께는 최소 100 m 이상이다. 8월에는 0 m 깊이의 수온은 약 13 ℃이고 40 m 깊이의 수온은 약 8 ℃이므로, 혼합층의 두께는 최대 40 m 미만이다. 따라서 혼합층의 평균 두께는 8월보다 2월에 두껍다.

✕. 12월에는 혼합층의 두께가 최소 60 m 이상이고, 8월에는 혼합층의 두께가 최대 40 m 미만이다. 따라서 표층~수심 40 m 사이 해수의 연직 운동은 8월보다 12월에 활발하다.

✕. 수온만을 고려할 때, 표층 용존 산소량은 표층 수온이 가장 낮은 2월에 가장 많다.

15 심층 순환의 역할

해수의 심층 순환과 표층 순환은 서로 연결되어 전체 해양에서 큰 순환을 이루고 있다.

㉠. 해수의 심층 순환과 표층 순환은 서로 연결되어 열에너지를 수송하므로 위도 간의 열수지 불균형을 줄이는 역할을 한다.

㉡. 빙하가 녹은 물이 주변 해수와 섞이면 염류의 양은 일정한 상태에서 물의 양이 증가하므로 해수의 표층 염분은 낮아진다.

✕. 그린란드 빙하가 녹은 물이 바다로 흘러들면 해수의 밀도가 작아지므로 고위도에서 해수의 침강이 약해질 것이다.

16 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.

✕. A는 쿠로시오 해류이다. 쿠로시오 해류는 무역풍에 의해 형성된 북적도 해류가 동쪽에서 서쪽으로 흐르다가 대륙에 부딪혀 북쪽으로 흐르면서 형성된 해류이다.

㉡. 용존 산소량은 대체로 한류가 난류보다 많다. 따라서 용존 산소량은 북한 한류인 C가 동한 난류인 B보다 많다.

㉢. B는 난류인 쿠로시오 해류의 지류인 동한 난류이다. 동한 난류는 겨울철에 동해안 지역에 열에너지를 공급한다.

3점 수능 테스트

본문 112~119쪽

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

01 수온 염분도

중위도 해역의 혼합층에서는 수심과 관계없이 수온이 거의 일정하고, 수온 약층에서는 수심이 깊어질수록 수온이 급격하게 낮아지며, 심해층에서는 수온이 낮고 거의 일정하다.

⊙. ㉠은 표층에서 가장 높고 수심이 깊어질수록 낮아지는 경향을 나타내므로 수온 분포 곡선이고, ㉡은 염분 분포 곡선이다.

⊙. A는 수온이 약 15 ℃이고, 염분이 약 34.65 psu인 수심 약 200 m의 해수이다. 따라서 해수 A는 깊이에 따라 수온이 급격하게 낮아지는 수온 약층에 위치한다.

⊙. 수심에 따른 해수의 밀도 변화는 수온 변화와 반대로 나타나는 경향을 보이며, 수온이 비교적 일정한 혼합층과 심해층에서는 염분과 수압의 영향이 상대적으로 커진다. 이 해역에서 해수의 밀도는 수심이 깊을수록 커진다.

02 대기 대순환과 위도별 증발량, 강수량

대기 대순환은 해들리 순환, 페렐 순환, 극순환으로 구성되고, 순환마다 지표 부근에서는 서로 다른 바람이 형성된다. (가)에서 A는 해들리 순환, B는 극순환이다.

⊙. 북적도 해류는 해들리 순환에 의해 지표 부근에 형성된 북동 무역풍의 영향으로 동쪽에서 서쪽으로 흐르는 해류이다.

⊙. 해들리 순환은 직접 순환에 해당하고, 페렐 순환은 해들리 순환과 극순환 사이에서 형성된 간접 순환이다. 따라서 '열적 순환인가?'는 A와 페렐 순환을 구분하는 기준이 될 수 있다.

✕. 표층 염분은 대체로 (증발량−강수량) 값이 클수록 높다. ㉡은 중위도 고압대 지역으로, 증발량이 많고 강수량이 적으므로 표층 염분이 높다. 중위도 고압대는 해들리 순환(A)과 페렐 순환의 하강 기류에 의해 형성된다.

03 심층 순환

해수의 심층 순환은 수온이나 염분 변화에 따른 해수의 밀도 차에 의해 일어난다. 해수가 결빙되면 염류가 주위로 빠져나와 주변 해수의 염분이 높아지고, 해빙이 일어나는 지역은 염분이 낮아진다.

⊙. 염분은 해수 1 kg 속에 녹아 있는 염류의 총량을 g 수로 나타낸 값이다. 따라서 염분이 35 psu인 ㉠의 소금물 100 g에는 소금 3.5 g이 녹아 있다.

⊙. 얼음을 녹인 비커 B의 물에는 소금이 거의 포함되어 있지 않기 때문에 소금물인 비커 A의 물보다 밀도가 작다. 따라서 비커 A와 B의 물을 각각 동시에 부으면서 물의 이동을 관찰하면 상대적으로 밀도가 큰 비커 A의 물이 밀도가 작은 비커 B의 물 아래로 흐른다.

✕. 극지방의 빙하가 녹으면 해수의 염분이 낮아져 밀도가 작아지므로 심층수의 침강 속도가 느려진다. 따라서 극지방의 빙하가 녹으면 해수의 심층 순환이 약해질 것이다.

04 대기 대순환과 표층 해류

대기 대순환에 의해 적도와 30°S 사이의 지표 부근에는 동풍 계열의 무역풍이, 30°S와 60°S 사이의 지표 부근에는 서풍 계열의 편서풍이, 60°S와 90°S 사이의 지표 부근에는 동풍 계열의 극동풍이 분다.

⊙. ㉠은 동풍 계열, ㉡은 서풍 계열의 바람이다.

✕. A 해역에는 한류인 페루 해류가, B 해역에는 난류인 브라질 해류가 흐른다. 용존 산소량은 한류가 난류보다 많으므로, 수온만을 고려할 때 표층 용존 산소량은 A 해역이 B 해역보다 많다.

✕. C 해역에는 남극 순환 해류가 흐른다. 남극 순환 해류는 편서풍인 ㉡의 영향으로 형성된다.

05 해수의 수온 연직 분포

혼합층은 바람의 혼합 작용으로 인해 깊이에 따라 수온이 거의 일정한 층이며, 수온 약층은 혼합층 아래에서 깊이가 깊어질수록 수온이 급격히 낮아지는 층이다.

⊙. 바람에 의한 혼합 작용이 없다면 수면에서 수온이 가장 높고, 수심이 깊어질수록 수온이 낮아져야 하므로 (나)의 결과는 ㉠이고, 선풍기 바람의 혼합 작용으로 깊이에 따라 수온이 일정한 구간이 있는 ㉡은 (다)의 결과이다.

✕. 구간 A는 깊이가 깊어질수록 수온이 급격히 낮아지는 수온 약층에 해당한다. 심해층의 수온은 계절에 관계없이 거의 일정하므로, 우리나라에서 수온 약층은 표층 수온이 높은 여름철이 표층 수온이 낮은 겨울철보다 뚜렷하다.

✕. ㉡에서 깊이에 따른 밀도 변화는 수온이 거의 일정한 1~3 cm 구간보다 깊이가 깊어질수록 수온이 낮아지는 3~5 cm 구간이 크다.

06 월별 연직 수온 분포

그림에서 깊이에 따라 수온이 거의 일정한 구간은 혼합층, 등수온선이 조밀한 구간은 수온 약층이다. 8월에는 혼합층이 가장 얇고 수온 약층이 뚜렷하게 발달하며, 2월에 가까울수록 대체로 혼합층은 두꺼워진다.

✕. 표층 수온이 높은 5월이 3월보다 수온 약층이 뚜렷하다.

⊙. 바람이 강하게 불면 표층 해수의 혼합 작용이 활발해져 혼합층의 두께가 두꺼워진다. 이 해역에서 혼합층의 두께는 여름철보

다 겨울철에 더 두꺼우므로, 해수면 부근에서 평균 풍속은 겨울철이 여름철보다 빠르다.

㉢. 최대 수온이 나타난 달은 표층에서는 8월, 깊이 20 m에서는 9월, 깊이 40 m에서는 10월이다. 따라서 표층에서 수심 100 m까지 수심이 깊어질수록, 각 깊이에서 최대 수온이 나타난 달이 점차 늦어지는 경향이 있다.

07 심층 순환의 세기 변화

표층 순환과 심층 순환은 서로 연결되어 거대한 컨베이어 벨트와 같이 흐르므로, 심층 순환에 변화가 일어나면 표층 순환에도 변화가 일어나 열 수송에 변화가 나타난다.

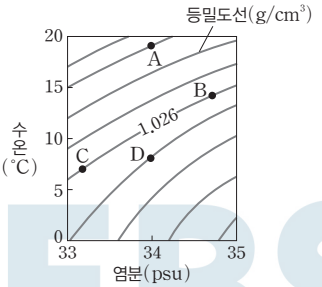
✕. A에서 침강이 강해지면 표층 순환이 강해져 저위도로부터의 열 수송이 활발하게 일어나므로 A에서 기온은 상승할 것이다.

㉡. 심층 순환과 표층 순환은 연결되어 저위도의 남는 열에너지를 고위도로 수송하는 역할을 한다. 따라서 B에서 A로의 열 수송이 약해지면 A에서는 기온이 하강하고 B에서는 기온이 상승할 것이다.

✕. 저위도에서 고위도로 이동하는 표층 해류가 강해지면 저위도에서 고위도로의 열 수송이 강해진다. 따라서 고위도 지역과 저위도 지역의 기온 차가 작아진다.

08 수온 염분도

수온 염분도는 해수의 특성을 나타내는 그래프로, 이를 이용하면 해수의 밀도를 알 수 있다. 해수의 밀도는 수온이 낮을수록, 염분이 높을수록 크다. 표층 해수 A～D를 수온 염분도에 나타내면 아래 그림과 같다.



✕. 해수의 밀도는 수온이 낮을수록, 염분이 높을수록 크므로 수온 염분도에서 오른쪽 아래로 갈수록 밀도가 크다. 따라서 A～D 중 밀도가 가장 큰 해수는 D이다.

✕. 수온만을 고려할 때, 산소 기체의 용해도는 B보다 수온이 낮은 D가 크다.

㉢. B의 밀도가 약 1.026 g/cm^{3}이므로 C의 밀도는 약 1.026 g/cm^{3}이다. C는 수온이 7 ℃이므로 밀도가 약 1.026 g/cm^{3}이려면 염분은 약 33.2 psu이다. 따라서 C의 염분은 34 psu보다 낮다.

09 북대서양 수괴

북대서양 심층수는 남극 중층수 아래에서 흐르고, 남극 저층수는 북대서양 심층수 아래에서 흐른다. 밀도가 큰 수괴가 더 아래쪽에 위치하므로 A는 북대서양 표층수, B는 남극 중층수, C는 북대서양 심층수, D는 남극 저층수이다.

㉠. A는 평균 밀도가 가장 작고 수온과 염분의 범위가 넓으므로 북대서양 표층수이다.

㉡. C는 북대서양 심층수로, 그린란드 해역에서 침강하여 형성된다.

㉢. 남극 저층수는 평균 밀도가 가장 큰 해수로, 대서양에서 수심이 가장 깊은 곳을 흐른다.

10 계절별 평균 혼합층의 두께

바람이 강할수록 해수의 연직 혼합이 활발하여 혼합층이 두껍게 형성된다.

㉠. A 해역에서 여름철 평균 혼합층의 두께는 20～40 m이고 겨울철 평균 혼합층의 두께는 140 m 이상이다. B 해역에서 여름철 평균 혼합층의 두께는 40～60 m이고 겨울철 평균 혼합층의 두께는 80～100 m이다. 따라서 계절에 따른 평균 혼합층의 두께 변화는 A 해역이 B 해역보다 크다.

㉡. A 해역에서 평균 혼합층의 두께는 겨울철이 여름철보다 두꺼우므로, 평균 풍속은 겨울철이 여름철보다 빠르다.

✕. 혼합층의 두께가 두꺼울수록 표층 해수의 연직 혼합이 활발하다. B 해역에서 평균 혼합층의 두께는 겨울철이 여름철보다 두꺼우므로 표층 해수의 연직 혼합은 겨울철이 여름철보다 활발하다.

11 북대서양의 표층 수온

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

㉠. A에는 래브라도 해류가, D에는 카나리아 해류가 흐른다. A와 D는 동일 위도의 주변 해역보다 수온이 낮다. 이는 고위도에서 저위도로 한류인 래브라도 해류와 카나리아 해류가 각각 흐르기 때문이다.

㉡. D는 위도가 비슷한 B보다 표층 수온이 낮으므로, 표층 해수의 평균 용존 산소량은 B보다 D가 많다.

㉢. C에는 북적도 해류가 흐른다. 북적도 해류는 무역풍의 영향으로 형성된 해류이다.

12 세계 해양의 용존 산소

북대서양 심층수는 대서양 서쪽을 따라 남하하여 남극 대륙 주변

에서 남극 저층수와 뒤섞이며, 남극 대륙 주위를 돌다가 인도양과 태평양으로 흘러 들어가 표층으로 상승한다.

✕. 표층에서는 해양 생물의 광합성에 의해 심층보다 용존 산소량이 많고 용존 이산화 탄소량은 적다. 이후 수심 약 1000 m까지는 해양 생물의 호흡 등에 의해 수심이 깊어질수록 용존 산소량이 적어지고 용존 이산화 탄소량은 많아진다. 따라서 (나)는 용존 산소량의 분포이고, (다)는 용존 이산화 탄소량의 분포이다.

㉡. 심층 순환의 흐름을 보면 북태평양의 심층 해수보다 북대서양의 심층 해수가 최근에 형성된 것이다. 따라서 북태평양의 심층수는 생물의 호흡과 유기물의 분해에 의해 용존 산소의 소비량과 용존 이산화 탄소의 축적량이 북대서양 심층수보다 많으므로, A는 북태평양이고 B는 북대서양이다.

㉢. 북대서양의 그린란드 해역에서 형성된 북대서양 심층수는 대서양 서쪽을 따라 이동하여 남극 대륙 주변에서 남극 저층수와 만나 인도양과 태평양까지 이동한다.

13 대서양의 심층 순환

심층 순환은 해수의 밀도 차에 의해 발생한다. 저위도에서 고위도로 이동하는 표층 해류가 주위로 열을 빼앗겨 수온이 낮아지거나, 극지방의 표층 해수가 얼면서 염분이 높아질 때 해수의 밀도가 커져 가라앉는다.

㉠. (가)에서 극 지역의 표층 해수가 적도 지역의 표층 해수보다 수온과 염분이 낮다. 따라서 대서양에서 심층 순환이 발생하는 원리를 이해하기 위해서는 적도 수조에는 극 수조보다 수온과 염분이 높은 물을 채워야 한다.

㉡. 적도 수조의 물보다 극 수조의 물의 밀도가 크다. 따라서 위쪽과 아래쪽 콕을 열면 아래쪽 연결관에서는 극 수조 쪽에서 적도 수조 쪽으로, 위쪽 연결관에서는 적도 수조 쪽에서 극 수조 쪽으로 물이 흐른다. 따라서 (나)의 위쪽과 아래쪽 콕을 열면 아래쪽 연결관에서 물은 ㉠ 방향으로 흐른다.

㉢. 해수의 밀도는 주로 수온과 염분에 의해 결정되며 수온이 낮을수록, 염분이 높을수록 밀도가 크다. 대서양 극 해역의 해수는 적도 해역의 해수보다 수온과 염분이 낮다. 대서양 극 해역의 해수는 적도 해역의 해수보다 염분이 낮지만, 밀도가 더 큰 이유는 수온이 낮기 때문이다. 따라서 대서양에서 심층 순환의 발생은 염분보다 수온의 영향을 더 많이 받는다.

14 북태평양의 표층 순환

북태평양에서 발생한 컨테이너선의 사고로 유실된 운동화는 북태평양 해류를 따라 동쪽으로 이동하였다.

㉠. 북태평양에서 발생한 컨테이너선의 사고로 유실된 운동화는 대부분 해류를 따라 동쪽으로 이동하였다. 30°N과 60°N 사이의 북태평양에서 서쪽에서 동쪽으로 흐르는 해류는 북태평양 해류이다. 따라서 ㉠ 해류는 북태평양 해류이다.

✕. ㉡ 해류는 동쪽으로 흐르던 북태평양 해류가 대륙과 부딪혀 남북 방향으로 갈라져 형성된 해류 중 남쪽으로 흐르는 캘리포니아 해류이다. 캘리포니아 해류는 한류이다. 한류는 주변 해역으로부터 열에너지를 흡수하므로 주변 지역의 기후가 서늘하다.

✕. B와 C 지점은 사고 지점인 A 지점과 거의 비슷한 거리에 위치한다. 하지만 C 지점까지 신발이 이동하려면 북태평양 해류와 캘리포니아 해류 등을 따라 더 먼 거리를 이동해야 한다. 따라서 B 지점에 신발이 도착한 시점보다 C 지점에 신발이 도착한 시점이 더 늦다.

15 대기 대순환과 기압대

적도 지역에는 저압대가 형성되고, 위도 30° 부근에서는 고압대가 형성된다.

㉠. 적도 지역은 저압대가 형성되므로 상승 기류가 발달하여 강수량이 많다. 따라서 A는 평균 해면 기압, B는 (강수량−증발량)이다.

㉡. 표층 해수의 평균 염분은 (강수량−증발량)이 작을수록 높다. 따라서 (강수량−증발량)이 큰 적도 지역보다 (강수량−증발량)이 작은 ㉠ 해역에서 표층 해수의 평균 염분이 높다.

✕. ㉡ 해역은 남반구에서 중위도 고압대(위도 30° 부근)와 한대 전선대(위도 60° 부근) 사이에 위치하므로 지표 부근에서 편서풍이 분다. 따라서 ㉡ 해역에서는 편서풍의 영향으로 서쪽에서 동쪽으로 남극 순환 해류가 흐른다.

16 우리나라 주변의 표층 해류

우리나라는 북태평양의 아열대 순환을 이루는 쿠로시오 해류의 영향을 받는다.

㉠. 쿠로시오 해류는 동중국해에서 북상하여 일본 동쪽 해역으로 흐르는 해류이고, 동한 난류는 우리나라 동해안을 따라 북상하는 해류이다. (가)에서 동한 난류가 흐르는 해역보다 쿠로시오 해류가 흐르는 해역의 유속이 빠르므로 동한 난류보다 쿠로시오 해류의 유속이 빠르다.

㉡. 사고 지점을 지나는 해류는 동중국해에서 북상하여 일본 동쪽 해역으로 흐르는 쿠로시오 해류이다. 오염물의 확산 모습에서도 확인할 수 있듯이 쿠로시오 해류의 일부는 우리나라의 남해와 동해로 흘러간다.

㉢. 동중국해에서 유조선 사고에 의해 오염된 해수의 일부는 동한 난류를 따라 동해로 유입된다. 동한 난류는 겨울철보다 여름철에 더 북쪽까지 흐르므로, 여름철인 7월에 사고가 발생했다면 우리나라 동해로 유입되는 오염물은 더 고위도까지 이동했을 것이다.

07 대기와 해양의 상호 작용

2점 수능 테스트

본문 128~131쪽

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

01 용승과 침강

용승은 표층 해수의 발산에 의해 심층의 찬 해수가 표층으로 올라오는 현상이고, 침강은 표층 해수의 수렴 또는 냉각에 의해 표층 해수가 심층으로 내려가는 현상이다.

✕. (가)의 해역에서는 바람이 시계 방향으로 불고 있다. 따라서 (가)는 중심에 고기압이 위치한 해역으로 고기압성 바람이 불고 있다.

✕. 북반구에서는 시계 방향으로 지속적으로 부는 고기압성 바람에 의해 고기압 중심부의 표층 해수가 수렴하여 침강이 일어난다. 한편 남반구 대륙의 서해안에서 남풍이 지속적으로 불 때 연안 용승이 일어나므로, (나)의 해안 지역에서는 연안 용승이 일어난다.

㉢. (나)의 해안 지역에서는 연안 용승이 일어난다. 따라서 심층에서 올라온 찬 해수의 영향으로 대기가 냉각되어 안개가 자주 발생한다.

02 지구의 열수지

지구는 복사 평형을 이루고 있다. 지구 전체에서 에너지 흡수량과 방출량은 같고, 대기에서 에너지 흡수량과 방출량은 같으며, 지표면에서 에너지 흡수량과 방출량은 같다.

㉠. 지표면에서 에너지 흡수량과 방출량은 같으므로, (지표면에 흡수되는 태양 복사 에너지양 45 단위+대기로부터 지표면에 흡수되는 에너지양 B)와 (지표면에서 대류·전도·잠열에 의해 방출하는 에너지양 29 단위+지표면에서 복사로 방출하는 에너지양 A)는 같다. 따라서 45+B=29+A이므로 A와 B의 차는 16이다.

