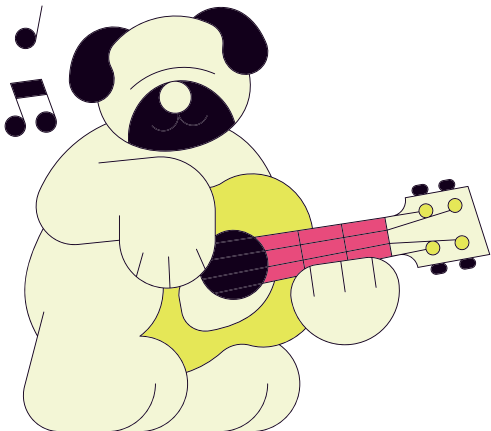


고등학교

역학과 에너지

권경필
강태욱
이세연
박가영
조현국
김태은





머리말

역학과 에너지를 통해 다양한 활동과 탐구를 중심으로 한 학습을 하면서 지식·이해, 과정·기능, 가치·태도의 세 차원을 상호 보완적으로 함양함으로써 영역별 핵심 아이디어에 도달할 수 있다.



역학과 에너지는 포물선 운동에서부터 행성의 궤도 운동, 그리고 열과 소리의 전달에 이르기까지 생활 속 다양한 물리 현상을 설명하는 데 필요한 핵심 개념을 다루는 과목이다. 여기서 다루는 개념을 기반으로 인류는 수백 년 동안 과학과 문명을 발전시켜 왔다. 그리고 역학과 에너지 개념은 오늘날 항공 우주, 스포츠, 건축, 교통수단, 기상 관측, 음악 등 다양한 분야 및 산업에서 그 기초를 이룬다.

이 교과서는 2022 개정 교육과정에 맞춰 개발했다. 디지털 탐구 도구를 비롯한 다양한 소재를 통해 역학과 에너지를 재미있게 배우고, 과학적이고 논리적인 접근을 통해 물리 개념을 차근차근 이해할 수 있게 구성했다.

이 교과서는 시공간과 운동, 열과 에너지, 탄성파와 소리 세 영역으로 구성했다. 시공간과 운동 영역에서는 물체 및 행성의 운동과 중력에 의한 시공간의 휨을 이해할 수 있게 했다. 열과 에너지 영역에서는 다양한 열 현상과 열기관의 작동 원리 및 열역학 1, 2법칙을 다뤘다. 탄성파와 소리 영역에서는 매질을 통한 에너지 전파 과정과 파동의 투과 및 반사 현상을 이해하고, 음파의 간섭, 도플러 효과, 그리고 악기의 원리를 소개했다.

이 교과서를 통해 학생들이 역학과 에너지의 기초 개념을 이해하고, 일상과 첨단 기술의 문제를 해결하는 능력을 기를 수 있을 것이다. 그리고 현대와 미래 산업에서 중요한 역할을 맡게 될 이공계열 진로를 꿈꾸는 학생들이 나아가는 데 꼭 필요한 물리학적 지식과 역량을 갖추어 줄 것으로 기대한다.

지은이 씀

이 책의 구성과 특징



교과서 속 모든 QR 코드와 연결된 영상, 누리집 등을 모아 볼 수 있다.

주도적 학습의 시작.
무엇을 배웠고,
무엇을 배울지를 파악해 보자.

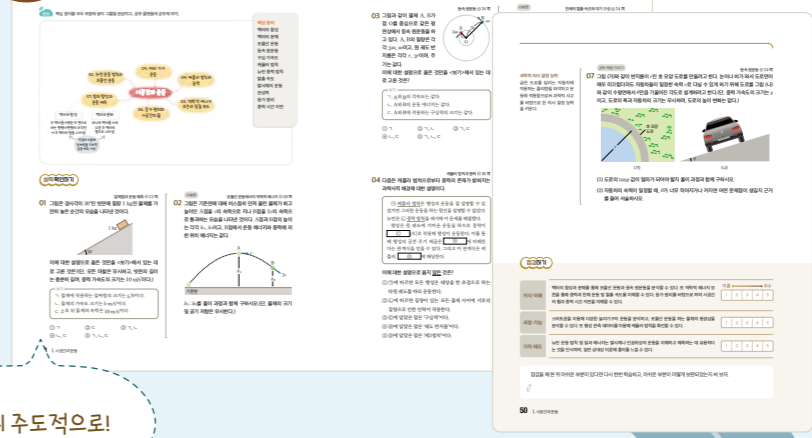
단원 도입



- **단원 연계:** 중학교 과학, 통합과학, 물리과학의 연계를 확인할 수 있다.
- **성취 기준 확인:** 지식·이해, 과정·기능, 가치·태도별 성취 기준을 확인할 수 있다.

마무리까지 주도적으로!

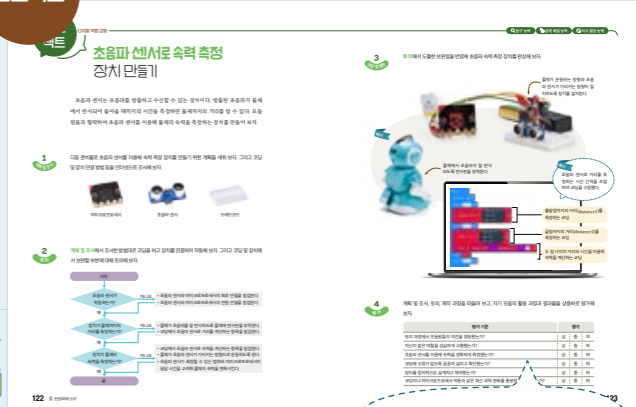
단원 마무리



생각 그물로 대단원 내용을 정리하고 문제로 실력을 확인한 뒤, 역량을 키우는 문제로 마무리할 수 있다. 또 대단원 학습을 지식·이해, 과정·기능, 가치·태도별로 점검할 수 있다.

프로젝트

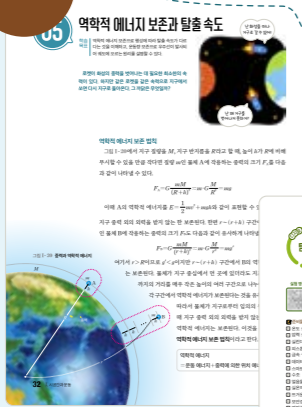
본문에서 배운 내용을 코딩에 적용해 마이크로 프로세서로 작동하는 장치를 만드는 프로젝트를 수행할 수 있다. 또 과학과 관련된 사회적 쟁점을 주제로 토론하는 프로젝트도 수행할 수 있다.



단원 속 개념을 코딩에 녹여 넣어 보자.

친절한 설명과 안내,
풍부한 시각 자료와 함께
본문을 학습해 보자.

본문 학습



- **도입:** 삽화나 사진 자료와 함께 학습을 흥미롭게 시작할 수 있다.
- **본문 개념:** 역학과 에너지 개념을 쉽게 이해할 수 있다.

읽기 자료



재미있는 과학 이야기와
적용 소개까지!

본문에서 배운 내용이 첨단 과학, 생활 등에 적용된 사례와 단원 관련 직업을 확인할 수 있다.

- **탐구/해 보기:** 디지털 학습 도구를 비롯한 다양한 도구를 활용해 활동할 수 있다.
- **스스로 확인:** 간단한 문제를 풀면서 각 차시에서 배운 내용을 확인할 수 있다.
- **스스로 정리:** 소단원 학습 내용을 정리하는 창의적 활동을 할 수 있다.

- * **용어** 본문 개념 속 어려운 용어의 뜻풀이
- 연계** 중학교 과학, 통합과학, 물리과학과 연결된 개념 안내
- 과학자** 개념과 관련해 중요한 업적을 남긴 과학자 소개
- * **잠깐 활동** 본문 학습 중간에 개념을 적용하거나 조금 더 자세히 들여다볼 수 있는 짧은 활동

이 책의 차례



I 시공간과 운동

01. 힘의 합성과 운동 예측	10
02. 뉴턴 운동 법칙과 포물선 운동	16
첨단 과학 이야기 스포츠 과학	21
03. 여러 가지 운동	22
04. 케플러 법칙과 중력	27
05. 역학적 에너지 보존과 탈출 속도	32
06. 등가 원리와 시공간의 휨	38
프로젝트 가속도 측정 장치 만들기	46
대단원 마무리	48
과학과 나의 미래 스포츠 물리학자	51

II 열과 에너지

01. 단열과 열팽창	54
02. 열에 의한 물질의 변화	60
03. 열역학 제1법칙	68
생활 속 과학 이야기 적란운	73
04. 열기관과 열효율	74
05. 비가역 현상과 엔트로피	80
프로젝트 내연 기관 자동차와 전기 자동차	84
대단원 마무리	86
과학과 나의 미래 에너지 효율 검증 전문가	89



III 탄성파와 소리

01. 용수철 진자와 단진동	92
02. 탄성파	97
03. 도플러 효과와 속도 측정	104
첨단 과학 이야기 도플러 효과	111
04. 음파의 간섭과 소음 제어	112
05. 정상파와 악기	116
프로젝트 초음파 센서로 속도 측정 장치 만들기	122
대단원 마무리	124
과학과 나의 미래 게임 음향 기술자	127



부록

자료실-국제단위계와 물리 상수	128
자료실-실험실 안전 수칙	130
자료실-동영상 분석 프로그램 사용 방법	132
정답과 해설	133
찾아보기	138
자료 출처	139

I 시공간과 운동

이 단원에서는 일상 속 물체의 운동을 과학적으로 이해하기 위해 뉴턴 운동 법칙 및 일과 에너지의 관점에서 물체의 운동을 바라본다. 나아가 지표면에서의 운동과 인공위성 및 행성의 운동, 시간 지연, 블랙홀과 같은 현상의 원인인 중력에 대해 알아본다.



단원을 학습하면서 공유 플랫폼에 공유한 결과물을 모아 포트폴리오를 만들어 보자.



단원 연계	<p>중학교 과학 힘의 작용, 운동과 에너지</p> <p>통합과학1 시스템과 상호작용</p> <p>물리학 힘과 에너지</p> <p>이 단원에서는 벡터의 합성, 포물선 운동과 원운동, 역학적 에너지, 중력과 천체 운동, 탈출 속도, 등가 원리를 배운다.</p>
성취 기준 확인	<p>지식·이해 벡터의 합성과 뉴턴 운동 법칙으로 포물선 운동과 등속 원운동을 분석할 수 있다. 또 역학적 에너지 보존을 통해 중력과 천체 운동 및 탈출 속도를 이해할 수 있다. 등가 원리를 바탕으로 하여 중력 시간 지연과 블랙홀을 이해할 수 있다.</p> <p>과정·기능 스마트폰을 이용해 다양한 놀이기구의 운동을 분석하고, 포물선 운동을 하는 물체의 동영상 분석할 수 있다. 또 행성 관측 데이터를 이용해 케플러 법칙을 확인할 수 있다.</p> <p>가치·태도 뉴턴 운동 법칙과 역학적 에너지 보존은 발사체나 인공위성의 운동을 이해하는 데 유용하다는 것을 이해하며, 일반 상대성 이론에 흥미를 느낄 수 있다.</p>

01

힘의 합성과 운동 예측

학습 목표 물체에 작용하는 여러 가지 힘의 합력을 구해 물체의 운동을 정량적으로 예측할 수 있다.

개미들은 주로 물체에 들거나 당기는 힘만을 작용한다고 한다. 그런데도 개미들이 목적지까지 먹이를 옮길 수 있는 까닭은 무엇일까?



벡터의 합성

우리 주변에서 일어나는 여러 현상을 설명하는 데 필요한 물리량은 크기나 방향을 이용해 표현할 수 있다. 질량이나 길이는 kg이나 m 같은 단위를 이용해 크기를 표현하고 비교할 수 있다. 이렇게 크기만으로 설명할 수 있는 물리량을 **스칼라량**이라고 한다.

한편 힘을 설명하기 위해서는 크기만으로는 충분하지 않고 작용하는 방향에 대한 정보도 있어야 한다. 또 속도를 설명할 때에도 크기뿐만 아니라 어느 방향으로 움직이는지에 대한 정보가 있어야 한다. 이와 같이 크기와 방향을 모두 고려해야 하는 물리량을 **벡터량**이라고 한다. 벡터량은 벡터를 이용해 표현할 수 있다.

벡터는 \vec{F} 와 같이 문자 위에 화살표를 붙여서 표기하고, 크기만을 나타낼 때에는 $|\vec{F}|$ 나 F 로 표기한다. 그림 I-1과 같이 벡터를 화살표를 이용해 표현할 수 있다.

나란하지 않은 벡터를 합성할 때 평행사변형법을 이용하면 편리하다. 그림 I-2와 같이 \vec{F}_1, \vec{F}_2 를 두 변으로 하는 평행사변형을 그렸을 때 두 벡터의 시작점에서 그은 대각선의 길이와 방향이 두 벡터의 합 $\vec{F}_1 + \vec{F}_2$ 의 크기와 방향이다.

벡터량의 예
힘, 속도 외에도 변위, 가속도, 운동량, 충격량, 전기장, 자기장 등이 있다.

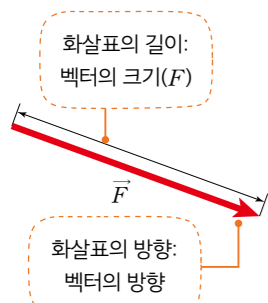
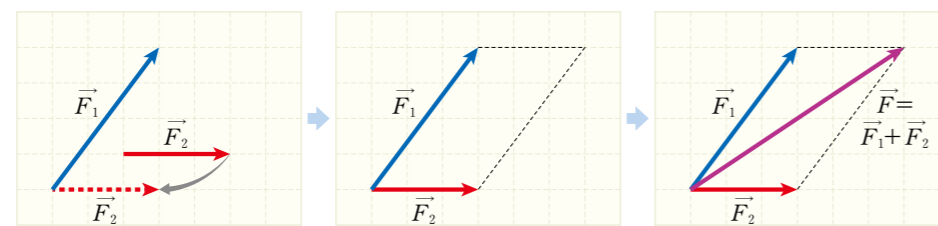


그림 I-1 벡터 표현



- ① 두 벡터 \vec{F}_1, \vec{F}_2 의 시작점이 일치하도록 평행이동을 한다.
- ② \vec{F}_1, \vec{F}_2 를 이웃한 두 변으로 하는 평행사변형을 그린다.
- ③ \vec{F}_1, \vec{F}_2 의 시작점에서 그은 평행사변형의 대각선이 두 벡터의 합 $\vec{F}_1 + \vec{F}_2$ 를 나타낸다.

그림 I-2 나란하지 않은 두 벡터의 합

힘도 벡터량의 한 종류이므로 나란하지 않게 작용하는 두 힘의 합력은 평행사변형법을 통해 알 수 있다. 평행사변형법으로 구한 합력이 실제 합력과 일치하는지 다음 활동을 하면서 확인해 보자.

해보기

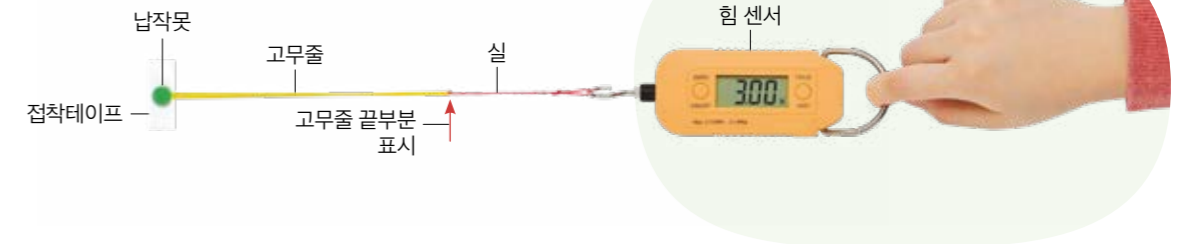
탐구 능력 | 문제 해결 능력

평행사변형법으로 구한 합력 확인하기

준비물

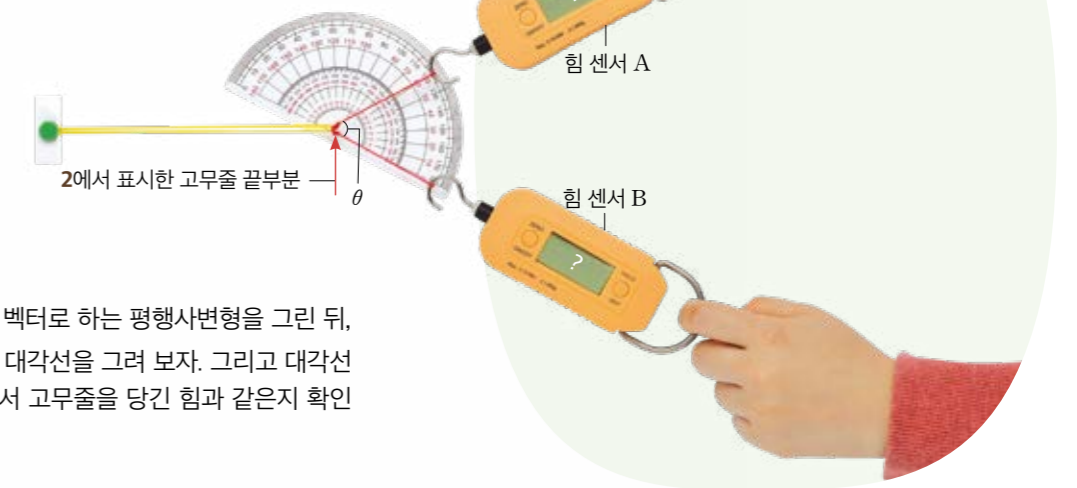
- 힘 센서 2대
- 고무줄
- 납작못
- 우드록
- 각도기
- 접착테이프
- 실
- 자

1. 우드록에 고무줄 한 끝을 납작못으로 고정하고, 접착테이프로 납작못을 고정한다.
2. 고무줄과 힘 센서를 실로 묶은 뒤 힘 센서가 나타내는 값이 3.00 N이 될 때까지 당기고, 고무줄 끝부분을 표시한다.



3. 1의 상태에서 힘 센서 2 대와 고무줄을 실로 묶고 2에서 표시한 부분까지 고무줄이 늘어나도록 두 힘 센서를 당긴다. 이때 두 힘 센서가 나타내는 값과, 두 실이 이루는 각 θ 를 측정해 기록한다.

힘 센서 A(N)	힘 센서 B(N)	$\theta(^{\circ})$



- 3에서 기록한 값을 두 벡터로 하는 평행사변형법을 그린 뒤, 두 벡터의 시작점에서 대각선을 그려 보자. 그리고 대각선으로 합력을 구해 2에서 고무줄을 당긴 힘과 같은지 확인해 보자.

실험 영상



(-) 부호가 붙은 벡터 $-\vec{F}$ 는 \vec{F} 와 크기가 같고 방향이 반대인 벡터이다.

나란하지 않은 두 벡터의 차도 벡터의 합과 같은 방법으로 구할 수 있다. 그림 I-3과 같이 $\vec{F}_1 - \vec{F}_2$ 를 구할 때에는 \vec{F}_1 의 화살표와, \vec{F}_2 와 크기가 같고 방향이 반대인 화살표를 이웃한 두 변으로 하는 평행사변형을 그린다. 두 벡터의 시작점에서 그은 평행사변형의 대각선이 $\vec{F}_1 - \vec{F}_2$ 를 나타낸다.

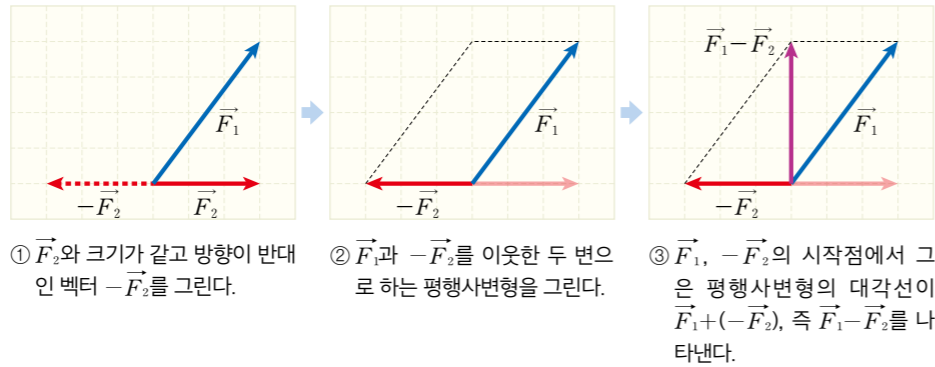


그림 I-3 나란하지 않은 두 벡터의 차

벡터의 분해

두 벡터를 합성해 하나의 벡터로 나타내는 것과 반대로, 하나의 벡터를 분해해서 서로 다른 두 벡터의 합으로 나타낼 수 있다.

벡터를 분해할 때에는 그림 I-4와 같이 서로 수직인 두 성분 벡터로 분해하면 편리하다. 벡터 \vec{F} 를 xy 평면상에 놓았을 때 x 성분 \vec{F}_x 의 크기는 $F \cos \theta$, y 성분 \vec{F}_y 의 크기는 $F \sin \theta$ 이다.

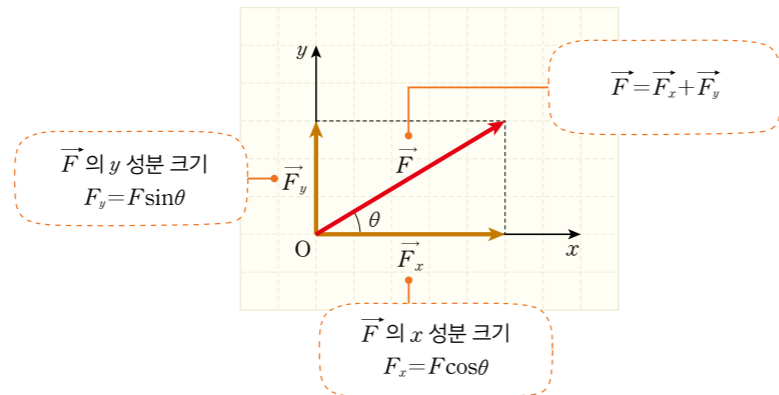


그림 I-4 벡터의 분해

스스로 확인

- 힘이나 속도처럼 크기와 방향을 모두 고려해야 하는 물리량을 ()이라고 한다.
- 나란하지 않은 두 벡터를 나타내는 두 화살표를 두 변으로 하는 평행사변형에서 두 벡터의 시작점에서 그은 대각선의 길이와 방향은 각각 두 벡터를 더한 벡터의 크기와 방향이다. (O, X)

알짜힘과 운동 예측

한 물체에 여러 힘이 동시에 작용할 때 물체에 작용하는 모든 힘의 벡터 합을 **알짜힘**이라고 한다. 질량 m 인 물체에 작용하는 알짜힘 \vec{F} 를 알면 뉴턴 제2법칙 $\vec{F} = m\vec{a}$ 를 통해 물체의 가속도 \vec{a} 를 알 수 있다. 그리고 운동의 초기 조건(위치, 속도 등)이 주어지면 가속도 \vec{a} 를 통해 시간에 따른 물체의 속도나 변위를 알 수 있기 때문에 물체의 운동을 예측할 수 있다.

예를 들어 그림 I-5와 같이 질량 M 인 물체와 m 인 물체에 여러 힘이 작용해 두 물체가 파란색 화살표 방향으로 등가속도 운동을 하고 있다. 중력 가속도를 \vec{g} 라고 할 때 각 물체에 작용하는 힘은 다음과 같다.

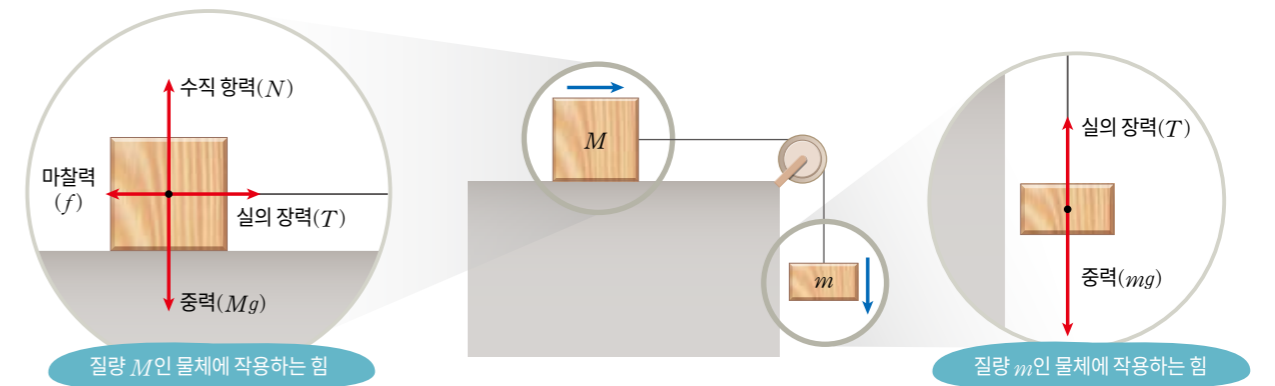


그림 I-5 실로 연결되어 운동하는 물체에 작용하는 힘

질량 M 인 물체는 수평 방향으로 운동하고 연직 방향으로는 운동하지 않는다. 이 물체에 작용하는 수평 성분 합력은 실이 물체를 당기는 힘인 **장력**과 마찰력의 합력과 같고, 그 크기는 $T - f$ 이다. 한편 물체에 작용하는 연직 성분 합력은 0이다. 따라서 접촉면에 대해 수직 위 방향으로 물체를 떠받치는 힘인 **수직 항력**은 중력과 상쇄된다. 즉, $N - Mg = 0$ 이다.

질량 m 인 물체는 연직 방향으로 운동하고 수평 방향으로는 운동하지 않는다. 이 물체에 작용하는 연직 성분 합력은 실의 장력과 중력의 합력과 같고, 그 크기는 $mg - T$ 이다. 한편 물체에 작용하는 수평 성분의 힘은 없다.

질량 M 인 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 $T - f$ 이고, 질량 m 인 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 $mg - T$ 이다. 두 물체는 실로 연결되어 함께 운동하므로 가속도 크기가 a 로 같다고 하면 뉴턴 제2법칙을 다음과 같이 적용할 수 있다.

• 질량 M 인 물체: $T - f = Ma$ • 질량 m 인 물체: $mg - T = ma$

두 식을 연립하여 풀면 $a = \frac{mg - f}{M + m}$ 이다. 이렇게 구한 가속도로부터 시간에 따라 물체의 속도와 변위가 어떻게 변하는지 예측할 수 있다.

마찰력의 방향

- 물체가 정지해 있을 때: 마찰력을 제외한 나머지 힘들의 합력과 반대 방향이다.
- 물체가 운동하고 있을 때: 운동 방향과 반대 방향이다.

연계 물리학

속도 v_0 인 물체가 직선상에서 일정한 가속도 a 로 운동할 때, 시간 t , 속도 v 및 변위 s 에 관한 다음 식을 '힘과 에너지' 단원에서 배웠다.

• $v = v_0 + at$
 • $s = v_0t + \frac{1}{2}at^2$
 • $2as = v^2 - v_0^2$

물체에 작용하는 힘들이 나란하지 않거나 수직이 아닐 때에는 벡터의 합성과 분해를 사용해 알짜힘을 구할 수 있다. 다음 활동을 하면서 빗면에 놓인 물체에 작용하는 알짜힘을 구해 물체의 운동을 예측해 보자.

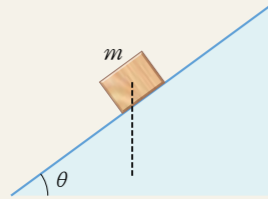
해보기

문제 해결 능력

물체에 작용하는 알짜힘을 구하고 운동 예측하기

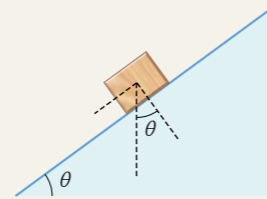
질량 m 인 물체를 경사각 θ 인 마찰이 없는 빗면에 가만히 놓았다. 중력 가속도를 \vec{g} 라고 할 때, 다음 과정을 따라서 물체에 작용하는 알짜힘을 구한다.

(가) 빗면에 놓인 물체에 작용하는 중력을 화살표로 표시하고 그 크기를 빈칸에 쓴다.



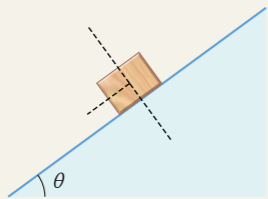
중력의 크기=

(나) 중력을 빗면에 나란한 방향의 힘 \vec{F}_1 과 수직인 방향의 힘 \vec{F}_2 으로 분해해 화살표로 표시하고 그 크기를 각각 빈칸에 쓴다.

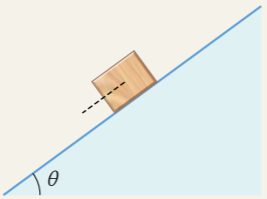


$F_1 =$, $F_2 =$

(다) 빗면이 물체를 떠받치는 힘인 수직 항력과 \vec{F}_1 , \vec{F}_2 을 표시하고 힘의 평형을 이루는 두 힘을 찾아 화살표 위에 \times 표를 한다.



(라) 빗면에 놓인 물체에 작용하는 알짜힘을 화살표로 표시하고 그 크기를 구해 빈칸에 쓴다.



알짜힘의 크기=

● 뉴턴 제2법칙을 이용해 물체에 작용하는 알짜힘에 따른 가속도 크기를 구해 보자.



● 빗면의 길이가 충분히 길다면, t 초 뒤 속도와 변위의 크기를 예측해 보자.

t 초 뒤 속도의 크기	t 초 뒤 변위의 크기

그림 I-6과 같이 마찰이 없는 빗면에 물체를 가만히 놓으면 물체에 작용하는 알짜힘은 중력과 수직 항력의 합력과 같다. 물체에 작용하는 중력을 빗면에 수직인 성분과 나란한 성분으로 분해하면 그 크기는 각각 $mg\cos\theta$, $mg\sin\theta$ 이다. $mg\cos\theta$ 는 물체가 빗면을 수직으로 누르는 힘의 크기로, 빗면이 물체를 떠받치는 수직 항력과 크기가 같고 방향이 반대여서 상쇄된다. 따라서 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 $mg\sin\theta$ 이며, 이 힘이 작용해 물체는 빗면을 따라 등가속도 운동을 한다. 이때 가속도 크기는 뉴턴 제2법칙에 따라 $g\sin\theta$ 이다.

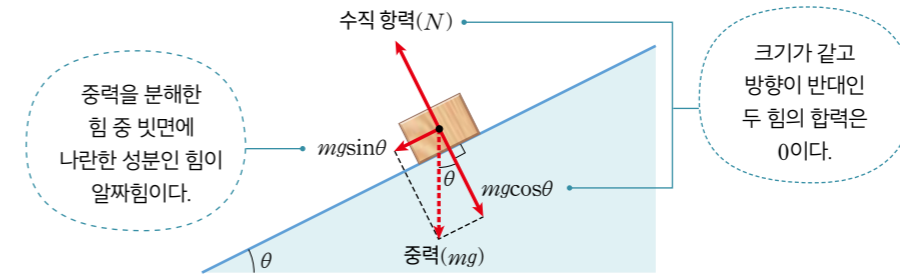


그림 I-6 마찰이 없는 빗면에 놓인 물체에 작용하는 알짜힘과 물체의 운동

그림 I-7과 같이 마찰이 있는 빗면에 물체를 가만히 놓으면 마찰력은 빗면을 따라 내려가게 하는 힘과 반대 방향으로 작용한다. 이때 마찰력의 크기 f 가 $mg\sin\theta$ 와 같으면 물체에 작용하는 알짜힘은 0이므로 물체는 빗면 위 물체를 놓은 곳에 계속 정지해 있다. 만약 f 가 $mg\sin\theta$ 보다 작으면 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 $mg\sin\theta - f$ 이며, 이 힘이 작용해 물체는 빗면을 따라 등가속도 운동을 한다. 이때 가속도 크기는 뉴턴 제2법칙에 따라 $\frac{mg\sin\theta - f}{m}$ 이다.

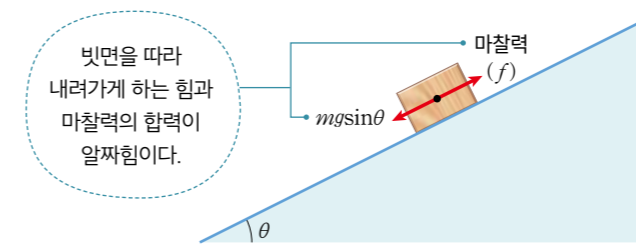


그림 I-7 마찰이 있는 빗면에 놓인 물체에 작용하는 알짜힘과 물체의 운동

잠깐 활동

그림 I-7에서 물체가 빗면을 따라 2 m/s의 일정한 속력으로 내려가고 있다. $\theta = 30^\circ$, $m = 1$ kg, $g = 10$ m/s²일 때, 마찰력의 크기와 2 초 동안 물체가 이동한 거리를 각각 구해 보자.

스스로 확인

- 알짜힘은 물체에 여러 힘이 작용할 때 물체에 작용하는 모든 힘의 벡터 합을 나타낸 것이다. (O, X)
- 빗면에 물체를 가만히 놓으면 물체에는 빗면이 물체를 수직으로 떠받치는 힘인 ()이 작용한다.

스스로 정리

공유 암벽 등반, 카약 등 여러 힘이 작용하는 운동 모습을 나타낸 사진을 찾아보고, 사진에 알짜힘을 표시해 공유 플랫폼에 공유해 보자.

02

뉴턴 운동 법칙과 포물선 운동

학습 목표 뉴턴 운동 법칙을 이용해 물체의 포물선 운동을 정량적으로 설명하고, 역학적 에너지를 구할 수 있다.

물총고기는 수면 근처에서 물을 비스듬히 쏘아 올려 물 밖의 곤충을 사냥한다. 물총고기가 쏘아 올린 물방울이 날아가는 동안 물방울에 작용하는 힘은 무엇일까?



비스듬히 던져 올린 물체의 운동

높은 곳에서 수평으로 던진 물체에는 연직 아래 방향으로 중력이 작용한다. 이때 공기 저항을 무시하면 물체는 수평 방향으로 속도가 일정한 운동을 하고, 연직 방향으로 자유 낙하 운동을 한다. 그렇다면 지면에서 비스듬히 던져 올려 포물선 운동을 하는 물체는 수평 방향과 연직 방향으로 각각 어떤 운동을 할까?

그림 I-8과 같이 물체를 지면과 각도 θ 를 이루도록 속도 \vec{v}_0 로 비스듬히 던져 올렸다. \vec{v}_0 의 수평 성분 v_{0x} 와 연직 성분 v_{0y} 는 각각 다음과 같다.

$$v_{0x} = v_0 \cos\theta \quad v_{0y} = v_0 \sin\theta$$

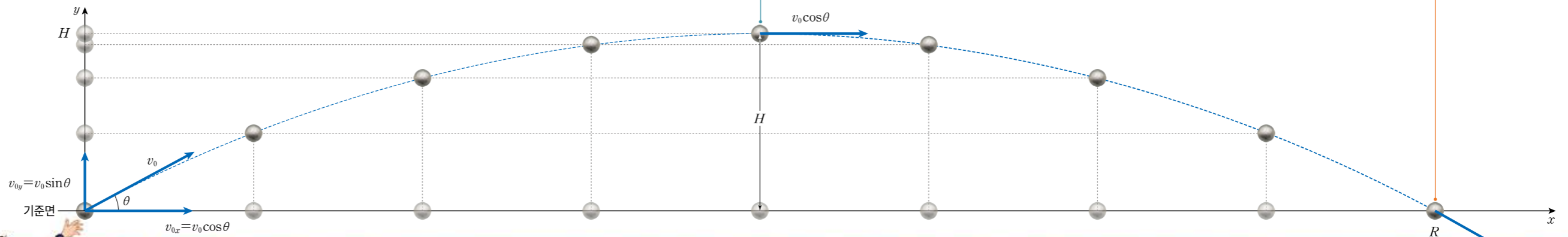


그림 I-8 포물선 운동

공기 저항을 무시하면 비스듬히 던져 올린 물체에 수평 방향으로 힘이 작용하지 않는다. 따라서 물체는 뉴턴 제1법칙에 따라 수평 방향으로 속도 v_x 가 일정한 v_{0x} 로 운동을 하며, 수평 방향 위치 x 는 시간 t 에 비례한다.

$$v_x = v_0 \cos\theta \quad x = (v_0 \cos\theta)t$$

한편 물체에 연직 아래 방향으로 중력이 작용한다. 따라서 물체는 뉴턴 제2법칙에 따라 연직 방향으로 가속도가 $-g$ 인 등가속도 운동을 한다. 시간 t 가 흘렀을 때 물체의 연직 방향 속도 v_y 와 연직 방향 위치 y 는 각각 다음과 같다.

$$v_y = v_0 \sin\theta - gt \quad y = (v_0 \sin\theta)t - \frac{1}{2}gt^2$$

따라서 물체를 비스듬히 던져 올린 뒤 시간 t 가 흘렀을 때 속도 크기 v 는 다음과 같다.

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_0^2 - 2(v_0 \sin\theta)gt + g^2t^2}$$

기준면에서 최고점까지의 높이 H

물체가 최고점에 이르면 연직 방향 속도는 0이 된다. 이를 이용해 최고점까지 올라가는데 걸린 시간 t_H 와 기준면에서 최고점까지의 높이 H 를 구하면 각각 다음과 같다.

$$t_H = \frac{v_0 \sin\theta}{g}, \quad H = \frac{v_0^2 \sin^2\theta}{2g}$$

기준면에 도달했을 때 변위의 수평 성분 R

연직 방향으로 등가속도 운동을 하므로 최고점까지 올라가는데 걸린 시간과 최고점에서 기준면까지 내려오는데 걸린 시간이 같다. 따라서 R에 도달할 때까지 운동한 시간은 $2t_H$ 이다. 한편 $2\sin\theta\cos\theta = \sin 2\theta$ 가 성립한다. 이를 이용해 R를 구하면 다음과 같다.

$$R = 2(v_0 \cos\theta)t_H = \frac{2v_0^2 \sin\theta \cos\theta}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g}$$

스스로 확인

- 포물선 운동을 하는 물체는 수평 방향으로 (등속, 등가속도) 운동을 하고, 연직 방향으로 (등속, 등가속도) 운동을 한다.
- 기준면에서 속력 v_0 , 각도 θ 로 던져 올린 물체가 다시 지면에 도달하는 데 걸린 시간은 얼마인가?(단, 중력 가속도의 크기는 g 이다.)

물체가 포물선 운동을 하는 동안 역학적 에너지는 보존될까? 다음 활동을 하면서 알아보자.

탐구

수학적 사고 / 결론 도출

실험 영상



준비물

- 공
- 스마트 기기
- 삼각대
- 자(30 cm)
- 전자저울
- 접착테이프
- 동영상 분석 프로그램

탐구 능력 | 문제 해결 능력

포물선 운동을 하는 물체의 동영상을 분석하여 역학적 에너지 보존 확인하기

목표

포물선 운동을 하는 물체의 동영상을 촬영하고, 이를 분석해 포물선 운동을 하는 물체의 역학적 에너지 보존 여부를 판단할 수 있다.

과정

- 전자저울로 공의 질량을 측정한다.
 - 공의 질량(kg): _____
- 벽에 자를 붙인 뒤 삼각대에 스마트 기기를 고정해 벽 앞에 놓고, 포물선 운동을 하는 물체의 동영상을 촬영할 준비를 한다.
- 공을 비스듬히 위로 던져 포물선 운동을 하게 하고, 공의 운동을 동영상으로 촬영한다. 이때 공이 가급적 벽면과 나란하게 포물선 운동을 하도록 던진다.



벽에 붙인 자

역할 나누기

3~5 명을 한 모둠으로 하고, 역할을 나눠 보자.

- 실험 수행: _____
- 영상 촬영: _____
- 영상 분석: _____

- 동영상 분석 프로그램에서 동영상을 열어 포물선 운동을 분석할 구간을 정하고, 기준 길이와 좌표축을 설정한 뒤 공의 운동 데이터를 얻는다.
- 공의 운동 경로에서 5 개 이상의 지점을 골라 각 지점에서 공의 높이와 속도를 확인한다.

탐구 길잡이
132 쪽 동영상 분석 프로그램 사용 방법을 참고한다.



결과 및 정리

- 과정 1에서 측정한 공의 질량과 과정 5에서 확인한 값을 통해 각 지점에서의 중력에 의한 위치 에너지(E_p), 운동 에너지(E_k), 역학적 에너지(E)를 구해 보자.

탐구 길잡이
중력 가속도는 9.8 m/s^2 로 계산한다.

구분	지점 1	지점 2	지점 3	지점 4	지점 5
높이(m)					
속도(m/s)					
E_p (J)					
E_k (J)					
E (J)					

- 실험을 통해 구한 역학적 에너지는 어떤 특징이 있으며, 그 까닭은 무엇인지 설명해 보자.



스스로 평가

- | 지식·이해 | 수집한 데이터를 바탕으로 하여 5 개 이상의 지점에서 역학적 에너지를 계산했는가? ☆☆☆
- | 과정·기능 | 동영상 분석 프로그램을 이용해 포물선 운동을 하는 물체의 동영상을 분석했는가? ☆☆☆
- | 가치·태도 | 실험 결과를 있는 그대로 기록하고 해석했는가? ☆☆☆

탐구 후기

✍️ _____

야구 선수의 경기능력을 높이는 스포츠 과학

야구계는 2010년대 중반부터 타구를 추적해 각종 물리량을 측정하는 첨단 과학 장비를 도입했다. 이 장비로 측정하는 것 중 하나는 타자의 타구 발사각이다. 타구 발사각은 타자가 공을 친 순간 공이 날아가는 방향과 지면과의 각도이다.

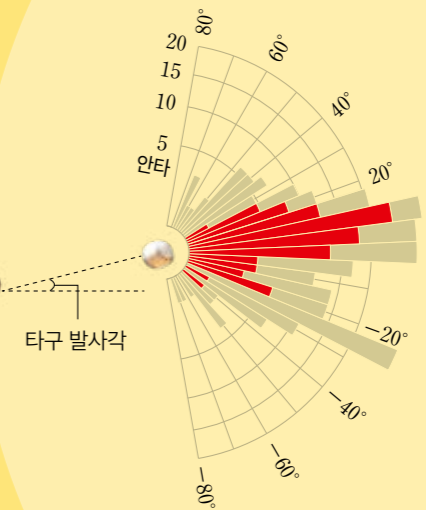
타구 발사각이 5°일 때보다 20°일 때 공이 날아가는 거리가 길지만, 그만큼 공이 공중에 떠 있는 시간이 길어 수비수에게 잡힐 가능성 또한 크다. 그래서 타구를 추적하는 장비를 도입하기 전에는 선수들이 가능한 타구 발사각을 작게 하도록 훈련했다.

하지만 타구 추적 장비로 수많은 데이터를 수집하면서 안타를 칠 확률이 높은 타구 발사각이 있다는 것을 알아냈다. 그리고 이 발사각에 맞춰 타자가 방망이를 휘두르는 것을 훈련하게 했다. 어느 야구 선수는 훈련을 통해 타구 발사각을 11.1°에서 16.6°로 높였더니 타율이 0.281에서 0.347로 늘어났다.

이처럼 오늘날 야구 선수들이 첨단 과학기술의 도움을 받아 자신의 동작을 분석하고 훈련을 개선해 경기능력을 높인다.

글쓰기

스포츠 중 하나를 선택해 공의 운동을 과학적으로 분석하는 사례에는 어떤 것이 있는지 찾아보고, 내가 스포츠 과학자라면 운동선수의 능력이나 경기력을 어떻게 높일 수 있을지 글로 써 보자.



포물선 운동에서의 역학적 에너지 전환과 보존

그림 I-9와 같이 질량 m 인 물체를 기준면과 각도 θ 를 이루도록 v_0 의 속력으로 비스듬히 던져 올렸다. 이 물체의 중력에 의한 위치 에너지를 E_p , 운동 에너지를 E_k 라 하면, 물체를 던져 올린 순간 역학적 에너지는 $E_p + E_k = \frac{1}{2}mv_0^2$ 이다.

속도의 수평 성분 v_x 는 $v_0 \cos \theta$ 로 일정하다. 한편 시간 t 일 때 속도의 연직 성분 $v_y = v_0 \sin \theta - gt$ 이고, 높이 $h = (v_0 \sin \theta)t - \frac{1}{2}gt^2$ 이다. 이를 이용해 시간 t 일 때 역학적 에너지를 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$E_p + E_k = mgh + \frac{1}{2}m(v_x^2 + v_y^2)$$

$$= mg \left\{ (v_0 \sin \theta)t - \frac{1}{2}gt^2 \right\} + \frac{1}{2}m \left\{ v_0^2 \cos^2 \theta - 2(v_0 \sin \theta)gt + g^2 t^2 \right\} = \frac{1}{2}mv_0^2$$

이를 통해 포물선 운동을 하는 물체의 역학적 에너지는 항상 물체를 던져 올린 순간의 역학적 에너지와 같다는 것을 알 수 있다. 즉, 공기 저항이나 마찰을 무시할 때 포물선 운동을 하는 물체의 역학적 에너지는 일정하게 보존된다.

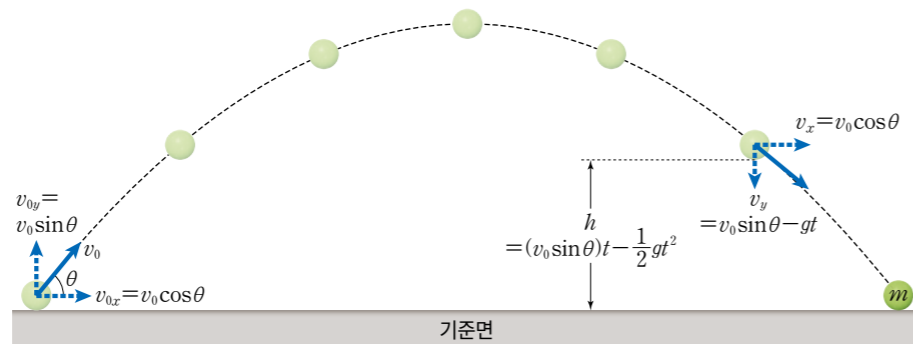


그림 I-9 포물선 운동을 하는 물체의 역학적 에너지

잠깐 활동

그림 I-9의 최고점에서 물체의 높이가 3 m, 속력이 2 m/s라면, v_0 은 몇 m/s인지 역학적 에너지 보존을 이용해 구해 보자.(단, 중력 가속도의 크기는 10 m/s^2 이다.)

스스로 확인

- 1 물체를 지면에서 각도 θ , 속력 v_0 으로 비스듬히 던져 올릴 때 v_0 이 같더라도 θ 가 클수록 최고점에서 역학적 에너지가 크다. (○, ×)
- 2 물체를 지면에서 각도 θ , 속력 v_0 으로 비스듬히 던져 올릴 때 θ 가 같더라도 v_0 이 클수록 최고점에서 역학적 에너지가 크다. (○, ×)

스스로 정리

공유 모눈종이에 포물선 운동을 하는 물체를 그려 스톱 모션 애니메이션을 만들고, 공유 플랫폼에 공유해 보자.

03

여러 가지 운동

학습 목표 물체에 작용하는 힘의 방향에 따라 운동 방향이 변할 수 있음을 원운동 등 다양한 예를 들어 설명할 수 있다.

쇠라(Seurat, G. P., 1859~1891)의 그림 「서커스」에 서는 원 궤도를 따라 달리는 말 위에 소녀가 서 있다. 소녀의 몸이 원 궤도의 중심을 향해 기울어 있는 까닭은 무엇일까?



선풍기 날개는 원운동을 하고, 그네나 시계추는 왕복 운동을 한다. 이처럼 주변에서 속도가 변하는 다양한 운동을 볼 수 있다. 다음 활동을 하면서 스마트폰을 이용해 다양한 놀이기구의 운동을 분석해 보자.

다지할 탐구

탐구 설계 / 다양한 도구 활용 / 정보 수집과 기술



실험 영상

문제 해결 능력 | 의사 결정 능력

스마트폰을 이용하여 다양한 놀이기구의 운동 분석하기

목표

스마트폰을 이용해 여러 가지 놀이기구의 운동을 분석할 수 있다.

토의

모듬별로 놀이기구 중 하나를 고르고, 그 놀이기구의 운동을 스마트폰을 이용해 어떤 방법으로 분석할지 토의한다.

그네의 운동을 스마트폰 가속도 측정 애플리케이션으로 분석해 보는 게 어때?

그럼 한 대로 애플리케이션을 작동하고, 다른 한 대로 그 화면을 동영상 촬영하자. 그렇게 하면 스마트폰 뒤의 풍경이 운동하는 것처럼 보이니까, 운동에 따른 가속도 변화를 알 수 있을 거야.

이 상자에 두 스마트폰을 고정해 그네에 부착하면 스마트폰이 기록한 그네의 운동을 촬영할 수 있어.

