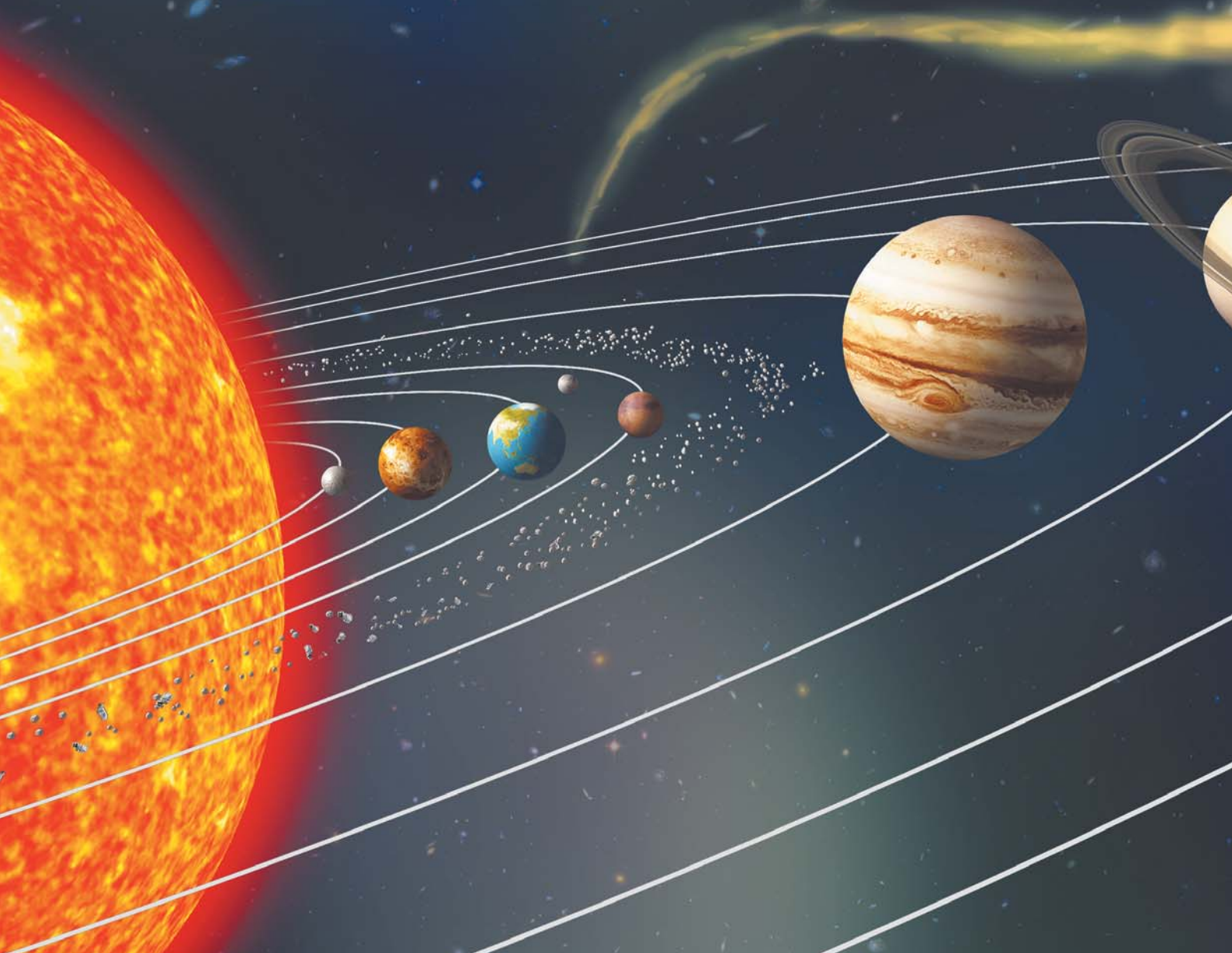
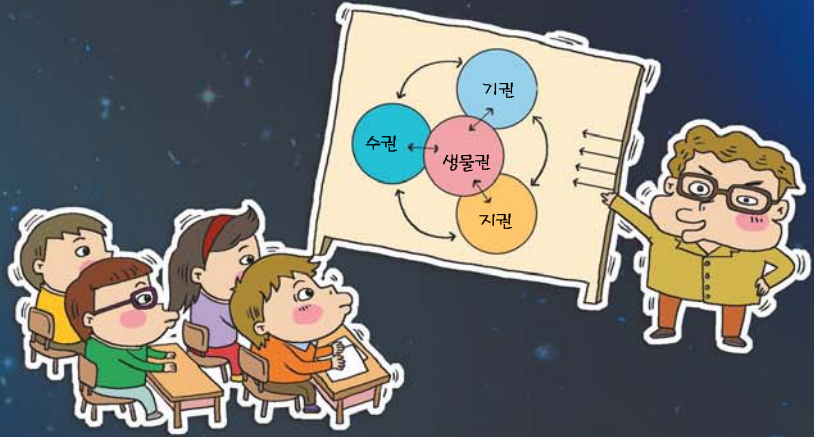


II

태양계와 지구





II -1. 태양계의 형성과 운동

1. 태양계의 형성
2. 행성의 운동
3. 지구와 달의 운동

II -2. 지구 구성 원소와 지구계

1. 행성의 대기와 에너지 보존
2. 지구의 진화
3. 지구를 이루는 원소
4. 지구의 자기장

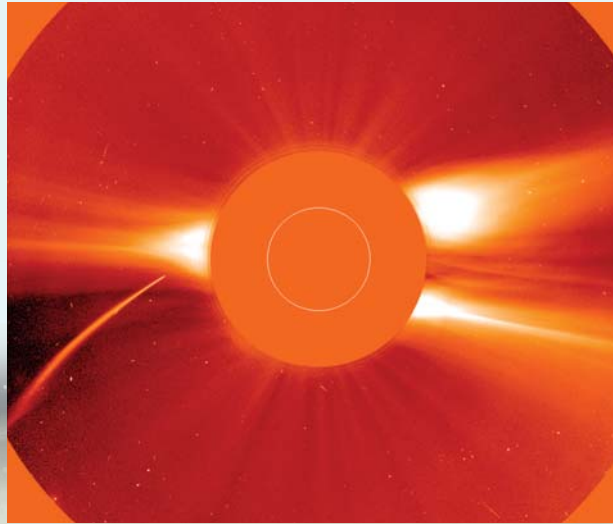
시작하기 전에



태양계는 어떻게 생성되었으며, 태양의 에너지는 어떤 과정으로 만들어질까? 또 생명체는 태양계 행성 중 지구에서만 태어나 살 수 있는 까닭은 무엇일까?



II-1. 태양계의 형성과 운동



▲ 그림 1_ 태양이 혜성을 끌어당기는 모습



태양 탐사 위성
소호(SOHO)

태양계의 주인, 태양

2010년 1월에 태양 탐사 위성 소호는 태양에 가까이 다가간 혜성이 태양에 빨려 들어가는 그림 1과 같은 장면을 관측하였다. 혜성은 행성이나 소행성 등과 마찬가지로 태양계를 이루는 천체이며 태양계 형성 초기에 만들어진 것으로 알려졌다. 따라서 혜성이나, 혜성을 이루던 암석 조각들이 지구로 떨어진 운석은 지구를 비롯한 태양계의 생성 과정을 연구하는 데 중요하게 이용된다.

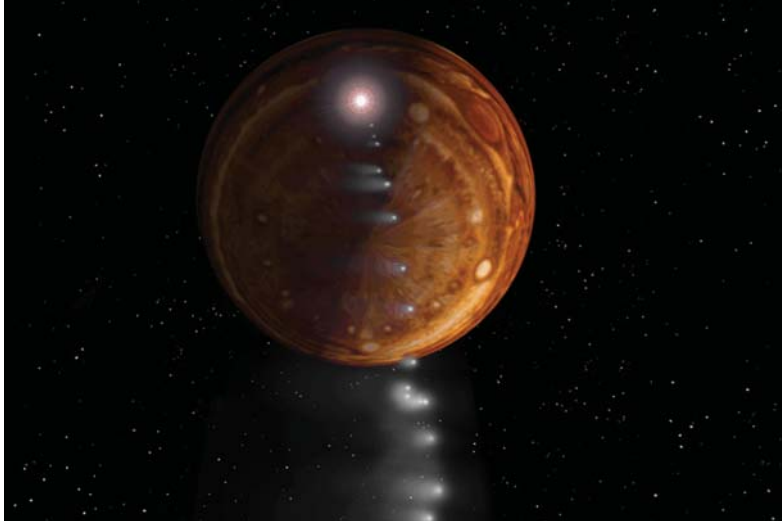
태양이 혜성을 끌어당기는 까닭은 무엇이며, 태양계 행성들이 태양과 일정한 거리를 유지하면서 태양 주위를 공전하는 까닭은 무엇일까?

이 단원에서는 태양계의 형성 과정을 알아보고, 행성이나 위성과 같은 태양계 천체들이 어떻게 운동하는지 함께 알아보자.

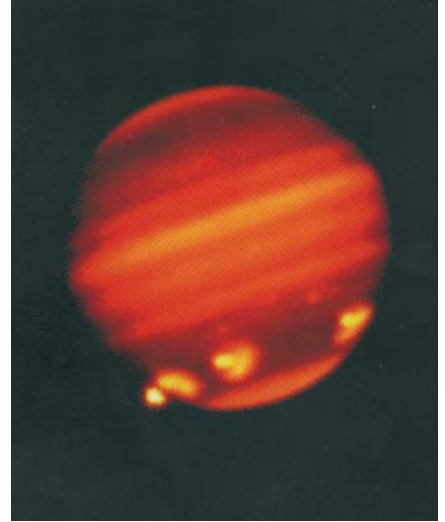
? 태양계를 이루는 천체는 어떤 것들이 있는지 알아보자.

태양계의 형성

- 학습 목표**
- 태양계의 형성 과정을 알고 지구형 행성과 목성형 행성의 특징을 설명할 수 있다.
 - 태양으로부터 공급된 에너지가 지구의 에너지 순환을 일으키는 설명할 수 있다.



슈메이커-레비 9 혜성의 충돌(상상도)



목성 표면의 혜성 충돌 흔적

▲ 그림 2 _ 슈메이커 - 레비 혜성과 목성의 충돌

1994년 7월에 슈메이커-레비 9 혜성이 목성과 충돌하는 장면이 관측되었다. 이 혜성은 목성에 접근하면서 여러 개의 조각으로 쪼개져 목성과 충돌하였으며, 이 충돌로 목성 표면에 남은 흔적은 수개월이 지난 뒤에도 관측할 수 있었다.

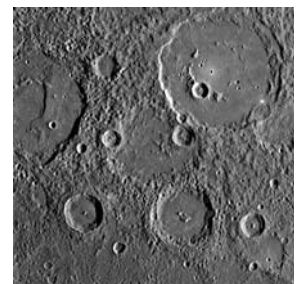
지구에 번성했던 공룡은 약 6,500만 년 전에 거대한 운석이 지구와 충돌하여 멸종되었다고 알려져 있으며, 세계 여러 곳에는 운석이 떨어진 흔적인 크레이터가 존재한다. 최근의 연구에 의하면 1년 동안 지구에 떨어지는 운석의 양은 약 78,000톤에 이르며, 앞으로도 거대한 소행성이나 혜성이 지구와 충돌할 가능성이 있다고 한다. 따라서 세계 여러 나라에서는 지구에 접근하는 혜성이나 소행성을 계속 관측하며 그 위치를 추적하고 있다.

혜성이나 운석은 어떻게 만들어졌으며 어디에서 오는 것일까? 태양계는 어떻게 형성되었으며, 태양으로부터 지구에 도달한 에너지가 지구에서 어떻게 순환하고 전 환되는지도 함께 알아보자.



그림 3은 수성의 표면이다. 수성에서는 운석이 충돌한 자국인 크레이터를 쉽게 찾을 수 있지만, 지구에서는 크레이터를 찾아보기 어렵다. 그 까닭은 무엇인지 생각해 보자.

▼ 그림 3 _ 수성 표면의 크레이터



태양계의 형성 과정

천체 관측 기술과 관측 도구의 발달로 우리는 별들이 만들어지는 모습과, 수명을 다한 별들이 폭발하여 죽음을 맞는 모습을 자세하게 관측할 수 있게 되었다. 그리고 태양계의 형성 과정도 예전보다 과학적으로 설명할 수 있게 되었다.

각운동량

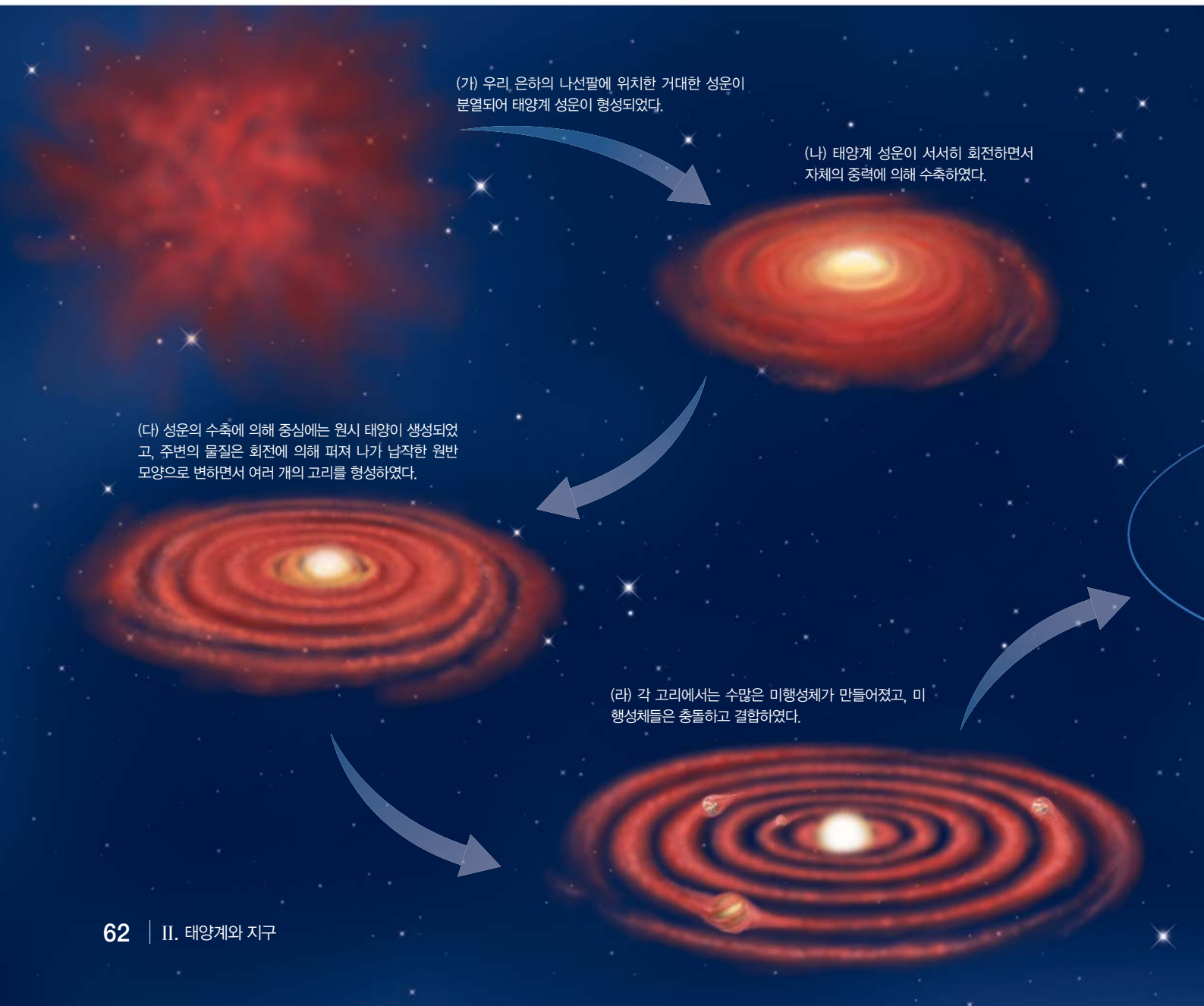
회전하는 물체에 적용되며 물체의 회전 반경이 r , 질량이 m , 회전 속도가 v 일 때 다음과 같이 계산된다.

$$\text{각운동량 } (L) = rmv$$

외부에서 힘이 작용하지 않으면 회전하는 물체의 각운동량은 항상 보존된다. 따라서 회전 반경이 작아지면 회전 속도가 빨라진다.

태양계는 그림 4와 같이 우리 은하 내부의 가스와 먼지로 이루어진 성운이 회전하면서 수축하여 생성되었다고 추정되는데, 이 가설을 **성운설**이라고 한다. 초신성 폭발로 거대한 성운이 분열하여 생성된 태양계 성운은 자체 중력에 의해 서서히 회전하면서 수축하기 시작하였다. 이때 중심부의 물질들은 수축이 진행되면서 각운동량 보존 법칙에 따라 회전 속도가 더욱 빨라졌고, 중력이 커지면서 중심부의 압력과 밀도가 증가하였다. 이에 따라 온도가 높아진 중심부에서 에너지를 방출하기 시작하여 **원시 태양**이 형성되었다.

▼ 그림 4 _ 태양계와 지구의 형성 과정

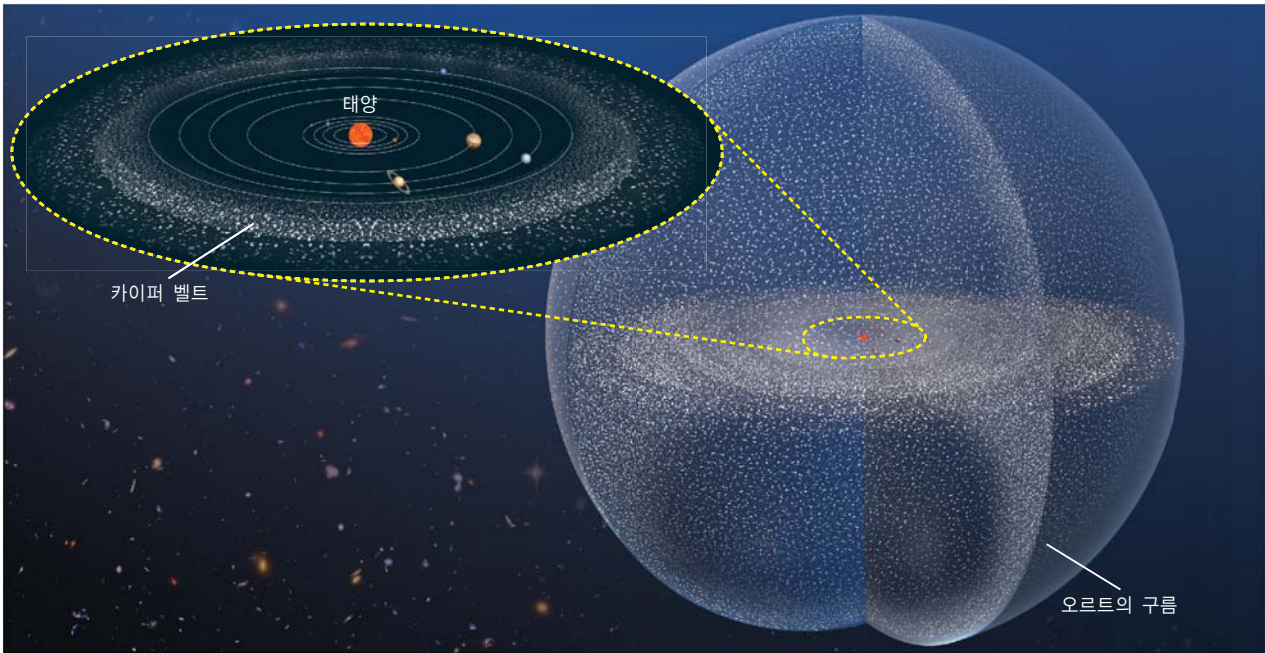


한편, 성운 주변부의 물질들은 회전축에 수직인 평면에 원반 모양으로 가라앉았고, 이 물질들은 점점 큰 입자를 이루며 여러 개의 고리를 형성하였다. 고리를 이루며 회전하던 물질들은 서로 뭉쳐져 소행성 크기의 수많은 **미행성체**를 형성하였으며, 이들이 서로 충돌하여 **원시 행성**을 형성하였다. 원시 행성은 주변의 기체와 미행성체들을 끌어당겨 더 크게 성장하였으며, 일부 미행성체들은 행성 주위를 공전하다가 지금의 위성이 되었다.

지구도 이와 같은 과정을 통하여 형성되었다. 원시 지구는 미행성체의 충돌로 점점 성장하였으며, 이 과정에서 발생한 열로 지표가 녹아 마그마의 바다를 형성하였다. 이때 무거운 물질과 가벼운 물질이 분리되어 핵과 맨틀이 만들어졌고, 그후 지표가 냉각되면서 원시 지각이 형성되었다. 그리고 대기 중의 수증기는 비가 되어 내려 원시 바다를 이루게 되었다.

연결 학습
 지구의 생성과 진화 → 106쪽





▲ 그림 5 _ 현재의 태양계 태양계는 태양을 비롯하여 행성과 위성, 왜소행성, 태양계 소천체와 얼음, 먼지 등으로 이루어진 미행성체를 포함한다.

태양계를 이루는 행성들의 공전 궤도는 그림 5와 같이 거의 동일한 평면 위에 있으며, 행성의 공전 방향도 시계 반대 방향으로 모두 같다. 이것은 태양계 성운에서 원시 태양 주위를 원반 모양으로 회전하던 물질들이 미행성체를 이루고, 이 미행성체들이 서로 충돌하여 원시 행성을 이루었기 때문이다. 따라서 태양계를 이루는 8개의 행성과, 행성의 위성들은 거의 같은 평면 위에서 같은 방향으로 원에 가까운 타원 궤도를 이루며 공전하고 있다.



행성들의 공전 궤도가 동일 평면상에 위치하고, 공전 방향이 같은 까닭은 무엇인지 설명해 보자.

연결 학습

원시 별의 진화 ➔ 34쪽

태양풍

태양의 대기층에서 방출된 전기를 띤 입자로, 고에너지 전자와 양성자로 이루어져 있다. 높은 에너지를 가지고 있어 태양의 중력을 이겨내고 우주 공간으로 방출된다.

한편, 원시 태양은 점차 현재의 태양에 가까워졌다. 원시 태양이 중력에 의한 수축을 계속하면서 원시 태양 내부의 압력과 온도는 더욱 높아졌으며, 중심부의 온도가 1,000만 K에 이르자 원시 태양 내부에서는 수소 핵융합 반응이 일어나기 시작하였다. 그리고 수소 핵융합 반응으로 생성된 에너지가 외부로 방출되기 시작하면서 원시 태양은 현재와 같은 주계열성으로 진화하였다.

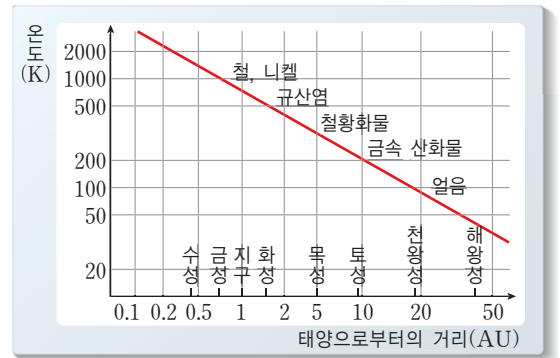
핵융합 반응이 시작되면 태양에서는 강한 태양풍이 발생하여 원시 행성 주변의 수소나 헬륨 가스와 먼지 등 가벼운 물질을 태양의 반대 방향으로 날려 보낸다. 이러한 과정을 거쳐 행성을 비롯한 다양한 천체들이 태양 주위를 공전하는 지금과 같은 태양계의 모습이 나타나게 되었다.

태양계 행성의 형성 과정은 태양으로부터의 거리에 따라 서로 다르게 이루어졌다. 원시 태양에서 가까운 곳에서는 높은 온도 때문에 물이나 메테인과 같이 녹는점이 낮고 가벼운 물질들이 한군데 모여 뭉쳐지기 어려웠다. 따라서 그림 6과 같이 철, 니켈, 규산염과 같이 녹는점이 높고 무거운 물질들로 이루어진 미행성체가 형성되었고, 이들이 충돌하여 암석으로 이루어진 수성, 금성, 지구, 화성이 만들어졌다.

반면, 원시 태양에서 먼 곳은 온도가 낮았으므로 얼음이나 메테인 등으로 이루어진 미행성체가 형성되었고, 이들이 주변의 수소나 헬륨과 같은 가벼운 기체를 끌어당겨 목성과 토성이 만들어졌다. 그리고 더 멀리 떨어진 곳에서는 주로 얼음, 암모니아, 메테인 등으로 이루어진 천왕성과 해왕성이 만들어졌다. 따라서 암석으로 이루어진 지구형 행성은 태양과 가까운 곳에서, 가스로 이루어진 목성형 행성은 태양에서 먼 곳에서 태양 주위를 공전하게 되었다.

태양계에는 태양과 행성, 위성 외에도 여러 가지 천체들이 있다. 많은 소행성들이 화성과 목성 사이의 궤도에서 태양 주위를 공전하고 있으며, 해왕성 바깥에는 구 명왕성, 에리스 등의 왜소행성이 존재한다. 그리고 더 먼 곳에는 먼지와 얼음으로 이루어진 태양계 소천체들이 흩어져 있는 카이퍼 벨트가 존재한다.

한편, 태양계의 가장 바깥쪽에는 먼지를 포함한 수많은 얼음 조각들로 이루어진 오르트의 구름이 존재한다. 카이퍼 벨트나 오르트의 구름을 이루는 천체들은 혜성의 공급원으로 알려져 있다.



▲ 그림 6_ 행성 형성 시기의 태양계 온도 분포와 물질의 응집 온도 (기본 천문학 5판, 2008년)

혜성

혜성의 핵은 암석과 유기질 먼지를 포함한 얼음 덩어리이다. 얼음의 80% 이상은 물이며, 일산화탄소, 이산화탄소, 메테인이 포함되어 있고, 암모니아와 사이안화수소 등도 적은 양이 포함되어 있다.

과학 마당 | 태양계의 초기 모습을 알려 주는 운석

소행성이나 혜성이 지나간 자리에 남아 있던 작은 조각들은 지구가 지나갈 때 지구의 인력 때문에 지구 표면으로 떨어진다. 이 조각들이 지구의 기권에서 대기와의 마찰로 빛을 내며 타는 것을 유성이라고 하며, 대기 중에서 다 타지 않고 지표로 떨어진 것을 운석이라고 한다. 소행성이나 혜성을 이루는 물질들은 태양계의 생성 초기에 만들어졌다고 알려져 있으므로, 운석을 조사하면 태양계와 지구의 생성에 대하여 많은 것을 알 수 있다.

운석에 포함된 루비듐이나 스트론튬과 같은 여러 가지 방사성 원소의 반감기를 이용하여 운석의 나이를 측정하면 대부분 45~46억 년 사이의 값이 측정된다. 또 아폴로 우주선이 달에서 가지고 온 월석을 이용한 측정에서도 운석을 측정했을 때와 비슷한 값을 얻을 수 있었다. 따라서 지구와 달을 비롯한 태양계 천체들의 나이는 약 46억 년이라고 예상할 수 있다.



▲ 그림 7_ 남극의 운석

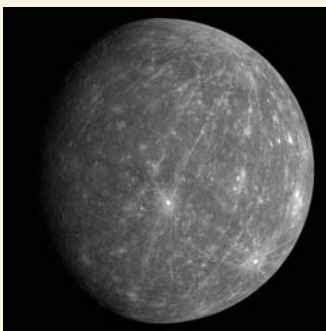
지구형 행성과 목성형 행성



▲ 그림 8 _ 태양계 행성의 크기 비교

태양계를 이루는 8개의 행성은 그림 8에서 알 수 있듯이 그 크기가 각각 다르다. 태양에 가까이 있는 수성, 금성, 지구, 화성은 비교적 크기가 작고, 태양에서 멀리 있는 목성, 토성, 천왕성, 해왕성은 비교적 크기가 크다. 이들은 크기뿐만 아니라 표면 온도, 질량, 밀도 등의 물리적 특성 또한 서로 다르다.

따라서 태양계 행성들은 크기, 밀도, 구성 물질 등의 차이에 따라 **지구형 행성**과 **목성형 행성**으로 구분할 수 있다.



수성
태양에서 가장 가까운 행성으로 달보다 약간 크다. 중력이 매우 작아 대기가 없으므로 표면에 크레이터가 많고 낮과 밤의 표면 온도 차이가 매우 크다.



금성
지구와 비슷한 크기이며, 두꺼운 이산화탄소 대기 때문에 대기압과 표면 온도가 매우 높다. 최근 탐사선의 활동으로 지구 표면과 비슷한 지형이 있으며, 화산 활동이 일어나고 있음이 밝혀졌다.



지구
액체 상태의 물이 있고 산소가 풍부한 대기가 있다. 밤과 낮의 표면 온도 차이가 크지 않아 생명체가 살 수 있다.



화성
산화철이 포함된 토양 때문에 지구에서 붉게 보이며 크기는 지구의 절반 정도이다. 주로 이산화탄소 이루어진 희박한 대기가 있으며, 물이 흘렀던 흔적이 존재하고 극지방에 드라이아이스와 얼음으로 이루어진 극관이 존재한다. 또 자전축이 기울어져 있어 계절 변화가 일어난다.

▲ 그림 9 _ 지구형 행성

태양에 가까이 있는 수성, 금성, 지구, 화성을 지구형 행성이라고 하며, 표면이 단단한 암석으로 이루어져 있고 크기가 작다. 이 행성들은 생성 초기에 방사성 원소의 붕괴와 미행성의 충돌로 발생한 열에 의해 행성 전체가 마그마의 바다를 이루었다. 이 과정에서 무거운 금속 물질은 내부로 가라앉아 핵을 형성하고 상대적으로 가벼운 규산염 물질이 맨틀을 이루었다. 또 행성 내부에 많은 에너지를 가지고 있어 뜨겁게 녹은 암석이 표면으로 분출되는 화산 활동이 일어나기도 한다.

한편, 지구형 행성을 이루는 무거운 원소들은 태양계가 생성될 당시 태양계 성운에서 적은 양이 존재하였으므로 지구형 행성은 질량이 작다.

태양에서 멀리 떨어져 있는 목성, 토성, 천왕성, 해왕성을 목성형 행성이라고 하며, 주로 수소나 헬륨 등의 가벼운 물질로 이루어져 있고 크기가 크다. 이 행성들은 단단한 표면을 가지고 있지 않으며, 얼음과 암석으로 이루어진 핵의 주위를 수소와 헬륨으로 이루어진 층이 둘러싸고 있다. 따라서 이 행성들의 밀도는 지구형 행성보다 훨씬 낮다.

목성형 행성의 주요 구성 물질인 수소나 헬륨은 태양계 생성 당시 태양계 성운에 많이 존재하였으므로 이들은 비교적 큰 크기로 성장할 수 있었다.

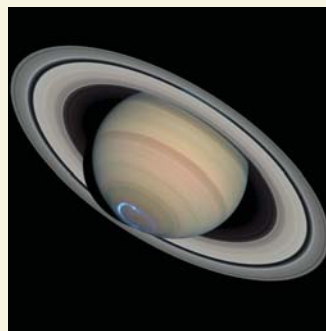


지구는 액체 상태의 물이 존재하는 유일한 행성이다. 지구에 액체 상태의 물이 존재할 수 있는 까닭은 무엇인지 생각해 보자.



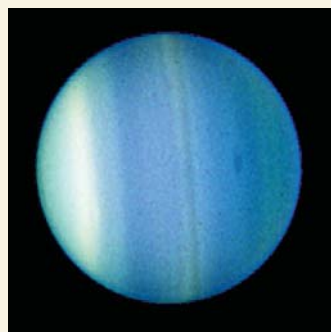
목성

태양계 행성 중 반지름, 질량, 중력이 가장 크며 희미한 고리와 많은 위성을 가지고 있다. 자전 주기가 매우 짧으며, 단단한 표면이 없으므로 탐사선이 낙하하면서 대기와 내부 물질을 조사하는 방법으로 탐사한다.