㉡. 대기 중 온실 기체의 농도가 높아지면 지구 온난화에 의해 지표의 온도가 상승한다. 지표의 온도가 상승하면 지표로부터 복사의 형태로 방출되는 에너지양 A가 증가한다.

✕. 대규모 화산 분출에 의해 대기로 분출된 화산재가 성층권까지 올라가면 지구의 반사율이 높아진다. 따라서 대규모 화산 분출은 C를 증가시키는 역할을 한다.

03 엘니뇨와 라니냐

엘니뇨 시기에 평상시보다 무역풍의 세기가 약해지면 해수면이 높은 서태평양에서 동쪽으로 따뜻한 해수가 이동하여 동태평양 적도 부근 해역의 해수면 높이가 평상시보다 높아진다. 이 시기는 해수면 높이 편차가 동태평양 적도 부근 해역에서 (+) 값이고 서태평양 적도 부근 해역에서 (−) 값이므로 엘니뇨 시기이다.

✕. 엘니뇨 시기에는 평상시보다 무역풍의 세기가 약하다.

㉡. 엘니뇨 시기에는 평상시에 비해 워커 순환의 상승 영역이 동쪽으로 이동하고, 서태평양 적도 부근 해역에는 고기압이 형성된다. 따라서 서태평양 적도 부근 해역은 평상시보다 강수량이 적다.

✕. 엘니뇨 시기에 무역풍의 세기가 약해지면 서태평양 적도 부근 해역에서 따뜻한 해수가 동쪽으로 이동하고, 페루 연안의 용승이 평상시보다 약해진다. 따라서 동태평양 적도 부근 해역의 표층 수온이 평상시보다 높다.

04 지구의 공전 궤도 이심률 변화와 기후 변화

지구의 공전 궤도는 약 10만 년을 주기로 원에 가까워졌다가 좀 더 납작한 타원 모양으로 변한다. 지구의 공전 궤도 이심률이 커지면 북반구에서 여름(원일점 부근)에는 태양과 지구 사이의 거리가 멀어지고 겨울(근일점 부근)에는 태양과 지구 사이의 거리가 가까워지므로, 기온의 연교차가 작아진다.

㉠. 지구의 공전 궤도가 원에 가까울수록 공전 궤도 이심률이 작고, 납작한 타원일수록 공전 궤도 이심률이 크다. 따라서 지구의 공전 궤도 이심률은 A일 때가 B일 때보다 크다.

✕. 지구의 공전 궤도 이심률이 커지면 북반구에서 여름에는 태양과 지구 사이의 거리가 멀어지고 겨울에는 태양과 지구 사이의 거리가 가까워지므로, 기온의 연교차가 작아진다. 따라서 우리나라 기온의 연교차는 공전 궤도 이심률이 큰 A일 때가 B일 때보다 작다.

✕. A 시기에 남반구는 지구가 원일점에 위치할 때보다 근일점에 위치할 때 태양의 남중 고도가 높다. 따라서 A 시기에 지구가 근일점에 위치할 때 남반구는 여름철이다.

05 지구 온난화

대기 중의 온실 기체가 증가함에 따라 온실 효과가 증대되어 지구의 평균 기온이 상승하는 현상을 지구 온난화라고 한다.

㉠. 화석 연료 사용량의 증가로 인해 대기 중 온실 기체의 양이 증가하고 있다. 따라서 '화석 연료의 연소'는 ㉠에 해당한다.

✕. 해수의 온도가 상승하면 표층 해수의 밀도 감소 효과가 심층 해수의 밀도 감소 효과보다 훨씬 크게 나타나고, 이로 인해 표층 해수와 심층 해수의 밀도 차가 더욱 커지게 되어 해수의 연직 순환이 약해질 것이다.

㉢. 지구 온난화에 의해 대륙 빙하의 면적이 감소하면 지표면의 반사율이 감소(㉣)하고 해수면의 높이가 상승하여 육지의 면적이 감소(㉤)한다.

06 기후 변화 요인

기후 변화를 일으키는 요인은 크게 자연적 요인과 인위적 요인으로 나눌 수 있고, 자연적 요인은 다시 지구 외적 요인과 지구 내적 요인으로 세분될 수 있다.

④ (가) 수륙 분포의 변화는 기후 변화의 자연적 요인 중 지구 내적 요인인 ㉡에 해당한다.

(나) 화석 연료의 사용량 증가는 기후 변화의 인위적 요인인 ㉢에 해당한다.

(다) 태양의 흑점 수 증가는 기후 변화의 자연적 요인 중 지구 외적 요인인 ㉠에 해당한다.

07 지구 자전축 경사각과 경사 방향의 변화

지구 자전축 경사각은 약 41000년을 주기로 약 21.5°～24.5° 사이에서 변한다. 지구 자전축은 약 26000년을 주기로 회전하는데, 이를 세차 운동이라고 한다. 세차 운동에 의해 약 13000년 후에는 지구 자전축의 경사 방향이 현재와 반대가 된다.

✕. (나)일 때는 지구 자전축 경사각이 현재보다 작으므로, 우리나라의 여름철에는 태양의 남중 고도가 현재보다 낮아 기온이 낮고 겨울철에는 태양의 남중 고도가 현재보다 높아 기온이 높다. 따라서 (나)일 때는 현재인 (가)일 때보다 기온의 연교차가 작다.

✕. 현재 남반구는 근일점에서 여름이지만, (다)일 때는 지구 자전축의 경사 방향이 현재와 반대이므로 원일점에서 여름이 된다. 따라서 30°S에서 여름철 평균 기온은 (다)보다 현재인 (가)일 때 높다.

㉢. 지구 자전축 경사각만을 고려하면 (다)일 때보다 (나)일 때 지구 자전축 경사각이 작으므로, 우리나라의 겨울철에는 태양의 남중 고도가 높아 기온이 높다. 지구 자전축의 경사 방향만을 고려하면 (나)일 때는 근일점에서 겨울이고 (다)일 때는 원일점에서 겨울이므로, 겨울철 평균 기온이 (다)일 때보다 (나)일 때 높다. 따라서 지구 자전축 경사각과 지구 자전축의 경사 방향을 모두 고려하면 우리나라의 겨울철 평균 기온은 (다)일 때보다 (나)일 때 높다.

08 화산 폭발에 의한 기후 변화

대규모 화산이 폭발하여 대기로 분출된 화산재가 성층권까지 올라가면 지구의 반사율이 증가한다.

㉠. 화산 활동은 기후 변화를 일으키는 자연적 요인 중 지구 내적 요인에 해당한다.

㉡. 화산 분출 이후에는 지구의 기온이 낮아질 수 있는데, 이는 성층권까지 올라간 화산재가 태양 복사 에너지를 반사하거나 산란시켜 대기 투과율을 낮추기 때문이다.

✕. 성층권까지 올라간 화산재는 지구의 반사율을 높이므로 지표면에 도달하는 태양 복사 에너지양이 감소한다. 화산재는 지표면에 도달하는 태양 복사 에너지 변화량에 가장 큰 영향을 준 화산 분출물이다.

09 엘니뇨와 라니냐

라니냐 시기에 평상시보다 무역풍의 세기가 강해지면 동쪽에서 서쪽으로 흐르는 해류의 양이 증가하여 동태평양 페루 연안의 용승이 평상시보다 강해진다. 따라서 라니냐 시기에는 동태평양 적도 부근 해역의 표층 수온이 평상시보다 낮다.

㉠. A 시기에는 동태평양 적도 부근 해역의 표층 수온이 평상시보다 낮고, 동풍 계열의 풍속이 평상시보다 빠르다. 따라서 A 시기는 무역풍의 세기가 평상시보다 강한 라니냐 시기이다.

✕. 라니냐 시기에는 동쪽에서 서쪽으로 흐르는 해류의 양이 증가하므로, 동태평양 적도 부근 해역의 해수면 높이가 평상시보다 낮다.

✕. 라니냐 시기에는 워커 순환이 강해지므로, 서태평양 적도 부근 해역에서는 평상시보다 상승 기류가 강하다.

10 고기후 연구 방법

비교적 짧은 기간 동안 변하는 대기의 상태를 일기 또는 기상이라고 하며, 기후는 오랜 기간의 기상 평균을 말한다. 지질 시대의 기후는 빙하 시추물, 나무 나이테, 화석 등의 연구로부터 알아낸다.

Ⓐ. 빙하는 해마다 내린 눈이 오랫동안 겹겹이 쌓여 만들어지기 때문에 눈이 얼음이 될 때 그 안에 공기가 갇히게 된다. 따라서 빙하 얼음 속 공기 성분은 빙하가 만들어질 당시의 대기 성분을 나타낸다.

Ⓑ. 기온이 높고 강수량이 많은 해에는 나무들의 성장이 빨라서 나이테의 간격이 넓다.

✕. 과거의 기후를 유추할 때 사용되는 화석으로는 지질 시대를 알려주는 표준 화석보다 지질 시대의 환경을 알려주는 시상 화석이 더 적합하다.

11 기후 변화 요인

기후 변화의 자연적 요인과 인위적 요인을 함께 고려했을 때 관측된 기온 변화와 비슷한 경향을 나타낸다.

㉠. 현재의 지구 온난화는 기후 변화의 자연적 요인보다 인위적 요인에 의해 나타나므로, 관측된 기온 변화에 더 큰 영향을 준 ㉠은 인위적 요인이다.

㉡. ㉡은 기후 변화의 자연적 요인만을 고려한 경우이며 태양 활동 변화, 화산 폭발 등은 기후 변화의 자연적 요인에 해당한다.

㉢. 그래프의 기울기는 1960년 이전보다 이후가 크므로 평균 기온 상승률은 1960년 이전보다 이후가 더 크다.

12 세계 주요 용승 해역

적도 부근 해역에서는 무역풍에 의해 적도를 중심으로 표층 해수가 북반구는 북쪽으로, 남반구는 남쪽으로 이동하기 때문에 이를 채우기 위해 용승이 일어난다.

✕. A 해역에서는 표층 해수가 먼 바다로 이동하므로 평균 해수면의 높이는 A 해역보다 주변 해역이 높다.
㉡. 적도 부근 해역에서는 무역풍에 의해 적도를 중심으로 표층 해수가 발산하여 이를 채우기 위해 용승이 일어난다. 따라서 무역풍의 세기가 강해지면 B 해역의 용승이 강해진다.
㉢. 남반구에서는 표층 해수가 풍향의 왼쪽으로 이동하므로, C 해역에서는 남풍 계열의 바람이 지속적으로 불어 용승이 일어난다.

13 엘니뇨와 라니냐

열대 태평양에서는 무역풍에 의해 동쪽의 해수가 서쪽으로 이동한다. 평상시에 서태평양에서는 기압이 낮고 따뜻한 공기가 상승하며, 동태평양에서는 기압이 높고 찬 공기가 하강한다.
㉠. 엘니뇨 시기에는 서태평양 적도 부근 해역의 기압이 평상시보다 높고, 동태평양 적도 부근 해역의 기압이 평상시보다 낮다. 따라서 (가)는 엘니뇨 시기, (나)는 라니냐 시기이다.
㉡. 무역풍의 세기는 엘니뇨 시기보다 라니냐 시기에 강하므로 (가)보다 (나) 시기에 강하다.
㉢. 동태평양 적도 부근 해역의 연안 용승은 엘니뇨 시기보다 동쪽에서 서쪽으로의 해수의 이동이 강한 라니냐 시기에 활발하다.

14 기후 변화 요인

기후 변화 요인에는 태양 활동의 변화와 같은 지구 외적 요인과 화산 활동, 지표면 상태의 변화와 같은 지구 내적 요인이 있다.
✕. 태양의 흑점 수가 많을 때 태양 활동이 활발하며, 태양 활동이 활발하면 지구에 도달하는 태양 복사 에너지양이 증가하여 기후 변화가 일어날 수 있다. 태양의 흑점 수 증가는 기후 변화의 지구 외적 요인이다.
㉡. 산업 활동이나 화석 연료 사용 과정에서 대기로 배출된 에어로졸은 지표면에 도달하는 태양 복사 에너지양을 감소시켜 대체로 지구의 기온을 낮추는 역할을 한다.
㉢. 극지방의 빙하 면적 변화는 지표면의 반사율을 변화시켜 지표에 흡수되는 태양 복사 에너지양을 달라지게 하므로 기후가 변한다. 북극해의 빙하 면적이 감소하면 반사율이 감소하여 북극 지역의 지표에 흡수되는 태양 복사 에너지양이 증가한다.

15 라니냐

남적도 해류는 남동 무역풍의 영향으로 형성된다.
④ 무역풍의 세기가 강해지면 남적도 해류의 세기가 강해지므로, 이 시기는 라니냐(㉠)가 발생한 시기이다. 라니냐 시기에는 동쪽에서 서쪽으로의 해수 이동이 강해지므로, 서태평양 적도 부근 해역의 평균 해수면 높이는 평상시보다 높고(㉡), 동태평양 적도 부근 해역의 표층 수온은 평상시보다 낮다(㉢).

16 우리나라의 기후 변화

우리나라의 기후는 점차 고온 다습한 기후로 변해가고 있으며, 주요 작물 재배지가 북상하고 있다.
㉠. 최근 30년 동안 우리나라의 평균 기온은 약 13.7 ℃로 과거 30년(1910년~1939년) 동안의 평균 기온보다 약 1.6 ℃ 상승하였다. 같은 시기에 지구의 평균 기온은 약 0.8 ℃ 상승하였으므로, 우리나라의 평균 기온은 지구의 평균 기온보다 약 2배 크게 상승하였다.
㉡. 지구 온난화가 가속화되어 기온이 계속 상승하면 여름의 길이가 길어지고 폭염 일수가 증가한다.
㉢. 최근 110년 동안 우리나라의 평균 기온이 상승하였으며, 기온이 상승하면 그 결과 해수면의 높이가 높아진다.

3회 수능 테스트

본문 132~139쪽

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

01 세차 운동과 지구 자전축 경사각의 변화

지구의 자전축은 약 26000년을 주기로 회전하는데, 이를 세차 운동이라고 한다. 세차 운동에 의해 지구의 자전축은 약 13000년마다 경사 방향이 반대가 되어 여름과 겨울이 나타나는 공전 궤도상의 위치도 반대가 되므로 기후 변화가 일어난다. 지구 자전축 경사각은 약 41000년을 주기로 약 21.5°~24.5° 사이에서 변한다.

✗. 지구 자전축의 경사각이 변하면 각 위도의 지표에 입사되는 태양 복사 에너지양이 달라지지만, 지구에 입사되는 총 태양 복사 에너지양은 변하지 않는다. 따라서 A일 때와 B일 때의 연평균 기온은 같다.

ㄴ. 북극이 ㉠에 위치할 때보다 ㉡에 위치할 때 지구 자전축 경사각이 작다. 따라서 북극이 ㉠에 위치할 때보다 ㉡에 위치할 때 북반구 여름철에는 태양의 남중 고도가 낮아 평균 기온이 낮다.

✗. 북극이 ㉠에 위치할 때 남반구는 근일점에서 여름이고 원일점에서 겨울이지만, 북극이 ㉢에 위치할 때는 지구 자전축의 경사 방향이 현재와 반대이므로 남반구는 원일점에서 여름이고 근일점에서 겨울이다. 따라서 남반구 중위도 지역의 기온의 연교차는 북극이 ㉠에 위치할 때보다 ㉢에 위치할 때 작다.

02 연안 용승

표층 해수가 외해로 이동하여 연안의 해수면이 낮아지면 이를 보충하기 위해 심층의 찬 해수가 올라오는 용승이 일어난다.

ㄱ. 연안보다 외해 쪽의 해수면 높이가 높은 것으로 보아 표층 해수는 연안에서 외해 쪽으로 이동한다. 따라서 이 해역에서 표층 해수는 주로 A에서 B 쪽으로 이동한다.

✗. 표층 해수는 주로 A에서 B 쪽으로 이동하므로 연안에서는 이를 보충하기 위해 심층의 찬 해수가 올라오는 용승이 일어난다. 따라서 표층 수온은 A가 B보다 낮다.

ㄷ. 해수면 위에서 바람이 한 방향으로 지속적으로 불면 바람에 의해 해수가 이동한다. 지속적으로 부는 바람에 의한 평균적인 해수의 이동은 북반구에서는 바람 방향에 대해 오른쪽 90° 방향으로, 남반구에서는 바람 방향에 대해 왼쪽 90° 방향으로 일어난다. 이 해역에서는 북서풍이 지속적으로 불고 있고 표층 해수가 연안에서 외해 쪽으로 이동하였으므로 바람 방향에 대해 오른쪽 90° 방향으로 이동하였다. 따라서 이 해역은 북반구에 위치한다.

03 엘니뇨와 라니냐

구름의 양이 많아지거나 적운형 구름이 발달하면 적외선 복사 에너지양의 편차(관측값－평년값)가 (－) 값이 된다. 서태평양 적도 부근 해역은 적외선 복사 에너지양의 편차(관측값－평년값)가 (－) 값이므로, 평상시보다 저기압이 더욱 발달하여 구름의 양이 많아졌다. 따라서 이 시기는 라니냐 시기이다.

ㄱ. 라니냐 시기에는 평상시보다 서태평양 적도 부근 해역에 저기압이 더욱 발달하고 동태평양 적도 부근 해역에 고기압이 더욱 발달하므로, 평상시보다 워커 순환이 강하다.

✗. 라니냐 시기에는 평상시보다 서태평양 적도 부근 해역에 저기압이 더욱 발달하므로 강수량이 많다.

✗. 라니냐 시기에는 평상시보다 무역풍이 강하므로 동태평양 적도 부근 해역에서 용승이 강해져 수온 약층이 나타나기 시작하는 깊이가 얕다.

04 동해 연안의 냉수대

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.

ㄱ. 동해안에 냉수대가 형성되는 것은 심층의 찬 해수가 올라와 연안 용승이 일어났기 때문이다. 동해안에서 연안 용승이 일어나려면 남풍 계열의 바람이 지속적으로 불어야 한다. 따라서 남풍은 ㉠에 해당한다.

✗. ㉡에 해당하는 적절한 용어에는 '연안 용승'이 있다.

✗. 우리나라 동해안에 냉수대가 형성되기 위해서는 남풍이 지속적으로 불어야 하는데, 우리나라에서 남풍은 겨울철보다 여름철에 우세하다. 따라서 이러한 예보는 겨울철보다 여름철에 자주 발령된다.

05 북반구 저기압과 용승

북반구 저기압에서는 시계 반대 방향으로 부는 바람에 의해 해수의 이동이 일어나 표층에서는 해수가 발산하면서 용승이 일어난다.

ㄱ. 혼합층의 두께는 8월 3일에는 약 30 m이고 8월 13일에는 약 50 m이다. 따라서 혼합층의 두께는 8월 3일보다 8월 13일에 더 두껍다. 태풍의 영향을 받을 때는 강한 바람에 의해 해수의 혼합 작용이 활발해지므로 혼합층의 두께가 두꺼워진다.

ㄴ. 8월 8일부터 8월 13일 사이에 혼합층 아래의 21 ℃, 22 ℃의 등수온선 깊이가 점차 얕아지고 있다. 이것은 태풍의 영향으로 표층에서 해수가 발산하면서 용승이 일어났기 때문이다.

✗. 심층의 해수에는 심층으로 가라앉은 유기물이 분해되어 생성된 질산염, 인산염 등의 영양염이 풍부하다. 8월 3일보다 8월 13일에 식물성 플랑크톤의 농도가 높은 것은 용승에 의해 표층 해수에 영양염이 많이 공급되어 식물성 플랑크톤이 번성하였기

때문이다. 따라서 표층 영양염의 농도는 8월 3일보다 용승이 일어난 8월 13일에 높다.

06 엘니뇨와 라니냐

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

㉠. 엘니뇨 시기에는 무역풍이 약해지면서 동태평양 적도 부근 연안의 용승이 약해지고, 서태평양 적도 부근 해역의 따뜻한 해수가 동쪽으로 이동하여 중앙 태평양 적도 부근 해역의 표층 수온이 평상시보다 상승한다. 따라서 엘니뇨 시기에는 엘니뇨 감시 구역의 수온 편차(관측값－평년값)가 (＋) 값이다. 한편 라니냐 시기에는 엘니뇨 감시 구역의 수온 편차(관측값－평년값)가 (－) 값이다. 따라서 A는 엘니뇨 시기, B는 라니냐 시기이다.

✕. 물리량 P는 엘니뇨 시기에는 크고 라니냐 시기에는 작다. 엘니뇨 시기에는 공기가 상승하는 지역과 구름대가 평상시보다 동쪽으로 이동하므로 서태평양 적도 부근 해역은 평상시보다 강수량이 적다. 따라서 서태평양 적도 부근 해역의 강수량은 물리량 P로 적절하지 않다. 서태평양 적도 부근 해역의 기압 등이 물리량 P에 해당할 수 있다.

㉢. 동태평양 적도 부근 해역의 용승은 엘니뇨 시기보다 라니냐 시기에 활발하게 일어나므로 A 시기보다 B 시기에 강하다.