- 준비물**
- 스마트폰
 - 모듬별 준비물



실행 및 분석

1. 토의 내용을 바탕으로 하여 스마트폰을 이용해 놀이기구의 운동 데이터를 수집한다.
2. 수집한 데이터를 이용해 놀이기구의 운동을 분석한다.

역할 나누기

3~5 명을 한 모듬으로 하고, 역할을 나눠 보자.

- 실험 수행: _____
- 운동 분석: _____

예시



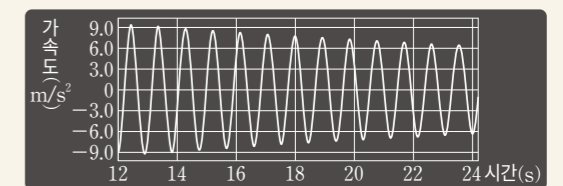
- ① 상자에 스마트폰 1, 2를 사진과 같이 고정한다.
 - 스마트폰 1: 가속도 측정 애플리케이션을 실행한다.
 - 스마트폰 2: 스마트폰 1의 화면과 그 주변 풍경을 동영상 촬영한다.



- ② 상자를 그네에 고정하고 그네를 운동시켜 스마트폰 1로 그네의 가속도 변화를 측정한다. 스마트폰 2로 스마트폰 1의 화면과 주변 풍경 움직임을 동영상 촬영한다.

분석 결과

- 그네는 가속도 방향이 주기적으로 변하는 왕복 운동을 했다.
- 그네의 가속도 크기는 주기적으로 변하지만 그 최댓값은 점점 감소했다.
- 그네는 왕복 운동을 하는 동안 양 끝에서 정지하는데, 이 순간 접선 방향의 가속도 크기는 최대이다.



공유

1. 공유 놀이기구의 운동 데이터와 분석 결과를 공유 플랫폼에 공유해 보자.
2. 다른 모듬이 공유한 자료를 보면서 다양한 놀이기구가 운동하는 동안 물리량이 어떻게 변하는지 알아보자.

스스로 평가

- | 지식·이해 | 수집한 데이터를 통해 놀이기구의 운동을 적절하게 분석했는가? ☆☆☆
- | 과정·기능 | 스마트폰을 이용해 놀이기구의 물리량을 나타내는 데이터를 수집했는가? ☆☆☆
- | 가치·태도 | 토의 과정에서 모듬원의 의견을 경청하고, 자신의 의견을 적극적으로 표현했는가? ☆☆☆

탐구 후기





그림 I-10 대관람차

등속 원운동

그림 I-10과 같은 대관람차는 원 궤도를 따라 일정한 속력으로 회전하는 운동을 한다. 이러한 운동을 **등속 원운동**이라고 한다.

각속도 | 그림 I-11과 같이 물체가 반지름 r 인 원 궤도를 속력 v 로 등속 원운동을 한다. 이때 물체의 속력은 일정하지만 운동 방향은 원의 접선 방향으로, 매 순간 변한다. 등속 원운동을 하는 물체가 회전하는 정도는 시간에 따라 일정하며, 이를 시간에 따라 회전한 각도의 크기와 방향으로 표현할 수 있다.

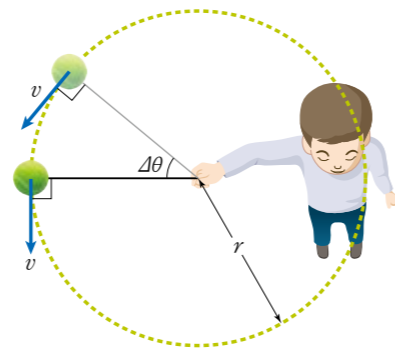


그림 I-11 등속 원운동

물체가 단위 시간 동안 회전한 각도의 크기와 방향을 나타낸 것을 **각속도**라고 한다. 시간 Δt 동안 회전각이 $\Delta\theta$ 일 때, 각속도의 크기 ω 는 다음과 같고, 보통 반시계방향을 (+) 방향으로 한다.

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \quad (\text{단위: rad/s})$$

물체가 원을 한 바퀴 회전하는 데 걸리는 시간, 즉 주기 T 는 원둘레 $2\pi r$ 를 v 로 나눈 값과 같으므로 $T = \frac{2\pi r}{v}$ 이다. 한편 한 주기 동안 회전한 각도는 2π 이므로 $\omega = \frac{2\pi}{T}$ 이다. 두 식을 연립하면 등속 원운동을 하는 물체의 속력과 각속도의 크기 관계를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$v = r\omega$$

구심 가속도 | 그림 I-12와 같이 반지름 r , 속력 v 로 등속 원운동을 하는 물체가 매우 짧은 시간 Δt 동안 매우 작은 각도 $\Delta\theta$ 만큼 회전해 P에서 Q로 이동했다. \vec{v}_1 , \vec{v}_2 는 각각 P와 Q에서의 속도이다.

$\Delta\theta$ 가 매우 작으므로 P와 Q를 잇는 호는 거의 선분에 가깝게 볼 수 있다. Δl 은 이 선분의 길이이다.

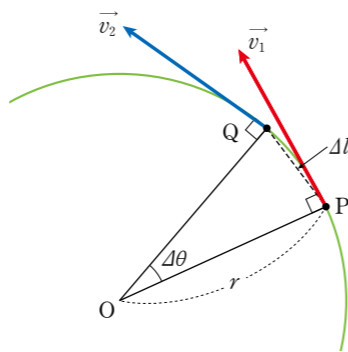


그림 I-12 등속 원운동과 속도 변화

그림 I-12의 \vec{v}_2 를 평행이동 하여 그림 I-13의 (가)와 같이 표시하면, P와 Q 사이의 속도 변화량 $\Delta\vec{v}$, 즉 $\vec{v}_2 - \vec{v}_1$ 은 두 벡터를 잇는 화살표로 표현할 수 있다. 이때 $\triangle ACB$ 는 그림 (나)의 $\triangle POQ$ 와 닮음이므로 다음 식이 성립한다.

$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{\Delta l}{r} \dots \textcircled{1}$$

$\Delta\theta$ 가 매우 작으므로 그림 I-13의 (나)와 같이 Δl 은 시간 Δt 동안 일정한 속력 v 로 이동한 거리로 볼 수 있다. 즉, $\Delta l = v\Delta t$ 이다. 이를 ①에 적용해 정리하면 가속도의 크기 a 는 다음과 같다.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v^2}{r} \dots \textcircled{2}$$

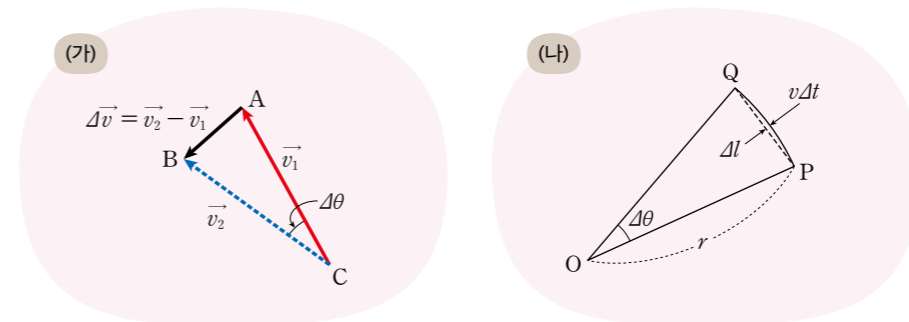


그림 I-13 등속 원운동의 속도 변화

가속도의 방향은 $\Delta\vec{v}$ 의 방향과 같다. $\Delta\theta$ 가 매우 작으므로 $\Delta\vec{v}$ 는 \vec{v}_1 및 \vec{v}_2 와 거의 수직이어서 원의 중심을 향한다. 이 가속도를 원의 중심 방향의 가속도라는 뜻으로 **구심 가속도**라고 한다. ②에 $v = r\omega$ 를 적용하면 구심 가속도의 크기를 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$a = \frac{v^2}{r} = r\omega^2$$

구심력 | 구심 가속도를 생기게 하는 알짜힘은 구심 가속도의 방향, 즉 원의 중심 방향으로 작용한다. 이 알짜힘을 원의 중심 방향으로 작용하는 힘이라는 뜻으로 **구심력**이라고 한다. 뉴턴 제2법칙에 구심 가속도를 적용하면 구심력의 크기 F 는 다음과 같다.

$$F = ma = \frac{mv^2}{r} = mr\omega^2$$

물체가 등속 원운동을 하는 동안 계속해서 원의 중심 방향으로 일정한 크기의 구심력이 작용하며, 매 순간 물체의 운동 방향과 구심력의 방향은 수직이다.



그림 I-14 그네

진자의 운동

그림 I-14와 같은 그네는 줄에 매달려 왕복 운동을 한다. 이렇게 매달린 곳을 중심으로 왕복 운동을 하는 물체를 **진자**라고 한다.

그림 I-15와 같이 질량을 무시할 수 있는 실에 매달려 있는 물체가 A에서 E 사이를 왕복 운동 하고 있다. A, E는 최고점이고, C는 최저점이다. 물체에 작용하는 알짜힘 F 는 실의 장력 T 와 중력 mg 의 합력이다.

중력은 물체가 어느 위치에 있더라도 크기와 방향이 항상 일정하다. 하지만 장력은 물체가 실에 매달려 운동하는 매 순간 크기와 방향이 변한다. 따라서 알짜힘 또한 위치에 따라 크기와 방향이 변한다. 장력의 크기는 최고점 A, E에서 가장 작고, 최저점 C에서 가장 크다. 만약 θ 의 크기가 작을 경우 알짜힘의 크기는 최고점 A, E에서 가장 크고, 최저점 C에서 가장 작다.

가속도의 방향은 알짜힘의 방향과 같고, 가속도의 크기는 알짜힘의 크기에 비례한다. 따라서 물체의 가속도의 크기는 최고점 A, E에서 가장 크고, 최저점 C에서 가장 작다.

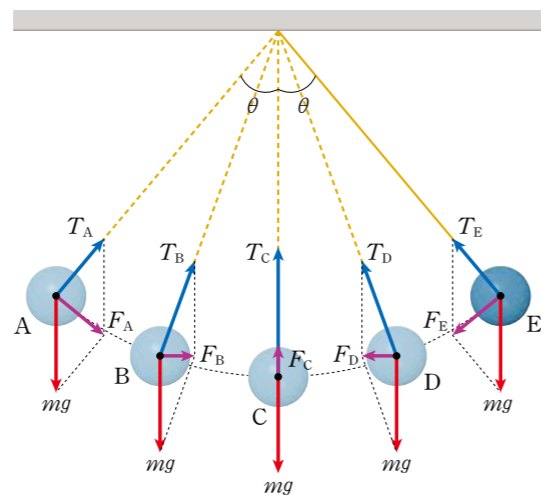


그림 I-15 진자의 운동

이처럼 진자는 주기적으로 변하는 알짜힘을 받으며 가속도와 속도 또한 주기적으로 변하는 운동을 한다.

스스로 확인

- 1 4 m/s의 일정한 속력으로 반지름이 2 m인 원 궤도를 운동하는 물체의 구심 가속도의 크기는 몇 m/s²인가?
- 2 진자 운동을 하는 물체에 작용하는 알짜힘의 방향은 항상 운동 방향과 수직이다. (○, ×)

스스로 정리

공유 '여러 가지 운동' 단원에서 배운 내용을 포함한 노래나 랩 가사를 만들어 공유 플랫폼에 공유해 보자.

04 케플러 법칙과 중력

학습 목표 케플러 법칙으로부터 중력의 존재가 밝혀지는 과학사적 배경을 이해하고, 중력을 이용해 인공위성과 행성의 운동을 분석하고 설명할 수 있다.

옛날 철학자들은 공 모양인 우주의 중심에 지구가 있다고 믿었다. 프톨레마이오스(Ptolemaeos, C., 85? ~ 165?)는 그러한 철학의 영향을 많이 받은 사람이었다.

그는 밤하늘의 행성이 동쪽에서 떠서 서쪽으로 지며, 순행과 역행을 하는 까닭 역시 지구가 중심인 것을 바탕으로 하여 생각했다.

모든 천체는 지구를 중심으로 운동할 거야.

그런데 행성의 운동은 왜 저렇게 관측되는 것일까?

주전원은 이심원 궤도를 따라 돌고!

마침내 프톨레마이오스는 천동설의 체계를 확립했다.

천동설 모형은 관측 결과와 잘 맞았다. 그러나 약 1400년 뒤, 코페르니쿠스(Copernicus, N., 1473 ~ 1543)는 천동설을 부정하는 주장을 하려 하는데…….

행성은 주전원 궤도를 도는데!

지구는 이심원 궤도의 중심 옆에 있고!

지구 이심점

이심원

주전원

행성

내 주장을 담은 책을 써야지. 제목은 『천체의 회전에 관하여』라고 해야겠어.

코페르니쿠스는 지구와 행성들이 태양을 중심으로 돌고 있다는 지동설을 주장했다. 하지만 사람들은 이에 반발했다.

어디 말도 안 되는 소리!

몇 년 뒤, 브라헤(Brahe, T., 1546 ~ 1601)는 관측 자료를 토대로 지동설과 천동설의 절충 모형을 제시했다.

이런 모형으로 생각하면 화성이나 토성 운동도 잘 설명되고, 간단하지 않나요?

그때도 지구가 중심이어야 하니까, 행성은 태양 주위를 돌고, 태양은 지구 주위를 돈다고 생각하면 어떨까?

브라헤의 모형은 큰 인정을 받지 못했다. 하지만 그의 반대한 관측 자료는 케플러(Kepler, J., 1571 ~ 1630)의 연구에 쓰였고, 케플러의 연구 결과는 중력의 존재가 밝혀지는 데 중요한 역할을 했다.

스승님의 자료 정말 방대하군!

브라헤의 관측자료

케플러의 연구 결과는 브라헤의 관측 자료를 근거로 했다. 하지만 케플러는 브라헤와는 다른 모형을 주장했다. 그 까닭은 무엇일까?

케플러 법칙

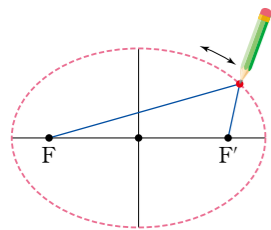
1601년 케플러는 브라헤가 남긴 연구 자료를 물려받았다. 케플러는 브라헤의 관측 자료를 분석해 1609년 행성의 운동에 관한 제1법칙인 ‘타원 궤도 법칙’과 제2법칙인 ‘면적 속도 일정 법칙’을 발표했다. 10년 뒤인 1619년, 공전 주기와 공전 궤도 긴반지름의 관계를 설명한 행성 운동의 제3법칙인 ‘조화 법칙’을 발표함으로써 코페르니쿠스의 지동설을 수정하고 발전시켰다.

케플러 법칙에 따르면 지구를 포함한 행성은 태양 주변을 원 궤도가 아닌 타원 궤도를 따라 운동하며, 이 타원의 한 초점에 태양이 있다. 케플러의 행성 운동에 관한 법칙을 정리하면 다음과 같다.

- 케플러 제1법칙(타원 궤도 법칙) 모든 행성은 태양을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 운동한다.
- 케플러 제2법칙(면적 속도 일정 법칙) 태양과 행성을 연결한 선분이 같은 시간 동안에 쓸고 지나가는 면적은 항상 일정하다.
- 케플러 제3법칙(조화 법칙) 행성의 공전 주기 제곱은 타원 궤도의 긴반지름 세제곱에 비례한다.

*** 긴반지름**
타원의 중심에서 그 둘레에 이르는 가장 긴 거리이다.

타원과 초점
타원은 평면상의 두 점 F, F'으로부터 거리의 합이 일정한 점들의 집합이다. 이때 F, F'을 타원의 초점이라고 한다.



잠깐 활동
그림 I-16에서 태양과 행성을 연결한 선분이 쓸고 지나간 면적 S₁과 S₂가 같다. 행성 궤도의 A~B 구간과 C~D 구간에서 행성의 평균 속력을 비교해 보자.

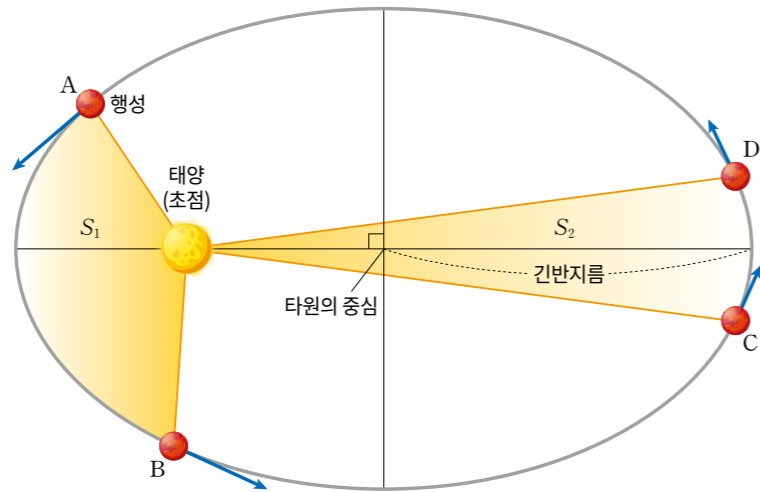


그림 I-16 행성의 타원 궤도 운동

400여 년 전 발표된 케플러 법칙은 발표 당시의 관측 결과는 물론, 오늘날 천문 관측 장비로 관측한 결과에도 잘 들어맞는다.

스스로 확인

- 1 케플러 제1법칙에 따르면 행성은 태양이 한 초점인 () 궤도 운동을 한다.
- 2 행성의 공전 주기 ()은/는 타원 궤도의 긴반지름 ()에 비례한다.

탐구

행성 관측 데이터를 이용하여 케플러 법칙 확인하기

정보 수집과 기술 / 증거에 근거한 추론

목표

행성 관측 데이터를 이용해 케플러 제3법칙을 확인할 수 있다.

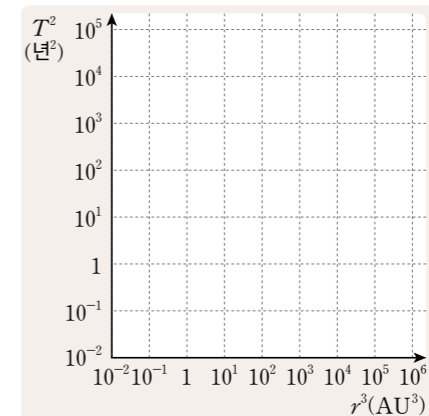
과정

1. 인터넷에서 태양계 행성의 관측 자료를 검색한다.
2. 관측 자료에서 행성의 긴반지름 r 와 공전 주기 T 를 찾아 다음 표를 완성한다.

행성	r^* (AU)	T (년)	r^3 (AU ³)	T^2 (년 ²)
수성				
금성				
지구	1.0	1.0		
화성				
목성				
토성				
천왕성				
해왕성				

결과 및 정리

r^3 에 따른 T^2 그래프를 그려 케플러 제3법칙이 잘 맞는지 확인해 보자.



스스로 평가

- | 지식·이해 | 행성 관측 자료를 바탕으로 하여 긴반지름과 공전 주기의 관계를 설명했는가? ☆☆☆
- | 과정·기능 | 신뢰할 수 있는 행성 관측 자료를 조사하고 기록했는가? ☆☆☆
- | 가치·태도 | 관측 자료를 있는 그대로 기록하고 해석했는가? ☆☆☆

준비물

- ☑ 스마트 기기

탐구 길잡이

미국항공우주국(NASA) 누리집에서 행성 관측 자료를 찾을 수 있다.(<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/>)

미국항공우주국 누리집



* 천문단위(AU)

AU는 태양에서 지구까지의 평균 거리를 1로 나타낸 단위로, 1 AU는 약 1.5×10^8 km이다.

탐구 후기



뉴턴 중력 법칙과 케플러 법칙

케플러 법칙으로 행성 운동의 규칙성을 설명할 수 있었지만, 행성에 어떤 힘이 작용해 규칙성을 갖는 운동을 하는지에 대해서는 설명할 수 없었다. 뉴턴(Newton, I., 1642~1727)은 1687년 『자연 철학의 수학적 원리』라는 책에서 중력 법칙을 제시해 이 문제를 해결했다.

뉴턴 제2법칙에 따르면 태양 주위를 도는 행성에는 구심력이 작용해야 한다. 뉴턴은 사과가 지면으로 떨어지는 까닭은 지구와 사과 사이에 **인력**이 작용하기 때문이라고 생각했다. 이 인력은 태양과 행성 사이에서도 작용하는데, 이 힘이 구심력 역할을 한다고 생각했다. 나아가 질량이 있는 모든 물체 사이에서 이 힘이 작용하는데, 이를 **중력**이라고 했다. 그림 I-17과 같이 질량이 각각 m_1, m_2 인 두 물체가 거리 r 만큼 떨어져 있을 때, 두 물체 사이에 작용하는 중력의 크기는 다음과 같다.

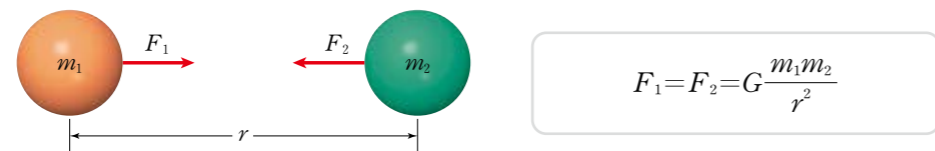


그림 I-17 뉴턴 중력 법칙

이를 **뉴턴 중력 법칙**이라고 한다. 여기서 비례 상수 G 를 **중력 상수**라고 하며, 크기는 $6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ 이다.

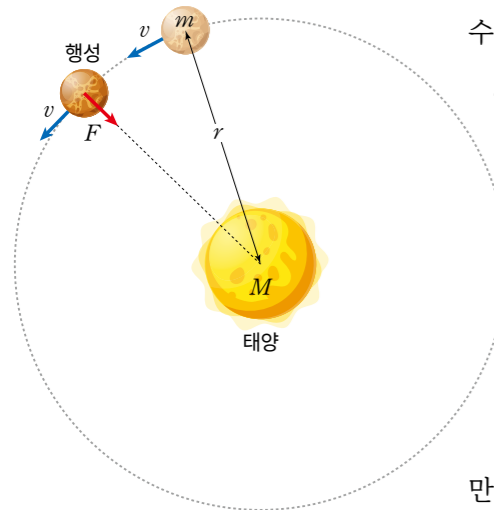


그림 I-18 행성의 등속 원운동

수성을 제외한 태양계 행성의 타원 궤도는 원 궤도에 가깝다. 따라서 그림 I-18과 같이 행성은 태양과 행성 사이에 작용하는 중력을 구심력으로 하여 등속 원운동에 가까운 운동을 한다. 반지름 r 인 원 궤도를 주기 T 로 등속 원운동을 하는 행성의 속력은 $v = \frac{2\pi r}{T}$ 이다. 따라서 등속 원운동을 하는 질량 m 인 행성에 작용하는 구심력의 크기 F 는 다음과 같다.

$$F = \frac{mv^2}{r} = \frac{4\pi^2 mr}{T^2}$$

만약 태양의 질량을 M 이라 하고, 태양과 행성 사이의 중력이 구심력으로 작용한다면 다음과 같은 관계식이 성립한다.

$$F = G \frac{mM}{r^2} = \frac{4\pi^2 mr}{T^2} \Rightarrow T^2 = \frac{4\pi^2}{GM} r^3$$

이 식으로부터 행성의 공전 주기 제곱은 궤도 반지름의 세제곱에 비례한다는 것을 알 수 있다. 이는 케플러 제3법칙인 조화 법칙에 해당한다. 따라서 뉴턴은 운동 법칙과 중력 법칙을 이용해 케플러 법칙을 설명할 수 있었다.

*** 인력**
물체끼리 서로 끌어당기는 힘이다.

인공위성의 운동

인공위성은 어떻게 지표로 떨어지지 않고 지구 주위를 계속 돌 수 있을까? 이는 지구가 인공위성을 끌어당기는 중력이 구심력으로 작용하기 때문이다.

그림 I-19와 같이 지구와 인공위성의 질량을 각각 M, m 이라 하고, 인공위성의 궤도 반지름을 r , 인공위성에 작용하는 구심력의 크기를 F 라고 할 때, 인공위성이 주기 T 로 반지름 r 인 원 궤도를 따라 운동한다면 다음과 같은 식이 성립한다.

$$F = \frac{4\pi^2 mr}{T^2} = G \frac{mM}{r^2} \dots \textcircled{1}$$

궤도 반지름 r 는 지구의 반지름 R 와 인공위성의 고도 h 의 합과 같으므로 ①을 정리하면 다음과 같다.

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{GM} (R+h)^3 \dots \textcircled{2}$$

만약 T 가 지구 자전 주기와 같다면 지구에서 볼 때 인공위성은 항상 머리 위에 멈춰 있는 것처럼 보인다. 이러한 인공위성을 정지 위성이라고 한다. 지구 자전 주기 $T = 86400 \text{ s}$, 지구 반지름 $R = 6.37 \times 10^6 \text{ m}$, 지구 질량 $M = 5.97 \times 10^{24} \text{ kg}$ 을 ②에 적용하면 고도 $h \approx 3.58 \times 10^7 \text{ m}$ 이다. 따라서 적도 위 고도 약 36000 km 높이에서 운동하는 인공위성은 정지 위성으로, 계속 한곳에 머물러 있는 것처럼 보인다.

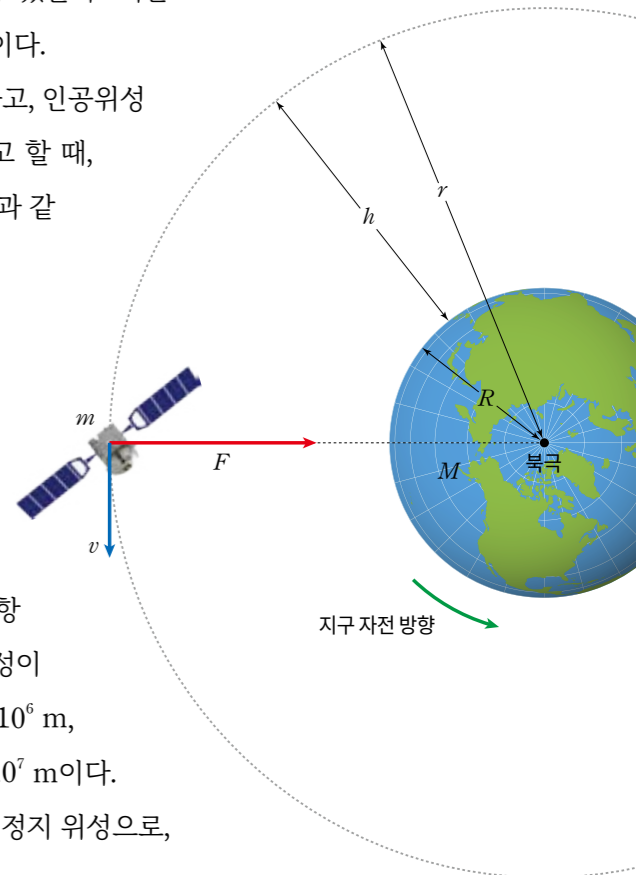


그림 I-19 인공위성의 등속 원운동

잠깐 활동

그림 I-19의 위성이 정지 위성이라면 속도의 크기 v 는 몇 m/s인지 구해 보자.

한편 고도가 200 km~2000 km인 낮은 궤도를 도는 인공위성이 있다. 이러한 인공위성을 저궤도 위성이라고 한다. 저궤도 위성은 주기가 지구 자전 주기보다 짧아 지구에서 볼 때 움직이는 것으로 보인다. 국제 우주 정거장은 고도 약 400 km에서 운동하는 저궤도 위성으로, 하루에 지구를 15 회 이상 공전한다.

스스로 확인

- 1 뉴턴 중력 법칙에 따르면 두 물체 사이에 작용하는 인력의 크기는 두 물체의 질량 곱에 비례하고, 두 물체 사이의 ()에 반비례한다.
- 2 정지 위성의 공전 주기는 지구의 ()와/과 같아서 항상 머리 위에 멈춰 있는 것처럼 보인다.

스스로 정리

공유 케플러 법칙을 거쳐 뉴턴 중력 법칙에 이르는 과학사적 배경을 재미있는 이야기로 만들어 공유 플랫폼에 공유해 보자.

역학적 에너지 보존과 탈출 속도

학습 목표 역학적 에너지 보존으로 행성에 따라 탈출 속도가 다르다는 것을 이해하고, 운동량 보존으로 우주선이 발사되어 궤도에 오르는 원리를 설명할 수 있다.

로켓이 화성의 중력을 벗어나는 데 필요한 최소한의 속력이 있다. 하지만 같은 로켓을 같은 속력으로 지구에서 쏘면 다시 지구로 돌아온다. 그 까닭은 무엇일까?



역학적 에너지 보존 법칙

그림 I-20에서 지구 질량을 M , 지구 반지름을 R 라고 할 때, 높이 h 가 R 에 비해 무시할 수 있을 만큼 작다면 질량 m 인 물체 A에 작용하는 중력의 크기 F_A 를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$F_A = G \frac{mM}{(R+h)^2} \approx m \cdot G \frac{M}{R^2} = mg$$

이때 A의 역학적 에너지를 $E = \frac{1}{2}mv^2 + mgh$ 와 같이 표현할 수 있으며, 이는 지구 중력 외의 외력을 받지 않는 한 보존된다. 한편 $r \sim (r+h)$ 구간에서 질량 m 인 물체 B에 작용하는 중력의 크기 F_B 도 다음과 같이 유사하게 나타낼 수 있다.

$$F_B = G \frac{mM}{(r+h)^2} \approx m \cdot G \frac{M}{r^2} = mg'$$

여기서 $r > R$ 이므로 $g' < g$ 이지만 $r \sim (r+h)$ 구간에서 B의 역학적 에너지는 보존된다. 물체가 지구 중심에서 먼 곳에 있더라도 지표에서 물체까지의 거리를 매우 작은 높이의 여러 구간으로 나누어 생각하면 각 구간에서 역학적 에너지가 보존된다는 것을 유추할 수 있다.

따라서 물체가 지구로부터 임의의 위치에 있을 때 지구 중력 외의 외력을 받지 않는 한 물체의 역학적 에너지는 보존된다. 이것을 **중력에 의한 역학적 에너지 보존 법칙**이라고 한다.

역학적 에너지
= 운동 에너지 + 중력에 의한 위치 에너지 = 일정

그림 I-20 중력과 역학적 에너지



지표로부터 물체까지의 거리가 지구 반지름과 비교해 충분히 멀다면, 그 물체의 운동을 다룰 때에는 지구 중심으로부터 무한히 멀리 떨어진 곳을 기준점으로 하여 그 위치에서 중력에 의한 위치 에너지를 0으로 정의한다. 이 경우 지구 중심으로부터 떨어진 거리 r 에 따른 중력에 의한 위치 에너지 U_g 는 다음과 같다.

$$U_g = -G \frac{mM}{r}$$

따라서 중력에 의한 역학적 에너지 보존 법칙은 다음과 같은 식으로 나타낸다.

$$E = \frac{1}{2}mv^2 - G \frac{mM}{r} = \text{일정}$$

탈출 속도

그림 I-21과 같이 질량 M 인 지구 주위 반지름 r 인 궤도를 따라 속력 v_0 으로 등속 원운동을 하는 질량 m 인 인공위성의 역학적 에너지는 다음과 같다.

$$E = \frac{1}{2}mv_0^2 - G \frac{mM}{r} \dots \textcircled{1}$$

인공위성에 중력이 구심력으로 작용하므로 다음 관계가 성립한다.

$$\frac{mv_0^2}{r} = G \frac{mM}{r^2} \Rightarrow mv_0^2 = G \frac{mM}{r} \dots \textcircled{2}$$

②를 ①에 적용하면 역학적 에너지는 다음과 같다.

$$E = -G \frac{mM}{2r} < 0$$

따라서 지구 주위를 등속 원운동 하는 인공위성의 역학적 에너지는 0보다 작다. 만약 역학적 에너지가 $E \geq 0$ 이라면 인공위성은 어떤 운동을 할까? ①을 통해 다음과 같은 관계를 유도할 수 있다.

$$E = \frac{1}{2}mv_0^2 - G \frac{mM}{r} \geq 0 \Rightarrow v_0 \geq \sqrt{\frac{2GM}{r}} \dots \textcircled{3}$$

③을 이용하면 인공위성이 등속 원운동을 하는 데 필요한 구심력의 크기가 중력보다 크다는 것을 알 수 있다.

$$\frac{mv_0^2}{r} \geq 2G \frac{mM}{r^2} > G \frac{mM}{r^2}$$

즉, $v_0 = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$ 이면 중력의 크기가 등속 원운동에 필요한 구심력보다 작다.

따라서 인공위성이 특정 궤도에서 등속 원운동을 할 수 없고, 지구로부터 점점 멀어진다.

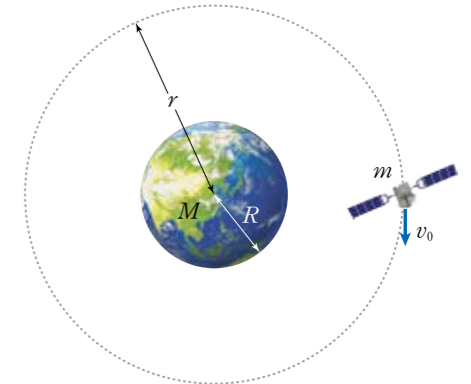


그림 I-21 인공위성의 운동

그리고 인공위성이 지구로부터 무한히 먼 곳에 가면 중력에 의한 위치 에너지는 0이 되지만 운동 에너지는 $\frac{1}{2}mv^2 \geq 0$ 이다. 즉, 지구로부터 무한히 먼 곳에서 인공위성은 정지하거나 계속 멀어져 결국 지구 중력장으로부터 탈출한다.

*** 중력장**

질량을 가진 물체 주변에 형성되는 물리량이다. 한 물체 A의 중력장 안에 질량이 있는 다른 물체 B를 놓으면 B는 A로부터 인력을 받는다.

따라서 질량 M , 반지름 R 인 행성 표면에서 속력 $v_{\text{탈출}} = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$ 으로 운동하는 물체는 행성의 중력으로부터 간신히 벗어날 수 있다. 이 속력을 행성의 **탈출 속도**라고 한다. 행성의 탈출 속도는 물체의 질량에 관계없이 행성의 질량과 반지름에 따라 다르다.

행성마다 표면 온도와 탈출 속도가 다르기 때문에 대기의 구성 또한 다르다. 행성의 표면 온도가 높고 기체 분자의 질량이 작을수록 대기 중 기체 분자의 속도가 크다. 만약 기체 분자의 속도가 행성의 탈출 속도를 넘어서면 행성으로부터 탈출해 대기 중에 거의 남아 있지 않게 된다. 따라서 그림 I-22에서처럼 표면 온도가 높고 탈출 속도가 작은 지구형 행성의 대기에는 수소나 헬륨과 같이 분자의 질량이 작은 기체가 거의 없고, 이산화 탄소나 산소 같이 분자의 질량이 큰 기체의 비율이 높다. 반면 표면 온도가 낮고 탈출 속도가 큰 목성형 행성의 대기에는 수소의 비율이 높고, 헬륨, 메테인, 암모니아 등도 있다.

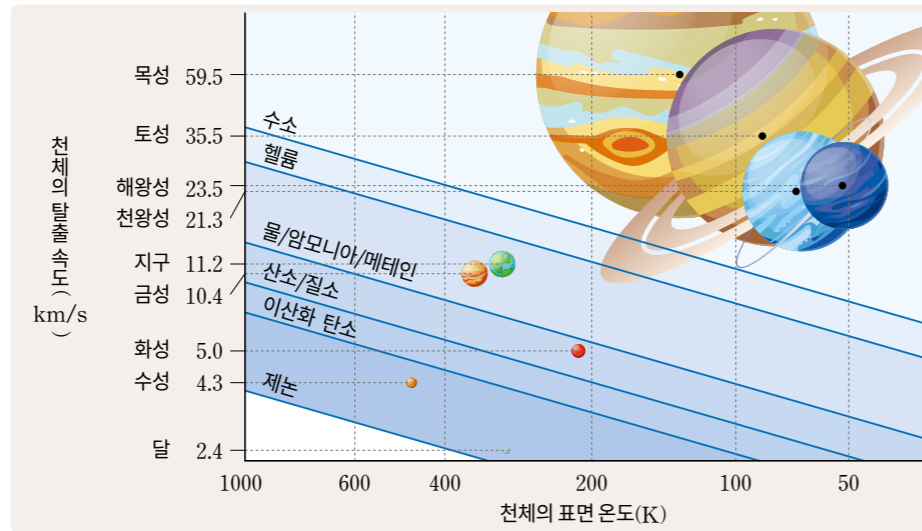


그림 I-22 탈출 속도와 표면 온도에 따른 대기 구성 성분 (출처: 미국항공우주국, 2016.)

스스로 확인

- 역학적 에너지 보존 법칙은 물체가 지표면 근처에 있을 때에만 성립한다. (○, ×)
- 행성의 질량이 (클, 작을)수록, 행성의 반지름이 (클, 작을)수록 행성의 탈출 속도가 크다.

운동량 보존 법칙과 발사체의 운동

2023년 누리호는 인공위성을 싣고 올라가 목표 궤도에 안착시켰다. 누리호와 같은 발사체는 질량이 커서 목표 궤도에 안착하기 위해 필요한 속도로 한번에 쏘아 올리는 것은 어렵고, 운동량 보존을 이용해 목표 궤도까지 올라간다. 다음 활동을 하면서 발사체에서 운동량 보존을 어떻게 이용하는지 알아보자.

디지털 해보기

탐구 능력 | 문제 해결 능력

실험 영상

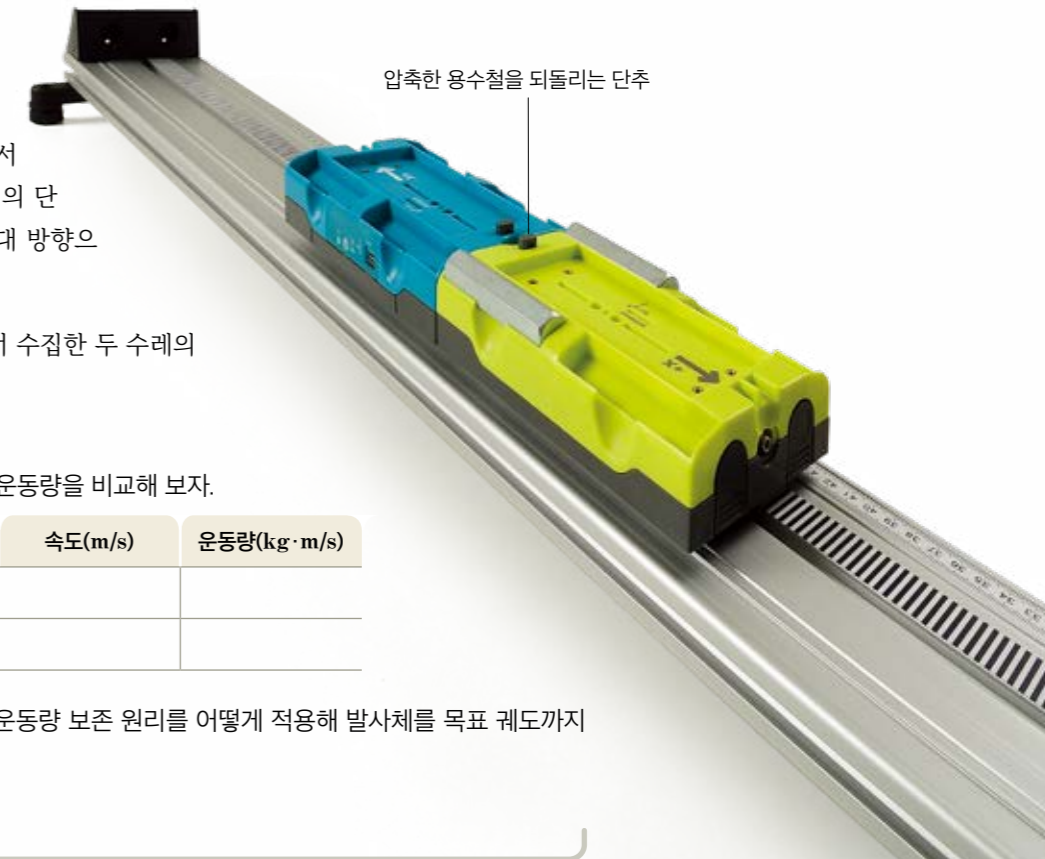
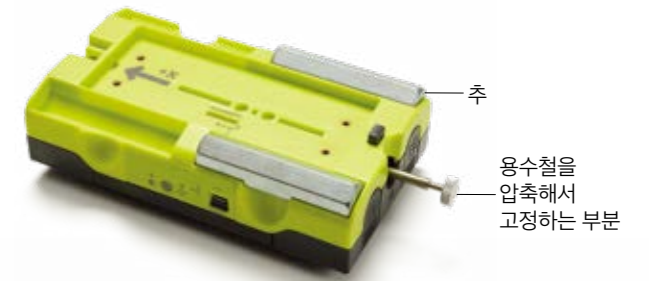


발사체에 적용된 운동량 보존 원리 알아보기

준비물

- 엠비엘(MBL) 무선 수레 2 대
- 수레용 추
- 레일
- 전자저울
- 데이터 분석 애플리케이션
- 계산기 애플리케이션
- 스마트 기기

- 한 수레에만 추를 2 개 올리고, 전자저울로 추를 올린 수레와 빈 수레의 질량을 측정한다.
- 용수철을 압축 고정된 뒤 두 수레가 서로 맞닿게 레일 가운데에 놓는다.
- 데이터 분석 애플리케이션을 이용해 두 수레를 스마트 기기와 무선으로 연결한다.
- 데이터 분석 애플리케이션에서 데이터 수집을 시작하고, 수레의 단추를 눌러 두 수레가 서로 반대 방향으로 튀어 나가게 한다.
- 데이터 분석 애플리케이션에서 수집한 두 수레의 속도를 확인한다.



● 두 수레가 분리된 뒤 각 수레의 운동량을 비교해 보자.

수레	질량(kg)	속도(m/s)	운동량(kg·m/s)
추를 올린 수레			
빈 수레			

● 위 실험 결과를 통해 발사체에 운동량 보존 원리를 어떻게 적용해 발사체를 목표 궤도까지 올릴 수 있을지 설명해 보자.



연계 물리학

뉴턴 제3법칙과 운동량 보존 법칙을 '힘과 에너지' 단원에서 배웠다.

발사체는 배기가스를 분출해 추진력을 얻어 날아간다. 이것은 그림 I-23과 같이 질량 M 인 수레 B의 용수철이 압축 상태에서 펴지면서 질량 m 인 수레 A를 밀면, B와 A가 각각 속도 \vec{V} , \vec{v} 로 반대 방향으로 운동하는 것과 같은 원리이다.

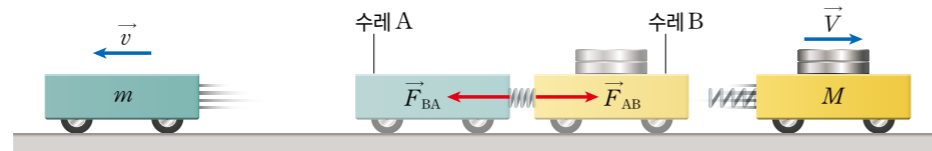


그림 I-23 용수철을 사이에 둔 두 수레의 운동

용수철이 펴지면서 A는 B에 힘 \vec{F}_{AB} 를 작용하고, 뉴턴 제3법칙에 따라 B는 A에 \vec{F}_{BA} 와 크기는 같고 방향이 반대인 힘 \vec{F}_{BA} 를 작용한다. 따라서 A, B는 서로 반대 방향으로 운동한다.

처음에 A와 B가 모두 정지해 있었다면 외력이 작용하지 않는 한 운동량 보존 법칙에 따라 A와 B의 운동량의 합은 항상 0이므로 다음 관계가 성립한다.

$$m\vec{v} + M\vec{V} = 0 \Rightarrow \vec{V} = -\frac{m}{M}\vec{v}$$

즉, A와 B가 분리된 뒤 B의 속도는 A의 질량과 속도가 클수록 빠르다. 발사체가 궤도에 오르기 위해 추진력을 얻는 원리에도 이러한 관계를 적용할 수 있다.

그림 I-24의 (가)와 같이 질량 M , 속력 V 로 운동하는 발사체가 그림 (나)와 같이 질량 Δm 인 배기가스를 발사체에 대해 u 의 속력으로 분사해 발사체의 속력이 Δv 만큼 증가한다고 가정해 보자.

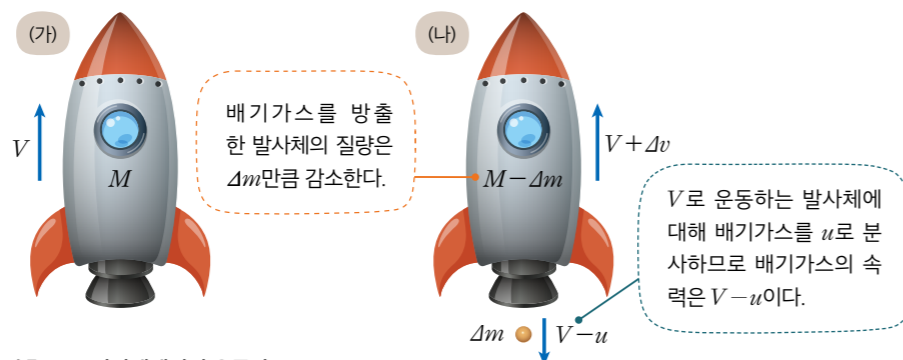


그림 I-24 발사체에서의 운동량 보존

(가), (나)에 운동량 보존 법칙을 적용하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$MV = (M - \Delta m)(V + \Delta v) + \Delta m(V - u) \Rightarrow M\Delta v = \Delta m\Delta v + u\Delta m$$

이때 $\Delta m\Delta v$ 는 매우 작아 무시할 수 있으므로 다음 관계가 성립한다.

$$M\Delta v = u\Delta m$$

즉, 발사체에서 분사하는 배기가스의 질량이 크고 그 속력이 빠를수록 발사체의 운동량이 더 크게 증가한다.

보통 발사체는 연료량에 따라 지상에서 올라갈 수 있는 궤도가 달라진다. 누리호의 경우 총질량 200 톤 중 90 %인 180 톤 정도가 연료이다. 그림 I-25와 같이 1단 엔진에서 연소한 배기가스로부터 얻은 추진력으로 고도 약 60 km에 도달한다. 이때 연료를 다 쓴 1단 엔진을 분리하고, 2단 엔진을 점화한다. 그 뒤로 보호 덮개를 분리하고, 2단, 3단 엔진의 연소가 끝나면서 고도 약 700 km에 도달한 뒤 위성 분리까지 완료한다.

그림 I-25 누리호가 궤도에 오르는 과정



1단 분리
연료를 다 쓴
1단 엔진을
분리한다.

보호 덮개 분리
대기권을 벗어나면
공기 저항으로부터
인공위성을 보호하지
않아도 된다. 따라서
불필요한 보호 덮개를
분리한다.

2단 분리
연료를 다 쓴
2단 엔진을
분리한다.

인공위성 분리
목표한 궤도에
이르면 인공위성을
분리한다.

잠깐 활동

연료를 다 쓴 엔진이나 보호 덮개를 분리하는 과정에서 얻을 수 있는 효과를 운동량 보존이나 뉴턴 운동 법칙을 적용하여 설명해 보자.

스스로 확인

- 1 방출한 배기가스의 ()만큼 발사체의 ()이 증가하는 것을 이용해 발사체를 목표 궤도까지 보낸다.
- 2 발사체에서 운동 방향과 반대 방향으로 분사하는 배기가스의 질량이 크고 분사 속력이 클수록 발사체의 속력이 더 크게 증가한다. (O, X)

스스로 정리

공유 화성을 왕복하는 발사체를 개발한다면 어떤 점을 고려해야 할지 자신의 생각을 써서 공유 플랫폼에 공유해 보자.

06

등가 원리와 시공간의 힘

학습 목표 | 등가 원리를 바탕으로 하여 시공간의 힘과 중력 시간 지연을 이해하고, 일반 상대성 이론에 흥미를 느낄 수 있다.

일반 상대성 이론을 소재로 한 어떤 영화를 보면 주인공이 다른 천체를 다녀오는 몇 년 동안 지구에서는 많은 시간이 흘러간 것을 보여 주는 장면이 있다. 주인공의 시간이 지구에서보다 더 천천히 흘렀던 까닭은 무엇일까?



관성력

운동하는 물체의 물리량을 측정하기 위해서는 기준이 되는 좌표계가 필요하다. 좌표계에는 정지 또는 일정한 속도로 운동하는 관성 좌표계와 가속도 운동을 하는 비관성 좌표계가 있다.

