

03

작용 반작용과 운동량 보존

학습 목표 | 작용 반작용 관계와 운동량 보존 법칙을 알고, 운동 경기, 교통수단, 발사체 등에 적용할 수 있다.

우주 비행사는 우주 공간에서 질소 기체를 내뿜을 수 있는 장비를 이용해 원하는 곳으로 이동할 수 있다. 우주 공간에서 질소 기체를 내뿜으면 이동할 수 있는 까닭은 무엇일까?



작용 반작용 법칙

쇼트 트랙 계주 경기에서 주자가 다음 주자를 힘껏 밀면 다음 주자는 빠르게 나아가고 민 주자는 속력이 줄어든다. 이때 뒤에서 민 주자의 속력이 줄어든 까닭은 어떤 힘을 받았기 때문일까? 다음 활동을 하면서 알아보자.

실험 영상



디지털
해보기

탐구 능력 | 문제 해결 능력

상호작용 하는 물체가 서로에게 가하는 힘 알아보기

준비물

- ☑ 엠비엘(MBL) 힘 센서 2 대
- ☑ 스마트 기기 2 대
- ☑ 데이터 분석 애플리케이션

안전

힘 센서의 측정 범위보다 더 큰 힘으로 당기지 않도록 주의한다.

활동 길잡이

209 쪽 무선 MBL 센서 사용 방법을 참고한다.

1. 데이터 분석 애플리케이션을 이용해 힘 센서를 스마트 기기와 무선으로 연결한다.
 2. 힘 센서의 고리를 건 뒤 데이터 분석 애플리케이션에서 데이터 수집을 시작하고, 두 사람이 힘 센서를 서로 반대 방향으로 5 초 정도 가볍게 당긴다.
 3. 스마트 기기에 나타난 두 센서의 시간에 따른 힘 그래프를 비교한다.
- 3의 결과를 분석해 서로 당긴 힘의 크기와 방향은 어떤 관계가 있는지 설명해 보자.

