

제 1 교시

2015학년도 교육과정 탐구영역 배경지식

국어 영역 (지구과학 I)

성명

수험 번호

- 문제지의 해당란에 성명과 수험번호를 정확히 쓰시오.
- 답안지의 필적 확인란에 다음의 문구를 정자로 기재하시오.

왓지, 조곰은 새로운 방향으로, 하늘이 아주 낮설어 보였다.

- 답안지의 해당란에 성명과 수험번호를 쓰고, 또 수험번호와 답을 정확히 표시하시오.
- 문항에 따라 배점이 다르니, 각 물음의 끝에 표시된 배점을 참고하시오.
배점은 2점 또는 3점입니다.

※ 시험이 시작되기 전까지 표지를 넘기지 마시오.

제 1 교시

국어 영역

1. 판 구조론의 정립

대서양을 사이에 두고 있는 남아메리카 대륙과 아프리카 대륙의 해안선 모양을 살펴보면 두 대륙의 해안선이 잘 들어맞는다는 것을 알 수 있다. 베게너는 두 대륙의 해안선 모양을 보고 두 대륙이 원래 하나로 붙어 있었다고 생각했다. 1912년 베게너는 이러한 생각을 발전시켜 과거에 하나로 모여 있던 대륙이 분리되고 이동하여 현재와 같은 수륙 분포를 이루게 되었다는 **대륙 이동설**을 주장하였다. 그는 해안선 모양의 유사성뿐만 아니라 빙하의 흔적, 지질 구조의 연속성, 화석 분포 등 대륙 이동을 뒷받침하는 여러 가지 증거를 제시하고, 과거에 하나로 모여 있던 초대륙을 **판게아**라고 하였다.

대륙 이동설은 발표 당시 매우 파격적인 이론이었다. 그러나 베게너는 대륙 이동의 원동력을 명쾌하게 설명하지 못하였기 때문에 대부분의 과학자들은 대륙 이동설을 받아들이지 않았다. 그들은 베게너가 제시한 증거가 우연의 일치라고 생각하였으며, 베게너가 사망하면서 대륙 이동설은 점점 잊히게 되었다.

1929년 홈스는 방사성 원소가 붕괴하여 생성된 열로 맨틀이 대류하는 과정에서 대륙이 이동할 수 있다는 **맨틀 대류설**을 발표하였다. 맨틀 대류설에 따르면 맨틀 대류의 상승부에서는 대륙 지각이 분리되면서 새로운 바다가 생성되고, 맨틀 대류의 하강부에서는 횡압력이 작용하면서 두꺼운 산맥이 형성된다.

홈스의 맨틀 대류설은 현재 알려진 맨틀 대류의 과정과 비슷할 정도로 시대를 앞선 것이지만 당시에는 맨틀 대류를 확인할 수 있는 탐사 기술이 없었기 때문에 대륙 이동의 원동력으로 인정받지 못하였다. 하지만 과학 기술의 발달로 맨틀 대류를 뒷받침하는 여러 가지 관측 자료가 나오면서 맨틀 대류설은 판 구조론이 정립되는데 중요한 역할을 하게 되었다.

20세기 중반 탐사 기술의 발전으로 해저 지형 탐사가 활발하게 진행되었다. 특히, 음향 측심 기술의 개발로 해저 지형의 높낮이를 정밀하게 측정할 수 있게 되었다. 음향측심법은 해양 탐사선에서 발사한 음파가 바다 밑바닥에서 반사되어 가장 빨리 되돌아오는 데 걸리는 시간을 측정하여 수심을 알아내는 방법이다. 음파가 반사되어 가장 빨리 되돌아오는 데 걸리는 시간을 t , 음파의 속도를 v 라고 하면 수심 d 는 다음과 같다.

$$d = \frac{1}{2}vt$$

과학자들은 음향 측심법을 이용한 해저 탐사를 통해 해저 지형의 모습을 자세히 알게 되었다. 또, 해저 산맥인 해령을 중심으로 양쪽으로 멀어질수록 점차 수심이 깊어지며, 육지 가까운 곳에는 수심이 급격하게 증가하는 해구가 존재한다는 것을 알아냈다. 음향 측심법을 통해 알아낸 해저 지형의 특징은 이후 해저가 확장된다는 학설이 등장하는 데 중요한 역할을 하였다.

1962년 헤스와 디즈는 해저 지형 탐사로 밝혀진 해저 지형의 특징을 설명하기 위해서 **해양저 확장설**을 제안하였다. 해양저 확장설에 따르면 맨틀 대류의 상승부인 해령을 중심으로

해양 지각이 양쪽으로 이동하면서 해양저가 확장된다. 즉, 해령에서는 새로운 해양 지각이 생성되어 해양저가 확장되고, 해구에서는 해양 지각이 맨틀로 섭입되어 소멸된다.

해양저 확장설은 지구 자기장 분석과 해저 지형의 연령 측정을 통해 증명되었다. 암석이 생성될 때 암석을 이루는 일부 광물들은 당시의 지구 자기장 방향으로 배열되는데, 이를 통해 과거 지구 자기장인 고지자기에 대한 정보를 얻을 수 있다. 암석에 기록된 고지자기를 연구한 결과 지구 자기장의 남극과 북극이 반복적으로 바뀌었다는 것을 밝혀냈다. 또, 탐사선으로 해저 지형을 관측한 결과 해령을 중심으로 지각의 역전 줄무늬가 대칭을 이룬다는 것을 알아냈다. 1963년 바인(Vine, F., 1939~)과 매슈스(Matthews, D., 1931~1997)는 해령에서 생성된 해양 지각이 양쪽으로 이동하여 이와 같은 지자기 줄무늬가 나타난다고 설명하였다.

과학자들은 대륙 지각에서 알아낸 암석의 연령과 지자기 줄무늬를 해양 지각의 지자기 줄무늬와 비교하여 해양 지각의 연령을 알아냈다. 그결과 해양 지각의 연령은 해령을 중심으로 양쪽으로 멀어질수록 증가한다는 사실이 밝혀졌는데, 이는 해양저 확장설을 뒷받침해 주는 증거가 된다.

과학과 해저 탐사 기술이 발전하고, 해양저 확장설이 등장하면서 해저 지형의 자세한 특징이 밝혀졌다. 특히, 해령이 연속적으로 이어져 있지 않고 수많은 부분으로 끊어져 있으며, 해령에서 시작된 단층이 육지 쪽으로 길게 발달해 있다는 것이 밝혀졌다. 당시 대부분의 과학자는 이러한 구조가 수평으로 발달한 단층이라고 생각하였다.

한편, 해령 부근에서의 지진 자료도 축적되었는데 해령과 해령 사이의 특정한 부분에서 지진이 주로 발생하고, 해령으로부터 멀리 떨어진 단층 구간에서는 지진이 거의 발생하지 않는다는 사실을 알게 되었다. 이는 당시의 해양저 확장설로 설명하기 어려운 현상이었다.

1965년 윌슨은 해령과 해령 사이에 존재하는 단층은 지각이 서로 어긋나는 경계라고 해석하고 이를 **변환 단층**이라고 하였다. 그는 변환 단층에서는 두 판의 이동 방향이 서로 반대이므로 지진이 자주 발생하지만 해령에서 대륙으로 길게 발달한 단열대에서는 판의 이동 방향이 같으므로 지진이 거의 일어나지 않는다고 설명하였다. 변환 단층은 판의 이동 방향과 나란하게 생성되므로 변환 단층의 분포를 통해 판의 이동 방향을 알 수 있다.

변환 단층의 발견으로 해양저 확장설만으로 설명할 수 없었던 해양 지각의 특징을 설명할 수 있게 되었으며, 정립되기 시작 하였다.

판 구조론이 정립되면서 이를 뒷받침하는 새로운 증거가 발견되었다. 1960년대 초반에 표준화된 지진계가 전 세계에 설치되면서 지진의 발생 위치와 깊이를 정확하게 아낼 수 있게 되었다. 해구 부근에서 지진이 발생하는 위치와 깊이를 측정된 결과 해구에서 대륙 쪽으로 갈수록 지진이 발생하는 깊이가 점차 깊어진다는 실이 밝혀졌다. 이는 판과 판이 충돌할 때 한쪽 판이 다른 판 아래로 섭입한다는 사실을 뒷받침한다.

대륙 이동설에서 시작하여 해저 확장의 여러 가지 증거와

변환 단층의 발견을 거쳐 지구의 겉 부분은 크고 작은 여러 판으로 이루어져 있다는 **판 구조론**이 정립되었다. 판 구조론에서는 판들이 상호 작용하여 대륙과 해양의 분포가 변하고 습곡 산맥 등이 생성되며, 지진이나 화산 활동 등 여러 가지 지각 변동이 일어난다고 설명한다. 최근에는 인공위성을 이용한 위치 측정 기술의 발달로 판 경계의 위치와 이동 속도를 정밀하게 측정할 수 있다.

1. 다음은 판 구조론이 정립되는 과정에서 등장한 두 이론에 대하여 학생 A, B, C가 나눈 대화를 나타낸 것이다.

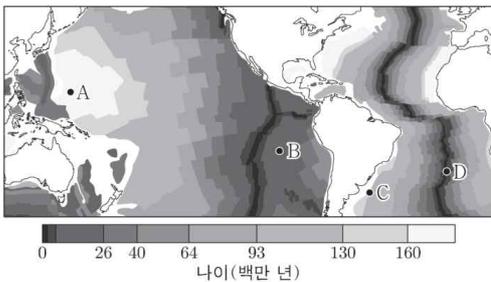
이론	내용
㉠	고생대 말에 판게아가 존재하였고, 약 2억 년 전에 분리되기 시작하여 현재와 같은 대륙 분포가 되었다.
㉡	맨틀이 대류하는 과정에서 대륙이 이동할 수 있다.



제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

- ① A ② B ③ A, C ④ B, C ⑤ A, B, C

2. 그림은 해양 지각의 연령 분포를 나타낸 것이다.



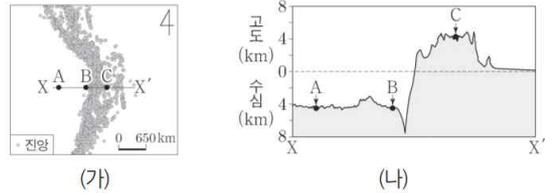
A~D 지점에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보 기 >

ㄱ. 해저 퇴적물의 두께는 A가 B보다 두껍다.
 ㄴ. 최근 4천만 년 동안 평균 이동 속력은 B가 속한 판이 C가 속한 판보다 크다.
 ㄷ. 지진 활동은 C가 D보다 활발하다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

3. 그림 (가)는 어느 지역의 판 경계 부근에서 발생한 진앙 분포를, (나)는 (가)의 X - X'에 따른 지형의 단면을 나타낸 것이다.



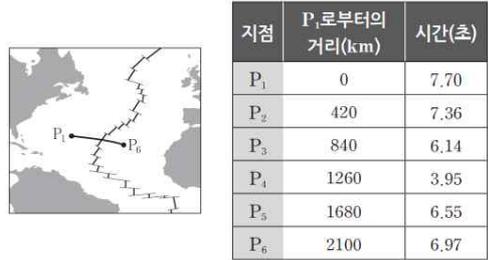
지역 A, B, C에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보 기 >

ㄱ. 지각의 나이는 A가 B보다 많다.
 ㄴ. B와 C 사이에는 수렴형 경계가 존재한다.
 ㄷ. 화산 활동은 C가 A보다 활발하다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

4. 그림은 대서양의 해저면에서 판의 경계를 가로지르는 P₁-P₆ 구간을, 표는 각 지점의 연직 방향에 있는 해수면상에서 음파를 발사하여 해저면에 반사되어 되돌아오는 데 걸리는 시간을 나타낸 것이다.



이 자료에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 해수에서 음파의 속도는 일정하다.)

< 보 기 >

ㄱ. 수심은 P₆이 P₄보다 깊다.
 ㄴ. P₃-P₅ 구간에는 발산형 경계가 있다.
 ㄷ. 해양 지각의 나이는 P₄가 P₂보다 많다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

2. 대륙 분포의 변화

판 구조론이 정립되면서 대륙은 지질 시대 동안 계속하여 이동하였다는 사실이 밝혀졌다. 그렇다면 대륙이 이동한 경로는 어떻게 알 수 있을까?

나침반의 자침이 수평면과 이루는 각을 **북각**이라고 하는데, 위도에 따라 북각의 크기가 다르다. 암석에도 나침반의 자침과 같이 지구 자기장에 반응하는 광물이 있는데, 이 광물들은 암석이 생성될 때 지구 자기장의 방향과 나란하게 배열된다. 따라서 암석을 이루는 광물의 북각을 연구하면 암석이 생성될 당시의 위도를 알 수 있다.

어느 대륙이 남북 방향으로 이동하였다면 그 대륙에서 만들어진 암석은 생성 시기에 따라 북각의 크기가 다르다. 따라서 암석의 나이와 북각을 측정하면 암석이 생성될 당시의 위도를 알 수 있으므로 시간에 따른 대륙의 이동 경로를 복원할 수 있다.

암석에 남아 있는 자료를 이용하여 인도 대륙의 이동 경로를 복원한 결과 인도 대륙은 지질 시대 동안 동서 방향으로 거의 이동하지 않고 남북 방향으로만 이동한 것으로 밝혀졌다.

인도 대륙은 약 7천1백만 년 전에는 남반구에 위치해 있다가 1년에 약 5~15cm씩 북쪽으로 이동하여 약 3천8백만 년 전에는 인도 대륙의 대부분이 북반구에 위치하였다. 이후 인도 대륙이 계속 북쪽으로 이동하다가 유라시아판과 충돌하여 현재의 히말라야산맥이 만들어졌다.

고지자기 관측, 암석 분석, 화석 연구, 고기후 연구 등을 종합하면 과거 대륙의 분포와 이동을 확인할 수 있다. 이를 통하여 과학자들은 지질 시대 동안 여러 차례 초대륙이 만들어지고 분리되었다고 추정하고 있다. 약 11억 년 전에는 로디니아라는 초대륙이 존재하였다. 이후 로디니아 초대륙은 몇 개의 대륙으로 분리되고 이동하다가 약 2억7천만 년 전에 대륙이 다시 모여 판게아가 형성되었다. 약 2억 년 전부터 판게아가 분리되기 시작하였고, 약 1억5천만 년 전에 대서양이 부분적으로 열리면서 아프리카 대륙과 남아메리카 대륙이 분리되기 시작하였다. 또, 다른 대륙들이 남극 대륙에서 분리되어 북쪽으로 이동하였다.

약 9천만 년 전에는 남대서양이 확장되고, 마다가스카르가 아프리카 대륙에서 분리되었다. 이후 오스트레일리아는 남극 대륙과 분리되고, 북쪽으로 이동하던 인도 대륙은 유라시아판과 충돌하여 현재와 비슷한 수륙 분포를 이루게 되었다.

현재에도 대륙은 느리지만 끊임없이 이동하고 있으며, 현재 판의 경계에서의 대륙 이동 속도와 방향을 분석하면 미래의 대륙과 해양의 모습을 어느 정도 예측할 수 있다. 현재 동아프리카 열곡대를 중심으로 아프리카 대륙이 분리되고 있는데, 미래에는 분리된 곳을 중심으로 해령이 생성되면서 새로운 바다가 만들어질 것으로 예상된다.

5 다음은 고지자기 자료를 이용하여 대륙의 과거 위치를 알아보기 위한 탐구 활동이다.

[가정]

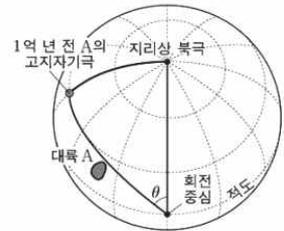
- 고지자기극은 고지자기 방향으로 추정한 지리상 북극이고, 지리상 북극은 변하지 않았다.
- 현재 지자기 북극은 지리상 북극과 일치한다.

[탐구 과정]

(가) 대륙 A의 현재 위치, 1억 년 전 A의 고지자기극 위치, 회전 중심이 표시된 지구본을 준비한다.

(나) 오른쪽 그림과 같이 회전

중심을 중심으로 1억 년 전 A의 고지자기극과 지리상 북극 사이의 각 θ 를 측정한다.

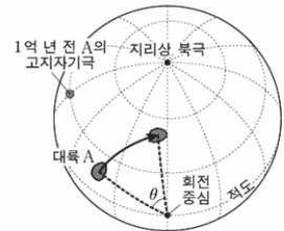


(다) 회전 중심을 중심으로

A를 θ 만큼 회전시키고, 1억 년 전 A의 위치를 표시한 후, 현재와 1억 년 전 A의 위치를 비교한다. 회전 방향은 1억 년 전 A의 고지자기극이 (㉠)을 향하는 방향이다.

[탐구 결과]

- 각(θ): ()
- 대륙 A의 위치 비교: 1억 년 전 A의 위치는 현재보다 (㉡)에 위치한다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 > —
- ㄱ. 지리상 북극은 ㉠에 해당한다.
 - ㄴ. 고위도는 ㉡에 해당한다.
 - ㄷ. A의 고지자기 북극은 1억 년 전이 현재보다 작다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

3. 맨틀 대류와 플룸 구조론

액체는 온도 차이가 생기면 상대적으로 온도가 높은 부분은 위로 올라가고 온도가 낮은 부분은 아래로 내려가면서 대류가 발생한다. 이때 액체 위에 떠 있는 물체는 액체의 흐름에 따라 이동한다.

맨틀은 고체이지만 온도가 높으므로 유동성을 띠고 있으며, 지구 중심으로 갈수록 온도가 높아진다. 따라서 깊이에 따른 온도 차이로 연약권에서 대류가 일어나며, 판의 운동은 연약권 위에 놓인 암석권이 맨틀의 대류에 따라 이동하는 것으로 설명할 수 있다.

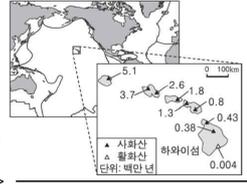
맨틀 대류는 판을 움직이는 원동력으로, 맨틀 대류의 상승부에서는 해령이 만들어지고 하강부에서는 해구가 만들어진다. 또, 대부분의 지진과 화산 활동은 판과 판의 상호 작용으로 일어난다. 따라서 지진과 화산 활동이 일어나는 지역은 대체로 판의 경계와 일치한다.

판의 경계에서 발생하는 지진과 화산 활동은 맨틀 대류가 일어나 판이 움직이면서 나타나는 현상으로 설명할 수 있다. 하지만 하와이섬, 동아프리카 지역 등 판의 내부에서 일어나는 화산 활동은 상부 맨틀이 대류하면서 일어나는 판의 운동으로 설명하기 어렵다. 이러한 현상을 설명하기 위해 판 구조론 정립에 크게 이바지한 윌슨은 그림과 같이 판 아래의 고정된 통로에서 상승한 마그마가 지표면으로 분출하면서 하와이섬과 같은 화산 열도가 생성되었다고 주장하였다.

이를 종합해 **플룸 구조론**이라한다. 플룸은 온도가 낮은 차가운 플룸과 온도가 높은 뜨거운 플룸으로 구분한다. 차가운 플룸은 수렴형 경계에서 섭입된 판의 물질이 상부 맨틀과 하부 맨틀의 경계 부근에 쌓여 있다가 가라앉아 생성되는 것으로 알려져 있다. 차가운 플룸이 맨틀과 외핵의 경계에 도달하면 그 영향으로 일부 맨틀 물질이 상승하여 뜨거운 플룸이 된다. 이때 플룸 상승류가 지표면과 만나는 지점 아래 마그마가 생성되는 곳을 **열점**이라고 한다.

플룸 상승류가 있는 곳은 주변의 맨틀보다 온도가 높으므로 지진파의 속도가 느리다. 한편, 해구에서 섭입된 판은 맨틀과 외핵의 경계까지 하강하기도 하는데, 하강하는 판은 주변 맨틀보다 상대적으로 온도가 낮으므로 주변보다 지진파의 속도가 빠르다. 따라서 지진파의 속도 분포를 연구하면 맨틀의 온도 분포를 알 수 있다. 동아프리카 열곡대에서 지진파의 속도 분포를 나타낸 것으로, 붉게 보일수록 지진파의 속도가 느리며, 플룸이 상승하는 영역을 나타낸다. 지진파의 분석으로 알아낸 플룸의 상승과 하강은 맨틀 대류가 맨틀 전체에서 발생하고 있음을 보여 주는 중요한 증거이다. 이처럼 플룸 구조론은 판 구조론으로 설명이 어려웠던 판 내부에서 일어나는 화산 활동을 설명할 수 있다.

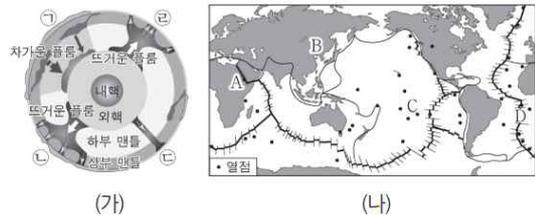
6. 그림은 태평양판에 위치한 하와이 열도의 각 섬들을 화산의 연령과 함께 나타낸 것이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?



- < 보 기 >
- ㄱ. 태평양판은 일정한 속도로 이동하였다.
 - ㄴ. 하와이섬은 뜨거운 플룸의 상승에 의해 생성된 지역이다.
 - ㄷ. 새로 생성되는 섬은 하와이섬의 북서쪽에 위치할 것이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

7. 그림 (가)는 지구의 플룸 구조 모식도이고, (나)는 판의 경계와 열점의 분포를 나타낸 것이다. (가)의 ㉠~㉣은 플룸이 상승하거나 하강하는 곳이고, 이들의 대략적 위치는 각각 (나)의 A~D 중 하나이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. A는 ㉠에 해당한다.
 - ㄴ. 열점은 판과 같은 방향과 속력으로 움직인다.
 - ㄷ. 대규모의 뜨거운 플룸은 맨틀과 외핵의 경계부에서 생성된다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

4. 변동대와 화성암

지하 깊은 곳에서 암석이 부분 용융되어 생성된 물질을 마그마라고 한다. 마그마는 일반적으로 화학 조성에 따라 현무암질 마그마, 안산암질 마그마, 유문암질 마그마로 구분하며, 현무암질 마그마의 온도가 가장 높고, 유문암질 마그마의 온도가 가장 낮다. 이러한 마그마는 어떤 과정을 통해 생성될까?

지표에서 지하로 들어갈수록 온도와 압력이 높아지고, 일반적으로 맨틀의 용융점도 높아진다. 마그마가 생성되려면 마그마가 생성되는 장소의 온도가 그 곳에 존재하는 암석의 용융점보다 높아야 한다. 그런데 맨틀의 용융점은 같은 깊이에서 지구 내부의 온도보다 높기 때문에 마그마가 형성되기 어렵다. 따라서 맨틀 물질이 용융되어 마그마가 생성되려면 맨틀 물질이 상승하여 압력이 낮아져야 한다. 암석의 용융점은 물의 함량에도 영향을 받는다. 물이 포함된 맨틀은 물이 포함되지 않은 맨틀보다 용융점이 낮으므로 비교적 쉽게 용융되어 마그마가 생성될 수 있다. 한편, 대륙 지각을 구성하는 화강암은 물을 포함하고 있으며, 지하로 들어갈수록 용융 온도가 낮아지므로 지하 깊은 곳에서 마그마가 생성될 수 있다. 그러나 이보다 얕은 곳에서도 온도가 상승하면 마그마가 생성될 수 있다.

마그마는 주로 발산형 경계인 해령과 수렴형 경계인 해구 부근에서 생성된다. 해령의 하부에서 고온의 맨틀 물질이 상승하면 압력이 크게 낮아지므로 맨틀 물질이 용융되어 현무암질 마그마가 생성된다.

해구에서 해양판이 대륙판 아래로 섭입하면 온도와 압력이 상승하여 해양 지각에서 물이 빠져나온다. 해양 지각에서 빠져나온 물은 섭입하는 판 위의 연약권으로 유입되는데, 이 물의 영향으로 연약권을 구성하는 암석의 용융점이 낮아져 현무암질 마그마가 생성된다. 이 현무암질 마그마가 상승하여 지각의 하부에 도달하면 지각을 이루는 암석이 가열되어 유문암질 마그마가 생성된다. 이때 생성된 유문암질 마그마와 하부에서 상승한 현무암질 마그마가 혼합되면 안산암질 마그마가 생성된다.

