



Chapter 7. 운동에너지와 일

힘이 한 일과 물체의 운동에너지 사이의 관계를
알아본다

Physics 1 1

Work & Energy

Energy?



- 물리학에서 가장 중요한 개념들 중에 하나임(Newton missed it)
 - ❖ 역학에 대한 새로운 접근방법을 제시함
- 특히 역학 이외의 물리학 분야에서 일과 에너지 개념은 이론의 정립에 매우 중요한 역할을 함.
 - ❖ 열역학(Thermodynamics)
 - ❖ 양자역학(Quantum mechanics) 정립
- 역학의 문제를 다루는 데 매우 유용한 수단이기도 함
 - ❖ 역학의 문제를 새로운 방법으로, 그리고 어떤 경우에는 매우 쉽게 해결할 수 있는 길을 제시한다
 - ❖ 에너지 보존법칙

Physics 1 2

에너지

- **에너지**: 일을 할 수 있는 능력 또는 능력의 양
 - ❖ 물체의 상태와 관련된 **스칼라** 양
 - ❖ **운동에너지(kinetic energy)**
 - ❖ **위치에너지(potential energy)**
 - ❖ **내부에너지,...**
- 에너지는 새로이 만들어지거나 없어지지 않는다
 - ❖ 에너지가 한 형태에 다른 형태로 변환 뿐이다.
- 에너지 보존 : 외부와 상호작용을 하지 않는 고립계의 에너지는 보존이 된다.
- 외부에서 계에 일을 하면 계의 에너지는 변한다.

Physics 1 3



운동에너지

- **운동에너지 (K)**: 물체의 운동상태에 관련된 에너지.

● 운동에너지: $K = \frac{1}{2}mv^2$

속력에 의존: 방향에 무관

$$\begin{cases} v^2 = \vec{v} \cdot \vec{v} = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2 \\ K \geq 0 \end{cases}$$

● 단위: 에너지 단위

$$1 \text{ joule} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^2 = 1 \text{ J}$$

$$1 \text{ electron-volt} = 1.60 \times 10^{-19} \text{ J} = 1 \text{ eV}$$



- ✓ For the same mass, the faster the speed, the larger the kinetic energy
- ✓ For the same speed, the larger the mass, the larger the kinetic energy
- ✓ When the speed is doubled, the kinetic energy quadrupled
- ✓ When the mass is doubled, the kinetic energy doubled

힘을 주어서 더 빠른 속력으로 가속시키면 \Rightarrow 운동 $E \uparrow$
 힘을 주어서 느린 속력으로 감속시키면 \Rightarrow 운동 $E \downarrow$ } \rightarrow 힘을 주면 물체에 에너지가 전달됨

Physics 1 4

$$K = \frac{1}{2}mv^2$$

How much is “Kinetic Energy”



- 1) [Electron \(e-\) moving in Copper](#)
 $m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ and $v \sim 1 \times 10^6 \text{ m/s}$ $KE = 7 \times 10^{-19} \text{ J}$ ($\sim 4 \text{ eV}$)
- 2) [Bullet traveling at 950 m/s \(3100 ft/s\).](#)
 $m = 4.2 \text{ g}$ and $v \sim 950 \text{ m/s}$ (3100 ft/s) $KE = 2000 \text{ J}$
- 3) [Football Linebacker](#)
 $m = 240 \text{ lbs}$ and $v \sim 18 \text{ mph}$ (7 m/s) $KE = 2800 \text{ J}$
- 4) [Aircraft Carrier Nimitz](#)
 $m = 91,400 \text{ tons}$ and $v \sim 1 \text{ knot}$ $KE = 10 \text{ MJ}$

Physics 1 5

일(Work)

- 물체에 힘이 작용하면 : 에너지 전달이 생김
 - ❖ 힘작용 \Rightarrow 물체의 속도 변화 \Rightarrow 물체의 운동에너지 변화
 - ❖ 힘작용 \Rightarrow (크기 있는 물체:) 변형 \Rightarrow 물체의 내부 에너지 변화
- 일: 물체에 작용하는 힘을 통해서 외부에서 물체로, 또는 물체에서 외부로 전달되는 에너지를 의미한다
- 일은 부호가 있다:
 - ❖ 외부에서 물체로 에너지가 전달되는 경우 \rightarrow 양의 일
 - ❖ 물체의 에너지가 외부로 전달되는 경우 \rightarrow 음의 일

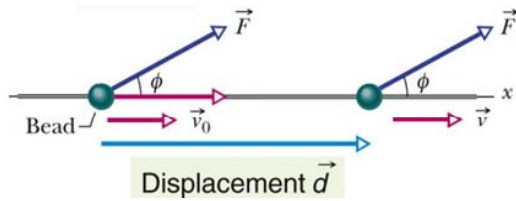


투수가 일을 해서 공의 운동에너지를 증가시킴

Physics 1 6

일:정량적 정의

- 줄에 꿰어져 x-방향으로만 움직일 수 있는 물체에 일정한 힘(F)을 작용하여 x-방향으로 변위가 d 만큼 생길



- 일정한 힘이 한 일:

$$W = \underbrace{F \cos \phi}_{\text{움직인 방향 힘성분}} d = \vec{F} \cdot \vec{d}$$

단위: 에너지단위 = J

$$(1\text{J} = 1\text{N}\cdot\text{m} = 1\text{kg}\cdot\text{m/s}^2)$$

- x-방향 운동 = 등가속도 운동:

