

공대생을 위한 일반물리학(기초과정)

물리학은 자연과학의 여러 학문 중에서도 가장 기본적인 학문으로 우리의 일상생활과 밀접한 관계가 있으며, 우리가 장차 어떤 분야에서 활동하든지 반드시 필요한 학문이에요. 물리학은 산업의 발전이나 첨단과학의 육성을 위해서 뿐만 아니라, 21세기 최첨단의 지식·정보화 사회를 살아갈 우리의 생활을 보다 효율적으로 이어가기 위해서도 꼭 필요한 것입니다.

물리학을 공부하면서 사물을 과학적으로 관찰하고 끈질기게 탐구하는 과학적 정신과 태도로 기르고 물리학의 기본 개념과 법칙을 이해한다면 물리학은 결코 어려운 학문이 아니며 쉽게 친숙해질 수 있는 매우 재미있고 유익한 학문이라는 것을 알게 될 것입니다.

제 1 장 힘과 운동

하늘에 있는 별에서부터 원자에 있는 전자에 이르기까지 자연의 수많은 물체들은 끊임없이 운동하고 있어요. 이들 운동은 대부분 매우 복잡하게 보이지만 자세히 분석해 보면 일정한 규칙에 따른다는 것을 알 수 있습니다. 운동의 규칙성을 알아내기 위해서는 운동을 정확하게 관찰하고 올바르게 기술할 수 있어야 합니다. 이제 운동을 어떻게 기술하는지 알아보까요?

1. 속도와 가속도

토끼는 거북이보다 빠르다고 합니다. 물체의 빠르기는 어떻게 비교하면 될까요? 물체의 빠르기를 나타내는 속력과 속도에 대하여 알아보시다.

(1) 위치의 변화와 변위

움직이고 있는 모든 물체들은 시시각각 그 위치가 변합니다. 이처럼 물체의 위치가 시간에 따라 변하는 현상을 **운동**이라고 합니다. 물체가 한 곳에서 다른 곳으로 그 위치가 변할 때 이것을 어떻게 나타내면 좋을까요? 물체의 위치를 나타내기 위해서는 기준점을 먼저 정하고 그 기준점으로부터의 거리와 방향을 함께 나타내야 합니다.

● 학교를 기준점으로 정하고 우리 집의 위치를 나타내 볼까요?

◆ **이동 거리와 변위** : 정지해 있는 물체는 아무리 시간이 지나도 위치가 변하지 않지만, 운동하는 물체는 시간이 지남에 따라 어떤 경로를 따라 이동하면서 그 위치가 달라지지요. 이 때, 물체가 이동한 경로의 길이를 **이동 거리**라고 합니다.

그림 1-1에서 집에서 출발하여 우체국을 들러 학교에 갈 때의 이동 거리는

$$300\text{ m} + 400\text{ m} = 700\text{ m}$$

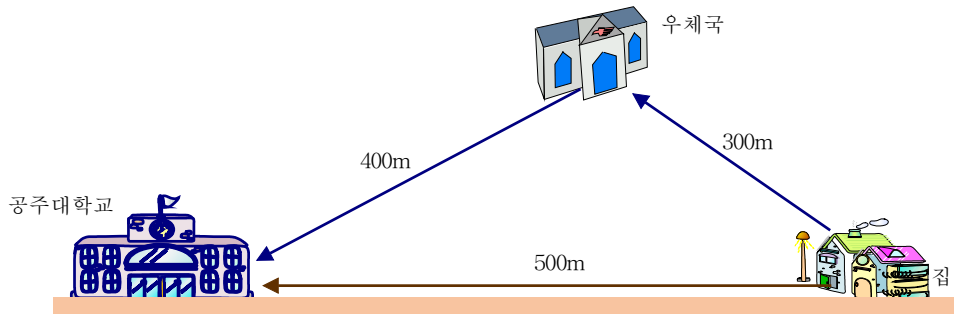


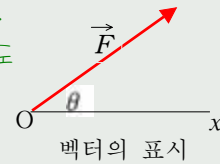
그림 1-1 이동 거리와 변위

입니다. 그런데 집에서 학교까지는 직선거리로 500m이네요. 이와 같이 물체의 위치 변화를 나타낼 때 물체의 이동 경로는 생각하지 않고 출발점과 도착점을 최단거리로 연결하는 선분의 길이와 방향을 함께 나타낸 것을 **변위**라고 합니다. 변위는 크기와 방향이 있는 물리량(벡터)이므로 크기만 있는 이동 거리(스칼라)와 구별해야 한다는 것을 잊지 마세요.

■ 벡터와 스칼라

스칼라 : 크기만으로 완전히 표현되는 물리량을 스칼라(scalar)라고 한다.
스칼라량은 단위를 붙인 숫자로 나타내며, 길이, 질량, 시간, 온도 등이 있다.

벡터 : 크기와 방향을 함께 나타내는 물리량을 벡터(vector)라고 한다.
벡터량은 문자로 나타낼 때 \vec{A} 와 같이 화살표를 붙여 나타낸다.
벡터량에는 변위, 힘, 속도, 가속도 등이 있다.



(2) 속력과 속도

물체의 운동을 ‘빠르다’ 혹은 ‘늦다’라는 말로만 나타내기에는 어딘지 부족한 것 같지 않나요? 운동의 빠르기를 나타내는 방법에는 일정한 시간 동안에 이동한 거리로 나타내거나, 일정한 거리를 이동하는 데 걸린 시간으로 나타내는 방법이 있어요. 어느 방법이 더 효과적일까요?

① 속력

운동의 빠르기를 효과적으로 비교하려면 일정한 시간에 물체가 이동한 거리로 비교하면 됩니다. 물체가 단위 시간(1초)에 이동한 거리를 **속력**(speed)이라고 합니다.

$$\text{속력} = \frac{\text{이동 거리}}{\text{걸린 시간}}, \quad v = \frac{x}{t}$$

속력의 단위는 m/s입니다.

예를 들어, 그림 1-1에서 집에서 우체국을 둘러 학교까지 가는데 10분이 걸렸다면,

$$\text{속력}(v) = \frac{\text{이동 거리}(x)}{\text{걸린 시간}(t)} = \frac{700 \text{ m}}{600 \text{ s}} \approx 1.2 \text{ m/s} \text{ 가 됩니다.}$$

■ 물리에서 ‘단위’는 생명이랍니다.

모든 과학에서 마찬가지지만, 특히 물리에서는 단위가 매우 중요합니다. 물리에서 단위는 물리량을 나타내는 식에서 알 수 있는데 속력의 경우에도 마찬가지입니다. 거리를 나타내는 단위인 m 또는 km 등과 시간의 단위 초(s, second) 분(min, minute) 또는 시간(h, hour)등을 조합하여 m/s, km/min km/h 등을 만들 수 있습니다.

1m/h는 1시간 동안에 1m를 간다는 의미이므로 너무 크기가 작고, 1km/s는 1초 동안에 1km를 간다는 의미이므로 m/s, km/h 의 단위가 많이 쓰이는 것입니다.

◆ **평균 속력** : 자동차로 여행을 계획할 때, 운전자는 먼저 목적지에 도착하는 데 걸리는 시간이 얼마인지 계산하게 됩니다. 목적지까지 가는 동안 자동차의 속력을 일정하게 유지할 수 없기 때문에 운전자는 대체로 평균 속력으로 여행시간을 계산하게 되지요. 평균 속력은 다음과 같이 정의합니다.

$$\text{평균 속력} = \frac{\text{이동한 거리}}{\text{걸린 시간}}, \quad \underline{v = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta x}{\Delta t}}$$

평균 속력은 보다 쉽게 계산할 수 있습니다. 예를 들어 어떤 자동차가 2시간 동안에 120 km 를 이동했다면 이 자동차의 평균 속력은

$$\text{평균 속력} = \frac{\text{이동한 거리}}{\text{걸린 시간}} = \frac{120 \text{ km}}{2 \text{ h}} = 60 \text{ km/h}$$

가 됩니다. 평균 속력은 이동한 거리를 걸린 시간으로 나눈 것이기 때문에 자동차가 달리는 동안 일어날 수 있는 속력의 변화를 나타내지는 않습니다. 실제로 우리는 자동차를 타고 가면서 다양한 속력을 경험하게 됩니다. 자동차가 출발하면서 서서히 속력을 높여 빨리 달리다가 장애물이나 신호등을 만나면 멈추거나 속력을 늦추기도 하면서 목적지에 도착하여 정지할 때까지 자동차의 속력은 계속 변합니다. 평균 속력은 자동차의 속력이 변했던 상황은 무시하고 전체 이동 거리를 걸린 시간으로 나눈 것이므로 결국 자동차가 정지할 때까지 일정한 속도로 이동한 셈이 되는 것이지요.

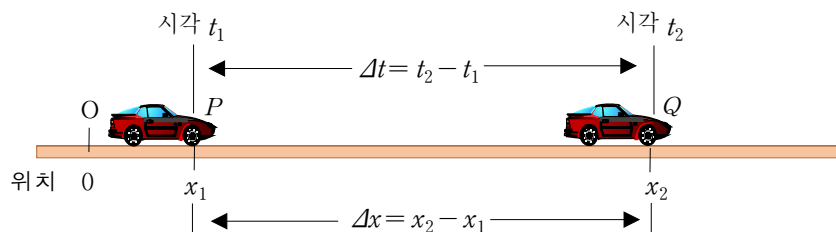


그림 1-2 평균 속력

◆ **순간 속도** : 자동차가 항상 일정한 속력으로 달리는 것은 아니지요. 자동차는 교통량이 적은 도로에서는 60 km/h의 속력으로 달리다가 빨간 신호등에서는 정지(0 km/h)해야 하며, 복잡한 시내에서는 30 km/h 이하의 속력으로 가야하는 경우도 있어요.



그림 1-3 자동차 속도계

물체가 속력이 변하면서 이동할 때에는 평균 속도로는 그 물체가 어느 순간에 가장 빠르거나, 또 어느 순간에 가장 느린지 알 수 없기 때문에, 이런 경우에 필요한 것이 순간 속도입니다.

그림 1-3에서와 같이 자동차의 속도계가 나타내는 눈금은 그 순간에서의 자동차의 순간 속력을 나타내는 것입니다. 만일 자동차가 속도계가 가리키고 있는 60 km/h의 속력으로 1시간 동안 계속 달린다면 60 km의 거리를 이동할 수 있을 것입니다.

