

완자 · 역학과 에너지

내신만점 · 실력UP 집중

II 열과 에너지

2 열기관과 엔트로피

# 02

## 열역학 제2법칙

내신만점 · 실력UP

II-2-02 열역학 제2법칙

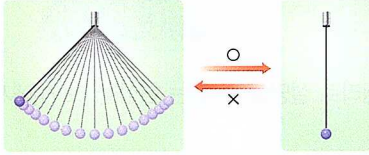




## 134 II-2. 열기관과 엔트로피

# **B** 가역 현상과 비가역 현상    **C** 열역학 제2법칙

**중요** 05 그림과 같이 공기 중에서 움직이던 진자는 공기와의 마찰에 의해 결국 멈추게 되지만, 멈추었던 진자가 주변의 열을 흡수하여 저절로 다시 움직이는 현상은 일어나지 않는다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

[보기]

- ㄱ. 비가역 과정이다.
- ㄴ. 진자가 처음 가지고 있던 에너지가 모두 열에너지로 전환되면 진자가 멈춘다.
- ㄷ. 멈추었던 진자가 다시 움직이는 현상은 무질서도가 감소하는 현상이다.

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

06 엔트로피가 증가하는 경우로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

[보기]

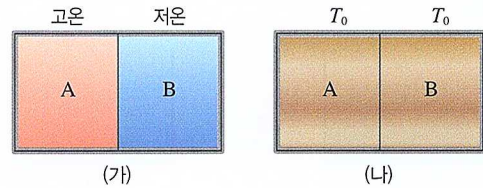
- ㄱ. 굴러가는 공이 정지한다.
- ㄴ. 향수가 방안으로 퍼져 나간다.
- ㄷ. 따뜻한 물이 식어 미지근해진다.

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

서술형

07 방 안에 77 °C의 뜨거운 보리차가 담긴 그릇이 놓여 있고, 이 보리차에서 1160 J의 열에너지가 온도가 17 °C인 방 안의 주변으로 이동한다. 전체 엔트로피 변화를 보리차와 방의 엔트로피 변화를 이용하여 구하고, 이 반응이 자발적으로 일어날 수 있는지를 서술하시오. (단, 보리차와 방의 온도는 변하지 않는다고 가정하고, 절대 온도(K) = 섭씨온도(°C) + 273이다.)

**중요** 08 그림 (가)는 고온의 물체 A와 저온의 물체 B를 접촉시킨 모습을, (나)는 시간이 지나 A와 B의 온도가  $T_0$ 로 같아진 열평형 상태를 나타낸 것이다.



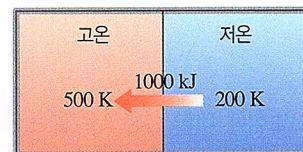
(가)에서 (나)로 진행되는 과정에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

[보기]

- ㄱ. A의 엔트로피는 감소한다.
- ㄴ. B의 엔트로피는 증가한다.
- ㄷ. 전체 엔트로피 변화는 0이다.

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

09 그림은 온도가 200 K으로 일정한 저온의 물체에서 온도가 500 K으로 일정한 고온의 물체로 1000 kJ의 열이 이동하는 모습을 가정하여 나타낸 것이다.



열의 이동 과정에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

[보기]

- ㄱ. 전체 계의 엔트로피 변화는 3 kJ/K이다.
- ㄴ. 무질서도가 증가한다.
- ㄷ. 이 과정은 자발적으로 일어나지 않는다.

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

**10** 그림 (가)는 뜨겁게 가열한 금속 구를 차가운 물에 넣은 모습을, (나)는 시간이 지난 후 금속 구와 물의 온도가 같아진 모습을 나타낸 것이다. 금속 구가 잃은 열량은 물이 얻은 열량과 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은? (단, 금속 구와 물의 질량은 같다.)

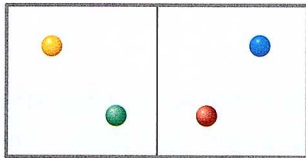
[보기]

- ㄱ. 금속 구의 온도 감소량과 물의 온도 증가량은 같다.
- ㄴ. 무질서도는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.
- ㄷ. (나)에서 (가)로 변하는 과정이 저절로 일어나지 않는 까닭은 열역학 제1법칙으로 설명할 수 있다.

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

서술형

**11** 그림과 같이 두 공간으로 구분된 용기 속에 4개의 동일한 기체 입자는 두 공간에 고르게 분포해 있을 확률이 가장 높다.



이것이 의미하는 것을 엔트로피로 서술하시오.

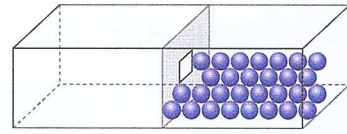
**12** 열역학 제2법칙에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

[보기]

- ㄱ. 잉크가 물에서 확산할 때 엔트로피는 감소한다.
- ㄴ. 고온의 물체에서 저온의 물체로 열이 이동할 때 전체 엔트로피는 증가한다.
- ㄷ. 열을 모두 역학적 에너지로 바꾸는 열기관의 제작은 가능하다.