그림 I-26에서 일정한 속도 \vec{v} 로 운동하는 버스(가)에 고정된 좌표계는 관성 좌표계이다. 이 관성 좌표계에서 버스 밖의 나무를 보면 일정한 속도 $-\vec{v}$ 로 운동하는 것으로 보인다. 한편 일정한 가속도 \vec{a} 로 운동하는 버스(나)에 고정된 좌표계는 비관성 좌표계이다. 이 비관성 좌표계에서 버스 밖의 나무를 보면 일정한 가속도 $-\vec{a}$ 로 운동하는 것으로 보인다. 따라서 비관성 좌표계에서는 나무의 운동을 설명하기 위해 질량 M 인 나무에 $-M\vec{a}$ 의 힘이 작용한다고 생각할 수 있다.

마찬가지로 버스(나)에 있는 사람은 버스 안 손잡이가 기울어진 상태로 정지해 있는 것으로 관찰한다. 즉, 버스 안 손잡이에 작용하는 합력을 0으로 관찰한다.

연계 물리학

관성 좌표계와 특수 상대성 이론을 '빛과 물질' 단원에서 배웠다.

그림 I-26 관성 좌표계와 비관성 좌표계



버스 안 손잡이가 정지해 있는 까닭을 설명하려면 중력 $m\vec{g}$ 와 줄의 장력 \vec{T} 밖에도 두 힘을 상쇄하는 새로운 힘이 있다고 생각해야 한다. 이 새로운 힘은 가속도 운동을 하는 비관성 좌표계에서 관찰했기 때문에 나타나는 것이다. 이 힘을 관성력이라고 한다. 다음 활동을 하면서 관성력을 관찰해 보자.

해보기

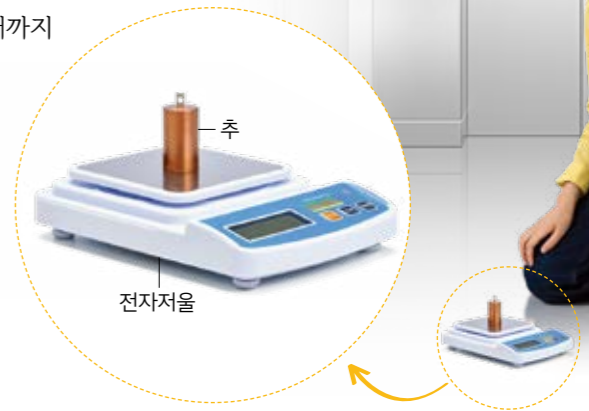
엘리베이터에서 관성력 관찰하기

탐구 능력 | 문제 해결 능력

준비물

- 추 전자저울

- 정지한 엘리베이터 안에서 저울에 나타난 추의 무게를 관찰한다.
[추의 무게(N)=저울의 측정값(kg)×9.8 m/s²]
- 정지한 엘리베이터가 올라간 뒤 다시 정지할 때까지 저울에 나타난 추의 무게 변화를 관찰한다.
- 정지한 엘리베이터가 내려간 뒤 다시 정지할 때까지 저울에 나타난 추의 무게 변화를 관찰한다.



- 2, 3에서 관찰한 값이 1에서보다 클 때와 작을 때는 언제인가?

1에서보다 클 때	1에서보다 작을 때

- 엘리베이터의 가속도 방향과 추의 무게 변화 사이에 어떤 관계가 있는지 설명해 보자.



비관성 좌표계 안에서 느끼는 관성력은 엘리베이터 안에서도 느낄 수 있다. 엘리베이터가 올라갈 때 속력이 증가하면 가속도는 위 방향이고, 추에는 아래 방향으로 관성력이 작용해 추의 무게가 증가한다. 엘리베이터의 속력이 일정해지면 관성력이 사라져 정지 상태에서 측정한 추의 무게로 돌아온다. 또 올라가던 엘리베이터가 속력이 느려지면 가속도는 아래 방향이고, 관성력은 위 방향으로 작용해 추의 무게가 감소한다.

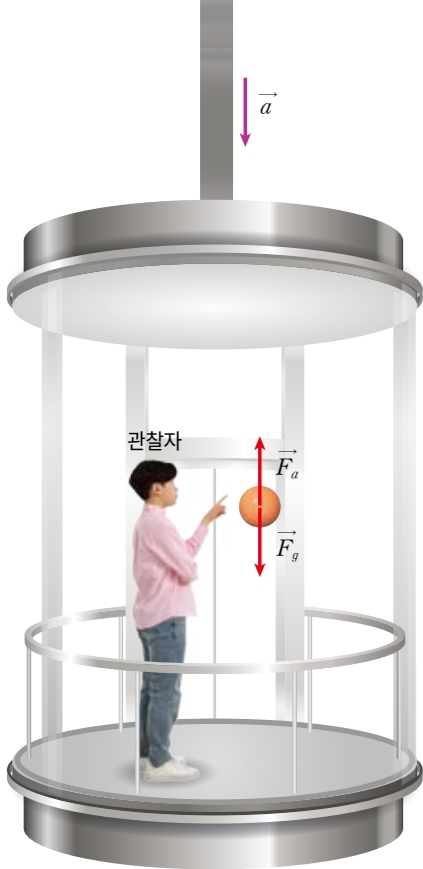


그림 I-27 등가속도 운동을 하는 엘리베이터 속 물체에 작용하는 힘

등가 원리

물체에 작용하는 중력의 크기는 물체의 질량에 따라 다르다. 이때의 질량을 **중력 질량**이라고 한다. 물체의 중력 질량을 m_g 라고 하면 물체가 받는 중력의 크기는 $F_g = m_g g$ 이다. 한편 물체에 힘이 작용할 때 가속도는 힘에 비례하고 물체의 질량에 반비례한다. 이때의 질량을 **관성 질량**이라고 한다. 물체의 관성 질량을 m_a 라고 하면 물체가 받는 관성력의 크기는 $F_a = m_a a$ 이다.

아인슈타인(Einstein, A., 1879~1955)은 지표 근처에서 자유 낙하 운동을 하는 모든 물체의 중력 가속도가 동일하다는 점에 착안해 중력 질량과 관성 질량이 동등하다는 **등가 원리**를 제시했다.

그림 I-27과 같이 아래 방향의 일정한 가속도 \vec{a} 로 운동하는 엘리베이터는 비관성 좌표계이다. 엘리베이터 속 관찰자는 물체에 중력 \vec{F}_g 와 관성력 \vec{F}_a 가 작용해 알짜힘의 크기가 다음과 같은 것으로 관찰한다.

$$F = |F_g - F_a| = |m_g g - m_a a|$$

만약 엘리베이터가 자유 낙하 운동을 한다면 $g = a$ 이고, 등가 원리에 따라 $m_g = m_a$ 이므로 관찰자는 물체에 작용하는 알짜힘이 0인 것으로 관찰한다.

등가 원리에 따르면 우주 공간에서 가속도 \vec{g} 로 운동하는 우주선 안의 관찰자는 물체에 작용하는 힘이 관성력인지 중력인지를 구별할 수 없다. 즉, 관찰자는 바깥을 보지 않고는 그림 I-28과 같이 우주선이 지표에 정지해 있는지, 우주 공간에서 가속도 \vec{g} 로 운동하고 있는지를 구별할 수 없다.

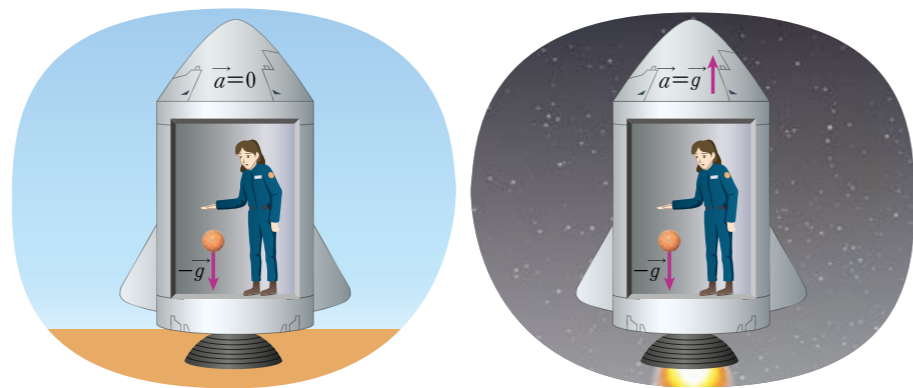


그림 I-28 등가 원리

스스로 확인

- 1 아래로 내려가던 엘리베이터가 속력이 느려지면, 엘리베이터 속 물체에는 위 방향으로 관성력이 작용한다. (○, ×)
- 2 중력 질량과 관성 질량이 동등하다는 원리를 ()이라고 한다.

시공간의 휨

아인슈타인의 등가 원리에 따르면 비관성 좌표계에서 나타나는 물리 현상과 중력장에서 나타나는 물리 현상을 구별할 수 없다. 따라서 비관성 좌표계에서 나타나는 빛의 경로를 통해 중력장에서 빛의 경로를 유추할 수 있다. 그림 I-29의 (가)와 같이 빛이 가속도 운동을 하는 우주선을 통과할 때 우주선 안에서는 그림 (나)와 같이 빛이 휘는 것으로 보인다. 등가 원리에 따라 중력장에서도 이와 동일한 현상이 나타나야 한다. 즉, 빛은 중력이 작용하는 곳에서도 휘어야 한다.

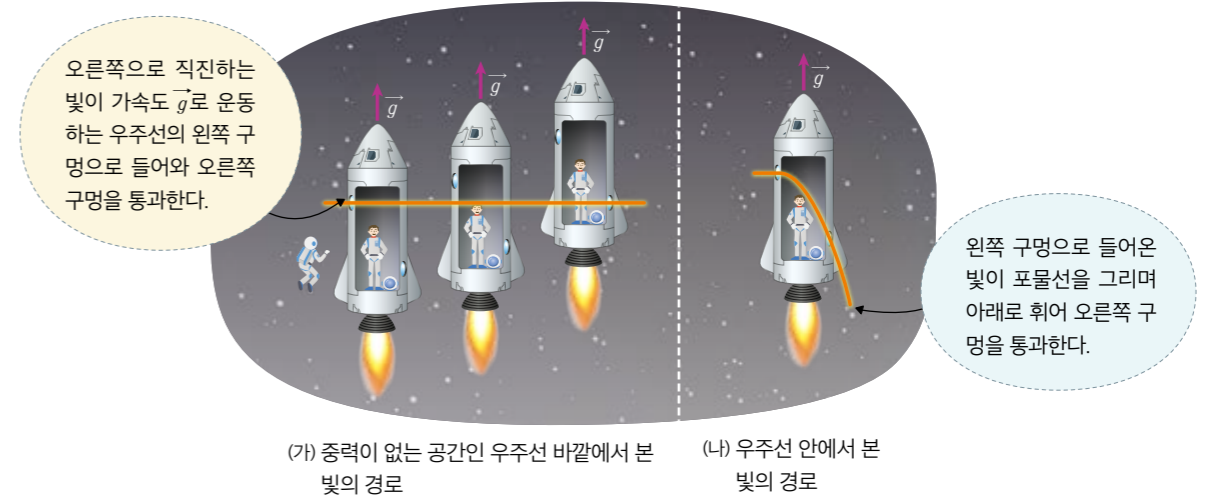
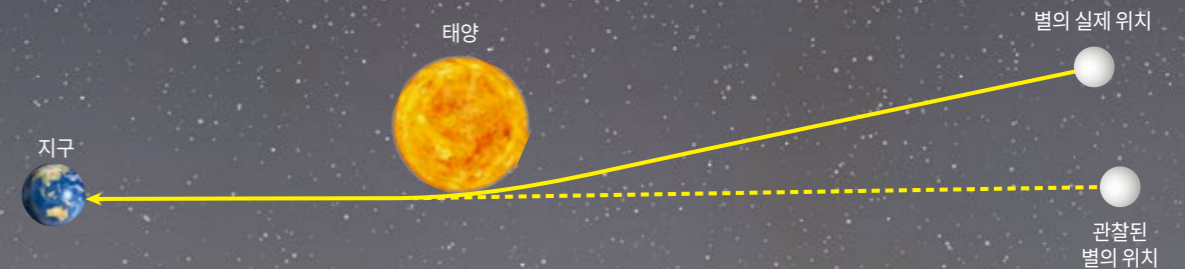


그림 I-29 관성 좌표계와 비관성 좌표계에서 본 빛의 경로

아인슈타인은 중력에 의한 빛의 휨에서 더 나아가 물체의 질량이 시공간을 휘게 한다고 생각했다. 특히 그림 I-30과 같이 태양처럼 질량이 큰 천체 주위에서는 휘어진 시공간 때문에 빛의 경로가 휘므로 특정 별에서 오는 빛이 태양 근처를 스쳐 지나 지구로 오는 경우 별이 관찰되는 위치가 실제 위치와 달라진다고 예상했다. 그리고 실제로 몇몇 과학자들이 개기일식 때 아인슈타인의 예상을 뒷받침하는 관측 결과를 발표하기도 했다.

그림 I-30 태양 주위에서 별 빛이 휘어 별이 관찰된 위치가 실제 위치와 다른 모습



중력 시간 지연

등가 원리를 이용하면 중력의 영향으로 시간이 더 천천히 흐르는 현상인 **중력 시간 지연**도 이해할 수 있다. **그림 I-31**과 같이 일정한 가속도 \vec{g} 로 운동하는 로켓에서 A가 h 만큼 떨어진 B에게 빨간색 빛 신호와 파란색 빛 신호를 보냈다.

- A는 Δt_A 시간 간격으로 빨간색 빛 신호와 파란색 빛 신호를 보냈다.
- B는 Δt_B 시간 간격으로 빨간색 빛 신호와 파란색 빛 신호를 받았다.
- B가 빨간색 빛 신호를 받기 전, A는 파란색 빛 신호를 보냈다.
- A가 빨간색 빛 신호를 보내고 시간 t 가 지난 뒤 B가 받았다.

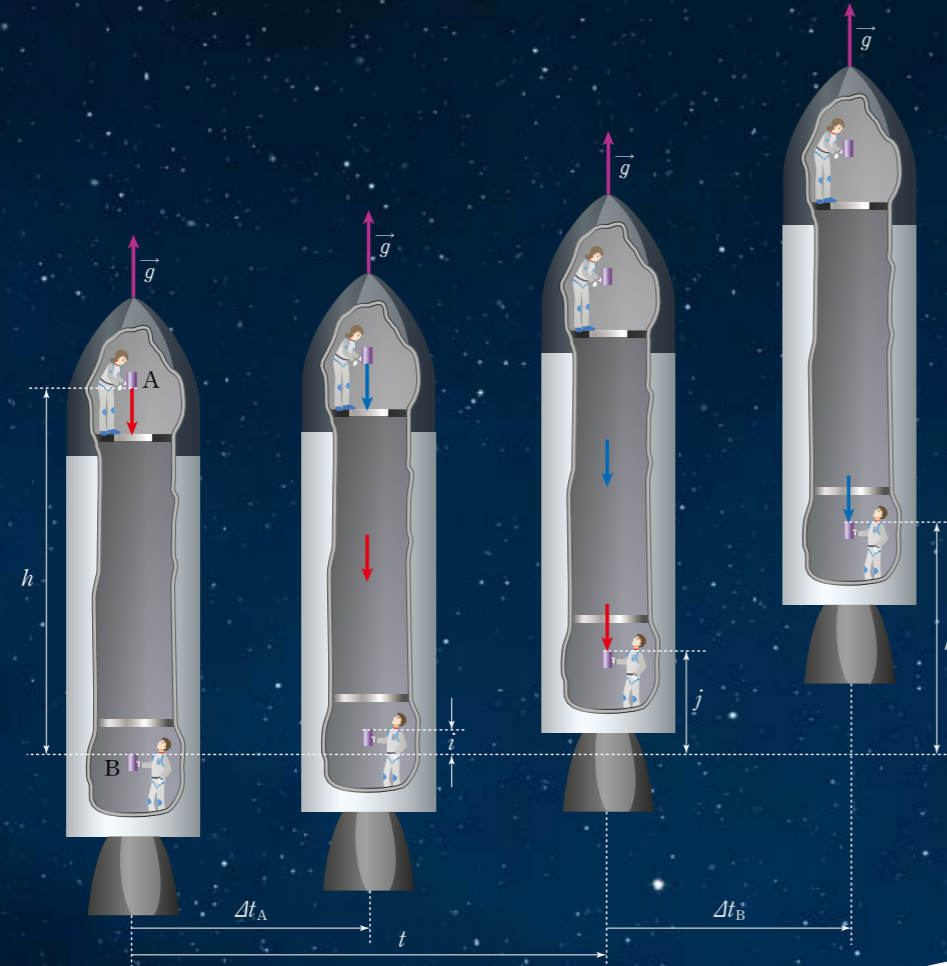


그림 I-31 비관성 좌표계에서 나타나는 시간 지연

빛이 속력 c 로 이동하는 동안 로켓은 계속 등가속도 운동을 하기 때문에 A가 보낸 빨간색 빛 신호를 B가 받는 동안 빨간색 빛의 이동 거리는 다음과 같다.

$$ct = h - j = h - \frac{1}{2}gt^2 \dots \textcircled{1} \Rightarrow t = \frac{-c + \sqrt{c^2 + 2gh}}{g}$$

A가 보낸 파란색 빛 신호를 B가 받는 동안 파란색 빛의 이동 거리는 다음과 같다.

$$c(t + \Delta t_B - \Delta t_A) = h - (k - i) = h - \frac{1}{2}g(t + \Delta t_B)^2 + \frac{1}{2}g(\Delta t_A)^2 \dots \textcircled{2}$$

①을 ②에 대입해 정리하면 다음과 같다.

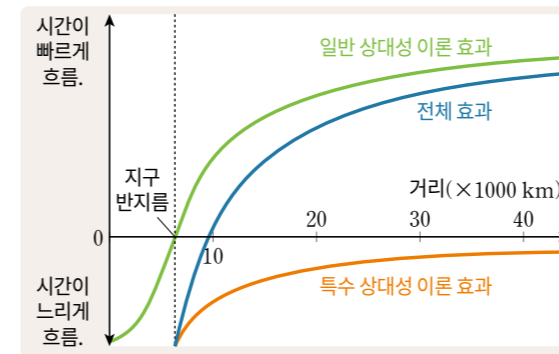
$$\Delta t_A = \Delta t_B \left(1 + \frac{gt}{c} \right) + \frac{g}{2c} \left[(\Delta t_B)^2 - (\Delta t_A)^2 \right] \dots \textcircled{3}$$

한편 $\Delta t_A, \Delta t_B$ 는 빛 신호가 A에서 B까지 가는 데 걸리는 시간 t 보다 짧은 아주 작은 값이므로 $\frac{g}{2c} \left[(\Delta t_B)^2 - (\Delta t_A)^2 \right]$ 값은 무시할 수 있다. 그리고 ①에서 구한 t 를 ③에 대입하면 $\Delta t_A = \Delta t_B \sqrt{1 + \frac{2gh}{c^2}}$ 이므로 $\Delta t_A > \Delta t_B$ 이다.

따라서 A에서 Δt_A 시간 간격으로 일어나는 두 사건을 B에서는 더 짧은 시간 간격인 Δt_B 동안 일어나는 것으로 관찰한다. 즉, B에서는 A의 시간이 자신의 시간보다 더 빠르게 흐른다고 판단한다.

등가 원리에 따라 로켓이 중력 가속도 크기가 g 인 지표면에 정지해 있을 때에도 동일한 현상이 나타나야 한다. 따라서 지표면으로부터의 거리가 h 만큼 가까운 B의 시간이 A의 시간보다 느리게 흐른다.

인공위성은 지표면에 대해 빠르게 운동하므로 특수 상대성 이론에 따라 지표면에서보다 시간이 느리게 흐른다. 반면 일반 상대성 이론에 따라 인공위성에서는 지표면에서보다 시간이 빠르게 흐른다. 지피에스(GPS) 위성과 같이 높은 고도에 있는 인공위성에서는 일반 상대성 이론에 따른 효과가 특수 상대성 이론보다 커서 지표면에서보다 시간이 빠르게 흐른다. 따라서 GPS 위성이 시각에 대한 정보를 지표면에 전송할 때에는 **그림 I-32**와 같은 고도에 따른 시간 차이를 보정한다.



잠깐 활동
중력 시간 지연 현상을 보정하는 것을 실생활에 어떻게 활용하고 있는지 찾아보자.

그림 I-32 지구 중심으로부터의 거리에 따른 시간 흐름

등가 원리로부터 중력이 미치지 않는 공간은 빛이 직진하며 시간도 일정하게 흐르는 평평한 시공간이지만, 지구나 태양과 같이 질량이 큰 천체 주변은 빛의 이동 경로가 휘며 시간도 천천히 흐르는 휘어진 시공간임을 알 수 있다.

스스로 확인

통신 위성(고도 10000 km), GPS 위성(고도 20000 km), 기상 위성(고도 36000 km) 중 시간이 가장 빠르게 가는 인공위성과 가장 느리게 가는 인공위성을 각각 써 보자.



블랙홀

물체가 반지름 R , 질량 M 인 천체의 표면에서 중력을 완전히 벗어나 무한히 먼 곳까지 가기 위한 최소한의 속도, 즉 탈출 속도 $v_{\text{탈출}} = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$ 이다.

지구의 탈출 속도는 약 11.2 km/s이다. 만약 그림 I-33과 같이 지구가 질량은 그대로인데 반지름이 $\frac{1}{100}$ 인 63.7 km로 압축되면 탈출 속도는 112 km/s가 된다. 그리고 지구의 반지름이 약 0.89 cm까지 압축되면 탈출 속도는 빛의 속력(약 299792 km/s)보다 큰 300000 km/s가 된다. 이 경우에는 지구 표면에서 나오는 빛은 물론, 지구 근처를 지나가는 빛도 흡수해 외부에서 볼 수 없는 검은 천체가 된다.

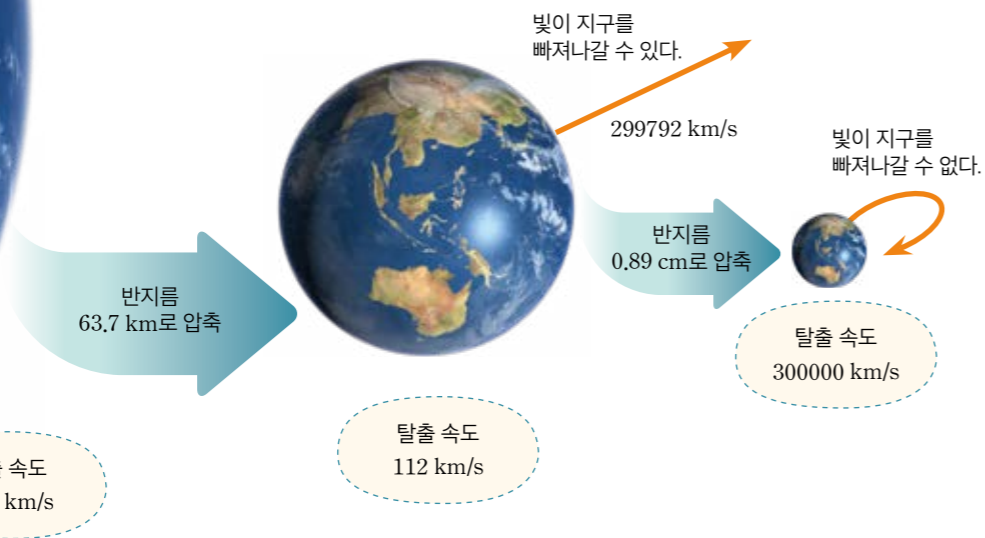


그림 I-33 지구 반지름에 따른 탈출 속도

실제로 구대칭 천체는 수명이 다하면 질량이 일정한 채로 크기만 수축한다. 그리고 수축할수록 중력이 강해져 그림 I-34와 같이 슈바르츠실트 반지름 $R_s (= \frac{2GM}{c^2})$ 보다도 더 작은 영역으로 수축할 수 있다. 이때 슈바르츠실트 반지름 안쪽 공간은 빛조차 빠져나갈 수 없는데, 이 공간을 **블랙홀**이라고 한다.

블랙홀 내부에서 일어나는 변화는 외부로 전달될 수 없으므로 반지름이 R_s 인 구의 표면을 사건의 지평선이라고도 부른다. 일반 상대성 이론에 따르면 블랙홀은 주변 시공간을 심하게 왜곡한다.

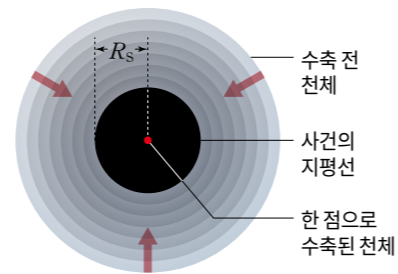


그림 I-34 블랙홀

호킹
(Hawking, S. W., 1942~2018)
영국의 물리학자. 상대성 이론과 양자 역학을 결합한 양자 중력 이론 연구에 크게 이바지했으며, 블랙홀에서 일어나는 '호킹 복사'를 양자장론을 바탕으로 하여 증명했다.



지구에서는 쉽게 관측할 수 없지만, 블랙홀이 시공간을 왜곡해 나타나는 흥미로운 현상들이 있다. 이를 표현한 사진이나 영상을 다음 활동을 하면서 찾아보자.

디지털 해보기

탐구 능력 | 의사 결정 능력

블랙홀을 표현한 사진이나 영상을 찾아 발표하기

1. 모둠별로 인터넷에서 블랙홀을 표현한 사진이나 영상을 검색한다.
2. **공유** 검색한 사진이나 영상 중 하나를 골라 발표 자료를 만들어 공유 플랫폼에 공유한다. 발표 자료는 다음 내용을 포함하여 만든다.

준비물
스마트 기기

자료 제목, 사진이나 영상에 대한 설명, 출처

- 발표 자료를 이용해 모둠별로 발표해 보자.

강착 원반

블랙홀로부터 받는 중력으로 물질들이 빨려 들어가면서 속도가 빨라지고, 물질들끼리 마찰하며 온도가 높아져 빛과 열을 낸다.
(출처: 미국항공우주국, 2023.)

블랙홀의 강한 중력으로 시공간이 왜곡되어 블랙홀 뒤편의 모습이 앞서서도 보이는 흥미로운 현상이 나타난다.



스스로 확인

1. 탈출 속도가 빛의 속력보다 큰 천체에서는 빛이 천체를 빠져나오지 못하고 천체에 흡수된다. (○, ×)
2. 블랙홀 내부에서 일어나는 변화는 외부로 전달되지 않는다. (○, ×)

스스로 정리

공유 일반 상대성 이론을 담은 짧은 이야기를 만들어 공유 플랫폼에 공유해 보자.



가속도 측정 장치 만들기

도로에서는 '구간 과속 단속'이라는 것을 통해 자동차의 과속 여부를 판단하기도 한다. 구간 과속 단속은 두 지점에 자동차가 통과하는 것을 인식하는 장치를 두고, 자동차가 두 장치를 통과하는 데 걸린 시간을 측정해 자동차의 과속 여부를 판단하는 방식이다. 이러한 방식을 이용해 물체의 가속도를 측정하는 장치를 만들어 보자.



1 토의

다음 준비물로 수레가 지나가는 것을 인식해 가속도를 측정할 수 있는 장치를 어떻게 만들 수 있을지 모둠원들과 토의해 보자.



마이크로프로세서



레이저 포인터 3 개



레이저 수신 모듈 3 개

2 제작

토의한 내용을 바탕으로 하여 수레의 가속도를 측정하기 위해 알아야 할 데이터를 수집하는 장치를 제작하고, 수집한 데이터로 가속도를 측정하는 방법을 생각해 보자.

예시

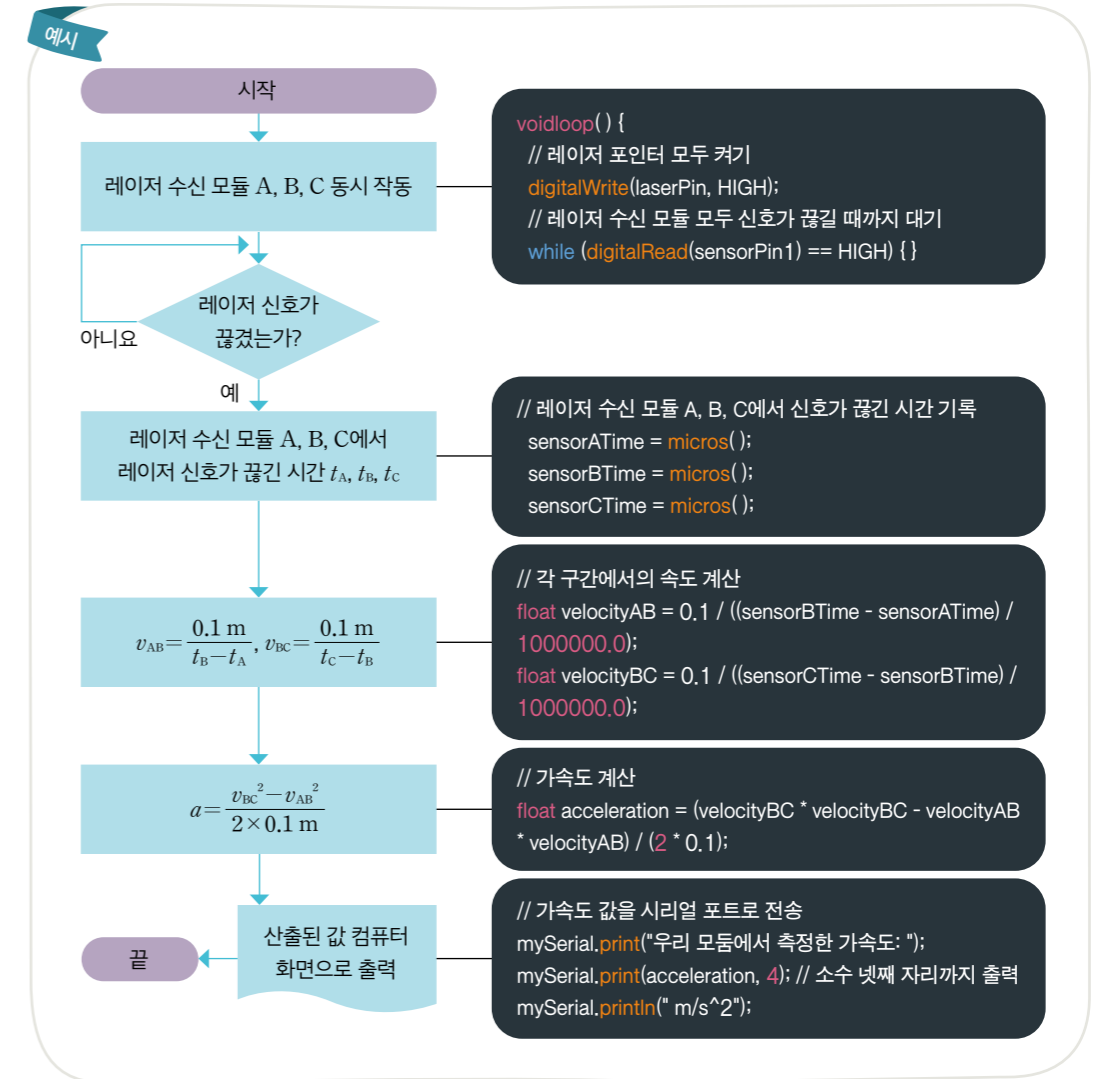
빛면에서 내려오는 수레의 가속도를 측정하는 장치

10 cm 간격으로 레이저 포인터와 레이저 수신 모듈을 마주 보게 설치해, 수레가 지나가면서 레이저 빛을 차단하는 것을 이용해 시간을 측정할 수 있다.



3 코딩

제작한 장치로 가속도를 측정할 수 있도록 순서도를 설계하고 코딩을 해 보자. 그리고 마이크로프로세서에 코딩을 적용해 수레의 가속도를 측정해 보자.

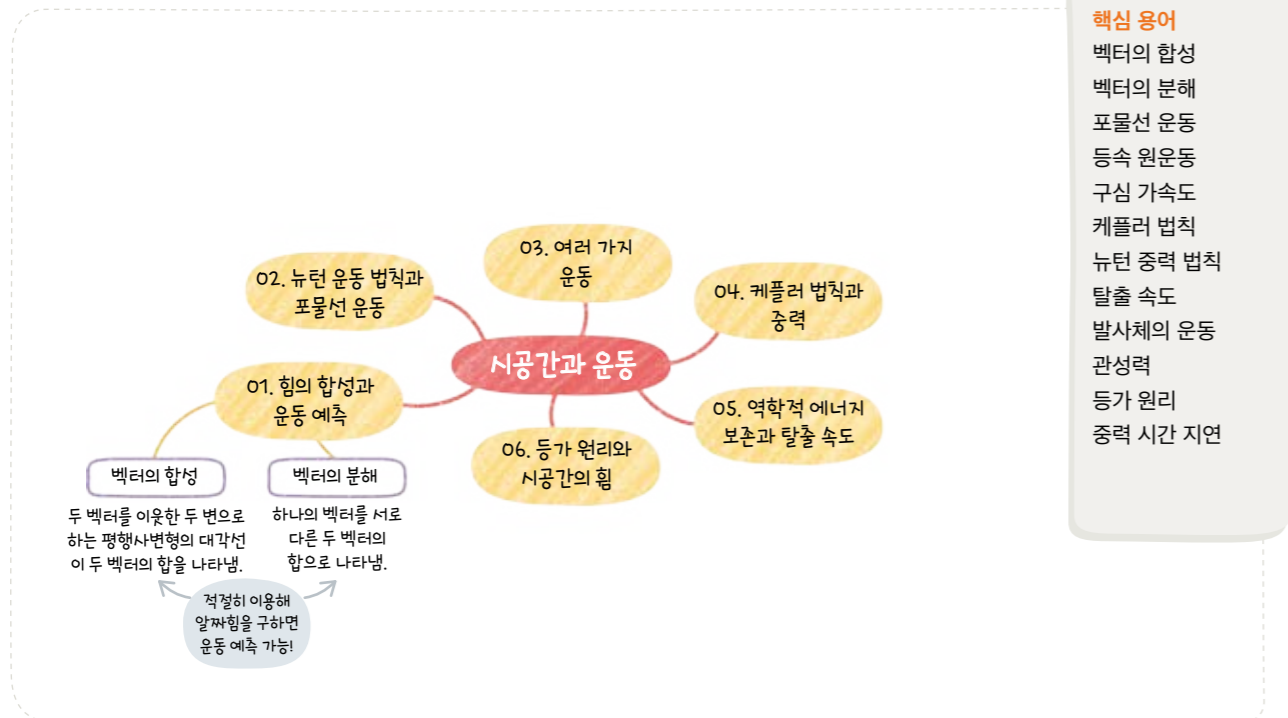


4 평가

토의, 제작, 코딩 과정을 떠올려 보고, 자기 모둠의 활동 과정과 결과물을 상중하로 평가해 보자.

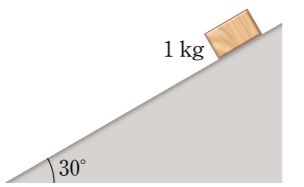
평가 기준	평가
토의 과정에서 모둠원들의 의견을 경청했는가?	상 중 하
자신이 맡은 역할을 성실하게 수행했는가?	상 중 하
레이저 포인터와 레이저 수신 모듈을 이용해 수레가 통과한 시간 간격을 정확히 측정했는가?	상 중 하
레이저 수신 모듈로 측정된 데이터를 이용해 수레의 가속도를 정확히 계산했는가?	상 중 하
장치를 창의적으로 설계하고 제작했는가?	상 중 하
마이크로프로세서를 이용해 회로를 설계하고 코딩을 하는 과정에 흥미를 느끼며 참여했는가?	상 중 하

공유 핵심 용어를 모두 포함해 생각 그물을 완성하고, 공유 플랫폼에 공유해 보자.



실력 확인하기

01 그림은 경사각이 30° 인 빗면에 질량 1 kg 인 물체를 가만히 놓은 순간의 모습을 나타낸 것이다.

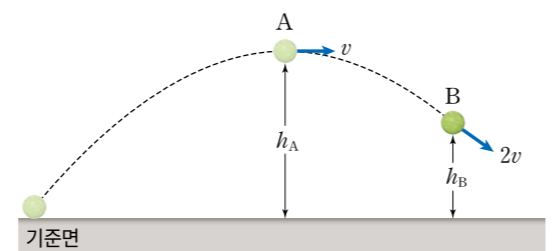


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?(단, 모든 마찰은 무시하고, 빗면의 길이는 충분히 길며, 중력 가속도의 크기는 10 m/s^2 이다.)

- 보기**
- ㉠ 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 5 N 이다.
 - ㉡ 물체의 가속도 크기는 5 m/s^2 이다.
 - ㉢ 2 초 뒤 물체의 속력은 10 m/s 이다.

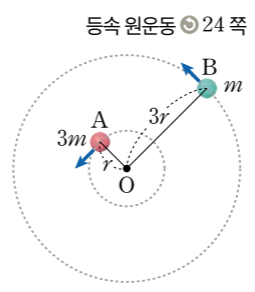
- ① ㉠
- ② ㉡
- ③ ㉠, ㉡
- ④ ㉡, ㉢
- ⑤ ㉠, ㉡, ㉢

02 그림은 기준면에 대해 비스듬히 던져 올린 물체가 최고 높이인 A점을 v 의 속력으로 지나 B점을 $2v$ 의 속력으로 통과하는 모습을 나타낸 것이다. A점과 B점의 높이는 각각 h_A, h_B 이고, B점에서 운동 에너지와 중력에 의한 위치 에너지는 같다.



$h_A : h_B$ 를 풀이 과정과 함께 구하시오.(단, 물체의 크기 및 공기 저항은 무시한다.)

03 그림과 같이 물체 A, B가 점 O를 중심으로 같은 평면상에서 등속 원운동을 하고 있다. A, B의 질량은 각각 $3m, m$ 이고, 원 궤도 반지름은 각각 $r, 3r$ 이며, 주기는 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기**
- ㉠ A와 B의 각속도는 같다.
 - ㉡ A와 B의 운동 에너지는 같다.
 - ㉢ A와 B에 작용하는 구심력의 크기는 같다.

- ① ㉠
- ② ㉠, ㉡
- ③ ㉠, ㉢
- ④ ㉡, ㉢
- ⑤ ㉠, ㉡, ㉢

04 다음은 케플러 법칙으로부터 중력의 존재가 밝혀지는 과학사적 배경에 대한 설명이다.

㉠ 케플러 법칙은 행성의 운동을 잘 설명할 수 있었지만 그러한 운동을 하는 원인을 설명할 수 없었다. 뉴턴은 ㉡ 중력 법칙을 제시해 이 문제를 해결했다. 행성은 원 궤도에 가까운 운동을 하므로 중력이 \ominus (으)로 작용해 행성이 운동한다. 이를 통해 행성의 공전 주기 제곱은 $\omin�$ 에 비례한다는 관계식을 얻을 수 있다. 그리고 이 관계식은 케플러 $\omin�$ 에 해당한다.

이에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

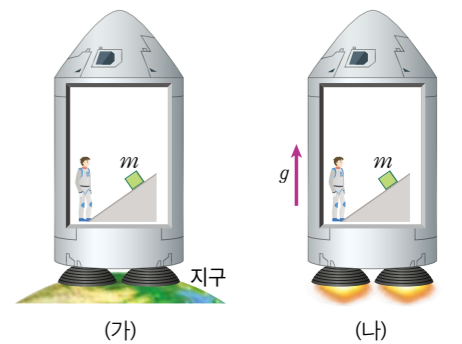
- ① ㉠에 따르면 모든 행성은 태양을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 운동한다.
- ② ㉡에 따르면 질량이 있는 모든 물체 사이에 서로의 질량으로 인한 인력이 작용한다.
- ③ ㉢에 알맞은 말은 '구심력'이다.
- ④ ㉣에 알맞은 말은 '궤도 반지름'이다.
- ⑤ ㉤에 알맞은 말은 '제3법칙'이다.

05 표는 표면 온도가 같은 천체 (가), (나)의 질량과 반지름, 대기 기체 A, B가 포함된 비율을 나타낸 것이다.

천체	(가)	(나)
질량	M	$80M$
반지름	R	$8R$
대기에 포함된 비율	A	0.01 %
	B	32 %
		83 %
		2 %

A, B 중 분자의 질량이 더 큰 기체를 고르고, 그렇게 생각한 까닭을 서술하시오.

06 그림 (가)는 지구에서 정지한 우주선 내부에 있는 마찰을 무시할 수 있는 빗면에 질량 m 인 물체를 가만히 놓은 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)의 우주선이 무중력 상태인 우주 공간에서 크기가 g 로 일정한 가속도로 운동하는 모습을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?(단, 중력 가속도의 크기는 g 이다.)

- 보기**
- ㉠ (가)의 물체에는 중력과 수직 항력이 작용한다.
 - ㉡ (나)에서 우주선 내부 관찰자가 보았을 때 물체에는 수직 항력만 작용한다.
 - ㉢ (가)와 (나)에서 우주선 내부 관찰자가 본 물체의 가속도는 같다.

- ① ㉠
- ② ㉡
- ③ ㉠, ㉢
- ④ ㉡, ㉢
- ⑤ ㉠, ㉡, ㉢



스포츠를 물리학의 시선으로 바라보는

스포츠 물리학자

스포츠 물리학자는 스포츠에 사용하는 도구 및 인체의 구조와 기능을 물리학적 관점에서 연구한다. 연구 결과를 바탕으로 하여 운동선수의 체력과 기술을 향상시켜 좋은 기록을 달성할 수 있도록 돕는다. 또 선수의 동작이나 운동 습관 등을 관찰하고 분석해 부상을 예방하는 맞춤형 훈련법을 제공하기도 한다. 나아가 이러한 연구는 운동선수가 아닌 사람들의 생활 체육에까지 도움을 주기도 한다.

어떤 역량을 가지면 좋을까?

- 선수의 작은 동작도 인식할 수 있는 관찰력
- 운동 데이터를 해석하는 수학적 사고력
- 선수와의 협업에 필요한 의사소통 능력

어떻게 준비할까?

- 물리학, 운동역학 등을 전공해 관련 분야의 전문 지식을 쌓는다.
- 올림픽과 같은 큰 체육 행사의 자원 봉사를 통해 다양한 경험을 쌓는다.

체험 학습

한국스포츠정책과학원 누리집을 검색해 보고, 해당 과학원 견학 계획을 세워 보자.

한국스포츠
정책과학원
누리집



'시공간과 운동' 단원을 학습하면서 자신이 공유한 결과물을 엮어 포트폴리오를 완성해 보자.

공유



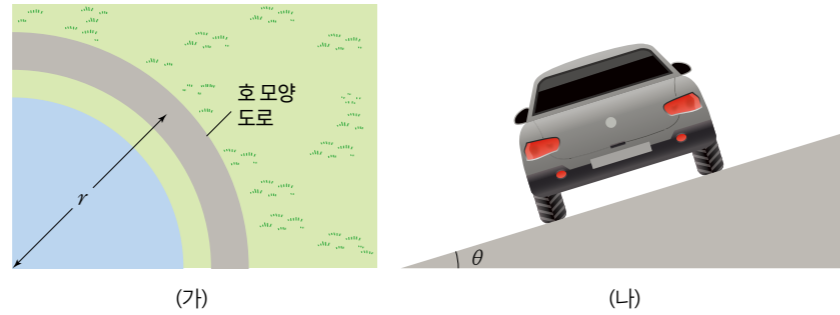
등속 원운동 24 쪽

과학 역량 키워기

과학적 의사 결정 능력

급은 도로를 달리는 자동차에 작용하는 물리량을 파악하고 운동에 적용함으로써 과학적 사고를 바탕으로 한 의사 결정 능력을 키운다.

07 그림 (가)와 같이 반지름이 r 인 호 모양 도로를 만들려고 한다. 눈이나 비가 와서 도로면이 매우 미끄럽더라도 자동차들이 일정한 속력 v 로 다닐 수 있게 하기 위해 도로를 그림 (나)와 같이 수평면에서 θ 만큼 기울어진 각도로 설계하려고 한다. (단, 중력 가속도의 크기는 g 이고, 도로의 폭과 자동차의 크기는 무시하며, 도로의 높이 변화는 없다.)



- (1) 도로의 $\tan\theta$ 값이 얼마가 되어야 할지 풀이 과정과 함께 구하시오.
- (2) 자동차의 속력이 일정할 때, θ 가 너무 작아지거나 커지면 어떤 문제점이 생길지 근거를 들어 서술하시오.

점검하기

지식·이해	벡터의 합성과 분해를 통해 포물선 운동과 등속 원운동을 분석할 수 있다. 또 역학적 에너지 보존을 통해 중력과 천체 운동 및 탈출 속도를 이해할 수 있다. 등가 원리를 바탕으로 하여 시공간의 휨과 중력 시간 지연을 이해할 수 있다.	미흡 ← → 우수 1 2 3 4 5
과정·기능	스마트폰을 이용해 다양한 놀이기구의 운동을 분석하고, 포물선 운동을 하는 물체의 동영상 분석할 수 있다. 또 행성 관측 데이터를 이용해 케플러 법칙을 확인할 수 있다.	1 2 3 4 5
가치·태도	뉴턴 운동 법칙 및 일과 에너지는 발사체나 인공위성의 운동을 이해하고 예측하는 데 유용하다는 것을 인식하며, 일반 상대성 이론에 흥미를 느낄 수 있다.	1 2 3 4 5

점검을 해 본 뒤 아쉬운 부분이 있다면 다시 한번 학습하고, 아쉬운 부분이 어떻게 보완되었는지 써 보자.



II

열과 에너지

이 단원에서는 에너지 기술, 건축에 활용되는 단열과 열팽창을 알아보고, 기체에 가해진 열과 일이 계의 내부 에너지를 변화시킨다는 것을 배운다. 화석 연료를 쓰는 열기관 활용에 따르는 산업 발전과 환경 오염 문제를 인식하고 열과 관련된 현상에는 방향성이 있다는 것을 알아본다.



단원을 학습하면서 공유 플랫폼에 공유한 결과물을 모아 포트폴리오를 만들어 보자.



열에 의한 물질의 변화

02

비가역 현상과 엔트로피

05

단열과 열팽창

01

열역학 제1법칙

03

열기관과 열효율

04

단원 연계

중학교 과학 열

통합과학2 환경과 에너지

물리학 힘과 에너지

이 단원에서는 열의 이동, 이상 기체 법칙, 열역학 제1법칙, 열기관, 열역학 제2법칙을 배운다.

성취 기준 확인

지식·이해

열에 의한 물질의 상태 변화를 이해하고, 이상 기체의 온도, 압력, 부피 관계를 설명할 수 있다. 열이 계의 내부 에너지를 변화시키거나 외부에 일을 할 수 있다는 것을 이해하고, 다양한 열기관에서의 순환 과정과 엔트로피를 설명할 수 있다.

과정·기능

단열재의 종류에 따른 보온·보냉 효과를 비교할 수 있다. 센서를 이용해 기체의 압력, 부피, 온도 관계를 분석할 수 있다.

가치·태도

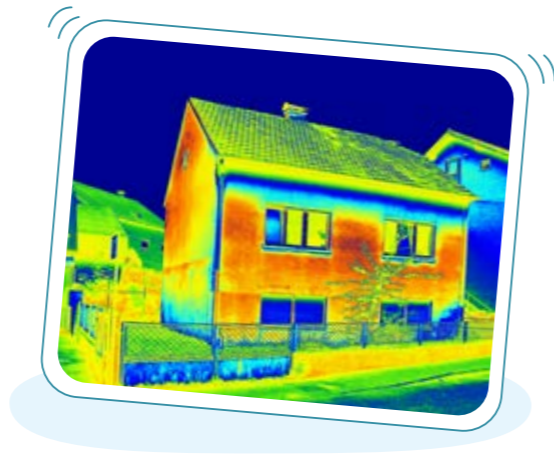
에너지 관련 기술에 단열, 열팽창 등이 활용된 예를 조사해 과학의 유용성을 인식하며, 열기관의 개발과 활용이 인류에 미친 영향을 다양한 측면에서 평가할 수 있다.

01

단열과 열팽창

학습 목표 열에너지 관련 기술에 단열, 열팽창 등이 활용된 예를 조사해 과학의 유용성에 대한 가치를 인식할 수 있다.

열화상 카메라는 물체에서 방출하는 열에너지를 감지해 온도에 따라 다른 색깔로 나타내는 장치이다. 열화상 카메라로 집을 찍은 사진에서 집의 위치마다 온도가 다르게 나타나는 까닭은 무엇일까?



열전달과 단열

온도가 다른 두 물체 사이에서 열이 고온의 물체에서 저온의 물체로 전달된다. 이때 이동한 열의 양을 **열량**이라고 한다. 열전달 방식에는 **전도, 대류, 복사**가 있다.

