

02

가속도 법칙과 등가속도 운동

학습 목표 뉴턴 운동 법칙으로 등가속도 운동을 설명하고, 교통안전 사고 예방에 적용할 수 있다.

경주용 자동차는 출발 순간부터 속도를 빠르게 높일수록 경기에 유리하기 때문에 자동차의 질량을 최소화한다. 경주용 자동차의 속도를 빠르게 높이는 것과 질량은 어떤 관계가 있을까?



속도와 가속도

운동하는 물체는 한 곳에서 다른 곳으로 이동하며 위치가 달라진다. 이때 위치의 변화를 **변위**라고 한다. 변위의 크기는 처음 위치와 나중 위치 사이의 직선거리와 같고, 방향은 처음 위치에서 나중 위치로 향한다.

단위 시간 동안의 변위를 **속도**라고 한다. 속도의 크기 v 는 변위의 크기 Δs 를 걸린 시간 Δt 로 나눈 값과 같다. 속도의 방향은 변위의 방향과 같다.

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad [\text{단위: m/s, km/h 등}]$$

물체가 직선상에서 운동할 때 보통 (+)와 (-)로 방향을 나타낸다. 예를 들어 그림 I-10과 같이 운동하는 사람을 1 초 간격으로 나타낼 때 동쪽으로 운동하는 사람의 변위와 속도를 (+)로 나타내면, 서쪽으로 운동하는 사람의 변위와 속도는 (-)로 나타낸다.

변위의 크기와 이동 거리
변위의 크기가 이동 거리와 항상 같은 것은 아니다. 예를 들어 공을 위로 똑바로 던졌다가 잡았을 때 공의 이동 거리는 손에서 최고 높이까지 거리의 2 배이지만, 변위는 0이다.

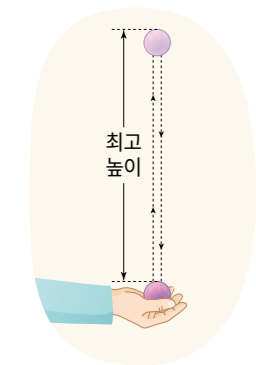
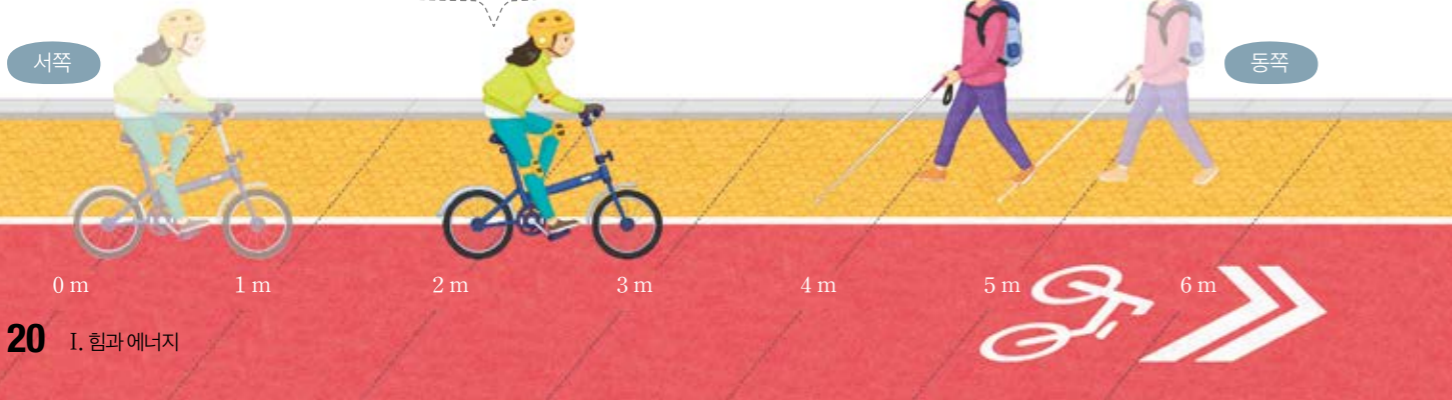


