

수능특강

과학탐구영역
지구과학 I

정답과
해설

01 판 구조론과 대륙 분포의 변화

수능 2점 테스트 본문 13~15쪽

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

01 대륙 이동의 증거

대륙 이동의 증거에는 해안선 굴곡의 유사성, 고생물 화석의 분포, 빙하 퇴적층의 분포와 빙하 이동 흔적, 지질 구조의 연속성 등이 있다.

- ✗. 글로소프테리스는 육상 식물이며, 리스트로사우루스는 육상 동물이다.
- ㉠. 현재 대서양 양쪽에 위치한 남아메리카 대륙(A) 동쪽 해안선과 아프리카 대륙(B) 서쪽 해안선의 굴곡이 유사하다. 이것은 남아메리카 대륙(A)과 아프리카 대륙(B)이 붙어 있었다는 대륙 이동의 증거가 되며, 남아메리카 대륙(A)과 아프리카 대륙(B)이 분리되면서 대서양이 형성되었다.
- ㉡. 인도 대륙은 판게아 형성 당시 남극 대륙에 붙어 있었다. 즉, 남반구에 위치하였다.



고생물 화석의 분포



해안선 굴곡의 유사성

02 흠스의 맨틀 대류설

흠스는 맨틀 내의 방사성 원소의 붕괴열과 고온의 지구 중심부에서 맨틀로 공급되는 열에 의하여 맨틀이 열대류를 한다고 생각했으며, 맨틀 대류가 대륙 이동의 원동력이라고 주장하였다.

- ㉠. 흠스의 맨틀 대류설에 의하면 대륙은 맨틀 대류에 의해 이동한다.
- ㉡. 흠스는 맨틀 대류의 상승부에서 대륙 지각이 분리되면서 새로운 해양이 생성된다고 주장하였다.
- ✗. 흠스는 맨틀의 열대류를 주장하였다. 즉, 흠스의 맨틀 대류설에서는 일정 깊이의 맨틀에서 온도 차가 발생할 때, 온도 차로 인해 밀도 차가 발생하여 대류가 일어난다고 설명한다. 따라서 흠스는 맨틀 대류의 원인을 맨틀의 상부에서 하부로 갈수록 밀도가 커

지는 물리적 특성 때문에 의한 것으로 설명한 것이 아니다.

03 음향 측심법

초음파의 속력이 v , 해수면에서 발사한 초음파가 해저면에 반사되어 되돌아오는 데 걸리는 시간이 t 라면 수심 d 는 다음과 같다.

$$\text{수심}(d) = \frac{1}{2}vt$$

- ✗. P_1 부근은 초음파의 왕복 시간이 약 12초이므로, 수심이 약 9000 m이다. 즉, 이 해역에는 해구가 존재하고, 판의 수렴형 경계가 나타난다.
- ✗. P_1 과 P_2 에서 초음파의 왕복 시간 차는 4초보다 작다. 따라서 P_1 과 P_2 의 수심 차는 3000 m보다 작다.
- ㉠. 이 해역에는 해구가 존재하기 때문에 오래된 해양 지각이 맨틀 속으로 섭입하여 소멸하는 곳이 존재한다.

04 지괴의 이동

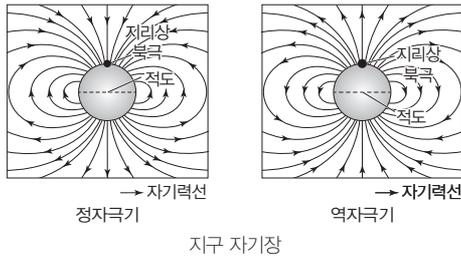
지괴에 존재하는 암석의 고지자기 복각을 통해 지괴의 위도 변화를 해석할 수 있다. 시기별로 암석으로 구한 지괴의 고지자기 복각의 크기가 점차 커진다면 지괴는 고위도로 이동한 것이다.

- ㉠. A의 생성 당시 지괴의 고지자기 복각이 -45° , E의 생성 당시 지괴의 고지자기 복각이 $+36^\circ$ 이므로 지괴는 북쪽으로 이동하였다.
- ㉡. 5천 5백만 년 전에 지괴의 고지자기 복각은 -21° , 4천만 년 전에 지괴의 고지자기 복각은 $+9^\circ$ 이므로 이 지괴는 신생대에 적도를 통과하였다.
- ㉢. 지괴의 고지자기 복각의 차이는 7천만 년 전~5천 5백만 년 전과 4천만 년 전~2천 5백만 년 전이 같지만, 복각과 위도의 관계를 고려할 때 지괴의 위도 변화량은 7천만 년 전~5천 5백만 년 전이 4천만 년 전~2천 5백만 년 전보다 크다.

05 잔류 자기

마그마가 식어서 굳어질 때 자성 광물은 당시의 지구 자기장 방향으로 자화된다. 이후 지구 자기장의 방향이 변해도 자화 방향은 그대로 보존되는데, 이를 이용하여 지괴의 위치 변화를 추정할 수 있다.

- ✗. 이 시기는 지리상 북극과 지자기 남극이 일치하므로 역자극기에 해당한다. (가)에서 잔류 자기의 복각은 (+) 값이므로, ㉠은 남반구에 위치한다.
- ✗. A 지점은 자기 적도에 위치하고, 복각은 0° 이다. 따라서 A 지점에서 자기력선은 지구 중심을 향할 수 없다.
- ㉢. 잔류 자기 복각을 이용하면 화성암이 생성된 지점의 위도를 추정할 수 있다.



06 해양 지각의 고지자기 줄무늬 분포

지구 자기장의 방향이 현재와 같은 시기를 정자극기, 반대인 시기를 역자극기라고 한다. 해령 부근에서 해양 지각의 고지자기 분포를 조사하면, 정자극기와 역자극기에 해당하는 고지자기 줄무늬가 반복되어 나타난다.

- ㉠. t_1 시기는 역자극기에 해당한다. 따라서 지자기 북극은 남반구에 위치한다.
- ㉡. 고지자기 줄무늬의 평균 폭은 해령에서 생성된 해양판의 확장 속도가 빠를수록 넓다. 열곡으로부터의 거리에 따른 해양 지각의 나이는 B가 A보다 많기 때문에 해령에서 해양판이 생성되어 확장되는 속도는 A가 B보다 빠르다. 따라서 $t_1 \sim t_2$ 기간에 고지자기 줄무늬의 평균 폭은 A가 B보다 넓다.
- ㉢. 지구 자기장은 역전 현상이 반복되어 나타나지만 정자극기와 역자극기가 일정한 주기로 나타나지는 않는다.

07 미래의 대륙 분포

현재 주요 판의 이동 속도를 이용하여 미래의 대륙 분포를 예측할 수 있다.

- ㉠. (가)에서 B는 현재의 대륙 분포와 유사하고, A는 아프리카 대륙이 유럽 대륙과 충돌한 상태이다. 아메리카 대륙과 아프리카 대륙의 위치로 판단할 때, (가)에서 대서양의 면적은 A가 B보다 넓다.
- ㉡. 대륙들이 흩어져 있을 때보다 모두 붙어 있을 때 해안선의 총 길이가 짧다. 따라서 해안선의 총 길이는 초대륙이 형성된 (나) 시기가 현재보다 짧다.
- ㉢. 판게아는 남극 대륙을 중심으로 대부분의 대륙들이 남반구에 모여 있는 형태이지만, (나)에서 대부분의 대륙들은 적도 부근에 모여 있고, 남극 대륙은 남반구 고위도에 위치한다. 따라서 약 2억 5천만 년 후의 초대륙은 판게아와 동일한 형태가 아니다.

08 해양저 확장

해양판은 해령에서 생성되어 확장되고, 이 과정에서 해양저가 확장한다. 이에 따라 해령의 열곡으로부터 멀어질수록 해양 지각의 연령은 많아지고, 가장 오래된 퇴적물의 연령도 많아진다. 가장 오래된 퇴적물의 연령 분포로 보아 A₅ 부근에 열곡이 존재한다.

- ㉠. A₁과 A₂는 동일한 해양판에 위치하기 때문에 해서 퇴적물의

두께는 해양 지각의 연령이 많은 A₁이 A₂보다 두껍다.

- ㉡. A₃과 A₆ 사이에 열곡이 존재한다. 즉, A₃과 A₆ 사이에 판의 발산형 경계가 존재하므로 A₃과 A₆ 사이의 거리는 점차 멀어진다.
- ㉢. 가장 오래된 퇴적물의 연령은 A₅가 가장 적고 다음으로 A₆이 적다. 따라서 A₅와 A₆ 사이에 열곡이 존재한다.

09 판의 경계와 고지자기 줄무늬

해양 지각에 기록된 해서 고지자기 줄무늬는 해령과 거의 나란하며 해령을 축으로 대칭적인 분포를 보인다. (나)의 고지자기 줄무늬를 이용하여 판의 발산형 경계가 북서-남동 방향으로 발달했음을 알 수 있다.

- ㉡. (나)에서 고지자기 줄무늬는 북서-남동 방향의 해령을 축으로 대칭적인 분포를 보인다. 따라서 A에서 판의 경계는 북서-남동 방향으로 발달한다.
- ㉢. C는 판의 경계가 아닌 단열대에 위치하지만, B는 판과 판의 보존형 경계에 위치한다. 따라서 지진은 B가 C보다 활발하게 일어난다.
- ㉣. 고지자기 줄무늬는 해령을 축으로 대칭적으로 나타난다. 따라서 (나)는 A(해령)에서 측정된 것이다.

10 대륙 분포의 변화

- (가)는 신생대의 대륙 분포이고, (나)는 중생대의 대륙 분포이다.
- ㉠. 애팔래치아산맥은 판게아가 만들어질 때 형성되었다. (가)는 신생대의 대륙 분포이므로 (가)에는 애팔래치아산맥이 존재한다.
- ㉡. (나)는 판게아가 분리되면서 대서양이 형성되기 시작하는 시기이다. 따라서 (나)는 중생대의 대륙 분포에 해당한다.
- ㉢. 인도 대륙은 (가)에서는 적도 부근에 위치하지만, (나)에서는 남반구 중위도에 위치한다. 따라서 인도 대륙은 (가)가 (나)보다 북쪽에 위치한다.



11 고지자기 복각과 지괴의 이동

화성암의 고지자기 복각의 크기가 클수록 화성암 생성 당시 지괴의 위도가 높다. 정자극기에 생성된 화성암의 고지자기 복각이 (+) 값이면 화성암은 생성 당시 북반구에 위치하였고, (-) 값이면 화성암은 생성 당시 남반구에 위치하였다.

- ㉠. 현재 지괴는 남반구에 위치한다. A는 고지자기 복각이 (+) 값이기 때문에 생성 당시 북반구에 위치하였다. 따라서 지괴는 A가 생성된 이후 남쪽으로 이동하였다.
- ㉡. B는 정자극기에 생성되었다. 따라서 B에 기록된 고지자기 복각은 (-) 값이다.

㉔. 고지자기 복각의 크기는 A가 B보다 크다. 따라서 A는 B보다 고위도에서 생성되었다.

12 초대륙의 형성과 분리

과학자들은 초대륙이 분리되었다가 합쳐져 다시 초대륙이 형성되는 과정이 반복될 것이라고 생각한다.

㉕. A는 초대륙이 분리되는 과정으로 습곡 산맥이 발달할 수 없다. 대륙과 대륙이 충돌하는 과정에서 습곡 산맥이 발달한다.

㉖. B 과정에서 오래된 해양판이 대륙판 아래로 섭입하는 수렴형 경계가 새롭게 나타난다. 즉, B 과정에서 새로운 판의 경계가 형성된다.

㉗. 초대륙이 분리되는 과정에서 대륙이 이동하여 대륙과 대륙 사이의 거리가 멀어진다.

수능 3점 테스트						분문 16~21쪽
01 ②	02 ③	03 ④	04 ④	05 ③	06 ①	
07 ③	08 ⑤	09 ①	10 ②	11 ⑤	12 ②	

01 대륙 이동설

베게너가 제시한 대륙 이동의 증거에는 해안선 굴곡의 유사성, 고생물 화석 분포, 고생대 말 빙하 퇴적층의 분포와 빙하 이동 흔적, 지질 구조의 연속성 등이 있다.

㉕. (가)의 빙하 이동 흔적은 판게아가 존재했던 고생대 말에 만들어졌다. 빙하 이동 흔적은 주로 남극 대륙의 빙하가 주변으로 이동하는 과정에서 만들어지기 때문에 대륙의 이동과 직접적인 관련이 없다.

㉖. 멀리 떨어져 있는 ㉑ 대륙과 ㉒ 대륙에서 발견되는 메소사우루스 화석이 대륙 이동설의 증거가 되는 이유는 메소사우루스가 멀리 떨어져 있는 대륙 사이를 헤엄쳐 이동할 수 없는 동물이기 때문이다. 메소사우루스는 ㉑ 대륙과 ㉒ 대륙이 붙어 있었을 때 두 대륙에서 생존한 파충류이다.

㉗. 판게아가 형성되었을 때 ㉑ 대륙과 ㉒ 대륙은 붙어 있었기 때문에 일부 지역에서는 연속된 지질 구조가 나타난다.

02 판 구조론의 정립

베게너는 대륙이 이동하여 대륙의 분포가 변한다는 대륙 이동설을 주장하였고, 흄스는 맨틀 대류가 대륙 이동의 원동력이라는 맨틀 대류설을 주장하였다. 헤스와 디츠는 해령에서 새로운 해양 지각이 생성되고 확장된다는 해양지 확장설을 주장하였다.

㉑. 해양지 확장설의 증거에는 해양 지각의 연령 분포, 심해 퇴적물의 두께 변화, 해저 고지자기 줄무늬 분포, 베니오프대(섭입대) 주변의 진원 분포 등이 있다.

㉒. 흄스가 주장한 맨틀 대류설은 대륙 이동의 원동력을 맨틀 대류로 설명한다.

㉕. 음향 측심법은 1940년대~1950년대에 개발된 해저 탐사 기술로, 해양지 확장설이 대두되는 데 중요한 역할을 하였다. 베게너가 대륙 이동설을 주장할 당시에는 음향 측심법이 개발되지 않았다.

03 음향 측심법과 해저 지형

음향 측심에서 초음파의 속력이 v , 해수면에서 발사한 초음파가 해저면에서 반사되어 되돌아오는 데 걸리는 시간이 t 라면 수심 d 는 다음과 같다.

$$\text{수심}(d) = \frac{1}{2}vt$$

음향 측심법을 이용해 수심을 구하면 해저 지형을 파악할 수 있다. 구간 $a-a'$ 과 $b-b'$ 에서 가장 얇은 곳의 수심은 약 2 km~3 km이므로 $a-a'$ 과 $b-b'$ 에는 해령이 존재한다.

✕. a-a'에서 초음파 왕복 시간의 최댓값과 최솟값의 차는 5초보다 짧다. 따라서 a-a'에서 측정된 수심의 최댓값과 최솟값의 차는 3750 m보다 작다.

㉠. b-b'에서 초음파 왕복 시간의 최솟값은 약 3초이며, 초음파 왕복 시간이 가장 짧은 지점 부근에 해령이 존재한다. 따라서 b-b'에서 지각의 나이는 ㉠ 지점이 ㉡ 지점보다 많다.

㉢. a-a'과 b-b'에는 각각 해령이 존재하며, 해령은 서로 어긋나 있다. 따라서 a-a'과 b-b' 사이에는 변환 단층이 존재한다.

04 고지자기 복각과 지괴의 이동

마그마가 식어 굳어질 때 자성 광물은 당시의 지구 자기장 방향으로 자화된다. 이후 자기장의 방향이 변해도 자화 방향은 그대로 보존되는데, 자화된 광물의 고지자기 복각을 이용하면 지괴의 위도를 추정할 수 있다. (가)의 지질 단면에서 P의 고지자기 복각은 (-) 값이고, Q의 고지자기 복각은 (+) 값이다. 한편 사암의 연령은 Q보다 많다. 지괴는 일정한 방향으로 이동하였고, 현재 지괴는 남반구에 위치하므로 암석의 생성 순서는 사암 → Q → P 이다.

㉠. 사암이 퇴적된 시기에 지괴는 북반구에 위치하였다. 따라서 사암이 퇴적된 시기에 지괴의 고지자기 복각은 (+) 값이다.

㉡. 지괴는 ㉠ 시기에는 북반구에 위치하였고, ㉡ 시기에는 남반구에 위치하였다. 현재 지괴는 남반구에 위치하므로 일정한 방향으로 이동한 지괴의 이동을 고려할 때, ㉠ 시기는 ㉡ 시기보다 오래되었다.

✕. P는 지괴가 남반구에 위치할 때 생성되었으므로 ㉠ 시기 이후에 생성되었다.

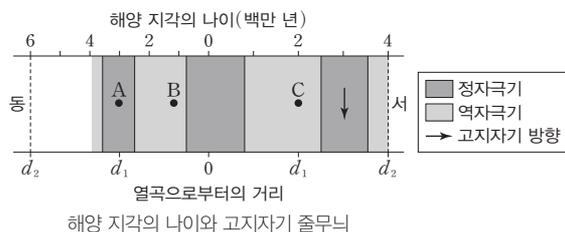
05 해양저 확장과 고지자기 분포

해령을 축으로 고지자기 줄무늬는 대칭적인 분포가 나타나며, 고지자기 줄무늬의 폭은 판의 확장 속도에 따라 달라진다. 확장 속도가 빠른 판에서는 고지자기 줄무늬의 평균 폭이 넓게 나타난다.

㉠. A에서 해양 지각의 나이는 3백만 년이고, 이 시기는 정자기기에 해당한다. 따라서 A에서 고지자기 방향은 북쪽을 향한다.

㉡. 정자기기에 고지자기 방향은 북쪽을 향한다. 따라서 A는 B의 동쪽에 위치한다.

✕. 해저 퇴적물이 쌓이는 속도가 일정하다는 조건 하에서 해저 퇴적물의 두께는 해양 지각의 나이에 비례하므로 B가 C보다 얇다.



06 섭입대 주변의 진원 분포

판의 섭입이 일어나는 지역에서는 해구에서 밀도가 작은 판 쪽으로 갈수록 섭입하는 판의 깊이는 깊어지고, 진원의 깊이 또한 깊어진다. 즉, a-a'과 b-b'에서 판의 경계를 기준으로 동쪽에 위치한 판은 서쪽에 위치한 판 아래로 섭입한다.

㉠. 구간 a-a'에서 판의 경계를 기준으로 동쪽에 위치한 판은 서쪽에 위치한 판 아래로 섭입한다. 마찬가지로 구간 b-b'에서도 판의 경계를 기준으로 동쪽에 위치한 판은 서쪽에 위치한 판 아래로 섭입한다. 따라서 ㉠ 판의 밀도는 ㉡ 판의 밀도보다 작다.

✕. 진원은 대부분 섭입대 부근에 분포하므로 판의 경계로부터 진원까지의 수평 거리에 대한 수직 거리를 비교할 때 깊이 300 km 까지 섭입하는 판의 기울기는 a-a'이 b-b'보다 작다.

✕. ㉠ 판의 밀도는 ㉡ 판의 밀도보다 작기 때문에 ㉠ 판과 ㉡ 판의 경계에서 ㉡ 판은 ㉠ 판 아래로 섭입한다. 따라서 p-p'에서 판의 경계를 기준으로 지진은 서쪽이 동쪽보다 활발하게 일어난다.

07 지괴의 이동

지괴가 경도선을 따라 회전 없이 일정한 방향으로 이동하면 고지자기극도 경도선상에서 일정한 변화가 나타난다. 지괴 A는 100 Ma~50 Ma 동안 경도선을 따라 남쪽으로 이동하였고, 50 Ma~0 Ma 동안 지리상 북극을 기준점으로 등위도선을 따라 회전하며 서쪽으로 이동하였다. 한편 지괴 B는 경도선을 따라 100 Ma~50 Ma 동안 북쪽으로 이동하였고, 50 Ma~0 Ma 동안 남쪽으로 이동하였다.

㉠. 100 Ma~50 Ma 동안 A는 위도 0° 부근에서 20°S 부근으로 이동하였고, B는 22°S 부근에서 8°N 부근으로 이동하였다. 따라서 A와 B에서 각각 구한 고지자기 복각이 같았던 시기가 있다.

㉡. 50 Ma에 A는 20°S 부근에 위치하였고, B는 8°N 부근에 위치하였다. 따라서 50 Ma에 생성된 암석에 기록된 고지자기 복각의 크기는 A가 B보다 크다.

✕. A는 100 Ma에 위도 0° 부근에 위치하였고, 현재 20°S 부근에 위치하기 때문에 A에서 구한 100 Ma의 고지자기극의 위도는 약 70°(=90°-20°)N이다. B는 100 Ma에 22°S 부근에 위치하였고, 현재 10°S 부근에 위치하기 때문에 B에서 구한 100 Ma의 고지자기극의 위도는 약 78°(=90°-12°)N이다. 따라서 현재 A에서 구한 100 Ma의 고지자기극은 현재 B에서 구한 100 Ma의 고지자기극보다 저위도에 위치한다.

08 지괴의 이동과 고지자기극의 이동

지리상 북극의 위치가 변하지 않았다고 가정하면, 지괴의 이동에 의해 고지자기극의 이동이 나타난다. 한편 지괴가 경도선을 따라 고위도에서 저위도로 이동하면 시기별로 각각 다른 시기에 생성

된 암석으로 구한 지괴의 고지자기 복각의 크기는 작아진다. 현재(t_4) 지괴 A는 위도 0° , B는 약 5°N 에 위치한다.

㉠ B는 경도선을 따라 일정한 방향으로 이동하였다. ㉠은 현재 위치(약 5°N)에서 생성된 암석으로 구한 고지자기극의 위도이고, ㉡은 현재 위치(약 5°N)보다 위도 60° 만큼 고위도에 위치할 때 생성된 암석으로 구한 고지자기 복각이다. 즉, 고지자기극의 위도($^\circ\text{N}$) ㉠은 90 이고, 고지자기 복각($^\circ$) ㉡은 60 보다 크다. 따라서 ㉠과 ㉡의 합은 150 보다 크다.

㉢ $t_1 \sim t_4$ 기간에 A와 B는 한 번의 충돌 후 분리되었다. A와 B의 충돌이 일어난 시기는 위도 범위가 겹치는 기간에 포함되므로 $t_3 \sim t_4$ 동안 A와 B는 한 번 충돌하였으며, 이후 분리되어 현재의 위치에 놓이게 되었다. 따라서 t_3 이후에 A와 B 사이에는 발산형 경계가 형성되었다.

㉣ B는 t_1 에 생성된 암석으로 구한 고지자기극의 위도가 0° 이다. 즉, B는 t_1 에 현재 위치(약 5°N)로부터 위도 90° 만큼 떨어진 곳에 위치하였으며, t_2 에 현재 위치(약 5°N)로부터 위도 60° 만큼 떨어진 곳에 위치하였다. 따라서 t_1 과 t_2 사이에 B에서 구한 고지자기 복각이 90° 인 시기가 존재한다.

시기		고지자기극의 위도($^\circ\text{N}$)		고지자기 복각($^\circ$)	
		A	B	A	B
t_4	현재	90	90	0	10
t_3	↑ ↓	80	약 72	20	40
t_2		70	30	약 36	약 77
t_1		과거	약 59	0	50

지괴에서 구한 시기별 고지자기극의 위도와 고지자기 복각

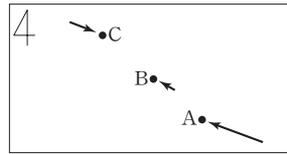
09 GPS를 이용한 판의 이동 해석

GPS를 이용하여 판의 이동 방향과 이동 속력을 측정할 수 있다. 판의 경계는 판의 상대적인 이동에 따라 발산형 경계, 수렴형 경계, 보존형 경계로 구분한다. A, B, C가 속한 판의 이동 방향은 각각 북서쪽, 북서쪽, 남동쪽이다.

Ⅹ A와 B 사이에 해구가 발달한다고 하였으므로 A와 B 사이에는 판의 수렴형 경계가 존재한다. 한편 A가 속한 판과 B가 속한 판의 이동 방향은 모두 북서쪽이고, 판의 평균 이동 속력은 A가 속한 판이 B가 속한 판보다 빠르기 때문에 A는 B의 남동쪽에 위치한다.

㉠ 남북 방향의 위치 변화와 동서 방향의 위치 변화를 고려할 때, 평균 이동 속력은 A가 C보다 빠르다.

Ⅹ. 2015년~2024년 동안 B가 속한 판은 북서쪽으로 이동하였고, C가 속한 판은 남동쪽으로 이동하였다. 즉, B가 속한 판과 C가 속한 판 사이에는 판의 수렴형 경계가 존재하기 때문에 B와 C는 서로 가까워지는 방향으로 이동하였다.



A, B, C 지점의 위치 변화와 판의 이동

10 초대륙의 형성과 분리

판의 운동과 함께 대륙들이 이동하면 분리되었던 대륙들이 합쳐져 초대륙이 형성되기도 하고, 초대륙이 분리되었다가 다시 합쳐지면서 새로운 초대륙이 형성되기도 한다.

Ⅹ. A 구간에서 대륙의 분리와 함께 열곡대가 발달한다. 대륙이 분리되는 곳에서는 새로운 해양 지각이 생성되기 때문에 A 구간에서 대륙판의 두께는 열곡대 부근에서 가장 얇게 나타난다.

Ⅹ. B 구간은 새롭게 생성된 해양에 해당한다. B 구간의 중앙부에는 해령이 존재하기 때문에 지각의 연령은 중앙부에서 가장 적다.

㉢ (가)는 해양판의 섭입이 일어나면서 대륙 사이의 거리가 가까워지는 과정이다. 이 과정에서 해양에 존재하던 맨틀 대류의 상승부가 없어지기 때문에 과정 (가)에서 발산형 경계는 사라진다.

11 대륙 분포의 변화

대륙 분포의 변화를 설명하는 모형에 의하면 현재로부터 1억 년 후에 지구의 표면에서 대서양의 면적은 현재보다 넓어지고, 아프리카 대륙과 유라시아 대륙은 충돌하여 하나의 대륙이 되며, 이 과정에서 지중해가 사라질 것으로 추정된다. t_1 기간과 t_2 기간 모두 대서양의 면적은 넓어지고, 태평양의 면적은 좁아진다.

㉠ t_1 기간과 t_2 기간 모두 대서양의 면적은 넓어지고, 태평양의 면적은 좁아진다. 따라서 A는 태평양이다.

㉢ t_1 기간에 대서양의 면적이 넓어지는 이유는 대서양에 주로 발산형 경계가 발달하기 때문이다.

㉣ 아래 그림에서 ㉠은 현재로부터 1억 년 전, ㉡은 현재로부터 1억 년 후의 대륙 분포에 해당한다. 현재 태평양의 면적은 대서양의 면적보다 넓지만, 1억 년 후에는 판의 이동으로 인해 태평양의 면적이 대서양의 면적보다 좁아진다. 따라서 (나)는 t_2 기간에 추정된 대양의 면적 변화에 해당한다.



시간에 따른 대륙 분포의 변화

12 대륙판의 충돌

두 대륙판이 서로 충돌하면 습곡 산맥이 형성되며, 두 대륙 사이의 해양 지각은 지구 내부로 섭입하여 소멸한다.

✕. 고지자기 복각의 크기는 암석이 생성될 당시의 위도가 높을수록 크다. A는 $t_1 \sim t_3$ 기간 동안 시기별 고지자기 복각의 크기가 점차 증가했다고 볼 수 있지만, B는 $t_1 \sim t_3$ 기간에 고지자기 복각의 크기가 감소한 시기가 있기 때문에 지속적으로 증가했다고 볼 수 없다.

㉠. P 지점은 대륙판과 대륙판이 충돌한 경계 부근에 위치한다. P 지점에서는 대륙판과 대륙판이 충돌할 때 과거 대륙판 주변의 해양 지각이 섭입하는 과정에서 섭입되지 않고 남은 해양 퇴적물 속의 해양 생물 화석이 산출될 수 있다.

✕. t_2 시기에 B가 위치한 판은 A가 위치한 판 아래로 섭입하므로 B가 위치한 판에는 섭입하는 판이 잡아당기는 힘이 작용한다. 하지만 t_3 시기에 A가 위치한 판과 B가 위치한 판은 충돌하고 있으며, 이에 따라 섭입대가 발달하지 않기 때문에 섭입하는 판이 잡아당기는 힘은 t_2 시기가 t_3 시기보다 크다.

02 판 이동의 원동력과 마그마 활동

수능 2점 테스트

본문 29~31쪽

01 ㉠	02 ㉠	03 ㉠	04 ㉠	05 ㉠	06 ㉠
07 ㉠	08 ㉠	09 ㉠	10 ㉠	11 ㉠	12 ㉠

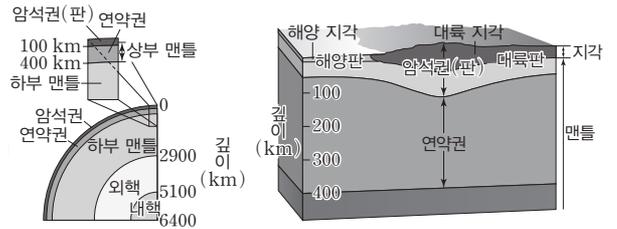
01 지구 내부의 층상 구조

지구 내부는 물리적 상태에 따라 암석권, 연약권, 하부 맨틀, 외핵, 내핵으로 구분한다. (가)에서 ㉠은 암석권(판), ㉡은 하부 맨틀이고, (나)에서 A층은 연약권에 해당한다.

✕. 열점은 뜨거운 플룸의 상승에 의해 형성되는 마그마 저장소로 암석권(판)보다 깊은 곳에 위치하기 때문에 판의 운동의 영향을 받지 않는다.

㉠. ㉡은 하부 맨틀이며, 하부 맨틀을 이루는 물질은 고체 상태이다.

✕. A층은 연약권에 해당한다. 연약권은 상부 맨틀에 포함된다.



물리적 상태에 따른 지구 내부의 층상 구조

판의 구조

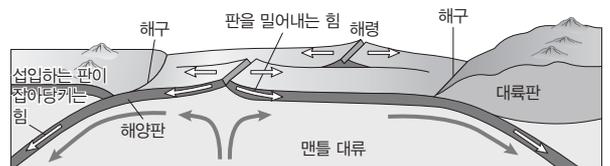
02 판을 이동시키는 힘

판은 판 자체에서 만들어지는 물리적인 힘에 의해서도 이동하는데, 이와 같은 힘에는 섭입하는 판이 잡아당기는 힘과 해령에서 판을 밀어내는 힘이 있다.

✕. A는 대륙판과 해양판의 수렴형 경계이고, B는 해양판과 해양판의 발산형 경계이다. 따라서 인접한 두 판의 밀도 차는 A가 B보다 크다.

✕. A는 밀도가 큰 해양판이 밀도가 작은 대륙판 밑으로 섭입하는 판의 경계이다. 섭입하는 판은 판을 섭입대 쪽으로 잡아당긴다.

㉠. B는 해양판과 해양판의 발산형 경계로, 해령이 발달한다. 해령 부근에서는 해령에서 솟아오른 해양판이 중력에 의해 사면을 따라 미끄러지면서 판을 밀어낸다.



판을 이동시키는 힘

03 섭입대와 판의 이동 속력

섭입대에서 침강하는 판은 판을 섭입대 쪽으로 잡아당긴다. 과학자들은 이 힘을 판 이동의 요인 중 하나라고 생각하고 있다.

㉠. 판 구조론에 의하면, 판 이동의 원동력은 맨틀의 대류이다. 따라서 A와 B는 모두 맨틀 대류에 의해 움직인다.

✗. A의 대륙판은 하부에 섭입대가 존재하기 때문에 지진이 활발하게 일어난다. 하지만 B의 대륙판은 판의 경계로부터의 거리가 멀고, 하부에 섭입대가 존재하지 않기 때문에 지진이 거의 발생하지 않는다.

✗. A는 판의 섭입이 일어나지 않지만, B는 판의 섭입이 일어난다. 따라서 판의 섭입만을 고려할 때, 판의 평균 이동 속력은 A가 B보다 느리다.

04 플룸 구조론

플룸 구조론은 플룸의 상승이나 하강으로 지구 내부의 변동이 일어난다는 이론으로, 판과 맨틀 전체의 상호 관계를 중심으로 지구 내부 물질의 운동을 설명한다. 뜨거운 플룸은 주로 맨틀과 외핵의 경계에서 뜨거운 맨틀 물질이 상승하면서 생성되고, 차가운 플룸은 주로 판의 섭입이 일어나는 수렴형 경계에서 섭입한 판에 의해 생성된다.

✗. A는 뜨거운 플룸으로, 맨틀과 외핵의 경계에서 생성된다.

㉠. ㉠ 지점은 섭입하는 판이 위치한 곳으로 같은 깊이의 ㉠ 지점보다 밀도가 크다.

✗. a의 하부에는 뜨거운 플룸의 상승 영역이 존재하지 않는다. 따라서 a의 하부에는 열점이 존재하지 않는다.

05 판의 경계

발산형 경계에서는 판과 판이 서로 멀어지고, 수렴형 경계에서는 판과 판이 서로 가까워진다. 발산형 경계와 섭입이 일어나는 수렴형 경계 부근에서는 지진과 화산 활동이 활발하게 일어난다.

㉠. A와 B는 모두 해양판의 섭입이 일어나는 수렴형 경계에 위치한다.

㉠. C가 속한 해양판은 D가 속한 대륙판 아래로 섭입한다. 따라서 화산 활동은 C보다 D에서 활발하다.

㉠. 해양판과 대륙판이 수렴할 때 판 경계 부근의 대륙판에서는 횡압력에 의해 습곡 산맥이 발달한다. 즉, D에는 습곡 산맥이 발달한다.

06 판의 경계와 진원 분포

발산형 경계와 보존형 경계에서는 진원 깊이가 약 70 km 이내인 지진이 활발하게 일어난다. 섭입이 일어나는 수렴형 경계 부근에서는 섭입대를 따라 지진이 발생하므로 해구에서 밀도가 작은 판

쪽으로 갈수록 진원 깊이가 대체로 깊어진다.

㉠. A에는 판의 발산형 경계가 위치하므로, A의 하부에는 맨틀 대류의 상승류가 존재한다.

㉠. B 부근에서는 진원 깊이가 약 300 km 이상인 지진도 발생하므로 B의 하부에는 섭입대가 존재한다.

✗. 판은 맨틀 대류에 의한 힘뿐만 아니라 해령에서 밀어내는 힘, 섭입대에서 섭입하는 판이 잡아당기는 힘 등에 의해서도 이동하므로 하나의 판 내부에서도 위치에 따라 이동 속도가 다르게 나타난다. 따라서 구간 X-X'에서 판의 이동 속도는 어디에서나 동일하다고 할 수 없다.

07 지진파 단층 촬영 영상

지진파 단층 촬영 영상에서 뜨거운 플룸이 존재하는 곳은 주위보다 지진파의 속도가 느리고, 차가운 플룸이 존재하는 곳은 주위보다 지진파의 속도가 빠르다.

✗. A 지점은 지진파 속도 편차가 음(-)의 값이므로 뜨거운 플룸이 존재한다. 따라서 A 지점의 맨틀 물질은 상승한다.

㉠. A 지점과 B 지점은 같은 깊이에 위치한다. A 지점에서 지진파 속도 편차는 음(-)의 값이고 B 지점에서 지진파 속도 편차는 양(+)의 값이므로, 온도는 A 지점이 B 지점보다 높다.

㉠. ㉠의 하부에서는 뜨거운 플룸이 상승한다. 따라서 ㉠의 화산 활동은 열점에 의한 것이며, 열점에서는 압력 감소에 의해 마그마가 생성된다.

08 태평양 주변부의 안산암선

안산암선은 태평양 주변부의 수렴형 경계와 대체로 나란하게 나타난다. 안산암선을 기준으로 안쪽의 해양에서는 주로 현무암질 마그마의 분출이 일어나고, 바깥쪽의 대륙 부근에서는 안산암질 마그마와 현무암질 마그마의 분출이 모두 일어날 수 있다.

㉠. 안산암선 안쪽의 해양에서는 주로 현무암질 마그마의 분출이 일어난다. 즉, ㉠은 현무암이다.

㉠. A는 판의 내부에서 열점에 의한 화산 활동으로 형성된 화산이고, B는 섭입대 부근의 화산이다. A는 주로 현무암질 마그마가 분출하는 화산 활동으로 형성되었고, B는 주로 안산암질 마그마가 분출하는 화산 활동으로 형성되었다. 따라서 화산암의 평균 SiO₂ 함량(%)은 A가 B보다 적다.

㉠. 구간 a-a'의 서쪽에는 안산암선이 존재하는 것으로 보아 안산암선과 나란하게 판의 수렴형 경계가 존재한다. 한편 구간 a-a'의 동쪽에는 동태평양 해령이 존재한다. 따라서 구간 a-a'에서 a는 a'보다 상대적으로 해구에 가깝고 해양 지각의 연령이 많다.

09 마그마 생성 지역

마그마가 활발하게 생성되는 장소에는 해령 하부, 섭입대 부근,

열점 등이 있다. A는 열점, B는 해령 하부이다. 한편 C는 주로 안산암질 마그마가 분출되는 곳이다.

㉠ A는 열점, B는 해령 하부이다. 열점과 해령 하부에서는 압력 감소에 의해 주로 현무암질 마그마가 생성된다.

㉡ C는 주로 안산암질 마그마가 분출되는 곳이기 때문에 주로 생성되는 화성암은 안산암이다.

㉢ ㉠은 열점에 의해 형성된 화산섬과 해산이다. 호상 열도는 해양판의 섭입이 일어나는 수렴형 경계 부근에서 잘 발달한다.

10 섭입대 부근의 마그마 생성 조건

섭입대 부근의 연약권에서는 해양판이 섭입하면서 빠져나온 물의 영향으로 연약권을 구성하는 광물의 용융 온도가 낮아져 주로 현무암질 마그마가 생성된다. 이 현무암질 마그마가 상승하여 대륙 지각 하부에 도달하면 대륙 지각을 이루고 있는 암석이 가열되어 유문암질 마그마가 생성된다.

㉣ A는 물을 포함한 화강암의 용융 곡선상에 위치하며 ㉠에서 마그마가 생성되는 조건에 해당한다. 따라서 A는 화강암이 용융될 수 있는 조건이다.

㉤ ㉠에서는 물을 포함한 화강암이 온도가 높아져서 유문암질 마그마가 생성되고, ㉡에서는 연약권의 물질이 물의 영향으로 인해 용융 온도가 낮아져서 현무암질 마그마가 생성된다. 따라서 ㉠과 ㉡의 암석은 모두 물을 포함하고 있다.

㉥ 마그마 생성 조건을 비교하면 마그마가 생성되기 시작하는 온도는 ㉠이 ㉡보다 낮다.

11 화성암의 분류

화성암은 화학 조성(SiO_2 함량)에 따라 산성암, 중성암, 염기성암으로 구분한다. 한편 마그마가 지하 깊은 곳에서 서서히 냉각되면 조립질 조직이 나타나는 심성암이 생성되고, 마그마가 지표 부근에서 빠르게 냉각되면 세립질 조직이나 유리질 조직이 나타나는 화산암이 생성된다.

㉦ A는 조립질 조직이 나타나는 심성암이고, B는 세립질 조직이 나타나는 화산암이다. 따라서 A는 B보다 깊은 곳에서 생성된다.

㉧ SiO_2 함량이 많을수록 화성암은 밝은색을 띤다. ㉠은 ㉡보다 밝게 보이므로 SiO_2 함량이 상대적으로 많다.

㉨ ㉠은 밝은색을 띤 화강암이고, 화강암은 심성암이다. B는 밝은색을 띤 화산암이므로 ㉠은 B가 될 수 없다.

12 우리나라의 화강암 지형

그림은 인왕제색도이다. 인왕제색도는 비가 내린 후의 인왕산 모습을 표현한 그림으로, 인왕산을 이루는 화강암의 봉우리들이 잘 묘사되어 있다.

㉩ ㉠은 화강암으로 이루어져 있다. 따라서 ㉠의 주요 구성 암석

은 산성암이다.

㉪ 화강암은 심성암이며, 심성암은 마그마가 지하 깊은 곳에서 서서히 냉각되어 생성된다. 즉, 인왕산의 화강암 봉우리는 화산 활동으로 인해 생성된 것이 아니다.

㉫ 화강암 봉우리가 나타나는 지형에서는 지하 깊은 곳에서 생성된 화강암이 용기하여 지표에 노출되는 과정에서 압력 감소로 인해 팽창하면서 판상 절리가 발달하기도 한다. 그림에 대한 설명 중 '층상으로 벗겨져 나간 둥근 모양의 화강암'의 표현에서 판상 절리가 발달한 것을 알 수 있다.

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

01 지각과 맨틀

지각의 두께가 얇을수록 맨틀이 시작되는 깊이가 얕다. 특히 판의 발산형 경계 부근의 해양 지각의 두께는 다른 지역에 비해 대체로 얕다.

- 맨틀이 시작되는 깊이는 대륙 지각이 위치하는 곳이 해양 지각이 위치하는 곳보다 대체로 깊다. 따라서 지각의 두께는 대륙 지각이 해양 지각에 비해 대체로 두껍다.
- ✗. 섭입대가 발달하는 곳에서는 섭입하는 판이 잡아당기는 힘이 작용한다. A 부근에서는 섭입대가 나타나지 않기 때문에 섭입하는 판이 잡아당기는 힘이 작용하지 않는다.
- ✗. B는 맨틀이 시작되는 깊이가 10 km 이하인 곳으로, 판의 발산형 경계에 위치한다. 따라서 B에는 해구가 존재할 수 없다.