전도는 이웃한 입자들 사이에 에너지가 전달되면서 열이 온도가 높은 쪽에서 온도가 낮은 쪽으로 이동하는 방식이다. 그림 II-1과 같이 단면적 A , 길이 d 인 금속 막대 양 끝의 온도가 각각 T_1, T_2 일 때, 시간 t 동안 금속 막대를 통해 이동하는 열량 Q 는 다음과 같다.

$$Q = kA \frac{T_1 - T_2}{d} t$$

위 식에서 k 는 **열전도도**로 물질이 열을 얼마나 잘 전도하는지를 나타내는 물리량이다. 열전도도는 물질에 따라 다르며, 단위로 $W/(m \cdot K)$ 을 사용한다.

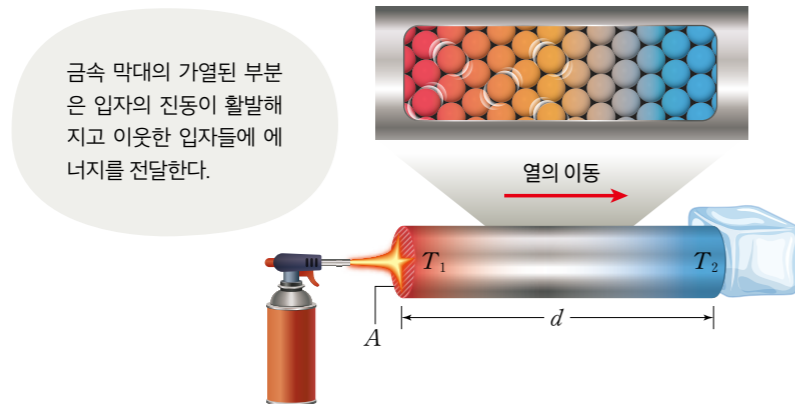


그림 II-1 전도

열량의 단위
열량의 단위로 cal(칼로리)를 주로 사용하며 1 cal \approx 4.2 J이다.

연계 중학교 과학
전도, 대류, 복사로 열이 전달되는 과정을 배웠다.

여러 가지 물질의 열전도도

물질	열전도도 [W/(m·K)]
은	428
구리	401
알루미늄	235
철	67
공기	0.026

(출처: 『Fundamentals of Physics 12th』, 2021.)

대류는 전도와 달리 액체나 기체를 구성하는 분자들이 직접 이동하면서 열을 전달하는 방식이다. 그림 II-2와 같이 액체의 아래쪽을 가열하면 액체에서 온도가 높아진 부분의 분자 운동이 활발해지면서 분자 사이의 거리가 멀어져 밀도가 작아진다. 액체의 밀도가 작아진 부분이 위로 올라가고 위에 있던 액체는 밀려 내려와 가열되는 순환 과정을 반복하면서 액체 전체로 열이 전달된다.

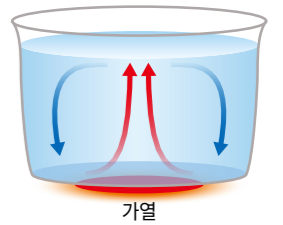


그림 II-2 대류

복사는 물체가 전자기파의 형태로 열에너지를 방출하면서 한 물체로부터 다른 물체로 열을 직접 전달하는 방식이다. 절대 온도가 0 K보다 높은 모든 물체는 복사의 방식으로 열에너지를 방출한다.

전자기파의 종류
전자기파에는 적외선, 자외선, 가시광선 등이 있다.

열의 이동을 막는 것을 **단열**이라고 한다. 단열을 효율적으로 하려면 전도, 대류, 복사의 방식으로 열이 전달되는 것을 모두 막아야 한다. 그림 II-3의 (가)와 같이 보온병은 액체의 온도를 오랫동안 유지하기 위해 내부와 외부 사이를 진공으로 만들어 전도 및 대류에 의한 열전달을 막는다. 또 내부에 은으로 도금한 반사층을 만들어 복사에 의한 열전달을 막는다. 그림 (나)의 스티로폼은 내부에 수많은 공기 주머니가 있어 열전달을 방해하므로 단열재로 많이 쓰인다.

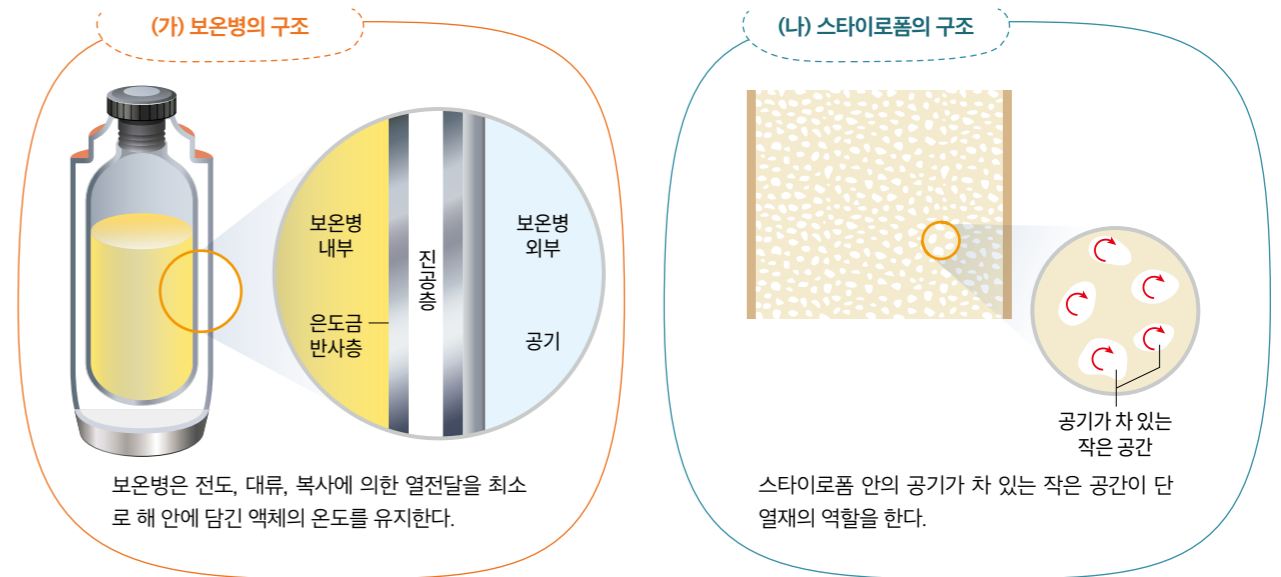


그림 II-3 단열의 예

스스로 확인

- 1 단면적이 일정한 금속 막대에서 양 끝의 온도 차이가 클수록 전도에 의한 열의 이동이 잘 일어난다. (○, ×)
- 2 열의 이동을 막는 것을 ()이라고 한다.

탐구

변인 조작 / 탐구 설계

Q 탐구 능력 | Q 의사 결정 능력

단열재의 종류에 따른 보온, 보냉 효과 비교하기

목표

- 실험을 통해 단열재의 종류에 따른 보온 효과를 비교할 수 있다.
- 보냉 주머니를 창의적으로 설계 및 제작하고 단열 효과를 비교할 수 있다.

실험 1 단열재의 종류에 따른 보온 효과 비교하기

과정

1. 골판지를 원형으로 잘라 캔의 윗면을 덮을 수 있는 뚜껑을 만들고 온도계를 끼운다.
 2. 주변의 다양한 재료 중 단열 효과를 측정할 재료 4 가지를 선택한다.
- 예 신문지, 뽁뽁이, 종이 완충재, 솜, 스펀지, 알루미늄 포일, 헝겂 등
3. 플라스틱 통 안에 알루미늄 캔을 넣고, 그 사이 공간을 **과정 2**에서 선택한 재료로 채운다.
 4. 캔에 뜨거운 물을 100 mL씩 담고 뚜껑을 덮은 뒤, 5분 간격으로 물의 온도를 측정한다.

예시



뽁뽁이 종이 완충재 알루미늄 포일 헝겂

결과 및 정리

1. **과정 4**에서 측정한 물의 온도를 기록해 보자.

구분	시간(분)								
	재료	0	5	10	15	20	25	30	
물의 온도 (°C)									

2. 선택한 재료들의 단열 효과를 비교해 보자.



준비물

- 알루미늄 캔 4 개
- 플라스틱 통 4 개
- 디지털 온도계 4 개
- 골판지
- 타이머
- 단열 효과를 비교할 재료 (뽁뽁이, 종이 완충재, 알루미늄 포일, 헝겂 등)
- 뜨거운 물(60 °C ~ 70 °C)
- 찬물(5 °C 정도)
- 보안경
- 면장갑

역할 나누기

- 3~5 명을 한 모둠으로 하고, 역할을 나눠 보자.
- 실험 수행: _____
 - 결과 기록: _____

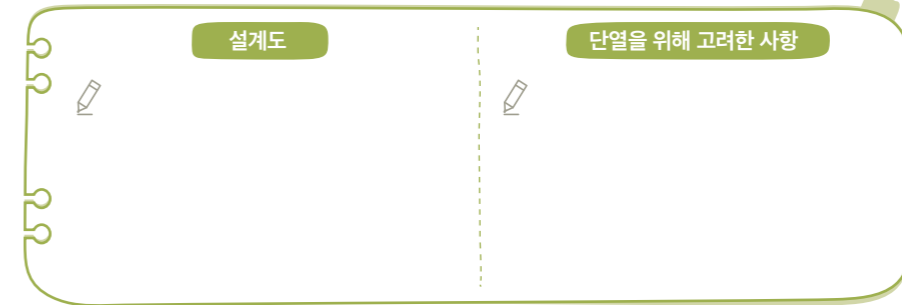
안전

뜨거운 물을 다룰 때에는 보안경과 면장갑을 착용한다.

실험 2 보냉 주머니 설계하고 제작하기

과정

1. 주변의 다양한 재료를 활용해 만들 수 있는 보냉 주머니를 설계해 설계도를 그리고, 보냉 주머니 제작에 필요한 단열재의 구조와 단열을 위해 고려한 사항을 기록한다.



2. 설계한 보냉 주머니를 제작한다.
3. 찬물 100 mL가 담긴 알루미늄 캔을 보냉 주머니에 넣고 온도계를 끼운 뚜껑을 덮은 뒤, 5분 간격으로 물의 온도를 측정한다.
4. **공유** 온도 측정 결과를 공유 플랫폼에 공유해 다른 모둠과 보냉 주머니의 단열 효과를 비교한다.

결과 및 정리

1. **과정 3**에서 측정한 온도를 기록해 보자.

시간(분)	0	5	10	15	20	25	30
물의 온도(°C)							

2. 보냉 주머니를 설계할 때 고려한 과학적 원리를 설명해 보자.



3. 모둠별로 측정한 물의 온도 변화를 비교하고, 단열 효과가 좋은 보냉 주머니의 특징을 설명해 보자.



스스로 평가

- | 지식·이해 | 단열재의 종류에 따른 보온 효과의 차이를 설명할 수 있는가? ☆☆☆
- | 과정·기능 | 시간에 따른 온도 변화를 측정해 단열 효과와 연결할 수 있는가? ☆☆☆
- | 가치·태도 | 보냉 주머니를 창의적으로 설계했는가? ☆☆☆

탐구 길잡이
주변에서 구할 수 있는 단열 재료를 두 가지 이상 사용해 단열 효과를 높이는 방법을 찾는다.

탐구 후기



물질에 따라 열팽창 정도가 다르다는 것을 배웠다.

열팽창

일반적으로 물체에 열에너지를 공급하면 입자들의 평균 운동이 활발해지고 입자들 사이의 평균 거리가 늘어나 물체의 길이나 부피가 팽창한다. 이러한 현상을 **열팽창**이라고 한다.

그림 II-4와 같이 온도 T_0 , 길이 l_0 인 고체 막대를 가열해 막대의 온도가 ΔT 만큼 높아졌을 때 막대가 늘어난 길이 Δl 은 l_0 과 ΔT 에 비례한다.

$$\Delta l = \alpha l_0 \Delta T$$

α 는 **선팽창 계수**로 물체의 온도가 1 K 변할 때 단위길이에서 일어나는 길이 변화를 나타내는 값이며, 물질에 따라 다르다.

고체의 선팽창 계수
(20 °C에서 측정)

물질	선팽창 계수 ($\times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$)
유리	9
콘크리트	약 12
철	12
금	14
구리	17
알루미늄	25

(출처: 『Physics: Principles with Applications 7th』, 2016.)

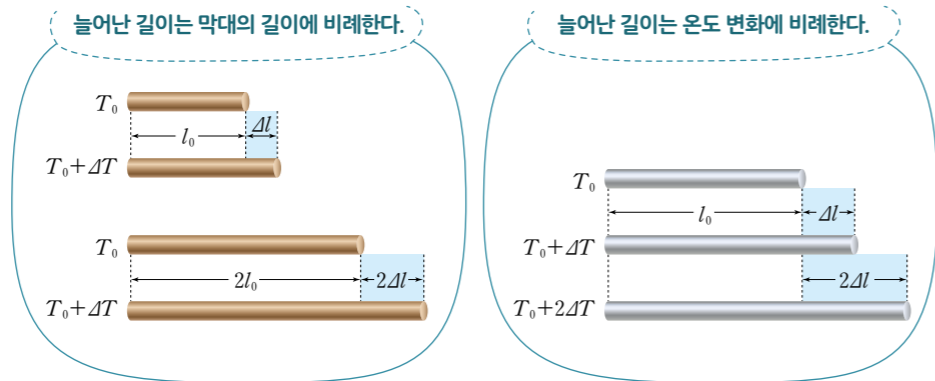


그림 II-4 고체 막대의 열팽창

바이메탈은 열팽창 정도가 다른 두 금속을 접착한 것이다. 바이메탈의 온도가 높아지면 두 금속이 늘어나는 정도가 달라 휘어지고, 온도가 낮아지면 다시 원래의 모양으로 돌아간다. 이러한 성질을 이용해 그림 II-5와 같이 바이메탈의 온도가 높아지기 전에 회로에 연결되어 전류를 흐르게 하다가 온도가 높아지면 회로가 끊어지게 하는 용도로 사용할 수 있다. 바이메탈은 전기 주전자, 온도계, 전기 토스터, 전기다리미, 보일러 등의 자동 온도 조절 장치에 쓰인다.

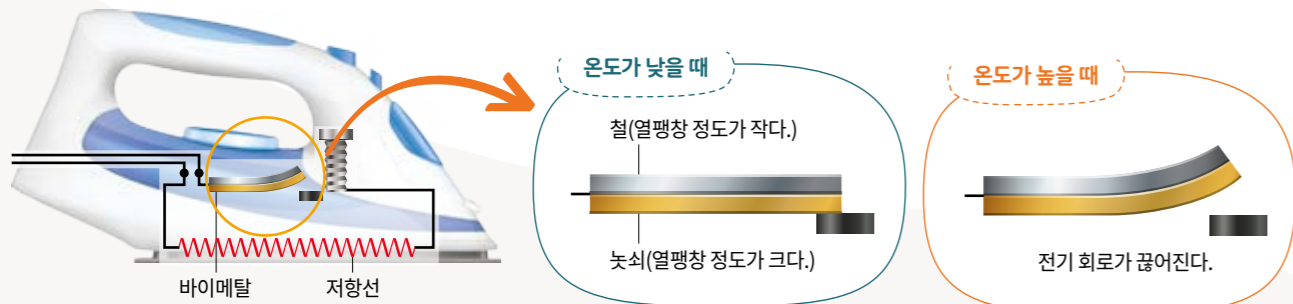


그림 II-5 전기다리미 속의 바이메탈

열에너지 관련 기술

냉난방에 사용하는 에너지를 절약하고, 여름과 겨울의 큰 온도 차에도 견딜 수 있는 안전한 건축물을 짓기 위해서는 단열과 열팽창을 반드시 고려해야 한다. 다음 활동을 하면서 열에너지 관련 기술에 단열, 열팽창 등을 활용하는 사례를 조사해 보자.

디지털 해보기

탐구 능력 | 의사 결정 능력

단열, 열팽창이 열에너지 관련 기술에 활용된 사례 조사하기

- 다음은 건축물에서 열과 관련된 장치나 기술을 사용하는 사례이다. 모둠별로 각 사례에서 단열이나 열팽창을 어떻게 이용하고 있는지 조사한다.

준비물
스마트 기기



- 자동차, 비행기, 기차 등 교통수단에서 활용하는 단열이나 열팽창과 관련한 기술을 조사한다.
- 공유 조사한 사례 중 3 개를 골라 카드 뉴스로 표현하고 공유 플랫폼에 공유한다.

스스로 확인

- 금속 막대를 가열할 때 늘어난 길이는 원래의 길이에 비례하고 온도 변화에 반비례한다. (○, ×)
- 바이메탈은 열팽창 정도가 (같은, 다른) 두 금속을 접착해 만든 것으로 가열하면 열팽창 정도가 (큰, 작은) 쪽으로 휘어지는 특성이 있다.

스스로 정리

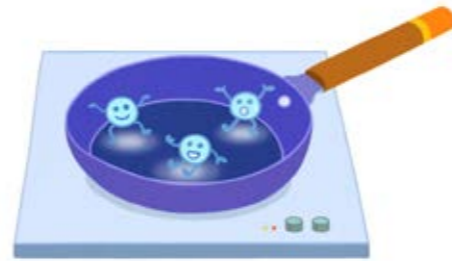
공유 다양한 열에너지 관련 기술에 단열, 열팽창 등을 활용한 사례를 들어 과학의 유용성에 대한 주제로 글을 써 보고, 이를 공유 플랫폼에 공유해 보자.

02

열에 의한 물질의 변화

학습 목표 열에 의한 물질의 상태 변화를 이해하고, 이상 기체의 온도, 압력, 부피의 관계를 설명할 수 있다.

뜨겁게 달군 프라이팬 위에 떨어뜨린 물방울은 둥근 모양을 유지하며 굴러다닌다. 물방울이 둥근 모양을 유지할 수 있는 까닭은 무엇일까?



비열

질량이 m 인 어떤 물질이 열량 Q 를 얻어 온도가 ΔT 만큼 변했을 때 다음과 같은 관계식이 성립한다.

$$Q = cm\Delta T$$

이때 c 를 이 물질의 **비열**이라고 한다. 비열은 물질 1 kg의 온도를 1 K 높이는 데 필요한 열량으로 비열의 단위는 $J/(kg \cdot K)$ 이다.

비열은 물질에 따라 다르다. 물은 상대적으로 비열이 크고, 대부분의 금속은 상대적으로 비열이 작다.

잠열

물의 비열이 다른 물질에 비해 상대적으로 크기 때문에 나타나는 현상에는 무엇이 있는지 조사해 보자.

잠열

물질에 가해 준 열은 그 물질의 온도를 높이거나 물질의 상태를 변하게 하는 데 쓰인다. 물질의 상태가 변하는 동안에는 물질이 열을 흡수하거나 방출하더라도 온도가 변하지 않는데, 이때 물질의 상태 변화에 필요한 단위 질량당 열량을 **잠열**이라고 한다. 잠열은 물질의 종류에 따라 다르다. 잠열 L 은 상태가 변하는 데 필요한 열량 Q , 물질의 질량 m 과 다음과 같은 관계가 있으며, 단위는 J/kg 이다.

$$Q = Lm$$

융해열은 고체에서 액체로 상태가 변할 때의 잠열이고, 기화열은 액체에서 기체로 상태가 변할 때의 잠열이다.

연계 중학교 과학

물질에 따라 비열이 다르다는 것을 배웠다.

여러 가지 물질의 비열

물질	비열 [J/(kg·K)]
은	230
구리	390
철	450
유리	840
알루미늄	900
얼음 (-5 °C)	2100
물(15 °C)	4186
수증기 (110 °C)	2010

(출처: "Physics: Principles with Applications 7th", 2016.)

그림 II-6은 1 기압에서 얼음에 일정하게 열을 가할 때 시간에 따른 온도 변화를 나타낸 것이다. 구간 A, C, E에서는 시간에 따라 온도가 높아지지만, 상태가 변하는 구간 B, D에서는 온도가 일정하게 유지된다. 물의 비열이 얼음의 비열보다 크기 때문에 그래프의 기울기는 구간 A에서 구간 C에서보다 크다.

* 1 기압 = $1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$

1 기압에서 물의 융해열과 기화열

- 물의 융해열: $3.33 \times 10^5 \text{ J/kg}$
- 물의 기화열: $2.26 \times 10^6 \text{ J/kg}$

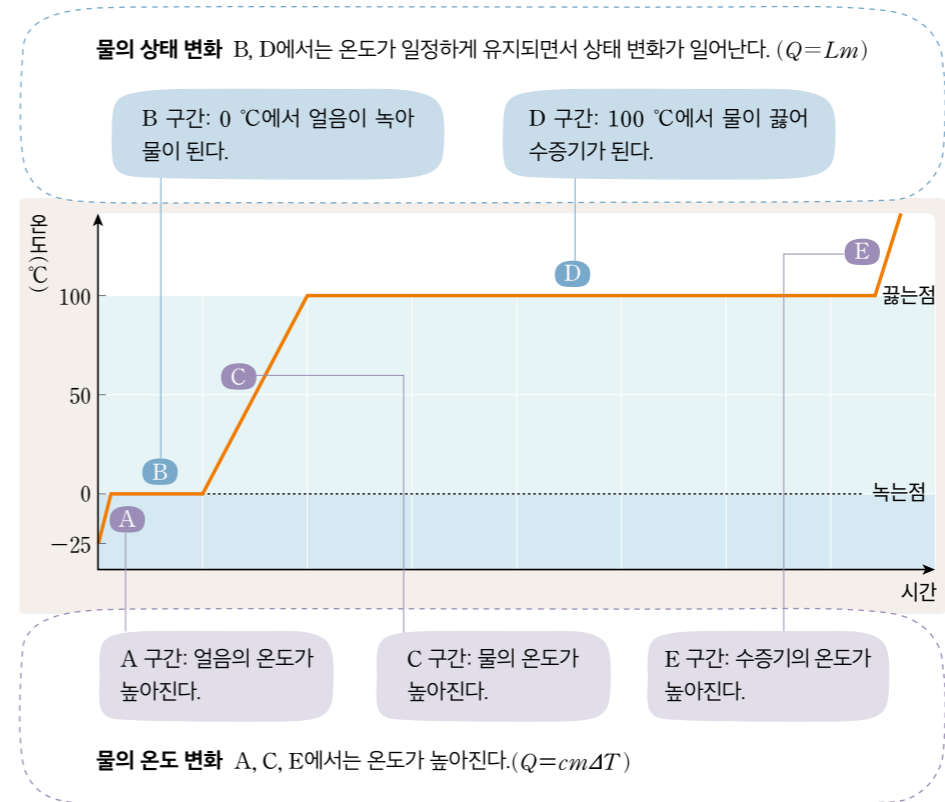


그림 II-6 온도에 따른 물의 상태 변화

일상생활에서 잠열을 활용하는 예로 냉장고가 있다. 그림 II-7과 같이 액체 상태의 냉매가 증발기에서 기화하면서 냉장고 내부로부터 열을 흡수해 냉장고 안의 온도를 낮춘다. 또 냉장고 밖의 응축기에서 냉매가 액화하면서 외부로 열을 방출한다.

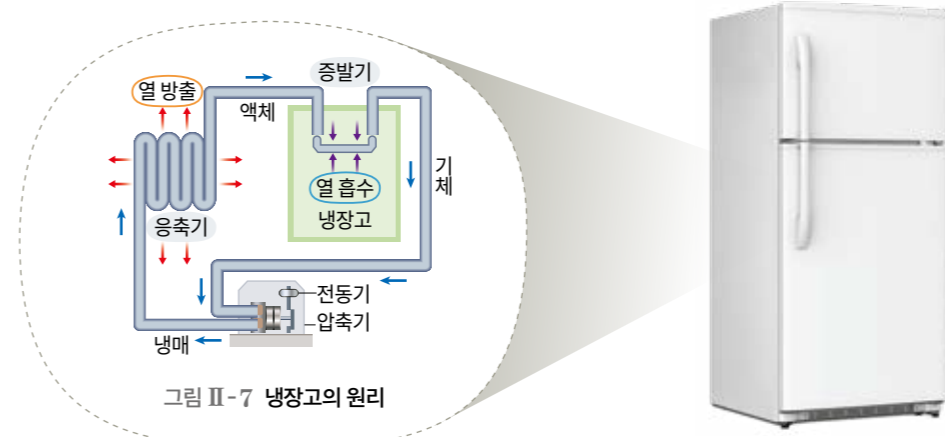
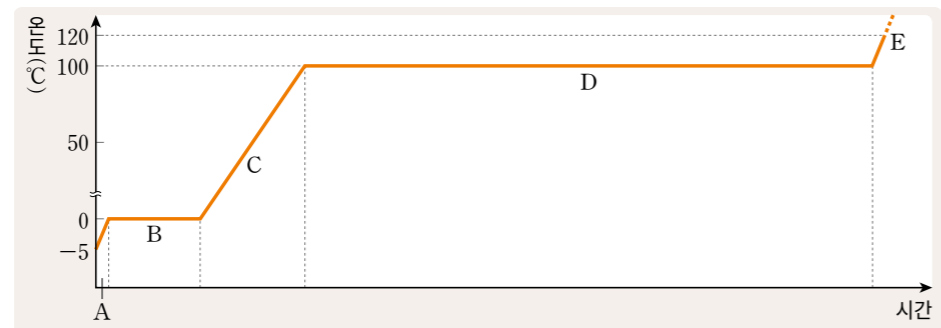


그림 II-7 냉장기의 원리

다음 활동을 하면서 비열과 잠열을 활용해 얼음이 수증기가 될 때까지 가해야 하는 열량을 정량적으로 계산해 보자.

해보기 온도 변화와 상태 변화에 필요한 열량 구하기

다음은 1 기압에서 -5°C 의 얼음 1g에 열을 가해 120°C 의 수증기가 될 때까지 온도 변화를 나타낸 그래프이다.



- A 구간: 얼음 1g의 온도가 -5°C 에서 0°C 가 될 때까지 열량 Q_A 를 흡수한다.
- B 구간: 0°C 얼음 1g이 0°C 물 1g이 될 때까지 열량 Q_B 를 흡수한다.
- C 구간: 물 1g의 온도가 0°C 에서 100°C 가 될 때까지 열량 Q_C 를 흡수한다.
- D 구간: 100°C 물 1g이 100°C 수증기 1g이 될 때까지 열량 Q_D 를 흡수한다.
- E 구간: 수증기 1g의 온도가 100°C 에서 120°C 가 될 때까지 열량 Q_E 를 흡수한다.

- 60 쪽의 ‘여러 가지 물질의 비열’ 표를 참고해 Q_A, Q_C, Q_E 를 구한다.
 - 61 쪽의 ‘1 기압에서 물의 융해열과 기화열’을 참고해 Q_B, Q_D 를 구한다.
- 1 기압에서 -5°C 의 얼음 1g이 120°C 의 수증기가 될 때까지 흡수해야 하는 총열량은 얼마인가?

스스로 확인

- 1 물질의 상태 변화에 필요한 단위 질량당 열량을 ()이라고 한다.
- 2 물질이 기체에서 액체로 상태가 변할 때 열에너지를 방출한다. (○, ×)

기체의 압력, 부피, 온도

기체를 이루는 분자들은 끊임없이 움직이는 분자 운동을 하며, 압력, 부피, 온도와 같은 물리량으로 기체의 상태를 설명할 수 있다.

그림 II-8과 같이 풍선 속 기체 분자는 끊임없이 풍선 안쪽 벽에 충돌하며 풍선의 바깥 방향으로 힘을 가한다.

이와 같이 기체 분자가 벽이나 용기에 계속 충돌하며 가하는 단위넓이당 힘을 기체의 **압력**이라고 한다. 기체 분자가 물체의 벽에 수직으로 작용하는 힘을 F , 벽의 넓이를 A 라고 하면, 기체의 압력 P 는 다음과 같다.



그림 II-8 풍선 속 기체의 압력

$$P = \frac{F}{A} \text{ (단위: } \text{N/m}^2 \text{ 또는 } \text{Pa}^*)$$

* Pa(파스칼)
압력의 단위. 1 Pa은 1 m^2 의 넓이에 1 N의 힘을 받을 때 압력의 크기이다.
 $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$

또 풍선 속 기체는 풍선을 가득 채우기 때문에 풍선의 부피가 곧 기체의 부피가 된다. 온도는 기체의 분자 운동이 활발한 정도를 나타내는 물리량이다.

기체의 압력, 부피, 온도는 서로 관련이 있다. 예를 들어 추운 날 바깥에서 공기가 빠진 것처럼 보이는 축구공을 따뜻한 실내에 가져가면 부피가 커져 팽팽해진다. 또 그림 II-9와 같이 과자 봉지를 들고 비행기에 타면, 비행기의 고도가 높아짐에 따라 기압이 낮아져 과자 봉지가 팽팽해지는 것을 볼 수 있다. 이러한 현상들은 기체의 온도, 압력, 부피의 관계로 설명할 수 있다.



그림 II-9 기체의 압력과 부피

탐구

변인 조작 / 다양한 도구 사용 / 수학적 사고 활용



실험 영상

- 준비물
- 온도 센서
- 압력 센서
- 실린더
- 피스톤
- 금속 구
- 데이터 분석 애플리케이션
- 스마트 기기
- 수조
- 얼음물
- 실온의 물
- 뜨거운 물
- 보안경
- 면장갑

- 역할 나누기**
3~5 명을 한 모둠으로 하고, 역할을 나눠 보자.
- 실험 수행: _____
 - 결과 기록: _____

안전 뜨거운 물을 다룰 때에는 보안경과 면장갑을 착용한다.

탐구 능력 | 문제 해결 능력

센서를 이용하여 기체의 압력, 부피, 온도 관계 분석하기

목표

- 기체의 온도가 일정할 때 압력과 부피의 관계를 도출할 수 있다.
- 기체의 부피가 일정할 때 압력과 온도의 관계를 도출할 수 있다.

실험 1 온도가 일정할 때 기체의 압력과 부피의 관계

과정

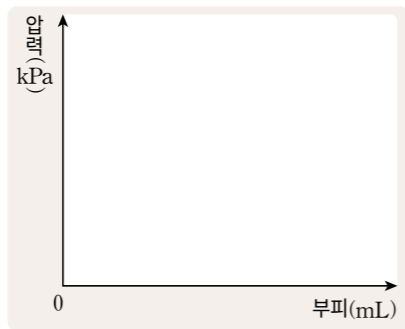
1. 실린더와 압력 센서를 분리한 상태에서 피스톤을 눈금이 50 mL인 위치에 놓고, 압력 센서를 연결한다.
2. 피스톤의 위치를 50 mL로 유지한 상태에서 압력을 측정해 **결과및정리 1**의 표에 기록한다.
3. 피스톤을 천천히 눌러 기체의 부피를 5 mL씩 압축하면서 압력을 측정해 **결과및정리 1**의 표에 기록한다.



결과 및 정리

1. 기체의 부피에 따른 압력값을 표와 그래프로 나타내 보자.

부피(mL)	50	45	40	35	30
압력(kPa)					



2. 기체의 온도가 일정할 때 압력과 부피의 관계를 설명해 보자.



실험 2 기체의 부피가 일정할 때 압력과 온도의 관계

과정

1. 3 개의 수조에 얼음물, 실온의 물, 뜨거운 물을 각각 담아 준비한다.
2. 온도 센서와 연결한 금속 구를 압력 센서와 분리한 상태에서 얼음물에 완전히 담그고, 압력 센서를 연결한다.
3. 온도와 압력이 평형에 도달할 때까지 기다렸다가 온도와 압력을 측정해 **결과및정리 1**의 표에 기록한다.
4. 얼음물 대신 실온의 물, 뜨거운 물을 사용해 **과정 2~3**을 각각 반복한다.

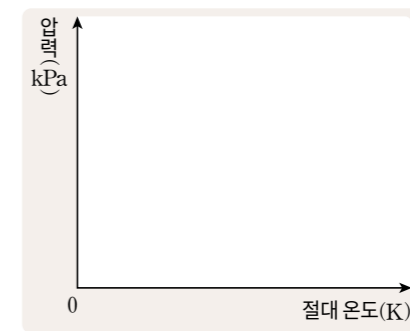
실험 영상



결과 및 정리

1. 온도에 따른 압력값을 표와 그래프로 나타내 보자.

구분	절대 온도(K)	압력(kPa)
얼음물		
실온의 물		
뜨거운 물		



2. 데이터 분석 애플리케이션의 그래프에서 기체의 압력이 0이 될 때 기체의 온도를 알아 보자. 이 값은 무엇을 의미하는가?
3. 기체의 부피가 일정할 때 압력과 온도의 관계를 설명해 보자.

스스로 평가

- | 지식·이해 | 기체의 압력과 부피, 온도의 관계를 설명할 수 있는가?
- | 과정·기능 | 센서를 이용해 데이터를 측정하고, 규칙성을 도출할 수 있는가?
- | 가치·태도 | 실험 결과를 있는 그대로 기록하고 해석했는가?

- ☆☆☆
- ☆☆☆
- ☆☆☆

탐구 후기



실제 기체와 이상 기체
실제 기체도 압력이 낮고 온도가 높아서 기체의 밀도가 작으면 이상 기체에 가까워진다.

이상 기체 법칙

실제 기체의 경우 기체의 부피가 매우 작아지면 분자 사이에 작용하는 힘이 커지기도 하고, 온도가 끓는점 이하로 낮아지면 액체 상태가 되기도 한다. 기체의 일반적인 성질을 설명하기 위해 도입한 가상의 기체를 **이상 기체**라고 한다. 이상 기체는 실제 기체와 달리 분자의 크기와 분자들끼리 주는 영향을 무시한다. 또 이상 기체는 상태 변화를 하지 않고, 기체 분자들끼리 충돌할 때 에너지 손실이 없다. 이상 기체의 압력, 부피, 온도 사이에는 그림 II-10과 같은 관계가 있다.

기체의 온도를 일정하게 유지하면서 기체의 압력을 2배, 3배,로 높이면, 부피가 $\frac{1}{2}$ 배, $\frac{1}{3}$ 배,로 감소한다. 즉, 그림 (가)와 같이 기체의 온도 T 가 일정할 때 기체의 부피 V 는 압력 P 에 반비례한다. ($V \propto \frac{1}{P}$)

기체의 부피를 일정하게 유지하면서 기체의 온도를 높이면 기체의 압력이 높아진다. 그림 (나)와 같이 기체의 부피 V 가 일정할 때 기체의 압력 P 와 절대 온도 T 는 비례한다. ($P \propto T$)

기체의 압력을 일정하게 유지하면 기체의 부피는 온도가 1°C 오를 때마다 0°C 일 때 부피의 약 $\frac{1}{273}$ 씩 증가한다. 기체의 부피가 0일 때의 온도는 약 -273°C , 즉 절대 온도 0 K이다. 그림 (다)와 같이 기체의 압력 P 가 일정할 때 기체의 부피 V 는 절대 온도 T 에 비례한다. ($V \propto T$)

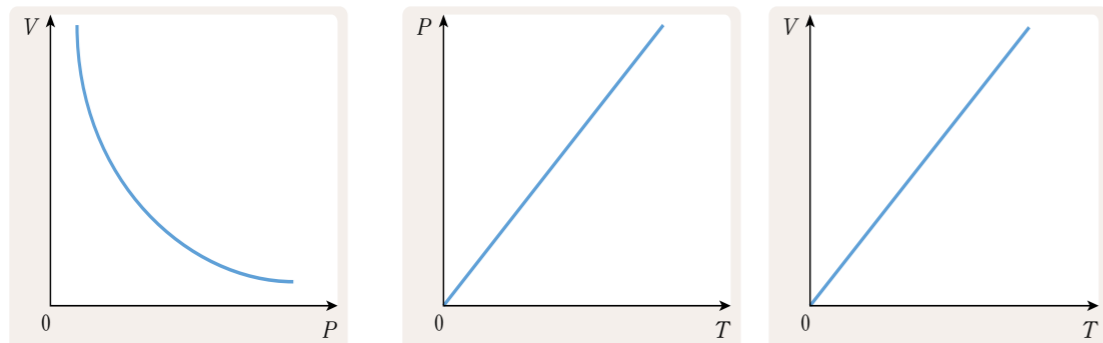


그림 II-10 이상 기체의 부피, 온도, 압력 관계

기체의 부피 V , 압력 P , 온도 T 사이의 관계를 정리하면 다음과 같다.

$$\frac{PV}{T} = \text{일정}$$

이 식을 **보일·샤를 법칙**이라고 한다.

0°C , 1 기압에서 기체 1 mol의 부피는 기체의 종류에 관계없이 22.4 L이다. 이를 보일·샤를 법칙에 적용하면 $\frac{P_0 V_0}{T_0} \approx 8.31 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ 이 되는데, 이 값을 **기체 상수 R** 라고 한다. 1 mol의 기체에 대해 $\frac{PV}{T} = R$ 로 일정하므로, n mol의 기체에 대해서는 $\frac{PV}{T} = nR$ 가 성립한다. 이를 **이상 기체 법칙**이라고 하며 다음과 같이 표현한다.

$$PV = nRT$$

이상 기체의 압력, 부피, 온도 관계를 적용하면 생활 속 다양한 현상을 설명할 수 있다. 그림 II-11의 (가)처럼 들숨일 때 가로막이 아래로 내려가 폐의 부피가 늘어나고 폐 안의 압력이 낮아져 공기가 대기에서 폐 쪽으로 이동한다. 그림 (나)처럼 날숨일 때는 반대의 과정이 일어난다.

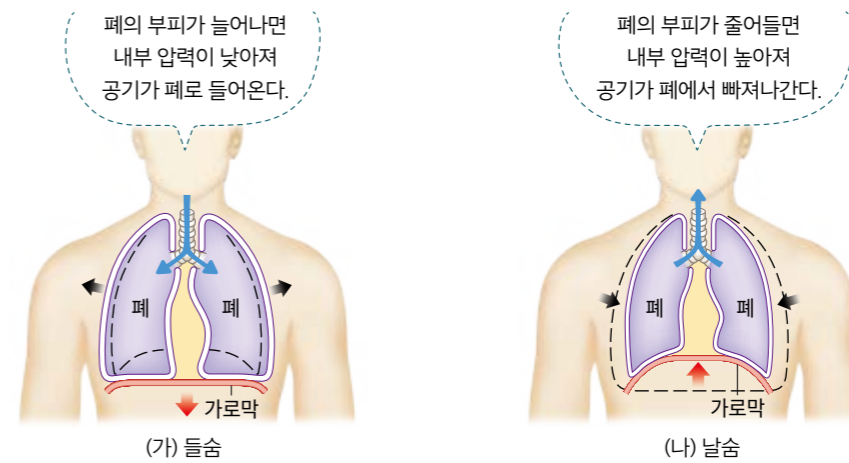


그림 II-11 호흡 운동에서 기체의 부피, 압력 관계

그림 II-12와 같은 열기구에는 공기를 가열하여 기체의 온도가 높아지면 부피가 팽창하기 때문에 밀도가 작아지는 것을 이용해 높은 곳으로 올라갈 수 있다.



그림 II-12 열기구

스스로 확인

- 1 이상 기체는 온도가 끓는점 이하로 내려가면 액체로 상태가 변한다. (○, ×)
- 2 온도가 일정할 때, 기체의 압력이 2 배가 되면 부피가 () 배가 된다. 또 압력이 일정할 때, 절대 온도가 2 배가 되면 기체의 부피는 () 배가 된다.

스스로 정리

공유 '열에 의한 물질의 변화' 단원에서 배운 내용을 확인할 수 있는 문제를 만들어 공유 플랫폼에 공유해 보자.

03

열역학 제1법칙

학습 목표 계에 가해진 열이 계의 내부 에너지를 변화시키거나 외부에 일을 할 수 있다는 것을 이해하고, 일상생활 속에서 해당하는 예를 찾을 수 있다.

가열하면 물이 밀려 올라가면서 커피 가루를 통과해 커피를 추출해 내는 도구가 있다. 물을 밀어 올리는 일을 하는 에너지는 어디서 온 것일까?



열역학 제1법칙

기체의 온도, 압력, 부피 사이에는 일정한 관계가 있다. 기체에 열을 가하면 어떤 변화가 있는지 다음 활동을 하면서 알아보자.

실험 영상



해보기

플라스크 속 기체에 열을 가할 때의 변화 관찰하기

준비물

- 둥근바닥 플라스크
- 마개
- 7자 유리관
- 실리콘 관
- 비커
- 물

1. 실리콘 관이 연결된 마개를 둥근바닥 플라스크에 끼운다.
2. 실리콘 관의 끝이 비커 속의 물에 잠기게 하고, 두 손으로 둥근바닥 플라스크를 감싸 권 상태로 물속에 잠긴 관 끝부분에서 일어나는 현상을 관찰한다.

안전 유리 기구가 깨지지 않게 주의한다.



2에서 둥근바닥 플라스크 속 공기의 온도가 어떻게 변하는지 추론해 보자.



2에서 관찰한 결과로 알 수 있는 사실을 설명해 보자.



그림 II-13의 (가)와 같이 둥근바닥 플라스크를 손으로 감싸 플라스크 속 기체에 열을 가하면, 그림 (나)처럼 공기 방울이 밀려 나오는 것을 볼 수 있다. 이는 플라스크 속 기체가 흡수한 열에너지의 일부로 인하여 기체의 온도가 높아지면서 기체의 부피가 늘어나기 때문이다. 기체의 부피가 늘어나면서 관 끝에서 공기 방울을 밀어내는 일을 하게 된다.

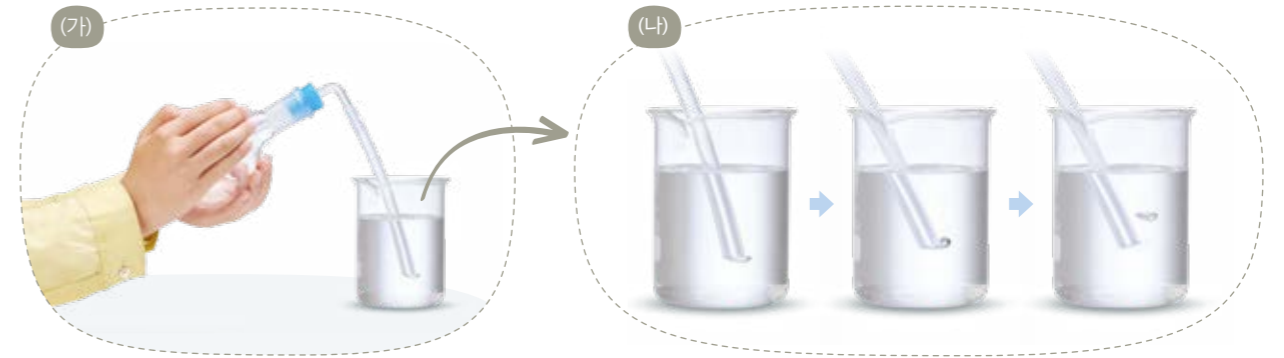


그림 II-13 열을 가하는 동안 공기 방울이 밀려 나오는 모습

기체 분자는 끊임없이 운동하고 있으므로 운동 에너지를 가지며, 분자들 사이의 상호작용으로 위치 에너지도 가진다. 이때 기체 분자들이 가지고 있는 운동 에너지와 위치 에너지의 총합을 기체의 내부 에너지라고 한다.

이상 기체의 경우 위치 에너지를 무시할 수 있으므로 이상 기체만으로 이루어진 닫힌계의 내부 에너지 U 는 기체 분자들의 운동 에너지의 총합과 같다. 온도가 높을수록 기체 분자가 활발히 움직이며 기체 분자 한 개의 평균 운동 에너지 \bar{E}_k 는 절대 온도 T 에 비례한다.

$$\bar{E}_k \propto T \rightarrow U \propto N \times T \quad (N: \text{기체 분자 개수})$$

또 기체가 열을 흡수하면 온도가 올라가면서 팽창하므로 외부에 일을 하게 된다. 즉, 닫힌계 속 기체가 흡수한 열에너지 Q 는 기체의 내부 에너지 변화량 ΔU 와 기체가 외부에 한 일 W 의 합과 같다. 이것을 열역학 제1법칙이라고 하며, 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$Q = \Delta U + W$$

* 닫힌계 외부와 물질은 출입하지 않지만 에너지는 출입하는 계이다.

기체가 한 일의 부호 계가 일을 하면 $W > 0$, 계가 일을 받으면 $W < 0$ 이다.

스스로 확인

- 1 닫힌계 속 기체의 온도가 높을수록 기체의 내부 에너지가 (크다, 작다).
- 2 기체가 흡수한 ()은/는 기체의 온도를 높이거나 기체가 외부에 ()을/를 하는 데 쓰인다.

열역학 과정

기체가 외부와 열이나 일을 주고받으면서 온도나 압력, 부피가 변하는 것을 **열역학 과정**이라고 한다. 열역학 과정에서 열역학 제1법칙은 어떻게 적용되는지 알아보자.

등압 과정 | 그림 II-14와 같이 단면적이 A 인 피스톤이 자유롭게 움직일 수 있는 실린더 속에 기체를 넣고 압력을 일정하게 유지하면서 열 Q 를 가하면 피스톤이 서서히 움직이면서 외부에 일을 한다. 이와 같이 기체의 압력이 일정하게 유지되는 열역학 과정을 **등압 과정**이라고 한다.

피스톤이 ΔL 만큼 움직여 기체의 부피가 변하면서 외부에 가한 힘이 F 이면 기체가 외부에 한 일 $W = F\Delta L$ 이다. 이때 $F = PA$ 이고, 기체의 부피 변화량 $\Delta V = A\Delta L$ 이므로 기체가 하는 일을 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$W = P\Delta V$$

그림 II-15는 등압 과정을 압력-부피 그래프로 나타낸 것이다. 기체가 한 일은 그래프 아랫부분의 넓이와 같다.

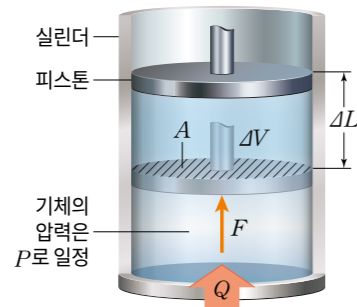


그림 II-14 등압 과정

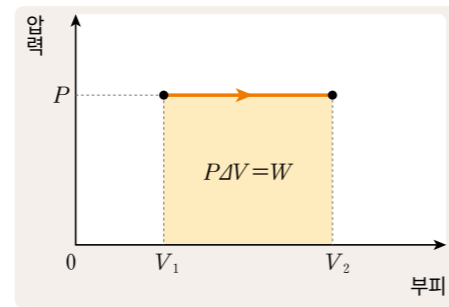


그림 II-15 등압 과정의 압력-부피 그래프

보일·샤를 법칙에서 $\frac{PV}{T}$ 는 일정하므로 부피가 팽창하는 등압 과정에서는 실린더 속 기체의 온도가 높아진다. 따라서 기체의 내부 에너지가 증가한다. 이때 내부 에너지 증가량을 ΔU 라고 하면 등압 과정에서 열역학 제1법칙은 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$Q = \Delta U + W = \Delta U + P\Delta V$$

등적 과정 | 그림 II-16과 같이 피스톤을 고정해 기체의 부피를 일정하게 유지하면서 실린더 속 기체에 열 Q 를 가하면 기체의 내부 에너지가 증가한다. 이와 같이 기체의 부피가 일정하게 유지되는 열역학 과정을 **등적 과정**이라고 한다.

등적 과정에서 기체의 부피는 변하지 않으므로 기체가 외부에 하는 일 $W=0$ 이고, $\frac{PV}{T}$ 는 일정하므로 기체의 온도가 높아지면서 압력이 높아진다. 따라서 등적 과정에서 열역학 제1법칙은 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$Q = \Delta U$$

등적 과정에서는 기체가 흡수한 열만큼 기체의 내부 에너지가 증가한다. 그림 II-17은 등적 과정을 압력-부피 그래프로 나타낸 것이다.

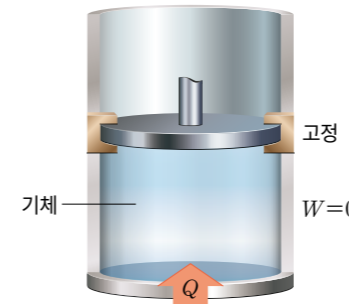


그림 II-16 등적 과정

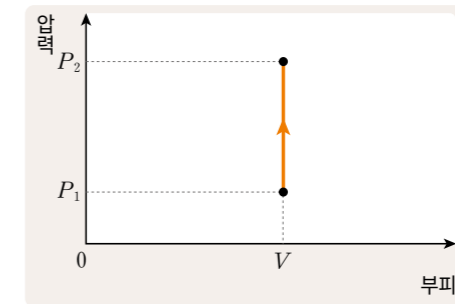


그림 II-17 등적 과정의 압력-부피 그래프

등온 과정 | 실린더 속 기체의 온도를 일정하게 유지하면서 기체에 열을 서서히 가하면 기체가 팽창하면서 외부에 일을 한다. 이와 같이 기체의 온도가 일정하게 유지되는 열역학 과정을 **등온 과정**이라고 한다.