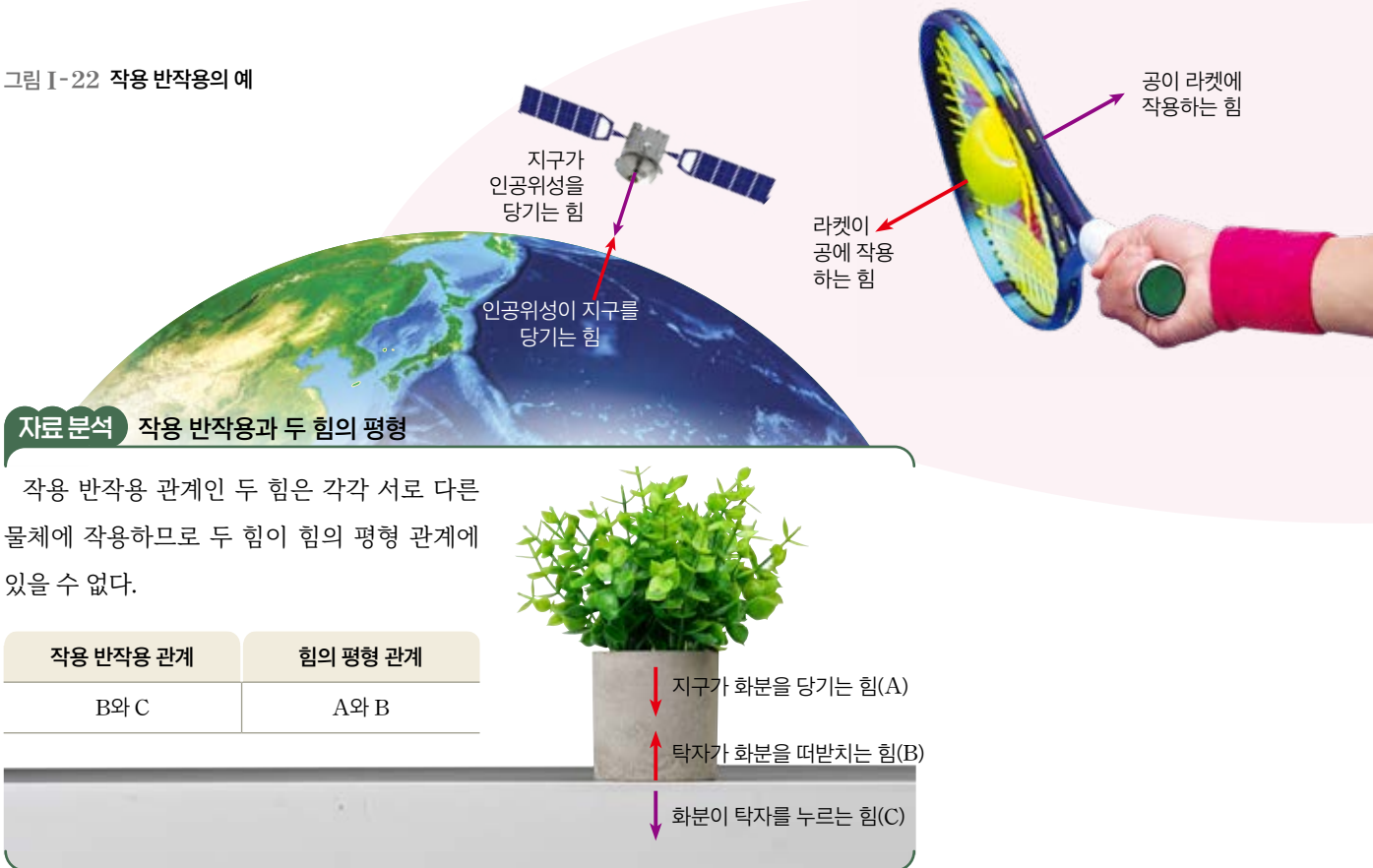


마주 걸고 잡아당긴 두 힘 센서의 그래프를 보면 매 순간 힘의 크기가 같다. 이는 두 힘 센서가 동시에 같은 크기의 힘으로 서로를 잡아당기기 때문이다.

이처럼 한 물체 A가 다른 물체 B에 힘을 작용하면, 동시에 물체 B도 물체 A에 힘을 작용한다. 이때 A가 B에 작용하는 힘 F_{AB} 를 작용이라고 하면 B가 A에 작용하는 힘 F_{BA} 를 반작용이라고 한다. 작용 반작용 관계인 두 힘 F_{AB} 와 F_{BA} 는 크기가 같고 방향이 반대이다. 이러한 힘의 상호작용에 대한 법칙을 **작용 반작용 법칙** 또는 **뉴턴 제3법칙**이라고 한다.

그림 I-22는 작용 반작용 관계인 힘을 나타낸 예이다. 작용 반작용 법칙은 접촉한 두 물체 사이에서 힘이 작용할 때뿐만 아니라, 중력처럼 두 물체가 서로 떨어져 작용할 때에도 성립한다. 즉, 힘은 두 물체 사이의 상호작용으로, 한 물체가 다른 물체에 일방적으로 작용하지 않는다.

그림 I-22 작용 반작용의 예



자료 분석 작용 반작용과 두 힘의 평형

작용 반작용 관계인 두 힘은 각각 서로 다른 물체에 작용하므로 두 힘이 힘의 평형 관계에 있을 수 없다.

작용 반작용 관계	힘의 평형 관계
B와 C	A와 B

스스로 확인

- 1 작용 반작용 관계인 두 힘은 크기가 (같고, 다르고), 방향이 (같다, 반대이다).
- 2 힘은 두 물체 사이의 상호작용으로, 한 물체가 다른 물체에 일방적으로 작용하지 않는다. (○, ×)

운동량

빈 수레와 물건이 가득 든 수레를 같은 속도로 밀고 갈 때 물건이 가득 든 수레를 멈추기가 더 어렵다. 또 빈 수레라도 속도가 클 때가 작을 때보다 멈추기가 더 어렵다. 이처럼 물체의 운동 상태를 변화시키기 위해서는 질량과 속도를 모두 고려해야 한다. 질량과 속도를 곱한 물리량을 **운동량**이라고 한다. 질량 m 인 물체가 속도 v 로 운동할 때 운동량 p 는 다음과 같고, 방향은 속도의 방향과 같다.

$$p = mv \quad [\text{단위: kg} \cdot \text{m/s}]$$

그림 I-23과 같이 물체에 알짜힘 F 가 계속 작용하면 물체는 가속도 운동을 하므로 속도가 변한다.