② 속도

속력과 속도를 물체의 운동을 기술하려면 빠르기뿐만 아니라 운동의 방향도 함께 나타내야 하는 경우가 많습니다. 이와 같이 빠르기와 방향을 함께 나타내는 물리량을 **속도(velocity)**라고 합니다. 그러나 일상생활에서는 속력과 속도를 구별하지 않고 같은 의미로 사용하기도 합니다. 그러나 물리학에서는 두 물리량을 엄격히 구별합니다.

자동차가 60 km/h로 운동한다고 말할 때에는 자동차의 속력을 말하는 것이며, 자동차가 동쪽으로 60 km/h로 운동한다고 말할 때에는 자동차의 속도를 말하는 것입니다.

그림 1-4에서 두 자동차가 똑같이 60 km/h의 속력으로 달릴 때 오른쪽으로 이동하는 자동차와 왼쪽으로 이동하는 자동차는 얼마 후에는 전혀 다른 위치에 있게 됩니다. 오른쪽을 향하는 자동차의 속도를 +60 km/h로 하면 왼쪽을 향하는 자동차의 속도는 -60 km/h로 나타내면 됩니다. 속도는 단위 시간(1초)에 대한 변위이며, 속도의 단위는 속력의 단위 m/s 또는 km/h와 같습니다.

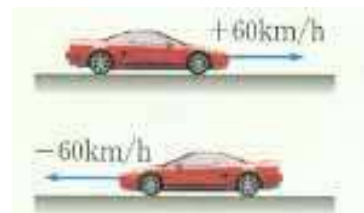


그림 1-4 속도의 표시

$$\text{속도} = \frac{\text{변위}}{\text{시간}}, \quad v = \frac{x}{t}$$

그림 1-1에서 집에서 우체국을 들리지 않고 직접 학교까지 가는데 7분 걸렸다면 속도는

$$\text{속도}(v) = \frac{\text{변위}(x)}{\text{시간}(t)} = \frac{500\text{m}}{420\text{s}} \approx 1.2\text{m/s}$$

가 되네요. 속도는(벡터)이므로 크기만 있는 속력(스칼라)과 구별해야 한다는 것을 잊지 마세요.

＊ **일정한 속도** : 물체가 일정한 속도로 운동한다는 것은 일정한 속력과 일정한 방향으로 운동하는 것을 말합니다. 즉, 일정한 속력은 빠르기가 더 빨라지지도 더 느려지지도 않는 똑같은 속력을 의미하며, 일정한 방향은 운동 경로가 곡선이 아니라 직선이라는 것을 의미합니다. 다시 말하면, 일정한 속도로 운동한다는 것은 일정한 속력으로 직선상에서 운동한다는 뜻이지요.

＊ **변하는 속도** : 물체의 속력이 변하거나 운동 방향이 변하는 것은 곧 속도가 변한다는 의미입니다. 일정한 속력과 일정한 속도는 서로 다른 의미를 가지고 있습니다. 예를 들어 그림 1-5와 같이 자동차가 곡선을 따라 일정한 속력으로 운동할 수는 있지만, 일정한 속도로는 운동할 수 없습니다. 곡선을 따라 운동하는 물체는 매 순간마다 방향이 계속 변하기 때문이지요.

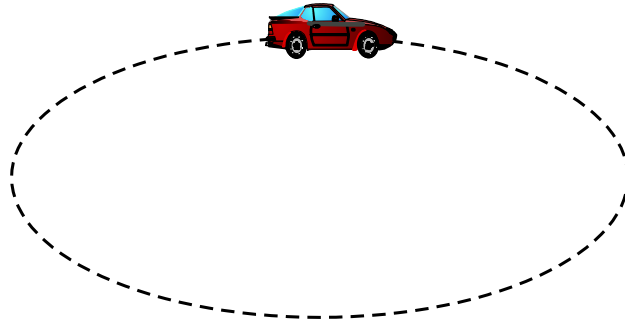


그림 1-5 원형 트랙을 따라 달리는 자동차

③ 상대 속도

달리고 있는 자동차에서 창밖을 보면 가로수나 건물들이 뒤로 이동하는 것처럼 보이는 것을 경험하였을 것입니다. 그리고 자동차가 정지하면 뒤로 이동하던 가로수나 건물들도 정지합니다.



그림 1-6 추월하는 자동차

그림 1-6과 같이 고속도로 1차선을 100km/h의 속력으로 달리는 자동차에서 2차선을 80km/h로 달리는 자동차를 보면 그 자동차가 점점 뒤로 멀어지는 것같이 느껴지겠지요? 속도 v 로 달리는 자동차 안에서 창 밖을 보면 가로수와 건물들이 자동차의 이동 방향과 반대 방향, 즉 $-v$ 의 속도로 뒤로 움직이는 것처럼 보일 겁니다. 이처럼 물체의 운동은 관측하는 기준에 따라 다르게 나타납니다.

그림 1-7에서와 같이 2m/s의 속도로 달리는 승용차를 타고 옆 차선에서 같은 속도로 같은 방향을 향해 달리는 승용차를 보면 마치 정지해 있는 것처럼 보이겠지요? 그러면 반대 차선에서 2m/s의 속도로 마주보고 달려오는 트럭은 어떻게 보일까요?

자동차 밖에 있는 사람이 보면 방향만 다를 뿐 같은 속력으로 달리는 것으로 보이겠지만, 승용차 안에 정지해 있는 나에게는 트럭이 나를 향해 4m/s의 속도로 달려오는 것처럼 보일 겁니다.

이와 같이 움직이고 있는 관측자가 느끼는 속도를 **상대 속도**라고 합니다.

만일 관측자 A 의 속도를 v_A 라하고, 물체 B 의 속도를 v_B 라 할 때, A 에 대한 B 의 상대 속도 v_{AB} 는 다음과 같이 나타낼 수 있습니다.

$$v_{AB} = v_B - v_A$$

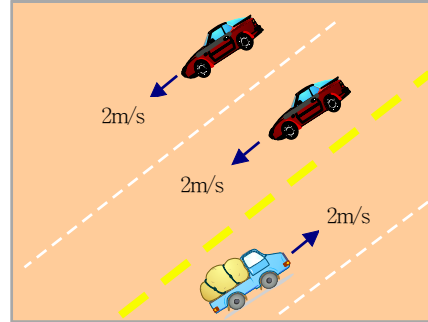


그림 1-7 상대 속도

위의 예를 적용해 보면,
같은 방향으로 달리는 승용차의 경우는,

$$2\text{m/s}(\text{옆 차선 승용차의 속도}) - 2\text{m/s}(\text{관측자의 속도}) = 0\text{m/s}(\text{상대 속도})$$

그리고 반대 방향으로 달려오는 트럭의 경우는,

$$-2\text{m/s}(\text{반대 차선 트럭의 속도}) - 2\text{m/s}(\text{관측자의 속도}) = -4\text{m/s}(\text{상대 속도})$$

가 됩니다.

- 동풍이 20m/s로 강하게 불어오고 있다. 자전거를 타고 3m/s의 속도로 동쪽을 향해 달릴 때 느끼는 바람의 속도는 얼마일까요?

생활 속의 물리	빗속을 걸어가갈 때 우산을 앞으로 숙이는 이유는?
<p>비 오는 날 빠르게 걸어가려면 그림과 같이 우산을 앞으로 숙여야 비를 맞지 않게 된다는 것을 잘 알고 있다. 우리가 이렇게 하는 데에는 과학적 근거가 있는 것이다.</p> <p>지면에 대한 빗방울의 상대 속도를 $v_{\text{비}}$라 하고, 지면에 대한 사람의 상대 속도를 $v_{\text{사람}}$이라고 하자. 그러면 사람에게 대한 빗방울의 상대 속도 v는 지면에 대한 빗방울의 상대 속도 $v_{\text{비}}$에서 지면에 대한 사람의 상대 속도 $v_{\text{사람}}$를 뺀 것이 된다. 즉,</p> $v = v_{\text{비}} - v_{\text{사람}}$ <p>이고, 빗방울의 방향은 그림에서 빨간색 화살표가 나타내는 방향과 같다.</p> <p>빗줄기가 지면과 이루는 각을 θ라고 하면 $\tan \theta = \frac{v_{\text{비}}}{v_{\text{사람}}}$ 이므로, 사람이 빨리 걸어가수록 우산을 앞으로 더 기울여야 비를 맞지 않는다.</p>	<p>▲ 사람에게 대한 빗방울의 상대 속도</p>

④ 등속 직선 운동

일직선상을 일정한 속력으로 달리는 물체의 운동을 **등속 직선 운동** 또는 **등속도 운동**이라고 하며, 등속 직선 운동에서 속도를 v , 시간을 t , 이동 거리를 x 라 하면 다음 식이 성립합니다.

$$v = \frac{x}{t} = \text{일정}$$

따라서 이동 거리 즉, 변위는 $x = vt$ 으로 구할 수 있습니다.

등속 직선 운동에서 변위와 시간 사이에는 비례관계가 성립합니다. 그러므로 등속 직선 운동의 $x-t$ 그래프는 그림 1-8과 같이 원점을 지나는 직선이 되며, 직선의 기울기는 속도 v 의 크기가 됩니다. 그리고 속도 v 는 시간 t 에 관계없이 일정하므로 $v-t$ 그래프는 시간 t 축에 평행한 직선이 됩니다. 이 직선과 t 축 사이의 면적은 이동거리 즉, 변위의 크기 $x = vt$ 입니다.

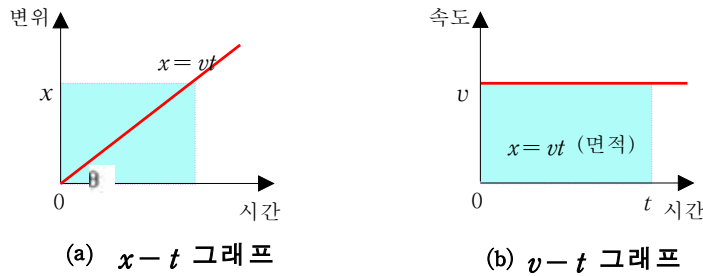


그림 1-8 등속 직선 운동의 그래프

[예제] 1. 자동차가 동쪽으로 6초 동안 80m를 간 다음, 다시 남쪽으로 4초 동안 60m를 갔다.