02 판을 이동시키는 힘

판의 경계 중 해구가 차지하는 비율이 높은 판은 섭입대에서 섭입하는 판이 판을 잡아당기는 힘이 작용하여 대체로 판의 평균 이동 속력이 빠르다.

- ✗. 북아메리카판과 남아메리카판은 나스카판에 비해 면적이 넓지만 평균 이동 속력이 느리다. 따라서 면적이 넓은 판일수록 평균 이동 속력이 빠른 것은 아니다.
- . A는 판의 발산형 경계에 해당한다. 해양판의 발산형 경계 부근에서는 해양판이 미끄러지면서 판을 밀어내는 힘이 작용한다.
- . 나스카판이 남아메리카판에 비해 평균 이동 속력이 빠른 것은 섭입대에서 섭입하는 판이 잡아당기는 힘이 크게 작용하기 때문이다. 따라서 섭입하는 판이 판 전체를 잡아당기는 힘은 나스카판이 남아메리카판보다 클 것이다.

03 태평양의 마그마 분출 지역

열점과 해령 하부에서는 맨틀 물질의 상승에 따른 압력 감소로 맨틀 물질이 부분 용융되어 현무암질 마그마가 생성된다. B에서 수심은 약 3000 m이고, B를 경계로 해서 지형은 대체로 대칭적인 형태로 나타난다. 따라서 B는 해령에 위치하고 A는 열점에 위치한다.

- . A에서 수심은 매우 얕다. 해령의 평균 수심은 약 2 km ~ 3 km인 것을 고려할 때, A는 열점에 위치한다.
- . B는 해령에 위치한다. 해령에서는 압력 감소로 인해 맨틀 물질이 부분 용융되어 주로 현무암질 마그마가 분출한다.
- . 해령에서는 해양판의 발산과 함께 맨틀 물질의 상승으로 마그마가 생성되고, 열점에서는 뜨거운 플룸이 상승하여 마그마가 생

성된다. 열점은 암석권보다 깊은 곳에 위치하므로 마그마가 생성되는 깊이는 대체로 A가 B보다 깊다.

04 판의 경계와 지각의 나이

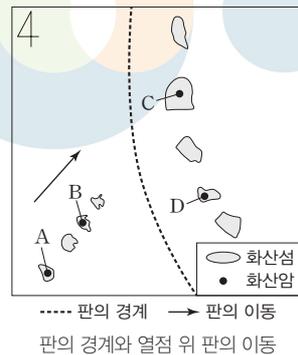
해령 축에서 멀어질수록 해양 지각의 연령은 많아지며, 해구에서는 해양판이 섭입하여 소멸된다. 한편 판의 경계에서는 지진이 활발하게 일어나며, 특히 해양판의 섭입이 일어나는 지역에서는 섭입대를 따라 지진이 발생하므로 해령 부근보다 진앙 분포가 넓게 나타난다.

- . 진앙 분포로 보아 A 지점과 B 지점 사이에는 판의 수렴형 경계가 발달한다. 따라서 A 지점과 B 지점은 점차 가까워진다.
- ✗. 해양판의 밀도는 해령 부근에서보다 해구 부근에서 크다. 따라서 판의 밀도는 B 지점이 C 지점보다 크다.
- ✗. ① 부근은 진앙 분포로 보아 판의 발산형 경계에 해당한다. 따라서 ① 부근에는 해령이 발달할 수 있다.

05 열점과 화산섬 분포

고정된 열점에서 마그마가 분출하여 형성된 화산섬들은 판의 운동에 의해 이동하며, 지구 자기장이 변하지 않는다면 화산섬을 이루는 화산암의 고지자기 북극의 크기는 동일하다. 화산암 A와 B는 생성 시기는 다르지만 고지자기 북극의 크기가 동일한 것으로 보아 고정된 열점에서 마그마가 분출하여 생성되었다. 한편 화산암 C와 D는 호상 열도를 이루는 화산섬에 위치한다.

- . B는 고정된 열점에서 마그마가 분출하여 생성된 후 1000만 년 동안 북동쪽으로 이동하였다. 따라서 B에서 구한 고지자기극은 1000만 년 전 지자기극에 해당하고, 현재 1000만 년 전 고지자기극의 위도는 90°보다 낮다.
- ✗. 이 해역에는 해양판의 섭입이 일어나는 수렴형 경계가 존재한다. 수렴형 경계에서는 주로 횡압력에 의해 형성된 역단층이 나타난다.
- . 이 해역에는 고정된 열점이 존재하며, 고정된 열점에 의해 생성된 화산암 중에는 1000만 년보다 나이가 많은 화산암이 존재한다. 따라서 이 해역에서 가장 오래된 해저 퇴적물의 나이는 1000만 년보다 많다.



06 지진파 단층 촬영 영상

지진파 단층 촬영 영상에서 지진파 속도 편차가 (-) 값인 곳에는 주위보다 온도가 높고 밀도가 작은 물질이 분포하며, 지진파 속도 편차가 (+) 값인 곳에는 주위보다 온도가 낮고 밀도가 큰 물질이 분포한다. (나)에서는 화산의 하부에 지진파 속도 편차가 (-) 값인 곳이 연직 방향으로 나타난다. 따라서 (나)는 하부에 뜨거운 플룸과 열점이 존재하는 구간 b-b'의 깊이에 따른 지진파 속도 편차이다.

✕. (가)의 구간 a-a'에는 오스트레일리아판과 태평양판이 만나는 수렴형 경계가 발달한다.

✕. (나)의 ㉠ 지점은 지진파 속도 편차가 (+) 값이므로 주위보다 온도가 낮고 밀도가 큰 물질이 분포한다. 그러나 (나)는 구간 b-b'의 깊이에 따른 지진파 속도 편차 자료이므로 ㉠ 지점 상부에는 섭입대가 나타나지 않는다.

㉡. (나)에서 화산은 뜨거운 플룸이 상승하는 곳에 위치하므로 화산의 하부에는 열점이 분포한다.

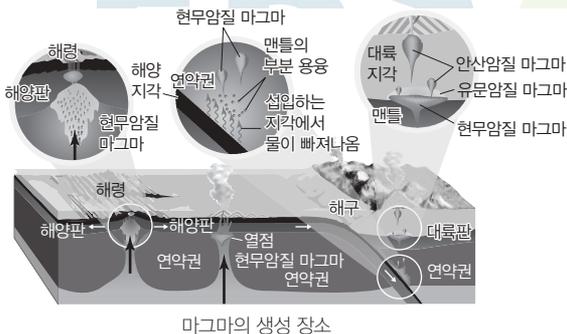
07 변동대와 마그마

마그마가 주로 생성되는 곳은 열점, 해령 하부, 섭입대 부근 등이다. A의 ㉠은 열점의 마그마 생성 영역에 위치하고, B의 ㉠은 해령 하부에 위치한다. C의 ㉠은 섭입대 부근에서 대륙 지각의 하부에 위치한다.

✕. ㉠은 열점의 마그마 생성 영역에 위치한다. 맨틀 ④는 암석권을 이루는 부분, 맨틀 ⑥는 연약권을 이루는 부분에 해당하므로 ㉠은 연약권에 위치한다.

㉡. ㉡은 해령 하부에 위치하고, ㉢은 대륙 지각의 하부에 위치한다. 해령 하부에서는 주로 현무암질 마그마가 생성되고, 대륙 지각의 하부에서는 유문암질 마그마 또는 안산암질 마그마가 생성될 수 있다. 따라서 마그마가 생성되기 시작하는 온도는 ㉡이 ㉢보다 높다.

㉣. (나)에서 마그마의 생성 깊이는 약 80 km이고, 이 영역에서 압력 감소로 인해 현무암질 마그마가 생성된다. A, B, C 중 이와 같은 조건을 만족하는 지역은 A이기 때문에 (나)는 A에서 측정된 깊이에 따른 지하 온도 분포에 해당한다.



마그마의 생성 장소

08 판의 경계와 판의 이동

발산형 경계에서는 판의 경계를 기준으로 두 판이 멀어지는 방향으로 이동하고, 수렴형 경계에서는 판의 경계를 기준으로 두 판이 가까워지는 방향으로 이동한다. 한편 보존형 경계에서는 판의 경계를 기준으로 두 판이 어긋나는 방향으로 이동한다. A와 B 사이에는 보존형 경계, A와 C 사이에는 수렴형 경계, B와 C 사이에는 발산형 경계가 나타난다.

㉠. ㉠은 A와 C의 수렴형 경계에 해당한다. 해양판과 대륙판의 수렴형 경계에서 해양판은 대륙판 아래로 섭입하고, 이때 주로 섭입대 부근에서 지진이 발생하므로 ㉠ 부근에서 발생하는 지진의 진앙은 판의 경계를 기준으로 서쪽보다 동쪽에 많이 분포한다.

㉡. ㉡은 B와 C의 발산형 경계에 해당한다. 발산형 경계에서는 압력 감소에 의해 주로 현무암질 마그마가 생성되어 분출한다.

㉢. 판의 이동 속도(상댓값)는 A가 3이고, C가 2이다. A와 C 사이에는 수렴형 경계가 발달하기 때문에 A의 이동 방향은 동쪽(-)이다. 만약 A의 이동 방향이 서쪽(-)이라면 A와 C 사이에는 발산형 경계가 발달해야 한다.

09 마그마 생성 조건

지하의 온도가 물질의 용융 온도보다 높으면 마그마가 생성된다. 해령 하부에서는 맨틀 물질의 상승에 따른 압력 감소로 인해 현무암질 마그마가 생성되고, 섭입대 부근에서는 물 공급으로 인해 맨틀 물질의 용융 온도가 낮아져 현무암질 마그마가 생성된다. A의 하부에는 섭입대가 존재하고, B에는 해령이 존재한다.

㉠. 지하 온도 분포 곡선과 암석의 용융 곡선이 만나는 깊이에서 맨틀 물질이 용융되기 시작한다. A의 하부에서 물을 포함한 암석의 용융 곡선이 지하 온도 분포 곡선과 만나는 곳의 온도는 약 1000 °C~1100 °C이고, B의 하부에서 물을 포함하지 않은 암석의 용융 곡선과 지하 온도 분포 곡선이 만나는 곳의 온도는 약 1200 °C이다. 따라서 맨틀 물질이 용융되기 시작하는 온도는 A의 하부가 B의 하부보다 낮다.

✕. A에서는 주로 안산암질 마그마가 분출하고, B에서는 주로 현무암질 마그마가 분출한다. 따라서 A에서 주로 생성되는 화성암은 안산암이고, B에서 주로 생성되는 화성암은 현무암이다.

✕. ㉠은 섭입대 부근에서 물의 영향으로 인해 연약권을 구성하는 물질의 용융 온도가 낮아져 마그마가 생성되는 과정이다. 따라서 ㉠에 의해 주로 연약권(상부 맨틀)의 물질이 용융된다.

10 판의 이동

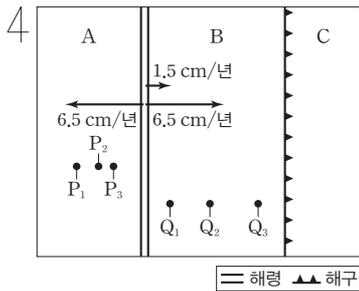
고지자기 줄무늬가 해령을 축으로 정확히 대칭일 때, 해령에서 새로운 판이 생성되어 확장되는 속력은 해령을 축으로 양쪽 판에서 동일하게 나타난다. 해령이 이동하지 않는 경우 판의 이동 속력은

해령에서 새로운 판이 생성되어 확장되는 속력과 같지만, 해령이 이동하는 경우 판의 이동 속력은 새로운 판이 생성되어 확장되는 속력과 해령의 이동 속력을 모두 고려하여 계산해야 한다. 한편 열점에 의해 형성된 해산들의 연령과 열점으로부터의 거리를 이용하면 판의 이동 속력을 구할 수 있다. 자료에 의하면 A 판은 서쪽으로 5 cm/년의 속력으로 이동하고, B 판은 동쪽으로 8 cm/년의 속력으로 이동한다.

ㄨ. A 판은 서쪽으로 5 cm/년의 속력으로 이동하고, B 판은 동쪽으로 8 cm/년의 속력으로 이동한다. 따라서 최근 2백만 년 동안 P₁은 Q₁에 대하여 13 cm/년의 속력으로 멀어졌다.

㉠. P₂와 Q₂는 암석의 연령이 같으므로 암석에 기록된 고지자기 복각의 부호는 서로 같다.

ㄨ. 고지자기 줄무늬가 해령을 축으로 대칭이라고 하였으므로, 해령에서 새로운 판이 생성되어 확장되는 속력은 해령을 축으로 양쪽 판에서 동일하다. 이때 판의 이동 속력은 A 판이 서쪽으로 5 cm/년, B 판이 동쪽으로 8 cm/년이므로 해령은 동쪽으로 1.5 cm/년의 속력으로 이동하고, 해령에서는 새로운 해양판이 생성되어 해령을 축으로 6.5 cm/년의 속력으로 확장된다. 따라서 해령과 열점 Q는 점차 가까워진다.



판의 확장 속력 및 해령의 이동 속력

12 우리나라의 화성암 지형

북한산의 정상 부근에는 화강암과 관상 절리가 나타나고, 경주시 양남면에는 현무암과 주상 절리가 나타난다.

㉠. ㉠은 산성암(화강암)이고, ㉡은 염기성암(현무암)이다. 따라서 SiO₂ 함량(%)은 ㉠이 ㉡보다 많다.

㉢. ㉢은 심성암(화강암)이고, ㉣은 화산암(현무암)이다. 따라서 암석이 생성된 깊이는 ㉢이 ㉣보다 깊다.

ㄨ. ㉢은 관상 절리, ㉣은 주상 절리이다. 주상 절리는 마그마의 냉각 과정에서 화산암과 함께 형성될 수 있지만, 관상 절리는 지하에 있던 심성암이 용기하여 지표에 노출될 때 압력 감소로 인해 팽창하면서 형성된다.

11 마그마와 화성암

판의 섭입이 일어나는 수렴형 경계 부근에서는 현무암질 마그마, 안산암질 마그마, 유문암질 마그마가 모두 생성될 수 있다. 마그마가 지하 깊은 곳에서 서서히 냉각되면 결정의 크기가 큰 심성암이 생성되고, 지표 부근에서 빠르게 냉각되면 결정의 크기가 작은 화산암이 생성된다.

ㄨ. (가)에서 주로 분출되는 마그마는 안산암질 마그마이기 때문에 지표 부근에서는 주로 안산암(㉠)이 산출된다.

㉢. A는 안산암질 마그마, B는 유문암질 마그마이므로 마그마의 SiO₂ 함량(%)은 A와 B 모두 50 %보다 많다.

ㄨ. 안산암은 유문암보다 SiO₂ 함량(%)이 적기 때문에 암석의 밀도가 상대적으로 크다. 따라서 ㉠은 유문암, ㉢은 안산암이다. 유문암과 안산암은 모두 화산암이므로 '마그마가 냉각되는 데 걸리는 시간'은 (나)의 ㉡로 적절하지 않다.

03 퇴적암과 지질 구조

수능 2점 테스트

본문 45~47쪽

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

01 속성 작용

지표의 암석이 풍화·침식 작용을 받아 생성된 쇄설물, 물에 녹아 있는 물질, 생물의 유해 등이 쌓인 퇴적물이 다져지고 굳어져 퇴적암이 생성된다.

- ㉠ A는 다짐 작용이다. 다짐 작용이 일어나면 퇴적물이 치밀하게 다져지면서 공극의 부피가 감소한다.
- ㉡ B는 교결 작용이다. 교결 작용이 일어날 때 교결물은 퇴적 입자를 연결시켜 주는 역할을 한다.
- ㉢ 모래 입자가 다짐 작용과 교결 작용을 받아 생성된 퇴적암은 사암이다.

02 퇴적암의 종류

퇴적암은 퇴적물의 기원에 따라 쇄설성 퇴적암, 화학적 퇴적암, 유기적 퇴적암으로 구분한다.

- ㉠ A는 지표 부근의 암석이 풍화·침식 작용을 받아 생성된 퇴적물이 쌓여서 생성된 쇄설성 퇴적암이다.
- ㉡ B는 생물의 유해나 골격의 일부가 쌓여서 생성된 유기적 퇴적암이다.
- ㉢ 석회암은 화학적으로 침전되거나 생물의 유해가 쌓여서 생성될 수 있으므로, B(유기적 퇴적암)와 C(화학적 퇴적암)에 모두 해당할 수 있다.

03 화학적 퇴적암

화학적 퇴적암은 호수나 바다 등에서 물에 녹아 있던 물질이 화학적으로 침전되거나 물이 증발함에 따라 잔류하여 만들어진다.

- ㉠ 증발에 의해 호수의 수량이 감소하므로, 이 호수는 증발량이 하천수의 유입량보다 많다.
- ㉡ 염류가 포함된 하천수의 유입이 있는 호수에서 증발에 의해 수량이 감소하면 호수의 염분은 높아진다.
- ㉢ 물의 증발에 의해 생성된 암염은 화학적 퇴적암에 해당한다.

04 퇴적 구조의 구분

퇴적이 일어나는 장소와 퇴적 당시의 환경에 따라 특징적인 퇴적 구조가 형성된다.

- ㉠ A는 물결 모양의 흔적이 지층에 남아 있는 연흔이다.
- ㉡ ㉠은 건열을 구분할 수 있는 질문이므로, '형성 과정에서 건조한 환경의 대기에 노출되었는가?'는 ㉠으로 적절하다.
- ㉢ B는 주로 입자의 크기에 따른 퇴적 속도 차이에 의해 형성되는 점이 층리이다.

05 사층리의 형성 과정

사층리는 층리가 나란하지 않고 비스듬히 기울어지거나 엇갈려 나타나는 퇴적 구조이다.

- ㉠ (가)에서 퇴적물 입자가 서쪽에서 동쪽으로 이동하며 퇴적되는 것으로 보아, 바람은 서쪽에서 동쪽으로 분다.
- ㉡ (가)는 바람이 불어가는 방향의 비탈면에 퇴적물이 쌓여서 형성된 사층리이다.
- ㉢ 사층리는 일반적으로 아래쪽에서 위쪽으로 갈수록 층리의 폭이 넓어지므로, A는 역전된 상태이다.

06 퇴적 환경

퇴적암이 생성되는 퇴적 환경은 크게 육상 환경, 연안 환경, 해양 환경으로 구분할 수 있다.

- ㉠ A는 퇴적물이 만의 입구를 막아 바다와 분리되어 형성된 호수인 석호이다.
- ㉡ B는 입자가 작은 퇴적물이 삼각형 모양으로 퇴적된 삼각주로, 강의 하구와 바다가 만나는 지역에서 강물의 유속이 느려지는 과정에서 형성된다.
- ㉢ 석호와 삼각주는 육상 환경과 해양 환경이 만나는 곳인 연안 환경에 해당한다.

07 한반도의 퇴적 지형

제주도 수월봉에는 화산재가 쌓여 생성된 지층이 분포하고, 진안군 마이산에는 주로 자갈로 이루어진 암석이 분포한다.

- ㉠ A는 화산재가 쌓여 생성된 응회암이다.
- ㉡ 마이산에서 B는 주로 자갈로 이루어진 역암으로, 육상 환경에서 퇴적되어 민물조개 화석이 발견된다.
- ㉢ 응회암(A)은 화산 쇄설물이 쌓여서 생성되고, 역암(B)은 쇄설성 퇴적물이 쌓여서 생성된다. 따라서 A와 B는 쇄설성 퇴적암에 해당한다.

08 습곡

습곡은 암석이 비교적 온도가 높은 지하 깊은 곳에서 횡압력을 받아 휘어진 지질 구조이다.

- ㉠ 습곡에서 위로 볼록하게 휘어진 부분은 배사, 아래로 움푹하게 휘어진 부분은 향사이다. (가)는 위로 볼록하게 휘어졌으므로 배사이다.

- ✗. 아래쪽에 퇴적된 지층일수록 오래된 지층이므로, (나)에서 지표 부근 암석의 연령은 습곡축면으로부터 멀어질수록 많아진다.
- ㉠. 배사와 향사가 발달한 습곡은 횡압력에 의해 형성된다.

09 단층

단층은 암석이 깨져 생긴 면을 경계로 양쪽의 암석이 상대적으로 이동하여 서로 어긋나 있는 지질 구조이다.

- ㉠. 단층면이 경사져 있을 때 그 윗부분은 상반, 아랫부분은 하반이다. 따라서 A는 하반이다.
- ㉡. B와 C 사이의 단층은 수평 방향으로 어긋나게 작용하는 힘을 받아 지괴가 수평 방향으로 이동한 주향 이동 단층이다.
- ㉢. C와 D 사이의 단층은 장력을 받아 상반이 하반에 대해 아래로 이동한 정단층이다.

10 주상 절리

절리는 암석에 생긴 틈이나 균열로, 단층과는 달리 절리면을 기준으로 양쪽 암석의 상대적인 이동이 없는 지질 구조이다. 절리의 예로는 주상 절리, 판상 절리가 있다.

- ㉠. 입자의 크기가 작은 암석에 육각기둥 모양으로 발달한 절리는 주상 절리이다.
- ✗. 충석정에는 색이 어둡고 입자의 크기가 작은 현무암이 주로 분포한다.
- ✗. 주상 절리는 주로 지표로 분출한 용암이 식을 때 부피가 수축하여 단면이 오각형이나 육각형인 긴 기둥 모양으로 갈라져 형성된다.

11 부정합의 형성 과정

부정합은 오랫동안 퇴적이 중단되었다가 다시 퇴적되어 상하 지층 사이에 퇴적 시간의 불연속이 나타나는 관계이다.

- ㉠. 이 지역은 습곡이 형성된 후, A 과정에서 지표가 침식되었다.
- ㉡. B 과정에서 침식면 위로 새로운 퇴적층이 형성되었으므로, 이 지역은 B 과정에서 침강하였다.
- ㉢. 부정합면을 경계로 상하 지층의 경사가 서로 다르므로, 이 지역에 형성된 부정합은 경사 부정합이다.

12 관입과 포획

마그마가 기존 암석의 약한 부분을 뚫고 들어가는 과정을 관입이라 하고, 마그마가 관입할 때 주변 암석의 일부가 떨어져 나와 마그마 속으로 유입되는 것을 포획이라고 한다.

- ㉠. 포획암은 관입암보다 먼저 생성된 것이다. A의 암석 조각이 P에 포획되어 있으므로, A는 P보다 먼저 생성되었다.
- ㉡. ㉠은 포획암으로, P가 관입할 때 포획된 암석 조각이다.
- ✗. P에서 A의 암석 조각이 포획되어 나타나고, B에서 A와 P의 암석 조각이 기저 역암으로 나타나므로, 이 지역에서 암석의 생성 순서는 $A \rightarrow P \rightarrow B$ 이다. B는 P가 관입한 이후에 퇴적되었다. 따라서 B는 P의 관입에 의해 변성 작용을 받지 않았다.

수능 3점 테스트

본문 48~53쪽

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

01 속성 작용

속성 작용은 퇴적물이 쌓여 퇴적암이 되기까지의 전체 과정으로, 다짐 작용과 교결 작용이 있다.

✕. 제시된 자료에서 공극률은 (점토 20%, 모래 80%) 부근에서 가장 낮게 나타나므로, 모래에 대한 점토의 비율이 높을수록 공극률이 높다고 할 수 없다.

✕. ㉠과 ㉡은 공극률이 같지만, 모래에 대한 점토의 비율은 ㉠보다 ㉡이 높다. 같은 부피에서 모래에 대한 점토의 비율이 높을수록 퇴적물의 입자 개수가 많으므로, 퇴적물의 입자 개수는 ㉡이 ㉠보다 많다.

○. 공극률이 높을수록 공극이 같은 교결 물질로 모두 채워질 경우 퇴적물의 질량 변화량이 크다. 따라서 ㉠~㉡ 중 공극률이 가장 낮은 ㉡이 공극이 같은 교결 물질로 모두 채워질 경우 퇴적물의 질량 변화량이 가장 작다.

02 퇴적암의 종류

쇄설성 퇴적암은 쇄설성 퇴적물이나 화산 쇄설물이 쌓여서 생성되고, 화학적 퇴적암은 물에 녹아 있던 물질이 침전되거나 물이 증발함에 따라 잔류하여 생성되며, 유기적 퇴적암은 생물의 유해나 골격의 일부가 쌓여서 생성된다.

✕. A는 점토가 쌓여 생성된 셰일이고, C는 해수가 증발함에 따라 잔류하여 생성된 암염이다. 층리는 셰일과 같은 쇄설성 퇴적암에서 뚜렷하게 발달하므로, C보다 A에서 잘 발달한다.

○. B는 유공충의 유해가 쌓여서 생성된 석회암으로 유기적 퇴적암에 속한다. 유기적 퇴적암에서는 화석이 발견될 수 있다.

○. D는 화산재가 쌓여서 생성된 응회암으로 쇄설성 퇴적암에 속한다.

03 유기적 퇴적암

유기적 퇴적암은 생물의 유해나 골격이 쌓여 생성된 암석이다. 따뜻하고 얇은 바다에 사는 조개나 산호, 유공충의 유해가 쌓이면 석회암이 생성될 수 있고, 규조와 방산충의 껍데기가 쌓이면 각각 규조토와 처트가 생성될 수 있다.

○. A는 석회질 생물체 퇴적물로, A에는 (나)와 같은 유공충 유해가 포함된다.

○. B는 점토 퇴적물로, 점토의 크기는 $\frac{1}{16}$ mm보다 작다.

○. C는 규질 생물체 퇴적물이다. 규질 생물체 퇴적물이 속성 작용을 받으면 처트가 생성될 수 있다.

04 점이 층리

점이 층리는 한 지층 내에서 위로 갈수록 입자의 크기가 점점 작아지는 퇴적 구조로, 다양한 크기의 퇴적물이 한꺼번에 퇴적될 때 큰 입자가 밑바닥에 먼저 가라앉고 작은 입자는 천천히 가라앉아 형성된다.

○. (가)는 다양한 크기의 쇄설성 입자로 구성된 흙탕물을 만들어 붓는 과정이다. 다양한 크기의 입자로 구성된 퇴적물이 수심이 깊은 곳에서 서서히 가라앉는 과정은 (가)를 통해 설명할 수 있다.

○. 다양한 크기의 퇴적물이 한꺼번에 퇴적될 때 큰 입자가 밑바닥에 먼저 가라앉고 작은 입자는 천천히 가라앉으므로, (나)에서 입자의 평균 크기는 퇴적물의 하부가 상부보다 크다.

○. 이 실험은 점이 층리의 형성 원리를 알아보기 위한 것이다. 따라서 '점이 층리'는 ㉠에 해당한다.

05 퇴적 구조

퇴적이 일어나는 장소와 퇴적 당시의 환경에 따라 특징적인 퇴적 구조가 형성된다. 퇴적 구조의 예로 건열, 사층리, 점이 층리, 연흔 등이 있다.

○. (가)는 층리가 나란하지 않고 비스듬히 기울어지거나 엇갈려 나타나는 사층리이다. 사층리를 통해 퇴적물이 공급된 방향을 알 수 있다.

○. (나)는 퇴적층의 표면이 갈라져서 쉼기 모양의 틈이 생긴 건열로, 틈이 내려다보이는 것으로 보아 층리면을 관찰한 것이다.

✕. (다)는 물결 모양의 흔적이 지층에 남아 있는 연흔으로, 주로 수심이 얇은 물밑에서 형성된다.

06 퇴적 환경

육상 환경은 육지에서 퇴적암이 만들어지는 환경으로 선상지, 하천, 호수, 사막, 빙하 등이 있다. 연안 환경은 육상 환경과 해양 환경이 만나는 곳에서 퇴적암이 만들어지는 환경으로 삼각주, 조간대, 해변, 사주, 석호 등이 있다. 해양 환경은 바다 밑에서 퇴적암이 만들어지는 환경으로 가장 넓은 면적을 차지하며, 대륙붕, 대륙 사면, 대륙대, 심해저 평원 등이 있다.

○. ㉠은 선상지이고, ㉡은 해변이다. ㉠에는 자갈, 모래 등 다양한 크기의 퇴적물이 분포하지만 ㉡에는 주로 모래가 분포하므로, 퇴적물 중 자갈이 차지하는 비율은 ㉠이 ㉡보다 높다.

○. ㉢은 해변으로, 육상 환경과 해양 환경이 만나는 연안 환경에 해당한다.

○. ㉣은 대륙붕이다. 대륙붕에 산호의 유해가 쌓이면 석회암이 생성될 수 있다.

07 점이 층리

대륙붕 가장자리에 불안정하게 쌓여 있던 퇴적물이 지진이나 해저 사태에 의해 흘러내리는 것을 저탁류라고 한다. 다양한 크기의

입자로 구성된 퇴적물이 수심이 깊은 곳에서 가라앉을 때 크고 무거운 입자가 먼저 가라앉고 위로 가면서 점차 작고 가벼운 입자가 쌓이는데, 이와 같은 과정으로 만들어진 퇴적 구조를 점이 층이라고 한다.

- ㉠. 대륙붕 가장자리의 퇴적물이 해저 사태에 의해 흘러내릴 경우, 해저 협곡을 따라 대륙 사면에 저탁류가 흐를 수 있다.
- ㉡. (나)의 퇴적 구조는 점이 층으로, 대륙붕보다 대륙대에서 잘 형성된다.
- ㉢. (나)에 점이 층리가 3개 나타나는 것으로 보아 (나)가 형성되는 과정에서 저탁류는 최소 3회 이상 발생하였다.

08 한반도의 퇴적 지형

경상남도 고성군 덕명리에 분포하는 중생대 퇴적층에서는 공룡 발자국 화석, 연흔, 건열 등이 나타난다.

- ✕. 공룡은 육상 생물이고, 연흔은 수심이 얇은 물밑에서 잘 형성되는 퇴적 구조이다. 퇴적층에서 공룡 발자국 화석과 연흔이 나타나므로, 이 퇴적층은 육지의 얇은 물밑 환경에서 퇴적되었다.
- ㉠. 건열은 퇴적물이 건조한 환경의 대기에 노출되어 형성된다. 퇴적층에서 건열이 나타나므로, 이 퇴적층은 건조한 환경의 대기에 노출된 적이 있다.
- ✕. 공룡은 중생대에 살았던 생물이다. 퇴적층에서 공룡 발자국 화석이 발견되므로, 이 퇴적층은 중생대에 퇴적되었다.

09 습곡과 단층

습곡은 암석이 비교적 온도가 높은 지하 깊은 곳에서 횡압력을 받아 휘어진 지질 구조이고, 단층은 암석이 깨져 생긴 면을 경계로 양쪽의 암석이 상대적으로 이동하여 서로 어긋나 있는 지질 구조이다.

- ✕. (가)에서 시추 시설은 습곡에서 위로 볼록하게 휘어진 배사에 설치되어 있다.
- ✕. (나)에서 석유는 단층면의 윗부분인 상반에 매장되어 있다.
- ㉠. (가)에는 지층이 휘어진 습곡이 발달해 있고, (나)에는 단층면을 경계로 상반이 하반에 대해 위로 이동한 역단층이 발달해 있다. 습곡과 역단층은 횡압력을 받아 형성되므로, 두 지역은 과거에 횡압력을 받은 적이 있다.

10 정단층

동아프리카 열곡대는 판의 발산형 경계로, 열곡대를 따라 정단층과 화산이 발달해 있다.

- ㉠. ㉠ 지점과 ㉡ 지점은 동아프리카 열곡대를 사이에 두고 서로 떨어져 있다. 동아프리카 열곡대는 판의 발산형 경계이므로, 판의 발산에 따라 ㉠ 지점과 ㉡ 지점 사이의 거리는 멀어지고 있다.
- ㉢. A 영역은 열곡대에 위치하여 판의 발산에 의해 장력이 작용한다. 따라서 A 영역에서는 정단층이 역단층보다 우세하게 발달한다.

㉢. B 영역은 대륙판을 뚫고 마그마가 상승하는 영역이므로, B 영역에서는 관입암이 나타날 수 있다.

11 주상 절리와 판상 절리

주상 절리는 주로 지표로 분출한 용암이 식을 때 부피가 수축하여 단면이 오각형이나 육각형인 긴 기둥 모양으로 갈라지며 형성되고, 판상 절리는 지하 깊은 곳에 있던 암석이 용기할 때 압력이 감소하면서 부피가 팽창하여 판 모양으로 갈라지며 형성된다.

- ㉠. 지표에 분출된 용암이 냉각될 때, 표면은 내부보다 더 빠르게 수축한다.
- ✕. 지하의 암석이 지표로 용기하는 과정에서 암석에 가해지는 압력은 감소한다.
- ✕. 주상 절리는 화산암에서 잘 나타나고, 판상 절리는 심성암에서 잘 나타난다.

12 부정합

퇴적이 연속으로 일어난 경우 상하 지층의 관계를 정합이라고 한다. 그러나 퇴적이 오랫동안 중단된 후 다시 퇴적이 일어나면 지층 사이에 퇴적 시간의 공백이 생기는데, 이러한 상하 지층 관계를 부정합이라 하고, 그 경계면을 부정합면이라고 한다.

- ㉠. 부정합은 '퇴적 → 용기 → 풍화·침식 → 침강 → 퇴적'의 과정을 거쳐 형성된다. 이 지역에는 2개의 부정합이 있고 최종적으로 용기하여 지표로 드러나 있으므로, 최소 3회의 용기가 있었다.
- ㉡. $u_1 - u_1'$ 은 부정합면을 경계로 상하 지층이 나란한 평행 부정합면이다. 이와 같은 형태의 부정합면은 형성 과정에서 조산 운동보다 조륙 운동의 영향을 많이 받는다.
- ㉢. $u_1 - u_1'$ 이 평행 부정합면이므로, $u_2 - u_2'$ 은 난정합면이다. 난정합은 부정합면의 하부에 심성암 또는 변성암이 분포하므로, 암석 F는 심성암이나 변성암이다.

04 지구의 역사

수능 2점 테스트

본문 61~64쪽

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

01 지사학의 법칙

지층의 선후 관계는 현재 지각에서 발생하는 지질학적 사건들이 조건이 동일하다면 과거에도 동일하게 일어났다는 동일 과정의 원리를 바탕으로 여러 가지 법칙을 이용하여 결정한다.

- ㉠ 퇴적물이 쌓일 때는 중력의 영향으로 수평면과 나란한 방향으로 쌓여 지층이 생성된다. 현재 지층이 기울어져 있거나 휘어져 있으면 퇴적물이 쌓인 후 지각 변동을 받았다는 것을 알 수 있다.
- ㉡ 퇴적물이 쌓일 때 새로운 퇴적물은 이전에 쌓인 퇴적물 위에 쌓이므로, 지층의 역전이 없었다면 아래에 있는 지층은 위에 있는 지층보다 먼저 퇴적된 것이다.
- ㉢ 지층의 역전 여부는 사층리, 점이 층리, 연흔, 건열 등의 퇴적 구조와 지층 속에 포함되어 있는 표준 화석을 이용하여 판단할 수 있다.

02 관입의 법칙

마그마가 주변의 암석을 관입한 경우 주변의 암석은 화성암보다 먼저 생성되었으며, 주변의 암석이 변성 작용을 받을 수 있다. 마그마가 지표로 분출한 경우 화성암 위의 지층은 화성암보다 나중에 생성되었으며, 화성암 위의 지층에는 변성 작용을 받은 부분이 나타나지 않는다.

- ㉤ (가)에서는 B가 관입하여 A와 C가 변성 작용을 받았고, (나)에서는 E가 분출하여 F가 변성 작용을 받았으며 이후에 부정합이 형성되고 D가 퇴적되었다. C와 D는 서로 같은 시기에 퇴적되었으므로, 암석의 생성 순서는 $F \rightarrow E \rightarrow C(D) \rightarrow A \rightarrow B$ 이다.

03 암상에 의한 지층 대비

비교적 가까운 지역의 지층을 구성하는 암석의 종류, 조직, 지질 구조 등의 특징을 대비하여 지층의 선후 관계를 판단한다.

- ㉥ 지층을 대비할 때 기준이 되는 지층을 건층이라고 한다. 인접한 세 지역의 석탄층이 서로 같은 시기에 생성되었으므로 석탄층은 건층에 해당한다.
- ㉦ (가)의 역암층은 석탄층보다 아래에 위치하고, (나)의 역암층은 석탄층보다 위에 위치한다. (가)와 (나)의 석탄층이 같은 시기

에 퇴적되었으므로, (가)의 역암층은 (나)의 역암층보다 먼저 생성되었다.

- ㉧ (가), (나), (다)의 지층 중 가장 최근에 생성된 지층은 (다)의 최상부에 분포하는 사암층이다.

04 상대 연령

이 지역에서는 습곡, 단층, 부정합이 나타난다. 지사학의 여러 법칙을 적용하여 지질학적 사건의 발생 순서를 판단할 수 있다.

- ㉨ (B, C)와 D의 경계에 부정합면이 나타난다. 부정합면을 경계로 상하 지층의 경사가 서로 다르므로, 이 지역에는 경사 부정합이 나타난다.
- ㉩ 단층 $f-f'$ 은 단층면을 기준으로 상반이 하반에 대해 아래로 이동하였으므로, 단층 $f-f'$ 은 정단층이다. 정단층은 장력을 받아 형성되므로, 이 지역은 단층 $f-f'$ 이 형성될 당시에 장력을 받았다.
- ㉪ 이 지역에서 지층의 생성 순서는 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow$ (습곡) \rightarrow (단층) \rightarrow (부정합) $\rightarrow D$ 이다.

05 상대 연령

지층과 암석의 상대적 생성 시기는 동물군 천이의 법칙, 관입의 법칙 등을 통해 판단할 수 있다.

- ㉫ A에서는 암모나이트 화석이 발견되며, 암모나이트는 해양 생물이다. 따라서 A는 바다에서 퇴적되었다.
- ㉬ B에서는 신생대의 표준 화석인 화폐석 화석이 산출된다. 따라서 B는 신생대에 퇴적되었다.
- ㉭ 관입암은 마그마가 기존 암석을 뚫고 들어가서 굳어진 암석이므로, 관입암 P는 A가 퇴적된 후 관입하였다.

06 방사성 동위 원소의 반감기

방사성 동위 원소는 시간이 지남에 따라 방사선을 방출하면서 붕괴하여 다른 원소로 변하는데, 붕괴하는 방사성 동위 원소를 모원소, 방사성 동위 원소가 붕괴하여 생성되는 원소를 자원소라고 한다.

- ㉮ (나) 과정을 1회 실행할 때마다 앞면이 보이는 동전의 절반이 뒤집히므로, ㉮은 32이고 ㉯은 96이다. 따라서 $\frac{㉮}{㉮+㉯}$ 은 0.25이다.
- ㉯ n 은 앞면이 보이는 동전이 2개 남을 때까지 (나)를 실행한 횟수이다. n 회 실행 후 앞면이 보이는 동전의 개수는 최초 개수의 $\frac{1}{64}$ 이므로, $\left(\frac{1}{2}\right)^n = \frac{1}{64}$ 을 만족하는 n 은 6이다.

- ㉺ 방사성 동위 원소의 반감기를 알아보기 위한 탐구 활동에서 (나)를 실행할 때마다 앞면이 보이는 동전의 개수가 절반으로 감소하므로, 앞면이 보이는 동전은 방사성 동위 원소(모원소)에 해당하고, 뒷면이 보이는 동전은 방사성 동위 원소의 자원소에 해당

한다.

07 방사성 동위 원소의 붕괴 곡선

방사성 동위 원소가 붕괴할 때 모원소의 함량은 지속적으로 감소하고, 자원소의 함량은 지속적으로 증가한다.

㉠. 반감기는 방사성 동위 원소가 붕괴하여 처음 양의 절반으로 줄어드는 데 걸리는 시간이다. X의 붕괴 과정에서 X의 양이 절반으로 감소하는 데 걸리는 시간이 1억 년이므로, X의 반감기는 1억 년이다.

✕. ㉠에서 ㉡, ㉡에서 ㉢, ㉢에서 ㉣로 갈수록 X의 양이 각각 절반으로 감소하므로, ㉠에서 ㉣까지 반감기를 3회 거친 것을 알 수 있다. 따라서 ㉠에서 ㉣까지 걸리는 시간은 3억 년이다.

✕. $\frac{\text{자원소 함량}(\%)}{\text{X의 함량}(\%)}$ 이 ㉢은 3이고, ㉡은 1이다. 따라서

$\frac{\text{자원소 함량}(\%)}{\text{X의 함량}(\%)}$ 은 ㉢이 ㉡의 3배이다.

08 절대 연령

방사성 동위 원소의 처음 양에 대한 현재 함량(%)을 비교하면 반감기를 거친 횟수를 알 수 있다.

✕. B에서 고생대의 표준 화석인 삼엽충 화석이 발견되므로, B는 고생대에 생성되었다.

㉠. 암석의 생성 순서는 A(퇴적) → P(관입) → (부정합) → B(퇴적) → Q(분출 또는 관입)이다.

