7장. 에너지 보존

- 7.1 분석 모형: 비고립계(에너지)
- 7.2 분석 모형: 고립계(에너지)
- 7.3 분석 모형: 정상 상태의 비고립계(에너지)
- 7.4 운동 마찰이 포함되어 있는 상황
- 7.5 비보존력에 의한 역학적 에너지의 변화
- 7.6 일 률

비고립계와 고립계

계에 저장되는 에너지의 형태

운동에너지 : 계를 구성하는 요소들의 운동과 관련

위치에너지 : 계를 구성하는 요소들의 배열과 관련

내부에너지 : 온도와 관련

입자로 모형화된 물체에 힘이 작용할 때 입자의 운동 에너지가 변한다.

⇒비고립계(nonisolated system) 모형의 첫 번째 예

비고립계에서는 에너지가 계의 경계를 넘을 수 있기 때문에 비고립계의 전체 에너지가 변한다

고립계 : 계가 환경과 어떠한 작용도 하지 않는 계. 에너지가 계의 경계를 넘을 수 없다. 고립계의 전체 에너지는 일정하다.

에너지 변화의 상황 분석을 통하여 에너지 보존이라는 매우 중요한 법칙을 얻는다. 이 에너지 보존 원리는 생물학적인 유기체, 기술적인 복합체 및 공학적인 상황 등에 광범위하게 적용되고 있다.

7.1 분석 모형: 비고립계 (에너지)
Analysis Model: Nonisolated System(Energy)

에너지 전달 방법

(a) 일 (work)

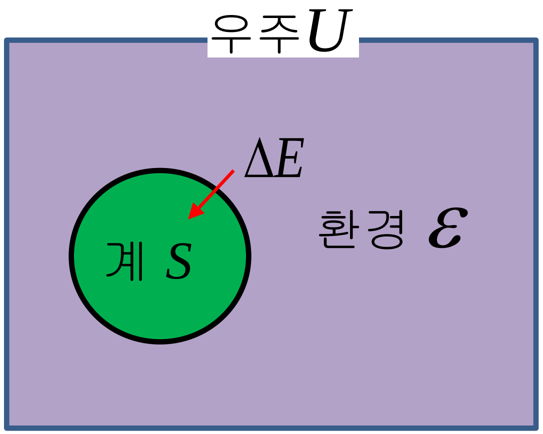
(b) 역학적인 파동(mechanical waves)

(c) 열(heat)

(d) 물질 전달(matter transfer)

(e) 전기송전 (electrical transmission)

(f) 전자기 복사(electromagnetic radiation)




(a)


(b)


(c)


(d)


(e)


(f)

에너지는 생성되거나 소멸되지 일 없이 형태만 바뀔 뿐 그 양은 보존된다.

어느 계의 전체 에너지가 변한다면, 그 이유는 에너지가 계의 경계를 넘기 때문이다.

$$\boxed{\Delta E_{system} = \sum T}$$

◀ 에너지 보존

$\boldsymbol{E_{system}}$: 계의 전체 에너지로서 계에 저장 가능한 모든 에너지
운동 에너지, 위치 에너지 그리고 내부 에너지

$\boldsymbol{T}$: 어떤 전달 과정을 거치면서 계의 경계를 넘어 전달되는 에너지 양.

$T_{work} = W \quad T_{heat} = Q \quad T_{\text{mechanical wave}} = T_{MW} \quad T_{\text{matter transfer}} = T_{MT}$

$T_{\text{electrical transmission}} = T_{ET} \quad T_{\text{electromagnetic radiation}} = T_{ER}$

$$\boxed{\Delta K + \Delta U + \Delta E_{\text{int}} = W + Q + T_{MW} + T_{MT} + T_{ET} + T_{ER}}$$

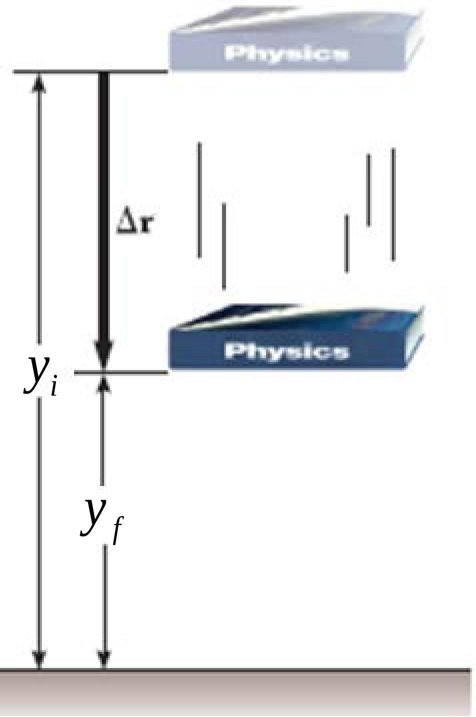
우변이 0일 때 고립계가 된다.

Ex)) 비고립계에 힘이 작용하고 <u>힘의 작용점은 계의 변위와 같이</u> 움직이며 힘은 오직 <u>속력에만 영향을 끼쳤다면</u>:

$$\Delta K = W$$

◀ 일-운동에너지 정리

7.2 분석 모형: 고립계 (에너지)
Analysis Model: Isolated System (Energy)



$$W_{\text{on book}} = (m\mathbf{g})\cdot\Delta\mathbf{r} = mgy_i - mgy_f$$

$$W_{\text{on book}} = \Delta K \quad \Rightarrow \quad \Delta K = mgy_i - mgy_f$$

