



# 수능특강

과학탐구영역 지구과학 I

정답과 해설

# 01 판 구조론과 대륙 분포의 변화

수능 **2점** 테스트 본문 13~15쪽

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

## 01 대륙 이동의 증거

베게너가 제시한 대륙 이동의 증거에는 멀리 떨어져 있는 대륙에서 발견되는 같은 종의 고생물 화석 분포와 지질 구조의 연속성 등이 있다.

✗. 글로소프테리스는 고생대 후기에 번성한 육상 식물이다. 글로소프테리스 화석이 멀리 떨어진 두 대륙에서 발견되는 것은 과거 두 대륙이 붙어 있었다가 분리되어 이동했다는 대륙 이동의 증거가 된다.

○. A는 애팔래치아산맥이다. 애팔래치아산맥은 고생대 말에 판게아가 형성되는 과정에서 북아메리카 대륙이 아프리카 대륙 및 유럽 대륙과 충돌하여 형성되었으며, 이후 대서양이 형성되면서 애팔래치아산맥과 칼레도니아산맥으로 분리되었다.

○. 판게아가 분리되면서 대서양이 형성되었으며, 중생대 이후 대서양의 면적은 점점 넓어졌다. 따라서 대서양의 면적은 중생대보다 신생대에 넓었다.

## 02 맨틀 대류설

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

○. 흐스는 방사성 원소의 붕괴열과 지구 중심부에서 맨틀로 올라오는 열에 의해 맨틀 대류가 일어난다고 주장하였다. 따라서 '방사성 원소의 붕괴열'은 ㉠에 해당한다.

○. 흐스는 맨틀 내에서 주위보다 온도가 높은 곳은 맨틀 물질이 상승하고, 주위보다 온도가 낮은 곳은 맨틀 물질이 하강한다고 설명하였다. 따라서 맨틀 물질의 온도는 영역 A가 B보다 낮다.

✗. 맨틀 대류설 발표 당시 흐스는 지각이 맨틀 위에 떠 있다고 설명하였다.

## 03 음향 측심법

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

○. 해령에서 멀어질수록 해저 퇴적물의 두께가 두꺼워진다. 초음파의 왕복 시간을 고려할 때, P<sub>4</sub> 부근에 해령이 위치하기 때문에 해저 퇴적물의 두께는 P<sub>1</sub>이 P<sub>3</sub>보다 두껍다.

✗. 관측 지점 중 P<sub>4</sub>에서 수심이 가장 얕으므로 P<sub>3</sub>과 P<sub>5</sub> 사이에는 판의 발산형 경계인 해령이 존재한다.

○. 관측 지점 중 수심이 가장 깊은 곳은 초음파의 왕복 시간이 7.7초인 곳으로 수심이 5775 m이고, 수심이 가장 얕은 곳은 초음파의 왕복 시간이 3.9초인 곳으로 수심이 2925 m이다. 따라서 관측 지점 중 수심의 최댓값과 최솟값의 차는 2850 m이다.

## 04 대륙의 이동

인도 대륙은 71 Ma부터 현재까지 북쪽으로 이동하였기 때문에 인도 대륙에서 서로 다른 시기에 생성된 암석의 고지자기 북극은 대륙의 위치에 따라 다르게 나타난다.

✗. 인도 대륙의 시간에 따른 위도 변화량은 71 Ma~55 Ma가 38 Ma~10 Ma보다 크다. 따라서 인도 대륙의 이동 속도는 일정하지 않았다.

○. 히말라야산맥은 인도 대륙과 유라시아 대륙이 충돌하면서 형성되었다. 따라서 히말라야산맥은 신생대에 형성되었다.

✗. A 기간(38 Ma~10 Ma)은 B 기간(71 Ma~55 Ma)에 비해 인도 대륙의 위도 변화량이 작다. 한편, 위도에 따른 고지자기 북극의 크기 변화량은 저위도가 고위도보다 크게 나타난다. 따라서 인도 대륙에서 생성된 암석의 북극 크기 변화량은 A 기간이 B 기간보다 작다.

## 05 지구 자기장

지질 시대 동안 지구 자기장이 역전되는 현상이 반복되었다. 지구 자기장의 방향이 현재와 같은 시기를 정자기(정상기), 현재와 반대인 시기를 역자기(역전기)라고 한다. (가)는 역자기(역전기), (나)는 정자기(정상기)이다.

✗. (가)는 역자기(역전기)이므로, (가)에서 지리상 남극과 지자기 북극은 일치한다.

✗. A 지점은 적도에 위치한 곳으로, A 지점에서 자기력선은 지표면에 나란한 방향으로 배열된다.

○. B 지점은 지구 자기장 자기력선의 축과 지표면이 만나는 곳이며, 이곳에서 자기력선이 지표면 밖으로 나오고 있으므로 지자기 남극에 해당한다.

## 06 고지자기 북극

화산암체가 이동할 때 고지자기 북극의 변화를 통해 화산암체의 위도 변화를 추정할 수 있다. (나)에서 A는 B보다 먼저 생성된 암석이며, 고지자기 북극이 크다.

○. A의 암석은 정자기기에 생성되었으며 고지자기 북극이 양(+)의 값이다. 즉, 화산암체는 A가 생성된 시기에 북반구에

위치했지만, 현재는 남반구에 위치하기 때문에 A가 생성된 이후에 남쪽으로 이동했다.

✕. B는 정자극기에 생성된 암석이고 고지자기 복각이 양(+)의 값이므로 B가 생성될 당시 화산암체는 북반구에 위치했다.

✕. A와 B가 생성될 당시에는 화산암체가 북반구에 위치했지만, 현재 화산암체는 남반구 중위도에 위치한다. 따라서 6천만 년 전부터 현재까지 화산암체의 위도는 낮아졌다가 높아졌으므로 고지자기 복각의 크기는 작아졌다가 커졌다.

## 07 고지자기 줄무늬

해령 주변에서는 고지자기 줄무늬가 해령 축을 중심으로 대칭적으로 분포한다. 이는 해령에서 생성된 해양 지각이 해저가 확장되면서 양쪽으로 이동하기 때문이다.

✕. 해령에서 멀어질수록 해저 퇴적물의 두께는 두꺼워진다. 따라서 ㉠은 B의 하부, ㉡은 A의 하부의 해양 지각 및 퇴적물 분포에 해당한다.

✕. 해령 축은 북쪽 방향에 대해 기울어져 있다. B의 암석이 만들어질 당시 잔류 자기(고지자기) 방향은 북쪽을 향하므로 고지자기 방향은 해령 축에 대해 기울어진 상태가 된다.

㉢. 해령에서 멀어질수록 해저 퇴적물 최하층의 연령이 많다. 따라서 해저 퇴적물 최하층의 연령은 ㉠이 ㉡보다 적다.

## 08 판의 이동

모든 판은 끊임없이 이동하고 있으며, 이 과정에서 판의 경계와 대륙 분포의 변화가 나타난다.

✕. A의 내부에서 판의 이동 속력은 위치에 따라 다르게 나타난다.

㉢. B와 D는 각각 북동쪽, 북서쪽으로 이동하기 때문에 판의 경계를 기준으로 한 상대적인 운동을 고려할 때, 두 판 사이에는 수렴형 경계가 발달한다.

㉢. 판의 이동 방향 및 이동 속력을 고려할 때, C의 경계에는 주로 수렴형 경계가 발달한다. C는 해양판이기 때문에 C의 경계에는 주로 해구가 발달한다.

## 09 해저 확장

해령 축으로부터의 거리가 멀어질수록 해양 지각의 나이는 많아진다. 또한 해령 정상으로부터 해저면까지의 깊이가 깊어질수록 해양 지각의 나이는 대체로 많아진다. 해령에서 해양 지각의 확장 속도는 A가 B보다 빠르다.

㉠ ㉠ 지점과 ㉡ 지점은 지각의 나이가 같다. 지각의 나이가 같을 때 해령 축으로부터의 거리는 B가 A보다 가깝기 때문에 ㉠ 지점이 ㉡ 지점보다 해령 축으로부터의 거리가 가깝다.

㉢. 지각의 나이가 같을 때 해령 축으로부터의 거리는 A가 B보다 멀다. 즉, 해양 지각의 평균 확장 속력은 A가 B보다 빠르다. 따라서 고지자기 줄무늬의 평균적인 폭은 A가 B보다 넓다.

✕. A와 B 모두 해양 지각의 나이가 많을수록 해령 정상으로부터 해저면까지의 깊이가 대체로 깊다. 즉, 수심이 대체로 깊다.

## 10 대륙 분포의 변화

고생대 말에는 분리되었던 대륙들이 충돌하면서 합쳐져 초대륙 판게아가 형성되었다.

㉢. (가)는 고생대 초기, (나)는 고생대 말기의 대륙 분포에 해당한다.

✕. 고생대 말기에 해당하는 (나) 시기에 초대륙 판게아가 형성되었다.

✕. 해안선의 총 길이는 대륙들이 흩어져 있을 때보다 초대륙이 형성된 시기에 상대적으로 짧다. 대륙들의 분포를 고려할 때 (가)보다 (나)에서 대륙들이 많이 붙어 있으므로 해안선의 총 길이는 (가)가 (나)보다 길다.

## 11 지괴의 이동과 고지자기극의 겹보기 이동

고지자기극은 고지자기 방향으로 추정된 지리상 북극이고, 지리상 북극의 위치가 변하지 않았다고 가정하면 지괴의 이동에 의해 고지자기극의 겹보기 이동이 나타난다. 시기별 고지자기 복각의 크기는 지괴의 위도가 높을수록 큰 값을 나타낸다.

✕. 지괴의 위도 변화량은 60 Ma~40 Ma와 40 Ma~20 Ma가 같지만, 지괴의 경도 변화량은 60 Ma~40 Ma보다 40 Ma~20 Ma가 크다. 따라서 시간에 따른 지괴의 이동 거리를 비교할 때, 지괴는 60 Ma~40 Ma가 40 Ma~20 Ma보다 느리게 이동하였다.

✕. 고지자기 복각의 크기는 지괴의 위도가 높을수록 큰 값을 나타낸다. 40 Ma에 지괴의 위도는 약 0°이고 20 Ma에 지괴의 위도는 약 10°S이므로, 고지자기 복각의 크기는 40 Ma가 20 Ma보다 작다.

㉢. 지질 시대 동안 지자기 북극은 하나뿐이었으므로 지괴가 이동하거나 회전하지 않는다면 고지자기극의 위도는 언제나 90°이다. 하지만 지괴가 이동하거나 회전하면 이에 따라 고지자기극의 위도 역시 변하게 된다. 지괴에서 구한 10 Ma의 고지자기극의 위도는 현재 지리상 북극과 일치하기 때문에 90°이지만, 지괴에서 구한 30 Ma의 고지자기극의 위도는 지괴의 이동과 회전에 의한 위치 변화가 있으므로 90°보다 낮다.

## 12 초대륙의 형성과 분리

과학자들은 초대륙이 분리되었다가 합쳐져 다시 초대륙이 형성되고 이 과정이 되풀이된다고 생각한다.

㉢. (가)는 초대륙이 분리되는 과정이며, 발산형 경계가 형성된다.

㉢. (나)는 대륙과 대륙이 충돌하여 초대륙이 형성되는 과정이며, 습곡 산맥이 형성된다.

㉢. 지질 시대 동안 대륙이 충돌하여 초대륙이 형성되고, 초대륙이 다시 분리되는 과정은 반복적으로 일어났다.

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

### 01 대륙 이동의 증거

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

✕. 빙하의 이동 흔적은 빙하기에 빙하가 확장될 때나 간빙기에 빙하가 녹아 이동할 때 형성된다. 따라서 (가)에서 빙하의 이동 흔적과 대륙 이동은 직접적인 관련이 없다.

✕. 대서양 양쪽 해안에서 발견되는 암석 분포와 지질 구조가 대륙들 간에 연속성을 갖는 것은 대륙 이동의 증거이다. 즉, (나)는 판게아가 존재한 시기에 형성된 지층이므로, 사암층에서 신생대 화석은 산출될 수 없다.

○. 판게아가 형성되었을 때 대륙 A와 B는 서로 붙어 있었기 때문에 A와 B의 일부 지역에서는 연속된 지질 구조가 나타난다.

### 02 판 구조론의 정립

(가)는 대륙 이동설을 주장한 베게너, (나)는 맨틀 대류설을 주장한 홈스, (다)는 해령 주변에서 변환 단층이 형성되는 이유를 설명한 윌슨이다.

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

○. 홈스의 맨틀 대류설은 대륙 이동의 원동력을 모두 설명하기에 부족했고, 발표 당시에는 홈스의 주장을 뒷받침할 만한 결정적인 증거가 없었기 때문에 많은 과학자들에게 인정받지 못했다.

○. 윌슨은 해령의 열곡과 열곡이 어긋난 구간에서 천발 지진이 활발하게 발생하는 것을 발견하고 이 구간에 변환 단층이 발달한다고 주장하였다.

### 03 지구 자기장

지구가 가지고 있는 고유한 자기장을 지구 자기장이라고 한다. 나침반의 자침은 지구 자기장 방향으로 배열되며, 나침반 자침의 N극은 현재 북쪽을 향한다.

○. 현재 지구 자기장 자기력선의 축은 지구 자전축에 대해 조금 기울어져 있기 때문에 지자기 북극과 지리상 북극이 일치하지 않지만, 오랜 시간 동안 평균한 지자기 북극의 위치는 지리상 북극과 일치한다. 따라서 오랜 시간 동안의 위치를 평균하여 나타내면 ①과 ②은 같은 곳에 위치한다.

○. 나침반 자침의 N극이 지구 중심을 향하는 곳은 지자기 북극

이다. 지자기 북극에서  $\theta$ 는  $90^\circ$ 이다.

○. A와 B는 모두 지리상 적도에 위치하지만, 지구 자기장을 고려할 때 A에서 북각은  $0^\circ$ 이고, B에서 북각은 양(+)의 값을 나타낸다. 따라서 나침반 자침의 N극과 수평면이 이루는 각( $\theta$ )의 크기는 A에서가 B에서보다 작다.

### 04 음향 측심법

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

$$\text{수심}(d) = \frac{1}{2}vt$$

음향 측심법을 이용해 수심을 구하면, 구간 A-B에서 가장 깊은 곳의 수심은 7500 m보다 깊다.

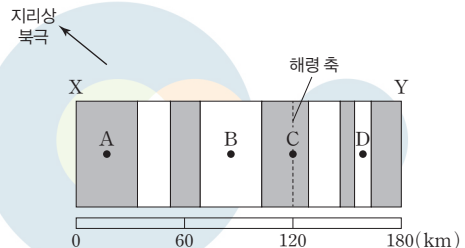
○. 구간 A-B에서 초음파 왕복 시간의 최댓값은 10초보다 길고, 최솟값은 4초보다 짧다. 따라서 A-B 구간에서 수심의 최댓값은 7500 m보다 깊고, 최솟값은 3000 m보다 얕기 때문에 수심의 최댓값과 최솟값의 차는 4500 m보다 크다.

✕. A 지점과 B 지점 사이에는 판의 수렴형 경계가 발달한다. 따라서 A 지점은 판의 경계에 대해 대체로 동쪽으로, B 지점은 판의 경계에 대해 대체로 서쪽으로 이동한다.

✕. B 지점이 위치한 판이 A 지점이 위치한 판 아래로 섭입하므로, 섭입대는 A 지점이 위치한 판 하부에 존재한다.

### 05 해저 확장고 고지자기 줄무늬

해령 주변의 고지자기 줄무늬는 해령 축을 기준으로 대칭적으로 나타난다. 만약 해령 축을 기준으로 양쪽에서 해저가 확장되는 속력이 서로 다르다면 고지자기 줄무늬의 폭도 다르게 나타날 것이다. X 지점으로부터 120 km 떨어진 곳은 해저 퇴적물의 두께가 0이므로 해령 축에 해당한다. 구간 X-Y가 북서-남동 방향으로 기울어져 있으므로, 해령 축은 지리상 북극 방향에 대해 북동-남서 방향으로 기울어져 있다.



○. A는 B보다 해령 축으로부터의 거리가 멀다. 따라서 해양 지각의 나이는 A가 B보다 많다.

✕. 지각이 생성된 후 이동하지 않는다면 지괴에서 구한 고지자기극의 위도는 언제나  $90^\circ$ 이다. 하지만 지괴가 이동한다면 지괴에서 구한 고지자기극의 위도 역시 변하게 된다. C는 해령 축에 위치하기 때문에 C에서 구한 고지자기극의 위도는  $90^\circ$ 이다. 이에



비해 A는 해령 축으로부터의 거리가 C에 비해 멀기 때문에 A에서 구한 고지자기극의 위도가 C에서 구한 고지자기극의 위도보다 낮다.

✕. 암석이 생성될 때 잔류 자기 방향은 언제나 지자기 북극(=지리상 북극) 방향을 향한다. 즉, 정자기기에 고지자기 방향은 북쪽을 향하고, 역자기기에 고지자기 방향은 남쪽을 향한다. 따라서 역자기기에 해당하는 D에서 해양 지각을 이루는 암석의 고지자기 방향은 남쪽을 향한다.

## 06 섭입대와 해저 확장설

해저 확장설에 따르면 해령에서 생성된 해양 지각은 맨틀 대류를 따라 이동하며 해구에서 침강하여 맨틀로 들어간다.

㉠. 섭입대 주변에서 지진이 발생하는 깊이는 해구에서 섭입당하는 판 쪽으로 갈수록 점차 깊어진다. 이는 해양 지각이 해구에서 섭입되기 때문이다. 섭입대 주변에서 지진이 발생하는 깊이 변화는 해저 확장설에서 해양 지각의 소멸을 설명하는 증거가 된다.

㉡. A와 B의 경계를 기준으로 A 쪽으로 갈수록 진원의 깊이가 점차 깊어진다. 즉, 판의 섭입이 일어나므로, 판의 경계에는 해구가 발달한다.

✕. 판의 경계 부근에서 진앙은 B보다 A에 주로 분포한다. 이로부터 B가 A 아래로 섭입하는 것을 알 수 있다. 따라서 판의 밀도는 A가 B보다 작다.

## 07 대륙의 이동과 고지자기극의 겹보기 이동

지질 시대 동안 지리상 북극의 위치가 변하지 않았다고 가정하면 대륙의 이동에 의해 고지자기극의 겹보기 이동이 나타난다. (나)는 300 Ma의 대륙 분포를 나타낸 것이므로, (가)에서 300 Ma에 A와 B에서 구한 고지자기극의 위치를 일치시키면 (나)와 같은 대륙 분포가 나타나야 한다.

✕. 오랜 시간 동안 평균한 지자기 북극의 위치는 지리상 북극과 같다. 고지자기극의 겹보기 이동은 대륙의 이동에 의해 나타나는 것이므로, 대륙이 이동하지 않는다면 대륙에서 구한 고지자기극의 위치는 지리상 북극과 일치한다. 대륙에서 구한 400 Ma의 고지자기극이 저위도에 위치하는 것은 대륙 이동에 의한 결과이다. 400 Ma에 지자기 북극은 지리상 북극 부근에 위치하였다.

㉢. A에서 구한 300 Ma 고지자기극과 B에서 구한 300 Ma 고지자기극을 일치시켰을 때 (나)와 같은 대륙 분포가 나타나야 한다. B에 대하여 A는 상대적으로 시계 방향으로 회전했으므로 ㉠은 A, ㉡은 B에서 각각 구한 고지자기극의 겹보기 이동 경로에 해당한다.

✕. 고지자기극은 고지자기로 추정한 지리상 북극이며, 지리상 북극의 위치는 변하지 않았으므로 대륙이 이동하지 않았다면 대륙에서 구한 고지자기극의 위치는 지리상 북극과 일치해야 한다. B에서 구한 시기별 고지자기극의 위치가 지리상 북극에 대해 계속 변하고 있으며, 300 Ma에 고지자기극의 위치가

현재 지리상 북극과 일치하지 않으므로 300 Ma에 B의 위치는 현재와 같을 수 없다.

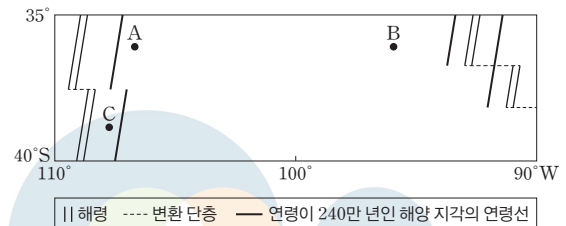
## 08 해저 확장과 해양 지각의 연령 변화

해양 지각의 연령은 해령 축에서 멀어질수록 많아진다. 해령의 열곡과 열곡이 어긋난 구간에는 변환 단층이 발달하며, 변환 단층은 판의 보존형 경계에 해당한다.

✕. A와 B 사이에는 진앙이 분포하지 않기 때문에 판의 경계가 존재하지 않는다. 따라서 A와 B 사이에는 맨틀 대류의 상승부가 위치할 수 없다. 맨틀 대류의 상승부는 해령이 발달하는 곳에 나타난다.

✕. A와 C는 같은 판에 속해 있으므로, A와 C 사이에는 변환 단층이 발달할 수 없다.

㉢. 해령 축으로부터 B는 해양 지각의 연령이 240만 년보다 많은 곳에 위치하고, C는 해양 지각의 연령이 240만 년보다 적은 곳에 위치한다. 따라서 암석의 연령은 B가 C보다 많다.



## 09 대륙 분포의 변화

판의 운동은 지속적으로 일어나고 있으며, 판의 운동에 의해 대륙 분포도 끊임없이 변하고 있다.

✕. 현재보다  $t_1$  시기에 대서양의 면적은 넓어지고, 태평양의 면적은 좁아진다. 따라서 (나)에서 A는 태평양, B는 대서양이다.

㉢. 대서양의 면적은  $t_1$  시기가  $t_2$  시기보다 넓다. 따라서  $t_1$ 과  $t_2$  시기 사이에 대서양에는 수렴형 경계가 발달한다.

㉢. 대륙부의 총 면적은 대륙들이 분리되어 있을 때가 합쳐져 있을 때보다 넓다. 따라서  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  시기 중 대륙부의 총 면적은  $t_3$  시기에 가장 좁다.

## 10 판의 이동

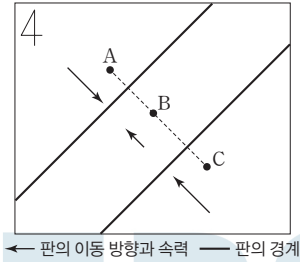
판 내부에 위치한 지점들의 위치 변화를 측정하면 판의 이동 방향과 이동 속도를 추정할 수 있다. 8년 동안 A는 남동쪽으로 이동했고, B와 C는 북서쪽으로 이동했다.

✕. 남북 방향, 동서 방향의 위치 변화를 고려할 때, 판의 평균 이동 속력은 A가 속한 판이 B가 속한 판보다 빠르다.

㉢. 8년 동안 A는 남동쪽으로, C는 북서쪽으로 이동했다. A는 B보다 서쪽에 위치하고, B는 C보다 서쪽에 위치하므로 이 시기 동안 A와 C 사이의 거리는 점차 가까워졌다.

㉢. 판의 경계가 판의 평균 이동 방향에 대해 수직으로 발달하고 했으므로, 판의 이동 방향을 고려할 때  $t$  시기의 위도는 B가

C보다 높다. 참고로  $t$  시기에 A, B, C의 위치는 아래와 같다.



### 11 초대륙의 분리와 형성

판의 운동과 함께 대륙들이 이동하면 분리되었던 대륙들이 합쳐져서 초대륙을 형성하기도 하고, 초대륙이 분리되기도 한다. 과학자들은 초대륙이 형성되는 주기를 약 3억 년~5억 년으로 추정한다.

㉠. (가) → (나) 과정에서 판의 발산형 경계가 형성되며, 발산형 경계에서는 새로운 해양판이 생성된다.

㉡. (다)에는 기존에 형성되었던 판의 발산형 경계와 함께 해양판의 섭입이 일어나는 수렴형 경계가 발달한다. 따라서 (다)에는 맨틀 대류의 상승부와 하강부가 모두 존재한다.

㉢. (라)의 A는 대륙판과 대륙판이 충돌한 경계에 위치한다. 대륙판과 대륙판이 충돌하는 경계에서는 과거 대륙판 주변의 해양판이 섭입하는 과정에서 섭입되지 않고 남은 해양 퇴적물 속의 해양 생물 화석이 산출될 수 있다.

### 12 해저 확장과 고지자기 복각

위도가 높은 지역에서 생성된 해양 지각일수록 고지자기 복각의 크기가 크다. 일정한 기간에 퇴적된 해저 퇴적물의 두께는 해저 퇴적물의 퇴적 속도가 빠른 지역일수록 두껍게 나타난다.

✕. A에서 측정된 고지자기 복각은  $+20^\circ$ 이고, B에서 측정된 고지자기 복각은  $-30^\circ$ 이다. 따라서 지각이 생성될 당시의 위도는 A가 B보다 낮다.

✕. 서로 다른 해역에서 해저 퇴적물의 퇴적 시간이 동일하다면 퇴적된 해저 퇴적물의 두께는 퇴적 속도에 비례하여 나타난다. A와 B에서 동일한 기간에 퇴적된 해저 퇴적물의 두께는 A가 B보다 두꺼우므로 깊이 10 m까지 해저 퇴적물의 평균 퇴적 속도는 A가 B보다 빠르다.

㉣. A와 B는 각각 서로 다른 해령에서 생성되어 이동한 지점이며, 각각의 해령 축으로부터의 거리가 같다. 따라서 해양 지각의 연령에 따른 해령 축으로부터의 이동 거리를 고려할 때, 최근 천만 년 동안 판의 평균 확장 속력은 A가 속한 판이 B가 속한 판보다 빠르다.

## 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 구분된다. ㉠은 암석권, ㉡은 연약권, ㉢은 외핵, ㉤은 내핵이다.

㉠. ㉠(암석권)과 ㉤(내핵)은 모두 고체 상태이다.

㉡. ㉡(연약권)은 상부 맨틀 중 암석권의 하부에서부터 깊이 약 400 km까지를 말하며, 부분 용융 상태이다.

✕. 열점은 맨틀 내에 고정된 마그마의 생성 장소이다.

### 02 맨틀 대류 모델

맨틀 대류를 설명하는 모델에는 상부 맨틀에서만 대류가 일어나는 모델과 맨틀 전체에서 대류가 일어나는 모델이 있다. 어느 모델이든 맨틀 대류에 의해 해저가 확장되고 섭입대가 형성되는 것을 설명할 수 있다.

㉠. (가)는 상부 맨틀에서만 대류가 일어나는 모델이며, 연약권에서 맨틀 대류가 일어난다.

㉡. (나)는 맨틀 전체에서 대류가 일어나는 모델이며, 맨틀과 외핵의 경계부에서 상승한 맨틀 물질에 의한 화산 활동이 판의 내부에서도 일어나는 것을 설명할 수 있다.

㉢. (가)와 (나) 모두 맨틀 대류가 상승하는 곳에 해령이 발달하며, 맨틀 대류에 의한 해저 확장을 설명할 수 있다.

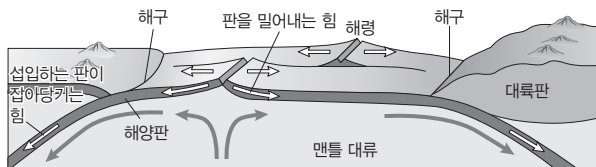
### 03 판의 이동에 작용하는 힘

판의 이동에 작용하는 힘에는 맨틀 대류에 의한 힘, 섭입하는 판이 잡아당기는 힘, 해령에서 판을 밀어내는 힘 등이 있다.

㉠. A에는 해령이 발달하며, 해령에서는 판을 밀어내는 힘이 작용한다.

㉡. 해령에서 만들어진 해양 지각이 해구에서 소멸될 때까지 해양판은 맨틀 대류에 의해 이동한다. 따라서 B에서는 맨틀 대류에 의한 힘이 작용한다.

㉢. C의 북동쪽에는 섭입대가 존재한다. 따라서 C에서는 섭입하는 판이 잡아당기는 힘이 작용한다.



판을 이동시키는 힘

#### 04 화산대와 판의 경계

태평양 주변부의 화산대는 대체로 판의 경계와 나란하게 나타난다. 열점은 판의 경계는 아니지만 화산 활동이 활발하게 일어난다.

㉠ A에는 호상 열도가 나타나므로 해양판의 섭입이 일어나기 시작하는 곳에 해구가 존재한다.

✕ B는 판의 내부에서 화산 활동이 일어나는 곳으로, B의 하부에 열점이 있다. 열점은 새로운 해양판이 생성되는 곳이 아니며, 새로운 해양판은 발산형 경계(해령)에서 생성된다.

✕ 해양판이 대륙판 아래로 섭입하는 곳에서는 해구와 호상 열도가 발달하거나 해구와 습곡 산맥이 발달한다. C는 해양판이 대륙판 아래로 섭입하는 곳으로 해구와 습곡 산맥이 발달한다.

#### 05 판의 경계

발산형 경계에서는 판과 판이 서로 멀어지며, 수렴형 경계에서는 판과 판이 서로 가까워진다. 발산형 경계와 섭입형 수렴형 경계 부근에서는 지진과 화산 활동이 활발하게 일어난다.

㉠ A에는 섭입형 수렴형 경계, B에는 발산형 경계가 발달한다. 따라서 진원의 평균 깊이는 A가 B보다 깊다.

✕ ㉠ 판의 동쪽 경계는 발산형 경계이다. 따라서 ㉠ 판의 동쪽 경계 부근에는 주로 해령이 발달한다.

✕ 화산 활동은 판의 발산형 경계 또는 섭입형 수렴형 경계 부근에서 활발하게 일어난다. 판의 경계는 대서양 연안보다 태평양 연안에 많이 발달하므로, 화산 활동 역시 대서양 연안보다 태평양 연안에서 활발하게 일어난다.

#### 06 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 섭입형 수렴형 경계에서 섭입한 판에 의해 생성된다.

✕ A는 뜨거운 플룸으로, 뜨거운 맨틀 물질이 상승하면서 생성된다.

㉠ 뜨거운 플룸이 상승하면서 열점이 만들어지고, 열점은 오랫동안 많은 양의 마그마를 분출하여 ㉠과 같은 화산섬을 형성한다.

✕ 아시아 대륙의 하부에서는 차가운 플룸이 하강하고 있다. 차가운 플룸은 섭입한 판이 상부 맨틀과 하부 맨틀의 경계에 머물다가 일정량 이상이 되면 맨틀과 외핵의 경계부 쪽으로 가라앉으면서 생성된다. 따라서 아시아 대륙의 하부에는 섭입대가 대체로 상

부 맨틀과 하부 맨틀의 경계까지 발달한다.

#### 07 열점과 판의 이동

고정된 열점에서 마그마가 분출하여 형성된 화산암체는 판과 함께 이동하므로, 화산암체의 분포와 연령을 파악하면 판의 이동 방향 및 이동 속력을 알 수 있다. 고정된 열점에서 마그마가 분출하여 형성된 화산암체는 고지자기 복각의 크기가 모두 같다.

✕ 화산암체 A, B, C에서 고지자기 복각의 크기가 같으므로 화산암체들은 열점에서 마그마가 분출하여 형성되었다. 한편 호상 열도는 판이 섭입하는 수렴형 경계 부근에서 형성되며, 열점과는 관련이 없다.

✕ 최근에 만들어진 화산암체들의 이동 방향을 통해 최근의 판의 이동 방향을 파악할 수 있다. 최근에 만들어진 화산암체들의 이동 방향은 (나)보다 (가)에 가깝다. 따라서 최근 천만 년 동안 A가 속한 판의 이동 방향은 (나)보다 (가)에 가깝다.

㉠ 열점에서는 맨틀 물질의 부분 용융으로 마그마가 생성된다. 따라서 A, B, C 모두 현무암질 마그마에 의한 화산 활동으로 형성되었다.

#### 08 판의 경계와 마그마 활동

마그마가 활발하게 생성되는 장소에는 해령 하부, 섭입대 부근, 열점 등이 있다. A는 열점에서 만들어진 마그마가 분출하는 곳이고, B는 해령 하부에서 만들어진 마그마가 분출하는 곳이다. C는 주로 섭입대 부근에서 만들어진 마그마와 대륙 지각 하부에서 만들어진 마그마가 혼합되어 생성된 마그마가 분출하는 곳이다.

㉠ A의 하부에는 열점이 위치한다. 열점에서는 주로 압력 감소에 의해 현무암질 마그마가 생성된다.

㉠ B는 해령 하부에서 만들어진 마그마가 분출되는 장소이다. B에서 분출되는 마그마는 현무암질 마그마이므로 SiO<sub>2</sub> 함량이 52% 이하이다.

✕ C에서 분출되는 마그마는 주로 안산암질 마그마이다. 안산암질 마그마가 분출하면 화산암인 안산암이 주로 생성된다.

#### 09 판 경계부의 변화와 마그마 생성

일반적으로 지구 내부의 온도는 암석의 용융 온도에 도달하지 못하므로 대부분의 지구 내부에서는 마그마가 생성되지 않는다. 하지만 지구 내부의 환경 변화로 인해 지구 내부의 온도가 암석의 용융 온도에 도달하면 암석이 녹아서 마그마가 생성될 수 있다. 지하의 온도 분포가 (가)에서 (나)로 변한 것은 새로운 판의 경계가 발달할 때 맨틀 물질의 상승 운동이 있었기 때문이다.

㉠ 일반적으로 지각과 맨틀은 고체 상태이므로 지하 온도는 각 깊이에서의 용융 온도보다 낮다. 따라서 A는 지하 온도에 해당한다.

㉠ 이 해역에서는 새로운 판의 경계가 발달할 때, 맨틀 물질이 상승하여 압력이 감소하는 과정에서 마그마가 만들어진다. 즉, 새로운 판의 경계는 맨틀 대류의 상승부에 위치한 발산형 경계이고,



(가) → (나) 과정에서 이 해역에는 해령이 발달한다.

✗. 이 해역에서는 해령이 발달하고, 주로 현무암질 마그마가 생성된다.

### 10 섭입대와 지진파 단층 촬영 영상

지진파 단층 촬영 영상에서 지진파의 속도가 빠른 곳은 주위보다 온도가 낮고, 지진파의 속도가 느린 곳은 주위보다 온도가 높다. 섭입대 부근의 지진파 단층 촬영 영상에서는 섭입대를 따라 지진파의 속도가 빠른 영역이 나타난다.

㉠. (나)의 지진파 단층 촬영 영상에서 지진파의 속도가 주위보다 빠른 영역이 섭입대를 따라 나타나므로 이 지역에는 수렴형 경계가 존재한다.

✗. A에서는 해양판이 섭입할 때 빠져나온 물의 영향으로 연약권을 구성하는 광물의 용융 온도가 낮아져 현무암질 마그마가 생성되지만, 지하 깊은 곳이므로 현무암이 생성되지는 않는다.

✗. ㉠은 해양판의 섭입에 의해 만들어진 마그마가 분출하여 형성된 화산섬이다. 해양판의 섭입이 일어나는 곳에서는 차가운 플룸이 생성될 수 있으므로 ㉠의 하부에는 열점이 존재할 수 없다.

### 11 화성암

마그마가 지하 깊은 곳에서 서서히 냉각되면 조립질 조직을 가진 심성암이 생성되고, 지표 부근에서 빠르게 냉각되면 세립질 조직이나 유리질 조직을 가진 화산암이 생성된다. 화성암은 화학 조성( $\text{SiO}_2$  함량)에 따라 산성암, 중성암, 염기성암으로 구분한다.

✗. ㉠은 결정의 크기가 작은 세립질 조직이나 결정을 형성하지 못한 유리질 조직의 화산암이고, ㉡은 결정의 크기가 큰 조립질 조직의 심성암이다. 따라서 ㉠은 ㉡보다 결정의 크기가 작다.

㉢. A는 C보다  $\text{SiO}_2$  함량이 적으므로 암석의 색은 A가 C보다 어둡다.

㉣. B는 결정의 크기가 작은 화산암이다. 따라서 B의 산출 상태는 ㉢보다 ㉠에 가깝다.

### 12 우리나라의 화성암 지형

설악산의 공룡 능선은 지하 깊은 곳에서 마그마가 관입하여 생성된 심성암이 지표에 노출되어 형성된 지형이고, 울릉도 국수 바위는 마그마가 지표 부근에서 빠르게 냉각되면서 형성된 지형이다.

㉠. 설악산 공룡 능선은 심성암 지형, 울릉도 국수 바위는 화산암 지형이다. 따라서 ㉠은 심성암, ㉡은 화산암이다.

㉢. 심성암이 용기하여 지표에 노출될 때 압력 감소로 인해 팽창하면서 판상으로 갈라진 판상 절리가 형성된다. 따라서 '판상 절리'는 ㉢에 해당한다.

✗. 화산암이 생성될 때 마그마가 지표 부근에서 급속히 냉각되면 부피가 급격히 수축하여 기둥 모양으로 갈라진 주상 절리가 발달할 수 있다. 마그마의 냉각 속도가 느릴수록 주상 절리는 잘 발달하지 않는다.

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

### 01 암석권과 연약권

암석권의 두께가 두꺼운 지역일수록 연약권이 나타나기 시작하는 깊이가 깊다. 해령 부근에서는 해령에 가까울수록 암석권의 평균 두께가 대체로 얇다.

✗. 구간 X-Y는 해양의 발산형 경계(해령) 부근에 위치한다. 구간 X-Y에서는 해령으로부터 멀어질수록 지각의 나이가 많아지기 때문에 암석권의 두께 역시 지각의 나이가 많을수록 두껍다.

㉠. A에는 해령이 위치한다. 해령은 화산 활동으로 생성된 해저 산맥으로 주변 해저 지형에 비해 수심이 얇다. 즉, 주변에 비해 높게 솟아오른 지형이다. 따라서 A 부근에서는 중력에 의해 판이 미끄러지면서 판을 밀어내는 힘이 작용한다.

✗. B는 다른 지역에 비해 암석권의 두께가 두껍다. 맨틀 대류의 상승부에서는 판의 발산에 의해 암석권의 두께가 얇으므로, B는 맨틀 대류의 상승부에 위치할 수 없다.

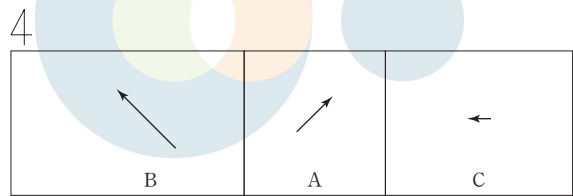
### 02 판의 이동에 작용하는 힘

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

✗. A, B, C 중 판의 면적은 B가 가장 넓고, A가 가장 좁다. 하지만 판의 평균 이동 속력은 A가 C보다 빠르기 때문에 판의 면적이 넓을수록 판의 평균 이동 속력이 빠른 것은 아니다.

㉠. A의 서쪽 경계는 B와 접해 있으며, A의 평균 이동 방향은 북동쪽, B의 평균 이동 방향은 북서쪽이다. 따라서 A와 B 사이에는 판의 발산형 경계가 발달하고, 판의 경계에서는 판을 밀어내는 힘이 작용한다.

㉢. 판의 경계 중 해구가 차지하는 비율은 A가 C보다 크다. 이때 판의 평균 이동 속력도 A가 C보다 빠르기 때문에 섭입하는 판이 판 전체를 잡아당기는 힘은 상대적으로 A가 C보다 클 것이다.



← 판의 이동 방향 및 속력

판의 상대적 위치와 이동 속력(모식도)

### 03 플룸의 연직 운동

차가운 플룸은 주위보다 온도가 낮고 밀도가 크기 때문에 지구 내



부로 하강하는 연직 운동이 나타나고, 뜨거운 플룸은 주위보다 온도가 높고 밀도가 작기 때문에 상승하는 연직 운동이 나타난다.

㉠ 가열된 물의 상승을 통해 뜨거운 플룸이 상승하는 원리를 설명할 수 있으므로, '뜨거운 플룸'은 A에 해당한다.

㉡ (라)에서 수조 바닥을 가열하면 주위보다 온도가 높아지고 밀도가 작아진 물이 상승하는 연직 운동이 나타난다. 따라서 ㉠에서는 밀도 차에 의한 연직 운동이 일어난다.

㉢ (라)에서 나무토막은 가열된 물이 상승하여 밀어내는 힘에 의해 분리된다. 이와 같이 뜨거운 플룸의 연직 운동이 대규모로 일어나면 그 과정에서 대류가 분리될 수 있다.

#### 04 태평양 주변부의 안산암선과 지진대

안산암선은 태평양 주변부의 판 경계와 대체로 나란하게 나타나며 태평양 주변부의 지진대와도 대체로 나란하다.

㉠ 태평양에서 안산암선은 태평양 주변부의 수렴형 경계 부근에 분포한다. 따라서 태평양판을 이루는 해양 지각의 연령은 안산암선에 가까울수록 대체로 많다.

㉡ 섭입대 부근의 연약권에서 생성된 현무암질 마그마가 상승하여 대륙 지각 하부에 도달하면 대륙 지각을 이루고 있는 암석이 가열되어 유문암질 마그마가 생성될 수 있다. 이때 유문암질 마그마가 상승한 현무암질 마그마와 혼합되면 주로 안산암질 마그마가 만들어진다.

㉢ 태평양에서 안산암선 안쪽에서는 현무암질 마그마가 분출하고, 안산암선 바깥쪽에서는 안산암질 마그마와 현무암질 마그마가 모두 분출한다. 따라서 구간 A에서 안산암은 안산암선을 기준으로 대부분 동쪽에 분포한다.

#### 05 열점과 화산암체

고정된 열점에서는 오랫동안 많은 양의 마그마가 분출하면서 화산암체를 만든다. 이때 화산암체들은 판의 운동에 의해 이동하지만, 고지자기 복각의 크기는 일정하다. A<sub>1</sub>과 A<sub>2</sub>는 연령이 다르지만 고지자기 복각이 동일한 것으로 보아 고정된 열점에서 마그마가 분출하여 생성되었다. 즉, A의 화산암체들은 고정된 열점에서 마그마가 분출하여 생성되었다.

㉠ A의 화산암체들은 연령이 다르지만 고지자기 복각이 같다. 즉, A의 화산암체들은 고정된 열점에서 마그마가 분출하여 생성되었기 때문에 A<sub>1</sub>과 A<sub>2</sub>는 현무암으로 이루어졌다.

㉡ B의 화산암체들은 대체로 판의 경계와 나란하게 발달한다. 판 경계의 동쪽에 화산암체가 발달하는 것은 B의 하부에 섭입대가 존재하기 때문이고, 섭입대 부근에는 용융된 맨틀 물질이 존재한다.

㉢ 판의 경계를 기준으로 서쪽에 위치한 판이 동쪽에 위치한 판 아래로 섭입한다. 따라서 지진은 판의 경계를 기준으로 서쪽보다 동쪽에서 활발하게 일어난다.

#### 06 지진파 단층 촬영 영상

지진파 단층 촬영 영상에서 지진파의 속도 편차가 음(-)의 값인 곳에는 주위보다 온도가 높고 밀도가 작은 물질이 분포하고, 지진파의 속도 편차가 양(+)의 값인 곳에는 주위보다 온도가 낮고 밀도가 큰 물질이 분포한다.

㉡ ㉠은 구간 X-Y에서 깊이 1660 km, 95°E 부근에 위치하며, 하부에는 깊이 2500 km 이상까지 지진파 속도 편차가 양(+)의 값인 영역이 존재한다. 뜨거운 플룸이 상승하는 곳의 지진파 속도 편차는 대체로 음(-)의 값이므로 ㉠의 하부에서는 뜨거운 플룸의 대규모 상승 운동이 일어나지 않는다.

