

# 수능특강

과학탐구영역 | 지구과학 I

정답과 해설

# 01 판 구조론과 대륙 분포의 변화

## 수능 2점 테스트

본문 13~15쪽

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

## 01 대륙 이동설

판 구조론은 베게너의 대륙 이동설, 홈스의 맨틀 대류설, 헤스와 디츠의 해양저 확장설을 거쳐 정립되었다.

- Ⓐ. 베게너는 대서양 양쪽의 해안선 굴곡의 유사성, 화석 분포, 고생대 말 빙하 퇴적층의 분포, 지질 구조의 연속성 등을 근거로 대륙 이동설을 제시하였다. 따라서 A는 베게너이다.  
Ⓑ. 베게너는 대서양을 사이에 둔 두 대륙에서 같은 종의 화석이 산출되는 이유는 과거에 두 대륙이 서로 붙어 있었기 때문이라고 설명하였다.  
ⓧ. Ⓣ은 베게너가 제시한 대륙 이동설이다.

## 02 맨틀 대류설

홈스는 맨틀 대류의 상승부에서는 대륙 지각이 분리되어 새로운 해양이 생성되고, 맨틀 대류의 하강부에서는 산맥과 해구가 생성된다고 주장하였다.

- Ⓐ. 이 모형은 1920년대 홈스가 주장한 맨틀 대류설 모형이다.  
ⓧ. 홈스의 주장에 따르면, Ⓛ은 대륙 지괴가 갈라지는 과정에서 생성된 새로운 섬으로, 대륙 지각으로 이루어져 있다. 해령은 발산형 경계에서 발달하는 해저 산맥이다.  
ⓧ. 해저 지각에 기록된 고지자기 줄무늬가 해령의 중심축에 대해 대칭으로 분포하는 이유는 해양저 확장설로 설명할 수 있다.

## 03 음향 측심으로 알아낸 해저 지형

해수면에서 해저면을 향해 발사한 초음파가 해저면에서 반사되어 되돌아오는 데 걸리는 시간을 이용하여 해저 지형을 알 수 있다.

- ⓧ. Ⓛ 구간은 수심이 4000 m보다 깊고 지형이 대체로 평坦하므로 심해저 평원에 해당한다. 대륙붕은 수심이 얕은 대륙 연안에 나타난다.  
Ⓒ. Ⓛ 구간에는 주변보다 수심이 얕은 해령이 분포한다. 따라서 이 구간에 발산형 경계가 존재한다.

ⓧ. 해수에서 초음파의 속력을  $v$ , 해수면에서 발사한 초음파가 해저면에서 반사되어 되돌아오는 데 걸리는 시간을  $t$ 라고 하면 관측 지점의 수심( $d$ ) =  $\frac{1}{2}vt$ 이다. 탐사 해역에서 수심이 가장 깊은 곳은 약 5000 m이고, 초음파의 속력은 1500 m/s이므로 초음파

왕복 시간의 최댓값은  $\frac{10000 \text{ m}}{1500 \text{ m/s}} = 6.7\text{초}$ 이다.

## 04 고생대 말 빙하 분포 흔적

남아메리카, 아프리카, 인도, 오스트레일리아, 남극 대륙에서 고생대 말 빙하 퇴적층과 빙하의 이동 흔적이 발견된다.

- ⓧ. 이 시기는 초대륙 판계아가 존재했던 고생대 말에 해당한다.  
Ⓒ. 판계아가 분리되어 대륙이 이동함에 따라 이 시기에 형성된 빙하 흔적 일부가 현재 적도 부근에서도 발견된다.  
Ⓓ. 이 시기에 살았던 양치식물의 화석이 현재 인도와 오스트레일리아 등의 여러 대륙에서 모두 산출된다.

## 05 해령 부근의 고지자기 줄무늬 분포

해양 지각에서 해저 고지자기 줄무늬는 해령과 거의 나란하게 해령을 축으로 대칭을 이룬다. 이는 해령에서 새로운 해양 지각이 생성되면서 확장될 때 지구 자기의 역전 현상이 반복되기 때문이다.

- ⓧ. 해령에서 새로운 해양 지각이 생성되어 해령의 중심축을 중심으로 확장되므로 고지자기 줄무늬는 해령의 중심축과 나란하게 나타난다.  
Ⓒ. 고지자기 줄무늬의 대칭축은 해양저 확장의 중심축에 해당하며 Ⓛ 부근에 위치한다. 따라서 심해 퇴적물의 두께는 Ⓛ에서 Ⓛ으로 갈수록 대체로 두껍게 나타난다.  
ⓧ. Ⓛ과 Ⓛ의 해양 지각은 해령의 중심부(열곡)에서 같은 시기에 생성되어 해령의 중심축에 수직한 방향으로 이동하여 현재 지점에 위치해 있다. 따라서 Ⓛ이 생성된 지점은 Ⓛ이 생성된 지점보다 저위도이며 고지자기 복각은 Ⓛ이 Ⓛ보다 작다.

## 06 해양 지각의 고지자기 줄무늬 분포

지구 자기장의 방향이 현재와 같은 시기를 정자극기, 반대인 시기를 역자극기라고 한다. 해령 부근의 해양 지각의 고지자기 분포를 조사하면, 지구 자기의 역전 현상이 반복됨에 따라 정자극기와 역자극기가 반복되어 나타난다.

- Ⓒ. 정자극기와 역자극기의 줄무늬 간격은 (가)가 (나)보다 넓다. 따라서 판의 이동 속도는 (가)가 (나)보다 빠르다.  
ⓧ. (가)에서 판의 이동 방향은 북쪽이다. A와 B의 해양 지각은 모두 같은 위치에서 생성되었고, 생성 이후 B가 A보다 북쪽으로 더 많이 이동하였으므로 고지자기극의 위도는 B가 A보다 낮다.  
Ⓒ. B와 C의 고지자기 줄무늬를 비교하면 C가 B보다 먼저 생성되었다. 따라서 해양 지각의 나이는 B가 C보다 적다.

## 07 변환 단층과 호상 열도

해양 지각의 이동 방향이 같은 단열대 구간에서는 지진이 발생하지 않지만 열곡과 열곡이 어긋난 단열대 구간에서는 천발 지진이 활발하게 발생한다. 월슨은 이 구간을 변환 단층이라고 하였다.

Ⓐ 이 해역에는 수렴형 경계, 발산형 경계, 보존형 경계가 모두 나타나며, 판의 경계를 기준으로 세 개의 판이 존재한다.

ⓧ. 단열대 구간은 두 판의 경계에 해당하는 영역과 판 내부의 균열이 존재하는 영역을 모두 포함한다. 따라서 단열대 구간 중 판의 경계에 해당하는 변환 단층 구간에서만 지진이 활발하게 일어난다.

ⓧ. 화산군은 판의 수렴형 경계 부근에서 생성된 호상 열도이다. 이 화산군에서는 모두 화산 활동이 활발하게 일어나기 때문에 특정 방향으로 갈수록 화산의 연령이 많아지지는 않는다.

## 08 지구 자기장

지구가 가지고 있는 고유한 자기장을 지구 자기장이라고 한다. 나침반의 자침은 지구 자기장 방향으로 배열되며 정자극기일 때와 역자극기일 때 서로 반대 방향을 가리킨다. 자료에서 지리상극과 지자극극이 일치하므로 A는 자기 적도에 위치한 지점이라고 할 수 있다.

Ⓐ. 지구 자기장에 의한 자기력선의 방향이 지리상 북극에서 지리상 남극을 향하고 있다. 따라서 이 시기는 역자극기에 해당한다.

Ⓒ. 역자극기이므로 지리상 남극에서 자침은 연직 아래 방향을 가리킨다.

Ⓓ. 역자극기일 때 자기 적도에 위치한 A에서 생성된 자성 광물의 자화 방향은 지리상 남극 방향을 가리킨다.

## 09 지구 자기장과 복각

나침반의 자침(지구 자기장의 방향)이 수평면과 이루는 각을 복각이라고 한다. 복각이  $0^\circ$ 인 지역을 자기 적도,  $+90^\circ$ 인 지점을 자북극,  $-90^\circ$ 인 지점을 자남극이라고 한다.

Ⓐ. (가)에서 자기력선의 방향이 수평면의 위쪽을 향하고 있으므로 2억 년 전에 이 지괴는 남반구에 위치하였다.

ⓧ. (나)에서 지구 자기장의 방향을 나타내는 자기력선과 수평면이 이루는 각은  $40^\circ$ 이며 자기력선의 방향이 수평면 아래쪽을 향하고 있다. 따라서 복각은  $+40^\circ$ 이다.

ⓧ. 2억 년 전에 복각의 크기는  $45^\circ$ 이고, 3천만 년 전에 복각의 크기는  $40^\circ$ 이다. 지자극극에 가까울수록 복각의 크기가 크므로, 복각의 크기가 클수록 자기 적도로부터 면 곳에 위치한다. 따라서 자기 적도로부터의 거리는 (가)일 때가 (나)일 때보다 멀다.

## 10 미래의 수륙 분포 변화

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

ⓧ. 현재~2억 년 후 사이에 Ⓛ의 위치는 중위도에서 적도 부근으로 이동한다. 따라서 Ⓛ에서 복각의 크기는 중위도에 위치한 현재가 적도 부근에 위치한 2억 년 후보다 클 것이다.

Ⓛ. 현재보다 1억 년 후에 대서양의 면적은 넓어지고 태평양의 면적은 좁아질 것이다.

②. 1억 년 후~2억 년 후 사이에 대서양의 면적이 좁아진다. 따라서 대서양 연안에는 해양판이 섭입하는 수렴형 경계가 발달할 것이다.

## 11 인도 대륙의 이동

7000만 년 전부터 현재까지 인도 대륙의 위치는 대체로 남쪽에서 북쪽으로 이동하였다.

ⓧ. 7000만 년 전~현재까지 인도 대륙은 남반구에서 북반구로 이동하였다. 따라서 복각의 크기는 남반구에서 적도를 통과하기 전까지 감소하다가 적도를 통과한 이후부터 현재까지 증가하였다.

Ⓛ. 5000만 년 전에 인도 대륙과 유라시아 대륙 사이에 해양이 존재하였다. 이후 두 대륙 사이에 있었던 해양 지각이 수렴형 경계(해구)에서 섭입하여 소멸하면서 두 대륙이 충돌하게 되었다.

Ⓓ. 인도 대륙의 위도 변화는 7000만 년 전~5000만 년 전과 5000만 년 전~현재가 거의 비슷하다. 따라서 인도 대륙의 평균 이동 속력은 7000만 년 전~5000만 년 전이 5000만 년 전~현재보다 빨랐다.

## 12 지질 시대의 초대륙 분포

(가)는 약 2억 7천만 년 전에 여러 대륙이 합쳐져 형성된 초대륙 판게아이고, (나)는 약 12억 년 전에 형성된 초대륙 로디니아이다. 로디니아는 약 8억 년 전부터 분리되기 시작한 것으로 추정하고 있다.

ⓧ. 초대륙의 형성 시기는 (가)의 판게아가 (나)의 로디니아보다 나중이다.

Ⓛ. (가)의 판게아가 형성되는 과정에서 북아메리카 대륙이 아프리카 대륙 및 유럽 대륙과 충돌하면서 애펠래치아산맥이 형성되었다.

ⓧ. (나)의 초대륙이 분리될 당시는 선캄브리아 시대에 해당한다. 이 시기에 번성했던 고생물의 흔적은 현재 거의 남아 있지 않으며, 특히 육상 생물이 존재하지 않았기 때문에 고생물 화석을 이용하여 대륙을 복원할 수 없다.

### 수능 3점 테스트

본문 16~21쪽

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

## 01 판 구조론의 정립 과정

베게너는 여러 대륙들이 모여 만들어진 초대륙 판게아가 존재했다고 주장하였고, 훔스는 방사성 원소의 붕괴열 등에 의해 맨틀이 대류한다고 주장하였다. 헤스와 디츠는 해령과 해구 등의 해저 지형을 설명하기 위해 해양저 확장설을 주장하였다.

Ⓐ. 판 구조론이 정립되는 과정에서 이론이 제시된 순서는 (가) 대륙 이동설 → (다) 맨틀 대류설 → (나) 해양저 확장설이다.

Ⓑ. 해양저 확장설의 주요 내용은 해령에서 새로운 해양 지각이 생성되고, 해령을 중심으로 확장된다는 것이다.

ⓧ. ①은 맨틀 대류설이다. 변환 단층은 해양저 확장설을 거쳐 판구조론이 정립되는 과정에서 월슨이 주장하였다.

## 02 음향 측심법

해수면에서 해저면을 향하여 초음파를 발사하면 초음파는 해저면에 반사되어 되돌아온다. 이때 반사되어 되돌아오는 데 걸리는 시간을 이용하여 해저 지형을 알 수 있다.

ⓧ. A에는 해구가 존재하고, B에는 동태평양 해령이 존재한다. 따라서 평균 수심이 얇은 ⑦은 해령이 존재하는 B이다.

Ⓒ. 탐구 결과에서 A2 지점의 수심은 약 7000 m이다. 따라서 초음파의 왕복 시간은 약  $\frac{14000 \text{ m}}{1500 \text{ m/s}} = 9.3\text{초}$ 이다.

Ⓓ. 해양 지각의 평균 연령은 해구 부근이 해령 부근보다 많으므로 A가 B보다 많다.

## 03 해양저 확장과 고지자기 분포

해령을 축으로 고지자기 줄무늬는 대칭적인 분포가 나타나며, 고지자기 줄무늬의 폭은 판의 확장 속도에 따라 달라진다.

ⓧ. 정자극기는 지구 자기장의 방향이 현재와 같은 시기이다. 따라서 해령 중심축에 표시된 ⑦이 정자극기에 해당한다. A에서 해령 중심축으로부터의 거리가 D1인 지점의 암석은 역자극기일 때 생성되었다.

Ⓒ. 해령 중심축에서 멀어짐에 따라 수심은 대체로 증가한다. 따라서 B에서 평균 수심은 D1~D2 구간이 D2~D3 구간보다 얕다.

Ⓓ. 해양저 확장 속도가 빠를수록 고지자기 줄무늬 간격의 폭이 넓게 나타난다. 따라서 해령의 중심축 부근에서 해양저 확장 속도는 C가 A보다 빠르다.

## 04 태평양과 대서양의 해양저 확장 속도

해령에서 새로운 해양 지각이 생성되면서 확장되고, 해구에서 오래된 해양 지각이 맨틀 속으로 섭입하여 소멸된다. 따라서 해양 지각은 대류 지각과 달리 연령이 2억 년 이상인 암석이 거의 존재하지 않는다.

ⓧ. 태평양에는 연안에 해구가 발달하여 판의 섭입이 활발하고 판의 이동 속력이 빠르지만, 대서양에는 해구가 거의 존재하지 않기 때문에 상대적으로 판의 이동 속력이 느린다. 따라서 A는 판의 확장 속도가 더 빠른 태평양 남동부이다.

Ⓒ. 중생대 기간은 약 2억 5천 2백만 년 전~약 6천 6백만 년 전이고, 백악기 말은 신생대가 시작되기 직전에 해당한다. 주어진 자료에서 이 시기에 B(대서양 중앙부)의 해양저 확장 속도는 현재 보다 빠르다.

ⓧ. 해양 지각은 해령에서 생성되어 해구에서 소멸하기 때문에 현재 지구에 남아 있는 가장 오래된 해양 지각의 나이는 2억 년 정도이다. 따라서 가장 오래된 해양 지각을 이용하더라도 고생대 기간(약 5억 4천 백만 년 전~2억 5천 2백만 년 전)의 해양저 확장 속도를 알아낼 수 없다.

## 05 해양저 확장

해양판은 해령에서 멀어짐에 따라 점점 침강한다. 이때 해양판의 침강 속도는 판의 확장 속도와 관계없이 어느 대양에서나 거의 일정하게 나타난다.

Ⓒ. 해령 정상의 수심이 2 km인 경우, 수심이 4 km인 해역은 해령 정상으로부터의 깊이가 2 km이다. 따라서 A와 B 모두 해양 지각의 연령은 2천만 년~4천만 년 사이임을 알 수 있다.

ⓧ. 시간에 따른 해령 정상으로부터의 깊이 변화는 판의 확장 속도와 관계없이 문제에서 제시된 그림과 같이 나타난다. 따라서 해양판의 확장 속도가 빠를수록 해저면의 평균 경사각은 완만해진다. 판의 평균 확장 속도는 B가 A보다 빠르므로 해령 부근에서 해저면의 평균 경사각은 B가 A보다 작다.

ⓧ. B에서 해령 중심으로부터의 수평 거리가 약 2000 km인 지점은 해양 지각의 나이가 약 2천만 년이다. 따라서 해령 정상으로부터의 깊이는 2 km보다 얕다.

## 06 대류 이동과 복각 변화

지질 시대 동안 지리상 북극의 위치가 변하지 않았다고 가정하면, 지괴에서 측정한 고지자기 복각의 크기는 당시 지괴가 위치한 위도가 높을수록 크다.

Ⓒ. A와 B에서 측정한 고지자기 복각이 각각  $-49^\circ$ ,  $-21^\circ$ 이므로 7100만 년 전과 5500만 년 전에 지괴의 위도는 약  $30^\circ\text{S}$ , 약  $10^\circ\text{S}$ 이다. 따라서 7100만 년 전~5500만 년 전 사이에 지괴의 위도 변화량은  $30^\circ$ 보다 작다.

▣. 신생대 초에 해당하는 5500만 년 전에 생성된 화성암에서 측정한 고지자기 복각이  $-21^{\circ}$ 이므로 이 시기에 남반구에 위치하였다. 따라서 적도 부근에 위치했던 지질 시대는 이 시기 이후이다. ◎. B에서 측정한 고지자기 복각이  $-21^{\circ}$ 이고, D에서 측정한 고지자기 복각이  $+38^{\circ}$ 이므로 5500만 년 전과 현재 이 지괴의 위도는 각각 약  $10^{\circ}\text{S}$ , 약  $20^{\circ}\text{N}$ 이다. 이 지괴는 5500만 년 전부터 현재까지 북쪽으로 약  $30^{\circ}$ 만큼 위도가 변하였다. 따라서 B로 추정한 고지자기극의 위도는 약  $60^{\circ}\text{N}$ 이다.

## 07 해양 지각의 연령 분포

해령에서 멀어질수록 해양 지각의 연령이 증가하며, 심해 퇴적물의 두께가 증가한다. 이는 해양저 확장설의 근거가 된다.

◎. 해령 A와 B로부터의 거리에 따른 해양 지각의 등연령선 분포를 비교하면, 나스카판보다 남아메리카판에서 등연령선의 간격이 조밀하다. 따라서 해양저 확장 속도는 A가 B보다 빠르다.

◎. ◎과 ◎에서 해양 지각의 등연령선 분포를 보면, 해양 지각이 생성된 위치는 ◎이 ◎보다 저위도이다. 따라서 해양 지각에 기록된 고지자기 복각의 크기는 ◎이 ◎보다 작다.

◎. 남아메리카 대륙의 서쪽 해안에는 수렴형 경계가 존재하지만 동쪽 해안에는 판의 경계가 없다. 따라서 화산 활동은 남아메리카 대륙의 서쪽 해안이 동쪽 해안보다 활발하다.

## 08 판 경계 부근의 지각 변동

판 구조론은 지구의 표면이 크고 작은 여러 개의 판으로 구성되어 있으며, 이들의 상대적인 운동에 의해 화산 활동, 지진, 마그마의 생성, 습곡 산맥의 형성 등 여러 가지 지질 현상이 일어난다는 이론이다.

▣. 두 해양판이 수렴할 때, 화산 활동은 섭입하지 않는 판에서 일어난다. 판 A와 판 C가 만나는 경계 부근에서 화산 활동은 판 A에서 일어나므로 판 C가 판 A 아래로 섭입하고 있다는 것을 알 수 있다.

◎. 해양 지각의 나이는 해령에서 멀어질수록 증가한다. 판 A와 판 B의 상대적인 이동 방향과 속력을 비교하면 두 판의 경계는 발산형 경계이다. 따라서 발산형 경계 부근에 위치한 ◎이 ◎보다 해양 지각의 나이가 적다.

▣. ◎은 판이 생성되는 발산형 경계, ◎은 판이 섭입하는 수렴형 경계에 위치한다. 따라서 지진이 일어나는 평균 깊이는 ◎이 ◎보다 얕다.

## 09 잔류 자기와 고지자기 복각

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

▣. ◎의 잔류 자기는 정자극기에 형성되었고, 이때 복각이 음(–)의 값을 가지므로 이 화산체는 남반구에 위치한다.

▣. 화산암 ◎, ◎, ◎은 같은 시기에 생성된 암석이 아니다. 서로 다른 시기에 화산 활동에 의해 마그마가 지표로 분출되어 생성된 화산암이다. 따라서 화산암 ◎, ◎, ◎의 조직은 모두 유리질(또는 세립질) 조직일 것으로 추정되며, 광물의 평균 크기가 ◎ → ◎ → ◎으로 갈수록 커진다고 할 수 없다.

◎. 이 화산체는 남반구에 위치하고 있으며 복각의 크기는 ◎ → ◎ → ◎으로 갈수록 점점 작아진다. 따라서 이 화산체는 북쪽으로 이동하였다.

## 10 고지자기 복각을 이용한 대륙 이동 복원

지구가 가지고 있는 고유한 자기장을 지구 자기장이라고 하는데, 지구는 내부에 막대자석이 있는 것과 유사한 자기적 성질을 갖는다. 나침반의 자침은 지구 자기장 방향으로 배열되며 정자극기일 때 나침반의 N극은 북쪽을 향한다.

◎. 고지자기극의 위치는 2억 년 전부터 현재까지 계속 북쪽으로 멀어졌다. 따라서 이 기간 동안 지괴는 남쪽으로 이동하였다.

◎. (나)에서  $\theta$ 는 고지자기 복각에 해당한다. 고지자기 복각은 수평면과 나침반 자침의 N극이 이루는 각이며, 지괴가 북반구에 위치하고 있으므로 N극은 수평면 아래를 가리킨다. 따라서 ◎은 N극이다.

▣. 이 지괴는 1억 년 전보다 2억 년 전에 고위도에 위치했다.  $\theta$ 는 고지자기 복각을 나타내므로 이 지괴에서 측정되는  $\theta$ 의 크기는 2억 년 전이 1억 년 전보다 크다.

## 11 초대륙의 분리

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

◎. ◎은 두께가 얕은 해양 지각이고, ◎은 두께가 두꺼운 대륙 지각이다. 지각의 평균 밀도는 해양 지각(◎)이 대륙 지각(◎)보다 크다.

▣. A 구간에서 대륙 지각의 중앙부에는 초대륙이 분리되면서 열곡대가 발달한다. 열곡대에서는 장력에 의해 주로 정단층이 발달한다.

▣. B 구간에는 해양저가 확장되면서 새로운 해양이 발달하고 있다. 새로운 해양의 중앙부에는 새로운 해양 지각이 생성되는 발산형 경계가 존재하고, 해양 지각의 연령은 발산형 경계에서 가장 적다.

## 12 두 대륙판의 충돌

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

▣. (가)의 판 A에서는 섭입대에서 물 공급에 의해 생성된 마그마가 상승하는 과정에서 마그마 혼합 과정을 거쳐 지표로 분출한다.

압력 감소 과정을 거쳐 생성된 마그마는 해령이나 열점에서 분출한다.

☒. (다)에서 판 A와 판 B의 경계부에서는 충돌에 의해 거대한 습곡 산맥이 형성된다. 열곡대는 대륙판이 분리되는 곳에서 나타난다.

Ⓐ. (나)에서는 판을 이동시키는 주요 원동력인 섭입대에서 판을 잡아당기는 힘이 작용한다. 한편 (다)에서는 섭입대가 발달하지 않으며, 두 대륙의 충돌에 의한 영향으로 판의 이동 속력이 느려진다. 따라서 판 A에 대한 판 B의 평균 이동 속력은 (나)가 (다)보다 빠를 것이다.

## 02 판 이동의 원동력과 마그마 활동

### 수능 2점 테스트

본문 29~31쪽

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

### 01 지구 내부의 층상 구조

지구 내부는 물리적 상태에 따라 암석권, 연약권, 하부 맨틀, 외핵, 내핵으로 구분된다. 지각 하부에서부터 약 400 km 깊이까지의 맨틀을 상부 맨틀, 상부 맨틀 하부에서부터 약 2900 km 깊이까지의 맨틀을 하부 맨틀이라고 한다.

Ⓐ. Ⓛ은 지각, Ⓜ은 맨틀이다. 구성 물질의 평균  $\text{SiO}_2$  함량(%)은 지각이 맨틀보다 많다.

Ⓑ. Ⓛ은 암석권이다. 암석권은 여러 조각으로 나누어져 있는데, 이를 판이라고 한다. 판의 두께는 해양보다 대륙에서 두껍다.

Ⓒ. Ⓛ은 깊이 약 100 km~400 km 사이에 존재하는 연약권이다. 연약권은 부분 용융 상태로 유동성이 있다.

### 02 판을 이동시키는 힘

판을 이동시키는 힘에는 섭입하는 판이 잡아당기는 힘과 해령에서 중력에 의해 판이 미끄러지면서 판을 밀어내는 힘, 맨틀 대류에 의한 힘 등이 있다.

Ⓐ. A는 해령에서 중력에 의해 판이 미끄러지면서 판을 밀어내는 힘이다.

☒. B는 섭입하는 판의 끝부분이 가라앉으며 나머지 부분을 섭입대 쪽으로 잡아당기는 힘이다. 두 대륙판이 충돌할 경우 섭입대가 발달하지 않으므로 B의 영향을 거의 받지 않는다.

Ⓐ. 최근 연구에 따르면 판을 이동시키는 주된 힘은 섭입대에서 잡아당기는 힘이며, 해령에서 판이 미끄러지면서 판을 밀어내는 힘은 상대적으로 판의 이동에 미치는 영향이 작은 것으로 알려져 있다.

### 03 플룸 구조론

플룸은 맨틀에서 주위보다 온도가 낮거나 높은 영역이며, 플룸 구조론은 맨틀 물질의 상승이나 하강으로 형성된 플룸에 의한 지구의 변동을 주로 다루는 이론이다.

Ⓐ. 차가운 플룸은 주위보다 온도가 낮고, 밀도가 큰 맨틀 물질이 하강하면서 형성되는데, 주로 섭입하는 판이 상부 맨틀과 하부 맨틀의 경계에 머물다가 일정량 이상이 되면 맨틀과 외핵의 경계 쪽으로 가라앉으면서 만들어진다.

☒. 뜨거운 플룸은 주위보다 온도가 높고, 밀도가 작은 맨틀 물질

이 기둥 형태로 상승하면서 형성된다. 뜨거운 플룸은 맨틀과 외핵의 경계 부근에서 상승하기 시작한다.

⑤. ⑦의 하부에는 상승하는 뜨거운 플룸의 영향으로 열점이 생성될 수 있다. 열점은 지구 내부에 고정되어 있으며 많은 양의 마그마를 지표로 분출시키는 화산 활동을 일으킨다.

#### 04 열점과 판의 경계

열점에서는 뜨거운 플룸이 상승하여 지구 내부의 고정된 위치에서 생성된 마그마가 지각을 뚫고 분출하여 화산 활동이 일어난다. 열점에서 분출되는 마그마는 암석권보다 아래쪽에서 생성되므로 판이 이동하면서 새로운 화산체가 연속해서 만들어져 일렬로 줄을 지어 분포하는 경우도 있다.

☒. 열점의 분포는 뜨거운 플룸과 관련 있다. 따라서 열점은 판의 경계와 판의 내부에서 모두 나타날 수 있다.

⑥. 열점은 뜨거운 플룸에 의해 형성되므로 열점 하부에는 맨틀 물질의 상승으로 형성된 뜨거운 플룸이 나타난다.

☒. 열점은 지구 내부의 고정된 위치에 존재하므로 판이 이동하더라도 위치가 달라지지 않는다. 따라서 열점 ⑦과 ⑧ 사이의 거리는 변하지 않는다.

#### 05 지진의 진양 분포

해구 부근에서는 주로 천발 지진이 발생하고, 해구에서 판이 섭입함에 따라 지진이 일어나는 진원의 평균 깊이가 대체로 깊어진다.

⑦. 이 지역에서는 천발 지진~심발 지진이 모두 일어나며, 대체로 북쪽으로 갈수록 진원의 깊이가 깊어진다. 따라서 판의 경계인 해구는 심발 지진이 일어나는 ⑦보다 천발 지진이 일어나는 ⑧에 가깝다.

⑧. B 판이 A 판 아래로 섭입하므로 B 판은 섭입하는 판이 잡아당기는 힘을 받고 있다.

☒. 섭입이 일어나는 판의 경계 부근에서 화산 활동은 섭입하지 않는 판에서 일어난다. 따라서 화산 활동은 B 판보다 A 판에서 활발하다.

#### 06 뜨거운 플룸의 상승

차가운 플룸이 맨틀과 외핵의 경계 쪽으로 가라앉으면 그 영향으로 맨틀과 외핵의 경계 부근에서 고온의 맨틀 물질이 기둥 모양으로 상승하면서 뜨거운 플룸이 생성된다.

☒. 맨틀 물질의 상승이 시작되는 곳은 맨틀과 외핵의 경계 부근이다.

⑨. ⑩은 같은 깊이의 주변 물질보다 온도가 높고, 밀도가 작기 때문에 플룸 상승류를 형성한다.

☒. 열점은 지구 내부에 고정되어 있으나, 용암 대지는 판이 이동

할 때 함께 이동한다.

#### 07 하와이 열도

열점은 암석권보다 깊은 맨틀 내부에 고정되어 있지만 열점에서 마그마가 분출하여 형성된 화산섬은 판에 실려 이동한다.

⑩. 하와이 열도를 이루는 화산섬들은 북서쪽으로 갈수록 절대 연령이 대체로 증가한다. 따라서 하와이 열도가 포함된 판은 북서쪽으로 이동한다.

☒. 열점에 의한 화산 활동이 일어날 때 현무암질 마그마가 분출한다. 따라서 하와이 열도의 화산섬을 이루는 주요 구성 암석은 현무암이다.

☒. 열점은 지구 내부에 고정되어 있기 때문에 이 화산섬들은 모두 거의 동일한 위치에서 만들어졌다. 따라서 화산섬의 암석에서 측정한 고지자기 복각의 크기는 절대 연령에 관계없이 거의 같다.

#### 08 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.

⑪. ⑫에서는 지진파의 속도 편차가 음(−)의 값으로 뜨거운 플룸이 나타난다.

☒. 같은 깊이에서 맨틀 물질의 밀도는 지진파의 속도 편차가 양(+)의 값인 ⑫이 음(−)의 값인 ⑪보다 크다.

☒. 화산 A에서 분출하는 마그마는 주로 뜨거운 플룸의 상승류에 의해 생성되었다. 따라서 화산 A에서 분출하는 마그마는 주로 압력 감소 과정을 거쳐 생성되었다.

#### 09 해구 부근에서 안산암의 분포

해령과 열점에서는 주로 현무암질 마그마가 분출하고, 안산암질 마그마는 해구 부근의 화산에서 분출한다. 따라서 안산암은 태평양 주변부의 해구와 대체로 나란하게 분포한다.

☒. 이 지역의 판 경계는 해양판이 섭입하는 수렴형 경계이다. 따라서 판 경계에는 해령에 비해 상대적으로 나이가 많은 해양 지각이 분포한다.

⑫. 해구에서 판이 섭입하는 과정에서 생성된 현무암질 마그마가 상승하면서 유문암질 마그마와 혼합 과정을 거쳐 섭입하지 않는 판에서 안산암질 마그마가 분출한다. 따라서 안산암이 분포하는 판은 안산암이 분포하지 않는 판보다 밀도가 작다.

☒. 이 지역의 안산암을 생성한 마그마는 물 공급에 의한 용융 온도 하강, 온도 상승에 의한 부분 용융으로 생성된 두 마그마의 혼합으로 생성되었다. 압력 감소에 의한 마그마 생성은 주로 해령이나 열점에서 일어난다.

## 10 맨틀 물질의 용융

지구 내부에서 맨틀의 온도는 맨틀을 구성하는 암석의 용융 온도보다 낮기 때문에 용융이 일어나지 않는다. 하지만 연약권의 온도는 부분 용융이 시작되는 온도와 거의 비슷하므로 구성 물질 중 일부 성분이 부분 용융되어 유동성이 커진다.

Ⓐ ⑦의 암석은 해당 깊이에서 부분 용융이 시작되는 온도가  $T^{\circ}\text{C}$ 보다 낮다. 따라서 이 암석이 온도가  $T^{\circ}\text{C}$ 인 마그마와 접촉하면 부분 용융이 일어날 수 있다.

Ⓑ ⑨에서는 지구 내부의 온도가 부분 용융이 시작되는 온도보다 약간 높다. 따라서 ⑨의 암석은 일부가 부분 용융되어 유동성이 있는 상태가 될 수 있는 연약권에 위치한다.

Ⓒ ⑩의 맨틀 물질이 상승하면 압력이 감소하면서 부분 용융이 일어나 마그마가 생성될 수 있다.

## 11 화성암의 산출 상태

마그마가 어느 깊이에서 어떤 형태로 굳어지는가에 따라서 화성암의 조직이 달라진다. ⑦은 암주, ⑧은 암상, ⑨은 저반이라고 한다.

Ⓐ ⑦에는 기존의 퇴적암을 뚫고 마그마가 상승하는 통로에서 생성된 화성암이 분포한다. 따라서 이 화성암에서는 퇴적암 조각이 포획암으로 산출될 수 있다.

Ⓑ ⑧은 마그마가 퇴적층의 충리를 따라 관입하여 넓은 판 모양으로 굳어져 생성된 화성암이다.

Ⓒ 마그마가 지하 깊은 곳에서 서서히 냉각될수록 광물 결정의 평균 크기는 크다. 따라서 ⑦, ⑧, ⑨ 중 광물 결정의 평균 크기는 ⑨이 가장 크다.

## 12 화성암의 분류

화성암은  $\text{SiO}_2$  함량(화학 조성과 광물의 조성)에 따라 염기성암, 중성암, 산성암으로 분류하고, 냉각 속도(암석의 조직)에 따라 화산암과 심성암으로 분류한다.

Ⓐ A는 결정 크기가 크고,  $\text{SiO}_2$  함량이 52 % 미만이므로 반려암이다. 반려암은 심성암이므로 조립질 조직이 나타난다.

Ⓑ B는 결정 크기가 작고,  $\text{SiO}_2$  함량이 63 % 이상이므로 유문암이다.

Ⓒ 화강암은  $\text{SiO}_2$  함량이 63 % 이상인 산성암에 속한다. 따라서 A와 B 중 화강암과 화학 조성이 유사한 암석은 B(유문암)이다.

## 수능 3점 테스트

본문 32~37쪽

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

## 01 지진대와 열점의 분포

플룸 구조론은 판과 맨틀 전체의 상호 관계가 중심이며, 열점에서의 화산 활동과 같이 판의 내부에서 일어나는 화산 활동을 설명하기 위해 대두되었다.

Ⓐ (가)의 지진은 대부분 판의 경계를 따라 발생한다. 천발 지진은 모든 종류의 판의 경계에서 일어날 수 있지만 심발 지진은 섭입대가 발달한 수렴형 경계에서만 일어날 수 있다. 따라서 (가)의 지진은 심발 지진보다 천발 지진이 많다.

Ⓑ (나)의 열점에서는 현무암질 마그마가 분출한다. 안산암질 마그마는 주로 수렴형 경계인 해구 부근에 위치한 호상 열도나 화산에서 분출한다.

Ⓒ 판의 경계와 지진대는 잘 일치하지만, 열점은 판의 경계뿐만 아니라 판의 내부에도 존재한다. 따라서 판의 경계를 파악하려면 (나)보다 (가)의 자료가 유용하다.

## 02 섭입대와 판의 이동 속력

판을 움직이는 원동력에는 섭입하는 판이 잡아당기는 힘, 해령에서 판을 밀어내는 힘, 맨틀 대류에 의한 힘 등이 있다. 과학자들은 섭입하는 판이 잡아당기는 힘을 가장 주요한 요인으로 생각하고 있다.

Ⓓ 판의 이동 속력은 ④(태평양판)과 ⑤(코코스판)이 매우 빠르지만, 판의 크기를 비교하면 ⑥은 매우 크고, ⑦은 매우 작다. 따라서 판의 크기와 판의 이동 속력은 직접적인 관련성이 없다는 것을 추론할 수 있다.

Ⓐ 자료에서 해구가 차지하는 비율이 높을수록 판의 평균 이동 속력이 빠른 경향이 나타난다. 따라서 판의 평균 이동 속력은 ⑧이 ⑨보다 느리다는 것을 추론할 수 있다.

Ⓒ ⑩(유라시아판)은 ⑪(태평양판)과 달리 섭입대가 거의 존재하지 않는다. 따라서 섭입하는 판이 판 전체를 잡아당기는 힘은 ⑫이 ⑬보다 훨씬 작다.

## 03 열점 활동과 해저 화산의 분포

열점은 암석권보다 깊은 곳에 고정되어 있으며, 열점의 마그마가 분출하여 화산 활동이 일어나고 화산체가 만들어진다. 이때 화산체는 판의 이동 방향을 따라 배열된다.

Ⓐ 화산군 A와 B에서 해저 화산체들의 연령은 판의 경계 ⑭에서 멀어질수록 많아진다. 따라서 판의 경계 ⑮은 발산형 경계이다.

Ⓒ 화산군 B에서 가장 먼저 형성된 화산체의 연령은 8천만 년보

다 적다. 따라서 화산군 B를 형성한 열점의 활동이 시작된 시점은 8천만 년 전 이후이다.

㉡. 화산군 C에는 최근 형성된 화산체가 존재하지 않으며, 과거에 형성된 화산체가 북동쪽으로 배열되어 있다. 한편 같은 판에 속한 화산군 A에는 최근에 형성된 화산체들이 동쪽 방향으로 배열되어 있다. 따라서 화산군 C가 포함된 판은 현재 동쪽으로 이동하고 있다.

## 04 섭입하는 판의 경사

판이 지구 내부로 섭입함에 따라 지진이 일어나는 깊이가 점점 깊어진다. 따라서 지진이 일어나는 깊이 분포를 이용하여 섭입하는 판의 경사를 추정할 수 있다.

㉠. 판이 섭입할 때 베니오프대 부근에서 지진이 일어나므로 진원의 평균 깊이는 섭입하는 판의 깊이가 얕은 ⑦이 ⑨보다 얕다.

㉡. 해구 부근의 두 판 중 밀도가 큰 판이 밀도가 작은 판 아래로 섭입한다. 따라서 (나)에서 판의 밀도는 해구의 동쪽에 위치한 판이 해구의 서쪽에 위치한 판보다 크다.

㉢. 판의 깊이를 나타낸 등치선의 간격은 (가)가 (나)보다 넓다. 따라서 섭입하는 판의 평균 기울기는 (가)가 (나)보다 작다.

## 05 열점 활동으로 형성된 화산섬의 연령

고정된 열점에서 분출된 마그마에 의해 형성된 화산섬은 판의 이동 방향을 따라 배열된다. 따라서 화산섬의 형성 시기는 열점에서 멀수록 오래되었다.

㉣. 화산섬에서 측정된 X의 함량은 동쪽으로 갈수록 감소하므로 열점 활동으로 형성된 화산섬의 연령은 동쪽으로 갈수록 많아진다. 따라서 현재 판의 이동 방향은 동쪽이며, 열점은 맨틀 내부에 고정되어 있어 이동하지 않는다.

㉤. A, B, C를 이루는 화성암은 모두 열점에서 분출한 현무암질 마그마가 굳어져 생성되었다. 따라서 A, B, C를 이루는 화성암의  $\text{SiO}_2$  함량은 52 % 미만이다.

㉥. 방사성 동위 원소는 같은 시간 동안 같은 비율만큼 붕괴한다. 즉, X의 함량이 80 %에서 40 %로 감소하는 데 걸리는 시간은 40 %에서 20 %로 감소하는 데 걸리는 시간과 같다. 따라서 A와 B의 연령 차는 B와 C의 연령 차보다 크다. 한편 판의 이동 속도는 일정하다고 했으므로 A와 B 사이의 거리는 B와 C 사이의 거리보다 멀다.

## 06 화산 활동

섭입대 부근에는 판의 경계와 나란하게 화산이 분포하고, 열점 부근에는 판의 이동 방향과 나란하게 화산체가 분포한다.

㉥. 이 지역에는 판 경계와 나란하게 육지 쪽에 화산이 분포한다. 따라서 판 경계에는 해양판이 섭입하는 해구가 존재한다. 새로운 해양 지각은 해령에서 생성된다.

㉡. 화산과 용암 대지가 포함된 판의 이동 방향은 열점 활동으로 형성된 용암 대지의 배열 방향으로부터 알 수 있다. 이 판은 현재 남서쪽으로 이동하고 있다.

㉢. ⑦에서는 주로 안산암질 마그마가 분출하고, ⑨에서는 현무암질 마그마가 분출한다. 따라서 화산에서 분출하는 마그마의 평균  $\text{SiO}_2$  함량(%)은 ⑦이 ⑨보다 많다.