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

**13** 그림과 같이 구멍이 뚫린 칸막이가 있는 상자의 한쪽 칸에 구슬을 넣고 좌우로 흔들었다 놓았을 때 구슬이 한쪽 칸에 모두 모이는 경우는 일어나지 않았다.



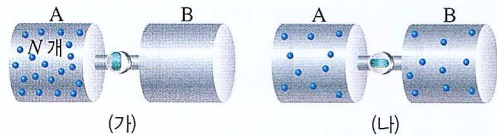
이와 같은 원리로 설명할 수 있는 현상을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

[보기]

- ㄱ. 높은 곳에서 떨어뜨린 물체는 역학적 에너지가 보존된다.
- ㄴ. 일은 모두 열로 바뀌지만 열은 모두 일로 바뀌지 않는다.
- ㄷ. 열은 온도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 자발적으로 이동한다.

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

**중요** **14** 그림 (가)는 두 용기 중 한쪽에 기체 분자가 들어 있고, 다른 한쪽은 진공인 상태를 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)에서 중간 밸브를 열었을 때, 기체 분자들이 골고루 퍼져 다른 용기로 서서히 확산되는 과정을 나타낸 것이다.



이 현상과 같은 표현으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

[보기]

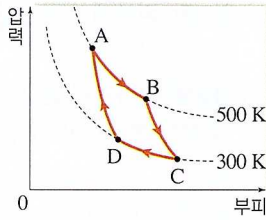
- ㄱ. 열효율이 1인 열기관은 존재하지 않는다.
- ㄴ. 열은 자발적으로 저온의 물체에서 고온의 물체로 이동할 수 없다.
- ㄷ. 자연에서 자발적으로 일어나는 변화는 확률이 높은 방향으로 진행된다.

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



# 실력 UP 문제

**01** 그림은 카르노 기관에서 일정량의 이상 기체가 상태  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ 를 따라 순환하는 동안 기체의 압력과 부피를 나타낸 것이다.  $A \rightarrow B$ 와  $C \rightarrow D$  과정은 등온 과정이고,  $B \rightarrow C$ 와  $D \rightarrow A$ 는 단열 과정이다.  $A \rightarrow B$  과정에서 기체가 흡수한 열량은  $1000 \text{ J}$ 이다.



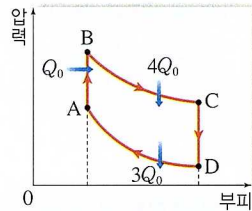
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

[보기]

- ㄱ.  $B \rightarrow C$  과정에서 기체는 열을 흡수한다.
- ㄴ. 열기관의 열효율은 0.4이다.
- ㄷ.  $C \rightarrow D$  과정에서 기체가 방출한 열은  $600 \text{ J}$ 이다.

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

**02** 그림은 스텔링 기관에서 일정량의 이상 기체가  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ 를 따라 순환하는 동안 기체의 압력과 부피를 나타낸 것이다.  $A \rightarrow B$  과정은 등적 과정으로 흡수한 열량은  $Q_0$ 이고,  $B \rightarrow C$  과정은 등온 과정으로 흡수한 열량은  $4Q_0$ 이다.  $D \rightarrow A$  과정은 등온 과정으로 방출한 열량은  $3Q_0$ 이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은? (단,  $C \rightarrow D$  과정은 등적 과정이다.)

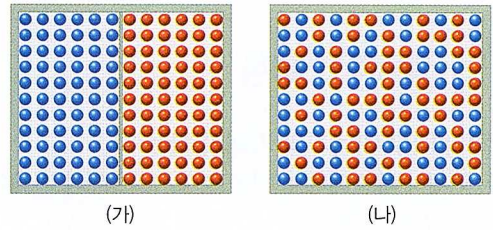


[보기]

- ㄱ.  $C \rightarrow D$  과정에서 기체의 내부 에너지 변화량의 크기는  $Q_0$ 이다.
- ㄴ. 한 번의 순환 과정 동안 기체가 외부에 한 일은  $2Q_0$ 이다.
- ㄷ. 열효율은 0.2이다.

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

**03** 그림 (가)는 모양, 크기, 무게가 같고 색깔만 다른 공이 칸막이에 의해 반으로 나누어져 있는 모습을, (나)는 칸막이를 열어서 공이 골고루 섞여 있는 모습을 나타낸 것이다.



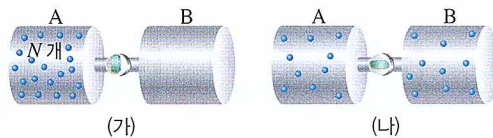
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

[보기]

- ㄱ. (가), (나)의 무질서도는 같다.
- ㄴ. 엔트로피는 (나)에서 (가)에서보다 크다.
- ㄷ. 자연계에서는 (나)에서 (가)로 스스로 변한다.

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

**04** 그림 (가)는  $N$ 개의 기체 분자가 용기 A에만 들어 있는 모습을, (나)는 A와 B 사이의 막개를 열었을 때 기체 분자가 A와 B에 골고루 분포한 모습을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

[보기]

- ㄱ. 기체 분자가 분포할 수 있는 경우의 수는 (가)와 (나)에서 같다.
- ㄴ. (가)에서 (나)로 진행되는 동안 엔트로피는 증가한다.
- ㄷ.  $N$ 이 클수록 (나)에서 (가)로 진행할 확률은 0에 가까워진다.

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

# 정답 및 해설

내신만점문제 · 실력UP문제  
열역학 제2법칙

1 가. 공기 저항이나 마찰을 무시한 진자 운동은 에너지 손실이 없으므로 가역 현상이다.

나. 물에 퍼진 잉크는 자발적으로 다시 모이지 않으므로 비가역 현상이다.