㉡. P는 Q보다 먼저 생성되었으므로, X가 Y와 반감기가 같거나 X가 Y보다 반감기가 짧다면 방사성 동위 원소의 처음 양에 대한 현재 함량(%)은 P에 포함된 X가 Q에 포함된 Y보다 적어 야 한다. 하지만 방사성 동위 원소의 처음 양에 대한 현재 함량(%)이 P에 포함된 X가 Q에 포함된 Y보다 많으므로 반감기는 X가 Y보다 길다.

09 표준 화석

표준 화석은 지질 시대 중 일정 기간에만 번성했다가 멸종한 생물의 화석으로, 지질 시대 결정과 지층 대비에 이용된다.

✕. 원생 누대 말기에 최초의 다세포 동물이 출현하였으며, 그 일부가 에디아카라 동물군 화석으로 남아 있다. 시생 누대는 원생 누대보다 과거의 시대이다.

㉠. (나)는 필석 화석으로, 필석은 고생대 오르도비스기에 크게 번성하였고 고생대에만 생존하였다. 따라서 (나)는 고생대 지층에서 발견된다.

㉡. 에디아카라 동물군 화석과 필석 화석은 해양 생물의 화석이다.

10 지질 시대의 구분

지구가 탄생한 약 46억 년 전부터 현재까지를 지질 시대라고 한다. 지질 시대는 생물계에서 일어난 급격한 변화나 지각 변동, 기

후 변화 등을 기준으로 누대(累代), 대(代), 기(紀) 등으로 구분한다.

㉠. 신생대의 기(紀)로, 4글자이며 화폐석이 번성한 시기는 팔레오기이다.

㉡. 시조새는 중생대 쥐라기에 출현하였으므로, 중생대는 ㉠으로 적절하다.

㉢. '오'로 시작하며 6글자인 고생대의 기(紀)는 오르도비스기이다. 어류는 오르도비스기에 출현하였으므로 ㉡에 해당한다.

11 고기후 연구 방법

고기후는 화석 연구, 지층의 퇴적물 연구, 나무의 나이테 연구, 빙하 코어 연구 등을 통해 추정할 수 있다.

㉠. 빙하 코어에 포함된 공기 방울을 분석하면 과거의 대기 조성을 알 수 있다.

✕. 최초의 육상 식물은 고생대에 출현하였다. 이후 줄기에 관다발이 발달하면서 나이테가 나타났으므로, 나무의 나이테 연구는 선캄브리아 시대 연구에는 부적합하다.

㉡. 빙하를 구성하는 물 분자의 산소 안정 동위 원소 비율($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$)로부터 기온 변화를 추정하거나 나이테 사이의 폭과 밀도를 측정하여 과거의 기온과 강수량 변화를 추정하는 등 (가)와 (나)를 연구하면 과거의 기후를 추정할 수 있다.

12 지질 시대의 기후

선캄브리아 시대와 고생대 및 신생대에는 빙하기가 있었고, 중생대에는 빙하기가 없었으며 대체로 온난하였다.

㉠. A는 고생대이다. 최초의 육상 식물은 고생대에 출현하였다.

㉡. B는 중생대이다. 중생대에는 빙하기가 없었으며 현재보다 대체로 온난하였다.

㉢. C는 신생대이다. 신생대 후기에 빙하기와 간빙기가 반복되었다.

13 지질 시대의 구분

과거부터 시대 순으로 나열한 시생 누대, 원생 누대, 현생 누대를 시간 길이 순으로 나열하면 원생 누대 > 시생 누대 > 현생 누대이다.

㉡. A는 원생 누대, B는 시생 누대, C는 현생 누대이다. 최초의 생명체는 시생 누대에 출현하였고, 로디니아는 원생 누대에 형성되었으며, 판게아는 현생 누대에 형성되었다. 따라서 A 시대에 ㉠, B 시대에 ㉡, C 시대에 ㉢이 일어났다.

14 화석을 통한 지질 시대의 구분

현생 누대는 생물의 출현과 진화 등 생물계에 큰 변화가 나타난 시기를 기준으로 구분한다.

㉠. 완족류는 고생대 말에 과의 수가 크게 감소하였고, 삼엽충은 고생대 말에 멸종하였다. 따라서 A는 완족류, B는 삼엽충이다.

㉡. 삼엽충은 고생대 초에 출현하여 고생대 말에 멸종하였으므로 삼엽충 화석은 고생대의 표준 화석이다.

㉔ ㉕은 삼엽충이 멸종한 시기로, 고생대 페름기와 중생대 트라이아스기의 경계이다.

15 지질 시대의 생물

최초의 파충류는 고생대에 출현하였고, 암모나이트는 중생대 말에 멸종하였으며, 인류의 조상은 신생대에 출현하였다.

㉑. A는 최초의 파충류가 출현하고 양치식물이 번성한 시기로, 고생대 석탄기이다.

㉒. C는 대형 포유류가 번성하고 인류의 조상이 출현한 시기로, 신생대 제4기이다. 매머드는 이 시기에 번성한 대형 포유류이다.

㉓. B는 말기에 공룡과 암모나이트가 멸종한 중생대 백악기이다. A는 고생대 석탄기, B는 중생대 백악기, C는 신생대 제4기이므로, 시간 순서대로 나타내면 A → B → C이다.

16 대멸종

생물의 대멸종은 고생대 오르도비스기 말, 데본기 후기, 페름기 말, 중생대 트라이아스기 말, 백악기 말에 있었다.

㉘. A에는 해양 생물 과의 수가 절반 정도 감소하였지만, B에는 절반보다 적은 수가 감소하였다. 따라서 해양 생물 과의 수가 감소한 비율은 A가 B보다 높다.

㉙. (나)는 해양 생물인 삼엽충의 화석이다.

㉚. A는 고생대와 중생대의 경계이고, B는 중생대와 신생대의 경계이다. 삼엽충은 고생대 말인 A 시기에 멸종하였다.

수능 3점 테스트

본문 65~71쪽

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

01 화석에 의한 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 판단한다.

㉑. A는 E보다 먼저 퇴적된 지층에서 산출되므로, A는 E보다 과거에 살았던 생물의 화석이다.

㉒. 인접한 여러 지역 중 가장 최근의 지층은 F만 산출되는 (나)와 (다)의 최상부층이다.

㉓. C는 여러 지층에서 서로 다른 종류의 화석과 함께 산출되지만 D는 특정한 지층에서만 산출되므로 생존 기간만을 고려할 때, 표준 화석으로는 D가 C보다 더 적합하다.

㉔. (다)에는 (가), (나)에 공통으로 포함된 A, B가 산출되는 지층과 B, C가 산출되는 지층이 나타나지 않는다. 따라서 (다)에는 A가 산출되는 지층과 C, D가 산출되는 지층 사이에 부정합면이 있다.

02 부정합의 법칙과 관입의 법칙

부정합면을 경계로 상부 지층과 하부 지층의 퇴적 시기 사이에는 큰 시간적 간격이 존재한다. 마그마가 주변의 암석을 뚫고 들어가 화성암이 생성되었을 때, 관입 당한 암석은 관입한 화성암보다 먼저 생성된 것이다.

㉘. ㉕은 화강암의 관입이 일어나면서 주변의 사암 조각이 포획된 것이다. 따라서 ㉕은 포획암이다.

㉙. (가)에서 화강암에 암석 A의 조각이 포획된 것으로 보아 화강암은 암석 B보다 나중에 생성되었다. (나)에서 부정합면을 경계로 암석 B가 화강암을 덮고 있으므로 화강암은 암석 B보다 먼저 생성되었다. (가)와 (나)의 화강암은 같은 시기에 관입하였으므로 암석 A는 암석 B보다 먼저 생성되었다.

㉚. 암석 A와 암석 B에서 고생대의 표준 화석인 필석 화석과 삼엽충 화석이 각각 산출된다. 화강암의 관입은 암석 A의 생성 시기와 암석 B의 생성 시기 사이에 일어났으므로, 화강암의 관입이 일어난 시기는 고생대이다.

03 상대 연령

사층리, 연흔 등의 퇴적 구조와 습곡, 단층 등의 지질 구조를 통해 암석의 상대적 생성 시기를 판단할 수 있다.

㉑. 사층리는 바람이 불어가거나 물이 흐르는 방향의 비탈면에 퇴적물이 쌓여 형성되므로, A 지점의 퇴적층이 생성될 당시 퇴적물

의 이동 방향은 ㉠보다 ㉡에 가깝다.

✗. 단층 $f-f'$ 은 습곡의 향사축 주변에 나타난다.

✗. B 지점에서 C 지점 사이의 지층은 습곡 작용에 의해 먼저 생성된 지층이 나중에 생성된 지층보다 위쪽에 위치한다. 따라서 위에서 아래로 갈수록 암석의 연령이 적어지므로, B 지점에서 C 지점으로 갈 때, 지표에 드러난 암석의 연령은 적어진다.

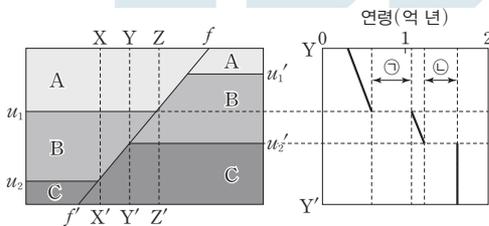
04 상대 연령

퇴적암은 지층의 하부에서 상부로 갈수록 연령이 적어지고, 심성암은 마그마가 관입하며 거의 동시에 생성되므로 깊이에 따른 연령 변화가 거의 없다.

✗. 단층은 단층면을 경계로 양쪽의 암석이 상대적으로 이동하여 서로 어긋나 있는 지질 구조이다. u_1-u_1' 은 $f-f'$ 에 의해 끊어져 분포하므로, u_1-u_1' 은 $f-f'$ 보다 먼저 형성되었다.

㉠. (나)에서 A와 B의 연령은 깊이가 깊어질수록 많아지지만, C의 연령은 깊이에 따른 변화가 거의 없다. 따라서 A와 B는 퇴적암, C는 심성암이다. u_2-u_2' 의 하부에 심성암이 분포하므로, u_2-u_2' 은 난정합면이다.

✗. $f-f'$ 을 기준으로 X-X' 구간에서는 B와 C가 경계를 이루고, Z-Z' 구간에서는 A와 B가 경계를 이룬다. X-X' 구간에서 B의 최하부와 C의 연령 차이는 아래 그림의 ㉠보다 작고, Z-Z' 구간에서 A의 최하부와 B의 중하부의 연령 차이는 아래 그림의 ㉡보다 크다. 따라서 $f-f'$ 을 경계로 나타나는 암석의 연령 차이는 X-X' 구간이 Z-Z' 구간보다 작다.



05 절대 연령

방사성 동위 원소가 붕괴함에 따라 $\frac{\text{자원소 함량}(\%)}{\text{방사성 동위 원소 함량}(\%)}$ 은 점차 커진다.

㉠. P에 포함된 방사성 동위 원소 X와 Y의 처음 양에 대한 현재 함량이 각각 25%, 50%이므로, P가 생성된 이후 X는 반감기를 두 번 거쳤고, Y는 한 번 거쳤다. 따라서 반감기는 X가 Y의 $\frac{1}{2}$ 배이다.

✗. X의 처음 양에 대한 현재 함량이 25%이므로, X의 $\frac{\text{자원소 함량}(\%)}{\text{방사성 동위 원소 함량}(\%)}$ 은 3이다. 그림에서 X의 $\frac{\text{자원소 함량}(\%)}{\text{방사성 동위 원소 함량}(\%)}$ 이 3이 되기까지 시간이 2억 년 걸리

므로, P의 절대 연령은 2억 년이다.

㉡. 현재로부터 2억 년 후 P의 절대 연령은 4억 년이며, 이때 P에 포함된 Y의 $\frac{\text{자원소 함량}(\%)}{\text{방사성 동위 원소 함량}(\%)}$ 은 3이다.

06 절대 연령

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

㉠. P에 포함된 X의 함량이 처음 양의 50%이므로 P의 절대 연령은 0.5억 년이고, Q에 포함된 Y의 함량이 처음 양의 50%이므로 Q의 절대 연령은 1억 년이다. P의 절대 연령이 Q의 절대 연령보다 적으므로 ㉠에는 P가 분포한다.

㉡. R에 포함된 Y의 함량이 처음 양의 25%이므로, R의 절대 연령은 2억 년이다. 생성 순서는 R → A → Q이므로, A의 연령은 1억 년~2억 년 사이이다. 따라서 지층 A는 중생대에 생성되었다.

㉢. R의 절대 연령이 2억 년이고 X의 반감기는 0.5억 년이므로, R에 포함된 X는 R가 생성된 이후 네 번의 반감기를 거쳤다. 따라서 현재 R에 포함된 X의 함량은 처음 양의 6.25%이다.

07 절대 연령

암석에 포함된 방사성 동위 원소와 자원소의 비율, 반감기를 알면 암석의 생성 시기를 알 수 있다.

㉠. P가 생성되고 1억 년 후, X의 자원소 함량(%)이 X의 함량(%)과 같으므로 X의 반감기는 1억 년이다. 반감기는 Y가 X의 2배이므로, Y의 반감기는 2억 년이다. 현재 Y의 자원소 함량(%)이 Y 함량(%)의 3배이므로, P가 생성된 이후 Y는 반감기를 두 번 거쳤고, P의 절대 연령은 4억 년이다. 따라서 (P의 절대 연령 - X의 반감기)는 3억 년이다.

㉡. 현재로부터 2억 년 전은 P가 생성되고 2억 년 후이므로, Y는 반감기를 한 번 거쳤다. 따라서 P에 포함된 Y의 자원소 함량(%)은 Y의 함량(%)과 같다.

㉢. 현재로부터 2억 년 후는 P가 생성되고 6억 년 후이므로, P에 포함된 X와 Y의 함량은 각각 처음 양의 $\frac{1}{64}$, $\frac{1}{8}$ 이다. 따라서 현

재로부터 2억 년 후, P에서 $\frac{\text{자원소 함량}(\%)}{\text{방사성 동위 원소 함량}(\%)}$ 이 X는 63이고 Y는 7이므로 X가 Y의 9배이다.

08 지질 시대의 구분

현생 누대는 약 5억 4천 1백만 년 전부터 현재까지이며, 고생대, 중생대, 신생대로 구분한다.

㉠. 현생 누대의 지속 기간에 해당하는 5억 4천 1백만 년을 12시간으로 환산하여 지질 시계를 제작하였으므로, 제작한 지질 시계의 1시간은 약 4천 5백만 년이다.

㉠, ㉡은 신생대, ㉢은 중생대, ㉣은 고생대이다. 네오기는 신생대의 기(紀) 단위이므로 ㉡에 속한다.

✕. 히말라야산맥은 신생대에 형성되었으므로, 히말라야산맥의 형성은 ㉡에 일어난 지질학적 사건이다.

09 지질 시대의 생물학적 사건

다세포 동물은 원생 누대 말기에 출현하였고, 양서류는 고생대 데본기에 출현하였다. 공룡은 중생대 트라이아스기에 출현하였고, 매머드는 신생대 제4기에 멸종하였다.

㉠. 다세포 동물은 원생 누대 말기에 출현하였으므로, A 시기는 원생 누대에 속한다.

㉡. B 시기는 고생대 데본기이고, C 시기는 중생대 트라이아스기이다. 가장 큰 규모의 생물 대멸종은 고생대와 중생대의 경계에 해당하는 시기에 있었다.

✕. 겉씨식물은 C 시기보다 이전인 고생대 페름기에 출현하였다.

10 지질 시대의 대륙 분포

지질 시대 동안 판의 운동에 의해 대륙의 분포는 변해왔다. (가), (나), (다)는 각각 1억 년 전, 4억 년 전, 2억 7천만 년 전의 대륙 분포이다.

㉠. 해안선의 전체 길이는 대륙이 흩어져 있는 (가) 시기가 초대륙이 형성된 (다) 시기보다 길다.

✕. (나) 시기는 4억 년 전으로 고생대이다. 암모나이트는 중생대에 번성하였다.

㉢. (다) 시기는 2억 7천만 년 전으로, (다) 시기의 초대륙은 판게아이다.

11 선캄브리아 시대와 고생대의 특징

선캄브리아 시대 말기에는 다세포 동물이 최초로 출현하였고, 고생대에는 단단한 껍데기를 가진 생물이 폭발적으로 증가하였다.

㉠. ㉠은 선캄브리아 시대 말기에 출현한 에디아카라 동물군이다.

✕. 생물 속의 수 증가량은 ㉠의 생존 기간이 P 기간보다 적다. 생물 속의 수는 고생대 초에 폭발적으로 증가하였다.

㉢. ㉢은 삼엽충이다. 삼엽충은 이전의 다세포 동물에 비해 단단한 껍데기를 가지고 있어서 화석으로 잘 발견된다.

12 지질 시대의 환경

대부분의 호상 철광층은 약 25억 년 전부터 18억 년 전 사이에 생성되었으며, 해수 중에 녹아 있던 철 이온이 산소와 결합하여 침전된 것이다.

㉠. 스트로마톨라이트는 광합성을 하는 남세균에 의해 형성된 유기적 퇴적 구조이다. A는 남세균의 광합성에 의해 산소 분압이 크게 높아진 시기로, A 시기에 생성된 지층에서 스트로마톨라이트 화석이 산출될 수 있다.

㉡. (나)는 호상 철광층에 대한 설명이다. 호상 철광층은 남세균의 광합성으로 만들어진 산소가 해양에서 철 이온과 반응하여 생성되었다. 따라서 남세균은 ㉡에 해당한다.

✕. 최초의 육상 식물은 고생대 실루리아기에 출현하였다. B는 원생 누대 후기에 산소 분압이 크게 높아진 시기이다.

13 지질 시대의 생물

지층에서 산출되는 시상 화석을 통해 지층이 퇴적될 당시의 자연 환경을 추정할 수 있고, 지층에서 산출되는 표준 화석을 비교하여 지층의 생성 순서를 알 수 있다.

✕. 고사리는 육상 생물이고, 방추충은 해양 생물이다. 따라서 고사리 화석이 발견되는 사암층은 육지에서 퇴적되었고, 방추충 화석이 발견되는 셰일층은 바다에서 퇴적되었다.

㉡. 이 지역에는 화산재가 퇴적되어 생성된 응회암층과 용암이 흐른 흔적이 발견되는 유문암이 시간 간격을 두고 분포한다. 따라서 이 지역은 화산 활동의 영향을 최소 2회 이상 받았다.

✕. 유문암은 고생대 표준 화석인 방추충 화석이 발견되는 셰일층보다 아래에 분포하므로, 유문암의 절대 연령은 2억 5천 2백만 년보다 많다. 따라서 유문암에 반감기가 1억 년인 방사성 동위원소가 포함되어 있다면, 이 방사성 동위원소의 현재 함량은 처음 양의 25%보다 적을 것이다.

14 대멸종

지질 시대 동안 대멸종은 고생대 오르도비스기 말, 데본기 후기, 페름기 말, 중생대 트라이아스기 말, 백악기 말에 있었다.

✕. ㉠은 현생 누대 동안 첫 번째 대멸종으로 오르도비스기 말에 일어났다.

✕. 갑주어는 오르도비스기에 출현하여 데본기에 번성하였다.

㉢은 고생대 페름기 말에 일어났고, ㉣은 중생대 트라이아스기 말에 일어났다.

㉡. (나)의 대멸종으로 중생대의 대표적인 생물인 암모나이트와 공룡이 멸종하였다. 따라서 (나)의 대멸종은 백악기 말에 일어난 ㉣이다.

05 대기의 변화

수능 2점 테스트 본문 85~89쪽

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

01 고기압과 저기압

고기압은 주변보다 기압이 높은 곳이고, 저기압은 주변보다 기압이 낮은 곳이다. 북반구 고기압에서는 지표 부근의 바람이 시계 방향으로 불어 나가고, 북반구 저기압에서는 지표 부근의 바람이 시계 반대 방향으로 불어 들어간다.

✗. (가)에서는 북반구 지표 부근의 바람이 시계 반대 방향으로 불어 들어가므로 A는 저기압 중심이고, 기압은 1000 hPa보다 낮다. (나)에서는 북반구 지표 부근의 바람이 시계 방향으로 불어 나가므로 B는 고기압 중심이고, 기압은 1000 hPa보다 높다. 따라서 기압은 A가 B보다 낮다.

㉠. B는 고기압 중심이며, 고기압 중심에서는 하강 기류가 발달한다.

✗. (가)에서 지표 부근의 바람은 중심을 향해 시계 반대 방향으로 불어 들어가므로 ㉠ 지점에서는 남서풍 계열의 바람이 우세하게 분다.

02 일기도와 정체성 고기압

고기압의 중심부가 거의 이동하지 않고 한곳에 머무르는 고기압을 정체성 고기압이라고 한다. 정체성 고기압의 예로는 시베리아 고기압과 북태평양 고기압이 있다.

✗. A는 등압선 분포를 보면 주변보다 기압이 높은 고기압이고, 위치를 보면 시베리아 고기압이다. 시베리아 고기압은 정체성 고기압으로 중심부가 거의 이동하지 않고 한곳에 머무른다. 따라서 A는 편서풍의 영향으로 서쪽에서 동쪽으로 이동하지 않는다.

✗. 지상 일기도에서 등압선 간격이 좁을수록 풍속이 빠르다. 등압선 간격은 ㉠ 지점 부근이 ㉡ 지점 부근보다 넓으므로 풍속은 ㉠ 지점이 ㉡ 지점보다 느리다.

㉠. ㉡ 지점은 주변보다 기압이 낮으므로 저기압 중심에 해당한다. 따라서 저기압 중심인 ㉡ 지점에서는 바람이 주변에서 중심을 향해 불어 들어가므로 공기의 수렴이 일어난다.

03 우리나라에 영향을 미치는 기단

계절별로 우리나라에 주로 영향을 미치는 기단에는 봄, 가을의 양쯔강 기단(A), 여름의 북태평양 기단(B), 겨울의 시베리아 기단(C)이 있다.

✗. A는 봄, 가을에 주로 우리나라에 영향을 미치는 양쯔강 기단이다. 양쯔강 기단은 일기도에서 이동성 고기압의 형태로 나타난다.

㉠. 북태평양 기단(B)의 발원지는 저위도 해상이고, 시베리아 기단(C)의 발원지는 고위도 대륙이다. 따라서 북태평양 기단이 발생하는 위도가 시베리아 기단이 발생하는 위도보다 낮다.

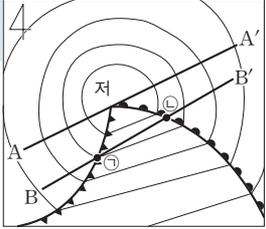
㉡. 이날 우리나라는 북태평양에 중심을 둔 해양성 고기압의 영향을 받고 있으므로, A, B, C 중 주로 B(북태평양 기단)의 영향을 받는다.

04 온대 저기압

우리나라 주변에 발달하는 온대 저기압은 주로 저기압 중심의 남서쪽으로 한랭 전선을, 남동쪽으로 온난 전선을 동반한다.

㉠. (가)의 A-A' 구간은 저기압 중심을 지나도록 자른 연직 단면이고, B-B' 구간은 한랭 전선과 온난 전선을 모두 지나도록 자른 연직 단면이다. (나)의 연직 단면에는 저기압 중심이 나타나지 않고, 한랭 전선면과 온난 전선면이 모두 나타나는 것으로 보아 (나)는 B-B' 구간의 연직 단면이다.

㉡. ㉠과 ㉡은 B-B' 구간의 연직 단면에서 전선면과 지표면이 만나는 지점으로, (가)를 보면 기압은 ㉠ 지점이 ㉡ 지점보다 높다.



㉡. (나)의 a, b, c 지점의 위치를 (가)의 온대 저기압과 관련지어 보면, a 지점은 한랭 전선의 후면에, b 지점은 한랭 전선과 온난 전선의 사이에, c 지점은 온난 전선의 전면에 위치한다. a 지점에서는 북서풍 계열의 바람이 우세하고, b 지점에서는 남서풍 계열의 바람이 우세하며, c 지점에서는 남동풍 계열의 바람이 우세하다. 따라서 a, b, c 지점 중 남서풍 계열의 바람이 우세한 곳은 b이다.

05 온대 저기압의 일생

온대 저기압의 일생은 정체 전선 형성 → 파동 형성 → 온대 저기압 발달 → 폐색 전선 형성 시작 → 폐색 전선 발달 → 온대 저기압 소멸 순으로 나타난다. 그림에서 온대 저기압의 발달 순서는 (가) → (다) → (나)이다.

㉠. (가)의 정체 전선을 경계로 북서쪽에는 찬 기단이 분포하고 남

동쪽에는 따뜻한 기단이 분포한다. 따라서 정체 전선의 북서쪽에 위치한 ㉠ 지점의 기온은 정체 전선의 남동쪽에 위치한 ㉡ 지점의 기온보다 낮다.

✕. (나)에서는 온난 전선과 한랭 전선이 겹쳐져서 폐색 전선이 형성되어 있다.

㉢. (다)는 온난 전선과 한랭 전선이 발달하면서 중심에 저기압이 형성되는 단계로, ㉠ 지점은 저기압의 중심부이다. 북반구에서는 바람이 저기압 중심부를 향해 시계 반대 방향으로 불어 들어간다.

06 정체성 고기압과 이동성 고기압

정체성 고기압은 중심부가 거의 이동하지 않고 한곳에 머무르는 고기압이고, 이동성 고기압은 중심부가 머물러 있지 않고 이동해 가는 고기압이다.

✕. 우리나라의 여름철에는 주로 북태평양 기단의 영향을 받으므로 남동쪽(또는 동쪽) 해상에 북태평양 고기압이 발달한다. 그런데 이 일기도에서는 우리나라의 북서쪽 대륙에 시베리아 고기압이 발달해 있고, 시베리아 고기압에서 일부가 떨어져 나와 형성된 이동성 고기압이 우리나라에 영향을 주고 있는 것으로 보아 여름철에 자주 관측되는 일기도가 아니다.

㉣. A는 위치와 등압선 분포로 보아 시베리아 고기압이고, 시베리아 고기압은 정체성 고기압이다. B는 등압선 분포로 보아 시베리아 고기압에서 일부가 떨어져 나와 형성된 이동성 고기압이다. 정체성 고기압(A)은 이동성 고기압(B)에 비해 비교적 공간 규모가 크다.

✕. 정체성 고기압(A)은 중심부가 거의 이동하지 않고 한곳에 머무르고, 이동성 고기압(B)은 중심부가 한곳에 머무르지 않고 이동해 간다. 따라서 이날 09시부터 다음 날 09시까지 중심부의 위치 변화 폭은 정체성 고기압(A)이 이동성 고기압(B)보다 작을 것이다.

07 정체 전선

우리나라 부근의 장마 전선은 주로 북쪽의 차고 다습한 오호츠크해 기단과 남쪽의 따뜻하고 다습한 북태평양 기단이 만나 형성된다. 두 기단의 세력이 거의 비슷하여 전선은 거의 이동하지 않지만, 어느 한쪽의 세력이 강해지거나 약해지면 전선은 북쪽 또는 남쪽으로 이동할 수 있다.

㉠. 일기도에서 등압선 분포로 보아 A와 B는 모두 주변보다 기압이 낮은 저기압이다. 저기압 중심에서는 주변으로부터 공기가 이동해 와서 상승 기류가 발달한다.

✕. ㉠ 지역에 영향을 미치는 기단은 장마 전선의 북쪽에 위치한 오호츠크해 기단이다. ㉡ 지역에 영향을 미치는 기단은 장마 전선의 남쪽에 위치한 북태평양 기단이다. 따라서 평균 기온은 고위도에 위치한 오호츠크해 기단이 저위도에 위치한 북태평양 기단보다 낮다.

✕. 장마 전선은 북쪽의 찬 오호츠크해 기단이 남쪽의 따뜻한 북태평양 기단 아래로 파고들면서 형성되므로, 전선면은 전선의 북쪽으로 기울어져 나타난다. 따라서 ㉢ 지역의 상공에는 전선면이 나타나지 않는다.

08 온대 저기압과 날씨

온대 저기압에 동반된 한랭 전선의 후면에서는 북서풍이 불고 적란운이 발달하여 소나기가 내리며, 뇌우 현상이 나타날 수 있다.

㉣. (나)의 일기 기호를 해석해 보면, 이 지역에서는 북서풍이 10 m/s로 불고, 현재 기온은 13 °C이며 소나기가 내리고 있다. A와 B 중 이와 같은 날씨가 나타나는 곳은 A이다.

㉣. A는 한랭 전선의 후면에 위치하여 이 지점에는 북서풍이 불고 있고, B는 한랭 전선과 온난 전선 사이에 위치하여 이 지점에는 남서풍이 불고 있다. 같은 위도에 위치하면서 북서풍이 불고 있는 A의 기온이 13 °C이므로, 남서풍이 불고 있는 B의 기온은 13 °C보다 높다.

㉣. ㉠은 A의 현재 기압으로, 일기 기호에서 기압은 십의 자리와 일의 자리 그리고 소수점 아래 첫 번째 자리까지 순서대로 숫자 3개를 이용해 나타낸다. 일기도에서 A의 현재 기압은 992 hPa이므로 920은 ㉠에 해당한다.

09 적외 영상과 가시 영상

적외 영상은 물체가 온도에 따라 방출하는 적외선 에너지량의 차이를 이용하는 것으로, 온도가 높을수록 어둡게, 온도가 낮을수록 밝게 나타난다. 따라서 구름 최상부의 높이가 높을수록 온도가 낮아 밝게 나타나며, 물체의 표면에서 방출하는 적외선 에너지량을 탐지하는 것이므로 태양 빛이 없는 야간에도 관측이 가능하다.

㉣. 가시 영상은 구름과 지표면에서 반사된 태양 빛의 반사 강도를 나타낸 것으로, 반사도가 큰 부분은 밝게, 반사도가 작은 부분은 어둡게 나타난다. 따라서 구름의 두께가 두꺼울수록 햇빛을 많이 반사하므로 두꺼운 구름일수록 가시 영상에서 더 밝게 보인다. 가시 영상 (가)에서 A는 C보다 밝게 보이므로 구름의 두께는 A가 C보다 두껍다.

✕. A는 가시 영상에서 밝게 나타나고, 적외 영상에서 어둡게 나타나는 것으로 보아 구름의 두께는 두껍고, 구름 최상부의 높이는 낮다. B는 가시 영상에서 밝게 나타나고, 적외 영상에서 회색으로 나타나는 것으로 보아 구름의 두께는 두껍고, 구름 최상부의 높이는 A보다 높다. A와 B는 가시 영상에서 밝기가 같으므로 구름의 두께가 같고, 적외 영상에서 B보다 상대적으로 어둡게 보이는 A가 구름 최상부의 높이가 낮다. 이와 같은 조건을 만족하기 위해서는 구름 최하부의 높이는 A가 B보다 낮아야 한다.

㉣. 적외 영상에서 밝게 보이는 부분은 구름 최상부의 높이가 높

다. 적의 영상에서 A는 어둡게 보이고, B는 회색으로 보이며, C는 밝게 보이므로 A, B, C 중 구름 최상부의 높이는 C가 가장 높다.

10 온대 저기압

북반구에서 온대 저기압은 찬 공기가 남하하여 대체로 남서쪽으로 한랭 전선을, 따뜻한 공기가 북상하여 대체로 남동쪽으로 온난 전선을 동반한다.

㉠ 전선을 동반한 온대 저기압 주변에서는 주로 저기압 중심부와 한랭 전선 후면 및 온난 전선 전면에 공기의 상승으로 인한 구름과 강수 현상이 나타난다. 그림에서 시간당 강수량 분포로 보아 A가 B보다 온대 저기압 중심에 가까이 위치하므로 상승 기류는 A가 B보다 활발하다.

㉡ 시간당 강수량이 많은 A는 한랭 전선의 후면에 위치하고, 시간당 강수량이 상대적으로 적은 C는 온난 전선의 전면에 위치하므로 구름의 평균 두께는 A가 C보다 두껍다.

㉢ 시간당 강수량이 약 0 mm인 B는 온난 전선과 한랭 전선의 사이에 위치하므로 남풍 또는 남서풍 계열의 바람이 우세하게 분다.

11 태풍의 발생과 이동

태풍은 주로 5°N~25°N의 열대 해상에서 발생한다. 태풍이 발생하기 위해서는 바다에서 열과 수증기를 공급받아야 하며, 주변의 공기가 회전하면서 수렴해야 하므로 전향력이 작용해야 한다.

㉠ 그림에서 태풍의 발생 빈도는 평균적으로 10°N~20°N 사이가 0°~5°N 사이보다 높다. 적도 부근 해역에서는 전향력이 약해 공기가 회전하는 데 필요한 힘을 얻지 못하므로 태풍이 발생하기 어렵다.

㉡ 해역 A는 무역풍대에 위치한다. 따라서 해역 A에서 발생한 태풍은 발생 초기에 무역풍과 북태평양 고기압의 영향을 받아 대체로 북서쪽으로 진행한다.

㉢ 태풍은 열대 해상에서 수증기와 열을 공급받은 공기가 상승하면서 발달하므로, 태풍이 많이 발생하는 해역 A는 태풍이 거의 발생하지 않는 해역 B보다 공기의 평균적인 상승 운동이 활발하다.

12 태풍의 이동

태풍은 발생 초기에 무역풍과 북태평양 고기압의 영향을 받아 대체로 북서쪽으로 진행하다가 25°N~30°N 부근에서 편서풍의 영향으로 진로를 바꾸어 북동쪽으로 진행하는 포물선 궤도를 그린다.

㉠ 전향점은 태풍이 진로를 바꾸는 위치로, 주로 태풍이 북서쪽으로 이동하다가 북동쪽으로 진로가 바뀌는 지점이다. 그림에서 전향점의 위도는 A는 30°N보다 낮고, B는 30°N보다 높다.

㉡ 태풍은 북태평양 고기압의 가장자리를 따라 진행되는 경향이

있으며, 북태평양 고기압의 세력이 강할 때는 태풍의 진로가 서쪽으로 치우치게 된다. 그림에서 태풍의 진로가 동쪽으로 치우친(가)일 때가 서쪽으로 치우친(나)일 때보다 북태평양 고기압의 세력이 약하다.

㉢ A와 B는 모두 무역풍대에서 발생하였으므로, 발생 초기의 이동은 두 태풍 모두 무역풍의 영향을 받았다.

13 태풍

태풍이 통과할 때 관측소의 위치에 따라 풍향 변화가 다르게 나타난다. 관측소가 태풍의 안전 반원에 위치하는 경우 풍향이 시계 반대 방향으로 변하고, 위험 반원에 위치하는 경우 풍향이 시계 방향으로 변한다.

㉠ 북반구에서 태풍 진행 방향의 오른쪽 지역은 위험 반원이고, 태풍 진행 방향의 왼쪽 지역은 안전 반원(가항 반원)이다. A에서 태풍은 북동쪽으로 이동하고 B에서 태풍은 북서쪽으로 이동한다. 태풍의 진행에 따라 (나)와 같은 풍속 분포가 나타나기 위해서 태풍은 북서쪽으로 이동해야 한다. 따라서 (나)는 태풍이 B를 통과할 때의 모습이다.

㉡ 부산은 태풍 진행 방향의 왼쪽에 위치하므로 안전 반원에 속한다. 따라서 태풍의 영향을 받는 동안 풍향은 시계 반대 방향으로 변하였다.

㉢ 태풍은 전향점을 지나기 전에는 무역풍과 북태평양 고기압의 영향으로 북서쪽으로 이동하다가, 전향점을 지난 후에는 태풍의 진행 방향과 편서풍의 방향이 일치하는 부분이 있어서 이동 속도가 대체로 빨라진다. 따라서 태풍의 평균 이동 속도는 대체로 전향점을 지난 후인 A를 통과할 때가 전향점을 지나기 전인 B를 통과할 때보다 빠르다.

14 열대 저기압의 발생과 구조

열대 저기압은 북반구와 남반구에서 모두 발생한다. 전향력으로 인해 북반구의 열대 저기압에서 지표 부근의 바람은 시계 반대 방향으로 중심을 향해 불어 들어가고, 남반구의 열대 저기압에서 지표 부근의 바람은 시계 방향으로 중심을 향해 불어 들어간다.

㉠ 열대 저기압은 북반구와 남반구에서 모두 지표 부근의 바람이 중심을 향해 불어 들어가지만, 중심을 향해 바람이 불어 들어가는 방향은 서로 반대이다. 그림의 구름 모습을 보면 지표 부근의 바람이 시계 방향으로 불어 들어가고 있으므로 이 지역은 남반구에 위치한다.

㉡ 남반구에서는 열대 저기압 진행 방향의 왼쪽 지역이 위험 반원이다. 위험 반원에서는 안전 반원에서보다 구름이 두껍게 발달하고 풍속이 빠르다. 따라서 그림과 같은 구름 분포를 보려면 열대 저기압은 ㉠의 경로로 이동해야 한다.

㉢ A는 태풍 중심으로부터 멀리 떨어진 곳으로 가시 영상에서

어둡게 나타나고, B는 태풍의 눈 주변의 눈벽 영역으로 가서 영 상에서 밝게 나타난다. 따라서 구름의 두께는 가시 영 상에서 어둡 게 나타나는 A 영역이 밝게 나타나는 B 영역보다 얇다.

15 태풍과 날씨

태풍의 눈이 통과하는 지역에서는 태풍의 눈이 관측소를 통과할 때 풍속이 최소가 된다. 태풍의 중심인 태풍의 눈에서는 풍속이 느리며, 태풍의 눈 바로 바깥쪽에는 태풍 영역에서 풍속이 가장 빠르고 강수량이 가장 많은 눈벽(eye wall)이 존재한다.

㉠ 기압은 태풍의 중심으로 갈수록 계속 낮아지므로 태풍의 중심에서 최소가 되고, 풍속은 태풍의 중심부로 갈수록 빨라지다가 태풍의 눈이 있는 중심에서 급격히 느려진다. 따라서 ㉠은 기압, ㉡은 풍속이다.

㉢ 지상 일기도에서 등압선의 간격이 조밀할수록 기압 차가 크므로 풍속이 빠르다. 따라서 지상 일기도에서 이 지역의 평균 등압선 간격은 풍속이 느린 T_1 일 때가 풍속이 빠른 T_2 일 때보다 넓다.

㉣ T_2 일 때는 풍속이 매우 빠르고 T_3 일 때는 풍속이 가장 느린 것으로 보아, T_2 일 때 눈벽이 지나간다. 눈벽은 태풍의 눈 주변을 둘러싸고 있는 두꺼운 구름을 말하는 것으로, 눈벽 지역에서는 다른 지역보다 상승 기류가 활발하다.

16 태풍의 이동

태풍은 발생 초기에 무역풍과 북태평양 고기압의 영향을 받아 대체로 북서쪽으로 이동하다가 $25^{\circ}\text{N} \sim 30^{\circ}\text{N}$ 부근에서 편서풍의 영향으로 진로를 바꾸어 북동쪽으로 이동하는 포물선 궤도를 그린다.

㉠ 태풍은 중심 기압이 낮을수록 최대 풍속이 빠르다. 따라서 태풍의 최대 풍속은 $T_1 \sim T_4$ 중 태풍의 중심 기압이 가장 낮은 T_1 일 때 가장 빨랐을 것이다.

㉡ $T_1 \sim T_4$ 동안 각 태풍 위치 사이의 시간 간격이 24시간으로 같으므로, 태풍 위치 사이의 거리가 가까우면 태풍의 이동 속도가 느리고, 태풍 위치 사이의 거리가 멀면 태풍의 이동 속도가 빠르다. $T_3 \sim T_4$ 동안이 $T_2 \sim T_3$ 동안보다 태풍 위치 사이의 거리가 멀다. 따라서 태풍의 평균 이동 속도는 $T_2 \sim T_3$ 동안이 $T_3 \sim T_4$ 동안보다 느렸다.

㉢ 태풍의 중심 기압이 낮을수록 태풍의 세력이 강하다. $T_1 \sim T_4$ 동안 태풍의 중심 기압은 $915 \text{ hPa} \rightarrow 920 \text{ hPa} \rightarrow 930 \text{ hPa} \rightarrow 945 \text{ hPa}$ 로 계속 높아졌으므로, 태풍의 세력은 계속 약해졌다.

17 열대 저기압과 온대 저기압

A는 지상 일기도에서 한랭 전선과 온난 전선을 동반하고 등압선이 일그러진 타원 모양이므로 온대 저기압이다. B는 지상 일기도에서 등압선이 동심원이고 등압선 간격이 좁으므로 열대 저기압

이다.

㉣ 저기압의 세기는 중심 기압이 낮을수록 강하므로 A가 B보다 약하다.

㉤ A는 한대 전선대 또는 중위도에서 발생하였고, B는 열대 지방인 저위도에서 발생하였다.

㉥ A와 B는 모두 저기압이므로 지표 부근의 공기는 시계 반대 방향(북반구)으로 회전하면서 중심을 향해 불어 들어간다.

18 뇌우

뇌우는 강한 상승 기류에 의해 적란운이 발달하면서 천둥, 번개와 함께 소나기가 내리는 현상으로, 적은 단계 \rightarrow 성숙 단계 \rightarrow 소멸 단계를 거치면서 변한다.

㉠ 뇌우 발달 단계 중 성숙 단계에서는 상승 기류와 하강 기류가 함께 나타나며 천둥, 번개, 소나기, 우박 등이 동반된다. 따라서 천둥과 번개를 동반한 강한 비(㉠)는 뇌우의 발달 단계 중 성숙 단계에 나타난다.