07 열대 태평양의 대기 순환

평상시에 열대 서태평양은 따뜻한 해수로부터 열과 수증기를 공급받은 공기가 상승하여 강수대가 형성되고, 열대 동태평양은 찬 공기가 하강하여 동서 방향의 거대한 대기 순환인 워커 순환이 형성된다. 엘니뇨 시기에는 평상시보다 워커 순환의 상승 영역이 동쪽으로 이동하고, 라니냐 시기에는 평상시보다 서태평양에서 상승 기류가 강해진다. 따라서 (가)는 라니냐 시기, (나)는 엘니뇨 시기이다.

✕. 무역풍의 세기는 엘니뇨 시기인 (나) 시기보다 라니냐 시기인 (가) 시기에 강하다.

㉡. 엘니뇨 시기에는 평상시보다 워커 순환의 상승 영역이 동쪽으로 이동하여 서태평양 적도 부근 해역은 기압이 높아지고, 라니냐 시기에는 평상시보다 동쪽에서 서쪽으로 따뜻한 해수의 이동이 강해져 서태평양 적도 부근 해역은 기압이 낮아진다. 따라서 서태평양 적도 부근 해역의 평균 해면 기압은 라니냐 시기인 (가) 시기보다 엘니뇨 시기인 (나) 시기에 높다.

㉢. 동태평양 적도 부근 해역에서 따뜻한 해수층의 두께는 엘니뇨 시기에는 두꺼워지고, 라니냐 시기에는 얇아진다. 따라서 혼합층의 두께는 라니냐 시기인 (가) 시기보다 엘니뇨 시기인 (나) 시기에 두껍다.

08 과거의 기후 변화

빙하 코어에 포함된 이산화 탄소, 산소, 메테인 등을 분석하면 각 성분의 농도 변화와 과거의 기온 변화를 유추할 수 있다.

㉠. 해수면 높이는 기온이 높아 기온 편차가 (＋) 값이고 얼음 부피가 작은 B 시기가 A 시기보다 높다.

㉡. 얼음은 물이나 토양, 숲 등에 비해 태양 복사 에너지의 반사율이 높으므로, 지구의 얼음 부피가 클수록 태양 복사 에너지 반사율이 높다. 따라서 A 시기가 B 시기보다 지구의 태양 복사 에너지의 반사율이 높다.

㉢. 기온 편차가 커질 때 지구의 얼음 부피는 작아지고, 기온 편차가 작아질 때 지구의 얼음 부피는 커진다. 따라서 기온 편차와 지구의 얼음 부피는 대체로 반대 경향을 보인다.

09 엘니뇨와 라니냐

엘니뇨 시기에는 평상시보다 무역풍이 약해져 동태평양 적도 부근 해역에서 용승이 약해지고, 서태평양의 따뜻한 해수가 동태평양으로 이동하여 동태평양 적도 부근 해역의 따뜻한 해수층이 두꺼워진다. 따라서 엘니뇨 시기에 수온 약층이 나타나기 시작하는 깊이 편차(관측값－평년값)는 서태평양에서는 (－) 값이고, 동태평양에서는 (＋) 값이다. 라니냐 시기에는 평상시보다 무역풍이 강해져 동태평양 적도 부근 해역에서 용승이 강해지고, 동태평양의 해수가 서태평양으로 더 강하게 이동하여 서태평양 적도 부근 해역의 따뜻한 해수층이 두꺼워진다. 따라서 라니냐 시기에 수온 약층이 나타나기 시작하는 깊이 편차(관측값－평년값)는 서태평양에서는 (＋) 값이고, 동태평양에서는 (－) 값이다. A는 엘니뇨 시기, B는 라니냐 시기이다.

✕. 무역풍의 세기는 라니냐 시기가 엘니뇨 시기보다 강하므로, B 시기가 A 시기보다 강하다.

㉡. 서태평양 적도 부근 해역의 해수면 높이는 동태평양에서 서태평양으로의 해수 이동이 강해지는 B 시기가 A 시기보다 높다.

㉢. 엘니뇨 시기에 서태평양의 따뜻한 해수가 동태평양으로 이동하므로, 동태평양 적도 부근 해역의 표층 수온이 상승한다. 따라서 A 시기에 동태평양 적도 부근 해역의 수온 편차(관측값－평년값)는 (＋) 값이다.

10 그린란드와 남극 대륙 빙하의 변화량

지구 온난화의 영향으로 그린란드 빙하, 남극 대륙 빙하 등의 대륙 빙하가 녹아 해양으로 흘러 들어가면 해수면의 높이가 상승한다.

㉠. 최근 지구 온난화로 인해 지구의 평균 기온이 상승하여 빙하가 빠른 속도로 녹고 있다.

㉡. 그래프에서 그린란드는 2007년부터 시작하여 온실 기체가 현재의 추세로 배출될 때 다양한 모델에 의해 예측된 빙하의 총 누적 변화량보다 실제 손실량이 큰 것으로 나타난다.

ㄷ. 그린란드와 남극 대륙 빙하의 총 누적 변화량 그래프의 기울기를 보면 2007년 이전보다 2007년 이후에 빙하가 급격하게 감소한다. 따라서 그린란드와 남극 대륙의 빙하 손실량만을 고려할 때, 2007년 이후가 이전보다 해수면 상승률이 높다.

11 지구의 공전 궤도 이심률 변화와 세차 운동

지구의 공전 궤도 이심률 변화에 의해 계절에 따라 지구에 도달하는 태양 복사 에너지양이 달라진다. 지구 자전축의 경사 방향이 달라지는 세차 운동의 영향으로 공전 궤도상의 위치에서 계절이 달라진다.

ㄱ. 지구의 공전 궤도 이심률이 현재보다 크면 근일점 거리는 현재보다 가깝고 원일점 거리는 현재보다 멀다. 따라서 원일점과 근일점에서 지구가 받는 태양 복사 에너지양 차이는 현재보다 ㉠ 시기가 크다.

✕. 현재는 지구가 근일점에 있을 때 북반구는 겨울이고 원일점에 있을 때 여름이다. ㉠ 시기에는 지구가 근일점에 있을 때 북반구는 여름이고 원일점에 있을 때 겨울이다. 또한 ㉠ 시기에는 현재보다 지구의 공전 궤도 이심률이 크므로, 여름인 근일점 거리는 현재보다 가깝고 겨울인 원일점 거리는 현재보다 멀다. 따라서 우리나라에서 여름철 평균 기온은 현재보다 ㉠ 시기에 높고, 겨울철 평균 기온은 현재보다 ㉠ 시기에 낮다.

ㄷ. ㉡ 시기에 지구의 자전축 경사 방향은 현재와 같고, 공전 궤도 이심률은 현재보다 작다. 공전 궤도 이심률이 현재보다 작으면 근일점 거리는 현재보다 멀고 원일점 거리는 현재보다 가깝다. 남반구는 지구가 근일점에 있을 때 여름이고 원일점에 있을 때 겨울이므로, 공전 궤도 이심률이 작아지면 여름일 때 태양과의 거리가 멀어지고 겨울일 때 태양과의 거리가 가까워져 기온 연교차는 작아진다. 따라서 남반구의 기온 연교차는 현재보다 ㉡ 시기에 작다.

12 지구 온난화와 빙하 면적 변화

북극해 빙하가 녹으면 극지방의 지표면 반사율이 낮아지므로 지표가 흡수하는 태양 복사 에너지양이 증가한다.

ㄱ. 북극해 빙하가 녹으면 극지방의 지표면 반사율이 낮아지므로 북극해의 지구 온난화 속도는 전 지구 평균보다 빠르다. 1980년부터 2021년까지 평균 기온이 (나)는 약 2.5 ℃ 상승하였고 (다)는 약 0.9 ℃ 상승하였으므로, 기온 상승률은 (다)보다 (나)가 크다. 따라서 (나)는 북극해의 평균 기온 편차(관측값－기준값)이다.

✕. 최근 30년 동안 북극해에서 얼음 면적의 변화율은 3월보다 9월에 크다. 따라서 태양 복사 에너지 반사율의 변화는 9월이 3월보다 크다.

ㄷ. 지구 온난화의 영향으로 북극해 표층 해수의 평균 수온은 현재가 1980년보다 높고, 북극해 표층 해수의 평균 염분은 해빙으로 인해 현재가 1980년보다 낮다. 따라서 북극해 표층 해수의 평균 밀도는 현재보다 1980년에 크다.

13 한반도 기후 변화 시나리오

과학자들은 미래 온실 기체 배출량 추이에 따라 여러 가지 시나리오를 예상하고, 각각에 대해 기후가 어떻게 변할지 기후 모형을 이용하여 예측한다.

ㄱ. 온실 기체 배출량이 많을수록 지구 온난화에 따른 기온 상승률이 높으므로 ㉠이 고농도 배출 시나리오이다.

ㄴ. 최근 30년 동안은 과거 30년 동안에 비해 여름의 길이가 길고 겨울의 길이가 짧으므로 평균 기온이 높다.

ㄷ. 과거 30년(1912년～1941년: 안쪽), 지난 30년(1981년～2010년: 중간), 최근 30년(1991년～2020년: 바깥쪽) 동안의 겨울 길이는 각각 109일, 94일, 87일로 계속 감소하는 추세이다. 앞으로도 온실 기체가 지속적으로 배출되어 지구 온난화가 지속되면 우리나라의 겨울 일수는 대체로 감소할 것이다.

14 기후 변화 대책

기후 변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC)에서 지구 온난화를 막기 위해 지구 공학을 기술적인 대안의 하나로 검토하고 있다. 지금까지 제안된 지구 공학의 대표적인 대안에는 대기 중 이산화 탄소 농도를 줄이는 방법인 해양 비옥화, 이산화 탄소 포집 기술과 지구에 흡수되는 태양 복사 에너지양을 줄이는 방법인 우주 반사막, 성층권 에어로졸 투입 등이 있다.

ㄱ. 지구 온난화를 막기 위해서는 대기 중으로 방출되는 온실 기체의 양을 줄이는 것이 중요하다. 탄소 다배출 에너지원인 화석 연료의 사용량을 줄이고 태양광 발전을 늘리면 대기 중으로 방출되는 온실 기체의 양을 줄일 수 있다.

ㄴ. 해양 비옥화는 해양 식물의 광합성을 활발하게 하여 대기 중 이산화 탄소를 제거한다.

✕. 우주 반사막은 지구의 태양 복사 에너지 반사율을 증가시킨다.

15 지구의 열수지

지구 대기의 온실 기체가 증가하면 대기에서 흡수하는 복사 에너지양이 증가하여 지표로 재복사되는 에너지양과 지표 복사 에너지양이 증가한다.

✕. 지표에서 방출되는 총 에너지양은 지표에서 흡수되는 총 에너지양과 같다. 따라서 (가)에서 지구에 입사하는 태양 복사 에너지양이 100이므로, 지구가 방출하는 복사 에너지양 A도 100이다. (나)에서 지표가 흡수하는 에너지양은 태양 복사 에너지의 지표 흡수량(45)과 대기의 재방출 에너지 중 지표 흡수량(88)이고, 지표가 방출하는 에너지양은 대류·전도·숨은열(29)과 지표 복사 에너지양(B)이므로 B는 104이다. 따라서 A＜B이다.

ㄴ. 지구 대기 중의 온실 기체가 증가하면 대기에서 흡수하는 복사 에너지양이 증가하여 지표로 재복사되는 에너지양과 지표 복사 에너지양이 증가한다. 따라서 대기 중 이산화 탄소 농도가 증가하면 지표 복사 에너지양 B가 증가한다.
ㄷ. 지표면의 평균 온도는 에너지 방출량이 많을수록 높다. (가)에서 지표면은 100 단위를 방출하고 (나)에서 지표면은 133 단위를 방출하므로, 지표면의 평균 온도는 (가)일 때보다 (나)일 때 높다.

16 대기 중 이산화 탄소 농도 변화와 기온 변화

과거 약 42만 년 동안 대기 중 이산화 탄소 농도는 현재보다 대체로 낮았으며, 시기별로 증감을 반복하였다.
ㄱ. 그래프에서 대기 중 이산화 탄소 농도가 높으면 대체로 기온 편차가 크고, 대기 중 이산화 탄소 농도가 낮으면 대체로 기온 편차가 작다.
✕. ㉠ 시기보다 현재가 대기 중 이산화 탄소 농도가 높고 기온 편차가 크다. 따라서 극지방의 빙하 면적은 ㉠ 시기가 현재보다 넓었을 것이다.
✕. 대기 중 이산화 탄소 농도가 높은 현재가 ㉠ 시기보다 온실 효과가 크다.

수능특강 사용설명서

수능특강을 공부하는 가장 쉽고 빠른 방법
수능특강 사용설명서로 시너지 효과 극대화

08 별의 특성

2점 수능 테스트

본문 154~159쪽

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

01 플랑크 곡선

플랑크 곡선은 흑체가 방출하는 파장에 따른 복사 에너지의 세기를 나타낸 곡선이다.
ㄱ. 흑체가 최대 복사 에너지를 방출하는 파장은 플랑크 곡선에서 복사 에너지의 상대적 세기가 최대인 부분의 파장을 의미한다. 최대 복사 에너지를 방출하는 파장은 A가 약 400 nm, B가 약 500 nm로 A가 B보다 짧다.
ㄴ. 흑체의 표면 온도가 높을수록 최대 복사 에너지를 방출하는 파장이 짧으므로, 표면 온도는 A가 B보다 높다.
ㄷ. 흑체가 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 복사 에너지양은 표면 온도의 4제곱에 비례하므로, 표면 온도가 높은 A가 B보다 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 복사 에너지양이 많다.

02 스펙트럼

스펙트럼의 종류에는 연속 스펙트럼, 흡수 스펙트럼, 방출 스펙트럼이 있다.
✕. 방출 스펙트럼은 특정 파장에 해당하는 빛의 밝은 선(방출선)이 나타난다. 태양의 스펙트럼에는 연속 스펙트럼 위에 검은색 선(흡수선)이 나타나는데, 이는 흡수 스펙트럼에 해당한다.
ㄴ. 그림의 검은색 선(흡수선)은 태양의 대기에 존재하는 기체에 의해 태양이 방출하는 빛 중에서 특정 파장의 빛이 흡수되어 형성된다.
✕. 별의 대기에 존재하는 원소들은 별의 표면 온도에 따라 이온화되는 정도가 다르기 때문에 각각 가능한 이온화 단계에서 특정 흡수선을 형성한다. 따라서 별의 반지름이 같아도 표면 온도가 다르면 스펙트럼에 나타나는 흡수선의 종류와 세기가 다르다.

03 플랑크 곡선

색지수(B−V)는 [B 필터로 관측한 등급(B 등급)−V 필터로 관측한 등급(V 등급)]으로, 표면 온도가 높은 별일수록 색지수가 작다.
ㄱ. 최대 복사 에너지를 방출하는 파장이 짧은 a가 b보다 표면 온도가 높다.
ㄴ. 필터를 통과하는 파장 영역의 빛이 많을수록 필터로 관측한

등급이 작아진다. a는 B 필터를 통과하는 파장 영역의 빛의 양보다 V 필터를 통과하는 파장 영역의 빛의 양이 적으므로, B 필터로 관측한 등급보다 V 필터로 관측한 등급이 크다.

✕. 별의 크기가 같을 때 표면 온도가 높은 별일수록 붉은색 빛보다 파란색 빛을 많이 방출하며, 별의 표면 온도가 같을 때 크기가 큰 별일수록 표면에서 단위 시간 동안 방출되는 복사 에너지의 양이 많다. 색지수가 (−) 값을 나타내는 a가 (+) 값을 나타내는 b보다 표면 온도가 높고, a와 b는 모두 주계열성이므로 별의 크기는 표면 온도가 높은 a가 b보다 크다. 따라서 반지름이 크고 표면 온도가 높은 a가 상대적으로 표면 온도가 낮고 반지름이 작은 b보다 파란색 빛을 많이 방출한다.

04 별의 물리량

노란색인 (가)의 분광형은 G형, 붉은색인 (나)의 분광형은 M형, 흰색인 (다)의 분광형은 A형이다. 표면 온도는 분광형이 A형인 (다)가 가장 높고, M형인 (나)가 가장 낮다.

✕. 중성 수소(HⅠ)의 흡수선은 분광형이 A형인 별, 즉 흰색 별인 (다)의 스펙트럼에서 가장 강하게 나타난다.

㉡. 별의 반지름은 (표면 온도)^{2}에 반비례하고, $\sqrt{\text{광도}}$에 비례한다. 세 별 중 (나)는 표면 온도가 가장 낮지만 광도가 가장 큰데, 이는 반지름이 가장 크기 때문이다.

㉢. 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 에너지양은 표면 온도의 4제곱에 비례하므로, 표면 온도가 가장 높은 (다)가 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 에너지양이 가장 많다.

05 별의 분광형

별의 표면 온도에 따라 고온에서 저온 순으로 분광형을 O, B, A, F, G, K, M형으로 분류한다.

㉠. 분광형이 M형인 베텔게우스는 붉은색 별이다.

㉡. 표면 온도는 분광형이 B형인 리겔이 A형인 시리우스 A보다 높다.

㉢. 태양의 표면 온도는 약 5800 K으로, 분광형은 G2형이다. 따라서 네 별 중 태양과 표면 온도가 가장 비슷한 별은 분광형이 G2형인 센타우루스 A이다.

06 별의 물리량

슈테판·볼츠만 법칙에 의하면 흑체가 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 복사 에너지의 양(E)은 $E=\sigma T^4$(슈테판·볼츠만 상수 $\sigma=5.670\times10^{-8}\ \text{W/m}^2\cdot\text{K}^4$)이다.

✕. E는 T의 4제곱에 비례한다. 따라서 별의 반지름 R는 E에 영향을 미치지 않는다.

㉡. 반지름이 R, 표면 온도가 T인 별의 광도(L)는 $L=4\pi R^2\cdot\sigma T^4$이다. 따라서 별의 R가 같을 때 T가 높을수록 광도가 크다.

✕. 광도는 R의 제곱, T의 4제곱에 비례하므로 R의 변화율보다 T의 변화율에 큰 영향을 받는다.

07 H−R도

H−R도는 별의 표면 온도(분광형), 광도(절대 등급), 반지름과 같은 물리적인 특성을 쉽게 파악할 수 있다.

㉠. H−R도의 가로축에는 표면 온도나 분광형 또는 색지수를 나타낸다.

㉡. H−R도의 세로축에는 광도나 절대 등급을 나타낸다.

✕. H−R도에서는 오른쪽으로 갈수록 표면 온도가 낮은 별이 분포한다. 별의 표면 온도가 낮을수록 색지수 값이 커지므로, (가)가 색지수라면 ㉠ 방향으로 갈수록 색지수 값이 커진다.

✕. H−R도에서는 위쪽으로 갈수록 밝은 별이 분포한다. 광도가 큰 별일수록 절대 등급이 작으므로, (나)가 절대 등급이라면 ㉡ 방향으로 갈수록 절대 등급 값이 작아진다.

08 별의 분광형과 광도 계급

광도 계급이 Ⅰ인 별은 초거성, Ⅴ인 별은 주계열성에 해당한다.

㉠. 별의 표면 온도는 분광형이 A0형인 별이 약 10000 K이고, 분광형이 G2형인 별이 약 5800 K이다. 따라서 표면 온도는 분광형이 A0형인 (가)가 G2형인 (나)보다 높다.

✕. (나)와 (다)는 광도 계급이 Ⅴ이며 주계열성에 해당한다. 주계열성은 표면 온도가 높은 별일수록 광도가 크므로, 분광형이 A0형인 (다)가 G2형인 (나)보다 표면 온도가 높고 광도가 크다.

㉢. 분광형이 같을 때 반지름은 광도 계급의 숫자가 작을수록 크다. 따라서 반지름은 광도 계급이 Ⅰ(초거성)인 (가)가 광도 계급이 Ⅴ(주계열성)인 (다)보다 크다.

09 별의 스펙트럼

별의 대기에 존재하는 원소들은 별의 표면 온도에 따라 이온화되는 정도가 다르고, 각각 가능한 이온화 단계에서 특정한 흡수선을 형성하기 때문에 별의 스펙트럼에서 흡수선의 종류와 세기는 별의 표면 온도에 따라 달라진다.

㉠. HⅠ 흡수선은 분광형이 A형인 흰색 별의 스펙트럼에서 가장 강하게 나타난다.

㉡. 태양의 분광형은 G2형이며, G2형 별의 스펙트럼에는 CaⅡ 흡수선이 FeⅡ 흡수선보다 강하게 나타난다.

㉢. 대략 F5형인 별에서 HⅠ 흡수선과 CaⅡ 흡수선의 상대적 세기를 나타내는 곡선이 교차하는데, 이는 이 분광형인 별의 스펙트럼에서 두 흡수선의 세기가 동일하게 나타난다는 것을 의미한다. 즉, 스펙트럼에서 HⅠ 흡수선과 CaⅡ 흡수선이 동일한 세기로 나타나는 별의 분광형은 F형에 해당한다.

