

과학탐구영역

# 지구과학 I



답은 끝 문제로 유형 익히기

본문 006쪽

정답 ③

예설 | 지괴는 200 Ma~50 Ma 동안 저위도로 이동하였다가 50 Ma부터 현재까지 고위도로 이동하여 현재 30°S 부근에 위치한다.

✗. 지질 시대 동안 지리상 남극의 위치는 변하지 않았으며, 현재 지자기 남극과 지리상 남극은 일치한다. 따라서 50 Ma부터 현재까지 지괴는 고위도로 이동하였다.

✗. 고지자기극의 위도 변화는 100 Ma~50 Ma가 50 Ma~현재보다 작다. 따라서 지괴는 100 Ma~50 Ma가 50 Ma~현재보다 느리게 이동하였다.

ⓐ. 고지자기 북극의 절댓값은 지괴가 고위도에 위치할수록 크다. 즉, 지괴와 고지자기극 사이의 위도 차가 작을수록 고지자기 북극의 절댓값이 크다. 지괴와 고지자기극 사이의 위도 차는 150 Ma가 200 Ma보다 크다. 따라서 고지자기 북극의 절댓값은 150 Ma에 생성된 암석이 200 Ma에 생성된 암석보다 작다.

수능 2점 테스트

본문 007~009쪽

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

01 판 구조론의 정립

예설 | (가)는 대륙 이동설, (나)는 해저 확장설, (다)는 맨틀 대류설이다.

✗. 판게아는 고생대 말에 형성된 초대륙이다.

ⓑ. 고지자기 줄무늬가 해령의 열곡과 거의 나란하며 해령을 축으로 대칭적으로 분포하는 것은 해저 확장설의 증거이다.

✗. 흄스는 맨틀 내의 방사성 원소의 붕괴열과 고온의 지구 중심부에서 맨틀로 공급되는 열에 의해 맨틀 상하부의 온도 차가 발생한다고 설명했다.

02 대륙 이동의 증거

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

㉠. (가) 지질 구조의 연속성과 (나) 빙하의 흔적은 모두 베게너가 제시한 대륙 이동의 증거이다.

✗. 북아메리카의 애팔래치아산맥과 유럽의 칼레도니아산맥의 분포가 연속성을 가지는 이유는 이들 산맥이 판게아의 형성 과정에서 형성되었기 때문이다. 따라서 (가)에서 산맥의 형성 시기는 판게아의 형성 시기(고생대 말)와 같으므로, 히말라야산맥의 형성 시기(신생대)와는 큰 시간 간격이 있다.

✗. (나)에서 빙하의 이동 흔적은 판게아가 존재했던 고생대 말에 형성되었다. 즉, 남극 대륙의 빙하가 녹아 주변으로 이동하는 과정에서 빙하의 이동 흔적이 형성된 것이다. 빙하의 이동 흔적과 대륙의 이동은 직접적인 관련이 없다.

03 음향 측심법

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

$$\text{수심}(d) = \frac{1}{2}vt$$

해역 A는 A<sub>3</sub> 지점에서 수심이 7425 m이므로 A<sub>3</sub> 지점 부근에 해구가 나타나고, 해역 B는 B<sub>3</sub> 지점에서 수심이 3225 m이므로 B<sub>3</sub> 지점 부근에 해령이 나타난다.

✗. 해역 A에는 해구가 존재한다. 열곡은 해역 B에 존재한다.

㉠. 해역 B에서 B<sub>3</sub> 지점 부근에 해령이 존재하기 때문에 맨틀의 상승에 따른 해양판의 확장을 고려할 때, 판의 두께는 B<sub>1</sub>보다 B<sub>3</sub>에서 얇다.

✗. 해역 A에는 해구가 발달하고, 해역 B에는 해령이 발달한다. 해역 B에서 화산 활동은 판의 경계인 해령에서 활발하게 일어나지만, 해역 A에서 화산 활동은 판의 경계인 해구 부근에서 밀도가 작은 판 쪽에 호상 열도가 형성되는 곳에서 활발하게 일어난다.

04 해저 확장과 고지자기 줄무늬

예설 | 해령을 축으로 고지자기 줄무늬가 대칭을 이루는 것은 해령에서 새로운 해양 지각이 생성되면서 해저가 확장되고 이 과정에서 지구 자기의 역전 현상이 반복적으로 일어났기 때문이다.

✗. 해령을 기준으로 A가 포함된 판이 B가 포함된 판보다 같은 시간 동안 더 먼 거리를 확장했으므로, 해령을 축으로 판이 확장되는 속력은 A가 포함된 판보다 B가 포함된 판이 느리다.

㉠. C의 해양 지각은 600만 년 전에 이미 생성되어 있었으므로, C에서 해양 지각의 절대 연령은 600만 년보다 많다.

㉡. 해령을 축으로 고지자기 줄무늬가 대칭을 이루는 것은 해령을 중심으로 해저가 확장되었기 때문이다. 따라서 고지자기 분포는 해저 확장의 증거이다.

05 맨틀 대류설

예설 | 흄스는 맨틀의 열대류가 대륙 이동의 원동력이라고 주장하였다.

㉠. 흄스의 맨틀 대류설에서는 지각 아래에 고체 상태이지만 유동성이 있는 맨틀이 있으며, 이 맨틀의 상부와 하부의 온도 차에 의해 열대류가 일어난다고 설명한다.

✗. 흄스가 맨틀 대류설을 발표할 당시에는 변환 단층이 발견되지 않았다. 변환 단층은 판 구조론의 정립 과정에서 해저 확장설 발표 이후에 발견되었다.

㉡. 흄스의 맨틀 대류설은 대륙 이동의 원동력을 모두 설명하기에 부족했고, 발표 당시에는 흄스의 주장을 뒷받침할만한 결정적인 증거가 없었기 때문에 많은 과학자들에게 받아들여지지 않았다.

06 지구 자기장

예설 | 지질 시대 동안 지구 자기장이 역전되는 현상이 반복되었다. 지

구 자기장의 방향이 현재와 같은 시기를 정자기기(정상기), 현재와 반대인 시기를 역자기기(역전기)라고 한다. (가)는 정자기기(정상기), (나)는 역자기기(역전기)이다.

㉠ (가)는 정자기기(정상기)이므로 지리상 북극과 지자기 북극은 일치한다.

✕ A는 북반구 중위도에 위치한다. 따라서 A에서 나침반 자침의 N극이 수평면과 이루는 각은 0°보다 크고 90°보다 작다.

✕ B는 적도에 위치하고, C는 남반구 고위도에 위치한다. 따라서 북극의 절댓값은 B가 C보다 작다.

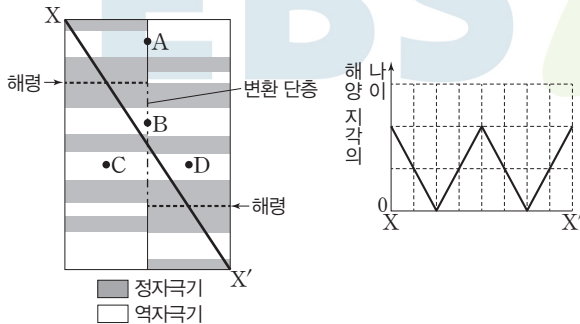
### 07 해저 확장과 지각 연령 분포

예설 | (나)를 통해 X-X' 구간에는 해령이 있으며, 해령을 중심으로 새로운 해양 지각이 생성되어 일정한 속력으로 해저가 확장되고 있음을 알 수 있다.

㉠ A는 지진이 거의 발생하지 않는 단열대에 위치하고 B는 변환 단층에 위치한다. 따라서 지진은 A보다 B에서 자주 발생한다.

㉡ 해저 퇴적물의 퇴적 속도가 일정하다면 해저 퇴적물의 두께는 퇴적물의 퇴적 시간에 비례한다. 즉, 해양 지각의 연령이 많을수록 해저 퇴적물의 두께가 두꺼워진다. 따라서 해저 퇴적물의 두께는 C보다 D에서 얇다.

✕ 해령은 해령축을 기준으로 양쪽에서 잡아당기는 구조적인 힘의 차이 때문에 끊어지며, 이때 변환 단층이 형성된다. 즉, 해령은 서로 다른 두 해양판의 경계이며, 해령과 해령은 변환 단층으로 이어져 있다. 따라서 X-X' 구간에는 서로 다른 해양판이 2개 존재한다.



### 08 잔류 자기

예설 | 마그마가 식어서 굳어질 때 자성 광물은 당시의 지구 자기장 방향으로 자화된다. 그 후 지구 자기장의 방향이 변해도 당시의 자성 광물의 자화 방향은 그대로 보존되는데, 이를 잔류 자기라고 한다. A는 암석이 굳어진 후 자성을 띠는 물질이며, (가)는 광물이 자화되기 전의 상태이고, (나)는 광물이 자화된 후의 상태이다.

㉠ (가)에서 A는 지구 자기장의 방향대로 배열되어 있지 않으므로 광물은 자성을 띠고 있지 않다.

✕ (나)에서 광물은 자화된 상태이므로 A는 지구 자기장의 방향으로 배열되었다.

㉡ 광물이 자화된 상태에서 암석의 잔류 자기 방향을 통해 암석이 생성된 위도와 생성될 당시 지자기극의 위치를 추정할 수 있다.

### 09 대륙의 이동과 고지자기극

예설 | 지질 시대 동안 지리상 극의 위치가 변하지 않았다고 가정하면

고지자기극의 겹보기 이동은 대륙 이동의 증거가 된다. (가)에서 대륙 A와 B의 잔류 자기는 지자기극을 향하며, 지자기극은 지리상 북극과 일치한다. (나)에서는 대륙 A와 B의 이동에 의해 각각의 대륙에서 추정된 1억 년 전 고지자기극의 위치가 변하였다.

✕ (나)에서 A와 B의 1억 년 전 고지자기극의 위치를 지리상 북극과 비교하면 (가) → (나) 과정에서 A는 저위도로, B는 고위도로 이동하였다.

㉠ 암석이 생성될 때 같은 시기에 형성된 암석에 기록된 잔류 자기 방향은 그 시기의 지자기극으로 수렴한다.

㉡ ㉠은 A와 B의 충돌이 일어난 경계이므로 ㉠에는 습곡 산맥이 발달할 것이다.

### 10 초대륙의 분리

예설 | 초대륙은 분리되었다가 합쳐져 새로운 초대륙을 형성하고 다시 분리되는 과정이 되풀이된다.

✕ (가) → (나) 과정에서 초대륙은 분리되고 판의 발산형 경계가 만들어진다. 판의 발산형 경계가 만들어지는 곳에서 분리되는 대륙판은 두께가 얇아진다.

㉠ 대륙의 분리가 일어나면 분리된 대륙과 대륙 사이에 열곡대가 발달한다.

㉡ 해저가 확장되는 중심축 부근에는 해령이 발달한다. 해령에서는 양쪽에서 잡아당기는 장력에 의해 정단층이 발달한다.

### 11 대륙 이동과 북극의 변화

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

✕ 대륙은 A가 생성된 이후 B가 생성될 때까지 저위도로 이동하였으며, C가 생성된 이후 D가 생성될 때까지 고위도로 이동하였다.

㉠  $t_1 \sim t_2$  시기와  $t_3 \sim t_4$  시기의 북극 변화량은 같지만, 위도 변화량은  $t_1 \sim t_2$  시기가  $t_3 \sim t_4$  시기보다 크다.

✕  $t_2$  시기에 대륙은 20°S 부근에 위치했으며,  $t_3$  시기에 대륙은 10°N 부근에 위치했다. 따라서  $t_2$  시기와  $t_3$  시기의 위도 차는 약 30°이다.

### 12 섭입대

예설 | 판의 섭입이 일어나는 수렴형 경계 부근에서는 밀도가 큰 해양판이 밀도가 작은 판 아래로 섭입하면서 섭입대가 형성된다. 이때 판의 수렴형 경계는 섭입하는 판의 깊이가 0 km인 곳에 위치한다.

㉠ A 지점에서 B 지점으로 갈수록 섭입하는 판의 깊이가 깊어지므로 ㉠이 ㉡ 아래로 섭입하고 있다. 따라서 판의 밀도는 ㉠이 ㉡보다 크다.

㉡ 섭입하는 판의 깊이가 0 km인 곳은 판의 수렴형 경계로 해구가 존재한다. 따라서 A 지점과 B 지점 사이에는 해구가 존재한다.

㉢ 섭입하는 판의 깊이가 0 km인 곳으로부터의 거리는 A 지점이 B 지점보다 가까우므로, 판의 경계로부터의 거리는 A 지점이 B 지점보다 가깝다.

- 01 ②      02 ③      03 ③      04 ④      05 ①  
 06 ⑤      07 ②      08 ⑤

### 01 해저 확장과 고지자기 줄무늬

**예설** | 해령을 축으로 고지자기 줄무늬가 대칭적으로 나타나면 해령에서 새로운 해양 지각이 생성되어 해저가 확장되는 속력은 해령 양쪽의 판이 동일하다. 정자극기는 지구 자기장의 방향이 현재와 같은 시기이며, 정자극기의 고지자기 방향은 언제나 북쪽을 향한다.

✗ 현재 해령의 축은 동서 방향으로 발달하고 있으며 A는 B보다 남쪽에 위치한다. 해령이 일정한 속력으로 북상하고 있으므로 A는 B보다 남쪽에서 생성되었다. 따라서 A와 B의 고지자기 북극은 다르다.

㉠ B, C가 포함된 해양판의 평균 확장 속력은 각각 해령을 기준으로 3 cm/년이다. 해령이 1 cm/년의 속력으로 북상하고 있으므로 B가 포함된 판의 평균 이동 속력은 2 cm/년, C가 포함된 판의 평균 이동 속력은 4 cm/년이다. 따라서 판의 평균 이동 속력은 B가 포함된 판보다 C가 포함된 판이 빠르다.

✗ 최근 2백만 년 동안 고지자기 줄무늬 간격이 일정하지 않으므로, 지구 자기장의 역전 주기는 일정하지 않았다.

### 02 음향 측심법

**예설** | 해수면에서 해저면을 향해 초음파를 발사하면 초음파는 해저면에 반사되어 되돌아온다. 이때 초음파가 반사되어 되돌아오는 데 걸리는 시간을 이용하여 해저 지형의 높낮이를 측정할 수 있다. 초음파의 속력이  $v$ , 해수면에서 발사한 초음파가 해저면에 반사되어 되돌아오는 데 걸리는 시간이  $t$ 라면 수심  $d$ 는 다음과 같다.

$$\text{수심}(d) = \frac{1}{2}vt$$

✗ 초음파의 왕복 시간을 고려할 때, 해구는 관측 시작점으로부터의 거리가 약 400 km인 지점에 위치하며, 해령의 열곡은 관측 시작점으로부터의 거리가 약 1700 km인 지점에 위치한다. 따라서 ㉠과 ㉡은 서로 다른 해양판에 위치하고, ㉢과 ㉣은 같은 해양판에 위치한다.

✗ ㉠과 ㉢ 사이에서 초음파의 왕복 시간이 가장 짧은 곳의 수심이 가장 얇다. ㉠과 ㉢ 사이에서 초음파 왕복 시간의 최솟값은 약 3.5초이므로 최소 수심은 약 2625 m이다.

㉤ 해령의 열곡으로부터의 거리는 ㉢이 ㉣보다 멀다. 따라서 해양 지각을 이루는 암석의 평균 연령은 ㉢이 ㉣보다 적다.

### 03 섭입대

**예설** | 판의 섭입이 일어나는 수렴형 경계 부근에서 섭입대는 밀도가 작은 판 하부에 형성되어 있으며, 해구에서 밀도가 작은 판 쪽으로 갈수록 섭입하는 판의 깊이는 깊어진다. 섭입대의 분포를 고려할 때 판 ㉠, ㉡, ㉢의 밀도는 ㉠ < ㉡ < ㉢이다.

㉠ ㉠과 ㉢이 ㉠ 아래로 섭입하므로 ㉠이 대륙판임을 알 수 있다.

㉡ 판의 하부에 섭입대가 발달하면 섭입대를 따라 지진이 많이 발생한다. ㉡은 ㉠ 아래로 섭입하지만 ㉢에 의해 섭입당하고 있다. 따라서

㉢에서 지진은 판의 서쪽보다 동쪽에서 많이 발생한다.

✗ 섭입대의 수평 거리에 대한 수직 거리를 비교할 때 섭입하는 판의 기울기는  $a-a'$  구간보다  $c-c'$  구간이 크다.

### 04 대륙의 이동과 고지자기극의 겹보기 이동

**예설** | 지질 시대 동안 지리상 남극의 위치가 변하지 않았다고 가정하면 고지자기극의 겹보기 이동은 대륙 이동의 증거이다. 지괴 A는 40 Ma~0 Ma 동안 60°S 부근에서 적도 쪽으로 이동하였고, 지괴 B는 80 Ma~0 Ma 동안 북반구 중위도 지역에서 적도를 거쳐 현재 위치로 이동하였다.

㉠ A는 40 Ma일 때 55°S 부근에 위치하였으며, 20 Ma일 때 40°S 부근에 위치하였다. 따라서 A는 40 Ma일 때가 20 Ma일 때보다 남쪽에 위치하였다.

✗ B는 80 Ma~0 Ma 동안 북반구 중위도 지역에서 적도를 거쳐 현재 위치로 이동하였다. 따라서 B는 80 Ma~0 Ma 동안 저위도로 이동하였다가 고위도로 이동하였다.

㉢ 60 Ma에 A는 55°S 부근에 위치하였고, B는 20°N 부근에 위치하였다. 따라서 60 Ma에 A와 B의 위도 차는 60°보다 크다.

### 05 판의 경계와 해양 지각의 연령

**예설** | 해령에서 멀어질수록 해양 지각의 연령은 증가한다. 해령을 축으로 새로운 판이 생성되어 확장되는 속력은 해령마다 차이가 있다.

㉠ 지점 a에서 a'으로 갈수록 해양 지각의 연령이 증가하고 있으며, 지점 b에서 b'으로 갈수록 해양 지각의 연령이 감소하고 있다. 따라서 지점 a'과 b 사이에는 수렴형(섭입형) 경계가 발달하며, 해구가 존재한다.

✗ 해저 퇴적물의 퇴적 속도가 일정하다고 가정할 때 해저 퇴적물의 두께는 해저 퇴적물의 퇴적 시간에 비례하므로 해양 지각의 연령과 비례 관계이다. 지점 a와 a'의 해양 지각 연령 차는 지점 b와 b'의 해양 지각 연령 차보다 작으므로, 지점 a와 a'의 해저 퇴적물 두께 차는 지점 b와 b'의 해저 퇴적물 두께 차보다 작다.

✗ 판이 확장되는 속력은 해양 지각의 연령 분포로 해석할 수 있다.  $a-a'$  구간과  $b-b'$  구간의 거리가 같을 때, 해양 지각의 연령 차가 상대적으로 작은  $a-a'$  구간이  $b-b'$  구간보다 판이 확장되는 속력이 빠르다.

### 06 대륙 분포의 변화

**예설** | 현재 판의 이동 방향 및 이동 속력을 바탕으로 미래의 판의 경계와 대륙 분포를 추정할 수 있다.

㉠ 예측 모형에 의하면 5천만 년 후에는 유럽과 아프리카 대륙이 충돌하여 하나의 대륙이 되며, 이 과정에서 지중해가 사라진다.

㉡ 전체 해안선의 길이는 대륙들이 분리되어 있을 때보다 초대륙이 형성된 시기에 상대적으로 짧다. 대륙들의 분포를 고려할 때 (나)보다 (다)에서 대륙들이 많이 붙어 있으므로 전체 해안선의 길이는 (나)가 (다)보다 길다.

㉢ (나)에서 대서양은 점차 좁아져 (다)와 같은 상태로 변하게 된다. 따라서 A에는 수렴형 경계가 발달한다.

### 07 대륙의 이동과 고지자기 복각

**예설** | 화산암체가 이동할 때 고지자기 복각의 변화를 통해 화산암체의 위도 변화에 대한 정보를 얻을 수 있고, 고지자기로 추정된 지리상 북극 방향의 변화를 통해 화산암체의 회전에 대한 정보를 얻을 수 있다. 최근에 만들어진 화성암의 고지자기 복각의 절댓값이 클수록 화산암체의 위도가 높다.

✗. (가)에서 화성암의 고지자기 복각은 정자극기에 (+) 값이고 역자극기에 (-) 값이므로, 이 화산암체는 계속 북반구에 위치하였다.

✗. (가)에서 암석의 절대 연령과 복각의 절댓값 변화를 비교할 때 화성암 B가 생성된 이후부터 화성암 A가 생성될 때까지의 평균 이동 속력이 화성암 C가 생성된 이후부터 화성암 B가 생성될 때까지의 평균 이동 속력보다 빠르다. 따라서 이 화산암체의 이동 속력이 점차 느려지고 있다고 할 수 없다.

㉠. C 시기에 비해 A 시기에 고지자기로 추정된 지리상 북극 방향이 시계 방향으로 회전한 위치를 향하고 있으므로, 이 화산암체는 지리상 북극 방향에 대해 시계 반대 방향으로 회전한 적이 있다.

### 08 해저 지형

**예설** | 해령에서 멀어질수록 해양 지각의 연령이 많아지고 수심이 깊어진다. 해령을 축으로 해양 지각이 생성되어 확장되는 속력은 해령마다 차이가 있다.

㉠. ㉠과 ㉡에서 해양 지각을 이루는 암석의 생성 시기는 같다. 즉, 암석이 생성될 당시 ㉠과 ㉡의 암석에 기록된 잔류 자기 방향은 지구 자기장 방향과 나란하며 하나의 점(지자기극)으로 수렴한다.

㉡. A에서 해양 지각의 평균 확장 속력은 약  $2\left(=\frac{1.2 \times 10^8}{6 \times 10^7}\right)$  cm/년.

B에서 해양 지각의 평균 확장 속력은 약  $12\left(=\frac{1.2 \times 10^8}{10^7}\right)$  cm/년이다. 따라서 A와 B에서 각각의 해령을 축으로 한 해양 지각의 평균 확장 속력의 차는 약 10 cm/년이다.

㉢. 같은 시기에 형성된 고지자기 줄무늬의 폭은 해령에서 새로운 해양 지각이 생성되어 해저가 확장되는 속력이 빠른 대양일수록 넓다. 즉, B가 A보다 같은 시기에 형성된 고지자기 줄무늬의 폭이 넓다. 한편 (가)에서 해령으로부터의 거리에 따른 수심 변화량은 A가 B보다 크다. 따라서 B는 A보다 같은 시기에 형성된 고지자기 줄무늬의 폭은 넓지만 해령으로부터의 거리에 따른 수심 변화량은 작다.

## THEME 02

### 판 이동의 원동력과 마그마 활동

짧은 꼬 문제로 유형 익히기

본문 016쪽

#### 정답 ②

**예설** | (가)에서는 두 대륙판이 충돌하여 습곡 산맥이 형성되며, (나)와 (다)에서는 밀도가 큰 해양판이 섭입하여 해구가 발달한다.

✗. (가)에서는 대륙판과 대륙판이 수렴하므로 섭입대가 발달하지 않으며, (가)의 판 경계 부근에서는 화산 활동이 거의 일어나지 않는다.

㉠. (나)에서는 해양판이 대륙판 아래로 섭입하며, 해양판에는 섭입대에서 잡아당기는 힘이 작용한다.

✗. (다)에서 수렴하는 두 해양판 중 밀도가 더 큰 판이 섭입하며, 섭입하는 해양 지각에서 연약권으로 물이 공급되면 연약권 물질의 용융점이 낮아져 마그마가 생성될 수 있다. 한편 압력 감소에 의해 맨틀 물질의 용융이 일어나는 곳은 해령 하부 또는 열점이다.

#### 수능 2점 테스트

본문 017~018쪽

01 ④	02 ③	03 ①	04 ①	05 ①
06 ⑤	07 ②	08 ①		

### 01 맨틀 대류

**예설** | 맨틀은 고체 상태이지만 온도가 높으므로 유동성이 있고 매우 느리게 대류가 일어난다.

✗. A의 하부에서는 맨틀 대류가 상승하므로 A에서는 발산형 경계인 해령이 발달한다.

㉠. 섭입대에서 침강하는 판은 판을 섭입대 쪽으로 잡아당긴다. 따라서 B에서는 섭입대에서 판을 잡아당기는 힘이 작용한다.

㉢. 이 맨틀 대류 모형을 이용하여 맨틀 대류 상승부인 해령에서 새로운 해양 지각이 만들어지고 해양저가 확장되며, 맨틀 대류 하강부인 해구에서 오래된 해양 지각이 섭입되어 소멸하는 것을 설명할 수 있다.

### 02 플룸의 이동

**예설** | 플룸은 맨틀에서 주위보다 온도가 낮거나 높은 기둥 모양의 부분으로, 차가운 플룸과 뜨거운 플룸이 있다.

㉠. A는 주변의 맨틀보다 상대적으로 온도가 낮고 밀도가 커서 아래로 가라앉는 차가운 플룸이다.

㉡. B는 주위보다 온도가 높고 밀도가 작아 맨틀 물질이 상승하는 뜨거운 플룸이다. 뜨거운 플룸은 맨틀과 외핵의 경계 부근에서 상승하면서 생성된다.

✗. 지구 내부에서 주위보다 온도가 낮고 밀도가 큰 곳은 상대적으로 지진파의 속도가 빠르다. 따라서 같은 깊이에서 지진파의 속도는 B(뜨거운 플룸)보다 A(차가운 플룸)에서 빠르다.

### 03 하와이 열도와 열점

**예설** | 하와이 열도는 열점에 의한 화산 활동과 판의 운동에 의해 형성되었다.

㉠ 태평양판은 북서쪽으로 이동하고 있다. 따라서 태평양판을 확장시키는 해령은 하와이 열도의 남동쪽 방향에 위치하며, 해령으로부터의 거리는 카우아이섬이 하와이섬보다 멀다.

✗ 하와이 열도가 포함된 태평양판은 북서쪽으로 이동하지만 하와이섬 하부에 위치한 열점은 이동하지 않는다.

✗ 하와이 열도를 이루는 화산섬은 모두 고정된 열점에서 마그마가 분출하여 형성되었다. 따라서 화산섬을 이루는 화성암이 생성될 당시 위도는 거의 같았으며, 생성 당시 화성암의 고지자기 복각의 크기도 거의 같았다.

### 04 열도의 형성 과정 비교

**예설** | A는 해구 부근에 위치한 호상 열도이고, B는 열점에서 마그마가 분출하여 형성된 해저 화산이다.

㉠ 자료에 제시된 판 경계는 태평양판이 북아메리카판 아래로 섭입하는 수렴형 경계이다.

✗ B는 판 경계 부근이 아닌 위치에 존재하는 해저 화산이다. 이 해저 화산은 판 내부에서 일어난 화산 활동(열점에 의한 화산 활동)으로 형성되었다.

✗ A는 호상 열도로 현재 화산 활동이 활발하게 일어난다. 한편 B는 열점 상부의 위치에서 벗어난 이후부터는 화산 활동이 일어나지 않는다.

### 05 플룸 상승류

**예설** | 플룸은 맨틀에서 주위보다 온도가 낮거나 높은 기둥 모양의 부분이다.

㉠ ㉠은 가열에 의해 주위보다 밀도가 작아져 위로 상승하고 있다. 따라서 ㉠은 뜨거운 플룸에 해당한다.

✗ 가열 전에 B는 A의 하부에 가라앉아 있었으므로 액체의 밀도는 B가 A보다 크다.

✗ 뜨거운 플룸은 맨틀과 외핵의 경계 부근에서 상승하기 시작한다. 따라서 이 실험에서 가열 전 A와 B의 경계는 지구 내부에서 맨틀 최하부(맨틀과 외핵의 경계 부근)에 해당한다.

### 06 마그마의 생성

**예설** | 마그마는 지각의 하부나 상부 맨틀의 물질이 온도와 압력 등의 영향으로 부분 용융되어 생성된다. 마그마가 생성되기 위해서는 온도 상승, 압력 감소, 물 공급 등이 있어야 한다.

㉠ ㉠은 물이 포함된 화강암의 용융 곡선이고, ㉡은 물이 포함된 맨틀의 용융 곡선이며, ㉢은 물이 포함되지 않은 맨틀의 용융 곡선이다.

㉣ 해령에서 분출되는 마그마는 압력 감소 과정에 해당하는  $b \rightarrow b'$  과정으로 생성된다.

㉤  $a \rightarrow a'$  과정으로 유문암질 마그마가 생성되고  $c \rightarrow c'$  과정으로 현무암질 마그마가 생성되므로, 두 마그마가 혼합되면 안산암질 마그마가 생성될 수 있다.

### 07 화성암의 분류

**예설** | 화성암은 화학 조성에 따라 염기성암, 중성암, 산성암으로 분류하고, 암석의 조직에 따라 화산암과 심성암 등으로 분류한다.

✗ A는 화산암이고, D는 심성암이다. 따라서 광물 입자의 크기는 마그마가 서서히 냉각되어 만들어진 D가 마그마가 빨리 냉각되어 만들어진 A보다 대체로 크다.

✗ C는 산성암이고, E는 중성암이다. 밝은색 광물의 비율은  $SiO_2$  함량(%)이 많은 산성암이 중성암보다 대체로 높다.

㉥ F는 산성암이면서 심성암인 화강암이다. 화강암을 이루는 석영, 정장석, 흑운모 등은 대체로 결정의 크기가 큰 조립질 조직을 이루고 있다.

### 08 화성암의 분류

**예설** | 심성암의 경우 마그마가 서서히 냉각되기 때문에 결정의 크기가 충분히 커서 육안으로 식별할 수 있을 정도인 조립질 조직이 발달한다.

㉠ 이 암석을 이루는 광물 결정은 육안으로 구분할 수 있는 크기이므로 심성암이고,  $SiO_2$  함량이 49%이므로 염기성암이다. 따라서 이 암석은 반려암이다.

✗ 이 암석은 지하 깊은 곳에서 마그마가 서서히 냉각되어 생성된 심성암이다. 화산 활동에 의해 생성된 암석은 화산암으로 세립질 또는 유리질 조직을 갖는다.

✗ 주상 절리는 지표로 분출된 용암이 빠르게 냉각될 때 형성된다. 이 지역에는 심성암이 분포하므로 주상 절리가 발달하기 어렵다.

#### 수능 3점 테스트

본문 019~021쪽

- 01 ①    02 ③    03 ①    04 ④    05 ③  
06 ①

### 01 열점의 분포

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

㉠ 전 세계의 열점 분포를 비교해 보면 대륙보다 해양에 훨씬 많이 분포하고 있다는 것을 확인할 수 있다.

✗ 지구 내부에 고정된 열점은 판의 경계뿐만 아니라 판의 내부에도 분포하고 있다.

✗ 열점은 맨틀이 대류하여 판이 이동하더라도 위치가 변하지 않는다.

### 02 지진파의 속도 분포

**예설** | 지구 내부에서 지진파의 속도가 빠른 곳은 대체로 주위보다 온도가 낮고, 지진파의 속도가 느린 곳은 대체로 주위보다 온도가 높다.

㉠ (가)에는 주위보다 지진파의 속도가 느리게 나타나는 구역이 있다. 따라서 (가)의 지역에는 뜨거운 플룸의 상승류가 있으며 열점이

존재한다.

㉠ (나)의 지역에서는 주위보다 지진파의 속도가 빠르게 나타나는 구역에 섭입대가 존재한다. 따라서 (나)의 지역 하부에서는 맨틀 대류가 하강한다.

✗ 열점에서는 현무암질 마그마가 분출하고, 섭입대 상부에서는 주로 안산암질 마그마가 분출한다. 따라서 지표로 분출되는 마그마의  $\text{SiO}_2$  함량(%)은 ㉠보다 ㉡에서 많다.

### 03 열점에서의 화산 활동

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

㉠ 열점으로부터의 거리는 가장 최근에 형성된 화산섬 D가 가장 가깝다.

✗ 위치가 고정된 열점에서는 화산 활동에 의해 새로운 화산섬이 형성되고 기존에 형성된 화산섬은 판의 이동을 따라 열점으로부터 멀어진다. 따라서 판의 이동 방향은 화산섬의 형성 시기가 오래된 방향과 같다. 화산섬이 형성되는 동안 화산섬 A~D가 위치한 판은 남서쪽으로 이동하였다.

✗ 화산섬 B, C, D는 약 2천만 년 간격으로 형성되었고, 섬들 사이의 간격은 화산섬 B와 C 사이가 화산섬 C와 D 사이보다 멀다. 따라서 A~D가 위치한 판의 평균 이동 속력은 6천만 년 전~4천만 년 전이 4천만 년 전~2천만 년 전보다 빠르다.

### 04 화성암의 분류

예설 | 화성암은 마그마가 어느 깊이에서 굳어지는가에 따라서 조직이 달라지고,  $\text{SiO}_2$  함량(%)에 따라 암석의 색이 달라진다.

✗ 양파 겹질처럼 층상으로 쪼개진 절리는 주로 심성암이 지표로 노출될 때 형성된다. A는 화산암이므로 기둥 모양의 절리가 잘 발달한다.

㉠ 마그마의  $\text{SiO}_2$  함량(%)이 많을수록 상대적으로 밝은색 광물의 함량(%)이 많다. 따라서 암석에 포함된 밝은색 광물의 함량(%)은  $A < B < C$ 이다.

㉡ 마그마가 지표 부근에서 빨리 냉각되면 암석에는 세립질 또는 유리질 조직이 발달한다. 따라서 A에서는 세립질 또는 유리질 조직이 나타나고, 마그마가 지하 깊은 곳에서 냉각된 C에서는 조립질 조직이 나타난다.

### 05 마그마의 생성

예설 | A는 섭입대 상부에 위치하고, B는 발산형 경계인 해령에 위치한다. C는 판 내부에 위치한 열점에 해당한다.

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

㉡ B(해령)와 C(열점)에서는 주로 압력 감소에 의해 생성된 현무암질 마그마가 분출한다.

✗ C에 의해 형성된 화산들은 판이 이동하는 방향을 따라 분포한다. C 지점에서 판은 남서쪽으로 이동하므로 C에 의해 형성된 화산들은 북동-남서 방향으로 배열되어 있을 것이다.

### 06 울산바위를 이루는 화성암의 특징

예설 | 설악산의 울산바위는 지하 깊은 곳에서 마그마가 관입하여 생성된 화강암이 지표에 노출되어 형성되었다.

㉠ 울산바위를 구성하는 암석은 심성암이므로 조립질 조직이 발달한다.

✗ 화강암이 지표에 노출되면 압력 감소로 인해 팽창하면서 판상으로 갈라진 판상 절리가 발달하기도 한다. 다각형 기둥 모양의 절리는 주상 절리로 화산암에서 잘 나타난다.

✗ 울산바위를 형성한 암석은 밝은색 광물을 많이 포함한 심성암으로 화강암이다. 화강암은 주로 온도 상승에 의한 대륙 지각의 부분 용융을 거쳐 생성된다.

많은 낱 문제로 유형 익히기

본문 023쪽

정답 ⑤

예설 | 장력이 작용하는 판의 발산형 경계에서는 주로 정단층이 형성되고, 해령의 열곡이 어긋난 판의 보존형 경계에서는 주향 이동 단층의 한 종류인 변환 단층이 나타난다.

X. (나)는 정단층이므로 판의 발산형 경계인 해령의 열곡 부근에서 잘 형성된다. 해령으로부터 해양 지각이 확장되는 속력이 모두 같다는 조건으로부터 발산의 중심은 연령이 200만 년인 두 해양 지각 사이의 중앙에 존재함을 알 수 있다. 따라서 A와 B 사이에서는 B의 서쪽에 발산의 중심인 열곡이 존재하고, B와 C 사이에는 판의 경계가 존재하지 않는다. 그러므로 (나)가 형성될 가능성은 A와 B 사이가 B와 C 사이보다 크다.

㉠. (다)는 주향 이동 단층이다. 판의 보존형 경계에는 주향 이동 단층의 한 종류인 변환 단층이 존재한다. 이 지역에서 해령의 열곡은 B의 서쪽과 D의 동쪽에 분포하므로 B와 D 사이에는 판의 보존형 경계가 존재한다. B와 C 사이에는 판의 경계가 존재하지 않으므로 (다)가 나타날 가능성은 B와 C 사이보다 B와 D 사이에서 크다.

㉡. 하반은 단층면보다 아래쪽에 위치하는 암반을 말한다. 따라서 ㉠과 ㉡은 모두 하반이다.

수능 2점 테스트

본문 024~025쪽

- |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|
| 01 ⑤ | 02 ③ | 03 ④ | 04 ② | 05 ① |
| 06 ② | 07 ③ | 08 ① |      |      |

01 퇴적암의 생성

예설 | 퇴적물이 퇴적암으로 굳어지는 과정에서 퇴적물은 다짐 작용과 교결 작용을 받는다. 이 과정에서 퇴적물 사이의 빈틈(공극)은 좁아지거나 채워지게 된다.

㉠. (가)는 공극이 교결 물질로 완전히 채워진 것으로 보아 속성 작용이 가장 많이 진행된 상태이다. (나)는 공극이 대부분 지하수로 채워진 상태이고 공극의 부피도 가장 크다. (다)는 공극의 일부가 교결 물질로 채워진 상태이다. 따라서 속성 작용이 진행되는 과정은 (나) → (다) → (가) 순이다.

㉡. (가)는 공극의 부피가 작고 교결 물질로 채워졌으므로 원 내부의 대부분 영역이 암석질 성분이다. (나)는 공극의 부피가 크고 대부분 지하수로 채워진 상태이다. 암석질 성분의 밀도가 물의 밀도보다 대체로 2~3배 이상 크므로 원 내부를 구성하는 물질의 평균 밀도는 (가)가 (나)보다 크다.

㉢. (나)에서 (다)로 진행되는 과정에서 다짐 작용과 교결 작용이 일어나 퇴적물 입자 사이의 공극은 크기가 작아지고 교결 물질로 채워진다. 따라서 퇴적물 입자 사이의 평균 간격은 (나)가 (다)보다 넓다.

02 연흔

예설 | 연흔은 물결 모양의 흔적이 지층에 남아 있는 퇴적 구조이다. 연흔은 퇴적물이 퇴적되는 과정에서 물결의 움직임의 영향을 받아 형성되는 퇴적 구조로, 주로 수심이 얕은 물밑 환경에서 형성된다.

㉠. 물결이 출렁인다는 것은 개개의 물 입자가 운동하는 것이다. 물결의 움직임에 따라 물 입자의 운동 속력이 증감하는데, 운동 속력이 느려지는 위치에 상대적으로 더 많은 퇴적물이 쌓이게 되어 연흔이 형성된다.

㉡. ㉠은 물 입자 왕복 운동의 중심부이므로 물 입자의 운동 속력이 빠르다. ㉡은 물 입자가 정지했다가 되돌아가는 부분이므로 운동 속력이 느리다. 따라서 퇴적물은 물 입자의 운동 속력이 빠른 ㉠보다 운동 속력이 느린 ㉡에 많이 퇴적된다.

X. 연흔은 주로 수면의 파도가 바다의 퇴적물에 영향을 주어 형성되는 퇴적 구조이다. 대륙대는 대륙 사면 끝자락에 형성된 퇴적 환경으로 수심이 깊으므로 대륙대에 쌓인 퇴적물에는 연흔이 형성되기 어렵다.

03 퇴적암의 분류

예설 | 퇴적암은 퇴적물의 기원에 따라 쇄설성 퇴적암, 유기적 퇴적암, 화학적 퇴적암 등으로 분류한다. 쇄설성 퇴적암은 구성 입자의 크기, 유기적 및 화학적 퇴적암은 성분을 기준으로 세분한다. 역암은 지름 2 mm 이상의 자갈, 세일은 지름 2<sup>-4</sup> mm 이하의 미세한 점토질 퇴적물이 굳어진 쇄설성 퇴적암이고, 응회암은 주로 지름 2 mm 이하의 화산재가 쌓인 후 굳어진 쇄설성 퇴적암이며, 암염은 화학적 침전 작용에 의해 생성된 화학적 퇴적암이다. 따라서 A는 응회암, B는 암염, C는 역암, D는 세일이다.

㉠. 암염(B)은 고립된 염수의 수분이 증발되어 생성된다. 따라서 증발량이 많고 강수량이 적은 건조 기후 지역에서 잘 생성된다.

㉡. A는 응회암, C는 역암이다. 쇄설물이 생성된 원인은 서로 다르지만 두 암석 모두 쇄설물이 속성 작용을 받아 생성된 암석이다. 따라서 A와 C는 모두 쇄설성 퇴적암에 해당한다.

X. 미생물의 유해가 퇴적되어 생성된 퇴적암은 유기적 퇴적암에 해당한다. D는 세일이므로 쇄설성 퇴적암이다.

04 퇴적 환경

예설 | 하천의 발원지는 산지인 경우가 많으므로 발원지로부터 하천의 하류로 갈수록 지표면 경사가 완만해진다.

X. 거리에 따른 고도 변화는 ㉠-㉡ 구간이 ㉢-㉣ 구간보다 크다. 따라서 하천 바닥의 평균 기울기는 ㉠-㉡ 구간이 ㉢-㉣ 구간보다 급하다.

X. ㉢는 산지에서 평지로 내려오면서 지표면 기울기가 급격히 작아지는 구간이다. 이와 같은 환경에서는 자갈과 모래 등이 섞여 퇴적되는 선상지가 형성되기 쉽다. ㉣는 하천 출구이므로 모래 크기 이하의 입자가 퇴적되어 삼각주가 형성되기 쉽다.

㉤. ㉢에는 자갈과 모래 등이 섞여 퇴적되고 ㉣에는 주로 모래 크기 이하의 입자가 퇴적된다. 따라서 퇴적된 입자의 평균 크기는 ㉣보다 ㉢가 크다.



## 05 퇴적 구조

**예설** | 지층에 남아 있는 화석과 퇴적 구조를 근거로 퇴적 당시의 환경을 추정할 수 있다.

- ㉠ 퇴적물 퇴적암에서는 건열이 발견되므로 퇴적물이 퇴적되는 기간 중 수면 위로 노출된 시기가 있었음을 알 수 있다.
- ✕ 구문소 퇴적암에서는 연흔이 발견되므로 물결의 움직임이 바다의 퇴적물에 영향을 미칠 수 있는 얇은 깊이였던 시기가 있었음을 알 수 있다. 따라서 구문소 퇴적암이 모두 심해 환경에서 생성된 것은 아니다.
- ✕ 퇴적물의 주요 암석인 셰일은 쇄설성 퇴적암이지만, 구문소의 주요 암석인 석회암은 유기적 또는 화학적 퇴적암으로 분류된다.

## 06 점이 층리의 형성

**예설** | 점이 층리는 한 지층 내에서 위로 갈수록 입자의 크기가 점점 작아지는 퇴적 구조로, 다양한 크기의 퇴적물이 한꺼번에 퇴적 지역에 공급되었을 때, 가라앉는 속도가 빨라서 부유 시간이 짧은 큰 입자가 바닥에 먼저 퇴적되고 가라앉는 속도가 느려서 부유 시간이 긴 작은 입자는 나중에 퇴적되어 형성된다.

- ✕ 사층리는 바람이나 유수에 의해 퇴적물이 이동하면서 퇴적되어 형성된 기울어진 층리 구조이다. 그림은 점이 층리의 형성 과정을 나타낸 것이다.
- ㉠ 점이 층리는 크고 작은 입자들이 동시에 공급되어 크기가 큰 입자부터 퇴적되어 형성된 것이다. 따라서 ㉠ 지점을 통과하는 쇄설물은 다양한 크기의 입자들로 구성된다.
- ✕ 점이 층리는 대륙붕이나 대륙 사면에 쌓여 있던 퇴적물이 빠르게 이동하여 수심이 깊은 바다에 쌓일 때나 홍수가 발생하여 다량의 퇴적물이 수심이 깊은 호수로 유입될 때 형성되는 퇴적 구조이다. 해양에서는 주로 대륙 사면의 끝자락에 연결된 대륙대(㉠)에서 형성되는데, 수심이 깊은 대륙대는 연안 환경이 아니라 해양 환경에 해당한다.

## 07 단층

**예설** | 단층은 암반이 깨진 면을 경계로 상대적 이동이 일어난 구조이며, 상대적 이동의 경계면을 단층면이라고 한다. 단층면이 수직이 아닌 경우, 단층면에 대해 위쪽 암반이 상반, 아래쪽 암반이 하반이다. 상반이 하반에 대해 아래로 이동한 단층을 정단층, 상반이 하반에 대해 위로 이동한 단층을 역단층, 연직 방향의 이동 없이 수평 방향의 이동만 일어난 경우를 주향 이동 단층이라고 한다.

- ✕ (가)는 두 암반이 수평 방향으로만 이동하였으므로 주향 이동 단층이다.
- ✕ (나)의 ㉠은 단층면에 대해 위쪽 암반이므로 상반이고, ㉡은 단층면에 대해 아래쪽 암반이므로 하반이다.
- ㉢ 변환 단층은 판과 판이 수평 방향으로 어긋나는 과정에서 만들어진 단층으로 주향 이동 단층에 해당한다.

## 08 절리

**예설** | 암석의 갈라진 틈이나 균열을 절리라고 한다. 지표로 분출된 용암이 냉각되는 과정에서 부피가 수축하여 기동 모양으로 갈라진 주상

절리, 지하 깊은 곳에서 생성된 심성암이 지표로 노출되는 과정에서 압력이 감소하여 널빤지 모양으로 편평하게 갈라진 판상 절리 등이 대표적인 예이다. (가)는 주상 절리, (나)는 판상 절리이다.

- ㉠ (가)는 지표로 흘러나온 용암이 급격히 냉각되면서 부피가 수축하여 만들어진 주상 절리이다.
- ✕ (나)는 지하 깊은 곳의 고압 환경에서 생성된 심성암이 지표로 노출되는 과정에서 압력이 감소하여 만들어진 판상 절리이다.
- ✕ (가)는 화산암, (나)는 심성암에서 자주 관찰되는 절리이다. 염기성암과 산성암은  $\text{SiO}_2$  함량(%)에 따라 화성암을 분류한 것이므로 절리와는 직접적인 관련이 없다. 즉, 염기성암과 산성암 모두 화산암에서는 주상 절리, 심성암에서는 판상 절리가 자주 나타난다.

### 수능 3점 테스트

본문 026~027쪽

01 ③

02 ①

03 ③

04 ①

## 01 점이 층리의 형성

**예설** | 점이 층리는 다양한 크기의 퇴적물이 한꺼번에 퇴적 지역에 공급되었을 때, 큰 입자가 바닥에 먼저 퇴적되고 작은 입자가 나중에 퇴적되어 형성된다.

- ㉠ 탐구 활동에서 다양한 크기의 입자를 물에 넣고 세계 저어서 부유 상태로 만들었다가 다시 가라앉힌 후 퇴적층 상부와 하부의 입자 크기를 확인하였다. 따라서 이 탐구 활동은 점이 층리가 형성되는 과정을 알아보기 위한 실험이다.
- ㉡ 굵은 입자일수록 빠르게 가라앉으므로 '굵은'은 ㉡에 해당한다.
- ✕ 건조시킨 모래 입자 사이에는 공극이 존재하는데 과정 III에서는 물의 일부가 공극을 채우게 되고, 큰 입자의 공극에 작은 입자가 들어가기도 한다. 따라서 과정 III에서 비커 속 흙탕물의 부피는 400 mL 보다 작다.

## 02 지질 구조

**예설** | 암석이나 지층이 지각 변동을 받아 변형된 구조를 지질 구조라고 한다. 단층, 습곡, 절리, 부정합 등이 대표적인 지질 구조이다.

- ㉠ (가)는 상반이 하반에 대해 아래쪽으로 이동하였으므로 정단층이다. 횡압력이 작용하는 경우에는 역단층, 장력이 작용하는 경우에는 정단층이 형성된다. 따라서 (가)는 장력에 의해 형성된 정단층이다.
- ✕ (나)는 횡압력에 의해 지층이 휘어진 습곡 구조이다. 판의 경계 중 횡압력이 작용하는 경계는 주로 수렴형 경계이다. 따라서 (나)는 판의 수렴형 경계에서 잘 형성된다. 판의 발산형 경계에서는 정단층이 잘 형성된다.
- ✕ (나)는 지층이 휘어진 습곡 구조이다. 단단한 지층이 깨지지 않고 휘어지기 위해서는 지표 환경보다 온도가 높고 압력이 큰 조건이 필요하므로 습곡 구조는 지표 환경에서는 잘 형성되지 않는다. (다)는 지표면으로 분출된 용암이 급격히 굳는 과정에서 부피가 수축하여 형성된 구조이므로 지표 부근에서 형성된다. 따라서 (나)는 (다)보다 대체로 지하 깊은 곳에서 형성된다.

### 03 단층의 종류

**예설** | 암반 내부에 균열이 발생한 후, 이 균열을 경계로 양쪽 암반(상반과 하반)이 상대적으로 이동한 지질 구조를 단층이라고 한다. 이동의 경계면이 단층면이고, 단층면을 경계로 위쪽 암반이 상반, 아래쪽 암반이 하반이다. 상반이 하반에 대해 위로 이동한 단층을 역단층, 아래로 이동한 단층을 정단층, 상하 방향의 이동 없이 수평 방향으로만 이동한 단층을 주향 이동 단층이라고 한다.

- ㉠. A는 상반이 하반에 대해 위쪽으로 1m 이동하였으므로 역단층이다.
- ㉡. B는 연직 방향의 이동 없이 북쪽과 동쪽으로 각각 2m씩 이동하였으므로, 단층면이 북동쪽에서 남서쪽으로 형성된 주향 이동 단층이다. 따라서 B에서 지표에 드러난 상반과 하반의 경계선은 북동에서 남서 방향으로 분포한다. 이 단층에서 상반이 하반에 대해 수평 방향으로 이동한 거리는  $2\sqrt{2}$  m이다.
- ㉢. C는 단층면 기울기가  $60^\circ$ 이고, 상반이 하반에 대해 동쪽으로 1m, 연직 방향에서 아래로  $\sqrt{3}$  m 이동한 단층이다. 밑변 길이 1m, 높이  $\sqrt{3}$  m인 직각 삼각형의 빗변 길이는 2m이므로 C의 상반이 하반에 대해 단층면을 따라 이동한 총 거리는 2m이다.

### 04 퇴적물의 입자 크기

**예설** | 하천을 따라 다양한 퇴적 환경이 조성된다. 따라서 퇴적 장소마다 퇴적물의 입자 구성이 다양하게 변화한다.

- ㉠. ㉠은 지름이  $2^{-4}$  mm 이하인 점토와 실트 입자의 구성 비율이 가장 높지만, ㉡는 지름이  $2^{-4} \sim 2$  mm인 모래 입자의 구성 비율이 가장 높다. 따라서 입자의 평균 크기는 ㉠보다 ㉡가 크다.
- ㉢. 건열은 점토질 퇴적물이 마르면서 갈라진 구조이다. 자갈이나 모래는 입자 크기가 커서 입자끼리 서로 엉겨 붙는 현상이 잘 나타나지 않는다. 따라서 건열이 형성될 가능성은 ㉠이 ㉡보다 크다.
- ㉣. ㉡의 퇴적물은 대부분 모래로 구성되어 있지만 ㉠의 퇴적물은 모래 이외에도 점토, 실트 및 자갈이 ㉡보다 많이 포함되어 있다.