㉡ 폭염은 평년보다 기온이 매우 높아 심각한 더위로 일상생활에 지장을 줄 정도인 상태를 말하고, 우리나라에서는 일 최고 체감 온도 35°C 이상인 상태가 2일 이상 지속될 것으로 예상될 때 폭염 경보를 발령한다. 따라서 폭염 경보(㉡)는 여름철에 주로 발령되고, 이때 우리나라는 열대 기단인 북태평양 기단의 영향을 받는다.

㉢ 뇌우의 발생에서 소멸까지의 시간은 수 시간 정도로, 발생에서 소멸까지의 시간이 수 일인 태풍보다 시간 규모가 작다.

19 우리나라의 주요 악기상

악기상은 우리의 일상생활에 큰 불편함과 위험을 동반하는 곳은 날씨로, 우리나라에서 발생하는 주요 악기상에는 뇌우, 우박, 호우, 폭설, 강풍, 황사 등이 있다. ㉠은 강풍, ㉡은 폭설, ㉢은 호우이다.

㉣ ㉠은 강풍으로, 우리나라에서 강풍은 겨울철에 발달한 시베리아 기단의 영향을 받을 때, 여름철에 태풍의 영향을 받을 때 주로 발생한다.

㉤ ㉡은 폭설로, 우리나라의 폭설은 주로 겨울철에 발달한 저기압이 통과할 때나 시베리아 기단의 찬 공기가 남하하면서 황해상에서 변질되어 기층이 불안정해져 상승 기류가 발달할 때 잘 발생한다. 따라서 한랭 기단의 변질은 폭설의 발생 조건 중 하나이다.

㉥ ㉢은 폭설이고 ㉣은 호우로, 두 현상 모두 강한 상승 기류가 발달할 때 잘 발생한다.

20 우박

우박은 얼음의 결정 주위에 차가운 물방울이 얼어붙어 크기가 커

진 얼음덩어리가 땅 위로 떨어진 것이다.

㉠. 우박은 구름 속에서 얼음의 결정 주위에 차가운 물방울이 얼어 붙어 얼음이 성장하면서 생성되므로, 구름 속에 온도가 $-40^{\circ}\text{C} \sim 0^{\circ}\text{C}$ 인 구간이 존재하는 수직으로 발달한 적란운에서 주로 생성된다.

㉡. (나)에서 우박은 14시에 발생 일수가 가장 많고, 4시에 발생 일수가 가장 적은 것으로 보아 우박은 밤보다 낮에 잘 발생한다.

㉢. 뇌우는 상승 기류가 발달하여 매우 불안정한 대기에서 잘 발생하는 현상으로 주로 여름에 발생한다. 그러나 우리나라에서 우박은 강한 상승 기류가 발달하는 초여름이나 가을에 주로 발생한다. 우박은 겨울에는 대기 중의 수증기 함량이 적어 잘 발생하지 않고, 여름에는 기온이 높아 얼음덩어리가 떨어지는 도중에 녹는 경우가 많아 잘 발생하지 않는다.

수능 3점 테스트

본문 90~99쪽

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

01 저기압 주변의 바람

북반구와 남반구에서 저기압의 공기가 휘어지는 방향은 각각 반대이다. 북반구에서는 저기압 중심을 향해 바람이 시계 반대 방향으로 불어 들어가고, 남반구에서는 저기압 중심을 향해 바람이 시계 방향으로 불어 들어간다.

㉠. 이 지역에서는 바람이 시계 반대 방향으로 중심을 향해 불어 들어가므로, 이 지역은 북반구에 위치한다.

㉡. 바람이 주변으로부터 A 쪽으로 시계 반대 방향으로 불어 들어가므로, A는 저기압 중심 부근에 위치한다. 따라서 A에서는 상승 기류가 활발하다.

㉢. B에서는 주로 북서풍이 불고, C와 D에서는 주로 남서풍이 불므로 B와 C 사이에는 한랭 전선이 존재하고, 전선을 경계로 수평 방향으로 기온이 크게 변한다. 따라서 수평 방향의 평균 기온 변화 폭은 B-C 구간이 C-D 구간보다 크다.

02 저기압 주변의 날씨

저기압은 주변보다 기압이 낮은 곳으로, 주변의 공기가 중심부로 수렴하여 상승 기류가 나타나고 구름이 형성되어 날씨가 흐리거나 비가 내린다.

㉠. (가)일 때는 저기압의 중심이 우리나라 남쪽 지방에 위치하고, (나)일 때는 저기압의 중심이 (가)일 때보다 북동쪽에 위치한다. 온대 저기압은 편서풍의 영향으로 서쪽에서 동쪽으로 이동하므로 (가)는 (나)보다 6시간 먼저 작성된 것이다.

㉡. 가시 영상은 구름과 지표면에서 반사된 태양 빛의 반사 강도를 나타낸 것으로, 반사 강도가 큰 부분은 밝게, 반사 강도가 작은 부분은 어둡게 나타난다. (나)의 가시 영상에서 영역 A는 회색으로, 영역 B는 밝게 나타나는 것으로 보아 태양 빛의 반사 강도는 영역 A가 영역 B보다 작다.

㉢. (가)의 지상 일기도와 (나)의 가시 영상을 종합해 보면, 영역 A는 저기압 중심에서 약간 떨어진 곳으로 두께가 얇은 층운형의 구름이 분포하고, 영역 B는 저기압 중심 부근으로 두께가 두꺼운 적운형 구름이 분포한다. 영역 C는 한랭 전선 부근으로 두께가 두꺼운 적운형 구름이 분포한다. 따라서 A, B, C 중 평균 기압이 가장 낮은 영역은 B이다.

03 온대 저기압의 일생

온대 저기압의 일생은 북반구와 남반구에서 모두 정체 전선 형성

→ 파동 형성 → 온대 저기압 발달 → 폐색 전선 형성 시작 → 폐색 전선 발달 → 온대 저기압 소멸 순으로 나타난다.

㉠ 남반구에서는 남서쪽에서 불어오는 찬 공기가 북서쪽에서 불어오는 따뜻한 공기 아래로 파고들면서 한랭 전선을 형성하고, 북서쪽에서 불어오는 따뜻한 공기가 북동쪽에서 불어오는 찬 공기 위로 올라가면서 온난 전선을 형성한다. A는 한랭 전선이고, B는 온난 전선이다. (가)는 폐색 전선 발달 과정이고, 전선 A와 전선 B 사이의 간격이 (나)보다 좁아진 것으로 보아 전선 A는 전선 B보다 이동 속도가 빠르다.

✕. 지점 ㉠은 한랭 전선 후면에 위치하고, 지점 ㉡은 한랭 전선과 온난 전선 사이에 위치하므로, 강수 현상은 지점 ㉠보다 지점 ㉡에서 나타날 가능성이 높다.

㉢. 온대 저기압이 서쪽에서 동쪽으로 이동하는 과정에서 한랭 전선도 서쪽에서 동쪽으로 이동한다. 지점 ㉢에서는 현재 북서풍 계열의 바람이 불고 있지만 한랭 전선이 통과하면 남서풍 계열의 바람이 불게 된다. 따라서 이 온대 저기압이 서쪽에서 동쪽으로 이동할 때 전선이 통과하는 과정에서 지점 ㉢의 풍향은 시계 반대 방향으로 변한다.

04 정체성 고기압

시베리아 고기압은 정체성 고기압 중 한랭 고기압에 해당하며, 한랭 고기압은 고기압권 내의 기온이 주위보다 낮다.

㉠. 이날 우리나라 주변의 지상 일기도를 보면 서쪽 대륙에는 고기압이, 동쪽 해상에는 저기압이 분포한다. A-B 구간은 대륙의 고기압 중심을 지나는 구간이고, C-D 구간은 해상의 저기압 중심을 지나는 구간이다. (나)에서 지표면의 기압은 중심이 주변보다 높으므로, (나)는 A-B 구간의 연직 기압 분포이다.

✕. 서쪽 대륙에 나타나는 고기압은 겨울철에 대륙이 냉각되어 발달하는 시베리아 고기압이다. 시베리아 고기압은 정체성 고기압으로, 중심이 주변보다 기온이 낮은 한랭 고기압이다. 따라서 기온은 한랭 고기압의 중심부에 위치한 ㉠ 지점이 한랭 고기압의 중심부 주변에 위치한 ㉡ 지점보다 낮다.

✕. 이날 우리나라는 시베리아 고기압의 영향을 받고 있으므로, ㉢ 지점에서는 시베리아 고기압에서 시계 방향으로 불어 나오는 북서풍 계열의 바람이 우세하게 분다.

05 지상 일기도와 구름 최상부의 온도

구름 최상부의 온도는 구름 최상부의 높이가 높을수록 낮다.

㉠. 지상 일기도에서 등압선 간격이 좁을수록 풍속이 빠르다. 따라서 풍속은 (가)에서 등압선 간격이 좁은 A가 등압선 간격이 넓은 B보다 빠르다.

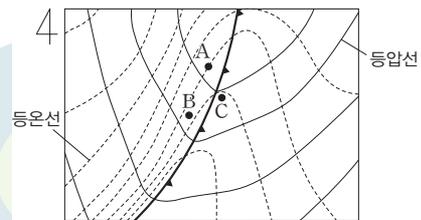
✕. (가)에서 B는 온난 전선 전면에 위치한다. 온대 저기압의 중심이 B의 북쪽을 통과하면서 온난 전선이 통과하는 과정에서 B의 풍향은 남동풍에서 남서풍으로, 즉 시계 방향으로 바뀌었다.

✕. 높이 올라갈수록 기온이 낮아지므로, 구름 최상부의 높이가 높을수록 온도가 낮다. 구름 최상부의 온도는 A가 B보다 높으므로, A 상공의 구름 최상부 높이는 B 상공의 구름 최상부 높이보다 낮다.

06 한랭 전선

북반구에서 한랭 전선은 북서쪽에서 불어오는 찬 공기가 남서쪽에서 불어오는 따뜻한 공기 아래로 파고들면서 주로 저기압 중심으로부터 남서쪽 방향으로 형성된다.

㉠. (가)에서 실선은 등치선이 남서쪽으로 뻗어 나오고 있으므로 등압선이고, 등압선이 남서쪽으로 뻗어 나오는 곳을 연결하면 한랭 전선의 위치가 된다. 한랭 전선 후면의 좁은 영역에는 등압선과 거의 수직인 방향으로 점선이 매우 조밀하게 분포하는데, 이는 전선 주변에서 기온이 급격히 변하는 것을 보여준다. 따라서 점선은 등온선이다. (가)에서 A는 한랭 전선 후면에 위치하므로 A의 상공에서는 한랭 전선면이 나타난다. (가)에 전선을 표시하면 다음과 같다.



㉢. (가)에서 B는 한랭 전선 후면에, C는 한랭 전선과 온난 전선 사이에 위치하므로 B에서는 대체로 북서풍이 불고, C에서는 대체로 남서풍이 분다. 등압선 간격은 B와 C가 거의 같으므로, 풍속은 B와 C가 거의 같다. (나)에서 ㉢의 풍향은 북서풍이고 풍속은 10 m/s이며, ㉢의 풍향은 남서풍이고 풍속은 10 m/s이다. 따라서 B에서 관측한 바람은 ㉢이다.

✕. (가)에서 실선은 등압선이고, 점선은 등온선이다. 기압은 $A < C < B$ 이고, 기온은 $A < B < C$ 이다. 따라서 A, B, C에서는 기온이 낮은 곳일수록 기압이 높은 것은 아니다.

07 한랭 전선과 온난 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 전선 ㉠ 주변의 바람을 보면, 전선의 북서쪽에 있는 찬 공기가 전선의 남동쪽에 있는 따뜻한 공기 쪽으로 불어오고 있으므로, ㉠은 한랭 전선이다. (나)의 전선 ㉡ 주변의 바람을 보면, 전선의 남서쪽에 있는 따뜻한 공기가 전선의 북동쪽에 있는 찬 공기 쪽으로 불어오고 있으므로, ㉡은 온난 전선이다.

㉢. 지점 A는 한랭 전선 후면에 위치하고, 지점 B는 온난 전선 전

면에 위치한다. 한랭 전선 후면에는 주로 적운형 구름이, 온난 전선 전면에는 주로 층운형 구름이 형성된다. 따라서 형성된 구름의 평균 두께는 지점 A가 지점 B보다 두껍다.

✕. 지점 A는 한랭 전선 후면에 위치하므로, A의 구름을 형성하는 수증기는 주로 전선 전면의 남서풍 계열의 바람에서 공급된다.

08 가시 영상과 적외 영상

적외 영상에서 밝게 보이는 부분은 구름의 최상부 높이가 높고, 가시 영상에서 밝게 보이는 부분은 구름의 두께가 두껍다.

✕. A는 가시 영상에서 밝게 나타나고 적외 영상에서 회색으로 나타나므로, 구름의 두께가 두껍고 구름 최상부의 온도가 비교적 낮은 적운이다. B는 가시 영상과 적외 영상에서 모두 밝게 나타나므로 구름의 두께가 두껍고 구름 최상부의 온도가 매우 낮은 적란운이다. C는 가시 영상에서 회색으로 나타나고 적외 영상에서 어두운 회색으로 나타나므로, 구름의 두께가 얇고 구름 최상부의 온도가 높은 층운이다.

㉠. A는 적운, B는 적란운, C는 층운이다. 따라서 A, B, C 중에서 공기의 상승 운동이 가장 강할 때 형성된 구름은 B이다.

㉡. 구름 최상부의 단위 면적당 방출하는 적외선 에너지양이 가장 많은 구름은 구름 최상부의 높이가 가장 낮은 층운(C)이다.

09 한랭 전선과 온난 전선

온난 전선이 관측소를 통과하면 풍향은 남동풍에서 남서풍으로 변하고, 한랭 전선이 관측소를 통과하면 풍향은 남서풍에서 북서풍으로 변한다. 따라서 A 시기에 통과한 전선은 온난 전선, B 시기에 통과한 전선은 한랭 전선이다.

✕. A 시기를 전후해서 풍향이 남동풍에서 남서풍으로 변하고 기압은 낮아지고 있으므로, 이 시기에 이 지역을 통과한 전선은 온난 전선이다. 온난 전선 통과 후에는 기온이 높아지므로, 기온은 T_1 일 때가 T_2 일 때보다 낮다.

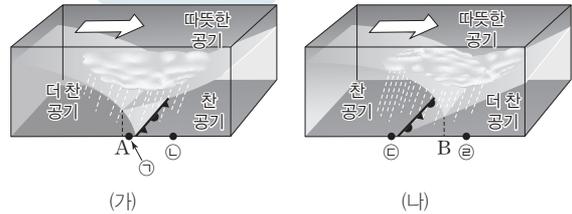
✕. 풍속을 나타내는 일기 기호에서 짧은 막대는 2m/s이고, 긴 막대는 5m/s이다. 따라서 (가)에서 평균 풍속은 전선 통과 전인 T_1 일 때가 전선 통과 후인 T_2 일 때보다 느리고, (나)에서 평균 풍속은 전선 통과 전인 T_3 일 때가 전선 통과 후인 T_4 일 때보다 빠르다.

㉠. T_1 일 때는 온난 전선 전면에 위치하므로 두께가 얇은 층운형 구름이 주로 발달하고, T_2 일 때와 T_3 일 때는 한랭 전선과 온난 전선 사이에 위치하므로 구름이 거의 없는 맑은 날씨가 나타난다. T_4 일 때는 한랭 전선 후면에 위치하므로 두께가 두꺼운 적란운이 주로 발달한다. 가시 영상에서는 구름의 두께가 두꺼울수록 밝게 나타난다. 따라서 가시 영상에서 구름의 밝기는 적란운이 발달하는 T_4 일 때 가장 밝게 나타난다.

10 폐색 전선

폐색 전선에서 한랭 전선을 형성한 찬 공기의 온도가 온난 전선을 형성한 찬 공기의 온도보다 높을 때는 한랭 전선 후면의 공기가 온난 전선 전면의 공기 위에 놓이게 된다. 한편 한랭 전선을 형성한 찬 공기의 온도가 온난 전선을 형성한 찬 공기의 온도보다 낮을 때는 한랭 전선 후면의 공기가 온난 전선 전면의 공기 아래에 놓이게 된다.

✕. (가)에서 A-㉠ 구간을 지나도록 입체도를 그려보면, 상공에서 온난 전선면과 한랭 전선면이 만나는 곳인 A의 위치를 고려할 때 한랭 전선 후면의 찬 공기가 온난 전선 전면의 찬 공기 아래로 파고들고 있다. 따라서 기온은 한랭 전선 후면의 찬 공기에 있는 ㉠이 온난 전선 전면의 찬 공기에 있는 ㉡보다 낮다.



✕. 폐색 전선의 북쪽 끝은 저기압 중심에 가깝고, 저기압 중심으로 갈수록 기압은 낮다. 등압선 분포를 보면 ㉠이 ㉡보다 저기압 중심에 가까우므로, ㉠의 기압은 ㉡의 기압보다 낮다.

㉡. ㉠과 ㉡은 각각 폐색 전선의 후면과 전면에 위치한 지점으로, ㉠에서는 주로 한랭 전선면에서 두께가 두꺼운 적란운이 발달하고, ㉡에서는 주로 온난 전선면에서 두께가 얇은 층운형 구름이 발달한다. 따라서 ㉠과 ㉡에서는 모두 강수 현상이 나타날 수 있다.

11 열대 저기압의 발생

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 북반구, (나)는 남반구에서 발생한 열대 저기압의 모습이다.

㉠. (가)는 북반구에서 발생한 열대 저기압의 모습으로, 위성 사진에서 열대 저기압의 중심부에 눈이 뚜렷하다. 열대 저기압의 눈에서 해면 기압이 가장 낮고, 눈에서 멀어질수록 해면 기압이 높아진다. 따라서 해면 기압은 눈에서 먼 ㉠이 눈에서 가까운 ㉡보다 높다.

✕. ㉠에서는 바람이 열대 저기압의 중심을 향해 시계 반대 방향으로 불어 들어가므로 북풍 계열의 바람이 불고, ㉡에서는 바람이 열대 저기압의 중심을 향해 시계 방향으로 불어 들어가므로 남풍 계열의 바람이 분다.

✕. (가)의 열대 저기압은 북반구에서 발생한 것으로 소멸 지점이 발생 지점보다 대체로 북쪽에 위치한다. (나)의 열대 저기압은 남반구에서 발생한 것으로 소멸 지점이 발생 지점보다 대체로 남쪽에 위치한다.

12 태풍의 진행

북반구에서 태풍 진행 방향의 오른쪽 지역은 태풍의 이동 방향이 태풍 내 바람 방향과 같아 풍속이 상대적으로 빠르므로 위험 반원이라고 하며, 태풍 진행 방향의 왼쪽 지역은 태풍의 이동 방향이 태풍 내 바람 방향과 반대여서 풍속이 상대적으로 느리므로 안전 반원이라고 한다.

✕. (가)는 대부분의 열대 해역의 해수면 온도가 (나)보다 낮다. 특히 태풍의 이동 경로 주변에 위치한 지점 ㉠ 주변 해역의 해수면 온도는 (나)보다 약 $0^{\circ}\text{C}\sim 3^{\circ}\text{C}$ 낮고, 해역 ㉡의 해수면 온도는 (나)보다 약 $6^{\circ}\text{C}\sim 9^{\circ}\text{C}$ 낮다. 따라서 (가)는 태풍이 통과한 후의 해수면 온도이고, (나)는 태풍이 통과하기 전의 해수면 온도이다.

㉠. ㉠은 태풍 진행 방향의 왼쪽에 위치하므로 안전 반원(가항 반원)에 해당한다. 안전 반원에서는 태풍의 이동 방향이 태풍의 회전 전에 의한 바람 방향과 반대이므로, 관측소에서 관측되는 최대 풍속은 '태풍의 회전에 의한 풍속-태풍의 이동 속력'이 된다. 따라서 태풍이 지점 ㉠을 가장 가까이 통과할 때, 태풍의 이동 속력이 8 m/s 보다 빨라지면 지점 ㉠에서 관측된 최대 풍속은 약 30 m/s 보다 느려질 것이다.

㉡. 태풍이 통과하는 해역은 바람에 의한 해수의 혼합과 용승에 의해 해수면 온도가 낮아지고, 혼합층의 평균 두께가 두꺼워진다. 해역 ㉡에서 평균 혼합층의 두께는 태풍 통과 후인 (가)일 때가 태풍 통과 전인 (나)일 때보다 두껍다.

13 태풍의 구조

태풍은 중심부로 갈수록 두꺼운 적운형 구름이 형성되며, 풍속은 빨라지다가 태풍의 눈에서 느려진다.

㉠. 태풍의 구름 최상부 온도는 ㉠이 ㉡보다 낮은 것으로 보아, 발달한 구름의 최상부 높이는 ㉠이 ㉡보다 높다. 또한 발달기에 있는 태풍은 전체적으로 상승 기류가 발달해, 최상부 높이가 높은 구름은 대체로 두께도 두껍다. 따라서 ㉠에는 적란운이 발달해 있으며, ㉠의 위치는 ㉡보다 태풍의 중심에 가깝다. 태풍의 중심부로 갈수록 풍속은 빨라지다가 태풍의 눈에서 느려지므로, 풍속은 ㉠이 ㉡보다 빠르다.

✕. 구름 속 단위 면적의 공기 기둥에 포함되어 있는 물의 총량은 구름의 두께가 두꺼울수록 많으므로, 구름의 최상부 온도가 낮은 곳인 A 부근과 ㉠ 부근이 높게 나타나야 한다. 따라서 P는 B에 해당한다.

㉡. 습은열은 수증기가 물로 응결될 때 방출되는 열이므로, 두께가 얇은 구름보다 두꺼운 구름이 만들어질 때 습은열의 양이 많다. 즉, 구름에서 방출된 습은열(응결열)의 양은 구름 속의 물의 총량이 많을수록 많다. 따라서 구름에서 방출된 습은열(응결열)의 양은 두꺼운 구름이 분포하여 구름 속의 물의 총량이 많은 ㉠이 상대적으로 얇은 구름이 분포하여 구름 속의 물의 총량이 적은 ㉡보다 많을 것이다.

14 태풍의 이동

태풍이 육지에 상륙하면 열과 수증기의 공급이 줄어들고, 지표면과의 마찰이 증가하여 세력이 약해진다.

㉠. 태풍의 최대 풍속은 중심 기압이 가장 낮을 때 가장 빠르다. 태풍 중심은 T_1 일 때 이동 경로상에서 A와 가장 가까운 곳에 위치하므로 해양에 위치하고, T_2 일 때 이동 경로상에서 B와 가장 가까운 곳에 위치하므로 육지에 위치한다. 태풍은 육지에 상륙하면 열과 수증기의 공급이 줄어들고, 지표면과의 마찰이 증가하여 중심 기압이 높아진다. 따라서 태풍의 최대 풍속은 태풍이 해상에 위치하는 T_1 일 때가 육지에 위치하는 T_2 일 때보다 빨랐을 것이다.

✕. B는 태풍 진행 방향의 오른쪽에 위치하므로 위험 반원에 해당하고, 위험 반원에서 태풍이 통과하는 과정에서 풍향은 시계 방향으로 변한다.

✕. T_3 일 때 관측소에서 관측한 기압은 970 hPa 이고, T_3 일 때 태풍의 중심은 관측소에서 약간 떨어져 있으므로 태풍의 중심 기압은 970 hPa 보다 낮았을 것이다.

15 태풍에 의한 해일

태풍은 강한 저기압으로 태풍이 지나가는 해역은 공기가 해수면을 누르는 힘이 약해 해수면 높이가 정상시보다 높아진다.

㉠. 태풍이 통과할 때 관측소가 태풍 이동 경로의 오른쪽(위험 반원)에 위치하면 풍향은 시계 방향으로 변한다. 이 관측소에서 태풍이 통과하는 동안 풍향은 북서풍 → 북풍 → 북동풍 → 동풍으로 시계 방향으로 변하는 것으로 보아 이 관측소는 태풍 이동 경로의 오른쪽에 위치하였다.

㉡. $T_1\sim T_3$ 중 T_2 일 때 관측소에서 관측한 풍속이 가장 빠르고, 기압이 가장 낮으며, 해수면 높이가 가장 높은 것으로 보아, 이 시기에 태풍의 중심과 관측소 사이의 거리가 가장 가까웠다.

㉢. 태풍이 통과하는 해역은 바람에 의한 해수의 혼합과 용승이 일어나 표층 수온이 낮아진다. 따라서 바람 효과만 고려한다면 이 관측소의 표층 수온은 태풍 통과 전인 T_1 일 때가 태풍 통과 후인 T_3 일 때보다 높았을 것이다.

16 태풍의 구조

발달한 태풍에는 중심에 태풍의 눈이 나타나며, 태풍의 눈에서는 약한 하강 기류가 나타나고 날씨가 맑고 바람이 약하다.

㉠. 위성 영상 중 가시 영상은 가시광선 파장의 영역을 관측하는 것이므로, 태양 빛이 있는 낮에만 관측할 수 있다. (가)의 영상에는 구름이 나타나므로 관측 시각은 낮이다.

㉡. 가시 영상에서 밝게 보이는 부분은 구름의 두께가 두껍고, 공기의 상승 운동이 활발할수록 두꺼운 구름이 형성된다. (가)의 가시 영상에서 ㉠은 흰색으로 보이고 ㉡은 대부분 검게 보이므로, ㉠ 상공의 구름은 두껍고, ㉡의 상공에는 구름이 거의 없다. 또한

(나)의 강수 세기 그림에서 ㉠의 상공에는 강한 강수 세기가 나타나지만, ㉡의 상공에는 대기 상하층 모두에서 강수 세기가 매우 약하게 나타난다. 따라서 공기의 상승 운동은 ㉠이 ㉡보다 활발하다.

✕. ㉠에서 ㉡으로 갈 때 구름 벽들 사이에 강수가 약한 부분들이 있으며 태풍의 눈에 위치한 ㉡에서도 강수 세기가 약하다. 따라서 ㉠에서 ㉡으로 갈수록 강수의 세기가 지속적으로 강해지는 것은 아니다.

17 뇌우

뇌우는 강한 상승 기류에 의해 적란운이 발달하면서 천둥, 번개와 함께 소나기가 내리는 현상이다. 번개는 적란운 내에서 양(+)-전하와 음(-)-전하가 분리되어 구름 속에 쌓였다가 방전이 일어나 발생한다. 번개 중 구름 안, 구름과 구름 사이, 구름과 대기 사이에서 발생하는 방전을 구름 방전이라 하고, 구름과 지표면 사이에서 발생하는 방전을 낙뢰(대지 방전 또는 벼락)라고 한다.

㉠. (가)에서 이 해와 10년 평균을 보면 우리나라에서 발생하는 낙뢰는 주로 여름철에 집중된다. 여름철에는 지표면이 가열되어 대기 상층과 하층의 기온 차가 커져서 적란운이 자주 발생하는 등 뇌우 발생에 유리하다.

㉡. (나)에서 지역별 낙뢰 분포를 보면 이 해는 해안 지역보다 내륙 지역에서 낙뢰가 많이 발생했다.

㉢. 뇌우는 강한 상승 기류에 의해 적란운이 발달하면서 천둥과 번개를 동반하는 현상이다. 따라서 뇌우가 발생하기 위해서는 강한 상승 기류와 적란운이 형성되어야 하고, 대기는 불안정한 상태여야 한다. (가)에서 이 해는 7월이 12월보다 낙뢰 횟수가 많은 것으로 보아, 7월이 12월보다 대기가 불안정한 날이 많았을 것이다.

18 정체 전선상의 집중 호우

집중 호우는 주로 강한 상승 기류에 의해 형성된 적란운이 한곳에 정체하여 국지적으로 단시간 내에 많은 양의 비가 집중하여 내리는 현상으로, 정체 전선 주변에서 발생하는 강수는 강도가 강하고 지속 시간이 길어 집중 호우를 유발할 수 있다.

✕. 우리나라의 정체 전선은 주로 북쪽의 차고 습한 오호츠크해 기단과 남쪽의 따뜻하고 습한 북태평양 기단이 만나서 형성되는 것으로, 북쪽의 찬 공기가 남쪽의 따뜻한 공기 아래로 파고들면서 형성된다. 따라서 정체 전선상에서 구름은 전선의 북쪽에 주로 형성되고, 정체 전선은 구름대의 남쪽인 ㉡에 형성되어 있다.

㉠. 정체 전선 부근에서 발생하는 강수는 강도가 강하고 지속 시간이 길어 집중 호우를 유발할 수 있다. 집중 호우는 기상 레이더 영상에서 시간당 강수량이 적은 B 지점보다 시간당 강수량이 많은 A 지점에서 발생했을 것이다.

㉢. 국지적으로 단시간 내에 많은 양의 비가 집중해서 내리는 집중 호우는 주로 강한 상승 기류에 의해 형성된 적란운이 한곳에 정체해 있을 때 발생하므로, 시간당 강수량이 많은 지점은 상승 기류가 강하다고 할 수 있다. 따라서 A, B, C 중 상승 기류가 가

장 강한 지점은 시간당 강수량이 가장 많은 A 지점이다.

19 집중 호우

집중 호우는 비교적 좁은 지역(반지름 약 10 km~20 km)에 단 시간 내에 많은 양의 비가 집중하여 내리는 현상으로, 한 시간에 30 mm 이상이나 하루에 80 mm 이상의 비가 내릴 때, 또는 연 강수량의 10% 정도의 비가 하루에 내리는 것을 말한다.

㉠. (가)일 때 A 지역에서는 시간당 10 mm 이상의 비구름대가 관측되고, B 지역에서는 비구름대가 관측되지 않는 것으로 보아 A 지역은 B 지역보다 공기의 상승 운동이 활발하다.

㉡. B 지역은 (가)일 때는 비구름대가 관측되지 않지만, (나)일 때는 시간당 25 mm 이상의 강한 비구름대가 관측된다. 따라서 B 지역의 대기는 평균적으로 (나)일 때가 (가)일 때보다 불안정하다.

㉢. 가시 영상에서는 구름의 두께가 두꺼울수록 밝게 보인다. B 지역은 (가)일 때는 비구름대가 관측되지 않지만, (나)일 때는 시간당 25 mm 이상의 강한 비구름대가 관측되는 것으로 보아 구름의 두께는 (나)일 때가 (가)일 때보다 두껍다. 따라서 가시 영상에서 B 지역 구름의 밝기는 (나)일 때가 (가)일 때보다 밝다.

20 황사

우리나라에 영향을 미치는 황사의 주요 발원지는 중국 북부나 몽골의 사막 또는 건조한 황토 지대이다. 황사는 발원지의 대기가 건조할수록, 강한 바람이 불수록 발생하기 쉽다.

✕. A 지역은 우리나라의 북서쪽에 위치한 사막 지역으로, 대기 중으로 떠오른 모래 먼지는 한랭 전선의 후면에서 부는 북서풍을 타고 남동쪽으로 이동하여 우리나라로 유입되었다.

㉠. 강한 바람을 동반한 저기압이 통과하면 사막에 모래 폭풍이 일어날 수 있다. (가)를 보면 A 지역이 저기압에 동반된 한랭 전선 후면에 위치하고 있어서 한랭 전선 후면의 강한 바람에 의해 모래 폭풍이 발생했을 수 있다.

㉢. 자료에서 온대 저기압 중심이 남동쪽으로 이동함에 따라 한랭 전선 후면에서 발생한 황사는 주로 북서풍을 타고 우리나라에 유입된다. 따라서 북서쪽 지역(㉠)이 남동쪽 지역(㉡)보다 황사가 먼저 관측되므로, 16일에 미세먼지 농도가 최대로 높아지는 시각은 ㉠ 지역이 ㉡ 지역보다 빠르다.

06 해양의 변화

수능 2점 테스트

본문 108~111쪽

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

01 위도에 따른 표층 수온

위도별 단위 면적당 입사하는 태양 복사 에너지양의 차이로 인해 표층 수온은 대체로 저위도 지역이 고위도 지역보다 높지만, 해류의 영향으로 동일 위도에서도 표층 수온이 다르게 나타날 수 있다.

㉠. 등수온선의 분포를 보면 연평균 표층 수온이 A 해역은 28°C, B 해역은 0°C라는 것을 알 수 있다.

㉡. 지구는 구형이므로 단위 시간 동안 단위 면적에 입사하는 연평균 태양 복사 에너지양은 저위도에 위치한 A 해역이 고위도에 위치한 B 해역보다 많다.

㉢. 수온만을 고려할 때, 표층 해수에서 산소 기체의 용해도는 수온이 낮을수록 높으므로 A 해역이 B 해역보다 산소 기체의 용해도가 낮다.

02 혼합층

북반구에서 혼합층은 대체로 평균 풍속이 빠른 겨울철이 평균 풍속이 느린 여름철보다 두껍게 발달한다.

㉣. 7월~8월의 표층 수온이 다른 시기보다 높은 것으로 보아 여름철에 해당하므로 이 해역은 북반구에 위치한다.

㉤. 여름철 혼합층의 최대 깊이는 약 30m이고 겨울철 혼합층의 최대 깊이는 약 90m이다.

㉥. 11월의 표층과 깊이 40m에서의 수온은 큰 차이가 나지 않지만 8월의 표층과 깊이 40m에서의 수온 차는 약 6°C로 11월에 비해 크다.

03 해수의 염분

해수에 녹아 있는 염류는 주로 이온 상태로 존재하며 나트륨 이온과 염화 이온이 대부분을 차지한다.

㉦. 그림을 보았을 때 염류의 대부분이 이온 상태이므로 해수에서 염류는 대부분 이온 상태로 존재한다.

㉧. 그림을 보았을 때 Cl⁻의 양이 18,980g으로 염류를 구성하는 이온 중 가장 많은 양을 차지한다.

㉨. 담수가 유입되면 해수 1kg에 녹아 있는 염류의 양이 줄어들기 때문에 표층 해수의 염분은 낮아질 것이다.

04 위도에 따른 강수량과 증발량

적도 저압대와 한대 전선대에서는 강수량이 증발량보다 많고, 중위도 고압대에서는 강수량이 증발량보다 적다.

㉩. 그림을 보면 위도 20°~30° 지역에서는 북반구와 남반구 모두 강수량이 증발량보다 적다.

㉪. 30°N은 증발량이 강수량보다 많고 50°N은 강수량이 증발량보다 많으므로, 강수량과 증발량만을 고려할 때 표층 염분은 30°N 해역이 50°N 해역보다 높을 것이다.

㉫. 30°S 해역은 대기 대순환의 하강 기류가 발달한 고압대에 위치하므로 이 지역에서는 증발량이 강수량보다 많다.

05 해수의 깊이에 따른 밀도, 염분, 수온 분포

해수의 밀도는 수온이 낮을수록, 염분이 높을수록, 수압이 높을수록 커진다.

㉬. 중위도 해역은 표층에서 수온이 높고 깊이가 깊어질수록 수온이 낮아지므로 A는 밀도, B는 수온이다.

㉭. 수온 약층은 깊이가 깊어질수록 수온이 급격히 낮아지는 층으로, 수온 약층이 나타나기 시작하는 깊이는 70m 부근이다.

㉮. 깊이 90m~120m에서 깊이가 깊어질수록 밀도는 커진다. 이 구간에서 염분은 낮아지지만 밀도는 커지므로 해수의 밀도 변화는 수온이 염분보다 크게 영향을 준다.

06 수온 염분도

수온 염분도에서 오른쪽 아래에 위치할수록 밀도가 크다.

㉯. 수온 염분도에서 D가 A보다 오른쪽 아래에 위치하므로 밀도가 크다.

㉺. B의 염분은 약 32psu, D의 염분은 약 34psu이다. 동일한 양의 B와 D의 해수를 섞었을 때 염분은 B와 D의 해수 염분의 중간값인 약 33psu이므로 C의 해수 염분보다 낮다.

㉻. 수온만을 고려할 때, 산소 기체의 용해도는 수온이 낮을수록 커지므로 수온이 높은 C가 수온이 낮은 D보다 작다.

07 해수의 용존 기체

해수의 용존 기체량은 일차적으로 수온, 염분, 수압 등에 의해 결정되며, 생물 활동의 영향도 받는다.

㉼. 해수에 녹아 있는 용존 산소량은 깊이가 깊어질수록 감소하다가 증가하고, 용존 이산화 탄소량은 깊이가 깊어질수록 증가하므로 A는 산소, B는 이산화 탄소이다.

㉽. 광합성은 이산화 탄소를 이용하므로 표층에서 B의 농도를 낮게 한다. 또한 광합성에 의해 산소가 방출되므로 표층에서 A의 농도는 높아진다.

㉾. (가)를 보면 깊이 3000m에서 산소 기체의 평균 농도는 태평양이 대서양보다 낮다는 것을 확인할 수 있다.

08 대기 대순환 모형

대기 대순환은 위도에 따른 에너지 불균형으로 발생하고, 지구 자전의 영향을 받는다. (가)는 지구 자전을 고려하지 않은 경우의 대기 대순환 모형이고, (나)는 지구 자전을 고려한 경우의 대기 대순환 모형이다.

- ㉠. (가)는 북반구와 남반구에 순환 세포가 각각 1개씩 발달한 것으로 보아 지구 자전을 고려하지 않은 모형이다.
- ㉡. (나)의 A는 대기 대순환에 의해 주로 하강 기류가 나타나므로 고압대에 위치하고, B는 대기 대순환에 의해 주로 상승 기류가 나타나므로 저압대에 위치한다.
- ㉢. (가)와 (나)의 모형 모두 위도에 따라 단위 면적당 흡수하는 태양 복사 에너지양에 차이가 있으므로 적도 지역에서 공기가 상승하고 극 지역에서 공기가 하강한다.

09 위도에 따른 열수지

위도에 따라 단위 면적당 흡수하는 태양 복사 에너지양에 차이가 있으며 저위도에 위치할수록 그 양이 많다.

- ㉠. 저위도 지역은 흡수하는 태양 복사 에너지양이 방출하는 지구 복사 에너지양보다 많으므로 에너지 과잉 상태이다. 그러므로 ㉠은 태양 복사 에너지 흡수량이다.
- ㉡. 지구에 흡수되는 태양 복사 에너지양은 저위도일수록 많으므로 A는 D보다 고위도이다.
- ㉢. 평균 풍향을 보았을 때 저위도 지역의 북동쪽에서 불어오는 무역풍, 중위도 지역의 남서쪽에서 불어오는 편서풍, 고위도 지역의 북동쪽에서 불어오는 극동풍이 각각 나타나는 것으로 보아 A~C는 북반구에 위치한다.

10 표층 해류와 수온 염분도

우리나라 주변의 대표적인 표층 해류에는 쿠로시오 해류, 동한 난류, 북한 한류 등이 있다.

- ㉡. A 해역은 B 해역에 비해 고위도에 위치하고 한류가 흐르므로 표층 해수의 수온이 낮다. 그러므로 A 해역의 해수를 나타낸 것은 ㉡이다.
- ㉢. B 해역의 해류는 C 해역을 흐르는 해류인 쿠로시오 해류에서 갈라져 나왔다.
- ㉣. C 해역을 흐르는 해류는 쿠로시오 해류로 북태평양 아열대 순환의 일부이다.

11 위도별 표층 수온과 표층 해류

북반구와 남반구는 계절이 서로 반대이므로 남반구는 2월의 표층 수온이 8월의 표층 수온보다 대체로 높다.

- ㉠. 동수온선의 분포를 보았을 때 (가)가 (나)보다 동일 위도에서의 표층 수온이 대체로 낮으므로 (가)는 8월, (나)는 2월의 자료이다.

㉡. A는 동오스트레일리아 해류가 흐르는 해역으로 저위도의 따뜻한 해수가 고위도로 이동한다.

㉢. 수온만을 고려할 때, 표층 해수에서 산소 기체의 용해도는 수온이 낮을수록 크므로 A가 B보다 작다.

12 표층 해류와 기후

표층 해류가 흐르는 해역 부근은 해류의 영향으로 기후가 바뀌기도 한다.

㉡. 난류는 저위도에서 고위도로 흐르는 해류이고, 한류는 고위도에서 저위도로 흐르는 해류이다. A에는 한류가 흐르고, B에는 난류가 흐른다.

㉢. B의 해류는 저위도에서 고위도로 이동하는 난류이고 A의 해류는 고위도에서 저위도로 이동하는 한류이므로, B의 해류는 A의 해류보다 많은 양의 열에너지를 방출한다.

㉣. 동일 위도에서 난류가 흐르는 B의 주변 지역은 한류가 흐르는 A의 주변 지역에 비해 겨울철 평균 기온이 높다.

13 심층 순환 실험

차가운 물은 밀도가 크므로 침강하다 바닥을 만나면 퍼지게 된다. 이때 온도 변화를 관찰하여 차가운 물의 이동을 유추할 수 있다.

- ㉠. 다른 조건이 동일할 때 수온이 낮을수록 밀도가 크므로 밀도는 ㉠이 ㉡보다 작다.
- ㉡. ㉠은 주변의 물보다 수온이 낮아 밀도가 크므로 침강하게 된다.
- ㉢. 침강하던 물이 바닥을 만나면 퍼져나가게 되는데 이때 A, B, C 중 A의 온도가 가장 먼저 낮아진다.

14 대서양의 심층 순환

A는 남극 중층수, B는 북대서양 심층수, C는 남극 저층수로 남극 저층수의 밀도가 남극 중층수, 북대서양 심층수보다 크다.