열점에서는 지하 깊은 곳에서 뜨거운 물질의 상승으로 압력이 감소하여 현무암질 마그마가 생성된다. 지구 내부에서 생성된 마그마가 지표 부근이나 지하에서 식어서 만들어진 암석을 화성암이라고 한다. 화성암은 화학 조성과 조직 등에 따라 분류한다.

화성암은 화학 조성에 따라 염기성암, 중성암, 산성암으로 구분한다. 염기성암은 SiO₂ 함량이 45%~52%인 현무암질 마그마가, 중성암은 SiO₂ 함량이 52%~63%인 안산암질 마그마가, 산성암은 SiO₂ 함량이 63% 이상인 유문암질 마그마가 식어서 만들어진 암석이다. 염기성암은 감람석, 휘석, 각섬석과 같은 어두운색 광물의 함량이 많아 어두운색을 띠고, 산성암은 사장석, 정장석, 석영 등의 밝은색 광물의 함량이 많아 밝은색을 띤다. 따라서 암석의 색을 통해 구성 광물의 종류와 SiO₂ 함량을 대략적으로 추정할 수 있다.

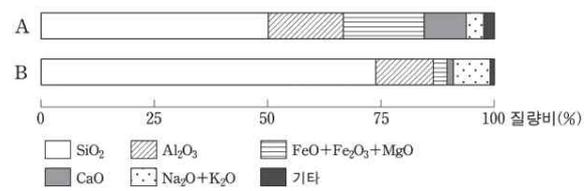
화성암은 마그마가 식어서 굳어진 장소에 따라 화산암과 심성암으로 구분한다. 화산암은 마그마가 지표 부근에서 굳어진 것으로 분출암이라고도 한다. 심성암은 마그마가 지하 깊은 곳에서 굳어진 것으로 관입암이라고도 한다. 마그마가 지표로 분출하거나 지표 가까운 곳에서 빠르게 냉각되면 결정이 형성되지 못한 유리질이나 결정의 크기가 작은 세립질 암석이 된다.

그러나 마그마가 지하 깊은 곳에서 천천히 냉각되면 결정이 크게 성장하여 조립질 암석이 된다. 따라서 대부분의 화산암은 결정이 없거나 크기가 매우 작고, 심성암은 육안으로 식별이 가능할 정도로 대체로 결정의 크기가 크다.

현무암은 염기성암 중에서 광물 결정의 크기가 작은 화산암이다. 현무암은 해양 지각의 주요 구성 암석이며, 대륙에서는 거대한 용암 대지를 형성하기도 한다. 또, 하와이나 아이슬란드 등과 같은 화산섬들을 이루는 주요 암석이다. 우리나라에서는 제주도과 한탄강 일대, 울릉도, 독도 등에서 현무암이 많이 산출된다. 특히, 제주도는 신생대에 여러 차례의 화산 활동이 일어나 형성된 화산섬으로, 주로 현무암으로 이루어져 있다. 제주도의 여러 지역은 자연 경관이 빼어나고 학술적 가치가 높아 세계자연유산과 세계지질공원으로 등재되어 있다.

화강암은 산성암 중에서 광물 결정의 크기가 큰 대표적인 심성암이다. 화강암은 대륙 지각을 구성하고 있는 가장 일반적인 암석이다. 우리나라의 북한산, 불암산, 계룡산, 월출산이나 설악산의 울산바위 등은 화강암으로 이루어져 있다. 이 지형들은 중생대에 일어난 지각 변동으로 생성된 마그마가 지하 깊은 곳에서 천천히 식어서 형성된 후 융기하여 지표로 드러난 것이다.

8 그림은 마그마 A와 B의 화학 조성을 질량비(%)로 나타낸 것이다. A와 B는 각각 현무암질 마그마와 유문암질 마그마 중 하나이다.

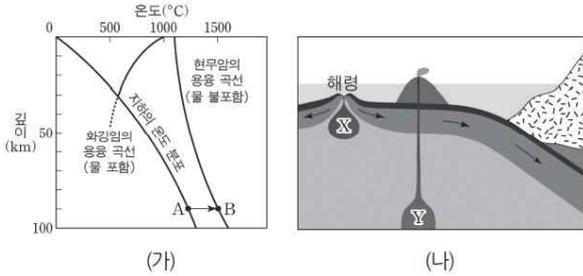


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
ㄱ. A는 유문암질 마그마이다.
ㄴ. CaO의 질량비는 A가 B보다 크다.
ㄷ. 유색 광물은 A보다 B에서 많이 정출된다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

9. 그림 (가)는 지하의 온도 분포와 암석의 용융 곡선을, (나)는 마그마의 생성 장소 X와 Y를 나타낸 것이다.

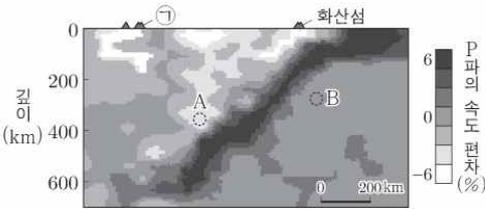


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 20km 깊이에서 암석의 용융 온도는 물을 포함하지 않은 현무암이 물을 포함한 화강암보다 높다.
 - ㄴ. X에서는 A → B와 같은 과정으로 마그마가 생성된다.
 - ㄷ. Y에서는 화강암질 마그마가 생성된다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

10. 그림은 해양판이 섭입하면서 마그마가 생성되는 어느 해구 지역의 지진과 단층 촬영 영상을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. ㉠은 열점이다.
 - ㄴ. A 지점에서는 주로 SiO₂의 함량이 52%보다 낮은 마그마가 생성된다.
 - ㄷ. B 지점은 맨틀 대류의 하강부이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

5. 퇴적암과 퇴적구조

지표의 암석이 풍화, 침식 작용을 받아 생성된 쇄설물, 호수나 바다에 녹아 있는 물질, 생물의 유해 등이 쌓인 퇴적물이 다져지고 굳어지면 퇴적암이 된다.

물이나 공기, 얼음 등에 의해 퇴적 장소로 운반된 퇴적물이 오랜 세월 동안 쌓이면 밑에 있던 퇴적물은 압력을 받아 다져져서 입자들 사이의 공간이 좁아지고 밀도가 증가하는데, 이를 다짐 작용이라고 한다. 또, 퇴적물 속의 수분이나 지하수에 녹아 있던 탄산 칼슘, 규산염 광물, 철분 등의 물질이 퇴적 입자 사이에 침전되면 퇴적물이 굳어져 퇴적암이 되는데, 이를 교결 작용이라고 한다. 이처럼 퇴적물이 쌓인 후 다져지고 굳어지면서 퇴적암이 되기까지의 전체 과정을 **속성 작용**이라고 한다.

퇴적암은 운반 매체와 퇴적 장소에 따라 구분되기도 하지만 일반적으로 퇴적물의 기원에 따라 쇄설성 퇴적암, 화학적 퇴적암, 유기적 퇴적암으로 구분된다.

기존의 암석이 풍화와 침식을 받아 생성된 점토나 모래, 자갈 등이 운반된 후 쌓여 생성된 암석을 **쇄설성 퇴적암**이라고 한다. 쇄설성 퇴적암은 퇴적물 입자의 크기에 따라 세일, 사암, 역암 등으로 구분된다.

호수나 바다 등에서 물에 녹아 있던 물질이 화학적으로 침전하거나 물이 증발하면서 침전하여 생성된 암석을 **화학적 퇴적암**이라고 한다. 화학적 퇴적암에는 석회암, 처트, 암염, 석고 등이 있다. 한편, 동식물이나 미생물의 유해가 쌓여 생성된 암석을 **유기적 퇴적암**이라고 한다. 유기적 퇴적암에는 석탄, 석회암, 처트 등이 있다.

퇴적 환경과 퇴적물의 종류에 따라 입자의 크기, 색깔, 성분 등이 다른 퇴적물이 쌓여 형성된 지층에는 해수면에 나란한 줄무늬 구조가 생기는데, 이를 **층리**라고 한다. 층리는 퇴적암에서 나타나는 가장 특징적인 구조로, 세일이나 사암과 같은 쇄설성 퇴적암에서 뚜렷하게 나타나는 경우가 많다.

퇴적암에는 석탄, 석유, 철 등 에너지 자원이나 광물 자원이 포함되어 있어 경제적 가치가 크다. 또, 퇴적암에 포함된 화석은 생물의 변천 과정이나 지구의 역사를 이해하는 데 중요한 자료가 된다.

퇴적암에는 퇴적 당시의 환경에 따라 점이 층리, 사층리, 연흔, 건열 등 다양한 퇴적 구조가 나타난다.

한 지층 내에서 위로 가면서 입자의 크기가 점점 작아지는 구조를 **점이 층리**라고 한다. 이러한 구조는 퇴적물이 빠르게 흐르다가 속도가 느려져 퇴적될 때 큰 입자가 먼저 쌓이고, 이후 작은 입자가 서서히 가라앉아 생긴다. 점이 층리는 주로 대륙 주변부의 경사가 급한 해저에 쌓여 있던 퇴적물이 빠르게 이동하여 수심이 깊은 바다에 쌓일 때 생기거나 홍수가 일어나 퇴적물이 호수로 유입될 때 형성된다.

물이나 바람의 방향이 자주 변하는 환경에서는 층리가 나란하지 않고 엇갈린 구조가 생기는데, 이를 **사층리**라고 한다. 사층리는 수심이 얇은 해안이나 강 주변, 모래가 쌓여 큰 언덕을 이룬 사막 환경 등에서 잘 형성된다.

수심이 얇은 물밑에서는 퇴적물의 표면에 흐르는 물이나 파도의 흔적이 생기는데, 이를 **연흔**이라고 한다. 또, 수심이 얇은 물밑에 점토질 물질이 쌓인 후 퇴적물의 표면이 대기에 노출되어 건조해지면 가뭄이 들 때 논바닥이 갈라지는 것과 같

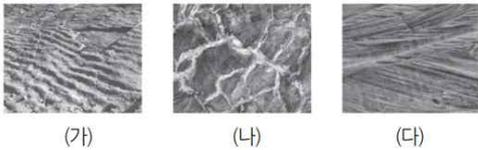
이 갈라진 구조가 생기는데, 이를 **건열**이라고 한다.

이와 같은 퇴적암의 특징적인 구조는 퇴적 당시의 자연환경을 연구하는 데 중요한 단서를 제공하며, 지각 변동을 받은 지층의 역전 여부를 판단하는 데 도움을 준다.

퇴적 환경은 크게 육상 환경, 연안 환경, 해양 환경으로 구분할 수 있으며, 육상 환경과 해양 환경 사이에 연안 환경이 있다. 육상 환경은 육지 내에 주로 쇄설성 퇴적물이 퇴적되는 곳으로, 선상지, 하천, 호수, 사막 등이 있다.

해양 환경은 가장 넓은 면적을 차지하는 퇴적 환경으로, 해저 지형에 따라 대륙붕, 대륙 사면, 대륙대, 심해저 등이 있다. 또, 연안 환경은 삼각주, 조간대, 해빈, 사주, 강 하구, 석호 등이 있다.

10. 그림 (가), (나), (다)는 어느 지역에서 관찰되는 건열, 사층리, 연흔을 순서 없이 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. (가)는 연흔이다.
 - ㄴ. (나)는 심해 환경에서 생성된다.
 - ㄷ. (다)에서는 퇴적물의 공급 방향을 알 수 있다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

11. 다음은 지질 답사에서 촬영한 퇴적 구조와 관찰 결과이다.

(가)	(나)	(다)
○ 건열과 공룡 발자국이 관찰됨	○ 연흔이 관찰됨	○ 사층리가 관찰됨

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. (가)는 형성 당시에 건조한 시기가 있었다.
 - ㄴ. (나)는 얇은 물막이나 바람의 영향을 받는 환경에서 형성되었다.
 - ㄷ. (다)는 지층의 단면에서 관찰된다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

6. 여러 가지 지질 구조

지표 부근에서 압력을 받으면 파쇄되는 암석도 지하 깊은 곳의 고온, 고압 환경에서는 휘어지는 성질이 나타난다. 이처럼 암석이 지하 깊은 곳에서 횡압력을 받아 휘어진 지질 구조를 **습곡**이라고 한다. 습곡 구조의 규모는 조산 운동으로 형성된 거대한 습곡 산맥에서부터 수 cm의 작은 크기에 이르기까지 매우 다양하다.

습곡 구조에서 가장 많이 휘어진 부분을 습곡축이라고 하고, 습곡축 양쪽의 경사면을 날개라고 한다. 또, 습곡 구조에서 볼록한 봉우리에 해당하는 부분을 배사, 오목한 골짜기에 해당하는 부분을 향사라고 한다.

습곡은 습곡축면의 기울기에 따라 분류할 수 있다. 습곡축면이 수평면에 대하여 거의 수직인 것을 정습곡, 기울어진 것을 경사 습곡, 거의 수평으로 누운 것을 횡과 습곡이라고 한다.

암석에 힘이 작용하여 암석이 끊어지면서 생긴 면을 경계로 양쪽의 암석이 상대적으로 이동하여 서로 어긋나 있는 지질 구조를 **단층**이라고 한다. 단층은 횡압력이나 장력 또는 중력 등이 작용하여 생긴다.

단층은 단층면을 기준으로 상반과 하반의 상대적인 이동에 따라 구분한다. 정단층은 장력이 작용하여 상반이 아래로 내려간 구조이고, 역단층은 횡압력이 작용하여 상반이 위로 밀려올라간 구조이다. 또, 주향 이동 단층은 단층면을 따라 상반과 하반이 수평 방향으로 이동한 구조이다.

동아프리카 열곡대나 대서양 중앙 해령의 열곡과 같이 두 판이 발산하는 경계에서는 지층에 장력이 작용하여 정단층이 발달하고, 히말라야산맥이나 알프스산맥과 같이 두 판이 수렴하는 경계에서는 지층에 횡압력이 작용하여 습곡이나 역단층이 발달한다. 또, 산안드레아스 단층과 같이 두 판이 서로 엇갈리는 경계에서는 주향 이동 단층이 발달한다.

어느 지역에서 퇴적 환경이 지속되면 퇴적물은 연속적으로 쌓여 여러 지층을 형성하는데, 이러한 상하 지층의 관계를 정합이라고 한다. 그런데 퇴적 환경의 변화로 퇴적이 오랫동안 중단된 후 다시 퇴적이 일어나면 지층 사이에 퇴적 시간의 커다란 공백이 생기는데, 이러한 상하 지층의 관계를 **부정합**이라고 한다.

부정합은 수면 아래에서 퇴적된 지층이 조륙 운동이나 조산 운동에 의해 융기하여 침식된 후 다시 수면 아래로 침강하여 새로운 지층이 퇴적되는 과정을 거쳐 만들어진다. 부정합면 위에는 자갈이 퇴적되어 생긴 기저 역암이 흔히 나타난다.

부정합은 부정합면을 경계로 상하 지층이 나란한 평행 부정합, 상하 지층의 경사가 서로 다른 경사 부정합, 부정합면의 아래 지층이 화성암이나 변성암으로 이루어진 난정합 등으로 구분한다.

암석에 생긴 틈이나 균열을 **절리**라고 한다. 절리는 단층과는 달리 틈을 따라 양쪽 암석의 상대적인 이동이 없는 지질 구조이다.

절리 중에서 주상 절리나 판상 절리 등은 특징적인 형태를 보인다. **주상 절리**는 단면이 오각형이나 육각형 모양의 긴 기둥을 이루고 있는 절리로, 지표로 분출한 용암이 중심 방향으로 빠르게 식는 과정에서 수축하여 생성된다. **판상 절리**는 얇은 판 모양으로 갈라져 있는 절리로, 지하 깊은 곳에 있는 암

석이 용기할 때 암석을 누르는 압력이 감소하면서 서서히 팽창하여 생성된다.

지하에서 마그마가 암석의 틈을 따라 들어가 화성암으로 굳어지는 과정을 **관입**이라고 한다. 마그마는 주변의 암석에 비해 온도가 매우 높으므로 관입이 일어날 때는 마그마 주변의 암석이 열을 받아 변성 작용이 일어난다.

마그마가 주변의 암석을 관입할 때는 암석의 일부를 포획하여 완전히 녹이기도 하지만 포획된 암석이 일부 남기도 하는데, 이를 **포획암**이라고 한다. 포획암을 관찰하면 화성암과 주변 암석의 생성 순서를 판별할 수 있다.

13 다음은 지표 부근과 지하 깊은 곳에서 일어나는 지층 변형의 차이를 알아보기 위한 실험이다.

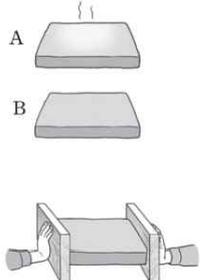
[실험 과정]

(가) 동일한 두 개의 지점도 판 A와 B를 각각 비닐 봉지로 밀봉한다.

(나) A는 따뜻한 물에 넣어 부드러운 상태가, B는 냉동실에 넣어 딱딱한 상태가 되게 한다.

(다) 나무판을 이용하여 A의 모양이 변형될 때까지 양쪽에서 민다.

(라) B도 (다)와 같은 방법으로 실험한다.



[실험 결과]

A	B
 휘어진다.	() 끊어지면서 어긋난다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. A는 지하 깊은 곳에서 변형되는 지층에 해당된다.
 - ㄴ. B는 정단층의 모양과 유사하게 변형된다.
 - ㄷ. A와 B는 주로 발산 경계에서 나타나는 변형에 해당한다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

7. 지층의 생성 순서

지표면에는 넓은 평야, 높은 산맥, 골짜기 등 다양한 지형이 있다. 허턴은 풍화와 침식, 퇴적, 화산 활동 등으로 지표면이 서서히 변하여 현재와 같은 지형이 형성되었다고 생각하였다. 또, 과거에 일어난 지질학적 변화 과정은 현재의 지질학적 변화 과정과 같다고 주장하면서 ‘현재는 과거를 푸는 열쇠이다.’는 말을 남겼다. 이러한 허턴의 주장은 오늘날 지구의 역사를 해석하는 가장 기본적인 원리로 이용되고 있다.

물속에서 퇴적물이 퇴적될 때는 중력의 영향으로 수평면과 나란한 방향으로 쌓여 지층을 이루는데 이를 **수평 퇴적의 법칙**이라고 한다. 하지만 여러 지역에서 지층이 쌓여있는 단면을 보면 지층이 지표면과 나란한 곳도 있지만 지표면에 대해 기울어져 있는 곳도 있다. 따라서 현재 관찰되는 지층이 기울어져 있다면 이 지층은 생성된 후 지각 변동을 받았음을 알 수 있다.

수평으로 쌓인 지층 위에 퇴적물이 계속 공급되면 새로운 지층이 쌓이고, 그 위에 다시 새로운 지층이 쌓이면서 여러 지층을 이루게 된다. 따라서 아래에 있는 지층은 위에 있는 지층보다 먼저 퇴적된 것이다. 이를 **지층 누층의 법칙**이라고 한다.

이 법칙을 이용하면 나란하게 쌓여 있는 여러 지층의 생성 순서를 쉽게 알 수 있다. 그러나 지층이 형성된 후 지각 변동을 받으면 지층이 역전될 수 있다. 따라서 지층 누층의 법칙으로 생성 순서를 파악할 때는 접이 층리, 사층리, 연흔, 건열 등의 지질 구조나 지질 시대의 화석 등을 이용하여 지층의 생성 순서를 판단하여야 한다.

오래된 지층에서 새로운 지층으로 가면서 산출되는 화석을 관찰하면 생물의 종류나 특정 등의 내용이 점점 달라지는 것을 알 수 있다. 특히 동물 화석의 경우 한 종류의 화석뿐만 아니라 화석군도 조금씩 달라지므로, 이를 근거로 지층의 순서를 결정할 수 있다. 이처럼 오래된 지층에서 새로운 지층으로 갈수록 더욱 진화된 형태의 동물 화석군으로 달라진다는 법칙을 **동물군 천이의 법칙**이라고 한다.

동물군 천이의 법칙을 적용하면 멀리 떨어져 있는 지층들 사이의 생성 시기를 비교하는 데 도움이 된다. 지하 깊은 곳에서 생성된 마그마가 주변의 암석이나 지층의 틈을 따라 관입하면 화성암이 된다. 따라서 마그마에 관입당한 암석은 관입한 암석보다 먼저 생성된 것인데, 이를 **관입의 법칙**이라고 한다.

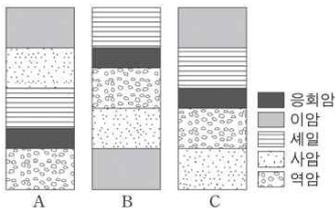
고온의 마그마가 주변의 지층을 관입할 때는 열을 받아 변성 작용이 일어나기 때문에 화성 암체의 접촉부를 관찰하면 관입 여부를 알 수 있다.

부정합은 지층이 형성된 후 용기하고 침식 작용을 받은 후에 다시 침강하여 그 위에 새로운 지층이 퇴적되는 경우에 나타나는 지질 구조이다. 따라서 부정합면을 경계로 상하의 지층 사이에는 오랜 퇴적 시간 차이가 나는 것을 알 수 있는데, 이를 **부정합의 법칙**이라고 한다. 부정합에서는 부정합면을 경계로 상하 지층을 이루는 암석의 조성이나 지질 구조가 다른 경우가 많다.

지구 표면은 풍화와 침식, 퇴적 과정을 거치면서 현재까지 끊임없이 변화해 왔으며, 지구 표면은 풍화와 침식, 퇴적 과정을 거치면서 현재까지 끊임없이 변화해 왔으며, 법칙, 동물군 천이의 법칙, 관입의 법칙, 부정합의 법칙 등을 적용하여 여러

지층들이 생성된 시기와 그 당시의 자연환경을 연구하면 지구의 역사를 파악할 수 있다.

14. 그림은 인접한 세 지역 A, B, C의 지질 주상도이다. 이 지역에는 동일한 시기에 분출된 화산재가 쌓여 만들어진 암석이 있다. 이 지역에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?



- < 보 기 >
- ㄱ. A와 C의 사암층은 같은 시기에 퇴적되었다.
 - ㄴ. 가장 오래된 암석층은 B에 있다.
 - ㄷ. 이 지역에는 화학적 퇴적암이 존재한다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

15. 그림은 어느 지역의 노두를 관찰하고 작성한 지질 답사 보고서의 일부이다.

지질 답사 보고서

장소: ○○○ 날짜: 2017년 ○월 ○일

[답사 목적]
화성암의 야외 산출 상태와 특징을 조사한다.

[답사 내용]
• 화성암 A는 검은색 또는 회색이고, 상·하부에서 크고 작은 기공이 관찰된다. 암석 표면에서는 세립질의 감람석이 관찰된다. 하부에는 화성암 B의 파편이 포함되어 있다. 주상 절리가 관찰된다.
• 화성암 B는 색이 밝으며 광물 입자가 크다. 석영, 장석, 유색 광물 등이 관찰된다.

[스케치]

이를 해석한 내용으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. A는 용암류가 굳어진 것이다.
 - ㄴ. SiO₂ 함량은 A가 B보다 많다.
 - ㄷ. A와 B 사이에 부정합면이 있다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

8. 지질 연대 측정

지구는 약 46억 년 동안 다양한 지질학적 변화 과정을 거쳐 왔으며, 이러한 변화 과정을 알기 위해서는 지질학적 현상들이 일어난 순서와 생성 시기를 파악하는 것이 필요하다. 이러한 지질학적 사건이 일어난 시기를 파악하는 방법에는 상대적인 순서를 비교하는 방법과 암석의 연령을 직접 측정하는 방법이 있다.

지질학적 사건들을 조사하여 지층이나 암석의 생성 시기를 상대적인 선후 관계로 나타내는 것을 **상대 연령**이라고 한다. 상대 연령을 알아내기 위해서는 지층 누층의 법칙, 동물군 천이의 법칙, 관입의 법칙, 부정합의 법칙 등을 적용한다.