그림 I-10 변위와 속도의 크기와 방향

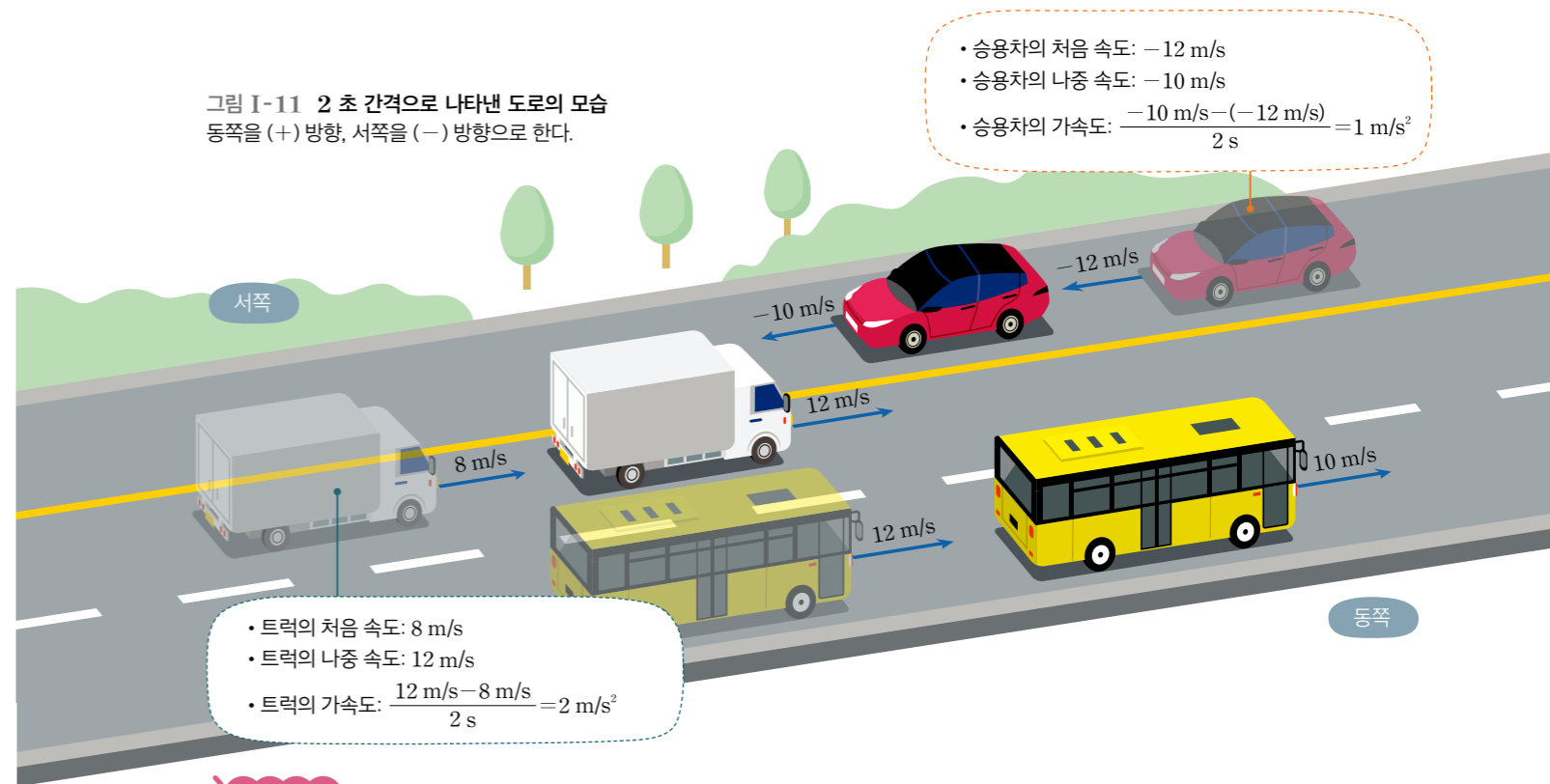


우리 주변에서 운동하는 대부분의 물체는 속도가 변한다. 단위 시간 동안 속도가 변하는 정도를 나타내는 물리량을 **가속도**라고 한다. 가속도의 크기 a 는 속도 변화량 Δv 를 걸린 시간 Δt 로 나눈 값과 같다.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_{\text{나중}} - v_{\text{처음}}}{\Delta t} \quad [\text{단위: m/s}^2]$$

속도가 크기와 방향을 갖듯이, 가속도 역시 크기와 방향을 갖는다. 직선상에서 운동하는 물체의 속도가 증가하면 가속도의 방향은 속도의 방향과 같고, 속도가 감소하면 가속도의 방향은 속도의 방향과 반대이다. 예를 들어 그림 I-11과 같이 2 초 간격으로 나타낸 도로의 모습에서 동쪽으로 운동하는 트럭은 속도의 크기가 증가하기 때문에 가속도의 방향은 속도의 방향과 같은 동쪽이다. 반면 서쪽으로 운동하는 승용차는 속도의 크기가 감소하기 때문에 가속도의 방향은 속도의 방향과 반대인 동쪽이다.

그림 I-11 2 초 간격으로 나타낸 도로의 모습
동쪽을 (+) 방향, 서쪽을 (-) 방향으로 한다.



잠깐 활동

그림 I-11에서 버스의 처음 속도와 나중 속도를 찾아 가속도를 구해 보자.

처음 속도	나중 속도	가속도

연계 중학교 과학

직선상에서 움직이는 물체의 운동을 그래프로 나타내고 해석하는 것을 배웠다.

가속도 법칙

물체에 작용하는 알짜힘이 0이면 물체의 운동 상태가 변하지 않는다. 즉, 정지해 있던 물체는 계속 정지해 있고 운동하던 물체는 속도가 일정한 운동을 계속한다. 물체에 알짜힘이 작용하면 물체의 운동 상태는 어떻게 달라질까?

그림 I-12와 같이 질량이 다른 가방을 같은 크기의 힘으로 밀고 가면 질량이 더 작은 가방의 가속도가 더 크다. 이는 알짜힘의 크기가 같을 때 가속도의 크기는 질량에 반비례하기 때문이다.