기체의 온도가 일정하므로 기체의 내부 에너지가 변하지 않고, $\frac{PV}{T}$ 는 일정하므로 부피가 팽창하면서 압력이 낮아진다. 따라서 등온 과정에서 열역학 제1법칙은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q = W$$

등온 과정에서는 기체가 흡수한 열을 모두 외부에 일을 하는 데 사용한다. 그림 II-18은 등온 과정을 압력-부피 그래프로 나타낸 것이다. 기체가 한 일은 그래프 아랫부분의 넓이와 같다.

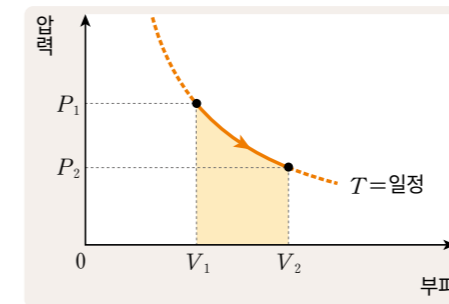


그림 II-18 등온 과정의 압력-부피 그래프



그림 II-19 스쿼시와 스쿼시공

열역학 제1법칙과 관련한 현상

우리 주위의 다양한 현상을 열역학 과정으로 설명할 수 있다. 그림 II-19와 같이 스쿼시는 벽에서 되튀어 오는 공을 라켓으로 받아 치는 운동이다. 공이 벽과 라켓에 충돌할 때마다 공 내부의 기체는 충돌이나 마찰에 따른 열의 일부를 흡수하기 때문에 기체의 내부 에너지가 증가하면서 압력이 높아져 공이 점점 팽팽해진다.

그림 II-20의 자동차 타이어에도 열역학 과정이 작용한다. 자동차의 주행 과정에서 지면과의 마찰로 타이어에 열이 가해지는데, 이 열의 일부를 타이어 속 공기가 흡수한다. 이에 따라 타이어 속 공기의 부피와 내부 에너지가 증가하면서 타이어가 점점 팽창하므로, 이를 감안해 타이어에 적정량의 공기를 주입해야 한다.



그림 II-20 적정량의 공기를 채운 타이어

이와 같이 열역학 과정으로 해석할 수 있는 다양한 현상에서 열역학 제1법칙이 항상 성립한다.

각 과정에서 기체에 전달된 열에너지는 기체의 내부 에너지 변화나 기체가 외부에 한 일 등으로 전환될 뿐 에너지의 총량은 변하지 않는다. 즉, 열역학 제1법칙은 에너지 보존 법칙의 다른 표현이다.

스스로 확인

- 1 기체가 흡수한 열이 모두 내부 에너지로 전환되는 열역학 과정은 등적 과정이다. (○, ×)
- 2 어떤 기체에 1000 J의 열을 가했더니 기체의 내부 에너지가 700 J만큼 증가했다. 이 기체가 한 일은 () J이다.

스스로 정리

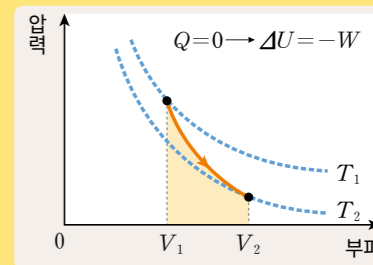
공유 열을 가했을 때 나타나는 변화가 어떤 열역학 과정에 해당하는지를 구별하는 알고리즘 순서도를 만들어 공유 플랫폼에 공유해 보자.

단열 과정과 적란운

적란운은 여름철 세찬 소나기를 내리게 하는 구름이다. 적란운이 만들어지는 과정은 단열 과정으로 설명할 수 있다. 지표면 근처에서 가열된 공기 덩어리가 빠르게 상승하면서 주변과 열을 주고받지 않고 팽창하면 공기의 온도가 낮아진다. 이때 공기에 포함된 수증기가 물방울로 응결해 적란운을 만든다. 적란운은 강한 상승 기류에 의해 수직으로 높게 만들어지는데, 크게 발달한 적란운은 집중 호우의 원인이 되기도 한다.

단열 과정

기체가 열의 출입 없이 외부와 상호작용 하는 열역학 과정을 단열 과정이라고 한다. 단열 과정 중에서 기체의 부피가 팽창하는 것을 단열 팽창이라고 한다. 단열 팽창 할 때 기체는 외부에 일을 하며, 내부 에너지가 감소해 기체의 온도가 낮아진다.



▲ 단열 팽창의 압력-부피 그래프

글쓰기

1. 조사하기

핀 현상이 나타나는 원리를 알아보고, 우리나라에서 일어나는 핀 현상을 조사해 보자.



2. 과학적 글쓰기

봄철에 영서 지방에서 산불을 조심해야 하는 까닭을 단열 과정과 관련지어 열역학적 단계별로 공기의 온도 변화의 관점에서 써 보자.



적란운

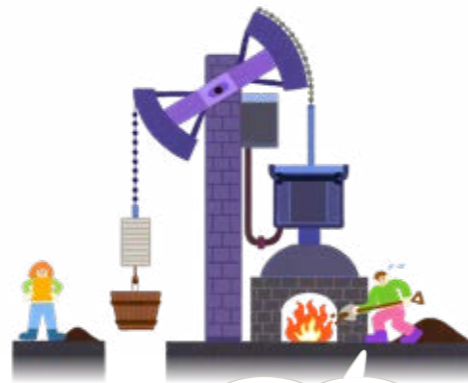
적란운은 단열 팽창으로 생기는 구름이다.

04

열기관과 열효율

학습 목표 다양한 열기관에서의 순환 과정과 열효율을 설명하고, 열기관의 개발과 활용이 인류 공동체에 미친 영향을 평가할 수 있다.

지하 깊은 곳의 석탄을 끌어 올리는 데 사용한 초기 증기 기관은 효율이 좋지 않았다고 한다. 증기 기관의 효율이란 어떤 의미일까?



석탄을 끌어 올리려고 석탄을 이렇게 많이 쓰다니!

열기관

자동차의 엔진은 연료를 태워 발생한 기체가 열역학 과정을 통해 동력을 만들어 자동차를 움직이게 한다. 자동차의 엔진과 같이 열역학 과정을 이용해 열에너지를 역학적 일로 바꿔 주는 장치를 **열기관**이라고 한다. 그림 II-21은 다양한 운송수단에 쓰이는 열기관이다.

1712년 뉴커먼(Newcomen, T., 1663~1729)이 증기 기관을 발명한 뒤 와트(Watt, J., 1736~1819)가 개량한 증기 기관이 널리 사용되면서 산업이 급격히 발전했다. 이후 인류는 꾸준히 열기관을 개발했고, 오늘날에도 자동차, 선박, 항공기 등에 필요한 동력을 얻기 위해 다양한 열기관을 이용한다.

그림 II-21 다양한 열기관



그림 II-22는 열기관을 통해 역학적 일을 얻는 과정을 모식도로 표현한 것이다. 고온의 외부 열원이 열기관에 열에너지 Q_H 를 공급하면 열기관 속 기체의 내부 에너지가 증가하면서 외부에 일 W 를 한다. 그리고 남은 열에너지 Q_L 를 저온의 열원으로 방출하는 과정을 거쳐 원래 상태로 되돌아온다. 열기관은 이러한 순환 과정을 반복하면서 열에너지를 일로 전환한다.

한 번의 순환 과정을 거치면 열기관은 처음 상태로 되돌아가므로 전체 내부 에너지의 변화가 없다. 따라서 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$\Delta U = Q - W = 0$$

$$\therefore W = Q_H - Q_L$$

즉, 열역학 제1법칙에 따라 열기관이 외부에 한 일은 열기관이 흡수한 열에너지와 외부로 방출한 열에너지의 차이와 같다.

스스로 확인

- 1 열기관은 열역학 과정을 통해 일을 열에너지로 바꾸는 장치이다. (○, ×)
- 2 열기관이 흡수한 열에너지와 방출한 열에너지의 차이는 열기관이 외부에 ()와/과 같다.

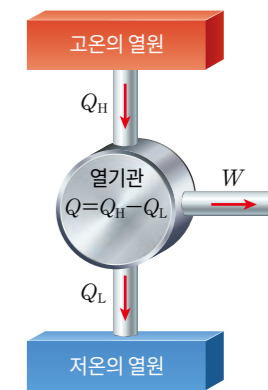


그림 II-22 열기관 모식도

*** 열원**
열에너지가 매우 많아 외부(계)로 열에너지가 빠져나가거나 들어와도 온도 변화가 거의 없는 열에너지 저장소이다.





스털링 엔진

열기관의 순환 과정과 열효율

그림 II-23과 같은 태양열 발전에서는 태양열로 스텔링 엔진을 작동해 전기 에너지를 생산하는 데 필요한 역학적 일을 얻는다. 스텔링 엔진은 온도 차이로 작동해 비교적 높은 열효율을 내는 열기관이다. 다음 활동을 하면서 스텔링 엔진은 어떤 과정을 통해 외부에 일을 하는지 알아보자.

그림 II-23 태양열 발전에 사용하는 스텔링 엔진

실험 영상



준비물

- 스텔링 엔진
- 비커(250 mL)
- 뜨거운 물(40 °C ~ 60 °C)
- 보안경
- 면장갑

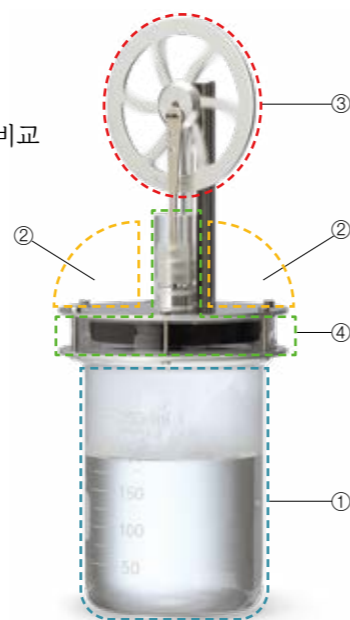
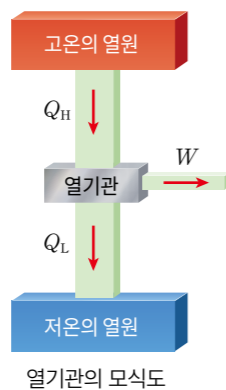
안전

뜨거운 물이 담긴 비커를 다룰 때에는 보안경과 면장갑을 착용하고, 비커가 깨지지 않게 주의한다.

해보기

스털링 엔진 순환 과정 알아보기

1. 뜨거운 물이 담긴 비커 위에 스텔링 엔진을 올린다.
2. 스텔링 엔진이 작동을 시작하면, 열기관의 모식도와 비교해 보면서 스텔링 엔진이 움직이는 과정을 관찰한다.



- 스텔링 엔진에서 고온의 열원과 저온의 열원 역할을 하는 곳은 ①~④ 중 각각 어디인가?
✍
- 스텔링 엔진에서 기체의 순환 과정이 일어나는 곳은 ①~④ 중 어디인가?
✍
- 스텔링 엔진이 한 일은 어떤 형태로 나타나는가?
✍

연계 물리학

열에너지가 역학적 에너지로 전환되는 과정의 효율을 '힘과 에너지' 단원에서 배웠다.

스털링 엔진 속 기체는 고온의 열원으로부터 열에너지를 얻어 피스톤을 움직이는 일을 하고, 나머지 열에너지를 저온의 열원으로 방출한다. 이 과정에서 기체의 압력과 부피는 77 쪽 그림 II-24와 같은 순환 과정을 거친다. 이 그래프로 둘러싸인 부분의 면적은 스텔링 엔진이 한 번 순환하는 동안 한 일과 같다.

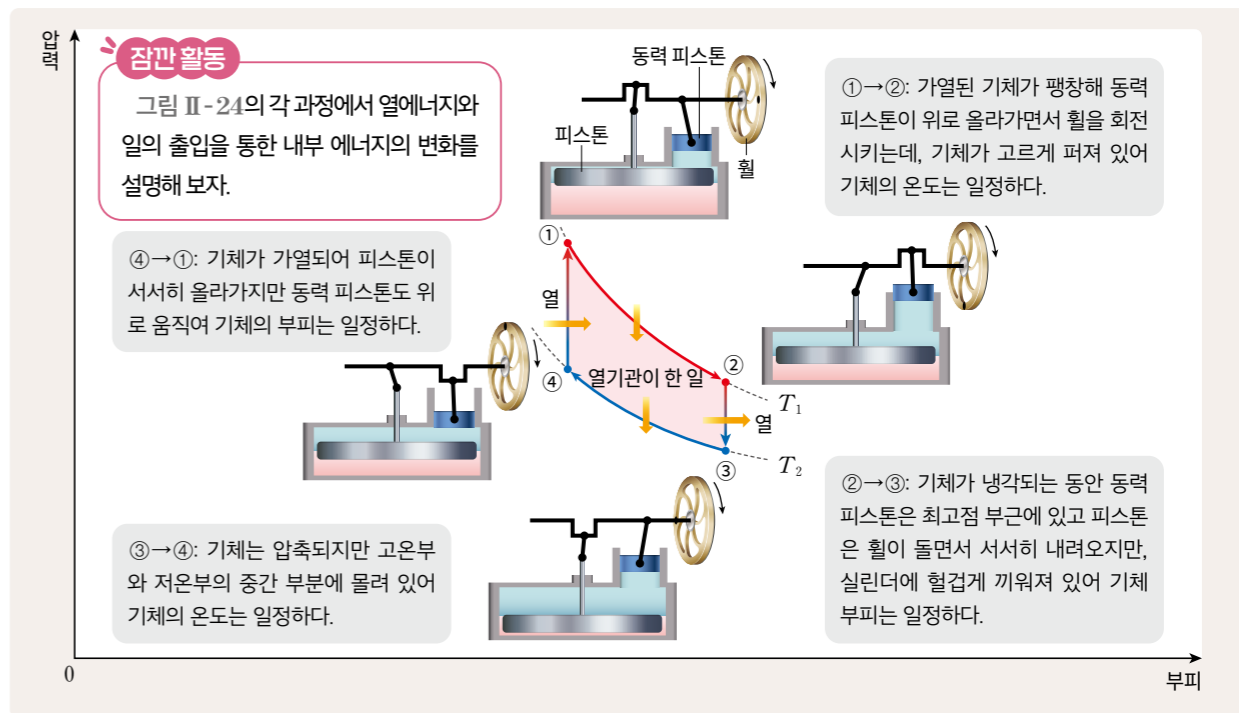


그림 II-24 스텔링 엔진의 열역학 과정

이때 공급한 열에너지에 대한 외부에 한 일의 비율을 **열효율**이라고 한다. 공급한 열에너지를 Q_H , 한 일을 W , 외부에 방출한 열에너지를 Q_L 이라고 하면, 열효율 e 는 다음과 같다.

$$e = \frac{W}{Q_H} = \frac{Q_H - Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$$

1824년 프랑스 과학자 카르노(Carnot, N. L. S., 1796~1832)는 이상 기체를 사용하고 열효율이 가장 높은 이상적인 열기관인 **카르노 기관**을 제시했다. 카르노 기관의 한 순환 과정을 압력-부피 그래프로 나타내면 그림 II-25와 같다.

카르노 기관은 절대 온도가 T_1 인 고온의 열원에서 열에너지 Q_1 을 공급받아 외부에 일을 하고 절대 온도가 T_2 인 저온의 열원으로 열에너지 Q_2 를 방출한다. 이때 $\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1}$ 이므로 카르노 기관의 열효율 $e_{\text{카르노}} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$ 이다.

스스로 확인

- 1 어떤 열기관이 한 번의 순환 과정 동안 고온의 열원에서 2000 J의 열에너지를 공급받아 일을 하고 1600 J의 열에너지를 저온의 열원으로 방출한다. 이 열기관의 열효율은 ()이다.
- 2 ()은/는 동일한 열원을 사용할 때 열효율이 최대인 이상적인 열기관이다.

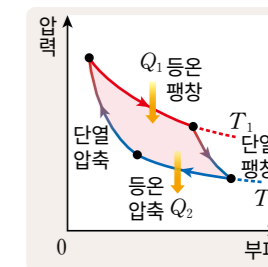


그림 II-25 카르노 기관의 순환 과정

연계 물리학

카르노 기관에서 $\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1}$ 인 까닭은 81 쪽 '엔트로피와 카르노 기관'을 통해 알 수 있다.

열기관이 인류에 미친 영향

열기관의 발명과 발전은 인류에 어떤 영향을 미쳤을까? 다음 활동을 하면서 열기관의 개발과 활용이 인류 공동체에 미친 영향을 평가해 보자.

다시!

탐구

정보 수집과 기술 / 증거에 근거한 평가 / 다양한 매체를 통한 의사소통

문제 해결 능력 | 의사 결정 능력

열기관이 인류에 미친 영향 평가하기

목표

열기관의 발전에 따른 긍정적 효과와 부정적 효과를 조사하고, 이를 바탕으로 하여 열기관의 발전이 인류에 미친 영향을 평가할 수 있다.

과정

1. 모둠별로 열기관의 열효율을 높이기 위해 인류는 어떤 노력을 해 왔으며, 이 과정에서 나타난 긍정적, 부정적 효과에는 어떤 것이 있는지 조사한다.
2. 열기관을 개발하고 활용하는 것이 인류 공동체에 미친 영향을 평가하고, 인류가 앞으로 나아가야 할 방향을 제안한다.
3. 과정 2의 내용을 바탕으로 하여 발표 자료를 만들고, 모둠별로 발표한다.

준비물

- 스마트 기기

역할 나누기

3~5 명을 한 모둠으로 하고, 역할을 나눠 보자.

- 조사: _____
- 발표 자료 제작: _____
- 발표: _____

열기관 덕분에 인류 문명이 발전했지만, 열기관을 사용하기 위해 많은 양의 화석 연료가 필요했습니다. 이는 지구 온난화와 대기오염과 같은 환경 문제를 일으켰습니다. 이제라도 열기관 사용을 최소화하고, 지구 환경을 지키는 것에 온 인류가 힘을 모아야 합니다.



정리

1. 각 모둠에서 발표한 내용을 정리해 보자.

모둠	내용	발표 내용에 대한 자신의 생각

2. 공유 가장 인상적인 발표를 한 모둠을 선택하고, 그 까닭을 써서 공유 플랫폼에 공유해 보자.

스스로 평가

- | 지식·이해 | 열기관의 효율을 높이기 위한 인류의 노력을 설명할 수 있는가? ☆☆☆
- | 과정·기능 | 다양한 매체를 통해 열기관의 활용이 인류에 미친 영향을 조사했는가? ☆☆☆
- | 가치·태도 | 열기관이 인류 공동체에 미친 영향을 평가하는 과정에서 자연과 과학이 모두 소중한다는 것을 느꼈는가? ☆☆☆

탐구 후기



인류는 열기관을 사용해 물건을 대량으로 생산하고, 먼 곳까지 빠르게 운반할 수 있게 되었다. 이는 기존의 농업 중심 사회를 공업 중심 사회로 바꾸어 생활을 더욱 풍요롭게 만들었다. 또 열기관은 화력 발전소에서 전기를 생산하는 데에도 사용되어 인류 문명을 발전시키는 데 큰 역할을 했다.

대부분의 열기관은 화석 연료를 태워 작동한다. 이에 따라 열기관을 사용하는 과정에서 환경 오염 물질이 만들어지고, 온실 기체를 방출해 지구 온난화를 가속화하는 데 영향을 미쳤다. 이러한 문제점들을 개선하기 위해 인류는 열기관의 효율을 높이는 방법을 끊임없이 연구해 왔고, 열기관을 대체할 수 있는 기관에 대한 연구도 활발하게 진행 중이다.

연계 통합과학2

에너지 효율의 의미와 중요성을 '환경과 에너지' 단원에서 배웠다.

스스로 확인

- 1 열기관의 발달은 대량 생산과 운송을 가능하게 하여 인류 문명 발전에 영향을 미쳤다. (○, ×)
- 2 대부분의 열기관을 사용하는 과정에서 환경 오염 물질이 만들어지고 온실 기체가 방출된다. (○, ×)

스스로 정리

공유 만약 모든 열기관이 사라진다면 어떤 일이 일어날지 상상해 글로 써 보고, 이를 공유 플랫폼에 공유해 보자.

05

비가역 현상과 엔트로피

학습 목표 열의 이동, 기체의 확산과 같은 비가역 현상을 엔트로피를 이용해 설명할 수 있다.

“한번 었지른 물은 다시 주워 담지 못한다.”라는 속담이 있다. 이처럼 돌이킬 수 없는 현상에는 무엇이 있을까?



비가역 현상

그림 II-26의 (가)와 같이 물풍선이 터지면서 사방으로 흩어진 물은 아무리 기다려도 다시 모이지 않는다. 또 그림 (나)와 같이 불에 탄 장작은 저절로 타기 전으로 돌아가지 않는다. 대부분의 자연 현상은 항상 일정한 방향으로 변화가 일어나며 반대 방향으로서는 저절로 일어나지 않는다. 이처럼 변화의 방향이 특정한 방향성을 갖는 것을 **비가역 현상**이라고 한다.



그림 II-26 비가역 현상의 예

열이 이동하는 것도 일정한 방향성이 있는 비가역 현상이다. 그림 II-27과 같이 고온인 물체 A와 저온인 물체 B를 접촉하면 열은 항상 고온인 A에서 저온인 B로 이동한다. 열이 이동하면서 A는 온도가 점점 낮아지고, B는 온도가 점점 높아지며, 시간이 지나면 A, B의 온도가 같아지는 열평형 상태가 된다. 그리고 A, B가 처음의 온도로 돌아가는 일은 저절로 일어나지 않는다.



그림 II-27 열의 이동과 열평형 상태

열의 이동과 엔트로피

열이 항상 온도가 높은 물체에서 온도가 낮은 물체로 이동하는 것처럼 자발적으로 일어나는 비가역 현상의 방향성을 보다 정량적으로 이해하기 위해서는 **엔트로피**라는 개념이 필요하다. 엔트로피는 계의 열역학적 상태를 나타내는 물리량의 하나이다. 클라우지우스는 절대 온도가 T 인 열역학적 계가 Q 만큼 열을 흡수할 때 그 계의 엔트로피 증가량 ΔS 를 다음과 같이 정의했다.

$$\Delta S = \frac{Q}{T}$$

클라우지우스는 고립계에서 열역학적 변화는 고립계 전체의 $\Delta S > 0$ 인 방향으로만 일어난다고 설명했다. 이를 통해 열의 이동의 방향성을 설명할 수 있다.

그림 II-28과 같이 절대 온도가 T_A, T_B 인 두 열원 A, B를 접촉한 경우를 살펴보자. 이때 $T_A > T_B$ 이고, 열은 A, B 사이에서만 이동한다. 그림 (가)에서처럼 열이 고온에서 저온으로 Q 만큼 이동한다면 A, B의 전체 엔트로피 변화량은 $\Delta S > 0$ 이므로 저절로 일어날 수 있다. 한편 그림 (나)에서처럼 열이 저온에서 고온으로 Q 만큼 이동한다면 A, B의 전체 엔트로피 변화량은 $\Delta S < 0$ 이므로 저절로 일어날 수 없다. 즉, 열은 엔트로피가 증가하는 방향인 고온에서 저온으로 이동하는 것이다.

(가)		(나)	
A(T_A)	B(T_B)	A(T_A)	B(T_B)
Q 만큼 감소 (-Q)	Q 만큼 증가 (+Q)	Q 만큼 증가 (+Q)	Q 만큼 감소 (-Q)
엔트로피	변화	엔트로피	변화
ΔS_A	$\Delta S_A = -\frac{Q}{T_A}$	ΔS_A	$\Delta S_A = +\frac{Q}{T_A}$
ΔS_B	$\Delta S_B = +\frac{Q}{T_B}$	ΔS_B	$\Delta S_B = -\frac{Q}{T_B}$
전체 ($\Delta S_A + \Delta S_B$)	$\Delta S = Q\left(-\frac{1}{T_A} + \frac{1}{T_B}\right) > 0$	전체 ($\Delta S_A + \Delta S_B$)	$\Delta S = Q\left(\frac{1}{T_A} - \frac{1}{T_B}\right) < 0$

그림 II-28 열의 이동과 엔트로피 변화

스스로 확인

- 열이 이동하는 것은 비가역 현상이 아니다. (○, ×)
- 자연에서는 엔트로피가 (증가, 감소)하는 방향으로 열역학적 변화가 일어난다.

클라우지우스
(Clausius, R. J. E., 1822~1888)
독일의 물리학자. 열역학 제2법칙을 수립하고, 엔트로피의 개념을 창안해 열역학 이론과 분자론 발전에 큰 공헌을 했다.

*** 고립계**
외부와 물질 및 에너지 교환이 불가능한 계이다.

엔트로피와 카르노 기관
카르노 기관의 각 단계에서 엔트로피 변화는 다음과 같다.
• 등온 팽창: $+\frac{Q_1}{T_1}$
• 단열 팽창: $0(Q=0)$ 이므로
• 등온 압축: $-\frac{Q_2}{T_2}$
• 단열 압축: $0(Q=0)$ 이므로
카르노 기관은 한 번 순환하는 동안 엔트로피 변화의 합이 0인 이상적인 열기관이므로 $\frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} = 0$ 에서 $\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1}$ 이다.

볼츠만
(Boltzmann, L. E., 1844~1906)
독일의 물리학자. 볼츠만 분포를 도입하고 엔트로피 공식을 발견해 통계 역학과 열역학의 기초를 세웠다.

기체의 확산과 엔트로피

볼츠만은 열 현상이 한 방향으로만 일어나는 까닭이 계를 이루는 수많은 구성 입자가 무질서한 운동을 하기 때문인 것으로 생각했다. 이를 바탕으로 엔트로피를 새롭게 해석했다. 즉, 엔트로피는 무질서의 척도이며, 자연에서 자발적으로 일어나는 변화는 확률이 높은 방향, 즉 무질서도가 증가하는 방향으로 진행된다고 설명했다. 볼츠만이 설명한 엔트로피의 의미를 다음 활동을 하면서 알아보자.

디지털
해보기

탐구 능력

볼츠만이 설명한 엔트로피의 의미 알아보기

준비물

- 뚜껑이 있는 상자
- 종이
- 스마트 기기
- 가위
- 사인펜

1. 종이를 같은 크기로 잘라 만든 카드에 앞, 뒤를 표시하고 상자에 넣는다.
2. 상자의 뚜껑을 닫고 흔든 뒤, 뚜껑을 열고 각 카드가 보이는 면의 조합을 찾아 ○ 표시한다.

조합	1회	2회	3회	4회	5회	6회	7회	8회
(앞, 앞, 앞, 앞)								
(앞, 앞, 앞, 뒤)								
(앞, 앞, 뒤, 뒤)								
(앞, 뒤, 뒤, 뒤)								
(뒤, 뒤, 뒤, 뒤)								

3. 2를 7 회 더 반복한다.

4. **공유** 결과를 온라인 플랫폼에 공유하고 공유한 결과를 모은 뒤, 경우의 수에 따라 나누어 각 경우의 수에 대한 확률을 계산한다.

- 상자를 흔들었을 때 나올 수 있는 확률이 가장 높은 조합은 무엇인지 설명해 보자.
- 카드가 모두 한 면만 보일 때와 다른 면이 섞여 보일 때 중 무질서도가 더 높은 상태는 어느 것인가?

상자를 흔들어 4 장의 카드에서 앞면 또는 뒷면이 나오는 경우의 수는 총 $2^4=16$ 이다. 이 중에서 모두 앞면이나 뒷면일 경우의 수, 즉 질서 있는 상태일 경우의 수는 2이고, 앞면과 뒷면이 섞여 있을 경우의 수, 즉 무질서한 상태일 경우의 수는 14이다. 따라서 무질서한 경우의 확률이 크다. 카드의 수가 많아지면 질서 있는 상태일 확률은 더 작아지고, 무질서한 상태일 확률은 더 커진다.

그림 II-29의 (가)와 같이 밀폐된 상자의 A 지점에 입자 4 개로 이루어진 향수를 한 방울 떨어뜨렸다. 이 계를 그림 (나)와 같이 2 개의 구역 ㉠, ㉡으로 나누어 생각해 보자. 향수 입자는 자유롭게 이동할 수 있으므로 향수 입자의 크기를 무시하면 입자 1 개가 ㉠에 있을 확률은 $\frac{1}{2}$ 이다. 따라서 4 개의 입자가 두 구역 중 ㉠에 모여 있을 확률은 $(\frac{1}{2})^4$ 이다. N 개의 입자가 한 구역에 모여 있을 확률은 $(\frac{1}{2})^N$ 이므로, 입자의 수가 매우 많아지면 모든 입자들이 원래 있던 곳으로 모일 확률은 0에 가까워진다.

한편 확률이 가장 높은 상태는 두 구역에 각각 같거나 비슷한 수의 입자가 들어 있는 경우이다. 자연 현상은 자발적으로 확률이 가장 높은 상태로, 즉 엔트로피가 증가하는 방향으로 변화가 진행된다. 따라서 향수 입자는 계 내에서 골고루 섞이고 확산되며, 처음 있던 곳으로 저절로 돌아가지 않는다.

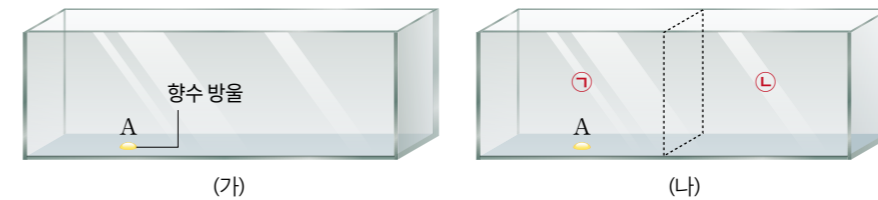


그림 II-29 밀폐된 상자에서 향수 입자의 이동

열의 이동이나 기체의 확산과 같은 자연 현상의 방향성은 **열역학 제2법칙**으로 설명하며, 열역학 제2법칙은 다음과 같이 표현할 수 있다.

열역학 제2법칙의 여러 가지 표현

- 고립계에서 입자들은 엔트로피가 증가하는 방향으로 변화가 일어나며, 그 반대 방향으로의 변화가 일어나지 않는다.
- 모든 자연 현상은 무질서한 정도가 증가하는 방향으로 일어난다.
- 두 물체가 접촉해 있을 때 열은 온도가 높은 물체에서 낮은 물체로 자발적으로 이동한다.

스스로 확인

- 1 기체의 확산은 엔트로피가 (증가, 감소)하는 방향으로 발생한다.
- 2 볼츠만의 엔트로피 개념은 무질서의 척도를 의미한다. (○, ×)
- 3 ()은/는 자연 현상의 방향성을 설명하는 법칙이다.

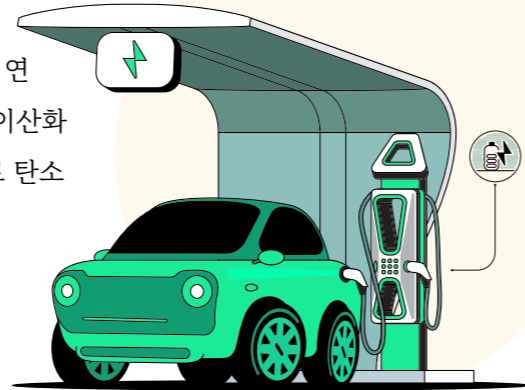
스스로 정리

공유 주변에서 볼 수 있는 여러 가지 현상을 엔트로피와 관련지어 설명하는 네 칸 만화로 그려 공유 플랫폼에 공유해 보자.

내연 기관 자동차와 전기 자동차

내연 기관 자동차는 가솔린, 디젤, 엘피지(LPG) 등 화석 연료가 연소할 때의 폭발력을 이용해 열기관을 구동하므로 이산화탄소를 배출할 수밖에 없다. 기후 변화에 대한 위기의식으로 탄소 중립화에 노력을 기울이는 가운데 내연 기관 자동차를 전기 자동차로 전환해야 한다는 목소리가 높아지고 있다.

환경 오염 문제를 해결하기 위해 내연 기관 자동차를 전기 자동차로 전환해야 할까?



1 조사

모둠별로 신문 사설이나 연구 자료 등을 조사해 내연 기관 자동차를 전기 자동차로 빠르게 전환해야 한다는 주장과 전환 속도를 조절해야 한다는 주장의 근거를 정리해 보자.



전기 자동차로 빠르게 전환해야 한다.

- 화석 연료가 점차 고갈되고 있다.
- 지구 온난화에 큰 영향을 미치는 이산화 탄소는 운송 수단에서 가장 많이 배출된다.
- 세계적 환경 규제에 맞 맞추기 위해서는 전기 자동차로의 전환이 시급하다.
- 많은 기업과 국가에서 전기 자동차 기술을 개발 중이므로, 우리도 경쟁력을 높여야 한다.

전기 자동차로의 전환 속도를 조절해야 한다.

- 130여 년을 이어 온 내연 기관 자동차에 비해 전기 자동차의 안전성과 효율성은 아직 보장하기 어렵다.
- 전기 자동차 전지를 만드는 과정에서 탄소 배출량을 더욱 세밀하고 공정하게 비교해야 한다.
- 전기 자동차 외에 효율적인 다른 방안이 있을 지에 대해서도 검토해 보아야 한다.



2 토의

모둠별로 두 주장 중 한쪽의 입장을 정하고, 토론 준비를 해 보자.

우리 모둠의 주장

내연 기관 자동차를 전기 자동차로 빠르게 전환해야 한다.

근거 1

전기 자동차는 내연 기관 자동차와 달리 이산화 탄소를 배출하지 않으므로 친환경적이다.

예상 반박

전기 자동차를 운행하고 제작하는 과정과 전기 자동차 주행에 필요한 전기를 생산하는 단계에서 발생하는 이산화 탄소 배출량도 고려해야 한다.

대응

전기 자동차에 필요한 전기를 생산할 때 신재생 에너지를 사용해 이산화 탄소 배출을 줄일 수 있다.

근거 2

전지 기술 발전, 전기 구동 개발 등의 기술 발전으로 전기 자동차의 에너지 효율이 높아지고 있다.

3 토론

입장이 다른 모둠끼리 짝을 지어 규칙을 정하고, 토론해 보자.

1. 토론 규칙을 정한다.

토론 규칙 예시

1 인당 발언 시간	1 분	전체 토론 시간	15 분
토론 시 금지 사항	<ul style="list-style-type: none"> • 상대방의 말을 중간에 끊지 않는다. • 주제에서 벗어나는 발언을 하지 않는다. 		
기타 규칙	<ul style="list-style-type: none"> • 1 분 중 남은 발언 시간은 다른 발언을 할 때 활용할 수 있다. • 안전에 따라 발언 시간을 조절해 줄 것을 사회자에게 요청하면, 사회자는 적절히 판단해 조절할 수 있다. 		

2. 정한 규칙에 따라 토론을 해 보자. 갈등이 발생할 경우에는 양쪽의 입장을 모두 고려해 서로 수용할 수 있을 만한 합리적인 대안을 제시해 보자.



전기 자동차로 빠르게 전환하는 것에 반대하는 발언을 해 주세요.

○○신문 내용을 보면, 전기 자동차의 폐전지 처리가 중요한 환경 문제라고 합니다. 따라서 폐전지의 재활용 기술 개발과 효과적인 규제가 필요합니다.

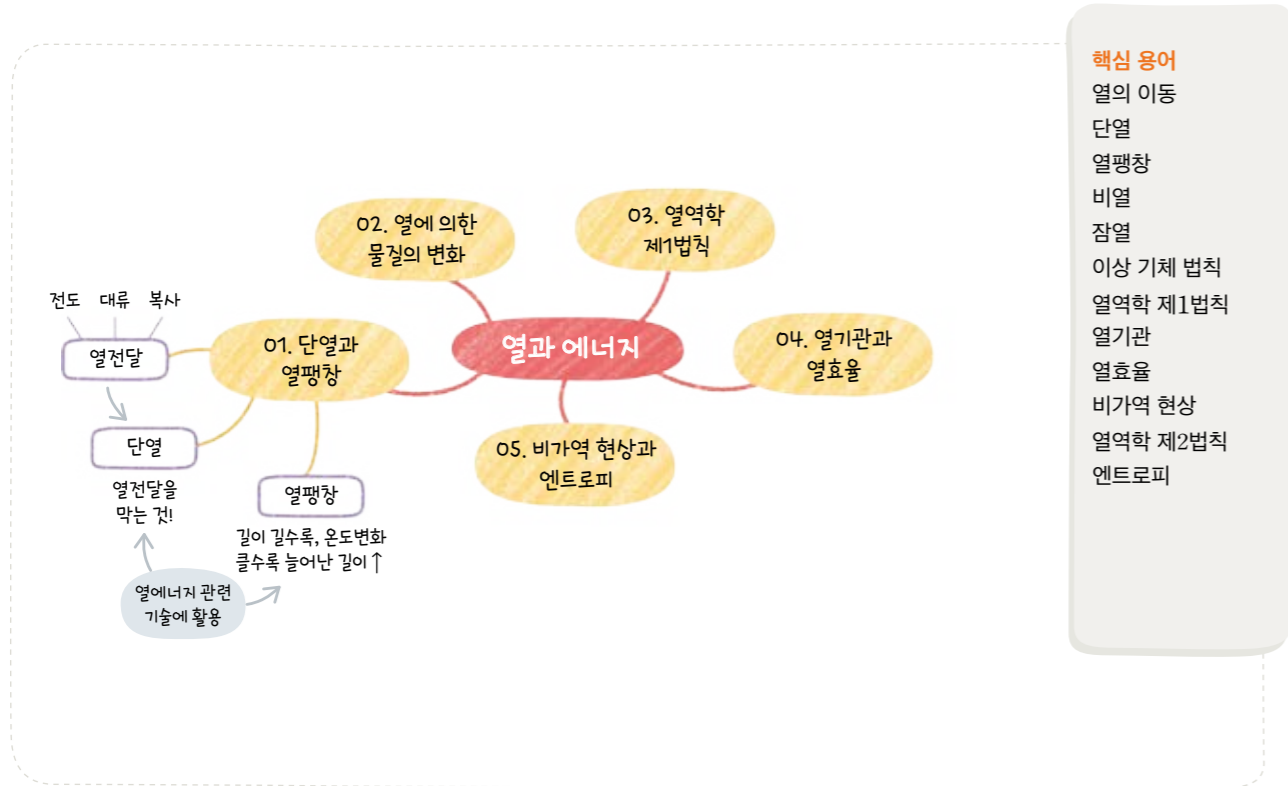
4 평가

토론에 참여하지 않을 경우, 다른 모둠의 토론을 들으며 기준에 따라 평가해 보자.

평가 기준	___ 모둠	___ 모둠	___ 모둠
토론 규칙을 잘 지켰는가?			
주장에 대한 근거가 타당하고, 자료가 충분한가?			
다른 주장에 대해 포용적인 태도로 토론에 참여했는가?			
토론 규칙을 정하고 양쪽이 수용할 수 있을 만한 대안을 제시하는 데 적극적인 태도로 참여했는가?			
합계			

(3 점: 매우 잘함, 2 점: 잘함, 1 점: 보통)

공유 핵심 용어를 모두 포함해 생각 그물을 완성하고, 공유 플랫폼에 공유해 보자.



핵심 용어
 열의 이동
 단열
 열팽창
 비열
 잠열
 이상 기체 법칙
 열역학 제1법칙
 열기관
 열효율
 비가역 현상
 열역학 제2법칙
 엔트로피

실력 확인하기

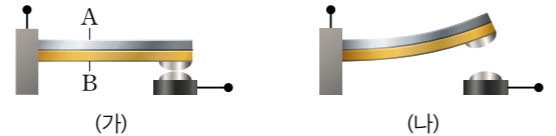
01 표는 건물의 벽 A, B의 열전도도와 두께, 단면적을 나타낸 것이다.

구분	A	B
열전도도	k	$2k$
두께	$2d$	$5d$
단면적	A	A

A, B의 단열 성능을 비교한 다음 설명의 ㉠~㉢에 알맞은 말을 쓰시오.

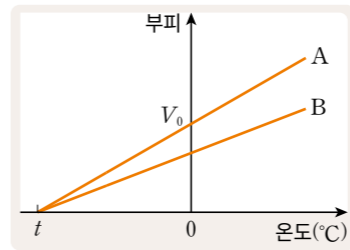
만약 A, B의 두께가 같다면 같은 시간 동안 벽을 통해 전도되는 열량은 A가 B보다 (㉠). 한편 벽의 두께와 단면적까지 고려하면 같은 시간 동안 벽을 통해 전도되는 열량은 A가 B보다 (㉡). 따라서 단열 성능이 더 좋은 것은 (㉢)이다.

02 그림 (가), (나)는 각각 열팽창 정도가 서로 다른 두 금속 A, B를 접착해 만든 바이메탈 스위치가 닫혀 있는 상태와 열려 있는 상태를 나타낸 것이다. 바이메탈 스위치는 전열기의 온도를 조절하는 역할을 하며, 온도는 (나)에서가 (가)에서보다 높다.



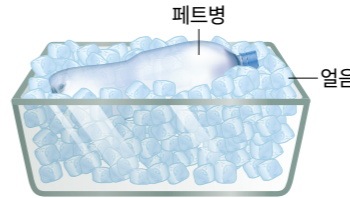
- (1) 금속 A와 B의 열팽창 정도를 비교하고, 그 까닭을 서술하시오.
- (2) 이 바이메탈 스위치가 전열기의 온도를 조절하는 원리를 서술하시오.

03 그림은 일정량의 이상 기체 A와 B의 부피를 온도에 따라 나타낸 것이다. A와 B의 압력은 같은 값으로 일정하게 유지된다.



- 이에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?
- ① t 는 0 K이다.
 - ② 기체의 종류에 따라 t 값이 다르다.
 - ③ 기체 분자의 개수는 A가 B보다 많다.
 - ④ A의 부피가 $2V_0$ 이 되는 온도는 약 273°C 이다.
 - ⑤ 온도가 0 K에서 약 273 K으로 높아질 때 B의 부피 증가량은 V_0 보다 작다.

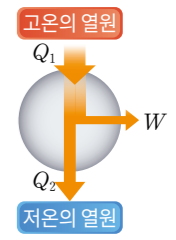
04 그림은 공기가 들어 있는 밀폐된 페트병을 상온에 두었다가 얼음이 들어 있는 그릇에 넣은 모습을 나타낸 것이다. 시간이 지나면서 페트병의 부피가 줄어들었다.



페트병의 부피가 줄어드는 동안 일어나는 변화에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기**
- 가. 페트병 속 공기 분자의 평균 운동 에너지가 감소한다.
 - 나. 페트병 속 공기 분자는 외부에 일을 한다.
 - 다. 페트병의 부피가 줄어드는 과정은 등적 과정이다.
- ① 가
 - ② 다
 - ③ 가, 나
 - ④ 가, 다
 - ⑤ 가, 나, 다

05 그림은 고온의 열원에서 Q_1 의 열을 흡수하여 W 의 일을 하고 저온의 열원으로 Q_2 의 열을 방출하는 열기관을 모식도로 나타낸 것이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

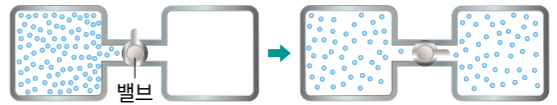


보기

- 가. $W = Q_1 - Q_2$ 이다.
- 나. $\frac{Q_2}{Q_1}$ 의 값이 작으면 열효율이 높다.
- 다. 열효율이 100%인 열기관을 만들 수 있다.

- ① 가
- ② 다
- ③ 가, 나
- ④ 나, 다
- ⑤ 가, 나, 다

06 그림은 한쪽에 기체 분자가 들어 있고, 다른 한쪽은 진공인 용기의 중간 밸브를 열었을 때, 기체 분자들이 골고루 퍼져 다른 한쪽 용기로 서서히 확산되는 과정을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?(단, 용기와 외부 사이에서 기체 분자나 에너지 출입은 없다.)

- 보기**
- 가. 비가역 과정이다.
 - 나. 기체의 압력은 작아진다.
 - 다. 고립계에서 자발적으로 일어난 자연 현상은 일어날 확률이 가장 낮은 방향으로 진행된다.
- ① 가
 - ② 나
 - ③ 다
 - ④ 가, 나
 - ⑤ 가, 나, 다

과학적 문제 해결 능력
엔트로피 개념을 이용해 일상 생활 사례를 분석하는 과정에서 과학적으로 문제를 해결하는 역량을 키운다.

과학 역량 키워기

비가역 현상과 엔트로피 81 쪽

07 방 안에 70 °C의 뜨거운 커피가 담긴 컵이 놓여 있다. 컵에서 5000 J의 열에너지가 25 °C인 방 안의 주변으로 이동할 때 다음 물음에 답하시오. 이때 커피와 방의 온도는 변하지 않는다고 가정한다.

- (1) 커피의 엔트로피 변화량을 구하시오.
- (2) 방의 엔트로피 변화량을 구하시오.
- (3) 만약 방과 커피의 온도가 같았다면, 커피와 방의 엔트로피 변화량을 각각 예상하시오.
- (4) 이 반응이 자발적으로 일어날 수 있는지 여부와 그 까닭을 서술하시오.

점검하기

지식·이해	열에 의한 상태 변화를 이해하고, 이상 기체의 온도, 압력, 부피 관계를 설명할 수 있다. 열이 계의 내부 에너지를 변화시키거나 외부에 일을 할 수 있음을 이해하고, 다양한 열기관에서의 순환 과정을 설명할 수 있다.	미흡 ← → 우수
		1 2 3 4 5
과정·기능	단열재의 종류에 따른 보온·보냉 효과를 비교할 수 있다. 또 센서를 이용해 기체의 압력, 부피, 온도 관계를 분석할 수 있다.	1 2 3 4 5
		1 2 3 4 5
가치·태도	다양한 에너지 관련 기술에 단열, 열팽창 등이 활용된 예를 조사해 과학의 유용성을 인식하며, 열기관의 개발과 활용이 인류에 미친 영향을 다양한 측면에서 평가할 수 있다.	1 2 3 4 5
		1 2 3 4 5

점검을 해 본 뒤 아쉬운 부분이 있다면 다시 한번 학습하고, 아쉬운 부분이 어떻게 보완되었는지 써 보자.



과학과 나의 미래

에너지는 나에게 맡겨라! 에너지 효율 검증 전문가

워크넷 누리집



가정과 산업 현장에서 사용하는 에너지는 대부분 여러 단계의 에너지 전환 과정을 거쳐 얻는다. 이 과정에서 낭비되는 에너지를 줄여 환경에 미치는 영향을 최소화하는 것이 필요하다.

에너지 효율 검증 전문가는 에너지의 효율을 높이기

위해 다양한 에너지 관련 문제를 해결하는 역할을 한다. 건물이나 산업 현장의 에너지 소비를 평가하고 분석해 효율적인 에너지 소비 시스템을 설계한다. 나아가 태양열, 지열 등의 재생 에너지원을 활용해 시스템을 개선하며, 친환경적이고 지속가능한 방안을 마련한다.

어떤 역량을 가지면 좋을까?

- 에너지 전달 과정을 분석하고 체계적으로 이해하는 능력
- 에너지 효율을 최적화하는 모델을 설계하는 데 필요한 컴퓨터 활용 능력
- 친환경적이고 지속가능한 에너지원을 기존의 에너지 시스템에 적용하는 능력
- 기술과 규제의 변화에 대응하는 지속적인 학습 능력

어떻게 준비할까?

- 환경과 미래 에너지에 대해 관심을 갖고 정보를 수집한다.
- 열역학, 유체 역학, 환경 공학 등 관련 분야의 전문 지식을 쌓는다.

체험 학습

제로 에너지 건축물을 인터넷에서 검색해 보고, 그중 한 곳을 골라 견학 계획을 세워 보자.

공유

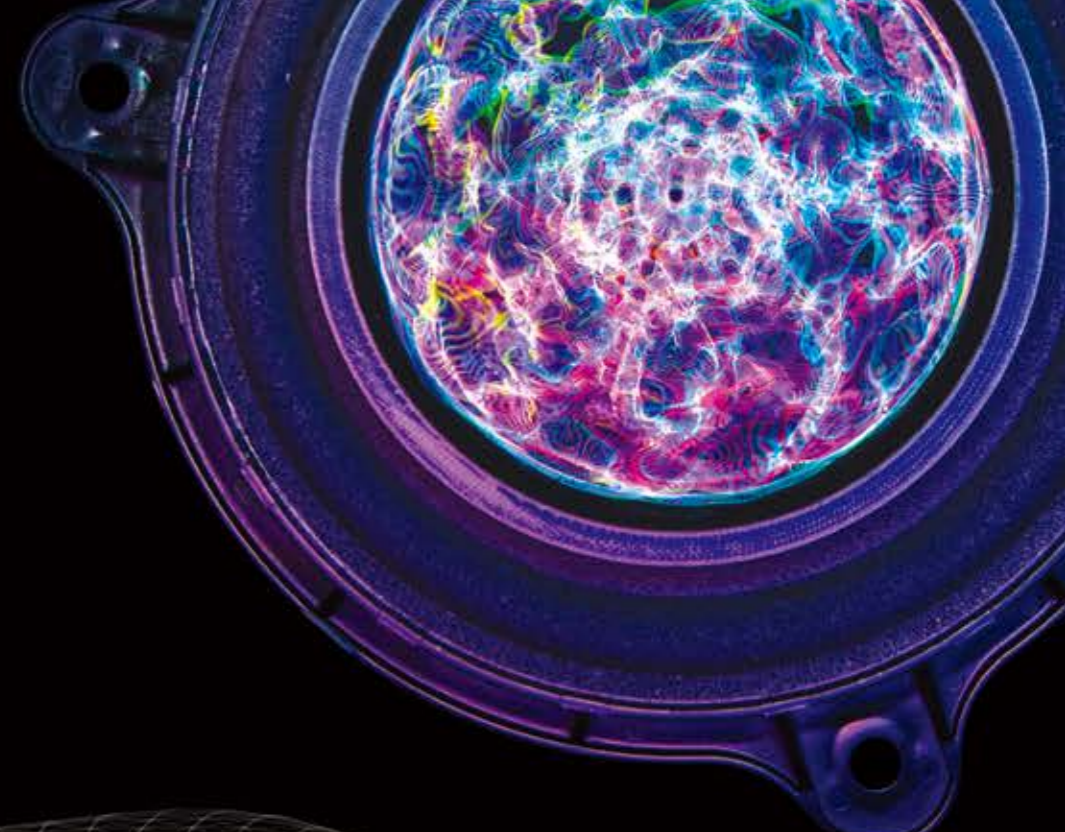


‘열과 에너지’ 단원을 학습하면서 자신이 공유한 결과물을 엮어 포트폴리오를 완성해 보자.