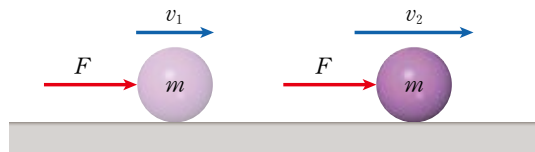


그림 I-23 알짜힘에 따른 운동량 변화

이때 뉴턴 제2법칙으로부터 힘과 운동량의 관계를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$F = ma = m \frac{\Delta v}{\Delta t} = m \frac{v_2 - v_1}{\Delta t} = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

운동량 보존

그림 I-24와 같이 마찰이나 공기 저항이 없는 수평면에서 두 물체 A, B가 충돌할 때 A는 B에 힘 F_{AB} 를 가하고, B는 A에 힘 F_{BA} 를 가한다.

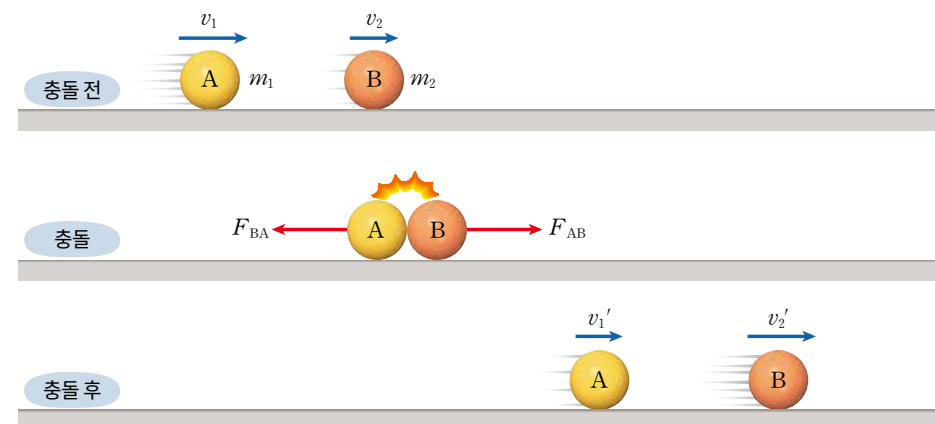


그림 I-24 두 물체의 충돌

두 물체가 충돌하는 시간을 Δt 라고 하면 다음 식이 성립한다.

$$F_{AB} = \frac{\Delta p_B}{\Delta t}, F_{BA} = \frac{\Delta p_A}{\Delta t} \dots \textcircled{1}$$

이때 두 힘은 작용 반작용 관계에 있으므로 $F_{AB} = -F_{BA}$ 이고, 여기에 ①을 대입하면 다음과 같다.

$$\frac{\Delta p_B}{\Delta t} = -\frac{\Delta p_A}{\Delta t} \dots \textcircled{2}$$

$\Delta p_B = m_2 v_2' - m_2 v_2$ 이고, $\Delta p_A = m_1 v_1' - m_1 v_1$ 이므로, 이를 ②에 대입해 정리하면 다음과 같다.

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$$

충돌 전 운동량 합 충돌 후 운동량 합

즉, 외부에서 힘이 작용하지 않을 때, 충돌 전 물체의 운동량 합은 충돌 후 물체의 운동량 합과 같다. 이를 **운동량 보존 법칙**이라고 한다.

운동량 보존 법칙은 물체의 질량이 일정한 충돌 상황뿐만 아니라 한 덩어리로 있던 물체가 분리되는 것과 같이 큰 질량이 둘 이상의 작은 질량으로 나뉘는 상황에서도 성립한다.