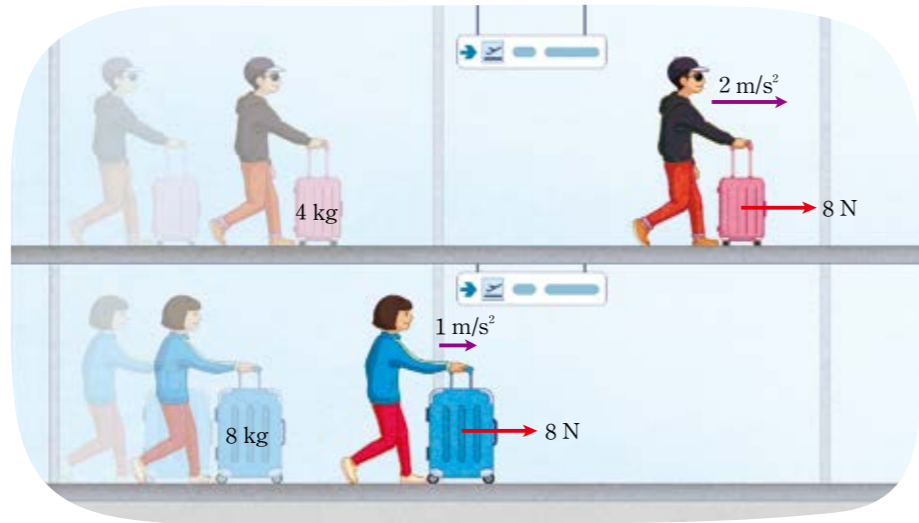


그림 I-12 알짜힘이 같고 질량이 다를 때 가속도

또 그림 I-13과 같이 질량이 같은 가방을 다른 크기의 힘으로 밀고 가면 더 큰 힘으로 밀 가방의 가속도가 더 크다. 이는 질량이 같을 때 가속도의 크기는 알짜힘의 크기에 비례하기 때문이다.

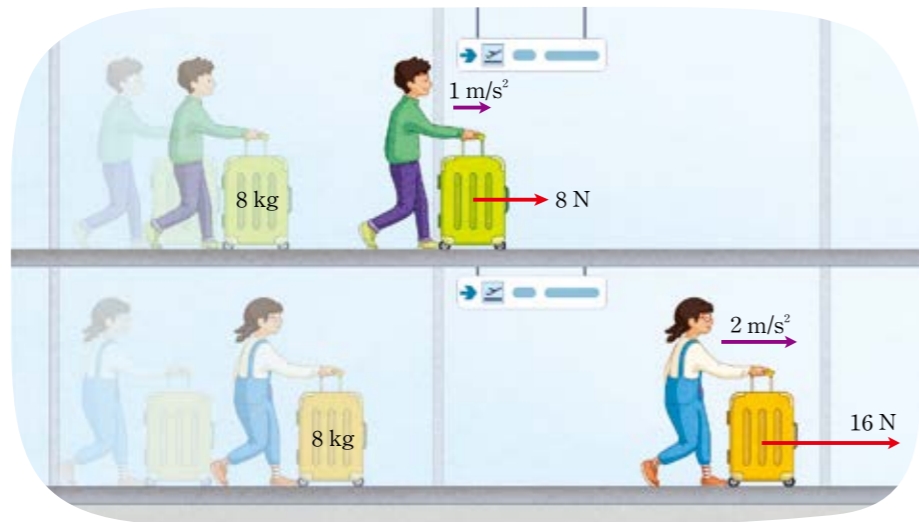


그림 I-13 질량이 같고 알짜힘이 다를 때 가속도

물체의 가속도 크기 a 는 물체의 질량 m 에 반비례하고, 물체에 작용하는 알짜힘의 크기 F 에 비례한다. 또 가속도의 방향은 알짜힘의 방향과 같다. 이를 **가속도 법칙** 또는 **뉴턴 제2법칙**이라고 한다. 가속도 법칙은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있고, 질량의 단위로 kg, 가속도의 단위로 m/s^2 , 힘의 단위로 N을 사용한다.

$$a = \frac{F}{m} \Rightarrow F = ma$$

물체에 작용하는 알짜힘의 유무에 따라 물체의 가속도 운동 여부가 결정된다. 만약 물체에 일정한 알짜힘이 계속 작용하면 물체는 가속도가 일정한 운동을 한다. 이러한 운동을 **등가속도 운동**이라고 한다.

그림 I-14는 등가속도 운동의 예이다. 그림 (가)와 같이 빗면을 내려가는 물체에는 빗면을 내려가는 방향으로 일정한 알짜힘이 작용한다. 따라서 물체는 빗면을 내려가는 방향으로 등가속도 운동을 한다. 그림 (나)와 같이 자유 낙하 운동을 하는 물체에는 연직 아래 방향으로 중력이 일정하게 작용한다. 따라서 물체는 연직 아래 방향으로 등가속도 운동을 한다.



그림 I-14 등가속도 운동의 예

연계 통합과학1

자유 낙하 운동이 중력에 의한 가속도 운동임을 '시스템과 상호작용' 단원에서 배웠다.

연계 역학과 에너지

뉴턴 운동 법칙을 포물선 운동에 적용하는 것을 '시공간과 운동' 단원에서 배운다.