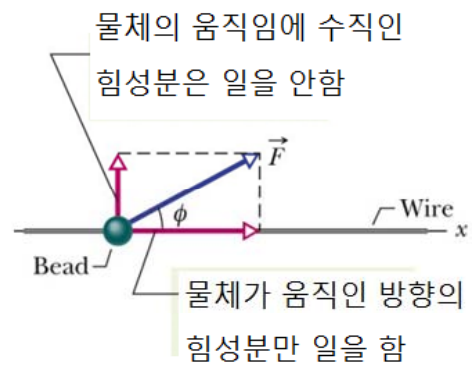
$$a_x = \frac{F_x}{m} = \frac{F \cos \phi}{m} = \text{const}$$

$$\rightarrow v^2 - v_0^2 = 2a_x d = 2\left(\frac{F \cos \phi}{m}\right)d$$

$$\times \frac{1}{2}m \rightarrow$$

$$\boxed{\frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = (F \cos \phi)d}$$

Note, LHS = 운동에너지의 변화 \Rightarrow RHS = 일



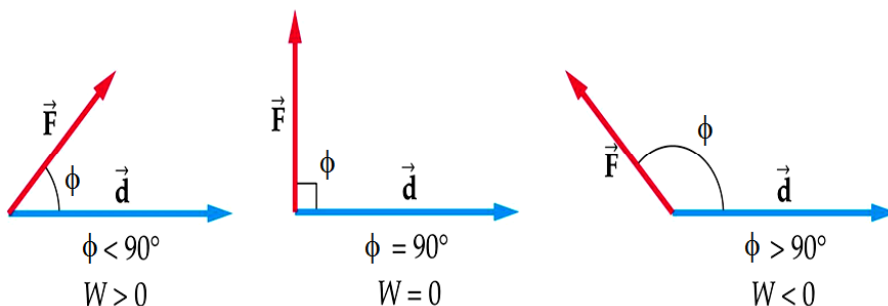
Physics 1 7

일-운동에너지 (일정한 힘)

$$\frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = Fd \cos \phi = W$$

$$\boxed{\Delta K \equiv K - K_0 = W}$$

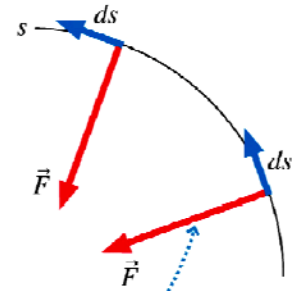
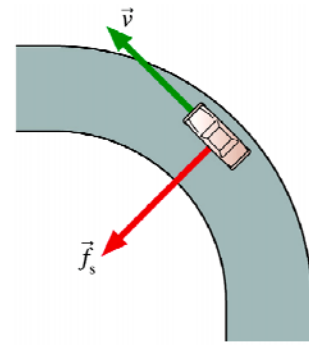
$$W = Fd \cos \phi \Rightarrow \begin{cases} \phi < 90^\circ \Rightarrow W > 0 \longrightarrow \Delta K > 0: \text{운동 } E \uparrow \\ \phi > 90^\circ \Rightarrow W < 0 \longrightarrow \Delta K < 0: \text{운동 } E \downarrow \\ \phi = 90^\circ (\vec{F} \perp \vec{d}) \Rightarrow W = 0 \longrightarrow \Delta K = 0 \end{cases}$$



Physics 1 8

수직한 힘과 일

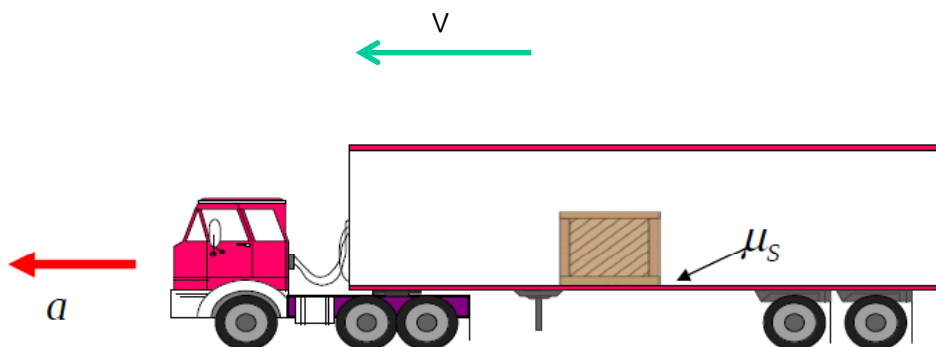
- 원형의 커브 길을 미끄러지지 않고 돌 때 정지마찰력이 **구심력** 역할을 한다.
- 정지마찰력이 한 일은?
Zero!
- 따라서 자동차의 속력은 변하지 않는다. 단지 속도의 방향만 변할 뿐이다 (미끄러지지 않는 경우만).
- 일반적으로 운동방향에 수직으로 작용하는 힘은 일을 하지 않는다.
 - 원운동에서 장력
 - 움직이는 전하에 작용하는 자기력



The force is everywhere perpendicular to the car's displacement.

Physics 1 9

트럭이 왼쪽으로 가속을 하고 있다(속도도 왼쪽).
상자를 미끄러지지 않게 하는 정지마찰력이 한 일은?

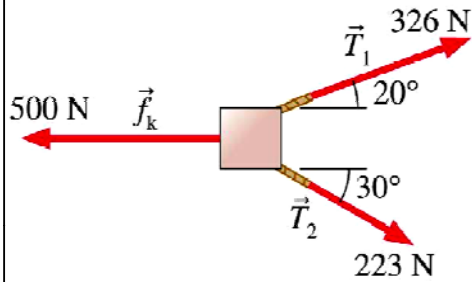


A) 양의 일 B) 음의 일 C) 0

만약 트럭이 일정한 속도로 움직인다면?

Physics 1 10

일-운동에너지 정리



- 물체에 작용하는 힘이 여럿일 때:
물체의 운동상태는 알짜힘이 변화시킴
- $\Delta K = (\text{알짜힘이 한 일}) = (\sum \vec{F}_i) \cdot \vec{d} = \sum \vec{F}_i \cdot \vec{d} = \sum W_i$
- $W_{net} = W_1 + W_2 + W_3 + \dots = \text{알짜일}(\text{net work})$
- * 각각의 힘이 한 일을 더함.