㉠. A는 남극 중층수로 B와 C보다 수온이 높고 염분이 낮아 밀도가 작으므로 ㉠에 해당한다.

㉡. 남극 대륙 주변의 해수는 수온이 낮아 산소 기체의 용해도가 크다. 남극 대륙 주변의 해수가 침강하여 형성된 남극 저층수는 심층 해수에 산소를 공급하는 역할을 한다.

㉢. B는 ㉡, C는 ㉢에 해당한다. (나)를 보면 염분은 B가 C보다 높다는 것을 알 수 있다.

15 열염 순환 모형

열염 순환 모형은 저위도의 가열된 해수가 고위도로 이동하며 에너지를 방출하고 냉각된 고위도의 해수가 침강하여 저위도로 이동하는 모습을 보여주는 모형이다.

㉠. 극 해역의 해수는 복사에 의한 냉각(수온 하강)과 결빙(염분 상승)에 의해 밀도가 커져 침강한다.

㉢. 표층 해류는 저위도의 남는 에너지를 고위도로 이동시킨다.

㉠ 표층 순환과 심층 순환은 서로 연결되어 있으며 전 지구적인 순환을 한다.

16 전 지구적인 해수의 순환

표층 순환과 심층 순환은 서로 연결되어 있으며 전 지구적인 순환을 한다. 또한 이를 통해 위도 간 열수지 불균형을 해소한다.

- ㉠. A 해역은 태평양에 위치하며, 이 해역에서는 용승이 일어난다.
 ✕. B 해역에서는 밀도가 큰 해수가 침강하여 남극 저층수가 형성되고, C 해역에서는 용승이 일어난다. 그러므로 표층 해수의 평균 밀도는 B 해역이 C 해역보다 크다.
 ㉡. D 해역은 북대서양에 위치하며 수온 하강, 염분 상승 등의 요인에 의해 북대서양 심층수가 형성된다.

수능 3점 테스트

본문 112~119쪽

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

01 북극 주변의 표층 수온

북극 주변 해역의 표층 수온은 겨울철에 낮아지고 여름철에 높아진다.

- ㉠. 북극 주변 해역의 표층 수온 분포를 보았을 때 동일 해역에서 (가)가 (나)보다 표층 수온이 낮으므로 (가)는 1월, (나)는 7월의 자료이다.
 ㉡. A 해역의 표층 수온 자료를 보면 동일 위도의 다른 해역에 비해 표층 수온이 낮으므로, A 해역에는 고위도에서 저위도로 난류가 흐른다.
 ㉢. 60°N에서 B 해역 부근은 다른 해역에 비해 표층 수온이 높으므로, 저위도에서 고위도로 난류가 흐른다. 난류가 흐르는 해역 부근은 동일 위도의 주변 해역보다 겨울철 평균 기온이 높다.

02 표층 염분 분포

대체로 연평균 (증발량 - 강수량) 값이 크면 표층 염분은 높고 연평균 (증발량 - 강수량) 값이 작으면 표층 염분은 낮다. 표층 염분에 영향을 미치는 요인에는 증발량과 강수량뿐만 아니라 담수 유입, 빙하의 결빙과 용해 등이 있다.

- ㉠. (가)의 A 해역은 (증발량 - 강수량) 값이 양(+)의 값이므로 증발량이 강수량보다 많다.
 ㉡. (나)를 통해 A 해역이 B 해역보다 표층 염분이 높다는 것을 알 수 있다.
 ㉢. (가)에서 (증발량 - 강수량) 값이 양(+)의 값으로 가장 큰 해역과 (나)에서 표층 염분이 가장 높은 해역이 일치하지 않는다. 이로부터 증발량과 강수량 외에도 표층 염분에 영향을 미치는 다른 요인이 있다고 해석할 수 있다.

03 위도에 따른 표층 염분 분포

위도에 따라 강수량과 증발량은 차이가 있으며 이로 인해 표층 염분의 차이가 발생한다. 대체로 강수량이 많고 증발량이 적은 해역은 표층 염분이 낮다.

- ㉠. 표층 염분을 보면 A, B, C 해역 중 A 해역이 가장 높다는 것을 알 수 있다.
 ㉡. B 해역은 강수량이 증발량보다 많으며 표층 염분이 낮은 저위도 해역이다. 이 해역에는 대기 대순환에 의한 저압대가 형성되어 강수량이 증발량보다 많다고 할 수 있다.
 ✕. 관측 자료를 보면 (강수량 - 증발량) 값은 A 해역이 C 해역보다 크지만 표층 염분은 A 해역이 C 해역보다 높다.

04 해수의 용존 기체

해수 속 용존 기체의 용해도에 영향을 미치는 요인으로는 수온, 염분, 수압 등이 있다.

- ㉠. 그림을 보면 수온만을 고려할 때, 수온이 높을수록 1기압에서 해수 속 용존 질소량이 감소한다는 것을 알 수 있다.
- ㉡. 수온이 10°C, 1기압일 때 용존 기체의 농도는 산소의 경우 약 6.5 mL/L, 질소의 경우 약 11 mL/L이다.
- ㉢. 표를 보면 이산화 탄소가 산소에 비해 해수 중 평균 농도가 높다는 것을 알 수 있다. 이를 통해 수온만을 고려할 때, 수온이 같은 해수에서 이산화 탄소가 산소보다 용해도가 크다고 할 수 있다.

05 위도에 따른 대기와 해양의 열 수송량

대기와 해양은 저위도의 남는 에너지를 고위도로 이동시켜 위도 별 에너지 불균형을 해소한다.

- ㉣. 30°N에서 연평균 남북 방향의 열 수송량은 해양이 약 190×10^{13} W, 대기가 약 300×10^{13} W이다.
- ㉤. (나)에서 대서양의 해수 흐름에 의한 연평균 열 수송량이 양(+)의 값이므로 열 수송 방향은 북쪽이다.
- ㉥. 30°S에서 남쪽으로의 연평균 열 수송량은 태평양이 약 190×10^{13} W, 인도양이 약 50×10^{13} W, 대기는 약 390×10^{13} W이다.

06 대기 대순환과 표층 해류

표층 해류는 대기 대순환에 의한 지표 부근 바람의 영향을 받는다.

- ㉦. A 해역과 C 해역에는 서풍 계열의 편서풍이 불기 때문에 두 해역의 표층 해류인 북태평양 해류, 남극 순환 해류는 서쪽에서 동쪽으로 흐른다.
- ㉧. B 해역에는 동풍 계열의 무역풍이 분다. 따라서 B 해역에는 무역풍에 의해 형성된 표층 해류인 남적도 해류가 흐른다.
- ㉨. A 해역은 C 해역보다 동서 방향 평균 풍속이 느리므로 풍속만을 고려할 때, A 해역의 표층 해류는 C 해역의 표층 해류보다 평균 속력이 느리다.

07 위도에 따른 바람과 표층 해류

겨울철은 여름철보다 대체로 평균 풍속이 빠르다. 또한 우리나라 부근의 겨울철과 여름철 계절풍 방향이 서로 다르다. 북반구와 남반구의 계절은 반대로 나타나므로 풍속을 비교하거나 계절풍 방향을 비교하여 계절을 파악할 수 있다.

- ㉩. 대체로 겨울철이 여름철보다 평균 풍속이 빠르다. 북반구와 남반구는 계절이 서로 반대이므로 북반구의 평균 풍속이 빠른 (가)는 1월, 북반구의 평균 풍속이 느린 (나)는 7월의 자료이다.
- ㉪. A 해역의 표층 해류는 편서풍에 의해 형성된 남극 순환 해류이다.
- ㉫. B 해역과 C 해역의 표층 해류는 고위도에서 저위도로 흐르는

한류이다.

08 남극 대륙 주변의 바람과 표층 해류

남극 대륙 주변에는 편서풍과 극동풍이 부는데, 편서풍은 북서쪽에서 불어오고 극동풍은 남동쪽에서 불어온다.

- ㉬. A 해역에는 북서풍 계열의 편서풍이 분다.
- ㉭. (나)의 B 해역에는 남풍 계열의 바람이 분다. 즉, 고위도에서 저위도로 향하는 바람이 분다.
- ㉮. A 해역과 B 해역에서 부는 바람의 방향은 서로 다르므로, 두 해역에서 바람에 의해 형성되는 표층 해류의 방향은 다르다.

09 북태평양의 혼합층 두께

대체로 여름철이 겨울철보다 평균 풍속이 느리다. 혼합층은 보통 풍속이 빠를수록 두껍게 발달하기 때문에 (가)는 겨울철, (나)는 여름철의 자료이다.

- ㉯. (가)에서 혼합층의 두께는 A 해역이 약 110 m~135 m 사이이고, B 해역이 약 60 m~85 m 사이이다.
- ㉺. (가)는 (나)에 비해 혼합층의 두께가 두꺼우므로 (가)는 겨울철의 자료이고, (나)는 여름철의 자료이다.
- ㉻. A 해역의 표층 해류는 쿠로시오 해류이고, B 해역의 표층 해류는 북적도 해류이다. 쿠로시오 해류와 북적도 해류는 북태평양의 아열대 순환을 이룬다.

10 우리나라 주변 해역의 수온 분포

수온 약층은 혼합층 아래에서 깊이가 깊어질수록 수온이 급격하게 낮아지는 구간이다. A 해역은 깊이에 따른 수온 변화가 크지 않지만 B 해역은 깊이에 따른 수온 변화가 크게 나타나는 구간이 있으므로, 수온 약층은 B 해역이 A 해역보다 뚜렷하게 발달한다.

- ㉼. 등수온선의 분포를 통해 (나)에서 표층 해수는 해안에서 멀어질수록 수온이 높아지다가 낮아진다는 것을 알 수 있다.
- ㉽. 수온 약층은 혼합층 아래에서 깊이에 따라 수온이 급격히 낮아지는 층이다. 남해와 동해의 등수온선 분포를 보면 동해가 남해에 비해 깊이에 따라 수온이 급격히 낮아지는 수온 약층이 뚜렷하게 발달한다.
- ㉾. 해수의 밀도는 수온이 낮을수록, 염분이 높을수록 크다. A 해역과 B 해역의 표층 염분이 같다면, 표층 해수의 밀도는 표층 수온이 높은 A 해역이 표층 수온이 낮은 B 해역보다 작다.

11 대서양의 표층 해류

북대서양의 아열대 순환은 북적도 해류, 멕시코 만류, 북대서양 해류, 카나리아 해류로 이루어져 있으며, 시계 방향으로 순환한다.

- ㉿. A는 북대서양 아열대 순환을 이루는 북대서양 해류이다.
- ㊀. B는 북적도 해류로, 무역풍의 영향을 받는다.

㉠ ㉠ 지점에서 발견된 화물은 북대서양 아열대 순환의 고위도에서 저위도로 흐르는 한류를 타고 현재의 위치로 이동했다고 할 수 있다.

12 수온 염분도

해수의 밀도는 수온, 염분, 수압의 영향을 받으며, 수온 염분도에서 오른쪽 아래로 갈수록 밀도가 커진다.

㉠ 혼합층은 깊이에 따른 수온이 거의 일정한 층으로, 혼합층의 두께는 A 해역이 B 해역보다 얇다.

㉡ A와 B 해역 해수의 깊이에 따른 수온과 염분을 (나)의 수온 염분도와 비교해 보면 A 해역의 해수는 ㉠에 해당하고, B 해역의 해수는 ㉡에 해당한다는 것을 알 수 있다.

㉢ (나)의 수온 염분도에서 깊이 90 m의 해수는 B 해역이 A 해역보다 오른쪽 아래의 등밀도선상에 위치하므로, 깊이 90 m의 해수 밀도는 A 해역이 B 해역보다 작다.

13 대서양의 표층 순환과 심층 순환

해수의 밀도는 수온이 낮을수록, 염분이 높을수록 크다.

㉠ A는 북대서양 해류, B는 남극 순환 해류로, 두 해류 모두 편서풍에 의해 형성된다.

㉡ ㉠은 북대서양 심층수, ㉡은 남극 저층수이다. 북대서양 심층수는 남극 저층수보다 평균 밀도가 작다.

㉢ 대체로 심층 순환은 표층 순환에 비해 해수의 평균 이동 속도가 느리다. 그러므로 해수의 평균 이동 속도는 A가 ㉡보다 빠르다.

14 대서양의 심층 순환

해수의 밀도는 수온이 낮을수록, 염분이 높을수록 크며, 수온 염분도에서 오른쪽 아래로 갈수록 밀도는 커진다.

㉠ A는 남극 중층수, B는 북대서양 심층수, C는 남극 저층수이다. 남극 중층수는 북대서양 심층수, 남극 저층수보다 평균 밀도가 작으므로 (나)에서 ㉠에 해당한다.

㉡ B는 북대서양 심층수로 남극 저층수인 C보다 평균 밀도가 작으므로, (나)에서 B는 ㉡, C는 ㉢에 해당한다. 따라서 염분은 B가 C보다 높다.

㉢ 남극 중층수(A)와 남극 저층수(C)는 남반구에서 형성되고, 북대서양 심층수(B)는 북반구에서 형성된다.

15 남극 저층수의 형성

남극 저층수는 남극 대륙 주변 해수의 밀도가 커져 침강하여 형성된다.

㉠ 차가운 바람은 수온을 낮아지게 하여 겨울철 남극 대륙 주변 해수의 밀도를 커지게 한다.

㉡ 남극 대륙 주변 해수가 결빙되어 해빙이 형성되면 해수 1 kg 속에 녹아 있는 염류의 양이 증가하므로 염분이 높아진다.

㉢ 남극 대륙 주변의 해빙 형성이 평년보다 줄어들면 해수의 밀도가 작아져 해수의 침강이 약해질 것이다.

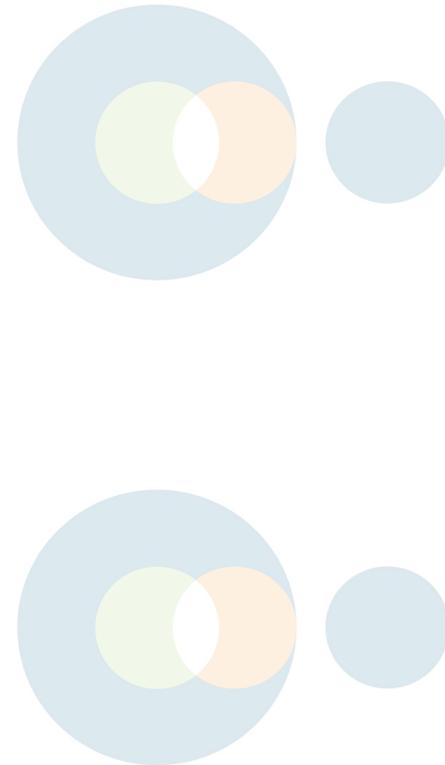
16 태평양의 심층 순환

심층 순환은 수온과 염분 및 밀도를 조사하여 간접적으로 그 흐름을 파악할 수 있다. 염분 분포를 통해 고염분의 해수가 어느 방향으로 이동하였는지 유추할 수 있다.

㉠ (가)에서 깊이 4000 m의 염분은 북태평양이 약 34.68 psu ~ 34.70 psu이고 남태평양이 약 34.69 psu ~ 34.72 psu이므로 대체로 북태평양이 남태평양보다 낮다.

㉡ ㉠의 염분은 약 34.70 psu ~ 34.75 psu이고 ㉡의 염분은 약 34.50 psu ~ 34.55 psu이므로, 염분은 ㉠이 ㉡보다 높다.

㉢ (나)에서 염분 분포를 보면 고염분의 해수가 60°S 해역의 표층에서 형성되어 침강한 후 북쪽 방향으로 심층에 분포하고 있다는 것을 알 수 있다. 이를 통해 ㉠에서 해수는 북쪽으로 이동한다는 것을 알 수 있다.



07 대기와 해양의 상호 작용

수능 2점 테스트

본문 128~131쪽

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

01 연안 용승

해수면 위에서 바람이 일정한 방향으로 지속적으로 불면 표층 해수는 해수와 바람 사이의 마찰력과 전향력의 영향으로 이동하게 되는데, 북반구에서 표층 해수는 바람 방향의 오른쪽 90° 방향으로 이동한다.

- ㉠. 그림에 표현된 바람은 남동풍이다.
- ㉡. 바람이 지속적으로 북서쪽을 향해 불고 있으므로 표층 해수는 바람 방향의 오른쪽 직각 방향인 ㉠ 방향으로 이동한다.
- ㉢. 지속적으로 부는 남동풍에 의해 표층 해수는 ㉡ 방향으로 이동하므로 연안에서 용승이 일어난다.

02 고기압과 저기압에서의 용승과 침강

북반구에서는 시계 방향으로 지속적으로 부는 고기압성 바람에 의해 고기압 중심부의 표층 해수가 수렴하여 침강이 일어나고, 시계 반대 방향으로 지속적으로 부는 저기압성 바람에 의해 저기압 중심부의 표층 해수가 발산하여 용승이 일어난다.

- ㉣. (가)의 A 해역에서 표층 수렴이 일어나므로 (가)는 고기압성 바람이 불 때의 모습이다.
- ㉤. (나)의 A 해역에서 표층 발산이 일어나므로 (나)는 저기압성 바람이 불 때의 모습이다. 이때 A 해역에서는 용승이 일어난다.
- ㉥. 용승과 침강에 의한 수온 변화만을 고려할 때, (가)는 침강이 일어나고 (나)는 용승이 일어나므로 A 해역의 수온은 (가)가 (나)보다 높다.

03 적도 용승

적도 부근에서는 북동 무역풍과 남동 무역풍에 의해 표층 해수가 발산하여 용승이 일어난다.

- ㉦. ㉠에 의해 형성된 표층 해류의 방향을 보면 바람이 부는 방향의 오른쪽이므로 ㉠이 부는 위치는 북반구라는 것, ㉠은 북동 무역풍이라는 것을 알 수 있다.
- ㉧. ㉠에 의해 형성된 표층 해류의 방향을 보면 바람이 부는 방향의 왼쪽이므로 ㉠이 부는 위치는 남반구라는 것, ㉠은 남동 무역풍이라는 것을 알 수 있다. ㉠이 남동 무역풍이므로 이를 통해 방위를 고려하면 남동 무역풍에 의해 표층 해수는 남서쪽으로 이동

한다.

- ㉨. 북동 무역풍과 남동 무역풍에 의해 적도 부근의 표층 해수는 발산한다. 따라서 적도 부근 해역에서는 용승이 일어난다.

04 연안 용승

연안 용승은 대륙의 연안에서 일정한 방향으로 지속적으로 부는 바람에 의해 표층 해수가 먼 바다 쪽으로 이동하면 이를 채우기 위해 심층에서 찬 해수가 올라오는 현상이다.

- ㉩. (가)와 (나)에서 부는 바람은 북풍이므로 표층 해수가 육지 쪽으로 이동하여 A와 B 모두에서 침강이 일어난다.
- ㉪. 해수면 위에서 바람이 일정한 방향으로 계속 불면 남반구에서 표층 해수는 전향력의 영향으로 바람 방향의 왼쪽으로 90° 편향되어 흐른다. 그러므로 (나)에서 표층 해수는 동쪽으로 이동한다.
- ㉫. (가)의 바람은 고위도에서 저위도로 불고, (나)의 바람은 저위도에서 고위도로 분다.

05 엘니뇨 시기의 태평양 적도 부근 해역의 표층 수온

엘니뇨 시기에는 무역풍의 세기가 약해지며 동태평양 적도 부근 해역의 표층 수온이 평상시보다 높아진다.

- ㉬. 동태평양 적도 부근 해역의 표층 수온을 비교해 보면 (가)는 (나)보다 높으므로 (가)는 엘니뇨 시기, (나)는 라니냐 시기이다.
- ㉭. (나)는 라니냐 시기로 평상시보다 무역풍의 세기가 강해져 동쪽에서 서쪽으로 이동하는 해수의 양이 많아진다. 그러므로 (나)의 시기에 동태평양 적도 부근 해역의 해수면 높이는 평상시보다 낮아진다.
- ㉮. 평상시에 동태평양 적도 부근 해역에서는 용승이 일어난다. 엘니뇨 시기에는 용승이 약해지고 수온 약층이 나타나기 시작하는 깊이가 깊어진다. 반대로 라니냐 시기에는 용승이 강해지고 수온 약층이 나타나기 시작하는 깊이가 얕아진다. 따라서 동태평양 적도 부근 해역에서 수온 약층이 나타나기 시작하는 깊이는 (가)의 엘니뇨 시기가 (나)의 라니냐 시기보다 깊다.

06 엘니뇨 시기의 대기 순환

엘니뇨는 열대 태평양 중앙부에서 페루 연안에 이르는 해역에서 표층 수온이 평년보다 높은 상태가 수개월 이상 지속되는 현상이다. 엘니뇨 시기에는 대기 순환 모습도 평상시와 다르게 나타난다.

- ㉯. 평상시 동태평양 적도 부근 해역에서는 주로 하강 기류가, 서태평양 적도 부근 해역에서는 주로 상승 기류가 발달한다. 엘니뇨 시기에는 위커 순환이 약화되어 중앙 태평양과 동태평양 적도 부근 해역에서 평상시와 다르게 상승 기류가 발달한다. 그러므로 그림은 엘니뇨 시기의 대기 순환 모습이다.
- ㉺. 엘니뇨 시기에는 평상시보다 무역풍의 세기가 약하다.
- ㉻. 엘니뇨 시기에는 평상시보다 동태평양 적도 부근 해역의 용승이 약하다.

07 엘니뇨와 라니냐 시기 해수면 온도 편차

동태평양 적도 부근 해역의 해수면 온도 편차(관측값 - 평년값)는 엘니뇨 시기에는 양(+)¹의 값이고, 라니냐 시기에는 음(-)²의 값이다.

㉠. A 시기에는 해수면 온도 편차가 양(+)¹의 값이므로 A는 엘니뇨 시기이다.

㉡. B 시기에는 해수면 온도 편차가 음(-)²의 값이므로 B는 라니냐 시기이다. 라니냐 시기에는 평상시보다 무역풍의 세기가 강해지므로 태평양 적도 부근 해역에서 동서 방향의 해수면 경사는 급해진다.

㉢. 엘니뇨 시기에는 평상시보다 무역풍의 세기가 약해지므로 동태평양에서 서태평양으로 이동하는 따뜻한 해수의 양이 감소하고, 라니냐 시기에는 평상시보다 무역풍의 세기가 강해지므로 동태평양에서 서태평양으로 이동하는 따뜻한 해수의 양이 증가한다. 그러므로 동태평양 적도 부근 해역에서 따뜻한 해수층의 두께는 A 시기가 B 시기보다 두껍다.

08 엘니뇨와 라니냐

동태평양 적도 부근 해역의 표층 수온 편차(관측값 - 평년값)가 양(+)¹의 값일 때는 엘니뇨 시기이고, 음(-)²의 값일 때는 라니냐 시기이다.

㉠. A 시기는 서태평양 적도 부근 해역의 평균 해수면 높이가 B 시기보다 높고 동태평양 적도 부근 해역의 평균 표층 수온 편차가 음(-)²의 값이므로 라니냐 시기이다.

㉡. 워커 순환은 라니냐 시기(A)가 엘니뇨 시기(B)보다 강하다.

㉢. 평상시에 동태평양 적도 부근 해역의 해면 기압은 높고 서태평양 적도 부근 해역의 해면 기압은 낮다. 라니냐 시기(A)에 동태평양 적도 부근 해역의 해면 기압은 평상시보다 높아지고 서태평양 적도 부근 해역의 해면 기압은 평상시보다 낮아진다. 엘니뇨 시기에는 이와 반대로 나타나므로, 적도 부근의 (동태평양 해면 기압 - 서태평양 해면 기압) 값은 A 시기가 B 시기보다 크다.

09 고기후 연구 방법

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

㉠. 빙하 시추물에 포함된 공기 방울을 이용해 과거 대기 성분을 유추할 수 있다.

㉡. 나무의 나이테 분포를 통해 과거의 강수량 변화와 기온 변화를 알 수 있다.

㉢. 일반적으로 나무의 나이테 연구로는 최근 1만 년 이내의 기온 변화를 알 수 있고, 화석을 이용한 연구로는 수억 년 전까지의 기온 변화를 알 수 있다.

10 기후 변화의 지구 외적 요인

지구의 공전 궤도 이심률이 변하면 근일점과 원일점에서 태양과 지구 사이의 거리가 달라지고, 세차 운동에 의해 지구 자전축의 경사 방향이 달라진다.

㉠. (가)와 (나)를 보면 지구의 공전 궤도 긴반지름은 모두 1 AU로 같다.

㉡. 지구의 공전 궤도 이심률이 클수록 원일점 거리와 근일점 거리의 차가 커지므로, 지구의 공전 궤도 이심률은 (가)가 (나)보다 크다.

㉢. (가)에서 우리나라는 근일점에서 여름철, 원일점에서 겨울철이고 (나)에서 우리나라는 근일점에서 겨울철, 원일점에서 여름철이다. 그러므로 우리나라에서 기온의 연교차는 (가)가 (나)보다 크다.

11 기후 변화의 지구 외적 요인

지구의 공전 궤도 이심률이 작아지면 원일점 거리가 짧아지고 근일점 거리가 길어진다.

㉠. 지구의 공전 궤도 이심률이 현재와 동일하다면 지구의 자전축 경사각이 작아져야 현재보다 기온의 연교차가 작아진다.

㉡. 현재보다 지구의 공전 궤도 이심률이 작아지면 원일점 거리는 짧아지고 근일점 거리는 길어지므로 우리나라의 기온의 연교차가 커진다. 그러므로 '증가'는 ㉠에 해당한다.

㉢. 남반구는 북반구와 계절이 반대이다. 남반구는 현재 원일점에서 겨울, 근일점에서 여름이므로 y 년 후 30°S 에서 기온의 연교차는 현재보다 작다.

12 기후 변화의 지구 내적 요인

기후 변화를 일으키는 지구 내적 요인에는 수륙 분포의 변화, 지표면 반사율 변화, 온실 기체 증가 등이 있다.

㉠. 수륙 분포가 변하면 해류에 변화가 생겨 기후 변화가 일어날 수 있다.

㉡. 빙하는 반사율이 높으므로 빙하 면적이 줄어들면 지구 지표면의 태양 복사 에너지 반사율은 감소할 것이다.

㉢. 온실 기체 증가는 자연적 요인(화산 활동 등)과 인위적 요인(화석 연료 사용 등)에 의해 발생할 수 있다.

13 북극 지역의 해빙 면적 변화

북극 지역의 해빙 면적은 3월에 넓고 9월에 좁다.

㉠. 그림을 통해 2023년의 평균 해빙 면적은 3월이 9월보다 넓다는 것을 확인할 수 있다.

㉡. 그림을 보면 1991년~2020년의 평균 해빙 면적과 2023년의 해빙 면적 차이는 9월이 3월보다 크다는 것을 알 수 있다.

㉢. 1991년~2020년 9월의 평균 해빙 면적보다 2023년 9월의 해빙 면적이 좁으므로, 9월의 북극 지역 평균 기온은 2023년이

1991년~2020년보다 높다는 것을 알 수 있다.

14 인간 활동에 의한 이산화 탄소 배출

인간 활동으로 석탄, 석유, 천연가스 사용에 의한 이산화 탄소 배출량은 대체로 증가하고 있다.

- ㉠. 1900년에 석탄 사용에 의한 이산화 탄소 배출량은 약 500×10^9 톤, 석유 사용에 의한 이산화 탄소 배출량은 거의 0이다.
- ㉡. 1900년 이후 석탄, 석유, 천연가스 사용에 의한 이산화 탄소 배출량이 대체로 증가하였으므로, 대기 중 이산화 탄소 농도는 대체로 증가했다고 할 수 있다.
- ㉢. 다른 조건이 동일할 때 대기 중 이산화 탄소 농도가 증가하면 지구 대기에 의한 온실 효과가 커진다. 1920년이 2000년보다 이산화 탄소 배출량이 적으므로, 대기 중 이산화 탄소 농도만을 고려할 때 지구 대기에 의한 온실 효과는 1920년이 2000년보다 작았을 것이다.

15 대기 중 이산화 탄소 농도 증가와 해양 산성화

대기 중 이산화 탄소 농도가 증가하면 해수로 녹아 들어가는 이산화 탄소의 양이 증가하므로 해양 산성화가 진행될 수 있다.

- ㉣. 대기 중 평균 이산화 탄소 농도는 1960년~1970년이 약 324 ppm, 2000년~2010년이 약 375 ppm이다.
- ㉤. 그림을 보면 표층 해수의 pH는 2000년이 1990년보다 낮은 것을 알 수 있다.
- ㉥. 그림을 보면 대기 중 이산화 탄소 농도가 대체로 증가할 때 표층 해수의 pH는 대체로 감소한다는 것을 알 수 있다.

16 해수면 높이 변화

최근 지구의 평균 기온이 상승하여 대륙 빙하가 용해되고 해수의 열팽창이 일어나 해수면 높이가 점차 상승하고 있다.

- ㉦. 그림을 보면 해수면 높이 변화에 가장 큰 영향을 미친 요인은 깊이 0 m~2000 m 해수의 열팽창이라는 것을 알 수 있다.
- ㉧. 남극 대륙의 빙하가 용해되면 표층 해수의 염분이 낮아진다. 해수의 염분이 낮아지면 밀도가 작아지므로, 남극 대륙 빙하의 용해로 인해 남극 대륙 주변 해역에서 해수의 침강은 약해질 것이다.
- ㉨. 빙하의 용해, 해수의 열팽창 등에 의해 해수면 높이가 상승했는데, 이를 통해 관측 기간 동안 지구의 평균 기온이 상승했다는 것을 알 수 있다.

수능 3점 테스트

본문 132~139쪽

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

01 용승과 침강

용승이 일어나는 해역에서는 영양염이 표층으로 운반되어 식물성 플랑크톤이 잘 번식하여 엽록소 농도가 높게 나타난다.

- ㉠. (가)의 풍향(화살표 방향)을 보면 이 해역에는 남풍 계열의 바람이 분다는 것을 알 수 있다.
- ㉡. 남반구에서 육지의 서쪽 연안에 지속적으로 남풍 계열의 바람이 불면 표층 해수는 서쪽으로 이동하고, 이를 채우기 위해 심층에서 찬 해수가 올라온다.
- ㉢. 엽록소는 식물성 플랑크톤에 포함된 광합성 색소로서 바다의 생산력을 나타내는 지표로 사용된다. 엽록소 농도는 A 지점이 B 지점보다 낮으므로, 표층 해수의 단위 부피당 식물성 플랑크톤의 양은 A 지점이 B 지점보다 적다.

02 연안 용승과 영양염

바람이 일정한 방향으로 지속적으로 불면 연안에서 용승 또는 침강이 일어난다. 용승이 일어나면 심층의 해수가 표층으로 올라와 수온이 낮아지고 영양염 농도가 증가한다.

- ㉣. 그림을 보았을 때 A 해역의 질산염 농도는 관측 기간 중 D+3일에 가장 높다.
- ㉤. A 해역에는 남풍 계열의 바람이 지속적으로 불어 먼 바다 쪽으로 해수가 이동하고 그 결과 용승이 일어났다. 용승에 의해 A 해역의 질산염 농도가 증가하였다고 할 수 있다.
- ㉥. 용승이 일어나면 심층의 수온이 낮은 해수가 표층으로 올라오기 때문에 A 해역의 표층 수온은 D일이 D+3일보다 높다.

03 연안 용승

바람이 일정한 방향으로 지속적으로 불면 연안에서 용승 또는 침강이 일어난다. 용승이 일어난 해역의 해수면 높이는 평상시보다 낮아진다.

- ㉦. (나)를 보면 8월 28일에 A 해역에는 북동풍이 우세하게 불었다는 것을 알 수 있다.
- ㉧. 해수면 위에서 바람이 일정한 방향으로 계속 불면 북반구에서는 바람이 부는 방향의 오른쪽 90° 방향으로 표층 해수가 이동한다. 관측 기간 동안 A 해역에는 대부분 북동풍이 불었으므로 8월 28일 12시에 A 해역의 표층 해수는 북서쪽으로 이동하였다.
- ㉨. 관측 기간 동안 A 해역에는 대부분 북동풍이 불었으므로 용승이 일어났다. 용승에 의해 A 해역의 표층 수온과 해수면 높이가 낮아졌다.

04 엘니뇨 감시 해역

엘니뇨 시기에는 평상시보다 무역풍의 세기가 약해지고 적도 부근 중앙 태평양과 동태평양 해역의 표층 수온이 높아진다.

✕. ㉠ 시기에 적도 부근 중앙 태평양 해역에 위치하는 엘니뇨 감시 해역의 수온 편차가 $+0.5^{\circ}\text{C}$ 이상이고 이와 같은 현상이 수개월 지속되므로 이 시기는 엘니뇨 시기에 해당한다. 엘니뇨 시기에 서태평양 적도 부근 해역의 상승 기류는 평상시보다 약해진다.

○. ㉠ 시기는 엘니뇨 시기, ㉡ 시기는 평상시이므로 무역풍의 평균 세기는 ㉠ 시기가 ㉡ 시기보다 약하다.

✕. 엘니뇨 시기에 서태평양 적도 부근 해역의 해수면 높이는 평상시보다 낮아지고 동태평양 적도 부근 해역의 해수면 높이는 평상시보다 높아진다. 그러므로 (서태평양 적도 부근 해역의 해수면 높이 - 동태평양 적도 부근 해역의 해수면 높이) 값은 ㉠ 시기가 ㉡ 시기보다 작다.

05 엘니뇨, 라니냐 시기의 대기 순환

엘니뇨 시기에 동태평양 적도 부근 해역은 평상시보다 상승 기류가 강해지고, 라니냐 시기에 동태평양 적도 부근 해역은 평상시보다 하강 기류가 강해진다.

✕. 동태평양 적도 부근 해역과 서태평양 적도 부근 해역의 공기의 연직 운동 방향을 보면 (가)는 엘니뇨 시기, (나)는 라니냐 시기라는 것을 알 수 있다. 엘니뇨 시기에 서태평양 적도 부근 해역의 평균 해면 기압은 평상시보다 높아지고, 동태평양 적도 부근 해역의 평균 해면 기압은 평상시보다 낮아진다. 라니냐 시기에는 이와 반대로 나타나므로 적도 부근 해역에서 동태평양 평균 해면 기압은 서태평양 평균 해면 기압은 (나) 시기가 (가) 시기보다 크다.

○. 라니냐 시기에는 엘니뇨 시기보다 동태평양 적도 부근 해역의 상승 기류가 약하므로 강수량이 적다.

○. 라니냐 시기에는 엘니뇨 시기보다 무역풍에 의해 서쪽으로 이동하는 해수의 양이 증가하기 때문에 서태평양 적도 해역과 동태평양 적도 해역의 해수면 높이 차는 (나) 시기가 (가) 시기보다 크다.

06 엘니뇨와 라니냐

적외선 방출 복사 에너지의 편차가 음(-)의 값인 해역(적도 부근 중앙 태평양과 동태평양)은 구름 최상부의 높이가 높아 온도가 낮으므로 적운형 구름이 발달해 있다고 해석할 수 있다.

✕. 2016년 중앙 태평양 적도 부근 해역의 적외선 방출 복사 에너지 편차가 음(-)의 값이므로 적운형 구름이 발달했다고 할 수 있다. 이 시기에는 평상시보다 적운형 구름양이 증가했기 때문에 적운형 구름양의 편차는 양(+)의 값이다.

○. (나)의 남방 진동 지수를 통해 2016년은 엘니뇨 시기, 2011년은 라니냐 시기임을 알 수 있다. 서태평양 적도 부근 해역에서 상승 기류는 라니냐 시기가 엘니뇨 시기보다 강하다.

✕. 엘니뇨 시기에는 서쪽으로 이동하는 따뜻한 해수의 양이 평상

시보다 감소하기 때문에 동태평양 적도 부근 해역에서 따뜻한 해수층의 두께는 2016년이 평상시보다 두껍다.

07 엘니뇨 시기의 해수면 높이

엘니뇨 시기에는 평상시에 비해 동태평양 적도 부근 해역에서 용승이 약해지므로 수온 약층이 나타나기 시작하는 깊이가 깊어진다.

○. A 시기에 동태평양 적도 부근 해역의 20°C 등수온선의 깊이가 편차는 양(+)의 값이므로 평상시보다 용승이 약해졌다고 할 수 있다. 그러므로 A 시기는 엘니뇨 시기이다.

✕. A 시기는 엘니뇨 시기, B 시기는 평상시이다. 엘니뇨 시기에는 평상시보다 동태평양 적도 부근 해역에서 용승이 약해지므로 수온 약층이 나타나기 시작하는 깊이가 깊다.

✕. (나)는 엘니뇨 시기의 자료이므로 동태평양 적도 부근 해역과 서태평양 적도 부근 해역의 평균 해수면 높이 차가 평상시보다 작다. 그러므로 평상시(B)의 135°E 적도 부근 해역과 90°W 적도 부근 해역의 평균 해수면 높이 차는 0.4m 보다 크다.

08 기후 변화의 지구 외적 요인

지구 자전축은 약 26000년을 주기로 회전하고, 지구 자전축 경사각은 약 41000년을 주기로 변한다. B 시기는 현재와 A 시기보다 자전축 경사각이 작다.

✕. 우리나라는 현재 근일점에서 겨울철이고 A 시기에는 원일점에서 겨울철이다. 그러므로 우리나라의 겨울철 평균 기온은 A 시기가 현재보다 낮다.

○. 북반구에서 겨울철 낮의 길이는 지구 자전축 경사각이 작을수록 길다. A 시기가 B 시기보다 지구 자전축 경사각이 크므로 30°N 에서 겨울철 낮의 길이는 A 시기가 B 시기보다 짧다.

○. 남반구에서 B 시기에는 근일점에서 겨울철, 원일점에서 여름철이므로 30°S 에서 기온의 연교차는 현재보다 작다. 또한 B 시기에는 지구 자전축 경사각이 현재보다 작으므로 30°S 에서 기온의 연교차는 현재보다 작다.

09 기후 변화의 지구 외적 요인

지구의 공전 궤도 이심률이 작아지면 현재에 비해 원일점 거리는 짧아지고 근일점 거리는 길어진다. 지구 자전축 경사각 이외의 요인은 변하지 않는다고 가정할 때, 현재보다 지구 자전축 경사각이 커지면 기온의 연교차가 커진다.

○. (가)를 보면 북반구 기준 여름철에 지구에 도달하는 태양 복사 에너지량의 편차가 양(+)의 값이고 겨울철에는 음(-)의 값이다. 그러므로 30°N 에서 기온의 연교차는 (가)의 시기가 현재보다 크다.

○. 북반구와 남반구의 계절은 서로 반대이다. 30°S 에서 여름철에 지구에 도달하는 태양 복사 에너지량의 편차가 음(-)의 값이고 겨울철에는 양(+)의 값이므로, 겨울철 평균 기온은 (가)의 시기가 현재보다 높다.

㉔. (가)의 시기에 북반구는 현재보다 기온의 연교차가 크고 남반구는 현재보다 기온의 연교차가 작다. ㉕ 시기에 지구의 공전 궤도 이심률은 현재보다 작고 지구 자전축 경사각은 현재와 같다. 북반구의 경우 현재보다 지구의 공전 궤도 이심률이 작으면 기온의 연교차가 크고, 남반구의 경우 현재보다 지구의 공전 궤도 이심률이 작으면 기온의 연교차가 작다. 따라서 (가)는 ㉕ 시기의 자료이다.

10 복사 평형

행성에 대기가 존재할 때 대기는 지표에서 방출하는 복사 에너지를 흡수한 후 지표로 재복사하여 지표면의 온도를 높인다.

㉑. 행성에 입사하는 태양 복사 에너지량은 태양으로부터 거리가 가까운 지구가 화성보다 많다. 이를 통해 (가)는 지구, (나)는 화성의 열수지를 나타낸 것을 알 수 있다.

㉒. (가)는 복사 평형 상태이므로 지표에 흡수되는 에너지량과 지표가 방출하는 에너지량이 같다. 지표에 흡수되는 에너지량은 'C+F', 지표가 방출하는 에너지량은 '대류·전도·습윤열(112)+378+20'인데 두 에너지량이 같으므로 ㉑은 345이다.

㉓. (가)의 $\frac{\text{대기에서 지표로 재방출되는 복사 에너지량}}{\text{지표에서 방출되는 복사 에너지량}}$ 은

$$\frac{㉑}{112+378+20} = \frac{345}{510} \text{이고, (나)는 } \frac{27}{33+90} = \frac{27}{123} \text{이다. 그러}$$

므로 $\frac{\text{대기에서 지표로 재방출되는 복사 에너지량}}{\text{지표에서 방출되는 복사 에너지량}}$ 은 (가)가 (나)보다 크다.

11 기후 변화의 지구 내적 요인

화산 활동으로 분출된 화산재, 이산화 황 등의 물질은 지구의 평균 기온을 낮추는 역할을 한다.

㉑. 화산이 폭발할 때 분출된 화산재는 지구의 평균 기온을 낮추는 역할을 하므로, 화산 폭발은 기후 변화를 일으키는 지구 내적 요인에 해당한다.

㉒. 기온 편차가 1992년에는 약 -0.36°C 이고, 1994년에는 약 -0.08°C 이므로 지구의 평균 기온은 1992년이 1994년보다 낮다.