토성

태양계 행성 중 밀도가 가장 낮고 편평도가 가장 큰 행성이다. 많은 위성과 넓은 고리를 가지고 있으며, 목성과 마찬가지로 짧은 자전 주기를 가지고 있으므로 표면에 자전 방향과 나란한 줄무늬가 만들어진다.



천왕성

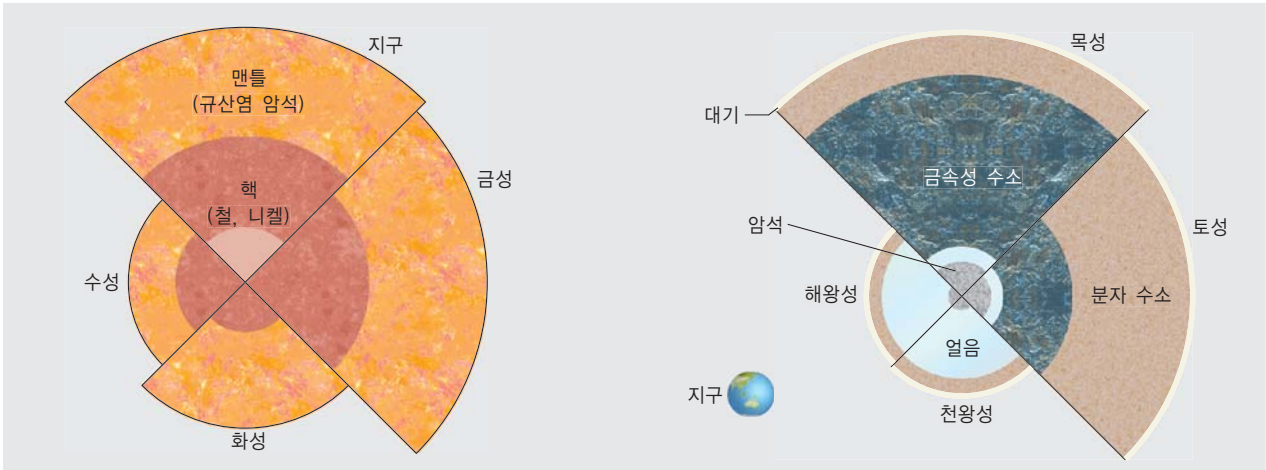
지구에서 멀리 떨어져 있고 온도가 낮아 망원경이 발명된 이후인 1781년에 발견되었다. 태양계의 다른 행성들과 달리 자전축이 공전 궤도면에 거의 나란하다.



해왕성

관측된 천왕성의 궤도가 예상과 다르다는 사실에서 그 존재가 이론적으로 예측되었으며, 1846년에 발견되었다. 천왕성과 마찬가지로 망원경으로 관측할 수 있다.

▲ 그림 10 _ 목성형 행성



지구형 행성의 내부 구조: 수성은 상대적으로 가장 큰 핵을 가지며 화성은 가장 작은 핵을 가진다. 지구의 핵은 내핵과 외핵으로 나뉘어 있다. 목성형 행성의 내부 구조: 목성과 토성은 규산염으로 이루어진 핵을 금속성 수소가 둘러싸고 있다. 천왕성과 해왕성은 얼음 층이 핵을 둘러싸고 있다.

▲ 그림 11 _ 지구형 행성과 목성형 행성의 내부 구조와 상대적인 크기

지구형 행성과 목성형 행성은 내부 구조에서도 큰 차이가 있다. 그림 11과 같이 지구형 행성은 주로 철과 니켈로 이루어진 중심핵을 가지고 있으며, 산소와 규소의 화합물인 규산염으로 이루어진 맨틀이 중심핵을 둘러싸고 있다. 반면, 목성형 행성의 내부는 암석과 얼음으로 이루어진 핵을 수소가 둘러싸고 있다.

이처럼 지구형 행성과 목성형 행성은 물리적 특징뿐만 아니라 구성 물질에서도 많은 차이가 있다. 이것은 행성의 형성 과정에서 이들이 태양으로부터 각각 다른 거리에서 만들어졌기 때문이다.

과학자 이야기 | 데카르트 Descartes, R., 1596~1650

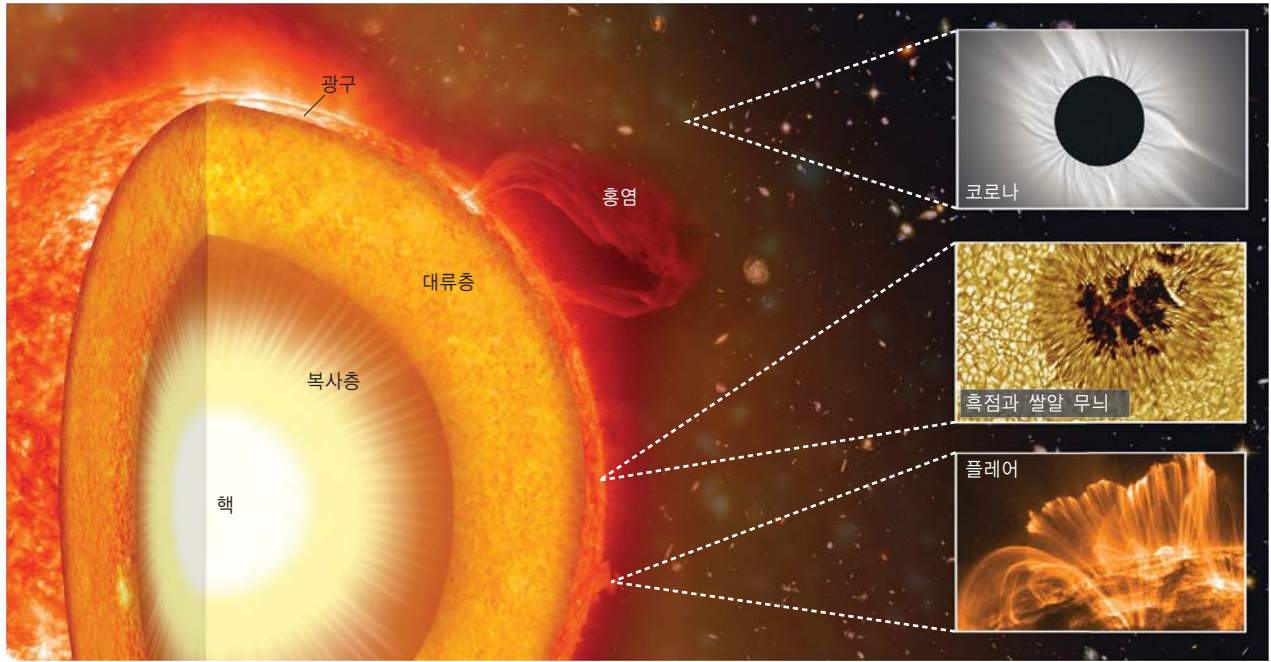
태양계의 기원에 대하여 처음으로 과학적인 제안을 했던 사람은 프랑스의 데카르트이다. 1644년에 그는 우주가 물질들로 가득 차 있으며, 이 물질들이 소용돌이치는 과정에서 서로 뭉쳐져 태양과 행성들이 만들어졌다고 주장하였다. 그의 주장에 따르면 태양계는 거대한 물질의 소용돌이 속에 있고 소용돌이는 대부분 작은 덩어리들로 채워져 있는데, 이 덩어리들이 서로 끊임없이 충돌하여 완전한 구형을 이루며 행성과 같은 큰 천체들을 만들었다고 한다.

데카르트는 이 소용돌이 이론으로 행성들이 태양의 주위를 모두 같은 방향, 거의 같은 평면 위를 움직이며, 행성들이 태양으로부터 멀리 떨어져 있을수록 더 천천히 움직이는 현상을 설명하고자 하였다. 그러나 그는 이 소용돌이 운동의 기원을 종교적 관점으로만 보았으며, 진공에 해당하는 공간을 설명하지 않았고 수학적 설명을 외면하였다.



태양 에너지의 생성과 지구에서의 에너지 순환

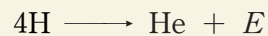
태양은 태양계의 중심에 있으며, 태양계 전체 질량의 약 99.8%를 차지하고 있으므로 행성과 왜소행성을 포함한 태양계의 모든 천체는 태양을 중심으로 공전한다. 또 태양은 태양계에서 유일하게 스스로 에너지를 방출하는 항성으로 태양계 전체에 에너지를 공급하기도 한다. 태양에서 에너지는 어떻게 만들어져 방출되며, 이 에너지가 지구에 도달하면 지구에서는 어떤 일이 일어나는지 알아보자.



▲ 그림 12 _ 태양의 내부 구조와 에너지 전달

태양은 중심에서부터 핵, 복사층, 대류층, 광구로 이루어져 있으며, 태양의 에너지는 태양의 중심에 있는 핵에서 만들어진다. 태양 중심부의 압력과 밀도는 대단히 높으며 온도는 약 1,500만 K이다. 이처럼 높은 압력과 온도에서는 4개의 수소 원자핵이 융합하여 헬륨 원자핵이 만들어지는 **수소 핵융합 반응**이 일어나는데, 이때 생성된 헬륨 원자핵의 질량은 수소 원자핵 4개의 질량보다 작다.

수소 핵융합이 일어나는 과정에서 손실된 질량은 에너지로 전환된다. 손실된 질량을 Δm , 빛의 속도를 c 라고 하면, 전환되는 에너지의 양은 다음과 같이 계산된다.



$$E = \Delta mc^2$$

태양에서 발생하는 에너지의 양
태양에서는 1초에 400만 톤의 질량이 에너지로 전환되며, 이는 4×10^{26} W에 해당한다.

태양의 중심에서 생성된 에너지는 태양 표면을 통해 우주 공간의 모든 방향으로 방출되며 태양계를 이루는 모든 천체와 공간에 에너지를 공급한다.

태양은 최초의 핵융합 반응이 일어나기 시작한 약 50억 년 전부터 지금에 이르기 까지 이와 같은 형태로 에너지를 방출해 왔다. 그러면 태양은 앞으로 얼마 동안 지금 과 같은 과정으로 에너지를 방출할 수 있을까? 태양 내부에서 핵융합에 이용될 수 있는 수소의 양은 태양 전체 질량의 10% 정도이며, 현재까지 태양 전체 질량의 약 5%가 수소 핵융합을 통하여 헬륨으로 전환되었다. 따라서 앞으로 약 50억 년 후에는 태양도 그 수명을 다하게 될 것이다.



현재 태양을 이루는 물질 중 수소는 약 71%라고 한다. 태양을 이루는 수소 전체가 핵융합에 이용되지 않는 까닭은 무엇인지 생각해 보자.

지구에 도달하는 태양 복사 에너지 지구 전체에 도달하는 태양 복사 에너지의 양은 약 2×10^{17} W이다. 이 에너지를 다시 지구의 표면적으로 나누면 지구에서 단위 면적당 지표면에 도달하는 평균 태양 에너지를 구할 수 있으며, 그 값은 약 1.5×10^3 W/m²이다.

태양 복사 에너지
태양 중심부의 핵에서 생성된 에너지가 태양 표면에서 방출되면 우주 공간에서 복사 과정을 통해 지구를 비롯한 태양계 전체에 도달한다.

태양 표면을 통해 방출된 에너지 일부는 지구에 도달하는데, 그 양은 태양이 우주 공간으로 방출한 에너지의 $\frac{1}{20}$ 정도에 불과하다. 그러나 이 에너지는 지구에 존재하는 모든 생명체의 생명 활동을 유지시키며, 비와 눈, 바람, 해류 등 지표면의 자연 현상 대부분을 일으킨다.

한편, 지구 표면에 도달하는 **태양 복사 에너지**의 양은 위도나 수륙 분포, 지형, 계절 등의 요인 때문에 지역마다 다르다. 따라서 지구 내부에서는 에너지 평형을 이루기 위하여 대기와 해수의 순환이 일어난다. 이 과정에서 태양 복사 에너지는 여러 가지 다른 형태로 전환되어 지구 내부에서 순환한다.



▲ 그림 13 _ 태양 복사 에너지의 역학적 에너지 전환

그림 13과 같이 지구에서 태양 복사 에너지는 열에너지나 운동 에너지로 전환되어 대기에서는 바람을, 바다에서는 해류를 일으킨다. 기상 현상도 태양 복사 에너지 때문에 일어나며, 물이 증발하여 대기 중의 수증기가 되었다가 다시 응결하여 비로 내리는 과정에서 역학적 에너지로 전환된다. 그리고 지표에 내린 비는 유수나 지하수의 형태로 흐르며 암석의 풍화와 지표의 변화를 일으킨다.



광합성



화석연료

▲ 그림 14 _ 태양 복사 에너지의 화학 에너지 전환

태양 복사 에너지는 그림 14와 같이 식물의 광합성 작용에 의해 화학 에너지로 전환되어 생명체의 생명 활동을 유지시키기도 한다. 또 생물이 죽어 땅속에 묻히면 화석 연료의 형태로 지구 내부에 저장되기도 한다. 석탄이나 석유, 천연가스 등 화석 연료에 저장된 화학 에너지는 오늘날 우리에게 없어서는 안 될 중요한 에너지원으로 이용된다. 최근에는 태양열 집열판이나 태양 전지와 같은 장치를 이용하여 태양 복사 에너지를 열이나 전기 에너지로 직접 전환해 이용하기도 한다.

연결 학습

식물의 광합성에 의한 태양 복사 에너지 전환 ➔ 386쪽

연결 학습

미래의 에너지 ➔ 414쪽



우리 주위에서 태양 복사 에너지 전환의 예를 더 찾아보고, 어떤 형태의 에너지로 전환된 것인지 이야기해 보자.

태양의 핵융합 반응에 의해 생성된 에너지는 지구에 도달하여 다양한 형태로 전환되면서 지구를 순환한다. 이 에너지는 지구계를 이루는 기권, 수권, 지권, 생물권에 모두 영향을 미치며, 지구계의 각 영역 사이에서 물질을 순환시키고 상호 작용을 일으킨다.

이처럼 태양은 태양계의 중심을 이루는 천체일 뿐만 아니라 지구에서 생명체가 탄생하여 살아갈 수 있는 환경을 만들어 주는 중요한 천체이다.

확인하기

- 이해** 1. 태양계 행성들은 무엇이 서로 충돌하여 생성되었는가?
 2. 지구형 행성과 목성형 행성의 차이점은 무엇인가?
 3. 태양 표면에서 방출되는 에너지로, 지구에서 생명체의 생명 활동과 자연 현상 대부분의 근원이 되는 에너지는 무엇인가?
- 창의** 4. 만약 태양계 천체 중 다른 천체들의 공전 방향과 반대로 태양 주위를 공전하는 천체가 있다면, 이 천체는 어떤 과정을 거쳐 태양계의 일원이 되었을지 예상하여 이야기해 보자.

2

행성의 운동

- 학습 목표**
- 행성의 운동에 대한 케플러의 3가지 법칙을 설명할 수 있다.
 - 뉴턴의 운동 법칙과 만유인력 법칙을 이용하여 행성의 운동을 설명할 수 있다.



지구 위에서 손에 들고 있던 물체를 놓으면 아래로 떨어진다. 그러나 하늘의 해와 달과 별은 아래로 떨어지지 않고 하늘에서 원을 그리며 움직이는 것처럼 보인다. 그래서 옛날 사람들은 하늘과 땅이 서로 다른 법칙을 따른다고 생각했다. 즉 인간의 세계인 지상계에 속한 물체는 원래 자신이 있던 자리로 돌아가려는 성질 때문에 아래로 떨어지거나 위로 올라가는 직선 운동을 하지만, 신의 세계인 천상계는 가장 완벽한 형태인 원과 구로 이루어져 있으며 천체는 구형의 우주에서 완벽한 원 궤도를 따라 영원히 운동한다는 것이다.

그러나 갈릴레이와 케플러의 연구로 이러한 생각은 바뀌게 되었으며, 뉴턴은 우주를 지배하는 운동의 법칙을 제시하였다. 거대한 태양계 성운에서 탄생한 행성들은 어떤 법칙에 따라 운동하는지 알아보자.

케플러의 법칙

브라헤(Brahe, T., 1546 ~ 1601)

덴마크에서 활동한 관측 천문학자로 대기의 굴절률과 행성의 운동 등을 측정했다.

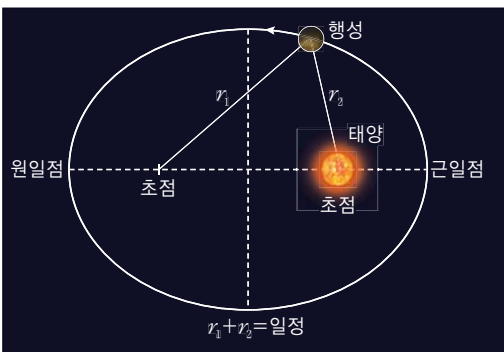
덴마크의 브라헤는 방대하고 정밀한 천체 관측 자료를 남겼으며, 특히 화성의 정확한 공전 궤도를 구하고자 16년 동안 화성의 위치 변화를 관측하여 기록하였다. 그리고 그의 제자인 케플러는 브라헤가 남긴 자료를 수학적으로 분석하여 행성의 운동에 대한 3가지 법칙을 발견하였다.

당시 대부분의 사람과 마찬가지로 케플러도 처음에는 행성들의 공전 궤도가 가장 완벽한 형태인 원이라고 생각했다. 그러나 실제 화성의 움직임은 화성의 공전 궤도를 원 궤도로 가정하고 계산했을 때와 어느 정도 차이가 있었다.

케플러는 브라헤가 남긴 화성의 위치 변화 관측 자료를 토대로 화성의 운동을 연

구하였다. 그리하여 화성의 공전 궤도는 원이 아니라 태양을 하나의 초점으로 하는 타원이라는 사실을 발견하였다. 또 이 사실을 당시까지 알려진 모든 행성들에 적용해 일반화하여, 그림 15와 같이 모든 행성은 태양을 하나의 초점으로 하는 타원 궤도를 그리며 공전한다는 **케플러 제1법칙(타원 궤도 법칙)**을 발표하였다.

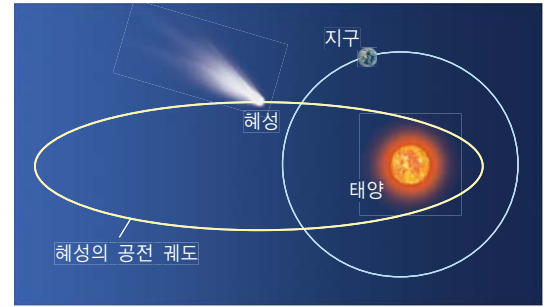
행성의 공전 궤도에서 태양 이외에 타원의 다른 한 초점은 빈 우주 공간에 있으며, 태양에 가장 가까운 곳을 **근일점**, 가장 먼 곳을 **원일점**이라고 한다.



▲ 그림 15 _ 케플러 제1법칙 실제 행성의 궤도는 그림보다 훨씬 원에 가깝다.

케플러 제1법칙은 행성의 공전 궤도 모양에 대한 법칙으로, 천체는 원 궤도를 따라 공전한다는 당시의 생각에 큰 변화를 가져왔다. 이 법칙은 화성뿐만 아니라 태양 주위를 공전하는 행성, 혜성, 소행성, 행성의 위성 등에도 모두 적용된다.

실제 행성의 공전 궤도는 거의 식별할 수 없을 정도로 원에 가까운 타원 궤도이다. 수성을 제외하고 가장 타원에 가까운 화성 공전 궤도조차도 긴 지름을 1 m라고 할 때 짧은 지름은 이보다 0.433 cm만큼 더 짧은 정도에 지나지 않는다. 반면, 왜소행성이나 혜성 중에는 쉽게 알아볼 수 있을 정도로 납작하고 긴 타원형의 공전 궤도를 가지는 것도 있다.



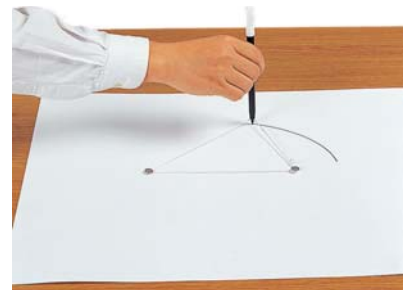
▲ 그림 16 _ 행성과 혜성의 공전 궤도 비교



타원에서 두 초점 사이의 거리가 점점 가까워지면 타원의 모양은 어떻게 달라질지 이야기해 보자.

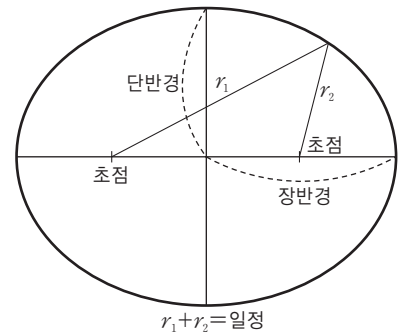
과학 마당 | 타원의 성질

타원은 두 정점으로부터의 거리의 합이 일정한 곡선이다. 타원의 이와 같은 성질을 이용하면 두 개의 압정과 실을 이용하여 간단하게 타원을 그릴 수 있다. 그림 17과 같이 길이가 일정한 실의 양끝을 압정으로 고정하고 연필로 실을 팽팽하게 잡아당겨 한 바퀴 돌리면 타원이 그려진다. 이때 압정으로 고정된 두 개의 점을 타원의 초점이라고 하며, 타원의 긴 지름을 장축, 장축의 절반을 장반경이라고 한다.



▲ 그림 17 _ 타원 그리기

일반적으로 타원의 크기는 장축의 길이에 따라 결정된다. 또 타원의 모양은 장축과 두 초점 사이의 거리에 따라 달라지는데, 초점 사이의 거리를 장축의 길이로 나눈 값을 타원의 이심률이라고 한다. 그리고 이심률이 0에 가까울수록 타원의 모양은 원에 가까운 형태가 된다.

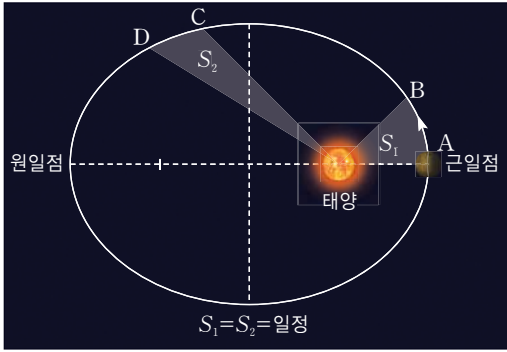


▲ 그림 18 _ 타원

수성을 제외하고 다른 행성들의 공전 궤도 이심률은 매우 작은 값을 가지므로 행성의 공전 궤도는 거의 원에 가까운 타원임을 알 수 있다. 그런데 표 1과 같이 화성 공전 궤도의 이심률은 0.09로 다른 행성들보다 비교적 큰 값을 가진다. 만약 화성 공전 궤도의 이심률도 다른 행성들처럼 매우 작았다면, 케플러는 맨눈으로 관측한 브라헤의 자료를 이용하여 화성 공전 궤도가 타원이라는 사실을 알아내기 어려웠을 것이다.

표 1 _ 행성 공전 궤도의 이심률(천문학 및 천체 물리학 4판, 2010년)

| 행성 | 수성 | 금성 | 지구 | 화성 | 목성 | 토성 | 천왕성 | 해왕성 |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 이심률 | 0.21 | 0.01 | 0.02 | 0.09 | 0.05 | 0.06 | 0.05 | 0.01 |



▲ 그림 19_ 케플러 제 2 법칙

한편, 케플러는 태양 주위를 타원 궤도를 따라 공전하는 행성의 공전 속도가 일정하지 않다는 사실도 알아냈다. 그는 화성의 위치를 공전 궤도상에 일정한 시간 간격으로 표시해 보았으며, 그 결과 화성의 공전 속도는 태양에 가까워질수록 빨라지고 멀어질수록 느려진다는 사실을 발견하였다.

그림 19와 같이 행성이 A에서 B로 공전하는 데 걸린 시간과 C에서 D로 공전하는 데 걸린 시간이 같다면 행성이 공전하면서 만드는 두 부채꼴의 면적 S_1 과 S_2 는 같다.

케플러는 이 연구 결과로부터 태양과 행성을 잇는 선은 같은 시간 동안 같은 면적을 휩쓸고 지나간다는 **케플러 제2법칙(면적 속도 일정 법칙)**을 제1법칙과 함께 발표하였다. 케플러 제2법칙은 공전 속도에 대한 법칙으로, 제1법칙과 마찬가지로 혜성이나 왜소행성과 같은 다른 천체에도 적용할 수 있다.

이 법칙에 의하면 천체의 공전 속도는 근일점에서 가장 빠르고 원일점에서 가장 느리다. 따라서 공전 궤도의 모양이 납작할수록 근일점과 원일점 사이의 공전 속도 차이가 커진다. 실제로 행성은 공전 궤도의 모양이 원에 가까워 근일점과 원일점에서의 공전 속도 차이가 크지 않지만, 혜성은 납작한 타원 궤도를 가지므로 공전 속도 차이가 매우 크다. 약 76년을 주기로 태양 주위를 공전하는 헬리 혜성의 공전 속도는 원일점에서 약 0.9 km/s이지만 근일점에서는 약 54.5 km/s이다.



헬리 혜성은 긴 공전 주기에 비해 지구에서 관측되는 기간이 매우 짧다. 그 까닭은 무엇인지 이야기해 보자.

케플러는 자신이 발견한 두 법칙을 이용하여 당시까지 알려진 나머지 행성들의 공전 궤도를 구하고, 그들 사이에서 일정한 법칙을 찾고자 하였다. 그 결과 공전 궤도의 장반경과 공전 주기 사이에는 표 2와 같은 관계가 있음을 발견하였다.

표 2_ 행성의 공전 궤도 장반경과 공전 주기 사이의 관계(지구=1, 천문학 및 천체 물리학 4판, 2010년)

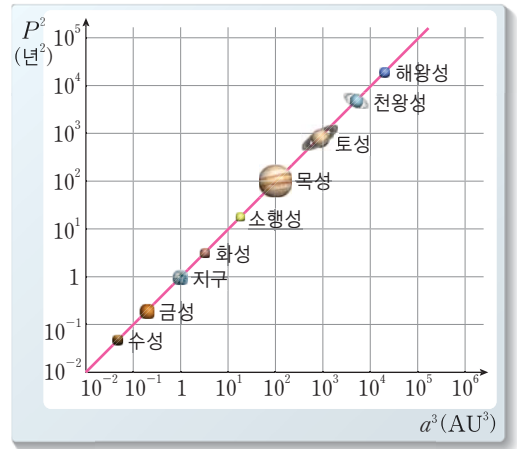
| 행성 | 공전 주기(P) (단위: 년) | 장반경(a) (단위: AU) | P^2 | a^3 | $\frac{a^3}{P^2}$ |
|----|-------------------------|------------------------|--------|--------|-------------------|
| 수성 | 0.24 | 0.39 | 0.06 | 0.06 | 0.97 |
| 금성 | 0.62 | 0.72 | 0.38 | 0.37 | 1.03 |
| 화성 | 1.88 | 1.52 | 3.53 | 3.51 | 1.01 |
| 목성 | 11.86 | 5.20 | 140.66 | 140.61 | 1.00 |
| 토성 | 29.46 | 9.54 | 867.89 | 868.25 | 1.00 |

표 2를 그림 20과 같이 나타내면 모든 행성이 하나의 직선 위에 놓인다. 이처럼 행성 공전 주기의 제곱이 공전 궤도 장반경의 세제곱에 비례한다는 것을 **케플러 제3법칙(조화 법칙)**이라고 하며, 다음과 같은 식으로 나타낸다.

$$\left(\frac{a^3}{P^2}\right)_{\text{수성}} = \left(\frac{a^3}{P^2}\right)_{\text{금성}} = \dots = \left(\frac{a^3}{P^2}\right)_{\text{해왕성}} = k(\text{일정})$$

여기에서 행성 공전 주기(P)의 단위를 년, 행성의 공전 궤도 장반경(a)의 단위를 천문 단위로 사용하면 비례 상수 k 는 1이 된다.

지구도 다른 행성들과 마찬가지로 케플러 법칙에 따라 태양 주위를 공전하고 있다. 그렇다면 지구의 공전 궤도가 타원이라는 사실은 어떻게 알 수 있을까? 같은 크기의 물체라도 가까이에서 관찰하면 크게 보이고 멀리 떨어져서 관찰하면 작게 보인다. 이는 거리가 멀어짐에 따라 물체의 양 끝과 눈이 이루는 각도인 시직경이 작아지기 때문이다. 우리가 매일 보는 태양도 여러 날 동안 사진을 찍어 비교해 보면 크기가 다르게 보인다. 다음 활동을 통해 태양 관측 자료를 이용하여 지구 공전 궤도의 모양을 확인해 보자.



▲ 그림 20 _ 케플러 제3 법칙

천문 단위(AU)
태양과 지구 사이의 평균 거리로 약 1억 5,000만 km이다.

📖 과학자 이야기 | 케플러 Kepler, J., 1571~1630

요하네스 케플러는 스승인 티코 브라헤가 사망하기 1년 전인 1600년에 그의 제자가 되었으며, 브라헤가 사망한 후 그가 남긴 관측 자료를 이용하여 행성의 공전 궤도를 연구하였다. 브라헤는 망원경이 발명되기 전 여러 가지 관측기구를 개발하고 천체의 정확한 위치와 행성의 운동을 측정하여, 훗날 천문학과 물리학이 발전할 수 있는 기반을 닦은 과학자이다.

케플러는 화성의 공전 궤도를 원 궤도로 가정하면 브라헤의 관측 자료와 8'의 오차가 발생한다는 사실을 발견하였다. 이 사실로부터 케플러는 행성의 공전 궤도가 원이라는 가설을 버리고 관측 자료를 중심으로 연구하여 행성의 공전 궤도가 타원임을 알아내었다. 그리하여 1609년에 발표한 '신 천문학'에서 타원 궤도 법칙과 면적 속도 일정 법칙을, 이로부터 10년 후인 1619년에 출판된 '우주의 조화'에서 조화 법칙을 발표하였다.

케플러는 행성들의 운동 원인을 자기력으로 설명하려 하였으나 실패하였다. 그러나 케플러가 발견한 이 법칙들은 뉴턴이 만유인력 법칙을 발견하는 데 중요한 역할을 하였다. 그 밖에도 케플러는 볼록 렌즈 두 개를 사용하는 망원경을 고안하였는데, 이 망원경은 오늘날 사용하는 케플러식 천체 망원경의 기본 구조가 되었다.



활동 1 지구 공전 궤도는 어떤 모양일까?

목표 태양 관측 사진을 이용하여 지구 공전 궤도를 추론할 수 있다.