## 07 맨틀에서 지진파의 속도 편차

지진 단층 촬영 영상에서 지진파의 속도가 빠른 곳은 주위보다 온도가 낮고 밀도가 크다.

㉣. A에서는 주변보다 온도가 높은 맨틀 물질이 상승하는 뜨거운 플룸이 나타난다.

㉤. 같은 깊이에서 맨틀 물질의 평균 밀도는 지진파의 속도 편차가 (-)인 곳이 (+)인 곳보다 작으므로 A가 B보다 작다.

㉥. A와 B에서 나타나는 맨틀 물질의 연직 운동은 판의 운동에 영향을 미칠 수 있지만 판을 이동시키는 직접적인 힘이라고 할 수 없다. 판의 이동은 수평 방향으로 나타나며, 판을 이동시키는 주요 힘은 섭입대에서 판을 잡아당기는 힘과 해령에서 판을 밀어내는 힘, 맨틀 대류에 의한 힘 등으로 알려져 있다.

## 08 섭입대 부근에서 마그마의 생성

수렴형 경계에서는 섭입하는 지각에서 빠져나온 물의 영향으로 연약권을 구성하는 광물의 용융 온도가 낮아져 현무암질 마그마가 생성된다. 이 현무암질 마그마가 상승하여 대륙 지각 하부에 도달하면 대륙 지각을 이루고 있는 암석이 부분 용융되어 유문암질 마그마가 생성된다. 이후 현무암질 마그마와 유문암질 마그마가 혼합되면 안산암질 마그마가 생성된다.

㉦.  $a \rightarrow a'$  과정에서는 유문암질 마그마가 생성되고,  $b \rightarrow b'$  과정에서는 현무암질 마그마가 생성된다. 따라서 (나)에서 생성된 마그마의  $\text{SiO}_2$  함량(%)은  $a \rightarrow a'$  과정이  $b \rightarrow b'$  과정보다 많다.

㉧. (나)에서 물은 섭입하는 해양판에서 공급되며, 물 공급에 의해 연약권 물질의 용융 온도는 낮아진다.

㉨. 마그마 ⑦은  $a \rightarrow a'$  과정으로 생성된 유문암질 마그마와  $b \rightarrow b'$  과정으로 생성된 현무암질 마그마가 혼합되어 생성될 수 있다.

## 09 마그마가 생성되는 장소

마그마는 주로 맨틀 물질이 상승하는 발산형 경계인 해령과 뜨거운 플룸이 상승하여 형성된 열점, 해양판이 비스듬히 들어가는 섭입대 부근에서 잘 생성된다.

㉩. A의 마그마는 섭입하는 해양 지각에서 빠져나온 물이 연약권으로 공급되면서 연약권 물질이 용융되어 생성된다.

㉪. B는 열점이고, C는 해령 하부이다. 열점과 해령 하부에서는 모두 맨틀 물질이 상승하면서 압력 감소 과정을 거쳐 마그마가 생성된다.

▣. (가)에서는 주로 마그마 혼합 과정을 거쳐 생성된 안산암질 마그마가 분출하고, (나)에서는 주로 압력 감소 과정을 거쳐 생성된 현무암질 마그마가 분출한다. 따라서 지표로 분출하는 마그마의  $\text{SiO}_2$  함량(%)은 대체로 (가)가 (나)보다 많다.

## 10 심해저 단면

심해저에서 시추를 통해 심해저 퇴적물, 해저 현무암질 용암층, 암맥 형태의 관입암층, 반려암층까지 확인되었다. 반려암층 하부에는 감람암으로 구성된 상부 맨틀 암석이 존재할 것으로 추정된다.

▣. 심해저 퇴적물은 점토 성분의 퇴적물과 탄산염 광물, 쳐트 등으로 이루어져 있다. 육지 기원의 모래와 자갈 등은 수심이 얕은 연안에 퇴적된다.

Ⓐ. 화성암이 생성된 깊이는 (나)가 (다)보다 얕다. 따라서 암맥 형태의 (나)는 마그마의 냉각 속도가 빠른 현무암이고, 광물의 크기가 비교적 큰 화성암 (다)는 마그마의 냉각 속도가 느린 반려암이다.

Ⓑ. (나)와 (다)는 모두 해령의 열곡에서 생성되었으며,  $\text{SiO}_2$  함량이 52 % 미만인 염기성암이다.

## 11 화성암의 분류

유리질 조직은 마그마가 지표 부근에서 빠르게 냉각될 때, 조립질 조직은 마그마가 지하 깊은 곳에서 서서히 냉각될 때 생성된다.

Ⓐ. A는  $\text{SiO}_2$  함량이 63 %보다 많고, 비교적 크기가 작은 광물 결정과 유리질 조직이 함께 관찰된다. 따라서 A는 마그마가 지표 부근에서 빠르게 냉각되어 만들어진 유문암이다.

▣. B는  $\text{SiO}_2$  함량이 63 %보다 많고, 비교적 큰 광물 결정으로 이루어진 화강암이다. 화강암은 삼성암이므로 마그마가 지하 깊은 곳에서 서서히 냉각되어 생성된다.

Ⓑ. C는  $\text{SiO}_2$  함량이 52 %보다 적고, 광물 결정의 크기가 작은 현무암이다. 암석의 밀도는 현무암이 유문암이나 화강암보다 크다.

## 12 우리나라의 주요 화성암 지대

마그마가 급속히 냉각될 때 주상 절리가 형성될 수 있고, 삼성암이 융기하여 지표에 노출될 때 판상 절리가 형성될 수 있다.

Ⓐ. (가)에는 지표로 분출한 마그마가 급속히 식으면서 형성된 기둥 모양의 주상 절리가 잘 나타난다.

▣. (가)는 화산암이고, (나)는 삼성암이므로 암석이 생성된 깊이는 (가)가 (나)보다 얕다.

Ⓑ. 주요 구성 암석은 (가)가 현무암, (나)가 화강암이다. 따라서 암석에 포함된  $\text{SiO}_2$  함량(%)은 (가)가 (나)보다 적다.

# 03 퇴적암과 지질 구조

## 수능 2점 테스트

본문 45~47쪽

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

## 01 속성 작용

(가)와 (나)의 길이 척도를 고려하여 퇴적 입자의 크기를 비교하면

(가)는 대부분 1 mm보다 작고 (나)는 대부분 2 mm 이상이다.

▣. 역암은 주요 퇴적물의 입자 크기가 2 mm 이상이다.

Ⓐ. 다짐 작용을 받으면 퇴적 입자 사이의 거리가 가까워져 공극의 부피가 작아진다.

Ⓑ. (가)는 (나)보다 퇴적 입자의 크기가 작고 퇴적 입자 사이의 거리가 가깝기 때문에 단위 부피당 퇴적 입자의 개수는 (가)가 (나)보다 많다.

## 02 쇄설성 퇴적암

주요 퇴적물 입자가 자갈이면 역암, 모래이면 사암, 실트 또는 점토이면 이암이나 세일이다.

▣. 실트와 점토의 구성 비율에 대한 모래 또는 자갈의 구성 비율이 작은 암석이 세일이므로 A는 세일이다.

▣. B는 자갈의 구성 비율이 크므로 역암이며, 연흔은 사암과 세일에 비해 역암에 나타나기 어렵다.

Ⓐ. 역암, 사암, 세일은 모두 쇄설성 퇴적물이 퇴적된 쇄설성 퇴적암이다.

## 03 유기적 퇴적암

규질 생물체가 퇴적되어 쳐트나 규조토가 생성되고, 석회질 생물체가 퇴적되어 석회암이 생성된다.

Ⓐ. 규질 생물체가 퇴적되면 쳐트가 만들어질 수 있다.

Ⓑ. 석회암 중 유기적 퇴적암에서는 석회질 생물체의 유해나 골격이 발견될 수 있다.

▣. 석회암은 화학적 퇴적암 또는 유기적 퇴적암이다.

## 04 퇴적 구조

B 구간에서 위로 갈수록 입자의 크기가 점점 커지는 것을 통해 점이 층리의 위아래가 뒤집어진 것을 알 수 있으며, 이 지층은 역전되었다.

▣. 사암은 쇄설물 입자의 크기가  $\frac{1}{16}$  mm ~ 2 mm이다. A를 구성하는 주요 입자들의 크기가 2 mm보다 크므로 A는 사암층

이 아니다.

- Ⓐ 이 지역의 지층에는 부정합이 없으므로 A, B, C 구간은 연속적으로 퇴적되었다. B를 통해 지층의 역전을 확인할 수 있으므로 A, B, C는 함께 역전되었으며 A는 C보다 먼저 생성되었다.
- Ⓑ B의 접이 층리의 위아래가 뒤집어져 있으므로 B의 지층은 역전되었다.

## 05 절리와 퇴적 구조

(가)는 건열이고, (나)는 주상 절리이다.

✖ (가)는 건열이므로 퇴적암에서 관찰된다.

- Ⓐ ① 방향으로 다각형의 긴 기둥 모양의 절리가 형성되었으므로, ② 방향의 수직으로 자른 단면 모양은 다각형이다.
- Ⓑ (가)는 퇴적층의 수분이 증발되어 퇴적층의 부피가 수축하여 형성되고, (나)는 마그마가 냉각되어 마그마의 부피가 수축하여 형성된다.

## 06 연흔

퇴적물이 물결의 영향을 받아 퇴적되었으므로 수심이 얕은 물밑에서 연흔이 형성되는 과정을 나타낸 것이다.

- Ⓐ 연흔은 수심이 얕은 환경에서 물결의 영향을 받아 형성된다.
- ✖ 퇴적 환경 중 육상 환경의 호수나 하천에서도 연흔이 만들어 질 수 있다.
- Ⓐ 연흔이 형성된 지층의 층리면을 내려다보면 수면의 모습과 유사한 물결 모양의 자국이 관찰된다.

## 07 단층

대륙 지각이 갈라지는 판의 발산형 경계에 해당한다.

- Ⓐ 판의 발산형 경계에 해당하므로 주로 장력이 작용한다.
- ✖ 장력이 작용하여 정단층이 발달하므로 단층의 상반이 하반에 대해 중력 방향으로 이동한다.
- ✖ 습곡은 횡압력이 작용하는 곳에서 형성되므로 장력이 작용하는 판의 발산형 경계에서는 습곡이 발달하기 어렵다.

## 08 단층

(가)는 역단층, (나)는 정단층이다.

- Ⓐ ①과 ②은 모두 단층면의 아래에 있으므로 하반이다.
- ✖ ①은 단층면을 향하는 방향으로, ②은 단층면에서 멀어지는 방향으로 힘이 작용한다.
- Ⓐ 습곡과 역단층은 횡압력에 의해 형성된다.

## 09 절리

(가)에는 주상 절리, (나)에는 판상 절리가 나타난다.

✖ (나)에는 판상 절리가 나타나며 (나)는 화성암 지형이다.

Ⓐ 주상 절리가 발달한 암석은 마그마가 지표 부근에서 빠르게 냉각되어 생성된 화산암이고, 판상 절리가 발달한 암석은 마그마가 지하 깊은 곳에서 서서히 냉각되어 생성된 심성암이다.

✖ 판상 절리는 지하 깊은 곳에서 생성된 암석이 지표로 융기하는 과정에서 만들어지므로 주로 마그마가 급격히 냉각되는 과정에서 형성되는 주상 절리에 비해 암석과 절리의 생성 시기 차이가 크다.

## 10 부정합

부정합은 부정합면을 경계로 상하 지층이 나란한 평행 부정합, 상하 지층의 경사가 서로 다른 경사 부정합, 부정합면의 하부에 심성암이나 변성암이 분포하는 난정합으로 구분한다.

- Ⓐ A를 경계로 상하 지층의 경사가 서로 다르므로, A를 경계로 상하 지층은 경사 부정합 관계이다.
- Ⓑ 가장 하부에 있는 첫 번째 부정합이 관입 당했으므로, 첫 번째 부정합이 형성된 이후에 관입이 일어났다.
- Ⓒ 부정합이 세 번 형성되었고, 현재 지표면이 수면 위로 드러나 있으므로, 이 지역은 최소 4회 융기했다.

## 11 습곡과 단층

습곡이 형성된 이후 정단층(오른쪽)이 형성되었다. 이후 지층이 융기하여 침식되었으며, 침강 및 퇴적으로 부정합이 형성되었다. 이후 정단층(왼쪽)이 형성되었다.

- Ⓐ 습곡 구조 중 위로 볼록한 부분은 배사이다.
- ✖ 지질 단면에서 관찰되는 두 단층은 모두 정단층이다.
- ✖ 습곡 → 단층 → 부정합 → 단층 순으로 형성되었다.

## 12 관입과 포획

마그마는 B의 약한 부분을 뚫고 관입하여 냉각되어 A를 형성하였다.

- Ⓐ 마그마의 열로 인해 A와 B의 경계 부근에서는 B가 변성 작용을 받을 수 있다.
- Ⓑ 관입한 A는 관입 당한 B보다 나중에 형성되었으므로 A에 B의 조각이 포획되었다.
- Ⓒ A가 B를 관입하였으므로 A는 B보다 나이가 적다.

### 수능 3점 테스트

본문 48~53쪽

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

## 01 속성 작용

퇴적물이 속성 작용을 받아 퇴적암이 될 때 공극의 평균 크기가 작아지고 교결 물질이 증가한다.

- Ⓐ ⑦은 ⑤보다 교결 물질의 비율이 크므로 교결 작용을 많이 받았다.  
Ⓑ ⑤은 ⑨보다 공극의 비율이 작고 퇴적물의 비율이 크므로 다짐 작용을 더 많이 받은 것이며 퇴적 입자 사이의 평균 거리가 짧다.  
⓪ 퇴적물이 속성 작용을 받아 ⑨ → ⑤ → ⑦ 순으로 변하였다.

## 02 퇴적암의 종류

A 과정을 거쳐 쇄설성 퇴적암이, B 과정을 거쳐 유기적 퇴적암이, C 과정을 거쳐 쇄설성 퇴적암 중 응회암 등이 생성될 수 있다.  
Ⓐ 지표의 암석이 쇄설물이 되려면 풍화·침식 작용을 받아야 한다.  
Ⓑ 석회질 생물체의 유해나 골격이 퇴적되면 석회암이 생성된다.  
Ⓒ 화산 분출은 육상과 해양에서 모두 발생할 수 있으며, 화산 쇄설물은 육상 환경과 해양 환경에서 모두 퇴적될 수 있다.

## 03 퇴적 구조와 지질 구조

A 지층과 B 지층의 경계에는 연흔이, C 지층의 윗부분에는 건열이 나타난다.  
Ⓐ 연흔을 통해 A 지층과 B 지층이 역전되지 않은 상태인 것을 알 수 있으므로 A 지층이 B 지층보다 먼저 생성되었다.  
Ⓑ 연흔은 수심이 얕은 곳에서 형성된다.  
Ⓒ C 지층은 퇴적물 표면이 건조한 환경에 노출되어 건열이 형성되었다.

## 04 퇴적암과 퇴적 구조

침전 작용으로 생성되는 암석은 화학적 퇴적암이며, 퇴적 구조는 층리면에서 관찰되는 모습과 지층 단면에서 관찰되는 모습이 다르다.

- Ⓐ  $\text{SiO}_2$ 가 침전되어 척트가 생성된다.  
Ⓑ  $\text{SiO}_2$ 가 침전되어 생성된 퇴적암이 두꺼워졌으며 다짐 작용까지 고려하면 수심이 얕아지는 동안 침전된  $\text{SiO}_2$ 의 양은 증가하였을 것으로 추정할 수 있다.  
⓪ (나)는 사층리를 층리면이 아닌 지층의 연직 단면에서 관찰한 모습이다.

## 05 퇴적 환경

㉠은 삼각주, ㉡은 해빈, ㉢은 선상지에 대한 설명이다.  
Ⓐ 삼각주는 하천에서 바다 쪽으로 넓게 펼쳐진 삼각형 모양을 이룬다.

- ⓪ 해빈은 연안 환경에 해당한다.  
⓫ 삼각주는 하천의 하류에 위치해 있어서 입자의 크기가 작은 퇴적물의 비율이 높고, 선상지는 자갈을 비롯하여 여러 종류의 쇄설물이 퇴적된 곳이다.

## 06 퇴적 환경

사구는 연안 환경에서 형성될 수 있는 모래 언덕으로, 주요 퇴적물은 모래이다.

- Ⓐ 해빈은 연안 환경에 해당한다.  
Ⓑ 이 지역의 사구는 해안에서 육지 쪽으로 부는 바람의 작용에 의해 형성되었으므로 사구에서 사층리가 관찰될 수 있다.  
Ⓒ 해빈과 사구는 모래가 주요 퇴적물이므로 이 지역에서는 사암이 생성될 수 있다.

## 07 지질 구조

(다)는 지층 모형의 중심부가 위로 볼록하게 구부러지도록 하였으므로 습곡의 배사 구조에 해당하고, (라)는 상반에 해당하는 부분을 아래 방향으로 이동시켰으므로 정단층에 해당하며, (마)는 수평 방향으로의 침식과 새로운 지층을 퇴적시킨 것이므로 부정합의 형성 과정에 해당한다.

- Ⓐ ⑦은 지층 모형을 수평 방향으로 절단하여 절단면의 위쪽 둉어리를 제거한 것이므로 지층의 침식 과정에 해당한다.  
⓪ (다) 과정에서는 횡압력이, (라) 과정에서는 장력이 작용한다.  
Ⓒ (마)는 부정합의 형성 과정에 해당한다.

## 08 습곡과 단층

습곡축면이 거의 수평으로 누운 횡와 습곡에서는 먼저 생성된 지층이 나중에 생성된 지층보다 위쪽에 위치할 수 있다.

- ⓪ 습곡 작용과 역단층으로 인해 일부 구간에서는 먼저 생성된 지층이 나중에 생성된 지층보다 위쪽에 위치하지만 A는 상반, 하반에서 모두 가장 위에 있는 지층이므로 가장 나중에 생성되었다.  
Ⓓ 단층에 의해 습곡이 잘렸으므로 단층이 습곡보다 나중에 형성되었다.  
Ⓔ 역단층과 습곡은 모두 횡압력을 받아 형성된다.

## 09 포획과 부정합

단층에 의해 ㉠과 ㉡이 잘렸으므로 단층이 두 부정합보다 나중에 형성되었다.

- Ⓐ Ⓛ의 하부가 심성암이므로 Ⓛ은 난정합면이다.  
 Ⓛ 두 부정합이 형성된 이후에 역단층이 형성되었다.  
 Ⓛ 포획암은 기존에 존재하던 암석의 조각이 마그마가 관입할 때 마그마 속으로 유입된 것이므로 포획암이 가장 오래된 암석이다.

## 10 절리와 단층

- A는 주상 절리가 관찰되는 화산암이다.  
 ✗ A는 단층에 의해 잘리지 않았으므로 단층이 형성된 후 A가 생성되었다.  
 Ⓛ 주상 절리는 주로 마그마가 급격히 냉각되는 과정에서 형성되므로, A는 마그마가 지표 부근에서 급격히 냉각되어 생성되었다.  
 Ⓛ 단층이 형성된 후 지층이 융기하였고 상반의 일부가 침식되었다.

## 11 주상 절리

- 마그마는 냉각핵을 중심으로 냉각되고, 서로 닿는 부분에서 선분을 만들면서 최종적으로 다각형 모양으로 만들어진다.  
 Ⓛ 다각형 모양으로 만들어지는 것을 통해 주상 절리가 형성되는 과정임을 알 수 있다.  
 Ⓛ 마그마는 냉각핵을 중심으로 냉각되기 때문에 다각형의 형태와 크기는 냉각핵의 분포에 따라 달라진다.  
 ✗ 주상 절리는 화산암이 생성될 때 만들어진다. 한편 판상 절리가 형성되려면 암석이 생성된 후 융기해야 한다.

## 12 부정합과 퇴적 구조

- ① 건열의 모습을 통해 부정합 하부의 지층들은 역전되지 않았음을 알 수 있다. 따라서 X에서 Y로 갈 때 부정합면까지는 지층의 연령이 적어진다. 부정합면에서 지층의 연령이 불연속적으로 변하며, 이후 Y까지 정합 관계의 지층이므로 지층의 연령이 계속 적어진다.

# 04 지구의 역사

## 수능 2점 테스트

본문 61~64쪽

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

### 01 지사학의 법칙

- 이 지역의 지질학적 사건을 시간 순서대로 나열하면 D 퇴적 → 습곡 → B 관입 → 부정합 → A 퇴적 → C 관입 순이다.  
 ✗ 생성 순서는 D → B → A → C이다.  
 Ⓛ 관입한 암석 B는 관입 당한 암석 D보다 나중에 생성되었다.  
 ✗ A와 C는 관입의 법칙을 이용하여 생성 순서를 결정한다.

### 02 관입과 포획

- A는 B가 관입할 때 주변 암석으로부터 떨어져 나온 조각인 포획암이다.  
 Ⓛ A의 가장자리 부분은 관입한 마그마에 의해 변성 작용을 받았다.  
 Ⓛ 관입한 암석 B는 관입 당한 암석 C보다 나중에 생성되었다.  
 Ⓛ B 내부에 주변의 암석인 C의 조각이 포획될 수 있다.

### 03 암상에 의한 지층 대비

- 인접한 세 지역이므로 암상에 의한 대비를 통해 Ⅲ 지역에서 응회암층은 세일층과 석회암층 사이에 있다는 것을 추론할 수 있다.  
 Ⓛ 세 지역에 모두 응회암층이 있으므로 응회암층은 건층으로 이용할 수 있다.  
 Ⓛ 암상에 의한 대비를 통해 Ⅲ 지역에서 응회암층은 세일층과 석회암층 사이에 있다는 것을 알 수 있다.  
 Ⓛ 세 지역의 지층 중 I 지역의 가장 위에 있는 이암층이 가장 최근에 생성되었다.

### 04 화석에 의한 지층 대비

- ※ 생물의 흔적으로 생성된 화석이라도 특정 시기에 생존했던 생물이라는 것을 알아낼 수 있다면 표준 화석이므로 지층 대비에 이용할 수 있다.  
 ※ 응회암층과 같은 건층을 이용하는 지층 대비는 암상에 의한 대비이다.  
 ※ 시상 화석에 대한 설명으로, 시상 화석은 지층이 생성된 특정 시기를 알려주지 못하므로 화석에 의한 지층 대비에 이용하기에

적합하지 않다.

▣ 서로 멀리 떨어져 있는 지층이더라도 동일한 표준 화석이 산출되면 대비가 가능하므로, 화석을 이용하여 서로 다른 대륙에 있는 지층 대비가 가능하다.

⑤ 삼엽충 화석은 표준 화석으로 지층의 생성 시기가 고생대라는 것을 알려준다.

## 05 상대 연령

이 지역의 지질학적 사건을 시간 순서대로 나열하면 C 퇴적 → B 퇴적 → E 관입 → 부정합 → A 퇴적 → 단층 → D 관입 → 부정합 순이다.

▣ 이 지역에서는 상반기 하반기 대해 위로 이동한 역단층이 관찰된다. 단층이 형성된 후 관입(D)이 일어나 단층이 끊어져 보인다.

⑥ A의 하부에는 B와 E의 침식물이 포함될 수 있다.

⑦ C → B → E → A → D 순으로 생성되었다.

## 06 상대 연령

B를 제외한 모든 지층과 암석이 단층  $f-f'$ 에 의해 어긋난 것을 통해 B가 가장 마지막에 생성되었다는 것을 알 수 있다.

⑧ 단층 상반기 중간 부분에 A가 존재하지 않고 변성 영역만 존재하는 곳이 있는 것은 A가 침식되었기 때문이다.

⑨ 단층에 의해 끊어진 A가 단층에 의해 끊어지지 않은 B보다 먼저 생성되었다.

⑩ C에서 기저 역암이 분포하는 영역이 단층에 의해 끊어졌으므로 C의 기저 역암은 단층  $f-f'$ 보다 먼저 생성되었다.

## 07 절대 연령

방사성 동위 원소와 자원소를 이용하여 절대 연령을 구할 때 광물에 포함된 원소만 고려한다. 광물 주변의 원소는 고려하지 않는다.

⑪ 광물에 포함된 ①은 계속 증가하고 ②은 계속 감소하므로, ③은 방사성 붕괴하는 모원소 X이고 ④은 생성되는 자원소 Y이다.

⑫ 3억 년 후에 광물에 포함된 X가 처음 양의 50%가 되었으므로 방사성 동위 원소 X의 반감기는 3억 년이다.

⑬ 방사성 동위 원소 X의 함량이 50%에서 25%로 되는 데 걸리는 시간이 3억 년인데, 50%에서 37.5%로 되는 데 걸리는 시간이 37.5%에서 25%로 되는 데 걸리는 시간보다 짧다. 따라서 n은 4.5보다 작다.

## 08 절대 연령

이 화성암의 생성 당시 Y의 함량이 0%가 아니지만, Y의 함량(%)은 이 화성암의 생성 당시 X의 양을 100%라고 할 때를 기준으로 하므로 X의 반감기는 X가 붕괴하여 생성된 Y의 함량 변화를 통해 구할 수 있다.

⑭ 이 화성암의 생성 당시 Y의 함량이 12.5%이고, 이 화성암이

생성되고 1억 년이 지났을 때 Y의 함량이 62.5%이므로 1억 년 동안 Y의 함량이 50% 증가하였다. 따라서 X의 반감기는 1억 년이다.

▣ 이 화성암에 포함된 X가 두 번의 반감기를 거쳤다면 현재 이 화성암의 Y 함량은  $87.5\%(12.5\%+75\%)$ 가 되어야 한다. 현재 이 화성암의 Y 함량은 75%이므로, 이 화성암에 포함된 X는 두 번의 반감기를 거치지 않았다.

⑮ Y의 함량(%)은 이 화성암의 생성 당시 X의 양을 100%라고 할 때를 기준으로 하므로 X가 100% 붕괴하면 Y의 함량도 100% 증가한다. 이 화성암의 생성 당시 Y의 함량이 12.5%이므로, X가 모두 붕괴하면 Y의 함량은 100%가 넘는다.

## 09 절대 연령

Q는 2회 반감하여 절대 연령이  $2T(T: 반감기)$ 이고, P에 포함되어 있는 X의 양은 75%이다. 암석에 포함되어 있는 방사성 동위 원소의 양이 100%에서 75%로 되는 데 걸리는 시간은 75%에서 50%가 되는 데 걸리는 시간보다 짧으므로, P의 절대 연령은  $\frac{T}{2}$ 보다 적다.

⑯ P가 Q를 관입하였으므로 A → Q → P 순서로 생성되었다.

⑰ X의 양이 100%에서 75%가 되는 데 걸리는 시간은  $\frac{T}{2}$ 보다 짧고, 50%에서 25%가 되는 데 걸리는 시간은 T이다.

⑱ P의 절대 연령은  $\frac{T}{2}$ 보다 적으므로 P의 절대 연령을 3배 하더라도 Q의 절대 연령인  $2T$ 보다 적다.

## 10 지질 시대의 생물

남세균과 에디아카라 동물군 모두 선캄브리아 시대에 출현하였다. 남세균은 현재도 생존하는 생물이며 현재 스트로마톨라이트도 만들어지고 있다.

⑲ 스트로마톨라이트를 만드는 남세균은 대기 중에 산소가 거의 없던 시기에 출현하여 광합성을 통해 대기 중 산소 농도 증가에 기여하였다.

⑳ 에디아카라 동물군 화석은 선캄브리아 시대에 생존했던 생물의 화석이므로 표준 화석이다.

㉑ 남세균은 에디아카라 동물군보다 먼저 출현하였다.

## 11 지질 시대의 생물

속씨식물은 중생대 백악기에 출현하였고 신생대에 번성하였다. 삼엽충과 와족류는 고생대에 출현하였고 삼엽충은 고생대 말에 멸종하였다.

㉒ A는 속씨식물 화석을 포함하고 있으므로 중생대 백악기 이후

- 에 생성된 지층이고, B는 고생대 생물 화석을 포함하고 있으므로 A가 B보다 나중에 생성되었다.
- Ⓐ 삼엽충은 고생대에만 생존한 생물이므로 삼엽충 화석은 표준 화석이다.
- ☒ A는 육상 환경에서 생성되었고, B는 삼엽충과 완족류 화석이 발견되므로 바다에서 생성되었다.

## 12 지질 시대의 생물

- ㉠은 선캄브리아 시대 중 원생 누대, ㉡은 고생대, ㉢은 중생대와 신생대이다.
- ☒ 최초의 생물은 ㉠보다 앞선 시기인 시생 누대에 출현하였다.
- ☒ 공룡이 출현한 시기는 중생대이므로 ㉢에 해당한다.
- ☒ 양치식물이 대규모로 퇴적되어 두꺼운 석탄층이 생성된 것은 고생대 석탄기(㉡ 기간 중)이다.
- ☒ 고생대 기간 중에 빙하기가 있었다.
- ⑤ 속씨식물이 등장했을 때부터 양치식물, 겉씨식물, 속씨식물은 모두 공존하여 살고 있다.

## 13 지질 시대의 생물

- 회폐석 화석은 신생대, 삼엽충과 필석 화석은 고생대의 표준 화석이다.
- ㉡. 회폐석이 변성한 시기는 팔레오기, 네오기이며 이때 속씨식물이 변성하였다.
- ㉡. 삼엽충 화석과 필석 화석은 고생대의 표준 화석이다.
- ㉢. (가), (나), (다) 모두 표준 화석이므로 화석에 의한 지층 대비에 이용될 수 있다.

## 14 지질 시대의 환경

- (가)는 현재 수륙 분포와 유사한 모습으로 신생대 팔레오기에 해당하고, (나)는 초대륙 판계아가 형성된 고생대 폐름기에 해당한다.
- ☒. 속씨식물은 중생대 백악기에 출현하였다.
- ☒. 판계아가 갈라지면서 대서양이 형성되었다.
- ㉢. (가)는 (나)보다 현재와 가까운 시점이며, 현재의 수륙 분포와 유사하다.

## 15 지질 시대의 생물

- 산출되는 생물의 화석을 이용하여 해당 생물의 생존 기간을 결정하게 된다. 특정 시기에만 생존한 생물도 있고, 출현한 후 현재까지 생존하고 있는 생물도 있다.
- ☒. A는 데본기 중기부터 백악기까지 생존했으므로 A의 화석은 고생대 지층에서도 발견될 수 있다.
- ☒. B는 데본기 중기부터 현재까지 생존하고 있고, C는 캄브리아 기부터 폐름기까지 생존하였다. 따라서 B는 C보다 생존 기간이

길다.

- ㉢. D는 트라이아스기 초기에, E는 트라이아스기 후기에 출현하였다.

## 16 대멸종

- ㉠은 데본기 후기, ㉡은 폐름기 말, ㉢은 백악기 말에 발생한 대멸종이다.
- ☒. 속씨식물은 중생대에 출현하였다.
- ㉡. 삼엽충은 폐름기 말 대멸종 시기에 멸종하였다.
- ☒. 매머드는 신생대의 생물이다.

### 수능 3점 테스트

본문 65~71쪽

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

## 01 지사학의 법칙

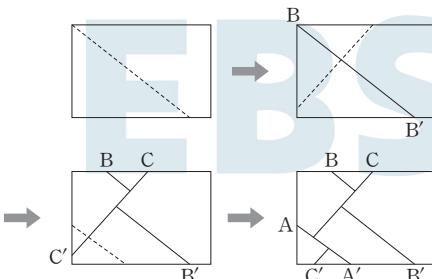
- ①에는 중생대의 표준 화석인 공룡 화석이, ②에는 고생대의 표준 화석인 삼엽충 화석이 포함되어 있다.  
 ③ A에서는 ④이, B에서는 ⑤이 산출되었다.  
 ⑥ B에서는 삼엽충 화석이 산출되었으므로 B는 고생대에 생성되었다.  
 ⑦ 삼엽충 화석이 포함된 화석군이 아래에, 공룡 화석이 포함된 화석군이 위에 위치하므로 동물군 천이의 법칙을 이용하여 이 지역의 지층이 역전되지 않았음을 알 수 있다.

## 02 지층의 생성 순서

- 편마암이 침식된 후 그 위로 이암, 셰일, 사암이 퇴적되었다. 이후 정단층이 형성되었고 화강암이 관입하였다.  
 ⑧ 단층  $f-f'$ 은 정단층이므로 장력을 받아 형성되었다.  
 ⑨ 사암이 생성된 이후에 단층이 형성되었고 그 이후에 화강암이 생성되었다.  
 ✕ ⑩은 퇴적 시기가 연속적인 지층 경계이고, ⑪은 단층에 의해 퇴적 시기가 불연속적인 지층 경계(상반의 사암층과 하반의 셰일층의 불연속적인 경계)이므로 지층 경계에 접촉한 상부와 하부의 암석 연령 차는 ⑫ 지점이 ⑬ 지점보다 작다.

## 03 상대 연령

- 이 지역의 단층은 아래 그림과 같이  $(B-B') \rightarrow (C-C') \rightarrow (A-A')$  순으로 형성되었다. 그림에서 점선은 단층이 형성된 위치를 나타낸 것이다.



- ⑭  $(B-B')$ 은 상반과 하반의 이동을 파악할 단서가 없으므로 어떤 종류의 단층인지 파악할 수 없다.  $(C-C')$ 은  $(B-B')$ 의 단층면 이동을 통해 역단층임을 알 수 있다.  $(A-A')$ 은  $(C-C')$ 의 단층면 이동을 통해 역단층임을 알 수 있다.

- ✕  $(B-B') \rightarrow (C-C') \rightarrow (A-A')$  순으로 단층이 형성되었다.  
 ✕ 상반과 하반의 이동에 의해 수평층이 기울어지지는 않았으며, 지표면의 ⑦에서 북쪽으로 갈 때 단층면을 지나지 않으므로 지표면에서의 지층의 퇴적 시기는 동일하다.

## 04 분출과 관입

- B는 화강암이 침식된 후에 퇴적되었고, D는 화강암이 관입하기 전에 존재한 지층이다. 점이 충리는 수심이 깊은 환경에서 형성되고, 건열은 지층이 건조한 대기에 노출될 때 형성된다.  
 ✕ (가)의 B 하부에서 화강암의 침식물이 관찰되므로 B는 화강암이 생성된 이후에 생성되었다. (나)에서 D의 조각이 화강암에 포획되어 있으므로 D는 화강암보다 먼저 생성되었다. 따라서 B는 D보다 나중에 퇴적되었다.  
 ⑭ A는 점이 충리가 관찰되므로 건열이 관찰되는 C보다 평균 수심이 깊은 곳에서 생성되었다.  
 ⑮ 마그마가 관입하여 화강암이 생성될 때 주변의 지층이 변성작용을 받을 수 있으므로 D에서 변성 작용을 받은 부분이 발견될 수 있다.

## 05 절대 연령

- A의  $\frac{Y\text{의 양}}{X\text{의 처음 양}} = \frac{375}{1125+375} = \frac{375}{1500} = 0.25$ ,  
 B의  $\frac{Y\text{의 양}}{X\text{의 처음 양}} = \frac{5.2}{1.3+5.2} = \frac{5.2}{6.5} = 0.8$ 이다.  
 ⑯  $\frac{Y\text{의 양}}{X\text{의 처음 양}} = 0.5$ 일 때 감소한 X와 증가한 Y가 1 : 1이라는 의미이므로 X의 반감기는 4억 년이다.  
 ⑰ 현재 A에 포함된 X의 양과 Y의 양의 합이 X의 처음 양이므로 A에 포함된 X의 처음 양은 1500 ppm이다.  
 ✕ B의  $\frac{Y\text{의 양}}{X\text{의 처음 양}} = 0.8$ 이므로 현재 B에 포함된 X는 반감기를 3회까지 거치지 않았다.

## 06 절대 연령

- Q는 R보다 남아 있는 X의 함량이 적으므로 Q가 R보다 오래된 암석이다. 따라서 암석의 생성 순서는 Q → R → P이다.  
 ⑱ X의 함량이 75 %에서 37.5 %가 되는 데 걸리는 시간이 2억 년이므로 X의 반감기는 2억 년이다.  
 ⑲ R에 남아 있는 X 함량이 처음 양의 75 %이므로 절대 연령은 반감기의  $\frac{1}{2}$ 보다 적다. P는 R보다 최근에 생성된 암석이므로 P의 절대 연령도 1억 년보다 적다.  
 ✕ Q는 R보다 절대 연령이 2억 년 많은데, R는 절대 연령이 1억 년 미만이므로, Q의 절대 연령은 3억 년 미만이다. 부정합은 Q 생성 이후에 형성되었으므로 부정합이 형성된 시기는 3억 년 전

보다 오래되지 않았다.

## 07 절대 연령

마그마 내부에 자원소가 포함되어 있으나 새로 생성된 광물 내부에는 자원소가 포함되어 있지 않다. 암석 생성 이후 시간이 지남에 따라 모원소가 붕괴하여 광물 내부에서 자원소의 비율이 커진다.

Ⓐ 광물에 포함된 X가 방사성 붕괴하여 Y가 생성되었으므로 Y는 X의 자원소이다.

Ⓑ (다)의 광물에 포함된 모원소와 자원소의 비가 1 : 1이므로 (다)의 광물에 포함된 X는 반감기가 1회 경과하였다.

ⓧ 광물의 크기에 관계없이 X가 붕괴하여 Y가 생성되는 비율은 일정하므로 특정 시점에 각각의 광물에 포함된  $\frac{Y\text{의 수}}{X\text{의 수}}$ 는 동일하다.

## 08 지질 시대의 생물

삼엽충에는 다양한 종류가 있고 종류에 따라 생존 기간이 다르므로, 삼엽충 화석의 종류를 구별할 수 있다면 지층의 생성 시기를 알 수 있다.

Ⓐ 삼엽충 화석의 머리나 꼬리 조각으로 삼엽충을 A, B, C로 구분하였다.

Ⓑ B의 생존 기간은 A의 생존 기간보다 앞선 시기이므로, A는 B보다 나중에 출현하였다.

Ⓒ C의 화석은 캄브리아기의 화석이고, 어류는 오르도비스기에 최초로 출현하였으므로 C의 화석이 산출된 지층에서 어류 화석이 산출될 가능성은 없다.

## 09 지질 시대의 환경과 생물

생물 속의 수가 급격히 감소한 대멸종 시기와 지구 평균 기온을 비교해 보면, 지구 평균 기온이 낮아지지 않아도 대멸종이 일어난 경우가 있다.

ⓧ 신생대 동안에도 속의 수가 감소했던 시기가 있다.

Ⓐ 온난한 시기였던 데본기 후기, 트라이아스기 말, 백악기 말에 속의 수가 급감하였다.

Ⓒ 고생대와 중생대 사이, 중생대와 신생대 사이에는 속의 수가 급격히 감소한 대멸종이 있었다.

## 10 지질 시대의 환경

지구 대기 중의 산소는 지질 시대 동안 급격히 증가한 시기가 2회 있었고, 일부 시기에는 감소하기도 했으므로 지속적으로 증가하지는 않았다.

ⓧ 지질 시대 동안 산소는 감소한 시기도 있었으므로 지속적으로 증가하지는 않았다.

ⓧ 산소 비율의 증가량은 Ⓡ일 때가 약 0.9999 %, Ⓣ일 때가 약 99 %이므로 Ⓡ일 때가 Ⓣ일 때보다 작다.

Ⓓ 남세균은 시생 누대에 출현하였으므로 ‘남세균의 광합성에 의한 대기 중 산소 증가’는 Ⓡ의 산소 비율 변화에 기여하였다.

## 11 지층 대비

화석의 분포를 통해 세 지역 모두 지층의 상부로 갈수록 최근에 생성된 지층이라는 것을 알 수 있다. h의 침식물이 g 하부에 포함된 것을 통해 h가 g보다 먼저 생성되었다는 것을 알 수 있다.

Ⓐ b와 d는 고생대에 생성되었으므로 그 사이에 퇴적된 c도 고생대에 생성되었다.

ⓧ h는 삼엽충 화석이 산출되는 g보다 먼저 생성되었으므로, 고생대가 끝나는 약 2.52억 년 전보다 이전에 생성된 암석이다. 따라서 h에 포함된 X는 반감기를 최소 2회 거쳤음을 알 수 있다.

Ⓓ 세 지역에서 모두 최근에 생성된 지층일수록 더욱 진화된 생물의 화석이 산출되므로 동물군 천이의 법칙을 이용해 지층의 역전이 일어나지 않았음을 알 수 있다.

## 12 지질 시대의 생물

스트로마톨라이트는 현재도 생성되고 있어서 살아 있는 화석이라고도 한다.

ⓧ 화석이나 지질 구조를 통해 지층의 역전을 의미하는 요소가 없으므로 이 지역의 지층은 역전되지 않았다.

Ⓐ A, B, C에서 해양 생물의 화석이 산출되므로 A, B, C는 해양에서 퇴적된 지층임을 알 수 있다.

ⓧ D는 C가 생성된 후 관입하였고 그 이후에 B가 생성되었다. 따라서 D는 고생대에 관입하였다. 겉씨식물이 번성한 시기는 중생대이다.

## 13 지질 시대의 환경

초대륙은 형성과 분리가 반복된다. 현재의 수륙 분포는 판계아가 분리되어 형성되었다.

ⓧ 판계아를 형성한 대륙들의 충돌은 고생대 말에 일어났다.