㉢ ㉡은 구간 X-Y에서 깊이 1660 km, 140°E 부근에 위치하며 상부에는 지진파 속도 편차가 양(+)의 값인 영역이 존재한다. 일본 부근에 발달하는 섭입형 수렴형 경계의 위치를 고려할 때, ㉡의 상부에는 섭입대를 따라 이동하는 해양판이 존재한다.

㉣ (나)에서 A 지점과 B 지점은 깊이가 같다. 따라서 물질의 온도는 지진파 속도 편차가 음(-)의 값인 A 지점이 양(+)의 값인 B 지점보다 높다.

#### 07 변동대와 마그마

마그마가 주로 생성되는 곳은 열점, 해령 하부, 섭입대 부근 등이다. ㉡ A는 판의 경계가 아닌 마그마 생성 장소로 열점에 해당한다. 열점에서는 맨틀 물질이 상승하여 압력 감소에 의해 마그마가 생성된다.

㉢ B는 해령의 하부에 위치하며 현무암질 마그마가 만들어진다. 따라서 B 부근에서는 심성암인 반려암 또는 화산암인 현무암이 생성될 수 있다.

㉣ C는 섭입대 부근의 연약권에 해당한다. 이곳에서는 해양판이 섭입하여 온도와 압력이 상승하면 해양 지각과 퇴적물의 함수 광물에 포함된 물이 빠져나오고, 이 물의 영향으로 연약권을 구성하는 광물의 용융 온도가 낮아져 주로 현무암질 마그마가 생성된다. 따라서 A와 C는 평균 깊이가 같지만 암석의 용융 온도는 A가 C보다 높으므로 ㉠은 ㉡보다 크다.

#### 08 판의 경계와 지각의 나이

해양 지각은 판의 경계에서 끊임없이 생성과 소멸의 과정을 거친다. 이에 비해 대륙 지각은 판의 경계에서 생성과 소멸의 과정을 거치지 않으므로 지각의 나이는 대체로 대륙 지각이 해양 지각보다 많다. 또한 해양 지각은 일반적으로 해령에서 멀어질수록 나이가 많아지며, 판의 경계가 이동하지 않는다면 판의 이동 속력이 느릴수록 거리에 따른 지각의 나이 증가량이 커진다.

㉠ a가 속한 판과 b가 속한 판의 경계(수렴형 경계) 부근에서는 a가 속한 판이 b가 속한 판 아래로 섭입한다. 즉, a가 속한 판은 섭입하는 판이 판을 잡아당기는 힘이 작용하여 판의 경계 부근으로 이동하는 판의 이동 속력이 상대적으로 빠르다. 한편 (나)에서

거리에 따른 해양 지각의 나이 변화량도 a가 b보다 작다. 따라서 판의 경계가 이동하지 않는다면 판의 평균 이동 속력은 a가 속한 판이 b가 속한 판보다 빠를 것이다.

㉠ a에서 지각의 나이는 동쪽으로 갈수록 많아지기 때문에 a가 속한 판은 해양판이다. a가 속한 판과 b가 속한 판의 경계를 기준으로 동쪽에 진앙이 많이 분포하는 것으로 보아 a가 속한 해양판은 b가 속한 판의 아래로 섭입한다.

㉡ a에는 해양 지각만 존재하지만 b에는 해양 지각과 대륙 지각이 모두 존재한다. 따라서 지각의 평균 두께는 a가 b보다 얇다.

## 09 지구 내부 구조와 암석의 용융 곡선

암석권은 지각과 상부 맨틀의 일부를 포함하는 두께 약 100 km의 암석으로 이루어진 층이다. 연약권은 상부 맨틀 중에서 암석권의 하부에서부터 깊이 약 400 km까지에 해당한다. 해양 지각은 대륙 지각보다 두께가 얇기 때문에 해양 지각이 위치한 곳은 대륙 지각이 위치한 곳보다 맨틀이 시작되는 깊이가 얇다. ㉠은 대륙의 지하 온도 분포, ㉡는 해양의 지하 온도 분포에 해당한다.

㉢ A 과정은 해양 하부에서 상부 맨틀의 온도가 상승하는 경우에 해당한다. 따라서 A 과정에서는 유문암질 마그마가 생성될 수 없다.

㉣ B 과정은 맨틀 물질이 상승할 때 압력 감소에 의해 맨틀 물질이 용융되어 마그마가 생성되는 경우에 해당한다. 따라서 B 과정에서 상승하는 물질에 작용하는 압력은 점차 작아진다.

㉤ 이 지역의 맨틀에 물이 공급된다면 맨틀의 용융 곡선은 ㉠에서 ㉡으로 변하므로 마그마가 생성되기 시작하는 깊이는 대륙의 하부가 해양의 하부보다 깊을 것이다.

## 10 판의 경계와 판의 이동

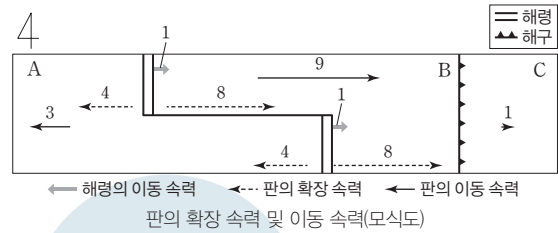
해령 축을 기준으로 판의 확장 속력이 빠를수록 거리에 따른 해양 지각의 연령 변화는 작게 나타난다. 만약 해령이 이동한다면 판의 이동 속력은 새로운 판이 생성되어 확장되는 속력과 해령의 이동 속력을 모두 고려하여 계산해야 한다. 판의 이동 방향은 A가 서쪽, B가 동쪽이며, B는 A에 비해 판의 확장 속력은 2배 빠르지만, 판의 이동 속력은 3배 빠르다. 따라서 해령은 서쪽에서 동쪽으로 이동한다.

㉠ 판의 확장 속력은 B가 A의 2배이다. ㉡과 ㉢은 각각의 해령으로부터 생성된 지각의 이동 거리가 거의 같으므로 지각의 연령은 ㉡이 ㉢보다 적다. 따라서 해저 퇴적물의 퇴적 시간을 고려할 때 해저 퇴적물의 두께는 ㉡이 ㉢보다 얇다.

㉣ 현재 해령은 서쪽에서 동쪽으로 이동하고 있으며, 이동 속력(상댓값)은 1이다. 판의 확장 속력(상댓값)은 서쪽으로 4, 동쪽으로 8이므로 해령의 이동 속력은 판의 확장 속력보다 느리다.

㉤ C의 이동 속력(상댓값)은 1이다. 만약 C의 이동 방향이 동쪽이라면 해령과 이동 방향 및 이동 속력이 같다. 따라서 해령과 해

구 사이의 거리는 일정하게 유지된다.



## 11 화성암의 분류

화성암은 마그마의 냉각 속도(결정 크기)에 따라 화산암과 심성암으로 분류하고, SiO<sub>2</sub> 함량에 따라 염기성암, 중성암, 산성암으로 분류한다. 일반적으로 화성암을 만든 마그마의 생성 깊이가 깊을수록 마그마의 생성 당시 온도가 높다.

㉠ 대륙판과 해양판의 수렴형 경계에서는 섭입대 부근의 연약권에서 현무암질 마그마가 생성될 수 있다. 이 현무암질 마그마가 상승하여 대륙 지각 하부에 도달하면 대륙 지각을 이루고 있는 암석이 가열되어 유문암질 마그마가 생성될 수 있다. 또한 상승한 현무암질 마그마와 유문암질 마그마가 혼합되면 안산암질 마그마가 생성될 수 있다. A는 결정의 크기가 크고 염기성암이며, B는 결정의 크기가 중간 정도이고 중성암이므로, 대륙판과 해양판이 수렴하는 지역의 대륙 지각 아래에서는 A와 B가 모두 생성될 수 있다.

㉡ A와 C 중 화성암의 결정 크기는 A가 C보다 크다. A는 조립질 조직을, C는 세립질 조직을 나타내므로 암석이 생성될 당시 마그마의 냉각 속도는 A가 C보다 느리다.

㉢ B는 중성암, C는 산성암이므로, 어두운색 광물의 함량비(%)는 B가 C보다 높다.

## 12 우리나라의 화성암 지형

북한산 인수봉을 이루는 화성암은 화강암, 재인 폭포를 이루는 화성암은 현무암이다. 북한산 인수봉에서는 지하 깊은 곳에서 마그마가 관입하여 생성된 심성암이 용기하여 지표면에 노출되면서 만들어진 지질 구조를 관찰할 수 있다. 재인 폭포에서는 화산암이 생성될 때 마그마가 지표 부근에서 급속히 냉각되면서 부피가 급격히 수축되어 기둥 모양으로 갈라진 주상 절리를 관찰할 수 있다. ㉠은 색이 밝은 화성암이고, ㉡은 색이 어두운 화성암이다. 따라서 ㉠은 산성암이고 ㉡은 염기성암이다.

㉢ ㉢은 심성암, ㉣은 화산암이다. 따라서 암석이 생성된 깊이는 ㉢이 ㉣보다 깊다.

㉤ ㉢은 심성암이 생성된 후 용기하는 과정에서 형성된 구조이고, ㉣은 화산암이 생성되는 과정에서 마그마의 급속한 냉각에 의해 형성된 구조이다. 따라서 ㉢(심성암)과 ㉣(판상 절리)의 생성 시기 차이는 ㉣(화산암)과 ㉣(주상 절리)의 생성 시기 차이보다 크다.

## 03 퇴적암과 지질 구조

수능 2점 테스트

본문 45~47쪽

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

### 01 속성 작용

퇴적물이 쌓이면 아랫부분의 퇴적물이 윗부분에 쌓인 퇴적물의 무게에 의해 치밀하게 다져지는 다짐 작용과 퇴적물 속의 수분이 나 지하수에 녹아 있던 석회질 물질, 규질 물질, 산화 철 등이 퇴적 입자 사이에 침전되어 퇴적물 알갱이들을 단단히 붙게 하여 굳어지게 하는 교결 작용을 받는다.

㉠ 이 과정에서 다짐 작용을 받아 퇴적물 입자들 간의 거리가 가까워졌으므로 퇴적물 입자들끼리의 접촉 면적이 증가했다.

㉡ 이 과정에서 다짐 작용과 교결 작용은 동시에 일어났다.

㉢ 이 과정에서 원 내부의 공극이 감소하였고 퇴적물 입자와 교결 물질이 증가하였으므로, 원 내부의 물질 밀도가 증가했다.

### 02 속성 작용

퇴적물이 쌓인 곳에서 지표면으로부터의 깊이가 깊은 부분은 얇은 부분보다 먼저 쌓였고, 속성 작용을 받은 기간이 더 길다.

㉠ 지표면으로부터의 깊이가 깊을수록 위에서 아래로 누르는 퇴적물의 무게가 증가하므로 퇴적물이 받는 압력이 커진다.

㉡ 지표면으로부터의 깊이가 깊은 부분은 얇은 부분보다 다짐 작용을 더 오래 받았기 때문에 퇴적물 입자 사이의 평균 거리는 감소한다.

㉢ 속성 작용을 받는 동안 공극의 부피는 감소하고, 교결 물질의 양은 증가한다. 따라서 지표면으로부터의 깊이가 깊을수록 퇴적물 내부에서의  $\frac{\text{공극의 부피}}{\text{생성된 교결 물질의 양}}$  값은 작아진다.

### 03 유기적 퇴적암

유기적 퇴적암은 생물의 유해나 골격의 일부가 쌓여서 만들어진 퇴적암이다.

㉠ (가)의 주요 성분은 탄산 칼슘으로, (가)가 퇴적되면 석회암이 만들어진다.

㉡ (나)의 규질 생물체는 골격이 단단하므로 (나)가 퇴적되어 생성된 퇴적암에서는 생물체의 골격 흔적이 발견될 수 있다.

㉢ (가)와 (나)가 쌓여서 만들어진 퇴적암은 생물체의 유해나 골격의 일부가 쌓여서 만들어진 유기적 퇴적암이다.

### 04 퇴적 구조

㉠은 연흔에 대한 설명이므로 A는 연흔, ㉡은 건열에 대한 설명이므로 B는 건열이다. C는 점이 층리에 해당한다.

㉢ 상부로 갈수록 입자의 크기가 작아지는 특징이 나타나는 퇴적 구조는 점이 층리(C)이다.

㉣ 건열(B)로 물이 흘러간 방향을 알 수 없다.

㉤ 연흔은 수심이 얇은 곳에서 물결의 영향을 받아 형성되고, 건열은 퇴적된 점토질 물질이 수면 위로 노출되어 건조해지면서 형성된다. 한편 해양 환경에서 점이 층리는 수심이 깊은 곳에서 형성되므로 연흔과 건열에 비해 형성되는 장소의 평균 수심이 깊다.

### 05 화석과 퇴적암의 종류

퇴적암이 형성될 때 그 당시 생존했던 생물의 유해나 골격, 흔적이 지층 내에 기록될 수 있으며, 생물의 화석으로 퇴적암의 퇴적 환경을 추론할 수 있다.

㉠ 삼엽충은 해양에서 서식하던 생물이므로 (가)는 해양 환경에서 퇴적되었다.

㉡ 공룡은 중생대에 생존했던 생물이므로 (나)는 중생대에 퇴적되었다.

㉢ (가)의 석회암은 침전 작용 또는 석회질 생물체의 유해가 퇴적되어 생성되고, (나)의 셰일은 쇄설성 퇴적물이 퇴적되어 생성된다.

### 06 퇴적 환경

퇴적 환경 중 연안 환경은 육상 환경과 해양 환경이 만나는 곳에서 퇴적암이 만들어지는 환경으로 삼각주, 조간대, 해변, 사주, 석호 등이 있다.

㉠ 화진포 호수는 석호이므로 연안 환경에 해당한다.

㉡ 해변은 모래가 쌓여 모래사장을 이루는 곳으로, 얇은 해안에서는 연흔이 형성될 수 있다.

㉢ 석호는 과거에 만이었으며, 만의 입구에 모래가 쌓여 바다로부터 격리된 것이다.

### 07 단층과 습곡

단층면을 기준으로 상반과 하반의 상대적인 이동을 통해 역단층, 정단층 등을 구분한다. 이 지층에서는 습곡과 역단층이 관찰된다.

㉠ 습곡은 암석이 횡압력을 받아 휘어진 지질 구조이고, 역단층은 횡압력을 받아 상반이 하반에 대해 위로 이동한 단층이다.

㉡ 이 지층에서는 단층면을 기준으로 상반이 하반에 대해 위로 이동한 역단층이 관찰된다.

㉢ 단층면이 경사져 있을 때 그 윗부분을 상반, 아랫부분을 하반이라고 한다. 이 지층의 단층 구조 하반에서는 배사와 향사 구조가 모두 나타난다.

## 08 단층의 종류

단층면을 경계로 양쪽 암석의 상대적인 이동에 따라 단층의 종류가 달라진다.

- (가)는 수평 방향으로 어긋나게 작용하는 힘을 받아 지괴가 수평 방향으로 이동한 주향 이동 단층이다.
- ✕ (나)는 장력을 받아 상반이 하반에 대해 아래로 이동한 정단층이다.
- ✕ 경사진 단층면의 위쪽 지괴는 상반, 아래쪽 지괴는 하반이다.
- 과 ㉠은 모두 상반이다.

## 09 절리

절리는 암석에 생긴 틈이나 균열이다. 주로 지표로 분출한 용암이 식을 때 부피가 수축하여 긴 기둥 모양으로 갈라진 주상 절리가 형성될 수 있다.

- ✕ 주상 절리는 주로 용암이 냉각되어 부피가 수축할 때 형성된다.
- 주상 절리는 기둥 모양을 하고 있으며, 기둥의 단면은 주로 오각형이나 육각형이다.
- 주상 절리는 화산암에서 잘 나타난다.

## 10 부정합

부정합면을 경계로 상하 지층이 나란하면 평행 부정합, 상하 지층의 경사가 서로 다르면 경사 부정합이다.

- 이 지역에서는 부정합면을 경계로 상하 지층이 나란한 평행 부정합이 나타난다.
- 부정합은 퇴적 → 용기 → 풍화·침식 → 침강 → 퇴적 과정을 거쳐 형성된다. 이 지역에서는 1개의 부정합면이 나타나므로, 이 지역은 최소 1번의 침강이 있었다.
- ✕ 평행 부정합은 조륙 운동, 경사 부정합은 조산 운동을 받은 지층에서 잘 나타난다. 따라서 이 지역은 조산 운동보다 조륙 운동을 겪었을 가능성이 크다.

## 11 부정합

부정합면을 경계로 상하 지층이 나란하면 평행 부정합, 상하 지층의 경사가 서로 다르면 경사 부정합, 부정합면의 하부에 심성암이나 변성암이 분포하면 난정합이다.

- (가)에는 부정합면의 하부에 심성암이 있으므로 난정합이 나타난다.
- 조산 운동이 일어날 때 거대한 습곡 산맥이 만들어지며 지층이 경사지게 된다. 따라서 (나)는 조륙 운동보다 조산 운동을 받은 지층에서 잘 나타난다.
- 부정합면 위의 역암을 기저 역암이라고 한다. (가)와 (나) 각각의 부정합면 위에 자갈이 넓게 퇴적되어 있으므로 기저 역암임을 알 수 있다.

## 12 관입과 포획

마그마가 기존 암석의 약한 부분을 뚫고 들어가는 것을 관입이라고 한다.

- ✕ A가 관입암이므로 기존 암석인 B의 약한 부분을 뚫고 들어가 생성된 것이다. 따라서 A는 B보다 나중에 생성되었다.
- 마그마가 관입할 때 주변 암석의 일부가 떨어져 나와 마그마 속으로 유입되는 것을 포획이라고 한다. 따라서 B의 일부가 A 내부에 포획될 수 있다.
- ✕ A가 B를 관입하였으므로 A와의 경계에 닿아 있는 B에는 변성 작용의 흔적이 나타날 수 있다.



## 수능 3점 테스트

본문 48~53쪽

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

## 01 속성 작용

속성 작용은 퇴적물이 쌓여 퇴적암이 되기까지의 전체 과정으로 새로운 퇴적물이 지속적으로 공급되며 퇴적 환경의 변화가 없다면 시간 경과에 따라 공극이 감소하고 퇴적물의 밀도가 커진다.

㉠. (가)와 (나)에서 모두 지표면으로부터 깊은 곳에 위치한 퇴적물일수록 퇴적물의 밀도가 크므로 속성 작용을 더 많이 받았음을 알 수 있다.

㉡. ㉠에 위치하는 퇴적물은 시간 경과에 따라 윗부분에 새로 공급된 퇴적물의 무게에 의해 더 치밀하게 다져지므로 퇴적물 입자 사이의 평균 거리가 가까워진다.

㉢. (나)에서 퇴적물의 밀도가 급격히 커지는 깊이가 나타나므로,  $t_1$ 과  $t_2$  시기 사이에 발생한 단층은 정단층이다.

## 02 퇴적암의 종류

역암, 이암은 쇄설성 퇴적암이고, 석탄은 유기적 퇴적암이며, 석회암은 화학적 퇴적암 또는 유기적 퇴적암이다.

㉡. 석탄은 퇴적물의 기원이 식물체이므로 '퇴적물의 기원이 식물체인가?'에서 '예'로 분류된다.

㉢. A는 석회암이다. 석회암에서는 산호, 조개 등 다양한 해양 생물체의 골격으로 만들어진 흔적이 발견될 수 있다.

㉣. 쇄설성 퇴적암에 해당하는 역암과 이암 중 건열은 이암에서 형성될 수 있으므로 B는 역암, C는 이암이다. 하천의 상류에서는 주로 입자의 크기가 큰 퇴적물이 퇴적되므로 이암(C)보다 역암(B)이 더 잘 형성된다.

## 03 점이 층리

수심이 깊은 곳에 다양한 크기의 퇴적물이 한꺼번에 퇴적될 때 큰 입자들은 부유 시간이 짧아서 밑바닥에 먼저 가라앉고 작은 입자들은 부유 시간이 길어서 서서히 가라앉아 점이 층리가 형성된다.

㉠. a는 c보다 위쪽에 위치하며, a는 c보다 크기가 작은 입자의 부피비가 더 크다.

㉡. 점이 층리는 대륙 주변부의 해저에 쌓여 있던 퇴적물이 빠르게 이동하여 수심이 깊은 바다에 쌓일 때나 홍수가 일어나 퇴적물이 수심이 깊은 호수로 유입될 때 잘 형성된다.

㉢. ㉠에서 위로 갈수록 입자의 크기가 점점 작아지므로 ㉠은 역전되지 않았다.

## 04 퇴적 구조와 퇴적암

(가)의 퇴적 구조 ㉠은 건열, ㉡은 연흔이다. 건열은 수심이 얇은 물밑에 점토질 물질이 쌓인 후 퇴적물의 표면이 대기에 노출되어 건조해지면서 갈라져 형성된다. 연흔은 수심이 얇은 물밑에서 퇴적물이 퇴적될 때 물결의 영향을 받아 형성된다.

㉢. ㉠과 ㉡은 층리면을 위에서 비스듬히 내려다본 모습이다.

㉣. (나)에서 A는 역암, B는 세일 또는 이암에 해당한다. 연흔과 건열은 퇴적물 입자가 작을 때 잘 형성되므로 A보다 B에서 발견될 가능성이 높다.

㉤. 건열은 퇴적물의 표면이 대기에 노출되어 건조해지면서 갈라져 형성되므로 수심이 깊은 물밑 환경에서는 형성될 수 없다. 연흔은 퇴적물이 퇴적될 때 물결의 영향을 받아 형성되므로 수심이 얇은 물밑에서 형성된다.

## 05 퇴적 환경

경사가 급한 골짜기에서 흘러내리는 유수가 경사가 완만한 평야에 이르면 유속이 느려지므로 유수에 의해 운반되어 오던 퇴적물이 쌓여 부채꼴 펼친 모양의 지형이 형성되는데, 이를 선상지라고 한다.

㉠, ㉢. (가)에서는 경사가 급한 골짜기에서 경사가 완만한 평야에 도달할 때, (나)에서는 경사가 급한 해저 협곡에서 경사가 완만한 해저 평원에 도달할 때 퇴적물의 이동 속도가 급격히 느려져 퇴적물이 부채꼴 모양으로 퍼지며 퇴적된다.

㉡. (가)에서는 홍수 등 큰 비가 내릴 때 골짜기에서 더 많은 양의 퇴적물을 이동시켜 선상지에 많은 퇴적물이 공급되기도 한다. (나)에서는 해저 지진 등으로 퇴적물이 한꺼번에 쏟아져 내려와 많은 양의 퇴적물이 A에 공급된다. 따라서 (가)의 선상지와 (나)의 A에는 모두 퇴적물이 일정한 주기로 공급되지 않는다.

## 06 퇴적 환경

하천과 호수는 육상 환경, 삼각주는 연안 환경이다. ㉠은 삼각주, ㉡은 하천, ㉢은 호수이다.

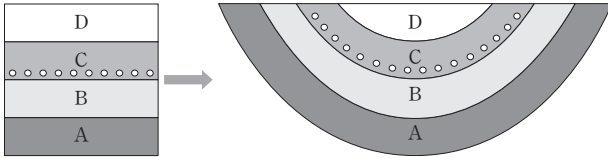
㉣. 삼각주와 하천은 물의 흐름이 있는 곳이므로 사층리가 발달할 수 있다.

㉤. 홍수가 나면 육지로부터 퇴적물이 호수로 한꺼번에 쏟아져 들어오므로 점이 층리가 만들어질 수 있다. 따라서 '점이 층리'는 A에 해당한다.

㉥. ㉠은 하천의 하류에 형성된 삼각주이다. 삼각주에는 주로 작고 가벼운 퇴적물이 퇴적되므로 역암이 잘 형성될 수 없다.

## 07 습곡과 부정합

연흔과 사층리를 통해 지층의 위와 아래를 구별해 보면 D층이 가장 위에 위치한(가장 최근에 형성된) 지층이라는 것을 알 수 있다.



습곡이 형성되기 전과 후의 모습

- ✗. 지층들이 아래로 오목하게 휘어진 모습으로 나타나므로 향사 구조이다.
- ㉠. A가 가장 아래에 위치하므로 가장 먼저 퇴적된 지층은 A이다.
- ㉡. 기저 역암을 포함한 C도 습곡 작용을 받았으므로 부정합이 형성된 이후에 습곡이 만들어졌다.

### 08 습곡

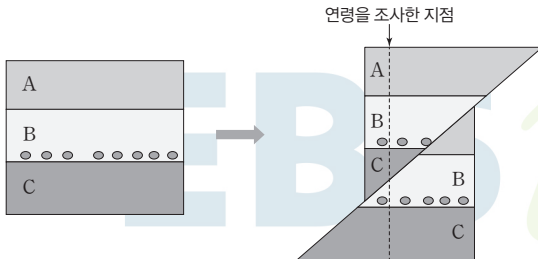
습곡에서 위로 볼록하게 휘어진 부분을 배사, 아래로 오목하게 휘어진 부분을 향사라고 한다.

- ㉠. 습곡은 횡압력이 작용하여 형성된다.
- ㉡. 지층이 아래로 오목하게 휘어져 있으므로 향사 구조이다.
- ✗. 습곡은 암석이 비교적 온도가 높은 지하 깊은 곳에서 횡압력을 받아 휘어진 지질 구조이다. 습곡이 지하 깊은 곳에서 형성된 후 융기하여 지표에 드러난 것이다.

### 09 단층과 부정합

깊이에 따른 퇴적층의 연령이 불연속적으로 급격히 많아지면, 퇴적이 중단된 기간이 있거나 정단층이 발생한 것으로 추측할 수 있다. 나중에 생성된 지층이 이전에 생성된 지층보다 아래에 위치한다면, 습곡이나 역단층이 발생한 것으로 추측할 수 있다. 이곳에서는 단층과 부정합이 1회씩 발생했으므로 ㉠과 ㉡은 부정합면으로, ㉢은 단층면으로 해석할 수 있다.

B와 C 사이에 부정합면이 있고, A, B, C의 연령을 고려하여 단층이 발생하기 전과 후의 지질 단면을 나타내면 아래 그림과 같다.



- ✗. B와 C의 경계가 부정합면이므로 B 내부에서 C의 침식물인 기저 역암이 발견될 수 있다.
- ㉠. C보다 나중에 생성된 B가 C의 아래에 위치하므로 역단층이 나타난다.
- ㉡. ㉠, ㉢, ㉣ 중 단층면은 연령이 적은 B가 연령이 많은 C보다 아래에 있는 경계인 ㉣에서 관찰된다.

### 10 열곡대와 단층

발산형 경계는 주로 장력이 작용하여 판과 판이 서로 멀어지는 곳이다.

- ㉠. 마그마가 분출되는 화산 주변에서는 주상 절리가 형성될 수 있다.
- ✗. 발산형 경계에서는 주로 장력이 작용한다. (나)에서 길게 분포한 골짜기와 수직한 방향으로 장력이 작용한다.
- ✗. (나)에서는 장력이 작용하므로 주로 정단층이 발달한다.

### 11 판상 절리

주상 절리는 주로 용암이 냉각될 때 형성되고, 판상 절리는 지하에 있던 심성암이 지표로 노출되는 과정에서 형성된다.

- ✗. 판상 절리가 형성되는 과정이며, 판상 절리는 화성암 중 심성암에서 주로 관찰된다. 화산암에서는 주로 용암이 급속히 냉각되면서 부피가 급격히 수축되어 기둥 모양으로 갈라진 주상 절리가 주로 관찰된다.
- ㉠. A 위쪽의 지층이 침식됨에 따라 ㉡ 방향의 압력이 작아진다.
- ㉡. ㉡ 방향의 압력이 작아지면 A의 부피가 팽창하고 절리가 형성된다.
- ✗. 암석의 부피 팽창으로 인해 판상 절리가 형성되었다.

### 12 관입과 부정합

(가)에서 A 내부에 B의 침식물이 포함되어 있으므로 B는 부정합면 아래에 위치한 암석이다. (나)에서 A의 연령은 C의 연령보다 많으므로 C가 A를 관입한 모습이며, C는 관입암이다.

- ㉠. A는 부정합면 위에 위치한 암석이므로 B는 A보다 먼저 생성된 암석이다. A, B, C를 생성 순서대로 나열하면 B → A → C이다.
- ㉡. A는 관입 당한 암석이므로 A에서 떨어져 나온 암석 조각이 포획되어 C 내부에서 관찰될 수 있다.
- ㉢. A, B, C 중 C의 연령이 가장 적으므로 부정합이 형성된 이후에 관입이 일어났다.

## 04 지구의 역사

수능 2점 테스트

본문 61~64쪽

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

✕. 동물군 천이의 법칙은 오래된 지층에서 새로운 지층으로 갈수록 더욱 진화된 생물의 화석이 산출된다는 법칙이다. 이 지역의 지층 생성 순서를 파악할 때 화석을 이용하지 않았으므로 동물군 천이의 법칙은 필요한 지사학의 법칙이 아니다.

○. 지층 누층의 법칙은 퇴적물이 쌓일 때 새로운 퇴적물은 이전에 쌓인 퇴적물 위에 쌓이므로, 지층의 역전이 없었다면 아래에 있는 지층은 위에 있는 지층보다 먼저 퇴적되었다는 법칙이다. 지층 누층의 법칙을 적용하여 A가 B보다 먼저 생성된 것을 알 수 있다.

○. 관입의 법칙을 적용하여 관입한 E가 관입 당한 A, B, C, D보다 나중에 생성된 것을 알 수 있다.

○. 부정합의 법칙을 적용하여 B가 생성되고 긴 시간이 흐른 후 기저 역암을 포함하는 C가 생성된 것을 알 수 있다.

### 02 관입과 분출

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.

✕. (나)는 변성 작용을 받은 부분이 D의 하부와 F의 상부에 모두 나타나므로 마그마가 관입한 경우이다.

✕. (가)는 변성 작용을 받은 부분이 C의 상부에만 나타나므로 마그마가 분출한 경우이다. 따라서 (가)는 C가 퇴적된 후 B가 분출하고 오랜 시간이 경과한 후에 A가 퇴적되었다. (나)는 F가 퇴적되고 D가 퇴적된 후 E가 관입하였다. 따라서 A~F 중 가장 최근에 생성된 것은 A이다.

○. (가)에서 B와 A 사이에 B의 침식물인 기저 역암이 있으므로 부정합이 나타난다.

### 03 암상에 의한 지층 대비

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

○. I, II, III의 응회암층은 동일한 화산 활동에 의해 생성되었으므로 세 지역의 지층을 대비할 때 열쇠층으로 이용할 수 있다.

✕. I의 이암층은 응회암층이 생성되기 이전에 생성되었고, II의 이암층은 응회암층이 생성된 이후에 생성되었다.

○. I, II, III에서 응회암층 아래에 석회암층과 역암층이 동일하게 나타난다. 따라서 I의 응회암층 아래에 위치한 석회암층과 역암층은 III의 응회암층 아래에 위치한 석회암층과 역암층에 대비할 수 있으므로, I의 석회암층은 III의 역암층보다 나중에 생성되었다.

### 04 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.

✕. 공통 발자국 화석은 중생대의 표준 화석이고 방추층 화석은 고생대의 표준 화석이므로, I 지역의 이암층이 II 지역의 세일층보다 오래되었다.

✕. 삼엽충은 해양 생물이므로, 삼엽충 화석이 산출되는 II 지역의 이암층은 해양 환경에서 생성되었다.

○. III 지역에서 공통 발자국 화석이 산출되는 이암층은 중생대에 생성되었고, 삼엽충 화석이 산출되는 세일층은 고생대에 생성되었다. 따라서 역전된 지층이라는 것을 알 수 있다. 지층의 역전이 일어나려면 지각 변동을 받아야 하므로, III 지역은 지각 변동을 받았던 적이 있다.

### 05 상대 연령

속씨식물은 중생대에 출현하였으며, 삼엽충은 고생대에 번성하였다.

○. 고생대 표준 화석인 삼엽충 화석이 중생대에 출현한 속씨식물 화석보다 위에 있으므로 이 지역의 지층은 역전되었다.

✕. 세일층과 사암층이 생성된 후에 마그마가 관입하여 화성암이 생성되었다. 중생대는 약 2.52억 년 전에 시작되었으므로, 속씨식물 화석이 산출되는 사암층은 약 2.52억 년 전 이후에 생성되었다. 따라서 화성암의 절대 연령은 2.6억 년보다 많을 수 없다.

✕. 사암층과 세일층의 지층 경계와 세일층의 층리가 나란하지 않으며, 삼엽충과 속씨식물의 출현 시기 차이가 크므로, 사암층과 세일층은 부정합 관계로 판단할 수 있다.

### 06 상대 연령

이 지역의 지질학적 사건을 시간 순서대로 나열하면 경사층 형성 → 단층 X-X' → A 관입 → B 관입 → 단층 Y-Y' 순이다.

✕. 단층 X-X'은 A 관입 이전에 형성되었고, 단층 Y-Y'은 B 관입 이후에 형성되었으므로, 단층 Y-Y'은 단층 X-X'보다 나중에 형성되었다.

㉠. 단층 X-X'은 정단층으로, 장력에 의해 형성되었다.

㉡. 관입 당한 암석은 관입암보다 먼저 생성되었다. B가 A를 관입하였으므로 관입의 법칙을 이용하여 A가 B보다 먼저 생성된 것을 알 수 있다.

### 07 절대 연령

반감기는 방사성 동위 원소가 붕괴하여 처음 함량의 반으로 줄어드는 데 걸리는 시간이다.

㉠. 반감기가 4번 지났을 때 모원소는 6.25%가 남는다. 암석 A에 포함된 방사성 동위 원소의 반감기가 5700년이므로 A의 절대 연령은 22800년이다. 따라서 x는 22800이다.

㉡. 방사성 동위 원소의 양이 100%에서 75%로 감소하는 데 걸리는 시간은 75%에서 50%로 감소하는 데 걸리는 시간보다 짧다. 따라서 암석 C의 절대 연령은 3억 5천만 년보다 적으므로, y는 z보다 크다.

✕. 앞으로 7억 년 후 암석 B에 포함된 방사성 동위 원소는 2번의 반감기를 지나므로 방사성 동위 원소의 양은 처음 양의 12.5%이다.

### 08 절대 연령

반감기는 방사성 동위 원소가 붕괴하여 처음 양의 반으로 줄어드는 데 걸리는 시간이다.

㉠. X가 처음 양의 50%가 되는 데 걸리는 시간은 2억 년이므로, X의 반감기는 2억 년이다.

✕. 방사성 동위 원소의 양이 100%에서 75%로 감소하는 데 걸리는 시간은 75%에서 50%로 감소하는 데 걸리는 시간보다 짧다. 따라서 이 암석의 연령은 1억 년보다 적다.

✕. 현재 이 암석에 포함되어 있는 X의 양이 처음 양의 75%이고 X의 반감기가 2억 년이므로, 현재로부터 4억 년 후에는 현재 양의  $\frac{1}{4}$ 인 18.75%가 포함되어 있다. 따라서 4억 년 후로부터 1억 년이 더 지나면 처음 양의 18.75%보다 적은 양이 포함되어 있다.

### 09 화석과 절대 연령

화폐석과 매머드 모두 신생대에 살았던 생물이다.

✕. A는 화폐석 화석이 산출된 지층을 관입하였고, 그 후 매머드 화석이 산출된 지층이 부정합으로 퇴적되었으므로 약 6600만 년 전~258만 년 전(신생대 팔레오기~네오기에 해당)에 생성되었다. 현재 A에 포함되어 있는 X의 양이 처음 양의 12.5% 이하라면 X는 3번의 반감기를 지난 이후이므로 A의 절대 연령은 9000만 년보다 많다. 따라서 현재 A에 포함되어 있는 X의 양은 A의

생성 당시 양의 12.5% 이하일 수 없다.

㉠. B는 부정합면을 관입하였으므로 부정합이 형성된 이후에 관입하였다.

㉡. 기저 역암이 부정합면 위에 있으므로 이 지층은 역전되지 않았다.

### 10 지질 시대의 생물

㉠. 선캄브리아 시대에는 오존층이 형성되지 않아 육지에 강한 자외선이 도달하였으므로 생물이 바다에서 살았다. 따라서 원시 조류는 수중 환경에서 서식하였다.

✕. 속씨식물은 중생대 백악기에 출현하였고, 신생대에 번성하였다.

✕. 양치식물은 고생대에 번성하였고, 겉씨식물은 고생대에 출현하여 중생대에 번성하였다.

### 11 지질 시대의 기후

고생대와 신생대에 빙하기가 있었으며 중생대에는 빙하기 없이 대체로 온난했다.

㉠. 페름기는 고생대 말에 해당하며 고생대 말에 평균 기온이 낮아진 것을 통해 빙하기가 있었음을 알 수 있다.

✕. 중생대에는 전반적으로 온난한 기후가 지속되었으며, 빙하기가 없었다.

✕. 신생대 팔레오기와 네오기는 대체로 온난하였으나 제4기에 접어들면서 점차 한랭해져 여러 번의 빙하기와 간빙기가 있었다.

### 12 지질 시대의 환경

로디니아는 약 12억 년 전에 형성된 초대륙이고, 판게아는 약 2억 7천만 년 전에 형성된 초대륙이다.

✕. 로디니아는 약 12억 년 전인 원생 누대에 형성된 초대륙이다.

✕. 판게아는 약 2억 7천만 년 전인 고생대 말에 형성되었으며, 중생대 초부터 분리되기 시작했다.

㉠. 초대륙이 형성될 때 여러 대륙들이 충돌하면서 대규모 조산 운동이 일어난다.

### 13 지질 시대의 생물

㉠은 남세균(사이아노박테리아)이다. 남세균은 원핵생물로 바다에서 출현하였으며 광합성을 통해 지구의 대기 조성을 변화시켰다. 남세균이 광합성을 하면서 부유하는 입자를 고착시켜 스트로마톨라이트 화석이 형성되었다.

✕. 시생 누대에 남세균이 출현하였다.

㉡. 남세균의 광합성으로 대기 중 산소 농도가 점차 증가하였다.

✕. 현재도 남세균은 생존하며, 스트로마톨라이트도 계속 형성되고 있다.



### 14 지질 시대의 생물

A는 고생대에만 생존한 동물이고, B는 중생대에만 생존한 동물이다. C는 고생대에 출현하였으므로 겉씨식물이고, D는 중생대에 출현하였으므로 속씨식물이다.

㉠ A는 고생대에만 생존하였고 B는 중생대에만 생존하였으므로, 생존 기간만을 고려할 때 A와 B 화석은 모두 표준 화석으로 적합하다.

㉡ 고사리는 양치식물로 겉씨식물 출현 이전에도 생존했고 현재도 생존하고 있다. 따라서 고사리의 생존 기간은 C의 생존 기간을 포함한다.

㉢ 속씨식물이 출현한 시기는 중생대 백악기이며, 판게아가 분리되기 시작한 시기는 중생대 초이다.

### 15 지질 시대의 환경과 생물

㉤ A: 속씨식물은 신생대에 번성했으며, 대형 포유류인 매머드는 신생대 제4기에 번성했다.

B: 중생대 쥐라기에는 겉씨식물이 번성하였고, 파충류와 조류의 특징을 모두 가진 최초의 시조새가 출현하였다.

C: 고생대 석탄기에는 최초의 파충류가 출현하였고, 양서류가 전성기를 이루었으며, 양치식물이 거대한 삼림을 형성하였다.

### 16 생물 대멸종

지질 시대 동안 5번의 생물 대멸종이 있었으며, 그 시기는 고생대 오르도비스기 말, 데본기 후기, 페름기 말, 중생대 트라이아스기 말, 백악기 말이다.

㉠ 고생대 페름기 말에는 초대륙 판게아가 형성되었으므로, ㉠은 판게아 분리와는 관계가 없다.

㉡ 중생대 백악기 말(㉡)에는 공룡이 멸종하였다.

㉢ ㉠ 이전 속의 수 최댓값은 약 1250개이고, ㉠ 직후 속의 수 최솟값은 약 250개이다. ㉡ 이전 속의 수 최댓값은 약 2500개이고,

㉢ 직후 속의 수 최솟값은 약 1600개이다.

대멸종 직후 속의 수 최솟값을 비교하면  $\frac{250}{1250} < \frac{1600}{2500}$ 이므로

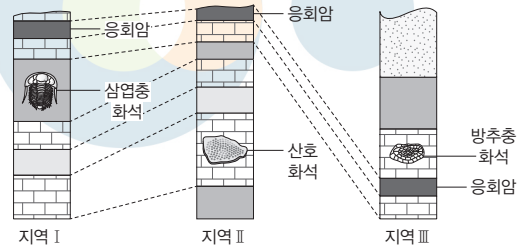
㉠이 ㉡보다 작다.

수능 3점 테스트 본문 65~71쪽

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

### 01 지층 대비

I, II, III 지역에서 공통적으로 발견되는 응회암층을 기준으로 지층 대비를 하면 아래와 같다.



㉠ 응회암층 생성 이전의 지층에서 삼엽충 화석이 산출되었고, 응회암층 생성 이후의 지층에서 방추충 화석이 산출되었으므로 응회암층은 고생대에 생성되었다.

㉡ 지층 대비를 통해 산호 화석이 산출된 지층이 삼엽충 화석이 산출된 지층보다 아래에 위치하므로 더 오래되었다.

㉢ 가장 오래된 지층은 지역 II의 지층 중 가장 아래에 위치한 지층이다.

### 02 지층의 생성 순서

화성암의 연령이 가장 적으므로 화성암이 가장 최근에 생성되었다. 따라서 다른 지층들이 모두 생성된 후 마그마가 관입하여 화성암이 생성되었다.

㉠ 부정합면의 하부에 심성암이나 변성암이 분포하는 경우 난정합이라고 한다. 이 지역에서는 난정합이 나타나지 않는다.

㉡ 마그마가 관입하였을 때 이암층의 하부와 접촉했기 때문에 이암층의 하부에는 변성 작용을 받은 부분이 있다.

㉢ 사층리는 물이 흘러가거나 바람이 불어가는 방향의 비탈면에 퇴적물이 쌓여 형성된다. 따라서 사암층은 퇴적물이 ㉠ 방향으로 이동하다가 퇴적되어 생성되었다.

### 03 상대 연령

부정합면 위에서는 기저 역암이 발견되며, 부정합면 상부의 지층에 대해 하부의 지층이 경사지면 경사 부정합, 평행하면 평행 부정합이다.

㉠ 2개의 부정합이 있으므로 이 지역의 지층이 침강한 횡수는 최소 2회이다.

㉡ 지하 깊은 곳에서 생성된 화강암이 융기하면서 부피가 팽창하여 판상 절리가 나타날 수 있다.

✗. 아래쪽 부정합면의 하부에는 현무암과 편마암이 있으므로 난정합이고, 위쪽 부정합면의 하부에는 경사층이 있으므로 경사 부정합이다.

#### 04 지사학의 법칙

이 지역에서는 습곡, 단층, 관입암, 부정합이 모두 나타난다.

㉠. 퇴적물이 쌓일 때 새로운 퇴적물은 이전에 쌓인 퇴적물 위에 쌓이므로, 지층의 역전이 없었다면 아래에 있는 지층은 위에 있는 지층보다 먼저 퇴적되었다. 따라서 퇴적암의 생성 순서는 A → B → C → D → E이다.

✗. 단층에 의해 P가 어긋나 있고, Q는 어긋나지 않았으므로, 지질학적 사건은 P 관입 → 단층 → Q 관입 순으로 일어났다. P의 절대 연령은 3억 년이고 Q의 절대 연령은 2억 년이므로, 단층은 3억 년 전~2억 년 전 사이에 형성되었다.

✗. Q 관입 이전에 C가 퇴적되었으므로 C는 2억 년 전 이전에 생성되었다. 화폐석은 신생대에 생존했으므로 C에서는 화폐석 화석이 발견될 수 없다.