다. 식은 물을 공기 중에 두었을 때 물이 자발적으로 다시 뜨거워지지 않으므로 비가역 현상이다.

2 (1) 열의 이동은 처음 상태로 되돌아갈 수 없으므로 비가역 현상이다.

(2) 자연계에서 일어나는 열역학적 변화는 엔트로피가 증가하는 방향으로 발생한다.

(3) 열은 자발적으로 고온의 물체에서 저온의 물체로 이동하고, 그 반대 방향으로 자발적으로 일어나지 않는다.

(4) 엔트로피 개념을 무질서한 정도로 표현한 사람은 볼츠만이다.

3 절대 온도가  $T$ 인 열역학적 계가 열  $Q$ 를 방출할 때 그 계의 엔트로피 변화  $\Delta S$ 는  $\Delta S = -\frac{Q}{T}$ 이다. 따라서 고온인 물체의 엔트로피 변화는  $-\frac{Q}{T_H}$ 이다.

4 자발적으로 처음 상태로 되돌아갈 수 있는 것은 가역 현상, 되돌아갈 수 없는 것은 ㉠ 비가역 현상이다. 열역학 제2법칙에 따르면 자발적인 열역학 과정은 엔트로피가 ㉡ 증가하는 방향으로만 발생한다.

1 열기관이 외부에 한 일의 양  $W = Q_1 - Q_2$ 이다. 열기관의 열효율은 공급한 열 중에서 일로 전환된 비율이므로  $e = \frac{W}{Q_1}$ 이다.

2 가. 기체의 온도가 높아지면 기체의 내부 에너지가 증가한다.  $A \rightarrow B$  과정은 단열 압축 과정으로 온도가 높아지므로 내부 에너지가 증가한다.

나, 르.  $B \rightarrow C$  과정,  $D \rightarrow A$  과정은 등온 과정으로, 온도가 일정하므로 내부 에너지가 일정하다.

다.  $C \rightarrow D$  과정은 단열 팽창 과정으로 온도가 낮아지므로 내부 에너지가 감소한다.

3 A의 압력과 부피의 상태로 다시 되돌아오는 과정이므로 온도 변화량이 0이다. 따라서 내부 에너지 변화량도 0이다.

4 (1), (5)  $Q_1 = W$ 인 열기관은 열효율이 100 %인 열기관이다. 열역학 제2법칙에 따라 열은 모두 일로 전환되지 않으므로 열효율이 100 %인 열기관은 만들 수 없다.

(2)  $B \rightarrow C$  과정은 등온 팽창 과정,  $C \rightarrow D$  과정은 단열 팽창 과정,  $D \rightarrow A$  과정은 등온 압축 과정,  $A \rightarrow B$  과정은 단열 압축 과정이다. 네 과정 중에서 열을 흡수하는 과정은  $B \rightarrow C$  과정뿐이다. 따라서  $B \rightarrow C$  과정에서 기체가 외부로부터 흡수한 열은  $Q_1$ 이다.

(3)  $C \rightarrow D$  과정은 단열 팽창 과정이므로  $Q = 0$ 이고,  $W > 0$ 이다. 따라서 열역학 제1법칙에서  $W = -\Delta U$ 이므로 기체가 외부에 한 일만큼 내부 에너지가 감소한다.

(4)  $D \rightarrow A$  과정은 등온 압축 과정이므로  $\Delta U = 0$ 이다. 따라서 열역학 제1법칙에서  $Q = W$ 이므로 외부에서 받은 일만큼 열을 방출한다. 이때 방출한 열은  $Q_2$ 이다.

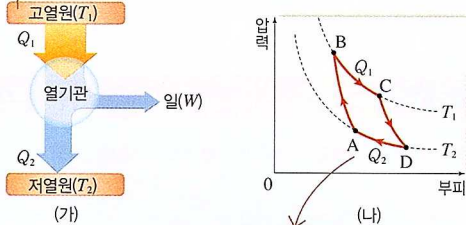
## 대표 자료 분석

133쪽

1  $\frac{W}{Q_1}$  2 가 3 0 4 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ (5) ○

### 꼭꼭 문제 분석

높은 온도의 열원에서  $Q_1$ 의 열을 흡수하여 외부에  $W$ 의 일을 하고, 낮은 온도의 열원으로  $Q_2$ 의 열을 방출한다.



단열 압축( $A \rightarrow B$ ) → 등온 팽창( $B \rightarrow C$ ) → 단열 팽창( $C \rightarrow D$ ) → 등온 압축( $D \rightarrow A$ )의 순환 과정을 거친다.

## 내신 만점 문제

134쪽~136쪽

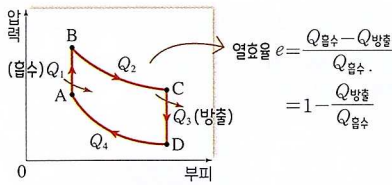
01 ③ 02 ⑤ 03 ④ 04 해설 참조 05 ⑤  
06 ⑤ 07 해설 참조 08 ③ 09 ② 10 ①  
11 해설 참조 12 ① 13 ④ 14 ⑤

01 가. 열효율은  $e = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$ 이다.

나.  $e = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$ 에서  $Q_1$ 이 같을 때  $Q_2$ 가 작을수록 열효율이 높다.