- (1) 이 자동차의 평균 속력은 얼마인가?
- (2) 이 자동차의 평균 속도는 얼마인가?

《풀이》 (1) 자동차가 이동한 거리는 $x = 80\text{m} + 60\text{m} = 140\text{m}$ 이고, 걸린 시간은 $t = 6\text{s} + 4\text{s} = 10\text{s}$ 이다. 따라서 평균 속력 v 는

$$v = \frac{x}{t} = \frac{140\text{m}}{10\text{s}} = 14\text{m/s}$$

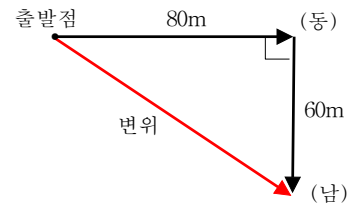
(2) 10초 동안의 변위는 벡터이므로 그림과 같이 구한다.

$$\text{변위는 } x = \sqrt{80^2 + 60^2} = 100\text{m}$$

평균 속도 v 의 크기는

$$v = \frac{x}{t} = \frac{100\text{m}}{10\text{s}} = 10\text{m/s}$$

이며, 방향은 동과 남 사이 즉, 동남 방향이다.



(3) 가속도

운동하는 물체의 속력이나 운동 방향을 변화시키거나, 또는 속력과 방향을 동시에 변화시킴으로써 물체의 운동 상태를 변화시킬 수 있는데, 이 모든 변화가 바로 속도의 변화입니다.

운전자가 다른 자동차를 추월하려고 할 때에는 가능한 한 짧은 시간 동안에 속력을 빠르게 변화시켜서 추월해야 한다는 것을 잘 알고 있습니다. 이처럼 물체의 속력이 빨라질 때 가속도가 있다고 말합니다.

그림 1-9와 같이 시각 t_1 에서의 속도가 v_1 이고, 시각 t_2 에서의 속도가 v_2 일 때, 속도의 변화량을 걸린 시간으로 나눈 값을 가속도라고 합니다.

즉, 단위 시간(1초)에 대한 속도의 변화량을 **가속도**라고 정의하며 다음과 같이 나타냅니다.

$$\text{가속도} = \frac{\text{속도의 변화량}}{\text{걸린 시간}}, \quad a = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

가속도는 방향이 있는 물리량(벡터)이며, 가속도의 방향은 속도의 변화와 같은 방향입니다.

가속도는 속도를 시간으로 나누었으므로 가속도의 단위는 m/s^2 ($=\text{m/s} \div \text{s}$) 입니다.

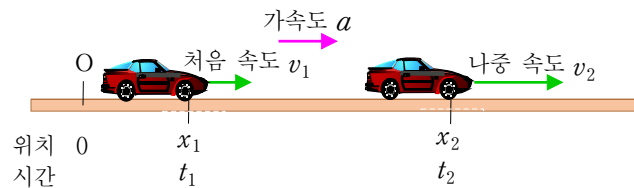


그림 1-9 가속도 운동

우리는 자동차의 가속도를 자주 경험하므로 매우 친숙합니다. 운전자가 자동차를 출발시키면서 가속 페달을 밟으면 승객들은 뒤로 밀리게 되는데, 이 때 승객들은 가속도를 느끼게 됩니다. 가속이 잘 되는 자동차는 짧은 시간 동안에 속도를 더 많이 변화시킬 수 있습니다. 가속도를 정의하는 데 핵심이 되는 것은 바로 변화이므로 가속도는 속도가 얼마나 빠른가를 나타내는 물리량이 아니고 속도의 변화가 얼마나 빠르게 일어나는가를 나타내는 물리량인 것입니다.

물리학에서 가속도의 개념은 속력이 증가되는 경우만 아니라 속력이 감소하는 경우에도 적용됩니다. 자동차의 제동 장치인 브레이크를 밟으면 속력을 갑자기 감소시킬 수 있는데 이렇게 속도가 줄어드는 것을 감속도 또는 음(-)의 가속도라고 합니다. 자동차를 타고 갈 때 운전자가 브레이크를 갑자기 세게 밟으면 자동차 안의 승객들은 앞으로 쏠리게 되는 음(-)의 가속도를 경험하게 됩니다. 즉, 일반적으로 속도가 증가할 때의 가속도는 (+)값으로 나타내고 속도가 감소할 때에는 (-)값으로 나타냅니다.

가속도는 속력의 변화뿐 아니라 운동 방향의 변화가 있을 때에도 적용됩니다. 자동차가 일정한

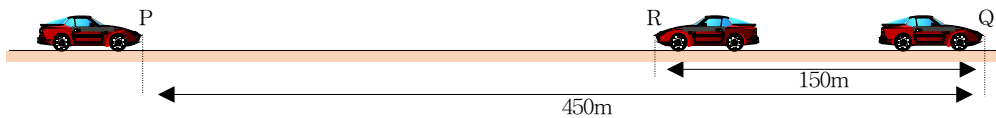
속력으로 곡선 도로 위를 달릴 때 바깥쪽을 향하는 가속의 효과를 느껴본 경험이 있지요? 자동차는 곡선 도로에서 일정한 속력으로 달리더라도 방향이 계속 바뀌기 때문에 속도는 일정하지 않습니다. 다시 말하면, 곡선 도로를 달리고 있는 동안 운동 상태가 변하므로 가속되고 있는 것입니다. 물체의 속력이나 운동 방향이 변하거나 또는 속력과 운동 방향이 둘 다 변한다면 속도가 변하는 것이므로 가속되는 것입니다.

이제 여러분은 속력과 속도를 구별하는 것이 왜 중요한가를, 또 가속도를 속력의 변화율이 아닌 속도의 변화율로 정의하는지를 확실히 알았을 겁니다. 다만, 물체가 직선 위에서 운동하는 경우에는 속력과 속도를 같은 의미로 사용해도 무방합니다. 물체의 운동 방향이 변하지 않는다면 가속도를 속력의 변화율로 표현해도 됩니다.

- 자동차의 속력계가 일정한 속력 30km/h를 가리키고 있다면 자동차의 속도가 일정하다고 말할 수 있을까요?
- 속력과 가속도는 각각 무엇의 시간적 변화율인가요?
- 자동차에서 속력을 변화시킬 수 있는 두 장치는 각각 무엇인가요? 또 속도의 방향을 변화시킬 수 있는 장치는 무엇일까요?

[문제] 1. 어떤 자동차가 직선 도로 위의 점 P에서 점 Q까지 갔다가 점 R까지 되돌아오는 데 10초가 걸렸다.

- (1) 이 자동차가 10초 동안 달린 거리와 변위는 각각 얼마인가?
- (2) 이 자동차의 10초 동안의 평균 속력과 평균 속도는 각각 얼마인가?



[답] (1) 600 m, 300 m (2) 60 m/s, 30 m/s

[문제] 2. 일정한 속력으로 운동하는 물체는 가속 운동 중일 수 있지만, 일정한 속도로 운동하는 물체는 가속 운동 중일 수 없는 이유는 무엇인가?

[답] 곡선을 따라 운동하는 물체는 방향이 계속 변하므로 가속 운동 중이지만, 속도가 일정하면 가속도가 0 이므로 가속 운동을 중일 수 없다.

[문제] 3. 직선 도로를 달리는 자동차의 속력이 50km/h에서 60km/h로 증가했을 때의 가속도와 같은 시간 동안에 자전거의 속력이 0에서 10km/h로 증가했을 때의 가속도 중에서 어느 쪽의 가속도가 더 큰가?

[답] 같은 시간 동안에 변화량이 모두 10km/h 이므로 자동차와 자전거의 가속도는 같다.

2. 운동의 법칙

물체가 운동하게 되는 원인은 무엇일까요?

정지해 있는 물체를 움직이려면 그 물체에 힘을 가해야 합니다. 또 운동하고 있는 물체의 속도를 변화시키거나 운동 방향을 바꿀 때에도 그 물체에 힘을 가해야 합니다. 이처럼 힘과 운동 상태의 변화 사이에는 밀접한 관계가 있습니다. 그렇다면 힘과 운동 상태의 변화 사이에는 어떤 규칙성이 있을까요?

갈릴레이는 물체의 운동을 분석하여 수학적으로 기술하는 방법을 제시하였고, 뉴턴은 물체의 운동과 힘의 관계를 처음 발견하고 운동의 3가지 법칙으로 체계화하여 물리학의 기초를 다져 놓았습니다.

(1) 힘

힘은 눈에 보이지도 않고 손으로 만져지지도 않는데 힘을 어떻게 알아 볼 수 있으며, 어떻게 나타낼 수 있을까요?

고무풍선을 손으로 누르면 모양이 달라지고 더 세게 누르면 풍선이 터지고 맙니다. 또 손에 들고 있던 야구공을 던지면 공중으로 날아가고, 앞으로 굴러오는 축구공을 발로 차면 굴러오던 방향과 다른 방향으로 멀리 날아갑니다. 이것은 모두 그 물체에 힘이 작용하였기 때문입니다. 이와 같이 힘은 물체의 모양이나 운동 상태를 변화시키는 요인이므로, 물체의 변형이나 운동 상태의 변화의 정도로 힘이 얼마나 크게 작용하였는지를 알 수 있습니다.

① 힘의 3요소

운동의 원인이 힘이란 것을 알았지만, 힘만 있다고 되는 것이 아닙니다. 힘을 잘 이용할 줄 아는 씨름 선수가 상대를 쉽게 이길 수 있습니다. 가벼운 가방 정도는 작은 힘으로도 쉽게 들어 올릴 수 있지만 TV나 냉장고를 이동시키려면 큰 힘이 필요한 것처럼 물체를 운동시키기 위해서는 그에 적당한 크기의 힘을 작용시켜야 합니다. 또 물체를 운동시키려는 방향으로 힘을 작용시켜야 합니다.

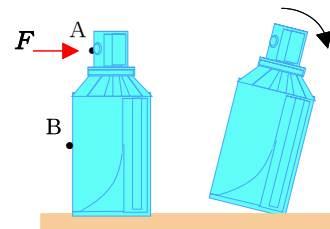


그림 1-10 힘의 작용점

그림 1-10에서와 같이 힘 F 를 물체의 위(A점)에 작용하면 물체가 이동하지 않고 그 자리에서 앞으로 쓰러지게 됩니다. 그러나 물체의 중간(B점)에 작용하면 물체가 앞으로 이동하게 됩니다. 이와 같이 같은 힘을 작용하더라도 힘을 어디에(작용점) 작용하느냐에 따라 그 결과는 달라 집니다. 힘을 이용하는 데에는 위에서 말한 크기, 방향, 작용점 등 3가지 요소를 모두 갖추어야 합니다. 이 세 가지를 **힘의 3요소**라고 합니다.