지구의 역사를 체계적으로 이해하기 위해서는 한 장소에 쌓여 있는 지층들의 선후 관계뿐만 아니라 멀리 떨어져 있는 여러 지역의 지층들 사이의 선후 관계도 알아내야 한다. 이처럼 여러 지역에 분포하는 지층들을 서로 비교하여 시간적인 선후 관계를 밝히는 것을 **지층 대비**라고 한다. 지층 대비에는 암상에 의한 대비와 화석에 의한 대비가 있다.

지층을 구성하는 암석의 종류나 조직, 지질 구조 등을 파악하면 여러 지역의 지층을 대비할 수 있는데, 이를 **암상에 의한 대비**라고 한다. 암상에 의한 대비를 할 때는 비교적 짧은 시간에 넓은 지역에서 생성된 응회암층, 석회암층, 석탄층 등과 같이 뚜렷한 특징을 지닌 지층을 이용하는 것이 좋은데, 이러한 지층을 **건층** 또는 **열쇠층**이라고 한다. 암상에 의한 대비는 비교적 가까운 거리에 있는 지층의 대비에 이용된다.

특정한 시기의 지층에서만 나타나는 화석을 이용하면 멀리 떨어져 있는 지층의 선후 관계를 알아낼 수 있는데, 이를 화석에 의한 대비라고 한다. **화석에 의한 대비**는 가까운 거리뿐만 아니라 멀리 떨어져 있는 지층의 대비에도 이용된다.

상대 연령을 측정하면 지층이 생성된 선후 관계를 알 수 있지만 지층이 언제 생성되었는지는 정확하게 알 수 없다. 그런데 광물이나 암석에 존재하는 방사성 동위 원소를 분석하면 암석이나 광물이 생성된 시기를 알 수 있다. 이와 같은 방법으로 알아낸 암석이나 광물의 생성 시기를 **절대 연령**이라고 한다.

방사성 동위 원소는 온도나 압력 등의 외부 환경에 관계없이 일정한 속도로 붕괴하여 다른 안정한 원소로 변한다. 이때 방사성 동위 원소를 모원소, 붕괴 후에 생성된 원소를 자원소라고 하고, 방사성 동위 원소의 양이 처음의 절반으로 줄어드는 데 걸리는 시간을 **반감기**라고 한다.

방사성 동위 원소의 반감기는 원소에 따라 일정한 값을 가진다. 따라서 어느 암석이나 광물에 포함된 방사성 동위 원소의 모원소와 자원소의 비율, 반감기를 알면 그 암석이나 광물이 생성된 시기를 정확히 측정할 수 있다.

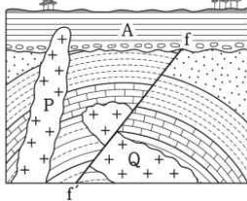
방사성 동위 원소를 이용하면 암석의 절대 연령을 측정할 수 있지만 모든 암석에 적용할 수 있는 것은 아니다. 화성암의 절대 연령을 측정하면 마그마에서 광물이 정출되어 화성암이 생성된 시기를 알 수 있고, 변성암의 절대 연령을 측정하면 변성 작용이 일어나 변성암이 생성된 시기를 알 수 있다. 그러나 퇴적암은 여러 시기의 퇴적물이 섞여 있으므로 절대 연령을 정확히 측정하기는 어렵다. 퇴적암의 절대 연령은 화성암이나 변성암의 절대 연령을 측정한 후 이들 암석과의 생성 순서를

비교하는 간접적인 방법으로 알아낼 수도 있다.

절대 연령을 측정할 때는 반감기가 적절한 방사성 동위 원소를 선택해야 한다. 측정하려는 암석의 나이에 비해 방사성 동위 원소의 반감기가 너무 길면 붕괴한 양이 너무 적고, 암석의 나이에 비해 방사성 동위 원소의 반감기가 너무 짧으면 방사성 동위 원소가 대부분 붕괴되어 절대 연령을 측정하기 어렵다. 따라서 오래된 지질 시대의 암석에는 방사성 동위 원소의 반감기가 긴 우라늄이나 토륨 등을 이용하고, 가까운 지질 시대의 암석이나 유기물에는 반감기가 짧은 탄소의 동위 원소를 이용한다.

16. 그림은 어느 지역의 지질 단면도이다.

화성암 P와 Q에 포함된 방사성 원소 X의 양은 각각 암석이 생성될 당시의 50%, 12.5%이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것은? (단, 방사성 원소 X의 반감기는 7억 년이다.)

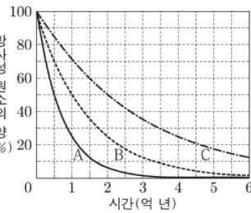


- ① P의 절대 연령은 14억 년이다.
- ② Q는 단층 f-f' 이후에 관입했다.
- ③ 이 지역에서는 향사 구조가 나타난다.
- ④ 이 지역은 최소한 2회 이상 융기했다.
- ⑤ A에서는 P의 암석이 포획암으로 나타날 수 있다.

17. 그림은 서로 다른 방사성 원소

A, B, C의 붕괴 곡선을 나타낸 것이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?



- < 보 기 >
- ㄱ. 반감기는 C가 A의 3배이다.
 - ㄴ. A가 두 번의 반감기를 지나는 데 걸리는 시간은 1억 년이다.
 - ㄷ. 암석에 포함된 B의 양이 처음의 $\frac{1}{8}$ 로 감소하는 데 걸리는 시간은 3억 년이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

9. 지질 시대의 환경과 생물

지구가 탄생한 약 46억 년 전부터 현재까지를 **지질 시대**라고 한다. 지질 시대 동안 지구에 다양한 변화가 있었으며 그 기록이 암석 속에 남아 있다. 특히, 퇴적암에 나타나는 지층과 화석을 연구하면 지구의 역사를 밝힐 수 있다.

호수나 바닷가에는 많은 생물들이 살고 있다. 또, 호수나 바다의 퇴적물에는 나뭇잎이나 생물의 유해가 묻혀 있거나 수중 생물의 흔적이 발견되기도 한다. 이러한 생물의 유해나 흔적은 퇴적물이 암석이 되면서 그대로 남기도 한다.

과거 지질 시대에 살았던 생물을 고생물이라고 하는데, 고생물의 유해나 활동 흔적이 지층 속에 보존되어 있는 것을 **화석**이라고 한다. 지층 속에 묻힌 생물의 유해가 오랜 시간이 지나면서 화석화 작용을 받으면 화석으로 남게 된다. 이때, 생물체에 뼈나 줄기, 껍데기 등과 같은 단단한 부분이 있거나 생물이 미생물에 의해 분해되기 전에 퇴적물 속에 빨리 묻힐수록 화석으로 보존되기 쉽다.

지질 시대 동안 시기와 환경에 따라 다양한 생물이 존재했다. 따라서 지질 시대에 살았던 생물을 연구하면 지층이 생성된 시기나 지질 시대의 환경을 알 수 있다.

생물 중에는 특정 시기에 출현하여 일정 기간 번성하다가 멸종되는 경우가 있다. 이러한 생물의 화석은 지층이 생성된 시기를 판단하는 근거로 이용될 수 있는데, 이를 **표준 화석**이라고 한다. 표준 화석으로는 일반적으로 생존 기간이 짧고, 넓은 지역에 걸쳐 분포하며, 개체 수가 많은 생물을 이용한다. 대표적인 표준 화석에는 고생대의 삼엽충, 중생대의 공룡, 신생대의 매머드 화석 등이 있다.

한편, 환경 변화에 민감한 생물은 특정한 환경에서 번성한다. 이러한 생물의 화석은 생물이 살던 당시의 환경을 추정하는 데 이용할 수 있는데, 이를 **시상 화석**이라고 한다. 시상 화석으로는 생존 기간이 길고 특정한 환경에 제한적으로 분포하며, 환경 변화에 민감한 생물의 화석을 이용한다. 예를 들어, 현재의 산호는 따뜻하고 수심이 얇은 바다에서 살고, 고사리는 따뜻하고 습한 육지에서 산다. 따라서 어느 지역의 지층에서 이러한 생물의 화석이 발견되면 퇴적 당시의 기후나 자연환경을 추정할 수 있다.

해저 퇴적물에 묻혀 있는 미생물의 껍질이나 빙하 속에 들어 있는 산소 안정 동위 원소의 비율을 분석하면 과거의 기온 변화를 추정할 수 있다. 특히 지질 시대의 빙하 속에 갇힌 공기 방울을 분석하면 대기의 조성 변화를 알 수 있다. 또, 해저 퇴적물 속에는 해수면 가까이에 살았던 생물의 화석이 보존되어 있으므로, 이를 연구하면 과거의 기후 변화에 대한 정보를 얻을 수 있다. 그 밖에 꽃가루 화석, 나무의 나이테, 빙하 퇴적물, 동물 생성물 등도 과거의 기후를 연구하는 데 유용한 자료가 된다.

지질학자들은 생물계의 큰 변화나 지각 변동, 기후 변화 등을 기준으로 지질 시대를 누대, 대, 기 등으로 구분한다. 누대는 지질 시대를 구분하는 가장 큰 시간 단위로, **시생 누대, 원생 누대, 현생 누대**로 구분한다. 시생 누대와 원생 누대는 선캄브리아 시대라고도 하며, 전체 지구 역사의 대부분을 차지한다. 선캄브리아 시대의 암석 속에서는 화석이 거의 발견되지 않으며, 원시적인 단세포 생물의 화석이 발견된다. 현생 누대의 암석에서는 화석이 비교적 풍부하게 발견되는데, 생물계의

큰 변화가 나타났던 시기를 기준으로 **고생대, 중생대, 신생대**로 구분한다. 대단위로 구분한 지질 시대는 더 작은 시간 단위의 기로 세분한다.

시생 누대와 원생 누대인 **선캄브리아 시대**는 지질 시대를 거쳐 많은 지각 변동을 받았기 때문에 대부분의 지층이나 화석이 변형되거나 소실되었다. 따라서 이 시기의 환경이나 생물을 추정하기가 매우 어렵다. 그렇지만 선캄브리아 시대의 초기 지층에서 석회암층이 발견되고, 중기와 후기에 빙하 퇴적물이 발견되는 것으로 보아 초기에는 온난하였다가 후기에 빙하기가 있었을 것으로 추정된다. 또, 대륙들이 하나로 모여 초대륙을 형성하였다가 흩어지기를 반복하였는데, 후기에는 초대륙 로디니아가 형성되었다가 분리되기 시작하였다.

선캄브리아 시대 초기의 대기는 주로 질소와 이산화 탄소로 이루어져 있었고, 산소는 거의 없었다. 또, 강한 자외선이 지표에 도달하여 육지에는 생명체가 살 수 없었으므로 최초의 생명체는 바다에서 탄생하였다. 약 38억 년 전에 단세포 원핵생물이 출현하였고 이후 남세균의 광합성에 의해 대기 중에 산소의 양이 증가하기 시작했으며, 선캄브리아 시대 후기에는 다세포 생물이 출현하였다. 이 시기의 대표적인 화석으로는 남세균이 모여 형성된 구조인 **스트로마톨라이트**와 다세포 생명체의 화석인 **에디아카라 동물군**이 있다.

고생대는 대체로 온난하였지만, 후기에는 빙하기가 있었다. 또, 말기에 여러 대륙이 하나로 모여 초대륙 판게아를 형성하면서 대규모 조산 운동이 일어났다.

고생대에는 다양한 생물들이 폭발적으로 증가하였다. 캄브리아기에는 눈, 꺾데기, 가시 등을 가진 동물들이 출현하였는데, 특히 삼엽충, 완족류 등의 해양 무척추동물이 번성하였다. 오르도비스기에는 두족류, 필석류 등이 번성하였으며, 최초의 척추동물인 어류가 출현하였다. 실루리아기에는 갑주어, 바다전갈 등이 번성하였고, 육상 식물도 출현하였다. 데본기에는 어류가 전성기를 이루었으며, 최초의 양서류가 출현하였다. 석탄기에는 방추충, 산호류, 완족류 등이 번성하였고, 양서류가 전성기를 이루었다. 식물계에서는 양치식물이 삼림을 이루었는데, 이들이 퇴적되어 두꺼운 석탄층을 형성하였다. 페름기에는 은행나무, 소철 등의 겉씨식물이 출현하였다. 한편 이 시기 말에는 생물의 대멸종이 일어나 삼엽충, 바다 전갈, 방추충 등 많은 해양 생물들이 절멸하였다.

중생대는 전반적으로 온난한 기후가 지속되었으며, 말기에는 기온이 낮아졌으나, 빙하기는 없었다. 고생대에 형성된 초대륙 판게아는 트라이아스기 말부터 분리되기 시작하여 쥐라기에는 대서양이 나타나기 시작하였고, 백악기에는 인도양이 확장되기 시작했다.

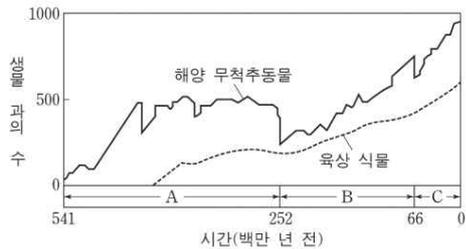
고생대 말 생물의 대량 멸종 이후 중생대에는 공룡, 파충류, 암모나이트가 전 기간에 걸쳐 크게 번성하였다. 트라이아스기 바다에는 두족류에 속하는 암모나이트가 번성하였으며, 육지에는 공룡과 최초의 포유류가 출현하였다. 식물계에서는 은행류, 소철류 등의 겉씨식물이 번성하였다. 쥐라기에는 기온이 높고 강수량이 많아 동물과 식물의 종류가 다양해지고 크기가 커졌다. 또, 파충류와 조류의 특징을 모두 가지고 있는 시조새가 출현하였다. 백악기에는 공룡과 암모나이트가 크게 번성하여 전성기를 이루었으나 말기에 갑자기 멸종하였다. 식물계에서는 겉씨식물이 줄면서 중생대에 번성하던 겉씨식물을 대체하기

시작했다.

신생대 팔레오기와 네오기는 대체로 온난하였으나 점차 한랭해지기 시작하여 제4기에는 여러 번의 빙하기와 간빙기가 있었으며, 마지막 빙하기는 약 1만 년 전에 끝났다. 또, 판게아에서 분리된 대륙이 이동하면서 오늘날과 거의 비슷한 수륙 분포를 이루게 되었다.

팔레오기와 네오기에는 겉씨식물이 쇠퇴하고 속씨식물이 번성하여 삼림을 이루었으며, 넓은 초원이 형성되면서 초식성 포유류가 번성할 수 있는 환경이 조성되었다. 이 시기에 육지에서는 매머드를 비롯하여 말, 낙타 등과 같은 다양한 종류의 포유류가 번성하였다. 또한 매, 올빼미 등의 조류가 출현하였으며, 영장류도 이 시기에 출현하였다. 한편, 바다에서는 유공충에 속하는 화폐석이 출현하였다가 멸종하였다. 제4기에는 매머드가 넓은 지역에 분포하였지만 말기에 멸종하였다. 식물계에서는 단풍나무, 참나무 등의 속씨식물이 번성하여 오늘날에 이르게 되었다.

18. 그림은 현생 이인 동안 해양 무척추동물과 육상 식물의 과의 수 변화를 나타낸 것이다.

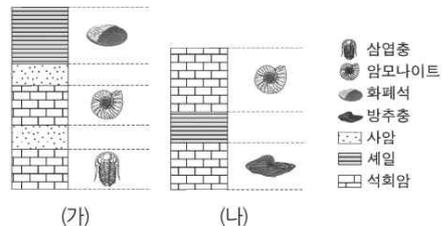


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보기 >
- ㄱ. 육상 식물이 해양 무척추동물보다 먼저 출현하였다.
 - ㄴ. 해양 무척추동물의 과의 수는 A시기 말이 B시기 말보다 적었다.
 - ㄷ. C시기에는 화폐석이 번성하였다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

19. 그림은 서로 다른 지역 (가)와 (나)의 지질 주상도와 각 지층에서 산출되는 화석을 나타낸 것이다.

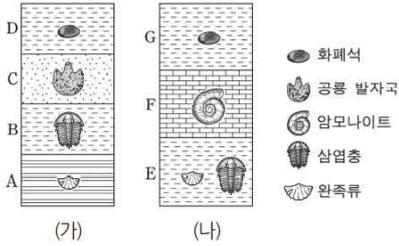


이 자료에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보기 >
- ㄱ. 두 지역의 셰일은 동일한 시대에 퇴적되었다.
 - ㄴ. 가장 젊은 지층은 (가)에 나타난다.
 - ㄷ. 화석이 산출되는 지층은 모두 해성층이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

20. 그림은 (가)와 (나) 지역의 지질 주상도와 각 지층에서 산출되는 화석을 나타낸 것이다.



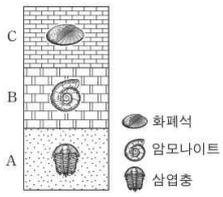
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. (가)에서 고생대 지층은 A와 B이다.
 - ㄴ. (나)에는 중생대 지층이 없다.
 - ㄷ. (가)와 (나)의 퇴적층은 모두 해성층이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

21. 그림은 어느 지역의 지질 단면과 지층 A, B, C에서 발견되는 화석을 나타낸 것이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것을 <보기>에서 고른 것은?

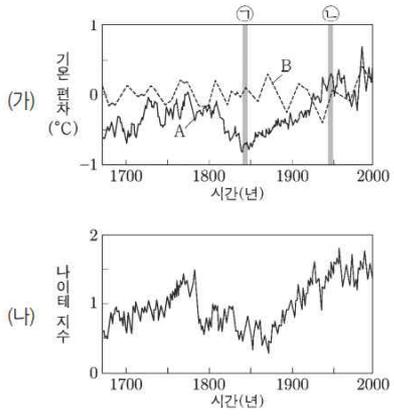


- < 보 기 >
- ㄱ. A의 지질 시대 초기에 판게아가 분리되었다.
 - ㄴ. B의 지질 시대에는 공룡이 번성하였다.
 - ㄷ. C의 지질 시대에는 포유류가 번성하였다.
 - ㄹ. A, B, C는 모두 육지에서 형성되었다.

- ① ㄱ, ㄷ ② ㄱ, ㄹ ③ ㄴ, ㄷ ④ ㄴ, ㄹ ⑤ ㄷ, ㄹ

22. 다음은 나무의 나이테 지수를 이용한 고기후 연구 방법에 대한 설명이다. 그림 (가)는 북반구 A 지역과 남반구 B 지역의 기온 편차를 각각 나타낸 것이고, (나)는 A 지역의 나이테 지수이다.

- 나이테의 폭을 측정하여 나이테 지수를 구한다.
- 나이테 지수가 클수록 기온이 높다고 추정한다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. A의 기온은 ㉠ 시기가 ㉡ 시기보다 낮다.
 - ㄴ. 기온 편차의 최댓값과 최솟값의 차는 A가 B보다 작다.
 - ㄷ. ㉠ 시기의 나이테 지수와 ㉡ 시기의 나이테 지수의 차는 B가 A보다 작을 것이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄷ

10. 날씨의 변화

주변보다 기압이 높은 곳을 고기압, 낮은 곳을 저기압이라고 한다. 고기압의 중심 부근에서는 하강 기류가 발달하여 날씨가 맑고, 저기압 중심 부근에서는 상승 기류가 발달하여 구름이 생성되므로 흐리거나 강수 현상이 나타난다.

공기 덩어리가 지표면의 성질이 거의 일정한 넓은 지역에 오랫동안 머물게 되면 지표면의 영향을 받아 기온과 습도 등 성질이 거의 비슷한 공기 덩어리가 되는데, 이를 **기단**이라고 한다.

우리나라에 영향을 주는 기단을 나타낸 것이다. 겨울에는 시베리아 지역, 여름에는 북태평양 지역에서 형성된 기단은 세력이 확장되면서 우리나라 날씨에 영향을 준다.

이처럼 고기압의 중심부가 거의 이동하지 않고 한곳에 머무르는 고기압을 **정체성 고기압**이라고 한다. 정체성 고기압의 대표적인 예로는 시베리아 고기압과 북태평양 고기압이 있다.

겨울철에 시베리아 지역에는 한랭 건조한 시베리아 고기압이 발달한다. 이 시기에 시베리아 고기압이 확장하면 우리나라는 차고 건조한 북서 계절풍이 강하게 불어 기온이 갑자기 낮아지는 한파가 오고 건조한 날씨가 나타난다.

7월 하순 무렵에 장마가 끝나면 북태평양 고기압은 중심이 일본의 동쪽 또는 남쪽에 머무른다. 이 고기압의 세력이 확장하면 우리나라에는 북태평양으로부터 고온 다습한 남풍 계열의 바람이 불어 무더위와 열대야 현상이 나타나기도 한다.

시베리아 기단에서 일부가 떨어져 나오거나 양쯔강 기단에서 발달하는 비교적 규모가 작은 고기압을 **이동성 고기압**이라고 한다. 봄과 가을철에 우리나라 날씨를 중국의 양쯔강 유역으로부터 다가오는 이동성 고기압의 영향을 받는다.

이 계절에는 우리나라 부근에 동서 방향으로 고기압과 저기압이 분포하는데, 이동성 고기압에 의해 2일~3일 정도 맑은 날씨가 이어지다가, 뒤를 이어 다가오는 저기압의 영향을 받아 흐리거나 비가 내리게 된다. 이처럼 봄과 가을철에는 이동성 고기압과 저기압이 교대로 지나가면서 날씨가 번덕스러우며, 황사나 꽃샘추위가 나타나기도 한다.

찬 기단과 따뜻한 기단이 만나면 서로 잘 섞이지 않으므로 경계면을 이루는데, 이를 **전선면**이라고 한다. 그리고 전선면이 지표면과 만나서 이루는 경계선을 **전선**이라고 한다. 이러한 전선은 남북 간의 온도 차이가 큰 중위도 지방에서 발달하기 쉽다.

전선에는 한랭 전선, 온난 전선, 폐색 전선, 정체 전선 등이 있다. 한랭 전선은 찬 기단이 따뜻한 기단을 밀어 올리면서 형성되고, 온난 전선은 따뜻한 기단이 찬 기단을 타고 오르면서 형성되며, 폐색 전선은 한랭 전선과 온난 전선이 겹쳐져서 형성된다. 한편, 찬 기단과 따뜻한 기단의 세력이 비슷할 때 형성되는 정체 전선은 한곳에 오랫동안 머무르는 특징이 있다. 정체 전선의 예로는 초여름에 우리나라 부근에서 형성되는 장마 전선이 있다.

전선을 경계로 이웃한 두 기단의 성질이 다르므로 전선 양쪽은 기온, 풍향, 강수량 등의 기상 요소가 크게 차이가 난다. 그러므로 전선 부근에서는 구름이 끼거나 비가 내리는 등 날씨의 변화가 심하게 일어난다. 한랭 전선과 온난 전선 부근에서 날씨는 어떻게 변하는지 알아보자.

중위도의 온대 지방에서 발달하는 저기압을 **온대 저기압**이라고 한다. 온대 저기압은 대체로 저기압 중심의 남서쪽에 한랭 전선을, 남동쪽에 온난 전선을 동반하며, 편서풍의 영향을 받아 동쪽으로 이동해 가면서 날씨 변화를 일으킨다.

온대 저기압 주변의 날씨를 나타낸 것이다. 온대 저기압이 접근하는 곳은 남동풍이 불면서 넓은 지역에서 지속적인 강수가 나타난다. 온난 전선이 통과하고 나면 날씨가 대체로 맑아지며 남서풍이 분다. 그 후 한랭 전선이 통과하면 북서쪽으로부터 찬 공기가 몰려와서 기온이 내려가고, 적운형 구름에서 소나기성 강수가 나타난다.

한편, 온대 저기압 부근의 기압은 중심에 가까워질수록 낮아진다. 그러므로 온난 전선이 통과하면 저기압 중심이 다가와 기압이 대체로 낮아지고, 한랭 전선이 통과하면 저기압 중심이 동쪽으로 멀어지므로 기압이 대체로 높아진다.

