

3.10 충격량과 운동량의 법칙 [principle of impulse and momentum] (p. 821)

3.11 충격운동 [impulse motion] (p. 824)

(질점의) 운동 문제 해결법

1. 뉴턴의 운동 법칙, 2. 일과 에너지의 법칙, 3. 충격량과 운동량의 법칙  
 질점의 질량  $m$ , 가해지는 힘  $\mathbf{F}$ , 운동 속도  $\mathbf{v}$ , 가속도  $\mathbf{a}$

뉴턴의 제2법칙  $\mathbf{F} = m \mathbf{a} \Rightarrow \mathbf{F} = \frac{d}{dt}(m\mathbf{v}) \Rightarrow \mathbf{F} dt = d(m\mathbf{v})$

$\Rightarrow \int_{t_1}^{t_2} \mathbf{F} dt = m\mathbf{v}_2 - m\mathbf{v}_1, \int_{t_1}^{t_2} \mathbf{F} dt$  ; 힘  $\mathbf{F}$ 에 의한 충격량 [impulse],

단위  $\text{N} \cdot \text{s} = (\text{kg m/s}^2) \cdot \text{s} = \text{kg m/s} (=$

$m\mathbf{v}_1 + \int_{t_1}^{t_2} \mathbf{F} dt = m\mathbf{v}_2$  (최초 운동량) + (힘  $\mathbf{F}$ 가 가해진 시간동안의 충격량) = (최종 운동량)

충격력 [impulsive force] = 짧은 시간동안 가해져서 운동량의 변화를 유발시키는 힘

예. 야구공과 방망이 (예제 3.11)

가해지는 시간동안 힘의 크기가 일정하면  $\int_{t_1}^{t_2} \mathbf{F} dt = \mathbf{F} \Delta t$

$m\mathbf{v}_1 + \mathbf{F} \Delta t = m\mathbf{v}_2$

두 개 이상의 질점에 여러 힘들이 가해지면  $\Sigma(m\mathbf{v}_1) + \Sigma(\mathbf{F}\Delta t) = \Sigma(m\mathbf{v}_2)$

$\Sigma(\mathbf{F}\Delta t) = (\Sigma\mathbf{F})\Delta t$

전체 운동량 보존 [conservation of the total momentum]

외력의 합이 0 (즉  $\Sigma\mathbf{F} = 0$ ) 이면  $\Sigma(m\mathbf{v}_1) = \Sigma(m\mathbf{v}_2)$

질점의 전체 운동량은 일정하다. (§2.3 의 결과와 동일)

예. 질량이  $m_A, m_B$ 이고 초기에 정지해 있는 두 배.  $(\mathbf{v}_A)_1=0, (\mathbf{v}_B)_1=0$ . 서로 당길 때

외력이 0 (외력의 합이 0)이므로,  $\Sigma(m\mathbf{v}_1) = \Sigma(m\mathbf{v}_2) \Rightarrow$

배는 서로 반대방향으로 이동, 속도크기는 질량에 반비례.

주의 : 전체 역학적 에너지는 보존되지 않을 수도 있다. (보존력 여부) 예. 충돌 (§3.12-14)

예제 3.10 경사면 자동차 제동시간 (p. 825)

예제 3.12 경사낙하 물체로 인한 운반차 운동

예.(연습3.144) (p. 833)

자동차의 충돌시험으로 평가될 어깨 안전벨트 시제품을 설계하기 전에 안전벨트에 예상되는 하중을 계산해야 한다. 72 km/h의 속도로 주행하던 자동차가 110 ms 후에 정지한다고 할 때, (a) 100 kg인 사람이 벨트에 가하는 평균충격력, (b) 힘-시간 선도가 그림과 같이 주어질 때 벨트에 가해지는 최대 힘  $F_m$ 을 구하라.

$v_1 = 72 \text{ km/h} = 20 \text{ m/s}, v_2 = 0, \Delta t = 0.110 \text{ s}, m = 100 \text{ kg}$

(a)  $\therefore F_{\text{ave}} = \frac{m v_1 - 0}{\Delta t} = \frac{(100 \text{ kg})(20 \text{ m/s})}{(0.110 \text{ s})} = 18,200 \text{ N} = 18.2 \text{ kN}$

(b) 충격량 =  $\int_{t_1}^{t_2} F dt$  (=  $F-t$  선도 아래 면적) =  $F_{\text{ave}} \Delta t$

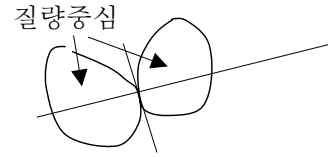
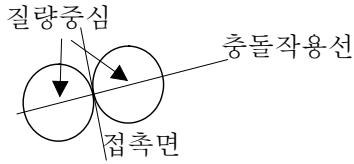
$\Rightarrow F_m = 2 F_{\text{ave}} = 2(18.2 \text{ kN}) = 36.4 \text{ kN}$