그림 I-25와 같이 정지해 있는 수레 A, B 사이에 용수철이 압축된 상태로 있을 때 두 수레의 운동량 합은 0이다. 압축된 용수철이 늘어나며 A, B가 분리되어 서로 반대 방향으로 운동할 때 운동량 보존 법칙에 따라 A, B의 운동량 합 또한 0이다. 따라서 다음 식이 성립한다.

$$0 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$$

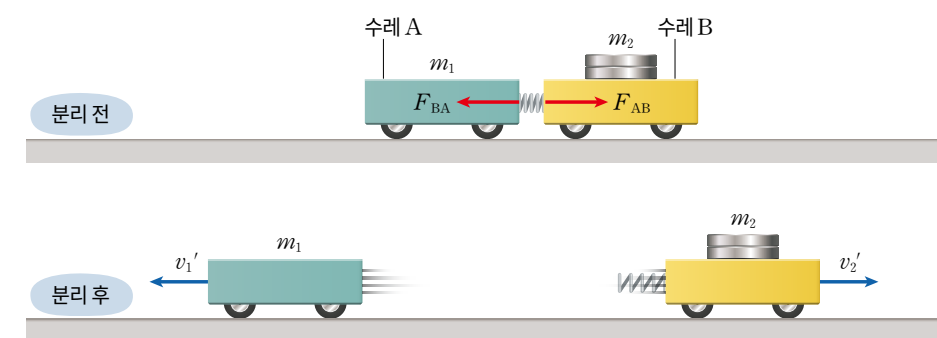


그림 I-25 두 수레가 분리되기 전과 후 운동량

스스로 확인

- 마찰이나 공기 저항이 없는 수평면에서 두 물체가 충돌하면 충돌 후 두 물체의 운동량 합은 충돌 전보다 작다. (○, ×)
- 마찰이나 공기 저항이 없는 수평면에서 한 덩어리로 정지해 있던 물체가 두 물체로 분리되어 운동하면 분리된 두 물체의 운동량 합은 0이다. (○, ×)

운동량 및 속도의 방향과 부호 사용

속도와 운동량은 방향을 갖는 물리량이므로 직선 운동에서 운동량 변화를 계산할 때에는 (+)와 (-) 방향을 정하고 부호 사용에 주의해야 한다.

연계 통합과학1

$F \Delta t$ 를 충격량이라고 하며, 단위로 $\text{N} \cdot \text{s}$ 를 사용한다. 충격량은 운동량 변화량과 같다. 따라서 충격량의 단위 $\text{N} \cdot \text{s}$ 와 운동량 변화량의 단위 $\text{kg} \cdot \text{m/s}$ 는 같다. 이에 관한 내용은 '시스템과 상호 작용' 단원에서 배웠다.



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

3 명~5 명을 한 모둠으로 하고, 역할을 나눠 보자.

- 실험 수행: _____
- 데이터 분석: _____

두 수레가 강하게 충돌하지 않도록 반드시 두 수레를 서서히 민다.

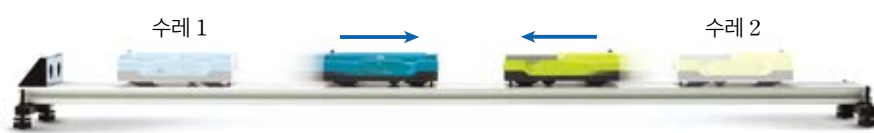
일차원 충돌 상황에서 운동량 보존 확인하기

목표

두 수레의 충돌 전후 데이터를 분석해 일차원 충돌 상황에서 운동량이 보존되는지 확인하고, 실험 결과를 바탕으로 하여 운동량 보존에 대해 토의할 수 있다.

예상

다음과 같이 두 수레 1, 2를 레일 위에서 서로 충돌시킬 때 충돌 전후 운동량이 보존될지를 예상해 보자.



