



Physics

## 열기관과 열효율

**Logic will get you from A to B  
Imagination will take you everywhere**

**Albert Einstein (1879-1955)**

## 이상 기체

분자의 부피를 무시할 수 있고 충돌하는 동안 에너지 손실이 없는 기체로, 퍼텐셜 에너지가 없으므로 기체 분자의 역학적 에너지는 운동 에너지와 같다. 실제 기체는 압력이 낮거나, 온도가 높거나, 밀도가 작으면 이상 기체처럼 행동한다.

## 압력 ( $P$ )

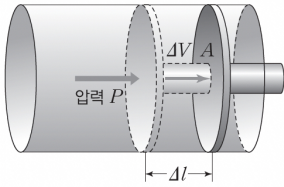
단위 면적( $A$ )에 수직으로 작용하는 힘( $F$ )

$$P = \frac{F}{A} \quad [\text{단위 : Pa 또는 } N/m^2]$$

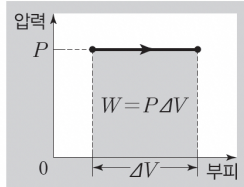
## 기체가 하는 일

기체가 팽창하면 기체가 외부에 일을 하게 되고, 기체가 외부로부터 일을 받으면 기체가 수축한다. 압력이 일정할 때 기체가 하는 일은 다음과 같다.

$$W = P \Delta V$$

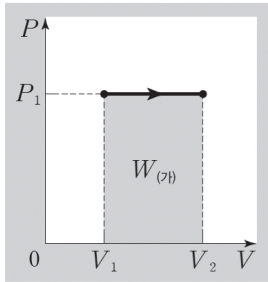


$$W = F \Delta l = P A \Delta l = P \Delta V$$

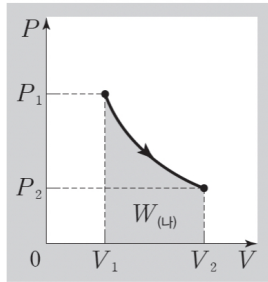


압력 - 부피 그래프에서 그래프 아래 면적은 기체가 외부에 한 일이다.

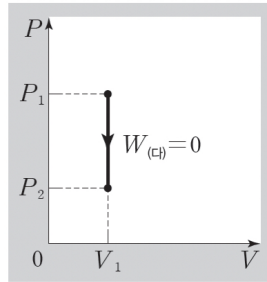
부피 변화	일의 부호와 의미
증가 ( $\Delta V > 0$ )	기체가 외부에 일을 한다. $\Rightarrow W > 0$
감소 ( $\Delta V < 0$ )	기체가 외부로부터 일을 받는다. $\Rightarrow W < 0$



(가)

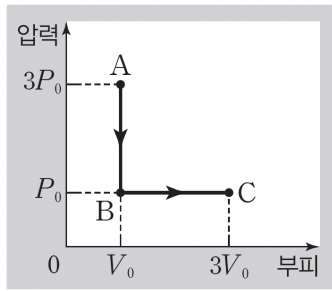


(나)

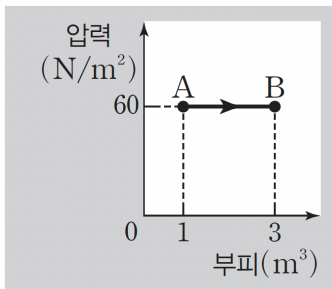


(다)

□ 기체가 한 일을 대소비교 하시오.



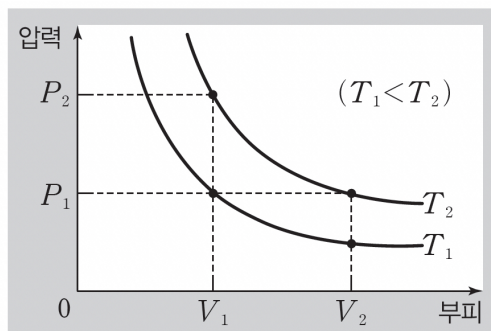
- A→B 과정에서 기체가 외부에 한 일을 구하시오.
- B→C 과정에서 기체가 외부에 한 일을 구하시오.



- 내부 에너지 증가량이  $180J$  일 때, A→B 과정에서 기체가 흡수한 열량을 구하시오.

**이상 기체의 상태 변화 그래프**

그림과 같이 기체의 한 상태는 압력( $P$ ), 부피( $V$ ), 온도( $T$ )의 세 가지 양으로 나타낸다. 온도가 같은 점을 이은 선을 등온선이라고 한다.



## 열역학 과정

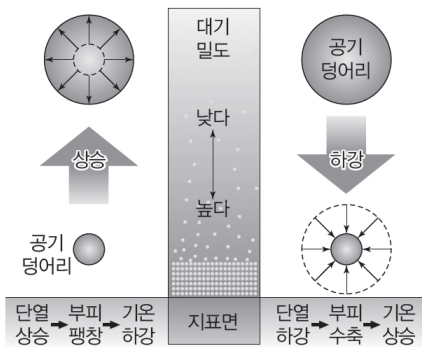
구분	등압 팽창	등압 수축
압력-부피 그래프		
기체가 외부에 한 일	$\Delta V > 0, W > 0$	$\Delta V < 0, W < 0$
내부 에너지 변화	$\Delta T > 0, \Delta U > 0$	$\Delta T < 0, \Delta U < 0$
특징	기체가 흡수한 열량은 기체가 외부에 한 일과 기체의 내부 에너지 증가량의 합과 같다. 따라서 기체의 부피, 내부 에너지, 절대 온도는 모두 증가한다.	기체가 방출한 열량은 기체가 외부로부터 받은 일과 기체의 내부 에너지 감소량의 합과 같다. 따라서 기체의 부피, 내부 에너지, 절대 온도는 모두 감소한다.

구분	등적 가열(압력 증가)	등적 냉각(압력 감소)
압력-부피 그래프		
기체가 외부에 한 일	$\Delta V = 0, W = 0$	$\Delta V = 0, W = 0$
내부 에너지 변화	$\Delta T > 0, \Delta U > 0$	$\Delta T < 0, \Delta U < 0$
특징	기체가 흡수한 열량은 기체의 내부 에너지 증가량과 같다. 따라서 기체의 압력, 내부 에너지는 증가하고 절대 온도는 올라간다.	기체가 방출한 열량은 기체의 내부 에너지 감소량과 같다. 따라서 기체의 압력, 내부 에너지는 감소하고 절대 온도는 내려간다.

구분	등온 팽창	등온 압축
압력-부피 그래프		
기체가 외부에 한 일	$\Delta V > 0, W > 0$	$\Delta V < 0, W < 0$
내부 에너지 변화	$\Delta T = 0, \Delta U = 0$	$\Delta T = 0, \Delta U = 0$
특징	<p>기체가 흡수한 열량은 기체가 외부에 한 일과 같다. 기체의 부피는 증가하고, 압력은 감소한다.</p> <p>압력-부피 그래프의 아래 면적은 기체가 흡수한 열 또는 기체가 외부에 한 일과 같다.</p>	<p>기체가 방출한 열량은 기체가 외부로부터 받은 일과 같다. 기체의 부피는 감소하고, 압력은 증가한다.</p> <p>압력-부피 그래프의 아래 면적은 기체가 방출한 열 또는 기체가 외부로부터 받은 일과 같다.</p>

구분	단열 팽창	단열 압축
압력-부피 그래프		
기체가 외부에 한 일	$\Delta V > 0, W > 0$	$\Delta V < 0, W < 0$
내부 에너지 변화	$\Delta T < 0, \Delta U < 0$	$\Delta T > 0, \Delta U > 0$
특징	<p>기체가 외부에 한 일은 기체의 내부 에너지 감소량과 같다. 기체의 부피는 증가하고, 압력은 감소하며 온도는 내려간다. 압력-부피 그래프의 아래 면적은 기체가 외부에 한 일 또는 기체의 내부 에너지 감소량과 같다.</p>	<p>기체가 외부로부터 받은 일은 기체의 내부 에너지 증가량과 같다. 기체의 부피는 감소하고, 압력은 증가하며 온도는 올라간다. 압력-부피 그래프의 아래 면적은 기체가 외부로부터 받은 일 또는 기체의 내부 에너지 증가량과 같다.</p>

### 단열 팽창과 구름의 생성



## 열역학 제2법칙

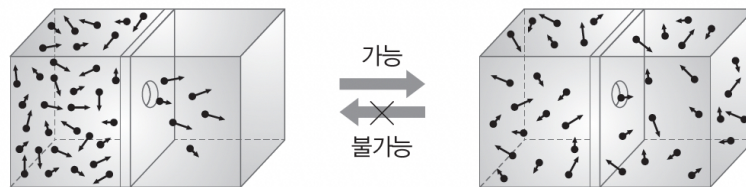
자연현상은 비가역적이고 무질서(엔트로피)가 증가하는 방향으로 간다.

고립계에서는 자발적으로 무질서가 커지는 쪽으로만 변화한다.

역학적 에너지는 열로 다 바뀔 수 있지만, 열은 전부 역학적 에너지로 못 바뀐다.

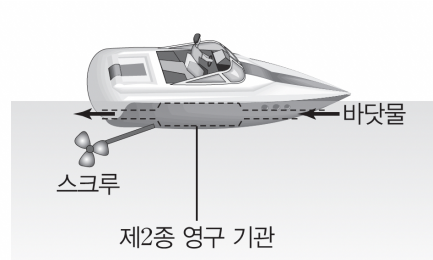
열은 고온→저온으로만 저절로 흐른다.

기체는 시간이 지나면 고르게 퍼지고, 스스로 한쪽에 모이지 않는다.



### 제2종 영구 기관

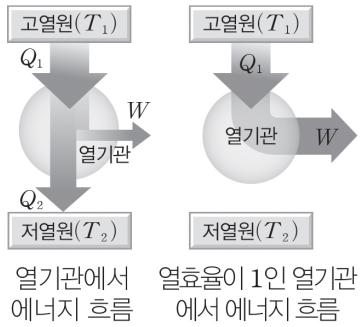
열역학 제2법칙에 위배되는 열기관이다



## 열기관과 열효율

### 열기관

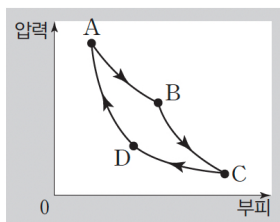
반복되는 순환 과정을 거쳐 열을 일로 바꾸는 장치이다.



$$e = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

### 카르노 기관

열효율이 최대인 이상적인 열기관이다

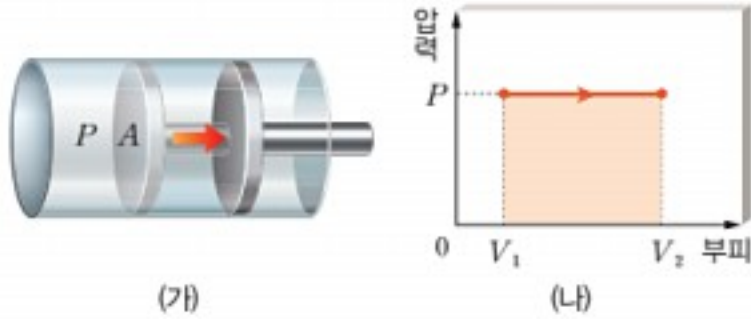


열역학 과정	$Q$	$W$	$\Delta U$
등온 팽창(A → B)	+	+	0
단열 팽창(B → C)	0	+	-
등온 압축(C → D)	-	-	0
단열 압축(D → A)	0	-	+

$$e_{\text{카}} = \frac{W}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

# 개념 기본 문제

01 그림 (가)는 단열된 피스톤 안의 이상 기체가 피스톤을 밀어내며 일을 하는 것을 나타낸 것이고, 그림 (나)는 (가)의 기체가 일을 하는 동안 압력과 부피의 관계를 나타낸 것이다. 피스톤의 단면적은  $A$ 이다.