㉓. 화산이 폭발할 때 분출된 대규모의 화산재가 성층권에 퍼지면 태양 빛의 산란이 많이 일어나 지구의 반사율이 커지므로 지구의 평균 기온이 낮아진다.

12 대기 중 이산화 탄소 농도 변화와 지구 평균 기온 변화

과거 약 23000년 동안 대기 중 이산화 탄소 농도는 현재보다 대체로 낮았다.

㉑. 과거 약 23000년 동안 대기 중 이산화 탄소 농도는 대체로 높아지고 지구 평균 기온 편차는 대체로 커지므로, 지구 평균 기온 편차 변화와 대기 중 이산화 탄소 농도 변화는 대체로 비슷한 경향을 나타낸다.

㉒. ㉑ 시기는 ㉕ 시기보다 대기 중 이산화 탄소 농도가 낮고 기온이 낮으므로, 대륙 빙하 면적은 ㉑ 시기가 ㉕ 시기보다 넓을 것이다.

㉓. 온실 효과는 대기 중 이산화 탄소 등의 온실 기체 농도의 영향을 받는다. 대기 중 이산화 탄소 농도는 ㉑ 시기가 현재보다 낮으므로 온실 효과는 ㉑ 시기가 현재보다 약하다.

13 북극과 남극 부근의 해빙 면적 변화

대기 중 온실 기체의 농도가 증가하면 지구의 평균 기온이 대체로 상승한다. 이로 인해 극 부근의 해빙 면적이 감소한다.

㉒. 북극과 남극 부근은 계절이 반대이다. 8월~10월에 해빙 면적이 넓은 (가)가 남극 부근, 2월~4월에 해빙 면적이 넓은 (나)가 북극 부근의 자료이다.

㉓. ㉑일 때 5월의 평균 해빙 면적은 북극 부근이 약 $8.5 \times 10^6 \text{ km}^2$ 이고, 남극 부근이 약 $4 \times 10^6 \text{ km}^2$ 이므로 북극 부근이 남극 부근보다 넓다.

㉔. 3월에 ㉑과 ㉒의 월평균 해빙 면적 차는 북극 부근이 약 $4 \times 10^6 \text{ km}^2$, 남극 부근이 약 $1.5 \times 10^6 \text{ km}^2$ 이다.

14 우리나라 아열대 기후 지역의 면적 변화

우리나라의 연평균 기온이 상승하면 아열대 기후 지역이 넓어진다.

㉑은 인간 활동의 영향을 받지만 지구 스스로 회복이 가능한 경우로, 이 경우 아열대 기후 지역의 확장 정도가 크지 않으므로 (가), (나), (다) 중 (다)에 해당한다. 온실 기체 저감 정책이 대체로 실현되는 경우(㉑)는 현재 추세로 온실 기체가 배출되는 경우(㉒)보다 우리나라의 아열대 기후 지역의 분포가 좁을 것이므로 (나)는 ㉑, (가)는 ㉒의 아열대 기후 지역의 분포 전망이다.

㉒. (가)는 아열대 기후 지역이 가장 넓으므로 현재 추세로 온실 기체가 배출되는 경우인 ㉑일 때이다.

㉓. 대기 중 온실 기체 농도가 높을수록 대체로 우리나라의 연평균 기온이 높다. 그러므로 우리나라의 연평균 기온은 ㉑일 때가 ㉒일 때보다 낮다.

㉔. 그림은 기후 변화 시나리오별 2100년 우리나라의 아열대 기후 지역의 분포 전망이다. 현재 추세로 온실 기체가 배출된다면 우리나라의 연평균 기온은 2100년이 현재보다 높을 것이므로, 아열대 기후 지역은 현재가 ㉑일 때보다 넓지 않을 것이다.

15 북극 부근의 해빙 부피 변화

지구의 평균 기온 상승으로 빙하가 용해되어 북극 부근의 해빙 부피가 감소하고 있다.

㉑. 그림을 보면 관측 기간 동안 해빙 부피는 3월이 6월보다 항상 크다는 것을 알 수 있다.

㉒. 그림을 보면 1979년~2024년 3월, 6월, 9월, 12월에 해빙 부피가 대체로 감소하였다는 것을 알 수 있다.

㉓. 1979년~2024년 3월, 6월, 9월, 12월에 해빙 부피가 대체로 감소하였다는 것은 북극 지역의 평균 기온이 상승하여 해빙이 녹

았기 때문에 생각할 수 있다.

16 해양 열용량과 표층 수온 상승

해양 열용량이 증가하면 해수가 갖고 있는 열에너지양이 많아지므로 수온이 상승한다.

㉠. (가)에서 2000년 이후 모든 깊이에서 열용량 편차가 양(+)
의 값이므로 해양 열용량은 모든 깊이에서 대체로 증가했다.

㉡. (나)에서 대서양, 인도양, 태평양 모두 20°N의 표층 수온 편
차가 양(+)
의 값이므로 표층 수온은 평년보다 상승했다.

㉢. (나)에서 수온만을 고려할 때, 대서양 60°N 해역의 표층 수온
은 평년보다 상승했다. 표층 수온이 상승하면 표층 해수의 밀도가
작아지므로 대서양 60°N 해역에서의 침강은 평년보다 약해졌을
것이다.

08 별의 특성

수능 2점 테스트

본문 154~159쪽

01 ㉠	02 ㉠	03 ㉡	04 ㉡	05 ㉡	06 ㉡
07 ㉡	08 ㉢	09 ㉠	10 ㉤	11 ㉠	12 ㉡
13 ㉢	14 ㉤	15 ㉠	16 ㉢	17 ㉡	18 ㉡
19 ㉡	20 ㉡	21 ㉤	22 ㉠	23 ㉠	24 ㉤

01 플랑크 곡선

흑체가 복사 에너지를 최대 방출하는 파장은 표면 온도가 높을
수록 짧아진다.

㉠. 복사 에너지를 최대 방출하는 파장은 A가 약 0.5 μm 이며,
C는 0.5 μm 보다 길다. 따라서 복사 에너지를 최대 방출하는
파장은 A가 C보다 짧다.

㉡. 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 복사 에너지의 양은 표면
온도가 높을수록 많다. 복사 에너지를 최대 방출하는 파장은
B가 D보다 짧으므로 표면 온도는 B가 D보다 높다. 따라서 단위
시간에 단위 면적당 방출하는 복사 에너지의 양은 B가 D보다 많다.

㉢. D는 가시광선 영역에서 파장이 짧은 파란색 영역보다 파장이
긴 붉은색 영역에서 더 많은 에너지를 방출한다. 따라서 D는 파
란색으로 보이지 않는다.

02 태양의 스펙트럼

태양의 스펙트럼에는 연속 스펙트럼 위에 검은색 흡수선이 나타
난다.

㉠. 연속 스펙트럼 위에 검은색 흡수선이 나타난다.

㉡. 태양의 분광형은 흡수선의 종류와 세기를 통해 알 수 있다.

㉢. 흡수선의 종류와 세기는 별의 표면 온도에 따라 달라지므로,
태양과 대기 성분이 같아도 표면 온도에 따라 다양한 스펙트럼이 나
타난다.

03 별의 표면 온도와 복사 에너지의 세기

필터를 통과한 복사 에너지 세기가 강할수록 필터를 이용하여 측
정한 별의 등급이 작다.

㉠. 복사 에너지를 최대 방출하는 파장은 A가 B보다 짧다. 따
라서 표면 온도는 A가 B보다 높다.

㉡. ㉠을 통과한 복사 에너지의 세기는 A가 B보다 강하다. 따
라서 ㉠으로 측정한 별의 겉보기 등급은 A가 B보다 작다.

㉢. 필터를 통과하는 빛의 평균 파장은 ㉠이 ㉡보다 짧다. 별의 표
면 온도가 높을수록 파장이 짧은 영역에서 복사 에너지의 상대적

세기가 강하므로, ㉠을 통과한 빛의 에너지 세기는 A가 B보다 크다. ㉡을 통과한 빛의 에너지 세기는 A가 B보다 크다.

04 별의 광도와 반지름

절대 등급이 5등급 차이가 나면 광도는 100배 차이가 난다. 광도는 반지름의 제곱과 표면 온도의 네제곱의 곱에 비례한다.

✕. 광도는 절대 등급이 작을수록 크다. 따라서 광도는 절대 등급이 가장 작은 C가 가장 크다.

✕. 표면 온도는 복사 에너지를 최대로 방출하는 파장(λ_{max})에 반비례한다. λ_{max} 는 B가 C의 2배이므로, 표면 온도는 B가 C의 $\frac{1}{2}$ 배이다.

㉢. A는 B보다 절대 등급이 5등급 크므로 광도는 A가 B의 $\frac{1}{100}$ 배이며, 광도는 반지름의 제곱과 표면 온도의 네제곱의 곱에 비례한다. 표면 온도는 A가 B의 2배이므로 반지름은 A가 B의 $\frac{1}{40}$ 배이다.

05 별의 물리량

흡수 스펙트럼선의 종류와 세기를 이용하여 별의 분광형을 구분한다.

✕. 분광형은 표면 온도가 높은 것부터 O형, B형, A형, F형, G형, K형, M형으로 구분한다.

㉣. 흡수 스펙트럼은 별의 대기에 존재하는 기체가 특정 파장의 빛을 흡수할 때 나타난다.

㉤. 분광형이 같을 때 광도 계급의 숫자가 클수록 별의 반지름과 광도는 작아진다.

06 별의 분광형과 흡수선

분광형은 표면 온도가 높은 것부터 O형, B형, A형, F형, G형, K형, M형으로 구분한다.

✕. 표면 온도가 가장 높은 별은 분광형이 O형인 별이다. ㉠은 분광형이 O형인 별보다 표면 온도가 낮은 분광형이 A형인 별에서 가장 강하게 나타난다.

✕. HI 흡수선은 분광형이 A형인 별에서 가장 강하며, 분광형이 O형인 별과 B형인 별에서도 강하게 나타나므로 ㉠은 HI 흡수선이다. 분광형이 G형인 별에서 강하게 나타나는 흡수선인 ㉡은 CaII 흡수선이다.

㉢. 분광형이 G형인 별에서도 HI 흡수선이 나타나므로, 분광형이 G형인 별의 대기에는 중성 수소가 존재한다.

07 광도 계급과 분광형

분광형이 같을 때 광도 계급의 숫자가 작을수록 광도와 반지름이 크다.

✕. 표면 온도는 분광형이 K2형인 (가)가 가장 낮다.

㉣. (나)와 (라)는 분광형이 A0형으로 같다. 따라서 광도는 주계 열성(광도 계급 V)인 (나)가 백색 왜성(광도 계급 VII)인 (라)보다 크다.

✕. (나)와 (다)는 모두 주계열성인데 표면 온도는 (다)가 (나)보다 높으므로 반지름은 (다)가 (나)보다 크다. (라)는 (나)와 분광형이 같은데 백색 왜성이므로 반지름이 매우 작다. 따라서 반지름의 크기는 (다) > (나) > (라)이다.

08 슈테판·볼츠만 법칙

별이 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 복사 에너지량은 표면 온도의 네제곱에 비례한다.

㉠. 별이 복사 에너지를 최대로 방출하는 파장이 $\frac{1}{2}$ 배가 되면 표면 온도가 2배가 되므로, 별이 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 복사 에너지량(E)은 16배가 된다.

㉢. 별이 단위 시간 동안 방출하는 복사 에너지량은 광도에 해당하며, 별의 광도는 반지름(R)의 제곱과 표면 온도(T)의 네제곱의 곱에 비례한다. 따라서 T가 일정할 때, R가 2배가 되면 별이 단위 시간 동안 방출하는 복사 에너지량은 4배가 된다.

✕. 태양이 적색 거성 단계일 때는 현재보다 반지름(R)은 커지지만 표면 온도(T)가 낮아지므로 별이 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 복사 에너지량(E)은 적어진다.

09 별의 분광형과 흡수선의 상대적 세기

분광형이 A형인 별은 HI 흡수선이 가장 강하게 나타나고, 분광형이 G형인 별은 CaII 흡수선이 가장 강하게 나타난다.

㉠. 분광형이 A형인 별에서 ㉡의 세기가 가장 강하므로, ㉡은 중성 수소(HI)에 의한 흡수선의 상대적 세기를 나타낸 것이다.

✕. 분광형이 A0형인 별에 헬륨 흡수선이 거의 나타나지 않는 것은 별의 대기에 헬륨이 존재하지 않아서가 아니라 별의 표면 온도에 따라 원소가 스펙트럼의 특정한 영역에서 흡수선을 형성하기 때문이다. 따라서 분광형이 A0형인 별의 대기에는 헬륨이 존재할 수 있다.

✕. ㉢은 CaII에 의한 흡수선이다. 태양의 분광형은 G2형이며, 태양보다 표면 온도가 높을수록 CaII에 의한 흡수선의 세기는 약해진다.

10 H-R도와 별의 반지름

H-R도에서 오른쪽 위로 갈수록 별의 반지름이 커지며, 왼쪽 아래로 갈수록 별의 반지름이 작아진다.

㉠. A는 C보다 표면 온도가 높으므로 복사 에너지를 최대로 방출하는 파장은 A가 C보다 짧다.

㉢. 광도가 작을수록 절대 등급이 크다. 광도는 C가 D보다 작으므로 절대 등급은 C가 D보다 크다.

㉠ H-R도에서 A~D 중 B는 가장 왼쪽 아래에 위치하므로 반지름이 가장 작고, D는 가장 오른쪽 위에 위치하므로 반지름이 가장 크다. A와 C의 반지름은 B보다는 크고 D보다는 작다. 따라서 $|R_A - R_C|$ 은 $|R_D - R_B|$ 보다 작다.

11 광도 계급

거성, 주계열성, 백색 왜성의 광도 계급은 각각 III, V, VII이다.

㉠ ㉠은 분광형이 같을 때 광도가 가장 작은 백색 왜성에 해당한다. 따라서 ㉠의 광도 계급은 VII이다.

㉡. 분광형이 같을 때 광도 계급의 숫자가 클수록 별의 광도와 반지름이 작다. 따라서 분광형이 F0형인 별은 광도 계급의 숫자가 클수록 반지름이 작다.

㉢. 분광형이 같은 거성과 주계열성의 절대 등급 차는 표면 온도가 낮을수록 대체로 커진다.

12 주계열성의 물리량

주계열성은 질량이 클수록 주계열 단계에 머무르는 시간이 짧다.

㉣. 주계열 단계에 머무르는 시간은 (가)가 (나)보다 길다. 따라서 (가)는 (나)보다 질량이 작고 표면 온도가 낮다.

㉤. (다)의 표면 온도는 (가)보다 낮으므로 표면 온도는 (나)가 (다)보다 높다. 따라서 질량은 (나)가 (다)보다 크다.

㉥. (다)는 (가)보다 표면 온도가 낮으므로 주계열 단계에 머무르는 시간이 길다. 따라서 (다)가 주계열 단계에 머무르는 시간은 5억 년보다 길다.

13 별의 집단

A는 초거성, B는 적색 거성, C는 주계열성, D는 백색 왜성이다.

㉦. 평균 밀도는 초거성인 A가 백색 왜성인 D보다 작다.

㉧. 적색 거성인 B가 진화하여 주계열성인 C가 될 수 없다. 질량이 태양 정도인 주계열성이 진화하면 적색 거성이 될 수 있다.

㉨. 주계열성인 C는 질량이 클수록 광도와 반지름이 커진다.

14 별의 진화

질량이 태양과 비슷한 별은 적색 거성을 거쳐 백색 왜성으로 진화하고, 질량이 매우 큰 별은 초거성을 거쳐 중성자별이나 블랙홀로 진화한다.

㉩. 질량은 백색 왜성으로 진화하는 A가 중성자별로 진화하는 B보다 작다.

㉪. ㉠ 과정에서 적색 거성의 핵만 남아 백색 왜성이 되므로 광도와 반지름은 대체로 작아진다.

㉫. 초거성에서 중성자별로 진화하는 ㉠ 과정에서 초신성 폭발이 일어나며, 이 과정에서 철보다 무거운 원소가 생성된다.

15 별의 상대적인 크기

주계열성이 백색 왜성보다 반지름이 크고, 중성자별은 백색 왜성보다 반지름이 작다.

㉬. 주계열성, 중성자별, 백색 왜성 중 주계열성은 크기가 가장 큰 A이다.

㉭. B는 백색 왜성이며, 주로 탄소와 산소로 이루어진 백색 왜성의 내부에서는 핵융합 반응이 일어나지 않는다.

㉮. 백색 왜성인 B는 질량이 태양과 비슷한 별의 진화 과정에서 나타나며, 중성자별인 C는 질량이 매우 큰 별의 진화 과정에서 나타나므로 B가 C로 진화하지는 않는다.

16 원시별의 진화

질량이 큰 원시별일수록 빠르게 중력 수축하여 영년 주계열에 도달하는 데 걸리는 시간이 짧고, 영년 주계열에 도달했을 때 표면 온도가 높다.

㉯. 영년 주계열에 도달했을 때 표면 온도는 A가 B보다 높으므로 질량은 A가 B보다 크다.

㉺. 질량은 A가 B보다 크므로 영년 주계열에 도달하는 데 걸리는 시간은 A가 B보다 짧다.

㉻. 영년 주계열에 도달하는 동안 광도 변화율은 A가 B보다 작다. 따라서 절대 등급 변화량도 A가 B보다 작다.

17 질량이 태양과 비슷한 별의 진화

질량이 태양과 비슷한 별은 적색 거성 단계를 거쳐 최종적으로 백색 왜성으로 진화한다.

㉼. ㉠ 과정에서 별이 팽창하면서 표면 온도는 대체로 낮아진다.

㉽. ㉠ 과정 중 헬륨핵의 중력 수축으로 별의 중심부 온도가 높아져 헬륨 핵융합 반응이 일어나는 시기가 있다.

㉾. ㉠ 과정에서 맥동 변광성 단계를 거쳐 행성상 성운을 생성하며 백색 왜성으로 진화하므로 별의 반지름은 ㉠ 과정이 시작될 때가 끝날 때보다 크다.

18 질량에 따른 별의 진화

별은 질량에 따라 중심부의 온도가 다르므로 서로 다른 진화 과정을 겪는다.

㉿. 질량이 태양과 비슷한 주계열성은 최종적으로 백색 왜성으로 진화한다. 질량이 매우 큰 주계열성 중 중심핵의 질량이 태양 질량의 약 3배보다 작은 별은 중성자별로 진화하고, 중심핵의 질량이 태양 질량의 약 3배보다 큰 별은 블랙홀로 진화한다.

19 핵융합 반응의 종류와 특징

수소 핵융합 반응은 주계열성의 중심핵과 적색 거성의 수소 껍질에서 일어나고, 헬륨 핵융합 반응은 적색 거성의 중심핵에서 일어난다.

✗. 반응이 일어나는 온도는 수소 핵융합 반응인 (가)가 헬륨 핵융합 반응인 (나)보다 낮다.

㉠. 주계열성에서 적색 거성으로 진화하는 과정 중 수소 껍질에서 수소 핵융합 반응인 (가)가 일어나며, 이 과정에서 별의 크기가 커진다.

㉡. 적색 거성의 헬륨핵에서 (나)가 일어나고 헬륨핵 주변의 수소 껍질에서 (가)가 일어나므로, 질량이 태양과 비슷한 별이 진화하는 동안 별 내부에서 (가)와 (나)가 동시에 일어나는 시기가 있다.

20 질량에 따른 주계열성의 진화

질량이 큰 주계열성은 질량이 작은 주계열성보다 주계열 단계에 머무르는 시간이 짧다.

✗. A는 B보다 표면 온도가 높으므로 질량이 크다. 주계열 단계 일 때, 중심핵에서 수소 핵융합 반응이 일어나는 시간은 질량이 큰 A가 질량이 작은 B보다 짧다.

㉠. A가 A'으로 진화하는 과정에서 광도는 거의 일정하지만 표면 온도는 낮아지므로 별의 반지름은 커진다.

✗. A'과 B'은 표면 온도가 거의 같지만, 중심부 온도는 질량이 큰 A'이 B'보다 높다. 따라서 $\frac{\text{표면 온도}}{\text{중심부 온도}}$ 는 A'이 B'보다 작다.

21 별의 팽창과 수축

기체 압력 차에 의한 힘이 중력보다 작으면 별은 수축하고, 기체 압력 차에 의한 힘이 중력보다 크면 별은 팽창한다.

㉠. 기체 압력 차에 의한 힘과 중력의 크기가 같고 방향이 반대이면 정역학 평형 상태이다. 따라서 정역학 평형 상태인 것은 (나)이다.

㉡. 주계열성에서 적색 거성으로 진화하는 별은 팽창하며 반지름이 커진다. 따라서 주계열성에서 적색 거성으로 진화하는 별 내부의 표면 부근에서는 (다)와 같은 상태가 나타날 수 있다.

㉢. (가)와 같은 상태가 나타나는 곳에서는 별이 수축하며 중력 수축 에너지가 발생할 수 있다.

22 주계열성과 수소 핵융합 반응

주계열성의 내부에서는 수소 핵융합 반응이 일어나면서 수소의 질량비(%)는 작아지고, 헬륨의 질량비(%)는 커진다.

㉠. 별의 외곽에서는 A가 B보다 훨씬 크고, 별의 중심부에서는 A가 B보다 작으므로 A는 수소의 질량비(%)이다.

✗. 적색 거성의 중심핵에는 수소가 거의 없다. 이 별은 아직 중심부에 수소가 있으므로 주계열성이다.

✗. 질량이 태양 정도인 별의 내부에서는 p-p 반응과 CNO 순환 반응이 모두 일어난다. 따라서 이 별의 중심부에는 산소가 존재한다.

23 수소 핵융합 반응의 종류와 특징

중심부 온도가 약 1800만 K 이상인 주계열성에서는 CNO 순환 반응이 p-p 반응보다 에너지 생산량이 많다.

㉠. (가)와 (나) 모두 온도가 높을수록 수소 핵융합 반응에 의한 에너지 생산량이 증가한다.

✗. CNO 순환 반응은 p-p 반응에 비해 고온에서 에너지 생산량이 많다. 따라서 CNO 순환 반응에 의한 상대적인 에너지 생산량을 나타낸 것은 (나)이다.

✗. p-p 반응은 CNO 순환 반응에 비해 상대적으로 낮은 온도에서 시작된다. 따라서 T_1 은 T_2 보다 작다.

24 주계열성의 내부 구조

질량이 태양 질량의 약 2배보다 작은 주계열성은 중심핵을 복사층과 대류층이 차례로 둘러싸고 있고, 질량이 태양 질량의 약 2배보다 큰 주계열성은 대류핵 주변을 복사층이 둘러싸고 있다.

㉠. 중심핵을 복사층과 대류층이 차례로 둘러싸고 있는 (가)의 질량이 대류핵 주변을 복사층이 둘러싸고 있는 (나)의 질량보다 작다.

㉡. 질량은 (가)가 (나)보다 작으므로, 반지름도 (가)가 (나)보다 작다.

㉢. 단위 시간 동안 p-p 반응으로 생성되는 에너지양은 중심부 온도가 높을수록 많다. 따라서 단위 시간 동안 p-p 반응으로 생성되는 에너지양은 질량이 작아 중심부 온도가 낮은 (가)가 (나)보다 적다.

수능 3점 테스트

본문 160~171쪽

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

01 별의 표면 온도와 흡수선

분광형이 A형인 별에서는 HI 흡수선이, 분광형이 G형인 별에서는 Ca II 흡수선이 강하게 나타난다.

✕. 복사 에너지를 최대로 방출하는 파장은 (가)가 (나)보다 짧으므로 표면 온도는 (가)가 (나)보다 높다.

○. (가)는 (나)보다 표면 온도가 높으므로 (가)는 분광형이 A형, (나)는 분광형이 G형이다. 분광형이 A형인 (가)에서는 HI 흡수선이 가장 강하게 나타나고, 분광형이 G형인 (나)에서는 HI 흡수선이 (가)보다 약하게 나타난다.

✕. 이온화된 헬륨(He II) 흡수선은 분광형이 O형이나 B형인 별에서 강하게 나타나며, 분광형이 G형인 (나)에서는 거의 나타나지 않는다. ①의 흡수선은 주로 이온화된 칼슘(Ca II)에 의해 나타난 것이다.

02 빈의 변위 법칙과 슈테판·볼츠만 법칙

별이 복사 에너지를 최대로 방출하는 파장은 표면 온도에 반비례하고, 별이 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 에너지량은 표면 온도의 네제곱에 비례한다.

✕. X는 표면 온도가 높아짐에 따라 증가하고 있으므로 별이 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 에너지양이다.

○. $X_1 \propto T_1^4$ 이며 $X_2 \propto T_2^4$ 이므로, $\frac{X_2}{X_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^4$ 이다.

○. X는 T의 네제곱에 비례하고, T는 Y에 반비례하므로, $X_1 : X_2 = T_1^4 : T_2^4 = \frac{1}{Y_1^4} : \frac{1}{Y_2^4}$ 이다. 따라서 $\frac{X_2}{X_1} = \frac{Y_1^4}{Y_2^4}$ 이다.

03 별의 분광형과 흡수선의 상대적 세기

분광형이 G형인 별에서는 Ca II 흡수선이 가장 강하게 나타나고, 분광형이 A형인 별에서는 HI 흡수선이 가장 강하게 나타난다.

✕. (나)는 HI 흡수선이 가장 강하게 나타나므로 분광형이 A형이고, (가)는 분광형이 G형이다. 따라서 별의 평균 표면 온도는 (가)가 (나)보다 낮다.

○. 흰색 별은 분광형이 A형이므로 흰색 별에서는 HI 흡수선이 ① 흡수선보다 강하게 나타난다.

✕. 태양의 분광형은 G2형이고 분광형이 G형인 별의 ① 흡수선은 표면 온도가 높을수록 약하게 나타난다. 태양과 광도가 같고 반지름이 작은 별은 태양보다 표면 온도가 높으므로, ① 흡수선은

태양보다 약하게 나타난다.

04 별의 물리량

별이 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 에너지량은 표면 온도의 네제곱에 비례하며, 별의 겉보기 밝기는 거리의 제곱에 반비례한다.

○. 별이 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 복사 에너지량은 A가 C의 64배이다. 따라서 표면 온도는 A가 C의 $2\sqrt{2}$ 배이다.

○. A가 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 복사 에너지량은 B의 4배이며, A의 반지름은 B의 $5\sqrt{10}$ 배이다. 따라서 A의 광도는 B의 1000배이다. 광도가 B의 100배인 별의 절대 등급은 B의 절대 등급보다 5등급 작으므로 -0.2 등급이며, A의 광도는 이보다 10배 크므로, 절대 등급은 이보다 3등급 이상 작지 않다. 따라서 A의 절대 등급은 -3.2 등급보다 크다.

○. C의 광도는 B의 100배이므로 C의 절대 등급은 -0.2 등급이다. 따라서 C가 지구로부터 10 pc 떨어져 있을 때 겉보기 등급이 -0.2 등급이며, C가 1 pc에 위치한다면 거리가 $\frac{1}{10}$ 배가 되므로 밝기는 100배가 되어 겉보기 등급은 -5.2 등급이 된다. C는 지구로부터의 거리가 2.5 pc이므로 1 pc에서 2.5 pc으로 거리가 2.5배 멀어지면 밝기가 $\frac{1}{2.5^2}$ 배로 어두워져 겉보기 등급은 약 2등급 커진다. 따라서 C의 겉보기 등급은 약 -3.2 등급이므로 -2 등급보다 작다.

05 빈의 변위 법칙

별의 표면 온도가 높을수록 복사 에너지를 최대로 방출하는 파장이 짧다.

✕. A는 복사 에너지를 최대로 방출하는 파장이 500 nm보다 짧고, B는 복사 에너지를 최대로 방출하는 파장이 500 nm보다 길다.

○. 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 복사 에너지의 양은 표면 온도가 높을수록 많다. 표면 온도는 A가 B보다 높으므로 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 복사 에너지의 양은 A가 B보다 많다.

○. 빈의 변위 법칙에서 표면 온도가 5000 K인 별의 λ_{\max} 는 약 580 nm이다. A의 λ_{\max} 는 이보다 짧으므로 A의 표면 온도는 5000 K보다 높다.

06 H-R도와 별의 물리량

주계열성은 표면 온도가 높을수록 반지름과 광도가 크다.

○. A와 B는 광도가 같으므로 절대 등급도 같다.

✕. C가 주계열성이라면 광도가 태양의 $\frac{1}{10}$ 배이므로 표면 온도는 태양보다 낮아야 한다. 그러나 C의 표면 온도는 태양보다 높으므로 C는 주계열성이 아니다.

○. 별의 광도는 반지름의 제곱과 표면 온도의 네제곱의 곱에 비례한다. A는 D보다 광도가 10000배 큰데 A의 표면 온도는 D의

약 10배이므로 반지름이 D와 비슷하다. B는 광도가 A와 같지만 표면 온도가 D의 약 4.3배이므로 반지름이 A보다 크다. C는 A와 표면 온도는 같지만 광도가 A보다 작으므로 반지름이 A보다 작다. 따라서 A, B, C 중 반지름이 D와 가장 비슷한 별은 A이다.

07 태양의 진화에 따른 물리량 변화

태양이 주계열 단계에 머무르는 동안 표면 온도의 변화는 거의 없지만, 광도와 반지름은 커진다.

- ㉠ 태양은 중심핵에서 일어나는 수소 핵융합 반응으로 인해 중심핵의 수소 함량비(%)가 감소한다. 따라서 중심핵의 수소 함량비(%)는 태양의 나이가 40억 년일 때가 60억 년일 때보다 높다.
- ㉡ 태양의 나이가 50억 년~90억 년일 때 표면 온도는 비슷하게 유지된다. 표면 온도가 비슷할 때 광도는 반지름의 제곱에 비례하므로 광도의 증가율이 반지름의 증가율보다 커야 한다. 따라서 광도는 A, 반지름은 B이다.
- ㉢ 태양의 나이가 115억 년일 때 표면 온도는 낮아지고 반지름과 광도가 급격하게 커진다. 이는 태양 내부의 수소 껍질에서 수소 핵융합 반응이 일어나기 때문이다. 따라서 이 시기에 태양의 내부에서는 수소 핵융합 반응이 일어난다.

08 별의 광도

복사 에너지 세기 곡선과 파장 축이 이루는 면적은 별이 단위 시간당 방출하는 에너지이므로 광도에 해당한다.

- ㉠ 복사 에너지를 최대로 방출하는 파장은 A가 B보다 짧으므로 표면 온도는 A가 B보다 높다. 따라서 표면 온도가 높은 ㉠은 A이다.
- ㉡ A의 표면 온도는 B보다 2배 높으므로 A의 반지름이 B의 $\frac{1}{4}$ 배일 때 A와 B의 광도가 같지만, A의 반지름은 이보다 작으므로 광도는 A가 B보다 작다. 주계열성은 표면 온도가 높을수록 광도와 반지름이 큰데, A는 B보다 표면 온도가 높은데도 광도와 반지름이 작다. 따라서 A와 B가 모두 주계열성일 수는 없다.
- ㉢ 복사 에너지 세기 곡선과 파장 축이 이루는 면적은 광도에 해당한다. 광도는 A가 B보다 작으므로 면적은 S_1 이 S_2 보다 좁다.

09 원시별의 진화

원시별이 영년 주계열에 도달하는 데 걸리는 시간은 원시별의 질량이 클수록 짧다.

- ㉠ 원시별이 영년 주계열에 도달하는 동안 광도의 변화율은 B가 C보다 작다. 따라서 절대 등급 변화량은 B가 C보다 작다.
- ㉡ A는 영년 주계열에 도달했을 때 표면 온도가 가장 높고 광도도 가장 크므로 질량이 가장 크다. 질량이 클수록 영년 주계열에 도달하는 데 걸리는 시간이 짧으므로 A는 ㉠이다.
- ㉢ 영년 주계열에 도달하는 데 걸리는 시간은 ㉠이 ㉡보다 길다. 따라서 질량은 ㉠이 ㉡보다 작으므로 영년 주계열에 도달했을 때

표면 온도는 ㉠이 ㉡보다 낮다.

10 별의 에너지원

(가)는 수소 핵융합 반응 중 CNO 순환 반응에 해당하며, (나)에서 별의 질량은 A가 B보다 크다.

- ㉠ (가)는 CNO 순환 반응이며, 탄소, 질소, 산소는 핵융합 반응에서 촉매로 작용하므로 (가)로 인해 별 내부의 탄소, 질소, 산소의 함량은 변하지 않는다.
- ㉡ 단위 시간당 에너지 생성량은 질량이 커서 중심부의 온도가 더 높은 A가 B보다 많다.
- ㉢ CNO 순환 반응인 (가)는 온도가 높을수록 에너지 생성률이 높다. 따라서 별의 중심부에서 (가)에 의한 에너지 생성률은 중심부의 온도가 높은 A가 B보다 높다.

11 별의 진화

주계열성이 거성으로 진화하는 동안 반지름은 급격하게 커지며 표면 온도는 대체로 낮아진다.

- ㉠ (가)에서 이 별은 나이가 약 1억 8천만 년일 때까지 주계열성이다. 주계열성인 태양은 주계열 단계에 약 100억 년 동안 머무르며, 현재 나이가 약 46억 년이다. 주계열 단계에 머무르는 시간은 이 별이 태양보다 짧으므로 질량은 이 별이 태양보다 크다.
- ㉡ 이 별은 나이가 1억 년일 때 주계열성이고, 나이가 2억 년일 때 거성이다. 따라서 표면 온도는 이 별의 나이가 1억 년일 때가 2억 년일 때보다 높다.
- ㉢ (가)에서 ㉠ 시기는 별의 반지름이 급격하게 커졌다가 작아지기 시작하는 시기이므로, 이 시기는 H-R도에서 오른쪽 위로 이동하다가 왼쪽 아래로 이동하기 시작하는 시기여야 한다. 따라서 (가)에서 ㉠ 시기일 때 H-R도에서의 위치는 (나)의 ㉠보다 이전 시기에 해당한다.

12 별의 분광형과 광도 계급

분광형이 같을 때 광도 계급의 숫자가 작을수록 광도와 반지름이 크다.

- ㉠ 분광형이 같을 때 절대 등급이 작을수록 광도 계급의 숫자가 작아진다. 따라서 분광형이 G2형인 별 중 광도 계급의 숫자는 (나)가 (다)보다 작고, 분광형이 B1형인 별 중 광도 계급의 숫자는 (다)가 (가)보다 작아야 한다. 결국 광도 계급의 숫자는 (나)가 가장 작고 (가)가 가장 커야 하므로 (가)의 광도 계급은 VII이다.
- ㉡ (나)의 별은 광도 계급이 III인 거성이고, (다)의 별은 광도 계급이 V인 주계열성이다. 따라서 분광형이 같을 때 광도는 (나)의 별이 (다)의 별보다 크다.
- ㉢ (다)의 별은 주계열성이며, 주계열성은 표면 온도가 높을수록 절대 등급이 작다. 분광형이 G2형인 주계열성의 절대 등급이 +4.8등급이며, 분광형이 F5형인 주계열성은 이보다 표면 온도가 높고 절대 등급이 작으므로 ㉠은 +4.8보다 작다.

13 주계열성의 질량, 광도, 반지름 관계

주계열성은 질량이 클수록 광도와 반지름이 크다.

- ㉠ 자료에서 광도가 클수록 대체로 질량이 크며, 질량이 클수록 대체로 반지름이 크다.
- ✕ 반지름이 큰 주계열성일수록 질량이 크며, 질량이 클수록 대체로 주계열 단계에 머무르는 시간이 짧다.
- ㉡ 절대 등급이 -5.2 등급인 주계열성은 태양보다 절대 등급이 10 등급 작으므로 광도는 태양의 10^4 배이다. (가)에서 광도가 태양의 10^4 배인 주계열성은 질량이 태양 질량의 5 배 이상이며, (나)에서 질량이 태양 질량의 5 배 이상인 주계열성의 반지름은 태양 반지름의 3 배보다 크다.

14 별의 종류

광도가 클수록 H-R도에서 위쪽에 위치하며, 표면 온도가 높을수록 H-R도에서 왼쪽에 위치한다.

- ㉠ (가)는 태양보다 표면 온도가 높는데, 절대 등급은 $+10$ 등급이므로 (가)의 광도는 태양의 $\frac{1}{100}$ 배보다 작다. 따라서 (가)는 백색 왜성이다.
- ㉡ (나)는 표면 온도가 10000 K이며, 반지름이 태양의 100 배이므로 초거성이다. (다)는 중심부에서 수소 핵융합 반응이 일어나는 주계열성이다. 따라서 평균 밀도는 초거성인 (나)가 주계열성인 (다)보다 작다.
- ㉢ (라)의 광도는 태양의 100 배이다. (다)는 주계열성이고 분광형이 K0형이므로 태양보다 표면 온도가 낮고 광도가 작다. 따라서 광도는 (라)가 (다)의 100 배보다 크다.

15 주계열성의 내부 구조

주계열성은 질량이 클수록 주계열 단계에 머무르는 시간이 짧고 표면 온도가 높다. 따라서 별의 질량은 A가 B보다 크다.

- ㉠ 주계열 단계일 때 단위 시간당 에너지 생성량은 중심부 온도가 높을수록 많다. 중심부 온도는 질량이 큰 A가 B보다 높으므로 단위 시간당 에너지 생성량은 A가 B보다 많다.
- ✕ (나)는 별 내부에서 중심부가 아닌 바깥쪽에 대류 영역이 나타나므로, 질량이 태양 질량의 약 2 배보다 작은 별이다. 따라서 질량이 태양과 같은 B의 내부 구조이다.
- ㉡ 주계열성에서 수소의 총 질량은 수소 핵융합 반응으로 인해 감소한다. 따라서 B에서 수소의 총 질량은 T_1 일 때가 T_2 일 때보다 크다.

16 별의 진화

광도는 (가)일 때 가장 크고, 표면 온도는 (다)일 때 가장 높다. 주계열성이 적색 거성 단계를 거쳐 백색 왜성으로 진화할 때 광도는 커졌다가 작아지며, 표면 온도는 낮아졌다가 높아진다. 따라서 (가)는 적색 거성, (나)는 주계열성, (다)는 백색 왜성 단계에 해당

한다.

- ㉠ (가)는 적색 거성 단계, (나)는 주계열 단계이므로 평균 밀도는 (가)일 때가 (나)일 때보다 작다.
- ㉡ 반지름은 주계열성인 (나)일 때가 백색 왜성인 (다)일 때보다 크다.
- ㉢ 주계열성일 때 광도는 태양의 100 배보다 크며 표면 온도는 12000 K보다 높다. 따라서 이 별이 주계열성일 때의 질량은 태양보다 크다.

17 별의 진화와 내부 구조

A는 주계열성에서 거성을 거쳐 백색 왜성으로 진화하고, B는 주계열성에서 초거성으로 진화한다.

- ㉠ 주계열성인 ㉠과 ㉡에서는 p-p 반응이 일어난다. 거성인 ㉢에서는 수소 껍질에서 p-p 반응이 일어날 수 있다. 초거성인 ㉣에서는 별 내부 중 바깥쪽 부근 수소층에서 p-p 반응이 일어날 수 있다. 따라서 ㉠, ㉡, ㉢, ㉣은 별 내부에서 p-p 반응이 일어날 수 있다.
- ✕ ㉠은 백색 왜성으로 진화했으므로 질량이 태양과 같다. 질량이 태양과 같은 별은 별 내부 중 바깥쪽 부근에서 대류가 일어난다. ㉡은 초거성으로 진화했으므로 질량이 매우 크며 별 중심부에 대류핵이 존재한다. 따라서 별 내부에서 대류가 일어나는 영역의 평균 온도는 ㉠이 ㉡보다 낮다.
- ✕ (나)에는 중심부에 철로 이루어진 핵이 존재한다. 이러한 구조는 초거성 단계인 ㉣에서 나타난다. ㉣은 주계열성이므로 중심부에서 수소 핵융합 반응이 일어나며 헬륨이 만들어지고 있다.

18 별의 진화와 내부 구조

별의 중심부에서 수소 핵융합 반응과 헬륨 핵융합 반응이 동시에 일어나는 시기는 거성 단계일 때이다.

- ㉠ (가)에서 중심부가 수축하므로 중력 수축 에너지에 의해 온도가 높아지며, 외곽은 팽창하면서 표면 온도가 낮아진다.
- ㉡ (나)는 거성 단계일 때이므로 (나)일 때 반지름은 주계열성일 때보다 크다.
- ✕ (나)에서 ㉠은 헬륨 핵융합 반응이 일어나는 영역이다. 따라서 ㉠에서는 시간이 지남에 따라 헬륨 함량비(%)가 낮아진다.

19 별의 내부 구조와 핵융합 반응

질량이 태양 질량의 약 2 배보다 큰 주계열성은 대류핵 주변을 복사층이 둘러싸고 있으며, 대류로 인해 대류핵에서는 별의 중심으로부터의 거리에 따른 수소 질량비(%)의 변화가 거의 나타나지 않는다.

- ㉠ (가)는 중심으로부터 멀어질수록 수소 질량비(%)가 높아지므로 중심핵에서 대류가 일어나지 않는다. 따라서 (가)의 질량은 태양과 같고 (나)의 질량은 태양의 5 배이므로, 질량은 (가)가 (나)보다 작다.

✕. (가)는 질량이 태양과 같으며, 질량이 태양과 같은 주계열성의 중심핵에서는 p-p 반응이 CNO 순환 반응보다 우세하게 일어난다.