10 H−R도와 별의 종류

A는 초거성, B는 거성, C는 주계열성, D는 백색 왜성이다.

✕. A는 초거성으로, 광도 계급이 Ⅰ이다. 광도 계급이 Ⅲ인 별은 거성에 해당한다.

㉡. H−R도에서 오른쪽 위로 갈수록 별의 반지름이 커진다. 분광형이 같을 때 반지름은 H−R도에서 위쪽에 있는 B가 아래쪽에 있는 C보다 크다.

㉢. 별의 평균 밀도는 초거성인 A가 가장 작고, 백색 왜성인 D가 가장 크다.

11 광도 계급

광도 계급이 Ia인 별은 밝은 초거성, Ib인 별은 덜 밝은 초거성, Ⅱ인 별은 밝은 거성, Ⅲ인 별은 거성, Ⅳ인 별은 준거성, Ⅴ인 별은 주계열성, Ⅵ인 별은 준왜성, Ⅶ인 별은 백색 왜성에 해당한다.

㉠. H−R도에서 오른쪽 위로 갈수록 별의 반지름이 커지므로, 분광형이 같을 때 H−R도의 위쪽에 있는 광도 계급일수록, 즉 광도 계급의 숫자가 작을수록 반지름이 크다. 따라서 분광형이 같을 때 광도 계급이 Ia인 별은 Ⅴ인 별보다 반지름이 크다.

㉡. 광도 계급이 Ⅲ인 별은 거성에 해당한다.

✕. 분광형이 O형인 파란색 별은 광도 계급이 Ⅰ(초거성)과 Ⅴ(주계열성)인 별들의 절대 등급, 즉 광도가 비슷하게 나타나지만, 분광형이 M형인 붉은색 별은 광도 계급이 Ⅰ(초거성)과 Ⅴ(주계열성)인 별들의 절대 등급, 즉 광도 차이가 매우 크다. 따라서 초거성과 주계열성의 광도 차이는 파란색 별보다 붉은색 별이 크다.

12 원시별의 진화

원시별이 중력 수축하여 중심부 온도가 약 1000만 K이 되면 중심부에서 수소 핵융합 반응이 일어나는 주계열성이 된다.

✕. 원시별이 탄생한 후 10^4년이 지났을 때 A는 영년 주계열에 도달했지만, B는 아직 도달하지 못하였다. 따라서 영년 주계열에 도달하는 데 걸리는 시간은 A가 B보다 짧다.

✕. 광도가 100배 차인 별들의 절대 등급은 5등급 차이므로, 그림에서 광도를 나타낸 세로축의 눈금 간 절대 등급 차는 일정하다. A는 대체로 H−R도의 오른쪽에서 왼쪽으로 수평 방향으로 진화하여 영년 주계열에 도달하고, B는 대체로 H−R도의 위쪽에서 아래쪽으로 수직 방향으로 진화하여 주계열성이 된다. 따라서 영년 주계열에 도달하는 동안 별의 절대 등급 변화량은 A가 B보다 작다.

㉢. 질량이 큰 별일수록 중력 수축이 빠르게 일어나 진화 속도가 빠르고, 주계열의 상단에 위치하게 되므로 별의 질량은 A가 B보다 크다.

13 원시별의 진화

(가)와 (나)는 표면 온도가 같고 광도는 (가)가 (나)보다 크므로, H−R도에서 (가)는 (나)보다 위쪽에 위치하는 원시별이다.

㉠. H−R도에서 위쪽에 위치하는 원시별, 즉 광도가 큰 원시별은 아래쪽에 위치하는 원시별보다 질량이 크다.

㉡. 질량이 큰 원시별일수록 중력 수축이 빠르게 일어나 주계열 단계에 빨리 도달한다. 따라서 주계열 단계에 도달하는 동안 진화 속도는 (가)가 (나)보다 빠르다.

㉢. 질량이 큰 원시별은 대체로 H−R도의 오른쪽에서 왼쪽으로 수평 방향으로 진화하여 영년 주계열에 도달하고, 질량이 작은 원시별은 대체로 H−R도의 위쪽에서 아래쪽으로 수직 방향으로 진화하여 영년 주계열에 도달한다. 따라서 주계열에 도달하는 동안 별의 표면 온도 변화는 질량이 큰 (가)가 질량이 작은 (나)보다 크고, 주계열 단계에 도달했을 때의 표면 온도는 (가)가 (나)보다 높다.

14 주계열 단계 이후의 진화

주계열성의 중심부에서 핵융합 반응에 이용되는 수소가 고갈되면 별은 주계열 단계를 벗어나 적색 거성 또는 적색 초거성 단계로 진화한다.

㉠. 주계열 단계 이후 세 별은 H−R도에서 오른쪽 또는 오른쪽 위로 이동하므로, 반지름이 커진다. 주계열 단계가 끝나면 중심핵을 둘러싼 수소 껍질에서 핵융합 반응이 일어나고, 이로 인해 별의 외곽부가 가열되어 팽창하므로 반지름이 커진다.

㉡. 질량이 $1M_{\odot}$인 별은 진화하는 동안 표면 온도는 약 $\frac{1}{2}$배로 낮아졌고, 반지름은 약 100배 커졌다. 광도는 반지름의 제곱에, 표면 온도의 4제곱에 비례하므로 진화하는 동안 질량이 $1M_{\odot}$인 별의 광도 증가는 표면 온도 변화보다 반지름의 변화에 의한 영향이 크다.

㉢. 주계열 단계 이후 질량이 $15M_{\odot}$인 별은 대체로 H−R도의 왼쪽에서 오른쪽으로 수평 방향으로 진화하고, 질량이 $1M_{\odot}$인 별은 대체로 H−R도의 아래쪽에서 위쪽으로 수직 방향으로 진화한다. 따라서 질량이 큰 별일수록 진화 과정 동안 표면 온도의 변화가 크다.

15 주계열성의 내부 구조

질량이 태양과 비슷한 주계열성은 수소 핵융합 반응이 일어나는 중심핵을 복사층과 대류층이 차례로 둘러싸고 있다.

✕. 주계열성은 질량이 비슷하면 표면 온도, 분광형, 광도, 반지름 등이 비슷하다. 이 별은 질량이 태양과 비슷하므로 분광형도 태양과 비슷하다. 분광형이 O형인 별은 표면 온도가 약 28000 K 이상인 별로 태양보다 질량이 매우 큰 별이다.

✕. 질량이 태양과 비슷한 별의 중심핵에서는 p−p 반응이 CNO 순환 반응보다 우세하게 일어난다.

ㄷ. 질량이 태양과 비슷한 별의 최종 진화 단계는 백색 왜성이다.

16 주계열성의 질량-광도 관계

주계열성은 질량이 클수록 광도와 반지름이 크고 표면 온도와 중심부 온도가 높다.

ㄱ. (가)에서 A의 광도가 태양의 10^4배이므로 절대 등급은 태양보다 10등급 작다. (나)에서 태양의 절대 등급이 약 +5등급이므로 A의 절대 등급은 약 −5등급이고, 색지수는 (−) 값을 나타낸다. 즉, A의 색지수는 태양보다 작다.

ㄴ. A는 질량이 태양 질량의 10배인 별이다. 태양보다 질량이 매우 큰 별은 중심부 온도가 높아 CNO 순환 반응이 p−p 반응보다 우세하게 일어난다.

ㄷ. 태양은 외곽부에서 대류가 일어나고, 질량이 매우 큰 A는 중심핵에서 대류가 일어난다. 질량이 큰 주계열성일수록 중심핵의 온도가 높고 중심핵에서 멀어질수록 온도가 낮아지므로, 별의 내부에서 대류가 일어나는 영역의 평균 온도는 A가 태양보다 높다.

17 별의 진화

별은 원시별 → 주계열성 → (초)거성으로 진화하며, 질량이 큰 별일수록 진화가 빠르게 일어난다.

✗. 별의 질량이 클수록 진화 단계별 지속 시간이 짧으므로 수명이 짧다.

ㄴ. 질량과 관계없이 별은 주계열 단계에서 가장 오랜 시간을 머무른다.

ㄷ. 별의 주요 에너지원이 중력 수축 에너지인 기간은 원시별이 주계열성으로 진화할 때와 핵융합 반응이 끝난 중심핵에서 새로운 핵융합 반응이 일어나기 전까지 중심핵이 중력 수축을 할 때이므로, 별의 일생 중 비교적 짧은 기간에 해당한다. 반면 핵융합 반응으로 생성된 에너지가 주요 에너지원인 기간은 주계열 단계 및 대부분의 (초)거성 단계이므로, 중력 수축 에너지가 주요 에너지원인 기간보다 매우 길다. 특히 별은 일생의 약 90 %를 주계열 단계에서 보내는데, 주계열 단계에서는 수소 핵융합 반응에 의해 에너지를 생성한다.

18 별의 진화

주계열 단계 이후 별은 질량에 따라 서로 다른 경로로 진화한다. 질량이 태양과 비슷한 별의 최종 진화 단계는 백색 왜성이며, 질량이 매우 큰 별의 최종 진화 단계는 중성자별이나 블랙홀이다.

ㄱ. 원시별이 중력 수축을 계속하여 중심부 온도가 약 1000만 K에 이르면 중심부에서 수소 핵융합 반응이 일어나는 주계열성이 된다. 즉, 원시별에서 주계열성으로 진화하는 A 과정에서는 중력 수축에 의해 별의 반지름이 작아진다.

ㄴ. 별의 최종 진화 단계로 보아 주계열성의 질량은 ㉡이 ㉠보다 크다. 별의 질량이 클수록 중심부 온도가 높아 핵융합 반응이 빠르게 일어나므로 진화 속도가 빠르다. 따라서 주계열 단계에 머무르는 시간은 ㉠이 ㉡보다 길다.

✗. B 과정은 초거성이 중성자별이나 블랙홀로 진화하는 과정으로 이 과정에서 초신성 폭발이 일어나며, 이때 철보다 무거운 원소가 만들어질 수 있다. 한편 별의 내부에서 핵융합 반응으로 만들어질 수 있는 마지막 원소는 철이며, 별의 내부에서 철 핵융합 반응은 일어나지 않는다.

19 별의 진화

(가)는 행성상 성운이고, (나)는 초신성 잔해에 의한 성운이다.

✗. (가)는 질량이 태양과 비슷한 별이 적색 거성 단계 이후 별의 바깥층 물질을 우주 공간으로 방출하는 과정에서 생성되며, (나)는 질량이 태양보다 매우 큰 별이 적색 초거성 단계 이후 초신성 폭발을 일으키는 과정에서 생성된다. 따라서 (가)는 (나)보다 질량이 작은 별의 진화 과정에서 생성된다.

ㄴ. 질량이 태양과 비슷한 별은 적색 거성 단계 이후 별의 외곽부는 우주 공간으로 방출되어 행성상 성운이 되고, 별의 중심부는 수축하여 백색 왜성이 된다. 즉, 행성상 성운인 (가)의 중심부에는 백색 왜성이 있다.

ㄷ. 질량이 매우 큰 별의 중심부에서 핵융합 반응이 멈추면 초신성 폭발이 일어나면서 무거운 원소와 엄청난 양의 에너지를 우주 공간으로 방출하는데, 이 과정에서 금, 은, 우라늄 등의 철보다 무거운 원소가 생성된다.

20 수소 핵융합 반응

(가)는 수소 원자핵 6개가 여러 반응을 거치는 동안 헬륨 원자핵 1개와 수소 원자핵 2개로 바뀌면서 에너지를 생성하는 양성자·양성자 반응(p−p 반응)이고, (나)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.

ㄱ. (가)는 p−p 반응이다.

✗. (가)와 (나)는 수소 핵융합 반응에 해당하며, (가)와 (나) 모두 반응물은 수소(H) 원자핵 4개, 생성물은 헬륨(He) 원자핵 1개이다. 따라서 반응물과 생성물의 질량 차이는 (가)와 (나)가 같다.

✗. (나)는 CNO 순환 반응으로 수소 핵융합 반응에 해당하므로 적색 거성의 중심부에서는 일어나지 않는다. 중심부에서 수소 핵융합 반응이 일어나는 별은 주계열성이며, 적색 거성의 중심부에서는 헬륨 핵융합 반응이 일어날 수 있다.

21 질량이 태양과 비슷한 별의 진화

질량이 태양과 비슷한 별은 원시별(a) → 주계열성(b) → 적색 거

성(c) → 맥동 변광성 → 행성상 성운과 백색 왜성(d) 순으로 진화한다.

㉠. a → b 과정은 원시별이 주계열성으로 진화하는 단계로, 이 과정에서 주요 에너지원은 중력 수축 에너지이다.

✗. b → c 과정에서 별이 H−R도에서 오른쪽 위로 이동하므로 별의 반지름은 커진다. 이때 별의 표면에서는 기체 압력 차에 의한 힘이 중력보다 크게 작용한다.

✗. d는 백색 왜성으로 별의 대부분이 탄소와 산소로 구성되어 있지만, 중심핵이 수축하더라도 탄소 핵융합 반응을 일으킬 수 있는 반응 온도에 도달하지 못한다. 따라서 d의 내부에서는 탄소 핵융합 반응이 일어나지 않는다.

22 별의 진화

질량이 태양과 비슷한 별은 중심부에서 헬륨 핵융합 반응까지만 일어나며, 최종 진화 단계는 행성상 성운과 백색 왜성이다. 반면 질량이 매우 큰 별은 중심부에서 다양한 핵융합 반응이 일어나며, 초신성 폭발 이후 중성자별이나 블랙홀로 일생을 마감한다. 따라서 A는 질량이 태양과 비슷한 별이며, B는 질량이 매우 큰 별이다.

㉠. 단계 Ⅰ은 중심부에서 수소 핵융합 반응이 일어나므로 주계열 단계에 해당하고, 단계 Ⅱ는 중심부에서 헬륨 핵융합 반응과 탄소 핵융합 반응을 비롯한 여러 가지 핵융합 반응이 일어나므로 적색(초)거성 단계에 해당한다. 별은 일생의 약 90 %를 주계열 단계에서 보내므로, 각 별에서 지속 시간은 단계 Ⅰ이 단계 Ⅱ보다 길다.

㉡. 별의 중심부에서 일어나는 핵융합 반응은 중심부 온도와 관련이 있다. 별의 질량이 클수록 중심부 온도가 높고, 더 높은 단계의 핵융합 반응이 일어날 수 있는 조건이 만들어진다. 따라서 단계 Ⅱ에서 더 많은 핵융합 반응이 순차적으로 일어나는 B가 A보다 질량이 큰 별이다.

✗. 질량이 태양과 비슷한 별인 A의 최종 진화 단계 (가)는 백색 왜성이다. 질량이 매우 큰 별인 B의 최종 진화 단계 (나)는 중성자별이나 블랙홀이다.

23 주계열성의 내부 구조

주계열성의 내부 구조는 질량에 따라 다르게 나타난다. (가)는 중심부의 대류핵이 복사층으로 둘러싸여 있으므로 질량이 태양 질량의 약 2배보다 큰 주계열성이고, (나)는 중심에서부터 중심핵, 복사층, 대류층이 차례대로 나타나므로 질량이 태양 정도인 주계열성이다.

㉠. 질량은 중심부에 대류핵이 나타나는 (가)가 (나)보다 크다.

㉡. 대류는 상하부의 온도 차가 클 때 효과적인 에너지 전달 방법이다. 따라서 핵에서 깊이에 따른 온도 차는 대류핵이 나타나는 (가)가 (나)보다 크다.

㉢. (나)는 질량이 태양 정도인 주계열성의 내부 구조이므로, 태양은 (나)와 같은 내부 구조를 가진다.

24 별의 내부 구조

(가)는 주계열 단계가 끝난 직후 수소가 소진된 중심핵은 수축하고 외곽부는 팽창하는 적색 초거성의 내부 구조이고, (나)는 질량이 매우 큰 별의 중심부에서 핵융합 반응이 끝난 별의 내부 구조이다.

✗ (가)에서 별의 외곽부가 팽창함에 따라 표면 온도는 하강한다.

✗ 별의 외곽부인 ㉠은 대부분 수소로 구성되어 있으며, ㉡은 수소 껍질로 수소 핵융합 반응에 의해 수소가 헬륨으로 변한다. ㉢은 중심핵으로 헬륨으로 구성되어 있다. 따라서 수소의 질량비(%)는 ㉠, ㉡, ㉢ 영역 중 ㉢에서 가장 작다.

✗ (가)에서 ㉢은 헬륨으로 구성되어 있으며, 헬륨 핵융합 반응이 일어날 수 있는 반응 온도에 도달할 때까지 수축한다. 즉, 이 상태의 ㉢에서는 헬륨 핵융합 반응이 일어나지 않는다.

✗ 이 별은 질량이 매우 큰 별이므로 (나) 이후 초신성 폭발을 거쳐 중성자별이나 블랙홀로 진화한다.

⑤ 질량이 매우 큰 별은 주계열 단계일 때 별의 내부에 대류핵이 존재한다. 즉, 별의 중심핵에서는 주로 대류에 의해 에너지가 전달된다.

3 수능 테스트

본문 160~171쪽

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

01 별의 물리량

색지수(B−V)는 [B 등급−V 등급]으로 계산되며, 별의 표면 온도가 높을수록 색지수(B−V)가 작다.

㉠. 표면 온도가 높을수록, 즉 색지수가 작을수록 별이 최대 복사 에너지를 방출하는 파장이 짧다.

㉡. 분광형이 A0형인 별의 표면 온도는 약 10000 K이며, 색지수(B−V)는 0이다. 분광형이 B0형인 별은 A0형인 별보다 표면 온도가 높으므로, 색지수(B−V)는 (−) 값이다. 따라서 분광형이 B0형인 별은 B 등급이 V 등급보다 작다.

✕. 분광형이 G2형인 태양의 표면 온도는 약 5800 K이므로 색지수는 (+) 값이다.

02 별의 물리량

별의 표면 온도가 높을수록 최대 복사 에너지를 방출하는 파장(λ_{max})이 짧다. 별의 광도는 반지름의 제곱에, 표면 온도의 4제곱에 비례한다.

㉠. 빈의 변위 법칙에 의하면 최대 복사 에너지를 방출하는 파장(λ_{max})은 표면 온도(T)에 반비례한다. a의 λ_{max}가 b의 $\frac{1}{2}$배이므로 a의 표면 온도는 b의 2배인 6000 K이다. 즉, a는 주계열성인 태양과 표면 온도, 광도가 비슷하므로 주계열성이다.

㉡. c의 표면 온도는 b의 4배이므로, c의 λ_{max}인 ㉠은 b의 λ_{max}인 1000의 $\frac{1}{4}$배, 즉 250이다.

㉢. 광도(L)는 반지름(R)의 제곱에, 표면 온도(T)의 4제곱에 비례한다($L \propto R^2 \cdot T^4$). b의 광도는 c의 10^6배이고, b의 표면 온도는 c의 $\frac{1}{4}$배이므로 b의 광도, 반지름, 표면 온도를 각각 L_b, R_b, T_b, c의 광도, 반지름, 표면 온도를 각각 L_c, R_c, T_c라고 할 때 $\frac{L_b}{L_c}=\frac{R_b^2 \cdot T_b^4}{R_c^2 \cdot T_c^4}$, $\frac{10^6}{1}=\frac{R_b^2 \cdot 1^4}{R_c^2 \cdot 4^4}$, $\frac{R_b^2}{R_c^2}=10^6 \cdot 4^4$, $\frac{R_b}{R_c}=16000$이다. 따라서 b의 반지름(R_b)은 c의 반지름(R_c)의 10000배보다 크다.

03 별의 물리량

두 별의 절대 등급이 5등급 차일 때 광도는 약 100배 차이며, 광도 계급이 Ⅴ인 별은 주계열성에 해당한다.

㉠. A의 λ_{max}가 500 nm, B의 λ_{max}가 1000 nm로 최대 복사 에너지를 방출하는 파장은 A가 B의 $\frac{1}{2}$배이므로, 표면 온도는 A가 B의 2배이다.

✕. 절대 등급은 A가 B보다 10등급 크므로 광도는 A가 B의 약 $\frac{1}{10^4}$배이고, 표면 온도는 A가 B의 2배이므로 A의 광도, 반지름, 표면 온도를 각각 L_A, R_A, T_A, B의 광도, 반지름, 표면 온도를 각각 L_B, R_B, T_B라고 할 때 $\frac{L_A}{L_B}=\frac{R_A^2 \cdot T_A^4}{R_B^2 \cdot T_B^4}$, $\frac{1}{10^4}=\frac{R_A^2 \cdot 2^4}{R_B^2 \cdot 1^4}$, $\frac{R_A}{R_B}=\frac{1}{400}$이다. 따라서 B의 반지름($R_B$)은 A의 반지름($R_A$)의 400배이다.

