

# 수능특강

과학탐구영역 | 지구과학Ⅱ

정답과 해설

# 01

## 지구의 형성과 역장

### 수능 2점 테스트

본문 15~19쪽

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

### 01 태양계의 형성

태양계는 태양계 성운의 수축과 회전으로 형성되었으며, 이 과정에서 원시 태양과 원시 행성이 형성되었다.

- ☒ 태양계 성운인 (가)는 자체 중력에 의해 수축하면서 회전하기 시작하였고, 회전 속도가 빨라지면서 점차 납작한 원반 모양을 이루었다.
- Ⓐ (가)의 수축과 회전이 진행되는 과정에서 태양계가 형성되었으므로, 공간 규모는 (가)가 (나)보다 크다.
- Ⓒ 태양계 원반이 회전하는 과정에서 원시 행성들이 형성되었으므로, (나)에서 원시 행성의 공전 방향은 모두 같다.

### 02 지구의 탄생과 진화

원시 지구는 약 46억 년 전 미행성체들의 충돌로 형성되었으며, 마그마 바다 형성, 맨틀과 핵의 분리, 원시 지각과 바다의 형성 등 다양한 진화 과정을 겪었다.

- Ⓐ 원시 지구의 형성 이후에도 지속되는 미행성체들의 충돌로 인해 원시 지구의 크기는 점차 커졌다.
- Ⓒ 마그마 바다 형성 이후 무거운 금속 성분들은 가라앉아 핵을 형성하였고, 가벼운 규산염 물질은 지구 표면 쪽으로 떠올라 맨틀을 형성하면서 핵과 맨틀이 분리되었다. 따라서 핵과 맨틀이 분리되면서 지구 중심부의 밀도는 커졌다.
- Ⓒ 미행성체들의 충돌이 감소하면서 지구의 온도는 점차 낮아졌다. 이에 따라 지표가 식으면서 원시 지각이, 대기 중 수증기가 응결하여 비로 내리면서 원시 바다가 형성되었다.

### 03 지구 대기의 형성과 진화

초기 원시 지구에 많았던 이산화 탄소는 대부분 바다에 녹아 지권에 고정되었으며, 원시 바다에서 광합성을 하는 남세균이 등장하면서 대기 중에 산소가 축적되기 시작하였다.

- ☒ T 시기는 대기 중에 산소가 축적되기 시작한 시기이다. 최초의 광합성 생명체는 T 시기 이전에 등장하였으며, 초기에 광합성으로 생성된 산소는 대부분 바닷속의 철 이온과 결합하였기 때문

에 대기 중에 산소가 축적된 시기는 최초의 광합성 생명체가 등장한 시기보다 이후이다.

- Ⓐ 오존층은 T 시기 이후 대기 중에 산소가 충분히 축적된 약 4 억 년 전 무렵에 형성되었다.
- Ⓒ A는 원시 지구 형성 이후 분압이 꾸준히 감소한 이산화 탄소이다. T 시기 이전에 이산화 탄소는 대부분 원시 바다에 녹아 수권으로 이동하였다.

### 04 방사성 원소의 붕괴열

방사성 원소의 붕괴에 의한 열은 화강암, 현무암, 감람암 중 대륙 지각을 구성하는 주요 암석인 화강암에서 가장 많고, 맨틀을 구성하는 주요 암석인 감람암에서 가장 적다.

- ☒ 방사성 원소의 함량이 가장 적은 (가)는 감람암이다.
- ☒ 방사성 원소의 함량이 두 번째로 많은 (나)는 현무암이며, 현무암은 해양 지각을 구성하는 주요 암석이다.
- Ⓐ 방사성 원소의 붕괴열은 미행성체 충돌에 의한 열, 중력 수축에 의한 열 등과 함께 지구 내부 에너지의 주요 에너지원에 해당한다.

### 05 지각 열류량 분포

구성 암석의 방사성 원소의 함량은 대륙 지각이 해양 지각보다 많고, 맨틀 대류에 의해 공급된 열에너지는 해양 지각이 대륙 지각보다 많다.

- Ⓐ 해령은 지각 열류량이 많고 해구는 지각 열류량이 적으므로, 지각 열류량은 해령에서 해구 쪽으로 갈수록 대체로 적어진다.
- ☒ 구성 암석의 방사성 원소 함량은 해양 지각을 구성하는 현무암보다 대륙 지각을 구성하는 화강암이 많다. 따라서 지각 열류량 중 방사성 원소의 붕괴로 인해 공급된 열의 양은 해양 지각에 위치한 A 지점이 대륙 지각에 위치한 C 지점보다 적다.
- ☒ 암석권 아래 맨틀에서는 주로 대류에 의해, 암석권에서는 주로 전도에 의해 지구 내부의 열에너지가 이동한다. 따라서 암석권에 해당하는 Ⓛ 구간에서는 주로 전도, 맨틀에 해당하는 Ⓜ 구간에서는 주로 대류에 의해 열에너지가 이동한다.

### 06 지진파의 종류와 특징

P파는 종파, S파는 횡파에 해당한다. P파는 고체, 액체, 기체의 매질을 모두 통과할 수 있지만, S파는 고체 상태의 매질만 통과할 수 있다.

- ☒ (가)는 파의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 나란한 종파이며, (나)는 파의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 수직인 횡파이다.
- Ⓒ 같은 매질에서 속도는 P파인 (가)가 S파인 (나)보다 빠르다.
- Ⓒ 맨틀은 고체 상태이며, P파와 S파는 모두 고체 상태의 매질을 통과할 수 있다.

## 07 지구 내부 연구 방법

시추, 포획암 분석, 지진파 분석, 지각 열류량 측정, 운석 연구, 고온·고압 조건에서의 실험 및 이론적 연구를 통해 지구 내부 물질의 분포와 상태를 알아낼 수 있다.

- ☒. 지구 내부를 연구하는 직접적인 방법으로는 시추와 포획암 분석 등이 있다. 운석을 분석하는 방법은 간접적인 방법에 해당한다.
- ☒. 시추는 현재 지각의 매우 얕은 부분까지만 가능하므로 지각의 두께를 알아보는 데 적합하지 않다. 지구 내부를 통과하는 지진파를 분석하면 지각의 두께를 알아낼 수 있다.
- Ⓐ. 지진파를 분석하면 지구 내부 불연속면의 깊이뿐만 아니라 지구 내부를 구성하는 물질의 물리적 성질도 알아낼 수 있다.

## 08 진앙의 위치 결정

P파가 도달한 후 S파가 도달할 때까지 걸린 시간의 차이를 PS시라고 하며, PS시가 길수록 진원 거리가 멀다.

- ☒. 그림에서 S파는 A에 가장 먼저 도착하였다.
- Ⓐ. (나)에서 가장 서쪽에 위치한 관측소에서 진원 거리를 이용하여 그런 원의 반지름은 세 관측소 중 두 번째로 같다. 따라서 이 관측소는 (가)에서 PS시가 두 번째로 긴 C이다.
- ☒. (나)에서 진앙은 각 원들의 교점을 연결한 3개의 교선이 교차하는 하나의 점이다. 따라서 진앙은 Ⓛ보다 남쪽에서 세 원이 동시에 만나는 지점에 위치한다.

## 09 지구 내부의 층상 구조

A는 지각, B는 맨틀, C는 외핵, D는 내핵에 해당한다.

- Ⓐ. 모호로비치치 불연속면은 지각과 맨틀의 경계에 해당하는 불연속면이므로, A와 B의 경계에 해당한다.
- Ⓐ. P파의 속도는 불연속면에서 급격하게 변하며, 특히 맨틀과 외핵의 경계인 B와 C의 경계에서 가장 크게 변한다.
- ☒. C와 D의 경계는 레만면이며, P파의 암영대인 진앙으로부터의 각거리 약  $110^{\circ}$ 에 도달하는 약한 P파를 이용하여 알아내었다.

## 10 지구 내부의 물리량

지구 내부 온도가 용융 온도보다 높으면 물질이 액체 상태로, 지구 내부 온도가 용융 온도보다 낮으면 물질이 고체 상태로 존재한다.

- Ⓐ. A는 불연속면에서 급격히 증가하는 계단 모양의 분포를 보이는 밀도이다.
- Ⓐ. B는 지구 내부 온도, C는 용융 온도이다. Ⓛ 구간에서는 지구 내부 온도가 용융 온도보다 높아 물질이 액체 상태로 존재한다.
- ☒. Ⓛ 구간은 외핵, Ⓜ 구간은 내핵에 해당한다. Ⓛ과 Ⓜ 구간은 모두 핵에 해당하므로 화학 성분의 변화는 거의 없고, 액체와 고체의 상태 차이 때문에 급격한 밀도 변화가 나타난다.

## 11 지진파와 암영대

진앙으로부터의 각거리가 약  $103^{\circ} \sim 180^{\circ}$ 인 지역은 S파의 암영대에 해당하며, 진앙으로부터의 각거리가 약  $103^{\circ} \sim 142^{\circ}$ 인 지역은 P파의 암영대에 해당한다.

- Ⓐ. S파는 외핵을 통과하지 못하므로 진앙으로부터의 각거리가 약  $103^{\circ}$ 보다 큰 지역에는 S파가 도달하지 못한다. 따라서 (가)와 (나)는 모두 S파의 암영대이다.
- ☒. Ⓛ은 진앙으로부터의 각거리가  $103^{\circ}$ 보다 약간 큰 지역이며, 내핵과 외핵의 경계에서 굴절 또는 반사되어 온 지진파가 도달하였다. 이 지진파는 P파이며, 이를 통해 알게 된 불연속면은 내핵과 외핵의 경계인 레만면이다.
- ☒. 외핵에서 P파의 속도는 깊이가 깊어질수록 빨라진다. Ⓛ 지점에 도달한 지진파는 외핵에서 깊이가 깊어지다가 다시 얕아지는 경로로 진행하였으므로 지진파의 속도는 빨라졌다가 느려졌다.

## 12 지각 평형설

프래트의 지각 평형설은 밀도가 서로 다른 지각이 맨틀 위에 떠 있으며, 모호면의 깊이는 같다. 에어리의 지각 평형설은 밀도가 서로 같은 지각이 맨틀 위에 떠 있으며, 해발 고도가 높을수록 모호면의 깊이가 깊다.

- Ⓐ. (가)는 물과 나무토막의 경계에 해당하는 모호면의 깊이가 같지 않으므로 에어리의 지각 평형설을 설명하기 위한 모형이다.
- ☒. (나)는 프래트의 지각 평형설을 설명하기 위한 모형으로, 높이가 높은 나무토막일수록 밀도가 작다.
- Ⓐ. 대륙과 해양에서 모호면의 깊이가 다른 이유를 설명하는 데에는 물과 나무토막의 경계에 해당하는 지점의 깊이가 일정하지 않은 (가)가 (나)보다 적합하다.

## 13 지각 평형설

침식이 일어나는 지역에서는 지각이 누르는 압력이 감소하면서 지각이 용기하며 모호면의 깊이가 얕아진다.

- ☒. 지각이 누르는 압력이 감소하면 모호면의 깊이가 얕아진다. 따라서 Ⓛ에 작용하는 압력을 모호면의 깊이가 얕은 A일 때가 모호면의 깊이가 깊은 B일 때보다 작다.
- Ⓐ. 침식이 일어나면서 지각이 누르는 압력이 감소하였으므로 모호면의 깊이는 얕아진다. 따라서 현재의 모호면을 나타낸 것은 A이다.
- Ⓒ. Ⓛ의 상부에서는 침식으로 만들어진 퇴적물이 쌓이고 있으므로 Ⓛ의 하부에서 지각이 누르는 압력을 커진다. 따라서 Ⓛ 하부에서 모호면의 깊이는 점차 깊어졌다.

## 14 지구의 중력장

- 만유인력과 지구 자전에 의한 원심력의 합력을 중력이라고 한다.
- Ⓐ A는 지구 중심 방향을 향하는 만유인력, B는 중력이다. 만유인력과 중력은 모두 고위도에서 저위도로 갈수록 작아진다.
- ⓧ.  $\theta$ 는 만유인력인 A와 중력인 B가 이루는 각이다. Ⓛ에서는 만유인력과 중력이 모두 지구 중심 방향을 향하므로  $\theta$ 의 크기는 0이다. 따라서  $\theta$ 의 크기는 Ⓛ이 Ⓛ보다 크다.
- ⓧ. Ⓛ에서 만유인력인 A는 지구 중심 방향을 향하며, 원심력인 C는 만유인력의 반대 방향으로 작용하므로 중력인 B의 크기는 만유인력에서 원심력을 뺀 값이다. 따라서 Ⓛ에서는 A의 크기가 B의 크기보다 크다.

## 15 단진자를 이용한 중력 측정

- 단진자를 이용하여 중력을 측정할 수 있으며, 단진자의 길이를  $l$ , 주기를  $T$ , 중력 가속도를  $g$ 라고 할 때,  $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 이다. (나)에서  $\Delta t$ 는 주기에 해당한다.
- Ⓐ.  $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 이므로, 중력 가속도가 일정할 때  $l$ 이 길수록  $\Delta t$ 는 길어진다.
- ⓧ. 단진자의 주기는 추의 질량과 관계없다.
- ⓧ.  $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 이므로, 중력이 커지면  $\Delta t$ 는 짧아진다.

## 16 지구의 중력장

- 중력은 만유인력과 원심력의 합력이므로, 힘의 크기가 가장 큰 A는 만유인력, 가장 작은 C는 원심력, B는 표준 중력이다.
- Ⓐ. 북극에서는 지구 자전에 의한 원심력이 작용하지 않으므로 만유인력인 A와 표준 중력인 B의 크기가 같다.
- Ⓒ. 고위도로 갈수록 만유인력과 표준 중력은 커진다. 따라서 위도는 Ⓛ 지점이 Ⓛ 지점보다 높다.
- ⓧ. Ⓛ 지점은 적도가 아니며, 적도가 아닌 지역에서 만유인력과 원심력의 방향은 서로 정확히 반대 방향이 아니므로, 만유인력의 크기에서 원심력의 크기를 뺀 값은 표준 중력의 크기와 같지 않다.

## 17 지구의 자기장

- 지구의 자기력이 미치는 공간을 지구 자기장이라고 한다.
- Ⓐ. 편각, 복각, 수평 자기력은 지구 자기 3요소에 해당한다.
- ⓧ. 자침의 N극이 수평면에 대하여 아래로 향하면 복각의 부호는 (+)로 표현한다.
- ⓧ. 전 자기력의 크기가 일정할 때 연직 자기력의 크기가 클수록 수평 자기력의 크기는 작아지고 복각은 커진다.

## 18 지구 자기 요소

- 진북 방향과 지구 자기장의 수평 성분 방향이 이루는 각을 편각, 지구 자기장의 방향이 수평면에 대하여 기울어진 각을 복각이라고 한다.
- ⓧ. (가)에서 나침반의 자침이 진북 방향에 대하여 동쪽으로 치우쳐 있으므로, 이 지역에서는 동편각이 나타난다. 따라서 (나)에서 진북은 Ⓛ 방향에 위치한다.
- Ⓒ. (나)에서 전 자기력은 B이다. 이 지역에서 지구 자기장의 방향이 수평면보다 아래를 향하고 있으므로 이 지역은 북반구에 위치한다.
- Ⓐ. A는 수평 자기력, C는 연직 자기력이다.  $\frac{A\text{의 크기}}{C\text{의 크기}}$ 가 클수록 수평 자기력은 커지고 연직 자기력은 작아지므로 복각의 크기는 작아진다.

## 19 지구 자기장

- 수평 자기력이 0인 지역은 자북극 또는 자남극이며, 연직 자기력이 0인 지역은 자기 적도에 위치한다.
- Ⓐ. A는 수평 자기력이 0이므로 자북극 또는 자남극에 위치하며, 이 지역에서 연직 자기력과 전 자기력의 크기는 같다.
- Ⓒ. 복각의 크기는 자북극이나 자남극에 가까울수록 커진다. B는 C보다 자북극 또는 자남극에 가까우므로 복각의 크기는 B가 C보다 크다.
- Ⓓ. D는 연직 자기력이 0이므로 복각이  $0^\circ$ 이다. 따라서 D는 자기 적도에 위치한다.

## 20 우리나라 주변의 편각 분포

- 편각이 (+) 값을 가지면 나침반의 자침이 진북 방향에 대하여 동쪽으로 치우쳐 있는 동편각, 편각이 (-) 값을 가지면 나침반의 자침이 진북 방향에 대하여 서쪽으로 치우쳐 있는 서편각에 해당한다.
- Ⓓ. 우리나라에서 편각은 (-) 값을 가지므로 서편각이 나타난다.
- Ⓒ. A와 B 지점은 모두 편각이  $0^\circ$ 이다. 따라서 두 지점에서 나침반 자침의 N극은 진북 방향을 가리킨다.
- Ⓔ. C 지점에서 편각은  $+8^\circ$ 이므로 나침반 자침의 N극이 진북 방향에 대하여 동쪽으로  $8^\circ$  치우쳐 있다. 따라서 진북은 지구 자기장의 수평 성분 방향보다 서쪽으로  $8^\circ$  방향에 위치한다.

**수능 3점 테스트**

본문 20~29쪽

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

**01 태양계의 형성**

태양계 성운의 수축과 회전으로 태양계 원반이 형성되었으며, 이 과정에서 원시 태양과 원시 행성이 형성되었다.

Ⓐ. (가) 과정에서 자체 중력으로 인해 태양계 성운은 수축하면서 회전하기 시작하였고, 회전 속도가 점차 빨라지면서 납작한 원반 모양을 이루었다.

Ⓑ. (나) 과정에서 성운의 중심부는 기체와 티끌을 끌어들이면서 원시 태양을 형성하였고, 계속된 중력 수축으로 중심부 온도와 밀도는 점차 높아졌다.

✖. (다) 과정에서 원시 태양 부근에서는 암석과 금속 성분이 모여 지구형 행성으로 진화하였으며, 원시 태양에서 면 영역에서는 주로 가벼운 기체들이 모여 목성형 행성으로 진화하였다. 따라서 ⑦ 방향으로 갈수록 원시 행성의 평균 밀도는 작아진다.

**02 원시 지구의 진화**

(가)는 지구 내부에 층상 구조가 없으며, (나)는 핵, 맨틀, 지각으로 지구가 여러 층으로 분화된 상태이다.

✖. (가) → (나) 과정에서 밀도가 큰 금속 성분들은 가라앉아 핵을 형성하였으며, 밀도가 작은 규산염 물질들은 지구 표면 쪽으로 떠올라 맨틀을 형성하였다.

✖. (가) 이후 마그마 바다 상태에서 핵과 맨틀의 분화가 일어났다. (나)는 A층인 핵과 B층인 맨틀로 분화가 된 이후이며, C층인 지각도 형성되어 있으므로 (나)는 마그마 바다 상태 이후이다.

Ⓒ. 원시 지구는 마그마 바다 상태일 때 밀도가 큰 물질은 가라앉고, 밀도가 작은 물질은 지구 표면 쪽으로 떠올랐기 때문에 밀도는 A층이 가장 크고, C층이 가장 작다.

**03 지구의 진화**

지구 자기권이 형성되면서 우주선과 태양풍 등이 차단되었으며, 대기 중 산소 농도 증가로 오존층이 형성되면서 자외선이 차단되었다.

✖.  $T_1$ 은 우주선과 태양풍이 차단되기 시작한 시기이므로 지구 자기권이 형성된 시기이다. 지구 자기권은 금속 성분으로 이루어진 외핵의 대류로 인해 형성되었으므로, 이 시기는 핵과 맨틀이 분리된 시기이다. 결국  $T_1$ 은 원시 지구가 마그마 바다였던 시기

보다 나중이다.

Ⓓ. 현재 대기 중 산소는 약 21%, 이산화 탄소는 약 0.03%를 차지하고 있으므로 (나) 시기는 현재보다 산소는 적고 이산화 탄소는 많다. 지구 탄생 이후 이산화 탄소는 꾸준히 감소해 왔고 산소는 증가하다가 비슷한 분압을 유지해 왔으므로 (나) 시기 이후 산소와 이산화 탄소의 분압 차는 대체로 커졌다.

Ⓔ.  $T_2$ 는 오존층이 형성된 시기이므로 대기 중 산소가 존재했던 시기이며, (나)의 시기 또한 대기 중 산소가 존재했던 시기이다. 산소는 원시 바다 형성 이후 바다에 등장한 광합성 세균에 의해 생성되었으므로 두 시기 모두 원시 바다 형성 이후에 해당한다.

**04 지각 열류량**

지각 열류량은 해령이나 호상 열도와 같이 화산 활동이 활발하거나 지각 변동이 활발한 지역에서 많으며, 지각의 나이가 많거나 지각 변동이 거의 없는 지역에서 적다.

Ⓓ. 그림에서 음영이 짙을수록 지각 열류량이 많다. 따라서 평균 지각 열류량은 (가)가 (나)보다 많다.

✖. (가)는 해양 지각이며 해령이 존재하므로 해령을 따라서 지각 열류량이 많게 나타난다. 해령으로부터의 거리가 멀수록 해양 지각의 나이가 많아지고, 그림에서 해령으로부터의 거리가 멀수록 지각 열류량은 적어진다.

Ⓔ. 지각 열류량은 지각 변동이 활발한 조산대가 나이가 많고 지각 변동이 거의 없는 순상지보다 많다. 따라서 조산대에 위치한 지점은 지각 열류량이 상대적으로 많은 ⑦이다.

**05 지구 내부의 물리량**

밀도는 화학 성분이나 물질의 상태 변화로 인해 불연속면을 경계로 계단 모양으로 급격하게 변화하며, 압력은 지구 중심으로 갈수록 증가한다.

Ⓓ. 중력은 지구 중심으로 갈수록 계속 증가하지 않고, 지구 중심 부근에서는 오히려 감소한다. 따라서 깊이에 따른 중력의 변화를 나타낸 것은 (다)이다.

✖. 맨틀과 핵의 경계인 구텐베르크면 부근에서는 화학 성분의 급격한 변화로 인해 밀도 변화가 가장 크게 나타난다.

✖. 지구 내부로 갈수록 압력은 계속 높아지지만, 중력은 지구 중심 부근에서 오히려 작아진다.

**06 지구 내부의 물리량**

P파의 속도는 맨틀에서 깊이가 깊어짐에 따라 빨라지지만, 액체 상태인 외핵에서는 급격하게 느려진 후 다시 점차 빨라진다. 밀도는 불연속면을 경계로 계단 모양으로 급격하게 증가한다.

✖. 지진파의 속도가 급격히 감소하며, 밀도가 급격히 증가하는 A와 B 사이에는 구텐베르크면이 존재한다. B에서 F까지는 P파

속도와 밀도 증가율이 점차 작아지지만, F와 G 사이에서 P파 속도와 밀도 증가율이 갑자기 커지므로, F와 G 사이에는 레만면이 존재한다. 따라서 A~G 사이에는 모호면이 존재하지 않는다.

☒ C는 구텐베르크면과 레만면 사이에 위치하므로 외핵에 위치한다. 외핵은 주로 철과 니켈 등의 금속 성분으로 이루어져 있다.

◎ A는 구텐베르크면보다 얕은 곳에 위치한 지점이므로 맨틀에 위치하며, A보다 500 km 얕은 지점 또한 맨틀에 위치한다. 맨틀에서 P파의 속도는 깊이가 깊어질수록 빨라지므로 A에서 P파 속도는 깊이가 A보다 500 km 얕은 지점에서 P파 속도보다 크다.

## 07 지진파의 암영대

진앙으로부터의 각거리가 약  $103^{\circ} \sim 180^{\circ}$ 인 지역에는 S파가 도달하지 않으며, 진앙으로부터의 각거리가 약  $103^{\circ} \sim 142^{\circ}$ 인 지역에는 P파가 도달하지 않는다.

☒ 진앙으로부터 관측소까지의 각거리가 약  $103^{\circ}$  이내인 지역에서 도달하는 P파는 외핵을 통과하지 않고 맨틀만 통과한다. A의 진앙으로부터 관측소까지의 각거리는  $60^{\circ}$ 이므로  $P_A$ 는 관측소에 도달하는 과정에서 외핵을 통과하지 않았다.

◎ B의 진앙으로부터 관측소까지의 각거리는 약  $125^{\circ}$ 이다. 이는 P파의 암영대에 해당하므로  $P_B$ 는 관측소에 도달하지 못한다.

☒ P파의 최대 속도는 맨틀과 외핵의 경계 부근에서 나타난다.  $P_A$ 는 관측소에 도달하는 과정에서 맨틀과 외핵의 경계까지 도달하지 않지만,  $P_C$ 는 관측소에 도달하는 과정에서 맨틀과 외핵의 경계를 통과한 후 핵을 지나므로, 진원에서 관측소까지 진행하는 과정에서 최대 속도는  $P_A$ 가  $P_C$ 보다 작다.

## 08 지진파와 지구 내부 구조

액체 상태의 외핵으로 인해 S파의 암영대가 나타나며, 깊이에 따라 지진파의 속도가 달라지므로 지진파가 굴절한다.

☒ (가)의 A 구간에는 핵을 통과한 P파가 도달할 수 있다.

◎ (나)에서는 액체 상태의 핵이 존재하지 않으므로 P파와 S파의 암영대가 모두 나타나지 않는다.

◎ (가)에서 맨틀을 통과하는 지진파는 깊이에 따라 지진파의 속도가 다르므로 굴절하지만, (나)에서 맨틀을 통과하는 지진파는 깊이에 따라 지진파의 속도가 변하지 않고 일정하므로 굴절하지 않고 직진한다. 따라서 맨틀 내부에서 깊이에 따른 P파의 속도 변화는 (가)가 (나)보다 크다.

## 09 주시 곡선 해석

PS시는 S파가 도달하는 데 걸린 시간에서 P파가 도달하는 데 걸린 시간을 뺀 값이다. 따라서 S파가 도달하는 데 걸린 시간은 항상 PS시보다 같다. 따라서 ⑦은 S파가 도달하는 데 걸린 시간이고 ⑧은 PS시이다.

◎ 진앙 거리가 40 km인 관측소에 S파가 최초로 도달하는 데 걸린 시간은 12초이며 PS시는 5초이므로, P파가 최초로 도달하는 데 걸린 시간은 7초이다.

☒ 진앙 거리가 40 km인 관측소에 P파가 최초로 도달하는 데 걸린 시간은 7초, S파가 최초로 도달하는 데 걸린 시간은 12초이므로, P파와 S파의 속도는 각각  $\frac{40 \text{ km}}{7 \text{ s}}$ ,  $\frac{40 \text{ km}}{12 \text{ s}}$ 이다. 따라서 P파의 속도는 S파 속도의 2배보다 느리다.

☒ S파의 속도가 일정할 때, P파의 속도가 빠를수록 P파가 도달하는 데 걸린 시간이 짧아지므로 PS시가 길어진다. 따라서 ⑨의 기울기는 커진다.

## 10 진앙의 위치 및 진원의 깊이

진앙은 세 원의 교점을 연결한 3개의 교선이 교차하는 하나의 점이다.

☒ 각각의 관측소에서 진원 거리를 반지름으로 하는 원을 그렸을 때 원의 반지름은 A가 B보다 짧으므로 PS시도 A가 B보다 짧다.

◎ B를 기준으로 진원의 깊이를 판단한다면, B와 진앙을 잇는 직선을 그렸을 때 진앙에서 이 직선에 직교하는 현을 그으면, 현길이의 절반이 진원의 깊이가 된다. 따라서 진원의 깊이는 l보다 깊다.

◎ 진원의 깊이는 일정하므로, 진앙 거리가 가까울수록  $\frac{\text{진앙 거리}}{\text{진원 거리}}$ 는 작아지며, 진앙 거리가 멀수록  $\frac{\text{진앙 거리}}{\text{진원 거리}}$ 는 1에 가까워진다. 따라서  $\frac{\text{진앙 거리}}{\text{진원 거리}}$ 는 진앙 거리가 면 B가 진앙 거리가 가까운 C보다 크다.

## 11 지진파의 암영대

S파는 진앙으로부터의 각거리가 약  $103^{\circ}$  이상인 지역에는 도달하지 않는다.

◎ 진앙으로부터의 각거리가 약  $103^{\circ}$  이하인 지역에서는 A와 C가 도달하였고 도달 시간은 A가 더 느리므로, A는 S파, C는 P파이다. 또한 B와 D는 진앙으로부터의 각거리가 약  $140^{\circ}$  이상인 지역에도 도달했으므로, 이 지진파는 P파이다.

◎ 맨틀에서 P파의 속도는 맨틀과 외핵 부근에서 최대이며, 외핵에서 급격하게 속도가 느려진다. 따라서 P파의 속도는 맨틀 하부에 위치한 ⑦ 지점이 외핵 상부에 위치한 ⑧ 지점보다 빠르다.

◎ (가)에서 진앙으로부터의 각거리가  $180^{\circ}$ 인 지점에 도달한 지진파의 도달 시간은 B가 D보다 길다. (나)에서 진앙으로부터의 각거리가  $180^{\circ}$ 인 지점에 도달한 두 지진파의 경로 중 내핵을 통과한 지진파의 경로가 내핵을 통과하지 않은 지진파의 경로에 비해 맨틀과 외핵에서 모두 진행 경로가 상대적으로 짧으며, P파의 속도는 외핵보다 내핵에서 더 빠르다. 따라서 내핵을 통과한 지진파는 지진파의 도달 시간이 상대적으로 짧은 D이다.

## 12 중력 이상

중력 이상이 (+) 값을 갖는 지역에서는 실측 중력이 표준 중력보다 크며, 중력 이상이 (-) 값을 갖는 지역에서는 실측 중력이 표준 중력보다 작다.

☒ 표준 중력은 위도가 높을수록 크다. 위도는 B와 C가 다른 지역보다 높으므로, 표준 중력이 가장 큰 지점은 B와 C이다.

☒ A에서 D로 갈수록 중력 이상 값은 작아지다가 커지며, 위도가 같아서 표준 중력은 같다. 따라서 A에서 D로 갈수록 실측 중력은 작아지다가 커진다.

☒ 용수철이 늘어난 길이인  $h$ 는 실측 중력이 클수록 길다. B와 C는 위도가 같아 표준 중력이 같지만 중력 이상은 C가  $-10 \text{ mGal}$ 로 더 크므로, 실측 중력은 C가 B보다 크다. E는 C와 중력 이상이  $-10 \text{ mGal}$ 로 같지만, 위도는 C가 더 높으므로 실측 중력은 C가 E보다 크다. 따라서 B, C, E 중 실측 중력은 C가 가장 크므로  $h$ 는 C가 가장 길다.

## 13 지각 평형

중력 가속도가 일정할 때 압력은 밀도와 높이를 곱한 값에 비례한다.

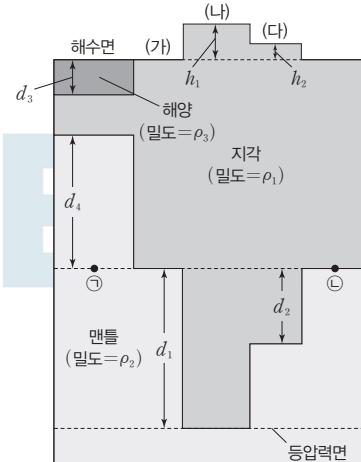
① 등압력면으로부터의 높이는 ⑦과 ⑧이 같고, 이 구간은 밀도가 같은 맨틀이 위치하고 있으므로 ⑦과 ⑧에서의 압력은 같다.

② 아래 그림에서 (가)와 (나) 하부의 등압력면에서 압력이 같다. 따라서 공통으로 분포하는 지각 부분을 제외하면

$$\rho_2 d_1 = \rho_1 (h_1 + d_1) \text{이므로 식을 정리하면 } \frac{h_1}{d_1} = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1} \text{이다.}$$

마찬가지로 (가)와 (나) 하부의 등압력면에서 압력이 같으므로  $\rho_2 d_1 = \rho_1 (h_2 + d_2) + \rho_2 (d_1 - d_2)$ 이다. 마찬가지로 식을 정리하면

$$\frac{h_2}{d_2} = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1} \text{이다. 따라서 } \frac{h_1}{d_1} = \frac{h_2}{d_2} \text{이다.}$$



③ 위의 그림에서 해양이 존재하는 지역과 (가)의 하부에서 ⑦이 위치하는 깊이에서 압력은 같다. 따라서 두 지역에서 공통으로 분

포하는 지각 부분을 제외하면  $\rho_3 d_3 + \rho_2 d_4 = \rho_1 (d_3 + d_4)$ 이다. 식을 정리하면  $\frac{\rho_1 - \rho_3}{\rho_2 - \rho_1} = \frac{d_4}{d_3}$ 이다. 그림에서  $d_4$ 는  $d_3$ 의 1.5배보다 크므로,  $(\rho_1 - \rho_3)$ 은  $(\rho_2 - \rho_1)$ 의 1.5배보다 크다.

## 14 중력 이상

㉠이 위치한 지점 하부는 ㉡이 위치한 지점 하부보다 밀도가  $\rho_1$ 인 A층의 두께가 두껍다.

☒ ⑦과 ⑧의 위도가 같으므로 표준 중력은 같다.

㉡ (나)에서 ㉠과 ㉡을 포함한 모든 지역에서 중력 이상은 (+) 값을 갖는다. 따라서 ㉠과 ㉡ 모두 표준 중력은 실측 중력보다 작다.

㉢ 중력 이상은 ㉠ 하부보다 ㉡ 하부가 크므로 실측 중력은 ㉠보다 ㉡에서 크다. 따라서 ㉡ 하부에서 평균 밀도가 더 커야 하므로,  $\rho_1$ 은  $\rho_2$ 보다 작다.

## 15 중력 이상과 지하의 물질 분포

중력 이상=실측 중력-표준 중력이다. 위도가 같은 지역에서 중력 이상이 클수록 실측 중력이 크며 지하 물질의 평균 밀도가 크다.

㉣ 그래프에서 중력 이상은 오른쪽으로 갈수록 대체로 작아지므로, 오른쪽으로 갈수록 지하 물질의 평균 밀도가 작아져야 한다. 또한 X와 Y의 중앙 부근은 중력 이상이 상대적으로 크게 나타나므로 X와 Y의 중앙 부근에 상대적으로 밀도가 큰 물질이 분포해야 한다.

## 16 지진파의 속도와 PS시

PS시가 길수록 P파가 최초로 도달하는 데 걸린 시간이 길며 진원 거리도 멀다.

㉤ PS시는 진원 거리에 비례한다. A와 B에서 PS시는 각각 1초와 3초이므로, 진원 거리는 B가 A보다 3배 멀다.

㉥ 그래프에서 직선의 기울기=A와 B에서

$\frac{\text{PS시 차}}{\text{P파가 도달하는 데 걸린 시간 차}}$ 이므로 A와 B에서

$\left( \frac{\text{S파가 도달하는 데 걸린 시간 차}}{\text{P파가 도달하는 데 걸린 시간 차}} - 1 \right)$ 이다. 지진파가 도달하는 데 걸린 시간은 지진파의 속도에 반비례하므로

$\frac{\text{S파가 도달하는 데 걸린 시간 차}}{\text{P파가 도달하는 데 걸린 시간 차}} = \frac{\text{P파의 속도}}{\text{S파의 속도}}$ 이다. 그래프에서 기울기가  $\frac{2}{3}$ 이므로, 결국  $\frac{\text{P파의 속도}}{\text{S파의 속도}} = \frac{5}{3}$ 이다. 따라서 P파의 속도 : S파의 속도 = 5 : 3이다.

☒ P파가 도달하는 데 걸린 시간과 PS시는 비례하며, 그림에서 직선의 기울기는  $\frac{2}{3}$ 이다. 진원에서의 PS시는 0초이므로, 직선을 연장하여 X축과 만나는 점의 시각이 지진 발생 시각이다. 이 시

각은 A에 P파가 최초로 도달한 시각보다  $\frac{3}{2}$  초 먼저이므로, 이 시진은 이날 14<sup>h</sup> 20<sup>m</sup> 03<sup>s</sup> 이후에 발생하였다.

## 17 지각 평형 원리 실험

나무토막의 밀도가 클수록 나무토막 높이에 대한 수면 아래로 잠긴 나무토막 길이의 비율이 커진다.

Ⓐ.  $\frac{\text{나무토막의 밀도}}{\text{물의 밀도}} = \frac{\text{수면 아래로 잠긴 나무토막의 길이}}{\text{나무토막의 높이}}$ 이다.

따라서 수면 아래로 잠긴 부분의 길이는 Ⓛ=0.4×7.5=3이며, Ⓜ=0.6×8.0=4.8이다. 즉, Ⓛ은 Ⓜ보다 1.6배 크다.

✗. (라는 A 위에 어떤 나무토막을 올려놓았을 때 A와 B가 수면 아래로 잠긴 부분의 길이가 같아지는지 알아보는 과정이다. 이를 통해 밀도가 서로 다른 지각이 맨틀 위에 떠 있지만 모호면의 깊이는 같다고 설명한 프레트의 지각 평형설을 설명할 수 있다.

Ⓒ. 압력은 밀도와 높이를 곱한 값에 비례한다. A와 B가 수면 아래로 잠긴 부분의 길이가 같으므로 A와 A 위에 올려진 나무토막의 압력을 합한 값은 B의 압력과 같아야 한다. 따라서  $(0.4 \times 7.5) + (A \text{ 위에 올려진 나무토막의 밀도} \times \text{높이}) = 0.6 \times 8.0$ 이다. 따라서 A 위에 올려진 나무토막의 밀도와 높이를 곱한 값은 1.8이어야 하므로, 이 나무토막은 C이다.

## 18 지구 자기장의 변화

지구 자기장은 태양의 영향으로 짧은 시간 동안 변하기도 하지만, 지구 내부의 변화로 인해 긴 기간에 걸쳐 서서히 변하기도 하는데 이를 영년 변화라고 한다.

✗. 자료는 1700년부터 2000년까지 오랜 기간에 걸쳐 나타난 편각의 변화를 보여주고 있으며, 이러한 변화는 주로 지구 내부의 변화 때문에 나타난다.

✗. B 지역은 Ⓛ 기간 동안 편각이 약 -5°에서 약 +8°로 꾸준히 변화하였다. 따라서 B 지역은 Ⓛ 기간 동안 지구 자기장의 수평 성분의 방향과 진북 방향이 이루는 각의 크기가 작아졌다 카졌다.

Ⓒ. Ⓛ 기간 동안 B 지역은 편각이 (+) 값을 가지며 그 값이 작아지고 있고, C, D 지역은 편각이 (-) 값을 가지며 그 값이 커지고 있다. 따라서 B, C, D 지역은 모두 나침반 자침이 진북을 기준으로 시계 반대 방향으로 변했다.

## 19 지구 자기장

전 자기력은 일반적으로 자기 적도로 갈수록 작아지는 경향을 보이며, 수평 자기력은 자북극으로 갈수록 작아진다.

Ⓐ. 수평 자기력은 자북극이 위치한 고위도로 갈수록 작아진다. 따라서 수평 자기력을 나타낸 것은 (나)이다.

Ⓒ. 수평 자기력은 전 자기력의 수평 방향 성분의 크기이다. 복각의 크기를  $\theta$ 라고 할 때,  $\cos \theta = \frac{\text{수평 자기력}}{\text{전 자기력}}$ 이므로 전 자기력이

같을 때 수평 자기력이 작을수록 복각이 크다. 따라서 복각은 A가 B보다 크다.

Ⓓ. 자기 적도에서는 수평 자기력과 전 자기력이 서로 같다. Ⓛ에서 수평 자기력과 전 자기력은 모두 약 40000~42000 nT의 범위를 가지고 있으며, 두 크기가 서로 같은 지점이 존재하므로, Ⓛ에는 자기 적도에 위치한 지점이 존재한다.

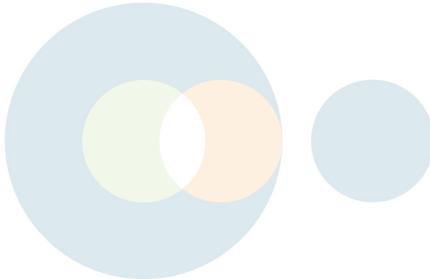
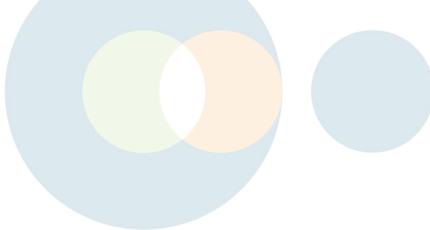
## 20 지구 자기장의 변화

지구 내부의 변화 때문에 지구 자기장의 방향과 세기가 서서히 변하므로, 자북극의 위치도 고정되어 있지 않고 서서히 이동한다.

Ⓒ. 1980년부터 2020년까지 A로부터 자북극까지의 거리가 점차 멀어졌다. 자북극으로부터 멀어질수록 수평 자기력은 커지고, 전 자기력은 대체로 작아지므로  $\frac{\text{수평 자기력}}{\text{전 자기력}}$ 은 점차 커졌다.

✗. 진북은 지리상의 북극으로 지구 자기장과는 관련이 없는 지점이다. 이 기간 동안 자북극으로부터 진북까지의 거리는 계속 변하고 있으므로 복각의 크기도 계속 변하였다.

✗. 이 기간 동안 자북극은 B 주변에 위치하였으며 B를 통과한 시기도 있었다. 따라서 이 기간 동안 복각의 부호는 항상 (+)였으며, 자북극이 B에 위치했을 때 복각은 +90°였다.



## 02 광물

### 수능 2점 테스트

본문 36~37쪽

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

### 01 광물의 결정형과 결정 형태

광물의 독특한 외부 형태를 결정형이라고 하며, 결정면의 배열에 따라 나타나는 광물의 여러 가지 모양을 결정 형태라고 한다.

- Ⓐ a는 원자나 이온의 배열 상태가 규칙적인 결정질 광물이다.  
 ✗ a는 고유한 결정면을 가진 형태인 자형, c는 고유한 결정면을 갖추지 못한 형태인 타형에 해당한다.  
 ✗ 저온에서 정출된 광물일수록 먼저 생긴 광물의 결정들 사이에서 성장하여 고유한 결정면을 갖추기 어렵다. 따라서 b는 c보다 고온에서 먼저 정출되었다.

### 02 $\text{SiO}_4$ 사면체 결합 구조

규산염 광물은  $\text{SiO}_4$  사면체를 기본 단위로 하며, 광물에 따라 다양한  $\text{SiO}_4$  사면체 결합 구조가 나타난다.

- ✗ A는  $\frac{\text{O 원자 수}}{\text{Si 원자 수}}$ 가 2.5이므로 판상 구조이다. 각섬석은 복사슬 구조를 가지며, 판상 구조를 가지는 광물로는 흑운모가 있다.  
 ⓒ B는 복사슬 구조와 망상 구조 중 쪼개짐이 나타나는 결합 구조이므로 복사슬 구조에 해당하며, 이러한 결합 구조를 갖는 광물은 두 방향의 쪼개짐이 나타난다.  
 ⓒ A는 판상 구조로, 이웃하는  $\text{SiO}_4$  사면체와 3개의 산소를 공유 하지만, 망상 구조인 C는 이웃하는  $\text{SiO}_4$  사면체와 모든 산소를 공유한다. 따라서  $\text{SiO}_4$  사면체의 공유 산소 수는 A가 C보다 적다.

### 03 비규산염 광물의 종류와 특징

규산염 광물을 제외한 원소 광물, 산화 광물, 황화 광물, 탄산염 광물 등을 비규산염 광물이라고 한다.

- Ⓐ (가)는 흑연으로 탄소로만 이루어진 원소 광물에 해당한다.  
 ⓒ (나)는 자철석으로 산화 광물에 해당하며, (다)는 암염으로 할로젠햄 광물에 해당한다.  
 ⓒ 방해석과 같은 탄산염 광물은 끓은 염산과 반응하여 이산화 탄소 기체를 발생시킨다.

### 04 편광 현미경 관찰

(가)는 상부 편광판을 뺀 개방 니콜 상태이며, (나)와 (다)는 상부 편광판을 넣은 직교 니콜 상태이다.

Ⓐ 흑운모는 유색의 광학적 이방체 광물이며, 이러한 광물은 개방 니콜 상태에서 다색성을 관찰할 수 있다.

✗ (나)는 직교 니콜 상태이며, 직교 니콜 상태에서 광물 박편을 뺀 상태로 관찰하면, 두 편광판의 편광 방향이 서로 수직이므로 빛이 관찰되지 않는다.

Ⓒ (다)는 직교 니콜 상태이며 광학적 이방체 광물인 흑운모 박편을 올려놓았으므로 복굴절된 빛의 간섭에 의해 생긴 간섭색을 관찰할 수 있다.

### 05 편광 현미경 관찰

금속 광물과 같은 불투명 광물은 빛을 투과시키지 않아 편광 현미경에서 항상 검게 보인다.

Ⓐ (가)에서 광물 A는 광물의 위치나 방향에 관계없이 모두 검게 보이므로 빛을 투과시키지 않는 불투명 광물이다.

✗ B는 개방 니콜에서는 검게 보이지 않으나 직교 니콜에서는 광물의 위치나 방향에 관계없이 모두 검게 보인다. 따라서 B는 광학적 등방체 광물이다.

Ⓒ C는 개방 니콜과 직교 니콜에서 모두 밝게 관찰되므로 광학적 이방체 광물이다. 따라서 (나)에서 재물대를 회전시키면 C의 간섭색을 관찰할 수 있다.

### 06 사암과 규암의 특징

사암은 쇄설성 퇴적암에 해당하며, 규암은 사암이 변성 작용을 받아 생성된다.

✗ 입상 변정질 조직은 입자의 크기가 비슷하고 조립질이며, 입자들이 서로 맞물려 있는 조직이다. 따라서 입상 변정질 조직이 관찰되는 것은 (나)이다.