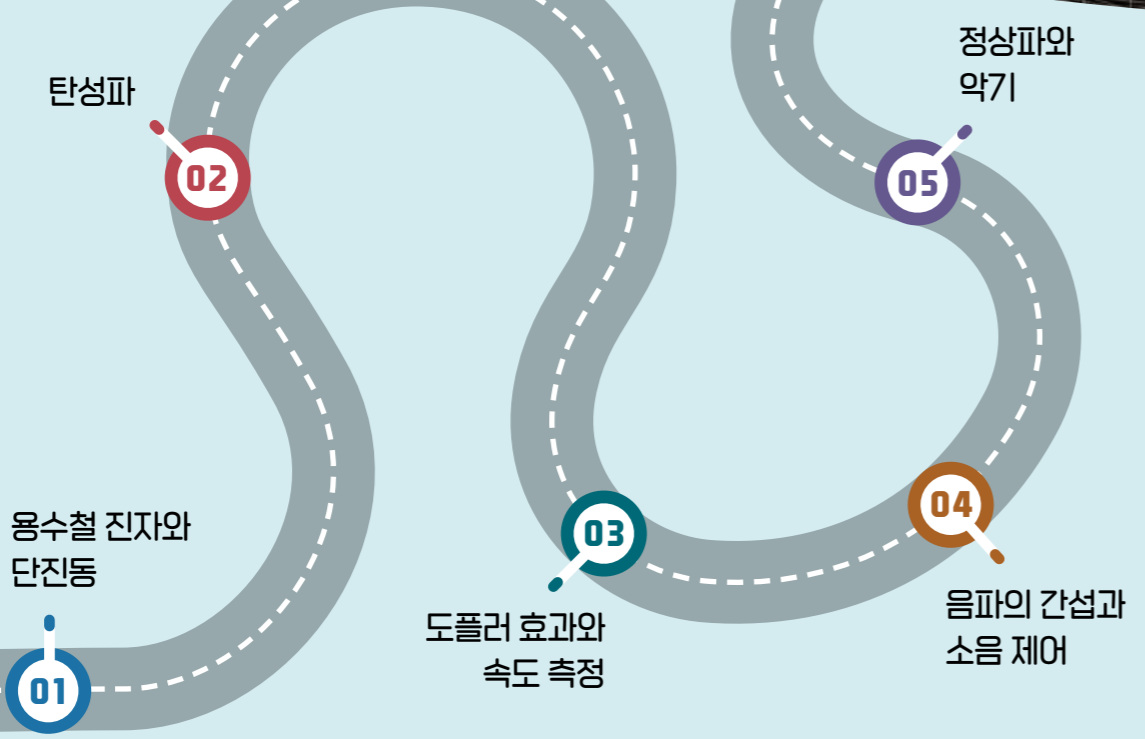
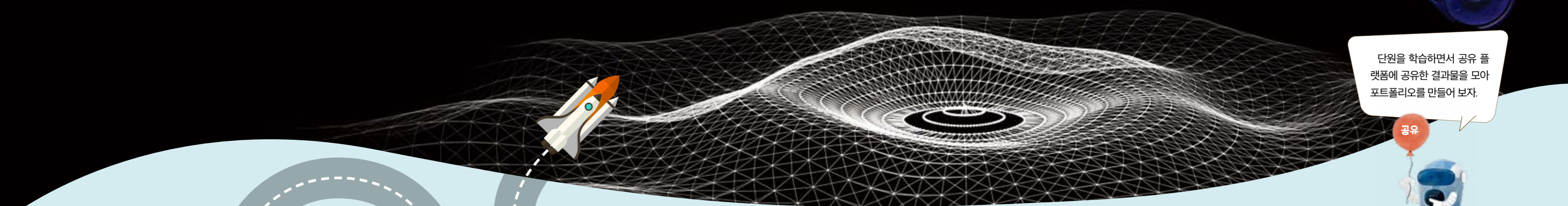
III

탄성파와 소리

이 단원에서는 소음 제어 기술에 이용되는 탄성파의 성질과 간섭 현상을 알아본다. 물체의 속도 측정에 활용하는 도플러 효과와 약기에 활용하는 소리의 중첩, 정상파에 대한 이해를 넓힌다.



단원을 학습하면서 공유 플랫폼에 공유한 결과물을 모아 포트폴리오를 만들어 보자.



단원 연계

중학교 과학 빛과 파동

물리학 빛과 물질

전자기와 양자 빛과 정보 통신

이 단원에서는 단진동, 탄성파, 투과와 반사, 도플러 효과, 간섭과 소음 제어, 정상파를 배운다.

성취 기준 확인

지식·이해 단진동을 이해하고 가속도와 변위 사이의 관계를 설명할 수 있다. 탄성파의 진행, 투과, 반사와 도플러 효과를 이해할 수 있다. 또 약기에서 소리를 내는 원리를 정상파로 설명할 수 있다.

과정·기능 파동 용수철로 종파와 횡파를 구현하고, 각 탄성파의 진행 속력을 측정할 수 있다. 또 스마트폰을 활용해 도플러 효과를 측정하고, 정상파를 이용해 음파의 진행 속력을 측정할 수 있다.

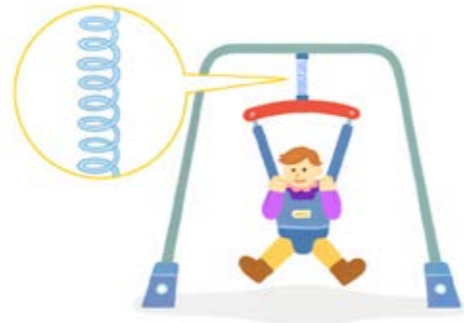
가치·태도 탄성파를 활용하는 예를 찾아보고, 도플러 효과, 음파의 간섭 등이 실생활에 이용되는 예를 알아 보면서 과학의 유용성을 설명할 수 있다.

01

용수철 진자와 단진동

학습 목표 용수철 진자로 단진동의 특징을 이해하고, 가속도와 변위의 관계를 설명할 수 있다.

용수철에 의자를 매달아 만든 유아용 놀이 기구가 있다. 이 놀이 기구를 아래로 가볍게 당겼다 놓으면 놀이 기구에 탄 아기는 어떤 운동을 할까?



주기 운동과 단진동

그림 III-1과 같이 용수철에 외력 $F_{외력}$ 이 작용해 용수철이 늘어나면, 크기가 용수철의 늘어난 길이 x 에 비례하고 방향은 처음 위치를 향하는 탄성력이 작용한다. 탄성력 $F_{탄성}$ 의 크기와 늘어난 길이의 비례 관계를 나타내는 법칙을 **훅의 법칙**이라고 하며, 다음과 같은 식으로 나타낸다.

$$F_{탄성} = -kx$$

여기서 k 는 용수철 상수이고, (-) 부호는 탄성력의 방향이 용수철이 변형된 방향과 반대임을 뜻한다.

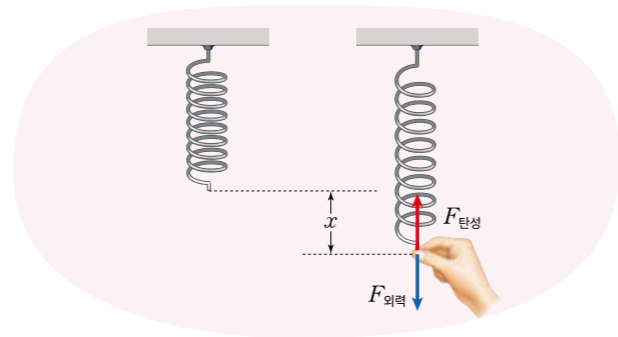


그림 III-1 훅의 법칙

탄성력처럼 물체가 변형되었을 때 물체를 원래 상태로 되돌아가게 하려는 힘을 복원력이라고 하며, 훅의 법칙을 따르는 복원력을 받아 주기적으로 진동하는 물체의 운동을 **단진동**이라고 한다. 단진동 하는 물체는 변위의 크기에 비례하고 변위의 방향과 반대 방향으로 작용하는 복원력에 의해 일정한 주기로 진동한다. 따라서 용수철에 추를 연결해 연직 아래로 당겼다가 놓으면 추가 주기적으로 왕복 운동을 한다. 이처럼 용수철에 연결되어 주기적으로 진동하는 물체를 **용수철 진자**라고 한다.

다음 활동을 하면서 용수철 진자의 운동을 알아보자.

디지털 해보기

용수철 진자의 변위와 가속도 관계 분석하기

탐구 능력

실험 영상



준비물

- 스탠드 용수철 추(100 g) 스마트 기기 삼각대 동영상 분석 프로그램 자

활동 길잡이

132 쪽 동영상 분석 프로그램 사용 방법을 참고한다.

1. 스탠드에 용수철을 설치하고 추를 매단 뒤 멈출 때까지 기다린다.
2. 추를 아래로 10 cm 정도 당겼다가 놓고 추의 운동을 동영상으로 촬영한다.
3. 동영상 분석 프로그램에서 동영상을 열어 용수철 진자의 운동을 분석할 구간을 정하고 좌표축과 기준 길이를 설정한 뒤 일정한 프레임 간격으로 분석한다.
4. 추의 변위, 가속도를 각각 시간에 따른 그래프로 나타내 변위와 가속도 관계를 확인한다.
5. 그래프에서 변위의 크기가 가장 큰 지점과 가장 작은 지점을 포함해 다섯 개 이상의 지점을 골라 각 지점에서 추의 변위와 가속도를 확인한다.

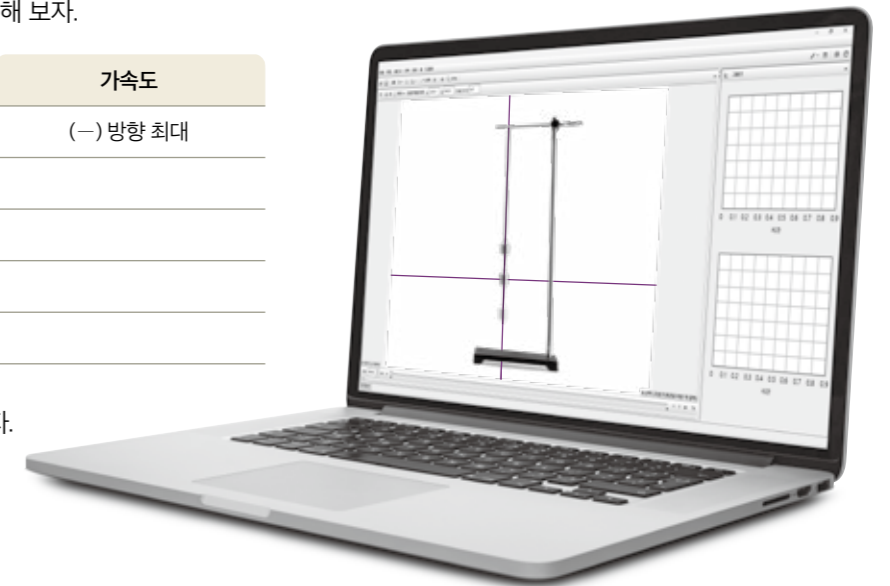
- 추의 변위와 가속도 그래프의 모양은 시간에 따라 각각 어떻게 변하는가?



- 5에서 확인한 그래프의 특징을 표에 정리해 보자.

구분	변위	가속도
지점 1	(+) 방향 최대	(-) 방향 최대
지점 2		
지점 3		
지점 4		
지점 5		

- 추의 변위와 가속도의 관계를 설명해 보자.



스스로 확인

- 1 물체가 복원력을 받아 일정한 주기로 왕복 운동 하는 것을 ()이라고 한다.
- 2 늘어난 용수철에 작용하는 복원력의 방향은 변위의 방향과 반대이다. (O, X)

단진동 하는 물체의 변위는 어떻게 될까? 그림 III-2와 같이 단진동은 평면상에서 반지름 A , 각속도 ω 로 등속 원운동을 하는 물체 P에 평행하게 빛을 비추었을 때 그림자 Q의 직선 왕복 운동과 같다.

단진동 하는 물체가 1 초 동안 진동하는 횟수를 진동수 f 라 하고, 1 회 진동하는데 걸리는 시간을 주기 T 라고 하면 단진동의 주기는 원운동 하는 물체의 주기와 같으므로 $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$ 이다.

단진동 하는 물체의 위치는 주기적으로 변하며, 변위 x_Q 는 원운동의 반지름 A 와 회전각 $\theta = \omega t$ 로부터 다음과 같이 나타낼 수 있다.

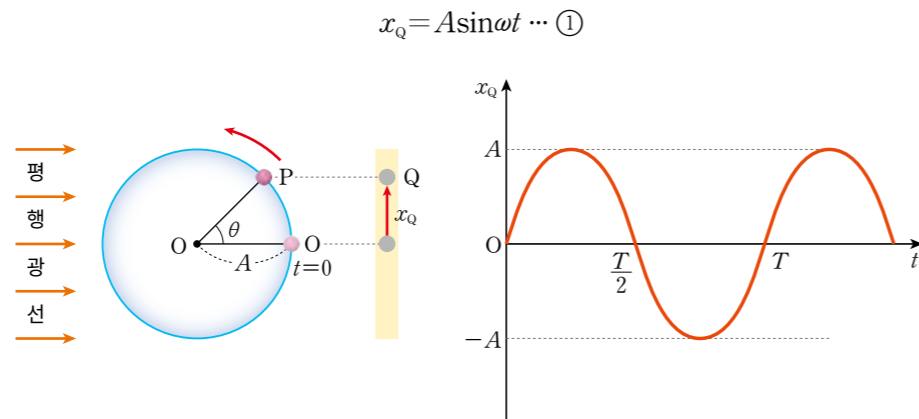


그림 III-2 단진동의 변위

그림 III-3에서 등속 원운동 하는 물체의 속도 v_P 의 방향은 P에서의 접선 방향이며, 이 속도의 x 성분이 단진동 하는 물체의 속도 v_Q 이다. 따라서 원운동 하는 물체가 일정한 크기의 속도 $v_P = A\omega$ 로 회전할 때, 단진동 하는 물체의 속도 v_Q 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

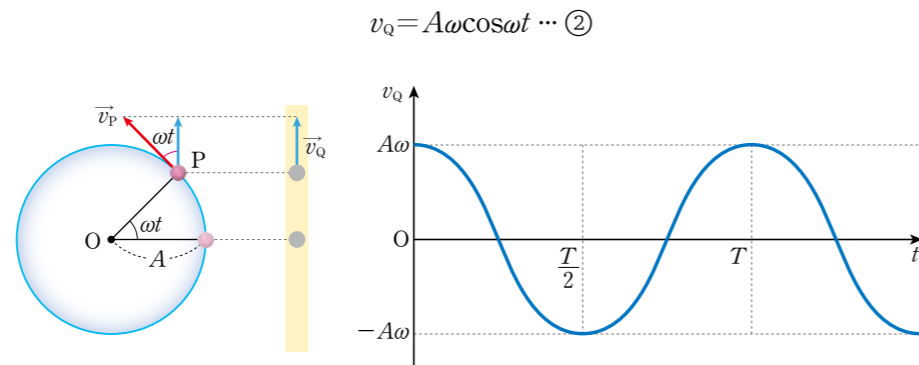


그림 III-3 단진동의 속도

단진동 하는 물체의 속도는 평형점 O를 지날 때 크기가 최대이며, 평형점에서 가장 멀어졌을 때 0이다.

그림 III-4에서 등속 원운동을 하는 물체의 구심 가속도 a_P 는 항상 원의 중심을 향하며 크기는 $A\omega^2$ 이다. 이 구심 가속도의 x 성분이 단진동 하는 물체의 가속도 a_Q 이다.

따라서 원운동 하는 물체의 가속도 크기가 $a_P = A\omega^2$ 로 일정할 때, 단진동 하는 물체의 가속도 a_Q 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

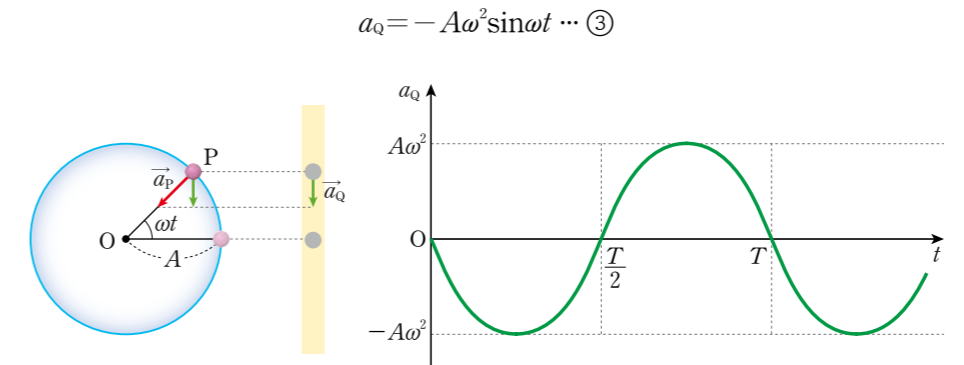


그림 III-4 단진동의 가속도

식 ③에 식 ①을 적용하면 단진동 하는 물체의 가속도와 변위 관계를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$a_Q = -\omega^2 x$$

즉, 단진동 하는 물체의 가속도 크기는 변위의 크기에 비례하며, 가속도의 방향은 변위의 방향과 반대이다.

그림 III-5는 단진동 하는 물체의 시간에 따른 변위, 속도, 가속도의 변화를 상댓값으로 비교한 것이다.

단진동 하는 물체의 변위와 가속도는 평형점 O에서 크기가 0으로 같지만 위상차가 180° 로 방향이 반대이다. 속도는 변위, 가속도와 각각 90° 의 위상차를 가지고 주기적으로 변한다.

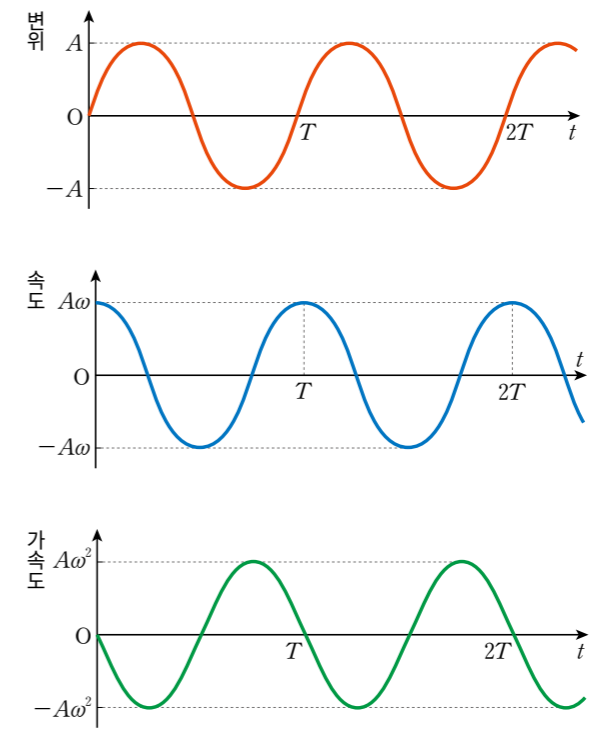


그림 III-5 단진동 하는 물체의 시간에 따른 변위, 속도, 가속도

파동의 위상
위상은 파동이 주기 내에서 어디에 위치하는지를 각도로 표현한 것이다. 예를 들어 $x = A \sin \omega t$ 인 파동의 위상은 ωt 이다.

단진동 하는 물체의 가속도 a 와 변위 x 는 $a = -\omega^2 x$ 의 관계를 만족하므로, 뉴턴 운동 법칙을 적용해 ω^2 항을 구하면 단진동 하는 물체의 주기를 구할 수 있다.

그림 III-6과 같이 용수철에 추를 매달아 가만히 놓으면 용수철이 x_0 만큼 늘어나 정지한다. 이때 추에 작용하는 중력 mg 와 탄성력 kx_0 은 평형 상태이며, 이때 추의 위치가 평형점이 된다. 평형점에서 추를 연직 방향으로 x 만큼 더 잡아당겼다가 놓으면 추는 평형점을 중심으로 단진동을 한다.

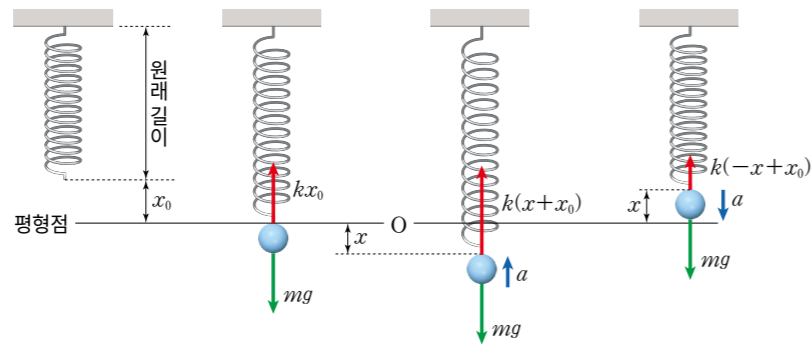


그림 III-6 용수철의 단진동

단진동 하는 용수철 진자의 변위 크기를 x 라고 하면 복원력 F 의 크기는 다음과 같다.

$$F = mg - k(x + x_0) = -kx$$

뉴턴 제2법칙에 따라 $F = -kx = ma$ 이므로, $a = -\frac{k}{m}x = -\omega^2 x$ 이다. 따라서

$\omega^2 = \frac{k}{m}$ 이고 $\omega = \frac{2\pi}{T}$ 에서 $T = \frac{2\pi}{\omega}$ 이므로 용수철 진자의 주기는 다음과 같다.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

즉, 용수철 진자의 주기 T 는 질량 m 이 클수록 크고, 용수철 상수 k 가 클수록 작다.

스스로 확인

- 1 단진동 하는 물체의 가속도의 크기는 물체의 변위의 크기가 (최대, 최소)일 때 가장 크다.
- 2 “용수철 진자의 주기를 변화시키는 물리량 두 가지는 추의 질량과 진폭이다.” 라는 문장에서 틀린 부분을 찾아 밑줄을 긋고 옳게 고쳐 보자.

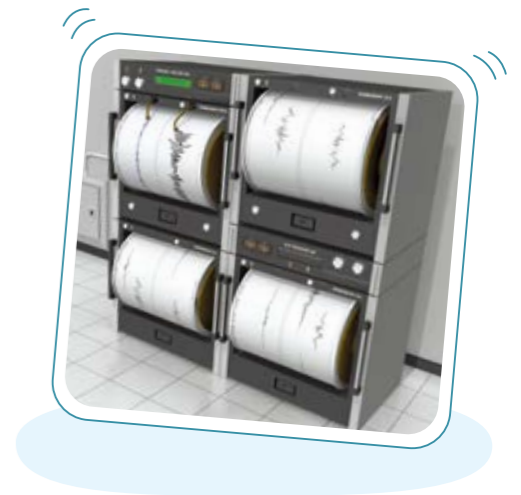
스스로 정리

공유 우리 주변에서 용수철 진자의 단진동을 적용해 설명할 수 있는 예를 조사하고, 공유 플랫폼에 공유해 보자.

02 탄성파

학습 목표 탄성파의 진행, 투과, 반사를 이해하고, 탄성파를 활용하는 예를 찾아보면서 과학의 유용성을 설명할 수 있다.

지진계는 지표면에 도달한 지진파를 기록하는 장치이다. 땅속 깊은 곳에서 발생한 지진파는 어떻게 지표면까지 도달할까?



탄성파의 진행

간단한 호수에 돌을 던지면 돌이 떨어진 점을 중심으로 물결파가 동심원을 그리며 바깥쪽으로 퍼져 나간다. 물결파, 음파, 지진파와 같이 탄성을 가진 매질을 통해 진행되는 파동을 **탄성파**라고 한다.

그림 III-7의 (가)와 같이 탄성을 가진 물질을 구성하는 입자들은 집합체를 이루어 마치 서로 용수철로 연결되어 있는 것처럼 움직인다. 탄성을 가진 물질이 그림 (나)와 같이 외부의 힘 때문에 평형 상태의 배열에 변화가 생기면 탄성에 따른 복원력이 작용해 다시 평형 상태로 돌아오면서 진동한다.

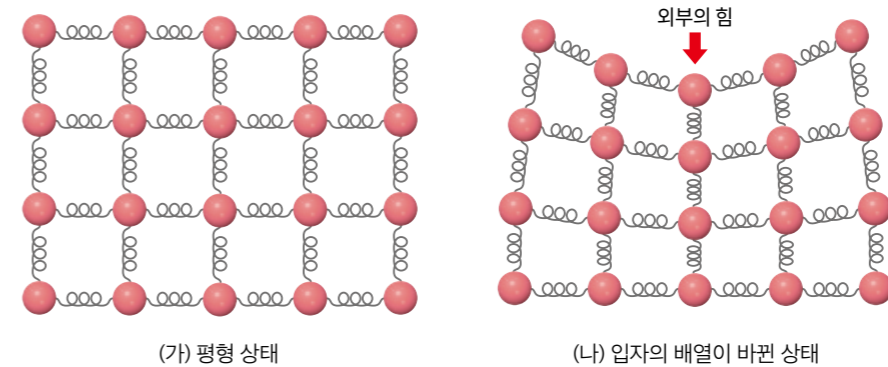


그림 III-7 물질의 탄성

복원력에 의해 매질 입자의 진동은 이웃한 입자로 전달되어 점점 퍼져 나간다. 탄성파는 이러한 과정으로 물질을 통해 에너지를 전달한다. 탄성파는 먼 거리까지 에너지를 전달할 수 있지만, 매질의 입자는 평형 상태의 위치를 중심으로 진동할 뿐 입자 자체는 진행하지 않는다.

파동의 발생과 전달 과정을 배웠다.

파동의 형태는 파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향에 따라 종파와 횡파로 구분할 수 있다. 그림 III-8과 같이 파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 나란한 파동을 **종파**, 파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 수직인 파동을 **횡파**라고 한다.

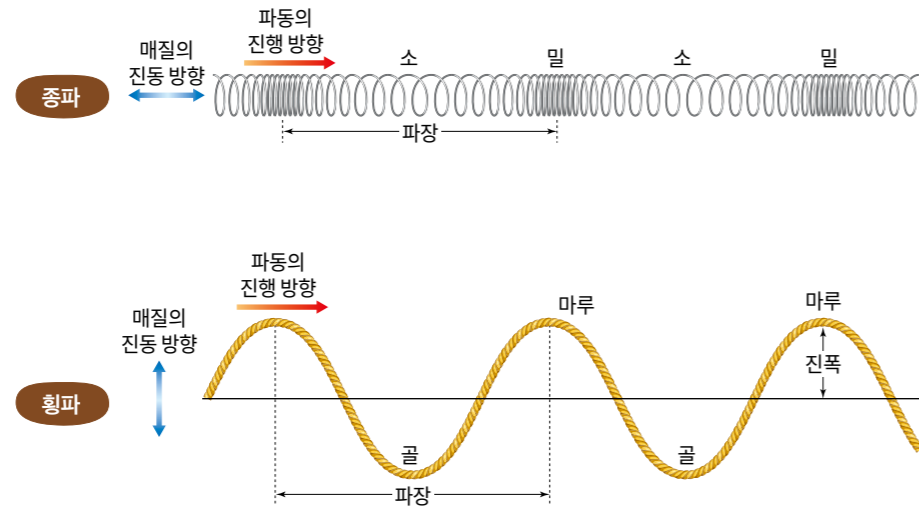


그림 III-8 종파와 횡파

탄성파의 속력
탄성파의 속력은 매질 종류와 상태에 따라 결정된다.

파동은 매질이 한 번 진동하는 시간, 즉 한 주기 T 동안 한 파장 λ 만큼 진행한다. 그리고 주기는 진동수 f 의 역수이므로 파동의 속력 v 는 다음과 같다.

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$$

다음 활동을 하면서 종파와 횡파를 구현하고, 각 파동의 속력을 측정해 보자.

탐구 능력 | 문제 해결 능력

탐구
수학적 사고 활용 / 결론 도출

파동 용수철을 이용하여 종파와 횡파를 구현하고, 각 탄성파의 진행 속력 측정하기

목표

파동 용수철로 종파와 횡파를 만들고, 용수철에서 진행되는 종파와 횡파의 속력을 측정할 수 있다.

과정

1. 평평한 바닥에 파동 용수철을 올려놓고 중간 부분에 리본을 묶는다.
2. 두 사람이 용수철의 양 끝을 잡고, 한쪽에서 용수철을 일정한 주기로 앞뒤로 흔들면서 종파를 만들어 종파가 진행되는 모습을 동영상으로 촬영한다.

3. 두 사람이 용수철의 양 끝을 잡고, 한쪽에서 용수철을 일정한 주기로 좌우로 흔들면서 횡파를 만들어 횡파가 진행되는 모습을 동영상으로 촬영한다.

역할 나누기
3~5 명을 한 모둠으로 하고, 역할을 나눠 보자.
• 실험 수행: _____
• 영상 촬영: _____
• 결과 기록: _____



결과 및 정리

1. 과정 2, 3에서 촬영한 동영상에서 리본의 진동 방향과 파동의 진행 방향을 관찰하고, 각 파동에서 매질의 진동 방향과 파동의 진행 방향의 관계를 설명해 보자.
2. 과정 2, 3에서 촬영한 동영상에서 각 파동의 파장과 주기를 측정하고, 결과 및 정리 3의 표에 기록해 보자.
3. 기록한 파장과 주기로 각 파동의 속력을 구해 보자.

구분	종파	횡파
파장(m)		
주기(s)		
속력(m/s)		

스스로 평가

- | 지식·이해 | 파동 용수철에서 진행되는 종파와 횡파의 속력을 구했는가? ☆☆☆
- | 과정·기능 | 파동 용수철을 이용해 종파와 횡파를 구현하고 관찰 및 분석을 했는가? ☆☆☆
- | 가치·태도 | 자신이 맡은 역할을 잘 수행했는가? ☆☆☆

탐구 후기

탄성파의 반사와 투과

매질을 통해 진행하는 탄성파는 매질의 성질이 바뀌면 파동의 속도도 달라진다. 파동이 한 매질에서 다른 매질로 진행할 때 매질의 경계에서 파동의 일부 또는 전부가 반사하며, 파동의 진행 방향에 따라 위상이 달라지기도 한다. 이때 매질의 경계를 투과해 진행하는 파동의 위상은 변하지 않는다.

탄성파의 위상 변화는 줄을 따라 진행하는 파동에서 관찰할 수 있다. 파동이 진행하는 매질의 한쪽 끝이 고정되어 있어서 진행하는 파동이 도달해도 진동할 수 없는 상태를 **고정단**이라고 한다. 그림 III-9의 (가)와 같이 고정단에서는 매질의 경계인 줄의 끝이 고정되어 있어 반사하는 파동의 위상이 반대가 된다.

매질의 한쪽 끝이 자유롭게 움직일 수 있어서 파동이 도달했을 때 진동할 수 있는 상태를 **자유단**이라고 한다. 그림 (나)와 같이 자유단에서는 줄의 끝이 위아래로 움직일 수 있는 고리에 연결되어 있어 반사하는 파동의 위상이 변하지 않는다.

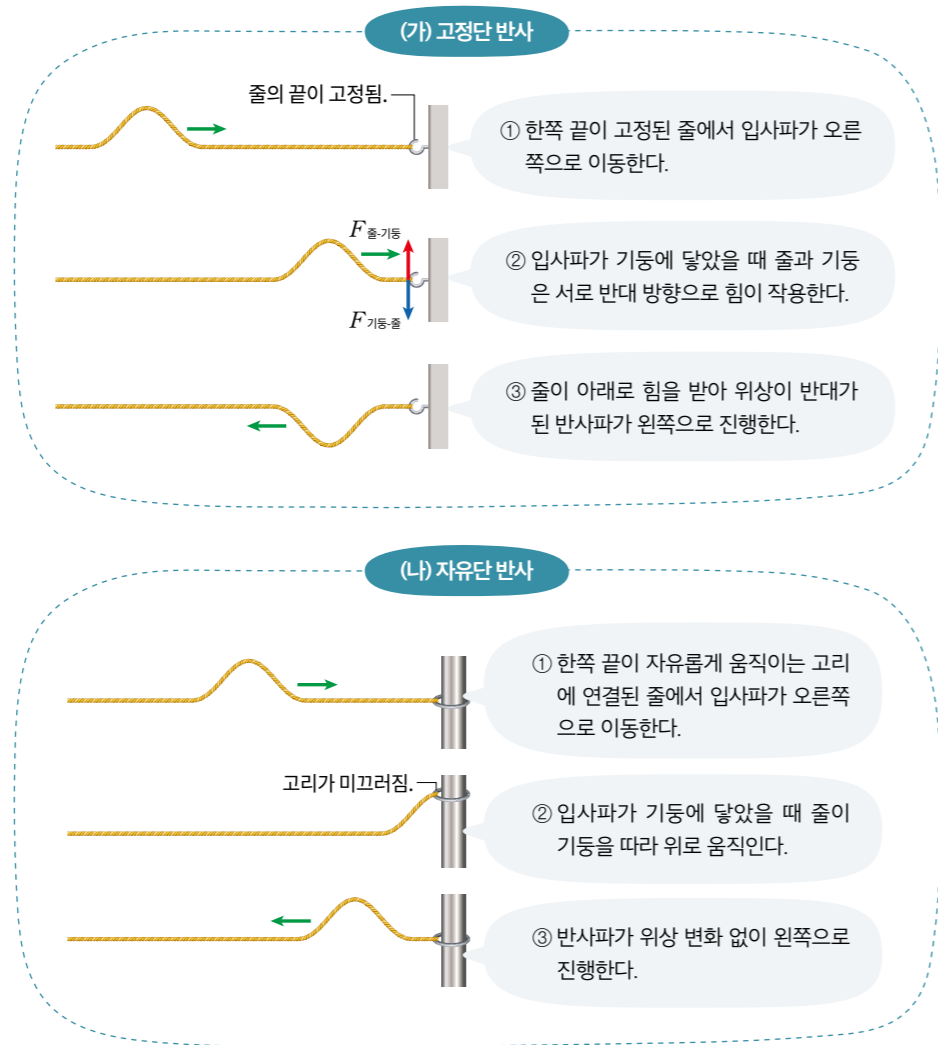


그림 III-9 고정단 반사와 자유단 반사

속력이 서로 다른 두 줄에서 진행하는 파동을 알아보자. 그림 III-10과 같이 진행 속력이 느린 줄에서 빠른 줄로 파동이 진행할 때, 두 줄의 경계를 통과해서 진행하는 투과파의 위상은 입사파의 위상과 같다. 그리고 일부는 줄의 경계에서 반사해 속력이 느린 줄로 되돌아가는데, 이렇게 반사한 파동의 위상도 입사파의 위상과 같다.

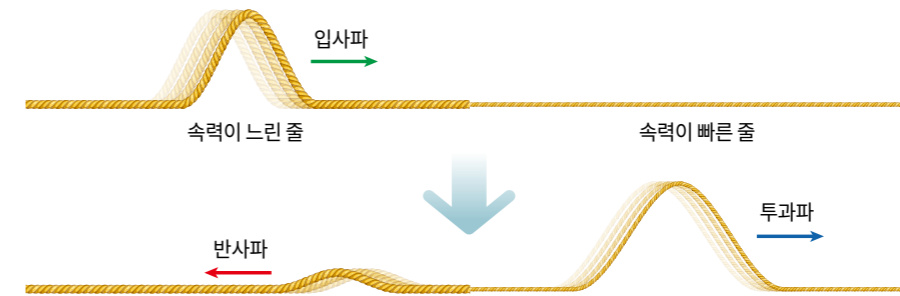


그림 III-10 진행 속력이 느린 줄에서 빠른 줄로 진행하는 파동

그림 III-11과 같이 진행 속력이 빠른 줄에서 느린 줄로 파동이 진행할 때에도 두 줄의 경계를 통과해서 진행하는 투과파의 위상은 입사파의 위상과 같다. 하지만 줄의 경계에서 반사해 속력이 빠른 줄로 되돌아가는 반사파의 위상은 입사파의 위상과 반대이다.

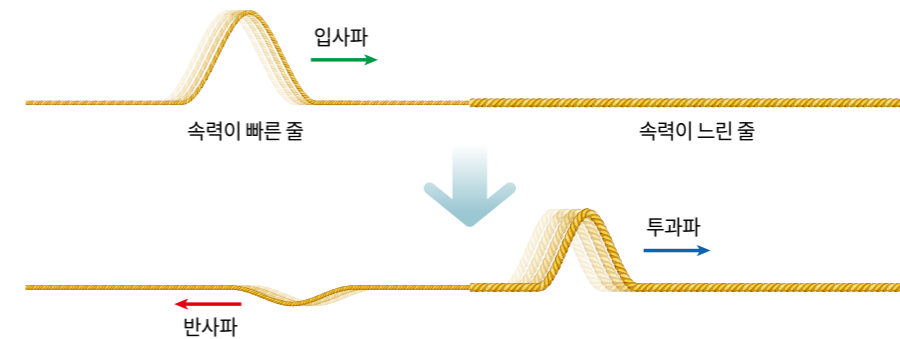


그림 III-11 진행 속력이 빠른 줄에서 느린 줄로 진행하는 파동

스스로 확인

- 1 고정단에서 반사한 파동의 위상은 처음과 () (이)고, 자유단에서 반사한 파동의 위상은 처음과 () (이)다.
- 2 속력이 빠른 줄에서 느린 줄로 파동이 진행할 때 경계에서 반사한 파동의 위상은 반대로 변한다. (○, ×)

탄성파의 활용

다음 활동을 하면서 탄성파가 서로 다른 매질의 경계에서 반사하거나 투과하는 성질을 생활 속에서 어떻게 이용하고 있는지 찾아보자.

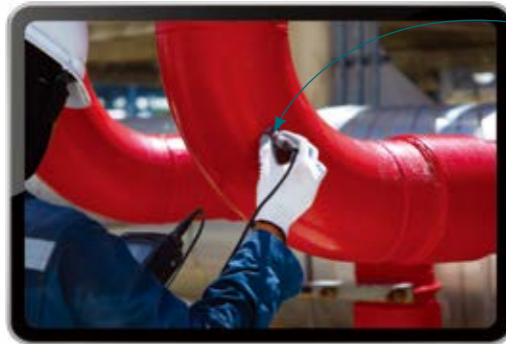
해보기

탄성파를 생활 속에 이용하는 사례 조사하기

Q 탐구 능력 | Q 의사 결정 능력

- 준비물
- 스마트 기기

- 스마트 기기를 이용해 생활 속에서 탄성파를 활용하는 다양한 사례를 조사한다.
 - 조사한 사례 중 하나를 골라 발표 자료를 만든다.
- 발표 자료를 이용해 조사한 사례를 발표해 보자.



초음파를 이용한 두께 측정 측정기에서 발생한 초음파가 성질이 다른 물체의 경계에서 반사해 되돌아 오는 데 걸리는 시간과 초음파의 속력을 이용해 파이프의 두께를 측정한다.

그림 III-12와 같이 해저 지형을 연구하는 데 초음파를 활용한다. 배 밑바닥에서 바닷속으로 발사한 초음파가 바다 밑바닥에서 반사한 뒤 돌아오는 데 걸리는 시간을 측정해 깊이를 알아낼 수 있다.

그림 III-12 초음파를 이용한 해저 지형 탐사



배에서 쏘아 보낸 초음파
바닥에서 반사한 초음파

초음파를 사용하면 신체 내부를 영상으로 나타낼 수 있다. 그림 III-13과 같이 태아의 건강 상태와 성장 정도를 살피기 위한 초음파 검사가 대표적인 예이다. 초음파 기기의 탐촉자는 초음파 펄스를 방출하고 반사된 펄스를 수신하는 데 걸린 시간을 측정한다. 이로부터 펄스가 반사된 위치를 계산해 태아의 모습을 영상으로 나타낸다.

* 탐촉자
빛·온도 등의 정보 입력을 목적에 알맞은 전기 신호로 변환하는 장치이다.

* 펄스(pulse)
매질을 한 번 진동시켜 생기는 파동이다.

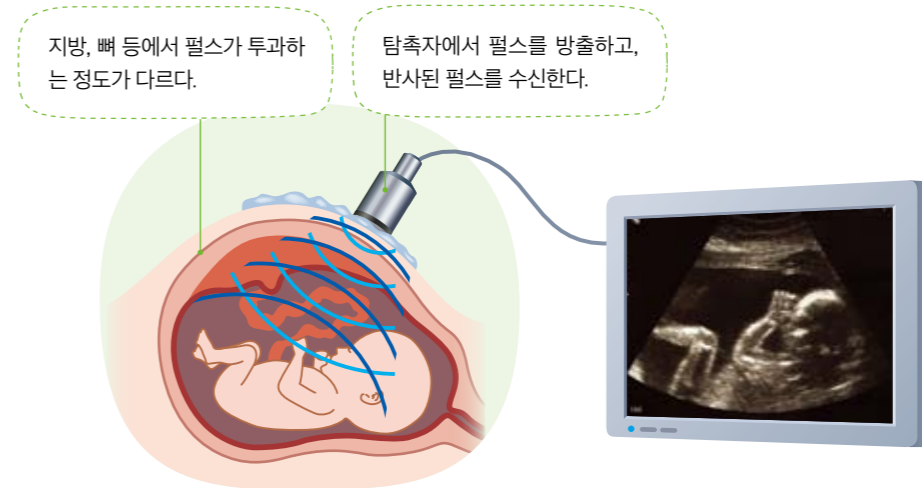
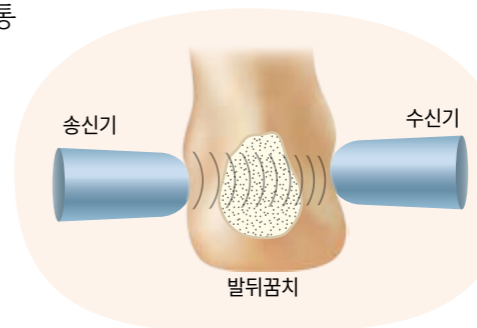


그림 III-13 태아 초음파 검사

초음파는 골밀도 측정과 같은 비파괴 검사에 이용하기도 한다. 그림 III-14와 같이 골밀도 측정기로 발뒤꿈치에 초음파를 보내 뼈를 통과하는 초음파의 속도와 진폭이 줄어드는 정도를 측정한다. 이를 분석해 발뒤꿈치 뼈의 골밀도 값을 알아내 골다공증을 진단할 수 있다.



골밀도가 정상인 뼈에서는 골다공증이 생긴 뼈에서보다 초음파의 진행 속도가 빠르고 진폭이 많이 줄어든다.

그림 III-14 골밀도 측정

스스로 확인

- 배에서 쏘아 보낸 초음파가 바다 밑바닥에서 ()한 뒤 되돌아오는 데 걸리는 시간을 측정해 수심을 알아낸다.
- 태아의 발달 상태를 알아보기나 골밀도를 검사하는 의료 분야에서 초음파를 사용한다. (O, X)

스스로 정리

공유 모둠원들과 함께 몸짓으로 탄성파를 나타내 보고, 이를 동영상으로 촬영해 공유 플랫폼에 공유해 보자.

03

도플러 효과와 속도 측정

학습 목표 | 도플러 효과를 이해하고 물체의 속도 측정 등 다양한 장치에 이용되는 것을 설명할 수 있다.



박쥐는 초음파를 이용해 장애물이나 먹이의 위치뿐만 아니라 운동 상태까지 파악한다. 초음파를 이용해 물체의 운동 상태를 파악할 수 있는 원리는 무엇일까?

도플러 효과

구급차가 가까워질 때와 멀어질 때 관찰자는 구급차의 사이렌 소리를 다르게 듣는다. 이는 파원의 운동 상태가 관찰자가 관측하는 소리의 진동수에 영향을 주기 때문이다.

파원과 관찰자의 상대적 운동에 따라 관찰자가 관측하는 파동의 진동수가 파원의 진동수와 달라지는 현상을 **도플러 효과**라고 한다. 다음 활동을 하면서 파원이나 관찰자가 운동할 때 어떤 차이가 있는지 알아보자.

*** 파원**
파동이 처음 만들어지는 지점이다.

- 스마트폰 A와 B를 고정하고 스마트폰 B로 소리의 진동수를 측정한다.
- 스마트폰 B를 고정하고 스마트폰 A를 천천히 움직여 B에서 멀게 하거나 가깝게 하면서 소리의 진동수 변화를 확인한다.
- 스마트폰 A를 고정하고 스마트폰 B를 천천히 움직여 A에서 멀게 하거나 가깝게 하면서 소리의 진동수 변화를 확인한다.
- 과정 3~5**에서 측정한 소리의 진동수를 스마트폰 A에서 발생한 소리의 진동수 1700 Hz와 비교해 표에 기록한다.

구분		진동수 비교
과정 3		
과정 4	A를 B에서 멀게 할 때	
	A를 B에 가깝게 할 때	
과정 5	B를 A에서 멀게 할 때	
	B를 A에 가깝게 할 때	



▶ 탐구 길잡이
실험 순서를 정해 동시에 소리를 발생하지 않도록 하고, 다른 모둠이 실험할 때에는 방해가 되는 소음을 내지 않는다.

결과 및 정리

- 측정한 소리의 진동수가 발생한 소리의 진동수보다 큰 경우와 작은 경우는 각각 언제인가?

- 큰 경우:

- 작은 경우:

- 파원과 관찰자의 상대 운동과 관측되는 소리의 진동수 변화는 어떤 관계가 있는가?



스스로 평가

- | 지식·이해 |** 스마트폰의 운동에 따라 측정되는 소리의 진동수 변화를 설명할 수 있는가? ☆☆☆
- | 과정·기능 |** 스마트폰의 소리 발생 애플리케이션과 소리 측정 애플리케이션 사용법을 익히고 탐구에 활용했는가? ☆☆☆
- | 가치·태도 |** 자연 현상을 과학적으로 관찰, 분석하려는 태도로 탐구에 참여했는가? ☆☆☆

▶ 탐구 후기

▶ 탐구

수학적 사고 활용 / 변인 조작 / 결론 도출



역할 나누기
3~5 명을 한 모둠으로 하고, 역할을 나눠 보자.

- 실험 수행: _____
- 결과 기록: _____

스마트폰을 활용하여 도플러 효과 측정하기

- 준비물**
- 스마트폰 2 대
 - 소리 발생 애플리케이션
 - 소리 측정 애플리케이션

목표
스마트폰을 활용해 도플러 효과를 측정할 수 있다.

- 과정**
- 스마트폰 A에는 소리 발생 애플리케이션을 설치하고, 스마트폰 B에는 소리 측정 애플리케이션을 설치한다.
 - 스마트폰 A로 진동수가 1700 Hz인 소리를 발생시킨다.



▶ 탐구 능력 | 문제 해결 능력

진폭, 진동수, 파형으로 표현하는 소리의 특성을 배웠다.

104 쪽 탐구에서 살펴본 것처럼 관찰자가 정지해 있을 때, 파원이 관찰자를 향해 운동하면 관찰자가 듣는 소리의 진동수가 증가하고, 파원이 관찰자로부터 멀어지면 듣는 소리의 진동수가 감소한다. 마찬가지로 파원이 정지해 있고 관찰자가 운동할 때에도 듣는 소리의 진동수가 달라진다.

