

4장

운동량과 충격량



이 단원에서는 무엇을 공부할까?

- ◆ 운동량의 개념을 이해하고, 물체의 운동을 운동량의 변화로 설명할 수 있다.
- ◆ 충격량은 운동량의 변화와 같음을 이해할 수 있다.
- ◆ 운동량 보존의 법칙을 이용하여 직선상에서 물체의 충돌현상을 이해할 수 있다.

01 운동량

우리는 물체의 질량이 같을 때는 속도가 빠른 물체의 운동의 양이 속도가 느린 물체보다 더 크고, 속도가 같을 때는 질량이 큰 물체의 운동의 양이 질량이 작은 물체보다 더 크다고 말할 수 있다. 이처럼 물체의 운동 효과는 물체의 질량 및 속도와 관련이 있다. 물체의 운동 효과는 물체의 질량과 속도의 곱으로 나타낼 수 있으며, 이것을 운동량이라고 한다.

그림 4-1과 같이 질량 m 인 물체가 속도 v 로 운동할 때, 이 물체의 운동량 p 는 다음과 같이 나타낸다.

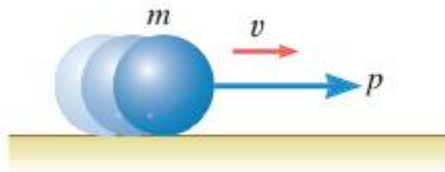


그림 4-1 운동량

$$\text{운동량} = \text{질량} \times \text{속도}, \quad p = mv \quad (4-1)$$

운동량은 속도와 같은 방향을 가지는 물리량(벡터)이며, 단위는 $\text{kg} \cdot \text{m/s}$ 를 사용한다.

운동하는 물체의 질량과 속도 중에서 어느 하나가 크거나 둘 다 크면 그 물체는 더 큰 운동량을 가지게 된다는 것을 알 수 있다. 그러나 질량이 작은 물체라도 속도가 빠르면 질량이 크고 속도가 느린 물체보다 더 큰 운동량을 가질 수 있다. 트럭은 승용차보다 질량이 훨씬 크지만 정지해 있을 때는 운동량이 0이다.

02 충격량

운동량은 그 물체에 힘을 얼마나 가했느냐에 따라 변화의 정도가 달라진다는 것을 알 수 있다. 물체에 작용하는 힘이 클수록 속도가 크게 변한다. 따라서 운동량도 크게 변하게 된다.

물체의 운동량을 변화시키는 데는 힘을 작용한 시간 역시 중요하다. 정지해 있는 물체에 짧은 시간이라도 힘을 작용하면 물체의 운동량이 변한다. 그리고 같은 힘을 오랫동안 작용해도 운동량이 크게 변한다. 즉, 힘의 작용 시간이 길수록 운동량이 더 크게 변하게 된다.

결국 물체에 작용하는 힘의 크기와 작용 시간이 모두 물체의 운동량을 변화시키는 요인이라는 것을 알 수 있다. 물체에 작용한 힘과 힘을 작용한 시간의 곱을 충격량이라고 한다. 이 관계는 다음과 같이 식으로

$$\text{충격량} = \text{힘} \times \text{시간}, \quad I = Ft$$



< 에어백이 작용되면 충격량이 감소하여 부상의 위험이 감소한다 >

충격력은 힘을 나타내며 단위는 힘의 단위인 N을 사용한다.

운동량이 크기와 방향을 가지고 있는 물리량인 것처럼 충격량도 크기와 방향을 갖는 물리량이다. 충격량의 단위는 위의 식에서 알 수 있는 바와 같이 N·s이다.

충격량과 운동량 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

충격량 = 운동량의 변화량

$$Ft = mv - mv_0 = \Delta(mv)$$

(4-3)

이 식은 물체에 주어진 충격량은 그 물체에서 일어난 운동량의 변화와 같다는 것을 말해준다.

$$I = Ft = mat = m \frac{\Delta v}{t} t = m\Delta v = m(v - v_0) = mv - mv_0 = p - p_0$$

$$I = Ft = mv - mv_0 = p - p_0 \text{ 에서}$$

$p > p_0$ 인 경우

[증가하는 운동량] 물체의 운동량을 증가시키려면 큰 힘을 가능한 한 오랫동안 작용시켜야 한다. 야구 경기에서 타자가 홈런을 치기 위해서 또 골프 선수가 골프공을 멀리 보내기 위해서 가능한 한 스윙을 끝까지 힘차게 하면서 폴로우드로우(follow-through)를 하는 것은 바로 이런 이유이다.