일-운동에너지 정리

$$\Delta K = K_f - K_i = W_{net}$$

(운동에너지 변화) = (물체가 받은 알짜일)

운동에너지는 알짜일을 받으면
변한다

중력이 한 일

제일 단순한 힘 → 중력

- 중력: $F_g = mg$

중력이 한 일: $W_g = mgd \cos \phi$

$$\begin{cases} \text{내려갈 때 } (\cos \phi = +1): W_g > 0 \\ \text{올라갈 때 } (\cos \phi = -1): W_g < 0 \end{cases}$$

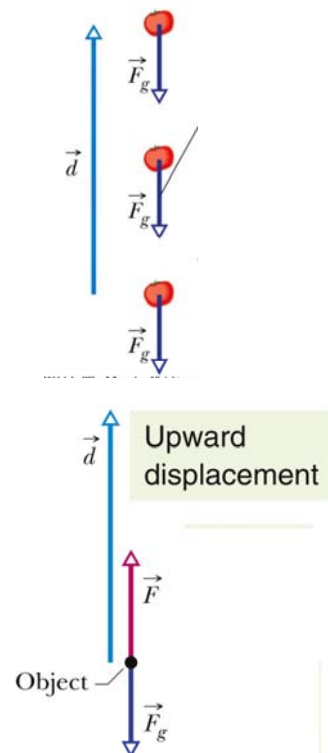
- 물체를 들어올리거나/내리는 때 한 (외부힘이) 일:

⇒ 물체에 작용하는 힘: 중력(F_g) + 외부힘(F_a)

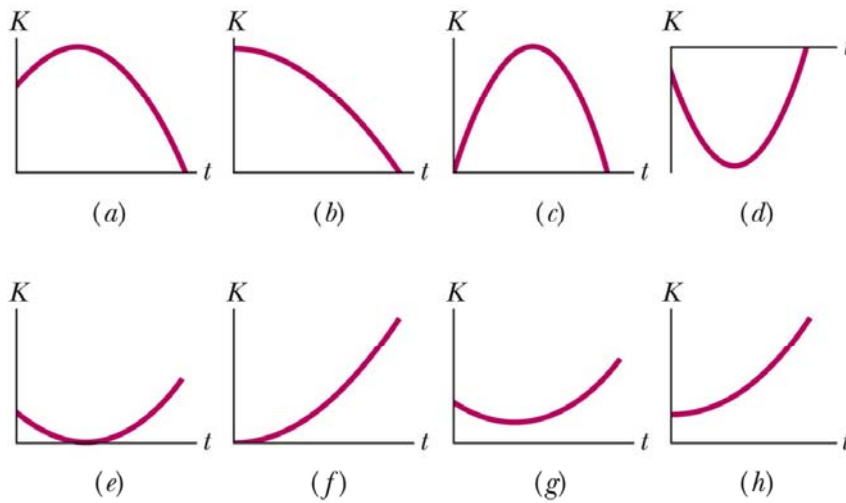
- 들어올리거나/내린다 = 속도의 변화없이 움직임

$$\Delta K = 0 \longrightarrow W_g + W_a = 0$$

$$\text{외부힘이 한 일} = W_a = -W_g$$



언덕 위에서 돌을 투척하거나 떨어뜨린다.
운동에너지의 그래프로 가능한 것은?



$$\Delta K = W_g$$

높은 곳에서 땅에 떨어짐: $W_g > 0$

Physics 1 13

물체를 **일정한 속도**로 끌어올릴 때 장력이 한 일은?

장력을 직접 구하는 방법을
이용하지 않고, 일-운동에너지
정리를 이용하자.

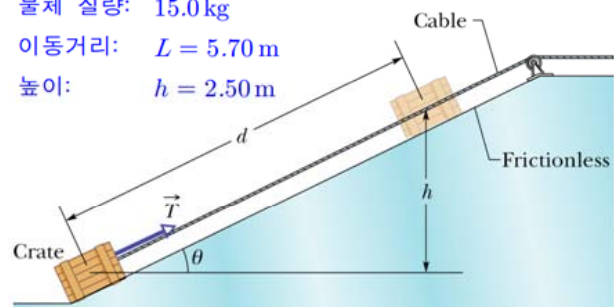
• 중력이 한 일:

$$\begin{aligned} W_g &= mgL \cos(90^\circ + \theta) = -mgL \sin \theta = -mgh \\ &= -(15\text{kg})(9.8\text{m/s}^2)(2.5\text{m}) = -368\text{J} \end{aligned}$$

물체 질량: 15.0 kg

이동거리: $L = 5.70\text{ m}$

높이: $h = 2.50\text{ m}$



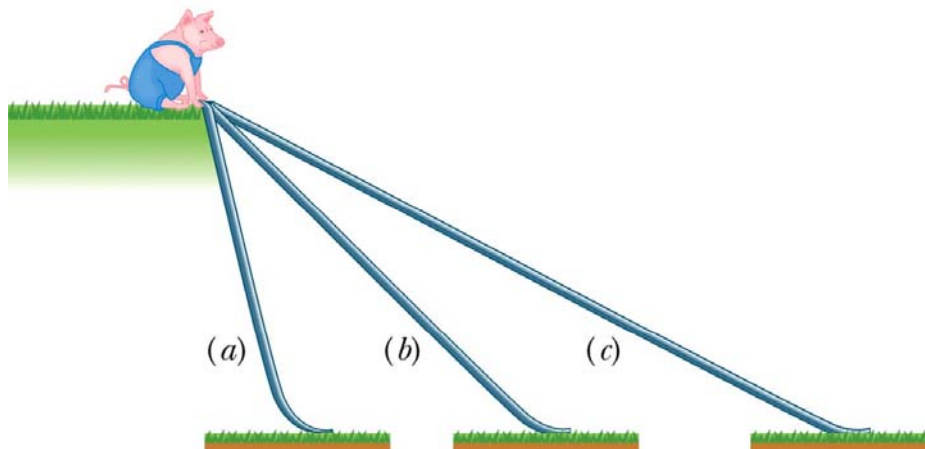
• 물체가 받은 알짜일: ($W_{net} = 0$)

$$\left. \begin{aligned} W_{net} &= W_g + W_T \\ \Delta K &= 0 \quad (v = \text{const}) \end{aligned} \right\} \xrightarrow{W_{net}=0} W_T = -W_g$$

$$W_T = +368\text{J}$$

Physics 1 14

중력이 돼지에게 한 일의 크기 순서는?