② 힘의 표시

어떤 힘이 주어졌을 때 그 힘을 나타내기 위해서는 힘의 3가지 요소를 함께 표시해야 합니다. 힘을 나타낼 때에는 그림 1-11과 같이 화살표를 이용하면 힘의 3요소를 한꺼번에 나타낼 수가 있습니다.

우선 힘을 작용하는 곳에 점을 찍고 그 곳을 시작점으로 하여 힘을 작용하는 방향으로 화살표를 긋고, 힘의 크기에 따라 화살표의 길이를 결정하면 됩니다. 이 때 작용점을 지나서 힘의 방향으로 그은 직선을 **힘의 작용선**이라고 합니다.

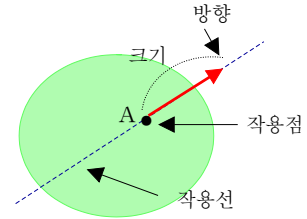


그림 1-11 힘의 표시

◆ **힘의 단위** : 힘은 물리에서 중요한 물리량의 하나입니다. 따라서 물리에서 생명과도 같은 단위가 빠질 수 없지요? 힘의 단위는 N(뉴턴, Newton)을 사용합니다.

③ 힘의 합성과 분해

줄다리를 해본 경험이 있나요? 줄다리기에 여러 사람이 작용하는 힘을 한 힘으로 나타내는 방법은 없을까요?

◆ **힘의 합성** : 한 물체에 여러 힘이 작용할 때, 이들 여러 힘의 효과와 같은 하나의 힘으로 나타내는 것을 **힘의 합성**이라 하며, 합성된 한 힘을 **합력**이라고 합니다. 힘은 크기뿐만 아니라 방향도 가지고 있는 물리량이므로 힘의 방향을 고려하여 합성해야 합니다. 그러면 한 물체에 작용하는 두 힘의 합력을 구하는 방법에 대해 알아보까요?

[**두 힘의 방향이 같은 경우**] 그림 1-12와 같이 한 물체에 방향이 같은 두 힘 F_1 과 F_2 가 작용할 때 합력 F 의 크기는 두 힘 F_1 , F_2 의 크기를 합한 것과 같습니다. 즉,

$$F = F_1 + F_2$$

이며, 합력의 방향은 두 힘의 방향과 같습니다.

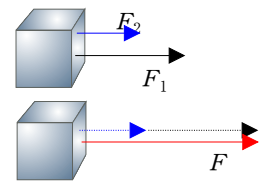


그림 1-12 방향이 같은 두 힘의 합성

[**두 힘의 방향이 반대인 경우**] 그림 1-13과 같이 한 물체에 방향이 반대인 두 힘 F_1 과 F_2 가 작용할 때에는 한쪽 방향을 (+)로 하고, 다른 쪽 방향을 (-)로 생각할 수 있습니다. 그러면 이 경우의 합력 F 의 크기는 두 힘의 차의 절대값과 같다.

$$F = F_1 + (-F_2)$$

그리고 합력의 방향은 큰 힘의 방향과 같습니다.

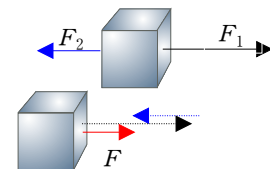


그림 1-13 방향이 반대인 두 힘의 합성

[두 힘의 방향이 나란하지 않은 경우] 한 물체에 방향이 나란하지 않은 두 힘 F_1 과 F_2 가 작용할 때 합력 F 은 평행사변형법과 삼각형법으로 구할 수 있습니다.

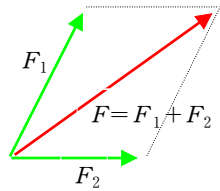


그림 1-14 평행사변형법

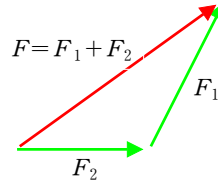


그림 1-15 삼각형법

평행사변형법 : 그림 1-14에서와 같이 한 물체에 작용하는 두 힘 F_1 과 F_2 를 이웃변으로 하는 평행사변형을 그리고 그 대각선을 그으면 합력 $F = F_1 + F_2$ 을 구할 수 있지요. 이 때 합력의 크기는 평행사변형의 대각선의 길이가 되고, 방향은 대각선의 방향과 같습니다.

삼각형법 : 삼각형법은 평행사변형법을 변형한 것으로 생각하면 쉽게 이해가 됩니다. 그림 1-15와 같이 두 힘 F_1 과 F_2 를 이웃변으로 하는 평행사변형에서 F_1 을 평행 이동하여 F_1 화살표의 꼬리(시작점)가 F_2 화살표 머리(끝점)에 오도록 한 다음 F_2 의 꼬리에서 F_1 의 머리까지 이으면 합력 $F = F_1 + F_2$ 를 구할 수 있습니다.

삼각형법은 이렇게 기억하면 쉽습니다. “**꼬리에서 머리까지**(tail to tip)”

◆ **힘의 분해** : 한 힘을 같은 효과를 갖는 둘 이상의 힘으로 나누는 것을 힘의 분해라고 합니다.

그림 1-16에서와 같이 한 힘 F 를 직각 좌표에서 x 축에 해당하는 힘과 y 축에 해당하는 힘으로 분해하여 x 방향 성분을 F 의 x 성분 F_x 라 하고, y 방향 성분을 F 의 y 성분 F_y 이라고 합니다. 힘 F 의 x 성분 F_x 와, y 성분 F_y 의 크기는 각각 다음과 같습니다.

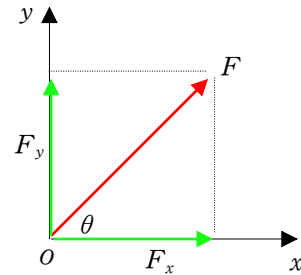


그림 1-16 힘의 분해

$$F_x = F \cos \theta, \quad F_y = F \sin \theta$$

④ 힘의 평형

팔씨름이나 줄다리기 해본 경험이 있나요? 양쪽에서 서로 힘껏 밀거나 잡아당겨도 한동안 팽팽히 맞서서 어느 쪽으로도 기울어지지 않는 것을 보았을 겁니다. 이런 경우는 양쪽에서 서로 같은 힘으로 밀거나 당기기 때문에 양쪽의 힘이 서로 상쇄되어 힘의 효과가 나타나지 않기 때문입니다. 이와 같이 한 물체에 크기가 같고 방향이 반대인 두 힘이 동시에 같은 작용선상에서 작용하면 힘의 효과가 나타나지 않습니다. 이러한 경우에 두 힘은 **평형**을 이룬다고 말합니다.

어떤 물체가 평형을 이루고 있을 때 그 물체에 작용하는 모든 힘들의 합력은 0됩니다. 다시 말해 평형이란 합력이 0인 상태이므로 물체에 작용하는 힘이 없는 것과 같습니다.

그림 1-17과 같이 한 물체에 두 힘이 작용하여 평형을 이루고 있을 때, 두 힘은 크기가 같고 방향이 반대이며 같은 작용선 상에 있습니다.

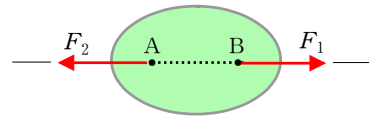


그림 1-17 두 힘의 평형



그림 1-18 평형 상태에 있는 잉크병

그림 1-18에서 책상 위에 놓여 있는 잉크병에는 어떤 행들이 작용하고 있을까요? 이 때 중력이라고만 말해서는 안 됩니다. 병에 작용하는 힘이 중력뿐이라면 병은 아래로 떨어져야 할 것입니다. 잉크병이 책상 위에 정지하고 있다는 것은 또 다른 힘이 잉크병에 작용하고 있다는 증거입니다. 이 힘은 병에 작용하는 중력과 평형을 이루어 합력이 0이 됩니다. 이 힘이 바로 책상이 잉크병을 떠받치는 수직 항력이라는 힘입니다. 책상은 잉크병에 작용하는 중력(잉크병의 무게)과 같은 힘으로 잉크병을 위로 받치고 있는 것입니다.

이와 같이 정지 상태에 있는 물체에 작용하고 있는 힘의 합력이 0일 때 그 물체는 평형 상태에 있게 되는 것입니다. 책상 위에 놓여 있는 잉크병은 평형 상태에 있는 것입니다.

● 물체가 평형을 이루고 있는 경우를 3가지만 예로 들어 볼까요?

(2) 운동의 제 1법칙(관성의 법칙)

교통사고로 인한 인명 피해를 줄이기 위해 일반 도로에서는 운전자와 앞좌석의 승객은 안전띠를 착용해야 하며, 고속도로에서는 모든 승객이 안전띠를 착용할 것을 의무화하고 있다. 자동차를 탈 때 안전띠를 착용하면 어떻게 안전을 지킬 수 있는지 궁금하지요?

정지해 있는 물체를 이동시키거나 운동하고 있는 물체를 정지시키려면 힘이 필요하다는 것을 알았지요? 그런데 수평면 위에서 공을 굴려 보면 공의 속력이 점점 줄어들면서 결국에는 정지하게 됩니다. 왜 그럴까요? 공의 속력이 줄어들지 않고 계속 굴러가게 할 수는 없을까요?

그림 1-19는 마찰이 없는 수평면 위에서 굴러놓고 굴러가는 공을 일정한 시간 간격으로 찍은 다중 선타 사진입니다. 이 사진을 분석해 보면 같은 시간 간격 동안 이동한 거리가 모두 같은 것을 알 수 있지요. 즉, 공이 등속도 운동을 하고 있다는 것을 알 수 있습니다.



그림 1-19 등속직선운동(단위 cm, 시간 간격 $\frac{1}{0.5}$ 초)

마찰이나 공기의 저항 등이 운동하는 물체에 작용하지 않으면 물체는 등속도 운동을 계속하게 됩니다. 이처럼 물체는 외부로부터 힘이 작용하지 않으면 원래의 운동 상태를 계속 유지하려는 성질이 있는데 이러한 성질을 **관성**이라고 합니다. 관성은 우주 내의 모든 물체가 지니고 있는 자연의 기본적인 특성이지요. 우리가 뽀빠지를 하다가 바로 그 자리에 정지할 수 없는 것은 바로 관성 때문이랍니다.