자료 해석

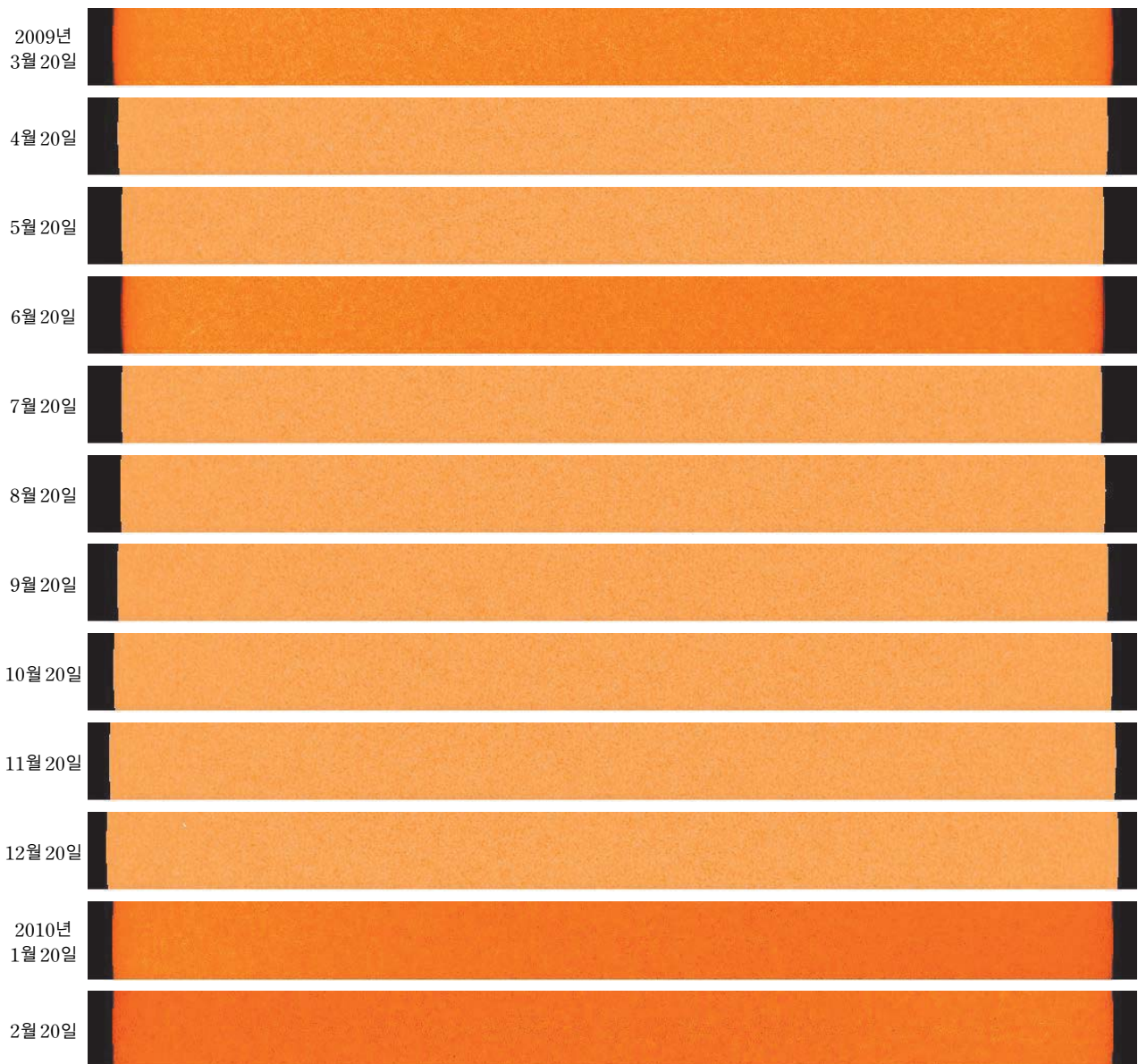
준비물 연필, 30 cm 눈금자

과정

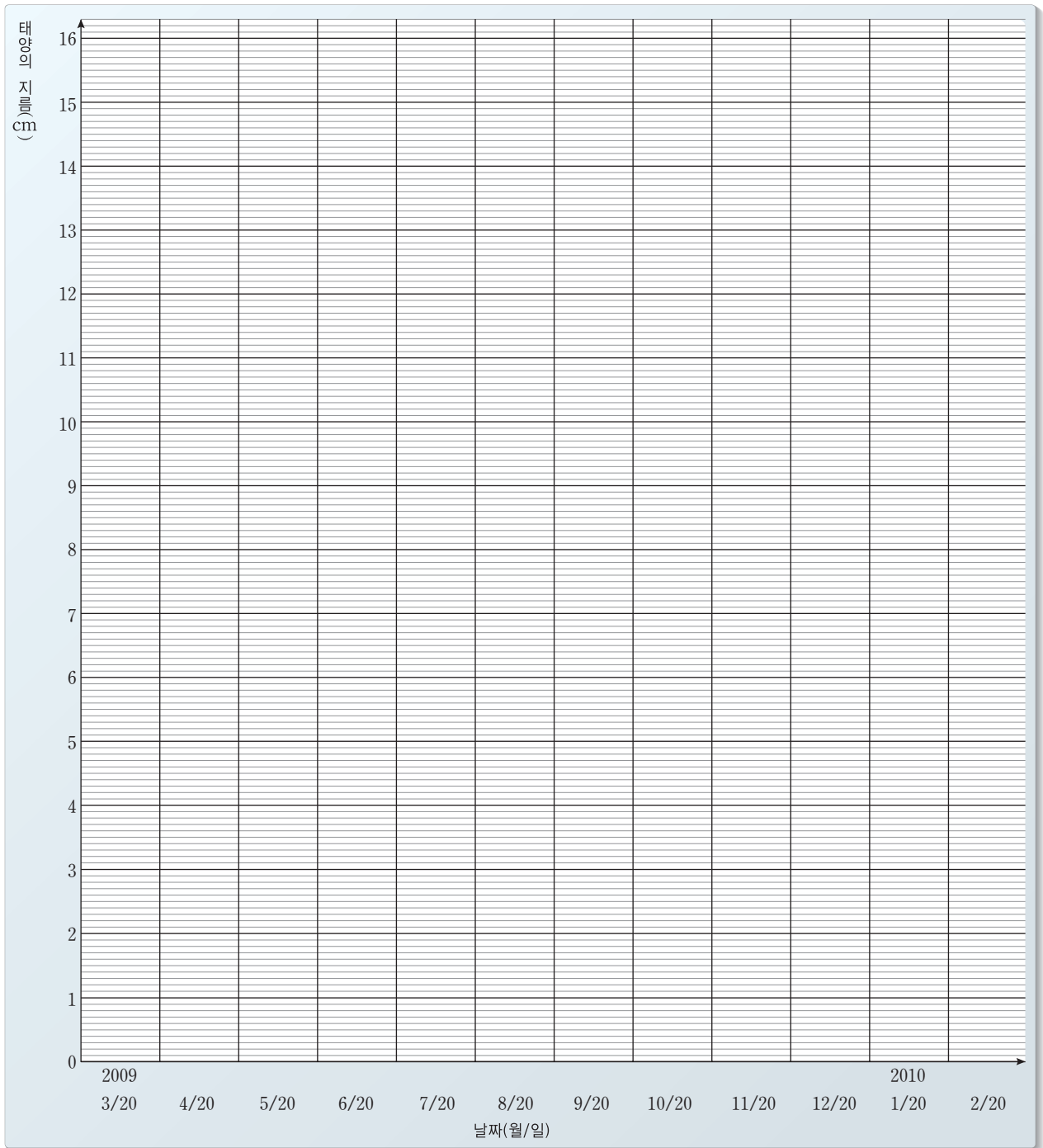
그림 21은 태양 관측 위성인 소호가 2009년 3월 20일부터 2010년 2월 20일까지 매일 20일에 촬영한 태양 사진에서 태양의 적도 부분만 잘라 나타낸 것이다. 각각의 사진에 나타난 태양의 지름을 0.1 cm 단위까지 측정하여 그림 22에 점으로 표시하고 이 점들을 연결해 보자.

소호(SOHO)

1995년에 발사된 태양 관측 위성으로, 지구로부터 약 150만 km 떨어진 곳에서 태양 주위를 지구 공전 주기와 같은 1년 주기로 공전하면서 태양을 관측하고 있다.



▲ 그림 21 _ 1개월 간격으로 촬영한 태양의 적도 부분



▲ 그림 22 _ 1년 동안 관측한 태양의 크기 변화

정리

1. 그림 22를 기초로 지구의 공전 궤도를 그리고 태양의 위치를 표시해 보자.
2. 위성에서 촬영한 태양의 크기가 자료와 같이 변하는 까닭은 무엇인지 이야기해 보자.
3. 태양과 지구 사이의 거리가 가장 가까울 때와 가장 멀 때는 각각 언제인지 이야기해 보자.
4. 지구의 공전 속도가 가장 빠를 때와 가장 느릴 때는 각각 언제인지 이야기해 보자.



▲ 그림 23 _ 근일점과 원일점에서의 태양 크기 비교

활동 1에서 지구와 태양 사이의 거리는 일정하지 않으므로 지구의 공전 궤도는 원이 아니라 타원이라는 사실을 알 수 있다. 지구와 태양 사이의 거리는 북반구에서 겨울인 12월 말에서 1월 초에 가장 가까워졌다가 여름인 6월 말에서 7월 초에 가장 멀어진다. 그리고 태양은 지구 공전 궤도의 중심이 아니라 한쪽으로 약간 벗어나 위치해 있음을 알 수 있다.

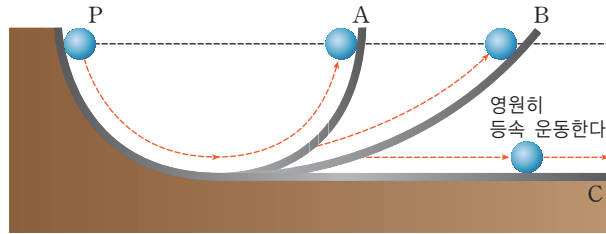
케플러가 발견한 세 가지 법칙은 행성들의 공전을 비교적 정확하게 설명한다. 그러나 케플러는 행성들이 이와 같은 특정한 법칙에 따라 운동하는 근본적인 원인을 설명하지 못하였다.

뉴턴의 운동 법칙

지상의 물체는 운동하다가 멈추기도 하고, 멈추어 있던 물체에 힘을 가하면 다시 움직이기도 한다. 그러나 태양이나 달과 같은 천체는 케플러 법칙에 따라 멈추지 않고 운동한다. 물체가 이처럼 운동하는 까닭은 무엇일까?

고대 그리스의 아리스토텔레스는 모든 운동이 물체의 고유한 성질과 밀고 당기는 힘 때문에 발생하므로, 어떤 물체가 계속 운동하려면 밀거나 당기는 힘이 필요하다고 생각했다. 그러나 갈릴레이는 마찰이 없는 이상적인 조건을 가정한 사고 실험을 통해 아리스토텔레스와는 다른 관점을 제시하였다.

갈릴레이(Galilei, G., 1564~1642)
망원경으로 목성의 위성과 달의 분화구 등을 관찰하였으며, 지동설의 정당성을 주장하였다.



▲ 그림 24 _ 갈릴레이의 사고 실험

그림 24와 같이 마찰이 없는 곡면의 처음 위치 P에서 쇠구슬을 놓았을 때 쇠구슬은 처음 위치와 같은 높이까지 올라간다. 빗면의 기울기를 B와 같이 작게 하면 처음 위치와 같은 높이까지 올라가기 위하여 구슬은 더 멀리 굴러갈 것이다. 따라서 C와 같은 수평면에서는 구슬이 처음 위치와 같은 높이까지 올라가기 위하여 수평면 위를 일정한 속도로 영원히 굴러갈 것이다. 갈릴레이는 이를 통해 물체가 운동하려면 힘이 계속 작용해야 한다는 기존의 생각과는 달리, 물체에 힘이 작용하지 않으면 원래의 운동 상태를 그대로 유지하려는 성질이 있다는 사실을 알아냈다. 이처럼 물체가 자신의 운동 상태를 유지하려는 성질을 관성이라고 한다.

창의인성
과학 글쓰기

짐을 실은 트럭은 빈 트럭보다 출발할 때 속력을 증가시키기가 더 어렵다. 그 까닭은 무엇인지 써 보자.

영국의 뉴턴은 이를 체계적으로 정리하여 외부에서 힘이 작용하지 않으면 정지해 있던 물체는 계속 정지 상태를 유지하고, 운동하던 물체는 등속 직선 운동을 한다는 뉴턴의 운동 제1법칙(관성 법칙)을 발표하였다. 이 법칙에 따르면 외부에서 힘이 작용하지 않을 때 운동하던 물체는 계속 처음의 운동 상태를 유지한다. 그러나 물체의 속도가 달라지거나 원운동에서와 같이 물체의 운동 방향이 변한다면 그 물체에 힘이 작용하고 있다는 것을 의미한다.

한편, 운동하는 물체에 힘이 작용하면 운동 방향이나 속력과 같은 운동 상태가 변하는데, 이때 운동 상태가 변하는 정도를 가속도라고 한다. 그러면 어떤 물체에 힘이 작용할 때 물체에 나타나는 가속도의 크기는 무엇에 따라 달라질까?

그림 25의 (가)와 (나)를 비교하면 알 수 있듯이 물체의 질량이 일정할 때는 물체에 작용하는 힘이 클수록 가속도가 커진다. 그리고 그림 (가)와 (다)를 비교하면 알 수 있듯이 같은 크기의 힘이 작용할 때 가속도는 물체의 질량에 반비례한다.



(가) 가벼운 차 혼자서 밀기

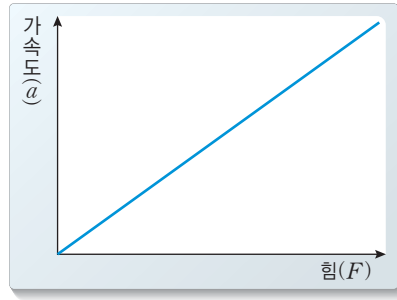


(나) 가벼운 차 여럿이 밀기

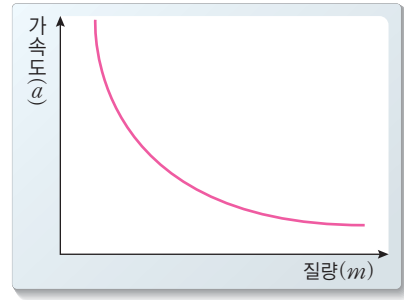


(다) 무거운 차 혼자서 밀기

▲ 그림 25 _ 물체의 질량과 힘의 크기 변화에 따른 가속도 변화



(가) 질량이 일정할 때 힘과 가속도의 관계



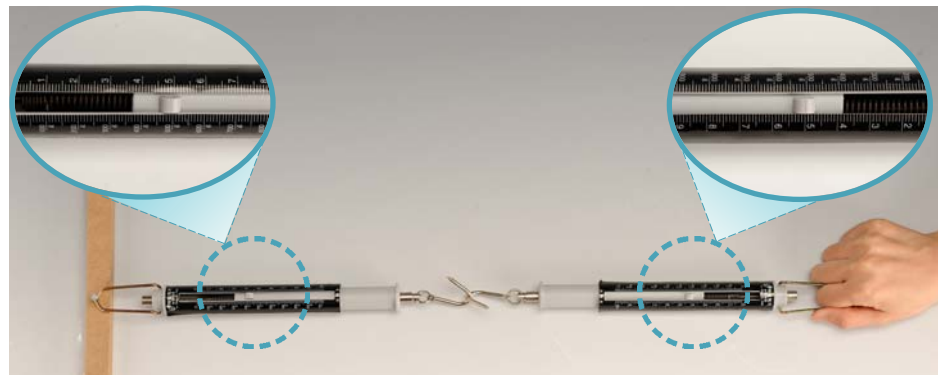
(나) 힘이 일정할 때 질량과 가속도의 관계

▲ 그림 26 _ 가속도 법칙

어떤 물체에 힘이 작용하면 물체의 운동 상태가 변하는 가속도(a)가 나타나는데, 가속도의 크기는 그림 26과 같이 물체에 작용하는 힘(F)의 크기에 비례하고 물체의 질량(m)에 반비례한다. 이를 뉴턴의 운동 제2법칙(가속도 법칙)이라고 하며, 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$a \propto \frac{F}{m} \text{ 또는 } F = ma$$

한편, 바퀴 달린 의자에 앉아 벽을 손으로 밀면 의자가 뒤로 밀린다. 이 현상은 내가 벽을 미는 것과 동시에 벽도 나를 밀기 때문에 나타난다. 이처럼 두 물체 사이에 힘이 작용할 때 상호 작용하는 한쪽의 힘을 작용, 다른 쪽의 힘을 반작용이라고 한다.



▲ 그림 27 _ 작용 · 반작용 관계인 두 힘의 크기

작용선

힘의 작용점에서 힘의 방향으로 그은 직선

운동 법칙의 적용

뉴턴의 운동 법칙은 지구 표면에서 일어나는 물체의 운동뿐만 아니라 천체의 운동, 조석 현상 등과 같은 다양한 자연 현상을 모두 설명할 수 있다.

그림 27과 같이 똑같은 용수철 저울 두 개를 서로 연결하여 하나를 고정시키고 다른 하나를 잡아당기면 두 용수철 저울의 눈금이 서로 같아진다. 이처럼 작용과 반작용은 크기가 같고 방향이 반대이며 같은 작용선 위에 있다. 한 물체가 다른 물체에 힘을 작용하면 힘을 작용한 물체에도 크기가 같고 방향은 반대인 힘이 동시에 작용하는데, 이를 뉴턴의 운동 제3법칙(작용 · 반작용 법칙)이라고 한다. 이 법칙은 물체가 정지해 있을 때나 운동하고 있을 때 모두 성립하며, 두 물체가 접촉하여 힘을 작용할 때뿐만 아니라 서로 떨어져 힘을 작용할 때에도 항상 성립한다.

만유인력과 행성의 운동

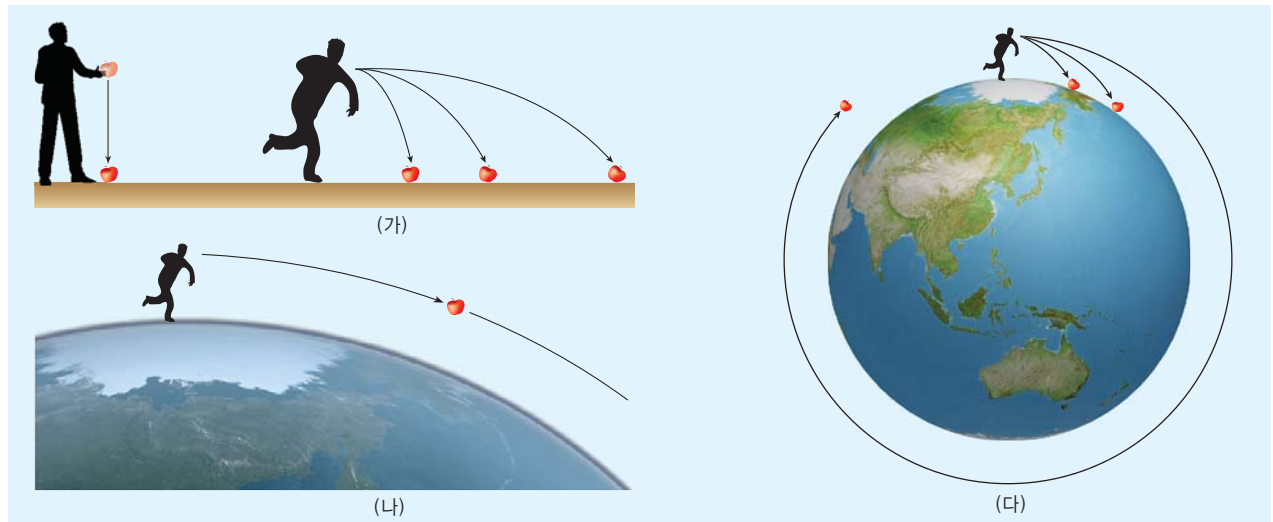
1678년에 뉴턴은 “자연 철학의 수학적 원리”라는 책을 발간하였다. “프린키피아”라고 불리는 이 책에서 뉴턴은 운동 법칙과 함께 만유인력 법칙을 소개했으며, 이 법칙들을 이용하여 케플러가 발견한 행성의 운동 법칙을 과학적으로 설명하였다.

뉴턴은 나무에 달린 사과가 언제나 아래쪽으로만 떨어지는 현상에 관심을 두고 만유인력 법칙을 연구하기 시작했다. 그리하여 사과가 지구 쪽으로만 떨어지는 것은 지구가 끌어당기는 힘이 사과에 작용하기 때문이며, 이 힘은 달에까지 작용한다고 생각하게 되었다.

한편, 들고 있던 사과를 그냥 떨어뜨리면 지구가 사과를 끌어당기는 힘 때문에 사과는 바로 아래에 떨어지지만, 이 사과를 수평 방향으로 던지면 좀 더 앞쪽에 떨어진다. 만약 사과를 아주 세게 던진다면 어떤 일이 일어날까?

뉴턴(Newton, I., 1642~1727)

근대 과학의 원조라고 불리며, 스펙트럼 분석, 만유인력 법칙, 미적분법을 발견하였다.



▲ 그림 28 _ 수평 방향으로 빠르게 운동하는 물체의 운동

그림 28의 (가)에서 사과는 멀리 던질수록 출발점에서 먼 곳의 지면에 떨어진다는 것을 알 수 있다. 그러나 그림 (나)와 같이 실제로 지구는 둥근 모양이므로 사과를 던지는 곳에서 떨어질수록 지표면도 아래쪽으로 구부러져 있다. 만약 공기의 저항이 없는 상태에서 사과를 충분히 강하게 던진다면, 그림 (다)와 같이 사과가 낙하하는 동안 지표면 역시 아래쪽으로 구부러져 있으므로 사과는 지표면에 닿지 않고 지구를 한 바퀴 돌아 처음 위치로 돌아올 것이다.

이때 사과의 운동은 지구 주위를 공전하는 달의 운동과 비슷하다. 만약 지구가 사과를 끌어당기는 힘이 달에게까지 영향을 미친다면, 달은 매우 빠르게 던져진 사과와 같이 계속 지표면을 향해 떨어지지만 결코 지표면에 닿지 않고 영원히 지구 주위를 회전하게 될 것이다.

뉴턴은 이와 같은 생각을 기초로 모든 물체 사이에는 서로 끌어당기는 힘이 작용하며, 이 힘의 크기는 두 물체의 질량을 곱한 값에 비례하고 두 물체 사이의 거리를 제곱한 값에 반비례한다는 **만유인력 법칙**을 발견하였다. 거리가 r 만큼 떨어져 있는 두 물체의 질량을 각각 m_1, m_2 라고 할 때 두 물체 사이에 작용하는 만유인력(F)의 크기는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

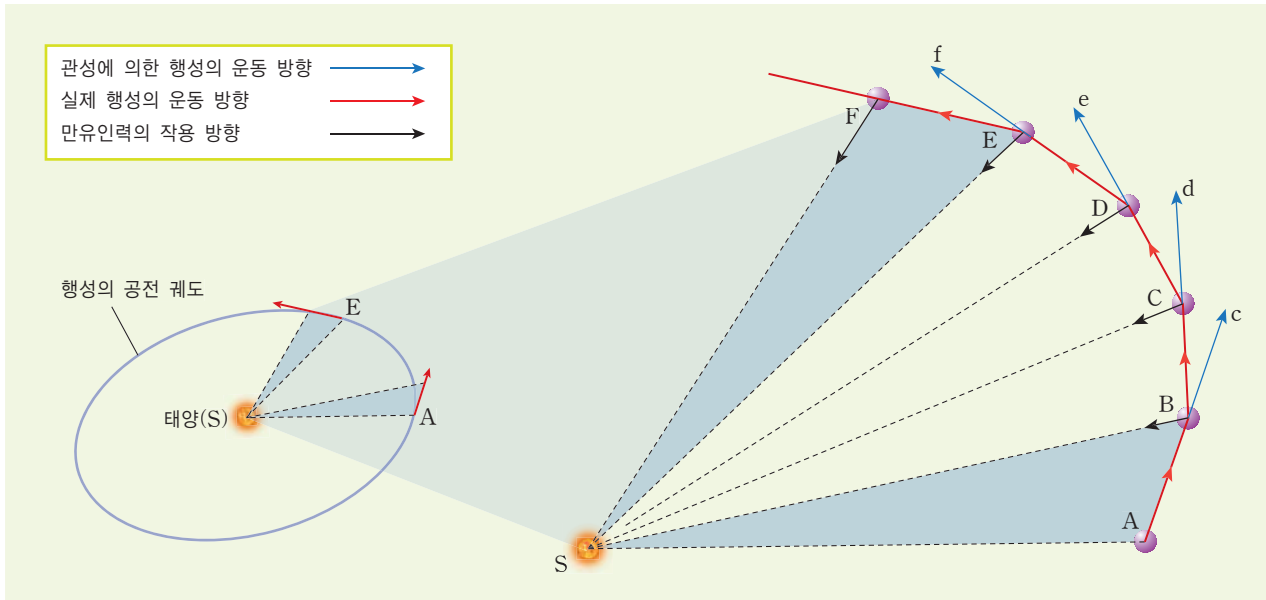
$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

만유인력 상수

만유인력 상수는 약 6.67×10^{-11} $N \cdot m^2 / kg^2$ 으로 매우 작은 값이다. 따라서 뉴턴이 살던 당시에는 측정할 수 없었으며, 이 값은 1798년에 영국의 캐번디시가 처음으로 측정하였다.

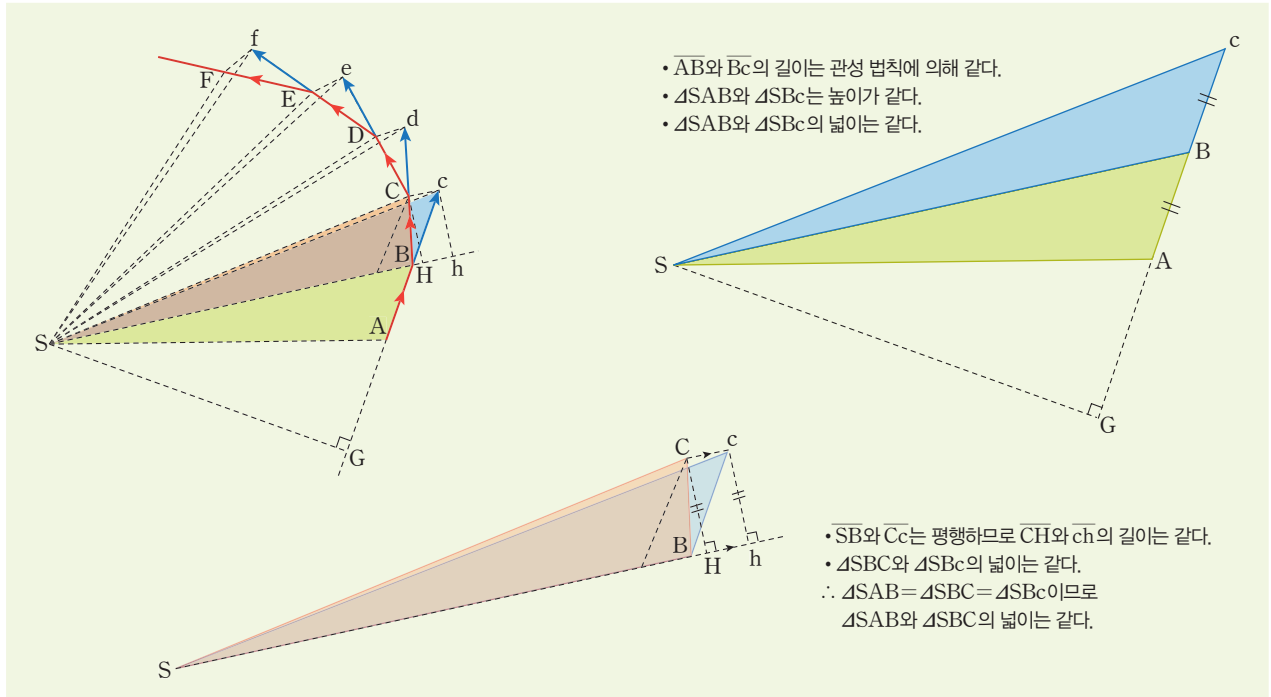
여기서 G 는 **만유인력 상수**라고 하며 우주에 존재하는 질량을 가진 모든 물체에 똑같이 적용된다.

뉴턴은 만유인력 법칙을 바탕으로 운동의 세 가지 법칙을 이용하여 행성의 운동에 관한 케플러 법칙을 다음과 같이 설명하였다.



▲ 그림 29 _ 행성의 공전 궤도

그림 29에서 시간을 일정한 길이로 나누었다고 가정하고, 처음 일정한 시간 동안 행성이 A에서 B로 이동했다고 하자. 행성에 다른 힘이 작용하지 않는다면 관성 법칙에 의해 행성은 B에서 c로 이동할 것이다. 그러나 실제로 행성이 공전할 때 태양과 행성 사이에는 만유인력이 작용한다. 만유인력은 행성이 공전하는 동안 언제나 작용하지만, 행성이 B에 이르렀을 때 순간적으로 강하게 작용한다고 가정하면 행성은 c가 아니라 C로 이동하게 된다. 이 과정을 C, D, E……에서 반복하면 행성은 충분히 빠른 속도로 던진 사과처럼 태양을 한 바퀴 돌아 다시 A로 돌아올 것이다. 이때 시간 간격을 점점 짧게 줄여 $\overline{AB}, \overline{BC}, \dots$ 의 폭을 무한히 줄이면 실제 행성의 공전 궤도처럼 매끄러운 타원 궤도를 그릴 수 있다.



▲ 그림 30 _ 면적 속도 일정 법칙

또 그림 30에서 행성이 처음 이동한 거리인 \overline{AB} 의 길이는 관성 법칙에 의해 \overline{Bc} 의 길이와 같고, $\triangle SAB$ 와 $\triangle SBc$ 의 높이는 모두 \overline{SG} 로 같다. 따라서 $\triangle SAB$ 와 $\triangle SBc$ 의 넓이는 같다. 그리고 \overline{SB} 와 \overline{Cc} 는 평행하므로 $\triangle SBC$ 와 $\triangle SBc$ 의 넓이는 같다. 따라서 $\triangle SAB$ 와 $\triangle SBc$ 의 넓이는 같다. 그러므로 행성이 태양 주위를 공전할 때 태양과 행성을 잇는 선분은 같은 시간 동안 같은 면적을 휩쓸고 지나간다는 사실을 확인할 수 있다.

뉴턴은 지구와 물체 사이에 작용하는 만유인력 때문에 지상의 물체가 지표를 향해 떨어지며, 만유인력은 지구와 달, 태양과 행성 등 우주에서 질량을 가진 모든 물체에 작용한다는 사실을 밝혀냈다. 그리고 달이 지구 주위를 공전하거나 행성이 태양 주위를 공전할 때 케플러 법칙에 따라 운동하는 까닭을 증명하였다. 이로써 뉴턴은 천상계의 법칙과 지상계의 법칙이 서로 다르지 않으며, 우주는 하나의 법칙으로 설명할 수 있음을 보여 주었다.

💡 확인하기

- 이해 1. 행성의 운동에 대한 케플러의 3가지 법칙은 각각 무엇인가?
 적용 2. 태양 주위를 공전하는 행성이 태양을 향해 끌려당겨지지 않는 까닭은 무엇인지 이야기해 보자.
 창의 3. 만약 태양 주위를 공전하던 행성이 어느 날 갑자기 정지하여 공전하지 않는다면 이 행성은 어떻게 될지 이야기해 보자.
 4. 어느 날 갑자기 태양이 사라진다면 태양 주위를 공전하고 있던 지구는 어떻게 운동하게 될지 이야기해 보자.

3

지구와 달의 운동

- 학습 목표**
- 지구의 자전과 공전으로 나타나는 현상과 그 증거를 제시할 수 있다.
 - 달의 동일 주기 자전과 위상 변화, 일식과 월식이 일어나는 원리를 설명할 수 있다.



▲ 그림 31 _ 고대 이집트인의 우주관

고대 이집트인들은 태양신이 작은 배를 타고 하늘의 동쪽에서 서쪽으로 향해하며, 이 배가 지하 세계로 들어가면 밤이 된다고 이야기하였다. 그리고 태양신은 매일 밤마다 지하 세계에 있는 커다란 뱀과 싸워야 했는데, 만일 태양신이 뱀에게 지면 일식이 일어난다고 설명했다.

옛날 사람들은 천체의 움직임과 하늘의 변화를 종교나 신화로 설명하고자 했다. 그러나 자연 현상을 과학적으로 탐구한 이후에는 이런 현상들을 논리적으로 다양하게 설명하기 시작했다. 여러 가지 천문 현상과 함께, 지구와 달의 운동이 일어나는 까닭은 무엇인지 알아보자.

우주관의 변화

오랫동안 밤하늘의 천체를 관측한 과학자들은 자신들의 관측 결과를 바탕으로 다양한 우주의 모습을 제시하였다. 다음 활동을 통하여 과학자들이 주장한 여러 가지 우주의 모습을 조사해 보자.