## THEME 04

### 지층의 생성 순서와 지질 연대 측정

많은 낱 문제로 유형 익히기 본문 030쪽

#### 정답 ③

**예설** | ㉠이 X의 붕괴 곡선이라고 가정하면 A의 절대 연령은 약 3000만 년~4000만 년, B의 절대 연령은 1억 년이다. 그런데 이 지역 암석의 생성 순서는 사암 → A → 셰일 → B이므로 모순이다.

㉠. ㉠은 X의 붕괴 곡선이고 ㉡은 Y의 붕괴 곡선이다. A의 절대 연령은 약 7000만 년~8000만 년이고, B의 절대 연령은 5000만 년이다.

㉢. A가 생성된 후 셰일이 퇴적되었고, 셰일이 퇴적된 후 B가 관입하였으므로 셰일의 생성 시기는 약 8000만 년 전~5000만 년 전 사이이다. 갑주어는 고생대 중기의 표준 화석이므로 이 셰일에서는 갑주어 화석이 산출될 수 없다.

㉣. X의 함량이 60%에서 30%로 감소하는 데 필요한 시간은 X의 반감기인 1억 년이고, Y의 함량이 50%에서 12.5%로 감소하는 데 필요한 시간은 Y의 반감기 0.5억 년의 2배인 1억 년이다. 따라서

$$\frac{X \text{의 함량이 } 60\% \text{에서 } 30\% \text{로 감소하는 데 소요되는 시간}}{Y \text{의 함량이 } 50\% \text{에서 } 12.5\% \text{로 감소하는 데 소요되는 시간}} = 1 \text{이다.}$$

#### 수능 2점 테스트 본문 031~033쪽

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

### 01 지사학의 법칙

**예설** | 지구의 역사를 밝히기 위해 사용되는 지사학의 기본 법칙에는 수평 퇴적의 법칙, 지층 누층의 법칙, 관입의 법칙, 부정합의 법칙, 동물군 천이의 법칙 등이 있다.

- ㉠. 지층 누층의 법칙은 지층이 생성된 이후에 역전되지 않았다면 아래 지층이 위 지층보다 먼저 생성되었다는 법칙이다. 따라서 지층 누층의 법칙은 퇴적암의 상대 연령, 즉 생성 순서를 추정할 수 있는 법칙이다.
- ㉡. 관입의 법칙은 관입 당한 암석은 관입한 암석보다 먼저 생성되었다는 법칙이다. 관입은 마그마가 기존 암석을 뚫고 들어가는 현상이므로 관입 당한 암석은 어떤 종류의 암석도 가능하지만, 관입한 암석은 반드시 화성암이어야 한다. 따라서 이 법칙을 이용하여 화성암과 주변 암석과의 선후 관계를 파악할 수 있다.
- ㉢. 수평 퇴적의 법칙은 퇴적암의 지층 배열이 대체로 퇴적 당시의 해수면과 평행하게 형성된다는 법칙이다. 따라서 이 법칙을 근거로 퇴적암의 절대 연령을 알아낼 수는 없다.

## 02 부정합의 법칙

**예설** | 부정합면은 퇴적 → 용기 → 침식 → 침강 → 퇴적의 과정을 거쳐 형성되는 지층 사이의 경계면이므로, 부정합면을 경계로 상하 지층의 퇴적 시기 사이에는 큰 시간적 간격이 존재한다. 관입의 법칙은 관입 당한 암석이 관입한 화성암보다 먼저 생성되었다는 법칙이다.

㉠. 경사 부정합은 부정합면을 경계로 상하 지층의 경사가 서로 다른 부정합이다. C는 습곡이 나타나는 D를 부정합 관계로 덮고 있으므로 C와 D 사이의 부정합면은 경사 부정합면이다.

✕. 현재 해수면 위로 융기한 상태인 이 지역의 지층에는 2개의 부정합면이 존재한다. 따라서 이 지역은 최소 3회 이상 수면 위로 융기했다.

㉡. C와 E에는 왼쪽의 상반이 오른쪽의 하반에 대해 아래로 이동한 정단층이 나타난다. 정단층은 장력에 의해 형성되므로 이 지역에는 장력을 받은 흔적이 나타난다고 볼 수 있다.

## 03 관입의 법칙

**예설** | 마그마가 퇴적암 지층 사이를 평행하게 관입하여 지층과 나란하게 굳어진 모습의 화성암체를 암상이라고 한다. 암상에서는 마그마와 접촉한 상하부 퇴적암 모두에서 열에 의해 변성된 부분이 나타날 수 있다.

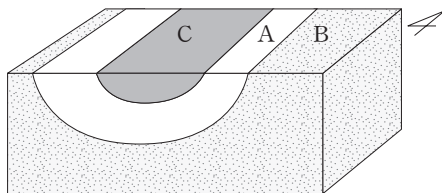
㉠. 이 지역의 지층은 역전되지 않았으므로 지층 누층의 법칙을 적용할 수 있다. 따라서 퇴적암은 A → B → C → D 순으로 생성되었다.

㉡. 마그마 관입 당시 마그마의 일부는 A와 B 사이를 관입하였고, 일부는 다시 B를 관입하여 B의 상부를 덮었다. 즉, 화성암은 A와 B를 모두 관입하였으므로 관입의 법칙에 의해 A와 B가 모두 생성된 후 마그마가 관입하였음을 알 수 있다.

㉢. 정단층은 화성암과 A, B, C를 모두 이동시켰지만 D는 단층에 의한 이동이 발생하지 않았다. 따라서 단층이 형성된 이후에 D가 생성되었음을 알 수 있다.

## 04 지층 누층의 법칙

**예설** | 지층 누층의 법칙은 지층이 생성된 후 역전되지 않았다면, 하부 지층이 상부 지층보다 먼저 생성되었다는 법칙이다. 따라서 지층 누층의 법칙을 적용하여 퇴적암의 생성 순서를 결정하려면 먼저 지층의 역전 여부를 확인해야 한다. 지층의 역전 여부 확인에는 건열, 사층리, 점이 층리, 연흔 등의 퇴적 구조가 자주 활용된다. 이 지역의 서쪽 A에서 발견된 건열의 균열 방향을 근거로 서쪽에서 동쪽으로 갈수록 나중에 퇴적된 지층임을 알 수 있고, 동쪽의 B에서 발견된 사층리의 경사진 모양을 근거로 동쪽에서 서쪽으로 갈수록 나중에 퇴적된 지층임을 알 수 있다. 서로 모순되는 것처럼 보이는 두 사실이 모두 만족하려면 이 지역에 습곡의 향사 구조가 존재해야 한다.



✕. 동쪽에서 서쪽으로 갈수록 B → A → C → A → B 순이므로 나이가 적어지다가 많아진다. 따라서 동쪽에서 서쪽으로 갈수록 나이가

많은 퇴적암이 분포하는 것은 아니다.

✕. 사층리의 기울어진 방향은 퇴적물의 공급 방향을 나타낸다. 사층리의 경사 방향이 ㉠ 방향이므로 B 퇴적 당시 퇴적물은 대체로 ㉠ 방향으로 공급되었다.

㉡. 역전된 지층이 없으므로 퇴적 순서는 B → A → C 순이다. 최상부 층인 C가 중심에 나타나므로 중심부가 아래 방향으로 오목하게 내려간 모양의 습곡이 존재해야 한다. 따라서 향사 구조가 존재한다.

## 05 지사학 법칙의 적용

**예설** | 지층 누층의 법칙은 퇴적암의 선후 관계, 관입의 법칙은 화성암과 주변 암석의 선후 관계를 비교할 때 사용한다.

㉠. 지층 누층의 법칙으로 셰일, 사암, 역암의 선후 관계를 알 수 있다.

㉡. 관입의 법칙으로 안산암, 화강암과 주변 암석의 선후 관계를 알 수 있다.

㉢. 부정합의 법칙으로 부정합면 상부 암석과 하부 암석 사이에 큰 시간적 간격이 존재하는 선후 관계를 알 수 있다.

## 06 암상에 의한 지층 대비

**예설** | 암석의 종류, 조직, 지질 구조 등의 특징을 비교하여 지층의 선후 관계를 판단하는 것을 암상에 의한 지층 대비라고 한다. 암상에 의한 지층 대비는 주로 가까운 거리에 있는 지역의 지층을 비교할 때 이용한다. 제시된 지층 단면에서는 응회암층을 건층(열쇠층)으로 이용할 수 있다.

㉠. 응회암은 화산재가 퇴적되어 굳어진 쇄설성 퇴적암이므로 과거 화산 활동의 증거로 활용된다. 이 지역의 암석 생성 순서는 셰일 → (부정합) → 석회암 → 사암 → (부정합) → 이암 → 셰일 → 응회암 → 석회암 → 역암 → 사암 → 이암 순이다. 역암이 응회암보다 나중에 생성되었으므로 역암은 화산 활동 이후에 퇴적되었다.

✕. 석회암층은 지역 II에서 서로 다른 시기에 반복되어 산출되므로 열쇠층으로 이용하기에 좋은 조건이 아니다. 열쇠층(건층)은 분포 면적이 넓으면서도 자주 반복되지 않는 층이 좋다. 주로 응회암층이나 석탄층이 열쇠층으로 이용된다.

㉡. 응회암층을 열쇠층으로 이용하면, 응회암 생성 이후 4번째로 생성된 퇴적암은 지역 I에 분포하는 이암이다. 따라서 가장 최근에 생성된 퇴적암은 지역 I에 분포한다.

## 07 화석에 의한 지층 대비

**예설** | 화석을 이용해 지층의 선후 관계를 판단하는 것을 화석에 의한 지층 대비라고 한다. 화석에 의한 지층 대비는 암상에 의한 지층 대비보다 상대적으로 멀리 떨어진 지역에 이용할 수 있다. 지역 I은 하부 사암층에서 발견된 퇴적 구조(건열)로부터 지층이 역전되지 않았음을 알 수 있고, 지역 II는 삼엽충 화석이 산출되는 석회암층이 화폐석 화석이 산출되는 사실 셰일층보다 상부에 존재하므로 지층이 역전되었음을 알 수 있으며, 지역 III은 삼엽충 화석이 산출되는 사실 셰일층이 화폐석 화석이 산출되는 석회암층보다 하부에 존재하므로 지층이 역전되지 않았음을 알 수 있다.

㉠. 지층이 역전되지 않은 지역에 분포하는 ㉠은 삼엽충 화석이 산출되는 석회암층의 하부 지층이고, 지층이 역전된 지역에 분포하는 ㉡은 화폐석 화석이 산출되는 사실 셰일층보다 나중에 생성된 지층이

다. 따라서 퇴적암의 생성 순서는 ㉠ → 삼엽층 화석이 산출되는 석회암층 → 화폐석 화석이 산출되는 사질 셰일층 → ㉡ 순이므로, ㉠이 ㉡보다 먼저 생성되었다.

X. 지역 I은 삼엽층 화석이 산출되는 석회암층이 가장 나중에 생성되었다. 지역 II와 III에서는 모두 화폐석 화석이 산출되는 지층이 존재하므로 지역 I보다 나중에 생성된 지층이 분포한다. 따라서 가장 최근에 생성된 퇴적암은 지역 I에 분포하지 않는다.

㉢. ㉠과 ㉡ 모두 삼엽층 화석이 산출되므로 고생대에 생성된 지층이다.

## 08 지사 해석

**예설** | 지사학의 기본 법칙과 지질 구조의 형성 원인 등을 함께 고려하여 지층 단면으로부터 해당 지역의 지사를 유추할 수 있다.

㉡ 이 지역에 나타나는 단층은 모두 상반이 하반에 대해 위로 올라간 역단층이다. 지층 단면의 하부부터 분석하면, 습곡된 지층이 왼쪽 역단층에 의해 단절되었으므로 습곡은 역단층보다 먼저 형성되었다. 또한 이 단층면이 부정합면에 의해 단절되었으므로 부정합면은 이 역단층 형성 이후에 형성되었다. 마지막으로 지표면까지 연장된 오른쪽 역단층에 의해 부정합면이 단절되었으므로 이 역단층은 부정합면 형성 이후에 만들어진 지질 구조이다. 따라서 이 지역에 나타나는 지질 구조의 형성 순서는 습곡 → 역단층 → 부정합 → 역단층 순이다.

## 09 암석의 절대 연령

**예설** | 방사성 동위 원소의 반감기를 이용하면 화성암을 구성하는 광물의 절대 연령을 알아낼 수 있다. 화성암은 마그마가 냉각되어 굳어진 암석이므로 화성암을 구성하는 광물이 굳어진 시기와 암석이 굳어진 시기가 같다. 따라서 화성암의 절대 연령은 구성 광물의 절대 연령과 같다. 일반적으로 퇴적암은 방사성 동위 원소의 반감기를 이용해서 절대 연령을 알아내기 어려운데, 그 이유는 다양한 절대 연령을 가진 암석 조각들이 모여 굳어질 수 있기 때문이다.

㉠ (가)에서 A는 X : X' 비율이 1 : 7이다. 따라서 A가 생성된 후 X의 반감기가 3회 경과했음을 알 수 있다. (나)에서 현재로부터 1억 년 전의 A에는 X : X' 비율이 1 : 1이므로 이 시점은 반감기가 1회 경과한 시점이다. 따라서 (나) 이후부터 현재까지의 1억 년 동안 반감기가 2회 경과한 것이고, 이로부터 반감기는 0.5억 년(5000만 년)임을 알 수 있다.

X. (나)에서 1억 년 전에는 A가 화성암에 포함되어 있었으므로 퇴적암 내의 자갈로 깨져 나온 시점은 1억 년 전 이후이다. 자갈로 깨진 이후에 운반과 퇴적 및 속성 작용을 거쳐 퇴적암이 되려면 상당한 시간이 소요되므로 (가)의 퇴적암은 1억 년 전 이후에 생성되었다.

X. A가 포함되어 있던 화성암은 A가 광물로 굳어진 시기에 함께 굳었으므로 A가 포함되어 있던 화성암과 A는 절대 연령이 같다. A가 굳어진 후 X의 반감기(0.5억 년)가 3회 경과했다. 따라서 (나)의 화성암은 1.5억 년 전에 생성되었다.

## 10 지질 구조와 화석을 이용한 지사 해석

**예설** | 지질 단면에 드러난 지질 구조와 지층에서 산출되는 화석을 이용하면 그 지역의 지사를 유추할 수 있다.

X. ㉠은 공룡 화석이 산출되는 중생대 퇴적암의 하부층이고, ㉡은 삼엽층 화석이 산출되는 고생대 퇴적암의 하부층이다. 따라서 ㉠과 ㉡은 같은 시기에 생성된 암석이 아니다.

X. 연령이 가장 많은 암석은 삼엽층 화석이 산출되는 C의 최하부층 암석이다. 따라서 연령이 가장 많은 암석은 B에 나타나지 않는다.

㉢ 세 암반은 단층면을 경계로 이동했다. 단층면을 경계로 A, B, C의 위치를 비교하면 상대적 이동 방향을 확인할 수 있다. A와 B 사이의 단층면을 보면 화폐석 화석이 산출되는 신생대 셰일층의 높이까지 공룡 화석이 산출되는 중생대 사암층이 올라온 모습을 확인할 수 있다. 따라서 A와 B 사이의 단층은 역단층이다. 또한 B와 C 사이의 단층면을 보면 공룡 화석이 산출되는 중생대 사암층의 높이까지 삼엽층 화석이 산출되는 고생대 사암층이 올라온 모습을 확인할 수 있다. 따라서 B와 C 사이의 단층도 역단층이다. 역단층은 지층이 횡압력을 받았을 때 형성되므로 과거에 이 지역은 횡압력을 받은 시기가 있었다.

## 11 단층 지형

**예설** | 여러 개의 단층에 의해 형성된 지형을 단층 지형이라고 한다. 단층이 형성될 때 양쪽 암반이 단층면을 따라 상대적으로 이동하므로, 이로 인해 단층면을 경계로 인접한 두 암반의 암석 종류, 생성 시기 등이 달라지기 쉽다.

㉠ 이 지역의 지층은 북쪽에서 남쪽으로 약 40°~50° 기울어진 상태이다. 역전된 지층이 없으므로 남쪽에 분포하는 지층이 더 나중에 생성되었다. X-Y 구간은 지층 경계선과 나란하므로 연령이 급변하는 단층면을 제외한 구간에서는 연령이 일정하다. 단층면에서의 연령은 흰색 지층을 기준으로 하여 이 지층보다 위로 갈수록 연령이 적게, 아래로 갈수록 연령이 많게 표현하면 된다. 따라서 X를 시작점으로 하여 Y로 이동하는 과정에서 첫째 단층면에서는 연령이 불연속적으로 감소하고, 둘째 단층면에서는 연령이 불연속적으로 증가하되 첫째 구간보다 연령이 많아야 한다. 마지막 단층면에서는 다시 연령이 불연속적으로 감소하되 첫째와 둘째 단층면 사이에서의 연령과 같아야 한다. 따라서 연령 분포가 가장 적절하게 표현된 것은 ㉠이다.

## 12 방사성 동위 원소의 붕괴 곡선

**예설** | 방사성 동위 원소의 함량(%)이 처음 양의 50%로 감소하는 데 걸리는 시간을 반감기라고 한다. 반감기는 방사성 동위 원소마다 다르다.

㉠ 감소하는 Y의 함량이 50%가 되었을 때 증가하는 Z의 함량도 50%가 되었으므로, Z는 Y의 자원소이다.

X. Z의 모원소인 Y의 반감기는 2억 년이다.

$\frac{Z \text{의 함량}(\%)}{Z \text{의 모원소의 함량}(\%)} = 3$ 이 되려면 반감기가 2회 지나야 한다. 따라서 방사성 붕괴가 시작되고 4억 년이 지나야 한다.

㉢ 방사성 동위 원소의 반감기는 함량이 100%에서 50%, 또는 50%에서 25%로 감소하는 데 걸리는 시간이다. 따라서 임의의 시점을 시작 시점으로 잡아도 그 시점 함량의 50%로 감소하는 데 걸리는 시간은 모두 같으며, 기준 함량에 관계없이 그 함량의 40%로 감소하는 데 걸리는 시간도 언제나 같다. 즉, 함량이 50%에서 20%로 감소하는 데 걸리는 시간은 함량이 100%에서 40%로 감

소하는 데 걸리는 시간과 같다. 따라서 모든 방사성 동위 원소에서  
 함량이 50%에서 20%로 감소하는 데 걸리는 시간 은 언제나 1로  
 함량이 100%에서 40%로 감소하는 데 걸리는 시간  
 같다.

수능 3점 테스트

본문 034~037쪽

- |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|
| 01 ② | 02 ① | 03 ④ | 04 ② | 05 ① |
| 06 ② | 07 ⑤ | 08 ③ |      |      |

01 자원이 2종류인 방사성 동위 원소

예설 | 대부분의 방사성 동위 원소는 붕괴되어 한 종류의 자원이 생성되지만, 일부 방사성 동위 원소는 붕괴되어 여러 종류의 자원이 생성되기도 한다.

X. 반감기가 1회 지난 경우 모원소의 함량은 50%로 감소하고 자원의 함량은 50%로 증가한다. X는 증가한 자원 50% 중에서 90%를 차지하므로 결과적으로 45%가 된다.

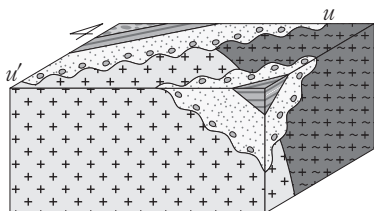
따라서  $\frac{A \text{가 붕괴되어 생성된 X의 함량}}{A \text{의 함량}} = 1$ 이 되는 데 소요되는 시간은 반감기보다 길므로 이 화성암의 절대 연령은 T년보다 많다.

㉠. 반감기가 1회 지난 경우 Y의 함량은 증가한 자원 함량 50% 중 10%에 해당하는 5%이다. 따라서 반감기 1회 경과 시점에서  $\frac{A \text{가 붕괴되어 생성된 Y의 함량}}{A \text{의 함량}} = \frac{5\%}{50\%} = 0.1$ 이므로 이 화성암의 절대 연령은 T년이다.

X. 화성암 생성 직후부터 A가 붕괴되어 90%는 X로, 10%는 Y로 같은 비율을 유지하며 계속 붕괴되므로  $\frac{A \text{가 붕괴되어 생성된 X의 함량}}{A \text{가 붕괴되어 생성된 Y의 함량}}$ 은 항상 9의 값을 유지한다. 따라서 이 비율로는 화성암의 절대 연령을 알 수 없다.

02 습곡

예설 | 습곡이 발달한 지역에서는 암석의 분포가 습곡축에 대하여 대칭적으로 나타난다. 지표면에 노출된 암석의 분포와 퇴적 구조를 이용하여 그 지역의 지사를 해석할 수 있다. 지표면에 노출된 2개의 부정합면 중 북서쪽 부정합면은 북서쪽에 노출된 퇴적암일수록 최근에 생성되었음을 나타내고, 남동쪽 부정합면은 남동쪽에 노출된 퇴적암일수록 최근에 생성되었음을 나타낸다. 따라서 지층이 역전되지 않은 이 지역에는 배사 구조의 습곡이 존재한다.



㉠. 지층이 역전되지 않았고, 중심부에서 바깥쪽으로 갈수록 최근에 생성된 퇴적암이 대칭적으로 분포하므로 습곡은 배사 구조이다.

X. 부정합면 하부에 화강암과 편마암이 분포하므로 u-u'은 난정합이다.

X. 이 지역을 구성하는 암석의 생성 순서는 편마암 → 화강암 → (부정합) → 사암 → 셰일 → 역암 순이다. 따라서 가장 최근에 생성된 퇴적암은 역암이다.

03 방사성 탄소를 이용한 연대 측정

예설 |  $^{14}\text{C}$ (방사성 탄소)는 붕괴되어  $^{14}\text{N}$ 로 변하지만, 대기권 상층에서  $^{14}\text{N}$ 가 지구 밖에서 오는 중성자와 반응하여  $^{14}\text{C}$ 로 변하므로 자연계에서  $^{14}\text{C}$ 의 총량은 거의 변하지 않는다. 따라서 대기 중  $\frac{^{14}\text{C}}{^{12}\text{C}}$  값도 일정하게 유지되고, 물질 대사가 활발한 살아 있는 생물체 내부의  $\frac{^{14}\text{C}}{^{12}\text{C}}$  값도 일정하게 유지된다. 생물이 죽어서 물질 대사가 중지되면 생물체 내부의  $^{12}\text{C}$ 의 양은 변하지 않지만,  $^{14}\text{C}$ 는 붕괴되어 양이 감소한다. 따라서 생물이 죽은 후 내부의  $\frac{^{14}\text{C}}{^{12}\text{C}}$  값을 조사하면 생물이 죽은 시기를 알 수 있다.

㉠. 생물이 죽은 후에는 안정한 원자핵을 가진  $^{12}\text{C}$ 의 양은 변하지 않지만, 불안정한 원자핵을 가진  $^{14}\text{C}$ 는 붕괴되어 양이 감소한다. 따라서  $\frac{^{14}\text{C}}{^{12}\text{C}}$  값은 감소한다.

㉡.  $^{14}\text{C}$ 가 처음 양의  $\frac{1}{8}$ 로 감소했으므로 반감기가 3회 경과했다.  $^{14}\text{C}$ 의 반감기는 약 5700년이므로 ㉡은 약 17100년이다.

X.  $^{14}\text{C}$ 의 반감기는 약 5700년으로 비교적 짧으므로 수억~수십억 년 전의 선캄브리아 시대에 생존했던 생물체의 연대 측정에는 적합하지 않다.

04 반감기

예설 | 방사성 동위 원소(모원소)는 붕괴하여 안정한 자원으로 변하는데, 방사성 동위 원소의 함량이 최초 함량의 50%로 감소하는 데 걸리는 시간을 반감기라고 한다. 남아 있는 모원소의 양(N)과 최초 모원소의 양( $N_0$ ) 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$N = N_0 \left( \frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T}} \quad (t: \text{절대 연령}, T: \text{반감기})$$

X. B에서는 생성 당시 100%였던 Y의 함량이 t년 후 25%가 되었으므로 반감기가 2회 경과하였다. 따라서 Y의 반감기는  $\frac{t}{2}$ 년이다.

A에서는 생성 당시 X가 100%였는데 t년 후 이 중  $\frac{1}{4}$ 이 X'으로 변했다. 모원소의 함량(%)이 많을수록 같은 시간 동안 방사성 동위 원소의 붕괴에 의해 함량이 감소하는 폭이 크므로, 이전 t년 동안 25% 감소했다면 이후 t년 동안은 25%보다 적게 감소한다. 그러므로 X의 반감기는 2t보다 길고, 따라서 반감기는 X가 Y보다 4배 이상 길다.

X. 현재 B에는 Y가 12.5% 남아 있으므로 반감기가 3번 지난 것이다. 따라서 현재는 B가 생성된 이후  $\frac{3t}{2}$ 년이 경과한 시점이다. X의 반감기는 2t보다 길다고 했으므로 현재 시점에는 X : X'이 1 : 1이 될 수 없다. X : X'이 1 : 1이 되려면 반감기가 1회 지나야 한다.

㉔. 화성암의 절대 연령은 화성암을 구성하는 광물이 굳어진 이후의 경과 시간이므로 B가 굳은 이후 현재까지의 시간에 해당한다. 따라서 이 화성암의 절대 연령은  $\frac{3t}{2}$ 년이다.

### 05 암석의 연령 변화

**예설** | 퇴적암은 아래에서 위로 쌓이므로 한 지층 내에서도 하부에서 상부로 갈수록 연령이 서서히 적어진다. X-Y 구간에는 총 세 종류의 퇴적암이 노출되어 있고, 습곡에 의해 지층이 휘어져 있다. 지표면에 노출된 암석이 각 지층의 하부에 가까운지 상부에 가까운지를 비교하면 부분별 연령 변화 경향을 추정할 수 있다. 또한 기저 역암이 분포하는 것으로 보아 부정합면도 노출되어 있는데, 부정합면을 경계로 상하 지층의 생성 시기 사이에 큰 시간적 간격이 있다는 사실도 고려해야 한다.

㉑. 기저 역암이 분포하는 X에서 출발하여 동쪽으로 향사축까지 갈수록 상대적으로 상부에 퇴적된 지층이 노출되어 있다. 향사축을 지난 후에는 동쪽으로 갈수록 상대적으로 하부에 퇴적된 지층이 노출되고 중앙부의 부정합면이 나온다. 따라서 이 지역의 서쪽과 중앙부에 노출된 2개의 부정합면 사이 구간에서는 연령이 서서히 감소하다가 증가한다. 중앙부의 부정합면 동쪽으로는 부정합면 하부 지층이 노출되므로 부정합면 경계 지점에서 연령이 큰 폭으로 증가한 후, 퇴적암 구간에서는 연령이 서서히 증가한다. 배사축을 지나면서 연령이 서서히 감소하고, 동쪽의 부정합면이 노출된 지점에서는 연령이 큰 폭으로 감소한 후, 이어진 퇴적암 구간에서는 연령이 서서히 감소하는 경향이 나타난다. 따라서 이와 같은 X-Y 구간의 암석의 연령 변화를 가장 적절하게 표현한 그래프는 ㉑이다.

### 06 지사 해석

**예설** | 지사학의 기본 법칙을 이용하여 암석 생성의 선후 관계를 알아낼 수 있다. 이 지역의 암석 생성 순서는 편마암 → 화강암 → (부정합) → 사암 → 셰일 → 석회암 → (정단층) → (부정합) → 사암 → 셰일 → 안산암 순이다.

✗. 부정합면 하부에 편마암과 화강암이 분포하는 아래쪽 부정합은 난정합이고, 석회암과 사암 사이에 형성된 부정합은 위 지층과 아래 지층의 경사가 서로 다르므로 경사 부정합이다. 따라서 이 지역에는 평행 부정합이 존재하지 않는다.

㉒. 앞면 중앙부에 드러난 단층은 단층면을 경계로 오른쪽 상반이 왼쪽 하반에 대해 아래로 이동했으므로 정단층이다. 따라서 장력에 의해 형성된 단층이다.

✗. 퇴적암 중 가장 나중에 생성된 암석은 지표면 가장 뒤쪽에 분포하는 셰일이다.

### 07 방사성 동위 원소의 함량 변화

**예설** | 화성암에는 방사성 동위 원소가 붕괴되어 생성된 자원소와 동일한 원소가 그 화성암이 생성될 때부터 주요 성분으로 포함된 경우가 많다. 이와 같은 화성암의 경우에는 암석 생성 시점의 자원소 함량이 0이 아니다.

㉓. ㉑은 화성암 생성 이후 시간이 경과함에 따라 함량이 증가하는 양상이 나타나므로, 새로 만들어진 자원소의 함량 곡선이다. 따라서

㉑은 Y의 함량을 나타낸다.

㉒. ㉑의 함량이 1억 년 후에 생성 시점 함량의  $\frac{1}{2}$ 로 감소했으므로 X의 반감기는 1억 년이다.

㉔. 화성암 생성 시점부터 Y의 함량이 0이 아니므로 Y는 방사성 동위 원소 X가 붕괴되어 만들어지기 전부터 화성암의 성분으로 포함되어 있었음을 알 수 있다. 따라서 이 화성암에는 생성 당시부터 Y 성분을 포함하는 광물이 존재했다.

### 08 상대 연령과 절대 연령

**예설** | 지사학의 법칙을 이용하여 상대 연령을 결정하고 방사성 동위 원소의 함량 분석을 통해 화성암의 절대 연령을 확인하면 해당 지역의 지사를 보다 구체적으로 알 수 있다. 지사학의 기본 법칙을 이용하여 상대 연령을 결정하면, 이 지역의 암석은 C → II → B → A → I 순으로 생성되었다. I에 포함된 방사성 동위 원소는 반감기가 1회 지났고, II에 포함된 방사성 동위 원소는 반감기가 2회 지났다. 따라서 I에는 X가, II에는 Y가 포함되어 있다. 만약 I에 Y가, II에 X가 포함되어 있다면 I과 II 모두 1억 년 전에 생성되었으므로 적절하지 않다. 따라서 I은 0.5억 년 전에, II는 2억 년 전에 생성되었다.

㉕. B와 C 사이의 부정합면 하부에 편마암이 분포하므로 이 부정합은 난정합에 해당한다.

㉖. C가 생성된 후에 II가 관입하였고 부정합면이 형성된 후에 B와 A가 연속적으로 퇴적되었으며 가장 나중에 I이 관입하였다. 따라서 암석의 생성 순서는 C → II → B → A → I이다.

✗. II는 2억 년 전에, I은 0.5억 년 전에 생성되었다. 따라서 II는 I보다 1.5억 년 먼저 생성되었다.

THEME

05

## 지질 시대의 환경과 생물

많은 낱 문제로 유형 익히기

본문 039쪽

## 정답 ②

예설 | A는 원생 누대, B는 현생 누대, C는 시생 누대이다.

✕. A는 지속 기간이 가장 긴 원생 누대이다.

○. 삼엽충의 출현과 번성은 고생대에 발생한 지질학적 사건이다. 따라서 ①은 현생 누대인 B 기간에 발생했다.

✕. 에디아카라 동물군의 출현은 원생 누대 말기에 발생한 지질학적 사건이다. 초대륙 판게아는 고생대 말~중생대 초에 존재했다. 따라서 ①이 발생한 시기에는 초대륙 판게아가 존재하지 않았다.

## 수능 2점 테스트

본문 040~041쪽

01 ④    02 ③    03 ⑤    04 ①    05 ②  
06 ⑤    07 ④    08 ①

## 01 지질 시대의 길이

예설 | 40억 년 전부터의 지질 시대는 시생 누대, 원생 누대, 현생 누대로 구분한다. 시간 길이는 원생 누대가 가장 길고 현생 누대가 가장 짧다. 따라서 A는 시생 누대, B는 현생 누대, C는 원생 누대에 해당한다.

✕. A는 약 40억 년 전~약 25억 년 전 사이인 시생 누대이다. 이 기간에는 남세균이 출현하여 스트로마톨라이트를 형성하는 등 단세포 생물이 존재했다.

○. B는 약 5.41억 년 전~현재까지인 현생 누대이다. 현생 누대는 고생대, 중생대, 신생대로 구분하는데, 최초의 육상 생물은 고생대 전기에 출현했다.

○. C는 약 25억 년 전~약 5.41억 년 전 사이인 원생 누대이다. 원생 누대 말기에는 최초의 다세포 동물이 출현했다.

## 02 지질 시대의 생물

예설 | 지질 단면에 나타난 암석의 생성 순서는 C → A → B → D → E이다. 따라서 가장 먼저 생성된 C는 고생대, 다음에 생성된 A와 B는 중생대, 마지막에 생성된 D와 E는 신생대에 생성된 암석이다.

○. 문제 조건에 따라 A와 B는 모두 중생대에 관입하였다.

○. C는 고생대에 생성된 퇴적암이다. 따라서 C에서는 고생대에 번성했던 해양 동물인 삼엽충 화석이 산출될 수 있다.

✕. D는 신생대에 생성된 퇴적암이다. 따라서 D가 퇴적되던 시기에 육상에서는 포유류가 번성했다. 공룡은 중생대 말에 멸종했다.

## 03 현생 누대의 생물

예설 | 현생 누대에는 시대별로 다양한 생물이 번성하였다. 고생대에는 삼엽충, 방추충, 갑주어, 필석 등이, 중생대에는 암모나이트와 공

룡 등이, 신생대에는 화폐석과 매머드 등이 번성하였다.

✕. (가)의 A에서는 중생대에 번성한 육상 동물인 공룡 화석이 산출되고, B에서는 해양 동물인 암모나이트 화석이 산출된다. 그런데 (가)의 가장 하부 지층에서 신생대에 번성한 화폐석 화석이 산출되는 것으로 보아 이 지역의 지층은 역전된 상태이다. 따라서 중생대 지층은 육성층인 A가 먼저 퇴적되었고 해성층인 B가 나중에 퇴적되었다.

○. 지층이 역전되지 않은 경우, 기저 역암은 부정합면 위에 분포한다. (나)의 부정합면을 경계로 산출되는 화석을 보면 아래 지층에서는 고생대의 삼엽충 화석이, 위 지층에서는 신생대의 화폐석 화석이 산출된다. 따라서 (나)의 지층은 역전되지 않았으므로, 기저 역암은 부정합면 위쪽에 분포한다.

○. B에서는 중생대의 해양 동물인 암모나이트 화석이, C에서는 신생대의 해양 동물인 화폐석 화석이 산출되므로 두 퇴적암 모두 바다에서 생성되었다.

## 04 지질 시대 생물의 멸종

예설 | 현생 누대 기간에 발생한 5회의 대규모 멸종을 5대 멸종이라고 한다. 생물과의 멸종 비율(%)이 가장 높았던 멸종은 고생대 페름기 말에 발생했다.

○. ① 기간은 고생대 캄브리아기~오르도비스기, ② 기간은 고생대 실루리아기~페름기에 해당하므로 모두 고생대에 포함된다.

✕. ①과 ②의 경계는 고생대와 중생대의 경계 시기이므로 삼엽충이 멸종한 시기이다. 암모나이트는 중생대 말에 멸종했다.

✕. 최초의 포유류는 중생대 전기에 출현하였다. ③은 신생대이므로 최초의 포유류가 출현한 시기는 ③에 포함되지 않는다.

## 05 지질 시대의 생물

예설 | 지질 시대를 거치면서 지구 환경은 계속 변했고, 이에 따라 생존했던 생물들도 발생, 적응, 진화, 멸종을 반복하면서 계속 변하였다.

✕. (가)는 속씨식물인 활엽수의 나뭇잎 화석으로, 속씨식물은 신생대에 번성했다. 고생대 석탄층은 대부분 고생대 후기에 번성한 양치식물이 퇴적된 후 탄화 작용을 거쳐 생성되었다.

✕. (나)는 고생대 전기에 번성한 필석이며, 고생대 전기에는 육상 생물이 번성하지 못하였다. 잠자리를 비롯한 거대 곤충류는 대기 중에 산소가 풍부하고 대형 양치식물이 번성한 고생대 후기에 등장했다.

○. (다)는 중생대 중기에 출현한 시조새이다. 최초의 포유류는 중생대 전기에 출현하였으므로 (다)보다 먼저 출현했다.

## 06 표준 화석과 시상 화석

예설 | 생존 기간이 짧고 분포 면적이 넓은 생물의 화석은 표준 화석으로, 생존 기간이 길고 분포 면적이 좁은 생물의 화석은 시상 화석으로 이용하기에 적합하다. 화석은 대부분 불투명한 암석 속에 포함되어 있고, 암석을 깨면서 찾아야 하므로 분포 범위 내에서는 개체 수가 많아서 쉽게 발견할 수 있는 것이 유용하다.

○. ①은 A와 B 두 지역, ②은 A~E 전체 지역에서 산출되므로 분포 면적은 ①보다 ②이 넓다. ①은 I~V 지층, ②은 III~V 지층에서 산출되므로 ①은 ②보다 생존 기간이 길다. 따라서 환경 변화에 민감하여 분포 지역이 제한적이면서 생존 기간은 긴 ①이 모든 지역에

분포하는 ㉠보다 시상 화석으로 유용하다.

㉡. ㉠은 B~E 네 지역, ㉡은 B 한 지역에서만 산출되므로 분포 면적은 ㉠이 ㉡보다 넓다. ㉢은 II 지층에서만 산출되고, ㉣은 II~IV 지층에서 산출되므로 생존 기간은 ㉠이 ㉢보다 길다. 표준 화석으로 이용하기에는 분포 면적이 넓고 생존 기간이 짧은 생물의 화석이 유리하므로, ㉠이 ㉢보다 표준 화석으로 유용하다.

㉤. (나)에서 지층 II와 III 사이에서는 1종의 화석 산출이 멈추었고, 1종의 새로운 화석이 산출되기 시작했다. 지층 III과 IV 사이에서는 산출 화석의 변화가 없다. 지층 II와 III 사이의 화석 변화가 지층 III과 IV 사이의 화석 변화보다 뚜렷하므로 생물계의 변화는 지층 II와 III 사이가 지층 III과 IV 사이보다 뚜렷하다고 볼 수 있다.

### 07 중생대의 기후와 환경

예설 | 현생 누대 중 고생대에는 2회, 신생대에는 후반부에 빙하기가 있었지만, 중생대는 전 기간이 대체로 온난하여 빙하기가 없었다.

㉠. 이 지질 시대의 중기에 약간 한랭한 기간이 있었지만 2회의 빙하기가 나타나는 고생대의 평균 기온 변화와 다르고, 후기에 한랭한 빙하기가 있었던 신생대의 특징도 나타나지 않는다. 따라서 이 자료는 중생대의 평균 기온을 나타낸 것이다.

㉡. 거대 곤충이 번성한 시기는 지구 대기 중에 산소가 풍부하고 거대 양치식물이 번성했던 고생대 후기이다. 중생대에는 거대 곤충이 번성하지 않았다.

㉢. 공룡은 중생대에 번성하였으며 중생대 말기에 멸종하였다.

### 08 우리나라의 중생대 암석과 화석

예설 | 우리나라 중생대 지층에는 다양한 육성 퇴적암과 화산암 등이 분포한다. 육지에서 생성된 퇴적암에서는 동물의 발자국 화석 등이 발견된다.

㉠. 중생대에 번성한 공룡의 발자국 화석이 발견되므로 중생대에 생성된 퇴적암이 분포한다는 것을 알 수 있다.

㉡. 대륙대는 대륙 사면의 끝자락에 연결된 수심이 깊은 해저 퇴적 환경이므로 육상 동물의 발자국 화석이 발견될 수 없다.

㉢. 병풍바위에서 관찰되는 기둥 모양으로 갈라진 주상 절리는 지표로 분출된 용암이 급격히 냉각되는 과정에서 부피가 수축하여 형성된 것이다.

## 수능 3점 테스트

본문 042~043쪽

01 ㉢

02 ①

03 ①

04 ②

### 01 지사 해석

예설 | 지사학의 기본 법칙과 방사성 동위 원소의 반감기를 이용하면 과거에 발생했던 지질학적 사건들의 과정을 추정할 수 있다.

(가)의 지질 단면에 지층 누층의 법칙, 관입의 법칙, 부정합의 법칙을 적용하여 이 지역에서 지질학적 사건이 F → (부정합) → E → D → (단층 f-f') → (부정합) → C → B → A → G 순으로 일어났음을 알 수 있으며, 동물군 천이의 법칙을 이용해 A는 신생대에 생성된 퇴적암임을 알 수 있다.

㉡. G에 포함된 방사성 동위 원소 X의 함량이 50%이므로 G의 절대 연령은 X의 반감기와 같다. G가 신생대에 생성된 퇴적암 A를 관입했으므로 G는 A보다 절대 연령이 적어야 한다. 따라서 X의 반감기는 약 6600만 년보다 짧다.

㉢. D는 F보다 나중에 생성되었고, D는 G에 의해 관입 당하였으므로 G보다 먼저 생성되었다. 따라서 D의 연령은 t<sub>1</sub>과 t<sub>2</sub> 사이, 즉 X의 반감기가 1회 경과한 시간~2회 경과한 시간 사이에 해당한다. X의 반감기는 약 6600만 년보다 짧아야 하므로 F의 절대 연령은 최대 6600만 년×2회=1억 3200만 년 정도이며, 1억 3200만 년 전은 중생대에 해당한다. 삼엽충은 고생대에 번성하였으므로 D에서는 삼엽충 화석이 산출될 수 없다.

㉣. 단층 f-f'은 오른쪽의 상반이 왼쪽의 하반에 대해 위로 올라간 역단층이다. 역단층은 횡압력에 의해 형성되므로 이 지역의 지층은 횡압력을 받은 시기가 있었다고 판단할 수 있다.

### 02 지질 연대표

예설 | 지질 시대에 일어난 중요한 지질학적 사건들을 이용하여 주사위 놀이판을 만들면 재미있게 과거의 지구 역사에 대해 학습할 수 있다.

㉠. 주사위 놀이판에 제시된 지질학적 사건 ㉠은 고생대 석탄기에 발생하였다. 고생대 석탄기에는 양치식물과 거대 곤충이 번성하였다. 속씨식물의 출현(㉡)은 중생대 후기, 에디아카라 동물군의 출현(㉢)은 원생 누대 말, 삼엽충의 출현(㉣)은 고생대 초, 공룡의 번성(㉤)은 중생대에 일어난 지질학적 사건이다.

### 03 고기후 연구

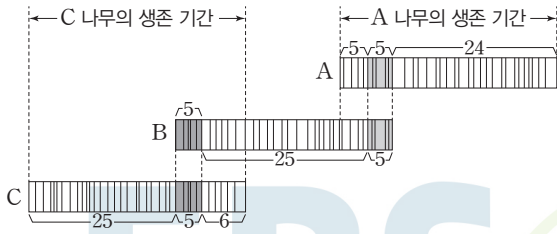
예설 | 나무의 나이테 폭에는 그 나무가 자라온 역사가 새겨져 있다. 같은 기후 환경 지역에 서식하는 나무의 나이테에는 그 지역의 기후 변동 정보가 포함되어 있으므로 이 정보를 이용하여 과거의 기후에 대해 추정할 수 있다. 나이테 폭을 이용한 연대 측정법을 나이테 연대 학이라고 한다.

같은 기간 동안 형성되어 같은 모양을 나타내는 나이테는 서로 다른 나이테 자료들을 이어주는 연결 고리 역할을 하므로, 암상에 의한 지층 대비 과정의 건층(열쇠층)과 유사한 역할을 한다고 볼 수 있다.

㉠. 나이테는 중심부로부터 바깥쪽으로 매년 하나씩 형성된다. 따라서 중심부일수록 과거의 기후 정보를, 바깥쪽일수록 최근의 기후 정보를 포함하고 있다.



✕. 같은 나이테 모양을 이용하여 채취된 나이테 표본을 시간 순서로 배열하면 B 나무의 중앙부 25년 중 C 나무가 생존한 기간은 후반부 6년이고, A 나무가 생존한 기간은 전반부 5년이다. 따라서 A와 C를 채취한 두 나무가 함께 생존했던 기간은 존재하지 않는다.



✕. 목재의 나이테에 기록된 기간은 A가 34년, B가 35년, C가 36년이지만 A와 B의 중복 기간이 10년, B와 C의 중복 기간이 11년이므로 이 기간을 제외하면 기후 정보를 알아낼 수 있는 기간은 총 84년이다.

### 04 지질 시대의 대기 성분과 환경 변화

예설 | 온실 기체와 산소 등 대기 성분의 변화는 생물계와의 지속적인 상호 작용을 통해 지구 환경을 변화시켰다.

✕. 대기 중 O<sub>2</sub> 함량(%)이 최대였던 시점은 고생대 말이다. 이 시기에는 대형 양치식물이 번성했는데, 이 식물들이 퇴적된 후 탄화 작용을 거쳐 석탄층이 생성되었다. 겉씨식물인 침엽수는 주로 중생대에 번성하였다.

✕. 대기 중 O<sub>2</sub> 함량이 15% 이하로 낮아졌던 기간은 중생대에도 오랫동안 지속되었지만, 중생대는 빙하가 없는 온난한 시기였다. 따라서 대기 중 O<sub>2</sub> 함량이 15% 이하로 낮아졌던 기간마다 대규모 빙하가 도래한 것은 아니다.

㉠. 육상 생물이 출현한 시기는 고생대 전기이므로, 이 이후의 대기 중 O<sub>2</sub> 함량(%)과 CO<sub>2</sub> 농도를 비교하면 두 기체 성분의 함량(%)과 농도 변화 양상이 대체로 반비례하는 관계에 있음을 알 수 있다.

## THEME 06

### 기압과 날씨의 변화

#### 짧은 꼬 문제로 유형 익히기

본문 045쪽

#### 정답 ②

예설 | 우리나라 주변에 발달한 온대 저기압에는 대체로 저기압 중심의 남서쪽에 한랭 전선이, 남동쪽에 온난 전선이 발달한다. 한랭 전선의 후면에서는 좁은 영역에 적운형 구름이 발달하고, 온난 전선의 전면에서는 넓은 영역에 층운형 구름이 발달한다. 따라서 기상 레이더 영상을 통해 전선의 위치를 파악하면 A 지점 부근에는 한랭 전선이, B 지점 부근에는 온난 전선이 분포한다는 사실을 알 수 있다.

✕. A 지점에는 두꺼운 적운형 구름이, B 지점에는 층운형 구름이 발달해 있다. 따라서 구름의 두께는 A 지점이 B 지점보다 두껍다.

✕. 21시에 A 지점은 시간당 30 mm 이상의 강한 강수가 나타나고, C 지점은 강수 현상이 거의 나타나지 않는다. 따라서 강수량은 A 지점이 C 지점보다 많다.

㉠. C 지점은 21시에 한랭 전선과 온난 전선 사이에 위치하며 주로 남풍 계열의 바람이 분다.

#### 수능 2점 테스트

본문 046~047쪽

- 01 ③
- 02 ③
- 03 ⑤
- 04 ②
- 05 ⑤
- 06 ⑤
- 07 ④
- 08 ⑤

### 01 계절별 일기도

예설 | (가)는 겨울철, (나)는 봄철의 일기도이다.

㉠. (가)는 시베리아 고기압이 발달하여 서고동저형의 기압 배치가 나타나는 겨울철 일기도이다.

㉡. A는 정체성 고기압, B는 이동성 고기압이다. 이동성 고기압은 규모가 큰 정체성 고기압에서 떨어져 나와 이동하는 고기압이다. 따라서 대기 순환의 규모는 정체성 고기압인 A가 이동성 고기압인 B보다 크다.

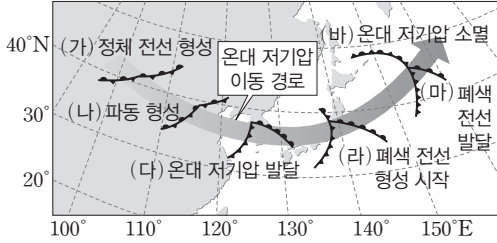
✕. 우리나라 봄철에는 주로 온난 건조한 양쯔강 기단의 영향으로 형성된 이동성 고기압과 저기압이 편서풍을 따라 지나가기 때문에 날씨가 자주 바뀐다. 우리나라가 주로 한랭 건조한 기단의 영향을 받는 계절은 겨울철이다.

### 02 온대 저기압

예설 | 온대 저기압은 중위도의 정체 전선상의 파동으로부터 발생하며, 편서풍의 영향으로 서쪽에서 동쪽으로 이동한다. 온대 저기압은 한랭 전선의 이동 속도가 온난 전선의 이동 속도보다 빠르므로 폐색 전선이 형성되며 소멸한다.

㉠. 온대 저기압의 발달 과정에서 A는 폐색 전선이 형성되기 시작한 단계이고, B는 온대 저기압 중심의 남서쪽에 한랭 전선이 형성되고 남동쪽에 온난 전선이 형성되면서 온대 저기압이 발달한 단계이다.

따라서 온대 저기압의 발달 과정에서 A는 B보다 나중 단계이다.



- ㉠ 온대 저기압은 편서풍의 영향으로 대체로 서쪽에서 동쪽으로 이동한다.
- ㉡ 온대 저기압의 주요 에너지원은 찬 공기와 따뜻한 공기가 만나는 전선에서의 기단의 위치 에너지이다.

### 03 전선

예설 | (가)는 한랭 전선, (나)는 폐색 전선, (다)는 온난 전선이다.

- ㉠ 한랭 전선이 통과하면 바람은 대체로 남풍 계열에서 북풍 계열로 바뀐다.
- ㉡ (나)는 한랭형 폐색 전선이다. 한랭 전선을 형성한 찬 공기가 온난 전선을 형성한 찬 공기보다 온도가 낮을 때 한랭형 폐색 전선이 형성된다. 따라서 기온은 B 지점이 C 지점보다 낮다.
- ㉢ 폐색 전선은 이동 속도가 상대적으로 빠른 한랭 전선이 이동 속도가 상대적으로 느린 온난 전선을 따라잡아 두 전선이 겹쳐질 때 형성된다.

### 04 온대 저기압과 날씨

예설 | (나)의 일기 기호에서 기압은 1002.5 hPa, 기온은 15°C, 풍향은 남서풍, 풍속은 2 m/s이다.

- ㉠ A는 한랭 전선이 통과하였다. 한랭 전선이 통과하면 기온이 하강하고 바람은 대체로 남풍 계열에서 북풍 계열로 바뀐다.
- ㉡ C의 일기 기호는 온난 전선과 한랭 전선 사이에서 관측될 수 있는 일기를 나타낸다. 따라서 (나)는 C의 일기 기호에 해당한다.
- ㉢ B는 온난 전선이 통과하기 전으로 찬 공기의 영향을 받으므로 따뜻한 공기의 영향을 받는 C보다 기온이 낮다. 따라서 B의 기온은 15°C보다 낮다.