#### 05 절대 연령

난정합은 부정합면의 하부에 심성암이나 변성암이 분포하는 부정합이다.

✗. A와 B 주변의 지층은 모두 변성 작용을 받았으며, 이를 계속 유지하고 있으므로 난정합을 포함하여 부정합을 관찰할 수 없다.

㉠. A에는 반감기가 7억 년인 X가 처음 양의 50% 포함되어 있으므로 A의 절대 연령은 7억 년이다. 사암층은 A가 관입하기 전에 생성되었으므로 사암층의 절대 연령은 7억 년보다 많다.

✗. B에는 반감기가 13억 년인 Y가 처음 양의 50% 포함되어 있으므로 B의 절대 연령은 13억 년이다. 셰일층은 B가 관입하기 전에 생성되었으므로 셰일층의 절대 연령은 13억 년보다 많다. 따라서 셰일층은 현생 누대 이전에 퇴적되었다.

#### 06 절대 연령

모원소의 함량이 100%에서 75%로 감소하는 데 걸리는 시간은 75%에서 50%로 감소하는 데 걸리는 시간보다 짧다. A에 포함된 X의 양은 3억 년 후 처음 양의 75%이다. X의 양이 100%에서 75%가 될 때까지 3억 년이 걸렸으므로, X의 반감기는 6억 년보다 길다.

㉠. 3억 년 후 Y의 양은 처음 양의 12.5%가 되었으므로 3회 반감하였다. 3억 년 동안 3회 반감하였으므로 Y의 반감기는 1억 년이다.

✗. 생성 당시부터 현재까지 A에 포함된 X가 1회 반감하였다. 따라서 이 화성암의 절대 연령은 X의 반감기와 같으므로 6억 년보다 길다.

㉠. 15억 년 이상일 것으로 예상되는 암석의 절대 연령을 측정할

때 반감기가 1억 년인 Y를 이용하면 반감기를 15회 지났으므로 남아 있는 모원소의 양이 매우 적다. 따라서 Y보다 반감기가 긴 X를 이용하여 절대 연령을 측정하는 것이 적절하다.

#### 07 절대 연령

모원소의 붕괴 곡선은 아래로 오목한 모양이므로 시간에 따른 모원소의 감소는 점차 천천히 일어난다. 자원소의 생성 곡선은 위로 볼록한 모양이므로 시간에 따른 자원소의 증가는 점차 천천히 일어난다.

㉠. Y의 함량(%)이 A가 B보다 크므로, A는 B보다 먼저 생성된 암석이다.

✗. B는 A보다 연령이 적으므로, B에서 Y의 함량이 증가하는 속도가 A에서 Y의 함량이 증가하는 속도보다 빠르다. 따라서 (A의 Y 함량 - B의 Y 함량)은  $t_2$ 일 때가  $t_3$ 일 때보다 크다.

㉠. B에서 Y 함량이 50%라는 것은 X가 50%로 줄어들었다는 것이므로 X의 반감기는  $(t_3 - t_1)$ 이다. B가 생성된 후  $4(t_3 - t_1)$ 의 시간이 지나면 X는 4회 반감하여 B의  $\frac{Y \text{ 함량}}{X \text{ 함량}} = \frac{93.75\%}{6.25\%} = 15$ 이므로 7보다 크다.

#### 08 지질 시대의 환경

남세균의 광합성에 의해 대기 중의 이산화 탄소 농도가 감소하였고, 산소 농도가 증가하였다. 산소는 해수 속의 철 성분과 결합하여 산화 철 형태로 침전하였다.

✗. 선캄브리아 시대에 생성된 산소는 대부분 해수 속에서 산화 철을 형성하는 데 먼저 사용되었다.

✗. 남세균의 광합성으로 생성된 산소는 먼저 해수 속의 철 이온과 반응하여 산화 철을 형성하였다. 따라서 ㉠이 일어난 이후에 대기 중 산소 농도가 증가하였다.

㉠. 지구에 존재하는 대부분의 호상 철광층은 남세균이 출현한 선캄브리아 시대에 형성되었다.

#### 09 생물 대멸종

고생대 페름기 말에는 가장 큰 규모의 생물 대멸종이 일어났다. 중생대 백악기 말의 생물 대멸종은 운석 충돌 등에 의해 일어난 것으로 추정하고 있다.

✗. A는 고생대에만 생존했으므로 삼엽충이고, B는 현재도 생존하므로 완족류이다.

㉠. A(삼엽충)는 고생대 페름기 말에 멸종하였다. 고생대 페름기 말의 생물 대멸종은 화산 활동 증가, 판게아 형성으로 인한 육지 건조화, 기후 변화 등에 의해 발생한 것으로 추정하고 있다.

㉠. B는 고생대 페름기 말의 대멸종 추정 원인인 ㉠의 영향으로 과거의 수가 급격히 감소하였다. 이는 중생대 백악기 말의 대멸종

추정 원인인 ㉠의 영향으로 감소한 과의 수보다 더 큰 폭으로 감소했다.

## 10 지질 시대

시생 누대는 약 40억 년 전부터 약 25억 년 전까지, 원생 누대는 약 25억 년 전부터 약 5.41억 년 전까지, 현생 누대는 약 5.41억 년 전부터 현재까지이므로 지속 시간은 원생 누대 > 시생 누대 > 현생 누대이다. 또한 현생 누대의 고생대, 중생대, 신생대의 지속 시간은 고생대 > 중생대 > 신생대이다. 따라서 A는 현생 누대, B는 시생 누대, C는 원생 누대, D는 신생대, E는 고생대, F는 중생대이다.

✕. 고생대, 중생대, 신생대는 현생 누대이므로, (나)는 (가)의 A에 포함된다.

㉠. 로디니아는 원생 누대에 존재했던 초대륙이므로, A, B, C 중 C 시기에 존재했다.

㉡. D는 신생대, E는 고생대, F는 중생대이므로, 오래된 시기부터 나열하면 E → F → D이다.

## 11 지질 시대의 기후와 생물

지질 시대 동안 식물은 양치식물, 겉씨식물, 속씨식물 순으로 등장했다.

㉠. 고생대 캄브리아기, 실루리아기, 데본기는 대체로 온난했으며, 오르도비스기, 석탄기, 페름기에는 빙하기가 있었다. 중생대는 전반적으로 온난한 기후가 지속되었으며, 빙하기가 없었다. 따라서 A의 생존 시기(고생대)는 B의 생존 시기(중생대)보다 평균 기온이 낮았다.

㉡. 양치식물과 겉씨식물은 고생대부터 존재했고, 속씨식물은 중생대 백악기부터 존재했다. 따라서 B의 생존 시기 중 양치식물, 겉씨식물, 속씨식물이 모두 존재했던 시기가 있었다.

㉢. 생존 기간이 길고, 분포 면적이 좁으며, 환경 변화에 민감한 생물의 화석이 시상 화석으로 이용된다. A, B, C 중 시상 화석으로 가장 적합한 것은 C이다.

## 12 지질 시대의 생물

고생대 캄브리아기는 해양 생물만 생존했던 시기로 해양 무척추 동물이 번성하였다. 원생 누대 말기에는 에디아카라 동물군이 생존했으며 화석으로 남아 있다.

㉠. 캄브리아기부터 현생 누대이므로 캄브리아기의 시작 시점을 비교하면 된다. 캄브리아기의 시작 시점은 1994년에는 5억 4천 4백만 년 전이고 2020년에는 5억 4천 1백만 년 전이므로, 현생 누대의 기간은 2020년 추정치가 1994년 추정치보다 짧다.

✕. 최초의 양서류는 고생대 데본기에 출현하였다.

㉡. ㉠ 시기에는 다세포 생물들이 생존했으며 그 일부가 에디아카라 동물군 화석으로 남아 있다.

## 13 생물 대멸종

현생 누대 동안 모두 5번의 생물 대멸종이 있었고, 대멸종으로 생물 과의 수가 감소한 이후 다시 증가했다.

㉠. 동물군 A는 고생대에 번성하였다가 고생대 말에 멸종하였으므로 삼엽충은 동물군 A에 속한다.

✕. 동물군 B는 ㉠이 일어난 시기에 과의 수가 급격히 감소했지만 중생대, 신생대에도 계속 생존했다.

㉢. ㉠이 일어난 시기에 동물군 C는 B보다 생물 과의 수가 크게 감소하였지만, ㉠이 일어난 이후 생물 과의 수는 C가 B보다 크게 증가했다.

## 14 지질 시대의 기후와 빙하기

지구의 평균 기온이 하강하면 빙하의 분포는 저위도 쪽으로 확장된다.

㉠. (가)에서 북반구보다 남반구에서 빙하 분포의 위도가 더 빈번하게 저위도 쪽으로 확장되었다.

㉡. 고생대 중기와 말기, 신생대 후기에 빙하기가 저위도 쪽으로 확장되었으며, 이 시기에 평균 기온이 낮았다. 따라서 5억 년 전 이후에 빙하기가 저위도 쪽으로 확장된 시기는 대체로 빙하기와 일치한다고 할 수 있다.

✕. 중생대에는 빙하기가 없었으며, ㉠은 고생대 말기의 한랭했던 시기에 남반구 빙하 분포의 위도 범위를 나타낸다.

# 05 대기의 변화

수능 2점 테스트 본문 85~89쪽

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

- ㉠. A는 주변보다 기압이 낮은 저기압 중심이므로 상승 기류가 발달하여 날씨가 흐리다.
- ㉡. 그림에서 등압선 분포를 보면, A는 기압이 996 hPa보다 낮고, B는 기압이 996 hPa보다 높으며, C는 기압이 996 hPa이다. 따라서 기압이 가장 높은 지역은 B이다.
- ㉢. 저기압에서는 지표 부근의 바람이 중심을 향해 시계 반대 방향으로 불어 들어가므로 C에서는 주로 북풍 계열의 바람이 불 수 없다.

## 02 우리나라에 영향을 미치는 기단

우리나라에 영향을 미치는 기단에는 시베리아 기단(A), 양쯔강 기단(B), 오호츠크해 기단(C), 북태평양 기단(D)이 있다. 고위도에서 발생한 기단은 저위도에서 발생한 기단보다 온도가 낮고, 대륙 위에서 발생한 기단은 해상에서 발생한 기단보다 습도가 낮다.

- ㉠. 시베리아 기단은 발원지가 고위도 대륙 위이므로 한랭 건조하고, 오호츠크해 기단은 발원지가 고위도 해상이므로 한랭 다습하다. 따라서 시베리아 기단(A)은 오호츠크해 기단(C)보다 습도가 낮다.
- ㉡. 정체성 고기압은 중심부가 거의 이동하지 않고 한곳에 머무르는 고기압으로, 시베리아 기단과 북태평양 기단에서 형성되기도 한다. B는 양쯔강 기단이므로, B에서는 이동성 고기압이 형성된다.
- ㉢. 이날 우리나라 주변 일기도에서 서쪽에는 고기압이, 동쪽에는 저기압이 형성되어 있는 서고동저형의 기압 배치가 나타나므로, 우리나라는 주로 시베리아 기단(A)의 영향을 받는다.

## 03 정체성 고기압

정체성 고기압은 연직 기압 분포에 따라 온난 고기압과 한랭 고기압으로 분류할 수 있다. 고기압권 내의 기온이 주위보다 높은 고기압을 온난 고기압, 고기압권 내의 기온이 주위보다 낮은 고기압

을 한랭 고기압이라고 한다.

- ㉠. 이 정체성 고기압은 지표 부근부터 상층까지 주위보다 중심의 기압이 높게 나타나는 온난 고기압이다. 온난 고기압은 중심이 주위보다 기온이 높아 상층에서도 고기압이 되어 키 큰 고기압이라고 한다.
- ㉡. A와 B 각 지점에서 400 hPa까지 높이를 비교해 보면 400 hPa 등압면의 높이는 A가 B보다 높다.
- ㉢. 이 정체성 고기압은 온난 고기압이다. 우리나라에 영향을 주는 온난 고기압에 해당하는 것으로는 북태평양 고기압이 있다. 시베리아 고기압은 정체성 고기압 중 한랭 고기압에 해당한다.

## 04 온대 저기압

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

- ㉠. A와 B는 모두 중위도 지방에 위치하므로, A와 B의 이동은 편서풍의 영향을 받는다.
- ㉡. 온대 저기압의 일생은 정체 전선 형성 → 파동 형성 → 온대 저기압 발달 → 폐색 전선의 형성 시작 → 폐색 전선 발달 → 온대 저기압 소멸 순이다. A는 온대 저기압 발달 단계에 해당하고, B는 폐색 전선이 형성되어 있다. 따라서 온대 저기압의 일생에서 B는 A보다 나중 단계에 해당한다.
- ㉢. 일기도에서 ㉠과 ㉡의 기압은 모두 1012 hPa로 같다.

## 05 폐색 전선과 정체 전선

(가)는 폐색 전선으로, 이동 속도가 상대적으로 빠른 한랭 전선이 이동 속도가 상대적으로 느린 온난 전선을 따라잡아 두 전선이 겹쳐질 때 형성된다. (나)는 정체 전선으로, 찬 기단과 따뜻한 기단의 세력이 비슷하여 전선이 한곳에 오랫동안 머무른다.

- ㉠. (가)에서 한랭 전선 후면의 찬 공기가 온난 전선 전면의 찬 공기 아래에 놓여 있고 B 지점에서 폐색 전선이 형성되어 있다. 폐색 전선 부근의 공기는 한랭 전선 후면의 찬 공기와 온난 전선 전면의 찬 공기가 겹쳐져서 한랭 전선 후면의 찬 공기보다 온도가 높다. 따라서 기온은 A 지점 부근이 B 지점 부근보다 낮다.
- ㉡. B에는 한랭 전선과 온난 전선이 겹쳐진 폐색 전선이 있다. 폐색 전선 주변에서는 공기가 상승하여 구름이 발달하므로 날씨가 흐리다.
- ㉢. (나)는 정체 전선이다. 정체 전선에서 따뜻한 기단의 세력이 강해지면 따뜻한 기단이 찬 기단을 밀어 정체 전선은 ㉠ 방향(고위도 쪽)으로 이동한다.

## 06 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 않지



만, 어느 한쪽 기단의 세력이 강화 또는 약화되면 전선은 북쪽 또는 남쪽으로 이동할 수 있다.

✕. 우리나라의 봄철에는 주로 양쯔강 기단의 영향을 받으므로 이동성 고기압과 저기압이 자주 나타난다. 그런데 이 일기도에서는 장마 전선이 나타나므로 봄철에 자주 관측되는 기압 배치가 아니다.

㉠. ㉠은 차고 다습한 오호츠크해 기단에서 발달한 고기압이고, ㉡은 따뜻하고 다습한 북태평양 기단에서 발달한 고기압이다. 따라서 중심부의 기온은 ㉠이 ㉡보다 낮다.

㉢. 찬 공기와 따뜻한 공기가 만나면 찬 공기는 따뜻한 공기 아래로 파고들고 따뜻한 공기는 찬 공기를 타고 올라간다. 장마 전선의 전선면은 상대적으로 따뜻한 공기가 위치한 B 지역보다 상대적으로 찬 공기가 위치한 A 지역 쪽으로 기울어져 있으므로, 전선상에 구름을 형성하는 수증기는 주로 A 지역에 위치한 기단보다 B 지역에 위치한 기단에서 공급되었다.

## 07 정체성 고기압과 이동성 고기압

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

㉠. A는 정체성 고기압이고, B는 이동성 고기압이다. 정체성 고기압은 고기압의 중심부가 거의 이동하지 않고 한곳에 머무르는 고기압이고, 이동성 고기압은 시베리아 기단에서 일부가 떨어져 나오거나 양쯔강 기단에서 발달하여 이동하는 비교적 규모가 작은 고기압이다. 따라서 공간 규모는 A가 B보다 크다.

✕. (나)에 발달한 전선은 온대 저기압에 동반된 한랭 전선과 온난 전선이다. 한랭 전선과 온난 전선을 동반한 온대 저기압은 편서풍의 영향으로 주로 서쪽에서 동쪽으로 이동한다.

✕. A와 B는 모두 고기압이므로, 우리나라가 각각 A와 B의 영향을 받을 때 날씨는 모두 맑다.

## 08 기상 위성 영상

적외 영상은 물체가 온도에 따라 방출하는 적외선 에너지량의 차이를 이용하는 것으로, 온도가 높을수록 어둡게, 온도가 낮을수록 밝게 나타난다. 따라서 구름의 최상부 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, 야간에는 태양 빛이 없어서 이용할 수 없다. 이 시각에는 가시 영상에 구름이 나타나므로 관측 시각은 낮이다.

㉡. 적외 영상에서 밝게 보이는 부분은 구름의 최상부 높이가 높다. 적외 영상에서 A는 B보다 어둡게 보이므로, 구름 최상부의 높이는 A가 B보다 낮다.

㉢. 가시 영상에서 밝게 보이는 부분은 구름의 두께가 두껍다. 가시 영상에서 A와 C는 B보다 밝게 보이고, 적외 영상에서 A는 B보다 어둡게 보인다. 그러나 C는 가시 영상과 적외 영상에서 모두

B보다 밝게 보이므로, A, B, C 중 구름의 두께는 C가 가장 두껍다.

## 09 온대 저기압과 날씨

온대 저기압에 동반된 한랭 전선 후면에서는 적란운이 발달하고 소나기가 내리며, 뇌우 현상이 나타날 수 있다.

㉠. (나)는 뇌우를 관측한 모습이다. 뇌우는 온난 전선과 한랭 전선 사이에 위치한 B 지역보다 한랭 전선 후면에 위치한 A 지역에서 주로 관측된다.

✕. B 지역은 온난 전선과 한랭 전선 사이에 위치하므로 주로 남서풍이 분다.

✕. A 지역의 기압은 1008 hPa이고, B 지역의 기압은 1010 hPa과 1012 hPa 사이이므로 기압은 A 지역이 B 지역보다 낮다.

## 10 한랭 전선 통과 후 날씨

한랭 전선이 통과한 후에는 기온이 하강하고 기압이 상승하며, 풍향은 남서풍에서 북서풍으로 바뀐다.

✕.  $T_1$ 과  $T_2$  사이에 기압은 낮아지다가 높아졌고, 풍향은 남서풍에서 북서풍으로 변했다. 따라서 통과한 전선은 한랭 전선이다.

㉠. 바람 자료에서 풍속은  $T_1$ 일 때 10~12 m/s이고,  $T_2$ 일 때 5~7 m/s이다. 따라서 풍속은  $T_1$ 일 때가  $T_2$ 일 때보다 빠르다.

✕.  $T_1$ 은 한랭 전선이 통과하기 전이고  $T_2$ 는 한랭 전선이 통과한 후이므로, 이 지역은  $T_1$ 일 때는 한랭 전선 전면에 위치하고  $T_2$ 일 때는 한랭 전선 후면에 위치한다. 한랭 전선 후면에서는 적운형 구름이 형성되므로, 구름의 두께는 한랭 전선 후면에 위치한  $T_2$ 일 때가 한랭 전선 전면에 위치한  $T_1$ 일 때보다 두껍다.

## 11 태풍의 발생과 이동

태풍은 주로 위도  $5^\circ \sim 25^\circ$ 의 열대 해상에서 발생한다. 태풍이 발생하기 위해서는 바다에서 열과 수증기를 공급받아야 하며, 주변의 공기가 회전하면서 수렴해야 하므로 전향력이 작용해야 한다.

✕. 적도 부근 해역에서는 전향력이 약해 공기가 회전하는 데 필요한 힘을 얻지 못하므로 태풍이 발생하기 어렵다. 따라서 태풍의 발생 빈도는 적도~ $5^\circ\text{N}$ 에서 가장 높은 것이 아니고,  $5^\circ\text{N} \sim 25^\circ\text{N}$ 에서 가장 높다.

㉠. 태풍은 대체로 발생 위치에서 무역풍과 편서풍의 영향으로 점차 고위도 쪽으로 이동하다가 소멸한다.

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

## 12 태풍과 적외 영상

태풍을 촬영한 적외 영상에서 태풍의 눈, 소용돌이가 잘 관측된다. 적외 영상은 물체가 온도에 따라 방출하는 적외선 에너지량의

차이를 이용하는 것으로, 온도가 높을수록 어둡게, 온도가 낮을수록 밝게 나타난다.

✗. A 지역은 태풍 자체의 저기압성 소용돌이에 의해 북서풍 계열의 바람이 분다.

㉠. B 지역은 구름이 없으므로, 날씨가 맑은 고기압 영역이다. 따라서 B 지역에는 여름철 우리나라에 영향을 주는 북태평양 기단이 위치한다.

✗. C 지역은 적외 영상에서 밝은 흰색으로 보이므로 구름 최상부의 높이가 높은 구름이 나타난다. 따라서 C 지역은 상승 기류가 발달한다. 한편 태풍의 눈에는 구름이 거의 없어 적외 영상에서 어둡게 보이므로, 상승 기류가 발달하지 않는다.

### 13 태풍

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

✗.  $T_1 \sim T_3$  동안 태풍의 중심 기압은  $950 \text{ hPa} \rightarrow 930 \text{ hPa} \rightarrow 920 \text{ hPa} \rightarrow 945 \text{ hPa} \rightarrow 965 \text{ hPa}$ 로 낮아지다가 높아졌다. 태풍의 중심 기압이 낮을수록 태풍의 세력이 강하므로, 태풍의 세력은 강해지다가 약해졌다.

㉠. 태풍은 저기압이므로, 북반구에서는 바람이 시계 반대 방향으로 불어 들어간다. 따라서  $T_2$ 일 때, 제주도에는 북풍 계열의 바람이 불었을 것이다.

㉡.  $T_1 \sim T_3$  동안 각 태풍 위치 사이의 시간 간격이 일정하므로, 태풍 위치 사이의 거리가 가까우면 이동 속력이 느리고, 태풍 위치 사이의 거리가 멀면 이동 속력이 빠르다. 따라서 태풍의 평균 이동 속력은 태풍 위치 사이의 거리가 가까운 A 해역을 통과할 때가 태풍 위치 사이의 거리가 먼 B 해역을 통과할 때보다 느렸다.

### 14 태풍

태풍이 우리나라를 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.

㉠. 관측 시간 동안 풍향이 시계 반대 방향으로 변했으므로, 이 지역은  $T_1 \sim T_3$  동안 태풍의 안전 반원에 위치하였다.

㉡. 태풍은 중심 기압이 낮을수록 세력이 강하고, 순간 최대 풍속이 빠르다. 따라서 태풍의 최대 풍속은 태풍의 중심 기압이 낮은  $T_1$ 일 때가 태풍의 중심 기압이 높은  $T_2$ 일 때보다 빨랐을 것이다.

㉢.  $T_1 \sim T_3$  동안 태풍의 중심 기압이 계속 높아졌으므로, 태풍의 세력은 계속 약해졌다.

### 15 태풍과 날씨

태풍의 눈이 통과하는 지역에서는 태풍의 눈이 관측소를 통과할 때 풍속이 최소가 된다. 태풍의 중심인 태풍의 눈에서는 약한 하강 기류가 나타나 날씨가 맑고 바람이 약하다. 태풍의 눈 바로 바깥쪽에는 태풍 영역에서 풍속이 가장 빠르고 강수량이 가장 많은 눈벽(eye wall)이 존재한다.

✗. 그림에서 기압이 최소일 때 풍속은 최대가 아니다.

㉠.  $T_1$ 일 때는 풍속이 매우 빠르고  $T_2$ 일 때는 풍속이 가장 느린 것으로 보아,  $T_1$ 일 때 눈벽이 지나간다. 눈벽은 태풍의 눈 주변을 둘러싸고 있는 두꺼운 구름을 말하는 것으로, 눈벽 지역에서는 많은 비가 내린다. 따라서 시간당 강수량은  $T_1$ 일 때가  $T_2$ 일 때보다 많다.

㉡. 태풍의 눈에서는 약한 하강 기류가 나타나 날씨가 맑고 바람이 약하다. 따라서  $T_1, T_2, T_3$  중에서 태풍의 눈이 이 지역을 통과한 시기는 풍속이 가장 느리게 관측된  $T_2$ 이다.

### 16 열대 저기압과 온대 저기압

(가)는 전선이 발달하지 않고 태풍의 눈이 발달한 것으로 보아 열대 저기압이고, (나)는 온난 전선과 한랭 전선이 발달한 것으로 보아 온대 저기압이다.

㉠. (가)와 (나)는 모두 가시 영상이고, 가시 영상은 태양 빛이 있는 낮에만 촬영이 가능하므로, (가)와 (나)는 모두 낮에 촬영한 것이다.

㉡. (가)에서 ㉠은 태풍의 눈 주변의 눈벽 영역으로 가시 영상에서 밝게 나타나고, (나)에서 ㉡은 온대 저기압에 동반된 온난 전선상의 구름 영역으로 가시 영상에서 ㉠보다 덜 밝게 나타나는 것으로 보아 구름의 두께는 영역 ㉠이 영역 ㉡보다 두껍다.

✗. 북반구 저기압 부근에서는 바람이 주변부에서 중심부를 향해 시계 반대 방향으로 불어 들어간다. (가)는 북반구 어느 지역의 열대 저기압이므로 지표 부근의 공기는 태풍 중심을 향해 시계 반대 방향으로 불어 들어간다.

### 17 뇌우의 발달 단계

뇌우의 발달 과정은 적운 단계  $\rightarrow$  성숙 단계  $\rightarrow$  소멸 단계이다. (가)는 성숙 단계, (나)는 적운 단계에 해당한다. 성숙 단계에서는 상승 기류와 하강 기류가 함께 나타나며 천둥, 번개, 소나기, 우박 등이 동반된다. 적운 단계에서는 강한 상승 기류에 의해 적운이 발달한다.

㉠. 적운 단계인 (나)에서는 적운이 발달하지만 아직 강수 현상이 나타나지 않고, 성숙 단계인 (가)에서는 소나기, 우박, 천둥, 번개 등이 동반된다. 따라서 강수 현상은 주로 성숙 단계인 (가)에서 나타난다.

㉡. (나)의 구름은 적운으로 대기가 불안정하여 상승 기류가 발달할 때 잘 발생한다.

✕. 물체가 방출하는 적외선 에너지량은 물체의 온도가 높을수록 많다. 구름 최상부의 온도는 구름 최상부의 높이가 높을수록 낮다. (가)의 구름은 주로 적란운이고, (나)의 구름은 적운으로 구름 최상부의 높이는 (가)가 (나)보다 높다. 따라서 구름의 최상부에서 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 적외선 에너지량은 구름 최상부 온도가 높은 (나)가 (가)보다 많다.

## 18 기단의 변질

기단이 발원지를 떠나 성질이 다른 지역으로 이동하면 이동한 지역의 지표면이나 해수면의 영향을 받아 성질이 변하게 되는데, 이를 기단의 변질이라고 한다.

✕. 겨울철에 한랭 건조한 시베리아 기단이 따뜻한 황해상을 지나면서 열과 수증기를 공급받아 기온과 습도가 높아지고, 기층이 불안정해져 우리나라의 서해안에는 폭설이 내리기도 한다. 시베리아 기단은 대륙성 기단이다.

㉠. 해역 A에 발달한 구름은 가시 영상에서 밝게 나타나는 것으로 보아 구름의 두께가 두껍다. 따라서 이 해역에 발달한 구름은 주로 적운형 구름이다.

㉡. 한랭 건조한 시베리아 기단이 따뜻한 황해상을 지나가면 황해로부터 열을 공급받아 기온이 높아진다. 따라서 기단의 변질 후의 기온 분포는 ㉠보다 대기 하층의 기온이 더 높은 ㉡이다.

## 19 우박

우박은 얼음의 결정 주위에 차가운 물방울이 얼어붙어 크기가 커진 얼음덩어리가 땅 위로 떨어진 것이다. 얼음덩어리를 상승시킬 정도로 강한 상승 기류가 발달해야 우박이 생성될 수 있다.

㉠. 강한 천둥과 우박, 돌풍을 동반한 강한 비가 내리는 것은 뇌우의 발달 단계 중 성숙 단계에 나타난다.

㉡. 우박은 대기가 불안정하여 강한 상승 기류가 발달할 때 잘 생성한다. 이날 대기 상층에는 찬 공기가 들어오고 대기 하층에는 따뜻한 공기가 위치해 대기 상층과 하층의 기온 차가 커서 대기가 불안정하였으므로 '불안정'은 ㉡에 해당한다.

㉢. 우박이 생성되기 위해서는 얼음덩어리를 상승시킬 정도로 강한 상승 기류가 발달해야 한다. 이날 중부 지방에는 우박 예보가 발표된 것으로 보아 강한 상승 기류가 발달했을 것이다.

## 20 황사

황사는 발원지에서 발생한 모래 먼지가 상층의 편서풍을 타고 멀리까지 이동하여 서서히 내려오는 현상이다.

㉠. 그림을 보면 대부분의 관측소에서 연간 황사 발생 일수가 (가)일 때가 (나)일 때보다 많다. 따라서 평균 연간 황사 발생 일수는 (가)일 때가 (나)일 때보다 많다.

㉡. (나)일 때 황사는 대체로 우리나라의 동쪽 지역보다 서쪽 지역에서 많이 관측되었다. 이는 황사의 발원지가 주로 우리나라의 서

쪽에 위치하고, 황사가 주로 편서풍을 타고 이동해 오기 때문이다.

✕. 중국 내륙의 사막화가 심해지면 토양이 더 건조해지기 때문에 황사 발생 일수가 증가할 것이다.

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

### 01 고기압과 저기압

북반구와 남반구에서 고기압, 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 중심을 향해서는 시계 방향으로 불어 들어가고, 중심에서 바깥쪽으로는 시계 반대 방향으로 불어 나온다. 따라서 이 지역은 남반구에 위치한다.

✗ A를 향해서 바람이 불어 들어가므로 A는 저기압 중심이고, B에서는 바람이 불어 나오므로 B는 고기압 중심이다. 따라서 A의 기압은 1004 hPa보다 낮고, B의 기압은 1004 hPa보다 높다.

㉠ A는 저기압 중심이고 B는 고기압 중심이므로, 상승 기류가 나타나는 지점은 A이다.

### 02 온대 저기압의 일생

온대 저기압은 정체 전선 형성 → 파동 형성 → 온대 저기압 발달 → 폐색 전선의 형성 시작 → 폐색 전선 발달 → 소멸 단계의 변화 과정을 거친다.

✗ (가)에서는 중심의 남서쪽으로 한랭 전선을, 남동쪽으로 온난 전선을 동반한 온대 저기압이 나타난다. (나)에서는 한랭 전선과 온난 전선이 합쳐져서 폐색 전선이 발달한다. 따라서 온대 저기압의 변화 과정은 (가) → (나)이다.

㉠ 영역 A는 한랭 전선의 후면에 발달한 구름이고, 영역 B는 온난 전선의 전면에 발달한 구름이다. 한랭 전선의 후면에는 주로 적운형 구름이, 온난 전선의 전면에는 주로 층운형 구름이 발달하므로 구름의 평균 두께는 영역 A가 영역 B보다 두껍다. 또한 가시 영상에서 영역 A가 영역 B보다 밝은색을 띠는 것으로 보아 구름의 평균 두께는 영역 A가 영역 B보다 두껍다.

✗ 영역 C는 폐색 전선이 위치하는 곳으로 가시 영상에서 밝은색을 띠는 것으로 보아 두꺼운 적운형 구름이 형성되었음을 알 수 있다. 따라서 영역 C에서 단위 면적당 방출되는 적외선 복사의 세기는 구름 최상부가 지표면보다 약하다.

### 03 온대 저기압의 특성

온대 저기압은 찬 기단과 따뜻한 기단이 만나는 중위도의 정체 전선상의 파동으로부터 발생하며, 북반구에서는 찬 공기가 남하하는 남서쪽으로 한랭 전선을, 따뜻한 공기가 북상하는 남동쪽으로

온난 전선을 동반한다.

㉠ (가)에서 온대 저기압의 이동 경로는 대체로 서쪽에서 동쪽이다. 따라서 우리나라가 속해 있는 편서풍대에서 온대 저기압의 이동은 주로 편서풍의 영향을 받았다고 해석할 수 있다.

㉠ ㉠은 온대 저기압이 발달한 시점에 가깝고, ㉡은 온대 저기압이 소멸한 시점에 가깝다. 온대 저기압의 일생은 정체 전선 형성 → 파동 형성 → 온대 저기압 발달 → 폐색 전선의 형성 시작 → 폐색 전선 발달 → 온대 저기압 소멸 순이다. 따라서 폐색 전선이 발달할 가능성이 더 높은 것은 ㉡이다.

㉠ (가)에서 A는 대륙 위에서 발달한 온대 저기압의 이동 경로이고, B~E는 해양 위에서 발달한 온대 저기압의 이동 경로이다. (나)에서 이동 경로별 겨울철(12월~2월) 온대 저기압 수를 보면, 경로 A(대륙 위에서 발달한 온대 저기압)의 경우는 4개이고, 경로 B~E(해양 위에서 발달한 온대 저기압)의 경우는 36개이다. 따라서 해양 위에서 발달한 온대 저기압 수는 대륙 위에서 발달한 온대 저기압 수보다 많다.

### 04 폐색 전선

폐색 전선에서 한랭 전선을 형성한 찬 공기보다 온난 전선을 형성한 찬 공기의 온도가 더 낮을 때는 한랭 전선 후면의 공기가 온난 전선 전면의 공기 위에 놓이게 된다.

㉠ A 지역은 B 지역보다 저기압 중심에 가까이 위치하므로, 기압은 A 지역이 B 지역보다 낮다.

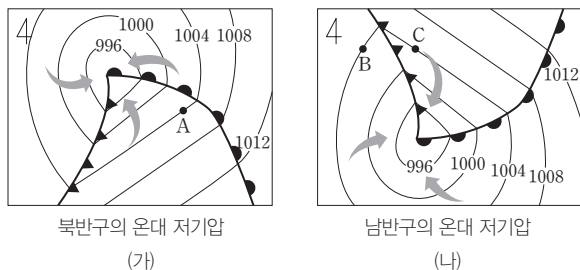
✗ 폐색 전선을 경계로 (가)의 B 지역은 (나)의 ㉠ 지역 쪽이고, (가)의 C 지역은 (나)의 ㉡ 지역 쪽이다. (나)에서 ㉠ 지역의 공기가 ㉡ 지역의 공기 위에 놓여 있으므로, 기온은 ㉠ 지역이 ㉡ 지역보다 높다. 따라서 기온은 B 지역이 C 지역보다 높다.

㉠ ㉠ 지역은 한랭 전선면에서 구름의 두께가 두꺼운 적란운이 발달하고, ㉡ 지역은 온난 전선면에서 구름의 두께가 얇은 층운형 구름이 발달한다. 적외 영상은 물체가 온도에 따라 방출하는 적외선 에너지양의 차이를 이용하는 것으로, 온도가 높을수록 어둡게, 온도가 낮을수록 밝게 나타나므로, 구름의 최상부 높이가 높을수록 밝게 나타난다. 따라서 적란운이 발달하는 ㉠ 지역의 구름이 층운형 구름이 발달하는 ㉡ 지역의 구름보다 적외 영상에서 대체로 밝게 보인다.

### 05 북반구와 남반구의 온대 저기압

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





북반구의 온대 저기압  
(가)

남반구의 온대 저기압  
(나)

✕. (가)는 북반구의 온대 저기압에 동반된 온난 전선이고, (나)는 남반구의 온대 저기압에 동반된 한랭 전선이다. 북반구의 온대 저기압은 시계 반대 방향으로 바람이 불어 들어가고, 남반구의 온대 저기압은 시계 방향으로 바람이 불어 들어가기로 지점 A에서는 남풍 계열의 바람이, 지점 C에서는 북풍 계열의 바람이 분다.

㉠. 지점 A는 온난 전선 후면에 위치하므로 강수 현상이 거의 없고, 지점 B는 한랭 전선 후면에 위치하므로 주로 강수 현상이 나타난다. 따라서 강수 현상은 지점 A보다 지점 B에서 나타날 가능성이 높다.

㉡. 지점 C는 한랭 전선 전면에 위치하고 전선이 동쪽 방향으로 이동하므로 시간이 지나 한랭 전선이 통과하면 지점 C의 기온이 하강한다.

## 06 온난 전선과 폐색 전선

북반구에서 온난 전선은 온대 저기압 중심에서 남동쪽으로 형성되고, 폐색 전선은 이동 속도가 상대적으로 빠른 한랭 전선이 온난 전선을 따라잡아 합쳐져 형성된다. 폐색 전선에서는 전선 전면과 후면의 기온 차가 크게 나타나지 않는다.

✕.  $T_1$ 과  $T_2$  사이에 기압이 하강하고 기온은 급격히 상승하므로, 이 시간에 이 지역을 통과한 전선은 온난 전선이다. 따라서 온난 전선이 통과한  $T_1$ 과  $T_2$  사이에 풍향은 남동풍에서 남서풍으로 바뀐다.

✕.  $T_1$ 과  $T_2$  사이에 이 지역을 통과한 전선은 온난 전선이다.  $T_3$  이전에 기압이 하강하고  $T_3$ 과  $T_4$  사이에 기압 하강률이 감소하며,  $T_3$ 과  $T_4$  사이에 기온은 상승하다가 하강한 것으로 보아 폐색 전선이 통과하였음을 알 수 있다. 온대 저기압의 일생에서  $T_1$ 과  $T_2$  사이에 통과한 온난 전선이  $T_3$ 과  $T_4$  사이에 통과한 폐색 전선보다 먼저 나타난다.

㉠. 이 지역은  $T_1$ 일 때 온난 전선 전면에 위치하므로 층운형 구름이 주로 관측되고,  $T_2$ 일 때 온난 전선 후면에 위치하므로 구름이 거의 없는 맑은 날씨가 나타나며,  $T_3$ 과  $T_4$  사이에는 폐색 전선이 통과한다. 폐색 전선의 전면과 후면에서는 모두 상승 기류가 발달하여 구름이 생성된다. 따라서  $T_1 \sim T_4$  중 구름의 양이 가장 적은 때는  $T_2$ 이다.

## 07 온대 저기압

온대 저기압의 일생은 정체 전선 형성 → 파동 형성 → 온대 저기압

발달 → 폐색 전선의 형성과 발달 → 소멸 과정을 겪는다.

㉠. 전선 부근에서는 기온 변화가 급격히 나타나므로, 온대 저기압 주변에서 등온선의 간격이 좁은 곳에 전선이 형성되어 있다. 그림을 보면 온대 저기압의 일생 중 (가)는 폐색 전선의 형성과 발달 단계이고, (나)는 온대 저기압의 발달 단계이다. 따라서 온대 저기압의 일생에서 (가)는 (나)보다 나중 단계이다.

✕. 폐색 전선을 동반한 온대 저기압 중심의 위치는 폐색 전선이 온난 전선, 한랭 전선과 만나는 위치인 지점 B보다 지점 A에 가깝다.

✕. 지점 C는 한랭 전선 후면에 위치하고 지점 D는 온난 전선 전면에 위치하므로, 지점 C에서는 주로 적운형 구름이, 지점 D에서는 주로 층운형 구름이 발달한다. 적외 영상에서는 구름 최상부의 높이가 높을수록(구름 최상부의 온도가 낮을수록) 밝게 나타난다. 따라서 적외 영상에서 나타난 평균적인 구름의 밝기는 지점 D보다 지점 C에서 밝다.

## 08 한랭 전선 통과 후의 일기 변화

한랭 전선이 통과한 후에는 기온이 하강하고 기압이 상승한다. 전선을 경계로 기온, 바람 등이 급변하므로, 시간-높이 그래프에서 풍향이 급격하게 변한 시간에 전선이 통과하였다.

㉠. 시간-높이 그래프에서 풍향이 급격하게 변한 시간에 전선이 통과하였으므로, 전선이 통과 중인 시간은  $T_2$ 에 가장 가깝다.  $T_1$ 은 전선 통과 전,  $T_3$ 은 전선 통과 후이다.

✕. 이 지역은 지표면에서 높이 300 m 부근까지 풍속은 전선 통과 후가 전선 통과 전보다 대체로 빠르다.

✕. 이 지역은 전선 통과 전에는 남서풍이, 전선 통과 후에는 북서풍이 우세하게 불었으므로, 이 지역을 통과한 전선은 한랭 전선이다. 따라서 전선 통과 후인  $T_3$ 일 때 이 지역의 상공에는 한랭 전선면이 나타난다.

## 09 기상 위성 영상

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

✕. 가시 영상은 구름과 지표면에서 반사된 태양 빛의 반사 강도를 나타낸 것으로, 태양 빛이 있는 낮에만 관측이 가능하다. 적외 영상은 물체가 온도에 따라 방출하는 적외선 에너지량의 차이를 이용하는 것으로, 태양 빛이 없는 밤에도 관측이 가능하다. (가)의 서쪽에 태양 빛이 없어서 관측이 안 된 어두운 부분이 있으므로, 이 영상은 가시 영상이다. 가시 영상에서 밝은 영역은 지구 자전에 의해 점차 서쪽으로 더 넓어질 것이므로, 이 영상은 우리나라가 밤일 때 촬영한 것이 아니라, 오전 시간대에 촬영한 것이다.

㉠. 구름 A는 가시 영상에서는 회색으로 보이고, 적외 영상에서

는 흰색으로 밝게 보이는 것으로 보아 구름의 두께는 얇고 구름 최상부의 높이가 높은 구름이다. 구름 B는 가시 영상과 적외 영상 모두에서 흰색으로 밝게 보이는 것으로 보아 적란운이다. 구름 C는 가시 영상에서는 흰색으로 밝게 보이고, 적외 영상에서는 회색으로 보이는 것으로 보아 구름의 두께는 두껍고 구름의 최상부 높이가 낮은 구름이다. 따라서 A, B, C 중 구름 최하부의 높이가 가장 높은 것은 A이다.

✕. 물체의 온도가 낮을수록 적외선을 적게 방출하므로, 구름 최상부의 높이가 높을수록 온도가 낮아 적외선을 적게 방출한다. 적외 영상에서는 구름 최상부의 온도가 낮을수록 밝게 나타나므로, 구름 최상부에서 단위 시간에 단위 면적당 방출되는 적외선 에너지량은 적외 영상에서 어두운 C가 적외 영상에서 밝은 B보다 많다.

## 10 장마 전선

장마 전선은 정체 전선의 한 종류로, 고온 다습한 북태평양 기단과 한랭 다습한 오호츠크해 기단이 만나거나 고온 다습한 북태평양 기단과 대륙 기단이 만날 때 형성될 수 있다.

㉠. 장마 전선은 많은 비를 동반하므로, (가)에서 장마 전선은 12시간 누적 강수량이 가장 많은 위도 30°N 부근에 위치한다.

㉡. 가시 영상은 구름과 지표면에서 반사된 태양 빛의 반사 강도를 나타내는 것으로, 육지는 약간 밝게, 구름은 매우 밝게, 바다는 어둡게 나타난다. 지점 A는 고기압 중심으로 날씨가 맑고 바다에 위치하므로 가시 영상에서 어둡게 나타난다. 지점 B는 장마 전선에서 상승 기류에 의해 구름이 생성되는 곳으로 가시 영상에서 밝게 보인다.

✕. 지점 B에서는 대체로 동쪽에서 불어오는 바람과 남서쪽에서 불어오는 바람이 만나 상승 기류가 우세하다.

## 11 태풍의 이동

태풍은 발생 초기에는 무역풍과 북태평양 고기압의 영향으로 대체로 북서쪽으로 진행하다가 전향점을 지난 후에는 편서풍의 영향으로 북동쪽으로 진행하는 포물선 궤도를 그린다.