- (1) 기체가 피스톤에 작용한 힘의 크기를 구하시오.
- (2) 기체가 한 일을 구하시오.

02 열기관에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 모두 고르시오.

- 보기
- ㄱ. 열에너지를 일로 전환하는 장치이다.
  - ㄴ. 열효율이 1인 열기관도 만들 수 있다.
  - ㄷ. 열효율이 높을수록 일로 전환된 비율이 높다.

03 그림은 고열원에서 열량  $Q_1$ 을 흡수하여 외부에 일을 하고 저열원으로 열량  $Q_2$ 를 방출하는 열기관의 에너지 흐름을 나타낸 것이다.



- (1) 이 열기관이 외부에 한 일을 구하시오.
- (2) 이 열기관의 열효율을 구하시오.

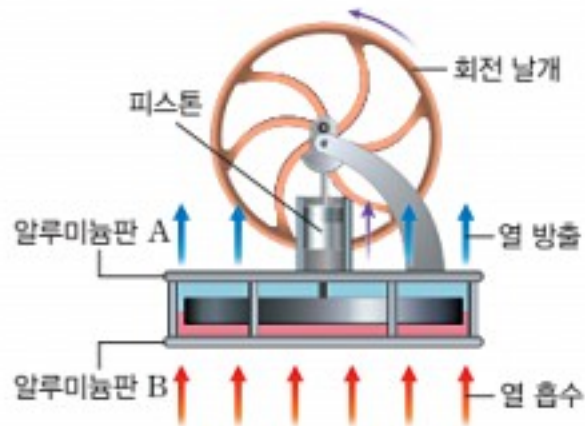
04 다음은 열기관 A와 B에서 흡수한 열량과 방출한 열량을 각각 나타낸 것이다.

열기관	흡수한 열량	방출한 열량
A	$Q$	$0.7Q$
B	$2Q$	$1.6Q$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고르시오.

- 보기
- ㄱ. 열효율은 A가 B보다 크다.
  - ㄴ. 흡수한 열량이 같다면 A가 B보다 더 많은 일을 한다.
  - ㄷ. 같은 일을 할 때 B는 A보다 더 많은 열을 흡수해야 한다.

05 그림은 스텔링 기관을 나타낸 것이다. 열을 흡수하여 피스톤을 밀어내고, 나머지 열을 외부로 방출한다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고르시오.

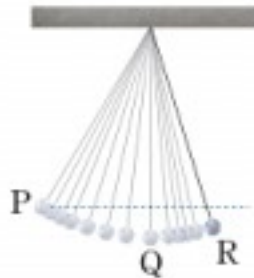
- 보기
- ㄱ. 열에너지를 역학적 에너지로 전환한다.
  - ㄴ.  $\frac{\text{방출한 열량}}{\text{흡수한 열량}}$ 이 클수록 열효율이 높다.
  - ㄷ. 알루미늄판 A는 저열원에 접촉해 있고, 알루미늄판 B는 고열원에 접촉해 있다.

06 다음은 자동차가 달릴 때 연료를 태워 흡수한 열에너지가 여러 가지 에너지로 전환되는 비율을 개략적으로 나타낸 것이다.

전환된 에너지	비율(%)
배기가스로 방출한 열에너지	35%
공기 저항과 마찰로 발생한 열에너지	20%
자동차의 운동 에너지	25%
여러 장치에서 방출된 열에너지	19%
빛, 소리 에너지	1%

자동차의 열효율은 몇 %인지 구하시오.

07 그림과 같이 진자를 P에서 가만히 놓았더니 최저점 Q를 지나 R까지만 올라갔다. R의 높이는 P의 높이보다 낮다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고르시오.

- 보기
- ㄱ. P에서 R까지 가는 동안 역학적 에너지의 일부는 열에너지로 전환된다.
  - ㄴ. Q에서 운동 에너지는 최대이다.
  - ㄷ. 진자의 운동은 가역 현상이다.

08 그림과 같이 금속판으로 분리된 단열 용기 안에 온도만 다른 동일한 기체를 같은 질량만큼 넣었다. A와 B의 처음 온도는  $T_A, T_B$



( $T_A > T_B$ )이고 금속판을 통해 열이 이동한다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고르시오.

- 보기
- ㄱ. 내부 에너지는 A가 B보다 크다.
  - ㄴ. A와 B의 에너지의 총량은 일정하게 보존된다.
  - ㄷ. A의 온도가 올라가고 B의 온도가 내려가는 현상은 일어나지 않는다.

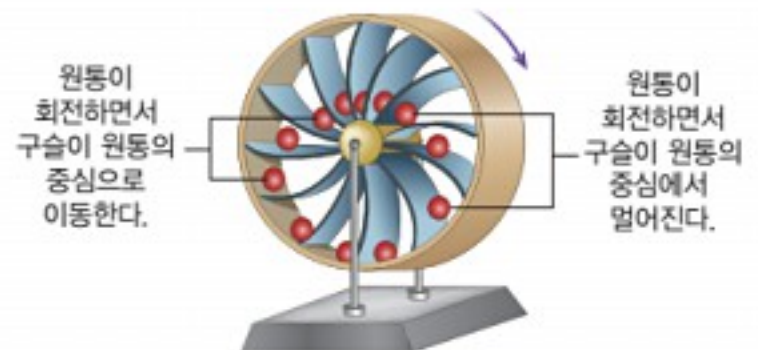
09 그림은 고열원에서 열량  $Q_1$ 을 흡수하여 외부에  $E$ 의 일을 하고 저열원으로 열량  $Q_2$ 를 방출하는 열기관의 에너지 흐름을 나타낸 것이다. 이 열기관의 열효율은 0.25이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고르시오.

- 보기
- ㄱ.  $Q_1 = 4E$ 이다.
  - ㄴ.  $\frac{Q_2}{Q_1} = 0.75$ 이다.
  - ㄷ. 열기관의 성능을 개선하면  $Q_2 = 0$ 이 될 수 있다.

10 그림은 쇠구슬의 운동으로 원통을 영원히 돌릴 수 있다고 주장하는 영구 기관의 구조와 작동 원리를 나타낸 것이다.

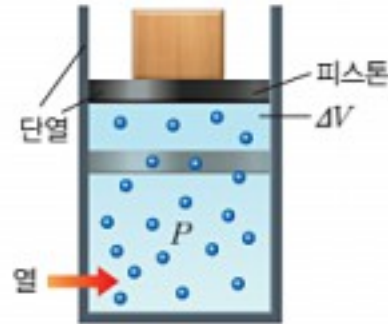


이 영구 기관이 불가능한 까닭을 에너지 보존 법칙과 관련하여 설명하시오.

# 개념 적용 문제

➤ 역학적 에너지로 전환되는 열에너지

**01** 그림과 같이 단열된 실린더 안에 들어 있는 압력이  $P$ 인 이상 기체에 열을 공급하였다니 물체를 올려 둔 피스톤이 서서히 이동하여 기체의 부피가  $\Delta V$ 만큼 증가한 후 피스톤이 정지하였다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 대기압은 일정하고, 모든 마찰은 무시한다.)



➤ 피스톤과 물체의 무게, 대기압이 피스톤을 누르는 힘의 합력과 기체가 피스톤을 밀어 올리는 힘이 평형을 이룬다.

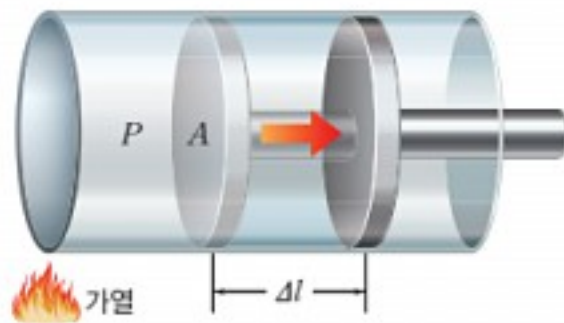
보기

- ㄱ. 기체의 압력은 일정하다.
- ㄴ. 기체가 외부에 한 일은  $P\Delta V$ 이다.
- ㄷ. 기체가 흡수한 열량은  $P\Delta V$ 이다.

- ① ㄱ      ② ㄷ      ③ ㄱ, ㄴ      ④ ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

➤ 역학적 에너지로 전환되는 열에너지

**02** 그림과 같이 열기관의 단열된 실린더를 가열하자 실린더 속 기체가 일정한 압력  $P$ 로 단열된 피스톤을  $\Delta l$ 만큼 밀어낸다. 피스톤의 단면적은  $A$ 이다.



➤ 열역학 제1법칙에 따라 공급된 열은 내부 에너지와 일로 전환된다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

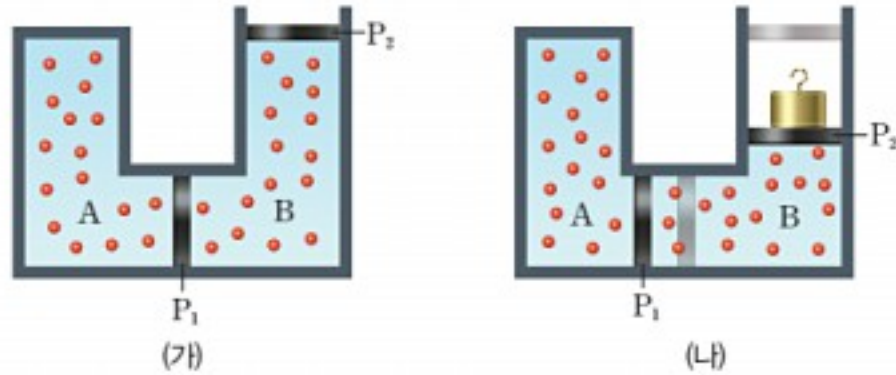
보기

- ㄱ. 기체의 온도가 일정하다.
- ㄴ. 기체가 외부에 한 일은  $P A \Delta l$ 이다.
- ㄷ. 기체가 흡수한 열에너지는 모두 피스톤을 밀어내는 일로 전환된다.

- ① ㄴ      ② ㄷ      ③ ㄱ, ㄴ      ④ ㄱ, ㄷ      ⑤ ㄴ, ㄷ

➤ 역학적 에너지로 전환되는 열에너지

**03** 그림 (가)는 이상 기체가 들어 있는 용기가 피스톤  $P_1$ 에 의해 A, B 두 부분으로 나누어져 있는 것을 나타낸 것이다. (가)의 피스톤  $P_2$  위에 추를 가만히 올려놓았더니, 그림 (나)와 같이 두 피스톤이 이동한 후 정지하였다. 이 과정에서 용기나 피스톤을 통한 열의 출입은 없다.