### 05 온대 저기압과 날씨

예설 | 북반구에서 온난 전선이 통과하면 바람은 대체로 남동풍에서 남서풍으로 바뀌고, 한랭 전선이 통과하면 바람은 대체로 남서풍에서 북서풍으로 바뀐다.

- ㉠ 관측 지역에서 관측 기간 동안 바람이 남서풍에서 북서풍으로 바뀌었다. 따라서 관측 기간 동안 통과한 전선은 한랭 전선이다.
- ㉡ 한랭 전선이 통과하면 기온이 하강하고 기압이 상승한다. 한랭 전선이 통과하여 풍향이 남서풍에서 북서풍으로 바뀔 때 A는 하강하고 B는 상승하므로, A는 기온이고 B는 기압이다.
- ㉢ 온대 저기압 중심이 통과할 때 통과 경로보다 북쪽에 위치한 지역에서는 풍향이 시계 반대 방향으로 변하고, 남쪽에 위치한 지역에서는 풍향이 시계 방향으로 변한다. 이 관측소는 온대 저기압 중심보다 남쪽에 있으므로 한랭 전선이 통과하였다. 따라서 이 기간 동안 이 지역에서의 풍향은 시계 방향으로 변하였다.

### 06 온대 저기압의 이동과 날씨

예설 | 온대 저기압은 편서풍을 따라 서쪽에서 동쪽으로 이동하므로 온난 전선 → 한랭 전선 순으로 전선이 통과하며, 전선을 경계로 풍향, 기온, 기압 등이 크게 달라진다. 한랭 전선의 후면에서는 좁은 영역에 적운형 구름이 발달하고, 온난 전선의 전면에서는 넓은 영역에 층운형 구름이 발달한다.

- ㉠ ㉠일 때는 소나기가 내리고 북풍 계열의 바람이 불고 있으므로 한랭 전선의 후면에 위치한다. 한랭 전선의 후면에서 소나기는 적운형 구름으로부터 내린다.
- ㉡ ㉠일 때는 적운형 구름이 발달해 있고, ㉢일 때는 층운형 구름의 영향을 받고 있다. 집중 호우는 주로 적운형 구름이 발달할 때 발생하므로, 집중 호우가 내릴 가능성은 ㉢일 때보다 ㉠일 때 높다.
- ㉢ ㉠은 한랭 전선의 후면에 위치할 때이고, ㉡은 구름이 거의 없고 남서풍 계열의 바람이 우세하므로 온난 전선과 한랭 전선 사이에 위치할 때이며, ㉢은 온난 전선의 전면에 위치할 때이다. 따라서 이 지역의 일기 현상은 ㉢ → ㉡ → ㉠으로 변하였다.

### 07 정체 전선

예설 | 우리나라 부근에서 장마 전선은 주로 북쪽의 상대적으로 차가운 기단과 남쪽의 따뜻하고 습한 기단이 만나 형성된다. 정체 전선은 두 기단의 세력이 비슷하여 한곳에 오래 머물지만, 어느 한쪽 기단의 세력이 강화 또는 약화되면 남쪽 또는 북쪽으로 이동할 수 있다.

- ㉠ 한랭 전선과 온난 전선은 편서풍에 의해 서쪽에서 동쪽으로 이동하지만, 정체 전선은 한곳에 오랫동안 머물며 두 기단의 세력에 따라 남북 방향으로 이동한다.
- ㉡ 정체 전선을 기준으로 북쪽에는 찬 기단이, 남쪽에는 고온 다습한 북태평양 기단이 분포한다. 북쪽의 찬 기단의 세력이 강해지면 정체 전선은 남하하고, 남쪽의 고온 다습한 기단의 세력이 강해지면 정체 전선은 북상한다. 정체 전선이 7월 15일보다 7월 16일에 더 북쪽에 위치하므로 고온 다습한 기단의 세력은 7월 15일보다 7월 16일에 더 북쪽으로 확장되었다.
- ㉢ 7월 18일에는 정체 전선이 북쪽으로 이동하여 우리나라 남부 지방의 날씨는 북태평양 기단의 영향을 받는다.

### 08 기단과 날씨

예설 | A는 오호츠크해 기단, B는 북태평양 기단, C는 시베리아 기단, D는 양쯔강 기단이다.

- ㉠ 정체 전선은 찬 기단과 따뜻한 기단의 세력이 비슷할 때 형성되며, 오호츠크해 기단과 북태평양 기단이 만나 정체 전선이 형성될 수 있다.
- ㉡ 우리나라에서 시베리아 기단의 영향을 받는 계절은 주로 겨울철이다. 우리나라의 겨울철에는 시베리아 기단의 영향으로 춥고 건조한 날씨가 나타나며 북서풍이 우세하게 분다.
- ㉢ 우리나라의 봄철과 가을철에는 이동성 고기압과 저기압이 교대로 통과하기 때문에 날씨가 자주 바뀌는데, 이동성 고기압은 시베리아 기단에서 일부 떨어져 나오거나 양쯔강 기단의 영향으로 형성될 수 있다.

## 수능 3점 테스트

본문 048~049쪽

01 ③

02 ②

03 ④

04 ⑤

**01 온대 저기압의 이동과 날씨**

**예설** | 우리나라를 통과하는 온대 저기압은 편서풍의 영향을 받아 서쪽에서 동쪽으로 이동한다.

㉠. 우리나라를 통과하는 온대 저기압은 편서풍의 영향을 받아 서쪽에서 동쪽으로 이동하므로, 관측 시간 순서대로 나타내면 (가) → (나)이다.

✕.  $t$ 시경을 기준으로 기온은 하강하고 기압은 상승하며 바람은 남서풍 계열에서 북서풍 계열로 변화했다. 따라서 제주도에는 경과 시간  $t$ 시경에 한랭 전선이 통과하였으므로,  $t$ 시는 3월 26일 21시~3월 27일 9시 사이의 시각이다.

㉡. 온대 저기압 중심이 통과할 때 통과 경로보다 북쪽에 위치한 지역에서는 풍향이 시계 반대 방향으로 변하고, 남쪽에 위치한 지역에서는 풍향이 시계 방향으로 변한다. 제주도는 온대 저기압 중심보다 남쪽에 위치하므로 온대 저기압이 통과하는 동안 풍향은 시계 방향으로 변화했다.

**02 고기압과 저기압**

**예설** | 주변보다 기압이 낮은 곳을 저기압, 주변보다 기압이 높은 곳을 고기압이라고 한다. 저기압에서는 상승 기류가 발달하여 구름이 형성되므로 날씨가 흐리고, 고기압에서는 하강 기류가 발달하여 날씨가 맑다.

✕. (가)는 21시의 기상 위성 영상이다. 가시 영상은 태양 빛이 없는 밤에는 관측되지 않으므로 (가)는 적외 영상이다.

㉠. 기상 위성 영상에서 A 지역에는 구름이 거의 없고, B 지역에는 구름이 발달한 것으로 보아 A 지역에는 고기압 중심이, B 지역에는 저기압 중심이 위치한다. 따라서 공기의 상승 운동은 대체로 A 지역보다 B 지역에서 강하다.

✕. B 지역에는 저기압 중심이 위치한다. 저기압에서는 주변으로부터 저기압 중심으로 바람이 불어 들어온다.

**03 기상 위성 영상**

**예설** | 기상 위성 영상 중 가시 영상은 구름과 지표면에서 반사된 태양 빛이 위성에 감지되어 나타나는 것으로, 구름의 두께가 두꺼울수록 밝게 나타난다. 적외 영상은 온도가 높을수록 어둡게, 온도가 낮을수록 밝게 나타난다. (가)에서는 우리나라를 중심으로 동쪽뿐만 아니라 서쪽에서도 구름이 관측되는데 (나)에서는 서쪽 일부 지역에서 구름이 관측되지 않는다. 이것은 서쪽 일부 지역에 태양 빛이 들어오지 않은 시각에 관측하였기 때문이다. 따라서 (가)는 적외 영상, (나)는 가시 영상이다.

✕. 가시 영상에서 구름이 우리나라를 중심으로 동쪽에서는 관측되는데 서쪽 일부 지역에서는 관측되지 않는 것은 영상을 촬영한 시각이 우리나라의 동쪽에서 해가 뜨고 있는 아침이었기 때문이다.

㉠. A 지역은 적외 영상과 가시 영상에서 모두 밝게 나타나므로, 구름의 최상부 높이가 높고 구름의 두께가 두꺼운 적란운이 분포한다.

C 지역은 가시 영상에서는 밝게 나타나고 적외 영상에서는 어둡게 나타나므로, 대기 하층부에 약간 두꺼운 구름이 분포한다. 따라서 A 지역은 C 지역보다 두꺼운 구름이 발달해 있다.

㉡. B 지역은 적외 영상에서는 밝게 나타나고 가시 영상에서는 어둡게 나타나므로, 구름의 두께가 두껍지 않고 구름 최상부 높이가 높은 구름이 분포한다. 따라서 대기 하층부에 구름이 분포하는 C 지역보다 B 지역에 최상부 높이가 높은 구름이 발달해 있다.

**04 장마 전선**

**예설** | 우리나라 부근에서 장마 전선은 주로 초여름에 전선을 기준으로 북쪽에 위치한 찬 기단과 남쪽에 위치한 따뜻한 기단이 만나 형성된다.

㉠. A 지역보다 B 지역에서 강수 현상이 먼저 나타났다. B 지역에서는 강수 현상이 4시 전부터 시작되어 9시 이후 점차 끝났는데, A 지역에서는 강수 현상이 6시 30분경부터 시작되어 10시 이후까지 지속되고 있다. 이는 강수 구름대가 B 지역에서 점차 A 지역 쪽으로 이동하였기 때문이다. 따라서 이날 6시부터 9시까지 전선 ㉠은 대체로 북상하였다.

㉡. 집중 호우는 한 시간에 30 mm 이상이나 하루에 80 mm 이상의 비가 내릴 때, 또는 연 강수량의 10 % 정도의 비가 하루에 내리는 것을 말한다. B 지역에서는 이날 시간당 30 mm 이상의 비가 내린 시간이 있으므로 집중 호우가 내렸다.

㉢. 장마 전선을 기준으로 구름 및 강수 구역은 주로 찬 기단이 위치하는 곳에 형성된다. 따라서 장마 전선을 따라 형성된 적운형 구름은 대체로 전선의 북쪽에 분포한다.

## 많은 낱 문제로 유형 익히기

본문 052쪽

## 정답 ①

예설 | 태풍의 이동 경로에 대해 오른쪽에 위치한 위험 반원은 태풍 내 바람 방향과 이동 방향이 대체로 일치하므로 태풍의 이동 경로에 대해 왼쪽에 위치한 안전 반원에 비해 풍속이 빠르다.

㉠. (가)에서 풍속이 40 km/h 이상인 지역의 분포를 보면 태풍 중심의 남동쪽이 북서쪽보다 풍속이 빠르다. 따라서 이날 21시에 태풍은 북동진하고 있음을 알 수 있다.

✕. 태풍의 이동 경로에 대해 오른쪽에 위치한 지역에서는 풍향이 시계 방향으로 변하고, 왼쪽에 위치한 지역에서는 풍향이 시계 반대 방향으로 변한다. A 지점은 태풍의 이동 경로에 대해 왼쪽에 위치한 지역이므로 풍향이 시계 반대 방향으로 변한다.

✕. 태풍은 열대 저기압으로 강한 상승 기류에 의해 적란운이 발달한다. A 지점은 B 지점보다 기상 위성 영상에서 밝게 나타나므로 구름 최상부가 더 높으며 더 두꺼운 구름이 발달하였음을 판단할 수 있다. 따라서 공기의 연직 운동은 A 지점이 B 지점보다 활발하다.

## 수능 2점 테스트

본문 053~054쪽

01 ③    02 ②    03 ⑤    04 ④    05 ④  
06 ③    07 ⑤    08 ③

## 01 온대 저기압과 열대 저기압

예설 | 일기도에서 열대 저기압은 온대 저기압보다 등압선이 조밀하고 동심원으로 나타난다. A는 온대 저기압, B는 열대 저기압이다.

㉠. A는 온대 저기압이다. 온대 저기압은 전선을 동반한다.

✕. 온대 저기압은 중위도의 정체 전선상의 파동으로부터 발생하며, 열대 저기압은 위도 5°~25°의 열대 해상에서 주로 발생한다. 따라서 A는 B보다 대체로 고위도에서 발생한다.

㉡. 열대 저기압의 주요 에너지원은 상승하는 공기 중의 수증기가 응결하면서 방출하는 잠열(숨은열)이다.

## 02 태풍의 이동 경로

예설 | 태풍의 이동 경로는 대기 대순환에 의한 바람과 주변 기압 배치의 영향을 받으며, 대체로 포물선 궤도를 그리며 북상한다. 태풍 이동 경로의 오른쪽에 위치한 지역에서는 풍향이 시계 방향으로 변하고, 왼쪽에 위치한 지역에서는 풍향이 시계 반대 방향으로 변한다.

✕. A 지점은 태풍 이동 경로의 오른쪽에 위치하므로, 이 태풍의 영향을 받는 동안 A 지점의 풍향은 대체로 시계 방향으로 변화했다.

㉠. 태풍이 무역풍의 영향을 받을 때는 대체로 북서진하고, 편서풍의 영향을 받을 때는 전향하여 대체로 북동진한다. 6시간 간격으로 나타낸 이 태풍의 이동 거리는 북서진할 때보다 북동진할 때 크다. 따라서

이 태풍은 무역풍의 영향을 받을 때보다 편서풍의 영향을 받을 때 이동 속도가 빠르다.

✕. ㉠일 때 태풍은 한반도에 상륙하였다. 태풍이 상륙하면 수증기가 거의 공급되지 않고, 지표면과의 마찰이 증가한다. 따라서 태풍과 지표면과의 마찰은 ㉠일 때가 ㉡일 때보다 크다.

## 03 우리나라의 주요 악기상

예설 | A는 한파, B는 집중 호우, C는 강풍이다.

㉠. 한파는 고위도의 찬 기단이 위도가 낮은 곳으로 유입되어 급격한 기온 하강을 일으키는 현상이다.

㉡. 우리나라에서 한파는 주로 시베리아 고기압이 확장될 때 발생한다.

㉢. 태풍의 영향권에서는 집중 호우와 강풍이 모두 발생할 수 있다.

## 04 태풍의 이동 경로

예설 | 태풍의 이동 경로는 무역풍과 편서풍, 북태평양 고기압 등 주변 기압 배치의 영향을 받는다.

㉠. 북태평양 고기압이 발달한 시기에 태풍은 북태평양 고기압의 서쪽 가장자리를 따라 이동한다. 따라서 ㉠은 '북태평양'이다.

✕. ㉠은 정체 전선이다. 정체 전선은 두 기단의 세력이 비슷하여 한 곳에 오래 머물지만, 어느 한쪽 기단의 세력이 강화 또는 약화되면 남쪽 또는 북쪽으로 이동할 수 있다.

㉡. 이 해 9월에는 북태평양 고기압이 평년에 비해 북서쪽으로 확장되었다. 따라서 이 해의 9월에 발생한 태풍이 우리나라 부근을 통과할 때의 이동 경로는 평년에 비해 대체로 서쪽에 위치한다.

## 05 태풍과 뇌우의 구조

예설 | (가)는 태풍, (나)는 뇌우이다.

✕. 태풍은 수온이 약 27 °C 이상인 열대 해상에서 발생한다.

㉠. 태풍의 수평 규모는 수백 km이고, 뇌우의 수평 규모는 수 km이다. 따라서 수평 규모는 (나)보다 (가)가 크다.

㉡. (나)는 성숙 단계의 뇌우이다. 성숙 단계에서는 상승 기류와 하강 기류가 함께 나타나며, 강수 현상은 주로 하강 기류가 있는 곳에서 나타난다.

## 06 태풍에 의한 피해

예설 | 태풍이 통과하면 강풍, 호우, 해일 등의 피해가 발생할 수 있다.

✕. 북반구에서 태풍 진행 방향의 오른쪽 지역은 위험 반원으로 태풍의 이동 방향이 태풍의 풍향과 같아서 풍속이 상대적으로 빠르고, 태풍 진행 방향의 왼쪽 지역은 안전 반원으로 태풍의 이동 방향이 태풍의 풍향과 반대이므로 풍속이 상대적으로 느리다. 이 태풍은 서해안으로부터 약 50~100 km 떨어진 황해상에서 북상하고 있다. 따라서 이 태풍이 통과하는 동안 우리나라는 대체로 태풍 이동 경로의 오른쪽에 위치하므로 위험 반원에 속한다.

✕. ㉠의 비구름대는 주로 적란운이다. 온난 전선의 전면에는 층운형 구름이 발달한다.

㉡. 태풍에 의한 해일(폭풍 해일)은 바람과 기압 하강에 의한 해수면 상승으로 발생한다.

## 07 우리나라의 주요 악기상

**예설** | 우리나라의 겨울철에는 강풍, 한파, 폭설 등의 악기상이 나타날 수 있으며, 여름철에는 호우, 폭염 등의 악기상이 나타날 수 있다.

㉠ (가)에서는 한파, 대설, 건조 특보 등이 발효된 것으로 보아 (가)는 주로 우리나라의 겨울철에 내려지는 기상 특보 현황이다.

㉡ 우리나라 겨울철의 한파와 서해안 부근 지역의 폭설은 주로 시베리아 기단의 영향으로 발생한다.

㉢ (나)에서 호우 특보가 발효된 지역은 동서 방향으로 긴 띠 모양을 이루고 있으며, 남부와 중부 일부 지역에는 폭염 특보가 내려졌다. 따라서 북태평양 기단의 세력이 C 지역 부근까지 확장되어 C 지역 부근에 동서 방향으로 정체 전선이 형성되었으며, 이로 인해 C 지역에서는 집중 호우가 내리고 있다. 반면 남부와 중부 일부 지역에는 고온 다습한 북태평양 기단의 영향으로 폭염 특보가 내려졌다.

## 08 뇌우

**예설** | 뇌우는 강한 상승 기류에 의해 적란운이 발달하면서 천둥, 번개와 함께 소나기가 내리는 현상이다. 뇌우는 (가) 적운 단계 → (나) 성숙 단계 → (다) 소멸 단계의 과정을 거친다.

㉠ 뇌우는 강한 상승 기류에 의해 적란운이 발달하면서 발생하므로 태풍에 동반되어 발생하기도 한다.

✕ 천둥과 번개는 주로 소멸 단계보다 성숙 단계에서 발생할 가능성이 높다.

㉢ 적은 단계에서는 강수 현상이 거의 나타나지 않으며, 주로 성숙 단계에서 천둥과 번개를 동반한 강한 비가 내린다. 따라서 단위 시간당 강수량은 (나)일 때가 (가)일 때보다 많다.

### 수능 3점 테스트

본문 055~057쪽

01 ⑤      02 ①      03 ①      04 ①      05 ③  
06 ②

## 01 태풍

**예설** | 기상청에 따르면 앞으로 우리나라를 지나는 태풍은 예년보다 강도가 강해질 것으로 전망하고 있다. 지구 온난화와 북태평양 고기압의 영향 등에 따른 해수면 온도 상승 추세의 영향을 그 원인으로 제시하고 있다.

㉠ (가)에서 1977년~1994년 사이(기간 1)와 1995년~2012년 사이(기간 2)에 한반도에 영향을 준 태풍의 빈도 수는 각각 95회, 94회로 비슷하지만, 기간 1에 비해 기간 2일 때 최대 풍속이 33 m/s 이상인 태풍의 빈도 수는 증가하였다.

㉡ (나)에서 최대 풍속이 48 m/s 이상인 태풍이 한반도를 통과한 빈도는 대체로 증가하였고, 최대 풍속이 33 m/s 미만인 태풍이 한반도를 통과한 빈도는 감소하였다.

㉢ (나)에서 최대 풍속이 18~33 m/s인 태풍이 한반도를 통과한 빈도는 감소하였고, 최대 풍속이 48 m/s 이상인 태풍이 한반도를 통과한 빈도는 대체로 증가하였다. 이는 기간 1일 때보다 기간 2일 때 상대적으로 풍속이 느린 태풍의 영향은 감소한 반면 상대적으로 풍속이 빠른 태풍의 영향은 증가하였다는 것을 의미한다. 따라서 한반도에 영향을 주는 태풍에 의한 강풍의 영향은 기간 1일 때보다 기간 2일 때 증가하였을 것이다.

## 02 태풍의 이동 경로

**예설** | 북반구에서 태풍 진행 방향의 오른쪽 지역은 태풍의 이동 방향이 태풍 내 바람 방향과 같아서 풍속이 상대적으로 빠르고, 태풍 진행 방향의 왼쪽 지역은 태풍의 이동 방향이 태풍 내 바람 방향과 반대이므로 풍속이 상대적으로 느리다.

㉠ (다)에서는 (라)에 비해 우리나라 대부분 지역에서 최대 풍속이 빠르고 대체로 동쪽보다 서쪽의 풍속이 빠르다. (라)에서는 (다)에 비해 우리나라 대부분 지역에서 최대 풍속이 느리고 대체로 서쪽보다 동쪽의 풍속이 빠르다. 따라서 (다)는 태풍의 이동 경로가 (가)일 때의 자료이고, (라)는 태풍의 이동 경로가 (나)일 때의 자료이다.

✕ 북반구에서 태풍 이동 경로의 오른쪽에 위치한 지역에서는 풍향이 시계 방향으로 변하고, 왼쪽에 위치한 지역에서는 풍향이 시계 반대 방향으로 변한다. (라)에 해당하는 태풍이 우리나라를 통과할 때 서울은 태풍 이동 경로의 왼쪽에 위치하므로 풍향은 시계 반대 방향으로 변한다.

✕ 같은 경도상에서 대체로 남쪽에서 북쪽으로 갈수록 최대 풍속이 느려진다. 태풍의 에너지원은 상승하는 공기 중의 수증기가 응결하면서 방출하는 숨은열로, 태풍이 북상하여 상대적으로 찬 바다로 이동하면 열과 수증기 공급이 줄어들고 육지에 상륙하면 지표면과의 마찰이 증가하여 태풍의 세력이 약해진다. 따라서 태풍이 우리나라에 영향을 주면서 북상하는 동안 태풍의 풍속은 대체로 느려진다.

## 03 우박

**예설** | 1972년부터 2013년까지 우리나라에서 우박은 4월, 5월, 11월에 집중되어 내렸고, 하루 중 대체로 12시~17시 사이에 집중적으로 내렸다.

㉠ 우박은 상승 기류가 강한 적란운 내에서 얼음덩어리가 상승과 하강을 반복하면서 생성된다. 적란운은 주로 대기가 불안정할 때 강한 상승 기류에 의해 발달한다.

✕ 1972년부터 2013년까지 우리나라에서 우박의 월별 발생 빈도는 7월과 8월에 가장 낮다. 여름철에는 우박이 떨어지는 동안 대부분 녹아 없어지기 때문이다.

✕ 우박은 적란운 내에서 발생하지만 우박 발생이 많은 가을철이 여름철보다 적란운이 많이 발생하는 것은 아니다.

## 04 서해안 지역의 폭설

**예설** | 폭설은 짧은 시간에 많은 양의 눈이 내리는 기상 현상이다. 우리나라에서 폭설은 주로 겨울철에 시베리아 기단이 확장하면서 해수면으로부터 열과 수증기를 공급받아 상승 기류가 발달할 때 발생한다.

㉠ 시베리아 기단의 이동 거리가 길수록 황해의 영향으로 하층 대기

가 가열되기 때문에 평균 표층 수온과 평균 해수면 부근 기온 차가 작아지는 경향이 나타난다. 따라서 ㉠은 37°N보다 저위도이다.

✗ 이 기간 동안 우리나라에는 시베리아 고기압의 영향으로 북서풍이 우세하였을 것이다.

✗ 서해안 지역의 눈을 만든 수증기는 시베리아 기단이 황해로 확장하면서 해수면으로부터 공급받은 것이다.

## 05 황사

**예설** | 황사는 중국 북부나 몽골의 사막 또는 건조한 황토 지대에서 강한 바람이 불어 상공으로 올라간 모래 먼지가 상층의 편서풍을 타고 이동하여 발생하며, 우리나라에 많은 피해를 일으킨다.

㉠ 고비 사막과 내몽골 고원에서 황사가 발원하여 우리나라에 발생한 월별 황사 일수는 4월에 가장 많다.

㉡ 우리나라에서 황사 발생 일수가 많은 봄철에 황사 발원지에서는 대체로 상대 습도가 낮고 풍속이 빨랐다. 따라서 봄철 황사는 발원지에서 풍속이 빠르고 상대 습도가 낮을 때 발원할 가능성이 높다.

✗ 황사 발원지에서 모래 폭풍에 의해 모래 먼지가 발생한다고 해서 우리나라에 반드시 황사가 발생하는 것은 아니다. 우리나라에서 황사가 발생하기 위해서는 황사 발원지에서 발생한 모래 먼지가 상승 기류를 타고 상승하여 편서풍을 타고 우리나라까지 이동한 후 서서히 하강해야 하므로 우리나라의 기상 상태도 파악해야 한다. 따라서 발원지의 기상 상태를 파악한다고 해서 우리나라에 황사가 발생할지 여부를 판단할 수 있는 것은 아니다.

## 06 기상 예보

**예설** | 대기가 불안정할 때 강한 상승 기류가 형성되어 적란운이 발달한다.

✗ 이날은 북태평양 고기압의 가장자리를 따라 고온 다습한 공기가 유입되고 있으며, 모래는 북태평양 고기압의 세력이 확장되면서 정체 전선의 영향을 받을 것이라고 예보하였다. 따라서 이날은 여름철에 해당한다.

㉡ 이날 21시에 우리나라는 온대 저기압의 한랭 전선과 온난 전선 사이에 위치하며 남서풍이 우세하다. 따라서 '남서'는 ㉠에 해당한다.

✗ ㉠의 소나기는 대기가 불안정해져 발생할 것으로 예보하였다. 대기가 불안정할 때 강한 상승 기류에 의해 적란운이 발달하면서 천둥·번개를 동반한 소나기가 내릴 수 있다. 온난 전선에서 발달한 비구름은 층운형 구름으로 소나기보다 약한 비를 동반한다.

THEME

08

## 해수의 성질

많은 낱 문제로 유형 익히기

본문 059쪽

정답 ①

**예설** | 해수는 깊이에 따른 수온 분포에 의해 표층에서부터 혼합층, 수온 약층, 심해층으로 구분한다.

㉠ 해수에서 산소는 대기로부터 공급되고 또한 광합성에 의해 생성되기 때문에 용존 산소량은 해양 생물의 광합성이 활발하게 일어나는 해수 표층에서 많다. 광합성이 일어나는 층 아래에서는 생물의 호흡 등으로 산소가 소비되기 때문에 수심이 깊어짐에 따라 용존 산소량이 감소하며, 심해에서는 극지방의 표층에서 침강한 찬 해수에 의해 용존 산소량이 약간 많다. 또한 중위도 해역의 해수는 깊이에 따른 수온 분포에 의해 혼합층, 수온 약층, 심해층의 층상 구조를 나타낸다. 혼합층은 태양 복사 에너지에 의한 가열로 수온이 높고, 바람의 혼합 작용으로 인해 깊이에 따라 수온이 거의 일정한 층이다. 수온 약층은 혼합층 아래에서 깊이가 깊어질수록 수온이 급격히 낮아지는 층이다. 심해층은 수온이 가장 낮고 계절이나 깊이에 따른 수온 변화가 거의 없는 층이다. 따라서 (가)는 용존 산소량 분포이고, (나)는 수온 분포이다.

✗ 수온 약층은 혼합층 아래에서 깊이에 따라 수온이 급격히 낮아지는 층으로 표층과 심해층의 수온 차가 클수록 뚜렷하게 나타난다. 따라서 수온 약층은 표층 수온이 높은 30°S 지역이 60°S 지역보다 뚜렷하게 나타난다.

✗ 산소의 용해도는 수온이 낮을수록 높다. 따라서 표층에서 용존 산소량은 대체로 수온에 반비례한다.

수능 2점 테스트

본문 060~061쪽

01 ②    02 ④    03 ③    04 ③    05 ①  
06 ⑤    07 ③    08 ②

## 01 위도별 증발량과 강수량

**예설** | 표층 염분에 가장 큰 영향을 주는 요인은 증발량과 강수량이다. 적도 부근에서 높고 위도 30° 부근에서 낮은 A는 강수량 분포이고, 적도 부근에서 낮고 위도 30° 부근에서 높은 B는 증발량 분포이다.

✗ 표층 염분은 대체로 (증발량 - 강수량)에 비례하므로, 대체로 (B - A)에 비례한다.

㉠ 고압대 지역은 강수량보다 증발량이 많다. 따라서 위도 30° 부근에는 대기 대순환에 의한 고압대가 위치한다.

✗ 북반구 고위도 지방의 표층 염분이 낮은 이유는 증발량이 적고 빙하 용해, 담수 공급 등의 영향을 받기 때문이다.

## 02 해수의 염분

**예설** | 염분은 해수 1 kg 속에 녹아 있는 염류의 총량을 g 수로 나타낸 것이다.

- ✗ 위도 30° 부근 해역은 중위도 고압대로, 증발량이 강수량보다 많으므로 표층 염분이 높다.
- ㉠ 해수가 결빙되면 염류가 주위로 빠져나와 주변 해수의 염분이 높아지고, 해빙이 일어나면 염류가 적은 물이 주변 해수에 공급되어 염분이 낮아진다.
- ㉡ 해수의 염분은 장소나 계절에 따라 다르지만 해수에 포함된 염류들 사이의 상대적인 비율은 거의 일정하며, 이를 염분비 일정 법칙이라고 한다.

### 03 해수의 성질

예시 | A, B, C는 각각 표층수, 중층수, 심층수이다.

- ㉠ 해수의 밀도는 수온이 낮을수록, 염분이 높을수록 커진다. 수온 염분도에서 왼쪽 위에서 오른쪽 아래로 갈수록 수온은 낮아지고 염분은 높아지므로 밀도가 커진다. 따라서 평균 밀도는  $C > B > A$ 이다.
- ㉡ 중위도 해역에서는 깊이에 따른 수온 분포에 의해 혼합층, 수온 약층, 심해층의 층상 구조를 나타낸다. 혼합층은 태양 복사 에너지에 의한 가열로 수온이 높고, 바람의 혼합 작용으로 인해 깊이에 따라 수온이 거의 일정한 층이다. 수온 약층은 혼합층 아래에서 깊이가 깊어질수록 수온이 급격히 낮아지는 층이다. 심해층은 수온이 가장 낮고 계절이나 깊이에 따른 수온 변화가 거의 없는 층이다. A, B, C 중 수온이 가장 낮은 C가 심층수에 해당한다.
- ✗ 다른 조건이 같다면 용존 산소량에 주로 영향을 주는 물리량은 수온이지만, 표층 해수는 대기로부터의 공급으로 인해 가장 높게 나타나고, 수심이 깊어짐에 따라 감소하다가 심해에서는 극지방의 표층에서 침강한 찬 해수로 인해 약간 높게 나타난다. 동해의 경우에도 표층수인 A가 중층수인 B보다 평균 수온이 높는데 평균 용존 산소량이 많다. 따라서 수온이 낮다고 해서 항상 용존 산소량이 많은 것은 아니다.

### 04 해수의 용존 기체

- 예시 | 해수에서 산소는 대기로부터 공급되고 또한 광합성에 의해 생성되기 때문에 용존 산소량은 해양 생물의 광합성이 활발하게 일어나는 해수 표층에서 많다. 광합성이 일어나는 층 아래에서는 생물의 호흡 등으로 산소가 소비되기 때문에 수심이 깊어짐에 따라 용존 산소량이 감소하며, 심해에서는 극지방의 표층에서 침강한 찬 해수에 의해 용존 산소량이 약간 많다. 용존 이산화 탄소량은 표층에서 적고, 수심이 깊어질수록 점차 증가한다.
- ㉠ 용존 기체가 표층에서 많고 수심이 깊어질수록 수심 약 1000 m 까지 감소하다가 다시 증가하고 있다. 따라서 용존 기체는 산소이다.
  - ㉡ 수심 약 1500~4000 m 사이에서 대서양의 동쪽과 서쪽의 용존 산소량을 비교하면 대체로 서쪽이 동쪽보다 많다. 이는 그린란드 부근 해역에서 침강한 해수가 대서양의 서쪽을 따라 남하하기 때문이다.
  - ✗ 용존 산소가 수심 1000 m에서보다 수심 4000 m에서 많은 이유는 극지방의 표층에서 침강한 찬 해수의 영향 때문이다. 광합성은 표층에서 용존 산소량이 많은 이유 중 하나이다.

### 05 우리나라 주변 해역의 표층 수온 분포

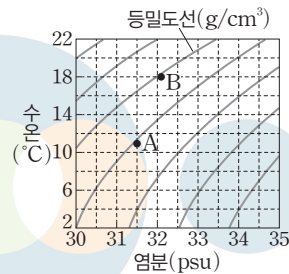
예시 | 우리나라 남해는 연중 표층 수온이 가장 높고, 황해는 표층 수

- 온의 연교차가 가장 크며, 동해는 남북 간의 표층 수온 차가 가장 크다.
- ㉠ 표층 수온의 연교차는 대륙의 영향을 많이 받는 황해가 연중 난류가 흐르는 남해보다 크다.
  - ✗ 동해는 한류와 난류가 만나는 해역으로 황해보다 남북 간의 표층 수온 차가 크다.
  - ✗ 동해의 여름철 표층 수온 분포를 보면 연안이 외해보다 대체로 낮다. 우리나라에서 여름철에는 주로 남풍 계열의 바람이 우세하다. 남풍이 지속적으로 불면 동해안에서는 동쪽으로 해수의 이동이 일어나므로 용승이 일어난다.

### 06 염분비 일정 법칙

예시 | 각 해양에서 염분은 서로 다르지만 해수에 녹아 있는 주요 염류 사이의 비율은 거의 일정하다.

- ㉠ 염분비 일정 법칙에 의해  $31.5 : \textcircled{1} = 24.5 : 25$ 이다. 따라서  $\textcircled{1}$ 은 약 32.14로 32보다 크다.
- ㉡ 해수의 밀도는 수온이 낮을수록, 염분이 높을수록 크므로, 수온 염분도에서 오른쪽 아래로 갈수록 밀도가 크다. A와 B를 수온 염분도에 나타내면 아래 그림과 같다. 따라서 해수의 밀도는 A가 B보다 크다.



- ㉢ 해수의 염분은 해수 1 kg 속에 녹아 있는 염류의 총량을 g 수로 나타낸 것이다. A의 염분이 31.5 psu이므로, A 1 kg을 증발시켜 얻을 수 있는 염류의 양은 31.5 g이다.

### 07 표층 해수의 수온, 염분, 밀도 분포

예시 | A는 표층 해수의 수온, B는 염분, C는 밀도 분포이다.

- ㉠ A는 표층 해수의 수온 분포로, 저위도에서 고위도로 갈수록 대체로 낮아진다. 표층 해수의 수온 분포에 가장 큰 영향을 주는 요인은 태양 복사 에너지이다.
- ㉡ 60°S와 60°N 해역의 표층 수온이 비슷한데, 60°N 해역의 표층 해수의 밀도가 60°S 해역의 표층 해수의 밀도보다 작은 이유는 담수의 유입 등에 의해 60°S 해역보다 60°N 해역의 표층 염분이 낮기 때문이다.
- ✗ 표층 염분은 대체로 (증발량 - 강수량) 값이 클수록 높다. 따라서 (증발량 - 강수량) 값은 표층 염분이 높은 위도 30° 해역이 적도 해역보다 크다.

### 08 동해의 수온과 염분 분포

예시 | 우리나라 동해에서 표층 해수의 수온은 2월보다 8월에 높고, 표층 해수의 염분은 8월보다 2월에 높다.

- ✗ (가)의 물리량은 표층에서 8월보다 2월에 낮고, (나)의 물리량은

표층에서 2월보다 8월에 낮다. 따라서 (가)는 수온 분포, (나)는 염분 분포이다.

㉠. (가)에서 깊이에 따라 수온이 거의 일정한 혼합층은 8월보다 2월에 두껍게 형성되어 있다. 혼합층은 바람이 강할수록 두껍게 발달하므로, 이 해역에서 평균 풍속은 8월보다 2월에 빠르다.

✗. 표층 해수의 염분은 대체로 (증발량-강수량) 값이 클수록 높다. 따라서 8월보다 표층 해수의 염분이 높은 2월에 (증발량-강수량) 값이 크다.

### 수능 3점 테스트

본문 062~063쪽

01 ㉠

02 ㉢

03 ㉢

04 ㉢

## 01 동해의 수온, 염분, 용존 산소량 분포

예설 | 동해에서는 동한 난류와 북한 한류가 만난다.

㉠. 난류는 수온과 염분이 높고, 영양염과 용존 산소량이 적어 식물성 플랑크톤이 적다. 반면 한류는 수온과 염분이 낮고, 영양염과 용존 산소량이 많아 식물성 플랑크톤이 많다. a는 수온이 높은 해역에서 적고, 수온이 낮은 해역에서 많다. 반면 b는 수온이 높은 해역에서 많고, 수온이 낮은 해역에서 적다. 따라서 a는 용존 산소량 분포, b는 염분 분포이다.

㉡. 수온 약층은 표층 수온이 높은 곳에서 뚜렷하다. 따라서 수온 약층은 표층 수온이 낮은 ㉢ 지점보다 표층 수온이 높은 ㉠ 지점에서 뚜렷하게 나타난다.

㉢. 동해에서는 동한 난류와 북한 한류가 만난다. ㉠ 지점 부근을 기준으로 표층 수온, 용존 산소량, 염분이 대체로 크게 변한다. 따라서 ㉠ 지점 부근에서 동한 난류와 북한 한류가 만난다.

## 02 태풍에 의한 해수의 혼합 작용

예설 | ㉠은 표층 수온, ㉡은 해면 기압, ㉢은 10m 높이에서의 풍속이다.

㉠. ㉠은 태풍의 영향을 받을 때 크게 하강하고 있다. 해면 기압, 표층 수온, 10m 높이에서의 풍속 중 태풍의 영향으로 하강하는 물리량은 표층 수온이다. 북반구 저기압에서는 시계 반대 방향으로 부는 바람에 의해 해수의 이동이 일어나 표층에서는 해수가 발산하면서 용승이 일어나고, 강한 바람에 의한 혼합 작용이 일어나 표층 수온이 하강한다.

㉡. 태풍의 영향을 받을 때는 강한 바람에 의해 해수의 혼합 작용이 활발해지므로 혼합층의 두께가 두꺼워진다. 따라서 A 지점에서 혼합층의 두께는 25일보다 태풍의 영향으로 풍속이 빠른 26일에 두껍다.

✗. (가)에서 우리나라 서해안을 따라 표층 수온이 낮게 분포한다. 이것은 태풍이 우리나라 서해안을 따라 북상할 때 바람에 의한 혼합 작용으로 위아래 해수가 섞였기 때문이다. 따라서 B 지점은 태풍 이동 경로의 오른쪽에 있으므로 위험 반원에 위치하였다.

## 03 해수의 수온, 염분, 엽록소 분포

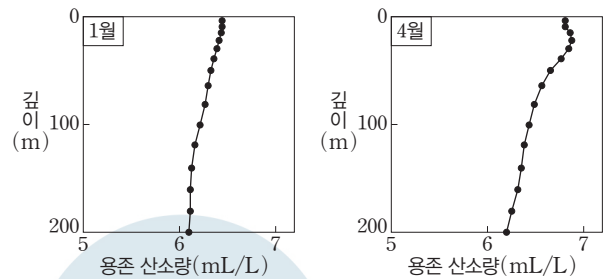
예설 | 해수의 용존 산소량은 일차적으로 기체의 용해도에 영향을 미

치는 수온, 대기압 및 염분에 의해 결정된다. 또한 해수의 용존 산소량은 수중 생물의 활동과 해수의 용승 및 침강의 영향을 받는다.

㉠. 혼합층은 태양 에너지에 의한 가열로 수온이 높고, 바람에 의한 혼합 작용으로 깊이에 따라 수온이 거의 일정한 층이다. 7월보다 1월에 혼합층의 두께가 두꺼우므로 평균 풍속은 7월보다 1월에 빠르다.

㉡. 해수의 밀도는 수온이 낮을수록, 염분이 높을수록 크다. 따라서 표층 해수의 밀도는 10월보다 4월에 크다.

✗. 표층 해수의 용존 산소량은 대기로부터 공급받거나 식물성 플랑크톤의 광합성에 의해 증가한다. 관측 시점 중 표층 해수의 수온은 1월에 가장 낮지만, 4월의 표층 수온도 1월과 비슷하게 낮으며 엽록소의 농도는 4월에 가장 높으므로 4월에 광합성이 가장 활발하다. 용존 산소량에 영향을 주는 요인이 수온뿐이라면 1월에 용존 산소량이 가장 많겠지만, 실제로는 1월보다 광합성이 활발한 4월에 표층 해수의 용존 산소량이 많다. 따라서 광합성에 의해 표층 해수에 공급되는 산소의 양은 1월보다 4월에 많을 것이다.



## 04 수온 염분도

예설 | 수온 염분도는 해수의 특성을 나타내는 그래프로 해수의 밀도와 수괴의 특성을 알아내는 데 이용된다. 해수의 밀도는 수온이 낮을수록, 염분이 높을수록 커진다. 표층 해수의 수온은 대체로 저위도에서 고위도로 갈수록 낮아진다. ㉠은 C에서, ㉡은 B에서, ㉢은 A에서 측정된 자료이다.

㉠. 수온 염분도에서 왼쪽 위에서 오른쪽 아래로 갈수록 수온이 낮아지고 염분이 높아지므로 밀도가 커진다. 따라서 표층 해수의 밀도는  $B > A > C$ 이다.

㉡. A, B, C 해역의 심층 해수는 수온과 염분이 거의 같으므로 같은 기원의 수괴가 분포한다는 것을 알 수 있다. 실제로 A, B, C 해역의 심층에는 동해 고유수(ESPW; East Sea Proper Water)가 존재한다.

✗. 염분이 일정할 때, 수온이 높을 때가 낮을 때보다 수온 염분도의 등밀도선 간격이 좁으므로 수온 변화에 따른 밀도 변화가 크다.



THEME

09

해수의 순환

짧은 꼬 문제로 유형 익히기

본문 066쪽

정답 ⑤

예설 | 평년 기압 분포에서 유라시아 대륙에 저기압이 발달해 있고, 북태평양에 고기압이 발달해 있는 시기는 7월에 해당한다.

㉠. 아열대 순환을 고려할 때, 대양의 동쪽 경계에서는 고위도에서 저위도로 한류가 흐른다. 따라서 A와 C에서 표층 해류는 모두 저위도 방향으로 흐른다.

✕. B에는 남극 순환 해류가 흐른다. 남극 순환 해류는 남반구의 아열대 순환을 이룬다. 아한대 순환은 대양이 육지로 막혀 있는 북반구에서만 소규모로 나타난다.

㉡. 이 평년 기압 분포는 유라시아 대륙에 저기압이 발달해 있고, 북태평양 해역에 고기압이 발달해 있으므로 7월에 해당한다.

수능 2점 테스트

본문 067~068쪽

- |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|
| 01 ③ | 02 ⑤ | 03 ⑤ | 04 ① | 05 ② |
| 06 ④ | 07 ④ | 08 ① |      |      |

01 대기 대순환 모형과 해수의 표층 순환

예설 | 지구의 자전을 고려한 대기 대순환 모형에서는 해들리 순환, 페렐 순환, 극순환이 나타난다. 극순환이 존재하는 곳의 지표 부근에는 동풍 계열의 바람이 불고, 페렐 순환이 존재하는 곳의 지표 부근에는 서풍 계열의 바람이 불며, 해들리 순환이 존재하는 곳의 지표 부근에는 동풍 계열의 바람이 분다.

㉠. ㉠은 극순환, ㉡은 페렐 순환이므로 ㉠은 직접 순환, ㉡은 간접 순환에 해당한다.

㉢. A 해역에는 극동풍이, C 해역에는 무역풍이 분다. 따라서 두 해역에서는 모두 동풍 계열의 바람이 분다.

✕. B 해역에는 편서풍이 불며 표층 해류는 편서풍에 의해 대체로 서쪽에서 동쪽으로 흐른다.

02 해수의 순환

예설 | A 해역은 남아메리카 대륙의 서쪽에 위치하며 한류가 흐르고, C 해역은 남아메리카 대륙의 동쪽에 위치하며 난류가 흐른다. B 해역에는 남극 순환 해류가 흐르며, D 해역은 웨델해로 남극 저층수가 형성되는 곳이다.

㉠. 위도가 같은 A 해역과 C 해역에서 수온만을 고려할 때 표층 용존 산소량은 한류가 흐르는 A 해역이 난류가 흐르는 C 해역보다 많다.

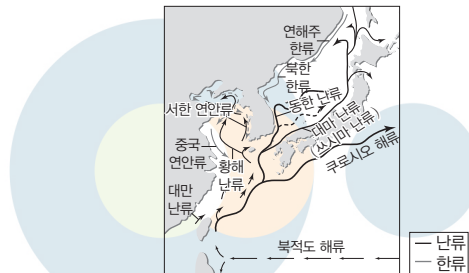
㉢. B 해역에는 남극 순환 해류가 흐른다. 남극 순환 해류는 편서풍에 의해 형성되므로 표층 해류의 이동 방향은 서쪽에서 동쪽이다.

㉤. D 해역은 웨델해에 위치한다. 웨델해에서는 매우 낮은 수온에 의한 해수의 결빙으로 밀도가 커진 해수가 침강하여 남극 저층수가

형성된다.

03 우리나라 주변의 해류

예설 | 우리나라 주변을 흐르는 동한 난류와 황해 난류의 근원은 쿠로시오 해류이고, 북한 한류의 근원은 연해주 한류이다. A 해역에는 북적도 해류가 흐른다.



우리나라 주변의 표층 해류

✕. ㉠은 중국 연안류이다. 북한 한류는 우리나라의 동해에 존재한다.

㉢. ㉢은 쿠로시오 해류이다. 쿠로시오 해류는 동쪽에서 서쪽으로 흐르던 북적도 해류가 대륙과 부딪혀 북쪽으로 이동하며 형성된 해류로 우리나라 주변 난류의 근원이다.

㉤. A 해역에는 북적도 해류가 흐른다. 북적도 해류는 태평양 아열대 표층 순환을 이루는 해류 중 하나이다.

04 지구의 열수지

예설 | 지구는 복사 평형 상태이므로 저위도 지방의 에너지 과잉량과 고위도 지방의 에너지 부족량이 같다. 대기와 해수의 순환에 의해 저위도의 남는 에너지가 고위도로 운반되어 위도별로 기온이 거의 일정하게 유지된다.

㉠. A는 태양 복사 에너지의 흡수량이 지구 복사 에너지의 방출량보다 많은 영역으로 에너지 과잉을 나타낸다. B는 태양 복사 에너지의 흡수량이 지구 복사 에너지의 방출량보다 적은 영역으로 에너지 부족을 나타낸다.

✕. 대기와 해수의 순환에 의해 저위도의 남는 에너지가 고위도로 이동한다. 따라서 ㉠과 ㉡ 모두 열에너지는 주로 고위도 쪽으로 이동한다.

✕. (나)를 보면 북반구 전체에서 대기에 의한 에너지 수송량은 해양에 의한 에너지 수송량보다 많다.

05 대기 대순환과 지표 부근의 바람

예설 | 대기 대순환에 의해 해들리 순환이 존재하는 지표 부근에서는 동풍 계열의 무역풍이 불고, 페렐 순환이 존재하는 지표 부근에서는 서풍 계열의 편서풍이 분다. ㉠은 서풍, ㉡은 동풍이다.

✕. A는 극순환과 페렐 순환을 이루는 공기가 만나 상승하는 곳으로 한대 전선대가 형성된다. C는 해들리 순환과 페렐 순환을 이루는 공기가 만나 하강하는 곳으로 지표 부근에서 공기의 발산이 일어난다. 따라서 남북 방향의 온도 차는 A가 C보다 크다.

㉢. B는 해들리 순환을 이루는 공기가 상승하는 곳으로 지표면 가열에 의해 저압대가 형성된다.

✕. 북태평양 해류는 편서풍에 의해 형성된다. 지표 부근에 무역풍이 부는 B와 C 사이에서는 북적도 해류가 나타난다.

## 06 표층 순환과 심층 순환

**예설** | 심층 순환은 해수의 밀도 차에 의해 발생한다. 해수의 밀도 차를 일으키는 주요 원인은 수온과 염분의 변화이다. 고위도 해역에서 냉각되거나 결빙에 의해 염분이 높아진 해수는 밀도가 커져 침강한 후 저위도로 이동하여 온대나 열대 해역에 걸쳐 매우 서서히 상승하고 표층을 따라 극 쪽으로 이동한다.

✕ 표층수는 상대적으로 빠르게 이동하지만 심층수는 표층수보다 느리게 이동한다.

㉠ 해수의 침강은 주로 고위도의 해역에서 상대적으로 빠르게 일어나는 반면 해수의 상승은 온대나 열대 해역에 걸쳐 비교적 서서히 일어난다. 따라서 (가)의 심층 순환 모형에서 해수의 연직 운동 속력은 침강할 때가 상승할 때보다 대체로 빠르다.

㉡ (나)의 ㉠ 해역에서는 표층수의 침강이 일어나며 이 과정에서 용존 산소가 풍부한 표층 해수가 심해로 운반되어 심해에 산소를 공급한다. 따라서 ㉠ 해역에서 침강한 해수는 심층 해수의 용존 산소 농도를 높이는 역할을 한다.

## 07 태평양의 아열대 순환

**예설** | 무역풍대의 해류와 편서풍대의 해류에 의해 아열대 순환이 형성되며, 아열대 순환은 적도 부근을 경계로 북반구와 남반구가 거의 대칭을 이룬다. 해역 A에는 쿠로시오 해류, B에는 캘리포니아 해류, C에는 남적도 해류, D에는 남극 순환 해류가 흐른다.

㉠ A와 B는 위도가 동일하다. A에는 난류인 쿠로시오 해류가 흐르고, B에는 한류인 캘리포니아 해류가 흐르기 때문에 표층 염분은 A가 B보다 높다.

✕ 해들리 순환의 하강 기류가 나타나는 위도는 30° 부근이다.

㉡ D에는 남극 순환 해류가 흐른다. 남극 순환 해류는 아열대 순환을 이루는 해류 중 하나이다.

## 08 지중해 중층수의 이동

**예설** | 북대서양으로 유입된 지중해 중층수는 북대서양 중앙 표층수보다 밀도가 커서 침강하는데, 수심 약 1000 m에 도달하면 침강을 멈추고 해수층을 형성한다. ㉠과 A는 북대서양 중앙 표층수, ㉡과 B는 북대서양 심층수, ㉢과 C는 지중해 중층수이다.