창의
인성

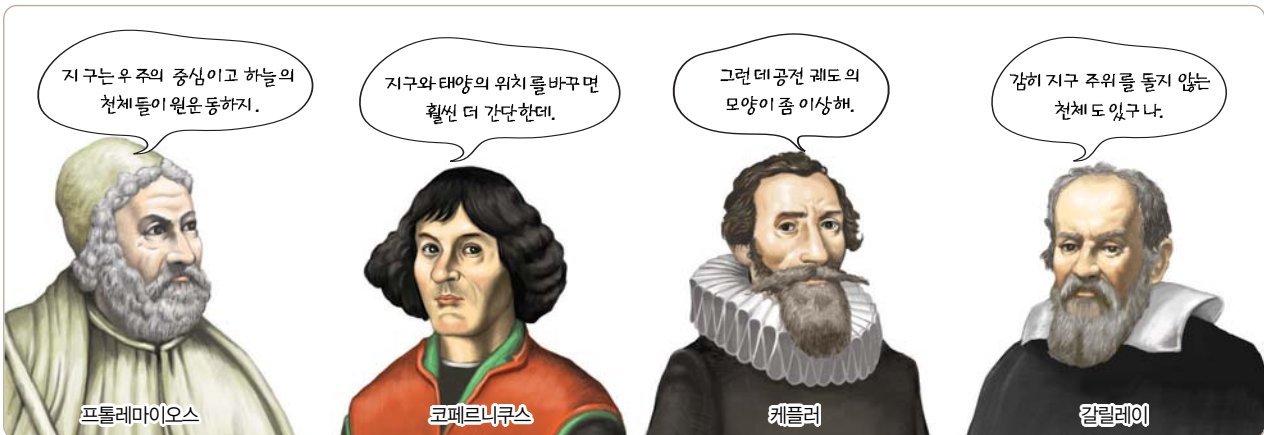
활동 2 우주관은 어떻게 변해 왔을까?

목표 태양 중심설이 확립되기까지의 과정을 설명할 수 있다.

조사, 토론

과정

그림 32는 여러 과학자들이 주장한 우주의 모습에 대한 설명이다.



▲ 그림 32 _ 여러 가지 우주관

정리

1. 그림 32의 과학자들이 주장한 우주의 모습과 주장의 근거를 조사해 보고, 과학자들이 활동했던 당시의 지배적인 우주관도 함께 조사해 보자.
2. 천동설과 지동설에서 태양과 행성의 운동을 각각 어떻게 설명하고 있는지 알아보자.
3. 천동설로는 설명할 수 없으나 지동설로는 설명할 수 있는 천문 현상에는 무엇이 있는가?

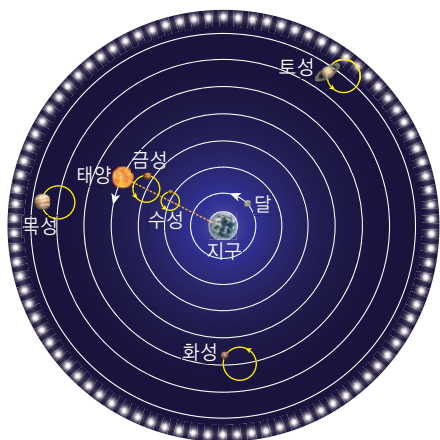
지구에서 사는 우리는 마치 지구가 우주의 중심에 있고 태양, 달, 별들이 지구 주위를 돌고 있는 것처럼 느낀다. 그래서 옛날 사람들은 대부분 지구가 우주의 중심에 고정되어 있고 태양과 행성들이 지구 주위를 공전한다고 생각했다. 이를 **천동설**이라고 하며, 천체의 겉보기 운동을 직관적이고 간단하게 설명해 준다.

2세기 무렵에 프톨레마이오스는 그때까지 알려진 관측 자료와 이론들을 종합하여 그림 33의 (가)와 같은 우주 모형을 제시하였다. 이 모형은 당시까지 알려진 천문 현상들을 매우 잘 설명할 수 있었으며, 당시의 종교나 철학과 함께 16세기까지 서양 사회의 지배적인 우주관이 되었다. 그러나 새로운 관측 사실이 발견될 때마다 이를 설명하기 위해 계속 수정되어 점점 복잡해졌다.

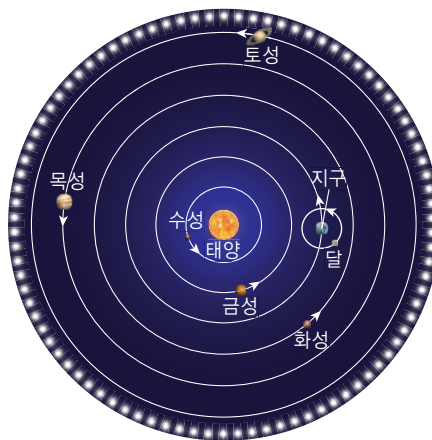


행성의 운동에 관한 관측 사실을 설명하기 위해 천동설에서 채택한 방법에 대하여 서로의 의견을 자유롭게 이야기해 보자.

코페르니쿠스는 천동설에 의한 행성의 예상 위치와 실제 관측되는 행성의 위치 사이의 오차를 줄이고자 연구하다가, 우주의 중심에 태양이 있고 행성들이 태양 주위를 공전한다는 그림 (나)와 같은 우주 모형을 제시하였다. 이를 **지동설**이라고 하며, 행성의 복잡한 운동을 비롯한 여러 가지 현상들을 매우 간단하게 설명할 수 있다.



(가) 프톨레마이오스의 천동설



(나) 코페르니쿠스의 지동설

▲ 그림 33 _ 천동설과 지동설

코페르니쿠스의 주장은 오랫동안 지구가 우주의 중심이라고 생각해 온 당시 사회에서는 쉽게 받아들이기 어려운 주장이었다. 게다가 별의 연주 시차와 같은 과학적인 증거나 관측 결과를 제시하지 못했기 때문에 당시 과학자 중에도 이 주장을 받아들이는 사람이 많지 않았다.

한편, 갈릴레이는 자신이 만든 망원경으로 목성 주위를 공전하는 4개의 위성을 발견하였으며, 금성이 달과 같이 다양한 모양으로 관측된다는 사실을 알아내었다. 목성의 위성 발견은 모든 천체가 지구를 중심으로 움직인다는 생각을 바꾸는 계기가 되었으며, 금성의 위상 변화는 천동설이 옳지 않다는 결정적인 증거가 되었다. 그리고 같은 시대에 활동했던 케플러는 타원 궤도 법칙을 비롯하여 행성의 운동에 관한 3가지 법칙을 발견했다. 나아가 뉴턴은 만유인력과 운동 법칙으로 천체를 포함한 모든 물체의 운동을 이론적으로 설명하여 지동설의 확립에 기여하였다.

과학·기술·사회(STS) | 과학의 본성

고대 바빌로니아 사람들은 우주를 바다 가운데 솟아 있으며 둥근 하늘이 그 위를 덮고 있는 거대한 산이라고 생각했다. 그리고 현재 과학자들은 약 137억 년 전에 대폭발로 우주가 생성되고 지금까지 계속 팽창하여 오늘날의 모습을 이루었다고 설명한다. 먼 옛날부터 지금까지 과학자들은 끊임없이 우주의 모습에 대한 새로운 가설을 세우고, 가설을 증명하기 위해 여러 가지 실험을 시행하여 자연 현상을 논리적으로 설명하고자 했다. 가설은 수정되기도 하고 버려지기도 했으며, 다시 새로운 가설을 세워 실험과 연구를 되풀이하는 과정에서 새로운 과학 지식을 얻기도 했다.

과학은 실험이나 관찰로 얻은 증거나 논리적인 검증을 통해 자연 현상을 설명하는 지식 체계이다. 과학적 지식이나 이론은 영원한 진리가 아니며, 실험과 관찰을 통해 얻은 과학적 증거가 뒷받침되는 동안에만 효력이 있다. 천동설은 결국 잘못된 이론이었지만, 지동설이 등장하기 전까지 1,500여 년 동안 천체의 움직임을 가장 잘 설명하는 과학 지식이었다.

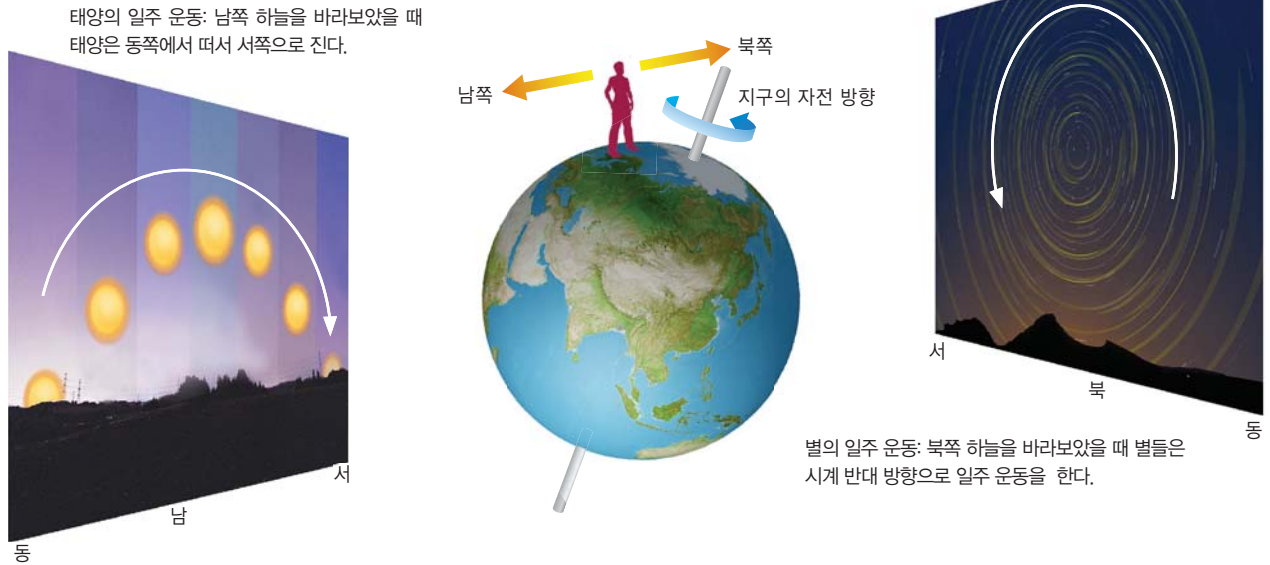
한편, 문화나 종교와 같은 사회적 요인은 가설을 설정하는 데 큰 영향을 준다. 자연 현상에 대한 가설이 세워지면 이를 입증하기 위하여 연구와 실험이 시행된다. 이때 발달한 기술로 정확하고 뛰어난 성능의 실험·관측 도구를 개발할 수 있고, 이것은 새로운 가설을 입증하는 데 도움을 준다. 일단 가설이 증명되면 그 가설은 과학 이론으로 정립되어 다시 사회에 영향을 미친다. 이렇게 과학과 기술, 그리고 사회는 서로 밀접한 관계를 맺으며, 함께 발달하여 사회를 풍요롭게 한다.

? 창의적 사고: 과학의 발전이 사회에 미치는 영향과 사회가 과학의 발전에 미치는 영향에 대하여 토의해 보자.



지구의 자전

낮 동안 태양은 동쪽에서 떠서 남쪽 하늘을 지나 서쪽으로 지며, 밤하늘의 달과 별들도 밤 동안 동쪽에서 떠서 서쪽으로 이동한다. 밤에 북쪽 하늘을 향해 몇 시간 동안 카메라 셔터를 열어 놓고 촬영하면 별들이 북극성 부근의 한 점을 중심으로 시계 반대 방향의 동심원을 그리며 움직임을 알 수 있다. 이처럼 천체가 하루 동안 동쪽에서 서쪽으로 움직이는 것처럼 보이는 겉보기 운동을 **천체의 일주 운동**이라고 한다.



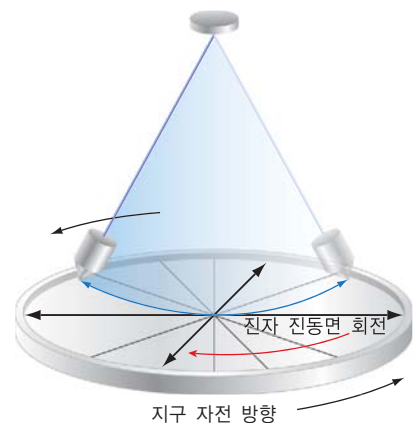
▲ 그림 34 _ 지구 자전과 천체의 일주 운동 천체의 일주 운동은 지구의 자전 때문에 나타나는 겉보기 운동이다.

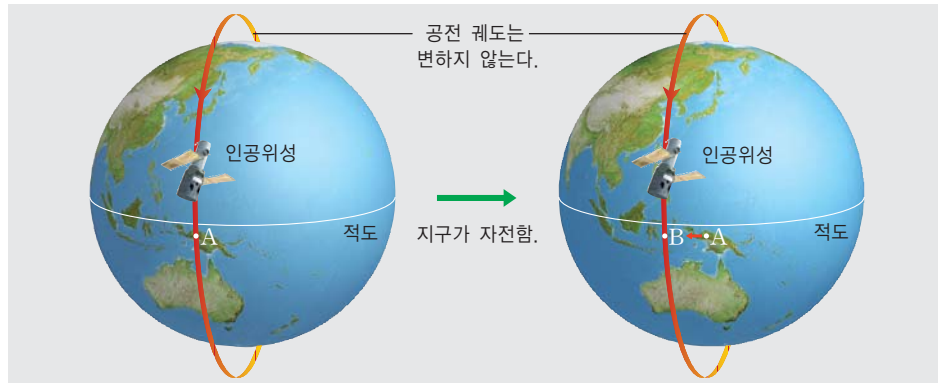
달리는 자동차 안에서 창밖의 풍경을 바라보면 우리가 움직이는 것이 아니라 창밖의 산과 나무들이 움직이는 것처럼 보이듯, 지구에서는 지구가 움직이는 것이 아니라 천체가 움직이는 것처럼 보인다. 천체의 일주 운동은 지구가 자전축을 중심으로 하루에 한 번씩 서쪽에서 동쪽으로 자전하기 때문에 나타나는 겉보기 운동이다. 그러나 천체의 일주 운동은 지구가 자전하지 않고 천체들이 지구 주위를 공전하고 있다고 가정하여도 설명할 수 있으므로 지구 자전의 증거가 되기 어렵다. 그러면 지구의 자전은 무엇으로 증명할 수 있을까?

1851년 프랑스의 푸코는 파리에 있는 판테온의 천장에 매달린 진자의 진동을 관찰하여 진자의 진동면이 서서히 시계 방향으로 회전하는 현상을 관찰하였다. 그러나 진자의 진동면은 언제나 일정하며, 실제로 움직이는 것은 진자 아래의 지표면이다. 그러므로 북반구에서 진자의 진동면이 시계 방향으로 회전하는 것처럼 보이는 현상은 지구가 시계 반대 방향으로 자전하고 있기 때문에 나타난다.

이 현상은 지구의 자전을 복잡한 과학 이론이나 특수한 장비를 이용하지 않고도 누구나 눈으로 직접 확인할 수 있다는 점에서 큰 의미가 있다.

▼ 그림 35 _ 진자 진동면의 회전





▲ 그림 36 _ 인공위성 궤도의 서편 현상

지구 주위를 도는 인공위성의 궤도는 그 종류나 관측 대상에 따라 각각 다르다. 그 중 북극과 남극 상공을 통과하는 궤도를 도는 인공위성을 극궤도 위성이라고 하는데, 지구에서 극궤도 위성의 공전 궤도를 관측하면 그림 36과 같이 인공위성의 궤도가 서쪽으로 이동하는 것처럼 보인다.

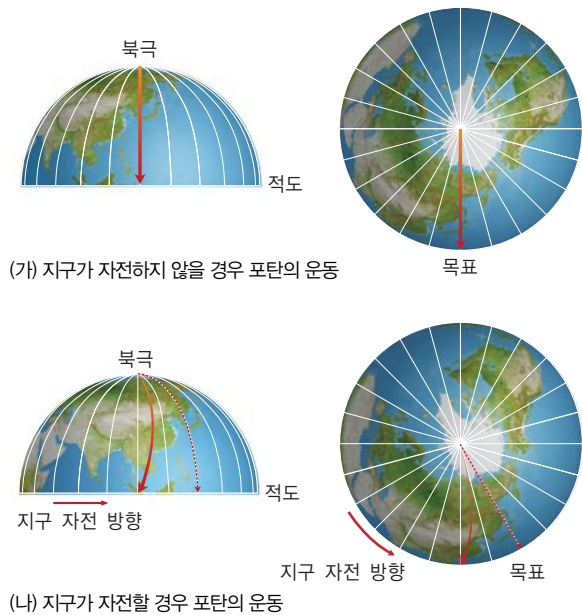
이 현상을 인공위성 궤도의 서편 현상이라고 한다. 이것은 인공위성의 궤도는 항상 일정하지만, 인공위성이 지구를 한 바퀴 돌아 처음 위치로 돌아오는 동안 지구가 동쪽으로 자전하기 때문에 일어나는 현상이다.

과학 마당 | 코리올리 효과, 지구 자전의 또다른 증거

뉴턴의 운동 법칙에 따르면 외부에서 힘이 작용하지 않으면 물체의 운동 상태는 변하지 않는다. 그러나 관측자의 운동에 따라 물체의 운동 상태가 다르게 보일 수 있다.

그림 37과 같이 고위도 지방에서 저위도 지방으로 운동하는 포탄의 경우, 지구가 자전하지 않는다면 그림 (가)와 같이 직선 운동을 할 것이다. 그러나 지구는 시계 반대 방향으로 자전하기 때문에 포탄은 지표면의 관측자가 보았을 때 그림 (나)와 같이 휘어지는 것으로 관측된다. 이때 포탄의 실제 운동과 물체의 겉보기 운동 방향이 다르게 나타나는 것은 외부에서 포탄에 힘이 작용한 것이 아니라 지구의 자전으로 관측자의 위치가 변하기 때문이다. 이것을 코리올리 효과라고 한다.

코리올리 효과는 대기나 해수의 운동에도 영향을 미친다. 북반구의 고기압 주변에서는 공기가 시계 방향으로, 저기압 주변에서는 시계 반대 방향으로 회전하는 것은 지구 대기에 작용하는 코리올리 효과 때문이다.



▲ 그림 37 _ 코리올리 효과 북반구의 한 지점에서 적도 방향으로 물체를 던지면 물체는 처음 진행 방향에 대하여 오른쪽으로 치우쳐 떨어진다. 반대로 남반구에서는 왼쪽으로 치우쳐 떨어진다.

지구의 공전

태양이 지고 난 직후, 같은 시각 서쪽 하늘에 보이는 별자리를 관측하면 그림 38과 같이 날씨가 지남에 따라 별자리가 조금씩 이동하는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 지구의 운동과 어떤 관계가 있을까?

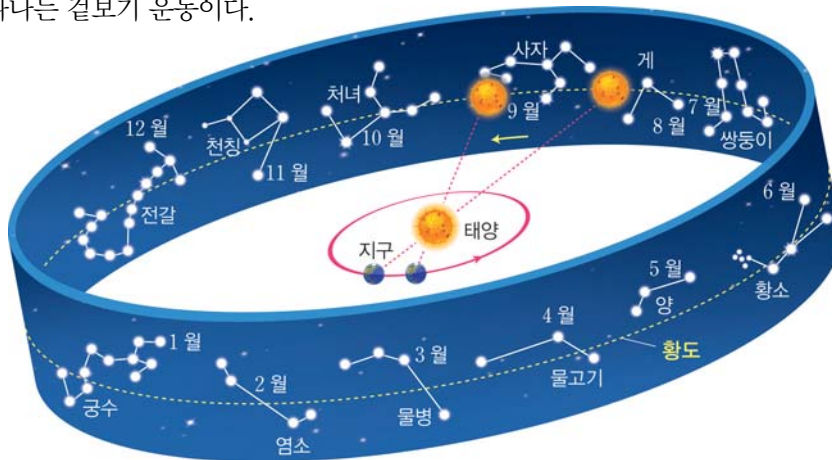


▲ 그림 38 _ 태양 부근의 별자리 변화

천구 상에서 태양이 1년 동안 지나가는 경로를 **황도**라고 한다. 태양은 1년 동안 황도를 따라 서쪽에서 동쪽으로 움직이며 12개의 별자리를 지나는 것처럼 보이는 데, 이 별자리들을 **황도 12궁**이라고 한다. 그림 39에서 8월에 태양은 게자리 근처에서 뜨고 있지만 9월에는 사자자리 근처에서 뜨고 진다. 이처럼 태양이 천구 상에서 하루에 약 1°씩 이동하여 1년 후에 원래 자리로 돌아오는 것을 **태양의 연주 운동**이라고 한다. 태양의 연주 운동은 지구가 1년에 한 번 태양 주위를 공전하기 때문에 나타나는 겉보기 운동이다.

천구

관측자를 중심으로 하는 반지름이 무한대인 가상 구체로, 천체를 관측할 때 하늘에 있는 모든 천체는 이 천구의 안쪽 벽에 붙어 있는 것으로 간주한다.



▲ 그림 39 _ 태양의 연주 운동과 황도 12궁

태양의 연주 운동은 지구가 태양 주위를 공전한다는 증거가 되기 어렵다. 이 현상은 지구가 제자리에 멈춰 있고 태양이 지구 주위를 1년에 한 번 공전하기 때문에 나타나는 현상이라고 설명할 수도 있기 때문이다. 그렇다면 지구의 공전은 무엇으로 증명할 수 있을까?



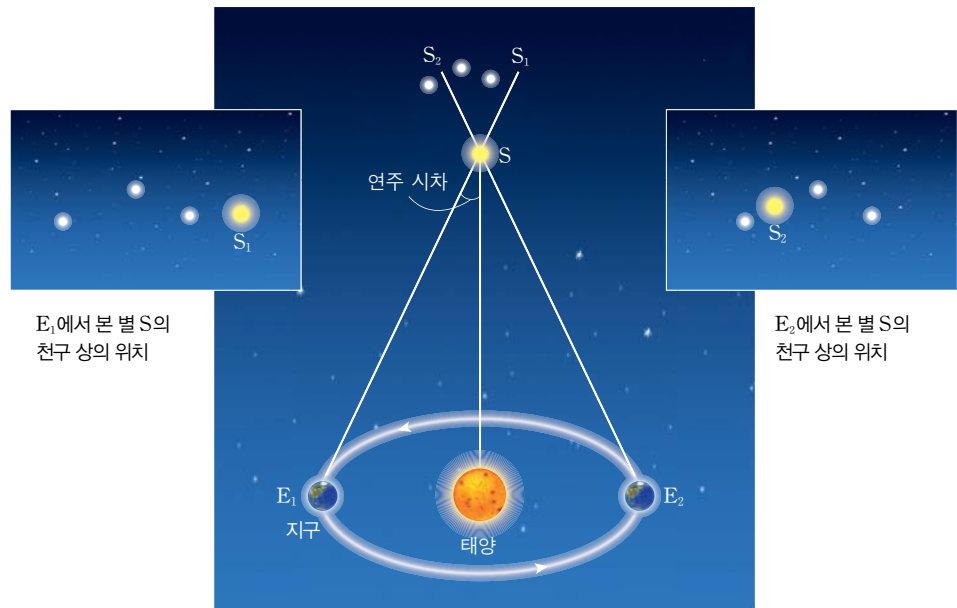
(가) 왼쪽 눈으로만 보았을 때



(나) 오른쪽 눈으로만 보았을 때

▲ 그림 40_ 시차 왼쪽 눈과 오른쪽 눈을 번갈아 감았다가 뜨면서 물체를 보면 배경에 대한 물체의 위치가 바뀌는 것처럼 보인다.

왼쪽 눈과 오른쪽 눈을 번갈아 감았다가 뜨면서 물체를 보면 그림 40과 같이 물체의 상대적인 위치가 변하는 것처럼 보인다. 이처럼 관측 위치에 따라 가까이 있는 물체의 위치가 멀리 있는 배경에 대하여 달라져 보이는 정도를 **시차**라고 한다.



▲ 그림 41_ 지구의 공전과 별의 연주 시차

그림 41과 같이 지구에서 비교적 가까운 거리에 있는 별 S를 6개월 간격으로 관측할 때, 별 S는 지구가 E₁에 있을 때는 S₁에, 지구가 E₂에 있을 때는 S₂에 위치한 것처럼 보인다. 이것은 별이 움직이는 것이 아니라 지구가 태양 주위를 공전하면서 별을 관측하는 위치가 달라지기 때문에 나타나는 현상이다. 이때 $\angle E_1SE_2$ 의 $\frac{1}{2}$ 을 별의 **연주 시차**라고 한다.

만약 지구가 태양 주위를 공전하지 않는다면 연주 시차는 관측되지 않을 것이다. 따라서 별의 연주 시차는 지구의 공전을 확인할 수 있는 증거이다.

별의 연주 시차는 별까지의 거리가 멀수록 작아지며, 연주 시차가 상대적으로 크게 나타나는 가까운 별이라도 그 값은 매우 작다. 실제로 지구에서 가장 가까운 별인 센타우루스자리 프록시마의 연주 시차는 약 $0.76''$ 에 불과하다. 따라서 관측 기술과 도구가 발달하지 못했던 과거에는 연주 시차를 측정할 수 없었으며, 1838년에 이르러서야 독일의 베셀이 처음으로 측정할 수 있었다.

15세기 말에 처음 등장한 지동설은 케플러와 뉴턴에 의해 이론적 근거를 가지게 되었고, 19세기에 이르러 연주 시차와 같이 지구가 태양 주위를 공전하는 여러 행성 중 하나라는 관측 증거들이 발견되면서 확실하게 정립되었다.



▲ 그림 42 _ 백조자리 61번 별
독일의 베셀은 백조자리 61번 별을 관측하여 처음으로 연주 시차를 측정했는데, 그 값은 겨우 $0.3''$ 였다.

달의 운동



▲ 그림 43 _ 초저녁에 관찰한 달의 위치와 모양(날짜는 음력)

매일 같은 시각에 달을 관측하면 달의 모양과 보이는 위치가 달라지는 것을 알 수 있다. 그림 43과 같이 태양이 진 직후 서쪽 지평선 부근에서 얇게 보이던 달은 날씨가 지남에 따라 밝은 부분이 점점 넓어지면서 남쪽으로 이동하여 반달로 보이다가, 마침내 동쪽 지평선 부근에서 둥근 모양으로 관측된다.

매일 같은 시각에 관측한 달의 모양과 위치가 달라지는 까닭은 달이 지구 주위를 공전하기 때문이다. 달은 27.3일에 한 번씩 지구 주위를 시계 반대 방향으로 공전하며 하루에 약 13° 만큼 움직인다. 그림 44와 같이 지구가 하루에 한 번 자전하는 동안 달은 13° 만큼 동쪽으로 이동하므로, 다음 날 같은 시각에 달이 전날과 같은 위치에 있는 것처럼 보이려면 지구가 13° 만큼 더 자전해야 한다. 이때 걸리는 시간이 약 50분이므로 달이 뜨고 지는 시각은 매일 50분씩 늦어진다.

▼ 그림 44 _ 지구가 한 번 자전하는 동안 달의 위치 변화

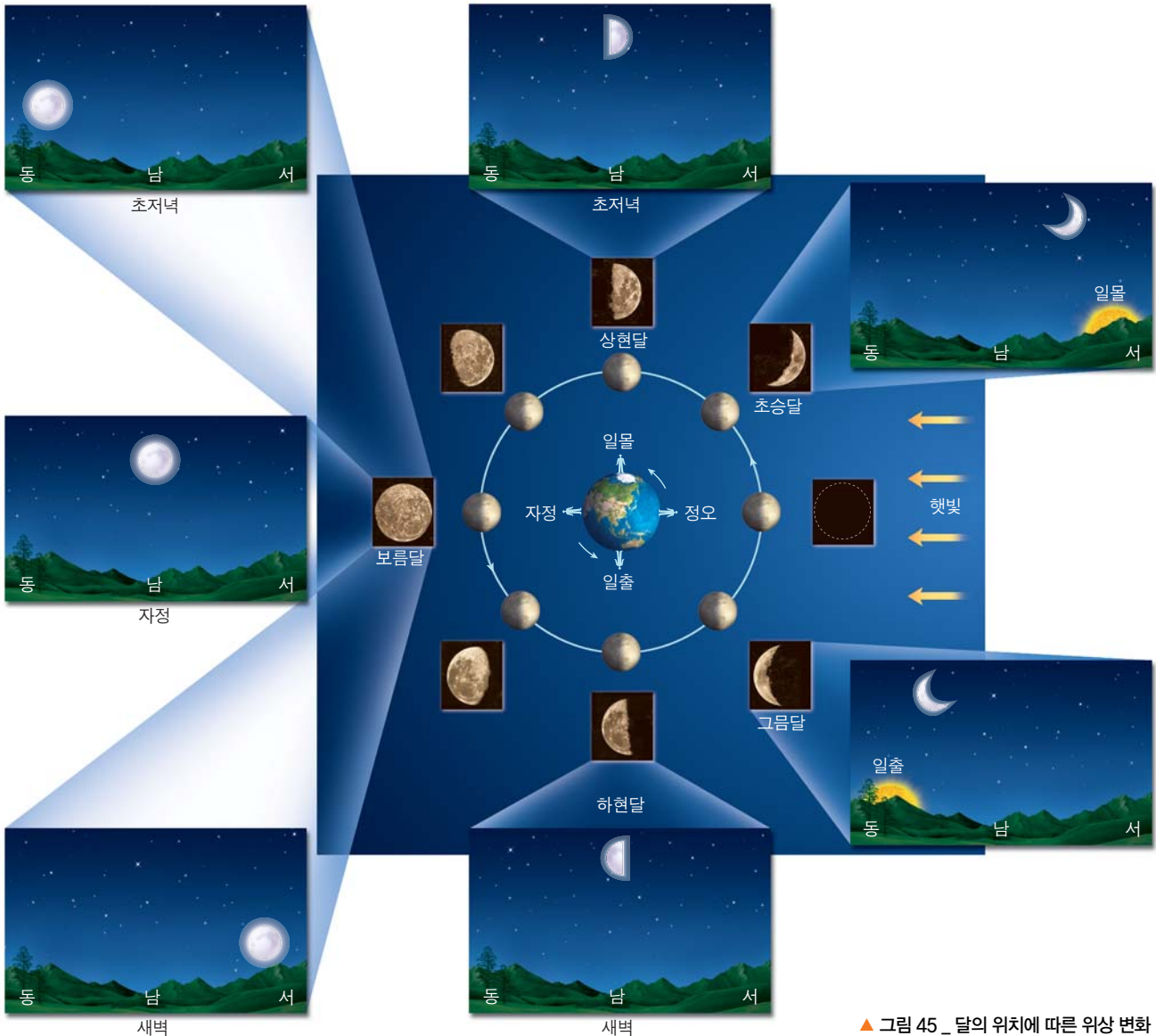


표 3_ 위상별 달이 뜨고 지는 시각
과 관측 가능 시간

| 위상 | 달이 뜨고 지는 시각 | 관측 가능 시간 |
|----|-------------|----------|
| 삭 | 일출~일몰 | 없음 |
| 상현 | 정오~자정 | 일몰~자정 |
| 망 | 일몰~일출 | 일몰~일출 |
| 하현 | 자정~정오 | 자정~일출 |

지구에서 관측되는 달의 모양을 **달의 위상**이라고 한다. 달은 행성과 마찬가지로 스스로 빛을 내지 못하므로 달 표면에서 태양 빛을 반사하는 부분만 밝게 보인다. 그리고 한 달에 한 번씩 지구 주위를 공전하기 때문에 지구를 중심으로 태양에 대한 상대적 위치도 매일 달라진다. 따라서 그림 45와 같이 태양 빛을 반사하는 달 표면의 넓이도 함께 달라져 달의 위상이 매일 변한다.

달이 태양과 지구 사이에 있어 지구에서 달을 볼 수 없을 때를 **삭**이라고 한다. 이후 달이 태양 빛을 반사하는 부분이 서서히 넓어져 달의 서쪽 절반만 보이는 때를 **상현**, 보름 무렵에 달이 태양의 반대편에 있어 달 표면이 태양 빛을 가장 많이 반사할 때를 **망**이라고 한다. 보름 이후 달이 태양 빛을 반사하는 부분이 서서히 좁아져 달의 동쪽 절반만 보이는 때를 **하현**이라고 하며, 이후 밝게 보이는 부분이 계속 좁아져 다시 삭에 이른다.