Ⓒ (나)는 입상 변정질 조직이 관찰되는 규암이므로 (나)의 광물은 변성 과정에서 재결정 작용을 받았다.

✗ (가)는 퇴적암인 사암, (나)는 변성암인 규암이므로 (가)의 암석은 (나)의 암석보다 저온에서 생성되었다.

### 07 변성암과 엽리

화성암 A가 변성 작용을 받아 변성암 B가 생성되었고, B에서는 엽리가 관찰된다.

✗ (가)에서는 암석을 구성하는 입자들의 크기가 큰 조립질 조직이 관찰되므로 A는 마그마가 지하 깊은 곳에서 서서히 냉각되어 생성되었다.

✗ B에서는 광물 ⓒ이 나란한 방향으로 배열된 엽리가 관찰된다. 따라서 B는 광역 변성 작용을 받았다.

Ⓒ 암석이 광역 변성 작용을 받으면 주로 흑운모나 백운모와 같은 판상의 광물이 압력에 수직인 방향으로 나란하게 배열된다. 따라서 ⓒ은 흑운모, ⓒ은 석영이다.

## 08 변성암에서 관찰되는 조직

변성 작용을 받은 암석에서는 훈펠스 조직, 입상 변정질 조직, 엽리 등이 관찰된다.

Ⓐ. (가)에서는 어두운색 광물이 나란하게 배열된 엽리가 관찰된다.

⓵. 입상 변정질 조직은 훈펠스 조직보다 입자의 크기가 크다. 따라서 (나)는 훈펠스 조직, (다)는 입상 변정질 조직이다.

⓷. (다)는 입상 변정질 조직이며, 이러한 조직은 퇴적암이 아닌 변성암에서 관찰된다.

### 수능 3점 테스트

본문 38~41쪽

01 ③ 02 ① 03 ② 04 ① 05 ③ 06 ④

07 ⑤ 08 ②

## 01 광물의 물리적 성질

조흔색은 광물을 조흔판에 긁었을 때 관찰되는 광물 가루의 색이다.

Ⓐ. 황옥과 휘석은 모두 O와 Si를 포함하고 있으므로 규산염 광물에 해당한다.

⓷. 휘석의 조흔색은 흰색이나 녹색이지만, Mg, Fe을 많이 함유하고 있어 어두운색을 띠는 유색 광물에 해당한다.

⓸. 금강석과 황옥의 모스 굳기는 각각 10과 8이다. 금강석의 절대 굳기는 1600이며 모스 굳기가 9인 강옥의 절대 굳기는 400이다. 따라서 금강석의 절대 굳기는 모스 굳기 1~9에 해당하는 모든 광물의 절대 굳기의 3배보다 크다.

## 02 규산염 사면체의 결합 구조

규산염 사면체 결합 구조 내에서 반복되는 최소 구조를 찾은 후 이웃하는 규산염 사면체와 공유하는 산소와 공유하지 않는 산소 및 규소의 개수를 세어보면 규소 원자 수와 산소 원자 수의 비를 찾을 수 있다.

Ⓐ. Ⓚ에서는 4개의 산소 중 2개의 산소가, Ⓛ에서는 4개의 산소 중 3개의 산소가 이웃하는 규산염 사면체와 산소를 공유하고 있다.

⓷. Ⓛ에서 3개의 산소는 이웃하는 규산염 사면체와 공유하고 있지 않다.

⓸. Ⓛ에서는 공유하지 않는 산소가 2개, 공유하는 산소가 2개이므로 산소의 개수가 총 3개이며, Ⓛ에서는 공유하지 않는 산소가 1개, 공유하는 산소가 3개이므로 산소의 개수가 총 2.5개이다. Ⓛ과 Ⓛ 모두 규소의 개수는 1개이므로  $\frac{\text{Si 원자 수}}{\text{O 원자 수}}$ 는 Ⓛ이 Ⓛ보다 작다.

## 03 복굴절

(가)에서는 복굴절에 의해 별 모양이 2개로 나뉘어 관찰되고 있으며, (나)에서는 편광판을 올려놓았을 때 하나의 별 모양만 관찰되고 있다.

⓷. 별 모양이 두 개로 나뉘어 관찰되므로, 이 광물은 복굴절을 일으키는 광학적 이방체이다.

Ⓐ. 복굴절이 일어날 때 광물을 통과한 두 빛의 진동 방향은 서로 수직이다. 따라서 Ⓛ과 Ⓛ 영역에서 광물을 통과한 빛의 진동 방향은 서로 수직이다.

⓷. (나)에서는 편광판의 편광 방향과 진동 방향이 같은 빛만 관찰되므로 아래쪽의 별 모양만 관찰되고 있다. 이 상태에서 편광판을  $90^{\circ}$  회전시키면 편광판의 편광 방향이  $90^{\circ}$  회전하므로 (나)에서 보이던 별 모양은 관찰되지 않고, (가)에서 상대적으로 위쪽에서 보이던 별 모양이 관찰된다.

## 04 화성암의 조직

화산암에서는 세립질 조직, 유리질 조직, 반상 조직 등이 관찰되며, 심성암에서는 조립질 조직이 관찰된다.

Ⓐ. (가)는 세립질 조직의 바탕에 입자가 큰 감람석이 관찰되므로 반상 조직이 나타난다. 반상 조직에서 입자의 크기가 큰 광물은 반정이라고 한다.

⓷. (다)의 각섬석은 고유한 결정면을 온전히 갖추지 못했기 때문에 자형에 해당하지 않는다.

⓷. (가)와 (나)는 반상 조직이 나타나므로 마그마가 빠르게 냉각되어 생성된 것이며, (다)는 조립질 조직이 관찰되므로 마그마가 지하 깊은 곳에서 서서히 냉각되어 생성된 것이다. 현무암과 안산암은 화산암에, 반려암은 심성암에 해당하므로, 반려암은 조립질 조직이 관찰되는 (다)이다.

## 05 편광 현미경 관찰

광학적 이방체 광물을 관찰할 때 개방 니콜에서는 다색성을, 직교 니콜에서는 간섭색과 소광 현상을 관찰할 수 있다.

Ⓐ. 방해석과 흑운모 모두 개방 니콜과 직교 니콜에서 빛을 통과시키며 밝기나 색의 변화가 관찰되므로 광학적 이방체 광물이다.

Ⓐ. (가)는 직교 니콜, (나)는 개방 니콜이다. 직교 니콜에서 소광은  $90^{\circ}$ 마다 한 번씩 나타나므로, (가)에서 재물대를  $180^{\circ}$  회전시키는 동안 흑운모에서는 2번의 소광 현상이 나타난다.

⓷. (나)는 개방 니콜이며, 개방 니콜에서 재물대를 회전시키면서 관찰했을 때 광물의 색과 밝기가 변하는 현상을 다색성이라고 한다. 다색성은 유색의 광학적 이방체 광물에서 잘 나타나므로, 흑운모가 방해석보다 뚜렷하게 나타난다.

## 06 화성암의 종류와 특징

마그마의 냉각 속도가 느릴수록 광물 입자의 크기가 크며, 유색 광물이 차지하는 비율이 높을수록 어두운색을 띤다.

Ⓐ (가)에서 광물 입자의 크기가 대부분 1 mm 이상이므로 조립질 조직이다.

Ⓑ 흑운모, 각섬석은 유색 광물에 해당하며, 정장석, 석영, 사장석은 무색 광물에 해당한다. (나)의 광물 조성비를 보면 정장석, 석영, 사장석이 대부분을 차지하고 있으므로, 유색 광물의 함량이 무색 광물의 함량보다 낮다.

☒ 반려암은 심성암이며, 암석의 색이 매우 어둡다. 이 암석은 조립질 조직이 관찰되고 무색 광물의 함량이 높아 밝은색을 띠는 화강암이다.

## 07 퇴적암과 화성암의 조직

퇴적암에서는 입자의 모서리가 마모되어 있고, 입자 사이에 교결물질이 채워져 있는 쇄설성 조직이 관찰된다. 현무암에서는 세립질 조직이나 반상 조직이 관찰된다.

Ⓐ (가)에 비해 (다)는 다양한 크기의 입자가 존재하므로, 암석을 구성하는 입자의 크기는 (가)가 (다)보다 고르다.

Ⓑ (나)는 입자의 크기가 가장 크며 입자의 모서리가 마모되어 동근 모양을 하고 있는 쇄설성 조직이 관찰되며 역암에 해당한다.

Ⓒ (가)는 입자의 크기가 작고 고르므로 사암을 관찰한 것이며, (나)는 역암을 관찰한 것이다. (다)는 마그마가 냉각됨에 따라 광물이 차례로 정출되면서 입자의 크기가 다양한 반정과 석기가 관찰된다. 따라서 (다)는 현무암을 관찰한 모습이다.

## 08 화성암의 조직

유문암은 밝은색을 띠는 화산암이며, 반려암은 어두운색을 띠는 심성암이다.

☒ (가)는 대부분 입자의 크기가 큰 조립질의 광물로 이루어져 있으므로 조립질 조직이다. 반상 조직은 (나)에서 관찰된다.

Ⓓ (가)에서는 조립질 조직, (나)에서는 반상 조직이 관찰되므로 마그마의 냉각 속도는 (가)가 (나)보다 느린다. 따라서 암석이 생성된 깊이는 (가)가 (나)보다 깊다.

☒ Fe, Mg의 함량이 높을수록 암석의 색이 어둡다. (가)는 어두운색을 띠며 조립질인 반려암, (나)는 밝은색을 띠며 세립질인 유문암이므로 Fe, Mg의 함량은 어두운색을 띠는 (가)가 (나)보다 높다.

## 03 지구의 자원

### 수능 2점 테스트

본문 49~51쪽

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

## 01 광상의 분류

퇴적 광상은 암석의 풍화 및 침식, 운반, 퇴적 작용을 거쳐 형성되고, 화성 광상은 마그마가 냉각되는 과정에서 형성되며, 변성 광상은 암석이나 기존의 광상이 변성 작용을 받아 형성된다.

Ⓐ 퇴적 광상에는 표사 광상, 풍화 잔류 광상, 침전 광상 등이 포함된다.

☒ 변성 광상은 기존의 암석이나 광상이 변성 작용을 받아 형성된다. 따라서 ‘침식’은 Ⓛ으로 적합하지 않다.

☒ 보크사이트는 풍화 잔류 광상에서 주로 산출되는 광물이다.

## 02 퇴적 광상과 화성 광상

암염, 석고, 석회석은 주로 퇴적 광상에서 산출되는 광물 자원이고, 구리, 납, 니켈은 주로 화성 광상에서 산출되는 광물 자원이다.

Ⓓ 자철석은 퇴적 광상과 화성 광상에서 모두 산출될 수 있는 광물 자원이다.

☒ 석회석은 주로 해수에 녹아 있는 물질의 침전으로 형성되기 때문에 화성 광상에서 기원하여 집적된 것이 아니다.

Ⓔ 퇴적 광상은 주로 지표 부근에서 만들어지기 때문에 마그마의 작용에 의해 만들어지는 화성 광상보다 낮은 온도에서 형성된다.

## 03 풍화 잔류 광상

풍화 잔류 광상은 기존의 암석이 풍화 작용을 받은 후 풍화의 산물이 그 자리에 남아서 만들어진 광상이다.

Ⓓ 열대 환경에서 지표면 부근의 용해성 물질은 강수에 의해 지하로 화학적 풍화대를 거쳐 이동하며, 이 과정에서 풍화 잔류 광상이 형성된다.

☒ 호상 철광층은 적철석, 자철석 등의 침전으로 형성된다.

Ⓔ 지표 부근의 용해성 물질은 강수에 의해 생긴 물과 함께 이동한다.

## 04 고령토와 희토류

고령토는 종이, 도자기, 시멘트의 원료가 되며, 희토류는 전자 산업, 항공 우주 산업 등에 이용된다.

Ⓓ 우리나라에서 비금속 광물 자원의 매장량은 금속 광물 자원의

매장량보다 많다. 특히, 석회석의 경우 우리나라 광물 자원 중 매장량이 매우 많은 광물 중 하나이다.

Ⓐ 고령토는 시멘트의 원료 중 하나이다.

⓵ 희토류는 주로 화성 광상, 고령토는 주로 퇴적 광상에서 산출된다.

## 05 화성 광상

정마그마 광상은 고온의 마그마가 냉각되는 초기에 형성되며, 페그마타이트 광상은 마그마 냉각 말기에 형성된다.

Ⓐ A는 정마그마 광상으로 고온의 마그마가 냉각되는 초기에 형성된다. 광상의 형성 온도는 정마그마 광상이 기성 광상보다 높다.

⓵ B는 페그마타이트 광상으로 마그마 냉각 말기에 형성된다.

⓵ A(정마그마 광상)와 B(페그마타이트 광상)는 모두 화성 광상에 속한다.

## 06 광물 자원의 예

활석은 주로 변성 광상에서 산출되는 비금속 광물, 텅스텐은 주로 화성 광상이나 변성 광상에서 산출되는 금속 광물, 운모는 주로 퇴적 광상에서 산출되는 비금속 광물이다.

Ⓐ (가)의 활석은 종이, 페인트, 화장품의 원료 등으로 이용된다.

Ⓐ (나)의 텅스텐은 금속 광물 자원이다.

⓵ 활석, 텅스텐, 운모 중 전기 전도도는 금속 광물 자원인 텅스텐이 가장 좋다.

## 07 암석의 이용 예

대리암은 석회암이 변성 작용을 받아 생성된 변성암으로 건축 자재를 비롯해 조각용, 도예용 등으로 이용된다. 현무암은  $\text{SiO}_2$  함량이 52% 이하인 어두운색의 화산암으로 건축 자재, 맷돌, 공예품 등으로 이용된다. (가)는 현무암, (나)는 대리암으로 이루어진 예술품이다.

⓵ (가)의 암석은 현무암으로 세립질 조직이 관찰된다.

⓵ (나)의 암석은 대리암으로 건축 자재, 조각 재료 등으로 이용된다.

Ⓐ 현무암과 대리암은 모두 건축 자재로 이용된다.

## 08 리튬

리튬은 전기 자동차나 휴대 전화 등의 전지에 쓰이는 핵심 원료이다.

Ⓐ 리튬의 전 세계 추정 매장량은 약 9천 8백만 톤이며, 이 중 미국의 추정 매장량은 1천 2백만 톤이다. 따라서 미국은 전 세계 리튬 추정 매장량의 10% 이상을 확보하고 있다.

Ⓐ 리튬은 전지, 세라믹스, 냉매 흡수제, 의약품 등 용도가 다양하며 최근에는 전기 자동차, 휴대 전화 배터리의 주요 소재로 활용된다.

Ⓐ 리튬은 육지에서의 채광량이 적고, 산출 지역이 편중되어 있어 해수에 녹아 있는 리튬을 추출하기 위한 연구가 최근 진행되고 있다.

## 09 조력 발전과 조류 발전

조력 발전은 만조와 간조 때 해수면의 높이 차를 이용하는 발전 방식이며, 조류 발전은 조류가 강한 지역에 터빈을 설치함으로써 해수의 수평 흐름을 회전 운동으로 변환시켜 전기 에너지를 생산하는 발전 방식이다.

Ⓐ 조력 발전은 만조와 간조 때 발생하는 해수면의 높이 차를 이용하여 위치 에너지를 전기 에너지로 전환하는 발전 방식이다.

⓵ 조류 발전은 조류를 직접 이용하는 발전 방식으로 파도와 큰 관련이 없다.

Ⓐ 조력 발전과 조류 발전 모두 날씨나 계절의 영향을 거의 받지 않고 발전할 수 있다는 장점이 있다.

## 10 파력 발전

파력 발전은 바람에 의해 생기는 해수의 운동을 이용하여 전기 에너지를 생산하는 발전 방식이다.

Ⓐ 바다에 부표나 원통형 실린더를 띠워 놓고 여기에 발전기를 설치하여 파도가 칠 때 전기 에너지를 생산하는 방식은 부유식 파력 발전이다.

⓵ 밀물과 썰물의 흐름이 빠른 해역에 설치하여 전기 에너지를 생산하는 방식은 조류 발전이다. 파력 발전은 조류의 흐름과 큰 관련이 없다.

⓵ 파도에 의해 얻어지는 압축 공기를 이용하여 터빈을 돌려서 전기 에너지를 생산하는 방식은 고정식 파력 발전이다.

## 11 해양 자원

해양 자원에는 에너지 자원, 광물 자원, 생물 자원 등이 있다.

Ⓐ 가스수화물은 A의 예에 해당하므로 A는 광물 자원이 될 수 없다. ‘광물 자원’은 B에 해당하고, ‘에너지 자원’은 A에 해당한다.

⓵ 화석 연료는 에너지 자원에 해당하므로 A에 속하는 자원이다.

Ⓐ 일반적으로 해양 생물은 육상 생물에 비하여 재생산력이 약 5~7배에 달하며, 이와 같은 특징을 이용하여 바다 목장을 운영한다.

## 12 가스수화물

메테인이 주성분인 천연가스가 영구 동토 지역이나 깊은 바닷속 환경처럼 저온·고압 환경에서 물 분자와 결합한 고체상의 물질을 가스수화물이라고 한다.

⓵ 가스수화물은 저온·고압 환경에서 생성된다.

- ㉡ 가스수화물의 주성분인 메테인은 (나)와 같은 방법을 통해 얻을 수 있다.
- ㉢ 가스수화물은 저온·고압 환경에서 물 분자와 결합하여 고체상의 물질로 존재하는 에너지 자원이다.

수능	3점	테스트	본문 52~57쪽
01	③	02 ①	03 ②
07	③	08 ①	09 ②
10	⑤	11 ⑤	12 ④

## 01 해저 열수 광상

해저 열수 광상은 주로 해령의 정상부, 해구와 호상 열도의 주변부에서 형성된다.

- ㉡ 열수가 분출하는 지역은 지하로 스며든 해수가 마그마의 영향을 받는 곳으로 대부분 화산 활동이 활발하게 일어나는 판의 경계 부근에 위치한다.
- ㉡ 지하로 스며든 해수가 마그마의 영향을 받아 고온의 열수가 된다. 고온의 열수는 주변 암석과 반응하여 다양한 금속을 용해시킨다.
- ✖ 해저 열수 광상은 마그마의 작용에 의해 형성된 것으로 화성 광상에 해당한다.

## 02 광물 자원의 분류

황, 금강석, 흑연은 모두 비금속 광물 자원에 해당하며, 원소 광물이다. 흑연, 텉스텐, 자철석은 일반적인 비금속 광물에 비해 높은 전기 전도성을 나타낸다.

- ㉡ 황, 금강석, 흑연은 모두 원소 광물이다.
- ✖ 광물의 이용 과정에서 제련 과정이 필요한 광물은 금속 광물이다. B에서 흑연은 비금속 광물이다.
- ✖ 흑연은 주로 변성 광상에서 산출된다.

## 03 호상 철광층

호상 철광층은 대부분 선캄브리아 시대에 해당하는 약 25억 년 전~약 18억 년 전에 해수 속에 용해된 철 이온( $Fe^{3+}$ )과 산소가 결합하여 만들어진 것이다.

- ✖ 호상 철광층은 물에 녹은 철 이온과 산소가 결합하여 만들어진 산화 철이 침전되어 형성된다. 따라서 퇴적 광상에 속한다.
- ✖ 대부분의 호상 철광층은 육지에서 산소의 농도가 높아지기 이전 시기인 약 25억 년 전~약 18억 년 전에 형성되었다.

- ㉡ 호상 철광층이 형성되어 해수 속에 용해되었던 많은 양의 철 이온들은 현재 철광석으로 존재한다. 따라서 해수에 존재하는 철 이온의 양은 호상 철광층이 생성되기 시작할 당시보다 현재가 적다.

## 04 변성 광상

변성 광상에는 광역 변성 광상과 접촉 교대 광상이 있다. 광역 변성 광상에서는 우라늄, 흑연, 활석, 석면, 남정석 등이 산출되며, 접촉 교대 광상에서는 철, 구리, 텉스텐, 납, 아연, 몰리브데넘, 주석 등이 산출된다. A는 광역 변성 광상, B는 접촉 교대 광상이다.

- ㉠ A는 우라늄, 흑연, 활석, 석면 등이 산출되는 광역 변성 광상이다.
- ㉡ B는 접촉 교대 광상으로 석회질 퇴적암에 화성암체가 관입한 접촉부에서 생성되며, 석회질 물질과 고온의 규산염 용액이 반응하여 새로운 광물이 침전되어 기존 광물을 교대하여 광상이 형성된다.
- ✖ 광역 변성 광상(㉠)은 접촉 교대 광상(㉡)에 비해 광상의 형성 과정에서 압력의 영향을 상대적으로 많이 받는다.

## 05 광물 자원의 이용 예

고령토는 비금속 광물로 종이, 도자기의 원료로 이용되며, 석회석은 시멘트의 원료로 주로 이용된다.

- ㉠ A(고령토)는 규산염 광물로 대부분 장석과 같은 광물의 화학적 풍화 작용을 거쳐 생성된다.
- ㉡ (나)는 석회석이 이용되는 예에 해당한다. 석회석은 주로 강원도 남부와 경북 북부, 충청북도 북동부 지역에서 산출되며, 해당 지역은 우리나라 고생대 퇴적층이 분포하는 지역이다.
- ✖ A는 1991~2020년 동안의 연평균 생산량이 2011~2020년 동안의 연평균 생산량보다 많지만, B는 1991~2020년 동안의 연평균 생산량이 2011~2020년 동안의 연평균 생산량보다 적다. 따라서 2011~2020년 동안의 국내 연평균 생산량은 A가 1991~2010년 동안의 국내 연평균 생산량 B보다 작다.

## 06 지하자원

우리나라에서 무연탄은 평안 누층군이 위치한 강원도 지역에서 주로 산출되며, 고령토는 경상도 지역에서 주로 산출된다. A는 무연탄, B는 고령토이다.

- ✖ A는 무연탄으로, 에너지 자원이다.
- ㉡ B는 주로 장석의 풍화 작용에 의해 생성되는 고령토로, 비금속 광물 자원이다.
- ✖ 우리나라에서 금과 같은 금속 광물 자원의 매장량은 에너지 자원인 무연탄이나 비금속 광물 자원인 고령토에 비해 매우 적다.

## 07 광물 자원의 이용 예

희토류는 란타넘족 원소 15개에 원자 번호 21번인 스칸듐(Sc), 39번인 이트륨(Y)을 더한 총 17개 원소를 말하며, LED, 스마트폰, 컴퓨터 등 첨단 산업에서 중요하게 이용된다.

Ⓐ A는 치과 재료, 보석, 화폐 등으로 이용되며, B는 첨단 산업, 항공 우주 산업 등에 이용된다. 따라서 A는 금, B는 희토류이다.

✗ 희토류는 '자연계에 매우 드물게 존재하는 금속 원소'라는 의미로, 경제성이 있을 정도의 농축된 형태로 산출되는 경우는 매우 드물다.

Ⓒ 금과 희토류는 모두 다양한 전자 제품의 부품으로 이용된다는 공통점이 있다.

## 08 암석의 이용

우리나라는 지하자원이 부족한 나라에 속하며, 특히 금속 광물 자원의 매장량이 매우 적어 대체로 비금속 광물 자원에 비해 수입량이 많다.

Ⓐ 타이타늄과 동은 금속 광물 자원에 해당한다.

✗ 우리나라에서 금속 광물 자원은 비금속 광물 자원에 비해 대체로 매장량이 적고, 자급률이 낮기 때문에 광물 자원의 총수요량에 대한 수입량의 비율이 상대적으로 높게 나타난다. 따라서 광물 자원의 국내 생산량은 A가 B보다 적다.

✗ 석탑은 화성암으로 이루어져 있다. 따라서 석탑을 이루는 광물의 함량비는 A가 B보다 낮다.

## 09 조력 발전

조력 발전은 만조와 간조 때 발생하는 해수면의 높이 차를 이용한 발전 방식이다. (나)에서 해수면의 높이는 바다가 호수보다 높으므로 이 시기는 간조에서 만조로 바뀌는 시기(밀물)에 해당한다.

✗ 이 지역에서 고고조일 때 해수면의 높이는 6 m, 저저조일 때 해수면의 높이는 -6 m이므로 하루 동안의 최대 조차는 12 m이다.

✗ 조력 발전은 해수면의 높이 변화를 이용한 발전 방식으로 바다와 호수의 수면 높이 차이가 클 때 전력 생산이 상대적으로 유리하다. 즉, (나)에서 발전량은  $h$ 가 작을수록 대체로 적게 나타난다.

Ⓒ (나)에서 바다의 해수면 높이는 호수보다 높다. 즉, 바다에서 호수 쪽으로 물이 유입되며 발전하고 있는 상황이므로 간조에서 만조로 해수면의 높이가 바뀌는 시기이다. 따라서  $t_2$ 에 해당한다.

## 10 해양 온도 차 발전

해양 온도 차 발전은 표층수와 심층수의 온도 차이를 이용하여 전기를 생산하는 방법으로, 표층수의 따뜻한 열로 액체를 기화시켜 터빈을 돌려서 전기를 생산한다.

Ⓐ 끓는점이 낮은 작동 유체를 이용할 때 액체를 쉽게 기화시킬 수 있으므로 (가)에서 작동 유체는 끓는점이 높은 것보다 낮은 것을 이용할 때 발전에 유리하다.

Ⓒ (나)에서 전력 밀도 추정치는 Ⓟ 지점이 Ⓡ 지점보다 작기 때문에 추정 발전량 역시 Ⓟ 지점이 Ⓡ 지점보다 적다.

Ⓓ A는 기화기이며, 따뜻한 열로 액체를 기체로 바꿔주는 장치이다. 이때 작동 유체가 만들어지며, 이를 통해 터빈을 돌리고 전기를 생산한다.

## 11 조류 발전

조류 발전은 조석에 의해 발생하는 조류에 직접 터빈을 설치함으로써 해수의 수평 흐름을 회전 운동으로 변환시켜 전기 에너지를 생산하는 방식이다. 조류 발전은 터빈의 회전축 형태에 따라 수직축 발전과 수평축 발전으로 구분한다.

Ⓐ (가)는 터빈 회전축의 방향이 해수 이동 방향에 대해 수직이기 때문에 해수의 이동 방향이 변해도 별도의 장치 없이 지속적으로 발전할 수 있다.

Ⓒ (나)는 터빈 회전축의 방향이 해수 이동 방향에 대해 수평이며, 해수의 수평 흐름을 터빈을 활용해 회전 운동으로 변환시켜 발전한다.

Ⓓ 조류 발전은 조력 발전과 달리 제방과 같은 구조물이 필요하지 않으므로 조력 발전보다 생태계에 미치는 영향이 작다.

## 12 우리나라 해양 에너지

우리나라에서 총발전량에 대한 신재생 에너지 발전량의 비율은 지속적으로 증가하는 추세이지만, 신재생 에너지 발전량에 대한 해양 에너지 발전량의 비율은 다른 에너지들에 비해 상대적으로 낮은 수준이다.

✗ 우리나라의 총발전량은 2016년부터 2018년까지 증가했으며, 2018년부터 2020년까지 감소했다.

Ⓒ 총발전량에 대한 신재생 에너지 발전량의 비율은 2016년에 약  $\frac{18664}{562219}$  GWh, 2018년에 약  $\frac{29657}{594596}$  GWh이다. 따라서 총발전량에 대한 신재생 에너지 발전량의 비율은 2016년이 2018년보다 낮다.

Ⓓ 2019년부터 2020년까지 신재생 에너지 발전량에 대한 해양에너지 발전량의 비율은 1.1 %이므로, 연평균 해양 에너지 발전량은 300 GWh보다 많다.

## 04 한반도의 지질

### 수능 2점 테스트

본문 66~69쪽

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

### 01 주향과 경사

주향은 진북을 기준으로 지층면과 수평면의 교선(주향선)이 가리키는 방향이다. 경사는 경사각과 경사 방향으로 표현되며, 경사 방향은 주향에 대해 수직이다.

- Ⓐ ‘주향’은 Ⓡ에 해당한다.
- Ⓑ 경사 방향은 주향에 대해 수직이다. 따라서 주향이 EW일 때, 경사 방향은 N 또는 S이다.
- ✖ 경사각이  $45^{\circ}$ , 경사 방향이 NE라면, 경사는  $45^{\circ}\text{NE}$ 로 표현된다.

### 02 클리노미터

클리노미터는 지층의 주향과 경사를 측정하는 도구이다.

- Ⓐ 클리노미터로 주향을 측정할 때에는 지층면에 클리노미터의 긴 모서리를 수평으로 대고 북쪽을 기준으로 자침이 가리키는 바깥쪽 눈금을 읽는다.
- ✖ B는 경사각을 재는 경사추이며, 경사를 챌 때 중력 방향을 향한다.
- ✖ 수준기의 기포가 중앙에 놓이도록 한 후 측정하는 것은 주향이다. 기울어진 지층의 경사를 측정할 때 수준기의 기포는 중앙에 놓일 수 없다.

### 03 노선 지질도

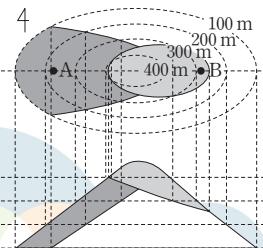
지질을 조사할 때 도로나 골짜기 같은 노선을 따라 조사한 내용을 적어 넣은 지도를 노선 지질도라고 하며, 노선도, 루트맵, 조사 노선도라고도 한다.

- ✖ A는 수평층이다.
- Ⓐ 이 지역에는 습곡 구조가 나타나며, D 지층은 향사축이 된다. 따라서 B는 C보다 먼저 생성되었다.
- Ⓐ 이 지역에는 습곡 구조가 발달해 있으며, A는 배사축, D는 향사축이 된다.

### 04 지질도 해석

지질 단면도를 그려보면 다음과 같은 부정합이 나타나는 지질 구

조를 파악할 수 있다. A 지점은 서쪽으로 경사진 경사층에 위치하며, B 지점은 동쪽으로 경사진 경사층에 위치한다.



- ③ A 지점의 경사 방향은 서쪽(−), B 지점의 경사 방향은 동쪽(+)이 된다.

### 05 지질 조사 순서

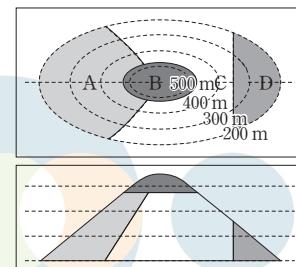
지질 조사의 순서는 노선 지질도 작성 → 지질도 작성 → 지질 단면도 작성 → 지질 주상도 작성이다.

- Ⓐ (가)는 지질 조사 순서의 마지막에 작성되는 지질 주상도이다.
- ✖ 지질도에서 경사 방향은 어떤 지층 경계선상에서 고도가 높은 주향선에서 낮은 주향선 쪽으로 주향선에 수직이 되도록 그은 화살표 방향이다. 따라서 A층의 경사 방향은 북동쪽이다.
- ✖ 지질 조사는 지질도를 작성한 후 지질 단면도와 지질 주상도를 작성하는 순서로 진행된다. 따라서 지질 조사를 통한 지질도 작성 순서는 (나) → (가)이다.

### 06 지질도 해석

이 지역은 부정합이 나타나고 있으며, D는 수직층이다.

- ✖ A는 C보다 나중에 생성되었다.
- Ⓑ D는 수직층이며 주향은 NS이다.
- Ⓐ B는 A와 C를 부정합으로 덮고 있다.



### 07 한반도 지체 구조

지체 구조는 암석의 종류와 연령, 지각 변동에 의한 특징적인 지질 구조 등에 따라 여러 지역으로 나눈 것을 말한다. A는 경기 육괴, B는 영남 육괴, C는 경상 분지에 해당한다.

- Ⓐ A는 주로 선캄브리아 시대의 변성암류로 구성되어 있는 경기 육괴에 해당한다.

Ⓐ B는 영남 육괴, C는 경상 분지에 해당한다. 따라서 암석의 평균 연령은 B가 C보다 많다.

Ⓑ 경기 육괴와 영남 육괴에는 중생대에 관입한 화강암류가 분포하며, 경상 분지에는 백악기에 생성된 화산암이 분포한다. 따라서 화성암은 A, B, C에서 모두 산출된다.

## 08 한반도의 시대별 지질 분포

한반도의 암석 분포를 종류별로 나타내면, 변성암(약 40%)>화성암(약 35%)>퇴적암(약 25%)이다. 주로 경기도와 충청도 일대에 분포하며, 석탄이 산출되는 누층군은 대동 누층군이다.

Ⓐ A는 중생대 트라이아스기 후기~쥐라기 중기에 생성된 대동 누층군으로 쥐라기 후기에 일어난 대보 조산 운동에 의해 변형되었다.

ⓧ 대동 누층군을 이루는 암석은 대부분 퇴적암이다. 따라서 A를 이루는 암석의 비율은 Ⓛ(퇴적암)이 Ⓜ(화성암)보다 높다.

ⓧ 우리나라 고생대에는 주로 퇴적암이 생성되었다. 우리나라에서 화성암은 주로 중생대와 신생대에 생성되었다.

## 09 중생대 암석 분포

우리나라는 중생대 중기와 말기에 일어난 대보 조산 운동으로 인해 대규모의 화강암이 관입하였다. A는 대보 화강암, B는 경상 누층군이다.

Ⓐ A는 대보 화강암이다.

ⓧ 대보 화강암은 대보 조산 운동에 의해 생성되었고, 경상 누층군은 대보 조산 운동이 일어난 이후에 생성되었다. 따라서 A(대보 화강암)는 B(경상 누층군)보다 먼저 생성되었다.

ⓧ 우리나라의 경우 중생대 퇴적층은 모두 육성층이다.

## 10 우리나라 지질 계통

어떤 지역에 분포하고 있는 암석과 지층을 생성 시대 순으로 배열하여 상호 관계를 나타낸 것을 지질 계통이라고 한다. 지층의 생성 순서에 따라 C는 평안 누층군, B는 대동 누층군, A는 연일층군이다.

ⓧ A는 신생대에 생성된 연일층군이다. 우리나라에 분포하는 암석의 지질 시대별 비율은 선캄브리아 시대>중생대>고생대>신생대 순이다. 따라서 A는 Ⓛ 시기에 생성되었다.

ⓧ B는 대동 누층군, C는 평안 누층군이다. 화동리층은 조선 누층군과 평안 누층군 사이에 존재한다.

ⓧ Ⓛ은 신생대, Ⓜ은 중생대이다. 우리나라에서 중생대 지층은 모두 육성층이며, 신생대 지층은 육성층과 해성층이 모두 존재한다.

## 11 신생대의 한반도

약 1천 8백만 년 전의 한반도 주변에서는 일본이 태평양 쪽으로

이동하면서 동해의 크기가 점차 확장되는 변화가 나타났다.

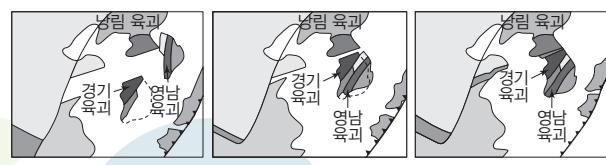
ⓧ 약 450만 년 전에 화산 분출이 일어나 독도가 만들어졌고, 이후 울릉도가 형성되기 시작하였다.

ⓧ 약 2천 5백만 년 전에 태평양판이 일본 아래로 섭입하면서 동해가 형성되기 시작하였다. 태평양판의 섭입은 그 이후로도 지속되었다.

ⓧ A는 쪼개진 대륙 지각에 해당하며, 화산 활동에 의해 형성된 화산섬이 아니다.

## 12 한반도 지체 구조 변화

한반도를 북부 지괴, 중부 지괴, 남부 지괴로 구분한다면, 낭림 육괴는 북부 지괴, 경기 육괴는 중부 지괴, 영남 육괴는 남부 지괴로 구분할 수 있다. 아래 그림과 같이 한반도 지체 구조의 변화를 설명하는 모델에서는 이들 지괴가 쥐라기에 현재와 비슷한 모습을 갖추었다고 설명한다.



(가) 고생대 말기 (나) 중생대 초기(트라이아스기) (다) 중생대 중기(쥐라기)

ⓧ A는 경기 육괴이다.

ⓧ (가)는 지괴들이 합쳐지기 이전의 상황으로 고생대 말기의 모습이다.

ⓧ 이 모델에 따르면 한반도는 여러 지괴가 합쳐지는 과정을 통해 형성되었다.

## 13 한반도의 지체 구조 형성

한반도의 지체 구조 형성을 설명하는 모델에 의하면, 한반도는 중생대에 한중 지괴와 남중 지괴의 충돌이 있었으며, 이 과정에서 현무암과 같은 고철질 암석이 높은 압력에 의해 변성되어 애클로사이트와 같은 초고압 환경에서 만들어지는 암석이 생성되었다.

ⓧ 중생대에 한반도는 여러 지괴의 충돌로 인해 대규모의 지각 변동이 일어났다.

ⓧ 한중 지괴와 남중 지괴의 충돌이 일어난 충돌대에서는 초고압 환경에서 만들어지는 암석이 생성된다.

ⓧ 현재 우리나라의 남동부를 이루는 지괴는 중생대에 충돌한 한중 지괴와 남중 지괴 중 한중 지괴에 해당한다.

## 14 변성 작용이 일어나는 환경

접촉 변성 작용은 마그마가 관입할 때 방출된 열에 의해 마그마와의 접촉부를 따라 일어나는 변성 작용이고, 광역 변성 작용은 조산 운동이 일어나는 지역에서 넓은 범위에 걸쳐 열과 압력에 의해 일어나는 변성 작용이다.

- ☒ A는 엽리 조직이 관찰되는 암석이기 때문에 혼펠스가 될 수 없다.
- ☒ A는 광역 변성 작용을 받아 생성된 암석이므로 (나)의 ⑤에서 생성된다.
- Ⓐ 접촉 변성 작용이 일어나는 영역은 광역 변성 작용이 일어나는 영역에 비해 대체로 좁다.

## 15 접촉 변성암과 광역 변성암

- 접촉 변성 작용에 의해 생성된 암석은 방향성이 없고 치밀한 조직이 나타나며, 광역 변성 작용에 의해 생성된 암석은 광물들이 난란하게 배열된 엽리가 나타난다.
- ⑥ ⑦은 엽리가 나타나는 암석으로 광역 변성암이다.
  - ☒ ⑧은 세일이 접촉 변성 작용을 받아 생성된 암석으로 혼펠스 조직이 나타난다.
  - ☒ 우리나라의 퇴적 분지에는 태백산 분지, 경상 분지, 포항 분지가 있다. A는 경기 육괴에 속해 있다.

## 16 판 경계에서의 변성 작용

- 수렴형 경계 부근의 A에서는 온도와 압력이 증가하면서 섭입된 퇴적암이 광역 변성 작용을 받는다.
- Ⓐ 대리암은 석회암이 변성 작용을 받아 생성되는 암석이다. 석회암은 접촉 변성 작용을 받거나 광역 변성 작용을 받을 때 대리암이 될 수 있다.
  - Ⓐ A는 광역 변성 작용이 일어나는 영역, B는 접촉 변성 작용이 일어나는 영역이다. 따라서 변성 과정에서 압력의 영향은 A가 B 보다 크다.
  - Ⓐ 이 지역은 판의 섭입이 일어나는 수렴형 경계이다. 따라서 이 지역에서는 퇴적암이 섭입될 때 섭입된 퇴적암에 작용하는 온도와 압력이 모두 증가하면서 변성 작용이 일어난다.

수능 3점 테스트						분문 70~77쪽
01 ①	02 ④	03 ②	04 ①	05 ④	06 ③	
07 ③	08 ⑤	09 ②	10 ①	11 ③	12 ②	
13 ⑤	14 ②	15 ①	16 ④			

## 01 주향과 경사 측정

- 지층면과 수평면의 교선을 주향선이라고 하고, 진북(N)을 기준으로 주향선이 가리키는 방향을 주향이라고 한다. 주향선에 대해 직각이 되는 지층면의 경사진 방향은 경사 방향이다.
- Ⓐ 주향은 클리노미터의 긴 모서리를 지층면에 대고 수준기의 기

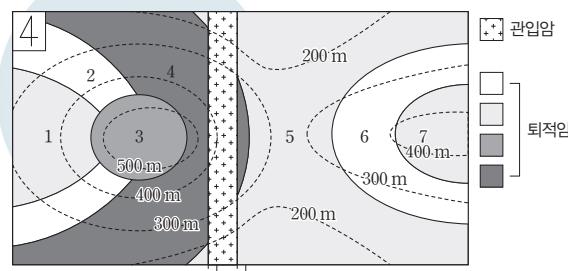
포가 중앙에 오도록 한 후 측정한다.

- ☒ (다)의 과정은 클리노미터를 활용해 경사를 측정하는 방법이다. 경사는 주향에 직각이므로 클리노미터의 긴 옆면을 댈 때, 주향선에 수직이 되도록 해야 한다.
- ☒ [탐구 결과]에서 편각이  $0^{\circ}$ 일 때, 독서대의 주향은  $N40^{\circ}W$ 이고, 경사는  $40^{\circ}NE$  또는  $40^{\circ}SW$ 가 될 수 있다.

## 02 지질도 해석

지질도에서 부정합은 한 지층 경계선이 다른 지층 경계선을 덮으며, 덮은 선을 경계로 다른 지층이 나타난다.

- ☒ ⑦ 지점은 관입암이 수직층으로 나타나는 곳에 위치한다. 따라서 ⑦ 지점의 하부에는 관입암만 존재한다.
- Ⓐ 퇴적층을 아래 그림과 같이 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7로 표현한다면, 이 지역의 동쪽에서 지층의 퇴적 순서는  $5 \rightarrow 6 \rightarrow 7$ 이다. 따라서 A와 B는 같은 종류의 퇴적암이지만, 지층의 퇴적 순서를 고려할 때 퇴적 시기는 서로 다르다.
- Ⓒ 아래 그림에서 지층 5를 기준으로 서쪽에서 지층의 퇴적 순서는  $5 \rightarrow 4 \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow$  부정합  $\rightarrow 3$ 이다. 이때 지층 1, 2, 4와 지층 3은 경사 부정합의 관계이다.



## 03 지질 조사

노두는 암석이나 지층이 지표에 드러난 것으로, 산과 해안 지역의 절벽, 계곡, 절개지 등에 잘 나타난다. 노두 조사를 활용해 노선 지질도를 작성할 수 있다.

- ☒ 클리노미터에 표시된 동, 서 방향은 나침반과는 반대로 되어 있다. 따라서 편각이  $0^{\circ}$ 일 때, A층의 주향은  $N70^{\circ}E$ 이다.
- ☒ 주향이  $N70^{\circ}E$ 일 때, 나타날 수 있는 경사 방향은 NW 또는 SE이다. 습곡 구조가 발달할 때, 습곡축을 기준으로 양쪽의 지층은 대칭을 이루기 때문에 (다) 지점에서 측정한 E층의 경사 방향은 남서쪽이 될 수 없다.
- Ⓒ 이 지역은 (나) 지점에 향사축이 나타나는 습곡 구조가 발달한다.

## 04 지질도 해석

지질도에서 단층은 하나의 지층 경계선이 다른 지층 경계선을 끊으면서 경계선의 양쪽에서 같은 지층이 반복적으로 나타난다. 정

단층은 단층의 상반이 하반에 대해 상대적으로 아래로 내려간 단층이다.

⑦ (가)에서 단층  $f-f'$ 는 단층의 상반이 하반에 대해 상대적으로 아래로 내려간 단층으로 정단층이다.

☒. (나)에는 등고선에 나란하게 지층 경계선이 분포하는 곳은 없다. 따라서 (나)에는 수평층이 나타나지 않는다.

☒. (나)는 습곡 구조 중 배사 구조가 나타나는 지형이다. Q 지점은 배사축 부근에 위치한 곳으로 Q 지점에서 지질 주상도를 나타내면 (다)와 같은 지층 분포가 나타날 수 없다. 한편, (가)에서 지층은 서쪽으로 경사진 상태이므로 P 지점에서 지질 주상도를 나타내면 깊어질수록 퇴적층이  $a \rightarrow b \rightarrow c$  순으로 나타난다. 따라서 (다)는 P 지점의 지질 주상도에 해당한다.

## 05 지질도 해석

고도가 일정한 지역에서 단층이 발달할 때 단층면이 기울어진 방향에 단층의 상반이 위치한다. 단층선을 기준으로 상반이 위치하는 곳에 상대적으로 더 오래된 지층이 분포한다면, 그 지역은 역단층이 발달한다.

⑦. 단층면이 북동쪽으로 기울어져 있으므로 단층선을 기준으로 북동쪽에 단층의 상반이 위치한다. 단층면을 경계로 상대적으로 더 오래된 지층이 단층의 상반에 분포하므로 단층  $f-f'$ 는 역단층이다.

☒. 지질도의 기호를 통해 지층의 경사 방향을 판단할 수 있다. 향사 구조가 발달한 지역에서는 향사축 방향으로 경사 방향이 나타나고, 배사 구조가 발달한 지역에서는 배사축의 반대 방향으로 경사 방향이 나타난다. 경사 방향을 고려할 때, A층에는 배사축이, C층에는 향사축이 위치하는 곳이 존재하기 때문에 이 지역은 배사 구조와 향사 구조가 모두 나타난다.

☒. 이 지역은 A, B, C 퇴적  $\rightarrow$  습곡  $\rightarrow$  화성암 관입  $\rightarrow$  단층 ( $f-f'$ )  $\rightarrow$  부정합  $\rightarrow$  D 퇴적 순으로 지질학적 사건이 일어났다. 따라서 퇴적암 D는 화성암 관입에 의한 변성 작용의 흔적이 나타날 수 없다.