㉠ ㉠은 ㉡과 ㉢에 비해 밀도가 작은 수괴로 북대서양 중앙 표층수이며, (나)의 A에 해당한다.

✕ ㉡은 지중해 중층수이며, (나)의 C에 해당한다. 따라서 ㉡은 북대서양 심층수(B)보다 밀도가 작다.

✕ A와 C가 혼합된다면 혼합된 해수의 밀도는 1.0275 g/cm<sup>3</sup>보다 작기 때문에 혼합된 해수는 B(북대서양 심층수)보다 수심이 얇은 곳에 위치하게 될 것이다.

## 수능 3점 테스트

본문 069~071쪽

01 ㉢    02 ㉤    03 ㉢    04 ㉠    05 ㉡  
06 ㉣

## 01 대기 대순환 모형

**예설** | 지구 자전에 의한 전향력을 고려하지 않은 경우의 대기 대순환 모형에서는 적도 지방에는 상승 기류가, 극지방에는 하강 기류가 발달하여 북반구 지표면 부근에는 북풍만, 남반구 지표면 부근에는 남풍만 분다. 반면 지구 자전에 의한 전향력을 고려한 대기 대순환 모형에서는 해들리 순환, 페렐 순환, 극순환에 의해 위도 0°~30° 사이의 지표면 부근에는 무역풍이, 위도 30°~60° 사이의 지표면 부근에는 편서풍이, 위도 60°~90° 사이의 지표면 부근에는 극동풍이 분다. (가)는 지구 자전에 의한 전향력을 고려한 경우의 대기 대순환 모형에 따른 지표면 부근의 바람을, (나)는 지구 자전에 의한 전향력을 고려하지 않은 경우의 대기 대순환 모형에 따른 지표면 부근의 바람을 나타낸 것이다.



㉠ (가)는 지구 자전에 의한 전향력을 고려한 경우에 지표면 부근에서 부는 바람의 남북 방향 성분을 나타낸다. 무역풍이 남풍 계열, 편서풍이 북풍 계열로 나타나는 것으로 보아 남반구임을 알 수 있다. 위도 60° 해역을 경계로 북쪽은 북서풍 계열의 바람에 전향력이 작용하고, 남쪽은 남동풍 계열의 바람에 전향력이 작용하므로 표층 해수는 위도 60° 해역을 기준으로 발산한다. 따라서 위도 60° 해역에서는 용승이 일어난다.

✕ (나)는 지구 자전에 의한 전향력을 고려하지 않은 경우에 지표면 부근에서 부는 바람의 남북 방향 성분을 나타낸다. 지표면 부근에는 남풍만 불기 때문에 표층 해수는 적도 쪽으로 이동하여 모인다. 북반구에서도 마찬가지로 표층 해수가 적도 쪽으로 이동하여 모이므로 해수면의 높이는 적도가 가장 높다. 따라서 해수면의 높이는 고위도로 갈수록 낮아진다.

㉡ (가)는 페렐 순환이 간접 순환으로 나타나지만, (나)는 하나의 거대한 직접 순환으로 간접 순환이 나타나지 않는다. 따라서 대기 순환 중 간접 순환 세포는 (가)가 (나)보다 뚜렷하게 발달한다.

## 02 우리나라 주변의 표층 해류

**예설** | 우리나라 주변의 표층 해류는 평균 속력과 이동 방향이 계절에 따라 변한다. (가)는 (나)에 비해 쿠로시오 해류의 지류인 동한 난류가 동해안을 따라 북상하는 위도가 높다.

㉠ 우리나라 주변을 흐르는 동한 난류의 세기와 흐름을 고려할 때,

(가)는 7월에, (나)는 1월에 관측한 자료이다.

㉠. (나)는 1월에 관측한 우리나라 주변 표층 해류의 평균 속력과 이동 방향에 대한 자료이다. B 해역에는 난류가 흐른다. 난류는 저위도에서 고위도로 열에너지를 수송하며, 특히 겨울철에 난류가 흐르는 해역의 주변 대기는 난류로부터 열에너지를 공급받는다.

㉡. A 해역 표층 해류의 평균 속력은 (가)와 (나)에서 거의 같지만, B 해역 표층 해류의 평균 속력은 (가)보다 (나)에서 느리다. 따라서 (가)와 (나) 표층 해류의 평균 속력 차는 A 해역보다 B 해역이 크다.

### 03 태평양의 아열대 순환

**예설** | 아열대 태평양의 서쪽 연안에서는 저위도에서 고위도로 난류가 흐르고, 동쪽 연안에서는 고위도에서 저위도로 한류가 흐른다. 동일 위도에서 난류가 흐르는 해역은 한류가 흐르는 해역에 비해 표층 수온이 높다. 해역 A에는 쿠로시오 해류, B에는 남적도 해류, C에는 페루 해류, D에는 남극 순환 해류가 흐른다.

㉠. 해양은 저위도의 남는 에너지를 고위도로 수송하는 역할을 한다. 특히 난류는 저위도에서 고위도로 흐르면서 많은 양의 에너지를 수송한다. 따라서 저위도에서 고위도로 수송되는 에너지양은 쿠로시오 해류가 흐르는 A가 남적도 해류가 흐르는 B보다 많다.

㉡. C에는 페루 해류가 흐른다. 페루 해류는 서쪽에서 동쪽으로 흐르던 남극 순환 해류가 대륙과 부딪혀 북쪽으로 이동하며 형성된 해류이다.

㉢. D에는 남극 순환 해류가 편서풍에 의해 서쪽에서 동쪽으로 등수온선과 대체로 나란하게 흐른다.

### 04 대서양의 심층 순환

**예설** | 대서양에서 심층 순환은 거의 전체 수심에 걸쳐 일어나면서 표층 순환과 연결되어 열에너지를 수송하며, 위도 간 열에너지 불균형을 해소시키는 역할을 한다. 또한 용존 산소가 풍부한 표층 해수를 심해로 운반하여 심해에 산소를 공급한다. (가)에서 해역 A와 D는 해수의 침강이 일어나는 곳이고, (나)에서 ㉠은 수온, ㉡은 염분을 나타낸다.

㉠. 해역 A와 D는 표층수가 침강하여 심층수가 형성되는 곳으로 표층수의 밀도가 커질수록 해수의 침강이 활발하게 일어난다.

㉡. 대서양에서 남극 중층수는 수심 1000 m 부근에서, 북대서양 심층수는 수심 약 1500~4000 m 사이에서 흐르며, 해수의 염분은 북대서양 심층수가 남극 중층수보다 높다. 만약 해역 B의 하부에 남극 중층수가 존재한다면 수심이 깊어짐에 따라 남극 중층수와 북대서양 심층수가 차례로 나타나는 과정에서 염분이 높아지는 구간이 나타나야 한다. 하지만 해역 B의 하부에서는 수심이 깊어짐에 따라 염분이 높아지는 구간이 나타나지 않으므로 남극 중층수가 존재하지 않는다.

㉢. 해역 C에는 저위도에서 고위도로 흐르는 난류인 브라질 해류가 흐른다.

### 05 대서양 심층 순환과 수괴들의 특징

**예설** | 북대서양 그린란드 부근 해역에서 침강한 해수는 북대서양 심층수를 형성하여 남쪽으로 이동하고, 남극 대륙 주변에서 침강한 해수는 남극 저층수를 형성하여 북쪽으로 이동한다. 남극 중층수는

60°S 부근에서 형성되어 북쪽으로 이동한다. 수괴의 밀도는 남극 중층수 < 북대서양 심층수 < 남극 저층수이다.

㉣. A는 북대서양 심층수이다. 북대서양 심층수는 그린란드 부근 해역에서 저온 고염분의 표층 해수가 침강하여 형성된다. (증발량-강수량) 값이 감소하면 표층 해수의 염분이 낮아져 밀도가 작아지므로 침강이 일어나기 어렵다. 따라서 (증발량-강수량) 값이 감소하면 북대서양 심층수를 형성하기 어렵다.

㉤. ㉠은 남극 중층수, ㉡은 표층수, ㉢은 북대서양 심층수이다. 남극 중층수는 60°S 부근에서 수온이 낮아지면 해수의 밀도가 커져 형성된다. 수괴들은 잘 혼합되지 않으며, 만약 ㉠과 ㉡이 혼합된다면 혼합된 해수의 밀도는 남극 중층수(㉠)의 밀도보다 클 것이다.

㉥. ㉠은 남극 중층수, ㉡은 남극 저층수이다. ㉠과 ㉡은 모두 남반구 고위도 해역에서 침강한 후 대체로 북쪽으로 이동한다.

### 06 심층 순환의 발생 원리

**예설** | 심층 순환은 해수의 밀도 차에 의해 발생하는데, 해수의 밀도에 영향을 주는 가장 중요한 요소는 수온과 염분이다. 수온이 낮을수록, 염분이 높을수록 해수의 밀도는 크다. 해수의 밀도가 클수록 심층 순환을 일으키는 해수의 침강 속도가 빨라진다.

㉣. 용기 B에는 용기 A보다 어는 과정에서 온도가 낮아지고, 염분이 높아진 상태의 소금물이 담겼다. 즉, 용기 B에 담긴 소금물의 밀도는 용기 A에 담긴 소금물의 밀도보다 크다. 붉은색 잉크를 넣은 소금물이 P점에 도달하는 데 걸리는 평균 시간은 소금물의 밀도가 클수록 짧아지기 때문에 ㉠은 7보다 작다.

㉤. (바)의 과정에서 용기 B에 담긴 소금물은 용기 A에 담긴 소금물보다 수온이 낮고 염분이 높아 밀도가 크다. 따라서 (바)의 과정에서 용기 B에 담긴 소금물은 고위도 해역에서 밀도가 커져 침강하는 표층 해수에 해당한다.

㉥. 빙하의 용해량이 많아지는 시기에 고위도 해역은 빙하가 녹은 물이 유입되고 표층 수온이 상승하므로 표층 해수의 밀도가 작아진다. 따라서 심층수가 형성되는 고위도 해역에서 빙하의 용해량이 많아지는 시기에는 표층 해수의 침강이 약화될 것이다.

많은 낱 문제로 유형 익히기

본문 074쪽

정답 ②

예설 | 동태평양 적도 부근 해역의 20°C 등수온선의 깊이 편차는 엘니뇨 시기에 대체로 양(+)의 값이고, 라니냐 시기에 대체로 음(-)의 값이다. 따라서 A는 엘니뇨 시기, B는 라니냐 시기이다.

✗. A는 엘니뇨 시기이며, (나)에서 A 시기(엘니뇨 시기)에 남방 진동 지수는 대체로 음(-)의 값이다.

○. 동태평양 적도 부근 해역에서 용승은 라니냐 시기가 평년보다 활발하다.

✗. (타히티의 해면 기압 편차—다윈의 해면 기압 편차) 값은 엘니뇨 시기가 평년보다 작다. 엘니뇨 시기에는 워커 순환이 약해지므로 (타히티의 해면 기압 편차—다윈의 해면 기압 편차) 값이 작을수록 워커 순환이 약해진다.

수능 2점 테스트

본문 075~076쪽

- 01 ⑤    02 ⑤    03 ③    04 ③    05 ②  
06 ④    07 ④    08 ①

01 용승과 침강

예설 | 남반구의 해역에 시계 방향으로 회전하는 바람이 지속적으로 불면 표층 해수가 발산하여 용승이 일어나고, 시계 반대 방향으로 회전하는 바람이 지속적으로 불면 표층 해수가 수렴하여 침강이 일어난다.

- ㉠. 남반구에서 바람이 지속적으로 불 때, 표층 해수는 바람의 방향에 대해 대체로 왼쪽 직각 방향으로 이동한다.  
㉡. (가)에서는 표층 해수가 발산하여 용승이 일어난다. 따라서 (가)는 시계 방향으로 회전하는 바람에 의해 나타난다.  
㉢. (나)에서는 표층 해수가 수렴하여 침강이 일어난다.

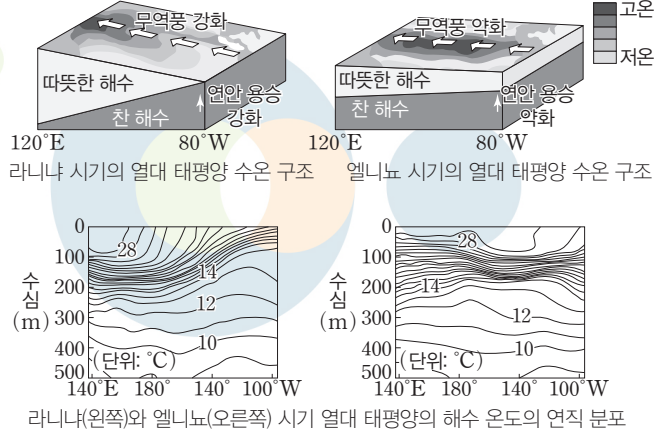
02 엘니뇨와 라니냐

예설 | 엘니뇨 시기에 동태평양 적도 부근 해역에서는 연안 용승이 약해지고, 해수면이 높은 서태평양에서 동쪽으로 따뜻한 해수가 이동하여 태평양 중앙부에서 페루 연안에 이르는 해역의 표층 수온이 상승한다. 라니냐 시기에 동태평양 적도 부근 해역에서는 연안 용승이 강해지고, 따뜻한 해수는 서태평양 쪽으로 더욱 집중되므로 페루 연안의 한랭 수역이 확대되어 평상시보다 태평양 적도 부근 해역에서 표층 수온의 동서 간 차이가 커진다. (가)는 라니냐 시기, (나)는 엘니뇨 시기이다.

- ㉠. 무역풍의 세기는 라니냐 시기가 엘니뇨 시기보다 강하다.  
㉡. 서태평양 적도 부근 해역에서 강수량 편차(관측값—평년값)는 서태평양에 따뜻한 해수가 집중되는 라니냐 시기에 큰 값을 나타낸다. 따라서 (가) 시기에 서태평양 적도 부근 해역에서 강수량 편차는

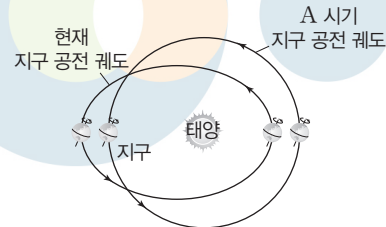
양(+)의 값이다.

㉢. 동태평양 적도 부근 해역에서 20°C 등수온선의 깊이는 따뜻한 해수가 서태평양에서 태평양 중앙부와 동태평양으로 많이 이동하는 엘니뇨 시기가 평상시보다 깊게 나타난다. 따라서 (나) 시기에 동태평양 적도 부근 해역에서 20°C 등수온선의 깊이 편차(관측값—평년값)는 양(+)의 값이다.



03 지구 공전 궤도의 이심률 변화

예설 | 지구의 공전 궤도 이심률이 현재보다 작아지면 근일점 거리는 현재보다 멀어지고 원일점 거리는 현재보다 가까워진다. A 시기에 근일점 거리는 현재보다 멀어진 상태이므로 지구의 공전 궤도 이심률은 A 시기가 현재보다 작다.



지구 공전 궤도 이심률의 변화

✗. 37°N은 현재 지구가 근일점에 위치할 때 겨울철이고, 원일점에 위치할 때 여름철이다. A 시기에 근일점 거리는 현재보다 멀어지고 원일점 거리는 현재보다 가까워지기 때문에 37°N에서 기온의 연교차는 현재가 A 시기보다 작다.

✗. 37°S에서 남중할 태양의 고도는 지구가 근일점 부근에 위치할 때 최대가 된다. 근일점 거리는 A 시기가 현재보다 멀어진 상태이므로 37°S에서의 평균 기온은 A 시기가 현재보다 낮다.

㉢. 지구가 원일점에 위치할 때 태양으로부터의 거리는 현재가 A 시기보다 멀다. 따라서 지구가 원일점에 위치할 때 지구에 입사되는 태양 복사 에너지량은 현재가 A 시기보다 적다.

04 지구의 열수지와 복사 평형

예설 | 지구는 태양 복사 에너지를 70 단위 흡수한 후 지구 복사 에너지를 70 단위 방출하여 복사 평형 상태가 된다. 이때 지구 대기는 짧은 파장의 태양 복사 에너지(주로 가시광선)는 잘 통과시키지만, 긴 파장의 지구 복사 에너지(대부분 적외선)는 대부분 흡수한 후 지표로 재복사하여 지표면의 온도를 높이는 역할을 한다.

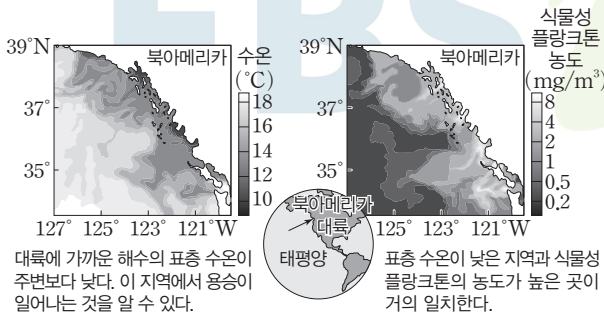
㉠. 지표면에서 에너지 흡수량과 방출량은 같으므로  $45 + C = 29 + B$

이다. 즉,  $B - C = 16$ 이다. A가 25 단위이므로 A는  $(B - C)$ 보다 크다.

- ㉠ 지구는 태양으로부터 70 단위를 흡수한 후 지구 복사 에너지를 70 단위 방출하므로 복사 평형 상태이다.
- ㉡ 대기 중 온실 기체의 농도가 높아지면 대기와 구름에 흡수되는 에너지양이 증가한다. 따라서 기온이 상승하게 되고, 이에 따라 대기가 방출하는 에너지양이 증가한다.

### 05 연안 용승

- 예설** | 북반구에서 북풍 계열의 바람이 지속적으로 불면 바람에 의해 표층 해수는 바람 방향의 오른쪽 직각 방향인 서쪽으로 이동한다. 이에 따라 대륙의 서쪽 연안에서는 표층 해수가 먼 바다 쪽으로 이동하고 이를 채우기 위해 심층에서 찬 해수가 올라오는 연안 용승이 일어난다. A 해역은 동일 위도대의 주변보다 표층 수온이 낮고, 표층 수온이 낮은 지역과 식물성 플랑크톤의 농도가 높은 지역이 거의 일치한다. 따라서 A 해역에서는 연안 용승이 일어났다.
- ㉠ 북아메리카 대륙의 서쪽 연안에서 용승이 일어나기 위해서는 북풍 계열의 바람이 지속적으로 불어야 한다.
  - ㉡ 연안 용승이 일어나는 해역은 찬 해수의 영향으로 안정한 대기 상태가 되며 서늘한 날씨가 나타나고, 안개가 자주 발생한다.
  - ㉢ 연안 용승이 일어나는 해역은 심층의 영양염이 포함된 해수가 표층으로 공급되며, 이를 먹이로 하는 식물성 플랑크톤이 번식하므로 좋은 어장이 형성된다.



### 06 라니냐

- 예설** | 평상시에 비해 무역풍이 강해지면 적도 부근 동태평양 해역에서는 연안 용승이 강해지고, 따뜻한 해수는 적도 부근 서태평양 쪽으로 더욱 집중되므로 적도 부근 태평양 중앙부에서 동태평양 페루 연안까지 한랭 수역이 확대된다.
- ㉠ (가)는 라니냐 시기에 해당한다. 라니냐 시기에는 평상시에 비해 무역풍이 강해져 따뜻한 해수가 서태평양 쪽으로 더욱 집중되므로, 무역풍으로 인해 발생하는 상승 기류는 서태평양 해역에서 더욱 강화된다. 무역풍으로 인해 발생하는 상승 기류의 위치가 평상시와 비교할 때 동쪽으로 이동하는 시기는 엘니뇨 시기이다.
  - ㉡ 라니냐 시기에는 평상시에 비해 적도 부근 해역에서 따뜻한 해수가 서태평양 쪽으로 더욱 집중되고 동태평양에서는 용승이 더욱 강해지므로, 적도 부근 서태평양과 동태평양의 표층 수온 차가 커진다.
  - ㉢ (나)에서 우리나라 동해의 표층 수온 편차(관측값 - 평년값)가 대부분 양(+)의 값을 나타내므로 우리나라 동해의 표층 수온은 평년보다 대체로 높아진다.

### 07 기후 변화 요인

- 예설** | 기후 변화의 요인은 자연적 요인과 인위적 요인으로 나눌 수 있으며, 기후 변화의 자연적 요인은 지구 외적 요인과 지구 내적 요인으로 나눌 수 있다. 수륙 분포의 변화는 기후 변화의 자연적 요인 중 지구 내적 요인에 해당하고, 태양 활동의 변화는 기후 변화의 자연적 요인 중 지구 외적 요인에 해당한다. 산업화와 도시화는 기후 변화의 인위적 요인에 해당한다.
- ㉠ A는 산업화와 도시화에 해당한다. 산업화 과정에서 대기로 배출된 에어로졸 등은 대기의 반사율을 변화시킨다. 또한 도시화를 추진하는 과정에서 과도한 토지 이용은 지표의 반사율을 변화시킨다.
  - ㉡ B는 수륙 분포의 변화에 해당하며, 판의 운동은 수륙 분포를 변화시키는 원인으로 작용한다.
  - ㉢ 태양 활동의 변화(C)는 지구에 도달하는 태양 복사 에너지양의 변화를 일으킬 수 있지만 이로 인해 세차 운동이 일어나는 것은 아니다.

### 08 온실 기체와 온실 효과

- 예설** | 지구 대기는 짧은 파장의 태양 복사 에너지(주로 가시광선)는 잘 통과시키지만, 긴 파장의 지구 복사 에너지(대부분 적외선)는 대부분 흡수한 후 지표로 재복사하여 지표면의 온도를 높이는데, 이를 온실 효과라고 한다.
- ㉠ 온실 효과 기여도가 높은 기체들의 농도가 증가하는 것으로 보아 대기에 의한 적외선 흡수량은 점차 증가하고 있다.
  - ㉡ 이 기간에 이산화 탄소의 농도는 약 20 ppm 증가하였고, 메테인의 농도는 약 900 ppb(0.9 ppm) 증가하였다. 따라서 농도의 증가량은 이산화 탄소가 메테인보다 많다.
  - ㉢ 대기 중 농도는 이산화 탄소가 일산화 이질소보다 1000배 이상 많지만, 2000년에 온실 효과 기여도는 이산화 탄소가 일산화 이질소보다 약 10배 크다. 따라서 농도가 같은 경우에 온실 효과에 미치는 영향은 이산화 탄소가 일산화 이질소보다 작다.

#### 수능 3점 테스트

본문 077~079쪽

- 01 ②
  - 02 ③
  - 03 ②
  - 04 ④
  - 05 ①
- 06 ⑤

### 01 전세계 용승 해역

- 예설** | 대륙의 연안에서 일정한 방향으로 지속적으로 부는 바람에 의해 표층의 해수가 외해로 이동하면, 이를 채우기 위해 심층의 차가운 해수가 올라오는데 이를 연안 용승이라고 한다. 적도 부근에서는 북동 무역풍과 남동 무역풍에 의해 표층 해수가 발산하고 이를 채우기 위해 심층의 차가운 해수가 올라오는데, 이를 적도 용승이라고 한다.
- ㉠ A 해역 부근에는 시계 방향으로 회전하는 바람이 불고 있다. A 해역은 북반구에 위치하므로 시계 방향으로 회전하는 바람에 의해 표층 해수는 수렴하고 해수의 침강이 일어난다. B 해역의 북쪽에서는 북풍 계열의 바람이 불고 남쪽에서는 서풍 계열의 바람이 분다. B 해역은 남반구에 위치하므로 B 해역에서는 표층 해수가 수렴하고 해수의

침강이 일어난다. 따라서 A 해역과 B 해역은 모두 침강이 일어난다.  
 Ⓒ C 해역과 D 해역은 모두 남반구에 위치하며, 남동풍 계열의 바람이 분다. 남동풍 계열의 바람에 의해 C에서는 연안 침강이 일어난다. D에서는 연안 용승이 일어난다. 또한 C 해역에는 난류가 흐르고, D 해역에는 한류가 흐른다. 따라서 표층 영양염의 농도는 C 해역보다 D 해역에서 높다.

✗ 적도 부근 해역에서는 북쪽의 북동 무역풍과 남쪽의 남동 무역풍에 의해 표층 해수의 발산이 일어나기 때문에 대체로 용승이 일어난다.

## 02 지구 온난화와 해빙 면적의 변화

**예설** | 최근 지구 온난화에 의해 지구의 평균 기온이 상승하면서 극지방 해빙(海水: 해수가 얼어서 생성된 얼음)의 총 면적이 감소하고 있다. 해빙(海水) 면적은 계절에 따른 변동성을 보이지만 최근 약 30년 동안 감소하는 추세이다.

✗ 최근 약 30년 동안 매년 4월에 측정한 북극 지방의 해빙(海水) 면적은 감소하는 추세이다. 극지방의 해빙(海水) 면적은 대체로 평균 기온이 낮을수록 증가하기 때문에 북극 지방의 평균 기온은 최근 약 30년 동안 대체로 높아지는 추세이다.

✗ 극지방의 지표면 반사율은 빙하 면적이 넓을수록 크게 나타난다. 따라서 남극 지방의 지표면 반사율은 2017년 4월보다 2015년 4월에 컸을 것이다.

Ⓒ (가)와 (나)를 비교하면 최근 약 30년 동안 4월 극지방의 평균 해빙(海水) 면적은 북극 지방이 남극 지방보다 넓게 나타난다.



해빙(海水) 면적 변화

## 03 지구 자전축의 기울기 변화와 기후 변화

**예설** | 이 탐구는 지구 자전축의 기울기가 커질 때 나타나는 태양의 남중 고도 변화가 북반구 중위도 지역의 겨울철 평균 기온 변화에 미치는 영향을 알아보기 위한 것이다. 이 탐구에서 태양의 남중 고도는  $(90^\circ - \theta)$ 에 해당한다.

✗ 태양의 남중 고도는  $(90^\circ - \theta)$ 에 해당한다. 즉, ①이 클수록 태양의 남중 고도는 낮아진다.

Ⓒ 밝기 센서를 통해 측정된 빛의 밝기는  $(90^\circ - \theta)$  값에 비례하여 증가한다. 따라서 'θ가 클수록 감소'는 ①에 해당한다.

✗ 이 탐구에서 θ를 증가시키수록 밝기 센서에 측정되는 밝기(lux)는 점차 감소한다. 즉, 탐구 과정 (라)에서 θ를 증가시키는 것은 지구 자전축의 기울기가 커질 때 북반구 중위도 지역에서 겨울철 태양의 남중 고도가 낮아지는 것을 의미한다. 지구 자전축의 기울기가 커질 때 북반구 중위도 지역에서 겨울철에는 태양의 남중 고도가 낮아져 평균 기온이 낮아진다.

## 04 지구의 복사 평형과 온실 효과

**예설** | 지구 대기는 짧은 파장의 태양 복사 에너지(주로 가시광선)는 잘 통과시키지만, 긴 파장의 지구 복사 에너지(대부분 적외선)는 대부분 흡수한 후 지표로 재복사하여 지표면의 온도를 높인다. 온실 기체의 농도가 높아지면 지구 대기에 의한 지구 복사 에너지의 흡수량이 증가하고 이에 따라 지표면으로 재복사되는 에너지양도 증가하여 결과적으로 온실 효과가 커진다.

✗ 태양 복사 에너지 중 지표면에 흡수되는 에너지는 대부분 가시광선 영역의 에너지이고, 지표 복사 에너지 중 대기에 흡수되는 에너지는 대부분 적외선 영역의 에너지이다. 따라서  $\frac{\text{가시광선 영역의 에너지양}}{\text{적외선 영역의 에너지양}}$  은 A가 B보다 크다.

Ⓒ a는 이산화 탄소가 현재와 같은 추세로 배출될 것을 예측한 시나리오에 해당하기 때문에 a에서 이산화 탄소 농도 변화의 주된 요인은 인위적 요인이다.

Ⓓ 이산화 탄소의 농도가 증가하면 대기의 온실 효과 역시 커질 것이다. 따라서 지표 복사 에너지의 방출량(C)과 지구 대기의 에너지 방출량 중 지표 흡수량(D)은 2000년에 비해 2080년에 클 것이다.

## 05 엘니뇨와 남방 진동

**예설** | 적도 부근 서태평양의 기압이 평상시보다 높아지면 동태평양의 기압은 평상시보다 낮아지고, 서태평양의 기압이 평상시보다 낮아지면 동태평양의 기압은 평상시보다 높아지는 기압 분포의 시소 현상을 남방 진동이라고 한다. 남방 진동 지수는 남태평양 타히티(B)의 해면 기압 편차와 호주 북부 다윈(A)의 해면 기압 편차의 차를 수치화하여 나타낸 것으로, 엘니뇨 시기에는 큰 음(-)의 값을 나타내고, 라니냐 시기에는 큰 양(+의 값을 나타낸다.

열대 태평양은 평상시에 무역풍에 의해 동풍 계열의 바람이 불기 때문에 엘니뇨 시기에는 동풍이 약해지고, 라니냐 시기에는 동풍이 강해진다. 이때 동쪽으로 향하는 바람을 양(+의 값으로 표현하면 엘니뇨 시기에는 적도 부근 해역의 동서 방향 풍속 편차가 양(+의 값이 되고, 라니냐 시기에는 적도 부근 해역의 동서 방향 풍속 편차가 음(-)의 값이 된다. ① 시기는 적도 부근 해역의 동서 방향 풍속 편차가 대체로 양(+의 값이므로 엘니뇨 시기이다. ② 시기는 적도 부근 해역의 동서 방향 풍속 편차가 대체로 음(-)의 값이므로 라니냐 시기이다.

Ⓒ ①은 엘니뇨 시기, ②은 라니냐 시기이므로 남방 진동 지수는 ① 시기가 ② 시기보다 작다.

✗ C 해역은 엘니뇨 감시 구역이다. 엘니뇨 감시 구역에서 수온 약층이 나타나기 시작하는 깊이는 따뜻한 해수가 많이 모이는 엘니뇨 시기(① 시기)가 라니냐 시기(② 시기)보다 깊다.

✗ 구름이 두껍게 형성된 시기에는 해수면에 도달하는 태양 복사 에너지양이 감소한다. 동태평양 적도 부근 해역은 엘니뇨 시기에 상승 기류가 발달하여 적운형 구름이 형성되므로 평상시에 비해 도달하는 태양 복사 에너지양이 감소한다. 따라서 ① 시기에 동태평양 적도 부근 해역의 해수면에 도달하는 태양 복사 에너지양 편차(관측값 - 평년값)는 음(-)의 값이다.

## 06 기후 변화의 지구 외적 요인

**예설** | 지구의 자전축은 약 26000년을 주기로 회전하는데, 이를 세차 운동이라고 한다. 세차 운동의 방향은 지구의 자전 방향과 반대이며, 세차 운동에 의해 지구가 공전 궤도상의 특정한 지점에 위치할 때 북반구(또는 남반구)의 계절은 주기적으로 변한다.

지구의 공전 궤도 이심률이 현재보다 작아지면 근일점 거리는 현재보다 멀어지고 원일점 거리는 현재보다 가까워진다. 근일점 거리와 원일점 거리가 변하면 근일점과 원일점에서 지구에 도달하는 태양 복사 에너지양이 변한다.

㉠ 세차 운동에 의해 지구 자전축의 경사 방향이 주기적으로 변한다. 지구 자전축은 지구의 공전 궤도면에 수직인 선에 대해 약 23.5° 기울어져 있으므로, 적도에서 세차 운동에 의한 태양의 한낮 최대 고도는 약 66.5°~90°까지 될 수 있다. 따라서  $(h_1 - h_2)$  값은 약 23.5°이다.

㉡ 지구가 원일점에 위치할 때 현재 30°S 지역은 겨울철이지만, 13000년 후에는 세차 운동에 의해 자전축의 경사 방향이 바뀌어 여름철이 된다. 따라서 30°S에서 낮의 길이는 현재가 13000년 후보다 짧고, 밤의 길이는 현재가 13000년 후보다 길다.

㉢ 특정 시기에 우리나라(37°N)에 도달하는 태양 복사 에너지양은 태양과 지구 사이의 거리와 지구 자전축과 태양 광선이 이루는 각에 의해 결정된다. 6500년 전에 지구가 근일점에 위치할 때와 6500년 후에 지구가 원일점에 위치할 때 지구의 자전축과 태양 광선이 이루는 각은 거의 같다. 따라서 두 시기에 우리나라(37°N)에 도달하는 태양 복사 에너지양을 비교하기 위해서는 태양과 지구 사이의 거리를 비교해야 한다. 지구의 공전 궤도 이심률은 6500년 전이 6500년 후보다 크므로, 6500년 전에 지구가 근일점에 위치할 때 우리나라(37°N)에 도달하는 태양 복사 에너지양이 6500년 후에 지구가 원일점에 위치할 때 우리나라(37°N)에 도달하는 태양 복사 에너지양보다 많다.

## THEME 11

## 별의 물리량과 분류

### 짧은 풀 문제로 유형 익히기

본문 082쪽

#### 정답 ⑤

**예설** | 광도를  $L$ , 반지름을  $R$ , 표면 온도를  $T$ 라고 할 때 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$L = 4\pi R^2 \times \sigma T^4 \quad (\sigma: \text{슈테판·볼츠만 상수})$$

㉠ 광도는 ㉠이 태양의 100배이고, 최대 복사 에너지를 방출하는 파장( $\lambda_{\text{max}}$ )은 ㉠이 태양의 2배이므로 표면 온도는 ㉠이 태양의 0.5배이다. 따라서 반지름은 ㉠이 태양의  $\frac{\sqrt{100}}{0.5^2} = 40$ 배이다.

㉡ 광도는 ㉡이 ㉡보다 100배 크지만, 겉보기 등급은 ㉡과 ㉡이 같다. 겉보기 밝기는 거리의 제곱에 반비례하므로 지구로부터의 거리는 ㉡이 ㉡의 10배가 되어야 ㉡과 ㉡의 겉보기 등급이 같다.

㉢ 주계열성은 광도가 클수록 표면 온도가 높다. ㉠과 ㉡은  $\lambda_{\text{max}}$ 가 태양보다 크므로 표면 온도가 태양보다 낮다. 따라서 ㉠과 ㉡이 주계열성이라면 광도가 태양보다 작아야 하므로 두 별은 모두 주계열성이 아니다. ㉢은 태양보다 표면 온도가 높고 광도가 크므로 ㉠, ㉡, ㉢ 중 주계열성은 ㉢이다.

### 수능 2점 테스트

본문 083~084쪽

- |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|
| 01 ④ | 02 ⑤ | 03 ① | 04 ③ | 05 ② |
| 06 ③ | 07 ④ | 08 ⑤ |      |      |

## 01 플랑크 곡선과 흑체 복사 법칙

**예설** | 플랑크 곡선은 흑체가 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 복사 에너지의 세기를 파장에 따라 나타낸 것이다. 별은 흑체로 가정하여 나타낼 수 있다.

✕ 별은 표면 온도와 최대 복사 에너지를 방출하는 파장이 반비례한다. 최대 복사 에너지를 방출하는 파장이 ㉠이 ㉡의 약 0.5배이므로 표면 온도는 ㉠이 ㉡의 약 2배이다.

㉠ 그래프와 가로축이 이루는 면적은 별이 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 복사 에너지양에 해당하며, 이 값은 표면 온도의 4제곱에 비례한다. 따라서 그래프와 가로축이 이루는 면적은 ㉠이 ㉡의 약 16배이다.

㉡ 반지름이 같다면 광도는 표면 온도의 4제곱에 비례한다. 따라서 광도는 ㉠이 ㉡보다 크다.

## 02 별의 복사 에너지

**예설** | 별의 광도( $L$ )는 반지름( $R$ )의 제곱과 표면 온도( $T$ )의 4제곱을 곱한 값에 비례( $L \propto R^2 T^4$ )하므로 반지름은  $\frac{\sqrt{L}}{T^2}$ 에 비례한다.

㉠ 단위 시간에 같은 양의 복사 에너지를 방출하는 별의 표면적은 B가 A의 256배이므로, 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 복사 에너지는 A가 B의 256(=4<sup>4</sup>)배이다. 따라서 표면 온도는 A가 B의 4배



이다.

㉔ 단위 시간에 별이 방출하는 복사 에너지량은 광도에 해당하므로 광도는 A가 B의 4배이다. 한편 표면 온도는 A가 B의 4배이므로 반지름은 A가 B의  $\frac{1}{8}$ 배이다.

$$R \propto \frac{\sqrt{L}}{T^2}, \frac{R_A}{R_B} = \frac{\sqrt{4}}{4^2} = \frac{1}{8}$$

㉕ 표면 온도가 높은 별일수록 짧은 파장 영역에서 방출하는 복사 에너지량의 비중이 증가한다. 따라서 자외선 영역의 복사 에너지량은 표면 온도가 높은 A가 B보다 크다.

### 03 광도 계급

예설 | 광도 계급은 동일한 분광형을 가진 별들을 광도에 따라 분류한 것으로, 광도가 클수록 광도 계급의 숫자는 작다.

㉑ 광도 계급의 숫자가 작을수록 광도가 크므로 ㉑의 광도 계급은 Ib(덜 밝은 초거성), ㉒의 광도 계급은 III(거성), ㉓의 광도 계급은 V(주계열성)이다.

✗ 표면 온도가 같으면 분광형이 같다. 따라서 분광형이 같을 때, 광도 계급의 숫자가 클수록 광도가 작으므로 절대 등급이 크다.

✗ ㉑에 속한 별들은 거성이며, 분광형이 매우 다양하다. 따라서 스펙트럼에 나타난 흡수선의 종류와 세기는 분광형에 따라 매우 다양하게 나타난다.

### 04 분광형에 따른 흡수선의 종류와 세기

예설 | 별의 대기에 존재하는 원소들은 별의 표면 온도에 따라 이온화되는 정도가 다르기 때문에 각각 가능한 이온화 단계에서 특정 흡수선을 형성한다. 따라서 흡수선의 종류와 세기는 별의 표면 온도에 따라 달라진다.

㉑ 표면 온도가 높은 별에서는 HeII, HeI 흡수선이, 표면 온도가 낮은 별에서는 분자 흡수선이 강하게 나타난다. 따라서 표면 온도의 증가 방향은 ㉑이다.

㉒ 흰색 별은 분광형이 A형으로 표면 온도가 약 10000 K이다. HI 흡수선은 분광형이 A형인 별에서 가장 강하고, HeI 흡수선은 분광형이 O형인 별(파란색 별) 또는 B형인 별(청백색 별)에서 강하게 나타난다.

✗ 질량이 큰 주계열성일수록 표면 온도가 높다. TiO 흡수선은 태양보다 질량이 작은 주계열성에서 잘 관측된다.

### 05 별의 종류

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

✗ 별들의 평균 질량은 초거성인 (가)가 거성인 (다)보다 크다.

✗ (나)는 모든 별의 약 80~90%가 속해 있는 주계열성이다. 주계열성은 H-R도의 왼쪽 위에서 오른쪽 아래로 대각선을 따라 분포한다.

㉑ (라)는 H-R도에서 왼쪽 아래에 분포하는 백색 왜성이다. 별의 밀도는 H-R도에서 왼쪽 아래로 갈수록 커지므로 백색 왜성인 (라)

가 가장 크다.

### 06 H-R도와 별의 종류

예설 | H-R도는 가로축에 표면 온도나 분광형, 세로축에 절대 등급 또는 광도를 나타낸 그래프이다. (가)는 백색 왜성, (나)는 주계열성, (다)는 거성, (라)는 초거성이다.

㉑ 절대 등급이 같으면 광도가 같다. 광도가 같을 경우 표면 온도는 H-R도의 왼쪽에 위치한 백색 왜성 (가)가 주계열성 (나)보다 높다.

㉒ 주계열성은 중심부에서 수소 핵융합 반응이 안정적으로 일어난다.

✗ 별의 진화 속도는 질량이 클수록 빠르다. 따라서 진화 속도는 거성인 (다)보다 초거성인 (라)가 빠르다.

### 07 주계열성의 질량-광도 관계

예설 | 주계열성은 질량이 클수록 반지름과 광도가 크고 표면 온도가 높다.

✗ ㉑은 질량이 태양과 같고, 광도는 태양의 약 100배이다. 따라서 ㉑은 거성이다.

㉒ ㉓은 태양과 질량이 같지만, 광도는 태양보다 훨씬 작다. 따라서 ㉓은 백색 왜성이다. 표면 온도는 거성 ㉑이 백색 왜성 ㉓보다 낮다.

㉑ 거성의 광도 계급은 III이고, 주계열성의 광도 계급은 V이며, 백색 왜성의 광도 계급은 VIII이다. 따라서 광도 계급의 숫자는 ㉑ < ㉒ < ㉓이다.

### 08 별의 물리량

예설 | 표면 온도가 T이고, 반지름이 R인 별의 광도(L)는  $L = 4\pi R^2 \cdot \sigma T^4$  ( $\sigma = 5,670 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ )이다.

㉑ 광도는 ㉒이 ㉑의 100배이고, 반지름은 ㉒이 ㉑의 10배이다. 광도는 반지름의 제곱과 표면 온도의 4제곱을 곱한 값에 비례하므로 표면 온도는 ㉑과 ㉒이 같아야 한다. 따라서 두 별의 분광형은 같다.

㉒ ㉓은 표면 온도가 ㉑과 같고 반지름은 ㉑의 0.01배이므로, 광도는 ㉑의  $10^{-4}$ 배이다. 따라서 ㉓은 네 별 중 광도가 가장 작고, 절대 등급은 가장 크다.

㉑ ㉑~㉓에서 주계열성은 2개, 거성은 1개, 백색 왜성은 1개이다. 광도가 가장 작고 표면 온도가 비교적 높은 ㉓은 백색 왜성이다. ㉑과 ㉒은 표면 온도가 같지만 광도는 ㉒이 ㉑의 100배이다. 따라서 ㉒은 거성이다. 나머지 두 별 ㉑과 ㉓은 주계열성이다. 주계열성의 질량은 광도가 더 큰 ㉓이 ㉑보다 크다.

#### 수능 3점 테스트

본문 085~087쪽

- |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|
| 01 ㉓ | 02 ㉓ | 03 ㉓ | 04 ㉑ | 05 ㉑ |
| 06 ㉓ |      |      |      |      |

### 01 파장에 따른 복사 에너지 분포

예설 | (가)의 그래프는 별이 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 복사 에너지를 파장에 따라 나타낸 것이므로 플랑크 곡선에 해당한다. (나)



의 그래프는 지구 대기권 밖의 단위 면적당 단위 시간에 들어오는 별의 복사 에너지이므로 별이 방출하는 복사 에너지 중 지구에 도달한 에너지에 해당한다.

㉠. 빈의 변위 법칙에 따르면 별이 최대 복사 에너지를 방출하는 파장은 표면 온도에 반비례한다. 따라서 별의 표면 온도는 최대 복사 에너지를 방출하는 파장이 짧은 A가 B보다 높다.

㉡. (나)의 그래프는 지구 대기권 밖의 단위 면적당 단위 시간에 들어오는 별의 복사 에너지양에 해당하므로 겉보기 등급과 관계가 있다. 즉, 그래프와 가로축이 이루는 면적이 넓을수록 겉보기 밝기가 밝은 별이다. 따라서 A는 B보다 겉보기 등급이 크고, 두 별의 거리가 같으므로 절대 등급도 A가 B보다 크다.

✕. A는 B보다 광도가 작고 표면 온도가 높은 별이다. 따라서 B가 주계열성이면 A는 백색 왜성일 것이다.

## 02 별의 물리량

예설 | (가), (나), (다)로부터 ㉠, ㉡, ㉢의 물리량을 표로 정리하면 다음과 같다.

별	㉠	㉡	㉢
표면 온도(상댓값)	1	2	( )
표면적(상댓값)	1	16	16
절대 등급(상댓값)	1	( )	1

㉠. 최대 복사 에너지를 방출하는 파장은 표면 온도에 반비례하고, 광도는 표면 온도의 4제곱과 표면적(또는 반지름의 제곱)을 곱한 값에 비례한다. 따라서 ㉢의 표면 온도는 ㉠의  $\frac{1}{2}$ 배가 되어야 절대 등급(광도)이 같다. 이로부터 최대 복사 에너지를 방출하는 파장은 ㉠이 ㉢의  $\frac{1}{2}$ 배이다.

㉡. 광도는 ㉢이 ㉠의  $2^4 \times 16 = 256$ 배이다. 광도가 100배일 때 절대 등급은 5등급 차이가 나므로 ㉠과 ㉡의 절대 등급 차는 5보다 크다.

㉢. ㉢은 ㉠보다 표면 온도가 낮고 광도가 작다. 따라서 H-R도에서 ㉢은 ㉠보다 오른쪽 아래에 위치한다.

## 03 별의 분광형

예설 | a는 분광형이 O형인 주계열성이고, b는 분광형이 M형인 초거성이며, c는 분광형이 A형인 백색 왜성이다. 따라서 He 흡수선이 가장 뚜렷한 ㉠은 a, H 흡수선이 가장 뚜렷한 ㉡은 c, TiO 흡수선이 뚜렷한 ㉢은 b에 해당한다.

㉠. ㉠에서는 He과 H 흡수선이 잘 나타나 있으므로 분광형이 O형인 a의 스펙트럼이다.

㉡. ㉡에서는 H 흡수선이 가장 강하고, ㉢에서는 TiO 흡수선이 강하다. 따라서 ㉡은 분광형이 A형인 c의 스펙트럼이고 ㉢은 분광형이 M형인 b의 스펙트럼이므로, 별의 표면 온도는 ㉡이 ㉢보다 높다.

㉢. H-R도에서 별의 평균 밀도는 백색 왜성(㉡) > 주계열성(㉠) > 초거성(㉢)이다.

## 04 주계열성의 물리량

예설 | 주계열성은 질량이 클수록 광도와 반지름이 크고 표면 온도와

중심부 온도가 높지만, 평균 밀도는 작고 별의 수명은 짧다.

✕. 별의 평균 밀도  $\propto \frac{\text{질량}}{\text{부피}} \propto \frac{\text{질량}}{\text{반지름}^3}$ 이다. (가)에서 주계열성의 질량과 반지름 관계로부터 질량이 클수록 평균 밀도가 작다는 것을 알 수 있다. 예를 들어 ㉠은 질량이 태양의 약 3배이고, 반지름은 태양의 약 2.5배이므로 태양보다 평균 밀도가 작다.

㉡. ㉠의 반지름은 태양의 약 2.5배이고, 광도는 태양의 약 100배이다. 따라서 표면 온도는 태양의 약 2배  $(= (\frac{100}{2.5^2})^{\frac{1}{4}} = \sqrt{\frac{10}{2.5}})$ 이다.

㉢. 별이 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 에너지양은 별의 표면 온도의 4제곱에 비례하므로  $\frac{\text{광도}}{\text{반지름}^2}$ 에 비례한다. 따라서 질량이 태양의 16배인 별은 광도가 태양의  $10^4$ 배보다 크고 반지름이 태양의 약 6.3배이므로, 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 에너지양은 태양의  $\frac{10000}{6.3^2} \approx 252$ 배이다.

## 05 별의 물리량

예설 | 표면 온도와 반지름으로부터 별의 광도를 구하면 광도는 ㉡ > ㉠ > ㉢ > ㉣이다. ㉣은 표면 온도와 반지름이 태양과 같으므로 주계열성이다.

✕. 주계열성은 표면 온도가 높을수록 광도가 크다. ㉣이 주계열성이므로 ㉠과 ㉢은 주계열성이 될 수 없다. 따라서 주계열성은 ㉡과 ㉣이다.

㉡. ㉠은 주계열성인 ㉣보다 표면 온도가 낮고 광도가 큰 거성이고, ㉢은 주계열성인 ㉣보다 표면 온도가 높고 광도가 작은 백색 왜성이다. 따라서 광도 계급의 숫자는 ㉠이 ㉢보다 작다.

✕. 별의 표면 온도는 ㉠이 20000 K, ㉢이 10000 K이므로 분광형은 ㉡이 B형, ㉢이 A형이다. 스펙트럼에서 HeI 흡수선의 상대적 세기는 분광형이 B형인 별이 A형인 별보다 강하므로 ㉠이 ㉢보다 강하다.

## 06 별의 반지름과 별의 종류

예설 | 별의 반지름은 광도가 클수록, 표면 온도가 낮을수록 크므로 H-R도에서 오른쪽 위로 갈수록 크다.

✕. ㉠은 표면 온도가 약 4000 K이고, 광도와 반지름이 매우 큰 초거성이다. 따라서 ㉠은 초신성 폭발을 일으켜 중성자별(또는 블랙홀)로 진화할 것이다.

✕. ㉢은 표면 온도가 약 4000 K이고, 반지름은 태양과 같은 별이다. 따라서 ㉢은 주계열성이 아니다.

㉡. ㉡은 표면 온도가 약 20000 K이고 반지름이 태양의 10배이다. ㉣은 표면 온도가 약 10000 K이고 반지름이 태양의 0.01배이다. 따라서 광도는 ㉡이 ㉣의 약  $1.6 \times 10^7$ 배이다.

$$\frac{20000^4 \times 10^2}{10000^4 \times 0.01^2} = 2^4 \times 10^6 = 1.6 \times 10^7$$

## 많은 풀 문제로 유형 익히기

본문 090쪽

## 정답 ⑤

예설 | 원시별이 주계열성으로 진화하는 동안 중력 수축이 일어나 크기는 작아지고 중심부 온도는 높아진다.

㉠ (가)는 원시별 단계이며, 원시별 단계에서 별의 주요 에너지원은 중력 수축에 의한 에너지이다.

㉡ 광도(L)는 반지름의 제곱과 표면 온도의 4제곱을 곱한 값에 비례한다. 따라서 광도는 (다)보다 주계열성일 때 크다.

$$\frac{L_{\text{주계열성}}}{L_{\text{(다)}}} = \left(\frac{0.75 \times 10^6}{1 \times 10^6}\right)^2 \times \left(\frac{6000}{4500}\right)^4 \approx 1.8$$

㉢ 별이 진화할 때 가장 오랜 시간을 머무르는 단계는 주계열 단계이다. 따라서 ㉠은  $3 \times 10^7$ 보다 크다.

## 수능 2점 테스트

본문 091~092쪽

01 ⑤    02 ③    03 ④    04 ③    05 ⑤  
06 ①    07 ⑤    08 ③

## 01 원시별의 진화

예설 | 원시별이 중력 수축을 하여 중심부 온도가 약 1000만 K이 되면 중심부에서 수소 핵융합 반응이 일어나는 주계열성이 된다.

✗ 질량이 큰 원시별은 주로 표면 온도가 높아지는 방향으로 진화하고, 질량이 작은 원시별은 주로 광도가 작아지는 방향으로 진화한다. 따라서 질량이 작을수록 진화하는 동안 절대 등급의 변화량이 크다.