(바로알기) 다.  $e = \frac{W}{Q_1}$ 에서  $W$ 가 같을 때  $Q_1$ 이 클수록 열효율은 낮다.

## 02 — 꼼꼼 문제 분석



열기관이 흡수한 열량을  $Q_{\text{흡수}}$ , 방출한 열량을  $Q_{\text{방출}}$ 이라고 하면  
 열효율  $e = \frac{Q_{\text{흡수}} - Q_{\text{방출}}}{Q_{\text{흡수}}} = 1 - \frac{Q_{\text{방출}}}{Q_{\text{흡수}}}$ 이다.  $B \rightarrow C$  과정과  $D \rightarrow A$  과정은 단열 과정이므로  $Q_2$ 와  $Q_4$ 는 0이고, 가솔린 기관이 흡수한 열량은  $Q_1$ , 방출한 열량은  $Q_3$ 이므로  $e = 1 - \frac{Q_3}{Q_1}$ 이다.

03 ㄴ. 카르노 기관에서 열량과 온도 사이에는  $\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1}$ 와 같은 관계가 성립한다. 따라서 열효율은  $1 - \frac{Q_2}{Q_1}$  또는  $1 - \frac{T_2}{T_1}$ 이다.

ㄷ. 열효율은  $1 - \frac{T_2}{T_1}$ 이므로  $T_1$ 이 일정할 때  $T_2$ 가 낮을수록 열효율이 높다.

**[바로알기]** ㄱ. 카르노 기관은 열효율이 좋은 열기관이지만 열효율이 1인 기관은 아니다. 열효율이 1인 이상적인 열기관은 열역학 제2법칙에 위배되므로 제작이 불가능하다.

04 열기관은 인류 문명에 큰 도움을 주었지만 화석 연료를 사용한 열기관은 기후 변화에 좋지 않은 영향을 미쳤다.

**[모범 답안]** 환경 오염 물질이 생기고, 온실 기체를 방출해 지구 온난화 문제를 발생시켰다.

| 채점 기준                      | 배점    |
|----------------------------|-------|
| 제시된 단어를 모두 포함하여 옳게 서술한 경우  | 100 % |
| 제시된 단어 중 두 가지만 포함하여 서술한 경우 | 50 %  |

05 ㄱ. 멈추어 있던 진자가 스스로 처음 상태로 되돌아갈 수 없으므로 비가역 과정이다.

ㄴ. 진자가 움직이는 동안 진자와 충돌한 공기 분자의 평균 운동 에너지는 증가하고, 반대로 진자의 운동 에너지는 감소한다. 시간이 지난 후 진자가 처음에 가지고 있던 에너지가 모두 열에너지로 전환되면 진자가 멈춘다.

ㄷ. 열역학 제2법칙에 따르면 자연 현상은 무질서도가 증가하는 방향으로 진행된다. 멈추었던 진자가 다시 움직이는 현상은 무질서도가 감소하는 현상으로, 스스로 일어나지 않는다.

06 ㄱ. 굴러가는 공이 공기 저항이나 바닥과의 마찰에 의해 에너지가 손실되어 정지하는 것은 엔트로피가 증가하는 경우이다.  
 ㄴ. 향수가 방안으로 확산되는 것은 확률이 큰 경우이고, 방안으로 퍼져 나간 향수가 다시 모이는 것은 확률이 작은 경우이므로 향수가 방안으로 퍼져 나가는 것이 엔트로피가 증가하는 경우이다.  
 ㄷ. 따뜻한 물이 자발적으로 에너지를 잃어 미지근해지는 것은 엔트로피가 증가하는 경우이다.

07 엔트로피 변화는 온도에 대한 열에너지의 변화량이다.

**[모범 답안]** 보리차는 열을 방출하므로 보리차의 엔트로피 변화는  $\Delta S_{\text{보리차}} = \frac{-1160}{273+77} \approx -3.3(\text{J/K})$ 이고, 방은 열을 흡수하므로 방의 엔트로피 변화는  $\Delta S_{\text{방}} = \frac{1160}{273+17} = 4(\text{J/K})$ 이다. 따라서 전체 엔트로피 변화는  $\Delta S = 4 \text{ J/K} - 3.3 \text{ J/K} = 0.7 \text{ J/K}$ 에서  $\Delta S > 0$ 이므로 이 반응은 자발적으로 일어난다.

| 채점 기준                                                | 배점    |
|------------------------------------------------------|-------|
| 전체 엔트로피를 구하고, 이를 바탕으로 반응이 자발적으로 일어날 수 있는지를 옳게 서술한 경우 | 100 % |
| 전체 엔트로피만 옳게 구하고, 반응이 자발적으로 일어날 수 있는지를 서술하지 못한 경우     | 70 %  |
| 반응이 자발적으로 일어날 수 있다는 것만 제시한 경우                        | 50 %  |

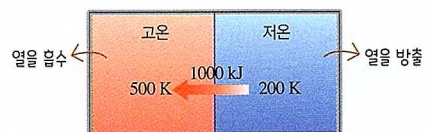
08 ㄱ. 시간이 지나면 A는 열을 잃는다. 즉, A는 열을 방출하므로 A의 엔트로피는 감소한다.

ㄴ. 시간이 지나면 B는 열을 얻는다. 즉, B는 열을 흡수하므로 B의 엔트로피는 증가한다.