이탈리아의 물리학자 갈릴레이는 빗면 실험을 통해 물체가 빗면을 내려갈 때는 속력이 빨라지고, 반대로 빗면을 올라갈 때는 속력이 느려진다는 것을 주의 깊게 관찰하고, 어느 쪽으로도 기울어지지 않은 수평면에서는 속력이 변하지 않고 일정해야 한다고 머릿속으로 추리(사고 실험)하여 관성을 이해하기 쉽게 설명하였습니다. 후에 뉴턴은 관성에 대하여 다음과 같이 체계적으로 정리하였습니다.

“외부로부터 물체에 힘이 작용하지 않거나 작용하더라도 힘의 합력이 0이면 운동하고 있는 물체는 계속 등속도 운동을 하고 정지하고 있는 물체는 계속 정지해 있다.”

이것을 **뉴턴의 운동의 제1법칙** 또는 **관성의 법칙**이라고 합니다. 관성의 법칙으로 물체의 운동 상태를 변화시키는 원인이 힘이라는 것과 정지 상태에 있는 물체와 등속도 운동하는 물체는 모두 가속도가 0인 운동 상태라는 것을 밝힐 수 있게 된 것입니다.

그러면 관성의 크기를 나타내는 물리량은 무엇일까요? 정지하고 있는 질량이 큰 물체를 움직일 때가 질량이 작은 물체를 움직일 때보다 큰 힘이 필요하며, 같은 속도로 운동하고 있는 질량이 큰 물체와 질량이 작은 물체 중에서 질량이 큰 물체를 정지시키기가 더 어렵다는 것을 경험으로 잘 알고 있겠지요. 따라서 질량으로 그 물체의 관성의 크기를 나타낼 수 있습니다.

관성에 관한 현상은 우리 생활 주변에서 쉽게 찾아볼 수 있습니다. 그림 1-20과 같이 정지해 있던 자동차가 갑자기 출발할 때에는 몸이 뒤로 젖혀지는 것을 경험한 적이 있을 것입니다. 이런 현상은 정지해 있는 물체는 계속 정지해 있으려고 하는 관성이 있기 때문에 나타나는 것이지요. 그리고 그림 1-21과 같이 달리고 있는 자동차가 갑자기 멈출 때에는 몸이 앞으로 쏠리는 것도 경험하였을 것입니다. 이런 현상은 운동하고 있는 물체는 계속 그 운동을 계속하려는 관성이 있기 때문에 나타나는 현상입니다.



그림 1-20 갑자기 출발하면 몸이 뒤로 젖혀진다.



그림 1-21 갑자기 정지하면 몸이 앞으로 쏠린다.

● 계속 정지하려는 관성과 계속 운동하려는 관성을 각각 3가지씩 보기를 들어 볼까요?

물리학의 선구자 | 갈릴레이(Galilei Galileo : 1564 - 1642)

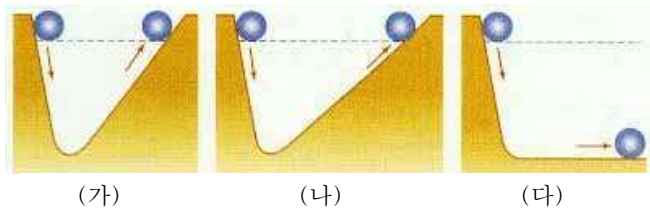


갈릴레이는 이탈리아의 물리학자, 수학자, 천문학자로서 낙하하는 물체의 운동, 지구의 자전, 진자의 등시성 발견 등 많은 업적을 남겼다. 그는 심리학을 공부하다가 수학과 과학으로 전공을 바꾸었다. 학생 때 토론가라는 별명을 들었으며 토론을 통해서 자연에 대한 발견의 단서를 얻게 되었다고 한다.

지구가 움직인다는 코페르니쿠스의 이론을 공식적으로 지지한 사람은 16세기의 가장 위대한 과학자인 갈릴레이였다.

갈릴레이가 물리학에 기여한 가장 위대한 것 중의 하나는 “물체의 운동 상태를 유지시키려면 힘이 필요하다”는 생각을 완전히 뒤집어 놓은 것이다. 그는 마찰이 있을 때에만 물체의 운동 상태를 유지시키는 데 힘이 필요하다고 주장하였다.

갈릴레이는 오른쪽 그림(가)와 같이 한쪽 빗면에서 굴러 내려온 공은 처음과 거의 같은 높이까지 반대편 빗면 위를 올라가는 것을 관찰하였으며, (나)와 같이 빗면의 기울기를 낮출수록 공은 같은 높이까지 올라가기 위해서 더 멀리 굴러가야 한다는 사실에 주목하였다.



그리고 (다)와 같이 반대편 빗면의 경사각이 0이 되어 완전한 수평면이 된다면 공은 무한히 굴러갈 것이라고 생각하였다. 갈릴레이는 공이 무한히 굴러가는 것을 방해하는 것은 오직 마찰뿐이라는 것을 알았다. 따라서 마찰이 없다면 운동하던 공은 원래의 운동 상태를 계속 유지될 것이라고 생각한 갈릴레이는 모든 물체는 운동 상태가 변하는 것에 저항하려는 성질이 있다고 주장하였다. 우리는 이러한 성질을 관성이라고 한다.

갈릴레이는 피사의 사탑 꼭대기에서 무거운 물체와 가벼운 물체를 동시에 낙하시키는 실험을 실시하여 두 물체가 동시에 지면에 떨어지는 것을 확인하고 물체들은 질량과 관계없이 가속도가 같다는 것을 확인하였다. 그러나 갈릴레이는 가속도가 왜 같은지는 설명할 수 없었다. 그 이유는 뉴턴의 운동 제2법칙을 적용하면 쉽게 설명된다.

갈릴레이가 과학자로서 성공하게 된 것은 아리스토텔레스와는 다르게 복잡한 자연 현상을 단순화시켜서 관찰한 것뿐만 아니라, 새로운 과학을 개척하겠다는 강한 집념과 왕성한 탐구 정신, 그리고 새로운 것을 발견하려는 끊임없는 도전 정신을 가지고 있었기 때문이었다.

갈릴레이의 관심은 물체들이 왜 운동하게 되는가가 아니라 어떻게 운동하게 되는가에 있었다. 그는 논리가 아닌 실험이 가장 좋은 검증법이라는 것을 보여주었다. 그리고 운동에 관한 갈릴레이의 발견과 관성에 대한 그의 개념은 뉴턴이 우주에 대해 새로운 통찰을 할 수 있는 길을 열어주었다.

그는 자연 현상에서 문제를 인식하고 가설을 세워서 그 가설로 예측할 수 있는 현상들을 찾고 그것을 실험으로 증명하였습니다. 그리고 그는 연구를 통해 얻은 결과를 수학을 이용하여 나타내고 복잡한 현상을 쉽게 설명하였습니다. 이러한 과학적 연구 방법으로 자연의 탐구 기법이 개발되었으며, 비로소 근대 과학의 길이 열리게 되었다.

생활 속의 물리

미식축구에서 라인맨의 체구가 다른 선수보다 큰 이유는?

미식축구는 한 팀에 11명씩 구성된다. 공격팀은 라인맨 5명, 쿼터백 1명, 러닝백 2명, 리시버 3명으로 구성되며, 수비팀은 4-5명의 수비 라인맨과 3-4명의 라인베커, 2-3명의 디펜스백으로 구성된다. 미식축구에서 쿼터백을 보호하는 역할을 담당하는 라인맨은 대부분 몸무게가 무겁고 체구가 큰 선수들이 많다.

그 이유는 방어벽을 무너뜨리고 쿼터백을 제압하려고 달려오는 상대편의 공격수들을 저지하기 위해서는 정지 상태로 있는 쿼터백보다 큰 관성을 필요로 하기 때문이다.

관성은 이처럼 스포츠에서 유리하게 작용하기도 하지만, 반대로 불리하게 작용하기도 한다. 예를 들어, 몸무게가 무거운 사람이 탁구, 배드민턴, 테니스 등과 같은 빠른 몸동작을 필요로 하는 운동을 할 경우에는 일반적으로 가벼운 사람에 비해 정지, 출발, 방향 전환을 하는데 훨씬 불리하다. 따라서 빠른 몸동작을 필요로 하는 운동에서는 체구가 작고 몸무게가 가벼운 사람이 체구가 크고 몸무게가 무거운 사람보다 상대적으로 유리하다.



▲ 미식축구

(3) 운동의 제 2법칙(가속도의 법칙)

운동하고 있는 물체에 힘이 작용하지 않거나 작용하는 힘의 합력이 0일 때, 그 물체는 등속도 운동을 하게 됩니다. 그러면 운동하는 물체에 힘이 작용하면 그 물체는 어떤 운동을 하게 될까요? 아마도 물체의 속력이 변하거나 운동 방향이 바뀌게 될 것입니다. 즉, 가속도가 생깁니다. 이처럼 힘은 물체의 운동이 변하는 것과 밀접한 관련이 있습니다. 어떤 관계가 있는지 알아보시다.

① 힘과 가속도

축구공을 손으로 던질 때보다 발로 건어찰 때 공은 더 빨리, 더 멀리 날아갑니다. 발로 찼을 때 축구공에 더 큰 힘이 전달되었기 때문이지요. 우리는 물체에 작용하는 힘이 클수록 운동 상태의 변화가 크게 일어난다는 것을 잘 알고 있지요. 운동 상태가 변한다는 것은 곧 가속도가 생기는 것입니다. 따라서 물체에 힘을 주면 운동 상태가 변한다는 것은 힘과 가속도 사이에 어떤 관계가 있다는 것을 의미합니다. 과연 어떤 관계가 있을까요?