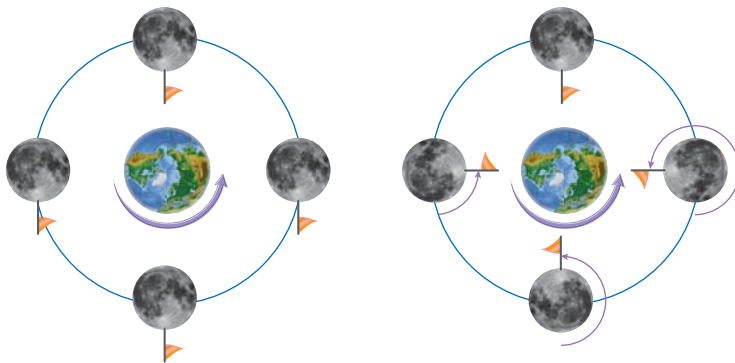
▲ 그림 45_ 달의 위치에 따른 위상 변화



▲ 그림 46 _ 위상에 따른 달 표면의 모습

지구에서 관측되는 달 표면은 그림 46과 같이 달의 위상에 관계없이 항상 일정하므로 달은 항상 같은 면이 지구를 향하고 있다는 사실을 알 수 있다. 지구에서 달의 반대편을 볼 수 없는 까닭은 무엇일까?

그림 47의 (가)와 같이 달이 자전하지 않고 공전만 한다면 지구에서는 달 표면의 모든 부분을 볼 수 있을 것이다. 그러나 그림 (나)와 같이 달이 지구 주위를 한 번 공전하는 동안 같은 방향으로 한 번 자전한다면 지구에서는 달 표면의 같은 부분만 볼 수 있다. 실제로 달은 자전 주기와 공전 주기와 같으므로 지구에서는 항상 달의 같은 면만 볼 수 있으며, 이를 달의 **동주기 자전**이라고 한다.



(가) 달이 자전하지 않고 공전하는 경우

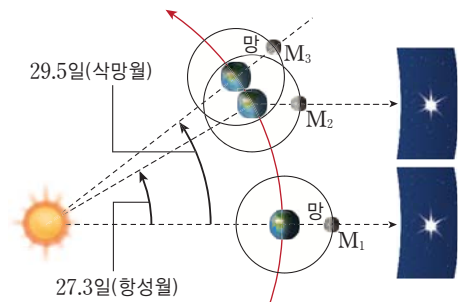
(나) 달이 자전하며 공전하는 경우

◀ 그림 47 _ 달의 자전과 공전

과학 마당 | 삭망월과 항성월

달이 삭에서 다음 삭으로, 또는 망에서 다음 망으로 돌아오는 기간은 약 29.5일이며, 이를 삭망월($M_1 \rightarrow M_3$)이라고 한다. 따라서 달은 약 29.5일을 주기로 차고 기우는데, 이러한 달의 위상 변화를 기준으로 달력을 만들어 사용하기도 했다. 이때 달이 삭의 위치에 있는 날이 초하루, 망의 위치에 있는 날이 보름이 되며, 한 달은 29일 또는 30일이 된다.

한편, 천구 상에서 달이 별자리 사이를 이동하여 제자리로 돌아오는 데 걸리는 시간은 약 27.3일이며, 이를 항성월($M_1 \rightarrow M_2$)이라고 한다. 삭망월은 항성월보다 약 2.2일 더 긴데, 이는 달이 지구 주위를 공전하는 동안 지구도 태양 주위를 공전하기 때문이다. 태양, 지구, 달의 상대적인 위치가 같아져 삭에서 다음 삭, 망에서 다음 망의 위치가 되려면 지구가 태양 주위를 공전한 만큼 달이 더 공전해야 한다.



▲ 그림 48 _ 삭망월과 항성월

일식과 월식

하늘에서 태양이나 달이 가려져 보이지 않게 되는 것을 **식현상**이라고 하며, 태양이 가려지는 현상을 **일식**, 달이 가려지는 현상을 **월식**이라고 한다. 일식과 월식이 일어나는 까닭은 무엇인지 다음 활동을 통하여 알아보자.

창의
인성

활동 3

일식과 월식이 일어나는 까닭은 무엇일까?

목표 일식과 월식이 일어나는 원리를 설명할 수 있다.

실험

준비물 전등, 야구공, 회전의자

과정

- 1 교실을 어둡게 한 후 전등을 켜고, 전등으로부터 적당히 떨어진 거리에 있는 회전의자에 앉자.
- 2 손에 야구공을 들고 야구공의 크기가 전등의 크기와 같아 보일 때까지 팔을 뻗어 보자.
- 3 그림 49의 (가)와 같이 회전의자를 시계 반대 방향으로 돌리면서 공이 전등을 완전히 가렸다가 다시 보이도록 하면서 전등의 불빛을 관찰해 보자.
- 4 그림 (나)와 같이 전등을 등지고 앉은 상태에서 시계 반대 방향으로 회전의자를 돌리면서 공이 자신의 머리 그림자 속으로 들어갔다 나오게 하자.
- 5 공을 전등 높이보다 한 뼘 정도 위로 든 상태에서 회전의자를 시계 반대 방향으로 돌리며 전등의 불빛을 관찰해 보자.



(가) 일식의 원리



(나) 월식의 원리

▲ 그림 49 _ 일식과 월식의 원리 알아보기

정리

1. 태양, 지구, 달은 실험에서 각각 어떤 준비물에 해당하는지 써 보자.
2. 일식과 월식이 일어날 때 태양, 지구, 달의 위치 관계를 각각 설명해 보자.
3. 일식과 월식이 일어날 때 각각 태양과 달의 어느 쪽부터 가려지는가?
4. 달의 위상이 삭이나 망일 때마다 일식과 월식이 일어나지 않는 까닭은 무엇인지 서로 이야기해 보자.
5. 여러 가지 다른 방법으로 일식과 월식이 일어나는 원리를 알아보자.



(가) 일식의 원리



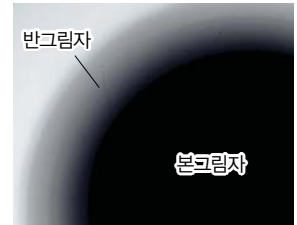
(나) 월식의 원리

▲ 그림 50 _ 삼구의로 일식과 월식의 원리 알아보기

그림 50과 같이 일식은 달이 태양의 앞을 지나며 태양을 가리는 현상이고, 월식은 달이 지구의 그림자 속으로 들어가 보이지 않게 되는 현상이다.

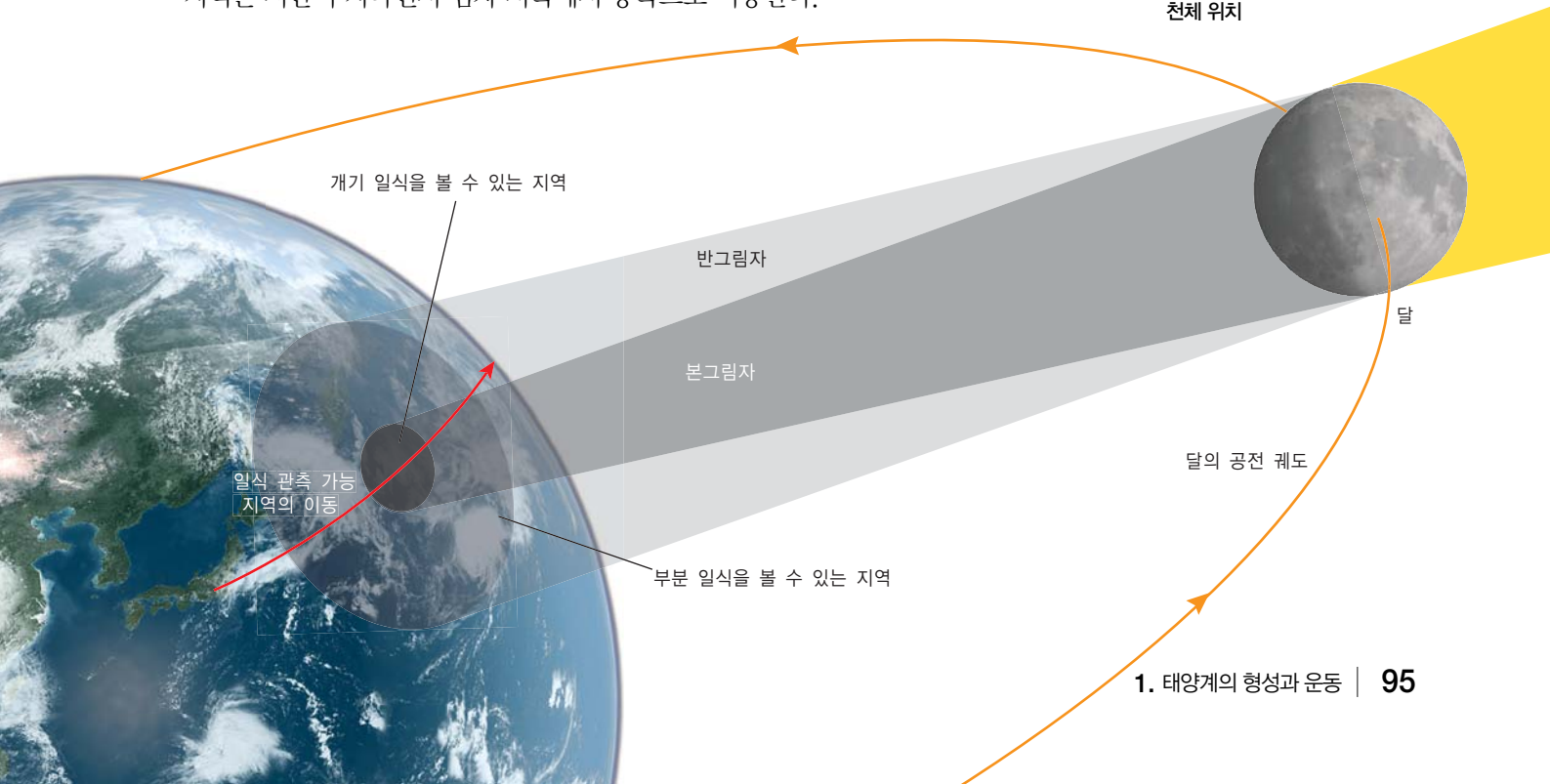
일식은 태양-달-지구가 일직선을 이룰 때 일어난다. 그림 52와 같이 지구에서 달의 본그림자에 들어가는 지역에서는 태양이 완전히 가려지는 **개기 일식**이 관찰되며, 달의 반그림자에 들어가는 지역에서는 태양이 부분적으로 가려지는 **부분 일식**이 관찰된다. 태양의 지름은 달보다 약 400배 더 크지만, 지구와 태양 사이의 거리는 지구와 달 사이의 거리보다 약 400배 더 멀다. 따라서 지구에서 볼 때 태양과 달의 크기는 거의 같아 보이므로 달은 태양을 완전히 가릴 수 있다.

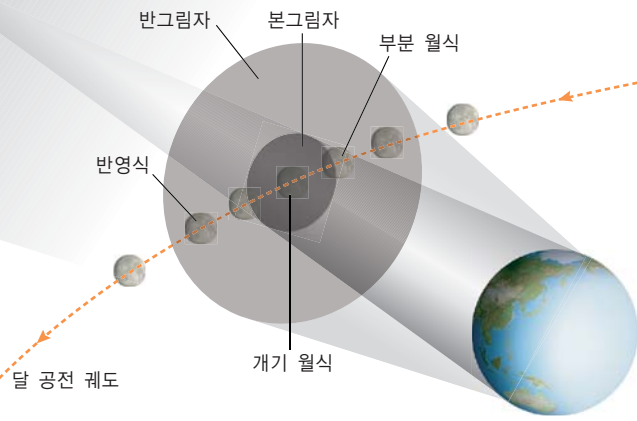
그러면 일식이 일어날 때 태양은 어느 부분부터 가려질까? 일식은 달이 지구 주위를 서쪽에서 동쪽으로 공전하며 지구와 태양 사이를 지날 때 일어나므로, 지구에서 보았을 때 태양의 서쪽부터 가려지게 된다. 그리고 지구에서 일식을 관측할 수 있는 지역은 시간이 지나면서 점차 서쪽에서 동쪽으로 이동한다.



▲ 그림 51 _ 본그림자와 반그림자

▼ 그림 52 _ 일식이 일어날 때의 천체 위치



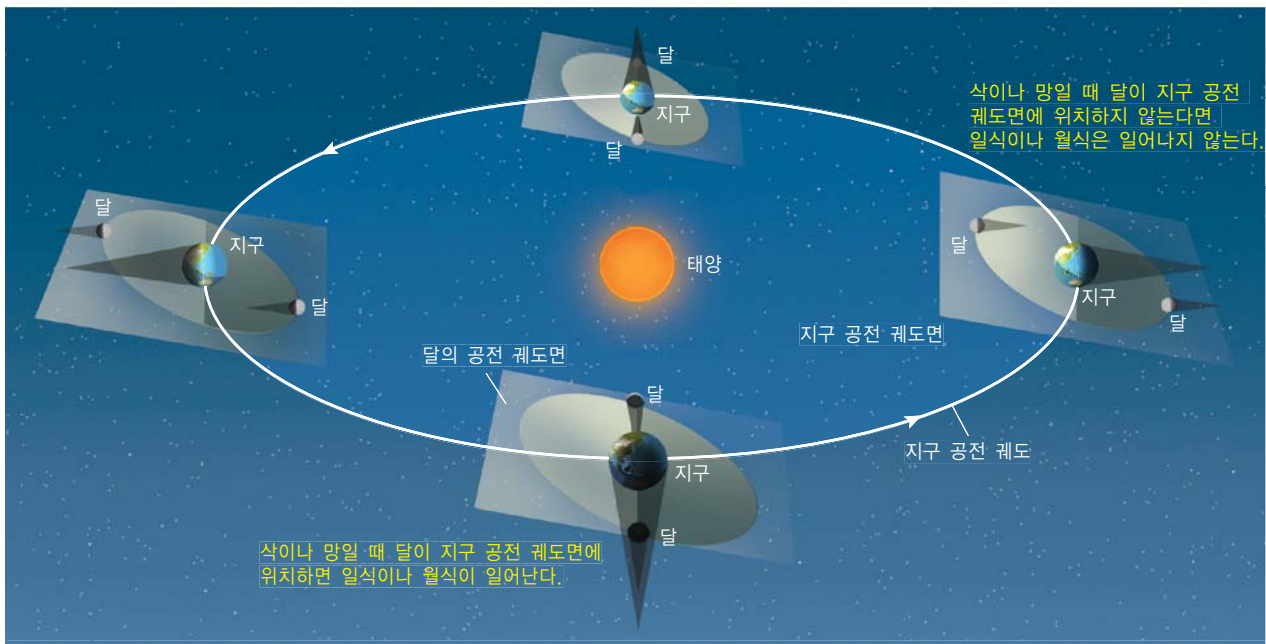


▲ 그림 53 _ 월식이 일어날 때의 천체 위치

식현상의 발생과 관측

실제로 일식은 월식보다 조금 더 자주 일어난다. 그러나 일식은 달의 그림자가 맺히는 좁은 지역에서만 관측할 수 있고, 월식은 밤인 지역 어디에서나 관측할 수 있으므로 월식이 더 자주 관측된다.

▼ 그림 54 _ 일식과 월식이 일어날 때의 천체 위치



월식은 태양-지구-달이 일직선을 이룰 때 달이 지구의 그림자 속으로 들어가면서 일어난다. 그림 53과 같이 지구의 본그림자에 달이 모두 들어가면 달 전체가 어두워지는 **개기 월식**, 지구의 본그림자에 달 일부가 들어가면 **부분 월식**이 관찰된다. 지구의 반그림자에 달이 들어가는 경우를 반영식이라고 하는데, 이때는 달의 밝기가 조금 어두워질 뿐 가려지지는 않는다. 한편, 일식은 달이 공전하며 지구 그림자를 지날 때 일어나므로 일식이 일어날 때와는 반대로 달의 동쪽부터 가려지게 된다.

일식과 월식은 달의 위상과 어떤 관계가 있을까? 일식은 달이 삭의 위치에 있을 때, 월식은 달이 망의 위치에 있을 때 볼 수 있다. 만약 태양, 지구, 달의 공전 궤도면이 같은 평면 위에 있다면 한 달에 한 번씩 일식과 월식을 관측할 수 있을 것이다. 그러나 달의 공전 궤도면은 지구의 공전 궤도면에 대하여 약 5° 기울어져 있다. 따라서 일식과 월식은 한 달에 한 번씩 일어나지는 않는다.

확인하기

- 이해 1. 지구 자전의 증거에는 어떤 것들이 있는가?
 2. 일식과 월식 현상을 매달 볼 수 없는 까닭은 무엇인가?
- 적용 3. 화성에서 별의 연주 시차를 측정한다면 지구에서 측정할 때와 비교하여 어떻게 다를지 설명해 보자.
- 창의 4. 만약 달에서 식현상을 관측한다면 지구에서 관측되는 일식이나 월식과 어떻게 다를지 설명해 보자.

태양계 형성

1. 최근의 태양계 탄생 이론에 의하면 태양계는 우리 은하의 나선팔에서 분열한 거대한 성운이 서서히 회전하면서 수축하여 형성되었다고 한다. 이 이론을 바탕으로 태양계 행성들의 공전에서 나타나는 특징을 설명해 보자.

케플러 법칙

2. 다음 <보기>의 현상들은 케플러의 3가지 법칙 중 어느 것과 관련 있는가?

● 보기 ●

- ㄱ. 지구에서 매일 관측한 태양이나 달의 크기가 다르게 보인다.
- ㄴ. 행성의 공전 주기의 제곱은 공전 궤도 장반경의 세제곱에 비례한다.
- ㄷ. 지구의 공전 속도는 북반구를 기준으로 겨울철이 여름철보다 빠르다.

행성의 운동

3. 작용·반작용 법칙에 의하면 태양이 행성을 끌어당기는 것과 같이 행성도 태양을 끌어당긴다. 그런데 행성은 태양 주위를 공전하지만 태양은 거의 움직이지 않는 것처럼 보인다. 그 까닭은 무엇인지 설명해 보자.

지구의 운동

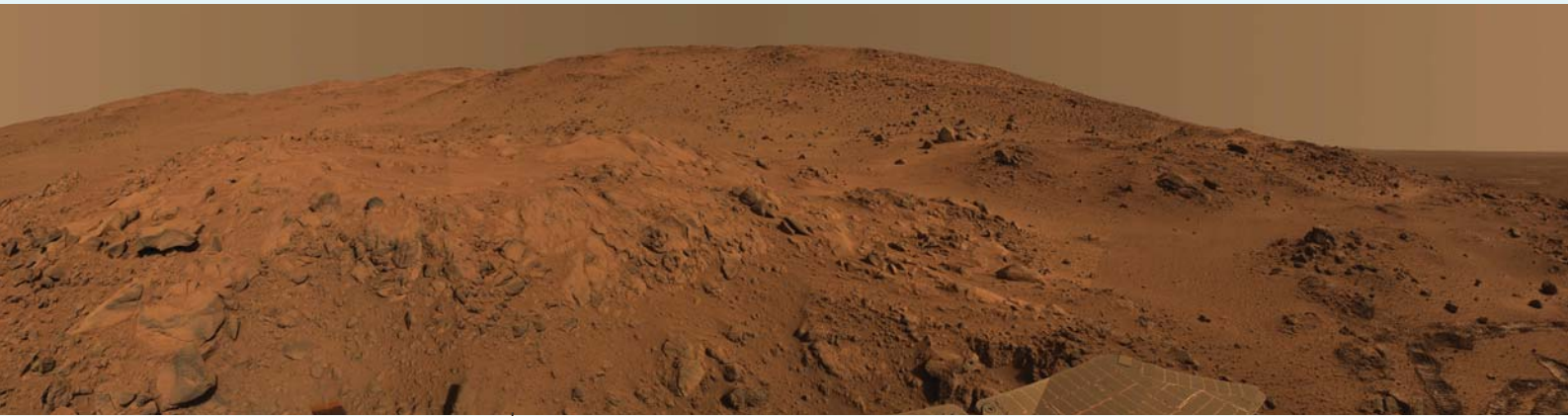
4. 지구의 자전과 공전에 의해 나타나는 현상에는 어떤 것들이 있는지 써 보자. 또 지구의 자전과 공전을 증명할 수 있는 현상에는 어떤 것들이 있는지 써 보자.

달의 운동

5. 며칠 동안 달을 관측해 보면 날씨가 지남에 따라 달의 위상은 달라지지만, 달 표면의 밝고 어두운 무늬는 그림과 같이 변하지 않는다. 그 까닭은 무엇인지 달의 공전과 자전에 관련지어 설명해 보자.



II-2. 지구 구성 원소와 지구계



▲ 그림 55_ 화성 표면



▲ 그림 56_ 화성 표면의 얼음

지구, 생명의 요람

2008년 5월 화성의 북극에 착륙한 피닉스 탐사선은 화성의 토양 아래에서 얼음을 발견했으며, 미국 항공 우주국은 화성에서 물을 발견했다고 공식적으로 발표했다. 이로써 화성에서 생명체의 흔적이나 실제로 살아 있는 생명체를 발견할 가능성이 커졌으며, 화성 탐사는 지금도 활발하게 진행되고 있다.

화성에서도 지구처럼 다양한 생명체가 살 수 있을까? 화성의 대기는 주로 이산화탄소로 이루어져 있으며, 그마저도 매우 희박하다. 산소가 없으므로 생물의 호흡이 불가능하며, 대기가 희박하여 낮과 밤의 기온 차가 매우 크다. 또 지구와 달리 태양으로부터 오는 자외선이나 우주선이 그대로 화성 표면에 도달하므로 우주복과 같은 특수한 장비 없이는 활동할 수 없다. 그러므로 화성에서는 지구에서처럼 다양한 생명체가 번성하기 어렵다.

이처럼 태양계에서 지구를 제외한 나머지 천체들에서는 생명체가 살기 어렵다. 그렇다면 지구에서만 다양한 생명체가 번성할 수 있는 까닭은 무엇일까? 이 단원에서는 지구의 특별한 환경을 이루는 여러 가지 요소들에 대하여 알아보자.

? 생명체가 살기 위하여 꼭 필요한 요소에는 무엇이 있는지 서로 이야기해 보자.

1

행성의 대기과 에너지 보존

- 학습 목표**
- 행성의 탈출 속도를 위치 에너지와 운동 에너지를 이용하여 설명할 수 있다.
 - 행성의 대기 성분 차이를 탈출 속도, 평균 운동 에너지, 분자량, 기체 분자의 구조, 끓는점을 이용하여 설명할 수 있다.

지구에 생명체가 살 수 있는 까닭은 무엇일까? 지구에는 물과 대기가 있으며, 대기에는 생명체의 호흡에 꼭 필요한 산소가 존재한다. 반면, 지구에서 가까운 금성과 화성의 대기는 대부분 이산화탄소로 이루어져 있으며, 목성과 토성의 대기는 대부분 수소와 헬륨으로 이루어져 있다. 이처럼 행성들의 대기 성분이 서로 다른 까닭은 무엇일까?



▲ 그림 57_ 우주에서 본 지구 대기

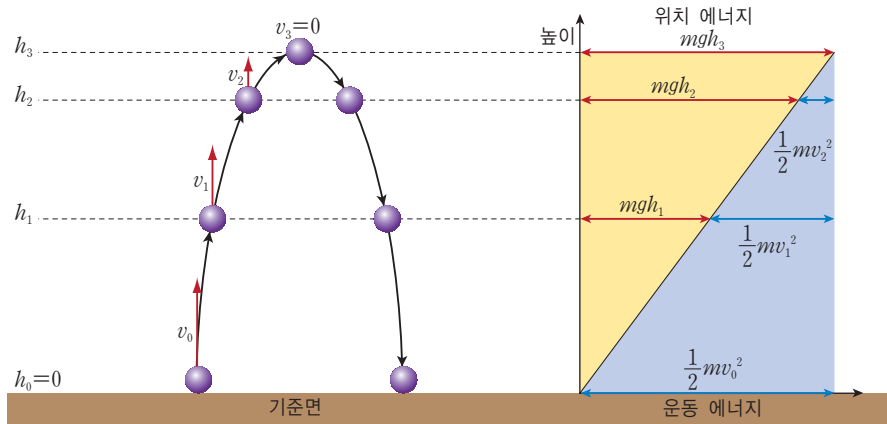
탈출 속도

지표에서 위쪽을 향해 던진 물체는 아래쪽으로 작용하는 지구의 중력 때문에 속도가 점점 느려지다가, 정점에서 방향을 바꾸어 다시 지표로 향해 떨어진다. 이때 물체의 운동 에너지도 물체의 속도와 함께 점점 감소하다가, 정점에서 0이 된 후 다시 지표로 떨어지면서 증가한다. 반대로 위치 에너지는 높이와 함께 증가하다가, 정점에서 최대가 된 후 물체가 지표로 떨어지면서 감소한다.

이 과정에서 위치 에너지나 운동 에너지는 없어지지 않고 다른 형태의 에너지로 전환되므로 전체 에너지의 양은 일정하게 유지된다. 공기의 저항과 같은 다른 힘이 작용하지 않는다면 운동하는 물체의 운동 에너지(E_k)와 위치 에너지(E_p)의 합은 일정하다. 이것을 **역학적 에너지 보존 법칙**이라고 하며 다음과 같은 식으로 나타낸다.

$$E_k + E_p = \frac{1}{2}mv^2 + mgh = \text{일정}$$

위치 에너지 공식
 위치 에너지를 나타내는 식($E = mgh$)은 중력이 거의 일정한 지표 부근에서만 적용된다.



▲ 그림 58_ 역학적 에너지의 전환과 보존

지표에서 물체를 위로 던질 때, 던지는 속도가 빠를수록 물체는 더 높이 올라갈 수 있다. 또 어떤 물체를 충분히 빠른 속도로 던진다면 그 물체는 지구의 중력을 벗어나 무한히 먼 곳까지 갈 수 있다. 이때 어떤 물체가 지구의 중력을 벗어나 무한히 먼 곳까지 가기 위한 최소한의 처음 속도를 **탈출 속도**라고 한다.

지구 중력 이외에 다른 힘이 작용하지 않는다면 역학적 에너지는 지구로부터 무한히 멀리 떨어진 우주 공간에서도 항상 보존된다. 따라서 지표에서 탈출 속도로 발사된 물체는 무한히 먼 곳에서 속도가 0이 되어 운동 에너지도 0이 되며, 물체가 지표에서 발사될 때 가지고 있던 운동 에너지는 모두 위치 에너지로 전환된다. 그러므로 탈출 속도는 역학적 에너지 보존 법칙으로 구할 수 있으며, 같은 원리로 다른 행성에서의 탈출 속도도 구할 수 있다.

탈출 속도는 행성의 질량이 클수록, 행성과 물체 사이의 거리가 가까울수록 크며, 운동하는 물체의 질량과는 아무 관계가 없다.

과학 마당 | 역학적 에너지 보존과 탈출 속도

지구의 질량을 M , 지구의 반지름을 R 라고 할 때, 질량이 m 인 물체를 지표에서 탈출 속도 v 로 발사하여 무한히 먼 곳까지 이동시킨다고 하자.

지구에서 무한히 멀리 떨어진 곳에서 이 물체의 속도와 운동 에너지는 0이 된다. 반대로 지구 중력은 지표 부근에서 가장 크고, 지구에서 멀어질수록 거리의 제곱에 반비례하여 작아진다. 지구에서 무한히 먼 지점의 지구 중력에 의한 위치 에너지(E_p)를 0이라고 할 때, 지표에서 지구 중력에 의한 위치 에너지는 다음과 같다.

$$E_p = -G \frac{mM}{R}$$

따라서 역학적 에너지 보존 법칙에 따라 지구에서 무한히 멀리 떨어진 지점에 있는 물체의 역학적 에너지(E)는 다음과 같이 계산할 수 있다.

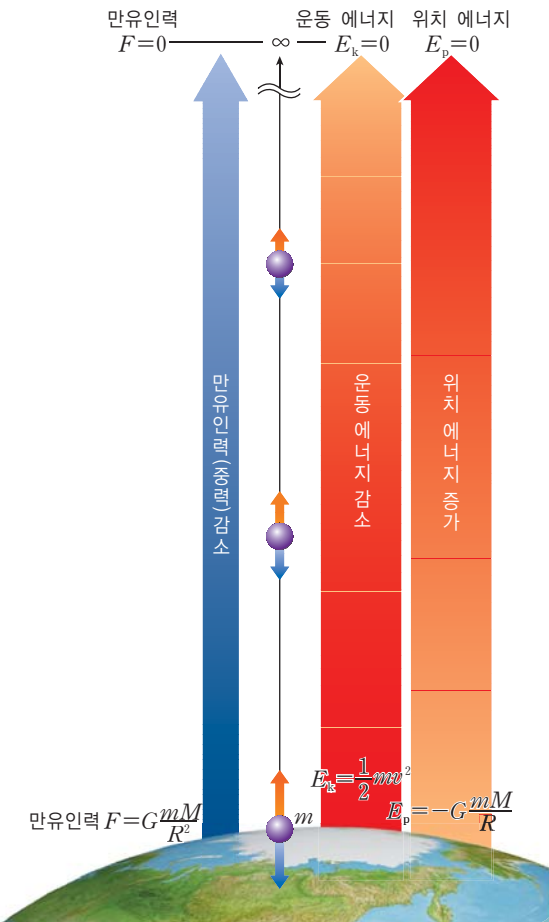
$$\begin{aligned} E &= E_k + E_p \\ &= \frac{1}{2}mv^2 + \left(-G \frac{mM}{R}\right) \\ &= 0 \end{aligned}$$

이 식에서 물체의 탈출 속도는 다음과 같이 계산된다.

$$v = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

이 식은 지구뿐만 아니라 태양을 비롯한 다른 천체에도 모두 적용된다.

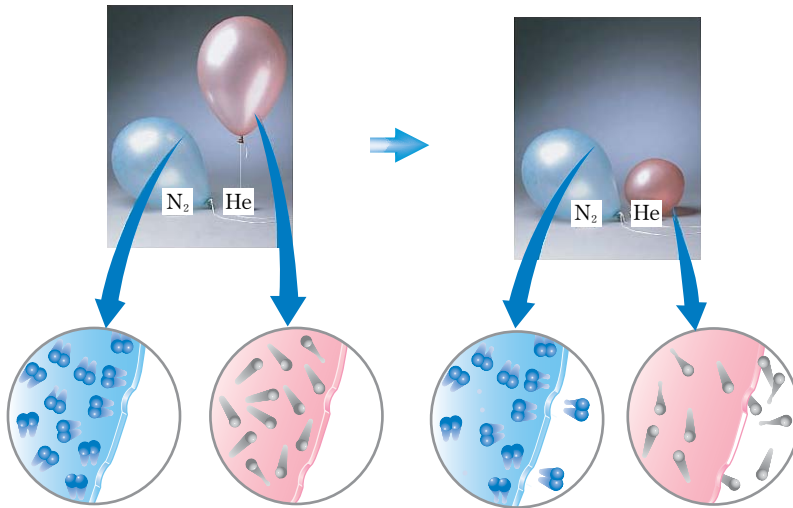
▼ 그림 59_ 행성의 만유인력과 역학적 에너지



지구 표면에서의 탈출 속도는 약 11.2 km/s이다. 공기의 저항을 무시한다면 지표에서 11.2 km/s 이상의 속도로 발사된 물체는 그 물체의 질량에 관계없이 지구 중력에서 벗어날 수 있다. 그러나 지구보다 질량이 훨씬 큰 목성에서의 탈출 속도는 59.5 km/s로 지구보다 훨씬 크다. 따라서 11.2 km/s 이상의 속도로 지구 표면에서 운동하는 기체 분자는 지구의 중력에서 벗어나 지구 바깥으로 나갈 수 있지만, 같은 속도로 목성 표면에서 운동하는 기체 분자는 목성의 중력에서 벗어나지 못하고 목성의 대기를 이루게 된다.