✕. 주계열성은 광도가 클수록 표면 온도가 높고 반지름이 크다. A는 B보다 표면 온도가 높지만 광도와 반지름은 B보다 작다. 따라서 A와 B 중 적어도 하나의 별은 주계열성이 아니므로, A와 B 모두 광도 계급이 Ⅴ일 수는 없다.

04 별의 광도 계급

광도 계급이 Ia인 별은 밝은 초거성, Ib인 별은 덜 밝은 초거성, Ⅱ인 별은 밝은 거성, Ⅲ인 별은 거성, Ⅳ인 별은 준거성, Ⅴ인 별은 주계열성, Ⅵ인 별은 준왜성, Ⅶ인 별은 백색 왜성에 해당한다.

㉠. H−R도에서 오른쪽 위로 갈수록 반지름이 커진다. 또한 분광형이 같을 때 광도 계급의 숫자가 작을수록 반지름이 크다. 즉, 분광형이 같을 때 광도 계급이 Ia인 별은 Ⅲ인 별보다 H−R도에서 위쪽에 있고 광도 계급의 숫자가 작으므로 반지름이 크다.

㉡. 알데바란의 분광형과 절대 등급을 이용하여 H−R도에 나타내면 알데바란은 광도 계급이 Ⅲ인 거성에 해당한다.

㉢. 시리우스 B의 분광형과 절대 등급을 이용하여 H−R도에 나타내면 시리우스 B는 광도 계급이 Ⅶ인 백색 왜성에 해당한다. 백색 왜성인 시리우스 B는 거성인 알데바란보다 밀도가 크다.

05 별의 물리량

표면 온도가 T이고, 반지름이 R인 별의 광도(L)는 $L=4\pi R^2 \cdot \sigma T^4$(슈테판·볼츠만 상수 $\sigma=5.67\times10^{-8}\ \mathrm{W/m^2 \cdot K^4}$)이다.

✕. 별이 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 복사 에너지양(E)은 표면 온도(T)의 4제곱에 비례한다($E \propto T^4$). T는 A가 B의 2배이므로, E는 A가 B의 2^4배, 즉 16배이다.

㉡. 별이 최대 복사 에너지를 방출하는 파장(λ_{max})은 표면 온도(T)가 높을수록 짧아진다$\left(\lambda_{max} \propto \frac{1}{T}\right)$. T는 C가 B의 $\frac{1}{2}$배이므로 λ_{max}는 C가 B의 2배이다.

✕. 광도는 반지름(R)의 제곱에, 표면 온도(T)의 4제곱에 비례한다($L \propto R^2 \cdot T^4$). A와 C의 반지름이 같고 표면 온도는 A가 C의 4배이므로, 광도는 A가 C의 4^4배=256배이다.

06 색지수

색지수(B−V)는 [B 등급−V 등급]으로 계산되며, 표면 온도가 높을수록 색지수는 작아진다.

✕. (가)는 V 등급이 B 등급보다 작은데, 이는 V 필터로 관측했을 때가 B 필터로 관측했을 때보다 밝게 관측된다는 것을 의미한다. 즉, B 필터를 통과하는 빛의 양보다 V 필터를 통과하는 빛의 양이 많다.

㉡. 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 에너지양은 표면 온도가 높을수록 많다. 색지수는 (가)가 (+) 값이고 (나)가 (−) 값이므로, (나)가 (가)보다 표면 온도가 높고 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 에너지양이 많다.

㉢. 색지수로 보아 별의 표면 온도는 (나)가 (가)보다 높다. 표면 온도가 높을수록 최대 복사 에너지를 방출하는 파장이 짧으므로, 그림에서 최대 복사 에너지의 파장이 짧은 a가 표면 온도가 높은 (나)에 해당한다.

07 별의 물리량

별의 표면 온도에 따라 분광형을 O, B, A, F, G, K, M형의 7개로 분류하며, 별의 표면 온도가 같으면 분광형이 같다.

✕ 최대 복사 에너지를 방출하는 파장은 표면 온도가 높을수록 짧다. (나)와 (다) 모두 분광형은 A0형이므로 두 별의 표면 온도는 같고, (가)와 (다)는 광도가 같지만 (가)는 (다)보다 반지름이 작으므로, 표면 온도는 (가)가 (다)보다 높다. 즉, 세 별 중 (가)의 표면 온도가 가장 높고, 최대 복사 에너지를 방출하는 파장이 가장 짧다.

✕ 별의 절대 등급은 광도가 가장 작은 (나)가 가장 크다.

✕ 별이 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 복사 에너지양(E)은 표면 온도(T)의 4제곱에 비례한다($E \propto T^4$). 표면 온도는 (가)가 (나)보다 높으므로 E는 (가)가 (나)보다 많다.

✕ 스펙트럼에서 중성 수소(HⅠ) 흡수선의 세기는 분광형이 A형인 별에서 가장 강하다. 따라서 스펙트럼에서 중성 수소(HⅠ) 흡수선의 세기는 (다)가 (가)보다 강하다.

⑤ 별의 반지름(R)은 광도(L)의 제곱근에 비례하고 표면 온도(T)의 제곱에 반비례한다$\left(R \propto \frac{\sqrt{L}}{T^2}\right)$. (나)와 (다)의 표면 온도는 같고 광도는 (다)가 (나)의 10배이므로 반지름은 (다)가 (나)의 $\sqrt{10}$배이다.

08 별의 광도

표면 온도가 T이고 반지름이 R인 별의 광도(L)는 $L=4\pi R^2 \cdot \sigma T^4$(슈테판·볼츠만 상수 $\sigma=5.67\times10^{-8}\ \mathrm{W/m^2 \cdot K^4}$)이다.

✕. 별의 광도가 같을 때 반지름(R)과 물리량 A는 반비례 관계이다. 광도는 R^2에, T^4에 비례하므로 별의 광도(L)가 같을 때 R는 T^2에 반비례한다. 따라서 물리량 A에 해당하는 것은 T^2, 즉 (표면 온도)^{2}이다.

㉡. 별이 최대 복사 에너지를 방출하는 파장은 표면 온도가 높을수록 짧다. 별의 광도가 같을 때 별의 반지름이 클수록 표면 온도가 낮으므로 최대 복사 에너지를 방출하는 파장이 길다.

✕. 별의 A, 즉 (표면 온도)^{2}이 10배, 반지름이 $\frac{1}{10}$배가 되면 광도는 $L \propto R^2 \cdot T^4 = R^2 \cdot (\mathrm{A})^2 = \left(\frac{1}{10}\right)^2 \cdot (10)^2 = 1$배가 된다. 즉, 광도는 같으므로 별의 절대 등급은 변하지 않는다.

09 별의 스펙트럼

분광형이 A형인 별의 스펙트럼에서는 중성 수소(HⅠ) 흡수선의 세기가 가장 강하고, G형인 별의 스펙트럼에서는 칼슘 이온(CaⅡ) 흡수선의 세기가 가장 강하다. 따라서 (가)는 분광형이 A형인 별이고, (나)는 분광형이 G형인 별이다.

㉠. 주계열성은 표면 온도가 높을수록 광도가 크다. 분광형이 A형인 (가)는 G형인 (나)보다 표면 온도가 높으므로 광도가 크고 H−R도에서 주계열 상단에 위치한다.

✕. 주계열성은 표면 온도가 높을수록 질량이 크고 중심부 온도가 높아 별의 내부에서 수소 핵융합 반응이 빠르게 일어나므로, 중심핵의 수소가 빨리 소진되어 별이 주계열 단계에 머무르는 시간이 짧아진다. 따라서 표면 온도가 높은 (가)가 (나)보다 주계열 단계에 머무르는 시간이 짧다.

㉢. 4개의 수소가 융합하여 1개의 헬륨을 생성하는 수소 핵융합 반응 과정에서 질량 결손이 발생한다. 따라서 별의 중심부에서 일어나는 수소 핵융합 반응에 의한 수소의 단위 시간당 질량 감소량은 수소 핵융합 반응이 더 빠르고 많이 일어나는 (가)가 (나)보다 크다.

10 별의 분광형

(가)는 M2형, (나)는 O5형, (다)는 A0형이다.

㉠. 표면 온도는 분광형이 (나)인 별이 가장 높고, 분광형이 (가)인 별이 가장 낮다. 별이 최대 복사 에너지를 방출하는 파장은 표면 온도가 높을수록 짧으므로, 최대 복사 에너지를 방출하는 파장은 분광형이 (가)인 별이 가장 길다.

㉡. (나)는 O5형이고, 분광형이 O5형인 별의 색은 파란색이다.

㉢. (다)는 별의 스펙트럼에서 중성 수소(HⅠ) 흡수선의 세기가 가장 강하게 나타나는 분광형이므로 A형이다. 따라서 (다)는 A0형이다.

11 별의 분광형

스펙트럼에서 중성 수소(HⅠ) 흡수선의 세기가 가장 강하게 나타나는 별은 분광형이 A형인 별이다. (가)는 중성 수소(HⅠ) 흡수선이 칼슘 이온(CaⅡ) 흡수선보다 약하게 나타나므로 분광형이 G2형이고, (나)는 중성 수소(HⅠ) 흡수선이 칼슘 이온(CaⅡ) 흡수선보다 강하게 나타나므로 분광형이 A5형이다.

✕. 표면 온도는 분광형이 G2형인 (가)가 A5형인 (나)보다 낮다.

✕. (가)는 분광형이 G2형이므로 노란색 별이다. 반면 분광형이 A5형인 (나)는 흰색 별이다.

㉢. (가)와 (나)는 절대 등급이 같으므로 광도가 같다. 광도는 반지름의 제곱에, 표면 온도의 4제곱에 비례하므로 반지름은 표면 온도가 낮은 (가)가 (나)보다 크다.

12 H-R도와 별의 종류

(가)는 주계열성, (나)는 초거성, (다)는 거성, (라)는 백색 왜성에 해당한다.

Ⓐ. 주계열성의 중심부에서는 수소 핵융합 반응에 의해 에너지가 생성된다.

Ⓑ. 초거성인 (나)는 거성인 (다)보다 중심부 온도가 높기 때문에 수소 핵융합 반응이나 헬륨 핵융합 반응 외에도 탄소, 산소, 네온, 규소 핵융합 반응 등 반응 온도가 높은 핵융합 반응이 순차적으로 일어날 수 있다.

Ⓒ. (가)~(라) 중 별의 평균 밀도는 백색 왜성인 (라)가 가장 크다.

13 주계열성의 진화

온도가 약 1000만 K 이상인 주계열성의 중심부에서는 수소 핵융합 반응에 의해 에너지가 생성된다.

㉠. 수소 핵융합 반응은 4개의 수소 원자핵이 융합하여 1개의 헬륨 원자핵이 만들어지는 반응이다. 별이 처음 주계열 단계에 도달했을 때는 약 70 %의 수소와 약 30 %의 헬륨으로 구성되어 있는데, 이후 중심부에서 일어나는 수소 핵융합 반응에 의해 수소의 질량비(%)는 감소하고 헬륨의 질량비(%)는 증가한다. 따라서 중심부에서 질량비(%)가 낮은 ㉠이 수소이고 질량비(%)가 높은 ㉡이 헬륨이다.

㉡. 별의 중심부에서 수소 핵융합 반응이 일어나고 있으므로 별은 주계열 단계에 있다.

✕. 별에서 수소 핵융합 반응은 중심부에서 일어난다. 중심에서 일정 거리부터는 수소와 헬륨의 질량비(%)가 거의 일정한 것으로 보아 별의 외곽부에서는 수소 핵융합 반응이 일어나지 않는 것을 알 수 있다. 표면의 헬륨은 이 별이 탄생할 때부터 존재하던 것이다.

14 핵융합 반응

(가)는 p-p 반응, (나)는 CNO 순환 반응, (다)는 헬륨 핵융합 반응이다. 수소 핵융합 반응의 반응 온도는 약 1000만 K 이상이며, 헬륨 핵융합 반응의 반응 온도는 약 1억 K 이상이다.

㉠. 태양의 중심부 온도는 약 1500만 K이므로, 중심핵에서는 (가)의 p-p 반응이 (나)의 CNO 순환 반응보다 우세하게 일어난다.

✕. 적색 거성의 중심핵에는 수소가 없으므로 수소 핵융합 반응의 한 종류인 CNO 순환 반응은 일어나지 않는다. (가), (나), (다) 중 적색 거성의 중심핵에서 일어날 수 있는 핵융합 반응은 (다) 헬륨 핵융합 반응이다.

㉢. (다)의 헬륨 핵융합 반응은 3개의 헬륨 원자핵이 융합하여 1개의 탄소 원자핵을 만드는 반응이다. 따라서 탄소는 (다)의 생성물에 해당한다.

15 주계열성의 진화

주계열성의 질량이 클수록 중심부의 온도가 높아 수소 핵융합 반응이 빠르게 일어나 수소를 빨리 소비하기 때문에 별이 주계열 단계에 머무르는 시간이 짧아진다.

㉠. 별의 중심핵에서 수소가 소진되면 별은 주계열 단계를 떠나며, 주계열 단계에 머무르는 시간은 별의 질량이 클수록 짧다. A는 별의 나이가 약 24억 년일 때 중심부의 수소가 소진되고, B는 별의 나이가 약 48억 년일 때 중심부의 수소가 소진된다. 따라서 주계열 단계에 머무르는 시간은 A가 B보다 짧고, 질량은 A가 B보다 크다.

✕. 중심부에서 수소의 질량비(%) 변화율은 그래프의 기울기가 큰 A가 B보다 크다.

✕. 나이가 30억 년이 되었을 때 A는 주계열 단계를 떠났지만 B는 여전히 중심핵에서 수소 핵융합 반응이 일어나는 주계열 단계이다. 따라서 A와 B는 동일한 진화 단계에 있지 않다.

16 별의 진화

수소 핵융합 반응에 의해 헬륨이 생성되며, 헬륨 핵융합 반응에 의해 탄소가 생성된다.

㉠. ㉠ 시기 무렵 중심부에서 헬륨의 질량비(%)가 증가하므로, ㉠ 시기는 별의 중심핵에서 수소 핵융합 반응이 일어나는 주계열 단계에 해당한다.

✕. ㉡ 시기 무렵 별의 중심부에서 헬륨의 질량비(%)가 100 %이고 이 값이 일정하게 유지되므로, 중심부에서 헬륨 핵융합 반응은 일어나지 않는다. ㉡ 시기는 주계열 단계가 끝난 후 중심핵은 헬륨 핵융합 반응이 일어날 수 있는 온도에 도달할 때까지 수축하고, 외곽부는 수소 껍질 연소로 발생한 열에 의해 팽창한다. 따라서 ㉡ 시기의 별은 정역학 평형 상태에 있지 않다.

㉢. ㉢ 시기 무렵 별의 중심핵에서 헬륨의 질량비(%)가 감소하므로, ㉢ 시기에는 헬륨 핵융합 반응에 의해 별의 중심핵에서 탄소

가 생성된다.

17 주계열성의 특성

주계열성은 질량이 클수록 표면 온도가 높고, 주계열 단계에 머무르는 시간이 짧다.

✕. (가)는 (나)보다 주계열 단계에 머무르는 시간이 길다. 별의 질량이 클수록 주계열 단계에 머무르는 시간이 짧으므로, (가)의 질량은 (나)의 질량인 태양 질량의 15배보다 작다. 또한 (가)의 분광형은 A0형으로 분광형이 F0형인 (다)보다 표면 온도가 높으므로, (가)의 질량은 (다)의 질량인 태양 질량의 1.7배보다 크다. 즉, 태양 질량의 1.7배＜(가)의 질량＜태양 질량의 15배이다.

㉡. 별이 최대 복사 에너지를 방출하는 파장은 표면 온도가 높을수록 짧고, 주계열성은 질량이 클수록 표면 온도가 높다. (나)는 (다)보다 질량이 크므로 (다)보다 표면 온도가 높고, 최대 복사 에너지를 방출하는 파장이 짧다.

㉢. 주계열성은 질량이 클수록 중심부의 온도가 높고, 핵융합 반응이 빠르게 일어나므로 진화 속도가 빠르다. 질량은 (나)＞(가)＞(다)이므로 진화 속도는 (다)가 가장 느리다.

18 질량이 태양과 비슷한 별의 내부 구조

주계열성의 경우 분광형이 같으면 질량이 비슷하다.

✕. 주계열성의 중심부에서는 수소 핵융합 반응에 의해 수소의 질량비(%)가 점점 감소한다. 따라서 중심부에서 그 값이 가장 작은 A가 수소의 질량비(%)에 해당한다. 반면 중심에서부터 멀어질수록 값이 감소하는 B는 온도에 해당한다. 별의 내부에서 온도는 중심부가 가장 높다.

✕. A는 수소의 질량비(%)이며, 중심부에서 A의 값은 수소 핵융합 반응에 의해 시간이 흐를수록 감소한다.

㉢. 이 별은 분광형이 G형인 주계열성이므로 태양과 질량이 비슷하다. 태양과 질량이 비슷한 주계열성의 내부는 중심에서부터 중심핵－복사층－대류층으로 이루어져 있다. 따라서 ㉠은 복사층, ㉡은 대류층이며, ㉠과 ㉡ 중 대류에 의해 에너지를 전달하는 구간은 ㉡이다.

19 별의 진화

A는 백색 왜성, B는 중성자별, C는 블랙홀이다.

✕. 별의 평균 밀도는 중성자별(B)이 백색 왜성(A)보다 크다.

㉡. (가)의 내부는 다양한 핵융합 반응의 결과 생성된 물질들이 양파 껍질 구조를 이루고 있으며, 중심에 철핵이 있으므로, (가)는 질량이 매우 큰 별이다. 질량이 매우 큰 별의 최종 진화 단계는 중성자별(B)이나 블랙홀(C)이며, 중심핵의 질량은 $1.4M_{\odot}$보다 크다.

㉢. C는 질량이 가장 큰 별의 최종 진화 단계인 블랙홀이다.

20 주계열 단계가 끝난 별의 진화

주계열 단계가 끝난 후 A는 대체로 H－R도의 왼쪽에서 오른쪽으로 수평 방향으로 진화하므로, B에 비해 표면 온도의 변화가 크고 광도 변화율이 작다. 반면 B는 대체로 H－R도의 아래쪽에서 위쪽으로 수직 방향으로 진화하므로, A에 비해 표면 온도의 변화가 작고 광도 변화율이 크다.

㉠. A는 B보다 주계열 상단에 위치하므로 별의 질량은 A가 B보다 크다. 질량이 큰 별일수록 진화 속도가 빠르므로, (가)의 진화 과정 동안 걸린 시간은 A가 B보다 짧다.

㉡. 주계열 단계가 끝난 별은 외곽부가 팽창하여 반지름이 커지고 표면 온도가 낮아진다. 따라서 (나)에서 진화 과정 동안 a와 b의 변화는 반지름이 커지고 표면 온도가 낮아지는 방향인 ㉡ 방향으로 일어난다.

✕. A는 B보다 표면 온도가 높은 별이다. (나)에서 a와 b의 변화가 ㉡ 방향으로 일어나므로, 주계열 단계가 끝난 직후의 표면 온도가 높은 a가 (가)에서 A의 표면 온도와 반지름 변화에 해당한다.

21 별의 내부 구조

별은 질량에 따라 중심부의 온도가 달라지므로 핵융합 반응이 진행되는 정도는 별의 질량에 따라 결정된다. 질량이 매우 큰 별의 중심부에서는 수소 핵융합 반응 이후에 헬륨, 탄소, 산소, 네온, 마그네슘, 규소 등의 핵융합 반응이 순차적으로 일어나고, 최종적으로 중심에 철핵이 만들어질 수 있다.

✕. 적색 거성은 질량이 태양과 비슷한 별의 주계열 단계 이후의 진화 단계로, 내부에서 헬륨 핵융합 반응이 일어나 탄소핵이 생성되지만, 중심핵이 수축하더라도 탄소 핵융합 반응이 일어날 수 있는 반응 온도에 도달하지 못하기 때문에 탄소 핵융합 반응은 일어나지 않는다. 반면 그림의 별의 내부에는 다양한 핵융합 반응에 의해 생성된 물질들이 양파 껍질 구조를 이루고 있고, 중심에는 철핵이 있으므로 적색 초거성의 내부 구조에 해당한다.

✕. 철은 매우 안정한 원소로 핵융합 반응으로 생성될 수 있는 마지막 원소이다. 따라서 중심핵이 수축하더라도 철 핵융합 반응은 일어나지 않는다.

㉢. 별은 중심에서 멀어질수록 온도가 낮아지므로, 중심에 가까운 곳에서 일어나는 규소 핵융합 반응이 상대적으로 외곽에서 일어나는 산소 핵융합 반응보다 반응 온도가 높다. 핵융합 반응의 반응 온도는 수소＜헬륨＜탄소＜산소＜규소 핵융합 반응 순이다.

22 정역학 평형 상태

중력은 별의 중심 방향으로, 기체 압력 차에 의한 힘은 중력의 반대 방향으로 작용하며, 두 힘의 크기가 다를 때 별은 수축하거나 팽창한다. 반면 정역학 평형 상태는 중력과 기체 압력 차에 의한 힘이 평형을 이루는 상태로, 이때 별은 수축하거나 팽창하지 않고 반지름이 거의 일정하게 유지된다.