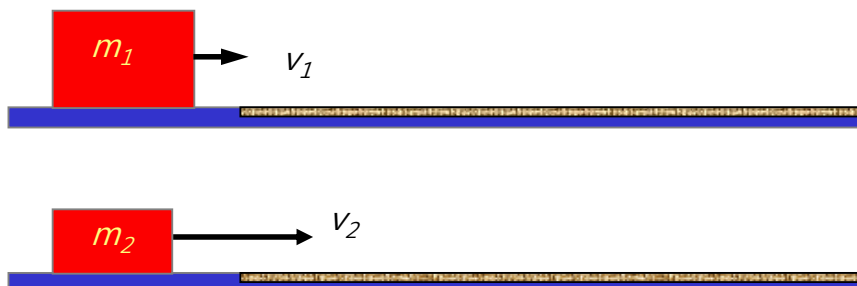


Physics 1 15

Ex : Work & Friction

- $m_1 > m_2$ 인 두 상자가 있다. 두 상자는 마찰이 없는 바닥에서 **같은 운동에너지**를 가지고 움직이다가, 마찰면에 들어간다. 정지할 때까지 더 멀리 움직인 상자는?

(A) m_1 (B) m_2 (C) They will go the same distance



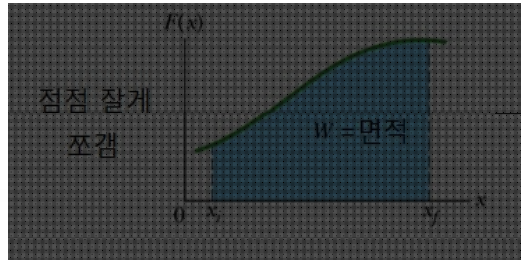
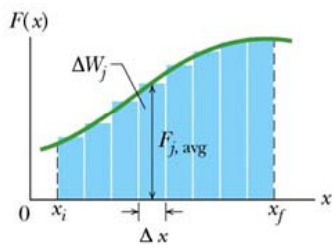
$$\Delta K = W$$

물체가 받은 알짜일 = 마찰력이 한 일

Physics 1 17

힘이 변할 때 일: F-x 그래프 이용

- 일반적으로 물체가 받은 힘은 위치에 따라 변한다
 - ❖ 물체에 힘 $F(x)$ 를 주어서 x_i 에서 x_f 로 옮기면서 한 일 (1차원)



- j -번째 구간에서 일 $\Delta W_j \cong$ 기둥의 면적 $= F(x_j)\Delta x$
($F(x)$ 의 부호가 $\cos\phi$ 역할)

$$W = \Delta W_1 + \Delta W_2 + \dots + \Delta W_N = \sum F(x_j)\Delta x$$

$$\longrightarrow \int_{x_i}^{x_f} F(x)dx$$

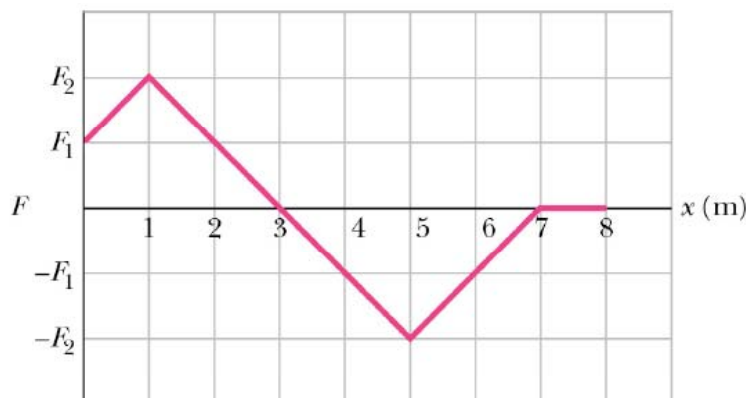
$$W = \int_{x_i}^{x_f} F(x)dx \quad : F-x \text{ graph의 면적}$$

Physics 1 18

원점에 정지해 있던 물체가 받은 힘을 위치에 따라 그린 그래프다

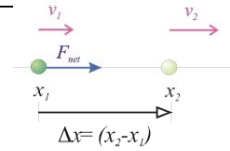
- 물체의 속력이 제일 큰 지점은?
- 물체의 속력이 제일 작은 지점은?
- 물체가 운동 방향을 바꾸는 지점은?

$$\Delta K = W$$



Physics 1 19

일-운동에너지 정리 일반화



- 1차원: $F_{\text{net}}(x)$ 의 힘을 받으면서 물체를 x_i 에서 x_f 로 옮길 때.