$$mgy_i - mgy_f = -(mgy_f - mgy_i) = -\Delta U_g$$

$$\Delta K + \Delta U_g = 0$$

여러 가지 위치에너지 형식에 대해 일반화하면

$$\Delta K + \Delta U = 0$$

$$\Updownarrow \qquad E_{mech} \equiv K + U$$

$$\Delta E_{mech} = 0$$

$$K_f + U_f = K_i + U_i$$

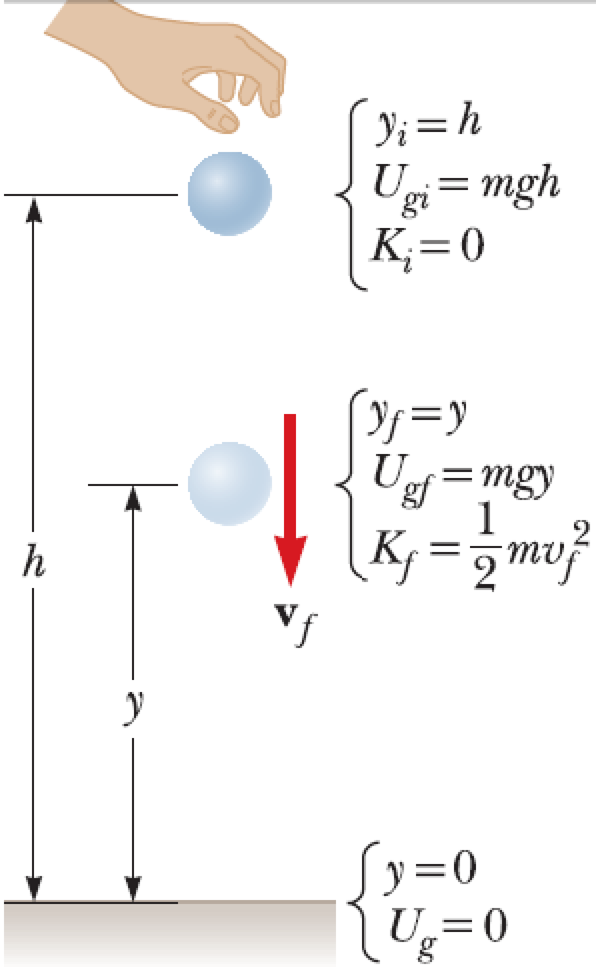
비보존력이 작용하지 않는 고립계의 역학적 에너지는 보존된다.

계 내부에 비보존력이 있으면

$$\Delta E_{mech} \neq 0 \qquad \Delta E_{system} = 0$$

예제 7.1 자유 낙하하는 공

그림과 같이 질량이 m인 공이 지면에서 높이 h인 곳에서 떨어진다. (A) 공기 저항을 무시하고 지면에서 높이 y 에 도달할 때 공의 속력을 구하라.



$$K_f + U_{gf} = K_i + U_{gi}$$

$$\tfrac{1}{2}mv^2 + mgy = 0 + mgh$$

$$v^2 = 2g(h-y) \quad \rightarrow \quad \boxed{v = \sqrt{2g(h-y)}}$$

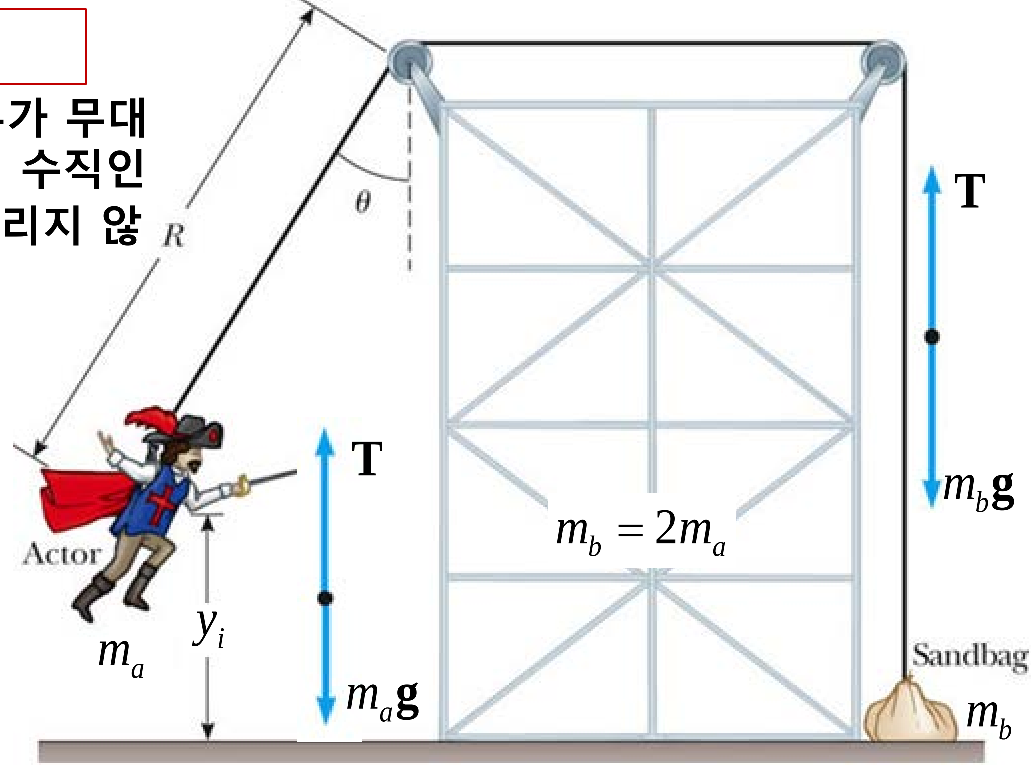
(B) 공이 처음의 높이 h에서 이미 위 방향의 처음 속력 v_i 를 가지고 있었을 경우, 높이 y 에 도달할 때 공의 속력을 구하라.

$$\tfrac{1}{2}mv^2 + mgy = \tfrac{1}{2}mv_i^2 + mgh$$

$$v^2 = v_i^2 + 2g(h-y) \quad \rightarrow \quad \boxed{v = \sqrt{v_i^2 + 2g(h-y)}}$$

예제 7 .2 배우의 무대 입장

모래주머니가 바닥에서 들리지 않도록 배우가 무대 바닥에 날아와 사뿐히 착지. 처음 철사 줄이 수직인 방향과 이룬 각도 θ라 하자. 모래주머니가 들리지 않을 최대 각도를 구하라.