ㄱ. ㉠은 중력이 기체 압력 차에 의한 힘보다 크므로 별은 수축한다. 따라서 ㉠일 때 별의 반지름은 작아진다.

ㄴ. ㉡은 중력과 기체 압력 차에 의한 힘이 같은 정역학 평형 상태에 해당한다.

ㄷ. ㉢은 기체 압력 차에 의한 힘이 중력보다 크므로 별은 팽창한다. (나)의 a → b 과정은 주계열 단계가 끝난 후 별의 외곽부가 팽창하여 반지름이 커지는 과정에 해당한다. 즉, (나)의 a → b 과정에서 별은 ㉢ 상태에 있다.

23 별의 내부 구조

주계열성의 내부 구조는 질량에 따라 다르게 나타난다. 질량이 태양 질량의 약 2배보다 큰 주계열성은 중심부에 대류핵이 있고 이를 복사층이 둘러싸고 있으며, 질량이 태양과 비슷한 별은 중심에서부터 중심핵, 복사층, 대류층이 차례대로 나타난다.

ㄱ. (가)는 액체나 기체에서 입자가 직접 이동하면서 열이 전달되는 대류이고, (나)는 매개 물질 없이 열이 직접 이동하여 전달되는 복사이다.

ㄴ. 질량이 태양과 비슷한 별의 중심핵에서는 생성한 에너지를 복사, 즉 (나)의 방법으로 전달한다. 반면 질량이 태양 질량의 약 2배보다 큰 별의 중심핵에서는 생성한 에너지를 대류, 즉 (가)의 방법으로 전달한다.

ㄴ. (가)의 대류는 깊이에 따른 온도 차가 클 때 에너지를 효과적으로 전달하는 방법이다. 질량이 태양 질량의 약 2배보다 큰 별의 중심부에서는 깊이에 따른 온도 차가 매우 크기 때문에 대류핵이 중심부에 나타난다.

24 별의 진화

주계열성의 중심부에서는 수소 핵융합 반응이 일어나며, 중심부의 수소가 모두 소진되면 수소 핵융합 반응이 종료되고 (초)거성 단계로 진화한다.

ㄱ. 주계열성의 중심부에서는 수소 핵융합 반응이 일어나므로 중심부의 수소 질량비(%)는 시간이 지남에 따라 감소한다. 따라서 (가)는 주계열 단계가 끝났을 때, (나)는 주계열 단계, (다)는 별이 주계열 단계에 도달한 직후에 해당한다. 시간 순서대로 나열하면 (다) → (나) → (가)이다.

ㄴ. (나)의 ㉠ 구간에서는 수소의 질량비(%)가 일정하다. 이는 이 구간에서 대류가 일어나 수소가 비교적 균질하게 분포하게 되었기 때문이다. 따라서 (나)의 ㉠ 구간에서 에너지는 주로 대류의 형태로 이동한다.

ㄷ. 주계열성의 중심핵에서는 수소 핵융합 반응이 일어나므로 시간이 흐를수록 수소의 질량비(%)는 감소하고, 헬륨의 질량비(%)는 증가한다. 따라서 중심핵에서 $\frac{\text{헬륨의 질량비(\%)}}{\text{수소의 질량비(\%)}}$는 (나)가 (다)보다 크다.

09 외계 행성계와 외계 생명체 탐사

2등급 수능 테스트

본문 178~179쪽

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

01 시선 속도 변화를 이용한 외계 행성 탐사

중심별과 행성이 공통 질량 중심 주위를 회전함에 따라 중심별의 시선 속도가 변하면서 도플러 효과에 의한 별빛의 파장 변화가 나타난다.

ㄱ. 중심별과 행성은 공통 질량 중심 주위를 동일한 방향으로 회전하며, 회전 주기는 같다.

ㄴ. 중심별은 행성과 같은 방향으로 회전하므로 (가)일 때 중심별은 지구에 가까워진다. 따라서 스펙트럼에서 청색 편이가 관측된다. 청색 편이가 나타난 흡수선 ㉠의 관측 파장이 450 nm이므로 고유 파장은 450 nm보다 길다.

ㄴ. 행성의 질량이 클수록 중심별에 미치는 중력 효과가 크므로 중심별의 시선 속도 변화량이 크게 나타난다. 이로 인해 행성의 존재 여부를 확인하기 쉬워진다.

02 식 현상을 이용한 외계 행성 탐사

중심별 주위를 공전하는 행성이 중심별의 앞면을 지날 때 중심별의 일부가 가려지는 식 현상이 일어난다. 식 현상에 의한 중심별의 밝기 변화를 관측하여 행성의 존재를 확인할 수 있다.

ㄱ. 행성에 의한 중심별의 식 현상이 일어나기 위해서는 행성의 공전 궤도면이 관측자의 시선 방향에 거의 나란해야 한다.

ㄴ. 식 현상이 지속되는 동안 중심별의 밝기 감소가 나타난다. 중심별의 밝기 감소가 나타난 시간은 A가 B보다 짧으므로 식 현상이 지속된 시간도 A가 B보다 짧다.

ㄴ. 행성의 반지름이 클수록 중심별의 밝기 감소가 크게 나타난다. 따라서 행성의 반지름은 A가 B보다 크다.

03 미세 중력 렌즈 현상을 이용한 외계 행성 탐사

거리가 다른 두 개의 별이 같은 방향에 있을 경우 뒤쪽 별의 별빛이 앞쪽 별의 중력에 의해 미세하게 굴절되어 밝기가 변하는데, 이를 미세 중력 렌즈 현상이라고 한다.

③ 앞쪽에 있는 별 A와 그 주변에 있는 두 행성에 의해 미세 중력 렌즈 현상이 일어나 별 B의 밝기 변화가 나타난다. 이때 별 B 주변에 있는 행성은 밝기 변화에 영향을 주지 않는다. 따라서 별 B의 밝기 변화는 별 A에 의한 밝기 변화와 별 A의 행성 2개

에 의한 밝기 변화가 추가로 나타나야 한다. 또한 행성에 의한 밝기 변화가 최대로 나타나는 시각은 별 A에 의한 밝기 변화가 최대로 나타나는 시각을 전후하여 각각 1회씩 나타나야 한다. 따라서 지구에서 관측되는 별 B의 밝기 변화를 가장 적절하게 나타낸 것은 ③번이다.

04 외계 행성의 탐사 방법

주계열성은 표면 온도가 높을수록 질량, 광도, 반지름이 크다.

㉠. 행성의 공전축 방향과 시선 방향이 나란할 경우에는 중심별의 시선 속도 변화가 관측되지 않는다. 따라서 (다)를 제외하고 (가)와 (나)에서는 중심별이 행성과의 공통 질량 중심 주위를 회전할 때 시선 속도 변화가 나타난다.

㉡. 식 현상을 이용한 외계 행성 탐사는 행성의 공전 궤도면이 시선 방향과 거의 나란한 경우에 가능하므로 (다)보다 (가)에서 유리하다.

㉢. 행성의 크기가 같을 때 행성을 직접 촬영하는 방법은 지구로부터 외계 행성계까지의 거리가 가까울수록 유리하다. 따라서 지구로부터의 거리를 고려할 때, 직접 촬영에 의한 행성 탐사는 (다)가 (나)보다 유리하다.

05 외계 행성의 탐사 결과

지금까지 발견된 외계 행성은 대부분 목성과 같이 질량이 큰 기체형 행성이었지만 최근에는 외계 생명체가 존재할 가능성이 높은 지구형 행성을 중심으로 탐사하고 있다.

✕. 행성의 공전 궤도 반지름이 작을수록 행성이 중심별을 가리는 식 현상이 일어나는 주기가 짧아 행성의 존재를 확인하기 쉽다. 이로 인해 식 현상을 이용하여 발견된 외계 행성은 다른 탐사 방법으로 발견된 외계 행성에 비해 공전 궤도 반지름이 대체로 작다. 따라서 (가)는 식 현상을 이용한 방법이다.

✕. 미세 중력 렌즈 현상을 이용하여 발견된 행성의 수는 시선 속도 변화나 식 현상을 이용하여 발견된 행성의 수에 비해 훨씬 적다. 따라서 (다)는 미세 중력 렌즈 현상을 이용한 방법이며, 이 탐사 방법은 행성의 공전 궤도면과 시선 방향이 나란하지 않은 경우에도 행성의 존재를 확인할 수 있다.

㉢. (가), (나), (다)의 방법으로 발견된 외계 행성들은 대부분 지구보다 질량이 크다.

06 중심별의 물리량과 생명 가능 지대

이 외계 행성계의 중심별은 분광형이 K2형이고, 광도 계급은 Ⅴ이다. 따라서 중심별은 태양보다 표면 온도가 낮은 주계열성이다.

✕. 이 외계 행성계의 중심별은 태양보다 표면 온도가 낮으므로 광도가 작다. 따라서 생명 가능 지대의 폭은 이 외계 행성계가 태양계보다 좁다.

㉡. 생명 가능 지대는 중심별 주위에서 물이 액체 상태로 존재할 수 있는 거리 범위이다. ㉠은 생명 가능 지대에 위치하므로 ㉠의 표면에는 액체 상태의 물이 존재할 수 있다.

㉢. 이 외계 행성계의 중심별은 태양보다 질량이 작으므로 진화 속도가 느리다. 따라서 행성이 생명 가능 지대에 머무르는 기간은 ㉠이 지구보다 길다.

07 생명 가능 지대

중심별의 광도가 클수록 생명 가능 지대는 중심별에서부터 멀어지고 폭도 넓어진다. 지구와 행성 ㉡은 생명 가능 지대의 한가운데에 위치하므로 행성의 단위 면적에서 단위 시간 동안 받는 중심별의 에너지양은 거의 같다.

㉠. X의 중심별은 주계열성이고, 질량이 태양보다 작으므로 광도는 태양보다 작다.

✕. ㉠은 생명 가능 지대의 바깥쪽에 위치하므로 행성의 표면 온도는 ㉠이 지구보다 낮을 것이다.

㉢. X의 중심별은 태양보다 질량이 작은 주계열성이므로 행성 ㉡이 생명 가능 지대에 머무르는 시간은 지구보다 길다. 따라서 행성이 생명 가능 지대에 머무르는 기간 동안 단위 면적당 중심별로부터 받는 총 에너지양은 ㉡이 지구보다 많다.

08 외계 생명체 탐사

우주에서 오는 전파 신호를 찾거나 우주 망원경으로 생명 가능 지대에 속한 지구형 외계 행성을 찾는다. 또한 우주 탐사선을 이용하여 태양계 천체를 중심으로 외계 생명체를 탐사하고 있다.

㉠. 탐사 로버 퍼서비어런스는 화성 표면에 착륙하여 생명체 존재 여부를 조사하고 있다.

㉡. 행성이 별의 앞면을 지날 때 별빛의 일부를 가리므로 별의 겉보기 밝기가 감소하는 현상이 나타난다. 따라서 '별의 겉보기 밝기 감소'는 ㉠에 해당한다.

㉢. 전파는 파장이 짧은 가시광선과 달리 우주 공간에서 성간 물질에 의해 흡수 또는 산란이 거의 일어나지 않고 매우 먼 거리까지 이동할 수 있다. 따라서 SETI 프로젝트에서는 주로 전파 망원경을 이용하여 외계 행성으로부터 오는 전파 신호를 찾는다.

3 수능 테스트

본문 180~183쪽

01 ④ **02** ⑤ **03** ④ **04** ⑤ **05** ② **06** ① **07** ① **08** ②

01 시선 속도 변화를 이용한 외계 행성 탐사

중심별과 행성이 공통 질량 중심 주위를 회전할 때 회전 주기, 회전 방향이 같으므로 중심별과 행성은 항상 공통 질량 중심을 기준으로 서로 반대 방향에 위치하게 된다.

✕. 현재 위치에서 중심별은 관측자 P의 시선 방향과 나란하게 P 쪽으로 가까워지고, Q의 시선 방향에 대해서는 수직 방향으로 움직인다. 따라서 중심별의 시선 속도 절댓값은 Q보다 P에서 크다.

㉡. 현재로부터 $\frac{T}{2}$ 후에 행성은 중심별로부터 가장 먼 지점에 위치한다. 따라서 P에서 관측할 때 중심별 방향과 행성 방향이 이루는 각은 현재로부터 $\frac{T}{2}$ 후에 최대가 된다.

㉢. 중심별은 $\frac{T}{4}$ 후에 Q로부터 멀어지고, $\frac{3}{4}T$ 후에 Q 쪽으로 가까워진다. 따라서 Q에서 관측할 때 중심별의 수소 흡수선 파장은 적색 편이가 나타나는 $\frac{T}{4}$ 후가 청색 편이가 나타나는 $\frac{3}{4}T$ 후보다 길다.

02 식 현상을 이용한 외계 행성 탐사

식 현상이 나타나는 주기는 행성 ㉠은 약 5일, 행성 ㉡은 약 11일이다. 만약 행성이 1개만 존재한다면 식 현상이 일어날 때 중심별은 지구로부터 가장 먼 곳에 위치한다.

㉠. 행성의 공전 주기는 식 현상이 나타나는 주기와 같으며, 식 현상이 나타나는 주기는 ㉠이 약 5일, ㉡이 약 11일이다. 따라서 행성의 공전 주기는 ㉡이 ㉠의 2배보다 길다.

㉡. 행성 ㉠과 ㉡은 크기가 같지만 행성에 의해 가려지는 중심별의 면적은 ㉠이 ㉡보다 작다. 따라서 시선 방향과 행성의 공전 궤도면이 이루는 각은 ㉠이 ㉡보다 크다.

㉢. 2일은 ㉠에 의한 식 현상이 일어난 직후이고 ㉡에 의한 식 현상이 일어나기 직전에 해당하므로, 중심별이 지구로부터 가장 먼 지점 부근에 위치한다. 한편 8일은 ㉠에 의한 식 현상이 일어나고 약 2.5일이 지났고 ㉡에 의한 식 현상이 일어나고 약 5.5일이 지났으므로, 중심별이 지구에 가장 가까운 지점 부근에 위치한다. 따라서 지구와 중심별 사이의 거리는 8일에서가 2일에서보다 가깝다.

03 미세 중력 렌즈 현상을 이용한 외계 행성 탐사

앞쪽 별과 행성에 의해 미세 중력 렌즈 현상이 일어나면 뒤쪽 별의 겉보기 밝기가 달라지며, 이를 이용하여 앞쪽 별의 주변에 행성이 존재하는지 알 수 있다.

✕. (나)는 앞쪽 별과 행성의 미세 중력 렌즈 현상에 의한 뒤쪽 별의 밝기 변화를 관측한 자료이다. 따라서 (나)는 B의 겉보기 밝기를 관측한 자료이다.

㉡. (나)에서 B가 가장 어둡게 보일 때의 밝기는 +22.5등급이고 가장 밝게 보일 때의 밝기는 +20.5등급이므로, 미세 중력 렌즈 현상에 의한 별의 밝기 변화는 2.0등급이다. 1등급 차에 해당하는 밝기 비는 약 2.5배이므로 미세 중력 렌즈 현상에 의한 최대 밝기 증가량은 약 2.5^2배이다.

㉢. (나)는 일정한 시간 간격으로 관측했으므로, 만약 행성이 존재하지 않았다면 ㉠일 때 겉보기 등급은 +21.5등급이어야 한다. 하지만 ㉠일 때 겉보기 등급은 +20.8등급으로 관측되었으므로 그 차이에 해당하는 −0.7은 행성의 미세 중력 렌즈 현상에 의해 나타난 B의 겉보기 등급 변화량이다.

04 중심별의 시선 속도 변화와 밝기 변화

행성의 공전 궤도면이 시선 방향에 나란하고, 중심별과 행성의 공통 질량 중심의 위치가 변하지 않을 경우, 중심별의 시선 속도가 (+) 값에서 (−) 값으로 바뀌는 시기에 행성에 의한 식 현상이 나타난다.

㉠. (가)에서 중심별의 평균 시선 속도는 +10 km/s이다. 따라서 이 외계 행성계의 공통 질량 중심은 지구로부터 10 km/s의 속력으로 멀어지고 있다.

✕. 이 외계 행성계는 공통 질량 중심이 지구로부터 10 km/s의 속력으로 멀어지고 있으므로 중심별의 시선 속도가 +10 km/s의 속력보다 빠르다가 +10 km/s의 속력보다 느려지는 시점인 T_2일 때 지구−행성−중심별 순으로 일직선상에 위치하여 행성에 의한 식 현상이 나타난다.

㉢. (나)의 a는 행성이 중심별을 가리기 시작하여 행성이 중심별 안으로 완전히 들어가는 데까지 걸리는 시간이다. 따라서 행성의 반지름이 클수록 a는 커진다. 한편 b는 행성에 의해 중심별이 가려지는 비율에 비례하므로 행성의 반지름이 클수록 커진다.

05 탐사 방법에 따른 외계 행성의 탐사 결과

중심별의 시선 속도 변화를 이용하여 발견된 행성들은 대부분 질량이 크고, 식 현상을 이용하여 발견된 행성들은 대부분 공전 궤도 반지름이 작다.

✕. 행성의 밀도가 같을 경우, 질량이 클수록 반지름이 크므로 행성의 반지름은 ㉠이 ㉡보다 크다. 중심별은 질량이 같은 주계열성이므로 ㉠과 ㉡의 중심별은 반지름이 거의 같다고 할 수 있다. 따라서 식 현상에 의한 중심별의 밝기 감소율은 ㉠이 ㉡보다 크다.

✕. 행성의 질량은 ㉠과 ㉢이 같지만, 공전 궤도 반지름은 ㉠이

㉢보다 작다. 중심별의 질량은 ㉠과 ㉢이 같으므로 중심별에서부터 행성과의 공통 질량 중심까지의 거리는 ㉠이 ㉢보다 가깝다.

㉢. 현재까지 발견된 행성들은 대부분 식 현상이나 도플러 효과를 이용하여 발견되었다. 따라서 발견된 행성의 수가 매우 많은 A는 도플러 효과, B는 직접 촬영에 해당한다. 직접 촬영을 통해 발견된 행성들은 상대적으로 지구로부터의 거리가 매우 가까우므로, A보다 B의 방법으로 발견된 행성들이 지구로부터의 평균 거리가 가깝다.

06 프록시마 외계 행성계의 특징

생명 가능 지대는 별의 주위에서 액체 상태의 물이 존재할 수 있는 거리의 범위이며, 중심별이 주계열성일 때 중심별의 질량이 클수록 생명 가능 지대의 위치는 중심별로부터 멀어지고, 폭은 넓어진다.

㉠. 프록시마 b의 궤도 반지름은 0.05 AU이고, 프록시마 b는 생명 가능 지대에 위치한다. 중심별로부터 생명 가능 지대까지의 거리가 프록시마 외계 행성계보다 태양계에서 훨씬 멀기 때문에, 별의 광도는 프록시마가 태양보다 작다.

✕. 프록시마 b의 평균 밀도는 지구의 약 $\frac{1.3}{1.1^3} \fallingdotseq 1$배이다. 따라서 프록시마 b는 지구와 유사하게 암석 성분으로 이루어진 행성임을 알 수 있다. 기체 성분으로 이루어진 행성은 평균 밀도가 지구보다 훨씬 작다.(기체형 행성인 목성의 평균 밀도는 지구의 약 0.24배이다.)

✕. 행성이 중심별로부터 매우 가까운 거리에 있을 경우 행성은 자전 주기와 공전 주기가 같은 동주기 자전을 할 가능성이 크다. 따라서 자전 주기는 프록시마 b가 지구보다 길 것이다.

07 외계 행성계의 물리량 비교

최근까지 발견된 외계 행성들은 대부분 태양과 질량이 비슷한 별 주위에서 발견되었다.

㉠. (가)에서 발견된 외계 행성의 중심별(주계열성이 대부분을 차지함)은 질량이 대부분 태양의 약 0.5배~1.5배 사이이다. 따라서 외계 행성은 질량이 매우 큰 분광형이 O형인 별보다 질량이 태양과 비슷한 분광형이 G형인 별 주위에서 많이 발견되었다.

✕. (나)에서 공전 주기가 짧을수록 궤도 이심률이 0에 가까운 행성, 즉 원 궤도에 가까운 행성의 비율이 높아진다.

✕. (가)에서 중심별의 질량은 대부분 태양과 비슷하므로, 생명 가능 지대는 대부분 중심별로부터 1 AU 부근에 존재하고 행성의 공전 주기도 지구와 비슷한 365일에 가까울 것이다. 따라서 (가)의 행성들은 대부분 생명 가능 지대에 위치하지 않는다는 것을 추론할 수 있고, 행성에 물이 있다면 대부분 기체 또는 고체 상태로 존재할 것이다.