㉠ 자료에서 질량이 태양의 0.1배인 원시별이 영년 주계열에 도달하는 데 약 1억 년이 걸린다. 태양과 질량이 같은 원시별은 질량이 태양의 0.1배인 원시별보다 진화 속도가 빠르므로 영년 주계열에 도달하는 데 걸리는 시간이 1억 년보다 짧다.

㉡ 원시별의 질량이 작을수록 영년 주계열에 도달하는 데 걸리는 시간이 길고, 주계열 단계에 머무르는 시간도 길다.

## 02 주계열 단계에 머무르는 시간

예설 | 주계열성은 질량이 클수록 광도가 크고 주계열 단계에 머무르는 시간이 짧다.

㉠ 주계열성의 중심핵에서 단위 시간당 에너지 생성량은 광도와 같으므로 ㉠이 ㉡보다 많다.

✗ 주계열성은 질량이 클수록 광도가 크고, 진화 속도가 빠르다. 따라서 별의 질량은 ㉡이 ㉢보다 작다.

㉢ ㉢은 광도가 태양의 100배인 주계열성이다. 따라서 주계열 단계에 머무르는 시간은 ㉢이 태양보다 짧다.

## 03 주계열성에서 거성으로의 진화

예설 | 별의 중심핵에서 핵융합 반응에 사용되는 수소가 고갈되면 별

은 주계열 단계를 벗어난다. 중심부에서 수소 핵융합 반응이 멈추면 별의 중력과 평형을 이루던 기체 압력 차에 의한 힘이 감소하여 중심부는 수축한다.

㉠ A 영역은 B 영역에서 일어나는 수소 껍질 연소에 의해 팽창한다. 따라서 A 영역이 팽창하면 별의 표면 온도는 낮아진다.

㉡ 중심핵 C가 수축하면 중심핵을 둘러싼 바깥쪽 영역 B에서 수소 껍질 연소가 일어난다.

✗ C 영역은 수소 핵융합 반응으로 중심부의 수소가 모두 소진되고 헬륨으로 이루어진 핵이다.

## 04 태양 정도의 질량을 가진 별의 진화

예설 | 태양 정도의 질량을 가진 별은 원시별(A) → 주계열성(B) → 적색 거성(C) → 행성상 성운과 백색 왜성(D)으로 진화한다.

✗ A는 원시별 단계로 중력 수축이 일어난다. 중심핵에서 수소 핵융합 반응이 일어나는 단계는 B이다.

✗ B는 주계열 단계로, 별이 일생의 대부분을 머무른다.

㉢ B → C로 진화하는 동안 중심부에서는 헬륨핵 수축 → 헬륨 핵융합 반응 → 탄소핵 수축이 일어나며, 이 과정에서 중심부 온도는 대체로 높아진다.

✗ C는 백색 왜성으로 진화하기 직전 단계이므로 중심부에 탄소(일부 산소)로 이루어진 핵이 존재한다.

✗ A에서 D로 진화하는 동안 별의 질량은 대체로 작아진다. 별의 질량이 작아지는 것은 핵융합 반응에 의한 질량 결손, 별의 항성풍으로 인한 질량 결손, 별의 바깥층 물질이 우주 공간으로 방출되어 행성상 성운이 만들어지기 때문이다.

## 05 별의 진화

예설 | A는 적색 거성이고, B는 원시별이며, C는 정역학 평형 상태에 있는 주계열성이다.

㉠ 중심부에 수소가 존재하는 별은 원시별과 주계열성이다. 적색 거성은 중심부의 수소를 모두 소진한 별이므로 A는 적색 거성이다.

㉡ 별의 중심부 온도는 적색 거성 A가 원시별 B보다 높다.

㉢ 태양이 진화하는 동안 가장 오랫동안 머무르는 단계는 주계열 단계이다.

## 06 정역학 평형

예설 | 주계열성은 중력과 기체 압력 차에 의한 힘이 평형을 이루는 정역학 평형 상태에 있으므로 수축이나 팽창을 하지 않고 크기가 거의 일정하게 유지된다.

㉠ 주계열성의 표면에서는 두 힘 ㉠(기체 압력 차에 의한 힘)과 ㉡(중력)의 크기가 같아 평형을 이루고 있다.

✗ 주계열성이 거성으로 진화할 때 중심부에서 헬륨핵이 수축하면 핵을 둘러싼 바깥쪽 영역에서 수소 껍질 연소가 시작된다. 이때 수소 껍질 연소가 일어나는 영역의 바깥층은 ㉠(기체 압력 차에 의한 힘)이 ㉡(중력)보다 커지면서 팽창이 일어난다.

✗ 별의 표면에서 ㉡(중력)의 크기는 질량이 크고 크기가 작은 중성자별이 백색 왜성보다 크다.

### 07 수소 핵융합 반응

**예설** | 수소 핵융합 반응에는 양성자·양성자 반응(p-p 반응)과 탄소·질소·산소 순환 반응(CNO 순환 반응)이 있다.

✗ 중심부 온도가  $T_0$ (약 1800만 K) 이하인 별은 p-p 반응이, 중심부 온도가  $T_0$ (약 1800만 K) 이상인 별은 CNO 순환 반응이 우세하게 일어난다. 따라서 ㉠은 p-p 반응이다.

㉡ 태양에서는 p-p 반응이 CNO 순환 반응보다 우세하게 일어나므로 태양의 중심핵 온도는  $T_0$ 보다 낮다.

㉢ 질량이 태양 질량의 약 2배보다 큰 주계열성은 중심부 온도가 매우 높기 때문에 CNO 순환 반응이 우세하고, 중심부에는 대류가 일어나는 대류핵이 생성된다.

### 08 별의 최종 진화 단계

**예설** | (가)는 초신성 폭발로 생성된 초신성 잔해의 모습이고, (나)는 행성상 성운의 모습이다.

✗ (가)는 태양보다 질량이 훨씬 큰 별의 최종 진화 단계에서 생성된 초신성 잔해이다. 따라서 (가)의 중심부에는 중성자별이 존재한다.

✗ (가)는 (나)보다 질량이 큰 별이 진화하여 생성된 것이다. 따라서 주계열 단계에 머무르는 시간은 (가)로 진화한 별이 (나)로 진화한 별보다 짧다.

㉡ (가)와 (나)에서 밝은 빛을 내는 성간 물질은 모두 별을 구성하는 고온의 물질이었으며, 진화의 최종 단계에서 우주 공간으로 분출되어 점점 우주 공간으로 흩어지면서 식어간다.

#### 수능 3점 테스트

본문 093~095쪽

- 01 ㉡    02 ㉢    03 ㉠    04 ㉡    05 ㉢  
06 ㉡

### 01 성단의 진화

**예설** | 성단의 별들은 하나의 성운에서 거의 동시에 만들어지므로 나이가 거의 같다. 같은 성단에 있는 질량이 다른 별들은 진화 속도가 다르므로 원시별, 주계열성, 거성이 공존할 수 있다.

㉡ ㉠은 초거성, ㉡은 주계열성, ㉢은 원시별이다. 따라서 별의 중심부 온도는 ㉠이 가장 높다.

✗ 주계열 단계에 머무르는 시간은 질량이 작을수록 길다. ㉡은 질량이 작아 진화 속도가 가장 느려 현재 원시별 단계에 있고, ㉠은 질량이 커서 주계열 단계를 벗어나 초거성 단계에 있다. 따라서 주계열 단계에 머무르는 시간은 ㉡ < ㉢ < ㉠이다.

㉢ ㉢은 원시별이므로 중력 수축이 일어난다. 따라서 ㉢의 표면에서는 중력이 기체 압력 차에 의한 힘보다 크다.

### 02 별의 진화

**예설** | 별은 질량에 따라 서로 다른 진화 과정을 갖는다. 질량이 태양과 비슷한 별은 최종 단계에서 백색 왜성이 되고, 질량이 태양보다 훨씬 큰 별은 최종 단계에서 중성자별 또는 블랙홀이 된다.

㉡ 별의 질량은 백색 왜성으로 진화하는 별보다 중성자별 또는 블랙홀로 진화하는 별이 크다. 질량이 클수록 진화 속도가 빠르므로 진화하는 데 걸리는 시간은 A가 D보다 길다.

㉢ A~F 중 별의 평균 밀도가 작아지는 과정은 별의 크기가 커지는 과정이 포함된 B와 E이다.

㉣ A~F 중 광도 변화가 가장 크게 나타나는 과정은 초신성 폭발이 일어나는 F이다. 초신성 폭발이 일어날 때 별의 광도는 은하 전체의 광도와 비슷할 정도로 급격하게 커진다.

### 03 주계열성의 내부 구조

**예설** | 질량이 태양과 비슷한 주계열성은 중심에서부터 중심핵, 복사층, 대류층의 내부 구조를 갖지만, 질량이 태양보다 약 2배 이상 큰 주계열성은 대류핵, 복사층의 내부 구조를 가진다.

㉡ 별의 질량은 핵을 둘러싼 바깥층이 모두 복사층으로 이루어진 Y가 X보다 크다.

✗ (나)의 반응은 탄소, 질소, 산소가 촉매 역할을 하는 CNO 순환 반응이다. 이 반응이 진행되더라도 별의 핵에서 탄소, 질소, 산소의 개수는 증가하지 않는다.

✗ 주계열성의 질량은 대류핵이 존재하는 Y가 X보다 크다. 따라서 (나)의 핵융합 반응에 의한 에너지 생성량은 질량이 작은 X가 Y보다 적다.

### 04 별의 종류에 따른 특징

**예설** | 최대 복사 에너지를 방출하는 파장이 짧을수록 표면 온도가 높으므로 표면 온도는 ㉡ > ㉢ > ㉠이다.

✗ 태양과 질량이 비슷한 별의 진화 순서는 주계열성 → 적색 거성 → 백색 왜성이고, 세 별의 표면 온도는 백색 왜성 > 주계열성 > 적색 거성이다. 따라서 백색 왜성은  $\lambda_{\max}$ 가 가장 짧은 ㉡이고, 적색 거성은  $\lambda_{\max}$ 가 가장 긴 ㉠이다. 별의 진화 순서는 ㉡ → ㉠ → ㉢이다.

㉡ 평균 밀도는 백색 왜성(㉡) > 주계열성(㉢) > 적색 거성(㉠)이므로 (나)의 물리량 X로 적절하다.

㉢ HI 흡수선의 상대적 세기는 분광형이 A형인 별에서 가장 강하고, 표면 온도가 낮아짐에 따라 점점 약해진다. 이 별은 질량이 태양과 비슷하므로 주계열성일 때 분광형이 G형이었을 것이고, 적색 거성일 때 분광형은 K형(또는 M형)이었을 것이며, 백색 왜성일 때 분광형은 A형(또는 B형, F형)이었을 것이다. 따라서 HI 흡수선의 상대적 세기는 백색 왜성(㉡) > 주계열성(㉢) > 적색 거성(㉠)이다.

### 05 주계열성의 특징

**예설** | 질량이 태양과 비슷한 주계열성은 별의 바깥층(대류층)에서 대류가 일어나고, 질량이 태양의 약 2배 이상인 주계열성은 중심부(대류핵)에서 대류가 일어난다.

㉡ 별의 질량은 별의 최외곽층에서 복사층이 나타나는 X가 태양보다 크다. 따라서 중심핵의 온도는 X가 태양보다 높다. p-p 반응은 온도가 높을수록 에너지 생성량이 증가하므로, 중심핵에서 p-p 반응에 의한 에너지 생성량은 X가 태양보다 많다.

㉢ 수소 핵융합 반응이 일어나는 중심핵의 크기는 태양이 약  $0 \sim 0.27R_{\odot}$ , X가 약  $0 \sim 0.25R_X$ 이다. 별의 반지름은 태양보다 X가

크므로 중심핵의 크기는 X가 태양보다 크다.(질량이 태양의 약 2배 이상인 주계열성은 반지름도 태양의 약 2배 이상이다.)

X. X는 대류가 우세한 대류핵과 복사가 우세한 복사층의 내부 구조를 갖는다. 자료에서 핵의 질량이 전체 질량의 약 40%이므로 복사가 우세한 영역의 질량은 전체 질량의 약 60%이다.

## 06 거성의 내부 구조 변화

예설 | (가)는 주계열성에서 거성으로 진화하여 반지름이 점점 커지는 단계이고, (나)는 진화의 마지막 단계에서 행성상 성운이 생성되기 직전의 단계이다.

㉠. 별의 반지름은 수소 껍질 연소가 일어나는 거성 단계보다 수소와 헬륨 껍질 연소가 모두 일어나는 행성상 성운이 생성되기 직전의 단계일 때 크다.

㉡. ㉠은 중심부의 수소가 모두 소진되어 헬륨으로 이루어진 헬륨핵이고, ㉡은 헬륨 껍질 연소와 수소 껍질 연소가 일어나는 층 사이에 위치한 영역으로 헬륨으로 이루어진 층이다. 만약 ㉠에 수소가 있다면 수소 껍질 연소가 일어나는 층보다 온도가 높으므로 수소 핵융합 반응이 일어났을 것이다. 이 영역은 헬륨 핵융합 반응이 일어날 정도로 온도가 높지 않기 때문에 헬륨 껍질 연소도 일어나지 않는다.

X. ㉡은 헬륨이 모두 핵융합한 후 탄소(일부 산소)로 이루어진 핵이다. 이 별은 행성상 성운과 백색 왜성으로 진화할 예정이므로 탄소 핵융합 반응은 일어나지 않는다.

THEME

13

## 외계 행성계와 생명체 탐사

많은 낱 문제로 유형 익히기

본문 097쪽

### 정답 ①

예설 | 주계열성인 중심별의 질량이 클수록 중심별로부터 생명 가능 지대까지의 거리가 멀고, 생명 가능 지대의 폭이 넓다.

㉠. (가)는 (나)보다 생명 가능 지대까지의 거리가 멀고, 생명 가능 지대의 폭이 넓다. 따라서 중심별의 질량은 A가 B보다 크다.

X. a와 c는 모두 생명 가능 지대보다 안쪽에 위치하므로, 생명 가능 지대에 위치한 행성보다 온도가 높아 액체 상태의 물이 존재하기 어렵다. A와 B가 적색 거성으로 진화하면 광도가 커지므로 a와 c의 온도는 더욱 높아져 생명 가능 지대에 위치할 수 없다.

X. 중심별의 질량은 A가 B보다 크다. 주계열성의 질량이 클수록 주계열 단계에 머무르는 시간이 짧으므로, 생명 가능 지대에 머무를 수 있는 시간은 중심별의 질량이 큰 b가 중심별의 질량이 작은 d보다 짧다.

수능 2점 테스트

본문 098~099쪽

01 ②

02 ②

03 ①

04 ⑤

05 ⑤

06 ③

07 ①

08 ②

## 01 중심별의 시선 속도 변화를 이용한 외계 행성 탐사

예설 | 외계 행성계에서 중심별과 행성이 공통 질량 중심을 중심으로 공전함에 따라 중심별의 시선 속도에 변화가 나타난다.

X. 중심별과 행성은 공통 질량 중심을 중심으로 서로 반대 방향에서 공전하므로 지구로부터 중심별까지의 거리가 가까울수록 행성까지의 거리는 멀어진다. 지구로부터 행성까지의 거리가 가장 가까울 때는 중심별까지의 거리가 가장 멀 때이며, 이때는 중심별의 시선 속도가 (+) 값에서 (-) 값으로 바뀌는 시기이다. 따라서 지구로부터 행성까지의 거리는  $T_1$ 일 때 가장 가깝다.

X. 중심별과 행성이 원 궤도를 공전하므로 공통 질량 중심에 대한 중심별의 공전 속도 크기는 시기에 관계없이 항상 일정하다.

㉡. 행성의 공전 주기는 중심별의 공전 주기와 같으며, 중심별의 공전 주기는 시선 속도의 변화 주기와 같다. 따라서 행성의 공전 주기는  $2(T_3 - T_1)$ 이다.

## 02 식 현상을 이용한 외계 행성 탐사

예설 | 외계 행성에 의한 식 현상이 일어날 때 외계 행성의 크기가 클수록 중심별의 밝기 감소량이 커진다.

X. 외계 행성의 반지름이 클수록 식 현상이 일어날 때 중심별의 밝기 감소량이 크다. 그림에서 행성의 반지름은 B가 A보다 크므로 행성이 중심별을 가릴 때 중심별의 밝기 감소량은 B가 A보다 크다.

X. 행성의 공전 궤도면이 시선 방향과 나란한 경우, 행성은 중심별

의 중심을 지나간다. A는 중심별의 중심 부근을 지나가지만, B는 중심별의 중심을 지나가지 않으므로, B의 공전 궤도면은 시선 방향과 나란하지 않다.

㉔. A의 공전 주기가 짧을수록 식 현상이 일어나는 주기가 짧아지며, 공전 속도가 빠르므로 식 현상이 지속되는 시간도 짧아진다.

### 03 미세 중력 렌즈 현상을 이용한 외계 행성 탐사

예설 | 거리가 다른 두 별이 같은 시선 방향에 있을 경우 앞쪽 별의 미세 중력 렌즈 현상에 의해 뒤쪽 별의 밝기가 달라지며, 앞쪽 별이 행성을 가지고 있는 경우에는 행성의 중력에 의해 뒤쪽 별의 밝기에 추가적인 변화가 나타난다.

㉑. 미세 중력 렌즈 현상에서는 앞쪽 별의 중력에 의해 뒤쪽 별의 밝기에 변화가 나타난다. 따라서 ㉑은 A, ㉒은 B에 해당한다.

✕. 행성의 미세 중력 렌즈 현상에 의해 뒤쪽 별의 밝기가 일시적으로 밝게 관측되는 현상이 나타난다.

✕. 미세 중력 렌즈 현상은 별이 이동함에 따라 두 별의 시선 방향이 같아지는 시기에 나타나므로, 이러한 현상은 주기적으로 나타나지 않는다.

### 04 지구형 행성 탐사

예설 | 지구형 행성을 탐사하는 이유는 지구와 같은 암석형 행성에 생명체가 존재할 가능성이 높기 때문이다.

㉑. 생명체가 존재할 가능성은 목성형 행성과 같이 표면이 기체로 이루어진 행성보다 지구형 행성과 같이 표면이 암석으로 이루어진 행성이 높을 것으로 예상되기 때문에 기체형 행성보다 암석형 행성을 주로 탐사하고 있다.

㉒. 중심별과 행성이 공통 질량 중심을 중심으로 공전하는 과정에서 중심별의 스펙트럼에 도플러 효과가 나타난다. 따라서 행성의 질량이 클수록 중심별의 시선 속도 변화가 커서 도플러 효과가 커진다.

㉓. 기체형 행성은 밀도가 작으므로 반지름에 비해 질량이 작고, 암석형 행성은 밀도가 크므로 반지름에 비해 질량이 크다. 따라서 B와 C를 이용하여 알아낸 행성의 질량과 반지름을 기준으로 기체형 행성과 암석형 행성을 구분할 수 있다.

### 05 외계 행성 탐사 방법

예설 | 외계 행성에 의한 식 현상이나 도플러 효과, 미세 중력 렌즈 현상 등을 이용하여 외계 행성을 탐사하며, 직접 관측에 의해 외계 행성을 탐사하기도 한다.

㉑. (가)에서 적외선 등을 이용하여 행성을 직접 관측하기 위해서는 행성의 반지름이 클수록 유리하며, 식 현상이 일어나는 경우 행성의 반지름이 클수록 중심별의 밝기 감소율이 크므로 행성의 존재를 알아내는 데 유리하다.

㉒. 행성의 질량이 클수록 공통 질량 중심에 대한 중심별의 공전 속도가 빨라지므로 도플러 효과가 크게 나타나 시선 속도 변화량이 크다.

㉓. 식 현상을 이용하는 (나)는 행성의 공전 궤도면이 시선 방향과 거의 나란한 경우에 이용되며, 중심별의 시선 속도 변화를 이용하는 (다)의 방법은 행성의 공전 궤도면이 시선 방향과 수직인 경우를 제외하면 이용할 수 있다. 따라서 (나)와 (다)는 행성의 공전 궤도면이 시

선 방향과 수직인 경우에는 이용할 수 없다. (가)와 (라)는 행성의 공전 궤도면과 시선 방향이 이루는 각도와 관계없이 이용할 수 있다.

### 06 도플러 효과를 이용한 외계 행성 탐사

예설 | 중심별과 행성은 공통 질량 중심을 중심으로 공전하며, 이로 인해 중심별의 스펙트럼에 도플러 효과가 나타난다.

㉑. 중심별과 행성은 공통 질량 중심을 중심으로 같은 주기로 공전한다.

㉒. 그림에서 중심별은 지구로부터 멀어지고 있다. 중심별과 행성은 공통 질량 중심을 중심으로 반대 방향에서 공전하며 공전 방향은 같으므로, 행성은 지구에 가까워지고 있다.

✕. 중심별이 지구로부터 멀어지면 파장이 길어지는 적색 편이가, 지구에 가까워지면 파장이 짧아지는 청색 편이가 나타난다. 그림에서 중심별은 지구로부터 멀어지고 있으므로 중심별의 스펙트럼에서 적색 편이가 나타난다.

### 07 발견된 외계 행성의 특징

예설 | A를 통해 발견한 외계 행성들은 B를 통해 발견한 외계 행성들에 비해 공전 주기가 대체로 짧다.

㉑. 식 현상을 이용한 외계 행성 탐사는 행성의 반지름이 크고 공전 주기가 짧을수록 유리하며, 도플러 효과를 이용한 외계 행성 탐사는 행성의 질량이 클수록 유리하다. 행성들의 공전 주기는 B보다 A를 이용하여 발견한 행성들이 상대적으로 매우 짧으므로 식 현상을 이용한 외계 행성 탐사 방법은 A이다.

✕. 도플러 효과를 이용한 방법은 B이며, 그림에서 B를 이용하여 발견한 행성의 질량은 대부분 지구의 질량보다 크다.

✕. 중심별의 시선 속도 변화 주기는 행성의 공전 주기와 같다. 따라서 공전 주기가 짧은 ㉑의 중심별 시선 속도 변화 주기가 공전 주기가 긴 ㉒의 중심별 시선 속도 변화 주기보다 짧다.

### 08 생명 가능 지대와 중심별의 질량

예설 | 주계열성은 질량이 클수록 광도가 크고 주계열 단계에 머무르는 시간이 짧다. 또한 질량이 커서 광도가 클수록 생명 가능 지대까지의 거리가 멀고 생명 가능 지대의 폭도 넓다.

✕. 주계열 단계에 머무르는 시간은 A가 태양보다 짧다. 주계열 단계에 머무르는 시간이 짧을수록 질량이 크므로, 질량은 A가 태양보다 크다.

✕. 주계열성은 질량이 클수록 광도가 크고 주계열 단계에 머무르는 시간이 짧다. B는 C보다 주계열 단계에 머무르는 시간이 길다. 따라서 광도는 B가 C보다 작다.

㉓. 생명 가능 지대의 폭은 질량이 커서 광도가 큰 별일수록 넓다. C는 태양보다 주계열 단계에 머무르는 시간이 짧으므로 태양보다 광도가 크다. 따라서 생명 가능 지대의 폭은 C 행성계가 태양계보다 넓다.

01 ①

02 ⑤

03 ④

04 ①

### 01 도플러 효과를 이용한 외계 행성 탐사

**예설** | 중심별이 지구에 가까워지면 파장이 짧아지는 청색 편이가, 지구로부터 멀어지면 파장이 길어지는 적색 편이가 나타난다.

㉠. 공통 질량 중심으로부터의 거리는 A가 B보다 가까우므로, 공전 궤도의 길이는 A가 B보다 짧다. 두 별의 공전 속도가 같다고 했으므로 공전 주기는 A가 B보다 짧다.

✕. A는 지구 방향으로 접근하고 B는 지구 반대 방향으로 후퇴하므로, A의 스펙트럼에서는 청색 편이가 나타나고 B의 스펙트럼에서는 적색 편이가 나타난다. 따라서 (나)의 A에서 흡수선의 파장은 기준 파장보다 짧아야 하고 B에서 흡수선의 파장은 기준 파장보다 길어야 하므로, 흡수선의 파장은 A가 B보다 짧다.

✕. A와 B의 공전 속도가 같으므로 A와 B의 공전 궤도면이 시선 방향과 나란하다면, 문제의 그림에서와 같이 시선 방향에 수직인 위치에서 나타나는 흡수선의 파장 변화량은 서로 같아야 한다. 그러나 (나)에서 A의 흡수선 파장 변화량은 B보다 작다. 중심별의 공전 궤도면이 시선 방향에 대해 기울어져 있을수록 시선 속도 크기의 최댓값이 작아지므로, A의 공전 궤도면은 시선 방향과 나란하지 않고 기울어져 있음을 알 수 있다.

### 02 식 현상을 이용한 외계 행성 탐사

**예설** | A는 식 현상이 일어날 때 중심별의 밝기 감소율이다. B는 행성이 중심별을 가리기 시작한 순간부터 행성 전체가 별을 가리기 시작한 순간까지의 시간이며, C는 행성 전체가 별을 가리며 식이 지속된 시간에 해당한다.

㉠. 행성의 반지름이 현재의  $\frac{1}{2}$ 배가 되면, 단면적은 현재의  $\frac{1}{4}$ 배가 된다. 따라서 A는 현재의  $\frac{1}{4}$ 배로 작아진다.

㉡. 행성의 반지름이 현재의  $\frac{1}{2}$ 배가 되면 중심별의 단면적은 변하지 않고 행성의 단면적만 작아지므로 C에 대한 B의 비율은 작아진다. 그리고 공전 주기의 변화는 B와 C의 비율 변화에 영향을 주지 않는다. 따라서 행성의 반지름이 현재의  $\frac{1}{2}$ 배가 되고, 공전 주기가 현재의 2배가 된다면  $\frac{B}{C}$ 의 값은 현재보다 작아진다.

㉢. B 기간은 행성이 중심별 앞쪽에서 중심별을 가리기 시작한 시기부터 행성 전체가 별을 가리기 시작한 순간까지이므로 행성은 지구에 가까워지고 중심별은 지구로부터 멀어진다.

### 03 생명 가능 지대까지의 거리

**예설** | 중심별의 광도가 클수록 중심별로부터 생명 가능 지대까지의 거리가 멀어지고, 생명 가능 지대의 폭이 넓어진다.

✕. 중심별로부터 생명 가능 지대까지의 거리는 A가 가장 가깝고 B가 가장 멀다. 또한 A에서 생명 가능 지대의 폭은 0.2 AU이므로, B와 C에서 생명 가능 지대의 폭은 0.2 AU보다 넓다. 중심별로부터

1.3 AU 떨어진 행성의 경우 A에서는 생명 가능 지대 바깥쪽 경계보다 바깥에 위치하며, B에서는 생명 가능 지대 안쪽 경계보다 중심별에 가깝게 위치한다. 따라서 중심별로부터 1.3 AU 떨어진 행성에 액체 상태의 물이 존재할 가능성은 C가 가장 높다.

㉠. 중심별의 질량이 클수록 생명 가능 지대까지의 거리가 멀다. B는 생명 가능 지대 안쪽 경계까지의 거리가 1.4 AU이지만, C는 생명 가능 지대 바깥쪽 경계까지의 거리가 1.4 AU이므로 중심별로부터 생명 가능 지대까지의 거리는 B가 C보다 멀다. 따라서 질량은 B가 C보다 크다.

㉡. 중심별로부터 생명 가능 지대까지의 거리는 B가 C보다 멀기 때문에 생명 가능 지대의 폭은 B가 C보다 넓다.  $(\text{㉠}-1.4)$ 는 B의 생명 가능 지대의 폭,  $(1.4-\text{㉠})$ 은 C의 생명 가능 지대의 폭에 해당하므로,  $(\text{㉠}-1.4)$ 는  $(1.4-\text{㉠})$ 보다 크다.

### 04 중심별의 광도와 생명 가능 지대

**예설** |  $T_1$ 일 때의 생명 가능 지대가  $T_2$ 일 때의 생명 가능 지대보다 중심별로부터의 거리가 가깝고 폭이 좁다.

㉠. 중심별의 광도가 클수록 생명 가능 지대까지의 거리가 멀어지고 생명 가능 지대의 폭이 넓어지므로, X의 광도는  $T_1$ 일 때가  $T_2$ 일 때보다 작다.

✕. a는  $T_1$ 일 때 생명 가능 지대의 바깥쪽 경계 부근에 위치하였고,  $T_2$ 일 때 생명 가능 지대의 안쪽 경계 부근에 위치하였다. 생명 가능 지대에서 안쪽 경계에 가까울수록 온도가 높으므로, a의 표면 온도는  $T_1$ 일 때가  $T_2$ 일 때보다 낮다.

✕. b는  $T_1$ 일 때 생명 가능 지대 바깥에 위치하였고,  $T_2$ 일 때 생명 가능 지대에 위치하였다. 따라서 b에 액체 상태의 물이 존재할 가능성은  $T_1$ 일 때가  $T_2$ 일 때보다 낮다.

THEME

14

외부 은하

많은 낱 문제로 유형 익히기

본문 103쪽

정답 ④

예설 | (가)는 전파로 관측한 전파 은하, (나)는 가시광선으로 관측한 세이퍼트은하이다.

X. (가)는 전파로 관측한 영상이며, 은하핵을 중심으로 대칭적으로 나타나는 제트와 로브가 관측되므로 전파 은하이다. (나)는 가시광선으로 관측한 영상이며, 형태상 나선 은하로 관측되므로 세이퍼트은하이다.

㉠. 전파 은하인 (가)의 제트와 로브의 일부 영역에서는 강한 X선이 방출된다.

㉡. 세이퍼트은하인 (나)는 은하 내의 가스운이 매우 빠른 속도로 움직이고 있기 때문에 스펙트럼에서 넓은 방출선이 관측된다.

수능 2점 테스트

본문 104~105쪽

- 01 ①
- 02 ⑤
- 03 ③
- 04 ②
- 05 ②
- 06 ①
- 07 ③
- 08 ①

01 정상 나선 은하와 타원 은하

예설 | 정상 나선 은하는 나선팔을 가지고 있으며, 타원 은하는 나선팔이 없는 타원 형태의 은하이다.

㉠. (가)는 은하핵을 가로지르는 막대 모양의 구조가 나타나지 않으며 나선팔을 가지고 있으므로 정상 나선 은하이다.

X. (가)와 같은 나선 은하들은 나선팔이 감긴 정도와 은하핵의 상대적인 크기에 따라 세분한다.

X. 나선 은하의 나선팔에는 젊은 별들이 많이 분포하지만, 타원 은하는 비교적 높고 온도가 낮은 별들로 이루어져 있다. 따라서 은하를 구성하는 별들의 평균 나이는 (가)가 (나)보다 적다.

02 허블의 은하 분류

예설 | 허블은 은하들을 가시광선 영역에서 관측되는 형태에 따라 타원 은하, 나선 은하, 불규칙 은하로 분류하였다.

㉠. 나선 은하에 해당하는 것은 나선팔 구조가 나타나는 ㉠, ㉡, ㉢이다.

㉡. ㉠과 ㉢은 타원 은하에 해당하며, 타원 은하는 은하의 납작한 정도에 따라 E0~E7로 세분하는데, 모양이 납작할수록 숫자가 커진다. 따라서 상대적으로 더 납작한 형태인 ㉠은 E7, 상대적으로 원에 가까운 형태인 ㉢은 E3에 해당한다.

㉣. ㉡은 은하핵을 가로지르는 막대 모양의 구조가 나타나지 않으며 ㉢은 막대 모양의 구조가 나타나므로, 두 은하는 은하핵을 가로지르는 막대 모양 구조의 유무에 따라 정상 나선 은하와 막대 나선 은하로 구분할 수 있다.

03 충돌 은하

예설 | 은하들 중 가까이 있는 은하들 사이에는 큰 인력이 작용하여 충돌하기도 하는데, 이를 충돌 은하라고 한다.

㉠. 충돌하는 은하들은 서로의 중력이 인력으로 작용하여 가까워지며 충돌하게 된다.

㉡. 은하들의 충돌 과정에서 별들끼리 충돌하는 경우는 거의 없으며, 은하가 충돌하는 과정에서 격렬한 충격이 발생하면 기체가 급격히 압축되면서 많은 별들이 탄생하기도 한다. 따라서 은하의 충돌 과정에서 새로 생성된 별의 개수는 별들의 충돌로 사라진 별의 개수보다 많다.

X. 충돌하는 은하들은 서로의 인력으로 인해 가까워지므로, 우리 은하와 충돌할 것으로 추정되는 안드로메다은하의 스펙트럼에서는 청색 편이가 나타날 것이다.

04 나선 은하의 특징

예설 | 나선 은하는 은하핵과 나선팔로 구성되어 있으며, 은하의 중심 부에는 은하핵을 포함한 중앙 팽대부라고 하는 부분이 존재한다. 중앙 팽대부와 헤일로에는 늙은 별들과 구상 성단이 주로 분포한다.

X. A는 헤일로이며, 헤일로에는 산개 성단보다 구상 성단이 주로 분포한다.

X. 성간 물질은 헤일로인 A보다 나선팔인 C에 주로 분포한다.

㉣. 중앙 팽대부인 B에는 늙은 별들이 많이 분포하고, 나선팔인 C에는 젊은 별들이 많이 분포한다. 따라서 별들의 평균 나이는 B가 C보다 많다.

05 전파 은하의 특징

예설 | 전파 은하는 보통의 은하보다 매우 강한 전파를 방출하는 은하로, 제트와 로브가 중심부의 양쪽에 대칭으로 나타난다.

X. A 영역은 로브에 해당하며, 제트와 로브는 전파 영역으로 관측했을 때 잘 나타난다. 전파 은하는 가시광선 영역으로 관측했을 때 대부분 타원 은하의 형태로 나타난다.

X. B는 은하 중심부와 로브인 A 사이에 위치한 제트이다.

㉣. 전파 은하의 제트와 로브의 일부 영역에서는 강한 X선이 방출된다.

06 세이퍼트은하의 특징

예설 | 세이퍼트은하는 일반적인 은하에 비해 핵이 다른 부분보다 상대적으로 밝고 스펙트럼에서 넓은 방출선이 관측된다.

㉠. 퀘이사는 거리가 너무 멀어 시지름이 작아서 하나의 별처럼 보이지만, 세이퍼트은하는 상대적으로 거리가 가까워 대부분의 퀘이사보다 시지름이 크다.

X. 세이퍼트은하들을 가시광선 영역에서 관측하면 대부분 나선 은하의 형태를 보이지만, 실제 나선 은하의 약 2%만 세이퍼트은하로 분류된다.

X. 세이퍼트은하의 스펙트럼에서 넓은 방출선이 나타나는 것은 은하 중심부에 위치한 질량이 매우 큰 블랙홀과 같은 천체의 중력 때문이다. 따라서 중심부에 위치한 블랙홀의 질량이 클수록 스펙트럼에 나타나는 방출선의 선폭은 넓어진다.

## 07 은하의 분류

**예설** | Sb는 정상 나선 은하, SBb는 막대 나선 은하, E1과 E5는 타원 은하에 해당한다.

㉠. A는 나선팔 구조가 있으며, 중심부에 막대 모양의 구조가 있으므로 막대 나선 은하에 해당한다. 따라서 A는 SBb이다.

㉡. 나선팔 구조가 없는 C와 D는 타원 은하에 해당하며, 타원 은하는 은하 모양의 납작한 정도에 따라 세분할 수 있다. 따라서 '모양이 상대적으로 더 납작한 형태인가?'는 ㉠에 들어갈 내용으로 적절하다.

✗. B는 Sb에 해당하며, D는 타원 은하에 해당한다. 새로운 별의 탄생은 성간 물질이 상대적으로 많은 나선 은하인 B가 성간 물질이 거의 없는 타원 은하인 D보다 활발하다.

## 08 나선 은하와 세이퍼트 은하

**예설** | 세이퍼트 은하는 대부분 나선 은하의 형태로 관측된다.

㉠. (가)와 (나) 모두 은하핵과 나선팔을 가지고 있으므로 나선 은하에 해당한다.

✗. 세이퍼트 은하는 은하 내의 가스운이 매우 빠른 속도로 움직이고 있어 스펙트럼에서 넓은 방출선이 나타난다. 따라서 수소 방출선의 폭은 세이퍼트 은하인 (나)가 (가)보다 넓다.

✗. 세이퍼트 은하는 일반적인 은하에 비해 핵이 다른 부분보다 상대적으로 밝다. 따라서  $\frac{\text{은하핵의 밝기}}{\text{은하 전체의 밝기}}$ 는 세이퍼트 은하인 (나)가 (가)보다 크다.

### 수능 3점 테스트

본문 106~107쪽

01 ②

02 ④

03 ③

04 ⑤

## 01 퀘이사의 특징

**예설** | (가)를 통해 최근에 가까워질수록 점점 적색 편이가 큰 퀘이사들이 발견되고 있음을 알 수 있으며, (나)에서 퀘이사의 단위 부피당 개수는 우주 탄생 초기에 증가하다가 이후 계속 감소하고 있음을 알 수 있다.

✗. 발견되는 퀘이사의 적색 편이가 커지는 것은 (가) 기간 동안의 우주 팽창과는 관련이 없다. 이는 관측 기술 발달 등의 이유 때문이다.

㉡. 퀘이사 생성 초기의 모습을 연구하기 위해서는 지구로부터의 거리가 멀어 적색 편이가 크게 나타나는 퀘이사일수록 유리하다. 따라서 B가 A보다 유리하다.

✗. (나)에서 단위 부피당 퀘이사의 개수가 우주 생성 초기에 증가하다가 이후 지속적으로 감소하는 것으로 보아 대부분의 퀘이사는 우주 생성 초기에 만들어졌음을 알 수 있다. 또한 우리은하로부터의 거리가 멀수록 우주의 팽창으로 인해 공간이 커지므로 단위 부피당 퀘이사의 개수는 대체로 감소한다.

## 02 타원 은하와 불규칙 은하

**예설** | 타원 은하는 성간 물질이 거의 없으며, 주로 늙은 별들로 구성

되어 있다. 불규칙 은하는 성간 물질이 많으며, 젊고 파란색을 띠는 고온의 별들이 많이 분포한다.

✗. 은하는 형태에 따른 진화 순서가 정해져 있지 않다. 따라서 타원 은하 (가)가 반드시 불규칙 은하 (나)로 진화하는 것은 아니다.

㉡. 새로운 별의 탄생은 성간 물질이 풍부한 불규칙 은하인 (나)가 성간 물질이 거의 없는 타원 은하인 (가)보다 활발하다.

㉢. 타원 은하는 성간 물질이 거의 없고, 불규칙 은하는 성간 물질이 풍부하다. 따라서  $\frac{\text{성간 물질의 질량}}{\text{은하 전체의 질량}}$ 은 타원 은하인 (가)가 불규칙 은하인 (나)보다 작다.

## 03 퀘이사와 중력 렌즈 현상

**예설** | 거리가 매우 먼 퀘이사와 지구 사이에 타원 은하가 같은 시선 방향에 위치하면서 타원 은하의 중력에 의해 중력 렌즈 현상이 나타나 퀘이사가 고리 모양으로 관측되고 있다.

㉠. 중력 렌즈 현상에 의해 빛이 굴절되어 고리 모양으로 관측되고 있는 천체가 지구로부터의 거리가 더 먼 천체이다. 타원 은하의 중력에 의해 중력 렌즈 현상이 나타난다고 했으므로 A는 거리가 먼 뒤쪽에 위치한 퀘이사이며, B는 앞쪽에 위치한 타원 은하이다.

㉡. 후퇴 속도는 지구로부터의 거리가 더 먼 퀘이사가 거리가 가까운 타원 은하보다 빠르다. 따라서 후퇴 속도는 퀘이사인 A의 천체가 타원 은하인 B의 천체보다 빠르다.

✗. 퀘이사에서 방출되는 에너지는 보통 은하의 수백 배 정도로 많다. 따라서 은하 전체가 방출하는 에너지량은 타원 은하인 B의 천체보다 퀘이사인 A의 천체가 많다.

## 04 세이퍼트 은하의 특징

**예설** | 세이퍼트 은하의 스펙트럼에서는 넓은 방출선이 나타난다.

㉠. (가)와 (나)의 스펙트럼에서 파장이 약 6600 Å인 방출선을 보면, 방출선의 폭이 (나)보다 (가)가 넓게 나타나고 있음을 알 수 있다.

㉡. 세이퍼트 은하는 은하 내의 가스운이 빠른 속도로 움직이고 있어서 방출선의 폭이 넓게 나타난다. 따라서 방출선의 폭이 더 넓은 (가)가 세이퍼트 은하에 해당한다.

㉢. 세이퍼트 은하의 가스운이 빠른 속도로 움직이는 것은 은하의 중심부에 블랙홀과 같이 질량이 매우 큰 천체가 존재하고 있기 때문이다. 따라서 세이퍼트 은하인 (가)의 중심부에는 블랙홀이 존재할 가능성이 높다.



THEME

15

우주 팽창

짧은 풀 문제로 유형 익히기

본문 110쪽

정답 ③

예설 | 대폭발 이후 약 38만 년이 지났을 때, 원자핵과 전자가 결합하여 중성 원자가 생성되면서 우주는 투명해졌다.

X. A는 불투명한 우주에서 투명한 우주로 바뀌는 시기이므로, 대폭발 이후 약 38만 년이 지났을 때이다.

X. A 시기 이전에는 우주의 온도가 높아 원자핵과 전자가 결합하지 못하고 뒤섞여 있었기 때문에 빛이 자유롭게 진행할 수 없었다. 따라서 A 시기 이전에는 불투명한 우주였다.

㉔. A 시기 이후에도 우주는 팽창하며 온도가 계속 낮아졌다. 따라서 A 시기 이후에 우주 배경 복사의 파장은 점차 길어졌다.

수능 2점 테스트

본문 111~113쪽

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

01 허블 법칙과 적색 편이

예설 | 허블 법칙을 만족하는 은하들은 거리가 멀수록 흡수선의 파장이 길어지는 적색 편이가 크게 나타난다.

X. 두 외부 은하 모두 허블 법칙을 만족한다고 했으므로 두 외부 은하의 스펙트럼에서는 적색 편이가 나타나야 한다. 따라서 A의 파장이 가장 짧은 (나)가 정지 상태에서의 흡수선 위치이며, (가)와 (다)는 외부 은하의 흡수선 위치이다.

㉔. A의 흡수선 파장은 (가)의 은하가 550 nm, (다)의 은하가 500 nm이다. A의 정지 상태에서의 파장이 450 nm이므로 A의 파장 변화량은 (가)가 (다)의 2배이다. 은하의 후퇴 속도는 파장 변화량에 비례하므로 후퇴 속도가 상대적으로 빠른 은하인 (가)의 후퇴 속도는 후퇴 속도가 상대적으로 느린 은하인 (다)의 후퇴 속도의 2배이다.

㉔. 후퇴 속도를  $v$ , 빛의 속도를  $c$ , 원래 파장을  $\lambda_0$ , 파장 변화량을  $\Delta\lambda$ 라고 할 때,  $v = c \times \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}$ 가 성립한다. 따라서 (다)의 은하에서는 원래 파장이 길수록 파장 변화량도 크므로, B의 파장 변화량보다 C의 파장 변화량이 크다. 따라서  $\frac{C \text{의 파장 변화량}}{B \text{의 파장 변화량}}$ 은 1보다 크다.

02 허블 법칙

예설 | 은하까지의 거리가 멀수록 은하의 후퇴 속도는 빨라진다.

㉔. 그래프에서 은하까지의 거리가 멀수록 후퇴 속도가 점차 빨라지고 있으므로, 은하까지의 거리와 후퇴 속도는 비례한다.

㉔. 허블 법칙에서 후퇴 속도를  $v$ , 은하까지의 거리를  $r$ , 허블 상수를  $H$ 라고 할 때,  $v = H \cdot r$ 가 성립한다. 따라서 허블 상수  $H = \frac{v}{r}$ 이

다. 그래프에서 거리가 300 Mpc인 은하의 후퇴 속도는 20000 km/s 이므로 허블 상수  $H \approx 66.7 \text{ km/s/Mpc}$ 이다. 따라서 허블 상수는 70 km/s/Mpc보다 작다.

X. 허블 법칙에서 은하들의 후퇴 속도는 은하까지의 거리에 비례하며, 이를 통해 우주가 팽창하고 있음을 알 수 있다. 허블 법칙을 통해서 우주의 팽창의 중심을 알 수 없으며, 우주 팽창의 중심은 없다. 따라서 우리 은하는 우주 팽창의 중심이 아니다.

03 우주 배경 복사

예설 | 우주 배경 복사는 빅뱅 후 약 38만 년이 지났을 때 방출된 복사로 현재는 전파 영역으로 관측된다.

X. 헬륨 원자핵은 빅뱅 후 약 3분이 지났을 무렵에 생성되었다. ①일 때는 원자핵과 전자가 결합해 중성 원자가 생성되었다.

X. ①일 때 우주의 온도는 약 3000 K이었고 이때 우주 배경 복사의 최대 복사 에너지 방출 파장( $\lambda_{\text{max}}$ )이 0.0001 cm였으므로, 빈의 변위 법칙에 의하면 우주의 온도가 약 2.7 K인 현재 관측되는 우주 배경 복사의  $\lambda_{\text{max}}$ 는 약 0.1 cm이다.

㉔. 우주가 팽창을 계속할수록 우주 배경 복사의 온도는 낮아지며 파장은 길어진다. 따라서 최대 복사 에너지를 방출하는 파장인 X는 점차 커진다.

04 우주 배경 복사와 급팽창 이론

예설 | (가)의 우주 배경 복사는 계속 온도가 낮아져 현재는 약 2.7 K의 복사로 관측되고 있다. (나)에서 우주 팽창의 속도가 급격히 빨라지는 시기(우주의 크기가 급격히 커지는 시기)가 나타나는 B는 급팽창 이론이다.

X. (가)의 우주 배경 복사는 우주의 온도가 낮아지고 우주가 팽창하면서 파장이 길어져 현재는 전파 영역에서 관측된다.

㉔. (가)의 우주 배경 복사는 빅뱅 후 약 38만 년이 지났을 때 방출된 복사이다. ① 시기는 급팽창이 일어났던 시기로 빅뱅 후 약  $10^{-36} \sim 10^{-34}$ 초가 지난 시기이다. 따라서 (가)는 ① 시기 이후에 방출된 것이다.

㉔. 현재 우주 공간은 완벽할 정도로 편평한데, 이는 급팽창 이론인 (나)의 B로 설명할 수 있다.

05 빅뱅 우주론 및 수소와 헬륨의 질량비

예설 | 초기 우주에서 생성된 양성자와 중성자의 개수비는 약 7 : 1이었으며, 양성자와 중성자가 2개씩 결합하여 헬륨 원자핵이 생성되었다.

㉔. 초기 우주에서 생성된 양성자와 중성자의 개수비는 약 7 : 1이었으므로, ●는 양성자, ○는 중성자이다.

X. 빅뱅 후 약 38만 년이 지났을 때 수소 원자핵과 헬륨 원자핵이 전자와 결합하여 중성 원자가 생성되었다. 따라서 수소 원자핵과 헬륨 원자핵은 이보다 훨씬 이전에 생성되었다.

X. 양성자와 중성자가 2개씩 결합하여 하나의 헬륨 원자핵을 생성하였으므로, 이 시기에 수소 원자핵과 헬륨 원자핵의 개수비는 12 : 1이며, 수소와 헬륨의 질량비는 약 3 : 1이다.

06 우리 은하의 회전 속도와 암흑 물질

예설 | 우리 은하의 회전 속도는 관측 가능한 물질을 통해 예상한 값과 달리 은하 외곽에서도 회전 속도가 느려지지 않는다. 이는 전자기파

로 관측이 불가능한 물질인 암흑 물질의 영향 때문이다.

X. 전자기파로 관측 가능한 보통 물질만을 고려한 예상값은 은하 중심으로부터 멀어질수록 회전 속도가 느려지는 B에 해당한다.

㉠. (나)는 현재 우주 구성 요소의 비율이며, 현재 우주 구성 요소 중 가장 많은 비율을 차지하는 ㉡은 암흑 에너지이다. 암흑 에너지의 밀도는 항상 일정하므로, 우주가 팽창함에 따라 암흑 에너지가 차지하는 비율은 점차 증가한다.

X. 우리은하 외곽에서의 회전 속도가 보통 물질만을 고려한 예상값보다 훨씬 크게 나타나는 것은 전자기파로 관측이 불가능한 암흑 물질 때문이다. (나)에서 암흑 물질은 물질에 해당하는 ㉠과 ㉡ 중 상대적으로 더 많은 비율을 차지하는 ㉡이다.

### 07 우주 배경 복사

예설 | 우주 배경 복사는 빅뱅 후 약 38만 년이 지나 우주의 온도가 약 3000 K이 되었을 때 중성 원자가 생성되면서 방출된 것이다.

X. 원자핵과 전자가 결합하기 이전에는 복사와 물질이 분리되지 않아 우주 배경 복사가 방출되지 못했다. (가)에서는 원자핵과 전자가 결합하여 중성 원자가 생성되어 있지만, (나)에서는 원자핵과 전자가 결합하지 않았으므로 복사와 물질이 분리되지 않았다. 따라서 복사와 물질이 분리되기 이전의 모습은 (나)이다.

㉠. 중성 원자는 우주의 온도가 점차 낮아지다가 약 3000 K으로 낮아졌을 때 생성되었다. 따라서 우주의 온도는 중성 원자가 생성된 (가)일 때가 (나)일 때보다 낮았다.

㉡. (가)는 우주 배경 복사가 방출되던 시기이므로 우주의 온도가 현재보다 높았다. 따라서 최대 복사 에너지를 방출하는 파장은 (가)의 빛이 현재 우주 배경 복사보다 짧다.

### 08 허블 법칙과 은하의 후퇴 속도

예설 | 세 은하가 허블 법칙을 만족하므로, 은하의 후퇴 속도는 은하까지의 거리에 비례한다.

㉠. 거리가 10 Mpc인 A의 후퇴 속도가 650 km/s이므로, 후퇴 속도가 3900 km/s로 A보다 6배 빠른 C의 거리는 A보다 6배 멀다. 따라서 C까지의 거리인 ㉡은 60이다.

㉢. 우리은하로부터 B까지의 거리는 A까지의 거리보다 3배 먼 30 Mpc이다. 따라서 B의 후퇴 속도는 A의 후퇴 속도의 3배인 1950 km/s이다. B와 C 사이의 거리도 30 Mpc이므로, C에서 관측한 B의 후퇴 속도도 1950 km/s이다.

㉣. 후퇴 속도를  $v$ , 빛의 속도를  $c$ , 원래 파장을  $\lambda_0$ , 파장 변화량을  $\Delta\lambda$ 라고 할 때,  $v=c \times \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}$ 가 성립한다. C의 후퇴 속도가 3900 km/s

이므로,  $\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}=0.013$ 이다. 따라서 C의 스펙트럼에서 관측된 흡수선의 파장은 원래 파장의 1.013배이다.