그림 III-15와 같이 사이렌 소리를 내는 정지한 구급차와 정지한 관찰자의 경우를 살펴보자. 먼저 정지 상태의 파원 S는 진동수가 f , 파장이 λ 이고 진행 속력이 v 인 파동을 발생한다. 이때 정지한 관찰자에게는 $\frac{1}{f} = \frac{\lambda}{v}$ 초마다 1 번씩 파면이 도달한다. 따라서 관찰자가 측정하는 파동의 주기는 $T = \frac{\lambda}{v} = \frac{1}{f}$ 이고, 진동수는 $f_0 = f$ 이다. 즉, 파원과 관찰자가 모두 정지해 있을 때는 파원에서 발생한 파동의 진동수와 관찰자가 측정하는 파동의 진동수가 같다. 그러나 구급차가 관찰자를 향해 달려올 때와 관찰자로부터 멀어질 때는 소리가 다르게 들린다. 또 관찰자가 운동할 때에도 소리가 다르게 들린다.

*** 파면**

파면은 파동에서 동일한 위상을 갖는 점들의 집합으로 파동의 진행 방향에 수직하다.

그림 III-15 정지한 파원에서 퍼져 나오는 파동



스스로 확인

- 1 관찰자와 파원의 상대적 운동에 따라 관찰자가 측정하는 파동의 진동수가 달라지는 현상을 () 효과라고 한다.
- 2 파원과 관찰자가 정지해 있을 때, 관찰자가 듣는 소리의 진동수는 파원에서 발생하는 소리의 진동수와 같다. (O, X)

파원의 운동과 도플러 효과

그림 III-16은 진동수가 f , 주기가 T 인 소리를 내는 파원이 정지한 관찰자 A, B 사이에서 속력 v_s 로 운동하며 시간 $t=0$ 일 때 점 S_1 을, $t=T$ 일 때 점 S_2 를 통과하는 모습을 나타낸 것이다.

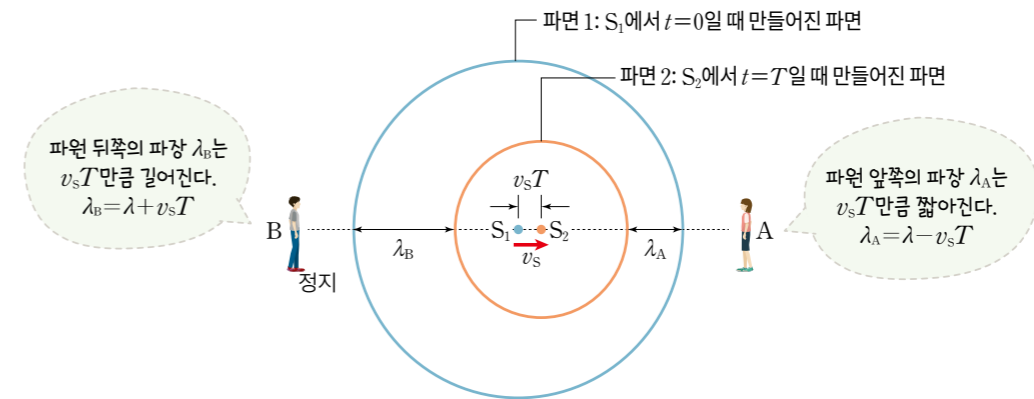


그림 III-16 움직이는 파원에서 퍼져 나오는 파동

소리의 속력을 v 라고 하면 파원이 내는 소리의 주기는 $T = \frac{1}{f}$ 이고 파장은 $\lambda = \frac{v}{f}$ 이다. 이때 관찰자 A, B가 측정하는 소리의 속력은 v 로 같다.

S_1 에서 출발한 파면 1이 이동한 시간을 t_1 이라고 하면 S_2 에서 출발한 파면 2가 이동한 시간은 $t_1 - T$ 이다. 파면 1은 중심이 S_1 이고 반지름이 vt_1 인 원이 되고, 파면 2는 중심이 S_2 이고 반지름이 $v(t_1 - T)$ 인 원이 된다. S_1 과 S_2 사이의 거리가 $v_s T$ 이므로 A, B가 측정하는 소리의 파장 λ_A, λ_B 는 각각 파면 1과 파면 2 사이의 거리와 같다.

$$\lambda_A = vt_1 - \{v(t_1 - T) + v_s T\} = (v - v_s)T = \frac{v - v_s}{f}$$

$$\lambda_B = vt_1 - \{v(t_1 - T) - v_s T\} = (v + v_s)T = \frac{v + v_s}{f}$$

또 $v = f\lambda$ 이므로 관찰자 A, B가 측정하는 소리의 진동수 f_A, f_B 는 다음과 같다.

파원이 관찰자에게 가까워질 때 $f_A = \frac{v}{\lambda_A} = \frac{v}{v - v_s} f$

파원이 관찰자로부터 멀어질 때 $f_B = \frac{v}{\lambda_B} = \frac{v}{v + v_s} f$

따라서 파원이 다가올 때 정지한 관찰자는 파원이 내는 소리보다 높은 소리를 듣고, 파원이 멀어질 때 정지한 관찰자는 파원이 내는 소리보다 낮은 소리를 듣는다.

관찰자의 운동과 도플러 효과

관찰자가 파원에 가까워지거나 파원에서 멀어질 때는 같은 시간 동안 관찰자를 지나가는 파면의 개수가 변해 관찰자가 측정하는 소리의 진동수가 변한다.

그림 III-17에서 시간 t 동안 정지해 있는 관찰자 A를 지나가는 음파의 길이는 vt 이고, A를 통과하는 파면의 개수는 $\frac{vt}{\lambda}$ 이다. A가 측정하는 소리의 진동수는 $f = \frac{\text{파면의 개수}}{t} = \frac{v}{\lambda}$ 이며, A가 측정하는 소리의 파장 λ 는 변하지 않는다.

관찰자 B처럼 속도 v_0 로 파원을 향해 운동하는 경우 시간 t 동안 B를 지나가는 음파(소리)의 길이는 $vt + v_0t$ 이므로 B를 통과하는 파면의 개수는 $\frac{vt + v_0t}{\lambda}$ 이다. 관찰자 B가 파원에 가까워질 때 측정하는 소리의 진동수는 $f' = \frac{v + v_0}{\lambda} = \frac{v + v_0}{v} f$ 이다.

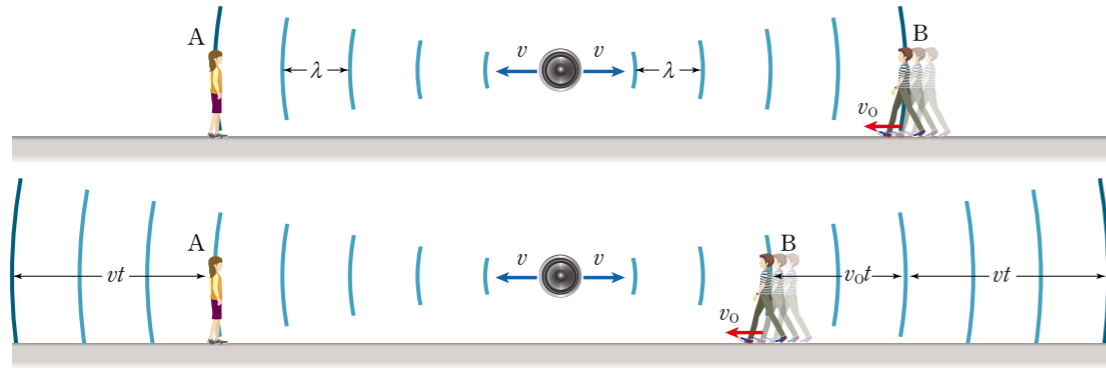


그림 III-17 관찰자가 운동할 때 도플러 효과

따라서 파원과 관찰자가 모두 움직일 때 도플러 효과의 관계식은 다음과 같다.

$$f' = \frac{v \pm v_0}{v \mp v_s} f$$

서로 가까워질 때: $+v_0, -v_s$
서로 멀어질 때: $-v_0, +v_s$

이 식은 진동수 f , 속도 v 인 파동을 발생시키는 파원이 매질에 대해 속도 v_s 로 운동하고, 관찰자가 매질에 대해 속도 v_0 로 운동할 때 관찰자가 측정하는 소리의 진동수 f' 을 나타낸다.

스스로 확인

- 1 파원과 관찰자가 서로 가까워지는 동안 관찰자가 측정하는 소리의 진동수는 파원의 진동수보다 (커진다, 작아진다).
- 2 기차역에서 일정한 속도로 멀어지는 기차 소리를 들을 때 소리의 높낮이 변화를 설명해 보자.

관찰자가 파원으로부터 멀어지는 경우

관찰자가 파원으로부터 멀어지는 방향으로 운동할 때는 관찰자가 파원에 대해 $-v_0$ 의 속력으로 운동하는 것으로 볼 수 있다.

도플러 효과의 활용

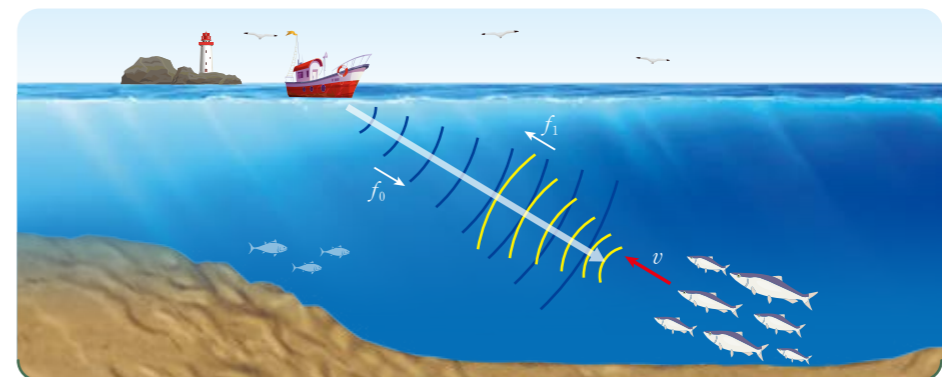
도플러 효과를 활용하면 파원이나 관찰자의 속력을 측정할 수 있다. 초음파 기기로 그림 III-18과 같이 심장 내부를 흐르는 혈액의 적혈구에서 반사한 초음파의 도플러 효과를 분석해 영상으로 나타낼 수 있다. 이를 이용해 혈액이 흐르는 속력을 계산하고 심장 판막이 제대로 작동하고 있는지를 확인할 수 있다.



그림 III-18 도플러 초음파 영상

자료 분석 도플러 효과를 이용해 물고기 떼의 속력 구하기

도플러 효과는 물고기 떼를 추적하는 데에도 이용된다. 초음파의 속력을 V , 물고기 떼의 속력을 v , 배에 장치한 어군 탐지기에서 내보내는 초음파의 진동수를 f_0 이라고 하자. 어군 탐지기를 향해 운동하는 물고기의 입장에서는 관찰자가 운동하는 셈이므로 물고기가 관측하는 초음파의 진동수 $f_1 = \frac{V+v}{V} f_0$ 이다. 물고기 떼에서 반사한 초음파의 진동수도 f_1 이므로 반사한 초음파를 배에서 관측할 때는 파원이 운동하는 것과 같아서 탐지기에서 관측하는 초음파의 진동수 $f_2 = \frac{V}{V-v} f_1 = \frac{V+v}{V-v} f_0$ 이다. 따라서 물고기 떼의 속력 $v = \frac{f_2 - f_0}{f_2 + f_0} V$ 이다.



전자기파를 이용한 도플러 효과

음파나 초음파뿐만 아니라 전자기파에서도 도플러 효과를 관찰할 수 있다.

기상 레이더는 대기 중으로 마이크로파를 보내고 물방울이나 눈송이 등에서 반사해 돌아올 때의 진동수 변화를 측정해 대기의 운동 상태를 관측한다. 이것으로 강수량, 구름의 진로 등을 예상할 수 있다.

비행기는 도플러 레이더에서 지상으로 보낸 전파의 도플러 효과를 분석해 비행 속력을 측정하고, 좌우로 보낸 전파의 도플러 효과를 이용해 실제 운동 방향과 비행기 정면이 향하는 방향 사이의 차이를 파악한다.

이 밖에도 야구공이나 자동차의 속력을 측정하는 스피드 건, 실내에서 사람의 움직임을 감지하고 필요할 때만 전기 기구를 가동시키는 전기 절약 시스템, 드론 충돌 회피 시스템 등에 도플러 효과를 이용한다. 또 천체 물리학 분야에서는 천체에서 오는 전자기파의 도플러 효과를 관측해 천체의 운동을 파악하기도 한다. 이처럼 다양한 분야에서 도플러 효과를 유용하게 활용하고 있다.



글쓰기

도플러 효과를 이용할 때 대기 중에서는 빛이나 적외선 같은 전자기파를, 수중에서는 초음파를 이용하는 까닭을 조사해 글로 써 보자.

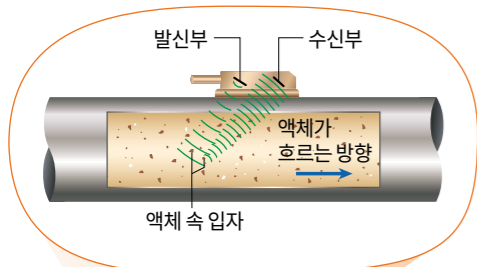


그림 III-19의 도플러 유속계는 액체 속의 부유 입자에서 반사하는 초음파의 진동수 변화를 측정해 관 속에 흐르는 액체의 속력을 구한다. 또 그림 III-20과 같은 어군의 어군 탐지기도 도플러 효과를 이용해 물고기의 움직임을 탐지한다. 탐지기에서 특정 진동수의 초음파를 보내고 물체에서 반사해 돌아오는 초음파의 진동수 변화를 측정하면 물체의 속력을 구할 수 있다.

이 밖에도 도플러 효과는 그림 III-21과 같이 영화나 게임에서 현실감 있는 음향 효과를 위해 이용하기도 한다. 도플러 효과가 일어나는 것처럼 움직이는 물체에서 나는 소리의 진동수가 커지다가 작아지도록 하면 비행기나 자동차가 빠르게 지나가는 장면을 더욱 생생하게 구현할 수 있다.



그림 III-19 도플러 유속계



그림 III-20 어군 탐지

그림 III-21 도플러 효과를 적용한 음향 효과



스스로 확인

- 1 몸속을 흐르는 혈액의 속력을 측정하는 장치는 초음파의 () 효과를 이용한다.
- 2 물고기 떼가 다가올 때는 어군 탐지기에서 보낸 초음파의 진동수보다 물고기 떼에서 반사해 돌아오는 초음파의 진동수가 작다. (○, ×)

스스로 정리

공유 도플러 효과를 시각적으로 표현하는 예술 작품을 만들어 보고, 이를 공유 플랫폼에 공유해 보자.

04

음파의 간섭과 소음 제어

학습 목표 음향 장치나 실내의 공간에서 소음 제어에 음파의 간섭이 활용되는 것을 이해하고, 실생활에 사용되는 사례를 조사할 수 있다.

소음 제거 장치가 있는 헤드폰을 쓰면 주변의 시끄러운 소음에 영향을 받지 않고 음악에 집중할 수 있다. 헤드폰에서 소음을 제거할 때 파동의 어떤 성질을 이용할까?



두 파원에서 발생한 파동의 간섭

두 파원에서 발생한 파동이 진행하다가 만나면 중첩한다. 두 파동이 같은 위상으로 중첩해 보강 간섭 하면 진폭이 커지고, 반대 위상으로 중첩해 상쇄 간섭 하면 진폭이 작아진다. 다음 활동을 하면서 진동수가 같은 음파가 발생하는 두 스피커 주변에서 음파의 간섭을 살펴보자.

연계 **물리학**

보강 간섭과 상쇄 간섭을 '빛과 물질' 단원에서 배웠다.

디지털 해보기

두 스피커에서 발생한 음파의 간섭

준비물

- 스마트 기기 2대 스피커 2대 자 종이 테이프
- 소리 발생 애플리케이션 소리 측정 애플리케이션

1. 두 스피커를 80 cm 간격으로 고정하고, 두 스피커를 잇는 직선과 1 m 떨어진 평행선을 종이 테이프로 바닥에 표시한다.
2. 스마트 기기를 이용해 진동수가 800 Hz인 음파를 발생시킨다.
3. 평행선을 따라 이동하면서 스마트 기기의 소리 측정 애플리케이션으로 음파 세기를 관찰한다.

활동 길잡이

스피커와 소리를 측정하는 스마트폰 마이크의 높이를 같게 유지하면서 이동한다.

- 소리 측정 애플리케이션에 나타나는 음파의 세기는 어떤 특징이 있는가?
- 소리가 크게 들리는 지점과 작게 들리는 지점이 나타나는 까닭은 무엇일까?



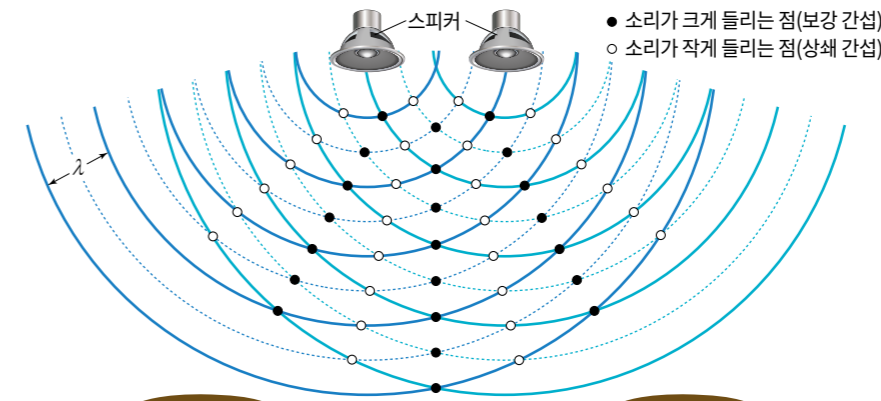
음파의 간섭

두 스피커에서 음파가 발생할 때 관측 위치에 따라 소리가 크게 들리기도 하고 작게 들리기도 한다. 이는 두 스피커에서 발생한 음파가 서로 간섭하기 때문이다.

두 파원에서 진동수가 같은 음파가 같은 위상으로 발생할 때, 그림 III-22와 같이 두 음파가 같은 위상으로 도달하는 지점에서는 보강 간섭이 일어나 음파의 세기가 커진다. 또 두 음파가 반대 위상으로 도달하는 지점에서는 상쇄 간섭이 일어나 음파의 세기가 작아진다.

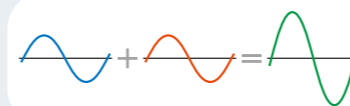
음파가 보강 간섭 하는 지점 또는 상쇄 간섭 하는 지점은 두 파원으로부터 그 지점까지의 **경로차**에 따라 결정된다.

*** 경로차**
파동이 서로 다른 두 경로를 지나면서 생기는 거리의 차이다.



보강 간섭

두 스피커에서 관측 지점까지 경로차가 음파의 반파장($\frac{\lambda}{2}$)의 짝수 배이면 보강 간섭이 일어난다.



상쇄 간섭

두 스피커에서 관측 지점까지 경로차가 음파의 반파장($\frac{\lambda}{2}$)의 홀수 배이면 상쇄 간섭이 일어난다.

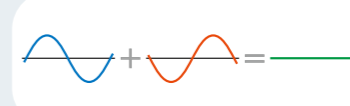


그림 III-22 음파의 간섭

스스로 확인

- 1 두 파원에서 발생한 파동이 보강 간섭 하면 진폭이 커진다. (O, X)
- 2 두 파원에서 파장이 λ 인 음파가 같은 위상으로 발생할 때 두 파원에서 관측 지점까지 경로차가 $\frac{\lambda}{2}$ 의 짝수 배이면 () 간섭이 일어나고, 홀수 배이면 () 간섭이 일어난다.

음파의 간섭 활용

음파의 간섭을 이용하면 소리를 증폭하거나 소음을 줄일 수 있다. 다음 활동을 하면서 생활 속에서 음파의 간섭을 사용하는 사례를 조사해 보자.

해보기

음파의 간섭이 실생활에 사용되는 사례 조사하기

탐구 능력 | 문제 해결 능력

- 준비물
- 스마트 기기

- 스마트 기기를 이용해 실생활에서 음파의 간섭을 활용하는 다양한 사례를 찾아 원리를 정리한다.
- 음파의 상쇄 간섭이 적용되는 경우와 보강 간섭이 적용되는 경우로 구분해 발표한다.
 - 음파의 간섭을 활용할 수 있는 또 다른 사례를 생각해 보자.

그림 III-23과 같은 음악당에서는 청중석에서 되도록 음파가 상쇄 간섭 하지 않도록 스피커를 설치하고 내부 구조를 설계한다. 또 집에서 음악이나 영화를 감상할 때 여러 개의 스피커에서 나오는 음파의 간섭을 이용해 소리를 증폭하면 현장감을 높일 수 있다. 최근에는 주변 사람들에게 피해를 주지 않고 음악을 즐길 수 있도록 여러 개의 스피커에서 나오는 음파의 간섭을 이용해 특정 위치에서만 소리가 증폭되어 잘 들리도록 하는 방법도 연구하고 있다.

그림 III-23 음악당 내부



소음 제거 이어폰은 음파의 간섭을 활용하는 사례이다. 그림 III-24와 같이 소음 제거 이어폰은 마이크가 감지한 외부 소음과 위상이 반대인 소음을 발생시킨다. 두 소음이 상쇄 간섭을 일으켜 주변이 시끄러워도 소음을 차단할 수 있다. 비교적 규칙적인 소음이 발생하는 공장이나 작업장에서 일하는 사람이 사용하는 소음 제거 헤드폰도 음파의 상쇄 간섭을 이용한다.

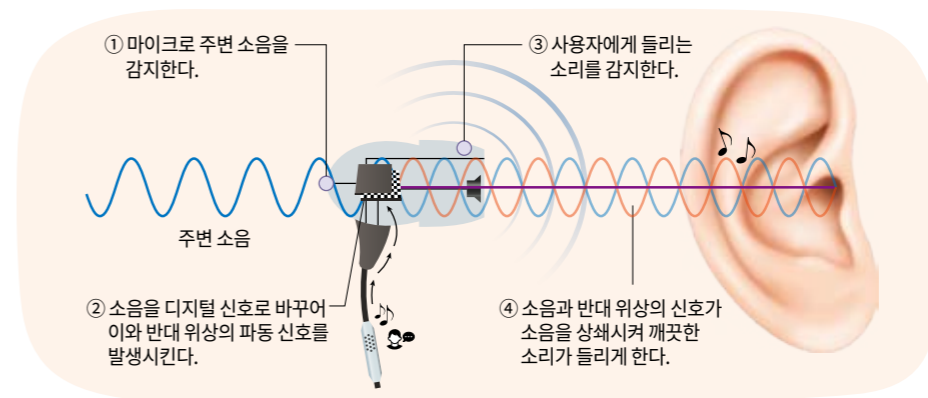


그림 III-24 소음 제거 이어폰의 원리

그림 III-25와 같이 자동차 엔진이나 바닥에서 나는 소음과 반대 위상의 음파를 발생시켜 자동차 내부의 소음을 줄이는 기술도 음파의 상쇄 간섭을 이용하는 예이다. 자동차뿐만 아니라 큰 소음이 발생하는 비행기 내부에서도 음파의 간섭을 이용해 소음을 제거한다.



그림 III-25 자동차 내부의 능동 소음 제어

스스로 확인

- 음향 기기에서 나오는 소리를 더 크게 듣기 위해서는 여러 개의 스피커에서 나오는 소리가 서로 () 간섭 하도록 해야 한다.
- 소음 제거 이어폰은 소음과 위상이 같은 소리를 발생시켜 서로 상쇄 간섭 하도록 한다. (○, ×)

스스로 정리

공유 이어폰이나 헤드폰을 끼고 길을 걸으면 외부 소리를 듣지 못해 위험한 경우가 있다. 이를 예방할 수 있는 방법을 고안해 보고, 공유 플랫폼에 공유해 보자.

정상파와 악기

학습 목표 현악기, 관악기 등에서 소리를 내는 원리를 정상파를 이용해 설명할 수 있다.

전통 악기인 가야금은 나무로 만든 몸통에 연결한 줄을 뜯어서 소리를 내는 악기이다. 가야금의 줄을 받치는 기둥인 안죽의 위치가 달라지면 줄에서 나는 소리의 높낮이가 달라진다. 그 까닭은 무엇일까?



파동의 간섭과 정상파

그림 III-26의 기타와 같은 현악기는 양 끝이 고정된 줄을 튕겨 소리를 낸다. 줄의 진동으로 소리가 만들어지면 울림통에서 공명 현상이 일어나 줄에서 만든 소리가 더 큰 소리가 되어 주변으로 전달된다.

줄을 튕길 때 만들어지는 파동은 서로 반대 방향으로 진행해 고정된 점에서 반사한다. 이때 반사한 두 파동은 진동수와 진폭이 서로 같으며, 양 끝에서 반사한 파동이 중첩하면 진행하지 않고 제자리에서 진동하는 것처럼 보인다. 이처럼 서로 반대 방향으로 진행하는 두 파동이 중첩해 진행하지 않고 제자리에서 진동하는 것처럼 보이는 파동을 **정상파**라고 한다.

그림 III-27과 같은 정상파에서 매질이 진동하지 않는 부분을 **마디**, 최대로 진동하는 부분을 **배**라고 한다.

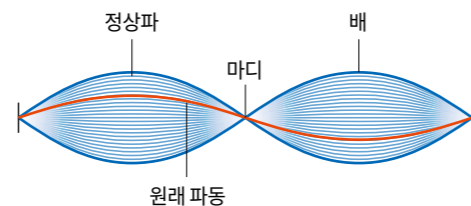


그림 III-27 정상파의 마디와 배



그림 III-26 현악기

그림 III-28과 같이 진동수와 진폭이 같은 두 파동이 서로 반대 방향으로 진행해 정상파를 만드는 경우를 살펴보자.

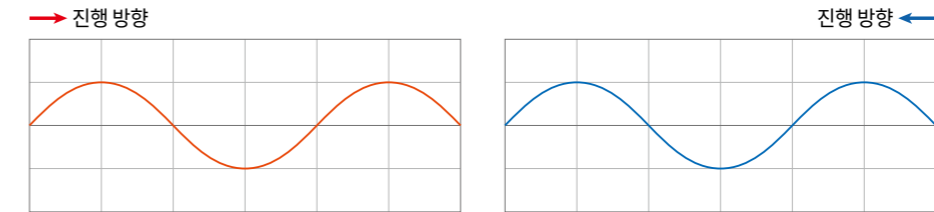
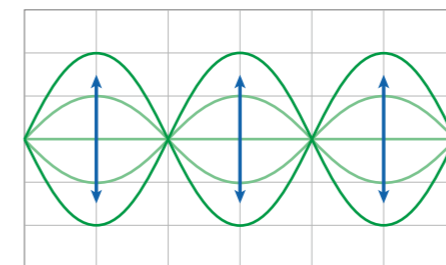


그림 III-28 반대 방향으로 진행하는 두 파동

두 파동이 서로 반대 방향으로 진행하면 그림 III-29와 같이 배가 되는 부분은 늘 보강 간섭하고 마디가 되는 부분은 늘 상쇄 간섭한다. 두 파동이 정상파를 만들 때 진동수와 파장은 변하지 않는다. 그러나 보강 간섭을 할 때 최대 변위가 2 배가 되므로 정상파의 진폭은 원래 파동의 2 배가 된다.

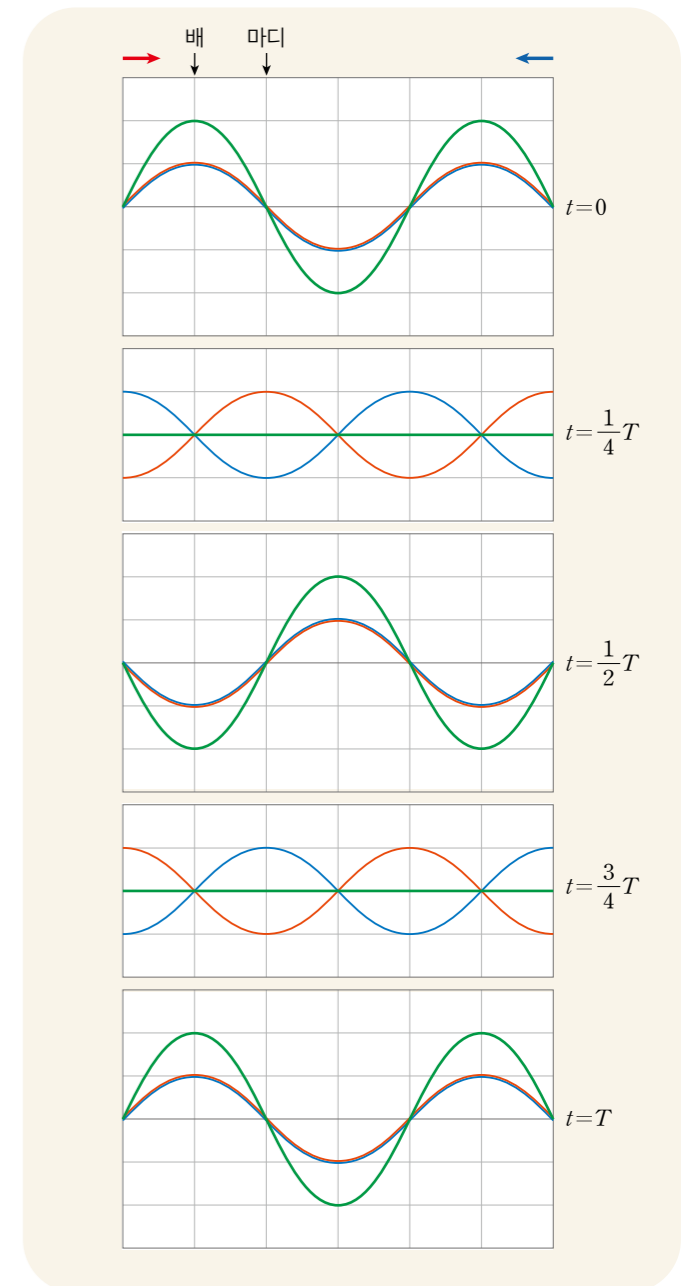


왼쪽으로 진행하는 파동과 오른쪽으로 진행하는 파동이 간섭해 만든 합성파인 정상파는 제자리에서 진동하며 진행하지 않는 것처럼 보인다.

스스로 확인

- 1 진폭이 같은 두 파동이 정상파를 만들면 진폭은 처음 파동의 () 배가 된다.
- 2 정상파의 마디에서는 두 파동이 항상 상쇄 간섭한다. (O, X)

그림 III-29 정상파



현악기에서의 정상파

양 끝이 고정된 줄을 진동시킬 때 만들어지는 정상파는 양 끝이 마디가 된다. 줄의 길이를 l 이라고 하면 n 배 진동에 해당하는 정상파의 파장 λ_n 과 l 은 $l = \frac{n\lambda_n}{2}$ ($n=1, 2, 3, \dots$)의 관계가 있다.

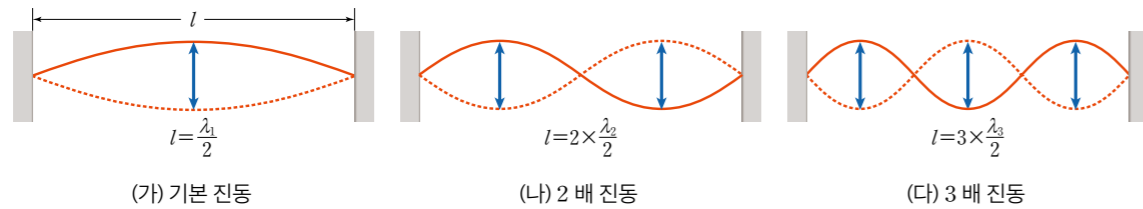


그림 III-30 줄의 진동

줄에서 만들 수 있는 정상파 중에서 가장 작은 진동수의 정상파는 그림 III-30의 (가)처럼 $n=1$ 일 때로, 이때의 정상파를 **기본 진동**이라고 한다. 또 (나), (다)와 같이 $n=2, 3$ 일 때의 정상파를 각각 2 배 진동, 3 배 진동이라고 한다. 줄에서 파동의 진행 속력을 v 라고 하면, 이때 만들어지는 정상파의 진동수 f_n 은 다음과 같다.

$$f_n = \frac{v}{\lambda_n} = \frac{nv}{2l} \quad (n=1, 2, 3, \dots)$$

이러한 진동수를 줄의 **고유 진동수**라고 한다. 현악기에서는 정상파를 형성하는 기본 진동이 소리의 진동수를 결정하고, 줄이 만드는 고유 진동수들의 중첩으로 현악기마다 특유의 음색을 가진 소리가 난다.

현악기에서 나는 소리의 진동수는 줄의 진동수와 같으므로 줄에서 파동의 진행 속력을 조절하거나 진동하는 줄의 길이를 조절해 소리의 진동수를 바꿀 수 있다. 기타나 우쿨렐레와 같은 현악기의 줄감개를 조이고 줄을 튕기면 파동의 진행 속력이 빨라져 진동수가 커지므로 더 높은 소리가 난다. 또 그림 III-31의 (나)와 같이 현악기의 줄을 손가락으로 눌러 진동하는 부분의 길이를 짧게 하고 줄을 튕기면 진동수가 커지므로 그림 (가)의 경우보다 높은 소리가 난다.



그림 III-31 현악기에서 줄의 길이와 소리의 높낮이

관악기에서의 정상파

리코더와 같은 관악기의 취구에 공기를 불어 넣으면 그림 III-32와 같이 공기는 취구 모서리에서 소용돌이를 만드는데, 이 과정에서 공기의 흐름에 진동이 발생해 이 진동이 관 안에서 정상파를 만든다.

관악기는 취구 반대쪽이 열린 형태와 닫힌 형태가 있다. 관의 열린 부분은 배가 되고 막힌 부분은 마디가 되어 관에서 만들어지는 정상파의 파장이 달라진다.

그림 III-33의 (가)처럼 양 끝이 열린 관에서 정상파가 만들어질 때 관의 길이 l 과 정상파의 파장 λ_n 은 $l = \frac{\lambda_n}{4}(2n)$ ($n=1, 2, 3, \dots$)의 관계가 있다. 따라서 관 속의 음파의 속력이 v 일 때 양 끝이 열린 관에서 만들어지는 정상파의 진동수는 $f_n = \frac{v}{\lambda_n} = \frac{(2n)v}{4l}$ 이다.

그림 (나)처럼 한끝이 막힌 관에서 정상파가 만들어질 때 관의 길이 l 과 정상파의 파장 λ_n 은 $l = \frac{\lambda_n}{4}(2n-1)$ ($n=1, 2, 3, \dots$)의 관계가 있다. 따라서 한끝이 막힌 관에서 만들어지는 정상파의 진동수는 $f_n = \frac{v}{\lambda_n} = \frac{(2n-1)v}{4l}$ 이다.

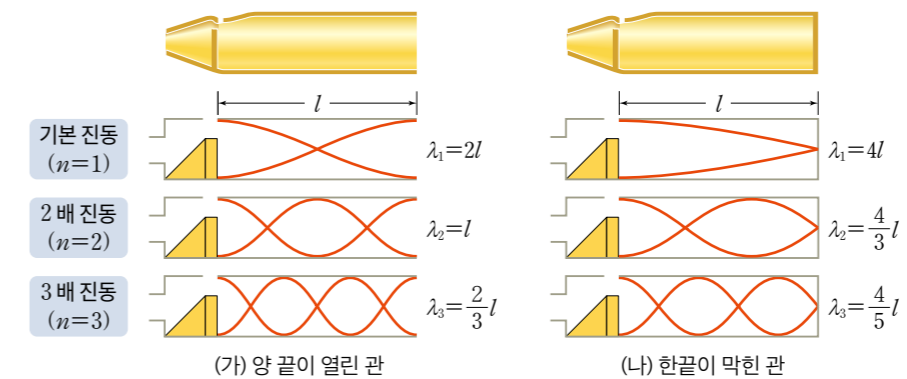


그림 III-33 관의 진동

관의 길이가 짧고 소리의 속력이 빠를수록 정상파를 이루는 소리의 진동수가 커지고, 관악기에서 높은 소리가 난다.

스스로 확인

- 1 바이올린 줄이 진동해 정상파를 이룰 때 양 끝은 배가 된다. (○, ×)
- 2 정상파를 만드는 줄의 길이가 $\frac{1}{2}$ 배가 되면 줄에서 나는 소리의 진동수는 () 배가 된다.



그림 III-32 관악기의 정상파

정상파를 이용한 음파의 진행 속도 측정하기

목표

정상파를 이용하여 음파의 진행 속력을 측정할 수 있다.

과정 및 결과

1. 투명 필름을 둥글게 말아 눈금실린더의 안쪽에 넣고 원통 모양이 되도록 접착테이프로 고정된 뒤 눈금실린더에 끝부분을 끼운다.
2. 스마트폰의 소리 발생 애플리케이션을 이용해 일정한 진동수의 음파가 나오게 하고, 원통 모양의 투명 필름 끝부분에 가까이 가져간다.
3. 투명 필름을 조금씩 밀어 넣으면서 소리가 크게 들리는 지점을 찾은 뒤, 바닥으로부터의 높이(L_1)를 측정한다.
4. **과정 및 결과 3**을 반복하면서 소리가 크게 들리는 다음 지점의 높이(L_2)를 측정한다.

실험 영상



준비물

- 투명 필름
- 눈금실린더
- 스마트폰
- 소리 발생 애플리케이션
- 자(50 cm)
- 접착테이프



탐구 길잡이

여러 모듬이 동시에 실험할 때는 모듬별로 소리의 진동수를 다르게 하는 것이 좋다.

5. 소리가 크게 들리는 두 지점 사이의 간격을 계산해 표에 기록하고 음파의 파장을 구한다.

실험 횟수	음파의 진동수(Hz)	소리가 크게 들릴 때 바닥에서 투명 필름 끝까지의 거리(m)			음파의 파장 (m)
		첫 번째(L_1)	두 번째(L_2)	$L_1 - L_2$	
1					
2					
3					

정리

1. 소리가 크게 들리는 지점 사이의 간격은 음파의 파장과 어떤 관계가 있는가?
2. 음파의 진동수와 **과정 및 결과 5**에서 구한 파장을 이용해 음파의 속력을 구해 보자.

역할 나누기
3~5 명을 한 모듬으로 하고, 역할을 나눠 보자.
• 실험 수행: _____
• 결과 기록: _____

스스로 평가

- | 지식·이해 | 정상파와 음파의 속력 사이의 관계를 설명할 수 있는가? ☆☆☆
- | 과정·기능 | 실험 결과로 음파의 속력을 구할 때 수학적 사고를 활용했는가? ☆☆☆
- | 가치·태도 | 음파 관련 현상을 민감하게 관측하며 자연 현상에 대한 감수성을 지녔는가? ☆☆☆

탐구 후기

그림 III-34와 같이 투명 필름을 끼운 눈금실린더를 한쪽이 막힌 관으로 볼 수 있다. 진동수가 f 인 소리가 크게 들릴 때 바닥으로부터의 높이를 각각 L_1 , L_2 라고 하면, 관의 길이 차이 $\Delta L = L_1 - L_2$ 는 파장의 절반인 $\frac{\lambda}{2}$ 이다.

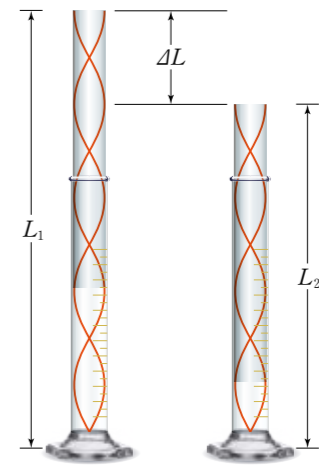


그림 III-34 한쪽 끝이 막힌 관의 정상파

따라서 소리의 진동수와 파장을 알면 $v = f\lambda$ 로부터 소리의 속력을 구할 수 있다. 이때 소리의 진동수가 커지면 파장이 짧아지므로 진동수에 관계없이 소리의 속력은 일정하다.

잠깐 활동

그림 III-34에서 진동수 1700 Hz인 소리를 발생시킬 때 소리가 크게 들리는 두 지점 사이의 거리 ΔL 이 10 cm였다. 이 소리의 속력을 구해 보자.

스스로 확인

1. 길이가 L 이고 한쪽이 막힌 관에서 만들어지는 정상파의 기본 진동의 파장은 ()이다.
2. 진동수가 f_0 인 소리가 한쪽이 막힌 관에서 이룬 정상파의 마디와 마디 사이 간격이 L_0 일 때 소리의 속력은 ()이다.

스스로 정리

공유 현악기, 관악기, 타악기 등 여러 가지 악기에서 만들어지는 정상파를 촬영한 사진이나 영상을 찾아보고, 이를 공유 플랫폼에 공유해 보자.

초음파 센서로 속도 측정 장치 만들기

초음파 센서는 초음파를 방출하고 수신할 수 있는 장치이다. 방출된 초음파가 물체에서 반사되어 돌아올 때까지의 시간을 측정하면 물체까지의 거리를 알 수 있다. 모둠원들과 협력하여 초음파 센서를 이용해 물체의 속력을 측정하는 장치를 만들어 보자.

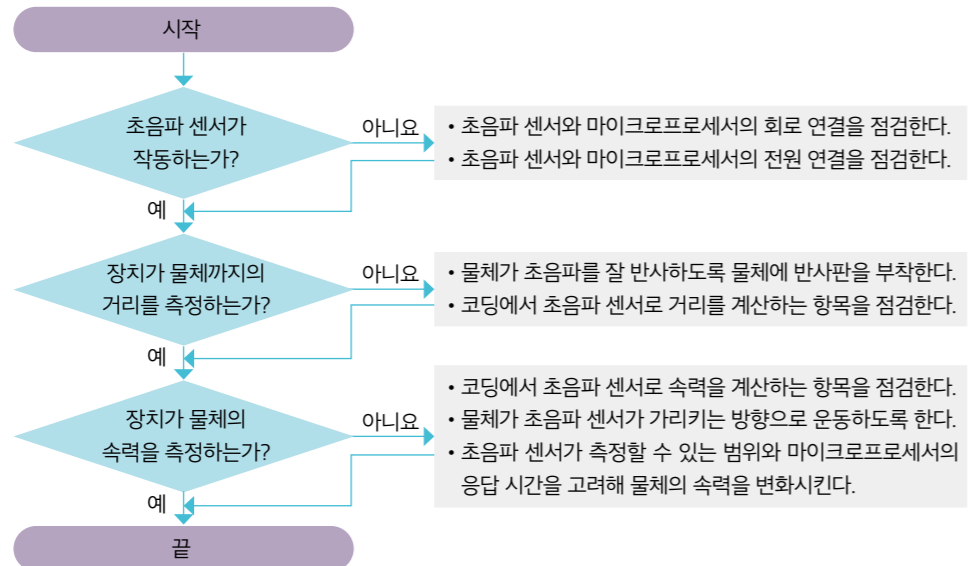
1 계획 및 조사

다음 준비물로 초음파 센서를 이용해 속도 측정 장치를 만들기 위한 계획을 세워 보자. 그리고 코딩 및 장치 연결 방법 등을 인터넷으로 조사해 보자.



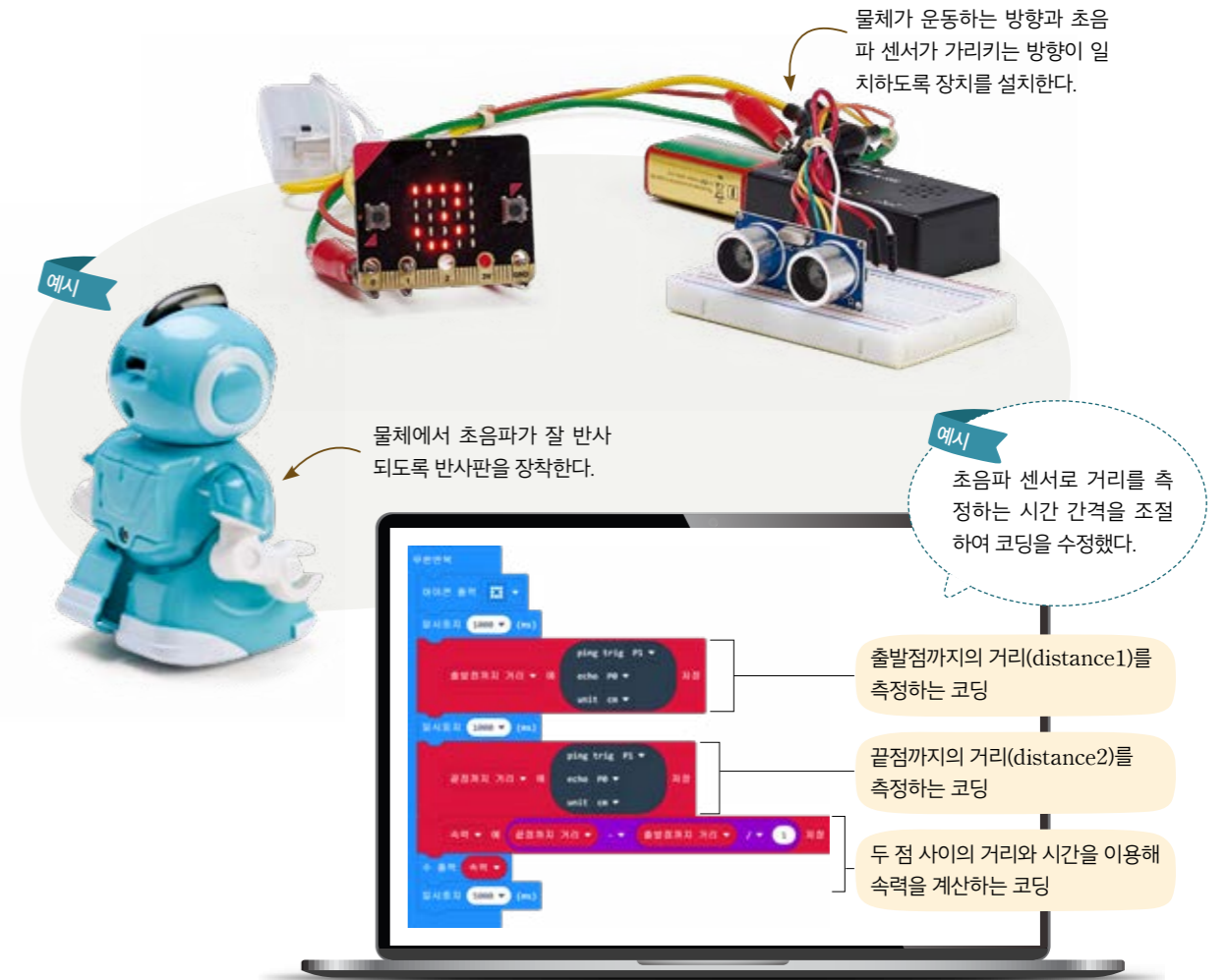
2 토의

계획 및 조사에서 조사한 방법대로 코딩을 하고 장치를 연결하여 작동해 보자. 그리고 코딩 및 장치에서 보완할 부분에 대해 토의해 보자.



3 보완 및 제작

토의에서 도출한 보완점을 반영해 초음파 속도 측정 장치를 완성해 보자.

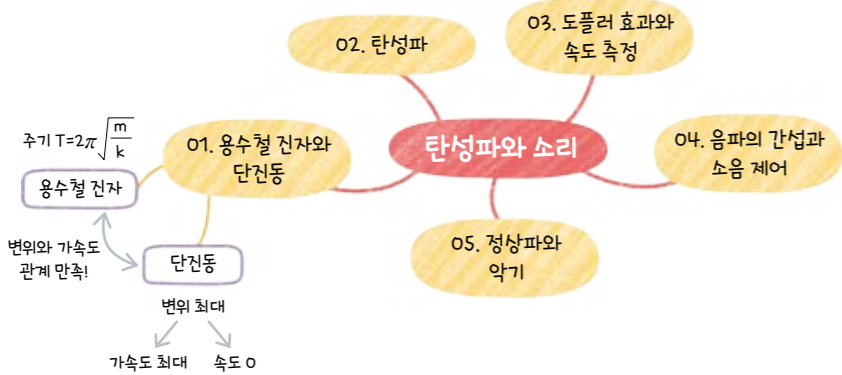


4 평가

계획 및 조사, 토의, 제작 과정을 떠올려 보고, 자기 모둠의 활동 과정과 결과물을 상중하로 평가해 보자.

평가 기준	평가		
토의 과정에서 모둠원들의 의견을 경청했는가?	상	중	하
자신이 맡은 역할을 성실하게 수행했는가?	상	중	하
초음파 센서를 이용해 속력을 정확하게 측정했는가?	상	중	하
코딩에 오류가 없도록 꼼꼼히 살피고 확인했는가?	상	중	하
장치를 창의적으로 설계하고 제작했는가?	상	중	하
코딩이나 마이크로프로세서 작동과 같은 최신 과학 문화를 충분히 누리 보았는가?	상	중	하

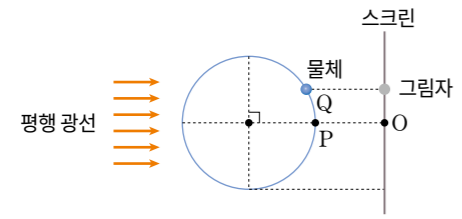
공유 핵심 용어를 모두 포함해 생각 그물을 완성하고, 공유 플랫폼에 공유해 보자.