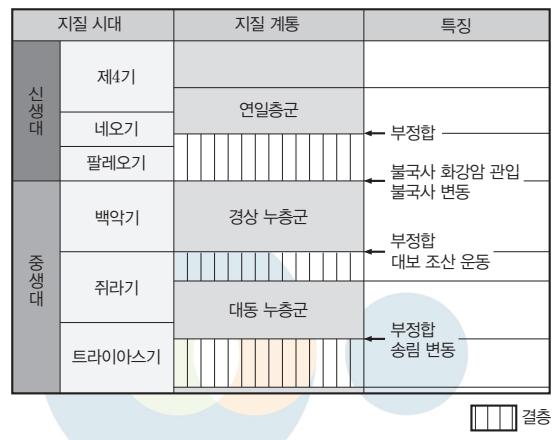
## 06 우리나라 지질 계통표

중생대는 현재로부터 약 2억 5천만 년 전~약 6천 6백만 년 전에 해당하는 시기이다. 중생대 트라이아스기~쥐라기에 대동 누층군이 생성되었고, 백악기에 경상 누층군이 생성되었다.

⑦. 우리나라 중생대 초기에 결층이 존재하며, 대동 누층군이 생성되고 난 이후에도 결층이 존재한다. 즉, 결층 A와 B는 각각 대동 누층군이 생성되기 이전과 이후의 결층에 해당한다.

☒. ⑦은 불국사 화강암이고, 중생대 백악기에 생성되었다. C는 신생대 초기의 결층이다.

☒. ⑧은 대보 조산 운동에 의해 생성된 대보 화강암으로 우리나라에서 대체로 북동~남서 방향으로 분포한다.



## 07 고생대와 신생대 지층의 특징

고생대에는 조선 누층군과 평안 누층군이 형성되었고, 신생대에는 연일충군과 제4기 지층이 형성되었다. A와 B는 각각 조선 누층군과 평안 누층군이고 C는 연일충군이다.

⑦. 지층의 생성 순서는 조선 누층군(A)  $\rightarrow$  평안 누층군(B)  $\rightarrow$  연일충군(C)이다.

⑧. 조선 누층군과 평안 누층군, 연일충군 모두 사암, 세일 등의 쇄설성 퇴적암이 산출된다.

☒. 평안 누층군은 하부에 사암, 세일, 석회암 등이 분포하는 해성층이 있으며, 상부에 사암, 세일, 무연탄층이 분포하는 육성층이 있다. 평안 누층군이 생성되는 과정에서 퇴적 환경은 해양 환경에서 육상 환경으로 변했지만, 두 지층의 생성 시기 사이에는 격렬한 지각 변동이 발생한 적이 없으며, 이로 인한 결층 또한 존재하지 않는다.

## 08 중생대 지층의 특징

한반도에서 중생대는 현생 누대 중 조산 운동과 화성 활동이 가장 활발했던 시기이다. 조산 운동 과정에서 대규모의 화강암류 관입이 있었다.

⑨. A는 대동 누층군에 해당하며, 대동 누층군에서는 석탄층이 발견된다.

⑩. B는 경상 누층군에 해당한다. 경상 누층군에는 백악기 후기에 일어난 불국사 변동으로 인해 생성된 응회암과 화산암이 분포한다.

⑪. (나)의 북한산 인수봉을 이루는 화강암은 대보 조산 운동에 의해 생성된 대보 화강암이다. 대보 조산 운동이 일어난 시기는 대동 누층군의 생성 시기와 경상 누층군의 생성 시기 사이에 해당한다.

## 09 중생대와 신생대 지층의 특징

(가)는 중생대 암석 및 지층 분포를 나타내고, (나)는 신생대 지층

분포를 나타낸다. A는 대보 화강암, B는 대동 누층군, C는 경상 누층군, D는 제4기 지층, E는 연일층군이다.

▣ A는 대보 화강암이고, D는 제4기 지층이다. 대보 화강암의 생성 시기가 제4기 지층의 생성 시기보다 빠르므로 A(대보 화강암)에 의해 D(제4기 지층)가 변형될 수 없다.

◎ B는 대동 누층군이다. B를 구성하는 주요 암석은 사암, 셰일, 역암, 석탄 등의 퇴적암이다.

▣ C는 경상 누층군으로 육성층이지만, E는 연일층군으로 육성 층과 해성층을 모두 포함한다. 따라서 E에서만 해양 생물의 화석이 산출된다.

## 10 고생대와 중생대 지층의 특징

평안 누층군은 고생대에 생성되었으며, 하부에는 해성층이 존재한다. 해성층에서는 해양 생물의 화석이 산출된다. 대동 누층군은 중생대에 생성되었으며, 석탄층이 존재하고 육상 생물의 화석이 산출된다. 경상 누층군은 중생대에 생성되었으며, 사암, 셰일 등의 쇄설성 퇴적암과 함께 응회암, 화산암 등이 산출된다.

◎ A는 평안 누층군이다. 평안 누층군은 중생대 초에 일어난 송림 변동에 의하여 심하게 변형되었다.

▣ B는 대동 누층군이다. 대동 누층군은 김포 및 연천, 문경 및 단양, 충남 보령 등에 분포한다. 주로 태백산 분지 부근에 분포하는 누층군은 A(평안 누층군)이다.

▣ C는 경상 누층군이다. 우리나라 중생대 지층은 모두 육성층이기 때문에 암모나이트와 같은 해양 생물 화석이 산출될 수 없다.

## 11 한반도의 지체 구조

지체 구조는 암석의 종류와 연령, 지각 변동에 의한 특징적인 지질 구조 등에 따라 여러 지역으로 나눈 것을 말한다. 육괴, 퇴적 분지, 습곡대 등이 있다.

◎ (가)는 육괴에 대한 설명이다. 육괴는 주로 선캄브리아 시대의 암석으로 이루어져 있으며 고생대 이후에는 대체로 육지로 드러나 있다. 지형적으로나 구조적으로 특정한 방향성을 나타내지 않는 암석들이 모여 있는 지역이다.

▣ A는 영남 육괴이다.

◎ B는 경상 분지이다. (나)는 퇴적 분지에 해당하며, 퇴적 분지 중 백악기에 하천과 호수에서 생성된 퇴적암과 화산암으로 이루어진 퇴적 분지는 경상 분지이다.

## 12 한반도의 형성 과정

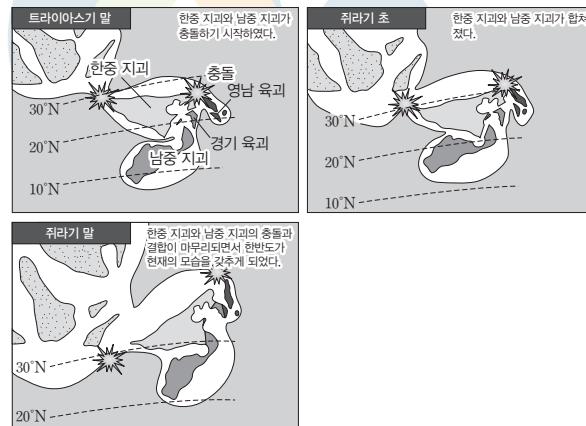
고생대에 남반구에 위치해 있었던 곤드와나 대륙은 고생대 후기에 들어 분리되기 시작하였다. 약 2억 6천만 년 전 곤드와나 대륙 북쪽 가장자리에 있던 한중 지괴와 남중 지괴는 곤드와나 대륙에서 떨어져 나와 북쪽으로 이동하다가 중생대에 서로 충돌하면서

한반도가 형성되었다.

▣ 트라이아스기 말기에 한중 지괴와 남중 지괴가 충돌하면서 일어난 조산 운동은 송림 변동이다.

▣ 동해는 약 2천 5백만 년 전에 태평양판이 일본 아래로 섭입하면서 형성되기 시작하였다.

◎ (가) 시기는 고생대에 해당한다. 고생대에 한중 지괴와 남중 지괴는 곤드와나 대륙에서 분리된 이후에 지속적으로 북상한 후 중생대에 충돌을 시작하였다.



한반도의 형성 과정

## 13 한반도 주변의 판 구조 환경

백악기에 고태평양판이 한반도 아래로 섭입하면서 마그마의 관입과 분출이 활발하게 일어나 불국사 화강암과 화산 퇴적물이 만들어졌다. 팔레오기 말에는 태평양판이 일본 아래로 섭입하면서 동해가 형성되기 시작하였고, 확장되었다.

◎ ◎은 영남 육괴, ◎은 남서일본 육괴에 해당한다.

▣ ◎은 해양판의 섭입이 일어나기 이전부터 존재했다. 따라서 ◎은 백악기에 해양판의 섭입에 의한 화산 활동으로 형성된 것이 아니다.

◎ 불국사 변동은 백악기 후기에 한반도 남부를 중심으로 화강암의 관입과 화산암의 분출이 활발하게 일어난 지각 변동이다. 따라서 A 시기와 B 시기 사이에 한반도 남부를 중심으로 불국사 변동이 일어났다.

## 14 변성 환경과 변성암

A는 속성 작용, B는 접촉 변성 작용, C는 광역 변성 작용이 일어날 수 있는 환경이다. (나)에서 ◎은 규암, ◎은 편마암이다.

▣ A는 속성 작용이 일어날 수 있는 퇴적 환경에 해당한다. 따라서 마그마는 A에서 생성되지 않는다.

◎ 규암은 사암이 변성 작용을 받아 만들어진다. 사암이 접촉 변성 작용을 받거나 광역 변성 작용을 받으면 규암이 만들어질 수 있다.

☒. ⑤은 편마암으로 엽리가 나타난다. 엽리는 암석 생성 당시 작용한 압력 방향에 대해 직각 방향으로 광물들이 배열되어 방향성이 나타나는 조직이다.

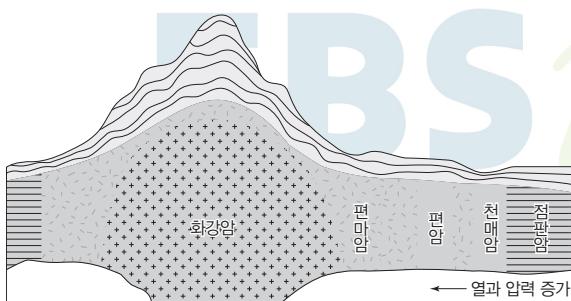
## 15 조산 운동과 변성암 분포

조산 운동이 일어난 지역의 암석은 고온·고압의 조건에서 광역 변성 작용에 의해 광물들의 재결정 작용이 일어나면서 변성암이 된다. 세일의 경우 광역 변성의 정도에 따라 점판암 → 천매암 → 편암 → 편마암 등으로 변하게 되며, 온도와 압력이 매우 높은 환경에서는 암석이 용융되어 마그마가 되기도 한다.

⑦. 광역 변성암의 분포로 보아 점판암 → 천매암 → B → A 쪽으로 갈수록 더 고온·고압의 변성 환경이 형성되었음을 알 수 있다. A에서는 편마 구조가, B에서는 편리가 나타나는 것으로 보아 A는 편마암, B는 편암이다. 따라서 광물 입자의 평균 크기는 A가 B보다 크다.

☒. 광역 변성암의 분포로 보아 ⑦에는 세일이 분포한다. 따라서 암석의 생성 당시 온도는 ⑦의 암석(세일)이 B(편암)보다 낮다.

☒. 조산 운동은 열과 압력이 가장 높은 곳을 중심으로 일어나므로 이 지역에서 조산 운동이 일어난 중심은 ⑦ 부근이 될 수 없다.



## 16 한반도의 변성암

한반도의 변성암은 대부분 선캄브리아 시대에 생성되었으며, 주로 광역 변성 작용을 받아 생성된 편마암, 편암, 규암 등이 이에 해당한다.

☒. A는 선캄브리아 시대에 생성된 편마암이다. 편마암은 낭립 육괴, 경기 육괴, 영남 육괴 등 주로 육괴에 분포한다.

⑦. 편마암은 광역 변성 작용을 받아 생성되기 때문에 ⑦ 환경에서 주로 생성된다. 따라서 암석을 이루는 광물 중 남정석의 비율은 홍주석의 비율보다 높다. 홍주석은 접촉 변성 작용을 받아 생성되는 암석에서 비율이 상대적으로 높다.

⑧. 홍주석, 남정석, 규선석은 동일한 화학 조성을 갖지만 변성 작용 당시의 온도와 압력에 따라 결정 구조가 달라져서 생성되는 광물이다. 즉, 각각 안정하게 존재할 수 있는 온도와 압력의 범위가 존재한다. 이를 통해 어떤 지역의 변성암이 이들 광물을 포함하고 있으면 변성 작용을 받을 때의 온도와 압력을 추정할 수 있다.

## 05 해수의 운동과 순환

### 수능 2점 테스트

본문 92~97쪽

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

### 01 정역학 평형

정역학 평형은 해수의 깊이에 따른 수압 차 때문에 생기는 힘(연직 수압 경도력)이 해수에 작용하는 중력과 평형을 이루고 있는 상태이다.

⑦수. 중력은 지구가 해수를 당기는 힘으로, 위쪽에서 아래쪽 방향으로 작용한다.

⑧회. 연직 수압 경도력은 해수의 깊이에 따른 수압 차 때문에 생기는 힘으로, 아래쪽에서 위쪽 방향으로 작용한다.

▣수. 정역학 평형 상태에서는 물속 한 지점에서 위쪽 방향으로 작용하는 연직 수압 경도력과 아래쪽 방향으로 작용하는 중력이 서로 평형을 이루고 있다. 따라서 정역학 평형 상태에서 연직 수압 경도력과 중력이 작용하는 방향은 서로 반대 방향이다.

### 02 정역학 평형과 수압

수압은 물속의 한 점에서 받는 압력의 세기로, 모든 방향에서 같은 세기의 압력을 받는다.

⑦. 수심은 해수면으로부터 연직 방향으로 측정한 물의 깊이( $h$ )이다. 따라서 A, B, C 지점에서 수심은 서로 같다.

▣수. 수압의 크기( $P$ )는  $\rho g z$  ( $\rho$ : 해수의 밀도,  $g$ : 중력 가속도,  $z$ : 해수면에서부터의 깊이)이다. 세 지점에서 해수의 밀도( $\rho$ )와 중력 가속도( $g$ )는 같고, 수심(해수면으로부터 연직 방향으로 측정한 물의 깊이)  $h$ 도 같으므로 수압의 크기는 A, B, C 지점에서 서로 같다.

▣. 정역학 평형 상태에서는 해수의 연직 방향 움직임이 없다. 용기에 담긴 해수는 정역학 평형 상태이므로 C 지점에서도 해수의 연직 방향의 흐름이 나타나지 않는다.

### 03 수평 수압 경도력

해수면의 높이가 다른 해수는 수평 방향으로 수압이 달라져서 수평 수압 경도력이 발생한다.

⑦. 수평 거리는 (나)가 (가)의  $\frac{3}{4}$ 배이고, 깊이 차는 (나)가 (가)의  $\frac{1}{2}$ 배이므로 해수면의 경사는 (나)가 (가)의  $\frac{2}{3}$ 배이다. 따라서 해

수면의 경사는 (가)보다 (나)에서 작다.

- ◎ 단위 질량의 해수에 작용하는 수평 수압 경도력의 크기는 해수면의 경사 크기와 중력 가속도의 곱에 비례한다. (가)와 (나)에서 중력 가속도는 같고, 해수면의 경사는 (나)가 (가)의  $\frac{2}{3}$ 배이므로, 단위 질량의 해수에 작용하는 수평 수압 경도력의 크기는 (가)보다 (나)에서 작다.

◎ 수평 수압 경도력은 수압이 높은 곳에서 낮은 곳으로 작용한다. (가)에서 수평 방향의 수압은 동쪽이 서쪽보다 높고, (나)에서 수평 방향의 수압은 서쪽이 동쪽보다 높으므로 수평 수압 경도력은 (가)에서는 동쪽에서 서쪽으로 작용하고, (나)에서는 서쪽에서 동쪽으로 작용한다. 따라서 (가)와 (나)에서 수평 수압 경도력이 작용하는 방향은 서로 반대 방향이다.

## 04 전향력

전향력은 지구 자전에 의해 나타나는 가상의 힘으로 지구상에서 운동하는 물체에 작용한다. 전향력은 북반구에서는 물체 운동 방향의 오른쪽 직각 방향으로, 남반구에서는 물체 운동 방향의 왼쪽 직각 방향으로 작용한다.

☒. 단위 질량의 해수에 작용하는 전향력의 크기는  $2v\Omega \sin\varphi$  ( $v$ : 물체의 속력,  $\Omega$ : 지구 자전 각속도,  $\varphi$ : 위도)이다. 따라서 적도를 따라 B로 이동할 때 전향력의 크기가 가장 작다.

◎ 북반구의 고위도 방향으로 해수를 이동시킬 때 해수에 작용하는 전향력은 해수 이동 방향의 오른쪽 직각 방향으로 작용한다. 그리고 남반구의 고위도 방향으로 해수를 이동시킬 때 해수에 작용하는 전향력은 해수 이동 방향의 왼쪽 직각 방향으로 작용한다. 따라서 A와 C에 작용하는 전향력의 방향과 해수 이동 방향이 이루는 각의 크기는 서로 같다.

☒. 해수의 이동 속력이 같다면 전향력의 크기는  $\sin\varphi$  ( $\varphi$ : 위도)에 비례하여 나타난다. 따라서 다른 조건이 동일하다면 전향력의 크기는 위도가 높아질수록 증가한다.

## 05 해수를 움직이는 힘

전향력은 지구 자전에 의해 나타나는 가상의 힘이고, 연직 수압 경도력과 수평 수압 경도력은 해수의 수압 차 때문에 생기는 힘이다.

◎ A는 지구 자전에 의해 나타나는 가상의 힘인 전향력이다. 전향력은 정지한 상태의 해수나 적도에서는 작용하지 않고, 지구상에서 운동하는 모든 물체에 작용한다.

◎ B는 수평 수압 경도력이다. 수평 수압 경도력은 해수의 수평 방향으로의 수압 차 때문에 생기는 힘으로, 수평 방향으로의 수압 차에 비례하고, 수평 거리와 해수의 밀도에 반비례한다.

☒. C는 중력과 함께 정역학 평형 상태를 이루는 힘으로, 해수의 깊이에 따른 수압 차 때문에 생기는 연직 수압 경도력이다. 지구에서 해수는 대체로 정역학 평형 상태를 유지하므로 지구에서 해

수의 이동은 대부분 연직 수압 경도력(C)보다 수평 수압 경도력(B)에 의해 일어난다.

## 06 에크만 나선

해수면 위에서 바람이 일정한 방향으로 계속 불면 남반구에서 표면 해수는 전향력의 영향으로 바람 방향의 왼쪽으로 약 45° 편향되어 흐른다. 또한 수심이 깊어짐에 따라 해수의 흐름은 왼쪽으로 더 편향되고 유속이 느려져 해수의 이동 형태가 나선형을 이루는데 이를 에크만 나선이라고 한다.

☒. 남반구에 위치한 이 해역에서 표면 해수의 이동 방향은 해수면 위에서 부는 바람의 왼쪽 45° 방향인 남서쪽이다. 따라서 표면 해수의 이동 방향은 G이다.

◎ 해수의 유속은 전향력을 포함한 여러 가지 요인에 의해 결정된다. 남반구에 위치한 에크만층(마찰층)에서는 깊이에 따라 해수가 시계 반대 방향으로 갈수록 유속이 느려진다. 따라서 해수의 유속은 B보다 F일 때 빠르다.

☒. 마찰 저항 심도는 해수의 이동 방향이 표면 해수의 이동 방향과 정반대가 되는 깊이이다. 따라서 표면 해수의 이동 방향이 G이므로 마찰 저항 심도에서 해수가 이동하는 방향은 C이다.

## 07 에크만 수송

마찰층 내에서 해수의 평균적인 이동은 북반구의 경우 바람이 불어가는 방향의 오른쪽 90° 방향으로 나타나는데 이를 에크만 수송이라고 한다. 마찰층 내에서 해수의 평균적인 이동 방향은 에크만 수송이 일어나는 방향이다.

☒. 북반구에서 에크만 수송은 해수면 위에서 부는 바람 방향의 오른쪽 직각 방향으로 나타나고, 남반구에서는 바람 방향의 왼쪽 직각 방향으로 나타난다. 따라서 현재 에크만 수송이 북쪽 방향으로 나타나므로 이 해역이 북반구에 위치한다면 해수면 위에서 일정하게 부는 바람의 방향은 서쪽이다.

◎ 해수면에서 마찰 저항 심도까지 에크만 나선이 나타나는 구간에서 해수의 전체적인 이동이 에크만 수송이고, 해수면의 평균 높이는 에크만 수송이 일어나는 방향으로 갈수록 대체로 높아진다. 따라서 A 지점에서 B 지점으로 이동할수록 해수면의 평균 높이는 낮아진다.

◎ 에크만 나선은 전향력이 작용하여 나타나는 해수의 이동 형태이므로 에크만 수송도 전향력에 의해 나타나는 해수의 흐름이다. 따라서 전향력의 크기가 작아지면 에크만 수송량도 감소하게 된다.

## 08 지형류 발생 과정

수압 경도력에 의해 해수의 속력이 빨라지고, 이로 인한 전향력의 크기 증가로 북반구에서 해수의 진행 방향은 오른쪽으로 편향된다. 이 과정에서 전향력이 수압 경도력과 평형을 이룰 때 지형류가 형성된다.

⑦ 수압 경도력은 P와 Q 지점에서 모두 ⑤ 수압선 쪽에서 ⑥ 수압선 쪽으로 직각 방향으로 작용하고, 전향력은 해수의 이동 방향에 대해 직각 방향으로 작용한다. 따라서 A는 전향력이고, B는 수압 경도력이다.

☒. 수압 경도력은 수압이 높은 등수압선에서 낮은 등수압선 쪽으로 등수압선의 직각 방향으로 작용하므로 수압의 크기는 ⑦ < ⑤이다.

☒. 북반구에서는 수압 경도력의 오른쪽 직각 방향으로 지형류가 흐르고, 남반구에서는 수압 경도력의 왼쪽 직각 방향으로 지형류가 흐른다. 따라서 이 해역에서는 수압 경도력의 오른쪽 직각 방향으로 지형류가 흐르고 있으므로 이 해역은 북반구에 위치한다.

## 09 해수면의 높이 변화와 지형류

수압 경도력은 해수면의 경사에 비례하고, 지형류의 유속은 위도가 낮을수록, 해수면의 경사가 급할수록 빨라진다.

⑦. 수압 경도력은 해수면이 높은(수압이 높은) 쪽에서 해수면이 낮은(수압이 낮은) 쪽으로 작용한다. 따라서 수압 경도력은 해수면의 높이가 낮아지는 쪽으로 작용하는 ⑦이다.

⑧. A 해역의 해수면 높이는 약 15 cm이고, B 해역의 해수면 높이는 약 55 cm이다. 따라서 해수면의 높이는 A 해역이 B 해역 보다 낮다.

⑨. 지형류의 유속은 위도가 낮을수록 또는 해수면의 경사가 급할수록 빠르다. A 해역과 B 해역에서 수압 경도력의 크기가 같고, A 해역의 위도가 B 해역의 위도보다 낮으므로 지형류의 유속은 A 해역이 B 해역보다 빠르다.

## 10 수온의 연직 분포와 지형류

지형류는 수압 경도력과 전향력이 평형을 이룬 상태에서 흐르는 해류이다. 해수의 수온이 높을수록 해수의 부피가 증가하여 밀도가 작아진다.

⑩. 해수의 수온이 높을수록 밀도가 작아져서 해수면의 높이가 높아지고, 수온이 낮을수록 밀도가 커져서 해수면의 높이가 상대적으로 낮아진다. A, B, C 지점 중에서 A 지점의 수온이 가장 높으므로 A 지점에서 해수면의 높이가 가장 높다.

⑪. 동일한 위도에서 지형류의 유속은 해수면의 경사가 클수록 빠르다. 해수면의 경사는 A 지점보다 B 지점에서 크므로 지형류의 유속은 A 지점보다 B 지점에서 더 빠르다.

☒. 지형류에 작용하는 수압 경도력의 크기는 해수면의 경사에 비례하여 나타난다. 해수면의 경사가 B 지점이 C 지점보다 크므로 지형류에 작용하는 수압 경도력의 크기는 B 지점보다 C 지점에서 작다.

## 11 에크만 수송과 표층 해류

바람이 지속적으로 불고 있을 때, 북반구에서 에크만 수송은 바람

이 부는 방향의 오른쪽 직각 방향으로 나타나고, 남반구에서 에크만 수송은 바람이 부는 방향의 왼쪽 직각 방향으로 나타난다.

⑫. A 해역에서는 에크만 수송에 의해 해수가 수렴하고, B 해역에서는 에크만 수송에 의해 해수가 발산한다. 따라서 해수면의 높이는 A 해역이 B 해역보다 높다.

⑬. 에크만 수송에 의해 해수가 수렴하는 A 해역은 저위도에 위치하여 상대적으로 해수면의 평균 수온이 높고, 에크만 수송에 의해 해수가 발산하는 B 해역은 고위도에 위치하여 상대적으로 해수면의 평균 수온이 낮다. 따라서 해수면의 평균 수온은 A 해역이 B 해역보다 높다.

⑭. 에크만 수송에 의해 해수가 수렴하는 해역에서는 수송된 해수에 의해 해수의 침강이 일어나고, 에크만 수송에 의해 해수가 발산하는 해역에서는 아래층의 해수가 상층으로 이동하게 된다. 따라서 수온 약층이 시작하는 깊이는 A 해역이 B 해역보다 깊다.

## 12 서안 강화 현상

환류가 나타나는 해양에서 해수면이 가장 높은 위치는 환류의 중심에서 서쪽으로 치우쳐서 나타난다. 이를 서안 강화 현상이라고 한다. 또한 아열대 순환에서 대양의 서쪽 연안을 따라 좁고 빠르게 흐르는 해류는 서안 경계류이고, 대양의 동쪽 연안을 따라 비교적 넓고 느리게 흐르는 해류는 동안 경계류이다.

⑮. (가)의 A 지점에서는 서안 경계류가 흐르고, B 지점에서는 동안 경계류가 흐른다. 서안 경계류가 동안 경계류보다 해수면의 경사가 더 급해서 해류의 폭이 더 좁다. 따라서 해류의 평균 폭은 A 지점이 B 지점보다 좁다.

☒. A 지점에서는 대양의 서쪽을 따라 남쪽(저위도)에서 북쪽(고위도)으로 서안 경계류가 흐르고, B 지점에서는 대양의 동쪽을 따라 북쪽(고위도)에서 남쪽(저위도)으로 동안 경계류가 흐른다. 따라서 A와 B 지점에 흐르는 지형류의 방향은 서로 반대 방향이므로 두 지형류의 방향이 이루는 각은  $180^{\circ}$ 이다.

☒. (가)는 저위도에서 고위도로 갈수록 회전 속도를 빠르게 한 경우(전향력의 크기가 편서풍 지역이 무역풍 지역보다 큰 경우)로, 지구가 자전할 때의 모습이다. (나)는 지구가 자전하지 않거나 전향력이 위도에 따라 변하지 않고 일정한 경우이다. 따라서 위도에 따라서 전향력의 크기가 변하는 경우에 해당하는 것은 (가)이다.

## 13 해파의 요소

해파에서 수면이 가장 높은 곳을 마루, 가장 낮은 곳을 골이라 하고, 파장은 마루(골)와 마루(골) 사이의 수평 거리이며, 파고는 골에서 마루까지의 높이이다.

⑯. 이 해역에는 심해파가 진행하고 있으므로 이 해역의 물 입자는 해저면의 영향을 받지 않고, 원운동을 한다. 해수면에서 물 입자는 해파의 마루에서 파의 진행 방향과 같은 방향으로 운동하고, 해파의 골에서는 파의 진행 방향과 반대 방향으로 운동한다.

- ☒. 심해파에서 해수면에 위치한 물 입자는 원운동을 하고, 물 입자의 궤도 운동 반경은 파고(골에서 마루까지의 높이)의 절반이다. 따라서 해수면에 위치한 물 입자의 궤도 운동 반경은 ⑦이다.
- ◎ A는 파장이다. 해파의 파장과 주기를 알고 있으면 해파의 전파 속도를 알 수 있다. 해파의 전파 속도는  $\frac{\text{파장}}{\text{주기}}$  이므로, 주기가 일정할 때 해파의 전파 속도는 파장이 길수록 빠른다.

## 14 해파의 모양에 따른 분류

- 해파는 모양에 따라 풍랑, 너울, 연안 쇄파로 분류할 수 있다.
- ☒. 풍랑은 마루가 삼각형 모양으로 뾰족하고 파장과 주기가 짧은 해파이고, 너울은 마루가 둥글고 파장과 주기가 긴 해파이다. 따라서 너울은 (가)이고, 풍랑은 (나)이다.
- ◎ 풍랑은 바람에 의해 직접 발생한 해파이고, 너울은 풍랑이 발생지를 벗어나 멀리 전파되어 온 비교적 고르면서 규칙적인 해파이다. 따라서 발생 순서는 (가)보다 (나)가 먼저이다.
- ☒. 바람에 의해 직접 발생한 해파인 풍랑은 주기와 파장이 짧고, 풍랑에 의해 발생하는 너울은 비교적 주기와 파장이 길다. 따라서 해파의 평균 주기는 (가)보다 (나)가 짧다.

## 15 심해파와 천해파

- 해파가 전파될 때 물 입자는 심해파일 때 원운동을 하고, 천해파일 때 타원 운동을 한다. A는 천해파이고, B는 심해파이다.
- ◎ 심해파의 전파 속도는 파장이 길수록 빠르고, 천해파의 전파 속도는 수심이 깊을수록 빠른다. 따라서 수심은 ⑦에 해당한다.
- ◎ 지진 해일은 주로 해저 지진에 의해 발생한 해파가 연안으로 전달되어 해수면이 상승하는 현상으로, 지구상에서 발생하는 모든 지진 해일은 천해파에 해당한다. 따라서 지진 해일은 A(천해파)의 예로 적절하다.
- ☒. 심해파는 해저의 마찰에 영향을 받지 않으며, 수심이 깊어짐에 따라 물 입자 운동의 원의 크기는 급격히 작아진다. 이에 반해 천해파는 해저의 마찰에 영향을 받으므로 수심이 깊어짐에 따라 물 입자 운동의 궤도 장반경은 거의 변하지 않고, 궤도 단반경이 작아지면서 타원 모양이 더욱 납작해진다.

## 16 해파의 굴절

- 해안에 접근하는 해파는 천해파로 전환되며, 수심이 얕아질수록 파장이 짧아져서 해파의 속도가 느려진다.
- ☒. 그림에서 파의 마루선 사이의 길이가 해파의 파장이므로 ⑦은 ⑦에 비해 파장이 길다. 해안에 접근한 해파는 주기가 일정하므로 파장이 긴 ⑦이 파장이 짧은 ⑦보다 해파의 전파 속도는 더 빠른다.
- ◎ A는 만이고, B는 곳이다. 만에서는 해파의 에너지가 분산되어 퇴적 작용이 우세하게 일어나고, 곳에서는 해파의 에너지가 집중되므로 침식 작용이 우세하게 일어난다. 따라서 A와 B 중 해

파의 에너지가 분산되는 곳은 A이다.

- ◎ 곳에서는 해파의 에너지에 의해 침식 작용이 우세하게 일어나고, 만에서는 해파의 에너지에 의해 퇴적 작용이 우세하게 일어난다. 따라서 해파에 의한 해안 지형의 변화만을 고려하면 이후에는 A(만)와 B(곳) 사이 해안선의 최단 거리는 짧아질 것이다.

## 17 심해파와 천해파

심해파는 수심이 파장의  $\frac{1}{2}$ 보다 깊은 해역에서 진행하는 해파이고, 천해파는 수심이 파장의  $\frac{1}{20}$ 보다 얕은 해역에서 진행하는 해파이다.

- ☒. A 지점에서 해파는 심해파의 특성을 나타내므로, 해파의 전파 속도( $v$ )는  $\sqrt{\frac{gL}{2\pi}}$  ( $L$ : 파장)로부터  $\sqrt{\frac{10 \text{ m/s}^2 \times 60 \text{ m}}{2 \times 3}} = 10 \text{ m/s}$ 이다. B 지점에서 해파는 천해파의 특성을 나타내므로, 해파의 전파 속도( $v$ )는  $\sqrt{gh}$  ( $h$ : 수심)로부터  $\sqrt{10 \text{ m/s}^2 \times 0.5 \text{ m}} = \sqrt{5} \text{ m/s}$ 이다. 따라서 해파의 전파 속도는 A 지점보다 B 지점에서 느린다.

- ◎ A 지점에서 심해파는 해저면의 마찰을 받지 않으므로 물 입자는 원운동을 하고, B 지점에서 천해파는 해저면의 마찰을 많이 받으므로 물 입자는 타원 운동을 한다.

- ◎ 물 입자의 운동 궤도 이심률은 운동 궤도의 납작한 정도를 나타낸 값으로, 궤도 이심률이 작을수록 원운동에 가깝고, 클수록 더 납작한 타원 운동이 된다. 따라서 물 입자의 운동 궤도 이심률은 심해파가 진행하는 A 지점보다 천해파가 진행하는 B 지점에서 더 크다.

## 18 천해파

천해파는 해저 마찰의 영향을 받으므로 물 입자는 타원 운동을 하고, 수심이 깊어질수록 타원의 모양이 더욱 납작해진다. 천해파의 전파 속도는 수심에만 영향을 받는다.

- ◎ 이 해파들은 파장에 관계없이 일정한 전파 속도를 가지므로 천해파이다.

- ◎ 천해파는 파장에 관계없이 수심에만 영향을 받는 해파이다. 천해파의 전파 속도( $v$ )는  $\sqrt{gh}$  ( $g$ : 중력 가속도,  $h$ : 수심)으로 수심이 깊어질수록 해파의 속도는 빨라진다.

- ◎ 그림에서 파장이 600 m인 해파의 주기는 21초이므로 해파의 속도는  $\frac{\text{파장}}{\text{주기}} = \frac{600 \text{ m}}{21 \text{ s}} \approx 28.6 \text{ m/s}$ 이다. 따라서 파장이 600 m인 해파의 속도는 30 m/s보다 작다.

## 19 해일

해일은 폭풍이나 해저 지진 등에 의해 해수면이 비정상적으로 상승하면서 거대한 파도가 밀려오는 현상이다. 폭풍 해일은 주로 태

풍이나 강한 저기압 또는 강풍에 의해 해수면이 상승할 때 발생하고, 지진 해일은 주로 해저 지진에 의해 발생한다.

⑦ 조선왕조실록에 기록된 해일은 여름철(6월, 7월, 8월)에는 총 13회 발생하였고, 겨울철(12월, 1월, 2월)에는 총 1회 발생하였다. 따라서 해일은 겨울철보다 여름철에 많이 발생하였다.

☒ 전 기간 동안 폭풍 해일의 발생 빈도수는 총 37회이고, 지진 해일의 발생 빈도수는 총 6회이다. 따라서 발생 빈도수는 폭풍 해일이 지진 해일보다 많다.

☒ 5월의  $\frac{\text{폭풍 해일의 빈도수}}{\text{지진 해일의 빈도수}} = \frac{4}{1} = 4$ 이고,

8월의  $\frac{\text{폭풍 해일의 빈도수}}{\text{지진 해일의 빈도수}} = \frac{8}{2} = 4$ 이다. 따라서 5월과 8월의 폭풍 해일의 빈도수는 같다.

## 20 지진 해일

지진 해일은 해저에서 발생한 화산 폭발, 단층 작용에 의한 지진 등의 갑작스런 지각 변동에 의해 지반의 상하 이동이 일어나는 경우에 발생한 해파가 연안으로 다가오면서 파고가 매우 높아지는 현상이다.

☒ 지진 해일은 파장이 수백 km에 달하기 때문에 지구상의 모든 해역에서 천해파의 특성을 가진다.

⑦ 천해파의 속력은 수심의 제곱근에 비례하기 때문에 수심이 깊어질수록 전파 속력은 빨라진다. 동일한 10시간 동안 진앙으로부터의 이동 거리가 상대적으로 더 짧은 A 지점이 이동 거리가 상대적으로 더 긴 B 지점보다 평균 수심이 더 얕아서 전파 속력이 더 느린다. 따라서 해파의 전파 속력은 A 지점보다 B 지점에서 빠르다.

☒ 지진 해일은 대양의 중심부에서는 파장의 길이에 비해 파고의 높이가 매우 낮기 때문에 직접적인 피해가 발생하지 않지만, 대양의 주변부로 다가갈수록 수심이 얕아지고 파고가 높아지면서 해일의 피해를 받을 가능성이 높아진다. 따라서 해파에 의한 피해 정도는 대양의 주변부보다 중심부에서 작을 것이다.

## 21 기조력

기조력은 조석을 일으키는 힘으로, 지구가 천체와의 공통 질량 중심을 회전함에 따라 지구상의 각 지점에서 생기는 원심력과 지구의 각 지점과 천체 간에 작용하는 만유인력의 합력이다.

⑦ 조석 현상을 일으키는 힘이 기조력이다. A 지점에서 기조력은 지구가 지구와 달의 공통 질량 중심을 회전함에 따라 생기는 원심력과 달에 의한 인력이 합쳐져서 최대가 된다. 기조력이 최대가 되는 지점에서 해수가 모이므로 A 지점에서는 만조가 나타난다.

☒ 달과 지구는 달과 지구의 공통 질량 중심을 따라 회전한다. 달과 지구의 공통 질량 중심은 지구 내부에 위치하며, 지구 중심에서 달 쪽으로 조금 치우쳐 B와 C 사이에 위치한다.

☒ 기조력에서의 원심력은 지구가 지구와 천체와의 공통 질량 중심을 회전함에 따라 지구상의 각 지점에서 생기는 힘으로 지구상의 모든 지점에서 같은 값을 가진다.

## 22 조석

조석의 한 주기 중 해수면이 가장 높을 때를 만조, 가장 낮을 때를 간조라고 한다.

☒ A는 해수면이 낮을 때이므로 만조일 때이고, B는 해수면이 높을 때이므로 만조일 때이다.

⑦ 3일 동안의 조석 양상을 분석하면, 서로 높이가 다른 만조나 간조가 교대로 반복적으로 나타나므로 이 지역의 조석 형태는 혼합조이다. 혼합조가 나타나는 지역에서는 하루에 만조와 간조가 약 2회씩 일어나고, 두 만조나 간조 사이의 해수면 높이와 시간 간격이 다르게 나타난다.

☒ 태양과 달에 의한 기조력만을 고려할 때 지구에서 혼합조는 중위도 지역에서 주로 나타나고, 적도 지역에서는 반일주조가 주로 나타난다.

## 23 위도에 따른 조석 현상

달의 위치에 따라 해수면이 상승하는 방향이 달라지고, 달의 공전 궤도가 지구의 적도와 나란하지 않기 때문에 위도에 따라서 조석의 형태가 달라진다.

⑦ A 지점에서는 일주조가 나타난다. 하루에 만조와 간조가 한번씩만 일어나는 일주조는 고위도 지역에서 주로 나타난다. 일주조의 경우에는 만조(간조)에서 다음 만조(간조)까지의 조석 주기는 약 24시간 50분이고, 혼합조와 반일주조의 경우에는 조석 주기가 약 12시간 25분이다. 따라서 조석 주기가 가장 긴 지점은 A이다.

⑦ B 지점에서는 하루에 만조와 간조가 약 두 번씩 일어나고, 연속되는 두 만조나 간조 사이의 해수면 높이와 시간 간격이 다른 혼합조의 조석 형태가 나타난다. 그리고 C 지점에서는 하루에 만조와 간조가 약 두 번씩 일어나고 조차가 비슷한 반일주조가 나타난다. 따라서 연속하는 두 만조의 해수면 높이의 변화 폭은 혼합조가 나타나는 B 지점이 반일주조가 나타나는 C 지점보다 크다.

⑦ 반일주조가 나타나는 C 지점에서는 만조와 간조 사이의 시간 간격이 6시간 12분 30초로 거의 일정하다.

## 24 조석과 달의 위치

달의 위상이 삭이나 망일 때는 사리(대조)가 나타나고, 상현이나 하현일 때는 조금(소조)이 나타난다. A일 때 달의 위상은 상현, B일 때 달의 위상은 망, C일 때 달의 위상은 삭, D일 때 달의 위상은 하현이다.

⑦ 달의 위상이 상현(A)일 때 지구에서 달은 오른쪽이 둥근 반달 모양으로 관측되고, 달의 위상이 망(B)일 때 지구에서 달은

보름달 모양으로 관측된다. 따라서 관측 가능한 달의 표면적은 A 일 때가 B일 때보다 좁다.

◎ 태양과 달의 기조력의 합력은 태양과 달이 평행하게 위치하여 두 천체의 기조력이 합쳐질 때 최대가 되고, 태양과 달이 수직으로 위치하여 두 천체의 기조력이 분산될 때 최소가 된다. 따라서 태양과 달에 의한 기조력의 크기는 삭(C)일 때가 하현(D)일 때 보다 크다.

✖. 달의 위상이 상현(A)이나 하현(D)일 때는 조차가 최소가 되는 시기(조금)이고, 삭(C)이나 망(B)일 때는 조차가 최대로 되는 시기(사리)이다. 따라서 한 달 동안 우리나라의 남해안에서 조차가 가장 큰 시기는 삭(C)이나 망(B)일 때이다.

### 수능 3점 테스트

본문 98~109쪽

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

## 01 정역학 평형

정역학 평형 상태에서는 연직 수압 경도력과 중력의 크기가 같은 상태이므로 해수 둘어리는 정역학 방정식을 따른다.

◎ 정역학 평형 상태인 해수에서  $\Delta P = -\rho g \Delta z$  ( $\Delta P$ : 수압 차,  $\rho$ : 해수의 밀도,  $g$ : 중력 가속도,  $\Delta z$ : 깊이 차)이다. (가)와 (나)의  $z_1 - z_3$ 층과  $z_2 - z_3$ 층에서  $\Delta P$ 와  $g$ 은 서로 같고,  $\rho$ 는  $z_1 - z_3$ 층이  $z_2 - z_3$ 층보다 작으므로  $\Delta z$ 는  $z_1 - z_3$ 층이  $z_2 - z_3$ 층보다 크다.

◎ 수압은 물속의 한 점에서 받는 압력의 세기로, 중력 가속도가 일정하다면 수압은 해수의 밀도와 깊이에 비례한다. ⑦ 지점의 해수는 ⑧ 지점의 해수보다 밀도가 더 작으므로 깊이는  $z_1$ 이  $z_2$ 보다 더 얕다. 따라서 수압의 크기는 ⑦ 지점이 ⑧ 지점보다 작다.

◎ 연직 수압 경도력은 해수의 깊이에 따른 수압 차 때문에 생기는 힘으로,  $-\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta z}$  ( $\rho$ : 해수의 밀도,  $\Delta P$ : 연직 수압 차,  $\Delta z$ : 깊이 차)로 나타낼 수 있다. 또한  $z_2 - z_3$ 층의 해수는 정역학 평형 상태이므로 연직 상방으로 작용하는 연직 수압 경도력과 연직 하방으로 작용하는 중력의 크기는 서로 같다.

## 02 해수면 경사와 수압 경도력

해수면에 경사가 있으면 해수면 아래에서는 수평 방향으로 수압 차가 발생하는데, 이러한 수압 차로 인해 생긴 힘을 수평 수압 경도력이라고 한다.

◎ 수압 경도력은 수압이 높은 곳에서 낮은 곳으로 작용하므로

A 지점의 해수에 작용하는 수평 수압 경도력은 해수면이 높은 북쪽에서 해수면이 낮은 남쪽으로 작용한다.

✖. A 지점이 포함된 이 해역은 지형류 평형 상태이므로 전향력은 수평 수압 경도력과 크기가 같고 방향이 반대이다. 한편 A 지점의 단위 질량의 해수에 작용하는 수평 수압 경도력의 크기는  $g \frac{\Delta h_1}{\Delta x}$  이므로,  $\theta$ 가 커질수록  $\frac{\Delta h_1}{\Delta x}$ 은 커지게 되어서 수평 수압 경도력의 크기는 커지게 된다. 따라서 A 지점의 해수에 작용하는 전향력의 크기는  $\theta g$  커질수록 커진다.

✖. 최하층에서 수평 방향의 수압 차가 없으므로  $\rho_2 g \Delta h_2 + \rho_1 g h_1 = \rho_1 g \Delta h_1 + \rho_1 g h_1 + \rho_1 g \Delta h_2$ 의 관계가 성립한다. 이를 정리하면  $\rho_1 \Delta h_1 = (\rho_2 - \rho_1) \Delta h_2$ 가 되고, 이는  $\frac{\Delta h_2}{\Delta h_1} = \frac{\rho_1}{\rho_2 - \rho_1}$ 로 나타낼 수 있다. 따라서  $\Delta h_2 = 2 \Delta h_1$ 일 때  $\rho_1 = \frac{2}{3} \rho_2$ 이다.

## 03 밀도 차에 의한 해수의 흐름

U자관의 양쪽에서 수압은 각각 물의 높이와 밀도의 곱에 비례하고, U자관의 왼쪽에서 상승한 부피와 U자관의 오른쪽에서 하강한 부피는 서로 같다.

◎ (다)에서 U자관의 오른쪽에 채워진 해수 B가 왼쪽에 채워진 해수 A보다 물기둥의 높이가 높으므로 해수의 밀도는 해수 A가 해수 B보다 크다. 따라서  $\rho_1 > \rho_2$ 이다.