### 09 빅뱅 우주론과 정상 우주론

예설 | 빅뱅 우주론에서는 우주가 팽창함에 따라 온도가 낮아지고 밀도가 작아지지만, 정상 우주론에서는 우주가 팽창하는 과정에서도 온도와 밀도는 일정하게 유지된다. 따라서 (나)는 빅뱅 우주론, (다)는

정상 우주론에 해당한다.

㉠. 두 우주론 모두 우주는 팽창하므로 은하의 후퇴 속도는 거리가 멀수록 빠르다. 따라서 A에서 관측한 후퇴 속도는 (나)와 (다) 모두 거리가 가까운 B가 거리가 먼 C보다 느리다.

X. (나)에서는 우주의 온도가 (가)보다 낮아졌다. 우주 배경 복사의 최대 복사 에너지 방출 파장은 온도가 높을수록 짧으므로, 우주 배경 복사의 최대 복사 에너지 방출 파장은 온도가 높은 (가)가 온도가 낮은 (나)보다 짧다.

㉡. 빅뱅 우주론인 (나)에서 우주의 밀도는 작아지지만, 정상 우주론인 (다)에서 우주의 밀도는 일정하게 유지된다. 따라서 우주의 밀도는 (가)와 (다)가 같고, (나)는 (가)와 (다)보다 작다.

### 10 열린 우주, 닫힌 우주, 평탄 우주의 특징

예설 | 평탄 우주는 우주의 평균 밀도가 임계 밀도와 같으며, 우주의 평균 밀도가 임계 밀도보다 크면 닫힌 우주, 임계 밀도보다 작으면 열린 우주이다.

X. A는 곡률이 양(+)의 값을 가지므로 닫힌 우주에 해당한다. 닫힌 우주에서 우주의 팽창 속도는 점차 느려지다가 팽창을 멈추고 결국은 수축한다.

㉠. B는 우주의 평균 밀도가 임계 밀도보다 작은 열린 우주이다. 열린 우주는 팽창을 계속하므로 우주의 평균 밀도는 계속 작아진다.

㉡. 열린 우주인 B는 우주가 영원히 팽창하지만, 평탄 우주인 C는 우주의 팽창 속도가 계속 감소하면서 0에 가까워진다. 따라서 현재 이후 시간에 따른 우주의 크기 변화는 열린 우주인 B가 평탄 우주인 C보다 크다.

### 11 우주의 진화

예설 | 빅뱅 후 약 3분이 지났을 무렵에 헬륨 원자핵이 생성되었으며, 중성 원자는 빅뱅 후 약 38만 년이 지난 후 생성되었다.

㉠. 급팽창 이론에서 급팽창은 빅뱅 후 약  $10^{-36} \sim 10^{-34}$ 초가 지난 시기인 빅뱅 직후에 일어났다. 따라서 급팽창 이론에서는 헬륨 원자핵의 생성 이전에 우주가 빛보다 빠르게 팽창한 적이 있다.

X. 헬륨 원자핵은 빅뱅 후 약 3분이 지났을 무렵에 생성되었으며, 중성 원자는 빅뱅 후 약 38만 년이 지났을 때 생성되었다. 따라서 A 기간은 B 기간보다 짧다.

㉡. 우주 구성 요소 중 암흑 에너지의 밀도는 항상 일정하게 유지되지만, 우주가 팽창함에 따라 암흑 물질과 보통 물질의 밀도는 점차 작아진다. 따라서 우주 구성 요소 중  $\frac{(\text{암흑 물질} + \text{보통 물질})}{\text{암흑 에너지}}$ 의 밀도 값은 C 시기가 D 시기보다 크다.

### 12 우주 모형과 우주의 밀도

예설 | 임계 밀도에 대한 물질 밀도의 비와 임계 밀도에 대한 암흑 에너지 밀도의 비를 더한 값이 1이면 평탄 우주, 1보다 크면 닫힌 우주, 1보다 작으면 열린 우주이다.

X. A는 임계 밀도에 대한 물질 밀도의 비와 임계 밀도에 대한 암흑 에너지 밀도의 비를 더한 값이 1이므로 평탄 우주이며, 암흑 에너지가 차지하는 비율이 물질이 차지하는 비율보다 크므로 우주는 가속

팽창할 것이다.

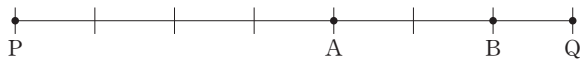
- ㉠ B와 D는 임계 밀도에 대한 물질 밀도의 비와 임계 밀도에 대한 암흑 에너지 밀도의 비를 더한 값이 모두 1보다 작으므로 열린 우주에 해당한다.
- ㉡ A와 C는 모두 평탄 우주에 해당한다. 평탄 우주에서 우주의 곡률은 0이다.

<b>수능 3점 테스트</b>					본문 114~117쪽
01 ⑤	02 ④	03 ①	04 ③	05 ②	
06 ④	07 ④	08 ⑤			

### 01 허블 법칙

**예시** | 허블 법칙을 만족하는 은하들은 은하까지의 거리와 후퇴 속도가 비례한다.

- ㉠ P에서 관측한 후퇴 속도는 A가 B보다 느리다. 은하들은 허블 법칙을 만족하므로 후퇴 속도가 느릴수록 거리가 가깝다. 따라서 P로부터의 거리는 A가 B보다 가깝다.
- ㉡ P에서 관측했을 때 A와 B는 오른쪽으로 멀어지므로 P는 A와 B보다 왼쪽에 위치한다. 또한 A와 B의 후퇴 속도비는 2 : 3이므로 P로부터 A와 B까지의 거리비도 2 : 3이다. Q에서 관측했을 때 A와 B는 왼쪽으로 멀어지므로 Q는 A와 B보다 오른쪽에 위치한다. 또한 B와 A의 후퇴 속도비는 1 : 3이므로 Q로부터 B와 A까지의 거리비도 1 : 3이다. 이를 종합하여 P와 Q의 위치를 나타내면 아래 그림과 같다.



따라서 A로부터의 거리는 P가 Q보다 멀기 때문에 A에서 관측한 후퇴 속도는 P가 Q보다 빠르다.

- ㉢ 우주가 팽창함에 따라 P, A, B는 서로 멀어지게 된다. 따라서 허블 상수가 일정하다면, P에서 관측한 A와 B의 후퇴 속도 차도 점차 커질 것이다.

### 02 우주 팽창과 허블 법칙

**예시** | 허블 법칙에 따라 우리은하로부터의 거리가 멀수록 은하의 후퇴 속도가 빠르다.

- ✗ T일 때 A로부터의 거리는 C가 B보다 2배 멀다. 따라서 T일 때 A에서 관측한 후퇴 속도는 C가 B의 2배이다.
- ㉠ 은하의 후퇴 속도는 거리가 멀수록 빠르다. T일 때 A로부터의 거리는 C가 가장 멀기 때문에 (T + Δt)일 때 A로부터의 거리도 C가 가장 멀다. 따라서 (T + Δt)일 때 A에서 관측한 후퇴 속도도 C가 가장 빠르다.
- ㉡ (T + Δt)일 때 우리은하와 B 사이의 거리는 T일 때보다 2배 멀어졌으므로 모든 은하 사이의 거리는 T일 때보다 2배 멀어져야 한다. 따라서 B와 C 사이의 거리는 (T + Δt)일 때가 T일 때의 2배이다.

### 03 암흑 에너지 밀도와 물질 밀도

**예시** | 암흑 에너지 밀도는 우주의 팽창과 관계없이 항상 일정하게 유지되며, 물질 밀도는 우주가 팽창함에 따라 점차 작아진다.

- ㉠ 암흑 에너지 밀도는 항상 일정하게 유지되는데, A 시기에는 암흑 에너지 밀도가 물질 밀도보다 크며, B 시기에는 암흑 에너지 밀도가 물질 밀도보다 작으므로 물질 밀도는 A 시기가 B 시기보다 작다.
- ✗ 물질 밀도는 우주가 팽창함에 따라 점차 작아진다. 따라서 물질 밀도가 큰 B 시기가 물질 밀도가 작은 A 시기보다 먼저이다.
- ✗ T 이전의 시기는 우주의 팽창 속도가 느려지는 감속 팽창 시기이다. 이 시기에는 암흑 에너지의 영향보다 물질의 영향을 더 크게 받았다. A 시기는 물질 밀도보다 암흑 에너지의 밀도가 커서 물질보다 암흑 에너지의 영향을 많이 받았으므로, T 이전의 시기에 해당하지 않는다.

### 04 허블 법칙과 은하의 후퇴 속도

**예시** | 은하의 후퇴 속도가 빠를수록 거리가 멀다. 후퇴 속도는 A가 가장 빠르므로 은하까지의 거리도 A가 가장 멀다.

- ㉠ A와 B 중 은하의 후퇴 속도는 A가 B보다 빠르다. 따라서 스펙트럼에서 흡수선의 파장 변화량은 A가 B보다 크다. (나)에서 흡수선의 파장 변화량은 ①이 ②보다 크므로, A의 스펙트럼에서의 흡수선 위치 변화를 나타낸 것은 ①이다.
- ✗ 허블 법칙에서 후퇴 속도를  $v$ , 은하까지의 거리를  $r$ , 허블 상수를  $H$ 라고 할 때,  $v = H \cdot r$ 가 성립한다. 따라서 허블 상수  $H = \frac{v}{r}$ 이다. B의 후퇴 속도는 700 km/s이고 B까지의 거리는 14 Mpc이므로, 이를 이용하여 구한 허블 상수는 50 km/s/Mpc이다.
- ㉡ 지구에서 관측했을 때 A와 C의 시선 방향이 이루는 각이 136°이므로, C로부터 A까지의 거리는 지구로부터 A까지의 거리보다 멀다. 따라서 A의 후퇴 속도가 4075 km/s이므로, C에서 관측한 A의 후퇴 속도는 4075 km/s보다 빠르다.

### 05 빅뱅 우주론과 급팽창 이론

**예시** | 급팽창 이론은 우주 탄생 직후 우주가 빛보다 빠른 속도로 팽창했다는 이론으로, 이 이론을 통해 빅뱅 우주론으로 해결할 수 없는 문제점들을 해결할 수 있게 되었다.

- ✗ 급팽창 이론에서 급팽창이 일어나기 이전 시기의 우주의 크기는 빅뱅 우주론에서의 우주의 크기보다 훨씬 작았다. (가)에서 우주의 크기는  $10^{-10}$  m이고 (나)에서 우주의 크기는  $10^{-55}$  m이므로, 급팽창 이론에서의 우주의 크기를 나타낸 것은 (나)이다.
- ㉠ 급팽창 이론에서 급팽창은 빅뱅 후 약  $10^{-36} \sim 10^{-34}$ 초가 지난 시기에 일어났다. 급팽창 이전 시기에 우주의 크기는 빅뱅 우주론에 비해 매우 작았기 때문에 우주의 모든 지점에서 서로 정보 교환이 가능했다.
- ✗ 우주 공간이 완벽할 정도로 편평한 이유를 설명할 수 있는 이론은 급팽창 이론이며, 이 이론은 (나)의 우주론(이론)에 해당한다.

## 06 우주의 팽창 속도와 우주 구성 요소

**예설** | 우주가 팽창함에 따라 우주 구성 요소 중 암흑 에너지가 차지하는 비율은 점차 커지고, 물질이 차지하는 비율은 점차 작아진다.

✗ (가)는 시간에 따른 우주의 크기 변화를 나타낸 그래프이므로, 그래프의 기울기는 우주의 팽창 속도에 해당한다. A 시기 이전에 그래프의 기울기는 점차 작아지고 있으므로, 이 시기에 우주의 팽창 속도가 점차 느려지는 감속 팽창을 하였다.

㉠ (나)에서 각각의 우주 구성 요소가 차지하는 비율은 ㉠이 약 22%, ㉡이 약 66%, ㉢이 약 12%이다. 우주 구성 요소 중 (보통 물질의 비율 : 암흑 물질의 비율)이 약 1 : 5.5라고 하였으므로 ㉢은 보통 물질, ㉡은 암흑 물질, ㉠은 암흑 에너지에 해당한다.

㉣ 우주가 팽창함에 따라 우주 구성 요소 중 암흑 에너지인 ㉠이 차지하는 비율은 커지고, 암흑 물질인 ㉡이 차지하는 비율은 작아진다. 따라서 우주 구성 요소 중 ㉡이 차지하는 비율은 A 시기가 B 시기보다 크다.

## 07 우주 모형

**예설** | A는 가속 팽창 우주, B는 암흑 에너지를 고려하지 않은 평탄 우주, C는 닫힌 우주에 해당한다.

✗ A는 가속 팽창 우주이다. 그래프의 기울기는 우주 팽창 속도에 해당하며 우주 생성 초기에 그래프의 기울기가 작아진 시기가 있는 것으로 보아 A는 초기 우주일 때 감속 팽창을 한 적이 있다.

㉠ 각각의 우주론에서 우주의 나이는 우주의 크기가 0인 시기부터 현재까지의 시간에 해당하므로, 우주의 나이는 B가 C보다 많다. 우주가 현재의 크기까지 팽창하는 데 걸린 시간인 우주의 나이는 B가 C보다 많으므로, 빅뱅 이후 현재까지 우주의 평균 팽창 속도는 B가 C보다 느리다.

㉣ (나)는 닫힌 우주에 해당하며, 우주의 곡률은 양(+)의 값을 갖는다. 따라서 이에 해당하는 우주 모형은 C이다.

## 08 우주의 가속 팽창

**예설** | Ia형 초신성의 적색 편이 값과 밝기를 관측하여 얻은 결과로부터 우주가 가속 팽창하고 있다는 사실을 발견하였다.

✗ Ia형 초신성은 일정한 질량에서 폭발하기 때문에 최대 밝아졌을 때의 절대 등급은 적색 편이에 관계없이 일정하다.

㉠ A의 겉보기 밝기는 우주의 팽창 속도가 일정한 우주 모델에서 예상한 겉보기 밝기보다 어둡다. 이는 지구로부터 A까지의 거리가 우주의 팽창 속도가 일정한 우주 모델에서 예상한 것보다 멀기 때문이다.

㉣ Ia형 초신성의 겉보기 밝기가 우주의 팽창 속도가 일정한 우주 모델에서 예상한 겉보기 밝기보다 어두운 것은 우주가 가속 팽창하고 있다는 증거이며, 이는 암흑 에너지의 영향 때문이다.

## 실전 모의고사 1회

본문 120~124쪽

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

## 01 초대륙의 형성과 분리

**예설** | 판의 운동과 함께 대륙이 이동하면서 분리되었던 대륙들이 합쳐져 초대륙이 형성되기도 하고, 이 초대륙이 다시 분리되기도 한다.

㉠ 분리되었던 대륙들이 수렴하여 합쳐지는 과정에서 횡압력이 작용하여 습곡 산맥이 형성될 수 있다.

㉢ 판계아는 약 2억 7천만 년 전(고생대 말)에 형성된 초대륙이다.

㉣ 오랜 시간 동안 평균한 고지자기극의 위치는 지리상 극의 위치와 같으므로 지질 시대 동안 지리상 극의 위치가 변하지 않았다고 가정하면, 지질 시대 동안 고지자기극의 겉보기 이동은 대륙의 이동에 의해 만들어진 것이다. 따라서 고지자기극의 겉보기 이동 경로를 통해 대륙의 분리 및 이동 과정을 설명할 수 있다.

## 02 정상 나선 은하

**예설** | 외부 은하는 관측 파장에 따라 다양한 모습으로 나타난다. (가)는 전파 영역, (나)는 가시광선 영역에서 관측한 정상 나선 은하의 모습이다.

㉠ 가시광선 영역으로 관측한 모습을 볼 때 허블의 분류 기준에 의해 정상 나선 은하로 분류할 수 있다.

✗ 은하를 이루는 별들의 분포는 (가)보다 (나)에서 잘 확인된다. 따라서 전파 영역보다 가시광선 영역에서 별들의 분포가 잘 관측된다.

✗ 정상 나선 은하에서 나선팔은 은하면에 위치한 구조이다. (나)에서 나선팔의 모습이 잘 보이는 것은 은하면이 관측자의 시선 방향에 대해 대체로 수직 방향이기 때문이다. 따라서 은하 중심부를 공전하는 별들의 공전 궤도면 또한 시선 방향에 대해 대체로 수직이다.

## 03 지진파 단층 촬영 영상

**예설** | 깊이 100 km의 지진파 단층 촬영 영상을 통해 지표면 부근의 판의 경계를 유추할 수 있고, 깊이 600 km의 지진파 단층 촬영 영상에서는 섭입된 판에 의해 형성되는 차가운 플룸을 확인할 수 있다. 깊이 2800 km의 지진파 단층 촬영 영상에서는 맨틀과 외핵의 경계 부근에서 상승하는 뜨거운 플룸을 확인할 수 있다.

㉠ A는 지진파 속도 편차가 음(-)의 값을 나타내는 곳으로, A에서는 맨틀 물질의 상승이 나타난다.

㉣ B는 지진파 속도 편차가 양(+)의 값을 나타내는 곳으로, 섭입된 해양판이 존재한다.

✗ C는 지진파 속도 편차가 음(-)의 값을 나타내는 곳으로, 주위보다 고온의 물질이 분포한다.

## 04 수온과 염분의 연직 분포

**예설** | (가)와 (나) 모두 A는 수심이 깊어질수록 작아지는 물리량이다.

로 수온 분포에 해당한다. B는 염분 분포이다.

- ✗ 표층 수온을 비교할 때 (가)는 8월, (나)는 2월에 측정한 자료이다.
- ㉠ 수온 약층은 표층 해수와 심층 해수의 수온 차가 클수록 뚜렷하게 나타난다. (가)와 (나)에서 수심이 약 300 m 이상일 때 수온은 거의 같기 때문에 표층 수온이 더 높은 (가)가 (나)보다 수온 약층이 뚜렷하게 나타난다.
- ㉡ 해수의 밀도는 수온이 낮을수록, 염분이 높을수록 크다. 수심 500 m에서 (가)와 (나)의 수온, 염분은 거의 같으므로 밀도는 거의 같다. 반면 해수면의 경우 (가)는 (나)보다 수온이 높고 염분이 낮다. 따라서 수온과 염분을 고려할 때 해수면과 수심 500 m 해수의 밀도 차는 (가)가 (나)보다 크다.

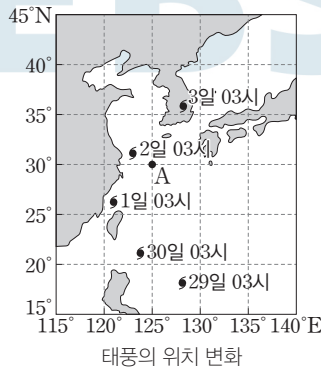
### 05 태풍

**예설** | 우리나라로 북상하는 태풍은 대체로 포물선 궤도로 이동한다. 태풍이 통과할 때 태풍의 위험 반원에 위치한 지역은 풍향이 시계 방향으로 변하고, 태풍의 안전 반원에 위치한 지역은 풍향이 시계 반대 방향으로 변한다.

✗ 29일 03시부터 30일 03시까지 태풍은 북서쪽으로 이동했으므로, 무역풍(북동풍)의 영향을 받고 있었다.

㉠ 1일 03시부터 3일 03시까지 태풍의 이동 경로를 고려할 때, A는 위험 반원에 위치하였다. 따라서 A에서 풍향은 시계 방향으로 변하였다.

✗ 태풍은 2일 03시가 3일 03시보다 중심 기압이 낮고, A와의 거리가 가깝다. 따라서 A에서 기압은 2일 03시가 3일 03시보다 낮았다.



### 06 지구 온난화와 해수면 상승

**예설** | 지구 온난화에 의해 수온이 상승하며, 이로 인해 해수의 열팽창이 일어나고 대륙 빙하가 용해되어 해수면이 상승한다.

✗ 최근 30년 동안 동해안의 연평균 해수면 상승률은 3.83 mm/년이다. 따라서 동해안의 해수면은 최근 30년 동안 약 11.5 cm 상승했다.

✗ 최근 30년(1990년~2019년) 동안의 연평균 해수면 상승률과 최근 10년(2010년~2019년) 동안의 연평균 해수면 상승률을 통해 과거 20년(1990년~2009년) 동안의 연평균 해수면 상승률을 구할 수 있다. 최근 10년 동안의 연평균 해수면 상승률을  $x$  mm/년, 과거 20년 동안의 연평균 해수면 상승률을  $y$  mm/년이라고 하면, 최근 30년 동안의 연평균 해수면 상승률은  $\frac{10x + 20y}{30}$  mm/년이 된다. 과거 20년(1990년~2009년) 동안의 연평균 해수면 상승률은 제주도 부

근이 약 3.5 mm/년으로 가장 크고, 남해안이 약 2.2 mm/년으로 가장 작다.

㉡ 그린란드와 남극 대륙 빙하의 용해가 가속화되면 해수의 총량이 증가하여 전 세계적인 해수면 상승을 일으킨다. 따라서 고위도 지방에 있는 대륙 빙하의 용해가 가속화되면 한반도 연안의 평균 해수면이 상승할 것이다.

### 07 온대 저기압과 날씨

**예설** | 우리나라 부근에서 온대 저기압은 편서풍의 영향을 받아 대체로 서쪽에서 동쪽으로 이동하며 날씨 변화를 일으킨다. 따라서 일기도의 작성 순서는 (가) → (나)이다.

㉠ (가)에서 (나)로 변하는 동안 온대 저기압의 중심 기압이 낮아졌다. 따라서 이 기간 동안 온대 저기압의 세력은 강해졌다.

㉡ (가)의 A는 주변보다 기압이 높은 곳으로 고기압이 위치한다. 따라서 A에는 하강 기류가 나타난다.

㉢ 등압선만을 고려할 때, 풍속은 등압선 간격이 좁을수록 빠르다. 따라서 (나)에서 풍속은 B가 C보다 빠르다.

### 08 표준 우주 모형

**예설** | 표준 우주 모형은 급팽창 이론을 포함한 대폭발 우주론에 암흑 물질과 암흑 에너지의 개념까지 모두 포함한 우주 모형이다. 현재 우주는 암흑 에너지의 영향으로 우주의 팽창 속도가 증가하는 가속 팽창 우주이다.

✗ ㉠은 우주가 감속 팽창에서 가속 팽창으로 바뀌는 시기이다. 우주는 급팽창이 종료된 시점부터 감속 팽창하였다. 따라서 A는 ㉠ 시기 이전에 일어났다.

㉡ 우주는 급팽창이 종료된 시점부터 시간에 따른 우주의 크기 증가율이 감소하는 감속 팽창을 하였다. (가)에서 시간에 따른 우주의 크기 변화를 고려할 때, B와 D 사이에 우주는 감속 팽창하였다.

✗ 우주의 팽창 속도는 ㉠ 시기보다 ㉡ 시기에 빠르지만, 암흑 에너지의 밀도 변화는 나타나지 않는다. 따라서 암흑 에너지 밀도는 ㉠ 시기와 ㉡ 시기에 같다.

### 09 별의 진화

**예설** | 주계열 단계가 끝난 별은 별의 외곽부가 팽창하여 거성이 된다. 질량이 큰 별일수록 주계열성에서 거성이 되는 진화 속도가 빠르다. 즉, 질량이 큰 별일수록 거성이 되는 과정에서 표면 온도는 빠르게 낮아지고 반지름은 빠르게 커진다. A의 질량은 태양 질량의 6배이고, B의 질량은 태양 질량의 1배이다.

✗ 표면 온도가  $T_1$ 일 때 별의 반지름은 A가 B보다 크므로, 별의 절대 등급은 A가 B보다 작다.

㉠ 질량이 큰 별일수록 진화 속도가 빠르므로 주계열 단계가 끝난 직후부터 반지름이  $R_1$ 이 될 때까지 걸린 시간은 A가 B보다 짧다.

㉡ 주계열 단계일 때 별의 질량과 관계없이 별의 중심부에서는 p-p 반응에 의한 핵융합 반응이 일어난다. 이때 p-p 반응에 의한 시간당 에너지 생성량은 중심부의 온도가 높을수록 많다. 따라서 A가 B보다 많다.

## 10 판의 섭입

**예설** | 해양판이 섭입하는 과정에서 판이 섭입되는 깊이와 기울기는 각각의 판의 경계마다 다르게 나타난다. 판 구조론에 의하면 섭입하는 해양판은 맨틀의 대류와 함께 섭입대를 따라 이동한다.

✗ 수렴형 경계 부근에서 해양판의 섭입에 의해 발달하는 섭입대는 장소마다 차이가 있지만 대체로 연약권 깊이(깊이 수백 km)까지 발달한다.

㉠ (나)에서 판이 섭입하는 방향을 고려할 때, 태평양판은 a-a', b-b' 두 구간에서 서로 다른 판 아래로 섭입한다.

✗ (나)에서 거리에 따른 섭입하는 판의 깊이를 비교하면 섭입대의 기울기를 비교할 수 있다. 거리에 따른 섭입하는 판의 깊이 변화가 a-a' 구간보다 b-b' 구간에서 크게 나타나므로 섭입대의 기울기도 a-a' 구간보다 b-b' 구간에서 크다.

## 11 우리나라 주변의 표층 해류

**예설** | 황해는 계절에 따라 해류의 변동성이 크게 나타난다. 황해의 경우 여름철에 서해안을 따라 남쪽에서 북쪽으로 흐르는 난류 성질의 연안류가 나타나며, 양쯔강 유출류의 영향을 크게 받는다. 겨울철에는 황해 난류가 나타나며, 서해안을 따라 북쪽에서 남쪽으로 흐르는 한류 성질의 연안류가 나타난다.

㉠ ①은 양쯔강 유출류이다. 양쯔강 유출류는 주로 여름철에 우리나라 주변 해역으로 유입되며 표층 염분을 낮추는 역할을 한다.

㉡ A는 쿠로시오 해류로 북태평양 아열대 순환의 일부이다.

㉢ B는 황해의 중앙부 쪽으로 북상하는 황해 난류이다.

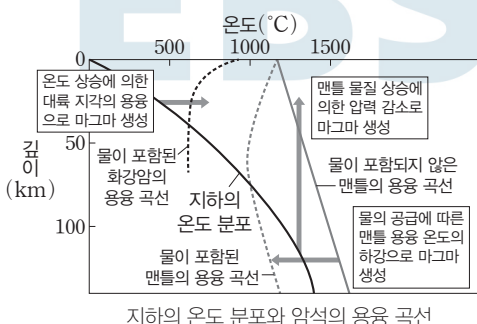
## 12 판의 경계와 마그마 생성

**예설** | (나)에서 A는 대륙판과 대륙판의 수렴형 경계, B는 대륙판과 해양판의 보존형 경계이다. 판의 발산형 경계에서는 맨틀 물질이 상승하는 과정에서 압력 감소에 의해 주로 현무암질 마그마가 생성되고, 해양판의 섭입이 일어나는 수렴형 경계의 섭입대 부근에서는 물에 의한 맨틀의 용융점 하강으로 주로 현무암질 마그마가 생성된다.

㉠ A는 대륙판과 대륙판의 충돌이 일어나는 수렴형 경계로, A 부근에는 습곡 산맥이 형성된다.

✗ B는 보존형 경계로 마그마가 거의 생성되지 않는다.

✗ ①은 물이 포함된 화강암의 용융 곡선, ②은 물이 포함된 맨틀의 용융 곡선, ③은 물이 포함되지 않은 맨틀의 용융 곡선이다. 따라서 ①, ②, ③ 중 물이 포함된 암석의 용융 곡선은 ①과 ②이다.



지하의 온도 분포와 암석의 용융 곡선

## 13 엘니뇨와 라니냐

**예설** | 엘니뇨 시기에는 평상시에 비해 적도 부근 태평양 중앙부에서

동태평양에 이르는 해역의 표층 수온이 상승하고, 강수량이 증가한다. 반면 라니냐 시기에는 평상시에 비해 적도 부근 태평양 중앙부에서 동태평양에 이르는 해역의 강수량이 감소하고, 서태평양 해역의 강수량이 증가한다.

㉠ 적도 부근 서태평양 해역의 강수량이 평상시보다 증가하고, 적도 부근 태평양 중앙부에서 동태평양에 이르는 해역의 강수량이 감소한 시기는 라니냐 시기이다. 라니냐 시기에는 적도 부근 서태평양에 따듯한 해수가 평상시보다 많아지고, 적도 부근 동태평양의 표층 수온이 평상시보다 낮아지므로 워커 순환의 세기가 강해진다.

✗ A 해역은 태평양 중앙부에 위치하며 강수량 편차가 음(-)의 값이기 때문에 이 시기의 해면 기압은 평상시보다 높다. 한편 A 해역은 남방 진동을 고려할 때 라니냐 시기에 기압 편차가 양(+)의 값을 나타낸다.

✗ 이 시기에 우리나라 황해는 강수량 편차가 대체로 음(-)의 값이다. 따라서 우리나라 황해의 강수량은 평상시와 비교할 때 대체로 감소한다.

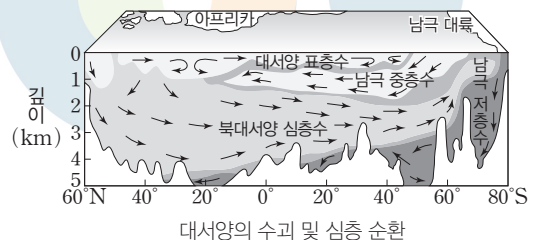
## 14 대서양의 심층 순환

**예설** | 표층에서 침강하여 흐르면서 수온과 염분이 거의 일정하게 유지되는 해수 덩어리를 수괴라고 한다. 수괴의 성질을 조사하여 수온 염분도에 나타내면 그 기원과 이동 경로를 추정할 수 있다. 대서양에서 심층 순환을 이루는 수괴에는 남극 저층수, 북대서양 심층수, 남극 중층수가 있다.

㉠ 남극 중층수가 나타나는 40°S 해역에 비해 남극 중층수가 나타나지 않는 30°N 해역은 수심이 깊어짐에 따라 표층수, 북대서양 심층수, 남극 저층수가 순차적으로 나타나며 수심이 깊어질수록 수온과 염분이 낮아진다. 즉, A 해역은 수심이 깊어짐에 따라 수온과 염분이 낮아지고, 밀도는 커지므로 30°N에 위치한다. 한편 A 해역이 B 해역에 비해 해수면 온도가 높은 것도 A 해역이 30°N에 위치하기 때문이다.

㉡ B 해역은 수심이 깊어짐에 따라 표층수, 남극 중층수, 북대서양 심층수, 남극 저층수가 순차적으로 나타난다. 특히 남극 중층수에서 북대서양 심층수로 변하는 깊이에서는 해수의 수온 변화보다 염분 변화에 따른 밀도 변화가 크게 나타난다.

✗ 해저의 해수 밀도는 A 해역과 B 해역이 같지만, 해수면의 해수 밀도는 A 해역이 B 해역보다 작으므로, 해수면과 해저의 해수 밀도 차는 A 해역이 B 해역보다 크다.



대서양의 수괴 및 심층 순환

구분	수온(°C)	염분(psu)	깊이(km)
남극 중층수	약 3~7	약 34.1~34.3	약 0.7~1.2
북대서양 심층수	약 2.5~4	약 34.8~35.0	약 1.5~4
남극 저층수	약 -1~1	약 34.6~34.7	약 4 이상

## 15 별의 물리량

**예시** | 고온의 별(파란색 별)은 V 필터보다 B 필터를 통해 관측했을 때 더 밝고, 저온의 별(붉은색 별)은 B 필터보다 V 필터를 통해 관측했을 때 더 밝다. B 필터보다 V 필터를 통해 관측했을 때 더 밝은 a는 저온의 별이고, V 필터보다 B 필터를 통해 관측했을 때 더 밝은 b는 고온의 별이다.

㉠ 별의 표면 온도는 b가 a보다 높지만 절대 등급은 a가 b보다 작다. 따라서 별의 반지름은 a가 b보다 크다.

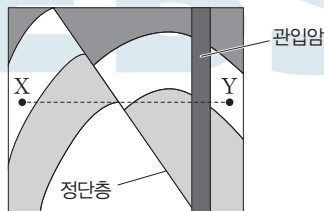
㉡ b는 고온의 별로 광도 계급이 V인 주계열성이다. a는 저온의 별이지만 b보다 크기가 큰 거성이므로 광도 계급의 숫자는 a가 b보다 작다.

㉢ b는 색지수(B-V)가 음(-)의 값으로 나타난다. 즉, 표면 온도가 매우 높은 별이다. 태양의 색지수(B-V)는 양(+)의 값이기 때문에 b는 태양보다 표면 온도가 높다.

(다른 풀이) 주계열성은 절대 등급이 작을수록 표면 온도가 높다. 태양과 b는 모두 주계열성이지만 태양은 절대 등급이 양(+)의 값이기 때문에 절대 등급은 b가 태양보다 작다. 따라서 표면 온도는 b가 태양보다 높다.

## 16 지층의 상대 연령

**예시** | X에서 Y로 가는 동안 암석의 연령이 증가하다가 단층면을 지난 직후에 암석의 연령이 감소한다. 배사 구조에 의해 배사축으로 갈수록 암석의 연령은 증가하고, 배사축으로부터 멀어질수록 암석의 연령은 감소한다. 이후 관입암이 존재하는 영역이 나타난다. 다음은 해당 지역 지질 단면이 될 수 있는 하나의 예를 모식도로 나타낸 것이다.



지질 단면 예(모식도)

㉠ X-Y 구간의 암석 연령 분포만으로 판단할 때, 이 지역에는 관입암이 존재하지만 난침입이 존재한다고는 판단할 수 없다.

㉡ X-Y 구간에서 특정한 지점을 중심으로 양쪽으로 멀어질수록 암석의 연령은 대부분 감소한다. 따라서 특정한 지점은 배사축이 되고, 이 지역에는 배사 구조가 나타난다.

㉢ 암석의 연령 분포를 고려할 때, 이 지역은 장력에 의해 형성된 정단층이 발달한다.

## 17 별의 진화와 생명 가능 지대

**예시** | 별 ㉠과 ㉡는 반지름이 같고, 둘 중 하나의 별은 태양보다 질량이 크다. ㉠은 중심부에서 수소 핵융합 반응이 일어나고 있는 주계열성이고, ㉡는 중심부에서 헬륨 핵융합 반응이 일어나고 있는 적색 거성이다. ㉠이 태양보다 질량이 큰 주계열성이라면 ㉡는 태양보다 질량은 작지만 반지름이 ㉠과 같은 적색 거성이다. 만약 ㉡가 태양보다 질량이 큰 적색 거성이라면, ㉠은 태양보다 질량이 작은 주계열성이므로 ㉠과 ㉡의 반지름이 같다는 조건이 성립할 수 없다. 따라서 ㉠이 태양보다 질량이 큰 별에 해당한다. 한편 생명 가능 지대는 중심별의 광도가 클수록 폭이 넓고, 중심별로부터 먼 곳에 위치한다.

㉠ 생명 가능 지대에 위치한 행성에 액체 상태의 물이 존재할 수 있는 시간은 별이 현재의 광도를 유지할 수 있는 시간에 비례한다. ㉠은 태양보다 질량이 큰 주계열성이므로 ㉡의 행성계에서 현재의 생명 가능 지대에 위치한 행성에 액체 상태의 물이 존재할 수 있는 시간은 태양계보다 짧다.

㉡ ㉠은 질량이 매우 큰 주계열성이고, ㉡는 질량이 작은 적색 거성이다. 질량이 큰 별은 질량이 작은 별보다 진화 속도가 빠르므로, 별의 나이는 ㉠이 ㉡보다 적다.

㉢ ㉠과 ㉡의 반지름이 같을 때, 별의 광도는 표면 온도가 높은 ㉠이 ㉡보다 크다. 따라서 별 주위에 형성되는 현재 생명 가능 지대의 폭은 ㉠이 ㉡보다 넓다. 즉, ㉠은 ㉡보다 크다.

## 18 암흑 물질

**예시** | 암흑 물질은 전자기파로 관측되지 않아 우리 눈에 보이지 않는 물질로 중력적인 방법을 통해 존재를 추정한다. 우주에서 암흑 물질의 밀도가 큰 영역은 다른 영역보다 물질의 밀도 또한 커서 별과 은하들이 많이 분포한다.

㉠ 암흑 물질은 전자기파로 관측되지 않는 물질이다. 암흑 물질의 분포는 중력적인 방법을 통해 존재를 추정한다.

㉡ 암흑 물질의 밀도가 클수록 물질들 간에 작용하는 인력이 크다. 따라서 물질들 간에 작용하는 중력의 크기는 암흑 물질의 밀도가 큰 A가 B보다 크다.

㉢ A는 별과 은하가 많이 분포하는 데 비해, B는 별과 은하가 많이 분포하지 않는다. 즉, 암흑 물질의 밀도가 큰 A가 암흑 물질의 밀도가 작은 B보다 별과 은하가 많이 분포한다.

## 19 지층의 연령

**예시** | 관입한 암석은 관입 당한 암석에 비해 연령이 적다. 심성암과 퇴적암이 부정합으로 접해있다면 이들 사이의 지질학적 사건은 심성암 생성 → 부정합면 형성 → 퇴적암의 생성 순이다. A의 절대 연령이 B의 절대 연령보다 적으므로 A는 B를 관입한 상태이고, B와 C는 부정합으로 접해있기 때문에 B는 C보다 먼저 생성되었다.

㉠ A는 2억 년 전에 생성되었으며 방사성 동위 원소 X의 함량이 75%이다. 화성암이 생성된 후 화성암 내 방사성 동위 원소의 함량은 지수함수적으로 감소하기 때문에 시간당 붕괴량은 시간이 지날수록 적어진다. 따라서 X의 함량이 50%가 되는 데 걸리는 시간(반감기)은 4억 년보다 길다.

㉡ B와 C는 부정합으로 접하고 있다. 심성암과 퇴적암이 부정합으로 접해있을 때는 심성암이 먼저 생성된 후 퇴적암이 생성되었다고 해석할 수 있다. 만약 퇴적암이 먼저 생성되고 심성암이 생성되었다면, 이는 관입의 상태가 되며 부정합이 될 수 없다. 따라서 암석의 나이는 B가 C보다 많다.

㉢ 현재 A는 방사성 동위 원소 X의 함량이 75%이고, B는 방사성 동위 원소 X의 함량이 50%이다. 방사성 동위 원소는 시간에 따른 붕괴율(처음 양에 대한 붕괴 비율)이 일정하므로 A에서 방사성 동위 원소 X의 함량이 100%에서 75%로 감소하는 데 걸린 시간과 B에서 방사성 동위 원소 X의 함량이 50%에서 37.5%로 감소하는 데 걸린 시간은 같다. 따라서 현재로부터 2억 년이 지난 후 B에 포함된

방사성 동위 원소 X의 함량은 37.5 %이고, Y의 함량은 62.5 %이므로  $\frac{X의 함량}{Y의 함량}$  은 0.6이다.

## 20 외계 행성 탐사

**예설** | 외계 행성에 의해 중심별의 식 현상이 일어날 때, 중심별의 밝기 감소량은 행성의 단면적에 비례한다. 즉, 외계 행성에 의한 중심별의 밝기 변화율은  $\left(\frac{\text{행성의 반지름}}{\text{중심별의 반지름}}\right)^2$ 에 비례한다. 일반적으로 외계

행성계에서 중심별과의 거리가 가까운 행성의 공전 주기는 중심별과의 거리가 먼 행성의 공전 주기보다 짧으므로, (나)에서 A에 의한 중심별의 밝기 감소율은 0.1 %이고 B에 의한 중심별의 밝기 감소율은 10 %이다.

㉠  $t_1$  시기에 A는 시선 방향에 위치하지만 B는 시선 방향에서 멀어지고 있으므로, 중심별은 시선 방향으로 접근하여 청색 편이가 관측된다.

✗ A에 의한 중심별의 밝기 감소율은 0.1 %이고 B에 의한 중심별의 밝기 감소율은 10 %이므로, A와 B에 의한 중심별의 밝기 감소율을 합한 값은 10.1 %이다. 외계 행성에 의한 중심별의 밝기 변화율은  $\left(\frac{\text{행성의 반지름}}{\text{중심별의 반지름}}\right)^2$ 에 비례하므로  $\frac{A의 반지름+B의 반지름}{중심별의 반지름}$

은  $\frac{1}{10}$ 보다 크다.

✗ A와 B는 공전 주기가 일정하다. 즉, 각각의 행성에 의해 식 현상이 일어나는 시간 간격이 일정하며, 두 행성에 의한 식 현상은 동시에 일어날 수 없다. 따라서 시선 방향에서 식 현상에 의한 중심별의 밝기(상댓값) 변화량의 최댓값은 0.1이다.

## 실전 모의고사 2회

본문 125~129쪽

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

## 01 퇴적암의 종류와 특징

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

㉠ 쇄설성 퇴적암은 암석이 풍화·침식 작용을 받아 생성된 쇄설성 퇴적물이나 화산재와 같은 화산 쇄설물이 쌓여서 생성된 퇴적암이다. 따라서 역암과 응회암은 쇄설성 퇴적암에 속한다.

✗ 석회암은 바다에서 탄산 칼슘이 침전되거나 석회질 생명체가 해저에 퇴적되어 생성되므로 주로 해양 퇴적 환경에서 생성된다.

㉡ 세 암석은 모두 퇴적암에 해당한다. 속성 작용은 퇴적물이 쌓여 퇴적암이 되기까지의 전체 과정이므로, 세 암석 모두 속성 작용을 거쳐 생성되었다.

## 02 대륙의 이동과 고지자기 복각의 변화

**예설** | 방사성 동위 원소 X의 반감기는 1억 년이다. 따라서 화성암의 절대 연령은 ㉠이 3억 년, ㉡이 1억 년, ㉢이 2억 년이다.

✗ 시간이 흐를수록 모원소 X에 대한 자원소 Y의 비율이 증가한다. 따라서 화성암의 연령은 ㉠ > ㉢ > ㉡이다.

✗ 시간이 흐를수록 화성암에 기록된 고지자기 복각은  $-30^\circ \rightarrow -10^\circ \rightarrow -7^\circ$ 로 변화했다. 화성암 ㉠, ㉡, ㉢은 모두 정자극기에 생성되었으므로 지괴는 남반구에 위치하였으며, 시간이 흐를수록 자기 적도에 가까워졌다. 따라서 3억 년 전~1억 년 전 사이에 지괴는 지리상 북극과 점점 가까워졌다.

㉣ 3억 년 전~2억 년 전 사이에 지괴의 고지자기 복각은  $-30^\circ$ 에서  $-10^\circ$ 로 변화했고, 2억 년 전~1억 년 전 사이에 지괴의 고지자기 복각은  $-10^\circ$ 에서  $-7^\circ$ 로 변화했다. 따라서 지괴의 평균 이동 속도는 2억 년 전~1억 년 전보다 3억 년 전~2억 년 전에 빨랐다.

## 03 지질 시대와 화석

**예설** | 지질 시대 동안 생물 대멸종은 5차례 일어났다. A, B, C는 고생대에, D와 E는 중생대에 일어났다.

✗ A 시기는 첫 번째 대멸종이 일어난 고생대 초기(오르도비스기 말)이다. 이 당시에는 육상에 생태계가 형성되지 않았으므로 A 시기에 멸종한 생물은 대부분 해양 생물이었다.

✗ D~E 시기는 중생대에 해당한다. 중생대에는 전반적으로 온난한 기후가 지속되었으며 빙하기가 없었다.

㉣ ㉠은 삼엽충, ㉡은 암모나이트, ㉢은 매머드 화석이다. C 시기는 최대 규모의 대멸종이 일어난 고생대 말이며, 이 시기에 삼엽충이 멸종하였다.



## 04 해양 지각의 연령 분포

**예설** | 발산형 경계인 해령의 중심부에서 생성된 해양 지각은 해령을 축으로 양쪽으로 확장되며, 수렴형 경계인 해구에서 상대적으로 오래된 해양 지각이 소멸된다.

✗ (가)와 (나) 시기 사이에 대서양의 면적은 확장되었으며, 대서양 연안 부근에 있는 해양 지각의 연령도 증가하였다. 따라서 이 기간 동안 대서양 연안에는 해양 지각이 소멸하는 수렴형 경계가 발달하지 않았다.

○ 대서양에는 오래된 해양 지각이 소멸하는 해구가 거의 존재하지 않는다. 따라서 대서양에서 해양 지각의 평균 연령은 대서양이 형성되기 시작한 이후 현재까지 계속 많아지고 있다.

○ 해령에서 해양저 확장 속도가 빠를수록 해령 주변에 나이가 매우 적은 해양 지각의 분포 범위가 넓게 나타난다. (다)에서 비교적 최근에 형성된 해양 지각의 분포 면적은 태평양이 대서양보다 넓으므로 현재 해령을 중심으로 해양저가 확장되는 속도는 태평양이 대서양보다 빠르다는 것을 알 수 있다.

## 05 지층의 상대 연령과 지질 구조

**예설** | 이 지역에는 부정합이 3번 나타나며 P 관입 → Q 관입 → 용암류 생성(2번)이 있었다.

○ 부정합의 종류에는 부정합면을 경계로 상하 지층이 나란한 평행 부정합, 상하 지층의 경사가 서로 다른 경사 부정합, 부정합면의 하부에 심성암이나 변성암이 분포하는 난정합 등이 있다. 따라서 이 지역에는 평행 부정합, 경사 부정합, 난정합이 모두 나타난다.

○ 화성암 Q는 화성암 P와 부정합 관계를 이루고 있는 퇴적층을 관입하였다. 따라서 P는 Q보다 먼저 생성되었다.

○ X 구간은 용암류는 지표로 분출된 마그마가 굳어져 생성된 것이므로, X 구간에서는 하부 퇴적층이 쌓인 후에 용암류가 생성되었고, 이후 융기와 침강이 일어난 다음 상부 퇴적층이 생성되었다. 따라서 X 구간에서는 아래로 갈수록 암석의 연령이 증가한다.

## 06 화성암의 종류

**예설** | 화성암은  $\text{SiO}_2$  함량(%)에 따라 염기성암, 중성암, 산성암으로 구분한다.

○ (가)의 주요 구성 암석은  $\text{SiO}_2$  함량이 61%이므로 중성암이고, 세립질 조직이 나타나므로 화산암이다. 따라서 (가)의 주요 암석은 안산암이며, (가)는 섭입대 상부에 위치하여 주로 안산암질 마그마가 분출하는 화산섬(호상 열도)이다.

✗ (나)의 주요 구성 암석은  $\text{SiO}_2$  함량이 43%이므로 염기성암이며, 유리질 조직이 나타나는 화산암이다. 따라서 (나)의 주요 구성 암석은 현무암이다.

✗ (가)를 형성한 마그마는 물 공급에 의한 용융점 하강으로 생성된 현무암질 마그마와 대륙 지각 하부의 부분 용융에 의해 생성된 유문암질 마그마의 혼합에 의해 만들어진 안산암질 마그마이고, (나)를 형성한 마그마는 열점에서 압력 감소에 의해 생성된 현무암질 마그마이다.

## 07 기단과 날씨

**예설** | 우리나라의 날씨는 (가)에서는 시베리아 기단의 영향을 받고, (나)에서는 오호츠크해 기단의 영향을 받는다.

✗ (가)에서는 시베리아 기단이 황해상을 지나는 동안 기단의 하층이 불안정해져서 적란운이 형성될 수 있다. 따라서 동해안 지역보다 서해안 지역에 폭설이 내릴 가능성이 높다.

✗ (나)에서 우리나라 주변의 등압선 분포를 보면 기압은 서쪽보다 동쪽에서 높게 나타난다. 따라서 (나)에서 우리나라는 대체로 동풍 계열의 바람이 우세하였다.

○ (가)는 겨울철의 일기도이고, (나)는 정체 전선이 발달하는 시기(주로 초여름)의 일기도이다. 따라서 우리나라의 평균 기온은 (가) 시기보다 (나) 시기에 높았을 것이다.

## 08 온대 저기압과 날씨

**예설** | 온대 저기압의 중심이 관측소의 북쪽 지역을 통과하면 풍향이 시계 방향으로 바뀌고, 관측소의 남쪽 지역을 통과하면 풍향이 시계 반대 방향으로 바뀐다.

○ 이날 (가)에서는 남동풍, 남서풍, 북서풍이 불었으므로 온대 저기압의 중심이 관측소의 북쪽 지역을 통과하였다. 한편 (나)에서는 주로 북풍 계열의 바람이 불었으므로 온대 저기압의 중심이 관측소의 남쪽 지역을 통과하였다. 따라서 (가)는 (나)보다 남쪽에 위치한다.

○ 한랭 전선의 후면에서는 북서풍이 불고 찬 공기의 영향을 받으며, 온난 전선과 한랭 전선 사이에서는 남서풍이 불고 따뜻한 공기의 영향을 받는다. 따라서 (가)에서 기온은 ㉠(북서풍)보다 ㉡(남서풍)을 관측한 시각에 높았을 것이다.

✗ (나)는 온대 저기압의 중심보다 북쪽에 위치하므로 하루 동안 풍향은 대체로 시계 반대 방향으로 바뀌었을 것이다.

## 09 뇌우

**예설** | 뇌우는 강한 상승 기류에 의해 적란운이 발달하면서 천둥, 번개와 함께 소나기가 내리는 현상으로, 적운 단계 → 성숙 단계 → 소멸 단계를 거치면서 변한다.

○ 뇌우의 발달 단계 중 적운 단계에서는 강한 상승 기류에 의해 두꺼운 적운이 형성된다. 자료에서 구름의 내부에서는 전체적으로 상승 기류만 나타나고 하강 기류가 나타나지 않으므로 뇌우의 발달 단계 중 적운 단계에 해당한다.

✗ 뇌우의 발달 단계 중 강한 강수가 나타나는 시기는 성숙 단계이며, 강수는 주로 하강 기류가 존재하는 영역에서 나타난다. 따라서 A 지역에서는 강한 강수가 나타나지 않는다.

✗ 상승 기류의 중심부에서는 등온선이 위로 볼록한 모양으로 나타난다. 따라서 상승 기류에 의해 구름이 형성되는 영역은 고도가 같은 주변 지역보다 대체로 기온이 높다.

## 10 대기와 해양의 상호 작용

**예설** | 라니냐 시기에는 평상시보다 무역풍이 강하고, 동태평양 적도 부근 해역에서 용승이 강해져 표층 수온이 낮아진다.

○ 무역풍이 평상시보다 강한 시기는 라니냐 시기이다. 따라서 연구

결과 (가)로부터 라니냐 시기에는 태풍 발생 위치가 평상시보다 북서 쪽으로 치우치는 경향이 있다는 것을 알 수 있다.

㉠. 연구 결과 (나)에서 열대 동태평양의 해수면 수온 편차(측정값 - 평년값)가 음(-)의 값인 시기는 용승이 활발한 라니냐 시기이다. 따라서 라니냐 시기에는 우리나라로 접근하는 태풍의 비율이 엘니뇨 시기보다 많다는 것을 알 수 있다.