• 예상:

• 까닭:

실험 및 관찰

- 두 수레에 추를 4 개 이하로 올리고, 전자저울로 두 수레의 질량을 각각 측정해 **실험 및 관찰 5**의 표에 기록한다.
- 데이터 분석 애플리케이션을 이용해 두 수레를 스마트 기기와 무선으로 연결한 뒤, 레일의 양쪽 끝에 수레를 하나씩 서로 마주 보게 놓는다.
- 데이터 분석 애플리케이션에서 데이터 수집을 시작하고, 두 수레를 서서히 밀어 수레가 레일에서 충돌하게 한다.

추

- 데이터 분석 애플리케이션에 나타난 결과로부터 두 수레의 충돌 직전과 직후 속도를 찾아 **실험 및 관찰 5**의 표에 기록하고, 이를 질량과 곱해 운동량을 구한다.
- 추를 이용해 수레의 질량을 다르게 하면서 **실험 및 관찰 1~4**를 4 회 더 반복한다.

구분	수레의 질량(kg)		충돌 직전 속도(m/s)		충돌 직전 운동량(kg·m/s)		충돌 직후 속도(m/s)		충돌 직후 운동량(kg·m/s)	
	수레 1	수레 2	수레 1	수레 2	수레 1	수레 2	수레 1	수레 2	수레 1	수레 2
1 회										
2 회										
3 회										
4 회										
5 회										

분석 및 토의

- 두 수레의 충돌 전후 운동량이 보존되었는지 **실험 및 관찰 5**에서 구한 값을 바탕으로 하여 확인해 보자.

구분	충돌 전 수레 1, 2의 운동량의 합(kg·m/s)	충돌 후 수레 1, 2의 운동량의 합(kg·m/s)	운동량 보존 여부
1 회			
2 회			
3 회			
4 회			
5 회			

- 예상**에서 예상한 것과 **분석 및 토의 1**에서 확인한 결과가 일치하는가? 만약 일치하지 않는다면 그 까닭은 무엇일지 토의해 보자.



탐구 길잡이

- 209 쪽 무선 MBL 센서 사용 방법을 참고한다.
- 속도와 운동량을 기록할 때 특정 방향을 (+) 부호로 했다면, 그 반대 방향은 (-) 부호로 한다.

스스로 평가

- 지식·이해** | 질량 및 충돌 전후 속도 측정값을 통해 충돌 전후 수레의 운동량을 비교할 수 있는가? ☆☆☆
- 과정·기능** | 데이터 분석 애플리케이션을 통해 충돌 전후 각 수레의 속도를 알 수 있는가? ☆☆☆
- 가치·태도** | 실험 결과를 있는 그대로 기록하고 해석했는가? ☆☆☆
- 가치·태도** | 자신이 맡은 역할을 잘 수행했는가? ☆☆☆

탐구 후기



운동량 보존의 이용

그림 I-26 운동 경기와 교통 수단에서의 운동량 보존

휠체어 컬링



선수가 스톤을 밀 때 운동량 보존에 따라 스톤과 반대 방향의 운동량이 생겨서 뒤로 밀린다. 이를 방지하기 위해 다른 선수가 스톤을 미는 선수를 단단히 잡아 준다.

쇼트 트랙 계주



잠깐 활동

계주를 이어받는 주자가 가벼우면 더 유리한 까닭을 운동량 보존으로 설명해 보자.

비행기

비행기의 운동량

비행기 엔진에서는 연료를 태워 생긴 기체를 방출한다. 방출한 기체는 속도가 매우 크기 때문에 운동량 또한 매우 크다. 이때 운동량 보존에 따라 비행기에는 기체의 운동량과 반대 방향의 운동량이 생겨 비행기가 앞으로 나아갈 수 있다.

방출한 기체의 운동량

배

잠깐 활동

배의 엔진이 날개를 돌리면 물을 밀며 배가 앞으로 나아간다. 이 원리를 운동량 보존으로 설명해 보자.