㉠. 태풍은 북태평양 고기압의 가장자리를 따라 이동하므로, 북태평양 고기압이 우리나라 쪽으로 더 많이 확장되면 태풍의 이동 경로가 우리나라 쪽으로 더 치우친다. 따라서 태풍의 이동 경로가 우리나라 쪽으로 더 치우친 (가)일 때가 (나)일 때보다 북태평양 고기압의 세력이 강하다.

㉡. 제주도에는 태풍 A가 통과할 때 태풍 진행 방향의 오른쪽(위험 반원)에 위치하므로 태풍 A의 영향을 받는 동안 풍향은 시계 방향으로 변한다.

㉢. 속력은 같은 시간 동안 이동 거리가 멀수록 빠르다. 따라서 태풍 B의 평균 이동 속력은 태풍 위치 사이의 간격이 좁은 전향점 부근이 태풍 위치 사이의 간격이 넓은 무역풍대보다 느리다.

## 12 태풍과 날씨

태풍이 통과할 때 관측소가 태풍 이동 경로의 왼쪽(안전 반원)에 위치하면 풍향은 시계 반대 방향으로 변한다.

㉠. 그림 (가)와 (나)에서 8월 31일 15시에 풍속이 최대이고, 시간당 강수량도 최대이다.

✕. 이 관측소에서 태풍이 통과하는 동안 풍향은 북동풍 → 북풍 → 서풍으로 시계 반대 방향으로 변하는 것으로 보아 이 관측소는 태풍 이동 경로의 왼쪽에 위치하였다.

✕. (나)를 보면 이 관측소에서 시간당 강수량은 대체로 태풍 통과 후보다 태풍 통과 전에 더 많았다.

## 13 태풍의 에너지원과 소멸

태풍의 에너지원은 열대 해상에서 상승한 공기 중의 수증기가 응결하면서 발생하는 숨은열(응결열)이다. 따라서 태풍의 세력이 유지되거나 더 강하게 발달하려면 지속적인 에너지(수증기) 공급이 필요한데, 태풍이 차가운 바다 위를 지나거나 육지에 상륙하면 열과 수증기의 공급이 줄어들어 세력이 약해진다. 또한 태풍이 육지에 상륙하면 지표면과의 마찰이 증가하여 세력이 급격히 약해진다.

✕. 태풍이 우리나라에 상륙하여 통과하는 동안 중심 기압은 상승하다가 일정하게 유지되었고, 최대 풍속은 느려지다가 일정하게 유지되었다. 따라서 태풍이 우리나라를 통과하는 동안 태풍의 세력은 약해지다가 일정하게 유지되었다.

㉠. 8월 31일 12시는 태풍이 우리나라에 상륙하기 3시간 전으로, 태풍의 이동 경로로 보아 태풍은 남해안에 위치하였을 것이다. 또한 이 시기에 남해안의 평균 해수면 온도는 약 26°C로 태풍이 주로 발생하는 열대 해상의 해수면 온도(약 27°C 이상)와 큰 차이가 없으므로 태풍은 육지에 상륙했을 때보다 세력이 강했을 것이다. 따라서 8월 31일 12시에 태풍의 최대 풍속은 우리나라에 상륙했을 때 최대 풍속인 36 m/s보다 빨랐을 것이다.

㉡. A 지역에는 9월 1일 0시에 태풍의 중심이 가장 가깝게 지나갔다. 태풍은 중심으로 갈수록 기압이 낮아지고 A 지역은 태풍의 중심에서 약간 떨어져 있으므로, 9월 1일 0시에 A 지역에서 관측된 기압은 태풍의 중심 기압인 980 hPa보다 높았을 것이다.

## 14 태풍

태풍은 열대 저기압이므로 주변부에서 중심으로 갈수록 기압이 낮아진다. 태풍의 에너지원은 수증기가 응결할 때 방출하는 숨은 열(응결열)이며, 태풍이 육지에 상륙하면 수증기의 공급이 줄어들고 지표면과의 마찰이 증가하여 세력이 급격히 약해진다.

㉠. 태풍은 관측소 A 부근을 통과한 후 B 부근을 통과했다. 기압이 가장 낮은 시각은 ㉠이 ㉡보다 먼저이므로, ㉠은 태풍이 먼저 통과한 관측소 A에서 관측한 것이고, ㉡은 태풍이 나중에 통과한 관측소 B에서 관측한 것이다.

㉠ A는 태풍 이동 경로의 오른쪽(위험 반원)에 위치하므로, A에서 관측 기간 동안 풍향은 시계 방향으로 변화였다.

㉡ 태풍은  $T_1$ 일 때 바다 위에 위치하였고,  $T_2$ 일 때 육지 위에 위치하였다. 태풍은 육지 위에 있을 때보다 바다 위에 있을 때 수증기를 더 많이 공급받을 수 있으므로, 태풍의 구름에서 방출되는 습은열(응결열)의 양은 태풍이 바다 위에 있는  $T_1$ 일 때가 육지 위에 있는  $T_2$ 일 때보다 많았다.

## 15 태풍에 의한 해일

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

ㄹ 태풍의 중심부로 갈수록 풍속은 빨라지다가 태풍의 눈에서 약해진다. 지점 A는 지점 B보다 태풍의 중심에 가까이 위치하므로 풍속은 지점 A가 지점 B보다 빠르다.

㉠ (나)에서 관측 해역의 해수면 높이는 평상시 변화에 비해  $T_2$ 일 때 급격히 높아졌으므로 이 시기에 태풍의 중심과 이 해역 사이의 거리가 가장 가까웠다. 따라서 이 해역의 해면 기압은  $T_1$ 일 때가 태풍의 중심과 가장 가까운  $T_2$ 일 때보다 높다.

ㄹ 태풍이 통과하는 해역은 바람에 의한 해수의 혼합과 용승이 활발하게 일어난다. 따라서 바람 효과만 고려한다면 이 해역의 표층 수온은 태풍 통과 후인  $T_3$ 일 때가 태풍 통과 전인  $T_1$ 일 때보다 낮을 것이다.

## 16 태풍의 강수 구역

태풍의 강수 구역은 태풍의 눈 주변에서 대체로 원형 또는 원형에서 한 방향으로 늘어난 형태로 나타나고, 온대 저기압에 의한 강수 구역은 전선을 따라 대체로 띠 형태로 나타난다.

㉠ (가)는 시간당 강수량이 많은 구역이 대체로 띠 형태로 나타나는 것으로 보아, 전선을 동반한 온대 저기압에 의한 강수 구역과 강수량을 나타낸다.

ㄹ (나)는 특정 지점을 중심으로 원형에서 한 방향으로 늘어난 형태로 나타나는 것으로 보아, 태풍의 강수 구역을 나타낸다. 따라서 (나)와 같은 강수 형태는 주로 태풍이 발생하는 여름철에 잘 나타난다.

ㄹ (가)에서 시간당 강수량이 가장 많은 곳은 주로 한랭 전선 후면이고, (나)에서 시간당 강수량이 가장 많은 곳은 대체로 태풍의 눈 주변이다. 따라서 (가)와 (나) 모두 시간당 강수량이 가장 많은 곳에서 기압이 가장 낮은 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 사이

에서 발생하는 방전을 구름 방전이라 하고, 구름과 지표면 사이에서 발생하는 방전을 낙뢰(대지 방전 또는 벼락)라고 한다.

ㄹ 뇌우는 강한 상승 기류에 의해 발생하는 현상이므로, 이날 B 지역에서 상승 기류는 16시~20시보다 낙뢰가 더 많이 관측된 12시~16시에 더 강했을 것이다.

ㄹ 낙뢰가 발생하려면 적란운이 발달해야 하고, 적란운이 발달하려면 대기가 불안정하여 강한 상승 기류가 발달해야 한다. 따라서 대기는 평균적으로 낙뢰가 많이 발생한 B 지역이 낙뢰가 거의 발생하지 않은 A 지역보다 더 불안정하였다.

㉠ A 지역과 B 지역 중 한곳에 강수 현상이 있었다면, 강수 현상이 있었던 지역은 낙뢰가 많이 발생한 B 지역이다. 낙뢰는 강한 상승 기류에 의해 적란운이 발달하면서 나타나는 현상이므로, B 지역에서는 소나기성 강수 형태의 비가 내렸을 것이다.

## 18 집중 호우

집중 호우는 주로 강한 상승 기류에 의해 형성된 적란운이 한곳에 정체하여 국지적으로 단시간 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. 집중 호우는 비교적 좁은 지역(반지름 10~20 km 정도)에 집중적으로 내린다.

㉠ 레이더 관측 자료에서 시간당 30 mm 이상의 강한 비구름대가 14시~15시에 A 지역의 북서쪽에 위치해 있다가 이후에 A 지역에 가까워진 것을 알 수 있다. 따라서 강한 비구름대가 북서쪽에서 이 지역으로 접근하였다.

ㄹ 한 시간에 30 mm 이상의 비가 내리는 현상은 집중 호우에 해당한다. 따라서 A 지역에 집중 호우가 발생할 가능성은 (나)일 때가 (다)일 때보다 낮다.

㉠ 집중 호우는 주로 강한 상승 기류에 의해 형성된 적란운에서 발생하므로, (가), (나), (다) 중 A 지역에서 상승 기류가 가장 강한 시기는 시간당 강수량이 가장 많은 (다)이다.

## 19 우박

우박은 한랭 전선이 통과할 때 전선 후면에 발달하는 적란운 내에서 강한 상승 기류를 타고 발생할 수 있다.

㉠ 이날 06시에 A 지점은 한랭 전선 후면에 위치하고, B 지점은 한랭 전선 전면에 위치한다. 06시에 기상 레이더로 관측한 시간당 강수량 분포에서 한랭 전선을 따라 강한 강수대가 나타나므로, 우박은 이 시각 무렵에 내린 것으로 보인다. 따라서 우박은 한랭 전선 통과 직후에 내린 것으로 보이며, 우박이 내린 곳은 이날 06시에 한랭 전선 후면에 위치한 A 지점이다.

㉠ (나)에서 시간당 강수량은 (가)의 전선 위치와 비교해 보면, 한랭 전선 후면이 온난 전선 전면보다 많다.

ㄹ 우박의 생성에서 소멸까지 걸리는 시간은 주로 수 분 정도이



고, 온대 저기압의 생성에서 소멸까지 걸리는 시간은 수 일 정도이다. 따라서 생성에서 소멸까지 걸리는 시간은 우박이 온대 저기압보다 짧다.

## 20 황사

우리나라에 영향을 미치는 황사의 주요 발원지는 중국 북부나 몽골의 사막 또는 건조한 황토 지대이다. 황사 발원지의 대기가 건조할수록, 풍속이 빠를수록 우리나라에서 황사가 발생하기 쉽다.

- ㉠. 우리나라에서 황사는 주로 3월~5월의 봄철에 발생한다.
- ㉡. 황사 발원지인 A 지역의 상대 습도가 가장 낮은 4월에 우리나라의 황사 발생 일수가 가장 많다.
- ㉢. 황사 발원지인 A 지역의 먼지 폭풍 발생 빈도는 강풍과 관련이 있으므로, A 지역의 먼지 폭풍 발생 빈도가 높을수록 우리나라에서 황사 발생 일수는 대체로 증가할 것이다.

# 06 해양의 변화

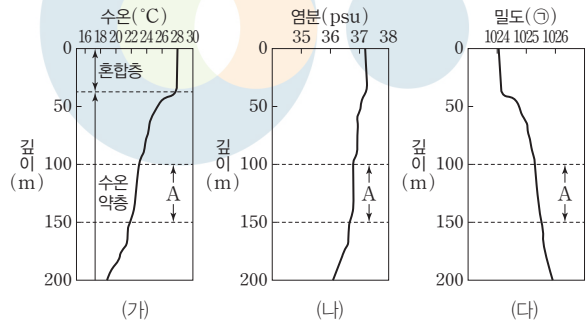
수능 2점 테스트

본문 108~111쪽

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

## 01 깊이에 따른 해수의 물리량 변화

해수의 밀도는 주로 수온과 염분에 의해 결정되며, 해수의 밀도는 수온이 낮을수록, 염분이 높을수록 커진다. 혼합층은 태양 복사 에너지에 의한 가열로 수온이 높고, 바람의 혼합 작용으로 인해 깊이에 따라 수온이 거의 일정한 층이다. 수온 약층은 혼합층 아래에서 깊이에 따라 수온이 급격히 낮아지는 층으로, 수심이 깊어질수록 해수의 밀도가 커지므로 매우 안정하다. 심해층은 수온이 낮고 태양 복사 에너지가 도달하지 않으므로, 계절이나 깊이에 따른 수온의 변화가 거의 없는 층이다. 그림 (가)를 보면 깊이 약 0 m~40 m에 혼합층이 나타나며, 깊이 약 40 m 이상에는 수온 약층이 나타난다.

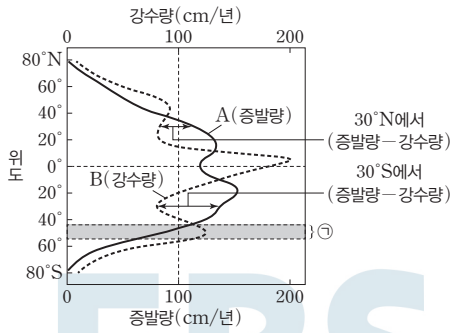


- ✗. 해수의 밀도는  $1000 \text{ kg/m}^3$  정도이다. 따라서  $\text{g/m}^3$ 는 ㉠에 해당하지 않으며,  $\text{kg/m}^3$ 가 ㉡에 해당한다.
- ㉡. A 구간에서는 깊이에 따라 수온이 급격히 낮아지므로 A 구간은 수온 약층에 포함된다.
- ✗. 해수의 밀도는 수온이 낮을수록, 염분이 높을수록 커진다. A 구간에서 깊이가 깊어질수록 수온은 낮아지고 염분은 일정하다가 낮아지고 밀도는 커진다. 따라서 A 구간에서 해수의 밀도 변화는 염분보다 수온의 영향이 더 크다.

## 02 (증발량-강수량) 값과 표층 염분

적도 저압대와 한대 전선대에서는 강수량이 증발량보다 많고, 중위도 고압대에서는 강수량이 증발량보다 적다. A는 증발량이고 B는 강수량이다.





- ✗ 강수량(B)이 가장 많은 위도는 약 5°N이다.
- ✗ A는 증발량이고 B는 강수량이며, (증발량-강수량) 값은 30°N이 30°S보다 작다.
- ㉠ ㉠은 위도 50°S 부근이며 ㉠에서 강수량이 증발량보다 많은 것으로 보아 ㉠에는 한대 전선대가 위치하고 대기 대순환에 의한 상승 기류가 발달한다.

### 03 위도에 따른 해수면의 수온 분포

- 해수면의 수온 분포에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 태양 복사 에너지이며, 해수면과 햇빛이 이루는 각도가 클수록 단위 시간에 단위 면적의 해수면에 입사되는 태양 복사 에너지량은 많다. 해수면과 햇빛이 이루는 최대 각도는 (가) > (나) > (다)이다.
- ✗ 3월 21일 정오에 고위도로 갈수록 해수면과 햇빛이 이루는 최대 각도가 작아진다. 해수면과 햇빛이 이루는 최대 각도는 (가) > (나) > (다)이므로, 위도는 (다)가 가장 높고 다음으로 (나)가 높으며 (가)가 가장 낮다.
  - ㉡ 해수면의 연평균 수온을 나타내는 등수온선은 대체로 위도와 나란하고, 해수면의 연평균 수온은 저위도에서 고위도로 갈수록 낮아지는 경향을 보인다. (가)의 위도대는 적도 부근이며, (다)의 위도대는 고위도이다. 따라서 해수면의 연평균 수온은 (가)의 위도대가 (다)의 위도대보다 높다.
  - ㉢ 해수면과 햇빛이 이루는 최대 각도는 (가) > (나) > (다)이고, 해수면과 햇빛이 이루는 각도가 클수록 단위 시간에 단위 면적의 해수면에 입사되는 태양 복사 에너지량이 많다. 따라서 해수면과 햇빛이 이루는 각도만을 고려하면 이날 단위 면적의 해수면에 입사되는 태양 복사 에너지량은 (가) > (나) > (다)이다.

### 04 해수의 수온과 염분에 따른 산소 기체의 용해도

- 해수의 기체 용해도는 해수에 녹을 수 있는 기체의 양을 의미한다. 해수의 산소 기체의 용해도는 수온이 높을수록 감소하고 염분이 높을수록 감소한다.
- ㉣ 그림을 보면 수온이 같은 해수에서 염분이 높을수록 산소 기체의 용해도가 작아진다.
  - ✗ 그림에서 기울기의 크기는  $\frac{\text{산소 기체의 용해도 감소량}}{\text{수온 증가량}}$  을 의미

하며, 염분이 30 psu인 해수에서 수온이 높아질수록 산소 기체의 용해도 감소량은 작아지는 경향을 보인다. 수온 증가량

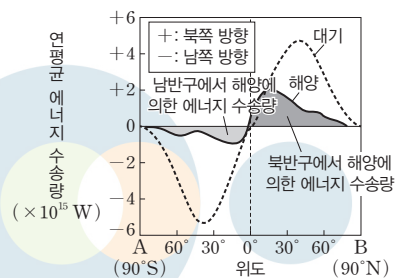
- ✗ 해수의 산소 기체의 용해도는 수온이 높을수록 감소하고 염분이 높을수록 감소하며, 쿠로시오 해류는 캘리포니아 해류보다 표층 수온과 표층 염분이 높다. 따라서 표층의 평균 용존 산소량은 쿠로시오 해류가 흐르는 해역이 캘리포니아 해류가 흐르는 해역보다 적을 것이다.

### 05 수온 염분도 해석

- 해수의 밀도는 수온이 낮을수록, 염분이 높을수록 커진다. 혼합층은 수온이 높고 깊이에 따른 수온이 거의 일정한 층이고, 수온 약층은 혼합층 아래에서 깊이에 따라 수온이 급격히 낮아지는 층이다.
- ✗ 깊이 0 m ~ 약 900 m 구간에서 깊이에 따라 수온이 급격히 낮아지고 깊이 500 m는 수온 약층에 해당한다. 따라서 수온 약층이 나타나기 시작하는 깊이는 500 m보다 얕다.
  - ㉤ 깊이 0 m ~ 500 m 구간에서 해수의 밀도 변화는 0.001 g/cm<sup>3</sup>보다 크고, 깊이 3000 m ~ 4000 m 구간에서 해수의 밀도 변화는 0.001 g/cm<sup>3</sup>보다 작다.
  - ✗ 염분은 깊이 500 m 해수와 1000 m 해수가 거의 같고, 수온은 깊이 500 m 해수가 1000 m 해수보다 높다. 따라서 깊이 500 m 해수와 1000 m 해수의 밀도 차는 염분보다 수온의 영향이 더 크다.

### 06 대기와 해양에 의한 에너지 수송

위도에 따른 열수지에서 저위도 지방에서는 에너지가 남고 고위도 지방에서는 에너지가 부족하다. 저위도의 남은 에너지는 대기와 해양에 의해 고위도로 수송되고, 대기와 해양에 의한 에너지 수송은 북반구에서는 주로 북쪽으로 일어나며 남반구에서는 주로 남쪽으로 일어난다.



- ㉥ 남반구에서 대기와 해양에 의한 에너지 수송은 주로 남쪽으로 일어난다. 따라서 A는 90°S이다.
- ㉦ 저위도의 남은 에너지는 대기와 해양에 의해 고위도로 수송된다. 따라서 북반구에서 대기와 해양에 의한 에너지 수송은 주로 북쪽으로 일어난다.
- ㉧ 그림을 보면 대기와 해양에 의한 에너지 총 수송량은 적도 부근이 40°S 부근보다 적다.

✕ 그림을 보면 해양에 의한 에너지 수송량은 북반구가 남반구보다 많다.

㉔ 그림을 보면 위도 40°N 부근에서 대기에 의한 에너지 수송량이 해양에 의한 에너지 수송량보다 많다.

### 07 대기 대순환

해들리 순환은 적도 저압대와 중위도 고압대 사이에 분포하고, 페렐 순환은 중위도 고압대와 한대 전선대 사이에 분포하며, 극순환은 한대 전선대와 극 고압대 사이에 분포한다. 북반구에서 여름철에는 한대 전선대가 북상하고 겨울철에는 한대 전선대가 남하한다. 따라서 북반구 여름철 한대 전선대의 위치는 A이고 북반구 겨울철 한대 전선대의 위치는 B이다.



㉔ 북반구 여름철 한대 전선대의 위치는 A이다.

㉔ 북반구 여름철 한대 전선대의 위치는 A이므로, 북반구 여름철에 50°N 부근에는 페렐 순환이 분포한다. 따라서 북반구 여름철에 50°N 부근의 지표 부근에는 대기 대순환에 의한 서풍 계열의 바람인 편서풍이 우세하게 분다.

✕ 북반구 겨울철 한대 전선대의 위치는 B이므로, 북반구 겨울철에 페렐 순환은 주로 B의 남쪽에 분포한다.

### 08 쿠로시오 해류와 캘리포니아 해류의 특징

A 해역에는 난류인 쿠로시오 해류가 흐르고 B 해역에는 한류인 캘리포니아 해류가 흐른다.

㉔ 표층 해수의 평균 수온은 쿠로시오 해류가 흐르는 A 해역이 캘리포니아 해류가 흐르는 B 해역보다 높다.

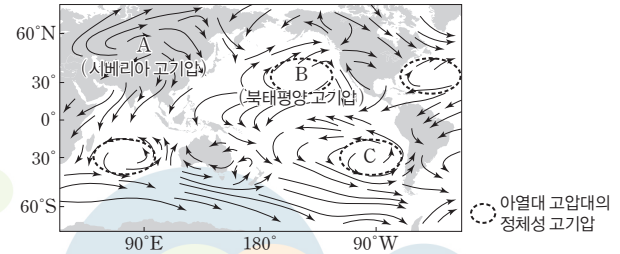
✕ 쿠로시오 해류는 고염분의 난류이고 캘리포니아 해류는 저염분의 한류이다. 따라서 표층 해수의 평균 염분은 쿠로시오 해류가 흐르는 A 해역이 캘리포니아 해류가 흐르는 B 해역보다 높다.

✕ 표층 해수의 평균 용존 산소량은 표층 수온이 낮을수록 많은 경향을 보인다. 따라서 표층 해수의 평균 용존 산소량은 쿠로시오 해류가 흐르는 A 해역이 캘리포니아 해류가 흐르는 B 해역보다 적다.

### 09 대기 대순환과 정체성 고기압

A, B, C 지역 모두에서 바람이 불어 나가는 것으로 보아 A, B,

C 지역 모두에 고기압이 위치한다.



㉔ 해들리 순환의 하강 기류에 의해 형성된 정체성 고기압은 위도 30° 부근의 아열대 고압대에 분포한다. 따라서 A, B, C 지역 중 해들리 순환의 하강 기류에 의해 형성된 정체성 고기압이 위치하는 지역은 B와 C이다. A 지역의 정체성 고기압은 시베리아 고기압이며 시베리아 고기압은 대륙의 복사 냉각으로 지표면 부근의 공기가 냉각되어 형성된다.

### 10 북대서양의 표층 해류

A 해역에서는 편서풍이 불고 C 해역에서는 북동 무역풍이 분다. B 해역은 편서풍이 부는 해역과 북동 무역풍이 부는 해역의 경계부에 위치한다.

㉔ A 해역에서는 난류인 북대서양 해류가 북동쪽으로 흐른다.

✕ B 해역은 편서풍이 부는 지역과 북동 무역풍이 부는 지역의 경계부에 위치한다. 따라서 B 해역은 아한대 순환과 아열대 순환의 경계에 위치하는 것이 아니라, 아열대 순환의 내부에 위치한다.

✕ 열대 수렴대는 북동 무역풍과 남동 무역풍이 수렴하는 지역에 발달한다. 따라서 열대 수렴대는 주로 C 해역의 남쪽에 분포한다.

### 11 대기 대순환과 해수의 표층 순환

• 태평양의 0°~30°N 부근에서는 동풍 계열의 무역풍이 우세하게 불고 북적도 해류가 동쪽에서 서쪽으로 흐른다.

• 태평양의 30°N~60°N 부근에서는 서풍 계열의 편서풍이 우세하게 불고 북태평양 해류가 서쪽에서 동쪽으로 흐른다.

• 태평양의 0°~30°S 부근에서는 동풍 계열의 무역풍이 우세하게 불고 남적도 해류가 동쪽에서 서쪽으로 흐른다.

• 태평양의 30°S~60°S 부근에서는 서풍 계열의 편서풍이 우세하게 불고 남극 순환 해류가 서쪽에서 동쪽으로 흐른다.

• ⊙는 서쪽으로 이동하는 방향이고 ⊗는 동쪽으로 이동하는 방향이다.

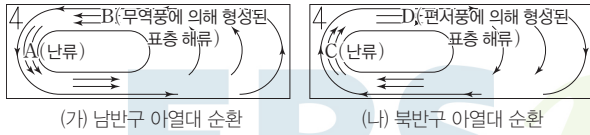
✕ A에서는 편서풍에 의해 형성된 북태평양 해류가 서쪽에서 동쪽으로 흐르고, B에서는 무역풍에 의해 형성된 북적도 해류가 동쪽에서 서쪽으로 흐른다.

㉔ 열대 수렴대는 위도 0° 부근에 분포한다. 따라서 B와 C 위도대 사이에 열대 수렴대가 분포한다.

㉔ D에서의 대기 대순환에 의해 지표 부근에는 편서풍이 불고, 남극 순환 해류는 편서풍에 의해 형성된다.

### 12 해수의 표층 순환

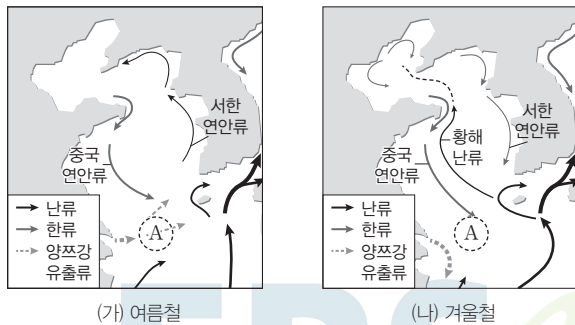
해수의 표층 순환은 적도 부근을 경계로 북반구와 남반구가 대칭으로 대칭을 이룬다. 북반구 아열대 순환은 시계 방향으로 순환하고 남반구 아열대 순환은 시계 반대 방향으로 순환한다. 따라서 북반구 아열대 순환은 (나)이고 남반구 아열대 순환은 (가)이다.



- ✗ 북반구 아열대 순환은 (나)이다.
- ⊙ 북반구 아열대 순환에서 난류는 북쪽으로 흐르고 남반구 아열대 순환에서 난류는 남쪽으로 흐른다. 따라서 (가)의 A 해역에서 난류가 흐르고 (나)의 C 해역에서도 난류가 흐른다.
- ✗ 무역풍에 의해 형성된 표층 해류는 저위도에서 동쪽에서 서쪽으로 흐르고, 편서풍에 의해 형성된 표층 해류는 중위도에서 서쪽에서 동쪽으로 흐른다. 따라서 B 해역에서는 무역풍에 의해 형성된 표층 해류가 흐르고 D 해역에서는 편서풍에 의해 형성된 표층 해류가 흐른다.

### 13 우리나라 주변의 표층 해류

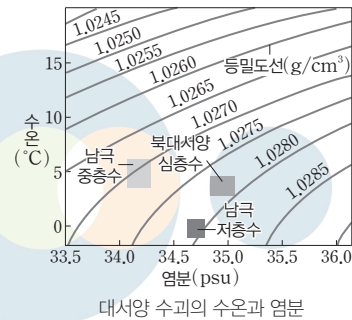
(가)에서는 양쯔강 유출류가 제주도 서쪽 해역까지 퍼지고 있고 (나)에서는 양쯔강 유출류가 중국 연안을 따라 남하하는 것으로 보아 (가)는 여름철이고 (나)는 겨울철이다.



- ✗ 서한 연안류는 한반도의 서해안을 따라 흐르는 해류이다. (가)를 보면 여름철에 서한 연안류는 주로 북상하고 (나)를 보면 겨울철에 서한 연안류는 주로 남하한다.
- ⊙ (가)를 보면 여름철에 황해 난류는 거의 나타나지 않지만 (나)를 보면 겨울철에 황해 난류가 상대적으로 뚜렷하게 나타난다.
- ✗ (가)는 여름철로 우리나라 주변 해역에 강수량이 많고 (나)는 겨울철로 우리나라 주변 해역에 강수량이 적다. (가)에서 A 해역은 양쯔강 유출류의 영향을 강하게 받고 있고 (나)에서 A 해역은 양쯔강 유출류의 영향을 거의 받지 않는다. 따라서 A 해역의 표층 염분은 (가)가 (나)보다 낮다.

### 14 대서양의 수괴

A 수괴는 남극 대륙 주변에서 표층 해수가 침강하여 형성되고 B 수괴는 북대서양에서 표층 해수가 침강하여 형성되는 것으로 보아, A 수괴는 남극 저층수이고 B 수괴는 북대서양 심층수이다.



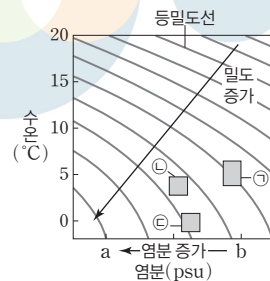
- ⊙ A 수괴는 남극 저층수이다.
- ⊙ A 수괴(남극 저층수)와 B 수괴(북대서양 심층수)가 만나면 밀도가 큰 A 수괴가 밀도가 작은 B 수괴 아래로 이동한다.
- ✗ A 수괴(남극 저층수)는 B 수괴(북대서양 심층수)보다 평균 수온과 평균 염분은 낮으며 평균 밀도는 크다. 따라서 A 수괴의 평균 밀도가 B 수괴의 평균 밀도보다 큰 것은 염분보다 수온의 영향이 더 크다.

### 15 남대서양의 심층 순환

가장 아래에 분포하는 A 수괴는 남극 저층수, 가장 위에 분포하는 C 수괴는 남극 중층수, B 수괴는 북대서양 심층수이다. A(남극 저층수), B(북대서양 심층수), C(남극 중층수) 중에서 평균 염분은 C가 가장 낮다. 따라서 평균 염분은 A가 C보다 높다. 수괴는 수온, 염분, 밀도가 거의 일정한 해수 덩어리로, 성질이 다른 수괴와 잘 섞이지 않는다. B(북대서양 심층수)는 주로 북대서양의 그린란드 주변 해역에서 표층 해수가 침강하여 형성된다. 남대서양에서 A(남극 저층수)와 C(남극 중층수)는 주로 침강하지만 B(북대서양 심층수)는 A와 C 사이에서 주로 용승한다.

### 16 수괴의 특징

평균 밀도는 ⊙ > ⊚ > ⊗ 순이며, ⊗은 남극 중층수, ⊚은 북대서양 심층수, ⊙은 남극 저층수이다.



- ⊙ 북대서양 심층수는 ⊚이다.

✕. 해수의 밀도는 수온이 낮을수록, 염분이 높을수록 커진다. 따라서 염분을 나타내는 가로축에서 a는 b보다 크다.

㉔. 남극 대륙 주변의 웨델해에서 표층 해수가 침강하여 ㉔(남극 저층수)이 형성되고 60°S 부근에서 표층 해수가 침강하여 ㉔(남극 중층수)이 형성된다.

수능 3월 테스트

본문 112~119쪽

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

### 01 수온 염분도 해석

수온 염분도는 해수의 특성을 나타내는 그래프로, 수온 염분도를 이용하면 해수의 밀도를 알아낼 수 있으며, 해수의 특성과 이동을 추정할 수 있다. 해수의 밀도는 수온이 낮을수록, 염분이 높을수록 커진다.

✕. 7월, 9월에 표층 해수의 월평균 수온이 1월, 3월보다 높은 것으로 보아 이 해역은 북반구에 위치한다. 7월과 9월 모두 표층 해수의 월평균 수온이 20 °C보다 높은 것으로 보아, 이 해역의 위도는 60°N보다 낮다.

㉔. 해수의 밀도는 수온이 낮을수록, 염분이 높을수록 증가하며, 그림에서 오른쪽 아래로 갈수록 해수의 밀도가 증가한다. 따라서 11월에 표층 해수의 월평균 밀도는 1.026 g/cm<sup>3</sup>보다 크다.

㉔. 그림을 보면 9월과 7월의 표층 해수의 월평균 수온 차는 약 1 °C이고 7월과 5월의 표층 해수의 월평균 수온 차는 4 °C보다 크다.

### 02 (증발량-강수량) 값과 표층 염분

먼바다에서 표층 염분에 가장 큰 영향을 주는 요인은 증발량과 강수량이다. 먼바다에서 표층 염분은 대체로 (증발량-강수량) 값이 클수록 높다. 적도 저압대에서는 대체로 (증발량-강수량) 값이 음(-)의 값이고 중위도 고압대에서는 대체로 (증발량-강수량) 값이 양(+)의 값이며, 표층 염분은 중위도 고압대가 적도 저압대보다 높다. A 해역은 적도 저압대에 위치하며 (증발량-강수량) 값이 음(-)의 값이고, B와 C 해역은 중위도 고압대에 위치하며 (증발량-강수량) 값이 양(+)의 값이다. 따라서 B 해역과 C 해역의 표층 염분은 A 해역보다 높다.

㉔. A, B, C 해역 중 표층 염분이 가장 낮은 해역은 (증발량-강수량) 값이 음(-)의 값인 A 해역이다.

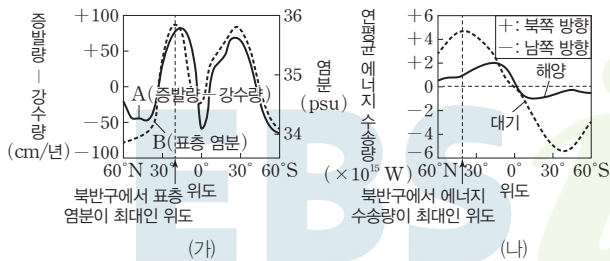
㉔. 해들리 순환의 하강 기류에 의해 위도 30° 부근에는 중위도 고압대(아열대 고압대)가 발달하며, 중위도 고압대에 발달하는 정체성 고기압을 아열대 고기압이라고 한다. B 해역과 C 해역에서 (증발량-강수량) 값이 양(+)의 값인 것으로 보아 B 해역과 C 해역은 아열대 고기압에 위치한다.

㉔. 해들리 순환의 상승 기류에 의해 적도 부근에는 적도 저압대가 발달하고 A 해역은 적도 저압대에 위치한다. 해들리 순환의 하강 기류에 의해 위도 30° 부근에는 중위도 고압대가 발달하고 B 해역과 C 해역은 중위도 고압대에 위치한다. 따라서 연평균 해면 기압은 A 해역 부근이 B 해역과 C 해역 부근보다 낮다.



### 03 대기 대순환과 표층 염분 및 에너지 수송량

(가)에서 A는 (증발량-강수량)이고 B는 표층 염분이다. (가)를 보면 중위도 고압대에서 (증발량-강수량)이 크고 표층 염분도 높다. (나)를 보면 위도 40° 부근에서 에너지 수송량이 가장 많다.



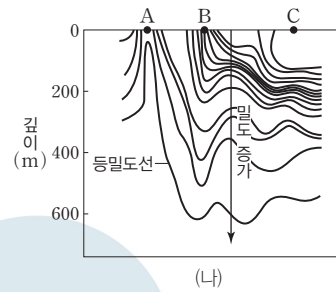
- ㉠ (가)에서 A는 (증발량-강수량)이고 B는 표층 염분이다. 따라서 (증발량-강수량)은 60°N 부근이 60°S 부근보다 크다.
- ㉡ 해들리 순환의 상승 기류에 의해 적도 부근에는 적도 저압대가 발달하고 해들리 순환의 하강 기류에 의해 위도 30° 부근에는 중위도 고압대(아열대 고압대)가 발달한다. 따라서 (증발량-강수량), 표층 염분, 연평균 해면 기압 모두는 적도 부근이 30°S 부근보다 낮다.
- ㉢ (나)를 보면 북반구에서 에너지 수송량이 최대인 위도는 40°N 부근이다. (가)를 보면 북반구에서 표층 염분이 가장 높은 위도는 20°N 부근이다.

### 04 해수의 용존 기체

- 용존 산소량은 표층에서 가장 많고, 심해에서는 극지방의 표층에서 침강한 찬 해수에 의해 약간 많다.
- ㉣ (나)의 관측 해역의 표층에서 용존 산소량은 약 6 mL/L이며 (가)에서 용존 산소량이 6 mL/L인 등치선은 위도 30°N보다 북쪽에 위치한다. 해들리 순환의 상승 기류에 의해 형성된 저압대는 적도 저압대로 적도 부근에 발달한다. 따라서 (나)의 관측 해역에는 해들리 순환의 상승 기류에 의해 형성된 저압대가 발달하지 않는다.
  - ㉤ (나)를 보면 용존 산소량은 표층이 깊이 800 m보다 많다.
  - ㉥ 깊이 2000 m~3000 m 구간에서 깊이가 깊어질수록 용존 산소량이 증가한다. 깊이 2000 m~3000 m 구간에서는 해양 생물의 광합성이 일어나지 않으며 깊이 2000 m~3000 m 구간에서 깊이가 깊어질수록 용존 산소량이 증가하는 주된 원인은 심해 순환에 의해 용존 산소가 심해에 공급되기 때문이다.

### 05 밀도 약층

해양에서 깊이가 깊어질수록 밀도는 커지는 경향을 보인다. 따라서 (나)에서 깊이가 깊어질수록 큰 값의 등밀도선이 분포한다.



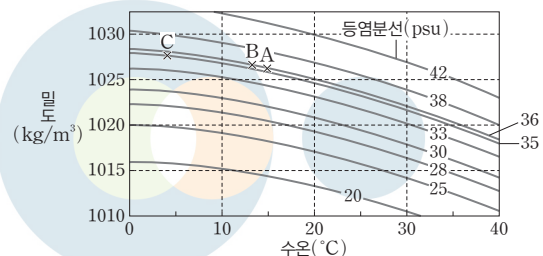
- ㉦ 동한 난류는 한반도의 동해안을 따라 북상하는 해류로 A 해역까지 북상하지 않는다.
- ㉧ 깊이가 깊어질수록 큰 값의 등밀도선이 분포한다. 깊이 100 m에서 해수의 밀도는 A 해역이 C 해역보다 크다.
- ㉨ 밀도 약층은 깊이가 깊어질수록 밀도가 급격히 커지는 층으로 깊이에 따른 밀도 증가량이 클수록 뚜렷하다. (나)를 보면 깊이 100 m~300 m 구간에서 깊이에 따른 밀도 증가량은 C 해역이 B 해역보다 크므로 밀도 약층은 C 해역이 B 해역보다 뚜렷하다.

### 06 해수의 연직 수온 변화량

- 깊이가 깊어질수록 해수의 수온 연교차가 작아지는 경향을 보인다. 따라서 A, B, C는 각각 깊이 100 m, 50 m, 0 m이다.
- ㉩ A, B, C 중 깊이 0 m는 수온의 연교차가 가장 큰 C이다.
  - ㉪ C(깊이 0 m)에서 수온이 가장 높은 (가) 시기는 여름철이다.
  - ㉫ 관측 기간 동안 관측 해역에서는 해수의 연직 운동이 일어나지 않았고 해수의 염분이 일정하다고 가정했으므로 깊이가 깊을수록 고밀도의 해수가 분포한다. 따라서 (나) 시기에 해수의 밀도는 A(깊이 100 m)가 C(깊이 0 m)보다 크다.

### 07 수괴의 수온, 염분, 밀도

A, B, C 수괴의 밀도는 그림과 같이 C > B > A 순이다.

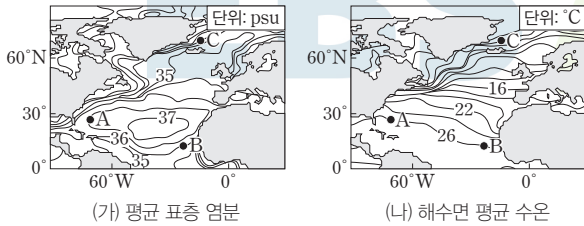


- ㉬ A, B, C 수괴 중 밀도는 A가 가장 작다.
- ㉭ 수온이 가장 낮은 C 수괴가 북대서양 심층수이다.
- ㉮ 그림에서 기울기의 크기는  $\frac{\text{밀도 감소량}}{\text{수온 증가량}}$  을 의미한다. 따라서 염분이 35 psu인 해수의 수온이 높아질수록  $\frac{\text{밀도 감소량}}{\text{수온 증가량}}$  은 커

지는 경향을 보인다.

### 08 해수면 평균 수온 분포와 평균 표층 염분 분포

해수면 평균 수온은 저위도에서 고위도로 갈수록 대체로 낮아지고 해수면 평균 수온을 나타내는 등수온선은 대체로 위도와 나란하다. 평균 표층 염분은 중위도 고압대의 먼바다에서 높게 나타난다. 따라서 (가)는 평균 표층 염분 분포를 나타내고 (나)는 해수면 평균 수온 분포를 나타낸다.



✕. (나)는 해수면 평균 수온 분포를 나타내며, (나)에서 A 해역과 B 해역의 해수면 평균 수온은 같다.

㉠. A 해역에는 난류인 멕시코 만류가 흐르고 B 해역에는 한류인 카나리아 해류가 흐른다. 표층 해류에 의해 북쪽 방향으로 수송되는 단위 면적당 연평균 에너지량은 난류가 흐르는 A 해역이 한류가 흐르는 B 해역보다 많다.

㉡. 염분은 해수 1 kg 속에 녹아 있는 염류의 총량을 g 수로 나타낸 값이다. (가)에서 표층 염분은 A 해역이 C 해역보다 높다. 따라서 표층 해수 1 kg에서 얻을 수 있는 염류의 최대량은 A 해역이 C 해역보다 많다.

### 09 대기 대순환 모형

지구가 자전하지 않는 경우의 대기 대순환 모형에서는 각 반구에 1개의 순환 세포가 나타나고, 지구가 자전하는 경우의 대기 대순환 모형에서는 각 반구에 3개의 순환 세포가 나타난다. 따라서 (가)는 지구가 자전하는 경우의 대기 대순환 모형이고 (나)는 지구가 자전하지 않는 경우의 대기 대순환 모형이다.

✕. 대기의 온도 차에 의한 대기의 열적 순환을 직접 순환이라고 하며 직접 순환에서는 상대적으로 따뜻한 공기가 상승하고 상대적으로 찬 공기가 하강한다. 간접 순환에서는 상대적으로 찬 공기가 상승하고 상대적으로 따뜻한 공기가 하강한다. 지구가 자전하는 경우의 대기 대순환 모형에서 해들리 순환과 극순환은 직접 순환이고 페렐 순환은 간접 순환이다. 지구가 자전하지 않는 경우의 대기 대순환 모형에서 적도와 극 사이에 나타나는 순환 세포는 직접 순환이다. 이와 같이 (가)에서는 간접 순환이 나타나지만 (나)에서는 간접 순환이 나타나지 않는다.

㉠. (가) 지구가 자전하는 경우의 대기 대순환 모형에서 0°~30°N과 60°N~90°N의 지표 부근에서는 북풍 계열의 바람이 불고

30°N~60°N의 지표 부근에서는 남풍 계열의 바람이 분다. 따라서 지구가 자전하는 경우 북반구 지표 부근에서 북풍 계열의 바람이 부는 지역의 면적은 남풍 계열의 바람이 부는 지역의 면적보다 넓다.

✕. 지구가 자전하지 않는 경우 대기 대순환 모형의 북반구 지표 부근에서는 북풍 계열의 바람이 우세하게 불고 남반구 지표 부근에서는 남풍 계열의 바람이 우세하게 분다.