㉡. 우리나라 부근 해역의 평균 수온이 높아지면 우리나라 주변을 지나는 태풍의 세력이 약해지지 않으므로 우리나라에 영향을 미치는 태풍의 평균 세기는 강해질 것이다.

### 11 대서양의 심층 순환

**예설** | 수괴는 표층에서 침강하여 흐르면서 수온과 염분이 거의 일정하게 유지되는 해수 덩어리이다. 수괴는 다른 수괴와 잘 섞이지 않기 때문에 수온과 염분이 거의 변하지 않는다. A는 그린란드 주변 해역에서 가라앉아 형성되는 북대서양 심층수이고, B는 60°S 부근에서 가라앉아 형성되는 남극 중층수이며, C는 남극 대륙 주변의 웨델해에서 가라앉아 형성되는 남극 저층수이다.

㉠. 수온 염분도에서 해수의 등밀도선 수치는 오른쪽 아래로 갈수록 커진다. 따라서 수괴의 밀도는 ㉡ > ㉠ > ㉢이다. 적도 해역에서 수괴의 깊이를 비교하면 C > A > B이다. 따라서 해수의 밀도는 C > A > B이고, ㉡은 C, ㉠은 A, ㉢은 B에 해당한다.

㉣. 수괴 B는 60°S 부근에서, 수괴 C는 60°S보다 고위도 해역인 웨델해에서 형성된다.

㉤. 적도 해역의 해저면을 따라 흐르는 심층 수괴는 밀도가 가장 큰 남극 저층수 C(㉡)이다. 따라서 ㉡은 적도 해역의 해저 바닥층에 산소를 공급하는 수괴이다.

### 12 해양의 표층 수온 분포

**예설** | 연평균 해수면 온도 편차는 각 해역에서 측정한 연평균 해수면 온도에서 동일 위도 해역의 연평균 해수면 온도의 평균값을 뺀 값이다. 따라서 양(+)의 값을 갖는 해역은 연평균 해수면 온도가 동일 위도 해역의 연평균 해수면 온도의 평균값보다 높다.

㉣. 남극 순환 해류는 위도 40°S~60°S 사이 해역에서 남극 대륙 주위를 흐르며, 남극 순환 해류가 흐르는 해역에서 연평균 해수면 온도 편차는 약 -2°C ~ +2°C 사이의 값을 갖는다.

㉤. 북태평양 아열대 순환이 일어나는 해역에서 연평균 해수면 온도는 대체로 난류가 흐르는 서쪽 연안이 한류가 흐르는 동쪽 연안보다 높다. 따라서 연평균 해수면 온도 편차도 대체로 서쪽 연안이 동쪽 연안보다 높게 나타난다.

㉥. A 해역(북대서양 고위도 해역)의 연평균 해수면 온도 편차가 양(+)의 값을 갖는 원인은 난류인 멕시코 만류가 아이슬란드 부근 해역까지 북상하기 때문이다.

### 13 지구의 기온 변화 요인

**예설** | 온실 기체는 지구의 평균 기온을 상승시키는 역할을 하고, 에어로졸과 지표의 반사율 증가는 지구의 평균 기온을 하강시키는 역할을 한다.

㉠. 인간 활동으로 배출되는 온실 기체 중 지구 기온 상승에 영향을

미치는 정도는 이산화 탄소 > 메테인 > 일산화 이질소 순이다. 따라서 ㉠은 이산화 탄소이다.

㉣. 인간 활동에 의한 지표 반사도 변화는 지구 기온을 하강시키는 방향으로 나타나므로 태양 복사 에너지 흡수량을 감소시키는 방향, 즉 반사도를 증가시키는 방향으로 작용한다.

㉤. 화산재는 지표로 들어오는 태양 복사 에너지를 감소시켜 지구 기온을 하강시키는 역할을 한다. 따라서 화산재가 지구 기온의 증감에 미치는 영향은 온실 기체보다 에어로졸에 가깝다.

### 14 주계열성의 특징

**예설** | 주계열성은 질량이 클수록 표면 온도가 높고, 반지름과 광도가 크다. 또한 별의 평균 밀도가 작고, 수명이 짧다.

㉣. 질량이 태양의 2배인 주계열성은 반지름이 태양의 약 1.7배이다. 별의 밀도 =  $\frac{\text{질량}}{\text{부피}} \propto \frac{\text{질량}}{(\text{반지름})^3}$  이므로  $\frac{2\text{배}}{(1.7\text{배})^3} < 1$ 이다. 따라서 질량이 태양의 2배인 주계열성은 태양보다 밀도가 작다.

㉤. 반지름이 태양의 0.5배인 주계열성은 표면 온도가 4000 K보다 약간 높고, 태양의 표면 온도는 약 6000 K이다. 복사 에너지를 최대로 방출하는 파장은 표면 온도에 반비례하므로 반지름이 태양의 0.5배인 주계열성이 태양의  $1.5 \left( = \frac{6000}{4000} \right)$  배보다 약간 짧다.

㉥. 표면 온도가 태양의 1.5배인 주계열성은 표면 온도가 약 9000 K이므로 반지름이 태양의 1.5배보다 크다. 광도는 반지름의 제곱과 표면 온도의 4제곱을 곱한 값에 비례하므로 이 별의 광도는 태양의 1.5<sup>6</sup> 배보다 크다.

### 15 별의 진화

**예설** | 질량이 큰 원시별일수록 중력 수축이 빠르게 일어나 주계열성에 빨리 도달한다. 또한 별은 일생의 대부분을 주계열 단계에서 보낸다. 따라서 원시별 단계에서 머무르는 시간은 주계열 수명에 비해 훨씬 짧다.

㉠. 원시별은 중력 수축이 일어나면서 밀도가 커지고, 중심부 온도가 높아진다. 따라서 원시별 A~D는 모두 주계열성으로 진화하는 동안 반지름이 작아진다.

㉣. D는 질량이 가장 작은 별이므로 질량이 태양 질량의 0.5배인 원시별이다. 태양과 질량이 같은 원시별이 영년 주계열 단계에 도달하는 데 걸리는 시간은 D보다 짧아야 하므로 1천만 년(10<sup>7</sup>년)보다 짧다.

㉤. A와 D가 동시에 주계열성으로 진화하기 시작한다면, D가 영년 주계열 단계에 도달하는 데 약 1천만 년이 걸리고, A는 주계열 수명이 1백만 년이므로 원시별에서 초신성 폭발이 일어날 때까지 1백만 년보다 약간 오래 걸린다. 따라서 D가 주계열성이 되기 이전에 A는 초신성 폭발을 일으킨다.

### 16 별의 내부 구조

**예설** | 이 별은 중심부에서 수소 핵융합 반응이 일어나고 있으므로 주계열성이다.

㉣. 0~0.3R 영역에서는 수소 핵융합 반응에 의해 수소가 헬륨으로

바뀐다. 따라서 수소의 질량은  $0 \sim 0.3R$  영역이  $0.3R \sim 1.0R$  영역보다 작다.

㉠ 이 별은  $0.7R \sim 1.0R$  영역에서 대류가 일어나므로  $0.3R \sim 0.7R$  영역은 복사층에 해당하며, 이 층에서는 주로 복사에 의해 에너지가 전달된다.

✕ 주계열성은 정역학 평형 상태에 있으므로 별의 크기가 거의 일정하게 유지된다. 따라서 별의 표면에서는 기체 압력 차에 의한 힘의 크기와 중력의 크기가 같다.

## 17 외계 행성계의 생명 가능 지대

예설 | 생명 가능 지대는 별의 주위에서 물이 액체 상태로 존재할 수 있는 거리의 범위이다. 중심별이 주계열성인 경우 별의 질량이 클수록 광도가 크므로 생명 가능 지대까지의 거리가 멀고, 생명 가능 지대의 폭이 넓다.

㉠ (가)의 중심별은 분광형이 K0형인 주계열성이므로 태양보다 표면 온도가 낮고 광도가 작다. 따라서 생명 가능 지대의 폭은 (가)가 태양계보다 좁다.

✕ 중심별의 광도는 (가)보다 (나)가 크다. 따라서 행성이 중심별에서 같은 거리에 있을 때 중심별로부터 행성의 단위 면적에 입사되는 에너지량은 행성 ㉠이 ㉡보다 적다.

✕ 중심별의 질량은 (가)가 (나)보다 작고, 행성의 질량과 중심별로부터의 거리는 (가)와 (나)가 같다. 따라서 지구에서 관측할 때 행성에 의한 중심별의 시선 속도 변화량은 중심별의 질량이 작은 (가)가 (나)보다 크다.

## 18 빅뱅 우주론과 우주 배경 복사

예설 | 급팽창 이론은 우주 탄생(빅뱅) 직후 매우 짧은 시간 동안 우주가 빛의 속도보다 빠른 속도로 팽창하였다는 이론으로, 기존의 빅뱅 우주론에서 설명하기 어려웠던 우주의 지평선 문제, 평탄성 문제, 자기 홀극 문제를 설명할 수 있다.

✕ A → B → C 과정에서 우주는 계속 팽창하였고, 그에 따라 우주의 온도는 계속 낮아졌다.

✕ (나)의 복사 에너지는 우주 배경 복사로, 중성 원자가 생성되면서 투명한 우주가 되었을 때 형성되었다. 따라서 (나)의 복사 에너지는 C 과정을 거친 후에 형성되었다.

㉠ (나)의 우주 배경 복사는 우주의 모든 방향에서 거의 균일하게 관측되는데, 이는 빅뱅 직후(A 과정에 해당)에 급팽창이 일어났다는 이론으로 설명할 수 있다.

## 19 전파 은하

예설 | 전파 은하는 보통의 은하보다 수백 배 이상 강한 전파를 방출하는 특이 은하이다.

㉠ 중심부에서 방출된 제트로 연결된 로브가 중심부의 양쪽에 대칭으로 잘 나타나 있다.

㉡ 타원 은하는 불규칙 은하나 나선 은하에 비해 비교적 나이가 많은 붉은색 별들의 비율이 높다.

㉠ 이 은하의 후퇴 속도가 약 600 km/s이므로 적색 편이량  $z = \frac{v}{c} = \frac{600}{300000} = 0.002$ 이다. 따라서 기준 파장( $\lambda_0$ )이 600 nm인 방출선은 601.2 nm로 관측된다.

$\frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = z, \lambda = \lambda_0 + \lambda_0 \times z = 600 \text{ nm} + 600 \text{ nm} \times 0.002 = 601.2 \text{ nm}$

## 20 풍선을 이용한 우주 팽창 실험

예설 | 허블은 은하의 후퇴 속도와 거리의 관계를 조사하여 은하들의 후퇴 속도가 거리에 비례한다는 사실을 알아냈다. 이를 허블 법칙이라고 하는데, 균일하게 부풀어 오르는 풍선 모형을 이용하여 허블 법칙이 성립함을 설명할 수 있다.

✕ 이 탐구는 우주 공간을 풍선 표면에 비유하여 우주 팽창을 알아 보기 위한 것이다. 따라서 풍선 내부의 공간은 고려할 필요가 없는 영역이다.

㉠ 풍선이 균일하게 부풀어 오르기 때문에 거리가 2배, 3배, 4배일 경우 거리 증가량( $\infty$  멀어지는 속도)도 2배, 3배, 4배가 된다. 따라서

(다)에서  $\frac{\text{팽창에 의한 두 스티커 사이의 거리 증가량}}{\text{팽창 전 두 스티커 사이의 거리}}$ 은 A~D 스티

커 중 임의의 두 스티커에 대하여 모두 동일한 값을 갖는다.

㉡ 이 탐구를 통해 멀리 있는 은하일수록 후퇴 속도가 빠르다는 허블 법칙을 설명할 수 있다.

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

### 01 대륙의 이동

**예설** | 대륙이 이동하여 초대륙이 형성되면 대륙과 대륙 사이의 해안선이 서로 만나면서 육지로 변하므로 해안선의 총 길이는 짧아지고 대륙붕의 면적은 좁아진다.

✕ (가), (나), (다)는 고생대의 대륙 이동을 나타내므로 초대륙 판게아가 형성되는 과정이다. 따라서 해안선의 총 길이는 짧아진다.

✕ 고생대 초기에 남반구 중위도에 위치했던 북유럽 대륙은 고생대 중기에는 적도 부근, 고생대 말기에는 북반구로 이동했다. 북극의 크기는 위도가 높을수록 크므로 (가)~(나) 기간에는 대체로 작아졌고, (나)~(다) 기간에는 대체로 커졌다. 따라서 이 기간에 북유럽 대륙에서 생성된 화성암에 잔류된 고지자기 북극의 크기는 시간에 따라 작아졌다가 커졌다.

㉔ 북아메리카 대륙은 고생대 전 기간을 통해 적도 부근에 위치하였지만, 아프리카 대륙은 남극 부근에서 적도 가까운 위치로 이동하였다. 따라서 남북 방향의 평균 이동 속력은 북아메리카 대륙이 아프리카 대륙보다 느렸다.

### 02 해저 확장

**예설** | 맨틀 대류가 상승하는 위치를 경계로 판이 서로 멀어지는 발산형 경계가 형성된다. 따라서 발산형 경계로부터 멀리 떨어진 해양 지각일수록 오래 전에 생성된 암석으로 구성되어 있다.

㉑ B는 발산형 경계인 동태평양 해령의 동쪽에 위치하므로 동태평양 해령을 축으로 해저가 동서 방향으로 확장함에 따라 동쪽으로 이동하고, C는 발산형 경계인 대서양 중앙 해령의 서쪽에 위치하므로 대서양 중앙 해령을 축으로 해저가 동서 방향으로 확장함에 따라 서쪽으로 이동한다. B와 C가 각각 포함된 두 판이 서로 모여들고 있으므로 두 지점 사이에는 수렴형 경계가 존재한다.

✕ C는 D보다 대서양 중앙 해령으로부터의 거리가 멀다. 대서양 중앙 해령은 발산형 경계이므로 대서양 중앙 해령에서 먼 해양 지각일수록 연령이 많다. 따라서 해양 지각의 연령은 C가 D보다 많다. 해저 퇴적물은 해양 지각 생성 직후부터 퇴적되기 시작하므로 해양 지각의 연령이 많을수록 해저 퇴적물 최하층의 연령도 많다. 따라서 해저 퇴적물 최하층의 연령은 C가 D보다 많다.

㉔ 판의 발산형 경계인 동태평양 해령을 사이에 두고 있는 A와 B 지점의 해양 지각 연령은 약 1000만 년~2000만 년 사이이다.(회색 음영의 위치로 볼 때 1000만 년대 초반이다.) 따라서 1000만 년 전의 A와 B 사이의 거리는 현재 거리에서 970만 년 이내에 해당하는 가장 검은 음영 영역을 제외한 거리 정도가 될 것이다. 반면 C와 D는 같은 판에 위치하는 두 지점이므로 두 지점 사이의 거리는 큰 변화가 없다. 따라서 약 1000만 년 전에는 A와 B 사이의 거리가 C와 D 사이의 거리보다 가까웠다.

### 03 마그마의 생성

**예설** | 지하 내부에서 생성되는 마그마는 생성 위치와 조건에 따라 특징이 다르다. 맨틀 대류가 상승하는 해령에서는 주로 현무암질 마그마가 생성되고, 섭입형 경계의 주변에서는 현무암질 마그마, 유문암질 마그마, 안산암질 마그마가 모두 생성될 수 있다.

㉑ A는 해령이므로 SiO<sub>2</sub> 함량이 약 52%보다 적은 현무암질 마그마가 주로 분출한다. C의 하부에 있는 섭입형 경계부(베니오프대 부근)에서는 함수 광물로부터의 물 공급에 의해 현무암질 마그마가 생성되지만, 생성된 현무암질 마그마가 상승하는 과정에서 화강암질 대륙 지각이 용융되어 유문암질 마그마도 생성되며, 이 마그마들이 혼합되어 안산암질 마그마가 생성될 수 있다. C에서는 주로 안산암질 마그마가 분출된다. 안산암질 마그마의 SiO<sub>2</sub> 함량은 약 52~63%이므로 A에서 분출된 마그마보다 C에서 주로 분출된 마그마의 SiO<sub>2</sub> 함량(%)이 많다.

㉒ 인도 대륙이 포함된 판이 아시아 대륙이 포함된 판의 하부로 섭입하는 과정에서 지진이 발생하므로 진원의 깊이는 해구 쪽인 B에서 아시아 대륙 쪽인 C로 갈수록 깊어지는 경향이 나타난다. 따라서 진원의 평균 깊이는 B보다 C에서 깊다.

㉓ 밀도가 큰 판이 밀도가 작은 판의 아래로 섭입하므로, 인도 대륙이 포함된 판이 아시아 대륙이 포함된 판보다 밀도가 크다.

### 04 방사성 동위 원소의 반감기

**예설** | 불안정한 원자핵을 지닌 방사성 동위 원소는 붕괴되어 안정한 자원소로 변한다. 따라서 방사성 동위 원소의 붕괴 속도가 빠르면 자원소의 함량 증가가 빠르고, 방사성 동위 원소의 붕괴 속도가 느리면 자원소의 함량 증가도 느리다.

✕ ㉑은 반감기가 T인 방사성 동위 원소의 붕괴 곡선이고, 나머지 곡선은 반감기가 2T인 방사성 동위 원소가 붕괴되어 생성된 자원소의 함량 곡선이다. 따라서 ㉑은 Y의 함량이다.

✕ X와 Y 중 하나는 반감기가 T이고, 나머지 하나는 반감기가 2T이다. 표에 Y의 반감기가 T라고 제시되었으므로 X의 반감기는 2T이다. 따라서 반감기는 X가 Y보다 길다.

㉒ 화성암에 포함된 X의 현재 함량이 25%이므로 화성암 생성 이후 X의 반감기가 2회 경과하였다. 방사성 동위 원소 X의 반감기가 2T이므로 이 화성암의 절대 연령은 4T이다.

### 05 중생대와 신생대의 경계 시기

**예설** | 중생대와 신생대의 경계 시기에 공룡 등이 멸종하였다. 이 대멸종을 설명하는 가설 중에는 운석 충돌설이 있는데, 운석 충돌의 증거로 당시 퇴적 토양 내의 이리듐 함량 급증 현상을 제시하기도 한다.

✕ 점토층의 생성 시기는 약 6천 5백만 년 전으로 중생대와 신생대의 경계 시기 부근에 해당한다. 중생대와 신생대의 경계 시기를 전후한 기간에는 뚜렷한 빙하기의 흔적이 발견되지 않는다.

✕ 초대륙 판게아는 고생대 말~중생대 초에 존재했다. 따라서 점토층이 퇴적되던 시기에는 초대륙 판게아가 존재하지 않았다.

㉔ 점토층의 퇴적이 시작되던 시기에는 이리듐 함량이 낮았지만, 점토층의 퇴적이 진행되면서 이리듐 함량이 급증했다. 따라서 지층이 역전되지 않았다면, 점토층 내의 이리듐 평균 함량은 점토층 하부보

다 상부가 많다.

## 06 지사학의 법칙

**예설** | 어느 지역 지층의 암석 분포와 지질 구조에 대한 자료가 확보되면, 지사학의 기본 법칙을 이용하여 그 지역의 지사를 유추할 수 있다.

㉠ 이 지역의 왼쪽(서쪽)에는 편마암을 덮고 있는 부정합면이 노출되어 있고, 오른쪽(동쪽)에는 화강암을 덮고 있는 부정합면이 노출되어 있다. 부정합면 하부층이 변성암이나 심성암인 부정합을 난정합이라고 한다.

㉡ 서쪽의 부정합면에 나타나는 기저 역암은 오른쪽 지층이 상부층임을 알려주고, 동쪽의 부정합면에 나타나는 기저 역암은 왼쪽 지층이 상부층임을 알려준다. 역전된 지층이 존재하지 않는 상황에서 두 조건을 모두 만족하려면 향사 형태의 습곡 구조가 존재해야 한다.

㉢ 이 지역의 암석은 편마암과 화강암 → (부정합) → 사암 → 셰일 → 안산암 순으로 생성되었다. 따라서 지하에서 생성된 안산암질 마그마가 관입하는 경로에는 사암이 존재한다. 마그마가 사암을 관입하는 과정에서 깨진 사암의 조각이 마그마로 들어간 후 마그마가 냉각되면 포획암의 형태로 산출될 수 있다.

## 07 남극 대륙 주변의 표층 해류

**예설** | 남극 순환 해류는 편서풍의 영향을 받아 형성된다. 남반구에서 전향력은 운동 방향의 왼쪽 직각 방향으로 작용한다.

✕ 남반구에서 표층 해수의 이동(에크만 수송)은 바람 방향의 왼쪽 90° 방향으로 일어나므로 ㉠을 경계로 남극 대륙에 가까운 쪽에서는 해수가 남극 대륙 쪽으로 이동하고, 남극 대륙에 먼 쪽에서는 해수가 남극 대륙의 반대쪽으로 이동한다. 따라서 ㉠에서는 표층 해수가 유입되어 침강이 일어나고, ㉡에서는 표층 해수가 발산하여 용승이 일어난다.

✕ ㉠에서는 표층 해수의 발산에 의해 용승이 일어나고, ㉡에서는 표층 해수의 수렴에 의해 침강이 일어난다. 심층 해수는 영양염의 농도가 높으므로 용승이 일어나는 ㉠이 침강이 일어나는 ㉡보다 표층 해수의 영양염이 풍부하다.

㉢ A는 남극 순환 해류이다. 남극 순환 해류는 편서풍에 의해 형성된 해류이다.

## 08 기후 변화 요인

**예설** | 지구 공전 궤도의 이심률이 커지면 근일점에서 지구 전체가 받는 태양 복사 에너지의 양은 증가하고, 원일점에서 지구 전체가 받는 태양 복사 에너지의 양은 감소한다. 따라서 공전 궤도 이심률의 증감은 지구의 기후 변화를 일으킬 수 있다.

㉠ (가)에서 태양 복사 에너지가 가장 많이 공급되는 지역은 남반구에 위치한다. 따라서 남반구가 여름인 시기이다. 이 위치에서 북반구는 겨울이다.

✕ 근일점-태양 사이의 거리는 (가)가 (나)보다 가깝고, 원일점-태양 사이의 거리는 (가)가 (나)보다 멀다. 즉, 지구가 한 번 공전할 때 태양-지구 사이 거리의 변화 폭은 (가)가 (나)보다 크다. 그러므로 지구 공전 궤도는 (가)가 (나)보다 더 납작한 모양이다. 따라서 지구 공전 궤도의 이심률은 (가)가 (나)보다 크다.

✕ (가)와 (나) 모두 우리나라는 지구가 근일점 근처를 지나는 시기에 여름이고, 지구가 원일점 근처를 지나는 시기에 겨울이다. 우리나라가 여름일 때 태양-지구 사이의 거리는 공전 궤도 이심률이 큰 (가)가 공전 궤도 이심률이 작은 (나)보다 가깝다. 따라서 우리나라의 여름철 평균 기온은 (가)가 (나)보다 높다. 반대로 우리나라가 겨울일 때 태양-지구 사이의 거리는 (가)가 (나)보다 멀다. 따라서 우리나라의 겨울철 평균 기온은 (가)가 (나)보다 낮다. 그러므로 우리나라에서 기온의 연교차는 (가)가 (나)보다 크다.

## 09 엘니뇨와 라니냐

**예설** | 라니냐 시기에는 서태평양 적도 부근 해역의 표층 수온이 높아져 상승 기류가 강해지고, 엘니뇨 시기에는 동태평양 적도 부근 해역의 표층 수온이 높아져 상승 기류가 강해진다. (가)는 엘니뇨 시기, (나)는 라니냐 시기이다.

㉠ 동태평양 적도 부근 해역의 표층 수온이 평상시보다 높은 시기에는 동태평양에서 상승 기류가 강해지고 구름의 양이 증가한다. 이 시기는 엘니뇨 시기이고 (가)에 해당한다. (가) 시기에는 아프리카 적도 부근 지역에 상승 기류가 발달하고 구름의 양이 증가하므로 강수량이 평상시보다 많다.

㉡ 서태평양 적도 부근 해역의 해수면이 평상시보다 높아지는 시기는 라니냐 시기이므로 (나)에 해당하고, 제시된 자료에서 남아메리카 적도 부근에 구름의 양이 증가한 것을 확인할 수 있다. 따라서 서태평양 적도 부근 해역의 해수면이 평상시보다 높아진 (나) 시기에는 남아메리카 적도 부근 지역의 강수량이 평상시보다 많은 것을 알 수 있다.

✕ 동태평양 적도 부근 해역에서 평상시보다 용승이 활발한 시기는 (나)에 해당하는 라니냐 시기인데, 라니냐는 평상시보다 무역풍이 강해지는 시기에 발생한다.

## 10 태풍

**예설** | 태풍은 주로 표층 수온이 27°C 이상인 열대 해상에서 발생하여 고위도로 이동한다. 태풍은 무역풍대와 편서풍대를 통과하면서 대체로 포물선 경로로 이동하지만, 주변의 기압 배치 등에 따라 특이한 경로가 나타나기도 한다.

㉠ 태풍의 이동 경로는 상황에 따라 유동적이지만, 저위도의 남는 에너지를 고위도로 수송하는 역할을 하므로 기본적인 이동 방향은 저위도에서 고위도 방향이다. 따라서 태풍 중심의 이동 방향은 ㉡ 방향이다.

✕ 태풍 중심의 이동 방향이 동풍 계열의 바람이 부는 무역풍대에서는 대체로 북동쪽으로, 서풍 계열의 바람이 부는 편서풍대에서는 대체로 서쪽으로 이동했다. 따라서 태풍의 중심은 대체로 대기 대순환에 의한 지표 부근의 바람 방향과 반대 방향으로 이동했다.

✕ ㉠ 구간에서 태풍은 북동쪽에서 남서쪽으로 이동했으므로, A 지점은 태풍 이동 경로의 왼쪽에 위치했다. 따라서 A 지점의 풍향은 시계 반대 방향으로 변했다.

## 11 온대 저기압

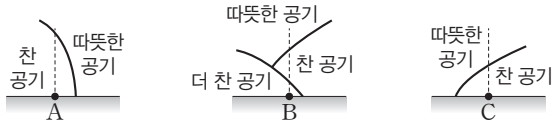
**예설** | 온대 저기압은 고위도의 찬 공기와 저위도의 따뜻한 공기가 만나 발생하며 전선을 동반한다. 온난 전선이 통과하면 기온이 높아지

고, 한랭 전선이 통과하면 기온이 낮아진다. 온난 전선은 전선면의 기울기가 완만하고, 한랭 전선은 전선면의 기울기가 급하다. 남극 상공에서 바라보면 남반구 중위도의 온대 저기압은 저기압 중심의 오른쪽(동쪽)에 온난 전선이, 왼쪽(서쪽)에 한랭 전선이 형성된다.

× 전선 I은 한랭 전선, 전선 II는 온난 전선이다. 따라서 이동 속도는 II보다 I이 빠르다.

㉠ 온대 저기압의 중심은 편서풍을 따라 이동하므로 서쪽에서 동쪽으로 이동한다. 따라서 온대 저기압 중심의 이동 방향은 ㉠이다.

㉡ A는 한랭 전선의 후면에, B는 폐색 전선의 후면에, C는 온난 전선의 전면에 위치한다. 따라서 A와 C의 상공에는 각각 하나의 전선면이 존재하지만, B의 상공에는 한랭 전선면과 온난 전선면이 모두 존재한다. 대류권에서는 고도가 높아질수록 기온이 낮아지지만, 전선면에서는 밀도가 큰 찬 공기가 아래에 위치하고 밀도가 작은 따뜻한 공기가 위에 위치하므로, 고도가 높아질수록 기온이 높아지는 경향이 나타난다. 결과적으로 고도가 높아질수록 기온이 높아지는 구간의 개수가 전선면 개수이다. 따라서 전선면이 2개 존재하는 ㉠ 기온선인 B 지역의 기온 분포이다.



## 12 우리나라의 악기상

예설 | 우리나라에 자주 발생하는 주요 악기상에는 뇌우, 집중 호우, 폭설, 강풍, 우박, 황사 등이 있다. 집중 호우는 태풍이나 장마 전선의 영향을 받을 때 나타나기 쉽고, 폭설은 겨울철에 발달한 저기압이 한반도를 통과하거나 찬 기단이 접근하는 과정에서 변질되어 기층이 불안정해지는 경우에 나타나기 쉽다.

× (가)는 겨울철에 찬 시베리아 기단이 황해상을 지나는 동안 열과 수증기를 공급받아 불안정해지면서 발생한 구름의 영상이다. 따라서 차가운 시베리아 기단이 우리나라로 확장할 때 나타나는 현상이므로 서해안을 따라 정체 전선이 형성되는 시기가 아니다.

㉠ (가)는 폭설이 내릴 때의 영상이고, (나)는 우리나라 여름철에 장마 전선이 발달한 시기의 영상이다. 산사태는 경사면의 토양이 물로 포화될 때 발생하기 쉽다. 눈은 녹기 전까지는 지표면 위에 그대로 쌓이므로 산사태를 일으키는 직접적인 원인은 아니다. 산사태는 집중 호우에 의해 빗물이 토양의 공극을 채울 때 발생하기 쉬우므로 강수에 의한 산사태 발생 가능성은 (가)보다 (나)가 크다.

㉡ (가)와 (나)는 모두 오후 6시 해가 질 무렵에 촬영한 영상이다. 가시 영상의 경우 오후 6시에는 햇빛이 도달하지 않는 한반도 동쪽 지역이 촬영되지 않으므로 (가)가 가시 영상이다. 적외 영상은 구름이나 지표가 온도에 따라 방출하는 적외선 에너지량의 차이를 이용하는 것으로, 밤에도 모든 지역이 촬영된다.

## 13 표층 해수의 성질

예설 | 해수의 표층 염분은 주로 증발량과 강수량의 영향을 받으며, 고위도 해역에서는 해수의 결빙과 해빙, 담수의 유입 등의 영향을 받는다.

㉠ 고위도 해역 해수의 표층 염분은 대체로 낮게 나타난다. 북극해

주변 해수는 남극 대륙 주변 해수보다 표층 염분이 낮는데, 이는 담수의 유입량 차이, 표층 순환에 의한 표층 해수의 혼합 작용의 정도 차이 등 다양한 요인이 복합적으로 작용한 결과이다. ㉡는 적도 반대쪽 60° 해역보다 표층 염분이 낮으므로 ㉡는 60°N, 반대쪽은 60°S이다.

㉢ 적도 지역은 뜨겁고 습한 공기가 모여들어 상승하는 열대 수렴대이므로 연평균 강수량이 많다. 따라서 (증발량-강수량)이 (-) 값을 나타내고 표층 염분이 낮다. 고위도 저압대인 60°N 지역도 전선이 자주 형성되어 비구름이 만들어지므로 중위도 고압대인 30°N 지역에 비해 강수량이 많은 편이지만, 뜨겁고 습한 공기가 상승하는 적도 지역보다는 강수량이 적다. 60°N 해역의 표층 염분이 낮은 이유는 적도 해역보다 증발량이 적고, 빙하 용해, 담수 공급 등의 영향을 받기 때문이다.

㉣ 30°S 해역의 표층 해수는 적도 해역의 표층 해수보다 수온이 낮고 염분이 높다. 해수의 밀도는 수온이 낮을수록, 염분이 높을수록 크므로 표층 해수의 밀도는 적도보다 30°S에서 크다.

## 14 별의 분광형과 색지수

예설 | 표면 온도가 서로 다른 별은 스펙트럼에 나타나는 흡수선의 세기와 종류가 다르다. 최대 복사 에너지를 방출하는 파장은 별의 표면 온도와 반비례 관계에 있다. 따라서 최대 복사 에너지를 방출하는 파장이 다르면 스펙트럼에 나타나는 흡수선의 세기와 종류가 다르다.

㉠ 표면 온도가 3000 K인 C의 최대 복사 에너지를 방출하는 파장이 A의 최대 복사 에너지를 방출하는 파장보다 2배 길다. 따라서 A의 표면 온도는 C의 2배인 6000 K이다. 이는 태양의 표면 온도와 비슷하므로, A의 분광형은 G0형에 가깝다. 분광형이 G0형인 별에서는 CaII 흡수선이 가장 강하게 나타나고, MgII 흡수선은 나타나지 않는다. 따라서 A는 MgII 흡수선보다 CaII 흡수선이 강하다.

× A와 B는 최대 복사 에너지를 방출하는 파장이 같으므로 표면 온도가 같다. 색지수는 표면 온도에 따라 달라지므로 표면 온도가 같은 A와 B는 색지수도 같다.

× (나)는 지구에서 관측된 복사 에너지의 상대적 세기를 나타낸 것이므로 C보다 모든 파장에서 에너지 세기가 큰 B가 더 밝게 관측된다. 따라서 겉보기 등급은 B가 C보다 작다.

## 15 별의 물리량

예설 | H-R도의 가로축에는 표면 온도(또는 분광형)를 나타내고, 세로축에는 광도(또는 절대 등급)를 나타낸다. 따라서 별의 H-R도상의 위치로부터 그 별의 물리적 특징을 추정할 수 있다. 별의 광도는 별의 표면 온도와 반지름에 의해 결정된다. 따라서 광도와 표면 온도와 반지름 중 2개의 물리량을 아는 경우 나머지 하나도 알 수 있다. 일반적으로 표면 온도가 같은 별은 분광형이 같지만, 분광형이 같은 별도 스펙트럼의 미세한 형태 차이가 나타나는데, 이를 반영한 구분 체계가 광도 계급이다.

× 광도 계급 I~IV는 초거성이나 거성이고, 주계열성은 광도 계급이 V이다. 광도 계급 VI은 준왜성, VII은 백색 왜성이다. ㉡는 주계열성이므로 광도 계급이 V이다.

㉢ ㉡는 표면 온도가 2500 K이고 절대 등급이 -5등급이며, ㉢는

표면 온도가 10000 K이고 절대 등급이 0등급이다. 절대 등급 차이가 5등급이므로 ⑥가 ③보다 100배 밝다. 광도(L)는 표면 온도(T)의 4제곱과 반지름(R)의 제곱을 곱한 값에 비례하므로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{L_{\text{⑥}}}{L_{\text{③}}} = 10^2 = \frac{4\pi\sigma T_{\text{⑥}}^4 R_{\text{⑥}}^2}{4\pi\sigma T_{\text{③}}^4 R_{\text{③}}^2} = \left(\frac{1}{4}\right)^4 \left(\frac{R_{\text{⑥}}}{R_{\text{③}}}\right)^2 \text{ (아래 첨자는 각각 별 ⑥와 ③의 물리량임을 나타낸다.)}$$

$$\therefore R_{\text{⑥}} = 10 \times 4^2 R_{\text{③}}$$

따라서 반지름은 ⑥가 ③의 160배이다.

✕. 최대 복사 에너지를 방출하는 파장은 별의 표면 온도에 반비례한다. ④의 표면 온도는 5000 K, ③의 표면 온도는 10000 K이므로 최대 복사 에너지를 방출하는 파장은 ④가 ③보다 2배 길다.

### 16 별의 내부 구조와 에너지원

예설 | 주계열성의 중심부에서는 수소 핵융합 반응이 일어나고, 주계열성 이후 단계에서는 별의 질량에 따라 수소보다 무거운 원소들의 핵융합 반응이 별의 중심부에서 일어난다.

㉠. ㉠은 CNO 순환 반응(수소 핵융합 반응), ㉡은 헬륨 핵융합 반응, ㉢은 p-p 반응(수소 핵융합 반응)이다. 헬륨 핵융합 반응은 수소 핵융합 반응보다 반응에 필요한 최소 온도가 높다. 따라서 반응에 필요한 최소 온도는 ㉡이 가장 높다.

✕. ④는 절대 등급이 -5등급인 주계열성이므로 태양보다 광도가 약 10<sup>4</sup>배 크다. 주계열성의 질량-광도 관계에서  $L \propto M^4$ 이라 가정하고 계산하면 ④의 질량은 태양 질량의 10배이다. 대체로 질량이 태양 질량의 2배 이상인 주계열성에서는 p-p 반응보다 CNO 순환 반응이 우세하다. 따라서 ④의 중심부에서는 ㉠(CNO 순환 반응)이 ㉢(p-p 반응)보다 우세하게 일어난다.

✕. ④는 백색 왜성이다. 백색 왜성은 별의 내부에서 핵융합 반응이 멈춘 상태이므로 ㉠, ㉡, ㉢의 반응이 모두 일어나지 않는다.

### 17 특이 은하

예설 | 퀘이사, 세이퍼트 은하, 전파 은하 등 허블의 분류 체계로 분류하기 어려운 은하를 특이 은하라고 하는데, 특이 은하는 일반 은하보다 훨씬 강한 전파나 X선을 방출한다. 퀘이사는 적색 편이가 매우 크다.

㉠. (가)보다 (나)의 적색 편이가 크므로 (가)는 세이퍼트 은하이고 (나)는 퀘이사이다. 가시광선 영역에서 세이퍼트 은하는 대부분 나선 은하의 형태로 관측된다.

㉡. 세이퍼트 은하와 퀘이사의 중심부에는 모두 거대한 블랙홀이 존재할 것으로 추정하고 있다.

✕. 최초의 별은 빅뱅 이후 수억 년이 지난 후에 생성되었으며 퀘이사는 이보다 이후에 생성되었다. 우주 배경 복사는 빅뱅 후 약 38만 년이 경과하였을 때 방출되었다.

### 18 외계 행성 탐사

예설 | 외계 행성 탐사 방법에는 도플러 효과, 미세 중력 렌즈 현상, 식 현상에 의한 중심별의 겉보기 밝기 변화를 관측하는 방법 등이 있다. 식 현상에 의한 중심별의 겉보기 밝기 변화는 행성의 공전 궤도면이

관측자의 시선 방향과 거의 나란한 경우에만 관측된다.

✕. 식 현상에 의해 나타나는 중심별의 밝기 감소량 비율이 A : B : C = 3 : 2 : 1이므로 행성 A, B, C의 단면적 비율도 3 : 2 : 1이다.

즉  $\pi R_A^2 = \pi R_B^2 + \pi R_C^2$ 이다. 따라서  $R_A, R_B, R_C$  사이에는  $R_A = \sqrt{R_B^2 + R_C^2}$ 의 관계가 성립한다.

✕.  $R_A > R_B > R_C$ 이므로 A의 공전 주기는 중심별의 밝기가 99.7로 감소하는 주기와 같고, B의 공전 주기는 중심별의 밝기가 99.8로 감소하는 주기와 같으며, C의 공전 주기는 중심별의 밝기가 99.9로 감소하는 주기와 같다. 따라서 A의 공전 주기는 약 110일, B의 공전 주기는 약 90일, C의 공전 주기는 약 20일이므로, 공전 주기가 가장 긴 행성은 A이다. 170일 차에 나타난 99.7의 중심별의 밝기 감소는 B와 C의 식 현상이 동시에 진행되어 나타난 관측 결과이므로 자료 해석에 유의해야 한다.

㉢. 행성에 의한 중심별의 회전 운동 반지름은 중심별의 질량 중심으로부터 중심별과 행성의 공통 질량 중심까지의 거리이다. 중심별의 질량 중심으로부터 중심별과 행성의 공통 질량 중심까지의 거리는 행성의 질량이 클수록 멀어지므로, 질량이 큰 A가 질량이 작은 C보다 중심별의 회전 운동 반지름이 크다.

### 19 은하의 후퇴와 우주 팽창

예설 | 허블 법칙에 의하면 외부 은하까지의 거리가 멀수록 후퇴 속도가 빠르다. 후퇴 속도가 빠르면 도플러 효과에 의해 빛의 파장이 길어져 적색 편이량(z)도 커진다.

$v$ 는 후퇴 속도,  $r$ 는 은하 사이의 거리,  $c$ 는 광속이라고 할 때(아래 첨자는 각각 은하 A, B, C의 물리량임을 나타낸다.), 우리은하에서 관

측한 A의 적색 편이량(z)은 0.007이므로  $0.007 = \frac{v_A}{c}$ ,

$$v_A = 0.007c = 0.007 \times 3 \times 10^5 \text{ km/s} = 2100 \text{ km/s} \text{ 이고,}$$

$$v_A = 2100 \text{ km/s} = H r_A = 70 \text{ km/s/Mpc} \times r_A \text{ 이므로}$$

$$r_A = 30 \text{ Mpc} \text{ 이다.}$$

또한  $v_B = 2100 \text{ km/s} = v_A$ 이므로  $r_B = 30 \text{ Mpc}$ 이다.

C의 경우

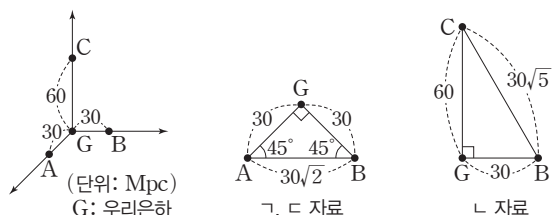
$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{7}{500} = z = \frac{v_C}{c} \text{ 이므로}$$

$$v_C = \frac{7 \times 3 \times 10^5 \text{ km/s}}{500} = 4200 \text{ km/s,}$$

$$r_C = \frac{4200 \text{ km/s}}{70 \text{ km/s/Mpc}} = 60 \text{ Mpc} \text{ 이다.}$$

(또는  $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = z = \frac{7}{500} = 0.014$ 로 A의 2배이므로 거리도 A보다 2배 멀다. 따라서  $r_C = 60 \text{ Mpc}$ 이다.)

우리은하에서 관측한 A, B, C의 시선 방향이 각각 90°를 이룬다고 하였으므로 우리은하와 A, B, C의 공간 배열은 대략 다음 그림과 같다.



㉠. 우리은하와 A, B 사이의 거리는 30 Mpc로 같으며, A와 B의 시선 방향이 90°를 이루므로 우리은하를 기준으로 빗변과 밑변의 각이 45°인 직각삼각형을 이룬다. 따라서 A와 B 사이의 거리는  $30\sqrt{2}$  Mpc이며, A와 B가 서로 멀어지는 속도는

$$v_{AB} = 70 \text{ km/s/Mpc} \times 30\sqrt{2} \text{ Mpc} = 2100\sqrt{2} \text{ km/s}$$

㉡. 우리은하와 B, C를 세 꼭지점으로 하는 삼각형은 우리은하를 중심으로 직각삼각형을 이루는데, 높이와 밑변의 길이가 60 Mpc : 30 Mpc로 2 : 1의 비율이다. 따라서 빗변의 길이는  $\sqrt{5}$ 의 비율이어야 하므로 B와 C 사이의 거리는  $30\sqrt{5}$  Mpc이다. 적색 편이는 후퇴 속도에 비례하고, 후퇴 속도는 은하까지의 거리에 비례한다. 거리가 30 Mpc인 은하의 적색 편이량이 0.007이므로 거리가  $30\sqrt{5}$  Mpc인 은하의 적색 편이량은  $0.007\sqrt{5}$ 이다.

㉢. 우리은하와 A, B는 우리은하를 중심으로 두 빗변의 길이가 같은 직각삼각형이다. 따라서 빗변과 밑변은 A, B 모두 45°의 각을 이루므로, A에서 보았을 때 우리은하의 시선 방향과 B의 시선 방향은 45°의 각을 이룬다.

## 20 우주 구성 요소

예설 | 우주의 밀도가 임계 밀도( $\rho_c$ )보다 큰 우주는 닫힌 우주, 임계 밀도와 같은 우주는 평탄 우주, 임계 밀도보다 작은 우주는 열린 우주이다.

㉠. A는  $\frac{\rho_m}{\rho_c}$ 이 2이고,  $\frac{\rho_\Lambda}{\rho_c}$ 는 0인 닫힌 우주 모형이다. 따라서 A가 예측하는 우주의 팽창 속도는 과거가 현재보다 빨랐다.

㉡. B는  $\frac{\rho_m}{\rho_c}$ 과  $\frac{\rho_\Lambda}{\rho_c}$ 의 합이 1이므로 평탄 우주이다. 평탄 우주의 곡률은 0이다.

✕. 먼 거리를 관측한 결과는 먼 과거의 모습을 나타낸다. 같은 거리만큼 떨어진 먼 과거의 후퇴 속도를 비교하면 ㉠이 가장 빠르고 ㉡가 가장 느리다. 현재 거리가 같은데 과거에는 ㉠이 더 빠르게 멀어졌다면 그 시점 이후의 속도는 ㉡가 상대적으로 빨라야 하므로, ㉠은 후퇴 속도가 점점 느려지는 닫힌 우주에 해당한다. 따라서 ㉠은 닫힌 우주인 A의 거리와 후퇴 속도의 관계이다. 먼 과거의 후퇴 속도는 감속 팽창하는 평탄 우주보다 가속 팽창하는 평탄 우주가 느리므로 ㉡은 B, ㉢은 C의 거리와 후퇴 속도의 관계이다. 임계 밀도에 대한 물질 밀도의 비와 임계 밀도에 대한 암흑 에너지 밀도의 비로 볼 때 A는 닫힌 우주, B는 감속 팽창하는 평탄 우주이다. C는 현재 우주의 관측 결과와 유사한 모형으로 가속 팽창하는 평탄 우주이다.

## 실전 모의고사 4회

본문 135~139쪽

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

## 01 지질 시대의 대륙 분포

예설 | 지질 시대 동안 대륙이 이동함에 따라 대륙의 분포가 변해왔다. (가)는 판게아가 분리되기 전인 중생대 초의 대륙 분포이고, (나)는 신생대 초의 대륙 분포이다.

㉠. 고생대 말에 초대륙 판게아가 형성되었으며, 중생대 초 이후부터 대륙이 분리되어 이동하였으므로 (가)는 중생대 초의 대륙 분포이다.

✕. 히말라야산맥은 남반구에 위치하던 인도 대륙이 북쪽으로 이동하여 신생대에 유라시아 대륙과 충돌하여 형성되었다.

㉡. 중생대 초 이후부터 판게아에서 남아메리카 대륙과 아프리카 대륙이 분리되면서 대서양이 형성되었으며 점차 대서양의 면적은 넓어졌다. 따라서 중생대 초에서 신생대 초 사이에 대서양에서는 수렴형 경계보다 발산형 경계가 주로 발달하였다.

## 02 섭입대에서의 지진과 화산 활동

예설 | 해양판이 섭입하는 수렴형 경계에서는 섭입대를 따라 천발 지진~심발 지진이 발생한다. 섭입대에서 연약권에 물이 공급되면 연약권을 구성하는 광물의 용융 온도가 낮아져 마그마가 생성된다.

㉠. B 지점에서 A 지점으로 갈수록 진원 깊이가 대체로 깊게 나타나므로 판의 경계는 A 지점보다 B 지점에 가깝다.

✕. 섭입대를 따라 해양판이 섭입하면서 지하 깊은 곳에서 생성된 마그마가 분출하여 화산 활동이 일어나므로, 화산 활동은 B 지점이 속한 판보다 A 지점이 속한 판에서 활발하다.

✕. 섭입대 부근에서는 주로 안산암질 마그마가 분출하여 화산섬이 형성된다. 따라서 판의 경계 부근에서 형성된 화산섬은 주로 SiO<sub>2</sub> 함량이 약 52~63%인 암석으로 이루어져 있다.

## 03 섭입대의 분포와 판의 이동 속도

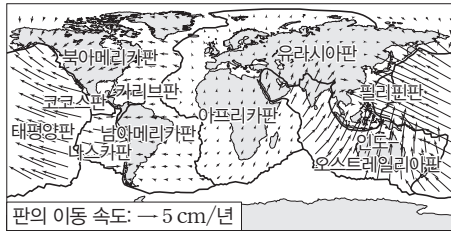
예설 | 일반적으로 판의 이동 속도는 해령과 함께 섭입대가 있는 판이 섭입대가 없는 판보다 빠르다.

㉠. A는 해령이다. 해령에서는 고온 저밀도의 물질이 상승하면서 마그마가 분출하여 해양 지각이 생성되어 양쪽으로 이동한다. 이 과정에서 판을 밀어내는 힘이 작용한다.

✕. 남아메리카판에는 해령에서 판을 밀어내는 힘은 존재하지만 섭입대에서 판을 잡아당기는 힘은 존재하지 않는다.

✕. 판의 평균 이동 속도는 오스트레일리아판이 남아메리카판보다 빠르다(다음 그림 참고). 오스트레일리아판이 남아메리카판보다 빠르게 이동하는 이유는 섭입대의 분포와 관련이 있다. 맨틀 대류와 이로 인해 판 자체에서 발생한 힘은 판을 움직이게 하는 중요한 원동력이다. 하지만 이것만으로는 판의 운동을 모두 설명할 수 없다. 최근에는 이런 문제점을 해결하기 위해 플룸 구조론이 등장하였다.





판의 이동 속도: — 5 cm/년

### 04 지저 역암과 포획암

**예설** | 지저 역암은 부정합면 바로 위의 역암으로, (가)에서 A 지층의 하부에 지저 역암이 존재한다는 것은 (B 지층, 화성암)과 A 지층이 부정합 관계임을 의미한다. 포획암은 마그마가 관입하는 과정에서 기존에 있던 암석이 마그마에 포획된 암석으로, (나)에서 화성암에 C 지층의 포획암이 존재한다는 것은 화성암이 D 지층과 C 지층을 관입하였다는 것을 의미한다.

㉠ (가)에서 지질학적 사건의 순서는 B 지층 퇴적 → 화성암 관입 → 부정합 → A 지층 퇴적 순이다. (나)에서 지질학적 사건의 순서는 D 지층 퇴적 → 부정합 → C 지층 퇴적 → 화성암 관입 순이다. 화성암의 생성 시기가 같으므로 A 지층보다 C 지층이 먼저 퇴적되었다.

㉡ 방사성 동위 원소 X의 반감기는 1억 년이고, (가)와 (나)의 화성암에 포함된 방사성 동위 원소 X와 이 원소가 붕괴되어 생성된 원소의 함량비가 1 : 7이므로 반감기가 3번 지났다. 따라서 (가)와 (나)의 화성암의 절대 연령은 3억 년이다.

✕ B 지층은 화성암보다 먼저 생성되었으므로, B 지층의 연령은 3억 년보다 많다. 암모나이트 화석은 중생대의 표준 화석이며, 중생대는 약 2.52억 년 전부터 약 0.66억 년 전까지이다. 따라서 B 지층에서는 암모나이트 화석이 산출될 수 없다.

### 05 마그마의 생성

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

㉠ A는 해령 하부로 맨틀 물질이 상승하면서 압력이 감소하여 부분 용융이 일어나므로, ㉠의 과정으로 마그마가 생성된다.

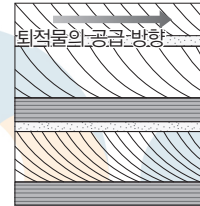
㉡ C에서는 해양판이 섭입하여 온도와 압력이 상승하면서 해양 지각과 퇴적물의 함수 광물에 포함된 물이 빠져나오고, 이 물의 영향으로 연약권을 구성하는 광물의 용융 온도가 낮아져 주로 현무암질 마그마가 생성된다. B에서는 C에서 만들어진 현무암질 마그마가 상승해 대륙 지각 하부를 가열하여 유문암질 마그마가 생성된다. 또한 상승한 현무암질 마그마와 유문암질 마그마가 혼합되면 안산암질 마그마가 생성된다. SiO<sub>2</sub> 평균 함량(%)은 유문암질 마그마나 안산암질 마그마가 현무암질 마그마보다 많으므로 B의 마그마가 C의 마그마보다 많다.