$$K_f + U_f = K_i + U_i$$

$$\tfrac{1}{2} m_a v_f^2 + m_a g y_f = \tfrac{1}{2} m_a v_i^2 + m_a g y_i$$

$$y_i - y_f = R - R\cos\theta$$

$$v_i = 0. \quad \Rightarrow \quad v_f^2 = 2gR(1-\cos\theta)$$

배우가 가장 낮은 위치에 있는 순간에

$$T - m_a g = m_a \frac{v_f^2}{R}$$

모래 주머니가 들리지 않는 평형 상태

$$T = m_b g$$

$$\Rightarrow \quad m_b g = m_a g + m_a \frac{v_f^2}{R}$$

$$m_b g = m_a g + m_a \frac{2gR(1-\cos\theta)}{R}$$

$$\therefore \cos\theta = \frac{3m_a - m_b}{2m_a} = \frac{1}{2}$$

$$\theta = 60^\circ$$

예제 7.3 용수철 총

용수철 상수가 미지인 용수철 총으로 용수철을 0.120m 만큼 압축하여 35.0 g의 공을 수직으로 발사하면, 용수철을 떠나는 위치부터 공을 최대 20.0m 높이까지 올릴 수 있다. **(A)**모든 저항력을 무시하고 용수철 상수를 구하라.

y:공의 위치 *v*:공의 속도 *x*: 용수철의 변위

$$y : y_i = -0.12\text{m} \rightarrow y_e = 0 \rightarrow y_f = 20.0\,\text{m}$$

$$x : x_i = -0.12\text{m} \rightarrow x_e = 0 \rightarrow x_f = 0$$

$$E_{mech} = \tfrac{1}{2}mv^2 + mgy + \tfrac{1}{2}kx^2$$

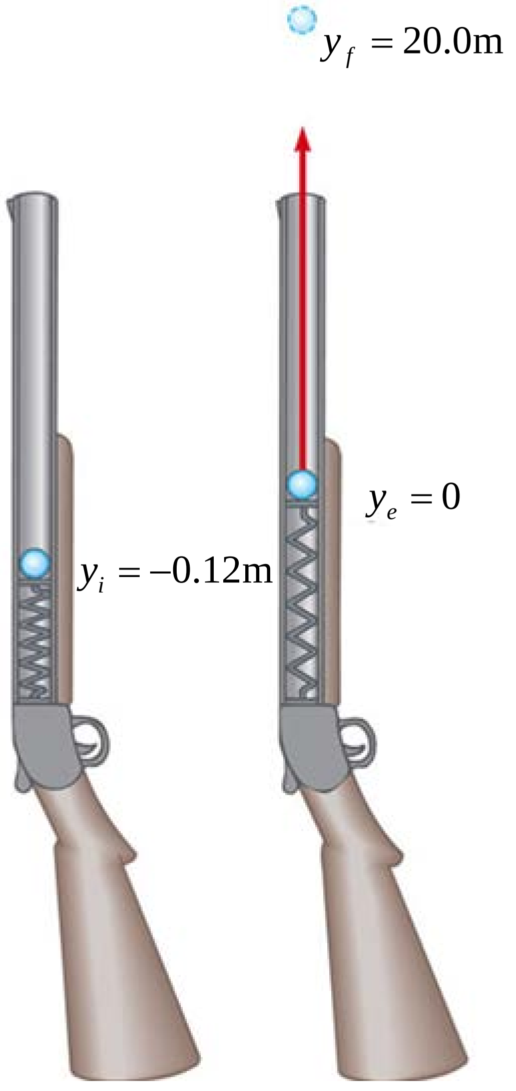
$$\Delta E_{mech} = 0 \quad \Rightarrow$$

$$0 + mgy_f + 0 = 0 + mgy_i + \tfrac{1}{2}kx_i^2$$

$$k = \frac{2mg(y_f - y_i)}{x_i^2}$$

$$k = \frac{2(0.0350\text{kg})(9.80\text{m/s}^2)[20.0\text{m} - (-0.120\text{m})]}{(0.120\text{m})^2}$$

$$= 958\text{N/m}$$



(B) 용수철의 평형 위치를 지날 때 총알의 속력을 구하라.

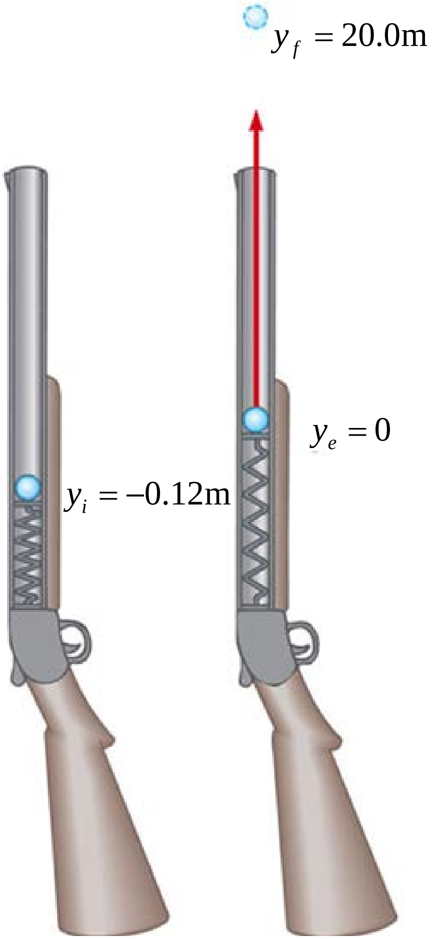
$$\tfrac{1}{2}mv_e^2 + mgy_e + \tfrac{1}{2}kx_e^2 = \tfrac{1}{2}mv_i^2 + mgy_i + \tfrac{1}{2}kx_i^2$$