평균 운동 에너지와 분자량

행성의 대기는 행성의 탈출 속도보다 느리게 운동하는 기체 분자로 이루어진다. 이때 행성의 대기를 이루는 기체 분자는 서로 멀리 떨어져 있으며, 무질서하게 끊임 없이 움직이고 있다. 기체 분자의 속도는 어떻게 알 수 있을까?



▲ 그림 60 _ 질소 기체와 헬륨 기체의 확산

그림 60과 같이 같은 온도에서 각각 같은 부피의 질소와 헬륨 기체를 넣어 고무풍선의 크기를 같게 만들었다. 시간이 지난 후 두 고무풍선의 크기를 비교해 보면 헬륨 기체가 들어 있는 풍선이 질소 기체가 들어 있는 풍선보다 크기가 더 작아진 것을 관찰할 수 있다.

이것은 같은 온도에서 분자량이 작은 헬륨 기체가 질소 기체보다 운동 속도가 빨라 고무풍선의 미세한 구멍을 통해 더 많이 빠져나갔기 때문이다.

질량이 m 이고 운동 속도가 v 인 기체 분자의 평균 운동 에너지는 $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ 으로 나타낼 수 있는데, 같은 온도에서 기체 분자의 운동 에너지는 그 종류에 관계없이 일정하므로 기체의 분자량이 작을수록 운동 속도가 빨라진다. 또한, 온도가 높을수록 기체 분자의 운동이 활발해져 기체의 평균 운동 에너지가 증가하므로 운동 속도가 빨라진다.

표 4_ 태양계 천체의 탈출 속도 (NASA)

| 천체 | 탈출 속도(km/s) |
|-----|-------------|
| 태양 | 617.7 |
| 수성 | 4.3 |
| 금성 | 10.4 |
| 지구 | 11.2 |
| 화성 | 5.0 |
| 목성 | 59.5 |
| 토성 | 35.5 |
| 천왕성 | 21.3 |
| 해왕성 | 23.7 |
| 달 | 2.4 |

표 5_ 몇 가지 원자의 원자량

| 원자 | 원자량 |
|-------|------|
| 수소(H) | 1.0 |
| 탄소(C) | 12.0 |
| 질소(N) | 14.0 |
| 산소(O) | 16.0 |



▲ 그림 61 _ 이산화탄소 소화기 공기의 주성분인 질소와 산소보다 분자량이 크고 불에 타지 않는 이산화탄소를 이용하여 불을 끈다.

기체 분자의 분자량은 분자를 구성하고 있는 원자들의 질량, 즉 원자량의 합으로 나타난다. 화학 반응에서 반응물질 사이의 질량 관계로부터 원자들 사이의 상대적 질량을 구할 수 있는데, 원자 한 개의 실제 질량은 너무 작아 그 값을 일일이 적용하기가 쉽지 않다. 따라서 간편하게 원자량을 나타내기 위해 질량수 12인 탄소 원자 ^{12}C 의 질량을 12.0으로 정하고, 이것을 기준으로 다른 원자들의 상대적인 질량을 숫자로 나타낸 것을 **원자량**이라고 한다. 또한, 분자를 구성하는 모든 원자의 원자량을 합한 값을 **분자량**이라고 한다.



행성의 대기 성분인 질소(N_2), 산소(O_2), 암모니아(NH_3), 메테인(CH_4), 이산화탄소(CO_2)의 분자량을 각각 구해 보자.

다음 활동을 통해 드라이아이스를 이용하여 행성의 대기 성분인 이산화탄소의 밀도와 분자량을 측정해 보자.

창의
인성

활동 4

드라이아이스를 이용하여 이산화탄소의 분자량을 측정할 수 있을까?

목표 드라이아이스의 부피와 질량을 측정하여 이산화탄소의 밀도와 분자량을 계산할 수 있다.

실험

준비물 전자저울, 온도계, 압력계, 페트병, 눈금 실린더, 장갑, 드라이아이스, 페트리 접시

미리 알아두기

● 몰(mole)

원자나 분자와 같이 물질을 구성하는 기본 입자는 크기가 너무 작아 눈으로 구별하여 셀 수 없다. 원자나 분자 6.02×10^{23} 개를 1몰(mole)이라고 하고, 단위는 mol로 나타낸다. 0°C , 1기압일 때 기체 1 mol의 부피는 기체의 종류에 관계없이 22.4 L로 일정하다.

● 이상 기체 방정식

기체의 부피는 절대 온도에 비례하고 압력에 반비례하며, 몰 수에 비례한다. 이 세 관계를 식으로 나타내면 $\frac{PV}{nT} = k$ (P : 기체의 압력, V : 기체의 부피, T : 절대 온도, n : 몰 수)이다.

기체 1 mol은 0°C , 1기압에서 부피가 22.4 L이므로, 이 값을 대입하여 k 를 기체 상수 R 로 정리하면 $PV = nRT$ 이다.

이것을 이상 기체 방정식이라고 한다.

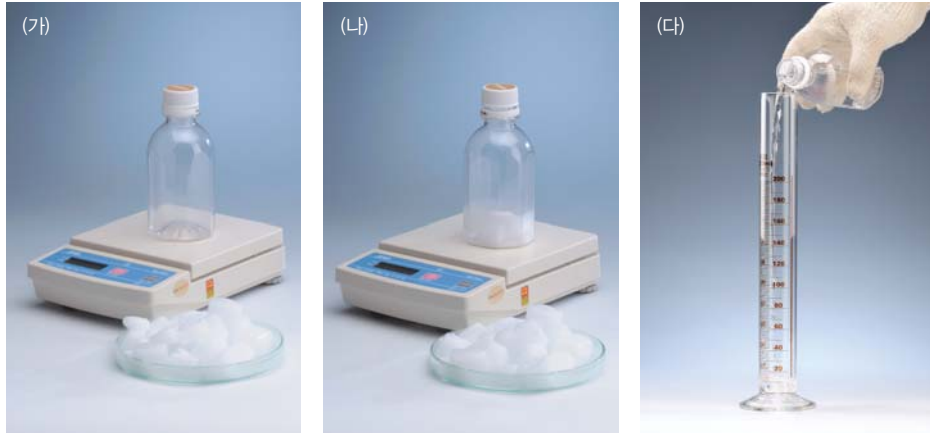
분자량이 M 인 기체의 질량을 w 라고 하면, 몰 수 $n = \frac{w}{M}$ 이므로 $M = \frac{wRT}{PV}$ 이다.

이 식을 이용하면 기체 분자의 질량과 부피를 이용하여 분자량을 구할 수 있다.

과정

1 실험실의 온도와 압력을 측정한다.

- 2 그림 62의 (가)와 같이 전자저울을 사용하여 마개를 닫은 빈 페트병의 질량을 측정하자.
- 3 그림 62의 (나)와 같이 페트병에 드라이아이스 조각을 넣고 드라이아이스가 모두 승화한 다음 마개를 닫고 질량을 측정하자.
- 4 그림 62의 (다)와 같이 페트병에 물을 가득 채운 후 눈금 실린더를 이용하여 페트병의 부피를 측정하자.



▲ 그림 62_ 이산화탄소의 분자량 측정 실험

- 5 공기의 평균 분자량을 28.8(질소와 산소가 4 : 1)로 가정하고 과정 4에서 측정한 페트병의 부피에 해당하는 공기의 질량을 계산하자.
- 6 과정 3에서 측정한 질량과 공기의 질량을 뺀 페트병만의 질량으로부터 이산화탄소의 질량을 계산하자.

정리

1. 실험 결과를 다음 표에 정리해 보자.

| 질량(g) | 부피(mL) | 밀도(g/mL) | 온도(°C) | 압력(기압) |
|-------|--------|----------|--------|--------|
| | | | | |

2. 이상 기체 방정식을 이용하여 측정 결과로부터 이산화탄소의 분자량을 구해 보자.
3. **창의·인성** 지구 또는 다른 행성에 존재하는 이산화탄소의 성질 및 역할, 생성 원리에 대해 함께 토의해 보자.

목성의 대기 성분인 수소, 암모니아, 메테인의 분자량은 지구형 행성의 대기 성분인 산소, 질소, 이산화탄소의 분자량보다 작다. 즉, 지구형 행성이 목성형 행성보다 상대적으로 무거운 기체를 대기 성분으로 가지고 있다.

어떤 행성에서 특정 기체가 대기를 구성하려면 그 기체의 운동 속도가 행성의 탈출 속도보다 작아 오랫동안 행성의 표면에 잡혀 있어야 한다. 기체의 운동 속도는 온도가 높고 분자량이 작을수록 빠르다. 따라서 탈출 속도가 크고 표면 온도가 낮은 행성일수록 분자량이 작은 기체를 대기 성분으로 가질 수 있다.

주의

- 드라이아이스는 -78.5°C 에서 승화하여 동상의 위험이 있으므로 몸에 닿지 않도록 주의한다.
- 페트병 마개를 닫지 않은 상태로 드라이아이스를 모두 승화시키고, 표면의 습기를 닦아 낸 후 마개를 닫고 질량을 측정한다.

협동 여러 가지 물리량을 분담하여 측정할 때는 정확한 밀도와 분자량 계산을 위해 측정 범위를 정한다.

일반적으로 행성의 표면 온도는 행성 표면에 입사하는 태양 복사 에너지의 양에 따라 달라진다. 즉, 태양에 가까운 행성일수록 표면 온도가 높으므로 기체의 평균 운동 에너지도 증가한다. 따라서 분자량이 작아 운동 속도가 빠른 수소나 헬륨은 표면 온도가 낮고 탈출 속도가 큰 목성형 행성의 대기를 형성할 수 있지만, 지구형 행성에서는 쉽게 탈출하여 행성의 대기를 이루기 어렵다.

생활 속의 과학 | 드라이아이스 청소기

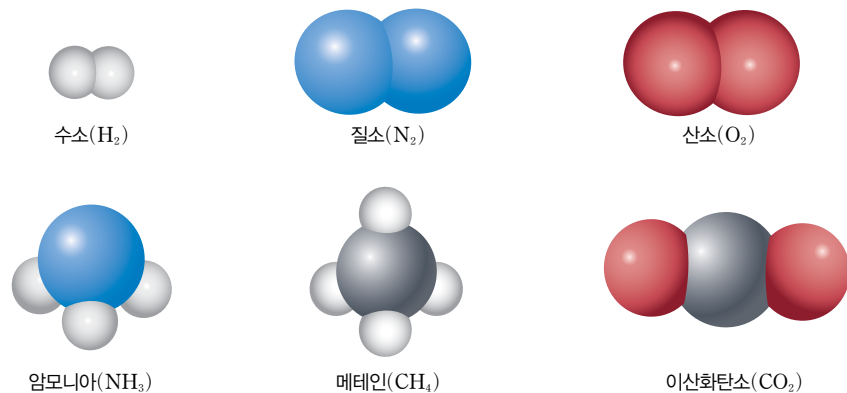
고체 상태의 이산화탄소를 드라이아이스라고 한다. 아이스크림이 녹지 않게 포장할 때나 화재 진압 시 소화에 사용하는 드라이아이스는 청소를 하는 데도 이용된다. 자동차 내부나 에스컬레이터의 좁은 틈에 낀 이물질을 청소하는 것은 쉽지 않다. 드라이아이스 조각을 미세한 틈 사이로 분사하면 드라이아이스 조각에 의해 이물질이 -78°C 의 초저온으로 급속히 얼어 부피가 작아지면서 갈라진다. 이 좁은 틈으로 들어간 드라이아이스가 이산화탄소 기체로 승화하면서 부피가 급격히 팽창하여 이물질이 표면에서 제거된다. 이러한 청소 방법은 물체를 손상시키지 않아 자동차 엔진 내부나 고급 기계류 등을 청소할 때 유용하다.



▲ 그림 63 _ 드라이아이스로 이순신 동상을 세척하는 모습

기체 분자의 구조와 끓는점

행성의 대기를 구성하는 기체 분자의 구조는 어떤 특징이 있을까? 행성의 대기 성분을 이루는 기체 분자는 주로 수소, 질소, 산소 등의 2원자 분자와 암모니아, 메테인, 이산화탄소 등의 다원자 분자이다.



▲ 그림 64 _ 행성의 대기를 이루는 기체 분자의 구조

수소, 질소, 산소 분자는 동일한 원자가 서로 공유 결합한 2원자 분자이므로 공유된 전자쌍을 두 개의 원자핵이 동등한 힘으로 잡아당긴다. 이 때문에 전자들이 두 원

자핵 주변에 균일하게 분포하여 전기적으로 극성을 띠지 않으며, 이러한 분자를 **무극성 분자**라고 한다.

이산화탄소는 산소가 탄소보다 전자를 더 세게 잡아당겨 공유된 전자쌍이 산소 원자핵 가까이 분포한다. 그러나 탄소 원자를 중심으로 하는 대칭 구조이므로 양쪽 산소 원자핵이 전자를 잡아당기는 힘이 균형을 이루는 무극성 분자이다. 메테인 역시 탄소 원자를 중심으로 하는 대칭 구조이므로 무극성 분자이다. 그러나 암모니아는 수소보다 질소가 전자를 더 세게 잡아 당기고 비대칭 구조이므로 **극성 분자**이다.

분자량이 비슷할 때 극성 분자는 무극성 분자보다 끓는점이 높다. 또한, 무극성 분자의 끓는점은 분자간 힘이 클수록 높아지며, 분자간 힘은 일반적으로 분자량이 클수록 크다. 끓는점이 낮은 물질은 상대적으로 낮은 온도에서 기체가 되어 행성의 대기를 이룰 수 있다. 목성형 행성의 대기 성분인 수소와 헬륨의 끓는점은 지구형 행성의 대기 성분인 질소, 산소, 이산화탄소의 끓는점에 비해 상대적으로 매우 낮다.

태양계 행성의 생성 초기에 태양과 가까운 지구형 행성에서는 표면 온도가 높아 끓는점이 낮은 분자들이 기체가 되었고, 그중 분자량이 작은 수소나 헬륨 기체는 큰 운동 속도를 가지기 때문에 행성 밖으로 탈출하였다. 반면 태양에서 멀리 떨어져 있어 표면 온도가 낮고 중력이 큰 목성형 행성은 수소와 헬륨이 대기의 주성분이며, 상대적으로 끓는점이 높은 암모니아는 응결하여 구름을 형성하였다.

행성의 대기 성분은 행성의 질량과 표면 온도, 기체 분자의 구조, 끓는점, 분자량, 평균 운동 에너지 등에 따라 달라진다. 지구형 행성 중 태양에 가장 가깝고 질량이 작은 수성은 대기가 존재하지 않으며, 금성과 화성의 대기는 이산화탄소와 소량의 질소, 아르곤으로 이루어져 있다. 그러나 대기를 이루는 기체 분자의 절대량은 질량이 작은 화성의 경우, 금성 대기의 약 $\frac{1}{10,000}$ 에 지나지 않는다.

지구도 생성 초기에는 대기 중에 많은 양의 이산화탄소를 가지고 있었다. 그러나 지구는 금성이나 화성과 달리 수증기가 응결하여 물로 존재할 수 있을 정도로 태양으로부터 적절한 거리에 있다. 이러한 이유로 지구에 원시 바다가 생성되면서 원시 대기에 풍부했던 이산화탄소는 대부분 바닷물에 녹은 후 침전되어 석회암의 형태로 지구에 저장되고 현재의 모습을 띄게 되었다.

표 6 _ 행성의 대기를 이루는 기체 분자의 끓는점

| 분자 | 끓는점(°C) |
|-------------------------|---------|
| 수소(H ₂) | -252.6 |
| 헬륨(He) | -269.2 |
| 메테인(CH ₄) | -161.6 |
| 암모니아(NH ₃) | -33.4 |
| 질소(N ₂) | -196.8 |
| 산소(O ₂) | -182.9 |
| 이산화탄소(CO ₂) | (-78.5) |

보통 외부 압력 1기압에서의 끓는 온도를 끓는점이라고 하며, 외부 압력이 높아질수록 끓는점이 높아진다. 이산화탄소는 고체 상태에서 기체 상태로 변화하는 승화점을 나타낸 것이다.

확인하기

- 이해** 1. 행성 표면에서 어떤 물체가 그 행성의 중력에서 벗어나 외부로 나갈 수 있는 최소한의 속도를 무엇이라고 하는가?
- 적용** 2. 수소, 헬륨 기체가 지구형 행성에서는 쉽게 탈출하지만, 목성형 행성에서는 대기를 형성할 수 있는 까닭을 써 보자.
- 창의** 3. 이산화탄소는 지구 생성 초기에 대기 중에 많이 존재했으나 현재는 지구 대기의 주성분이 아니다. 그 까닭을 수증기의 응결을 이용하여 설명해 보자.

2

지구의 진화

- 학습 목표**
- 지구의 진화 과정에서 지구계 각 권의 형성 과정과 상호 작용을 설명할 수 있다.
 - 지구에서 생명체가 진화할 수 있는 환경적 조건이 갖추어진 까닭을 설명할 수 있다.



▲ 그림 65 _ 달에서 본 지구

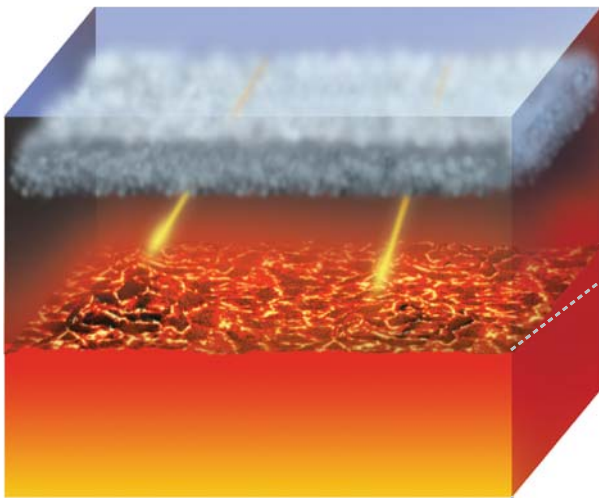
우주에서 바라본 지구는 그림 65와 같은 푸른색의 행성이다. 지구는 산소가 풍부한 대기를 가지고 있으며, 푸른 바다와 육지에는 많은 생명체가 번성하고 있다. 그러나 지구가 처음 탄생했을 때의 모습은 지금과 같지 않았으며, 지금과 같은 지구의 모습이 만들어지기까지는 매우 긴 시간이 걸렸다.

태양계의 형성 과정에서 미행성체의 충돌로 형성된 지구는 현재와 같은 모습을 이루기까지 어떤 변화를 겪어 왔을까? 원시 지구가 생성되어 현재의 모습을 이루기까지의 과정과, 지구에 생명체가 탄생하고 진화하여 번성할 수 있었던 까닭은 무엇인지 알아보자.

원시 지구의 성장

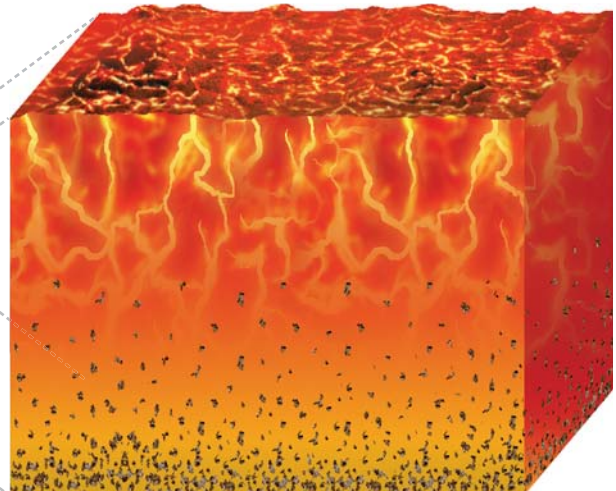
태양계 성운에서 미행성체의 충돌에 의하여 원시 지구가 탄생한 후에도 지구는 미행성체와의 충돌을 계속하여 점점 더 크게 성장하였다. 이 과정에서 미행성체들이 충돌하면서 발생한 열과 대기 중의 이산화탄소와 수증기의 온실 효과 때문에 원시 지구의 온도는 점점 높아졌다. 그 결과 지구 표면을 이루던 암석들이 모두 녹아 그림 66의 (가)와 같은 **마그마의 바다**를 이루게 되었다.

▼ 그림 66 _ 원시 지구의 진화 과정



(가) 마그마의 바다 형성 미행성체의 충돌로 생성된 열과 온실 기체의 온실 효과로 지구 표면의 암석이 녹아 이루어진다.

(나) 맨틀과 핵의 분리: 지구 내부를 이루던 물질 중 무거운 물질들이 가라앉아 핵을 이루어 맨틀과 분리되었다.



한편, 지구 내부에서도 방사성 물질이 붕괴하면서 방출하는 에너지 때문에 지구 내부를 이루던 물질들이 녹기 시작했다. 그림 (나)와 같이 물질들이 녹아 움직일 수 있게 되자 철이나 니켈과 같이 밀도가 큰 물질들은 중력에 의해 지구 중심으로 가라앉아 **핵**을 이루었다. 반면, 규산염이나 알루미늄 산화물과 같이 밀도가 작은 물질들은 부력에 의해 지구 표면 쪽으로 떠올라 **맨틀**을 이루었다.

시간이 지나 미행성체의 충돌이 점차 줄어들자 마그마의 바다는 서서히 식었다. 그리고 지표면의 냉각으로 맨틀의 바깥 부분이 식어 굳어져 그림 (다)와 같이 암석으로 이루어진 얇은 **원시 지각**이 만들어졌다.

지각의 8대 원소

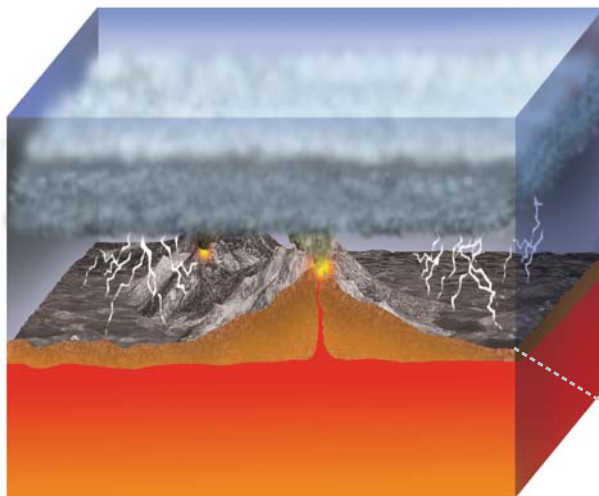
산소, 규소, 알루미늄, 철, 칼슘, 나트륨, 칼륨, 마그네슘을 지각의 8대 원소라고 하며, 지각을 이루는 암석 전체 질량의 약 98%를 차지한다. 그리고 그중 산소와 규소가 약 75%를 차지한다.



만약 원시 지구의 생성 초기에 마그마의 바다가 이루어지지 않았다면 지금의 지구는 어떤 모습일지 이야기해 보자.

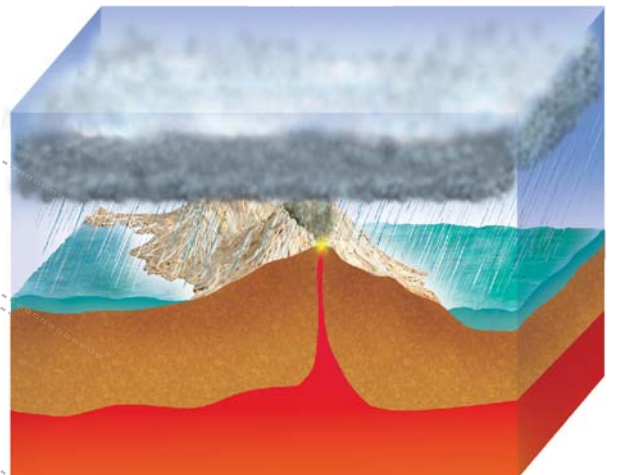
지표면에 처음으로 얇은 원시 지각이 만들어졌을 때 지각 아래에서는 아직 뜨거운 맨틀이 상승과 하강을 반복하였다. 따라서 그림 (다)와 같이 마그마가 지각의 약한 부분을 뚫고 분출하는 화산 활동이 매우 활발하였으며, 이때 분출된 화산 기체는 수증기, 이산화탄소와 함께 원시 대기를 이루었다. 시간이 지나 지표면이 점차 냉각되자 원시 대기 중의 수증기는 응결과 증발을 반복하였으며, 그림 (라)와 같이 지표면의 온도가 점점 낮아짐에 따라 비가 되어 내렸다. 그리고 이 빗물이 지각의 낮은 곳에 모여 **원시 바다**를 이루었다.

이러한 과정을 통하여 원시 지구는 내부의 핵과 핵을 둘러싼 맨틀, 얇은 지각, 원시 바다와 원시 대기로 이루어진 **층상 구조**가 형성되었다.



(다) 원시 지각의 형성: 미행성체 충돌이 줄어들고 지표면이 냉각되어 원시 지각이 만들어졌다.

(라) 원시 바다의 형성: 대기 중의 수증기가 냉각되어 비가 되어 내렸고, 내린 빗물이 지각의 낮은 곳에 모여 원시 바다를 이루었다.



과학자들은 원시 지구가 진화하여 원시 지각, 원시 대기, 원시 바다가 이루어진 시기를 44~45억 년 전으로 추정한다. 이 시기부터 지구에는 지권, 수권, 기권이 형성되었고, 이후 생물계가 형성되어 현재와 같은 **지구계**의 상호 작용이 시작되었다.

지권의 형성과 진화

지권은 그림 67과 같이 지각과 맨틀, 외핵과 내핵으로 이루어져 있으며, 지각은 다시 대륙 지각과 해양 지각으로 나뉜다. 처음에 원시 지각은 매우 얇았으나 지구가 식어가면서 점점 두꺼워졌으며, 이후 지각과 상부 맨틀의 일부를 포함하는 **판**이 형성되었다. 판 아래에서는 지구 내부의 열에 의해 맨틀이 대류하고, 여러 조각으로 나뉘어진 판은 맨틀 대류에 따라 움직이기 시작하였다.

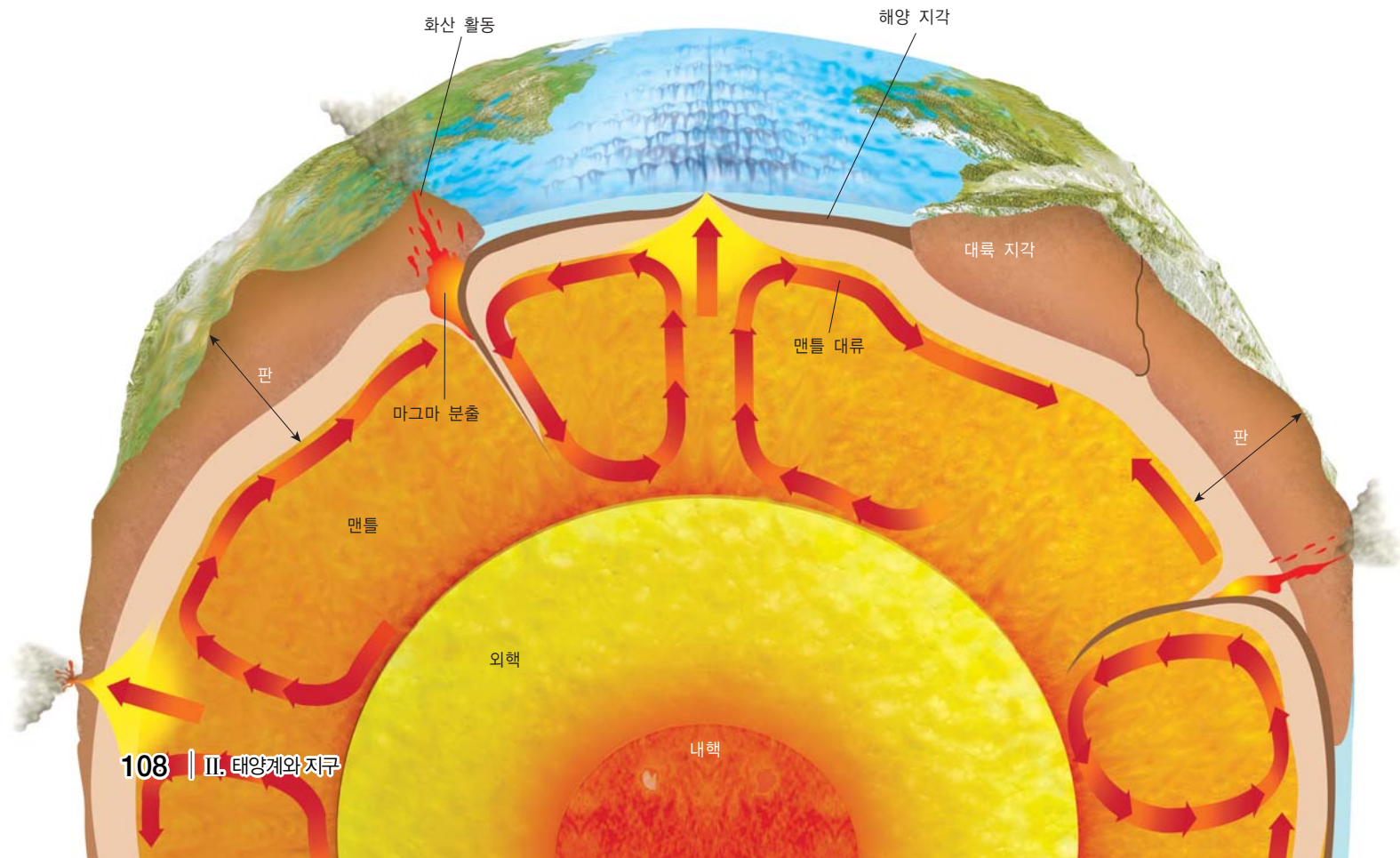
생성 초기의 지구는 현재보다 더 뜨거웠으므로 **맨틀 대류**와 **화산 활동**이 지금보다 더욱 활발하였다. 판의 운동으로 지표면에서는 습곡 산맥이 형성되었으며, 지표층을 이루던 암석은 맨틀 속으로 끌려 들어가 **마그마**가 되었다. 그리고 지표 근처에서 다시 굳어지거나 화산 활동에 의해 지표 위로 분출되어 새로운 암석을 이루었다. 이때 화강암질 암석은 밀도가 낮은 대륙 지각을 이루고, 현무암질 암석들은 밀도가 높은 해양 지각을 이루어 현재와 같은 지구 내부 구조를 형성하였다.

한편, 지표면의 암석이 물과 대기, 생물의 풍화 작용으로 잘게 부서지면서 **토양**을 형성하여 생명체가 살 수 있는 기반이 되었다.

대륙 지각과 해양 지각

- 대륙 지각: 나트륨, 칼륨, 알루미늄이 풍부한 규산염 광물이 주성분인 화강암질 암석으로 이루어져 있다.
- 해양 지각: 마그네슘과 철이 풍부한 규산염 광물이 주성분인 현무암질 암석으로 이루어져 있다.

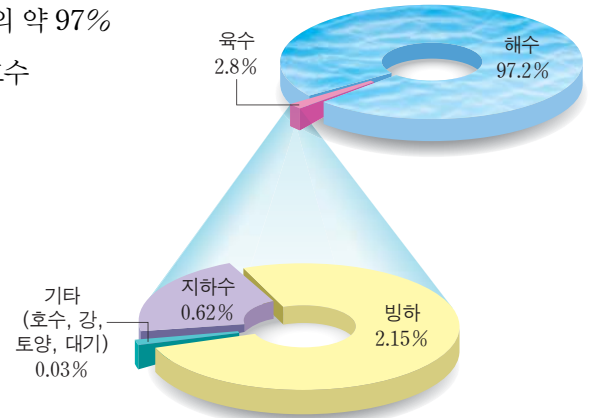
▼ 그림 67_ 지권의 구성과 진화



수권의 형성과 진화

수권은 그림 68과 같이 해수와 육수로 구분하며, 그중 해수는 수권의 약 97%를 차지한다. 육수 대부분은 극지방과 고산 지대의 빙하이며, 강과 호수의 물, 지하수는 매우 적은 양을 차지한다.