발사체를 궤도에 올리는 과정에도 운동량 보존을 이용한다. 그림 I-27과 같이 발사체는 연료를 연소해 생긴 기체를 아래로 방출한다. 이때 운동량 보존에 따라 발사체에 올라가는 방향의 운동량이 생긴다.

이처럼 운동량 보존은 다양한 분야에 적용되어 우리 생활 주변과 전 지구적으로 일어나는 다양한 현상들, 나아가 우주를 이해하는 데에도 중요한 역할을 한다.

그림 I-27 발사체에서의 운동량 보존



발사체의 운동량

방출한 기체의 운동량

스스로 확인

- 쇼트 트랙 계주 경기에서 주자가 다음 주자를 밀 때 운동량 보존이 성립하기 어렵다. (○, ×)
- 비행기나 배와 같은 교통수단이 앞으로 나아갈 때 운동량 보존을 이용한다. (○, ×)

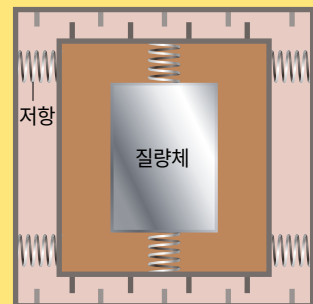
스스로 정리

공유 '작용 반작용과 운동량 보존' 단원의 내용을 담은 노래나 랩 가사를 만들어 공유 플랫폼에 공유해 보자.

우리 생활과 뉴턴 운동 법칙

17 세기에 발표한 뉴턴 운동 법칙은 다양한 분야에 적용되어 우리 생활에 활용되고 있다.

가속도계가 그중 한 예인데, 가운데에 질량체가 있고, 이 질량체가 탄성을 가진 저항들에 연결된 구조인 가속도계를 많이 사용한다. 가속도계를 장착한 기기가 움직이면 관성 때문에 질량체와 연결된 저항들의 길이 변화가 생긴다. 이 길이 변화를 통해 기기의 가속도를 알 수 있다. 이 밖에도 다양한 가속도계가 우리 생활 곳곳에 쓰인다.



▲ 가속도계의 구조

스마트폰은 들고 있는 방향을 인식해 가로 화면이나 세로 화면으로 바뀌 준다. 또 하루 동안의 걸음 수 등을 알려 주기도 한다. 이는 스마트폰 내부의 가속도계가 사용자의 움직임을 인식하기 때문에 가능하다. 디지털카메라가 셔터를 누르는 순간의 떨림을 감지해 자동으로 사진을 보정하는 기능도 내부의 가속도계를 이용한 것이다. 자동차가 충돌하면 에어백이 작동하는 것 또한 가속도계가 자동차의 가속도를 인식하기 때문이다.

스마트폰의 화면 방향 전환

디지털카메라의 떨림 보정

자동차의 충돌 인식



- 상하좌우 흔들림 보정
- 회전 흔들림 보정
- 기우뚱해짐 보정

농장이나 공장, 상점 등에서 작업을 수행하는 로봇 팔이나, 탐지나 구조에 사용하는 사족 보행 로봇을 설계할 때에도 뉴턴 운동 법칙이 적용된다.

로봇은 관성의 영향을 크게 받기 때문에 움직이기 시작하거나 멈출 때 균형을 잃지 않는 게 중요하다. 또 움직이는 반경에 따라 필요한 가속도가 달라서 섬세한 제어가 필요하다. 이를 위해 뉴턴 운동 법칙과 수학적 기법을 적용한 제어 기술을 활용하고 로봇이 스스로의 상태를 감지하는 센서를 사용해 주변 상황과 상호작용 하며 안정적인 자연스러운 로봇의 움직임을 구현한다.

로봇 팔



사족 보행 로봇



글쓰기

공유 뉴턴 운동 법칙 외에도 물리학 원리는 우리 생활 곳곳에 활용하고 있다. 이러한 활용 사례를 생각하면서 물리학이 인류 문명과 우리 생활에 어떤 의미가 있는지를 소개하는 기사를 써 보자. 그리고 자신이 쓴 기사를 공유 플랫폼에 공유해 보자.