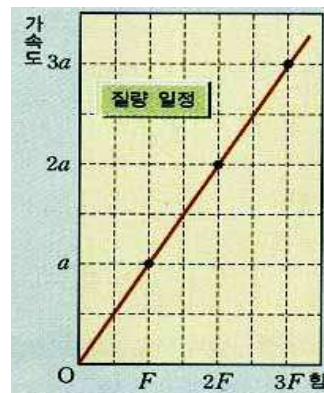


그림 1-22 힘과 가속도의 관계

물체의 질량을 일정히 하고 물체에 작용시키는 힘의 크기를

F 에서 $2F$, $3F$, ...로 증가시키면 물체의 가속도가 a 에서 $2a$, $3a$, ...로 증가합니다. 이 관계를 그래프로 그려보면 그림 1-22와 같습니다. 즉, 물체의 질량이 일정할 때 물체에 작용하는 힘 F 와 가속도 a 는 서로 비례하는 것을 알 수 있습니다. 이들 사이의 관계를 다음과 같이 나타낼 수 있습니다.

$$\text{가속도} \propto \text{힘}, \quad a \propto F$$

② 질량과 가속도

같은 힘으로 야구공과 투포환을 던지면 어떤 것이 더 빨리 그리고 더 멀리 날아갈까요? 이번에는 물체에 작용하는 힘의 크기를 일정하게 하고 물체의 질량을 m 에서 $2m$, $3m$, ...로 증가시키면 물체의 가속도는 a 에서 $\frac{1}{2}a$, $\frac{1}{3}a$, ...로 줄어듭니다. 이 관계를 그래프로 나타내면 그림 1-23과 같습니다. 즉, 물체에 작용하는 힘이 일정할 때 물체의 질량과 가속도는 반비례하는 것을 알 수 있습니다.

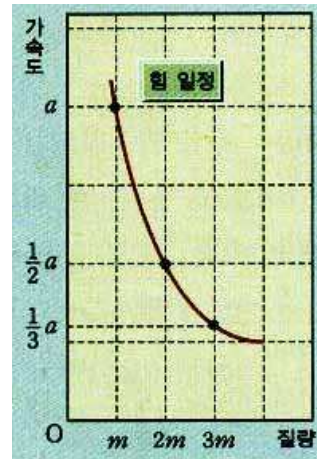


그림 1-23 질량과 가속도의 관계

반비례는 두 물리량이 서로 반대로 변화한다는 것을 의미합니다. 수학적으로 분모가 증가하면 전체의 양은 감소하지요.

예를 들어 $\frac{1}{100}$ 은 $\frac{1}{10}$ 보다 작습니다.

따라서 물체의 질량과 가속도 사이의 관계는 다음과 같이 나타낼 수 있습니다.

$$\text{가속도} \propto \frac{1}{\text{질량}}, \quad a \propto \frac{1}{m}$$

③ 운동의 제 2법칙

우리는 앞에서 물체의 질량이 일정할 때 가속도는 물체에 작용한 힘의 크기에 비례하고, 물체에 작용하는 힘이 일정할 때 가속도는 물체의 질량에 반비례한다는 것을 알았습니다. 그러면 이 두 관계를 하나로 나타낼 수는 없을까요? 이 두 관계를 하나의 식으로 정리한 사람이 바로 뉴턴입니다. 뉴턴은 물체를 운동시킬 때 가속도는 물체를 밀거나 끄는 힘뿐만 아니라 물체의 질량에도 관계가 있다는 사실을 알아낸 최초의 과학자입니다. 뉴턴은 이제까지 만들어진 자연의 가장 중요한 법칙들 중의 하나인 뉴턴의 운동 제 2법칙을 완성했습니다.

“물체의 가속도는 물체에 작용하는 힘의 크기에 비례하며 물체의 질량에 반비례한다. 가속도의 방향은 물체에 작용하는 힘의 방향과 같다”

이것을 뉴턴의 운동의 제2법칙 또는 가속도의 법칙이라고 합니다. 앞의 두 식을 종합하면

이 법칙을 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있습니다.

$$\text{가속도} \propto \frac{\text{힘}}{\text{질량}}, \quad a \propto \frac{F}{m}$$

힘의 단위로 N, 질량의 단위로 kg, 가속도의 단위로 m/s^2 을 사용하면 이 식의 비례 관계는 다음과 같은 완전한 식의 형태로 다시 나타낼 수 있습니다.

$$\text{가속도} = \frac{\text{힘}}{\text{질량}}, \quad a = \frac{F}{m}$$

가속도는 힘을 질량으로 나눈 것과 같으므로 물체에 작용하는 힘이 2 배이면 가속도는 2 배가 됩니다. 그러나 질량이 2 배가 되면 가속도는 $\frac{1}{2}$ 로 줄어들며, 힘과 질량이 모두 2 배가 되면 가속도는 변하지 않습니다. 위의 식은 다시

$$F = ma$$

와 같이 나타낼 수 있는데 이것을 **운동 방정식**이라고 합니다. 따라서 물체에 힘을 작용시켰을 때, 정확히 어느 정도의 가속도가 생기는지, 또는 물체가 어느 크기의 가속도로 움직이기 위해서는 어느 정도의 힘이 필요한지 계산할 수 있습니다. 물체에 한 힘만 작용하는 경우에는 쉽게 계산을 할 수 있지만 한 물체에 여러 힘이 동시에 작용할 경우에는 그렇게 쉽게 생각할 수만은 없습니다. 이런 때에는 물체에 작용하는 여러 힘을 합한 합력 하나만 작용하는 것으로 취급하면 쉽게 해결할 수 있습니다.

뉴턴의 운동 제 2법칙에서 물체에 작용하는 힘이 $F=0$ 이면 물체의 가속도는 0이라는 것을 쉽게 알 수 있습니다. 이것은 관성의 법칙을 의미하므로 관성의 법칙은 운동의 제 2법칙의 특수한 경우라고 말할 수 있습니다. 뉴턴의 운동 제 2법칙에서 질량은 물체의 관성의 크기를 나타내는 양이며 물체에 작용한 힘과 가속도의 비로 정의됩니다. 즉,

$$\text{질량} = \frac{\text{힘}}{\text{가속도}}, \quad m = \frac{F}{a}$$

로 나타낼 수 있습니다.

힘의 단위는 뉴턴(Newton)의 이름을 따서 N을 사용합니다. 1N은 질량 1kg의 물체에 1m/s^2 의 가속도를 생기게 하는 데 필요한 힘의 크기입니다. 즉, $1\text{N} = 1\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$ 입니다.

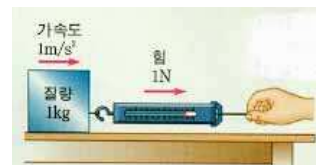


그림 1-24 1N의 힘

뉴턴의 운동 제 2법칙은 힘의 종류와 크기, 힘이 작용하는 방법, 그리고 물체의 종류와 크기 등에 관계없이 일반적으로 성립하는 자연의 기본 법칙이며, 이 법칙의 중요성은 물리 세계에서 일어나는 복잡하고 다양한 운동을 아주 간단한 관계식을 통해 통일적으로 설명할 수 있다는 점입니다.

● 가속도의 원인은 무엇인지 설명해 볼까요?

● 2m/s^2 의 가속도로 가속할 수 있는 자동차가 있다. 이 자동차가 같은 질량의 다른 자동차를 견인할 때 얻을 수 있는 가속도는 얼마인가?

[예제] 2. 미끄러운 수평면에서 질량 2kg 의 물체를 수평으로 밀었을 때 가속도가 2m/s^2 이었다.

- (1) 이 물체에 작용한 힘은 몇 N인가?
- (2) 이 힘으로 다른 물체를 밀었더니 가속도가 0.5m/s^2 이었다. 이 물체의 질량은 몇 kg인가?
- (3) 이 힘을 4kg 의 물체에 작용하면 가속도는 몇 m/s^2 인가?

《풀이》 (1) 뉴턴의 운동 제 2법칙에서

$$F = ma = 2\text{kg} \times 2\text{m/s}^2 = 4\text{N}$$

$$(2) F = ma \text{에서 } m = \frac{F}{a} = \frac{4\text{N}}{0.5\text{m/s}^2} = 8\text{kg}$$

$$(3) F = ma \text{에서 } a = \frac{F}{m} = \frac{4\text{N}}{4\text{kg}} = 1\text{m/s}^2$$

(4) 운동의 제 3법칙(작용 반작용의 법칙)

손바닥을 벽에 대고 벽을 가볍게 밀어보세요. 이번에는 벽을 세게 밀어볼까요? 아마도 벽이 손바닥을 미는 듯한 느낌을 받게 될 것입니다. 즉, 손바닥으로 벽에 힘을 가하면 반대로 벽도 손바닥에 힘을 가하는 것이지요. 따라서 힘은 물체의 상호 작용에 의해 나타나는 것이며, 단독으로 존재하는 것이 아니라 반드시 쌍으로 존재하는 것이라는 것을 알 수 있습니다.

그림 1-25와 같이 똑같은 용수철저울 A와 B를 마주 걸어서 저울 B를 당겨 보면, 두 용수철저울의 눈금이 똑같이 나타납니다. 예를 들어, 만일 용수철저울 B로 저울 A를 50N 의 힘으로 당기면 용수철저울 A도 저울 B를 50N 의 힘으로 끌어당기기 때문에 나타나는 것입니다.

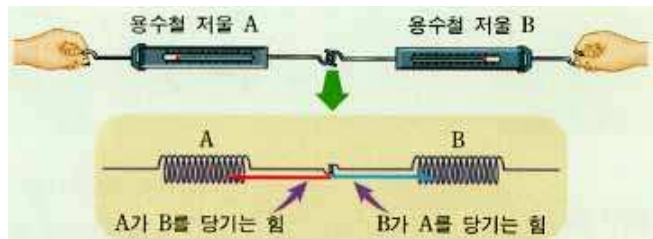


그림 1-25 작용과 반작용

이와 같이 힘은 반드시 두 물체 사이에 서로 작용하며, 물체 A가 물체 B에 힘을 작용하면 동시에 물체 B도 물체 A에 같은 크기의 힘을 작용합니다. 이 때, 한쪽의 힘을 **작용**이라 하고, 다른 쪽의 힘을 **반작용**이라고 합니다. 물체 A가 물체 B에 작용하는 힘을 F_{AB} 라 하고, 물체 B가 물체 A에 작용하는 힘을 F_{BA} 라고 하면 다음의 관계가 성립합니다. 즉,

$$\underline{F_{AB} = -F_{BA}}$$

여기서 F_{AB} 를 작용이라고 하면 F_{BA} 는 반작용이 됩니다. 뉴턴은 이와 같은 현상을 다음과 같이 정리하였습니다.