### 10 열대 수렴대

북반구 여름철에 열대 수렴대는 북상하고 북반구 겨울철에 열대 수렴대는 남하한다. 따라서 (가)의 시기는 북반구 여름철이고 (나)의 시기는 북반구 겨울철이다.

✕. (가)와 (나)를 비교해 보면, 열대 수렴대는 (가) 북반구 여름철이 (나) 북반구 겨울철보다 고위도에 위치한다.

㉠. (가)의 시기는 북반구 여름철이고 인도에서는 남풍 계열의 계절풍이 분다. (나)의 시기는 북반구 겨울철이고 인도에서는 북풍 계열의 계절풍이 분다.

㉡. (가)의 시기에 A 지역에는 인도양으로부터 계절풍이 불어오고 (나)의 시기에 A 지역에는 아시아 대륙으로부터 계절풍이 불어온다. 따라서 A 지역의 강수량은 (가)의 시기가 (나)의 시기보다 많을 것이다.

### 11 태평양 적도 부근의 표층 해류

A 해역, C 해역 모두에서는 동쪽에서 서쪽으로 적도 해류가 흐르고, B 해역에서는 서쪽에서 동쪽으로 표층 해류(적도 반류)가 흐른다.

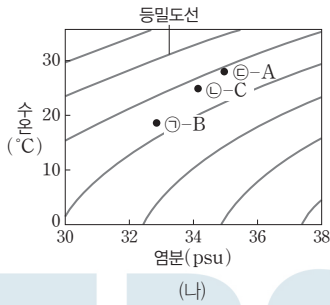
✕. 북태평양 아열대 순환은 북적도 해류, 쿠로시오 해류, 북태평양 해류, 캘리포니아 해류로 이루어진다. A 해역의 표층 해류는 북적도 해류이고 B 해역의 표층 해류는 북적도 해류보다 남쪽에서 서쪽에서 동쪽으로 흐르는 해류(적도 반류)이다. 따라서 A의 표층 해류와 B의 표층 해류는 북태평양 열대 순환을 이룬다.

㉠. A 해역의 표층 해류는 북적도 해류이고 C 해역의 표층 해류는 남적도 해류이며, 북적도 해류와 남적도 해류 모두는 무역풍에 의해 형성된다.

✕. B 해역은 무역풍대에 위치하며 무역풍은 동풍 계열의 바람이다.

### 12 북태평양 표층 해류의 특징

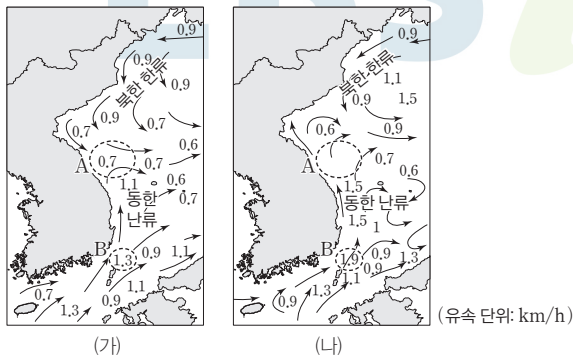
A 해역에는 난류인 쿠로시오 해류가 흐르고, B 해역에는 북태평양 해류가 흐르며, C 해역에는 한류인 캘리포니아 해류가 흐른다. 표층 수온은 A 해역 > C 해역 > B 해역이며, ㉠은 B 해역, ㉡은 C 해역, ㉢은 A 해역의 표층 수온과 표층 염분이다.



- ㉠ 산소 기체의 용해도는 해수의 수온이 낮을수록 크다. 산소 기체의 용해도는 난류가 흐르는 A 해역이 한류가 흐르는 C 해역보다 작다.
- ㉡ ㉠은 B 해역, ㉡은 C 해역, ㉢은 A 해역의 표층 수온과 표층 염분이다. 따라서 표층 해수의 밀도 차는 (A와 B)가 (A와 C)보다 크다.
- ㉢ ㉠은 B 해역의 표층 수온과 표층 염분이며, B 해역에는 북태평양 해류가 흐르고 북태평양 해류는 편서풍에 의해 형성된다.

### 13 우리나라 주변의 표층 해류

동한 난류는 우리나라의 동해안을 따라 북상하는 해류이다. (가)와 (나)에서 동한 난류를 비교해 보면 동한 난류가 최대 북상하는 위도는 (나)가 (가)보다 높다.

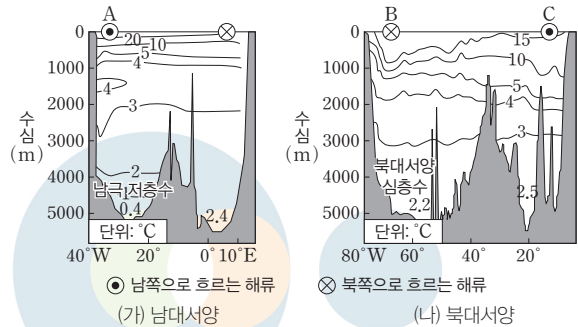


- ㉢ 동한 난류가 최대 북상하는 위도는 (나)가 (가)보다 높다.
- ㉣ (가)의 A 해역에서는 난류와 한류가 만나며, (나)의 A 해역에서는 난류만 흐른다. 따라서 A 해역에서 남북 방향의 표층 수온 변화는 (가)가 (나)보다 클 것이다.
- ㉣ B 해역에서 표층 해류의 유속은 (가)가 (나)보다 느리다. 따라서 단위 시간당 B 해역을 통과하는 표층 해수의 양은 (가)가 (나)보다 적다.

### 14 대서양의 연직 수온 분포

(가)와 (나) 모두에서 대서양 서안의 표층 수온이 동안보다 높다. (가)에는 수온이 1°C 이하인 수괴가 분포하며 해저면 부근에서

최저 수온은 약 0.4°C이고, (나)에는 수온이 1°C 이하인 수괴가 분포하지 않으며 해저면 부근에서 최저 수온은 약 2.2°C이다.



- ㉣ 남극 저층수의 수온은 -0.8°C~2°C 정도이고 북대서양 심층수의 수온은 2°C~4°C 정도이다. (가)에는 수온이 1°C 이하인 수괴가 분포하며 해저면 부근에서 최저 수온은 약 0.4°C이고, (나)에는 수온이 1°C 이하인 수괴가 분포하지 않으며 해저면 부근에서 최저 수온은 약 2.2°C이다. 따라서 (가)의 해저면 부근에 분포하는 수괴는 남극 저층수이므로 (가)는 남대서양에서 관측한 것이다.
- ㉣ (가)는 남대서양이고 (나)는 북대서양이다. 표층에서 남대서양과 북대서양 모두 서쪽에서는 난류가 흐른다. (가) 남대서양의 A 해역에서는 난류인 브라질 해류가 남쪽으로 흐르고 (나) 북대서양의 B 해역에서는 난류인 멕시코 만류가 북쪽으로 흐른다.
- ㉣ B 해역에는 난류인 멕시코 만류가 흐르고 C 해역에는 한류인 카나리아 해류가 흐른다. 표층 해류에 의해 고위도로 수송되는 단위 면적당 연평균 에너지량은 난류가 흐르는 B 해역이 한류가 흐르는 C 해역보다 많다.

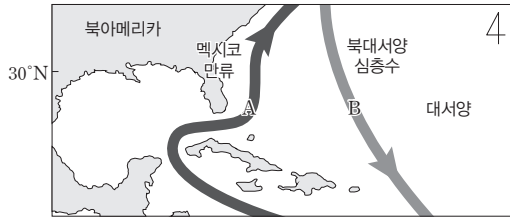
### 15 밀도 차에 의한 해류 발생 실험

해수의 밀도는 수온이 낮을수록, 염분이 높을수록 커진다. 밀도가 큰 해수와 밀도가 작은 해수가 만나면 밀도가 큰 해수가 밀도가 작은 해수 아래로 이동한다.

- ㉣ ㉠과 ㉡은 수온이 같지만 염분은 ㉠이 ㉡보다 낮으므로 밀도는 ㉠이 ㉡보다 작다.
- ㉣ 밀도는 ㉠이 ㉡보다 작고 깊이는 A와 B가 같다. 따라서 (가) 과정에서 수압은 A가 B보다 낮다.
- ㉣ 밀도는 ㉡이 ㉠보다 크므로 (나) 과정에서 칸막이를 들어 올려 제거하면 ㉡이 ㉠ 아래로 이동한다.

### 16 대서양의 표층 순환과 심층 순환

A는 표층수의 주된 흐름이고 B는 심층수의 주된 흐름이다. A는 주로 북상하며 B는 주로 남하하는데, 멕시코 만류는 A에 해당하고 북대서양 심층수 흐름은 B에 해당한다.



- ① A는 표층수의 주된 흐름이다.
- ② 북대서양 아열대 순환은 북적도 해류, 멕시코 만류, 북대서양 해류, 카나리아 해류로 이루어져 있으며, A는 북대서양 아열대 순환을 이룬다.
- ☒ A는 표층수의 주된 흐름으로 주로 북상하고 B는 심층수의 주된 흐름으로 주로 남하한다.
- ④ A는 표층수의 주된 흐름이고 B는 심층수의 주된 흐름이다. 평균 밀도는 A의 해수가 B의 해수보다 작다.
- ⑤ A(표층수의 주된 흐름)의 평균 유속은 B(심층수의 주된 흐름)보다 매우 빠르다.

## 07 대기과 해양의 상호 작용

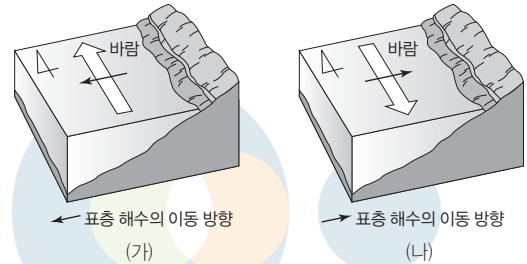
수능 2점 테스트

본문 128~131쪽

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

### 01 연안 용승

바람이 한 방향으로 지속적으로 불면 표층 해수는 해수와 바람 사이의 마찰력과 전향력을 받아 이동하게 되는데, 한 방향으로 지속적으로 부는 바람에 의해 북반구에서 표층 해수는 주로 바람 방향의 오른쪽 직각 방향으로 이동하고 남반구에서 표층 해수는 주로 바람 방향의 왼쪽 직각 방향으로 이동한다.



- ③ 이 연안은 남반구에 위치한다. (가)에서 남풍이 지속적으로 불고 표층 해수는 주로 서쪽으로 이동한다. (나)에서 북풍이 지속적으로 불고 표층 해수는 주로 동쪽으로 이동한다.

### 02 용승

용승은 심해의 찬 해수가 표층으로 올라오는 현상이다. 용승이 일어나는 해역의 해수면 수온은 심층에서 올라오는 찬 해수의 영향으로 주변 해역보다 낮다.

- ④ A 해역의 해수면 수온이 주변보다 낮은 것으로 보아 A 해역에서는 용승이 활발하게 일어난다. A 해역(북아메리카 대륙의 서안)에서는 지속적으로 부는 북풍 계열의 바람에 의해 표층 해수가 먼바다 쪽으로 이동하고 심층의 찬 해수가 표층으로 올라오는 연안 용승에 의해 주변보다 해수면 수온이 낮다.
- B 해역의 해수면 수온이 주변보다 높은 것으로 보아 B 해역에서는 용승이 활발하게 일어나지 않는다.
- C 해역의 해수면 수온이 주변보다 낮은 것으로 보아 C 해역에서는 용승이 활발하게 일어난다. C 해역(적도 해역)에서는 지속적으로 부는 북동 무역풍과 남동 무역풍에 의해 표층 해수가 발산하고 이를 채우기 위해 심층의 찬 해수가 올라오는 적도 용승에 의해 주변보다 해수면 수온이 낮다.



### 03 연안 용승

연안 용승은 연안에서 한 방향으로 지속적으로 부는 바람 때문에 표층 해수가 먼바다 쪽으로 이동하면 이를 채우기 위해 심층에서 찬 해수가 올라오는 현상이다. 한 방향으로 지속적으로 부는 바람에 의해 북반구에서 표층 해수는 주로 바람 방향의 오른쪽 직각 방향으로 이동하고 남반구에서 표층 해수는 주로 바람 방향의 왼쪽 직각 방향으로 이동한다. 이 연안은 북반구에 위치하고 이 연안에서는 북풍이 지속적으로 불고 있다. 따라서 A 해역에서는 표층 해수가 주로 서쪽으로 이동한다.

㉠ 강물은 바닷물에 비해 염분이 매우 낮으므로, 강물의 유입으로 A 해역의 표층 염분이 낮아진다.

✕. 이 연안은 북반구에 위치하고 이 연안에서는 북풍이 지속적으로 불고 있다. 따라서 A 해역에서는 바람에 의해 표층 해수가 주로 서쪽으로 이동한다.

✕. 지속적으로 부는 바람에 의해 A 해역에서 표층 해수가 먼바다 쪽으로 이동하므로, 침강이 일어나지 않는다.

### 04 평상시 태평양 적도 부근 해역의 특징

평상시 태평양 적도 부근 해역에서는 동풍 계열의 무역풍이 불고 남적도 해류가 동쪽에서 서쪽으로 흐른다.

㉠ 평상시 태평양 적도 부근 해역에서는 동풍 계열의 무역풍이 부는데, 무역풍은 해들리 순환에 의한 지표 부근의 바람이다.

㉡ 평상시 태평양 적도 부근 해역에서는 동쪽에서 서쪽으로 남적도 해류가 흐르고 남적도 해류에 의해 따뜻한 해수는 동쪽에서 서쪽으로 이동한다.

✕. 평상시 태평양 적도 부근 해역에서는 남적도 해류에 의해 동쪽의 따뜻한 해수가 서쪽으로 이동하고 동태평양 적도 부근 해역에서 용승이 일어난다. 이와 같은 이유로 평상시 태평양 적도 부근 해역에서 해수면 평균 수온은 동태평양 적도 부근 해역이 서태평양 적도 부근 해역보다 낮다.

### 05 워커 순환

평상시에 상대적으로 해수면 수온이 높은 서태평양 적도 부근 해역에서는 공기가 상승하고 상대적으로 해수면 수온이 낮은 동태평양 적도 부근 해역에서는 공기가 하강한다. 이로 인해 태평양 적도 부근 해역에서는 동서 방향의 거대한 워커 순환이 형성된다. 엘니뇨 시기에 동태평양 적도 부근 해역의 해수면 수온은 평상시에 비해 높고 이로 인해 워커 순환에서 공기가 상승하는 지역이 평상시보다 동쪽으로 이동한다. 따라서 (가)는 평상시이고 (나)는 엘니뇨 시기이다.

㉠ 평상시는 (가)이다.

✕. 동태평양 적도 부근 해역에서 해수면 수온은 (나) 엘니뇨 시기

가 (가) 평상시보다 높고, 엘니뇨 시기에 동태평양 적도 부근 해역에서는 상승 기류가 발달한다. 따라서 동태평양 적도 부근 해역에서 해면 기압은 (가) 평상시가 (나) 엘니뇨 시기보다 높다.

✕. 동태평양 적도 부근 해역에서 무역풍은 (가) 평상시가 (나) 엘니뇨 시기보다 강하다.

### 06 남아메리카 페루 연안에서의 용승

페루 서쪽 연안에서는 남풍 계열의 바람에 의해 연안 용승이 일어난다. 페루 서쪽 연안에서 용승은 평상시가 엘니뇨 시기보다 활발하며 따뜻한 해수층의 두께는 평상시가 엘니뇨 시기보다 얇다. 따라서 (가)는 평상시이고 (나)는 엘니뇨 시기이다.

✕. 페루 서쪽 연안은 남반구에 위치한다. (가)에서 지속적으로 부는 남풍 계열의 바람(남동풍)에 의해 표층 해수는 주로 남서쪽으로 이동하고 연안 용승이 일어난다. 따라서 (가)에서 해안선에서 남서쪽으로 갈수록 해수면은 낮아지는 경향을 보이지 않는다.

✕. 영양염의 평균 농도는 찬 해수층이 따뜻한 해수층보다 높고, 찬 해수가 올라오는 연안 용승이 일어나면 표층 해수의 영양염의 평균 농도가 높아진다.

㉡. 엘니뇨 시기에 페루 서쪽 연안에서는 상승 기류가 발달하며, 페루 서쪽 연안에서의 강수량은 (나) 엘니뇨 시기가 (가) 평상시보다 많다.

### 07 대륙과 표층 해류의 분포 변화와 기후 변화

(가)와 (나)에서 대륙과 표층 해류의 분포는 서로 다르며, 대륙과 표층 해류 분포의 변화는 기후를 변화시킨다.

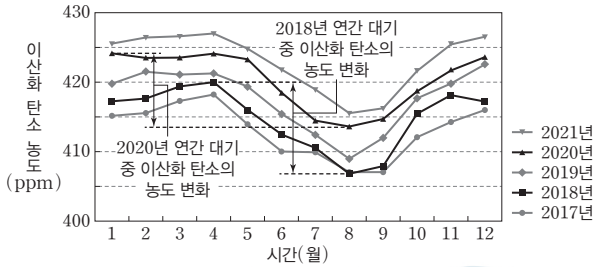
✕. 고생대 말기~중생대 초기에 존재했던 초대륙 판게아는 중생대 초부터 분리되어 현재와 같은 대륙 분포가 되었으며, 초대륙 판게아가 분리되면서 대서양이 형성되었다. 따라서 (나)는 1억 년 전의 대륙과 표층 해류의 분포이고 (가)는 3천만 년 전의 대륙과 표층 해류의 분포이다.

✕. 남극 순환 해류는 남극 대륙 주위를 서쪽에서 동쪽으로 흐르는 해류이며, 남극 순환 해류는 (가)에서가 (나)에서보다 잘 나타난다.

㉡. 대륙과 표층 해류 분포의 변화는 기후를 변화시키며, 대륙과 표층 해류 분포의 변화는 기후 변화를 일으키는 지구 내적 요인이다.

### 08 대기 중 이산화 탄소 농도 변화

이 관측소에서 2017년~2021년에 관측한 대기 중 이산화 탄소의 월평균 농도는 증가하는 경향을 보인다. 이 관측소에서 관측한 대기 중 이산화 탄소의 월평균 농도는 대체로 3월~4월경에 최대이고 5월~8월경에 급격히 감소한다.



✕. 이 관측소에서 관측한 대기 중 이산화 탄소의 월평균 농도는 대체로 3월~4월경(봄철)에 최대이고 5월~8월경에 급격히 감소하여 8월경(여름철)에 최소이다. 이와 같은 특징을 보이는 반구는 북반구이다.

○. 그림을 보면 대기 중 이산화 탄소의 월평균 농도는 2021년이 2017년보다 높다. 따라서 대기 중 이산화 탄소의 연평균 농도는 2021년이 2017년보다 높다.

✕. 그림을 보면 연간 대기 중 이산화 탄소의 농도 변화는 2020년이 2018년보다 작다.

### 09 지구 자전축의 기울기 변화

지구의 공전 궤도는 타원이므로 지구가 공전하는 과정에서 태양과 지구 사이의 거리는 일정하지 않다. A는 원일점이며 B는 근일점이다. 현재 지구가 A(원일점)에 위치할 때 우리나라는 여름철이고 지구가 B(근일점)에 위치할 때 우리나라는 겨울철이다.

✕. A는 원일점이며, 현재 지구가 A에 위치할 때 우리나라는 여름철이다.

○. A는 원일점이며 B는 근일점이다. 태양과 지구 사이의 거리가 가까울수록 지구가 받는 태양 복사 에너지 총량은 많다. 따라서 지구가 받는 태양 복사 에너지 총량은 지구가 A(원일점)에 위치할 때가 지구가 B(근일점)에 위치할 때보다 적다.

✕. 자전축이 기울어진 상태로 지구가 공전하기 때문에 계절 변화가 나타난다. 여름철에 우리나라에서는 낮의 길이가 밤의 길이보다 길고, 겨울철에 우리나라에서는 낮의 길이가 밤의 길이보다 짧다. 현재 지구가 B에 위치할 때 우리나라는 겨울철이며 우리나라에서 낮의 길이는 밤의 길이보다 짧다. 지구 자전축의 기울기가 0°가 된다면 지구가 B에 위치할 때 우리나라에서 낮의 길이와 밤의 길이는 거의 같다. 따라서 지구 자전축의 기울기가 0°가 된다면, 지구가 B에 위치할 때 우리나라에서 낮의 길이는 현재보다 길어질 것이다.

### 10 엘니뇨와 페루 해류

페루 해류는 남아메리카 대륙의 서쪽 태평양에서 고위도에서 저위도로 흐르는 한류이다. 페루 해류는 엘니뇨 시기가 평상시보다 약하다. 따라서 (가)는 엘니뇨 시기이고 (나)는 평상시이다.

○. 페루 해류는 고위도에서 저위도로 흐르는 한류이다.

✕. (가)는 엘니뇨 시기이고 (나)는 평상시이며, A 해역에서 용승

은 (가) 시기가 (나) 시기보다 약하다.

✕. 용승은 심층의 찬 해수가 표층으로 올라오는 현상으로 용승이 일어나면 표층 해수의 수온이 낮아진다. A 해역에서 용승은 (가) 시기가 (나) 시기보다 약하고 한류인 페루 해류는 (가) 시기가 (나) 시기보다 약한 것으로 보아 A 해역에서의 표층 평균 수온은 (가) 시기가 (나) 시기보다 높다.

### 11 태양 활동의 변화와 기후 변화

태양의 활동이 달라지면 태양이 방출하는 에너지양이 달라지고 지구에 도달하는 태양 복사 에너지양이 달라진다. 태양 흑점 수는 약 11년을 주기로 증감한다. 흑점 수가 가장 많은 시기를 극대기, 가장 적은 시기를 극소기라고 한다. A 시기는 극소기에 해당하고 B 시기는 극대기에 해당하며, 지구에서 관측한 태양 복사 에너지양은 A 시기가 B 시기보다 적다.

○. (가)를 보면 평균 흑점 수는 B 시기가 A 시기보다 많다.

○. 태양의 활동은 B 시기가 A 시기보다 활발하고 지구에서 관측한 태양 복사 에너지양은 B 시기가 A 시기보다 많은 것으로 보아 태양이 단위 시간당 방출하는 평균 복사 에너지양은 B 시기가 A 시기보다 많을 것이다.

○. 태양 흑점 수가 많은 시기에 태양의 활동이 활발하고 태양이 단위 시간당 방출하는 복사 에너지양이 많아진다. 태양이 단위 시간당 방출하는 복사 에너지양이 많을수록 단위 시간당 지구에 도달하는 태양 복사 에너지양이 많아져 지구의 기후 변화가 일어날 수 있다. 따라서 태양 흑점 수 변화는 지구 기후 변화의 자연적 요인 중 지구 외적 요인과 관련이 있다.

### 12 지구 온난화와 해수면 상승

지구 온난화로 인해 그린란드의 빙하가 녹고 해수면이 상승하는 경향을 보인다. 시나리오 A, B, C 중 해수면 상승량이 가장 큰 것은 A이다.

○. 시나리오 A, B, C 중 해수면 상승량이 가장 큰 것이 A인 것으로 보아 이산화 탄소 배출량은 A가 B보다 많다.

○. 그림을 보면 A와 C에 따른 해수면 상승량의 차는 시간이 지날수록 증가하는 경향을 보인다.

○. 빙하는 반사율이 매우 크다. 따라서 빙하의 분포 면적이 감소하면 지표면 반사율은 작아진다. 시나리오 A, B, C 모두에서 2080년까지 해수면이 지속적으로 상승하는 것으로 보아 A, B, C 모두에서 2080년까지 그린란드 빙하의 분포 면적은 감소하는 경향을 보일 것이며 A, B, C 모두에서 2080년 그린란드 지역의 지표면 반사율은 2000년보다 작을 것이다.

### 13 지구의 열수지

지구는 입사된 태양 복사 에너지의 70%를 흡수하고 30%를 방출한다. 지구는 흡수한 태양 복사 에너지만큼의 에너지를 우주 공

간으로 방출한다.

㉠ 지구는 흡수하는 만큼의 에너지를 방출하며, 지구는 복사 평형 상태이다.

㉡ 반사율(알베도)은 입사된 복사 에너지양에 대한 반사된 복사 에너지양이다. 따라서 지구의 반사율(알베도)은  $\frac{30}{100}=0.3$ 이다.

㉢ 가시광선의 파장 영역은 약  $0.4 \mu\text{m} \sim 0.7 \mu\text{m}$ 이며, 적외선의 파장 영역은 가시광선보다 길다. ㉠ 태양 복사에서 최대 에너지를 방출하는 파장은 가시광선 영역에 해당하며 적외선보다 짧다.

## 14 해수면 상승

약 20000년 전에 지구의 평균 기온은 현재보다 낮았으며, 약 20000년 전에 지구는 빙하기였다. 지구의 기온이 높아지면, 해수의 열팽창이 일어나 해수면이 상승하고 육지의 빙하가 녹아 바다로 흘러들어가 해수면이 상승한다.

㉠ 약 20000년 전은 빙하기였다. 약 20000년 전에 북아메리카 대륙에서 빙하의 남방 한계선은 현재보다 저위도까지 확장되었고 해수면은 현재보다 낮았다. 따라서 약 20000년 전 빙하의 남방 한계선은 A이고 약 20000년 전의 해안선은 B이다.

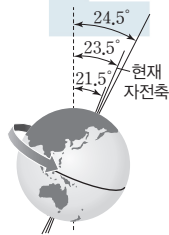
㉢ 약 20000년 전은 빙하기였다. 따라서 약 20000년 전의 해수면은 현재보다 낮았다. 그림에서 약 20000년 전의 해안선(B)과 현재의 해안선을 비교해 보면, 북아메리카 대륙의 면적은 약 20000년 전이 현재보다 넓었고 해수면은 약 20000년 전이 현재보다 낮았다.

㉡ 약 20000년 전 지구의 평균 기온은 현재보다 낮았으며, 약 20000년 전에 지구는 빙하기였다.

## 15 기후 변화의 요인

기후 변화의 자연적 요인은 지구 외적 요인과 지구 내적 요인으로 구분할 수 있다. 지구 외적 요인으로는 지구 자전축의 방향 변화(세차 운동), 지구 자전축의 기울기 변화, 지구 공전 궤도 이심률의 변화, 태양 활동의 변화 등이 있고, 지구 내적 요인으로는 수륙 분포 변화, 해류 변화, 화산 활동, 지표면 상태 변화 등이 있다.

㉢ (가)는 지구 자전축의 기울기 변화이다. 세차 운동은 지구 자전축이 회전하는 현상으로 세차 운동에 의해 지구 자전축이 기울어진 방향이 변한다.



지구 자전축의 기울기 변화



세차 운동

㉢ (가) 지구 자전축의 기울기 변화는 기후 변화의 지구 외적 요인이고, (나) 빙하 분포 면적 변화와 (다) 수륙 분포 변화 및 해류 변화는 기후 변화의 지구 내적 요인이다.

㉡ 판의 운동에 의해 대륙이 이동하면 ㉠ 수륙 분포 변화가 일어날 수 있다.

## 16 지구 온난화의 영향

(가)를 보면 1981년부터 2021년까지 우리나라의 2월~3월의 평균 기온은 대체로 높아지는 경향을 보이고, (나)를 보면 1981년부터 2021년까지 우리나라의 매화 개화일과 벚꽃 개화일 모두가 대체로 빨라지는 경향을 보인다.

㉢ 대체로 매화 개화일은 벚꽃 개화일보다 빠르다. 따라서 매화 개화일은 B이고 벚꽃 개화일은 A이다.

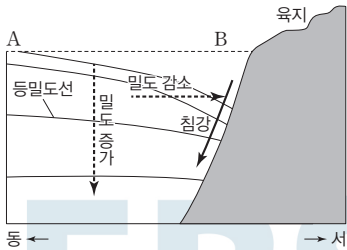
㉠ (가)를 보면 1981년부터 2021년까지 우리나라의 2월~3월의 평균 기온은 대체로 높아지는 경향을 보인다.

㉡ (나)를 보면 1981년부터 2021년까지 우리나라의 매화 개화일과 벚꽃 개화일 모두가 대체로 빨라지는 경향을 보인다.

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

### 01 용승과 침강

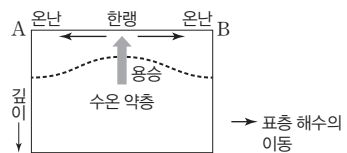
용승은 심층의 찬 해수가 표층으로 올라오는 현상이고, 침강은 표층의 해수가 심층으로 내려가는 현상이다. 바람에 의해 용승이 일어나는 해역의 해수 밀도는 같은 깊이의 주변보다 크고, 바람에 의해 침강이 일어나는 해역의 해수 밀도는 같은 깊이의 주변보다 작다. 그림을 보면 먼바다에서 해안선 쪽으로 갈수록 해수의 밀도가 작아지는 경향을 보이는 것으로 보아 B 부근에서 침강이 일어난다.



- ㉠ A에서 B 쪽으로 갈수록 해수의 밀도가 작아지는 경향을 보이는 것으로 보아 B 부근에서 침강이 일어난다.
- ㉡ 연안에서 한 방향으로 지속적으로 부는 바람에 의해 침강이 일어나려면 한 방향으로 지속적으로 부는 바람에 의해 표층 해수가 연안 쪽으로 이동해야 한다. 따라서 이 연안에서는 한 방향으로 지속적으로 부는 남풍에 의해 표층 해수는 주로 A에서 B 쪽으로 이동한다.
- ㉢ 이 연안은 남반구에 위치한다. 이 연안에서는 남풍이 지속적으로 불며, 남반구에서는 지속적으로 부는 바람에 의해 표층 해수가 주로 바람 방향의 왼쪽 직각 방향으로 이동한다. 따라서 A는 B보다 동쪽에 위치한다.

### 02 적도 용승

적도 부근 해역의 북반구에서는 무역풍에 의해 표층 해수가 주로 북쪽으로 이동하고 남반구에서는 무역풍에 의해 표층 해수가 주로 남쪽으로 이동하기 때문에 이를 채우기 위해 심층에서 찬 해수가 올라오는 적도 용승이 일어난다.



- ㉡ 적도 용승이 일어나면 적도 부근 해역에서 해수면 수온은 낮

아지고 수온 약층이 시작되는 깊이는 얕아진다.

### 03 용승의 영향

용승은 심층의 찬 해수가 표층으로 올라오는 현상이다. 용승이 일어나는 과정에서 심층의 영양염이 표층으로 공급된다. 따라서 용승이 일어나면 표층에서 영양염의 농도가 증가하고 식물성 플랑크톤의 밀도가 증가한다. (가)와 (나)를 비교해 보면, 깊이 0 m 부근에서 (가)의 식물성 플랑크톤의 밀도와 B 모두가 (나)보다 크다. 따라서 B는 깊이에 따른 영양염의 농도이고 A는 깊이에 따른 햇빛의 양이다.

- ㉠ 용승이 일어나면 표층에서 영양염의 농도와 식물성 플랑크톤의 밀도가 증가한다. 따라서 (가)는 용승이 일어난 후이고 (나)는 용승이 일어나기 전이다.
- ㉡ 용승이 일어나면 표층에서 영양염의 농도와 식물성 플랑크톤의 밀도가 증가한다. 따라서 깊이에 따른 영양염의 농도는 B이다.
- ㉢ 용승은 심층의 찬 해수가 표층으로 올라오는 현상으로 용승이 일어나면 표층 수온이 낮아진다. (가)는 용승이 일어난 후이고 (나)는 용승이 일어나기 전이며, 표층 수온은 (가)가 (나)보다 낮을 것이다.

### 04 인공 용승

인공 용승은 심해 해수를 인위적으로 해수면으로 끌어 올려 식물성 플랑크톤의 성장을 촉진하고 이를 이용해 대기 중의 이산화탄소를 흡수하기 위해 제안된 지구 온난화 대응 방법 중 하나이다.

- ㉠ 깊이가 깊어질수록 해수의 밀도는 커진다. 따라서 ㉠(깊이 200 m 이상의 심해)의 해수 밀도는 ㉡(해수면)의 해수 밀도보다 크다.
- ㉡ 해수의 수온이 낮을수록 이산화 탄소 기체의 용해도는 증가하며 깊이가 깊어질수록 해수의 수온은 낮아진다. 따라서 이산화 탄소 기체의 용해도는 ㉠(깊이 200 m 이상의 심해)의 해수가 ㉡(해수면)의 해수보다 크다.
- ㉢ (다) 과정에서 파이프에 담겨 있는 심해 해수를 해수면에 방출하면, 표층에서 영양염의 농도가 증가하고 식물성 플랑크톤의 증식을 촉진할 수 있다.

### 05 엘니뇨와 라니냐

A 해역의 표층 수온이 평년보다 0.5 °C 이상 높은 상태로 6개월 이상 지속되는 현상은 엘니뇨이며, A 해역의 표층 수온이 평년보다 0.5 °C 이상 낮은 상태로 6개월 이상 지속되는 현상은 라니냐이다. 따라서 P 시기는 엘니뇨 시기이고 Q 시기는 라니냐 시기이다.

- ㉠ P(엘니뇨) 시기는 Q(라니냐) 시기보다 A 해역의 평균 해면 기압이 낮다.
- ㉡ P(엘니뇨) 시기는 Q(라니냐) 시기보다 A 해역에서 용승이 약하다.



- ③ P(엘니뇨) 시기는 Q(라니냐) 시기보다 A 해역에서 무역풍이 약하다.
- ④ P(엘니뇨) 시기는 Q(라니냐) 시기보다 태평양 적도 부근 해역에서 동서 간 해수면 높이 차가 작다.
- ⓧ P(엘니뇨) 시기는 Q(라니냐) 시기보다 A 해역에서 수온 약층이 시작되는 깊이가 깊다.

### 06 엘니뇨의 영향

엘니뇨 시기에는 동태평양 적도 부근 해역의 해수면 수온이 평상시보다 높다. 2016년 12월~2017년 3월은 엘니뇨 시기이다.

㉠. 엘니뇨 시기에 동태평양 적도 부근 해역의 해수면과 페루 연안의 해수면 수온은 평상시보다 높다. 따라서 '상승'은 ㉠에 해당한다.

㉡. 2016년 12월~2017년 3월은 엘니뇨 시기이다. 이 시기의 엘니뇨는 2017년 2월~3월에 페루 안데스산맥 지역에 집중 호우를 유발한 것으로 보아, 2017년 2월~3월에 ㉡(페루 안데스산맥 지역)의 평균 해면 기압은 평상시보다 낮았다.

㉢. 2016년 12월~2017년 3월은 엘니뇨 시기이다. 이 시기에 페루 연안의 주력 어종인 안초비(멸치류)와 정어리의 어획량이 평상시보다 최대 80% 감소한 것으로 보아, ㉢ 시기(2016년 12월~2017년 3월)에 페루 연안에서의 용승은 평상시보다 약했고 페루 연안 표층에서 영양염의 농도와 염록소 농도는 평상시보다 낮았다.

### 07 엘니뇨의 영향

관측 해역은 동태평양 적도 해역에 위치한다. (다) 시기는 (나) 시기보다 해수면 평균 수온이 높은 것으로 보아 (나) 시기는 평상시이고 (다) 시기는 엘니뇨 시기이다.

㉠. 수온 약층은 깊이가 깊어질수록 수온이 급격히 낮아지는 층이다. (나) 시기 12월에 수온 약층이 시작되는 깊이는 50m보다 얇고 (다) 시기 12월에 수온 약층이 시작되는 깊이는 50m보다 깊다.

ⓧ. 용승은 심층의 찬 해수가 표층으로 올라오는 현상이다. (다) 시기 7월~8월에 16°C 이하의 찬 해수층이 나타나기 시작하는 깊이는 약 80m이고 (다) 시기 12월~1월에 16°C 이하의 찬 해수층이 나타나기 시작하는 깊이는 약 160m이다. 따라서 (다) 시기에 이 해역에서의 용승은 7월~8월에 12월~1월보다 강하다.

ⓧ. (다) 시기는 (나) 시기보다 해수면 평균 수온이 높은 것으로 보아 (나) 시기는 평상시이고 (다) 시기는 엘니뇨 시기이다. 따라서 동태평양 적도 부근 해역에서 무역풍은 (나) 시기가 (다) 시기보다 강하다.

### 08 엘니뇨와 남방 진동

평상시 A(호주 다윈)의 해면 기압은 B(남태평양 타히티)의 해면 기압보다 낮다. 엘니뇨 시기에 A(호주 다윈)의 해면 기압 편차는 양(+의 값)이고 B(남태평양 타히티)의 해면 기압 편차는 음(-

의 값)이다. 라니냐 시기에 A(호주 다윈)의 해면 기압 편차는 음(-)의 값이고 B(남태평양 타히티)의 해면 기압 편차는 양(+의 값)이다. 따라서 (가)는 엘니뇨 시기이고 (나)는 라니냐 시기이다.

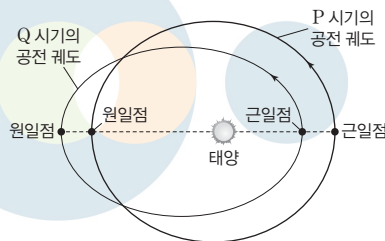
㉠. (가) 시기에 (B의 해면 기압 편차-A의 해면 기압 편차)는 음(-)의 값이고 (나) 시기에 (B의 해면 기압 편차-A의 해면 기압 편차)는 양(+의 값)이다.

ⓧ. (가) 시기에 A의 해면 기압 편차는 양(+의 값)이고 (나) 시기에 A의 해면 기압 편차는 음(-)의 값이다. 따라서 A 부근에서 상승 기류는 (나) 시기가 (가) 시기보다 강하고 A 부근의 강수량은 (나) 시기가 (가) 시기보다 많다.

ⓧ. (나) 시기는 라니냐 시기이다. (나) 시기에 동태평양 적도 부근 해역에서 해수면은 평상시보다 낮고 (나) 시기에 동태평양 적도 부근 해역에서 해수면의 높이 편차는 음(-)의 값이다.

### 09 지구 공전 궤도 이심률 변화와 지구 자전축 기울기 변화

지구 공전 궤도 이심률은 약 10만 년을 주기로 변화하고, 지구 자전축의 기울기는 약 41000년을 주기로 변화한다. 현재 지구 자전축의 기울기는 약 23.5°이다. 따라서 A는 지구 자전축의 기울기이고 B는 지구 공전 궤도 이심률이다.



지구 공전 궤도 이심률의 변화

물리량	P와 Q 비교
공전 궤도 이심률	$P < Q$
근일점 거리	$P > Q$
원일점 거리	$P < Q$
근일점에서 원일점까지의 거리	$P = Q$

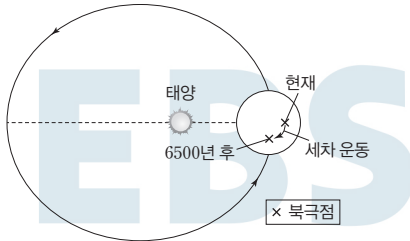
㉠. P 시기에 지구 공전 궤도 이심률은 현재와 같고 지구 자전축의 기울기는 현재보다 작다. 따라서 P 시기에 우리나라에서 기온의 연교차는 현재보다 작다.

ⓧ. 지구 공전 궤도 이심률과 자전축 기울기 이외의 요인은 고려하지 않는다면, 근일점에서 원일점까지의 거리는 변하지 않는다. 따라서 근일점에서 원일점까지의 거리는 P 시기와 Q 시기가 같다.

ⓧ. 지구 공전 궤도 이심률에 따라 근일점 거리는 변하는데, 지구 공전 궤도 이심률이 클수록 근일점 거리는 짧다. 지구 공전 궤도 이심률은 P 시기가 Q 시기보다 작으므로, 근일점 거리는 P 시기가 Q 시기보다 길고 지구가 근일점에 위치할 때 지구가 받는 태양 복사 에너지 총량은 P 시기가 Q 시기보다 적다.

## 10 세차 운동

세차 운동은 지구 자전축이 회전하는 현상이다. 세차 운동 방향은 지구 공전 방향과 반대이며 주기는 약 26000년이다. 지구가 공전 궤도를 1회 공전하는 동안 지구 자전축이 기울어진 방향은 거의 일정하게 유지된다.



현재와 6500년 후의 지구 북극점

④ 세차 운동 방향은 지구 공전 방향과 반대이며 주기는 약 26000년이므로, 6500년 동안 지구 자전축은 지구 공전 방향과 반대로 약 90°를 세차 운동하며, 6500년 후에 지구 공전 궤도상의 위치에 관계없이 지구 자전축이 기울어진 방향은 거의 일정하다.

## 11 지구 온난화

2010년의 해수면 수온은 1951년보다 약 0.65 °C 높다.

✕. 지구 온난화에 기여하는 정도는 이산화 탄소가 메테인보다 크다. 따라서 A의 대부분은 대기 중 이산화 탄소에 의한 것이다.

㉠. 에어로졸은 대기 중에 떠 있는 작은 액체나 고체 입자이다. 산업 활동이나 화석 연료 사용 과정에서 대기로 배출된 에어로졸은 지표면에 도달하는 태양 복사 에너지를 감소시켜 해수면 수온을 낮추는 역할을 할 수 있다. 따라서 에어로졸은 B에 기여한다.

㉡. 화산 폭발에 의한 화산재 분출은 지구 기후 변화의 자연적 요인에 해당한다.

## 12 태양 복사 에너지 반사율

A의 지구 표면에는 적도 부근의 바다가 있고, B의 지구 표면에는 아프리카 대륙의 사하라 사막이 있으며, C의 지구 표면에는 빙하로 덮인 남극 대륙이 있다. 지구는 입사된 태양 복사 에너지의 일부만 흡수하고 일부는 반사하는데, A, B, C 중 반사된 태양 복사 에너지량은 C에서 가장 적다.

✕. 태양 복사 에너지 반사율은 구름이 바다보다 크다. 적도 저압대에 발달하는 구름대는 태양 복사 에너지를 많이 반사한다. A에서 반사된 태양 복사 에너지량이 많은 것은 적도 저압대의 구름대에서 태양 복사 에너지를 많이 반사하기 때문이다. 적도 저압대는 북반구 여름철에는 북상하고 북반구 겨울철에는 남하한다. 따라서 이 자료는 9월에 우주 공간에서 측정된 반사된 태양 복사 에너지 분포이다.

㉠. A에서 반사된 태양 복사 에너지량이 많은 것은 적도 저압대의 구름대에서 태양 복사 에너지를 많이 반사하기 때문이다. B에

서 반사된 태양 복사 에너지량이 많은 것은 B의 지구 표면(아프리카 대륙의 사하라 사막)에서 태양 복사 에너지를 많이 반사하기 때문이다. 따라서 구름에 의해 반사된 태양 복사 에너지량은 A가 B보다 많다.

✕. B의 지구 표면에는 아프리카 대륙의 사하라 사막이 있고, C의 지구 표면에는 빙하로 덮인 남극 대륙이 있다. 지구 표면의 태양 복사 에너지 반사율은 C(빙하로 덮인 남극 대륙)가 B(아프리카 대륙의 사하라 사막)보다 크다. 그러나 반사된 태양 복사 에너지량은 C(빙하로 덮인 남극 대륙)가 B(아프리카 대륙의 사하라 사막)보다 적다. 이와 같은 현상이 나타나는 주된 원인은 9월에 C에서 태양의 남중 고도가 낮고 C에 입사되는 태양 복사 에너지량이 매우 적기 때문이다.