➤ 이상 기체의 내부 에너지는 온도에 비례한다. 열의 출입이 없는 단열 과정에서 기체의 부피가 감소하면 온도가 올라간다.

(가)에서 (나)로 변하는 과정에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 피스톤의 질량과 모든 마찰은 무시한다.)

- 보기
- ㄱ. A의 온도가 높아진다.
  - ㄴ. B의 내부 에너지는 증가한다.
  - ㄷ.  $P_2$ 가 B에 한 일은  $P_1$ 이 A에 한 일과 같다.

- ① ㄱ      ② ㄴ      ③ ㄱ, ㄴ      ④ ㄱ, ㄷ      ⑤ ㄴ, ㄷ

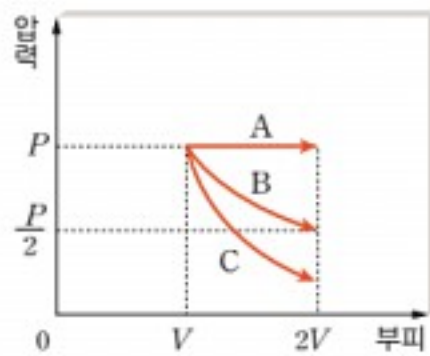
➤ 역학적 에너지로 전환되는 열에너지

**04** 그림과 같이 단열된 실린더 안에 온도가  $T$ , 압력이  $P$ , 부피가  $V$ 인 일정량의 이상 기체가 들어 있다. A~C의 방법으로 부피를 팽창시켰을 때 부피·압력 그래프가 다음과 같았다.



➤ 기체가 열의 출입 없이 단열 팽창하면 외부에 한 일만큼 내부 에너지가 감소한다.

- A: 압력  $P$ 를 일정하게 유지하며 부피를  $2V$ 로 팽창시켰다.
- B: 온도  $T$ 를 일정하게 유지하며 부피를  $2V$ 로 팽창시켰다.
- C: 외부와 열의 이동을 차단하고 부피를  $2V$ 로 팽창시켰다.



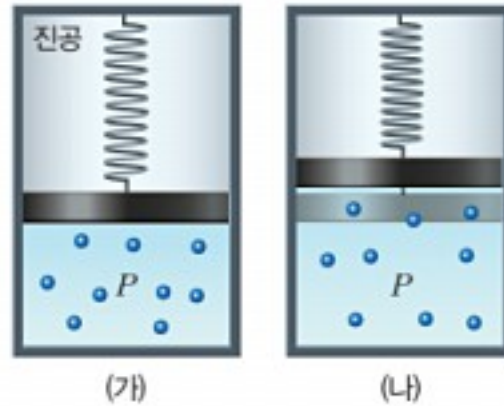
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. A에서 기체가 외부에 한 일은  $PV$ 이다.
  - ㄴ. B에서 기체는 열을 흡수한다.
  - ㄷ. 외부에 한 일이 가장 큰 방법은 C이다.

- ① ㄱ      ② ㄷ      ③ ㄱ, ㄴ      ④ ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

➤ 역학적 에너지로 전환되는 열에너지

**05** 그림 (가)는 진공인 실린더의 한쪽에 이상 기체를 넣었을 때 용수철이 연결된 피스톤이 정지해 있는 것을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)의 이상 기체에 일정한 열량을 공급하였을 때 기체의 압력은  $P$ 로 동일하고 부피가 팽창한 상태로 피스톤이 정지해 있는 것을 나타낸 것이다.



➤ 기체가 일을 하여 피스톤이 위로 올라가면, 피스톤의 중력에 의한 위치 에너지가 증가한다.

(가)에서 (나)로 변하는 과정에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 용수철의 질량과 모든 마찰은 무시하며, 실린더와 피스톤을 통한 열의 출입은 없다.)

보기

- ㄱ. 기체의 온도는 (나)에서가 (가)에서보다 높다.
- ㄴ. 기체의 내부 에너지 변화량은 기체가 얻은 열량과 같다.
- ㄷ. 기체가 피스톤에 하는 일은 용수철의 탄성력에 의한 위치 에너지 변화량과 같다.

- ① ㄱ                      ② ㄴ                      ③ ㄱ, ㄷ                      ④ ㄴ, ㄷ                      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

➤ 영구기관

**06** 그림 (가)는 작동 가능하다고 주장하는 어떤 영구 기관을 나타낸 것이고, 그림 (나)는 (가)에 대해 학생 A, B, C가 대화하는 모습을 나타낸 것이다.



➤ 외부에서 에너지를 공급 받지 않고 스스로 계속해서 일을 하는 기관을 영구 기관이라고 한다. 영구 기관은 열역학 제1법칙(에너지 보존 법칙)이나 열역학 제2법칙에 위배되므로 모두 불가능하다.

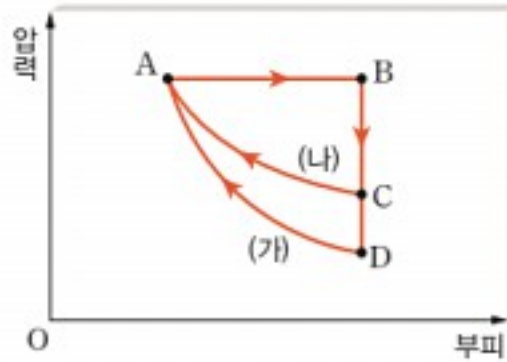
제시한 내용이 옳은 사람만을 있는 대로 고른 것은?

- ① A                      ② C                      ③ A, B                      ④ A, C                      ⑤ B, C

# 1. 도전 문제

➤ 열기관

**07** 그림은 동일하게 A 상태에 있던 이상 기체가 각각 (가)와 (나)의 순환 과정을 거치는 것을 나타낸 것이다. (가)의 순환 과정은 A → B → D → A, (나)의 순환 과정은 A → B → C → A이다. 한 번의 순환 과정 동안에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?



➤ 열기관의 순환 과정을 나타내는 부피·압력 그래프에서 그래프 내부 넓이는 한 순환 과정 동안 열기관이 한 일을 나타낸다.

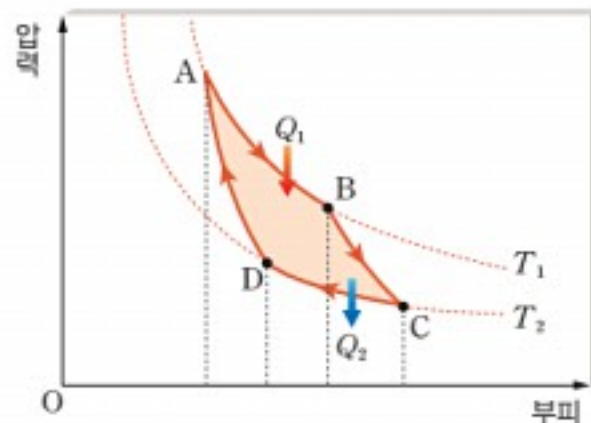
보기

- ㄱ. (가)에서 기체가 외부에 한 일은 외부로부터 받은 일보다 크다.
- ㄴ. 기체가 외부로부터 흡수한 열량과 외부로 방출한 열량의 차이는 (가)가 (나)보다 작다.
- ㄷ. (가)의 내부 에너지 변화량과 (나)의 내부 에너지 변화량은 모두 0이다.

- ① ㄱ      ② ㄴ      ③ ㄱ, ㄷ      ④ ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

➤ 열기관

**08** 그림은 열기관에서 이상 기체의 한 순환 과정 A → B → C → D → A를 부피·압력 그래프로 나타낸 것이다. A → B 과정에서 온도는  $T_1$ , C → D 과정에서 온도는  $T_2$ 로 일정하고, B → C와 D → A 과정은 단열 과정이다. A → B 과정에서 흡수한 열량은  $Q_1$ , C → D 과정에서 방출한 열량은  $Q_2$ 이다.



➤ 열역학 제2법칙에 따라 공급된 열  $Q$ 는 내부 에너지 변화량  $\Delta U$ 와 일  $W$ 로 전환된다.

$$Q = \Delta U + W$$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. A → B 과정에서 열기관이 외부에 한 일은  $Q_1$ 이다.
- ㄴ.  $T_1 > T_2$  이다.
- ㄷ. 열기관의 열효율은  $\frac{Q_2}{Q_1}$ 이다.

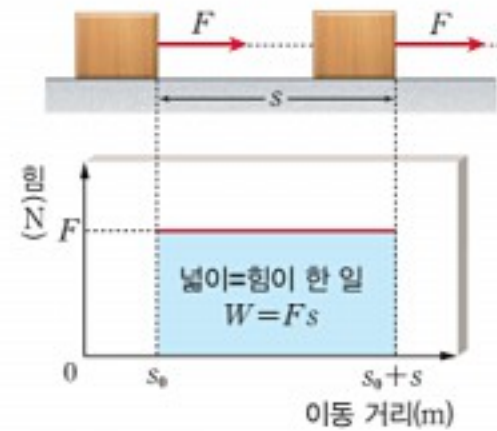
- ① ㄱ      ② ㄷ      ③ ㄱ, ㄴ      ④ ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

01 역학적 에너지 보존

1 일과 운동 에너지

▶ 82쪽

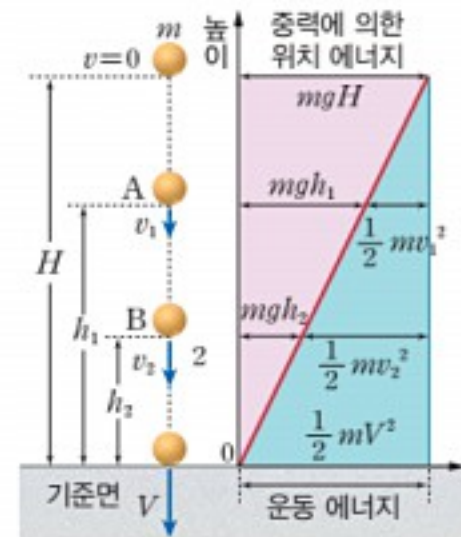
1. 일 물체에 힘  $F$ 를 작용하여 힘의 방향으로 거리  $s$ 만큼 이동시켰을 때 힘이 물체에 한 일  $W=(\text{㉠})$ 이다.
  - 이동 거리 · 힘 그래프에서 힘이 물체에 한 일은 그래프 아래 (㉡)와 같다.
2. (㉢) 에너지 질량이  $m$ 인 물체가 속도의 크기  $v$ 로 운동할 때 물체가 가지는 에너지  $E_k=\frac{1}{2}mv^2$ 이다.
3. 일 · 운동 에너지 정리 알짜힘이 한 일  $W$ 는 물체의 운동 에너지 변화량  $\Delta E$ 와 같다.