✖. U자관의 왼쪽인 ⑦ 지점에 작용하는 수압은  $\rho_1 g h_1$ 이고, U자관의 오른쪽인 ⑧ 지점에 작용하는 수압은  $\rho_2 g h_2$ 이다. 해수의 밀도는 해수 A가 해수 B보다 크고, 해수의 높이는 해수 A가 해수 B보다 낮으며, (다)에서의 관찰 결과를 보면 해수는 안정한 상태를 유지하고 있으므로 U자관의 왼쪽과 오른쪽에 작용하는 수압은 ⑦ 지점과 ⑧ 지점에서 서로 같다.

✖. 해수 A에 해수 B를 넣었으므로 U자관의 왼쪽에서 상승한 부피와 U자관의 오른쪽에서 하강한 부피는 서로 같게 된다. 따라서 해수 A의  $h_1 - h_2$ 의 부피와 해수 B의  $h_2 - h_1$ 의 부피가 서로 같다.

## 04 전향력

전향력은 위도에 따른 지구 표면의 자전 속도 차에 의해 발생하고, 지구상에서 운동하는 모든 물체에 작용한다(적도 제외).

✖. 코리올리 계수는 전향력에서 나타나는 비례 상수로  $2\Omega \sin\varphi$  ( $\Omega$ : 지구 자전 각속도,  $\varphi$ : 위도)로 표현되고,  $\Omega$ 는 지구의 모든 위치에서 동일한 값을 가지므로 코리올리 계수는  $\sin\varphi$ 에 비례하여 나타난다. 따라서 위도는 코리올리 계수 값이 작은 A가 코리올리 계수 값이 큰 B보다 낮다.

◎ 전향력의 크기는  $2v\Omega \sin\varphi$  ( $v$ : 물체의 속력,  $\Omega$ : 지구 자전 각속도,  $\varphi$ : 위도)이다. 따라서 전향력은 위도가 높아질수록 운동하는 물체에 크게 작용한다.

✖. 운동하는 물체에 작용하는 전향력의 크기는 물체의 속력과  $\sin\varphi$ 에 비례하여 나타난다. 동일한 위도에 위치할 때 ⑦에 작용

하는 전향력의 크기가 ⑦에 작용하는 전향력의 크기보다 2배 크므로, 다른 조건이 동일하다면 물체의 운동 속력은 ⑦일 때가 ⑦일 때의 2배이다.

## 05 에크만 나선

남반구의 해수면 위에서 바람이 일정하게 지속적으로 불면 표면의 해수는 바람 방향의 왼쪽  $45^\circ$  방향으로 움직인다. 그리고 수심이 깊어질수록 전향력의 영향을 받아서 해수의 이동 방향이 왼쪽으로 휘어지고, 해수와의 마찰에 의해 상층보다 더 천천히 움직이며 해수의 이동 형태가 나선형을 이루는데 이를 에크만 나선이라고 한다.

⑦ 남반구에 위치한 해역에서 표면의 해수는 해수면 위에서 일정하게 부는 바람 방향의 왼쪽  $45^\circ$  방향으로 편향되어 나타난다. 해수의 유속이 A 지점에서 가장 빠르므로 A 지점은 해수면 부근에 위치하고, 속도 성분의 방향은 거의 북동쪽이므로 남반구에 위치한 P 지점의 해수면 위에서 바람은 서쪽에서 동쪽으로 일정하게 분다.

⑧ 에크만 나선에서는 수심이 깊어질수록 해수의 점성 등에 의해 해수의 유속이 느려진다. 따라서 수심은 A 지점이 B 지점보다 얕다.

☒ 해수에 작용하는 전향력의 크기는 해수의 이동 속력과 위도의  $\sin$  값에 비례하여 나타난다. 따라서 P 지점에서 위도의  $\sin$  값은 일정하고, 해수의 유속은 A 지점이 B 지점보다 빠르므로 해수에 작용하는 전향력의 크기는 A 지점이 B 지점보다 크다.

## 06 에크만 수송

해수면 위의 바람에 의해 일어나는 에크만 수송은 표층 해수의 평균적인 흐름으로 북반구에서는 풍향의 오른쪽 직각 방향으로 나타나고, 남반구에서는 풍향의 왼쪽 직각 방향으로 나타난다.

⑦ 북반구에 위치한 P 지점에서 바람은 북서쪽에서 남동쪽으로 불고 있으므로 에크만 수송이 일어나는 방향은 바람 방향의 오른쪽 직각 방향인 ⑦이다.

⑧ P 지점에서는 에크만 수송이 일어나는 ⑦ 방향으로 해수가 이동한다. 따라서 P 지점에서 ⑦ 방향으로 갈수록 해수면의 높이는 대체로 낮아진다.

☒ P 지점 부근에서 해수면의 높이는 상대적으로 ⑦ 방향이 ⑦ 방향보다 높으므로 지형류를 발생시키는 해수에 작용하는 수평 수압 경도력은 ⑦ 방향으로 작용하고, 전향력은 반대 방향인 ⑦ 방향으로 작용한다.

## 07 해수면 높이와 지형류

해수면 위에서 부는 바람에 의해 에크만 수송이 일어나고, 이로 인해 형성된 해수면의 경사에 의해 지형류가 형성된다.

☒ A 지점의 해수면 높이는 약 180 cm이고, C 지점의 해수면

높이는 200 cm 이상이다. 따라서 해수면 높이는 A 지점이 C 지점보다 낮다.

⑦ 지형류의 유속( $v$ )은  $\frac{1}{2\Omega \sin \varphi} \cdot g \frac{\Delta z}{\Delta x}$  ( $\Omega$ : 지구 자전 각속도,  $\varphi$ : 위도,  $g$ : 중력 가속도,  $\Delta z$ : 해수면 높이 차,  $\Delta x$ : 수평 거리 차)이다. A와 B 지점의 위도와 중력 가속도가 같으므로 A와 B 지점에서 흐르는 지형류의 유속은 해수면의 경사( $\frac{\Delta z}{\Delta x}$ )에 비례하여 나타난다. 해수면의 경사는 A 지점이 B 지점보다 크므로 지형류의 유속도 A 지점이 B 지점보다 빠르다.

⑧ 북반구에서 지형류는 해수면의 경사 방향에 대해 오른쪽 직각 방향으로 나타난다. A 지점에서 해수면의 경사 방향은 주로 북쪽이므로 지형류가 흘러가는 방향은 동쪽 계열이다.

## 08 지형류

지형류는 해수면의 경사로 인해 발생한 수평 수압 경도력과 수평 수압 경도력의 반대 방향으로 작용하는 전향력이 평형을 이루며 흐르는 해류이다.

☒ 지형류 평형 상태에서 수평 수압 경도력이 작용하는 방향은 수압이 높은 곳(해수면의 높이가 높은 곳)에서 수압이 낮은 곳(해수면의 높이가 낮은 곳)이다. 위도  $45^\circ S$ 에 위치한 (가)에서는 해수면의 높이가 북쪽이 남쪽보다 높으므로 수평 수압 경도력은 북쪽(저위도)에서 남쪽(고위도)으로 작용한다. 위도  $60^\circ N$ 에 위치한 (나)에서도 해수면의 높이는 북쪽이 남쪽보다 높으므로 수평 수압 경도력은 북쪽(고위도)에서 남쪽(저위도)으로 작용한다. 따라서 (가)와 (나)에서 수평 수압 경도력은 서로 반대 방향으로 작용한다.

☒ 수평 수압 경도력의 크기는 중력 가속도와 해수면의 경사에 비례하여 나타난다. (가)와 (나)에서 중력 가속도는 서로 같고, 해수면의 경사는 (가)에서  $\frac{\sqrt{2}h}{L}$ 이고, (나)에서  $\frac{h}{\sqrt{3}L}$ 이므로 수압 경도력의 크기는 (가)보다 (나)에서 작다. 한편 지형류 평형 상태인 해역에서는 수평 수압 경도력과 전향력이 서로 크기가 같으므로 전향력의 크기도 (가)보다 (나)에서 작다.

⑦ 지형류의 유속은  $\sin \varphi (\varphi: 위도)$ 에 반비례하고, 수평 수압 경도력의 크기에 비례하여 나타난다. (가)에서 지형류 유속은  $\frac{1}{2\Omega \sin 45^\circ} \cdot g \frac{\sqrt{2}h}{L} = \frac{g}{2\Omega} \cdot \frac{2h}{L}$ 이고, (나)에서 지형류 유속은  $\frac{1}{2\Omega \sin 60^\circ} \cdot g \frac{h}{\sqrt{3}L} = \frac{g}{2\Omega} \cdot \frac{2h}{3L}$ 이다. 따라서 (가)에서의 지형류 유속은 (나)에서의 지형류 유속보다 3배 빠르다.

## 09 해수의 수온 분포와 지형류

수평 방향의 수온 차에 의해 밀도 차가 발생하고, 이로 인해 해수면의 경사가 생겨 지형류가 형성된다.

Ⓐ A 지점에서 해수면은 서 → 동 방향으로 경사져 있고, 해류는 북 → 남 방향으로 흐른다. B 지점에서 해수면은 동 → 서 방향으로 경사져 있고, 해류는 남 → 북 방향으로 흐른다. 따라서 이 해역은 북반구에 위치한다.

☒ 지형류의 유속은 해류가 위치하는 지점의  $\sin\varphi$  ( $\varphi$ : 위도)에 반비례하고, 중력 가속도와 해수면의 경사에 비례하여 나타난다. 해수면의 경사가 서 → 동 방향인 A 지점에서 유속은 약  $7 \text{ cm/s}$ 이고, 해수면의 경사가 동 → 서 방향인 B 지점에서 유속은 약  $12 \text{ cm/s}$ 이다. A와 B 지점에서 중력 가속도와 위도가 같고, 지형류의 유속은 A 지점이 B 지점보다 느리므로 해수면의 경사는 A 지점이 B 지점보다 완만하다.

Ⓒ A 지점에서 해수면은 서 → 동 방향으로 경사져 있고, B 지점에서 해수면은 동 → 서 방향으로 경사져 있다. 수평 수압 경도력은 해수면이 높은 곳에서 해수면이 낮은 곳으로 작용하므로 수평 수압 경도력이 작용하는 방향이 동 → 서 방향인 지점은 B이다.

## 10 해수의 밀도 분포와 지형류

수평 방향으로 해수의 밀도가 다르면 해수의 연직 단면에서 등수온선이 경사지게 나타난다. 해수의 밀도에 영향을 미치는 주된 물리량은 수온과 염분이다.

Ⓓ 해역에서 깊이에 따라 밀도 변화가 나타나면 밀도가 작은 곳에서는 밀도가 큰 곳에 비해 수온이 높아서 해수가 열팽창되어 해수면의 높이가 높게 나타난다. 따라서 표층 수온은 밀도가 작은 A 지점이 밀도가 큰 B 지점보다 높다.

Ⓔ 밀도가 다른 해수가 평형 상태를 유지하기 위해서는 해수의 부피가 달라져야 한다. 그래서 밀도가 작은 A 지점에서는 해수면 높이가 높아지고, 밀도가 큰 B 지점에서는 해수면 높이가 낮아지게 된다. 따라서 해수면 높이는 A 지점이 B 지점보다 높다.

☒ 지형류의 유속은 위도의  $\sin \varphi$  값, 중력 가속도, 해수면의 경사에 의해 결정된다. A와 B 지점에서 위도와 중력 가속도가 같고, 해수면의 경사는 A 지점이 B 지점보다 작으므로 지형류의 유속은 A 지점이 B 지점보다 느린다.

## 11 에크만 수송과 지형류

무역풍과 편서풍에 의해 표층 해수에서 에크만 수송이 일어나고, 이로 인해 형성된 해수면의 경사에 의해서 지형류가 흐르게 된다.

Ⓕ 위도  $0^\circ \sim 30^\circ$ 에서는 대체로 무역풍이 불고, 위도  $30^\circ \sim 60^\circ$ 에서는 편서풍이 우세하게 분다. (가)에서 무역풍의 평균 바람 응력은  $(-)$  값을 나타내고, 편서풍의 평균 바람 응력은  $(+)$  값을 나타내므로 (+)는 서 → 동 방향이다.

Ⓖ 평균 바람 응력의 크기는 위도별 평균 바람 응력을 합한 값과 같으며, 평균 바람 응력의 최대 크기는 편서풍에서 약  $0.15 \text{ N/m}^2$ 이고, 무역풍에서 약  $0.08 \text{ N/m}^2$ 이다. 따라서 평균 바람 응력의 최대 크기는 편서풍이 무역풍보다 크다.

Ⓓ 대양의 표층 해류는 무역풍과 편서풍에 의해 표층 해수에서 에크만 수송이 일어나고 이로 인해 형성된 해수면 경사에 의해서 흐르므로 대양의 표층 해류는 대부분 지형류이다. 따라서 평균 바람 응력 방향과 평균 해류 유속의 방향은 적도 반류가 나타나는 위도대를 제외하고는 대체로 일치한다.

## 12 서안 경계류와 동안 경계류

서안 경계류는 동안 경계류보다 해류의 폭이 좁고, 깊은 곳까지 분포하며, 유속이 빠르고 유량이 많다. 아열대 순환에서 서안 경계류는 난류의 형태로, 동안 경계류는 한류의 형태로 나타난다.

☒ A 지점에는 에크만 수송에 의해 해수의 발산이 일어나고, C 지점에는 에크만 수송에 의해 해수의 수렴이 일어난다. 따라서 해수면의 평균 높이는 A 지점이 C 지점보다 낮다.

☒ B 지점에 흐르는 해류는 서안 경계류이고, D 지점에 흐르는 해류는 동안 경계류이다. 서안 강화 현상에 의해서 서안 경계류는 동안 경계류보다 해수의 폭은 좁고, 깊이가 깊다. 따라서 지점에 흐르는  $\frac{\text{해류의 평균 폭}}{\text{해류의 평균 깊이}}$ 는 서안 경계류가 흐르는 B 지점이 동안 경계류가 흐르는 D 지점보다 작다.

Ⓒ 서안 강화 현상은 위도에 따른 전향력의 변화 때문에 나타나는 현상으로, 그 효과가 클수록 순환의 중심은 서쪽으로 치우쳐서 나타나 서안과 동안의 유속 차이가 커지게 된다. 현재보다 위도에 따른 전향력의 변화가 커져서 순환의 중심이 서쪽으로 더 치우치게 되면 B 지점에 흐르는 서안 경계류의 유속은 더 빨라지고, D 지점에 흐르는 동안 경계류의 유속은 더 느려지므로 해류의 유속 차이는 더 커지게 된다.

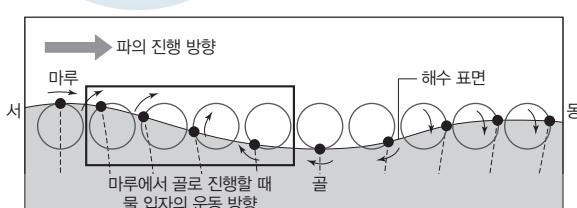
## 13 해파의 물 입자 운동

심해파는 해저의 마찰을 받지 않으므로 물 입자는 원운동을 하고, 천해파는 해저의 마찰을 받으므로 물 입자는 타원 운동을 한다.

Ⓓ (가)에서 물 입자는 원운동을 하고, 수심이 깊어질수록 원 궤도의 반경이 작아지고 있으므로 (가)에서는 심해파가 나타난다.

☒ 물 입자가 함께 이동하는 해류와 달리 해파는 물 입자가 거의 움직이지 않고 에너지만 전달한다. 따라서 물 입자는 궤도에 따라 원운동을 할 뿐 이동하지는 않는다.

Ⓔ 해파가 연속된 마루와 골 사이를 진행할 때 물 입자는 원운동이나 타원 운동을 한다. 따라서 해파가 마루에서 골 사이로 진행할 때 나타날 수 있는 표면의 물 입자 운동 방향은 (나)의 ⑦이다.



## 14 주기에 따른 해파의 분류

해양의 해수면이 주기적으로 상승 또는 하강하는 운동을 해파라고 한다. 해파는 발생 원인에 의한 주기에 따라 여러 해파로 분류 할 수 있다. A는 풍랑이 멀리 전파되어 온 해파인 너울이고, B는 지진 해일을 발생시키는 해파, C는 조석을 일으키는 해파이다.

◎ A는 너울이다. 너울은 풍랑이 발생지를 벗어나 멀리 전파되어 온 해파이다. 너울은 풍랑에 비해 상대적으로 마루의 형태는 둥글고, 주기와 파장은 길다.

☒ B는 지진 해일을 발생시키는 해파이고, 지구에서 지진 해일을 발생시키는 해파는 모두 천해파이다. 천해파의 속도는 파장과는 무관하고, 수심이 깊을수록 빨라진다.

☒ A는 바람에 의해 형성된 풍랑이 멀리 전파되어 온 해파이고, C는 주로 달과 태양에 의한 기조력의 상대적인 크기 차이로 인해 나타나는 해파이다. 이에 반해 B는 해저에서 발생한 화산 폭발 및 지진 등에 의해 발생하는 해파이다. 따라서 지권과의 상호 작용에 의해 주로 발생하는 해파는 B이다.

## 15 해파의 굴절

천해파의 전파 속도는 수심이 깊을수록 빠르므로 천해파가 해안에 접근하면 전파 속도는 느려진다. A와 B 지점에 도달한 해파는 모두 천해파이다.

☒ 수심이 파장의  $\frac{1}{20}$ 보다 얕은 곳에서 전달되는 해파는 천해파이다. 천해파의 전파 속도는 중력 가속도가 일정하다면 수심의 제곱근에 비례하여 나타난다. 따라서 수심이 A 지점보다 B 지점에서 더 얕으므로 해파의 전파 속도도 A 지점보다 B 지점에서 더 느린다.

☒ 해파는 수심이 달라져도 파동의 진동수와 주기는 변하지 않으므로, 해파의 전파 속도가 느려진다는 것은 해파의 파장이 짧아졌다는 것을 의미한다. 따라서 해파의 파장은 A 지점보다 B 지점에서 더 짧다.

◎ 해파의 진행 방향은 해파의 마루선에 직각 방향으로 나타난다. 또한 등수심선에 비스듬히 접근하는 해파의 마루선은 해안선에 가까워질수록 낮은 수심에 의해 굽절되어 해안선 부근에서는 해안선에 나란하게 되므로 해안선 부근에서 해파의 진행 방향과 등수심선이 이루는 각은 직각이 된다. 따라서 수심이 깊은 A 지점보다 수심이 얕은 B 지점에서 해파의 진행 방향과 등수심선이 이루는 각은 더 커진다.

## 16 천해파와 심해파

심해파는 수심이 파장의  $\frac{1}{2}$ 보다 깊은 해역에서 진행하는 해파이고, 천해파는 수심이 파장의  $\frac{1}{20}$ 보다 얕은 해역에서 진행하는 해파이다. (가)는 천해파, (나)는 심해파의 물 입자 운동 모습이다.

◎ 천해파의 물 입자는 해저면의 마찰에 의해서 타원 운동을 하고, 심해파의 물 입자는 해저면의 마찰 영향을 거의 받지 않으므로 원운동을 한다.

◎ 천해파가 나타나는 (가)는 수심이 파장의  $\frac{1}{20}$ 보다 얕은 해역에서 나타나고, 심해파가 나타나는 (나)는 수심이 파장의  $\frac{1}{2}$ 보다 깊은 해역에서 나타나므로 해파의  $\frac{\text{수심}}{\text{파장}}$ 은 (가)보다 (나)에서 크다.

◎ 천해파의 물 입자는 타원 궤도로 운동하므로 물 입자 운동 궤도의  $\frac{\text{짧은반지름}}{\text{긴반지름}}$ 은 1보다 작고, 심해파의 물 입자는 원 궤도로 운동하므로 물 입자 운동 궤도의  $\frac{\text{짧은반지름}}{\text{긴반지름}}$ 은 거의 1이다. 따라서 물 입자 운동 궤도의  $\frac{\text{짧은반지름}}{\text{긴반지름}}$ 은 (가)보다 (나)가 크다.

## 17 심해파의 진행

파장의 변화에 따라 해파의 전파 속도가 변하는 해파는 심해파이고, 전파 속도는 파장의 제곱근에 비례한다.

☒ 이 해파는 파장이 증가할수록 전파 속도도 파장의 제곱근에 비례하여 증가하므로 심해파이다.

◎ 해파의 주기는  $\frac{\text{파장}}{\text{전파 속도}}$ 으로 나타낼 수 있다. A일 때 해파의 파장은 400 m이고, 전파 속도가 25 m/s이므로 해파의 주기는 16초이다. 따라서 A일 때 해파의 주기는 15초보다 길다.

◎ 이 해파는 수심이 100 m인 해역에서 심해파의 성질을 가지므로 해파의 파장은 200 m보다 짧다. 또한 그림에서 파장이 200 m인 심해파의 전파 속도는 15 m/s와 20 m/s 사이에서 형성되므로 수심 100 m 해역에서 전파 속도는 15 m/s보다 빠를 수 있다.

## 18 저기압과 폭풍 해일

폭풍 해일은 저기압 중심의 기압 하강에 따른 해수면 상승 효과와 바람에 의한 해수의 축적 효과가 함께 동반되어 해수면이 평소보다 높아져 바닷물이 해안가로 넘어오는 현상이다.

☒ 이 지역의 해수면 높이 변화를 살펴보면 조석 주기가 약 12시간 25분이고, 연속되는 만조나 간조 사이의 수위가 비슷하므로 이 지역의 조석 형태는 반일주조이다.

☒ 열대 저기압(태풍)이나 강한 온대 저기압에 의해 해수면이 크게 상승하는 폭풍 해일은 주로 여름철에 집중되어 나타나고, 겨울철에는 거의 발생하지 않는다. 따라서 폭풍 해일은 대부분 특정 계절에 한정되어 발생한다.

◎ 해안 지역의 관측소에서 해수면의 높이가 최소(간조)일 때부터 최대(만조)일 때로 전환될 때에는 먼 바다로부터 해안가로 해수가 밀려 들어오고, 해수면의 높이가 최대(만조)일 때부터 최소(간조)일 때로 전환될 때에는 해안가에서 먼 바다로 해수가 이동

한다. 폭풍 해일은 22일 9시경에서 10시경 사이에 가장 크게 영향을 주었고, 이 시간대에 조석은 간조에서 만조 사이이다. 따라서 폭풍 해일의 영향이 가장 커울 때 이 지역은 밀물이 나타났다.

## 19 지진 해일

지진에 의해 생긴 해파는 파장이 수백 km에 달하므로 천해파의 성질을 가진다. 천해파는 진행하면서 수심이 낮아질수록 속력이 느려지고 파고는 높아진다.

ⓧ. 해저 지진에 의한 해수면 높이의 변화 폭은 (가)에서 약 0.9 m이고, (나)에서 약 0.3 m이다. 따라서 해수면 높이의 변화 폭은 (가)보다 (나)에서 작다.

⓫. 해저 지진에 의한 지진파의 전파 시간은 지진파의 이동 거리가 멀수록 대체로 길고, 해저 지진에 의해 발생되는 지진 해일도 진앙으로부터의 거리가 멀수록 해안가에 늦게 도달한다. (가)에서는 관측을 시작한 후 약 270분에 해수면의 높이 변화가 나타났고, (나)에서는 관측을 시작한 후 약 200분에 해수면의 높이 변화가 나타났다. 따라서 해저 지진의 지진파는 (가)보다 (나)에 먼저 도착하였다.

⓯. 해저 지진에 의해 발생한 해파는 수심에 비해 파장이 매우 길어서 지구상 모든 해역에서 천해파의 특성을 가지게 된다. 따라서 해수면의 높이 변화를 일으킨 해파는 해저면의 영향을 받는다.

## 20 폭풍 해일과 지진 해일

강한 저기압에 의한 해수면 상승과 강풍으로 인한 해수의 퇴적으로 인해 폭풍 해일이 발생하고, 해저에서 발생한 여러 지각 변동에 의해 지반의 상하 이동이 일어나는 경우에 지진 해일이 발생한다.

ⓧ. 어느 관측소에서 예측된 해수면에 비해 관측된 해수면이 높게 나타난 경우에는 이 관측소가 위치한 지역이 해일의 영향을 받았다는 것을 알 수 있다. (가)에서는 관측된 모든 시간 동안 관측된 해수면이 예측된 해수면보다 높게 나타나므로 관측된 모든 시간 동안 해일이 일어났고, (나)에서는 4시간 정도만 관측된 해수면이 예측된 해수면보다 높게 나타났다. 따라서 해일의 지속 시간은 (가)보다 (나)가 짧다.

⓫. 폭풍 해일은 해안가에서 강한 저기압에 의한 기압 변동과 바람의 영향으로 해수면의 높이가 지속적으로 높아지는 현상이고, 지진 해일은 예기치 않게 발생한 해저 지각 변동에 의해 해수면이 급격히 높아지는 현상이다. 따라서 (가)는 폭풍 해일에 의한 해수면의 높이 변화이고, (나)는 지진 해일에 의한 해수면의 높이 변화이다.

⓯. 해수가 해안선으로부터 크게 물러나는 경우에는 관측소에서 관측된 해수면의 높이가 예측된 해수면의 높이보다 낮게 나타난다. (가)에 비해 (나)에서는 관측된 해수면의 높이가 예측된 해수면보다 낮게 나타나는 시기가 있으므로, 해수가 해안선으로부터 크게 물러나는 경우가 있는 것은 (나)이다.

## 21 달에 의한 기조력

기조력은 인력으로 작용하는 천체의 질량에 비례하고 천체까지의 거리의 세제곱에 반비례한다. 또한 달에 의한 기조력은 지구가 달과의 공통 질량 중심을 회전함에 따라 지구상의 각 지점에서 생기는 원심력과 지구의 각 지점과 달 사이에 작용하는 만유인력의 합력이다.

ⓧ. 달에 의한 기조력에서 원심력은 지구가 달과의 공통 질량 중심을 회전함에 따라 지구상의 각 지점에서 생기는 힘으로, 지구상의 모든 지점들에서 크기가 같고, 달의 반대 방향으로 작용한다. 따라서 (가)는 달의 만유인력 방향이고, (나)는 원심력 방향이다.

ⓧ. P 지점은 지구 중심이다. 지구 중심에서는 원심력과 달의 만유인력의 크기가 같고, 방향은 서로 반대 방향으로 작용하여 평형을 이룬다.

ⓧ. 달에 의한 기조력은 달의 질량에 비례하고, 지구와 달 사이 거리의 세제곱에 반비례하여 나타난다. 따라서 다른 조건은 동일하고, 현재보다 달의 질량이 2배 증가하면 달에 의한 기조력의 크기도 2배 증가한다.

## 22 달의 위상과 조석 현상

해수면의 높이 변화는 지구, 달, 태양의 상대적인 위치에 따라 주기적으로 나타난다. A 시기는 조금(소조)이고, B 시기는 사리(대조)이다. 조금(소조)일 때 달의 위상은 상현이나 하현이고, 사리(대조)일 때 달의 위상은 삭이나 망이다.

ⓧ. 달과 태양의 기조력에 의해서 조금(소조)일 때 간조의 해수면은 사리(대조)일 때 간조의 해수면보다 높다. 따라서 간조일 때 해수면의 평균 높이는 A 시기가 B 시기보다 높다.

ⓧ. 태양과 달의 기조력이 합쳐지면 달과 태양에 의한 조석 해면이 보강 간섭이 일어나서 조차가 커지고, 태양과 달의 기조력이 상쇄되면 달과 태양에 의한 조석 해면이 소멸 간섭이 일어나서 조차가 작아진다. 따라서 달과 태양에 의한 기조력의 크기는 A 시기가 B 시기보다 작다.

ⓧ. 달의 위상이 삭이나 망일 때 지구—태양—달 사이의 각은  $0^\circ$ 이고, 달의 위상이 상현이나 하현일 때 지구—태양—달 사이의 각은 예각이 된다. 따라서 지구—태양—달이 이루는 각은 A 시기가 B 시기보다 크다.

## 23 조석 달력

달의 위상이 삭이나 망일 때에는 달과 태양에 의한 기조력의 방향이 일치하므로 두 천체의 기조력이 합쳐져서 조차가 최대인 사리(대조)가 나타나고, 달의 위상이 상현이나 하현일 때에는 달과 태양에 의한 기조력의 방향이 상쇄되므로 두 천체의 기조력이 분산되어 조차가 최소인 조금(소조)이 나타난다.

ⓧ. 조차(조석 간만의 차)는 만조 때와 간조 때 해수면의 높이 차

이다. 15일의 최대 조차는 841 cm이고, 17일의 최대 조차는 587 cm이다. 따라서 최대 조차는 15일이 17일보다 크다.

◎ 14일에서 18일로 갈수록 조차가 작아지므로 18일경이 조금(소조) 시기이다. 조금(소조)은 달의 위상이 상현이나 하현일 때로 조금(소조) 시기 이전이 이후보다 달이 동쪽 지평선에서 뜨는 시각이 더 빠르다. 따라서 달이 동쪽 지평선에서 뜨는 시각은 14일이 18일보다 먼저이다.

☒. 조금(소조) 시기에는 지구를 중심으로 달과 태양이 수직으로 위치할 때이다. 지구, 달, 태양이 일직선을 이루었던 적은 달의 위상이 삭이나 망일 때이므로 이 관측 시기에는 없었다.

## 24 위도에 따른 조석 현상

조석의 형태는 지구의 적도면과 달의 공전 궤도가 서로 일치하지 않기 때문에 나타나는 현상이며, 지구상의 위치하는 지점에 따라 달라진다.

◎ (가)에서는 조석 주기가 약 12시간 25분인 반일주조가 나타나고, (나)에서는 조석 주기가 약 24시간 50분인 일주조가 나타난다. 따라서 조석 주기는 반일주조가 나타나는 (가)보다 일주조가 나타나는 (나)가 더 길다.

◎ 고위도에 위치하는 지역에서는 하루에 만조와 간조가 약 1회 일어나는 일주조의 조석 형태가 나타나고, 적도 부근에 위치하는 지역에서는 하루에 만조와 간조가 약 2회 일어나는 반일주조가 나타난다. 따라서 지역이 위치하는 위도대는 (가)보다 (나)가 더 높다.

◎ 관측 기간 동안 해수면 높이의 변화 폭은 (가)에서 약 3 m이고, (나)에서 약 2 m이다. 따라서 관측 기간 동안 해수면 높이의 변화 폭은 (가)보다 (나)가 작다.

# 06 대기 안정도

## 수능 2점 테스트

본문 114~115쪽

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

### 01 단열 변화

공기 덩어리가 외부와의 열 교환 없이 주위 기압 변화에 의한 부피 변화로 인해 공기 덩어리 내부의 온도가 변하는 현상을 단열 변화라고 한다.

◎ 대기권에서 대기의 밀도는 높이가 높아질수록 작아진다. 따라서 대기의 밀도는 높이가 낮은  $z_1$ 이 높이가 높은  $z_2$ 보다 크다.

◎ 이슬점은 일정한 압력 하에서 공기를 냉각시켜 이슬이 맷히기 시작할 때의 온도이므로, 공기가 포화 상태일 때는 기온과 이슬점은 같고, 공기가 불포화 상태일 때는 기온이 이슬점보다 높다. 이 공기 덩어리는 지표면에서 기온이 이슬점보다 높으므로 불포화 상태이다.

☒. 지표면에서 기온이  $30^{\circ}\text{C}$ 인 공기 덩어리가 건조 단열 감률로 기온이 하강하여 높이  $z_1$ 에서 기온이  $20^{\circ}\text{C}$ 가 되었으므로,  $z_1$ 은 1 km이다.  $z_1$ 에서 이슬점은  $20^{\circ}\text{C}$ 가 되어 공기 덩어리는 포화 상태가 된다. 이후 공기 덩어리는 습윤 단열 감률에 의해 기온이 하강하므로  $z_2$ 는 3 km가 된다. 따라서  $z_1$ 은  $(z_2 - z_1)$ 보다 작다.

### 02 단열 감률

높이에 따라 공기 덩어리의 기온이 단열 변화에 의해 변하는 비율을 단열 감률이라고 한다. 단열 감률의 종류에는 불포화 공기 덩어리가 단열 변화할 때의 기온 변화율인 건조 단열 감률, 포화 공기 덩어리가 단열 변화할 때의 기온 변화율인 습윤 단열 감률이 있다. 이슬점 감률은 공기 덩어리가 상승 또는 하강할 때의 이슬점 변화율이다.

☒. (가)는 공기 덩어리가 단열 변화를 할 때 1 km당 기온이  $5^{\circ}\text{C}$ 씩 변하고, (나)는 공기 덩어리가 단열 변화를 할 때 1 km당 기온이  $10^{\circ}\text{C}$ 씩 변한다. 따라서 (가)는 습윤 단열선이고, (나)는 건조 단열선이다.

☒. 포화 상태인 공기 덩어리가 상승하여 팽창하면 숨은열(잠열)로 인해 불포화 상태일 때보다 기온이 작게 감소되어 (가)와 같이 1 km당 기온이  $5^{\circ}\text{C}$ 씩 하강한다. 따라서 공기 덩어리가 상승할 때 숨은열이 방출되는 경우의 단열선은 습윤 단열선인 (가)이다.

◎ (나)의 높이에 따른 기온 변화율의 크기는 1 km당  $10^{\circ}\text{C}$ 이고, 포화 공기 덩어리의 이슬점 감률선의 높이에 따른 기온 변화율은 1 km당  $5^{\circ}\text{C}$ 이다. 따라서 (나)의 공기 덩어리의 단열 감률

은 포화 공기 덩어리의 이슬점 감률보다 크다.

### 03 편

수증기를 포함한 공기 덩어리가 산 사면을 따라 상승하다가 구름이 생성되어 비를 뿐만 후 산을 넘게 되면 산을 넘기 전과 비교하여 기온은 높아지고 상대 습도는 낮아져서 고온 건조한 상태가 되는데, 이를 편이라고 한다.

Ⓐ 이슬점은 D가 A보다 낮으므로 Ⓛ은 공기 덩어리의 이슬점 변화선이고, 기온은 D가 A보다 높으므로 Ⓜ은 공기 덩어리의 기온 변화선이다.

Ⓒ 불포화 상태인 A-B 구간에서 이슬점 감률은 약  $2^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 이고, 포화 상태인 B-C 구간에서 이슬점 감률은 습윤 단열 감률과 같은 약  $5^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 이다. 따라서 이슬점 감률은 A-B 구간이 B-C 구간보다 작다.

Ⓓ 공기 덩어리가 A에서 D로 산을 넘는 동안 D에서 기온은 A보다 높고, D에서 이슬점은 A보다 낮으므로, 공기 덩어리의 (기온-이슬점) 값은 D가 A보다 크다.

### 04 상승 응결 고도

수증기를 포함한 불포화 공기 덩어리가 상승하면 기온과 이슬점이 모두 낮아지다가 상승 응결 고도에 도달하여 응결이 일어나면서 구름이 생성된다. 이 공기 덩어리의 기온이 주위 공기의 기온보다 높으면 공기 덩어리는 습윤 단열선을 따라 계속 기온이 낮아지면서 상승하고, 이 공기 덩어리의 기온이 주위 공기의 기온과 같아지면 더 이상 공기 덩어리는 자발적으로 상승하지 못한다.

Ⓔ 상승하는 공기 덩어리는 상승 응결 고도에서 상대 습도 100%에 도달하여 응결이 일어나기 시작한다. 상승 응결 고도보다 낮은 구간에서는 건조 단열선을 따라 기온이 하강하고, 상승 응결 고도보다 높은 구간에서는 습윤 단열선을 따라 기온이 하강한다. 따라서 상승하는 공기 덩어리의 기온 변화선이 건조 단열선에서 습윤 단열선으로 바뀌는 높이, 즉  $h_1$ 이 상승 응결 고도이다.

⓫ 지표면에서 상승한 불포화 공기 덩어리가 높이  $h_1$ 에서 포화 상태에 도달하여 구름이 생성되고, 이후 습윤 단열선을 따라 기온이 낮아지면서 높이  $h_2$ 까지 상승한다. 높이  $h_2$  이상에서는 습윤 단열선을 따라 상승하는 공기 덩어리의 기온이 주위 공기의 기온보다 낮아, 공기 덩어리는 자발적으로  $h_2$ 보다 더 높이 상승하지 못한다. 따라서 생성된 구름의 두께는 [구름의 정상부 높이 ( $h_2$ ) - 구름의 최저부 높이 ( $h_1$ )]로  $h_2 - h_1$ 이다.

⓬ 상승하는 공기 덩어리는 상승 응결 고도( $h_1$ )보다 높은 높이에서 포화 상태이다.  $h_1 \sim h_2$  구간은 포화 상태의 공기 덩어리가 상승하는 구간으로 이슬점 감률은 습윤 단열 감률과 같다.

### 05 기층의 안정도

기온 감률이 건조 단열 감률보다 크면 기층의 안정도는 절대 불안

정이고, 기온 감률이 습윤 단열 감률보다 작으면 기층의 안정도는 절대 안정이다.

㉠ 그림에서 기온 감률이 건조 단열 감률보다 크므로 기층의 안정도는 절대 불안정이다.

⓫ 구름이 생성된다면 불안정한 기층에서는 공기의 연직 운동이 활발해 충운형 구름보다 적운형 구름이 생성되기 쉽다.

⓬ 지표면에 있는 불포화 공기 덩어리 A를 높이  $h_2$ 까지 강제로 상승시키면, 공기 덩어리의 기온은 건조 단열선을 따라 변하여 주위 공기보다 기온이 높아지므로 하강하지 않고 계속 상승한다.

### 06 기온 감률과 단열 감률

불포화 상태의 공기 덩어리는 건조 단열 감률로 기온이 감소하여 1 km 상승할 때마다  $10^{\circ}\text{C}$ 씩 낮아진다. 기온 감률이 건조 단열 감률보다 크면 절대 불안정, 기온 감률이 습윤 단열 감률보다 작으면 절대 안정 상태이다. 기온 감률이 건조 단열 감률보다 작고 습윤 단열 감률보다 크면 조건부 불안정 상태이다.

⓫ 건조 단열 감률은  $10^{\circ}\text{C}/\text{km}$ , 습윤 단열 감률은  $5^{\circ}\text{C}/\text{km}$ , 기온 감률은  $9^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 으로 기온 감률은 습윤 단열 감률보다 크고 건조 단열 감률보다 작다. 따라서 기층의 안정도는 조건부 불안정이다.

⓬ 상승 응결 고도( $H$ )는  $H(\text{km}) = \frac{1}{8}(\text{기온}-\text{이슬점})$ 이다. 따라서 지표에서 기온이  $30^{\circ}\text{C}$ 이고, 상승 응결 고도가 2 km인 공기 덩어리의 지표에서의 이슬점은  $14^{\circ}\text{C}$ 이다.

⓭ 지표에서 상승 응결 고도인 2 km 높이까지 공기 덩어리는 건조 단열 감률로 기온이 낮아진다. 따라서 2 km 높이에서 상승한 공기 덩어리의 기온은  $10^{\circ}\text{C}$ 이고, 이 높이에서 주위 공기의 기온은  $12^{\circ}\text{C}$ 으로 공기 덩어리의 밀도는 주위 공기의 밀도보다 크다.

### 07 대기의 안정도와 역전층

역전층은 높이가 높아질수록 기온이 상승하는 층으로, 역전층에서는 기층이 절대 안정하다.

⓫ (가)의 A 기층에서는 높이에 따라 기온이 하강하고 B 기층에서는 높이에 따라 기온이 상승하므로, B 기층에 역전층이 존재한다. 따라서 역전층이 존재하는 B 기층이 역전층이 없는 A 기층보다 안정하다.

⓬ (나)의 기층은 기온 감률이  $2^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 이고, 건조 단열 감률이  $1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 이다. 따라서 (나)의 기층은 기온 감률이 건조 단열 감률보다 크므로 절대 불안정한 상태이다.

⓫ 높이  $0 \sim 200\text{ m}$  구간은 (가)일 때는 절대 안정한 상태이고, (나)일 때는 절대 불안정한 상태이다. 안정한 기층에서는 공기의 연직 운동이 활발하지 않고, 불안정한 기층에서는 공기의 연직 운동이 활발하다. 따라서 이 구간에서 대기 오염 물질의 확산은 공기의 연직 운동이 활발한 (나)가 공기의 연직 운동이 활발하지 않

은 (가)보다 더 활발히 일어날 것이다.

## 08 안개

지표 부근에서 수증기가 응결되어 생성된 작은 물방울이 대기 중에 떠 있는 것을 안개라고 한다. 안개는 공기의 냉각에 의해 생성되는 복사 안개, 이류 안개, 활승 안개로 나뉘고, 수증기량의 증가에 의해 생성되는 전선 안개, 중발 안개로 나뉜다.

Ⓐ. 따뜻한 곳에 있던 공기가 찬 지면 위로 이동하면 공기의 하층 기온이 하강하여 이슬점 이하로 내려가면 안개가 생성된다. 이렇게 생성된 안개를 이류 안개라고 한다. 따라서 Ⓩ에는 '하강'이 적절하다.

✗. 이 안개는 따뜻한 곳에 있던 공기가 찬 지면 위로 이동하면서 공기의 하층이 냉각되어 생성되므로 이 안개의 주된 생성 원리는 공기의 냉각이다.

Ⓑ. 이 안개는 따뜻한 곳에 있던 공기가 찬 지면 위로 이동하면서 생성되므로, 안개의 생성 과정은 공기의 연직 방향의 이동보다 공기의 수평 방향의 이동과 더 관련이 있다.

### 수능 3점 테스트

본문 116~119쪽

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

## 01 단열 변화

불포화 공기 덩어리가 상승할 때는 건조 단열 감률로 기온이 낮아지고, 포화 공기 덩어리가 상승할 때는 습윤 단열 감률로 기온이 낮아진다. 포화 공기 덩어리는 수증기가 응결하면서 응결열을 방출하기 때문에 불포화 공기 덩어리의 단열 감률보다 작다.

Ⓐ. 지표면에서 기온이 20 °C인 불포화 상태의 공기 덩어리가 단열 상승하면 높이 1 km에서 공기 덩어리 기온이 10 °C가 되고, 지표면에서 기온이 20 °C인 포화 상태의 공기 덩어리가 단열 상승하면 높이 1 km에서 공기 덩어리의 기온이 15 °C가 된다. 그림의 높이 1 km에서 A는 공기 덩어리의 기온이 12 °C이고 B는 10 °C인 것으로 보아 A는 불포화 공기 덩어리가 상승하다가 포화 상태에 도달하였고, B는 지표에서 1 km 높이까지 계속 불포화 상태였음을 알 수 있다. 따라서 1 km 높이에서 포화 상태인 공기 덩어리는 A이다.

✗. A는 지표면에서 불포화 공기 덩어리가 상승하다가 포화 상태에 도달하였는데, 500 m 높이에서 포화 상태에 도달하였다면 1 km 높이에서 공기 덩어리의 기온은 12,5 °C가 되어야 한다. 1 km 높이에서 기온이 12 °C인 것으로 보아 포화 상태에 도달하기 시작한 높이가 500 m보다 높아야 한다. 따라서 500 m 높이

에서 A, B는 모두 불포화 상태이므로 공기 덩어리의 기온은 A와 B가 같다.

Ⓑ. A는 지표면에서는 불포화 상태였지만 상승하는 동안 포화에 도달하였고, B는 지표면에서 1 km 높이까지 계속 불포화 상태로 상승하였다. 지표면에서 (기온-이슬점) 값이 작을수록 상승 응결 고도가 낮으므로, 지표에서 기온이 같은 경우 이슬점은 공기 덩어리의 상승 응결 고도가 낮은 A가 B보다 높다.

## 02 구름의 생성

불포화 공기 덩어리가 상승하면 건조 단열 감률로 기온이 낮아지다가 포화 상태에 도달하면 구름이 생성된다. 이후 공기 덩어리는 습윤 단열 감률로 기온이 낮아지면서 상승을 하게 되는데, 주위 공기보다 기온이 높으면 계속 상승할 수 있지만 주위 공기와 기온이 같아지면 상승이 억제된다.

✗. (가)와 (나)에서 공기 덩어리가 상승 응결 고도에서 계속 상승하여 공기 덩어리의 기온이 주위 공기의 기온과 같아져서 상승을 멈추게 되는 높이는 (가)는 2 km, (나)는 1 km이다. 구름을 생성한 공기 덩어리가 계속 상승하다가 상승을 멈추는 높이가 구름의 정상부에 해당하므로, 구름의 정상부 높이는 (가)가 (나)보다 높다.

✗. (가)는 높이 1 km 이상에서 공기 덩어리의 기온이 주위 공기의 기온보다 높으므로 공기 덩어리는 자발적으로 상승하지만, (나)는 높이 1 km에서 상승하던 공기 덩어리의 기온이 주위 공기의 기온과 같아지므로 공기 덩어리는 자발적으로 상승하지 못한다.

Ⓒ. 공기 덩어리의 기온 변화선이 건조 단열선에서 습윤 단열선으로 바뀌는 높이가 상승 응결 고도이다. 또한 지표면에서 공기 덩어리의 (기온-이슬점)이 8 °C인 경우 상승 응결 고도는 1 km이다. 그러나 (가)와 (나)에서 모두 상승 응결 고도는 1 km 미만이므로, 지표면에서 공기 덩어리의 (기온-이슬점)이 8 °C보다 낮다.

## 03 상승 응결 고도

상승 응결 고도는 공기 덩어리가 단열 상승하여 구름이 생성되기 시작하는 고도이다. 상승 응결 고도는 지표면에서 공기 덩어리의 상대 습도가 낮을수록, 즉 (기온-이슬점) 값이 클수록 높다.

Ⓐ. 지표면에서 공기 덩어리가 상승하여 포화에 도달하기 시작하는 높이는 상승 응결 고도로, 평균 상승 응결 고도는 8월에 가장 낮다.

Ⓑ. 상승 응결 고도는 지표면에서 (기온-이슬점) 값이 클수록 높다. 따라서 지표면에서 평균 (기온-이슬점) 값은 월별 평균 상승 응결 고도가 높은 2월이 월별 평균 상승 응결 고도가 낮은 8월보다 크다.