✕ ㉢의 과정에서는 물의 공급으로 연약권을 구성하는 광물의 용융 온도가 낮아져 마그마가 생성된다.

### 06 퇴적 구조

**예설** | (가)는 사층리, (나)는 점이 층리, (다)는 연흔이다.

✕ 사층리는 일정한 방향으로 물이 흐르거나 바람이 부는 환경에서 지층이 경사진 상태로 쌓인 구조이다. 사층리를 이용해 퇴적물의 공급 방향을 알 수 있는데, (가)의 A층에서 퇴적물이 공급된 방향은 ㉠이다.



㉠ (다)와 같은 연흔은 층리면에 물결 모양의 자국이 남아 있고, 뾰족한 부분이 상부를 향하고 있으므로, 지층의 역전 유무를 확인할 수 있다.

㉡ (나)는 크기가 다른 퇴적물이 한꺼번에 쓸려 내려가 수심이 깊은 곳에 쌓일 때 형성된 퇴적 구조이고, (다)는 수심이 얇은 곳에서 물결의 흔적이 퇴적물에 남아 있는 퇴적 구조이다. 따라서 (나)는 (다)보다 대체로 수심이 깊은 곳에서 형성되었다.

### 07 주상 절리와 판상 절리

**예설** | (가)는 판상 절리, (나)는 주상 절리이다.

✕ 판상 절리는 주로 지하 깊은 곳에 있던 암석이 용기할 때 압력이 감소하면서 부피가 팽창하여 판 모양으로 갈라진 지질 구조이다.

㉠ (가)의 암석은 주로 지하 깊은 곳에서 마그마가 서서히 식어 형성되었고, (나)의 암석은 지표로 분출한 용암이 급격히 냉각되어 형성되었다. 따라서 암석을 구성하는 입자의 크기는 (가)가 (나)보다 크다.

㉡ (가)는 암석이 용기하여 압력 감소에 의해 지표 부근에서 형성된 지질 구조이고, (나)는 지표로 분출된 용암이 급격하게 식을 때 부피가 수축하여 단면이 육각형 등의 다각형인 기둥 모양으로 갈라진 지질 구조이다. 따라서 (가)와 (나)의 절리는 모두 지표면 부근에서 형성되었다.

### 08 장마 전선과 기상 위성 영상

**예설** | 우리나라 부근에서 장마 전선은 주로 북쪽의 차고 습한 기단과 남쪽의 따뜻하고 습한 기단이 만나 형성된다. 두 기단의 세력이 비슷하여 전선은 한곳에 오래 머물지만, 어느 한쪽 기단의 세력이 강화 또는 약화되면 전선은 남쪽 또는 북쪽으로 이동할 수 있다.

㉠ (가)의 A 지역 지표 부근에서는 북태평양 고기압으로부터 불어오는 남풍 계열의 바람이 우세하다.

㉡ 정체 전선을 기준으로 북쪽에는 찬 기단이, 남쪽에는 고온 다습한 북태평양 기단이 분포한다. 북쪽의 찬 기단의 세력이 확장되면 정체 전선은 남하하고, 남쪽의 고온 다습한 기단의 세력이 확장되면 정체 전선은 북상한다. (가)일 때보다 (나)일 때 전선의 위치가 북쪽에 있으므로 (가)일 때보다 (나)일 때 고온 다습한 기단의 세력이 더 북쪽으로 확장되었다.

㉢ 정체 전선 주변의 구름대는 보통 정체 전선의 북쪽에 형성된다. 따라서 (다)는 (가)일 때 관측한 영상이다.

## 09 해수의 수온과 염분 분포

**예설** | 해수 표면에 도달하는 태양 복사 에너지양은 수심이 깊어질수록 급격히 감소하여 수온의 연직 분포가 달라진다. 해양은 깊이에 따른 수온 분포에 의해 혼합층, 수온 약층, 심해층으로 구분한다.

✗ (가)는 해양의 깊이에 따라 혼합층, 수온 약층, 심해층이 나타나는 수온 분포이다.

✗ (가)에서 여름철보다 겨울철에 혼합층의 두께가 두껍다. 혼합층은 바람에 의한 혼합 작용으로 형성되므로, 이 해역의 평균 풍속은 혼합층의 두께가 더 두꺼운 겨울철이 여름철보다 빠르다.

㉠ 수심 200 m에서 해수의 온도는 여름철과 겨울철이 같고, 염분은 겨울철이 여름철보다 높다. 따라서 수심 200 m에서 해수의 밀도는 겨울철이 여름철보다 크다.

## 10 태풍의 이동과 피해

**예설** | 태풍의 이동 경로 오른쪽에 위치한 지역에서는 풍향이 시계 방향으로 변하고, 왼쪽에 위치한 지역에서는 풍향이 시계 반대 방향으로 변한다. 풍속은 태풍의 중심부에 가까울수록 대체로 빠르다.

✗ A가 통과할 때 P 지점은 태풍 이동 경로의 오른쪽에 위치하므로 풍향은 대체로 시계 방향으로 변한다.

㉠ (나)에서 최대 풍속은 우리나라 남동쪽이 북서쪽보다 빠르므로 (나)는 B의 영향을 받을 때 관측한 자료이다.

✗ A의 영향을 받을 때 P 지점은 위험 반원에 위치하였고, B의 영향을 받을 때 P 지점은 안전 반원에 위치하였다. 또한 태풍 B는 한반도에 상륙하면서 수증기가 더 이상 공급되지 않고 지표면과의 마찰이 증가하여 세력이 급격히 약해졌을 것이다. 하지만 A는 한반도에 영향을 주는 동안 해상을 따라 이동하였으므로 수증기 공급이 지속되었을 것이며 상륙하였을 때보다 지표면과의 마찰이 적었을 것이다. 따라서 A와 B의 세력이 동일했다면 P 지점에서 강풍에 의한 피해는 B의 영향을 받을 때보다 A의 영향을 받을 때 컸을 것이다.

## 11 라니냐

**예설** | 태평양 적도 부근 해역의 연직 수온 편차(관측값-평년값) 분포를 보면 서태평양은 평상시보다 대체로 표층 수온이 높고 동태평양은 평상시보다 대체로 표층 수온이 낮다. 이는 평상시보다 무역풍이 강해 따뜻한 해수가 서태평양 쪽으로 더욱 집중되고 동태평양 해역의 용승이 강화되었기 때문이다. 따라서 이 시기는 라니냐 시기이다.

㉠ 무역풍의 세기는 평상시보다 라니냐 시기에 강하다.

✗ 라니냐 시기에는 서태평양 적도 부근 해역의 평균 해면 기압이 평상시보다 낮고, 동태평양 적도 부근 해역의 평균 해면 기압이 평상시보다 높다.

㉠ 평상시보다 무역풍의 세기가 강해지면 동쪽에서 서쪽으로 흐르는 해류의 흐름이 강해지므로 서태평양 적도 부근 해역의 해수면 높이는 평상시보다 높고, 동태평양 적도 부근 해역의 해수면 높이는 평상시보다 낮다. 따라서 라니냐 시기에는 평상시보다 서태평양 적도 부근 해역과 동태평양 적도 부근 해역의 해수면 높이 차가 크다.

## 12 동해안에서의 연안 용승

**예설** | 우리나라에 남풍 계열의 바람이 지속적으로 부는 여름철에는 동해안 일부 해안 부근에서 표층 해수가 먼 바다 쪽으로 이동하고, 이로 인해 해안에 가까운 해역에서 용승이 일어나 표층 수온이 낮아진다.

✗ 우리나라 동해안에 냉수대가 형성되기 위해서는 남풍이 지속적으로 불어야 하는데, 우리나라에서 남풍은 겨울철보다 여름철에 우세하다. 따라서 (나)와 같은 표층 수온 변화는 주로 여름철에 관측된다.

㉠ A 해역에서 표층 수온은 1일에 비해 6일에 약 8°C 이상 낮게 나타난다. 이는 이 해역에 지속적으로 부는 남풍에 의해 표층 해수가 외해 쪽으로 이동하여 연안 용승이 일어났기 때문이다. 따라서 A 해역에서 남풍 계열의 바람의 세기는 1일보다 연안 용승이 일어난 6일에 강했을 것이다.

✗ A 해역에서 표층 수온은 1일에 비해 8일에 약 10°C 이상 낮게 나타난다. 이는 남풍이 지속적으로 불어 A 해역에서 B 해역 쪽으로 해수가 이동하여 6일 이후에도 지속적으로 연안 용승이 일어났음을 의미한다. 따라서 A 해역에서 B 해역 쪽으로 해수가 이동하여 8일에 해수면 높이는 B 해역이 A 해역보다 높다.

## 13 지구의 공전 궤도 이심률 변화와 세차 운동에 의한 기후 변화

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

㉠ 지구의 공전 궤도 이심률이 현재보다 크면 근일점 거리는 현재보다 가깝고, 원일점 거리는 현재보다 멀다. 따라서 근일점과 원일점에서 지구에 입사되는 태양 복사 에너지양의 차는 ㉠ 시기보다 ㉡ 시기가 크다.

㉡ ㉠ 시기에는 현재와 지구의 자전축 경사 방향이 같고 현재보다 공전 궤도 이심률이 크다. 공전 궤도 이심률이 현재보다 크면 근일점 거리는 현재보다 가깝고, 원일점 거리는 현재보다 멀다. 우리나라는 지구가 근일점에 있을 때 겨울이고 원일점에 있을 때 여름이므로, 공전 궤도 이심률이 커지면 우리나라는 여름일 때 태양과의 거리가 멀어지고 겨울일 때 태양과의 거리가 가까워진다. 또한 ㉠ 시기는 현재보다 지구 자전축 경사각이 작다. 지구 자전축 경사각이 작아지면 북반구 중위도에 위치한 우리나라는 여름철의 낮이 길이가 짧아지고 태양의 최대 고도가 낮아지므로 여름철 평균 기온이 낮아진다. 따라서 우리나라의 여름철 평균 기온은 ㉠ 시기보다 현재가 높다.

㉢ 현재 북반구는 지구가 근일점에 있을 때 겨울이고, 원일점에 있을 때 여름이다. ㉠ 시기에 북반구는 지구가 근일점에 있을 때 여름이고, 원일점에 있을 때 겨울이다. 또한 ㉡ 시기에는 현재보다 공전 궤도 이심률이 크므로 북반구는 여름인 근일점 거리는 현재보다 가깝고, 겨울인 원일점 거리는 현재보다 멀다. ㉢ 시기는 현재보다 지구 자전축 경사각이 크다. 지구 자전축 경사각이 커지면 북반구 중위도 지역은 여름철의 낮의 길이가 길어지고 태양의 최대 고도가 높아져 여름철 평균 기온이 높아지고, 겨울철의 낮의 길이가 짧아지고 태양의 최대 고도가 낮아져 겨울철 평균 기온이 낮아진다. 따라서 북반구 중위도 지역에서 기온의 연교차는 현재보다 ㉡ 시기가 크다.

## 14 대서양의 심층 순환

**예설** | 대서양에서는 그린란드 해역에서 침강한 북대서양 심층수, 남극 대륙 부근에서 침강한 남극 저층수와 60°S 부근에서 침강한 남극 중층수가 심층 순환을 이루며, 밀도가 큰 수괴가 더 아래쪽에 위치한다.

✗ 남극 대륙 주변의 웨델해에서는 표층 해수가 침강하여 남극 저층수가 형성된다. 그린란드 해역에서 형성된 북대서양 심층수는 60°S 까지 이동하고, 60°S 부근에서는 표층 해수가 침강하여 남극 중층수가 형성된다. 따라서 A는 침강, B는 용승 해역을 포함하는 영역이다.

㉠ 해수면 위에서 바람이 일정한 방향으로 계속 불면 남반구에서 표층 해수는 전향력의 영향으로 바람 방향의 왼쪽 90° 방향으로 에크만 수송이 일어난다. ㉡ 해역에서는 남쪽에서 북쪽으로 에크만 수송이 일어나고 있는데, 이는 서쪽에서 동쪽으로 부는 편서풍의 영향 때문이다.

㉢ ㉠과 ㉡은 각각 해수의 침강이 일어나는 해역으로 ㉠에서는 남극 중층수가, ㉡에서는 남극 저층수가 형성된다. 해수의 심층 순환은 해수의 밀도 차에 의해 일어나는 순환으로, 밀도가 큰 해수일수록 깊은 곳에서 흐른다. 남극 저층수는 북대서양 심층수 아래로 흐르며, 남극 중층수는 북대서양 심층수 위로 흐른다. 따라서 남극 저층수는 남극 중층수보다 밀도가 크므로, 표층 해수의 밀도는 ㉠ 해역보다 ㉡ 해역에서 크다.

## 15 우주의 지평선 문제

**예설** | 현재 관측 결과 우주의 모든 영역에서 물질이나 우주 배경 복사가 거의 균일한데 이는 멀리 떨어진 두 지역이 과거에는 정보 교환이 있었다는 것을 의미한다. 그러나 기존의 빅뱅 우주론에서는 빛이 이동할 수 있는 시간보다 우주의 나이가 적기 때문에 이를 설명하지 못하였다.

✗ 우주 배경 복사는 우주의 나이가 약 38만 년일 때 형성되었고, 현재 하늘의 모든 방향에서 거의 동일한 세기로 관측된다. 우주 배경 복사가 형성될 당시 파장에 따른 복사 에너지의 세기는 약 3000 K의 흑체 복사와 같았다.

㉠ 지구를 기준으로 A와 B는 우주의 지평선 부근에 위치하며, 서로 정반대 방향에 있다. 따라서 A를 기준으로 할 때 B는 우주의 지평선보다 먼 곳에 위치하여 서로 상호 작용할 수 없다.

✗ 최근 Ia형 초신성을 관측하여 얻은 자료는 가속 팽창하는 우주 모형의 추정값과 거의 일치하였다. 이로부터 현재 우주가 가속 팽창하고 있다는 것을 알게 되었다. A와 B 지점의 온도가 거의 동일한 이유는 급팽창 이론으로 설명한다. A와 B 지점의 온도가 거의 동일한 이유는 현재 우주의 지평선 부근에 있는 두 지점이 급팽창 이전에는 상호 작용할 수 있을 만큼 충분히 가까이 있었기 때문이라고 설명한다.

## 16 별의 물리량

**예설** | 별이 단위 시간에 방출하는 에너지의 양을 광도라고 한다. 별의 광도(L)는 별의 표면적( $4\pi R^2$ , R: 별의 반지름)과 별이 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 에너지양( $\sigma T^4$ , T: 별의 표면 온도)을 곱하여 구할 수 있다.

㉠ 별의 절대 등급이 5등급 차이일 때 광도는 100배 차이가 난다. A는 절대 등급이 +10등급이므로 태양보다 광도가  $\frac{1}{100}$ 배로 작다. A가 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 에너지양은 태양의 81배이므로  $81 \times (A \text{의 반지름})^2 = 0.01$ 이다. 따라서 A의 반지름은 약 0.011로 0.01보다 크다.

㉡ B와 C는 태양보다 절대 등급이 5등급 작으므로 태양보다 광도가 100배 크다.  $L = 4\pi R^2 \cdot \sigma T^4$ 의 관계에 따라 B가 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 에너지양은 태양과 같고, C가 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 에너지양은 태양의 16배이다. 단위 시간에 단위 면적당 방출하는 에너지양은 표면 온도의 4제곱에 비례한다. 따라서 표면 온도 비는  $A : B : C = \sqrt[4]{81} : \sqrt[4]{1} : \sqrt[4]{16} = 3 : 1 : 2$ 로, 표면 온도는 A가 B보다 3배 높다.

㉢ 최대 에너지를 방출하는 파장은 표면 온도에 반비례한다. A와 C의 표면 온도 비는 3 : 2이므로 최대 에너지를 방출하는 파장의 비는 2 : 3으로, A가 C의  $\frac{2}{3}$ 배이다.

## 17 생명 가능 지대

**예설** | 주계열성은 질량이 클수록 광도가 크다. 별의 광도가 클수록 별로로부터의 거리에 따른 단위 면적에 도달하는 에너지의 양이 많으며, 별 주위에서 생명 가능 지대는 중심별로부터 먼 곳에 형성된다. 따라서 질량은 A보다 B가 크다.

㉠ 주계열성은 질량이 클수록 반지름과 광도가 크고, 표면 온도가 높다. 따라서 중심별의 표면 온도는 B가 A보다 높다.

✗ 생명 가능 지대는 별로부터 도달하는 에너지양의 범위가  $S_1 \sim S_2$ 인 곳으로, 생명 가능 지대의 폭은 B가 A보다 넓다.

✗ A로부터 P의 거리에 있는 행성은 생명 가능 지대보다 중심별에서 먼 쪽에 위치하므로 행성 표면에서 물이 기체 상태로 존재할 수 없다.

## 18 별의 진화

**예설** | 별은 질량에 따라 서로 다른 진화 과정을 거친다. 초신성 폭발은 ㉠에, 행성상 성운은 ㉡에 해당한다.

✗ 철보다 무거운 원소는 태양보다 질량이 매우 큰 별의 진화 과정 중 초신성 폭발(㉠)이 일어날 때 생성된다. 행성상 성운(㉡) 단계에서는 철보다 무거운 원소가 생성될 수 없다.

㉠ 별의 진화 단계는 성운으로부터 별이 만들어질 때의 질량에 따라 달라진다. 질량이 태양 정도인 별은 행성상 성운 단계를 거쳐 최종 진화 단계인 백색 왜성이 되고, 질량이 매우 큰 별의 최종 진화 단계는 초신성 폭발 이후 중심부가 수축하여 밀도가 매우 큰 중성자별이 된다. 중심부 질량이 더 큰 경우에는 더 많이 수축하므로 밀도와 표면 중력이 매우 커서 빛조차 빠져나올 수 없는 블랙홀이 된다. 따라서 A, B, C 과정을 거치는 별 중 중심핵의 질량이 가장 큰 별은 A 과정을 거치는 별이다.

㉡ 질량이 큰 별일수록 중심부의 온도가 높아 수소 핵융합 반응이 빠르게 일어나 수소를 빨리 소모하기 때문에 별이 주계열 단계에 머무르는 시간이 짧다. 따라서 중심부에서 수소 핵융합 반응의 지속 시간은 C 과정이 B 과정보다 길다.

## 19 외부 은하의 스펙트럼 관측과 후퇴 속도

**예설** | 외부 은하의 후퇴 속도( $v$ )와 흡수선의 파장 변화량( $\Delta\lambda$ ) 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{v}{c} \quad (\lambda_0: \text{원래 파장}, c: \text{빛의 속도})$$

㉠ 허블 상수는 1 Mpc당 우주가 팽창하는 속도를 나타내는 값으로  $H = \frac{v}{r}$  ( $H$ : 허블 상수,  $r$ : 외부 은하의 거리,  $v$ : 외부 은하의 후퇴 속도)이다. A로부터 허블 상수를 계산하면 약 70 km/s/Mpc이다.

㉡ B 은하까지의 거리( $r$ )가 90 Mpc, 허블 상수가 70 km/s/Mpc 이므로 B의 후퇴 속도  $v = H \cdot r = 70 \text{ km/s/Mpc} \cdot 90 \text{ Mpc} = 6300 \text{ km/s}$ 이다.

B에서 방출선 P의 파장 변화량( $\Delta\lambda$ )이 6.3 nm이므로 P의 기준 파장  $\lambda_0 = \Delta\lambda \times \frac{c}{v} = 6.3 \text{ nm} \times \frac{300000 \text{ km/s}}{6300 \text{ km/s}} = 300 \text{ nm}$ 이다.

㉢  $\Delta\lambda = \lambda_0 \times \frac{v}{c} = 300 \text{ nm} \times \frac{2100 \text{ km/s}}{300000 \text{ km/s}} = 2.1 \text{ nm}$ 이다.

## 20 허블의 은하 분류

**예설** | 허블은 외부 은하를 가시광선 영역에서 관측되는 형태에 따라 타원 은하, 나선 은하, 불규칙 은하로 분류하였다. A는 타원 은하, B와 C는 나선 은하 중 막대 나선 은하, D는 불규칙 은하이다.

✕ 나선 은하에서 성간 물질은 나선팔에 풍부하며, 중앙 팽대부와 헤일로에는 상대적으로 적게 분포한다.

㉠ 구성하는 별의 평균 연령은 타원 은하 > 나선 은하 > 불규칙 은하이다. 따라서 늙은 별이 차지하는 비율은 A가 D보다 높다.

㉡ 나선 은하는 나선팔이 감긴 정도와 은하핵의 상대적인 크기에 따라 Sa, Sb, Sc 또는 SBa, SBb, SBc로 구분하는데, 소문자 a → b → c로 갈수록 중심핵의 크기가 상대적으로 작고 나선팔이 느슨하게 감겨 있다.

## 실전 모의고사 5회

본문 140~144쪽

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

## 01 해저 확장설

**예설** | 해령으로부터의 거리가 멀수록 해양 지각의 나이가 많아지며, 심해저 퇴적물의 두께가 두꺼워진다.

✕ 해령으로부터의 거리는 A가 가장 가깝고 B가 가장 멀므로, 해양 지각의 나이는 A가 가장 적고 심해저 퇴적물의 두께도 A에서 가장 얇다. 따라서 A에서의 심해저 퇴적물 두께를 나타낸 것은 심해저 퇴적물의 두께가 가장 얇은 Y이다.

✕ 심해저 퇴적물의 두께가 두꺼울수록 해양 지각의 나이가 많다. 심해저 퇴적물의 두께는 Y가 Z보다 얇으므로 해양 지각의 나이는 Y가 Z보다 적다.

㉠ ㉡은 해양 지각에 위치한 지점이며, ㉢과 ㉣은 심해저 퇴적물에 위치한 지점이다. ㉢ 지점은 해양 지각이 생성된 후 얼마 되지 않아 퇴적된 것이지만 ㉣ 지점은 비교적 최근에 퇴적된 것이므로 ㉡ 지점과의 생성 시기 차이는 ㉢ 지점이 ㉣ 지점보다 크다.

## 02 고지자기와 대륙의 이동

**예설** | 화산을 이루는 화성암의 고지자기 방향이 다른 이유는 화산을 포함한 대륙이 이동하면서 마그마가 분출한 위도가 달라졌기 때문이다.

㉠ A, B, C 중 화산 중심부에 가까이 있는 화성암일수록 먼저 생성된 것이다. 따라서 화성암의 생성 순서는 A → B → C이다.

㉡ 고지자기의 방향이 수평면에 가까울수록 북각이 0°에 가까워지며 크기가 작아진다. 따라서 고지자기 북각의 크기는 A가 C보다 크다.

㉢ A, B, C에서 고지자기의 방향이 수평면보다 위를 향하고 있으며 북각의 크기가 점차 작아지고 있으므로 이 화산은 남반구에서 적도를 향해 점차 이동해 왔음을 알 수 있다. 현재 지구 자기장의 방향은 수평면보다 아래를 향하므로 현재 이 화산은 북반구에 위치한다. 따라서 이 화산은 이동하는 과정에서 적도에 위치한 적이 있었다.

## 03 판 경계와 플룸의 운동

**예설** | A는 대서양 중앙 해령에, B는 히말라야산맥에 위치한다. 뜨거운 플룸이 상승하는 곳에서는 열점이나 해령이 발달한다.

✕ A는 대서양 중앙 해령에 위치한다. 따라서 이 지역에서는 차가운 플룸이 하강하지 않는다. 차가운 플룸이 하강하는 곳은 주로 판의 섭입이 일어나는 곳의 하부에 분포한다.

㉠ 해령에 위치한 A에서는 주로 천발 지진이 발생하지만, 대륙판끼리 충돌하는 지역인 B에서는 천발 지진뿐만 아니라 이보다 더 깊은 곳에서도 지진이 발생한다.

✕ 삼엽충은 고생대에 바다에서 살았던 생물이다. A는 새로운 해양 지각이 생성되는 지역이므로 삼엽충 화석이 발견되기 어렵지만, B에서는 대륙이 충돌하기 이전에 두 대륙 사이의 바다에서 퇴적된 지층에 포함된 삼엽충 화석이 발견될 수 있다.

## 04 마그마의 생성

**예설** | A에서는 섭입하는 해양판 부근에서 생성된 고온의 현무암질 마그마가 상승하다가 대륙 지각을 녹이는 과정에서 유문암질 마그마가 생성되고, 현무암질 마그마와 유문암질 마그마가 혼합되어 안산암질 마그마가 생성될 수 있다. B에서는 맨틀 물질이 상승하는 과정에서 압력이 낮아져 현무암질 마그마가 생성된다.

㉠ A에서는 안산암질 마그마나 유문암질 마그마가, B에서는 현무암질 마그마가 생성된다. 따라서 생성된 마그마의  $\text{SiO}_2$  함량(%)은 A가 B보다 많다.

㉡ A에서는 주로 온도 상승으로, B에서는 주로 압력 감소로 인해 마그마가 생성된다. 또한 대륙 지각을 주로 구성하는 화강암의 용융 온도가 맨틀을 구성하는 암석의 용융 온도보다 낮다. 따라서 A에서 마그마를 생성한 암석의 온도 변화를 나타낸 것은 마그마가 생성되기 시작한 시기인 T'일 때의 온도가  $1000^\circ\text{C}$ 보다 낮고 온도 상승 폭이 큰 ㉠이다.

㉢ A에서는 주로 마그마를 생성한 암석의 온도가 높아지면서 마그마가 생성되고, B에서는 압력이 낮아지면서 마그마가 생성된다. 따라서 마그마를 생성한 암석의 온도가 변하는 과정에서 일어난 압력의 변화는 ㉠이 ㉠보다 크다.

## 05 화성암의 특징

**예설** | 현무암, 안산암, 유문암은 세립질 조직이나 유리질 조직이 나타나는 화산암에, 반려암, 섬록암, 화강암은 조립질 조직이 나타나는 심성암에 해당한다.

㉠ A는 B에 비해 냉각 속도가 느리므로 입자의 크기가 큰 조립질 조직이 나타나며, 색깔이 어두우므로  $\text{SiO}_2$  함량(%)이 적다. 따라서 A는 반려암이고 B는 유문암이다.

㉡ (나)에서 D는 C보다 어두운색 광물의 함량(%)이 많으며 X의 값도 크다. 어두운색 광물의 함량이 많을수록  $\text{SiO}_2$  함량(%)이 적어지므로, ' $\text{SiO}_2$  함량(%)'은 X로 적절하지 않다.

㉢ B는 유문암이며, 현무암과 화강암 중 어두운색 광물의 함량(%)이 더 많은 암석은 현무암이므로 D가 현무암이다. 유문암과 현무암은 모두 세립질 조직이나 유리질 조직이 나타나는 화산암이다.

## 06 퇴적 구조

**예설** | (가)는 연흔, (나)는 사층리이다.

㉠ (가)는 물결 모양의 흔적이 나타나므로 연흔이다.

㉡ 사층리에서는 퇴적물이 이동한 방향으로 층리면이 기울어진다. 따라서 (나)에서 퇴적물은 ㉠ 방향으로 공급되었다.

㉢ (가)의 연흔은 층리면서 관찰되는 퇴적 구조이며, (나)의 사층리는 지층의 단면에서 관찰되는 퇴적 구조이다.

## 07 지층의 상대 연령과 관입

**예설** | 관입 당한 암석은 관입한 암석보다 먼저 생성된 것이며, 관입암에서는 관입 당한 암석의 조각이 포획함으로써 발견될 수 있다.

㉠ C는 A와 B를 관입하였고, B는 A를 관입하였다. 따라서 암석의 생성 순서는 A → B → C이다.

㉡ 관입한 화성암 B와 C 중 B는 밝은색, C는 어두운색을 띠고 있다. 밝은색을 띠는 암석이 어두운색을 띠는 암석보다  $\text{SiO}_2$  함량(%)이 많으므로,  $\text{SiO}_2$  함량(%)은 B가 C보다 많다.

㉢ C는 A와 B를 모두 관입하였으므로, C에서는 A와 B가 포획함으로써 산출될 수 있다.

## 08 장마 전선과 기상 위성 영상

**예설** | (가)에는 우리나라의 중부 지방을 지나는 장마 전선이 형성되어 있다. (나)와 (다)의 가시 영상을 통해 구름의 분포와 두께를 알 수 있다.

㉠ 장마 전선은 주로 북쪽의 오호츠크해 기단과 남쪽의 북태평양 기단이 만나 형성된다. 장마 전선의 북쪽에 위치한 고기압인 A는 오호츠크해 고기압이다.

㉡ 이날 우리나라는 장마 전선의 영향권에 있으므로 대부분 지역에 구름이 분포하고 있다. (나)에서 한반도와 동해에서 구름이 관측되지 않는 것은 20시 이전에 해가 지면서 동쪽부터 어두워졌기 때문이다. 따라서 (나)는 20시에 관측한 것이다.

㉢ (가)는 오전 9시의 일기도이며 이때 장마 전선은 우리나라의 중부 지방에 걸쳐 있다. (다)는 14시의 위성 영상이며, 장마 전선에 의한 구름이 여전히 우리나라의 중부 지방에 발달해 있다. 따라서 이날 오전 강수량은 우리나라의 중부 지방이 남부 지방보다 많았을 것이다.

## 09 낙뢰와 우박

**예설** | 지표면의 불균등 가열 등으로 대기가 불안정해지면 뇌우가 발달하며, 뇌우는 낙뢰와 우박을 동반한다.

㉠ 여름철에는 지표면의 불균등 가열에 의해 뇌우가 잘 발달하므로, 낙뢰 횟수가 많다. 따라서 월별 낙뢰 횟수를 나타낸 것은 (가)이다.

㉡ 낙뢰는 한랭 건조한 겨울철인 12월~2월보다 고온 다습하고 대기가 불안정한 여름철인 6월~8월에 발생 횟수가 많다.

㉢ 뇌우는 우박을 동반하기도 하지만, 여름철에는 기온이 높아 우박이 떨어지는 동안에 녹아서 없어지기 때문에 우박 일수가 적다. 따라서 뇌우의 발생이 많은 계절일수록 우박 일수가 많은 것은 아니다.

## 10 해수의 성질

**예설** | 해수의 밀도는 염분보다 수온의 영향을 크게 받으며, 수온이 낮을수록, 염분이 높을수록 크다.

㉠ 해수의 밀도는 수온의 영향을 크게 받는데, (나)와 (다)는 그래프 모양이 서로 반대 형태로 나타나므로 각각 수온과 밀도 중 하나이다. 대체로 수심이 깊어질수록 해수의 밀도는 커지고 수온은 낮아지므로 (나)는 밀도, (다)는 수온을 나타낸 그래프이다. (다)에서 수심 40~50 m 구간의 수온은 비슷하거나 깊이에 따라 약간 높아졌다.

㉡ 혼합층은 깊이에 따른 수온 변화가 거의 없는 층이다. (다)에서 수온 변화가 거의 없는 혼합층의 두께는 40 m보다 두껍다.

㉢ (나)의 수심 90~120 m 구간에서 해수의 밀도는 커지고 있는데, (가)의 수심 90~120 m 구간에서 염분은 낮아지고, (다)의 수심 90~120 m 구간에서 수온은 낮아진다. 염분이 낮아지면 밀도가 작아져야 하는데 오히려 밀도가 커지는 것으로 보아 이 구간에서 밀도가 변한 이유는 수온의 영향 때문임을 알 수 있다.

## 11 대기 대순환과 지표 부근의 바람

**예설** | 지구 대기 대순환에 의한 지표 부근의 바람은 남반구와 북반구가 대칭적으로 나타나며, 해들리 순환과 페렐 순환에 의해 지표 부근에서는 각각 무역풍과 편서풍이 분다.

㉠ A와 D에서는 편서풍이 불고 있으며, B와 C에서는 무역풍이 불고 있다. 따라서 평균 풍속은 무역풍이 편서풍보다 느리다.

㉡ A와 D에서는 편서풍이 불고 있다. 따라서 A와 D의 지표 부근에서는 서풍 계열의 바람이 우세하게 분다.

✗ 지구가 자전하지 않는다면 북반구와 남반구에는 각각 하나의 순환 세포가 만들어지며, 위도와 관계없이 지표 부근에서는 고위도에서 저위도로 바람이 분다. 따라서 A와 B의 지표 부근 바람의 방향은 같다.

## 12 기후 변화의 지구 외적 요인

**예설** | 지구의 공전 궤도면에 수직인 A 방향에서 지구를 내려다보았을 때의 적도 위치를 통해 지구의 자전축 경사 방향과 경사각을 유추할 수 있다.

✗ (나)에서  $T_1$ 일 때 적도는 지구 중심과 태양 사이에서 북쪽으로 올라와 있다. 따라서 북극은 지구 중심을 기준으로 태양 반대 방향에 위치하므로 이 시기에 우리나라는 겨울철이다.

㉠ 여름철 태양의 남중 고도는 지구의 자전축 경사각이 클수록 높다. 지구의 공전 궤도면과 적도면이 이루는 각은  $T_1$ 일 때가  $T_2$ 일 때보다 크므로 자전축 경사각은  $T_1$ 일 때가  $T_2$ 일 때보다 크다. 따라서 우리나라에서 여름철 태양의 평균 남중 고도는  $T_1$ 일 때가  $T_2$ 일 때보다 높다.

㉡  $T_1$ 일 때 남반구는 근일점에 위치할 때 여름철이며 자전축 경사각이 크다. 반면  $T_2$ 일 때 남반구의 여름철은 근일점과 원일점 사이에 위치할 때이므로  $T_1$ 일 때보다 태양으로부터의 거리가 멀며, 자전축 경사각은  $T_1$ 일 때보다 작으므로 여름철 기온이 낮다. 따라서 남반구 중위도 지역에서 기온의 연교차는  $T_1$ 일 때가  $T_2$ 일 때보다 크다.

## 13 엘니뇨와 라니냐

**예설** | 엘니뇨 시기에는 평상시보다 동태평양 적도 부근 해역의 용승이 약해지며, 표층 수온은 높아진다.

㉠ (가)는 (나)에 비해  $12^\circ\text{C}$  등수온선의 깊이가 깊으며, 그 위쪽으로 등수온선이 조밀하게 더 많이 분포한다. 따라서 (가)의 표면 수온이 (나)의 표면 수온보다 높다.

㉡ 수온 약층은 수심이 깊어짐에 따라 수온이 급격하게 낮아지는 층으로, 그림에서 등수온선이 조밀하게 분포한 영역에 해당한다. 따라서 수온 약층이 시작되는 깊이는 (가)가 (나)보다 깊다.

㉢ 엘니뇨 시기에는 동태평양 적도 부근 해역의 표층 수온이 높아지며, 용승이 약화됨에 따라 수온 약층이 시작되는 깊이가 깊어진다. 따라서 (가)는 엘니뇨 시기, (나)는 라니냐 시기이다.

## 14 온난 전선과 한랭 전선

**예설** | 성질이 다른 두 기단이 만나서 생기는 경계면이 전선면이며, 전선면이 지표면과 만나서 생기는 경계선이 전선이다.

㉠ 북반구의 온대 저기압에 동반된 한랭 전선은 일반적으로 서쪽의

찬 공기가 동쪽의 따뜻한 공기 쪽으로 이동하면서 형성된다. 따라서 기온은 A가 B보다 낮다.

㉡ 온난 전선은 서쪽의 따뜻한 공기가 동쪽의 찬 공기 위로 타고 오르면서 형성되므로 전선면이 전선의 동쪽에 위치한다. 따라서 온난 전선은 D보다 서쪽에 위치한다.

✗ 온난 전선에서 구름은 전선면 부근에서 상승하는 따뜻한 공기가 있는 구역에서 형성된다. (나)에서 따뜻한 공기는 C에 위치하며, C에서 공기가 상승하므로, D보다 C에 층운형 구름이 분포한다.

## 15 외계 행성 탐사

**예설** | 식 현상을 이용한 외계 행성 탐사는 행성의 공전 궤도면이 시선 방향과 거의 나란한 경우에만 이용할 수 있고, 도플러 효과를 이용한 외계 행성 탐사는 행성의 공전 궤도면이 시선 방향과 수직인 경우를 제외하고 대부분의 경우에 이용할 수 있다.

㉠ 행성의 공전 궤도면이 시선 방향과 수직인 경우를 제외하면 중심별과 행성이 공통 질량 중심을 중심으로 공전하는 과정에서 중심별의 스펙트럼에 도플러 효과가 나타난다. A, B, C의 행성들은 모두 공전 궤도면이 시선 방향과 수직이 아니므로 A, B, C의 스펙트럼에서 도플러 효과를 관측할 수 있다.

㉡ A의 행성은 공전 궤도면이 시선 방향과 나란하므로 지구에서 행성에 의한 A의 식 현상을 관측할 수 있으며, 이로 인해 A의 밝기가 일시적으로 어두워지는 현상이 나타날 수 있다.

㉢ C에 의한 미세 중력 렌즈 현상이 관측되므로, C에 의해 D의 밝기가 평상시보다 밝게 관측되는 현상이 나타날 수 있다. 특히 C의 행성에 의해 추가적으로 D의 밝기가 일시적으로 밝아지는 현상이 나타날 수 있으며, 이를 통해 행성의 존재 여부를 알 수 있다.

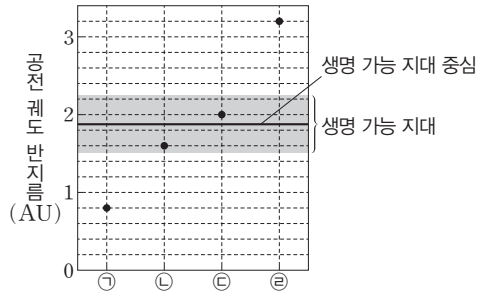
## 16 외계 생명체 탐사

**예설** | 이 외계 행성계에서 생명 가능 지대 안쪽 경계와 바깥쪽 경계의 가운데 지점인 생명 가능 지대 중심에서 생명 가능 지대 안쪽 경계 또는 바깥쪽 경계까지의 거리가  $1Z$ 이다. 따라서 생명 가능 지대 중심으로부터의 거리가  $1Z$ 보다 작은 행성은 생명 가능 지대에 위치한다.

㉠ (나)에서 ㉠은 생명 가능 지대 중심으로부터의 거리가 약  $2.8Z$ 로 생명 가능 지대에 위치하지 않으며, 생명 가능 지대 중심으로부터의 거리가  $1Z$ 보다 작은 ㉡과 ㉢은 생명 가능 지대에 위치한다. ㉠, ㉡, ㉢의 공전 궤도 반지름을 고려할 때 이 외계 행성계의 생명 가능 지대는 태양계보다 중심별로부터 더 먼 곳에 형성되어 있음을 알 수 있다. 따라서 이 외계 행성계의 중심별 광도는 태양보다 크다.

㉡ ㉡과 ㉢은 모두 생명 가능 지대에 포함되므로 생명 가능 지대의 폭은 ㉡과 ㉢이 서로 가장 가까울 때의 거리보다 넓다.

✗ 생명 가능 지대의 중심으로부터 ㉡과 ㉢까지의 거리의 비는 약  $3 : 1$ 이다. 따라서 생명 가능 지대의 중심은 ㉡과 ㉢ 사이에서 ㉢에 더 가까운 지점이 될 수도 있고, ㉡과 ㉢ 사이의 지점이 될 수도 있다. ㉢으로부터 ㉡과 ㉢까지의 거리는 모두  $1.2 \text{ AU}$ 인데, 만약 생명 가능 지대의 중심이 ㉡과 ㉢ 사이에 위치한다면 생명 가능 지대 중심으로부터의 거리인  $Z$ 는 ㉢이 ㉡보다 작아야 한다. 그러나 (나)에서  $Z$ 는 ㉢이 ㉡보다 크므로, 생명 가능 지대의 중심은 ㉡과 ㉢ 사이에 위치한다.



## 17 H-R도와 별의 반지름

**예설** | 별의 광도를  $L$ , 반지름을  $R$ , 표면 온도를  $T$ 라고 할 때  $L=4\pi R^2 \cdot \sigma T^4$ 이다. 따라서 표면 온도가 낮을수록, 광도가 클수록 별의 반지름은 커지므로, H-R도에서 오른쪽 위로 갈수록 별의 반지름은 커진다.

✗ 그림에서 등반지름선은 반지름이 같은 별들을 연결한 선이며, H-R도에서 오른쪽 위로 갈수록 별의 반지름이 커진다. H-R도에서 B는 A보다 오른쪽에 위치하므로, 반지름은 B가 A보다 크다.

㉠ ㉠의 등반지름선과 태양을 지나는 등반지름선에서 표면 온도가 같을 때 절대 등급 차는 5등급보다 크다. 따라서 표면 온도가 같을 때 ㉠에 위치한 별의 광도는 태양 광도의 100배보다 커야 한다. 광도는 반지름의 제곱과 표면 온도의 4제곱을 곱한 값에 비례하므로, ㉠에 위치한 별의 반지름은 태양의 10배보다 크다.

㉡ C와 D를 지나는 등반지름선의 절대 등급 차는 10등급이므로 D를 지나는 등반지름선에 위치한 별의 반지름은 C를 지나는 등반지름선에 위치한 별의 반지름보다 100배 크다. 따라서 반지름은 D가 C보다 100배 크며, 광도는 서로 같으므로 표면 온도는 C가 D보다 10배 높다.

## 18 별의 물리량

**예설** | 최대 복사 에너지를 방출하는 파장이 짧을수록 표면 온도가 높다.

㉠ 표면 온도는 최대 복사 에너지를 방출하는 파장에 반비례한다. 최대 복사 에너지를 방출하는 파장이  $1.0 \mu\text{m}$ 인 C의 표면 온도가 약 3000 K이므로, 최대 복사 에너지를 방출하는 파장이  $0.3 \mu\text{m}$ 인 A의 표면 온도는 약 10000 K이다. 표면 온도가 약 10000 K인 별의 분광형은 A형이며, 이 별에서는 HI 흡수선이 가장 강하게 나타난다.

✗ 별의 광도를  $L$ , 반지름을  $R$ , 표면 온도를  $T$ 라고 할 때  $L=4\pi R^2 \cdot \sigma T^4$ 이다. B와 C의 광도는 같으며, 최대 복사 에너지를 방출하는 파장은 B가 C의  $\frac{1}{2}$ 배이다. 따라서 표면 온도는 B가 C보다 2배 높으므로 반지름은 C가 B보다 4배 크다.

✗ C는 태양과 광도가 같은데 표면 온도는 태양의 약  $\frac{1}{2}$ 배이므로 태양보다 반지름이 4배 정도 크다. C가 주계열성이라면 태양보다 표면 온도가 낮으므로 반지름도 작아야 하는데, 태양보다 표면 온도가 낮음에도 반지름이 4배 정도 크므로, C는 주계열성이 아니다.

## 19 은하의 종류와 특징

**예설** | (가)는 불규칙 은하, (나)는 나선 은하, (다)는 타원 은하에 해당

한다.

㉠ 불규칙 은하는 성간 물질이 풍부하며, 타원 은하는 성간 물질이 매우 적다. 따라서 각 영역의 전체 질량 중 성간 물질이 차지하는 질량의 비율은 불규칙 은하의 A가 타원 은하의 D보다 크다.

✗ 불규칙 은하에는 나이가 적은 별들이 주로 분포하고, 나선 은하의 중앙 팽대부에는 나이가 많은 별들이 주로 분포한다. 따라서 별의 평균 나이는 A가 C보다 적다.

✗ 나선 은하인 (나)에서 파란색 별들은 중앙 팽대부인 C보다 나선 팔인 B에 주로 분포한다.

## 20 허블 법칙과 우주 팽창

**예설** | 거리가 같을 때 은하의 후퇴 속도가 빠를수록 허블 상수가 크다.

㉠ 은하에서 관측된 스펙트럼의 적색 편이량이 클수록 후퇴 속도가 빠르다. A와 B 모두 우리은하로부터의 거리가 멀수록 후퇴 속도가 빨라지므로, 적색 편이량은 증가한다.

✗ 거리가 같을 때 은하의 후퇴 속도가 빠를수록 허블 상수가 크다. 거리가 같을 때 은하의 후퇴 속도는 A가 B보다 빠르므로, 허블 상수는 A가 B보다 크다.

✗ 관측 가능한 우주의 크기와 우주의 나이는 모두 허블 상수에 반비례한다. 자료로부터 구한 허블 상수는 A가 B보다 크므로, 허블 상수를 이용하여 구한 관측 가능한 우주의 크기는 A가 B보다 작다.

## [인용 사진 출처]

38p 필석: ©FLPA / Alamy Stock Photo

38p 화폐석: ©Natural Visions / Alamy Stock Photo

38p 매머드: ©Martin Shields / Alamy Stock Photo

41p 필석: ©FLPA / Alamy Stock Photo

41p 공룡 발자국 화석: ©문화재청

125p 옹화암: ©Susan E. Degginger / Alamy Stock Photo

125p 매머드: ©Martin Shields / Alamy Stock Photo

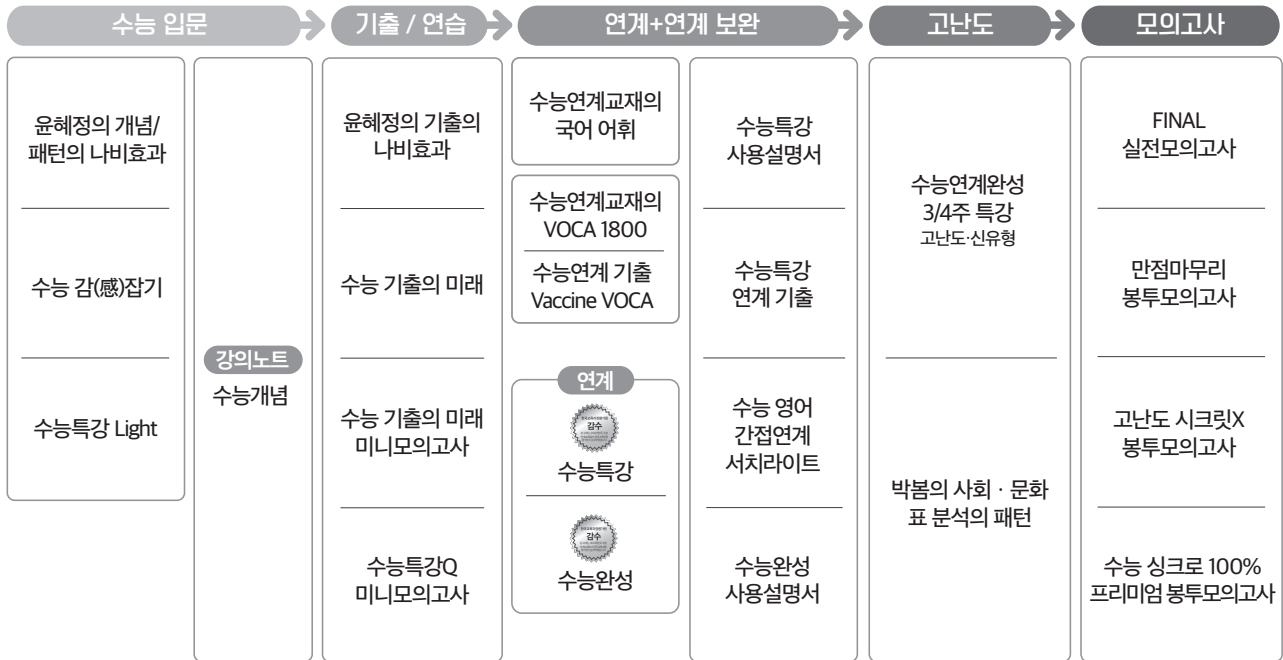
126p 안산암: ©Panther Media GmbH / Alamy Stock Photo

126p 현무암: ©사이언스포토라이브러리알렘

136p 사층리: ©Gabbro / Alamy Stock Photo

136p 점이 층리: ©James St. John/https://flickr.com/photos/jsigeology/40920514014 / CC BY 2.0

# 고2~N수 수능 집중 로드맵



구분	시리즈명	특징	수준	영역
수능 입문	윤희정의 개념/패턴의 나비효과	윤희정 선생님과 함께하는 수능 국어 개념/패턴 학습	●	국어
	수능 감(感)잡기	동일 소재·유형의 내신과 수능 문항 비교로 수능 입문	●	국/수/영
	수능특강 Light	수능 연계교재 학습 전 연계교재 입문서	●	국/영
	수능개념	EBSi 대표 강사들과 함께하는 수능 개념 다지기	●	전 영역
기출/연습	윤희정의 기출의 나비효과	윤희정 선생님과 함께하는 까다로운 국어 기출 완전 정복	●	국어
	수능 기출의 미래	올해 수능에 딱 필요한 문제만 선별한 기출문제집	●	전 영역
	수능 기출의 미래 미니모의고사	부담없는 실전 훈련, 고품질 기출 미니모의고사	●	국/수/영
	수능특강Q 미니모의고사	매일 15분으로 연습하는 고품격 미니모의고사	●	전 영역
연계 + 연계 보완	수능특강	최신 수능 경향과 기출 유형을 분석한 종합 개념서	●	전 영역
	수능특강 사용설명서	수능 연계교재 수능특강의 지문·자료·문화 분석	●	국/영
	수능특강 연계 기출	수능특강 수록 작품·지문과 연결된 기출문제 학습	●	국/영
	수능완성	유형 분석과 실전모의고사로 단련하는 문항 연습	●	전 영역
	수능완성 사용설명서	수능 연계교재 수능완성의 국어·영어 지문 분석	●	국/영
	수능 영어 간접연계 서치라이트	출제 가능성이 높은 핵심만 모아 구성된 간접연계 대비 교재	●	영어
	수능연계교재의 국어 어휘	수능 지문과 문항 이해에 필요한 어휘 학습서	●	국어
	수능연계교재의 VOCA 1800	수능특강과 수능완성의 필수 중요 어휘 1800개 수록	●	영어
고난도	수능연계완성 3/4주 특강	단기간에 끝내는 수능 킬러 문항 대비서	●	국/수/영/과
	박봄의 사회·문화 표 분석의 패턴	박봄 선생님과 사회·문화 표 분석 문항의 패턴 연습	●	사회탐구
	수능연계 기출 Vaccine VOCA	수능-EBS 연계 및 평가원 최다 빈출 어휘 선별 수록	●	영어
모의고사	FINAL 실전모의고사	수능 동일 난도의 최다 분량, 최다 과목 모의고사	●	전 영역
	만점마무리 봉투모의고사	실제 시험지 형태와 OMR 카드로 실전 훈련 모의고사	●	전 영역
	고난도 시크릿X 봉투모의고사	제대로 어려운 최고난도 모의고사	●	국/수/영
	수능 싱크로 100% 프리미엄 봉투모의고사	수능 직전에 만나는, 수능과 가장 가까운 고품격 프리미엄 모의고사	●	국/수/영