Ⓐ 대서양은 현재 주변에 섭입대가 없으며 확장 중인 상태이다.

Ⓓ 판계아 이전에 대륙이 흩어져 있었고, 그 이전에 다른 초대륙이 있었음을 추정할 수 있다.

## 14 지질 시대의 생물

고생대 캄브리아기에 생물 속의 수가 급증하였으며, 삼엽충이 출현하였다.

ⓧ 캄브리아기 중 약 5.2억 년 전~5억 년 전 사이에 생물 속의 수가 감소한 시기가 있었다.

ⓧ 척추동물은 캄브리아기 이후에 출현하였으므로 5억 년 전 생물 속에 포함될 수 없다.

Ⓓ 5.2억 년 전보다 더 오래 전에 외골격이 있는 삼엽충이 출현하였으므로 5.2억 년이 된 외골격 생물의 화석이 존재할 수 있다.

## 05 대기의 변화

### 수능 2점 테스트

본문 85~89쪽

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

### 01 지상 일기도 해석

지상 일기도에서 고기압은 주변보다 기압이 높은 곳이고 저기압은 주변보다 기압이 낮은 곳이다. 북반구 고기압에서 바람은 시계 방향으로 불어 나가고 북반구 저기압에서 바람은 시계 반대 방향으로 불어 들어간다.

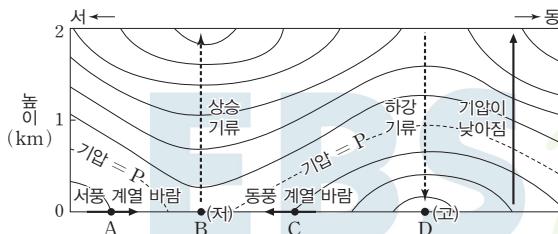
▣ 북반구 고기압에서 바람은 시계 방향으로 불어 나간다. 따라서 A 지점에서는 남풍 계열의 바람이 우세하게 분다.

㉡ 지상 일기도에서 등압선 간격이 좁을수록 풍속이 빠르다. 등압선 간격은 B 지점 부근이 C 지점 부근보다 좁으므로 풍속은 B 지점이 C 지점보다 빠르다.

㉢ 지상 일기도에서 저기압은 주변보다 기압이 낮은 곳이며, 그림에서 등압선 간격이 4 hPa이다. 따라서 ㉠ 등압선의 기압값은 996이다.

### 02 고기압과 저기압

고기압은 주변보다 기압이 높은 곳이고 저기압은 주변보다 기압이 낮은 곳이다. 등압선은 기압이 같은 지점을 연결한 선으로 등압선의 모든 지점에서는 기압이 같고, 연직 기압 분포에서 높이가 높아질수록 기압이 낮아진다.



▣ 바람은 고기압에서 불어 나와 저기압으로 불어 들어간다. 따라서 A 지점에는 서풍 계열의 바람이 우세하게 불고 C 지점에는 동풍 계열의 바람이 우세하게 분다.

㉡ 등압선의 모든 지점에서는 기압이 같고 연직 기압 분포에서 높이가 높아질수록 기압이 낮아진다. 위 그림을 보면, B 지점의 기압은 P보다 낮고 D 지점의 기압은 P보다 높다.

㉢ B 지점에는 저기압이 분포하고 D 지점에는 고기압이 분포한

다. 따라서 B 지점에서는 상승 기류가 활발하고 D 지점에서는 하강 기류가 활발하다.

### 03 기단의 종류

우리나라에 영향을 주는 대표적인 기단의 특징은 아래 표와 같다.

구분		기단
한대 기단	대륙성	시베리아 기단
	해양성	오후츠크해 기단
열대 기단	대륙성	양쯔강 기단
	해양성	북태평양 기단

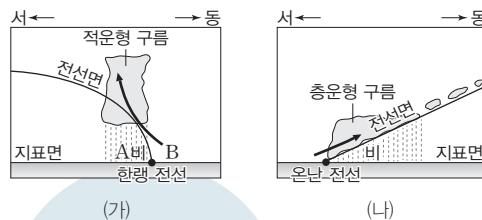
㉠ 기단의 평균 기온은 한대 기단이 열대 기단보다 낮으며, 우리나라에 영향을 주는 대표적인 기단 중에서 ㉠ 한대 기단(C) 시베리아 기단, 오후츠크해 기단이 분포하는 평균 위도는 ㉡ 열대 기단(예 양쯔강 기단, 북태평양 기단)이 분포하는 평균 위도보다 높다.

㉡ 우리나라에 영향을 주는 대표적인 기단인 시베리아 기단의 성질은 한랭 전조하며, 시베리아 기단은 ㉠ 한대 기단이면서 ㉡ 대륙성 기단이다.

ⓧ 우리나라에 영향을 주는 대표적인 기단 중에서 ㉡ 열대 기단 이면서 ㉚ 해양성 기단인 기단은 북태평양 기단이다. 북태평양 기단이 우리나라에 영향을 주는 계절은 주로 여름철이다.

### 04 온난 전선과 한랭 전선

전선에 대해 전선면이 서쪽에 나타나는 (가)의 전선은 한랭 전선이다. 전선에 대해 전선면이 동쪽에 나타나는 (나)의 전선은 온난 전선이다.



㉠ 한랭 전선에서는 B 기단(따뜻한 기단)이 A 기단(찬 기단)을 타고 상승하는 과정에서 구름이 주로 형성된다. 따라서 (가)에서 강수를 형성하는 수증기는 A 기단보다 B 기단에서 주로 공급된다.

㉡ 한랭 전선과 온난 전선 모두는 대체로 동쪽으로 이동하며, 평균 이동 속도는 (나) 온난 전선보다 (가) 한랭 전선이 빠르다.

㉢ (가) 한랭 전선 후면에는 주로 적운형 구름이 형성되고 (나) 온난 전선 전면에는 주로 총운형 구름이 형성된다. 따라서 전선 부근에서 형성되는 구름의 평균 두께는 (나)보다 (가)가 두껍다.

### 05 기상 레이더 영상 해석

그림에서 강수 구역이 북동-남서 방향으로 분포하고 강수 구역

이 좁게 나타나는 것으로 보아, 이 전선은 한랭 전선이다.

Ⓐ 강수 구역이 A 지역과 B 지역의 북쪽에 분포하는 것으로 보아, A 지역과 B 지역은 모두 한랭 전선의 전면에 위치한다.

⓵ A 지역과 B 지역은 모두 한랭 전선의 전면에 위치하므로, A 지역과 B 지역 모두에서 남풍 계열의 바람이 우세하게 분다.

Ⓑ 그럼에서 한랭 전선이 북동—남서 방향으로 분포하고 한랭 전선은 온대 저기압 중심에서 남서쪽으로 뻗어있다. 따라서 온대 저기압 중심까지의 거리는 A 지역이 B 지역보다 멀고 해면 기압은 A 지역이 B 지역보다 높다.

## 06 일기 기호

서울에서 이날 오전과 오후에 관측한 기상 요소는 아래 표와 같다.

구분	오전	오후
일기 기호	4 20 140	4 16 010
운량과 일기	맑음	흐리고 소나기
풍향	남서풍	북서풍
풍속(m/s)	5	10
기온(°C)	20	16
기압(hPa)	1014.0	1001.0

Ⓐ 오후의 풍향은 북서풍이다.

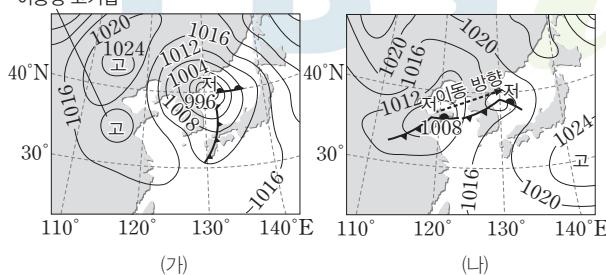
Ⓑ 오전의 풍속은 5 m/s이고 오후의 풍속은 10 m/s이므로, 풍속은 오전보다 오후가 빠르다.

Ⓒ 이날 오전의 기온은 20 °C이고 오후의 기온은 16 °C이므로, 이날 기온은 오전이 오후보다 높았다.

## 07 온대 저기압

우리나라 부근에서 온대 저기압과 이동성 고기압은 편서풍을 타고 대체로 동쪽으로 이동한다. 따라서 지상 일기도의 순서는 (나) → (가)이다.

이동성 고기압



Ⓐ 이동성 고기압은 고기압 중심의 위치가 정체하지 않고 이동하

는 고기압이다. 이동성 고기압은 비교적 규모가 작은 고기압으로 우리나라 부근에서는 대체로 동쪽으로 이동한다. (가)에 우리나라의 서쪽에 이동성 고기압이 나타난다.

⓵ 지상 일기도의 순서는 (나) → (가)이다.

⓶ 지상 일기도의 순서는 (나) → (가)이다. (가)에서 온대 저기압의 중심 기압은 약 996 hPa이고 (나)에서 (가)의 온대 저기압의 중심 기압은 약 1008 hPa이다. 따라서 24시간 동안 동일한 온대 저기압의 중심 기압이 낮아졌다.

## 08 온대 저기압과 날씨

A 지역은 한랭 전선 후면에, B 지역은 온난 전선과 한랭 전선 사이에, C 지역은 온난 전선 전면에 위치한다. Ⓛ, Ⓜ, Ⓝ의 기상 요소는 아래 표와 같다.

구분	ⓐ	ⓑ	ⓒ
일기 기호	4	4	4
운량과 일기	흐리고 비	맑음	흐리고 소나기
풍향	남동풍	남서풍	북서풍
풍속(m/s)	5	7	2

Ⓐ A 지역은 한랭 전선 후면에 위치하며 북서풍이 불고 흐리고 소나기가 온다. 따라서 A 지역의 일기 기호는 Ⓛ이다. B 지역은 온난 전선과 한랭 전선 사이에 위치하며 남서풍이 불고 맑다. 따라서 B 지역의 일기 기호는 Ⓜ이다. C 지역은 온난 전선 전면에 위치하며 남동풍이 불고 흐리고 비가 온다. 따라서 C 지역의 일기 기호는 Ⓝ이다.

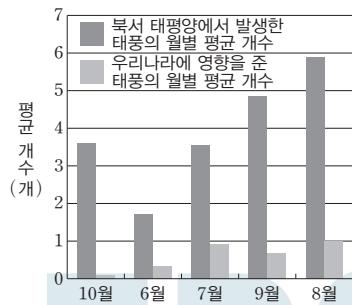
## 09 온대 저기압과 풍향

지상 일기도에서 고기압은 주변보다 기압이 높은 곳이고 저기압은 주변보다 기압이 낮은 곳이다. 남반구 고기압에서는 바람이 시계 반대 방향으로 불어 나가고 남반구 저기압에서는 바람이 시계 방향으로 불어 들어간다.

ⓐ 이 지역은 남반구에 위치하며 지상 일기도를 보면 이 지역에는 온난 전선과 한랭 전선이 동반된 온대 저기압이 분포한다. 따라서 이 지역에서는 바람이 시계 방향으로 불어 들어간다.

## 10 태풍의 발생

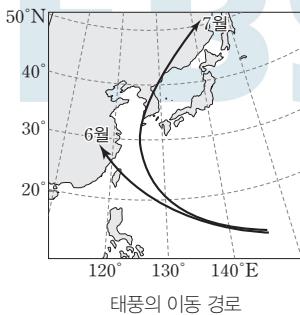
6월, 7월, 8월 중 북서 태평양에서 발생한 태풍의 월별 평균 개수는 8월 > 7월 > 6월 순이고 우리나라에 영향을 주는 태풍의 월별 평균 개수는 8월 > 7월 > 6월 순이다. 따라서 A는 6월, B는 7월, C는 8월이다.



⑦ 북서 태평양에서 발생한 태풍의 월별 평균 개수가 가장 많고 우리나라에 영향을 준 태풍의 월별 평균 개수가 가장 많은 C는 8월이다.

☒ 6월, 7월, 8월, 9월, 10월 중 북서 태평양에서 발생한 태풍의 월별 평균 개수는 8월 > 9월 > 7월 > 10월 > 6월 순이고 우리나라에 영향을 준 태풍의 월별 평균 개수는 8월 > 7월 > 9월 > 6월 > 10월 순이다. 따라서 ⑦(북서 태평양에서 발생한 태풍의 월별 평균 개수)이 많을수록 ⑧(우리나라에 영향을 준 태풍의 월별 평균 개수)이 많은 것은 아니다.

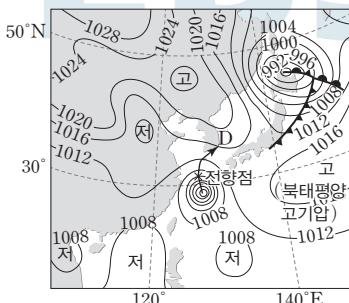
☒ A는 6월, B는 7월이다. 6월에 태풍은 일반적으로 발생 지점에서 북서진하다가 소멸한다. 7월에 태풍은 일반적으로 발생 지점에서 북서진한 후 북동진하다가 소멸한다. 따라서 태풍이 소멸하는 지점의 평균 위도는 A 시기(6월)가 B 시기(7월)보다 낮을 것이다.



태풍의 이동 경로

## 11 태풍의 이동

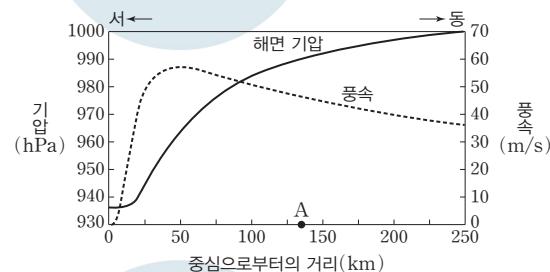
우리나라 부근까지 북상하는 태풍의 일반적인 이동 경로는 북서진하다가 북동진하는 포물선 궤도를 그린다. 태풍은 북태평양 고기압의 가장자리를 따라 진행하는 경향이 있다. 전향점은 태풍이 북서진하다가 북동진하는 지점이다.



④ 이 태풍은 (T+12)시에 전향점을 통과하였으므로 이 태풍은 T시~(T+12)시 동안 북서진했고 (T+12)시~(T+24)시 동안 북동진했다. 또한 태풍은 북태평양 고기압의 가장자리를 따라 진행하는 경향이 있다. 따라서 T시~(T+24)시 동안 태풍의 이동 경로로 가장 적절한 것은 D이다.

## 12 태풍의 구조

태풍의 중심에 접근할수록 해면 기압은 지속적으로 낮아지는 경향을 보인다. 태풍의 중심부에 접근할수록 풍속은 지속적으로 빨라지는 경향을 보이다가 태풍의 눈에서는 매우 느리다. 따라서 해면 기압과 풍속은 아래 그림과 같다.



⑦ 태풍의 중심에 접근할수록 풍속이 빨라지다가 급격히 느려지는 것으로 보아, 이 태풍에는 눈이 존재한다.

☒ 이 태풍은 북상하고 있다. 태풍 이동 경로의 오른쪽 반원은 위험 반원에 해당하고 왼쪽 반원은 안전 반원에 해당한다. 따라서 A 지점은 위험 반원에 위치한다.

☒ 그림을 보면 태풍 중심으로부터의 거리 50 km에서 해면 기압은 약 964 hPa, 125 km에서 해면 기압은 약 988 hPa, 200 km에서 해면 기압은 약 997 hPa이다. 태풍 중심으로부터의 거리에 따른 해면 기압 변화는 50 km~125 km 구간이 125 km~200 km 구간보다 크다.

## 13 태풍과 날씨 변화

태풍은 북반구 열대 저기압이며, 태풍에서 바람은 시계 반대 방향으로 불어 들어간다.

⑤ 일반적으로 태풍이 접근하면 해면 기압이 낮아지는 경향을 보이고 태풍이 멀어지면 해면 기압이 높아지는 경향을 보인다. 따라서 해면 기압은 C이다. 태풍의 눈이 관측소를 통과하지 않는 경우 일반적으로 태풍이 접근하면 풍속은 빨라지는 경향을 보이고 멀어지면 풍속은 느려지는 경향을 보인다. 따라서 풍속은 B이다. 태풍이 통과하는 동안 이 지역은 안전 반원에 위치했으므로 풍향은 시계 반대 방향으로 변한다. 따라서 풍향은 A이다.

## 14 태풍과 기상 위성 영상 해석

태풍은 북반구의 열대 저기압이다. 태풍 이동 경로의 오른쪽 반원

은 풍속이 상대적으로 빠른 위험 반원이고 태풍 이동 경로의 왼쪽 반원은 풍속이 상대적으로 느린 안전 반원이다. 적외 영상에서 구름의 최상부 높이가 높을수록 밝게 나타난다.

Ⓐ 서울은 태풍 이동 경로의 왼쪽에 위치하므로, 태풍의 영향을 받는 동안 서울은 안전 반원에 위치했다.

Ⓑ 태풍은 열대 저기압이므로 태풍의 세력이 약할수록 중심 기압이 높다. 따라서 태풍의 중심 기압은 이날 18시가 소멸할 때보다 낮았다.

✖. 적외 영상에서 A 지역이 B 지역보다 밝은 것으로 보아, 구름 최상부의 높이는 A 지역이 B 지역보다 높고 구름 최상부의 온도는 A 지역이 B 지역보다 낮다.

## 15 태풍의 이동

우리나라 부근까지 북상하는 태풍의 일반적인 이동 경로는 북서진하다가 북동진하는 포물선 궤도를 그린다.

Ⓐ 전향점은 태풍이 북서진하다가 북동진하는 지점이다. 전향점의 위도는 태풍 A가 태풍 B보다 낮았다.

Ⓑ 북반구에서 태풍 이동 경로의 오른쪽 반원은 위험 반원에 해당하고 왼쪽 반원은 안전 반원에 해당한다. 따라서 각 태풍의 영향을 받는 동안 부산은 태풍 A와 B 모두의 위험 반원에 위치하였다.

Ⓒ 그림에서 태풍이 소멸하기 이전 12시간 동안 태풍의 이동 거리는 태풍 A가 태풍 B보다 긴 것으로 보아 평균 이동 속력은 태풍 A가 태풍 B보다 빨랐다.

## 16 열대 저기압의 소멸

열대 저기압은 중심 기압이 낮을수록 최대 풍속이 빠르다. 열대 저기압의 세력이 유지되거나 더 강하게 발달하려면 지속적인 에너지(수증기) 공급이 필요한데 육지에 상륙하면 수증기의 공급이 줄어들어 세력이 약해진다. 또한 열대 저기압이 육지에 상륙하면 지표면과의 마찰이 증가하여 세력이 약해진다.

✖. 육지에 상륙할 때 최대 풍속은 열대 저기압 A가 열대 저기압 B보다 빠른 것으로 보아 육지에 상륙할 때 중심 기압은 열대 저기압 A가 열대 저기압 B보다 낮다.

Ⓒ 그림을 보면 육지에 상륙한 이후 48시간 동안 최대 풍속 변화는 열대 저기압 A가 열대 저기압 C보다 크다.

✖. 열대 저기압 B가 육지에 상륙한 후 최대 풍속이 느려지는 경향을 보이는 것으로 보아, 육지에 상륙한 후 B에 공급되는 수증기량은 지속적으로 증가하지 않았을 것이다.

## 17 온대 저기압과 열대 저기압

기상 위성 사진의 구름 모습으로 보아 (가)의 저기압은 열대 저기

압인 태풍이고 (나)의 저기압은 온대 저기압이다.

Ⓐ 태풍은 북서 태평양 열대 해상에서 발생하여 북상하는 과정에서 무역풍대에서는 무역풍의 영향으로 일반적으로 북서진하고 편서풍대에서는 편서풍의 영향으로 일반적으로 북동진한다. 온대 저기압은 중위도에서 발생하여 편서풍대에서 편서풍의 영향으로 일반적으로 동진한다. 따라서 이동 과정에서 (가)의 저기압은 (나)의 저기압보다 무역풍의 영향을 더 크게 받는다.

Ⓑ 태풍은 북서 태평양의 열대 해상에서 발생하고 온대 저기압은 중위도에서 발생한다. 따라서 발생하는 지점의 평균 위도는 (가)의 저기압이 (나)의 저기압보다 낮다.

Ⓒ (가)의 태풍은 전선을 동반하지 않고 (나)의 온대 저기압은 전선을 동반한다.

## 18 놀우

(가)는 상승 기류와 하강 기류가 함께 나타나는 성숙 단계이고, (나)는 상승 기류에 의해 적운이 발달하는 적운 단계이며, (다)는 하강 기류가 우세하며 구름이 점차 소멸되는 소멸 단계이다.

✖. (가) 성숙 단계에서 A 지역에는 상승 기류가 우세하고 B 지역에는 하강 기류가 우세하다. (가) 성숙 단계에서 단위 시간당 강수량은 하강 기류가 우세한 B 지역이 상승 기류가 우세한 A 지역보다 많을 것이다.

Ⓒ 빙정은 대기 중의 얼음 결정이다. 우박은 빙정 주위에 과냉각 물방울이 얼어붙어 땅 위로 떨어지는 얼음덩어리이다. (가)의 구름에 기온이  $0^{\circ}\text{C}$  이하인 부분이 존재하며 (가) 단계에서 우박이 내린 것으로 보아 (가)의 구름에는 빙정이 존재한다.

Ⓓ 놀우의 생성과 소멸 과정에서 (나) 적운 단계 → (가) 성숙 단계 → (다) 소멸 단계 순으로 변한다.

## 19 호우

호우는 시간과 공간 규모에 제한 없이 많은 비가 연속적으로 내리는 현상이다. 그림을 보면 우리나라에서 호우는 6월~9월에 집중적으로 나타난다.

✖. 그림에서 월평균 발생 일수가 상대적으로 큰 A는 일강수량 80 mm 이상 월평균 발생 일수이고 월평균 발생 일수가 상대적으로 작은 B는 일강수량 150 mm 이상 월평균 발생 일수이다.

✖. 그림을 보면 우리나라에서 7월에 월평균 호우 발생 일수가 크고 7월에 우리나라에는 해양성 기단의 영향을 주로 받는다. 따라서 7월에 호우를 발생시킨 기단은 주로 해양성 기단이다.

Ⓒ 우리나라에 영향을 주는 태풍의 월별 평균 개수는 8월>7월>6월 순이며, 태풍은 일반적으로 호우를 동반한다. 따라서 8월에 발생하는 호우는 태풍과 관련이 있다.

## 20 한파

한파는 기온이 갑자기 낮아지는 현상이고, 폭염은 비정상적인 무더위가 여러 날 동안 지속되는 현상이다. 지상 일기도를 보면 시베리아 기단이 우리나라까지 확장된 것으로 보아 이날 우리나라에 발령된 기상 특보는 한파 특보이다.

- ⓧ. 이날 우리나라에 발령된 기상 특보는 한파 특보이다.  
Ⓐ. 지상 일기도를 보면 이날 대륙성 기단인 시베리아 기단이 우리나라까지 확장되었으며 우리나라는 대륙성 기단인 시베리아 기단의 가장자리에 위치한다.  
Ⓑ. 이날 시베리아 기단이 우리나라까지 확장된 것으로 보아 우리나라에는 북풍 계열의 바람이 남풍 계열의 바람보다 우세하게 분다.

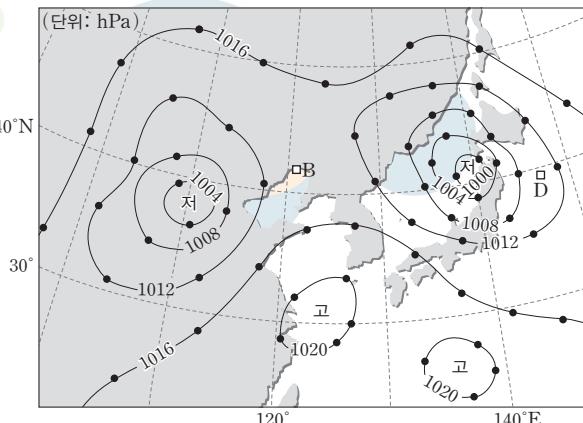
### 수능 3점 테스트

본문 90~99쪽

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

### 01 지상 일기도 해석

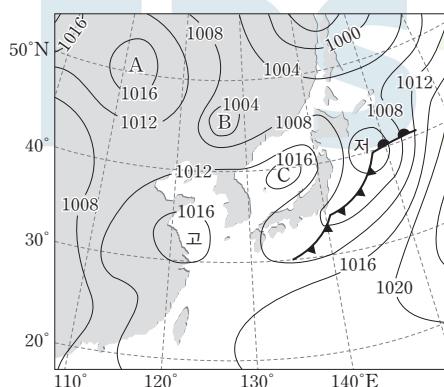
지상 일기도에서 고기압은 주변보다 기압이 높은 곳이고 저기압은 주변보다 기압이 낮은 곳이다. 등압선은 기압이 같은 지점을 연결한 선으로 등압선의 모든 지점에서는 기압이 같다. 탐구 과정과 같이 1020 hPa, 1016 hPa, 1012 hPa, 1008 hPa, 1004 hPa, 1000 hPa 등압선을 그리고 고기압 중심부에 ‘고’, 저기압 중심부에 ‘저’를 표시하면 아래 그림과 같다. A와 C 지점은 저기압 중심부에 위치하고 E 지점은 고기압 중심부에 위치한다. B 지점은 저기압과 저기압 사이에 위치하고 D 지점은 저기압 가장자리에 위치한다.



- ① A 지점은 저기압 중심부에 위치한다.  
② 등압선의 간격이 넓을수록 풍속이 느린다. 등압선 간격은 B 지점 부근이 D 지점 부근보다 넓으므로 풍속은 B 지점이 D 지점보다 느린다.  
③ C 지점은 저기압 중심부에 위치한다. 따라서 C 지점에서는 상승 기류가 발달한다.  
④ 북반구 저기압에서 바람은 시계 반대 방향으로 불어 들어간다. 따라서 D 지점에서는 동풍 계열의 바람이 분다.  
ⓧ 정체성 고기압은 고기압의 중심부가 거의 이동하지 않고 한곳에 머무르는 고기압으로 비교적 규모가 크며, 시베리아 고기압과 북태평양 고기압이 대표적인 예이다. 이동성 고기압은 고기압 중심의 위치가 정체하지 않고 이동하는 고기압이다. 이동성 고기압은 비교적 규모가 작은 고기압이다. E 지점은 비교적 규모가 작은 이동성 고기압 중심부에 위치한다.

## 02 고기압과 저기압

지상 일기도에서 고기압은 주변보다 기압이 높은 곳이고 저기압은 주변보다 기압이 낮은 곳이다. 이동성 고기압은 고기압 중심의 위치가 정체하지 않고 이동하는 고기압이다. 이동성 고기압은 비교적 규모가 작은 고기압이다. A, B, C 주변에서 등압선의 기압값은 아래 그림과 같다. A와 C는 이동성 고기압이고 B는 규모가 작은 저기압이다.



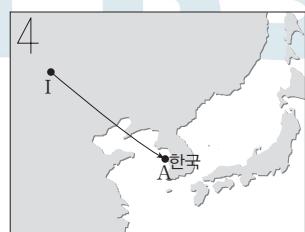
▣ A와 C는 고기압이고 B는 저기압이다.

㉡ A와 C는 이동성 고기압이며 이동성 고기압은 우리나라 주변에서 편서풍의 영향으로 대체로 동쪽으로 이동한다. B는 규모가 작은 저기압이며 B도 우리나라 주변에서 편서풍의 영향으로 대체로 동쪽으로 이동한다.

▣ A와 C는 고기압으로 중심부에서 하강 기류가 발달하고 B는 저기압으로 중심부에서 상승 기류가 발달한다.

## 03 기단의 변질

공기가 넓은 지역에 오랫동안 머물게 되면 지면의 영향으로 수평 방향으로 기온과 습도가 거의 균질해지는데, 이처럼 넓은 지역에서 수평 방향으로 거의 같은 성질을 가진 큰 공기 덩어리를 기단이라고 한다. 한랭한 대륙에서 형성된 시베리아 기단이 남동쪽으로 확장하여 황해를 통과하는 과정에서 기단 하층의 기온이 상승하고 단위 부피당 수증기량이 증가하는 경향을 보인다. 따라서 I 지점은 확장 경로의 북서쪽 끝에 위치하고 A 지점은 확장 경로의 남동쪽 끝에 위치한다.



㉡ 시베리아 기단이 남동쪽으로 확장하는 과정에서 기단 하층의 기온이 상승하는 경향을 보이며 불안정해진다. 따라서 시베리아

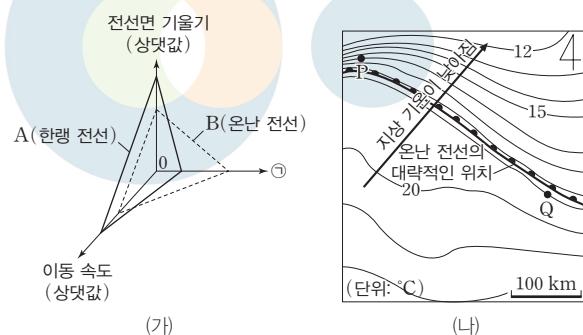
기단 하층은 A 지점이 I 지점보다 불안정할 것이다.

▣ I 지점에서 A 지점으로 시베리아 기단이 확장하는 과정에서 시베리아 기단 하층의 기온이 상승하는 경향을 보이며, 시베리아 기단이 대륙에서 황해로 접어들면 시베리아 기단 하층의 단위 부피당 수증기량이 급격히 증가한다. E 지점에서 시베리아 기단 하층의 기온이  $0^{\circ}\text{C}$ 이고 단위 부피당 수증기량(상댓값)이 1.7이며, H 지점에서 시베리아 기단 하층의 기온이  $-10^{\circ}\text{C}$ 이고 단위 부피당 수증기량(상댓값)이 1.3인 것으로 보아 황해와의 거리는 E 지점이 H 지점보다 가깝다.

▣ 시베리아 기단이 남동쪽으로 확장하는 과정에서 기단 하층의 기온 변화는 상대적으로 크지만 기단 상층의 기온 변화는 상대적으로 작다. B 지점과 G 지점에서 시베리아 기단 하층의 기온 차가  $8^{\circ}\text{C}$ 인 것으로 보아 B 지점과 G 지점에서 시베리아 기단 상층의 기온 차는  $8^{\circ}\text{C}$ 보다 작을 것이다.

## 04 온난 전선과 한랭 전선

전선면 기울기가 상대적으로 크고 이동 속도가 상대적으로 빠른 A는 한랭 전선이고 전선면 기울기가 상대적으로 작고 이동 속도가 상대적으로 느린 B는 온난 전선이다. (나)에서 지상 기온이 급격히 변하는 곳에 전선이 위치하며 전선의 서쪽 지상 기온이 동쪽 지상 기온보다 높은 것으로 보아 (나)의 전선은 온난 전선이다.



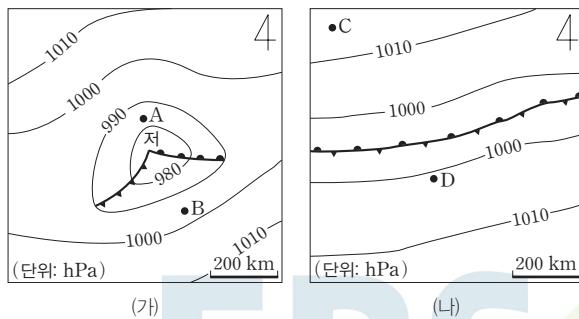
▣ 온난 전선의 전면에는 충운형 구름이 발달하고 한랭 전선의 후면에는 적운형 구름이 발달한다. 따라서 '전선 주변에서 형성된 구름의 평균 두께'는 ⑦에 해당하지 않는다.

㉡ (나)에서 온난 전선은 온대 저기압의 중심에서 남동쪽으로 뻗어있다. 따라서 온대 저기압 중심과의 거리는 P 지점이 Q 지점보다 가깝다.

㉢ A는 한랭 전선이고 B는 온난 전선이며, (나)의 전선은 온난 전선(B)이다.

## 05 온대 저기압의 일생

등압선 분포로 보아 (가)는 온대 저기압 발달 단계이고 (나)는 정체 전선 형성 단계이다. (가)와 (나)에서 전선의 분포는 다음 그림과 같다. (나)에서는 남쪽의 따뜻한 기단과 북쪽의 찬 기단 사이에 정체 전선이 형성된다.



❶ 온대 저기압의 일생은 (나) 정체 전선 형성 → 파동 형성 → (가) 온대 저기압 발달 → 폐색 전선 형성 시작 → 폐색 전선 발달 → 온대 저기압 소멸 순으로 나타난다. 따라서 (가)는 (나)보다 나중에 나타난다.

❷ A 지점의 해면 기압은 990 hPa보다 낮고 B 지점의 해면 기압은 990 hPa보다 높다.

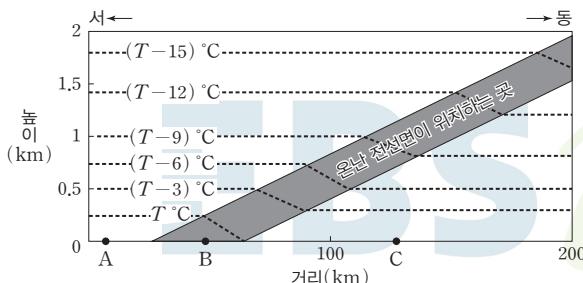
❸ (나)의 정체 전선을 경계로 북쪽에는 찬 기단이 분포하고 남쪽에는 따뜻한 기단이 분포한다. 따라서 지상에서의 기온은 C 지역이 D 지역보다 낮다.

❹ (나)에서 정체 전선은 1000 hPa 등압선과 1000 hPa 등압선 사이에 분포한다. 따라서 전선과의 거리는 C 지역이 D 지역보다 멀다.

❺ (나)에서 정체 전선은 1000 hPa 등압선과 1000 hPa 등압선 사이에 분포한다. 정체 전선의 남쪽에 위치하는 D 지역에서는 남풍 계열의 바람이 우세하게 불고, 정체 전선의 북쪽에 위치하는 C 지역에서는 북풍 계열의 바람이 우세하게 분다.

## 06 전선과 날씨

온대 저기압에 동반되는 전선을 경계로 양쪽 공기의 기온이 크게 다르다. 이 전선의 서쪽 기온이 동쪽 기온보다 높은 것으로 보아, 이 전선은 온난 전선이다.



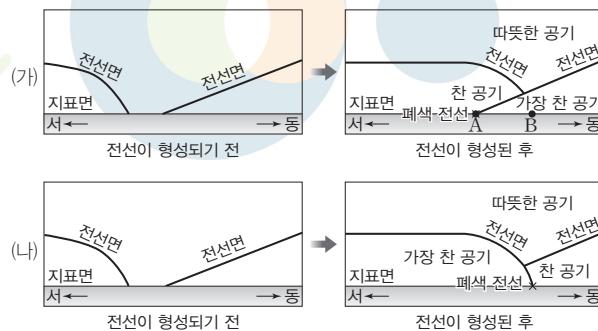
❶ 높이 0.5 km에서 A 지역의 기온은  $(T-3)^\circ\text{C}$ 이고 C 지역의 기온은 약  $(T-6)^\circ\text{C}$ 이므로, 높이 0.5 km에서 기온은 A 지역이 C 지역보다 높다.

❷ 전선을 경계로 동서 방향의 기온이 크게 다르다. 따라서 위 그림과 같이 전선은 B 지역 부근에 나타나며 전선과의 거리는 A 지역이 B 지역보다 멀다.

❸ 이 전선은 온난 전선이며, 온난 전선이 통과하는 과정에서 C 지역의 풍향은 시계 방향으로 변할 것이다.

## 07 폐색 전선

(가)에서 형성된 전선은 온난형 폐색 전선으로 온난형 폐색 전선의 서쪽 공기 온도가 동쪽 공기 온도보다 높다. (나)에서 형성된 전선은 한랭형 폐색 전선으로 한랭형 폐색 전선의 서쪽 공기 온도가 동쪽 공기 온도보다 낮다.



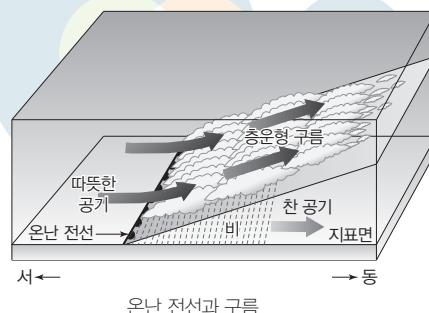
❶ 전선면과 지표면이 만나는 선을 전선이라고 한다. 따라서 (가)에서 형성된 전선은 A 지점에 위치한다.

❷ (가)에서 형성된 전선은 온난형 폐색 전선이고 (나)에서 형성된 전선은 한랭형 폐색 전선이다.

❸ 북반구에서 일반적으로 온난 전선은 온대 저기압 중심에서 남동쪽으로 뻗어있고 한랭 전선은 온대 저기압 중심의 남서쪽으로 뻗어있다. 한랭 전선과 온난 전선이 겹쳐져 폐색 전선이 형성된다. (나)에서 형성된 한랭형 폐색 전선은 남북 방향으로 분포하고 폐색 전선의 북쪽 끝부분은 온대 저기압의 중심이 위치한다. 따라서 (나)에서 전선이 형성된 후 온대 저기압 중심은 연직 단면보다 북쪽에 위치할 것이다.

## 08 온대 저기압과 날씨 변화

❶, ❷, ❸의 기상 요소로 보아 그림의 전선은 온난 전선이다. ❶은 C 지점이고 ❷은 A 지점이며 ❸은 B 지점이다.



❹ 온난 전선의 전면에는 충운형 구름이 발달하며 온난 전선에 가까울수록 구름 밑면의 높이는 낮아지는 경향을 보인다. 따라서

구름 밑면의 높이는 ①(C 지점)보다 ②(B 지점)이 낮다.

▣ ①은 C 지점이고 ②은 A 지점이며 ③은 B 지점이다. B 지점의 구름은 주로 온난 전선 후면의 따뜻한 공기가 온난 전선 전면의 찬 공기 위로 올라가면서 형성된다. 따라서 ③의 강수를 형성하는 수증기는 C 지점이 위치하는 기단보다 A 지점이 위치하는 기단에서 주로 공급되었다.

④. B 지점은 온난 전선의 전면에 위치하며, B 지점의 상공에는 온난 전선면이 존재한다.

## 09 온대 저기압과 날씨 변화

기상 요소의 변화로 보아 온난 전선은  $T_1 \sim T_2$  동안 통과하였고 한랭 전선은  $T_3 \sim T_4$  동안 통과하였다.

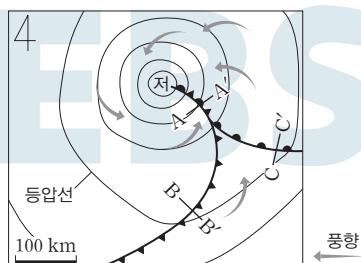
▣  $T_0 \sim T_5$  동안 관측소에서 측정한 최고 기압은  $T_0$ 일 때의 1020.0 hPa이고 최저 기압은  $T_3$ 일 때의 998.0 hPa이다. 따라서  $T_0 \sim T_5$  동안 관측소에서 측정한 (최고 기압—최저 기압)은 900 hPa보다 작다.

▣ 온난 전선은  $T_1 \sim T_2$  동안 통과하였고 한랭 전선은  $T_3 \sim T_4$  동안 통과하였다. 따라서  $T_2 \sim T_3$  동안 관측소의 상공에는 전선 면이 나타나지 않는다.

⑤. 관측소에서 측정한  $T_1$ 일 때의 기온은 9 °C이고  $T_2$ 일 때의 기온은 13 °C이다. 따라서 온난 전선이 통과하기 직전과 직후에 관측소에서 측정한 기온 변화는 4 °C이다. 관측소에서 측정한  $T_3$ 일 때의 기온은 18 °C이고  $T_4$ 일 때의 기온은 8 °C이다. 따라서 한랭 전선이 통과하기 직전과 직후에 관측소에서 측정한 기온 변화는 10 °C이다.

## 10 온대 저기압과 전선

(가)의 A-A' 구간에는 폐색 전선이, B-B' 구간에는 한랭 전선이, C-C' 구간에는 온난 전선이 분포한다. (나)의 전선은 찬 공기가 따뜻한 공기 쪽으로 이동하여 따뜻한 공기 밑으로 파고들 때 형성되는 한랭 전선이다. (나)는 B-B' 구간의 연직 단면이다. 폐색 전선의 북쪽 끝부분에 온대 저기압 중심이 위치한다.



⑥. (나)의 ① 지점은 B에 해당하고 ② 지점은 B'에 해당한다.

(가)의 일기도에서 폐색 전선의 북쪽 끝부분에 온대 저기압 중심이 위치하고 온대 저기압의 중심에 가까울수록 해면 기압이 낮아진다. 따라서 ① 지점의 해면 기압이 ② 지점의 해면 기압보다 낮다.

▣ ④ 지점은 B'에 해당하며 B'은 한랭 전선 전면에 위치한다. 따라서 ④ 지점에서는 남풍 계열의 바람이 북풍 계열의 바람보다 우세하게 분다.

⑤. (가)에서 온대 저기압 중심은 폐색 전선의 북쪽 끝부분에 위치한다. 따라서 온대 저기압 중심과의 평균 거리는 A-A' 구간이 C-C' 구간보다 가깝다.