2 위치 에너지

▶ 84쪽

1. (㉣) 에너지 중력이나 탄성력이 작용하는 공간에서 물체가 기준 위치와 다른 위치에 있음으로써 갖게 되는 잠재적인 에너지
2. 중력에 의한 위치 에너지 질량이  $m$ 인 물체가 기준면에서 높이  $h$ 인 곳에 있을 때 중력에 의한 위치 에너지  $E_p=(\text{㉤})$ 이다.
3. 탄성력에 의한 위치 에너지 용수철 상수가  $k$ 인 용수철이 길이가  $x$ 만큼 변형되었을 때 용수철에 저장된 탄성력에 의한 위치 에너지  $E_p=(\text{㉥})$ 이다.



3 역학적 에너지 보존

▶ 87쪽

1. (㉦) 에너지 물체의 운동 에너지와 위치 에너지의 합
2. 역학적 에너지 (㉧) 법칙 어떤 물체가 중력이나 탄성력과 같은 힘만을 받으며 운동할 때, 역학적 에너지는 일정하게 보존된다.

02 열과 에너지 보존

1 에너지 보존

▶ 100쪽

1. 마찰이 있을 때 역학적 에너지의 전환 물체가 마찰이나 공기 저항을 받으며 운동할 때 물체의 역학적 에너지는 (㉨)로 전환되어 역학적 에너지가 보존되지 않는다.
2. 열과 일의 관계 일  $W$ 와 열량  $Q$  사이에  $W=JQ$ (열의 일당량  $J \approx 4.2 \times 10^3 \text{ J/kcal}$ )의 정량적인 관계가 있다.

2 열의 이동과 상태 변화

▶ 103쪽

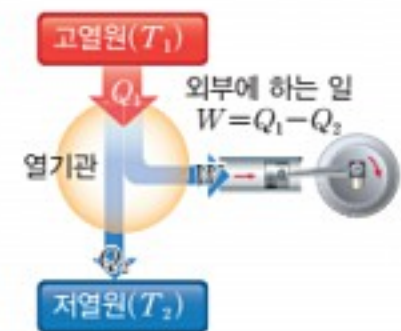
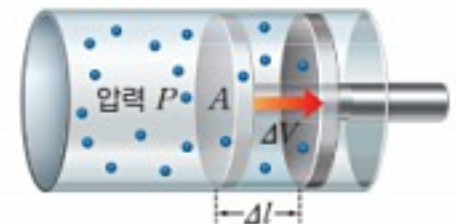
- (㉔) 계를 이루는 입자들의 운동 에너지와 입자 사이의 인력에 의한 위치 에너지의 합이다. 물체의 (㉔)가 높을수록 내부 에너지가 크다.
- 열역학 제1법칙 기체가 열을 흡수하여 팽창하면서 외부에 일을 할 때 흡수한 열량  $Q$ 는 내부 에너지 증가량  $\Delta U$ 와 외부에 한 일  $W$ 의 합과 같다. 열에너지를 포함한 (㉔) 법칙이다.
- 열의 이동 자연적으로 열은 온도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동한다. 열의 이동 방법에는 전도, 대류, 복사가 있다.
- 상태 변화 물질의 상태에는 고체, 액체, 기체가 있으며 온도 변화에 따라 물질의 (㉔) 변화가 일어난다.
- (㉔) 물질의 상태가 변할 때 물질이 흡수하거나 방출하는 열
- 물과 대기의 순환 열을 흡수하여 증발한 수증기는 구름과 비가 되어 내리고, 바람과 태풍은 공기를 이동시켜 물과 대기의 순환이 일어난다. 이 과정에서 에너지는 여러 형태로 전환되지만 전체 에너지는 항상 일정하게 보존된다.

3 열기관과 열효율

1 열기관과 열효율

▶ 114쪽

- 기체가 한 일 실린더에 들어 있는 기체가  $P$ 의 일정한 압력으로 팽창하여 단면적이  $A$ 인 피스톤을  $\Delta l$ 만큼 이동시킬 때 기체가 한 일  $W = PA\Delta l = P\Delta V$ 이다.
- (㉔) 고열원에서 열을 흡수하여 외부에 일을 하고, 저열원으로 나머지 열을 방출한 후, 원래 상태로 되돌아오는 순환 과정을 통해 외부에 일을 하는 기관
- 열기관의 (㉔) 한 번의 순환 과정에서 흡수한 열  $Q_1$ 에 대하여 외부에 한 일  $W$ 의 비율로, 열효율  $e = \frac{W}{Q_1}$ 이다.



2 열역학 제2법칙과 영구 기관

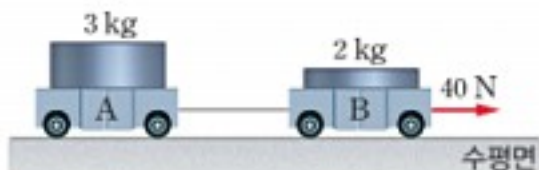
▶ 118쪽

- 가역 현상과 비가역 현상 외부에 어떤 변화도 남기지 않고 원래의 상태로 되돌아갈 수 있는 현상을 가역 현상, 외부에 어떤 변화도 남기지 않고 원래의 상태로 되돌아가지 못하는 현상을 비가역 현상이라고 한다.
- 열역학 (㉔) 대부분의 자연 현상은 어느 한 방향으로만 일어나고 반대 방향으로 일어나지 않는다.
  - 열은 고온의 물체에서 저온의 물체로 이동하고, 자발적으로 저온의 물체에서 고온의 물체로 이동하지 않는다.
  - 열효율이 1(100%)인 열기관은 만들 수 없다.
- (㉔) 외부에서 에너지를 공급받지 않고 스스로 계속해서 일을 하는 기관

# 통합 실전 문제

일·운동 에너지 정리

01 그림과 같이 마찰이 없는 수평면에서 질량 3 kg, 2 kg인 수레 A와 B를 줄로 연결하여 40 N의 힘으로 끌었다.



A와 B를 6 m만큼 끌고 가는 동안에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 줄의 질량과 공기 저항은 무시한다.)

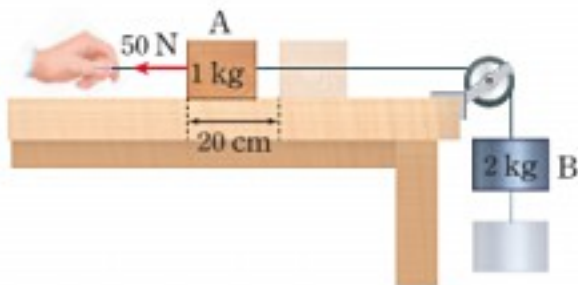
보기

- ㉠. A와 B의 운동 에너지는 240 J 증가한다.
- ㉡. 줄이 A에 한 일은 144 J이다.
- ㉢. B의 운동 에너지는 96 J 증가한다.

- ① ㉠ ② ㉢ ③ ㉠, ㉡ ④ ㉡, ㉢ ⑤ ㉠, ㉡, ㉢

일과 에너지

02 그림은 질량이 1 kg인 물체 A와 2 kg인 물체 B를 실로 연결하고 A에 50 N의 힘을 일정하게 수평으로 작용하여 20 cm만큼 이동시키는 것을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는  $10 \text{ m/s}^2$ 이고, 실의 질량 및 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

보기

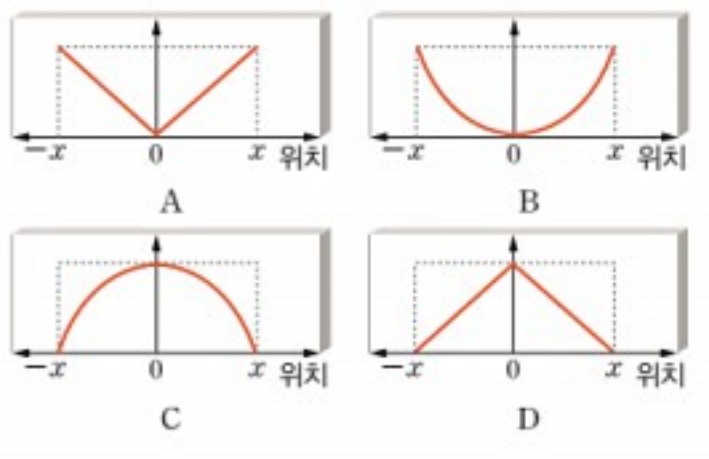
- ㉠. 20 cm 이동했을 때 A의 속력은  $\sqrt{\frac{20}{3}} \text{ m/s}$ 이다.
- ㉡. 실이 B를 당기는 힘의 크기는 20 N이다.
- ㉢. 20 cm 이동하는 동안 중력이 B에 한 일은  $-4 \text{ J}$ 이다.

- ① ㉠ ② ㉢ ③ ㉠, ㉡ ④ ㉠, ㉢ ⑤ ㉡, ㉢

탄성력에 의한 위치 에너지

03 마찰이 없는 수평면에서 용수철에 연결된 물체가 위치  $-x$ 에서  $x$  사이를 왕복 운동하고 있을 때 위치에 따른 물체에 작용하는 탄성력 (가), 물체의 운동 에너지 (나), 용수철 탄성력에 의한 위치 에너지 (다)의 개략적 그래프를 보기에서 골라 옳게 짝 지은 것은?

보기

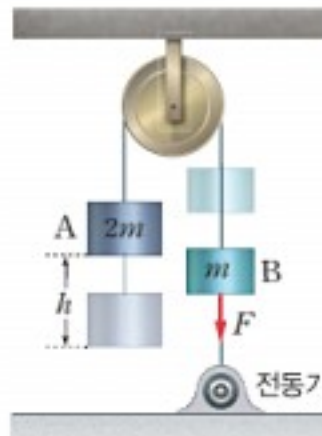


(가) (나) (다)

- |   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| ① | A | B | C |
| ② | A | C | B |
| ③ | B | A | C |
| ④ | C | A | D |
| ⑤ | D | C | B |

역학적 에너지 보존

04 그림은 전동기와 줄로 연결되어 정지해 있던 두 물체 A, B를 전동기가  $F$ 의 일정한 힘으로 잡아당겨 연직 방향으로 거리  $h$ 만큼 이동시키는 것을 나타낸 것이다. A, B의 질량은 각각  $2m$ ,  $m$ 이고,  $h$ 만큼 이동하는 동안 A의 중력에 의한 위치 에너지 증가량은 A의 운동 에너지 증가량의 3배이다.

