

II 태양계와 지구

* 단원의 개관

‘우주의 기원과 진화’ 단원에서 우주가 대폭발에 의해 형성되어 초기에 기본 입자들이 만들어지고 양성자, 중성자, 헬륨 원자핵, 중성 원자, 분자로 진화하면서 현재의 우주가 만들어지기까지의 과정을 학습하였다. 이 단원에서는 전체 우주 중에서 우리 인간이 속해 있는 태양계와 지구에 대하여 중점적으로 학습하게 된다.

* 단원의 교육 과정

이 단원은 태양계의 형성과 행성들의 특성에 대해 이해하고, 뉴턴의 운동 법칙에 따른 역학적 개념을 바탕으로 행성의 움직임을 체계적으로 이해하게 한다. 행성의 대기에서는 산소, 수소, 질소 등 간단한 이원자 기체의 성질을 이해하는데 필요한 분자 구조의 개념도 도입하며, 지구계의 개념을 설명할 때는 지구의 다양한 물리적, 화학적 성질들을 병행하여 설명한다.

(가) 태양계의 형성 과정을 설명할 수 있다.

(나) 뉴턴이 제시한 운동 법칙의 기본 개념을 이해하고, 행성의 운동을 정성적으로 설명할 수 있다.

(다) 별의 내부에서 만들어진 무거운 원소들이 지구 환경을 구성하는 재료로 사용됨을 설명할 수 있다.

* 교육 과정 연계

배운 내용

[4학년]

- 지층과 화석 • 화산과 지진
- 지표의 변화

[5학년]

- 물체의 속력 • 지구와 달
- 태양계와 별

[6학년]

- 자기장

[7학년]

- 힘과 운동 • 분자의 운동
- 상태 변화와 에너지
- 지각의 물질과 변화
- 지각 변동과 판 구조론

[8학년]

- 열에너지 • 태양계

이 단원의 내용

- 태양계의 형성 과정
- 태양 복사 에너지
- 지구형 행성과 목성형 행성
- 케플러 법칙
- 뉴턴의 운동 법칙
- 행성의 운동
- 지구와 달의 운동, 자전, 공전
- 탈출 속도
- 행성 대기 성분의 차이
- 분자 구조와 성질
- 지구의 진화
- 지구계
- 지구의 원소 분포
- 지구 자기장

배울 내용

[지구 과학 I]

- 소중한 지구
- 다가오는 우주

[지구 과학 III]

- 지구의 구조와 지각의 물질

[물리 I]

- 시공간과 우주

[물리 III]

- 운동과 에너지

[화학 I]

- 개성 있는 원소
- 아름다운 분자 세계

[화학 III]

- 다양한 모습의 물질





*** 단원의 목표**

1. 태양계의 형성 과정을 이해하고, 이를 행성의 공전 궤도와 방향, 지구형 행성과 목성형 행성 등 태양계의 여러 특징과 관련하여 설명할 수 있다.
2. 행성의 운동에 관한 케플러 법칙을 알고, 뉴턴의 운동 법칙을 이용하여 케플러 법칙을 설명할 수 있다.
3. 지구와 달의 공전과 자전, 식 현상을 설명할 수 있다.
4. 금성, 화성, 목성 등 태양계 행성들의 대기 성분 차이를 이해한다.
5. 지구계 각 권의 형성을 이해하고, 지구가 특별한 행성임을 태양으로부터의 거리, 간단한 물질의 분자 구조와 관련하여 설명할 수 있다.
6. 지구의 원소 분포와 우리 주위의 화합물을 주기율과 관련하여 이해한다.
7. 지구의 핵에 철이 풍부하며 지구의 자전으로 지구 자기장이 형성됨을 안다.

*** 시작하기 전에**

지구는 태양계 내에서 생명체가 번성하고 있는 특별한 행성이며, 지구에 사는 많은 생명체는 태양으로부터 에너지를 얻어 살아가고 있다. 지구는 태양에서 적당한 거리에 떨어져 있으며, 액체 상태의 물, 산소가 비교적 풍부한 대기, 생명체에 해로운 우주선과 태양풍을 막아 주는 지구 자기장이 있어 생명체가 태어나 번성할 수 있다.

*** 단원의 지도 계획**

중단원	소단원	차시	교과서 쪽수	학습 내용 및 창의·인성 활동
1. 태양계의 형성과 운동	1. 태양계의 형성	4	61~71	<ul style="list-style-type: none"> 태양계의 형성 과정 지구형 행성과 목성형 행성의 형성 행성의 내부 구조와 각 행성의 특징 태양 복사 에너지의 생성과 지구에서의 에너지 전환
	2. 행성의 운동	4	72~83	<ul style="list-style-type: none"> 케플러 제1법칙, 케플러 제2법칙 케플러 제3법칙, 활동 1 뉴턴의 운동 법칙 만유인력 법칙과 행성의 운동
	3. 지구와 달의 운동	4	84~97	<ul style="list-style-type: none"> 우주관의 변화, 활동 2 지구 자전과 공전의 과학적 증거 달의 운동과 위상 변화 일식과 월식의 원리, 활동 3
2. 지구 구성 원소와 지구계	1. 행성의 대기와 에너지 보존	3	99~105	<ul style="list-style-type: none"> 역학적 에너지 보존 법칙과 탈출 속도 평균 운동 에너지와 분자량, 활동 4 기체 분자의 구조와 끓는점
	2. 지구의 진화	3	106~112	<ul style="list-style-type: none"> 원시 지구의 형성 지권과 수권의 형성과 진화 기권의 형성과 지구계의 상호 작용, 활동 5
	3. 지구를 이루는 원소	2	113~119	<ul style="list-style-type: none"> 지구를 구성하는 주요 원소, 주기율 활동 6, 산소의 화학 반응과 주기율
	4. 지구의 자기장	2	120~123	<ul style="list-style-type: none"> 지구 자기장의 형성 우리 생활 속의 지구 자기장
단원 마무리		1	124~127	과학과 진로, 논리력 키우기, 단원 마무리

☆ | 중단원의 지도 방향 |

1. 동영상, 사진 등 다양한 시청각 자료를 활용하여 태양계의 형성과 운동을 이해할 수 있도록 하며, 이전 단원에서 학습한 별의 탄생과 진화 내용과 연계되도록 지도한다.
2. 행성의 운동에 관한 케플러 법칙을 알고, 뉴턴의 운동 법칙을 바탕으로 행성의 운동을 이해하는데 있어서 지나치게 복잡하고 수학적 인 역학 내용을 도입할 필요는 없다.



태양계를 이루는 천체는 어떤 것들이 있는지 알아보자.

태양계는 전체 질량의 약 99.8%를 차지하는 태양과, 태양 주위를 공전하는 8개의 행성, 행성 주위를 공전하는 위성, 그 외에 왜소행성, 혜성과 소행성을 비롯한 태양계 소천체들로 이루어져 있다.

☆ | 오개념 유형 |

● 지구의 공전 궤도

지구의 공전 궤도가 원이 아닌 타원이라는 사실은 학생들도 잘 알고 있는 듯하다. 그러나 지구의 공전 궤도는 우주 공간에 고정되어 있는 것은 아니며, 행성들의 공전 궤도도 지구와 마찬가지로 고정되어 있지는 않다. 따라서 지구에서 태양까지의 거리는 항상 일정한 것이 아니다.

또한, 우주 공간에서 행성들의 공전 궤도를 눈으로 볼 수 있는 것은 아니다. 따라서 행성의 공전 궤도를 그리는 것은 그리 쉬운 작업이 아니다.

● 지구의 자전 및 공전의 증거

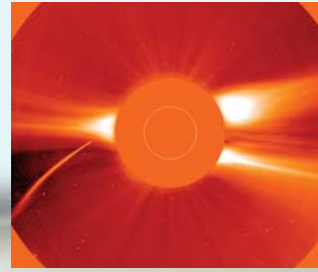
지구가 자전하기 때문에 나타나는 현상으로는 밤과 낮의 변화, 별의 일주 운동 등이 있다. 그러나 이들은 지구가 자전하기 때문에 나타나는 현상이며, 지구 자전의 증거가 될 수는 없다. 특히 학생들은 시간의 변화를 지구의 자전과 연관시키는 경향이 있다. 지구에서 시간의 결정과 시차는 지구의 자전을 이용해 인류가 자의적으로 구분한 것일 뿐이다.

지구의 공전과 관련된 현상도 마찬가지이다. 따라서 공전에 의한 현상과 공전의 증거를 잘 구분할 수 있도록 해야 한다.

☞ 주요 과학 용어

- 미행성(微 작다, 行 돌아다니다, 星 별, planetesimal)
- 일주 운동(日 태양, 週 회전하다, 運 회전하다, 動 움직이다, diurnal motion)

II - 1. 태양계의 형성과 운동



▲ 그림 1_ 태양이 행성을 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 지구로 비롯한 태양계의 생성 과정을 연구하는 데 중요하게 이용된다.

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

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

? 태양계를 이루는 천체는 어떤 것들이 있는지 알아보자.

- 연주 시차(年 해, 周 주위, 視 보다, 差 다름, annual parallax)

☞ 참고 자료

- 행성 자료: <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/>
- 태양계의 형성 동영상: PBS NOVA Origins DVD

☆ | 보충 자료 |

● 운석 충돌의 위력

우주 공간을 떠돌다 지구의 인력에 의해 지구로 떨어지는 물체의 낙하 속도는 매우 빠르다. 따라서 그 충돌 에너지도 매우 크다. 약 6,500만 년 전에 멕시코 유카탄 반도에 떨어져 공룡을 멸종시킨 것으로 추정되는 소행성은 지름이 약 10 km, 무게가 약 1조 톤, 낙하 속도는 초속 30 km 정도로 추정되고 있다. 이 정도 크기의 운석이 충돌할 때 발생하는 에너지는 TNT로 환산하면 약 1억 1,600만 메가톤으로, 이와 같은 충돌이 현재 다시 일어난다면 인류도 멸망을 피하기 어렵다고 보고 있다.

● 케플러 법칙을 이용한 행성의 질량 측정

지구에서 기선을 정한 후, 기선의 양 끝에서 기선과 천체가 이

1

태양계의 형성

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



슈메이커-레비 9 혜성의 충돌(상정도)

목성 표면의 혜성 충돌 흔적

▲ 그림 2_ 슈메이커-레비 9 혜성 충돌의 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.

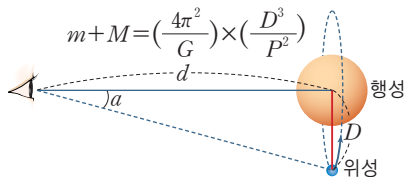
▼ 그림 3_ 수성 표면의 크레이터



참이력 키우기

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

루는 각을 측정하면 삼각 측량법으로 천체까지의 거리(d)를 구할 수 있다. 또 거리를 알고 있는 행성의 질량은 케플러 법칙을 이용하여 구할 수 있다. 행성이 위성을 가지고 있는 경우 위성의 공전 주기(P)를 관측하고, 위성이 행성으로부터 떨어진 각거리(a)를 이용하여 행성과 위성 사이의 거리(D)를 구한다. 행성의 질량을 M , 위성의 질량을 m 이라 할 때, 케플러 법칙을 뉴턴의 만유인력 법칙으로 표시하면 다음과 같다.



$$m+M = \left(\frac{4\pi^2}{G}\right) \times \left(\frac{D^3}{P^2}\right)$$

대부분의 경우, 위성은 행성에 비해 무시할 수 있는 정도의 질량을 가지므로 행성의 질량은 위 식으로부터 곧바로 구해진다.

위성이 행성에 비해 무시할 수 없는 질량을 가지는 경우에는 공통 질량 중심으로부터의 거리비를 이용하여 행성과 위성의 질량을 구할 수 있다.

1. 태양계의 형성

★ | 소단원의 학습 목표 |

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

1차시

61~63쪽

도입(5분)	전개(30분)	정리(15분)
혜성이나 운석은 어디로부터 오는 것일까?	태양계의 형성 관련 동영상 시청	질의 응답 및 토의, 태양계 형성 과정 정리

★ | 동기 유발을 위한 제안 |

- 혜성이나 운석은 어디로부터 오는지 생각해 보게 함으로써 태양계의 형성 과정에 대한 궁금증을 유발한다.
- 운석은 매우 빠른 속도로 충돌하기 때문에 크기에 비해 충돌시의 충격이 매우 큰 것에 대하여 이야기하고, 지구와 거대한 운석 충돌의 가능성과 그에 대한 대비 방안에 대하여 이야기해 보도록 한다.

★ | 지도상의 유의점 |

태양계의 형성 과정은 지식의 축적보다는 동영상 등 시청각 매체를 이용함으로써 학생들이 흐름을 이해하도록 지도한다.

참이력 키우기 지구는 대기와 물에 의한 풍화와 침식 작용으로 지표면의 모습이 끊임없이 변화하는 과정을 겪어왔다.

지구는 수성보다 질량이 커서 중력도 크므로 더욱 많은 운석 충돌 경험을 가지고 있을 것이다. 그러나 지구는 수성과 달리 대기와 물을 가지고 있는 행성이다.

지구에 충돌하는 천체들 중 일정 크기 이상의 천체들은 대기에서 타버린 후에도 그 잔해가 지표면에 낙하하여 충돌 흔적을 남겼을 것이다. 그러나 지구는 대기와 물에 의한 풍화와 침식 작용으로 지표면의 모습이 끊임없이 변화하는 과정을 겪어왔다. 따라서 운석 구덩이인 크레이터가 그대로 남아 있기 어렵다. 뿐만 아니라 지각은 판의 운동에 의하여 계속 움직이므로 지각 변동 때문에 운석 충돌 흔적이 그대로 보존되기 어렵다.

1 | 각운동량 |

회전하는 물체의 회전 운동 세기로, 물체의 질량과 회전 속도를 곱하고 여기에 회전축으로부터의 거리를 곱한 값이다.

2 | 각운동량 보존 법칙 |

외부의 힘이 작용하지 않을 때 원운동하는 물체에서 각운동량은 일정하게 유지된다는 법칙이다.

회전하는 태양계 성운이 수축하면 수축 전보다 원운동의 반지름이 작아지므로 회전 속도가 더욱 빨라진다. 이는 피겨 스케이팅 선수가 양팔을 벌리고 회전하다가 팔을 안으로 오므리면 더욱 빠른 속도로 회전하는 것과 같은 원리이다.

☆ | 보충 자료 |

● 지구 근접 천체(NEO, Near-Earth Objects)

지구로 접근하는 위험한 소행성이나 혜성을 지구 근접 천체라고 하는데, 2009년 3월까지 확인된 것만도 지름이 1 km 이상인 것이 645개, 100 m 이상인 것은 10만 개 정도가 있다고 한다.

● 허블 우주 망원경의 역할

미국 항공 우주국(NASA)의 허블 우주 망원경은 역사상 가장 유명한 망원경으로 불린다. 1990년 봄에 발사된 허블 우주 망원경은 처음에는 주경이 약간 변형되어 영상이 선명하지 못하였으나, 1993년 12월 보정 광학계를 장착한 이후 다양한 우주의 모습을 인류에게 전해 주었다.

허블 우주 망원경은 대기권 밖에서 천체를 관측함으로써 대기의 흔들림에 의한 방해가 받지 않아 놀라울 정도로 선명한 영상을 제공한다. 또 지상 망원경과 달리 24시간 내내 관측이 가능하고 하늘 전체를 볼 수 있으며, 지상에서는 대기에 흡수되어 관측할 수 없는 근적외선과 자외선 복사도 관측할 수 있어 천문학 전 분야에 걸친 혁명을 가져왔다.



▲ 허블 우주 망원경

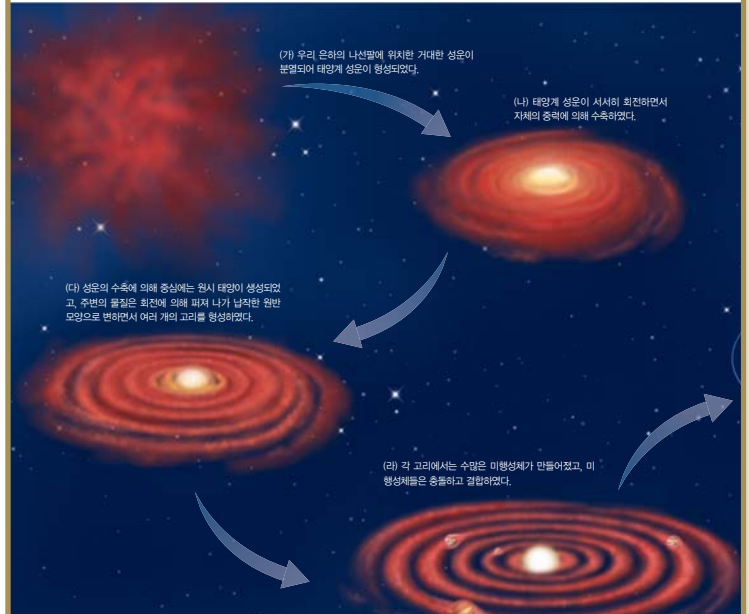
허블 우주 망원경은 태양계를 넘어 먼지와 기체 속에서 별들이 태어나는 모습과 함께, 죽어가는 별이 우주 공간으로 기체를

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.

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. **3**

▼ 그림 4_ 태양계와 지구의 형성 과정



내뿜는 행성상 성운, 은하 전체를 밝히는 거대한 초신성에 이르기까지 다양한 별의 일생을 관측해 왔다. 또 오리온 대성운 깊은 곳에서 새로 탄생한 별 주위에서 곧 행성으로 응축할 먼지 원반을 관측함으로써 새로운 태양계의 탄생을 보여 주기도 했다.

● 태양계 성운의 탄생

우리 은하 내부에서 초신성의 폭발로 발생한 충격파는 거대한 성운을 여러 개의 작은 조각들로 나누어 놓았다. 이 작은 성운 조각들은 각각 독립적으로 수축하게 되는데, 이러한 성운 조각 중 하나가 태양계 성운이 되었다. 태양계 성운은 대부분 수소(약 76%)와 헬륨(약 22%)으로 구성되어 있었으며, 앞선 세대에 속하는 항성 내부에서 형성된 미량의 무거운 원소(약 2%)들을 포함하고 있었다.

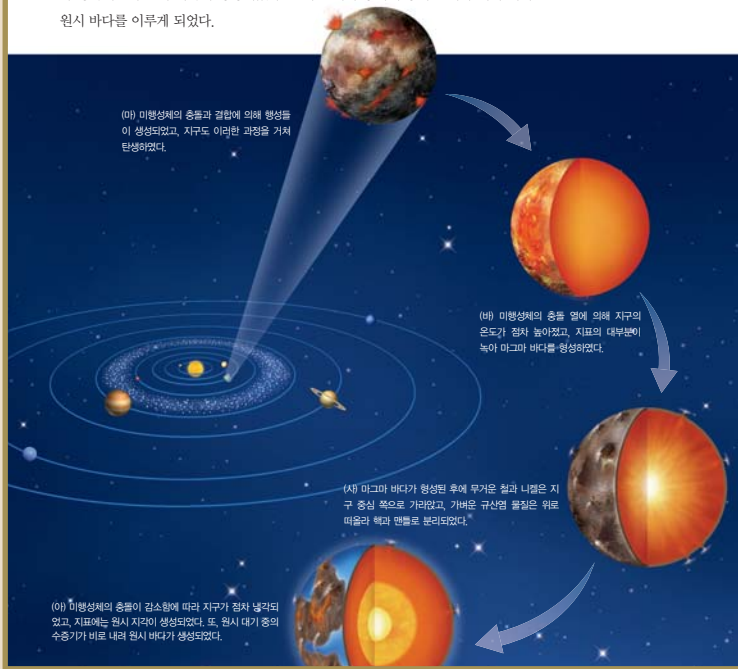
3 | 원시 태양 |

아직 태양의 온도가 낮아 핵융합 반응을 일으키지는 못하고 중력 수축 에너지에 의해 온도가 높아지면서 복사 에너지를 방출하는 단계이다.

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



4 | 미행성체 |

원시 태양 주변에서 원반을 이루고 있던 가스 and 먼지 입자들은 서로 충돌하여 보다 큰 입자를 만들고, 곧 단일 평면에 안착한다. 이 입자들은 충돌을 반복하여 지름 약 10^4 m, 질량 약 10^{10} kg의 미행성체로 성장한다. 태양계 형성 초기에는 성간운의 밀도가 컸기 때문에 미행성체의 속도가 느려 서로 충돌해도 파괴되지 않고 성장하는 것이 가능하였다. 따라서 원시 태양이 탄생한지 약 1,000만 년 후에 원시 행성이 탄생하게 된다.

☆ | 보충 자료 |

● 원시 태양의 형성

태양계 성운에서 중심부의 성운이 수축할 때 중심 방향으로 떨어지는 기체의 위치 에너지는 운동 에너지로 변환된다. 그리고 이 운동 에너지는 다시 열에너지로 변환되어 별의 내부 온도를 높여지게 하므로 원시별이 복사 에너지를 방출하게 된다. 이를 중력 수축 에너지라고 한다.

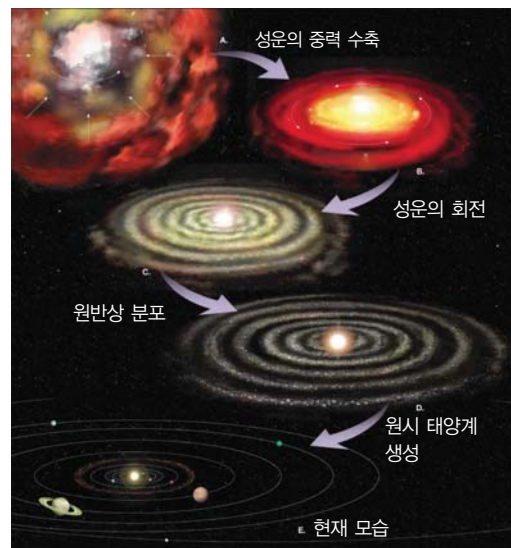
성운의 수축으로 밀도가 계속 높아지면 복사 에너지가 별의

내부에 갇혀 내부 온도와 압력이 높아진다. 이처럼 성운의 수축으로 중심부의 밀도가 높아지고, 온도와 압력이 상승하면서 복사 에너지를 방출하는 단계를 원시 태양이라고 한다.

한편, 별의 내부 온도가 1,000만 K 이상이 되면 별의 중심부에서 수소 핵융합 반응이 시작되어 핵융합 에너지가 방출되기 시작한다. 이때 내부에서 방출되는 핵융합 에너지와 중력 수축 에너지가 평형을 이루어 별의 수축이 중단된다. 이 단계에 이른 별을 주계열성이라고 하며, 태양도 주계열성에 속한다.

● 태양계 원반의 형성

원시 태양계 성운이 회전할 때, 원시 태양 주변에서는 태양계 원반이 형성되었다. 원반을 이루던 물질들은 성운의 회전에 의하여 바깥쪽으로 밀려나가는 힘(원심력)과 중력에 의해 성운의 중심부로 모여드는 힘을 동시에 받았다. 성운의 자전은 입자들이 자전축 방향으로 모이는 것을 막아 자전축에 수직인 평면에 가라앉게 하여 가스와 먼지로 이루어진 원반이 원시 태양의 주변에 형성되었다.



▲ 태양계의 형성

☆ | 지도 Tip |

● 태양계의 형성 과정

1. 초신성 폭발로 태양계 성운 형성
2. 태양계 성운의 회전 수축
3. 중심부: 수축하여 원시 태양 형성
주변의 가스와 먼지: 원반 형성
4. 원반의 가스와 먼지가 미행성 형성
5. 미행성의 충돌로 원시 행성 형성

2차시 64~65쪽

도입(5분)	전개(35분)	정리(10분)
현재 태양계는 어떤 모습을 하고 있나?	행성의 공전 궤도, 지구형 행성과 목성형 행성, 태양계 소천체의 형성	정리 및 예제 풀이

★ 동기 유발을 위한 제안 |

- 이전 차시에서 배운 태양계의 형성 과정과 연결하여 현재 태양계의 모습은 어떠한지 생각해 보게 한다.
- 행성의 공전 궤도를 축척에 맞게 한 장의 종이에 그리면 어떤 모양이 되는지 생각해 보게 한다.

☆ 보충 자료 |

- 행성 관련 용어(2006년, 국제 천문 연맹)

[행성]

1. 태양을 중심으로 공전하며 위성이 아니다.
2. 자체 중력에 의해 구에 가까운 형태를 가질 정도로 충분한 질량을 가진다.
3. 공전 궤도 주변의 다른 천체를 모두 없애거나 흡수하여 중력적으로 지배적인 역할을 해야 한다.

[왜소행성(부행성)]

1. 태양을 중심으로 공전하며 위성이 아니다.
2. 자체 중력에 의해 구에 가까운 형태를 가질 정도로 충분한 질량을 가진다.
3. 공전 궤도 주변에서 중력적으로 지배적인 역할을 하지 못하여 다른 천체들과 공전 궤도를 공유한다.

[태양계 소천체]

- 태양 주위를 공전하며, 위성이 아닌 모든 물체

[위성]

1. 주천체 주위의 궤도에서 공전 운동을 한다.
2. 위성과 주천체의 질량 중심이 주천체 내부에 있다.

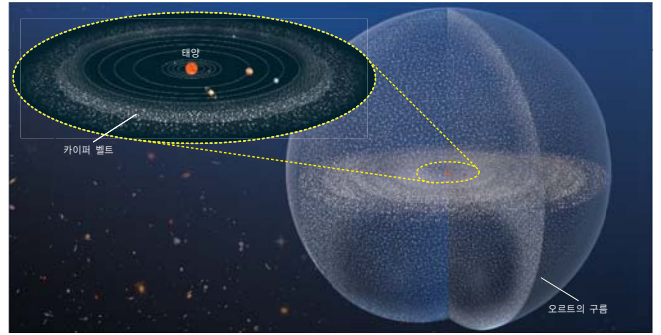
- 지구형 행성과 목성형 행성의 형성

[지구형 행성]

지구형 행성은 500 K 이상의 높은 온도에서 응축하는 비교적 무거운 물질인 암석 성분으로 구성되어 있다.

[목성형 행성]

목성형 행성은 온도가 낮으므로 저온에서 응축하는 수소, 헬륨, 얼음 등 휘발성 원소의 상대적인 함량이 많다.



▲ 그림 5_ 현재의 태양계 태양을 비롯하여 행성과 위성, 왜소행성, 태양계 소천체의 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.

물음 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. **5**

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.



◀ 지구형 행성



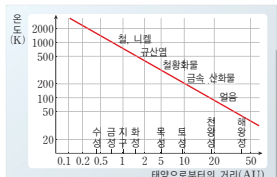
◀ 목성형 행성

물음

회전하던 태양계 성운의 원반을 이루고 있던 물질로부터 미행성체가 형성되고, 이들이 충돌하여 뭉쳐져 행성이 형성되었기 때문이다.

행성들의 공전 궤도면은 태양계 성운의 원반면에 해당되며, 행성의 공전 방향은 원반의 회전 방향이다. 태양 공전 궤도면에서 태양 주위를 공전하는 천체들은 태양계 성운을 이루고 있을 당시의 운동 방향과 궤도를 유지하고 있다.

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 뭉쳐지지 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.



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

반면, 원시 태양에서 먼 곳은 온도가 낮았으므로 얼음이 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. **6**

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

행성 형성의 핵은 암석과 유기질 먼지를 포함한 얼음 덩어리이다. 얼음의 80% 이상은 물이며, 암석화탄소, 이산화탄소, 메테인이 포함되어 있고, 알도나리와 사이안화수소 등도 적은 양이 포함되어 있다.

과학 마당 | 태양계의 초기 모습을 알려 주는 운석

소행성이나 행성이 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 타지 않고 지표로 떨어진 것을 운석이라고 한다. 소행성이나 행성을 이루는 물질들은 태양계의 생성 초기에 만들어졌다고 알려져 있으므로, 운석을 조사하면 태양계와 지구의 생성에 대하여 많은 것을 알 수 있다.



▲ 그림 7. 남극의 운석

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.

5 | 태양풍(항성풍) |

태양풍은 태양에서 방출되는 하전 입자의 흐름으로, 고에너지 전자와 양성자로 이루어져 있으며 높은 열에너지를 가지고 있어 태양의 중력을 이겨내고 우주로 탈출할 수 있다.

원시 태양이 핵융합을 시작해서 주계열성인 태양으로 갓 태어난 직후에는 태양풍이 현재의 10만 배 정도로 강하게 불었다. 따라서 태양계 형성 초기의 태양풍은 원시 행성 주변의 가스와 먼지 구름을 태양계 외곽으로 날려 보냈다.

6 | 카이퍼 벨트 |

해왕성 궤도 바깥쪽에 태양으로부터 약 48~50 AU의 거리에 있으며, 태양계 형성 초기에 행성을 이루지 못한 미행성체들이 밀집한 원반 영역이다. 이 곳에 있는 천체들이 충돌이나 중력 섭동을 받게 되면 태양 근처로 들어오기도 하는데, 이들이 단주기 혜성의 기원이다. 이 영역에 존재하는 천체들 중 해왕성에 가까이 존재하는 천체들을 명왕성족이라고 하며 구 명왕성도 이에 포함된다.

7 | 오르트 구름 |

태양으로부터 약 50,000~100,000 AU 정도 떨어진 거리에서 구형의 공간에 얼어붙은 천체들이 분포하고 있는 영역이다. 거대 행성 근처에 있던 천체들이 중력 섭동 때문에 태양계 외곽부로 탈출한 것으로 생각되며, 장주기 혜성의 공급원으로 알려져 있다.

☆ | 보충 자료 |

● 태양계 행성들의 물리량

행성	크기	태양으로부터의 거리 (AU)	공전 주기	궤도 경사 (°)	이심률	표면 온도 (°C)
수성	0.38	0.39	88일	7.0	0.21	384
금성	0.95	0.72	225일	3.4	0.01	464
지구	1	1	365일	0	0.02	15
화성	0.53	1.52	687일	1.9	0.09	-58
목성	11	5.20	11.9년	1.3	0.05	-108
토성	8.36	9.54	29.5년	2.5	0.05	-139
천왕성	3.98	19.2	84년	0.8	0.05	-197
해왕성	3.87	30.1	165년	1.8	0.01	-92

*크기는 지구 반지름에 대한 상대값

● 달은 어떻게 형성되었을까?

최근에 태양 주위에서 많은 원시 행성 천체들이 회전하던 지구 형성의 초기 단계에 달도 함께 형성되었다는 거대 충돌설이 제안되었다. 이 이론에 의하면 지구가 현재 크기만큼 형성된 시기에 화성 정도 크기의 천체가 지구의 측면에 충돌하였고, 이때 떨어져 나간 많은 양의 부서진 입자들이 지구 주위에 원반을 이루었다가 합쳐져 달을 형성하였다고 한다.

과학 마당

운석 탐구

운석은 대기를 통과하면서 마찰열에 의해 녹아 없어진 표면을 가지고 있다. 운석은 크게 석질 운석, 석철질 운석, 철질 운석으로 분류하며, 전 세계적으로 철질 운석이 가장 많이 발견된다.

현재까지 발견된 운석의 약 70% 이상이 남극에서 발견되었으며, 많은 운석이 철과 니켈의 합금을 포함하고 있어 지구의 암석에 비해 밀도가 크고 자성을 띤다.

3차시 66~68쪽

도입(5분)	전개(35분)	정리(10분)
각 행성들은 어떤 특징을 가지고 있나?	지구형 행성과 목성형 행성의 차이	정리 및 예제 풀이

★ | 동기 유발을 위한 제언 |

- 인간이 이주할 수 있는 가장 유력한 후보지는 어떤 행성이며, 그 이유는 무엇인지 생각해 보게 한다.
- 유인 우주선을 타고 목성에 갔을 때의 여러 가지 상황을 생각해 보게 한다.

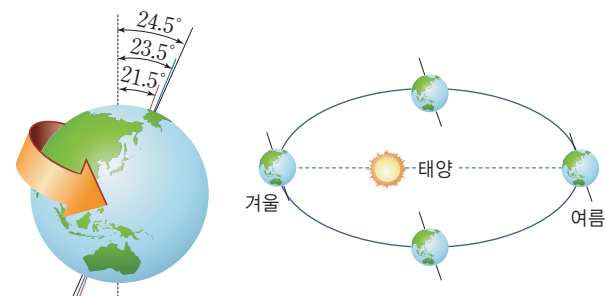
★ | 지도상의 유의점 |

1. 지구형 행성과 목성형 행성의 특징을 비교하여 이해할 수 있도록 지도한다.
2. 각 행성의 특징을 이해할 수 있도록 지도한다.
3. 태양계 행성들의 내부 구조를 비교해 보고, 행성 내부 구조의 차이는 태양계 생성 과정에서부터 비롯되었음을 알게 한다.

8 | 행성의 분류 |

- 지구형 행성: 반지름과 질량이 작으나 규산염 암석으로 이루어져 있어 밀도가 크다. 질량이 작기 때문에 중력이 작아서 대기가 없거나 얇은 대기를 가진다.
- 목성형 행성: 반지름과 질량이 커서 거대 행성이라고도 한다. 중력이 커서 두꺼운 대기를 가지고 있으며, 많은 위성을 거느리고 있다. 이들은 주로 수소와 헬륨으로 구성되어 있어서 밀도가 작으며, 자전 속도가 빠르다.

9 | 자전축 경사 |



▲ 지구 자전축 경사의 변화

▲ 북반구의 계절과 태양으로부터 지구까지의 거리

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.

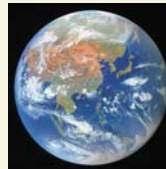
8 따라서 태양계 행성들은 크기, 밀도, 구성 물질 등의 차이에 따라 **지구형 행성**과 **목성형 행성**으로 구분할 수 있다.



수성
태양에서 가장 가까운 행성으로 밀도가 가장 크다. 중력이 매우 적어 대기가 없으므로 표면이 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 극지 빙에 드라이아이스와 얼음으로 이루어진 극관이 존재한다. 또 자전축이 기울어져 있어 계절 변화가 일어난다.

▲ 그림 9_ 지구형 행성

9

행성의 자전축이 공전 궤도면에 수직인 방향으로부터 기울어진 정도를 나타낸다. 지구의 자전축은 약 23.5° 기울어져 있으며, 화성의 자전축은 이와 유사하게 약 25° 기울어져 있다.

자전축이 공전 궤도면에 수직인 상태에서 많이 벗어나 있을수록 계절 변화는 심하게 나타난다. 지구의 자전축 경사는 약 40,000년을 주기로 21.5°~24.5° 범위에서 변하는데, 자전축의 경사가 현재보다 더 커지면 계절에 따라 입사되는 태양 복사 에너지량의 위도별 편차가 커져 계절 변화가 더 심해진다.

현재 지구는 북반구의 여름철이 겨울철보다 태양으로부터의 거리가 더 멀다. 그러나 북반구 쪽이 태양 쪽을 향하는 시기가 여름철이기 때문에 북반구에서는 여름철에 태양의 고도가 높아져 태양 복사 에너지를 더 많이 받게 된다.

10 | 규산염 물질 |

지구의 암석을 이루는 조암 광물은 대부분 규산염 광물로 이루어져 있다. 규산염 광물은 규소와 산소 및 약간의 금속 원소로 이루어져 있으며, 일반적으로 녹는점이 높다.

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.



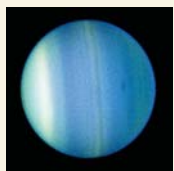
지구는 액체 상태의 물이 존재하는 유일한 행성이다. 지구에 액체 상태의 물이 존재할 수 있는 까닭은 무엇인지 생각해 보자.



목성
태양계 행성 중 반지름, 질량, 중력이 가장 크며, 최미한 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 내란만 줄무늬가만 들어간다.



천왕성
지구에서 멀리 떨어져 있고 온도가 낮아 망원경이 발명된 이후인 1781년에 발견되었다. 태양계의 다른 행성들과 달리 자전축이 공전 궤도에 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

태양계 탄생 초기에 태양계 원반을 이루던 물질 중 철이나 니켈과 같은 금속이나 규산염 물질 등으로 이루어진 미행성체들은 태양 근처에 남을 수 있었다. 지구형 행성과 목성형 행성의 조성비 차이는 이러한 태양계 생성 과정에서 나타났다.

보충 자료

● 지구형 행성들의 표면 모습이 다른 이유는 무엇일까?