스스로 확인

- 1 물체의 가속도는 물체에 작용하는 알짜힘에 ()하고 질량에 ()한다.
- 2 질량이 2 kg인 물체에 1 N의 힘을 가했을 때 물체의 가속도 크기는 몇 m/s^2 인가?

등가속도 운동의 분석

물체에 작용하는 알짜힘의 크기가 일정하고 알짜힘의 방향이 물체의 운동 방향과 나란할 때, 물체는 직선상에서 등가속도 운동을 한다. 등가속도 운동을 하는 물체의 위치와 속도는 시간에 따라 어떻게 변하는지 다음 활동을 하면서 알아보자.

디지털 탐구

● 디지털 도구 활용 / 결론 도출

실험 영상



준비물

- 빗면
- 수레
- 스마트 기기
- 삼각대
- 자(30 cm)
- 동영상 분석 프로그램

역할 나누기

3명~5명을 한 모둠으로 하고, 역할을 나눠 보자.

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

동영상을 활용하여 물체의 등가속도 운동 분석하기

목표

등가속도 운동을 하는 물체의 동영상으로부터 시간에 따른 가속도, 속도, 위치 그래프를 얻고, 이를 분석해 가속도와 속도, 위치 사이의 관계를 설명할 수 있다.

과정 및 결과

1. 경사가 10°~30° 사이가 되도록 빗면을 설치하고, 자를 빗면 앞에 놓는다.
2. 삼각대에 스마트 기기를 고정해 빗면 앞에 놓고 동영상을 촬영할 준비를 한다. 이때 화면에 빗면 전체와 자가 담기게 한다.



3. 빗면 위에 수레를 가만히 놓고, 수레가 빗면에서 등가속도 운동을 하는 모습을 동영상으로 촬영한다.

탐구 능력 | 문제 해결 능력

4. 동영상 분석 프로그램에서 동영상을 열고 수레의 등가속도 운동을 분석할 구간을 정한다.
5. 화면 속 기준 길이와 원점을 설정한 뒤 수레의 운동 데이터를 얻는다.
6. 데이터를 근거로 변환한 시간에 따른 가속도, 속도, 위치 그래프를 각각 확인한다.

● 탐구 길잡이
210 쪽 동영상 분석 프로그램 사용 방법을 참고한다.



정리

1. 시간에 따른 가속도 그래프에서 수레의 가속도를 구해 보자.
2. 시간에 따른 속도 그래프의 기울기와 정리 1에서 구한 가속도를 비교해 보자.
3. 시간에 따른 속도 그래프에서 두 시각을 정하고, 그래프 아랫부분의 넓이를 구해 보자.
4. 시간에 따른 위치 그래프를 통해 정리 3에서 정한 두 시각 동안의 변위를 구하고, 이를 정리 3에서 구한 넓이와 비교해 보자.

스스로 평가

- | 지식·이해 | 등가속도 운동을 하는 물체의 시간에 따른 가속도, 속도, 위치 그래프를 분석했는가? ☆☆☆
- | 과정·기능 | 등가속도 운동을 하는 물체의 동영상을 촬영했는가? ☆☆☆
- | 과정·기능 | 동영상 분석 프로그램을 이용해 등가속도 운동을 하는 물체의 동영상을 분석했는가? ☆☆☆
- | 가치·태도 | 디지털 도구를 활용해 실험 데이터를 분석하는 과정에 적극적으로 참여했는가? ☆☆☆
- | 가치·태도 | 자신이 맡은 역할을 잘 수행했는가? ☆☆☆

탐구 후기



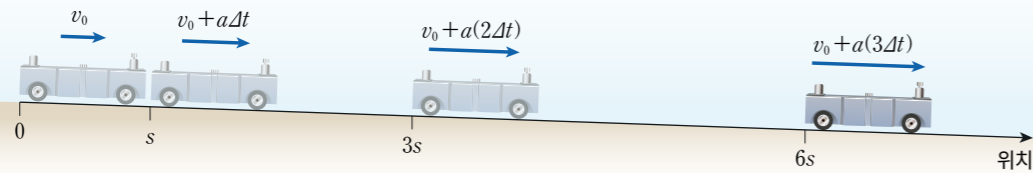


그림 I-15 속도가 증가하는 등가속도 운동을 하는 물체를 일정한 시간 간격(Δt)으로 나타낸 모습

그림 I-15와 같이 처음 속도가 v_0 이고 가속도가 a 인 물체는 시간 Δt 마다 속도의 크기가 $a\Delta t$ 씩 증가한다. 이처럼 직선상에서 속도와 가속도의 방향이 같은 등가속도 운동을 하는 물체는 속도의 크기가 시간에 따라 일정하게 증가한다.

이 물체의 시간에 따른 가속도 그래프는 그림 I-16의 (가)와 같이 시간축과 나란한 직선 형태이다. 물체의 처음 속도가 v_0 이므로 시간 t 가 지난 뒤 물체의 속도 v 는 다음과 같다.

$$v = v_0 + at$$

일정한 가속도로 직선 운동을 하는 물체의 속도는 시간에 비례하여 증가한다. 따라서 이 물체의 시간에 따른 속도 그래프는 그림 I-16의 (나)와 같이 기울기가 a 인 일차함수 형태이다. 시간에 따른 속도 그래프 아랫부분의 넓이는 변위를 나타내므로, 시간 t 가 지난 뒤 물체의 위치 s 는 다음과 같다.

$$s = v_0t + \frac{1}{2}at^2$$

처음 위치를 기준으로 하여 나타낸 시간에 따른 위치 그래프는 그림 I-16의 (다)와 같은 형태이다.