- 힘이 위치에 따라 변하는 경우: 뉴턴방정식과 일의 정의를 이용해서 일-운동에너지 정리를 유도하자 (1차원):

$$W = \int_i^f F_{\text{net},x} dx:$$

- (1) 뉴턴의 2법칙에서:

$$F_{\text{net},x} = ma_x = m \frac{dv}{dt}$$

- (2) 양변에 속도 v 를 곱함

$$\Rightarrow (F_{\text{net},x})v = \left(m \frac{dv}{dt}\right)v = mv \frac{dv}{dt} = \frac{d\left(\frac{1}{2}mv^2\right)}{dt}$$

$$\xrightarrow{v=dx/dt} F_{\text{net},x} \frac{dx}{dt} = \frac{d\left(\frac{1}{2}mv^2\right)}{dt}$$

$$\Rightarrow F_{\text{net},x} dx = d\left(\frac{1}{2}mv^2\right)$$

$$\int_i^f F_{\text{net},x} dx = \int_i^f d\left(\frac{1}{2}mv^2\right) = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2$$

$$W_{\text{net}} = K_f - K_i = \Delta K$$

$$W_{\text{net}} = \Delta K$$

- 일-운동에너지 정리:

$$W_{\text{net}} = K_f - K_i \equiv \Delta K$$

물체에 일을 하면
운동에너지가 변한다

Work-Kinetic Energy Theorem

- 물체에 작용하는 힘의 효과

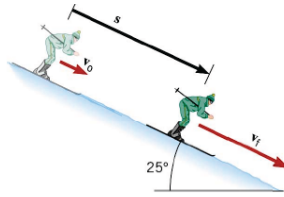
힘 \rightarrow 물체의 속도 변화 = 물체의 운동에너지 변화

[\rightarrow 물체의 변형 = 물체의 내부 에너지 변화]

일: 힘을 통해 물체에 전달되는 에너지.

운동에너지 변화 = 물체가 받은 알짜일
뉴턴의 제 2법칙의 다른 표현방식임

Question



A 58-kg skier coasts down a 25° slope where the kinetic frictional force is $f_k=70\text{N}$. If the starting speed is $v_0=3.6\text{ m/s}$ then what is the speed after a displacement of 57 m?

$$W_{net} = W_g + W_f$$

$$\begin{cases} W_g = mgd \cos(90 - 25) = (58\text{kg})(9.8\text{m/s}^2)(57\text{m})\cos 75 = 8385\text{J} \\ W_f = f_k d \cos(180) = (70\text{N})(57\text{m})(-1) = -3990\text{J} \end{cases}$$

$$W_{net} = 4395\text{J}$$

• 일-운동 E 정리: $W_{net} = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$

$$\frac{1}{2}mv^2 = W_{net} + \frac{1}{2}mv_0^2$$

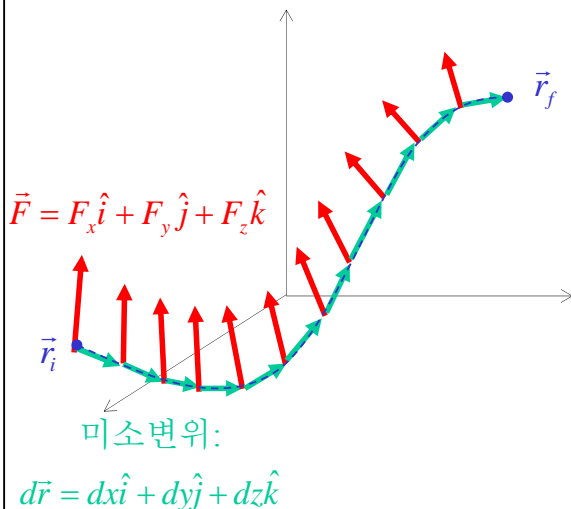
$$v = \sqrt{\frac{2W_{net}}{m} + v_0^2} = \sqrt{\frac{(2)(4395\text{J})}{58\text{kg}} + (3.6\text{m/s})^2}$$

$$= 12.8\text{m/s}$$

• 뉴턴의 방정식을 써서도 구할 수 있다 (있어야 한다)

3차원에서 일

❖ 위치에 따라 변하는 힘이 한 일을 구하기 위해서는 물체가 움직인 경로를 미소 구간으로 나누고, 각 구간에서 한 일을 구한 후 더 한다.



• 미소변위 구간 $[\vec{r}, \vec{r} + d\vec{r}]$ 에서 일:

$$dW = \vec{F} \cdot d\vec{r} = F_x dx + F_y dy + F_z dz$$

• $\vec{r}_i \rightarrow \vec{r}_f$ 움직이는 동안 한 일:

$$W = \vec{F}_1 \cdot d\vec{r}_1 + \vec{F}_2 \cdot d\vec{r}_2 + \dots \vec{F}_N \cdot d\vec{r}_N = \sum_{k=1}^N \vec{F}_k \cdot d\vec{r}_k$$

$$\Rightarrow W = \int_i^f \vec{F} \cdot d\vec{r} = \int_{x_i}^{x_f} F_x dx + \int_{y_i}^{y_f} F_y dy + \int_{z_i}^{z_f} F_z dz$$

일-운동에너지 정리 (3-d):

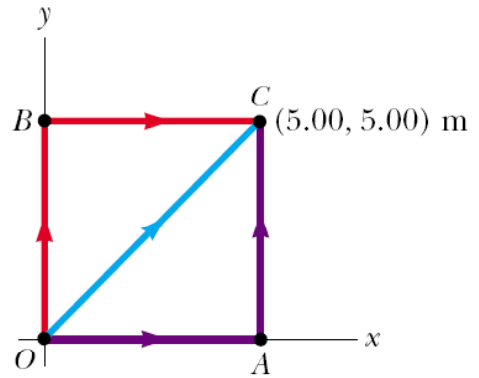
$$W_{net} = \frac{1}{2}m(v_f)^2 - \frac{1}{2}m(v_i)^2 = \Delta K$$

Note,

$$v^2 = (v_x)^2 + (v_y)^2 + (v_z)^2$$

일의 계산

- 힘: $\vec{F} = 4y\hat{i} + x^2\hat{j}$ (N)을 받으며
경로 $O-A-C$ 를 따라 움직일 때 한 일?
또, 경로 $O \rightarrow C$ 를 따라 움직일 때 한 일은?