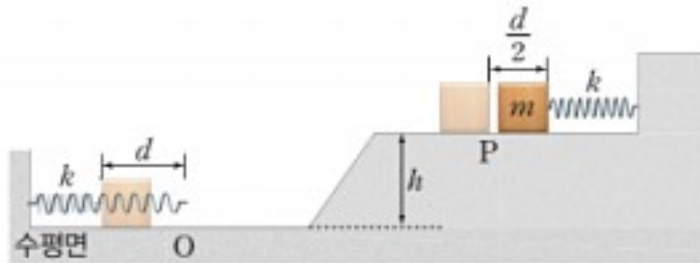


두 물체가 정지 상태에서  $h$ 만큼 이동하는 동안  $F$ 인 힘이 두 물체에 한 일은? (단, 중력 가속도는  $g$ 이고, 줄의 질량 및 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

- ①  $mgh$       ②  $2mgh$       ③  $3mgh$   
 ④  $4mgh$       ⑤  $5mgh$

탄성력에 의한 위치 에너지 + 역학적 에너지 보존

- 05** 그림과 같이 용수철의 한쪽 끝인 O점에 질량이  $m$ 인 물체를 대고  $d$ 만큼 압축하였다가 가만히 놓으니 물체가 운동하여 높이  $h$ 인 수평면의 P점에서 용수철을  $\frac{d}{2}$ 만큼 압축했을 때 속력이 0이 되었다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는  $g$ , 용수철 상수가  $k$ 이고 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

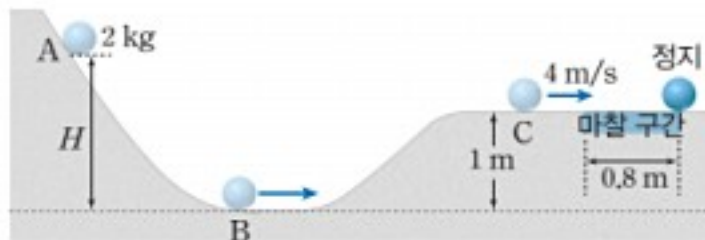
보기

- ㄱ. O에서 물체의 속력은 P에서 속력의 2배이다.
- ㄴ. 물체가 높이  $h$ 를 올라가는 동안 중력이 물체에 한 일의 크기는  $mgh$ 이다.
- ㄷ.  $h = \frac{3kd^2}{4mg}$ 이다.

- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

에너지 보존

- 06** 그림과 같이 질량이 2 kg인 물체를 높이가  $H$ 인 경사면의 A점에서 가만히 놓았더니 B점을 지나 높이가 1 m인 수평면의 C점을 4 m/s의 속력으로 통과하고 마찰 구간에서 0.8 m를 이동한 후 정지한다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는  $10 \text{ m/s}^2$ 이고, 물체의 크기와 마찰 구간 외의 모든 마찰, 공기 저항은 무시한다.)

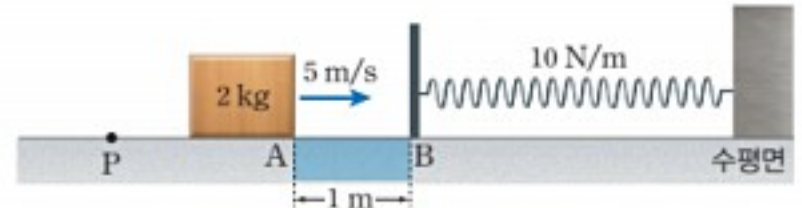
보기

- ㄱ. A의 높이는 1.8 m이다.
- ㄴ. B에서 물체의 속력은 6 m/s이다.
- ㄷ. 마찰 구간에서 물체에 작용한 평균 힘의 크기는 15 N이다.

- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

에너지 보존

- 07** 그림과 같이 질량 2 kg인 물체가 5 m/s로 마찰이 없는 수평면을 따라 운동하다가 마찰 구간 AB를 지나 용수철 상수가 10 N/m인 용수철을 압축시킨다. AB 구간에서 물체에 작용한 마찰력의 크기는 5 N이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는  $10 \text{ m/s}^2$ 이고, 물체의 크기 및 용수철의 질량, 공기 저항은 무시한다.)

보기

- ㄱ. 용수철의 최대 압축 길이는 2 m이다.
- ㄴ. 물체가 운동하는 동안 역학적 에너지는 보존된다.
- ㄷ. 용수철에서 밀려난 후 P를 지나는 물체의 속력은 5 m/s이다.

- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄷ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

에너지 보존

- 08** 그림과 같이 질량이  $m$ 인 물체를 높이  $4h$ 인 경사면의 A점에서 가만히 놓았더니 물체가 경사면을 따라 운동하여 길이가  $L$ 이고 마찰력이 일정한 마찰 구간을 지나 높이가  $h$ 인 경사면의 B점에서 속력이 0이 된 후, 다시 내려와 마찰 구간에서 정지하였다.

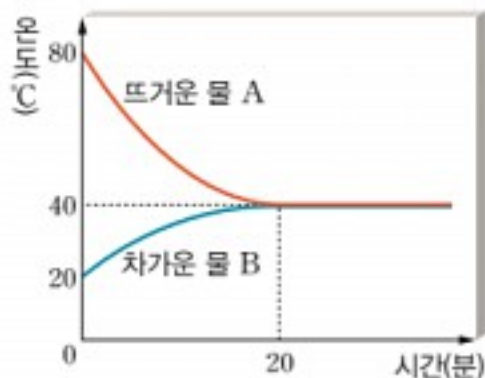


다시 내려온 물체가 마찰 구간에서 이동한 거리는? (단, 중력 가속도는  $g$ 이고, 물체는 동일 연직면에서 운동하며, 물체의 크기, 마찰 구간 외의 모든 마찰, 공기 저항은 무시한다.)

- ①  $\frac{L}{3}$     ②  $\frac{L}{2}$     ③  $L$     ④  $2L$     ⑤  $3L$

열의 이동

09 그림은 질량이 같은 뜨거운 물 A가 들어 있는 통과 차가운 물 B가 들어 있는 통이 접촉하였을 때 A와 B의 온도를 시간에 따라 나타낸 것이다. 열은 A와 B 사이에서만 이동한다.



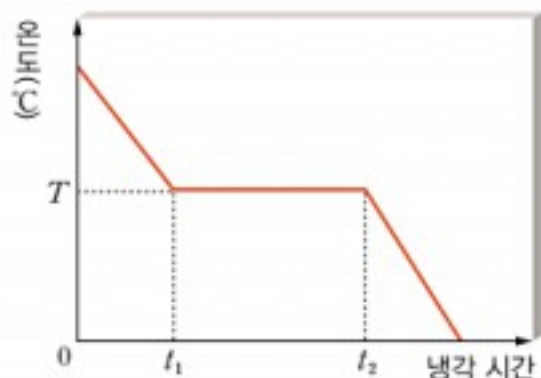
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. A에서 B로 열이 이동한다.
  - ㄴ. 20분에 A와 B의 내부 에너지는 다르다.
  - ㄷ. A와 B가 가진 에너지의 총량은 계속 감소한다.

① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

물질의 상태 변화와 잠열

10 그림은 질량이 1 kg인 액체 상태의 물체를 냉각시킬 때 물체의 온도를 시간에 따라 나타낸 것이다.



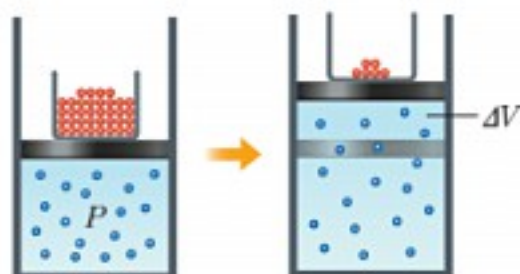
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ.  $t_1 \sim t_2$  동안에 물체는 잠열을 흡수한다.
  - ㄴ.  $t_1 \sim t_2$  동안에 입자들이 서로 결합한다.
  - ㄷ. 물체의 상태가 변할 때 응고열과 용해열은 크기가 같다.

① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄱ, ㄷ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

열역학 제1법칙

11 그림과 같이 압력이  $P$ 인 이상 기체가 담긴 단열된 실린더와 구슬을 올린 단열된 피스톤이 정지해 있다가 구슬의 수를 서서히 감소시키자 피스톤이 서서히 이동하여 기체의 부피가  $\Delta V$ 만큼 증가하였다.



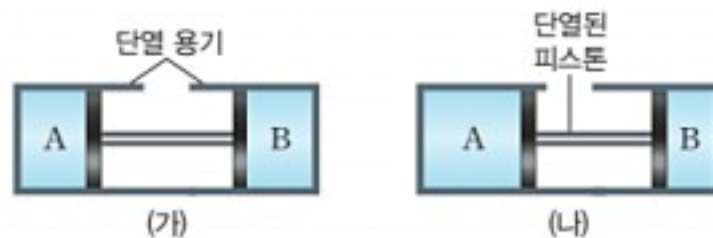
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 대기압은 일정하고, 모든 마찰은 무시한다.)

- 보기
- ㄱ. 기체의 압력은 감소한다.
  - ㄴ. 기체의 내부 에너지는 증가한다.
  - ㄷ. 기체가 외부에 한 일은  $P\Delta V$ 보다 크다.

① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

기체가 하는 일+열역학 제1법칙

12 그림 (가)와 같이 동일한 단면적으로 A, B 양쪽에 기체를 각각 담을 수 있는 단열 용기에 온도가  $T_0$ , 압력이  $P_0$ , 부피가  $V_0$ 로 동일한 이상 기체가 A, B에 담겨 단열된 하나의 피스톤으로 연결되어 정지해 있다. 그림 (나)는 (가)의 A에 열량  $Q$ 를 공급한 후 피스톤이 오른쪽으로 이동하여 정지해 있는 것을 나타낸 것이다.



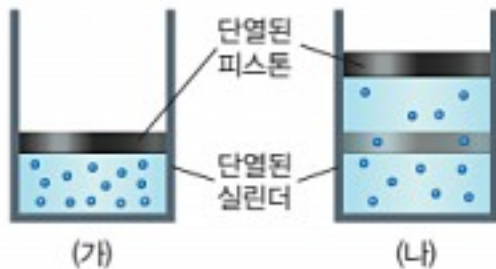
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 모든 마찰은 무시한다.)

- 보기
- ㄱ. (나)에서 A와 B에 들어 있는 기체의 압력은 같다.
  - ㄴ. (나)에서 A에 들어 있는 기체의 온도는  $T_0$ 보다 낮다.
  - ㄷ. B에 들어 있는 기체의 내부 에너지는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄱ, ㄷ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

기체가 하는 일 + 열역학 제1법칙

- 13** 그림 (가)와 같이 일정량의 이상 기체가 들어 있는 단열된 실린더에 단열된 피스톤이 정지해 있다. 그림 (나)는 (가)의 기체에  $Q$ 의 열을 서서히 가하였더니 피스톤이 평형을 이루며 이동한 후 정지한 모습을 나타낸 것으로, (가) → (나) 과정에서 기체가 한 일은  $W$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 대기압은 일정하고 모든 마찰은 무시한다.)

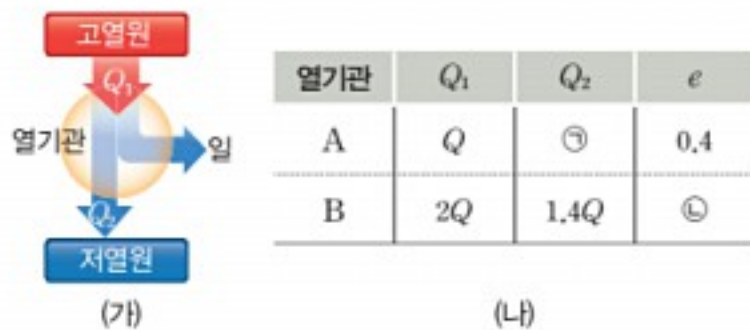
보기

- ㄱ. (가)와 (나)에서 기체의 압력은 같다.
- ㄴ. (가)와 (나)에서 기체의 온도는 같다.
- ㄷ. (가) → (나) 과정에서 기체의 내부 에너지 증가량은  $Q - W$ 이다.

- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄱ, ㄷ    ⑤ ㄴ, ㄷ

열기관의 열효율

- 14** 그림 (가)는 고열원에서 열량  $Q_1$ 을 흡수하여 외부에 일을 하고 저열원으로 열량  $Q_2$ 를 방출하는 열기관의 에너지 흐름을, (나)는 열기관 A와 B의  $Q_1$ ,  $Q_2$ , 열효율  $e$ 의 크기를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

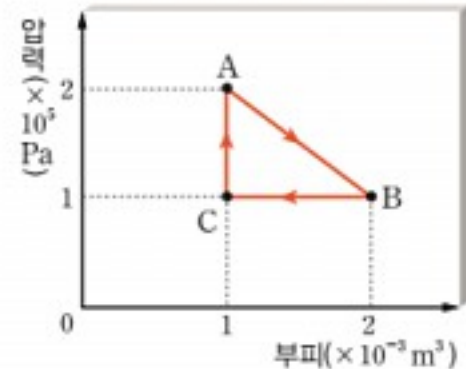
보기

- ㄱ. ㉠은  $0.6Q$ 이다.
- ㄴ. ㉡은 0.6이다.
- ㄷ. 흡수한 열량이 같을 때 B가 A보다 더 많은 일을 한다.

- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄱ, ㄷ    ⑤ ㄴ, ㄷ

열기관의 순환 과정

- 15** 그림은 열기관에서 이상 기체의 순환 과정 A → B → C → A를 부피 · 압력 그래프로 나타낸 것이다. A → B → C → A 과정에서 기체가 흡수한 열량은 200 J이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단,  $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ 이다.)

보기

- ㄱ. A → B 과정에서 기체가 한 일은 150 J이다.
- ㄴ. C → A 과정에서 기체는 열을 흡수한다.
- ㄷ. 열기관의 열효율은 0.75이다.

- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

가역 현상과비가역 현상

- 16** 따뜻한 물에 잉크 한 방울을 떨어뜨리자 시간이 지나면서 잉크가 그림 (가), (나), (다) 순으로 퍼져 나간다.



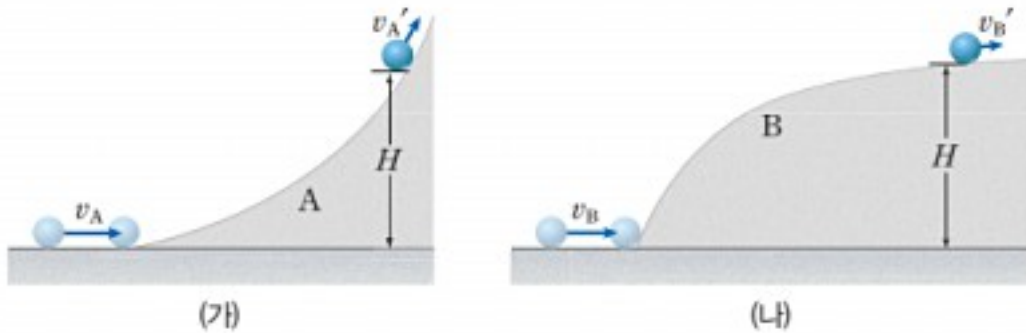
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 가역 현상이다.
- ㄴ. 열역학 제2법칙으로 설명할 수 있다.
- ㄷ. 외부에 어떤 변화도 남기지 않고 (다)에서 (가)의 상태로 되돌아가는 현상은 일어나지 않는다.

- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄱ, ㄷ    ⑤ ㄴ, ㄷ

1 그림 (가)는 물체가  $v_A$ 의 속력으로 수평면에서 운동하다 경사면 A를 따라 높이  $H$ 만큼 올라갔을 때 속력이  $v_A'$ 이 된 것을, 그림 (나)는 동일한 물체가  $v_B$ 의 속력으로 수평면에서 운동하다 경사면 B를 따라 높이  $H$ 만큼 올라갔을 때 속력이  $v_B'$ 이 된 것을 나타낸 것이다. 이때 물체가 이동한 거리와 이동 시간은 (가)와 (나)에서 같으며, (가)에서 물체의 속력은 서서히 감소하다 점점 더 급격히 감소하고 (나)에서 물체의 속력은 급격히 감소하다 점점 더 서서히 감소한다.



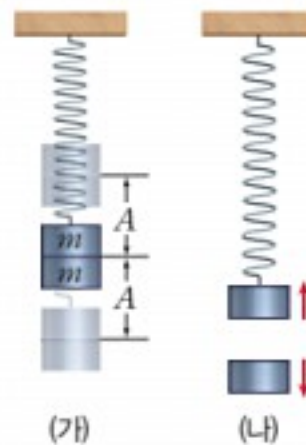
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기 및 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

보기

ㄱ. 수평면에서 높이  $H$ 에 도달할 때까지 (가)와 (나)에서 중력이 물체에 한 일은 서로 같다.  
 ㄴ.  $v_A^2 - v_B^2 = v_A'^2 - v_B'^2$ 이다.  
 ㄷ.  $v_A' < v_B'$ 이다.

- ① ㄱ      ② ㄷ      ③ ㄱ, ㄴ      ④ ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

2 그림 (가)와 같이 질량  $m$ 인 두 물체를 용수철에 매달았더니 용수철이  $A$ 만큼 늘어나 정지한 상태에서, 두 물체를  $A$ 만큼 잡아당겼다 놓으니 물체가 연직 방향으로 왕복 운동을 하였다. 왕복 운동하던 두 물체가 최하점에 도달한 순간 그림 (나)와 같이 분리되어 위쪽 물체만 왕복 운동을 하였다. (나)에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는  $g$ 이고, 용수철의 질량, 물체의 크기, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)



보기

ㄱ. 용수철 상수는  $\frac{2mg}{A}$ 이다.  
 ㄴ. 물체의 최대 속력은  $3\sqrt{\frac{gA}{2}}$ 이다.  
 ㄷ. 최하점에서 평형 위치까지 탄성력이 물체에 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다.

- ① ㄱ      ② ㄷ      ③ ㄱ, ㄴ      ④ ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

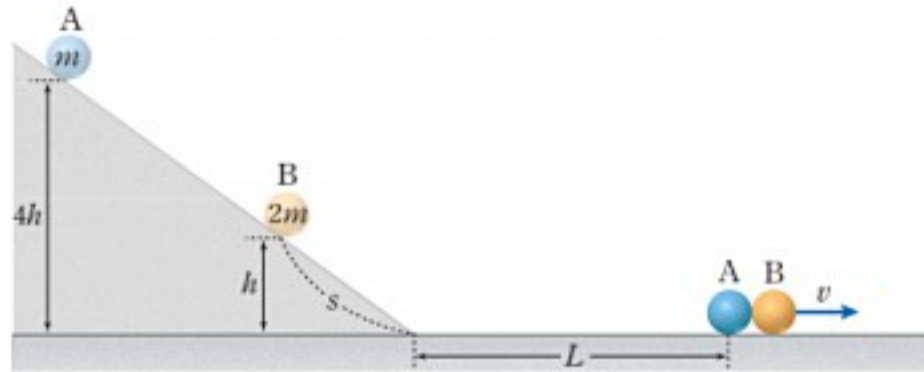
**Solution Tip**

수평면에서 중력 방향으로 이동한 거리가 같으면 중력이 한 일이 같고, 같은 시간 동안 이동 거리가 같으면 시간·속력 그래프에서 그래프 아래 넓이가 같다.

**Solution Tip**

평형 위치에서 물체에 작용하는 알짜힘은 0이고, 용수철의 변형된 길이가  $x$ 일 때 탄성력에 의한 위치 에너지는  $\frac{1}{2}kx^2$ 이다.

- 3 그림과 같이 기울기가 일정한 경사면에서 질량이  $m$ 인 물체 A를 높이  $4h$ 에서, 질량이  $2m$ 인 물체 B를 높이  $h$ 에서 동시에 가만히 놓았더니 수평면에서  $L$ 만큼 이동한 후 두 물체가 충돌하여 함께 운동한다. A와 B는 동일한 연직면상에서 운동하고, B가 경사면에서 이동한 거리는  $s$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는  $g$ 이고, 물체의 크기 및 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

보기

- ㄱ. A가 수평면에 도달하여 B와 충돌하기까지 걸린 시간은  $\sqrt{\frac{2s^2}{gh}}$ 이다.
- ㄴ.  $L=3s$ 이다.
- ㄷ. A와 B가 충돌한 후 속력은  $\frac{4\sqrt{2gh}}{3}$ 이다.

- ① ㄱ      ② ㄴ      ③ ㄱ, ㄴ      ④ ㄱ, ㄷ      ⑤ ㄴ, ㄷ

- 4 그림과 같이 높이  $L_0$ 인 수평면에 정지해 있던 질량  $m$ 인 물체 A에 크기가  $F$ 로 일정한 힘을 수평 방향으로 거리  $L_0$ 만큼 작용하였더니 경사면을 따라 내려와 수평인 지면 위의 두 점 p와 r의 중앙인 점 q에 정지해 있던 물체 B와 충돌한 후 한 덩어리가 되어 반대쪽 경사면을 따라 지면으로부터 최대 높이  $L_0$ 만큼 올라갔다. A가 q에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간은 p에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간의 3배이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는  $g$ 이고, 물체의 크기, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

보기

- ㄱ. B의 질량은  $3m$ 이다.
- ㄴ. 크기가  $F$ 인 힘이 A에 한 일은  $8mgL_0$ 이다.
- ㄷ. A와 B의 충돌 과정에서 손실된 역학적 에너지는  $6mgL_0$ 이다.

- ① ㄱ      ② ㄷ      ③ ㄱ, ㄴ      ④ ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

**Solution Tip**

마찰과 공기 저항이 없으므로 두 물체가 충돌하기 전까지 역학적 에너지는 보존된다. 동일한 경사면을 내려오는 경우 물체가 경사면에서 이동한 거리는 물체가 놓인 높이에 비례한다.

**Solution Tip**

충돌 후 한 덩어리가 되어 운동하는 경우 충돌하는 동안 역학적 에너지가 감소한다.

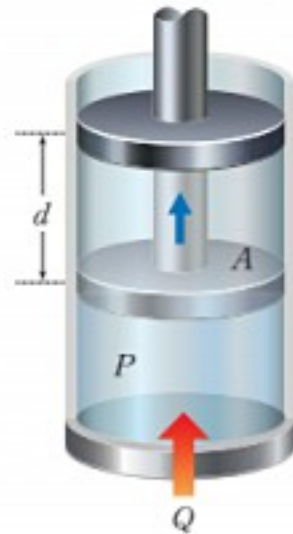
5 그림과 같이 실린더에 담긴 이상 기체가 열량  $Q$ 를 흡수하여 일정한 압력  $P$ 로 피스톤을  $d$ 만큼 밀어낸 후 정지한다. 피스톤의 단면적은  $A$ 이고, 실린더와 피스톤은 단열되어 있다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 기체가 피스톤에 한 일은  $PAd$ 이다.
- ㄴ. 기체 분자의 평균 운동 에너지는 감소한다.
- ㄷ. 기체의 내부 에너지는  $Q - PAd$ 만큼 증가한다.