**[바로알기]** ㄷ. (가)에서 (나)로 열이 이동하는 것은 자발적으로 일어나는 과정이며 비가역 현상이다. 따라서 전체 엔트로피 변화는 0보다 크므로 A의 엔트로피 감소량보다 B의 엔트로피 증가량이 더 크다.

## 09 — 꼼꼼 문제 분석

절대 온도가  $T$ 인 열역학적 계가 열  $Q$ 를 흡수할 때 그 계의 엔트로피 변화  $\Delta S$ 는  $\Delta S = \frac{Q}{T}$ 이다.



ㄷ. 전체 계의 엔트로피 변화  $\Delta S < 0$ 이므로 이 열역학 과정은 자발적으로 일어나지 않는다.

**바로알기** ㄱ. 저온인 물체는 열을 방출하므로 엔트로피 변화는  $-\frac{1000 \text{ kJ}}{200 \text{ K}} = -5 \text{ kJ/K}$ 이고, 고온인 물체는 열을 흡수하므로 엔

트로피 변화는  $\frac{1000 \text{ kJ}}{500 \text{ K}} = 2 \text{ kJ/K}$ 이다. 따라서 전체 계의 엔트로

피 변화는 두 값의 합이므로  $(-5+2) \text{ kJ/K} = -3 \text{ kJ/K}$ 이다.

ㄴ. 전체 계의 엔트로피 변화가 음(-)이므로 엔트로피는 감소하고, 무질서도도 감소한다.

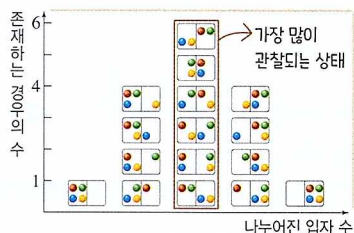
**10** ㄴ. 무질서도는 엔트로피가 클수록 크다. (가)에서 (나)로 변하는 과정은 엔트로피가 증가하는 과정이므로 무질서도는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

**바로알기** ㄱ.  $Q = cm\Delta T$ 에서 금속 구가 잃은 열량과 물이 얻은 열량이 같고 금속 구와 물의 질량이 같지만 비열이 다르므로, 두 물체의 온도 변화량은 같지 않다.

ㄴ. (나)에서 (가)로 변하는 과정이 저절로 일어나지 않는 까닭은 열역학 제2법칙으로 설명할 수 있다.

## 11 품점 문제 분석

4개의 입자가 두 공간에 존재할 경우는 16가지이고, 가장 많이 관찰되는 상태는 두 공간에 고르게 분포해 있는 경우이다.



**모범 답안** 입자들이 한 공간에 몰려 있을 때는 엔트로피가 작고, 입자들이 고르게 분포할 때는 엔트로피가 크다.

| 채점 기준                                                  | 배점    |
|--------------------------------------------------------|-------|
| 한 공간에 몰려 있을 때와 고르게 분포할 때를 엔트로피 변화로 옳게 서술한 경우           | 100 % |
| 한 공간에 몰려 있을 때와 고르게 분포할 때 중 한 가지 경우만 엔트로피 변화로 옳게 서술한 경우 | 50 %  |

**12** ㄴ. 자발적인 열의 이동은 엔트로피가 증가하는 과정이다. 고온의 물체에서 저온의 물체로 열이 이동하는 것은 자발적인 열역학 과정이므로 전체 엔트로피는 증가한다.

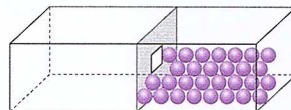
**바로알기** ㄱ. 잉크가 물에서 확산하는 과정은 엔트로피가 증가하는 과정이다.

ㄴ. 열을 모두 역학적 에너지로 바꾸는 열기관의 열효율은 1이다. 열효율이 1인 열기관은 열역학 제2법칙에 위배되므로 제작이 불가능하다.

## 13 품점 문제 분석

만약 상자에 100개의 구슬을 넣고 흔들었을 때 모두 한쪽 칸에 모일 확률은  $\left(\frac{1}{2}\right)^{100} \approx 0$

이므로 확률이 0에 가까운 일은 일어나지 않는다.  $\Rightarrow$  자연 현상은 확률이 큰 쪽으로 진행하는데, 이것은 열역학 제2법칙과 관련이 있다.



ㄴ. 일은 모두 열로 바뀌지만 열은 모두 일로 바뀌지 않는다는 것은 열역학 제2법칙에 해당되는 내용이다.

ㄴ. 열이 고온의 물체에서 저온의 물체로 자발적으로 이동한다는 것은 열역학 제2법칙에 해당되는 내용이다.

**바로알기** ㄱ. 높은 곳에서 떨어뜨린 물체의 역학적 에너지가 보존되는 것은 공기 저항과 마찰을 무시했을 때에만 성립한다. 실제로는 손실된 에너지가 발생하며 이 에너지를 다시 사용할 수 없다.

**14** 기체의 확산이나 열의 이동과 같은 방향성은 열역학 제2법칙으로 설명할 수 있다.

ㄱ. 고열원에서 받은 열을 모두 일로 전환하는 것은 불가능하다. 따라서 열효율이 1인 열기관은 만들 수 없다.

ㄴ. 열은 엔트로피가 증가하는 쪽으로 이동한다. 엔트로피가 증가하는 쪽은 고온의 물체에서 저온의 물체로 자발적으로 이동하는 쪽이다. 따라서 열은 자발적으로 저온의 물체에서 고온의 물체로 이동할 수 없다.