“한 물체에 어떤 힘이 작용하면 반드시 상대편 물체에 크기가 같고 방향이 반대인 힘이 반작용으로 나타난다”

이것을 뉴턴의 운동의 제 3법칙 또는 작용 반작용의 법칙이라고 합니다.

모든 상호 작용에서 힘들은 항상 쌍으로 존재합니다. 예를 들어 우리가 걸어갈 때 발바닥은 지면과 상호 작용합니다. 발바닥이 지면을 밀면 동시에 지면도 발바닥을 밀게 됩니다. 그런데 마찰이 아주 작은 얼음판 위에 있는 사람은 얼음판에 힘을 작용할 수가 없습니다. 따라서 작용이 없어서 반작용도 없으므로 이 사람은 걸을 수가 없는 것입니다.

앞에서 공부한 뉴턴의 운동의 제 1법칙과 제 2법칙은 힘의 효과에 대해 설명하는 내용이며, 제 3법칙은 힘의 본질적인 특성을 설명하는 내용입니다.

- 힘의 평형과 작용 반작용의 공통점과 차이점은 무엇인지 설명해 볼까요?
- 생활 주변에서 작용과 반작용의 보기를 5가지만 들어볼까요?

[문제] 4. 20,000 kg의 로켓을 1m/s^2 의 가속도로 운동시키려면 얼마의 힘을 작용해야 하는가?

[답] 20,000 N


[문제] 5. 물체의 가속도가 0일 때 이 물체에 작용하는 힘은 없다고 말할 수 있는가?

[답] 작용하는 힘이 있을 수 있다. 여러 힘이 작용하여도 합력이 0이면 가속도가 0이다.

생활 속의 물리
피겨 스케이팅 속에 숨어 있는 작용 반작용의 원리

남녀 한 쌍이 펼치는 아름다운 피겨 스케이팅을 본 일이 있을 것이다. 남자 선수가 여자 선수를 앉고 한 덩어리가 되어 느린 속력으로 얼음판 위를 미끄러지다가 남자 선수가 여자 선수를 앞쪽으로 힘껏 밀치면서 얼음판 위에 떨어뜨려 놓으면 여자 선수는 앞쪽을 향하는 힘을 받고 남자 선수는 뒤쪽을 향하는 힘을 받게 된다. 이 때, 남자 선수에게 작용하는 힘은 여자 선수에게 작용하는 힘과 크기가 같고 방향이 반대이다. 따라서 여자 선수는 앞으로 힘을 받아 앞으로 가속되어 빠르게 밀려나가게 되고, 남자 선수는 남자 선수는 뒤쪽을 향하는 힘을 받아 뒤쪽을 향하는 가속도를 갖게 된다.

모든 상호작용에는 예외 없이 크기가 같고 방향이 반대로 작용하는 힘이 쌍으로 존재한다.



▲ 피겨 스케이팅

물리학의 선구자 | 뉴턴(Sir Isaac Newton : 1642 - 1727)



뉴턴은 영국의 물리학자, 수학자로 물체의 운동에 관한 중요한 법칙과 만유인력의 법칙 등을 발견하여 과학사에 불후의 업적을 남겨 놓았다. 그는 어렸을 때 재주는 뛰어나지 않았으나 사색에 몰두하는 버릇이 있었다고 한다.

뉴턴은 울즈둡이라는 작은 마을에서 태어나 그란덤이라는 마을의 학교를 거쳐 유명한 케임브리지 대학에서 수학과 물리학을 공부하였다.

그는 대학을 졸업한 반년 후, 영국에 페스트병이 유행하여 고향으로 돌아와 1년 반 머무는 동안 운동과 중력의 법칙을 발견하였으며, 다시 케임브리지로 돌아가 연구를 계속하였다. 그리고 얼마 후에는 수학 논문을 발표하고 케임브리지 대학의 교수가 되었다. 이 때 독일의 철학자이자 수학자인 Leibnitz와 독립적으로 미적분학을 창시하고 역학의 체계를 확립하였다. 뉴턴은 어릴적부터 무슨 일에 열중하면 다른 일은 전혀 돌보지 않고 그 일에만 매달리는 집중력을 보였다고 한다.

사과가 나무에서 떨어지는 것을 보고 뉴턴이 만유인력을 발견하였다는 이야기를 많이 한다. 전설에 가까운 이런 이야기를 과연 사실로 받아들일 수 있을까? 뉴턴과 만년에 교제가 많았던 사람의 회고록을 보면, 점심 식사를 마친 후 날씨가 따뜻하여 정원에 나가 사과나무 그늘에서 차를 대접받았으면서 환담을 하는 중에 뉴턴이 “옛날 중력에 대한 생각이 떠오를 때와 같이 명상에 잠겨서 조용히 앉아 있을 때 마침 사과가 떨어져서 갑자기 생각이 떠올랐단 말이야!”라고 말했다는 것이다.



사색에 집중하고 있으면 대수롭지 않은 어떤 기회에 새로운 착상이 갑자기 떠오르기도 한다. 여기서 ‘...명상에 잠겨 있을 때’라고 말하였지 ‘...떨어지는 것을 보고’라고는 말하지 않았다는 것을 음미해 보면 흥미 있을 것이다.

캠브리지의 수학교수로서의 20년 동안 뉴턴은 역학보다 빛에 관한 연구에 더 많이 집중하였으며, 자신이 손수 프리즘이나 렌즈를 만들어 사용하였을 뿐만 아니라, 품질 좋은 유리도 만들어내었다. 또 프리즘에 광선을 통과하면 7가지 단색광으로 나누어지는 것을 확인하였으며, 반사 망원경을 제작하여 천체를 관측하였다. 이러한 연구 업적으로 얼마 후에는 왕립학회 회원으로 선출되어 여러 학자들과 경쟁하게 되었다. 그 무렵 뉴턴은 천체들의 운동을 연구하여 행성 운동에 관한 케플러(Kepler)의 법칙을 토대로 만유인력을 발견하였으며 천문학에도 큰 영향을 끼쳤다. 또한 물체의 운동에 대하여 그 당시까지 알려져 있던 여러 가지 법칙들을 통일적으로 설명하기 위해 물리학의 기초가 되는 운동의 법칙을 세워서 역학체계를 집대성하였다.

그의 저서 Philosophiae Naturalis Principia Mathematica(자연 철학의 수학적 원리,1686)는 이러한 관점에서 지금까지 과학에 관한 최대의 고전으로 자리하고 있다.

뉴턴은 1705년에 앤 여왕으로부터 작위를 받았으며, 1727년에 임종하여 웨스트민스터 대사원에 가장 높은 영예를 갖추어 안장되었다. 뉴턴은 단순히 과학자나 수학자만은 아니었다. 그는 남는 시간의 많은 시간을 성서 해석으로 보냈다. 그는 종교적인 사람이었고, 물리학에서의 그의 위대한 발견은 신의 손에 대한 증거로 생각하였다.

(5) 여러 가지 힘과 운동

물체가 운동하게 되는 원인은 힘이라는 것을 알았지요? 그런데 힘에도 여러 가지 종류가 있습니다. 우리 주변에는 어떤 힘들이 있으며, 어떤 작용을 하는지 알아봅시다.

① 중력에 의한 운동

가을이 되면 나뭇잎이 바닥으로 떨어집니다. 손에 들고 있던 물체를 놓으면 지면으로 떨어지고, 축구공 위로 높이 힘껏 차올려도 금방 지면으로 다시 떨어집니다. 이처럼 지구상의 모든 물체는 지면으로 떨어지는데 이유는 무엇일까요?



◆ **만유 인력의 법칙** : 뉴턴이 운동의 법칙을 적용시킬 범위를 확장시키게 된 이유 중의 하나는 모든 물체들 사이에 작용하는 보편적인 힘의 존재를 증명하고 이 힘의 성질에 대해 알아보자는 것이었습니다. 17세기까지는 물체가 지면을 향해서 떨어지는 것은 물체의 무게 때문이며, 물체의 무게는 그 물체의 본질이라 생각하고 그 이상 설명할 필요가 없다고 생각해 왔습니다. 그런데 뉴턴은 물체의 무게를 지구와 물체 사이의 인력이라고 생각하였습니다.

시각을 넓혀서 태양계를 살펴보면, 지구를 포함한 모든 행성들은 태양 주위를 돌고 있지요. 이것은 태양과 행성 사이에 서로 잡아당기는 힘이 있기 때문입니다. 물론 나와 앞에 있는 컴퓨터 사이에도 서로 잡아당기는 힘이 있습니다. 다만 그 힘의 크기가 너무 작아서 느끼지 못할 뿐이지요. 이처럼 우주 내에 있는 모든 물체는 다른 물체를 잡아당기는 힘이 있습니다.

그림 1-26과 같이 질량이 m_1 , m_2 인 두 물체가 거리 r 만큼 떨어져 있을 때, 이들 물체 사이에도 서로 잡아당기는 힘이 있을 겁니다. 이 힘의 크기는 두 물체의 질량의 곱에 비례하고 두 물체 사이의 거리의 제곱에 반비례합니다. 이 관계를 다음과 같이 식으로 나타낼 수 있습니다.

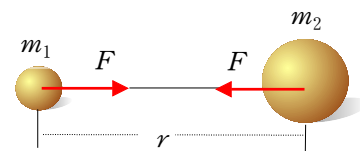


그림 1-26 만유 인력

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

이것을 뉴턴의 **만유 인력의 법칙**이라고 합니다. 여기서 비례 상수 G 는 모든 물체에 공통적인 상수이며 **만유 인력 상수**라고 하며, 오늘날 공인된 G 의 값은 다음과 같습니다.

$$G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$$

◆ **중력** : 뉴턴의 운동 법칙에 의하면 지구 표면에서 물체가 일정한 가속도로 낙하하는 것은 그 물체에 일정한 힘이 계속 작용한다는 것을 의미합니다. 이 힘은 바로 지구가 물체를 잡아당기는

힘이지요. 이 힘이 곧 **중력**입니다.

즉, 만유 인력의 하나인 중력은 지구라는 거대한 물체와 지구 표면에 있는 물체를 사이에 작용하는 힘이며, 중력의 방향은 그림 2-27에서 보는 바와 같이 지구의 중심을 향합니다. 지구의 질량은 변하지 않고 언제나 일정하므로 지구 표면에 있는 물체에 작용하는 중력은 그 물체가 낙하하는 동안에도 항상 일정하게 작용합니다. 낙하하는 물체의 중력에 의한 가속도, 즉, 중력 가속도 g 는 약 9.8m/s^2 이며, 이 값은 장소와 위치에 따라 약간씩 다릅니다.