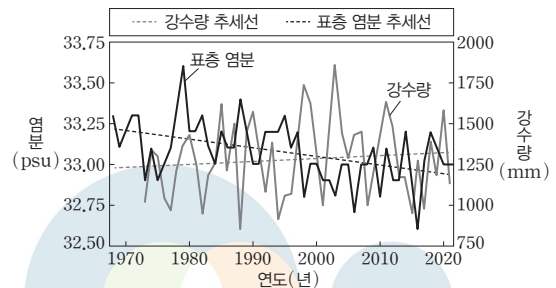
## 13 지구 온난화의 영향

우리나라의 황해는 육지에서 유입되는 담수의 영향을 많이 받고 우리나라의 남해는 난류의 영향을 많이 받는다. 따라서 일반적으로 연평균 표층 염분은 남해가 황해보다 높다. 따라서 A는 남해, B는 황해이다.

✕. 연평균 표층 염분이 상대적으로 높은 A는 남해이고 연평균 표층 염분이 상대적으로 낮은 B는 황해이다.

㉠. (나)를 보면 A(남해)와 B(황해) 모두에서 연평균 표층 염분은 낮아지는 추세이다.

✕. 강수량이 증가하면 표층 염분은 낮아진다. 1968년~2021년에 연평균 표층 염분이 낮아지는 추세인 것으로 보아, 이 기간 동안 우리나라의 연평균 강수량은 증가하는 추세였을 것이다. 실제로 지구 온난화의 영향으로 1968년~2021년에 우리나라의 연평균 강수량은 증가하는 추세였다.



우리나라 주변 해역의 연평균 표층 염분과 우리나라의 연평균 강수량

## 14 적설과 지표면 반사율

북극 지역에서 3월은 겨울이 끝나가는 시기이고 9월은 여름이 끝나가는 시기이며, (가)는 (나)보다 북반구에서 적설 지역이 넓고 적설량이 많다. 따라서 (가)는 2004년 3월이고 (나)는 2004년 9월이다.

✕. (가)는 2004년 3월이고 이 시기에 남반구는 겨울철이 아니다.

✕. (가)는 2004년 3월이고 (나)는 2004년 9월이다. 북극 지역에

서 3월은 겨울이 끝나가는 시기이고 9월은 여름이 끝나가는 시기이다. 따라서 (가) 2004년 3월은 (나) 2004년 9월보다 북극 지역의 월평균 기온이 낮았을 것이다.

㉠ 적설 지역이 넓고 적설량이 많을수록 지표면 반사율이 크다. 따라서 A 지역의 지표면 반사율은 (가) 시기가 (나) 시기보다 크다.

### 15 지구 온난화와 우리나라의 기후 변화

이산화 탄소의 배출량에 따라 우리나라의 연평균 강수량과 연평균 강수일수가 변할 수 있다.

✕. 시나리오 A에서 연평균 강수량은 현재 1195.2 mm, (가) 시기에 1183.4 mm, (나) 시기에 1231.1 mm, (다) 시기에 1233.4 mm이며, 시나리오 A에 의하면 현재 → (가) 시기 → (나) 시기 → (다) 시기 과정에서 연평균 강수량은 감소하다가 증가한다.

㉡. 시나리오 B에서 연평균 강수일수는 현재 123.8일, (가) 시기에 121.2일, (나) 시기에 120.4일, (다) 시기에 116.4일이며, 시나리오 B에 의하면 현재 → (가) 시기 → (나) 시기 → (다) 시기 과정에서 연평균 강수일수는 지속적으로 감소한다.

㉢. (다) 시기에 연평균 강수량은 A와 B 모두가 현재보다 많고 (다) 시기에 연평균 강수일수는 A와 B 모두가 현재보다 적다. 따라서 (다) 시기에 강수일 당 평균 강수량은 A와 B 모두가 현재보다 많다. 현재 강수일 당 평균 강수량은 약 9.65 mm/일이고, 시나리오 A에 의하면 (다) 시기에 강수일 당 평균 강수량은 약 10.23 mm/일, 시나리오 B에 의하면 (다) 시기에 강수일 당 평균 강수량은 약 11.77 mm/일이다.

### 16 지구 온난화와 동아시아의 기후 변화

(가)에서 A에 따른 ㉠ 기간의 기온 변화량은 B에 따른 ㉠ 기간의 기온 변화량보다 크다. 따라서 이산화 탄소 배출량은 A가 B보다 많다. 동아시아 지역의 기온 변화량은 (다)가 (나)보다 크다.

㉠ ㉠ 기간의 기온 변화량은 A가 B보다 크고, 이산화 탄소 배출량도 A가 B보다 많다.

㉡. 동아시아 지역의 기온 변화량은 (다)가 (나)보다 크다. 따라서 A에 따른 동아시아 지역 기온 변화량은 (다)이다.

㉢. (나)와 (다)를 비교해 보면, (나)와 (다) 모두에서 기온 변화량은 30°N의 북쪽 지역이 30°N의 남쪽 지역보다 대부분 크다.

## 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 주계열성과 흑체 복사

주계열성은 질량이 클수록 표면 온도가 높고, 광도가 크다.

㉠. 별은 거의 흑체와 같이 복사하므로 복사 에너지를 최대로 방출하는 파장이 짧을수록 표면 온도가 높다. 복사 에너지를 최대로 방출하는 파장은 A가 B보다 짧으므로 표면 온도는 A가 B보다 높다.

㉡. 주계열성은 표면 온도가 높을수록 광도가 크다. 복사를 에너지를 최대로 방출하는 파장은 A가 C보다 짧으므로 표면 온도는 A가 C보다 높고, 광도는 A가 C보다 크다.

✕. 복사 에너지를 최대로 방출하는 파장은 B가 C보다 짧으므로 표면 온도는 B가 C보다 높고, 질량은 B가 C보다 크다.

### 02 별의 물리량

별은 표면 온도가 높을수록 복사 에너지를 최대로 방출하는 파장이 짧고, 별의 스펙트럼에 나타나는 흡수선의 종류와 세기는 별의 표면 온도와 대기 성분에 따라 다르다.

✕. 수소 흡수선은 별의 표면 온도가 약 10000 K이고 분광형이 A형인 별에서 가장 강하다. 별의 표면 온도가 10000 K보다 높거나 낮으면 수소 흡수선의 세기가 약해진다.

㉡. 별의 광도(L)는 반지름(R)의 제곱과 표면 온도(T)의 네제곱의 곱에 비례한다( $L \propto R^2 \times T^4$ ). 따라서 별의 크기가 같다면 별의 표면 온도가 높을수록 광도가 크다.

✕. 별은 표면 온도가 높을수록 복사 에너지를 최대로 방출하는 파장이 짧다. 파란색 별은 붉은색 별보다 표면 온도가 높으므로 복사 에너지를 최대로 방출하는 파장은 파란색 별이 붉은색 별보다 짧다.

### 03 별의 종류

H-R도에서 별의 집단은 주계열성, 거성, 초거성, 백색 왜성으로 나뉜다. (가)는 초거성, (나)는 거성, (다)는 주계열성, (라)는 백색 왜성에 해당한다.

㉠. 별의 분광형이 같을 때 (가)는 (나)보다 절대 등급이 작으므로 광도는 (가)가 (나)보다 크다. 별의 분광형이 같을 때, 즉 표면 온

도가 같을 때 별의 광도는 반지름의 제곱에 비례한다. 따라서 분광형이 같을 때 별의 평균 반지름은 (가)가 (나)보다 크다.

㉠ 태양은 현재 진화 과정에서 주계열 단계에 있으므로 (다)에 속한다.

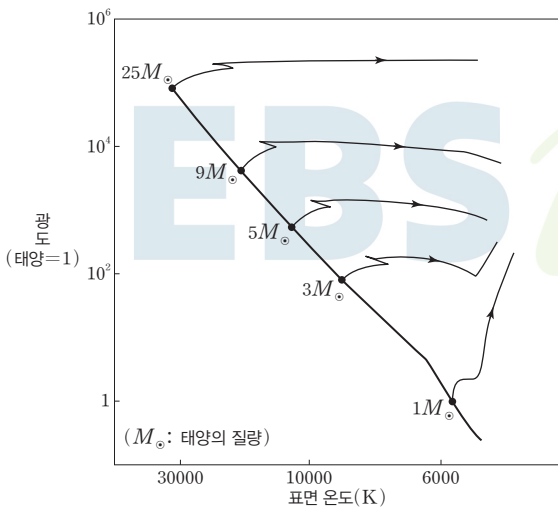
㉡ 별의 평균 밀도는 백색 왜성 > 주계열성 > 거성 > 초거성이다. 따라서 평균 밀도가 가장 큰 집단은 백색 왜성인 (라)이다.

#### 04 별의 진화

별의 진화 과정은 별의 질량에 따라 달라진다.

㉠ 별의 질량은 백색 왜성으로 진화한 A가 중성자별로 진화한 B보다 작다.

㉡ 주계열성에서 거성 또는 초거성으로 진화하는 과정은 별의 질량에 따라 달라진다. 질량이 태양 정도인 별은 주계열 단계 이후에 표면 온도는 낮아지고 광도는 커지는 방향으로 진화하고, 질량이 태양보다 매우 큰 별은 주계열 단계 이후에 주로 표면 온도가 낮아지는 방향으로 진화한다. 따라서 (가) → (나) 과정에서 절대 등급 변화량은 질량이 작은 A가 질량이 큰 B보다 크다.



㉢ 철보다 무거운 원소는 초신성 폭발 과정에서 생성된다. B는 중심핵이 중성자별로 남았으므로 초신성 폭발 과정에서 철보다 무거운 원소를 생성한다.

#### 05 별의 물리량

별의 광도는 별의 표면에서 단위 시간에 방출되는 에너지양에 해당하고, 이는 별의 반지름과 표면 온도에 의해 결정된다.

㉠ 별의 밝기가 100배 증가하면 별의 등급은 5등급 작아진다. 절대 등급은 (가)가 (나)보다 5등급 작으므로 별의 광도, 즉 별의 표면에서 단위 시간에 방출되는 에너지양은 (가)가 (나)의 100배이다.

㉡ 별의 광도(L)는 반지름(R)의 제곱과 표면 온도(T)의 네제곱의 곱에 비례한다( $L \propto R^2 \times T^4$ ). 절대 등급은 (가)가 (다)보다 10등급 작으므로 별의 광도는 (가)가 (다)의 10000배이고, 표면

온도는 (다)가 (가)의 4배이므로 반지름은 (가)가 (다)의 1600배이다.

$$\frac{10000}{1} = \left(\frac{R_{(가)}}{R_{(다)}}\right)^2 \times \left(\frac{1}{4}\right)^4 \quad \therefore \frac{R_{(가)}}{R_{(다)}} = 1600$$

㉢ (나)는 표면 온도가 6000 K, 절대 등급이 +4.8등급인 것으로 보아 질량이 태양 정도인 주계열성이다. (가)는 주계열성인 (나)보다 표면 온도가 낮고 절대 등급이 작은 것으로 보아 주계열의 오른쪽 위에 위치하는 거성이다. (다)는 (나)보다 표면 온도가 높고 절대 등급이 큰 것으로 보아 주계열의 왼쪽 아래에 위치하는 백색 왜성이다.

#### 06 플랑크 곡선

플랑크 곡선은 흑체가 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 복사 에너지의 세기를 나타낸 곡선이다.

㉠ 흑체는 표면 온도가 높을수록 각각의 파장에서 방출되는 복사 에너지의 양이 많다. 각각의 파장에서 방출되는 복사 에너지의 세기는 A가 B보다 강하므로 표면 온도는 A가 B보다 높다.

㉡ 흑체는 표면 온도가 높을수록 복사 에너지를 최대 방출하는 파장이 짧다. 표면 온도는 A가 B보다 높으므로 복사 에너지를 최대 방출하는 파장은 A가 B보다 짧다. 따라서 λ는 1보다 작다.

㉢ 별의 표면에서 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 에너지양(E)은 표면 온도(T)의 네제곱에 비례한다( $E \propto T^4$ ). 표면 온도는 A가 B보다 높으므로 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 에너지양은 A가 B보다 많다.

#### 07 별의 등급과 표면 온도

별을 관측한 파장 영역에서 복사 에너지의 양이 많을수록 등급이 작고, 복사 에너지를 최대 방출하는 파장이 짧을수록 표면 온도가 높다.

㉠ ㉠ 파장 영역에서 에너지양은 A가 B보다 많으므로 동일한 거리에서 ㉠ 파장 영역으로 관측한 등급은 A가 B보다 작다.

㉡ 복사 에너지를 최대 방출하는 파장은 A가 B보다 짧으므로, 표면 온도는 A가 B보다 높다.

㉢ 주계열성은 표면 온도가 높을수록 광도가 크다. 표면 온도는 A가 B보다 높으므로, 광도는 A가 B보다 크다. 광도가 클수록 절대 등급은 작으므로, 절대 등급은 A가 B보다 작다.

#### 08 별의 진화

별의 최종 진화 단계는 중심핵의 질량에 따라 백색 왜성, 중성자 별, 블랙홀로 다르게 나타난다. ㉠은 백색 왜성, ㉡은 블랙홀이다.

㉠ 별의 중심핵의 질량이 태양 질량의 1.4배보다 작을 때는 백색 왜성으로 진화한다.

㉡ 별의 질량이 클수록 중심핵의 질량이 크고 주계열 단계에 머무르는 시간이 짧다. 따라서 (나)보다 중심핵의 질량이 작은 (가)



는 주계열 단계에 머무르는 시간이 (나)보다 길다.

㉠ 밀도는 블랙홀 > 중성자별 > 백색 왜성이므로 밀도는 블랙홀(㉠)이 백색 왜성(㉡)보다 크다.

## 09 별의 진화

별의 바깥층이 중심핵과 분리되어 우주 공간으로 퍼져나가는 과정에서 생성된 성운을 행성상 성운이라고 한다.

㉠ 행성상 성운은 거성 단계 이후에 별의 바깥층이 중심핵과 분리되어 우주 공간으로 퍼져나가는 과정에서 생성된다.

✕. 질량이 태양과 비슷한 별은 거성 단계 이후에 행성상 성운과 중심핵으로 분리되고, 중심핵은 백색 왜성으로 진화한다.

✕. 중심핵에서 철의 생성은 핵융합 반응에 의한 것이며, 이는 질량이 매우 큰 별에서만 가능하다. 중심핵이 백색 왜성으로 진화하는 별의 질량은 태양과 비슷하므로 이 별의 진화 과정에서 핵융합 반응으로 철이 생성될 수 없다.

## 10 수소 핵융합 반응

(가)는 탄소·질소·산소 순환 반응(CNO 순환 반응)이고, (나)는 양성자·양성자 반응(p-p 반응)이다.

㉠ (가)는 CNO 순환 반응으로, 4개의 수소 원자핵이 1개의 헬륨 원자핵으로 바뀌면서 에너지를 생성하는 과정에서 탄소가 촉매 역할을 한다.

✕. 중심부 온도가 1800만 K보다 낮은 주계열 하단부의 별은 p-p 반응이 CNO 순환 반응보다 우세하고, 중심부 온도가 1800만 K보다 높은 주계열 상단부의 별은 CNO 순환 반응이 p-p 반응보다 우세하다. 따라서 중심부의 온도는 A가 B보다 높다.

㉡ 중심부의 온도는 A가 B보다 높으므로 질량은 A가 태양 질량의 5배, B가 태양 질량의 1배이다. 따라서 B는 중심핵과 그 주변에 복사층이 발달하고 별의 표면 근처에 대류층이 발달한다. A는 중심핵에 대류층이 발달하고 중심핵 바깥에 복사층이 발달한다. 별 내부의 온도는 중심부로 갈수록 높아지므로 별 내부에서 대류가 일어나는 영역의 평균 온도는 A가 B보다 높다.

## 11 별의 내부 구조

별의 질량이 클수록 중심핵에서의 핵융합 반응으로 더 무거운 원소를 생성하고, 최종적으로 철로 이루어진 중심핵이 만들어진다. (가)의 ㉠은 헬륨(He)이고, (나)의 ㉡은 철(Fe)이다.

✕. (가)의 중심핵을 이루는 원소는 탄소(C), 산소(O)이고, (나)의 중심핵을 이루는 원소는 규소(Si) 핵융합 반응으로 생성된 철(Fe)이므로 별의 질량은 (나)가 (가)보다 크다.

㉡ ㉠은 헬륨(He)이다. 초기 우주의 헬륨은 수소 원자핵의 합성으로 생성되었고, 수소와 헬륨의 질량비는 약 3 : 1이었다. 따라서

주계열 단계에 도달한 별을 이루는 헬륨은 주로 초기 우주의 핵합성에 의해 생성된 것이다. 그러나 별의 진화 과정에서 수소 핵융합 반응으로 생성된 헬륨의 양이 점점 증가한다. (가)에서 ㉠(헬륨)은 별의 가장 바깥층인 수소층보다 안쪽에 있으므로 주로 별 내부의 수소 핵융합 반응으로 생성되었다.

✕. ㉠은 규소(Si) 핵융합 반응으로 생성된 철(Fe)이다. 철보다 무거운 원소는 질량이 매우 큰 별의 중심부에서 핵융합 반응이 멈춘 후 초신성 폭발이 일어나면서 생성된다.

㉡ (나)와 같은 내부 구조는 질량이 매우 큰 별에서 초신성 폭발이 일어나기 직전에 나타난다. 태양의 진화 과정에서 나타날 수 있는 내부 구조는 (가)이다.

## 12 주계열성의 물리량

주계열성은 질량에 따라 중심핵에서 핵융합 반응으로 생성되는 에너지양이 달라 표면 온도, 광도, 주계열 단계에 머무르는 시간 등이 달라진다.

㉠ 주계열성은 질량이 클수록 표면 온도가 높고, 주계열 단계에 머무르는 시간이 짧다. 따라서 A는 주계열 단계에 머무르는 시간, B는 표면 온도에 해당한다.

㉡ 주계열성은 질량이 클수록 중심핵에서 핵융합 반응으로 생성되는 에너지양이 많고 표면 온도가 높다.

✕. 주계열성은 표면 온도가 높을수록 복사 에너지를 최대로 방출하는 파장이 짧고, 질량이 크며, 주계열 단계에 머무르는 시간이 짧다.

## 13 별의 물리량

별은 색지수(B-V)가 작을수록 표면 온도가 높다. H-R도에서 표면 온도가 높은 별일수록 왼쪽에 위치한다.

㉠ 별의 표면에서 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 에너지양은 별의 표면 온도의 네제곱에 비례한다. 색지수는 ㉠이 ㉡보다 작으므로 표면 온도는 ㉠이 ㉡보다 높다. 따라서 별의 표면에서 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 에너지양은 ㉠이 ㉡보다 많다.

✕. 별 ㉠과 ㉡의 광도(L), 반지름(R), 표면 온도(T)는 다음과 같은 관계를 만족한다.

$$\frac{L_{\text{㉠}}}{L_{\text{㉡}}} = \left(\frac{R_{\text{㉠}}}{R_{\text{㉡}}}\right)^2 \times \left(\frac{T_{\text{㉠}}}{T_{\text{㉡}}}\right)^4 = \left(\frac{200}{1}\right)^2 \times \left(\frac{T_{\text{㉠}}}{T_{\text{㉡}}}\right)^4$$

표면 온도는 ㉠이 ㉡보다 높으므로  $\frac{T_{\text{㉠}}}{T_{\text{㉡}}}$ 은 1보다 작고,  $\frac{L_{\text{㉠}}}{L_{\text{㉡}}}$ 은 40000보다 작다. 따라서 ㉡의 광도( $L_{\text{㉡}}$ )는 ㉠의 광도( $L_{\text{㉠}}$ )보다 크지만 ㉠의 광도의 40000배보다 작다.

㉡ H-R도에서 별은 표면 온도가 높을수록 왼쪽에 위치하고, 광도가 클수록 위쪽에 위치한다. ㉠은 ㉡보다 표면 온도가 높고 광도가 작으므로 H-R도에서 ㉠은 ㉡보다 왼쪽 아래에 위치한다.

## 14 플랑크 곡선과 별의 표면 온도

플랑크 곡선에서 복사 에너지를 최대 방출하는 파장이 짧을수록 별의 표면 온도가 높고, 표면 온도가 높은 별일수록 H-R도에서 왼쪽에 위치한다.

- ㉠ 복사 에너지 세기(상댓값)가 최대인 파장은 A가 B보다 왼쪽이다. 즉, 복사 에너지를 최대 방출하는 파장은 A가 B보다 짧다.
- ㉡ 플랑크 곡선에서 별의 표면 온도가 높을수록 복사 에너지를 최대 방출하는 파장이 짧다. 복사 에너지를 최대 방출하는 파장은 A가 B보다 짧으므로 표면 온도는 A가 B보다 높다. 따라서 H-R도에서 B는 A보다 오른쪽 아래에 위치한다.
- ㉢ H-R도에서 주계열성은 질량이 클수록 왼쪽 위에 위치한다. H-R도에서 A가 B보다 왼쪽 위에 위치하므로 질량은 A가 B보다 크고, 주계열 단계에 머무르는 시간은 A가 B보다 짧다.

## 15 주계열성의 물리량

주계열성은 질량이 클수록 광도가 크고 표면 온도가 높아 H-R도에서 왼쪽 위에 위치한다.

- ㉠ 주계열성은 광도가 클수록 표면 온도가 높다. 광도는 A가 B보다 크므로 표면 온도는 A가 B보다 높다. 따라서 A의 표면 온도인 ㉠이 B의 표면 온도인 ㉡보다 크다.
- ㉡ 광도는 A가 B의 10000배이므로 절대 등급은 B가 A보다 10등급 크다.
- ㉢ (나)는 양성자·양성자 반응(p-p 반응)으로, 중심부의 온도가 높을수록 에너지 생성량이 많다. 별 중심부의 온도는 A가 B보다 높으므로 (나)에 의한 에너지 생성량은 A가 B보다 많다.

## 16 주계열성의 물리량

주계열성은 질량에 따라 광도(절대 등급), 표면 온도(색지수, 분광형), 반지름, 진화하는 데 걸리는 시간 등이 달라진다.

- ㉠ A는 질량이 태양보다 작으므로 절대 등급은 태양보다 크다. 태양의 절대 등급은 약 +4.8등급이므로 A의 절대 등급은 0등급보다 크다.
- ㉢ 성운의 질량이 클수록 원시별에서 주계열성이 되는 데 걸리는 시간이 짧고, 주계열 단계에 도달했을 때 질량이 크다. 주계열성 B의 질량은 주계열성 A의 질량보다 크므로 원시별이 주계열성이 되는 데 걸리는 시간은 B가 A보다 짧다.
- ㉣ 별의 표면에서 단위 시간 동안 방출하는 에너지량은 광도에 해당한다. 주계열성은 질량이 클수록 광도가 크므로 별의 표면에서 단위 시간 동안 방출하는 에너지량은 B가 A보다 많다.

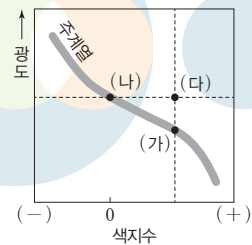
## 17 별의 물리량

별의 분광형은 별의 표면 온도에 따라 스펙트럼을 O, B, A, F, G, K, M형으로 분류한 것이다. 태양의 분광형은 G2형이다.

㉣ ㉠은 색지수가 0이므로 이에 해당하는 것은 분광형이 A0형인 (나)이다.

㉡ 별의 스펙트럼에서 수소에 의한 흡수선이 가장 강한 별은 표면 온도가 약 10000 K이고 분광형이 A0형인 별이다. 따라서 수소 흡수선은 (가), (나), (다) 중 (나)에서 가장 강하다.

㉢ (나)와 (다)는 절대 등급이 같으므로 광도가 같다. (다)와 (가)는 분광형이 같으므로 색지수가 같다. 따라서 H-R도에서 (가), (나), (다)의 위치는 아래와 같다.



(가)와 (나)는 주계열성이고, (다)는 적색 거성이므로 중심핵의 온도는 (다)가 (가)보다 높다.

## 18 질량이 태양과 비슷한 별의 진화 경로

질량이 태양과 비슷한 별은 원시별이 수축하여 주계열성이 되고, 이후 적색 거성 단계를 거쳐 백색 왜성으로 진화한다. A는 원시별, B는 주계열성, C와 D는 적색 거성 단계이다.

- ㉠ A → B 과정은 원시별이 주계열성으로 진화하는 과정이므로 중력 수축이 일어나 별의 반지름이 작아진다.
- ㉡ B는 중심핵에서 수소 핵융합 반응이 일어나는 주계열 단계이고, D는 중심핵에서 헬륨 핵융합 반응이 일어나는 적색 거성 단계이다. 별은 일생의 약 90%를 주계열 단계에 머무른다. 따라서 B 단계에 머무르는 시간은 D 단계에 머무르는 시간보다 길다.
- ㉢ (나)에서 별의 중심핵은 수축하고, 별의 바깥층은 팽창한다. 이와 같은 내부 구조는 질량이 태양 정도인 별이 주계열성에서 적색 거성으로 진화하는 과정, 즉 B → C 과정에서 나타난다.
- ㉣ ㉠은 헬륨핵이 중력 수축하는 영역으로 온도는 1억 K보다 낮다. 헬륨핵의 수축으로 ㉡ 영역의 온도가 약 1억 K이 되면 헬륨 핵융합 반응이 시작되는데, 이는 C에 해당한다.
- ㉤ ㉠은 주로 수소로 이루어진 별의 바깥층, ㉡은 핵융합 반응에 의해 수소가 헬륨으로 바뀌고 있는 수소 껍질층, ㉢은 중력 수축하는 헬륨핵이므로 수소의 질량비(%)가 가장 큰 영역은 ㉠이다.

## 19 주계열성의 물리량

주계열성은 질량이 클수록 표면 온도가 높고 반지름이 크다.

- ㉠ 반지름이 태양보다 작은 별의 표면 온도는 약 6000 K보다 낮다. 표면 온도가 약 10000 K인 별의 색지수는 0이고, 표면 온도가 약 10000 K보다 낮은 주계열성의 색지수는 0보다 크다. 따라서

반지름이 태양보다 작은 주계열성의 색지수는 0보다 크다.

㉠ 별이 단위 시간에 방출하는 에너지량은 별의 광도에 해당하고, 별의 광도는 반지름의 제곱과 표면 온도의 네제곱의 곱에 비례한다. 표면 온도가 태양보다 높은 주계열성은 반지름도 태양보다 크므로 단위 시간 동안 방출하는 에너지량은 태양보다 많다.

㉡ 별은 표면 온도가 높을수록 복사 에너지를 최대 방출하는 파장이 짧다. 따라서 복사 에너지를 최대 방출하는 파장이 태양보다 짧은 주계열성은 표면 온도가 태양보다 높으므로 반지름도 태양보다 크다.

## 20 별의 내부 구조

별의 진화 과정에서 나타나는 내부 층상 구조는 별의 질량에 따라 다르다. 질량이 매우 큰 별은 중심부 온도가 매우 높아 규소(Si) 핵융합 반응까지 일어나고 철(Fe)로 이루어진 중심핵이 만들어진다.

㉠ 중심핵이 철로 이루어진 것으로 보아 이 별의 질량은 태양보다 훨씬 크다.

㉡ 별 내부의 핵융합 반응은 온도가 높아짐에 따라 수소 핵융합 반응 → 헬륨 핵융합 반응 → 탄소 핵융합 반응 → ... → 규소 핵융합 반응 순으로 일어난다. 백색 왜성은 중심핵에서 규소 핵융합 반응까지 일어나지 못하고 별의 중심핵이 바깥층과 분리되어 중력 수축한 것이다. 이 별은 중심에 규소(Si) 핵융합 반응에 의해 생성된 철(Fe)이 있으므로 중심부의 온도는 백색 왜성보다 높다.

㉢ 이 별은 주계열 단계를 떠나 중심핵에서 수소 핵융합 반응 이후의 핵융합 반응이 일어나는 초거성이다. 별은 주계열 단계를 떠나 거성 또는 초거성이 되면서 별의 바깥층이 팽창하고 표면 온도는 낮아진다. 따라서 이 별의 표면 온도는 주계열성일 때보다 낮다.

## 21 별의 내부 구조

별이 주계열 단계를 떠나면 중심의 헬륨핵은 수축하고 헬륨핵 주변의 수소 껍질층에서 수소 핵융합 반응이 일어난다. 헬륨핵의 온도가 약 1억 K이 되면 중심의 헬륨 핵융합 반응과 헬륨핵 주변의 수소 껍질 연소가 동시에 일어난다. 중심의 헬륨핵이 모두 탄소핵으로 바뀌면 탄소핵은 수축하고 탄소핵 주변의 헬륨 껍질층에서 헬륨 핵융합 반응이, 헬륨 껍질층 바깥의 수소 껍질층에서 수소 핵융합 반응이 일어난다.

㉠ (가)일 때는 중심에 탄소핵이, (나)일 때는 중심에 헬륨핵이 있다. 탄소핵은 헬륨핵에서의 핵융합 반응으로 생성되므로 (가)는 (나)보다 나중에 나타나는 내부 구조이다. 따라서 별의 나이는 (가)일 때가 (나)일 때보다 많다.

㉡ (가)의 탄소핵은 헬륨 핵융합 반응으로 생성된 것이고, (나)의 헬륨핵은 수소 핵융합 반응으로 생성된 것이므로 중심부의 온도는 (가)일 때가 (나)일 때보다 높다.

㉢ (가)일 때는 수소 핵융합 반응이 일어나는 수소 껍질 연소 영역이 (나)일 때보다 별의 표면 쪽으로 확대되어 별 내부의 수소 질

량이 감소하고 있다. 따라서 별의 질량에 대한 수소의 질량비는 (나)일 때가 (가)일 때보다 크다.

## 22 주계열성의 내부 구조

주계열성의 내부 구조는 질량에 따라 다르게 나타난다. (가)는 중심부의 대류핵이 복사층으로 둘러싸여 있으므로 질량이 태양 질량의 약 2배보다 크다. (나)는 중심핵과 그 주변에 복사층이, 표면 근처에 대류층이 나타나므로 질량이 태양 질량의 약 2배보다 작다.

㉠ 질량은 중심부에 대류핵이 나타나는 (가)가 (나)보다 크다.

㉡ (가)는 질량이 태양 질량의 약 2배보다 큰 주계열성에서 나타나는 내부 구조이므로 태양은 (가)와 같은 내부 구조를 가질 수 없다.

㉢ (나)와 같은 내부 구조를 가지는 별은 질량이 태양 질량의 약 2배보다 작으므로 최종 진화 단계에서 백색 왜성이 될 수 있다.

## 23 태양의 진화 경로

$A_0$ 은 주계열 단계,  $A_1$ 은 중심핵에서 헬륨 핵융합 반응이 시작될 때,  $A_2$ 는 백색 왜성 단계이다.

㉠  $A_0$ 에서  $A_1$ 로 진화하는 동안 중심의 헬륨핵 주변에서 수소 핵융합 반응이 일어나면서 별의 바깥층이 팽창하므로 반지름은 커진다.

㉡ 별의 표면에서 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 에너지량은 표면 온도의 네제곱에 비례한다. 표면 온도는  $A_2$ 가  $A_1$ 보다 높으므로 별의 표면에서 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 에너지량은  $A_2$ 가  $A_1$ 보다 많다.

㉢  $A_0$ 은 중심핵의 수소가 헬륨으로 바뀌는 주계열 단계이고,  $A_2$ 는 거성 단계 이후에 별의 중심핵이 바깥층과 분리되고 남은 백색 왜성 단계이다. 따라서 수소의 총 질량은  $A_0$ 이  $A_2$ 보다 크다.

## 24 별의 물리량

별의 광도( $L$ )는 반지름( $R$ )의 제곱과 표면 온도( $T$ )의 네제곱의 곱에 비례하고( $L \propto R^2 \times T^4$ ), 표면 온도가 높을수록 복사를 최대 방출하는 파장이 짧다.

㉠ A와 B는 광도가 같으므로 별의 반지름과 표면 온도는 다음의 관계를 만족한다.

$$\left(\frac{R_A}{R_B}\right)^2 = \left(\frac{T_B}{T_A}\right)^4$$

복사 에너지를 최대 방출하는 파장은 B가 A의 3배이므로 표면 온도는 A가 B의 3배이다. 따라서 반지름은 B가 A의 9배이다.

㉡ B와 C는 복사 에너지를 최대 방출하는 파장이 같으므로 표면 온도가 같고, B의 반지름은 A의 9배이므로 B와 C의 광도는 다음의 관계를 만족한다.

$$\frac{L_C}{L_B} = \left(\frac{300}{9}\right)^2 = \frac{10000}{9}$$

따라서 광도는 C가 B의 1000배보다 크다.

✕. A는 B와 광도는 같은데 표면 온도는 B보다 높으므로 H-R도에서 A는 B의 왼쪽에 위치한다. C는 B와 표면 온도는 같은데 반지름은 B보다 크므로 H-R도에서 B보다 위쪽에 위치한다. 따라서 A는 주계열성, B는 거성, C는 초거성에 해당하므로, 광도 계급이 V인 주계열성은 A이다.

수능 3점 테스트

본문 160~171쪽

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

01 별의 스펙트럼

별의 표면에서 방출된 복사 에너지가 별의 대기를 통과하면서 일부 흡수되어 별의 스펙트럼에 흡수선이 나타난다. 흡수선의 종류와 세기는 별의 대기 성분과 표면 온도에 따라 달라진다.

- ㉠. ㉠과 ㉡에는 모두 복사 에너지 세기가 감소한 흡수선이 나타난다.
- ㉢. 성운 A를 통과한 별빛의 스펙트럼 ㉢에는 A를 통과하지 않은 별빛의 스펙트럼 ㉠보다 흡수선의 종류가 더 많다. 이는 A의 평균 온도가 별의 표면 온도보다 낮아 별빛이 A를 통과하면서 추가로 흡수선이 생겼기 때문이다.
- ㉤. 흡수선 a는 성운 A를 통과하지 않은 ㉠에서도 나타나므로 a는 별빛이 대기를 통과하면서 대기에 의해 생긴 흡수선이다.

02 별의 분광형

별의 스펙트럼에 나타나는 흡수선의 종류와 세기에 따라 분류한 분광형은 별의 표면 온도에 의해 결정된다.

- ✕. (가)는 표면 온도가 6000 K이므로 분광형이 G형이다. 따라서 HI 흡수선보다 CaII 흡수선이 강하다.
- ㉠. (가)와 (나)의 광도, 반지름, 표면 온도는 다음의 관계를 만족한다.

$$\frac{80}{40} = \left(\frac{R_{(가)}}{R_{(나)}}\right)^2 \times \left(\frac{6000}{10000}\right)^4$$

$$\left(\frac{R_{(가)}}{R_{(나)}}\right)^2 = 2 \times \left(\frac{5}{3}\right)^4 > 1$$

따라서 반지름은 (가)가 (나)보다 크다.

- ㉢. (가)는 표면 온도가 6000 K으로 태양과 비슷한데 광도는 태양의 80배이다. 따라서 H-R도에서 태양보다 위쪽에 위치하므로 거성에 해당한다.

03 별의 스펙트럼과 분광형

별의 대기에 존재하는 원소들은 별의 표면 온도에 따라 이온화되는 정도가 다르고, 각각 가능한 이온화 단계에서 특정한 흡수선을 형성하기 때문에 별의 스펙트럼에서 흡수선의 종류와 세기는 별의 표면 온도에 따라 다르다. 별의 표면 온도에 따라 나타나는 흡수선의 종류와 세기를 분류한 것이 분광형이다. HI 흡수선은 분광형이 A형인 별에서 가장 강하게 나타난다.



✗. 분광형이 B형인 별은 A형인 별보다 표면 온도가 높아 He I 흡수선이 강하게 나타나고, 분광형이 K형인 별은 A형인 별보다 표면 온도가 낮아 Ca II 흡수선이 강하게 나타난다. 따라서 별의 분광형은 (가)는 B형, (나)는 A형, (다)는 K형이고, 표면 온도는 (가) > (나) > (다)이다.

✗. 주계열성은 질량이 클수록 표면 온도가 높다. 따라서 질량은 표면 온도가 높은 (나)가 (다)보다 크고, 주계열 단계에 머무르는 시간은 (다)가 (나)보다 길다.

㉠. 분광형이 K형인 (다)는 태양보다 질량이 작으므로 중심부 온도가 1800만 K보다 낮아 p-p 반응이 우세하고, 분광형이 B형인 (가)는 태양보다 주계열 상단부에 위치하여 중심부 온도가 1800만 K보다 높으므로 CNO 순환 반응이 우세하다. 따라서

$\frac{p-p \text{ 반응에 의한 에너지 생성량}}{\text{CNO 순환 반응에 의한 에너지 생성량}}$ 은 (다)가 (가)보다 크다.

#### 04 스펙트럼

스펙트럼에는 연속 스펙트럼, 흡수 스펙트럼, 방출 스펙트럼이 있고, 같은 종류의 기체가 만드는 흡수선의 파장과 방출선의 파장은 같다.

㉠. 방출 스펙트럼은 특정 파장에 해당하는 빛의 밝은 선(방출선)이 나타난다. (가)에는 5개의 방출선이 나타난다.

㉡. (가)에 나타난 수소의 방출선 파장과 같은 파장에서 (나)의 흡수선이 나타나는 것으로 보아 (나)에는 수소 흡수선이 나타난다.

✗. 태양은 가시광선 영역(약 400 nm ~ 700 nm) 중 약 500 nm에서 복사 에너지를 최대 방출한다. (나)의 별은 복사 에너지를 최대 방출하는 파장이 400 nm ~ 450 nm 사이에 나타나므로 표면 온도는 (나)의 별이 태양보다 높다.

#### 05 별의 광도 계급과 물리량

광도 계급이 III인 별은 거성, VII인 별은 백색 왜성이다. 광도가 약 2.5배 증가하면 절대 등급은 1등급 작아진다.

✗. A는 태양보다 표면 온도가 높고 광도는 작으므로 H-R도에서 태양보다 왼쪽 아래에 위치하고, B는 태양보다 표면 온도가 낮고 광도는 크므로 H-R도에서 태양보다 오른쪽 위에 위치한다. 태양은 주계열성이므로 A는 광도 계급이 VII인 백색 왜성, B는 광도 계급이 III인 거성이다.

㉠. 별의 평균 밀도는 백색 왜성 > 주계열성 > 거성이므로 평균 밀도는 주계열성인 태양이 거성인 B보다 크다.

✗. 광도는 B가 A의 10000배보다 크고 표면 온도는 A가 B의 3배이므로 반지름은 B가 A의 900배보다 크다.

#### 06 파장별 복사 에너지 세기

별이 단위 시간에 방출하는 모든 파장의 복사 에너지를 합한 값은

별의 광도에 해당한다.

㉠. 별을 관측한 파장 영역에서 별이 방출한 복사 에너지의 양이 많을수록 별의 등급이 작다. B는 ㉠ 파장 영역의 에너지양이 ㉡ 파장 영역의 에너지양보다 적으므로 ㉠ 파장 영역에서 관측한 등급이 ㉡ 파장 영역에서 관측한 등급보다 크다. 따라서 B는 (㉠ 파장 영역에서 관측한 등급 - ㉡ 파장 영역에서 관측한 등급)이 0보다 크다.

㉡. 별의 표면 온도는 복사 에너지를 최대 방출하는 파장이 짧을수록 높으므로 표면 온도는 A가 B보다 높다. 광도는 A와 B가 같으므로 반지름은 B가 A보다 크다.

㉢. 별이 단위 시간에 방출하는 모든 파장의 복사 에너지를 합한 값은 별의 광도에 해당하고, 이는 그림에서 복사 에너지 세기 곡선과 파장 축이 이루는 면적에 해당한다. A와 B는 광도가 같으므로 복사 에너지 세기 곡선과 파장 축이 이루는 면적은 A와 B가 같다.

#### 07 별의 질량과 진화 시간

별의 질량이 클수록 원시별이 주계열성이 되는 데 걸리는 시간과 주계열 단계에 머무르는 시간이 짧다.

㉠. 별은 일생의 약 90%를 주계열 단계에 머무르고, 별의 질량이 클수록 수명이 짧다.

✗. 별은 일생의 약 90%를 주계열 단계에 머무르므로 원시별이 주계열성이 되는 데 걸리는 시간보다 주계열 단계에 머무르는 시간이 훨씬 길다. 따라서 A는 주계열 단계에 머무르는 시간, B는 원시별이 주계열성이 되는 데 걸리는 시간이다. 원시별이 주계열성으로 진화하는 동안 주로 중력 수축 에너지가 생성된다.

✗. 질량이 태양의 15배인 별은 주계열 단계에 머무르는 시간이 원시별이 주계열성이 되는 데 걸리는 시간의 약 100배이다.

#### 08 별의 진화

질량이 태양 정도인 별은 주계열 단계에서 거성으로 진화하는 과정에서 표면 온도는 낮아지지만 반지름이 크게 커지므로 광도는 커진다.

✗. ㉠ 기간 동안 광도와 반지름이 거의 일정한 것으로 보아 이 기간은 주계열 단계에 해당하고, 별은 정역학 평형 상태에 있다. 따라서 ㉠ 기간 동안 별의 표면에서 중력과 기체 압력 차에 의한 힘은 평형을 이루고 있다.

✗. ㉡ 기간 동안 광도는 100배 이상 커진다. 광도가 100배 커지면 절대 등급은 5등급 작아지므로 ㉡ 기간 동안 별의 절대 등급 변화량은 5보다 크다.

㉢. ㉠ 기간에 별은 주계열을 떠나 거성으로 진화하고 있고, 중심의 헬륨핵은 중력 수축하고 있다. 따라서 중심핵의 크기는 ㉠ 기간이 ㉡ 기간보다 크다.

## 09 별의 스펙트럼과 흡수선

별의 스펙트럼에서 복사 에너지 세기가 최대인 파장은 표면 온도가 높을수록 짧고, 스펙트럼에 나타난 흡수선의 종류는 별의 대기 성분과 관련이 있다.

㉠. 색지수는 X가 태양보다 작으므로 표면 온도는 X가 태양보다 높다. 별의 스펙트럼에서 복사 에너지를 최대로 방출하는 파장은 ㉠이 ㉡보다 짧으므로 ㉠은 X의 스펙트럼이다.

✕. HI에 의한 흡수선은 X(㉠)가 태양(㉡)보다 강하다.

㉢. 태양과 X 모두 HI에 의한 흡수선이 나타나므로 태양과 X는 모두 대기에 수소가 포함되어 있다.

## 10 별의 분광형

별의 분광형은 표면 온도에 따라 O, B, A, F, G, K, M형으로 분류하고, 각각의 분광형은 다시 고온의 0에서 저온의 9까지 10단계로 세분한다.

✕. 분광형이 G형인 별은 F형인 별보다 표면 온도가 낮고, G1형인 별은 G3형인 별보다 표면 온도가 높다. 따라서 복사 에너지를 최대 방출하는 파장은 G3형인 (나)가 G1형인 (가)보다 길다.

㉠. (나)는 (다)보다 표면 온도가 낮으며, (나)는 광도 계급이 II인 밝은 거성이고 (다)는 광도 계급이 V인 주계열성이므로 H-R도에서 (나)는 (다)보다 오른쪽 위에 위치한다. 따라서 반지름은 (나)가 (다)보다 크다.

✕. (가)와 (다)는 광도 계급이 V인 주계열성이고, 표면 온도는 (다)가 (가)보다 높으므로 광도는 (다)가 (가)보다 크다.

## 11 수소 핵융합 반응

질량이 태양의 5배인 별은 중심부 온도가 1800만 K보다 높아 CNO 순환 반응이 p-p 반응보다 우세하고, 중심에 대류핵이 발달한다.

✕. 태양은 중심부 온도가 약 1500만 K이다. 태양과 질량이 비슷한 주계열성은 중심부 온도가 1800만 K보다 낮아 p-p 반응이 CNO 순환 반응보다 우세하다. (가)는 질량이 태양과 같으므로 ㉠은 p-p 반응이다.