$$\tfrac{1}{2}mv_e^2 + 0 + 0 = 0 + mgy_i + \tfrac{1}{2}kx_i^2$$

$$v_e = \sqrt{\frac{kx_i^2}{m} + 2gy_i}$$

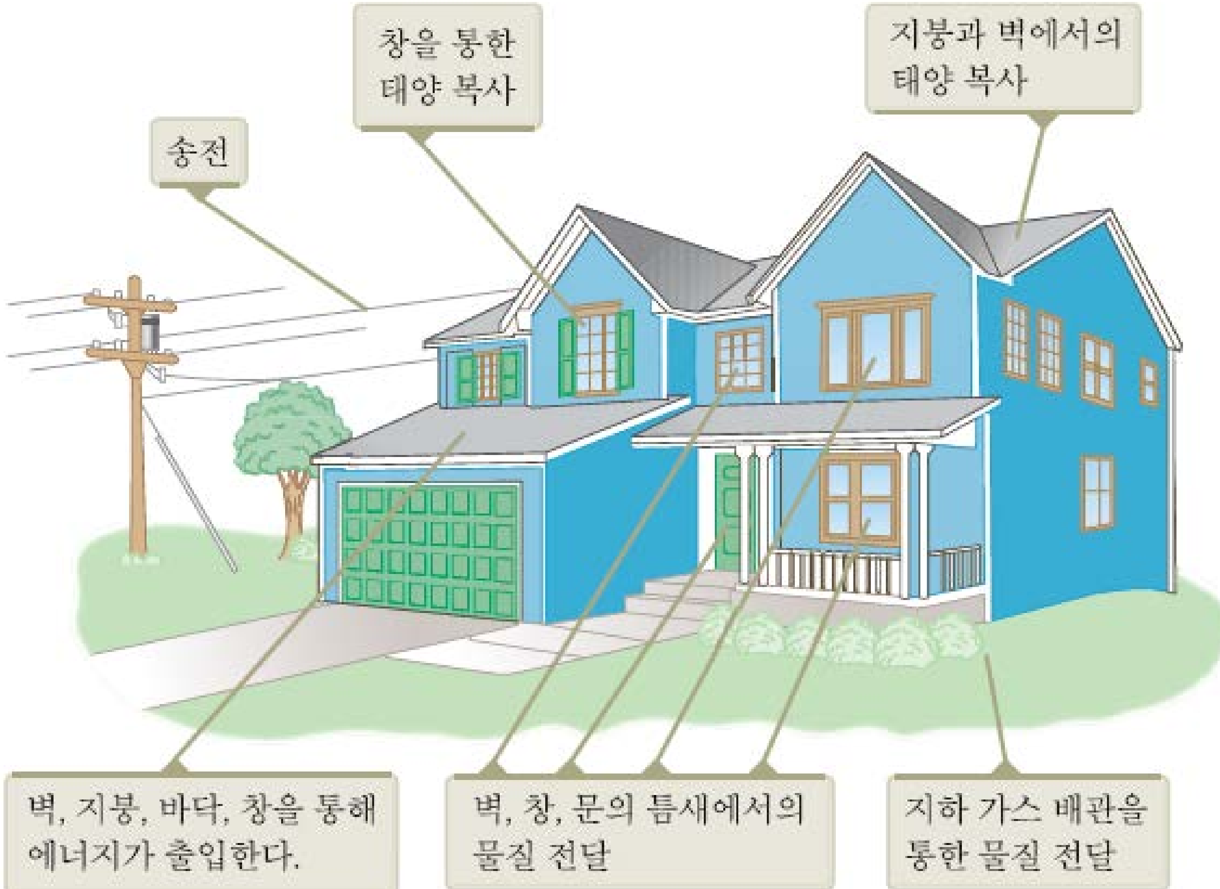
$$v_e = \sqrt{\frac{(958\mathrm{N/m})(0.120\mathrm{m})^2}{(0.0350\mathrm{kg})} + 2(9.80\mathrm{m/s}^2)(-0.120\mathrm{m})}$$

$$= 19.8\mathrm{m/s}$$



7.3 분석 모형: 정상 상태의 비고립계 (에너지)
Analysis Model: Non-isolated System in Steady State (Energy)

- **정상 상태의 비고립계** : 에너지가 계에 들어오는 비율이 계를 떠나는 비율과 같은 비고립계.
- **준 정상상태**



- 예 : 지구–대기의 비고립계
  - 전자기파 복사를 통해 에너지가 전달 된다.
  - 주된 입력: 태양으로부터 들어오는 복사
  - 주된 출력: 대기와 지면으로부터 적외선 복사
  - 이상적인 경우 이 전달은 균형을 이뤄 지구가 일정한 온도를 유지한다.
  - 실제로는 에너지 전달은 균형이 정확히 맞는 것은 아니다.
    - 지구는 준 정상 상태에 있다.

7.4 운동 마찰이 포함되어 있는 상황
Situations Involving Kinetic Friction

일-운동 에너지 정리

$$\int \Sigma \mathbf{F}\cdot d\mathbf{r} = \int m\mathbf{a}\cdot d\mathbf{r} = \int m\frac{d\mathbf{v}}{dt}\cdot d\mathbf{r} = \int_{t_i}^{t_f} m\frac{d\mathbf{v}}{dt}\cdot \mathbf{v}dt$$

$$\frac{d}{dt}(\mathbf{v}\cdot\mathbf{v}) = \frac{d\,\mathbf{v}}{dt}\cdot\mathbf{v} + \mathbf{v}\cdot\frac{d\,\mathbf{v}}{dt} = 2\frac{d\,\mathbf{v}}{dt}\cdot\mathbf{v}$$

$$\frac{d\,\mathbf{v}}{dt}\cdot\mathbf{v} = \frac{1}{2}\frac{d}{dt}(\mathbf{v}\cdot\mathbf{v}) = \frac{1}{2}\frac{dv^2}{dt}$$

$$\Downarrow$$

$$\int \Sigma \mathbf{F}\cdot d\mathbf{r} = \int_{t_i}^{t_f} m\left(\frac{1}{2}\frac{dv^2}{dt}\right)dt = \tfrac{1}{2}m\int_{v_i}^{v_f} d(v^2) = \tfrac{1}{2}mv_f^2 - \tfrac{1}{2}mv_i^2 = \Delta K$$

$$\boxed{\int \Sigma \mathbf{F}\cdot d\mathbf{r} = \Delta K}$$

$$\boxed{\sum \mathbf{F}} = \boxed{\sum \mathbf{F}_{\text{other forces}}} + \mathbf{f}_k$$