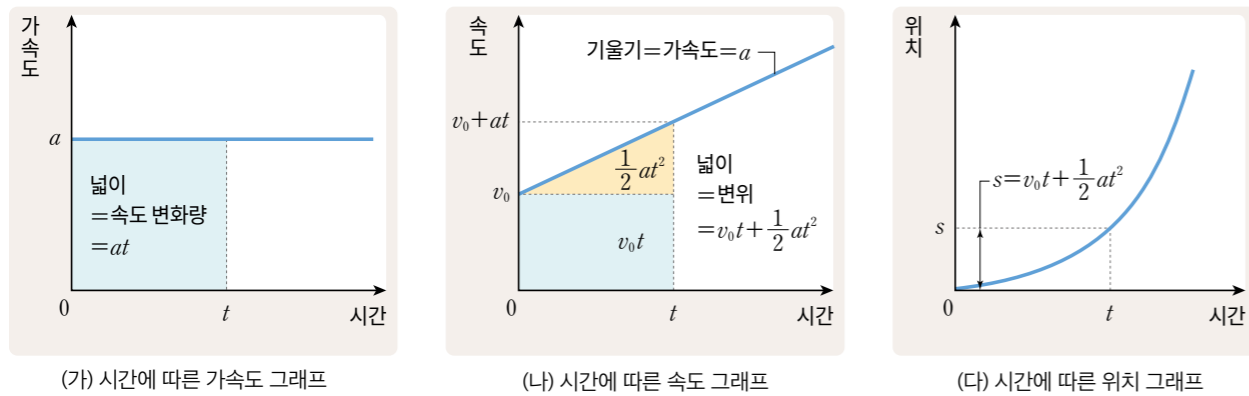


그림 I-16 등가속도 운동의 관계 그래프

등가속도 운동의 식 $v = v_0 + at$ 와 $s = v_0t + \frac{1}{2}at^2$ 을 연립해서 시간 t 를 소거해 정리하면 다음과 같이 속도, 가속도, 위치 사이의 관계식으로 나타낼 수 있다.

$$v^2 - v_0^2 = 2as$$

직선상에서 속도와 가속도의 방향이 반대인 등가속도 운동을 하는 물체는 속도의 크기가 시간에 따라 일정하게 감소한다. 이 경우에도 등가속도 운동의 식은 성립한다. 예를 들어 그림 I-17과 같이 처음 속도가 0.7 m/s이고 가속도가 -0.2 m/s^2 인 등가속도 운동을 하는 축구공이 있다.

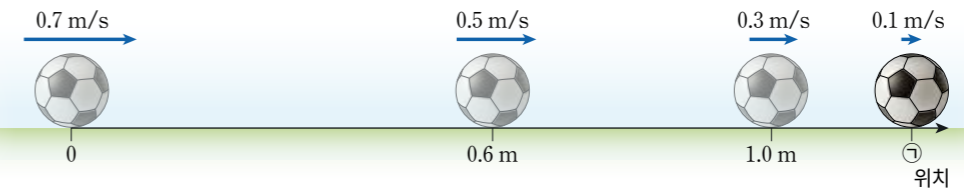


그림 I-17 속도가 감소하는 등가속도 운동을 하는 물체를 1 초 간격으로 나타낸 모습

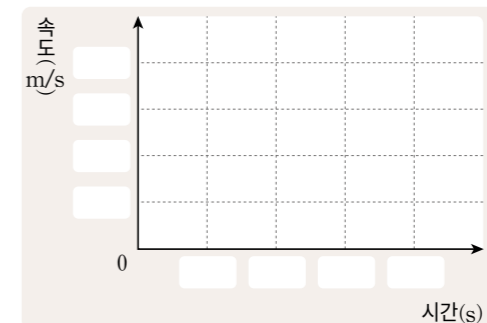
2 초일 때 축구공의 속도 $v_{2초}$ 와 위치 $s_{2초}$ 를 $v = v_0 + at$ 와 $s = v_0t + \frac{1}{2}at^2$ 식으로부터 구하면 다음과 같다.

$$v_{2초} = 0.7 \text{ m/s} + (-0.2 \text{ m/s}^2) \times 2 \text{ s} = 0.3 \text{ m/s}$$

$$s_{2초} = 0.7 \text{ m/s} \times 2 \text{ s} + \frac{1}{2} \times (-0.2 \text{ m/s}^2) \times (2 \text{ s})^2 = 1.0 \text{ m}$$

잠깐 활동

- 그림 I-17에서 ㉠을 등가속도 운동의 식 $v^2 - v_0^2 = 2as$ 를 이용해 구해 보자.
- 그림 I-17의 축구공의 운동을 표현하는 시간에 따른 속도 그래프를 그려 보자.



스스로 확인

- 정지해 있던 물체가 1 m/s^2 의 일정한 가속도로 2 초 동안 직선 운동을 하면서 이동한 거리는 몇 m인가?
- 2 m/s^2 의 일정한 가속도로 직선 운동을 하는 물체의 속도가 2 m/s에서 6 m/s가 되는 동안 물체가 이동한 거리는 몇 m인가?