일반적으로 물체에 충격을 줄 때 충격력은 매 순간마다 변한다. 예를 들어 골프를 칠 때 골프 클럽과 골프공이 접촉하는 순간에는 골프공이 받는 힘이 순식간에 증가하면서 찌그러지고, 그 다음에 골프공은 속력이 빨라지고 모양이 원래대로 퍼지면서 골프 클럽과 분리되어 공중으로 날아가게 되는 것이다.



그림 4-3 야구 선수의 폴로우드로우



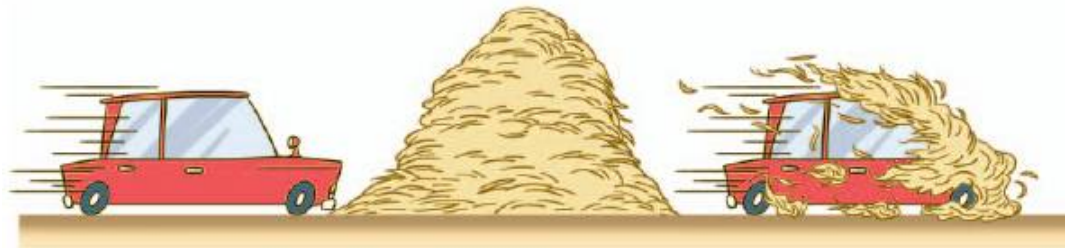
그림 4-4 골프 선수의 폴로우드로우



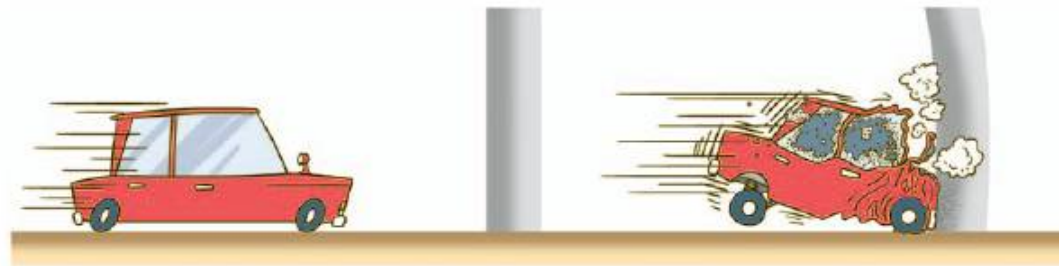
$I = Ft = mv - mv_0 = p - p_0$ 에서 [감소하는 운동량]

$p < p_0$ 인 경우

그림 4-5와 같이 자동차가 건초더미와 충돌하면 자동차가 정지할 때까지 걸리는 시간이 길어지는 대신 충격력이 작아져(Ft) 피해를 줄일 수 있다. 그러나 그림 4-6과 같이 자동차가 벽돌담과 충돌하면 자동차가 정지할 때까지 걸리는 시간이 짧은 대신 충격력이 커서(Ft) 피해가 커지게 된다.



$mv \rightarrow Ft$



$mv \rightarrow Ft$

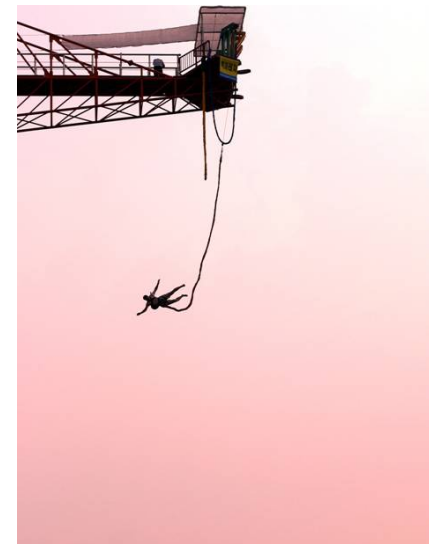
[감소하는 운동량]

그림 4-7과 같이 넓이 뛰기 선수들이 착지하는 위치에 모래를 두껍게 깔아놓는 이유는 선수의 발과 지면의 충돌 시간을 길게 하여 선수에게 미치는 충격력을 줄이기 위한 것이다.

또 야구 경기를 할 때 수비하는 선수들은 모두 글러브를 끼고 경기에 임한다. 그런데 포수의 글러브는 다른 수비 선수들의 글러브보다 훨씬 두꺼운 글러브를 끼는 것을 볼 수 있다. 이것은 빠르게 날아오는 공이 멈추기까지의 시간을 길게 하여 손에 가해지는 충격량을 줄이기 위한 것이다.