북반구의 중위도 지방에서 전선과 함께 온대 저기압이 발생하였다가 소멸하는 과정을 나타낸 것이다. 중위도 지방에서 북쪽의 찬 기단과 남쪽의 따뜻한 기단이 만나 정체 전선이 형성되고, 시간이 지나면 파동이 발생하여 한랭 전선과 온난 전선이 생긴다. 한랭 전선과 온난 전선이 발달하면서 북반구에서는 바람이 시계 반대 방향으로 불어 들어가는 온대 저기압이 성장한다. 온대 저기압은 편서풍을 따라 동쪽으로 이동하면서 중심 기압이 점차 낮아지고, 그 세력이 더욱 강해진다. 시간이 지나면 이동 속도가 빠른 한랭 전선이 온난 전선을 따라잡아 겹쳐진 폐색 전선이 발달한다. 이후 따뜻한 공기가 찬 공기 위로 올라가 저기압이 소멸한다.

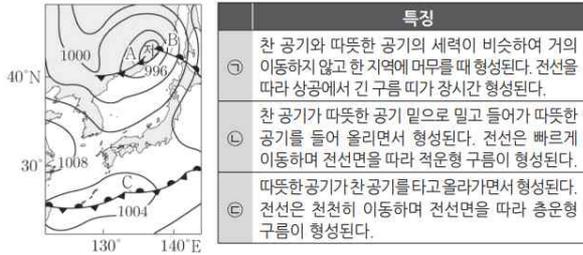
일기도를 일정한 시간 간격으로 작성하여 고기압과 저기압, 전선 등의 위치나 세기가 어떻게 변했는지 분석하면 일기 변화의 경향성을 파악할 수 있다. 여기에 기상 위성에서 보내온 관측 자료나 기상 레이더 자료 등을 종합하여 앞으로 날씨가 어떻게 달라질지 예상할 수 있다.

오늘날 인공위성과 관측 기술의 발전으로 기상 위성을 이용한 관측이 널리 이용되고있다. 세계 기상 기구는 기상 위성 관측망을 편성하여 지구 전체를 관측하고 있는데, 우리나라의 통신 해양 기상 위성(COMS)인 천리안 위성도 전 지구 위성 관측망에 포함되어 있다.

인공위성을 이용하여 만들어지는 기상 위성의 영상에는 가시광선 영상, 적외선 영상 등이 있다. 야간에는 지표면이 햇빛을 받지 못하므로 가시광선 영상을 얻을 수 없다. 그런데 지표면뿐만 아니라 구름은 항상 적외선을 방출하므로 적외선 영상을 이용하면 야간에도 구름을 관측할 수 있다.

일정한 시간 간격으로 작성된 일기도를 보면, 일기도상의 고기압이나 저기압, 전선이나 구름의 분포 등의 배치가 대체로 서쪽에서 동쪽으로 이동해 간다는 것을 알 수 있다. 기상 현상은 우리의 생활에 많은 이로움을 주기도 하지만 피해를 초래하기도 한다. 우리나라의 기상청에서는 6시간 간격으로 일기예보를 하고 있으며, 기상 재해가 예상될 때에는 주의보나 경보를 발령하여 대비하도록 하고 있다.

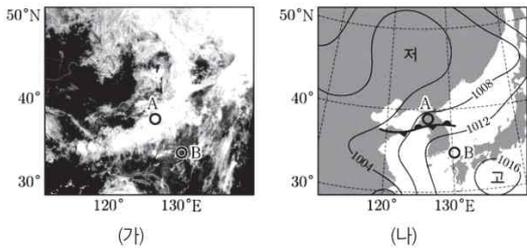
23. 그림은 우리나라 주변의 일기도이고, 표의 ㉠, ㉡, ㉢은 각각 일기도에 나타난 전선 A, B, C의 특징 중 하나이다.



㉠, ㉡, ㉢에 해당하는 전선으로 옳은 것은?

- | | | | |
|---|---|---|---|
| | ㉠ | ㉡ | ㉢ |
| ① | A | B | C |
| ② | B | A | C |
| ③ | B | C | A |
| ④ | C | A | B |
| ⑤ | C | B | A |

24. 그림 (가)와 (나)는 어느 날 같은 시각 우리나라 부근의 가시영상과 지상 일기도를 각각 나타낸 것이다.



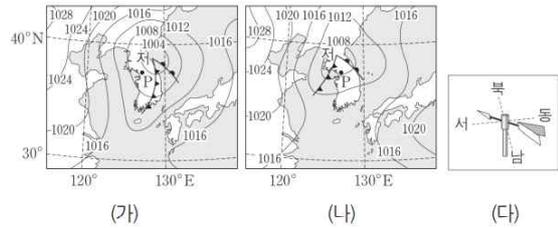
이 자료에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보 기 >

ㄱ. 구름의 두께는 A 지역이 B 지역보다 두껍다.
 ㄴ. A 지역의 구름을 형성하는 수증기는 주로 전선의 남쪽에 위치한 기단에서 공급된다.
 ㄷ. B 지역의 지상에서는 남풍 계열의 바람이 분다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

25. 그림 (가)와 (나)는 5월 중 어느 날 12시간 간격의 지상 일기도를 순서 없이 나타낸 것이고, (다)는 이 기간 중 어느 시점에 P에서 관측된 풍향계의 모습이다.



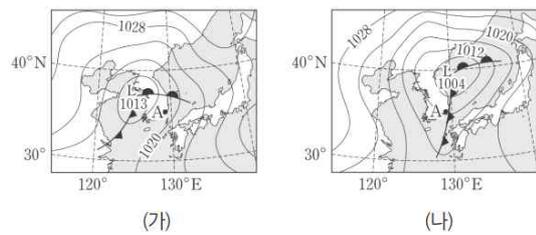
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보 기 >

ㄱ. (가)는 (나)보다 12시간 전의 일기도이다.
 ㄴ. (다)의 풍향은 (나)일 때이다.
 ㄷ. 이 기간 중 P에는 소나기가 내렸다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

26. 그림 (가)와 (나)는 우리나라를 지나는 온대 저기압의 위치를 12시간 간격으로 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보 기 >

ㄱ. 저기압의 세력은 (가)가 (나)보다 약하다.
 ㄴ. (가)에서 (나)로 변하는 동안 A에서는 비가 지속적으로 내렸다.
 ㄷ. 우리나라를 지나는 온대 저기압은 봄철이 여름철보다 형성되기 쉽다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄷ

11. 태풍과 날씨

수온이 높은 열대 해상에서 발생하는 저기압을 **열대 저기압**이라고 하고, 북태평양의 서쪽에서 발생하여 중심 부근의 순간 최대 풍속이 17m/s 이상인 것을 **태풍**이라고 한다. 고온 다습한 열대 해상에서 표면 해수의 온도가 상승하면 대기가 불안정해져서 빠르게 상승하여 적란운이 두껍게 발달한다. 이 구름에서 수증기가 응결하면서 많은 양의 응결열이 방출되는데, 이 열이 열대 저기압의 에너지원이다. 응결열이 공기에 에너지를 공급하므로 상승 기류가 더욱 발달한다. 이처럼 태풍은 수권과 기권의 상호 작용으로 발생하는 기상 현상이다.

우리나라로 접근하는 태풍의 이동 경로는 대기 대순환에 의한 무역풍과 편서풍뿐만 아니라 북태평양 고기압의 영향을 받기도 한다. 태풍은 발생 초기에는 서쪽이나 북서쪽으로 진행하다가 북위 25°~30° 부근에 도달하면 진행 방향이 크게 바뀌어 포물선을 그리며 북동쪽으로 진행하는 경우가 일반적이다.

태풍이 진행하는 방향에 대하여 오른쪽 지역을 위험 반원, 왼쪽 지역을 안전 반원(가항 반원)이라고 한다. 위험 반원에서는 태풍 내 풍향이 태풍의 이동 방향 및 지상의 편서풍 방향과 같으므로 풍속이 상대적으로 강하고, 안전 반원에서는 태풍 내 풍향이 태풍의 이동 방향 및 지상의 편서풍 방향과 반대이므로 풍속이 상대적으로 약하다. 따라서 위험 반원에 있는 지역은 태풍의 피해가 클 수 있으므로 더 많은 주의가 필요하다.

태풍이 진행하다가 육지에 상륙하면 지면과의 마찰력이 작용하고 태풍의 에너지원인 수증기의 공급이 줄어들기 때문에 태풍의 세력이 약해진다. 태풍이 수온이 낮은 해역을 통과하는 때도 수증기와 열을 충분히 공급받기 어려우므로 그 세력이 약해진다. 이처럼 태풍은 수권으로부터 에너지를 충분히 공급받지 못하면 세력이 약해져서 온대 저기압으로 변하여 소멸한다.

태풍은 시계 반대 방향으로 회전하는 대기의 거대한 소용돌이로, 지름은 200km~1500km로 다양하며 평균 높이는 약 15km이다. 태풍은 중심 기압과 가장자리의 기압 차이가 매우 커서 강한 바람을 동반하고, 태풍의 중심 쪽으로 빠르게 회전하면서 모여든 공기가 상승하여 거대한 탑 모양의 적란운이 생성된다. 태풍의 중심부에서 상승하는 공기는 상층에서 대부분 바깥쪽으로 향하고, 일부는 중심부에서 다시 하강한다. 이처럼 태풍의 중심으로부터 약 50km 이내에는 하강 기류가 있어 날씨가 맑고 바람이 약한 구간이 나타나는데, 이를 **태풍의 눈**이라고 한다.

태풍의 눈 바깥에는 강한 상승 기류에 의해 적란운이 발달하여 거대한 눈벽이 형성된다. 태풍의 눈을 둘러싸는 태풍의 눈벽 주변에는 적운형 구름으로 이루어진 나선 모양의 구름 띠가 둘러싸고 있다. 태풍이 접근할 때는 1~2 시간 간격으로 강한 소나기가 내리다가 그치기를 반복하는데, 이는 나선형 구름 띠가 차례대로 지나기 때문이다.

태풍은 온대 저기압과는 달리 전선을 동반하지 않고 일기도 상에서 등압선이 동심원 형태를 이루고 있다. 그러므로 위성 영상에서 보면 태풍은 거대한 구름이 시계 반대 방향으로 휘감겨 있는 모습으로 나타나고, 태풍의 눈은 눈벽으로 둘러싸여 있어서 중심부에 구멍이 뚫려 있는 것처럼 보인다. 태풍이 우리나라 부근으로 다가오면 풍속이 점차 증가하는데, 남풍 계열

의 바람이 부는 위험 반원에서는 풍향이 시계 방향으로, 북풍 계열의 바람이 부는 안전 반원에서는 풍향이 시계 반대 방향으로 바뀐다.

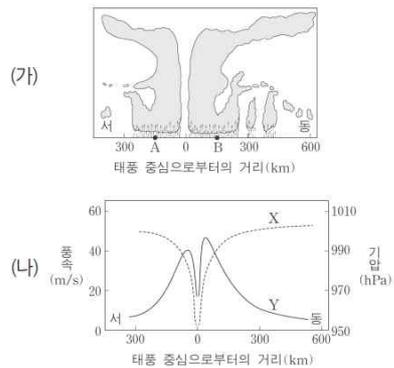
태풍이 통과하면 강풍 피해, 해일 피해, 호우 피해 등이 발생할 수 있다. 태풍은 육지에 상륙하면 중심 기압이 높아지면서 세력이 급격하게 약해지므로 강풍 피해는 주로 섬이나 해안 지방에서 발생한다. 하지만 도시에서도 강한 바람에 물체들이 날리면서 인명과 재산의 피해가 발생하기도 한다. 특히, 태풍이 농작물의 수확기에 내습하면 강풍 피해가 심각하게 발생한다.

태풍의 중심부는 주변보다 기압이 낮아서 해수면이 높아지므로 육지에 상륙할 때에는 강한 바람으로 파도가 육지로 넘쳐 들어와서 해일 피해를 일으키기도 한다. 또, 태풍으로 발생하는 호우는 며칠 동안 계속되어 큰 피해를 줄 수 있다.

태풍은 우리나라에서 발생하는 자연재해 중 가장 큰 피해를 일으키는 현상이다. 우리나라에 영향을 주는 태풍은 한 해에 3개 정도인데, 주로 7월에서 9월 사이에 우리나라 부근을 통과한다.

태풍마다 최대 풍속이나 영향을 미치는 범위에 차이가 나며, 태풍에 따라 풍속은 약하지만 많은 비를 내리기도 한다. 태풍이 통과하면 일반적으로 하루에 300mm 정도의 강수가 동반되며, 하루에 500mm가 넘을 때도 있다. 태풍은 가뭄을 해결하고 해수를 혼합시켜 해양 오염의 해소에 도움이 되기도 한다. 하지만 농작물에 큰 피해를 입히고 항만 시설이나 도로를 파괴하며 산사태를 일으키기도 한다. 따라서 태풍 피해를 최소화하기 위해 사전에 대비하는 노력이 필요하다.

27. 그림 (가)는 북반구 중위도에서 북상하는 어느 태풍의 단면을, (나)는 이 태풍의 풍속과 기압 분포를 개략적으로 나타낸 것이다.

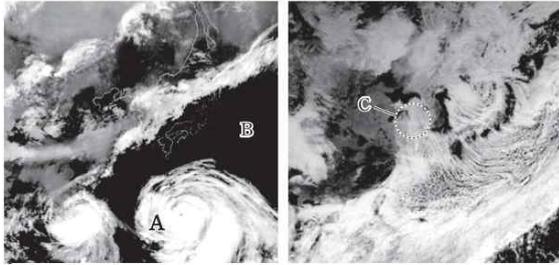


이 태풍에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A와 B는 태풍 중심으로부터의 거리가 같은 지점이다.)

- < 보 기 >
- ㄱ. (나)의 X는 풍속, Y는 기압이다.
 - ㄴ. 풍속은 (가)의 B 지점이 A 지점보다 빠르다.
 - ㄷ. 태풍의 눈에서는 하강 기류가 나타난다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

28. 그림 (가)는 어느 태풍이 우리나라로 접근하고 있을 때, (나)는 우리나라 서해안 지역에서 폭설이 내릴 때 우리나라와 주변 지역을 촬영한 적외선 영상을 나타낸 것이다.



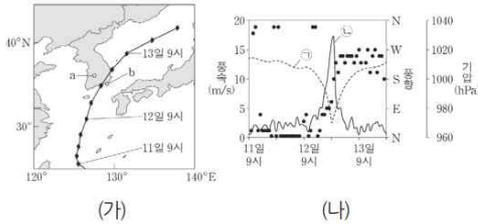
(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. (가)의 A 지역에서 부는 바람은 남동풍 계열이다.
 - ㄴ. (가)의 B 지역에는 오후츠크해 기단이 발달해 있다.
 - ㄷ. (나)의 C 지역(황해) 상공에는 적운형 구름이 발달해 있다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

29. 그림 (가)는 어느 태풍의 위치를 6시간 간격으로 나타낸 것이고, (나)는 이 태풍이 이동하는 동안 관측소 a와 b 중 한 곳에서 관측한 풍향, 풍속, 기압 자료의 일부를 나타낸 것이다. ㉠과 ㉡은 각각 풍속과 기압 중 하나이다.



(가) (나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 9시~21시 동안 태풍의 이동 속도는 12일이 11일보다 빠르다.
 - ㄴ. (나)는 a의 관측 자료이다.
 - ㄷ. (나)에서 12일에 측정된 기압은 9시가 21시보다 낮다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

12. 우리나라의 주요 악기상

여름철 오후에 짙은 구름이 몰려오고 하늘이 캄캄해지면서 소나기가 내리는 경우가 있다. 이처럼 강한 상승 기류에 의해 적란운이 발달하면서 천둥, 번개와 함께 소나기가 내리는 현상을 **뇌우**라고 한다.

뇌우의 발달 단계를 나타낸 것으로 뇌우는 상승 기류가 발달하여 매우 불안정한 대기에서 발생한다. 뇌우는 강한 햇빛을 받은 지표 부근의 공기가 국지적으로 가열되어 활발하게 상승하거나, 한랭 전선에서 찬 공기가 따뜻한 공기를 파고들어 따뜻한 공기가 빠르게 상승할 때 발생한다. 그리고 태풍에 동반된 강한 상승 기류가 일어날 때에도 발생한다.

뇌우는 국지성 호우, 우박, 돌풍 그리고 번개 등을 동반하기 때문에 순식간에 큰 인명 피해를 내거나 농작물 파손, 가옥 파괴 등의 재산 피해를 가져오기도 한다. 일반적으로 뇌우는 규모가 작아서 일기도상에 잘 나타나지 않으므로 예측하기 어렵다.

하늘에서 눈의 결정 주위에 차가운 물방울이 얼어붙어 땅으로 떨어지는 얼음 덩어리를 **우박**이라고 한다. 우박의 크기는 보통 1cm 미만인데, 이보다 훨씬 큰 것도 있다.

기온이 0°C~-40°C인 적란운의 상층에서는 과냉각 물방울에서 증발한 수증기가 빙정에 달라붙으면서 빙정이 성장한다. 이때 빙정이 무거워져 아래로 떨어지면서 물방울과 합쳐져서 더욱 성장한다. 빙정은 0°C보다 따뜻한 곳에서는 표면부터 녹기 시작하는데, 이때 강한 상승 기류를 만나면 다시 0°C보다 차가운 곳으로 올라가 얼어붙고, 수증기가 달라붙어 더욱 성장한다. 이렇게 하강과 상승을 반복하면서 우박이 성장하고, 상승 기류가 지탱하지 못할 정도로 커진 우박은 지상으로 떨어진다.

우리나라에서 우박은 강한 상승 기류가 발달하는 초여름이나 가을에 주로 발생한다. 이때는 농작물들을 수확할 시기이기 때문에 우박으로 인한 농작물의 피해가 크다. 우박이 떨어지면 비닐하우스나 유리 온실이 파손되고, 건물이나 시설 등에 피해를 주며, 인명 사고까지 발생할 수 있다.

많은 비가 연속적으로 내리는 것을 **호우**라고 하고, 짧은 시간 동안 좁은 지역에서 많은 양의 비가 내리는 것을 **국지성 호우** 또는 **집중 호우**라고 한다.

국지성 호우는 일반적으로 한 시간에 30mm 이상 또는 하루에 80mm 이상의 비가 내리거나 연 강수량의 10%에 상당하는 비가 내리는 경우를 말한다. 국지성 호우는 강한 햇빛으로 지면이 가열되거나 전선 부근에서 강한 상승 기류가 발달할 때 또는 태풍에 동반된 비구름 때문에 발생하며, 지형의 영향을 많이 받는다. 국지성 호우는 농경지와 가옥 및 도로를 침수시킬 뿐만 아니라 산사태를 일으켜 인명과 재산 피해를 발생시킨다.

짧은 시간 동안에 많은 양의 눈이 내리는 현상을 **폭설**이라고 한다. 폭설은 겨울철에 저기압이 통과하거나 시베리아 고기압이 확장하면서 해수면으로부터 열과 수증기를 공급받아서 상승 기류가 발달할 때 발생한다.

폭설은 도심에서는 교통을 마비시키거나 교통사고를 유발하고, 농가에서는 비닐하우스나 축사 시설물 등의 붕괴를 일으키기도 한다.

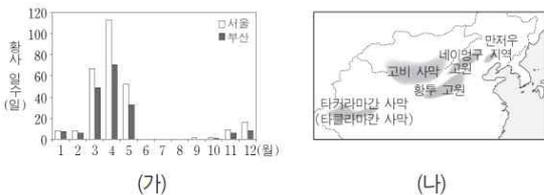
10분간 평균 풍속이 10m/s 이상인 강한 바람을 **강풍**이라고 한다. 강풍은 주로 겨울철에 시베리아 고기압의 영향을 받거나 여름철에 태풍의 영향을 받을 때 나타난다. 봄철에 지표면이 가열되어 지상의 따뜻한 공기가 상층의 찬 공기와 만나면 기층이 불안정해지면서 천둥과 번개를 동반한 강풍이 부는 경우가 있다.

강풍은 비닐하우스, 해안 양식장, 건물 등의 시설물을 파괴하기도 하고, 높은 파도를 일으켜서 선박을 파괴하거나 좌초시키기도 한다. 산간 지역에서는 화재 발생의 원인이 되기도 한다.

중국 북부나 몽골의 사막 또는 건조한 황토 지대에서 강한 바람이 불어 상공으로 올라간 미세 먼지가 우리나라까지 운반된 후 서서히 하강하는 현상을 **황사**라고 한다. 황사는 주로 3월에서 5월 사이에 많이 발생하는데, 강한 편서풍을 타고 우리나라를 거쳐서 일본, 태평양, 북아메리카까지 날아가기도 한다.

황사는 호흡기 질환 및 눈병 유발 등 사람의 건강을 위협하고, 농작물의 생장을 방해한다. 또, 시정 악화로 교통 장애를 유발할 뿐 아니라 항공기 엔진에 장애를 일으킬 수 있고, 반도체 등의 생산에도 문제를 발생시킬 수 있다.

30. 그림 (가)는 지난 40년 동안 서울과 부산에서 관측된 월별 황사 일수, (나)는 우리나라에 영향을 미치는 황사의 발원지를 나타낸 것이다.



이 자료에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 봄철 황사 일수는 서울보다 부산이 많다.
 - ㄴ. 황사의 발생은 지권과 기권의 상호 작용에 해당한다.
 - ㄷ. 황사는 발원지가 한랭 건조한 기단의 영향을 받는 계절에 주로 관측된다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

31. 그림 (가)와 (나)는 기상 현상을 나타낸 것이다.



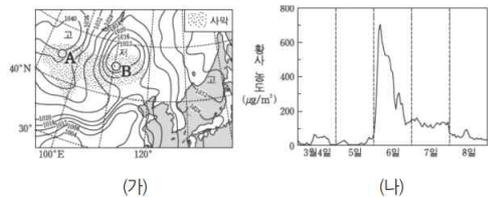
(가) 태풍 (나) 뇌우

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. (가)와 (나)에서 모두 강수 현상이 나타난다.
 - ㄴ. (가)와 (나)는 비슷한 시간 규모를 가진다.
 - ㄷ. (나)는 (가)에 동반되어 나타낼 수 있다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

32. 그림 (가)는 어느 해 우리나라에 영향을 미친 황사가 발원한 3월 4일의 일기도를, (나)는 3월 4일부터 8일까지 백령도에서 관측된 황사 농도를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. (가)에서 황사의 발원지는 B지역보다 A지역일 가능성이 크다.
 - ㄴ. 3월 6일에 백령도에는 하강 기류가 상승 기류보다 강했을 것이다.
 - ㄷ. 사막의 면적이 줄어들면 황사의 발생 횟수는 감소할 것이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

13. 해수의 성질

해수에는 육지로부터 강물에 녹아 흘러들어오거나 해저 화산 활동으로 공급된 여러가지 염류가 녹아 있다. 해수 1kg에 녹아 있는 염류의 양을 염분이라고 하며, 단위는 psu를 사용한다. 해수의 염분은 주로 33psu~37psu 사이에 분포하고, 해양의 평균 염분은 약 35psu이다.

표층 염분은 증발량과 강수량에 따라 달라진다. 증발량이 강수량보다 많을수록 염분은 높게 나타나므로 증발량과 강수량의 차이가 가장 큰 중위도에서 염분이 가장 높다. 반면에 강수량이 증발량보다 많은 저위도는 중위도보다 염분이 낮다. 또, 강물의 유입, 결빙, 해빙 등도 특정한 해역의 염분에 영향을 미친다.

지구 표면의 약 70%를 차지하는 바다는 태양 복사 에너지를 흡수하여 가열된다. 지표에 도달하는 태양 복사 에너지량은 저위도에서 고위도로 갈수록 적어지므로, 해수의 표면 온도는 저위도에서 고위도로 갈수록 낮아진다.

태양 복사 에너지는 대부분 해수 표층에서 흡수되므로 수심이 깊어질수록 수온이 점점 낮아진다. 이때 표층에 있는 해수는 바람 때문에 발생한 파도의 영향으로 잘 섞여 수온이 거의 일정한데, 이 층을 **혼합층**이라고 한다. 따라서 혼합층은 바람이 강할수록 두껍게 형성된다. 한편, 깊은 곳에 있는 해수에는 햇빛이 도달하지 않으므로 수온이 낮으며 거의 일정한 **심해층**이 형성된다. 혼합층과 심해층 사이에는 두 층의 수온 차이 때문에 깊어질수록 수온이 낮아지는 **수온 약층**이 존재한다. 이러한 해수의 연직 분포는 위도에 따라 달라진다. 저위도와 중위도 해역은 표층과 심층의 온도 차이가 커서 수온 약층이 잘 발달하지만, 고위도 해역은 표층과 심층의 온도 차이가 거의 없어 수온에 따른 층상 구조가 발달하지 않는다.