등가속도 운동과 교통안전 사고 예방

그림 I-18과 같이 자동차를 운전하다가 멈춰야 할 상황을 발견하면 자동차를 정지하기 위해 브레이크 페달을 밟는다. 이 순간부터 자동차는 운동 방향과 반대 방향으로 일정한 크기의 알짜힘을 받는다. 따라서 자동차는 정지할 때까지 운동 방향과 가속도 방향이 반대인 등가속도 운동을 한다. 이렇게 자동차가 등가속도 운동을 하며 멈출 때까지 이동한 거리를 **제동 거리**라고 한다.

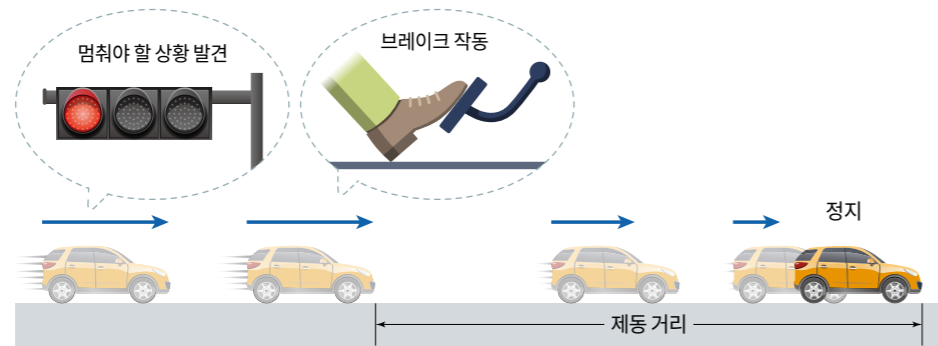


그림 I-18 자동차의 제동 거리

제동 거리에 영향을 주는 요인에는 어떤 것이 있을까? 브레이크 페달을 밟기 직전의 속도를 v_0 , 알짜힘에 따른 가속도를 $-a$, 제동 거리를 s 라고 하면, 등가속도 운동의 식 $v^2 - v_0^2 = -2as$ 에서 $v=0$ 이므로 $s = \frac{v_0^2}{2a}$ 이다. 따라서 그림 I-19와 같이 동일한 자동차 A, B, C의 제동 거리는 브레이크 페달을 밟기 직전 자동차의 속도 제곱에 비례하고, 가속도에 반비례한다. 자동차가 과속하거나, 눈이나 비가 내려 가속도의 크기가 작아지면 제동 거리가 길어지기 때문에 사고가 날 확률이 증가한다.

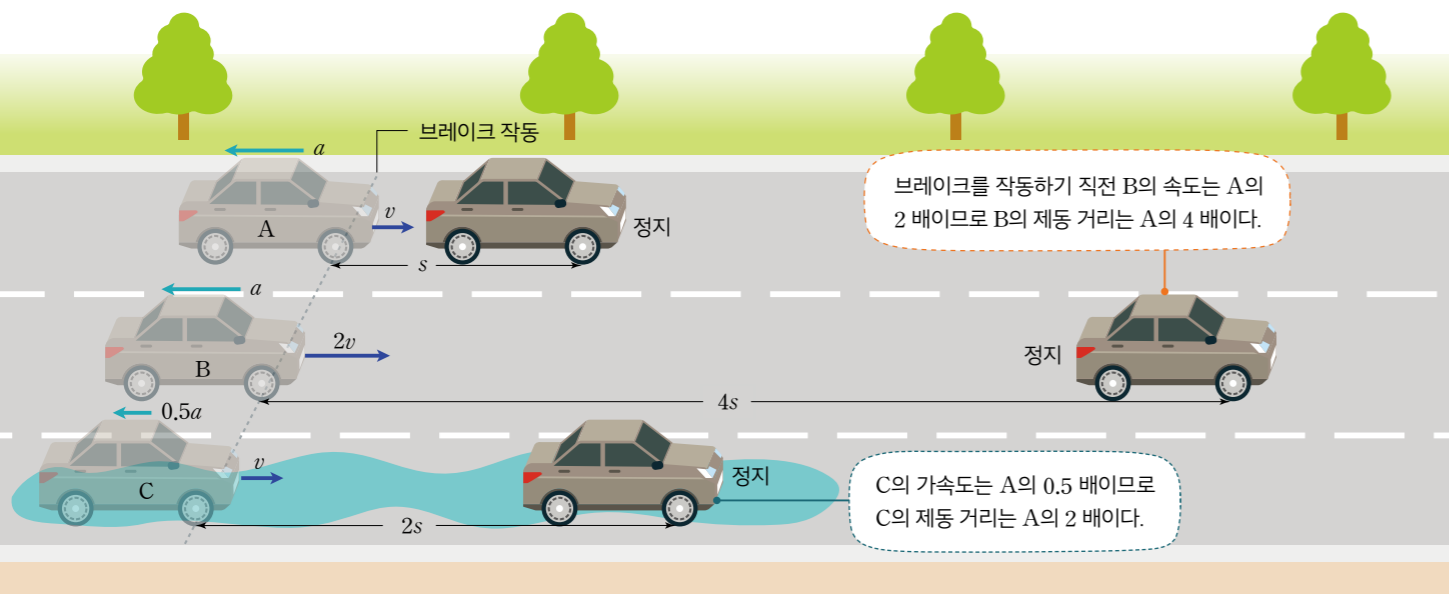


그림 I-19 브레이크 페달을 밟기 직전 속도 및 가속도와 제동 거리 관계

이처럼 등가속도 운동은 교통안전과도 관련이 있다. 우리가 접할 수 있는 교통 안전 사고 예방을 위한 수칙 중 제동 거리를 비롯해 등가속도 운동과 관련한 것에는 어떤 것들이 있을까? 다음 활동을 하면서 알아보자.