Ⓒ. (기온-이슬점) 값이 작을수록 상대 습도가 높아진다. 따라서 단열 상승하는 공기 덩어리의 높이 400 m에서 평균 상대 습도는 상승 응결 고도에 더 가까운 8월이 상승 응결 고도와 더 먼 2월보다 더 높다.

## 04 기온 감률과 단열 감률

공기 덩어리가 상승할 때 불포화 상태의 공기 덩어리는 건조 단열 감률로 기온이 낮아지고, 포화 상태의 공기 덩어리는 습윤 단열 감률로 기온이 낮아진다. 이슬점 감률은 공기 덩어리가 상승 또는 하강할 때의 이슬점 변화율로, 불포화 상태의 공기인 경우는 약  $2^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 이고, 포화 상태의 공기인 경우는 약  $5^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 이다.

▣. (가)의 기온 감률은  $7^{\circ}\text{C}/\text{km}$ , (나)의 기온 감률은  $4^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 이다. 따라서 (가)는 기온 감률( $7^{\circ}\text{C}/\text{km}$ )이 습윤 단열 감률( $5^{\circ}\text{C}/\text{km}$ )보다 크고 건조 단열 감률( $10^{\circ}\text{C}/\text{km}$ )보다 작으므로 기층의 안정도는 조건부 불안정이다. (나)는 기온 감률( $4^{\circ}\text{C}/\text{km}$ )이 습윤 단열 감률( $5^{\circ}\text{C}/\text{km}$ )보다 작으므로 기층의 안정도는 절대 안정이다.

㉡. 높이  $1\text{ km} \sim 2\text{ km}$  구간에서 공기 덩어리는 (가) 시기에는 포화 상태이고, (나) 시기에는 불포화 상태이다. 따라서 높이  $1\text{ km} \sim 2\text{ km}$  구간에서 공기 덩어리는 (가) 시기에는 습윤 단열 감률로 기온이 하강하고, (나) 시기에는 건조 단열 감률로 기온이 하강하므로 단열 감률은 (가)가 (나)보다 작다.

㉢. 상승 응결 고도( $H$ )는  $H(\text{km}) = \frac{1}{8}(\text{기온} - \text{이슬점})$ 이므로, 지표면에서 (가)의 이슬점은  $17^{\circ}\text{C}$ 이고 (나)의 이슬점은  $9^{\circ}\text{C}$ 이다.  $2\text{ km}$  높이까지 상승한 공기 덩어리의 이슬점은 (가) 시기에는  $17^{\circ}\text{C} - (2^{\circ}\text{C}/\text{km} \times 1\text{ km} + 5^{\circ}\text{C}/\text{km} \times 1\text{ km}) = 10^{\circ}\text{C}$ 이고, (나) 시기에는  $9^{\circ}\text{C} - (2^{\circ}\text{C}/\text{km} \times 2\text{ km}) = 5^{\circ}\text{C}$ 이다. 따라서  $2\text{ km}$  높이까지 상승한 공기 덩어리의 이슬점은 (가)가 (나)보다 높다.

## 05 퀜

휘이 일어났을 때 산을 넘는 동안 구름이 생성되어 비가 내린다면 산을 넘은 후 공기는 산을 넘기 전 공기와 비교했을 때 기온은 상승하고, 이슬점은 하강하며 상대 습도는 감소한다.

㉡. (기온 - 이슬점) 값이 작을수록 상대 습도는 높다. 특히 기온과 이슬점이 같으면 상대 습도는 100%이고 응결이 일어난다. 6시에 기온과 이슬점이 같으므로 상대 습도는 100%이고, 이는 관측 시기 중 가장 높은 값이다.

▣.  $h_1$ 은 상승 응결 고도로, 상승 응결 고도는 지표면에서 공기 덩어리의 기온과 이슬점 차가 클수록 높다. A 지점에서 상승할 때 공기 덩어리의 기온과 이슬점은 주위 공기의 기온과 이슬점과 같으므로,  $h_1$ 은 (기온 - 이슬점) 값이 더 큰 12시가 9시보다 높다.

▣. A-B 구간에서 공기 덩어리의  $\frac{\text{기온 변화 폭}}{\text{이슬점 변화 폭}}$ 은  $h_1$ (=상승 응결 고도)의 높이에 따라 달라진다. 9시는 15시보다  $h_1$ 이 낮으므로, 기온 변화 폭은 건조 단열 감률로 기온이 낮아지는 구간이 좁은 9시가 15시보다 작고, 이슬점 변화 폭은 습윤 단열 감률로 이슬점이 낮아지는 구간이 넓은 9시가 15시보다 크다. 따라서 A-B

구간에서 공기 덩어리의  $\frac{\text{기온 변화 폭}}{\text{이슬점 변화 폭}}$ 은 9시가 15시보다 작다.

## 06 대기 안정도와 구름 생성

(기온 - 이슬점) 값이 작을수록 상대 습도는 높다. 상승하는 공기 덩어리의 기온이 낮아지다가 이슬점과 같아지면 상대 습도는 100%가 되어 응결이 일어나 구름이 생성된다.

㉡. (기온 - 이슬점) 값이 작을수록 상대 습도는 높다. 기온과 이슬점이 같으면 상대 습도는 100%이다. 높이  $1.5\text{ km}$ 의 (기온 - 이슬점) 값이 지표면보다 작으므로 높이  $1.5\text{ km}$ 의 상대 습도는 지표면보다 높다.

▣. 높이  $1.0 \sim 2.0\text{ km}$  구간에서 기온 감률은  $6^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 이다. 이는 습윤 단열 감률( $5^{\circ}\text{C}/\text{km}$ )보다 크고 건조 단열 감률( $10^{\circ}\text{C}/\text{km}$ )보다 작으므로 공기 덩어리가 포화 상태인 경우에는 불안정하고, 불포화 상태인 경우에는 안정하다. 따라서 이 구간은 공기 덩어리의 포화 여부에 따라 안정도가 달라진다.

▣. 지표면의 공기 덩어리는 주위 공기와 기온과 이슬점이 같으므로, 지표면의 공기 덩어리는 기온이  $28^{\circ}\text{C}$ , 이슬점이  $24^{\circ}\text{C}$ 이다. 따라서 이 공기 덩어리를 강제로 단열 상승시켰을 때, 상승 응결 고도( $H$ )는  $H(\text{km}) = \frac{1}{8}(28 - 24) = 0.5\text{ km}$ 이다.

## 07 대기의 안정도와 구름의 생성

기온 감률이 건조 단열 감률보다 큰 경우 대기는 절대 불안정한 상태이고, 기온 감률이 건조 단열 감률과 습윤 단열 감률 사이에 있는 경우 대기는 조건부 불안정한 상태이다. 지상의 불포화 공기 덩어리가 상승을 시작할 때는 안정한 상태이지만, 공기 덩어리가 강제적으로 상승하면 포화되어 습은열을 방출하므로 불안정한 상태에 이를 수 있다.

㉡. (가)의 경우 지표에서 주위 공기의 기온과 공기 덩어리의 기온이  $30^{\circ}\text{C}$ 로 같으므로, 지표면에서 상승하기 시작하는 공기 덩어리는 자발적으로는 상승할 수 없고, 외부 힘에 의해 강제적으로 상승한 것이다.

㉡. (가)에서는 상승하는 공기 덩어리의 감률이 높이  $1\text{ km}$ 에서 건조 단열 감률에서 습윤 단열 감률로 바뀌고, (나)에서는 상승하는 공기 덩어리의 감률이 높이  $1.5\text{ km}$ 에서 건조 단열 감률에서 습윤 단열 감률로 바뀐다. 지표면에서 공기 덩어리의 기온은 (가)와 (나)에서 서로 같고, 상승 응결 고도는 (가)가 (나)보다 낮으므로 지표면에서 이슬점은 (가)보다 높다.

▣. 상승 응결 고도는 공기 덩어리의 감률이 건조 단열 감률에서 습윤 단열 감률로 바뀌는 높이로 (가)는  $1\text{ km}$ , (나)는  $1.5\text{ km}$ 이다. (가)의 경우 높이  $0 \sim 1\text{ km}$  구간에서 기온 감률은 건조 단열 감률보다 작고 습윤 단열 감률보다 크므로 이 기층은 조건부 불안정한 상태이다. (나)의 경우 높이  $0 \sim 1.5\text{ km}$  구간에서 기온 감

률은 건조 단열 감률보다 크므로 절대 불안정한 상태이다. 따라서 지표면에서 상승 응결 고도까지의 기층은 (가)와 (나) 모두에서 불안정한 상태는 아니다.

## 08 복사 안개

안개는 기온과 이슬점이 같아지는 상대 습도가 100%일 때 생성되고, 복사 안개는 복사 냉각에 의해 지표면 기온이 하강할 때 생성된다.

☒. 복사 안개는 복사 냉각에 의해 지표면 기온이 하강할 때 생성되므로, 지표면 부근에서 역전층이 형성되었을 때 잘 발생한다. 따라서 (가)와 (나) 중에서 역전층이 발생한 (나)가 복사 안개가 발생한 시기이다.

☒. 역전층은 주로 기온의 일교차가 크고, 바람이 약한 맑은 날 새벽에 지표면의 복사 냉각에 의해 형성되므로, 지표면의 복사 냉각은 역전층이 형성되어 있는 (나)가 역전층이 형성되어 있지 않은 (가)보다 활발하게 일어났다.

◎. 역전층은 하층의 공기 온도가 상층의 공기 온도보다 낮아서 안정한 상태의 기층이므로 역전층 내에서는 공기의 상승이나 하강 운동이 억제된다. 따라서 지표면 부근에서 공기의 연직 운동은 역전층이 형성되어 있지 않은 (가)가 역전층이 형성되어 있는 (나) 보다 활발하다.

## 07

# 대기의 운동과 대기 대순환

## 수능 2점 테스트

본문 128~131쪽

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

## 01 기압

기압은 단위 면적에 작용하는 공기의 무게로, 기압( $P$ )은  $P = \rho gh$  ( $\rho$ : 공기 기둥의 평균 밀도,  $g$ : 중력 가속도,  $h$ : 공기 기둥의 높이)이다. 기압의 단위는 hPa이고, 1 hPa = 100 N/m<sup>2</sup>이다.

◎. 지표면에서의 평균 기압은 1기압이고 1기압은 약 1013 hPa 이므로, 기압의 단위인 'hPa'는 ◎에 적절하다.

☒. 지표면에서 연직 상방 위로 갈수록 중력의 영향이 줄어들어 공기의 밀도는 작아진다. 따라서 지표면에서 공기의 밀도는 5 km 높이에서 공기 밀도보다 크다.

◎. 기압( $P$ )은 단위 면적에 작용하는 공기의 무게로,  $P = \rho gh$  ( $\rho$ : 공기 기둥의 평균 밀도,  $g$ : 중력 가속도,  $h$ : 공기 기둥의 높이)로 주어진다. 실제 위도가 같은 대기에서는 기압의 크기에 영향을 주는 요소인 공기 기둥의 평균 밀도, 중력 가속도, 공기 기둥의 높이가 모두 수평 방향보다 연직 방향으로의 변화가 더 크다. 따라서 기압의 크기는 수평 방향보다 연직 방향으로의 변화가 더 크다.

## 02 수평 기압 경도력

기압 경도력은 두 지점 사이의 기압 차에 의해 생기는 힘으로, 수평 방향으로 작용하는 수평 기압 경도력은 바람을 일으키는 근원적인 힘이다.

◎. 질량은 '밀도 × 부피'이고, 직육면체의 밀도는  $\rho \text{ kg/m}^3$ , 부피는  $2L \text{ m}^3$ 이므로 직육면체 공기 덩어리의 질량은  $2\rho L \text{ kg}$ 이다.

◎. 수평 기압 경도력은 고기압에서 저기압 쪽으로 등압선에 직각인 방향으로 작용한다. 따라서 수평 기압 경도력은 A면에서 B면으로 작용한다.

◎. 기압( $P$ )은 단위 면적에 작용하는 공기의 무게이므로,  $P = \frac{F}{A}$  ( $P$ : 기압,  $F$ : 공기의 무게(=힘),  $A$ : 면적)가 되어  $F = P \times A$ 로 나타낼 수 있다. 따라서 A면과 B면에 작용하는 힘의 크기 차( $\Delta F$ )는  $\Delta F = \Delta P \times A$  ( $\Delta P$ : 기압 차)로 구할 수 있다. A면과 B면에 작용하는 기압 차( $\Delta P$ )는 4 hPa, A면 또는 B면의 면적( $A$ )은  $2 \text{ m}^2$ , 1 hPa = 100 N/m<sup>2</sup>이므로,  $\Delta F = 4 \times 100 \text{ N/m}^2 \times 2 \text{ m}^2 = 800 \text{ N}$ 이다.

### 03 정역학 평형

공기 덩어리에 작용하는 중력과 연직 상방으로 작용하는 연직 기압 경도력이 평형을 이루고 있는 상태를 정역학 평형이라고 한다. 공기는 연직 방향으로 정역학 평형을 이루고 있기 때문에 대기 중에서 공기의 운동은 주로 수평 방향으로 일어나게 된다.

☒ A는 연직 방향으로 기압이 높은 곳에서 기압이 낮은 곳으로 작용하는 연직 기압 경도력이고, B는 중력이다. 정역학 평형 상태에서는 연직 기압 경도력(A)과 중력(B)이 평형을 이루므로 연직 기압 경도력의 크기는 중력의 크기와 같다.

☒ A는 연직 기압 경도력으로 정역학 평형 상태에서는 중력과 평형을 이루어 상체되므로, 수평 방향의 바람을 일으키는 균원적인 힘으로 작용하지 못한다. 수평 방향의 바람을 일으키는 균원적인 힘으로 작용하는 것은 수평 기압 경도력이다.

◎ 정역학 평형 상태에서는 연직 기압 경도력과 중력이 평형을 이루므로 다음과 같은 식이 성립한다.  $-\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta z} = g$  ( $\rho$ : 공기의 밀도,  $g$ : 중력 가속도,  $\Delta z$ : 고도 차,  $\Delta P$ : 기압 차),  $\Delta P = -\rho g \Delta z$ 이다. 중력 가속도가 일정하고, 두 등압면의 기압 차가 같은 경우, 고도 차( $\Delta z$ )는 공기의 밀도( $\rho$ )에 반비례하고, 밀도는 높이에 따라 감소한다. 따라서 1000 hPa 등압면과 990 hPa 등압면 사이의 높이 차는 510 hPa 등압면과 500 hPa 등압면 사이의 높이 차보다 작다.

### 04 전향력

전향력은 지구 자전에 의해 나타나는 겉보기 힘으로 지구상에서 운동하는 물체에 작용한다. 북반구에서는 물체가 진행하는 방향의 오른쪽 직각 방향으로, 남반구에서는 물체가 진행하는 방향의 왼쪽 직각 방향으로 작용한다.

◎ 전향력은 지구 자전에 의해 나타나는 겉보기 힘으로 ⑦에는 ‘지구 자전’이 적절하다.

◎ 공기 1 kg에 작용하는 전향력의 크기( $C$ )는  $C = 2v\Omega \sin\varphi$  ( $v$ : 운동 속도,  $\Omega$ : 지구 자전 각속도,  $\varphi$ : 위도)이다. 따라서 정지한 물체와 적도(위도 0°)에서는 전향력이 작용하지 않는다. 지구 상에서 운동하는 물체에 전향력이 작용하지 않는 곳의 예로는 적도 지역이 있다.

☒ 공기 1 kg에 작용하는 전향력의 크기( $C$ )는  $C = 2v\Omega \sin\varphi$  ( $v$ : 운동 속도,  $\Omega$ : 지구 자전 각속도,  $\varphi$ : 위도)으로 전향력은  $\sin\varphi$ 에 비례한다. 물체의 속력이 일정한 경우, 위도 90°에서 전향력의 크기가  $P$ 라면  $\sin 45^\circ$ 가  $\frac{\sqrt{2}}{2}$ 이므로, 위도 45°에서 전향력의 크기는  $\frac{\sqrt{2}}{2}P$ 이다. 따라서 ⑧은  $\frac{\sqrt{2}}{2}$ 이다.

### 05 지균풍

지균풍은 높이 1 km 이상의 상층 대기에서 등압선이 직선으로

나란할 때 부는 바람으로, 기압 경도력과 전향력이 평형을 이루면서 분다.

☒ A와 B는 지균풍이 불고 있는 지점의 공기에 작용하는 힘으로, 지균풍이 불 때 A와 B의 힘의 크기는 같다.

☒ 지균풍이 불고 있는 P 지점의 공기에 작용하는 힘은 기압 경도력과 전향력이다. 마찰력은 높이 1 km 이하의 대기 경계층(마찰층)에서 작용하는 힘이다.

◎ 지균풍의 방향은 북반구에서는 기압 경도력이 작용하는 방향의 오른쪽 직각 방향이고, 남반구에서는 기압 경도력이 작용하는 방향의 왼쪽 직각 방향이다. 이 지역이 남반구에 위치할 때 지균풍의 오른쪽 직각 방향으로 작용하는 B가 기압 경도력이고 A가 전향력이다. 기압 경도력은 고기압에서 저기압 쪽으로 등압선에 직각인 방향으로 작용하므로 X가 Y보다 크다.

### 06 경도풍

경도풍은 마찰력이 없는 높이 1 km 이상의 상층 대기에서 등압선이 원형 또는 곡선일 때, 기압 경도력과 전향력의 차가 구심력으로 작용하여 등압선에 나란하게 부는 바람이다.

☒ 북반구 지역에서 바람이 시계 방향으로 등압선에 나란하게 부는 것으로 보아, 중심부가 고기압인 경도풍이다. 따라서 X가 Y보다 크다.

◎ 이 경도풍은 고기압성 경도풍이다. 고기압성 경도풍에서는 중심부 쪽으로 작용하는 전향력이 바깥쪽으로 작용하는 기압 경도력보다 커서 그 차에 해당하는 힘이 구심력으로 작용한다. 구심력은 원운동을 일으키는 힘으로 원의 중심부 쪽으로 작용한다. 따라서 경도풍이 불고 있는 c 지점의 공기에는 전향력과 구심력이 모두 고기압 중심부 쪽으로 작용한다.

◎ 처음 a 지점에 정지해 있던 공기 덩어리가 기압 경도력에 의해 저기압 쪽으로 이동하기 시작하면 전향력의 영향으로 운동 방향이 등압선에 비스듬하게 나타난다. 공기가 b 지점까지 이동하는 동안 기압 경도력이 계속 작용하기 때문에 공기의 속력은 빨라진다.

### 07 등압선이 직선일 때의 바람

등압선이 직선일 때 자유 대기에서는 등압선에 나란한 지균풍이 불고, 대기 경계층에서는 지표면의 마찰력에 의해 등압선을 가로질러 비스듬하게 지상풍이 분다.

◎ A에서는 바람이 등압선에 나란하게 불고 있으므로 마찰력이 작용하지 않고, B에서는 바람이 등압선을 가로질러 비스듬하게 부는 것으로 보아 마찰력이 작용한다. 두 지점에서 등압선 사이의 거리와 두 등압선 사이의 기압 차는 같고, 공기의 밀도는 A가 B보다 작다. 기압 경도력은 공기의 밀도가 작을수록 크므로, 두 지역의 바람에 작용하는 기압 경도력은 A가 B보다 크다. 따라서 풍 속은 기압 경도력이 크고, 마찰력이 작용하지 않는 A가 기압 경

도력이 작고 마찰력이 작용하는 B보다 빠르다.

◎ A에서는 바람이 기압 경도력의 오른쪽 방향으로 등압선과 나란하게 불고, B에서는 바람이 기압 경도력의 오른쪽 방향으로 등압선에 비스듬하게 분다. 따라서 이 지역은 북반구에 위치한다.

☒ A 지점에서는 지균풍이 불고 있다. 지균풍은 기압 경도력과 전향력이 평형을 이루며 부는 바람이므로,  $\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta L} = 2v\Omega \sin\varphi$  ( $\rho$ : 공기의 밀도,  $\Delta P$ : 두 등압선 사이의 기압 차,  $\Delta L$ : 두 등압선 사이의 거리,  $v$ : 운동 속력,  $\Omega$ : 지구 자전 각속도,  $\varphi$ : 위도)가 성립한다. 따라서 지균풍의 속력( $v$ )은  $v = \frac{1}{2\rho\Omega \sin\varphi} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta L}$ 로 구할 수 있고,  $v \propto \frac{1}{\sin\varphi}$  이므로 다른 조건이 같은 경우, 위도가  $90^\circ$ 인 지역에서 지균풍의 풍속은 위도가  $30^\circ$ 인 지역의  $\frac{1}{2}$  배이다.

## 08 등압선이 원형일 때의 바람

등압선이 원형일 때 마찰력이 작용하지 않는 자유 대기에서는 등압선에 나란한 경도풍이 불고, 대기 경계층에서는 지표면의 마찰력에 의해 등압선을 가로질러 비스듬하게 지상풍이 분다. 경도풍은 중심부가 저기압일 때 북반구에서는 시계 반대 방향, 남반구에서는 시계 방향으로 등압선과 나란하게 분다.

☒ (가)에서는 바람이 기압 경도력의 왼쪽 방향으로 등압선에 비스듬하게 불고, (나)에서는 바람이 시계 방향으로 등압선과 나란하게 분다. 따라서 (가)와 (나)는 모두 남반구에 위치한다.

☒ (가)에서는 바람이 등압선에 비스듬하게 불고 있으므로 마찰력이 작용하는 마찰층(대기 경계층)에서의 지상풍이고, (나)에서는 바람이 등압선에 나란하게 불고 있으므로 마찰력이 작용하지 않는 자유 대기에서의 경도풍이다. 따라서 바람이 부는 높이는 (가)가 (나)보다 낮다.

◎ (가)는 남반구에서의 저기압성 지상풍이고, (나)는 남반구에서의 저기압성 경도풍이다. (가)에서는 수평 기압 경도력에서 전향력과 마찰력의 합력을 뺀 값이 구심력으로 작용하여 바람이 시계 방향으로 불어 들어가므로, 힘의 크기는 수평 기압 경도력이 전향력과 마찰력의 합력보다 크다. (나)에서는 수평 기압 경도력에서 전향력을 뺀 값이 구심력으로 작용하여 바람이 시계 방향으로 불고 있으므로, 힘의 크기는 수평 기압 경도력이 전향력보다 크다.

## 09 등압면의 남북 연직 분포

남반구와 북반구에서 모두 저위도와 고위도의 기온 차에 의해 중위도 지역에서는 기압 경도력이 저위도에서 고위도 쪽으로 작용하여 상층에서는 서풍이 불게 된다.

☒ 등압면의 남북 경사가 더 큰 B가 등압면의 경사가 더 작은 A 보다 기압 경도력이 크다. 상층에서는 기압 경도력과 전향력이 평형을 이루어 지균풍이 분다. 따라서 전향력은 기압 경도력이 더

큰 B가 기압 경도력이 더 작은 A보다 더 크다.

◎ A와 B에서 모두 기압 경도력이 고위도로 작용하고, 바람은 기압 경도력의 오른쪽 직각 방향으로 불게 되어 서풍이 분다.

☒ 지상에서 기온이 높은 곳은 공기 기둥이 팽창하여 등압면의 높이가 높아지고, 기온이 낮은 곳은 공기 기둥이 수축하여 등압면의 높이가 낮아져 남북 간의 기온 차는 등압면의 경사를 유발하게 된다. 따라서 지상에서 남북 간의 기온 차는 등압면의 경사가 큰 P 구간이 등압면의 경사가 작은 Q 구간보다 크다.

## 10 편서풍 파동의 변동

편서풍 파동은 처음에는 위도에 거의 나란한 형태의 파동이 만들어진다. 이후 남북 간의 온도 차가 점점 커져서 어느 한계를 넘어서면 남북 사이의 에너지 불균형을 해소하기 위해 파동의 진폭이 커지면서 편서풍 파동은 성장한다.

◎ (가)는 편서풍 파동의 진폭이 남북 방향으로 더 커지면서 성장하여 저기압이 떨어져 나가는 단계이다. (나)는 남북 간의 기온 차가 커지면서 편서풍 파동이 발달하기 시작하는 단계이다. 따라서 (가)가 (나)보다 나중 단계이다.

◎ A 지점은 북쪽으로부터 내려온 찬 공기가 떨어져 나온 저기압성 소용돌이에 갇혀 있고, B 지점에는 남쪽으로부터 올라오는 따뜻한 공기가 북상하고 있다. 따라서 기온은 A가 B보다 낮다.

☒ 편서풍 파동의 기압 마루에서는 고기압성 경도풍이 불고, 기압골에서는 저기압성 경도풍이 분다. 기압 경도력이 같은 경우 고기압성 경도풍이 저기압성 경도풍보다 풍속이 빠르므로 공기가 C로 접근하는 동안 풍속은 감소한다.

## 11 편서풍 파동과 지상의 기압 배치

편서풍 파동은 편서풍대 상공에서 바람이 남북 방향으로 굽이치면서 서쪽에서 동쪽으로 이동하며, 지상 기압 배치에 영향을 준다.

☒ A, B, C는 모두 같은 등압선상에 위치하므로 기압은 같다.

◎ 수평 기압 경도력( $P_H$ )은  $P_H = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta L}$  ( $\rho$ : 공기의 밀도,  $\Delta P$ : 두 등압선 사이의 기압 차,  $\Delta L$ : 두 등압선 사이의 거리)이다. A와 B 두 지점은 등압선 사이의 간격 및 공기의 밀도가 같고, 두 등압선 사이의 기압 차가 같으므로 기압 경도력이 같다. 또한 A에서는 고기압성 경도풍이 불고, B에서는 저기압성 경도풍이 분다. 두 지점의 바람에 작용하는 기압 경도력이 같은 경우, 고기압성 경도풍(A)은 ‘전향력 = 기압 경도력 + 구심력(힘의 크기만을 고려함)’이고, 저기압성 경도풍(B)은 ‘전향력 = 기압 경도력 - 구심력(힘의 크기만을 고려함)’이다. 따라서 기압 경도력이 같은 경우, 고기압성 경도풍은 저기압성 경도풍보다 빠르다.

☒ 편서풍 파동의 기압골 동쪽(C)에서는 상층 공기의 발산에 의해 지상인 P에서는 상승 기류가 발달한다.

## 12 편서풍 파동과 지상 저기압

편서풍 파동에서 기압골의 서쪽에서는 공기가 수렴하여 지상에서는 고기압이 발달하고, 기압골의 동쪽에서는 공기가 발산하여 지상에서는 저기압이 발달한다.

ⓧ A와 B에서는 기압 경도력과 전향력이 평형을 이루고 지균풍이 불게 된다. A에서는 기압 경도력이 남서쪽에서 북동쪽으로 등고선에 직각 방향으로 작용하므로, 기압 경도력의 오른쪽 직각 방향으로 등고선에 나란한 북서풍 계열의 바람이 분다. B에서는 기압 경도력이 남동쪽에서 북서쪽으로 등고선에 직각 방향으로 작용하므로, 기압 경도력의 오른쪽 직각 방향으로 등고선에 나란한 남서풍 계열의 바람이 분다. 따라서 A와 B에서 부는 바람의 풍향은 같지 않다.

ⓧ 수평 기압 경도력( $P_H$ )은 정역학 평형( $\Delta P = -\rho g \Delta z$ )을 이용하여,  $P_H = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta L} = g \frac{\Delta z}{\Delta L}$  ( $\rho$ : 공기의 밀도,  $\Delta P$ : 두 등압선 사이의 기압 차,  $\Delta L$ : 두 등압선 사이의 거리(또는 두 등고선 사이의 거리),  $g$ : 중력 가속도,  $\Delta z$ : 고도 차)로 나타낼 수 있다.

따라서 기압 경도력은 중력 가속도가 같은 경우, 등고선 사이의 간격이 작을수록, 등고선의 고도 차가 클수록 크다. A, B, C 세 지점은 등고선의 고도 차 및 중력 가속도가 같고, A, B 두 지점은 두 등고선 사이의 거리가 서로 같으며, C보다는 두 등고선 사이의 거리가 가깝다. 따라서 기압 경도력은  $A=B>C$ 로 C가 가장 작다.

⑤ B는 편서풍 파동의 기압골의 동쪽에 위치하므로, 인접한 기압골을 지나 B로 접근하는 동안 공기의 풍속이 증가하여 수평 발산이 일어나 하층 지상에서는 저기압이 발달한다.

## 13 제트류

제트류는 대류권 계면 부근에서 부는 매우 빠른 서풍 계열의 흐름으로, 아열대 고압대 부근에서 형성되는 아열대 제트류와 한대 전선대 부근에서 형성되는 한대(전선) 제트류가 있다. A는 한대(전선) 제트류이고, B는 아열대 제트류이다.

⑤ 한대(전선) 제트류의 풍속은 겨울철이 여름철보다 남북 간의 기온 차가 크기 때문에 기압 경도력이 커져서 풍속이 더 빠르고, 위치는 여름철에는  $70^{\circ}\text{N}$  부근까지 북상했다가 겨울철에는  $30^{\circ}\text{N}$  부근까지 남하한다. 그럼에서 한대(전선) 제트류인 A가  $30^{\circ}\text{N}$  부근까지 남하한 것으로 보아 이 계절은 겨울이다.

ⓧ 상대적으로 고위도에 위치한 한대(전선) 제트류의 평균 발생 높이는 약  $10\text{ km}$ 이고, 저위도에 위치한 아열대 제트류의 평균 발생 높이는 약  $13\text{ km}$ 이다. 따라서 제트류의 평균 발생 높이는 A가 B보다 낮다.

⑤ 한대(전선) 제트류(A)는 한대 전선대 부근의 남북 간의 기온 차로 인해 발생하므로, 남북 간의 기온 차가 커지면 기압 경도력이 커져서 풍속은 더 빨라진다.

## 14 대기 순환의 규모

대기 순환은 공간 규모와 시간 규모에 따라 미규모, 중간 규모, 종관 규모, 지구 규모로 구분하며, 일반적으로 공간 규모가 클수록 시간 규모가 커진다. A는 중간 규모의 대기 순환, B는 종관 규모의 대기 순환, C는 지구 규모의 대기 순환의 예이다.

ⓧ A는 중간 규모, B는 종관 규모의 대기 순환의 예이므로 시간 규모는 A가 B보다 짧다.

⑤ B는 공간 규모가  $100\text{ km} \sim 1000\text{ km}$ , 시간 규모가 수 일~1주일에 해당하는 종관 규모의 예로서 고기압과 저기압은 종관 규모의 대기 순환에 해당한다.

⑤ C는 지구 규모의 대기 순환의 예로, 대기 대순환, 편서풍 파동이 해당된다. 지구 규모와 같이 큰 규모의 순환에서는 연직 규모에 비해 수평 규모가 훨씬 크다. 따라서 C는  $\frac{\text{수평 규모}}{\text{연직 규모}}$  값이 1보다 크다.

## 15 해륙풍

해륙풍은 맑은 날 해안의 높이 약  $1\text{ km}$  이하에서 육지와 바다의 기온 차에 의해 기압 차가 발생하여 부는 바람이다. 하루를 주기로 낮에는 해풍, 밤에는 육풍이 분다.

⑤ (가)의 시기에 기압은 지점 A가 지점 B보다 높다. 따라서 (가)의 시기는 공기가 A(바다)에서 B(육지)로 이동하여 해풍이 불고 있으므로 낮이다.

ⓧ 지표 부근의 기온이 높을수록 부동 가열이 활발히 일어나서 등압선의 간격이 어느 특정 고도를 중심으로 위아래로 넓어진다. (가)의 시기에 바다 쪽의 등압선은 위아래로 넓어지지 못하고, 육지 쪽의 등압선은  $980\text{ hPa}$  등압면 고도를 중심으로 위아래로 넓어져 있는 것으로 보아 지표 부근의 기온은 바다 쪽보다 육지 쪽이 높은 것을 알 수 있다. 따라서 기온은 바다 쪽에 위치하는 지점 A가 육지 쪽에 위치하는 지점 B보다 낮다.

ⓧ (나)의 ⑤ 시기는 11시~18시 사이로 낮 시간이고, 이 시간에는 해풍이 분다. 해풍은 바다 쪽(서쪽)에서 육지 쪽(동쪽)으로 부는 바람으로 ⑤ 시기에 풍향은 서풍이 우세하다.

## 16 대기 대순환

지구 전체 규모에서 일어나는 대기 대순환은 적도~위도  $30^{\circ}$  부근에서 일어나는 해들리 순환, 위도  $30^{\circ} \sim 60^{\circ}$  부근에서 일어나는 페렐 순환, 위도  $60^{\circ} \sim 90^{\circ}$  부근에서 일어나는 극순환으로 이루어져 있다.

⑤ 대류권 계면은 대류권과 성층권의 경계면으로 시간과 장소에 따라 변하는데, 일반적으로 저위도에서 고위도로 갈수록 낮아진다. 따라서 대류권 계면의 높이가 낮은 X가 대류권 계면의 높이가 높은 Y보다 고위도에 해당한다. 따라서 X는 Y보다 크다.

ⓧ ⑤은 한대 전선대 부근의 상공에 발생하는 한대(전선) 제트류이고, ⑤은 위도  $30^{\circ}$  부근의 상공에 발생하는 아열대 제트류이다.

㉠은 여름철에는  $70^{\circ}\text{N}$  부근까지 북상했다가 겨울철에는  $30^{\circ}\text{N}$  부근까지 남하하기도 하면서 계절에 따른 위치 변동 폭뿐만 아니라 같은 계절 동안 남북 방향의 변동 폭이 크다. 이에 비해 ㉡은 계절에 따른 위치 변동 폭 및 같은 계절 동안 남북 방향으로의 위치 변동 폭이 대체로 한대(전선) 제트류만큼 크지 않다.

⓪ A는 극순환이고, B는 폐를 순환이다. 두 순환이 지상에서 수렴하는 지역은 한대 전선대이고, 이 지역의 남북 간 기온 차가 커지면 기압 경도력이 커져서 ㉠의 풍속은 빨라진다.

### 수능 3점 테스트

본문 132~139쪽

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

## 01 토리첼리의 기압 측정

수은이 들어 있는 유리관을 뒤집어 세우면 유리관 속의 수은이 내려오다가 수은 기둥의 압력과 대기압이 같아지면 멈춘다. 토리첼리 실험에서 1기압일 때 수은 기둥의 높이는 약 76 cm이다.

㉠. (가)에서는 대기압이 수은 기둥을 76 cm까지 밀어 올렸다. (나)에서는 유리관을 기울여도 수은 기둥의 높이는 변하지 않으므로,  $\sin 30^{\circ} = \frac{\text{수은 기둥의 높이}}{148 \text{ cm}}$  가 성립하여 대기압이 수은 기둥을 74 cm까지 밀어 올렸다. 고도가 높아질수록 대기압은 대체로 감소하므로 다른 조건이 동일할 때 고도는 수은 기둥의 높이가 높은 (가)가 수은 기둥의 높이가 낮은 (나)보다 더 낮다.

⓪ 토리첼리의 대기압 측정 실험에서는 대기압이 수조에 담겨 있는 수은 표면의 단위 면적을 누르는 힘과 수은 기둥의 압력이 같으므로 지점 A에 작용하는 수은 기둥의 압력은 대기압과 같다.

⓫. (나)에서 수은 기둥의 높이는  $\sin 30^{\circ} = \frac{\text{수은 기둥의 높이}}{148 \text{ cm}}$  가 성립하여, 수은 기둥의 높이는 74 cm이다. 따라서 (나)에서 대기압의 크기는 수은 기둥을 74 cm 높이까지 밀어 올리는 힘과 같다.

## 02 전향력

지구가 자전함에 따라 지구 표면에서 움직이는 물체는 북반구에서는 진행 방향의 오른쪽으로, 남반구에서는 진행 방향의 왼쪽으로 전향력을 받는다. 지구가 자전하지 않는 경우 지구에서 움직이는 물체에는 전향력이 작용하지 않는다.

⓪. 이 지역에서 부는 바람에 전향력이 풍향의 왼쪽 직각 방향으로 작용하는 것으로 보아 이 지역은 남반구에 위치한다.

⓫. 그림에서 물체의 속력이  $1 \text{ m/s}$ 로 일정할 때 전향력의 크기는 고위도로 갈수록 커지는 것을 알 수 있다. 또한 공기  $1 \text{ kg}$ 에 작

용하는 전향력( $C$ )은  $C = 2v\Omega \sin\varphi$  ( $v$ : 운동 속력,  $\Omega$ : 지구 자전 각속도,  $\varphi$ : 위도)이므로, 물체의 운동 속력이 일정할 때 전향력의 크기는  $\sin\varphi$ 에 비례한다.

⓬. 공기  $1 \text{ kg}$ 에 작용하는 전향력( $C$ )은  $C = 2v\Omega \sin\varphi$  ( $v$ : 운동 속력,  $\Omega$ : 지구 자전 각속도,  $\varphi$ : 위도)이고, 그림에서  $1 \text{ kg}$ 의 공기가  $1 \text{ m/s}$ 의 속력으로 이동할 때 위도가  $45^{\circ}$ 인 경우 전향력의 크기는 약  $1.0 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ 이다. 따라서 위도가  $45^{\circ}$ 인 경우  $10 \text{ m/s}$ 로 이동하는  $1 \text{ kg}$ 의 공기에 작용하는 전향력의 크기는 약  $10 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ 이다.

## 03 정역학 평형

기압 경도력의 연직 성분인 연직 기압 경도력과 중력이 평형을 이루고 있는 상태를 정역학 평형이라고 한다.

㉠. 정역학 평형 상태인 대기에서는 연직 기압 경도력과 중력이 평형을 이루고 있으므로 다음과 같은 식이 성립한다.  $-\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta z} = g$  ( $\rho$ : 공기의 밀도,  $g$ : 중력 가속도,  $\Delta z$ : 고도 차,  $\Delta P$ : 기압 차), 즉  $\Delta P = -\rho g \Delta z$ 이다. 공기의 밀도는  $1 \text{ kg/m}^3$ , 중력 가속도는  $10 \text{ m/s}^2$ 로 모든 지점에서 같기 때문에  $\Delta P = 1 \text{ kg/m}^3 \cdot 10 \text{ m/s}^2 \cdot 100 \text{ m} = 10 \text{ hPa}$ 이 되어 100 m당 10 hPa의 기압 변화가 생기게 된다. 해면은 관측소보다 낮은 곳에 위치하고, 기압은 아래로 갈수록 증가하므로 해면에서의 기압은 A의 경우는  $952 \text{ hPa} + 60 \text{ hPa} = 1012 \text{ hPa}$ 이고, B의 경우는  $979 \text{ hPa} + 30 \text{ hPa} = 1009 \text{ hPa}$ 이며, C의 경우는  $894 \text{ hPa} + 110 \text{ hPa} = 1004 \text{ hPa}$ 이다. 따라서 해면에서의 기압의 크기는  $A > B > C$ 이다.

㉡. 밀도와 중력 가속도가 같은 경우, 관측소와 해면과의 기압 차( $\Delta P$ )는 고도 차( $\Delta z$ )에 비례하므로, 해면과 관측소 사이의 고도 차가 300 m인 B가 해면과 관측소 사이의 고도 차가 1100 m인 C보다 80 hPa 작다.

⓬. 공기 기둥의 질량은 ‘밀도 × 부피’로 나타낼 수 있다. ㉠, ㉡, ㉢에서 공기 기둥의 밀도는 모두  $1 \text{ kg/m}^3$ 이므로 질량은 부피와 같다. 따라서 ㉠, ㉡, ㉢ 중 공기 기둥의 질량은 부피가 가장 큰 ㉢이 가장 크다.

## 04 기압 경도력

기압 경도력의 크기는 두 지점 사이의 기압 차에 비례하고, 두 지점 사이의 거리와 공기의 밀도에 반비례한다.

⓪.  $\Delta P < 0$ 이므로  $P_B < P_A$ 이다. 수평 기압 경도력은 기압이 높은 쪽( $P_A$ )에서 기압이 낮은 쪽( $P_B$ )으로 작용하므로 기압이 높은 서쪽에서 기압이 낮은 동쪽으로 작용한다.

⓫. 공기  $1 \text{ kg}$ 에 작용하는 기압 경도력( $P_H$ )은  $P_H = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta L}$  ( $\rho$ : 공기의 밀도,  $\Delta P$ : 두 등압선 사이의 기압 차,  $\Delta L$ : 두 등압선 사이의 거리)이다. (가)의 기압 차는  $2\Delta P$ , (나)의 기압 차는

$\Delta P$ 이고, 수평 기압 경도력이 같으므로,  $\frac{1}{\rho_{(가)}} \cdot \frac{2\Delta P}{1 \text{ km}} = \frac{1}{\rho_{(나)}}$ .

$\frac{\Delta P}{2 \text{ km}}$  ( $\rho_{(가)}$ ): (가)의 밀도,  $\rho_{(나)}$ : (나)의 밀도)가 성립하여야 한다. 따라서 밀도는 (가)가 (나)의 4배이다.

※. (가)의 질량은  $(a \times 2h \times 1 \times \rho_{(가)})$ 이고, (나)의 질량은  $(a \times h \times 2 \times \rho_{(나)})$ 이다. (가)의 밀도는 (나)의 밀도의 4배이므로 질량은 (가)가 (나)의 4배이다.

## 05 지균풍

지균풍이 불 때 단위 질량의 공기에 작용하는 기압 경도력과 전향력의 크기는 같다. 등압면상에서 중력 가속도가 같은 경우, 기압 경도력의 크기는 등고선의 간격이 작을수록, 등고선의 고도 차가 클수록 크다.

◎. 등압면에서 수평 기압 경도력( $P_H$ )은 정역학 평형( $\Delta P = -\rho g \Delta z$ )을 이용하여, ( $\rho$ : 공기의 밀도,  $\Delta P$ : 두 등압선 사이의 기압 차,  $\Delta L$ : 두 등고선 사이의 거리,  $g$ : 중력 가속도,  $\Delta z$ : 고도 차)로 나타낼 수 있다. 중력 가속도가 같은 경우, 수평 기압 경도력은 등압면의 경사( $\frac{\Delta z}{\Delta L}$  ( $\Delta L$ : 두 등고선 사이의 거리,  $\Delta z$ : 고도 차))에 비례한다. 등압면의 경사는 (가)의 경우  $\frac{50 \text{ m}}{200 \text{ km}}$ 이고,

(나)의 경우  $\frac{10 \text{ m}}{100 \text{ km}}$ 로 수평 기압 경도력의 크기는 P가 Q보다 크다.

◎. 지균풍은 기압 경도력과 전향력이 평형을 이루며 불고 있으므로, 등압면에서  $g \frac{\Delta z}{\Delta L} = 2v\Omega \sin\varphi$  ( $g$ : 중력 가속도,  $\Delta z$ : 고도 차,  $\Delta L$ : 두 등고선 사이의 거리,  $v$ : 지균풍의 풍속,  $\Omega$ : 지구자전 각속도,  $\varphi$ : 위도)가 성립한다. 따라서 지균풍의 풍속( $v$ )은  $v = \frac{g}{2\Omega \sin\varphi} \cdot \frac{\Delta z}{\Delta L}$ 이다. 중력 가속도가 같은 경우, 지균풍의 풍

속( $v$ )은  $\frac{1}{\sin\varphi} \cdot \frac{\Delta z}{\Delta L}$ 에 비례한다. 즉, 지균풍의 풍속은 위도가 낮을수록, 등압면의 경사가 클수록 빠르다. 지균풍의 풍속은 위도가 낮고 등압면의 경사가 큰 P가 위도가 높고 등압면의 경사가 작은 Q보다 빠르다.

※. P는 남반구에 위치하고, P에서 수평 기압 경도력은 동쪽에서 서쪽으로 작용한다. 또한 전향력은 서쪽에서 동쪽으로 작용하므로 이 지점에서 부는 지균풍의 풍향은 북풍이다.

## 06 지상풍

지균풍은 지표면과의 마찰력이 작용하지 않는 높이 1 km 이상의 상층 대기에서 등압선이 직선으로 나란할 때 기압 경도력과 전향력이 평형을 이루어 등압선에 나란하게 부는 바람이다. 중력 가속도가 같은 경우 지균풍의 풍속은 등압면의 경사( $= \frac{\text{고도 차}(\Delta z)}{\text{등고선 간격}(\Delta L)}$ )가 클수록, 저위도일수록 빠르다.

※. 지균풍은 북반구에서는 기압 경도력의 오른쪽 직각 방향으로 불고, 남반구에서는 기압 경도력의 왼쪽 직각 방향으로 분다. P에서는 지균풍이 기압 경도력의 왼쪽 직각 방향으로 불고 있으므로 이 지역은 남반구에 위치한다.

◎. P는 위도  $40^\circ$ 에 위치하고,  $\frac{\text{고도 차}(\Delta z)}{\text{등고선 간격}(\Delta L)}$ 는  $\frac{40 \text{ m}}{100 \text{ km}} = 0.4 \text{ m/km}$ 이다. (나)의 그림에서 위도  $40^\circ$ 에서  $\frac{\text{고도 차}(\Delta z)}{\text{등고선 간격}(\Delta L)}$ 가 0.4일 때 지균풍의 풍속은  $40 \text{ m/s}$ 이다.