✕. (가)에서 CNO 순환 반응인 ㉡의 에너지 생성 비율과 (나)에서 p-p 반응인 ㉠의 에너지 생성 비율은 같다. 그러나 수소 핵융합 반응으로 생성되는 총 에너지량은 (나)가 (가)보다 많으므로 단위 시간 동안 에너지 생성량은 (가)의 ㉠이 (나)의 ㉠보다 적다.

㉢. (나)는 질량이 태양의 5배이므로 중심부에서 깊이에 따른 온도 차가 매우 커서 대류에 의해 에너지를 전달하는 대류핵이 발달한다.

## 12 별의 물리량

별의 표면에서 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 에너지량은 표면 온도의 네제곱에 비례하고, 별의 광도(L)는 반지름(R)의 제곱

과 표면 온도(T)의 네제곱의 곱에 비례한다( $L \propto R^2 \times T^4$ ).

㉠. (가)의 광도는 태양의 100배이고, (가)의 반지름은 태양의 10배이므로 (가)의 표면 온도는 태양과 같고 분광형은 G2형이다. 표면 온도는 (가)가 (나)보다 높으므로 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 에너지량은 (가)가 (나)보다 많다.

㉢. (가)와 (나)의 광도, 반지름, 표면 온도를 비교하면 다음과 같다.

$$\frac{400}{100} = \left(\frac{R_{(가)}}{R_{(나)}}\right)^2 \times \left(\frac{T_{(가)}}{T_{(나)}}\right)^4$$

$\frac{T_{(가)}}{T_{(나)}}$ 는 1보다 작으므로  $\frac{R_{(가)}}{R_{(나)}}$ 는 2보다 크다. 즉, (나)의 반지름( $R_{(나)}$ )은 태양의 20배보다 크다. 따라서 반지름은 (나)가 가장 크다.

㉢. (나)와 (다)는 표면 온도가 같으므로 광도비는 반지름비의 제곱과 같다.

$$\frac{400}{L_{(다)}} = \left(\frac{R_{(가)}}{R_{(다)}}\right)^2$$

(나)의 반지름( $R_{(나)}$ )이 태양의 20배보다 크므로  $\frac{R_{(가)}}{R_{(다)}}$ 는 10보다 크고,  $L_{(다)}$ 는 4보다 작다. 즉, (다)의 광도( $L_{(다)}$ )는 태양 광도의 4배보다 작다. 따라서 (나)의 광도는 (다)의 광도의 100배보다 크고, (다)의 절대 등급은 (나)의 절대 등급보다 5등급 이상 크다. 그러므로 [(다)의 절대 등급 - (나)의 절대 등급]은 5보다 크다.

## 13 별의 분류

H-R도에서 거성은 주계열의 오른쪽 위에, 백색 왜성은 주계열의 왼쪽 아래에 위치한다. (나)는 분광형이 G2형으로 태양과 같은데 절대 등급은 +11.5등급으로 태양보다 크므로 H-R도에서 태양의 아래쪽에 위치하는 백색 왜성이다. (다)는 분광형이 K2형이고 절대 등급이 태양보다 작으므로 H-R도에서 태양의 오른쪽 위에 위치하는 거성이다. (가)는 주계열성이다.

㉠. 별의 절대 등급이 태양보다 5등급 작을 때 별의 광도는 태양보다 100배 크고 별의 질량은 태양 질량의 2배보다 크다. (가)는 절대 등급이 -4.1등급으로 태양의 절대 등급 +4.8등급과 약 9등급 차이가 나므로 질량은 태양 질량의 2배보다 크다. 따라서 (가)의 중심부에는 대류핵이 발달한다.

✕. 진화 과정에서 철이 생성되는 별은 질량이 매우 큰 초거성이다. (나)는 백색 왜성으로 진화 과정에서 철이 생성될 수 없다.

㉢. (다)는 태양보다 표면 온도가 낮는데 절대 등급은 작으므로 H-R도에서 태양의 오른쪽 위에 위치한다. 따라서 (다)는 거성이다. 평균 밀도는 백색 왜성인 (나)가 거성인 (다)보다 크다.

## 14 주계열성의 내부 구조와 진화

별이 주계열 단계에 도달했을 때 수소와 헬륨의 질량비는 약 3 : 1이다. 별의 중심핵에서 수소 핵융합 반응이 진행됨에 따라 중심핵의 수소 질량비는 감소하고 헬륨 질량비는 증가한다. 별의

중심핵에서 수소가 모두 헬륨으로 바뀌면 별은 주계열 단계를 떠나 거성으로 진화한다.

✗. 별의 중심핵, 복사층이 발달하고 표면 근처에 대류층이 발달하는 것으로 보아 별의 질량은 태양 질량의 약 2배보다 작는데, 이 별의 광도 계급이 G2V로 태양과 같으므로 질량은 태양과 비슷하다.

✗. 별의 중심부에서 수소의 질량비가 30% 이상이므로 이 별은 아직 주계열 단계에 있다.

㉠. 이 별의 질량은 태양과 비슷하므로 중심핵에서 상대적인 에너지 생성량은 p-p 반응이 CNO 순환 반응보다 많다. 따라서 중심핵에서 p-p 반응에 의한 헬륨 생성량은 CNO 순환 반응에 의한 헬륨 생성량보다 많다.

### 15 별의 스펙트럼과 흡수선

별의 스펙트럼에 나타난 흡수선의 종류와 세기는 별의 표면 온도에 의해 결정된다.

㉠. 최대 복사 에너지 방출 파장은 (가)가 (다)보다 짧으므로 (가), (나), (다)의 분광형은 아래의 경우 중 하나이다.

(가)	(나)	(다)
O5	A0	G2
O5	G2	A0
A0	O5	G2

또한 스펙트럼에서 Ca II 흡수선의 상대적 세기는 (나)가 (다)보다 강하게 나타나는데 위의 세 경우 중 이를 만족하는 경우는 두 번째이다. 따라서 (가)의 분광형은 O5형, (나)의 분광형은 G2형, (다)의 분광형은 A0형이고 표면 온도는 (가)가 (나)보다 높다.

✗. (나)는 분광형이 G2형이므로 노란색 별이다.

✗. H I 흡수선의 상대적 세기는 분광형이 A0형인 (다)가 가장 강하다.

### 16 별의 광도 계급

광도 계급이 Ia인 별과 Ib인 별은 초거성, II인 별과 III인 별은 거성, IV인 별은 준거성, V인 별은 주계열성, VI인 별은 준왜성, VII인 별은 백색 왜성에 해당한다.

㉠. ㉠의 분광형은 K5형이고 절대 등급은 -0.1등급이므로 H-R도에서 광도 계급 III인 거성에 해당한다.

㉡. 절대 등급은 ㉠이 ㉡보다 약 7등급 작으므로 광도는 ㉠이 ㉡보다 100배 이상 크다. 표면 온도는 ㉠과 ㉡이 같으므로 반지름은 ㉠이 ㉡보다 10배 이상 크다.

✗. ㉢의 분광형은 G1형이므로 H-R도에서 분광형이 G형인 칸을 10등분할 때 왼쪽에서 첫 번째 칸에 해당한다. ㉢은 광도 계급이 VII이므로 ㉢의 절대 등급은 약 +14등급이고, ㉡과 ㉢의 절대 등급 차이는 약 7등급이다. 따라서 광도는 ㉡이 ㉢의 10000배보다 작다.

### 17 별의 내부 구조

별 내부의 핵융합 반응 영역은 별의 진화에 따라 변화한다. 주계열 단계에서는 중심부에서 수소 핵융합 반응이, 거성으로 진화하는 과정에서는 헬륨핵 주변의 수소 껍질층에서 수소 핵융합 반응이, 거성 단계에서는 중심부의 헬륨 핵융합 반응과 수소 껍질층의 수소 핵융합 반응이 동시에 일어난다. 이후에는 별의 질량에 따라 핵융합 반응 종류와 영역이 다르게 나타난다.

✗. 주계열성은 중심부에서 수소 핵융합 반응이 일어난다. 이 별은 수소 껍질층과 헬륨 껍질층에서 핵융합 반응이 일어나므로 거성이다.

㉠. 중심부에서 헬륨 핵융합 반응 다음 단계의 핵융합 반응이 일어나므로 이 별의 질량은 태양보다 크다. 태양 정도의 질량을 가지는 별은 중심부에서 헬륨 핵융합 반응으로 만들어진 탄소핵의 온도가 충분히 높아지지 않아 탄소 핵융합 반응이 일어나지 않는다.

㉡. ㉠은 헬륨 핵융합 반응으로 만들어진 원소이다. 핵융합 반응은 반응 물질보다 더 무거운 원소를 만드는 반응이므로 ㉠은 헬륨보다 무거운 원소이다.

### 18 주계열성의 진화

별이 주계열 단계에 도달했을 때 별의 수소와 헬륨의 질량비는 약 3 : 1이다. 별의 중심부에서 수소 핵융합 반응이 진행됨에 따라 수소 질량비는 감소하고 헬륨 질량비는 증가한다. X는 수소, Y는 헬륨의 질량비이다.

✗. 중심부의 수소(X) 질량비가 30% 이상인 것으로 보아 이 별은 중심부의 수소 핵융합 반응이 진행 중인 주계열성이고, 정역학 평형 상태에 있다. 따라서 별의 표면에서 중력과 기체 압력 차에 의한 힘은 평형을 이룬다. 중력이 기체 압력 차에 의한 힘보다 커지면 별은 수축한다.

㉠. 별이 주계열 단계에 도달했을 때 별 내부의 수소와 헬륨의 질량비는 약 3 : 1로 비교적 균일하지만, 중심핵에서 수소 핵융합 반응이 일어나면 중심부의 수소 질량비는 감소하고 헬륨 질량비는 증가한다. 따라서 중심핵에서 질량비가 증가하는 것은 헬륨이고, 헬륨의 질량비는 Y이다.

㉡. 이 별은 분광형이 G형인 주계열성이므로 태양과 비슷한 내부 구조를 가진다. 즉, ㉠ 구간에서는 복사에 의해 에너지를 전달하고, ㉡ 구간에서는 대류에 의해 에너지를 전달한다.

### 19 주계열성의 수소 핵융합 반응

별이 주계열 단계에 도달했을 때 별의 질량에 따라 중심부의 온도가 달라지고, p-p 반응과 CNO 순환 반응에 의한 에너지 생성량이 달라진다. A는 p-p 반응, B는 CNO 순환 반응에 의한 에너지 생성량을 나타낸 것이다.

✗. 수소 핵융합 반응 중 중심부의 온도가 낮은 별에서 에너지 생성량이 우세한 것이 p-p 반응이다. 따라서 A는 p-p 반응이다.



㉠ 원시별이 중력 수축할 때 방출되는 에너지에 의해 별 중심부의 온도는 높아진다. p-p 반응은 중심부 온도가 1000만 K에 도달하기 전부터 일어난다. 따라서 p-p 반응(A)은 CNO 순환 반응(B)보다 먼저 시작된다.

✕ 태양은 분광형이 G2형이고 중심부 온도가 약 1500만 K이다. 분광형이 G5형인 주계열성은 태양보다 질량이 작으므로 중심부 온도가 태양보다 낮다. 따라서 p-p 반응(A)이 CNO 순환 반응(B)보다 우세하다.

## 20 별의 진화

주계열성의 질량이 클수록 단위 시간 동안 에너지 방출량이 많아 주계열 단계에 머무르는 시간이 짧다.

✕ 태양이 주계열 단계에 머무르는 시간이 약 100억 년인데 (가)가 주계열 단계에 머무르는 시간이 약 250억 년이므로, (가)의 질량은 태양보다 작다.

㉠ 원시별이 주계열성이 되는 데 걸리는 시간은 별의 질량이 클수록 짧다. (가)의 질량은 태양보다 작고, (나)의 질량은 태양보다 크므로 원시별이 주계열성이 되는 데 걸리는 시간은 (가)가 (나)보다 길다.

✕ 주계열성은 질량이 클수록 표면 온도가 높다. 질량은 (다)가 (나)보다 크므로 표면 온도는 (다)가 (나)보다 높다. (나)의 분광형이 A형이므로 (다)의 분광형은 O형 또는 B형이다.

## 21 별의 진화

원시별이 중력 수축하여 주계열 단계에 도달하면 수소 핵융합 반응이 안정적으로 일어나고, 별의 질량에 따라 내부 구조가 달라진다. 태양 정도의 질량을 가지는 별은 중심핵 주변에 복사층이, 표면 근처에 대류층이 발달한다. B → B'은 태양의 진화 경로에 해당한다.

✕ 원시별이 주계열성으로 진화하는 동안 중력 수축이 일어나므로 별은 정역학 평형 상태가 아니다.

㉠ B'은 태양에 해당하므로 중심핵 주변에 복사층이, 표면 근처에 대류층이 발달한다. 별 내부의 온도는 중심에서 표면으로 갈수록 낮아지므로 B'의 내부에서 복사층의 평균 온도는 대류층의 평균 온도보다 높다.

㉠ B'은 태양에 해당하므로 p-p 반응과 CNO 순환 반응이 모두 일어난다. B'보다 질량이 큰 A'도 p-p 반응과 CNO 순환 반응이 모두 일어난다.

## 22 별의 진화와 내부 구조

주계열성이 거성으로 진화하는 동안 표면 온도는 낮아지고 반지름은 커진다. 중심부의 헬륨핵은 중력 수축하므로 중심부의 온도는 높아진다.

㉠ 표면 온도는 A가 A'보다 높고, 중심부 온도는 A'이 A보다

높다. 따라서  $\frac{\text{표면 온도}}{\text{중심부 온도}}$ 는 A가 A'보다 크다.

㉠ B(주계열성)가 B'(거성)으로 진화하는 동안 중심부의 헬륨핵은 수축하고 헬륨핵 주변의 수소 껍질층에서 수소 핵융합 반응이 일어난다.

㉠ (나)에서 중심부에 대류핵, 그 주변에 복사층이 발달하므로 이와 같은 내부 구조를 가지는 별의 질량은 태양 질량의 약 2배보다 크다. B는 태양 정도의 질량을 가지므로 (나)는 A의 내부 구조이다.

## 23 별의 진화와 핵융합 반응

별 내부에서 핵융합 반응이 일어나는 영역은 별의 진화 단계에 따라 달라진다. 주계열 단계에서는 중심핵에서 수소 핵융합 반응이 (가)와 같이 일어나고, 주계열 단계를 떠나 거성으로 진화하는 과정에서는 헬륨핵 주변의 수소 껍질층에서 수소 핵융합 반응이 (나)와 같이 일어난다. 거성 단계에 도달하면 중심핵에서 헬륨 핵융합 반응이, 수소 껍질층에서 수소 핵융합 반응이 (다)와 같이 일어난다.

㉠ (가)는 주계열성, (다)는 거성의 핵융합 반응 영역을 나타낸 것이다. 별이 주계열성에서 거성으로 진화하는 과정에서 표면 온도는 낮아지고 광도는 커진다. 따라서 절대 등급은 (가)가 (다)보다 크다.

㉠ (가)는 주계열 단계이므로 기체 압력 차에 의한 힘과 중력이 평형을 이루고 있다. (나)는 중심부의 헬륨핵이 수축하므로 기체 압력 차에 의한 힘보다 중력이 크다. 따라서 중심핵에서 기체 압력 차에 의한 힘의 크기  $\frac{\text{중력의 크기}}{\text{중력의 크기}}$ 는 (가)가 (나)보다 크다.

㉠ (나)에서는 수소 껍질층에서 수소 핵융합 반응이 일어나고, (다)에서는 중심부에서 헬륨 핵융합 반응이, 수소 껍질층에서 수소 핵융합 반응이 일어난다. 헬륨 핵융합 반응은 약 1억 K 이상에서, 수소 핵융합 반응은 약 1000만 K 이상에서 일어나므로 핵융합 반응 영역의 평균 온도는 (다)가 (나)보다 높다.

## 24 주계열성의 수소 핵융합 반응

질량이 태양 질량의 약 2배보다 큰 주계열성은 중심부에 대류핵이 발달하여 중심핵의 물질이 고르게 섞인다.

㉠ 주계열성의 중심부에서는 수소 핵융합 반응이 일어나 중심부의 수소 질량비(%)가 시간이 지남에 따라 감소한다. 따라서  $t_1$ 은  $t_3$ 보다 먼저이다.

㉠  $t_1 \rightarrow t_3$  동안 수소 질량비(%)가 감소하는 것은 중심부의 수소 핵융합 반응에 의한 것이므로  $t_2$ 는 주계열 단계에 해당한다.

✕  $t_2$ 에서 수소 질량비(%)가 일정한 구간이 나타난다. 이는 이 구간에서 대류가 일어나 남아 있는 수소를 고르게 섞어주었기 때문이다. 별의 중심부에서 대류가 일어나는 것은 별의 질량이 태양 질량의 약 2배보다 클 때이다. 따라서 이 별의 질량은 태양보다 크다.



## 09 외계 행성계와 외계 생명체 탐사

수능 2점 테스트

본문 178~179쪽

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

### 01 외계 행성계 탐사 방법

(가)는 중심별의 시선 속도 변화를 이용하는 방법, (나)는 식 현상을 이용하는 방법, (다)는 직접 관측하는 방법이다.

✕. (가)에서 별의 시선 속도 변화는 별과 행성이 공통 질량 중심을 중심으로 공전하는 과정에서 나타난다. 이때 별의 시선 속도 변화는 행성의 질량 또는 공전 속도 등의 영향을 받는다.

✕. 미세 중력 렌즈 현상은 드물게 발생할 뿐만 아니라 주기적인 관측이 불가능하므로 (나)에 해당하지 않는다. (나)는 식 현상을 이용하는 외계 행성 탐사 방법에 해당한다.

○. 행성이 방출하는 에너지는 대부분 적외선 영역에 해당하므로 (다)에서 행성을 직접 관측할 때는 주로 적외선 영역의 파장을 이용하여 행성을 촬영한다.

### 02 시선 속도 변화를 이용한 외계 행성계 탐사

중심별의 시선 속도는 중심별이 지구에 가까워질 때 (-) 값이고, 중심별이 지구로부터 멀어질 때 (+) 값이다.

✕. 중심별의 적색 편이가 최대로 관측되는 A 시기에 별은 지구로부터 멀어진다. 지구와 행성 사이의 거리가 최대일 때, 즉 B 시기에 중심별은 지구에 가장 가까우며, C 시기에 중심별의 시선 속도가 0이므로 이때 중심별은 공통 질량 중심을 기준으로 B와 반대 위치, 즉 지구에서 가장 먼 거리에 있다. 따라서 시간 순서는 A → C → B이다.

✕. 행성에 의한 식 현상은 지구와 행성 사이의 거리가 가장 가까울 때 (=지구와 중심별까지의 거리가 가장 멀 때) 일어난다. 따라서 C 무렵에 행성에 의한 식 현상이 일어난다.

○. C 시기에는 지구와 중심별 사이의 거리가 가장 멀다. 따라서 C 전후에 중심별은 지구로부터 멀어졌다가 지구에 가까워지므로, 시선 속도는 (+) 값에서 (-) 값으로 바뀐다.

### 03 식 현상을 이용한 외계 행성계 탐사

중심별 주위를 공전하는 행성이 중심별의 앞면을 지날 때 중심별의 일부가 가려지는 식 현상이 일어난다. 식 현상에 의한 중심별의 밝기 변화를 관측하여 행성의 존재를 확인할 수 있다.

○. 행성의 반지름이 클수록 식 현상에 의한 중심별의 밝기 변화량이 크다. 행성 A에 의한 중심별의 밝기 변화량(a)이 행성 B에

의한 중심별의 밝기 변화량(b)보다 작으므로, 반지름은 A가 B보다 작다.

✕. 행성계에서 행성의 공전 주기는 중심별의 밝기 변화 주기와 같다. 공전 주기는 A가 3T, B가 4T로 A가 B보다 짧다.

✕. 행성에 의한 식 현상이 일어날 때, 지구와 행성 사이의 거리는 가장 가깝고 지구와 중심별 사이의 거리는 가장 멀다. 따라서 식 현상이 최대일어나는 시점(시선 속도=0) 이후  $\frac{\text{공전 주기}}{2}$

까지 중심별은 지구에 가까워지고 시선 속도는 (-) 값이며,  $\frac{\text{공전 주기}}{2}$ 에 시선 속도는 0,  $\frac{\text{공전 주기}}{2}$ 부터 1공전 주기까지 중심별은 지구에서 멀어지고 시선 속도는 (+) 값이다. 2T일 때, A와 B 각각에 의한 중심별의 시선 속도가 둘 다 (-) 값을 나타낸다. 따라서 2T일 때, 중심별의 시선 속도는 (-) 값이다.

### 04 미세 중력 렌즈 현상을 이용한 외계 행성계 탐사

거리가 다른 두 개의 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 확인할 수 있다.

○. 미세 중력 렌즈 현상을 이용하여 외계 행성을 탐사할 때는 관측자의 시선 방향에 있는 두 별 중 뒤쪽 별, 즉 B의 밝기 변화를 관측한다. 따라서 (나)는 B의 밝기 변화를 관측한 것이다.

✕. ○은 앞쪽 별의 행성에 의해 B의 밝기에 추가적인 변화가 나타난 것이다. 이때는 B-행성 a-관측자가 대략 일직선상에 위치한다.

✕. 행성의 공전 궤도면이 관측자의 시선 방향과 수직일 때에도 행성에 의한 미세 중력 렌즈 현상이 나타나므로, 이 탐사 방법을 행성의 존재를 확인하는 데 이용할 수 있다.

### 05 생명 가능 지대의 범위

생명 가능 지대는 별의 주위에서 물이 액체 상태로 존재할 수 있는 거리의 범위이다.

○. 중심별이 주계열성일 때, 중심별의 질량이 클수록 생명 가능 지대는 중심별에서 멀어진다. 중심별에서 생명 가능 지대까지의 거리는 A가 B보다 가까우므로, A의 질량은 B의 질량보다 작다. 따라서 ○은 1.2보다 작다.

○. 중심별이 주계열성일 때, 중심별의 질량이 클수록 생명 가능 지대의 폭이 넓다. C는 B보다 질량이 크므로, C의 생명 가능 지대의 폭은 B의 생명 가능 지대의 폭인 0.8 AU보다 넓다.

○. 중심별이 주계열성일 때, 중심별의 질량이 클수록 진화 속도가 빠르므로 생명 가능 지대의 위치는 더 빠른 속도로 중심별에서 멀어진다. 따라서 생명 가능 지대에 위치한 행성이 생명 가능 지대에 머무를 수 있는 시간은 질량이 가장 작은 A가 가장 길다.

## 06 태양의 진화에 따른 생명 가능 지대의 변화

중심별의 광도가 클수록 생명 가능 지대는 중심별에서 멀어지고, 폭도 넓어진다.

- ㉠ 시간이 흐를수록 생명 가능 지대의 위치는 태양에서 점점 멀어지는 것으로 보아, 이 기간 동안 태양의 광도는 점점 커진다.
- ㉡ 이 기간 동안 태양의 광도가 점점 커지므로, 태양으로부터 같은 거리에서 단위 시간에 단위 면적당 받는 에너지량은 증가한다. 따라서 태양으로부터 1 AU의 거리에서 단위 시간에 단위 면적당 받는 태양 복사 에너지량은 점점 많아진다.
- ㉢ 20억 년 후 생명 가능 지대는 태양으로부터 1 AU보다 먼 곳에 위치한다. 따라서 20억 년 후 지구의 표면에서 물은 대부분 기체 상태로 존재할 것이다.

## 07 별의 광도와 생명 가능 지대

표면 온도가  $T$ 이고, 반지름이  $R$ 인 별의 광도( $L$ )는  $L=4\pi R^2 \cdot \sigma T^4$  (슈테판·볼츠만 상수  $\sigma=5,670 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ )이다. 따라서 별의 광도는  $A < C < B$ 이다.

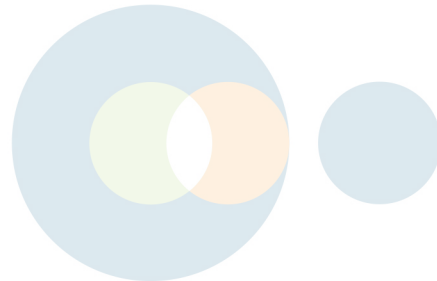
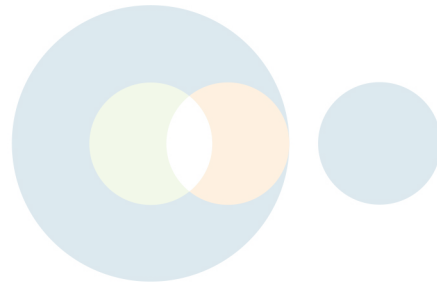
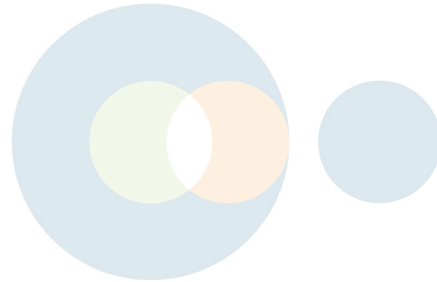
- ㉠ 중심별에서 생명 가능 지대까지의 거리는 별의 광도가 클수록 멀다. 따라서 중심별에서 생명 가능 지대까지의 거리는 A가 B보다 가깝다.
- ㉡ 생명 가능 지대의 폭은 중심별의 광도가 클수록 넓다. 따라서 생명 가능 지대의 폭은 B가 C보다 넓다.
- ㉢ 생명 가능 지대에 있는 행성에서 물이 액체 상태로 존재할 수 있는 시간은 별의 진화 속도가 느릴수록 길다. 태양과 표면 온도, 반지름이 같은 A는 주계열성에 해당하고, 주계열성은 표면 온도가 높을수록 반지름이 크므로 B는 주계열성이 아니다. 즉, 주계열성은 A와 C이다. 주계열성인 A와 C 중 표면 온도가 높고 반지름이 큰 C의 진화 속도가 A보다 빠르므로, 생명 가능 지대에 있는 행성에서 물이 액체 상태로 존재할 수 있는 시간은 A가 C보다 길다.

## 08 외계 행성계의 생명 가능 지대

중심별이 주계열성일 때, 중심별의 질량이 작을수록 광도가 작고 생명 가능 지대의 범위는 중심별에 가까워지며 폭도 좁다.

- ㉠ 중심별에서 생명 가능 지대까지의 거리는 글리제-581 행성계가 태양계보다 가까우므로 중심별의 질량은 글리제-581이 태양보다 작다.
- ㉡ 글리제-581의 행성 g는 생명 가능 지대에 위치하므로 이 행성의 표면에서 물은 액체 상태로 존재할 수 있다. 반면 수성은 생명 가능 지대보다 중심별에 가깝게 위치하므로 수성의 표면에서 물은 기체 상태로 존재할 수 있다. 따라서 표면 온도는 글리제-581의 행성 g가 수성보다 낮다.
- ㉢ 중심별에 가까이 있을수록 자전 주기와 공전 주기가 같은 동

주기 자전을 할 가능성이 높아지고, 이 경우 행성에서는 낮과 밤의 변화가 나타나지 않는다. 따라서 글리제-581의 행성 중 동주기 자전으로 인해 낮과 밤의 변화가 나타나지 않을 가능성은 중심별에 가까운 e가 중심별에서 먼 f보다 높다.



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

### 01 외계 행성계 탐사

행성의 질량을 추정할 수 있는 외계 행성계 탐사 방법은 중심별의 시선 속도 변화를 이용하는 방법과 미세 중력 렌즈 현상을 이용하는 방법이고, 행성의 반지름을 추정할 수 있는 탐사 방법은 식 현상을 이용하는 방법이며, 행성의 공전 궤도면이 시선 방향과 수직일 때 행성의 존재를 확인할 수 있는 탐사 방법은 미세 중력 렌즈 현상을 이용하는 방법이다. 따라서 (가)는 식 현상을 이용하는 방법, (나)는 미세 중력 렌즈 현상을 이용하는 방법, (다)는 중심별의 시선 속도 변화를 이용하는 방법이다.

㉠. (가)는 행성에 의한 식 현상으로 나타나는 중심별의 주기적인 밝기 변화를 관측한다.

㉡. (나)는 미세 중력 렌즈 현상을 이용하는 방법이다. 도플러 효과가 이용되는 행성 탐사 방법은 (다)이다.

㉢. (나)와 (다)를 이용하여 행성의 질량을 추정할 수 있지만, 미세 중력 렌즈 현상을 이용하는 방법인 (나)는 (다)에 비해 지구와 같이 질량이 작은 행성을 찾는 데 상대적으로 유리하다.

### 02 시선 속도 변화를 이용한 외계 행성계 탐사

별과 행성이 공통 질량 중심을 중심으로 공전할 때, 별과 행성은 공통 질량 중심을 중심으로 동일한 주기와 방향으로 공전하므로 항상 공통 질량 중심을 기준으로 반대쪽에 위치한다.

㉠. 별의 스펙트럼에서 적색 편이는 지구와 별 사이의 거리가 가장 가까울 때( $t_1$ )와 가장 멀 때( $t_3$ )의 가운데 시기, 즉  $t_2$  무렵에 최대로 나타난다.

㉡. 행성에 의한 식 현상은 지구와 행성 사이의 거리가 가장 가까울 무렵에 일어난다. 별과 행성은 공통 질량 중심을 기준으로 반대쪽에 위치하므로 이때 지구와 별 사이의 거리는 가장 멀다. 따라서 행성에 의한 식 현상은  $t_3$  무렵에 일어난다.

㉢. 행성의 질량이 클수록 공통 질량 중심이 중심별에서 멀어지므로 별의 공전 궤도 반지름이 커져서 별과 지구 사이의 거리 변화량  $a$ 가 증가한다.

### 03 시선 속도 변화를 이용한 외계 행성계 탐사

별과 행성이 공통 질량 중심을 중심으로 동일한 주기와 방향으로 공전하므로, 중심별의 시선 속도 변화 주기는 행성의 공전 주기에 해당한다. 행성의 공전 주기는 A가 B보다 짧다.

㉠. 행성계에서 행성의 공전 주기는 공전 궤도 반지름이 클수록 길다. 따라서 공전 궤도 반지름은 A가 B보다 작다.

㉡. 별과 행성이 공통 질량 중심을 중심으로 공전할 때, 별의 시선 속도 변화량은 행성의 질량이 클수록, 공전 주기가 짧을수록 크다. 그림에서 (가)와 (나)의 시선 속도 변화량은 같은데, 이는 A가 B보다 공전 주기가 짧음에도, 즉 공전 속도가 빠름에도 불구하고 질량이 작기 때문이다.

㉢. 두 행성에 의해 나타나는 중심별의 시선 속도 변화는 (가)와 (나)의 시선 속도의 합을 시간에 따라 나타냄으로써 구할 수 있다.  $t_4$  무렵에 A에 의해 나타나는 중심별의 시선 속도는 약  $+7 \text{ km/s}$  이고 B에 의해 나타나는 중심별의 시선 속도는 약  $+10 \text{ km/s}$  이므로, 두 행성에 의해 나타나는 중심별의 시선 속도는 (+) 값으로 적색 편이가 관측된다. 즉,  $t_4$  무렵에 중심별과 지구 사이의 거리는 멀어진다.

### 04 식 현상을 이용한 외계 행성계 탐사

행성이 중심별의 앞쪽을 지날 때 중심별의 겉보기 밝기가 감소하며, 중심별의 밝기 감소량은 행성의 반지름이 클수록 크다.

㉡. A와 B의 반지름이 같음에도 불구하고 식 현상에 의한 중심별의 밝기 감소량이 (가)가 (나)보다 큰 것은 중심별이 A와 B에 의해 가려지는 면적의 최댓값이 A가 B보다 크기 때문이다. 이는 B가 A보다 행성의 공전 궤도면이 시선 방향과 크게 경사져 있을 때 나타난다.

㉢. 행성에 의해 중심별이 가려지는 전체 시간의  $\frac{1}{2}$ 에 해당하는 시간( $t_1, t_2$ )은 (가)와 (나)가 같으며, 이 시간은 행성의 반지름이 클수록, 공전 속도가 느릴수록 길다. A와 B의 반지름이 같고, A가 B보다 중심별의 많은 면적을 가림에도 불구하고  $t_1$ 이  $t_2$ 와 같은 것은 A가 B보다 공전 속도가 빠르기 때문이다.

㉣. 중심별과 행성이 공통 질량 중심을 중심으로 공전할 때 시선 속도 최댓값은 행성의 질량이 클수록, 공전 속도가 빠를수록, 공전 궤도면이 시선 방향과 나란할수록 크다. A와 B의 질량은 같지만, A가 B보다 공전 속도가 빠르며, 공전 궤도면이 시선 방향과 이루는 각이 작다. 따라서 중심별과 행성이 공통 질량 중심을 중심으로 공전하는 동안, A에 의한 중심별의 시선 속도 최댓값이 B에 의한 중심별의 시선 속도 최댓값보다 크게 나타난다.

### 05 시선 속도 변화를 이용한 외계 행성계 탐사

중심별과 행성이 공통 질량 중심 주위를 회전할 때, 별과 행성의 공전 주기와 공전 방향은 같다.

㉠. (나)에서  $\Delta v$ 가 (+) 값이므로 중심별은 현재 지구로부터 멀어지고 있다. 중심별과 행성은 공통 질량 중심을 기준으로 반대쪽에 위치하므로, 중심별이 지구로부터 멀어질 때 행성은 지구에 접근한다. 즉, (나)가 관측될 때 행성은 A 위치에 있다.

㉡. 행성의 질량이 커지면 공통 질량 중심의 위치가 중심별에서

멀어지므로 중심별의 공전 궤도 반지름이 커지고 시선 속도 변화량이 증가한다. 따라서 행성의 질량이 커진다면, (나)에서 흡수선의 파장 변화량은  $\Delta\lambda$ 보다 크다.

㉠. 행성이 B에 있을 때, 중심별은 공통 질량 중심을 기준으로 반대쪽에 위치하고, 이때 시선 방향과 이루는 각은  $45^\circ$ 이므로 시선 속도는 중심별의 시선 속도가 최대일 때의  $\cos 45^\circ$ 배, 즉  $\frac{\sqrt{2}}{2}$ 배이다.  $\Delta\lambda$ 가 중심별의 시선 속도가 최대일 때 흡수선의 파장 변화량이므로 행성이 B에 있을 때 흡수선의 파장 변화량은  $\frac{\sqrt{2}}{2}\Delta\lambda$ 이다. 따라서  $\frac{\Delta\lambda}{2}$ 보다 크다.

## 06 생명 가능 시대

지구는 태양으로부터 1 AU의 거리에 있으며, 생명 가능 지대에 위치한다. 중심별로부터 단위 시간에 단위 면적당 받는 복사 에너지량이 지구와 비슷한 행성이라면, 그 행성은 생명 가능 지대에 위치한다고 볼 수 있고, 행성의 표면에는 액체 상태의 물이 존재할 가능성이 있다.

㉠. A는 공전 궤도 반지름이 1.5 AU이지만 단위 시간에 단위 면적당 받는 복사 에너지량은 지구와 같은 것으로 보아 중심별의 광도는 태양보다 크다. 반면 B는 공전 궤도 반지름이 1 AU이지만, 단위 시간에 단위 면적당 받는 복사 에너지량은 지구의 0.5배인 것으로 보아 중심별의 광도는 태양보다 작다. 생명 가능 지대의 폭은 중심별의 광도가 클수록 넓으므로 A를 포함한 행성계가 B를 포함한 행성계보다 넓다.

㉡. B와 C는 공전 궤도 반지름이 1 AU로 같지만, 단위 시간에 단위 면적당 받는 복사 에너지량은 B가 C의 0.5배이다. 이는 중심별의 광도가 B가 C보다 작기 때문이다.

㉢. B에서 단위 시간에 단위 면적당 받는 복사 에너지량은 지구의 0.5배이므로 B의 표면 온도는 지구보다 낮다. 따라서 B의 표면에 있는 물은 기체 상태로 존재할 수 없다.

## 07 외계 행성계 탐사 방법

최근까지 외계 행성을 발견하는 데 가장 많이 이용된 방법은 주로 식 현상을 이용하는 방법과 중심별의 시선 속도 변화를 이용하는 방법이다.

㉠. 중심별의 시선 속도 변화를 이용하는 탐사 방법은 도플러 효과를 이용하는 방법에 해당한다. 그림에서 발견된 외계 행성의 개수는 식 현상을 이용하는 방법이 가장 많다.

㉡. 케플러 망원경은 식 현상을 이용하여 외계 행성을 탐사하였으며, 2009년에 발사되어 2018년 11월 임무가 종료될 때까지 2600개 이상의 외계 행성을 발견하였다. 즉, 2016년에 발견된 외계 행성 개수가 급격히 증가한 것은 주로 케플러 망원경에 의해 이루어진 성과이다.

㉢. 미세 중력 렌즈 현상을 이용하는 탐사 방법은 행성을 가진 중심별의 밝기 변화를 관측하는 것이 아니라 시선 방향 및 중심별과 일직선상에 있는 중심별의 뒤쪽 별의 밝기 변화를 관측하는 것이다. 외계 행성 탐사 방법 중 행성을 가진 중심별의 밝기 변화를 관측하는 것은 식 현상을 이용하는 탐사 방법이다.

## 08 우주 망원경

(가)는 케플러 망원경, (나)는 제임스 웹 망원경이다.

㉠. 케플러 망원경은 행성을 가진 중심별의 미세한 밝기 변화를 관측하므로, 식 현상을 이용하여 외계 행성을 탐사하는 방법에 해당한다.

㉡. 케플러 망원경은 가시광선을 이용하여 중심별의 밝기 변화를 관측하고, 제임스 웹 망원경은 외계 행성을 직접 촬영하여 그 존재를 확인하므로 주로 적외선 영역의 파장을 이용하여 관측한다. 따라서 평균 관측 파장은 (가)가 (나)보다 짧다.

㉢. (가)는 2009년에 발사되어 현재 임무가 종료되었고, 제임스 웹 망원경은 2021년에 발사되어 현재 활발하게 외계 행성을 탐사하고 있다.



## 10 외부 은하와 우주 팽창

수능 2점 테스트

본문 194~198쪽

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

### 01 허블의 은하 분류

(가)는 타원 은하, (나)는 정상 나선 은하, (다)는 막대 나선 은하, (라)는 불규칙 은하이다.

㉠. 타원 은하 (가)는 주로 붉은색 별로 구성되어 있으므로 평균 색지수 값이 크고, 나선 은하 (나)는 중앙 팽대부와 헤일로에는 주로 붉은색 별이, 나선팔에는 주로 파란색 별이 분포하므로 타원 은하 (가)에 비해 은하를 구성하는 별들의 평균 색지수 값이 작다.

㉡. 나선 은하는 은하핵을 가로지르는 막대 모양 구조의 유무에 따라 정상 나선 은하 (나)와 막대 나선 은하 (다)로 구분한다.

㉢. 허블은 은하의 모양이 타원 은하 (가)에서 불규칙 은하 (라)의 형태로 진화한다고 생각하였지만, 은하의 모양과 진화는 관계가 없는 것으로 밝혀졌다.

### 02 타원 은하와 불규칙 은하

타원 은하는 주로 낮고 온도가 낮은 별들로, 불규칙 은하는 주로 젊고 온도가 높은 별들로 이루어져 있다.

㉠. 색지수( $B-V$ ) 값은 주로 붉은색 별로 구성되어 있는 타원 은하가 주로 파란색 별로 구성되어 있는 불규칙 은하보다 크다. 따라서 색지수( $B-V$ ) 값이 큰 (가)는 타원 은하, 색지수( $B-V$ ) 값이 작은 (나)는 불규칙 은하이다.

㉢. 성간 물질은 타원 은하보다 불규칙 은하에 많이 분포한다. 따라서  $\frac{\text{성간 물질 질량}}{\text{전체 질량}}(\%)$ 의 값은 ㉠이 ㉡보다 작다.

㉣. 별은 성간 물질의 밀도가 큰 성운에서 탄생한다. 따라서 성간 물질을 많이 포함한 불규칙 은하 (나)가 타원 은하 (가)보다 새로운 별의 탄생을 많다.

### 03 나선 은하

중심부에 막대 구조가 나타나는 (가)는 막대 나선 은하, 막대 구조가 나타나지 않는 (나)는 정상 나선 은하에 해당한다.

㉠. 허블의 은하 분류에서 막대 나선 은하 (가)는 SB, 정상 나선 은하 (나)는 S에 해당하며, 나선팔이 감긴 정도와 은하핵의 상대적인 크기에 따라 (가)는 SBa, SBb, SBc, (나)는 Sa, Sb, Sc로 세분된다.

㉢. 나선 은하의 나선팔에는 젊은 별들과 성간 물질이 주로 분포하고, 중앙 팽대부와 헤일로에는 늙은 별들이 주로 분포하며 성간 물질이 거의 없다.

㉣. 우리은하는 허블의 은하 분류상 막대 나선 은하 (가)에 해당한다.

### 04 나선 은하

A는 중앙 팽대부, B는 나선팔이다.

㉠. 나선팔에는 주로 파란색 별이, 중앙 팽대부에는 주로 붉은색 별이 분포하므로 은하를 구성하는 별들의 평균 색지수는 A가 B보다 크다.

㉢. 나선 은하에서 성간 물질은 주로 나선팔에 분포하며, 중앙 팽대부와 헤일로에는 성간 물질이 거의 없다. 따라서 성간 물질의 함량비(%)는 A가 B보다 낮다.

㉣. 성간 물질이 거의 없는 중앙 팽대부와 헤일로에서는 새로운 별의 탄생을 거의 없으며 주로 늙은 별이 분포하고, 성간 물질이 많은 나선팔에서는 새로운 별의 탄생을 활발하고 젊은 별의 분포 비율이 높다. 따라서 구성하는 별들의 평균 연령은 A가 B보다 많다.

### 05 전파 은하

전파 은하는 보통의 은하보다 수백 배 이상 강한 전파를 방출하는 은하이다.

㉢. 허블의 은하 분류는 은하를 가시광선 영상으로 보았을 때 관측되는 모양에 따라 분류한 것이다. M87의 가시광선 영상으로 보아 이 은하는 허블의 은하 분류상 타원 은하에 해당한다.

㉣. 제트가 관측자의 시선 방향과 나란한 방향으로 분출되면 중심부가 뚜렷한 전파원으로 관측된다. 전파 영상에서 제트가 강하게 분출되고 있는 모습이 관측되므로 시선 방향과 나란한 방향으로 제트가 분출되고 있다고 볼 수 없다.

㉣. 전파 영상에서 중심부에 나타나는 검은 부분은 M87의 중심부에 블랙홀이 있다는 것을 간접적으로 알려준다. 전파 은하는 중심부에 질량이 거대한 블랙홀이 있으며, 이 주변에서 고속으로 움직이는 전자와 강한 자기장으로 인해 강한 전파 복사가 방출된다.

### 06 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.

㉠. 적색 편이가 큰 은하일수록 후퇴 속도가 빠르다. 허블의 관측에 따르면 거리가 먼 외부 은하일수록 대체로 후퇴 속도가 빠르므로, 적색 편이도 크다.

㉡. 허블 상수( $H$ )는  $\frac{v}{r}$ 이므로 거리-후퇴 속도 그래프에서 기울기에 해당한다. 따라서 허블 상수는 약 500 km/s/Mpc이다.

㉣. 우주의 나이는  $t = \frac{r}{v} = \frac{r}{H \cdot r} = \frac{1}{H}$ 로 구할 수 있다. 허블의

허블 상수(약 500 km/s/Mpc)로 결정한 우주의 나이는 현재의 허블 상수(약 68 km/s/Mpc)로 결정한 우주의 나이보다 적다.