알짜힘　　마찰력 외의 다른 힘들　　운동 마찰력

변위

$$\int \Sigma\mathbf{F}\cdot d\mathbf{r} = \int\left(\Sigma\mathbf{F}_{\text{other forces}} + \mathbf{f}_k\right)\cdot d\mathbf{r}$$

마찰력 외의 다른 힘들이 하는 일

마찰이 하는 일

$$= \int \Sigma\mathbf{F}_{\text{other forces}}\cdot d\mathbf{r} + \int \mathbf{f}_k\cdot d\mathbf{r} = \boxed{\Sigma W_{\text{other forces}}} + \boxed{\int \mathbf{f}_k\cdot d\mathbf{r}}$$

$$\int \Sigma\mathbf{F}\cdot d\mathbf{r} = \Sigma W_{\text{other forces}} + \int \mathbf{f}_k\cdot d\mathbf{r} = \Delta K$$

$$\int \mathbf{f}_k\cdot d\mathbf{r} = -\int f_k dr < 0$$

$$\int \Sigma\mathbf{F}\cdot d\mathbf{r} = \Sigma W_{\text{other forces}} - \int f_k dr = \Delta K$$

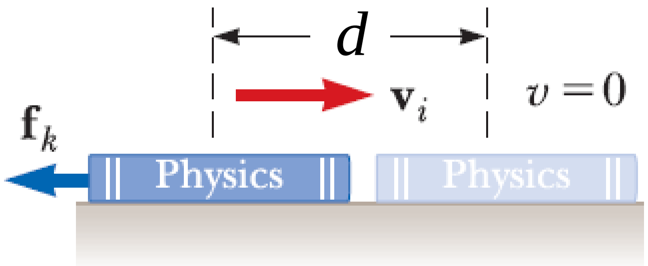
운동 마찰력의 크기가 일정한 경우

$$\Sigma W_{\text{other forces}} - f_k d = \Delta K$$

d: 전체경로의 길이

또는 $$K_f = K_i - f_k d + \Sigma W_{\text{other forces}}$$

마찰력만의 영향으로 감속하는 책과 책상 표면의 고립계를 생각하면



$$\Delta K = -f_k d \qquad \Delta U = 0$$

$$\Delta E_{system} = \Delta K + \Delta U + \Delta E_{\text{int}} = 0$$

$$\Delta E_{system} = \Delta K + \Delta E_{\text{int}} = 0$$

$$-f_k d + \Delta E_{\text{int}} = 0$$

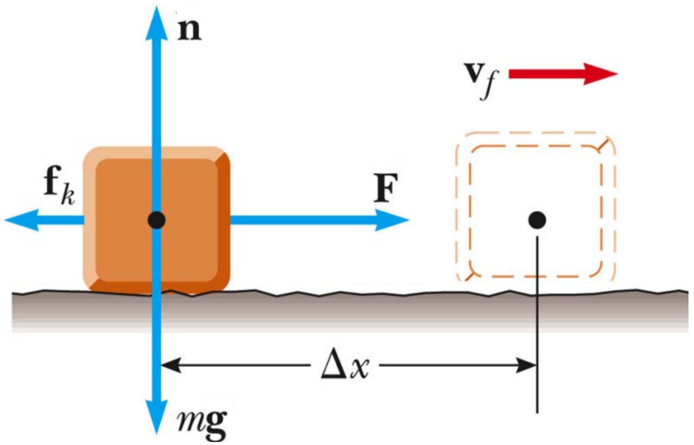
$$\boxed{\Delta E_{\text{int}} = f_k d = -\Delta K}$$

마찰력은 계의 내부에 있는 운동 에너지를 내부 에너지로 변환시킨다.
이때 계의 내부 에너지 증가량은 운동 에너지의 감소량과 같다.

예제 7.4 거친 표면 위에서 블록 끌기

수평한 표면 위에서 처음에 정지하고 있는 6.0 kg의 블록을 크기가 일정한 12N인 수평 방향의 힘으로 오른쪽으로 끈다고 가정하자.

(A) 블록이 접촉한 표면의 운동 마찰 계수가 0.15일 때 3.0m 이동된 후 블록의 속력을 구하라.



$$W = F\Delta x = (12\text{N})(3.0\text{m}) = 36\text{J}$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow n - mg = 0 \rightarrow n = mg$$

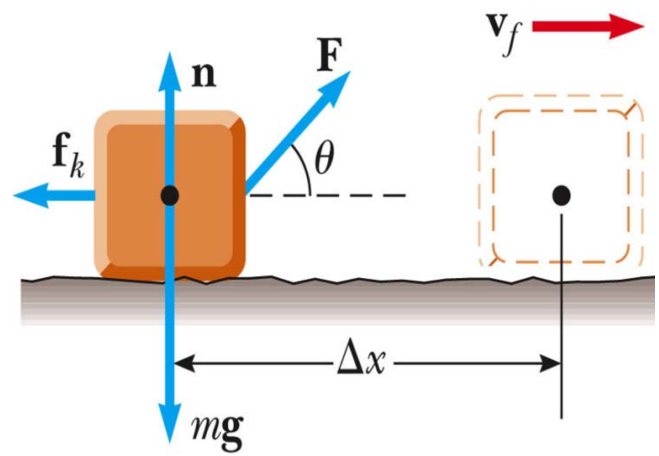
$$f_k = \mu_k n = \mu_k mg = (0.15)(6.0\text{kg})(9.80\text{m/s}^2) = 8.82\text{N}$$

$$\tfrac{1}{2}mv_f^2 = \tfrac{1}{2}mv_i^2 - f_k d + \sum W_{\text{other forces}}$$

$$v_f = \sqrt{v_i^2 + \frac{2}{m}\left(-f_k d + \sum W_{\textit{other forces}}\right)} = \sqrt{0 + \frac{2}{6.0\text{kg}}\left[-(8.82\text{N})(3.0\text{m}) + 36\text{J}\right]} = 1.8\text{m/s}$$