지구형 행성은 초기 고온 상태에서 성분이 다른 층상 구조를 이루게 되었고, 고체 상태로 응축된 후에도 수많은 운석 충돌에 의해 각기 다른 진화 과정을 거치게 되면서 내부 구조, 구성 물질, 화학적·생물학적 진화의 특징이 다르게 나타난다. 이들 행성의 진화에 가장 큰 영향을 준 요인은 행성의 냉각 속도이다. 금성이나 지구처럼 크기가 큰 행성은 냉각 속도가 느리기 때문에 지금도 내부가 뜨거운 상태이다. 화성에서는 과거에 화산 활동이 일어났으나 현재는 화산 활동이 일어나지 않는다. 수성은 크기가 작기 때문에 빠른 속도로 냉각되어 수십억 년 동안 화산 활동이 일어나지 않는 상태이다. 지구 표면에는 액체 상태의 물

이 존재하여 물과 암석의 상호 반응, 풍화가 일어나고, 지표면에 생물계가 진화되었다.

● 행성의 물리량

행성	반지름	질량	평균 밀도 (g/cm ³)	편평도	자전 주기	자전축 경사(°)
수성	0.38	0.05	5.46	0.000	58.8일	0
금성	0.95	0.82	5.23	0.000	244일	177
지구	1	1	5.52	0.003	23.9시간	23.5
화성	0.53	0.11	3.92	0.006	24.6시간	25.2
목성	11	318	1.31	0.065	9.9시간	3.13
토성	8.36	95.2	0.70	0.098	10.7시간	26.7
천왕성	3.98	14.4	1.30	0.023	17.2시간	97.8
해왕성	3.87	17.2	1.66	0.017	16.1시간	28.3

* 반지름, 질량은 지구에 대한 상대값

● 목성형 행성의 편평도

토성과 목성은 다른 행성들에 비해 납작한 모양이며 행성이 완전한 구형이 아니라는 것이 눈으로도 쉽게 구별된다. 이들 행성의 편평도가 다른 행성들보다 큰 이유는 자전 속도가 빠르기 때문이다. 이들은 크기에 비해 매우 빠른 속도로 자전하고 있는데, 목성에서 적도 부분의 자전 속도는 초속 12.3 km, 시속 44,258 km 정도로 매우 빠르다.

● 금속성 수소

가장 가벼운 원소인 수소는 매우 높은 밀도로 압축되면 다른 알칼리 금속처럼 금속의 성질을 나타내게 되는데, 이를 금속성 수소라고 한다.

고체 금속성 수소란 압력에 의해 양성자들 사이의 거리가 가까워져 양성자들이 마치 결정 구조의 격자 형태로 존재하게 되고, 속박되어 있던 전자들이 자유 전자의 성질을 갖게 되어 고체 수소가 금속의 성질을 가지게 되는 상태를 말한다. 액체 금속성 수소는 양성자들이 격자의 형태로 정렬이 되어 있지 않지만 양성자와 전자로 이루어진 계로써 액체 상태로 금속성을 가진다.



현재 지구의 온도에서 수증기의 운동 속도는 대기의 탈출 속도보다 느리므로 수증기가 대기 중에 머물 수 있다. 또 지구의 표면 온도가 물이 액체로 존재하는 기간에 포함되므로 지구에는 액체 상태의 물이 존재할 수 있다.

태양으로부터 지구까지의 거리는 지구의 온도를 결정한다. 또한, 지구의 온도는 지구에서 대기의 운동 속도에 영향을 주므로 태양으로부터 지구까지의 거리는 지구 대기의 성분을 결정하는데 영향을 미친다.

☆ | 보충 자료 |

● 목성형 행성의 내부 구조

목성형 행성에는 저온에서 응축하는 수소, 헬륨, 얼음 등 휘발성 원소의 상대적인 함량이 많다. 원시 성운에 다량으로 존재하던 H, He, C, N, O 등은 저온에서 응축하여 NH₃나 CH₄의 얼음 등을 만들었고, 이들은 목성형 행성의 성분이 되었다.

그런데 목성이나 토성은 주로 수소와 헬륨으로 구성되어 있어서 평균 조성이 태양과 매우 비슷한 반면 천왕성이나 해왕성은 무거운 원소의 비율이 비교적 높으며, 메테인 농도의 경우 목성이나 토성에 비하여 10배 이상 높다. 이러한 사실로부터 천왕성이나 해왕성의 내부 구조는 목성이나 토성과 차이가 있음을 알 수 있다. 최근의 연구에 따르면 천왕성이나 해왕성 내부에는 목성이나 토성에서와 같은 금속성 수소층이 없고, 그 대신 얼음이 행성의 내부 구조 결정에 지배적인 역할을 하는 것으로 추측된다.

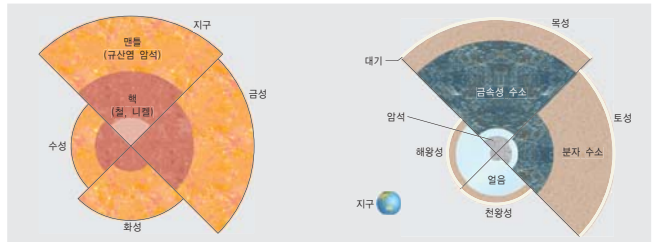
따라서 거대 행성은 다시 목성, 토성의 거대 가스 행성과 천왕성, 해왕성의 거대 얼음 행성으로 분류되기도 한다.

🕒 역사 속의 과학

회전하는 거대한 구름으로부터 태양계가 형성되었다는 현대적인 성운론은 1755년 칸트(Immanuel Kant, 1724~1804년)에 의해 처음으로 제안되었다. 그러나 당시에는 태양계의 각운동량 분포를 설명하지 못해 널리 받아들여지지 않았다.

그래서 과학자들은 한동안 충돌 이론(행성은 큰 혜성이 태양과 충돌하여 분출된 태양 물질의 거대한 흐름으로부터 형성되었다. 1745년, 뷔퐁)에 근거하여 행성의 형성을 설명하고자 하였으며, 몰튼(1905년)과 진스(1917년)는 큰 혜성 대신 가까운 별과의 근접 충돌에 의한 행성 형성을 제안하기도 하였다.

그러다가 1940년대에 자기력과 가스의 분출에 의해 각운동량이 태양에서 행성 성운으로 효율적으로 이동될 수 있음이 제시되었고, 최근에 와서는 태양계 이외의 다른 행성계가 관측되고 원시 행성 원반이 오리온 성운에서 직접 관측됨으로써 성운설은 태양계 형성 이론으로 널리 받아들여지게 되었다.



지구형 행성의 내부 구조: 수소는 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 큰 핵을 가진다. 지구의 핵은 내핵과 외핵으로 나뉘어 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.

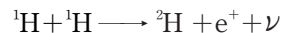


● 현재의 성운설과 데카르트의 소용돌이 이론

- 같은점: 태양계가 회전하는 물질로부터 응축되어 형성되었고 그 과정에서 작은 덩어리들이 충돌하여 큰 덩어리를 형성한다고 하는 부분
 - 다른점: 공간의 개념. 데카르트는 공간을 물질들이 빈틈없이 꽉 채워진 상태로 생각했기 때문에 물질과 물질 사이의 빈 공간에 대한 개념이 없었다.
- 또한 태양계 성운이 회전하는 원인을 수학적으로 밝히지 못하였다.

11 | 수소 핵융합 반응 |

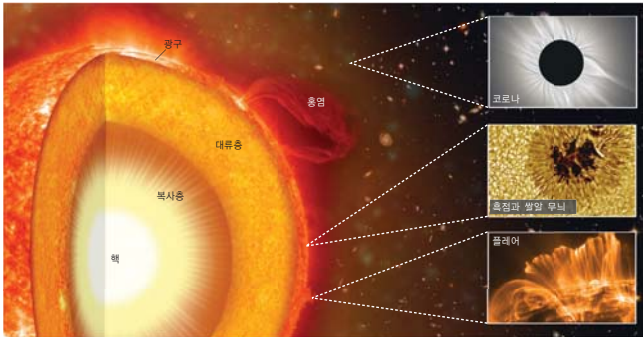
태양의 내부에서 일어나는 수소 핵융합 과정은 주로 양성자-양성자 연쇄 반응으로 다음 반응들로 구성된다.



여기서 ${}^2\text{H}$ 는 중수소로, 중수소의 원자핵은 1개의 양성자와 1

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 반응이 일어나는데, 이때 생성된 헬륨 원자핵의 질량은 수소 원자핵 4개의 질량보다 작다. **11**

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

$$4H \rightarrow He + E$$

$$E = \Delta mc^2$$

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.

개의 중성자를 포함한다. e^+ 는 양전자, ν 는 중성미자, γ 는 광자이다.

첫째 단계와 둘째 단계의 반응이 각각 두 번씩 일어나야 마지막 단계의 반응이 일어날 수 있다. 마지막 단계의 반응을 위해서는 총 6개의 양성자가 반응에 참여해야 하지만 마지막 단계에서 양성자 2개가 방출되므로, 4개의 양성자가 모여 1개의 헬륨 원자핵을 만드는 과정으로 볼 수 있다.

이때 수소 원자핵(양성자)의 원자량은 1.0078이고 헬륨 원자핵의 원자량은 4.0026이므로 0.0286의 질량 결손이 생긴다. 결손된 질량은 아인슈타인의 질량-에너지 등가 방정식에 의해 에너지로 전환된다.

$$4H \rightarrow He + E, E = \Delta mc^2$$

여기서 c 는 빛의 속도이고, 단위 원자량은 1.66×10^{-27} kg 이므로, 4개의 수소 원자핵이 1개의 헬륨 원자핵으로 전환될 때 방출되는 에너지는 다음과 같다.

4차시 69~71 쪽

도입(5분)	전개(35분)	정리(10분)
지구에서 일어나는 여러 가지 현상들의 에너지원은 무엇일까?	태양 에너지의 생성, 지구에서 에너지의 전환과 순환	정리 및 예제 풀이

★ | 동기 유발을 위한 제안 |

- 지구 상에서 일어나는 자연 현상들과, 이 현상들이 일어나도록 하는 에너지는 무엇인지 조사해 보도록 한다.
- 지구에서 태양 복사 에너지가 사용되는 예에 대하여 토의해 보도록 한다.

★ | 지도상의 유의점 |

1. 태양 에너지는 핵융합에 의해 생성됨을 이해하게 한다. 그러나 핵융합 반응에 대하여 지나치게 깊게 다루지 않는다.
2. 지구상에서 모든 생명 활동의 근원이 태양 복사 에너지임을 알고, 지구상에서 일어나는 자연 현상은 대부분 태양 복사 에너지의 전환과 순환 과정임을 이해하도록 지도한다.

$$E = 0.0286(1.66 \times 10^{-27} \text{ kg})(3 \times 10^6 \text{ m/s})^2$$

$$= 4.3 \times 10^{-12} \text{ J}$$

그러므로 태양에서 1 kg의 수소가 만들어내는 태양 복사 에너지의 양은 다음과 같다.

$$\frac{4.3 \times 10^{-12} \text{ J}}{(1.0078 \times 4) \times (1.66 \times 10^{-27})} \approx 6.4 \times 10^{14} \text{ J}$$

이는 100만 kW의 전력을 생산하는 원자력 발전소를 5개월 이상 가동해야 얻을 수 있을 정도의 막대한 양의 에너지이다.

태양은 현재 4×10^{36} W의 에너지를 우주 공간으로 방출하고 있다. 이는 태양에서 매초 6억 톤의 수소가 소비되고 있다는 것을 의미한다.

★ | 보충 자료 |

- 단위 원자량의 계산

탄소의 원자량은 12.011이고, 탄소 1몰의 원자 개수는 6.022×10^{23} 개이므로, 단위 원자량은 다음과 같다.

$$\frac{12.011}{12 \times (6.022 \times 10^{23})} \approx 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

12 | 태양의 수명 |

수소 핵융합 반응에서 에너지의 형태로 전환되는 질량 결손의 양은 원래 수소 질량의 $\frac{0.0286}{4.0132} \approx 0.0071$ 배이다. 따라서 태양에서 얻을 수 있는 열핵반응의 총 에너지는 다음과 같다.

$0.0071(0.1)(2 \times 10^{30} \text{ kg})(3 \times 10^8 \text{ m/s})^2 = 1.28 \times 10^{44} \text{ J}$
 현재 태양의 광도가 $3.90 \times 10^{26} \text{ J/s}$ 이므로, 이는 약 100억 년 동안 지속될 수 있는 양이다. 태양계의 연령이 약 50억 년 이므로 앞으로 남은 태양의 수명은 약 50억 년인 셈이다.

창의력 키우기 태양에서 온도와 압력은 태양 반지름의 $\frac{1}{4}$ 이내에서 중심핵 내에서만 핵반응을 일으킬 정도로 높기 때문에 수소 핵융합 반응은 중심핵에서만 일어난다. 따라서 태양 질량의 약 10%만이 에너지 전환에 쓰인다.

13 | 위도에 따른 태양 복사 에너지의 불균형 |

태양으로부터 전달된 에너지는 지구에서 각 지표면의 위도에 따라 다르게 입사된다. 따라서 지표면의 같은 면적에서 받는 태양 복사 에너지라도 태양의 고도가 높은 지역일수록 더 많은 에너지를 받게 된다. 태양 상수를 S , 태양의 고도를 h 라고 하면 지표면이 단위 면적당 받는 에너지는 $S \times \sin h$ 로 표현할 수 있다.

위도에 따른 태양 에너지의 불균형은 저위도 지방과 고위도 지방의 지표면 온도 차이를 발생시키고, 그에 따라 지표면에서는 에너지의 이동이 일어나게 되는데, 이는 주로 대기와 해수의 순환을 통해 일어난다. 따라서 지구 표면을 역동적으로 만드는 대기와 해수의 순환은 지구 내부에서의 태양 복사 에너지의 이동 과정이기도 하다.

보충 자료 |

● 태양의 핵에서 생성된 에너지의 방출 과정

태양 중심에서 생성된 에너지가 태양의 표면까지 이동하여 공간으로 빠져나가는 과정은 중심에서 생성된 동일한 광자가 그대로 표면까지 나오는 것이 아니다. 중심에서 생성된 광자는 중간에서 산란, 흡수, 재방출의 과정을 겪으면서 태양 표면까지 이동하고, 결국 가시광선의 복사로 변환되어 우리 눈에 보이게 된다. 태양 중심에서 생성된 에너지가 태양의 표면까지 이동하는 시간은 무려 1,000만 년 정도가 걸린다고 한다.

태양은 최초의 핵융합 반응이 일어나기 시작한 약 50억 년 전부터 지금에 이르기까지 이와 같은 형태로 에너지를 방출해 왔다. 그러면 태양은 앞으로 얼마 동안 지금과 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.

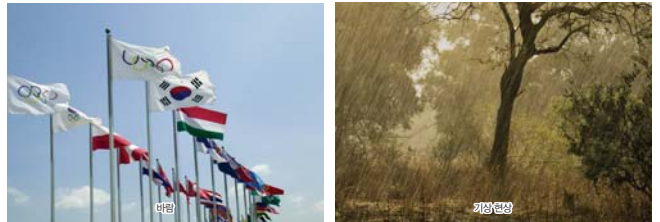
창의력 키우기

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

13

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 에너지의 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.

● 태양 상수

지표면의 단위 면적당 도달하는 태양 복사 에너지이다. 태양에서 방출되는 막대한 양의 에너지 중에서 지구에 도달하는 에너지의 양은 지구와 태양 사이의 거리를 반지름으로 하는 구의 표면적에서 지구가 차지하는 면적에 도달하는 에너지이다.

지구와 태양 사이의 거리가 $r = 1.5 \times 10^{11} \text{ m}$, 지구의 반지름이 $R = 6.4 \times 10^6 \text{ m}$ 이므로, 지구에 도달하는 에너지는 다음과 같다.

$$\text{태양이 매초 방출하는 에너지} \times \frac{\pi R^2}{4\pi r^2}$$

따라서 지구 표면에 도달하는 에너지는 태양이 우주 공간으로 매초 방출하는 에너지의 약 $\frac{1}{20}$ 억에 해당하는 $2 \times 10^{17} \text{ W}$ 정도이다. 지구는 이 에너지를 지구 전체의 표면으로 받고 있으므로, 이 에너지를 다시 지구의 표면적($4\pi R^2$)으로 나누면 단위 면적당 지표면에 도달하는 평균 태양 에너지의 양인 태양 상수를 알 수 있다. 이렇게 구한 태양 상수는 다음과 같다.

$$\text{태양 상수} \approx 1.5 \times 10^3 \text{ W/m}^2$$



경합성



석탄연료

▲ 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 지구를 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?
 탐의 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.

하지만 대기의 효과를 무시하더라도 실제 지표면에서 단위 면적당 받는 태양 복사 에너지는 위도에 따라 달라진다. 위도에 따라 지표면과 햇빛이 이루는 각도, 즉 태양의 고도가 달라지기 때문이다.

● 태양 에너지 이외의 에너지원

현재 인류가 사용하는 에너지의 근원은 대부분 태양 복사 에너지이다. 각종 음식물이 제공하는 화학 에너지와 에너지원으로 사용하고 있는 화석 연료, 물의 위치 에너지, 바람의 운동 에너지 등은 모두 태양 복사 에너지에서 전환된 에너지이다.

그러나 지구 상의 에너지가 모두 태양 복사 에너지로부터 온 것만은 아니다. 태양 복사 에너지 이외의 에너지원으로는 지구 내부의 방사성 원소가 붕괴할 때 내는 열인 지열이 있다.

지열은 지각 변동을 일으키는 에너지원이기도 하지만, 옛날 우리 조상들은 겨울철에 김치나 수확한 농작물을 땅속에 묻어 지열 에너지를 생활에 이용하기도 하였다. 태양 복사 에너지가 감소하는 겨울철에는 많은 동·식물들에게 지열 에너지는 중요한 보조 에너지원이 된다.

최근에 사용량이 증가하고 있는 원자력 에너지 역시 태양 복사 에너지 이외의 에너지원에 해당된다. 원자력 에너지는 지구 내부를 구성하는 물질들 중 방사능이 있는 원소들로부터 발생하는 에너지를 이용하는 것이다.

조력 발전에 이용되는 조력 에너지 역시 태양 복사 에너지 이외의 에너지원에 속한다. 조석 현상은 태양과 달의 만유인력에 의해 일어난다. 따라서 조력 에너지는 태양계 천체에 의한 역학적 에너지가 변환된 것이다.

● 에너지 순환

에너지의 순환은 에너지가 한 곳에 머무르지 않고 다른 곳으로 이동하는 현상을 말한다. 지구에서 에너지의 순환은 주로 대기과 해수에 의해 일어난다.

● 에너지 전환

에너지의 전환은 한 종류의 에너지가 다른 종류의 에너지로 바뀌는 현상으로, 지표면에서 햇빛에 의해 가열된 공기가 상승하는 경우 태양 복사 에너지가 공기의 역학적 에너지로 전환된다.

**확인하기****1. 미행성체**

태양계 성운에서 원반을 이루던 물질들이 충돌·병합하여 미행성체를 형성하고, 이들이 충돌과 병합을 거듭하여 원시 행성이 만들어졌다. 원시 행성은 주변의 물질들을 끌어들이어 성장하였으며, 시간이 지나 현재의 행성이 되었다.

2. 지구형 행성은 반지름과 질량이 작고 암석으로 이루어져 있어 밀도가 크며 자전 속도가 느리다. 목성형 행성은 반지름과 질량이 크고 주로 수소와 헬륨으로 이루어져 있어 밀도가 작으며 온도가 낮고 자전 속도가 빠르다.

3. 태양(복사) 에너지

태양 복사 에너지는 식물의 광합성에 의해 화학 에너지로 전환되어 동물의 생명 활동을 이루어지게 하거나, 생물이 죽은 후 땅속에서 화석 연료에 저장되기도 한다. 또 대기와 해수의 순환 과정에서 기상 현상을 통해 역학적 에너지로 전환되기도 한다.

4. 태양계 외곽의 천체가 태양이나 태양계 행성의 중력에 이끌려 들어왔거나, 소행성끼리의 충돌로 튕겨져 나간 천체가 태양 주위를 일정한 궤도를 공전할 수도 있다.

2. 행성의 운동

☆ | 소단원의 학습 목표 |

1. 행성의 운동에 대한 케플러의 3가지 법칙을 설명할 수 있다.
2. 뉴턴의 운동 법칙과 만유인력 법칙을 이용하여 행성의 운동을 설명할 수 있다.

🔗 5차시 72~74쪽

도입(5분)	전개(35분)	정리(10분)
행성의 운동에는 어떤 규칙성이 있을까?	<ul style="list-style-type: none"> • 케플러 제1법칙 • 케플러 제2법칙 • 타원의 성질 	정리 및 예제 풀이

☆ | 동기 유발을 위한 제안 |

- 고대인들이 천상계와 지상계를 구분했던 이유와 함께 행성의 운동을 이야기하면서 지상의 물체와 천체의 운동이 어떻게 다른지 생각해 보게 한다.

☆ | 지도상의 유의점 |

1. 케플러 법칙을 설명하면서 과학에서 관측과 측정의 중요성을 인식하도록 한다.
2. 행성의 공전 궤도를 설명할 때, 타원의 형태가 지나치게 과장되지 않도록 주의한다.

☆ | 보충 자료 |

● 아리스토텔레스의 운동론

아리스토텔레스는 모든 운동에는 운동 원인(mover)이 있어야 한다고 주장했으며, 물체의 운동을 자연적인 운동(natural motion)과 강제적인 운동(violent motion)으로 분류하였다.

자연적인 운동은 물체가 가진 본래의 속성으로, 어떤 물체가 적절한 장소에 있지 않으면 본래의 장소에 도달하고자 한다는 것이다. 이 때문에 지상계에서는 가벼운 것은 위로 올라가고 무거운 것은 아래로 내려가는 직선 운동을 하며, 천상계에서는 원운동이 자연적인 운동이라고 생각했다. 원운동은 직선 운동과 달리 시작과 끝이 없으며, 궤도를 이탈하지 않고 영원히 반복되는 운동이다. 이에 반해 강제적인 운동은 반드시 운동 원인과 접촉해야 하며 운동을 지속하기 위해서는 계속해서 물체에 힘을 가해 주어야 한다. 즉 물체들은 스스로 움직이지 않고 밀거나 당기는 힘에 의해서만 운동한다는 것이다.

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.

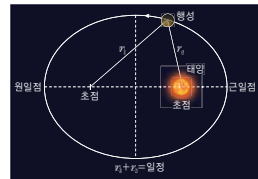
케플러의 법칙

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 운동들에 대한 3가지 법칙을 발견하였다.

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

케플러는 브라헤가 남긴 화성의 위치 변화 관측 자료를 토대로 화성의 운동을 연구하였다. 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.

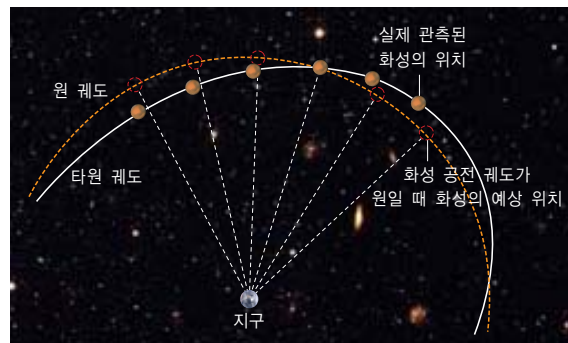
행성의 공전 궤도에서 태양 이외에 타원의 다른 한 초점은 빈 우주 공간에 있으며, 태양에 가장 가까운 곳을 **근일점**, 가장 먼 곳을 **원일점**이라고 한다.



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

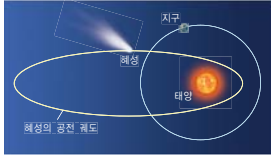
● 케플러의 화성 공전 궤도 계산

요하네스 케플러는 다음 그림과 같이 연속적으로 관측한 화성의 위치 자료를 이용하여 화성의 공전 궤도를 알아냈다. 화성의 처음 위치와 687일 후의 화성 위치로부터 태양에서 화성까지의 거리를 구하고, 다음 날 화성의 위치와 그로부터 687일 후의 화성 위치로부터 태양에서 화성까지의 거리를 다시 구했다. 그 결과 화성까지의 거리가 조금씩 변한다는 사실을 알게 되었다. 그리고 이 자료를 바탕으로 그린 화성의 공전 궤도는 원이 아닌 타원이라는 사실을 알게 되었다.



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 태양의 공전 궤도 비교



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

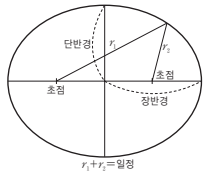
과학 마당 | 타원의 성질

타원은 두 정점으로부터의 거리의 합이 일정한 곡선이다. 타원의 이와 같은 성질을 이용하면 두 개의 입장과 실을 이용하여 간단하게 타원을 그릴 수 있다. 그림 17과 같이 길이가 일정한 실의 양끝을 입점으로 고정하고 연필로 실을 팽팽하게 잡아당겨 한 바퀴 돌리면 타원이 그려진다. 이때 입점으로 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

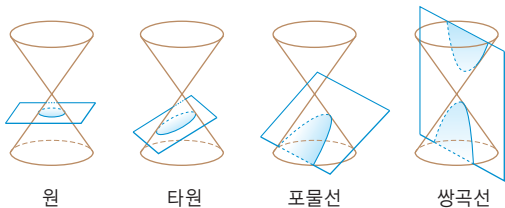
수성을 제외하고 다른 행성들의 공전 궤도 이심률은 매우 작은 값을 가지므로 행성의 공전 궤도는 거의 원에 가까운 타원임을 알 수 있다. 그런데 표 1과 같이 화성 공전 궤도의 이심률은 0.09로 다른 행성들보다 비교적 큰 값을 가진다. 만약 화성 공전 궤도의 이심률도 다른 행성들처럼 매우 작았다면, 케플러는 맨눈으로 관측한 브라헤의 자료를 이용하여 화성 공전 궤도가 타원이라는 사실을 알아내기 어려웠을 것이다.

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

● 원뿔 곡선

기원전 3세기경 아폴로니우스는 그림과 같이 원뿔을 평면으로 자르면 2개의 닫힌 곡선(원과 타원)과 2개의 열린 곡선(포물선과 쌍곡선)이 생긴다는 사실을 입증하였다. 이 4개의 곡선을 ‘원뿔 곡선’, 또는 ‘원추 곡선’이라고 한다.



▲ 원뿔 곡선

● 초점(焦點)

영어로 ‘focus’라고 하는데, 이것은 라틴어의 ‘난로’라는 말에서 유래하였다.

● 이심률

원뿔 곡선이 원에서 벗어나 있는 정도를 나타내는 것으로, 수학적으로는 다음과 같이 정의한다. $\Rightarrow e = \sqrt{1 - k \frac{a^2}{b^2}}$

원뿔 곡선	원	타원	포물선	쌍곡선
이심률	$e=0$	$0 < e < 1$	$e=1$	$e > 1$

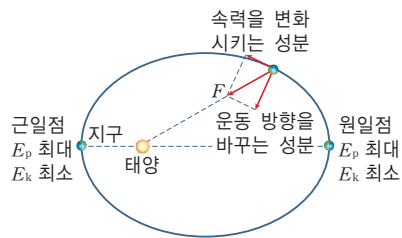
● 케플러 법칙과 행성의 공전 궤도

케플러 법칙은 행성의 공전 궤도가 완전한 원이 되더라도 성립한다. 원은 타원의 특수한 경우라고 생각할 수 있다. 즉, 타원에서 두 초점이 원의 중심에서 합쳐진다면 장반경과 단반경은 같아지고, 이 값은 원의 반지름이 된다. 따라서 케플러 법칙은 행성의 공전 궤도가 원 궤도일 수도 있지만 반드시 원 궤도일 필요는 없다는 뜻으로도 해석할 수 있다. 실제로 태양계 행성들의 공전 궤도는 이심률이 매우 작은 거의 원에 가까운 궤도이다.

● 행성의 공전 궤도와 에너지 보존 법칙

태양 주위를 공전하는 행성은 운동 에너지(E_k)와 함께 태양으로부터의 거리에 의한 위치 에너지(E_p)를 가진다. 에너지 보존 법칙에 따라 궤도 상의 모든 점에서 운동 에너지와 위치 에너지의 합은 항상 일정하다. 어떤 행성이 태양 주위를 원 궤도로 공전한다면 태양과 행성 사이의 거리는 항상 일정하므로 궤도 상의 모든 점에서의 위치 에너지도 일정하며, 에너지 보존 법칙에 따라 운동 에너지도 일정해야 한다. 이때 행성의 운동 방향으로 작용하는 힘의 성분은 없으므로 행성은 일정한 속력으로 운동한다.

그러나 행성이 태양 주위를 타원 궤도를 따라서 공전한다면 궤도 상의 모든 점에서 행성과 태양 사이의 거리와 속력이 달라진다. 행성이 근일점에 있을 때 위치 에너지는 최소가 되며, 운동 에너지는 최대가 된다. 반면, 원일점에서는 이와 반대이다.



▲ 행성에 작용하는 힘과 행성의 운동

그림과 같이 행성이 타원 궤도를 따라 공전하는 경우 행성의 운동 방향으로 작용하는 힘의 성분이 있는데, 이 성분이 행성의 속력을 변화시키므로 운동 에너지도 변하게 된다.



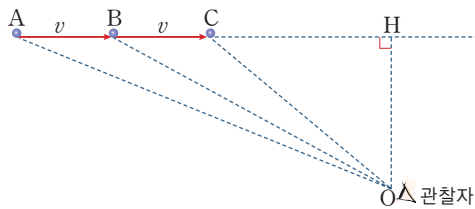
타원의 모양은 점점 더 원에 가까워진다.

타원에서 두 초점 사이의 거리가 점점 가까워지면 장축과 단축의 길이가 거의 같아지면서 타원은 점점 원에 가까운 형태가 된다.

☆ | 보충 자료 |

● 등속 직선 운동과 면적 속도

관성 법칙에 따라 등속 직선 운동하는 물체는 면적 속도 일정의 법칙에 따른다. 다음 그림과 같이 어떤 물체가 같은 시간 동안에 같은 거리 \overline{AB} 와 \overline{BC} 를 이동한다면, 이 물체를 점 O에서 관찰하였을 때 $\triangle OAB$ 와 $\triangle OBC$ 에서 밑변 \overline{AB} 는 \overline{BC} 와 같고 높이는 모두 \overline{OH} 로 같다. 따라서 $\triangle OAB$ 와 $\triangle OBC$ 의 면적은 같다. 이것은 관찰자의 위치에 관계없이 항상 성립한다.



▲ 등속 직선 운동하는 물체의 면적 속도

● 면적 속도 일정의 법칙에 대한 케플러의 설명

케플러 제2법칙은 행성이 타원 궤도를 따라 공전하는 속도를 다룬다. 행성의 공전 속도는 태양에 가까이 갈수록 빨라지고, 태양에서 멀어질수록 느려진다. 케플러는 이와 같이 행성의 공전 속도가 변하는 이유를 태양과 행성이 신축성 있는 선으로 연결되어 있다고 가정하여 설명하였다.

즉, 행성이 태양에 가까이 갈 때는 신축성 있는 선이 많이 늘어나지 않는다. 따라서 행성은 빨리 움직일 것이다. 그러나 행성이 태양에서 멀어지면 신축성 있는 선은 많이 늘어나게 된다. 따라서 행성은 빨리 움직이지 못하게 된다는 것이다.

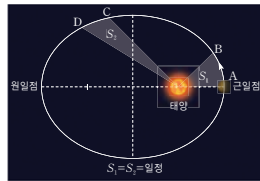
● 면적 속도 일정 법칙과 각운동량 보존 법칙

행성의 공전 궤도상의 두 점에서 공전 속도를 각각 v_1, v_2 라 하고, 태양까지의 거리를 각각 r_1, r_2 라고 하면 케플러 제2법칙은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$r_1 v_1 = r_2 v_2 = \text{일정}$$

그런데 회전 운동에서 질량이 m 인 물체가 회전의 중심으로부터 r 만큼 떨어진 곳에서 v 의 속도로 운동하고 있다면 이 물체의 각운동량(L)은 다음과 같다. $\Rightarrow L = mrv$

따라서 행성의 면적 속도가 일정하다는 것은 행성의 각운동량이 보존된다는 것을 의미한다. 행성이 타원 궤도를 따라 태양에 접근하면 회전 중심까지의 거리가 가까워지므로 행성은 각운동량을 보존하기 위해 공전 속도가 빨라진다. 마찬가지로 행성이 태양에서 멀어지면 각운동량을 보존하기 위하여 공전 속도가 느려진다.



▲ 그림 19_ 케플러 제2법칙

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 행성이나 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 할리 혜성의 공전 속도는 원일점에서 약 0.9 km/s이지만 근일점에서는 약 54.5 km/s이다.



할리 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 주기의 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

● 면적 속도

단위 시간 동안에 행성과 태양을 잇는 선이 쓸고 지나가는 면적을 말한다.

📖 과학 마당

할리 혜성(Halley's Comet)

영국의 천문학자 에드문드 할리(Edmund Halley)는 1531년, 1607년, 1682년에 나타난 혜성의 궤도가 유사하다는 사실로부터 이것은 동일한 혜성으로서 약 76년을 주기로 나타난다는 사실을 발견하였다. 그리고 이 혜성은 1758년에 다시 나타날 것이라고 예측하였는데, 그의 예측은 적중했다. 이후 이 혜성의 공전 주기와 다음 접근 시기를 예측한 할리의 업적을 기리기 위해 할리 혜성이라고 이름을 붙였다.



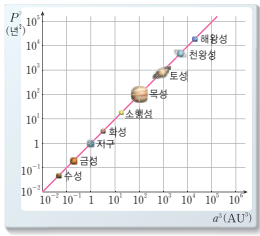
▲ 할리 혜성

표 2를 그린 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.

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

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 측정하며, 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.



6차시 75~77쪽

도입(5분)	전개(30분)	정리(15분)
행성 운동의 규칙성은 모든 행성에 적용될까?	<ul style="list-style-type: none"> • 케플러 제3법칙 • 활동 1 	케플러 법칙 정리

보충 자료 |

● **조화 법칙**

케플러 제1법칙과 제2법칙은 궤도 운동을 하는 모든 물체에 적용될 수 있다. 이 법칙들은 행성은 물론 지구의 달이나 갈릴레오가 발견한 목성의 위성, 혜성, 그 밖에 지구 주위를 돌고 있는 인공위성에도 적용할 수 있다.

케플러는 이 두 법칙을 발표한 후 모든 행성들 사이의 관계를 설명할 수 있는 조화로운 규칙이 있을 것이라고 생각했다. 이것이 바로 케플러 제3법칙인 조화 법칙이다. 조화 법칙은 과학의 발달사에서 천체의 운동을 수식으로 표현한 최초의 법칙이다.

조화 법칙에서 상수 k 는 태양과 행성의 질량의 합과 관련이 있으며, 궤도 체계에 존재하는 질량의 합, 궤도 운동을 하는 천체의 긴 반지름, 천체의 공전 주기 사이의 관계를 보여준다. 따라서 두 값을 알고 있으면 다른 하나의 값을 추정할 수 있다. 또한, 세 값 중 하나의 값이 변하면 다른 두 개의 값들도 변하게 됨을 알 수 있다.

● **지구에서 관측한 태양의 크기 변화**

지구는 태양 주위를 타원 궤도를 따라서 공전하고 있으므로 날짜에 따라 태양과 지구 사이의 거리가 달라지면서 태양의 크기도 달라져 보인다. 지구에서 관측한 태양 크기의 평균값은 태양과 지구 사이의 거리가 평균일 때의 크기라고 볼 수 있다.

태양과 지구 사이의 평균 거리를 r_0 라 하고, 이 거리에서 관측한 태양의 크기를 R_0 라고 하자. 그리고 태양과 지구 사이의 거리가 r 가 되었을 때 관측한 태양의 크기를 R 라고 하면 다음과 같은 관계가 성립한다. $\Rightarrow \frac{R}{R_0} = \frac{r_0}{r}$

이 관계를 이용하여 태양을 관측한 시점에서 태양과 지구 사이의 거리(r)를 구하면 다음과 같다. $\Rightarrow r = r_0 \times \frac{R_0}{R}$

태양과 지구 사이의 평균 거리는 약 1억 5천만 km이므로, 매일 태양의 크기(R) 변화를 측정하면 이로부터 태양과 지구 사이의 거리 변화와 함께 지구의 공전 궤도를 추정할 수 있다.

과학자 이야기

티코 브라헤(Tycho Brahe, 1546~1601년)

덴마크의 천문학자로 망원경이 발명되기 전 육안으로 밤하늘을 관측하여 방대한 자료를 남겼으며, 1572년 카시오페이아 자리에서 초신성을 발견하였다. 또 그의 재능을 인정한 덴마크의 왕 프레데리크 2세의 후원



▲ 티코 브라헤

으로 '우라니보르그'라는 천문대를 설립하였다.