## 11 온대 저기압과 기상 위성 영상 해석

가시 영상은 구름과 지표면에서 반사된 태양 빛의 반사 강도를 나타내는 것으로 야간에는 태양 빛이 없으므로 가시 영상을 이용할 수 없다. 적외 영상은 물체가 온도에 따라 방출하는 적외선 에너지 양의 차이를 이용하는 것으로 태양 빛이 없는 야간에도 적외 영상을 이용할 수 있다. 그림은 어느 날 21시 우리나라 주변의 기상 위성 영상인 것으로 보아 적외 영상이다.

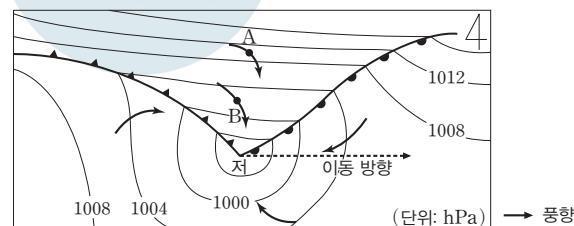
⑥. 적외 영상에서는 구름 최상부의 높이가 높을수록 밝게 나타난다. 그림을 보면 전선 부근에 구름 최상부의 높이가 높은 구름이 분포하고 전선이 온대 저기압 중심에서 남서쪽으로 뻗어있는 것으로 보아 이 전선은 한랭 전선이다.

⑦. 태양 빛이 없는 야간에는 가시 영상은 이용할 수 없고 적외 영상을 이용할 수 있다. 그림의 기상 위성 영상이 어느 날 21시의 영상인 것으로 보아, 기상 위성 영상은 적외 영상이다.

⑧. 가시 영상에서는 구름이 두꺼울수록 밝게 나타나고 적외 영상에서는 구름 최상부의 높이가 높을수록 밝게 나타난다. 그림의 기상 위성 영상은 적외 영상이고 적외 영상에서 황해가 동해보다 전체적으로 밝게 보이는 것으로 보아, 황해 전체에서의 구름 최상부 평균 높이는 동해 전체보다 높다.

## 12 온대 저기압과 일기 기호

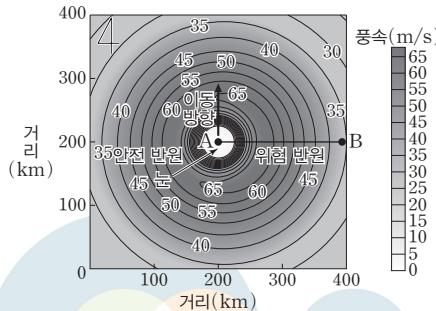
온대 저기압 중심에서 북동쪽으로 온난 전선이 뻗어있고 온대 저기압 중심에서 북서쪽으로 한랭 전선이 뻗어있는 것으로 보아, 이 지역은 남반구에 위치한다. 남반구 저기압에서 바람은 시계 방향으로 불어 들어간다. 따라서 A와 B 지점 모두에서 북서풍이 분다. 지상 일기도에서 등압선 간격이 좁을수록 풍속이 빠르므로 풍속은 A 지점이 B 지점보다 빠르다.



⑨. 이 지역은 남반구에 위치한다.

Ⓐ A와 B 지점 모두에서 북서풍이 불지만 풍속은 A 지점이 B 지점보다 빠르다. 따라서 A 지점의 기상 요소를 일기 기호로 나타낸 것은 Ⓛ이고 B 지점의 기상 요소를 일기 기호로 나타낸 것은 Ⓜ이다.

✖ 북반구와 남반구 모두에서 온대 저기압은 편서풍의 영향으로 대체로 동쪽으로 이동한다. 그런데 제시된 조건에 온대 저기압이 동서 방향으로만 이동한다고 했으므로 이 온대 저기압은 동쪽 방향으로 이동하며 이날 T시 이후에 B 지점을 통과하는 전선은 한랭 전선이다. 남반구에서 한랭 전선 전면에서는 북풍 계열의 바람이 불고 한랭 전선 후면에서는 서풍 계열의 바람이 분다. 따라서 이날 T시 이후에 전선이 통과하는 과정에서 B 지점의 풍향은 시계 반대 방향으로 변할 것이다.



### 13 태풍의 발생 지역

북서 태평양의 평균 해수면 수온은 여름철에 높고 겨울철에 낮으므로 (가)는 여름철이고 (나)는 겨울철이다. 태풍은 북서 태평양의 열대 해상에서 발생하는 열대 저기압이다.

월	12	1	2	6	7	8
발생한 태풍의 수(개)	1	0.3	0.3	1.7	3.7	5.6
우리나라에 영향을 준 태풍의 수(개)	0	0	0	0.3	1	1.2

태풍 발생 현황(1991년~2020년 평균)

Ⓐ 태풍의 발생 수는 북서 태평양의 평균 해수면 수온이 상대적으로 높은 (가) 여름철이 평균 해수면 수온이 상대적으로 낮은 (나) 겨울철보다 많다.

Ⓑ 태풍은 해수면 수온이 약 27 °C 이상인 열대 해상에서 발생하고 해수면 수온이 약 27 °C 이상인 해역은 (가) 여름철이 (나) 겨울철보다 북쪽으로 확장되었다. 따라서 태풍이 발생하는 지점의 평균 위도는 (가) 여름철이 (나) 겨울철보다 높다.

Ⓒ 위에 제시된 표와 같이 발생한 태풍의 총 수는 (가) 여름철이 (나) 겨울철보다 많고, 우리나라에 영향을 준 태풍의 총 수는 (가) 여름철이 약 2.5개이고 (나) 겨울철은 0개이다. 따라서 우리나라에 영향을 준 태풍의 총 수는 (가) 여름철이 (나) 겨울철 발생한 태풍의 총 수보다 크다.

### 14 태풍의 구조

열대 저기압의 이동 방향을 기준으로 상대적으로 풍속이 빠른 오른쪽 반원을 위험 반원이라 하고 상대적으로 풍속이 느린 왼쪽 반원을 안전 반원이라고 한다.

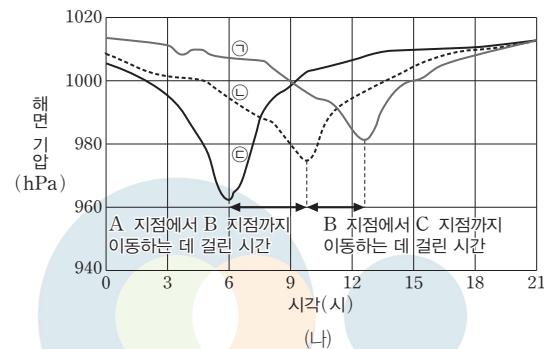
Ⓓ 열대 저기압의 눈은 열대 저기압 중심부에 하강 기류가 있고 바람이 매우 약한 구간이다. 그림을 보면 열대 저기압 중심부에 바람이 매우 약한 구간이 나타나는 것으로 보아, 이 열대 저기압에는 눈이 존재한다.

Ⓔ 이 열대 저기압은 북상하고 있으며, 이동 방향의 오른쪽에 위험 반원이 나타나고 왼쪽에 안전 반원이 나타나는 것으로 보아 이 지역은 북반구에 위치한다.

Ⓕ 열대 저기압은 중심으로 갈수록 해면 기압이 지속적으로 낮아지는 경향을 보인다. 따라서 B에서 A로 갈수록 해면 기압은 지속적으로 낮아지는 경향을 보인다.

### 15 태풍과 날씨 변화

태풍은 A 지점 → B 지점 → C 지점 순으로 이동하고 있으며 태풍이 통과하는 동안 어느 관측소에서 관측한 해면 기압은 일반적으로 낮아지다가 높아지는 경향을 보인다. 따라서 Ⓛ은 A 지점에서 관측한 해면 기압, Ⓜ은 B 지점에서 관측한 해면 기압, Ⓝ은 C 지점에서 관측한 해면 기압이다.



Ⓖ 태풍은 중심 기압이 낮을수록 최대 풍속이 빠르다. 태풍이 A 지점에 위치할 때 중심 기압은 태풍이 B 지점에 위치할 때 중심 기압보다 낮다. 따라서 태풍의 최대 풍속은 태풍이 A 지점에 위치할 때가 B 지점에 위치할 때보다 빠르다.

✖ 태풍에서는 바람이 시계 반대 방향으로 회전하면서 불어 들어간다. 따라서 태풍이 B 지점에 위치할 때 C 지점에서는 동풍 계열의 바람이 서풍 계열의 바람보다 우세하게 분다.

Ⓗ 태풍이 이동한 거리는 A → B 구간과 B → C 구간이 같다. 태

풍이 이동하는 데 걸린 시간은 A → B 구간이 B → C 구간보다 길다. 따라서 태풍의 평균 이동 속력은 A → B 구간이 B → C 구간보다 느리다.

## 16 온대 저기압과 열대 저기압의 발생 지역과 이동

일반적으로 온대 저기압은 중위도에서 발생하여 대체로 동쪽으로 이동하고, 일반적으로 열대 저기압은 열대 해상에서 발생하여 고위도로 이동한다. 따라서 A는 온대 저기압이고 B는 열대 저기압이다.

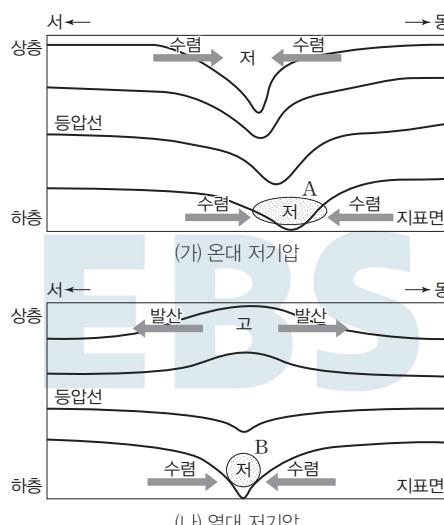
① 온대 저기압은 육지와 바다에서 모두 발생하지만 열대 저기압은 바다에서만 발생한다. 따라서 육지에서 발생한 저기압의 수는 바다에서 발생한 저기압의 수는 A가 B보다 크다.

② 온대 저기압은 따뜻한 기단과 찬 기단이 만나 형성되며 따뜻한 기단과 찬 기단이 만나는 과정에서 온대 저기압은 저위도의 과잉 에너지를 고위도로 수송한다. 열대 저기압은 고위도로 이동하는 과정에서 저위도의 과잉 에너지를 고위도로 수송한다.

✖️ 열대 저기압은 해수면 수온이 약 27 °C 이상인 열대 해상에서 주로 발생한다. ⑦ 해역에서는 열대 저기압이 발생하고 ⑧ 해역에서는 열대 저기압이 발생하지 않는 것으로 보아 해수면 연평균 수온은 ⑦ 해역이 ⑧ 해역보다 높다.

## 17 온대 저기압과 열대 저기압의 연직 기압 분포

열대 저기압의 하층에서는 공기가 주로 수렴하고 상층에서는 공기가 주로 발산한다. (나)의 하층에서는 공기가 주로 수렴하고 상층에서는 공기가 주로 발산하므로 (나)는 열대 저기압의 연직 기압 분포이며, (가)는 온대 저기압의 연직 기압 분포이다.



✖️ 열대 저기압의 연직 기압 분포는 (나)이다.

✖️ A는 주변보다 기압이 낮다. 따라서 A에서 공기는 주로 수렴 한다.

⑤ (나)는 열대 저기압의 연직 기압 분포이며, B에서 강한 상승 기류가 나타나는 것으로 보아 B에서 평균 기온은 주변보다 높다.

## 18 황사와 온대 저기압

우리나라에 영향을 주는 황사의 발원지는 대체로 우리나라의 서쪽 방향에 위치한다. 황사 발원지에서부터 동쪽으로 이동하는 온대 저기압은 우리나라에서의 황사 발생에 크게 기여한다. 따라서 (나)는 황사가 발생한 시기이고 (가)는 황사가 발생하지 않은 시기이다.

① 황사가 발생한 시기는 (나)이다.

② 서북서쪽에서 접근해 온 온대 저기압의 평균 강도는 (나) 황사가 발생한 시기가 (가) 황사가 발생하지 않은 시기보다 강하다.

③ 정서쪽에서 접근해 온 온대 저기압의 비율은 (나) 황사가 발생한 시기가 (가) 황사가 발생하지 않은 시기보다 높다.

## 19 우리나라의 계절풍

(가)와 (나)를 비교해 보면 북풍 계열 바람의 관측 횟수 비율은 (가)가 (나)보다 높다. 따라서 (가)는 북풍 계열의 계절풍이 부는 1월이며 (나)는 7월이다.

① (가)를 보면 4개 관측소 모두에서 풍향별 관측 횟수의 비율은 북풍 계열 바람이 남풍 계열 바람보다 높다.

✖️ (가)는 북풍 계열의 계절풍이 부는 1월이며 (나)는 7월이다. 따라서 제주도의 월평균 기온은 (가) 시기가 (나) 시기보다 낮다.

② (가)는 1월로 우리나라 주로 대륙성 기단인 시베리아 기단의 영향을 받는다. (나)는 7월로 우리나라 주로 해양성 기단인 북태평양 기단의 영향을 받는다. 따라서 우리나라 (나) 시기가 (가) 시기보다 해양성 기단의 영향을 더 크게 받는다.

## 20 폭염과 한파

(가)의 연평균 기상 특보 발령 횟수는 수도권과 강원권이 전라권과 경상권보다 많고 (나)의 연평균 기상 특보 발령 횟수는 전라권과 경상권이 수도권과 강원권보다 많다. 따라서 (가)는 권역별 연평균 한파 특보 발령 횟수이고 (나)는 권역별 연평균 폭염 특보 발령 횟수이다.

① (나)는 권역별 연평균 폭염 특보 발령 횟수이며, 권역별 연평균 폭염 특보 발령 횟수가 가장 많은 권역은 경상권이다.

② (가)는 권역별 연평균 한파 특보 발령 횟수이다. 한파 특보가 발령될 때, 우리나라는 주로 한대 기단인 시베리아 기단의 영향을 받는다.

✖️ 한파 특보가 발령될 때 우리나라 주로 건조한 시베리아 기단의 영향을 받고 폭염 특보가 발령될 때 우리나라 주로 다습한 북태평양 기단의 영향을 받는다. 따라서 우리나라에서 대기 중 수증기량은 (가)의 시기가 (나)의 시기보다 적다.

아래 표는 우리나라의 기상 특보 발령 기준이다.

종류	주의보	경보
한파	10월~4월에 다음 중 하나에 해당하는 경우 ① 아침 최저 기온이 전날보다 $10^{\circ}\text{C}$ 이상 하강하여 $3^{\circ}\text{C}$ 이하이고 평년값보다 $3^{\circ}\text{C}$ 이상 낮을 것으로 예상될 때 ② 아침 최저 기온이 $-12^{\circ}\text{C}$ 이하가 2일 이상 지속될 것으로 예상될 때 ③ 급격한 저온 현상으로 중대한 피해가 예상될 때	10월~4월에 다음 중 하나에 해당하는 경우 ① 아침 최저 기온이 전날보다 $15^{\circ}\text{C}$ 이상 하강하여 $3^{\circ}\text{C}$ 이하이고 평년값보다 $3^{\circ}\text{C}$ 이상 낮을 것으로 예상될 때 ② 아침 최저 기온이 $-15^{\circ}\text{C}$ 이하가 2일 이상 지속될 것으로 예상될 때 ③ 급격한 저온 현상으로 광범위한 지역에서 중대한 피해가 예상될 때
폭염	일 최고 체감 온도가 $33^{\circ}\text{C}$ 이상인 상태가 2일 이상 지속될 것으로 예상될 때	일 최고 체감 온도가 $35^{\circ}\text{C}$ 이상인 상태가 2일 이상 지속될 것으로 예상될 때

## 06 해양의 변화

### 수능 2점 테스트

본문 108~111쪽

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

### 01 표층 수온과 표층 염분

표층 수온에 영향을 주는 주된 요인은 태양 복사 에너지이고, 표층 염분에 영향을 주는 주된 요인은 증발량과 강수량이다.

- ☒ 표층 수온은 입사하는 태양 복사 에너지의 영향을 받는다. A 해역은 B 해역보다 표층 수온이 낮으므로, 단위 시간에 단위 면적당 입사하는 연평균 태양 복사 에너지양은 A 해역이 B 해역 보다 적다.  
㉡ 표층 염분은 대체로 (증발량-강수량) 값이 클수록 높다. B 해역은 C 해역보다 표층 염분이 낮으므로 (증발량-강수량) 값이 작다.  
☒ C 해역은 증발량이 강수량보다 많은 중위도 고압대에 위치하므로 표층 염분이 높게 나타난다.

### 02 해수의 염분

염분은 해수 1 kg 속에 녹아 있는 염류의 총량을 g 수로 나타낸 값으로, 단위는 psu(실용염분단위)를 쓴다. 전 세계 해수의 평균 염분은 약 35 psu이다.

- ㉠ ⑦은 염류 중 가장 많은 양을 차지하는 염화 나트륨이다.  
㉡ 표층 해수 1 kg 속에 녹아 있는 염류의 총량이 35 g이므로, 염분은 35 psu이다.  
㉢ 담수는 녹아 있는 염류의 양이 매우 적으므로, 이 해역에 담수가 유입되면 표층 해수 1 kg 속에 녹아 있는 염류의 총량은 감소할 것이다.

### 03 위도에 따른 강수량과 증발량

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

- ㉠ 적도 부근에서 B가 A보다 큰 값을 가지므로 A는 증발량, B는 강수량이다.  
☒ 적도 지방은 저압대에 위치하므로 강수량이 증발량보다 많다.  
㉡ 표층 염분은 증발량이 강수량보다 많은 해역에서 대체로 높게 나타난다.

## 04 해수의 깊이에 따른 밀도, 염분, 수온 분포

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

Ⓐ ⑦은 해수 표층에서 깊이에 따라 수온이 거의 일정하게 나타나는 구간이므로 혼합층에 해당한다.

Ⓑ 이 해역에서 A가 염분이라면 수심이 깊어질수록 수온이 낮아지고 염분이 높아지므로 밀도가 커져야 한다. 하지만 수심이 깊어질수록 B가 작아지므로, A는 밀도이고, B는 염분이다. 염분(B)은 깊이 0 m에서 약 37.2 psu, 깊이 100 m에서 약 36.9 psu이다.

Ⓒ ⑦ 구간에서 수심이 깊어질수록 수온은 낮아지고 염분은 거의 일정하므로, ⑧ 구간에서 해수의 밀도 변화에는 수온이 염분보다 크게 영향을 준다.

Ⓓ (가)와 (나) 모두 적도 지방에는 상승 기류가 발달한다.

## 08 대기 대순환의 순환 세포

자전하는 지구의 대기 대순환 모형에서 위도 약  $0^{\circ} \sim 30^{\circ}$  사이에는 해들리 순환, 위도 약  $30^{\circ} \sim 60^{\circ}$  사이에는 페렐 순환, 위도 약  $60^{\circ} \sim 90^{\circ}$  사이에는 극순환이 형성된다.

Ⓐ A는 지표 부근에 무역풍을 형성하는 해들리 순환이다.

Ⓑ B는 간접 순확인 페렐 순환으로, 지표 부근에 편서풍을 형성한다.

⓫ C는 극순환이다. 페렐 순환과 극순환이 경계를 이루는 위도  $60^{\circ}$  부근에는 한대 전선대가 발달한다. 중위도 고압대는 해들리 순환과 페렐 순환이 경계를 이루는 위도  $30^{\circ}$  부근에 발달한다.

## 05 해수의 용존 기체

해수의 용존 기체량은 일차적으로 수온, 염분, 수압 등에 의해 결정되며, 해수 중에 존재하는 생물 활동의 영향을 크게 받는다.

⓫ 표층 해수에 녹아 있는 기체의 농도는 A가 약 6 mL/L, B가 약 43.5 mL/L이다.

Ⓐ A는 표층에서 농도가 높게 나타나고, B는 표층에서 농도가 낮지만 수심이 깊어질수록 높아지는 것으로 보아 A는 산소, B는 이산화 탄소이다.

Ⓑ 표층에서는 광합성에 의해 용존 이산화 탄소량이 대체로 적게 나타난다.

## 09 북태평양의 아열대 순환

북태평양의 아열대 순환은 북적도 해류, 쿠로시오 해류, 북태평양 해류, 캘리포니아 해류로 이루어져 있으며, 시계 방향으로 순환한다.

⓫ A는 북태평양의 서안에 위치하여 쿠로시오 해류가 흐르는 해역으로, A에서는 저위도에서 고위도 방향으로 해류가 흐른다.

Ⓐ B는  $30^{\circ}\text{N}$ 과  $60^{\circ}\text{N}$  사이에 위치한 해역으로 편서풍의 영향을 받는다.

Ⓑ A에 흐르는 해류는 쿠로시오 해류, B에 흐르는 해류는 북태평양 해류, C에 흐르는 해류는 캘리포니아 해류이다.

## 06 위도에 따른 열수지

위도에 따라 태양 복사 에너지의 흡수량과 지구 복사 에너지의 방출량이 차이가 난다.

Ⓐ 적도에서 A가 B보다 큰 값이 나타나는 것으로 보아 A는 태양 복사 에너지 흡수량, B는 지구 복사 에너지 방출량이다.

⓫ ⑦ 지역은 태양 복사 에너지 흡수량이 지구 복사 에너지 방출량보다 많으므로 에너지 과잉 상태이다.

⓫ ⑧은 태양 복사 에너지 흡수량과 지구 복사 에너지 방출량이 같은 지역으로, 대기와 해수의 순환에 의한 에너지 이동량이 가장 많다.

## 10 남아메리카 대륙 주변의 주요 표층 해류

A는 페루 해류가 흐르는 해역, B는 브라질 해류가 흐르는 해역, C는 남극 순환 해류가 흐르는 해역이다.

⓫ A에는 고위도에서 저위도 방향으로 한류가 흐르고, B에는 저위도에서 고위도 방향으로 난류가 흐른다.

⓫ 동일 위도에 위치한 A와 B 중 표층 해수의 염분은 한류의 영향을 받는 A가 난류의 영향을 받는 B보다 낮다.

Ⓐ C에는 편서풍에 의해 형성되어 남극 대륙 주변을 순환하는 남극 순환 해류가 흐른다.

## 07 대기 대순환 모형

지표면이 균일하고 자전하지 않는 지구에서는 각 반구에 하나의 대기 순환 세포가 형성되고, 자전하는 지구에서는 각 반구에 세 개의 대기 순환 세포가 형성된다.

Ⓐ (가)는 각 반구에 세 개의 대기 순환 세포가 나타나므로 자전하는 지구의 대기 대순환 모형이다.

Ⓑ (나)는 자전하지 않는 지구의 대기 대순환 모형으로,  $30^{\circ}\text{N}$ 의 지표 부근에는 북풍 계열의 바람이 분다.

## 11 북태평양의 아열대 순환과 아한대 순환

표층 해류는 육지로 가로막힌 대양 안에서 몇 개의 거대한 순환을 이루고 있다. 북태평양의 아열대 순환과 아한대 순환의 방향은 반대이다.

Ⓐ 북태평양의 아열대 순환의 방향은 시계 방향이고, 아한대 순환의 방향은 시계 반대 방향이다.

⓫ A와 B는 아열대 순환과 아한대 순환의 사이에 위치하며 위도

는 약  $40^{\circ}\text{N} \sim 50^{\circ}\text{N}$  사이이다.

- Ⓐ A는 난류와 한류가 만나는 해역이고, B는 하나의 해류가 두 방향으로 갈라지는 해역이다. 따라서 남북 간의 표층 수온 차는 A가 B보다 크다.

## 12 동아시아 주변의 표층 해류

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

ⓧ A에는 북한 한류, B에는 대마 난류가 흐른다. 같은 위도에 위치한 두 해역 중 표층 수온은 난류가 흐르는 B가 한류가 흐르는 A보다 높다.

Ⓑ C에는 쿠로시오 해류가 흐른다. 쿠로시오 해류는 동해에 영향을 주는 난류의 근원이다.

Ⓒ D에는 북태평양 아열대 순환을 이루는 북적도 해류가 흐른다.

## 13 수온 염분도

수온 염분도는 해수의 특성을 나타내는 그래프로, 수온(Temperature)과 염분(Salinity)의 첫 글자를 따서 T-S도라고 한다.

ⓧ ⑦은 수온이 유지되며 염분이 높아지는 과정이다. 담수가 유입되면 염분이 낮아진다.

ⓧ 해수 표면에 입사하는 태양 복사 에너지양이 증가하면 표층 해수의 수온은 높아진다.

Ⓒ B와 C는 수온 염분도에서 같은 등밀도선에 위치하므로 해수의 밀도는 B일 때와 C일 때가 같다.

## 14 심층 순환의 발생 원리

얼음물은 수조의 물보다 밀도가 크므로 수조 바닥에 가라앉은 후 바닥을 따라 천천히 움직인다.

Ⓐ 밀도는  $20^{\circ}\text{C}$ 의 물이 얼음물보다 작다.

Ⓑ 얼음물은  $20^{\circ}\text{C}$ 의 물보다 밀도가 크므로 수조 바닥에 가라앉아 이동한다.

Ⓒ 심층 순환의 발생 원리 실험에서 얼음물은 극 해역에서 냉각되어 침강하는 해수를 의미한다.

## 15 표층 순환과 심층 순환

표층 순환과 심층 순환은 독립적으로 나타나는 것이 아니라 서로 커베이어 벨트처럼 연결되어 있다.

ⓧ A는 표층 순환이고, B는 심층 순환이다.

Ⓒ 유속은 표층 순환이 심층 순환보다 빠르다.

ⓧ 침강 해역에 빙하가 녹은 물이 유입되면 해수의 밀도가 작아

지게 되어 해수의 침강이 약해진다.

## 16 대서양의 심층 순환

대서양의 심층 순환은 남극 저층수, 북대서양 심층수, 남극 중층수 등으로 구성된다.

Ⓐ A는 남극 중층수, B는 북대서양 심층수, C는 남극 저층수이다.

Ⓑ 북대서양 심층수는 북반구 고위도 지역에서 침강하여 이동한 것이다.

Ⓒ 밀도는 대서양의 해저면 부근을 따라 이동하는 남극 저층수가 남극 중층수보다 크다.

**수능 3점 테스트**

본문 112~119쪽

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

**01 해수의 연직 수온 분포**

해양에서 태양 복사 에너지는 대부분 표층에서 흡수되므로 수심이 깊어질수록 수온이 낮아진다. 해양은 깊이에 따른 수온 변화에 따라 혼합층, 수온 약층, 심해층으로 나뉜다.

☒ 1년 동안 수온 변화에서 A 시기 부근은 표층 수온이 낮고 혼합층의 두께가 두꺼우므로, A 시기는 겨울철이다.

Ⓐ 수온  $10^{\circ}\text{C}$ 가 나타나는 깊이는 A 시기에 150 m와 400 m 사이이고, B 시기에 50 m와 150 m 사이이다.

Ⓒ 혼합층은 바람의 혼합 작용으로 인해 깊이에 따라 수온이 거의 일정한 층이다. A 시기의 혼합층 두께는 150 m 이상이고 B 시기의 혼합층 두께는 50 m 미만이므로, 혼합층의 두께는 A 시기가 B 시기보다 3배 이상 두껍다.

**02 위도에 따른 혼합층 두께**

혼합층은 바람에 의한 혼합 작용으로 깊이에 따라 수온이 거의 일정한 층이다. 혼합층의 두께는 대체로 바람이 강한 지역에서 두껍다.

Ⓐ  $60^{\circ}\text{N}$  해역의 혼합층 두께는 1월이 약 100 m, 7월이 약 20 m이고, 적도 해역의 혼합층 두께는 1월과 7월 모두 약 30 m이다. 따라서 1월과 7월의 혼합층 두께 차이는  $60^{\circ}\text{N}$  해역이 적도 해역보다 크다.

☒ 7월에 혼합층 두께는  $60^{\circ}\text{S}$  해역이 약 130 m,  $60^{\circ}\text{N}$  해역이 약 20 m이다. 혼합층은 깊이에 따라 수온이 거의 일정하므로, 7월에 해수면과 비슷한 수온이 나타나는 깊이 범위는  $60^{\circ}\text{S}$  해역은 해수면에서 수심 약 130 m까지,  $60^{\circ}\text{N}$  해역은 해수면에서 수심 약 20 m까지이다. 따라서 7월에 해수면과 수심 100 m의 수온 차는  $60^{\circ}\text{S}$  해역이  $60^{\circ}\text{N}$  해역보다 작다.

Ⓒ 혼합층의 두께는 대체로 바람이 강한 지역에서 두껍게 나타나므로,  $60^{\circ}\text{S}$  해역에서 바람에 의한 해수의 혼합 작용은 7월이 1월 보다 강하다.

**03 해수의 연직 수온 분포**

해양은 깊이에 따른 수온 변화에 따라 혼합층, 수온 약층, 심해층으로 나뉜다. 수온 약층은 깊이에 따른 수온의 변화가 가장 급격하게 나타나는 층이다.

Ⓐ 해수의 연직 혼합은 주로 표층에서 바람에 의해 활발하게 일어난다. 2월에 혼합층이 해수면에서 깊이 약 160 m까지 발달하므로, 2월에 해수의 연직 혼합은 깊이 0 m~100 m가 깊이

200 m~300 m보다 활발하게 일어난다.

Ⓒ 깊이 200 m~300 m 구간이 2월에는 수온 약층에 해당하고 8월에는 심해층에 해당하므로, 깊이 200 m와 300 m의 수온 차는 2월이 8월보다 크다.

Ⓓ 2월은 8월보다 혼합층이 두껍게 발달하므로 수온 약층이 나타나기 시작하는 깊이는 2월이 8월보다 깊다.

**04 표층 염분 분포**

증발량이 강수량보다 많은 중위도 고압대의 해양에서는 표층 염분이 높게 나타난다.

Ⓐ 표층 염분은 대체로 (증발량-강수량) 값이 클수록 높다. (증발량-강수량) 값은 A 지점이 B 지점보다 작으므로, 표층 염분은 A 지점이 B 지점보다 낮다.

☒ B 지점은 표층 염분이 높게 나타나는 중위도 고압대에 위치한다. 중위도 고압대에는 대기 대순환의 하강 기류가 발달한다.

Ⓓ (증발량-강수량) 값의 분포로 보아, B 지점은 중위도 고압대에, C 지점은 적도 저압대에 위치한다. 연평균 강수량은 적도 저압대가 중위도 고압대보다 많다.

**05 우리나라 주변의 표층 염분 분포**

육지로부터 담수가 흘러들어오는 연안은 대양의 중심부보다 표층 염분이 낮다.

Ⓐ A 해역의 표층 염분은 (나)가 (다)보다 높다. 염분이 높으면 해수 1 kg에 녹아 있는 염류의 양이 많으므로, A 해역의 표층 해수 1 kg에 녹아 있는 염류의 양은 (나)가 (다)보다 많다.

☒ 염분이 낮은 담수가 많이 유입될수록 표층 염분은 낮아진다. 양쯔강 하구에서 표층 염분은 (나)가 (다)보다 높으므로, (나)는 양쯔강의 담수가 바다에 유입되는 강도가 6월보다 작은 12월에 측정한 표층 염분 분포이다.

☒ 해수의 밀도는 수온이 낮을수록, 염분이 높을수록 크다. 따라서 염분만을 고려할 때, A 해역에서 표층 해수의 밀도는 표층 염분이 높은 12월이 6월보다 크다.

**06 우리나라 주변 해역의 수온 분포**

수온 약층은 혼합층 아래에서 깊이에 따라 수온이 급격히 낮아지는 층이다.

☒ A는 깊이에 따른 수온 변화가 거의 나타나지 않지만, B는 깊이 약 75 m~150 m에서 수온 변화가 급격하게 나타난다. 따라서 수온 약층은 B가 A보다 뚜렷하다.

☒ B는 A보다 고위도에 위치하지만, 표층 수온이 높게 나타난다. 이는 난류의 영향을 강하게 받기 때문이다.

Ⓓ 표층 해수의 용존 산소량은 수온이 낮을수록 많다. 표층 해수의 수온은 Ⓢ 지점이 Ⓣ 지점보다 낮으므로, 수온만을 고려할 때, 표층 해수의 용존 산소량은 Ⓢ 지점이 Ⓣ 지점보다 많다.

## 07 수온 염분도

수온 염분도( $T-S$ 도)를 이용하면 해수의 밀도를 알아낼 수 있으며, 해수의 특성을 추정할 수 있다.

☒ 1월과 7월의 표층 해수 밀도 차는 A가 등밀도선 약 4칸 차이이고, B가 등밀도선 약 6칸 차이이다. 등밀도선 사이의 밀도 차는 같으므로, 1월과 7월의 표층 해수 밀도 차는 A가 B보다 작다.

Ⓐ 4월에 A의 표층 염분은 약 35.4 psu이다. 해수 1 kg에 포함된 염류의 양이 33 g일 때의 염분은 33 psu이므로 4월에 A의 표층 해수 1 kg에 포함된 염류의 양은 33 g보다 많다.

Ⓑ 해수의 밀도는 수온이 낮을수록, 염분이 높을수록 커지므로, 수온 염분도에서 오른쪽 아래로 갈수록 밀도는 커진다. 11월에 B의 표층 해수(수온 약 18.5 °C, 염분 31 psu)에 (수온 12 °C, 염분 33 psu)인 해수가 유입되어 혼합되면 수온 염분도에서 오른쪽 아래로 이동하여 위치하게 되므로 밀도는 커진다.

## 08 해수의 용존 기체

제시된 자료에서 해수의 용존 산소량은 수온이 낮을수록, 수압이 높을수록 증가한다.

☒ 수온이 높아질수록 해수의 용존 산소량은 감소한다.

☒ 수온이 일정할 때, 수압에 따른 해수의 용존 산소량은  $1 \times 10^5 \text{ Pa}$ ,  $2 \times 10^5 \text{ Pa}$ ,  $4 \times 10^5 \text{ Pa}$  일 때 순으로 많다. 수심이 깊어질수록 수압이 높아지므로, 수온이 일정할 때, 수심이 깊어질수록 해수의 용존 산소량은 증가한다.

Ⓐ 수압이  $1 \times 10^5 \text{ Pa}$ 인 해수에서 수온이 25 °C보다 높을 때 용존 산소량은 5 mL/L보다 적다. 따라서 수압이  $1 \times 10^5 \text{ Pa}$ 인 해수에서 생존에 필요한 최소 용존 산소량이 5 mL/L인 물고기는 수온이 25 °C보다 높을 경우 생존하기 어렵다.

## 09 대기 대순환 모형

대기 대순환은 위도에 따른 에너지 불균형으로 발생하고, 지구 자전의 영향을 받는다. (가)는 지구가 자전하는 경우의 대기 대순환 모형이고, (나)는 지구가 자전하지 않는 경우의 대기 대순환 모형이다.

Ⓐ 지구가 자전하지 않는 경우와 자전하는 경우 모두 적도 부근에서는 상승 기류가 발달하고, 북극 부근에서는 하강 기류가 발달 하므로, A는 적도, D는 북극이다. 단위 시간에 단위 면적당 입사하는 태양 복사 에너지양은 적도가 북극보다 많다.

☒ 지구가 자전하는 경우의 대기 대순환 모형인 (가)에서 B는 중위도 고압대, C는 한대 전선대에 해당한다. 평균 강수량은 한대 전선대가 중위도 고압대보다 많다.

☒ 지구가 자전하지 않는 경우의 대기 대순환 모형인 (나)에서 B와 C의 지표 부근에는 북풍 계열의 바람이 분다.

## 10 대기 대순환과 표층 해류

표층 해류는 대기 대순환에 의해 지표 부근에 부는 바람의 영향을 받는다.

Ⓐ A에서는 동쪽을 향해 해류가 흐르고, C에서는 서쪽을 향해 해류가 흐른다. 아열대 순환은 편서풍대에서 동쪽으로 흐르는 해류와 무역풍대에서 서쪽으로 흐르는 해류를 포함하여 시계 방향으로 순환하는 흐름이 나타난다.

☒ B는 위도 약 30°N으로 중위도 고압대에 해당한다. 중위도 고압대에는 대기 대순환의 하강 기류가 발달한다.

Ⓐ D는 동쪽으로 적도 반류가 흐르는 해역으로, 이 해역은 서쪽으로 부는 무역풍의 영향을 받는다. 따라서 D에서는 바람의 방향과 해류의 방향이 일치하지 않는다.

## 11 대기 대순환과 표층 해류

콜럼버스는 유럽에서 출발해 북대서양을 횡단하여 북아메리카를 발견하는 과정에서 바람과 해류를 이용하였다.

☒ 경로 A는 주로 편서풍대에, 경로 B는 주로 무역풍대에 위치한다. 바람의 방향과 같은 방향으로 이동하는 것이 유리하므로, 유럽에서 북아메리카로 이동한 경로는 B이다.

Ⓐ ①은 편서풍대인 30°N~60°N 사이에 위치하며, 대기 대순환의 간접 순환이 페렐 순환에 의해 지표 부근에서는 편서풍이 분다.

☒ ②에는 북대서양의 아열대 순환을 이루는 카나리아 해류가 흐른다. 카나리아 해류는 고위도에서 저위도 방향으로 흐르는 한류이다.

## 12 난류와 한류의 영향

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

☒ A와 B는 한대 전선대인 60°N에 위치한다.

Ⓐ (나)에서 기온의 연교차는 A가 B보다 크다.

Ⓒ 같은 위도에 위치한 A와 B의 겨울철 기온이 크게 차이 나는 원인은 A는 한류의 영향을 받고, B는 난류의 영향을 받기 때문이다.

## 13 우리나라 주변의 표층 해류

우리나라 주변 난류의 근원은 쿠로시오 해류이고, 우리나라 주변 한류의 근원은 연해주를 따라 남하하는 연해주 한류이다.

Ⓐ 한류는 수온이 낮고 용존 산소량이 많으며, 난류는 수온이 높고 용존 산소량이 적다. (가)에서 A 해역에는 한류가 흐르고, B 해역에는 난류가 흐르므로, 표층 해수의 용존 산소량은 A 해역이 B 해역보다 많다.

☒ 제시된 자료에서 화살표의 길이는 유속의 크기를 의미한다.

C 해역에서 북쪽을 향하는 화살표의 길이가 (가)가 (나)보다 짧으므로, 난류의 흐름은 (가)가 (나)보다 약하다.

Ⓐ D 해역은 북태평양의 서안으로 길이가 긴 화살표가 이어진

것으로 보아 쿠로시오 해류가 흐르는 것으로 판단할 수 있다.

## 14 표층 순환과 심층 순환

표층 순환과 심층 순환은 독립적으로 나타나는 것이 아니라 서로 컨베이어 벨트처럼 연결되어 있다.

① A는 대서양, B는 태평양이다. 북대서양의 고위도 지역에서는 해수의 침강이 활발하게 일어나지만, 북태평양에서는 해수의 침강이 활발하지 않다.

② ㉠은 표층 순환에 해당하고, ㉡은 심층 순환에 해당한다. 해수의 흐름은 표층 순환이 심층 순환보다 빠르다.

ⓧ ㉠에 흐르는 해류는 남극 순환 해류로, 남극 대륙 주위를 시계 방향으로 순환한다.

④ ㉡에서는 북대서양 고위도 해역에서 침강하여 이동하는 북대서양 심층수가 나타난다.

⑤ 표층 순환과 심층 순환은 열에너지를 수송하여 저위도와 고위도의 에너지 불균형을 줄이는 역할을 한다.

## 15 대서양의 심층 순환

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

⑦ 수괴의 밀도는 남극 저층수 > 북대서양 심층수 > 남극 중층수 순이므로, A는 남극 중층수, B는 북대서양 심층수, C는 남극 저층수이다.

⑨ 북대서양 심층수의 평균 염분은 약 34.9 psu이고, 남극 중층수의 평균 염분은 약 34.2 psu이다.

ⓧ. 수온 염분도에서 지중해 유출수가 위치한 등밀도선은 북대서양 심층수가 위치한 등밀도선보다 왼쪽 위에 위치하므로, 해수의 밀도는 지중해 유출수가 북대서양 심층수보다 작다. 따라서 지중해 유출수가 유입된다면 북대서양 심층수보다 얕은 곳에 위치할 것이다.

## 16 심층 순환의 역할

심층 순환은 거의 전체 수심에 걸쳐 일어나면서 해수를 순환시키는 역할을 하며, 표층 순환과 연결되어 열에너지를 수송하여 위도 간의 열수지 불균형을 해소시킨다.

⑩ ㉠은 표층수가 침강하여 심층수가 형성되는 해역이다.

⑪ 북대서양 심층 순환의 세기 편차는 A 시기가 B 시기보다 크다. 편차는 관측값(또는 예측값)에서 평균값을 뺀 값이므로, 북대서양 심층 순환의 세기는 A 시기가 B 시기보다 강하다.

⑫ 북대서양 심층 순환의 세기가 약해지면 열에너지 수송이 감소하여 위도 간의 열수지 불균형이 커진다. C 시기는 B 시기보다 북대서양 심층 순환의 세기가 약하므로, 북대서양에서  $30^{\circ}\text{N}$  해역과  $60^{\circ}\text{N}$  해역의 평균 표층 수온 차는 C 시기가 B 시기보다 클 것이다.