핵심 용어
 단진동
 용수철 진자
 탄성파
 투과와 반사
 도플러 효과
 음파의 간섭
 소음 제어
 정상파

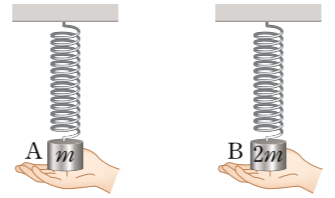
실력 확인하기

01 그림은 등속 원운동 하는 물체에 수평 방향으로 평행 광선을 비출 때 그림자가 스크린의 O를 중심으로 단진동 하는 모습을 나타낸 것이다. 그림자의 단진동 주기는 T 이고, 물체가 점 Q를 지나는 순간 그림자는 진폭의 $\frac{1}{2}$ 지점을 지난다.



물체가 원 궤도의 점 P에서 점 Q까지 운동하는 데 걸리는 시간을 구하시오.

02 그림은 동일한 용수철에 질량 m , $2m$ 인 물체 A, B를 매달아 용수철의 원래 길이를 유지하도록 손으로 받치고 있는 모습을 나타낸 것이다.

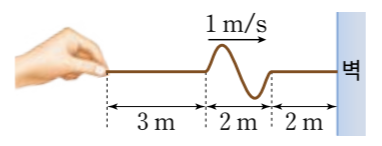


A, B를 가만히 놓아 단진동 하게 할 때, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기**
- ㄱ. 진폭은 B가 A의 2 배이다.
 - ㄴ. 주기는 B가 A의 $\sqrt{2}$ 배이다.
 - ㄷ. 속력의 최댓값은 B가 A의 2 배이다.

- ① ㄴ
- ② ㄷ
- ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄱ, ㄷ
- ⑤ ㄴ, ㄷ

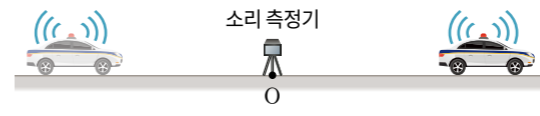
03 그림은 한쪽 끝이 고정된 줄을 5 초마다 한 번씩 아래 위로 흔들 때 발생한 펄스가 오른쪽으로 1 m/s의 속력으로 진행하는 순간을 나타낸 것이다.



이 순간부터 5 초 뒤 줄의 모습으로 가장 적절한 것은? (단, 줄의 장력은 일정하고, 반사하는 동안 에너지가 감소하지 않는다.)

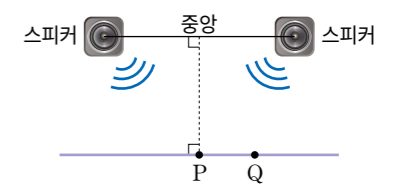
- ①
- ②
- ③
- ④
- ⑤

04 그림은 일정한 진동수의 소리를 내는 자동차가 소리 측정기가 놓인 O 점을 일정한 속도로 통과하는 모습을 나타낸 것이다. 자동차가 O 점을 통과하기 전과 통과한 뒤 소리 측정기에서 관측한 소리의 진동수 비는 9 : 8이다.



소리의 속력이 340 m/s일 때, 자동차의 속력을 풀이 과정과 함께 구하시오.

05 그림은 두 스피커에서 진동수가 f 로 일정한 소리가 같은 위상으로 발생하는 모습을 나타낸 것이다. P는 두 스피커에서 거리가 같은 지점이고, Q는 P에서부터 처음으로 소리가 상쇄 간섭 하는 지점이다. 소리의 속력은 v 이다.



두 스피커에서 진동수가 $2f$ 로 일정한 소리가 반대 위상으로 발생할 때, P와 Q에서 각각 들리는 소리를 간섭 현상으로 설명하시오.

06 다음은 관에서의 정상파에 관한 실험이다.

[실험 과정]

- (가) 그림과 같이 눈금실린더에 원통을 끼워 전체 길이를 60 cm가 되게 한다.
- (나) 스마트폰으로 진동수 1710 Hz 인 소리를 내면서 원통을 눈금실린더에 밀어 넣는다.
- (다) 소리가 크게 들릴 때 눈금실린더와 원통을 합한 길이 L 을 측정한다.

[실험 결과]
 L 이 54 cm, 44 cm, 34 cm일 때 소리가 크게 들렸다.

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

- 보기**
- ㄱ. 소리의 파장은 20 cm이다.
 - ㄴ. 소리의 속력은 342 m/s이다.
 - ㄷ. 정상파가 만들어질 때 눈금실린더 바닥에 마디가 형성된다.

- ① ㄱ
- ② ㄴ
- ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ
- ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

과학적 의사 결정 능력

방음벽에 설치된 소음 감소 장치의 원리를 파악하고, 음파의 상쇄 간섭 원리를 적용해 효과적인 구조를 제안하는 과정에서 의사 결정 능력을 키운다.

과학 역량 키워기

음파의 간섭 활용 114 쪽

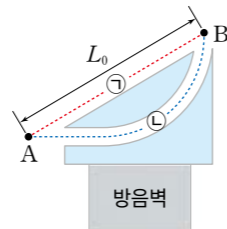
07 다음은 도로변의 방음벽 위에 자동차 소음을 줄이기 위한 장치를 설치하기 위한 제안서이다.

[목적]

도로변의 방음벽 위에 소음 감소 장치를 설치해 자동차 소음을 줄이려고 함.

[장치 원리]

A 점을 지나 겹면의 경로 ㉠을 따라 진행하는 소음과 장치 내부 경로 ㉡을 따라 진행한 소음이 B 점에서 상쇄 간섭 하여 세기가 가장 작아지도록 함. 이를 위해 도로에서 가장 큰 소음의 진동수를 측정하여 경로 ㉡의 길이를 적절하게 조절해야 함.



(1) A를 통과한 소음이 B에서 상쇄 간섭 하는 원리를 위상과 경로차로 설명하시오.

(2) 도로에서 가장 큰 소음의 진동수가 f , 소음의 속력을 v , 경로 ㉠의 길이를 L_0 이라고 할 때 가장 효율적인 경로 ㉡의 길이를 구하시오.

점검하기

		미흡 ← → 우수
지식·이해	단진동을 이해하고, 가속도와 변위 사이의 관계를 설명할 수 있다. 탄성파의 진행, 투과, 반사와 도플러 효과를 이해할 수 있다. 또 악기에서 소리를 내는 원리를 정상파로 설명할 수 있다.	1 2 3 4 5
과정·기능	파동 용수철을 이용해 종파와 횡파를 구현하고, 각 탄성파의 진행 속력을 측정할 수 있다. 또 스마트폰을 활용해 도플러 효과를 측정하고, 정상파를 이용해 음파의 진행 속력을 측정할 수 있다.	1 2 3 4 5
가치·태도	탄성파가 활용되는 예를 찾아보고, 도플러 효과, 음파의 간섭 등이 실생활에 이용되는 예를 알아봄으로써 과학의 유용성을 설명할 수 있다.	1 2 3 4 5

점검을 해 본 뒤 아쉬운 부분이 있다면 다시 한번 학습하고, 아쉬운 부분이 어떻게 보완되었는지 써 보자.



과학과

나의 미래

게임에 현실감을 더하는
게임 음향 기술자

커리어넷
누리집



게임 음향 기술자는 게임 속 음악을 포함한 다양한 소리를 만드는 사람이다. 소리를 내면서 움직이는 물체가 등장하는 장면에서는 도플러 효과를 비롯해 소리의 특성을 반영한 배경 음악과 효과음이 필요하다. 소리를 생생하고 몰입감 있게 표현하려면 음악적 능력뿐 아니라, 게임 음향을 이해하는 능력이 있어야 한다. 또 컴퓨터 작업에 필요한 공학적 지식도 필요하다. 게임 산업의 발전과 함께 게임 음향 기술자의 전문성과 활동에 대한 수요도 높아질 것이다.

어떤 역량을 가지면 좋을까?

- 게임을 분석하고 적절한 게임 음향을 적용할 수 있는 능력
- 음악을 만들기 위해 음향 관련 컴퓨터 장비를 다루는 능력
- 소리의 특성과 사람의 청각에 대한 이해

어떻게 준비할까?

- 다양한 게임에서 음향이 주는 효과를 체험한다.
- 음악, 사람의 감각, 소리, 게임 음향 등 관련 분야의 전문 지식을 쌓는다.

체험 학습

게임 음향 기술자와의 인터뷰 계획을 세우고, 인터뷰 계획서를 써 보자.



'탄성파와 소리' 단원을 학습하면서 자신이 공유한 결과물을 엮어 포트폴리오를 완성해 보자.

공유



1. 국제단위계(SI)

• SI 기본단위

기본량		기본단위	
명칭	전형적인 기호	명칭	기호
시간	t	초	s
길이	l, x, r 등	미터	m
질량	m	킬로그램	kg
전류	I, i	암페어	A
열역학 온도	T	켈빈	K
물질량	n	몰	mol
광도	I_v	칸델라	cd

(출처: 한국표준과학연구원, 2019.)

• 특별한 명칭과 기호를 가진 SI 단위

유도량	단위의 특별한 명칭	기본단위로 표시된 단위	기타 SI 단위로 표시된 단위
평면각	라디안	rad=m/m	
주파수, 진동수	헤르츠	Hz=s ⁻¹	
힘	뉴턴	N=kg·m·s ⁻²	
압력, 응력	파스칼	Pa=kg·m ⁻¹ ·s ⁻²	
에너지, 일, 열량	줄	J=kg·m ² ·s ⁻²	N·m
일률, 전력, 복사선속	와트	W=kg·m ² ·s ⁻³	J/s
전하, 전하량	쿨롱	C=A·s	
전위차	볼트	V=kg·m ² ·s ⁻³ ·A ⁻¹	W/A
전기 용량, 정전 용량	패럿	F=kg ⁻¹ ·m ⁻² ·s ⁴ ·A ²	C/V
전기 저항	옴	Ω=kg·m ² ·s ⁻³ ·A ⁻²	V/A
자기선속	웨버	Wb=kg·m ² ·s ⁻² ·A ⁻¹	V·s
인덕턴스	헨리	H=kg·m ² ·s ⁻² ·A ⁻²	Wb/A
섭씨온도	섭씨도	°C=K	

(출처: 한국표준과학연구원, 2019.)

2. SI 접두어

인자	명칭	기호	인자	명칭	기호
10 ¹	데카	da	10 ⁻¹	데시	d
10 ²	헥토	h	10 ⁻²	센티	c
10 ³	킬로	k	10 ⁻³	밀리	m
10 ⁶	메가	M	10 ⁻⁶	마이크로	μ
10 ⁹	기가	G	10 ⁻⁹	나노	n
10 ¹²	테라	T	10 ⁻¹²	피코	p
10 ¹⁵	페타	P	10 ⁻¹⁵	펨토	f
10 ¹⁸	엑사	E	10 ⁻¹⁸	아토	a
10 ²¹	제타	Z	10 ⁻²¹	젱토	z
10 ²⁴	요타	Y	10 ⁻²⁴	욕토	y

(출처: 한국표준과학연구원, 2019.)

3. 중요 물리 상수

상수	기호	수치	단위
세슘(Cs)의 초미세 전이 주파수	$\Delta\nu_{Cs}$	9192631770	Hz
진공에서 빛의 속력	c	299792458	m/s
플랑크 상수	h	$6.62607015 \times 10^{-34}$	J·s
기본 전하	e	$1.602176634 \times 10^{-19}$	C
볼츠만 상수	k	1.380649×10^{-23}	J/K
아보가드로 상수	N_A	$6.02214076 \times 10^{23}$	mol ⁻¹
시감효능	K_{cd}	683	lm/W
중력 상수	G	6.67428×10^{-11}	m ³ /(s ² ·kg)
보편 기체 상수	R	8.314472	J/(mol·K)
진공 유전율	ϵ_0	$8.8541878128(13) \times 10^{-12}$	F/m
진공 투자율	μ_0	$1.256637062(19) \times 10^{-6}$	N/A ²
슈테판-볼츠만 상수	σ	5.670400×10^{-8}	W/(m ² ·K ⁴)
뤼드베리 상수	R	$1.0973731568527 \times 10^7$	m ⁻¹
보어 반지름	a_0	$5.2917720859 \times 10^{-11}$	m

(출처: 한국표준과학연구원, 2019. / 『Fundamentals of Physics』, 2021.)

실험하기 전

실험복, 실험용 장갑과 같은 안전 장비를 착용하고, 긴 머리는 단정하게 묶는다.

실험 기구의 사용 방법을 미리 알아 둔다.

소화기와 출입문 위치를 숙지하고, 소화기 사용법을 알아 둔다.

레이저를 사용할 때에는 레이저 보안경을 착용하고, 절대로 사람의 눈을 향해 비추지 않으며, 전원을 오래 켜 두지 않는다.

실험하는 동안

날카로운 도구를 사용할 때에는 손을 다치지 않게 주의한다.

시약을 맛보거나 냄새를 직접 맡지 않는다.

가열 장치를 사용할 때에는 내열 장갑을 끼고 화상에 주의한다.

약품 사용하거나 기체가 발생하는 실험을 할 때에는 환기가 잘 되도록 창문을 열어 둔다.

시약병을 함부로 들고 다니지 않는다.

젖은 손으로 전기 기구를 다루지 않는다.

실험 후 남은 약품이나 폐기물은 선생님의 지시에 따라 정해진 곳에 버린다.

실험한 후

실험에 사용한 기구를 깨끗이 씻어서 제자리에 가져다 둔다.

실험이 모두 끝나면 비누로 손을 씻는다.

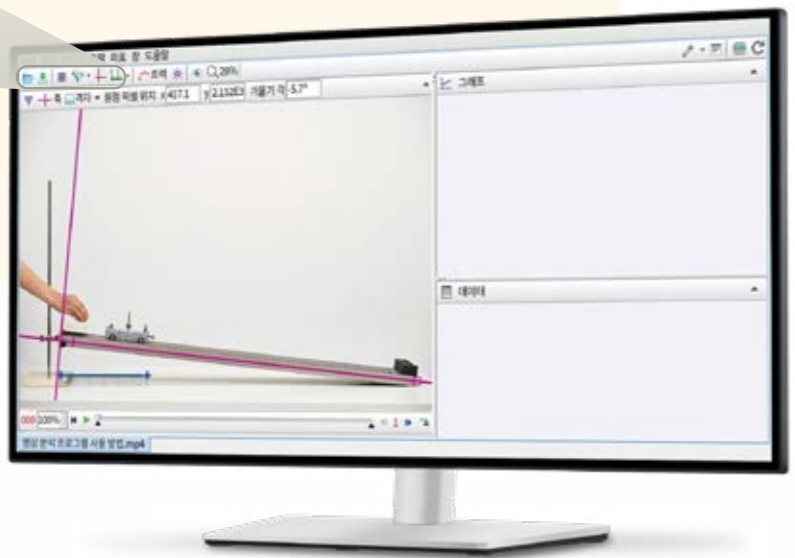
안전 기호

- 위험한 물질로부터 보호하기 위해 실험복을 입는다.
- 열, 레이저 등으로부터 보호하기 위해 보안경을 쓴다.
- 뜨거운 기구나 화학 물질을 다룰 때에는 장갑을 낀다.
- 젖은 손으로 전기 기구를 만지지 않는다.
- 날카로운 물체에 다치지 않게 주의한다.
- 실험 기구가 깨지지 않게 주의한다.
- 가열 장치를 사용할 때에는 화재에 주의한다.
- 실험 폐기물은 선생님의 안내에 따라 처리한다.

응급 처치 방법

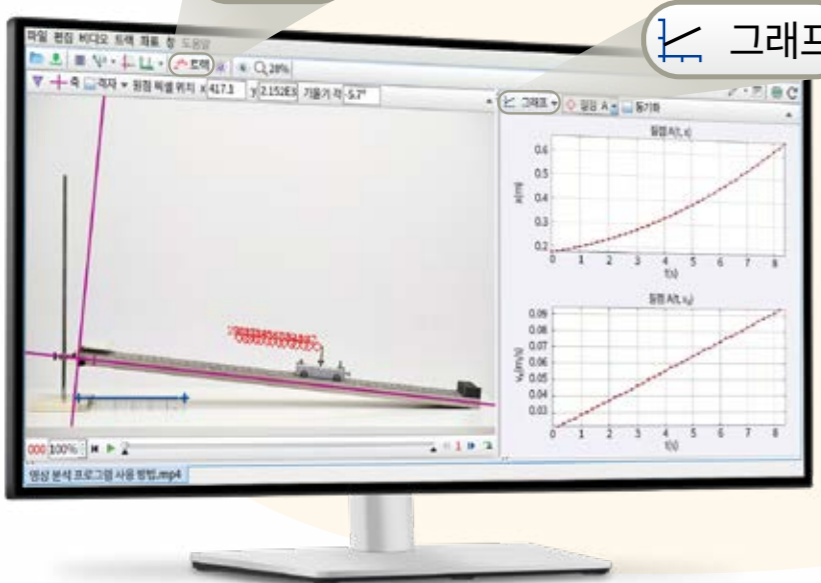
- **불이 나면** 큰 소리로 알리고 대피한다. 큰불이 나면 화재경보기를 울리고 119에 신고한다.
- **눈에 약품이 닿으면** 즉시 눈을 뜬 채로 얼굴을 흐르는 물에 담그고 충분히 씻는다.
- **유리 기구가 깨지면** 유리 조각을 만지지 말고 선생님께 알려 지시에 따라 처리한다.
- **손을 베이면** 깨끗한 천으로 지혈하고, 피가 멎으면 상처 부위를 씻고 소독한다.
- **화상을 입으면** 흐르는 찬물로 화상 부위의 열기를 식힌 뒤 적절한 치료를 받는다.
- **감전 사고가 나면** 전원을 차단하고, 감전당한 사람을 전기 기구와 떨어뜨린 뒤 119에 신고한다.

- 1 동영상 분석 프로그램으로 분석할 동영상 파일을 연다.
- 2 분석할 구간을 프레임 단위로 설정한다.
- 3 특정 물체의 양 끝을 표시하고 실제 길이를 입력해 기준 길이를 설정한다.
- 4 물체의 위치를 좌표로 표현하기 위해 원점과 x축, y축을 설정한다.



- 5 물체의 한 부분을 점으로 선택한 뒤, 자동 찾기 기능을 통해 물체의 운동 궤적을 자동으로 추적한다.

트랙



그래프

- 6 데이터로부터 얻은 시간, 위치, 속도, 가속도 등 다양한 변수 사이의 관계를 그래프로 확인한다.

I 시공간과 운동

01 힘의 합성과 운동 예측

잠깐 활동

15 쪽 | 알짜힘이 0이므로 마찰력의 크기는 빗면을 내려가게 하는 힘의 크기와 같다. 따라서 $1 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times \sin 30^\circ = 5 \text{ N}$ 이다. 2 m/s의 일정한 속력으로 2 초 동안 이동한 거리는 4 m이다.

스스로 확인

- 12 쪽 | 1. 벡터량 2. ○
- 15 쪽 | 1. ○ 2. 수직 항력

02 뉴턴 운동 법칙과 포물선 운동

잠깐 활동

20 쪽 | 최고점에서 물체의 역학적 에너지는 $m \times 10 \text{ m/s}^2 \times 3 \text{ m} + \frac{1}{2} \times m \times (2 \text{ m/s})^2$ 이고, 처음 역학적 에너지는 $\frac{1}{2} m v_0^2$ 이다. 역학적 에너지는 보존되므로 $v_0 = 8 \text{ m/s}$ 이다.

스스로 확인

- 17 쪽 | 1. 등속, 등가속도 2. $\frac{2v_0 \sin \theta}{g}$
- 20 쪽 | 1. × 2. ○

03 여러 가지 운동

스스로 확인

- 26 쪽 | 1. 8 m/s^2 2. ×

04 케플러 법칙과 중력

잠깐 활동

28 쪽 | $S_1 = S_2$ 이므로 행성이 A~B 구간과 C~D 구간을 지나가는데 걸린 시간이 같다. 따라서 이동 거리가 더 긴 A~B 구간의 평균 속력이 더 크다.

31 쪽 |
$$v = \frac{2\pi(R+h)}{T} = \frac{2\pi(6.37 \times 10^6 + 3.58 \times 10^7) \text{ m}}{86400 \text{ s}} \approx 3066.69 \text{ m/s}$$
이다.

스스로 확인

- 28 쪽 | 1. 타원 2. 제곱, 세제곱
- 31 쪽 | 1. 거리 제곱 2. 자전 주기

05 역학적 에너지 보존과 탈출 속도

잠깐 활동

37 쪽 | 뉴턴 제2법칙에 따라 힘이 일정할 때 가속도는 질량에 반비례한다. 운동량 보존을 통해 얻은 추진력이 같더라도 다 쓴 엔진이나 보호 덮개 등을 분리하면 질량이 보다 가벼워져 더 큰 가속도를 얻을 수 있다.

스스로 확인

- 34 쪽 | 1. × 2. 클, 작을
- 37 쪽 | 1. 운동량, 운동량 2. ○

06 등가 원리와 시공간의 휨

잠깐 활동

43 쪽 | 자동차의 내비게이션에서 자동차의 위치나 주행 속도 등을 파악하는 데 사용한다. 또 스마트 기기의 지도 애플리케이션에서 사용자의 실시간 위치를 파악하는 기능에 사용한다.

스스로 확인

- 40 쪽 | 1. × 2. 등가 원리
- 43 쪽 | • 시간이 가장 빠르게 가는 인공위성: 기상 위성
• 시간이 가장 느리게 가는 인공위성: 통신 위성
- 45 쪽 | 1. ○ 2. ○

대단원 마무리

48 쪽~50 쪽

- 01 ⑤ 02 해설 참조 03 ③ 04 ④ 05 해설 참조 06 ③ 07 해설 참조

01 7. 물체에는 중력과 수직 항력이 작용한다. 중력을 빗면과 나란한 성분과 빗면에 수직인 성분으로 분해하면, 빗면에 수직인 성분은 수직 항력과 크기가 같고 방향이 반대여서 상쇄된다. 따라서 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 중력의 빗면과 나란한 성분의 크기와 같은 $mg \sin \theta = 1 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times \sin 30^\circ = 5 \text{ N}$ 이다.

ㄴ. 뉴턴 제2법칙에 따라 $a = \frac{F}{m} = \frac{5 \text{ N}}{1 \text{ kg}} = 5 \text{ m/s}^2$ 이다.

ㄷ. 물체는 직선상에서 등가속도 운동을 하므로 2 초 뒤 물체의 속력은 $5 \text{ m/s}^2 \times 2 \text{ s} = 10 \text{ m/s}$ 이다.

02 예시 답안 물체의 질량을 m , 중력 가속도를 g 라고 하면 B점에서 운동 에너지와 중력에 의한 위치 에너지가 같으므로 $\frac{1}{2}m(2v)^2 = mgh_B$ 이다. 따라서 $v^2 = \frac{gh_B}{2}$ 이고, B점에서 역학적 에너지는 $2mgh_B$ 이다. 공기 저항을 무시하므로 역학적 에너지가 보존되어 A점과 B점에서 역학적 에너지가 같다.

따라서 $\frac{1}{2}mv^2 + mgh_A = 2mgh_B$ 이고, 이 식에 $v^2 = \frac{gh_B}{2}$

를 대입하면 $h_A = \frac{7}{4}h_B$ 이므로 $h_A : h_B = 7 : 4$ 이다.

03 ㄱ. A와 B의 등속 원운동 주기가 같으므로 각속도도 같다.

ㄴ. 각속도 $\omega = \frac{v}{r}$ 이므로 $\frac{v_A}{r} = \frac{v_B}{3r}$ 에서 $3v_A = v_B$ 이다.

따라서 A의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}(3m)v_A^2 = \frac{3}{2}mv_A^2$ 이고,

B의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}mv_B^2 = \frac{9}{2}mv_A^2$ 이다.

ㄷ. 구심력 $F = mr\omega^2$ 이므로 A, B에 작용하는 구심력의 크기는 $3mr\omega^2$ 으로 같다.

04 ① 케플러 제1법칙에 따르면 모든 행성은 태양을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 운동한다.

② 중력 법칙에 따르면 질량이 있는 모든 물체 사이에 서로의 질량으로 인한 인력이 작용하며, 이 힘을 중력이라고 한다.

③, ④, ⑤ 행성은 태양으로부터 받는 중력을 구심력으로 하는 등속 원운동을 한다. 이를 통해 행성의 공전 주기 제곱은 궤도 반지름 세제곱에 비례한다는 케플러 제3법칙에 해당하는 관계식을 얻을 수 있다.

05 예시 답안 B, (가)의 탈출 속도는 $\sqrt{\frac{2GM}{R}}$ 이고, (나)의 탈

출 속도는 $\sqrt{\frac{2G(80M)}{8R}} = \sqrt{\frac{20GM}{R}}$ 이다. 따라서 탈

출 속도가 큰 (나)의 대기에 분자의 질량이 작은 기체가 더 높은 비율로 포함될 수 있다.

해설 기체 분자의 질량이 작을수록 대기 중 기체 분자의 속도가 빠르다. 그리고 기체 분자의 속도가 행성의

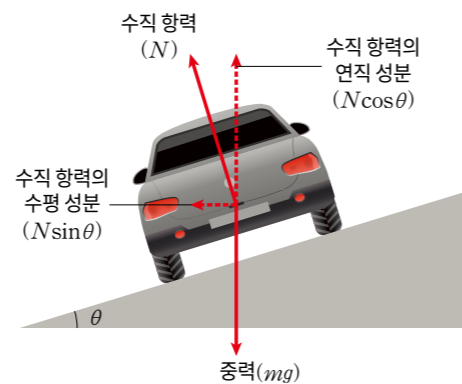
탈출 속도를 넘어서면 행성으로부터 탈출해 대기 중에 거의 남아 있지 않게 된다. 천체의 표면 온도가 같으므로 탈출 속도가 더 작은 행성 (가)의 대기에 분자의 질량이 무거운 기체 비율이 더 높다.

06 ㄱ. (가)는 지구에서 정지해 있으므로 (가)의 물체에는 중력과 수직 항력이 작용한다.

ㄴ. (나)의 관찰자가 보았을 때 물체에는 수직 항력과, 우주선의 가속도와 반대 방향의 관성력이 작용한다.

ㄷ. (가)에서 물체에 작용하는 중력의 크기와 (나)에서 물체에 작용하는 관성력의 크기가 같다. 따라서 (가)와 (나)에서 관찰자가 보았을 때 물체에 작용하는 알짜힘의 크기가 같아 가속도 또한 같다.

07 예시 답안 (1) 자동차가 호 모양 도로를 일정한 속력으로 다 내려면 자동차에 수평 방향으로 일정한 크기의 구심력이 작용해야 한다. 다음 그림과 같이 자동차에는 수직 항력과 중력이 작용한다.



자동차는 연직 방향으로 운동하지 않으므로 연직 방향으로 알짜힘은 0이다. 따라서 수직 항력의 연직 성분 크기는 중력과 같아 다음 식을 만족한다.

$$N \cos \theta = mg \dots ①$$

한편 수직 항력의 수평 성분 힘이 구심력으로 작용하므로 다음 식을 만족한다.

$$N \sin \theta = \frac{mv^2}{r} \dots ②$$

①, ②를 연립하면 $\frac{v^2}{rg} = \frac{\sin \theta}{\cos \theta} = \tan \theta$ 이다.

(2) $\frac{v^2}{rg} = \tan \theta$ 에서 v 와 g 가 일정하면 θ 가 작을수록 반지름 r 가 커지고, θ 가 클수록 반지름 r 가 작아진다. 따라서 θ 가 너무 작아지거나 커지면 자동차가 도로에서 이탈하는 문제점이 생긴다.

II 열과 에너지

01 단열과 열팽창

스스로 확인

55 쪽 | 1. ○ 2. 단열

59 쪽 | 1. × 2. 다른, 작은

02 열에 의한 물질의 변화

잠깐 활동

60 쪽 | 큰 호수나 바다 주위는 기온 변화가 상대적으로 크지 않다. 인체의 구성 성분 중 물의 비율이 높아서 체온이 쉽게 변하지 않는다. 등

스스로 확인

62 쪽 | 1. 잠열 2. ○

67 쪽 | 1. × 2. $\frac{1}{2}, 2$

03 열역학 제1법칙

잠깐 활동

72 쪽 | **예시 답안** 압력밥솥으로 밥을 지을 때 뚜껑을 밀폐하고 밥솥을 가열하면 내부 압력이 증가한다. 찌그러진 탁구공에 열을 가하면 탁구공이 퍼진다. 따뜻한 음식이 담긴 용기의 뚜껑을 닫아 냉장고에 넣어 두면, 용기 속 기체의 압력이 낮아져 뚜껑이 잘 열리지 않는다.

스스로 확인

69 쪽 | 1. 크다 2. 열, 일

72 쪽 | 1. ○ 2. 300

04 열기관과 열효율

잠깐 활동

77 쪽 | ① → ②: 기체가 가열되지만 일정한 온도를 유지하면서 팽창하므로 내부 에너지는 변하지 않는다. ② → ③: 기체가 냉각되는 동안 부피가 일정하게 유지되므로 내부 에너지는 감소한다. ③ → ④: 기체는 압축되지만 온도가 일정하므로 내부 에너지의 변화가 없다. ④ → ①: 기체가 일정한 부피를 유지하면서 가열되므로 내부 에너지가 증가한다.

스스로 확인

75 쪽 | 1. × 2. 한 일

77 쪽 | 1. 0.2 2. 카르노 기관

79 쪽 | 1. ○ 2. ○

05 비가역 현상과 엔트로피

스스로 확인

81 쪽 | 1. × 2. 증가

83 쪽 | 1. 증가 2. ○ 3. 열역학 제2법칙

대단원 마무리

86 쪽~88 쪽

01 ㉠ 작다 ㉡ 크다 ㉢ B 02 해설 참조 03 ㉡ 04 ㉠
05 ㉢ 06 ㉣ 07 해설 참조

01 A의 열전도도는 k 이고 B의 열전도도는 $2k$ 이므로, 같은 조건일 때 A가 B보다 열을 적게 전달한다. 같은 시간 동안 전도되는 열량은 단면적과 열전도도에 비례하고 두께에 반비례하므로 A가 B보다 크다. 따라서 단열 성능이 더 좋은 것은 단위 시간당 전도하는 열량이 작은 B이다.

02 예시 답안 (1) (나)와 같이 온도가 높아질 때 A 쪽으로 휘었으므로 열팽창 정도는 B가 A보다 크다. (2) 바이메탈 스위치는 일정 온도 이상일 때 휘어지면서 회로의 연결이 끊어져 전류가 흐르지 않으므로 전열기의 온도를 일정 온도 이하로 유지시키는 역할을 한다.

03 ①, ② 기체의 종류와 관계없이 부피가 0이 되는 온도 t 는 0 K이다. ③ A, B의 압력, 온도가 같을 때 부피는 A가 B보다 크므로 기체 분자의 개수는 A가 B보다 많다. ④ 절대 영도인 $t = -273 \text{ }^\circ\text{C}$ 이고 온도가 $273 \text{ }^\circ\text{C}$ 높아질 때 A의 부피가 V_0 만큼 증가한다. 따라서 부피가 $2V_0$ 이 되는 온도는 $273 \text{ }^\circ\text{C}$ 이다. ⑤ 온도가 $273 \text{ }^\circ\text{C}$ 높아질 때 B의 부피는 V_0 보다 적게 증가한다.

04 ㄱ. 평균 운동 에너지는 온도에 비례한다. 페트병 내부의 온도가 낮아지므로 공기 분자의 평균 운동 에너지가 작아진다.

ㄴ. 페트병 내부의 부피가 줄어들었으므로, 페트병 내부의 공기 분자는 외부로부터 일을 받는다.

ㄷ. 페트병의 부피가 줄어드는 과정이므로 등적 과정이 아니다. 이 과정은 일정한 압력(대기압) 아래에서 부피가 감소하는 등압 과정이다.

05 ㄱ. 열역학 제1법칙에 따라 $W=Q_1-Q_2$ 이다.

ㄴ. 열효율 $e = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1-Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$ 이므로 $\frac{Q_2}{Q_1}$ 값이 작으면 열효율이 높다.

ㄷ. 열효율이 100%인 기관은 저열원이 없이 공급된 에너지를 모두 일로 전환하는 장치이다. 이는 저온부가 없이 열이 이동한다는 것이므로 열역학 제2법칙에 위배되어 일어날 수 없다.

06 ㄱ. 기체 분자는 자연적으로 확산하지만, 다시 한곳에 모이지는 않으므로 비가역 과정이다.

ㄴ. 외부로부터 에너지 공급이 없는 상태에서 기체의 부피가 증가하므로 기체의 압력은 감소한다.

ㄷ. 엔트로피를 고려하면 고립계에서 자발적으로 일어나는 자연 현상은 항상 일어날 확률이 높은 방향으로 진행된다. 용기의 한쪽 부분에 모이는 것보다 양쪽에 골고루 퍼지는 것이 일어날 확률이 높은 현상이다.

07 예시 답안 (1) 커피의 엔트로피 변화는 다음과 같다.

$$\Delta S_{\text{커피}} = \frac{4Q}{T} = \frac{-5000}{273+70} = -14.6 \text{ J/K}$$

(2) 방의 엔트로피 변화는 다음과 같다.

$$\Delta S_{\text{방}} = \frac{4Q}{T} = \frac{+5000}{273+25} = +16.8 \text{ J/K}$$

(3) 커피와 방의 온도가 같다면 열에너지의 흐름도 없고 엔트로피 변화도 없다. 따라서 커피와 방의 엔트로피 변화는 모두 $\Delta S=0$ 이다.

(4) 커피와 방 시스템 전체의 엔트로피 변화는

$$\Delta S_{\text{방+커피}} = -14.6 + 16.8 = +2.2 \text{ J/K} > 0$$

이므로 커피에서 방으로 열에너지가 이동하는 현상은 자발적으로 일어난다.

III 탄성파와 소리

01 용수철 진자와 단진동

스스로 확인

93 쪽 | 1. 단진동 2. ○

96 쪽 | 1. 최대 2. 진폭이다. → 용수철 상수이다.

02 탄성파

스스로 확인

101 쪽 | 1. 반대, 같 2. ○

103 쪽 | 1. 반사 2. ○

03 도플러 효과와 속도 측정

스스로 확인

106 쪽 | 1. 도플러 2. ○

108 쪽 | 1. 커진다 2. 소리가 낮게 들린다.

110 쪽 | 1. 도플러 2. ×

04 음파의 간섭과 소음 제어

스스로 확인

113 쪽 | 1. ○ 2. 보강, 상쇄

115 쪽 | 1. 보강 2. ×

05 정상파와 악기

잠깐 활동

121 쪽 | $v=f\lambda=1700 \text{ Hz} \times (2 \times 0.1 \text{ m})=340 \text{ m/s}$

스스로 확인

117 쪽 | 1. 2 2. ○

119 쪽 | 1. × 2. 2

121 쪽 | 1. $4L$ 2. $2f_0L_0$

대단원 마무리

124 쪽~126 쪽

01 $\frac{T}{12}$ 02 ㉓ 03 ㉑ 04 해설 참조 05 해설 참조

06 ㉓ 07 해설 참조

01 물체가 점 Q를 지나는 순간 그림자는 진폭의 $\frac{1}{2}$ 지점을

지나므로 $\frac{A}{2} = A \sin \theta$ 에서 Q는 중심각 $\theta=30^\circ$ 인 지점이다. 물체의 원운동 주기가 T이므로 물체가 P에서 Q까지 운동하는 데 걸린 시간은 $T \times \frac{30^\circ}{360^\circ} = \frac{T}{12}$ 이다.

02 ㄱ. A, B의 진폭은 각각 $x_A = \frac{mg}{k}$, $x_B = \frac{2mg}{k}$ 이다.

ㄴ. $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$ 에서 주기는 B가 A의 $\sqrt{2}$ 배이다.

ㄷ. 단진동에서 속도 $v = A\omega \cos \omega t$ 이다. A의 진폭과 주기를 각각 x_A, T_A 라 하고, B의 진폭과 주기를 x_B, T_B 라 하면, A의 속도 최대값 $v_A = x_A \times \frac{2\pi}{T_A}$, B의 속도 최대값 $v_B = x_B \times \frac{2\pi}{T_B} = 2x_A \times \frac{2\pi}{\sqrt{2}T_A} = \sqrt{2}v_A$ 이다. 따라서 속력의 최대값은 B가 A의 $\sqrt{2}$ 배이다.

03 줄을 통해 진행하는 파동이 고정된 벽에서 반사하면 고정단 반사이므로 위상이 반대가 된다. 5초 후에 첫 번째 펄스의 반사파와 두 번째 펄스의 입사파가 중첩되어 ㉑과 같은 형태가 된다.

04 예시 답안 자동차가 내는 소리의 진동수를 f_0 , 소리와 자동차의 속력을 각각 V, v 라고 하면, 자동차가 통과하기 전과 통과한 후 관찰자가 측정하는 소리의 진동수는 각각 $f_{\text{전}} = \frac{V}{V-v}f_0$, $f_{\text{후}} = \frac{V}{V+v}f_0$ 이다. $f_{\text{전}}:f_{\text{후}}=9:8$ 이고 $V=340 \text{ m/s}$ 이므로 $v=20 \text{ m/s}$ 이다.

05 예시 답안 두 스피커에서 P까지 경로차는 0이다. 두 스피커에서 반대 위상으로 소리가 발생하면 P에서는 반대 위상으로 중첩하므로 P에서 소리가 작게 들린다. 진동수가 f 인 소리의 파장을 λ 라고 하면 두 스피커에서 Q까지의 경로차는 $\frac{\lambda}{2}$ 이다. 진동수가 $2f$ 인 소리의 파장

은 $\frac{\lambda}{2}$ 이므로 Q까지의 경로차가 반파장인 $\frac{\lambda}{4}$ 의 짝수 배이다. 두 스피커에서 반대 위상으로 소리가 발생하므로 Q에서 상쇄 간섭이 일어나 소리가 작게 들린다.

06 ㄱ. 전체 길이가 10 cm씩 줄어들 때마다 소리가 크게 들리므로 마디와 마디 사이 간격이 10 cm이다. 따라서 소리의 파장은 20 cm이다.

ㄴ. 파장이 0.2 m이고 진동수가 1710 Hz이므로 소리의 속력은 342 m/s이다.

ㄷ. 정상파가 만들어질 때 눈금실린더 바닥에서는 공기가 진동하지 않으므로 마디가 형성된다.

07 소음이 상쇄 간섭 하면 소음의 세기가 감소한다.

예시 답안 (1) 두 경로 ㉑, ㉒을 따라 진행할 때 경로차가 반파장의 홀수 배가 되면 소음이 B에서 반대 위상으로 만나 상쇄 간섭 한다.

(2) ㉑의 경로 길이를 L이라고 할 때, 소음의 파장이 $\frac{v}{f}$

이므로 $L-L_0 = \frac{v}{2f} \times (\text{홀수})$ 일 때 상쇄 간섭 한다. 설치 공간이나 비용을 고려할 때 길이가 짧을수록 효율적이므로 $L=L_0 + \frac{v}{2f}$ 이다.

ㄱ

각속도 24
 고유 진동수 118
 고정단 100
 공명 116
 관성력 39
 관성 질량 40
 구심 가속도 25
 구심력 25
 기본 진동 118
 기체 상수 67
 기화열 60

ㄴ

내부 에너지 69
 뉴턴 중력 법칙 30

ㄷ

단열 55
 단열 과정 73
 단진동 92
 달인계 69
 대류 54
 도플러 효과 104
 등가 원리 40
 등속 원운동 24
 등압 과정 70
 등온 과정 71
 등적 과정 70

ㄹ

마디 116
 면적 속도 일정 법칙 28

ㅂ

바이메탈 58
 발사체의 운동 36

배 116
 벡터량 10
 벡터의 분해 12
 벡터의 합성 10
 보강 간섭 113
 보일·샤를 법칙 66
 복사 54
 블랙홀 44
 비가역 현상 80
 비열 60

ㅅ

사건의 지평선 44
 상쇄 간섭 113
 선평창 계수 58
 수직 항력 13
 스칼라량 10
 스티링 엔진 76
 시공간의 휨 41

ㅇ

알짜힘 13
 압력 63
 엔트로피 81
 열기관 74
 열량 54
 열역학 과정 70
 열역학 제1법칙 69
 열역학 제2법칙 83
 열전달 54
 열전도도 54
 열팽창 58
 열효율 77
 용수철 진자 92
 융해열 60
 이상 기체 66
 이상 기체 법칙 67
 인공위성의 운동 31
 일반 상대성 이론 40

ㅈ

자유단 100
 잠열 60
 장력 13
 전도 54
 정상파 116
 정지 위상 31
 조화 법칙 28
 종파 98
 중력 30
 중력 상수 30
 중력 시간 지연 42
 중력장 34
 중력 질량 40

ㅋ

카르노 기관 77
 케플러 제1법칙 28
 케플러 제2법칙 28
 케플러 제3법칙 28

ㅌ

타원 28
 타원 궤도 법칙 28
 탄성파 97
 탈출 속도 34
 태양계 행성의 탈출 속도 34

ㅍ

파면 106
 파원 104
 평행사변형법 10
 포물선 운동 16

ㅎ

횡파 98
 흑의 법칙 92

I 시공간과 운동

- ▶ 8 쪽(블랙홀), 19 쪽(노트북), 21 쪽(야구 선수), 22 쪽(서커스), 24 쪽(대관람차), 26 쪽(그네 타는 아이, 하늘 배경), 28 쪽(태양 그림, 화성 그림), 30 쪽(태양 그림, 행성 그림), 31 쪽(인공위성), 32 쪽(지구), 33 쪽(인공위성), 34 쪽(행성 그림), 41 쪽(지구, 태양) 44 쪽(지구, 호킹), 51 쪽(스포츠 물리학자, 달리기 선수): 게티이미지코리아
- ▶ 23 쪽(과학실 배경), 31 쪽(북극 중심 지구), 33 쪽(한반도 중심 지구), 39 쪽(엘리베이터), 40 쪽(엘리베이터), 45 쪽(전자 칠판): 셔터스톡
- ▶ 46 쪽(구간 과속 단속): 연합뉴스
- ▶ 37 쪽(누리호 발사 과정): 한국항공우주연구원, 누리호 2차 비행 시퀀스, 2022.
- ▶ 45 쪽(강착 원반): 미국항공우주국
- ▶ 34 쪽(탈출 속도와 표면 온도에 따른 대기 구성 성분): 미국 항공우주국, Solar system escape velocity vs surface temperature, 2016.

II 열과 에너지

- ▶ 52 쪽(열기구), 72 쪽(스키시, 타이어), 73 쪽(구름), 74 쪽(증기 기관차, 증기 기관, 가솔린 엔진), 75 쪽(선박, 디젤 엔진, 제트 엔진), 76 쪽(태양열 발전), 80 쪽(모닥불): 게티이미지코리아
- ▶ 54 쪽(적외선 사진), 61 쪽(냉장고), 63 쪽(풍선), 67 쪽(열기구), 68 쪽(모카 포트), 74 쪽(승용차), 75 쪽(항공기), 78 쪽(전자 칠판, 화물 운송, 공장 매연, 자동차 공장, 북극곰), 80 쪽(물풍선), 84 쪽(전기 자동차 그림, 얼굴 그림), 89 쪽(친환경 에너지 발전소): 셔터스톡
- ▶ 85 쪽(화면): 전자신문, 2023, 10, 23.
- ▶ 54 쪽(여러 가지 물질의 열전도도): Halliday 외 2 명, 『Fundamentals of Physics 12th』, Wiley, 2021.
- ▶ 58 쪽(고체의 선평창 계수), 60 쪽(여러 가지 물질의 비열): Douglas C., 『Physics: Principles with Applications 7th』, Prentice Hall, 2016.

III 탄성파와 소리

- ▶ 90 쪽(이차원 정상파), 97 쪽(지진계), 109 쪽(화면), 111 쪽(기상 레이더), 116 쪽(가야금 연주): 게티이미지코리아
- ▶ 90 쪽(삼차원 파동), 93 쪽(노트북), 102 쪽(스마트 기기, 두께 측정, 배), 103 쪽(초음파 사진, 골밀도 측정), 104 쪽(스마트폰), 109 쪽(초음파 기기), 110 쪽(어군 탐지, 가상 공간, 자동차), 111 쪽(도플러 레이더), 115 쪽(자동차), 116 쪽(안축), 118 쪽(우쿨렐레), 123 쪽(노트북), 127 쪽(음향 기기): 셔터스톡
- ▶ 110 쪽(도플러 유속계): <https://www.coulton.com>

부록

- ▶ 6 쪽(야구 선수), 7 쪽(태양열 발전): 게티이미지코리아
- ▶ 6 쪽(열기구): 셔터스톡
- ▶ 128 쪽(국제단위계), 129 쪽(SI 접두어, 중요 물리 상수): 한국표준과학연구원, 『국제단위계 제9 판』, 2019.
- ▶ 129 쪽(중요 물리 상수): Halliday 외 2 명, 『Fundamentals of Physics 12th』, Wiley, 2021.

URL 목록

- ▶ 4 쪽: <https://qr.mirae-n.com/c/9mbv69my01>
- ▶ 11 쪽: <https://qr.mirae-n.com/v/6nnf2dop79>
- ▶ 18 쪽: <https://qr.mirae-n.com/v/y7746fg5j5>
- ▶ 22 쪽: <https://qr.mirae-n.com/v/3c9zp8g4c3>
- ▶ 29 쪽: <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/>
- ▶ 35 쪽: <https://qr.mirae-n.com/v/15k1q7iupa>
- ▶ 45 쪽: <https://qr.mirae-n.com/v/e2w2yq4tx5>
- ▶ 51 쪽: <https://www.sports.re.kr/index.html>
- ▶ 64 쪽: <https://qr.mirae-n.com/v/10824wb4o6>
- ▶ 65 쪽: <https://qr.mirae-n.com/v/4ew1sr3k56>
- ▶ 68 쪽: <https://qr.mirae-n.com/v/jw0y2fw4j6>
- ▶ 76 쪽: <https://qr.mirae-n.com/v/ky18cn9057>
- ▶ 89 쪽: https://www.work.go.kr/consLstJobCarpa/srch/newJob/futureNewJobDetail.do?board_no=100&write_no=10111
- ▶ 93 쪽: <https://qr.mirae-n.com/v/s5mi2egkz1>
- ▶ 98 쪽: <https://qr.mirae-n.com/v/desiw9uyz0>
- ▶ 104 쪽: <https://qr.mirae-n.com/v/5uq2b346m8>
- ▶ 120 쪽: <https://qr.mirae-n.com/v/4g807uozl2>
- ▶ 127 쪽: https://www.career.go.kr/cnet/front/base/job/jobViewGb4.do?SEQ=4_D_D006_10005

※ 집필진의 직접 집필인 경우 출처를 밝히지 않았음.
 ※ 출처 표시를 안 한 사진 및 삽화 등은 저작자 및 발행사에서 저작권을 가지고 있는 경우임.

연구 위원

권경필(경인교육대학교)* 강태욱(고려대학교사범대학부속고등학교)

* 대표 연구 위원

집필 위원

권경필(경인교육대학교)* 강태욱(고려대학교사범대학부속고등학교) 이세연(명덕고등학교)
박가영(경기여자고등학교) 조현국(단국대학교) 김태은(경기고등학교)

* 대표 집필 위원

심의 기관

대구광역시교육청

심의 위원

개발 책임 하남규
편집 오진경 서규석 이은주 최은재 제정화
디자인 책임 손현지
디자인 김기욱 장병진 (주)디자인컴퍼니
삽화 송진업 오진욱 윤재국 조성호 김윤재 모먼트시리즈
사진 촬영 필름피아
실험 기자재 협조 세원과학사

교육부장관의 위임을 받아 대구광역시교육감이 2024년 0월 00일 인정 승인을 하였음.

고등학교 역학과 에너지

초판 발행	2025. 3. 1.	정가	원
지은이	권경필 외 5인		
발행인	(주)미래엔(서울특별시 서초구 신반포로 321)		
인쇄인	(주)미래엔(서울특별시 서초구 신반포로 321)		

이 교과서의 본문 용지는 우수 재활용 제품 인증을 받은 재활용 종이를 사용하였습니다.

교과서에 대한 문의 사항이나 의견이 있으신 분은 '교과서민원바로처리센터 (전화 1566-8572, www.textbook114.com 또는 www.교과서114.com)'에 문의하여 주시기 바랍니다.

이 도서에 게재된 저작물에 대한 보상은 문화체육관광부 장관이 정하는 기준에 의거
사단법인 한국문학예술저작권협회(전화 02-2608-2800, www.kolaa.kr)에서 저작권자에게 지급합니다.

내용 관련 문의 (주)미래엔 과학팀 전화 1800-8890 전송 02-541-8150
개별 구입 문의 mall.mirae-n.com(미래엔 도서몰) 전화 1800-8890