그는 매우 정밀한 관측 자료를 남겼지만 지구 공전의 증거인 연주 시차를 측정하는데 실패하여, 지동설을 부정하고 지구가 우주의 중심이라고 주장하였다. 한편, 그가 남긴 관측 자료는 케플러에게 전해져 케플러가 행성의 운동에 관한 세 가지 법칙을 발견하는 데 큰 도움을 주었다.

창의 인성 **활동의 이해**

활동 1 지구 공전 궤도는 어떤 모양일까?

목표

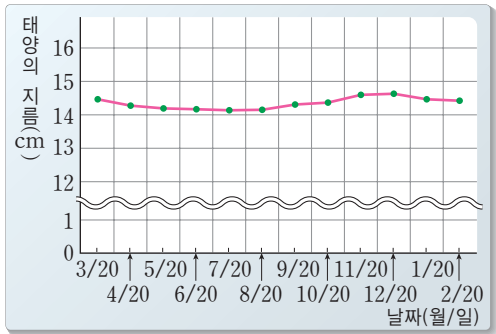
- 소호 위성에서 1년 동안 관측한 태양 사진을 이용하여 지구 공전 궤도의 모양을 추론할 수 있다.

원리

- 태양의 크기를 측정할 때 눈금자가 태양의 중심을 지나면 눈금자의 기울어진 정도에 관계없이 태양의 지름을 정확하게 측정할 수 있다.
- 날짜에 따른 태양의 크기 변화가 크게 나타나지 않으므로 눈금을 읽을 때에는 최대한 정확하게 읽도록 안내한다.
- 그래프에 태양의 지름을 정확하게 기록한 후, 기록한 수치의 변화 과정에 주목하도록 유도한다.

과정

2009년 3월 20일부터 2010년 2월 20일까지 태양의 지름을 그래프로 나타내면 다음과 같다.



정리

1. 소호 위성에서 촬영한 태양의 크기가 변하는 까닭은 날짜에 따라 태양과 지구(또는 소호 위성) 사이의 거리가 달라지기 때문이다. 그리고 이러한 현상은 지구 공전 궤도가 원이 아니라 타원이기 때문에 나타난다.
2. 지구의 공전 궤도는 거의 원에 가까운 타원 궤도이다. 그리고 태양은 타원의 중심으로부터 약간 벗어나 있다.
3. 태양과 지구 사이의 거리가 가장 가까울 때는 태양의 크기가 가장 크게 보이는 12월 말~1월 초이고, 가장 멀 때는 태양의 크기가 가장 작게 보이는 6월 말~7월 초이다.
4. 케플러 제2법칙에 따라 지구의 공전 속도가 가장 빠를 때는

창의 인성 **활동 1**

지구 공전 궤도는 어떤 모양일까?

목표 태양 관측 사진을 이용하여 지구 공전 궤도를 추론할 수 있다.

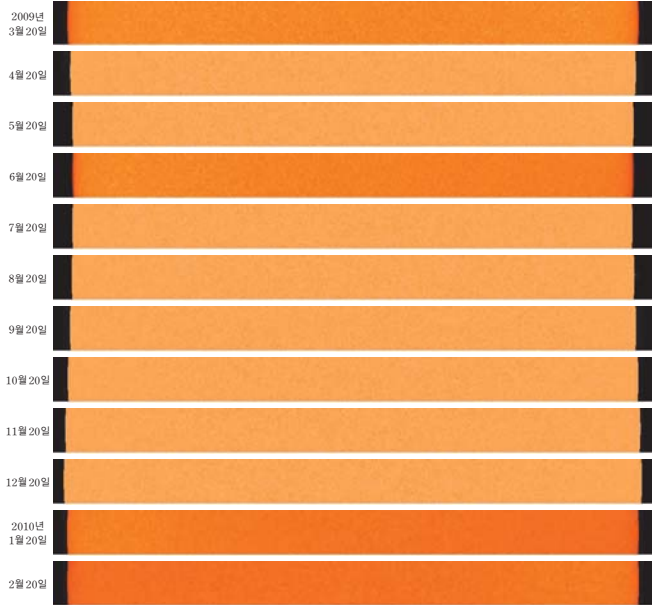
자료 해석

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.

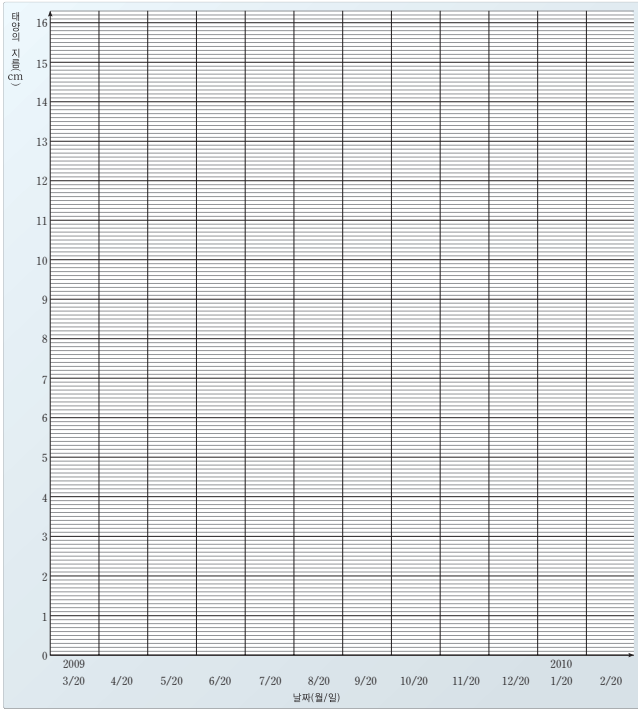


▲ 그림 21 _ 1개월 간격으로 촬영한 태양의 적도 부분

태양과 지구 사이의 거리가 가장 가까운 12월 말~1월 초이고, 가장 느릴 때는 태양과 지구 사이의 거리가 가장 먼 6월 말~7월 초이다.

평가 기준표

활동 과정	평가 문항	점수
과정	<ul style="list-style-type: none"> • 태양의 지름을 정확하게 측정하였는가? • 활동 중 태도는 어떠한가? 	상, 중, 하
결과	<ul style="list-style-type: none"> • 활동 결과로부터 그래프를 잘 그렸는가? • 활동 후 뒤처리를 깔끔히 정리하였는가? 	상, 중, 하
정리	<ul style="list-style-type: none"> • 결과 발표에 적극적으로 참여하였는가? • 다른 학생이 발표할 때 바른 태도로 경청하였는가? • 그래프에서 태양의 지름 변화에 대한 해석이 올바른가? • 그래프로부터 지구의 공전 궤도를 올바르게 추정하였는가? • 물음에 올바르게 답하였는가? 	상, 중, 하



▲ 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.

☆ | 보충 자료 |

● 태양과 지구 사이의 거리와 계절

현재 지구는 1월 3일에 근일점을 지나고, 7월 4일에 원일점을 지난다. 이 날짜는 하지가 동지와는 관련이 없다.

계절은 북반구와 남반구가 반대로 나타난다. 지구가 근일점 부근에 있을 때 북반구는 겨울이며 지구의 공전 속도가 빠르다. 따라서 북반구의 겨울은 여름보다 짧고 빠르게 지나간다.

● 확장 탐구 소호 위성의 태양 관측 자료를 이용하면 다음과 같은 추가적인 탐구 활동을 할 수 있다.

- ① 태양과 지구 사이의 거리와 지구에서 관측한 태양의 크기는 반비례 관계가 성립한다는 것을 이용하여 1년 동안 태양과 지구 사이의 실제 거리 변화를 계산해 본다.
- ② 위 자료를 이용하여 원형의 그래프 용지에 지구의 공전 궤도를 그려본다. 컴퓨터를 사용할 수 있는 환경이라면 엑셀과 같은 프로그램을 이용하는 것도 좋다.
- ③ 원일점과 근일점에서 지구 전체에 입사하는 태양 복사에너지량의 비를 계산해 본다.

과학 마당

1. 소호 위성(Solar and Heliospheric Observatory, SOHO)

소호 위성은 태양을 연구하기 위해 1995년에 유럽 우주국(ESA)과 미국 항공 우주국(NASA)이 함께 쏘아 올린 인공위성이다. 이 위성은 지구로부터



▲ 소호 태양 관측 위성

약 150만 km 떨어진 곳에서 태양 주위를 지구 공전 주기와 같은 1년을 주기로 공전하고 있다. 이 위성은 당초 2년 동안의 활동을 목표로 발사되었으나 2010년 현재까지도 관측 활동을 계속하고 있다. 또한 '코로나 진단 분광계(Coronal Diagnostic Spectrometer, CDS)'를 비롯한 12개의 주 관측 장비를 가지고 있으며, 이를 이용하여 코로나의 밀도와 온도, 태양의 자기장, 태양풍 등에 관한 다양한 관측 자료들을 수집하여 지구로 송신하고 있다. 그 밖에도 태양 주위를 지나는 혜성들을 발견했는데, 현재까지 약 1,500여 개의 새로운 혜성을 발견하였다. 소호 위성의 관측 자료는 대부분 공식 웹사이트를 통해 무료로 제공되고 있다.

2. 소호 위성 관측 자료 찾기

소호 위성의 공식 웹사이트에 접속하여 다음의 메뉴들을 순서대로 클릭한다.

- 공식 웹사이트 주소
<http://sohowww.nascom.nasa.gov/home.html>
- 메뉴명
 - ① data/archive 클릭
 - ② Search & Download Data 클릭
 - ③ Image Type: MDI continuum 선택
 - ④ Resolution: 고해상도를 원하면 1024 선택
 - ⑤ Display: List 선택
 - ⑥ Start and End Dates: 원하는 기간의 시작과 종료 날짜를 8자리로 입력 ㉠ 20090501, 20100501
 - ⑦ Search 클릭
 - ⑧ Download all MDI continuum 클릭, 또는 버튼 아래쪽의 jpg 파일을 다른 이름으로 저장

7차시 78~80 쪽

도입(5분)	전개(35분)	정리(10분)
낙하 운동에 대한 아리스토텔레스의 생각 소개	<ul style="list-style-type: none"> 갈릴레이의 사고 실험 뉴턴의 3가지 운동 법칙 	정리 및 예제 풀이

★ 동기 유발을 위한 제안

- 물체의 낙하 운동에 대한 옛날 사람들의 생각을 소개하면서 그들이 그렇게 생각한 이유에 대하여 생각해 보게 한다.
- 흥미를 끌 수 있는 간단한 시범 실험을 준비하거나 운동의 법칙을 시각적으로 확인할 수 있는 영화나 각종 동영상 자료를 활용하는 것도 권장된다.

★ 지도상의 유의점

1. 물체의 운동을 힘과 관련지어 설명한다.
2. 가속도 개념은 역학에서 매우 중요한 개념이므로 다양한 사례를 들어 정확하게 이해하도록 지도한다.
3. 일상 생활에서 쉽게 접할 수 있는 사례를 통해 뉴턴의 운동 법칙에 대한 기본 개념을 이해하는데 중점을 두어 진행한다.

과학자 이야기

갈릴레오 갈릴레이(Galileo Galilei, 1564~1642년)

갈릴레이는 이탈리아의 피사에서 태어났다. 그는 성당의 상들리에가 바람에 흔들리는 것을 보고 진자의 주기는 진자의 질량이나 진폭에는 관계없고 오직 진자의 길이에만 영향을 받는다는 사실을 발견했다. 이를 ‘진자의 등시성’이라고 한다. 또한, 무거운 물체와 가벼운 물체가 동시에 낙하한다는 사실을 증명하였으며, 최초로 망원경을 이용해 태양의 어두운 반점, 달의 지형, 목성의 위성, 금성의 위상과 크기 변화 등을 관찰하였다.



▲ 갈릴레오 갈릴레이를 ‘진자의 등시성’이라고 한다. 또한, 무거운 물체와 가벼운 물체가 동시에 낙하한다는 사실을 증명하였으며, 최초로 망원경을 이용해 태양의 어두운 반점, 달의 지형, 목성의 위성, 금성의 위상과 크기 변화 등을 관찰하였다.

그는 이 사실로부터 코페르니쿠스의 우주관을 지지하였으나 결국 종교 재판에 회부되어 여생을 가택 연금 상태로 보내야 했다.



▲ 그림 23_ 근일점과 원일점에서 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.

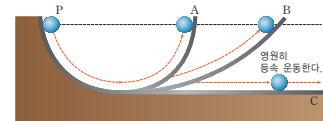
케플러가 발견한 세 가지 법칙은 행성들의 공전을 비교적 정확하게 설명한다. 그러나 케플러는 행성들이 이와 같은 특정한 법칙에 따라 운동하는 근본적인 원인을 설명하지 못하였다.

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?

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

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.



▲ 그림 24_ 갈릴레이의 사고 실험

원을 실은 트랙은 빈 트랙보다 출발할 때 속력을 증가시키기가 더 어렵다. 그 까닭은 무엇인지 보세요.

그림 24와 같이 마찰이 없는 곡면의 처음 위치 P에서 최구슬을 놓았을 때 최구슬은 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.

과학 마당

자동차의 성능을 나타내는 제로 백

자동차 회사는 신차를 생산할 때마다 자동차의 성능을 발표하는데, 이때 빠짐없이 등장하는 수치가 최고 속력과 제



▲ 경주용 자동차

로 백이다. 최고 속력이란 자동차가 낼 수 있는 최대의 속력이고, 제로 백이란 자동차가 정지 상태에서 출발하여 시속 100 km의 속도까지 도달하는데 걸리는 시간이다.

일반적으로 제로 백 수치가 작을수록 빠른 가속이 가능하므로 자동차의 성능이 우수하다는 것을 의미한다. 일반적인 승용차의 경우 제로 백이 10~15초이지만 경주용 자동차의 경우에는 3~4초인 경우가 대부분이다. 제로 백이 작으려면 가속도가 커야 하므로 자동차의 질량은 작고 엔진의 성능(출력)은 커야 한다.

영국의 뉴턴은 이를 체계적으로 정리하여 외부에서 힘이 작용하지 않으면 정지해 있던 물체는 계속 정지 상태를 유지하고, 운동하던 물체는 등속 직선 운동을 한다는 **1 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 **가속도**라고 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) 무거운 차 여럿이 밀기



(다) 무거운 차 혼자서 밀기

▲ 그림 25 _ 물체의 질량과 힘의 크기 변화에 따른 가속도 변화

1 | 관성 법칙 |

갈릴레이는 빗면 실험으로부터 관성의 개념을 이끌어냈다. 그러나 갈릴레이는 실제로 관성(inertia)이란 단어를 사용한 적이 없으며, 엄밀하게 보면 이 실험의 관성은 오늘날 우리가 알고 있는 뉴턴의 관성 개념과는 다르다.

갈릴레이는 마찰이 없는 수평면에서 공을 굴리면 공은 같은 속도로 계속해서 굴러갈 것이라고 주장했다. 수평면 위의 모든 점은 지구의 중심으로부터 거리가 같은 면이기 때문이다.

물체가 처음 주어진 속도로 계속해서 운동한다는 점에서는 뉴턴의 관성과 비슷하다. 그러나 이 물체가 지구 중심으로부터 거리가 같은 수평면을 따라서 운동한다는 것은 뉴턴의 관성과는 완전히 다르다. 갈릴레이의 관성 개념은 등속 원운동의 관성 개념이었다. 갈릴레이의 이러한 생각은 자연스러운 운동에 대한 아리스토텔레스적 경향이 그대로 남아있었음을 뜻한다. 이후 데카르트(René Descartes, 1596~1650년)는 관성에 대한 정확한 설명을 제시했으며, 뉴턴은 데카르트의 생각을 받아들여 오늘날 우리가 알고 있는 운동 제1법칙 형태로 표현하였다.

☆ | 보충 자료 |

● **기차에 안전벨트가 필요 없는 이유**

기차는 보통 우리가 타고 다니는 자동차에 비하면 질량이 매우 크다. 승객을 제외한 기차의 질량만 무려 1,000 톤 정도라고 한다. 여기에 승객들이 타면 그 질량은 더욱 커질 것이다.



▲ 기차

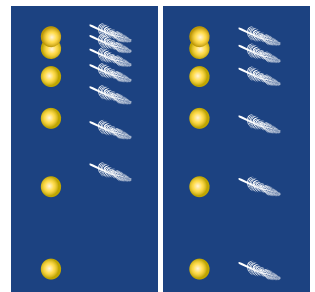
이런 기차는 장애물을 발견하고 급제동을 한다고 해도 관성이 매우 크기 때문에 즉시 멈추지 못해 제동 거리가 길어진다. 예를 들어, 시속 100 km로 달리는 기차의 제동 거리는 약 600 m나 된다. 따라서 승객들이 급정거 때문에 앞으로 튀어나갈 일이 없으므로 안전벨트가 필요 없다.

우리 주변에서는 관성 법칙과 관련된 현상을 쉽게 볼 수 있다. 달리던 버스가 갑자기 멈추면 버스 안의 승객들은 계속 운동하려 하기 때문에 앞으로 넘어진다. 반대로 멈춰 있던 버스가 갑자기 출발하면 승객들은 정지 상태를 유지하려 하기 때문에 뒤로 넘어진다. 옷을 흔들어서 먼지를 털거나 케첩 병을 흔들어서 케첩을 빼낼 때, 달리다가 돌부리에 걸려서 넘어질 때도 우리는 관성을 경험한다.

● **갈릴레이의 낙체 법칙**

아리스토텔레스는 무거운 물체와 가벼운 물체를 동시에 떨어뜨리면 무거운 물체가 가벼운 물체보다 먼저 떨어진다고 생각했다. 이러한 생각은 갈릴레이 이전 대부분의 사람들이 믿고 있었다.

그러나 갈릴레이는 공기의 저항이 없다면 물체의 질량에 관계없이 모든 물체는 동시에 떨어진다고 주장했다. 공기 중에서 깃털이나 나뭇잎이 돌멩이보다 천천히 떨어지는 이유는 공기의 마찰 때문이라는 것이다.



[공기 중] [진공 중]

▲ 갈릴레이의 낙체 법칙

그는 비탈면 실험으로부터 가속도 개념을 도입하고 경사가 급할수록 가속도가 더 커진다는 것을 발견하였다. 따라서 경사면이 수직일 때 가속도는 최대가 되며, 이때의 가속도는 낙하하는 물체의 가속도와 같다. 공기의 저항이 무시할 수 있을 정도로 작다면 모든 물체는 질량에 관계 없이 일정한 가속도를 가지며 낙하한다. 이것을 갈릴레이의 낙체 법칙이라고 한다.

2 | 가속도 법칙 |

물체에 힘을 가하면 힘의 방향으로 가속도가 생기며, 가속도의 크기(a)는 작용한 힘(F)의 크기에 비례하고 물체의 질량(m)에 반비례한다. 이것을 비례 상수 k 를 써서 식으로 나타내면 다음과 같다. $\Rightarrow a = k \frac{F}{m}$

여기에서 질량이 1 kg인 물체에 1 m/s²의 가속도가 생기도록 하는 힘을 1 N이라고 정의하면 비례 상수 k 는 1이 되므로 위 식은 다음과 같이 쓸 수 있다. $\Rightarrow F = ma$

이때 물체에 작용하는 힘(F)이 0이면 가속도는 0이 된다. 따라서 관성 법칙은 가속도 법칙의 특수한 경우라고 할 수 있다.

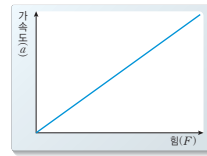
보충 자료 |

알짜힘(합력)

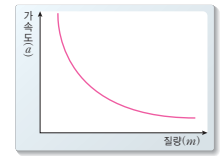
하나의 물체에 여러 개의 힘이 동시에 작용할 경우, 이 힘들이 합쳐진 힘을 합력 또는 알짜힘이라고 한다.

가속도의 법칙 $F = ma$ 에서 힘 F 는 그 물체에 작용하는 모든 힘의 합력인 알짜힘을 의미한다. 물체에 작용하는 힘이 F_1, F_2, F_3, \dots 이라고 하면 알짜힘 ΣF_i 는 다음과 같다.

$$F_1 + F_2 + F_3 + \dots = \Sigma F_i = ma$$



(가) 질량이 일정할 때 힘과 가속도의 관계



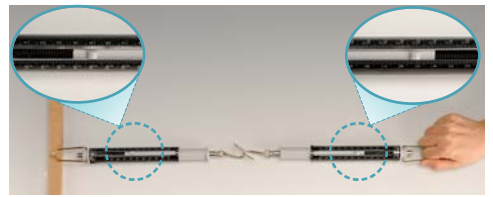
(나) 힘이 일정할 때 질량과 가속도의 관계

▲ 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 그른 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.

과학 마당

작용·반작용 법칙과 운동량 보존 법칙

힘은 항상 쌍으로 존재한다. 마찰이 거의 없는 얼음판 위에서 돌을 던지면 돌은 같은 힘으로 우리를 밀어 반대 방향으로 움직이게 한다. 또 로켓이 연료를 태워 기체를 내뿜으면 이 기체의 운동 방향에 반대인 힘이 로켓에 작용한다.

물체의 운동 상태는 운동하는 물체의 질량, 속도와 관계가 있는데, 질량과 속도를 곱한 물리량을 운동량이라고 한다. 일반적으로 외부의 힘이 작용하지 않는다면 물체들 사이에 어떤 힘이 작용하여 속도가 변한다 해도 작용 전과 후의 운동량 총합은 보존된다. 이것을 운동량 보존 법칙이라고 한다. 얼음판 위에서 돌을 들고 서 있는 사람과 돌의 운동량 합은 0이므로, 돌을 던졌을 때 앞으로 운동하는 돌의 운동량과 뒤쪽으로 밀리는 사람의 운동량의 합도 0이 된다. 운동량 보존 법칙은 두 물체가 충돌하거나 하나의 물체가 분열할 때도 항상 성립하며, 작용·반작용 법칙의 다른 표현이라고 할 수 있다.

과학자 이야기

아이작 뉴턴(Issac Newton, 1642~1727년)

뉴턴은 뉴턴식 반사 망원경을 발명하여 천체 관측에 공헌하였다. 1687년 출판된 『자연 철학의 수학적 원리』에서는 만유인력과 운동 3법칙으로 물체의 운동을 설명하고 케플러의 법칙을 증명하였으며, 지구의 세차 운동, 달의 운동, 조석 운동 등을 기하학적으로 설명하였다. 1704년 빛에 대한 연구를 요약한 『광학』에서는 프리즘을 이용하여 태양의 백색광을 단색광으로 분해하고 단색광들을 다시 합성하면 백색광이 만들어짐을 증명하였다. 뉴턴은 우주가 규칙적인 자연 법칙에 따라 운행된다는 사실을 밝혀냈으며, 이것은 이후 과학의 발전은 물론 인류 사회 전반에 커다란 영향을 미쳤다.



▲ 아이작 뉴턴

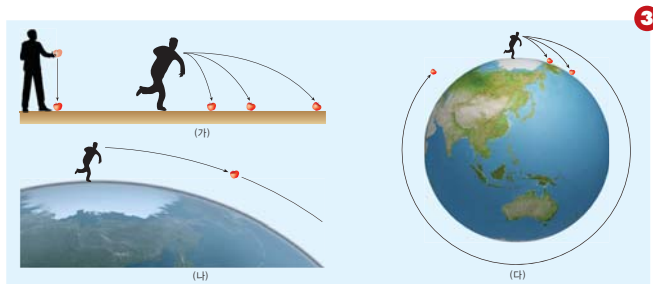
만유인력과 행성의 운동

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 사과를 바로 아래에 떨어뜨리지만, 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.



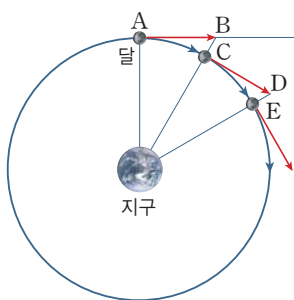
▲ 그림 28 _ 수평 방향으로 빠르게 운동하는 물체의 운동

그림 28의 (가)에서 사과는 멀리 던질수록 출발점에서 먼 곳의 지면에 떨어진다. 이것을 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.

3 | 만유인력과 달의 운동 |

뉴턴의 운동 제1법칙에 따르면 만약 달에 다른 힘이 작용하지 않는다면 관성에 의해 달은 그림과 같이 \overline{AB} 방향으로 영원히 지구로부터 떨어질 것이다. 그러나 달은 지구가 끌어당기는 힘 때문에 지구 쪽으로 점점 떨어져 \overline{AC} 와 같은 곡선을 따라 회전한다.



▲ 만유인력과 달의 운동

여기에서 \overline{BC} 는 달이 \overline{AC} 를 따라서 회전하는 동안 지구를 향해 떨어진 높이라고 할 수 있다. C에서도 달은 관성에 의해 \overline{CD} 를 따라 운동해야 하지만 여전히 지구가 끌어당기고 있으므로 계속해서 지구 쪽으로 떨어지면서 \overline{CE} 를 따라서 운동한다.

이와 같이 달은 계속해서 지구를 향해 떨어지지만 결코 지표에 닿을 수 없다. 따라서 달은 영원히 지구 주위를 회전하게 된다.

8차시 81~83쪽

도입(5분)	전개(30분)	정리(15분)
행성의 운동을 통제하는 힘은 무엇일까?	<ul style="list-style-type: none"> 만유인력 법칙 케플러 법칙 증명 	정리 및 예제 풀이

★ | 동기 유발을 위한 제안 |

- 뉴턴의 사과에 관한 일화를 들려주면서 달도 지구를 향해 떨어지고 있다는 사실을 얘기하고, 이 사실을 어떻게 증명할 수 있는지 생각해 보게 한다.

★ | 지도상의 유의점 |

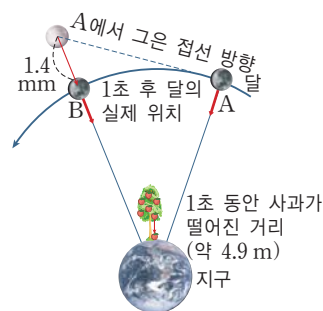
1. 뉴턴의 운동 법칙에 따른 역학적 개념을 바탕으로 행성의 움직임을 체계적으로 이해하게 한다.
2. 지나치게 복잡하고 수학적인 역학 내용을 많이 도입하기 보다는 행성의 운동을 정성적으로 설명할 수 있도록 지도한다.

★ | 보충 자료 |

● 지구를 향해 떨어지는 달

달의 공전 궤도 반지름(r)은 지구 반지름($R \approx 6,400 \text{ km}$)의 약 60배($\approx 385,000 \text{ km}$)이고, 달의 공전 주기(T)는 약 27.3일이다. 이것을 이용하여 달의 구심 가속도(g_m)를 구하면 다음과 같다. $\rightarrow g_m = r\omega^2 = r\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \approx 0.00273 \text{ m/s}^2$

이 값은 지표면에서 지구의 인력에 의한 중력 가속도 9.8 m/s^2 의 약 $\frac{1}{3,600}$ 과 같다. 이것으로 뉴턴은 달과 지표에서의 중력 가속도는 지구 중심으로부터 거리의 제곱에 반비례한다는 것을 알아냈다. 뉴턴은 이를 확인하기 위해 지표 부근에서 물체가 낙하를 시작한 직후 처음 1초 동안 떨어진 거리와 달이 직선 경로로부터 1초 동안 지구를 향해 떨어진 거리를 비교하였다. 그는 원 궤도를 따라 도는 달이 직선 경로로부터 1초 동안에 떨어진 거리는 약 1.4 mm라는 것을 계산해 냈다. 이 값은 지표 부근에서 어떤 물체가 처음 1초 동안에 떨어진 거리인 4.9 m의 $\frac{1}{3,600}$ 과 거의 일치한다.



▲ 달과 사과의 낙하

4 | 만유인력 법칙 |

케플러 제1법칙에서 행성의 공전 궤도는 타원이지만 실제로는 거의 원에 가깝다. 따라서 행성의 공전 궤도를 원이라고 가정하면 케플러 제2법칙에 따라 행성은 태양을 중심으로 등속 원운동을 한다고 할 수 있다.

행성의 질량을 m , 행성의 공전 궤도 반지름을 r , 행성의 공전 속도를 v 라고 하면 행성의 공전 주기(T)는 다음과 같다.

$$T = \frac{2\pi r}{v}$$

그런데 케플러 제3법칙에 의하면 $\frac{r^3}{T^2}$ 은 일정하므로 이 값을 k 라 하고 이 값을 위 식에 대입하면 다음과 같다.

$$v^2 = 4\pi^2 \frac{k}{r}$$

따라서 행성에 작용하는 구심력(F)은 다음과 같다.

$$F = \frac{mv^2}{r} = 4\pi^2 k \frac{m}{r^2}$$

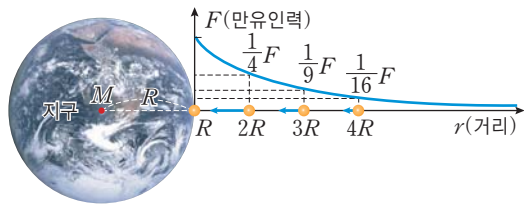
뉴턴의 운동 제3법칙에 의하면 태양에도 같은 크기의 힘이 작용하므로 이 힘은 행성의 질량뿐만 아니라 태양의 질량에도 비례한다. 따라서 비례 상수를 태양의 질량 M 과 새로운 비례 상수(G)를 도입하여 $4\pi^2 k = GM$ 으로 놓으면 힘 F 는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$F = G \frac{Mm}{r^2}$$

뉴턴은 이 힘이 태양과 행성뿐만 아니라 질량을 가진 모든 물체 사이에 작용한다고 생각하고 이 힘을 만유인력이라고 했다. 즉, 질량이 m_1, m_2 인 물체가 거리 r 만큼 떨어져 있을 때 두 물체 사이에 작용하는 만유인력은 다음과 같다.

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

식에서 알 수 있듯이 만유인력은 두 물체의 질량의 곱에 비례하고, 두 물체의 질량 중심 사이의 거리의 제곱에 반비례한다.



▲ 만유인력의 크기

5 | 뉴턴의 케플러 제1법칙 증명 |

케플러 제1법칙을 증명하는 과정에서 뉴턴의 운동 법칙이 적

4 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.

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

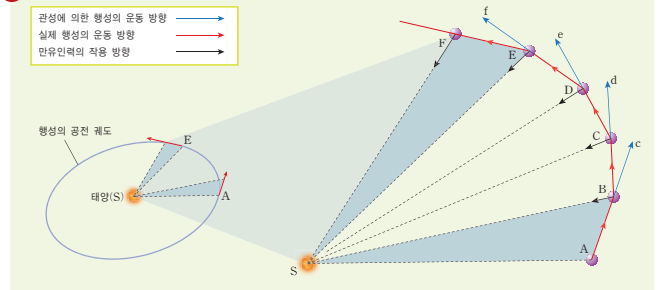
만유인력 상수

만유인력 상수는 약 $6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ 로 매우 작은 값이다. 따라서 뉴턴이 살던 당시에는 측정할 수 없었으며, 이 값은 1798년에 영국의 케번디시가 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.

5

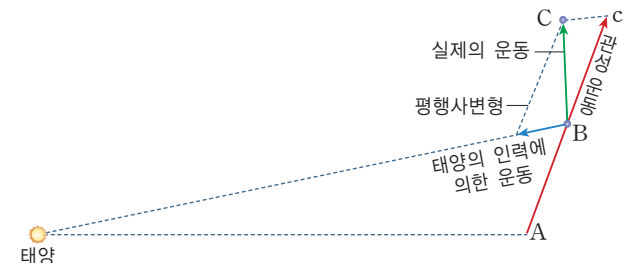


▲ 그림 29. 행성의 공전 궤도

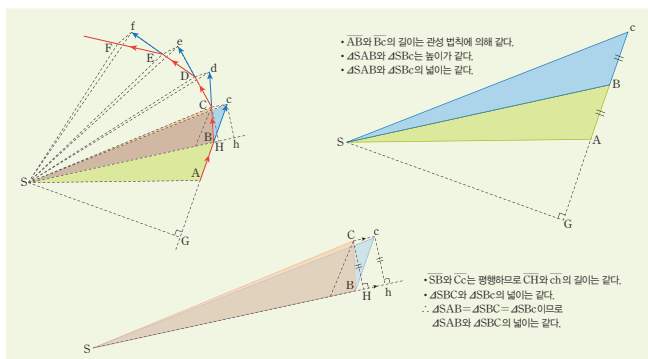
그림 29에서 시간을 일정한 길이로 나누었다고 가정하고, 처음 일정한 시간 동안 행성이 A에서 B로 이동했다고 하자. 행성이 다른 힘이 작용하지 않는다면 관성 법칙에 의해 행성은 B에서 c로 이동할 것이다. 그러나 실제로 행성이 공전할 때 태양과 행성 사이에는 만유인력이 작용한다. 만유인력은 행성이 공전하는 동안 언제나 작용하지만, 행성이 B에 이르렀을 때 순간적으로 강하게 작용한다고 가정하면 행성은 c가 아니라 C로 이동하게 된다. 이 과정을 C, D, E……에서 반복하면 행성은 충분히 빠른 속도로 던진 사과처럼 태양을 한 바퀴 돌아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

용된 부분을 살펴보면 다음과 같다.

움직이고 있는 행성에 어떠한 힘도 작용하지 않는다면 A에서 B를 거쳐 c로 움직일 것이라는 부분에서 뉴턴의 운동 제1법칙을 적용했다. 그리고 행성이 B에 이르렀을 때 태양의 인력이 순간적으로 작용하여 태양 쪽으로 운동의 변화가 일어난다는 부분에서 뉴턴의 운동 제2법칙을 적용했다. 이 부분에서 뉴턴은 같은 시간 간격 동안 이러한 관성과 인력에 의한 운동의 결과는 각 운동의 결과로 형성되는 평행사변형의 대각선으로 주어진다는 보조 정리를 사용했다. 결과적으로 행성은 A에서 B를 거쳐 C로 운동하게 된다.



▲ 케플러 법칙 증명



▲ 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 $\overline{S'c}$ 는 평행하므로 $\triangle SBC$ 와 $\triangle S'bc$ 의 넓이는 같다. 따라서 $\triangle SAB$ 와 $\triangle S'bc$ 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 무엇인지?
 적용 2. 태양 주위를 공전하는 행성이 태양을 향해 끌려들어가지 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.

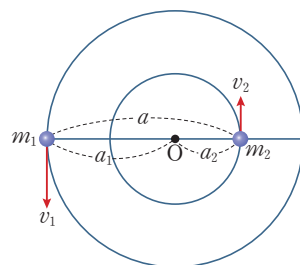
확인하기

- 타원 궤도 법칙, 면적 속도 일정 법칙, 조화 법칙
 - 케플러 제1법칙(타원 궤도 법칙): 모든 행성의 공전 궤도는 원이 아니라 타원이다.
 - 케플러 제2법칙(면적 속도 일정 법칙): 태양과 행성을 잇는 선은 같은 시간 동안 같은 면적을 휩쓸고 지나간다.
 - 케플러 제3법칙(조화 법칙): 행성 공전 주기의 제곱은 공전 궤도 장반경의 세제곱에 비례한다.
- 지구가 탄생할 당시 공전 궤도의 접선 방향으로 초속도를 가지고 있었기 때문이며, 이때 충분히 빠르게 운동하지 않았다면 지구는 오래 전에 태양에 흡수되었을 것이다.
- 지상에서 자유 낙하하는 물체와 마찬가지로 태양의 인력에 의해 태양과 충돌한 후 흡수될 것이다.
- 지구는 관성 법칙에 의해 태양이 사라진 지점에서 공전 궤도의 접선 방향으로 등속 직선 운동할 것이다.

과학 마당

만유인력과 케플러 제3법칙

그림과 같이 질량이 m_1, m_2 인 두 천체가 질량 중심 O로부터 a_1, a_2 만큼 떨어진 거리에서 각각 v_1, v_2 의 속도로 등속 원운동한다고 하자.