ㄴ. 자연에서 자발적으로 일어나는 변화는 확률이 높은 방향, 즉 무질서도가 증가하는 방향으로 진행된다.

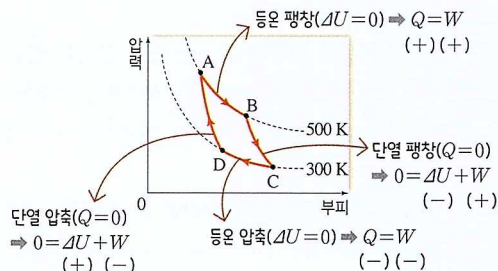
## 실력 UP 문제

137쪽

01 ④    02 ③    03 ②    04 ④

## 01 품점 문제 분석

각각의 과정에서 물리량들의 부호를 찾을 수 있다.

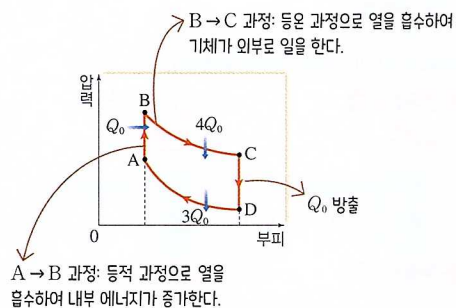


ㄴ. 카르노 기관의 열효율은  $e = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$  이므로 열효율은  $1 - \frac{300}{500} = \frac{2}{5} = 0.4$ 이다.

ㄷ. 열효율  $e = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$  이고, A → B 과정에서 흡수한 열이 1000 J 이므로  $Q_H = 1000$  J이다. 따라서  $0.4 = 1 - \frac{Q_L}{1000}$  에서 방출한 열  $Q_L = 600$  J이다.

**바로알기** ㄱ. B → C 과정은 단열 팽창 과정으로 열의 출입이 없는 과정이다.

## 02 꼼꼼 문제 분석



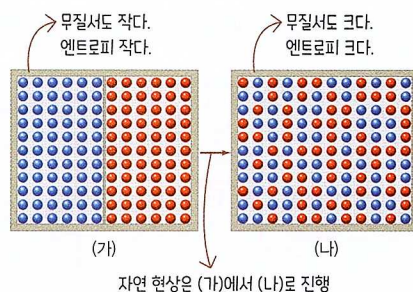
ㄱ. C → D 과정은 등적 과정으로  $W = 0$  이므로  $Q = \Delta U$  에서 내부 에너지 감소량은 열기관이 방출한 열량과 같다. 그런데 A의 온도는 D와 같고, B의 온도는 C와 같으므로 A → B 과정과 C → D 과정에서 온도 변화량과 내부 에너지 변화량의 크기는 같다. 따라서 C → D 과정에서 방출한 열량은  $Q_0$  이므로 기체의 내부 에너지 변화량의 크기는  $Q_0$ 이다.

ㄷ. 한 번의 순환 과정에서 기체가 흡수한 열량은  $Q_0 + 4Q_0 = 5Q_0$  이고, 기체가 한 일은  $Q_0$  이므로 열기관의 열효율은  $\frac{Q_0}{5Q_0} = 0.2$ 이다.

**바로알기** ㄴ. A → B 과정은 등적 과정으로  $W = 0$  이고, B → C 과정은 등온 과정으로  $\Delta U = 0$  이므로  $Q = W$  ( $W > 0$ )에서 기체가 외부에 한 일은  $4Q_0$ 이다. C → D 과정은  $W = 0$  이고, D → A 과정은  $Q = W$  ( $W < 0$ )에서 기체가 받은 일이  $3Q_0$ 이다. 따라서 한 번의 순환 과정 동안 기체가 외부에 한 일은  $4Q_0 - 3Q_0 = Q_0$ 이다.

**다른 풀이** ㄴ. 열기관이 한 일은 흡수한 총 열량에서 방출한 총 열량을 뺀 값이므로 흡수한 총 열량은  $Q_0 + 4Q_0 = 5Q_0$ , 방출한 총 열량은  $Q_0 + 3Q_0 = 4Q_0$ 이다. 따라서 한 번의 순환 과정 동안 기체가 외부에 한 일은  $5Q_0 - 4Q_0 = Q_0$ 이다.

## 03 꼼꼼 문제 분석

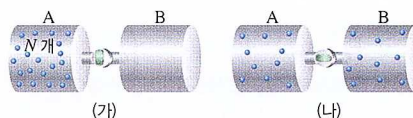


ㄴ. 공이 골고루 섞여 있는 상태인 (나)의 엔트로피가 공이 섞여 있지 않은 상태인 (가)의 엔트로피보다 크다.

**바로알기** ㄱ. 엔트로피는 무질서한 정도를 나타내는 것으로, 공이 골고루 섞여 있는 (나)의 무질서도가 (가)보다 크다.

ㄷ. 자연 현상은 무질서도가 증가하는 방향, 즉 엔트로피가 커지는 방향으로 진행하므로 엔트로피가 큰 (나)에서 엔트로피가 작은 (가)로 스스로 진행하지 않는다.

## 04 꼼꼼 문제 분석



(가)에서 (나)로 진행되는 과정: 엔트로피가 증가하는 과정, 자발적으로 일어난다.  
(나)에서 (가)로 진행되는 과정: 엔트로피가 감소하는 과정, 자발적으로 일어나지 않는다.