수권의 물은 지구계 각 권 사이를 순환하며 물질과 에너지를 순환시킨다. 특히 기상 현상에 의해 비나 눈의 형태로 지권에 이동한 물은 지표면을 침식하고, 암석을 이루는 나트륨, 마그네슘, 철 등을 녹여 바다로 운반한다. 물의 순환이 반복되면서 이러한 물질들이 해수에 점점 더 많이 녹아들었다. 여기에 해저 화산 활동으로 화산 기체 속의 염소나 황이 해수에 녹아 해수의 염분은 점차 높아졌다.



▲ 그림 68 _ 수권의 구성



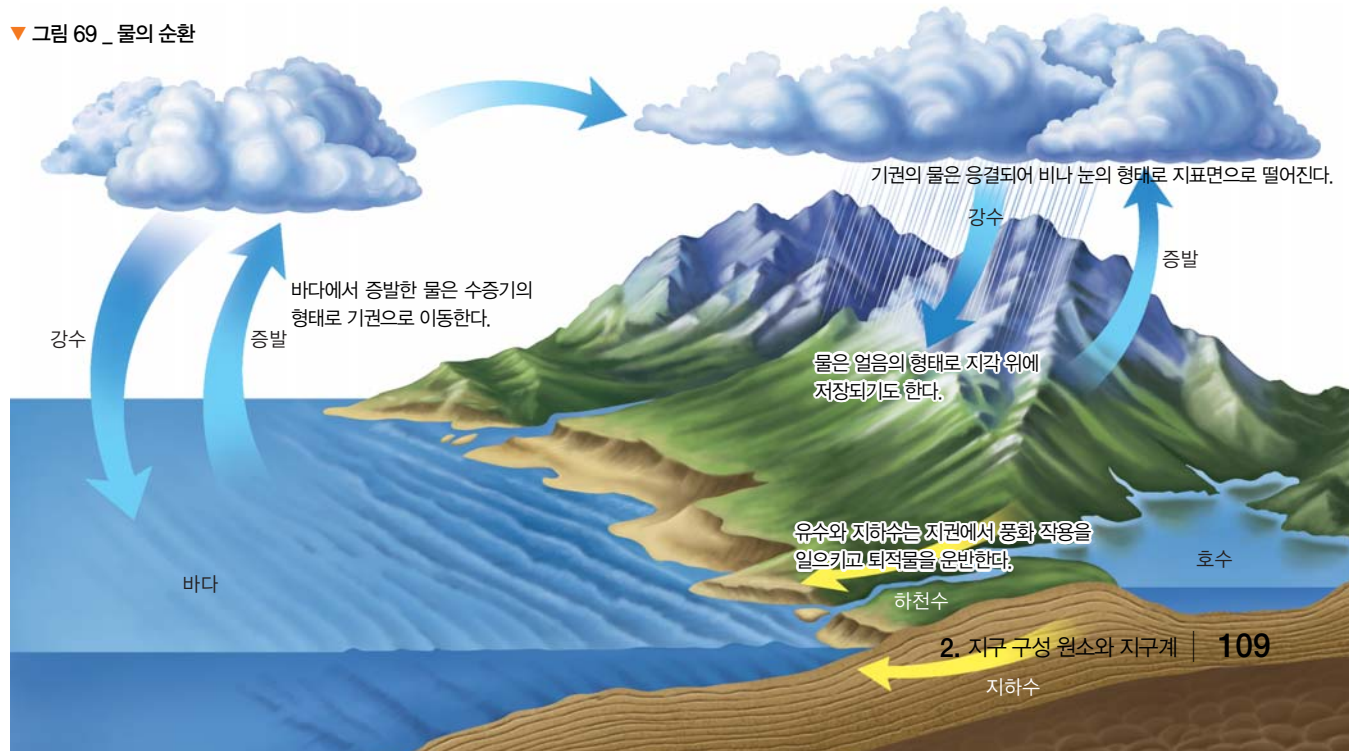
물의 순환과 해저 화산 활동은 지금도 지구에서 계속되므로 해수의 염분은 점점 높아져야 한다. 그러나 현재는 해수의 염분이 더 이상 높아지지 않는다고 한다. 그 까닭은 무엇인지 조사하여 이야기해 보자.

수권을 이루는 물은 다른 물질을 잘 녹이는 성질을 가지고 있다. 그러므로 지구에서는 물에 의한 물질의 이동이 일어나고, 생명 활동에 필요한 물질들이 물에 녹은 상태로 생물의 몸에 공급될 수 있다. 또 물은 비열이 높으므로 해수는 많은 에너지를 저장할 수 있으며, 해수의 순환은 지구의 기후를 조절하는 중요한 역할을 한다. 물의 이러한 성질은 물 분자의 극성에서 비롯한 것으로, 이는 물 분자의 독특한 구조 때문에 나타난다.

연결 학습

물의 화학적 성질과 분자 구조
 ➔ 320쪽, 324쪽

▼ 그림 69 _ 물의 순환



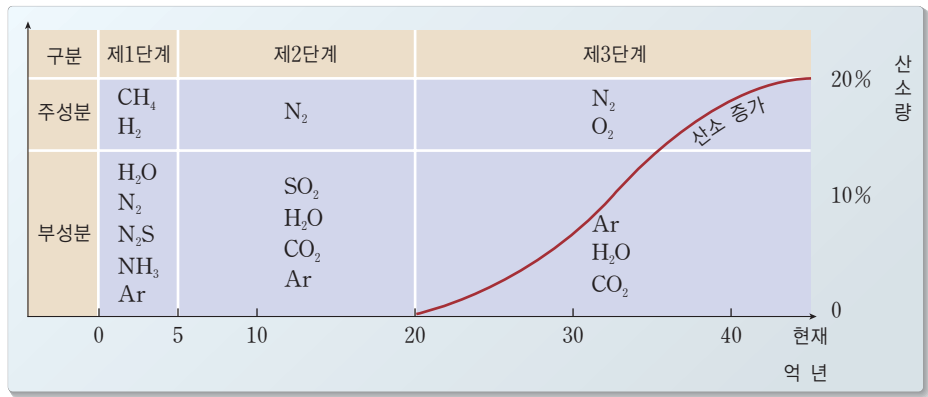
기권의 형성과 진화

태양계 성운에서 원시 지구가 탄생할 무렵의 지구 대기 성분은 주로 수소와 헬륨 기체였다. 그러나 이 기체들은 태양에서 핵융합 반응이 시작되면서 발생한 강한 태양풍 때문에 지구를 벗어났다.

원시 대기는 원시 지구의 표면이 마그마의 바다로 덮여 있을 때 화산 활동으로 방출된 기체로부터 형성되었다. 초기의 원시 대기는 그림 70과 같이 메테인, 수소, 암모니아 등의 환원성 기체로 이루어져 있었다. 그러나 시간이 지나면서 수증기, 이산화탄소, 질소의 양이 점차 증가하여 대기의 주성분을 이루었다.

환원성 기체

원시 지구 초기의 산소가 거의 없는 환경에서 수소 기체와 메테인, 암모니아 등 수소가 다른 원소와 결합하여 이루어진 분자들로 구성된 기체이다.



▲ 그림 70 _ 지질 시대에 따른 지구 대기의 성분 변화

원시 대기를 이루던 수증기는 대부분 비가 되어 내려 원시 바다를 이루었고, 이산화탄소는 바다가 형성된 후 해수에 녹아 들어간 다음 탄산칼슘의 형태로 해저에 침전되어 석회암이 되었다. 한편, 원시 대기에는 거의 존재하지 않았던 산소는 바다에서 생물이 등장하고 광합성이 시작된 이후 증가하기 시작했다.

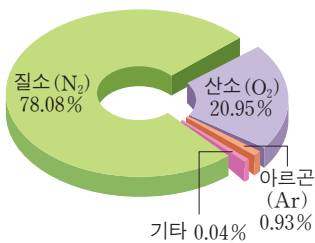
그러나 이 시기에 광합성으로 생성된 산소는 대부분 해수에 녹아 철 이온과 결합하여 대기 중으로 방출되지 못했다. 그림 71의 스트로마톨라이트는 바닷속에서 처음으로 광합성을 통해 산소를 방출하기 시작한 생물에 의해 만들어진 구조이다.



▲ 그림 71 _ 현생 스트로마톨라이트



지질 시대의 대기 중 이산화탄소량 감소와 바다의 형성은 어떤 관계가 있는지 설명해 보자.



▲ 그림 72 _ 기권의 구성(부피비)

대기 중 산소의 양은 약 27억 년 전부터 꾸준히 증가하였다. 그리고 시간이 지나 오존층이 생성되어, 약 4억 2천만 년 전부터는 육지에서도 생물이 살 수 있게 되었다. 이후 약 3억 8천만 년 전에는 삼림이 조성되고, 광합성에 의해 산소의 양이 급격히 증가하여 현재와 비슷한 대기 조성이 이루어졌다. 현재 지구의 기권은 그림 72와 같이 질소, 산소, 아르곤 등으로 이루어져 있다.

지구계의 상호 작용

지구가 탄생하고 원시 지구의 형성 과정을 통해 지권, 수권, 기권이 이루어지며 시작된 지구계는 지구에서 생명체가 탄생하여 생물권이 형성된 이후 본격적으로 진화하기 시작했다. 지구계를 이루는 각 권 사이에서는 물질과 에너지가 순환하며 상호 작용하여 지구계의 균형이 이루어진다. 따라서 지구계의 각 권 중 어느 한 영역의 변화는 상호 작용을 통해 지구계 전체에 영향을 미친다. 다음 활동을 통하여 지구계 각 권의 상호 작용은 어떻게 이루어지는지 알아보자.

창의
인성

활동 5

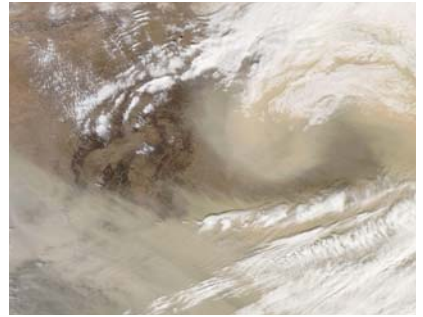
지구계의 상호 작용에는 어떤 것들이 있을까?

목표 지구계 각 권의 상호 작용을 이해하고, 지구계의 균형이 깨지면 어떤 일이 일어나는지 알 수 있다.

조사, 토론

과정

그림 73은 지구계에서 상호 작용을 일으키는 여러 가지 현상들을 나타낸 것이다.



(가) 화산 폭발에 의해 대기로 방출된 화산재가 태양 빛을 가려 지구의 기온을 낮춘다.

(나) 해수 온도가 높아지면 수증기량이 증가하여 우리나라에 오는 태풍이 크고 강력해진다.

(다) 중국의 사막화 현상으로 우리나라의 황사 피해가 심해진다.

▲ 그림 73 _ 지구계의 상호 작용과 관련된 여러 가지 현상

정리

1. 그림 (가)~(다)는 각각 어느 권 사이의 상호 작용인지 쓰고, 이와 같은 상호 작용의 또 다른 예를 찾아 써 보자.

| 현상 | 상호 작용하는 권 | 상호 작용의 예 |
|-----|-----------|----------|
| (가) | | |
| (나) | | |
| (다) | | |

2. (가)~(다)에서 지구계의 균형이 깨진 상황이 무엇인지 조사해 보고, 이에 따라 지구 환경은 어떤 영향을 받는지 관련 이론이나 보도, 영상 자료 등을 근거로 제시해 보자.

3. **창의·인성** 지구계의 균형이 깨지면 인간에게 어떠한 영향을 미칠지 예상해 보자.



▲ 그림 74 _ 지구계의 상호 작용과 관련된 여러 가지 현상

지구계의 각 권은 그림 74와 같이 상호 작용하고 있으므로, 지구 환경에서 일어나는 변화는 그 변화가 일어난 어느 한 권뿐만 아니라 서로 영향을 주고받는 다른 권을 포함하여 이해해야 한다. 최근에는 인간의 활동이 지구 환경에 미치는 영향이 커지고 있다. 지구계의 각 권은 끊임없이 상호 작용하므로 인간이 지구 환경에 끼친 나쁜 영향은 다시 인간에게 되돌아온다는 점을 항상 생각해야 한다.

연결 학습
 지구 대기의 온실 효과 ➔ 396쪽

지구는 태양계의 다른 행성들과 달리 다양한 생물이 번성하는 천체이다. 지구의 생명체는 약 38억 년 전 바닷속에서 처음 탄생한 것으로 추정되며, 바다에서만 살 수 있었던 생명체는 점차 진화하여 오늘날 지구계의 모든 영역에서 번성하고 있다.

지구에 생명체가 탄생하고 진화할 수 있었던 까닭은 지구가 태양으로부터 적당한 거리에 떨어져 존재하여 생물의 생존에 적당한 온도를 유지할 수 있기 때문이다. 또 액체 상태의 물이 존재하고 대기 중에 산소가 풍부하며, 지구계를 이루는 각 영역 간의 상호 작용이 활발히 일어나고 있기 때문이다.

💡 확인하기

- 이해 1. 원시 바다는 어떤 과정을 거쳐 만들어졌는지 설명해 보자.
- 적용 2. 대기 중의 산소는 어떤 과정으로 증가하게 되었는지 설명해 보자.
- 인성 3. 우리가 지구 환경을 보전하고 가꾸어야 하는 까닭은 무엇인지 이야기해 보자.
- 창의 4. 만약 인간이 화성에 가서 살게 된다면 생활이 어떻게 달라질지 이야기해 보자.

3

지구를 이루는 원소

- 학습 목표**
- 지구 내부를 구성하는 원소 분포의 특징을 설명할 수 있다.
 - 지구에서 발견되는 원소들이 주기율을 나타내며, 이것은 최외각 전자와 관련이 있음을 설명할 수 있다.
 - 지구에 풍부한 산소가 많은 화학 반응에 참여한다는 것을 주기율과 관련하여 설명할 수 있다.

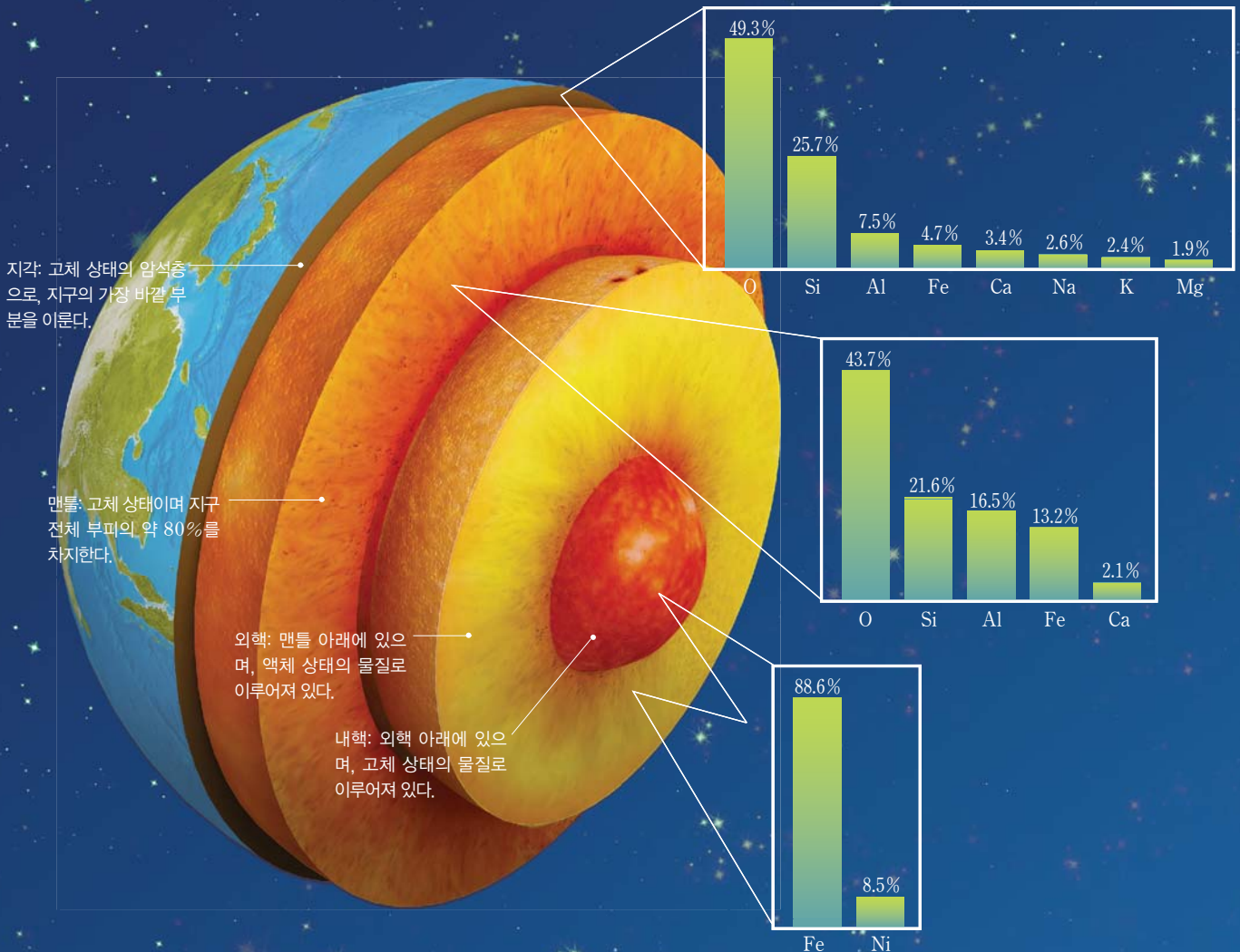
지구의 대기 성분은 질소와 산소 두 종류의 기체가 전체 부피의 약 99%를 차지하고 있다. 지구의 지각, 맨틀, 핵을 구성하는 성분도 특정한 소수의 원소로 이루어진 물질이 지구 전체 부피 또는 질량의 대부분을 차지하고 있을까?



지구를 구성하는 주요 원소

지구는 지구의 표면과 내부를 이루는 물질로 이루어져 있다. 지구 내부는 여러 개의 층으로 나뉘며, 각 층을 이루는 물질의 종류와 상태가 각각 다르다.

▼ 그림 75 _ 지구를 구성하는 주요 원소의 분포(질량비)



지구 전체를 이루는 원소 중 철은 내핵과 외핵의 주성분이다. 지구 전체 부피의 약 80% 이상을 차지하는 지각과 맨틀은 산소, 규소, 알루미늄, 철, 칼슘, 나트륨, 칼륨, 마그네슘 등으로 이루어져 있으며, 이 8개의 원소를 '지각을 구성하는 8대 원소'라고 한다. 이 원소들은 화합물을 이루어 지각 내에 다양한 형태의 광물로 존재한다.

과학 마당 | 지각의 암석을 이루는 주요 광물

광물은 천연 상태의 고체 결정들을 말하는데, 대부분 지각의 암석을 이루는 물질이다. 광물은 성장하는 환경이나 조건에 따라 결정 모양, 광택, 투명도, 굳기, 쪼개짐, 밀도 등이 다르다. 지구상의 광물은 4,000여 가지가 넘지만 실제 지각의 암석을 이루는 광물의 종류는 20여 개뿐이며, 이들을 '조암 광물'이라고 부른다.



석영



장석



흑운모



휘석



각섬석



감람석

▲ 그림 76 _ 여러 가지 조암 광물

주기율

지구에서 발견되는 원소 중 나트륨과 칼륨은 화학적 성질이 서로 비슷하다. 나트륨과 칼륨은 모두 물과 격렬하게 반응하여 수소 기체를 발생하고, 공기 중에서 쉽게 산화되기 때문에 석유나 벤젠 등에 넣어서 보관한다. 이들 원소는 산소와 결합하여 각각 산화나트륨(Na_2O), 산화칼륨(K_2O)과 같은 안정한 화합물이 된다. 마그네슘과 칼슘도 화학적 성질이 비슷하기 때문에 산성 용액과 반응하여 수소 기체를 발생하고, 양이온 형태로 흙이나 지하수에 많이 녹아 있으며, 산소와 결합하여 각각 산화마그네슘(MgO), 산화칼슘(CaO)과 같은 안정한 화합물이 된다. 이처럼 나트륨과 칼륨, 마그네슘과 칼슘이 서로서로 비슷한 성질을 나타내는 까닭은 무엇일까?



나트륨



칼륨

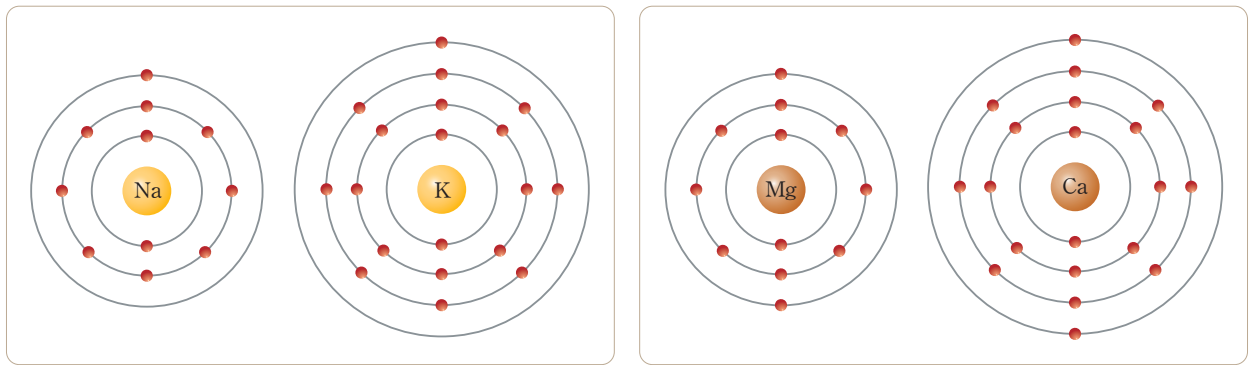
▲ 그림 77 _ 나트륨과 칼륨이 물과 반응하는 모습

서로 다른 원소들의 비슷한 성질을 연구한 과학자들은 원자 내부 구조에 대한 실험을 통해 원자들이 가지는 전자 배치의 규칙성을 발견하였다.

원자는 양전하를 띠는 원자핵과 그 주위에 음전하를 띠는 전자들로 이루어져 있다. 전자는 원자핵에서 가까운 쪽부터 채워지는데, 이 중 원자핵으로부터 가장 멀리 떨어진 곳에 있는 최외각 전자는 다른 전자에 비해 원자핵으로부터의 인력이 약해서 다른 원자의 최외각 전자와 화학 결합을 한다.

그림 78과 같이 나트륨과 칼륨 원자는 최외각 전자가 각각 1개로 같고, 마그네슘과 칼슘 원자는 각각 2개로 같다. 그러므로 최외각 전자가 1개인 나트륨과 칼륨은 최외각 전자가 6개인 산소와 반응하여 Na_2O , K_2O 를 만들고, 최외각 전자가 2개인 Mg와 Ca는 각각 MgO와 CaO를 만든다.

연결 학습
 최외각 전자 → 46쪽



▲ 그림 78 _ 나트륨과 칼륨, 마그네슘과 칼슘의 전자 배치

지구에서 발견되는 여러 가지 원소들의 화학적 성질은 주기적으로 나타나며, 이것은 최외각 전자와 깊은 관계가 있다. 이와 같이 성질이 비슷한 원소들이 일정한 간격을 두고 주기적으로 나타나는 것을 **주기율**이라고 하고, 원소의 성질을 한눈에 파악할 수 있도록 주기율을 기준으로 하여 원소를 원자 번호 순으로 분류해 놓은 표를 **주기율표**라고 한다.

주기율표에서 세로줄을 **족**, 가로줄을 **주기**라고 하는데, 같은 족에 있는 원소들은 그들의 최외각 전자 수가 같기 때문에 서로 비슷한 화학적 성질을 나타낸다. 그러므로 어떤 원소의 주기율표에서의 위치를 알면 그 원소의 성질을 예측할 수 있다.

예를 들어, 그림 78의 나트륨과 칼륨은 최외각 전자 수가 같으므로 같은 족에 위치하고 화학적 성질이 비슷함을 예측할 수 있다.

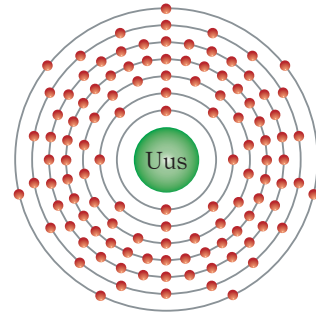
실제로 주기율표를 만든 러시아의 멘델레예프는 당시에 적당한 원소가 존재하지 않은 부분을 빈칸으로 두고 그곳에 들어가야 할 원자의 물리적, 화학적 성질을 예측했는데, 후에 발견된 원소의 성질이 그것과 들어맞았다. 다음 그림 80은 현대의 주기율표를 나타낸 것이다.

멘델레예프(Mendeleev, D. I., 1834~1907)
 러시아의 과학자로 당시 알려진 63종의 원소를 배열하는 과정에서 원소의 주기적인 성질을 발견하여 최초의 주기율표를 완성하였다.

과학 마당 | 현대의 연금술, 새로운 원소의 합성

미국의 "피지컬 리뷰 레터스(Physical Review Letters)" 2010년 4월 11일자는 라틴어로 117이라는 뜻의 '우논셉툼(Ununseptium)'이라는 가치를 가진 117번째 원소가 성공적으로 합성되었다고 발표하였다.

지구에 자연적으로 존재하는 원소는 원자 번호 1번 수소(H)부터 92번 우라늄(U)까지이며, 93번 넵투늄(Np)부터는 실험실에서 인공적으로 합성한 원소이다. 112번 원소까지는 IUPAC(국제 순수·응용 화학 연맹)에서 정식으로 이름이 결정되었고, 2006년 9월에 보고된 117번 원소를 포함한 113번에서 118번 원소의 정식 이름은 결정되지 않았으며, 임시로 이름을 부여하고 있다. '우논(unun)'으로 시작되는 원소명이 그것이다.



▲ 그림 79 _ 우논셉툼의 전자 배치

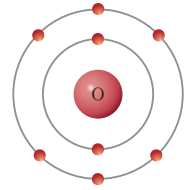
| 족 주기 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | |
|---------|---------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|
| 1 | 1 H 수소 | | | | | | | | | |
| 2 | | 3 Li 리튬 | 4 Be 베릴륨 | | | | | | | |
| 3 | | 11 Na 나트륨 | 12 Mg 마그네슘 | | | | | | | |
| 4 | | 19 K 칼륨 | 20 Ca 칼슘 | 21 Sc 스칸듐 | 22 Ti 타이타늄 | 23 V 바나듐 | 24 Cr 크로뮴 | 25 Mn 망가니즈 | 26 Fe 철 | 27 Co 코발트 |
| 5 | | 37 Rb 루비듐 | 38 Sr 스트론튬 | 39 Y 이트륨 | 40 Zr 지르코늄 | 41 Nb 나이오븀 | 42 Mo 몰리브덴 | 43 Tc 테크네튬 | 44 Ru 루테튬 | 45 Rh 로듐 |
| 6 | | 55 Cs 세슘 | 56 Ba 바륨 | 57 La 란타넘 | 72 Hf 하프늄 | 73 Ta 탄탈럼 | 74 W 텅스텐 | 75 Re 레늄 | 76 Os 오스뮴 | 77 Ir 이리듐 |
| 7 | | 87 Fr 프랑슘 | 88 Ra 라듐 | 89 Ac 악티늄 | 104 Rf 러더퍼듐 | 105 Db 더브늄 | 106 Sg 시보그뮴 | 107 Bh 보름 | 108 Hs 하슘 | 109 Mt 마이트너뮴 |
| | | | | | 58 Ce 세륨 | 59 Pr 프라세오디뮴 | 60 Nd 네오디뮴 | 61 Pm 프로메튬 | 62 Sm 사마륨 | |
| | | | | | 90 Th 토륨 | 91 Pa 프로트악티늄 | 92 U 우라늄 | 93 Np 넵투늄 | 94 Pu 플루토늄 | |

그림 80 _ 현대의 주기율표 ▶

산소의 화학 반응과 주기율

주기율표의 16족에 위치한 산소는 최외각 전자가 6개이며, 이 중 2개가 다른 원자의 최외각 전자와 공유 결합에 참여한다. 산소는 다른 원소에 비해 전자를 잡아당기는 능력이 상대적으로 크기 때문에 반응성이 크다. 이러한 이유로 대기 성분에 산소가 많이 존재하는 지구에서는 산소가 참여하는 화학 반응이 쉽게 나타난다.

산소는 지각에 존재하는 대부분의 금속, 비금속 원소와 결합하여 감람석((Mg, Fe)₂SiO₄), 석영(SiO₂), 강옥(Al₂O₃), 적철석(Fe₂O₃), 자철석(Fe₃O₄) 등의 여러 가지 광물을 형성하고, 대기 중의 수소, 탄소 등과 결합하여 수증기(H₂O), 이산화탄소(CO₂) 등의 화합물을 만든다. 다음 활동을 통해 지구에서 일어나는 여러 가지 산소의 화학 반응을 알아보자.



▲ 그림 81 _ 산소의 최외각 전자 8개의 전자 중 바깥쪽의 6개 전자가 최외각 전자이다.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|--|------------|--|-------------|--|-------------|--|--------------|--|-------------|--|-------------|--|-------------|--|-------------|--|-----------|--|-----------|--|----|--|
| | | | | | | | | | | 18 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | 2 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | He 헬륨 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | 13 | | 14 | | 15 | | 16 | | 17 | | 10 | | | |
| | | | | | | | | | | 5 | | 6 | | 7 | | 8 | | 9 | | 10 | | | |
| | | | | | | | | | | B 붕소 | | C 탄소 | | N 질소 | | O 산소 | | F 플루오린 | | Ne 네온 | | | |
| | | | | | | | | | | 13 | | 14 | | 15 | | 16 | | 17 | | 18 | | | |
| | | | | | | | | | | Al 알루미늄 | | Si 규소 | | P 인 | | S 황 | | Cl 염소 | | Ar 아르곤 | | | |
| 10 | | 11 | | 12 | | 28 | | 29 | | 30 | | 31 | | 32 | | 33 | | 34 | | 35 | | 36 | |
| Ni 니켈 | | Cu 구리 | | Zn 아연 | | Ga 갈륨 | | Ge 저마늄 | | As 비소 | | Se 셀레늄 | | Br 브로민 | | Kr 크립톤 | | | | | | | |
| 46 | | 47 | | 48 | | 49 | | 50 | | 51 | | 52 | | 53 | | 54 | | | | | | | |
| Pd 팔라듐 | | Ag 은 | | Cd 카드뮴 | | In 인듐 | | Sn 주석 | | Sb 안티모니 | | Te 텔루륨 | | I 아이오딘 | | Xe 제논 | | | | | | | |
| 78 | | 79 | | 80 | | 81 | | 82 | | 83 | | 84 | | 85 | | 86 | | | | | | | |
| Pt 백금 | | Au 금 | | Hg 수은 | | Tl 탈륨 | | Pb 납 | | Bi 비스무트 | | Po 폴로늄 | | At 아스타틴 | | Rn 라돈 | | | | | | | |
| 110 | | 111 | | 112 | | 113 | | 114 | | 115 | | 116 | | 117 | | 118 | | | | | | | |
| Ds 다름슈타튬 | | Rg 린트게튬 | | Cn 코페르니슘 | | Uut 우누트륨 | | Uuq 우누퀴튬 | | Uup 우누펜튬 | | Uuh 우누헉튬 | | Uus 우누셉튬 | | Uuo 우누눅튬 | | | | | | | |
| 63 | | 64 | | 65 | | 66 | | 67 | | 68 | | 69 | | 70 | | 71 | | | | | | | |
| Eu 유로퓸 | | Gd 가돌리늄 | | Tb 터븀 | | Dy 디스프로슘 | | Ho 홀뮴 | | Er 어븀 | | Tm 툴륨 | | Yb 이터븀 | | Lu 루테튬 | | | | | | | |
| 95 | | 96 | | 97 | | 98 | | 99 | | 100 | | 101 | | 102 | | 103 | | | | | | | |
| Am 아메리슘 | | Cm 퀴륨 | | Bk 버클륨 | | Cf 캘리포늄 | | Es 아인슈타이늄 | | Fm 페르뮴 | | Md 멘델레븀 | | No 노벨륨 | | Lr 로렌슘 | | | | | | | |

18족 비활성 기체

화학적으로 매우 안정하여 다른 물질과 반응하지 않는다. 그 이유는 최외각 전자와 관련이 있으며, 산소를 비롯한 다른 원소는 화학 결합을 할 때 18족 원소의 최외각 전자 수를 닮으려고 한다.