두 천체가 각각 등속 원운동하는데 필요한 구심력 F_1 과 F_2 는 다음과 같다.

$$F_1 = \frac{m_1 v_1^2}{a_1}, \quad F_2 = \frac{m_2 v_2^2}{a_2}$$

그런데 두 천체의 공전 주기(P)는 같으므로 각각의 공전 속도는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$v_1 = \frac{2\pi a_1}{P}, \quad v_2 = \frac{2\pi a_2}{P}$$

이 식을 구심력 F_1 과 F_2 에 대입하면 다음과 같다.

$$F_1 = \frac{4\pi^2 m_1 a_1}{P^2}, \quad F_2 = \frac{4\pi^2 m_2 a_2}{P^2}$$

그런데 두 천체가 원운동하는데 필요한 구심력 F_1, F_2 는 두 천체 사이에 작용하는 만유인력이므로 위 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{4\pi^2 m_1 a_1}{P^2} = \frac{Gm_1 m_2}{a^2}, \quad \frac{4\pi^2 m_2 a_2}{P^2} = \frac{Gm_1 m_2}{a^2}$$

여기에서 두 천체 사이 거리 $a = a_1 + a_2$ 이므로 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\frac{a^3}{P^2} = \frac{G(m_1 + m_2)}{4\pi^2}$$

이것을 케플러 제3법칙의 일반식이라고 한다. 이 식은 태양과 행성, 지구와 달, 쌍성을 이루고 있는 두 별 사이에도 적용할 수 있는 일반적인 관계식이다. 그런데 태양계의 경우 행성의 질량은 태양의 질량에 비하여 무시할 수 있을 정도로 작으므로 행성의 질량을 무시하고 태양의 질량을 M 이라고 하면 위 식은 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\frac{a^3}{P^2} = \frac{GM}{4\pi^2} = k(\text{상수})$$

이것은 케플러가 행성의 관측 자료를 분석하여 발견한 제3법칙이다. 이것으로 케플러가 제3법칙을 발견할 수 있었던 까닭은 행성의 질량이 태양에 비하여 무시할 수 있을 정도로 작았기 때문이라는 것을 알 수 있다.

3. 지구와 달의 운동

☆ | 소단원의 학습 목표 |

1. 지구의 자전과 공전으로 나타나는 현상과 그 증거를 제시할 수 있다.
2. 달의 동일 주기 자전과 위상 변화, 일식과 월식이 일어나는 원리를 설명할 수 있다.

👉 9차시

84~88쪽

도입(5분)	전개(35분)	정리(10분)
태양계 모형은 어떻게 변화해왔을까?	<ul style="list-style-type: none"> • 창의 인성 활동2 • 지구의 자전에 의한 현상과 증거 	정리 및 예제 풀이

☆ | 동기 유발을 위한 제안 |

- 갈릴레이가 종교 재판을 받고 나오면서 “그래도 지구는 돈다.”라고 말을 했다는 일화가 있다. 사실이 아니라 지어낸 이야기라고도 하는데, 이 말에는 어떤 뜻이 있을까 생각해 보도록 한다.

☆ | 지도상의 유의점 |

1. 각 이론을 뒷받침하는 증거와 이론들이 설명 가능한 관측 사실, 설명할 수 없는 관측 사실을 정리하고 검증하는 가운데 성립되었다는 과학 이론의 발전 과정을 이해하고, 과학-기술-사회가 서로 깊은 관련이 있음을 알도록 한다.
2. 지구 자전에 의한 현상이 모두 지구 자전의 증거가 되는 것은 아니라는 사실을 이해시킨다.

창의 인성 활동의 이해

활동 2 우주관은 어떻게 변해 왔을까?

목표

- 태양 중심설이 확립되기까지의 과정을 설명할 수 있다.

원리

1. 태양 중심설이 확립되기까지의 태양계 모형 변화를 관측 증거와 함께 조사하여 토론하게 한다.
2. 각 이론들이 등장한 시대적 배경과 여러 과학자의 역할을 함께 살펴보고 하되, 낱말의 사건을 연대기적으로 다루지 않도록 다양하고 흥미로운 발표 형식을 취하도록 한다.
3. 미리 모둠을 편성하여 역할극이나 포스터 등을 준비하여 발표하는 수업으로 진행하는 것도 좋다.

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

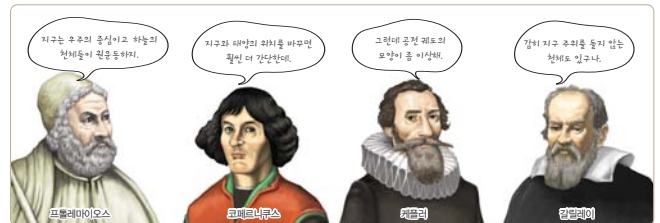
활동 2 우주관은 어떻게 변해 왔을까?

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

프톨레마이오스에 의해 체계화된 천동설은 코페르니쿠스에 이르러 흔들리기 시작했다. 이후 케플러는 행성의 공전 궤도가 타원이라는 사실을 기하학적으로 증명했으며, 갈릴레이는 망원경으로 금성의 위상 변화와 목성의 위성 관측 등 지동설을 지지하는 관측 증거들을 발견하였다.

평가 기준표

활동 과정	평가 문항	점수
정리	<ul style="list-style-type: none"> • 각 우주관의 특징을 잘 조사하였는가? • 천동설로 설명이 불가능한 현상을 올바르게 이해하고 있는가? • 천동설에서 주전원을 채택한 이유는 무엇인지 올바르게 이해하고 있는가? • 과학-기술-사회가 서로 영향을 주고받음을 이해하고 있는가? • 토론에 적극 참여하였는가? 	상, 중, 하

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?

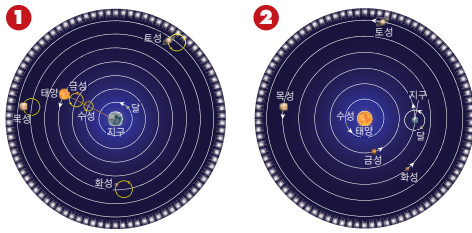
지구에서 사는 우리는 마치 지구가 우주의 중심에 있고 태양, 달, 별들이 지구 주위를 돌고 있는 것처럼 느낀다. 그래서 옛날 사람들은 대부분 지구가 우주의 중심에 고정되어 있고 태양과 행성들이 지구 주위를 공전한다고 생각했다. 이를 **천동설**이라고 하며, 천체의 겉보기 운동을 직관적이고 간단하게 설명해 준다.

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.



▲ 그림 33_ 천동설과 지동설

1 | 프톨레마이오스의 천동설 |

지구는 우주의 중심에 고정되어 있고, 태양과 달, 다른 행성들은 지구 주위를 공전한다. 그리고 별들은 가장 바깥쪽의 구면에 붙어 있다. 행성들은 주전원이라고 하는 작은 원을 따라서 운동하며, 주전원의 중심은 지구를 중심으로 한 큰 원을 따라서 공전한다.

주전원은 행성의 시운동 현상을 설명하기 위해 도입되었다. 또한, 내행성인 수성과 금성이 태양 근처에서만 관측되는 현상을 설명하기 위해 내행성의 주전원 중심은 항상 태양과 지구를 잇는 일직선상에 있다고 하였다.

2 | 코페르니쿠스의 지동설 |

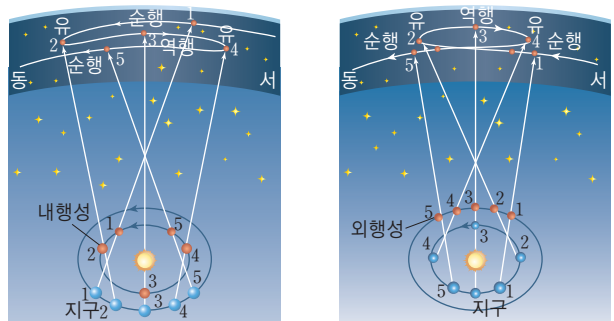
우주의 중심은 태양이고 행성들은 일정한 속도로 태양 주위를 원운동한다. 이 모형에서는 행성의 시운동을 행성들 사이의 공전 속도 차이로 간단하게 설명할 수 있다. 그리고 내행성인 수성과 금성이 태양 근처에서만 관측되는 이유도 자연스럽게 설명할 수 있다. 또한, 별의 일주 운동은 지구의 자전 때문에 일어나는 겉보기 운동임을 설명할 수 있다.

☆ | 보충 자료 |

● 행성의 시운동

모든 행성들은 서에서 동으로 공전하지만 지구에서 행성들을 관찰해 보면 서에서 동으로 이동하다가 어느 기간에는 동에서 서로 이동하기도 한다. 이렇게 지구에서 관측한 행성의 운동을 행성의 시운동 또는 겉보기 운동이라고 한다.

이 현상은 행성과 지구의 공전 속도 차이 때문에 나타난다. 천구상에서 행성이 서에서 동으로 이동하는 것을 순행이라고 하며, 반대로 동에서 서로 이동하는 것을 역행이라고 한다. 또 순행에서 역행으로, 또는 역행에서 순행으로 전환할 때 행성이 움직이지 않고 머물러 있는 것처럼 보이는데, 이때를 유라고 한다. 역행 현상은 지구와 행성의 거리가 가장 가까울 무렵에 일어나는데 내행성은 내합 부근에서, 외행성은 충 부근에서 역행한다.



▲ 행성의 시운동

과학자 이야기

1. 에우독소스(Eudoxos, ?B.C. 400~?B.C. 350)

행성, 달, 태양의 불규칙한 운동을 지구를 중심으로 한 천구들의 회전 운동과 결합하여 설명하려 했다. 이것을 동심천구설(同心天球說)이라고 한다. 그는 천체의 복잡한 운동을 설명하기 위해 항성에 1개, 태양에 3개, 달에 3개, 5개의 행성에 각각 4개씩 총 27개나 되는 천구를 도입하였다.

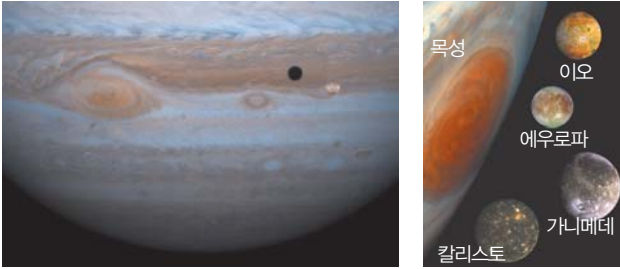
2. 아리스타르코스(Aristarchos, ?B.C. 217~B.C. 145)

코페르니쿠스보다 1,700여년이나 앞서 지동설의 원형이 될만한 주장을 내놓았다. 그는 지구가 세상의 중심이 아니고 다른 행성과 마찬가지로 태양 주위를 돌고 있으며, 별들은 아득히 먼 곳에 있다고 생각했다. 그가 생각한 우주는 이전 사람들이 생각한 것보다 훨씬 더 큰 것이었다. 그러나 그의 생각은 아직은 정성적인 것이었으며 당시의 주류 천문학으로 발전하지는 못하였다.

☆ | 보충 자료 |

● 갈릴레이 위성

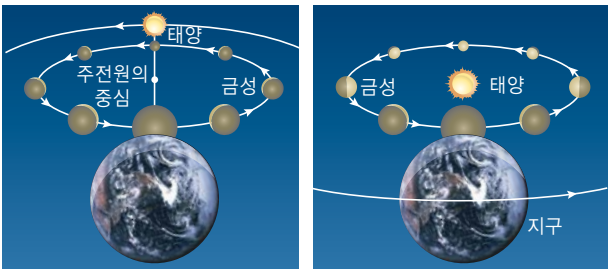
1610년 갈릴레이가 발견한 목성의 위성으로 이오, 에우로파, 가니메데, 칼리스토를 가리킨다. 갈릴레이는 망원경으로 목성을 관측하던 중 목성 가까이에는 4개의 작은 천체들을 발견했는데, 여러 날 동안 계속해서 관측한 결과 이 천체들은 목성 주위를 돌며 목성을 따라다니고 있었다. 당시 지동설을 반대하던 사람들은 만약 지구가 태양 주위를 공전한다면 달이 지구를 따라가지 못할 것이라고 주장했다. 따라서 갈릴레이가 발견한 목성의 위성은 코페르니쿠스의 지동설에서 행성인 지구가 그 자체의 위성인 달을 가지는 문제를 해결해 주었다. 갈릴레이 위성은 매우 밝기 때문에 쌍안경으로도 관측할 수 있으며, 가장 바깥쪽의 칼리스토는 관측 조건만 좋으면 맨눈으로도 관측할 수 있다.



▲ 갈릴레이 위성

● 금성의 위상 변화

갈릴레이는 망원경을 이용하여 금성의 위상이 달처럼 차고 기운다는 사실을 발견하였다. 금성은 외합 부근에서는 지구로부터의 거리가 멀기 때문에 크기가 작게 관측되며 보름달에 가까운 모습으로 둥글게 보인다. 동방 최대 이각에 위치할 때는 상현달 모양으로 보이며 내합으로 올수록 지구에 가까워지므로 크기가 점점 커진다. 내합 위치에서는 관측이 되지 않으며, 서방 최대 이각으로 갈수록 크기가 작아지고 서방 최대 이각에서는 하현달 모양으로 관측된다. 프톨레마이오스의 천동설로는 금성의 위상이 보름달 모양으로 관측되는 현상을 설명할 수 없다.



▲ 천동설에 의한 금성의 위상 변화

▲ 지동설에 의한 금성의 위상 변화

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 검증 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.

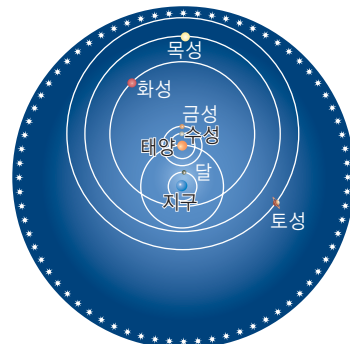
한편, 문화나 종교와 같은 사회적 요인은 가설을 설정하는 데 큰 영향을 준다. 자연 현상에 대한 가설이 세워지면 이를 입증하기 위하여 연구와 실험이 시행된다. 이때 발달한 기술로 정확하게 뛰어난 성능의 실험·관측 도구를 개발할 수 있고, 이것은 새로운 가설을 입증하는 데 도움을 준다. 일단 가설이 증명되면 그 가설은 과학 이론으로 정립되어 다시 사회에 영향을 미친다. 이렇게 과학과 기술, 그리고 사회는 서로 밀접한 관계를 맺으며, 함께 발달하여 사회를 풍요롭게 한다.

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



● 티코 브라헤의 우주 모형

티코 브라헤는 코페르니쿠스의 지동설이 옳다면 별의 시차와 존재할 것이라 생각하고, 이러한 현상을 찾으려 하였으나 결국 찾지 못하였다. 그래서 그는 천동설과 지동설을 절충한 우주관을 내놓았다. 이 모형에 의하면 지구는 프톨레마이오스의 천동설과 같이 우주의 중심에 고정되어 있고, 달과 태양은 지구 주위를 돌고 있으며, 나머지 행성들은 태양 주위를 돈다. 또한 천체의 일주 운동은 항성구의 회전으로 설명한다.



▲ 티코 브라헤의 우주 모형

지구의 자전

낮 동안 태양은 동쪽에서 떠서 남쪽 하늘을 지나 서쪽으로 지며, 밤하늘의 달과 별 들도 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 보이다. 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 천정에 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.

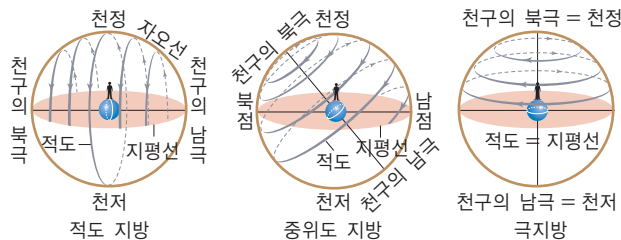
▼ 그림 35_ 진자 진동면의 회전



보충 자료

● 위도에 따른 천체의 일주 운동

천체의 일주 운동 경로는 관찰자의 위도에 따라 다르게 보인다. 적도 지방에서는 지평선과 수직을 이루며 북극 지방에서는 지평선과 평행을 이룬다. 북반구의 중위도 지방에서는 남쪽 하늘을 향해 비스듬히 경사를 이룬다. 우리나라에서 천체의 일주 운동을 관측하면 방향에 따라 경로가 다르게 보인다. 동쪽 하늘에서는 지평선에서 떠오른 천체가 남쪽 하늘을 향해 비스듬히 솟아오르며, 남쪽 하늘에서는 동에서 서로 거의 수평을 그리며 이동하고, 서쪽 하늘에서는 지평선을 향해 비스듬히 내려간다.



▲ 위도에 따른 천체의 일주 운동

3 | 푸코 진자 |

1851년 프랑스의 푸코는 프랑스 파리의 판테온에서 길이 67 m의 강철 줄에 질량 28 kg의 거대한 추를 단 진자를 진동시키는 실험을 하였다. 추의 바닥에는 바늘처럼 작은 침을 붙이고 진자가 가로지르는 바닥 원의 가장자리에는 모래로 독을 쌓아 진자의 움직임이 모래에 자국을 내도록 한 것이다. 이 실험에서 진자의 진동면은 서서히 시계 방향으로 바뀌면서 모래 독에 자국을 남겼다.



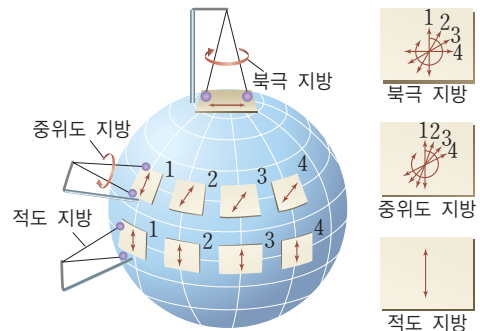
▲ 파리 판테온의 푸코 진자

진자는 항상 일정한 방향으로 진동한다. 움직이는 것은 진자의 아래쪽에 있는 지구이다. 진자의 진동 방향은 변함이 없지만 지구에 있는 관찰자에게는 진자의 진동면이 시계 방향으로 회전하는 것처럼 보인다. 즉, 지구가 시계 반대 방향으로 자전하고 있기 때문에 북반구를 기준으로 푸코 진자의 진동면이 시계 방향으로 회전하는 것처럼 보인다. 남반구에서는 이와 반대이다. 만약 지구가 자전하지 않는다면 진자는 처음 진동을 시작한 방향으로 계속해서 진동하게 될 것이다.

푸코 진자 진동면의 회전 주기는 위도에 따라 다르다. 지구의 회전 각속도를 $\omega (= \frac{2\pi}{24\text{시간}})$ 라고 하면 위도가 ϕ 인 지방에서 지구 회전 각속도의 수직 성분은 $\omega \sin \phi$ 이다. 따라서 위도가 ϕ 인 지방에서 푸코 진자 진동면의 회전 주기(T)는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$T = \frac{2\pi}{\omega \sin \phi} = \frac{2\pi}{\left(\frac{2\pi}{24\text{시간}}\right) \sin \phi} = \frac{24\text{시간}}{\sin \phi}$$

극지방에서는 지구의 자전 주기와 같은 24시간에 1회 회전하며, 위도가 30°인 지방에서는 48시간에 1회 회전한다. 그러나 적도 지방에서는 주기가 ∞이므로 푸코 진자는 회전하지 않는다.

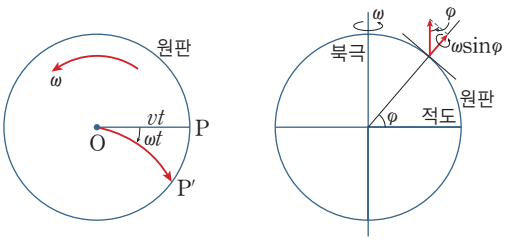


▲ 위도에 따른 푸코 진자의 진동면 회전

☆ | 보충 자료 |

● 코리올리의 힘(Coriolis Force)

지구 상에서 운동하는 물체는 지구의 자전에 의한 가상적인 힘을 받는다. 이 힘의 크기는 프랑스의 과학자 코리올리(Gaspard Gustave Coriolis, 1792~1843년)가 이론적으로 유도하였으며, 그의 이름을 따서 코리올리의 힘, 또는 전향력이라고 한다. 전향력은 관성력의 일종으로 물체가 운동을 시작한 지점에서 볼 때 운동 방향에 대하여 북반구에서는 오른쪽 직각 방향, 남반구에서는 왼쪽 직각 방향으로 작용한다.



▲ (가) 전향력의 세기 ▲ (나) 지구 자전과 각속도

그림 (가)와 같이 ω 의 각속도로 회전하는 원판의 중심 O에서 v 의 속도로 P점을 향해 운동하는 물체는 전향력에 의해 P'점에 도달하게 된다. 물체가 O에서 P까지 운동하는데 걸리는 시간을 t 라고 하면

$$\widehat{PP'} = \overline{OP} \times \omega t = vt \times \omega t = v\omega t^2$$

이 된다. 여기에서 전향력에 의한 가속도를 a 라고 하면

$$\widehat{PP'} = \frac{1}{2}at^2 \text{ 이므로}$$

$$\frac{1}{2}at^2 = v\omega t^2$$

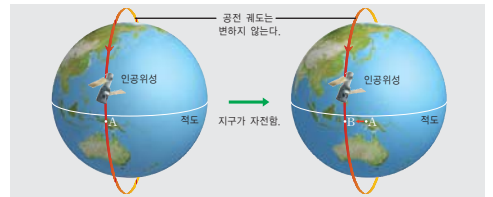
이다. 따라서 $a=2v\omega$ 가 된다. 그런데 그림 (나)에서 보는 바와 같이 지구의 자전 각속도를 ω 라고 하면, 위도가 ϕ 인 지표면에서 지구의 자전에 수직 방향의 회전 각속도는 $\omega \sin \phi$ 이므로

$$a = 2v\omega \sin \phi$$

이다. 그러므로 질량이 m 인 물체가 v 의 속도로 운동할 때 생기는 전향력(f)의 크기는 다음과 같다.

$$f = 2mv\omega \sin \phi$$

전향력의 크기는 물체의 운동 속도가 빠를수록 크고 정지해 있는 물체는 전향력이 0이 된다. 또한, 극지방에서는 최대가 되고, 적도에서는 0이다. 전향력은 지구 상의 모든 물체의 운동에 관여하지만 작은 규모의 운동에서는 잘 관찰되지 않는다. 그러나 대기나 해수의 순환과 같은 대규모의 운동에서는 바람이나 해류의 방향을 바꾸는 역할을 한다.

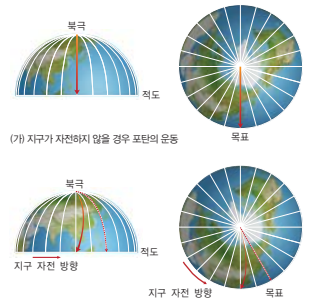


▲ 그림 36. 인공위성 궤도의 서편 현상

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 떨어진 다. 반대로 남반구에서는 왼쪽으로 치우쳐 떨어진다.

과학 마당

인공위성의 궤도

인공위성이 지구 주위를 공전할 때 만드는 궤도면은 반드시 지구 중심을 통과해야 한다. 정지 위성은 적도 상공 약 36,000 km의 정지 궤도를 따라서 공전하며, 정지 위성의 공전 주기는 지구의 자전 주기와 같기 때문에 지구에서 보면 항상 한 점에 정지해 있는 것처럼 보인다. 이 위성은 주로 방송·통신, 기상 관측의 역할을 한다.

위성의 고도가 이보다 낮아지면 구심력이 증가하므로 위성의 고도를 유지하기 위해서 속도를 증가시켜야 한다. 이 경우 고도 약 600~1,000 km의 궤도를 가지는 위성은 약 1.5~2시간에 지구를 한 바퀴 공전하며, 지구의 남극과 북극을 지나는 궤도를 따라서 공전하므로 극궤도 위성이라고 한다. 위성이 공전하는 동안 지구도 자전하기 때문에 극궤도 위성은 지구 전체를 촬영하게 되므로, 주로 기상 위성이나 정찰 위성 등으로 이용된다.

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?

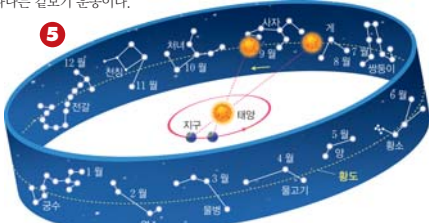


▲ 그림 38_ 태양 부근의 별자리 변화

4

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 8월에는 태양은 게자리 근처에서 뜨고 하지만 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?

4 | 황도 |

태양이 천구 상에서 1년 동안 지나가는 길로 지구가 태양 주위를 공전함에 따라 태양은 하루에 약 1° 움직이는 것처럼 보인다. 지구의 자전축이 약 23.5° 기울어져 있기 때문에 천구의 적도와 황도도 약 23.5° 기울어져 있다. 이 때문에 천구의 적도와 황도는 두 점에서 교차한다. 두 점 중 태양이 남에서 북으로 가로지르면서 만나는 점을 **춘분점**이라고 하며, 반대로 북에서 남으로 가로지르면서 만나는 점을 **추분점**이라고 한다.

5 | 황도 12궁 |

황도 상에 존재하는 12개의 별자리로 지금 우리가 알고 있는 황도 12궁은 기원전 3000년경에 메소포타미아에서 만들어졌다고 하며, 양자리, 황소자리, 쌍둥이자리, 게자리, 사자자리, 처녀자리, 천칭자리, 전갈자리, 궁수자리, 염소자리, 물병자리, 물고기자리이다. 황도 12궁의 시작을 양자리로 정한 이유는 당시 춘분점이 양자리에 있었기 때문이다. 그러나 현재는 지구의 세차 운동 때문에 춘분점이 물고기자리로 옮겨졌다.

10차시

89~90 쪽

도입(5분)	전개(35분)	정리(10분)
지구 공전에 의한 현상과 지구 공전의 증거에는 어떤 것들이 있을까?	지구의 공전에 의한 현상과 공전의 증거	정리 및 예제 풀이

동기 유발을 위한 제안 |

- 계절별 별자리 사진을 보여주면서 별자리의 유래나 이에 얽힌 전설을 이야기하고, 계절별로 관측할 수 있는 별자리가 달라지는 이유를 이야기해 보게 한다.
- 자신의 계절에 생일 별자리를 볼 수 없다는 사실을 이야기하면서, 생일에 따라 관측되는 별자리가 달라지는 이유를 생각해 보게 한다.

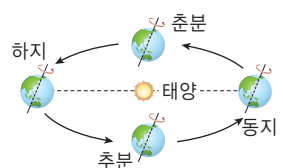
지도상의 유의점 |

1. 이전에 학습한 태양계 모형의 발전 과정과 지구의 공전을 연계하여 수업을 진행한다.
2. 지구 공전에 의해 나타나는 현상이 모두 지구 공전의 증거가 될 수 없음을 강조한다.

과학 마당

지구의 공전과 계절 변화

지구는 자전축이 공전 궤도면에 수직인 방향에 대하여 약 23.5° 기울어진 채로 자전하면서 태양 주위를 공전하고 있다. 이 때문에



▲ 지구의 공전과 계절 변화

태양의 일주 운동 경로는 매일 조금씩 달라진다. 그 결과 공전 궤도상의 지구 위치에 따라 밤과 낮의 길이와 태양의 고도가 달라져 계절의 변화가 생긴다.

예를 들어, 북반구의 하지 무렵에는 태양의 남중 고도가 높고 낮의 길이가 길어지므로 햇빛을 받는 시간도 길어진다. 따라서 여름철에는 기온이 높아지게 된다. 반면, 동지 무렵에는 태양의 남중 고도가 낮고 낮의 길이가 짧아져 그만큼 햇빛을 받는 시간이 짧아지므로 겨울철에는 기온이 낮아지게 된다.

과학 마당

1. 연주 시차와 별까지의 거리

별의 연주 시차는 지구가 공전하고 있다는 명확한 증거이다. 그런데 어떤 별의 연주 시차를 알면 지구에서 그 별까지의 거리를 구할 수 있다. 태양과 지구 사이의 거리를 1 AU라 하고 별의 연주 시차를 p'' 라 하면, 별까지의 거리 r 는 다음과 같다.

$$2\pi r : 1 \text{ AU} = 360 \times 60 \times 60 : p''$$

$$\therefore r \approx \frac{206,265}{p''} \text{ AU}$$

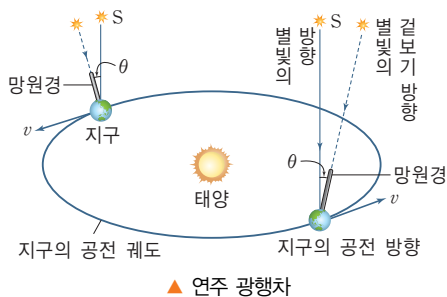
연주 시차가 $1''$ 일 때 별까지의 거리($r \approx 206,265$ AU)를 1 pc(파섹)이라 하고, 별까지의 거리를 pc 단위로 나타내면 $r(\text{pc}) = \frac{1}{p''}$ 이다.

모든 별의 연주 시차는 $1''$ 보다 작으며, 연주 시차는 약 $0.01''$ 까지 측정할 수 있다. 따라서 100 pc보다 더 멀리 떨어져 있는 별까지의 거리는 다른 방법으로 구해야 한다.

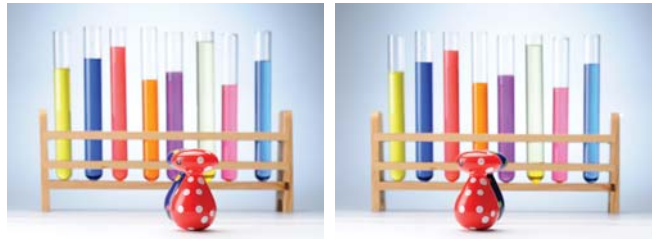
2. 연주 광행차

비가 오는 날 우산을 쓰고 걸어갈 때 빗방울이 지면에 수직으로 내리더라도 우산을 약간 앞쪽으로 기울여야 비를 맞지 않는다. 이때 걸어가는 속도가 빠르면 우산을 기울이는 각도는 더 커져야 한다.

이와 같은 현상은 별빛이 망원경을 통해 들어올 때도 나타난다. 공전하고 있는 지구에서 별을 관측하려면 다음 그림과 같이 망원경을 지구 공전 방향으로 약간 기울여야 한다. 망원경을 기울이는 방향은 지구가 태양 주위를 공전함에 따라 계속 변한다. 여기에서 별의 실제 방향에 대하여 망원경을 기울이는 각도, 즉 별의 실제 방향과 관측되는 방향의 차이를 연주 광행차라고 한다. 만약 지구가 정지해 있다면 이러한 현상은 나타나지 않으므로 이것은 지구 공전의 증거가 된다.

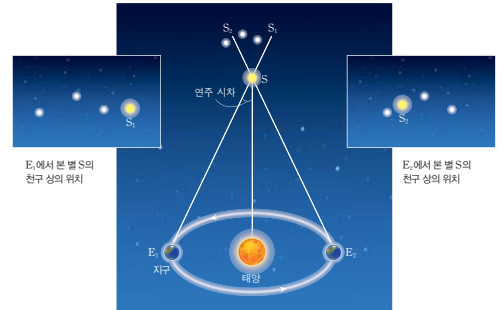


▲ 연주 광행차



▲ 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 시차라고 한다.



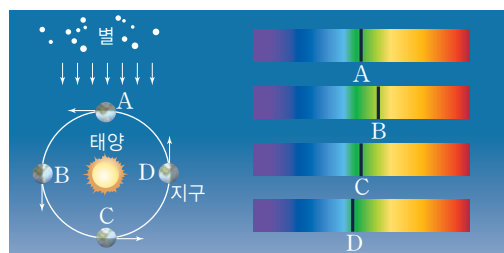
▲ 그림 41_ 지구의 공전과 별의 연주 시차

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 시차라고 한다.

3. 별빛의 시선 속도 변화

지구의 공전 궤도면 상에 있는 별빛의 스펙트럼을 조사해 보면 흡수선이 파장이 긴 적색 쪽으로 치우쳤다가(적색 이동) 다시 파장이 짧은 청색 쪽으로 치우쳐 나타나는 현상(청색 이동)을 볼 수 있다.

이와 같은 별빛의 스펙트럼이 치우치는 현상은 지구가 태양 주위를 공전함에 따라 지구로부터 별까지의 거리가 멀어졌다가 가까워지기를 반복하기 때문에 나타나는 것으로, 이는 지구 공전의 증거가 된다.



▲ 별빛의 시선 속도 변화

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

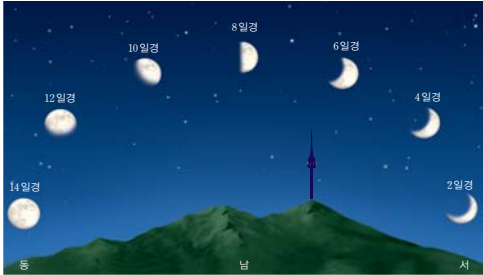
별의 연주 시차는 별까지의 거리가 멀수록 작아지며, 연주 시차가 상대적으로 크게 나타나는 가까운 별이라도 그 값은 매우 작다. 실제로 지구에서 가장 가까운 별인 센타우루스자리 프록시마의 연주 시차는 약 $0.76''$ 에 불과하다. 따라서 관측 기술과 도구가 발달하지 못했던 과거에는 연주 시차를 측정할 수 없었으며, 1838년에 이르러서 독일의 베셀이 처음으로 측정할 수 있었다. **6**

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

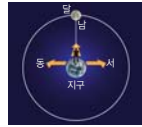


▲ 그림 43 _ 초저녁에 관측한 달의 위치와 모양(남쪽은 아래)

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 달이 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



보충 자료

센타우루스자리 프록시마(Proxima)

센타우루스자리 알파(α) 별은 지구에서 가장 가까운 다중성이며, 프록시마는 천구 상에서 센타우루스자리 알파 별로부터 2° 정도 떨어져 있는 적색 왜성으로 겉보기 등급은 11등급, 절대 등급은 15.5등급이다. 지구에서 가장 가까운 거리에 있는 이 별의 연주 시차는 약 $0.764''$ 로 거리는 약 4.2광년이다.

베셀의 연주 시차 측정

베셀은 지구 공전 궤도에서 정반대인 두 지점에서 별을 관측하는 방법으로 백조자리 61번 별의 시차를 측정하였다. 즉, 6개월 간격으로 이 별을 관측함으로써 밑변이 지구와 태양 사이의 거리의 2배인 삼각형을 만들어낸 것이다. 베셀은 3년 동안 주변의 배경이 되는 별들과 비교하여 백조자리 61번 별의 위치를 측정했다. 그 결과 이 별의 시차는 약 $0.294''$ 임을 발견하였다. 이것을 이용하여 계산한 백조자리 61번 별까지의 거리는 약 10.3광년으로 현재의 측정치 약 11.2 광년보다 약간 짧았다.

11차시

91~93쪽

<p>도입(5분)</p> <p>달의 공전과 자전에 의한 현상에는 무엇이 있을까?</p>	<p>전개(35분)</p> <p>달의 위상, 달의 공전, 동주기 자전</p>	<p>정리(10분)</p> <p>정리 및 예제 풀이</p>
---	---	---

동기 유발을 위한 제안

- 음력은 한 달의 길이를 29일과 30일로 번갈아 사용한다는 것을 이야기하고 그 이유에 대하여 자유롭게 이야기해 보게 한다.
- 여러 가지 달의 위상 사진을 보여주면서 달의 위상과 달이 뜨는 시각이 매일 변하는 이유에 대하여 이야기 해보게 한다.

지도상의 유의점

- 본시 수업 전 열흘 정도의 기간 동안 학생들이 매일 같은 시각에 달의 위치와 위상을 관찰하여 정리해 오도록 한 후 수업을 진행해도 좋다.
- 교실의 불을 끄고 어두운 실내에서 손전등과 공을 이용해 달의 위상을 확인하는 실험과 함께 수업을 진행할 수도 있다.

과학 마당

1. 음력

달이 차고 기우는 주기인 약 29.5일을 한 달의 기준으로 정한 역법으로, 일반적으로는 태양태음력을 가리킨다. 한 달의 길이가 긴 달은 30일, 짧은 달은 29일로 하며, 1년은 12개월, 354일로 한다. 이것은 지구의 공전 주기인 365일과 11일 차이가 나므로 19년에 7번의 윤달을 두어 일치시키는데, 이것을 장법이라고 한다.

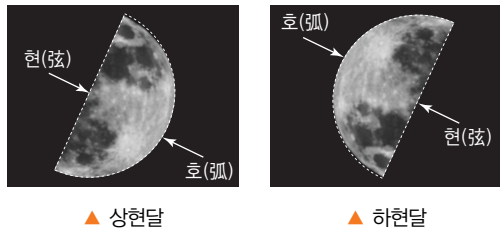
2. 월령(月齡, lunar phase)

달이 보이지 않게 되는 때인 삭(朔)을 기준으로 하여 달의 위상 변화를 날짜로 나타낸 것을 월령이라고 한다. 삭에서 다음 삭이 될 때까지는 약 29.5일이 걸린다. 따라서 보름은 29.5일의 절반인 14.8일이 되고 상현은 7.4일, 하현은 22.1일이 된다.