✕. (나)의 질량은 태양 질량의 5배이므로, 대류핵 주변을 복사층이 둘러싸고 있다. 따라서 (나)의 표면 부근에서 에너지 전달 방식은 복사가 대류보다 우세하다.

20 별의 질량과 진화

중심핵 질량이 태양 질량의 약 3배 이상인 별은 블랙홀로 진화한다.

㉠. A는 중심핵 질량이 태양 질량의 약 3배 이상인 별의 최종 진화 단계에 해당하므로 블랙홀이다.

✕. 별의 질량은 B가 C보다 크며, 주계열 단계에 머무르는 시간은 별의 질량이 클수록 짧다. 따라서 주계열 단계에 머물렀던 시간은 B가 C보다 짧다.

㉡. 행성상 성운은 거성 단계 이후 별의 바깥층 물질이 우주 공간으로 방출되어 생성되며, 중심부의 물질은 더욱 수축하여 백색 왜성이 되므로, 그림의 행성상 성운 내부에서 관측되는 별은 백색 왜성인 C이다.

21 별의 물리량과 특징

주계열성은 질량이 클수록 주계열 단계에 머무르는 시간이 짧고, 질량이 매우 큰 주계열성은 초거성으로 진화한 후 초신성 폭발을 일으킨다.

✕. 이 별의 반지름은 태양의 약 700배이므로, 만약 표면 온도가 태양과 같다면 광도는 태양의 약 490000배여야 한다. 그러나 이 별의 광도(태양의 약 126000배)는 이보다 작으므로 표면 온도는 태양보다 낮다. 따라서 이 별은 파란색 별이 아니다.

㉠. 이 별은 광도가 태양의 10^6 배보다 크므로 초거성이며, 초거성일 때의 나이가 1천만 년이 되지 않았으므로 주계열 단계에 머무르는 시간은 이보다 짧다. 따라서 주계열 단계에 약 100억 년을 머무르는 태양보다 질량이 크다.

✕. 철보다 무거운 원소는 초신성 폭발 과정에서 만들어진다. 이 별은 아직 초신성 폭발이 일어나지 않았으므로 현재 핵은 철보다 무거운 원소들로 이루어져 있지 않다.

22 별의 진화와 내부 구조

주계열성이 거성으로 진화하는 과정에서 헬륨핵 주변에서 수소 껍질 연소가 일어나고, 헬륨핵에서는 헬륨 핵융합 반응이 일어나 중심부에 탄소핵이 만들어진다.

㉠. (가)일 때는 (나)일 때보다 별의 광도가 크지만 표면 온도는 낮으므로 별의 반지름은 (가)일 때가 (나)일 때보다 크다. 따라서 $R_{(가)}$ 는 $R_{(나)}$ 보다 크다.

✕. (가)일 때 헬륨 핵융합 반응은 중심부에 더 가까워 온도가 높으므로 ㉡가 ㉠보다 활발하게 일어난다.

✕. $R_{(가)} = 11R_{(나)}$ 이므로 (가)일 때 별의 중심으로부터 수소 껍질 연

소가 일어나는 바깥쪽 경계까지의 거리는 $0.0056R_{(가)} = 0.0616R_{(나)}$ 이고, (나)일 때 별의 중심으로부터 수소 껍질 연소가 일어나는 바깥쪽 경계까지의 거리는 $0.12R_{(나)}$ 이다. 따라서 별의 중심으로부터 수소 껍질 연소가 일어나는 바깥쪽 경계까지의 거리는 (가)일 때가 (나)일 때보다 가깝다.

23 별의 에너지원

별 내부에서 핵융합 반응으로 생성되는 원소가 무거울수록 핵융합 반응이 일어나는 온도가 높다.

✕. A는 핵융합 반응이 일어나는 영역의 온도가 가장 높으므로 수소 핵융합 반응이다.

㉡. B는 별 내부에서 핵융합 반응이 진행되는 시간이 가장 길고, 핵융합 반응이 일어나는 영역의 온도가 가장 낮으므로 수소 핵융합 반응이며, C는 탄소 핵융합 반응이다. 따라서 별의 진화 과정에서 수소 핵융합 반응인 B는 탄소 핵융합 반응인 C보다 먼저 일어난다.

㉢. 질량이 매우 큰 주계열성의 경우 주계열성일 때 중심부에서 수소 핵융합 반응인 B가 일어나며, 주계열 단계를 벗어난 이후 중심부에서 탄소 핵융합 반응인 C와 수소 핵융합 반응인 A가 차례로 일어날 수 있다.

24 주계열성과 수소 핵융합 반응

㉠은 중심부 온도가 낮을 때 우세하게 일어나는 p-p 반응이고, ㉡은 중심부 온도가 높을 때 우세하게 일어나는 CNO 순환 반응이다.

✕. 주계열성일 때 핵융합 반응이 일어나는 영역에서, 별의 중심으로부터의 거리에 따른 수소 함량비(%)가 대체로 일정한 별은 중심부에 대류핵이 발달한 경우이다. 따라서 이 별은 질량이 태양 질량의 약 2배보다 크므로 ㉠이 ㉡보다 우세하다.

㉡. ㉠과 ㉡에 의한 에너지 생성률은 모두 온도가 높을수록 증가한다. B가 주계열 단계에 도달한 시점부터 현재까지 중심부 온도가 계속 높아졌으므로 ㉠과 ㉡에 의한 에너지 생성률은 모두 증가한다.

✕. 중심부 온도에 따른 상대적인 에너지 생성률은 B의 나이가 20억 년일 때는 ㉠이 ㉡보다 높고, B의 나이가 80억 년일 때는 ㉠이 ㉡보다 낮다. 따라서 $\frac{\text{CNO 순환 반응에 의한 에너지 생성률}}{\text{p-p 반응에 의한 에너지 생성률}}$ 은 B의 나이가 20억 년일 때가 80억 년일 때보다 작다.

09 외계 행성계와 외계 생명체 탐사

수능 **2점** 테스트

본문 178~179쪽

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

01 외계 행성계 탐사 방법

(가)는 중심별의 시선 속도 변화를 이용하는 방법, (나)는 직접 관측하는 방법이다.

㉠. (가)에서 행성의 질량이 클수록 공통 질량 중심이 행성 쪽으로 이동하므로, 공통 질량 중심을 중심으로 공전하는 별의 공전 궤도 반지름이 커져 별의 시선 속도 변화가 커진다.

㉡. 행성이 방출하는 에너지는 대부분 적외선 영역에 해당하므로 행성을 직접 관측할 때는 주로 적외선 영역에서 촬영한다.

㉢. 행성의 공전 궤도면이 시선 방향과 수직일 때, (가)의 경우는 별의 시선 속도가 언제나 0이므로 행성의 존재를 확인하기 어렵지만, (나)의 경우는 직접 관측하는 방법이므로 행성의 존재를 확인할 수 있다.

02 시선 속도 변화를 이용한 외계 행성계 탐사

별과 행성이 공통 질량 중심을 중심으로 같은 주기로 공전하므로, 공통 질량 중심을 기준으로 별과 행성은 서로 반대 방향에 위치한다.

㉠. T_2 에 별의 시선 속도는 (-) 값이므로, 별은 지구에 가까워지고 있다. 따라서 A는 지구로부터 멀어지고 있다.

㉡. 행성에 의한 식 현상은 지구와 행성이 가장 가까울 때(=별이 지구에서 가장 멀 때) 일어나며, 이때 별의 시선 속도는 0으로 (+) 값에서 (-) 값으로 바뀌는 시기이다. 따라서 $T_1 \sim T_4$ 중, A에 의한 식 현상은 T_1 무렵에 일어난다.

㉢. 별의 시선 속도 최댓값은 행성의 공전 궤도면이 관측자의 시선 방향과 나란할 때 나타나며, 행성의 공전 궤도면이 관측자의 시선 방향과 수직일 때는 별의 시선 속도 변화가 나타나지 않는다. 따라서 A의 공전 궤도면이 관측자의 시선 방향과 이루는 각이 클수록 a가 작아진다.

03 외계 행성계 탐사 방법

(가)는 식 현상, (나)는 미세 중력 렌즈 현상에 의한 별의 겉보기 밝기 변화이다.

㉠. (가)는 중심별 주위를 공전하는 행성이 중심별의 앞면을 지날 때 중심별의 일부가 가려지면서 나타나는 중심별의 밝기 변화를 나타낸 것으로, 이를 이용하여 행성의 존재를 확인할 수 있다. 반

면 (나)는 거리가 다른 두 개의 별이 같은 시선 방향에 있을 경우 뒤쪽 별의 별빛이 앞쪽 별 및 행성의 중력에 의해 미세하게 굴절되어 휘어지면서 나타나는 뒤쪽 별의 밝기 변화를 나타낸 것이다. 이를 이용하여 앞쪽 별을 공전하는 행성의 존재를 확인할 수 있다. 즉, (나)는 행성을 가진 중심별의 겉보기 밝기 변화를 관측하지는 않는다.

㉡. 식 현상을 이용한 외계 행성계 탐사 방법의 경우, 행성의 반지름이 클수록 행성에 의한 식 현상으로 나타나는 중심별의 밝기 변화량(a)이 크다.

㉢. b는 앞쪽 별을 공전하는 행성의 중력에 의해 나타난다. 행성의 질량이 클수록 중력이 크고, 뒤쪽 별의 별빛은 더 크게 휘어지면서 밝기 변화가 더 크게 나타난다.

04 미세 중력 렌즈 현상을 이용한 외계 행성계 탐사

거리가 다른 두 별이 같은 시선 방향에 있을 경우 뒤쪽 별의 별빛이 앞쪽 별 및 행성의 중력에 의해 미세하게 굴절되어 휘어지면서 뒤쪽 별의 밝기가 변하는데, 이를 이용하여 앞쪽 별을 공전하는 행성의 존재를 확인한다.

㉠. ㉠ 시기는 A와 B, 관측자가 일직선상에 있을 때이다. 따라서 ㉠ 시기에 B-관측자-A의 사잇각은 0° 이므로, B-관측자-a의 사잇각보다 작다.

㉡. ㉡ 시기 무렵, B와 a는 관측자와 일직선상에 위치한다. 이때 행성은 관측자에게 접근하고 있으므로, A는 관측자로부터 멀어지고 있다. 즉, ㉡ 시기에 A의 스펙트럼에서는 적색 편이가 나타난다.

㉢. 행성의 공전 궤도면이 관측자의 시선 방향과 수직일 때도 행성에 의한 미세 중력 렌즈 현상이 일어나므로, 이 방법을 행성의 존재를 확인하는 데 사용할 수 있다.

05 생명 가능 지대

생명 가능 지대는 별의 주위에서 물이 액체 상태로 존재할 수 있는 거리의 범위이다.

㉠. 중심별이 주계열성일 때, 중심별의 질량이 클수록 광도가 크므로 생명 가능 지대의 폭이 넓어진다.

㉡. 중심별이 주계열성일 때, 중심별의 질량이 클수록 광도가 크므로 중심별에서 생명 가능 지대까지의 거리는 멀어진다.

㉢. 중심별이 주계열성일 때, 중심별의 질량이 클수록 중심부 온도가 높아 진화 속도가 빠르고, 생명 가능 지대의 변화 속도가 빠르다. 따라서 중심별의 질량이 클수록 생명 가능 지대 폭의 변화 속도는 빨라진다.

06 생명 가능 지대

별의 절대 등급이 작을수록 광도가 크므로 광도는 (가) < (나) < (다)이다.

㉠. 중심별에서 생명 가능 지대까지의 거리는 중심별의 광도가 클

수능 3점 테스트

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

수록 멀어진다. 따라서 중심별에서 생명 가능 지대까지의 거리는 광도가 큰 (나)가 광도가 작은 (가)보다 멀다.

✕. 생명 가능 지대의 폭은 별의 광도가 클수록 넓으므로, 광도가 큰 (다)가 광도가 작은 (나)보다 넓다.

㉠. 현재 생명 가능 지대에 있는 행성에서 물이 액체 상태로 존재할 수 있는 시간은 별의 진화 속도가 느릴수록 길다. 태양과 분광형 및 절대 등급이 거의 비슷한 (가)는 주계열성에 해당하고, (다)는 태양과 분광형은 같지만 태양보다 절대 등급이 작으므로 태양보다 질량이 큰 거성 또는 초거성에 해당한다. 주계열성은 일생의 약 90%를 보내는 안정적인 진화 단계이므로, 현재 생명 가능 지대에 있는 행성에서 물이 액체 상태로 존재할 수 있는 시간은 (가)가 (다)보다 길다.

07 별의 광도와 생명 가능 지대

중심별이 주계열성일 때, 중심별의 질량이 클수록 광도가 크고 표면 온도가 높으며, 진화 속도가 빨라 수명이 짧다.

㉠. 생명 가능 지대의 폭이 A가 B보다 좁으므로 중심별의 표면 온도는 A가 B보다 낮다.

㉡. 생명 가능 지대 안쪽 경계까지의 거리는 B가 C보다 짧으므로 중심별의 광도는 B가 C보다 작다. 따라서 중심별로부터 1 AU의 거리에서 단위 시간에 단위 면적당 받는 복사 에너지량은 B의 행성계가 C의 행성계보다 적다.

㉢. 세 별의 질량은 $A < B < C$ 이므로, C에서 생명 가능 지대의 폭은 B에서 생명 가능 지대의 폭인 0.54 AU보다 넓다. 따라서 C의 생명 가능 지대 범위는 중심별에서 1.7 AU ~ (1.7 AU + 0.54 AU 이상)의 거리이다. 즉, C에서 2.2 AU의 거리에 있는 행성은 생명 가능 지대에 속하므로 행성의 표면에는 물이 액체 상태로 존재할 수 있다.

08 생명체가 존재하기 위한 조건

행성에 생명체가 존재하기 위해서는 태양으로부터의 거리, 중심별의 질량, 행성의 대기 구성 성분 및 양 등이 적절해야 하며, 행성에 자기장이 형성되어 있어야 한다.

㉠. 행성에 생명체가 존재하기 위해서는 액체 상태의 물이 필수적이므로, 행성은 생명 가능 지대에 위치해야 한다.

✕. 중심별의 질량이 클수록 별의 중심부에서 연료 소모율이 커서 수명이 짧다. 별의 수명이 짧으면 행성에서 생명체가 탄생하여 진화할 시간이 부족하므로 생명체가 존재하기 어렵다.

✕. 행성에 자기장이 형성되어 있으면 우주에서 오는 고에너지 입자를 차단시켜 생명체가 존재하는 데 유리한 환경을 만들어준다. 자외선을 차단하는 것은 오존층이다.

01 시선 속도 변화를 이용한 외계 행성계 탐사

t_0 일 때 중심별의 청색 편이가 최대이고, $t_0 + T$ 일 때 흡수선의 파장 변화가 0이므로, T 기간 동안 중심별은 공전 궤도상에서 90° 공전하며, 공전 주기는 $4T$ 이다.

✕. (나)에서 t_0 에 중심별의 청색 편이가 최댓값을 나타내므로, 별은 관측자를 향해 접근하고 있다. 중심별과 행성은 공통 질량 중심을 기준으로 서로 반대 방향에 위치하므로 t_0 에 행성은 최대 시선 속도로 멀어지고 있는 위치, 즉 ㉠에 위치한다.

㉡. 행성의 공전 궤도면이 시선 방향과 나란하고, 중심별과 행성이 공통 질량 중심을 중심으로 공전할 때, 스펙트럼의 최대 편이량($\Delta\lambda_{\max}$)은 행성의 질량이 클수록 커진다.

✕. $t_0 + T$ 에 중심별의 시선 속도가 0이므로 지구와 중심별 사이의 거리는 가장 가깝고, $t_0 + \frac{3}{2}T$ 에 중심별은 $t_0 + T$ 의 위치에서 공전 궤도를 따라 45° 공전한 곳에 위치한다. 이때 시선 속도 절댓값은 t_0 의 시선 속도 절댓값의 $\frac{\sqrt{2}}{2}$ 배이다.

02 식 현상을 이용한 외계 행성계 탐사

중심별 주위를 공전하는 행성이 중심별의 앞쪽을 지날 때 중심별의 일부가 가려지는 식 현상이 일어나며, 중심별의 밝기 감소량은 $\frac{\text{행성의 반지름}^2}{\text{중심별의 반지름}^2}$ 에 비례한다.

㉠. 행성의 반지름이 같으므로, 식 현상이 일어나는 동안 A와 B의 밝기 감소량의 차이는 중심별의 반지름에 의해 나타난다. 최대 밝기 감소량이 A가 0.006, B가 0.002로 A가 B의 3배이

므로, $\frac{A \text{의 밝기 감소량}}{B \text{의 밝기 감소량}} = \frac{a \text{의 반지름}^2}{b \text{의 반지름}^2}$ 이다. 즉, $\frac{0.006}{0.002} = \frac{A \text{의 반지름}^2}{B \text{의 반지름}^2}$

$\frac{B \text{의 반지름}^2}{A \text{의 반지름}^2} \cdot \frac{B \text{의 반지름}}{A \text{의 반지름}} = \sqrt{3}$ 이므로 중심별의 반지름은 B가 A의 $\sqrt{3}$ 배이다.

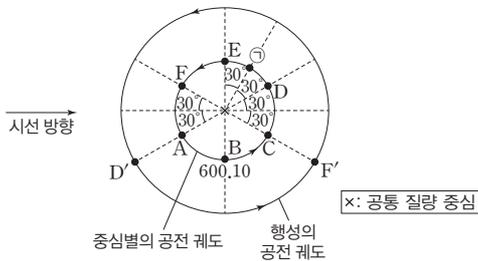
✕. 별의 광도(L)는 반지름(R)의 제곱과 표면 온도(T)의 네제곱의 곱에 비례한다($L = 4\pi R^2 \cdot \sigma T^4$ ($\sigma = 5.670 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$)). 별 A와 B의 반지름을 각각 R_A, R_B , 표면 온도를 각각 T_A, T_B 라고 할 때, 두 별의 광도가 같고 반지름은 B가 A의 $\sqrt{3}$ 배이므로 $R_A^2 \cdot T_A^4 = R_B^2 \cdot T_B^4$, $T_A^4 = (\sqrt{3})^2 \cdot T_B^4$, $T_A = \sqrt[4]{3} T_B$ 이다. 즉, 중심별의 표면 온도는 A가 B의 $\sqrt[4]{3}$ 배이다.

✕. 행성에 의한 식 현상은 행성이 중심별의 앞쪽을 지날 때 일어나므로, 이때 행성은 지구에 가까워지다가 멀어진다. 중심별과 행

성은 공통 질량 중심을 기준으로 서로 반대 방향에 위치하므로 식 현상이 일어날 무렵 중심별은 지구에서 멀어지다가 가까워진다. 따라서 중심별의 스펙트럼에서 관측한 어느 흡수선의 파장은 식 현상이 시작되기 직전에는 적색 편이, 식 현상이 끝난 직후에는 청색 편이가 나타나므로, 파장은 식 현상이 시작되기 직전이 식 현상이 끝난 직후보다 길다.

03 시선 속도 변화를 이용한 외계 행성계 탐사

중심별과 행성이 공통 질량 중심을 중심으로 공전할 때, 중심별의 시선 속도 변화가 나타난다. 기준 파장(λ_0)이 600 nm인 흡수선의 최대 편이량이 0.1 nm이므로, $t_0 + 2T$ 는 아래 그림에서 E 위치에 해당한다. 그림의 A~F 위치에서 기준 파장이 λ_0 인 흡수선의 관측 파장은 표와 같다.



위치	관측 파장(nm)
A($t_0 + 4T$)	600.05
B($t_0 + 5T$)	600.10
C(t_0)	600.05
D($t_0 + T$)	599.95
E($t_0 + 2T$)	599.90
F($t_0 + 3T$)	599.95

기준 파장이 λ_0 인 흡수선의 관측 파장이 t_0 의 관측 파장인 600.05 nm 이기 위한 위치는 A 또는 C이다. 만약 t_0 의 위치가 A 라면 $t_0 + 2T$ 일 때 E의 위치에 있어야 하므로 1T 동안 회전한 각도는 120° 이며, $t_0 + T$ 일 때는 C의 위치에 있어야 하므로 제시된 관측 파장 자료와 일치하지 않는다. 따라서 t_0 일 때, 중심별의 위치는 C이고 1T 동안 회전한 각도는 60° 이며, $t_0 + T$ 에는 D, $t_0 + 2T$ 에는 E, $t_0 + 3T$ 에는 F에 위치한다.

- ㉠ 1T 동안 중심별이 60° 공전하므로, 중심별과 행성의 공전 주기는 6T이다.
- ㉡ 공통 질량 중심을 기준으로 중심별과 행성은 서로 반대 방향에 위치한다. $t_0 + 3T$ 에 중심별은 F 위치에, $t_0 + T$ 에 중심별은 D 위치에 있으므로, 행성은 각각 F'과 D'에 위치한다. 따라서 행성과 지구 사이의 거리는 $t_0 + 3T$ 가 $t_0 + T$ 보다 멀다.
- ㉢ $t_0 + \frac{3}{2}T$ 일 때, 중심별은 D의 위치에서 30° 만큼 이동한 ㉣에

위치하며, 기준 파장이 λ_0 인 흡수선은 $\frac{\sqrt{3}}{2} \times 0.1$ nm의 파장 변화량을 보인다. 따라서 기준 파장이 $2\lambda_0$ 인 흡수선의 파장 변화량은 $\frac{\sqrt{3}}{2} \times 0.2$ nm이므로, 약 0.17 nm로 0.15 nm보다 길다.

04 식 현상을 이용한 외계 행성계 탐사

행성이 별의 앞쪽을 지날 때 별의 밝기가 감소하며, 일반적으로 별의 밝기 감소량은 행성의 반지름이 클수록 크다.

- ㉠ 식 현상이 일어날 때, A의 밝기 감소량 $0.0004 = \frac{a \text{의 반지름}^2}{A \text{의 반지름}^2}$ 이다. 따라서 반지름은 A가 a의 50배이다.
- ㉡ 반지름이 r_a 인 행성 a가 a의 지름에 해당하는 거리만큼 A 앞을 지나갈 때 걸리는 시간은 2분이다. 즉, a의 공전 속도가 30 km/s이므로 $30 \text{ km/s} = \frac{2r_a}{120 \text{ s}}$ 이다. 또한 a가 A의 지름($2r_A$)에 해당하는 거리만큼 이동하는 데 걸리는 시간은 ㉠분이므로 $30 \text{ km/s} = \frac{2r_A}{\text{㉠} \times 60 \text{ s}}$ 의 관계를 만족한다. r_A 가 r_a 의 50배이므로, $\frac{2r_a}{120 \text{ s}} = \frac{2 \times 50r_a}{\text{㉠} \times 60 \text{ s}}$, ㉠은 100이다.
- ㉢ a가 30 km/s의 속도로 100분 동안 A의 지름($2r_A$)에 해당하는 거리를 지나가므로 $30 \text{ km/s} = \frac{2r_A}{100 \times 60 \text{ s}}$ 이고, r_A 는 90000 km이다.

05 시선 속도 변화를 이용한 외계 행성계 탐사

중심별과 행성이 공통 질량 중심을 중심으로 공전할 때, 행성의 질량이 클수록 공통 질량 중심은 중심별에서 멀어진다.

- ㉠ A와 B는 질량이 같고, a와 b의 공전 궤도 반지름은 동일하지만 b의 질량은 a의 2배이다. 이때 중심별의 시선 속도 최댓값은 행성의 질량이 클수록 크다. 즉, 중심별의 시선 속도 최댓값은 B가 A보다 크다.
- ㉡ c의 질량과 공전 궤도 반지름은 a의 2배이므로, 중심별과 공통 질량 중심 사이의 거리는 행성의 공전 궤도 반지름과 질량이 모두 큰 C가 A보다 멀다.
- ㉢ c와 b의 질량은 같고, 공전 궤도 반지름은 c가 b의 2배이므로, 행성의 공전 속도는 공전 궤도 반지름이 작은 b가 c보다 빠르다. 따라서 중심별의 스펙트럼에서 기준 파장이 λ_0 인 흡수선의 적색 편이량이 최댓값을 나타내는 주기는 행성의 공전 주기에 해당하므로, B가 C보다 짧다.

06 생명 가능 지대

P에서 중심별로부터 단위 시간에 단위 면적당 받는 복사 에너지 양(S)은 점점 증가하고 있다. 즉, 이 기간 동안 중심별의 광도는 커지고 있다.

㉠. P의 공전 궤도 반지름은 0.5 AU이며, P는 중심별의 나이가 약 50억 년일 때부터 생명 가능 지대에 위치하였다. 태양의 생명 가능 지대는 1 AU 부근이므로, P의 중심별의 광도는 태양보다 작다.

㉡. 중심별의 광도는 A 시기가 B 시기보다 작다. 중심별의 광도가 클수록 생명 가능 지대의 폭이 넓으므로, 생명 가능 지대의 폭은 A 시기가 B 시기보다 좁다.

㉢. P는 중심별의 나이가 약 50억 년일 때 생명 가능 지대에 위치하기 시작했다. 중심별의 나이가 10억 년일 때 P에서 단위 시간에 단위 면적당 받는 복사 에너지량은 중심별의 나이가 약 50억 년일 때보다 작으므로 P의 표면 온도는 더 낮았다. 따라서 중심별의 나이가 10억 년일 때, P에는 물이 고체 상태로 존재할 수 있다.

07 생명 가능 지대

생명 가능 지대는 중심별의 광도가 클수록 중심별에서 멀어진다.

㉠. 시간이 경과함에 따라 생명 가능 지대는 중심별에 점점 가까워지고 있다. 따라서 이 기간 동안 중심별의 광도는 점점 작아진다.

㉡. 중심별의 나이가 10^7 년일 때, A는 생명 가능 지대보다 중심별로부터의 거리가 가깝다. 따라서 A에서 물은 기체 상태로 존재한다.

㉢. 이 기간 동안 생명 가능 지대의 평균 거리는 약 0.38 AU ~ 0.07 AU로 태양계의 생명 가능 지대보다 중심별에서 가깝다. 따라서 중심별의 광도는 태양보다 작고, 중심별의 질량도 태양보다 작다.

08 중심별의 진화에 따른 생명 가능 지대의 변화

별이 진화함에 따라 광도가 변하고, 이에 따라 생명 가능 지대의 위치와 폭이 변한다.

㉠. 생명 가능 지대의 폭은 중심별의 광도가 클수록 넓다. A 기간은 B 기간보다 중심별의 평균 광도가 작으므로, 생명 가능 지대 폭의 평균은 A 기간이 B 기간보다 좁다.

㉡. A 기간에는 약 100억 년 동안 광도가 태양 광도의 10배보다 작게 변했지만, B 기간에는 약 10억 년 동안 광도가 태양 광도의 10배 이상 변했으므로, 광도 변화는 A 기간이 B 기간보다 작다. 따라서 생명 가능 지대 폭 값의 변화 속도는 A 기간이 B 기간보다 느리다.

㉢. 생명 가능 지대는 중심별의 광도가 클수록 중심별에서 멀어진다. 광도의 평균값은 A 기간이 B 기간보다 작으므로 중심별에서 생명 가능 지대까지의 평균 거리는 A 기간이 B 기간보다 가깝다.

10 외부 은하와 우주 팽창

수능 2점 테스트

본문 194~198쪽

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

01 허블의 은하 분류

(가)는 타원 은하, (나)는 정상 나선 은하, (다)는 막대 나선 은하, (라)는 불규칙 은하이다.

㉠. 타원 은하는 타원의 납작한 정도에 따라 E0~E7로 세분한다.

㉡. 나선 은하는 은하핵을 가로지르는 막대 모양 구조의 유무에 따라 정상 나선 은하 (나)와 막대 나선 은하 (다)로 구분한다.

㉢. 타원 은하 (가)는 주로 붉은색 별로 구성되어 있으므로 평균 색지수가 크고, 불규칙 은하 (라)는 주로 파란색 별로 구성되어 있으므로 타원 은하에 비해 평균 색지수가 작다.

02 타원 은하와 불규칙 은하

타원 은하는 성간 물질의 양이 적고 늙은 별이 주로 분포하며, 불규칙 은하는 성간 물질의 양이 많고 젊은 별이 많이 분포한다.

㉠. (가)는 (나)보다 성간 물질의 함량(%)이 적으므로 (가)는 타원 은하, (나)는 불규칙 은하에 해당한다.

㉡. 물리량 X는 타원 은하인 (가)에 비해 불규칙 은하인 (나)가 큰 값을 가진다. '구성하는 별의 평균 연령'은 타원 은하가 불규칙 은하보다 많으므로 X에 해당하지 않는다.

㉢. 타원 은하인 (가)는 불규칙 은하인 (나)에 비해 늙은 별과 표면 온도가 낮은 붉은색 별의 비율이 높다. 또한 주계열성 중에서 질량이 작고 진화 속도가 느린 별은 주계열 단계에 오래 머무른다. 따라서 은하를 구성하는 주계열성 중에서 분광형이 M형인 붉은색 별의 비율(%)은 (가)가 (나)보다 높다.

03 나선 은하와 불규칙 은하

중심부에 막대 구조가 있는 (가)는 막대 나선 은하이고, 규칙적인 구조를 보이지 않는 (나)는 불규칙 은하이다.

㉠. 나선 은하의 나선팔에는 젊은 별들과 성간 물질이 주로 분포하고, 중앙 팽대부와 헤일로에는 늙은 별들이 주로 분포하며 성간 물질이 거의 없다.

㉡. 새로운 별의 탄생은 막대 나선 은하보다 성간 물질이 풍부한 불규칙 은하에서 더 활발하게 일어난다. 따라서 새로운 별의 탄생은 (나)가 (가)보다 활발하다.

㉔ (가)의 중앙 팽대부에는 질량이 작고 붉은색의 주계열성이, 나선팔에는 질량이 크고 파란색의 주계열성이 주로 분포하며, (나)는 전체적으로 파란색의 주계열성이 많이 분포한다. 주계열성의 질량은 파란색 별이 붉은색 별보다 크므로, 은하를 구성하는 주계열성의 평균 질량은 (가)가 (나)보다 작다.

04 전파 은하

전파 은하는 중심부에 질량이 매우 큰 블랙홀이 있으며, 이 주변에서 고속으로 움직이는 전자와 강한 자기장으로 인해 강한 전파 복사가 방출된다.

✕ 제트와 로브는 전파 영역에서 잘 나타난다. 가시광선 영역에서 전파 은하는 주로 타원 은하로 관측된다.

✕ ㉑은 제트로, 중심핵에서 로브로 이어지는 강한 물질의 흐름이다. 암흑 물질은 전자기파로 관측되지 않는 물질이다.

㉒ ㉓은 로브로, 중심핵을 기준으로 은하 양쪽에 대칭적으로 위치하는 거대한 타원체 구조이며 강한 전파가 방출된다.

05 특이 은하

퀘이사는 매우 먼 거리에 위치하지만 광도가 매우 커서 별처럼 점으로 관측되는 특이 은하이다. (가)와 (나) 중 적색 편이가 매우 큰 (가)가 퀘이사이고, (나)는 세이퍼트 은하이다. 두 스펙트럼에서 폭이 넓은 방출선이 관측된다.

㉑ 은하까지의 거리는 적색 편이가 큰 (가)가 (나)보다 멀다.

✕ (가)의 퀘이사는 매우 먼 거리에 있어서 별처럼 점으로 관측되며, (나)의 세이퍼트 은하는 주로 나선 은하로 관측된다. 따라서 시지름은 (가)가 (나)보다 작다.

㉒ 퀘이사가 매우 먼 거리에 있음에도 불구하고 관측되는 것은 방출하는 에너지가 매우 많기 때문이다. 퀘이사는 일반적인 은하의 수백 배나 되는 에너지를 태양계 정도의 좁은 영역에서 방출한다. 따라서 단위 시간당 방출하는 복사 에너지량은 (가)가 (나)보다 많다.

06 특이 은하

특이 은하는 일반적인 은하에 비해 가시광선 이외의 파장 영역에서도 강한 에너지를 방출할 뿐만 아니라 밝기가 시간에 따라 변하는 등 일반적인 은하와는 다른 특징을 보인다. 또한 퀘이사는 특이 은하 중에서도 특히 더 많은 에너지를 방출한다. 따라서 A는 퀘이사, B는 세이퍼트 은하, C는 일반적인 은하이다.

㉑ 퀘이사는 적색 편이가 매우 크게 나타나는데, 이는 매우 먼 거리에 있다는 것을 의미한다. 따라서 은하까지의 거리는 A가 C보다 멀다.

㉒ 퀘이사와 세이퍼트 은하 모두 일반적인 은하에 비해 중심부의 밝기가 상대적으로 매우 밝다. 특히 퀘이사는 일반적인 은하의 수백 배에 해당하는 에너지를 태양계 정도의 좁은 영역에서 방출하

며, 세이퍼트 은하보다 은하 중심부에서 방출하는 에너지의 양이 매우 많다. 즉, $\frac{\text{은하 중심부에서 방출하는 에너지}}{\text{은하 전체에서 방출하는 에너지}}$ 는 A가 B보다 크다.

㉓ 일반적인 은하는 주로 가시광선 영역에서 복사 에너지를 방출하지만 특이 은하는 일반적인 은하에 비해 다양한 파장 영역에서 복사 에너지를 강하게 방출한다. 따라서 전파 영역에서 단위 시간당 방출하는 복사 에너지의 세기는 B가 C보다 강하다.

07 충돌 은하

서로 가까이 있는 은하들 사이에는 큰 인력이 작용하여 충돌하기도 하는데 이를 충돌 은하라고 한다.

㉑ 현재 안드로메다 은하와 우리 은하는 점점 가까워지고 있다. 따라서 안드로메다 은하의 시선 속도는 (-) 값으로 관측된다.

㉒ 은하들이 충돌할 때 은하 내의 성운들이 충돌하게 되지만, 별들끼리 충돌하는 경우는 거의 없다. 따라서 두 은하의 충돌 과정에서 성운이 충돌하는 빈도가 별이 충돌하는 빈도보다 높을 것이다.

㉓ 은하들이 충돌하는 과정에서 거대한 분자운이 충돌하며 매우 큰 충격이 발생하면서 급격히 기체가 압축되어 많은 별들이 탄생한다. 따라서 새로운 별의 탄생은 두 은하의 충돌 전보다 충돌 과정에서 활발하게 일어날 것이다.

08 허블 법칙

허블은 거리가 알려진 외부 은하들의 적색 편이를 측정하여 은하들의 후퇴 속도(v)가 거리(r)에 비례한다는 허블 법칙($v = H \cdot r$ (H : 허블 상수))을 발표하였다. 은하까지의 거리와 후퇴 속도 그래프에서 기울기는 허블 상수에 해당하므로, (가)는 (나)보다 허블 상수가 크다.

✕ 외부 은하의 후퇴 속도(v)와 적색 편이량(z) 사이에는 $z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{v}{c}$ (λ_0 : 기준 파장, $\Delta\lambda$: 파장 변화량, c : 빛의 속도)의

관계가 성립하고, $v = H \cdot r$ 이므로 $z = \frac{H \cdot r}{c}$ 이다. 따라서 거리가 100 Mpc인 은하의 적색 편이량은 허블 상수가 큰 (가)가 (나)보다 크다.

㉑ 우주의 나이는 허블 상수의 역수($\frac{1}{H}$)로 구할 수 있으므로, 우주의 나이는 허블 상수가 작은 (나)가 (가)보다 많다.

㉒ 관측 가능한 우주의 크기는 $\frac{c}{H}$ (c : 빛의 속도)로 나타내며, 허블 상수가 작을수록 우주의 크기가 크게 계산된다. 따라서 관측 가능한 우주의 크기는 허블 상수가 작은 (나)가 (가)보다 크다.

09 허블 법칙

허블 법칙을 만족하면 은하의 후퇴 속도(v)는 은하의 거리(r)에 비례한다.

㉠. A와 B 사이의 거리는 60 Mpc이고, B에서 관측한 A의 후퇴 속도는 4200 km/s이므로 허블 법칙($v=H \cdot r$ (H : 허블 상수))에 따라 $4200 \text{ km/s} = H \cdot 60 \text{ Mpc}$ 이므로 허블 상수 H 는 70 km/s/Mpc 이다.

㉡. 우리은하에서 관측한 A의 후퇴 속도가 1400 km/s, B의 후퇴 속도가 2800 km/s이므로 우리은하에서 A까지의 거리는 20 Mpc, B까지의 거리는 40 Mpc으로 B가 A의 2배이다.

㉢. 우리은하에서 A까지의 거리는 20 Mpc, B까지의 거리는 40 Mpc이고, A와 B 사이의 거리가 60 Mpc이므로 우리은하, A, B는 일직선상에 위치하며, A와 B는 우리은하를 기준으로 반대 방향에 위치한다.

10 정상 우주론과 빅뱅 우주론

빅뱅 우주론은 온도가 높고 밀도가 큰 한 점에서 대폭발에 의해 팽창하면서 현재와 같은 우주가 생성되었다는 이론이며, 정상 우주론은 우주는 시간과 공간에 관계없이 항상 변하지 않는다는 이론으로 우주가 팽창하면서 생겨난 빈 공간에 새로운 물질이 계속 생성된다. 따라서 (가)는 빅뱅 우주론, (나)는 정상 우주론이다.

㉠. (가)에서는 공간이 팽창하더라도 팽창한 빈 공간에 새로운 물질이 생성되지 않으므로 우주의 질량은 일정하게 유지된다.

㉡. (나)에서는 우주의 팽창으로 생긴 빈 공간에 새로운 물질이 생성되면서 우주의 밀도가 일정하게 유지된다. 따라서 (나)에서 우주의 온도는 항상 일정하게 유지된다.

㉢. 우주에서 수소와 헬륨의 질량비가 약 3 : 1인 관측 사실은 빅뱅 우주론, 즉 (가)의 증거가 된다.

11 우주 배경 복사

빅뱅 후 약 38만 년이 지났을 때 원자핵과 전자가 결합하여 중성 원자가 만들어졌다. 이후 빛이 물질의 방해를 받지 않고 우주를 자유롭게 진행할 수 있었다.

㉠. (가) 시기에는 빛이 중성 원자의 영향을 받지 않고 자유롭게 진행하고 있지만, (나) 시기에는 아직 중성 원자가 생성되지 않았으며, 빛이 전기를 띤 입자들과 상호 작용하여 자유롭게 진행하지 못하고 있다. 즉, (가) 시기의 우주는 우주 배경 복사가 형성된 투명한 우주에 해당하며, (나) 시기의 우주는 아직 우주 배경 복사가 형성되지 않은 불투명한 우주에 해당한다. 따라서 (나) 시기가 (가) 시기보다 과거의 모습이므로, (가) 시기 우주의 나이는 38만 년이고, (나) 시기 우주의 나이는 10만 년이다.

㉡. 우주가 팽창할수록 우주의 온도는 낮아지므로 (가) 시기가 (나) 시기보다 낫다.

㉢. 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 관측된다.

12 우주 배경 복사의 관측

1960년대에 펜지어스와 윌슨이 최초로 관측한 이후 우주 배경 복사는 다양한 우주 망원경으로 더욱 정밀하게 관측되었다. 코비(COBE) 망원경은 우주 배경 복사의 미세한 불균일성을 찾기 위해 발사된 최초의 망원경이며, 더블유맵(WMAP) 망원경은 그 이후에 발사되었으며 초기 우주의 온도 분포를 코비 망원경보다 정밀하게 관측하였다.

㉠. 더블유맵 망원경은 코비 망원경보다 이후에 발사되었으므로 관측 기술의 발전에 따라 코비 망원경보다 해상도가 높은 정밀한 우주 배경 복사 관측 자료를 제공하였다. (가)와 (나) 중 해상도가 높은 (가)가 더블유맵 망원경의 관측 결과이고 해상도가 낮은 (나)가 코비 망원경의 관측 결과이므로, (나)는 (가)보다 먼저 관측한 것이다.

㉡. 우주 배경 복사는 약 2.7 K의 흑체 복사로 대부분 마이크로파(전파) 영역에 해당한다. 따라서 (가)와 (나)는 모두 전파 영역에서 관측한 것이다.

㉢. 코비 망원경과 더블유맵 망원경으로 관측한 우주 배경 복사의 분포는 우주 배경 복사가 방출될 당시, 즉 초기 우주의 온도 분포를 나타낸다. 관측 결과를 보면 초기 우주의 온도 분포는 거의 균일하지만 미세한 온도 불균일이 관측되는데, 이와 같은 미세한 온도 불균일이 별과 은하를 탄생시킬 수 있었다.

13 우주 배경 복사

우주 배경 복사는 우주의 온도가 약 3000 K일 때 방출된 복사로, 우주가 팽창하는 동안 온도가 낮아지고 파장이 길어져 현재는 온도가 약 2.7 K인 복사로 관측된다.

㉠. 우주가 팽창함에 따라 우주 배경 복사의 온도는 점점 낮아졌다. 따라서 ㉠ 시기는 ㉡ 시기보다 과거에 해당한다.

㉡. 빈의 변위 법칙에 의하면 최대 세기의 에너지를 방출하는 파장은 표면 온도에 반비례한다. 우주 배경 복사의 온도는 ㉠ 시기가 ㉡ 시기의 3배이므로, 우주 배경 복사에서 최대 세기의 에너지를 방출하는 파장은 ㉠ 시기가 ㉡ 시기의 $\frac{1}{3}$ 배이다.