- Along $O \rightarrow A \rightarrow C$:

$$W_{OAC} = W_{O \rightarrow A} + W_{A \rightarrow C}$$

- Note, $y = 0$ on $O \rightarrow A$: ($dy = dz = 0$)

$$W_{O \rightarrow A} = \int_0^5 F_x dx = 4 \int_0^5 y dx = 0$$

- Note, $x = 5$ on $A \rightarrow C$ ($dx = dz = 0$)

$$W_{A \rightarrow C} = \int_0^5 F_y dy = \int_0^5 x^2 dy = \int_0^5 5^2 dy = 25 \times 5 = 75 J$$

$$\therefore W_{OAC} = W_{O \rightarrow A} + W_{A \rightarrow C} = 75 J$$

- Note, $y = x$ on $O \rightarrow C$ ($dx = dy$)

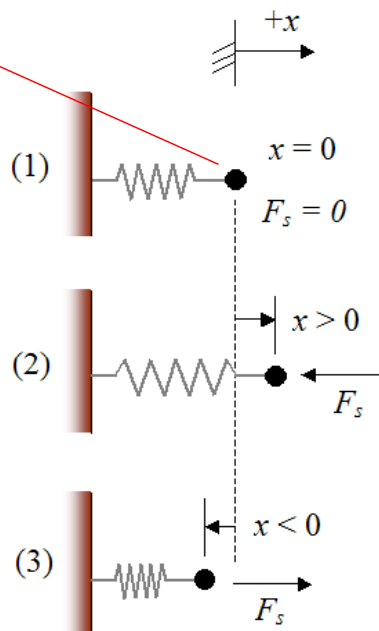
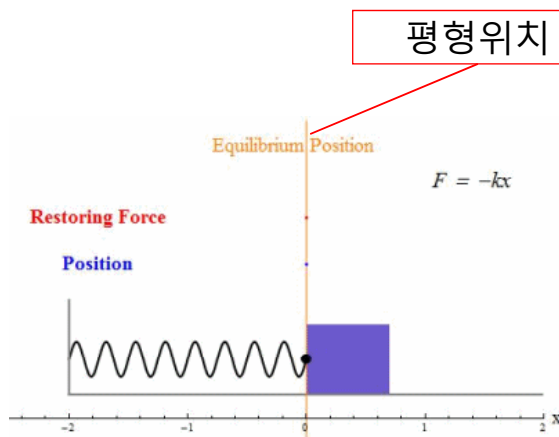
$$W_{O \rightarrow C} = \int_0^5 F_x dx + \int_0^5 F_y dy$$

$$\therefore W_{O \rightarrow C} = 4 \int_0^5 x dx + \int_0^5 y^2 dy = 4 \frac{1}{2} 5^2 + \frac{1}{3} 5^3 = 91.7 J$$

* 경로적분을 알면
일반적인 경로에
대해서도 할 수 있다.

용수철의 복원력

평형위치



- 용수철의 복원력: Hooke's law
 $\vec{F}_s = -k \vec{d}$: \vec{d} = 평형위치에서 벗어난
용수철 끝의 변위
 k = 용수철 상수 (단위: N/m)
복원력: 변위의 반대방향(-)으로 힘 작용
 k 가 클수록 용수철을 늘리기 어려움.

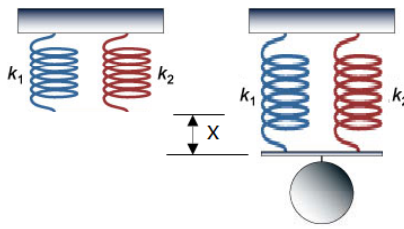
- 늘어난 방향 $\rightarrow x$:

$$F_s = -k x$$

F_s 부호가 힘의 방향을 의미

용수철 합성

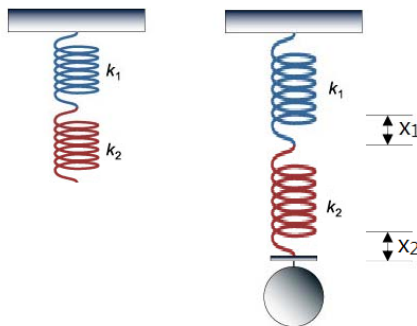
두 개의 용수철 조합과 동일한 효과를 내는 (같은 힘을 주었을 때 같은 정도로 늘어나는) 용수철은?



- 물체가 위로 받는 힘: $F = F_1 + F_2$

합성 용수철 상수 ($|F| = k_{eq}x$):

$$k_{eq} = \frac{|F|}{x} = \frac{|F_1|}{x} + \frac{|F_2|}{x} = k_1 + k_2 \rightarrow \text{더 딱딱함}$$



- 용수철 늘어난 길이: $x = x_1 + x_2$

물체가 받는 위로 힘: $F = F_1 = F_2$

합성 용수철 상수 ($|F| = k_{eq}x$)

$$k_{eq} = \frac{|F|}{x} = \frac{1}{x_1/|F| + x_2/|F|} = \frac{1}{1/k_1 + 1/k_2}$$

$$\frac{1}{k_{eq}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} \rightarrow \text{더 느슨해짐}$$

Physics 1 27

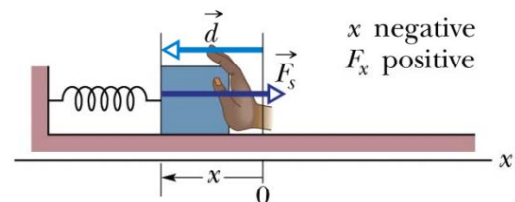
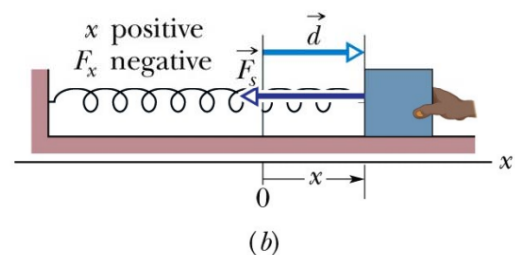
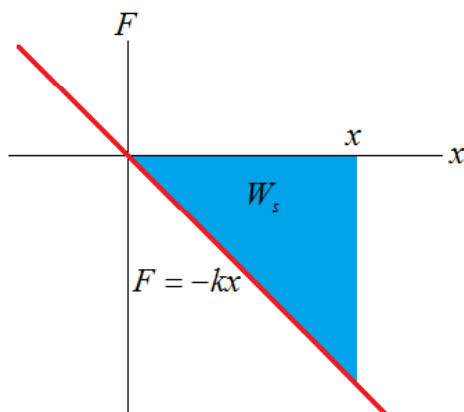
용수철의 복원력이 한 일