ㄴ. (나)는 기체 분자가 분포할 수 있는 경우의 수가 크다. 따라서 (가)에서 (나)로 진행되는 과정은 엔트로피가 증가하는 과정이다.  
ㄷ. 열역학 과정은 엔트로피가 증가하는 과정으로 자발적으로 일어난다. (나)에서 (가)로 진행되는 과정은 엔트로피가 감소하므로  $N$ 이 클수록 (나)에서 (가)로 진행되는 일은 일어나지 않는다.

**바로알기** ㄱ. 기체 분자가 분포할 수 있는 경우의 수는 (나)에서 (가)에서보다 크다.

## 중단원 핵심 정리

138쪽

- |       |                |            |              |
|-------|----------------|------------|--------------|
| 1 비례  | 2 $P \Delta V$ | 3 열역학 제1법칙 | 4 $\Delta U$ |
| 5 $W$ | 6 일            | 7 열효율      | 8 카르노        |
| 9 증가  | 10 방향성         |            |              |

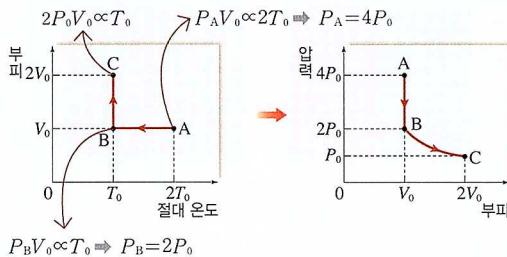
## 중단원 마무리 문제

139쪽~140쪽

- |          |      |          |      |      |      |
|----------|------|----------|------|------|------|
| 01 ③     | 02 ③ | 03 ⑤     | 04 ③ | 05 ④ | 06 ① |
| 07 해설 참조 |      | 08 해설 참조 |      |      |      |

## 01 — 품점 문제 분석

C에서 압력이 가장 작으므로 C에서의 압력을  $P_0$ 이라고 하고 압력-부피 그래프로 전환하면 그림과 같다.



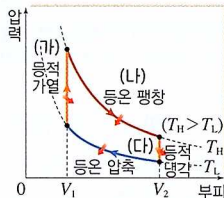
ㄱ. A → B 과정은 등적 과정이므로 기체가 외부에 한 일은 0이다.

ㄴ. B → C 과정은 등온 과정이고 부피가 증가한다.  $Q=W=P\Delta V$ 에서  $Q>0$ 이므로 열을 흡수하는 과정이다.

**바로알기** ㄷ. B → C 과정은 등온 과정이다.  $PV \propto T$ 에서 온도가 일정할 때 부피가 증가하였으므로 압력은 감소한다.

## 02 — 품점 문제 분석

스털링 기관의 순환 과정을 압력-부피 그래프로 나타내면 그림과 같다.



ㄱ. (가)는 등적 과정이다. 기체가 한 일  $W=0$ 이므로 열역학 제1법칙  $Q=\Delta U$ 에서 기체가 흡수한 열  $Q$ 는 내부 에너지 증가량  $\Delta U$ 와 같다.

ㄴ. (나)는 등온 팽창 과정이다. 기체의 내부 에너지 변화량  $\Delta U=0$ 이므로 열역학 제1법칙  $Q=W$ 에서 기체가 흡수한 열만큼 외부에 일을 한다.

**바로알기** ㄷ. (다)는 등적 과정으로 부피가 일정한 상태에서 열을 방출하여 온도가 낮아지므로  $PV \propto T$ 에서 압력이 감소한다. 따라서 압력과 부피의 곱은 감소한다.

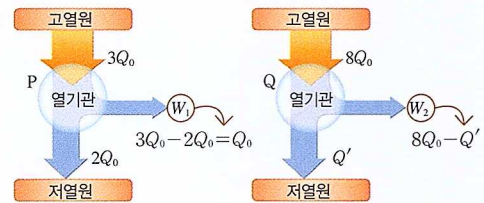
**03** ㄱ. 압력-부피 그래프에서 압력과 부피의 곱은 기체의 온도에 비례한다. 온도는 A에서 D에서의 2배이므로 부피가  $V_1$ 로 일정할 때  $P_2$ 는  $P_1$ 의 2배이다.

ㄴ. A → B 과정과 C → D 과정은 등온 과정이다. 따라서  $\Delta U=0$ 이므로  $Q=W$ 이다. 또한 압력-부피 그래프 아랫부분의 넓이는 기체가 하거나 받은 일이므로 A → B 과정에서 기체가 한 일을  $W_A$ , C → D 과정에서 기체가 받은 일을  $W_B$ 라고 하면 색칠된 부분의 넓이  $W_A - W_B$ 는  $Q_H - Q_L$ 이다.

ㄷ. D → A 과정은 등적 과정이다. 따라서  $W=0$ 이므로  $Q=\Delta U$ 이다. 즉, 기체가 흡수한 열량과 기체의 내부 에너지 증가량은 같다. B → C 과정도 등적 과정이므로 기체가 방출한 열량과 기체의 내부 에너지 감소량이 같다. 그런데 A와 B, C와 D의 온도가 각각 같으므로 D → A 과정과 B → C 과정의 내부 에너지 변화량의 크기는 같다. 따라서 D → A 과정에서 기체가 흡수한 열량과 B → C 과정에서 기체의 내부 에너지 감소량은 같다.