## 07 대기와 해양의 상호 작용

### 수능 2점 테스트

본문 128~131쪽

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

### 01 연안 용승

바람이 한 방향으로 지속적으로 불면 표층 해수는 해수와 바람 사이의 마찰력과 전향력을 받아 이동하게 되는데, 북반구에서 표층 해수는 주로 바람 방향의 오른쪽 직각 방향으로 이동한다.

ⓧ. 북반구에 위치한 연안에서 표층 해수가 서쪽으로 이동하므로, 연안에 지속적으로 부는 바람은 북풍이다.

⑦ 표층 해수는 해안으로부터 멀어지며, 이를 채우기 위해 심층에서 찬 해수가 올라오고 있으므로, 한 방향으로 지속적으로 부는 바람에 의해 용승이 일어나고 있다.

ⓧ. 따뜻한 표층 해수가 먼 바다로 이동하고 차가운 심층 해수가 용승하고 있으므로, 표층 수온은 A 지점이 B 지점보다 높다.

### 02 저기압과 고기압에서의 용승과 침강

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

⑦ A에서는 고기압성 바람에 의해 표층 해수가 수렴하여 침강이 일어난다.

ⓧ. B에서는 저기압성 바람에 의해 표층 해수가 발산하여 용승이 일어난다. 북반구의 저기압 주변에서 바람은 시계 반대 방향으로 분다.

⑦ A에서는 침강이, B에서는 용승이 일어나므로, 수온 약층이 나타나기 시작하는 깊이는 A가 B보다 깊다.

### 03 연안 용승

연안 용승은 대륙의 연안에서 한 방향으로 지속적으로 부는 바람 때문에 표층 해수가 먼 바다 쪽으로 이동하면 이를 채우기 위해 심층에서 찬 해수가 올라오는 현상이다.

⑦ A는 육지의 동쪽에 위치한 연안이므로, 연안 용승은 남풍에 의해 일어났다.

ⓧ. A에서 표층 해수는 먼 바다 쪽인 동쪽으로 이동한다.

ⓧ. 해수의 용존 산소량은 수온이 낮을수록 많다. 표층 수온은 6월

28일이 7월 4일보다 높으므로, 표층 해수의 용존 산소량은 6월 28일이 7월 4일보다 적다.

#### 04 평상시 태평양 적도 부근 해역의 특징

평상시 동쪽에서 서쪽으로 부는 무역풍으로 인해 적도 부근 동태평양 해역에서는 연안 용승이 활발하며, 표층 수온은 적도 부근 서태평양보다 동태평양에서 낮게 나타난다.

⓪. 무역풍은 동쪽에서 서쪽으로 불므로 B 해역에서 A 해역을 향한 방향으로 분다.

①. 평상시 B 해역에서는 연안 용승이 일어나므로, 표층 수온은 A 해역이 B 해역보다 높다.

②. 평상시 A 해역은 상대적으로 표층 수온이 높고 강수량이 많으며, B 해역은 상대적으로 표층 수온이 낮고 강수량이 적다.

#### 05 라니냐 시기의 표층 수온 편차

라니냐는 열대 태평양 중앙부에서 폐루 연안에 이르는 해역에서 표층 수온이 평년보다 낮은 상태가 수개월 이상 지속되는 현상이다.

①. 동태평양 적도 부근 해역의 표층 수온 편차가 음(−)의 값이므로, 이 시기는 동태평양 적도 부근 해역의 표층 수온이 평상시보다 낮은 라니냐 시기이다.

⓪. 라니냐 시기에는 동태평양 적도 부근 해역에서의 용승이 평상시보다 강하다.

②. 라니냐 시기에는 무역풍이 강해져 따뜻한 해수가 서태평양 쪽으로 집중되므로 태평양 적도 부근의 동서 방향 해수면 경사가 평상시보다 크다.

#### 06 엘니뇨 시기의 대기 순환

엘니뇨는 열대 태평양 중앙부에서 폐루 연안에 이르는 해역에서 표층 수온이 평년보다 높은 상태가 수개월 이상 지속되는 현상이다.

①. 이 시기는 태평양 적도 부근 해역의 따뜻한 해수 영역이 서태평양에서 동쪽으로 이동하며 대기 순환의 상승 기류가 발달하는 영역도 서태평양에서 동쪽으로 이동하는 엘니뇨 시기이다.

②. 엘니뇨 시기에는 무역풍이 평상시보다 약하다.

⓪. 엘니뇨 시기에는 서태평양 적도 부근 해역에 하강 기류가 발달하며 해면 기압이 평상시보다 높다.

#### 07 고기후 연구 방법

빙하 얼음을 구성하는 산소 안정 동위 원소 비율을 분석하면 과거 지구의 기온을 알 수 있고, 빙하 얼음 속에 포함된 공기 방울을 분석하면 과거 지구 대기에 포함된 온실 기체의 농도를 알 수 있다.

①. 빙하 시추물에서 아래에 위치한 부분이 더 과거에 형성되었으므로 A는 B보다 나중에 포함되었다.

②. A는 빙하 시추물에 포함된 공기 방울이다. 빙하 시추물에 포

함된 공기 방울을 분석하면 공기 방울이 빙하에 포함될 당시의 대기 성분을 알 수 있다.

③. 빙하 시추물에 포함된 화산재(B)를 통하여 이 지역은 과거 화산 활동의 영향을 받았다는 사실을 알 수 있다.

#### 08 기후 변화 요인

지구 기후 변화의 요인은 자연적 요인과 인위적 요인으로 구분할 수 있으며, 자연적 요인은 지구 외적 요인과 지구 내적 요인으로 구분할 수 있다.

①. 인위적 요인은 인간 활동에 기인한 것으로, 온실 기체의 증가, 에어로졸 배출, 사막화, 도시화 등이 있다.

⓪. 세차 운동에 의한 지구 자전축의 경사 방향 변화는 자연적 요인 중 지구 외적 요인에 해당한다.

②. 기후 협약을 통해서는 인위적 요인에 의한 기후 변화를 최소화할 수 있다.

#### 09 기후 변화의 지구 외적 요인

지구 공전 궤도 이심률은 약 10만 년을 주기로 변한다. 지구 공전 궤도가 현재보다 원에 더 가까워지면 근일점 거리는 현재보다 길어지고, 원일점 거리는 현재보다 짧아진다.

⓪. 현재 지구가 근일점에 위치할 때 북반구는 겨울이고, 남반구는 여름이다.

①. 지구 공전 궤도 이심률이 클수록 원일점 거리와 근일점 거리의 차이가 커지므로, 지구 공전 궤도 이심률은 A 시기가 현재보다 크다.

⓪. 단위 시간당 지구 전체에 도달하는 태양 복사 에너지양은 태양으로부터의 거리가 가까울수록 많다. 근일점 거리는 B 시기가 현재보다 길고, 원일점 거리는 B 시기가 현재보다 짧으므로, 근일점과 원일점에서 단위 시간당 지구 전체에 도달하는 태양 복사 에너지양의 차이는 B 시기가 현재보다 작다.

#### 10 기후 변화의 지구 외적 요인

지구 자전축은 약 26000년을 주기로 회전하므로, 약 13000년 후에는 자전축의 경사 방향이 현재와 반대가 된다.

①. 현재 지구가 근일점에 위치할 때 북반구는 겨울이다. (가)에서 지구가 근일점에 위치할 때 북반구는 겨울이므로, (가)는 현재 지구의 공전 궤도와 자전축 경사 방향이다.

⓪. (가)에서  $30^{\circ}\text{N}$ 의 여름은 원일점 부근에서 나타나고, (나)에서  $30^{\circ}\text{N}$ 의 여름은 근일점 부근에서 나타난다. 따라서  $30^{\circ}\text{N}$ 에서 여름철 평균 기온은 (가)일 때가 (나)일 때보다 낮다.

②. (가)는  $30^{\circ}\text{S}$ 가 원일점에서 겨울, 근일점에서 여름이고, (나)는  $30^{\circ}\text{S}$ 가 원일점에서 여름, 근일점에서 겨울이다. 따라서  $30^{\circ}\text{S}$ 에서 기온의 연교차는 (가)일 때가 (나)일 때보다 크다.

## 11 태양 활동 변화와 지구 기후 변화

태양 활동이 달라지면 지구에 도달하는 태양 복사 에너지의 양이 달라진다.

Ⓐ A 시기는 흑점이 거의 나타나지 않지만, B 시기는 약 11년을 주기로 흑점 수가 변한다. 따라서 평균 흑점 수는 A 시기가 B 시기보다 적다.

ⓧ. 지구의 평균 기온은 약 11년 주기로 흑점 수가 변하는 B 시기가 흑점이 거의 나타나지 않는 A 시기보다 높다.

Ⓒ 태양의 흑점 수 변화는 기후 변화의 자연적 요인 중 지구 외적 요인에 해당한다.

북극 지방에는 사실상 빙하가 없을 것으로 예상된다.

## 15 기후 변화 시나리오와 평균 기온 변화

서로 다른 이산화 탄소 배출량을 가정하여 전 지구 평균 기온 변화를 예상할 수 있다. 현재와 같은 이산화 탄소 배출이 계속될 경우 지구 평균 기온은 크게 상승할 것으로 예측된다.

ⓧ. 전 지구 평균 기온이 2000년에는 1995년~2014년 평균보다 낮지만, 2014년에는 1995년~2014년 평균보다 높다.

Ⓒ 전 지구 평균 기온이 A가 B보다 크게 상승하므로, 이산화 탄소 배출량은 A일 때가 B일 때보다 많다.

Ⓒ A에 따르면 앞으로 전 지구 평균 기온이 상승하므로, 남극 대륙의 빙하 면적은 감소할 것이다. 따라서 남극 대륙의 빙하 면적은 2025년이 2100년보다 넓을 것이다.

## 16 기후 변화 시나리오와 생태 환경 변화

우리나라의 봄철 기온이 상승하면 봄꽃의 개화일도 앞당겨질 것이다.

ⓧ. 2040년에 평균 개화일은 개나리가 3월 19일, 진달래가 3월 20일, 벚꽃이 3월 29일이다.

ⓧ. 봄꽃의 평균 개화일이 앞당겨지는 것으로 보아, 우리나라의 봄철 평균 기온은 2060년이 2040년보다 높을 것이다.

Ⓒ 2100년에 진달래의 평균 개화일은 2월 28일이고, 개나리의 평균 개화일은 3월 2일이므로, 2100년에는 진달래가 개나리보다 평균적으로 먼저 개화한다.

## 12 온실 효과

온실 기체가 지구 복사 에너지를 흡수하였다가 지표로 재복사하기 때문에 지구의 평균 기온이 높게 유지되는데, 이를 온실 효과라고 한다.

ⓧ. 태양 복사 에너지는 주로 가시광선의 형태로 전파되고, 지구 복사 에너지는 주로 적외선의 형태로 전파된다.

Ⓒ 태양 복사 에너지는 지구 대기를 잘 투과하지만, 지구 복사 에너지는 온실 기체에 의해 잘 흡수된다. 따라서 지구 대기를 투과하는 비율은 A가 B보다 높다.

Ⓒ. 지구 대기에 포함된 온실 기체의 양이 많아지면 대기에서 지표로 재복사되는 에너지가 증가한다.

## 13 온실 기체 배출량 변화

산업 혁명 이후 인간 활동에 의한 온실 기체 배출량은 증가하는 경향을 보인다.

Ⓒ 메테인은 이산화 탄소를 제외한 온실 기체인 A에 포함된다.

ⓧ. 1850년부터 2019년까지 화석 연료 사용으로 인한 이산화 탄소 배출량은 증가하는 경향을 보이므로, 누적 배출량은 C가 B보다 많다.

ⓧ. 온실 기체의 양이 많아지면 온실 효과가 강화되어 지구의 평균 기온이 높아지므로, 지구의 평균 기온은 1850년이 2019년보다 낮다.

## 14 기후 변화 시나리오와 빙하 면적 변화

지구 온난화가 진행됨에 따라 북극 지방의 빙하 면적은 감소하는 경향을 보인다.

Ⓒ 9월 북극 지방의 빙하 면적은 A 시기에 약  $6.8 \times 10^6 \text{ km}^2$ 이고, B 시기에 약  $4.3 \times 10^6 \text{ km}^2$ 이다.

Ⓒ. 빙하는 해수에 비해 태양 복사 에너지 반사율이 높다. 북극 지방의 빙하 면적은 B 시기가 C 시기보다 넓으므로, 태양 복사 에너지 반사율은 B 시기가 C 시기보다 높다.

Ⓒ. 제시된 기후 변화 시나리오에 따르면 C 시기 이후로는 9월에

### 수능 3점 테스트

본문 132~139쪽

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

## 01 우리나라의 연안 용승

북반구에서 육지의 동쪽에 위치한 연안에 지속적으로 남풍이 불게 되면 표층 해수는 동쪽으로 이동하고, 이를 채우기 위해 심층에서 찬 해수가 올라온다.

Ⓐ 용승 지수가 양(+)의 값인 경우 용승이 일어나고, 음(−)의 값인 경우 침강이 일어나므로, A에서 ⑦ 시기에는 침강이 일어나고, ⑧ 시기에는 용승이 일어난다. 북반구에서 육지의 동쪽에 위치한 연안은 북풍 계열의 바람이 지속적으로 불 때 침강이 일어나고, 남풍 계열의 바람이 지속적으로 불 때 용승이 일어나므로, ⑦ 시기는 1월이고, ⑧ 시기는 7월이다. 1월에 A에는 북서풍이 우세하게 분다.

Ⓑ A에서 ⑦ 시기에는 침강이 일어나고, ⑧ 시기에는 용승이 일어나므로, 동서 방향 표층 수온 차는 ⑦ 시기가 ⑧ 시기보다 작다.

ⓧ 용승이 활발해지면 심층에서 표층으로 공급되는 영양염의 양이 많아진다. 용승은 ⑧ 시기에 활발하므로, 심층에서 표층으로 공급되는 영양염의 양은 ⑦ 시기가 ⑧ 시기보다 많다.

## 02 연안 용승과 엽록소 농도 분포

용승이 일어나는 해역에서는 영양염이 표층으로 운반되어 식물성 플랑크톤이 번식하고 좋은 어장이 형성될 수 있다.

ⓧ 북반구에서 북서–남동 방향으로 육지와 바다가 경계를 이룰 때, 연안 용승이 활발하려면 북서풍 계열의 바람이 지속적으로 불어야 한다.

Ⓐ 연안 용승이 발생한 것으로 보아, 표층 해수는 육지에서 면 바다 쪽인 A 지점에서 B 지점을 향한 방향으로 이동한다.

Ⓑ 엽록소는 식물성 플랑크톤에 포함된 광합성 색소로서 바다의 생산력을 나타내는 지표로 사용된다. 엽록소 농도는 A 지점이 B 지점보다 높으므로, 표층 해수의 단위 부피당 식물성 플랑크톤의 양은 A 지점이 B 지점보다 많다.

## 03 저기압에서의 용승

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

ⓧ 용승이 일어나면 수온 약층이 나타나기 시작하는 깊이가 얕아

지므로, A는 표층 해수가 발산하여 용승이 일어나는 지점이다. 따라서 A에서는 표층 해수의 발산이 일어난다.

Ⓐ 북반구에서 지속적으로 저기압성 바람이 불 때 용승이 일어나므로, A는 저기압의 중심이다. 따라서 ⑦은 1000보다 작다.

ⓧ A는 용승이 일어나 심층의 찬 해수가 올라오므로 주변보다 표층 수온이 낮다.

## 04 엘니뇨와 라니냐

열대 태평양 중앙부에서 페루 연안에 이르는 해역의 표층 수온이 평년보다 높은 상태가 수개월 이상 지속되는 현상이 엘니뇨이고, 평년보다 낮은 상태가 수개월 이상 지속되는 현상이 라니냐이다.

ⓧ 감시 해역의 3개월 이동 평균 표층 수온 편차가  $+0.5^{\circ}\text{C}$  이상으로 5개월 이상 지속되면 그 기간은 엘니뇨 시기,  $-0.5^{\circ}\text{C}$  이하로 5개월 이상 지속되면 그 기간은 라니냐 시기로 판정하므로, 1월~5월은 엘니뇨 시기이고, 8월~12월은 라니냐 시기이다. 6월은 3개월 이동 평균 표층 수온 편차가 약  $+0.1^{\circ}\text{C}$ 이므로 엘니뇨 시기에 해당하지 않는다.

Ⓐ 동태평양 적도 부근 해역의 표층 수온은 엘니뇨 시기인 3월이 라니냐 시기인 9월보다 높다.

ⓧ 12월은 라니냐 시기이다. 라니냐 시기에 서태평양 적도 부근에는 평상시보다 강한 상승 기류가 발달한다.

## 05 엘니뇨와 라니냐의 특징

엘니뇨 시기에는 동태평양 적도 부근 해역의 표층 수온이 평상시보다 상승하고, 라니냐 시기에는 동태평양 적도 부근 해역의 표층 수온이 평상시보다 하강한다.

ⓧ (가)는 동태평양 적도 부근 해역의 표층 수온이 평년보다 상승한 것으로 보아 엘니뇨 시기이고, (나)는 동태평양 적도 부근 해역의 표층 수온이 평년보다 하강한 것으로 보아 라니냐 시기이다. 엘니뇨 시기와 비교할 때, 라니냐 시기는 무역풍이 강하다.

Ⓐ 라니냐 시기는 엘니뇨 시기보다 동태평양 적도 부근 해역에서 용승이 강하다.

Ⓑ 태평양 적도 부근 해역의 동서 방향 해수면 경사는 라니냐 시기에는 평상시보다 급해지고 엘니뇨 시기에는 평상시보다 완만해진다. 따라서 엘니뇨 시기와 비교할 때, 라니냐 시기는 (서태평양 해수면 높이 – 동태평양 해수면 높이) 값이 크다.

## 06 엘니뇨와 라니냐의 특징

엘니뇨 시기에는 평상시보다 서태평양 적도 부근의 수증기량이 적고, 라니냐 시기에는 평상시보다 서태평양 적도 부근의 수증기량이 많다. A는 라니냐 시기이고, B는 엘니뇨 시기이다.

Ⓐ A 시기에 서태평양 적도 부근의 수증기량 편차가 양(+)의 값이므로, 서태평양 적도 부근의 수증기량은 A 시기가 평상시보다 많다.

㉡ 상승 기류가 발달하여 구름이 많이 발생하면 기상 위성으로 관측한 적외선 방출 복사 에너지가 감소한다. (나)에서 적도 부근 중앙 태평양에서 동태평양에 이르는 영역의 적외선 방출 복사 에너지 편차가 음(−)의 값인 것으로 보아, (나)는 엘니뇨 시기의 적외선 방출 복사 에너지 편차이다.

㉢ 엘니뇨 시기에는 동태평양 적도 부근 해역의 용승이 약해지므로, 동태평양 적도 부근 해역에서 수온 약층이 나타나기 시작하는 깊이가 깊어진다. 따라서 엘니뇨 시기에 동태평양 적도 부근 해역에서 수온 약층이 나타나기 시작하는 깊이 편차는 양(+)의 값이다.

## 07 워커 순환

평상시 무역풍으로 인해 서태평양 적도 부근은 따뜻한 해수로부터 열과 수증기를 공급받은 공기가 상승하여 강수대가 형성되고, 상대적으로 표층 수온이 낮은 동태평양 적도 부근은 공기가 하강 한다.

☒ 평상시 서태평양 적도 부근은 상승 기류가 발달하며 해면 기압이 낮다. 따라서 평상시 해면 기압은 서태평양에 위치한 다원이 타히티보다 낮다.

㉡ A 시기에 다원의 해면 기압 편차는 양(+)의 값이고, 타히티의 해면 기압 편차는 음(−)의 값으로, 다원은 평상시보다 기압이 높고, 타히티는 평상시보다 기압이 낮다. 서태평양 적도 부근의 기압이 높아지는 시기는 엘니뇨 시기이므로, A 시기는 엘니뇨 시기이고, 반대 경향을 보이는 B 시기는 라니냐 시기이다. 서태평양 적도 부근 해역에서 구름의 양은 해면 기압이 높은 엘니뇨 시기가 평상시보다 적다.

☒ 워커 순환은 라니냐 시기가 엘니뇨 시기보다 강하므로, B 시기가 A 시기보다 강하다.

## 08 지구의 열수지 평형

지구에 입사하는 태양 복사 에너지 100 단위 중 25 단위는 대기에 흡수, 45 단위는 지표면에 흡수, 30 단위는 우주 공간으로 반사된다. 지구에서 방출하는 지구 복사 에너지 70 단위 중 66 단위는 대기 복사, 4 단위는 지표면 복사이다.

㉡ 지구에 입사하는 태양 복사 에너지 100 단위에 대하여 ⑦은 45 단위( $100 - 25 - 30$ )이고, ⑧은 133 단위( $⑦ + 88$ )이다.

☒ 지구 온난화 지수가 클수록 대기 중에 같은 양이 있을 때 지구 온난화에 미치는 영향이 크다. 지구 온난화 지수는  $\text{CO}_2$ 가  $\text{N}_2\text{O}$ 보다 작으므로, 대기 중에 같은 양이 있을 때 지구 온난화에 미치는 영향은  $\text{CO}_2$ 가  $\text{N}_2\text{O}$ 보다 작다.

㉡ 대기 중 온실 기체인 X의 양이 증가하면, 온실 효과를 일으키는 A 과정은 강해질 것이다.

## 09 기후 변화의 지구 외적 요인

지구 공전 궤도 이심률은 약 10만 년을 주기로 변하고, 지구 자전

축 경사각은 약 41000년을 주기로 변한다.

㉡ 지구 공전 궤도 이심률이 클수록 근일점 거리는 짧아지고, 원일점 거리는 길어진다. A 시기는 현재보다 지구 공전 궤도 이심률이 크므로, 근일점 거리는 A 시기가 현재보다 짧다.

㉡ 지구 자전축 경사각이 현재보다 작아지면 북반구 중위도에서 여름철 낮의 길이가 짧아지므로,  $30^{\circ}\text{N}$ 에서 여름철 낮의 길이는 B 시기가 현재보다 짧다.

☒ 현재 북반구가 겨울철일 때 지구는 근일점 부근에 위치한다. 지구 공전 궤도 이심률이 현재보다 작아지면 근일점은 태양으로부터 더 멀어지고, 지구 자전축 경사각이 현재보다 커지면 중위도에서 겨울철 태양의 남중 고도는 낮아진다. C 시기는 현재보다 지구 공전 궤도 이심률이 작고 지구 자전축 경사각이 크므로,  $30^{\circ}\text{N}$ 에서 겨울철 평균 기온은 C 시기가 현재보다 낮다.

## 10 기후 변화의 지구 외적 요인

현재 지구가 근일점에 위치할 때, 북반구는 겨울이다. 약 13000년 후에는 세차 운동에 의해 지구 자전축의 경사 방향이 현재와 반대가 되어 지구가 근일점에 위치할 때 북반구는 여름이 된다.

㉡ 지구가 P에 위치할 때 현재 북반구의 자전축은 태양 반대편으로 경사져 있으며, 이때 북반구의 계절은 겨울이다. 현재 지구가 근일점에 위치할 때 북반구가 겨울이므로, P는 근일점이다.

☒ ④ 시기에 지구가 공전 궤도상의 P에 위치할 때 북반구의 자전축은 그림의 아래 방향을 향해 경사져 있다. 이로부터 약 3개월 후는 북반구의 자전축이 태양의 반대편으로 경사진 겨울이므로,

㉡ 시기에 지구가 공전 궤도상의 P에 위치하면 북반구는 가을이다.

㉢ ④ 시기에 지구는 남반구가 여름일 때 근일점에 위치하고, ㉓ 시기에 지구는 남반구가 겨울일 때 근일점에 위치하므로,  $30^{\circ}\text{S}$ 에서 기온의 연교차는 ㉓ 시기가 ㉔ 시기보다 크다.

## 11 기후 변화 요인

지구의 기후 변화 요인은 자연적 요인과 인위적 요인으로 구분할 수 있다. 자연적 요인의 예로는 화산 활동이 있다.

㉡ ㉓과 ㉔를 모두 고려하여 추정한 기온은 ㉓만 고려하여 추정한 기온보다 관측 기온과 더 비슷한 경향을 보인다. ㉓은 자연적 요인이고, ㉔는 인위적 요인이다.

☒ 자연적 요인만 고려하여 추정한 기온 편차와 관측 기온 편차의 차이는 B 시기가 A 시기보다 큰 것으로 보아, 인위적 요인에 의한 기온 변화는 B 시기가 A 시기보다 크다.

㉓ 화산이 폭발할 때 분출된 화산재 등이 성층권에 퍼지면 태양 빛의 산란이 많이 일어나 지구의 반사율이 커지므로 지구의 평균 기온이 낮아진다. 제시된 자료에서 대규모 화산 활동이 일어난 후 기온 편차가 작아지는 것을 확인할 수 있다.

## 12 기후 변화 요인에 따른 지표면 온도 변화

기후 변화의 인위적 요인 중  $\text{CO}_2$ 는 지표면 온도를 상승시키는 경향이 있다.

Ⓐ. 인위적 요인의 세부 요인 중 양(+)의 값을 가지는 막대 길이의 합이 음(−)의 값을 가지는 막대 길이의 합보다 길므로, 인위적 요인에 의한 복사 강제력의 합은 양(+)의 값이다.

Ⓑ. Ⓛ은 복사 강제력이 양(+)의 값으로 지표면 온도를 상승시키는 경향이 있는  $\text{CO}_2$ 이다. 인위적 요인에 해당하는  $\text{CO}_2$ 는 주로 화석 연료의 연소 과정에서 방출된다.

Ⓒ. Ⓛ은 복사 강제력이 음(−)의 값으로 지표면 온도를 하강시키는 경향이 있는 에어로졸이다. 에어로졸은 대기 중에 떠 있는  $0.001 \mu\text{m} \sim 100 \mu\text{m}$ 의 작은 액체나 고체 입자로, 지표면에 도달하는 태양 복사 에너지를 감소시킨다. 따라서 대기 중 에어로졸의 양이 증가하면 지표면 온도는 하강할 것이다.

## 13 지구 온난화와 해빙 면적 변화

지구 온난화가 진행되면 극지방의 빙하 면적이 감소하면서 지표반사율이 낮아질 수 있다.

ⓧ. 3월의 북극해 주변 해빙 면적은 과거 10년과 최근 10년이 비슷하지만, 9월의 북극해 주변 해빙 면적은 과거 10년에 비해 최근 10년에 크게 감소하였다. 따라서 3월과 9월의 북극해 주변 해빙 면적의 차이는 과거 10년이 최근 10년보다 작다.

Ⓐ. 3월보다 9월에 북극해 주변 해빙 면적이 좁은 것으로 보아, 북극해 주변의 월평균 기온은 3월이 9월보다 낮다.

Ⓑ. 해빙은 해수에 비하여 반사율이 높으므로, 극지방의 해빙 면적이 감소하면 지표 반사율도 감소하게 된다. 과거 10년보다 최근 10년에 9월의 북극해 주변 해빙 면적이 좁으므로, 9월의 북극해 주변 지표 반사율은 과거 10년이 최근 10년보다 높다.

## 14 기후 변화 시나리오와 전 지구의 기온 변화량

기후 변화 시나리오는 온실 기체, 에어로졸, 토지 이용 변화 등의 인위적 요인으로 발생한 지표면 온도 변화로부터 미래 기후 변화를 예상하는 것이다.

Ⓐ. 2014년부터 2100년까지 연간 이산화 탄소 배출량은 A가 B보다 많으므로, 누적 이산화 탄소 배출량도 A가 B보다 많다.

Ⓑ. (나)에서 적도 지방의 기온 변화량보다 북극 지방의 기온 변화량이 크게 나타난다.

ⓧ. (나)보다 (다)에서 기온 변화량이 더 크게 나타나는 것으로 보아, (다)는 이산화 탄소 배출량이 상대적으로 많은 A에 따른 전 지구의 기온 변화량이다.

## 15 전 지구의 기후 변화

전 지구 해역의 표층 수온은 대체로 상승하는 경향을 보이며, 특

히 우리나라 주변 해역은 전 지구 해역보다 표층 수온이 더 크게 상승하고 있다.

Ⓐ. 1981년부터 2020년까지 우리나라 주변 해역 표층 수온의 평균 상승률은 전 지구 해역 표층 수온의 평균 상승률보다 높게 나타난다.

Ⓑ. (나)에서 북반구는 남반구보다 표층 수온 변화량이 양(+)의 값인 해역이 많다. 따라서 (나)에서 표층 수온의 상승 경향은 북반구가 남반구보다 뚜렷하다.

Ⓒ. 해수의 온도가 상승하여 열팽창하거나, 육지의 빙하가 녹아 바다로 흘러 들어가면 해수면이 상승하게 된다. 1981년부터 2020년까지 지구 온난화가 진행되었으므로, 전 지구 해수면의 평균 높이는 2020년이 1981년보다 높다.

## 16 우리나라의 기후 변화

전 지구와 우리나라의 연평균 기온은 대체로 상승하는 경향을 보인다. 우리나라는 기온 변화에 따라 계절 길이도 변하고 있다.

Ⓐ. 1912년부터 2020년까지 우리나라의 연평균 기온 변화는 전 지구의 연평균 기온 변화보다 크게 나타나며, (B 기간 평균 기온 − A 기간 평균 기온) 값도 우리나라가 전 지구 평균보다 크다.

Ⓑ. 우리나라의 겨울 평균 일수는 A 기간이 109일, B 기간이 87일로, A 기간이 B 기간보다 길다.

Ⓒ. (가)에서 우리나라의 연평균 기온은 대체로 상승하는 경향을 보이므로, (가)와 같은 변화가 지속된다면 우리나라의 여름 일수는 증가할 것이다.

# 08 별의 특성

## 수능 2점 테스트

본문 154~159쪽

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

### 01 플랑크 곡선

플랑크 곡선은 흑체가 복사하는 파장에 따른 복사 에너지의 세기를 나타낸 곡선이다.

☒ 흑체가 복사 에너지를 최대로 방출하는 파장은 플랑크 곡선에서 복사 에너지의 상대적 세기가 최대인 부분의 파장을 의미한다. 복사 에너지를 최대로 방출하는 파장은 A가 B보다 짧다.

㉡ 흑체는 표면 온도가 높을수록 복사 에너지를 최대로 방출하는 파장이 짧으므로, 표면 온도는 A가 B보다 높다.

㉢ 흑체가 표면에서 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 복사 에너지의 양은 표면 온도의 네제곱에 비례하므로 표면 온도가 높은 A가 B보다 표면에서 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 복사 에너지의 양이 많다.

### 02 흑체 복사

별이 복사 에너지를 최대로 방출하는 파장( $\lambda_{\max}$ )은 표면 온도에 반비례한다. B의  $\lambda_{\max}$ 가 A의  $\frac{1}{2}$ 배이므로, B의 표면 온도는 A의 2배, 즉 10000 K이다.

☒ 별의 표면 온도가 높을수록 파장이 짧은 빛, 즉 파란색 파장의 빛을 더 많이 방출하므로 파란색 파장의 빛은 B가 A보다 많이 방출한다.

㉡ 스펙트럼에서 중성 수소(HI) 흡수선의 세기가 가장 강한 별은 분광형이 A형인 별(표면 온도 약 10000 K)이다. B의 표면 온도가 10000 K이므로 스펙트럼에서 중성 수소(HI) 흡수선의 세기는 A가 B보다 약하다.

☒ 별의 표면에서 단위 시간에 단위 면적당 방출되는 빛의 세기는 표면 온도가 높은 별이 낮은 별보다 모든 파장 영역에서 강하다. 별의 표면에서 단위 시간에 단위 면적당 방출되는 580 nm 파장의 빛의 세기는 표면 온도가 높은 B가 A보다 강하다.

### 03 빈의 변위 법칙

빈의 변위 법칙에 의하면 흑체가 복사 에너지를 최대로 방출하는 파장은 표면 온도가 높을수록 짧아진다.

㉠ 표면 온도가 a인 별이 b인 별보다 복사 에너지를 최대로 방출하는 파장이 길므로, 표면 온도 a는 b보다 작은 값을 가진다.

㉡ 별의 표면 온도가 a일 때 복사 에너지를 최대로 방출하는 파장이 b일 때의 2배인 것으로 보아, 표면 온도는 b가 a의 2배이다. 별의 광도( $L$ )는 반지름( $r$ )의 제곱과 표면 온도( $T$ )의 네제곱의 곱에 비례한다( $L \propto r^2 \cdot T^4$ ). 표면 온도가 a인 별과 b인 별의 표면 온도를 각각  $T_a$ ,  $T_b$ , 반지름을 각각  $r_a$ ,  $r_b$ 라고 하면, 광도( $L$ )가 같을 때

$$(r_a)^2 \cdot (T_a)^4 = (r_b)^2 \cdot (T_b)^4, (r_a)^2 \cdot (T_a)^4 = (r_b)^2 \cdot (2T_a)^4, r_a = 4r_b \text{이다. 즉, 별의 반지름은 표면 온도가 a인 별이 b인 별의 4배이다.}$$

☒ 별의 반지름( $r$ )은 광도( $L$ )의 제곱근에 비례하고 표면 온도( $T$ )의 제곱에 반비례한다( $r \propto \sqrt{\frac{L}{T^2}}$ ). 표면 온도가 a인 별과 b인 별의 광도를 각각  $L_a$ ,  $L_b$ 라고 하면, 반지름이 같을 때  $\frac{\sqrt{L_a}}{T_a^2} = \frac{\sqrt{L_b}}{T_b^2}, \frac{\sqrt{L_a}}{T_a^2} = \frac{\sqrt{L_b}}{(2T_a)^2}, L_a = \frac{1}{16}L_b$ 이다. 즉, 반지름이 같을 때 별의 광도는 표면 온도가 a인 별이 b인 별의  $\frac{1}{16}$ 배이다.

### 04 별의 물리량

복사 에너지를 최대로 방출하는 파장( $\lambda_{\max}$ )은 표면 온도에 반비례한다. 태양, A, B의  $\lambda_{\max}$ 의 비가 2 : 1 : 3이므로 표면 온도 비는  $\frac{1}{2} : 1 : \frac{1}{3}$ 이다.

㉠ 별이 복사 에너지를 최대로 방출하는 파장( $\lambda_{\max}$ )은 표면 온도에 반비례한다.  $\lambda_{\max}$ 가 B > 태양 > A이므로 표면 온도는 A > 태양 > B이다. 따라서 표면 온도는 A가 가장 높다.

㉡ 절대 등급은 광도가 클수록 작다. 별의 광도( $L$ )는 반지름( $r$ )의 제곱과 표면 온도( $T$ )의 네제곱의 곱에 비례한다( $L \propto r^2 \cdot T^4$ ). A와 B의 반지름 비는 1 : 100이고 표면 온도 비는 3 : 1이므로 광도비는 81 : 10000이다. 즉, 절대 등급은 광도가 작은 A가 B보다 크다.

☒ 광도 계급이 V인 별의 집단은 주계열성이며, 태양은 대표적인 주계열성이다. 주계열성의 경우 표면 온도가 높은 별일수록 반지름이 크다. 그러나 세 별에서 반지름은 B > 태양 > A이고, 표면 온도는 A > 태양 > B이므로 A와 B는 둘 다 주계열성이 아니다. 따라서 A와 B의 광도 계급은 V가 아니다.

### 05 별의 표면 온도와 색지수

B 필터는 0.44  $\mu\text{m}$  부근의 빛만을 통과시키는데, 이를 통과하는 복사 에너지의 양이 많을수록 B 필터로 측정한 등급(B 등급)이 작아진다.

☒ 별이 복사 에너지를 최대로 방출하는 파장( $\lambda_{\max}$ )이 짧은 (나)가 (가)보다 표면 온도가 높다. 따라서 (가)의 표면 온도는

3000 K, (나)의 표면 온도는 6000 K이다. 분광형이 G형인 별의 표면 온도는 약 5000 K~6000 K이며, 표면 온도가 3000 K인 별의 분광형은 M형인 것이다.

- Ⓐ 표면 온도와  $\lambda_{\max}$ 는 반비례 관계이다. 표면 온도는 (가)가 (나)의  $\frac{1}{2}$ 배이므로, (가)의  $\lambda_{\max}$ 인 a는 (나)의  $\lambda_{\max}$ 인 b의 2배이다.
- Ⓑ B 필터를 통과하는 파장 영역의 빛의 양이 (가)가 (나)보다 적으므로 B 필터로 측정한 별의 등급(B 등급)은 (가)가 (나)보다 크다.

## 06 별의 종류

광도 계급이 I인 별의 집단은 초거성, VII인 별의 집단은 백색 왜성이다.

- Ⓐ 백색 왜성(B)은 표면 온도가 높지만 반지름이 매우 작아서 광도가 작다. 반면 분광형이 M형인 A는 표면 온도가 3500 K 이하인 저온의 별이다. 별이 복사 에너지를 최대로 방출하는 파장은 표면 온도가 낮은 A가 표면 온도가 높은 B보다 길다.
- ⓧ 초거성인 A는 백색 왜성인 B보다 광도가 크다. 따라서 A의 절대 등급은 B의 절대 등급인 +10.8보다 작다.
- ⓧ 초거성인 A는 백색 왜성인 B보다 평균 밀도가 작다.

## 07 별의 분광형

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

- Ⓐ HI 흡수선은 분광형이 A형인 별, 즉 흰색 별의 스펙트럼에서 가장 강하게 나타난다.
- Ⓐ 태양의 표면 온도는 약 5800 K으로 분광형이 G2형에 해당한다. Ca II 흡수선은 분광형이 F0형인 별보다 G2형인 별의 스펙트럼에서 강하게 나타난다.
- Ⓐ 분광형이 K0형인 별의 스펙트럼에는 중성 원자 상태의 철, 즉 Fe I 흡수선이 이온 상태의 철, 즉 Fe II 흡수선보다 강하게 나타난다. 이는 분광형이 K0형인 별의 대기에서 철(Fe)이 이온 상태보다 중성 원자 상태로 많이 존재하기 때문이다.

## 08 별의 물리량

슈테판·볼츠만의 법칙에 의하면 흑체가 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 복사 에너지의 양( $E$ )은  $E = \sigma T^4$  (슈테판·볼츠만 상수  $\sigma = 5.670 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ )이다.

- Ⓐ 별에서 단위 시간당 방출되는 복사 에너지의 세기를 파장에 따라 나타낸 곡선에서, 곡선과 파장 축이 이루는 면적은 별의 광도와 같다. A와 B의 광도가 같으므로 복사 에너지 세기 곡선과 파장 축이 이루는 면적도 같다.

- ⓧ A와 B의 광도는 같고, 표면 온도는 복사 에너지를 최대로 방출하는 파장이 짧은 A가 B보다 높다. 별의 광도는 반지름의 제

곱과 표면 온도의 네제곱의 곱에 비례하므로, 별의 광도가 같을 때 반지름은 표면 온도의 제곱에 반비례한다. 따라서 반지름은 표면 온도가 높은 A가 표면 온도가 낮은 B보다 작다.

- ⓧ 광도 계급이 V인 별의 집단은 주계열성이다. 주계열성은 표면 온도가 높을수록 광도와 반지름이 크지만, A와 B는 이 관계를 만족시키지 못하므로 A와 B 중 최소 하나의 별은 주계열성이 아니다. 따라서 A와 B의 광도 계급이 모두 V일 수는 없다.

## 09 광도 계급

광도 계급이 Ia, Ib, II, III, IV, V, VI, VII인 별은 각각 밝은 초거성, 덜 밝은 초거성, 밝은 거성, 거성, 준거성, 주계열성, 준왜성, 백색 왜성에 해당한다.

- Ⓐ H-R도에서 별의 반지름은 오른쪽 위로 갈수록 증가한다. 분광형이 같을 때, 광도 계급이 III인 별은 V인 별보다 반지름이 크다.
- ⓧ 광도 계급이 VII인 별, 즉 백색 왜성은 주로 광도 계급이 III인 별, 즉 (적색) 거성이 진화하여 생성된 것이다. 광도 계급이 I인 별, 즉 초거성은 진화하여 중성자별 또는 블랙홀이 된다.
- ⓧ 태양은 주계열성으로 광도 계급이 V이다.

## 10 별의 분광형과 광도 계급

별의 표면 온도에 따라 고온에서 저온 순으로 분광형을 O, B, A, F, G, K, M형으로 분류하므로 A~D의 표면 온도는  $B=D>C>A$  순이다. 광도 계급이 I인 별은 초거성, V인 별은 주계열성, VII인 별은 백색 왜성이다.

- ⓧ 별이 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 복사 에너지는 표면 온도의 네제곱에 비례하므로,  $B=D>C>A$  순이다.
- Ⓐ 분광형이 같을 때, 반지름은 광도 계급의 숫자가 작을수록 크다. 따라서 반지름은 주계열성(광도 계급 V)인 B가 백색 왜성(광도 계급 VII)인 D보다 크다.
- ⓧ 광도 계급이 V인 B와 C는 주계열성이다. 주계열성은 표면 온도가 높을수록 절대 등급이 작으므로 표면 온도가 높은 B가 C보다 절대 등급이 작다.