- 용수철을 압축하거나 늘릴 때
용수철이 한 일 ($x_i \rightarrow x_f$)

$$W_s = \int_i^f (-kx) dx = -\frac{1}{2}k(x_f^2 - x_i^2)$$

$$\rightarrow W_s = -\frac{1}{2}kx^2 \quad (\text{if, } x_i = 0)$$

왜 용수철이 한 일은 항상 음수인가 ($W_s < 0$)?



- 용수철을 늘리는데 (압축하는데)
필요한 외부일 (W_a)

$$W_a + W_s = 0 \quad (\text{속도변화 없음})$$

$$\Rightarrow W_a = -W_s = \frac{1}{2}kx^2$$

Physics 1 28

달리던 물체가 용수철과 충돌할 때 최대압축은?

•최대로 압축될 때 물체는 순간적으로 정지한다: 최대 압축거리 = d

•용수철에 접촉 직전과 최대로 압축될 때를 비교한다.

•물체의 운동 E 변화:

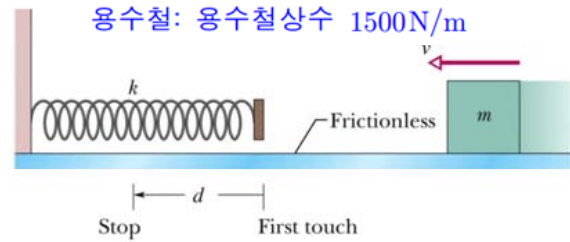
$$\Delta K = K_f - K_i = 0 - \frac{1}{2}mv_0^2$$

•용수철이 압축되면서 한 일: $W_s = -\frac{1}{2}kd^2$

note, $W_s < 0 \Rightarrow$ 물체의 운동 E 뺏음

물체: 질량 5.7kg , 처음속도 1.2m/s

용수철: 용수철상수 1500N/m



•일-운동에너지 정리: $\Delta K = W_s$

$$\rightarrow -\frac{1}{2}mv_0^2 = -\frac{1}{2}kd^2$$

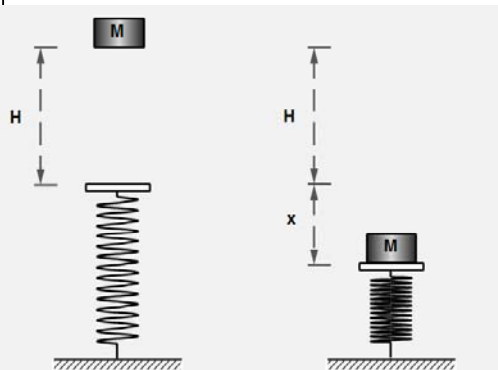
$$\therefore d = v_0 \sqrt{\frac{m}{k}} = (1.2\text{m/s}) \sqrt{\frac{5.7\text{kg}}{1500\text{N/m}}} = 7.4 \times 10^{-2}\text{m} = 7.4\text{cm}$$

Q. 물체에 작용하는 힘은 몇 개인가?

Q. 왜, 용수철이 한 일만 생각하는가?

Physics 1 29

용수철은 얼마나 압축이 되는가?



■ 물체는 떨어지는 동안 **중력**이 작용

■ 용수철과 닿은 후 **중력+용수철 힘** 작용

•중력과 용수철 힘이 한 알짜일:

$$W_{net} = W_g + W_s = mg(H + x) - \frac{1}{2}kx^2$$

•물체의 운동에너지 변화:

처음 = 정지, 나중 = 정지

$$\Rightarrow \Delta K = K_f - K_i = 0 - 0 = 0$$

•일-운동에너지 정리: $W_{net} = \Delta K$

$$mgH + mgx - \frac{1}{2}kx^2 = 0$$

$$\Rightarrow x = \frac{mg + \sqrt{(mg)^2 + 2kmgH}}{k}$$

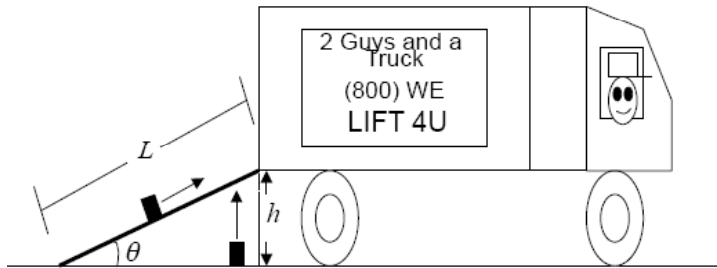
1. 물체가 받는 알짜힘이 0 위치는?

2. 가장 압축되었을 때 물체가 받는 알짜힘은?

Physics 1 30

Ex. 일의 원리

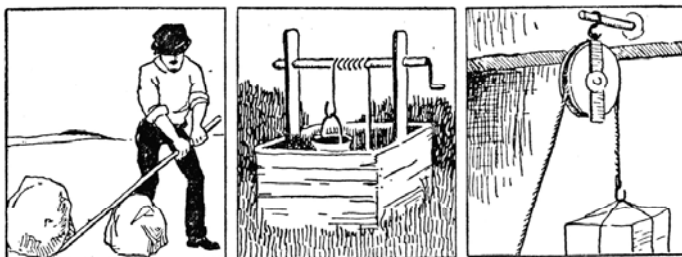
- 상자를 들어올릴 때 그냥 들어올리는 경우와 **빗면**을 이용한 경우
 - ✓ 누가 더 많은 힘을 주어야 하는가?
 - ✓ 누가 더 많은 일을 하는가?