08 생명 가능 지대의 변화

중심별의 광도 변화를 이용하여 생명 가능 지대의 거리와 폭의 변화를 추정할 수 있다. 별의 진화가 느릴수록 행성에서 안정한 환경이 오래 지속될 수 있다.

✕. 주계열 단계에서 별이 진화함에 따라 광도가 조금씩 커지므로, 시간이 흐를수록 중심별로부터 생명 가능 지대까지의 거리가 멀어지고, 생명 가능 지대의 폭이 넓어진다. 따라서 생명 가능 지대의 폭은 T_0일 때보다 T_1일 때 넓다.

✕. 중심별로부터 생명 가능 지대까지의 거리는 주계열 단계의 시작 시점인 T_0일 때보다 주계열 단계의 끝 시점인 T_1일 때 더 멀다. 따라서 주계열 단계에 머무르는 동안 S의 광도가 커지는 것을 추정할 수 있다.

㉢. 행성 b는 별 S가 주계열 단계에 머무르는 전체 기간 동안 생명 가능 지대에 위치하지만, 행성 a와 c는 생명 가능 지대에 위치하지 않는 기간이 존재한다.

수능특강 연계 기출

수능특강과의 완벽한 시너지
오개념 위험이 높은 변형 문제는 NO!
보장된 고퀄리티 기출문제 OK!

10 외부 은하와 우주 팽창

2점 수능 테스트

본문 194~198쪽

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

01 허블의 은하 분류

(가)는 나선팔 구조가 있으므로 막대 나선 은하이고, (나)는 편평도에 따라 세분할 수 있으므로 타원 은하이다. (다)는 불규칙 은하이다.

㉠. (가)는 막대 나선 은하, (나)는 타원 은하, (다)는 불규칙 은하이므로 '규칙적인 구조가 있는가?'는 분류 기준 ㉠으로 적절하다.

✗. 타원 은하는 다른 은하에 비해 성간 물질이 적고, 주로 나이가 많은 별들로 이루어져 있다. 따라서 은하의 질량에 대한 성간 물질의 질량비는 막대 나선 은하 (가)가 타원 은하 (나)보다 크다.

✗. 타원 은하는 주로 나이가 많은 붉은색 별들로 이루어져 있고, 불규칙 은하는 상대적으로 나이가 적은 파란색 별들로 이루어져 있다. 따라서 은하의 색은 타원 은하인 (나)가 불규칙 은하인 (다)보다 붉게 보인다.

02 외부 은하의 분류

허블은 외부 은하를 가시광선 영역에서 관측되는 형태에 따라 타원 은하, 나선 은하, 불규칙 은하로 분류하였다. (가)는 타원 은하, (나)는 정상 나선 은하, (다)는 막대 나선 은하에 속한다.

✗. 은하의 형태와 진화 사이에는 특별한 연관성이 없다는 것이 밝혀졌다. 따라서 시간이 지남에 따라 은하가 특정한 형태로 진화하지는 않는다.

✗. (나)의 나선팔은 중심핵에 비해 상대적으로 나이가 적고 표면 온도가 높은 별들로 이루어져 있다.

㉢. (다)는 나선팔과 막대 구조를 가지고 있다. 따라서 허블의 은하 분류에 의하면 (다)는 막대 나선 은하에 속한다.

03 특이 은하와 보통 은하

(가)는 나선 은하로 분류할 수 있는 세이퍼트은하이고, (나)는 보통의 막대 나선 은하이다.

✗. (가)에는 나선팔 구조가 있고, 막대 구조는 보이지 않는다. 따라서 ㉠은 허블의 분류 체계상 Sa, Sb, Sc 중 하나이다. 한편 E0~E7로 세분할 수 있는 은하는 타원 은하이다.

㉡. (가)는 세이퍼트은하로 중심부의 밝기가 보통의 나선 은하에 비해 훨씬 밝다. 따라서 은하 전체의 밝기에 대한 중심부의 밝기는 (가)가 (나)보다 크다.

✗. 은하의 시선 속도는 (가)에서 (−) 값이고 (나)에서 (+) 값이다. 따라서 은하의 스펙트럼에 나타난 수소 흡수선의 평균 파장은 청색 편이가 나타나는 (가)가 적색 편이가 나타나는 (나)보다 짧다.

04 전파 은하

이 은하는 보통의 은하보다 전파 영역에서 수백 배 이상 강한 전파를 방출하는 전파 은하이다.

㉠. 전파 은하는 특이 은하로, 중심부에 거대 질량의 블랙홀이 존재하여 매우 활동적인 은하핵을 갖고 있다.

✗. 은하 중심부의 회전축에 나란한 방향으로 제트가 방출되는데, (나)에서 제트 방향은 시선 방향에 거의 수직하다. 만약 제트가 방출되는 방향이 시선 방향에 나란하다면 (나)와 같이 로브 구조가 좌우에 대칭으로 나타나지 않을 것이다.

㉢. (나)의 합성 영상에서는 중심부의 양쪽에 제트와 로브 구조가 대칭으로 관측된다. 따라서 로브 구조는 가시광선보다 전파 영역에서 잘 관측된다.

05 충돌 은하

우주에 무리를 지어 분포하는 은하들 중 서로 가까이 있는 은하들 사이에는 중력이 우세하게 작용하여 충돌하기도 한다.

Ⓐ. 두 은하가 충돌할 때는 거대한 분자 구름이 충돌하게 되고 이 과정에서 성간 물질이 압축되어 많은 별들이 탄생할 수 있다.

Ⓑ. 두 은하가 가까이 접근하면 은하의 형태가 변형되어 길게 휘어진 형태로 보이기도 한다.

✗. 은하가 충돌하더라도 별들 사이의 평균 거리가 충분히 멀기 때문에 별들끼리 충돌하는 경우는 거의 없다.

06 퀘이사

대부분의 퀘이사는 우주 생성 초기에 만들어진 것이고, 지금까지 발견된 가장 멀리 있는 퀘이사는 우주가 탄생한 후 약 7억 년이 되었을 때 생성된 것이다.

㉠. (가)는 매우 멀리 있어 하나의 별처럼 보이는 특이 은하로 퀘이사이다.

㉡. 적색 편이(z)는 고유 파장(λ_0)에 대한 파장 변화량($\Delta\lambda$)으로 나타낸다. (나)에서 H_α선의 고유 파장은 656.3 nm이고, 파장 변화량은 760.0−656.3=103.7 nm이므로 적색 편이를 구할 수 있다.

$$z=\frac{103.7}{656.3}\fallingdotseq 0.158$$

㉢. 방출선 ㉠의 고유 파장은 H_α선의 고유 파장보다 짧다. 따라서 파장 변화량은 H_α선의 파장 변화량 103.7 nm보다 작다.

07 외부 은하의 적색 편이

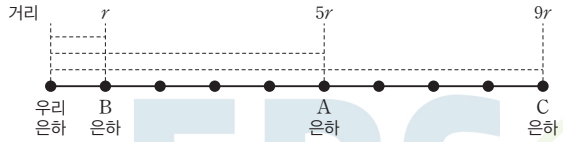
외부 은하의 후퇴 속도(v)와 흡수선의 파장 변화량[$\Delta\lambda$=관측 파장(λ)−고유 파장(λ_0)] 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$v=c\times\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}\ (c\text{: 빛의 속도})$$

㉠. A, B, C에서 모두 고유 파장보다 관측 파장이 길게 관측되었으므로 적색 편이가 나타난다.

㉡. 스펙트럼에서 관측된 수소선의 파장 변화량은 A가 25 nm, B가 5 nm, C가 45 nm이다. 우리은하로부터의 거리가 멀수록 후퇴 속도가 빨라서 적색 편이가 크게 나타나므로, 우리은하로부터의 거리는 B<A<C이다.

㉢. A, B, C는 동일한 시선 방향에 위치하며 우리은하로부터 A, B, C까지의 거리는 가장 가까운 B까지의 거리를 기준으로 할 때 각각 5배, 1배, 9배에 해당한다. 따라서 C를 기준으로 B까지의 거리는 A까지 거리의 2배이고, C에서 관측할 때 후퇴 속도는 B가 A의 2배이다.



08 허블 법칙

은하들의 후퇴 속도(v)는 거리(r)에 비례하는데, 이 관계를 허블 법칙이라고 한다.

$$v=H\times r\ (H\text{: 허블 상수})$$

✕. 허블 법칙은 우주의 어느 곳에서 관측하더라도 성립한다. 따라서 우주는 특정한 은하를 중심으로 팽창한다고 할 수 없다.

㉡. ㉡과 ㉢ 사이의 거리는 75 Mpc이고, A에서 관측한 두 은하의 후퇴 속도 차는 4500 km/s이므로 허블 상수는 60 km/s/Mpc이다.

$$H=\frac{v}{r}=\frac{4500\ \text{km/s}}{75\ \text{Mpc}}=60\ \text{km/s/Mpc}$$

✕. 허블 법칙을 이용하여 A로부터 ㉠과 ㉡까지의 거리는 각각 25 Mpc이다. 따라서 ㉡을 기준으로 ㉠까지의 거리보다 ㉢까지의 거리가 더 멀고, ㉡에서 같은 시각에 방출된 빛은 ㉠보다 거리가 먼 ㉢에 나중에 도착한다.

09 허블 상수

20세기 초에는 관측 장비의 한계와 관측 기술의 부족으로 허블 상수값이 최근 측정된 허블 상수값에 비해 훨씬 크게 측정되었다.

✕. 측정된 허블 상수값은 현재 우주가 팽창하는 정도를 나타낸다. 허블 상수는 ㉠ 시기보다 ㉡ 시기에 구한 값이 작으므로, 허블 상수값으로부터 추정한 우주의 팽창 속도는 ㉠ 시기보다 ㉡ 시기에 느리다.

㉡. 후퇴 속도(v)를 측정하면 허블 상수(H)를 이용하여 외부 은하의 거리$\left(\frac{v}{H}\right)$를 구할 수 있다. 허블 상수는 ㉠ 시기보다 ㉡ 시기에 작으므로 후퇴 속도를 측정하여 구한 외부 은하의 거리는 ㉠ 시기보다 ㉡ 시기에 길다.

㉢. 우주의 나이는 허블 상수가 클수록 적으므로 ㉠ 시기보다 ㉡ 시기에 많다.

10 정상 우주론

정상 우주론에서는 빅뱅 우주론과 달리 우주가 팽창하더라도 항상 일정한 상태를 유지한다고 주장한다.

㉠. 이 우주론은 우주의 시작도 끝도 없으며, 항상 일정한 상태를 유지한다는 정상 우주론이다.

㉡. 정상 우주론에서는 우주가 팽창하더라도 새로운 물질이 생성되므로 우주의 밀도가 일정하게 유지된다. 따라서 우주의 밀도는 물리량 A로 적절하다.

✕. 우주 배경 복사는 우주의 온도가 현재보다 과거에 훨씬 높았음을 나타내는 관측 결과이다. 정상 우주론에서는 우주의 온도가 항상 일정하다고 주장하므로 우주 배경 복사의 존재를 설명할 수 없다.

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.

㉠. 이 복사 에너지는 우주 전역에서 거의 동일한 세기로 관측되는 우주 배경 복사의 에너지 분포를 나타낸다.

✕. 우주 배경 복사는 우주의 온도가 약 3000 K일 때 방출되었던 복사로, 우주가 팽창하는 동안 온도가 낮아지고 파장이 길어져 현재는 전파 영역에서 약 2.7 K 복사로 관측되고 있다.

㉢. 우주 배경 복사가 상대적으로 강한 영역은 약한 영역보다 물질의 밀도가 커서 온도가 미세하게 높은 곳이다. 따라서 우주 배경 복사의 세기 차이는 우주 초기에 미세하게 밀도의 불균일이 존재했다는 증거이다.

12 초기 우주에서 헬륨 원자핵의 생성

빅뱅 우주론에 따르면 초기 우주는 매우 뜨거워 빅뱅 약 1초 후부터 약 3분 동안에 헬륨 원자핵이 합성되었고 소량의 리튬도 만들어졌다.

㉠. ㉠은 양성자 2개와 중성자 2개가 핵융합하여 만들어진 헬륨 원자핵이다.

✕. (가)→(나) 동안 헬륨 원자핵이 생성되는 반응이 일어났으므

로 우주의 온도는 1천만 K 이상이었다.

✗. 헬륨 원자핵보다 무거운 원자핵들이 연속적으로 생성되려면 우주의 온도가 높아져야 한다. 하지만 (나) 시기 직후 우주의 온도가 낮아졌기 때문에 우주 공간에서 헬륨 원자핵보다 무거운 원자핵은 생성될 수 없었다. 헬륨 원자핵보다 무거운 원자핵은 이후 별의 진화 과정에서 생성되었다.

13 우주 팽창과 풍선 모형

은하들이 서로 멀어지는 우주에서는 어떤 은하에서 보더라도 은하들 사이의 거리가 멀어지는 것으로 나타나기 때문에 특정한 위치를 우주의 중심으로 정할 수 없다. 부풀어 오르는 풍선 모형을 통해 특정한 팽창의 중심이 없다는 것을 확인할 수 있다.

✗. 풍선 모형에서 부풀어 오르는 풍선 표면은 우주 공간에 해당하고, 풍선 표면의 단추는 은하에 해당한다.

✗. 은하에 해당하는 ㉠, ㉡, ㉢이 멀어지는 속도는 서로 떨어져 있는 거리에 비례한다. 즉, 두 은하 사이의 거리가 멀수록 더 빨리 멀어진다.

○. 풍선 모형에서 풍선 표면은 우주 공간에 해당하며, 팽창하는 풍선의 표면에서 팽창의 중심점은 존재하지 않는다.

14 우주의 팽창 속도 변화

우주는 빅뱅(우주 탄생) → 급팽창 → 감속 팽창 → 가속 팽창하였다.

㉠. 우주의 상대적 크기는 시간에 따라 계속 증가하였으므로 빅뱅 이후 현재까지 우주는 계속 팽창하였다.

㉡. 우주의 급팽창은 빅뱅 직후에 일어났으므로 우주 배경 복사가 형성된 시점(㉠)보다 먼저 일어났다.

✗. 암흑 에너지는 단위 부피당 일정한 양이 존재하는 것으로 추정하고 있다. 따라서 ㉠~㉡ 시기 동안 단위 부피당 암흑 에너지의 양은 일정하였다.

15 우주의 급팽창과 평탄 우주

급팽창 이론에서는 우주가 전체적으로 곡률을 가지고 있더라도 우주 생성 초기에 급격히 팽창하여 공간의 크기가 매우 커지면 관측되는 우주의 영역은 매우 평탄하게 보인다고 주장함으로써 우주의 평탄성 문제를 설명하였다.

✗. 우주의 급팽창이 시작된 ㉠ 시점 이전에는 우주의 지평선 내의 영역은 상호 작용을 통해 거의 균질하게 되었다. 이후 급팽창을 통해 이 영역은 우주의 지평선보다 훨씬 큰 규모로 확장되었기 때문에 현재 관측 가능한 우주의 영역은 거시적으로 균질하게 보인다.

㉡. 급팽창 이론에 따르면 우주의 급팽창이 끝난 시점(㉡)에 우주의 크기는 관측 가능한 우주의 크기보다 훨씬 커졌고, 그에 따라 관측 가능한 우주는 매우 평탄할 것이다.

㉢. 급팽창 이론을 통해 기존의 빅뱅 우주론에서 설명하기 어려웠던 우주의 평탄성 문제를 설명할 수 있다.

16 급팽창 이론

급팽창 이론은 우주 탄생 직후 10^{-36}~10^{-34}초 사이에 우주가 빛보다 빠른 속도로 팽창했다는 이론으로, 기존의 빅뱅 우주론으로 해결할 수 없는 세 가지 문제점을 해결하기 위해 제안되었다.

㉠. 급팽창 이론은 빅뱅 직후 매우 짧은 시간 동안 우주의 상대적 크기가 빛보다 빠른 속도로 팽창하였다는 이론이다.

㉡. 급팽창 동안 우주의 상대적 크기는 빛보다 빠르게 팽창하였고, 우주의 지평선 크기는 빛의 속도로 팽창하였다. 따라서 $\frac{R_2}{R_1} > \frac{H_2}{H_1}$이다.

㉢. 급팽창 이전에는 우주가 전체적으로 상호 작용을 통해 균질해질 수 있었기 때문에 급팽창 이후 우주의 지평선(H_2) 내부 영역은 온도가 거의 균일할 수 있었다.

17 중력 렌즈 현상

질량이 매우 큰 은하(또는 은하 집단)는 중력 렌즈 현상을 일으켜 멀리 있는 은하를 여러 개의 왜곡된 영상으로 나타나게 할 수 있다.

㉠. A~D는 모두 동일한 퀘이사의 영상이다. 따라서 A~D의 스펙트럼에 나타나는 적색 편이는 동일하다.

㉡. 퀘이사에서 방출된 빛이 퀘이사 앞쪽에 위치한 은하의 중력에 의해 굴절되어 영상이 4개(A~D)로 나타난 것이다. 따라서 ㉢은 '중력 렌즈'이다.

㉢. 퀘이사(㉠)에서 방출된 빛이 은하(㉡)에 의해 굴절되었으므로, 지구로부터의 거리는 ㉠이 ㉡보다 멀다.

18 나선 은하의 회전 속도 곡선과 질량 분포

나선 은하에서 질량이 헤일로에 많이 분포할 경우 은하의 회전 속도는 은하 중심에서 멀어지더라도 거의 느려지지 않는다.

✗. 은하에서 질량의 대부분이 은하 중심부에 밀집되어 있다면 별들의 회전 속도는 ㉡과 같이 은하 중심부에서 멀어질수록 점점 느려진다.

✗. ㉠의 경우 거리 r_1과 r_2에서 은하 중심을 회전하는 속도는 거의 같지만, 회전 경로의 길이는 r_1보다 r_2에서 길다. 따라서 은하 중심을 회전하는 주기도 r_1보다 r_2에서 길다.

㉢. 우리은하는 외곽부에 암흑 물질이 많이 분포하고 있으므로 회전 속도 곡선은 ㉡보다 ㉠에 가깝게 나타난다.

19 우주의 곡률

(가)는 평탄 우주 모형, (나)는 닫힌 우주 모형, (다)는 열린 우주 모형이다.

㉠. 현재 우주는 곡률이 0인 평탄 우주이므로 (가)에 가깝다.
✕. (나)는 우주의 곡률이 양(+)의 값인 닫힌 우주 모형이다.
㉢. (다)는 열린 우주 모형으로, 우주의 평균 밀도가 임계 밀도보다 작다. 따라서 (다)에서 $\frac{\text{임계 밀도}}{\text{우주의 평균 밀도}}>1$이다.

20 우주 모형

우주의 크기가 0이 되는 점이 대폭발이 일어난 시점이므로 현재부터 이 점까지의 시간은 우주의 나이에 해당한다.
㉠. A와 B는 모두 우주의 평균 밀도가 임계 밀도와 같으므로 평탄 우주 모형이다.
✕. 현재 우주의 크기는 A와 B에서 같지만, 우주의 나이는 A가 B보다 많다. 따라서 빅뱅 이후 현재까지 우주의 평균 팽창 속도는 A가 B보다 느리다.
✕. A는 가속 팽창하는 평탄 우주 모형이고, B는 감속 팽창하는 평탄 우주 모형이다. 현재 암흑 에너지가 차지하는 비율은 감속 팽창하는 B보다 가속 팽창하는 A에서 크다.

3점 수능 테스트

본문 199~208쪽

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

01 허블의 은하 분류

은하는 가시광선 영역에서 관측되는 형태에 따라 타원 은하, 정상 나선 은하, 막대 나선 은하, 불규칙 은하로 분류한다.
③ A는 타원 은하, B는 정상 나선 은하, C는 막대 나선 은하, D는 불규칙 은하이다. A, B, C는 모두 규칙적인 구조가 있는 은하이고, D는 규칙적인 구조가 없는 은하이므로 ㉠에 해당하는 적절한 질문은 '규칙적인 구조가 있는가?'이다. 막대 나선 은하 C는 정상 나선 은하 B와 달리 막대 구조가 존재하므로 '막대 구조가 있는가?'는 ㉡에 해당하는 적절한 질문이다.

02 은하의 종류에 따른 특징

우리은하는 막대 나선 은하로 분류되며, 불규칙 은하는 나선 은하에 비해 성간 물질이 풍부하고 비교적 젊은 별들로 이루어져 있다.
㉠. 우리은하는 막대 구조와 나선팔 구조가 있으므로 허블의 은하 분류에 따라 SB형으로 분류할 수 있다.
✕. 대마젤란은하는 불규칙 은하에 해당하며, 은하의 형태와 진화 사이에는 특별한 연관성이 없다. 따라서 '불규칙 은하가 진화할 경우 나선팔이 형성된다.'고 할 수 없다.
㉢. 불규칙 은하는 나선 은하에 비해 성간 물질이 많고 나이가 적은 파란색 별의 비율이 높다. 따라서 주계열성 중 $\frac{\text{붉은색 별의 수}}{\text{파란색 별의 수}}$는 물리량 ㉠이 될 수 있다.