3.12 충돌 [impact]

= 두 물체가 짧은 시간동안에 서로 큰 힘으로 접촉하는 것

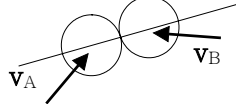
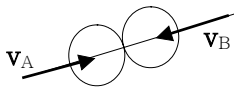
중심충돌[central impact]:

편심충돌[eccentric impact]:



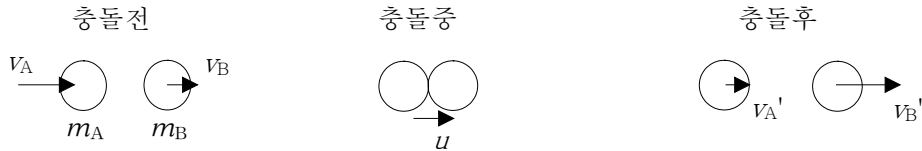
정면[direct]충돌 (§3.13)

경사[oblique]충돌 (§3.14)



3.13 정면중심충돌 [direct central impact]

1차원 운동량 보존 (직선운동)



외력 없고 충격력 합이 0 ⇒

$$m_A v_A + m_B v_B = m_A v_A' + m_B v_B' \quad \dots (A)$$

반발계수 (coefficient of restitution) 복원계수

$$e = \frac{\text{충돌후 상대속도}}{\text{충돌전 상대속도}} = \frac{v_B' - v_A'}{v_A - v_B} \quad \dots (B)$$

$$0 \leq e \leq 1$$

(1)  $e = 0$ , 완전소성충돌 (perfectly plastic impact)

$$(B) \Rightarrow v_B' = v_A' = v' \quad (\dots \textcircled{1})$$

$$(A) \Rightarrow m_A v_A + m_B v_B = (m_A + m_B) v' \quad \dots \textcircled{2}$$

역학적 에너지 손실 (역학적 에너지 일부 → 열 에너지)

(2)  $e = 1$ , 완전탄성충돌 (perfectly elastic impact)

$$(B) \Rightarrow v_A - v_B = v_B' - v_A' \quad \dots \textcircled{1}$$

$$(A) \quad m_A v_A + m_B v_B = m_A v_A' + m_B v_B' \quad \dots \textcircled{2}$$

역학적 에너지 보존 (증명 생략, 교재 참조)

(3)  $0 < e < 1$ , 역학적 에너지 손실

$$(B) \quad e (v_A - v_B) = v_B' - v_A' \quad \dots \textcircled{1}$$

$$(A) \quad m_A v_A + m_B v_B = m_A v_A' + m_B v_B' \quad \dots \textcircled{2}$$

예제 3.13 반발계수

예.(연습3.162)

(p. 851)

마찰이 없는 수평면에서 동일한 속도 크기  $v_0$ 를 갖고 서로 반대방향으로 미끄러지고 있는 두 개의 원판이 정면으로 부딪힌다. 원판 A의 질량은 6 kg이고, 충돌 후 속도는 0이 된다고 한다.

(a) 두 원판 사이의 반발계수가 0.5 일 때 원판 B의 질량, (b) 두 원판 사이의 반발계수가 알려지지 않았다면 원판 B가 가질 수 있는 질량의 범위를 구하라.



$$m_A = 6 \text{ kg}, \quad v_A' = 0$$

$$(a) \quad e = 0.5 \quad e (v_A - v_B) = v_B' - v_A'$$

$$\Rightarrow \quad 0.5 [v_0 - (-v_0)] = \quad \Rightarrow \quad v_B' = v_0$$

$$m_A v_A + m_B v_B = m_A v_A' + m_B v_B'$$

$$\Rightarrow \quad \Rightarrow \quad m_B = \frac{(6 \text{ kg})v_0}{v_0 + v_B'} = 3 \text{ kg}$$

$$(b) \quad e [v_0 - (-v_0)] = \quad \Rightarrow \quad v_B' = 2 e v_0$$

$$m_B = \frac{(6 \text{ kg})v_0}{v_0 + v_B'} = \frac{(6 \text{ kg})v_0}{v_0 + 2 e v_0} = \frac{6}{1 + 2 e} \text{ kg}$$

$$e = 0 \text{ 일 때, } m_B = 6 \text{ kg}$$

$$e = 1 \text{ 일 때, } m_B = 2 \text{ kg}$$

$$2 \text{ kg} \leq m_B \leq 6 \text{ kg}$$