- 움직도르래**를 이용하는 경우에 어떤 이점이 있는가
 - ✓ 힘이 덜 드는가?
 - ✓ 1m 끌어올리려면 줄을 얼마나 당겨야 하는가?
 - ✓ 에너지가 덜 드는가?

Physics 1 32

기계를 쓰면 무엇이 이득인가



Lever

Wheel and axle

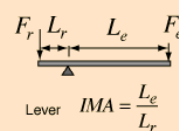
Pulley



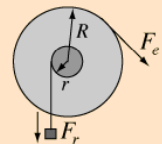
Inclined plane

Wedge

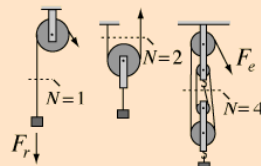
Screw



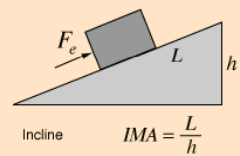
Lever $IMA = \frac{L_e}{L_r}$



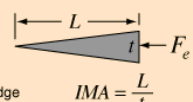
Wheel and axle $IMA = \frac{R}{r}$



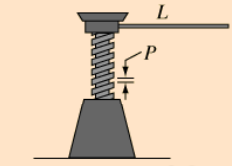
Pulley $IMA = N$



Incline $IMA = \frac{L}{h}$



Wedge $IMA = \frac{L}{t}$



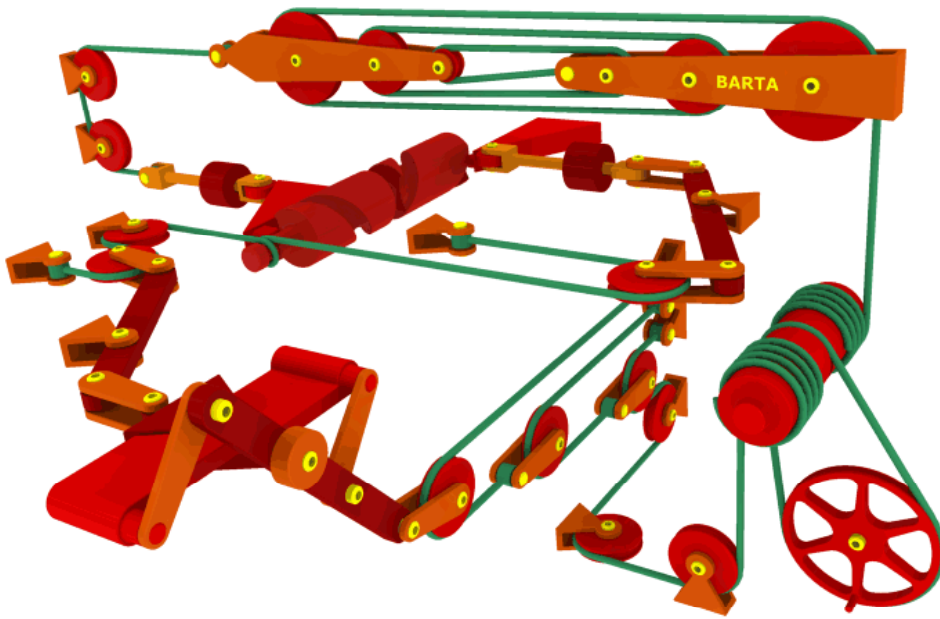
Screw $IMA = \frac{2\pi L}{P}$

$IMA = \text{ideal mechanical advantage}$

단순기계들: 힘의 효과를 크게 해준다!
그러나 공짜는 없다. **"(힘)x(거리) = 일정"**

Physics 1 33

A Not So Simple Machine



← Slide 34

일의 효율: 일률(Power)

- 평균일률: 주어진 시간(Δt) 동안 한 일(W)의 비율

- ❖ $P_{\text{avg}} = W / \Delta t$

- ❖ 단위: W (Watt, 1W = 1 J/s)

- 1 hp (horse power) = 746 W

- 1 kWh = $(10^3 \text{ W})(3600\text{s}) = 3.6 \times 10^6 \text{ J} = 3.6 \text{ MJ}$

- 순간일률:

- 일반적으로 F 의 힘을 받아 dx 만큼 움직일 때

- F 가 한 일: $dW = Fdx \cos \phi$

(순간)일률: $P = \frac{dW}{dt} = \frac{F \cos \phi dx}{dt} = Fv \cos \phi = \vec{F} \cdot \vec{v}$

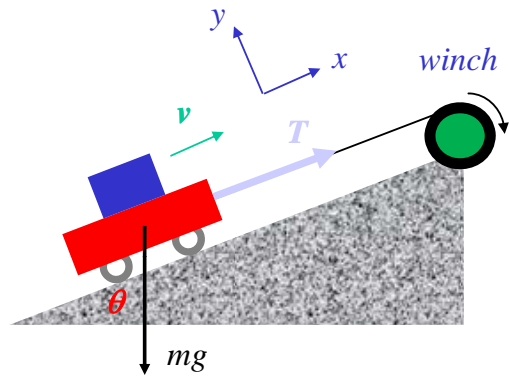
ex. 1-차원 등가속 운동: $v = at$

$$W = F \cdot v = F \left(\frac{F}{m} t \right) = \frac{F^2}{m} t$$



Power

- A 2000 kg trolley is pulled up a 30 degree hill at 9m/s by a winch at the top of the hill. How much power is the winch providing?



- trolley 에 작용하는 알짜힘 = 0

$$F_{net,x} = T - mg \sin \theta = 0$$

$$\longrightarrow T = mg \sin \theta$$

- winch 가 제공하는 파워:

$$P = Fv \cos \phi = Tv = mgv \sin \theta$$

$$= (2000kg)(9.8m/s^2)(9m/s) \sin(30^\circ)$$

$$= 88200 \text{ W}$$