㉢. 우주가 팽창하더라도 물질의 질량은 일정하게 유지되므로, 우주가 팽창함에 따라 물질의 밀도는 점점 작아진다. 따라서 물질의 밀도는 ㉠ 시기가 ㉡ 시기보다 크다.

14 급팽창 이론

급팽창 이론은 빅뱅 직후 약 10^{-36} 초~ 10^{-34} 초 무렵 우주가 급팽창했다는 이론으로 초기 빅뱅 우주론이 설명할 수 없는 여러 문제들을 해결할 수 있었다.

㉠. B에서는 ㉠ 시기 중 우주의 반지름이 급격히 증가하는 시기, 즉 급팽창 시기가 나타난다. 따라서 A는 빅뱅 우주론, B는 급팽창 이론이다. 우주가 크게 팽창할수록 우주의 밀도는 크게 작아

지므로, ㉠ 시기에 우주의 밀도 변화량의 절댓값은 B가 A보다 크다.

✕. 빅뱅 당시 우주의 크기는 B가 A보다 작았다. 급팽창 이론에서는 우주 생성 초기에 일어난 급팽창으로 초기 빅뱅 우주론이 설명할 수 없었던 여러 가지 문제를 해결할 수 있었다. 따라서 ㉠ 시기 이전에 우주의 양쪽 끝에 있는 두 점 사이의 거리는 B가 A보다 가까웠다.

㉡. 급팽창 이론은 초기 빅뱅 우주론으로 설명할 수 없는 문제들을 해결하기 위해 제시된 이론으로, 수정된 빅뱅 우주론에 해당한다. 현재 우주는 곡률이 0에 가까울 정도로 평탄한데, 그 이유를 A에서는 설명할 수 없지만 B에서는 급팽창으로 인해 공간의 크기가 매우 커지게 되면서 관측되는 우주의 영역이 평탄하게 보이게 되었다고 설명한다.

15 초기 빅뱅 우주론의 문제

초기 빅뱅 우주론으로 설명하기 어려운 3가지 문제로는 우주의 평탄성 문제, 지평선 문제, 자기 홀극 문제가 있다. 이 문제를 해결하기 위해 급팽창 이론이 제시되었다.

㉠. 급팽창 이론은 빅뱅 직후 약 10^{-36} 초~ 10^{-34} 초 무렵 우주가 빛보다 빠른 속도로 팽창한 시기가 있다고 설명한다.

✕. 빅뱅 이후 우주 생성 초기에는 암흑 에너지보다 물질의 양이 많았다. 따라서 암흑 에너지의 척력에 의해 우주가 급팽창한 것은 아니다.

✕. 급팽창 이론은 빅뱅 초기에 발생한 공간의 급팽창을 제시한다. 따라서 급팽창 이론에서 급팽창 이전의 우주는 초기 빅뱅 우주론에서 제시한 우주보다 작다.

16 표준 우주 모형

표준 우주 모형은 빅뱅 우주론에 급팽창, 암흑 물질과 암흑 에너지, 가속 팽창을 포함시킨 현대 우주론에 해당한다.

✕. 빅뱅 이후 일어난 사건을 시간 순서대로 나열하면 (다)-(가)-(나)-(라) 순이다.

㉠. 우주 배경 복사는 빅뱅 후 약 38만 년이 지났을 때, 원자핵과 전자가 결합해 중성 원자가 만들어지면서 투명해진 우주에서 모든 방향으로 퍼져 나간 빛이다. 따라서 우주 배경 복사가 형성될 무렵에 중성 원자가 생성되었다.

㉡. 현재 우주는 곡률이 0에 가까울 정도로 평탄한데, 급팽창 이론에서는 그 이유를 우주 탄생 초기의 급팽창으로 인해 공간의 크기가 매우 커지게 되면서 관측되는 우주의 영역이 평탄하게 보이게 되었기 때문이라고 설명한다.

17 우주의 팽창

우주의 팽창 속도는 시기에 따라 달랐으며, 초기 우주에서 가장

컸고, 그 이후 감소하다가 증가하는 경향을 보인다.

㉠. 그래프에서 기울기는 우주의 팽창 속도를, 기울기의 변화는 우주 팽창 가속도를 나타낸다. 100억 년 전 무렵에 기울기는 시간에 따라 점점 작아지므로, 이때 우주는 감속 팽창했다.

㉡. 현재와 100억 년 후 모두 우주는 가속 팽창을 하며, 기울기의 변화는 100억 년 후가 현재보다 크다. 즉, 우주 팽창 가속도는 100억 년 후가 현재보다 크다.

✕. 우주의 팽창으로 우주 공간의 부피는 증가하지만, 암흑 물질의 질량은 일정하므로 암흑 물질의 밀도는 시간이 경과함에 따라 점점 감소한다. 따라서 암흑 물질의 밀도는 200억 년 후가 100억 년 후보다 작다.

18 우주 구성 요소

우주가 팽창함에 따라 물질(암흑 물질+보통 물질)의 비율은 낮아지고, 암흑 에너지의 비율은 높아진다.

㉠. 시간이 경과함에 따라 밀도가 작아지는 A와 B는 물질에 해당한다. 또한 암흑 물질은 항상 보통 물질보다 양이 많으므로 A는 암흑 물질, B는 보통 물질이다. 중력 렌즈 현상은 질량을 가진 물질, 즉 A와 B의 중력에 의해 일어나며 그중에서도 암흑 물질(A)의 영향이 크다.

㉡. 중성자는 보통 물질, 즉 B에 속한다.

✕. C는 암흑 에너지이다. 암흑 에너지의 밀도는 우주 공간의 팽창에도 불구하고 항상 일정하다. 이로부터 우주 공간의 부피 팽창과 함께 암흑 에너지의 총량이 증가한다는 것을 알 수 있다.

19 우주의 미래 모형

A는 열린 우주, B는 평탄 우주, C는 닫힌 우주에 해당한다.

㉠. 우주의 나이는 빅뱅(우주의 크기=0) 후 현재까지의 시간에 해당한다. 세 우주 모형에서 우주의 나이는 $A > B > C$ 이다.

㉡. 우주의 곡률은 열린 우주(A)의 경우 (-) 값이고, 평탄 우주(B)의 경우 0이며, 닫힌 우주(C)의 경우 (+) 값이다.

㉢. 평탄 우주(B)에서 우주의 밀도는 임계 밀도와 같다.

20 우주 구성 요소

우주의 구성 요소 중 암흑 물질과 보통 물질의 비율은 시간에 따라 낮아지고, 암흑 에너지의 비율은 시간에 따라 높아진다. T_1 이 T_2 보다 과거라면, 시간에 따라 A의 비율은 낮아지고, B와 C의 비율은 높아지므로 실제와 다르다. 반대로 T_2 가 T_1 보다 과거라면 시간에 따라 A의 비율은 높아지고, B와 C의 비율은 낮아지므로 실제와 같다. 이때 A는 암흑 에너지, B는 암흑 물질, C는 보통 물질이다.

✕. T_1 은 T_2 보다 미래의 시기이다.

✕. 암흑 물질(B)은 전자기파로 관측되지 않아서 주로 중력을 이

용한 방법으로 존재를 추정한다. 전자기파를 이용하여 관측할 수 있는 것은 보통 물질(C)이다.

㉔. T_1 시기에는 암흑 에너지(A)의 비율이 물질(B+C)의 비율보다 높다. 즉, 우주에는 암흑 에너지의 척력이 물질의 인력보다 크게 작용하여 우주는 가속 팽창한다.

수능 3점 테스트						본문 199~208쪽
01 ㉓	02 ①	03 ⑤	04 ②	05 ③	06 ①	
07 ①	08 ⑤	09 ③	10 ③	11 ②	12 ③	
13 ④	14 ③	15 ④	16 ④	17 ⑤	18 ④	
19 ①	20 ④					

01 허블의 은하 분류

나선팔이 있고 Sa, Sb, Sc로 세분하는 (가)는 정상 나선 은하, E0~E7로 세분하는 (나)는 타원 은하이다.

㉑. 외부 은하는 모양의 규칙성 여부에 따라 규칙적인 모양을 가진 은하와 불규칙 은하로 구분하고, 규칙적인 모양을 가진 은하는 나선팔의 유무에 따라 나선 은하와 타원 은하로 구분한다. 따라서 '규칙적인 모양이 나타난다.'는 (가)와 (나)의 공통적인 특징이므로 ㉑에 해당한다.

㉒. 중심부에 막대 구조가 나타나는 것은 막대 나선 은하이다.

㉔. (가)에서 성간 물질은 주로 나선팔에 분포한다. (나)는 성간 물질의 함량(%)이 매우 적어서 새로운 별이 거의 탄생하지 않는다. 따라서 성간 물질의 함량(%)은 (가)가 (나)보다 많다.

02 나선 은하

우리은하는 막대 나선 은하에 해당하며, 나선 은하에서 은하 팽대부에는 높고 붉은색 별이, 나선팔에는 젊고 파란색 별이 많이 분포한다. 파란색 별일수록 표면 온도가 높으므로, ㉑은 나선팔, ㉒은 은하 팽대부에 해당한다.

㉑. 태양은 나선팔, 즉 ㉑에 위치한다.

㉒. 나선팔에는 주로 젊은 별이, 은하 팽대부에는 주로 늙은 별이 분포한다. 따라서 구성하는 별의 평균 연령은 ㉑이 ㉒보다 적다.

㉒. 나선팔에는 성간 물질이 많지만, 은하 팽대부에는 성간 물질이 거의 없다. 즉, 각 영역에서 $\frac{\text{성간 물질의 질량}}{\text{각 영역의 전체 질량}}$ 은 ㉑이 ㉒보다 크다.

03 은하의 별 생성률

은하 생성 후 50억 년이 지났을 때, 연간 생성된 별의 총 질량은 A가 B보다 작다. 타원 은하의 경우 은하 생성 초기에는 별의 생성이 활발하게 일어나지만, 은하 생성 후 50억 년이 지났을 때는 별이 거의 생성되지 않는다. 따라서 A는 타원 은하, B는 나선 은하이다.

㉑. 타원 은하는 주로 붉은색 별로 구성되어 있고, 나선 은하의 팽대부는 주로 붉은색 별로 구성되어 있지만, 나선 은하의 나선팔에는 파란색 별의 분포 비율이 높다. 따라서 $\frac{\text{붉은색 별의 개수}}{\text{파란색 별의 개수}}$

A가 B보다 크다.

㉠ 타원 은하는 주로 늙은 별로 구성되어 있고, 나선 은하의 팽대부는 주로 늙은 별로, 나선팔은 주로 젊은 별로 구성되어 있다. 따라서 은하를 구성하는 별의 평균 연령은 A가 B보다 많다.

㉡ 타원 은하의 주계열성은 주로 저온의 붉은색 별로 구성되어 있고, 나선 은하의 팽대부는 주로 저온의 붉은색 별로, 나선팔은 주로 고온의 파란색 별로 구성되어 있다. 따라서 은하를 구성하는 주계열성의 평균 표면 온도는 A가 B보다 낮다.

04 나선 은하와 불규칙 은하

평균 색지수는 (가)가 (나)보다 크다. 불규칙 은하는 나선 은하에 비해 고온의 파란색 별이 많으므로 (가)는 나선 은하, (나)는 불규칙 은하이다.

ㄱ. 허블의 은하 분류상 나선 은하인 (가)는 S 또는 SB, 불규칙 은하인 (나)는 Irr에 해당한다.

㉠ 불규칙 은하는 나선 은하에 비해 성간 물질의 함량(%)이 많다. 따라서 $\frac{\text{성간 물질의 질량}}{\text{전체 질량}}$ 은 ㉠이 ㉡보다 작다.

ㄱ. 불규칙 은하는 다른 유형의 은하에 비해 고온의 젊은 별의 구성 비율이 높다. 따라서 구성하는 별의 평균 표면 온도는 (가)가 (나)보다 낮다.

05 특이 은하

특이 은하들은 크기, 모양, 또는 조성이 특이한 은하들을 말하며, 일반적인 은하에 비해 전파나 X선 영역에서 강한 에너지를 방출할 뿐만 아니라 그 밝기가 시간에 따라 변하는 등 일반적인 은하와는 다른 특성을 보인다. 가시광선 영상에서 별처럼 점으로 관측되는 B는 퀘이사이고, 다른 파장에 비해 전파 영역에서 특히 강한 에너지를 방출하는 C는 전파 은하이며, A는 세이퍼트 은하이다.

㉠ A는 세이퍼트 은하, B는 퀘이사, C는 전파 은하이다.

ㄱ. 세이퍼트 은하(A)와 퀘이사(B)는 은하 중심부의 광도가 상대적으로 크다. 그중 별처럼 점으로 관측되는 퀘이사(B)가 세이퍼트 은하(A)보다 $\frac{\text{중심부의 광도}}{\text{은하 전체의 광도}}$ 가 더 크다.

㉡ 퀘이사(B)는 적색 편이가 매우 크게 나타나는데, 이는 은하까지의 거리가 매우 멀다는 것을 지시한다. 퀘이사는 우주 생성 초기에 생성된 은하이다. 따라서 은하 탄생 후 현재까지 경과한 시간은 B가 C보다 길다.

06 빅뱅 우주론과 정상 우주론

정상 우주론에서는 시간에 따라 우주의 질량은 커지고 우주의 온도는 일정하다. 반면 빅뱅 우주론에서는 시간에 따라 우주의 질량은 일정하고 우주의 온도는 낮아진다. 따라서 이 우주론은 정상 우주론이다.

㉠ (가)에서 A는 시간에 따라 증가하므로 우주의 질량이고, 시간에 따라 일정한 B는 우주의 온도이다.

ㄱ. 약 2.7 K의 우주 배경 복사 관측은 빅뱅 우주론의 증거에 해당한다.

ㄱ. 우주의 크기가 2배로 커져도 정상 우주론에서 우주의 밀도는 일정하다. 우주의 크기가 2배로 커질 때 우주의 밀도가 $\frac{1}{8}$ 배가 되는 우주론은 빅뱅 우주론이다.

07 우주 배경 복사

우주 배경 복사는 빅뱅 후 약 38만 년이 지났을 때 원자핵과 전자가 결합해 중성 원자가 만들어짐에 따라 투명해진 우주에서 사방으로 퍼져 나간 빛이다.

㉠ 우주 배경 복사는 중성 원자가 생성될 무렵, 즉 B 시기에 방출되었다.

ㄱ. (나)에서 관측된 우주 배경 복사의 세기는 2.7 K 흑체 복사 곡선과 잘 일치하므로, (나)는 현재의 파장에 따른 우주 배경 복사의 세기를 나타낸 것이다.

ㄱ. B 시기에 우주의 온도는 약 3000 K으로, 약 3000 K의 흑체가 최대 세기의 에너지를 방출하는 파장은 전파 영역보다 파장이 짧은 빛에 해당한다. 우주의 온도가 약 2.7 K인 현재 우주 배경 복사는 전파 영역에서 최대 세기의 에너지를 방출한다. 또한 표면 온도가 약 6000 K인 태양은 약 500 nm 부근, 즉 가시광선 영역에서 최대 세기의 에너지를 방출하므로, 표면 온도가 약 3000 K인 흑체는 약 1000 nm 부근에서 최대 세기의 에너지를 방출하며, 이는 적외선 영역에 해당한다.

08 허블 법칙

외부 은하의 후퇴 속도(v)와 흡수선의 파장 변화량($\Delta\lambda$) 사이에는 $\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{v}{c}(\lambda_0: \text{기준 파장}, c: \text{빛의 속도})$ 의 관계가 성립하며, 은하까지의 거리(r)가 멀수록 후퇴 속도(v)는 빠르다.

$$v = H \cdot r \quad (H: \text{허블 상수})$$

㉠ 외부 은하까지의 거리와 후퇴 속도 그래프에서 기울기는 허블 상수를 나타낸다. 따라서 허블 상수는 기울기가 가장 큰 A가 77 km/s/Mpc이고, B가 70 km/s/Mpc, C가 63 km/s/Mpc이다.

㉡ 관측값의 분포로 보아, 관측된 은하의 후퇴 속도와 거리 사이의 관계를 가장 적절하게 나타낸 것은 B이다.

㉡ $\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{H \cdot r}{c}$ 의 관계가 성립하므로 $\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}$ 가 같을 때, 은하까지의 거리(r)는 허블 상수(H) 값에 반비례한다. 따라서 $\frac{\text{관측 파장} - \text{기준 파장}}{\text{기준 파장}}$ 이 0.01인 은하까지의 거리는 C를 이용했을 때 가장 멀다.

09 허블 법칙

외부 은하의 후퇴 속도(v)와 흡수선의 파장 변화량($\Delta\lambda$) 사이에는 $\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{v}{c}$ (λ_0 : 기준 파장, c : 빛의 속도)의 관계가 성립하므로, 흡수선의 파장 변화량($\Delta\lambda$)이 클수록 후퇴 속도(v)가 빨라지고 별까지의 거리(r)도 멀어진다.

㉠. A의 거리는 80 Mpc이고, (나)에서 기준 파장이 400 nm인 흡수선은 408 nm로 관측된다. 따라서 $\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{H \cdot r}{c} = \frac{8 \text{ nm}}{400 \text{ nm}}$
 $= \frac{H \cdot 80 \text{ Mpc}}{300000 \text{ km/s}}$ 이므로 허블 상수 H 는 75 km/s/Mpc이다.

㉡. B의 후퇴 속도(v)는 18000 km/s이다. 따라서 $\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{v}{c}$,
 $\frac{\Delta\lambda}{600 \text{ nm}} = \frac{18000 \text{ km/s}}{300000 \text{ km/s}}$ 이므로 $\Delta\lambda$ 는 36 nm이고, ㉠은 636 nm이다.

㉢. 허블 상수 H 가 75 km/s/Mpc이고 B의 후퇴 속도가 18000 km/s이므로 허블 법칙($v = H \cdot r$)에 의해 18000 km/s = 75 km/s/Mpc $\cdot r$, 즉 B까지의 거리 $r = 240 \text{ Mpc}$ 이다. A와 B가 동일한 시선 방향에 있고, A까지의 거리가 80 Mpc이므로 A와 B 사이의 거리는 160 Mpc이다. 따라서 A에서 관측했을 때, B의 후퇴 속도 $v = 75 \text{ km/s/Mpc} \cdot 160 \text{ Mpc} = 12000 \text{ km/s}$ 이다.

10 우주 구성 요소

시간에 따라 비율이 작아지는 A와 C는 물질이며, 이 중 비율이 높은 A가 암흑 물질, 비율이 낮은 C는 보통 물질이다. 시간에 따라 비율이 높아지는 B는 암흑 에너지이다.

㉠. A는 암흑 물질로 전자기파로 관측되지 않아 중력에 의한 방법으로만 존재를 확인할 수 있다. 전자기파로 관측되는 것은 보통 물질(C)이다.

㉡. A와 C는 물질이다. 빅뱅 우주론에서 물질의 질량은 항상 일정하므로, A와 C의 질량 합은 항상 일정하다.

㉢. 시간이 경과함에 따라 암흑 에너지(B)의 비율이 높아지는 것은 우주가 팽창함에 따라 우주의 전체 밀도 및 물질 밀도가 작아지기 때문이다. 실제로 암흑 에너지의 밀도는 일정하다.

11 허블 법칙

Ia형 초신성은 일정한 질량에서 폭발하므로, 최대로 밝아졌을 때의 절대 등급이 일정하여 멀리 있는 은하까지의 거리를 측정하는데 이용된다.

㉡. 허블 상수는 $\frac{\text{후퇴 속도}}{\text{은하까지의 거리}}$ 이다. Ia형 초신성이 최대 밝기일 때의 겉보기 등급은 은하까지의 거리가 멀수록 커지지만, 거리의 값은 아니므로, 그래프에서 $\frac{\text{후퇴 속도}}{\text{겉보기 등급}}$ 는 허블 상수가 아

니다.

㉢. C의 후퇴 속도는 A의 100배이므로 우리은하로부터의 거리는 C가 A의 100배이다. 거리가 100배이면 겉보기 밝기는 $\frac{1}{10000}$ 배로 어둡다. 따라서 C의 겉보기 등급은 A보다 10등급 크므로, $(a-b)$ 의 값은 -10 이다.

㉣. A와 우리은하 사이의 거리는 B와 우리은하 사이의 거리의 0.1배이며, A, B, C 은하가 동일한 시선 방향에 있으므로 A와 C 사이의 거리는 B와 우리은하 사이의 거리의 9.9배이다. 스펙트럼에서 어느 흡수선의 파장 변화량은 후퇴 속도 및 거리에 비례하므로, A에서 관측했을 때, 스펙트럼에서 기준 파장이 λ_0 인 흡수선의 파장 변화량은 C가 우리은하의 99배이다.

12 허블 법칙

허블 법칙은 은하들의 후퇴 속도(v)와 거리(r)의 관계를 나타낸 법칙으로, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$v = H \cdot r \quad (H: \text{허블 상수})$$

㉠. 적색 편이량은 후퇴 속도와 은하까지의 거리에 비례한다. B와 우리은하 사이의 거리가 A와 우리은하 사이의 거리의 3배이므로 우리은하에서 관측한 적색 편이량은 B가 A의 3배이다.

㉡. A와 B 사이의 거리가 A와 우리은하 사이의 거리의 2배이므로, A에서 관측한 후퇴 속도는 B가 우리은하의 2배이다.

㉢. 그래프에서 우리은하-A-B가 동일한 시선 방향에 위치하므로, 우리은하와 A 사이의 거리를 1이라고 했을 때 A와 B 사이의 거리는 우리은하와 A 사이의 거리의 2배이다. 또한 B에서 A를 관측했을 때 z 는 0.14이다.

$z = \frac{H \cdot r}{c}$, $0.14 = \frac{70 \text{ km/s/Mpc} \cdot r}{300000 \text{ km/s}}$ 이므로, A와 B 사이의 거리 $r = 600 \text{ Mpc}$ 이다. 따라서 우리은하에서 A까지의 거리는 300 Mpc, 우리은하에서 B까지의 거리는 900 Mpc이다.

13 우주의 팽창 가속도

우주의 팽창 가속도가 (-) 값일 때 우주는 감속 팽창하고, (+) 값일 때 우주는 가속 팽창한다.

㉡. 현재 우주는 가속 팽창을 하며, 공간의 팽창에 따라 암흑 에너지의 비율이 높아지므로 미래에는 점점 더 크게 가속 팽창을 할 것이다. 따라서 t_1 은 t_3 보다 과거의 시기이다.

㉢. t_1 일 때 우주는 감속 팽창을 하고, t_2 일 때 팽창 가속도는 0이다. 즉, $t_1 \sim t_2$ 동안 우주의 팽창 속도는 느려졌으므로, 우주의 팽창 속도는 t_1 일 때가 t_2 일 때보다 빠르다.

㉣. 우주가 팽창함에 따라 우주를 구성하는 암흑 물질의 비율은 낮아지고, 암흑 에너지의 비율은 높아지므로 $\frac{\text{암흑 에너지의 비율}}{\text{암흑 물질의 비율}}$ 은 커진다. t_3 이 현재보다 나중 시기이므로 $\frac{\text{암흑 에너지의 비율}}{\text{암흑 물질의 비율}}$ 은 t_3 일 때가 현재보다 크다.

14 빅뱅 우주론

우주의 모든 물질과 에너지가 매우 작고 뜨거운 한 점에 모여 있다가 대폭발이 일어나 팽창하면서 냉각되어 현재와 같은 우주가 생성되었다.

- ㉠ 그림에서 시간이 경과함에 따라 암흑 에너지가 차지하는 면적이 넓어진다. 즉, 암흑 에너지의 총량은 증가한다.
- ㉡ 그림에서 시간이 경과함에 따라 우주 배경 복사의 파장이 길어진다. 우주 배경 복사는 우주의 온도가 약 3000 K일 때 방출된 복사로, 우주가 팽창하는 동안 온도가 낮아지고 파장이 길어져 현재는 온도가 약 2.7 K인 복사로 관측된다.
- ㉢ 그림에서 시간이 경과함에 따라 물질의 개수가 변하지 않으므로 물질의 질량은 일정하다. 즉, 우주의 부피가 증가함에 따라 물질 밀도는 작아진다. 반면 우주의 부피가 증가함에 따라 암흑 에너지의 총량도 증가하므로 암흑 에너지의 밀도는 일정하다. 따라서 시간이 경과함에 따라 $\frac{\text{암흑 에너지 밀도}}{\text{물질 밀도}}$ 는 커진다.

15 우주의 구성

우주가 팽창함에 따라 물질의 비율은 낮아지고, 암흑 에너지의 비율은 높아진다.

- ㉣ $\frac{\text{물질 밀도}}{\text{암흑 에너지 밀도}} = \frac{\Omega_m}{\Omega_\Lambda}$ 이다. $\frac{\Omega_m}{\Omega_\Lambda}$ 은 ㉠ 시기가 ㉡ 시기보다 작다.
- ㉤ 암흑 에너지의 영향이 물질의 영향보다 크면 우주는 가속 팽창하고, 암흑 에너지의 영향이 물질의 영향보다 작으면 우주는 감속 팽창한다. ㉠ 시기는 물질에 비해 암흑 에너지의 밀도가 매우 크므로 가속 팽창을 하지만, ㉡ 시기는 물질에 비해 암흑 에너지의 밀도가 매우 작아 감속 팽창을 한다. 우주 팽창 가속도는 ㉠ 시기가 ㉡ 시기보다 크다.
- ㉥ 시간이 경과함에 따라 $\frac{\text{물질 밀도}}{\text{임계 밀도}} (\Omega_m)$ 는 작아지고, $\frac{\text{암흑 에너지 밀도}}{\text{임계 밀도}} (\Omega_\Lambda)$ 는 커지므로, ㉡ 시기는 ㉠ 시기보다 거의 우주에 해당한다. 따라서 우주의 나이는 ㉡ 시기가 ㉠ 시기보다 많다.

16 표준 우주 모형

급팽창 이론을 포함한 빅뱅 우주론에 암흑 물질과 암흑 에너지의 개념까지 모두 포함한 최신의 우주론을 표준 우주 모형이라고 한다. 이 모형으로부터 예측한 우주의 구조는 지금까지 이루어진 우주 관측 사실들과 잘 부합된다.

- ㉦ 시간에 따른 우주의 크기 변화 그래프에서 기울기는 우주의 팽창 속도이다. 120억 년 전 우주에서 우주의 팽창 속도는 점점 느려진다. 즉, 우주는 감속 팽창하고 있다. 이는 우주에서 우주 팽창에 미치는 물질의 영향이 암흑 에너지의 영향보다 컸기 때문이

다. 따라서 120억 년 전 우주에서 암흑 에너지 밀도는 물질 밀도보다 작다.

- ㉧ 우주를 진행하는 빛의 파장은 우주의 크기에 비례하여 길어진다. 우주의 크기는 80억 년 전이 120억 년 전의 2.5배이므로, 우주 배경 복사의 파장도 80억 년 전이 120억 년 전의 2.5배이다.
- ㉨ 시간이 경과함에 따라 암흑 에너지의 밀도는 일정하고, 물질의 밀도는 작아진다. 현재는 80억 년 전보다 우주의 크기가 2배이므로 물질의 밀도는 $\frac{1}{8}$ 배이다. 따라서 전체 우주 구성 요소에서 $\frac{\text{물질 밀도}}{\text{암흑 에너지 밀도}}$ 는 80억 년 전이 현재보다 8배 크다.

17 우주의 미래 모형

- $\frac{\text{우주의 밀도}}{\text{임계 밀도}}$ 가 1인 (가)는 평탄 우주 모형이며 우주의 곡률이 0이 된다. $\frac{\text{우주의 밀도}}{\text{임계 밀도}}$ 가 1보다 작은 우주는 열린 우주이며 우주의 곡률이 (-) 값이다. 즉, (나)는 열린 우주 모형이다.
- ㉩ 현재 우주는 평탄 우주로, 우주의 밀도는 임계 밀도와 같다.
- ㉪ 그림에 나타난 2차원 구조는 말안장 모양의 굽은 형에 해당하며, 열린 우주 모형인 (나)의 기하학적인 성질을 표현한 2차원 구조이다.
- ㉫ 우주의 밀도는 평탄 우주 모형인 (가)가 열린 우주 모형인 (나)보다 크다.

18 우주의 미래 모형

- $\frac{\rho_m + \rho_\Lambda}{\rho_c}$ 가 1이면 평탄 우주, 1보다 작으면 열린 우주, 1보다 크면 닫힌 우주이다. 따라서 우주 모형 ㉠은 열린 우주, ㉡과 ㉢은 평탄 우주, ㉣은 닫힌 우주에 해당한다.
- ㉤ A는 가속 팽창하는 평탄 우주, B는 열린 우주, C는 평탄 우주, D는 닫힌 우주이다. A와 C는 평탄 우주이므로 우주의 곡률은 A와 C가 0으로 같다. A~D의 우주의 곡률은 $D > A = C > B$ 이다.
- ㉥ 우주의 밀도는 열린 우주에 해당하는 B가 가장 작다. A~D의 우주의 밀도는 $D > A = C > B$ 이다.
- ㉦ 빅뱅 이후 현재까지의 시간은 그림에서 우주의 크기가 거의 0인 시기부터 현재까지의 시간으로 구할 수 있다. 그림에서 빅뱅 이후 현재까지의 시간이 가장 짧은 것은 D이며, D는 닫힌 우주이고 표에서 ㉣에 해당한다.

19 우주 구성 요소

우주에서 시간이 흐를수록 보통 물질과 암흑 물질의 비율은 낮아지고 암흑 에너지의 비율은 높아진다. 물질 중에서 암흑 물질의 비율은 보통 물질보다 높으며, 암흑 물질과 보통 물질의 비는

약 5.5 : 1이다. 현재 우주는 약 4.9 %의 보통 물질, 약 26.8 %의 암흑 물질, 약 68.3 %의 암흑 에너지로 구성되어 있으며, 암흑 에너지의 밀도는 항상 일정하고, 암흑 물질과 보통 물질의 밀도는 우주 크기의 세제곱에 반비례한다.

㉠. T_1 시기에 A의 비율은 약 12 %이다. 빅뱅 우주론에서 암흑 물질과 보통 물질의 비는 약 5.5 : 1로 거의 일정하게 유지되므로 B는 암흑 물질, A는 보통 물질, C는 암흑 에너지에 해당한다. 우주가 팽창함에 따라 보통 물질의 비율은 점점 감소하므로, A의 비율이 약 12 %인 T_1 시기는 A의 비율이 약 15 %인 T_2 시기보다 나중 시기이며, ㉠은 0.25보다 크다.

㉡. 현재 우주의 밀도를 약 100이라고 하면, 암흑 에너지의 밀도는 약 68.3, 암흑 물질의 밀도는 약 26.8이다. 우주의 부피는 반지름의 세제곱에 비례하므로 T_2 시기의 우주의 부피는 현재의 $\frac{1}{64}$ 배이다. 빅뱅 우주론에서 우주가 팽창함에 따라 암흑 물질(B)의 질량은 일정하므로, 밀도는 우주의 부피에 반비례한다. 따라서 T_2 시기, 즉 우주의 크기가 0.25일 때 암흑 에너지(C)의 밀도는 현재와 같은 약 68.3, 암흑 물질(B)의 밀도는 약 26.8×64 배 ≈ 1715.2 이다. T_2 시기에 $\frac{B \text{의 밀도}}{C \text{의 밀도}} \approx \frac{1715.2}{68.3} \approx 25.1$ 이므로 25보다 크다.

㉢. C는 암흑 에너지이다. 암흑 에너지는 공간에서 척력으로 작용하는 미지의 에너지로 전자기파로 관측할 수 없다. 전자기파로 관측할 수 있는 것은 보통 물질, 즉 A이다.

20 표준 우주 모형

우주 모형에서 $\frac{\rho_m}{\rho_c} + \frac{\rho_\Lambda}{\rho_c}$ 가 1이면 평탄 우주, 1보다 작으면 열린 우주, 1보다 크면 닫힌 우주이다. 따라서 A와 C는 평탄 우주, B는 열린 우주, D는 닫힌 우주이다.

㉣. 열린 우주의 곡률은 (-) 값이고, 평탄 우주의 곡률은 0이며, 닫힌 우주의 곡률은 (+) 값이다. 따라서 A~D 중 우주의 곡률은 B가 가장 작고, D가 가장 크다.

㉤. A와 C는 평탄 우주이며, A는 암흑 에너지에 의해 가속 팽창하는 우주이다. 적색 편이가 같은 은하의 경우, 겉보기 밝기는 가속 팽창 우주에서 더 어둡게 보인다. 즉, 겉보기 등급은 A가 C보다 크다.

㉥. (나)는 구 모양의 우주이므로 닫힌 우주, 즉 D의 기하학적인 성질을 표현한 2차원 구조이다.

[인용 사진 출처]

39p_처트: ©Valery Voenny / Alamy Stock Photo

39p_암염: © Peter Hermes Furian / Alamy Stock Photo

43p_판상 질리: © Sergio Boccardo / Alamy Stock Photo

44p_관입암: © parker1992 / Alamy Stock Photo

44p_포획암: © Karl W. Wegmann / Alamy Stock Photo

60p_매머드 화석: © Martin Shields / Alamy Stock Photo

63p_에디아카라 동물군 화석: © Zeytun Travel Images / Alamy Stock Photo

63p_빙하 코어: © Daniel J. Cox / Alamy Stock Photo

01 판 구조론과 대륙 분포의 변화

수능	2점 테스트						본문 13~15쪽
01 ④	02 ③	03 ②	04 ⑤	05 ②	06 ③		
07 ①	08 ①	09 ④	10 ⑤	11 ⑤	12 ④		

수능	3점 테스트						본문 16~21쪽
01 ②	02 ③	03 ④	04 ④	05 ③	06 ①		
07 ③	08 ⑤	09 ①	10 ②	11 ⑤	12 ②		

03 퇴적암과 지질 구조

수능	2점 테스트						본문 45~47쪽
01 ⑤	02 ④	03 ①	04 ⑤	05 ⑤	06 ③		
07 ⑤	08 ②	09 ⑤	10 ①	11 ⑤	12 ③		

수능	3점 테스트						본문 48~53쪽
01 ②	02 ④	03 ⑤	04 ⑤	05 ③	06 ⑤		
07 ⑤	08 ②	09 ②	10 ⑤	11 ①	12 ⑤		

02 판 이동의 원동력과 마그마 활동

수능	2점 테스트						본문 29~31쪽
01 ②	02 ②	03 ①	04 ②	05 ⑤	06 ③		
07 ④	08 ⑤	09 ①	10 ④	11 ①	12 ③		

수능	3점 테스트						본문 32~37쪽
01 ①	02 ④	03 ⑤	04 ①	05 ③	06 ②		
07 ④	08 ⑤	09 ①	10 ②	11 ②	12 ③		

04 지구의 역사

수능	2점 테스트						본문 61~64쪽
01 ⑤	02 ⑤	03 ⑤	04 ⑤	05 ⑤	06 ⑤		
07 ①	08 ④	09 ④	10 ⑤	11 ③	12 ⑤		
13 ②	14 ⑤	15 ⑤	16 ②				

수능	3점 테스트						본문 65~71쪽
01 ②	02 ④	03 ①	04 ②	05 ③	06 ⑤		
07 ⑤	08 ③	09 ③	10 ③	11 ③	12 ③		
13 ②	14 ②						

05 대기의 변화

수능 2점 테스트 본문 85~89쪽

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

수능 3점 테스트 본문 90~99쪽

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

06 해양의 변화

수능 2점 테스트 본문 108~111쪽

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

수능 3점 테스트 본문 112~119쪽

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

07 대기과 해양의 상호 작용

수능 2점 테스트 본문 128~131쪽

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

수능 3점 테스트 본문 132~139쪽

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

08 별의 특성

수능 2점 테스트 본문 154~159쪽

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

수능 3점 테스트 본문 160~171쪽

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

09 외계 행성계와 외계 생명체 탐사

수능 2점 테스트 본문 178~179쪽

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

수능 3점 테스트 본문 180~183쪽

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

10 외부 은하와 우주 팽창

수능 2점 테스트 본문 194~198쪽

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

수능 3점 테스트 본문 199~208쪽

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



수능 집중 ★고2~N수 권장

구분	수능 입문 >		기출/연습 >	연계 보완 >		고난도 >	모의고사
국어	윤혜정의 개념의 나비효과 수능 편 + 워크북		윤혜정의 기출의 나비효과	수능특강 문학 연계 기출	수능특강 사용설명서	하루 3개 1등급 국어독서	FINAL 실전모의고사
영어	윤혜정의 패턴의 나비효과	강의노트 수능개념	수능 기출의 미래	수능연계교재의 VOCA 1800	수능완성 사용설명서	하루 6개 1등급 영어독해	만점마무리 봉투모의고사 시즌1
수학	수능 빌드업	기본서 수능 특강Q	수능특강Q 미니모의고사	수능연계 기출 Vaccine VOCA 2200		수능연계완성 3주 특강	만점마무리 봉투모의고사 시즌2 고난도
한국사 사회	수능특강 Light	eBook 전용	eBook 전용	수능 연계교재 수능특강 수능완성		수능연계완성 3주 특강	고난도 논스톱 봉투모의고사
과학	수능 스타트	수능완성R 모의고사	수능완성R 모의고사			수능 등급을 올리는 변별 문항 공략	eBook 전용

구분	시리즈명	특징	난이도	영역
수능 입문	윤혜정의 개념의 나비효과 수능 편 + 워크북	개념부터 제대로 꼼꼼히 공부하는 수능 국어 개념	<input type="checkbox"/>	국어
	윤혜정의 패턴의 나비효과	수능 국어의 패턴 연습으로 부족한 약점 보완	<input type="checkbox"/>	국어
	수능 빌드업	개념부터 문항까지 한 권으로 시작하는 수능 특화 기본서	<input type="checkbox"/>	국/수/영
	수능특강 Light	수능 연계교재 학습 전 가볍게 시작하는 수능 도전	<input type="checkbox"/>	영어
	수능 스타트	2028학년도 수능 예시 문항 분석과 문항 연습	<input type="checkbox"/>	국/수/영/사/과
기출/연습	수능개념	EBS 대표 강사들과 함께하는 수능 개념 다지기	<input type="checkbox"/>	전 영역
	윤혜정의 기출의 나비효과	윤혜정 선생님과 함께하는 까다로운 국어 기출 완전 정복	<input type="checkbox"/>	국어
	수능 기출의 미래	올해 수능에 딱 필요한 문제만 선별한 기출문제집	<input type="checkbox"/>	전 영역
연계 + 연계 보완	수능특강Q 미니모의고사	매일 15분 연계교재 우수문항 풀이 미니모의고사	<input type="checkbox"/>	국/수/영/사/과
	수능완성R 모의고사	과년도 수능 연계교재 수능완성 실전편 수록	<input type="checkbox"/>	수학
	수능특강	최신 수능 경향과 기출 유형을 반영한 종합 개념 학습	<input type="checkbox"/>	전 영역
	수능특강 사용설명서	수능 연계교재 수능특강의 국어·영어 지문 분석	<input type="checkbox"/>	국/영
	수능특강 문학 연계 기출	수능특강 수록 작품과 연관된 기출문제 학습	<input type="checkbox"/>	국어
	수능완성	유형·테마 학습 후 실전 모의고사로 문항 연습	<input type="checkbox"/>	전 영역
	수능완성 사용설명서	수능 연계교재 수능완성의 국어 지문 분석	<input type="checkbox"/>	국어
고난도	수능연계교재의 VOCA 1800	수능특강과 수능완성의 필수 중요 어휘 1800개 수록	<input type="checkbox"/>	영어
	수능연계 기출 Vaccine VOCA 2200	수능 - EBS 연계와 평가원 최다 빈출 어휘 선별 수록	<input type="checkbox"/>	영어
	하루 N개 1등급 국어독서/영어독해	매일 꾸준한 기출문제 학습으로 완성하는 1등급 실력	<input type="checkbox"/>	국/영
	수능연계완성 3주 특강	단기간에 끝내는 수능 1등급 변별 문항 대비	<input type="checkbox"/>	국/수/영
모의고사	박봄의 사회·문화 표 분석의 패턴	박봄 선생님과 사회·문화 표 분석 문항의 패턴 연습	<input type="checkbox"/>	사회탐구
	수능 등급을 올리는 변별 문항 공략	EBS 선생님이 직접 선별한 고변별 문항 연습	<input type="checkbox"/>	수/영
	FINAL 실전모의고사	EBS 모의고사 중 최다 분량 최다 과목 모의고사	<input type="checkbox"/>	전 영역
	만점마무리 봉투모의고사 시즌1	실제 시험지 형태와 OMR 카드로 실전 연습 모의고사	<input type="checkbox"/>	전 영역
	만점마무리 봉투모의고사 시즌2 고난도	변별력 높은 수능까지 대비하는 실전 연습 모의고사	<input type="checkbox"/>	국/수/영
	고난도 논스톱 봉투모의고사	어려운 시험에 익숙해지는 논스톱 훈련 모의고사	<input type="checkbox"/>	국·수·영
수능 직전보강 클리어 봉투모의고사	수능 직전 성적을 끌어올리는 마지막 모의고사	<input type="checkbox"/>	국/수/영	
버티컬 모의고사 시즌1~4	고난도 문항 다수 수록 eBook 전용 모의고사	<input type="checkbox"/>	국/수/영	