## 11 H-R도와 별의 종류

(가)는 초거성, (나)는 거성, (다)는 주계열성, (라)는 백색 왜성이다.

- Ⓐ 별의 표면 온도, 즉 분광형이 같을 때, 평균 광도는 초거성인 (가)가 가장 크다.
- Ⓑ 거성, 즉 (나)의 광도 계급은 III이다.
- Ⓒ 중심핵에서 수소 핵융합 반응이 일어나는 것은 주계열성인 (다)이다.
- Ⓓ A는 분광형이 K형인 주계열성으로 태양보다 질량이 작다. 이 별의 최종 진화 단계는 백색 왜성인 (라)이다.
- ⓧ 평균 밀도는 초거성인 (가)가 백색 왜성인 (라)보다 작다.

## 12 수소 핵융합 반응

주계열성의 중심핵에서는 수소 핵융합 반응에 의해 에너지가 생성되며, 수소 핵융합 반응에는 양성자·양성자 연쇄 반응(p-p 반응)과 탄소·질소·산소 순환 반응(CNO 순환 반응)이 있다.

Ⓐ 질량이 큰 주계열성일수록 중심부의 온도가 높다. A와 B 모두 온도가 높을수록 에너지 생성률이 크므로, A와 B에 의한 에너지 생성률은 질량이 큰 주계열성일수록 크다.

Ⓑ p-p 반응은 CNO 순환 반응에 비해 낮은 온도 조건에서 우세하게 일어난다. 따라서 A는 p-p 반응, B는 CNO 순환 반응이다.

Ⓒ 태양의 중심부 온도는 약 1500만 K으로 A가 B보다 우세하게 일어난다.

액홀이다.

Ⓓ Ⓛ 과정에서 A는 주로 중력 수축에 의해 에너지를 생성한다. 즉, Ⓛ 과정에서 A의 반지름은 감소한다.

⓫ 주계열 단계 이후 질량이 태양과 비슷한 별은 대체로 H-R도의 아래쪽에서 위쪽으로 수직 방향으로 진화하지만, A와 같이 질량이 태양보다 매우 큰 별은 대체로 H-R도의 왼쪽에서 오른쪽으로 수평 방향으로 진화한다. Ⓛ 과정에서 A의 절대 등급 변화는 표면 온도의 변화보다 작게 나타난다.

Ⓓ 초기성의 중심핵에서 핵융합 반응이 멈추면 별은 빠르게 중력 수축하다가 결국 초신성 폭발을 일으키고, 중심부는 더욱 수축하여 밀도가 매우 큰 중성자별이 된다. A의 내부에서 철보다 무거운 원소의 합성을 초신성 폭발, 즉 Ⓛ 과정에서 일어난다.

## 13 p-p 반응

p-p 반응은 비교적 질량이 작은 주계열성의 중심핵에서 우세하게 일어나는 수소 핵융합 반응이다.

Ⓐ 이 반응은 수소(H) 원자핵 6개가 여러 반응 단계를 거치는 동안 헬륨(He) 원자핵 1개와 수소 원자핵 2개가 만들어지는 과정에서 에너지를 생성하는 p-p 반응이다.

⓫ 수소 핵융합 반응에서는 반응물, 즉 4개의 수소 질량이 생성물, 즉 1개의 헬륨 질량보다 크고, 이 과정에서 발생한 질량 결손이 에너지로 전환된다. 즉, 반응물의 질량은 생성물의 질량보다 크다.

⓫ 수소 핵융합 반응이 별의 중심핵에서 일어나는 진화 단계는 주계열 단계이다. 적색 거성의 중심핵에서는 헬륨 핵융합 반응이 일어날 수 있다.

## 14 핵융합 반응

(가)는 헬륨 핵융합 반응, (나)는 CNO 순환 반응이다.

Ⓐ CNO 순환 반응인 (나)는 수소 핵융합 반응의 한 종류이며, 반응이 일어나는 온도는 헬륨 핵융합 반응인 (가)가 수소 핵융합 반응인 (나)보다 높다.

Ⓒ (가)는 적색 거성의 중심핵에서, (나)는 주계열성의 중심핵에서 일어난다. 따라서 이 별의 진화 과정에서 (가)는 (나)보다 나중에 일어난다.

Ⓓ 주계열 단계일 때 중심핵에서 (나)가 p-p 반응에 비해 우세하게 일어나는 별은 태양보다 질량이 큰 별이다. 태양보다 질량이 큰 주계열성은 광도, 즉 단위 시간당 방출하는 에너지양이 태양보다 많다.

## 15 별의 진화

태양과 질량이 비슷한 별의 최종 진화 단계는 백색 왜성이고, 태양보다 질량이 매우 큰 별의 최종 진화 단계는 중성자별 또는 불

## 16 원시별의 진화

H-R도에서 주계열성은 왼쪽 위에 위치하는 별일수록 질량이 크므로, 별의 질량은 A가 태양 질량의 10배, B가 태양 질량의 0.5배이다.

Ⓓ 별의 반지름은 H-R도에서 오른쪽 위로 갈수록 커지고 왼쪽 아래로 갈수록 작아진다. A와 B 모두 진화하는 동안 반지름이 작아지지만 진화 과정 동안 H-R도에서의 이동량이 더 큰 A의 반지름 변화량이 B보다 크다. 이를 정량적으로 풀어보면, 원시별이 탄생할 무렵 A와 B의 표면 온도가 거의 같고 광도가 약 400배 차이가 났으므로 반지름은 A가 B의 약 20배였다. A는 진화 과정 동안 광도는 거의 일정하고 표면 온도는 약 3000 K에서 약 25000 K으로 약 8.3배 높아졌으므로 반지름은 처음의 약  $\frac{1}{69}$  배가 되었다. B는 진화 과정 동안 표면 온도는 거의 같고 광도가 태양 광도의 약  $10^2$ 배에서 약  $10^{-2}$ 배가 되었으므로 반지름은 처음의 약

$\frac{1}{100}$  배가 되었다. 즉, A의 반지름은 B의 반지름의 약 20배에서 B의 반지름의 약 0.14배가 되었고, B의 반지름은 1배에서 약 0.01배가 되었기 때문에 반지름의 변화량은 A가 B보다 크다.

⓫ A는 대체로 H-R도의 오른쪽에서 왼쪽으로 수평 방향으로 진화하여 영년 주계열에 도달하지만, B는 대체로 H-R도의 위쪽에서 아래쪽으로 수직 방향으로 진화하여 영년 주계열에 도달한다. 따라서 영년 주계열에 도달하는 동안 별의 절대 등급 변화량은 A가 B보다 작다.

⓫ 질량이 큰 별일수록 중력 수축이 빠르게 일어나 진화 속도가 빠르고, 주계열에서 위쪽에 위치한다. 따라서 주계열에 도달할 때 까지 걸리는 시간은 A가 B보다 짧다.

## 17 주계열성의 질량-광도 관계

A는 태양보다 질량과 광도가 크며, 색지수가 작다.

Ⓓ A는 태양 질량의 10배인 별이므로 A의 내부에서 대류층은

중심핵에 해당하고, 태양의 내부에서 대류층은 표면 부근에 위치한다. 따라서 대류층의 평균 깊이는 A가 태양보다 크다.

⑤ 주계열성의 경우 질량이 클수록 반지름이 크므로 반지름은 A가 태양보다 크다.

☒ A의 광도는 태양의  $10^4$ 배이므로, 절대 등급은 태양보다 10등급 작은 약 -5등급이고, 절대 등급이 약 -5등급일 때 색지수는 0보다 작은 값이다. 분광형이 A0형인 별의 색지수는 0이므로 A의 분광형은 A0형인 별이 아니다.

## 18 별의 진화

주계열 단계 이후, 별은 질량에 따라 서로 다른 경로로 진화한다. 질량이 태양과 비슷한 별의 최종 진화 단계는 백색 왜성이며, 질량이 매우 큰 별의 최종 진화 단계는 중성자별이나 블랙홀이다. 따라서 A는 질량이 태양 질량의 1배인 별, B는 질량이 태양 질량의 10배인 별이다.

☒ 별의 내부에서 대류가 일어나는 영역은 A는 별의 표면 부근 영역, B는 중심핵 영역이다. B는 A보다 중심부 온도가 높을 뿐 아니라, 별의 내부에서 온도는 중심에서 멀어질수록 낮아진다. 따라서 별의 내부에서 대류가 일어나는 영역의 평균 온도는 A가 B보다 낮다.

⑥ 별의 질량이 클수록 중심부 온도가 높아 핵융합 반응이 빠르게 일어나므로 진화 속도가 빠르다. 따라서 별이 최종 진화 단계 까지 진화하는 데 걸리는 시간은 A가 B보다 길다.

☒ 주계열성의 질량이 클수록 중심부 온도가 높아서 중심핵에서는 p-p 반응보다 CNO 순환 반응이 우세하게 일어난다. 따라서 중심핵에서 CNO 순환 반응에 의한 에너지 생성량은 A가 B보다 작다.

## 19 별의 진화

질량이 태양과 비슷한 별은 원시별(A) → 주계열성(B) → 적색 거성(C, D) → 맥동 변광성 → 행성상 성운과 백색 왜성(E)의 과정으로 진화한다.

⑦ A → B 과정에서는 원시별이 중력 수축에 의해 크기가 작아지고 중심부 온도가 높아진다. 따라서 별에 작용하는 중력의 크기는 기체 압력 차에 의한 힘의 크기보다 크다.

⑧ B → C 과정에서는 헬륨핵이 수축하면서 중심부 온도가 상승한다.

☒ C → D 과정에서 중심핵에서는 헬륨 핵융합 반응이 일어난다. 질량이 태양과 비슷한 별은 중심핵이 수축하더라도 탄소 핵융합 반응이 일어날 수 있는 온도에 도달하지 못하므로 진화 과정 전체에서 탄소 핵융합 반응은 일어나지 않는다.

☒ D → E 과정은 적색 거성, 맥동 변광성 단계 이후 별의 바깥층

물질이 우주 공간으로 방출되어 행성상 성운이 생성되고, 중심부는 더욱 수축하여 백색 왜성이 만들어지는 과정으로, 이 과정에서는 중심부에서 철보다 무거운 원소가 생성될 수 없다. 철보다 무거운 원소는 질량이 매우 큰 별의 진화 과정 중 초신성 폭발이 일어날 때 생성된다.

## 20 주계열성의 특징

주계열성은 질량이 클수록 표면 온도가 높고 색지수가 작으며, 광도가 크고 주계열 단계에 머무르는 시간이 짧다.

⑨ 분광형이 B0형인 별은 K0형인 별보다 표면 온도가 높으므로, A는 B보다 표면 온도가 높고, 질량이 크다. A는 C보다 색지수가 작으므로 질량은 A가 C보다 크다. B는 C보다 주계열 단계에 머무르는 시간이 길므로, B는 C보다 질량이 작다. 따라서 별의 질량은 A>C>B 순이다.

⑩ B는 C보다 질량이 작으므로 표면 온도가 낮고, 색지수는 크다. 따라서 B의 색지수는 C의 색지수인 0.3보다 크다.

☒ 별이 단위 시간당 방출하는 복사 에너지의 양은 별의 광도에 해당한다. 광도는 질량이 작은 B가 C보다 작으므로, 별이 단위 시간당 방출하는 복사 에너지의 양은 B가 C보다 적다.

## 21 질량이 태양과 비슷한 별의 진화

질량이 태양과 비슷한 별은 원시별 → 주계열성 → 적색 거성 → 맥동 변광성 → 행성상 성운(A)과 백색 왜성(B)의 순으로 진화 한다.

☒ A는 행성상 성운으로 맥동 변광성 단계 이후 별의 바깥층 물질이 우주 공간으로 방출되어 생성된 것이다. 초신성 폭발은 질량이 태양보다 매우 큰 별의 진화 최종 단계 무렵에 나타난다.

☒ A는 질량이 태양과 비슷한 별의 바깥층 물질로 구성되어 있으므로 대부분 수소와 헬륨이다.

⑪ B는 질량이 태양과 비슷한 별의 진화 최종 단계 무렵 맥동 변광성의 중심부가 더욱 수축하여 만들어진 크기가 매우 작고 밀도가 매우 큰 백색 왜성이다. 백색 왜성의 평균 밀도는 초거성의 평균 밀도보다 크다.

## 22 별의 진화

별은 질량에 따라 서로 다른 경로로 진화한다.

⑫ 주계열성의 질량이 태양 질량의 약 8배보다 작으면 적색 거성 단계를 거쳐 행성상 성운과 백색 왜성이 된다. 주계열성의 질량이 태양 질량의 약 8배보다 크면 초거성으로 진화하며 초신성 폭발 이후 중심핵의 질량이 태양 질량의 3배보다 작으면 중성자별, 3배보다 크면 블랙홀이 된다.

## 23 (초)거성의 내부 구조

별의 중심핵에서 수소가 소진되어 수소 핵융합 반응이 끝나면 별

은 주계열 단계를 벗어나 적색 거성 단계로 들어간다. 주계열 단계가 끝난 직후, 수소가 소진된 중심핵은 수축하고, 중심핵의 외곽에서 수소 핵융합 반응으로 인해 발생한 열에 의해 별의 바깥층은 팽창한다.

☒. 중심핵에서 수소가 소진되어 수소 핵융합 반응이 멈추면 중력과 평형을 이루던 기체 압력 차에 의한 힘이 감소하여 중심부가 수축한다. 중심부의 수축으로 인해 헬륨핵의 온도가 높아지고, 헬륨 핵융합 반응을 할 수 있는 온도에 도달하면 중심핵은 수축을 멈추게 된다. 현재 A 영역이 수축하고 있으므로 아직 A 영역에서는 헬륨 핵융합 반응이 일어나지 않는다.

◎ A 영역은 중력 수축으로 인해 온도가 점점 상승하고, C 영역은 팽창으로 인해 온도가 점점 하강하므로, 시간이 흐를수록 A와 C의 온도 차는 커진다.

◎ A는 헬륨으로 구성된 중심핵이고, B는 현재 수소 핵융합 반응이 일어나므로 수소의 함량이 점점 감소하고 있다. 따라서 A, B, C 영역에서 수소의 질량비는  $A < B < C$ 이다.

## 24 별의 내부 구조

(가)는 초거성의 중심부에서 핵융합 반응이 끝난 직후의 내부 구조를, (나)는 적색 거성의 중심부에서 핵융합 반응이 끝난 직후의 내부 구조를 나타낸 것이다.

◎ 질량이 매우 큰 별은 중심부의 온도가 매우 높기 때문에  $H \rightarrow He \rightarrow C \rightarrow O \rightarrow Ne \rightarrow Mg \rightarrow Si$  등의 핵융합 반응이 순차적으로 일어날 수 있으며 다양한 핵융합 반응을 통해 최종적으로 철(Fe)이 만들어질 수 있다. ‘철(Fe)’은 ⑦에 해당한다.

◎ (가)는 초거성, (나)는 적색 거성의 내부 구조에 해당하므로, 반지름은 (가)의 별이 (나)의 별보다 크다.

◎ 초신성 폭발은 초거성의 중심부에서 핵융합 반응이 끝난 후 엄청난 에너지와 무거운 원소가 우주 공간으로 방출되는 현상이다. 즉, 이후 초신성 폭발이 일어나는 것은 (가)의 별이다.

## 수능 3점 테스트

본문 160~171쪽

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

## 01 분광 관측의 역사

분광기(프리즘)를 이용하여 전자기파를 파장별로 분산시켜서 나타난 스펙트럼을 관측하는 것을 분광 관측이라고 한다.

Ⓐ. 뉴턴이 햇빛을 프리즘에 통과시켜 관측한 무지개와 같은 연속적인 색의 띠는 연속 스펙트럼에 해당한다.

Ⓑ. 태양의 스펙트럼에 나타난 검은 흡수선은 주로 태양의 대기에 존재하는 저온의 기체가 태양이 방출하는 빛 중에서 특정 파장의 빛을 흡수하여 나타난다.

☒. 스펙트럼에서 수소 흡수선의 세기가 가장 강한 별의 분광형은 A형이지만, 표면 온도는 분광형이 O형이나 B형인 별이 A형인 별보다 높다. 따라서 수소 흡수선의 세기가 강할수록 별의 표면 온도가 높은 것은 아니다.

## 02 스펙트럼의 종류

스펙트럼의 종류에는 연속 스펙트럼, 흡수 스펙트럼, 방출 스펙트럼이 있다. 흑체에서 방출된 빛이 프리즘을 통과하면 연속 스펙트럼(B)이, 흑체에서 방출된 빛이 기체 구름을 통과하면 상대적으로 저온인 기체 성분이 흑체가 방출하는 빛 중에서 특정 파장의 빛을 흡수하여 흡수 스펙트럼(A)이, 기체 구름에서 나오는 불연속적인 파장의 빛이 프리즘을 통과하면 방출 스펙트럼(C)이 나타난다.

◎ (나)는 연속 스펙트럼 위에 검은색 선(흡수선)이 나타나는데, 이는 흡수 스펙트럼, 즉 A에 해당한다.

◎ 연속 스펙트럼(B)에는 가시광선 파장 영역에 해당하는 연속적인 빛의 띠가 나타난다.

◎ A에는 흑체에서 방출된 빛이 기체 구름 속의 기체 성분에 의해 특정 파장의 빛이 흡수되어 검은색의 흡수선이, C에는 기체 구름 속의 기체 성분에 의해 밝은색의 방출선이 나타난다. A와 C는 동일한 기체 구름의 기체 성분에 의해 나타나므로, 두 스펙트럼에 나타나는 선의 상대적인 위치와 개수는 같다.

## 03 별의 물리량

별의 표면 온도가 높을수록 복사 에너지를 최대로 방출하는 파장( $\lambda_{max}$ )이 짧다.

◎ 별의  $\lambda_{max}$ 는 A가 B보다 짧다. 별의 표면 온도는  $\lambda_{max}$ 가 짧을

수록 높으므로 표면 온도는 A가 B보다 높다.

- Ⓐ 노란색 별인 Ⓛ은 파란색 별인 Ⓜ보다 표면 온도가 낮다. A는 Ⓛ에, B는 Ⓜ에 해당한다.

Ⓒ 태양은 표면 온도가 약 5800 K이며, 분광형이 G2형인 노란색 별이다. 따라서 태양의 스펙트럼은 A보다 B와 유사하게 나타난다.

## 04 색지수

색지수는 서로 다른 파장대의 필터로 관측한 별의 겉보기 등급 차이로, 짧은 파장대의 등급에서 긴 파장대의 등급을 뺀 값으로 정의한다.

ⓧ A는 (가)보다 (나)에서 더 밝게 보인다. 별의 등급은 밝은 별 일수록 작게 나타나므로, A의 겉보기 등급은 (가)보다 (나)에서 작게 나타난다.

Ⓐ A의 색지수는 [(가)를 관측한 등급-(나)를 관측한 등급]으로 나타낼 수 있다. A는 (가)를 관측한 등급이 (나)를 관측한 등급보다 크므로 A의 색지수는 (+) 값이다.

ⓧ 분광형이 O5형인 별의 색지수는 (-) 값이다. 색지수가 (+) 값인 A는 분광형이 O5형인 별보다 표면 온도가 낮고, 복사 에너지를 최대로 방출하는 파장이 같다.

## 05 별의 물리량

표면 온도가  $T$ 이고, 반지름이  $R$ 인 별의 광도( $L$ )는  $L=4\pi R^2 \cdot \sigma T^4$  (슈테판·볼츠만 상수  $\sigma=5.67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ )이다. 별의 광도가 클수록 절대 등급이 작으며, 광도가 100배 차일 때 절대 등급은 5등급 차이다.

Ⓐ 태양의  $\lambda_{\max}$ 는 500 nm이므로,  $\lambda_{\max}$ 가 250 nm인 A의 표면 온도는 태양의 2배이다. A의 표면 온도가 태양의 2배이고, 반지름이 태양의  $\frac{1}{100}$ 배이므로 광도는 태양의  $(\frac{1}{100})^2 \cdot 2^4 = \frac{16}{10000}$  배이다. 따라서 A는 태양보다 절대 등급이 크며, 태양과의 절대 등급 차는 10등급보다 작다. B는 광도가 태양의 100배이므로 태양보다 절대 등급이 5등급 작다. 따라서 A와 B의 절대 등급 차는 15등급보다 작다.

Ⓒ B의 표면 온도가 태양의 2배, 광도가 태양의 100배이므로 반지름은 태양의  $\sqrt{\frac{100}{2^2}} = 2.5$ 배이다. B와 C의 광도는 같고, 반지름은 C가 B의 4배이므로 B의 표면 온도는 C의 2배이다. 따라서 C의  $\lambda_{\max}$ 는 500 nm이다.

ⓧ C는 태양과 표면 온도가 같지만 태양보다 광도가 크다. 주계열성은 표면 온도가 같으면 광도가 거의 같아야 하므로 C는 주계열성이 아니다. 즉, C의 광도 계급은 V가 아니다.

## 06 광도 계급

광도 계급이 I인 별은 초거성, V인 별은 주계열성에 해당한다.

Ⓐ 분광형이 같을 때, 광도 계급의 숫자가 작을수록 반지름이 크므로, 반지름은 (가)가 (나)보다 크다.

Ⓑ 분광형이 같을 때, 광도 계급의 숫자가 작을수록 광도가 크다. 따라서 광도, 즉 별이 단위 시간에 방출하는 에너지의 양은 (가)가 (나)보다 많다.

Ⓒ 그림에서 동일한 흡수선의 폭은 (나)가 (가)보다 넓게 나타난다. 평균 밀도는 주계열성인 (나)가 초거성인 (가)보다 크므로, 별의 평균 밀도가 클수록 동일한 흡수선의 폭이 넓게 나타난다고 할 수 있다.

## 07 별의 물리량

별의 광도는 반지름의 제곱과 표면 온도의 네제곱의 곱에 비례 한다.

Ⓐ HI과 CaⅡ 흡수선이 같은 세기로 나타나는 분광형은 그림에서 두 흡수선의 상대적 세기 곡선이 교차하는 부분에 해당하므로 대략 F5형이다. 따라서 (가)의 분광형은 F형이다.

Ⓑ 복사 에너지를 최대로 방출하는 파장이 (가)가 (나)의 0.5배이므로, (가)의 표면 온도는 (나)의 2배이다. (나)는 분광형이 F형인 (가)보다 표면 온도가 낮고, 분광형이 F형인 별보다 표면 온도가 낮은 별의 스펙트럼에는 HI 흡수선보다 CaⅡ 흡수선이 강하게 나타난다.

Ⓒ 별의 표면 온도는 (나)가 (가)의  $\frac{1}{2}$ 배이고, 반지름은 (나)가 (가)의 100배이므로 광도는 (나)가 (가)의  $\frac{10000}{16} = 625$ 배이다. 따라서 광도는 (나)가 (가)의 500배보다 크다.

## 08 H-R도

별 A~D의 표면 온도와 광도 자료를 이용하여 H-R도에 표시하면 A는 주계열성, B는 적색 거성, C는 백색 왜성, D는 주계열성에 해당한다.

ⓧ 별의 반지름은 H-R도에서 오른쪽 위로 갈수록 크다. 즉, B가 A보다 크다.

ⓧ 주계열성의 경우 질량이 클수록 H-R도에서 왼쪽 위에 위치하며 광도가 크고 표면 온도가 높다. 따라서 질량은 A가 D보다 작다.

ⓧ 평균 밀도는 적색 거성인 B가 백색 왜성인 C보다 작다.

Ⓐ 스펙트럼에서 중성 수소(HI) 흡수선의 세기는 표면 온도가 약 10000 K인 별에서 가장 강하므로, 중성 수소(HI) 흡수선의 세기는 C가 A보다 강하다.

ⓧ 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 복사 에너지의 양은 표면 온도의 네제곱에 비례하므로, 표면 온도가 같은 C와 D는 그 양이 같다.

## 09 별의 내부 구조

주계열성의 내부 구조는 질량에 따라 다르게 나타난다. 질량이 태양 질량의 약 2배보다 큰 별은 중심에 대류핵이 있고 이를 복사층이 둘러싸고 있으며, 태양과 질량이 비슷한 별은 중심에서부터 중심핵, 복사층, 대류층이 차례대로 나타난다.

⑦ 대류는 깊이에 따른 온도 차가 클 때 효과적으로 에너지를 전달하는 방법이다. 따라서 중심핵에서 깊이에 따른 온도 차는 대류핵이 있는 A가 B보다 크다.

☒ 별의 질량은 A가 B보다 크고, 질량이 큰 별일수록 중심부의 온도가 높아 중심핵에서는 CNO 순환 반응이 p-p 반응보다 우세하게 일어난다. 따라서  $\frac{p-p \text{ 반응에 의한 에너지 생성률}}{\text{CNO 순환 반응에 의한 에너지 생성률}}$ 은 A가 B보다 작다.

☒ (나)에는 별의 중심으로 갈수록 더 무거운 원소로 이루어진 양파 껍질 같은 구조가 나타나며, 가장 중심에는 철(Fe) 핵이 존재한다. 이는 질량이 매우 큰 별의 중심핵에서 핵융합 반응이 끝난 직후의 모습이다. 즉, (나)는 A가 진화한 것이다.

## 10 별의 스펙트럼

별에서 방출되는 복사 에너지의 세기가 최대로 나타나는 파장이 짧을수록 표면 온도가 높으므로, 표면 온도는 (가)가 (나)보다 높다.

⑦ 중성 수소(HI) 흡수선의 세기는 (가)가 (나)보다 강하게 나타난다. 중성 수소(HI) 흡수선의 세기는 분광형이 A형인 별에서 가장 강하므로 분광형이 A0형인 별은 (가)이다.

⑦ CNO 순환 반응에 의한 에너지 생성률은 중심부의 온도가 높을수록 크다. 주계열성의 경우 표면 온도가 높은 별일수록 중심부의 온도도 높으므로, CNO 순환 반응에 의한 에너지 생성률은 (가)가 (나)보다 크다.

☒ 주계열성의 경우 표면 온도가 높은 별이 질량, 반지름, 광도가 크고, 중심부에서 핵융합 반응이 빠르게 일어나 주계열 단계에 머무르는 시간이 짧다. 따라서 주계열 단계에 머무르는 시간은 (가)가 (나)보다 짧다.

## 11 별의 물리량

광도 계급이 III인 별은 거성, V인 별은 주계열성, VII인 별은 백색왜성이다.

☒ A는 백색 왜성인 a가 가장 큰 값을, 거성인 d가 가장 작은 값을 가질 수 있는 물리량이므로, 반지름은 A에 해당하지 않는다. A에 해당하는 물리량으로는 표면 온도, 절대 등급, 평균 밀도 등이 있다.

☒ B는 백색 왜성인 a가 가장 작은 값을, 거성인 d가 가장 큰 값을 가질 수 있는 물리량이므로, 평균 밀도는 B에 해당하지 않는다. B에 해당하는 물리량으로는 반지름, 색지수, 광도 등이 있다.

⑦ A가 절대 등급, B가 색지수라면 b는 c보다 절대 등급이 작

고(광도가 크고, 색지수가 작은(표면 온도가 높은) 주계열성이다. 주계열성은 질량이 클수록 광도가 크고 표면 온도가 높으므로 질량은 b가 c보다 크다.

## 12 슈테판·볼츠만 법칙

흑체가 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 에너지양( $E$ )은 표면 온도( $T$ )의 네제곱에 비례한다.

⑦ 표면 온도( $T$ )가 높을수록 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 에너지양( $E$ )은 많아진다.

⑦  $E$ 는  $T^4$ 에 비례한다. 어느 두 별의  $T$ 가 각각 4000 K, 8000 K으로  $T$ 의 비가 1 : 2일 때,  $E$ 의 비(⑦ : ⑦)는 1 : 16이다. 따라서 ⑦은 ⑦의 16배이다.

⑦ 별의 광도는 반지름의 제곱과 표면 온도의 네제곱의 곱에 비례한다. (가)와 (나)의  $E$ 가 각각 ⑦과 ⑦이라면 (가)와 (나)의 표면 온도비  $T_{(가)} : T_{(나)}$ 는 2 : 1이고, (가)와 (나)의 반지름을 각각  $r_{(가)}, r_{(나)}$ 라고 했을 때, 두 별의 광도가 같다면

$$r_{(가)}^2 \cdot (2T_{(나)})^4 = r_{(나)}^2 \cdot T_{(나)}^4, r_{(가)} = \frac{1}{4}r_{(나)}$$

이다. 즉, 반지름은 (가)가 (나)의  $\frac{1}{4}$ 배이다.

## 13 별의 내부 구조

질량이 태양 질량의 약 2배보다 큰 별은 중심에 대류핵이 있고 이를 복사층이 둘러싸고 있으며, 태양과 질량이 비슷한 별은 중심에서부터 중심핵, 복사층, 대류층이 차례대로 나타난다.

☒ ⑦은 대류이다. A는 표면 부근에서 대류가 일어나고, B는 중심부에서 대류가 일어나므로 별의 질량은 A가 B보다 작다. 즉, A의 질량은 태양 질량의 1배, B의 질량은 태양 질량의 5배이다. 중심핵에서 CNO 순환 반응이 p-p 반응보다 우세하게 일어나는 별은 질량이 큰 B이다.

⑦ 주계열 단계에 머무르는 시간은 별의 질량이 작을수록 길므로 A가 B보다 길다.

☒ 대류는 깊이에 따른 온도 차가 클 때 효과적인 에너지 전달 방식이다. B에서 대류는 중심부에서 일어나는데, 이는 중심부의 온도가 매우 높아 중심핵에서 깊이에 따른 온도 차가 매우 크기 때문이다.

## 14 별의 진화

질량이 태양과 비슷한 별은 원시별 → 주계열성 → 적색 거성 → 맥동 변광성 → 행성상 성운과 백색 왜성으로 진화한다.

⑦ 복사 에너지를 최대로 방출하는 파장( $\lambda_{\max}$ )은 표면 온도에 반비례한다. 표면 온도는 백색 왜성 단계 > 주계열 단계 > 적색 거성 단계 순이므로  $\lambda_{\max}$ 는 적색 거성 단계 > 주계열 단계 > 백색 왜성 단계 순이다. 따라서 ⑦, ⑦, ⑦은 각각 백색 왜성 단계, 주계열

단계, 적색 거성 단계에 해당한다. 평균 밀도는 백색 왜성 단계인 ⑤이 적색 거성 단계인 ⑥보다 크다.

◉ 별은 일생의 약 90 %를 주계열 단계에서 머무른다. 따라서 각 진화 단계에 머무르는 시간은 주계열 단계인 ⑤이 적색 거성 단계인 ⑥보다 길다.

◉ 물리량 X의 크기는 ⑤>⑥>⑦이다. 별이 진화하는 과정에서 수소 핵융합 반응이 지속적으로 일어나므로, 별 전체에서 별의 구성 원소에 대한 수소 함량비는 ⑤, ⑥, ⑦ 중 가장 초기 단계인 주계열 단계(⑤)에서 가장 크고, 진화 최종 단계인 백색 왜성 단계(⑦)에서 가장 작다. 따라서 ‘별 전체에서 별의 구성 원소에 대한 수소 함량비(%)’는 X에 해당한다.

## 15 태양의 진화

태양의 중심핵에서 수소가 소진되면 수소 핵융합 반응이 종료되고, 별은 주계열 단계를 벗어나 적색 거성 단계로 진화하게 된다.

✖ 태양이 주계열 단계를 벗어나면 반지름은 커지고 표면 온도는 낮아진다. 나이가 약 100억 년 이후일 때 A는 급격히 증가하고 B는 감소하기 시작하는 것으로 보아, A는 반지름, B는 표면 온도에 해당한다. 이 무렵 태양은 주계열 단계를 벗어나 적색 거성 단계로 진화한다.

◉ 현재 태양의 표면 온도(B)는 거의 일정하지만, 반지름(A)은 조금씩 커지고 있다. 광도는 반지름의 제곱과 표면 온도의 네제곱의 곱에 비례하므로 현재 태양의 광도는 점점 커지고 있다.

◉ 나이가 약 110억 년일 때 표면 온도(B)가 낮아지는 직접적인 원인은 반지름(A)이 커지기 때문이다. 중심핵의 수축으로 발생한 열이 수소 껍질을 연소시키고, 이때 발생한 열에 의해 별의 바깥층이 팽창하는데, 이로 인해 별의 표면 온도는 낮아진다.

## 16 주계열성의 내부 구조

질량이 태양 질량의 약 2배보다 작은 별은 중심에서부터 중심핵, 복사층, 대류층이 차례대로 분포하고, 질량이 태양 질량의 약 2배보다 큰 별은 중심에서부터 대류핵, 복사층이 차례대로 분포한다.

◉ A는 별의 중심부에서 대류, 외곽에서 복사의 형태로 에너지가 전달되고, B는 별의 중심부에서 복사, 외곽에서 대류의 형태로 에너지가 전달되는 것으로 보아 질량은 A가 B보다 크다. 즉, A의 질량은 태양 질량의 12배, B의 질량은 태양 질량의 1배이다. 주계열성은 질량이 클수록 광도가 크므로, 광도는 A가 B보다 크다.

◉ A는 중심부에 대류핵을 가지고 있다. 즉, A는 중심에서 대류에 의해 에너지가 전달되는 영역까지가 중심핵에 해당하며, 이 부분의 질량은 별의 전체 질량의 약 35 %를 차지한다. 따라서 A에

서 중심핵의 질량은 전체 질량의  $\frac{1}{2}$ 배보다 작다.

✖ 별의 질량이 클수록 CNO 순환 반응이 p-p 반응보다 우세

하게 일어난다. 따라서 중심핵에서 CNO 순환 반응이 p-p 반응보다 우세하게 일어나는 별은 질량이 태양 질량의 12배인 A이다.

## 17 태양의 진화

태양이 주계열 단계에 도달했을 때, 수소와 헬륨의 질량비는 약 3 : 1로 우주 공간에서 수소와 헬륨의 질량비와 거의 동일하게 나타난다.

◉ 태양의 중심부에 A가 0 %, B가 100 %, 외곽부에 A와 B가 약 3 : 1로 나타나는 것으로 보아 A는 수소, B는 헬륨이다.

✖ 태양의 중심부에 수소(A)가 0 %, 헬륨(B)이 100 %인 것은 수소 핵융합 반응에 의해 중심부의 수소가 모두 헬륨으로 바뀌었기 때문이다. 중심부의 수소가 모두 소진되면 태양은 주계열 단계가 끝나고 적색 거성 단계로 진화하게 된다. 즉, 이 시기는 태양이 주계열 단계가 끝났을 때에 해당한다.

✖ 주계열 단계는 중력과 기체 압력 차에 의한 힘의 크기가 같아 반지름이 거의 일정하게 유지되는 정역학 평형 상태이다. 주계열 단계가 끝나면, 별이 팽창하면서 적색 거성 단계로 진화하게 되는데, 이때는 기체 압력 차에 의한 힘이 중력보다 크다. 따라서 이 시기의 직전인 주계열 단계에서 중심으로부터의 거리가  $0.8r$ 인 곳에 작용하는 (기체 압력 차에 의한 힘 - 중력)의 값은 0, 직후는 중심으로부터의 거리가  $0.8r$ 인 곳에 작용하는 (기체 압력 차에 의한 힘 - 중력)의 값이 양(+)의 값을 가진다. 따라서 중심으로부터의 거리가  $0.8r$ 인 곳에 작용하는 (기체 압력 차에 의한 힘 - 중력)의 값은 이 시기의 직전이 직후보다 작다.

## 18 별의 진화

주계열성의 중심핵에서 수소 핵융합 반응에 사용되는 수소가 소진되면 별은 주계열 단계가 끝나며, 이후 별의 크기가 커지면서 광도는 급격히 커지지만 표면 온도가 낮아져서 붉은색으로 보이는 적색 거성, 적색 초거성 단계로 진화한다.

✖ 별의 반지름이 급격하게 커지기 시작하는 시기는 주계열 단계가 끝나고 (초)거성 단계로 진입하는 시기를 나타낸다. 이 시기는 A의 경우 나이가 약 6천만 년일 때, B의 경우 나이가 약 1억 8000만 년일 때 나타난다. 따라서 주계열 단계에 머무르는 시간은 A가 B보다 짧다.

◉ 별의 질량이 클수록 진화 속도가 빨라 주계열 단계에 머무르는 시간이 짧으므로 별의 질량은 A가 B보다 크다.

✖ 별의 나이가 5천만 년일 때, A는 주계열 단계가 거의 끝나가고 있으므로 수소 핵융합 반응에 의해 수소가 많이 소모되어 중심핵의 수소 함량비(%)가 매우 낮고, B는 주계열 단계의 초기에 해당하므로 A에 비해 중심핵의 수소 함량비(%)가 높다.

## 19 별의 진화

주계열성의 내부에서 수소 핵융합 반응이 끝나면 별의 중력과 평

형을 이루어 기체 압력 차에 의한 힘이 감소하여 중심부는 수축하고, 중심부의 수축으로 발생한 열에너지에 의해 별의 바깥층이 팽창하면서 표면 온도는 낮아진다.

⑦ 별의 나이가 약 10억 년보다 많을 때 반지름이 커지는 (가)는 별의 반지름 변화, 반지름이 작아지는 (나)는 중심핵의 반지름 변화에 해당한다.

☒. (가)에서 별의 나이가 11억 년일 때 별의 반지름이 커지고 있으므로, 이 무렵 별의 바깥층 팽창으로 인해 표면 온도가 낮아진다. 따라서 별의 표면 온도는 별의 나이가 약 5억 년일 때보다 약 11억 년일 때가 낮다.

☒. 별의 나이가 약 11억 년일 때, 별의 반지름은 커지고, 중심핵의 반지름은 작아진다. 중심핵의 중력 수축으로 중심핵의 온도가 상승하여 약 1억 K에 도달하면 중심핵에서 헬륨 핵융합 반응이 일어난다. 즉, 중심핵의 반지름이 작아지고 있다는 것은 아직 중심핵의 온도가 헬륨 핵융합 반응이 일어날 수 있는 온도에 도달하지 못했다는 것을 의미한다.

## 20 별의 진화

질량이 태양보다 매우 큰 별은 중심부의 온도가 매우 높기 때문에 더 높은 단계의 핵융합 반응이 일어나며, 최종적으로 철로 이루어진 중심핵이 만들어진다.

⑦ 별의 중심핵에서 가장 먼저 일어나는 핵융합 반응은 수소 핵융합 반응이며 중심핵의 온도가 약 1000만 K 이상인 주계열성의 중심부에서 일어난다. 이후 중심부의 온도가 핵융합 반응 온도에 도달하는지의 여부에 따라 헬륨 핵융합 반응, 탄소 핵융합 반응 등이 순차적으로 일어난다. 따라서 A는 수소 핵융합 반응, B는 헬륨 핵융합 반응, C는 탄소 핵융합 반응이고, 핵융합 반응이 일어나는 온도는  $A < B < C$ 이다.

⑧ (다)의 중심부에서는 탄소 핵융합 반응이 일어나고 있다. 주계열 단계 이후 태양의 중심핵에서는 헬륨 핵융합 반응이 일어나지만, 이후 중심핵이 수축해도 탄소 핵융합 반응이 일어날 수 있는 온도까지는 도달하지 못하므로 탄소 핵융합 반응은 일어나지 않는다. 따라서 (다)로 보아 이 별은 태양보다 질량이 큰 별이며 이 별이 (가)와 같은 상태일 때, 즉 주계열 단계일 때 별의 반지름은 태양보다 크다.

☒. 진화 최종 단계가 백색 왜성인 별은 진화 과정 중 중심핵에서 탄소 핵융합 반응이 일어나지 않는다. 따라서 이 별의 진화 최종 단계는 중성자별 또는 블랙홀이다.

## 21 별의 진화

H-R도에서 주계열성 A는 주계열성 B보다 왼쪽 위에 분포하므로, A는 B보다 질량이 크다.

⑦ 별의 질량이 클수록 중심부의 온도가 높아 핵융합 반응이 빠르게 일어나므로 진화 속도가 빠르다. 따라서 진화 속도는 A가 B

보다 빠르다.

☒. 별의 질량이 태양 질량의 약 2배보다 작은 별은 중심에서부터 중심핵, 복사층, 대류층이 차례대로 분포하고, 태양 질량의 약 2배보다 큰 별은 중심에서부터 대류핵, 복사층이 차례대로 분포한다. 별의 내부에서 온도는 중심에서 멀어질수록 낮아지므로 별의 내부에서  $\frac{\text{복사층의 평균 온도}}{\text{대류층의 평균 온도}}$ 는 B가 A보다 크다.

⑧ (나)에는 중심으로 갈수록 더 무거운 원소로 이루어진 양파 껌질 같은 구조가 나타나며 중심핵은 철(Fe)로 구성되어 있다. 이는 질량이 매우 큰 별, 즉 A의 진화 과정 중 중심부에서 핵융합 반응이 끝난 직후의 내부 구조에 해당한다.

## 22 정역학 평형 상태

별의 크기 변화는 별의 중력과 기체 압력 차에 의한 힘의 평형 관계에 의해 결정된다.

⑦ 정역학 평형 상태는 별의 중력과 기체 압력 차에 의한 힘이 평형을 이루어 수축이나 팽창을 하지 않고 크기가 거의 일정하게 유지되는 상태이다. (나)에서 정역학 평형 상태에 해당하는 것은 ⑧이다.