해수의 밀도는 수온과 염분에 따라 달라진다. 일반적으로 해수의 밀도는 약 1.020g/cm³~1.030g/cm³이므로 순수한 물보다 약 2%~3% 더 높다.

해수의 밀도는 수온이 낮을수록, 염분이 높을수록 증가한다. 수온이 비슷한 고위도의 해양에서 해수의 밀도는 주로 염분의 영향을 받는다. 열대나 아열대의 해양은 수심에 따른 수온의 변화가 크므로 염분보다 수온의 영향을 크게 받는다. 따라서 해수의 밀도는 깊이에 따라 수온과 대칭적인 변화를 보인다.

해양은 밀도에 따라 해수면에서부터 표층, 밀도 약층, 심층으로 구분한다. 표층과 심층 사이에 있는 밀도 약층은 깊이에 따라 수온이 급격하게 낮아져 밀도가 증가하는 층이다. 깊이에 따른 수온의 변화가 커서 밀도 약층이 잘 발달하면 하층으로 갈수록 밀도가 증가하므로 표층과 심층의 해수가 잘 섞이지 않게 된다.

해수에는 대기의 주 구성 성분인 질소, 산소, 이산화 탄소 등의 기체가 녹아 있다. 이 중에서 산소와 이산화 탄소는 해양 생물의 호흡과 광합성에 필요한 기체로서 바다에 사는 생물의 활동과 극지방의 표층에서 침강하는 차가운 해수의 영향을 받아 그 농도가 변한다.

해수에 녹아 있는 기체의 농도는 수압이 높을수록, 수온과 염분이 낮을수록 높아진다. 해수에 녹아 있는 산소의 양을 용존 산소량이라고 하는데, **용존 산소**는 대기 중의 산소가 해수 표면으로 녹아 들어오거나 해양 생물의 광합성을 통해 공급된

다. 용존 산소량은 대기와 접해 있으며 해양 생물이 광합성을 하는 표층에서 가장 높다. 이후 수심 약 1000 m까지는 수중 동물이 호흡하면서 산소를 소비하므로 용존 산소량이 크게 감소한다. 수심이 1000 m보다 깊은 곳에서는 수심이 깊어질수록 산소를 소비하는 동물의 수가 감소하고, 극지방의 표층에서 침강한 차가운 해수가 유입되므로 용존 산소량은 점점 증가한다.

이산화 탄소는 물에 잘 녹는 기체로 대기에서 해수 표면으로 녹아든다. 이산화 탄소의 농도는 해양 생물의 광합성에 의해 소비되는 표층에서 가장 낮다. 수심이 깊어지면 광합성에 의한 이산화 탄소의 소비가 줄어들고, 수중 동물의 호흡과 차가운 극지방의 표층 해수가 침강하여 유입되므로 농도가 점차 증가하는 경향을 보인다.

33. 다음은 수온과 염분이 해수의 밀도에 미치는 영향을 알아보기 위한 실험이다.

[실험 과정]

(가) 수온과 염분이 다른

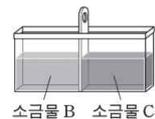
소금물 A, B, C에 서로 다른 색의 잉크를 한두 방울 떨어뜨려 각각 착색한다.

소금물	수온(°C)	염분(psu)
A	25	38
B	7	38
C	7	27

(나) 그림과 같이 칸막이로 분리된 수조 양쪽에 동일한 양의 A와 B를 각각 넣고, 칸막이를 제거한 후 소금물의 이동을 관찰한다.



(다) 수조에 담긴 소금물을 제거한 후, 소금물을 B와 C로 바꾸어 (나) 과정을 반복한다.



[실험 결과]

과정	결과
(나)	소금물 (㉠)가 소금물 (㉡)아래로 이동한다.
(다)	㉢ 소금물 B가 소금물 C 아래로 이동한다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보기 >
- ㄱ. 실험 과정 (나)는 염분이 같을 때 수온이 밀도에 미치는 영향을 알아보기 위한 것이다.
 - ㄴ. ㉠은 A, ㉡은 B이다.
 - ㄷ. ㉢은 수온이 같을 때 염분이 높을수록 밀도가 크기 때문이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

14. 해수의 표층 순환

과학자들은 오랜 관측과 연구를 통해 일정하게 불고 있는 지구 전체적인 규모의 바람과 일정하게 흐르는 해류가 있다는 것을 알게 되었다. 이러한 바람이 부는 까닭과 바람과 표층 해류는 어떤 관계가 있는지 알아보자.

저위도는 고위도보다 더 많은 양의 태양 복사 에너지가 들어오므로 고위도보다 지표 온도가 더 높다. 따라서 저위도의 따뜻한 공기는 상승하여 고위도로 이동하고, 고위도의 차가운 공기는 하강하여 저위도로 이동한다. 이동하는 공기는 지구 자전의 영향을 받으므로 북반구와 남반구에 각각 3개의 거대한 순환 세포로 이루어진 지구 전체적인 규모의 대기 순환이 생기는데, 이를 대기 대순환이라고 한다. 대기 대순환 때문에 저위도 지상에서는 무역풍이 불고, 중위도 지상에서는 편서풍이 불며, 고위도 지상에서는 극동풍이 분다. 대기 대순환으로 바람이 일정하게 계속해서 불면 표층의 해수는 바람으로부터 에너지를 얻어 일정한 방향으로 흐르는 해류를 형성하고, 해류는 큰 순환을 이루면서 흐른다. 이러한 순환은 해수의 표층에 국한되어 수평 방향으로 일어나므로 표층 순환이라고 하며, 대기 대순환과 밀접한 관계가 있어 풍성 순환이라고도 한다.

북태평양에서는 편서풍대의 서쪽에서 동쪽으로 북태평양 해류가 흐르고, 북쪽에서 남쪽으로 캘리포니아 해류가 흐른다. 그리고 북동 무역풍대의 동쪽에서 서쪽으로 북적도 해류가 흐르며, 남쪽에서 북쪽으로 쿠로시오 해류가 흐르면서 시계 방향으로 해수가 순환하고 있다. 북대서양에서도 북태평양과 같이 북대서양 해류, 카나리아 해류, 북적도 해류, 멕시코 만류로 이어지는 시계 방향의 순환이 나타난다. 반대로 남반구의 아열대 해양에서는 해류가 시계 반대 방향으로 순환하고 있다. 그런데 대륙이 없는 남극 주변의 해양에서는 남극 순환 해류가 위도와 거의 나란하게 흐르고 있다. 이러한 해수의 표층 순환은 지구의 자전, 대기 대순환, 대륙의 분포 등의 영향을 받아 형성된다.

우리나라는 삼면이 바다로 둘러싸여 있으며, 북태평양의 서안을 따라 북상하는 쿠로시오 해류와 북쪽에서 해안을 따라 남하하는 연해주 한류의 영향을 받는다. 우리나라 주변에서 흐르는 해류의 모습을 알아보자.

우리나라 주변을 흐르는 해류의 근원이 되는 쿠로시오 해류는 북태평양의 남서쪽에서 북동쪽으로 북상하는 따뜻한 해류이다. 쿠로시오 해류 일부는 제주도 남쪽의 동중국해에서 갈라져 나와 황해로 북상하여 황해 난류가 되고, 일부는 우리나라 남해안과 대한해협을 지나 동해로 흘러가는 쓰시마 난류가 된다. 쓰시마 난류의 한 줄기는 우리나라 동해안을 따라 북상하는 동한 난류가 되고, 다른 한 줄기는 일본 북부의 연안을 따라 북동 방향으로 흘러간다. 동해의 북쪽에서는 연해주 한류가 남쪽으로 이동해 오고, 연해주 한류에서 갈라져 나온 북한 한류가 함경도 해안을 따라 남쪽으로 흐른다.

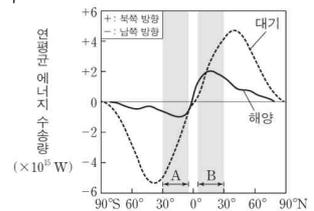
동한 난류는 쿠로시오 해류의 지류로 수온과 염분이 높고 용존 산소량과 영양염류가 적지만, 북한 한류는 연해주 한류의 지류로 수온과 염분이 낮고 용존 산소량과 영양염류가 많다. 따라서 두 해류가 만나는 동해의 중부 연안 해역은 좋은 어장이 형성되는 조경 수역을 이룬다. 또한 난류는 여름철에 강하고, 북한 한류는 겨울철에 강하므로 조경 수역은 계절에 따라 남과 북으로 이동한다. 또, 여름에는 난류성 어종이 풍부해지

고 겨울에는 한류성 어종이 풍부해진다. 또한 난류는 겨울철에 동해안의 기후를 따뜻하게 하는 요인이 된다. 한편, 황해에서는 겨울철에 중국 연안류가 남쪽으로 흐르므로 황해 난류가 미치는 영향이 약해진다.

34. 그림은 대기와 해양에서 남북

방향으로의 연평균 에너지 수송량을 위도별로 나타낸 것이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?



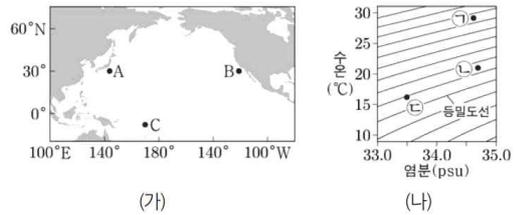
< 보기 >

- ㄱ. 흡수하는 태양 복사 에너지양과 방출하는 지구 복사 에너지양의 차는 38°S가 0°보다 크다.
- ㄴ. 대기에 의한 에너지 수송량은 A지역이 B지역보다 크다.
- ㄷ. 위도별 에너지 불균형은 대기와 해양의 순환을 일으킨다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

35. 그림 (가)는 태평양의 해역 A, B, C를, (나)는 이 세

해역에서 관측한 수온과 염분을 수온-염분도에 ㉠, ㉡, ㉢으로 순서 없이 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- ㄱ. A의 관측값은 ㉡이다.
- ㄴ. A, B, C 중 해수의 밀도가 가장 큰 해역은 B이다.
- ㄷ. C에 흐르는 해류는 무역풍에 의해 형성된다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

15. 해수의 심층 순환

해수의 밀도는 수온이 낮아지거나 염분이 높아질수록 커진다. 해수의 수온과 염분은 해역과 수심에 따라 다르므로 해수의 밀도도 해역과 수심에 따라 조금씩 차이가 난다. 해수는 밀도가 크면 아래쪽에, 밀도가 작으면 위쪽에 위치하게 된다.

수심에 따른 수온과 염분은 CTD라는 장비로 측정한다. 이렇게 측정한 수온과 염분을 밀도와 함께 그래프에 나타낸 것을 **수온 염분도** (T-S도) 라고 한다. 수온 염분도는 수심에 따른 해수의 성질을 쉽게 알 수 있게 하고, 서로 다른 해역에 있는 해수의 성질을 비교하기 좋다.

한편, 저위도에서 고위도로 이동하는 표층 해류는 주위로 열을 빼앗겨 차가워지므로 밀도가 증가한다. 또, 극지방의 해수는 표면의 해수가 얼면서 염분이 높아지므로 밀도가 증가한다. 그 결과 무거워진 해수는 특정 해역에서 깊은 곳으로 침강하여 저위도로 이동하게 된다. 이러한 해수의 온도, 염분, 밀도의 변화와 그에 따른 해수의 움직임은 해수의 온도와 염분을 지속해서 관측하고 해석하여 추정할 수 있다.

해양의 표층에 있는 해수는 대기 대순환의 바람에 의해 수평 방향으로 흐르는 전 지구 규모의 순환을 하고 있다. 그런데 해수의 이동은 바람뿐만 아니라 밀도의 차이에 의해서도 일어난다. 해수의 수온이 낮아지거나 염분이 증가하여 밀도가 커지면 해수는 서서히 침강하여 심해에서 느리게 이동한다. 이러한 원리로 해양의 심층에서 일어나는 전지구적인 규모의 해수 순환을 **심층 순환**이라고 한다. 심층 순환은 해수의 수온과 염분의 변화로 나타나므로 **열염 순환**이라고도 한다.

세계 해양에서 밀도가 큰 해수가 만들어져 침강하는 해역은 남극 대륙 주변의 웨델해와 북대서양의 그린란드 해역 주변이며 이곳에서 침강한 해수가 각각 북쪽과 남쪽으로 이동하여 심층 순환이 일어난다. 겨울철에 남극 지방의 웨델해에서 결빙이 일어나면 해수의 염분이 높아지므로 밀도가 커져 잠강한 후, 전 세계 해양으로 퍼져 나가 남극 저층수를 이룬다. 남극 저층수는 밀도가 큰 해수로 해저를 따라 북쪽으로 이동한다. 또, 북대서양의 그린란드 해역에서 냉각된 표층 해수가 침강하여 형성된 북대서양 심층수는 남쪽으로 이동하여 남대서양까지 흘러간다.

이러한 해수의 이동을 어떻게 알 수 있을까? 수온, 염분, 밀도 등의 성질이 비슷한 해수 덩어리를 수괴라고 하는데, 성질이 다른 수괴는 서로 잘 섞이지 않으므로 수괴의 수온과 염분은 잘 변하지 않는다. 따라서 수괴의 성질을 측정하면 수괴의 기원과 이동 경로를 추정할 수 있다.

심층 순환은 남극 저층수의 경우 적도까지 이동하는 데 약 1000년이 걸리며, 전 수심에 걸쳐 일어나므로 전체 해수를 순환시키는 역할을 한다.

해수의 심층 순환과 표층 순환은 서로 연결되어 전체 해양에서 큰 순환을 이루고 있다. 북대서양의 표층에서 해양의 서쪽 경계를 따라 빠르게 고위도로 흐르는 해류는 따뜻한 저위도의 해수를 고위도로 운반한다. 대기로 열을 빼앗기고 무거워진 해수는 고위도에서 침강하여 심층수가 되고, 심해를 따라 저위도로 이동한다. 이처럼 밀도가 큰 북대서양의 심층수는 남반구까지 이동하여 남극 순환 해류와 합류된 후, 인도양과 태평양에서 표면으로 상승하여 표층 순환과 연결되는 것으로 추정된다.

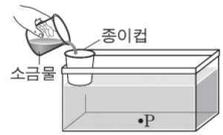
해수의 표층 순환 때문에 저위도의 따뜻한 해수는 고위도로 이동하면서 저위도의 열을 고위도로 운반한다. 그리고 고위도에서 냉각되어 밀도가 커진 해수는 침강하여 저위도로 이동하면서 표층 해수를 고위도로 움직이게 한다. 이러한 해수의 표층 순환과 심층 순환은 지구 전체적인 열수지의 균형을 맞추는 데 있어서 중요한 역할을 한다.

어떤 원인으로 심층 순환이 약해진다면 표층 순환도 약해지므로, 고위도로 운반되는 열 수송량이 변화가 생겨 전 지구적으로 기후의 변화가 일어날 것이다.

36. 다음은 심층 순환에서 염분이 해수의 침강 속도에 미치는 영향을 알아보기 위한 실험이다.

[실험 I]

- (가) 수조 바닥의 중앙에 P점을 표시하고, 밀면에 구멍이 뚫린 종이컵을 수조 가장자리에 부착한다.
- (나) 수조에 상온의 물을 종이컵의 아랫면이 잠길 때까지 채운다.
- (다) 4°C의 물 100mL에 소금 3.0g을 완전히 녹인 후 붉은 색 잉크를 몇 방울 떨어뜨린다.
- (라) (다)의 소금물을 수조의 종이컵에 천천히 부으면서 소금물이 P점에 도달하는 시간을 측정한다.



[실험 II]

- 실험 I의 (다) 과정에서 소금의 양을 1.0g으로 바꾸어 (가)~(라) 과정을 반복한다.

[실험 결과]

실험	P점에 소금물이 도달하는 시간(초)
I	8
II	(㉠)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 실험 결과에서 ㉠은 8보다 크다.
 - ㄴ. 소금물은 극지방의 침강하는 표층 해수에 해당한다.
 - ㄷ. 실험 II에서 소금물의 농도를 낮춘 것은 극지방 표층 해수가 결빙되는 경우에 해당한다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

16. 대기와 해양의 상호 작용

바다에서 일정하게 계속해서 바람이 불면 표층의 해수는 수평 방향으로 이동하고, 빈자리를 채우기 위해 연직 방향으로 해수의 이동이 일어나게 된다. 이때 깊은 곳에 있던 해수가 위로 올라오는 현상을 **용승**이라고 하고, 표층에 있던 해수가 아래로 내려가는 현상을 **침강**이라고 한다.

북반구의 연안에서 계속해서 북풍이 불면 지구 자전의 영향으로 표층 해수는 외해로 이동하고, 이동한 해수를 채우기 위해 아래에서 차가운 해수가 올라오는 용승이 일어난다. 이렇게 연안에서 일어나는 용승을 **연안 용승**이라고 한다. 깊은 곳의 차가운 해수가 용승하면 해수면의 온도가 낮아지므로 기온이 낮아져서 서늘하고 안개가 자주 발생하는 기후가 나타난다. 또, 영양염류가 풍부해지므로 플랑크톤이 번성하여 좋은 어장이 형성된다. 한편, 북반구의 연안에서 계속해서 남풍이 불면 외해의 표층 해수가 연안으로 이동하여 쌓이면서 해수가 해저를 따라 아래로 내려가는 침강이 일어난다.

적도 해역에서는 무역풍이 불어 용승이 일어난다. 무역풍은 북동쪽과 남동쪽에서 불어오는 바람으로 표층의 해수를 북반구에서는 북쪽으로 이동시키고 남반구에서는 남쪽으로 이동시킨다. 그 결과 적도 해역의 아래에서 차가운 해수가 올라오는 용승이 일어나는데, 이를 **적도 용승**이라고 한다.

이처럼 계속해서 바람이 불면 해양에 용승이나 침강이 일어나고, 해양의 변화는 기온과 습도를 변하게 하는 상호 작용을 하며 기후에 영향을 미친다.

남아메리카 열대 태평양의 연안 해역에는 남동 무역풍이 분다. 이 바람은 표층의 해수를 외해로 이동시키므로 연안 용승을 일으킨다. 따라서 페루 연안은 적도 부근이지만, 용승하는 차가운 해수 때문에 수온이 낮고 영양염류가 풍부하여 플랑크톤이 번성하므로 좋은 어장이 형성된다. 전 세계 해양에서 식물성 플랑크톤이 많이 번성하는 해역을 나타낸 것인데, 용승이 일어나는 페루 연안에 플랑크톤이 많다.

그런데 12월 말부터 다음 해 3월까지의 무역풍이 약해지면서 용승이 약해진다. 따라서 태평양의 서쪽에 쌓여 있던 따뜻한 해수가 페루 연안까지 이동하고, 페루 연안의 표층 수온이 높아지면서 어장이 큰 피해를 보기도 한다.

1980년대에 들어서면서 페루 연안의 수온 상승이 이 시기뿐만 아니라 3~7년의 주기로 1년 이상 계속되는 것이 발견되었다. 그리고 수온이 상승하는 해역이 페루 연안뿐만 아니라 동태평양의 적도 해역 전체에 걸쳐 있다는 것이 알려졌다. 이처럼 적도 부근의 남아메리카 연안으로부터 열대 태평양 중앙에 이르는 넓은 해역에 걸쳐 해수면의 온도가 평상시보다 0.5°C 이상 높아지고 5개월 이상 계속되는 대규모의 이상 수온 상승 현상을 **엘니뇨**라고 한다.

엘니뇨와 반대로 무역풍이 강해지면서 용승이 강해져 열대 태평양의 해수면의 온도가 평상시보다 0.5°C 이상 낮아지고 5개월 이상 계속되는 현상을 **라니냐**라고 한다.

엘니뇨나 라니냐가 발생하면 동서 방향의 수온 약층의 경사도 달라진다. 엘니뇨 시기에는 따뜻한 서태평양의 해수가 동태평양까지 이동해 옴으로 수온 약층의 경사가 완만해지고, 라니냐 시기에는 동태평양의 표층 수온이 낮아지므로 수온 약층의 경사가 커진다.

무역풍의 영향을 받는 태평양의 열대 해역에서 적도 해류는 동쪽에서 서쪽으로 흐르고, 동태평양에서는 용승이 일어나므로 동태평양의 해수면 온도가 서태평양보다 낮다.

서태평양에서 대기로 더 많은 양의 열과 수증기가 이동하므로 공기가 상승하여 지상에 저기압이 발달하고, 동태평양의 상공에서 수렴한 공기가 하강하여 지상에 고기압이 발달한다. 그 결과 열대 태평양에서는 거대한 대기의 순환이 형성되는데, 이를 **워커 순환**이라고 한다. 따라서 평상시 서태평양 지역에서는 태풍, 강수 등의 기상 현상이 나타나고, 동태평양 지역은 대기가 건조하다.

엘니뇨 발생 시에는 무역풍과 용승이 약해지면서 서태평양의 따뜻한 해수가 동태평양으로 이동 해오므로 워커 순환의 상승 영역도 동쪽으로 치우쳐서 변화된 대기의 순환이 일어난다. 따라서 서태평양은 고기압의 영향으로 건조하여 가뭄이 발생하고, 동태평양은 평소보다 비가 많이 내리고 허리케인도 많이 발생한다.

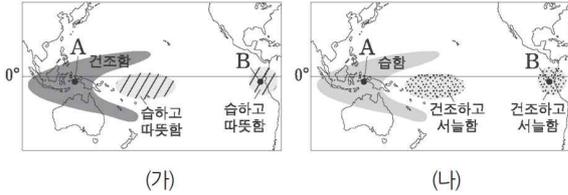
라니냐 발생 시에는 무역풍과 동태평양의 용승이 평상시보다 강해져서 서태평양의 따뜻한 해수 영역이 강화되므로 공기의 상승도 더욱 강해져 서태평양은 저기압이 더욱 강하게 발달하여 비가 많이 내리고 태풍도 많이 발생하며, 동태평양에서는 고기압이 더욱 강하게 발달한다.

열대 태평양에서 엘니뇨와 라니냐 시기에 나타나는 이러한 대기의 기압 분포의 변화를 **남방 진동**이라고 한다.

엘니뇨와 라니냐는 해수면의 온도 변화이고 남방 진동은 대기의 기압 분포 변화인데, 대기와 해양의 상호 작용으로 함께 일어나는 연관된 현상임이 밝혀져 현재는 **엔소** (ENSO) 라고 한다.

엘니뇨나 라니냐가 발생하면 대기와 해양의 상호 작용이 평상시와 다르게 일어나므로 지구촌 곳곳에 많은 이상 기후가 나타난다. 대기와 해양의 순환은 저위도의 에너지를 고위도로 운반하는 역할을 하는데, 엘니뇨가 발생하면 넓은 열대 해역에서 더 많은 양의 에너지와 수증기가 대기로 방출된다. 평상시보다 많은 에너지를 공급받은 대기는 훨씬 왕성하게 에너지를 고위도로 운반하므로 평년과 다른 이상 기후가 나타나게 된다. 이처럼 열대 태평양의 변화는 전 지구적인 기후 변화에 큰 영향을 미치므로 기후 변화를 예측하기 위해서는 열대 태평양의 여러 요인을 지속해서 관측해야 한다.

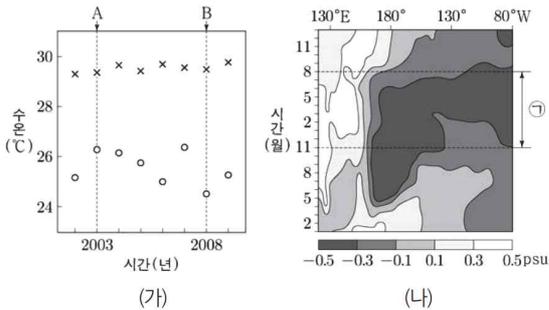
37. 그림 (가)와 (나)는 평상시와 비교한 라니냐와 엘니뇨 시기의 기후를 순서 없이 나타낸 것이다.