월령은 음력 날짜와 거의 일치하므로 음력 날짜를 알면 달의 모양이나 뜨고 지는 시각을 알 수 있다. 그런데 달이 삭일 때 월령은 0일로 잡았지만 음력에서는 1일로 잡았으므로 음력 날짜는 월령에 1~2일 정도를 더해줘야 한다.

7 | 상현(上弦)과 하현(下弦) |

원주 상에서 두 점 사이의 활 모양으로 구부러진 부분을 호(弧)라고 하며, 두 점을 직선으로 연결한 선분을 현(弦)이라고 한다. 서쪽 지평선 아래로 지는 반달의 모습을 관찰해 보면 삭에서 망으로 갈 때 보이는 반달은 현이 호보다 위쪽에 놓인다. 그러나 망에서 삭으로 갈 때 보이는 반달은 현이 호보다 아래쪽에 놓인다. 이러한 이유로 옛날 사람들은 반달의 모습을 상현과 하현으로 구분하였다. 그러나 지구 공전 궤도면과 달의 공전 궤도면은 약간 기울어져 있다. 따라서 지구상에서 관측한 반달의 모습은 경우에 따라 현이 왼쪽이나 오른쪽에 놓일 수도 있고, 위쪽이나 아래쪽에 놓일 수도 있다.

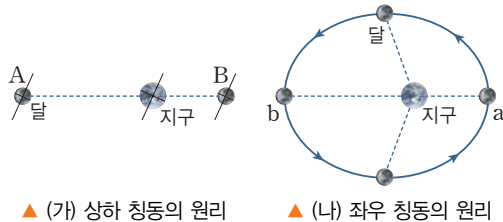


☆ | 보충 자료 |

● 칭동(稱動, libration)

달은 케플러 법칙에 따라 지구 주위를 타원 궤도로 공전한다. 달의 공전 궤도면은 지구의 공전 궤도면에 대하여 약 5° 기울어져 있으며, 공전 속도는 궤도 상의 위치에 따라 조금씩 달라진다. 또한 달의 자전축은 달의 공전 궤도면에 대하여 약 6.6° 기울어져 있으며, 자전 속도는 일정하다. 이 때문에 지구에서 달을 관측하면 상하좌우로 서서히 진동하는 것처럼 보이는데 이러한 현상을 칭동이라고 한다.

그림 (가)에서 달이 A의 위치에 있을 때는 달의 위쪽 가장자리를 조금 더 볼 수 있으며, B의 위치에 있을 때는 아래쪽 가장자리를 조금 더 볼 수 있다. 또한, 그림 (나)에서 달이 a의 위치에 있을 때는 공전 속도가 평균 속도보다 빨라 달의 오른쪽 가장자리를 조금 더 볼 수 있다. 반면에 b의 위치에 있을 때는 왼쪽 가장자리를 조금 더 볼 수 있다. 이와 같은 칭동 현상 때문에 지구에서는 달 표면의 59% 정도를 볼 수 있다.



▲ (가) 상하 칭동의 원리 ▲ (나) 좌우 칭동의 원리

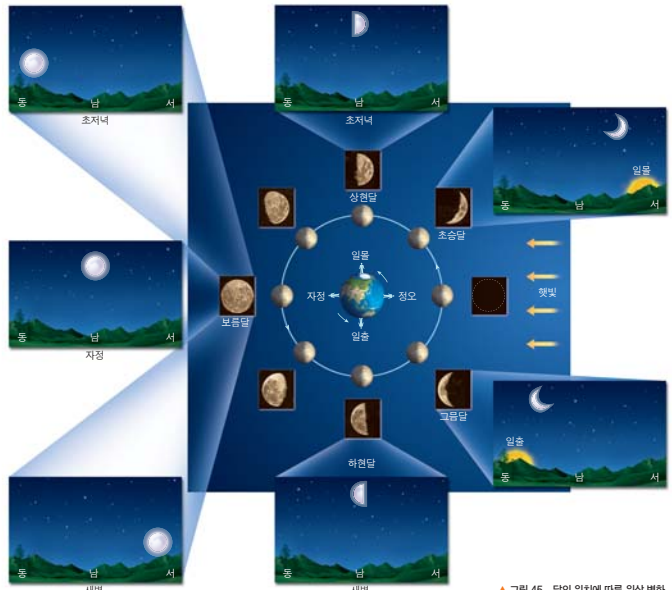
표 3_ 위상별 달이 뜨고 지는 시각과 관측 가능 시간

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

지구에서 관측되는 달의 모양을 달의 위상이라고 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 지구로 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 삭이라고 한다. 이후 달이 태양 빛을 반사하는 부분이 서서히 넓어져 달의 서쪽 절반만 보이는 때를 상

7 현, 보름 무렵에 달이 태양의 반대편에 있어 달 표면이 태양 빛을 가장 많이 반사할 때를 망이라고 한다. 보름 이후 달이 태양 빛을 반사하는 부분이 서서히 좁아져 달의 동쪽 절반만 보이는 때를 하현이라고 하며, 이후 밝게 보이는 부분이 계속 좁아져 다시 삭에 이른다.



▲ 그림 45_ 달의 위치에 따른 위상 변화

● 남반구에서 달의 위상

남반구에서는 달을 관측하는 방향이 북반구와 반대이므로 달의 위상이 북반구와는 반대로 보인다. 즉, 남반구에서 관측한 달의 위상은 같은 날 북반구에서 관측한 달의 위상을 180° 회전한 모습과 같다. 북반구에서는 삭 이후에 달의 오른쪽 부분부터 보이기 시작하여 오른쪽 반달을 거쳐 보름달, 왼쪽 반달, 다시 삭이 되지만 남반구에서는 삭 이후에 달의 왼쪽 부분부터 보이기 시작하여 왼쪽 반달, 보름달, 오른쪽 반달, 삭이 된다.

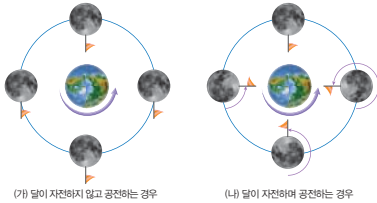


▲ 2010년 1월 북반구에서 관측된 달의 위상 변화 ▲ 2010년 1월 남반구에서 관측된 달의 위상 변화



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 주기가 같으므로 지구에서는 항상 달의 같은 면만 볼 수 있으며, 이를 달의 **동주기 자전**이라고 한다.



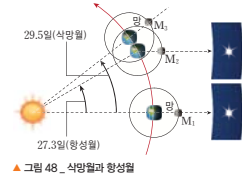
▲ 그림 46. 위상에 따른 달 표면의 모습

▲ 그림 47. 달의 자전과 공전

과학 마당 | 삭망월과 항성월 3

달이 삭에서 다음 삭으로, 또는 망에서 다음 망으로 돌아오는 기간은 약 29.5일이며, 이를 삭망월($M_1 \rightarrow M_1$)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($M_1 \rightarrow M_1$)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

보충 자료 |

● 달 표면의 주요 지형

달의 표면은 고지(highland)라고 불리는 밝은 부분과 바다(mare)라고 불리는 어두운 부분으로 이루어져 있으며, 운석 충돌에 의해 생성된 크고 작은 크레이터로 덮여 있다. 고지는 칼슘과 알루미늄을 많이 함유한 밝은색 암석으로 이루어져 있으며 대체로 산맥과 같이 높은 지역이다. 이에 비해 바다는 어두운색을 띠는 현무암으로 이루어진 낮고 편평한 지역이다. 달의 바다는 운석이 충돌하면서 발생한 열에 의해 암석이 녹아 용암이 만들어지고, 이 용암이 달 표면의 낮은 곳으로 흘러내려 생성되었다. 따라서 달의 바다는 고지에 비하여 상대적으로 암석의 나이가 젊고 크레이터의 수가 적다. 한편, 달의 앞면은 뒷면보다 바다가 넓게 분포하는데 이것은 달의 앞면은 뒷면보다 지각의 두께가 얇아 용암이 더 많이 흘러나왔기 때문으로 생각된다. 그 밖에도 달 표면에서는 운석이 충돌하면서 분출된 암석 파편들이 방사상으로 뻗어 있는 광조, 폭이 좁은 줄무늬가 선의 형태로 뻗어 있는 열구 등을 볼 수 있다.



▲ 달 앞면의 모습



▲ 달 뒷면의 모습

● 조석 마찰과 달의 운동

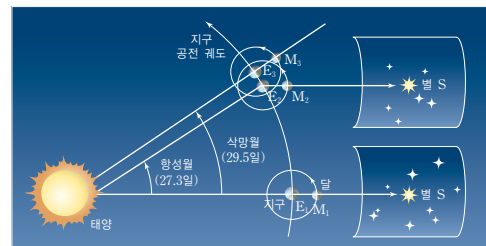
조석 현상을 일으키는 힘을 기조력(tidal force)이라고 한다. 조석 현상으로 일어나는 조류는 자전하는 지구의 육지나 바다 밑 바닥과 마찰을 일으킨다. 이것을 조석 마찰(tidal friction)이라고 한다.

조석 마찰은 지구의 자전 에너지를 감소시켜 하루의 길이를 점점 길어지게 한다. 그런데 지구가 달에 미치는 기조력은 달이 지구에 미치는 기조력보다 더 크다. 이 때문에 달의 자전 속도는 점점 느려지고 자전 주기와 공전 주기가 같아져 동주기 자전을 하게 되었다. 한편, 조석 마찰에 의해 지구의 자전 속도가 느려지면 지구의 각운동량도 그만큼 감소한다. 따라서 지구와 달 사이의 거리는 점점 멀어지게 된다. 그 결과 먼 미래에는 하루의 길이가 한 달의 길이와 같아질 것이다.

과학자들은 산호 화석에 남아 있는 흔적으로부터 과거 지질 시대에는 1년 동안의 날짜 수가 현재보다 더 많았고, 약 4억 년 전에는 1년이 약 400일이었던 사실을 밝혀냈다.

3 | 삭망월과 항성월의 차이가 생기는 이유 |

그림에서 달이 M_1 에 있을 때 태양, 지구, 달이 일직선을 이루고 있으며 별 S와 같은 방향에서 보인다. 달이 약 27.3일 동안 지구 주위를 한 바퀴 공전하여 M_2 로 이동하면 달은 다시 별 S와 같은 방향에서 보이게 된다. 그러나 이 기간 동안 지구는 E_1 에서 E_2 까지 공전하므로 태양, 지구, 달이 M_1 에서와 같이 일직선을 이루기 위해서는 지구는 E_3 까지, 달은 M_3 까지 더 공전해야 한다. 지구가 E_2 에서 E_3 까지, 즉 달이 M_2 에서 M_3 까지 공전하는데 걸리는 시간은 약 2.2일이다.



▲ 삭망월과 항성월

도입(5분)	전개(35분)	정리(10분)
일식과 월식이 일어나는 까닭은 무엇일까?	<ul style="list-style-type: none"> 창의 인성 활동 1 일식과 월식이 일어나는 원인 	정리 및 예제 풀이

*** 동기 유발을 위한 제안 |**

- 일식과 월식의 사진이나 동영상을 제시하고, 일식이나 월식이 일어났을 때 어떤 변화가 나타나는지 이야기해 보도록 한다.
- 역사 속의 일식과 관련된 일화를 언급하면서 일식, 월식이 일어나는 원인이 무엇인지 생각해 보도록 한다.

지도상의 유의점 |

1. 일식과 월식을 알아보는 활동에 앞서 일식과 월식에 대하여 간단하게 설명한다.
2. 일식과 월식은 한달에 한 번씩 반드시 일어나는 것은 아님을 강조한다.

창의 인성 활동의 이해

활동 3 일식과 월식이 일어나는 까닭은 무엇일까?

목표

- 일식과 월식이 일어나는 원리를 설명할 수 있다.

안내

- 지나치게 오랜 시간 동안 전등을 똑바로 바라보지 않도록 주의시킨다.
- 회전의자를 돌리는 동안 눈과 야구공 사이의 거리가 달라지지 않도록 주의한다.

정리

1. 전등은 태양, 사람은 지구, 야구공은 달에 해당한다.
2. 일식은 태양-달-지구 순서로 일직선을 이룰 때 일어날 수 있고, 월식은 태양-지구-달 순서로 일직선을 이룰 때 일어날 수 있다.
3. 일식은 지구에서 보았을 때 태양의 서쪽(오른쪽)부터 가려지며, 월식은 달의 동쪽(왼쪽)부터 가려진다.
4. 지구의 공전 궤도면(황도면)과 달의 공전 궤도면(백도면)이 일치하지 않고 기울어져 있기 때문에 삭이나 망일 때마다 일식,

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 보이지 않도록 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.

월식이 일어나지는 않는다.

5. 3명이 모둠을 이루어 각자 태양, 지구, 달의 역할을 맡아 실험해 보도록 하거나, 삼구의라는 실험 기구를 이용할 수도 있다. 또 천체 관측 프로그램을 이용하여 일식과 월식 현상이 일어날 때의 천체 위치를 확인할 수도 있다.

평가 기준표

활동 과정	평가 문항	점수
과정	<ul style="list-style-type: none"> • 전등, 야구공을 이용하여 일식, 월식을 제대로 재연하였는가? • 활동 중 태도는 어떠한가? 	상, 중, 하
결과	<ul style="list-style-type: none"> • 활동 후 뒤처리를 깔끔하게 정리하였는가? 	상, 중, 하
정리	<ul style="list-style-type: none"> • 전등과 야구공이 무엇을 의미하는지 정확하게 이해했는가? • 일식과 월식의 원리를 올바르게 설명하였는가? • 물음에 올바르게 답하였는가? 	상, 중, 하



(가) 일식의 원리

(나) 월식의 원리

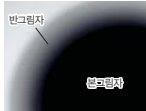
▲ 그림 50_ 상구의로 일식과 월식의 원리 알아보기

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.

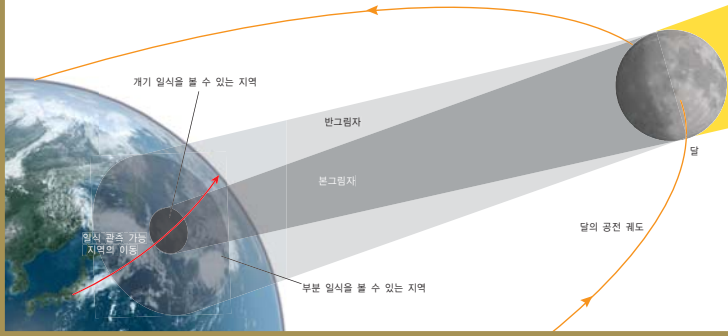
그러면 일식이 일어날 때 태양은 어느 부분부터 가려질까? 일식은 달이 지구 주위를 서쪽으로 동쪽으로 공전하며 지구와 태양 사이를 지날 때 일어나므로, 지구에서 보았을 때 태양의 서쪽부터 가려지게 된다. 그리고 지구에서 일식을 관측할 수 있는 지역은 시간이 지나면서 점차 서쪽에서 동쪽으로 이동한다.

9



▲ 그림 51_ 본그림자와 반그림자

▼ 그림 52_ 일식이 일어날 때의 천체 위치



9 | 본그림자와 반그림자 |

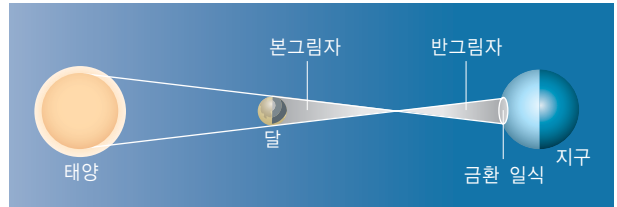
일반적으로 그림자는 크게 두 부분으로 이루어져 있다. 중심부의 어두운 부분은 본그림자(본영)라고 하며 주변의 희미한 부분은 반그림자(반영)라고 한다. 반그림자는 이 지역에 도달하는 빛의 일부가 차단되지만 나머지 빛이 통과할 때 생긴다. 또한, 일식이나 월식이 일어날 때와 같이 크기가 큰 광원에서 나온 빛이 부분적으로 차단될 때도 생긴다.

☆ | 보충 자료 |

● 금환 일식(annular eclipse)

지구에서 관측한 태양과 달의 크기가 비슷하다는 것은 대단한 우연이다. 이 때문에 지구에서는 다양한 일식 현상을 관측할 수 있다. 그런데 지구와 달의 공전 궤도는 모두 타원이다. 따라서 시간에 따라 지구로부터 태양이나 달까지의 거리가 변하면서 지구에서 관측한 태양과 달의 크기도 조금씩 달라진다. 간혹 달이 지구로부터 좀더 멀리 떨어져 달의 크기가 태양의 크기보다 작아 보일 때가 있다. 이때 일식이 일어나면 달이 태양을 모두 가

리지 못해 태양의 가장자리 부분이 반지 모양으로 빛나게 되는데, 이것을 금환 일식(또는 금환식)이라고 한다.



▲ 금환 일식이 일어날 때의 천체 위치

● 역사 속의 일식 현상

- **전쟁을 멈추게 한 일식**: 기원전 6세기에 지금의 중동 지방에 위치한 리디아와 메디아 사이에 전쟁이 일어나 5년 넘게 지속되었다. 전쟁이 6년째 접어들었을 무렵, 전투 도중 갑자기 낮이 밤으로 바뀌는 일식 현상이 발생하였으며, 이 일이 있은 후 두 나라는 전쟁을 멈추고 서로 평화를 원하게 되었다고 한다. 한편, 그리스의 탈레스는 이 일식이 일어날 것을 예언했다고 한다.
- **일식과 헬륨 발견**: 헬륨(He)은 우주에서 수소(H) 다음으로 많은 원소이다. 그러나 지구 대기에서는 극히 소량만 발견된다. 이 희귀한 원소는 1868년 8월 18일 프랑스의 천문학자 피에르 장센이 인도에서 있었던 일식을 관측하여 태양의 대기 스펙트럼을 분석한 결과 처음으로 세상에 알려지게 되었다. 같은 해 영국의 노먼 로키어도 이와 비슷한 발견을 하였으며, 이것이 새로운 원소라는 사실을 알게 되었다. 헬륨(Helium)이라는 이름은 그리스어로 태양을 뜻하는 헬리오스(Helios)라는 단어에서 유래하였다.
- **일식과 중력 렌즈**: 아인슈타인의 일반 상대성 이론에 의하면 질량의 존재는 시공간을 휘게 한다. 빛이 질량을 가진 물체 주위로 지나가면 시공간의 휘어짐 때문에 진행 경로가 달라진다는 것이다. 이것을 중력 렌즈(Gravitational lenses)라고 한다. 그리고 아인슈타인은 개기 일식이 일어나면 태양 부근을 지나는 별빛이 굴절하는 현상을 관측할 수 있을 것이라고 예상했다. 그의 예상은 1919년 5월 29일의 개기 일식을 통해 확인할 수 있었다. 에딩턴을 비롯한 영국의 과학자들은 아프리카 서해안의 프린스플 섬과 브라질 북부의 소브랄에서 이 날의 일식을 관측하였고, 그 결과 일식으로 하늘이 어두워졌을 때 황소자리에 있는 히아데스 성단의 몇몇 별들로부터 오는 빛이 태양의 중력에 의해 휘어진다는 사실을 확인하였다.

1. 식(eclipse)과 엄폐(occultation)

식이란 한 천체가 다른 천체의 그림자 속을 지나는 것을 말한다. 지구의 그림자에 달이 가려져 보이지 않는 월식이 대표적이다. 반면, 엄폐는 한 천체가 다른 천체의 전면을 지나며 가리는 현상을 말한다. 대표적인 것이 달에 의한 별의 엄폐 현상을 들 수 있다. 이 정의에 의하면 일식은 엄밀히 말해 식 현상이라기보다 엄폐 현상이라고 할 수 있다.

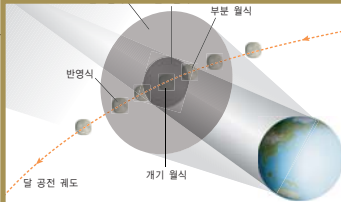
2. 달의 기원

- **동시 탄생설:** 원시 지구와 달이 동시에 탄생했다는 가설로, 원시 지구가 탄생할 때 원시 지구 주변의 작은 운석 조각들과 먼지, 가스 등이 뭉쳐져 달이 탄생했다는 가설이다. 그러나 이 가설은 지구에 비하여 달에 철 성분이 부족하다는 점을 설명할 수 없다.
- **포획설:** 다른 곳에서 탄생한 천체가 지구의 중력에 붙잡혀 지구의 위성이 되었다는 가설이다. 이 가설은 지구와 달의 철 성분 차이는 설명할 수 있지만 지구와 달에서 산소 동위 원소의 비가 같다는 점을 설명할 수 없다.
- **분리설:** 지구 생성 초기에 지구의 빠른 자전 때문에 지구의 적도 부분이 떨어져 나가 달이 생성되었다는 가설이다. 이 가설은 달의 평균 밀도가 지구보다 작다는 것을 설명할 수 있지만, 이런 일이 생기기 위해서는 지구의 자전 주기가 1.5시간이 될 정도로 자전 속도가 빨라야 한다.
- **충돌설:** 지구 탄생 초기에 화성 정도 크기의 천체가 지구와 충돌하여 날아오른 파편들이 뭉쳐져 달이 생성되었다는 가설이다. 이는 현재 가장 많은 지지를 받고 있는 가설로, 충돌 당시 이미 지구 내부에 층상 구조가 형성되어 있었기 때문에 지구의 지각과 맨틀을 이루던 물질이 달을 만들었을 것이며, 이로써 달에 철 성분이 부족한 점, 달의 평균 밀도가 지구보다 작다는 점, 지구와 달의 산소 동위 원소비가 같은 점 등을 설명할 수 있다.

보충 자료 |

● 사로스 주기(saros cycle)

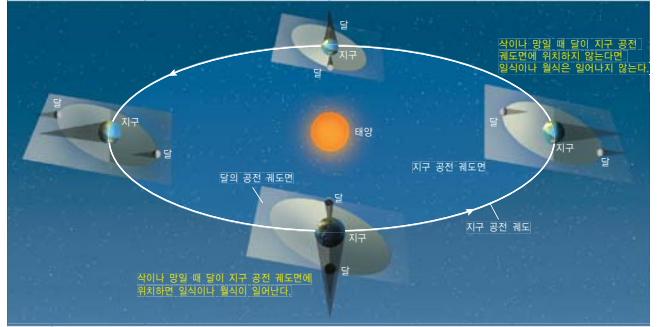
같은 형태의 일식과 월식이 반복되는 주기로 황도와 백도의 한 교점에서 삭이나 망이 된 후 다시 같은 위치에서 삭이나 망이 되는 주기를 말한다. 1사로스 주기는 6585.78일(18년 11일 8시



▲ 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



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.

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, 월식은 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.

간이며, 이 기간 동안 29회의 월식과 41회의 일식이 일어난다.

확인하기

1. 푸코 진자의 진동면 회전, 인공위성 궤도의 서편 현상, 코리올리 효과 등이 있다.
2. 지구의 공전 궤도면(황도면)과 달의 공전 궤도면(백도면)이 정확하게 일치하지 않고 약 5° 기울어져 있기 때문이다.
3. 화성의 공전 궤도 반지름은 지구의 공전 궤도 반지름보다 크다. 따라서 화성에서 측정한 별의 연주 시차는 지구에서 측정했을 때보다 더 크게 나타난다.
4. 지구의 반지름은 달의 반지름보다 약 4배 더 크다. 지구는 달보다 크므로 일식은 지구에서보다 오랫동안 지속되며, 일식을 관측할 수 있는 지역도 넓을 것이다. 그러나 지구에서의 월식과 같은 현상, 즉 지구가 달의 그림자에 의해 가려지는 현상은 나타나지 않을 것이다.

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.

행성들의 공전 궤도면은 대체로 일치하며, 공전 방향은 예외 없이 태양의 자전 방향과 같은 시계 반대 방향이다. 또 태양으로부터 멀어질수록 행성의 공전 속도는 느려진다.

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.

ㄱ. 타원 궤도 법칙, ㄴ. 조화 법칙, ㄷ. 면적 속도 일정 법칙

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.

실제로 태양도 움직이지만 태양의 질량은 행성보다 훨씬 크기 때문에 움직이지 않는 것처럼 보인다. 그리고 작용·반작용 법칙으로 태양이 행성을 끌어당기는 힘과 똑같은 크기로 행성도 태양을 끌어당기고 있지만, 태양의 질량은 태양계 전체 질량의 대부분을 차지할 정도로 크므로 같은 힘이 작용하더라도 태양은 거의 움직이지 않는다.

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.

천체의 일주 운동은 지구 자전 때문에 나타나는 현상이며, 계절에 따른 별자리의 변화, 태양의 연주 운동은 지구 공전 때문에 나타나는 현상이다. 또 푸코 진자의 진동면이 회전하는 현상, 인공위성 궤도의 서편 현상은 지구 자전, 별의 연주 시차가 나타나는 현상은 지구 공전의 증거이다.

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.



달의 공전과 자전 방향이 같고 공전 주기와 자전 주기가 같기 때문이다. 달은 지구 주위를 시계 반대 방향으로 한 번 공전하는 동안 같은 방향으로 정확하게 한 번 자전한다.

중단원의 지도 방향

1. 우주의 진화 단원에서 학습한 원소의 생성, 성간 화합물의 형성 및 태양계의 형성과 연계될 수 있도록 지도한다.
2. 행성의 대기를 설명하면서 산소, 수소, 질소 등 간단한 이원자 기체의 성질을 이해하는데 필요한 분자 구조의 개념을 도입한다.
3. 지구계에서는 각 권이 상호 작용함으로써 균형을 이루고 있음을 여러 가지 사례를 통해 살펴보고, 지구의 다양한 물리적·화학적 성질들을 병행해서 설명한다.



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

지구에서와 같은 생명체가 살기 위해서는 행성이 태양에서 적당한 거리에 떨어져 있어 생명체가 살 수 있는 온도를 유지해야 한다. 또 행성의 대기에는 생명체의 호흡에 필요한 산소, 식물의 광합성에 필요한 이산화탄소가 포함되어야 한다. 한편, 물은 생명체 내부의 모든 화학 반응에 관여하므로 행성에 풍부한 액체 상태의 물이 있어야 한다. 더불어 우주선이나 태양의 자외선을 막아 주는 자기장이나 오존층도 꼭 필요하다.

오개념 유형

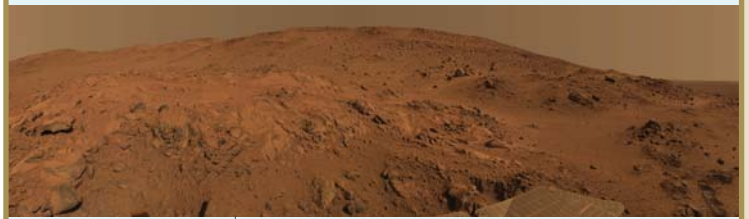
탈출 속도

로켓이 지구의 중력권을 벗어나기 위해서는 반드시 지구 표면의 탈출 속도 이상의 속도를 가져야만 하는 것으로 생각하는 경우가 있다. 탈출 속도는 물체의 운동을 유지시키는 힘이 없을 때 천체의 중력으로부터 벗어나 무한히 먼 곳까지 가기 위한 최소한의 초속도를 의미한다. 그러나 로켓처럼 지속적으로 자체 추진력을 발생시킬 수 있는 물체는 어떤 속도라도 지구의 중력으로부터 벗어날 수 있다.

지구 환경의 물질과 에너지 출입

지구와 우주 공간 사이는 에너지의 출입이 자유롭지만, 운석과 같은 특별한 경우를 제외하고는 지구 밖의 물질이 지구로 들어오거나 지구의 구성 물질이 지구 밖으로 나가지 않는다. 따라서 지구는 넓은 의미에서 닫힌계라고 할 수 있다. 그러나 지구계를 이루는 각 권들 사이에서는 끊임없이 물질과 에너지의 교환이 일어나므로 열린계에 속한다.

II -2. 지구 구성 원소와 지구계



▲ 그림 55. 화성 표면

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.

주요 과학 용어

- 역학적 에너지(力 學 能, 的 功 率, mechanical energy)
- 탈출 속도(脫 벗어남, 出 나감, 速 빠름, 度 법도, escape velocity)
- 확산 속도(擴 퍼짐, 散 흩어짐, 速 빠름, 度 법도, diffusion velocity)
- 분자량(分 나눔, 子 이들, 量 헤아림, molecular weight)
- 극성(極 극진함, 性 성품, polar)
- 마그마 바다(magma ocean)
- 지구계(地 球 公 系 묶음, Earth systems)
- 주기율(週 돌, 期 기약할, 律 법칙, periodic law)
- 자기장(磁 자석, 氣 기운, 場 마당, magnetic field)
- 밴앨런대(Van Allen belt)
- 전리층(電 번개, 離 , 層 층, ionosphere)

참고 자료

- 김희준 저, 자연과학의 세계 1, 2, 궁리, 2009
- 김경렬 외 역, 지구 시스템의 이해, 박학사, 2004
- 한국 천문 연구원: <http://www.kasi.re.kr/>
- 미국 항공 우주국: <http://www.nasa.gov/>

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, 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?



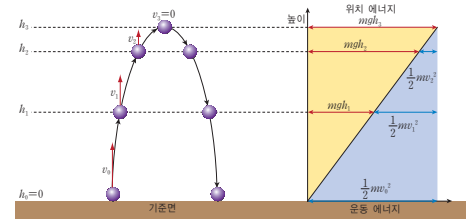
▲ 그림 57_ 우주에서 본 지구 대기

탈출 속도

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

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



▲ 그림 58_ 역학적 에너지의 전환과 보존

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

어낸다.

| 지도상의 유의점 |

1. 탈출 속도의 개념을 이해하고, 행성의 탈출 속도는 행성의 질량이 클수록 증가함을 알게 한다.
2. 행성의 대기 성분 차이는 행성의 탈출 속도와 관련 있음을 인식하도록 지도한다.

| 1 | 역학적 에너지 보존 법칙 |

위치 에너지의 기준면을 지표면이라고 하면, 지표면에서의 위치 에너지(E_p), 운동 에너지(E_k), 역학적 에너지(E_0)는 다음과 같다.

$$E_p = 0, E_k = \frac{1}{2}mv_0^2, E_0 = E_k + E_p = \frac{1}{2}mv_0^2 \dots \dots (1)$$

초속도 v_0 를 수평 성분(v_{0x})과 수직 성분(v_{0y})으로 분해하면 $v_0^2 = v_{0x}^2 + v_{0y}^2$ 이므로, $\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}m(v_{0x}^2 + v_{0y}^2)$ 이다.

임의의 높이 y 에서 속도를 v 라고 하면, 이때의 역학적 에너지(E)는 $E = mgy + \frac{1}{2}mv^2 = mgy + \frac{1}{2}mv_x^2 + \frac{1}{2}mv_y^2$ 이다.

여기에서 $v_x = v_{0x}, v_y^2 = v_{0y}^2 - 2gy$ 이므로 t 초 후 역학적 에너지(E)는 $E = mgy + \frac{1}{2}mv_{0x}^2 + \frac{1}{2}m(v_{0y}^2 - 2gy)$

$$= \frac{1}{2}mv_{0x}^2 + \frac{1}{2}mv_{0y}^2 = \frac{1}{2}mv_0^2 \dots \dots (2) \text{이다.}$$

(1)과 (2)로부터 포물선 운동에서 위치 에너지와 운동 에너지의 합은 일정하게 보존된다는 것을 알 수 있다.

1. 행성의 대기과 에너지 보존

| 소단원의 학습 목표 |

1. 행성의 탈출 속도를 위치 에너지와 운동 에너지를 이용하여 설명할 수 있다.
2. 행성의 대기 성분 차이를 탈출 속도, 평균 운동 에너지, 기체 분자의 구조, 끓는점, 분자량을 이용하여 설명할 수 있다.

| 13차시 | 99~100 쪽

도입(5분) 지구에서 생명체가 살 수 있는 까닭은 무엇일까?	전개(35분) • 역학적 에너지 보존 • 행성의 탈출 속도	정리(10분) 정리 및 예제 풀이
---	---	------------------------------

| 동기 유발을 위한 제안 |

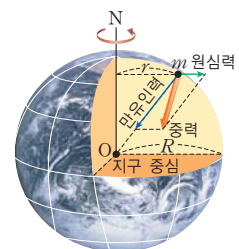
- 최초의 인공위성인 스푸트니크 1호나 우리나라의 인공위성, 우주 탐사선 등을 소재로 행성의 탈출 속도에 대한 관심을 이끌

과학 마당

중력과 만유인력

지구 상의 물체는 지구의 질량에 의한 만유인력과 함께 지구의 자전에 의한 원심력의 영향을 함께 받고 있으며, 이 두 힘의 합력이 중력이다. 그러나 원심력은 만유인력에 비하여 매우 작으므로 중력과 만유인력의 크기는 거의 같다. 따라서 중력 가속도를 g 라고 하면 중력의 크기(F)는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$F = mg = G \frac{Mm}{R^2}$$



▲ 지구의 중력

☆ | 보충 자료 |

● 위치 에너지의 기준면

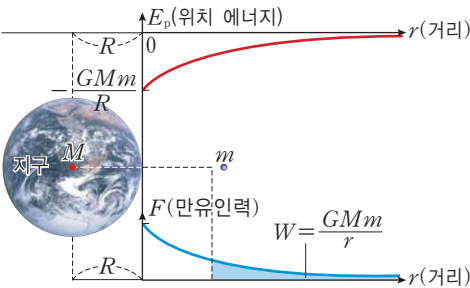
위치 에너지의 기준면은 절대적인 기준이 있는 것이 아니라 임의로 정할 수 있다. 일반적으로 지표면이나 운동의 처음 시작점을 기준으로 잡으면 편리하다. 기준면에서 위치 에너지는 0이다.

● 중력(만유인력)에 의한 위치 에너지

지표 부근에서는 지구 중력장의 세기(g)가 거의 일정하므로 위치 에너지의 기준면을 지표면으로 할 때 지표 부근에 있는 물체의 위치 에너지(E_p)는 mgh 로 나타낼 수 있다. 그러나 지구 중력은 어디에서나 일정한 것이 아니라 지구에서 멀리 떨어질수록 거리의 제곱에 반비례하여 작아진다. 이러한 상황에서는 위치 에너지 $E_p = mgh$ 라는 식은 사용할 수 없다. 이 경우 지구에서 무한히 먼 곳을 기준면으로 하고, 지구 중심으로부터 r 만큼 떨어진 곳에서의 지구 중력에 의한 위치 에너지(E_p)를 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$E_p = \int_{\infty}^r F dr = \int_{\infty}^r \left(\frac{GMm}{r^2} \right) dr = GMm \left[-\frac{1}{r} \right]_{\infty}^r = -\frac{GMm}{r}$$

여기에서 (-) 부호는 만유인력에 의해 물체가 지구의 중력장에 속박되어 있음을 의미한다. 이와 같이 물체를 중력장 내에 묶어 놓는데 필요한 에너지를 결합 에너지라고 한다.



▲ 지표로부터의 거리에 따른 만유인력과 위치 에너지

● 지표에서 탈출 속도로 발사한 물체

우주 공간에는 지구만 있는 것이 아니라 태양과 행성 등 다른 천체들도 존재한다. 따라서 실제로 지구 상의 물체를 무한히 먼 곳으로 보내기 위해서는 다른 천체들의 인력도 고려해야 한다. 특히 태양으로부터 지구 공전 궤도만큼 떨어진 거리에서 태양의 인력으로부터 벗어나기 위한 탈출 속도는 42.5 km/s로 지구의 탈출 속도보다 훨씬 크다. 따라서 지구 표면에서 11.2 km/s로 발사한 물체는 지구로부터 무한히 떨어지지 못하고 태양의 인력에 붙잡혀 태양 주위를 돌게 된다.

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.

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

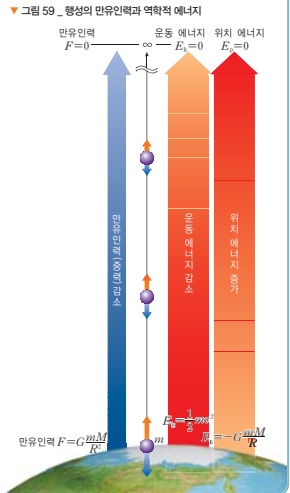
따라서 역학적 에너지 보존 법칙에 따라 지구에서 무한히 멀리 떨어진 지점에 있는 물체의 역학적 에너지(E)는 다음과 같이 계산할 수 있다.

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

이 식에서 물체의 탈출 속도는 다음과 같이 계산된다.