(B) 그림 같이 힘 F가 수평면에 대하여 각 θ를 이루면서 블록을 오른쪽으로 3.0m 끈다고 가정하자. 이때 블록의 최대 속력을 갖도록 하는 힘의 각도를 구하라.

$$W = F\Delta x\cos\theta = Fd\cos\theta$$



$$\sum F_y = n + F\sin\theta - mg = 0$$

$$\rightarrow n = mg - F\sin\theta$$

에너지보존에 의해

$$K_f = K_i - f_k d + \Sigma W_{\text{other forces}}$$

$$= 0 - \mu_k nd + Fd\cos\theta$$

$$= -\mu_k (mg - F\sin\theta)d + Fd\cos\theta$$

$$\frac{dK_f}{d\theta} = -\mu(0 - F\cos\theta)d - Fd\sin\theta = 0$$

$$\mu_k \cos\theta - \sin\theta = 0$$

$$\tan\theta = \mu_k$$

$$\theta = \tan^{-1}(\mu_k) = \tan^{-1}(0.15) = 8.5^\circ$$

예제 7.5 블록-용수철 계

그림과 같이 질량이 1.6 kg인 블록이 용수철 상수 1.0×10^3N/m인 수평 방향의 용수철에 붙어 있다. 용수철이 2.0 cm 만큼 압축되어 정지하여 놓여져 있다.

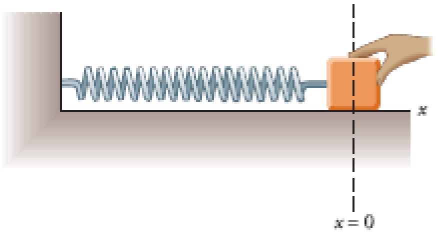
(A) 표면의 **마찰력이 없다면** 블록이 평형 위치를 통과할 때의 속력을 구하라.

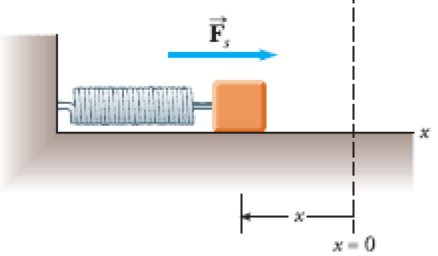
(B) **블록이 놓아지는 순간부터** 운동에 저항하는 일정한 **마찰력 4.0N이 작용할** 경우에 블록이 **평형 위치를 통과할 때**의 속력을 구하라.

(A) $$W_s = \tfrac{1}{2}kx_{max}^2 = \tfrac{1}{2}(1.0\times10^3\,\text{N/m})(-2.0\times10^{-2}\,\text{m})^2 = 0.20\text{J}$$

$$W_s = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2$$

$$v_f = \sqrt{v_i^2 + \frac{2}{m}W_s} = \sqrt{0 + \frac{2}{1.6\text{kg}}(0.20\text{J})} = 0.50\text{m/s}$$





(B) $$K_f = K_i - f_k d + \sum W_{other\ \ forces}$$

$$f_k d = (4.0\text{N})(2.0\times10^{-2}\,\text{m}) = 0.080\text{J}$$

$$K_f = 0 - 0.080\text{J} + 0.20\text{J} = 0.12\text{J} = \tfrac{1}{2}mv_f^2$$

$$v_f = \sqrt{\frac{2K_f}{m}} = \sqrt{\frac{2(0.12\text{J})}{1.6\text{kg}}} = 0.39\text{m/s}$$

7.5 비보존력에 의한 역학적 에너지의 변화
Changes in Mechanical Energy for Nonconservative Forces

$$\int \Sigma \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r} = \Sigma W_{\text{other forces}} + \int \mathbf{f}_k \cdot d\mathbf{r} = \Delta K$$

마찰력에 의에서만 물체의 속도가 감소하는 고립계에서

$$\Delta E_{system} = \Delta K + \Delta E_{\text{int}} = 0 \qquad \Delta K = -f_k d$$