그림 4-7 넓이 뛰기 선수가 착지하는 모습



03 운동량 보존의 법칙

뉴턴의 운동 제2법칙에서 '물체를 가속시키려면 물체에 힘을 작용해야 한다' 는 것을 알았다. 이것을 달리 표현해 보면, '물체의 운동량을 변화시키려면 물체에 충격량을 주어야 한다' 고 말할 수 있다. 물체의 운동량을 변화시키려면 항상 물체 외부에서 힘을 작용해야 한다. 즉, 외부에서 물체에 어떤 힘(외력)을 작용하지 않으면 운동량은 변하지 않는다.

$$I = Ft = mat = m \frac{\Delta v}{t} t = m\Delta v = m(v - v_0) = mv - mv_0 = p - p_0$$

에서 $\Delta p \neq 0 \rightarrow I \neq 0$



**“운동량을 변화시키려면 충격량을 주어야 한다”
= 외부에서 물체에 힘을 작용하지 않으면 운동량은 불변**

◆ 운동량 보존의 법칙

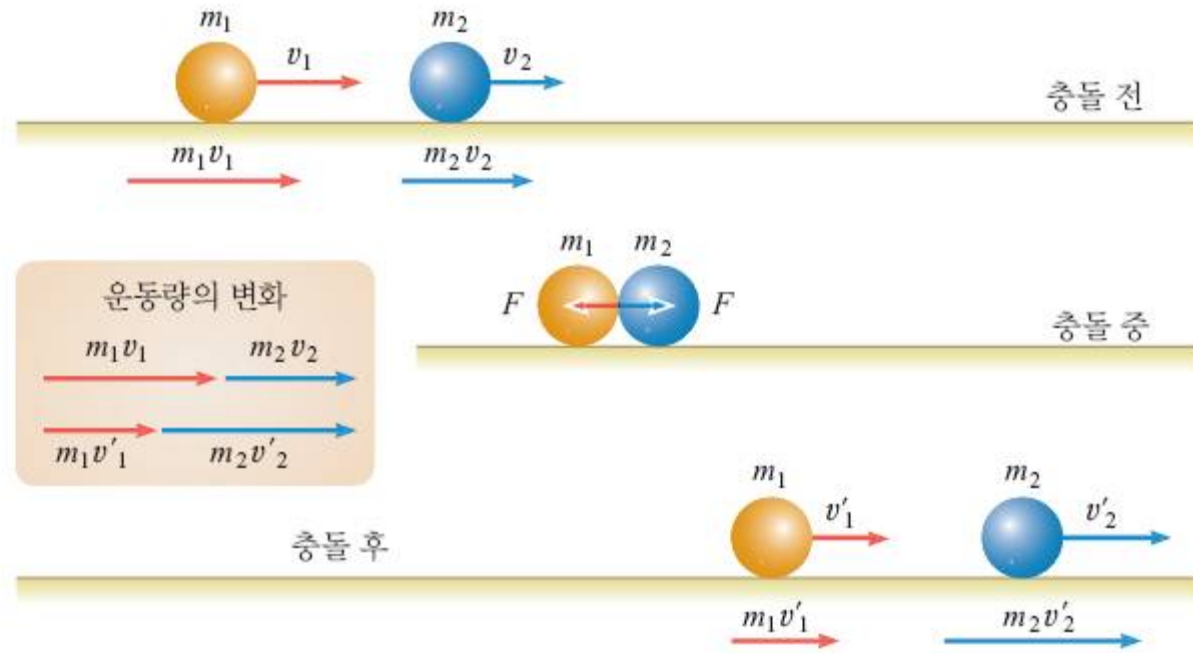


그림 4-9 물체의 운동과 운동량의 보존

“두 물체가 충돌할 때 외부에서 힘이 작용하지 않으면 충돌 전후의 두 물체의 운동량의 합은 일정하게 보존된다.”

이 관계를 다음과 같이 식으로 나타낼 수 있다.

$$\text{충돌 전의 운동량의 합} = \text{충돌 후의 운동량의 합}$$

$$m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v'_1 + m_2v'_2$$

(4-4)

04 충돌 현상과 운동량 보존

물체의 충돌은 충돌 후 물체의 운동 에너지가 보존되느냐, 보존되지 않느냐에 따라 크게 탄성 충돌과 비탄성 충돌로 구분된다. 그런데 운동량 보존의 법칙은 어떤 충돌에서나 항상 성립한다.