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

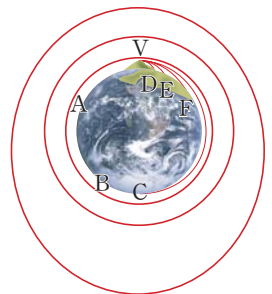
이 식은 지구뿐만 아니라 태양을 비롯한 다른 천체에도 모두 적용된다.



과학 마당

뉴턴의 탈출 속도

17세기 뉴턴은 지구에 공기가 없거나 공기의 마찰을 무시할 수 있을 정도로 높은 곳에서 돌을 던지면 그림과 같이 운동한다고 생각했다. V에서 수평 방향으로 던진 돌은 자신의 무게 때문에 직선 운동에서 벗어나 곡선을 그리며 날아간다. 이때 느린 속력으로 던진 돌은 호 VD를 그리고, 더 빠른 속력으로 던진 돌은 호 VE나 호 VF와 같이 더 긴 호를 그리게 된다. 속력을 더욱 빠르게 하면 물체가 지면에 닿기 전까지 그리는 호의 길이는 마침내 지구의 둘레보다 길어져서 지면에 닿지 않고 우주 공간으로 나가도록 할 수 있다는 것이다.

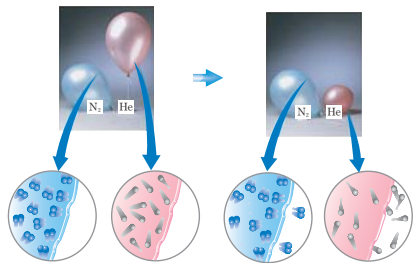


▲ 산꼭대기에서 던진 돌의 운동에 대한 뉴턴의 생각

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 끊임없이 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

3. 분자의 부피는 기체 전체의 부피에 비하여 무시할 수 있을 정도로 작고, 분자 사이에 인력이나 반발력은 작용하지 않는다.
4. 기체 분자는 완전 탄성 충돌을 한다.
5. 기체 분자의 평균 운동 에너지는 T (절대 온도)에 비례하며, 분자의 크기, 모양 및 종류와는 관계가 없다.

기체 분자의 평균 운동 에너지(E_k) = $\frac{1}{2}Mv^2 = \frac{3}{2}RT$
 (M : 분자량, R : 기체 상수, T : 절대 온도)

- 기체 분자의 평균 운동 에너지
 기체 분자들은 끊임없이 충돌하며, 충돌하는 방향에 따라서 기체 분자의 속력은 느려지기도 하고 빨라지기도 한다. 따라서 같은 온도에서도 분자들은 제각기 다른 속력을 가지며, 이들의 평균을 평균 속력이라고 한다.

1. 온도가 높아지면 분자의 평균 속력은 증가한다.
2. 기체 분자의 평균 운동 에너지 $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}kT$ 이므로, 기체 분자의 평균 속력은 절대 온도의 제곱근에 비례한다.

$$v \propto \sqrt{T}$$

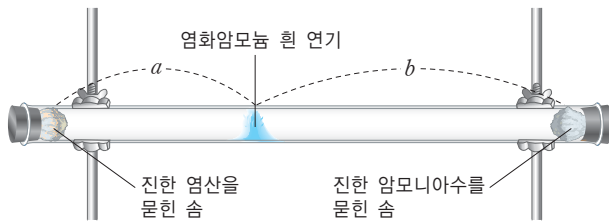
3. 기체 분자의 평균 운동 에너지 $\frac{1}{2}Mv^2 = \frac{3}{2}kT$ 이므로, 기체 분자의 평균 속력은 분자량의 제곱근에 반비례한다.

$$v \propto \frac{1}{\sqrt{M}}$$

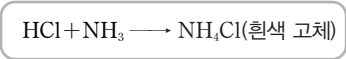
- 기체의 확산
 1. 그레이엄 법칙: 일정한 온도와 압력에서 기체의 확산 속도(v)는 기체의 밀도(d)의 제곱근에 반비례한다.

$$\frac{v_A}{v_B} = \sqrt{\frac{d_B}{d_A}} = \sqrt{\frac{M_B}{M_A}} \quad \begin{matrix} v_A: \text{기체 A의 확산 속도} \\ v_B: \text{기체 B의 확산 속도} \end{matrix}$$

2. 염화수소와 암모니아의 확산 실험



진한 염산에 가까운 쪽에서 흰색의 염화암모늄 연기가 발생한다. $M_{NH_3} : M_{HCl} = 17 : 36.5 \approx 2 : 3$ 이므로, $a : b = 2 : 3$ 이다.



14차시 101~103 쪽

도입(5분)	전개(35분)	정리(5분)
기체는 어떻게 운동할까?	창의·인성 활동: 이산화탄소의 분자량 구하기	탈출 속도와 분자량에 따른 행성의 대기 정리

★ | 동기 유발을 위한 제안 |

- 수업 전에 그림 60과 같이 되는 까닭을 예상하여 발표해 보도록 한다.

★ | 지도상의 유의점 |

이상 기체 방정식의 유도를 강조하지 않는다.

★ | 보충 자료 |

- 기체 분자 운동론(기체 분자 운동론의 가정(이상 기체))
- 1. 기체 분자는 서로 멀리 떨어져 있으며, 끊임없이 불규칙하게 운동한다.
- 2. 기체 분자들이 그릇의 벽에 충돌하여 압력을 나타낸다.



질소(N₂)는 28, 산소(O₂)는 32, 암모니아(NH₃)는 17, 메테인(CH₄)은 16, 이산화탄소(CO₂)는 44이다.

표 5의 값을 이용하여 각 물질의 분자량을 구할 수 있다. N₂: 2×14=28, O₂: 2×16=32, NH₃: 14+3×1=17, CH₄: 12+4×1=16, CO₂: 12+2×16=44, 또한, 이산화탄소와 다른 기체와의 확산 실험을 통해 속도의 상대적인 값을 구한 후 이산화탄소 분자량 측정 실험을 통해 얻어진 이산화탄소 분자량 값을 기체 분자의 평균 운동 에너지 공식을 이용하여 각 기체의 분자량을 계산할 수 있다.

창의 인성 **활동의 이해**

활동 4 드라이아이스를 이용하여 이산화탄소의 분자량을 측정할 수 있을까?

목표

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

과정

1. 온도계와 압력계를 이용하여 측정한다. 압력계가 없는 경우 대기압, 즉 1기압이라고 가정한다.
2. 전자저울의 경우 영점을 맞추고 사용해야 한다. 일반적으로 앞쪽의 우측에 영점을 맞출 수 있는 투명한 원이 있다.
3. 페트병의 드라이아이스가 모두 승화한 다음 뚜껑을 닫고, 표면에 생긴 습기를 모두 닦아낸 후, 이산화탄소가 들어 있는 페트병의 질량을 측정한다.

5. 공기의 평균 분자량을 이상 기체 방정식에 대입하여 질량을 구한다.

$PV = \frac{w}{M}RT$ 이므로, $w = \frac{MPV}{RT}$ 이다. 공기의 분자량은 28.8로 가정한다. 공기는 질소, 산소, 아르곤, 이산화탄소 등으로 이루어진 혼합 기체이다. 질소는 약 78%, 산소는 약 21%를 차지하고 있으므로 질소와 산소를 제외한 기체들은 모두 합쳐 1%가 되지 않는다. 그러므로 공기를 질소와 산소 두 종류의 혼합 기체라고 했을 때 질소와 산소의 부피비는 약 4:1이다. 따라서 공기의 평균 분자량은 질소(분자량 28)와 산소(분자량 32)의 4:1 비율로 구할 수 있다. $28 \times 0.8 + 32 \times 0.2 = 28.8$

정리

1. 실험 결과값은 유효 숫자를 맞추어 기록한다.

표 5. 몇 가지 원자의 원자량

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

기체 분자의 분자량은 분자를 구성하고 있는 원자들의 질량, 즉 원자량의 합으로 나타낸다. 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 ¹²C의 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.



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

물음 행성의 대기 성분인 질소(N₂), 산소(O₂), 암모니아(NH₃), 메테인(CH₄), 이산화탄소(CO₂)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 이용하여 기체 분자의 질량과 부피를 이용하여 분자량을 구할 수 있다.

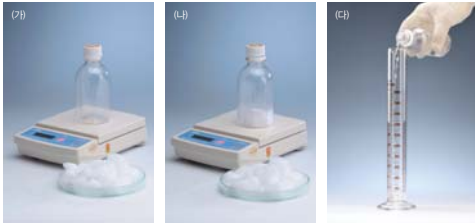
과정
① 실험실의 온도와 압력을 측정한다.

2. 이상 기체 방정식($PV = \frac{w}{M}RT$)에 각각의 측정값을 대입하여 이산화탄소 기체의 분자량(M)을 구한다. 기체 상수 R 은 0.082 atm·L/mol·K이다. M 은 일반적으로 44보다 큰 값이 나온다.
3. 이산화탄소는 탄소화합물로서 물에 녹아 약한 산성을 나타내고, 생명 탄생의 근원인 식물의 광합성 작용에 필수적인 물질로 물과 반응하여 포도당과 산소를 만든다. 지구를 포함한 우주에서 이산화탄소의 탄생은 일산화탄소로부터 만들어졌으리라 추정한다.

평가 지표

탐구 과정	평가 요소	점수
과정	• 질량 측정을 잘 하였는가?	상, 중, 하
결과	• 실험 결과로부터 밀도를 잘 계산했는가?	상, 중, 하
정리	• 실험 결과로부터 분자량을 잘 계산했는가?	상, 중, 하

- 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 : 1로 가정하고 과정 4에서 측정된 페트병의 부피에 해당하는 공기의 질량을 계산하자. 2
- 6 과정 3에서 측정한 질량과 공기의 질량을 뺀 페트병만의 질량으로부터 이산화탄소의 질량을 계산하자. 3

정리

1. 실험 결과를 다음 표에 정리해 보자.

질량(g)	부피(mL)	밀도(g/mL)	온도(°C)	압력(기압)

▶ 주의
 • 드라이아이스는 -78.5°C에서 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.

- 2. 이상 기체 방정식을 이용하여 측정 결과로부터 이산화탄소의 분자량을 구해 보자.
- 3. **탐색·인상** 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.

2 | 공기의 질량 |

공기의 질량은 공기의 밀도를 이용하여 구할 수도 있다. 실온에서 공기의 평균 밀도는 1.20 g/mL이므로, 페트병의 부피에 밀도를 곱하면 공기의 질량이 나온다.

3 | 이산화탄소의 질량 |

실험 과정 3에서 드라이아이스가 승화하여 이산화탄소 기체가 되면서 페트병 안의 공기를 밀어내고 이산화탄소 기체가 페트병을 채운다. 그러므로 순수한 이산화탄소의 질량은 (이산화탄소가 들어 있는 페트병의 질량) - (공기가 들어 있는 페트병의 질량) + (공기의 질량)으로 구할 수 있다.

☆ | 보충 자료 |

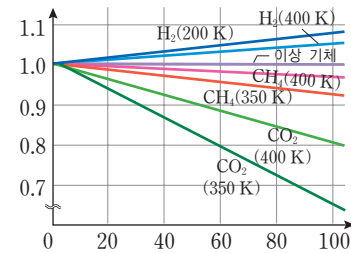
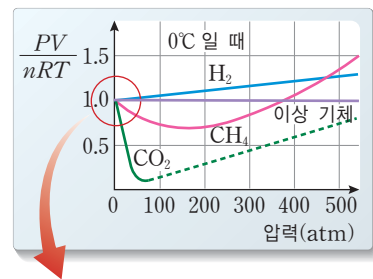
● 이상 기체와 실제 기체

이상 기체 방정식에 정확하게 적용되는 기체로, 실제로는 존재하지 않는 가상의 기체이다. 실제 기체는 분자 자체의 부피가 존재하고 분자간의 인력이나 반발력이 작용하므로 이상 기체 방

정식에 정확하게 적용되지 않는다.

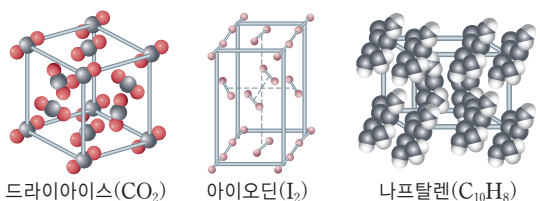
● 이상 기체 방정식

- 1. 기체의 부피는 절대 온도에 비례하고 압력에 반비례하며, 물 수에 비례한다.
- 2. 이상 기체 방정식: $PV = nRT$ (R : 기체 상수)
- 3. 분자량이 M 인 기체의 질량이 w g 일 경우,
 $PV = nRT = \frac{w}{M}RT$ 이므로, $M = \frac{wRT}{PV}$
- 4. 실제 기체가 이상 기체에 가깝게 행동하는 조건: 기체의 분자량이 작을수록, 압력이 낮을수록, 온도가 높을수록 이상 기체와 비슷해 진다.



● 드라이아이스

공유 결합 분자는 기체, 액체, 고체의 모든 상태에서 분자의 모양을 그대로 유지하며, 분자들이 규칙적으로 배열되어 결정을 이룬다. 분자성 물질에서 분자들 사이에 작용하는 힘을 분자간 힘이라고 한다. 이 분자간 힘은 공유 결합력에 비해 훨씬 약하다. 분자 결정은 전기 전도성이 없으며, 부서지기 쉽고, 녹는점과 끓는점이 매우 낮다. 또한, 용융열이나 승화열이 낮고, 승화성을 가지는 것이 많으며, 분자량이 커지면 녹는점과 끓는점이 높아지는 경향을 보인다.

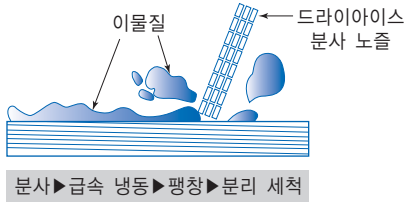


▲ 승화성을 가지는 여러가지 물질

생활 속의 과학

드라이아이스 청소기

드라이아이스 청소기의 세척 원리는 다음과 같다.



▲ 드라이아이스 세척 원리

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

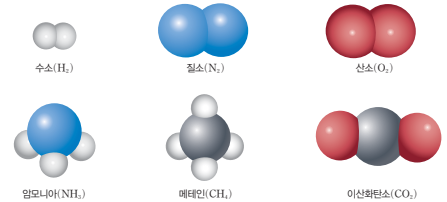
고체 상태의 이산화탄소를 드라이아이스라고 한다. 아이스크림이 녹지 않게 포장할 때나 화재 진압 시 소화에 사용하는 드라이아이스는 청소를 하는 데도 이용된다. 자동차 내부나 에스컬레이터의 좁은 틈에 긴 이물질용 청소하는 것은 쉽지 않다. 드라이아이스 조각을 미세한 틈 사이로 분사하면 드라이아이스 조각에 의해 이물질이 -78°C 의 초저온으로 급속히 얼어 부피가 작아지면서 갈라진다. 이 좁은 틈으로 들어간 드라이아이스가 이산화탄소 기체로 승화하면서 부피가 급격히 팽창하여 이물질이 표면에서 제거된다. 이러한 청소 방법은 물체를 손상시키지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

15차시 104~105쪽

도입(5분)	전개(35분)	정리(5분)
기체 분자 구조이 특징	<ul style="list-style-type: none"> • 분자 구조에 따른 극성과 무극성 • 끓는점 	<ul style="list-style-type: none"> • 행성의 대기 성분 • 확인하기 풀이

★ | 동기 유발을 위한 제안 |

- 물과 사염화탄소를 흘려내리게 한 다음 대전체를 가까이 했을 때 물은 끌려오지만 사염화탄소는 끌려오지 않는 현상이 분자의 구조와 관련이 있음을 연결시킨다.

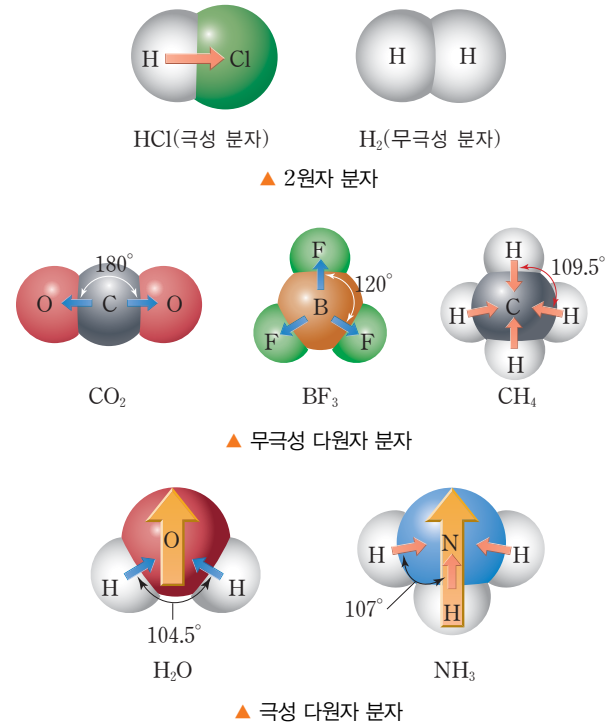
★ | 지도상의 유의점 |

극성 분자와 무극성 분자의 종류를 암기하도록 하지 않는다.

★ | 보충 자료 |

- 2원자 분자의 극성
 1. 같은 원자끼리 결합한 2원자 분자: 무극성 분자(H_2 , O_2 , N_2 , Cl_2)
 2. 다른 원자끼리 결합한 2원자 분자: 극성 분자(HF , HCl , HI , CO)
- 다원자 분자의 극성
 1. 무극성 분자: 분자가 대칭 구조를 이루어 쌍극자 모멘트의 벡터 합이 0인 경우(CO_2 , BF_3 , CH_4 , CCl_4 , C_6H_6 , BeF_2 , SO_3 , C_2H_2 , C_2H_4)
 2. 극성 분자: 쌍극자 모멘트의 벡터 합이 0이 되지 않는 분자 (SO_2 , CH_3Cl , NH_3 , H_2O , $\text{CH}_3\text{COOCH}_3$, CH_2Cl_2 , H_2S , O_3 , CHCl_3 , CH_3OH , NCl_3)

● 여러 가지 분자의 구조



자핵 주변에 균일하게 분포하여 전기적으로 극성을 띠지 않으며, 이러한 분자를 무극성 분자라고 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.
- 탐의 3. 이산화탄소는 지구 생성 초기에 대기 중에 많이 존재했으나 현재는 지구 대기의 주성분이 아니다. 그 까닭을 수증기의 응결을 이용하여 설명해 보자.

● 극성 분자와 무극성 분자의 끓는점

1. 분산력은 전자의 편극 현상에 의해 나타나는 힘으로, 모든 분자에서 존재하는 힘이다.
2. 극성 분자: 분산력과 쌍극자-쌍극자 힘이 존재한다.
3. 무극성 분자: 분산력만 존재한다.
4. 분자량이 비슷한 분자의 경우 분산력의 크기가 비슷하므로 극성 분자의 끓는점이 무극성 분자의 끓는점보다 더 높다.

화학식	분자량	끓는점(°C)
CO	28	-191.5
PH ₃	34	-85.0
ICl	162	97.0

▲ 극성 물질의 끓는점

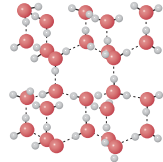
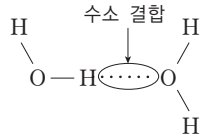
화학식	분자량	끓는점(°C)
N ₂	28	-196.0
SiH ₄	32	-112.0
Br ₂	160	58.8

▲ 무극성 물질의 끓는점

보충 자료

● 분자간의 가장 강한 결합력: 수소 결합

1. 수소 결합: 전기 음성도가 큰 원소인 F, O, N에 직접 결합된 수소 원자와 근처에 있는 다른 F, O, N 원자에 있는 비공유 전자쌍 사이에 작용하는 분자간의 인력을 말한다.



▲ 수소 결합

▲ 수소 결합으로 이루어진 얼음

2. 물, 암모니아, 플루오린화수소의 경우 H와 F, O, N 사이의 결합은 극성이 매우 크다.
3. 수소 원자는 부분적인 양전하(+)를 띠고, 전기 음성도가 큰 원자들은 부분적인 음전하(-)를 띤다. 또한, 수소 원자는 원자핵을 가려줄 수 있는 핵심부 전자들이 없고 그 크기도 작기 때문에 비공유 전자쌍에 가까이 접근할 수 있다. 따라서 비금속 원자의 비공유 전자쌍과 부분적인 양전하를 띤 수소 원자 사이에 강한 분자간 힘이 형성된다.
4. 수소 결합은 공유 결합보다는 약하지만 다른 분자간의 힘보다는 매우 강하다. 따라서 분자 내에 수소 결합이 존재하는 분자들은 비슷한 분자량을 가지는 다른 분자보다는 녹는점과 끓는점이 매우 높다.

확인하기

1. 행성 표면에서 어떤 물체가 그 행성의 중력에서 벗어나 외부로 나갈 수 있는 최소한의 속도를 탈출 속도라고 한다.
2. 태양에서 먼 행성일수록 태양 복사 에너지의 양이 적어 표면 온도가 낮으므로 기체의 평균 운동 에너지가 감소한다. 또한 지구형 행성보다 질량이 큰 목성에서는 더 큰 중력이 작용하여 탈출 속도가 커진다. 따라서 분자량이 작아 운동 속도가 빠른 수소나 헬륨 기체도 우주로 탈출하지 못하고 목성형 행성의 대기를 형성할 수 있게 된다.
3. 지구는 수증기가 응결하여 물로 존재할 수 있을 정도로 태양으로부터 적절한 거리에 위치해 있다. 지구 생성 초기 대기 중에 많이 존재했던 이산화탄소가 응결한 물에 대부분 녹으면서 지구 대기의 주성분이 되지 못했다.

2. 지구의 진화

☆ | 소단원의 학습 목표 |

1. 지구의 진화 과정에서 지구계 각 권의 형성 과정과 지구계의 상호 작용을 설명할 수 있다.
2. 지구에서 생명체가 진화할 수 있는 환경적 조건이 갖추어진 까닭을 설명할 수 있다.

🕒 16차시 106~107쪽

도입(5분)	전개(35분)	정리(10분)
원시 지구가 어떻게 현재와 같은 지구 모습을 갖게 되었을까?	<ul style="list-style-type: none"> • 원시 지구의 성장 과정 • 관련 동영상 시청 	질의 응답 및 토의

☆ | 동기 유발을 위한 제안 |

- 태양계에서 지구에만 생명체가 번성할 수 있었던 이유는 무엇인지 생각해 보게 한다.

☆ | 지도상의 유의점 |

1. 원시 지구가 탄생한 이후 지구 표면이 기권, 수권, 지권으로 분화되는 과정과, 이후 생물권이 형성되는 과정을 큰 흐름에서 이해하도록 한다.
2. 지구의 기원 관련 동영상을 시청할 수 있도록 한다.

1 | 원시 지구의 성장 |

원시 지구가 미행성의 충돌·병합에 의해 현재 크기의 지구로 성장하는 데에는 1억 년도 채 걸리지 않았을 것으로 추정되고 있다. 원시 지구의 반지름이 현재 지구의 절반 정도일 무렵 원시 지구에는 1년에 평균 1,000개 이상의 미행성이 충돌하여 급속하게 성장하였으며, 이에 따라 지구의 중력도 점점 더 커져 더 많은 미행성의 충돌이 일어났을 것으로 보인다.

2 | 마그마의 바다 |

원시 지구에서 지구의 바깥 부분이 완전하게 녹은 상태를 마그마의 바다라고 하며, 깊이는 수백 km에 달했던 것으로 보인다. 원시 지구의 표면에 마그마의 바다가 형성되는데 영향을 준 에너지원은 몇 가지가 있다.

가장 큰 영향을 준 것은 미행성의 충돌 에너지이다. 미행성의 충돌은 운동 에너지를 열에너지로 바꾸어 원시 지구의 표면을

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

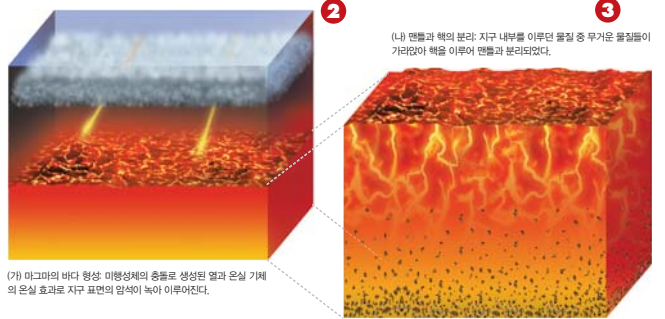
우주에서 바라본 지구는 그림 65와 같은 푸른색의 행성이다. 지구는 산소가 풍부한 대기를 가지고 있으며, 푸른 바다와 육지에는 많은 생명체가 번성하고 있다. 그러나 지구가 처음 탄생했을 때의 모습은 지금과 같지 않았으며, 지금과 같은 지구의 모습이 만들어지기까지는 매우 긴 시간이 걸렸다.

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.

1 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 바다를 이루게 되었다.

▼ 그림 66. 원시 지구의 진화 과정



가열하였다. 또 미행성의 충돌이나 화산 활동에 의해 방출된 온실 기체의 온실 효과도 지표면의 온도를 높였다. 그리고 원시 지구를 형성한 물질들 속에 풍부하게 들어 있던 방사성 물질이 붕괴되면서 방출하는 열도 지구를 내부로부터 가열시킨 주요한 원인이었던 것으로 보인다.

마지막으로 중력 에너지가 있다. 원시 지구가 미행성의 충돌로 녹기 시작하면서 철과 규소가 중력에 의해 서로 분리되고, 무거운 철이 지구 중심으로 가라앉으면서 중력 에너지가 열에너지의 형태로 방출되었다. 이러한 열원들로 형성된 마그마의 바다는 지구 내부에서 핵과 맨틀의 분리가 이루어지고, 미행성의 충돌이 줄어들면서 서서히 식기 시작하였다.

3 | 맨틀과 핵의 분리 |

지구 표면이 미행성의 충돌 에너지에 의해 녹아 마그마의 바다가 형성되었을 때 마그마는 철, 마그네슘, 칼슘이 많은 현무암질 마그마였다. 이 마그마는 점성이 작아 물질들이 쉽게 움직일 수 있어서 철과 니켈 등 무거운 물질들이 가라앉기 시작하였다.

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 핵을 이루었다. 반면, 규산염이나 알루미늄 산화물과 같이 밀도가 작은 물질들은 부력에 의해 지구 표면 쪽으로 떠올라 맨틀을 이루었다.

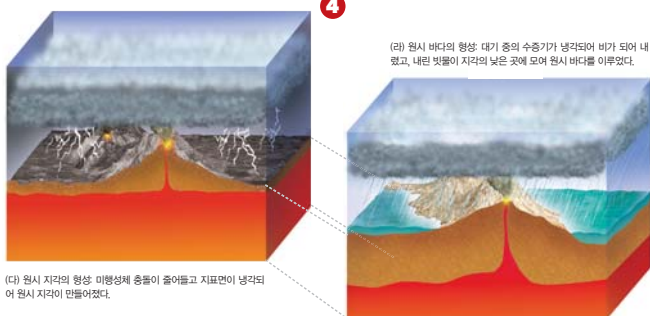
시간이 지나 미행성체의 충돌이 점차 줄어들자 마그마의 바다는 서서히 식었다. 그리고 지표면의 냉각으로 맨틀의 바깥 부분이 식어 굳어져 그림 (다)와 같이 암석으로 이루어진 얇은 원시 지각이 만들어졌다.

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 산소의 규소가 약 75%를 차지한다.

창의력 키우기 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 바다를 이루었다.

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



한편, 내부의 방사성 물질이 붕괴되면서 지구 내부에 있던 물질들도 녹기 시작했다.

물질들이 녹아 점성이 생기면서 무거운 성분은 가라앉아 지구의 핵이 되었으며, 주로 감람석으로 이루어진 가벼운 물질은 외곽에 남아 총상 구조를 이루었다. 감람석은 철과 마그네슘으로 이루어진 규산염 광물이다.

창의력 키우기 마그마의 바다가 이루어지지 않았다면 지표면에 현재 보다 훨씬 많은 양의 철이 존재할 것이다.

마그마의 바다가 형성되어 지구 내부가 유동성을 가지게 됨으로써 무거운 철이 지구 중심부로 가라앉아 핵을 형성할 수 있었다. 마그마의 바다가 형성되지 않았다면 지구의 표면에는 현재보다 훨씬 많은 양의 철이 존재하게 되고, 그 결과 암석은 운석에서 보이는 것처럼 철 산화물 함량이 높아져 밀도가 클 것이다. 실제로 밀도가 큰 운석은 같은 크기라도 우리가 흔히 볼 수 있는 암석에 비해 훨씬 무겁다.

4 | 원시 지구의 표면 |

원시 지구의 지면 바로 위에는 마그마와 운석 충돌공에서 솟아난 수증기와 이산화탄소, 그리고 운석에서 휘발한 성분들로 이루어진 고온의 원시 대기가 두껍게 형성되어 있었으며 이들이 대류하고 있었다. 그리고 더 높은 곳에는 초저온의 희박한 대기가 있었다. 원시 대기는 이산화탄소, 질소, 수증기, 일산화탄소 등으로 이루어져 있었다고 추정되는데 이들은 매우 뜨거운 지면 위에 놓여 있으므로 대류하게 되었고, 이때 상승한 원시 대기는 상층부의 초저온층에 닿아 비가 되어 떨어졌다. 그러나 빗방울이 지면에 가까이 오게 되면 지면의 높은 열 때문에 다시 기화되어 상승하는 현상이 반복되었다.

6 | 보충 자료 |

● 가장 오래된 암석

세계에서 가장 오래된 암석은 캐나다 북서부에 있는 아카스타(Acasta) 편마암으로, 연령은 40억 3,100만 년±300만 년이다. 한편, 2008년 9월에 캐나다 맥길 대학의 연구자들은 허드슨만 해변에서 발견한 암석의 연령을 42억 8,000만 년으로 계산하였지만, 오스트레일리아 학자들은 38억 년으로 주장하고 있다.

● 달의 형성

달의 기원에 대한 설명 중 가장 널리 받아들여지는 가설은 충돌설이다. 원시 지구가 성장할 때 지구에는 화성 크기 정도의 물체가 충돌하였으며 충돌한 물체의 핵은 지구와 합쳐졌고, 그 물체와 지구



▲ 원시 지구와 행성의 충돌(상상도)

의 맨틀 부분이 떨어져 나가 지구 주위를 돌다가 달이 되었다고 한다. 이 주장은 달에 철 성분이 매우 적고, 암석의 나이가 지구와 같다는 사실을 잘 설명한다.

● 원시 지구의 진화 과정

1. 미행성의 충돌에 의한 원시 지구의 성장(초기)
2. 마그마의 바다(현재 지구 크기의 약 0.5배일 때)
3. 맨틀과 핵의 분리
4. 원시 지각의 형성
5. 원시 대기와 원시 바다의 형성

도입(5분)	전개(35분)	정리(10분)
지구의 각 권은 어떻게 진화하여 오늘날에 이르게 되었는가?	<ul style="list-style-type: none"> • 지권의 진화 • 수권의 진화 • 기권의 진화 	<ul style="list-style-type: none"> • 질의 응답 및 토의 • 학습 내용 정리

★ | 동기 유발을 위한 제안 |

- 생물이 살 수 없었던 원시 지구의 표면에서 어떻게 현재의 생명체가 가득한 지표면으로 변화하게 되었는지 생각해 보게 한다.

★ | 지도상의 유의점 |

1. 지구에 생물권이 탄생하는 과정에는 지권, 기권, 수권의 상호작용이 있었음을 이해하게 한다.
2. 현재 지구의 지권, 기권, 수권의 특징에 대해서는 자세하게 다루지 않도록 하고, 원시 지구에서 현재의 지표면에 이르는 과정을 중심으로 학습한다.

5 | 맨틀 대류 |

지구 내부는 방사성 원소가 붕괴되면서 생성되는 열과 지구 생성 당시의 중력 에너지 때문에 매우 높은 온도를 유지하는 것으로 추정되고 있다. 맨틀의 열전도율이 낮기 때문에 이 열이 바깥쪽으로 빠져나오는 과정에서 맨틀이 대류하게 된다. 한편, 맨틀은 대부분 고체 상태이지만, 지하 100~400 km 부근의 맨틀은 부분적으로 용융 상태이므로 맨틀의 대류를 가능하게 한다. 맨틀의 대류는 느린 속도로 진행되고 있다.

★ | 보충 자료 |

● 원시 지각의 형성 직후

원시 지구에서 마그마의 바다가 식어서 원시 지각이 생성된 것은 지구 탄생 약 3억 년 후인 약 43억 년 전으로 보인다. 그러나 나이가 43억 년인 암석은 지표에서 보이지 않는다.

원시 지각이 형성된 이후에도 지표면에는 많은 운석들이 떨어졌다. 그러나 고체 지구의 표면을 이루고 있는 지각이 끊임없이 움직이고 있으며 대기와 물의 순환으로 지표면에서 끊임없이 풍화·침식 작용이 일어나고 있기 때문에 현재의 지구 표면에서는 운석 충돌의 흔적을 찾아보기 어렵다.

● 대륙 지각의 형성

지표에 모여 뜨거워진 빙물은 지표를 이루는 현무암질 마그마에 생긴 틈 속으로 스며들었고, 이 물은 광물 성분과 결합하였다.

연결 학습
지질 시대 → 160쪽

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 지구계의 상호 작용이 시작되었다.

지권의 형성과 진화

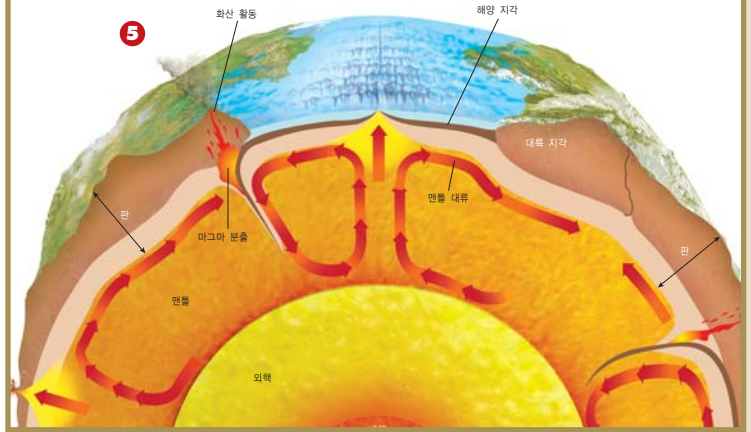
지권은 그림 67과 같이 지각과 맨틀, 외핵과 내핵으로 이루어져 있으며, 지각은 다시 대륙 지각과 해양 지각으로 나뉜다. 처음에 원시 지각은 매우 얇았으나 지구가 식어가면서 점점 두꺼워졌으며, 이후 지각과 상부 맨틀의 일부를 포함하는 판이 형성되었다. 판 아래에서는 지구 내부의 열에 의해 맨틀이 대류하고, 여러 조각으로 나뉘어진 판은 맨틀 대류에 따라 움직이기 시작하였다.

생성 초기의 지구는 현재보다 더 뜨거웠으므로 맨틀 대류와 화산 활동이 지금보다 더욱 활발하였다. 판의 운동으로 지표면에서는 습곡 산맥이 형성되었으며, 지표층이 굳어지거나 맨틀 속으로 끌려 들어가 마그마가 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 토양을 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



물 성분이 섞인 광물은 녹는 온도가 낮아진다. 이들은 지하 30~50 km 깊이에서 녹으며, 이산화규소(SiO₂) 성분이 많고 가벼운 화강암질 마그마를 형성한다. 이 화강암질 마그마는 현무암질 마그마 위로 떠올라 대륙을 이루는 지각이 되었다. 화강암은 산성암으로 이산화규소 성분이 가장 많으며, 칼륨과 나트륨 및 알루미늄 성분이 많고 밀도는 2.7~3.0이다. 반면 현무암은 염기성암으로 이산화규소 성분이 비교적 적고 마그네슘, 철, 칼슘 등이 많으며 밀도는 3.0~3.3 정도이다.

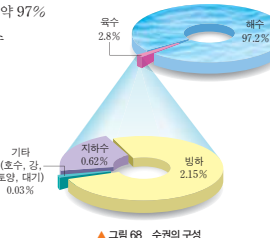
● 지구 내부의 연구

지구나 달의 내부 상태를 알아내기 위해서는 주로 지진파를 이용한 연구가 많이 이용된다. 지구 내부에서 지진파의 전달 속도는 지각과 맨틀의 경계면에서 급격히 증가하였다가 지하 약 100~400 km 사이에서 느려지는데, 이는 맨틀이 부분적으로 용융되어 있기 때문인 것으로 보인다. 또한, 지구 내부의 외핵에서는 지진파 중 S파가 전달되지 않으며, P파의 속도도 현저히 감소한다. 이러한 현상은 외핵이 액체 상태이기 때문에 나타나는 것으로 생각되고 있다.