(가)와 (나) 시기를 비교한 설명으로 옳은 것은?

- ① A 해역의 강수량은 (가)일 때 더 많다.
- ② 남적도 해류는 (나)일 때 더 강하다.
- ③ A 해역의 상승 기류는 (가)일 때 더 강하다.
- ④ B 해역의 따뜻한 해수층은 (나)일 때 더 두껍다.
- ⑤ A와 B 해역의 해수면 높이 차는 (가)일 때 더 크다.

38. 그림 (가)는 동태평양과 서태평양의 적도 부근 해역에서 관측한 표층 수온을 ○와 ×로 순서 없이 나타낸 것이다. 그림 (나)는 태평양 적도 부근 해역에서 2년 동안의 강수량 변화에 따른 표층 염분 편차 (관측값 - 평년값)를 나타낸 것이다. A와 B는 각각 엘니뇨와 라니냐 시기 중 하나이고, ㉠은 A와 B 중 하나이다.



이 자료에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. (가)에서 시간에 따른 표층 수온 변화는 동태평양이 서태평양보다 크다.
 - ㄴ. 남적도 해류는 A일 때가 B일 때보다 강하다.
 - ㄷ. ㉠의 표층 염분 편차는 B일 때 나타난다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

17. 지구의 기후 변화

계절은 매년 반복되지만 기후는 오랜 세월에 걸쳐 서서히 변한다. 기후 변화의 원인은 자연적인 요인과 인위적인 요인으로 구분할 수 있으며, 자연적인 요인은 지구 외적 요인과 지구 내적 요인으로 구분할 수 있다.

밀란코비치는 지구 자전축과 공전 궤도의 변화가 중복되어 주기적으로 기후 변화가 발생한다고 주장하였다. 오늘날 과학자들이 지난 수십만 년 동안의 기후 변화를 재구성한 결과 밀란코비치의 주장과 잘 일치한다는 사실이 밝혀졌다.

지구 자전축은 약 26000년을 주기로 팽이의 축처럼 회전하는데, 이를 **세차 운동**이라고 한다. 지구 자전축은 세차 운동으로 약 13000년마다 경사 방향이 반대로 되어 그림 IV-16과 같이 여름과 겨울이 생기는 위지도 반대로 되므로 기후 변화가 일어난다.

현재 지구 자전축은 지구 공전 궤도의 축에 대하여 약 23.5° 기울어져 있는데, 약 41000년을 주기로 21.5°~24.5° 사이에서 변한다. 지구 자전축의 기울기가 변하면 각 위도의 지표에 입사하는 태양 복사 에너지의 양이 달라지므로 기후가 변하게 된다. 지구 자전축의 기울기가 커질수록 태양의 남중고도 차이가 증가하여 기온의 연교차가 커진다.

또, 지구는 태양 주위를 타원 궤도로 공전하는데, 공전 궤도의 모양은 약 10만 년을 주기로 거의 원에 가까운 궤도에서 긴 타원 궤도로 변한다. 지구 공전 궤도의 모양에 따라 지구가 받는 태양 복사 에너지의 양도 달라져 기후가 변한다.

한편, 태양 활동의 변화도 기후 변화의 원인이 된다. 흑점 수가 많아지면 지구에 도달하는 태양 복사 에너지의 양이 증가하여 지구의 기온이 상승한다.

지구가 받는 태양 복사 에너지의 양이 일정하더라도 대기의 조성이 달라지면 기후가 변한다. 대규모 화산 분출은 많은 양의 화산재를 대기 중으로 방출하여 지구의 반사율을 증가시키므로 지표에 도달하는 태양 복사 에너지의 양이 줄어들어 지구의 평균 기온이 낮아진다.

빙하의 분포나 식생의 변화 등 지표면의 상태가 변하면 지구가 흡수하는 태양 복사 에너지의 양이 달라진다. 특히, 빙하면적이 감소하면 지표면이 흡수하는 태양 복사 에너지의 양이 증가하여 지구의 기온이 상승한다.

또, 대륙과 해양의 분포 변화도 기후 변화의 원인이 된다. 대륙과 해양은 비열과 반사율이 다르므로 대기의 순환과 에너지의 출입에 영향을 준다. 따라서 판의 운동으로 수륙 분포가 변하면 대기와 해수의 순환에 영향을 주어 기후가 변하게 된다.

지구 대기는 지구에 입사하는 태양 복사 에너지는 잘 투과시키지만, 지표에서 방출되는 지구 복사 에너지의 일부를 흡수하였다가 재복사하여 지표 온도를 높이는데, 이를 **온실 효과**라고 한다. 온실 효과를 일으키는 기체를 **온실 기체**라고 하며, 주요 온실 기체에는 수증기, 이산화 탄소, 메테인, 산화 이질소 등이 있다. 지구는 이러한 온실 효과 때문에 연평균 기온이 15°C 정도로 유지되고 있다. 그런데 최근에는 대기 중의 온실 기체 증가로 심각한 기후 문제가 나타나고 있다.

대기 중 온실 기체가 증가함에 따라 온실 효과가 증대되어 지구의 평균 기온이 상승하는 현상을 **지구 온난화**라고 한다.

지구 온난화는 산업 혁명 이후 석탄, 석유 등 화석연료 소비량이 증가함에 따라 이산화 탄소, 메테인 등 온실 기체 농도가 증가한 것이 주요 원인이다. 그 밖에 과도한 삼림 벌채, 교통량 증가 등 인간의 경제 활동도 지구 온난화를 일으킨다. 정부 간 기후 변화 협의체(IPCC)의 연구 결과에 따르면, 최근 배출된 인위적 온실 기체의 양은 관측 이래 최고 수준인 것으로 나타났다.

지구 온난화는 전 세계에 걸쳐 지구 환경과 사회적, 경제적으로 큰 영향을 준다. 지구의 평균 기온이 상승하면 해수의 부피가 팽창하고, 극지방이나 고산 지역의 빙하가 녹아 바다로 유입되면 해수면이 상승할 것이다. 해수면이 상승하면 해안 지역에 발달한 도시나 경작지가 침수되어 경제적 피해가 발생할 뿐 아니라 해안 저지대에 서식하는 생물 군락에도 심각한 악영향을 줄 것이다.

지구 온난화는 농업과 수산업 등 산업에도 영향을 미친다. 전 세계적으로 기후대가 변하여 식생대가 전반적으로 고위도로 이동하는 추세이다. 이에 따라 식량 생산에 변화가 일어나고, 해양 생태계가 변하여 수산업에도 피해가 있을 것이 예상된다. 또, 강수량과 증발량의 분포가 변하여 집중 호우와 홍수 피해가 커지는 지역이 있는가 하면 반대로 심각한 물 부족과 가뭄 피해가 발생하는 지역도 나타난다.

지구 온난화는 인간의 건강에도 큰 영향을 줄 것이다. 불멸 더위로 인한 스트레스와 질병이 증가하고 말라리아와 같은 열대성 질병이 고위도로 확산할 가능성이 있다.

지구 온난화는 전 지구적인 현상이다. 최근 우리나라도 지구 온난화의 영향으로 기후가 빠르게 변하고 있다. 우리나라의 기후는 과거와 비교하여 어떻게 변하고 있는지 알아보자.

사계절이 뚜렷하던 우리나라는 여름이 길어지고 겨울은 짧아지고 있으며, 연평균 기온이 상승하는 경향을 보인다. 우리나라 주변 해양의 수온과 해수면 상승률은 전 지구 평균보다 높은 것으로 관측되었으며 해류의 변화, 해양 산성화, 용존 기체의 감소 등 다양한 변화가 감지되고 있다.

지구 온난화는 지구 환경과 생태계 그리고 인간의 생활에 매우 큰 영향을 미치므로 세계 각국은 이를 막기 위해 노력하고 있다. 1997년 유엔 기후 변화 협약 당사국 총회에서는 선진국의 온실 기체 배출량을 1990년 기준으로 5.2% 감축하는 교토 의정서를 채택하였다. 2015년에는 이를 대체하는 파리 협정을 채택해 산업화 이전과 대비하여 지구 평균 기온 상승 폭을 2°C보다 낮은 수준으로 유지하기로 합의하였다.

지구 온난화 문제를 과학적으로 해결하는 방법에는 어떤 것이 있을까? 석유나 석탄과 같은 화석 연료를 대체할 수 있는 재생 에너지 자원을 개발하거나 산업 공정의 효율을 높이면 대기 중으로 방출되는 이산화 탄소의 양을 줄일 수 있다. 최근에는 이산화 탄소 포집 및 저장 기술이 주목받고 있다. 이것은 발전소나 제철소 등 산업 시설에서 발생하는 이산화 탄소를 포집하여 해양이나 육지의 지층 속에 저장하는 것이다. 우리나라도 동해의 해저 지층에 이산화 탄소를 저장하는 방법을 연구하고 있다.

이 외에도 여러 가지 정책적, 과학적 방안이 연구되고 있지만 효과적인 대응을 위해서는 여러 분야를 종합적으로 고려한 통합적인 시각이 필요하다. 또, 우리 모두가 지구 온난화 문제의 중요성을 인식하고 일상생활 속에서 에너지 절약, 자원 재

활용 등 대기 중 온실 기체의 양을 줄이기 위해 노력하는 생활 태도를 갖는 것이 중요하다.

39. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

[실험 과정]

(가) 아랫면을 랩으로 막은 상자, 온도계, 적외선 등을 그림과 같이 설치한다.

(나) 상자 윗면을 랩으로 막고 초기 온도를 측정한 후, 적외선 등을 켜고 상자 안의 온도 변화를 5분간 측정한다.

(다) 상자에 이산화 탄소를 넣은 후 (나) 과정을 수행한다.

(라) 상자에 (다)에서 넣은 이산화 탄소량의 2배를 넣은 후 (나) 과정을 수행한다.

[실험 결과]

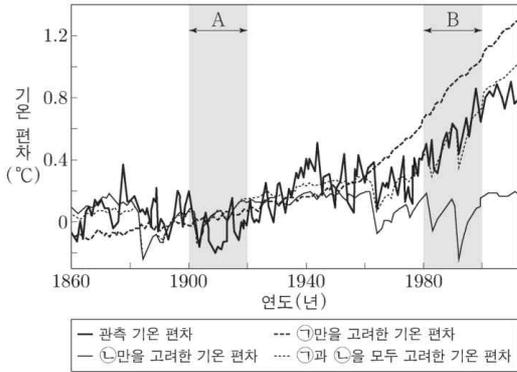
실험 과정	(나)	(다)	(라)
초기 온도(°C)	14.0	14.0	14.0
5분 후 온도(°C)	14.7	15.1	(㉠)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 적외선등을 상자 아래에서 켜 것은 지표 복사를 나타낸다.
 - ㄴ. 상자 안 기체의 적외선 흡수량은 (나)가 (다)보다 많다.
 - ㄷ. ㉠은 15.1보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

40. 그림은 기후 변화 요인 ㉠과 ㉡을 고려하여 추정한 지구 평균 기온 편차(추정값 - 기준값)와 관측 기온 편차(관측값 - 기준값)를 나타낸 것이다. ㉠과 ㉡은 각각 온실 기체와 자연적 요인 중 하나이고, 기준값은 1880년~1919년의 평균 기온이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 > —
- ㄱ. 지구 해수면의 평균 높이는 B 시기가 A 시기보다 높다.
 - ㄴ. 대기권에 도달하는 태양 복사 에너지량의 변화는 ㉡에 해당한다.
 - ㄷ. B 시기의 관측 기온 변화 추세는 자연적 요인보다 온실 기체에 의한 영향이 더 크다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

18. 별의 물리량과 H-R도

햇빛을 프리즘을 통해 보면 무지개 색깔의 띠가 나타나는데 이처럼 빛을 파장에 따라 분해한 것을 스펙트럼이라고 한다. 백열등과 나트륨등의 빛을 맨눈으로 보면 특별한 차이를 느낄 수 없지만, 분광기로 보면 스펙트럼에 큰 차이가 나타난다. 백열등처럼 모든 파장 영역에서 빛이 연속적으로 나타나는 것을 연속 스펙트럼이라고 하고, 나트륨등처럼 특정 파장대의 스펙트럼만 나타나는 것을 선 스펙트럼이라고 한다. 선 스펙트럼에는 방출 스펙트럼과 흡수 스펙트럼이 있다. 고온·저밀도의 기체를 프리즘으로 분산시켜 관찰하면 특정 파장 영역의 빛이 방출되는 것을 볼 수 있는데, 이를 방출 스펙트럼이라고 한다. 또, 연속 스펙트럼이 나타나는 빛을 저온·저밀도의 기체에 통과시킨 후 프리즘으로 분산시켜 관찰하면 연속 스펙트럼을 배경으로 검은 줄이 나타나는데, 이를 흡수 스펙트럼 이라고 한다. 별빛은 별의 대기층을 통과하면서 흡수 스펙트럼이 나타나는데 별마다 고유한 스펙트럼이 나타난다. 따라서 스펙트럼 연구는 별을 연구하는 중요한 방법으로 이용되고 있다.

1814년 프라운호퍼는 태양의 스펙트럼에서 흡수선을 발견하였다. 이후 과학자들은 별들의 스펙트럼에서도 흡수선을 발견하였는데, 당시에는 별의 스펙트럼에서 나타나는 흡수선의 차이가 별의 화학 조성이 다르기 때문이라고 생각했다.

그런데 별들의 화학 조성은 거의 같으며, 흡수 스펙트럼의 차이는 별의 표면 온도가 다르기 때문이라는 것을 알게 되었다. 이후 별의 스펙트럼에 나타나는 흡수선을 분석하여 별의 표면 온도를 추정할 수 있게 되었다.

피커링과 캐넌은 별의 표면 온도에 따라 나타나는 흡수선의 종류와 세기를 기준으로 하여 고온에서 저온 순으로 O, B, A, F, G, K, M형의 7가지로 분류하였는데, 이를 **분광형**이라고 한다. O형과 M형을 제외한 각 분광형은 다시 고온의 O에서 저온의 9까지 10단계로 세분된다. 태양은 표면 온도가 약 5800K이고, 이온화된 칼슘 흡수선이 나타나며, 분광형은 G2형이다.

별자리를 찾는 길잡이 역할을 하는 마차부자리의 카펠라 Ab는 스펙트럼형이 G2형이므로 태양과 표면 온도가 거의 같다. 그런데 두 별의 실제 밝기를 비교하면 카펠라 Ab가 태양보다 약 100배 밝다. 별의 표면 온도가 같은데도 실제 밝기가 다른 까닭은 무엇일까?

별의 실제 밝기를 비교할 때는 절대 등급뿐만 아니라 별이 단위 시간 동안 방출하는 에너지의 양인 **광도**를 이용하기도 한다.

흑체는 표면 온도가 높을수록 단위 시간 동안 단위 면적에서 방출하는 에너지의 양이 많다. 표면 온도가 T인 흑체가 단위 시간 동안 단위 면적에서 방출하는 에너지량 E는 다음과 같이 나타낼 수 있는데, 이를 슈테판 - 볼츠만 법칙이라고 한다.

$$E = \sigma T^4 \quad (\sigma = 5.670 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4})$$

별은 흑체처럼 에너지를 방출하므로 슈테판·볼츠만 법칙을 적용할 수 있다. 별에서 방출하는 총 에너지량은 단위 면적에서 단위 시간 동안 방출하는 에너지량인 E와 별의 표면적에

비례한다. 따라서 표면 온도가 T이고, 반지름이 R인 별의 광도 L은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$L = 4\pi R^2 \cdot \sigma T^4$$

별은 거리가 매우 멀기 때문에 점처럼 보이므로 관측을 통해 별의 크기를 알아내기 어렵다. 따라서 별의 반지름은 스펙트럼 분석으로 알아낸 별의 표면 온도와 절대 등급으로 알아낸 별의 광도를 이용하여 구할 수 있다.

표면 온도가 같은 태양과 카펠라 Ab는 카펠라 Ab의 광도가 태양의 약 100배라는 것로부터 카펠라 Ab의 반지름이 태양의 약 10배라는 것을 알 수 있다.

여키스 천문대의 모건(Morgan, W. W., 1906~1994)과 키넨(Keenan, P. C., 1908~2000)은 별을 분광형과 광도 관측 결과에 따라 그림 V-5와 같이 6개의 광도 계급으로 나누고, 각 계급을 다시 세 단계로 분류하였는데, 이를 M-K 분류법이라 한다. 이에 따르면 분광형이 같더라도 광도 계급에 따라 별의 광도가 다르다는 것을 알 수 있다. 예를 들어, 분광형이 G0형으로 같다면 광도 계급이 III인 별은 V인 별보다 광도가 크고 II인 별보다는 작다. 이러한 차이가 나는 까닭은 광도 계급이 III인 별은 V인 별보다 반지름이 크고 II인 별보다 반지름이 작기 때문이다. 이처럼 별들의 표면 온도와 광도를 2차원의 그래프에 나타내면 별의 표면 온도, 광도, 반지름을 동시에 비교할 수 있다.

별의 물리적 특성 중에서 표면 온도와 광도는 별의 크기를 알 수 있는 중요한 요소이다. 따라서 별을 표면 온도와 광도를 축으로 하는 그래프에 나타내면 별의 특성을 쉽게 파악할 수 있고, 비슷한 특성을 가진 별끼리 분류할 수 있다.

1910년대 초 헤르즈스프룽과 러셀은 별의 표면 온도(분광형)와 광도 사이의 관계 그래프를 그려 별을 분류하고 별의 특성을 파악하였다. 이 그래프를 두 천문학자의 이름을 따서 H-R도라고 한다.

H-R도는 가로축의 오른쪽으로 갈수록 온도가 감소하고, 세로축의 위로 갈수록 광도가 커지는 그래프이다. 별의 약 90%가 왼쪽 위에서 오른쪽 아래로 이어지는 좁은 띠 영역에 분포하는데 이 별들을 **주계열성**이라 한다. 태양은 표면 온도가 약 5800 K이고, 절대 등급은 약 4.8 등급으로 주계열성에 해당한다. 주계열성은 H-R도에서 왼쪽 위에 분포할수록 표면 온도가 높고 밝은 별로 반지름과 질량도 크다. 그리고 H-R도에서 오른쪽 아래에 분포할수록 표면 온도가 낮고, 광도가 작으며, 반지름과 질량이 작다.

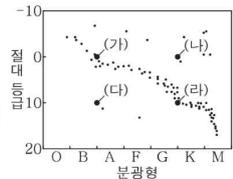
한편, H-R도에서 주계열의 오른쪽 위에 분포하는 별은 표면 온도가 낮아 붉은색이고, 광도는 매우 크다. 표면 온도가 낮은데도 불구하고 광도가 큰 것은 반지름이 매우 크기 때문이다. 이처럼 표면 온도가 낮아 붉은색이고 반지름이 매우 큰 별을 **적색 거성**이라고 한다. 황소자리의 알데바란이나 목동자리의 아르크투루스는 대표적인 적색 거성에 해당한다.

H-R도에서 오른쪽 위에는 적색 거성보다 광도와 반지름이 더 큰 별이 있는데, 이러한 별들을 **초거성**이라고 한다. 오리온자리의 베텔게우스나 전갈자리의 안타레스는 대표적인 초거성에 해당한다. 적색 거성과 초거성은 주계열성보다 매우 크지

만, 평균 밀도는 훨씬 작다.

H-R도에서 주계열의 왼쪽 아래에 분포하는 별들은 표면 온도가 매우 높아 백색으로 보이지만 광도는 매우 작다. 표면 온도가 높은데도 광도가 작은 것은 반지름이 매우 작기 때문이다. 이처럼 표면 온도는 높지만 크기가 작아 어두운 별들을 **백색 왜성**이라고 한다. 백색 왜성은 크기가 지구와 비슷하지만 질량은 태양과 비슷하여 밀도가 태양의 약 100만 배일 정도로 매우 크다.

41. 그림은 H-R도에 별 (가)~(라)를 나타낸 것이다. 이에 대한 옳은 설명만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?



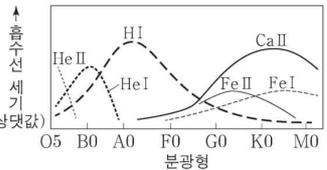
- < 보기 >
ㄱ. 별의 평균 밀도는 (가)가 (나)보다 크다.
ㄴ. (다)는 초신성 폭발을 거쳐 형성되었다.
ㄷ. 별의 수명은 (가)가 (라)보다 짧다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

42. 그림은 별의 분광형에 따른

흡수선의 상대적 세기를 나타낸 것이다.

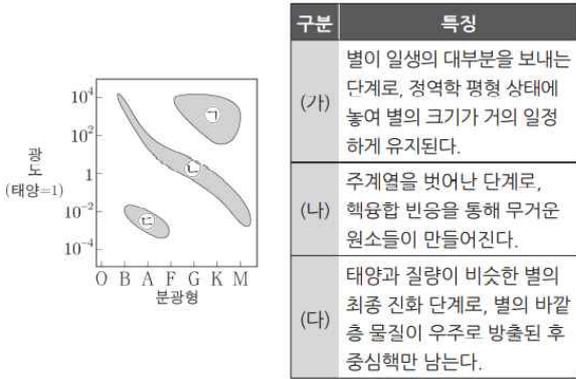
이 자료에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?



- < 보기 >
ㄱ. 흰색 별에서 H I 흡수선이 Ca II 흡수선보다 강하게 나타난다.
ㄴ. 주계열에서 B0형보다 표면 온도가 높은 별일수록 H I 흡수선의 세기가 강해진다.
ㄷ. 태양과 광도가 같고 반지름이 작은 별의 Ca II 흡수선은 G2형 별보다 강하게 나타난다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

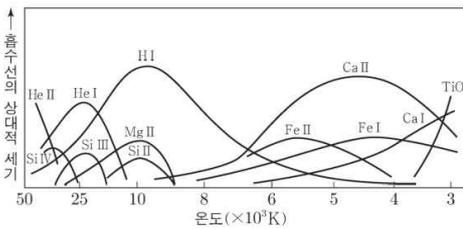
43 그림은 분광형과 광도를 기준으로 한 H-R도이고, 표의 (가), (나), (다)는 각각 H-R도에 분류된 별의 집단 ㉠, ㉡, ㉢의 특징 중 하나이다.



(가), (나), (다)에 해당하는 별의 집단으로 옳은 것은?

- | | | | |
|---|-----|-----|-----|
| | (가) | (나) | (다) |
| ① | ㉠ | ㉡ | ㉢ |
| ② | ㉡ | ㉠ | ㉢ |
| ③ | ㉡ | ㉢ | ㉠ |
| ④ | ㉢ | ㉠ | ㉡ |
| ⑤ | ㉢ | ㉡ | ㉠ |

44 그림은 별의 스펙트럼에 나타난 흡수선의 상대적 세기를 온도에 따라 나타낸 것이고, 표는 별 A, B, C의 물리량과 특징을 나타낸 것이다.



별	표면 온도(K)	절대 등급	특징
A	()	11.0	별의 색깔은 흰색이다.
B	3500	()	반지름이 C의 100배이다.
C	6000	6.0	()

이에 대한 설명으로 옳은 것은?

- 반지름은 A가 C보다 크다.
- B의 절대 등급은 -4.0보다 크다.
- 세 별 중 Fe I 흡수선은 A에서 가장 강하다.
- 단위 시간 당 방출하는 복사 에너지량은 C가 B보다 많다.
- C에서는 Fe II 흡수선이 Ca II 흡수선보다 강하게 나타난다.

19. 별의 진화와 별의 에너지원

우주 공간에서는 지금도 끊임없이 별이 탄생하고 있다. 우주 공간에는 기체나 먼지로 이루어진 거대한 구름이 존재하는데, 이를 성운이라 한다. 별은 기체 밀도가 높고 온도가 낮은 암흑 성운에서 태어난다. 암흑 성운에서는 내부 압력보다 중력이 크게 작용하므로 성운의 수축이 일어나 물질이 밀집된다. 이에 따라 중력이 커져서 더 많은 물질을 끌어당기게 되고, 성운의 밀도가 높아져 **원시별**이 생성된다.