◎. (나)에서 중력 가속도가  $9.8 \text{ m/s}^2$ 으로 같고  $\frac{\text{고도 차}(\Delta z)}{\text{등고선 간격}(\Delta L)}$ 가 일정한 경우, 위도에 따른 지균풍의 풍속을 보면, 위도  $30^\circ$ 일 때의 지균풍 풍속이 위도  $90^\circ$ 일 때 지균풍 풍속의 약 2배이다. 예를 들어  $\frac{\text{고도 차}(\Delta z)}{\text{등고선 간격}(\Delta L)}$ 가  $0.4 \text{ m/km}$ 인 경우, 위도  $30^\circ$ 일 때 지균풍의 풍속은  $50 \text{ m/s}$ 이고 위도  $90^\circ$ 일 때 지균풍의 풍속은  $25 \text{ m/s}$ 이다. 또한 지균풍의 풍속( $v$ )은  $v = \frac{g}{2\Omega \sin\varphi} \cdot \frac{\Delta z}{\Delta L}$ , 중력 가속도와  $\frac{\text{고도 차}(\Delta z)}{\text{등고선 간격}(\Delta L)}$ 가 같은 경우 지균풍의 풍속( $v$ )은  $\frac{1}{\sin\varphi}$ 에 비례하므로, 위도  $30^\circ$ 에서 지균풍의 풍속은 위도  $90^\circ$ 에서 지균풍 풍속의 2배이다.

## 07 지상풍

지상풍은 마찰력이 작용하는 지표면 부근에서 부는 바람으로 기압 경도력과 전향력, 마찰력이 작용한다. 지상풍은 북반구에서는 기압 경도력에 대하여 오른쪽으로 등압선에 비스듬하게, 남반구에서는 기압 경도력에 대하여 왼쪽으로 등압선에 비스듬하게 분다.

※. (가)에서는 지상풍이 기압 경도력에 대하여 오른쪽으로 등압선에 비스듬하게 불고 있으므로, 이 바람이 부는 지역은 북반구에 위치한다. (나)에서는 지상풍이 기압 경도력에 대하여 왼쪽으로 등압선에 비스듬하게 불고 있으므로, 이 바람이 부는 지역은 남반구에 위치한다.

◎. (나)에서 A는 마찰력이다. 마찰력이 커질수록 바람과 등압선 사이의 각인 경각( $\theta$ )이 커진다.

※. (가)는 저기압성 지상풍이다. 저기압성 지상풍에서는 기압 경도력에 전향력과 마찰력의 합력을 뺀 값이 구심력으로 작용하여 바람이 시계 반대 방향으로 불어 들어가므로, 기압 경도력이 전향력과 마찰력의 합력보다 크다. (나)는 등압선이 직선인 경우의 지상풍으로, 기압 경도력이 전향력과 마찰력의 합력과 평형을 이루어 바람이 등압선에 비스듬하게 불고 있다. 따라서 (가)와 (나)에서 모두 기압 경도력이 전향력과 마찰력의 합력과 같은 것은 아니다.

## 08 경도풍

경도풍은 자유 대기에서 등압선이 원형이거나 곡선일 때 기압 경

도력과 전향력의 차가 구심력으로 작용하여 부는 바람이다. (가)는 저기압성 경도풍, (나)는 고기압성 경도풍이다.

⑦ (가)의 저기압성 경도풍에서 바람은 시계 방향으로, (나)의 고기압성 경도풍에서 바람은 시계 반대 방향으로 불고 있으므로 이 지역은 남반구에 위치한다.

X. 저기압성 경도풍이 불고 있을 때 전향력의 크기는 기압 경도력의 크기보다 작고, 고기압성 경도풍이 불고 있을 때 전향력의 크기는 기압 경도력의 크기보다 크다. 따라서 전향력의 크기는 저기압성 경도풍이 불고 있는 (가)가 고기압성 경도풍이 불고 있는 (나)보다 작다.

X. 힘의 크기만을 고려하는 경우, 저기압성 경도풍이 불고 있을 때 전향력=기압 경도력−구심력의 관계가 성립하고, 고기압성 경도풍이 불고 있을 때 전향력=기압 경도력+구심력의 관계가 성립한다. 두 시기에 공기 밀도와 등압선 사이의 거리 및 기압 차가 같으므로 (가)와 (나)의 기압 경도력이 같다. 기압 경도력의 크기가 같은 경우, 저기압성 경도풍이 불고 있는 (가)가 고기압성 경도풍이 불고 있는 (나)보다 전향력이 작으므로 풍속이 더 느린다.

## 09 지상풍

지표 부근의 바람은 마찰력의 영향을 크게 받지만 높이가 높아짐에 따라 마찰력이 감소하므로, 대기 경계층 내에서 풍속은 높이가 높아질수록 증가하여 자유 대기에 도달하면 지균풍이 분다.

X. 지균풍이 불기 시작하는 고도에서 지균풍의 풍속이 같을 때 지표면에서 지상풍의 풍속은 공기에 작용하는 마찰력에 따라 달라진다. 따라서 지표면 또는 수면 마찰의 영향은 지상풍의 풍속이 가장 빠른 B가 가장 작다.

X. 지균풍이 불기 시작하는 높이는 마찰력이 작용하는 대기 경계층의 두께가 얇을수록 낮게 나타나므로, 마찰력이 가장 작게 작용하는 B가 가장 낮다.

⑧ C의 지표면~높이  $h$  구간에서는 높이가 높아짐에 따라 마찰력이 감소한다. 따라서 북반구 중위도 지역의 이 구간 내에서 지표면에서는 바람이 등압선을 가로질러 불다가 높이가 높아질수록 지상풍과 등압선 사이의 각이 감소하여 높이  $h$ 에서는 등압선에 나란한 지균풍이 된다. 따라서 지표면~높이  $h$  구간에서는 높이가 높아짐에 따라 풍향이 시계 방향으로 바뀐다.

## 10 500 hPa 등압면의 등고선 분포

상층 일기도는 어떤 높이에서 측정한 기압을 사용하지 않고, 등압면의 고도를 측정한 후 이를 등고선으로 나타낸다. 상층 일기도에서는 등압면의 고도가 높은 지역이 고기압이고, 등압면의 고도가 낮은 지역이 저기압이다.

X. A는 편서풍 파동의 기압골 서쪽 지점으로 상층 공기의 수렴이 있고, C는 편서풍 파동의 기압골 동쪽 지점으로 상층 공기의 발산이 있다. B는 저기압성 경도풍이 불고 있는 곳으로 공기가

등압선을 따라 나란히 이동하기 때문에 공기의 수렴과 발산이 일어나지 않는다. 따라서 지상에 저기압이 발달하기 가장 좋은 지점은 상층 공기의 발산이 일어나는 C이다.

⑨ 북반구에서 500 hPa 등압면에서는 남쪽에서 북쪽으로 갈수록 등고선이 낮아지며, 고도가 높을수록 고기압이 되고 고도가 낮을수록 저기압이 된다. B에서는 등압선이 원형이고, 중심에 저기압이 존재하여 바람은 저기압성 경도풍이 분다. 북반구에서 저기압성 경도풍은 중심 쪽으로 작용하는 기압 경도력이 바깥쪽으로 작용하는 전향력보다 커서, 두 힘의 차가 구심력으로 작용하여 시계 반대 방향으로 분다.

⑩ 500 hPa 등압면 분포는 어떤 높이에서 측정한 기압을 사용하지 않고, 어떤 지점에서 500 hPa 등압면의 고도를 측정한 후 이를 등고선으로 나타낸 것이다. 따라서 500 hPa 등압면의 등고선은 지표면~500 hPa 대기층의 두께를 의미하므로, 지표면~500 hPa 대기층의 두께는 500 hPa 등압면의 등고선 높이가 가장 높은 C가 가장 두껍다.

## 11 편서풍 파동과 지상 기압계

편서풍 파동의 기압골 동쪽에는 상층의 수평 발산 영역이 형성되어 수렴하는 지상의 공기를 상승시킨다. 상층의 발산이 지상의 수렴보다 강할 때 지상 저기압은 더욱 발달한다. 또한 편서풍 파동의 기압골 서쪽에는 상층의 수평 수렴 영역이 형성되어, 이로 인해 상층 공기의 하강 운동이 유도되어 지상에 고기압이 발달한다.

X. A는 편서풍 파동의 기압골 서쪽에 위치하므로 공기의 수평 수렴이 나타나고, C는 편서풍 파동의 기압골 동쪽에 위치하므로 공기의 수평 발산이 나타난다. B는 기압골에 위치하고, 기압골에서는 공기가 등압선에 나란하게 회전만 할 뿐 공기의 발산 또는 수렴이 일어나지 않는다. (나)는 지상에서는 수렴이 우세하고, 5.5 km 부근의 상층 대기에서는 발산이 우세한 것으로 보아, (나)는 C의 지상에서 관측한 것이다.

⑪ B와 C에서 등고선 간격, 고도 차, 중력 가속도가 모두 같으므로 기압 경도력이 같다. 또한 B에서는 저기압성 경도풍이 불고, C에서는 지균풍이 분다. 기압 경도력이 같은 경우, 저기압성 경도풍은 지균풍보다 풍속이 느린다. 따라서 공기는 B를 통과할 때 보다 C를 통과할 때 속력이 빨라졌다.

⑫ P는 기압골이고, C의 지상 기압계는 저기압이다. 지상 저기압이 발달하려면 지상에서는 공기의 수렴이 있고, 상층에서는 공기가 발산하여야 한다. 편서풍 파동의 기압골 동쪽에서는 공기의 발산이 일어나지만, 기압골에서는 공기가 등압선에 나란하게 시계 반대 방향으로 회전만 할 뿐 공기의 발산 또는 수렴이 일어나지 않는다. 따라서 상층 기압골이 이동하여 C의 지상 저기압 중심의 연직 상공에 위치하면 지상에서 수렴한 공기가 상층에서 발산하지 못하고 지상 저기압 바로 위의 공기의 밀도를 증가시켜 지상 기압을 상승시킴으로써 지상 저기압은 더 이상 발달하지 못하게 된다.

## 12 제트류

제트류는 남북 간의 기온 차가 가장 큰 위도의 대류권 계면 부근에서 형성된다. 상층 제트류의 위치와 강도는 계절에 따라 변하는데, 제트류의 중심축은 겨울철에는 저위도로 이동하고, 여름철에는 고위도로 이동한다. 제트류의 평균 풍속은 겨울이 여름보다 빠르다.

Ⓐ 제트류의 최대 평균 풍속이 (가)일 때는 약 20 m/s 이상이고, (나)일 때는 약 70 m/s 이상이다. 따라서 제트류의 최대 평균 풍속이 작은 (가)는 여름철, 제트류의 최대 평균 풍속이 큰 (나)는 겨울철 자료이다.

ⓧ 남북 간의 기압 차가 커지면 등압면의 기울기가 커지고, 기압 경도력이 크게 작용하여 풍속이 빨라진다. (나)에서 위도 30°에서 A 구간이 B 구간보다 평균 풍속이 빠르다. 따라서 위도 30°에서 200 hPa 등압면의 평균 남북 기울기는 A 구간이 B 구간보다 크다.  
Ⓑ 제트류는 남북 간의 기온 차가 가장 큰 위도의 대류권 계면 부근에서 형성되는데, 제트류의 중심은 여름철에는 40°N~50°N에서 나타나고 겨울철에는 30°N 부근에서 나타난다. 따라서 남북 방향의 최대 기온 차가 나타나는 위도는 여름철이 겨울철보다 대체로 높다.

## 13 해륙풍

해안 지역에서 낮에는 육지가 해양보다 빨리 가열되고, 밤에는 육지가 해양보다 빨리 냉각된다. 따라서 낮에는 해양에서 육지로 해풍이 불고, 밤에는 육지에서 해양으로 유풍이 분다.

Ⓐ 해륙풍의 풍속에 영향을 주는 요인에는 육지와 해양 간의 기온 차, 마찰력 등이 있으나, 다른 조건이 같다면, 육지와 해양 간의 기온 차가 클수록 육지와 해양 간의 더 큰 기압 차를 유도하여 풍속은 더 빠르다.

ⓧ 관측소에서 해풍이 불 때 대체로 남동풍 계열의 바람이 불고 있으므로, 이 지역은 해양의 서쪽에 위치하는 것은 아니다.

Ⓑ (나)에서 A는 지표~100 m 부근까지 높이에 따라 값이 증가하고 있고, B는 지표~100 m 부근까지 높이에 따라 값이 감소하고 있다. 기온과 상대 습도를 관측한 시각은 12시로, 이 시각에는 해양에서 육지로 해풍이 불고 있는 때이므로 해양에서 오는 공기는 다습하고 육지보다 기온이 낮다. 따라서 지표 부근에서 높이에 따라 값이 상승하고 있는 A가 상대 습도, 높이에 따라 값이 하강하고 있는 B가 기온이다.

## 14 대기에 의한 에너지 수송

지구 전체적으로는 흡수하는 복사 에너지양과 방출하는 복사 에너지양이 같아서 에너지 수지가 평형을 이루고 있지만, 위도에 따라서는 흡수하는 복사 에너지양과 방출하는 복사 에너지양이 균형을 이루지 못한다. 이러한 에너지의 불균형은 대기와 해수의 순환 등에 의해 에너지의 공간적 수송이 발생하여 해소된다.

ⓧ A는 해들리 순환, B는 페렐 순환이다. 해들리 순환은 직접 순환이고, 페렐 순환은 간접 순환이다.

Ⓐ A는 위도 0°~30°N에 형성되는 해들리 순환, B는 위도 30°N~60°N에 형성되는 페렐 순환이다. (나)에서 편서풍 파동에 의한 북쪽 방향으로의 에너지 수송량은 위도 30°N~60°N에서 가장 많다. 따라서 편서풍 파동에 의한 북쪽 방향으로의 에너지 수송은 A보다 B 순환이 나타나는 위도대에서 활발하다.

Ⓑ B 순환이 상승하는 위도는 60°N 부근의 한대 전선대이고, 이곳에서 남북 간의 기온 차가 커지면 편서풍 파동의 진폭이 커져 북쪽 방향으로의 에너지 수송량이 많아진다.

## 15 산곡풍

산곡풍은 맑은 날 산비탈과 골짜기의 기온 차에 의해 발생하는 바람으로 낮에는 곡풍이, 밤에는 산풍이 분다.

Ⓐ 산간 지방에서는 낮에는 산비탈이 골짜기보다 빠르게 가열되고, 밤에는 산비탈이 골짜기보다 빠르게 냉각된다. 따라서 22시(밤)에는 골짜기의 기온이 산비탈의 기온(26 °C)보다 높을 것이다.

Ⓑ (가)에서 A 시기는 낮이고, B 시기는 밤이다. 산곡풍은 바람이 약한 맑은 날 낮에는 주로 골짜기에서 산비탈을 타고 올라가는 곡풍이, 밤에는 산의 정상부에서 산비탈을 타고 내려오는 산풍이 분다. 따라서 (나)는 바람이 골짜기에서 산비탈을 타고 올라가는 모습을 나타내므로, A 시기(낮)의 바람이 부는 모습이다.

ⓧ 산의 정상부에서 산비탈을 타고 내려오는 산풍이 불 때, 즉 밤에 풍향이 주로 남동풍 계열이므로 산 정상부는 관측소의 서쪽에 위치하는 것은 아니다.

## 16 계절풍

계절풍은 대륙과 해양의 열용량 차이에 의해 1년을 주기로 풍향이 바뀌는 바람이다. 겨울철에는 대륙이 해양보다 빨리 냉각되므로 대륙에서 해양으로 계절풍이 불고, 여름철에는 대륙이 해양보다 빨리 가열되므로 해양에서 대륙으로 계절풍이 분다.

Ⓐ (가)는 대륙에 저기압이 형성되어 있고, 해양에 고기압이 형성되어 있는 것으로 보아 바람은 주로 해양에서 대륙으로 분다. 따라서 (가)는 여름철 기압 분포이다.

ⓧ Ⓛ의 고기압은 아열대 고기압으로 대기 대순환에 의한 상공의 대기 수렴으로 인한 하강 기류가 발달하여 형성되고, Ⓛ의 고기압은 시베리아 고기압으로 지표면의 냉각으로 공기가 침강하여 형성된다. 따라서 Ⓛ과 Ⓛ의 고기압이 모두 해들리 순환이 하강하는 곳에서 형성되는 것은 아니다.

ⓧ 계절풍의 대기 순환 규모는 지구 규모이고, 온대 저기압의 대기 순환 규모는 중관 규모이다. 따라서 대기 순환의 규모는 (가)와 (나)에서 부는 계절풍이 온대 저기압보다 크다.

# 08 행성의 운동(1)

## 수능 2점 테스트

본문 151~154쪽

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

### 01 천구의 기준선과 방위

북반구에서 천구의 북극의 고도는 관측자의 위도와 같으며, 북쪽을 바라볼 때 오른쪽이 동쪽, 왼쪽이 서쪽이다.

☒. 지평선 위에 천구의 북극이 있으므로 관측자는 북반구에 위치한다. 북반구에서 관측자의 위도는 천구의 북극의 고도와 같으므로 관측자의 위도는  $35^{\circ}\text{N}$ 이다.

Ⓐ. A와 지평선이 이루는 각이  $55^{\circ}$ 이므로 A는 자전축에 수직인 대원으로, 천구의 적도이다. 별의 일주권은 천구의 적도에 나란하다.

Ⓑ. B는 천구의 적도가 지평선과 만나는 두 점 중 하나이다. 북반구에서 천구의 북극을 바라볼 때 오른쪽이 동쪽이므로 B는 동점이다.

### 02 천구의 적도와 황도

천구의 북극과 천구의 남극을 잇는 선에 수직인 대원은 천구의 적도이며, 관측자의 위도는 천정의 적위와 같다.

☒. 북반구에서 관측자의 위도는 천정의 적위와 같다. 천정과 천구의 북극 사이의 각거리가  $30^{\circ}$ 이므로 천정의 적위는  $60^{\circ}$ 이다. 따라서 관측자의 위도는  $60^{\circ}\text{N}$ 이다.

Ⓐ. 관측자와 천구의 북극을 잇는 선에 수직인 대원은 천구의 적도이다. A는 황도상에서 천구의 적도로부터 북쪽으로 가장 멀리 떨어진 지점이므로 하지점에 해당한다. 하지점의 적위는  $+23.5^{\circ}$ 이며, 별의 남중 고도는  $(90^{\circ} - \text{위도}) + \text{적위}$ 이므로 A에 있는 별의 남중 고도는  $(90^{\circ} - 60^{\circ}) + 23.5^{\circ} = 53.5^{\circ}$ 이다.

Ⓑ. B는 천구의 적도와 황도가 만나는 두 지점 중 하나이며, 태양이 황도를 따라 지구의 자전과 같은 방향으로 연주 운동할 때 태양의 적위가 (-)에서 (+)로 바뀌는 점이므로 춘분점이다.

### 03 별의 일주권

위도 > 적위일 때 별의 남중 고도는  $(90^{\circ} - \text{위도}) + \text{적위}$ 이며, 천구의 적도와 지면이 이루는 각은 고위도로 갈수록 작아진다.

Ⓐ. 그림에서 별 A는 천구의 적도와  $35^{\circ}$ 의 각을 이루고 있으므로 적위가  $+35^{\circ}$ 이다. 북반구에서 천구의 적도와 지면이 이루는 각은  $(90^{\circ} - \text{위도})$ 이다. (가)는 천구의 적도와 지면이 이루는 각

이  $53^{\circ}$ 이고 별의 적위가  $+35^{\circ}$ 이므로 별의 남중 고도는  $88^{\circ}$ 이다. (나)는 천구의 적도와 지면이 이루는 각이  $61^{\circ}$ 이고 별의 적위가  $+35^{\circ}$ 이므로 별이 북쪽 자오선에 위치할 때 고도가 가장 높으며, 이때 별의 고도는  $84^{\circ}$ 이다. 따라서 A의 최대 고도는 (가)에서가 (나)에서보다 높다.

☒. (가)의 경도는  $127^{\circ}\text{E}$ 이고, (나)의 경도는  $77^{\circ}\text{E}$ 이므로 (가)는 (나)보다  $50^{\circ}$  동쪽에 위치한다. (나)에서는 천구의 적도와 지면이 이루는 각이  $61^{\circ}$ 이고, A의 적위는  $+35^{\circ}$ 이므로 (나)에서 A는 북동쪽에서 떠서 북쪽 자오선을 지나 북서쪽으로 진다. 한편, (가) 지역에 A가 남중했을 때 (나) 지역에서는 A가 최대 고도에 도달하기 약 3시간 20분 전이므로 (나)에서는 A가 북동쪽 하늘에 위치한다.

Ⓐ. 별의 일주권은 천구의 적도에 나란하며, 천구의 적도와 지면이 이루는 각은  $(90^{\circ} - \text{위도})$ 이므로 별의 일주권과 지면이 이루는 각은 (가)가 (나)보다 작다. 별의 적위가 (+)일 때, 별이 뜰 때의 방위각은 별의 일주권과 지면이 이루는 각이 작을수록 북점에 가까워진다. 따라서 A가 뜰 때 방위각은 (가)가 (나)보다 작다.

### 04 남중 고도

별의 고도는 남중했을 때 가장 높으며, 별의 남중 고도는  $(90^{\circ} - \text{위도}) + \text{적위}$ 이다.

Ⓐ. A는 동짓날 자정에 남중한 별이다. 동짓날 태양의 적경은  $18^{\text{h}}$ 이고, 자정에 남중한 별의 적경은 태양과  $12^{\text{h}}$  차이가 있으므로 동짓날 자정에 남중한 별의 적경은  $6^{\text{h}}$ 이다.

☒. B가 남중하지 않았을 때의 고도가 A의 남중 고도와 같으므로 B의 남중 고도는  $55^{\circ}$ 보다 높다. 적위가 높을수록 남중 고도도 높아지므로 B의 적위는 A의 적위보다 높다.

☒. A의 적위는  $2^{\circ}$ 이며,  $37^{\circ}\text{N}$  지역에서 남중 고도는  $55^{\circ}$ 이고,  $33^{\circ}\text{N}$  지역에서 남중 고도는  $59^{\circ}$ 이다. 따라서  $33^{\circ}\text{N}$ 에서 A의 남중 고도는 현재보다 높다.

### 05 지평 좌표와 적도 좌표

서점에 위치한 별의 적경은 남중한 별의 적경보다  $6^{\text{h}}$  작으며, 적위는  $0^{\circ}$ 이다.

Ⓐ. A는 방위각이  $180^{\circ}$ 이므로 정남쪽에 위치하고, 이 때의 고도가  $30^{\circ}$ 이므로 남중 고도가  $30^{\circ}$ 이다. 남중 고도 =  $(90^{\circ} - \text{위도} + \text{적위})$ 에서  $30^{\circ} = (90^{\circ} - 37.5^{\circ}) + \text{적위}$ 이므로 별의 적위는  $-22.5^{\circ}$ 이다.

Ⓐ. B의 방위각은  $270^{\circ}$ 이므로 서점에 위치한다. 서점에 위치한 별의 적경은 남중한 별의 적경보다  $6^{\text{h}}$  작다. 관측한 시각이 춘분 날 자정이므로 남중한 별의 적경은  $12^{\text{h}}$ 이고 서점에 위치한 B의 적경은  $6^{\text{h}}$ 이다.

☒. 천구의 적도는 동점과 서점을 지나므로 서점에 위치한 B의 적위는  $0^{\circ}$ 이다. 남중 고도 =  $(90^{\circ} - \text{위도} + \text{적위})$ 에서 B의 남중 고도 =  $(90^{\circ} - 37.5^{\circ} + 0^{\circ}) = 52.5^{\circ}$ 이다. 따라서 남중 고도는 A가 B보다 작다.

## 06 적도 좌표계

북쪽 하늘에서는 천구의 북극을 기준으로 별들이 시계 반대 방향으로 일주 운동한다. 적경은 춘분점을 기준으로 자전 방향으로 가면서 증가하므로 별의 일주 운동 방향으로 갈수록 적경이 감소한다.

☒. 북쪽 하늘에서 별들은 천구의 북극을 중심으로 시계 반대 방향으로 일주 운동하며, 1시간에  $15^{\circ}$ 씩 움직인다. 시간권 한 칸의 간격은  $15^{\circ}$ 에 해당하므로 2시간 후 A는 지면과 가까워지는 방향으로 2칸 이동한다. C는 지면에서 멀어지는 방향으로 2칸 이동한다. 그 결과 A는 C보다 지면에 더 가깝게 위치한다. 따라서 고도는 A가 C보다 작다.

①. 하짓날 자정의 북쪽 하늘 모습이므로 북점을 지나는 시간권의 적경이  $6^{\text{h}}$ 에 해당하며, 적경은 일주 운동하는 방향으로 갈수록 작아진다. 따라서 B의 적경은  $23^{\text{h}}$ 이고, C의 적경은  $1^{\text{h}}$ 이다. 즉, 적경은 B가 C보다 크다.

☒. 하짓날 자정에 동점에 있는 별의 적경은  $0^{\text{h}}$ 에 해당한다. B의 적경은  $23^{\text{h}}$ 이므로 동점에 있는 별의 적경은 B의 적경과 같지 않다.

## 07 내행성의 위치 관계

행성이 태양보다 동쪽에 위치하면 초저녁에 관측이 가능하고, 행성이 태양보다 서쪽에 위치하면 새벽에 관측이 가능하다.

①. A는 동방 최대 이각에 위치한다. 행성이 태양보다 동쪽에 있으면 초저녁에 서쪽 하늘 부근에서 관측할 수 있다.

②. 내행성은 내합 부근에서 역행하고 최대 이각 부근에서는 순행한다. 따라서 다음 날 A의 적경은 증가한다.

③. 내행성은 최대 이각을 지난 후 내합으로 위치 관계가 변한다. 따라서 다음 날에는 A의 이각이 이날보다 감소한다.

## 08 외행성의 위치 관계

외행성의 위치 관계는 서구—충—동구—합의 순서로 바뀌어가며, 외행성을 관측할 수 있는 시간은 충에서 가장 길다.

☒. A는 서구에 위치한다. 외행성의 경우 행성에서 태양 빛과 시선 방향이 이루는 각이 항상 예각이므로 지구에서 볼 때 외행성은 항상  $\frac{1}{2}$ 보다 많이 보인다. 따라서 이날 A의 위상은 하현달 모양이 아니다.

①. 외행성의 공전 속도는 지구보다 느리므로 외행성의 위치 관계는 서구를 지난 후 충에 가까워지며, 다음 날 지구와 A 사이의 거리는 이날보다 가까워진다. 따라서 다음 날 A의 시직경은 이날보다 크다.

②. 다음 날은 이날보다 충에 더 가까워지므로 A를 관측할 수 있는 시간이 이날보다 길다.

## 09 행성의 관측

서방 최대 이각에 위치한 내행성은 새벽에 동쪽 하늘에서 관측할 수 있으며, 충에 위치한 외행성은 밤새도록 관측할 수 있다.

①. A는 서방 최대 이각에 위치해 있다. 서방 최대 이각에서 행성은 태양의 서쪽에 위치하므로 행성의 위상은 하현달 모양이다.

②. 이날은 하짓날이므로 태양의 적경이  $6^{\text{h}}$ 이다. 적경은 춘분점을 기준으로 자전 방향으로 가면서 증가하므로 A의 적경은  $0^{\text{h}}$ 보다 크고  $6^{\text{h}}$ 보다 작다. B는 태양과 정반대 방향에 있으므로 적경은 태양과  $12^{\text{h}}$  차이가 난다. 태양의 적경이  $6^{\text{h}}$ 이므로 B의 적경은  $18^{\text{h}}$ 이다. 따라서 적경은 A가 B보다 작다.

③. 이날 새벽 해뜨기 직전에는 A는 동쪽 하늘에서, B는 서쪽 하늘에서 볼 수 있다. 따라서 A와 B를 동시에 관측할 수 있다.

## 10 내행성의 관측

행성 부근에서 황도가 오른쪽으로 가면서 지평선 아래로 내려가면 해가 진 후 서쪽 하늘에서 관측한 것이고, 황도가 오른쪽으로 가면서 지평선 위로 올라가면 새벽에 동쪽 하늘에서 관측한 것이다.

①. 서쪽 하늘에서 관측하였으므로 행성은 태양보다 동쪽에 위치한다. 행성이 P에서 P'로 이동하는 동안 행성과 지구 사이의 거리는 점점 가까워지고 있다. 따라서 행성의 시직경은 P보다 P'에서 크다.

☒. 행성은 황도 부근에서 관측된다. 행성이 오른쪽 아래에서 왼쪽 위로 이동하였으므로 황도가 왼쪽 위에서 오른쪽 아래로 지나가면서 지평선과 만나고 있다. 따라서 서쪽 하늘에서 관측한 것이다.

☒. 행성이 P에 위치할 때 태양은 오른쪽 아래에 있으므로 행성의 오른쪽 부분이 밝게 보인다. 그믐달은 달의 왼쪽이 밝게 보이는 모양이다. 따라서 행성의 위상은 초승달 모양이다.

☒. 내행성이 동방 이각에 있고 이각이 점점 증가하고 있으므로 행성은 배경별에 대하여 동쪽으로 이동한다. 따라서 관측 기간 동안 이 행성은 순행한다.

☒. 지구의 공전으로 인해 별자리는 하루에 약  $1^{\circ}$ 씩 서쪽으로 이동하므로 일주일 간격으로 관측하면 지구의 공전으로 인해 배경별은 약  $7^{\circ}$  서쪽으로 이동한다. 그럼에도 불구하고 행성의 위치가 P에서 P'로 동쪽으로 이동하였으므로 이 행성이 배경별에 대하여 이동한 각거리는  $7^{\circ}$ 보다 크다. 따라서 관측 기간 동안 이 행성이 배경별에 대하여 이동한 각거리는  $7^{\circ}$ 보다 크다.

## 11 내행성과 외행성의 관측

내행성의 위치 관계는 외합을 지난 후 동방 최대 이각을 거쳐 내합으로 변해가며, 외행성의 위치 관계는 충을 지난 후 동구를 거쳐 합으로 변해간다.

①. 이각은 행성과 태양 사이의 각이다. 해가 진 직후이므로 태양은 서쪽 지평선 아래에 있다. 따라서 이각은 A가 B보다 크다.

☒ A의 이각은  $90^{\circ}$ 보다 크므로 A는 외행성이며, A가 태양보다 동쪽에 있으므로 A는 동구와 충 사이에 있다. 외행성의 위치 관계는 충에서 동구에 가까워지므로 이날 이후 A의 위치 관계는 동구에 가까워진다.

☒ A가 외행성이므로 B는 내행성이다. 내행성이 태양보다 동쪽에 있으므로 내행성의 위치 관계는 외합에서 내합에 가까워지며, 지구와 행성 사이의 거리가 점점 가까워지고 있다. 따라서 B의 시직경은 다음 날이 이날보다 크다.

## 12 달과 내행성의 관측

달은 천구상에서 하루에 움직이는 각은 행성보다 크며, 태양에 대해서 매일 동쪽으로 약  $12^{\circ}$ 씩 이동한다.

Ⓐ 달의 위상이 그믐달이므로 달은 태양보다 서쪽에 있으며, 새벽에 관측 가능하다. 따라서 새벽에 관측한 것이다.

Ⓑ 달이 태양보다 서쪽에 있으므로 새벽에 동쪽 하늘에서 관측된다. 서쪽 하늘에서는 관측할 수 없다.

Ⓒ 달은 지구 주위를 한 달에 한 바퀴 공전하므로 하루에 약  $13^{\circ}$  동쪽으로 이동한다. 금성은 공전 속도 차이에 해당하는 만큼 동쪽이나 서쪽으로 이동하므로 하루에 동쪽으로 이동하는 각이 달만큼 크지 않다. 따라서 다음 날 달은 금성보다 동쪽에 위치하며 금성보다 늦게 진다.

## 13 프톨레마이오스의 지구 중심설

지구 중심설에서 금성의 순행과 역행을 설명하기 위해 주전원을 도입했다. 하지만 주전원으로 금성의 보름달 모양의 위상을 설명할 수 없다.

Ⓐ 이각은 태양과 행성이 이루는 각도이다. 지구에서 바라볼 때 태양과의 각거리는 2의 위치보다 3의 위치에서 작아지므로 2의 위치에서 3의 위치로 움직이는 동안 이각은 작아진다.

☒ 행성이 천구상에서 서쪽에서 동쪽으로 움직일 때 순행, 동쪽에서 서쪽으로 움직일 때 역행이라고 한다. 천구상에서 태양은 매일 약  $1^{\circ}$ 씩 동쪽으로 움직이며, 금성이 3의 위치에서 4의 위치로 움직이는 동안 금성은 태양보다 동쪽으로 이동하므로 순행이 일어난다.

☒ 금성이 보름달 모양으로 관측되기 위해서는 금성을 기준으로 태양과 지구가 같은 방향에 있어야 한다. 이 우주관에서는 금성을 기준으로 태양과 지구가 서로 반대 방향에 위치하므로 금성의 보름달 모양의 위상을 설명할 수 없다.

## 14 태양 중심설

태양 중심설에서는 행성의 공전 속도 차이로 행성의 순행과 역행을 설명할 수 있으며, 공전 궤도 반지름의 차이로 내행성의 최대 이각을 설명할 수 있다.

☒ 이 우주관은 모든 행성이 태양을 중심으로 공전하므로 태양 중심설이다. 태양 중심설에서 지구는 태양 주위를 공전하므로 지구에서 볼 때 천구상에서 일어나는 태양의 상대적인 움직임에 의해 태양의 연주 운동이 일어난다. 따라서 태양의 연주 운동을 설명할 수 있다.

Ⓐ 태양 중심설에서는 지구보다 안쪽에서 공전하는 내행성은 공전 궤도가 지구보다 작으므로 최대 이각이 나타난다. 따라서 수성과 금성의 최대 이각을 설명할 수 있다.

Ⓑ 태양 중심설에서는 행성의 공전 속도 차이로 행성의 역행 현상을 설명하므로 내행성은 내합 부근에서, 외행성은 충 부근에서 역행이 일어난다.

## 15 티코 브라헤의 지구 중심설

티코 브라헤의 우주관은 지구 중심설이며, 금성의 보름달 모양의 위상을 설명하기 위해 금성은 태양 주위를 공전한다고 하였다.

☒ 제시된 우주관은 티코 브라헤의 우주관으로 행성은 태양 주위를 공전하지만 행성을 거느린 태양이 지구 주위를 공전하므로 이 우주관은 지구 중심설이다.

Ⓐ 이 우주관에서는 태양 주위를 도는 행성의 운동으로 행성의 순행과 역행을 설명할 수 있다.

☒ 티코 브라헤의 우주관에서는 금성이 태양 주위를 공전하므로 금성의 보름달 모양의 위상을 설명할 수 있다.

## 16 갈릴레이의 목성 관측

갈릴레이는 목성과 위성을 관측하여 모든 천체가 지구를 중심으로 움직이지 않는다는 증거를 기록으로 남겼다.

Ⓐ 그림에서 동그라미는 목성을 나타낸 것이며, 작은 별 표시는 목성의 위성을 나타낸 것이다. 따라서 A는 목성을 나타낸다.

Ⓐ 관측 시기에 따라 목성과 위성의 위치가 달라지므로 목성 주위를 공전하는 위성들의 움직임이 나타나 있다.

☒ 목성과 위성의 위치 변화는 목성 주위를 도는 위성의 움직임을 나타내며, 위성의 중심에 목성이 있으므로 지구가 모든 천체 운동의 중심이라는 지구 중심설에 맞지 않는다.

### 수능 3점 테스트

본문 155~161쪽

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

## 01 별의 일주권과 지면이 이루는 각

별의 일주권과 지면이 이루는 각은 고위도로 갈수록 작아지고 저위도로 갈수록 커진다. 따라서 별이 뜰 때의 방위각은 적위가 (+)인 별은 고위도록 갈수록 작아지고, 적위가 (-)인 별은 고위도록 갈수록 커진다.

▣. (가) 지역의 위도는  $37.5^{\circ}\text{N}$ 이고, 별 S의 남중 고도는  $50^{\circ}$ 이다. 남중 고도 =  $(90^{\circ} - \text{위도}) + \text{적위}$ 에서  $50^{\circ} = (90^{\circ} - 37.5^{\circ}) + \text{적위}$ 이므로 별의 적위는  $-2.5^{\circ}$ 이다.

▣. 별 S의 남중 고도는 (가)에서  $50^{\circ}$ 이다. (나)에서 별 S는 남중 하지 않을 때의 고도가  $50^{\circ}$ 이므로 남중 고도는  $50^{\circ}$ 보다 높다. 별의 남중 고도는 고위도로 갈수록 낮아지므로 (가)는 (나)보다 고위도에 위치한다.

㉡. 고위도로 갈수록 별의 일주권과 지면이 이루는 각이 작아지므로 적위가 (-) 값을 나타내는 별은 뜰 때의 방위각이 고위도로 갈수록 커진다. S의 적위가 (-) 값을 나타내므로 뜰 때의 방위각은 (가)가 (나)보다 크다.

## 02 적도 좌표계

하짓날은 태양의 적경이  $6^{\text{h}}$ 이고 동짓날은 태양의 적경이  $18^{\text{h}}$ 이다. 별의 적경과 적위에 따라 태양과의 상대적인 위치가 달라지므로 특정한 날에 관측되는 위치가 달라진다.

㉡. 동짓날에는 태양의 적경이  $18^{\text{h}}$ 이므로 자정에 남중한 별은 적경이 태양의 적경보다  $12^{\text{h}}$  작다. 즉, 동짓날 자정에 남중한 별의 적경은  $6^{\text{h}}$ 이므로 적경이  $12^{\text{h}}$ 인 ①은 동점을 지나는 시간권 위에 위치한다. 한편 ②의 적위가  $15^{\circ}$ 이므로 ②은 북동쪽에 위치한다.

▣. 하짓날 태양의 적경이  $6^{\text{h}}$ 이므로 적경이  $7^{\text{h}}$ 인 ③은 태양보다 1시간 늦게 남중한다. 적경이  $23^{\text{h}}$ 인 ④은 태양보다 17시간 늦게 남중하거나 7시간 먼저 남중하는데, 태양이 남중하는 시각이 12시이므로 17시간 늦게 남중하면 다음 날이 되고, 7시간 먼저 남중하면 같은 날이 된다. 따라서 하짓날 ④은 태양보다 7시간 먼저 남중하며, ③은 ④보다 나중에 남중한다.

▣. ⑤은 적위가  $35^{\circ}$ 인 별이다. 적위가 (+) 값을 갖는 별은 북반구의 고위도로 갈수록 일주권이 지면과 이루는 각이 작아져서 지평선 위에 떠 있는 시간이 길어진다. 따라서 ⑤이 지평선 위에 떠 있는 시간은 고위도에 위치한 B가 저위도에 위치한 A보다 길다.

## 03 천구의 적도와 황도

천구의 적도와 황도가 만나는 두 점 중 하나는 춘분점이고 다른 하나는 추분점이다. 태양이 황도를 따라 서에서 동으로 이동할 때 천구의 적도를 남쪽에서 북쪽으로 통과하는 지점(곳)이 춘분점이고 북쪽에서 남쪽으로 통과하는 지점(곳)이 추분점이다.

㉡. 천구의 적도가 지면과 만나는 점은 동점을 서점 중 하나이다. 북반구에서 동쪽에서는 천구의 적도가 오른쪽으로 가면서 고도가

높아지고, 서쪽에서는 오른쪽으로 가면서 고도가 낮아진다. 따라서 그림은 동쪽 하늘의 모습이다.

▣. 천구의 적도와 황도가 만나는 점은 춘분점과 추분점 중 하나이다. 태양이 황도를 따라 서에서 동으로 이동할 때 천구의 적도를 남쪽에서 북쪽으로 통과하는 점은 춘분점이다. 태양의 적경이  $6^{\text{h}}$ 인 하짓날에 적경이  $0^{\text{h}}$ 인 춘분점이 동쪽 하늘에 있으므로 이때의 시각은 0시와 6시 사이이다. 따라서 21시경이 될 수 없다.

㉡. 천체의 일주권은 천구의 적도에 나란하므로 A의 일주권은 B의 일주권보다 북쪽에 위치한다. 따라서 남중 고도는 A가 B보다 높다.

## 04 위도와 경도에 따른 지평 좌표의 차이

별의 남중 시각은 서쪽으로 갈수록 늦어지며,  $15^{\circ}$  서쪽으로 갈수록 1시간씩 늦어진다. 별의 남중 고도는 저위도로 갈수록 높아진다.

▣. (가)에서 별 S가 남중한 시각은 08시 직전이고, (나)에서 별 S가 남중한 시각은 16시 직후이다. 별 S가 남중한 시각은 (나)가 (가)보다 8시간 이상 늦다. 별의 남중 시각은 서쪽으로 갈수록 늦어지며, 1시간 늦어질 때마다 경도가 서쪽으로  $15^{\circ}$ 씩 이동한다. (나)는 (가)보다 남중 시각이 8시간 이상 늦은 지점으로 서쪽으로  $120^{\circ}$  이상 이동한 지점이다. (가)의 경도가  $90^{\circ}\text{E}$ 이므로 (나)는  $30^{\circ}\text{W}$ 보다 서쪽에 위치한다. 따라서 그리니치 천문대보다 서쪽에 위치한다.

㉡. 별의 남중 고도는 저위도로 갈수록 높아진다. 별 S의 남중 고도는 (가)가 (나)보다 높으므로 (나)보다 저위도에 위치한다.

▣. 그리니치 표준시로 08시경에  $90^{\circ}\text{E}$  지역에 남중한 별의 적경이  $5^{\text{h}}$ 이므로 태양의 적경은 약  $3^{\text{h}}$ 이다. 태양의 적경이 약  $3^{\text{h}}$ 인 시기는 5월 초 무렵이다.

## 05 북반구와 남반구의 방위각 변화

북반구에서는 별이 일주 운동할 때 방위각이 점점 커지지만 남반구에서는 별이 일주 운동할 때 방위각이 점점 작아진다.

㉡. A에서 t시에 천구의 적도에 위치한 X가 남중하였으므로 A는 북반구에 위치하며, 6시간 후 X는 서점에 위치한다. 따라서 ⑤은  $270^{\circ}$ 이다.

▣. 천구의 적도에 위치한 천체를 6시간 후에 관측하였을 때 방위각의 차이가  $244^{\circ}$ 인 B는 남반구에 위치한 지역이다.

㉡. A에 X가 남중한 t시에 남반구에 위치한 B에서는 X의 방위각이  $46^{\circ}$ 이므로 X는 북동쪽 하늘에 위치한다.

## 06 태양과 별의 상대적인 위치 변화

천구상에서 별의 적경과 적위는 변하지 않지만 태양의 적경과 적위는 1년 동안 달라진다. 이에 따라 태양과 별의 상대적인 위치가 달라진다.

⑦ 춘분날 해가 진 직후  $t$ 시에 남중한 별의 적경은 태양의 적경보다  $(t - 12)^h$ 만큼 크다. 춘분날 태양의 적경은  $0^h$ 이므로  $t$ 시에 남중한 별의 적경은  $(t - 12)^h$ 이다.

⑧ S의 남중 고도는  $55^\circ$ 이고, 관측자의 위도는  $37.5^\circ\text{N}$ 이므로 남중 고도 =  $(90^\circ - \text{위도}) + \text{적위}$ 에서  $55^\circ = (90^\circ - 37.5^\circ) + \text{적위}$ 이므로 S의 적위는  $+2.5^\circ$ 이다. 적위가 (+)인 별의 일주권은 천구의 적도보다 북쪽에 위치하므로 (질 때의 방위각 – 끌 때의 방위각)  $> 180^\circ$ 이다.

✖ 춘분날 태양의 적경은  $12^h$ 이므로 천구상에서 태양의 위치는 춘분날보다 적경이  $12^h$  커진 위치로 이동해 있다. 이날은 태양의 적경이 별 S의 적경보다 약  $6^h$ 만큼 크다. 춘분날 해 뜨기 전에 태양은 북동쪽 지평선 아래에 있으므로 S는 남동쪽 하늘에 있다.

## 07 행성의 천문 현상

행성이 동방 이각에 있을 때는 초저녁에 관측 가능하며, 서방 이각에 있을 때는 새벽에 관측 가능하다. 내행성은 내합 부근에서 역행하며 외행성은 충 부근에서 역행한다.

✖ A는 9월 5일에 서방 최대 이각을 지났으므로 9월 8일에는 서방 최대 이각과 외합 사이에 위치한다. 따라서 새벽에 동쪽 하늘에서 관측된다.

⑨ B는 9월 8일에 충의 위치에 있었으므로 3달 후인 12월 8일에는 충과 합 사이의 동방 이각의 위치에 오게 된다. 따라서 초저녁에 관측이 가능하다.

⑩ A는 11월 16일에 동방 최대 이각에 위치하고 12월 25일에 서방 최대 이각에 위치하므로 그 사이에 내합을 지난다. 내행성은 내합 부근에서 역행한다. C는 12월 8일에 충에 위치하며 외행성은 충 부근에서 역행한다. 따라서 A와 C 모두 11월 16일부터 12월 25일 사이에 역행하는 시기가 있다.

## 08 행성의 뜨는 시각

행성이 동방 이각에 있을 때는 태양보다 동쪽에 위치하므로 태양보다 늦게 뜨고, 서방 이각에 위치할 때는 태양보다 먼저 뜬다.

⑪ 외행성은 지구보다 공전 속도가 느리므로 외행성이 뜨는 시각은 매일 조금씩 빨라진다. A는 뜨는 시각이 느려지다가 빨라지다가 다시 느려지므로 내행성이다.

✖ 5월 말경에 A가 뜨는 시각은 일출 시각과 같으므로 A의 위치는 내합과 외합 중 하나이다. 5월 말 이전에는 A가 태양보다 먼저 뜨므로 A는 서방 이각에 있으며, 6월에는 A가 태양보다 늦게 뜨므로 A는 동방 이각에 있다. 따라서 5월 말경에 A는 외합에 위치한다.

⑫ B는 뜨는 시각이 19시인 시기가 있으므로 외행성이다. 외행성이 서구에 위치할 때는 자정 무렵에 뜬다. 9월에 B는 자정 무렵에 뜬다. 따라서 9월에 B는 서구 부근에 위치한다.