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.



창의력 키우기

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 비롯된 것으로, 이는 물 분자의 독특한 구조 때문에 나타난다.

연결 학습

물의 화학적 성질과 분자 구조
→ 320쪽, 324쪽

▼ 그림 69_물의 순환



창의력 키우기

현재는 바다로 유입되는 염류의 양과, 바다에서 침전되거나 생물체에 흡수되어 유출되는 염류의 양이 같기 때문에 더 이상 염분이 높아지지 않는다.

현재 염분의 주성분은 Na^+ 과 Cl^- 이다. Na^+ 은 암석의 풍화·침식에서 유래된 것이고, Cl^- 은 화산 활동으로 방출된 화산 가스로부터 유래된 것이다. 원시 바다가 형성되었을 무렵 해저에서는 암석과 해수 사이에 상호 반응이 활발하였을 것으로 보인다. 특히 초기 지구의 바다는 고온이었었던 것으로 알려졌다.

마그마의 바다에서 방출된 원시 대기 성분 중 염화수소 기체는 고온의 해수에 녹아 들어가 암석과 해수 사이의 반응을 더욱 가속시켜 바닷물의 염분 형성을 촉진시켰을 것이다. 그 이후에도 암석 속에 들어 있던 Na, K, Ca, Mg, Fe 등의 광물질 이온들이 암권을 흐르는 물에 녹아 바다로 운반되었고, 화산 폭발에서 방출된 염산이나 황산 음이온 성분들이 지속적으로 물에 녹아 들어감으로써 바닷물은 많은 염분을 포함하게 되었다. 그러나 해수의 염분은 수억 년 전부터는 화학적 침전이나 재순환에 의해 균형을 이루어 오늘날의 바다와 비슷하게 되었다.

보충 자료

● 물의 기원

원시 지구에서 바다는 마그마의 바다와 화산 활동에서 방출된 대기 중의 수증기로부터 형성되었다는 것이 현재 과학계의 견해이다. 물의 기원을 지구 내부에서 찾는 학자들은 화산 폭발이 대기 중에 수증기를 공급하였다고 주장한다. 실제로 화산 가스의 대부분은 수증기이다.

원시 대기에서 바다가 만들어지기 위해서는 두 가지 조건이 만족되어야 한다. 하나는 원시 지구 표면의 온도가 물의 임계 온도인 $374^{\circ}C$ 이하여야 한다. 이 온도에서는 지구 표면의 모든 암석이 마그마의 바다에서 식어 완전히 고화되었을 것이다. 또 하나는 $374^{\circ}C$ 에서 액상의 물이 만들어지기 위해서 원시 지구 표면의 수증기압이 물의 임계 압력인 $2.21 \times 10^7 Pa$ 보다 높아야 한다. 이런 조건이 만족되는 환경이라면 수증기가 응축되어 액상의 물을 만들 수 있다.

그러나 현재의 바다를 형성할 정도로 많은 양의 물이 화산 활동에 의한 수증기로부터 공급된 것만은 아니라는 주장도 있다. 이들은 우주에서 날아온 얼음 덩어리가 지구의 바다를 형성한 물의 기원이라고 생각한다. 최근에는 실제로 지름 수십 m 크기의 얼음 덩어리들이 우주 공간에서 관측되고 있다. 우주 공간에 있던 얼음 덩어리가 지구로 떨어지게 되면 대기권에서 녹아 수증기로 변하게 된다.

물과 해양이 있다는 점에서 지구는 태양계의 다른 행성들과 구분된다. 이는 태양으로부터의 거리나 지구의 질량이 물을 붙잡아 두기에 적당하기 때문인 것으로 알려져 있다.

● 원시 바다

원시 바다는 원시 대기 중의 유황과 염소 화합물이 용해되어 산성이었을 것이다. 이에 따라 처음에는 이산화탄소가 녹아들어가지 않았지만 시간이 지나면서 많은 강수가 서서히 바다를 중화시켰고, 육상으로부터 Ca, Mg, Na, K 등의 이온들이 바다로 흘러 들어와서 이산화탄소가 바다에서 서서히 녹을 수 있게 되었다. 한편, 해양이 형성된 후 약 10억~15억 년이 지난 후에 퇴적된 처트층의 산소 동위 원소 연구에서는 초기 지구의 바다가 고온이었음이 밝혀졌다. 또 남아프리카 대륙에 분포하고 있는 약 31~37억 년 전에 퇴적된 처트층에서 화석이 발견되어 이 시기에 이미 지구상에 생명체가 존재하였음을 알려주고 있다. 따라서 원시 생명은 산성에서부터 중화된 해양에서, 뜨거운 바다 속에 있던 진흙에서 탄생한 것으로 추측된다.

☆ | 보충 자료 |

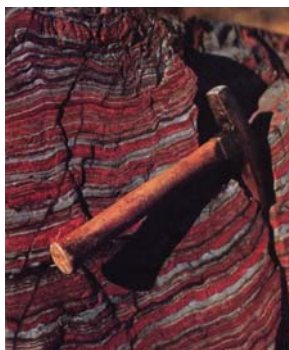
● 지구 대기 중 수소의 이탈

태양계 성운에서 원시 행성이 형성될 무렵, 원시 태양이 형성된지 약 1,000만 년 후의 원시 행성은 아직 농도가 높은 수소와 헬륨이 주를 이루는 1차 원시 대기(주성분은 수소)가 두껍게 휘감고 있었다. 그러나 이 당시에는 평균 10 km 크기에 질량이 1조 톤 정도인 미행성의 지속적인 충돌 때문에 지구의 기온이 매우 높은 상태였으므로 지구 대기를 이루는 수소 원자의 평균 속도는 매우 컸다. 또 지구형 행성의 경우 탈출 속도가 작아 수소는 우주 공간으로 빠져나가기 쉬운 조건이었다. 특히 원시 태양이 형성된지 약 1,000만 년에서 1억 년 사이에는 현재보다 10만 배나 강한 태양풍이 방출되었다. 태양풍은 태양에 가까운 행성의 대기에 큰 운동 에너지를 전달해 주었으므로 대기 입자들의 평균 속도는 매우 커지게 되었다. 따라서 이 시기에 지구는 1차 원시 대기를 거의 잃게 되었다. 반면에 탈출 속도가 큰 목성형 행성에는 현재까지도 1차 대기가 남아 있다.

6 | 산소의 형성 |

지구 대기에 산소가 증가하면서 지구상에는 산소를 이용하는 생물이 함께 증가하였고, 현재 생물권에는 산소를 이용하는 생물이 번성하고 있다. 따라서 지구 대기에서 산소의 등장은 매우 중요한 의미를 가지고 있다. 최초의 산소는 지구가 형성되는 동안 수증기가 자외선에 의해 해리되어 생성되었다. 그러나 이렇게 생성된 산소의 양은 극히 적은 양이었다.

지구상의 생명체는 약 38억 년 전에 해양에서 탄생하였으며, 산소는 지금으로부터 약 27억 년 전 시아노박테리아와 남세균이 광합성을 하면서 방출하기 시작한 것으로 알려져 있다. 광합성을 통해 방출된 산소 때문에 처음에는 박테리아나 다른 남세균이 죽었지만, 점차 산소에 견디고 산소를 이용하는 식물이 나타나면서 산소는 생물에 필요한 존재가 되기 시작하였다.



▲ 호상 철광층

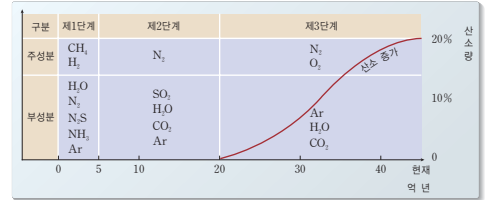
광합성을 통해 방출된 산소는 처음에는 바다에 녹아들어가 바닷물 속의 철 이온과 결합하여 그림과 같은 대규모 철광층을 형성하였는데, 현재 인류가 사용하는 철의 상당량은 이들로 부터 얻어진다.

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 화학 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



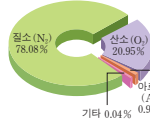
▲ 그림 71_ 원생 스트로마톨라이트

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.

지질 시대의 대기 중 이산화탄소와 산소와 바다의 형성은 어떤 관계가 있는 지 설명해 보자.

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.



▲ 그림 72_ 기권의 구성부피비

바다가 형성된 후 이산화탄소가 해수에 녹아들어가면서 대기 중의 이산화탄소량은 급격히 감소하였다.

이산화탄소는 한때 지구 대기의 주성분을 이루었던 것으로 알려져 있다. 그러나 현재 대기 중에는 이산화탄소의 양이 극히 적다. 이산화탄소는 모두 어디로 간 것일까? 이에 대한 해답은 산업 혁명 이후 다량의 화석 연료가 사용되면서 발생한 이산화탄소의 행방에서 얻어졌다.

화석 연료의 연소로 발생한 이산화탄소는 그 중 일부만이 대기 중에 축적되었는데, 나머지는 해양에 녹아 들어간 것으로 추정된다. 그러나 지질 시대 초기의 대기 중에 풍부했던 이산화탄소는 현재의 해수 중에도 남아 있지 않다. 그 이유는 이산화탄소가 해수에 녹아 HCO₃⁻로 이온화된 후 CaCO₃가 되었기 때문이다. 이것은 해수에 녹지 않지만 약 30억 년 전에 등장한 산호층 무리의 껍데기를 이루었고, 긴 지구의 역사 동안 그 껍데기는 퇴적되어 석회암이 되었다. 현재 지구의 석회암은 대부분 이와 같은 과정을 거쳐 만들어진 것으로 추정된다.

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 (나) 해수 온도가 높아지면 수증기량이 증가하여 우리 나라에 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.

창의 인성 활동의 이해

활동 5 지구계의 상호 작용에는 어떤 것들이 있을까?

목표

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

과정

- (가) 화산 폭발: 지권에서 일어난 화산 폭발로 화산 가스와 화산재가 기권으로 방출된다.
- (나) 태풍의 구름 사진: 수권에서 해수의 온도가 상승한 결과 기권에서 태풍이 크게 발달한다.
- (다) 사막화 현상: 지권에서 생기는 사막화 현상으로 기권의 바람에 의해 지권의 모래가 이동하게 된다.

정리

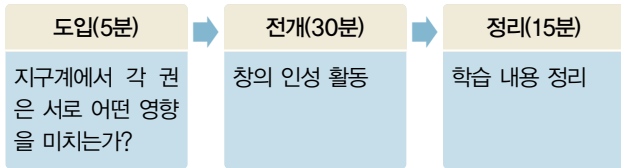
1. (가)~(다) 현상의 지구계 상호 작용과, 이와 같은 상호 작용의 또 다른 예는 다음과 같다.

현상	상호 작용하는 권	상호 작용의 또 다른 예
(가)	지권-기권	• 지각 변동에 의해 산맥이 형성되면 대기의 흐름 방향이 바뀌게 된다.
(나)	수권-기권	• 엘니뇨가 발생하면 이상 기상 현상이 생긴다.
(다)	기권-지권	• 대기 중 산소의 양이 증가하여 지권의 철을 산화시킨다.

- (가) 화산재가 대기 중에 방출됨으로써 대기의 태양 복사 에너지 반사율이 높아져 지구의 에너지 평형이 깨진다. 그리고 지구가 받는 태양 복사 에너지의 양이 감소하여 기온이 낮아진다. (나) 해수면의 온도가 상승하여 대기와 해수 사이의 복사 평형이 깨지게 된다. 해수에서 방출되는 열과 수증기의 양이 증가하여 태풍이 크고 강력해져 지표면에 교란을 일으키고 태풍에 의한 피해가 커진다. (다) 지권과 생물권 사이에 물의 순환이 원활하게 일어나지 않아 사막화 현상이 일어난다. 사막화 현상으로 지표면의 반사율이 변하여 지구의 에너지 순환에 변화가 오고, 황사와 같은 현상으로 주변 생태계가 영향을 받는다.
- 지구 환경을 구성하는 어느 한 영역에서 균형이 깨지게 되면 다른 영역에 영향을 미치게 되고, 그 결과 지구 환경에서 살아가는 생물권과 인간에게도 영향을 미치게 된다. 인간의 생존 환경은 현재의 지구 환경에 최적화되어 있으므로 지구 환경의 변화는 인간에게 위협으로 다가온다.

18차시

111~112 쪽



★ | 동기 유발을 위한 제안 |

- 최근의 기후 변화 사례를 제시하고 이러한 변화는 지구계의 어떤 요소가 상호 작용하여 발생하는지 생각해 보게 한다.
- 화산 활동이나 지진 활동과 같이 지권에서 일어나는 현상들은 인간의 삶에 어떤 영향을 주는지 생각해 보게 한다.

★ | 지도상의 유의점 |

지구계의 각 권은 서로에 대하여 닫힌계가 아니라 열린계로서 상호 작용을 하고 있으며, 유기적으로 연결된 하나의 시스템임을 강조한다.

7 | 지구계의 상호 작용 |

● **사막화**

기권의 수증기량 변화와 함께 바람에 의해 모래가 이동하여 사막의 면적이 넓어진다.

● **광합성**

기권의 이산화탄소가 광합성에 의해 생물권으로 이동한다.

● **적조 현상**

플랑크톤의 과잉 번식으로 해수 중의 산소가 부족해져 적조 현상이 나타난다.

● **풍화 작용**

수권의 흐르는 물에 의해 지권의 지형이 변하거나 물에 암석의 성분이 녹아 나온다.

● **기권과 수권 사이의 상호 작용의 예**

바람에 의해 해류가 발생하거나 해수의 온도 변화에 의해 기후가 변하는 현상

● **지권과 생물권 사이의 상호 작용의 예**

지권에서 일어나는 변화로 생물의 서식지가 파괴되거나 생물에 의해 지권의 풍화 작용이 일어나는 현상



▲ 그림 74. 지구계의 상호 작용과 관련된 여러 가지 현상

연결 학습

지구 대기의 온실 효과 ⇒ 396쪽

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.

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 생물이 어떻게 달라질지 이야기해 보자.

확인하기

1. 대기 중의 수증기가 냉각되어 비가 되어 내렸고, 빗물이 낮은 곳에 모여 바다가 형성되었다.
2. 바다 속 식물의 광합성에 의해 생성된 산소는 처음에는 바닷물에 녹아 대기 중으로 방출되지 않았지만, 바다 속의 생태계가 번성하고 광합성을 하는 식물의 수가 증가하면서 산소 발생량이 많아져 산소가 대기 중으로 방출되기 시작하였다.
3. 인간을 포함한 생물계는 지구계 각 권과 상호 작용을 하며, 인간이 지구계 각 권에 나쁜 영향을 미치면 그 결과는 결국 인간에게 다시 돌아오기 때문이다.
4. 화성에는 물과 산소가 없고 자외선을 막아주는 오존층이 없으므로 지하나 인공 구조물 안에서만 살 수 있을 것이다. 한편, 화성은 중력이 작아 지구에서보다 작은 힘으로도 움직일 수 있기 때문에 우주 탐사를 다녀온 우주인처럼 뼈나 근육이 약해질 것이다.

보충 자료 |

● **지구계**

지구계는 여러 영역으로 구성되어 있다. 이 영역에는 지권, 수권, 기권, 생물권, 인간권 등이 포함되어 있다. 지구계의 각 권 사이에서는 원소를 비롯한 물질과 에너지의 순환이 일어나고 있으며, 이 과정에서 끊임없이 상호 작용이 일어나고 있다. 특히 생물권은 수권, 기권, 지권에서 물, 이산화탄소, 질소 산화물을 이용하고 이산화탄소, 산소, 질소 가스 등을 기권으로 내보낸다. 이러한 물질 대사 과정에서 다양한 생물 종이 만들어지기도 하며, 또 다른 생물 종은 소멸되기도 한다.

현대 문명이 발달하면서 인간과 다른 영역과의 상호 작용은 화석 연료 사용에 따른 이산화탄소의 방출, 자원의 고갈, 원자력 에너지 이용과 폐기물 처리, 식량 부족과 인구 증가에 따른 국제 갈등 등 많은 사회적인 문제들을 유발하기도 한다. 인간은 독립적으로 존재하는 것이 아니라 생물권이나 다른 지구 환경 영역과의 상호 작용을 하므로 지구 환경을 잘 보존하는 것은 인류의 미래를 위해서 중요한 일이다.

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.

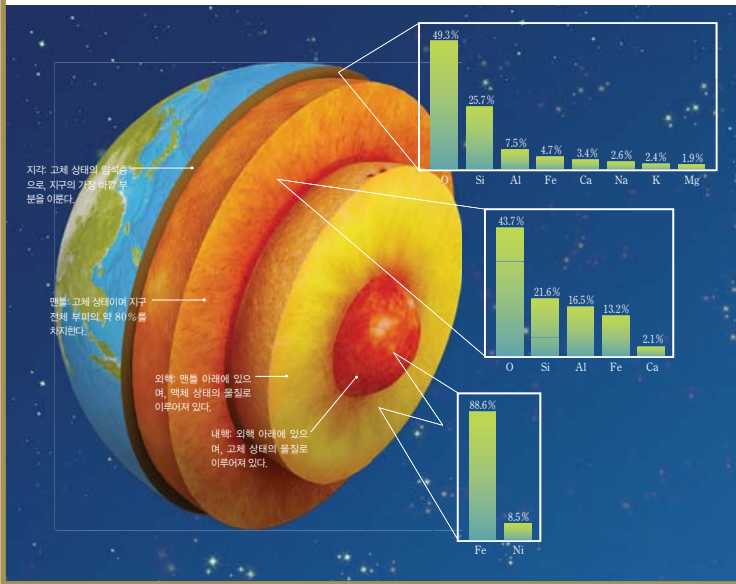
지구의 대기 성분은 질소와 산소 두 종류의 기체가 전체 부피의 약 99%를 차지하고 있다. 지구의 지각, 맨틀, 핵을 구성하는 성분도 특정한 소수의 원소로 이루어진 물질이 지구 전체 부피 또는 질량의 대부분을 차지하고 있을까?



지구를 구성하는 주요 원소

지권은 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)



3. 지구를 이루는 원소

☞ | 소단원의 학습 목표 |

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

🕒 19차시

113~116 쪽

도입(5분)	전개(35분)	정리(10분)
지구 내부의 구조	<ul style="list-style-type: none"> • 지각을 구성하는 8대 원소와 주기율 • 주기율표에서의 족과 주기 	멘델레예프 소개 및 현대의 주기율표 학습 예고

🌟 | 동기 유발을 위한 제안 |

- 지각을 구성하는 8대 원소를 배우는 것이 목적이 아니라, 이들의 규칙성을 찾아낼 것을 강조한다.
- 주기율표에 들어 있는 족과 주기의 규칙성에 대한 이해를 통해 과학의 예측 가능성을 배울 수 있음을 강조한다.

🌟 | 지도상의 유의점 |

1. 앞 단원에서 학습한 지각을 구성하는 8대 원소 중심의 수업이 이루어지지 않도록 주의한다.
2. 지구 내부를 구성하는 원소들의 규칙성을 통해 주기율표에서의 규칙성이 있음을 알고, 이들 원자의 전자 배치, 즉 최외각 전자와 연결시켜 관련성이 있음을 이해시킨다.
3. 주기율표의 원소를 무리하게 외우도록 하지 않는다.
4. 같은 족에 속한 원소들의 공통적인 성질을 예로 들어 같은 족 또는 주기에 속한 원소들의 성질을 예측할 수 있도록 한다.

🌟 | 보충 자료 |

• 지권

지권은 지각, 맨틀, 외핵과 내핵, 즉 지구의 표면과 내부를 이루는 물질로 이루어져 있으며, 각 층을 이루는 물질의 종류와 상태가 각각 다르다.

지각에서 가장 많은 양을 차지하는 원소는 산소이다. 산소는 지각 질량의 약 50%를 차지하며, 부피에서는 94%에 달한다. 이는 산소가 무게에 비하여 상대적으로 부피가 크기 때문인데, 지각은 거의 산소로 이루어졌다고 해도 크게 틀린 말은 아니다. 그 다음으로 많은 양을 차지하는 원소는 규소인데, 이 규소와 산소를 합하면 지각 질량의 70%를 넘는다.

지각 중의 화성암 속에는 산소가 규소나 알루미늄, 칼슘, 철 등과 산화물을 이루고 있다. 따라서 지각을 구성하는 원소의 비율은 산소, 규소, 알루미늄, 철, 칼슘, 나트륨, 칼륨, 마그네슘의 순으로 많으며, 이들을 지각의 8대 원소라고 한다. 또 맨틀들은 산화규소와 산화마그네슘, 산화철 등의 화합물로 되어 있고, 액체 상태인 외핵과 고체 상태인 내핵은 주로 철(Fe)과 니켈(Ni)의 무거운 원소로 이루어져 있는 것으로 추정하고 있다.

과학 마당

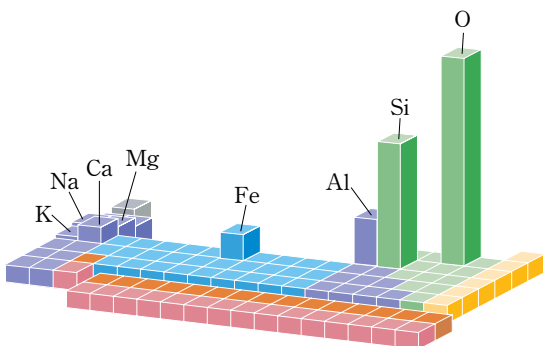
지각의 암석을 이루는 주요 광물

전체 광물의 99% 이상은 10여 종의 원소가 대부분 구성하고 있다. 실제로 11종의 원소가 전체 광물의 99%를 차지하고, 1% 이상 함유되어 있는 원소는 8종에 불과하다. 따라서 이들 8종의 원소를 지각을 구성하는 8대 원소라고 부른다. 이 원소들은 화합물이 되어 지각에서 광물로 존재한다. 각 암석의 주요 구성 광물을 조암 광물이라고 하며, 암석의 물리적, 화학적 성질은 광물 구성과 이들의 구조 조직에 따라 좌우된다. 암석의 조직은 구성 광물 입자의 크기와 이들의 결합 양상에 의한 것이다.

보충 자료

- 지각을 구성하는 8대 원소의 이름의 유래

 1. 산소(Oxygen): 그리스어의 산(oxys)과 생기다(genes)
 2. 규소(Silicon): 라틴어인 부싯돌(silicis 또는 silex)
 3. 알루미늄(Aluminium): 고대 그리스나 로마의 옛 이름인 알루미나(Alumen)
 4. 철(Iron): 켈트계의 고어로, '성스러운 금속'이라는 뜻
 5. 칼슘(Calcium): 라틴어의 석회(calx)
 6. 마그네슘(Magnesium): 그리스의 마그네시아 지역에 있는 마그네시아석
 7. 소듐(Sodium): 나트륨이라고도 부르지만 정식 명칭은 소듐. 아라비아어의 소다(soda)
 8. 포타슘(Potassium): 칼륨이라고 부르지만 정식 명칭은 포타슘. 아라비아어의 알칼리(quli)



▲ 주기율표에 나타난 지각을 구성하는 원소

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.



▲ 그림 76. 여러 가지 조암 광물

주기율

1

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.



▲ 그림 77. 나트륨과 칼륨이 물과 반응하는 모습

2

이들 원소는 산소와 결합하여 각각 산화나트륨(Na₂O), 산화칼륨(K₂O)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?

1 | 나트륨과 칼륨 |

최외각 전자가 1개인 나트륨과 칼륨은 주기율표의 1족 원소로, 화학적 성질이 유사하다.

1. 나트륨(Na): 원자 번호 11번인 나트륨은 소듐이라고도 한다. 나트륨 화합물은 값이 싸고 조미료나 비누, 펄프, 유리 등을 만드는 원료로 생활 속에서 유용하게 사용되며, 밤거리를 밝히는 가로등 속에는 나트륨 증기가 들어 있다.

또한, 나트륨 이온과 칼륨 이온의 양이 우리 몸 안에서 적당하게 유지되지 않으면 우리 몸은 제 기능을 발휘할 수 없다. 이것은 신경 자극이 전달되는 과정이 나트륨과 칼륨 이온의 농도 변화에 의존하기 때문이다. 나트륨은 암염이나 소다 회 등의 형태로 지구에 존재한다.

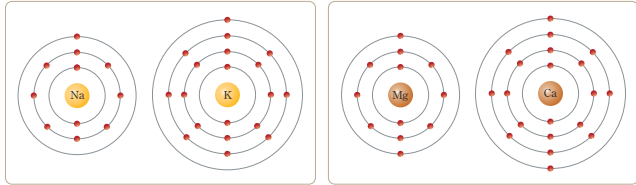
2. 칼륨(K): 원자 번호 19번인 칼륨은 포타슘이라고도 하는데, 질소나 인과 함께 식물체 안에서 함유량이 높은 원소이다. 칼륨, 질소, 인을 포함하는 화합물은 식물에 제공하는 비료에 많이 포함되어 사용된다. 또 식물에서 산소나 이산화탄소가 드나드는 기관인 기공의 개폐에 중요한 역할을 한다. 기공 세

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.

포 내에 칼륨 이온이 섭취됨으로써 세포 안팎의 이온 농도에 차이가 생겨 이로 인해 기공의 개폐가 일어난다. 칼륨은 염화 칼륨의 암염 형태로 지구에 존재한다.

2 | 마그네슘과 칼슘 |

최외각 전자가 2개인 마그네슘과 칼슘은 주기율표의 2족 원소로, 화학적 성질이 유사하다.

1. 마그네슘(Mg): 원자 번호 12번인 마그네슘은 사람의 몸에서 칼슘, 인과 함께 뼈의 대사에 중요한 역할을 한다. 식물에서 마그네슘이 부족하면 잎이 누렇게 변하고 심하면 죽기도 한다. 이럴 때는 마그네슘이 많이 들어 있는 비료를 주면 된다. 마그네슘은 은백색의 가벼운 금속으로, 흡원소 물질로는 알루미늄보다 가볍다. 마그네슘 합금은 가벼우면서 단단하기 때문에 노트북 컴퓨터의 바깥 재질을 비롯해 자동차, 항공기, 카메라 등의 부품을 만드는 데 유용하게 사용된다.
2. 칼슘(Ca): 원자 번호 20번인 칼슘은 인산칼슘 또는 탄산칼슘의 형태로 척추동물의 뼈에 들어 있다. 칼슘은 뼈의 형성

이외에 근육이 수축할 때도 필요하다. 또한, 뼈의 칼슘은 혈액 속으로 방출되어 호르몬 등의 작용도 돕는다. 칼슘은 석회나 방해석 같은 석회암 형태로 지구 곳곳에 존재한다.

● 주요 용어 설명

1. 주기

주기는 주기율표의 가로줄을 의미하며, 7주기까지 존재한다. 주기는 한 원소에서 전자가 배치되어 있는 전자 껍질 수와 같으며, 같은 주기에 속한 원소들은 모두 같은 수의 전자 껍질을 가진다.

2. 족

족은 주기율표의 세로줄을 의미하며, 18족까지 존재한다. 같은 족에 속해 있는 원소들을 동족 원소라고 하는데, 동족 원소들은 화학적 성질이 비슷하다.

3. 주기율

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 한다.

4. 주기율표

주기율표는 원소들을 원자 번호 순으로 나열하면 물리적, 화학적 성질이 비슷한 원소들이 같은 세로줄에 위치하는 주기율을 이용하여 만들어 놓은 원소의 분류표이다.

5. 최외각 전자

가장 바깥쪽 전자 껍질에 채워져 있는 전자로, 원소의 화학적 성질은 최외각 전자 수에 의해서 결정된다.

● 멘델레예프의 주기율

1869년 러시아의 화학자 멘델레예프는 원소들을 원자량뿐만 아니라 성질도 함께 고려하여 배열함으로써, 원소의 성질이 주기적으로 나타나는 것을 알 수 있도록 주기율표를 만들었다. 이 주기율표는 세 쌍 원소와 같은 작은 묶음에서 뿐만 아니라 전체적인 수직, 수평, 대각선에서의 관계에서도 규칙성을 찾을 수 있었다. 또한, 그의 주기율표에서는 빈칸이 있었으나, 그는 새로운 원소가 발견될 것이라고 예측하고 그 원자량까지 예상하였다. 실제로 멘델레예프의 주기율표에서 원자 번호 3번 리튬(Li)부터 9번 플루오린(F), 11번 나트륨(Na)부터 17번 염소(Cl)는 현재의 주기율표와 일치한다.

과학 마당

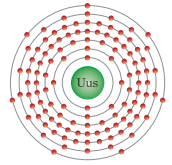
현대의 연금술, 새로운 원소의 합성

러시아와 미국의 공동 연구자들은 원자 번호 97인 버클리움-249 동위 원소에 원자 번호 20인 칼슘-48 동위 원소를 충돌시킨 핵융합 반응으로 원자 번호 117인 동위 원소 2종을 만들었다고 '피지컬 리뷰 레터스' 2010년 4월 9일자에 발표하였다. 다른 실험실에서 발견을 재현해야 새로운 원자에 이름을 붙일 수 있다는 국제 규칙에 따라 이 원소는 아직 정식 이름이 붙여지지 않았고 임시로 '우눈셉튬(ununseptium, Uus)'으로 불린다. 이번 연구를 주도한 러시아의 핵연구소(JINR)는 원자 번호 113, 114, 115, 116, 118인 원소를 잇달아 만드는 데 성공한 바 있다. 이번에 117번이 확인됨에 따라, 2000년 확인된 116번과 2002년 확인된 118번 사이의 빈자리가 채워진 셈이다. 연구자들은 5개월 동안 초당 7조 개의 칼슘-48 이온을 버클리움-249 원자핵에 충돌시켜 얻은 데이터를 분석한 결과 117번 원자 6개를 확인하였다.

과학 마당 | 현대의 연금술, 새로운 원소의 합성

미국의 '피지컬 리뷰 레터스(Physical Review Letters)' 2010년 4월 11일자는 라틴어로 117이라는 뜻의 '우눈셉튬(Ununseptium)'이라는 가칭을 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 연합)에서 정식으로 이름이 결정되었고, 2006년 9월에 보고된 117번 원소를 포함한 113번에서 118번 원소의 정식 이름은 결정되지 않았으며, 임시로 이름을 부여하고 있다. '우눈(unun)'으로 시작되는 원소명이 그것이다.



▲ 그림 79. 우눈셉튬의 전자 배치

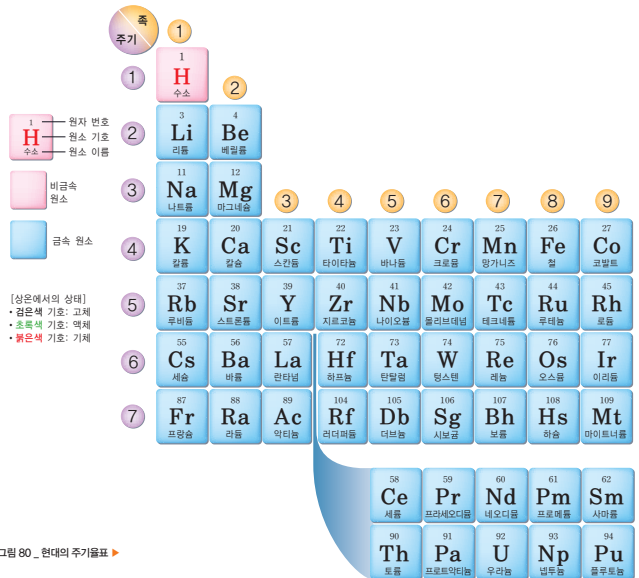


그림 80. 현대의 주기율표

보충 자료

현대의 주기율표



▲ 모즐리(Moseley, H. N., 1887~1915)

멘델레예프의 제자였던 모즐리는 X선을 이용하여 원소들을 분석한 결과, 원소들을 원자량이 아닌 원자 번호 순으로 배열하면 멘델레예프의 주기율표에서 발생한 문제들을 해결할 수 있다는 것을 밝혔다. 이렇게 해서 원소들이 원자 번호 순으로 배열된 오늘날의 주기율표가 만들어졌다.

주기율표의 구성

주기율표의 가로줄에 해당하는 '주기'는 전자가 채워진 최외각 껍질을 나타내는 번호이다. $n=1$ 인 경우 최외각 껍질에 2개의 전자가 채워질 수 있고, $n=2$ 와 $n=3$ 인 경우 8개, $n=4$ 와 $n=5$ 인 경우 18개의 전자가 채워질 수 있다. 최외각 껍질에 채워지는 전자의 수는 원소의 원자 번호에 의해 결정되며, 주기가

커질수록 원자핵 주위에 분포하고 있는 전자구름의 크기가 커진다. 주기율표의 세로줄에 해당하는 '족'은 최외각 껍질에 채워진 전자의 수에 해당한다. 원소의 주기적 특성이 나타나는 것은 원소의 화학적 성질과 주기적 성질이 최외각 껍질에 채워진 전자 수에 의해 결정되기 때문이다.

광물 분석

광물은 탄소 화합물이 아닌 천연의 고체 결정들을 말한다. 탄소 화합물은 생명 현상과 관련 있는 반면, 광물들은 지구의 암석을 이루는 물질들이다. 결정은 고체를 이루는 원자들이 일정한 규칙을 가지고 질서 있게 배열되어 있는 상태를 말한다. 예를 들어, 소금은 나트륨과 염소 이온들이 서로 교대로 반복되며 일정한 간격으로 배열된 평면이 층층이 쌓인 구조를 가지고 있다.

광물을 이루는 원소들과 원자들의 배열 상태를 정확히 알기 위해서는 X선을 이용한 회절 분석법을 사용해야만 한다. X선은 파장이 아주 작기 때문에 결정을 이루는 원자 사이 공간을 통과하여 지나가지만 원자에 부딪치면 회절 현상을 일으키는데,

산소의 화학 반응과 주기율

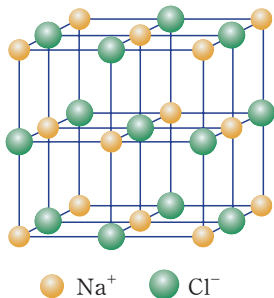
주기율표의 16족에 위치한 산소는 최외각 전자가 6개이며, 이 중 2개가 다른 원자의 최외각 전자와 공유 결합에 참여한다. 산소는 다른 원소에 비해 전자를 잡아당기는 능력이 상대적으로 크기 때문에 반응성이 크다. 이러한 이유로 대기 성분에 산소가 많이 존재하는 지구에서는 산소가 참여하는 화학 반응이 쉽게 나타난다.

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.



3 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 얻으려고 한다.

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



회절된 X선이 서로 간섭을 일으키면 그 간섭 무늬를 분석하여 결정 구조를 알아낼 수 있다.

그러나 대부분의 광물들은 이러한 방법을 사용하지 않아도 의 관상으로 알 수 있는 몇 가지 특징들이 있어서 쉽게 구별할 수 있다. 예를 들어 석영의 결정형은 육각 기둥 모양이고, 감람석의 결정형은 주로 짧은 기둥 모양이다. 이처럼 광물은 성장하는 환경이나 조건에 따라서 결정 모양이 다르기도 하고, 광택이나 투명도 등도 다르다. 또한 굳기, 쪼개짐과 깨짐 등이나 밀도도 각기 다르다.

3 | 18족 비활성 기체 |

비활성 기체는 주기율표 상의 18족 원소로, 반응성이 거의 없어 다른 물질과 화학 반응을 거의 일으키지 않는다. 비활성 기체에 속하는 원소들은 헬륨(He), 네온(Ne), 아르곤(Ar), 크립톤(Kr), 제논(Xe), 라돈(Rn) 등이 있다. 이중 아르곤은 공기의 조성비 중 세 번째로 많은 비율(부피비 0.93%)을 차지하며, 백열전구, 형광등, 진공관, 정류관 등에 넣는 기체로 사용하거나 금속의 주조, 제련 등의 보호 기체 및 용접에 이용한다. 헬륨은 가볍고 타지 않으며, 폭발성이 없기 때문에 기구나 비행선 등의 주입 가스로 사용한다. 특히, 액체 헬륨은 끓는점이 -270°C 정도로 낮아 초전도 현상을 일으킬 수 있는 냉각제로도 이용한다.