원시별이 수축하면서 중심부 온도가 약 1000만 K에 도달하면 중심부에서 수소 핵융합 반응이 일어나게 된다. 수소 핵융합 반응으로 별 내부의 온도가 상승하여 내부 압력이 커지면 내부 압력 경사에 의한 힘과 중력이 평형을 이루게 되어 별의 크기가 일정하게 유지되는 상태가 된다. 이와 같은 별을 **주계열성**이라고 하며, 별은 생애 대부분을 주계열 단계에 머무른다. 원시별은 질량이 클수록 중력이 크게 작용하여 빠르게 수축하고, 중심부가 수소 핵융합 반응을 할 수 있는 온도에 빠르게 도달한다.

따라서 원시별은 질량이 클수록 주계열 단계에 이르는 데 걸리는 시간이 짧으며, 표면 온도와 광도가 커서 주계열의 왼쪽 위에 위치하게 된다.

질량이 태양과 비슷한 주계열성은 수소 핵융합 반응으로 중심핵의 수소가 차츰 줄어들고 헬륨이 쌓인다. 중심핵의 수소가 고갈되어 수소 핵융합 반응이 멈추면 중심핵의 온도가 낮아져 내부 압력이 감소한다. 따라서 중력이 내부 압력보다 크게 작용하기 때문에 헬륨으로 이루어진 중심핵에서는 수축이 일어난다. 중심핵이 수축할 때 발생한 열에너지는 중심핵을 둘러싸고 있는 외곽 수소층으로 전달되어 수소 핵융합 반응이 일어난다. 이때 별이 팽창하면서 광도가 증가하고, 표면 온도는 낮아진다.

한편, 헬륨으로 이루어진 중심핵은 수축하면서 온도가 높아져 헬륨 핵융합 반응이 일어난다. 별의 중심핵에서 헬륨 핵융합 반응이 일어나면 별은 더욱 팽창하면서 광도가 많이 증가하고 붉게 보이는데, 이를 **적색 거성**이라고 한다. 태양이 주계열 단계에서 벗어나 적색 거성이 되면 태양 표면이 지구 공전 궤도 부근까지 부풀어 오르게 된다.

헬륨 핵융합 반응이 끝나면 적색 거성의 중심핵은 수축하고, 이때 발생한 열로 별의 외곽은 팽창하지만, 곧 수축과 팽창을 반복하는 불안정한 상태가 된다. 이 과정에서 별의 외곽 물질이 우주 공간으로 방출되어 **행성상 성운**이 만들어지고, 별의 중심핵은 계속 수축하여 밀도가 매우 큰 **백색 왜성**이 된다.

H-R도에서 태양보다 왼쪽 위에 있는 주계열성은 질량이 큰 별로 수소 핵융합 반응이 활발하게 일어나 단위 시간 동안 많은 양의 에너지를 방출한다. 즉 별의 질량이 클수록 중심부의 수소를 빠르게 소진하므로 주계열 단계에 머무르는 시간이 짧다. 태양보다 질량이 큰 별은 중심핵에서 헬륨 핵융합 반응이 일어나면서 거성보다 훨씬 크고 밝은 초거성이 된다. 태양보다 질량이 큰 별의 중심핵에서는 헬륨보다 무거운 원소들의 핵융합 반응이 일어난다. 이 결과 별의 질량이 클수록 중심부에서는 산소, 네온, 마그네슘, 규소, 최종적으로 철까지 생성되며 중심부로 갈수록 무거운 원소로 이루어진 여러 겹의 양과 껍질 구조가 된다. 중심핵의 질량이 태양 질량의 1.4 배 이상인 별은 중심핵의 중력이 매우 크므로 빠른 속도로 수축하다가

불안정해지면 폭발이 일어나는데, 이를 **초신성 폭발**이라고 한다.

초신성 폭발 과정에서 엄청난 양의 에너지와 무거운 원소가 우주 공간으로 방출되고, 중심에는 중성자로 이루어진 밀도가 매우 큰 **중성자별**이 남는다. 중심핵의 질량이 태양 질량의 약 3배 이상인 별은 초신성 폭발 후 표면 중력이 너무 커서 빛조차도 빠져나올 수 없는 **블랙홀**이 된다.

행성상 성운이나 초신성 폭발은 별을 구성하고 있던 물질을 우주 공간으로 방출하여 새로운 별이 탄생할 수 있는 성운을 만든다. 그러므로 별의 진화 과정은 성운에서 태어나 다시 성운으로 되돌아가는 순환 과정이라고 할 수 있다.

온도가 낮고 밀도가 높은 성운이 중력에 의해 수축할 때 기체 입자의 위치 에너지가 감소하고, 감소한 위치 에너지만큼 내부 에너지가 증가하여 성운 내부의 온도가 상승한다. 이처럼 중력 수축으로 생기는 에너지를 **중력 수축 에너지**라고 한다.

주계열성인 태양이 1초 동안 방출하는 에너지는 전 세계에서 1년 동안 생산하는 전기 에너지의 약 500만 배이다. 이 막대한 에너지의 양을 중력 수축 에너지만으로 설명할 수 없다. 태양이 방출하는 에너지의 발생 과정은 질량과 에너지가 서로 전환될 수 있다는 질량·에너지 등가 원리의 등장으로 해결되었다. 이에 따르면 태양 중심부에서 수소 원자핵 4개가 핵융합 반응하여 헬륨 원자핵 1개가 만들어지는 **수소 핵융합 반응**이 일어난다. 이때 그림 수소 원자핵 4개 질량의 약 0.7%가 감소하고, 감소한 질량이 에너지로 전환되어 별의 에너지원으로 사용된다.

수소 핵융합 반응 후 줄어든 질량을 Δm , 빛의 속도를 c 라고 할 때, 수소 핵융합 반응으로 발생하는 에너지양 E 는 다음과 같이 나타낸다.

$$E = \Delta mc^2 \quad (c = 3 \times 10^8 \text{ m/s})$$

수소 핵융합 반응이 일어나기 위해서는 원자핵 사이의 강한 전기적 반발력을 이길 수 있을 만큼의 충분한 운동 에너지가 필요하므로 별의 내부 온도가 약 1000만 K 이상이 되어야 한다. 따라서 원시별 중심부 온도가 약 1000만 K 이상이 되었을 때 수소 핵융합 반응이 시작되며, 원시별은 주계열성이 된다. 수소 핵융합 반응으로 중심부 온도가 더욱 상승하면 내부 압력이 커져서 중력과 평형을 이루므로 더 수축하지 않는다. 중력과 내부 압력차로 발생한 힘이 평형을 이루어 별의 크기가 일정하게 유지되는 상태를 **정역학 평형 상태**라고 하며, 주계열성은 이 상태를 유지하고 있다.

주계열성의 중심부에서 일어나는 수소 핵융합 반응에는 양성자·양성자 반응 (p-p반응) 과 탄소·질소·산소 순환 반응 (CNO 순환 반응)이 있다. 질량이 태양의 2배보다 작아 중심부 온도가 약 2000만 K보다 낮은 별에서는 양성자·양성자 반응이 주로 일어나고, 질량이 태양의 2배 이상이고 중심부 온도가 약 2000만 K보다 높은 별에서는 탄소·질소·산소 순환 반응이 주로 일어난다.

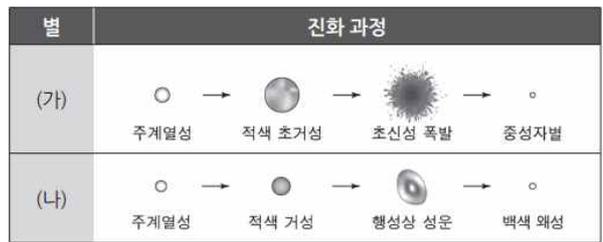
별의 중심부에서 수소 핵융합 반응으로 생성된 에너지가 외부로 방출되지 않는다면 중심부 온도는 계속 상승하여 별의 크기는 계속 커지게 될 것이다. 중심부에서 생성된 에너지가

빛과 열의 형태로 끊임없이 외부로 방출되고 있으므로 주계열성은 정역학 평형 상태를 이루어 크기가 일정하게 유지된다.

에너지가 전달되는 방식에는 전도, 대류, 복사가 있는데, 기체에서는 주로 복사와 대류로 에너지가 전달된다.

별의 중심부에서 별의 표면까지 에너지가 전달되는 방식은 별의 질량에 따라 다르다. 태양과 질량이 비슷한 별은 중심부에서 생성된 에너지가 중심으로부터 약 70%에 이르는 거리까지 복사로 전달되고, 그 이후부터는 대류로 별의 표면까지 전달된다. 그러나 질량이 매우 큰 별은 중심부에서 단위 시간 동안 엄청나게 많은 에너지가 생성되어 별의 중심과 표면 사이의 온도 차이가 매우 크다. 따라서 중심부에서는 복사보다 대류가 에너지를 효과적으로 전달하므로 대류로 에너지가 전달되고, 바깥층에서는 복사로 에너지가 전달된다. 이러한 까닭으로 질량이 태양 질량의 2배보다 작은 주계열성은 중심부의 복사층과 그 바깥의 대류층으로 이루어지고, 질량이 태양 질량의 2배보다 큰 주계열성은 중심부의 대류핵과 그 바깥의 복사층으로 이루어진다.

45. 표는 질량이 서로 다른 별 (가)와 (나)의 진화 과정을 나타낸 것이다.

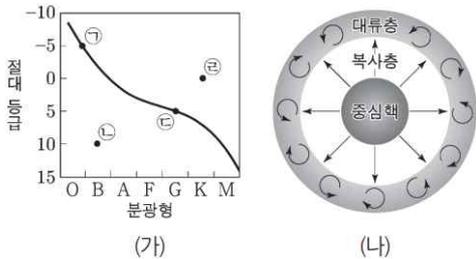


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 > —
- ㄱ. 흰색 별에서 H I 흡수선이 Ca II 흡수선보다 강하게 나타난다.
 - ㄴ. 주계열에서 B0형보다 표면 온도가 높은 별일수록 H I 흡수선의 세기가 강해진다.
 - ㄷ. 태양과 광도가 같고 반지름이 작은 별의 Ca II 흡수선은 G2형 별보다 강하게 나타난다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

46. 그림 (가)는 별 ㉠~㉡의 분광형과 절대 등급을 H-R도에 나타낸 것이고, (나)는 중심핵에서 수소 핵융합 반응을 하는 어느 별의 내부 구조를 나타낸 것이다.

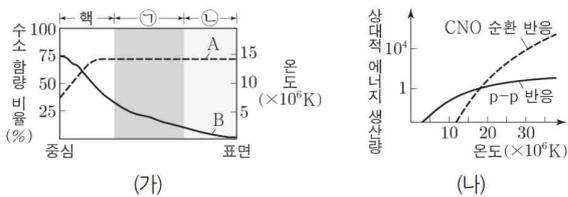


별 ㉠~㉡에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 질량이 가장 큰 별은 ㉠이다.
 - ㄴ. 표면에서의 중력 가속도는 ㉡이 ㉢보다 크다.
 - ㄷ. (나)와 같은 내부 구조를 갖는 별은 ㉢이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

47. 그림 (가)의 A와 B는 분광형이 G2인 주계열성의 중심으로부터 표면까지 거리에 따른 수소 함량 비율과 온도를 순서 없이 나타낸 것이고, ㉠과 ㉡은 에너지 전달 방식이 다른 구간을 표시한 것이다. (나)는 별의 중심 온도에 따른 p-p 반응과 CNO 순환 반응의 상대적 에너지 생산량을 비교한 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. A는 온도이다.
 - ㄴ. (가)의 핵에서는 CNO 순환 반응보다 p-p 반응에 의해 생성되는 에너지의 양이 많다.
 - ㄷ. 대류층에 해당하는 것은 ㉡이다

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

20. 외계 행성계와 외계 생명체 탐사

우리의하에는 약 천억 개의 별이 있다. 이 중에는 태양과 비슷한 물리적 특성을 가진 별이 매우 흔하며, 상당수는 태양처럼 행성을 거느리고 있을 것으로 추정된다. 그런데 행성은 크기가 매우 작고 어두워서 직접 관측하기 어렵다. 따라서 지금까지 발견된 외계 행성계는 대부분 공전하는 행성에 의해 중심에 있는 별에 발생하는 미세한 변화를 감지하는 간접적인 방법들을 통해 탐사되었다.

외계 행성계 탐사에 많이 사용된 방법의 하나는 그림 V-18과 같이 중심별의 **시선 속도 변화**를 이용하는 방법이다. 행성이 공전할 때 별도 행성과의 공통 질량 중심 주위를 공전하면서 시선 속도가 변하므로 별의 스펙트럼에는 파장이 주기적으로 길어졌다가 짧아지는 변화가 나타난다. 행성의 질량이 크면 별의 운동이 커서 별빛의 파장 변화도 커지므로 이와 같은 탐사 방법은 질량이 큰 행성 탐사에 효과적이다.

또, 행성의 공전 궤도가 시선 방향에 나란할 때 별에 발생하는 **식 현상**을 이용하는 방법도 있다. 별을 공전하는 행성이 별의 앞면을 통과하게 되면 별이 가려지므로 별의 주기적인 광도 감소가 생긴다. 행성의 반지름이 크면 별의 밝기도 많이 감소하므로 이와 같은 방법은 반지름이 큰 행성 탐사에 효과적이다.

최근에는 **미세 중력 렌즈 현상**을 이용하여 행성을 거느리고 있는 별을 찾아내기도 한다. 미세 중력 렌즈 현상이란 두 천체가 같은 시선 방향에 있을 때 뒤쪽에 있는 천체로부터 오는 빛이 앞쪽에 있는 천체의 중력에 의해 미세하게 굴절되는 현상이다. 이 현상에 의해 뒤쪽 천체에서 오는 빛은 볼록 렌즈를 통과할 때처럼 모이므로 뒤쪽 천체의 밝기는 원래보다 더 밝게 관측된다. 즉, 별 B가 더 멀리 있는 별의 A 앞쪽을 지나가게 되면 별 A의 밝기는 원래보다 더 증폭되어 보인다. 이때 앞쪽 별이 별 C와 같이 행성을 거느리고 있다면 이 행성의 중력 때문에 추가적인 굴절이 일어나 뒤쪽 별 A의 밝기가 추가로 증폭되어 나타난다. 이와 같은 밝기 변화를 통해 행성의 존재를 알 수 있다.

이외에도 매우 드물지만 외계 행성을 직접 관측하는 방법도 이용되고 있다. 지금까지 발견된 외계 행성들을 태양계의 행성과 비교해 보면, 지구와 같이 암석으로 이루어진 행성보다는 목성과 같이 기체로 이루어져 있거나 해양성처럼 얼어있는 물질로 이루어진 행성이 많다. 또, 암석으로 이루어진 외계 행성이라 해도 질량이 지구보다 몇 배나 큰 행성이 많다. 이 행성들의 환경은 지구와는 다를 것이다. 외계 행성계를 탐사하는 중요한 목적 중 하나는 생명체, 특히 지적인 생명체를 발견하려는 데 있다. 최근의 외계 행성계 탐사는 지구와 질량이 비슷하고 암석으로 이루어진 행성 탐사에 주목하고 있다.

우주에는 약 천억 개 이상의 은하들이 존재하고 있고 각 은하에는 또다시 약 천억 개 이상의 별이 있다. 이 별 중 상당수에는 행성이 있을 것으로 생각된다. 하지만 인류의 지속적인 노력에도 불구하고 현재까지 우주에서 생명체가 살고 있다고 확인된 행성은 지구 뿐이다.

외계 생명체의 존재 가능성을 탐사할 때에는 주로 물이 액체 상태로 존재할 수 있는 천체를 찾는다. 액체 상태의 물은 비열이 커서 열을 오래 보존할 수 있고 다양한 물질을 녹이므로 생명체가 탄생하고 진화하기에 유리한 환경을 제공하기 때

문이다.

액체 상태의 물이 존재하기 위해서는 행성의 온도가 적절해야 한다. 행성의 온도는 주로 중심에 있는 별의 광도와 별로부터 떨어져 있는 거리에 따라 결정된다. 별의 주변에서 물이 액체 상태로 존재할 수 있는 영역을 **생명 가능 지대**라고 한다.

별은 질량이 크고 표면 온도가 높을수록 광도가 크다. 별의 광도가 클수록 생명 가능 지대는 별로부터 먼 곳에 형성되고 생명 가능 지대의 폭도 넓어진다. 별의 질량에 따른 생명 가능 지대를 나타낸 것으로 태양계의 이론적인 생명 가능 지대는 금성과 화성 사이에 형성된다.

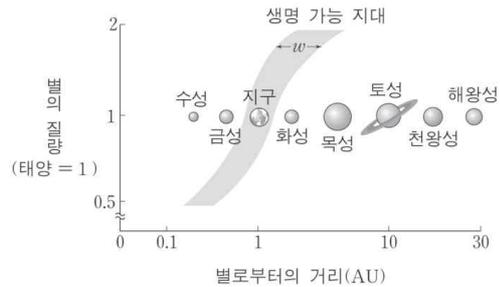
행성이 생명 가능 지대에 있다고 해서 이 행성에 반드시 생명체가 존재한다고 볼 수는 없다. 그런데 지구는 생명 가능 지대에 있으면서 생명체가 살아가기에 유리한 조건들을 두루 갖추고 있다. 지구의 표면에는 액체 상태의 물이 풍부한데, 물은 지구상의 생명체들에게 주요 서식 조건을 제공하며 생명체 내에서의 물질대사를 원활하게 해 준다. 또, 지구에는 생명체 탄생과 진화에 적절한 두께와 조성의 대기가 있으며, 생명체에 해로운 우주선을 막아주는 자기장도 있다. 지구의 자전축 경사와 공전 궤도 이심률도 생명체가 존재하기에 적절하다.

한편, 생명체가 탄생하여 진화하기까지는 상당히 긴 시간이 필요하다. 따라서 어떤 행성에 생명체가 존재하려면 중심의 별로부터 지속해서 에너지가 공급되어야 한다. 그런데 질량이 매우 큰 별은 수명이 너무 짧으므로 이와 같은 별 주변에 있는 행성에서는 생명체가 탄생하여 진화하기 어렵다.

이와 반대로 별의 질량이 매우 작으면 광도가 낮아서 생명 가능 지대는 별 가까이에 형성되며 폭도 좁아진다. 그런데 행성이 별에 너무 가까이 있게 되면 별의 중력이 크게 작용하여 행성의 자전이 느려지므로 행성 표면에 밤낮의 변화가 없어서 생명체가 존재하기 불리해진다.

현재의 과학 기술은 멀리 있는 외계 행성계의 환경을 추정하여 생명체의 존재 가능성을 가늠해 보는 정도에 머물러 있다. 광활한 우주에서의 생명체 탐사는 종종 드넓은 사막에서 바늘 한개를 찾아내는 것에 비유되곤 한다. 그러나 우리은하에는 충분히 많은 행성계가 있고, 행성 케플러-452 b와 같이 지구와 비슷한 행성도 있다. 이러한 행성 중에는 생명체도 존재할 것으로 생각하면서 외계 생명체 탐사를 지속하고 있다.

48. 그림은 별의 질량에 따른 생명 가능 지대의 범위와 태양계 행성들의 위치를 나타낸 것이다.



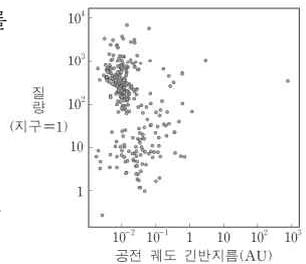
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 지구는 생명 가능 지대에 속한다.
 - ㄴ. 질량이 작은 별일수록 생명 가능 지대의 폭(w)이 넓어진다.
 - ㄷ. 태양의 질량이 0.5배가 되면 현재 화성의 위치에 액체 상태의 물이 존재한다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

49. 그림은 항성의 밝기 변화를

이용하여 2014년 9월까지 발견한 모든 외계 행성들의 공전 궤도 긴반지름과 질량을 나타낸 것이다. 이 자료에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?



- < 보 기 >
- ㄱ. 외계 행성들의 크기는 대부분 지구보다 크다.
 - ㄴ. 공전 궤도 긴반지름은 지구보다 외계 행성들이 대부분 크다.
 - ㄷ. 이 방법을 이용한 외계 행성 탐사는 관측자의 시선 방향이 외계 행성의 공전 궤도면에 수직일 때 가능하다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

50. 다음은 영희가 외계 행성 탐사 방법을 이해하기 위해 가설을 세우고 수행한 실험이다.

[가설]

[실험 과정]

(가) 그림과 같이 크기가 서로 다른 스티아로폼 공 A와 B를 회전대 위에 고정한다.
 (나) 회전대를 일정한 속도로 회전시킨다.
 (다) A와 B가 전구를 중심으로 회전하는 동안 측정된 밝기를 기록한다.

[실험 결과]

영희가 이 실험을 통해 검증하고자 하는 가설로 가장 적절한 것은?

- ① 중심별의 질량이 클수록 중심별의 밝기 변화가 크게 관측된다.
- ② 외계 행성의 크기가 클수록 중심별의 밝기 변화가 크게 관측된다.
- ③ 중심별의 온도가 높을수록 중심별의 밝기 변화가 크게 관측된다.
- ④ 외계 행성의 공전 속도가 느릴수록 중심별의 밝기 변화가 크게 관측된다.
- ⑤ 외계 행성과 중심별의 거리가 가까울수록 중심별의 밝기 변화가 크게 관측된다.

21. 외부 은하

우리은하 밖에도 우리은하처럼 수많은 별이 모여 있는 은하가 매우 많이 존재하는데 이들을 **외부 은하**라고 한다. 외부 은하들은 그 모양이 매우 다양하다. 허블은 외부 은하들을 모양에 따라 타원 은하와 나선 은하, 불규칙 은하로 분류하였다.

허블은 **타원 은하** 중에서도 모양이 구에 가까운 것은 E0, 가장 납작한 것은 E7으로 세분하였다. **나선 은하**는 옆에서 보면 원반 모양이지만 위에서 보면 별과 성운으로 이루어진 나선팔이 중심부에서 나와 팽대부를 휘감고 있다. 나선 은하는 중앙 팽대부가 공처럼 생긴 정상 나선 은하(S)와 막대처럼 생긴 막대 나선 은하(SB)로 나뉘는데, 각각 나선팔이 감긴 정도와 중심핵의 상대적인 크기에 따라 a, b, c로 세분된다. a형에서 c형으로 갈수록 중심핵의 크기가 상대적으로 작고 나선팔이 느슨하게 감겨 있다. 한편, 타원 은하나 나선 은하와 달리 모양이 일정하지 않고 규칙적인 구조가 없는 은하들도 있다. 이들을 **불규칙 은하**로 분류하였다.

타원 은하는 내부에 기체나 먼지 등의 성간 물질이 거의 없고, 비교적 나이가 많은 별들로 이루어져 있어 붉거나 노란색으로 보인다. 타원 은하는 별의 개수가 약 10억 개 이하인 왜소 은하부터 약 1조 개 이상인 거대 은하까지 크기가 매우 다양하다.

나선 은하의 나선팔에는 나이가 적은 푸른색 별과 많은 양의 성간 물질이 분포하고 중심부에는 나이가 많은 붉은색 별들이 주로 분포한다. 정상 나선 은하는 나선팔이 중심핵에서 직접 뻗어 나오고, 막대 나선 은하는 나선팔이 막대 구조의 양 끝에서 뻗어나온다.

허블에 의해 외부 은하로 밝혀진 안드로메다은하는 정상 나선 은하이다. 이 은하는 우리은하에서 약 250만 광년 떨어져 있으며 우리은하보다 두 배 이상 많은 별로 구성되어 있다. 과거에 우리은하도 안드로메다은하와 같은 정상 나선 은하로 분류됐으나 2005년 적외선 우주 망원경인 스피처 우주 망원경을 이용한 관측 결과 중심핵에 막대 구조가 있는 SBb형 또는 SBc형의 막대 나선 은하로 확인되었다.

특이한 형태를 지니는 은하를 말한다. 보통은 규모가 작고 성간 물질을 많이 포함하고 있으며, 젊은 별을 많이 포함하고 있다. 대마젤란 은하와 소마젤란은하는 대표적인 불규칙 은하이다.