03 우리은하 주변에 있는 외부 은하들의 특징

우리은하 주변에는 약 40여 개의 크고 작은 은하들이 존재하며, 이들 은하는 서로의 중력에 의해 비교적 강하게 묶여 있다.
㉠. A는 시선 속도가 (−) 값이므로 우리은하와 가까워지고 있고, C는 시선 속도가 (+) 값이므로 우리은하로부터 멀어지고 있다. 따라서 우리은하와 충돌할 가능성은 A가 C보다 높다.
✕. 타원 은하는 타원의 납작한 정도에 따라 E0~E7로 세분한다. B는 E2이고, D는 E6이므로 납작한 정도는 B보다 D가 크다.
✕. 허블 법칙은 우주의 팽창으로 외부 은하의 거리와 후퇴 속도가 비례한다는 법칙이다. A~D 중에서 A, B, D는 우리은하와 가까워지고 있으므로 이 자료를 이용하여 허블 법칙을 설명할 수 없다.

04 은하의 특징

A는 불규칙 은하, B는 타원 은하, C는 막대 나선 은하의 특징이다.

✕. 불규칙 은하는 규칙적인 구조가 없고, 구성 별들의 평균 표면 온도가 높은 편이다. 따라서 A는 별들의 평균 색지수가 가장 작은 ㉢의 특징이다.

㉡. ㉡은 별들의 평균 표면 온도가 ㉠보다 높고 ㉢보다 낮다. 따라서 ㉡은 막대 나선 은하이며, 우리은하와 형태가 같은 은하이다.

㉢. 은하에 포함된 성간 물질의 비율은 불규칙 은하인 ㉢이 타원 은하인 ㉠보다 높다.

05 퀘이사

퀘이사는 매우 먼 거리에 있어 적색 편이가 매우 크게 나타난다. 적색 편이가 매우 크다는 것은 퀘이사가 매우 빠른 속도로 멀어지고 있다는 뜻이다.

㉠. A의 적색 편이는 0.15이고, 방출선 X의 관측 파장은 690 nm이다. 따라서 X의 고유 파장(λ_0)은 600 nm이다.

$$z=\frac{690-\lambda_0}{\lambda_0}=0.15,\ \lambda_0=600\ \text{nm}$$

✕. B에서 관측된 X의 파장이 750 nm이므로 B의 적색 편이는 0.25이다.

$$z=\frac{750-600}{600}=0.25$$

㉢. 퀘이사의 적색 편이는 A<B<C이므로 퀘이사까지의 거리는 A<B<C이다. 거리가 먼 퀘이사일수록 더 먼 과거의 모습이므로 X가 퀘이사에서 형성된 시점은 A, B, C 중 A가 가장 최근이고 C가 가장 오래되었다. 우주의 크기는 시간이 흐를수록 커지므로 X가 각 퀘이사에서 방출된 시점에 우주의 상대적 크기는 A>B>C이다.

06 전파 은하

전파 은하는 보통 은하보다 수백 배 이상의 강한 전파를 방출하는 은하로, 관측 방향에 따라 제트로 연결된 로브가 관측되기도 한다.

✕. 은하 중심부의 양쪽에 강한 전파를 방출하는 둥근 모양의 로브는 가시광선 영역보다 전파 영역에서 관측할 때 잘 나타난다.

㉡. (나)의 가시광선 영상을 보면 이 은하는 둥근 형태로 보인다. 따라서 이 은하를 허블의 은하 분류에 따라 분류하면 E7보다 E0에 가깝다.

㉢. X선 영역에서 관측하면 전파 은하의 중심부에서 방출되는 제트가 잘 나타나는데, 이것은 블랙홀에 의해 고속으로 움직이는 입자에서 방출되는 에너지와 관계가 있다.

07 허블 법칙

멀리 있는 외부 은하의 스펙트럼을 관측하면 대부분의 외부 은하가 우리은하로부터 멀어지므로 적색 편이가 나타나며, 외부 은하의 후퇴 속도는 흡수선의 파장 변화량에 비례한다.

㉠. 은하의 겉보기 크기는 거리에 반비례하므로 거리가 멀수록 시지름이 작아진다. (가)와 (나)는 동일한 크기의 타원 은하이고, 시지름은 (가)가 (나)의 $\frac{1}{2}$배이므로 거리는 (가)가 (나)의 2배이다. 따라서 은하의 후퇴 속도는 허블 법칙에 따라 (가)가 (나)의 2배이다.

㉡. (가)의 적색 편이를 z_1, (나)의 적색 편이를 z_2라 하고, 수소선 ㉠과 ㉡의 고유 파장을 각각 $\lambda_㉠$, $\lambda_㉡$이라고 하면 a를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$z_1=\frac{a-\lambda_㉠}{\lambda_㉠},\ a=(z_1+1)\lambda_㉠$$

같은 방식으로 b, c, d를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$b=(z_1+1)\lambda_㉡,\ c=(z_2+1)\lambda_㉠,\ d=(z_2+1)\lambda_㉡$$

따라서 $\frac{a}{c}=\frac{b}{d}=\frac{z_1+1}{z_2+1}$이다.

㉢. (다)의 적색 편이를 z_3이라고 하면 수소선 ㉠의 관측 파장은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{a+c}{2}=(z_3+1)\lambda_㉠ \cdots\cdots ①$$

한편 $a=(z_1+1)\lambda_㉠$, $c=(z_2+1)\lambda_㉠$이므로, 이 값을 ①에 대입하여 정리하면 $z_3=\frac{z_1+z_2}{2}$이다. (다)의 적색 편이가 (가)와 (나)의 평균값과 같으므로 (다)까지의 거리도 (가)와 (나)의 평균값과 같다. 따라서 우리은하로부터 (다)까지의 거리는 (나)까지의 거리의 1.5배이다.

08 우주 팽창과 허블 상수

허블 상수는 외부 은하의 후퇴 속도와 거리 사이의 관계를 나타내는 비례 상수로, 우주 팽창 속도에 비례한다.

✕. 허블 상수는 그래프의 기울기에 해당하므로 B가 A의 2배이다. 우주 팽창 속도는 허블 상수에 비례하므로 B가 A의 2배이다.

✕. 관측 가능한 우주의 크기는 우주의 나이(허블 상수의 역수)에 빛의 속도를 곱한 값으로 정의된다. 허블 상수는 B가 A의 2배이므로 관측 가능한 우주의 크기는 A가 B의 2배이다.

㉢. 우주 팽창 속도가 일정할 때 우주의 나이는 허블 상수의 역수에 해당한다. A에서 허블 상수는 $\frac{10^4\ \text{km/s}}{300\ \text{Mpc}}$이므로 우주의 나이($t$)는 약 9×10^{17}초이다.

$$t\fallingdotseq\frac{300\ \text{Mpc}}{10^4\ \text{km/s}}\fallingdotseq\frac{300\times3\times10^{19}\ \text{km}}{10^4\ \text{km/s}}\fallingdotseq9\times10^{17}\text{초}$$

09 허블 법칙

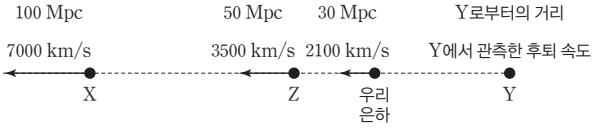
허블 법칙은 은하들의 후퇴 속도(v)와 거리(r)의 비례 관계를 나

타낸 법칙으로, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$v = H \times r \ (H\text{: 허블 상수})$$

㉠. 외부 은하에서 관측한 우리은하의 후퇴 속도는 외부 은하와 우리은하 사이의 거리에 비례한다. 따라서 우리은하로부터의 거리는 X가 Y의 $\frac{4900\ \text{km/s}}{2100\ \text{km/s}} = \frac{7}{3}$배이다.

✗. Y에서 관측할 때 우리은하와 X, Z는 동일한 시선 방향에 위치하며, 은하의 후퇴 속도는 우리은하가 2100 km/s, Z가 3500 km/s이다. X에서 관측한 우리은하의 후퇴 속도는 Y에서 관측한 우리은하의 후퇴 속도보다 빠르므로, Y를 기준으로 할 때 X는 우리은하보다 먼 곳에 위치해야 한다. 허블 상수가 70 km/s/Mpc임을 고려하면 은하들 사이의 위치 관계는 다음과 같다.



따라서 우리은하에서 관측되는 은하의 후퇴 속도는 Y가 Z보다 빠르다.

㉢. X에서 Y를 관측할 때, 후퇴 속도는 7000 km/s이므로 흡수선의 $\left(\frac{\text{관측 파장} - \text{고유 파장}}{\text{고유 파장}}\right)$은 적색 편이($z$)와 같고,

$z = \frac{\text{후퇴 속도}}{\text{빛의 속도}} = \frac{7000\ \text{km/s}}{3 \times 10^5\ \text{km/s}} = \frac{7}{300}$이다.

10 허블 상수

우주가 일정한 속도로 팽창한 것으로 가정할 때 허블 법칙으로부터 우주의 나이(t)를 구할 수 있다.

$$t = \frac{r}{v} = \frac{r}{H \times r} = \frac{1}{H}$$

(v: 후퇴 속도, r: 거리, H: 허블 상수)

현재 우주의 나이는 약 138억 년으로 추정하고 있다.

㉠. 우주의 나이는 허블 상수의 역수에 해당하므로, 측정된 허블 상수로 추정한 우주의 나이는 (가)가 (나)보다 많다.

✗. 허블 상수는 우주의 팽창 속도에 비례하므로, 단위 시간당 단위 부피의 우주 공간이 커지는 비율은 허블 상수값이 더 크게 측정된 (나)가 (가)보다 크다.

✗. 은하의 적색 편이는 후퇴 속도에 비례하며, 거리가 같을 때 후퇴 속도는 허블 상수가 클수록 빠르다. 따라서 같은 거리에 있는 은하의 적색 편이는 (나)가 (가)의 약 $\frac{73}{67}$배이다.

11 우주 팽창

빛이 어떤 천체에서 출발하여 다른 천체에 도착할 때까지 우주는 계속 팽창하므로 두 천체 사이의 거리는 계속 달라진다. 따라서 두 천체 사이의 거리는 빛이 이동하는 데 걸리는 시간(또는 빛이 이동한 거리)으로 나타내는 경우가 많다.

㉠. 빛이 A에서 출발하여 B에 도착하기까지 우주의 크기는 2배로 증가하였으므로, 이 기간 동안 우주 공간을 이동하는 빛 ㉠의 파장도 2배로 증가한다. 따라서 ㉠이 B에 도착했을 때의 파장은 A에서 출발할 때 파장의 2배이다.

㉡. A와 B에서 동시에 출발한 빛이 B와 A에 각각 도착하는 데 걸리는 시간은 같다. 따라서 T_1일 때 B에서 출발한 빛은 T_2일 때 A에 도착할 수 있다.

㉢. ㉠이 우주 공간을 이동하는 동안 A와 B 사이에서는 새로운 공간이 균일하게 계속 생성된다. ㉠이 A에서 B까지 이동하는 동안 이미 지나온 공간에서 새로 생성되는 공간은 ㉠의 이동 거리에 포함되지 않는다. 따라서 ㉠이 A에서 B로 이동한 실제 거리는 T_1일 때 A와 B 사이의 거리보다 길고, T_2일 때 A와 B 사이의 거리보다 짧다.

12 정상 우주 모형과 빅뱅 우주 모형의 비교

빅뱅 우주론에서는 우주가 팽창함에 따라 우주의 밀도가 작아지고 온도가 낮아지며, 정상 우주론에서는 우주가 팽창하더라도 우주의 밀도와 온도가 일정하게 유지된다. (가)는 빅뱅 우주 모형, (나)는 정상 우주 모형이다.

㉠. (가)와 (나)는 모두 팽창하는 우주 모형이므로 거리가 먼 은하일수록 후퇴 속도가 빠르다. 즉, 허블 법칙은 (가)와 (나)에서 모두 설명 가능하다.

✗. (나)의 정상 우주 모형에서는 우주가 팽창하더라도 새로운 은하가 계속 생성되어 단위 부피당 은하의 개수가 일정한 상태를 유지한다.

✗. 우주 배경 복사는 빅뱅 우주 모형인 (가)에서만 설명 가능하다. (나)의 정상 우주 모형에서는 우주의 온도가 일정해야 하는데 우주 배경 복사는 과거에 우주의 온도가 매우 높았다는 것을 의미하므로 모순이 발생한다.

13 우주 배경 복사

우주 배경 복사는 우주의 온도가 약 3000 K일 때 방출되었던 복사로, 우주가 팽창하는 동안 온도가 낮아지고 파장이 길어져 현재는 약 2.7 K 흑체 복사로 관측된다.

㉠. (가)의 A일 때는 아직 원자핵과 전자가 결합되지 않은 상태로, 빛이 자유롭게 진행하지 못하는 불투명한 우주에 해당한다. 이 시기에 우주 공간을 채우고 있던 빛은 모두 산란되거나 흡수되어 현재는 관측이 불가능하다.

㉡. 현재 우주에서 관측되는 우주 배경 복사는 약 2.7 K 흑체 복사 곡선(㉠)과 거의 일치한다.

✕. 우주 배경 복사는 우주의 온도가 약 3000 K일 때 방출되었던 복사로, 우주가 팽창하는 동안 온도가 낮아지고 파장이 길어져 현재는 약 2.7 K 복사로 관측되고 있다. 최대 복사 에너지 세기를 갖는 빛의 파장은 온도에 반비례하므로, 빅뱅 후 약 38만 년이 지났을 때 우주 배경 복사에서 최대 복사 에너지 세기를 갖는 빛의 파장은 0.2 cm보다 훨씬 짧다.

14 빅뱅 우주론

빅뱅 우주론에 따르면 우주가 팽창함에 따라 우주의 평균 온도는 점차 낮아졌다.

㉠. 우주의 급팽창은 빅뱅 직후에 일어났으므로 A 시기 이전에 일어났다.

✕. A 시기에는 중성자와 양성자가 핵융합 반응을 거쳐 헬륨 원자핵이 생성되었다. 따라서 이 당시 우주의 온도는 1000만 K보다 높았다.

✕. B 시기에 생성된 원자는 대부분 수소와 헬륨이었고, 리튬이 극히 일부 생성되었다. 오늘날 존재하는 헬륨보다 무거운 원소들은 대부분 별의 진화 과정을 거쳐 생성되었다.

15 우주의 급팽창

우주의 정반대 방향에서 오는 우주 배경 복사가 거의 균일하게 관측되는데 이를 우주의 지평선 문제라고 한다. 급팽창 이론에서는 우주의 급팽창 이전에 우주가 전체적으로 정보 교환이 가능했었다고 설명하면서 우주의 지평선 문제를 해결하였다.

㉠. 현재 지구에서 관측되는 우주 배경 복사는 우주의 전 영역에서 거의 균일하다.

✕. A는 B의 빛(우주 배경 복사)이 이동할 수 있는 범위의 바깥쪽에 위치한다. 따라서 우주 배경 복사가 출발할 당시 A와 B는 상호 작용이 불가능한 영역에 위치하였다.

㉢. A와 B에서 출발한 우주 배경 복사가 약 137억 년 후에 지구가 위치한 지점에 도착하였듯이 약 137억 년 전에 지구가 위치한 지점에서 출발한 우주 배경 복사는 현재 A와 B에 도착한다.

16 우주 팽창과 적색 편이

빛이 이동하는 동안 우주 팽창에 의해 적색 편이가 일어나며 적색 편이의 크기는 빛이 이동하는 동안 우주가 팽창한 정도에 비례한다.

✕. 이 기간 동안 우주는 가속 팽창하였으므로 우주 구성 요소 중 암흑 에너지가 차지하는 비율은 커졌다. 따라서 암흑 에너지의 비율은 10억 년 전보다 20억 년 전에 작다.

㉡. 20억 년 전에 A에서 출발한 빛이 현재 우리은하에 도착하였으므로 빛이 진행한 거리는 20억 광년(=빛의 속도×20억 년)이며, 빛이 진행하는 동안 우주는 계속 가속 팽창하였으므로 현재 우리은하와 A 사이의 거리는 20억 광년보다 크다.

✕. 이 기간 동안 우주는 가속 팽창하였으므로 우주에서 공간이 늘어난 길이는 20억 년 전~10억 년 전 사이보다 10억 년 전~0(현재) 사이가 길다. 따라서 빛의 파장 변화량은 $(\lambda_1-\lambda_0)$보다 $(\lambda_2-\lambda_1)$이 크다.

17 우주의 곡률

우주의 평균 밀도가 임계 밀도보다 작으면 열린 우주, 우주의 평균 밀도가 임계 밀도보다 크면 닫힌 우주, 우주의 평균 밀도가 임계 밀도와 같으면 평탄 우주이다.

㉠. (가)에서 우주의 기하학적 성질은 공 모양으로 나타난다. 이와 같은 우주는 닫힌 우주로, 우주의 곡률은 양(+)의 값을 갖는다.

㉡. (나)는 말안장 모양의 기하학적 성질을 가지는 열린 우주에 해당한다. 열린 우주에서 우주의 평균 밀도는 임계 밀도보다 작다.

✕. (다)는 우주의 곡률이 0인 평탄 우주이며, 암흑 에너지에 의해 가속 팽창이 일어난다. 따라서 (다)는 가속 팽창하는 평탄 우주에 해당한다.

18 우주의 구성 요소

최근의 관측 자료에 의하면 현재 우주를 구성하는 요소의 상대적 비율은 보통 물질(B)이 약 4.9 %, 암흑 물질(A)이 약 26.8 %, 암흑 에너지(C)가 약 68.3 %이다.

㉠. 별과 성운을 구성하는 물질은 보통 물질이다. (가)에서 보통 물질의 밀도 변화는 B이다.

✕. (나)에서 중력 렌즈 현상을 일으킨 천체는 은하 집단이다. 은하 집단을 구성하는 물질은 보통 물질보다 암흑 물질이 대체로 많다. 따라서 (나)의 중력 렌즈 현상은 주로 A에 의해 일어난다.

✕. 미래에는 암흑 에너지(C)의 비율이 점점 커진다. 따라서 시간이 흐를수록 우주의 팽창 속도는 점점 빨라질 것이다.

19 우주의 팽창 속도 변화

Ia형 초신성을 관측한 결과로부터 우주는 수십억 년 전부터 팽창 속도가 점점 빨라지는 것이 밝혀졌다. 이는 우주 안에 있는 물질들의 인력을 합친 것보다 더 큰 어떤 척력이 작용하여 우주를 팽창시키고 있음을 의미한다.

㉠. 우주의 팽창 속도는 약 60억 년 전에 가장 느렸으며, 그 이후부터 현재까지 팽창 속도가 계속 빨라지고 있다. 따라서 우주는 약 60억 년 전부터 현재까지 가속 팽창하고 있다.

㉡. 우주 배경 복사가 형성된 시기는 약 137억 년 전이다. 우주는 급팽창이 끝난 이후부터 약 60억 년 전까지 감속 팽창했으므로, 우주 팽창 속도는 현재보다 우주 배경 복사가 형성될 당시에 빨

랐다.
㉢. 우주가 팽창함에 따라 우주의 밀도에서 암흑 에너지 밀도가 차지하는 비율은 계속 증가하였다.

20 표준 우주 모형

급팽창 이론을 포함한 빅뱅 우주론에 암흑 물질과 암흑 에너지의 개념까지 모두 포함한 최신의 우주론을 표준 우주 모형이라고 한다. 이 모형으로 예측한 우주의 구조는 지금까지 이루어진 우주 관측 사실들과 잘 부합한다.
✕. 허블 법칙은 정상 우주론과 빅뱅 우주론이 경쟁하기 이전에 발견되었다.
✕. 우주 배경 복사를 관측함에 따라 빅뱅 우주론이 확립되었으므로 우주 배경 복사를 최초로 관측한 시기는 A이다.
㉢. 급팽창 이론이 등장하면서 기존의 빅뱅 우주론이 설명하기 어려웠던 우주의 지평선 문제를 해결할 수 있었다.

[인용 사진 출처]

39p_응회암: ©Susan E. Degginger / Alamy Stock
39p_처트: ©Valery Voennyy / Alamy Stock Photo
39p_암염: ©Peter Hermes Furian / Alamy Stock Photo
40p_사층리: ©Gabbro / Alamy Stock Photo
41p_태백시 구문소: ©한국관광공사
43p_판상 절리: ©Sergio Boccardo / Alamy Stock Photo
44p_관입: ©parker1992 / Alamy Stock Photo
44p_포획: ©Karl W. Wegmann / Alamy Stock Photo
59p_필석: ©FLPA / Alamy Stock Photo
60p_화폐석: ©lophius / Alamy Stock Photo
60p_매머드: ©Martin Shields / Alamy Stock Photo
63p_카르니아 화석: ©Sabena Jane Blackbird / Alamy Stock Photo
124p_피나투보 화산: ©David Hodges / Alamy Stock Photo