20차시

117~119쪽

<p>도입(5분)</p> <p>주기율표에서 산소의 위치와 특징 소개</p>	<p>전개(35분)</p> <ul style="list-style-type: none"> 산소의 최외각 전자 수와 산소의 화학 반응성이 큰 이유 창의·인성 활동: 산소가 참여하는 화학 반응 	<p>정리(10분)</p> <p>창의력 키우기 및 확인하기 풀이</p>
--	--	--

★ | 동기 유발을 위한 제안 |

- 산소가 지구에서 많은 화학 반응에 참여한다는 것을 다양한 자료를 통해 전달한다.
- 산소의 최외각 전자 배치와 비활성 기체인 네온이나 아르곤의 최외각 전자 배치 모형을 비교하여 차이점과 유사점을 찾아도록 질문한다.

★ | 지도상의 유의점 |

- 지구에 풍부한 산소가 다양한 화학 반응에 참여하는 것이 주기와 관련 있다는 사실을 창의·인성 활동을 통해 설명할 수 있도록 지도한다.
- 창의력 키우기 문제의 물음에 대한 답을 반드시 이유와 함께 서술하도록 지도하고, 이유의 과학적 근거가 타당하면 창의력을 신장하는 면에서 칭찬을 아끼지 않는다.
- 창의·인성 활동은 조사 및 토의 활동이므로 사전에 자료를 충분히 조사하여 학생들에게 제공하면 풍부한 소재를 가지고 진행하는 수업이 될 수 있다.

창의 인성 **활동의 이해**

활동 6 지구에서 산소가 참여하는 화학 반응에는 어떤 것이 있을까?

목표

- 반응성이 큰 산소가 지구 상에서 많은 화학 반응에 참여한다는 것을 자료를 통하여 말할 수 있다.

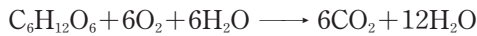
안내

- 산소가 참여하는 반응이란 산소 기체와 결합하는 연소 반응 뿐만 아니라, 산소 원소가 포함된 물질이 반응하는 모든 반응을 뜻한다. 연소 반응 중심으로 자료 조사 및 토의가 진행되지 않도록 지도한다.

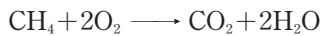
정리

1. 그림 82의 화학 반응식

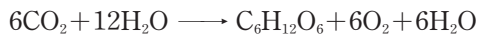
- 호흡



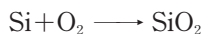
- 메테인의 연소



- 광합성



- 석영의 형성



2. 금속의 부식, 음식의 부패, 영양소의 소화 및 분해, 철의 재련, 알코올의 발효 등이 산소가 참여하는 반응이다.

3. 산소의 최외각 전자 수가 18족 원소와 같다면 18족 원소처럼 화학 반응에 참여하지 않는 모습을 닮을 것이다. 예를 들어 광합성 반응에서 산소가 반응하지 않아 다른 원소가 산소를 대체하거나 생태계에서 광합성 반응이 영영 사라지게 될 것이다. 또한, 사람을 비롯한 동물의 호흡에서도 산소가 이용될 수 없을 것이다.

창의력 키우기 **음식물의 부패 속도가 빨라질 것이다. 생물의 노화 속도가 빨라질 것이다. 연소 반응이 활발히 일어날 것이다.**

이 외에도 산소가 참여하는 대표적인 반응인 식물의 광합성에 의한 포도당 합성이 줄어들어 전체적인 생명체 활동에 위협을 초래할 것이다. 또한, 바다의 산소 포화 농도가 증가하여 플

창의 인성 활동 6 지구에서 산소가 참여하는 화학 반응에는 어떤 것이 있을까?

목표 반응성이 큰 산소가 지구 상에서 많은 화학 반응에 참여한다는 것을 자료를 통하여 말할 수 있다. **조사, 토의**

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.

랑크톤의 급속한 증가로 바다 생태계에 심각한 위협을 가할 수 있다.

보충 자료

● 발효와 부패

1. 발효

- ① 세균, 미생물, 곰팡이 등의 작용에 의해 생긴다.
- ② 음식이 몸에 더 좋은 역할을 하도록 바꾸는 현상이다.
- ③ 세균이 독소 등을 끼치지 않고, 영양분을 파괴하지 않는다.
- ④ 유산균이 대표적이다.
- ⑤ 김치, 술, 된장 등이 있다.

2. 부패

- ① 세균, 미생물, 곰팡이 등의 작용에 의해 생긴다.
- ② 음식이 몸에 나쁜 역할을 하도록 바꾸는 현상이다.
- ③ 세균이 독소 등을 뱉어내고, 우리 몸속에 들어가면 증식을 하여 세포를 파괴하며, 여러 질병을 일으킨다.

역사 속의 과학 | 멘델레예프와 주기율표

▲ 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 대부분의 곱팡이, 세균 등이 이에 속한다.
- ⑤ 대부분 미관상으로 좋지 않다.
- ⑥ 흔히 음식물이 상한다고 하는 것은 모두 이에 속한다.

확인하기

1. 산소, 규소, 알루미늄, 철, 칼슘, 나트륨, 칼륨, 마그네슘 산소가 지각 전체 질량의 약 50%를 차지한다.
2. 새로운 원소의 물리적, 화학적 성질을 연구하여 기존 원소의 성질과 비교한 후, 성질이 비슷한 원소가 위치한 주기율표에서의 세로줄(족)을 찾아 원자 번호(양성자 수에 비례)에 맞춰 대략적인 위치를 예측할 수 있다.
3. 과학자들은 자신이 연구한 새로운 원소에 대해 기존에 연구한 과학자의 업적을 인정하는 배려심과 그 원소가 공익을 위해 어떻게 사용할 수 있는지를 알고 행동해야 하는 책임감이 있어야 함을 지도한다.

역사 속의 과학

멘델레예프와 주기율표

상트페테르부르크 대학의 교수가 된 멘델레예프는 화학 강의에 적당한 교재를 찾지 못해 스스로 교재를 집필하던 중, 원소들의 성질이 제각각이고 규칙성이 없는 데 불만을 가지게 되었다. 그래서 그는 1869년에 '원소의 성질과 원자량과의 관계'라는 연구를 발표하였다. 그는 원소의 성질을 조사하기 위해 여러 장의 카드를 마련하여 여기에 원소의 성질들을 기록한 뒤 늘어놓고 여러 가지로 조합해 보았다. 그 결과 원자량의 크기가 늘어나면서 일정한 주기를 가지고 비슷한 화학적, 물리적 성질이 반복적으로 나타난다는 것을 깨닫고, 이 규칙에 '주기율(periodic law)'이라는 이름을 붙였다. 그는 이 주기율에 따라 당시 알려져 있던 63종의 원소를 분류하여 이들을 가로축(주기)과 세로축(족)에 따라 배열한 표를 만들었다. 이것이 멘델레예프의 주기율표이다. 끈질긴 시도 끝에 그는 원소들을 원자량에 따라 배열하면 여덟 번째 카드마다 화학적 성질이 비슷한 원소가 나타나는 것을 발견하였다. 멘델레예프는 주기율표를 발표할 때 원자량 순서대로 배열하면 화학적 성질이 다른 원소가 자리잡게 된다는 이유로, 알루미늄(Al)과 붕소(B)의 아래 칸을 비워두었다. 그는 이 빈칸을 채울 원소를 각각 '에카알루미늄'과 '에카붕소'라고 이름 붙이고, 이들의 물리적, 화학적 성질을 예측했다. '에카알루미늄'은 '알루미늄에서 한 자리 떨어진 위치'를 의미한다. 에카알루미늄과 에카붕소는 각각 1875년과 1879년 발견되어 갈륨(Ga)과 스칸듐(Sc)이라는 새 이름을 얻었는데, 여러 가지 물리적, 화학적 성질이 멘델레예프가 예언했던 것과 비슷하였다.



▲ 멘델레예프의 업적을 기념하는 우표(좌)와 주화(우)

4. 지구의 자기장

☆ | 소단원의 학습 목표 |

1. 지구의 핵에 철이 풍부하며, 지구의 자전으로 지구 자기장과 이온층이 형성됨을 설명할 수 있다.
2. 지구 자기장과 이온층의 역할을 일상 생활의 예를 통하여 설명할 수 있다.

🕒 21차시 | 120~121쪽

도입(5분)	전개(35분)	정리(10분)
지구의 보호막에는 어떤 것들이 있을까?	<ul style="list-style-type: none"> • 지구 자기장의 모습과 역할 • 지구 자기장의 생성 원인 	<ul style="list-style-type: none"> • 질의 응답 및 토의 • 학습 내용 정리

☆ | 동기 유발을 위한 제안 |

- 지상에서 사용하는 나침반을 지구 위의 어느 정도 높이까지 사용할 수 있을지 생각해 보게 한다.

☆ | 지도상의 유의점 |

- 나침반이 가리키는 곳이 지리상의 북극이 아니고 자기 북극임을 유의하게 한다.

☆ | 오개념 유형 |

- 자기 북극은 지구 자기의 S극이다.

지구 표면에서 자침의 N극이 가리키는 곳이 지구 자기의 북극이다. 그런데 지구 자기의 북극이라고 하면 학생들은 이곳을 지구 자기의 N극이라고 생각한다. 그러나 지구 자기의 북극은 자침의 N극이 향하고 있는 곳이므로 지구 자기의 S극이어야 한다. 자석의 N극이 또 다른 자석의 S극에 끌리는 것처럼 자침의 N극이 향하는 곳은 지구 자기의 S극이다. 따라서 지구 자기에서는 자기 북극이 S극이고, 자기 남극이 N극이다.

1 | 우주선(宇宙線) |

우주선은 우주 공간을 날아다니는 고속의 입자로, 일부는 태양에서 발생한 것도 있지만 대부분은 태양계 밖에서 날아온다. 태양계 밖에서 날아오는 우주선의 85% 정도는 양성자이고 12% 정도는 헬륨 원자핵이며, 나머지는 전자와 그 밖의 무거운 원자핵이다. 이들은 거의 모든 방향에서 지구를 향해 날아오고 있으며, 광속에 가까운 속도를 가지고 있어서 매우 큰 운동 에너지를 가지고 있다.

4

지구의 자기장

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



▲ 그림 84. 우주 유명

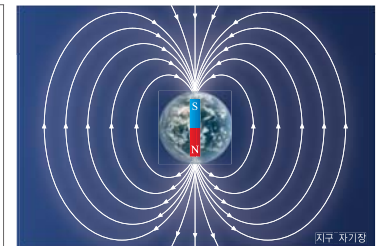
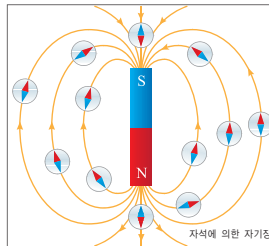
우주선(cosmic ray)
태양계를 포괄해 우리 은하 전체를 날아다니는 높은 에너지 입자로, 대부분 수소와 헬륨의 원자핵으로 이루어져 있다.

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 자석이기에 나침반이 항상 북쪽을 가리킨다고 생각하였다. 실제로 지구 바깥에서 나침반이 가리키는 방향을 선으로 이온 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.

2 | 밴앨런대 |

지구의 자기권은 외부로부터 오는 우주선을 막아 주며, 내부에는 도넛 모양의 밴앨런대가 있다.

밴앨런대는 태양풍에 의해 방출된 전자와 양성자 등 하전 입자들이 지구의 자기장에 포획되어 밀집되어 있는 곳으로, 지구 주위를 고리 모양으로 둘러싸고 있으며 밴 앨런 복사대(Van Allen radiation belt)라고도 한다.

이 복사대는 1958년 밴 앨런이 미국의 첫 인공위성인 익스플로러 1호를 이용한 관측으로 발견하였다.

밴앨런대는 내대와 외대로 이루어져 있다. 내대는 지구 중심에서 지구 반지름의 1배~2배 떨어진 곳에 존재하고 있는데, 이곳에는 에너지가 큰 양성자와 전자들이 밀집되어 있다. 외대는 지구 중심에서 지구 반지름의 3배~4배 떨어진 공간에 존재하고 있으며, 이곳에는 내대보다 에너지가 적은 양성자와 전자가 모여 있다.

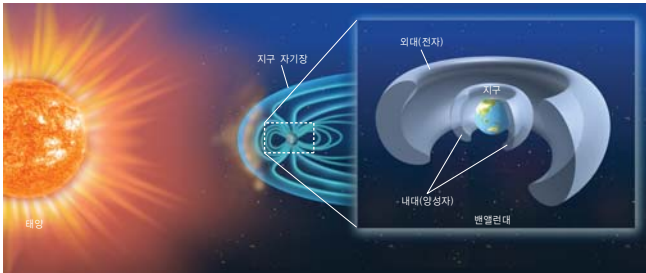
복사대에 붙잡힌 하전 입자는 자기력선을 따라 나선 운동을 하며, 자기 북극 상공과 자기 남극 상공 사이를 0.1~3초 주기

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.

연습 학습
태양풍 ⇒ 64쪽

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

2



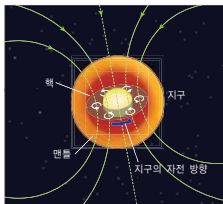
▲ 그림 86_지구의 자기권과 밴앨런대 지구의 자기권은 외부로부터 오는 우주선을 막아 주며, 내부에는 도넛 모양의 밴앨런대가 있다.

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.

3



▲ 그림 87_다이나모 이론

로 왕복한다. 내대에 있는 입자들은 이 과정에서 자기 북극과 남극 상공의 희박한 상층 대기와 충돌하여 오로라를 일으킨 후 북사대를 빠져 나가는 것으로 알려져 있다.

☆ | 보충 자료 |

● 최초의 유인 우주선 발사

구소련은 1961년에 최초의 유인 우주선 보스토크 1호를 발사하였다. 세계 최초의 우주 비행사인 유리 가가린이 보스토크 1호를 타고 있을 때 어두운 우주 공간 속에서 빛나는 지구의 모습을 보고 감탄하여 다음과 같은 말을 남겼다.

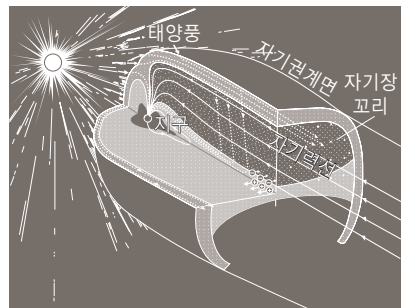
“...여기서 지구가 잘 보인다. 아름답다. 기분이 매우 좋다. 지구는 푸른색이다.”

보스토크 1호는 지구 궤도를 89분 동안 한 번 회전한 후, 108분 만에 무사히 지구에 귀환하였다. 이로써 무중력과 시속 28,000 km라는 초고속의 비행 환경에서 인간이 견딜 수 있는가에 대한 가능성이 보스토크 1호의 성공으로 충분히 증명된 것이다.

이후 미국에서도 머큐리 우주선을 발사하여 인간을 우주에 보내었으며, 미국과 구소련은 이후 우주 탐사에서 서로 경쟁하며 수많은 업적을 남겼다. 그리고 1969년에는 아폴로 우주선이 달에 착륙하여 인간의 발자취는 달에까지 미치게 되었다.

● 지구의 자기권

지구의 자기력이 미치는 공간을 지구 자기권이라고 하며, 그 모양은 태양으로부터 방출되는 태양풍의 영향을 받아 아래 그림처럼 꼬리가 생긴 혜성과 같은 모습을 하고 있다. 태양을 향한 쪽에서는 태양풍이 지구의 자기장과 충돌하여 충격파를 만들어 낸다. 지구 반지름의 10배 정도 되는 거리에 자기권 계면이 형성되어 있는데, 태양 쪽으로는 자기권이 태양풍의 압력으로 눌려진 모습을 하고 있다. 태양의 반대쪽으로는 자기권이 태양풍에 날려 길게 꼬리가 생긴 모양을 하고 있으며, 자기 꼬리는 지구 반지름의 1,000배 이상의 거리까지 뻗어 있다.



▲ 지구 자기권의 구조

자기권 계면은 태양풍을 지구로부터 빗겨나가게 하지만 그래도 많은 양성자와 전자들이 자기권 계면 안으로 들어온다.

자기장은 지구에만 있는 것은 아니며, 태양계 내의 행성은 모두 자기장을 가지고 있다. 특히 목성은 지구의 10배나 되는 강한 자기장을 가지고 있는 것으로 알려져 있다. 따라서 이러한 자기장은 행성의 연구에 이용되고 있다.

3 | 다이나모 이론 |

다이나모는 직류 발전기라는 뜻이다. 액체 상태인 지구 외핵의 운동은 기존의 약한 자기장 내에서 액체 철을 이동시켜 유도 전류를 발생시킨다. 이러한 유도 전류는 자기장을 형성하며, 지구 내부에서 방출되는 열에 의해 일어나는 외핵 물질의 대류와 자기장의 상호 작용에 의해 2차 자기장이 형성되고, 이것이 지구의 자기장을 유지시킬 수 있다고 하는 것이 다이나모 이론이다. 그러나 외핵 내에서 자기장이 생성되는 정확한 메커니즘은 아직 알려져 있지 않다.

22차시 122~123 쪽

도입(5분)	전개(35분)	정리(10분)
지구의 자기장을 이용하는 동물에는 어떤 것이 있을까?	<ul style="list-style-type: none"> • 지구 자기장의 이용 • 정리 확인 학습 	<ul style="list-style-type: none"> • 질의 응답 및 토의 • 학습 내용 정리

★ 동기 유발을 위한 제안

- 철새가 길을 어떻게 찾는지 생각해 보게 한다.

4 | 지구의 자기장 역전

지구 자기장의 축은 지구의 자전축과 약 12° 기울어져 있다. 따라서 지구상에서 자침이 가리키는 곳은 지리상의 북극이 아니고 자기 북극이다. 고지구 자기 연구에 따르면 지구의 자기장은 약 1만~10만 년 주기로 방향이 바뀐다고 한다. 즉, 과거에 자기장의 방향이 현재와 반대였던 때가 있었다는 것이다. 대서양 중앙 해령에는 현재의 자기장과 같은 방향으로 자화된 암석과 반대 방향으로 자화된 암석이 교대로 나타나고 있다.

오늘날 자기 북극의 위치는 고정되어 있지 않고 이동하고 있는데, 최근 들어 자기 북극의 이동 속도가 빨라지고 있다고 한다. 더불어 지구 자기장의 세기가 서서히 약해지는 현상이 관측되었다. 일부 학자들은 이 현상이 자기장의 방향이 바뀌는 과정이 아닌가 생각하고 있다.

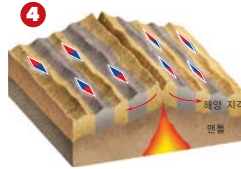
5 | 전리층(이온층)

전리층은 지구 대기의 상공에 이온화된 입자들이 모여 있는 곳으로, 높이에 따라 D층, E층, F층이 있다. D층은 저주파수의 라디오파를 반사하고 고주파수의 라디오파는 흡수한다. E층은 라디오파를 강하게 반사하며, F층은 장거리 통신에 이용된다. 전리층은 1882년 지상에서 관측되는 자기장의 변화로부터 처음 알려졌고, 1902년에는 이것으로 라디오파의 장거리 송신을 설명하였다.

6 | 델린저 현상

태양의 플레어 현상에 의해 전리층의 전기적 상태에 강한 요란이 발생하면 전리층의 D층이 강화되어 라디오파를 흡수하게 된다. 이때 라디오파의 통신 두절 현상이 생기는데 이를 델린저 현상이라고 한다.

지구 자기장의 이용

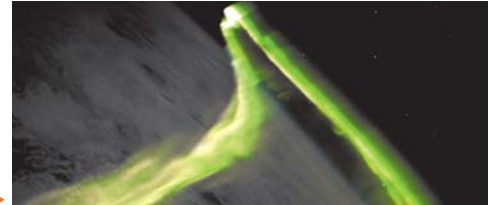


▲ 그림 88. 대서양 중앙 해령의 지구 자기 줄무늬 해양지학적으로 지구 자기 줄무늬는 대칭을 이룬다.

바다 한가운데 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 자기 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 전리층이라고 하며, 지상에서 발사된 전파를 흡수하거나 반사하기 때문에 라디오 텔레비전의 송·수신, 무선 통신 등에 이용된다. 태양의 활동이 활발해져 태양풍이 강해지면 전리층이 교란되어 무선 통신이 끊어지는 델린저 현상이 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 효과 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.

보충 자료

● 지구의 자기장을 이용하는 동물들

지구의 생물 중에는 지구 자기장을 자신들의 생존에 직접적으로 이용하는 것도 있다. 철새가 지구 자기장을 감지해 길을 찾는다는 사실은 널리 알려져 있으며, 현재까지 지구 자기장을 감지하는 것으로 밝혀진 동물은 50여 종이나 된다.

확인하기

- 1. 밴앨런대**
밴앨런대는 하전 입자들이 지구 자기장에 붙잡혀 만들어진 영역이다.
- 2. 델린저 현상**
태양의 활발한 활동으로 전리층이 교란되어 무선 통신이 방해받는 것을 델린저 현상이라고 한다.
- 3. 지구에 자기장이 없다면 우주선 때문에 육상에 생물이 살기 어려워질 것이다.**

지구의 진화

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

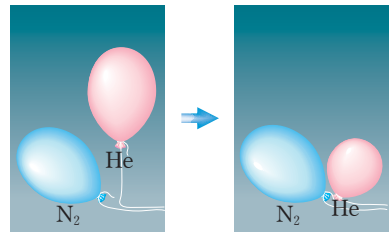
● 보기 ●

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

ㄷ-ㄴ-ㄱ-ㄹ | 지구에 원시 지각과 원시 바다가 생성된 후 바다에서 탄생한 광합성 생물이 산소를 만들기 시작했고, 산소의 양이 늘어나 대기 중으로 방출되어 오존층이 형성되었다.

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.



고무풍선을 빠져나간 헬륨 기체의 양이 질소 기체보다 많기 때문에 헬륨이 들어 있던 풍선의 크기가 작아진다. 이것은 헬륨 기체의 분자량이 질소 기체의 분자량보다 작아 고무풍선을 빠져나가는 확산 속도가 상대적으로 크기 때문이다.

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

태양으로부터의 거리가 상대적으로 멀리 떨어진 목성의 표면 온도가 지구보다 낮기 때문에 끓는점이 낮은 기체를 대기 성분으로 갖는다.

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 ●

- ㄱ. 오존층
- ㄴ. 지구의 대기
- ㄷ. 지구 자기장

ㄱ. 자외선, ㄴ. 운석, ㄷ. 우주선 | 오존층은 자외선을 흡수하는 역할을 하며, 운석이 지구에 들어오면 대부분 대기의 마찰로 타서 없어진다. 지구 자기장은 우주선을 이루는 입자들을 가두거나 지구를 비껴 지나가게 한다.

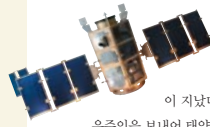
최외각 전자

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

같은 족 원소들은 최외각 전자 수가 같아서 성질이 서로 비슷하다. 즉, 원자 내의 전자 배치 중 가장 바깥쪽에 있는 최외각 전자 수는 원소의 화학적 성질과 관련이 깊다.

과학과
진로

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.

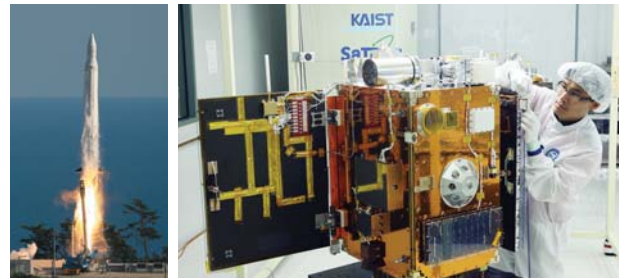
현재 여러 국가에서는 우주를 개발하기 위하여 경쟁하며 협력하고 있는데, 이러한 우주 개발에 직접 종사하는 사람들이 바로 항공 우주 공학자이다. 항공 우주 공학은 항공기나 우주선, 발사체의 제작 및 운용에 관련된 기술을 연구·개발하는 공학의 한 분야로, 인류의 생활 공간이 우주로 확장될수록 더욱 활발한 활동이 예상되는 과학 기술 분야이다.

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 인공 위성 발사장인 나로 우주 센터를 건설하여 인공 위성 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 나아가야 할 길이 더욱 많다고 볼 수 있다.

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

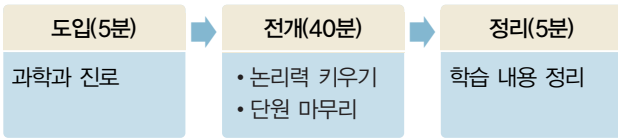
우주 개발 분야는 인류의 새로운 도전 거리로 가득 차 있으며, 머지않은 미래에 이루어질 인류의 본격적인 우주 진출에 앞장서는 분야이다.



▲ 그림 90_ 나로호 발사 장면(좌)과 과학 기술 위성(우)

대단원 마무리

23차시 124~127쪽



과학과 진로

● 우리나라 우주 개발의 역사

◇1980년대 - 우주 기술 태동기

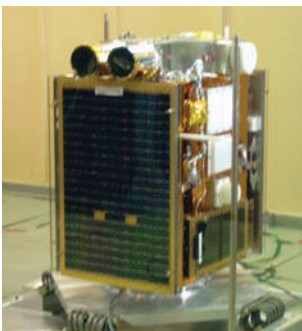
- 우리별 위성 개발 착수
- 과학 로켓 개발 착수

◇1990년대 - 우주 개발 착수기

- 우리별 1, 2, 3호
- 무궁화 1, 2, 3호
- 과학 로켓 1, 2호
- 다목적 실용 위성 1호

◇2000년대 - 기술 자립화와 본격적인 우주 개발

- 과학 기술 위성 1호, 2호 개발
- 다목적 실용 위성 2호, 3호, 3A호, 5호 개발
- 무궁화 위성 5호
- 통신 해양 기상 위성 개발
- 우주 발사체 개발
- 우주 센터 건설
- 우주인 사업
- 국가 위성 항법 시스템 사업



▲ 우리나라 최초의 인공위성인 우리별 1호



▲ 다목적 실용 위성(아리랑 위성)

2010년 6월 27일에는 우리나라 상공에 정지 위성인 천리안 위성이 쏘아 올려졌다. 천리안 위성은 동경 128.2°, 적도 상공 고도 36,000km에서 지구의 자전 속도와 같은 속도로 궤도를 돌면서 항상 우리나라가 보이는 위치에 떠 있게 된다. 천리안 위성은 통신 해양 기상 관측용 장비를 탑재하고 있으며, 예상 수명은 7년 정도이다. 이로써 우리나라는 세계에서 일곱 번째로 정지 궤도 기상 위성의 보유국이 되었다.

● 항공 우주 공학과 관련된 직업

항공 우주 공학과 관련된 분야는 크게 우주 분야와 항공 분야로 나눌 수 있다. 우주 공학 분야에서는 주로 위성 개발이나 로켓 개발과 관련된 연구 업무를 담당한다. 위성 개발과 관련된 사업에서는 위성 시스템의 설계 및 개발, 조립, 위성에 필요한 핵심 부품의 개발, 위성의 궤도나 자세 제어 및 위성 운용과 관련된 연구 등을 수행하며, 로켓 개발과 관련해서는 풍동 실험 및 설계, 탑재 장비와 관련된 부분의 구조물 설계 및 개발, 비행 궤도 분석, 자세 제어 시스템 개발 등의 연구를 수행한다.

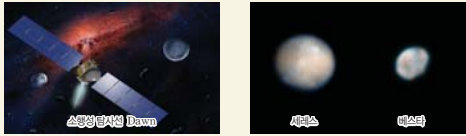
항공 공학 분야에서는 주로 항공기의 본체나 시스템을 설계하고 개발하기 위한 연구, 항공기의 각 부분을 이루는 장치들인 조종 장치나 착륙 장치 및 구동 장치 등에 대한 연구 개발을 수행하며, 항공기의 전자 장비와 관련된 부분을 설계하거나 개발하는 사업도 수행한다.

항공 우주 공학과 관련된 직업에는 공학자 외에도 항공 기관이나 기체 관련 기술사, 항공 기사, 항공 산업 기사, 항공 관련 정비사나 기능사 등의 다양한 직업이 있다.

논리력 키우기

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 사용하여, 소행성까지 가는 동안 화성 중력의 도움을 받는다. 그림은 소행성까지 여행하는 Dawn의 이동 경로와 탐사 일정을 나타낸 것이다.



행사	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.

논리력 키우기

☆ | 평가 목표 |

태양계의 기원을 탐구하는 여러 가지 방법과 태양계 행성들의 탐사 방법을 이해하고 이를 설명할 수 있다.

☆ | 예시 답안·평가 기준표 |

1. 소행성은 태양계 형성 초기에 원시 행성을 형성하였던 미행성체가 충돌, 병합하여 만들어진 천체로, 행성으로 진화하지 못하였기 때문에 행성이 형성될 당시의 물질들을 그대로 보존하고 있을 것으로 기대되기 때문이다.

평가 기준	배점(%)
태양계의 형성 과정과 소행성 탐사에서 기대되는 내용을 태양계의 형성 과정과 관련지어 서술한 경우	100
소행성 탐사에 대한 내용만을 서술한 경우	50

2. 탐사선이 빠른 속도를 얻기 위해서는 그만큼 더 많은 연료가 필요한데, 연료가 많아지면 우주 발사체의 무게가 무거워져

빠른 속도를 내기 어렵다. 따라서 탐사선을 최소의 에너지로 다른 행성이나 천체에 보내기 위해서는 행성의 공전 에너지를 이용하는 것이 효율적이기 때문이다.

평가 기준	배점(%)
지구와 행성의 공전 에너지 이용을 잘 설명한 경우	100
지구의 공전 속도만을 설명한 경우	50

☆ | 지도상의 유의점 |

행성 탐사선의 스윙바이에 대한 개략적인 이해를 하도록 지도한다. 경우에 따라서는 수식을 사용할 수도 있으나, 보통의 경우에는 수식보다는 물리적인 이해에 초점을 맞추어 지도한다. 또한 스윙바이와 연관된 Launch Window에 대해서도 개략적으로 이해할 수 있도록 한다.

☆ | 보충 자료 |

● 스윙바이(Swingby)

스윙바이는 우주선이 별이나 행성의 중력장을 이용하여 궤도를 바꾸는 것으로 행성 궤도 근접 통과를 말한다. 1989년 목성 탐사선 갈릴레오는 발사 과정에서 충분한 추진력을 얻지 못하자 금성에서의 스윙바이를 통해 2.2 km/s의 속도를 증가시키고, 다시 지구 궤도에서 두 번의 스윙바이를 통해 8.9 km/s의 속도를 더 얻음으로써 목성까지 갈 수 있었다.

● Launch Window

우주선이 스윙바이를 통해 속도를 증가시키기 위해서는 행성에 대해 쌍곡선 궤적을 그릴 수 있는 조건으로 접근해야 하며, 지구에서 발사한 우주선이 도움을 얻을 행성과 정확한 시간에 지정된 위치에서 만나야 하므로 지구에서 우주선을 발사할 수 있는 기간(Launch Window)은 특별히 정해져 있다.

● 소행성 탐사

초기 태양계 성운에서는 짙은 성간 물질과 원시 행성의 상호작용이 활발했는데, 이는 소행성대에서도 마찬가지였다. 그런데 거대 행성인 목성의 중력 때문에 소행성들은 행성으로 발전하지 못하고 큰 암석 덩어리로 남겨지게 되었다. 특히 세레스는 지금도 계절에 따라서 극지방이 얼고 녹는 물의 작용이 진행되고 있을 것으로 생각되며, 매우 얇은 대기를 가지고 있다. 또한, 베스타는 화성보다 훨씬 강한 자기장을 가지고 있으므로 이들에 대한 연구를 통해 지구형 행성의 자기장에 대한 자료를 얻을 수 있을 것으로 기대하고 있다.

탐구형 문제

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

● 보기 ●

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

㉠. 원시 행성, ㉡. 태양계 성운, ㉢. 미행성체, ㉣. 원시 태양, ㉤. 행성, ㉥. 태양, ㉠-㉡-㉢-㉣-㉣-㉥-㉠

사고력 향상 문제

2. 어떤 행성의 공전 궤도 장반경을 9AU, 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.

이 행성의 공전 주기를 P라고 하면 케플러 제3법칙에 따라 $P^2=9^3=27^2$ 이다. 따라서 이 행성의 공전 주기는 27년이고, 케플러 제2법칙에 의해 태양과 이 행성이 잇는 선분은 1년 동안 $\frac{S}{27}$ 의 면적을 휩쓸고 지나간다.

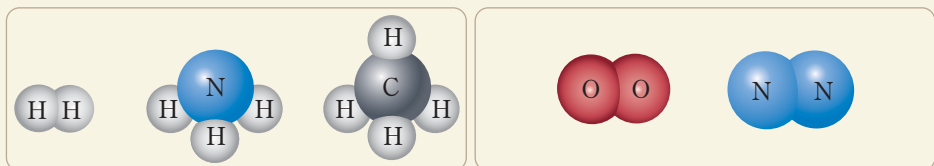
사고력 향상 문제

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.

어떤 사람의 탄생 별자리가 사자자리라면 이 사람의 생일에 태양은 사자자리에 위치하므로 사자자리의 별들은 태양과 함께 뜨고 진다. 따라서 이 날 밤에 사자자리는 볼 수 없고, 천구 상에서 사자자리의 반대쪽에 위치한 별자리들을 볼 수 있다.

사고력 향상 문제

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



목성의 대기를 이루는 기체는 평면 구조인 수소를 제외하고 모두 입체 구조이지만 지구의 대기를 이루는 기체는 모두 평면 구조이다.

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.
밀도, 자전 주기 | 밀도가 작을수록, 자전 주기가 짧아 자전 속도가 빠를수록 행성의 편평도가 커진다.
- (2) 지구와 목성의 구성 물질 차이를 알 수 있는 물리량은 무엇인지 써 보자.
밀도 | 지구는 크기가 작고 금속과 암석 물질로 이루어져 있어 밀도가 크다. 반대로 목성은 크기가 크고 주로 수소나 헬륨으로 이루어져 있어 밀도가 작다.
- (3) 목성형 행성은 두꺼운 대기를 가지고 있는 것으로 알려져 있다. 행성의 대기 두께에 가장 큰 영향을 주는 물리량은 무엇인지 써 보자.
중력 | 중력이 클수록 더 가벼운 기체를 행성에 많이 잡아둘 수 있으므로 목성형 행성의 대기는 수소나 헬륨과 같이 가벼운 물질로 두껍게 이루어져 있다.

수행 평가 문제

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

원자 번호 8번 산소의 최외각 전자 수는 6개이며, 이 중 2개가 다른 원자의 최외각 전자와 공유 결합에 참여한다. 이때 산소의 공유 전자쌍을 잡아당기는 능력이 다른 원소에 비해 상대적으로 크기 때문이다.

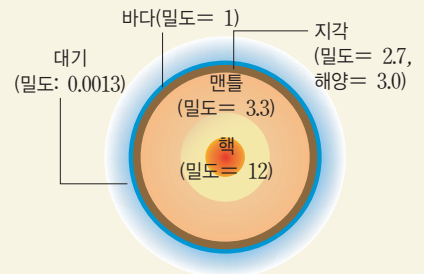
창의력 문제

7. 지구에서 산소가 참여하는 화학 반응의 예를 써 보자.

광합성, 호흡, 연소, 광물 생성 반응 등

창의력 문제

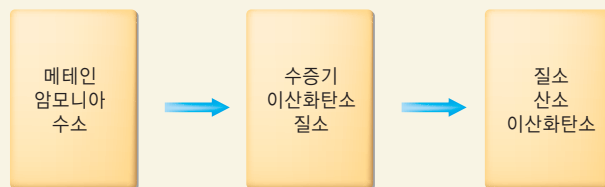
8. 그림은 지구의 층상 구조와 각 층의 밀도를 나타낸 것이다. 지구를 구성하는 각 층의 밀도를 비교해 보면 밀도는 중심에서부터 바깥쪽으로 갈수록 점점 작아지고 있음을 알 수 있다. 지구의 밀도 분포가 이와 같이 나타나는 까닭은 무엇인지 설명해 보자.



지구 중심으로부터 멀어질수록 중력이 작아지기 때문이다. | 행성에서 중력은 원심력과 만유인력의 합으로 나타나는 힘이며, 만유인력은 질량의 곱에 비례하고 거리 제곱에 반비례하므로 밀도가 큰 무거운 물질일수록 중심으로 향하는 힘이 커진다.

창의력 문제

9. 다음은 지구 대기의 성분이 변해가는 과정을 나타낸 것이다.



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

환원형 대기 환경에서 처음 탄생한 생명체는 산화형 대기로 진화하면서 이산화탄소를 이용할 수 있는 형태로 진화했다. 광합성으로 산소가 생성되면서 산소를 이용하는 생물이 나타났고, 오존층이 형성되어 육지 생물이 등장했다.