허블은 외부 은하의 분류 결과를 통해 은하도 진화하고 있으며, 은하의 모양이 일정한 방향으로 변하고 있다고 생각했다. 그러나 은하의 진화는 매우 복잡하다는 것이 밝혀졌고, 은하의 모양은 시간의 흐름에 따른 진화와는 큰 관계가 없다는 것을 알게 되었다.

관찰자들은 같은 은하를 서로 다른 모양으로 판단할 가능성이 있다. 또, 같은 은하라도 보이는 방향에 따라 다른 형태로 판단할 수도 있고, 희미하거나 멀리 있는 은하들은 형태를 분류하기 어렵다. 하지만 허블의 은하 분류 체계는 쉽고 간단하게 은하를 분류할 수 있으므로 여전히 많이 이용되고 있다.

외부 은하 중에는 허블의 분류 체계로는 분류하기 어려운 전파 은하, 퀘이사, 셰이퍼트은하와 같은 특이한 은하들이 있다. 이러한 은하들을 **특이 은하**라고 한다.

보통의 은하와 달리 유난히 강한 전파를 방출하는 은하를

전파 은하라고 한다. 전파 은하는 가시광선 영상을 보면 거대 타원 은하이다. 그런데 전파 영상을 보면 중심핵 양쪽에 강력한 전파를 방출하는 로브라고 하는 둥근 돌출부가 있고 중심핵에서 로브로 이어지는 제트가 관측된다. 이처럼 전파 은하에서 전파를 방출하는 영역은 가시광선으로 관측되는 영역과 다르게 나타난다.

한편, 1960 년대 초 별처럼 보이지만 보통의 별과 달리 매우 큰 적색 편이가 나타나는 전파원 3C 273을 발견하였다. 이 천체는 먼 거리에서 매우 빠른 속도로 후퇴하고 있었는데 이렇게 먼 거리에 있다면 보통의 은하보다 수백 배 밝아야 한다. 이처럼 전 파장에 걸쳐서 많은 양의 에너지를 방출하는 특이한 은하를 **퀘이사**라고 한다. 태양계 정도의 작은 공간에서 엄청난 양의 에너지가 나온다는 것은 퀘이사 중심에 질량이 매우 큰 블랙홀이 있다는 것을 의미한다.

또 다른 특이 은하인 **세이퍼트 은하**는 크기가 매우 작지만 강한 방출선을 내는 중심핵을 가진 나선형 은하이다. 세이퍼트 은하 NGC 4151의 모습으로, 일반적인 은하에 비해 중심핵이 유난히 밝고 스펙트럼에서 폭넓은 방출선이 관측되는 특징이 있다. 방출선은 이 은하의 중심핵 부근에 뜨거운 성운이 있다는 것을 뜻하며, 방출선의 폭이 넓다는 것은 이 성운이 빠른 속도로 회전하고 있다는 것을 뜻한다. 이와 같은 관측 결과로부터 세이퍼트 은하의 중심부에는 거대한 블랙홀이 있을 것으로 추정하고 있다.

은하들은 우주에 골고루 퍼져 있는 것이 아니라 무리 지어 분포하기 때문에 서로를 잡아당기는 중력의 영향으로 가까워 지거나 충돌하기도 한다. 은하와 은하가 충돌해서 생긴 **충돌 은하**에서는 별의 크기보다 별 사이의 공간이 크기 때문에 은하의 충돌이 일어나는 동안에도 별들은 거의 충돌하지 않는다. 하지만 이 때 은하의 성간 물질은 은하 간의 상호 작용으로 가스와 티끌의 밀도가 증가하면서 별이 형성되기도 하고, 은하의 형태가 변하기도 한다. 이처럼 우주 공간에서는 두 은하가 충돌하여 하나의 은하가 되기도 하고, 큰 은하가 작은 은하를 흡수하기도 한다.

51. 다음은 세 학생이 다양한 외부 은하를 형태에 따라 분류하는 탐구 활동의 일부를 나타낸 것이다.

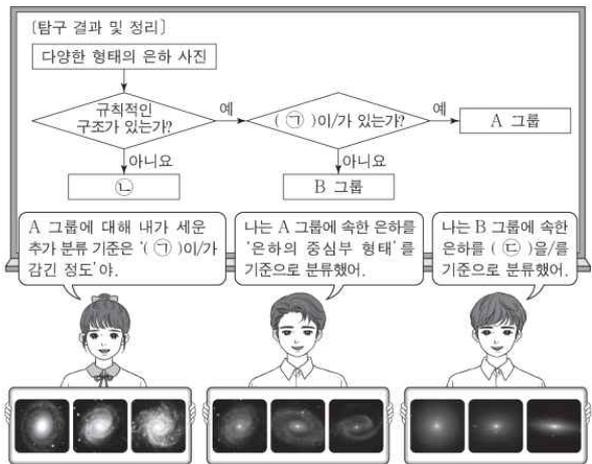
(탐구 과정)

(가) 다양한 형태의 은하 사진을 준비한다.

(나) '규칙적인 구조가 있는가?'에 따라 은하를 분류한다.

(다) (나)의 조건을 만족하는 은하를 '(㉠)'이/가 있는가?'에 따라 A와 B 그룹으로 분류한다.

(라) A와 B 그룹에 적용할 추가 분류 기준을 만든다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보 기 >

ㄱ. 나선팔은 ㉠에 해당한다.

ㄴ. 허블의 분류 체계에 따르면 ㉡은 불규칙 은하이다.

ㄷ. '구에 가까운 정도'는 ㉡에 해당한다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

22. 빅뱅 우주론

멀리 있는 외부 은하의 스펙트럼을 관측하면 흡수선들의 위치가 원래 위치보다 파장이 긴 적색 쪽으로 이동하는 적색 편이가 나타난다. 이러한 현상은 외부 은하들이 우리 은하로부터 멀어지고 있으므로 나타난다.

외부 은하의 스펙트럼에 나타난 흡수선 파장의 변화량 ($\Delta\lambda$) 을 측정하면 다음과 같이 후퇴 속도 (v) 를 구할 수 있다.

$$v = c \times \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \quad (c = \text{광속}, 3 \times 10^5 \text{ km/s})$$

1929년 허블은 거리가 알려진 외부 은하들의 적색 편이량을 측정하여, 외부 은하의 후퇴 속도(V)가 은하까지의 거리 (r)에 비례한다는 것을 알아냈다.

$$V = H \cdot r$$

이를 **허블 법칙**이라 하고, 비례 상수 H 를 허블 상수라 한다. 최근의 연구에 의하면 허블 상수 값은 약 68km/s/Mpc이다.

허블은 멀리 있는 은하일수록 더 빠른 속도로 멀어진다는 것을 알아내어 우주가 팽창하고 있다는 사실을 밝혀냈다. 즉, 은하가 서로 멀어지는 것은 은하의 운동 때문이 아니라, 우주 공간이 팽창하기 때문이다. 아인슈타인(Einstein, A., 1879~1955)을 비롯한 당시 과학자들은 대부분 우주가 정적이며 영원히 변하지 않는다고 생각했기 때문에 허블의 발견은 과학계에 큰 충격을 주었다.

1940년대에 호일(Hoyle, Sir F., 1915~2001) 등이 주장한 **정상 우주론**은 우주가 팽창하여도 우주의 온도와 밀도는 변하지 않고 항상 일정한 상태를 유지한다는 이론이다. 이 이론은 은하들이 후퇴하면서 생겨난 공간에 새로운 물질이 꾸준히 만들어지기 때문에 연속 창조설이라고도 하며, 1960년대까지 많은 지지를 받았다.

비슷한 시기에 가모프(Gamow, G., 1904~1968) 등이 주장한 **빅뱅 우주론**은 우주가 하나의 점으로부터 대폭발(빅뱅)하여 생성되었고, 계속 팽창하면서 냉각되었다는 이론이다. 우주가 팽창한다는 것은 과거에는 우주가 더 작고 뜨거웠다는 사실을 암시한다. 매우 뜨거웠던 우주 초기에 생성된 전자, 양성자 등 기본 입자들이 서로 결합하여 수소, 헬륨 등의 원자가 생성되었고, 이들로부터 별과 은하 등 현재 우주를 이루는 모든 물질이 만들어졌다. 가모프 등은 과거 뜨거웠던 우주로부터 방출된 복사 에너지가 전파 형태로 남아 있을 것이라고 예견하기도 하였다.

빅뱅 이론은 1930년대 초 르메트르(Lemaitre, G., 1894~1966)가 처음 주장하였으나 20세기 중반까지 주목받지 못하였다. 빅뱅 우주론은 이후의 관측 사실들과 잘 부합하고, 가모프 등에 의해 이론이 정교화되면서 우주의 기원을 설명하는 가장 설득력 있는 우주론으로 인정받게 되었다.

빅뱅 우주론을 뒷받침하는 관측 증거에는 어떤 것들이 있을

까? 빅뱅 우주론에서는 우주를 구성하는 물질의 약 75%는 수소, 약 25%는 헬륨으로 추정하였는데, 이처럼 추정된 **수소와 헬륨의 질량비**는 스펙트럼으로 관측한 결과와 아주 잘 들어맞는다. 또, 빅뱅 우주론을 주장한 가모프 등은 빅뱅 후 우주의 온도가 약 3000 K이었을 때 중성 원자가 생성되면서 빛이 물질로부터 분리되어 사방으로 방출되기 시작했다고 추정하였다. 이때 퍼져 나간 복사는 우주 팽창으로 점점 식어서 현재는 대략 수 K의 온도가 되었을 것이다. 이 예측이 옳다면 우주의 어떤 방향을 보더라도 이러한 우주 복사가 관측되어야 하는데, 이를 **우주 배경 복사**라고 한다.

1964년 펜지어스(Penzias, A. A., 1933~)와 윌슨(Wilson, R. W., 1936~)은 통신 위성용 전파 망원경을 수리하던 중 하늘의 모든 방향에서 같은 세기로 감지되는 약 $7.35 \times 10^{-2} \text{ m}$ 파장의 전파를 발견하였는데, 이것이 빅뱅 우주론에서 예측해 왔던 우주 배경 복사라는 것을 알게 되었다. 이는 빅뱅 우주론의 가장 강력한 증거이다.

그 후 여러 파장에서의 관측을 통하여 우주 배경 복사는 온도가 약 2.7 K인 흑체가 방출하는 복사와 일치한다는 것이 밝혀졌다. 우주 배경 복사는 1964년 처음 발견했을 때 전 우주에 걸쳐 완전히 균일하다고 생각되었으나, 1992년 코비 위성 관측을 통해 우주 배경 복사에서 10만 분의 1 K 정도의 온도 차이가 관측되었다. 2003년 더블유클(WMAP) 위성과 최근의 플랑크 망원경 관측을 통해 우주 배경 복사에 존재하는 온도 차이는 더욱 정밀하게 관측되었다.

이와 같은 우주 배경 복사의 미세한 온도 차이는 우주 초기에 미세한 밀도의 불균일이 존재했다는 증거이다. 우주 배경 복사는 우주 초기의 모습이 어떠했는지를 알려 준다. 인류가 많은 예산을 계속 투입해서 탐사선을 발사하는 것은 우주 배경 복사의 연구를 통해 우주의 시작과 우주의 미래를 알 수 있을 것으로 기대하기 때문이다.

1970 년대에 이르자 빅뱅 우주론으로 설명할 수 없는 몇 가지 문제점이 제기되었다.

첫 번째는 우주 배경 복사가 우주의 모든 방향에서 균질하게 관측되는 데에서 제기된 문제이다. 지구를 중심으로 우주의 반대쪽 양 끝 지점 A, B로부터 오는 우주 배경 복사를 생각해 보자. 이 두 지점으로부터 이제 막 우리에게 도달한 빛은 아직 우주의 반대편 끝에 있는 서로에게는 도달하지 못한 상태이다. 서로에게 도달하기까지는 두 배 많은 시간이 걸린다. 우주에서 빛보다 빨리 전달되는 정보는 없으므로 빅뱅 이후 지금까지 이 두 지점은 어떤 정보도 서로 교환할 수 없었다. 물질의 온도가 균질해지려면 골고루 섞여야 한다. 그런데 서로 전혀 상호 작용할 기회가 없었던 이 두 지점의 온도가 약 10만 분의 1 K 수준까지 같은 까닭은 무엇일까? 이를 **우주의 지평선 문제**라고 한다.

두 번째는 우주가 평탄하다는 데에서 제기된 문제이다. 지금까지의 우주 배경 복사 관측 결과에 따르면 우주는 거의 완벽하게 평탄하다. 우주가 이처럼 평탄하다는 사실을 빅뱅 우주론으로 설명하려면 초기 우주의 밀도를 매우 정밀한 하나의 값으로만 설정해야 한다. 하지만 우주의 밀도가 이렇게 특별한 값이어야 하는 까닭은 무엇일까? 이를 **우주의 평탄성 문제**라 한다.

세 번째는 자기 홀극이 발견되지 않는 데에서 제기된 문제

이다. 보통의 자석에는 언제나 N극과 S극이 함께 존재하는데, 이론상 독립적으로 존재하는 N극이나 S극을 자기 홀극이라 한다. 빅뱅 우주론에 따르면 현재 우주에는 초기 우주 때에 생성된 자기 홀극이 매우 많이 존재해야 한다. 1970년대부터 다양한 실험을 통해 자기 홀극을 발견하기 위해 노력하였으나 지금까지 발견되지 않았다. 이를 **자기 홀극 문제**라고 한다.

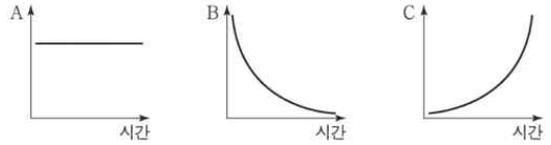
빅뱅 우주론으로 답할 수 없는 세 가지 문제점을 보완하기 위하여 1979년 구스(Guth, A. H., 1947~)는 **급팽창 우주론**을 제안하였다. 급팽창 우주론이란 우주 탄생 직후에 매우 짧은 시간 동안 우주가 급격하게 팽창했다는 이론이다.

급팽창 우주론에 따르면 급팽창 이전의 우주는 크기가 매우 작았기 때문에 현재 지평선에 있는 지역도 급팽창 전에는 훨씬 가까이 있어 서로 정보 교환이 가능하다. 따라서 우주의 지평선 문제가 해결된다.

또, 우주의 평탄성 문제는 초기 우주의 밀도에 관계없이 우주가 급팽창하면서 평탄해진 것으로 설명한다. 자기 홀극 문제는 급팽창 이전에는 많았던 자기 홀극들이 우주가 급팽창하면서 밀도가 많이 감소했으므로 현재는 발견하기 어렵다고 설명한다.

한편, 1990년대에 이르자 Ia형 초신성을 이용하여 이전보다 훨씬 더 먼 거리까지 측정할 수 있게 되었다. Ia형 초신성은 최대 광도가 항상 일정하고 매우 밝기 때문에 멀리 있더라도 관측할 수 있으므로 거리를 구할 수 있다. 거리가 먼 은하에 Ia형 초신성이 있다면 이로부터 은하의 거리를 구하고, 도플러 효과로 은하의 후퇴 속도를 구해 허블 상수를 알아낼 수 있다. 거리가 다른 여러 은하의 허블 상수를 비교하면 우주 팽창의 역사를 추적할 수 있다. 예를 들어 50억 광년 거리에 있는 은하를 관측하여 구한 허블 상수는 50억 년 전의 우주 팽창 속도이기 때문이다. 이에 따르면 우주는 팽창 속도가 점점 빨라지는 **가속 팽창**을 하는 것으로 추정된다.

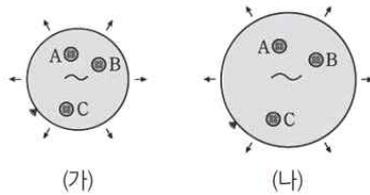
52. 그림은 우주의 물리량을 시간에 따라 나타낸 것이다.



빅뱅 우주론에서 A, B, C에 해당하는 물리량으로 가장 적절한 것은?

- | | A | B | C |
|---|----|----|----|
| ① | 부피 | 밀도 | 온도 |
| ② | 부피 | 온도 | 질량 |
| ③ | 온도 | 질량 | 부피 |
| ④ | 질량 | 온도 | 부피 |
| ⑤ | 질량 | 밀도 | 온도 |

53. 그림 (가)와 (나)는 허블의 법칙에 따라 팽창하는 어느 대폭발 우주를 풍선 모형으로 나타낸 것이다. 풍선 표면에 고정시킨 단추 A, B, C는 은하에, 물결 무늬(~)는 우주 배경 복사에 해당한다.

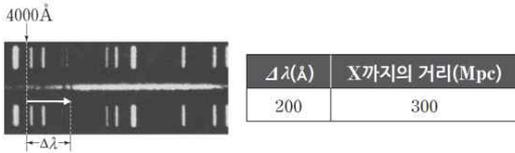


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 > —
- ㄱ. A로부터 멀어지는 속도는 B가 C보다 크다.
 - ㄴ. 우주 배경 복사의 온도는 (가)에 해당하는 우주가 (나)보다 높다.
 - ㄷ. 우주의 밀도는 (가)에 해당하는 우주가 (나)보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

54. 그림은 외부 은하 X의 스펙트럼을 비교 선 스펙트럼과 함께 나타낸 것이고, 표는 파장이 4000\AA (λ_0)인 흡수선의 적색 편이가 일어난 양($\Delta\lambda$)과 X까지의 거리를 나타낸 것이다.

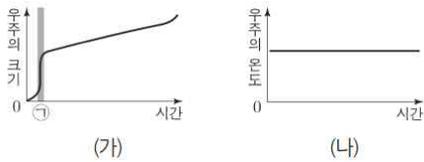


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 빛의 속도는 $3 \times 10^5 \text{ km/s}$ 이다.)

- < 보 기 >
- ㄱ. 멀리 있는 외부 은하일수록 $\Delta\lambda$ 는 작아진다.
 - ㄴ. X의 후퇴 속도는 15000 km/s 이다.
 - ㄷ. X를 이용하여 구한 허블 상수는 75 km/s/Mpc 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

55. 그림 (가)는 우주론 A에 의한 우주의 크기를, (나)는 우주론 B에 의한 우주의 온도를 나타낸 것이다. A와 B는 우주 팽창을 설명한다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 우주 배경 복사가 우주의 양쪽 반대편 지평선에서 거의 같게 관측되는 것은 (가)의 ㉠ 시기에 일어난 팽창으로 설명된다.
 - ㄴ. A는 수소와 헬륨의 질량비가 거의 3 : 1로 관측되는 결과와 부합된다.
 - ㄷ. 우주의 밀도 변화는 B가 A보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

23. 암흑 물질과 암흑 에너지

빅뱅으로 탄생한 우주는 지금도 팽창하고 있으며, 우주 온도는 점차 낮아지고 있다. 표준 모형은 물질을 이루는 기본 입자와 입자 사이의 상호 작용 및 힘의 통일을 연구하는 이론이다. 이를 이용하면 우주 초기의 모습뿐 아니라 미래의 우주 모습을 예측할 수 있다. 특히 과학자들은 표준 모형으로 물질과 이들의 상호 작용을 설명하려고 노력하였다.

과학자들은 여러 별과 은하의 운동을 관측하여 예상보다 훨씬 큰 중력이 우주에 영향을 미치고 있다는 것을 알아냈다. 이는 우주에는 관측되는 물질의 양보다 훨씬 많은 양의 물질이 있다는 뜻이다. 관측되지 않는 이 미지의 물질을 **암흑 물질**이라고 한다.

한편, 최근의 관측 자료들을 보면 우주 팽창 속도는 점점 빨라지고 있다. 우주가 가속 팽창한다는 것은 중력과 반대 방향으로 척력이 작용한다는 것을 의미한다. 중력과 반대 방향으로 작용하는 이 미지의 에너지를 **암흑 에너지**라고 한다.

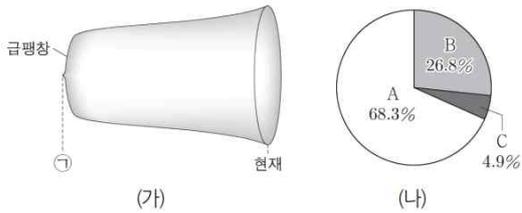
우주가 과거로부터 지금까지 계속 팽창해 왔다면 앞으로는 어떻게 될까? 암흑 에너지가 없을 때 우주가 영원히 팽창하게 될지 아니면 팽창을 멈추게 될지는 우주의 밀도에 따라 결정된다. 우주의 밀도에 의한 중력과 우주가 팽창하는 힘이 평형을 이룰 때의 밀도를 임계 밀도라고 한다. 우주의 밀도가 임계 밀도보다 크면 팽창 속도가 점점 감소하다가 결국에는 수축하는 닫힌 우주가 된다. 반대로 우주의 밀도가 임계 밀도보다 작으면 계속 팽창하는 열린 우주가 된다. 우주의 밀도가 임계 밀도와 같다면 팽창 속도가 계속 느려지지만 팽창이 완전히 멈추지는 않는 평탄한 우주가 된다.

최근의 정밀한 관측 결과 우주 배경 복사에 나타난 미세한 불균일의 정도를 자세히 분석하면 급팽창 시기의 우주의 불균일한 정도를 알 수 있다. 이 불균일함의 변화로 시간에 따른 우주의 변화를 추정해 볼 수 있다. 이를 통해 우주의 구성 물질, 우주의 팽창 속도, 우주 공간의 기하학적 모양 등을 밝혀 낼 수 있다. 최근 플랑크 망원경 관측 결과 우주 전체에 존재하는 에너지와 물질 가운데 약 68.3 %는 암흑 에너지, 약 26.8 %는 암흑 물질, 나머지 약 4.9 %가 보통 물질로 밝혀졌다.

평탄한 우주라도 암흑 에너지가 많은 부분을 차지하면 우주는 가속 팽창한다. 팽창 초기에는 중력이 세기 때문에 우주가 감속 팽창하지만, 팽창에 따라 물질의 밀도가 점점 낮아지므로 상대적으로 중력이 우주 팽창에 미치는 영향은 적어진다. 반면 암흑 에너지의 크기는 우주가 팽창해도 일정하므로 그 영향력은 상대적으로 더 커진다.

우리는 우주 대부분을 차지하는 것으로 알려진 우주의 미래를 결정하는 암흑 에너지와 암흑 물질의 정체를 밝히기 위해 노력하고 있다.

56. 그림 (가)는 표준 우주 모형에서 시간에 따른 우주의 크기 변화를, (나)는 플랑크 망원경의 우주 배경 복사 관측 결과로부터 추론한 현재 우주를 구성하는 요소의 비율을 나타낸 것이다.

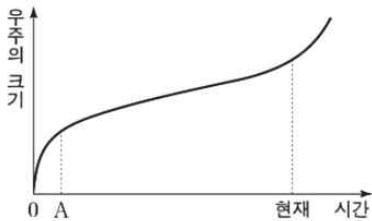


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 우주 배경 복사는 ㉠시기에 방출된 빛이다.
 - ㄴ. 현재 우주를 가속 팽창시키는 역할을 하는 것은 A이다.
 - ㄷ. B에서 가장 큰 비율을 차지하는 것은 중성자이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄷ

57. 그림은 어느 팽창 우주 모형에서 시간에 따른 우주의 크기 변화를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. A 시기에 우주는 감속 팽창했다.
 - ㄴ. 현재 우주에서 물질이 차지하는 비율은 암흑 에너지가 차지하는 비율보다 크다.
 - ㄷ. 우주 배경 복사의 파장은 A 시기가 현재보다 길다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

2023학년도 수능 대비 모의고사 주요 문항 정답

1	①	2	③	3	④	4	③	5	③
6	②	7	②	8	②	9	①	10	④
11	③	12	⑤	13	①	14	②	15	③
16	④	17	④	18	④	19	④	20	①
21	③	22	⑤	23	④	24	⑤	25	②
26	⑤	27	④	28	③	29	①	30	②
31	④	32	④	33	③	34	④	35	⑤
36	③	37	②	38	①	39	③	40	⑤
41	④	42	①	43	②	44	②	45	④
46	③	47	④	48	①	49	①	50	②
51	⑤	52	④	53	④	54	②	55	③
56	②	57	①						

※ 시험이 시작되기 전까지 표지를 넘기지 마시오.