탄성 충돌은 그림 4-11 (가)의 당구공의 충돌과 같이 충돌 후에도 운동 에너지가 보존되며 그 형태가 변형되지 않는다. 비탄성 충돌은 그림 (나)의 자동차의 충돌과 같이 운동 에너지가 보존되지 않으며 충돌 후 형태가 변형되기도 한다.



(가) 탄성 충돌



(나) 비탄성 충돌

(1) 완전 탄성 충돌

그림 4-12에서 보는 바와 같이 질량이 같은 두 개의 공 A와 B가 충돌할 때, 운동하던 공 A는 정지하고, 정지해 있던 공 B가 충돌전 공 A의 속도로 운동하게 되는 탄성 충돌을 완전 탄성 충돌이라고 한다. 이것은 운동하던 공 A의 운동량이 정지해 있던 공 B(운동량 0)에 모두 전달되었다고 생각하면 쉽게 이해가 될 것이다. 완전 탄성 충돌에서는 운동 에너지가 보존되며, 물체들이 충돌하여도 형태가 변하지 않고, 두 물체의 운동량이 완전히 교환되므로 충돌 전과 충돌 후의 운동량의 총 합은 항상 일정하다.

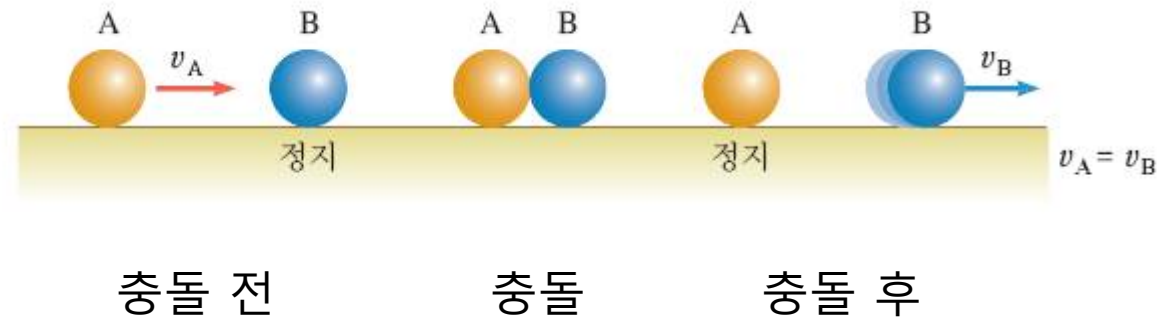


그림 4-12 완전 탄성 충돌

(2) 완전 비탄성 충돌

한편 그림 4-13과 같이 충돌 후 두 물체가 한 덩어리가 되어 운동할 때 이러한 충돌을 완전 비탄성 충돌이라고 한다. 완전 비탄성 충돌의 경우 운동 에너지가 가장 많이 감소하는데, 이것은 물체가 충돌하면서 소리, 빛 또는 열로 운동 에너지가 변화되기 때문이다. 그러나 운동량은 보존된다.

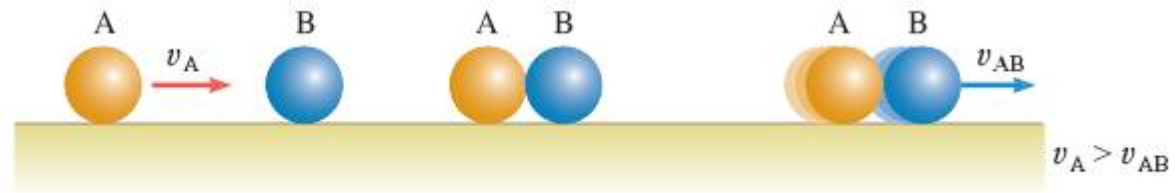
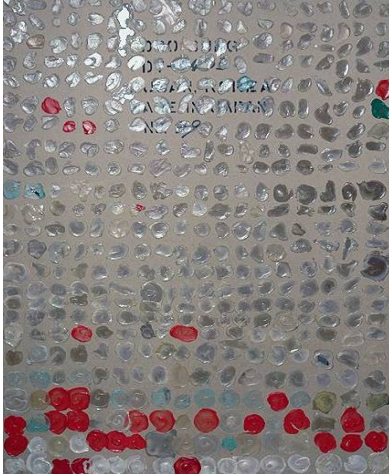