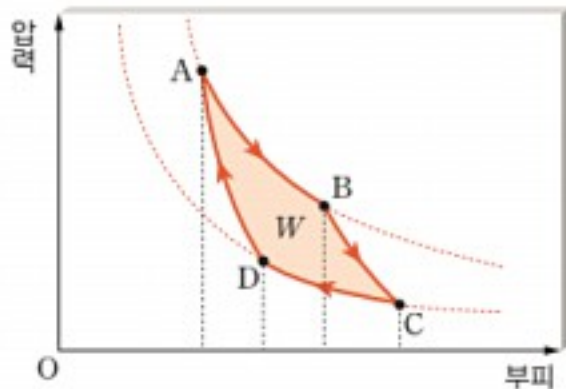
- ① ㄱ      ② ㄷ      ③ ㄱ, ㄴ      ④ ㄱ, ㄷ      ⑤ ㄴ, ㄷ



Solution Tip

열역학 제1법칙에서  $Q = \Delta U + W$ 이다.

6 그림은 등온 과정과 단열 과정으로 이루어진 카르노 열기관에서 이상 기체의 순환 과정  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ 를 부피·압력 그래프로 나타낸 것이다. 그래프 내부 넓이는  $W$ 이고,  $A \rightarrow B$ ,  $B \rightarrow C$ ,  $C \rightarrow D$ ,  $D \rightarrow A$  과정의 그래프 아래의 넓이는 각각  $W_1$ ,  $W_2$ ,  $W_3$ ,  $W_4$ 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 그림의 점선은 등온선을 나타낸 것이다.)

보기

- ㄱ.  $W_4 > W_2$ 이다.
- ㄴ.  $W = W_1 - W_3$ 이다.
- ㄷ. 열기관의 열효율은  $\frac{W}{W_1}$ 이다.

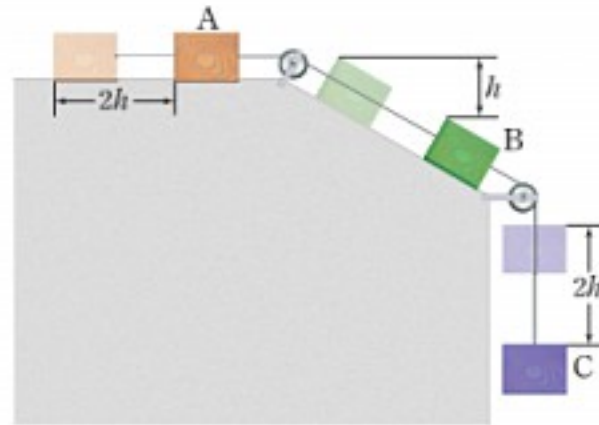
- ① ㄱ      ② ㄴ      ③ ㄱ, ㄷ      ④ ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

Solution Tip

기체가 등온 팽창할 때 외부에서 흡수한 열량은 기체가 외부에 한 일과 같다.

# 사고력 확장 문제

1 그림과 같이 수평면에 놓인 물체 A와 경사면에 놓인 물체 B가 줄과 도르래로 C와 연결되어 있다. A, B, C의 질량은 각각  $m_A$ ,  $m_B$ ,  $m_C$ 이다. A, B, C를 정지 상태에서 가만히 놓아 운동하게 하였더니, B의 높이가  $h$ 만큼 낮아질 때 C는  $2h$ 만큼 낮아졌다. 운동하는 동안 B의 역학적 에너지는 일정하다.



$\frac{m_A}{m_C}$ 를 구하시오. (단, 줄의 질량, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

---



---

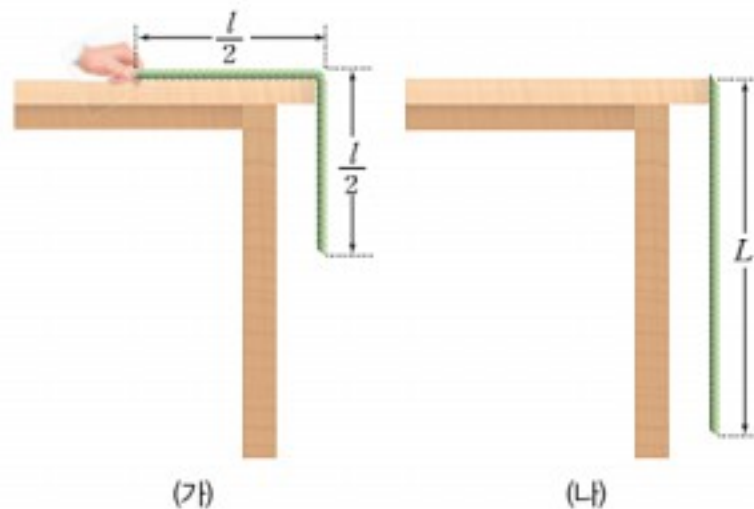
**Keyword**

• 역학적 에너지 보존

**Solution Tip**

세 물체는 마찰이나 공기 저항 없이 중력에 의하여 운동하므로 역학적 에너지가 보존된다.

2 그림 (가)는 길이  $l$ , 질량  $m$ 인 줄이 수평한 책상면 위에 길이의 반만 걸쳐 있는 상태로 정지해 있도록 손으로 잡고 있는 것을 나타낸 것이고, 그림 (나)는 손을 놓아 줄이 미끄러져 내려가 줄 끝이 책상면을 떠나는 순간의 모습을 나타낸 것이다.



(나)에서 줄의 속력을 풀이 과정과 함께 구하시오. (단, 중력 가속도는  $g$ 이고, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

---



---

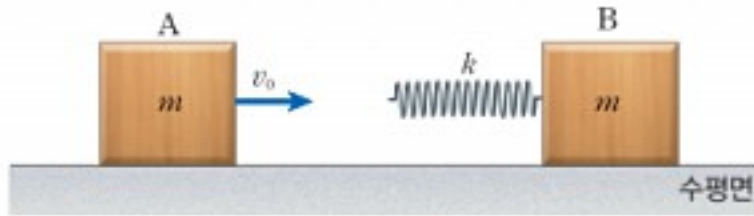
**Keyword**

• 중력에 의한 위치 에너지  
• 역학적 에너지 보존

**Solution Tip**

줄이 미끄러져 내려올 때 마찰이나 공기 저항이 작용하지 않으므로 줄의 역학적 에너지는 보존된다.

3 그림은 수평면에서 물체 A가  $v_0$ 의 속력으로 정지해 있는 물체 B를 향하여 운동하는 것을 나타낸 것이다. B에는 용수철 상수  $k$ 인 용수철이 부착되어 있고, A, B의 질량은 각각  $m$ 이다.



A와 B가 충돌하여 용수철이 가장 많이 압축되었을 때, 용수철에 저장된 탄성력에 의한 위치 에너지를 풀이 과정과 함께 구하시오. (단, 용수철의 질량, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

.....

.....

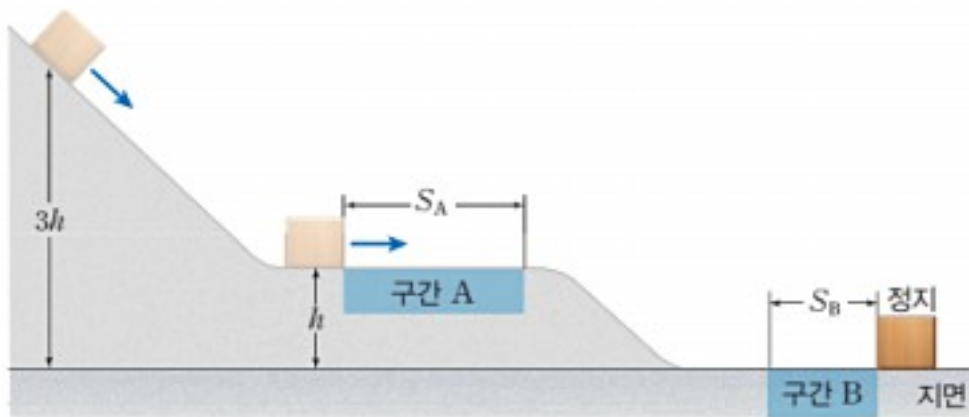
**KeyWord**

- 운동량 보존
- 탄성력에 의한 위치 에너지
- 역학적 에너지 보존

**Solution Tip**

- 용수철이 최대로 압축되어 운동하는 동안 두 물체의 속력은 같다.
- 충돌 전후 두 물체의 운동량은 보존된다.

4 그림과 같이 경사면과 수평면이 반복되는 레일의 높이  $3h$ 에서 가만히 놓은 물체가 높이  $h$ 인 수평면 구간 A와 지면의 수평면 구간 B를 지나 멈추었다. 물체는 구간 A와 B를 지나는 동안 각각 운동 방향과 반대 방향으로 같은 크기의 힘을 같은 시간 동안 받는다. 구간 A, B의 길이는 각각  $S_A, S_B$ 이다.



$S_A : S_B$ 를 풀이 과정과 함께 구하시오.

.....

.....

.....

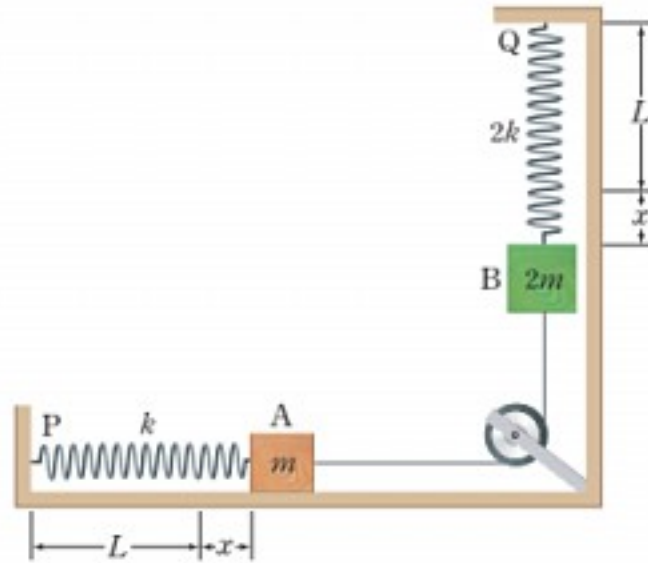
**KeyWord**

- 충격량
- 일·운동 에너지 정리
- 역학적 에너지 보존

**Solution Tip**

- 힘과 시간의 곱은 충격량이며, 충격량은 운동량의 변화량과 같다.
- 일짜힘이 한 일은 운동 에너지 변화량과 같다.