⑧ 별이 (나)의 ⑦과 같은 상태일 때는 별에 작용하는 중력이 기체 압력 차에 의한 힘보다 크므로 별은 중력 수축을 하게 되고, 이로 인해 별의 내부 온도는 상승한다.

☒. A → B는 주계열 단계를 벗어난 별이 적색 거성 단계로 진화하는 과정으로 별의 표면 온도는 낮아지고 반지름은 커지지만, 중심핵은 수축하고 중심부 온도가 상승하는 단계이다. 따라서 별의 중심핵은 (나)의 ⑦과 같은 상태에 있다.

## 23 태양의 진화

A는 원시 태양이 탄생했을 때, B는 주계열 단계에 처음 도달했을 때, C는 주계열 단계 중, D는 적색 거성 단계에 해당한다.

⑦ A → B는 원시별 단계에 해당하며, 태양과 같이 질량이 비교적 작은 별은 원시별에서 주계열 단계로 진화하는 동안 대체로 H-R도의 위에서 아래로 수직 방향으로 진화한다. 즉, A에서 B로 진화하는 동안 광도 변화율은 표면 온도 변화율보다 크다.

⑧ 주계열성의 중심핵에서는 수소 핵융합 반응이 일어나며 반응이 진행될수록 별의 중심핵에서 수소의 질량비(%)는 감소하고, 헬륨의 질량비(%)는 증가한다. 중심핵에서  $\frac{\text{수소의 질량비}(\%)}{\text{헬륨의 질량비}(\%)}$ 는 주계열 단계에 처음 도달한 B가 주계열 단계에 있는 C보다 크다.

⑨ D는 적색 거성 단계로 반지름이 커지고 있다. 이 단계에서 별의 중심부는 수축하여 중심부 온도는 상승하고 별의 바깥층은 팽창하여 표면 온도는 하강한다. 따라서 D는 주계열 단계인 C에 비해 중심부와 표면의 온도 차가 크다.

## 24 주계열성의 진화

주계열성은 수소 핵융합 반응에 의해 중심부에서 수소의 질량비(%)가 시간에 따라 점점 감소하는 형태를 보이고, 온도가 가장 높은 중심에서 가장 많은 수소 핵융합 반응이 일어나므로 중심에서 수소의 질량비 감소가 가장 크게 나타난다. (가)의  $T_2$ 를 보면 중심에서 일정한 거리까지 수소의 양이 동일하게 나타나는데, 이는 중심부에 대류핵이 있어서 수소 핵융합 반응으로 생성된 헬륨과 남은 수소가 대류에 의해 골고루 분산되기 때문이다. 반면 (나)의  $T_2$ 를 보면 중심에서 수소의 질량비가 가장 작고, 중심에서 외곽으로 갈수록 수소의 질량비가 증가하는 형태를 나타내며, 이러한 양상은 주계열 단계가 끝났을 때( $T_3$ )까지 비슷한 형태로 나타나는데 이는 중심부에 대류핵이 존재하지 않는다는 것을 의미한다.

☒. (나)는 중심부에 대류핵이 존재하지 않으므로, 질량이 태양 질량의 1배인 별이다. 이러한 별의 중심핵에서는 p-p 반응이 CNO 순환 반응보다 우세하게 일어난다.

☒.  $T_1$ 에서  $T_3$ 까지의 시간은 별이 주계열 단계에 머무르는 시간에 해당하며, 별의 질량이 클수록 이 시간이 짧다. 따라서  $T_1$ 에서  $T_3$ 까지의 시간은 질량이 태양 질량의 5배인 (가)가 태양 질량의 1배인 (나)보다 짧다.

☑. (가)에는 중심부에 대류핵이 존재한다. 대류는 깊이에 따른 온도 차가 클 때 효과적인 에너지 전달 방식이므로 중심으로부터의 거리가 약  $0\sim0.2r$ 인 영역에서 깊이에 따른 온도 차는 (가)가 (나)보다 크다.

09

## 외계 행성계와 외계 생명체 탐사

### 수능 2점 테스트

본문 178~179쪽

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

### 01 외계 행성계 탐사 방법

(가)는 직접 관측하는 방법, (나)는 식 현상을 이용하는 방법이다.

Ⓐ. 행성이 방출하는 에너지는 대부분 적외선 영역에 해당하므로 (가)에서 행성을 직접 관측할 때는 주로 적외선 영역의 파장을 이용하여 행성을 촬영한다.

Ⓑ. (나)는 행성이 의해 중심별의 일부가 가려지면서 중심별의 밝기가 변하는 식 현상을 이용하는 방법이다. 행성이 중심별 앞을 지날 때 중심별의 일부가 가려지면서 중심별의 밝기가 감소하는 식 현상이 일어난다. 행성은 중심별 주위를 주기적으로 공전하므로 중심별의 밝기 변화도 주기적으로 나타난다.

Ⓒ. 행성의 반지름이 클수록 직접 관측으로 행성의 존재를 알아내는 데 유리하다. 식 현상이 일어날 때 행성의 반지름이 클수록 중심별의 밝기 감소가 커지므로 행성의 존재를 알아내는 데 유리하다.

### 02 외계 행성계의 생명 가능 지대

중심별이 주계열성일 때 중심별의 질량이 클수록 광도가 크고, 생명 가능 지대는 중심별에서 멀어지고 폭도 넓어진다.

Ⓐ. 중심별에서 생명 가능 지대까지의 거리는 이 외계 행성계가 태양계보다 가까우므로 질량은 X가 태양보다 작다.

Ⓑ. ①은 생명 가능 지대에 위치하므로 ①의 표면에는 액체 상태의 물이 존재할 수 있다.

☒. 중심별 X가 적색 거성으로 진화하면 광도가 커지므로 생명 가능 지대는 중심별에서 더 멀어진다. ⑦은 현재 생명 가능 지대 안쪽 경계 부근에 위치하는데, 생명 가능 지대가 중심별로부터 더 멀어지면 생명 가능 지대에서 더 멀어지게 된다.

### 03 미세 중력 렌즈 현상을 이용한 외계 행성계 탐사

거리가 다른 두 개의 별이 같은 시선 방향에 있을 경우 뒤쪽 별의 별빛이 앞쪽 별과 행성의 중력에 의해 미세하게 굽절되어 휘어지면서 뒤쪽 별의 밝기가 변하는데, 이를 미세 중력 렌즈 현상이라고 한다.

☒. 행성 a의 공전 궤도면은 관측자의 시선 방향에 수직이므로 공통 질량 중심에 대한 중심별 A의 공전 궤도면도 관측자의 시선 방향에 수직이다. 중심별의 공전 궤도면이 관측자의 시선 방향에 수직일 때는 시선 속도 변화가 나타나지 않는다.

◎ 미세 중력 렌즈 현상을 이용하여 외계 행성을 탐사할 때는 관측자의 시선 방향에 있는 두 별 중 뒤쪽에 있는 별의 밝기 변화를 관측한다. 따라서 (나)는 B의 밝기 변화를 관측한 것이다.

☒. (나)에서 ⑦은 A에 의한 미세 중력 렌즈 현상으로 나타난 B의 밝기 변화이고, ⑧은 A의 행성 a에 의한 미세 중력 렌즈 현상으로 B의 밝기가 추가적으로 변한 것이다.

## 04 시선 속도 변화를 이용한 외계 행성계 탐사

외계 행성계에서 별과 행성은 공통 질량 중심을 중심으로 동일한 주기와 방향으로 공전하므로, 중심별의 시선 속도 변화 주기는 중심별과 행성의 공전 주기에 해당한다.

◎. ( $T_4 - T_1$ )은 중심별의 공전 주기에 해당하고, 이는 행성의 공전 주기와 같다.

◎.  $T_3$ 일 때 중심별의 시선 속도는 음(−)으로 최댓값이므로 이 때 흡수선의 파장이 가장 짧다. 따라서 흡수선의 파장은  $T_3$ 일 때가  $T_2$ 일 때보다 짧다.

◎. 행성의 질량이 클수록 행성과 중심별의 공통 질량 중심은 행성 쪽으로 이동하여 중심별의 공전 궤도 반지름이 커지고 중심별의 공전 속도가 빨라진다. 따라서 행성의 질량이 클수록 ⑦이 증가한다.

## 05 외계 생명체가 존재하기 위한 행성의 조건

행성이 생명 가능 지대에 위치하더라도 생명체가 진화하기 어려울 수 있다.

Ⓐ. 행성이 중심별에 가까이 있으면 행성의 자전 주기와 공전 주기가 같아질 수 있다. 이를 동주기 자전이라고 한다.

☒. 단위 시간에 단위 면적당 받는 중심별의 복사 에너지양이 지구와 같은 위치는 중심별의 광도가 클수록 중심별로부터 멀다. 이 행성이 단위 시간에 단위 면적당 받는 중심별의 복사 에너지양은 지구와 같고 행성의 공전 궤도 반지름은 0.5 AU이므로 중심별의 광도는 태양보다 작다.

☒. 대기의 주성분이 아르곤, 헬륨, 네온이므로 산소를 이용해 호흡하는 생명체가 살기에 적합한 환경이 아니다. 또한 대기압이 매우 낮고 외부로부터 들어오는 유해한 우주선(cosmic ray)을 막아줄 수 있는 대기 성분이 없어 생명체가 살기에 적합한 환경이 아니다.

## 06 외계 행성계 탐사 방법

행성의 공전 궤도면과 관측자의 시선 방향이 나란할 때는 행성에 의한 식 현상, 중심별의 시선 속도 변화, 행성에 의한 미세 중력 렌즈 현상이 모두 나타날 수 있다.

◎. 행성에 의한 식 현상은 행성이 중심별 앞을 지나면서 중심별의 일부를 가리는 현상이므로, 식 현상에 의한 중심별의 밝기 변화 주기는 행성의 공전 주기와 같다.

☒. 중심별을 가리는 행성의 단면적이 최대일 때 중심별의 밝기(⑦)는 최소가 된다. 이때는 중심별의 시선 속도가 양(+)의 값에서 음(−)의 값으로 바뀔 때이므로 중심별의 시선 속도(⑧)는 최대가 아니다.

☒. 중심별의 공전 궤도면과 관측자의 시선 방향이 수직인 경우에는 식 현상과 중심별의 시선 속도 변화가 나타날 수 없다.

## 07 식 현상을 이용한 외계 행성계 탐사

행성이 중심별의 앞쪽을 지날 때 중심별의 겉보기 밝기가 감소하며, 중심별의 밝기 감소량은 행성의 반지름이 클수록 크다.

◎. 행성의 반지름은 B가 A보다 크므로 중심별을 가리는 면적의 최댓값은 B가 A보다 크다. 따라서 중심별의 밝기 변화율은 B가 A보다 크다.

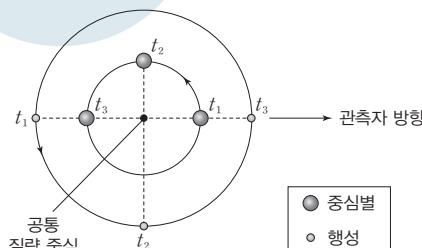
◎.  $T_1 \sim T_2$  동안 A에서는 중심별이 지구와의 거리가 가장 먼 지점으로 가고 있고, B에서는 중심별이 지구와의 거리가 가장 먼 지점을 지나 관측자 방향으로 다가오고 있다. 따라서 중심별의 스펙트럼에서 청색 편이가 나타나는 것은 B이다.

☒. 같은 시간 동안 A와 B의 행성은 각자의 지름에 해당하는 거리만큼 이동했다. 행성의 반지름은 B가 A보다 크므로 행성의 공전 속도는 B가 A보다 빠르다.

## 08 도플러 효과를 이용한 외계 행성계 탐사

외계 행성계에서 중심별과 행성의 공통 질량 중심에 대한 중심별의 공전으로 인해 관측자와 중심별 사이의 거리가 변한다. 중심별이 관측자에게 가까워질 때는 중심별의 흡수선 파장이 고유 파장 보다 짧아지는 청색 편이가 나타나고, 관측자로부터 멀어질 때는 중심별의 흡수선 파장이 고유 파장보다 길어지는 적색 편이가 나타난다.

◎. 중심별의 흡수선 파장이 500 nm를 중심으로 증가와 감소가 반복되는 것으로 보아 흡수선의 고유 파장은 500 nm이다.  $t_1$ 일 때 흡수선의 파장은 500 nm이고  $t_1$  이후 흡수선의 파장이 길어지는 것으로 보아  $t_1$ 일 때 중심별은 관측자의 시선 방향에 대해  $90^\circ$  방향으로 이동하면서 지구로부터의 거리가 가장 가까운 곳을 지나고 있다. 이때는 행성에 의한 식 현상이 일어나지 않아 중심별의 밝기 감소가 없다.  $t_3$ 일 때는 행성이 중심별을 가리는 면적이 최대가 되어 중심별의 밝기가 최소이다. 따라서 중심별의 밝기는  $t_1$ 일 때가  $t_3$ 일 때보다 밝다.



㉡  $t_1$ 일 때 행성은 지구로부터 가장 먼 곳을 지나고 있으므로,  $t_1 \sim t_2$  동안 행성과 지구 사이의 거리는 가까워지고 있다.

㉢ 중심별의 공전 궤도면이 관측자의 시선 방향과 나란하므로 중심별의 공전 속도는 흡수선의 파장 변화량이 최대일 때의 시선 속도와 같다. 흡수선의 고유 파장에 대한 파장 변화량 비는  $\frac{0.05}{500}$

$= \frac{1}{10000}$ 이므로 중심별의 공전 속도는  $(\frac{1}{10000} \times \text{빛의 속도})$ 와 같다. 중심별과 행성은 공전 주기가 같은데 공전 궤도 반지름은 행성이 더 크므로 행성의 공전 속도는  $(\frac{1}{10000} \times \text{빛의 속도})$ 보다 빠르다.

### 수능 3점 테스트

본문 180~183쪽

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

## 01 중심별의 광도와 생명 가능 지대

중심별의 광도가 클수록 중심별로부터 생명 가능 지대까지의 거리는 멀어지고 생명 가능 지대의 폭은 넓어진다.

㉡  $T$  시기에 중심별로부터 생명 가능 지대가 시작되는 경계까지의 거리는 1 AU보다 멀다. 따라서 광도는  $T$  시기의 중심별 X가 현재의 태양보다 크다.

㉢ ⑦은 현재 생명 가능 지대에 위치하지만  $T$  시기에는 생명 가능 지대보다 중심별에 가까이 위치한다. 따라서 ⑦의 표면에 액체 상태의 물이 존재할 가능성은 현재가  $T$  시기보다 크다.

㉣ 중심별로부터 생명 가능 지대까지의 거리는  $T$  시기가 현재보다 멀다. 즉, 중심별 X의 광도는  $T$  시기가 현재보다 크다. 따라서 ④에서 단위 시간에 단위 면적당 받는 중심별의 복사 에너지양은  $T$  시기가 현재보다 많다.

## 02 탐사 방법에 따른 외계 행성의 탐사 결과

중심별의 시선 속도 변화를 이용하여 발견한 행성들은 대부분 질량이 크고, 식 현상을 이용하여 발견한 행성들은 대부분 공전 궤도 반지름이 작다. A는 식 현상, B는 도플러 효과, C는 미세 중력 렌즈 현상이다.

㉡ 케플러 망원경은 행성을 가진 중심별의 미세한 밝기 변화, 즉 행성에 의한 식 현상을 관측하여 외계 행성을 탐사하였다.

✖ 별과 행성이 공통 질량 중심을 중심으로 공전할 때, 별빛의 흡수선 파장이 변하는 도플러 효과가 나타난다. 따라서 B를 확인하기 위해서는 별의 스펙트럼을 관측해야 한다.

㉢ 미세 중력 렌즈 현상(C)으로 발견한 행성들은 중력에 의한 별의 굴절 현상을 이용하여 발견한 것이다. 이 방법으로 발견한 행성들은 식 현상(A)을 이용하여 발견한 행성들보다 평균 공전 궤도 반지름이 크다.

## 03 생명 가능 지대

지구는 태양으로부터 1 AU 거리에 있으며 생명 가능 지대에 위치한다. 중심별로부터 단위 시간에 단위 면적당 받는 복사 에너지양이 지구와 비슷한 행성은 생명 가능 지대에 위치한다고 볼 수 있다.

㉡ 단위 시간에 단위 면적당 받는 중심별의 복사 에너지양(S)이 지구와 같은 위치는 중심별로부터 0.22 AU~0.48 AU 사이에 있으므로 중심별로부터 생명 가능 지대까지의 거리는 이 행성계

가 태양계보다 가깝다. 따라서 중심별의 광도는 태양보다 작다.

㉡ 단위 시간에 단위 면적당 받는 중심별의 복사 에너지양은 중심별로부터 가까울수록 많다. ㉢에서 단위 시간에 단위 면적당 받는 복사 에너지양은 지구의 4.15배로 ㉠보다 많으므로 공전 궤도 반지름은 ㉢이 ㉠보다 작다.

☒. 공전 궤도 반지름은 ㉢이 ㉠보다 크므로 ㉣에서 단위 시간에 단위 면적당 받는 중심별의 복사 에너지양은 지구의 0.37배보다 작다. 따라서 ㉣의 표면에는 액체 상태의 물이 존재할 가능성이 매우 낮다.

#### 04 식 현상을 이용한 외계 행성계 탐사

행성이 중심별의 앞을 지나갈 때 중심별의 겉보기 밝기가 감소하며, 밝기 감소량은 행성의 반지름이 클수록 크다.

☒. 행성이 중심별의 앞을 지나갈 때 A는 중심별의 중심을 지나가고 B는 중심별의 중심을 지나가지 않는다. 즉, A의 공전 궤도면은 관측자의 시선 방향과 나란하고 B의 공전 궤도면은 관측자의 시선 방향과 경사져 있다.

☒. 행성의 반지름은 B가 A의 2배이므로 행성이 중심별을 가리는 면적의 최댓값은 B가 A의 4배이다. 따라서 행성이 중심별을 가릴 때 B에 의한 중심별의 밝기 감소량 최댓값은 A에 의한 중심별의 밝기 감소량 최댓값(㉠)의 4배이다.

㉡ ㉡은 A가 중심별을 가리는 면적값이 최대인 시간에 해당한다. B의 공전 궤도면은 관측자의 시선 방향과 경사져 있으므로 B가 중심별을 가리는 면적값이 최대인 시간은 공전 궤도면이 관측자의 시선 방향과 나란한 A의 시간(㉡)보다 짧다.

#### 05 도플러 효과를 이용한 외계 행성계 탐사

중심별과 행성이 공통 질량 중심을 중심으로 공전할 때, 별과 행성의 공전 주기와 공전 방향은 같다.

㉠. 행성이 ㉠ → ㉡ → ㉢으로 이동하는 동안 중심별의 스펙트럼에서 나타나는 흡수선의 파장 변화로 보아 행성이 ㉠에 위치할 때 중심별은 지구에 가까워지고 있고, ㉢에 위치할 때 중심별은 지구로부터 멀어지고 있으므로 그림에서 관측자는 공통 질량 중심으로부터 ㉣ 방향에 있다. 따라서 중심별과 지구 사이의 거리는 행성이 ㉢에 위치할 때 가장 가깝다.

☒. 행성의 공전 궤도면은 관측자의 시선 방향과 나란하므로 행성이 ㉣에 위치할 때 행성의 단면적 전제가 중심별을 가리는 식 현상이 일어난다. 따라서 행성이 ㉣에 위치할 때 중심별의 겉보기 밝기는 최소이다.

☒. 행성이 ㉢에 위치할 때 중심별의 시선 속도는 최대이다. 행성이 ㉢에 위치할 때 중심별의 시선 속도는  $-(\text{시선 속도 최댓값} \times \cos 60^\circ)$ 와 같다. 따라서 중심별의 시선 속도 절댓값은 행성이 ㉢에 위치할 때가 ㉣에 위치할 때의 2배이다.

#### 06 식 현상을 이용한 외계 행성계 탐사

행성의 질량이 클수록 중심별의 시선 속도 변화량이 크고, 행성의 반지름이 클수록 식 현상에 의한 중심별의 밝기 감소량이 크다.

㉠. 별의 공전 속도가 빠를수록 별의 시선 속도 변화량은 크다. 외계 행성 ㉠과 ㉡의 공전 궤도 반지름은 같지만 질량은 ㉡이 ㉠의 2배이다. 중심별 A와 B의 질량은 같으므로 별과 행성의 공통 질량 중심에 대한 별의 공전 궤도 반지름은 B가 A보다 크고, 공전 속도도 B가 A보다 빠르다. 따라서 시선 속도 변화량은 B가 A보다 크다.

㉡.  $t_2$ 일 때 ㉠은 지구로부터의 거리가 가장 가깝고, A는 지구로부터 가장 멀리 있다. 따라서 지구로부터 A까지의 거리는  $t_2$ 일 때가  $t_1$ 일 때보다 멀다.

㉢. 식 현상에 의한 중심별의 겉보기 밝기 감소량 최댓값은 중심별이 행성에 의해 가려지는 면적에 비례한다. 행성의 반지름은 ㉠이 ㉡의 2배이므로 중심별의 겉보기 밝기 감소량은 A가 B의 4배이다. ㉠에 의한 식 현상이 일어날 때 A의 겉보기 밝기 감소량(상댓값)이 0.016이므로 ㉡에 의한 식 현상이 일어날 때 B의 겉보기 밝기 감소량(상댓값)은 0.004이고, B의 겉보기 밝기 최솟값(상댓값)은 0.996이다.

#### 07 시선 속도 변화를 이용한 외계 행성계 탐사

행성의 공전 궤도면이 관측자의 시선 방향과 나란한 경우 중심별의 시선 속도가 양(+)의 값에서 음(−)의 값으로 바뀌는 시기에 중심별과 행성은 같은 시선 방향에 위치하고 식 현상에 의한 중심별의 밝기 감소량이 최대가 된다.

㉠. 행성이 A → B → C로 이동하는 동안 중심별의 시선 속도 변화로 보아 행성이 A에 위치할 때 중심별은 지구에 가까워지고 있고, C에 위치할 때 중심별은 지구로부터 멀어지고 있으며, B에 위치할 때 시선 속도는 0이므로 관측자는 공통 질량 중심으로부터 B의 반대 방향에 있다. 행성의 공전 궤도면은 관측자의 시선 방향과 나란하므로 행성이 C에 위치할 때 중심별의 시선 속도는 최댓값을 가지고, 이는 중심별의 공전 속도와 같다.

☒. 행성이 B에 위치할 때 중심별은 관측자와 행성 사이에 위치하므로 이때는 식 현상이 일어나지 않는다. 따라서 행성이 B에 위치할 때 중심별의 밝기는 감소하지 않고 원래 밝기로 보인다.

㉡. 별의 스펙트럼에서 파장 변화량은 시선 속도 절댓값에 비례한다. 중심별의 시선 속도 절댓값은 행성이 A에 위치할 때는 (중심별의 공전 속도  $\times \cos 60^\circ$ )와 같고, 행성이 D에 위치할 때는 (중심별의 공전 속도  $\times \cos 30^\circ$ )와 같다. 시선 속도 절댓값이 행성이 D에 위치할 때가 행성이 A에 위치할 때의  $\sqrt{3}$ 배이므로 중심별의 흡수선 파장 변화량은 행성이 D에 위치할 때가 행성이 A에 위치할 때의  $\sqrt{3}$ 배이다.

## 08 식 현상을 이용한 외계 행성계 탐사

식 현상이 일어날 때 중심별의 밝기 감소량은  $\left(\frac{\text{행성의 반지름}}{\text{중심별의 반지름}}\right)^2$ 에 비례한다.

Ⓐ 식 현상이 일어날 때 중심별의 밝기가 감소하는 동안 중심별은 지구로부터 멀어지고, 중심별의 밝기가 증가하는 동안 중심별은 지구에 가까워진다. 따라서 관측 시작 후 4시간이 경과했을 때 A는 지구로부터 멀어지고 있고, 흡수선의 파장은 고유 파장보다 길어진다. 관측 시작 후 8시간이 경과했을 때 A는 지구에 가까워지고 있고, 흡수선의 파장은 고유 파장보다 짧아진다.

Ⓑ A는 주계열성이고, B는 주계열성에서 진화하여 거성이 되었는데 A와 광도가 같으므로 질량은 A가 B보다 크다. 별의 질량은 A가 B보다 큰데 행성의 질량은 Ⓡ과 Ⓢ이 같으므로 별과 공통 질량 중심 사이의 거리는 B가 A보다 멀다.

Ⓒ A는 주계열성, B는 거성인데 광도가 같으므로 표면 온도는 A가 B보다 높고 반지름은 B가 A보다 크다. 식 현상이 일어날 때 중심별의 밝기 감소량은  $\left(\frac{\text{행성의 반지름}}{\text{중심별의 반지름}}\right)^2$ 에 비례하는데, B의 밝기 감소량은 A의 밝기 감소량의 2배이므로 Ⓣ의 반지름은 Ⓤ의 반지름의  $\sqrt{2}$ 배보다 크다.

$$\left(\frac{R_{\odot}}{R_B}\right)^2 = 2 \times \left(\frac{R_{\odot}}{R_A}\right)^2 \rightarrow \frac{R_{\odot}}{R_{\odot}} = \sqrt{2} \times \left(\frac{R_B}{R_A}\right) > \sqrt{2}$$

# 10

## 외부 은하와 우주 팽창

### 수능 2점 테스트

본문 194~198쪽

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

### 01 허블의 은하 분류

허블은 외부 은하를 가시광선 영역에서 관측되는 형태에 따라 분류하였다. (가)는 타원 은하, (나)는 정상 나선 은하, (다)는 막대 나선 은하, (라)는 불규칙 은하이다.

Ⓐ 타원 은하는 타원의 납작한 정도에 따라 E0~E7로 세분한다. 타원 은하 기호 E 뒤의 숫자는 은하의 모양이 원형에 가까울 수록 작다.

Ⓑ 나선 은하는 은하핵을 가로지르는 막대 모양 구조의 유무에 따라 정상 나선 은하 (나)와 막대 나선 은하 (다)로 구분한다.

⓫ 타원 은하 (가)는 주로 늙은 별들로 구성되어 있고, 불규칙 은하 (라)는 주로 젊은 별들로 구성되어 있다.

### 02 막대 나선 은하와 타원 은하

(가)는 막대 나선 은하, (나)는 타원 은하이다.

⓫ 나선 은하에서 성간 물질은 주로 나선팔에 분포하며, 중앙 팽대부와 헤일로에는 성간 물질이 거의 없다. 따라서 성간 물질의 함량비(%)는 B보다 A에서 높다.

⓫ 우리은하는 허블의 은하 분류상 (가) 막대 나선 은하와 같은 종류에 해당한다.

⓬ 나선 은하에서 중앙 팽대부는 주로 늙고 붉은색 별들로, 원반부는 주로 젊고 파란색 별들로 이루어져 있고, 타원 은하는 주로 늙고 붉은색 별들로 이루어져 있다. 따라서 은하에서  $\frac{\text{붉은색 별의 개수}}{\text{파란색 별의 개수}}$ 는 (나)가 (가)보다 크다.

### 03 외부 은하의 분류

외부 은하는 규칙적인 구조의 유무에 따라 불규칙 은하와 규칙적인 구조를 가진 은하로 구분하고, 규칙적인 구조를 가진 은하는 나선팔의 유무에 따라 타원 은하와 나선 은하로 구분한다. 나선 은하는 막대 구조의 유무에 따라 정상 나선 은하와 막대 나선 은하로 구분한다.

Ⓐ A는 정상 나선 은하, B는 불규칙 은하, C는 타원 은하이다.

규칙적인 구조가 없는 은하( $\odot$ )는 B(불규칙 은하)이다.

Ⓐ 규칙적인 구조가 있는 A와 C 중 나선팔( $\odot$ )이 없는 은하는 타원 은하(C)이다.

ⓧ 세이퍼트은하는 허블의 은하 분류상 대부분 나선 은하의 형태 이므로  $\odot$ (B)보다  $\oplus$ (A)에 가깝다.

## 04 세이퍼트은하와 전파 은하

전파 은하는 보통 은하보다 수백 배 이상 강한 전파를 방출하는 은하로, 관측 방향에 따라 제트로 연결된 로브가 관측되기도 한다. 세이퍼트은하는 스펙트럼에서 넓은 방출선이 나타나고, 대부분 나선 은하의 형태로 관측된다. (가)는 세이퍼트은하, (나)는 전파 은하이다.

Ⓐ 세이퍼트은하는 은하 내의 가스운이 매우 빠른 속도로 중심부를 회전하여 스펙트럼에서 폭이 넓은 방출선이 관측된다.

ⓧ 허블의 은하 분류에 따르면 (가)는 나선 은하, (나)는 타원 은하이다. 타원 은하는 성간 물질이 거의 없어 새로운 별의 탄생이 적고, 나선 은하는 나선팔에 성간 물질이 모여 있어 새로운 별의 탄생이 많다. 따라서 새로운 별의 탄생은 (나)보다 (가)에서 활발하다.

Ⓒ 세이퍼트은하, 전파 은하와 같은 특이 은하의 중심부에는 질량이 매우 큰 블랙홀이 존재한다고 추정한다.

## 05 전파 은하

전파 은하는 보통 은하보다 수백 배 이상의 강한 전파를 방출하는 은하로, 관측 방향에 따라 제트로 연결된 로브가 관측되기도 한다.

ⓧ (가)의 가시광선 영상으로 보아 이 은하는 타원 은하에 해당한다. 타원 은하는 성간 물질이 거의 없고, 주로 늙고 붉은색 별로 구성되어 있다.

ⓧ 전파 은하의 제트는 은하 중심부의 회전축에 나란한 방향으로 방출되는데, (나)에서 제트 방향은 시선 방향에 거의 수직이다. 만약 제트가 방출되는 방향이 시선 방향에 나란하다면 (나)와 같이 로브 구조가 위아래 대칭으로 나타나지 않을 것이다.

Ⓒ 전파 은하와 같은 특이 은하의 중심부에는 질량이 매우 큰 블랙홀이 있을 것으로 추정한다.

## 06 우주 배경 복사

우주 배경 복사는 빅뱅 후 약 38만 년이 지났을 때 원자핵과 전자가 결합해 중성 원자가 만들어짐에 따라 투명해진 우주에서 우주 공간으로 방출된 빛이다.

ⓧ 우주 배경 복사는 빅뱅 후 약 38만 년이 지났을 때 형성되었다. 빅뱅 후 약 3분이 지났을 때는 양성자 2개와 중성자 2개가 결합해 헬륨 원자핵이 생성되었다.

Ⓒ 우주 배경 복사는 우주의 온도가 약 3000 K일 때 방출되었던 복사이다. 이후 우주가 팽창하는 동안 온도가 낮아지고 파장이 길어져 현재는 약 2.7 K 복사로 관측되고 있다.

ⓧ 우주 배경 복사는 방출된 이후 파장이 길어져 현재 관측되는 우주 배경 복사에서 에너지 세기가 최대인 파장은  $\lambda$ 보다 길다.

## 07 충돌 은하

서로 가까이 있는 은하들 사이에는 중력이 작용하여 충돌하기도 한다.

ⓧ 은하들이 충돌하는 과정에서 대부분 두 은하가 병합되는데, 이 과정에서 은하의 형태는 다양하게 나타난다.

Ⓐ 충돌하는 은하들은 서로의 중력이 인력으로 작용하여 가까워지며 충돌하게 된다. 따라서 서로 접근하는 은하들 중 한 은하에서 다른 은하의 스펙트럼을 관측하면 청색 편이가 나타나게 된다.

Ⓒ 은하들이 충돌할 때 은하 내의 성운들이 충돌하고 압축되는 과정에서 많은 별이 탄생한다.

## 08 빅뱅 우주론

빅뱅 우주론은 초고온 초고밀도의 한 점에서 대폭발에 의해 팽창하면서 현재와 같은 우주가 생성되었다는 이론이며, 정상 우주론은 시간과 공간에 관계없이 우주가 항상 일정한 상태를 유지한다는 이론이다.

ⓧ 빅뱅 우주론에서는 우주가 팽창하더라도 질량이 일정하므로 우주의 밀도가 작아지고 온도가 낮아진다. 정상 우주론에서는 우주가 팽창함에 따라 빈 공간에 새로운 물질이 생성되어 질량은 증가하고 온도는 일정하게 유지된다. 그럼에서 시간에 따라 온도가 낮아지는 것으로 보아 이 우주론은 빅뱅 우주론에 해당한다.

ⓧ A는 시간에 따라 증가하는 물리량이다. 빅뱅 우주론에서는 우주가 팽창하면서 밀도는 감소하고 부피는 증가한다. 따라서 우주의 밀도는 A에 해당하지 않는다.

Ⓒ 빅뱅 우주론에 따르면 우주를 구성하는 물질의 약 24 %가 헬륨으로 이루어져야 한다고 예측되는데 이는 실제 관측 결과와 일치한다.

## 09 은하를 구성하는 별들의 특징

나선 은하와 불규칙 은하는 타원 은하에 비해 성간 물질의 양이 많고, 짧고 파란색 별들이 많다.

ⓧ 은하를 구성하는 별들의 색지수는  $\odot$ 이  $\oplus$ 보다 크다. 즉, 은하를 구성하는 별들 중 붉은색 별의 비율은  $\odot$ 이  $\oplus$ 보다 높다. 따라서  $\odot$ 은 타원 은하,  $\oplus$ 은 불규칙 은하이고, 은하에서  $\frac{\text{성간 물질의 질량}}{\text{은하의 전체 질량}}$ 은  $\odot$ 이  $\oplus$ 보다 작다.

Ⓒ (나)는 규칙적인 구조가 없는 불규칙 은하이다. 따라서 (나)는  $\odot$ 의 예이다.

ⓧ 정상 나선 은하는 은하핵의 상대적인 크기와 나선팔이 감긴 정도에 따라 Sa, Sb, Sc로 구분하는데, 소문자가 a → b → c로

갈수록 중심핵의 크기가 상대적으로 작고 나선팔이 느슨하게 감겨 있다. (가)에서  $Sa \rightarrow Sb \rightarrow Sc$ 로 갈수록 색지수( $B-V$ )가 작아지므로 중심핵의 크기가 상대적으로 작고 나선팔이 느슨하게 감겨 있을수록 나선 은하에서 붉은색 별의 비율이 감소한다.

## 10 외부 은하

외부 은하의 대부분은 우리은하로부터 멀어지지만 일부는 우리은하에 접근하고 있다.

① 외부 은하의 시선 속도를 이용해 우리은하에 접근하는지 우리은하로부터 멀어지는지를 판단할 수 있다. (가)는 시선 속도가 음(−)의 값이므로 우리은하에 접근하고 있고, (나)는 시선 속도가 양(+)의 값이므로 우리은하로부터 멀어지고 있다. 따라서 우리은하와 충돌할 가능성은 (가)가 (나)보다 높다.

② 세이퍼트은하는 일반적인 은하에 비해 중심핵이 다른 부분보다 상대적으로 밝다. 따라서 은하 전체의 밝기에 대한 중심핵의 밝기비는 세이퍼트은하인 (나)가 (가)보다 크다.

✖ 세이퍼트은하는 가시광선 영역에서 관측하면 대부분 나선 은하의 형태를 보이지만, 실제 나선 은하 중 약 2%만 세이퍼트은하로 분류된다.

## 11 우주의 팽창과 풍선 모형

은하들이 서로 멀어지는 우주에서는 어떤 은하에서 보더라도 은하들 사이의 거리가 멀어지는 것으로 나타나기 때문에 특정한 위치를 우주의 중심으로 정할 수 없다. 부풀어 오르는 풍선 모형을 통해 특정한 팽창의 중심이 없다는 것을 확인할 수 있다.

① 풍선에 그린 파동의 파장(⑦)은 풍선이 팽창함에 따라 길어져 (다)에서 측정한 길이는 0.3 cm보다 길어진다. 이는 빅뱅 우주론에서 초기 우주에서 방출된 우주 배경 복사는 우주가 팽창하는 동안 온도가 낮아지고 파장이 길어지는 것에 해당한다.

✖ 은하에 해당하는 A, B, C가 멀어지는 속도는 서로 떨어져 있는 거리에 비례한다. 즉, 두 은하 사이의 거리가 멀수록 더 빨리 멀어진다.

② 풍선 모형에서 풍선 표면은 우주 공간에 해당하며, 팽창하는 풍선의 표면에서 팽창의 중심은 존재하지 않는다.

## 12 우주의 팽창 속도

우주의 팽창 속도는 시기에 따라 달랐다. 우주는 약 138억 년 전에 빅뱅으로 탄생하여 짧은 순간 급격히 팽창하였으며, 이후에 팽창 속도가 조금씩 감소하다가 수십억 년 전부터 암흑 에너지에 의해 팽창 속도가 증가하였다.

① 우주의 팽창 속도는 급팽창이 일어난 시기에 빛의 속도보다 빨랐고, 이후 팽창 속도가 감소하다가 수십억 년 전부터 증가하였

다. ⑦ 시기에는 우주의 팽창 속도가 감소하고 있으므로 급팽창은 ⑦ 시기 이전에 일어났다.

② 우주의 팽창 속도는 시기마다 다르지만 빅뱅 이후 우주는 지속적으로 팽창하고 있다. 우주 배경 복사의 파장은 우주가 팽창할 수록 길어지므로 ⑦ 시기가 ⑦ 시기보다 짧다.

③ 그림에서 곡선의 기울기는 우주의 팽창 가속도에 해당한다.

④ 시기에는 우주의 팽창 가속도가 0으로 일정한 속도로 팽창하였고, ⑤ 시기에는 우주의 팽창 가속도가 (+) 값으로 팽창 속도가 증가하였다. 따라서 우주의 팽창 가속도는 ④ 시기가 ④ 시기보다 크다.

## 13 빅뱅 우주론과 정상 우주론

빅뱅 우주론은 온도가 높고 밀도가 큰 한 점에서 대폭발에 의해 팽창하면서 현재와 같은 우주가 생성되었다는 우주론이고, 정상 우주론은 우주 팽창에 의해 생긴 빈 공간에 새로운 물질이 계속 생성되어 우주가 항상 일정한 상태를 유지한다는 이론이다.

① 빅뱅 우주론에서는 우주가 팽창하더라도 우주의 질량이 일정하게 유지되고 밀도는 감소한다. 따라서 우주의 질량, 밀도, 부피 중 빅뱅 우주론에서 일정하게 유지되는 물리량은 우주의 질량이다.

② 정상 우주론에서는 우주 공간이 팽창함에 따라 새로운 물질이 생겨나 빈 공간을 채우므로 우주의 질량은 증가하고 밀도는 일정하다. 따라서 우주의 질량, 밀도, 부피 중 정상 우주론에서 일정하게 유지되는 물리량은 우주의 밀도이다.

③ 빅뱅 우주론에서 우주의 밀도는 시간에 따라 감소하므로 현재가 우주 초기보다 작다.

## 14 우주 배경 복사

우주 배경 복사는 빅뱅 후 약 38만 년이 지났을 때 원자핵과 전자가 결합해 중성 원자가 만들어짐에 따라 투명해진 우주에서 사방으로 퍼져 나간 빛이다.

✖ 우주 배경 복사는 우주의 온도가 약 3000 K일 때 방출되었던 복사로, 우주가 팽창하는 동안 온도가 낮아지고 파장이 길어져 현재는 전파 영역에서 약 2.7 K 복사로 관측되고 있다.

① 우주 배경 복사의 온도가 상대적으로 높은 영역은 낮은 영역 보다 물질의 밀도가 미세하게 큰 곳이다. 따라서 우주 배경 복사의 온도 차는 우주 초기에 미세한 밀도의 불균일이 존재했다는 증거이다.

✖ ④은 우주의 지평선 문제이다. 현재 관측 결과 우주의 모든 영역에서 물질이나 우주 배경 복사가 거의 균일한데, 이는 멀리 떨어진 두 지역이 과거에는 정보 교환이 있었다는 것을 의미한다. 초기 빅뱅 우주론에서는 빛이 이동할 수 있는 거리보다 우주의 크기가 크기 때문에 이를 설명하지 못한다.

## 15 외부 은하의 적색 편이

외부 은하의 후퇴 속도( $v$ )와 흡수선의 파장 변화량( $\Delta\lambda = \text{관측 파장}(\lambda) - \text{고유 파장}(\lambda_0)$ ) 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$v = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \times c \quad (c: \text{빛의 속도})$$

▣ A는 허블 법칙을 만족하므로 은하의 후퇴 속도는 허블 상수( $H$ )와 은하까지의 거리( $r$ )의 곱과 같고, 허블 상수는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$v = H \times r = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \times c \quad H = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \times \frac{c}{r}$$

고유 파장이 400 nm인 흡수선의 파장이 18 nm 길어졌으므로 A를 이용하여 구한 허블 상수는 45 km/s/Mpc이다.

㉡ 은하의 후퇴 속도는 흡수선의 고유 파장에 대한 파장 변화량( $\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}$ )에 비례한다. 고유 파장( $\lambda_0$ )이 400 nm인 흡수선의 파장 변화량이 A에서는 18 nm, B에서는 27 nm이므로 은하의 후퇴 속도는 B가 A의 1.5배이다.