## 09 행성의 위치 변화

행성은 천구상에서 황도 부근에 위치하므로 하지점 부근에 있을 수록 적위가 크고 동지점 부근에 있을 수록 적위가 작다.

⑬ 춘분날 태양은 춘분점에 위치하므로 지구에서 춘분점 방향을 기준으로 지구 자전 방향으로 적경을 측정하면 목성의 적경은  $0^\circ \sim 6^\circ$ 의 범위 내에 해당하고, 화성의 적경은  $18^\circ \sim 24^\circ$  범위 내에 해당한다. 행성은 황도 부근에 위치하고 태양의 적위는  $0^\circ \sim 6^\circ$ 가  $18^\circ \sim 24^\circ$ 보다 크므로 적위는 목성이 화성보다 크다.

⑭ 하짓날인 6월 22일경에는 춘분점 방향을 기준으로 지구는  $270^\circ$  방향에 위치하고 화성은  $0^\circ$  방향, 목성은  $60^\circ$  방향, 토성은  $350^\circ$  방향에 위치므로 화성, 목성, 토성은 모두 서방 이각에 위치한다. 따라서 새벽에 모두 관측할 수 있다.

⑮ 10월 1일 춘분점 방향을 기준으로 지구는 약  $10^\circ$  방향에 위치하고 목성은 약  $50^\circ$  방향, 토성은 약  $350^\circ$  방향에 위치한다. 따라서 목성이 뜨는 시각은 20시경이며, 토성이 뜨는 시각은 15시경이다. 따라서 토성은 목성보다 먼저 뜬다.

## 10 행성의 위치 관계

외행성의 이각은 동방 이각의 경우 시간이 지날수록 작아지고 서방 이각의 경우 시간이 지날수록 커진다.

✖ 18시에 태양은 서쪽 지평선 부근에 위치하며, 서쪽 지평선 위에 춘분점이 위치하므로 관측한 날 태양은 동지점과 춘분점 사이에 위치한다. 따라서 관측 시기는 겨울철이다.

⑯ 천체의 일주권은 천구의 적도에 나란하므로 천체가 질 때의 방위각은 적위가 클수록 크다. 적위는 A가 C보다 크므로 질 때 방위각은 A가 C보다 크다.

⑰ B는 이각이  $90^\circ$ 보다 크므로 외행성이다. 외행성은 지구보다 공전 속도가 느리므로 동방 이각은 날짜가 지날수록 작아진다. 따라서 다음 날 같은 시각에 B의 방위각은 더 커진다.

## 11 행성의 시운동

외행성은 충 부근에서 역행하고 나머지 구간에서는 순행하며, 내행성은 내합 부근에서 역행하고 나머지 구간에서는 순행한다.

⑱ 달의 위상이 초승달이므로 태양은 지평선 아래에 있다. 태양의 적위가 (+) 값을 가지므로 태양이 질 때의 방위각은  $270^\circ$ 보다 크다.

⑲ 외행성인 화성은 합과 동구 사이에 위치하며, 이 구간에서 외행성은 순행하므로 다음 날 화성의 적경은 증가한다. 금성의 위상이 상현달 모양이므로 금성은 동방 최대 이각 부근에 위치하며 최대 이각 부근에서 금성은 순행하므로 다음 날 금성의 적경도 증가한다.

⑳ 다음 날 달은 천구상에서 배경별에 대하여 약  $13^\circ$  동쪽으로 이동하므로 화성보다 동쪽에 위치한다. 따라서 다음 날 달은 화성보다 늦게 진다.

## 12 천체의 적경과 적위

남쪽 하늘에서 적경은 시계 반대 방향으로 가면서 증가하고, 북쪽 하늘에서는 천구의 북극을 중심으로 시계 방향으로 가면서 증가한다.

Ⓐ. 북쪽 하늘에서 별은 시계 반대 방향으로 일주 운동을 하므로 0시에 A의 방위각은  $0^{\circ}$ 보다 크고  $60^{\circ}$ 보다 작다. 남쪽 하늘에서 별은 시계 방향으로 일주 운동을 하므로 0시에 B의 방위각은  $120^{\circ}$ 보다 크고  $180^{\circ}$ 보다 작다. 따라서 이날 0시에 방위각은 A가 B보다 작다.

✗. 하짓날 태양의 적경은  $6^{\text{h}}$ 이고, 0시에 북동쪽 하늘에서 천구의 북극보다 위쪽에 있는 A의 적경은  $18^{\text{h}}$ 보다 크고  $24^{\text{h}}$ 보다 작다. 하짓날 0시에 남중한 별의 적경은  $18^{\text{h}}$ 이다. B는 0시에 남동쪽 하늘에 있으므로 B의 적경은  $18^{\text{h}}$ 보다 크고  $24^{\text{h}}$ 보다 작다. 따라서 A와 B의 적경 차이는  $6^{\text{h}}$ 보다 작다.

✗. 관측 지역의 위도를  $\varphi^{\circ}\text{N}$ , A의 적위를  $\delta_1^{\circ}$ 라 하면 북쪽 하늘에서 천구의 북극의 고도는  $\varphi^{\circ}$ 이므로 A의 최대 고도는  $\varphi^{\circ} + (90^{\circ} - \delta_1^{\circ})$ 이다. B의 적위를  $\delta_2^{\circ}$ 라 하면 남쪽 하늘에서 B의 남중 고도는  $(90^{\circ} - \varphi^{\circ}) + \delta_2^{\circ}$ 이다. A의 최대 고도와 B의 남중 고도가 각각  $60^{\circ}$ ,  $70^{\circ}$ 이므로  $\varphi^{\circ} + (90^{\circ} - \delta_1^{\circ}) = 60^{\circ}$ ,  $(90^{\circ} - \varphi^{\circ}) + \delta_2^{\circ} = 70^{\circ}$ 이다. 두 식을 더하면  $\delta_1^{\circ} - \delta_2^{\circ} = 50^{\circ}$ 이다. 따라서 A와 B의 적위 차는  $50^{\circ}$ 이다.

## 13 우주관의 변천

가장 먼저 등장한 프톨레마이오스의 지구 중심설에서는 주전원을 도입하였고, 가장 나중에 등장한 티코 브라헤의 지구 중심설에서는 행성을 거느린 태양이 지구 주위를 돈다고 주장하였다.

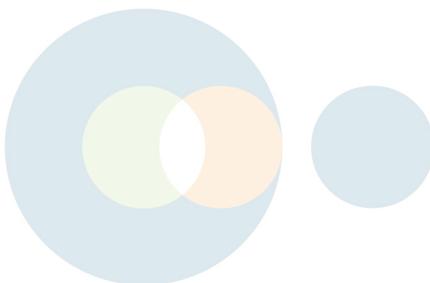
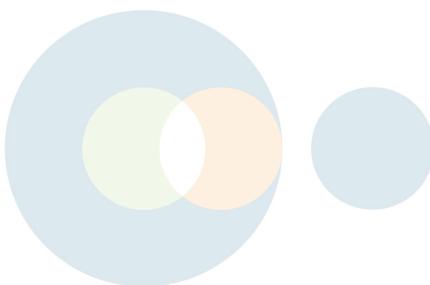
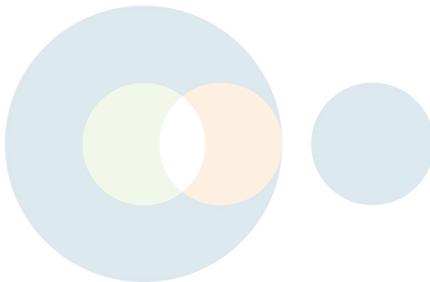
✗. (가)는 프톨레마이오스의 지구 중심설이고 (나)는 티코 브라헤의 지구 중심설이다. 티코 브라헤의 지구 중심설은 가장 나중에 등장한 우주관이다. 따라서 (나)는 (가)보다 나중에 등장하였다.

✗. 별의 연주 시차는 지구의 공전에 의해서 생기는 현상이다. 따라서 별의 연주 시차를 설명할 수 있는 우주관은 태양 중심설 1개뿐이다.

Ⓐ. 금성의 보름달 모양의 위상은 태양을 사이에 두고 지구와 금성이 서로 반대 방향에 위치할 때 설명할 수 있으므로 (나)와 (다)에서 설명할 수 있다.

Ⓐ. 프톨레마이오스의 지구 중심설에서는 행성의 순행과 역행을 설명하기 위해 주전원을 도입하였다.

Ⓑ. 현재의 태양계 모형은 태양이 중심에 있고, 모든 행성이 태양 주위를 공전하므로 코페르니쿠스의 태양 중심설과 유사하다.



## 14 우주관의 특징

행성은 태양 주위를 공전하고 태양은 지구 주위를 공전한다는 우주관은 천동설과 지동설이 나오고 나서 나중에 티코 브라헤가 주장한 지구 중심설이다.

Ⓐ. (가)는 티코 브라헤의 지구 중심설이며, (나)는 코페르니쿠스의 태양 중심설, (다)는 프톨레마이오스의 지구 중심설이다. 따라서 우주관이 등장한 순서는 (다)–(나)–(가)이다.

# 09

## 행성의 운동(2)

### 수능 2점 테스트

본문 169~171쪽

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

### 01 회합 주기

행성의 회합 주기는 관측을 통해 알아낼 수 있으며, 두 행성의 공전 각속도 차가 클수록 짧다.

- ▣ 행성의 공전 주기를 몰라도 회합 주기는 관측을 통해 알아낼 수 있으며, 공전 주기는 회합 주기를 이용하여 구할 수 있다.
- ▣ 내행성의 회합 주기는 공전 궤도 반지름이 길수록 길어지며, 외행성의 회합 주기는 공전 궤도 반지름이 길수록 짧아진다.
- 두 행성의 공전 각속도 차가 클수록 회합 주기는 짧아지므로 지구에서 구한 회합 주기는 내행성에서는 공전 궤도 반지름이 짧을수록 짧으며, 외행성에서는 공전 궤도 반지름이 길수록 짧다.

### 02 공전 주기와 회합 주기의 관계식

회합 주기는 두 행성의 공전 각도 차가  $360^\circ$ 가 되는 데 걸리는 시간이므로 1년 동안 발생한 두 행성의 공전 각도 차와 회합 주기를 곱하면  $360^\circ$ 가 된다.

- 행성 A가 1년 동안 움직인 각이  $a$ 이므로 A의 공전 주기는  $\frac{360^\circ}{a}$ 년이다.

- ▣ 행성 B가 1년 동안 움직인 각이  $b$ 이므로  $\frac{360^\circ}{b}$ 년은 B의 공전 주기에 해당한다.

- A와 B의 회합 주기를  $S$ (년)라 하면, 행성 A와 B가 1년 동안 움직인 각각  $a$ ,  $b$ 이므로  $(a-b) \times S = 360^\circ$ 이다.  $S = \frac{360^\circ}{a-b}$ 이므로 A와 B의 회합 주기는  $\frac{360^\circ}{a-b}$ 년이다.

### 03 내행성의 공전 궤도 반지름

내행성의 공전 궤도 반지름은 내행성의 최대 이각을 이용하여 구할 수 있다.

- ▣ A는 서방 최대 이각에 위치한다. 서방 최대 이각에서 위상은 하현달 모양이다.

- 내행성의 공전 속도는 지구보다 빠르므로 일주일 후 A의 위치 관계는 서방 최대 이각과 외합 사이에 위치한다. 따라서 태양과 A의 남중 시각 차이는 줄어들고, A가 남중하는 시각은 늦어진다.

- 태양, 지구, A가 이루는 직각 삼각형에서 태양과 지구 사이의 거리는 1 AU이고, 태양과 A가 이루는 각은  $\theta$ 이므로 A의 공전 궤도 반지름은  $1 \text{ AU} \times \sin\theta = \sin\theta \text{ AU}$ 이다.

### 04 회합 주기

외행성의 회합 주기는 총에서 다시 총 또는 합에서 다시 합이 될 때까지 걸리는 시간에 해당하며, 내행성의 회합 주기는 공전 궤도 반지름이 작을수록 짧다.

- 지구의 공전 주기가 1년이고 행성 A의 공전 주기가 0.6년이므로 회합 주기를  $S_A$ 라고 하면,  $\frac{1}{0.6} - \frac{1}{1} = \frac{1}{S_A}$ 에서  $S_A = 1.5$ 년이다.

- ▣ A와 B는 모두 공전 주기가 1년 미만이므로 내행성이며, 공전 주기는 A가 B보다 길기 때문에 공전 궤도 반지름은 A가 B보다 크다. 내행성의 회합 주기는 공전 궤도 반지름이 클수록 길어지므로 회합 주기는 A가 B보다 길다. 따라서 ⑦은 ⑥보다 크다.

- ▣ C는 외행성이므로 C가 남중한 후 다시 남중할 때까지 걸리는 시간은 지구의 자전 주기인 1일보다 조금 짧다.

### 05 태양계 행성의 회합 주기

태양계 행성의 회합 주기는 지구에 가까울수록 길어지며, 외행성의 회합 주기는 공전 궤도 반지름이 길수록 1년에 가까워진다.

- 태양계 행성의 회합 주기는 지구에 가까울수록 길어지므로  $X=1$ 이다.

- 내행성은 공전 궤도 반지름이 길수록 공전 주기도 지구의 공전 주기에 가까워지므로 회합 주기가 길어진다.

- 화성에서 관측하면 목성은 토성보다 가까이 있어 공전 주기의 차가 작아 회합 주기가 길다. 따라서 화성에서 관측한 회합 주기는 목성이 토성보다 길다.

### 06 외행성의 공전 궤도 반지름

외행성의 공전 궤도 반지름은 한 점에서 외행성을 관측한 후 외행성의 공전 주기 후에 다시 지구에서 외행성을 관측하여 구할 수 있다.

- E에서 P를 관측한 후 E'에서 P를 관측할 때까지 P는 태양 주위를 한 바퀴 공전하여 다시 원래의 위치에 왔으므로 이때까지 걸리는 시간은 P의 공전 주기에 해당한다.

- ▣ E에서 관측할 때 P는 태양보다 동쪽에 위치하여 동방 이각에 위치하고, E'에서 관측하면 P는 태양보다 서쪽에 위치하여 서방 이각에 위치한다.

- ▣ P가 태양 돌레를 1회 공전하는 동안 지구는 E를 출발하여 한 바퀴 돌고 다시 E'까지 공전하였다. 이 기간 동안 지구에서 관측한 P의 위치 관계는 동구, 합, 서구를 지나 총이 되기 전까지 변하였고 총의 위치 관계는 나타나지 않았다.

## 07 케플러 제1법칙과 제3법칙

행성의 공전 주기의 제곱은 공전 궤도 긴반지름의 세제곱에 비례하므로 공전 궤도 긴반지름이 길수록 공전 주기가 길다.

◎ 케플러 제3법칙에서 행성의 공전 궤도 긴반지름의 세제곱은 공전 주기의 제곱에 비례하므로 공전 궤도 긴반지름이 같은 소행성은 공전 주기가 같다. (가)와 (나)는 공전 궤도 긴반지름이 2 AU로 같으므로 공전 주기가 같다.

✖ 행성의 공전 궤도 이심률이 가장 작은 0일 때 공전 궤도는 원이 되고, 이심률이 클수록 찌그러진 타원 궤도를 그리게 된다. (가)의 공전 궤도는 타원이고, (나)의 공전 궤도는 원이므로 공전 궤도 이심률은 (가)가 (나)보다 크다.

◎ (가)와 (나)의 공전 궤도 긴반지름과 공전 주기는 같고, 공전 궤도의 길이는 (나)가 (가)보다 길다. 따라서 평균 공전 속도는 (가)가 (나)보다 느리다.

## 08 케플러 제2법칙과 제3법칙

행성의 공전 주기의 제곱은 공전 궤도 긴반지름의 세제곱에 비례하며, 행성의 공전 속도는 근일점에서 가장 빠르고 원일점에서 가장 느린다.

✖ 지구의 공전 궤도 긴반지름이 1 AU, 공전 주기가 1년이므로 행성의 공전 궤도 긴반지름을  $a$ , 공전 주기를  $P$ 라 할 때  $\frac{a^3}{P^2} = 1$ 이다. 소행성의 공전 궤도 긴반지름이 3 AU이므로  $\frac{3^3}{P^2} = 1$ 에서 공전 주기  $P = 3\sqrt{3}$ 년이다.

◎ 소행성의 공전 궤도 긴반지름이 3 AU이므로 태양에서 A까지의 거리는 3 AU이다. O와 태양과의 거리의 제곱은  $3^2 - 2^2 = 5$ 이므로 O와 태양과의 거리는  $\sqrt{5}$  AU이다.

◎ 케플러 제2법칙에서 태양과 행성을 잇는 선분이 지나가는 면적 속도는 일정하므로 행성의 공전 속도는 근일점에서 가장 빠르고 원일점에서 가장 느린다. 소행성의 공전 속도는 A에서가 B에서 보다 빠르므로 소행성이 1년 동안 공전한 각은 A에서가 B에서 보다 크다.

## 09 타원 궤도의 이심률

타원 궤도의 이심률은 행성의 공전 궤도 긴반지름과 짧은반지름을 이용하여 구할 수도 있고, 긴반지름과 초점 거리를 이용하여 구할 수도 있다.

◎ 행성의 공전 궤도 긴반지름을  $a$ , 짧은반지름을  $b$ 라 하면 공전 궤도 이심률은  $\frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$ 이다. A에서 이심률은  $\frac{\sqrt{5^2 - 3^2}}{5} = \frac{4}{5} = 0.8$ 이다.

◎ B의 공전 궤도 긴반지름은 2 AU, 이심률은 0.5이므로  $\frac{\sqrt{2^2 - \odot^2}}{2} = \frac{1}{2}$ 이다. 따라서 짧은반지름( $\odot$ )은  $= \sqrt{3}$  AU이다.

◎ 행성의 공전 궤도 긴반지름을  $a$ , 타원 궤도의 중심에서 태양까지의 거리를  $c$ 라 하면 공전 궤도 이심률은  $\frac{c}{a}$ 이다. A의 공전 궤도 긴반지름이 5 AU이고, 이심률이 0.8이므로 타원 궤도의 중심에서 태양까지의 거리는 4 AU이며, 이때 근일점 거리는 1 AU이다.

## 10 케플러 제3법칙의 적용

태양계에서 행성의 공전 주기의 제곱은 궤도 긴반지름의 세제곱에 비례한다.

✖ 타원 궤도에서 속력은 근일점에서 가장 빠르고 원일점에서 가장 느린다. 탐사선이 지구에서 목성으로 가는 동안 태양으로부터의 거리가 점점 멀어지고 있으므로 탐사선의 속력은 점점 느려진다.

◎ 탐사선(또는 타원 궤도)의 공전 궤도 긴반지름을  $a$ , 타원 궤도의 중심에서 태양까지의 거리를  $c$ 라 하면 공전 궤도 이심률은  $\frac{c}{a}$ 이다. 태양에서 목성까지의 거리가 5 AU이므로 탐사선의 공전 궤도 긴반지름은 3 AU이며, 타원 궤도의 중심에서 태양까지의 거리는 2 AU이다. 궤도 이심률은  $\frac{2}{3} \approx 0.67$ 이므로 0.7보다 작다.

◎ 태양계에서 행성의 궤도 긴반지름을  $a$ (AU), 공전 주기를  $P$ (년)라 하면  $\frac{a^3}{P^2} = 1$ 이다. 탐사선의 궤도 긴반지름은 3 AU이며  $\frac{a^3}{P^2} = 1$ 에서  $P^2 = 27$ 이므로 탐사선의 공전 주기는 5년보다 길다. 따라서 탐사선이 목성까지 가는 데 걸리는 시간은 2.5년보다 길다.

## 11 면적 속도 일정 법칙

소행성의 공전 궤도에서 면적 속도는 일정하므로 소행성이 1년 동안 쓸고 지나간 면적이 전체 궤도 면적의  $\frac{1}{N}$ 이면 행성의 공전 주기는  $N$ 년이다.

◎ 케플러 제2법칙에 의해 타원 궤도에서 면적 속도는 일정하므로 소행성이 1년 동안 쓸고 지나간 면적은 동일하다. 따라서  $S_1$ 과  $S_2$ 는 같다.

✖  $(S_1 + S_2 + S_3 + S_4)$ 가 전체 궤도 면적의  $\frac{1}{2}$ 이면  $S_1$ 은 전체 궤도 면적의  $\frac{1}{8}$ 이므로 소행성의 공전 주기는 8년이다. 소행성의 공전 주기의 제곱은 궤도 긴반지름의 세제곱에 비례하므로 궤도 긴반지름은 4 AU이다. 따라서  $P_1$ 과  $P_3$  사이의 거리는 8 AU이다.

✖ 소행성의 공전 속도는 근일점에서 가장 빠르고 원일점에서 가장 느리며, 소행성이  $S_1$ 과  $S_3$ 을 쓸고 지나가는 데 각각 1년이 걸리므로  $P_1$ 에서  $P_2$ 까지 이동하는 데 걸리는 시간은  $P_3$ 에서  $P_4$ 까지 이동하는 데 걸리는 시간보다 짧다.

## 12 케플러 제3법칙의 응용

케플러 제3법칙을 응용하면 공통 질량 중심으로부터 각 별까지의 거리와 쌍성의 공전 주기를 이용하여 쌍성의 질량을 구할 수 있다.

☒ A와 B는 공통 질량 중심을 중심으로 양쪽에서 동일한 주기로 공전하므로 공전 주기는 같다. B의 공전 주기가 2년이므로 A의 공전 주기도 2년이다.

◎ 공전 궤도 반지름은 A가 B의 3배이므로 공전 궤도의 길이도 A가 B의 3배이다. A와 B의 공전 주기는 같으므로 공전 속도는 A가 B의 3배이다.

☒ A의 질량을  $m_A$ , B의 질량을  $m_B$ , A의 공전 주기를  $P$ , A와 B 사이의 거리를  $a$ 라 하면, 케플러 제3법칙의 응용에서  $m_A + m_B = \frac{a^3}{P^2} M_{\odot}$  ( $M_{\odot}$ : 태양 질량)이다. A와 B 사이의 거리가 4 AU이고, 공전 주기가 2년이므로  $m_A + m_B = 16M_{\odot}$ 이다. A와 B의 공전 궤도 반지름이 각각 3 AU, 1 AU이므로  $3m_A = 1m_B$ 이고,  $m_A = 4M_{\odot}$ ,  $m_B = 12M_{\odot}$ 이다. 따라서 B의 질량은 태양 질량의 12배이다.

### 수능 3점 테스트

본문 172~177쪽

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

## 01 내행성의 공전 궤도 반지를 구하기

내행성의 공전 궤도는 최대 이각을 이용하여 작도할 수 있다. 내행성의 공전 궤도 반지름은 지구와 최대 이각에 있는 행성을 지나는 직선에 태양에서 수선을 내렸을 때 수선의 길이에 해당한다.

◎ 내행성의 공전 궤도 반지름을 구할 때는 최대 이각을 이용한다. 직선 PM은 점 Q에서 반지름 OQ에 수직이므로 행성의 공전 궤도에 대하여 접선이 되고, ⑦은 이 행성의 최대 이각에 해당한다.

◎ 선분 OQ는 태양에서 행성까지의 거리이므로 선분 OQ를 반지름으로 하는 원은 이 행성의 공전 궤도이다.

◎ 탐구에서 반지름이 5 cm인 원은 지구의 공전 궤도에 해당한다. 직각 삼각형 POQ에서  $\angle OPQ = 30^\circ$ 이므로 선분 OQ의 길이 = (선분 OP의 길이)  $\times \sin 30^\circ$ ,  $5 \text{ cm} \times \sin 30^\circ = 2.5 \text{ cm}$ 이다.

따라서 행성의 공전 궤도 반지름은 지구의 공전 궤도 반지름의  $\frac{1}{2}$ 이다.

## 02 외행성의 공전 궤도 그리기

외행성의 공전 궤도 반지름은 지구에서 행성을 관측한 후, 행성의 공전 주기 후에 다시 행성을 관측하여 구할 수 있다.

☒ 이각은 태양과 천체 사이의 각으로  $180^\circ$ 보다 작은 각으로 측정한다.  $E_2$ 에서 행성  $P_1$ 의 이각은  $(360^\circ - \theta_2)$ 이다.

◎ 화성이 1회 공전하는 동안 지구는  $E_1$ 에서 출발하여 태양 주위를 한 바퀴 돌고 다시  $E_2$ 까지 공전하였으므로 지구가 공전한 각 거리는  $(360^\circ \times 2) - 42^\circ = 720^\circ - 42^\circ = 678^\circ$ 이다.

☒ 화성의 공전 궤도는 타원이므로 (마)에서 그린 공전 궤도는 타원 모양이다.

## 03 행성의 밝기 변화와 회합 주기

지구에서 관측한 행성의 밝기 변화 주기는 회합 주기에 해당한다.

☒ A는 겉보기 등급이 가장 작은 행성이므로 금성이다. 금성이 가장 밝을 때는 최대 이각 부근이므로 6월 초에 금성을 내합에 위치한다. 7월에는 금성이 서방 이각에 있는 시기이므로 지구와 금성 사이의 거리가 점점 멀어진다. 따라서 금성의 시작경은 7월이 6월보다 작다.

◎ B는 C에 비해 밝기 변화는 작고, 밝기 변화 주기는 길게 나타나므로 화성이다. 외행성은 충에서 가장 밝으므로 3월에 화성은 충 부근에 위치한다. 화성은 충 부근에서 역행하므로 3월에 B는 역행하는 시기가 있다.

☒ C는 수성이다. 수성의 밝기가 가장 줄어드는 시기는 내합이다. P는 내합에서 내합까지의 시간이므로 회합 주기에 해당한다.

## 04 공전 주기와 회합 주기

외행성의 경우 행성의 공전 주기가 길수록 회합 주기는 짧다.

◎ 중심별을 O라 하면, 최대 이각이  $30^\circ$ 이므로 선분 OA의 길이 = 선분 OB의 길이  $\times \sin 30^\circ$ 이다. 따라서 A의 공전 궤도 반지름은 B의 공전 궤도 반지름의 0.5배이다.

◎ 공전 궤도 반지름은 B가 A의 2배이므로 공전 궤도의 길이도 B가 A의 2배이다. 행성의 공전 주기의 제곱은 공전 궤도 반지름의 세제곱에 비례하므로 공전 주기는 B가 A의  $2\sqrt{2}$ 배이다. 공전 속도는 공전 궤도의 길이에 비례하고 공전 주기에 반비례하므로 공전 속도는 A가 B의  $\sqrt{2}$ 배이다.

◎ 공전 주기가 P인 A에서 관측할 때 공전 주기가 3P인 행성의 회합 주기는 1.5P이다. B의 공전 주기는 3P보다 짧으므로 회합 주기는 1.5P보다 길다.

## 05 행성의 이각 변화

외행성의 이각은  $180^\circ$ 까지 변하며 이각이  $180^\circ$ 일 때 충의 위치 관계에 있다. 내행성은 최대 이각이 존재한다.

◎ (가)는 이각이  $180^\circ$ 까지 변하므로 외행성이며, (나)는 최대 이각이 나타나므로 내행성이다. 따라서 공전 궤도 반지름은 (가)가 (나)보다 길다.

☒ (가)에서 X는 이각이  $180^\circ$ 에서  $180^\circ$ 까지 변하는 데 걸리는

시간이다. 외행성의 이각이  $180^\circ$ 인 시기는 충이다. 충에서 충까지 변하는 데 걸리는 시간은 회합 주기에 해당한다.

※. 외행성은 충 이후에 동구를 거쳐 합에 이른다. 따라서 A는 동방 이각이다.

## 06 회합 주기와 케플러 제3법칙

회합 주기는 행성의 공전 주기에 따라 달라지며, 케플러 제3법칙을 이용하면 공전 주기의 비를 이용하여 공전 궤도 반지름의 비를 구할 수 있다.

◎ A의 공전 주기 300일을  $P$ 라 하면 B의 공전 주기는  $5P$ 에 해당한다. 회합 주기를  $S$ 라 하면  $\frac{1}{P} - \frac{1}{5P} = \frac{1}{S}$ 에서  $S = 1.25P$ 이다.  $P = 300$ 일이므로  $S$ 는 375일이다.

◎  $S = 1.25P$ 이므로  $S$  동안 A가 공전한 각도는  $360^\circ + 90^\circ$ 이다. 따라서  $\theta = 90^\circ$ 이다.

※. 케플러 제3법칙으로부터  $\frac{(\text{궤도 긴반지름})^3}{(\text{공전 주기})^2}$ 은 행성 A와 B에서 같으므로 A의 공전 궤도 반지름을  $a$ , 공전 주기를  $P$ 라 할 때, B의 공전 궤도 반지름을  $b = xa$ 라 하면, 공전 주기는  $5P$ 이므로  $\frac{(xa)^3}{(5P)^2} = \frac{a^3}{P^2}$ 이다.  $\frac{x^3}{5^2} = 1$ 이므로  $x < 3$ 이다. B의 공전 궤도 반지름은 A의 공전 궤도 반지름의 3배보다 작으므로  $B\text{의 공전 궤도 반지름}{A\text{의 공전 궤도 반지름}}$ 은 3보다 작다.

## 07 행성의 공전 속도

행성의 공전 속도는 근일점에서 가장 빠르고 원일점에서 가장 느린다. 따라서 행성의 공전 속도 변화를 관찰하면 행성의 공전 주기를 구할 수 있다.

※. 행성의 공전 속도는 근일점에서 가장 빠르고 원일점에서 가장 느리므로 공전 속도가 가장 빠른 시간부터 다시 가장 빠른 시간까지의 기간은 행성의 공전 주기에 해당한다. 소행성은 16년 동안 근일점을 2회 지났으므로 소행성의 공전 주기는 8년이다. 따라서 1년 동안 소행성이 쓸고 지나간 궤도 면적은 전체 궤도 면적의  $\frac{1}{8}$ 이다.

◎ A일 때 소행성의 공전 속도는 가장 작은 값을 가지므로 소행성은 원일점에 있다.

◎ B는 공전 속도가 가장 빠른 시간이므로 소행성이 근일점을 통과하는 시간이다. 소행성의 공전 주기가 8년이고 공전 주기의 제곱은 공전 궤도 긴반지름의 세제곱에 비례하므로 공전 궤도 긴반지름은 4 AU이다. 소행성의 공전 궤도 이심률이 0.5이므로 공전 궤도의 중심에서 태양까지의 거리는 긴반지름의  $\frac{1}{2}$ 로 2 AU이다. 따라서 근일점에서 태양까지의 거리는 2 AU이다.

## 08 행성의 공전 속도

행성의 공전 속도는 공전 궤도 반지름에 비례하고 공전 주기에 반비례하므로 공전 궤도 반지름의 비와 공전 주기의 비를 알면 공전 속도의 비를 알 수 있다.

◎ A의 공전 궤도 긴반지름은 4 AU이므로 공전 궤도 긴반지름은 A가 지구의 4배이고 공전 주기는 A가 지구의 8배이다. 공전 속도 =  $\frac{\text{공전 궤도의 길이}}{\text{공전 주기}}$ 이므로 공전 속도는 A가 지구의 0.5배이다.

※. 지구에서 A가 다시 충의 위치에 오는 첫 시기는 A의 회합 주기에 해당한다. A의 회합 주기를  $S$ 라 하면  $1 - \frac{1}{8} = \frac{1}{S}$ 에서  $S = 1.14$ 이므로 A가 다시 충의 위치에 오는 첫 번째 시기는 약 1.14년 후이다.

◎ B의 공전 궤도 긴반지름은 4 AU이고 근일점 거리는 2 AU이므로 B의 공전 궤도 이심률은  $\frac{2 \text{ AU}}{4 \text{ AU}} = 0.5$ 이다.

## 09 공전에 따른 행성과 지구 사이의 거리 변화

행성과 지구 사이의 거리는 내행성의 경우 내합에서 가장 가깝고 외합에서 가장 멀다. 외행성의 경우 충에서 가장 가깝고 합에서 가장 멀다.

◎ A는 행성과 지구 사이의 거리가 가장 멀 때 2 AU보다 커지므로 외행성이고, B는 행성과 지구 사이의 거리가 가장 멀 때 2 AU보다 작으므로 내행성이다. 내행성은 행성과 지구 사이의 거리가 내합에서 가장 가깝고 외합에서 가장 멀다. 외행성은 행성과 지구 사이의 거리가 충에서 가장 가깝고 합에서 가장 멀다. A의 회합 주기는  $2(t_5 - t_3)$ 이고, B의 회합 주기는  $2(t_4 - t_2)$ 이다.  $(t_5 - t_3) > (t_4 - t_2)$ 이므로 회합 주기는 A가 B보다 길다.

※. 행성의 공전 주기는 공전 궤도 반지름이 작을수록 짧다. A는 외행성이고 B는 내행성으로 공전 주기는 A가 B보다 길다.

※.  $t_1$ 일 때 A는 충이 되기 전이므로 서방 이각에 위치하고, B는 내합이 되기 전이므로 동방 이각에 위치한다. 해가 진 직후에는 동방 이각에 있는 B만 관측할 수 있다.

## 10 행성의 위치 관계

행성의 공전 주기가 같더라도 행성의 공전 속도가 일정하지 않은 경우에는 행성의 위치 관계에 변화가 나타난다.

◎ A와 B의 공전 궤도 긴반지름은 모두 3 AU로 같으므로 A와 B의 공전 주기는 같다.

※. A와 B의 공전 주기는 같은데, 공전 궤도의 길이는 A가 B보다 길기 때문에 평균 공전 속도는 A가 B보다 크며, B는 원일점에 위치하므로 공전 궤도에서 가장 느리게 공전하는 지점에 있다. 따라서 현재 공전 속도는 A가 B보다 빠르다.

※ A의 공전 주기를  $P$ 라 하면 케플러 제3법칙에서  $\frac{P^3}{r^2} = 1$ 에서  $P \approx 5.2$ 년이다. A가 1회 공전하는 동안 지구는 5번 공전하는데, A가 현재 위치와 반대가 되는 지점 부근을 지나는 시기에는 지구가 1회 공전하는 동안 총이 나타나지 않으므로  $P$  기간 동안 총은 4번 나타난다.

## 11 공전 주기와 회합 주기

회합 주기는 공전 주기 사이의 관계를 이용하여 구할 수 있으며, 어느 행성에서 구한 다른 행성의 회합 주기는 다른 행성에서 구한 어느 행성의 회합 주기와 같다.

- Ⓐ A의 공전 주기를  $P$ , B의 공전 주기를  $P_B$ , 회합 주기를  $2P$ 라 하면  $\frac{1}{P} - \frac{1}{P_B} = \frac{1}{2P}$ 에서  $P_B = 2P$ 이다. 따라서 B의 공전 주기 Ⓛ은  $2P$ 이다.
- Ⓑ A에서 관측한 B의 회합 주기와 B에서 관측한 A의 회합 주기는 같으므로 Ⓛ은  $2P$ 이다. A에서 관측한 C의 회합 주기가  $1.25P$ 이므로 C의 공전 주기는  $5P$ 이다. B에서 관측한 C의 회합 주기를 S라 하면  $\frac{1}{2P} - \frac{1}{5P} = \frac{1}{S}$ 에서  $S = \frac{10}{3}P$ 이다. Ⓛ =  $\frac{10}{3}P > 2P$ 이므로 Ⓛ은 Ⓛ보다 작다.

- Ⓒ 행성의 공전 궤도 반지름은 A가 가장 작으므로 행성의 평균 공전 속도는 A가 가장 빠르다. 행성의 이심률은 A가 가장 크므로 근일점에서 공전 속도는 A가 가장 빠르다.

## 12 케플러 제3법칙의 적용

케플러 법칙은 외계 행성계에도 적용 가능하며, 케플러 제3법칙을 적용하면 외계 행성계의 중심별의 질량을 구할 수 있다.

- Ⓐ 행성의 공전 속도는 중심별에서 가장 가까운 지점에서 가장 빠르고 가장 먼 지점에서 가장 느린다.  $P_2$ 에서  $P_3$ 까지 이동하는 동안 공전 속도가 점점 빨라지므로  $P_3$ 은 중심별에서 가장 가까운 지점이며,  $P_1$ 에서  $P_2$ 까지 이동하는 데 걸리는 시간은 1년보다 더 걸린다. 따라서 외계 행성 P의 공전 주기는 4년보다 길다.
- ₩ 행성 P의 공전 속도는  $P_1$ 에서 가장 느리고  $P_3$ 에서 가장 빠른다. 따라서 1일 동안 이동한 각거리는  $P_1$  부근보다  $P_4$  부근에서 크다.

- Ⓒ 중심별의 질량을  $M$ , 행성 P의 질량을  $m$ , 공전 주기를  $P$ 년, 궤도 긴반지름을  $a$  AU라 하면,  $M$ 은  $m$ 에 비해 훨씬 크므로 케플러 제3법칙에 의해 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$M + m \approx M \approx \frac{4\pi^2}{G} \cdot \frac{a^3}{P^2} = \frac{a^3}{P^2} M_{\odot} \quad (M_{\odot}: 태양 질량)$$

$$P > 4\text{년} \text{이므로 } M = \frac{a^3}{P^2} M_{\odot} = \frac{(2\text{AU})^3}{(4\text{년 이상})^2} M_{\odot} < \frac{1}{2} M_{\odot} \text{이다.}$$

따라서 중심별의 질량은 태양 질량의  $\frac{1}{2}$ 보다 작다.

## 10 우리은하와 우주의 구조

### 수능 2점 테스트

본문 191~196쪽

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

### 01 연주 시차

연주 시차는 지구 공전 궤도의 양 끝에서 별을 바라보았을 때 생기는 각거리의  $\frac{1}{2}$ 이다.

₩ A의 연주 시차는  $0.05''$ 이고, B의 연주 시차는  $0.1''$ 이므로, 지구에서 A까지의 거리는  $20\text{pc}$ , B까지의 거리는  $10\text{pc}$ 이다. 따라서 별까지의 거리는 A가 B보다 멀다.

Ⓐ 별까지의 거리는 A가 B보다 멀고, 겉보기 등급은 A와 B가 같은 것으로 보아 실제 밝기는 A가 B보다 더 밝다는 것을 알 수 있다. 따라서 절대 등급은 A가 B보다 작다.

Ⓑ 거리 지수는 (겉보기 등급 - 절대 등급)으로, 거리 지수가 클수록 멀리 있는 별이다. 따라서 거리 지수는 A가 B보다 크다.

### 02 별의 등급과 거리

거리가  $r(\text{pc})$ 인 어떤 별의 겉보기 등급을  $m$ , 절대 등급을  $M$ 이라고 하면  $m - M = 5 \log r - 5$ 가 성립한다.

Ⓐ A의 거리는  $1\text{pc}$ 이므로, 거리가 가장 먼 별은 B이다.

₩ B의 절대 등급은  $-6.5$ 이므로, 절대 등급이 가장 큰 별은 A이다.

Ⓒ C의 겉보기 등급은  $2.5$ 이므로, 겉보기 등급이 가장 큰 별은 C이다.

### 03 세페이드 변광성

세페이드 변광성은 변광 주기가 길수록 광도가 크다.

Ⓐ (가)의 변광 주기는 약 27일, (나)의 변광 주기는 약 11일이다. 따라서 변광 주기는 (가)가 (나)보다 길다.

₩ 세페이드 변광성은 변광 주기가 길수록 절대 등급이 작다. (가)의 변광 주기가 (나)보다 길므로 (가)가 (나)보다 절대 등급이 작다.

Ⓒ (가)의 평균 겉보기 등급은 약 13.3, (나)의 평균 겉보기 등급은 약 15.3이므로 지구에서 관측할 때 (가)가 더 밝게 보인다.

## 04 색지수

색지수는 한 파장대에서 측정한 등급과 다른 파장대에서 측정한 등급의 차이로, 별의 표면 온도를 나타내는 척도가 된다.

Ⓐ B 필터는 파란색 근처의 빛(420 nm 부근)을 통과시키고, V 필터는 노란색 근처의 빛(540 nm 부근)을 통과시킨다. B 필터가 V 필터보다 파장이 짧은 빛을 통과시키므로 B 필터를 통과하는 빛의 파장 범위의 중앙값은 Ⓛ이다.

Ⓒ 최대 복사 에너지를 방출하는 파장( $\lambda_{\max}$ )은 표면 온도에 반비례 한다.  $\lambda_{\max}$ 는 (가)가 가장 짧으므로 (가)의 표면 온도가 가장 높다.

ⓧ 최대 복사 에너지를 방출하는 파장이 긴 빛일수록 색지수 ( $B-V$ )가 크다. 따라서 색지수( $B-V$ )는 (나)가 (다)보다 작다.

## 05 성단의 주계열 맞추기

색지수와 절대 등급이 알려진 표준 주계열성의 색등급도와 성단의 색등급도를 비교하면 성단을 구성하는 별들의 절대 등급을 알 수 있고, 이로부터 구한 거리 지수로 성단까지의 거리를 구할 수 있다.

Ⓐ 성단에 속한 별들을 색등급도에 표시하면 표준 주계열성과 비슷한 사선으로 나타난다. 이 사선에 속한 별들이 주계열성이다. 따라서 A와 B는 주계열성이다.

ⓧ 표면 온도는 A가 B보다 높으므로 색지수( $B-V$ )는 A가 B 보다 작다.

Ⓒ A와 B의 거리 지수( $m-M$ )는 약 6이므로, 성단까지의 거리 ( $r$ )는  $6=5 \log r - 5$ 로부터 약  $10^{\frac{11}{5}}$  pc이다. 따라서 이 성단까지의 거리는 100 pc보다 멀다.

## 06 우리은하의 구조

변광성의 주기 광도 관계를 이용하면 구상 성단까지의 거리를 구할 수 있다.

Ⓐ 이 천문학자는 샐러리이다. 샐러리는 구상 성단의 공간 분포를 보고 우리은하의 지름을 30 kpc보다 크게 추정하였다. 구상 성단의 공간 분포가 크게 측정된 이유는 성간 소광을 고려하지 않았기 때문이다.

Ⓑ 산개 성단은 대부분 은하수를 따라 분포하는 반면에 구상 성단은 은하수와 관계없이 천구상에서 고르게 분포한다. 샐러리는 구상 성단의 공간 분포를 통해 우리은하의 구조를 파악했다.

ⓧ 은하가 역학적으로 안정하려면 은하 중심을 기준으로 공간에 구상 성단이 대칭을 이루어 분포해야 한다. 샐러리는 궁수자리를 중심으로 구상 성단이 분포한다고 생각하였으며, 우리은하의 중심이 태양계가 아니라는 사실을 밝혀내었다. 태양계는 우리은하의 중심부에서 멀리 떨어져 있다.

## 07 구상 성단과 산개 성단

산개 성단은 수백~수천 개의 별들이 성단 내에 허술하고 불규칙하게 모여 있는 집단이고, 구상 성단은 수만~수십만 개의 별들이 구형으로 매우 오밀조밀하게 모여 있는 집단이다. (가)는 산개 성단, (나)는 구상 성단이다.

Ⓐ 산개 성단을 이루는 별들은 대체로 파란색을 띠고, 구상 성단을 이루는 별들은 대체로 붉은색을 띈다. 따라서 별들의 평균 색지수는 구상 성단이 산개 성단보다 크다.

Ⓑ 산개 성단은 주로 나이가 젊은 별들로 이루어져 있고, 구상 성단은 주로 나이가 많은 별들로 이루어져 있다. 따라서 주계열성의 평균 나이는 (가)가 (나)보다 적다.

Ⓒ 산개 성단은 수백~수천 개의 별들이 모인 집단이고, 구상 성단은 수만~수십만 개의 별들이 모여 있는 집단이다.

## 08 우리은하

A는 중앙 팽대부, B는 은하 원반, C는 혜일로이다.

Ⓐ 우리은하는 중심부(중앙 팽대부)에 막대 모양 구조가 있고, 은하 원반에 나선팔을 가지고 있는 막대 나선 은하이다.

ⓧ 혜일로도 우리은하에 속한다.

ⓧ 중앙 팽대부는 나이가 많고 붉은색 별들이 모여 볼록하게 부풀어 오른 모양을 하고 있다. 은하 원반을 이루는 나선팔에는 주로 젊고 파란색 별들과 성간 물질이 많이 분포한다.

## 09 성간 소광과 암흑 성운

암흑 성운은 성간 물질이 밀집되어 있는 곳으로 성간 티끌에 의해 별빛이 통과하지 못해 어둡게 보이는 성운이다.

Ⓐ 파장이 긴 빛일수록 성간 물질을 잘 통과한다. (가)에서는 별 A가 보이고, (나)에서는 별 A가 보이지 않는 것으로 보아 관측파장은 (나)가 (가)보다 짧다.

Ⓒ (나)에서 암흑 성운이 별 A의 빛을 흡수하여 보이지 않는 것으로 별 A는 암흑 성운보다 지구로부터 먼 거리에 위치한다.

ⓧ Ⓛ 영역에서는 별이 거의 관측되지 않고, Ⓜ 영역에서는 별들이 많이 관측되는 것으로 보아 Ⓛ 영역이 Ⓜ 영역보다 성간 물질이 밀집되어 성간 소광이 많이 일어난다는 것을 알 수 있다.

## 10 성간 소광과 성간 적색화

별과 지구 사이에 성간 물질이 있으면 별빛이 성간 물질을 통과하는 과정에서 성간 소광이 일어나 실제보다 어두워진다.

Ⓐ A와 B는 주계열성이고 절대 등급이 같으므로 별의 고유 색지수는 같다. A와 지구 사이에는 성간 물질이 없으므로 성간 적색화가 나타나지 않지만 B와 지구 사이에는 성간 물질이 존재해 별빛이 성간 물질을 통과하는 과정에서 파란색 빛의 산란이 붉은 빛보다 많이 일어나 실제보다 붉게 관측되므로 관측된 색지수는 원

래의 색지수보다 크게 나타난다. 따라서 관측된 색지수는 A가 B보다 작다.