- 5** 그림은 용수철 P가 연결되어 수평면에 놓여 있는 물체 A와 용수철 Q가 연직으로 연결되어 매달린 물체 B가 실과 도르래를 통해 연결되어 정지해 있는 것을 나타낸 것이다. P와 Q의 원래 길이는  $L$ 로 같고, A와 B를 연결했을 때  $x$ 만큼 늘어나 있다. P와 Q의 용수철 상수는 각각  $k, 2k$ 이며, A의 질량은  $m$ , B의 질량은  $2m$ 이다. (단, 중력 가속도는  $g$ 이고, 용수철과 실의 질량, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)



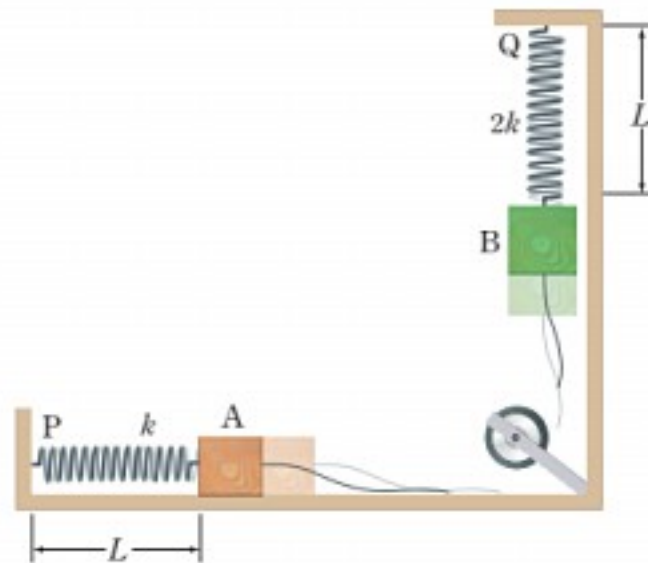
- (1) P에 저장된 탄성력에 의한 위치 에너지를 풀이 과정과 함께 구하시오.

---



---

- (2) A, B와 연결된 실이 순간적으로 끊어져 그림과 같이 A와 B가 일정한 진폭으로 왕복 운동을 할 때, A와 B의 운동 에너지의 최댓값을  $E_A, E_B$ 라고 하면  $E_A$ 는  $E_B$ 의 몇 배인지 풀이 과정과 함께 구하시오.




---



---

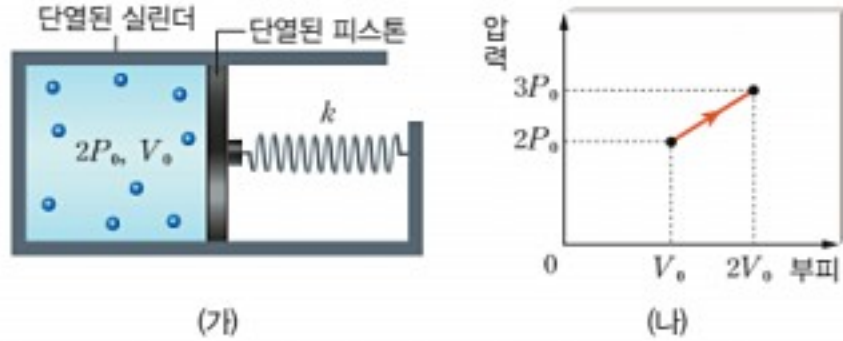
**KeyWord**

- 탄성력에 의한 위치 에너지
- 역학적 에너지 보존

**Solution Tip**

- B에는 용수철의 탄성력, 중력, 실이 당기는 장력이 작용한다.
- 탄성력에 의한 위치 에너지는  $\frac{1}{2}kx^2$ 이고, 마찰을 무시할 때 물체가 운동하는 동안 역학적 에너지는 보존된다.

6 그림 (가)와 같이 단열된 실린더에 들어 있는 이상 기체가 단열된 피스톤을 밀어 용수철 상수가  $k$  인 용수철을  $x$ 만큼 압축한 채 정지해 있다. 이때 기체의 압력은  $2P_0$ , 부피는  $V_0$ 이다. 그림 (나)는 (가)의 이상 기체에 열을 가하는 동안 기체의 부피에 따른 압력 그래프를 나타낸 것으로, 기체의 압력이  $3P_0$ 일 때 피스톤은 정지한다. (단, 대기압은  $P_0$ 으로 일정하고, 모든 마찰은 무시한다.)

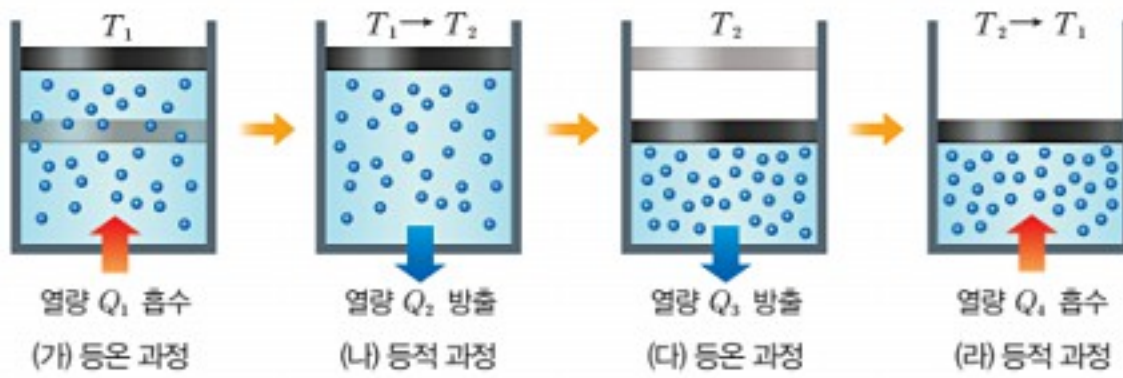


(1) 피스톤의 단면적을 풀이 과정과 함께 구하시오.

(2) (나)에서 기체의 압력이  $3P_0$ 이 되었을 때 용수철에 저장된 탄성력에 의한 위치 에너지는 (가)에서의 몇 배인지 풀이 과정을 함께 구하시오.

(3)  $P_0V_0$ 을 풀이 과정과 함께 구하시오.

7 그림은 열기관에서 이상 기체의 순환 과정 (가) → (나) → (다) → (라) → (가)에서 열의 출입과 온도 변화를 나타낸 것이다.



(1) (가) 과정에서 기체가 외부에 한 일을 풀이 과정과 함께 구하시오.

(2)  $T_1$ 과  $T_2$ 의 크기를 풀이 과정과 함께 비교하시오.

(3) 이 열기관의 열효율을 풀이 과정과 함께 구하시오.

**KeyWord**

- 압력
- 기체가 한 일
- 탄성력에 의한 위치 에너지

**Solution Tip**

- 기체가 팽창하면서 일을 할 때 압력이 일정하다면 한 일  $W = P\Delta V$ 이다.
- 부피 · 압력 그래프에서 그래프 아래 넓이는 한 일과 같다.

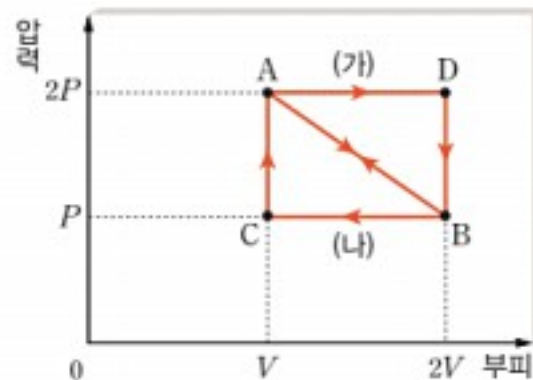
**KeyWord**

- 기체가 한 일
- 열역학 제1법칙
- 내부 에너지
- 열기관의 열효율

**Solution Tip**

- 등온 과정에서 기체의 내부 에너지 변화량  $\Delta U$ 는 0 이므로  $Q = \Delta U + W$ 에서  $Q = W$ 이다.
- 내부 에너지는 절대 온도에 비례하고, 기체의 절대 온도는 압력에 부피를 곱한 값에 비례한다. ( $T \propto PV$ )
- 한 순환 과정에서 기체는 처음 상태로 되돌아가므로 내부 에너지는 변하지 않는다.

8 그림은 동일한 이상 기체가 들어 있는 열기관 (가)의 순환 과정  $A \rightarrow D \rightarrow B \rightarrow A$ 와 열기관 (나)의 순환 과정  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ 를 부피에 따른 압력 그래프로 나타낸 것이다.

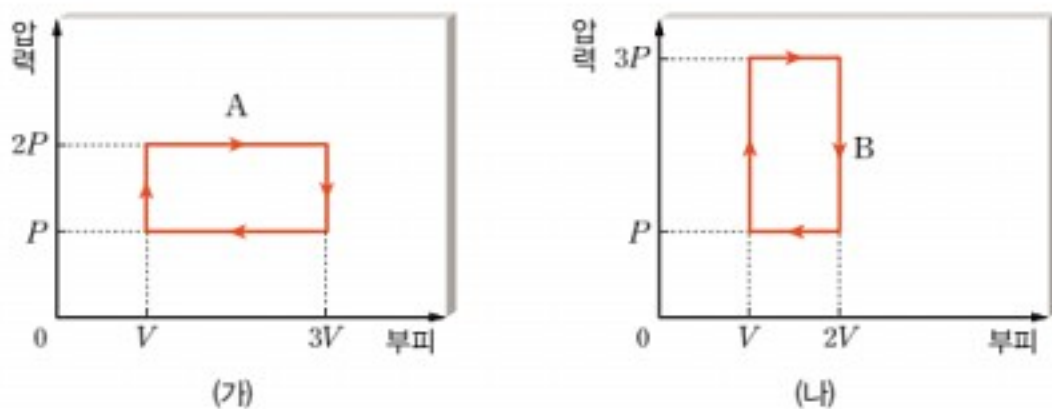


(1) (나)의  $A \rightarrow B$  과정에서 흡수한 열량을 풀이 과정과 함께 구하시오.

(2) (가)의  $D \rightarrow B$  과정과 (나)의  $C \rightarrow A$  과정에서 내부 에너지 변화량을 풀이 과정과 함께 비교하시오.

(3) 열기관 (가), (나)의 열효율을 풀이 과정과 함께 비교하시오.

9 그림 (가), (나)는 열기관 A, B에서 동일한 이상 기체의 순환 과정을 각각 나타낸 것이다. 단, 등압 과정에서 기체의 내부 에너지 변화량  $\Delta U = \frac{3}{2}P\Delta V$ 이고, 등적 과정에서 내부 에너지 변화량  $\Delta U = \frac{3}{2}V\Delta P$ 이다.



(1) 한 번의 순환 과정 동안 A, B가 외부에 한 알짜일을 각각 구하시오.

(2) A, B의 열효율이 각각  $e_A, e_B$ 일 때  $\frac{e_B}{e_A}$ 를 풀이 과정과 함께 구하시오.

Keyword

- 내부 에너지
- 열역학 제1법칙
- 열효율

Solution Tip

내부 에너지는 절대 온도에 비례하고, 절대 온도는 압력과 부피의 곱에 비례한다.

Keyword

- 열역학 제1법칙
- 열효율

Solution Tip

압력이 일정할 때 기체가 한 일은  $W = P\Delta V$ 이다.