그림 4-13 완전 비탄성 충돌

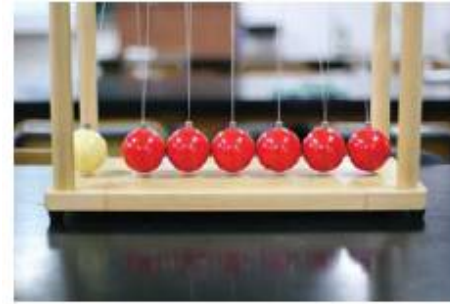
(3) 비탄성 충돌

완전 탄성 충돌과 완전 비탄성 충돌 두 가지 충돌을 제외한 대부분의 충돌은 비탄성 충돌이다. 비탄성 충돌에서도 운동량 보존 법칙은 성립하지만 운동 에너지는 보존되지 않는다.

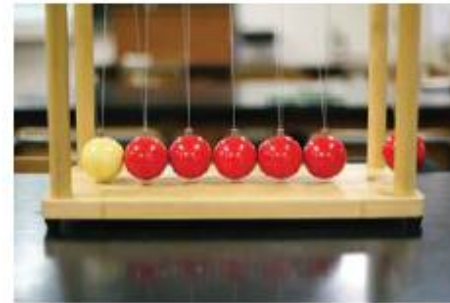
◆ 충돌의 종류와 예



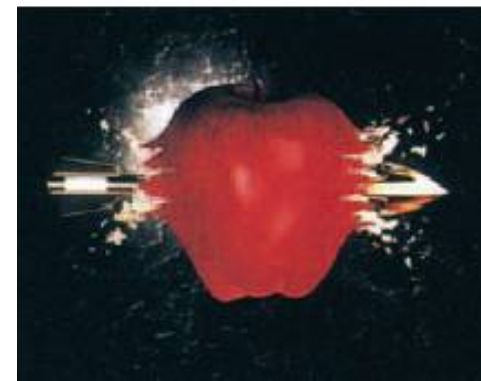
<길바닥의 껌은 완전비탄성충돌>



<당구공 사이의 충돌은 근사한 완전탄성충돌>



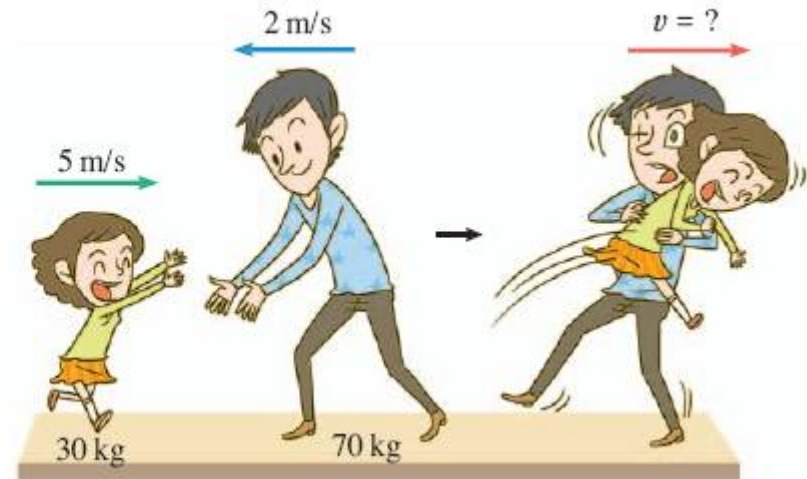
<자동차와 자동차의 충돌은 비탄성충돌>



<사과를 관통하는 화살은 비탄성충돌>

예제 2

마찰을 무시할 수 있는 수평인 얼음판 위에서 질량이 70kg인 어른이 왼쪽으로 2 m/s의 속력으로 미끄러지고 있다. 이때 질량 30 kg의 어린이가 오른쪽으로 5 m/s의 속력으로 미끄러져서 정면으로 충돌하는 순간 어른이 어린이를 껴안았다. 충돌 후의 속도를 구하여라.



풀이

어린이의 운동 방향을 (+)로 잡으면, 운동량 보존 법칙에서 충돌 전과 후의 운동량은 같아야 하므로

$$30 \text{ kg} \times 5 \text{ m/s} + 70 \text{ kg} \times (-2 \text{ m/s}) = (30 \text{ kg} + 70 \text{ kg}) \times v$$

$$10 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 100 \text{ kg} \times v$$

$$\therefore v = 0.1 \text{ m/s}$$

따라서 충돌 후에는 어린이와 어른은 같이 오른쪽으로 0.1 m/s의 속도로 미끄러진다.