## 07 충돌 은하

서로 가까이 있는 은하들 사이에는 인력이 작용하여 충돌하기도 하는데, 이를 충돌 은하라고 한다.

✕. 허블 법칙은 우주 팽창에 의해 멀리 있는 은하일수록 빠른 속도로 멀어진다는 것이다. 충돌 은하는 서로의 인력에 의해 가까워지다 충돌하므로, 충돌하는 은하 사이에는 허블 법칙이 성립하지 않는다.

✕. 은하들이 충돌하는 과정에서 대부분 두 은하가 병합되는데, 이 과정에서 형태는 다양하게 나타난다. 즉, 충돌 이후에 은하가 나선 은하와 같은 특정한 형태로만 진화하는 것은 아니다.

ⓐ. 두 은하가 충돌할 때는 은하 내의 성운들이 충돌하게 되고 이 과정에서 많은 별이 탄생한다. 그러나 은하들이 충돌할 때 별들끼리 충돌하는 경우는 거의 없다.

## 08 빅뱅 우주론과 정상 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.

ⓐ. A는 시간이 흐름에 따라 일정한 값을 가지는 물리량이다. 정상 우주론에서는 시간이 흐르더라도 우주의 온도와 밀도가 항상 일정하게 유지된다.

ⓑ. B는 시간이 흐름에 따라 감소하는 물리량이다. 빅뱅 우주론에서는 대폭발 이후 공간이 팽창함에 따라 밀도가 작아지고 온도가 낮아진다.

ⓒ. C는 시간이 흐름에 따라 증가하는 물리량이다. 정상 우주론과 빅뱅 우주론 모두에서 공간의 팽창을 인정하므로, 우주의 부피는 C에 해당한다.

## 09 허블 상수

허블 상수를 정확하게 결정하기 위해서는 은하까지의 거리가 정확하게 측정되어야 한다. 관측 장비에 따라 은하까지의 거리 결정 방법에 차이가 있고, 허블 상수도 약간의 차이가 있다.

ⓐ. 각 우주 망원경으로 측정된 허블 상수에 표시된 범위는 관측값의 오차 범위를 나타낸다. 관측값의 오차 범위는 (다)가 가장 크고, (라)가 가장 작다.

✕. 우주의 나이는  $\frac{1}{H}$  (H: 허블 상수)로 구할 수 있으므로, 허블 상수가 작을수록 우주의 나이가 많게 계산된다. 따라서 우주의 나이는 (라)의 측정값보다 (가)의 측정값을 이용할 때 적게 계산된다.

✕. 관측 가능한 우주의 크기는  $\frac{c}{H}$  (c: 빛의 속도, H: 허블 상수)

로 정의되므로, 허블 상수가 작을수록 우주의 크기가 크게 계산된다. 따라서 관측 가능한 우주의 크기는 (나)의 측정값을 이용할 때 가장 작게 계산된다.

## 10 빅뱅 우주론

빅뱅 우주론은 온도가 높고 밀도가 큰 한 점에서 대폭발에 의해 팽창하면서 현재와 같은 우주가 생성되었다는 이론이다.

✕. 정상 우주론은 우주 팽창에 의해 생긴 빈 공간에 새로운 물질이 계속 생성되어 우주가 항상 일정한 상태를 유지한다는 이론으로, 시간이 흐름에 따라 우주의 질량이 증가한다. 그림에서 시간이 흐름에 따라 우주의 질량이 일정한 것으로 보아 이 우주론은 정상 우주론이 아니며, 빅뱅 우주론에 해당한다.

ⓐ. 빅뱅 우주론에서는 우주가 팽창하더라도 질량이 일정하므로, 우주의 밀도가 작아지고 온도가 낮아진다. A는 시간에 따라 값이 감소하는 물리량으므로 우주의 밀도 또는 온도가 이에 해당한다.

ⓑ. 빅뱅 우주론에서는 빅뱅 이후 약 38만 년이 지났을 무렵 우주의 온도가 약 3000 K일 때 우주 배경 복사가 방출되었고, 우주의 팽창으로 우주의 온도가 낮아지면서 파장이 길어져 현재 약 2.7 K의 흑체 복사로 관측될 것이라고 예측하였다. 이후 펜지어스와 윌슨이 관측한 약 2.7 K의 우주 배경 복사는 빅뱅 우주론이 옳다는 증거가 되었다.

## 11 우주 배경 복사

빅뱅 후 약 38만 년이 지났을 때 원자핵과 전자가 결합하여 중성 원자가 만들어졌다. 이후 빛이 물질의 방해 없이 자유롭게 진행할 수 있었다.

✕. (가)에서는 빛이 중성 원자의 영향을 받지 않고 자유롭게 진행하고 있지만, (나)에서는 아직 중성 원자가 생성되지 않았으며, 빛이 전기를 띤 입자들과 상호 작용하여 자유롭게 진행하지 못한다. 즉, (가)는 우주 배경 복사가 방출된 투명한 우주에 해당하고, (나)는 아직 우주 배경 복사가 방출되지 않은 불투명한 우주에 해당한다. 따라서 (나)가 (가)보다 과거의 모습이다.

ⓐ. (나) 시기에는 빛이 직진하지 못하므로 아직 우주 배경 복사가 방출되지 않았다. 우주 배경 복사는 (나) 시기 이후 중성 원자가 생성되면서 방출되었다.

ⓑ. 우주 배경 복사는 빅뱅 이후 우주의 팽창에 의해 우주가 충분히 식어서 우주의 온도가 약 3000 K일 때 방출되었다. (나) 시기에는 아직 우주 배경 복사가 방출되지 않았으므로 (나) 시기에 우주의 온도는 3000 K보다 높다.

## 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 망원경이다. 플랑크(Planck) 망원경은 그 이후에 발사되었으며, 초기 우주의 온도 분포를 보다 정밀하게 관측하였다.

㉠. 플랑크 망원경은 코비 망원경보다 이후에 발사되었으며, 관측 기술의 발전에 따라 코비 망원경보다 해상도가 높은 정밀한 우주 배경 복사 관측 자료를 제공하였다. 따라서 (가)와 (나) 중 해상도가 높은 (가)가 플랑크 망원경의 관측 결과이다.

㉡. 우주 배경 복사는 약 2.7 K의 흑체 복사로, 대부분 마이크로 파(전파) 영역에 해당한다. 따라서 (가)와 (나)는 모두 전파 영역에서 관측한 것이다.

㉢. 코비 망원경과 플랑크 망원경에서 관측한 우주 배경 복사의 분포는 우주 배경 복사가 방출될 당시, 즉 초기 우주의 온도 분포를 나타낸다.

### 13 급팽창 이론

급팽창 이론은 빅뱅 직후 약  $10^{-36} \sim 10^{-34}$ 초 무렵에 우주가 급팽창했다는 이론으로, 빅뱅 우주론이 설명할 수 없었던 여러 문제들을 해결할 수 있었다.

㉠. (나)에서는  $10^{-36} \sim 10^{-34}$ 초 무렵에 우주의 반지름이 급격히 증가하는 시기, 즉 급팽창 시기가 나타난다. 따라서 (가)는 빅뱅 우주론, (나)는 급팽창 이론이다.

㉡. 빅뱅 우주론은 현재 우주 배경 복사가 우주의 모든 영역에서 거의 균일하게 관측되는 현상, 즉 우주의 지평선 문제를 설명하지 못한다. 급팽창 이론은 우주 생성 초기에 우주가 급팽창하였기 때문에 팽창이 일어나기 이전에 가까이 있었던 두 지역은 서로 정보를 교환할 수 있었고, 현재 관측되는 우주의 모든 영역에서 물질이나 우주 배경 복사가 거의 균일할 수 있다고 주장함으로써 우주의 지평선 문제를 설명하였다.

㉢. 급팽창 이론은 빅뱅 우주론으로 설명할 수 없는 문제들을 해결하기 위해 제시된 이론으로 수정된 빅뱅 우주론에 해당한다. 따라서 (가)와 (나)는 빅뱅 우주론의 증거 중 하나인 수소와 헬륨의 질량비가 약 3 : 1로 관측되는 것을 설명할 수 있다.

### 14 빅뱅 우주론으로 설명하기 어려운 문제

빅뱅 우주론으로 설명하기 어려운 3가지 문제로는 우주의 평탄성 문제, 지평선 문제, 자기 홀극 문제가 있다.

㉠. 관측 결과 현재 우주는 곡률이 0으로 완벽할 정도로 평탄하지만 빅뱅 우주론에서는 그 이유를 설명하지 못하는데, 이를 우주의 평탄성 문제라고 한다.

㉡. 현재 관측 결과 우주의 모든 영역에서 물질이나 우주 배경 복사가 거의 균일한데 이는 멀리 떨어진 두 지역이 과거에는 정보

교환이 있었다는 것을 의미한다. 그러나 빅뱅 우주론에서는 빛이 이동할 수 있는 시간보다 우주의 나이가 더 적기 때문에 이를 설명하지 못하는데, 이를 우주의 지평선 문제라고 한다.

㉢. 급팽창 이론은 빅뱅 직후 우주가 급격히 팽창했다는 이론으로, 빅뱅 우주론에서 설명할 수 없었던 여러 문제들을 설명할 수 있다.

### 15 우주의 팽창 가속도

우주는 약 138억 년 전에 빅뱅으로 탄생하여 짧은 순간 급격히 팽창(급팽창)하였으며, 이후에 팽창 속도가 조금씩 감소하다가 수십억 년 전부터 암흑 에너지에 의해 다시 증가하기 시작하였다.

㉠. 우주의 나이가 69억 년일 때 우주의 팽창 가속도는 음(-)의 값으로 우주는 감속 팽창을 하였다.

㉡. 빅뱅 이후 현재까지 우주는 계속 팽창하고 있다. 우주의 나이가 70억 년일 때는 우주의 팽창 가속도가 0일 뿐, 우주의 팽창은 계속되었다.

㉢. 시간이 흐름에 따라 우주에는 물질의 비율이 낮아지고 암흑 에너지의 비율이 높아지며, 암흑 에너지의 비율이 높아짐에 따라 점점 더 가속 팽창하게 된다. 즉, 우주의 나이가 219억 년일 때 우주에서 암흑 에너지가 차지하는 비율은 물질이 차지하는 비율보다 높고, 우주는 여전히 가속 팽창한다.

### 16 우주의 팽창 속도

우주의 팽창 속도는 시기에 따라 달랐으며, 초기 우주에서 가장 컸고, 이후 감소하다가 증가하는 경향을 보인다.

㉠. ㉠ 시기에 우주의 팽창 속도는 점점 감소한다. 즉, 우주는 감속 팽창한다.

㉡. 우주의 팽창 속도는 시기마다 다르지만, 빅뱅 이후 우주는 지속적으로 팽창하고 있다. 우주 배경 복사의 파장은 우주가 팽창할수록 길어지므로, ㉡ 시기가 ㉠ 시기보다 길다.

㉢. 시간이 흐름에 따라 우주에서 물질이 차지하는 비율은 낮아지고 암흑 에너지가 차지하는 비율은 높아진다. 따라서 우주에서 암흑 에너지가 차지하는 비율은 ㉡ 시기가 ㉠ 시기보다 높다.

### 17 우주의 미래 모형

말안장 모양의 곡률을 가지는 (가)는 열린 우주, 평면의 곡률을 가지는 (나)는 평탄 우주, 구 모양의 곡률을 가지는 (다)는 닫힌 우주에 해당한다.

㉠. 삼각형의 내각의 합은 열린 우주인 (가)에서는  $180^\circ$ 보다 작고, 평탄 우주인 (나)에서는  $180^\circ$ 이며, 닫힌 우주인 (다)에서는  $180^\circ$ 보다 크다.

㉡. 열린 우주인 (가)는 음(-)의 곡률을 가지며, 평탄 우주인 (나)의 곡률은 0, 닫힌 우주인 (다)는 양(+)의 곡률을 가진다. 따라서



우주의 곡률은 (나)가 (다)보다 작다.

✗. 닫힌 우주에서 우주의 평균 밀도는 임계 밀도보다 크다. 따라서 (다)에서  $\frac{\text{우주의 평균 밀도}}{\text{임계 밀도}}$ 는 1보다 크다.

### 18 우주의 미래 모형

(가)는 (우주의 평균 밀도 - 임계 밀도)가 양(+)의 값을 가지므로 닫힌 우주, (나)는 우주의 곡률이 0이므로 평탄 우주에 해당한다.

✗. (가)는 우주의 평균 밀도가 임계 밀도보다 크므로 닫힌 우주에 해당한다.

✗. 닫힌 우주인 (가)의 곡률 ①은 양(+)의 값이고, 평탄 우주인 (나)에서 우주의 평균 밀도는 임계 밀도와 같으므로 (우주의 평균 밀도 - 임계 밀도) 값인 ②은 0이다.

㉠. 현재 우주는 곡률이 거의 0으로 관측된다. 따라서 현재 우주의 곡률은 (가)보다 (나)와 유사하다.

### 19 우주의 구성 요소

최근의 관측 자료에 따르면 현재 우주의 구성 요소는 보통 물질이 약 4.9%, 암흑 물질이 약 26.8%, 암흑 에너지가 약 68.3%이다. 따라서 A는 암흑 물질, B는 보통 물질, C는 암흑 에너지이다.

㉠. 중력 렌즈 현상은 질량을 가진 물질, 즉 A와 B의 중력에 의해 발생하며, 그중에서도 암흑 물질(A)의 영향이 크다.

㉡. 암흑 물질(A)은 전자기파로 관측되지 않아 주로 중력을 이용한 방법으로 존재를 추정한다. 전자기파를 이용하여 관측할 수 있는 것은 보통 물질(B)이다.

✗. 암흑 에너지(C)의 밀도는 시간에 관계없이 항상 일정하다. 우주 공간이 팽창함에 따라 불구하고 암흑 에너지의 밀도가 일정하다는 것은 암흑 에너지의 총량이 점점 증가하고 있다는 것을 의미한다.

### 20 가속 팽창 우주

(가)는 우주의 팽창 속도가 점점 증가하는, 즉 가속 팽창하는 우주이며, (나)는 우주의 팽창 가속도가 0에 수렴하는 우주이다.

㉠. 그림에서 곡선의 기울기는 우주의 팽창 속도에 해당하고, 기울기의 변화량은 우주의 팽창 가속도에 해당한다. 즉, 현재 우주의 팽창 가속도는 양(+)의 기울기 변화를 가지는 (가)가 음(-)의 기울기 변화를 가지는 (나)보다 크다.

✗. 암흑 에너지는 척력으로 작용하여 공간을 가속 팽창시키는 역할을 하므로, 암흑 에너지가 있는 우주 모형인 A는 (가)에, 암흑 에너지가 없는 우주 모형인 B는 (나)에 해당한다.

✗. 우주의 밀도는 물질 밀도와 암흑 에너지 밀도의 합이며, 이 값이 임계 밀도와 같으면 우주는 평탄 우주가 된다. (가), 즉 A와 (나), 즉 B 우주 모형 모두 물질 밀도( $\rho_m$ )와 암흑 에너지 밀도( $\rho_\Lambda$ )의 합이 임계 밀도( $\rho_c$ )와 같으므로, (가)와 (나)는 평탄 우주에 해당하며, 우주의 곡률은 0이다.

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

### 01 허블의 은하 분류

허블은 외부 은하를 가시광선 영역에서 관측되는 형태에 따라 타원 은하, 나선 은하, 불규칙 은하로 분류하였다. 외부 은하를 규칙적인 구조의 유무에 따라 먼저 불규칙 은하와 규칙적인 구조를 가진 은하로 구분하고, 규칙적인 구조를 가진 은하를 나선팔의 유무에 따라 타원 은하와 나선 은하로 구분한 후, 나선 은하를 중심부의 막대 구조 유무에 따라 정상 나선 은하와 막대 나선 은하로 구분한다.

㉠. 외부 은하를 규칙적인 구조의 유무에 따라 규칙적인 구조를 가지는 은하(타원 은하, 정상 나선 은하, 막대 나선 은하)와 불규칙 은하로 구분할 수 있다. 따라서 (가), (나), (다) 중 불규칙 은하를 다른 은하와 구분할 수 있는 분류 기준은 (가)이다.

㉡. (나) '중심부에 막대 구조가 나타나는가?'의 분류 기준으로 나선 은하를 정상 나선 은하(S)와 막대 나선 은하(SB)로 분류할 수 있다.

㉢. 타원 은하는 편평도에 따라 원에 가까운 모양을 가진 E0에서 가장 납작한 타원형으로 보이는 E7로 세분한다. 따라서 (다) '편평도에 따라 세분할 수 있는가?'는 타원 은하에 적용되는 분류 기준이다.

### 02 타원 은하와 불규칙 은하

타원 은하는 주로 높고 붉은색 별로 구성되어 있으며, 불규칙 은하는 주로 짧고 파란색 별로 구성되어 있다.

✗. 은하의 색지수(B-V)가 클수록 표면 온도가 낮은 붉은색 별이 많이 분포한다는 것을 의미한다. 따라서 붉은색 별은 색지수가 작은 ㉠보다 색지수가 큰 ㉡에 많이 분포한다.

㉠. 타원 은하는 주로 붉은색 별로, 불규칙 은하는 주로 파란색 별로 구성되어 있으므로, 색지수가 크게 나타나는 ㉠이 타원 은하, 색지수가 작게 나타나는 ㉡이 불규칙 은하이다.

㉢. 물리량 A의 값이 타원 은하(㉠)는 작고 불규칙 은하(㉡)는 크므로 성간 물질의 함량비(%), 성간 기체의 함량비(%), 새로운 별의 탄생 빈도 등이 이에 해당한다.

### 03 특이 은하

퀘이사는 적색 편이가 매우 크게 나타나는데, 이는 퀘이사가 매우 먼 거리에서 매우 빠른 속도로 멀어지고 있다는 것을 의미한다.

㉠. 적색 편이가 클수록 은하까지의 거리가 멀다. (나)에 비해 (가)



의 적색 편이가 매우 큰 것으로 보아 지구로부터의 평균 거리는 (가)가 (나)보다 멀다.

✕. 적색 편이가 매우 큰, 즉 매우 먼 거리에 있는 (가)가 퀘이사이고, (나)는 세이퍼트은하이다. 퀘이사는 매우 멀리 있어 은하임에도 불구하고 하나의 별처럼 보이므로, 시직경은 퀘이사인 (가)가 세이퍼트은하인 (나)보다 작다.

㉠. 퀘이사, 세이퍼트은하와 같은 특이 은하의 중심부에는 질량이 매우 큰 블랙홀이 존재한다고 알려져 있다.

#### 04 퀘이사

퀘이사(Quasar)는 처음 발견 당시 별처럼 관측되었기 때문에 항성과 비슷하다는 의미를 가진 준항성체라고 불렀다.

✕. 외부 은하의 후퇴 속도( $v$ )와 방출선의 파장 변화량( $\Delta\lambda$ ) 사이에는  $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} \propto v$  ( $\lambda$ : 고유 파장)의 관계가 성립한다.

따라서 파장 변화량, 즉  $\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ 는 방출선의 고유 파장의 길이에 관계없이 일정하다.

✕. A(퀘이사)는 하나의 별처럼 보이지만 매우 먼 거리에 있는 외부 은하이다.

㉠. 퀘이사에서 단위 시간에 방출하는 총 에너지량은 우리은하와 같은 보통 은하의 수백 배나 되는데, 이로부터 퀘이사의 중심부에는 질량이 매우 큰 블랙홀이 있을 것으로 추정한다.

#### 05 특이 은하

특이 은하는 크기, 모양, 조성 등이 특이한 은하들을 말하며, 일반적인 은하에 비해 전파나 X선 영역에서 강한 에너지를 방출할 뿐만 아니라 밝기가 시간에 따라 변하는 등 일반적인 은하와는 다른 특성을 보인다.

㉠. 가시광선 및 적외선 등의 영역에서 에너지를 주로 방출하는 은하 B는 일반적인 은하에 해당하며, B와 달리 거의 모든 파장 영역에서 훨씬 더 많은 에너지를 방출하는 특이성을 보이는 A는 특이 은하에 해당한다.

㉡. 그래프 곡선의 아랫부분이 차지하는 면적은 은하가 단위 시간에 방출하는 복사 에너지량이라고 볼 수 있으며, 그 양은 특이 은하인 A가 일반적인 은하인 B보다 많다.

㉢. 일반적인 은하와 구별되는 특이 은하의 특이성은 주로 은하 중심부에 존재하는 질량이 매우 큰 블랙홀의 존재로 인해 발생한다. 따라서 은하 중심부에 존재하는 블랙홀의 질량은 A가 B보다 크다.

#### 06 세이퍼트은하

세이퍼트은하는 은하 내의 가스운이 매우 빠른 속도로 움직이고 있어 스펙트럼에서 폭이 넓은 방출선이 나타나는 것이 특징이다. 따라서 (가)는 타원 은하, (나)는 세이퍼트은하이다.

㉠. 세이퍼트은하는 가시광선 영상에서 대부분 나선 은하의 형태를 하고 있으며, 나선 은하는 타원 은하에 비해 파란색 별의 수가 많다. 따라서 은하를 구성하는 별들의 평균 색지수는 타원 은하인 (가)가 세이퍼트은하인 (나)보다 크다.

✕. 타원 은하는 성간 물질이 거의 없어 새로운 별의 탄생이 적다. 세이퍼트은하는 가시광선 영상에서 대부분 나선 은하의 형태를 하고 있으며, 나선 은하는 타원 은하에 비해 성간 물질의 양이 많아 새로운 별의 탄생이 많다. 따라서 새로운 별의 탄생은 (가)에서 (나)에서보다 적다.

✕. 세이퍼트은하는 일반적인 은하에 비해 핵이 다른 부분보다 상대적으로 밝다. 따라서  $\frac{\text{중심부 밝기}}{\text{은하 전체 밝기}}$ 는 (가)가 (나)보다 작다.

#### 07 빅뱅 우주론과 정상 우주론

정상 우주론은 우주가 항상 일정한 상태를 유지한다는 이론이고, 빅뱅 우주론은 우주가 하나의 점에서 시작되었다는 이론이다.

㉠. 정상 우주론에서는 우주 공간이 팽창함에 따라 새로운 물질이 생겨나 빈 공간을 채운다. 따라서 빅뱅 우주론에서는 일정하고, 정상 우주론에서는 증가하는 우주의 물리량 A는 질량이다. 빅뱅 우주론과 정상 우주론에서 은하들은 허블 법칙을 만족하며, 우주 공간의 팽창을 인정한다. 따라서 두 우주론에서 모두 증가하는 우주의 물리량 B는 부피이다. 빅뱅 우주론에서는 대폭발 이후 새로운 물질의 생성 없이 공간이 점점 팽창하므로 우주의 밀도는 작아지고 온도는 낮아지지만, 정상 우주론에서는 우주의 밀도와 온도가 일정하게 유지된다. 따라서 빅뱅 우주론에서는 감소하고 정상 우주론에서는 일정한 우주의 물리량 C는 밀도 또는 온도이다.

#### 08 허블 법칙

외부 은하의 후퇴 속도( $v$ )와 방출선의 파장 변화량( $\Delta\lambda$ ) 사이에는  $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c}$  ( $\lambda$ : 고유 파장,  $c$ : 빛의 속도)의 관계가 성립하며, 거리( $r$ )가 멀수록 후퇴 속도( $v$ )가 빠르다.

$$v = H \cdot r \quad (H: \text{허블 상수})$$

✕. 허블 법칙에 의하면 후퇴 속도( $v$ )는 거리( $r$ )가 멀수록 빠르다. C에서 A를 관측하면 A는  $2100\sqrt{3}$  km/s의 속도로 멀어지므로 A와 C 사이의 거리( $r$ )는

$v = H \cdot r$ ,  $2100\sqrt{3}$  km/s =  $70$  km/s/Mpc  $\cdot r$ ,  $r = 30\sqrt{3}$  Mpc이다. 즉, A와 B 사이의 거리가 30 Mpc이고 A와 C 사이의 거리가  $30\sqrt{3}$  Mpc이므로, A에서 관측했을 때 C의 후퇴 속도는 B의  $\sqrt{3}$ 배이다.

㉠. A와 B 사이의 거리가 30 Mpc이므로 후퇴 속도( $v$ )는

2100 km/s이고, 고유 파장( $\lambda$ )이 600 nm인 흡수선은  $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c}$

의 관계에 의해  $\frac{\Delta\lambda}{600 \text{ nm}} = \frac{2100 \text{ km/s}}{3 \times 10^5 \text{ km/s}}$ 이며, 파장 변화량( $\Delta\lambda$ )

은 4.2 nm이다. 따라서 B에서 A를 관측했을 때, 고유 파장이 600 nm인 흡수선은 604.2 nm로 관측된다.

✕. B에서 관측한 C의 스펙트럼에서 고유 파장이 600 nm인 흡수선은 608.4 nm로 관측되므로,  $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c}$ 의 관계에 의해

$$\frac{8.4 \text{ nm}}{600 \text{ nm}} = \frac{v}{3 \times 10^5 \text{ km/s}}$$

이고, 후퇴 속도  $v = 4200 \text{ km/s}$ 이다. 허블 법칙에 의해  $v = H \cdot r$ ,  $4200 \text{ km/s} = 70 \text{ km/s/Mpc} \cdot r$ , B와 C 사이의 거리( $r$ )는 60 Mpc이다. 즉, (A와 B 사이의 거리 : B와 C 사이의 거리 : A와 C 사이의 거리) = 30 : 60 : 30 $\sqrt{3}$  = 1 : 2 :  $\sqrt{3}$ 이며, 세 은하의 위치는 직각 삼각형을 이룬다.

따라서 C에서 관측했을 때, A와 B의 사잇각( $\theta$ )은  $\cos\theta = \frac{\sqrt{3}}{2}$ ,  $\theta = 30^\circ$ 이다.

### 09 정상 우주론

정상 우주론은 우주는 시간과 공간에 관계없이 항상 변하지 않는다는 이론으로, 우주가 팽창하면서 생겨난 빈 공간에 새로운 물질이 계속 생성된다.

✕. 정상 우주론에서는 공간이 팽창하더라도 우주의 밀도가 항상 일정하므로 시간이 경과하더라도 우주의 온도는 일정하다.

㉠. 공간의 팽창에 의해 두 은하 사이의 거리는 점점 멀어지고 있다. 따라서 A에서 관측할 때 B의 스펙트럼에서는 적색 편이가 나타난다.

㉡. 공간의 팽창에 의해 새로운 은하가 계속 생성되고 있지만, 특정 두 은하 사이의 거리는 점점 멀어지는, 즉 후퇴하는 모습이 나타난다. 따라서 정상 우주론에서도 은하들의 후퇴 속도( $v$ )는 거리( $r$ )가 멀수록 크다는 허블 법칙이 성립한다.

### 10 허블 법칙

외부 은하의 후퇴 속도( $v$ )와 흡수선의 파장 변화량( $\Delta\lambda$ ) 사이에는  $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c}$  ( $\lambda$ : 고유 파장,  $c$ : 빛의 속도)의 관계가 성립하므로, 흡수선의 파장 변화량( $\Delta\lambda$ )이 클수록 후퇴 속도( $v$ )가 빠르고 별까지의 거리( $r$ )도 멀다.

㉠. 하나의 은하에서  $\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ 는 일정하다. 따라서 (가)의 경우  $\lambda$ 가 600 nm인 흡수선의  $\Delta\lambda$ 가 9 nm이므로, 400 nm인 흡수선의  $\Delta\lambda$ (㉠)는  $\frac{9 \text{ nm}}{600 \text{ nm}} = \frac{\text{㉠}}{400 \text{ nm}}$ , ㉠=6 nm이다. (나)의 경우  $\lambda$ 가 400 nm인 흡수선의  $\Delta\lambda$ 가 8 nm이므로, 600 nm인 흡수선의  $\Delta\lambda$ (㉡)는  $\frac{8 \text{ nm}}{400 \text{ nm}} = \frac{\text{㉡}}{600 \text{ nm}}$ , ㉡=12 nm이다. 따라서 ㉡은 ㉠의 2배이다.

㉢. (나)에서  $\lambda$ 가 400 nm인 흡수선의  $\Delta\lambda$ 가 8 nm이므로,

$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c}$ 의 관계에 의해  $\frac{8 \text{ nm}}{400 \text{ nm}} = \frac{v}{3 \times 10^5 \text{ km/s}}$ 이고 후퇴 속도( $v$ )는 6000 km/s이다.

✕. 흡수선의  $\Delta\lambda$ 는 후퇴 속도( $v$ ) 및 거리( $r$ )와 비례 관계이다. A의  $\Delta\lambda$ 가 (가)는 6 nm이고, (나)는 8 nm이므로  $\Delta\lambda$ 는 (나)가 (가)의  $\frac{8}{6}$ 배는 1.33배이고, 지구에서 은하까지의 거리도 (나)가 (가)의 약 1.33배이다.

### 11 허블 법칙

허블 상수는 외부 은하의 후퇴 속도와 거리 사이의 관계를 나타내는 비례 상수로, 우주의 팽창률에 해당한다.

㉠. 은하까지의 거리( $r$ )와 시선 속도( $v$ )의 관계 그래프에서 기울기는 허블 상수( $H$ )를 나타낸다. 따라서  $H$ 는 70 km/s/Mpc이다.

✕. A까지의 거리( $r$ )가 50 Mpc이므로 허블 법칙에 의해  $v = H \cdot r$ ,  $v = 70 \text{ km/s/Mpc} \cdot 50 \text{ Mpc}$ , 시선 속도(=후퇴 속도,  $v$ )는 3500 km/s이다. 따라서  $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c}$  ( $\Delta\lambda$ : 흡수선의 파장 변화량,  $\lambda$ : 고유 파장,  $c$ : 빛의 속도)의 관계에 의해 A에서 고유 파장( $\lambda$ )이 600 nm인 흡수선은  $\frac{\Delta\lambda}{600 \text{ nm}} = \frac{3500 \text{ km/s}}{3 \times 10^5 \text{ km/s}}$ ,  $\Delta\lambda = 7 \text{ nm}$ 이므로, 607 nm로 관측된다.

㉡. 흡수선의 파장 변화량( $\Delta\lambda$ )은 거리( $r$ )와 비례 관계이다. B의 시선 속도( $v$ )가 6300 km/s이므로, 허블 법칙에 의해  $v = H \cdot r$ ,  $6300 \text{ km/s} = 70 \text{ km/s/Mpc} \cdot r$ , 거리( $r$ )는 90 Mpc이다. 즉, A의 거리가 50 Mpc, B의 거리가 90 Mpc이므로 거리는 A가 B의  $\frac{5}{9}$ 배이고, 고유 파장이 일정할 때 파장 변화량( $\Delta\lambda$ )도 A가 B의  $\frac{5}{9}$ 배이다.

### 12 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.

㉠. 흑체에서 최대 복사 에너지를 방출하는 파장( $\lambda_{\text{max}}$ )은 표면 온도가 높을수록 짧다. 그림에서  $\lambda_{\text{max}}$ 는 A가 B보다 짧으므로 우주 배경 복사의 온도는 A가 B보다 높다.

✕. 빅뱅 이후 우주의 크기는 점점 커졌고, 우주의 온도는 점점 낮아졌다. 우주 배경 복사의 온도가 A가 B보다 높으므로, A가 B보다 과거의 시기에 해당하고, 우주의 크기는 A가 B보다 작았다. 따라서 우주의 크기가 현재의 2배인 시기는 B이다.

✕. 우주가 팽창함에 따라 우주에 존재하는 암흑 물질의 비율은 감소하고, 암흑 에너지의 비율은 증가하므로  $\frac{\text{암흑 에너지의 비율}}{\text{암흑 물질의 비율}}$

은 점점 증가한다. A가 B보다 시간적으로 먼지인 시기이므로  
 $\frac{\text{암흑 에너지의 비율}}{\text{암흑 물질의 비율}}$ 은 A가 B보다 작다.

### 13 우주의 역사

우주의 모든 물질과 에너지가 매우 작고 뜨거운 한 점에 모여 있다가 대폭발이 일어나면서 팽창하고 냉각되어 현재와 같은 우주가 형성되었다.

✕. A는 급팽창 시기에 해당한다. 초기 빅뱅 우주론에 따르면 물질의 양에 따라 우주 공간은 양(+) 또는 음(-)의 곡률을 갖게 되고 곡률이 0인 편평한 공간이 될 가능성은 거의 없다. 그러나 관측 결과에 따르면 현재 우주는 곡률이 0인 평탄 우주에 해당하는데, 우주 초기의 급팽창으로 인해 공간의 크기가 매우 커져 관측되는 우주의 영역이 평탄하게 되었기 때문이다. 따라서 A 이후에 우주의 곡률은 0이 되었다.

○. B 무렵에 헬륨 원자핵이 생성되었다. B 이전에 양성자와 중성자의 개수비는 약 7 : 1로, 이 중 양성자 2개와 중성자 2개가 결합하여 1개의 헬륨 원자핵이 생성되고 나머지는 양성자(수소 원자핵)로 남았다. 이때 수소 원자핵과 헬륨 원자핵의 질량비는 약 3 : 1이며, 이는 현재 우주에서 수소와 헬륨의 질량비가 약 3 : 1이라는 관측 결과와 잘 맞는다.

○. 우주 배경 복사는 중성 원자가 만들어진 후에 방출되었다. 따라서 우주 배경 복사는 C 무렵에 형성되었다.

### 14 우주의 구성 요소

현재 우주는 약 4.9%의 보통 물질, 약 26.8%의 암흑 물질, 약 68.3%의 암흑 에너지로 구성되어 있다.

✕. 현재 우주의 구성으로 보아 A는 암흑 물질, B는 암흑 에너지, C는 보통 물질이다. 중성자는 보통 물질, 즉 C에 포함된다.

✕. 시간이 흐를수록 암흑 에너지(B)의 상대적 비율은 증가한다. 공간의 팽창에도 불구하고 암흑 에너지의 상대적 비율이 증가한다는 것은 암흑 에너지의 총량이 증가한다는 것을 의미한다. 실제로 B의 밀도는 시간의 흐름에 관계없이 일정하다.

○. C는 보통 물질로, 전자기파를 이용하여 관측할 수 있다.

### 15 우주의 미래 모형

우주의 미래 모형은 우주의 평균 밀도와 임계 밀도를 비교하여 열린 우주, 평탄 우주, 닫힌 우주로 구분하며, A는 열린 우주 모형, B는 평탄 우주 모형, C는 닫힌 우주 모형에 해당한다.

○. 각 모형에서 빅뱅 이후 현재까지 걸린 시간은 현재를 기준으로 과거 빅뱅이 일어난 시점, 즉 우주의 크기가 0인 시점까지 거슬러 올라간 시간이다. 따라서 빅뱅 이후 현재까지 걸린 시간은 A가 가장 길고 C가 가장 짧다.

○. B는 평탄 우주 모형이다. 평탄 우주에서 우주의 밀도는 임계 밀도와 같다.

✕. (나)는 곡률이 음(-)인 말안장 모양의 2차원 구조이다. 이는 열린 우주 모형, 즉 A의 기하학적인 구조를 표현한 것이다.

### 16 우주 모형 비교

평탄 우주는 우주의 곡률이 0인 우주이고, 평탄 우주에서 우주의 밀도는 임계 밀도와 같다. 물질 밀도와 암흑 에너지 밀도, 임계 밀도를 각각  $\rho_m$ ,  $\rho_\Lambda$ ,  $\rho_c$ 라고 했을 때,  $\frac{\rho_m}{\rho_c} + \frac{\rho_\Lambda}{\rho_c} < 1$ 인 우주는 열린

우주,  $\frac{\rho_m}{\rho_c} + \frac{\rho_\Lambda}{\rho_c} = 1$ 인 우주는 평탄 우주,  $\frac{\rho_m}{\rho_c} + \frac{\rho_\Lambda}{\rho_c} > 1$ 인 우주는 닫힌 우주이다.

○. 현재 우주는 평탄 우주로 우주의 밀도는 임계 밀도와 같고, 약 68.3%의 암흑 에너지와 약 31.7%의 물질로 구성되어 있으며, 암흑 에너지에 의해 우주는 가속 팽창한다. 따라서 현재 임계 밀도에 대한 물질 밀도와 암흑 에너지 밀도비  $\frac{\rho_m}{\rho_c} : \frac{\rho_\Lambda}{\rho_c} = 0.3 : 0.7$

이고, 밀도비가 이와 같을 때 우주는 가속 팽창한다. 그림에서 이 밀도비에 해당하는 영역이 가속 팽창에 포함되기 위해서는 A가  $\frac{\rho_\Lambda}{\rho_c}$ , B가  $\frac{\rho_m}{\rho_c}$ 이어야 한다.

○. 현재 우주에서 A( $\frac{\rho_\Lambda}{\rho_c}$ )는 약 0.7, B( $\frac{\rho_m}{\rho_c}$ )는 약 0.3이므로, a~d 중 현재 우주의 구성과 가장 유사한 것은 a이다.

○. a와 c는  $\frac{\rho_m}{\rho_c} + \frac{\rho_\Lambda}{\rho_c} = 1$ 이므로 평탄 우주이고 곡률은 0이다.

b는  $\frac{\rho_m}{\rho_c} + \frac{\rho_\Lambda}{\rho_c} < 1$ 이므로 열린 우주이고 곡률은 음(-)의 값이다.

d는  $\frac{\rho_m}{\rho_c} + \frac{\rho_\Lambda}{\rho_c} > 1$ 이므로 닫힌 우주이고 곡률은 양(+)의 값이다. 따라서 a~d 중 우주의 곡률이 가장 큰 경우는 d이다.

### 17 가속 팽창 우주

최근의 관측 자료를 근거로 현재 우주는 평탄하지만 팽창 속도가 점점 증가하는 것으로 보고 있으며, 이처럼 우주의 팽창 속도가 증가하는 것은 척력으로 작용하는 암흑 에너지 때문인 것으로 설명하고 있다.

✕. 우주 공간에서 시간이 흐를수록 물질의 비율은 점점 감소하고, 암흑 에너지의 비율은 점점 증가한다. 따라서 A는 물질, B는 암흑 에너지이다.

○. (나)에서 암흑 에너지(B)의 밀도와 물질(A)의 밀도가 같을 때 우주는 가속 팽창을 한다.

○. 우주의 나이가 40억 년일 때 물질(A)과 암흑 에너지(B)의 밀도비는 약 0.88 : 0.12이다. (나)에서 밀도비가 이와 같을 때, 우

주는 감속 팽창 영역에 해당한다. 즉, 우주의 나이가 40억 년일 때 우주는 감속 팽창했다.

### 18 우주의 구성 요소

우주에서 시간이 흐를수록 보통 물질과 암흑 물질의 비율은 감소하고 암흑 에너지의 비율은 증가하며, 물질 중에서 암흑 물질의 비율은 보통 물질의 비율보다 항상 크다.  $T_1$  시기에는  $T_2$  시기보다 A와 B의 비율은 작고 C의 비율은 크다. A는 암흑 물질, B는 보통 물질, C는 암흑 에너지이고,  $T_2$  시기가  $T_1$  시기보다 더 과거에 해당한다.

✗. 현재 우주를 가속 팽창시키는 역할을 하는 것은 암흑 에너지인 C이다.

✗. 보통 물질은 B이다. B의 비율은  $T_1$  시기가  $T_2$  시기보다 작다.

○. 빅뱅 이후 우주가 팽창할수록 우주의 온도는 점점 낮아졌고 우주 배경 복사의 파장은 점점 길어졌다. 따라서 우주 배경 복사의 파장은 시기적으로 나중에 해당하는  $T_1$  시기가  $T_2$  시기보다 길다.

### 19 우주의 미래 모형

Ia형 초신성을 관측한 결과로부터 우주는 수십억 년 전부터 가속 팽창하고 있다는 사실이 밝혀졌다.

✗. Ia형 초신성은 매우 밝으며, 일정한 질량에서 폭발하기 때문에 최대로 밝아졌을 때의 절대 등급이 일정하여 멀리 있는 외부 은하의 거리를 측정하는 데 이용된다.  $z=1$ 인 Ia형 초신성의 거리는 A가 B보다 멀므로 겉보기 밝기는 B보다 A에서 어둡게 관측될 것이다.

○.  $\frac{\rho_m}{\rho_c} + \frac{\rho_\Lambda}{\rho_c} = 1$ 인 우주는 평탄 우주이므로 표에서 (가)와 (나)는 둘 다 평탄 우주이며, 이 중 암흑 에너지가 물질보다 많은 (가)는 가속 팽창 우주, (나)는 암흑 에너지가 없고 물질만 있으므로 감속 팽창 우주에 해당한다. 그림에서 은하의 적색 편이가 같을 때 거리가 먼 A는 가속 팽창 우주이고, 표에서 (가)에 해당한다. 반면 은하의 적색 편이가 같을 때 거리가 가까운 B는 감속 팽창 우주이며, 표에서 (나)에 해당한다.

✗. 우주의 곡률은 열린 우주가 음(-)의 값, 닫힌 우주가 양(+)의 값, 평탄 우주가 0의 값을 가진다. A(=(가))와 B(=(나))가 모두 평탄 우주이므로 우주의 곡률은 A와 B가 같다.

### 20 표준 우주 모형

급팽창 이론을 포함한 빅뱅 우주론에 암흑 물질과 암흑 에너지의 개념까지 모두 포함한 우주론을 표준 우주 모형이라고 한다. 표준 우주 모형으로 예측한 우주의 구조는 지금까지 이루어진 우주 관측 사실들과 잘 부합된다.

✗. 80억 년 전에 Q를 통과한 빛이 현재 관측자에게 도달하므로 빛은 80억 년 동안 이동하였다. 이 기간 동안 우주는 팽창하였으므로 우주 공간에서 현재 관측자로부터 Q까지의 거리는 80억 광년보다 멀다.

○. 우주를 진행하는 빛의 파장은 우주의 크기 변화에 비례하여 길어진다. P에서 방출된 빛이 현재 관측자에게 도달하는 동안 우주의 크기는  $\frac{1}{5}$ 에서 1로 5배 증가하였다. 따라서 P에서 방출된 파장  $\lambda$ 인 빛이 현재 관측자에게 도달할 때 파장은  $5\lambda$ 이다.

○. 120억 년 전에 P에서 방출된 파장  $\lambda$ 인 빛은 80억 년 전에 Q에 도달하였다. 이 기간 동안 우주의 크기는  $\frac{1}{5}$ 에서  $\frac{1}{2}$ 로 2.5배 증가했으므로, P에서 방출된 파장  $\lambda$ 인 빛이 Q에 도달할 때 파장은  $2.5\lambda$ 이다. 따라서 80억 년 전에 Q에서 관측한 P의 적색 편이  $\left(\frac{4\lambda}{\lambda}\right)$ 는  $\frac{2.5\lambda - \lambda}{\lambda} = 1.5$ , 즉  $\frac{3}{2}$ 이다.

#### [인용 사진 출처]

- 39p\_응회암: ©Susan E. Degginger / Alamy Stock Photo
- 39p\_처트: ©Valery Voenny / Alamy Stock Photo
- 40p\_사총리: ©Gabbro / Alamy Stock Photo
- 43p\_판상 절리: ©Sergio Boccardo / Alamy Stock Photo
- 44p\_관입암: ©parker1992 / Alamy Stock Photo
- 44p\_포획암: ©Karl W. Wegmann / Alamy Stock Photo
- 59p\_필석: ©Nature Picture Library / Alamy Stock Photo
- 60p\_화페석: ©Natural Visions / Alamy Stock Photo
- 60p\_매머드: ©Martin Shields / Alamy Stock Photo
- 64p\_스트로마톨라이트: ©Corbin17 / Alamy Stock Photo
- 123p\_빙하 시주물: ©Daniel J. Cox / Alamy Stock Photo
- 124p\_피나투보 화산: ©David Hodges / Alamy Stock Photo