과정

그림 82는 지구에서 산소가 참여하는 여러 가지 화학 반응이다.



호흡



메테인의 연소



광합성



석영(SiO₂)

광합성

녹색 식물이 빛에너지를 이용하여 이산화탄소와 물로 유기물을 합성하는 과정이다.

▲ 그림 82 _ 산소가 참여하는 여러 가지 화학 반응

정리

1. 그림 82의 여러 가지 화학 반응식을 조사해 보자.
2. 이 외에 지구에서 산소가 참여하는 반응을 조사해 보자.
3. **창의·인성** 만약 산소의 최외각 전자 수가 18족 원소와 같아서 화학 반응에 참여하지 않는 성질이 있다면 지구의 모습은 어떻게 변할지 조사하여 모둠별로 토의해 보자.


배려 조사한 자료를 토의할 때 상대방의 발표 내용을 정확히 잘 듣는다.



지구 상에 존재하는 산소의 양이 지금보다 많아졌을 때 일어날 수 있는 일을 생각하여 써 보자.

반응성이 큰 산소는 지구에서 다양한 화학 반응에 참여하여 여러 가지 기체와 광물을 만든다. 또한, 산소는 지구 생명체의 호흡과 식물의 광합성에도 참여하며, 물질의 연소 반응에 반드시 필요하다.

역사 속의 과학 | 멘델레예프와 주기율표

| ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ Д.И.МЕНДЕЛЕЕВА | | | | | | | | | | | VII (H) | | VIII (He) | | | |
|---|----|----|----|----|--------|-----|-----|-----|-----|-----|---------|-----|--|--|-----|-----|
| 1 | H | | | | | | | | | | 2 | He |  Периодический закон открыт Д.И.МЕНДЕЛЕЕВЫМ в 1869 году | | | |
| 2 | Li | 3 | Be | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | Ne | | | | | |
| 3 | Na | 11 | Mg | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | Ar | | | | | |
| 4 | K | 19 | Ca | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | Fe | 27 | | | Ni | 28 |
| 5 | Rb | 37 | Sr | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | Ru | 45 | | | Rh | 46 |
| 6 | Cs | 55 | Ba | 56 | 57-71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | Os | 77 | | | Ir | 78 |
| 7 | Fr | 87 | Ra | 88 | 89-103 | 104 | 105 | 106 | 107 | 108 | Rn | 109 | | | 110 | 111 |
| * ЛАНТАНОИДЫ * | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ** АКТИНОИДЫ ** | | | | | | | | | | | | | | | | |

▲ 그림 83 _ 멘델레예프의 주기율표

상트페테르부르크 대학의 교수였던 멘델레예프는 당시 알려져 있던 63개 원소들 사이의 관계를 알아내기 위한 연구를 하였다. 이를 위해 여러 장의 카드에 원소의 성질을 기록하여 여러 가지 형태로 조합하도록 수업을 진행하였다. 결국 1869년 '원소의 성질과 원자량과의 관계'라는 논문을 통해 당시 알려져 있던 원소를 원자량뿐만 아니라 화학적 성질도 함께 고려하여 배열한 주기율표를 발표하였다. 이 주기율표는 원소의 성질이 주기적으로 나타나는 것을 알 수 있도록 이들을 주기와 족에 따라 배열한 것으로 세 쌍 원소와 같은 작은 묶음뿐만 아니라 전체적인 수직, 수평, 대각선에서도 규칙성을 찾을 수 있었다. 또한, 그가 만든 주기율표에는 빈칸이 있었는데, 새로운 원소가 발견될 것이라고 생각하여 빈칸에 들어갈 원소의 원자량까지 예측하였다.

확인하기

- 이해 1. 지각을 구성하는 8대 원소를 써 보자.
- 적용 2. 새로운 원소를 발견할 때 주기율표의 원소 배치를 어떻게 이용할 수 있는지 써 보자.
- 인성 3. 원소들의 주기적 성질을 연구하는 과학자들에게 필요한 책임감과 공익을 위한 마음을 써 보자.

4

지구의 자기장

- 학습 목표**
- 지구의 핵에 철이 풍부하며, 지구의 자전으로 지구 자기장과 이온층이 형성됨을 설명할 수 있다.
 - 지구 자기장과 이온층의 역할을 일상생활의 예를 통하여 설명할 수 있다.



▲ 그림 84_ 우주 유명

우주선(cosmic ray)

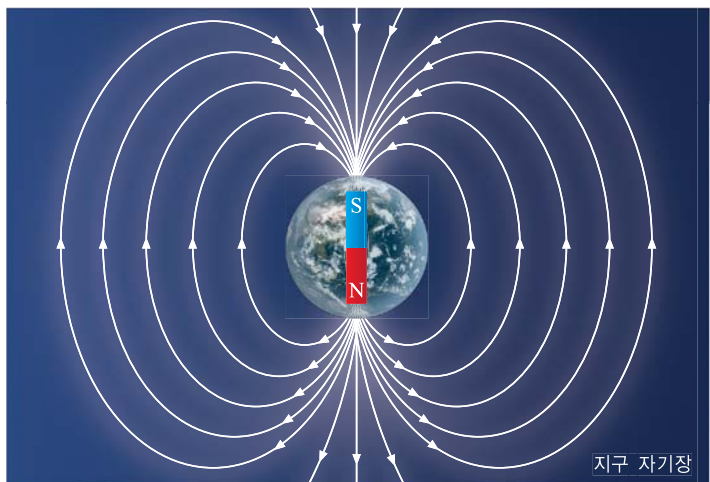
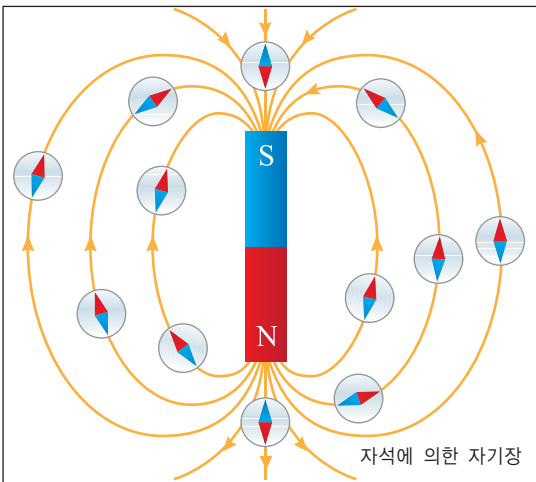
태양계를 포함해 우리 은하 전체를 날아다니는 높은 에너지의 입자로, 대부분 수소와 헬륨의 원자핵으로 이루어져 있다.

1961년 구 소련의 가가린이 보스토크 1호를 타고 처음으로 우주를 비행한 이후 많은 우주인이 지구 대기권을 벗어나 우주를 탐사하였다. 1969년에는 미국의 암스트롱이 달 표면에 처음 착륙했으며, 지금은 지구 궤도에 떠 있는 우주 정거장에서 오랜 시간 동안 여러 가지 임무를 수행하는 우주인도 있다. 나아가 머지않은 미래에는 일반인들도 우주여행을 경험할 수 있다고 한다.

인간이 우주로 나가기 위해서는 그림 84와 같이 첨단 소재로 만든 두꺼운 우주복을 입어야 한다. 이는 호흡에 필요한 산소를 공급받는 것뿐만 아니라 우주 공간의 위험한 우주선으로부터 우리 몸을 보호해야 하기 때문이다. 그러나 지구 표면에서 우리는 우주복을 입을 필요가 없다. 위험한 우주선으로부터 우리를 보호해 주는 것은 무엇일까?

지구 자기장과 밴앨런대

영국의 길버트는 지구도 하나의 거대한 자석이기 때문에 나침반이 항상 북쪽을 가리킨다고 생각하였다. 실제로 지구 바깥에서 나침반이 가리키는 방향을 선으로 이은 모습은 그림 85와 같이 자석 주위에 만들어지는 자기력선의 모습과 같다. 따라서 지구도 자석처럼 자기력을 가진다는 사실을 알 수 있으며, 이때 지구의 자기력이 미치는 공간을 **지구 자기장**이라고 한다.



▲ 그림 85_ 지구 주위의 자기장 지구 주위에서 나침반이 가리키는 방향을 이으면 자기력선을 얻을 수 있다.

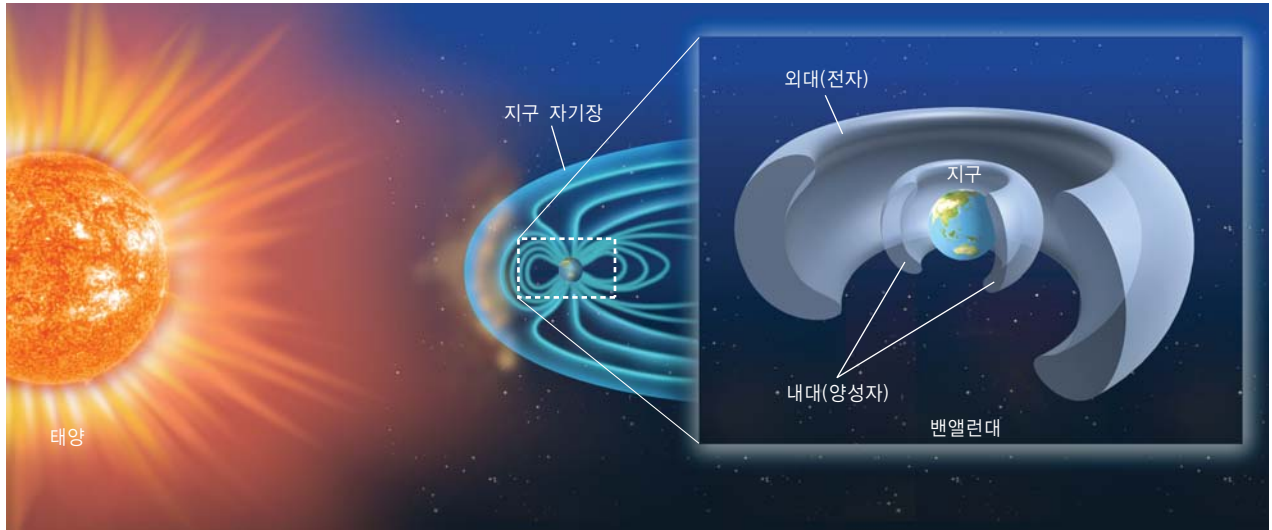
지구 자기장은 지구 표면은 물론 지구에서 멀리 떨어진 공간까지 퍼져 있다. 지구 자기장의 크기와 모양은 태양풍의 영향을 받는데, 지구 근처에서 태양풍의 속도는 약 400 km/s나 되므로 지구 자기장의 모양은 그림 86과 같이 태양 쪽이 납작하다.

한편, 지구 자기장의 안쪽에는 태양풍을 이루는 하전 입자들이 지구 자기장에 붙잡혀 이루어진 **밴앨런대**가 있다. 밴앨런대는 지구를 도넛 모양으로 감싸고 있으며, 양성자로 이루어진 내대와 전자로 이루어진 외대로 이루어져 있다.

연결 학습

태양풍 → 64쪽

하전 입자
전하를 띠고 있는 입자로 양성자, 전자, 이온 등이 있다.

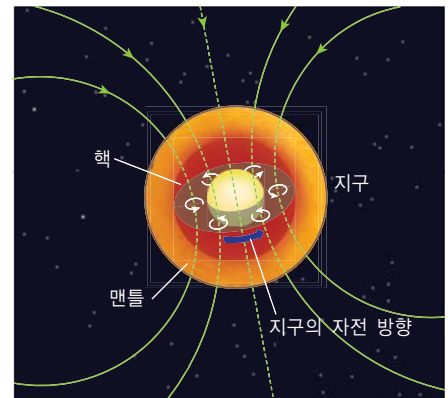


▲ 그림 86 _ 지구의 자기권과 밴앨런대 지구의 자기권은 외부로부터 오는 우주선을 막아 주며, 내부에는 도넛 모양의 밴앨런대가 있다.

태양풍과 우주선은 높은 에너지를 가진 하전 입자로 이루어져 있다. 여기에는 태양의 핵융합 반응으로 만들어진 방사성 물질이 포함되어 있어서 지구의 생명체에게 해롭다. 지구 자기장은 태양풍과 우주선을 이루는 물질들이 지구를 비껴가게 하거나, 이들을 자기장 내부에 잡아 두어 지구 표면에 도달하지 못하게 하여 지구의 생명체를 보호한다.

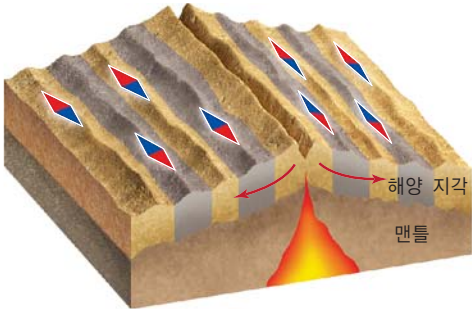
지구 자기장은 어떻게 만들어질까? 지구의 핵은 주로 철과 니켈로 이루어져 있으며, 그중 외핵은 액체 상태로 추정된다. 지구 내부에서는 중심 방향으로 갈수록 온도가 높아지므로 외핵을 이루는 물질은 상부와 하부의 온도 차이 때문에 대류하여 움직일 수 있다.

외핵을 이루는 철과 니켈이 움직이면 유도 전류가 발생하며, 이 전류에 의해 외핵 내부에 자기장이 형성된다. 그리고 이 자기장에서 지구의 자전으로 외핵의 물질이 원운동을 하면 다시 이 운동에 의한 유도 전류가 발생하며, 이 전류에 의해 지구 자기장이 생성된다. 이 이론을 다이나모 이론이라고 하며, 현재까지의 지구 자기장 생성에 대한 설명 중에서 가장 널리 인정받고 있다.



▲ 그림 87 _ 다이나모 이론

지구 자기장의 이용



▲ 그림 88 _ 대서양 중앙 해령의 지구 자기 줄무늬 해양저 확장으로 지구 자기 줄무늬는 대칭을 이룬다.

바다 한가운데나 깊은 산 속에서 나침반을 이용하여 방향을 가늠할 수 있는 것은 지구 자기장 때문이며, 지구 자기장으로 방향을 가늠하며 이동하는 철새도 있다고 한다.

최근에는 지질 시대를 연구할 때 지구 자기장을 이용하기도 한다. 화성암이 만들어지는 동안 마그마에 녹아 있는 금속 광물은 지구 자기장 방향으로 배열된다. 해양 지각에는 그림 88과 같은 지구 자기의 줄무늬가 나타나며, 이를 통해 지질 시대 동안 지구 자기장의 방향이 주기적으로 바뀌어 왔다는 사실을 알 수 있다.

한편, 지표로부터 약 80~400 km 높이에는 상층 대기를 이루는 원소들이 태양 복사 에너지에 의해 이온화된 입자들이 모여 있다. 이를 **전리층**이라고 하며, 지상에서 발사된 전파를 흡수하거나 반사하기 때문에 라디오나 텔레비전의 송·수신, 무선 통신 등에 이용된다. 태양의 활동이 활발해져 태양풍이 강해지면 전리층이 교란되어 무선 통신이 끊어지는 **델린저 현상**이 일어나며, 하전 입자들이 지구의 자기력선을 따라 극지방으로 이동하여 상층 대기와 부딪치면 오로라가 생기기도 한다.

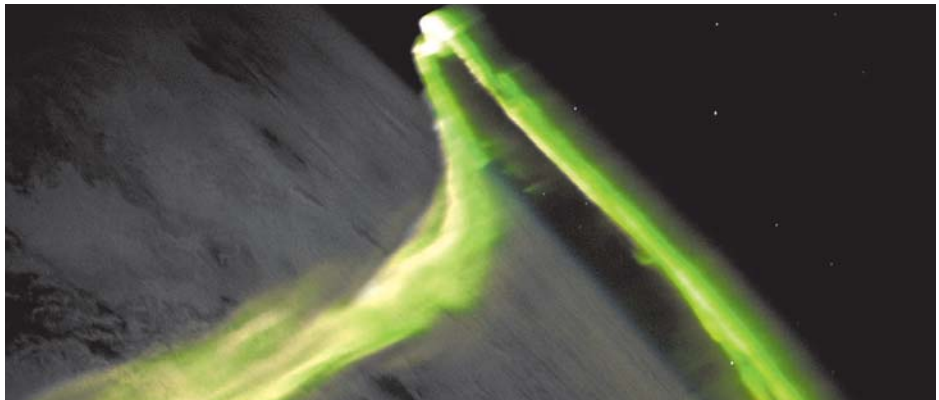


그림 89 _ 우주에서 본 오로라 ▶

지구는 태양계의 다른 행성과 달리 물과 산소가 풍부하고 대기의 온실 효과로 기온의 일교차가 작으며, 우주로부터 오는 해로운 입자들을 막아 주는 자기장을 가지고 있다. 태양계 행성 중 지구에서만 생명체가 탄생하고 진화하여 오늘날에 이를 수 있는 까닭은 이와 같은 지구의 특별한 환경 때문이다.

💡 확인하기

- 이해 1. 우주의 하전 입자들이 지구 자기장에 붙들려 지구를 둘러싸고 있는 것은 무엇인가?
2. 태양의 활동이 활발할 때 전리층이 교란되어 무선 통신 등이 방해 받는 현상은 무엇인가?
- 창의 3. 지구에 자기장이 없다면 어떤 일이 일어날지 서로 이야기해 보자.

지구의 진화

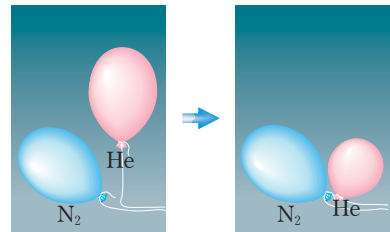
1. 지구의 진화 과정에서 있었던 다음 <보기>의 사건들을 시간 순서대로 나열해 보자.

● 보기 ●

- ㉠. 생물의 출현
- ㉡. 원시 바다의 형성
- ㉢. 오존층의 형성
- ㉣. 원시 지각의 형성

기체의 분자량

2. 그림과 같이 크기가 같은 고무풍선에 같은 양의 질소 기체와 헬륨 기체를 넣고 관찰했더니 잠시 후 헬륨 기체가 들어 있던 풍선의 크기가 더 작아졌다. 그 까닭을 기체의 확산 속도와 관련지어 설명해 보자.



기체의 끓는점

3. 표는 지구와 목성의 대기를 이루는 기체의 끓는점을 나타낸 것이다. 목성의 대기를 이루는 기체가 지구의 대기를 이루는 기체보다 끓는점이 낮은 까닭은 무엇인지 표면 온도와 관련지어 설명해 보자.

| 목성 | | 지구 | |
|----------|--------|--------|--------|
| 수소 | 헬륨 | 질소 | 산소 |
| -252.6°C | -269°C | -196°C | -183°C |

지구의 자기장

4. 다음 <보기>는 우주로부터 들어오는 유해한 요소를 막아 지구의 생명체를 보호하는 역할을 하는 것들이다. 이들은 우주의 어떤 유해한 요소를 막아주는지 각각 써 보자.

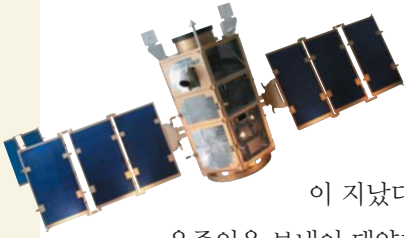
● 보기 ●

- ㉠. 오존층
- ㉡. 지구의 대기
- ㉢. 지구 자기장

최외각 전자

5. 주기율표에서 같은 족에 있는 원소들의 성질이 서로 비슷한 까닭을 최외각 전자 수와 관련지어 설명해 보자.

우주 개발을 선도하는 항공 우주 공학자



인류가 우주를 개척한 지 벌써 50여 년이 지났다. 그동안 인류는 달에 우주인을 보내어 태양계의 비밀을 알 수 있는 수많은 자료를 수집했으며 우주 정거장을 만들어 우주에서 오랫동안 생활할 수도 있게 되었다. 또 수많은 인공위성을 지구 궤도에 띄워 우리 생활에 이용하고 있으며, 태양계 너머 존재할지도 모를 외계 생명체에게 지구의 인류가 전하는 인사를 실은 탐사선을 보내기도 했다.

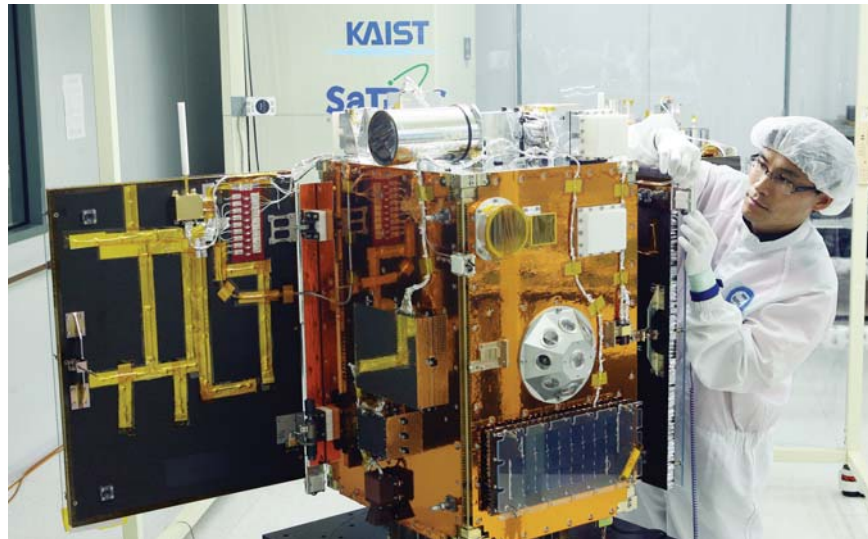
현재 여러 국가에서는 우주를 개발하기 위하여 경쟁하며 협력하고 있는데, 이러한 우주 개발에 직접 종사하는 사람들이 바로 항공 우주 공학자이다. 항공 우주 공학은 항공기나 우주선, 발사체의 제작 및 운용에 관련된 기술을 연구·개발하는 공학의 한 분야로, 인류의 생활 공간이 우주로 확장될수록 더욱 활발한 활동이 예상되는 과학 기술 분야이다.

지난 2009년 우리나라 최초의 위성 발사체인 나로호(KSLV-I)를 발사했던 한국 항공 우주 연구원은 우리나라의 대표적인 항공 우주 관련 연구 기관으로, 현재

항공 우주 공학과 관련된 다양한 분야를 연구하고 있다. 발사체 분야에서는 순수 우리 기술로 만들어진 한국형 발사체(KSLV-II) 개발을 추진 중이며, 위성 분야에서는 2010년 6월에 우리나라 최초의 정지궤도 위성인 천리안 위성을 성공적으로 발사했다. 또 우리나라 최초의 인공위성 발사장인 나로 우주 센터를 건설하여 인공위성 발사 운용 기술을 확보하고 있다.

항공 우주 부문의 기술은 과학의 다른 분야와 관련이 깊으므로 학문 간 협력도 활발하게 진행되고 있다. 실제로 우리나라에서 항공 우주 공학 관련 연구는 한국 항공 우주 연구원 외에도 국방 과학 연구소, 대학이나 대기업 연구소, 항공 산업체 등이 협력하여 이루어지고 있다. 그러나 우리나라의 우주 개발 기술은 선진국에 비하면 아직 부족한 점이 많으며, 이 분야에 종사하는 연구 인력도 많이 부족하다고 한다. 따라서 장차 우리가 나아갈 길이 더욱 많다고 볼 수 있다.

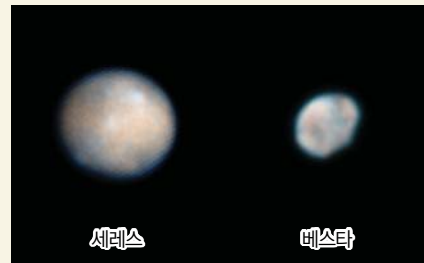
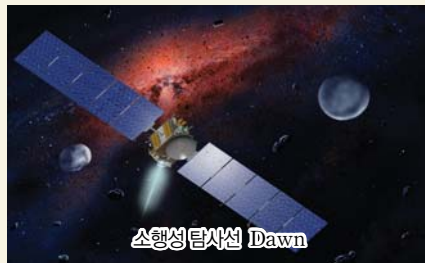
우주 개발 분야는 인류의 새로운 도전 거리로 가득 차 있으며, 머지않은 미래에 이루어질 인류의 본격적인 우주 진출에 앞장서는 분야이다.



▲ 그림 90 _ 나로호 발사 장면(좌)과 과학 기술 위성(우)

태양계의 기원을 찾아서

(가) 지난 2007년 9월 27일 미국 항공 우주국(NASA)은 소행성 탐사선 Dawn을 발사하였다. 이 탐사의 목적은 소행성 세레스(2011년)와 베스타(2015년)를 탐사하여 태양계 생성 당시의 상황을 이해하는 것이다. 이 두 천체는 소행성 중에서 크기가 가장 크며, 목성의 영향으로 생성 당시의 상태가 가장 잘 보존되어 있다. 따라서 이 천체들을 탐사하면 행성의 크기와 물의 존재 여부가 행성 진화에 미치는 영향을 알아낼 수 있을 것으로 기대하고 있다.



(나) 탐사선 Dawn은 이온 추력 엔진을 사용하며, 소행성까지 가는 동안 화성 중력의 도움을 받는다. 그림은 소행성까지 여행하는 Dawn의 이동 경로와 탐사 일정을 나타낸 것이다.



Dawn 탐사 일정

| | |
|----------|----------|
| 발사 | 2007년 여름 |
| 화성 중력 가속 | 2009년 3월 |
| 베스타 도착 | 2011년 9월 |
| 베스타 출발 | 2012년 4월 |
| 세레스 도착 | 2015년 2월 |
| 주요 임무 완료 | 2015년 7월 |

1 태양계 생성 당시의 모습을 연구하기 위하여 소행성을 탐사하는 까닭은 무엇인지 태양계의 형성 과정을 이용하여 설명해 보자.

2 (나)에서 탐사선은 지구에서 출발하여 소행성까지 가는 동안 지구에서 소행성에 이르는 최단거리로 가지 않고, 그림과 같이 나선 모양으로 돌면서 먼 거리를 이동한다. 그 까닭은 무엇인지 설명해 보자.

탐구형 문제

1. 다음 <보기>는 태양계의 형성 과정을 정리한 것이다. 빈칸에 적당한 용어를 쓰고 순서대로 나열해 보자.

● 보기 ●

- ㄱ. ()의 형성: 원시 태양 주변을 회전하던 미행성체들이 서로 충돌하여 행성의 모체를 형성하였다.
- ㄴ. ()의 형성: 우리 은하의 나선팔에 있던 거대한 성운이 분열하여 태양계의 모체가 되는 성운이 형성되었다.
- ㄷ. ()의 형성: 태양계 성운의 주변부에서 원반을 이루고 있던 물질들이 모여 소행성 크기의 천체들을 형성하였다.
- ㄹ. ()의 형성: 회전하던 성운의 중심부에서 중력에 의한 수축으로 내부 온도가 증가하여 에너지를 방출하기 시작하였다.
- ㅁ. ()의 형성: 태양으로부터 방출되는 태양풍이 원시 행성 주변의 물질들을 날려 보내고, 원시 행성에서는 이때까지 남아 있던 미행성체들의 간헐적인 충돌이 일어났다.
- ㅂ. ()의 탄생: 원시 태양을 이루던 물질들이 중력에 의한 수축을 계속함에 따라 내부 온도가 높아져 수소 핵융합 반응을 일으켰고, 핵융합 반응에 의한 에너지가 방출되었다.

사고력 향상 문제

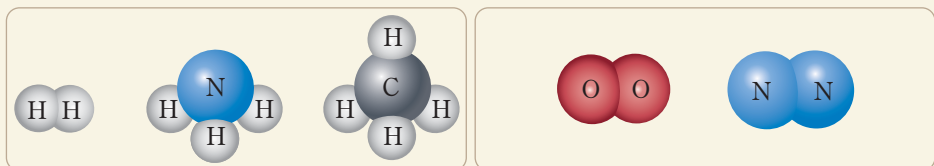
2. 어떤 행성의 공전 궤도 장반경을 9 AU, 이 행성의 공전 궤도인 타원의 전체 면적을 S라고 할 때, 태양과 이 행성을 잇는 선분이 1년 동안 휩쓸고 지나간 면적은 얼마인지 구하고 이 행성의 공전 주기를 계산해 보자.

사고력 향상 문제

3. 황도 12궁에 해당하는 별자리는 탄생 별자리로도 알려져 있는데, 태어난 날에 태양이 위치한 별자리가 그 사람의 탄생 별자리가 된다. 어떤 사람의 탄생 별자리가 사자자리라고 하면, 그 사람의 생일날 밤에 사자자리를 관측할 수 있을까? 만약 관측할 수 없다면 그 까닭은 무엇인지 이야기해 보자.

사고력 향상 문제

4. 목성의 대기 성분인 수소, 암모니아, 메테인 기체와 지구의 대기 성분인 산소, 질소 기체의 분자 구조는 어떤 차이가 있는지 설명해 보자.



사고력 향상 문제

5. 표는 지구와 목성의 물리적 특징을 비교한 것이다. 물음에 답하라.

| 행성 \ 물리량 | 반지름 (지구=1) | 질량 (지구=1) | 밀도 (g/cm ³) | 중력 (g) | 자전 주기 | 편평도 |
|----------|---------------|--------------|----------------------------|-----------|----------|-------|
| 지구 | 1 | 1 | 5.5 | 1 | 23시간 56분 | 0.003 |
| 목성 | 11.2 | 318 | 1.33 | 2.36 | 9시간 55분 | 0.067 |

- (1) 목성의 편평도가 지구보다 큰 사실과 관계 깊은 물리량을 두 가지 고르라.
- (2) 지구와 목성의 구성 물질 차이를 알 수 있는 물리량은 무엇인지 써 보자.
- (3) 목성형 행성은 두꺼운 대기를 가지고 있는 것으로 알려져 있다. 행성의 대기 두께에 가장 큰 영향을 주는 물리량은 무엇인지 써 보자.

수행 평가 문제

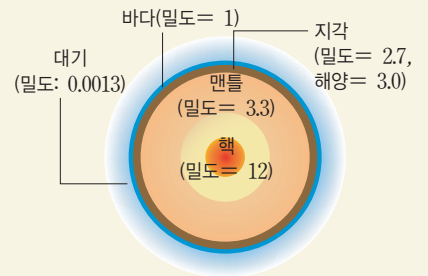
6. 산소 원자의 최외각 전자 수는 몇 개이며, 이들의 반응성이 큰 까닭을 공유 결합과 관련지어 설명해 보자.

창의력 문제

7. 지구에서 산소가 참여하는 화학 반응의 예를 써 보자.

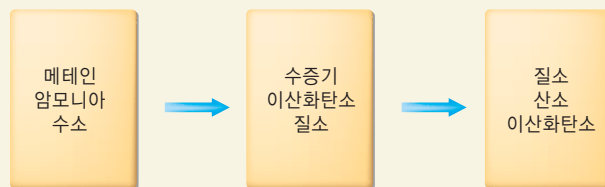
창의력 문제

8. 그림은 지구의 층상 구조와 각 층의 밀도를 나타낸 것이다. 지구를 구성하는 각 층의 밀도를 비교해 보면 밀도는 중심에서부터 바깥 쪽으로 갈수록 점점 작아지고 있음을 알 수 있다. 지구의 밀도 분포가 이와 같이 나타나는 까닭은 무엇인지 설명해 보자.



창의력 문제

9. 다음은 지구 대기의 성분이 변해가는 과정을 나타낸 것이다.



지구 대기의 성분이 변한 까닭은 무엇인지 지구 환경 변화와 관련지어 설명해 보자.