수평의 표면 위에서 미끄러지는 경우

⇩ 경사면 위에서 미끄러지는 경우

물체의 고도가 변하는 고립계에 비보존력(마찰력) 있는 경우

$$\Delta E_{mech} = \Delta K + \Delta U_g = -f_k d$$

⇩ 일반화

고립계 안에서 비보존력인 마찰력이 작용할 때

$$\Delta E_{mech} = \Delta K + \Delta U = -f_k d$$

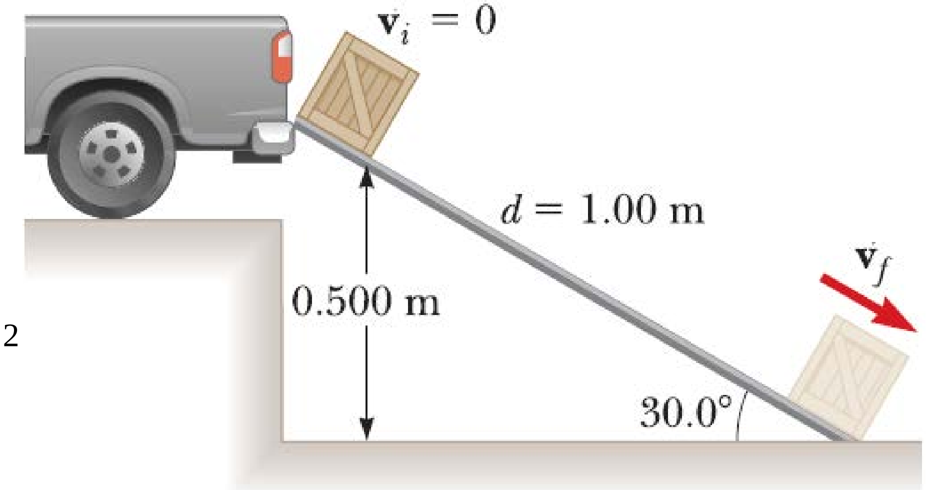
비고립계 안에서 비보존력이 작용할 때는

$$\Delta E_{mech} = -f_k d + \Sigma W_{\text{other forces}}$$

예제7.6 경사면 위의 나무상자

질량 3.00kg인 물건을 담은 나무상자가 **경사면을 따라 미끄러져 내려온다**. 그림과 같이 경사면의 길이는 1.00m이고 경사각은 30.0°이다. 나무상자는 경사면의 상단에서 정지한 상태에서부터 이동하기 시작하여 5.00N **크기의 마찰력을 계속 받으며 내려온다**. 경사면을 내려온 후에도 수평한 지면 바닥을 따라 짧은 거리만큼 이동하다가 멈춘다. **(A)** 에너지 방법을 사용하여 경사면 아래 끝에서 나무상자의 속력을 구하라. **(B)** 나무상자가 경사면을 **내려온 후**에도 수평인 지면 바닥을 따라 크기가 5.00N인 **마찰력**을 받는다면, 나무상자는 얼마만큼 이동하는가?

(A) $E_i = K_i + U_i = 0 + U_i = mgy_i;\ y_i = 0.5\text{m}$



$$E_f = K_f + U_f = \tfrac{1}{2}mv_f^2 + 0$$

$$\Delta E_{mech} = E_f - E_i$$

$$= \tfrac{1}{2}mv_f^2 - mgy_i = -f_k d$$

$$v_f^2 = \frac{2}{m}(mgy_i - f_k d) = 6.47\text{m}^2/\text{s}^2$$

$$v_f = \sqrt{6.47\text{m}^2/\text{s}^2} = 2.54\text{m/s}$$

(B) $E_i = K_i = \tfrac{1}{2}mv_i^2 = \tfrac{1}{2}(3.00)(2.54)^2 = 9.68\text{J}$

$$E_f - E_i = 0 - 9.68 = -f_k d \qquad d = \frac{9.68J}{f_k} = \frac{9.68}{5.00} = 1.94\text{m}$$

예제 7.7 블록-용수철의 충돌

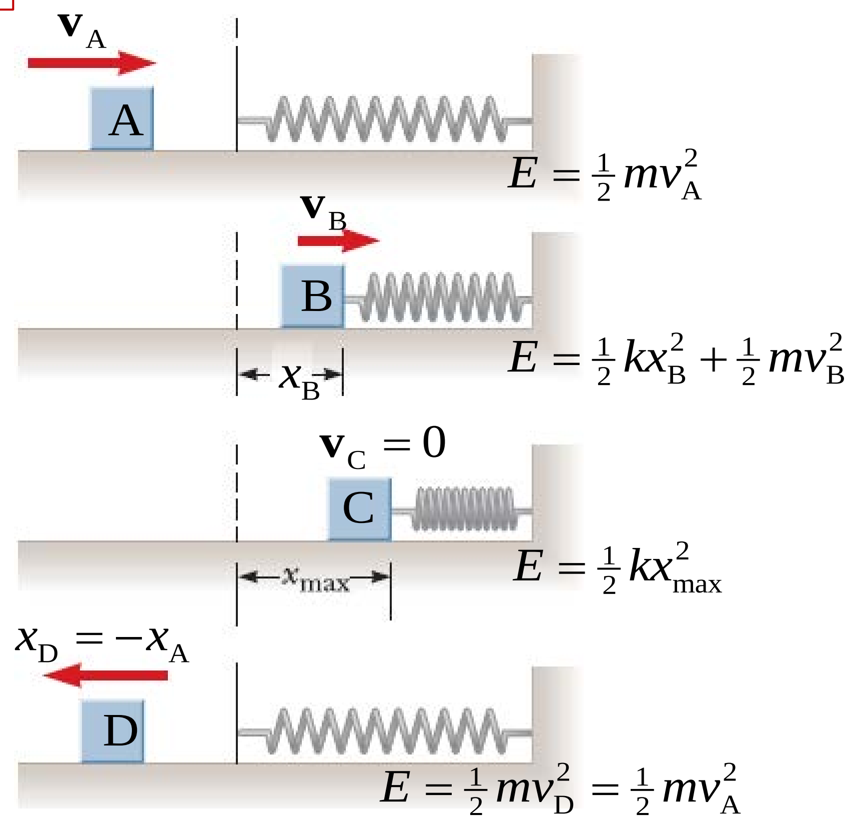
질량이 **0.80kg**인 블록이 처음 속력 $v_A = 1.2\text{m/s}$으로 오른쪽으로 움직여 용수철에 충돌한다. 용수철의 질량은 무시하고 용수철 상수는 $k = 50$ N/m이다.

(A) 표면에 **마찰이 없다고 가정**하고 충돌 후 용수철의 **최대 압축 길이를 계산하라.**

$$K_C + U_{sC} = K_A + U_{sA}$$

$$0 + \tfrac{1}{2}kx_{max}^2 = \tfrac{1}{2}mv_A^2 + 0$$

$$x_{max} = \sqrt{\frac{m}{k}}v_A = \sqrt{\frac{0.80\text{kg}}{50\text{N/m}}}(1.2\text{m/s}) = 0.15\text{m}$$



(B) 표면과 블록 사이에 마찰 계수 $\mu_k = 0.50$인 일정한 운동 마찰력이 작용한다고 가정하자. 용수철과 충돌하는 순간에 블록의 속력이 $v_A = 1.2\text{m/s}$ 이면, 용수철의 **최대 압축 길이**는 얼마인가?