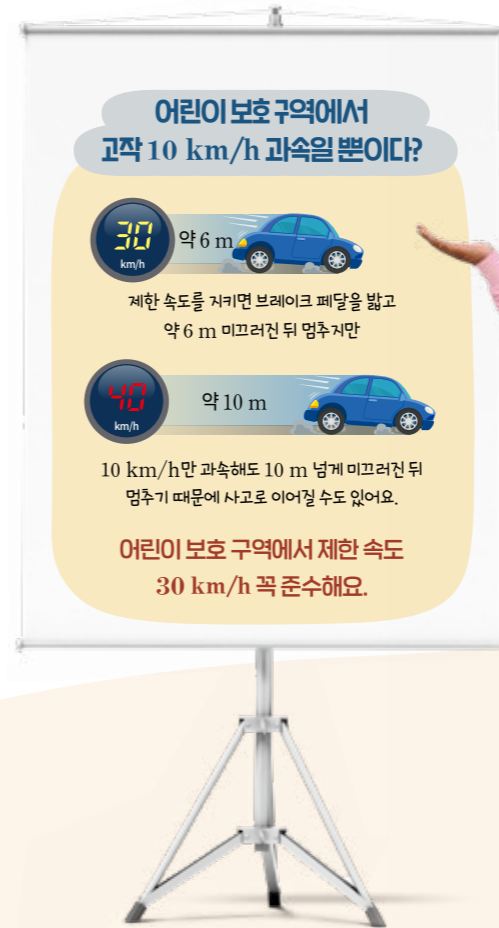
해보기

문제 해결 능력 | 의사 결정 능력

등가속도 운동을 교통안전 사고 예방에 적용한 캠페인 만들기

1. 모둠별로 등가속도 운동과 관계있는 교통안전 수칙에는 어떤 것이 있을지 토의한다.
2. 토의한 수칙 중 하나를 골라 그 수칙을 지켜야 하는 까닭을 등가속도 운동을 적용해 설명한다.
3. 2의 내용을 포함한 교통안전 캠페인을 모둠원의 재능을 발휘할 수 있는 방법으로 만든다.
4. 각 모둠에서 만든 캠페인을 발표한다.

활동 길잡이
그림, 노래, 연기, 코딩 등 자신의 재능을 발휘해 모둠 활동에 기여할 수 있는 방법을 생각해 활동에 적극적으로 참여한다.



우리 모둠에서는 등가속도 운동을 어린이 보호 구역에서의 교통안전 수칙에 적용한 포스터를 만들었습니다.