Ⓐ A의 겉보기 등급을  $m$ 이라고 하면  $m - 0 = 5 \log 100 - 5$ 이므로,  $m$ 은 5이다.

Ⓑ B는 성간 소광을 받아 실제보다 어둡게 보인다. 성간 소광을 받지 않았을 때의 겉보기 등급이 5이므로 성간 소광을 받으면 겉보기 등급이 5보다 크다.

## 11 별의 물리량

겉보기 등급의 숫자가 작을수록 밝게 보이는 별이고, 색지수 ( $B-V$ )가 작을수록 표면 온도가 높은 별이다.

Ⓐ (가)는 B 필터의 겉보기 등급이 2.3, V 필터의 겉보기 등급이 3.0이므로 B 필터로 관측했을 때가 더 밝게 보인다.

Ⓑ (나)의 색지수 ( $B-V$ )는  $0.8 (= 3.3 - 2.5)$ 로 (+) 값을 갖는다.

ⓧ 색지수 ( $B-V$ )는 (가)가  $-0.7$ , (나)가  $0.8$ , (다)가  $0$ 이므로 표면 온도는 (가)가 가장 높다.

## 12 우리은하의 중성 수소 분포

21 cm 전파를 통해 중성 수소의 분포를 알 수 있으며, 이를 통해 우리은하의 나선팔 구조를 알아낼 수 있었다.

Ⓐ A는 은하 중심에 가려 보이지 않는 곳이다.

ⓧ 중성 수소 분포는 은하 원반에서 방출된 21 cm 전파를 전파망원경으로 관측한 후 도플러 이동에 따른 편이량을 측정하여 알아내었다.

Ⓒ 21 cm 전파를 이용하면 중성 수소의 분포를 알 수 있으며, 이 결과 우리은하가 여러 개의 나선팔로 이루어져 있음을 알아내었다.

## 13 성간 소광과 성간 적색화

성간 티끌에 의해 별빛이 산란되거나 흡수되어 우리 눈에 도달하는 빛의 양이 감소하는 것을 성간 소광이라고 한다.

Ⓐ 별빛이 성간 티끌을 통과할 때 파장이 짧은 파란색 빛은 잘 산란되고, 파장이 긴 붉은색 빛은 상대적으로 잘 통과하여 별이 실제보다 밝게 보이는 성간 적색화 현상이 일어난다. 따라서 성간 티끌을 통과한 별빛은 관측자 A에게 실제보다 밝게 보인다.

Ⓒ 관측자 B 쪽으로는 파장이 짧은 빛이 산란되어 오므로 B는 반사 성운을 관측할 것이다.

ⓧ 별빛이 성간 티끌을 통과할 때 파장이 짧은 빛은 성간 티끌에 의해 쉽게 산란되고, 파장이 긴 빛은 상대적으로 잘 통과한다.

## 14 방출 성운

방출 성운은 H II 영역의 전리된 수소가 자유 전자와 재결합하는 과정에서 빛을 방출하여 밝게 보이는 성운이다.

Ⓐ A 영역에 있는 성운은 붉은색의 가시광선에 해당하는 방출선을 강하게 방출하는 방출 성운이다.

㉡ 방출 성운은 주요 구성 물질인 중성 수소 원자가 고온의 별에서 방출되는 자외선을 흡수하여 이온화되고, 이온화된 수소가 다시 자유 전자와 결합하여 중성 수소가 되는 과정에서 에너지를 방출하여 나타난다. 그러므로 방출 성운 근처에는 고온의 별이 존재한다.

ⓧ A 영역의 방출 성운은 전리된 수소에 의해 밝게 빛난다.

## 15 성간 기체

성간 기체는 전체 성간 물질의 약 99 %를 차지하고 대부분 수소로 이루어져 있다. 성간 기체를 이루고 있는 수소는 온도가 높을 수록 밀도가 작은 경향을 보인다.

Ⓐ H I 영역은 수소 원자, H II 영역은 수소 원자핵과 자유 전자가 주 구성원이다.

Ⓒ 성간 기체는 저온에서는 분자로 존재하지만 고온에서는 전리된다. 따라서 분자운의 온도는 H II 영역보다 낮다.

ⓧ 온도가 높을수록 입자의 운동이 활발해지므로 입자간 거리가 멀어져 밀도가 작아진다. 따라서  $1 \text{ m}^3$ 에 들어 있는 수소 입자의 개수는 분자운 > H I 영역 > H II 영역 순이다.

## 16 별의 운동

별의 공간 속도는  $\sqrt{(\text{시선 속도})^2 + (\text{접선 속도})^2}$ 이다.

Ⓐ 시선 속도는 태양에 다가오는 방향이면 (-) 값을, 태양에서 멀어지는 방향이면 (+) 값을 가진다.

Ⓒ 공간 속도를  $V$ 라고 하면 시선 속도는  $V \cos 30^\circ$ 이고 접선 속도는  $V \sin 30^\circ$ 이다. 그러므로  $\frac{\text{시선 속도의 크기}}{\text{접선 속도의 크기}} = \frac{V \cos 30^\circ}{V \sin 30^\circ} = \sqrt{3}$ 이다.

Ⓓ 고유 운동을  $\mu$ ("/년), 별까지의 거리를  $r$ (pc)라고 하면, 접선 속도는 약  $4.74 \mu r$ 이다. 접선 속도가  $47.4 \text{ km/s}$ 이므로  $47.4 \text{ km/s} = 4.74 \times \mu \times 100$ 이다. 따라서 고유 운동( $\mu$ )은 약  $0.1$ "/년이다.

## 17 중성 수소와 21 cm 전파

중성 수소는 양성자와 전자의 스핀 방향에 따라 두 종류의 에너지 상태로 존재한다.

Ⓐ 21 cm 파는 중성 수소에서 방출된다.

Ⓒ 에너지가 높은 상태에서 낮은 상태로 변할 때 에너지가 방출되므로 Ⓢ은 Ⓣ보다 에너지가 높은 상태이다.

Ⓒ 21 cm 파장은 전파 영역이다.

## 18 우주 거대 구조

대부분의 은하들은 우주 공간에서 그물망과 비슷한 거대 가락 구조를 따라 존재하며, 이러한 구조를 은하 장성이라고 한다.

- ☒ 우주 거대 구조에 나타난 점은 은하 1개를 나타낸다.
- ◎ A는 은하들이 밀집한 은하 장성 중 일부이고 B는 거대 공동이다. 거대 공동의 밀도는 우주 평균 밀도의  $\frac{1}{10}$  배보다 작다.
- ◎ 암흑 물질은 질량이 있으므로 중력적으로 우리가 관측할 수 있는 일반 물질을 끌어당긴다. 암흑 물질이 분포하는 형태에 따라 현재와 같은 우주 거대 구조가 형성되었다.

## 19 21 cm 전파의 관측과 해석

- 케플러 회전을 하는 경우 우리은하 중심으로부터 멀어질수록 회전 속도가 느려진다.
- ◎ A와 B는 케플러 회전을 하고 있으므로 은하 중심에서 B보다 더 멀리 있는 A의 회전 속도가 느린다.
  - ◎ A는 회전 속도가 태양보다 느리므로 태양과 가까워지고 있어 시선 속도가 (-) 값이고, B는 회전 속도가 태양보다 빠르므로 태양과 멀어지고 있어 시선 속도가 (+) 값이다.
  - ◎ 중성 수소 원자수가 많을수록 21 cm 전파의 복사 세기가 강하다. (나)를 보면 ⑦(A)보다 ⑧(B)의 복사 세기가 강하므로 중성 수소 원자수는 B가 더 많다.

## 20 우리은하의 회전 속도

- 태양과 별 A~D는 케플러 회전을 하고 있으므로 은하 중심에 가까울수록 회전 속도가 빠른다.
- ◎ 태양에서 관측할 때 A는 은하 중심 방향에 대해 직각 방향으로 이동하는 것처럼 보이므로 시선 속도는 0이다.
  - ☒ B는 태양과 회전 속도가 같아 시선 속도는 0이지만 접선 속도는 존재하므로 공간 속도가 0이 아니다.
  - ☒ C와 D는 태양보다 회전 속도가 느린다. C는 태양에서 멀어지고 있으므로 적색 편이, D는 태양에 가까워지고 있으므로 청색 편이가 나타난다.

## 21 은하의 회전 속도 곡선

- 은하 중심부에 질량이 집중되어 있으면 은하 중심부는 거리에 따라 회전 속도가 증가하는 강체와 같은 회전을 하고 질량이 거의 없는 구간은 거리가 증가할수록 회전 속도가 감소하는 케플러 회전을 해야 한다.
- ◎ A 구간은 거리가 멀수록 회전 속도가 증가하는 강체와 같은 회전을 하고 있다.
  - ☒ ⑦과 ⑧은 회전 속도가 같지만 은하 중심으로부터의 거리가 ⑨이 ⑦보다 멀므로 ⑧의 공전 주기가 더 길다.
  - ☒ A 구간의 바깥에서 거리에 따라 은하의 회전 속도가 감소하지 않으므로 이 나선 은하는 케플러 회전을 하지 않는다. 따라서 은하의 중심부 이외에도 많은 양의 물질이 분포한다는 것을 알 수 있다.

## 22 다른 파장으로 본 은하수

- 근적외선은 가시광선보다 파장이 길어 성간 소광이 더 적게 일어난다.
- ◎ (가)는 (나)보다 은하수의 모습이 더 잘 보이므로 근적외선으로 관측한 것이다.
  - ☒ (가)와 (나)는 지구에서 관측한 은하수의 모습이다. 지구에서 관측할 때 은하 중심 방향을 기준으로 좌우로  $180^{\circ}$ 까지 관측한 모습을 나타낸 것으로, 그림의 끝은 지구에서 관측할 때 은하 중심의 반대 방향이다. 따라서 A는  $360^{\circ}$ 이고, 우리은하의 지름이 아니다.
  - ☒ 성간 티끌은 적외선 영역보다 가시광선 영역의 빛을 더 잘 흡수하거나 산란시켜 성간 소광을 일으킨다. (나)의 은하면이 (가)보다 더 어두운 것으로 보아 성간 소광량은 (나)가 더 많다는 것을 알 수 있다.

## 23 은하의 집단

- 은하들은 독립적으로 존재하는 것이 아니라 다양한 규모의 집단을 이루고 있다.
- ☒ 은하군과 은하단을 이루는 은하들은 서로 중력적으로 묶여 있기 때문에 은하까지의 거리가 멀수록 후퇴 속도가 크다는 허블 법칙을 따르지 않는다. 따라서 A 은하에서 같은 은하군 내에 있는 B 은하를 관측하면 허블 법칙을 만족하지 않는다.
  - ◎ 은하들의 집단 규모는 초은하단 > 은하단 > 은하군이다.
  - ☒ 은하단 (나)를 이루는 은하들은 중력적으로 묶여 있다. 초은하단을 구성하는 각 은하단들은 서로의 중력에 묶여 있지 않으므로 (나)는 모든 은하가 중력적으로 묶여 있다고 할 수 없다.

## 24 우주 거대 구조

- 우주 공간을 채우고 있는 암흑 물질은 질량이 있으므로 중력이 작용하여 우리가 관측할 수 있는 보통 물질을 끌어 당긴다.
- ☒ 초기 우주에서는 물질이 약간 뭉쳐 있는 상태에서 시간이 지날수록 밀도가 큰 지역으로 좀 더 많은 물질이 끌려 들어가 거대 구조가 뚜렷해지므로 거대 구조가 더 뚜렷한 모습을 보일수록 나중에 형성된 것이다. 그러므로 (나) → (다) → (가) 순으로 형성되었다.
  - ◎ 은하 장성은 은하들이 떠를 이루고 있는 거대한 구조로 (나)에서는 은하들이 흩어져 있어 은하 장성이 잘 보이지 않고 (가)에서는 뚜렷한 줄무늬로 은하 장성이 관찰된다.
  - ☒ 우주에서 은하가 거의 없는 공간을 거대 공동이라고 한다. 우주 전체 공간에서 은하가 차지하는 부피는 일부분이고 거대 공동이 대부분을 차지한다.

### 수능 3점 테스트

본문 197~208쪽

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

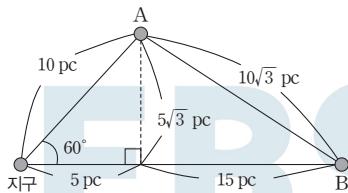
## 01 걸보기 등급과 절대 등급

별의 밝기는 거리의 제곱에 반비례한다. 또한 별의 밝기는 등급으로 나타내며, 1등급의 별은 6등급의 별보다 100배 밝다.

☒ C는 거리 지수가 5이므로 지구에서 C까지의 거리는 100 pc이다. 따라서 ⑦은 80 pc이다.

Ⓐ B는 10 pc에 있을 때보다 밝기가 4배 어둡다. 1등급 간의 밝기 차이가 약 2.5배이므로 ⑤이 5라면 B는 10 pc에 있을 때보다 약 6.25배 어두워야 한다. 따라서 ⑤은 5보다 작다.

Ⓒ A와 B 사이의 거리는  $10\sqrt{3}$  pc( $\approx 17$  pc)이다.



A에서 바라본 B가 10 pc에 있을 때보다 약 1.7배 멀어졌으므로 밝기는  $(1.7)^2$ 배( $\approx 2.89$ 배)만큼 어두워졌다. 2.5배보다 더 어두워졌으므로 걸보기 등급은 절대 등급에서 1보다 조금 더 크게 증가한다.

## 02 세페이드 변광성

세페이드 변광성은 변광 주기가 길수록 광도가 크다.

☒ (가)에서 걸보기 등급이 가장 클 때에서 다음으로 가장 클 때까지 걸린 시간은 약 30일이다. 따라서 A의 변광 주기는 약 30일이다.

Ⓐ 절대 등급이 작을수록 광도는 크다. 변광 주기가 같을 때 종족 I 세페이드 변광성보다 종족 II 세페이드 변광성의 절대 등급이 더 크므로 광도는 종족 I 세페이드 변광성이 크다.

☒ A가 종족 I 세페이드 변광성일 때의 절대 등급은 약 -5.2, 종족 II 세페이드 변광성일 때의 절대 등급은 약 -3.7이다. 평균 걸보기 등급은 4.8이므로 A가 종족 I 세페이드 변광성일 때의 거리는 약  $10^3$  pc( $=1000$  pc)이고, A가 종족 II 세페이드 변광성일 때의 거리는 약  $10^{2.7}$  pc( $>100$  pc)이므로 거리 차는 900 pc보다 작다.

## 03 우리은하의 모양 연구

허셜은 최초로 우리은하 지도를 작성하였고 태양이 우리은하의

중심에 있다고 생각하였다.

Ⓐ A는 허셜, B는 카페인의 연구 내용이다.

Ⓑ 태양이 우리은하의 중심 가까이에 위치하며, 납작한 회전 타원체를 이루고 있는 것은 카페인의 주장한 우리은하의 모습이다.

☒ 현재 알려진 우리은하의 지름은 약 30 kpc이다. 카페인의 주장한 우리은하의 지름은 최대 16 kpc이다.

## 04 우리은하

은하수는 지구에서 은하 원반을 관측하는 부분에서 나타난다.

☒ 은하수는 은하 원반을 관측하는 것이므로 ⑦ 방향으로도 관측된다. (나)를 보면 은하수는 모든 적경에서 나타난다는 것을 알 수 있다.

Ⓐ 성간 물질이 차지하는 비율은 은하 중심부보다 나선팔이 있는 A 쪽이 더 높다.

Ⓒ 궁수자리는 적경 약  $18^h$ , 적위  $-30^\circ$ 에 위치한다. 우리나라에서 여름철 자정에 적경  $18^h$ 인 천체가 남중하고, 적위  $-30^\circ$ 인 천체도 지평선 위에 위치하므로 은하 중심 부근의 은하수를 관측할 수 있다.

## 05 구상 성단과 산개 성단

(가)는 질량이 작은 주계열성과 적색 거성 가지, 접근 거성 가지, 수평 가지 등이 나타나는 것으로 보아 구상 성단이고, (나)는 주로 주계열성이 나타나는 것으로 보아 산개 성단이다.

Ⓐ 산개 성단은 주로 나이가 적고 파란색 별들로 구성되어 있고, 구상 성단은 주로 나이가 많고 붉은색 별들로 구성되어 있다.

Ⓒ 별 ⑦의 색지수( $B-V$ )는 0.8이다. V 필터를 이용하여 관측한 등급이 9이므로 B 필터를 이용하여 관측한 등급은 9.8이다.

Ⓓ 색지수가 0.4인 주계열성의 V 필터를 이용하여 관측한 걸보기 등급이 (가)는 약 19이고, (나)는 약 6이다. (가)의 걸보기 등급이 (나)보다 크므로 거리 지수도 (가)가 (나)보다 크다.

## 06 성간 소광과 성간 적색화

별빛이 성간 물질을 통과하면 성간 소광과 성간 적색화가 일어난다.

☒ 별빛이 성운을 통과하면 성간 소광이 일어나기 때문에 B는 A보다 별 S를 더 어둡게 관측한다.

☒ 별빛이 성운을 통과하면 성간 적색화가 일어나 B는 A보다 상대적으로 붉은 빛을 더 많이 관측한다. 따라서 B에서 별의 색지수는 원래 값보다 크게 관측된다.

Ⓓ ⑦은 ⑦보다 파장이 짧은 빛의 복사 세기가 낮은 것으로 보아 성간 소광과 성간 적색화가 일어난 것이므로, A가 관측한 것은 ⑦이다.

## 07 성간 소광

성간 소광량은 대체로 빛의 파장이 짧을수록 많아진다.

Ⓐ B 필터는 파장이 짧은 파란 빛 영역, V 필터는 파장이 긴 노란 빛 영역을 관측하므로 B 필터로 관측할 때 성간 소광량이 더 많다.

ⓧ A는 성간 기체, B는 성간 티끌이다. 성간 소광은 주로 성간 티끌에 의해 일어난다.

ⓧ 자외선은 성간 소광을 적외선보다 많이 받으므로 은하 중심부를 관측할 때는 적외선을 이용하는 것이 더 유리하다.

## 08 항성 계수법을 이용한 성간 소광량

암흑 성운에 가려져 있는 별들은 성간 소광 때문에 암흑 성운이 없을 때보다 어둡게 보인다. 이를 이용하여 성간 소광량을 구할 수 있다.

Ⓐ 항성 계수법으로 정확한 결과를 얻으려면 별의 크기에 따른 밝기를 다르게 계산하여야 하지만 이 실험에서는 별의 개수만 세서 밝기를 비교하였으므로 별들의 밝기가 모두 같다는 가정이 필요하다.

Ⓑ 항성 계수법은 같은 영역의 하늘에는 동일한 숫자의 별이 존재한다는 가정이 필요하다.

Ⓒ  $L_0=4$ ,  $L=40$ 이므로  $\frac{L}{L_0}=10$ 이다. 이를 (라)의 공식에 대입하면  $10=10^{\frac{2}{5} \times \text{성간 소광량}}$ 이므로, 성간 소광량은 2.5이다.

## 09 연주 시차와 색초과

A와 B의 연주 시차는 0.01"이므로 별까지의 거리는 100 pc이다.

Ⓐ A의 연주 시차는 0.01"이므로 지구에서 A까지의 거리는 100 pc이다. (절대 등급-관측된 겉보기 등급)으로 구한 거리는 100 pc보다 멀게 나타나는데, 이는 성간 소광이 나타났기 때문이다.

ⓧ A와 B는 거리와 절대 등급이 같은데 B의 겉보기 등급이 더 큰 것으로 보아 B가 성간 소광을 더 많이 받았다는 것을 알 수 있다. 성간 소광을 많이 받을수록 관측된 색지수 값이 커지므로 B가 색초과가 더 크다.

Ⓒ 거리가 100 pc이면 거리 지수가 5이어야 하는데, A의 거리 지수는 6, B의 거리 지수는 8인 것으로 보아 A와 B 모두 성간 소광을 받았다.

## 10 태양계 부근 별들의 운동

케플러 회전을 하면 별들의 궤도 운동 속도는 중심에서 멀어질수록 느려진다.

Ⓐ 나선팔의 모양으로 보아 나선팔은 시계 방향으로 회전하고 있다. A는 태양보다 은하 중심에 가까우므로 태양보다 궤도 운동

속도가 빨라 태양에서 멀어지는 것처럼 보인다. 따라서 시선 속도는 (+) 값이다.

ⓧ 은하 중심에서 태양까지의 거리보다 은하 중심에서 B까지의 거리가 더 멀므로 B는 태양보다 궤도 운동 속도가 느린다. 따라서 태양에서 B까지의 거리는 변한다.

Ⓒ 은하 중심에서 B와 C까지의 거리가 같으므로 B와 C의 궤도 운동 속도는 같다. B와 C 사이의 거리는 일정하게 유지되므로 B에서 바라본 C의 시선 속도는 0이다.

## 11 별의 공간 운동

시선 속도는 별의 스펙트럼에서 나타난 편이랑을 이용하여 구하고, 접선 속도는 고유 운동과 별까지의 거리를 이용하여 구한다.

Ⓐ 거리 지수가 5이므로 별 A까지의 거리는 100 pc이다.

Ⓒ 시선 속도( $V_r$ )는  $V_r = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \times c$  ( $\lambda_0$ : 정지 상태의 흡수선 파장,  $\Delta\lambda$ : 관측한 별의 흡수선 파장 변화량,  $c$ : 빛의 속도)이므로,  $90 \text{ km/s} = \frac{\Delta\lambda}{500} \times 3 \times 10^5 \text{ km/s}$ ,  $\Delta\lambda = 0.15$ 이다. 따라서 A의 스펙트럼에 나타나는 흡수선의 파장은 500.15 nm이다.

Ⓓ 접선 속도( $V_t$ )는  $V_t = 4.74\mu r$  ( $\mu$ : 고유 운동,  $r$ : 별까지의 거리)이므로, 약 474 km/s이다.

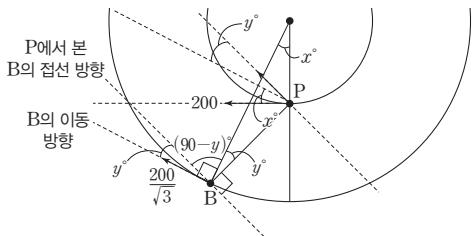
## 12 태양계 부근의 공간 운동

케플러 제3법칙은  $\frac{r^3}{P^2} = k$  ( $r$ : 공전 궤도 긴반지름,  $P$ : 공전 주기,  $k$ : 상수)이다.  $P = \frac{2\pi r}{v}$  ( $v$ : 공전 속도)을 대입하면  $\frac{v^2 r}{4\pi^2} = k$  이므로  $v \propto \frac{1}{\sqrt{r}}$ 이 성립한다.

Ⓐ P, A, B는 케플러 회전을 하므로 은하 중심에서 멀수록 공전 속도가 느린다. P가 A와 B보다 빨라 A, B와의 거리가 가까워지고 있으므로 P에서 관측한 A의 시선 속도는 (-) 값을 가진다.

Ⓒ 케플러 회전을 하므로 회전 속도( $v$ )는 은하 중심으로부터의 거리( $r$ )의 제곱근에 반비례한다 ( $v \propto \frac{1}{\sqrt{r}}$ ). P의 회전 속도( $v_p$ )는 200 km/s이므로  $v_p = 200 \text{ km/s} = \frac{k}{\sqrt{2 \text{ kpc}}}$  가 성립한다.  $k = 200\sqrt{2}$ 이므로  $v_B = \frac{k}{\sqrt{6}} = \frac{200\sqrt{2}}{\sqrt{6}} = \frac{200}{\sqrt{3}}$  (km/s)이다. 따라서  $v_p$ 는  $v_B$ 의  $\sqrt{3}$ 배이다.

Ⓓ B는 원의 접선 방향으로  $\frac{200}{\sqrt{3}}$  km/s로 회전하고 있다. P에서 본 B의 접선 방향은 B 회전 궤도의 접선에서  $y^\circ$ 만큼 차이가 나므로 B의 P에 대한 접선 방향 성분은  $\frac{200}{\sqrt{3}} \cos y^\circ$ 이고, P에서 B와 같은 방향 속도 성분은  $200 \cos(x^\circ + y^\circ)$ 이다. 따라서 P에서 관측한 B의 접선 속도는  $200 \cos(x^\circ + y^\circ) - \frac{200\sqrt{3}}{3} \cos y^\circ$ 이다.



### 13 성간 기체

분자운 영역에서 중력 수축에 의해 새롭게 탄생한 고온의 별은 주변에 자외선을 방출하며 수소의 온도를 높여 이온화된 수소 영역을 만들어낸다.

Ⓐ A는 H II 영역, B는 H I 영역이다. 온도는 이온화된 수소 영역인 H II 영역이 중성 수소 영역인 H I 영역보다 높다.

ⓧ 주변에 자외선을 분출하여 H II 영역을 만드는 별은 표면 온도가 매우 높을 것이므로 분광형은 O형이나 B형일 것이다. K형과 M형은 표면 온도가 낮은 별로, 자외선보다 가시광선을 주로 방출한다.

ⓧ A는 H II 영역으로 이온화된 수소가 자유 전자와 결합하며 붉은색 계열의 빛을 방출하는 방출 성운이 관측될 것이다.

### 14 천체의 거리 측정

A는 레이더가 천체에서 반사되어 돌아오는 시간을 측정하여 거리를 구하는 방법으로, 약 1 AU까지의 거리를 측정할 수 있다. B는 연주 시차를 이용하여 거리를 구하는 방법으로, 약 1000 pc 까지의 거리를 측정할 수 있다. C는 성단의 겉보기 등급과 주계열과의 거리 지수를 이용하여 거리를 구하는 방법으로 약 10 kpc 까지의 거리를 측정할 수 있다. D는 세페이드 변광성을 이용하여 거리를 구하는 방법으로, 약 25 Mpc까지의 거리를 측정할 수 있다. E는 허블 법칙을 이용하여 거리를 구하는 방법이다.

ⓧ C는 성단을 이용한 방법으로 주로 우리은하 내에 있는 성단까지의 거리를 측정하는 방법이고, D는 외부 은하에 있는 변광성을 측정하면 가능하므로 D가 더 멀리 있는 은하까지의 거리를 알 수 있는 방법이다. 하지만 성단 내에도 변광성은 존재하므로 성단 내의 변광성의 변광 주기를 측정하면 D를 이용하는 것도 가능하다. 따라서 C와 D로 측정할 수 있는 거리 범위는 겹치는 부분이 존재한다.

Ⓒ 세페이드 변광성의 변광 주기를 측정하면 주기 광도 관계를 이용하여 절대 등급을 구할 수 있다. 이렇게 구한 절대 등급과 측정한 변광성의 평균 겉보기 등급을 이용하여 거리를 측정한다.

Ⓒ B는 연주 시차를 이용한 방법이고, E는 허블 법칙을 이용한 방법이다. 그림을 보면 E가 B보다 멀리 있는 천체의 거리를 측정할 수 있다.

### 15 우리은하의 질량

방법 A는 광도를 활용하여 우리은하의 질량을 추정하는 방법이고, 방법 B는 우리은하의 회전 속도 분포를 이용하여 역학적인 방법으로 질량을 구하는 방법이다.

Ⓐ 방법 A로 구한 우리은하의 질량은 태양 질량의 약  $10^{11}$ 배이다. 방법 B로 구한 우리은하의 질량은 약  $1.8 \times 10^{11}$ 배로, B로 구한 우리은하의 질량이 A로 구한 우리은하의 질량보다 크다.

Ⓑ 별의 운동을 이용한 우리은하의 질량 계산 방법에서는 별의 궤도 한쪽 물질의 총질량은 은하 질량이 별에 미치는 만유인력과 별이 원운동하기 위해 필요한 구심력과 같다 것으로 계산한다.

Ⓒ 광학적 관측으로 추정한 우리은하의 총질량이 역학적인 방법으로 계산한 우리은하의 총질량보다 작다는 것은 우리은하에 빛을 내지 않는 물질이 존재한다는 것으로 암흑 물질의 존재를 의미하는 것이다.

### 16 은하의 회전 속도 곡선을 이용한 은하의 질량

우리은하의 질량을  $M$ , 태양의 질량을  $m$ , 은하 중심에서 태양까지의 거리를  $r$ , 태양의 회전 속도를  $v$ , 중력 상수를  $G$ 라고 할 때,  $\frac{GMm}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$ 인 관계가 성립하므로 은하의 질량은  $M = \frac{rv^2}{G}$ 이다.

ⓧ 은하의 질량은 회전 속도의 제곱에 비례하므로 질량은 A가 B의 4배이다.

Ⓐ 회전 속도가 같을 때, 은하의 질량은 거리와 비례하므로 0~4 kpc까지의 질량은 0~2 kpc까지의 질량의 2배이다. 따라서 0~2 kpc 사이의 질량과 2~4 kpc 사이의 질량은 같다.

ⓧ 은하의 질량이 중심부에 집중되어 있다면 강체 회전을 하는 1 kpc 이후에는 케플러 회전을 해야 하는데 1 kpc 이후 은하의 회전 속도가 일정한 것으로 보아 은하 중심부의 바깥 부분에도 물질이 많이 분포한다는 것을 알 수 있다.

### 17 은하 좌표계와 21 cm 전파

은경은 은하 중심을 기준으로 동쪽 방향으로 젠 각으로  $0^\circ \sim 360^\circ$ 로 표시하며, 은위는 은하 적도에서 은하 북극과 은하 남극 쪽으로 젠 각으로  $+90^\circ$ (은하 북극)~ $-90^\circ$ (은하 남극)로 표시한다.

Ⓐ 은하 중심은 적경 약  $17^\text{h} 45^\text{m}$ , 적위 약  $-29^\circ$ 에 위치한다. A는 은경이  $90^\circ$ , 은위가  $0^\circ$ 이므로 은하 중심에서 동쪽 방향으로  $90^\circ$ 에 위치하여 천구의 적도보다 위쪽에 위치하므로 적위가 (+) 값을 가진다. B는 은경이  $270^\circ$ 이므로 천구의 적도보다 아래쪽에 위치하여 적위가 (-) 값을 가진다.

Ⓒ 21 cm 전파의 세기가 은하 적도가 은하의 극지방보다 강한 것으로 보아 중성 수소 밀도는 은하 적도가 더 크다는 것을 알 수 있다.

ⓧ A 방향은 은경  $90^\circ$ 로 케플러 회전을 하는 중성 수소 구름은

태양보다 회전 속도가 느릴 것이므로 시선 속도가 모두 (+) 값을 가진다고 말할 수 없다.

## 18 색등급도와 주계열 맞추기

지구에서 B까지의 거리는 100 pc이므로 B의 거리 지수( $m - M$ )는  $5(=5 \log 100 - 5)$ 이다.

Ⓐ A에는 전향점이 나타나지 않는데, B는 전향점이 관측되므로 B의 나이가 더 많다는 것을 알 수 있다. Ⓡ과 Ⓢ은 수명이 같은데 B에 속한 Ⓡ의 나이가 더 많으므로 잔여 수명은 Ⓡ이 Ⓢ보다 더 많다.

Ⓒ 색등급도에서 색지수는 왼쪽으로 갈수록 작아진다. B보다 A가 왼쪽에 위치하므로 평균 색지수는 A가 B보다 작다.

Ⓓ A의 주계열성은 B의 주계열성보다  $10^{\frac{4}{5}}$ 배 어두운데, 1등급 간의 밝기 차이는  $10^{\frac{2}{5}}$ 배이므로 A의 주계열성은 B의 주계열성보다 겉보기 등급이 2만큼 크다. B의 거리 지수는 5이므로 A의 거리 지수는 7이다. 따라서 A의 거리는  $10^{2.4}$  pc이다.

## 19 성간 소광

성간 티끌은 별빛을 흡수하거나 산란시켜 우리 눈에 도달하는 별빛의 양을 감소시킨다.

Ⓐ 성간 티끌은 파장이 짧을수록 빛을 더 잘 흡수하거나 산란시켜 성간 소광을 일으킨다. 그러므로 파장이 길수록 성간 소광의 영향을 덜 받아 성운 뒤쪽의 별 모습이 보일 것이다. 하지만 근적 외선보다 파장이 긴 중적외선 영역은 성간 티끌이 파장이 짧은 빛을 흡수했다가 방출하는 전자기파 영역대이므로 성간 티끌의 모습이 더 잘 보여 성운 뒤편의 모습이 보이지 않을 것이다. 따라서 (가)가 근적외선, (나)가 중적외선으로 관측한 모습이다.

Ⓑ 성간 티끌은 중적외선 영역대의 전자기파를 방출하므로 (나)는 (가)보다 성운 내부의 모습이 더 보이지 않는 것을 알 수 있다. 따라서 별이 생성되고 있는 장소나 은하 중심부를 자세히 관측하려면 근적외선 영역대를 관측해야 한다.

Ⓒ 별 A는 성간 소광을 받아 성간 적색화 현상이 나타난다. 성간 적색화가 일어나면 색지수( $B - V$ )가 고유의 색지수( $B - V$ )보다 크게 관측된다.

## 20 성간 소광

성운은 성간 기체와 성간 티끌로 이루어져 있다.

Ⓐ 성운 속에 포함된 성간 티끌의 양이 많을수록 성간 소광량은 증가한다. 성운 Ⓡ이 성운 Ⓢ보다 성간 티끌이 더 많으므로 소광 등급도 더 크다.

Ⓒ (나)에서 소광 등급이 증가할수록 중성 수소 원자가 존재할 수 있는 온도가 낮아지는 것을 알 수 있다.

☒. (나)에서 소광 등급이 클수록 중성 수소 원자가 존재하는 온도 범위가 작아지는 것을 알 수 있다. 성운 Ⓡ은 성운 Ⓢ보다 소광 등

급이 크므로, 중성 수소 원자가 존재할 수 있는 온도 범위는 성운 Ⓡ보다 성운 Ⓢ에서 넓다.

## 21 반사 성운

파장이 짧은 빛은 성간 티끌에 쉽게 흡수되거나 산란되고 파장이 긴 빛은 상대적으로 성간 티끌을 잘 통과한다.

☒. 반사 성운은 산란된 별빛이 보이는 것으로 자체적으로 빛을 방출하지 않는다. 따라서 Ⓡ은 ‘반사’이다.

Ⓒ 성간 티끌에 의한 산란은 파장이 짧은 파란색 빛에서 잘 일어나므로 반사 성운은 주로 파란색으로 관측된다.

☒. M78이 밝게 보이는 이유는 먼지 구름에 포함된 성간 티끌이 파장이 짧은 빛을 산란시키기 때문이다.

## 22 중력 렌즈 현상

중력 렌즈 현상은 멀리 있는 천체에서 나온 빛이 중간에 있는 천체에 의해 휘어져 보이는 현상이다.

Ⓐ  $\lambda_1$ 과  $\lambda_2$ 은 산소의 방출선이다. A와 B는 같은 은하이므로 산소의 방출선도 같은 파장에서 나타난다.

☒. 중력 렌즈 현상은 모든 종류의 전자기파에 나타나므로 가시광선에서도 중력 렌즈 현상이 관측된다.

☒. C의 질량이 감소하면 중력 렌즈 효과가 (가)에서보다 약하게 일어난다. 중력 렌즈 효과가 약해지면 은하군 C에 가까운 빛만 휘어지게 할 수 있으므로  $r$ 은 현재보다 감소할 것이다.

## 23 은하의 집단

수십 개의 은하들이 서로의 중력에 속박되어 구성된 집단을 은하군이라고 하며, 수백 내지 수천 개의 은하들이 서로의 중력에 속박되어 구성된 집단을 은하단이라고 한다. 은하군과 은하단으로 이루어진 대규모 은하 집단을 초은하단이라고 하며, 초은하단을 구성하는 각 은하단들은 서로의 중력에 속박되지 않는다.

☒. 국부 은하군의 무게 중심은 은하군 내에서 질량이 큰 우리는 하와 안드로메다은하의 사이에 있다.

Ⓐ 초은하단들을 구성하는 각 은하단들은 서로의 중력에 속박되어 있지 않아 허를 법칙을 만족한다. 따라서 국부 은하군에서 멀리 떨어진 화로자리 은하단에 속한 은하들은 모두 적색 편이가 관측될 것이다.

☒. 우주에는 초은하단보다 거대한 규모의 은하 장성과 거대 공동(보이드)이 존재한다.

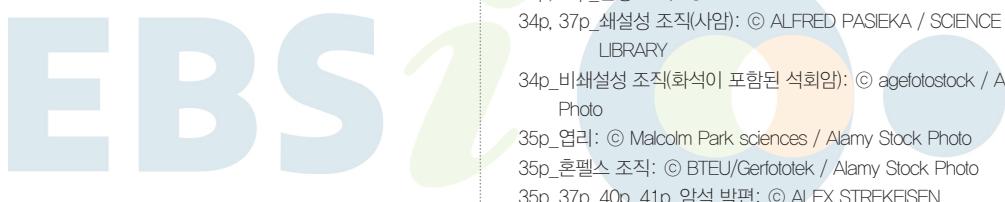
## 24 우주 거대 구조

우주는 거대 가락이 거대 공동을 둘러싼 거품처럼 생긴 구조이다.

Ⓒ. 케이사는 우주 초기에 만들어진 은하로, 매우 먼 거리에 있기 때문에 별처럼 점으로 보인다.

㉡ (가)는 거대 구조의 모습을 관찰할 수 없지만 (나)는 그물 형태의 거대 구조 모습이 관찰된다.

ⓧ 빛의 속도는 유한하기 때문에 먼 거리에 있는 천체는 그만큼 오래전의 모습을 관측하는 것이다. 따라서 퀘이사들의 모습은 가까운 나선 은하들의 모습보다 더 과거의 우주를 나타낸다. 과거에는 거대 구조가 나타나지 않았지만 최근에는 거대 구조가 관찰되는 것으로 보아 시간에 따라 거대 구조의 모습이 변했다는 것을 알 수 있다.



#### [인용 사진 출처]

- 33p\_조립질 조직: © agefotostock / Alamy Stock Photo  
33p\_세립질 조직: © 2010 J.M.DEROCHETTE  
33p, 37p\_반상 조직: © 2010 J.M.DEROCHETTE  
34p, 37p\_쇄설성 조직(사암): © ALFRED PASIEKA / SCIENCE PHOTO LIBRARY  
34p\_비쇄설성 조직(화석이 포함된 석회암): © agefotostock / Alamy Stock Photo  
35p\_엽리: © Malcolm Park sciences / Alamy Stock Photo  
35p\_흔풀스 조직: © BTEU/Gerfototek / Alamy Stock Photo  
35p, 37p, 40p, 41p\_암석 박편: © ALEX STREKEISEN  
37p, 39p, 40p\_광물 박편: © Fumipo theta  
43p\_고령토: © 한국학중앙연구원\_김형수  
44p\_운모로 만든 절연체: (주)스웨코  
46p\_시화호 조력 발전소: © 경기관광포털사이트(ggtour.or.kr)  
69p\_점판암: © Dorling Kindersley Ltd / Alamy Stock Photo  
75p\_스트로마톨라이트: © 문화재청  
75p\_공룡 발자국: © 문화재청  
사진 진행: 북앤포토

## 01 지구의 형성과 역장

### 수능 2점 테스트

본문 15~19쪽

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

### 수능 3점 테스트

본문 20~29쪽

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

### 수능 3점 테스트

본문 52~57쪽

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

## 04 한반도의 지질

### 수능 2점 테스트

본문 66~69쪽

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

### 수능 3점 테스트

본문 70~77쪽

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

## 02 광물

### 수능 2점 테스트

본문 36~37쪽

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

### 수능 3점 테스트

본문 38~41쪽

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

## 05 해수의 운동과 순환

### 수능 2점 테스트

본문 92~97쪽

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

### 수능 3점 테스트

본문 98~109쪽

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

## 03 지구의 자원

### 수능 2점 테스트

본문 49~51쪽

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

## 06 대기 안정도

### 수능 2점 테스트

본문 114~115쪽

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

### 수능 3점 테스트

본문 116~119쪽

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

## 수능 3점 테스트

본문 155~161쪽

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

## 07 대기의 운동과 대기 대순환

### 수능 2점 테스트

본문 128~131쪽

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

### 수능 3점 테스트

본문 132~139쪽

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

## 09 행성의 운동(2)

### 수능 2점 테스트

본문 169~171쪽

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

### 수능 3점 테스트

본문 172~177쪽

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

## 08 행성의 운동(1)

### 수능 2점 테스트

본문 151~154쪽

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

## 10 우리은하와 우주의 구조

### 수능 2점 테스트

본문 191~196쪽

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

### 수능 3점 테스트

본문 197~208쪽

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

# ○ 고2~N수, 수능 집중

구분	수능 입문	> 기출/연습	>	연계 + 연계 보완	>	고난도	>	모의고사
국어	윤혜정의 개념/ 패턴의 나비효과 — <b>기본서</b> 수능 빌드업	윤혜정의 기출의 나비효과 — <b>강의노트</b> 수능특강 Light — 수능 감(感)잡기	윤혜정의 기출의 나비효과 — <b>수능</b> 기출의 미래 — 수능 기출의 미래 미니모의고사	수능특강 문학 연계 기출 — 수능연계교재의 VOCA 1800 — 수능연계 기출 Vaccine VOCA 2200 — <b>수능 연계교재</b> 수능특강 수능완성 — <b>eBook 전용</b> 수능완성R 모의고사 — 수능 등급을 올리는 변별 문항 공략	수능특강 사용설명서 — 수능완성 사용설명서 — <b>수능연계성 3주 특강</b> — 박봄의 사회·문화 표 분석의 패턴 —	하루 3개 1등급 국어독서 — 하루 6개 1등급 영어독해 — <b>수능연계성 3주 특강</b> — 박봄의 사회·문화 표 분석의 패턴 —	FINAL 실전모의고사 — 만점마무리 봉투모의고사 시즌1 — 만점마무리 봉투모의고사 시즌2 — 만점마무리 봉투모의고사 고난도 Hyper — 수능 직전보강 클리어 봉투모의고사	
영어	—	—	—	—	—	—	—	—
수학	—	—	—	—	—	—	—	—
한국사 사회	—	—	—	—	—	—	—	—
과학	—	—	—	—	—	—	—	—

구분	시리즈명	특징	난이도	영역
수능 입문	윤혜정의 개념/패턴의 나비효과	윤혜정 선생님과 함께하는 수능 국어 개념/패턴 학습	—	국어
	수능 빌드업	개념부터 문항까지 한 권으로 시작하는 수능 특화 기본서	—	국/수/영
	수능 스타트	2028학년도 수능 예시 문항 분석과 문항 연습	—	사/과
	수능 감(感) 잡기	동일 소재·유형의 내신과 수능 문항 비교로 수능 입문	—	국/수/영
	수능특강 Light	수능 연계교재 학습 전 가볍게 시작하는 수능 도전	—	영어
	수능개념	EBS i 대표 강사들과 함께하는 수능 개념 다지기	—	전 영역
기출/연습	윤혜정의 기출의 나비효과	윤혜정 선생님과 함께하는 까다로운 국어 기출 완전 정복	—	국어
	수능 기출의 미래	올해 수능에 딱 필요한 문제만 선별한 기출문제집	—	전 영역
	수능 기출의 미래 미니모의고사	부담 없는 실전 훈련을 위한 기출 미니모의고사	—	국/수/영
	수능특강Q 미니모의고사	매일 15분 연계교재 우수문항 풀이 미니모의고사	—	국/수/영/사/과
	수능완성R 모의고사	과년도 수능 연계교재 수능완성 실전편 수록	—	수학
연계 + 연계 보완	수능특강	최신 수능 경향과 기출 유형을 반영한 종합 개념 학습	—	전 영역
	수능특강 사용설명서	수능 연계교재 수능특강의 국어·영어 지문 분석	—	국/영
	수능특강 문학 연계 기출	수능특강 수록 작품과 연관된 기출문제 학습	—	국어
	수능완성	유형·테마 학습 후 실전 모의고사로 문항 연습	—	전 영역
	수능완성 사용설명서	수능 연계교재 수능완성의 국어·영어 지문 분석	—	국/영
	수능 영어 간접연계 서치라이트	출제 가능성이 높은 핵심 간접연계 대비	—	영어
	수능연계교재의 VOCA 1800	수능특강과 수능완성의 필수 중요 어휘 1800개 수록	—	영어
	수능연계 기출 Vaccine VOCA 2200	수능 - EBS 연계와 평가원 최다 빈출 어휘 선별 수록	—	영어
고난도	하루 N개 1등급 국어독서/영어독해	매일 꾸준한 기출문제 학습으로 완성하는 1등급 실력	—	국/영
	수능연계성 3주 특강	단기간에 끝내는 수능 1등급 변별 문항 대비	—	국/수/영
	박봄의 사회·문화 표 분석의 패턴	박봄 선생님과 사회·문화 표 분석 문항의 패턴 연습	—	사회탐구
	수능 등급을 올리는 변별 문항 공략	EBS 선생님이 직접 선별한 고변별 문항 연습	—	수/영
모의고사	FINAL 실전모의고사	EBS 모의고사 중 최다 분량 최다 과목 모의고사	—	전 영역
	만점마무리 봉투모의고사 시즌1/시즌2	실제 시험지 형태와 OMR 카드로 실전 연습 모의고사	—	전 영역
	만점마무리 봉투모의고사 고난도 Hyper	고난도 문항까지 국·수·영 논스톱 훈련 모의고사	—	국·수·영
	수능 직전보강 클리어 봉투모의고사	수능 직전 성적을 끌어올리는 마지막 모의고사	—	국/수/영/사/과

memo