$$f_k = \mu_k n = \mu_k mg = 3.9\text{N}$$

$$\Delta E_{mech} = E_f - E_i$$

$$= -f_k d \quad (d = -x_C > 0)$$

$$E_f - E_i = f_k x_C$$

$$(0 + \tfrac{1}{2}kx_C^2) - (\tfrac{1}{2}mv_A^2 + 0) = f_k x_C$$

$$\tfrac{1}{2}(50)x_C^2 - \tfrac{1}{2}(0.80)(1.2)^2 = +3.9x_C$$

$$25x_C^2 - 3.9x_C - 0.58 = 0$$

$$x_C = +0.25\text{m} \ or \ -0.093\text{m}$$

$$x_C = -0.093\text{m}$$

최대 압축길이 : 0.093m

예제 7.8 연결된 블록의 운동

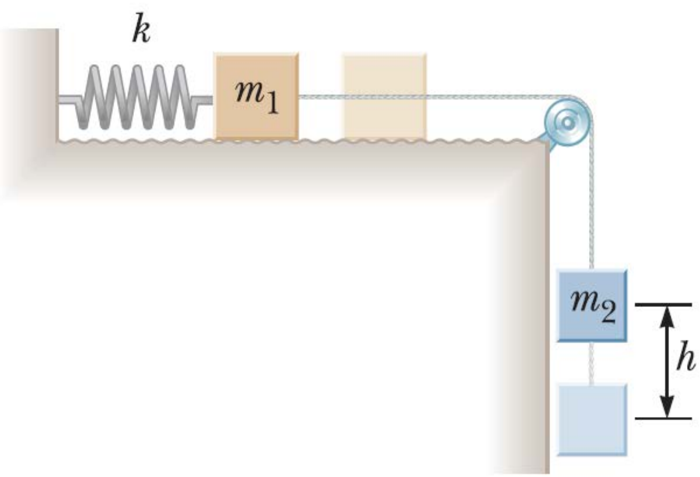
두 개의 블록이 가벼운 줄의 양 끝에 연결되어 마찰이 없는 도르래에 걸쳐 있다. 수평면 위에 놓여 있는 질량이 m_1인 블록은 또한 용수철 상수가 k인 용수철에 연결되어 있다. **용수철이 이완되어 있지 않을 때, 블록 m_1 과 매달려 있는 질량 m_2 인 블록을 정지 상태에서 놓았다. 블록 m_2 가 정지하기 전까지 거리 h만큼 떨어진다면, 블록 m_1 과 수평면 사이의 운동 마찰 계수**를 계산하라.

$$\Delta E_{mech} = \Delta U_g + \Delta U_s \quad (1)$$

$$\Delta E_{mech} = -f_k h = -(\mu_k n)h = -\mu_k m_1 g h \quad (2)$$

$$\Delta U_g = U_{gf} - U_{gi} = 0 - m_2 g h \quad (3)$$

$$\Delta U_s = U_{sf} - U_{si} = \frac{1}{2}kh^2 - 0 \quad (4)$$



(1)식에 (2) – (4)식을 대입하면

$$-\mu_k m_1 g h = -m_2 g h + \frac{1}{2}kh^2$$

$$\therefore \mu_k = \frac{m_2 g - \frac{1}{2}kh}{m_1 g}$$

7.6 일률 Power

평균 일률(average power)

힘 $\mathbf{F}$가 시간 $\triangle t$ 동안에 물체에 한 일이 $\Delta W = \mathbf{F}\cdot\Delta\mathbf{r}$ □ □

$$\boxed{\mathcal{P}_{avg} = \frac{\Delta W}{\Delta t}}$$

순간 일률(instantaneous power)

$$\mathcal{P} = \lim_{\Delta t \to 0}\frac{\Delta W}{\Delta t} = \mathbf{F}\cdot\frac{d\mathbf{r}}{dt} = \mathbf{F}\cdot\mathbf{v}$$

$$\boxed{\mathcal{P} = \mathbf{F}\cdot\mathbf{v}}$$

단위: $1\mathrm{W} = 1\mathrm{J/s} = 1\mathrm{kg}\cdot\mathrm{m}^2/\mathrm{s}^3$

$$1\mathrm{hp} = 746\mathrm{W}$$

$$1\mathrm{kWh} = (10^3\,\mathrm{W})(3600\text{초}) = 3.60\times10^6\,\mathrm{J}$$

예제 7.9 엘리베이터용 전동기의 일률

승강기와 전동기로 구성된 엘리베이터가 있다. 전동기가 질량 **1600kg인 승강기와 전체 질량이 200kg인 승객**을 나르고 있다. **일정한 마찰력 4000N**이 작용하여 승강기의 운동을 느리게 하고 있다. **(A)** 승객을 실은 승강기를 **일정한 속력 3.00 m/s으로** 올리려면 전동기는 얼마의 일률로 일을 해야 하는가?

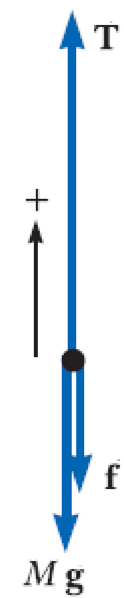
$$\sum F_y = T - f - Mg = 0$$

$$T = f + Mg$$

$$= 4.00\times10^3\,\mathrm{N} + (1.80\times10^3\,\mathrm{kg})(9.80\,\mathrm{m/s^2})$$

$$= 2.16\times10^4\,\mathrm{N}$$

$$\mathcal{P} = \mathbf{T}\cdot\mathbf{v} = Tv = (2.16\times10^4\,\mathrm{N})(3.00\mathrm{m/s}) = 6.48\times10^4\,\mathrm{W}$$



(B) 승강기를 $\boldsymbol{a}$ **= 1.00m/s²**의 가속도로 올리도록 설계되었다면 승강기의 속력이 v인 순간 전동기의 일률은 얼마인가?

$$\sum F_y = T - f - Mg = Ma$$

$$T = M(a+g) + f$$

$$= (1.80\times10^3\mathrm{kg})(1.00\mathrm{m/s^2} + 9.80\mathrm{m/s^2}) + 4.00\times10^3\,\mathrm{N}$$

$$= 2.34\times10^4\,\mathrm{N}$$

$$\mathcal{P} = Tv = (2.34\times10^4\,\mathrm{N})v$$