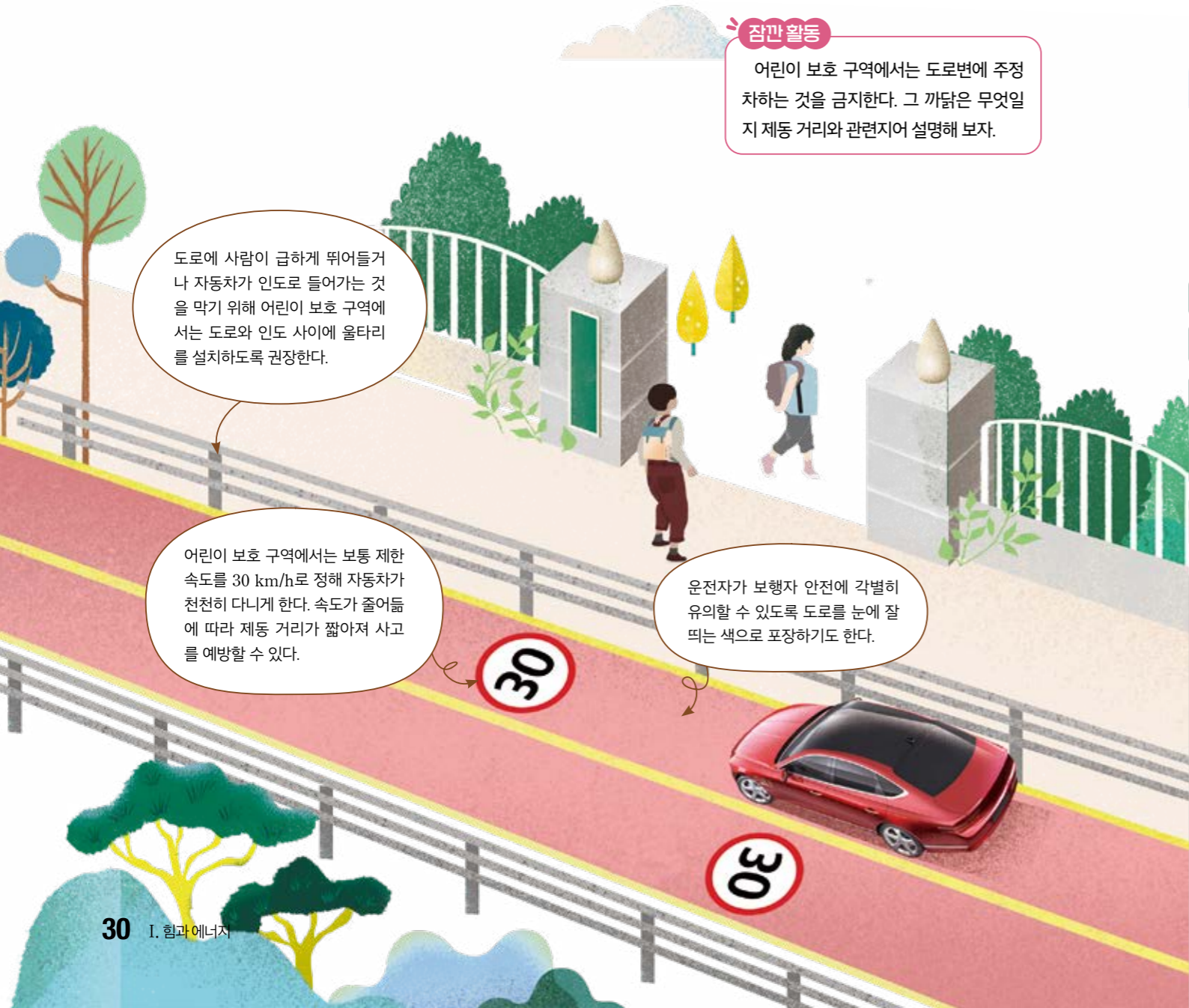
- 다른 모둠에서 발표한 캠페인 중 가장 인상적인 것을 고르고, 그렇게 생각한 까닭은 무엇인지 써 보자.



달리던 자동차는 위험 상황을 발견하더라도 정지할 때까지 등가속도 운동을 하기 때문에 곧바로 멈출 수 없다. 이를 고려해 장소나 상황 등에 따라 지켜야 하는 다양한 교통안전 수칙이 있다.

그림 I-20처럼 초등학교 출입문 주변과 같이 어린이들이 많이 다니는 곳을 어린이 보호 구역으로 지정한다. 어린이 보호 구역에서는 제한 속도를 낮게 두어 제동 거리를 짧게 해 교통안전 사고를 예방한다. 또 도로의 색을 다른 도로와 다르게 하거나 도로와 인도 사이에 울타리를 설치하는 등 안전을 위한 보조 시설을 갖추기도 한다.

그림 I-20
어린이 보호 구역에서 교통안전 수칙



잠깐 활동

어린이 보호 구역에서는 도로변에 주정차하는 것을 금지한다. 그 까닭은 무엇인지 제동 거리와 관련지어 설명해 보자.

도로에 사람이 급하게 뛰어든거나 자동차가 인도로 들어가는 것을 막기 위해 어린이 보호 구역에서는 도로와 인도 사이에 울타리를 설치하도록 권장한다.

어린이 보호 구역에서는 보통 제한 속도를 30 km/h로 정해 자동차가 천천히 다니게 한다. 속도가 줄어들수록 제동 거리가 짧아져 사고를 예방할 수 있다.

운전자가 보행자 안전에 각별히 유의할 수 있도록 도로를 눈에 잘 띄는 색으로 포장하기도 한다.

고속 도로에서는 자동차들이 매우 빠르게 달린다. 이에 따라 제동 거리도 매우 길기 때문에 안전을 위한 거리를 확보해 교통안전 사고를 예방하게 한다. 예를 들어 그림 I-21과 같이 고속 도로에서는 일반 도로에서보다 앞차와의 거리를 더 많이 유지해야 하며, 자동차가 고장 나서 멈추면 자동차로부터 충분한 거리를 둔 곳에 안전 삼각대를 설치해야 한다.

그림 I-21 고속 도로에서 교통안전 수칙



고속 도로에서는 자동차 속도계에 표시되는 수치에 단위 m를 붙인 만큼의 거리를 안전거리로 확보해야 한다. 예를 들어 100 km/h로 달리는 자동차가 확보해야 하는 안전거리는 100 m이다.

자동차가 고장 나서 고속 도로 가운데에 멈췄다면, 뒤에서 오는 자동차의 제동 거리를 고려한 위치에 안전 삼각대를 설치해야 한다.

스스로 확인

- 1 달리던 자동차의 브레이크 페달을 밟는 순간부터 자동차가 완전히 정지할 때까지 이동한 거리를 ()이라고 한다.
- 2 자동차가 과속하거나 눈이나 비가 내릴 때에는 제동 거리가 짧아져서 사고의 위험이 증가한다. (O, X)

스스로 정리

공유 '가속도 법칙과 등가속도 운동' 단원에서 배운 내용을 확인할 수 있는 문제를 만들어 공유 플랫폼에 공유해 보자.