㉢ B는 허블 법칙을 만족하므로 은하까지의 거리는 후퇴 속도에 비례하고, B의 후퇴 속도는 A의 1.5배이므로 은하까지의 거리는 B가 A의 1.5배이다. 따라서 B까지의 거리는 450 Mpc이다.

## 16 허블 법칙

허블 법칙을 만족하면 은하의 후퇴 속도( $v$ )는 은하의 거리( $r$ )에 비례한다.

$$v = H \times r \quad (H: \text{허블 상수})$$

▣ 허블 법칙은 우주의 어느 곳에서 관측하더라도 성립한다. 따라서 우주는 특정한 은하를 중심으로 팽창한다고 할 수 없다.

㉡ 은하의 후퇴 속도( $v$ )는 은하의 거리( $r$ )에 비례한다. D와 B 사이의 거리는  $\sqrt{5}d$ , D와 C 사이의 거리는  $\sqrt{13}d$ 이므로 D에서 관측한 후퇴 속도는 C가 B보다 빠르다.

▣ 허블 상수( $H$ )는  $\frac{\text{후퇴 속도}(v)}{\text{거리}(r)}$ 로 나타내며, 단위 거리당 우주 공간이 팽창하는 속도를 의미한다. A와 B로부터 구한 허블 상수와 A와 C로부터 구한 허블 상수는 같으므로 단위 거리당 우주 공간이 팽창하는 속도는 A와 B 사이와 A와 C 사이가 같다.

## 17 우주의 미래

(가)는 곡률이 양(+)인 닫힌 우주, (나)는 곡률이 0인 평탄 우주, (다)는 곡률이 음(−)인 열린 우주에 해당한다.

▣ (가)는 우주의 곡률이 양(+)인 닫힌 우주 모형이다.

㉡ 현재 우주는 곡률이 거의 0에 가까우므로 (나)에 가깝다.

▣ (다)는 열린 우주 모형으로 우주의 평균 밀도가 임계 밀도보다 작다.

## 18 초기 빅뱅 우주론으로 설명하기 어려운 문제

초기 빅뱅 우주론으로 설명하기 어려운 문제는 우주의 평탄성 문제, 지평선 문제, 자기 훌극 문제이다. A는 우주의 평탄성 문제, B는 우주의 지평선 문제이다.

㉠ 관측 결과 현재 우주는 곡률이 0에 가까울 정도로 평탄하지만 초기 빅뱅 우주론에서는 그 이유를 설명하지 못한다. 이를 우주의 평탄성 문제라고 한다.

㉡ 우주의 곡률이 0인 우주는 평탄 우주에 해당하고, 우주의 평균 밀도가 임계 밀도와 같다.

㉢ B는 우주의 지평선 문제이다. 현재 우주의 반대쪽 양 끝에 있는 두 지점으로부터 오는 우주 배경 복사가 거의 같게 나타나는 것은 과거에 두 지점 사이에 정보 교환이 있었다는 의미인데, 초기 빅뱅 우주론에서는 이를 설명하지 못한다. 급팽창 이론은 급팽창 이전에 우주의 상대적 크기가 우주의 지평선 크기보다 작았기 때문에 현재 우주의 반대쪽 양 끝에 있는 두 지점도 급팽창 이전에는 정보 교환이 가능했다고 설명한다.

## 19 우주 팽창과 허블 상수

허블 상수는 외부 은하의 후퇴 속도와 거리 사이의 관계를 나타내는 비례 상수로, 우주의 팽창 속도에 비례한다.

▣ 그림에서 허블 상수는 그래프의 기울기에 해당하고, 관측 가능한 우주의 크기는 우주의 나이(허블 상수의 역수)에 빛의 속도를 곱한 값으로 나타낸다. 허블 상수는 A가 B보다 크므로 관측 가능한 우주의 크기는 A가 B보다 작다.

㉡ 우주의 팽창 속도가 일정할 때 우주의 나이는 허블 상수의 역수로 구할 수 있다. 따라서 허블 상수로 구한 우주의 나이는 B가 A보다 많다.

㉢ 은하의 적색 편이는 후퇴 속도에 비례하며, 거리가 같을 때 후퇴 속도는 허블 상수가 클수록 빠르다. 따라서 같은 거리에 있는 은하의 적색 편이는 A가 B의  $\frac{4}{3}$  배이다.

## 20 우주 배경 복사

우주 배경 복사는 빅뱅 후 약 38만 년일 때 온도가 약 3000 K인 우주에서 방출된 복사로 우주가 팽창하는 동안 온도가 낮아지고 파장이 길어져 현재는 온도가 약 2.7 K인 복사로 관측된다.

▣ 흑체는 표면 온도가 높을수록 각각의 파장에서 방출되는 복사 에너지의 양이 많다. 각각의 파장에서 방출되는 복사 에너지의 양은 A가 B보다 많으므로 우주 배경 복사의 온도는 A가 B보다 높다. 우주는 빅뱅 이후 팽창하면서 온도가 낮아지므로 우주 배경 복사의 온도가 낮은 B가 현재의 우주 배경 복사에 해당한다.

㉡ 흑체에서 에너지를 최대로 방출하는 파장은 표면 온도가 높을 수록 짧다. 온도는 A가 B보다 높으므로  $\lambda_B$ 는  $\lambda_A$ 보다 길다.

㉢ 우주가 팽창함에 따라 우주의 밀도에서 암흑 에너지 밀도가

차지하는 비율은 계속 증가하였다. A는 B보다 먼저 방출된 우주 배경 복사이므로  $\frac{\text{암흑 에너지 밀도}}{\text{우주의 밀도}}$ 는 B 시기와 A 시기보다 크다.

### 수능 3점 테스트

본문 199~208쪽

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

#### 01 은하의 종류에 따른 특징

허블의 은하 분류에 따르면 A는 막대 나선 은하이고, B는 타원 은하이다. 나선 은하는 타원 은하에 비해 성간 물질이 많고 비교적 짧은 별들로 이루어져 있다.

Ⓐ A는 막대 구조와 나선팔 구조가 있으므로 허블의 은하 분류에 따라 SB형으로 분류할 수 있다.

Ⓑ 타원 은하는 주로 늙고 붉은색 별들로 이루어져 있다. 나선 은하의 중앙 팽대부와 혜일로는 주로 늙고 붉은색 별들로, 나선팔은 주로 젊고 파란색 별들로 이루어져 있다. 따라서 '별의 평균 나이'는 ⓐ에 해당한다.

ⓧ 타원 은하는 성간 물질이 거의 없고, 나선 은하는 나선팔에 성간 물질이 많이 분포한다. 따라서 보통 물질 중 성간 물질이 차지하는 질량의 비율은 A가 B보다 높다.

#### 02 중력 렌즈 현상

질량이 매우 큰 은하(또는 은하단)는 중력 렌즈 현상을 일으켜 멀리 있는 은하를 여러 개의 왜곡된 상으로 나타나게 할 수 있다.

Ⓐ 그림은 퀘이사에서 방출된 빛이 퀘이사 앞쪽에 위치한 은하의 중력에 의해 굴절되어 상이 두 개로 나타난 것이다. 따라서 '중력 렌즈'는 ⓐ에 해당한다.

Ⓑ 퀘이사(A와 B)에서 방출된 빛이 은하(Ⓐ)에 의해 굴절되었으므로 지구로부터의 거리는 ⓐ이 퀘이사보다 가깝다. 따라서 ⓐ의 적색 편이는 퀘이사의 적색 편이 1.4보다 작다.

Ⓒ A와 B는 하나의 퀘이사이므로 스펙트럼에 나타난 흡수선의  $\frac{\text{파장 변화량}}{\text{고유 파장}}$  값은 A와 B에서 같다.

#### 03 특이 은하

퀘이사는 매우 먼 거리에 있어 적색 편이가 크게 나타나고, 세이퍼트은하는 은하 내의 가스운이 매우 빠른 속도로 움직이고 있어 스펙트럼에서 폭이 넓은 방출선이 나타난다. (가)는 퀘이사, (나)는 세이퍼트은하이다.

Ⓐ 퀘이사는 매우 먼 거리에 있어 적색 편이가 매우 큰 천체이다.  $H_{\alpha}$  방출선의 파장 변화량이 (나)보다 (가)에서 훨씬 크게 나타나는 것으로 보아 퀘이사는 (가)이다.

☒. (나) 세이퍼트온하는 가시광선 영상에서 나선팔 구조가 나타나므로 나선 온하에 해당한다. 허블 온하 분류에 따른 기호가 E인 온하는 타원 온하이다.

㉡ 외부 온하까지의 거리는 온하의 후퇴 속도에 비례하고, 온하의 후퇴 속도는 방출선의 고유 파장에 대한 파장 변화량에 비례한다.  $H\alpha$  방출선의 파장 변화량이 (나)보다 (가)에서 크게 나타나므로 우리온하로부터의 거리는 (가)가 (나)보다 멀다.

## 04 허블 법칙

외부 온하에서 흡수선의 파장 변화량( $\Delta\lambda =$ 관측 파장( $\lambda$ ) - 고유 파장( $\lambda_0$ ))을 알면 온하의 후퇴 속도( $v$ )를 구할 수 있다.

㉡ A의 스펙트럼에서 고유 파장이 600 nm인 흡수선이 630 nm로 나타나므로 A의 후퇴 속도( $v_A$ )는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$v_A = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \times c = \frac{30 \text{ nm}}{600 \text{ nm}} \times 3 \times 10^5 \text{ km/s} \quad (c: 빛의 속도)$$

따라서 A의 후퇴 속도는 15000 km/s이다.

㉡ 온하의 적색 편이는 흡수선의 고유 파장에 대한 파장 변화량( $\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}$ )으로 나타내고, 한 온하의 스펙트럼에 나타나는 모든 흡수선에 대해 동일한 값을 갖는다. 따라서 고유 파장이 480 nm인 흡수선과 600 nm인 흡수선의 적색 편이는 같다.

$$A\text{의 적색 편이} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{\Delta\lambda}{480 \text{ nm}} = \frac{30 \text{ nm}}{600 \text{ nm}}$$

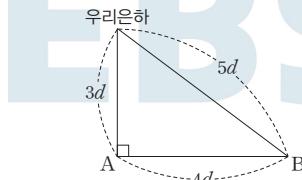
따라서 고유 파장이 480 nm인 흡수선의 파장 변화량( $\Delta\lambda$ )은 24 nm이고,  $\lambda$ 는 504 nm이다.

☒. 우리온하, A, B는 허블 법칙을 만족하므로 한 온하에서 다른 온하를 관측할 때 후퇴 속도는 온하 사이의 거리에 비례한다. 우리온하에서 관측할 때 B의 후퇴 속도는

$$\frac{50 \text{ nm}}{600 \text{ nm}} \times 3 \times 10^5 \text{ km/s} = 25000 \text{ km/s} \text{이므로 B에서 관측할}$$

때 우리온하의 후퇴 속도는 25000 km/s이다. B에서 관측한 후퇴 속도는 우리온하가 A의 1.25배이므로 B에서 관측한 A의 후퇴 속도는  $25000 \text{ km/s} \times \frac{4}{5} = 20000 \text{ km/s}$ 이다. 우리온하에서 관

측한 A, B의 후퇴 속도와 B에서 관측한 A의 후퇴 속도를 볼 때 우리온하, A, B는 다음과 같은 위치 관계를 갖는다.



따라서 A에서 관측했을 때 우리온하와 B의 시선 방향이 이루는 각은 90°이다.

## 05 퀘이사

퀘이사는 처음 발견 당시 별처럼 관측되었기 때문에 항성과 비슷

하다는 의미를 가진 준항성체라고 불렸다.

☒. 퀘이사는 하나의 별처럼 보이지만 매우 먼 거리에 있는 외부 온하이다.

㉡ 적색 편이는 방출선의 고유 파장( $\lambda_0$ )에 대한 파장 변화량( $\Delta\lambda$ )으로 나타낸다. (나)에서  $H\delta$  선의 적색 편이와  $H\beta$  선의 적색 편이는 같고, 고유 파장은  $H\delta$  선이  $H\beta$  선보다 짧으므로  $H\delta$  선의 파장 변화량은 76.8 nm보다 작다.

㉡ 퀘이사에서 방출되는 에너지는 보통 온하의 수백 배나 되지만 에너지가 방출되는 영역의 크기는 태양계 정도로 작다. 이것으로 보아 퀘이사의 중심부에는 질량이 매우 큰 블랙홀이 있을 것으로 추정된다.

## 06 허블 상수

허블 상수를 정확하게 결정하기 위해서는 온하까지의 거리가 정확하게 측정되어야 한다. 허블 상수는 온하까지의 거리 결정 방법에 따라 약간의 차이가 있고, 관측 기술의 발달 정도에 따라서 값이 변해왔다.

㉡ A 기간에는 초신성 관측으로 얻은 허블 상수 (가)의 평균값과 우주 배경 복사 관측으로 얻은 허블 상수 (나)의 평균값이 비슷하다. B 기간에는 초신성 관측으로 얻은 허블 상수 (가)의 평균값과 우주 배경 복사 관측으로 얻은 허블 상수 (나)의 평균값의 차가 A 기간보다 크다.

☒. 우주의 나이는  $\frac{1}{H}$  ( $H$ : 허블 상수)로 구할 수 있으므로, 허블 상수가 작을수록 우주의 나이는 많게 계산된다. B 기간에 구한 허블 상수는 (나)가 (가)보다 크므로 우주의 나이는 (나)로 구한 값이 (가)로 구한 값보다 적다.

㉢ 관측 가능한 우주의 크기는  $\frac{c}{H}$  ( $c$ : 빛의 속도,  $H$ : 허블 상수)로 나타내므로, 허블 상수가 작을수록 관측 가능한 우주의 크기는 크게 계산된다. 따라서 관측 가능한 우주의 크기는 (가)로 구한 값이 (나)로 구한 값보다 크다.

## 07 중력 렌즈 현상

퀘이사와 온하가 같은 시선 방향에 있을 경우 퀘이사에서 방출된 빛이 온하의 질량에 의해 굴절되는 중력 렌즈 현상이 일어나고, 이때 온하보다 멀리 있는 퀘이사가 여러 개의 상으로 관측될 수 있다.

㉡ 천체까지의 거리는 A가 B보다 멀다. 거리가 멀수록 적색 편이가 크므로 스펙트럼에 나타난 흡수선의  $\frac{\text{파장 변화량}}{\text{고유 파장}}$ 은 A가 B 보다 크다.

㉡ B의 중력 렌즈 작용에 의해 A에서 방출된 빛이 휘어져 A가 관측자에게 여러 개의 상으로 관측될 수 있다.

- ◎ 중력 렌즈 현상은 B에 의해 나타나므로 B의 질량이 클수록 A에서 방출된 빛의 굴절이 크게 일어나  $\theta$ 가 커진다.

## 08 우주의 투명도와 우주 배경 복사

우주 배경 복사는 우주의 나이가 약 38만 년일 때 방출되어 현재 모든 방향에서 거의 같은 세기로 관측된다.

◎ 빅뱅 우주론에 따르면 초기 우주는 매우 뜨거운 상태였기 때문에 원자핵과 전자가 분리된 상태로 뒤섞여 있어 빛이 자유롭게 진행할 수 없었다. 빅뱅 후 약 38만 년이 지났을 때 우주가 충분히 식게 되자 원자핵과 전자가 결합해 중성 원자가 만들어지면서 우주는 투명해졌다.

☒ 빅뱅 후 약 3분이 지났을 때 양성자와 중성자가 결합하여 헬륨 원자핵이 생성되었다. 따라서 헬륨 원자핵은 A 시기 이전부터 생성되었다.

☒ 우주의 나이가 약 38만 년일 때(A 시기) 우주가 투명해지면서 우주 배경 복사가 방출되었고, 이후 우주가 팽창하면서 온도가 낮아졌다. A 시기에 우주의 온도는 약 3000 K으로 현재 우주의 온도 약 2.7 K보다 높았으므로 우주 배경 복사의 파장은 현재가 A 시기보다 길다.

## 09 우주의 구성 요소

플랑크 우주 망원경의 관측 자료에 따르면 현재 우주의 구성 요소는 보통 물질이 약 4.9%, 암흑 물질이 약 26.8%, 암흑 에너지가 약 68.3%이다. A는 암흑 물질, B는 보통 물질, C는 암흑 에너지이다.

☒ 우리은하에서 암흑 물질(A)의 분포는 은하 회전 속도 곡선으로부터 알 수 있다. 관측 가능한 보통 물질만을 고려한 은하 회전 속도와 실제 관측한 은하 회전 속도를 비교하면 은하 중심부에서는 예상값과 관측값이 거의 같게 나타나지만 은하 외곽에서는 은하 중심으로부터의 거리가 멀어질수록 회전 속도가 감소할 것이라는 예상과 달리 회전 속도가 거의 일정하게 유지되는 것으로 관측된다. 이는 전자기파로 관측되지 않는 암흑 물질이 은하 원반과 해일로에 분포하고 있음을 의미한다.

◎ B는 별과 은하 등을 이루는 보통 물질로 전자기파를 이용하여 관측 가능하다.

☒ 암흑 에너지(C)의 밀도는 시간에 관계없이 일정하다. 우주가 팽창함에도 불구하고 암흑 에너지의 밀도가 일정하다는 것은 암흑 에너지의 총량이 점점 증가하고 있다는 것을 의미한다. 따라서 우주 구성 요소에서 암흑 에너지가 차지하는 비율은 점점 증가한다.

## 10 허블 법칙

외부 은하의 후퇴 속도( $v$ )와 흡수선의 파장 변화량( $\Delta\lambda$ ) 사이에는  $\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{v}{c}$  ( $\lambda_0$ : 고유 파장,  $c$ : 빛의 속도)의 관계가 성립하며,

허블 법칙을 만족하면 거리( $r$ )가 멀수록 후퇴 속도( $v$ )가 빠르다.

$$v = H \times r \quad (H: 허블 상수)$$

☒ B에서 관측한 A의 스펙트럼에서 ⑦과 ⑧의 파장 변화량 ⑨, ⑩는 다음의 관계를 만족한다.

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{\textcircled{a}}{480 \text{ nm}} = \frac{\textcircled{b}}{600 \text{ nm}}$$

따라서  $\frac{\textcircled{a}}{\textcircled{b}} = \frac{4}{5}$ 이다.

☒ A에서 200 Mpc 떨어져 있는 B의 후퇴 속도가 14000 km/s 이므로 허블 상수는 다음과 같다.

$$H = \frac{v}{r} = \frac{14000 \text{ km/s}}{200 \text{ Mpc}} = 70 \text{ km/s/Mpc}$$

☒ B에서 관측한 C의 후퇴 속도는 다음과 같다.

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \times c = \frac{70 \text{ nm}}{600 \text{ nm}} \times 3 \times 10^5 \text{ km/s} = 35000 \text{ km/s}$$

은하까지의 거리( $r$ )는 후퇴 속도( $v$ )에 비례하므로, B와 C 사이의 거리는 500 Mpc이다. A와 B 사이의 거리가 200 Mpc, A와 C 사이의 거리가 300 Mpc이므로 은하들은 B-A-C의 순서로 일직선상에 위치한다. 따라서 B에서 볼 때 A와 C는 같은 시선 방향에 위치한다.

## 11 빅뱅 우주론과 정상 우주론

빅뱅 우주론에서는 우주가 팽창하면서 밀도가 작아지고, 정상 우주론에서는 우주가 팽창하면서 생겨난 공간에 새로운 물질이 계속 생성되어 밀도가 일정하게 유지된다. (가)는 정상 우주론, (나)는 빅뱅 우주론에 해당한다.

☒ 빅뱅 우주론과 마찬가지로 정상 우주론에서도 공간의 팽창에 의해 어느 두 은하 사이의 거리는 점점 멀어진다. (가)에서 A와의 거리는 팽창 이전의 B와 ⑦이 같으므로 ⑦은 B에 해당하지 않는다.

☒ 빅뱅 우주론에서는 우주 배경 복사가 방출된 후 우주가 팽창하는 동안 온도가 낮아져 현재 약 2.7 K인 복사로 관측된다고 설명한다. 정상 우주론에서는 우주가 팽창하는 동안 우주의 온도는 일정해야 하는데 우주 배경 복사는 과거 우주의 온도가 현재보다 높았다는 것을 의미하므로 모순이 발생한다. 따라서 우주 배경 복사의 존재는 (나)에서만 설명이 가능하다.

☒ 빅뱅 우주론과 정상 우주론 모두 어느 두 은하 사이의 거리는 점점 멀어지므로 빅뱅 우주론과 정상 우주론 모두 은하들 사이에 허블 법칙이 성립한다.

## 12 팽창 우주 모형

우주는 약 138억 년 전에 빅뱅으로 탄생하였고, 빅뱅 후 약  $10^{-36}$  ~  $10^{-34}$  초에 급팽창하였다. 이후에 팽창 속도가 감소하다가 수십 억 년 전부터 암흑 에너지에 의해 팽창 속도가 증가하였다. A는 빅뱅 직후의 급팽창과 현재의 가속 팽창이 모두 포함된 팽창 우주 모형이고, B는 초기 우주부터 현재까지 팽창 속도가 일정한 초기

빅뱅 우주 모형이다.

☒. 우주의 구성 요소 중 중력으로 작용하는 물질의 밀도는 시간이 지날수록 감소하고, 척력으로 작용하는 암흑 에너지의 밀도는 시간에 관계없이 일정하다. 따라서 A에서 암흑 에너지의 밀도는 ⑦ 시 물질의 밀도 기가 현재보다 작다.

☒. 현재 우주는 곡률이 0에 가까워 거의 완벽하게 평탄한데, 이는 우주의 팽창 속도가 일정한 초기 빅뱅 우주 모형으로는 설명할 수 없고, 빅뱅 직후 우주가 급팽창했다는 이론으로 설명할 수 있다. ⑦ 초기 빅뱅 우주 모형(B)에서는 빅뱅 후 약 3분이 지났을 때 양성자와 중성자가 결합하여 헬륨 원자핵이 생성되었고 이때 수소 원자핵과 헬륨 원자핵의 질량비가 약 3 : 1이라고 설명한다. A는 초기 빅뱅 우주 모형이 설명하지 못하는 우주의 평탄성 문제, 지평선 문제, 자기 훌극 문제를 설명하기 위해 수정된 빅뱅 우주 모형으로 A와 B는 현재 우주에서 수소와 헬륨의 질량비가 약 3 : 1로 관측되는 것을 설명할 수 있다.

### 13 평탄 우주

(가)는 현재 우주의 팽창 속도가 증가하고 있는 가속 팽창 우주이고, (나)는 현재 우주의 팽창 속도가 감소하고 있는 우주이다.

⑦ A와 B는 모두 임계 밀도에 대한 물질 밀도비( $\Omega_m$ )와 임계 밀도에 대한 암흑 에너지 밀도비( $\Omega_A$ )의 합이 1이므로 평탄 우주이다. 따라서 (가)와 (나)는 모두 평탄 우주이다.

⑦ 그림에서 곡선의 기울기는 우주의 팽창 속도에 해당하는데, (가)는 현재 곡선의 기울기가 증가하고 있으므로 우주의 팽창 속도가 증가하고 있는 가속 팽창 우주이다. 우주에서 암흑 에너지는 척력으로 작용하여 공간을 가속 팽창시키는 역할을 하므로 암흑 에너지가 있는 우주 모형인 B가 (가)에 해당한다.

☒. 같은 거리에 있는 은하의 적색 편이는 후퇴 속도에 비례하고, 거리가 같을 때 후퇴 속도는 허블 상수를 클수록 빠르다. 허블 상수는 우주의 팽창 속도에 해당하므로 현재 우주의 허블 상수는 (가)와 (나)에서 같다. 따라서 현재 같은 거리에 있는 은하의 적색 편이는 (가)와 (나)에서 같다.

### 14 암흑 에너지를 고려하지 않은 우주 모형

우주의 미래 모형은 임계 밀도와 우주의 평균 밀도를 비교하여 열린 우주, 평탄 우주, 닫힌 우주로 구분한다. A는 열린 우주, B는 평탄 우주, C는 닫힌 우주에 해당한다.

⑦ 각 우주 모형에서 우주의 나이는 우주의 크기가 0인 시점부터 현재까지의 시간에 해당한다. 따라서 우주의 나이는 A가 가장 많고 C가 가장 적다.

⑦ 현재 우주는 곡률이 0에 가깝다. B는 우주의 평균 밀도가 임계 밀도와 같은 평탄 우주로, 우주의 곡률은 0이다.

⑦ (나)는 삼각형의 내각의 합이 180°보다 크고 곡률이 양(+)인

닫힌 우주, 즉 C의 기하학적 구조를 표현한 것이다.

### 15 우주 구성 요소와 우주의 미래 모형

현재 우주는 약 4.9 %의 보통 물질, 약 26.8 %의 암흑 물질, 약 68.3 %의 암흑 에너지로 구성되어 있다. ⑦은 보통 물질, ⑧은 암흑 물질, ⑨은 암흑 에너지이다.

⑦. 우주 구성 요소 중 물질(⑦+⑧)은 인력으로 작용하여 우주의 팽창 속도를 감소시키는 역할을 한다.

⑧. 우주의 밀도는 물질 밀도( $\rho_7 + \rho_8$ )와 암흑 에너지 밀도( $\rho_9$ )의 합이다. A는 암흑 에너지 밀도가 0이고, 물질 밀도가 임계 밀도보다 작으므로 열린 우주에 해당한다.

☒. 물질 밀도와 암흑 에너지 밀도의 합이 임계 밀도와 같으면 평탄 우주이다. B와 C에서  $\frac{\rho_7 + \rho_8}{\rho_c}$ 과  $\frac{\rho_9}{\rho_c}$ 의 합은 1이다. 즉, 물질 밀도( $\rho_7 + \rho_8$ )와 암흑 에너지 밀도( $\rho_9$ )의 합이 임계 밀도( $\rho_c$ )와 같으므로 B와 C는 모두 평탄 우주에 해당하며, 우주의 곡률은 0으로 같다.

### 16 우주의 미래

$\frac{\rho_m}{\rho_c}$ 와  $\frac{\rho_A}{\rho_c}$ 의 합이 1보다 크면 닫힌 우주, 1보다 작으면 열린 우주, 1이면 평탄 우주이다.

⑦. A는  $\frac{\rho_m}{\rho_c}$ 와  $\frac{\rho_A}{\rho_c}$ 의 합이 1.7이므로 닫힌 우주이고, 양(+)의 곡률을 가진다. 현재 우주는  $\frac{\rho_m}{\rho_c}$ 와  $\frac{\rho_A}{\rho_c}$ 의 합이 1이므로 평탄 우주이고, 우주의 곡률은 0이다. 따라서 우주의 곡률은 A가 현재 우주보다 크다.

⑦. B는  $\frac{\rho_m}{\rho_c}$ 와  $\frac{\rho_A}{\rho_c}$ 의 합이 1이므로 평탄 우주이다.

☒. 현재 우주와 B는 모두 우주의 평균 밀도( $\rho_m + \rho_A$ )와 임계 밀도( $\rho_c$ )가 같은 평탄 우주이지만 현재 우주는 암흑 에너지가 척력으로 작용하여 가속 팽창하는 우주이고, B는 암흑 에너지가 없고 물질만 있으므로 감속 팽창하는 우주이다. 따라서 우주의 팽창 가속도는 현재 우주가 B보다 크다.

### 17 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.

⑦.  $T_1$  시기가  $T_2$  시기보다 먼저인 경우 시간의 흐름에 따라 A의 비율은 감소하고 B와 C의 비율은 증가한다. 이는 우주 구성 요소의 비율 변화 경향과 맞지 않으므로  $T_1$  시기가  $T_2$  시기보다 나중이다. 우주 배경 복사의 파장은 우주가 팽창함에 따라 길어지므로

$T_1$  시기가  $T_2$  시기보다 길다.

☒  $T_2$  시기에 비해  $T_1$  시기에 비율이 증가하는 A가 암흑 에너지이고, 비율이 감소하는 B와 C 중 비율이 더 큰 B가 암흑 물질이며, C는 보통 물질이다. 암흑 에너지(A)는 우주가 팽창하는 동안 비율이 증가하므로 총량은 증가한다.

☒ 항성 질량의 대부분을 차지하는 것은 보통 물질인 C이다.

## 18 우주의 역사

우주의 물질과 에너지가 매우 작고 뜨거운 한 점에 모여 있다가 빅뱅(대폭발)이 일어나면서 우주가 팽창하고 냉각되어 현재와 같은 우주가 형성되었다.

☒ 빅뱅 후 우주의 온도가 약 3000 K이었을 때 중성 원자가 생성되면서 빛이 물질로부터 분리되어 사방으로 퍼져 나간 것이 우주 배경 복사이다. 따라서 물질과 빛은 수소 원자가 생성된 이후에 분리되었다.

◎ A 기간의 우주에서 양성자와 중성자의 개수비는 약 7 : 1이고, 이 중 양성자 2개와 중성자 2개가 결합하여 1개의 헬륨 원자핵이 생성되고 나머지는 양성자(수소 원자핵)로 남았다. 따라서 B 기간에 수소 원자핵과 헬륨 원자핵의 질량비는 약 3 : 1이며, 이는 현재 우주에서 수소와 헬륨의 질량비가 약 3 : 1이라는 관측 결과와 잘 맞는다.

☒ 헬륨보다 무거운 원소들은 대부분 별의 진화 과정에서 생성되었으므로 C 기간보다 나중에 생성되었다.

## 19 우주의 팽창과 적색 편이

빛이 어떤 천체에서 출발하여 다른 천체에 도달할 때까지 우주는 계속 팽창하므로 두 천체 사이의 거리는 계속 달라진다.

◎  $T_2$  시기에 빛이 A에서 출발하여 우리은하에 도달하기까지 우주의 크기는 2배 커졌으므로 이 기간 동안 우주 공간을 이동하는 빛의 파장도 2배로 길어졌다. 빛이 우리은하에 도달할 때 파장이

$\lambda$ 이므로  $T_2$  시기에 A에서 출발한 빛의 파장은  $\frac{\lambda}{2}$ 이다.

◎  $T_2$  시기에 A에서 출발한 빛이 우주 공간을 이동하는 동안 A 와 우리은하 사이에는 새로운 공간이 계속 생성되며 A와 우리은하 사이의 거리는 멀어진다. 이때 빛이 A에서 우리은하까지 이동하는 동안 이미 지나온 공간에서 새로 생성되는 공간은 빛의 이동 거리에 포함되지 않는다. 따라서  $T_2$  시기에 A에서 출발한 빛이 우리은하에 도달하기까지 이동한 거리는 현재 A와 우리은하 사이의 거리보다 짧다.

◎  $T_2$  시기 이후 현재까지 우주는 계속 팽창하고 있으나  $T_2 \sim T_1$  사이에는 감속 팽창,  $T_1 \sim$ 현재 사이에는 가속 팽창하였고, 시간은  $T_1 \sim$ 현재 사이가  $T_2 \sim T_1$  사이보다 길다. 따라서 우주에서 공간이 늘어난 길이는  $T_1 \sim$ 현재 사이가  $T_2 \sim T_1$  사이보다 길고, 빛의 파장 변화량은  $T_1 \sim$ 현재 사이가  $T_2 \sim T_1$  사이보다 크다.

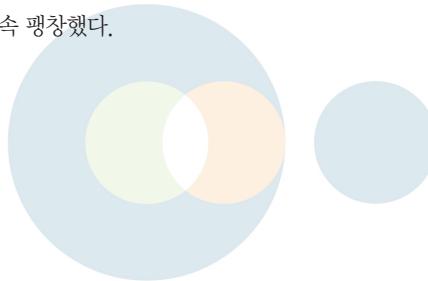
## 20 평탄한 가속 팽창 우주

최근의 관측에서 현재 우주는 평탄하지만 팽창 속도가 점점 증가하는 것으로 밝혀졌다. 이것은 암흑 에너지가 척력으로 작용해 우주를 가속 팽창시키기 때문이며, 임계 밀도에 대한 암흑 에너지의 밀도비는 우주가 팽창함에 따라 증가한다.

◎ 시간에 따라 우주 구성 요소 중 임계 밀도에 대한 암흑 에너지의 밀도비는 점점 증가하고, 물질의 밀도비는 점점 감소한다. 따라서 ①은 물질, ②은 암흑 에너지이다. 현재 우주는 임계 밀도에 대한 물질과 암흑 에너지의 밀도비가 각각 약 0.3과 약 0.7이므로 우주의 평균 밀도는 임계 밀도와 같다. 따라서 이 우주 모형은 평탄 우주에 해당한다.

◎ (나)에서 암흑 에너지(②)의 밀도비와 물질(①)의 밀도비가 같으면 우주는 가속 팽창하는 것을 알 수 있다.

◎ 우주의 크기가 현재의  $\frac{1}{2}$ 배였을 때 임계 밀도에 대한 물질 밀도비는 0.9보다 크고, 암흑 에너지 밀도비는 0.1보다 작다. (나)에서 물질과 암흑 에너지의 밀도비가 이와 같을 때 우주는 감속 팽창 영역에 해당한다. 즉, 우주의 크기가 현재의  $\frac{1}{2}$ 배였을 때 우주는 감속 팽창했다.



### [인용 사진 출처]

- 37p\_조립질 조직: ©Scenics & Science / Alamy Stock Photo  
37p\_세립질 조직: ©José María Barres Manuel / Alamy Stock Photo  
39p\_응회암: ©Susan E. Degginger / Alamy Stock Photo  
39p\_처트: ©Valery Voenmyy / Alamy Stock Photo  
40p\_사총리: ©Gabbro / Alamy Stock Photo  
43p\_판상 질리: ©Sergio Boccardo / Alamy Stock Photo  
44p\_관입암: ©parker1992 / Alamy Stock Photo  
44p\_포획암: ©Karl W. Wegmann / Alamy Stock Photo  
59p\_스트로마톨라이트: ©Corbin17 / Alamy Stock Photo  
59p\_필석: ©Nature Picture Library / Alamy Stock Photo  
60p\_화폐석: ©Natural Visions / Alamy Stock Photo  
60p\_매머드: ©Martin Shields / Alamy Stock Photo  
63p\_에디아카라 돌물군 화석: ©Zeytin Travel Images / Alamy Stock Photo  
123p\_빙하 시추물: ©Daniel J. Cox / Alamy Stock Photo  
124p\_피나투보 화산: ©David Hodges / Alamy Stock Photo

## 01 판 구조론과 대륙 분포의 변화

### 수능 2점 테스트

본문 13~15쪽

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

### 수능 3점 테스트

본문 16~21쪽

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

## 03 퇴적암과 지질 구조

### 수능 2점 테스트

본문 45~47쪽

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

### 수능 3점 테스트

본문 48~53쪽

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

## 02 판 이동의 원동력과 마그마 활동

### 수능 2점 테스트

본문 29~31쪽

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

### 수능 3점 테스트

본문 32~37쪽

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

## 04 지구의 역사

### 수능 2점 테스트

본문 61~64쪽

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

### 수능 3점 테스트

본문 65~71쪽

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

## 05 대기의 변화

### 수능 2점 테스트

본문 85~89쪽

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

### 수능 3점 테스트

본문 90~99쪽

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

## 07 대기와 해양의 상호 작용

### 수능 2점 테스트

본문 128~131쪽

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

### 수능 3점 테스트

본문 132~139쪽

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

## 06 해양의 변화

### 수능 2점 테스트

본문 108~111쪽

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

### 수능 3점 테스트

본문 112~119쪽

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

## 08 별의 특성

### 수능 2점 테스트

본문 154~159쪽

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

### 수능 3점 테스트

본문 160~171쪽

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

## 09 외계 행성계와 외계 생명체 탐사

### 수능 2점 테스트

본문 178~179쪽

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

### 수능 3점 테스트

본문 180~183쪽

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

## 10 외부 은하와 우주 팽창

### 수능 2점 테스트

본문 194~198쪽

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

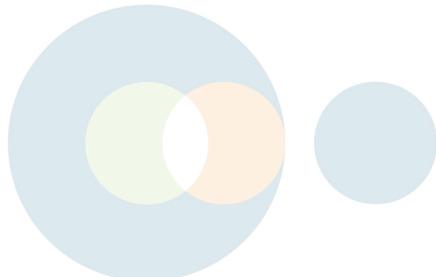
### 수능 3점 테스트

본문 199~208쪽

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

EBSi

EBSi



# ○ 고2~N수, 수능 집중

구분	수능 입문	> 기출/연습	>	연계 + 연계 보완	>	고난도	>	모의고사
국어	윤혜정의 개념/ 패턴의 나비효과 — <b>기본서</b> 수능 빌드업	윤혜정의 기출의 나비효과 — <b>강의노트</b> 수능특강 Light — 수능 감(感)잡기	윤혜정의 기출의 나비효과 — <b>수능</b> 기출의 미래 — 수능 기출의 미래 미니모의고사	수능특강 문학 연계 기출 — 수능연계교재의 VOCA 1800 — 수능연계 기출 Vaccine VOCA 2200 — <b>수능 연계교재</b> 수능특강 수능완성 — <b>eBook 전용</b> 수능완성R 모의고사 — 수능 등급을 올리는 변별 문항 공략	수능특강 사용설명서 — 수능완성 사용설명서 — <b>수능연계성 3주 특강</b> — 박봄의 사회·문화 표 분석의 패턴 —	하루 3개 1등급 국어독서 — 하루 6개 1등급 영어독해 — <b>수능연계성 3주 특강</b> — 박봄의 사회·문화 표 분석의 패턴 —	FINAL 실전모의고사 — 만점마무리 봉투모의고사 시즌1 — 만점마무리 봉투모의고사 시즌2 — 만점마무리 봉투모의고사 고난도 Hyper — 수능 직전보강 클리어 봉투모의고사	
영어	—	—	—	—	—	—	—	—
수학	—	—	—	—	—	—	—	—
한국사 사회	—	—	—	—	—	—	—	—
과학	—	—	—	—	—	—	—	—

구분	시리즈명	특징	난이도	영역
수능 입문	윤혜정의 개념/패턴의 나비효과	윤혜정 선생님과 함께하는 수능 국어 개념/패턴 학습	—	국어
	수능 빌드업	개념부터 문항까지 한 권으로 시작하는 수능 특화 기본서	—	국/수/영
	수능 스타트	2028학년도 수능 예시 문항 분석과 문항 연습	—	사/과
	수능 감(感) 잡기	동일 소재·유형의 내신과 수능 문항 비교로 수능 입문	—	국/수/영
	수능특강 Light	수능 연계교재 학습 전 가볍게 시작하는 수능 도전	—	영어
	수능개념	EBS i 대표 강사들과 함께하는 수능 개념 다지기	—	전 영역
기출/연습	윤혜정의 기출의 나비효과	윤혜정 선생님과 함께하는 까다로운 국어 기출 완전 정복	—	국어
	수능 기출의 미래	올해 수능에 딱 필요한 문제만 선별한 기출문제집	—	전 영역
	수능 기출의 미래 미니모의고사	부담 없는 실전 훈련을 위한 기출 미니모의고사	—	국/수/영
	수능특강Q 미니모의고사	매일 15분 연계교재 우수문항 풀이 미니모의고사	—	국/수/영/사/과
	수능완성R 모의고사	과년도 수능 연계교재 수능완성 실전편 수록	—	수학
	—	최신 수능 경향과 기출 유형을 반영한 종합 개념 학습	—	전 영역
연계 + 연계 보완	수능특강	수능 연계교재 수능특강의 국어·영어 지문 분석	—	국/영
	수능특강 사용설명서	수능특강 수록 작품과 연관된 기출문제 학습	—	국어
	수능특강 문학 연계 기출	유형·테마 학습 후 실전 모의고사로 문항 연습	—	전 영역
	수능완성	수능 연계교재 수능완성의 국어·영어 지문 분석	—	국/영
	수능완성 사용설명서	출제 가능성이 높은 핵심 간접연계 대비	—	영어
	수능 영어 간접연계 서치라이트	수능특강과 수능완성의 필수 중요 어휘 1800개 수록	—	영어
고난도	수능연계교재의 VOCA 1800	수능특강과 수능완성의 필수 중요 어휘 1800개 수록	—	영어
	수능연계 기출 Vaccine VOCA 2200	수능 - EBS 연계와 평가원 최다 빈출 어휘 선별 수록	—	영어
	하루 N개 1등급 국어독서/영어독해	매일 꾸준한 기출문제 학습으로 완성하는 1등급 실력	—	국/영
	수능연계성 3주 특강	단기간에 끝내는 수능 1등급 변별 문항 대비	—	국/수/영
모의고사	박봄의 사회·문화 표 분석의 패턴	박봄 선생님과 사회·문화 표 분석 문항의 패턴 연습	—	사회탐구
	수능 등급을 올리는 변별 문항 공략	EBS 선생님이 직접 선별한 고변별 문항 연습	—	수/영
	FINAL 실전모의고사	EBS 모의고사 중 최다 분량 최다 과목 모의고사	—	전 영역
	만점마무리 봉투모의고사 시즌1/시즌2	실제 시험지 형태와 OMR 카드로 실전 연습 모의고사	—	전 영역
—	만점마무리 봉투모의고사 고난도 Hyper	고난도 문항까지 국·수·영 논스톱 훈련 모의고사	—	국·수·영
	수능 직전보강 클리어 봉투모의고사	수능 직전 성적을 끌어올리는 마지막 모의고사	—	국/수/영/사/과