그림 1-27 만유 인력

◆ **자유 낙하 운동** : 놀이 공원에서 자이로 드롭을 타본 경험이 있으시지요? 자이로 드롭은 크게 두 가지 느낌을 받을 수 있는데, 처음에는 자유 낙하할 때 느끼는 무중력감과 떨어지다가 갑자기 정지할 때 느끼는 압박감일 것입니다.

손에 들고 있던 물체를 가만히 놓아 낙하시킬 때처럼, 물체가 정지 상태로부터 중력만을 받으면서 낙하하는 운동을 **자유 낙하 운동**이라고 합니다. 자유 낙하하는 물체의 속도는 일정하게 증가합니다. 이것은 물체가 낙하하고 있는 동안에도 중력이 계속 작용하기 때문입니다. 자유 낙하 운동은 등가속도 운동의 대표적인 예이지요.

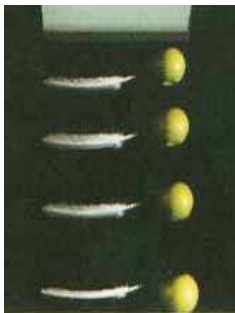


그림 1-28 사과와 깃털의 낙하

만일 공기 중에서 깃털과 사과를 동시에 떨어뜨리면 어느 것이 먼저 떨어질까요? 분명히 사과가 먼저 떨어지겠지요? 이것은 깃털과 사과 모두 중력에 의해 떨어지지만, 공기의 저항이 깃털에서 더 크기 때문에 깃털이 늦게 떨어지게 됩니다. 그러나 그림 2-28에서처럼 진공 중에서 깃털과 사과를 동시에 떨어뜨리면 공기의 저항을 받지 않고 중력만 받기 때문에 똑같이 떨어집니다.

낙하 운동은 고대로부터 많은 사람들의 관심을 끌어 왔으며, 고대 그리스 철학자 아리스토텔레스는 무거운 물체가 가벼운 물체보다 더 빠르게 떨어진다고 생각하였습니다. 이러한 잘못된 생각은 갈릴레이 시대까지 이어져 내려왔지요.

갈릴레이는 피사의 사탑에서 무거운 물체와 가벼운 물체를 같은 높이에서 동시에 떨어뜨리는 머릿속 실험(사고 실험)을 통해 공기의 저항이 없을 경우에는 무거운 물체와 가벼운 물체가 동시에 떨어진다는 것을 추론함으로써 자유 낙하 운동을 바르게 이해하는 첫걸음을 걷게 되었다.

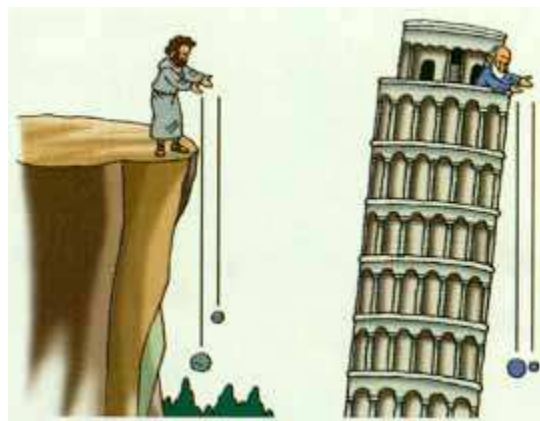


그림 1-29 낙하 운동에 대한 아리스토텔레스의 생각과 갈릴레이의 낙하 실험

② 마찰력이 작용할 때의 운동

메마른 도로에서는 걷기가 수월하지만 빙판길은 미끄럽기 때문에 걷기가 힘든 것은 빙판길이 마찰이 적기 때문입니다.

우리는 물체를 밀거나 당길 때, 물체에 작용하는 힘의 크기가 어느 정도 되기까지는 물체가 움직이지 않는다는 것을 알고 있습니다. 이것은 물체와 접촉면 사이에서 운동을 방해하는 힘이 작용하기 때문인데 이 힘을 **마찰력**이라고 합니다. 즉, 마찰력은 물체의 움직임을 방해하는 저항과 같은 것이며 물체의 운동 방향과 반대 방향으로 작용합니다.

그림 1-30의 ㉗와 같이 물체를 잡아당기면 물체를 잡아당겨도 물체가 움직이지 않을 때의 마찰력을 **정지 마찰력**이라고 합니다. 정지 마찰력은 물체에 힘을 작용하기 시작할 때부터 생기기 시작하며, 물체가 움직이지 않는 동안은 물체에 작용한 힘과 항상 크기가 같고 방향이 반대입니다. 그러나 마찰력에는 한계가 있어서 물체에 작용하는 힘의 크기가 이 한계의 마찰력보다 커지면 물체가 움직이기 시작합니다.

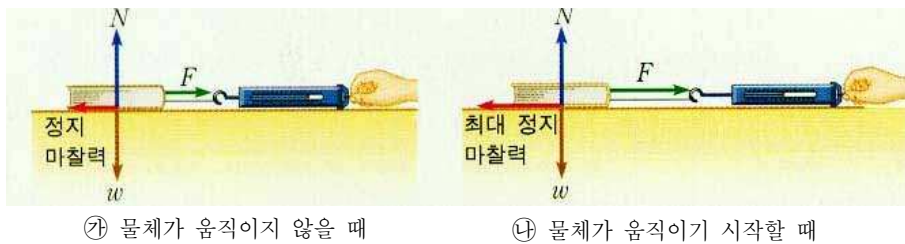


그림 1-30 정지 마찰력과 최대 정지 마찰력

그림 ㉘와 같이 물체가 정지해 있다가 움직이기 시작하는 순간의 마찰력의 크기는 정지 마찰력 중에서 가장 크기 때문에 **최대 정지 마찰력**이라고 합니다. 정지 마찰력 f_s 는 접촉면이 물체를 수직으로 떠받치는 힘인 수직 항력 N 에 비례하는데, 이를 식으로 나타내면 다음과 같습니다.

$$f_s = \mu_s N$$

여기서 비례 상수 μ_s 를 **최대 정지 마찰 계수**라고 한다.

물체가 운동하고 있는 동안에도 마찰력이 작용하는데, 이렇게 물체가 운동하고 있는 동안의 마찰력을 **운동 마찰력**이라고 합니다. 수평면 위에서 물체를 밀면 얼마 후에 물체가 정지하는 것은 물체에 운동 마찰력이 작용하기 때문이지요. 물체에 힘이 계속 작용하고 있는데도 등속도 운동을 하는 경우는 물체에 작용한 힘과 운동 마찰력의 크기가 같은 경우입니다. 운동 마찰력은 식으로

$$k_k = \mu_k N$$

와 같이 나타내고, μ_k 를 **운동 마찰 계수**라고 합니다. 일반적으로 운동 마찰 계수 μ_k 는 최대 정지 마찰 계수 μ_s 보다 작습니다. 마찰 계수는 접촉면의 종류나 상태에 따라 다르며, 접촉면의 넓이와는 무관합니다.

③ 탄성력

그림 1-31과 같이 컴퓨터의 자판기의 키를 눌렀다 놓으면 금방 원래의 위치로 되돌아오는데 그 이유는 무엇일까요?



그림 1-31 컴퓨터 자판기

고무풍선을 손가락으로 눌렀다 놓으면 모양이 찌그러졌다가 다시 원래의 모양으로 되돌아옵니다. 이처럼 물체가 힘을 받아 변형될 때 본래의 모양으로 되돌아가려는 성질이 있는데 이러한 성질을 **탄성**이라고 합니다.

그림 1-32와 같이 용수철의 한 끝을 힘 F 로 잡아당길 때, 용수철에는 원래의 상태로 되돌아가기 위해서 힘 F 와 반대 방향의 힘이 나타나는데 이 힘을 **탄성력**이라고 합니다. 용수철의 늘어난 길이(변형) x 는 용수철에 작용하는 힘 F 에 비례하는데, 이 관계를 식으로 나타내면

$$F = kx$$

이 됩니다. 이것을 **훅의 법칙**이라고 합니다. 여기서 k 는 비례 상수이며 **탄성 계수** 또는 **용수철 상수**라고 부르며, 단위는 N/m 입니다.

용수철을 늘이거나 압축하려면 계속해서 탄성력과 비기는 힘을 외부에서 작용해야 합니다. 다른 말로 하면, 탄성력은 훅의 법칙에서 구한 외부에서 작용한 힘과 크기가 같고 방향이 반대인 힘을 말하는 것이지요. 따라서 탄성력은 다음과 같이 나타낼 수 있습니다.

$$F = -kx$$

이 식에서 탄성력은 변형의 크기에 비례함을 알 수 있으며, (-)부호는 음수를 뜻하는 것이 아니라 탄성력이 외부에서 물체에 작용하는 힘과 반대로 작용한다는 것을 뜻하는 것입니다.

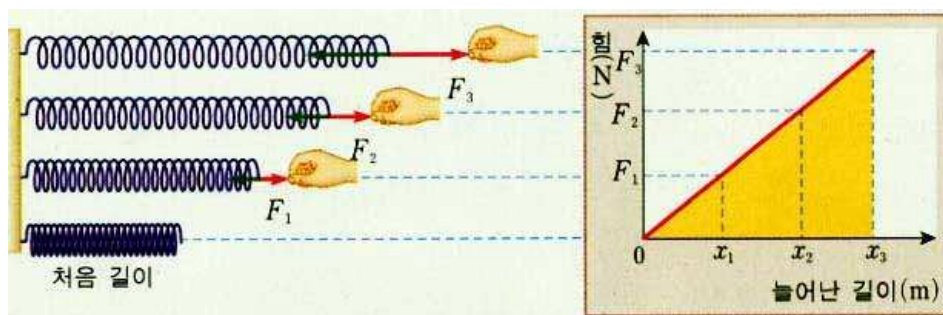


그림 1-32 훅의 법칙

[예제] 3. 어떤 용수철을 $10N$ 의 힘으로 당겼더니 $2cm$ 늘어났다. 이 용수철의 용수철 상수는 얼마인가?

《풀이》 $F = kx$ 에서 $k = \frac{F}{x} = \frac{10N}{2 \times 10^{-2}m} = 500 N/m$