## 04 — 품점 문제 분석

흡수한 열량에 대해 열기관이 한 일의 비를 열효율이라고 한다.



ㄱ. P에서  $W_1$ 은  $3Q_0 - 2Q_0 = Q_0$ 이고, P의 열효율은  $\frac{Q_0}{3Q_0} = \frac{1}{3}$

이다. P의 열효율은 Q의  $\frac{4}{3}$ 배이므로 Q의 열효율은  $\frac{1}{3} \times \frac{3}{4} = \frac{1}{4} = 0.25$ 이다.

ㄴ. Q의 열효율은  $\frac{1}{4} = \frac{8Q_0 - Q'}{8Q_0}$ 이므로  $Q' = 6Q_0$ 이다.

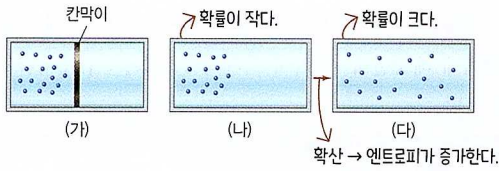
**바로알기** ㄷ.  $W_1 = Q_0$ 이고,  $W_2 = 8Q_0 - 6Q_0 = 2Q_0$ 이므로  $W_1$ 과  $W_2$ 는 같지 않다.

**05** ㄱ. 열은 엔트로피가 증가하는 방향인 고온의 물체에서 저온의 물체로만 자발적으로 이동한다. 그 반대 방향인 저온의 물체에서 고온의 물체로는 자발적으로 이동하지 않는다.

ㄴ. 고온의 열원으로부터 흡수한 열로 순환하는 동안 흡수한 열과 같은 양의 일을 하는 경우는 열기관의 열효율이 1인 경우이다. 열효율이 1인 열기관은 제작이 불가능하다.

**바로알기** ㄷ. 한 번의 에너지 공급으로 영원히 작동하는 기관은 에너지 보존 법칙에 위배된다. 따라서 에너지 보존과 관련된 열역학 제1법칙과 관련이 있다.

## 06 — 꼼꼼 문제 분석



ㄴ. 기체는 (나)의 상태보다 (다)의 상태로 존재할 확률이 크다. 확률이 큰 경우가 무질서도가 큰 것이므로 무질서도는 (다)에서 (나)에서보다 크다.

**바로알기** ㄱ. (나)에서 (다)가 되는 과정은 기체의 확산이다. 확산은 기체가 외부로 일을 하는 것이 아니므로 기체는 일을 하지 않는다.

ㄷ. 고립계에서 자발적으로 일어나는 변화는 항상 엔트로피가 증가하는 방향으로만 일어난다. 따라서 엔트로피가 증가하는 과정은 (나)에서 (다)가 될 때이다.

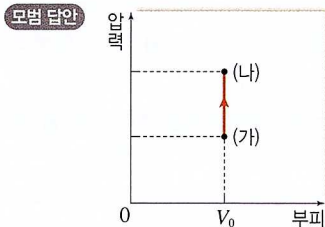
**07** 구름은 부피가 팽창하면서 온도가 내려가는 단열 팽창 과정으로 생긴다.

**모범 답안** • 탄산음료의 병뚜껑을 열면 높은 압력의 기체가 순간적으로 병 밖으로 나오면서 김이 생긴다.

• 스프레이 통에서 기체를 분사하면 통이 차가워진다.

| 채점 기준                       | 배점    |
|-----------------------------|-------|
| 단열 팽창의 예를 두 가지 모두 옳게 서술한 경우 | 100 % |
| 단열 팽창의 예를 한 가지만 옳게 서술한 경우   | 50 %  |

**08** (나)에서는 (가)에서보다 추가 피스톤을 누르는 압력이 추가되므로 (나)에서는 (가)에서보다 압력이 증가한다.  $PV \propto T$ 에서 부피는 일정한데 압력이 증가하였으므로 온도도 증가한다.



(가)와 (나)에서 부피가 일정한데 (나)에서는 (가)에서보다 압력이 크다. 압력  $\times$  부피는 온도에 비례하므로 온도도 증가한다.

| 채점 기준                             | 배점    |
|-----------------------------------|-------|
| 그래프를 옳게 나타내고 압력과 온도 변화를 옳게 서술한 경우 | 100 % |
| 그래프만 옳게 나타낸 경우                    | 50 %  |

## 중단원 고난도 문제

141쪽

01 ③ 02 ① 03 ④ 04 ④

## 01 — 꼼꼼 문제 분석

각 과정에서 에너지 출입을 표시하면 표와 같다.

| 과정                              | $Q$    | $\Delta U$ | $W$   |
|---------------------------------|--------|------------|-------|
| $A \rightarrow B \rightarrow C$ |        | +420 J     |       |
| $C \rightarrow D \rightarrow A$ |        | -420 J     |       |
| $C \rightarrow D$               | -240 J | -240 J     | 0     |
| $D \rightarrow A$               | -220 J | -180 J     | -40 J |

### 선택지 분석

㉠  $C \rightarrow D$  과정에서 내부 에너지 감소량은 240 J이다.

㉡  $D \rightarrow A$  과정에서 내부 에너지 감소량은 180 J이다.

㉢  $D \rightarrow A$  과정에서 기체가 외부로부터 받은 일은 60 J이다. 40 J

**전략적 풀이** ① 등적 과정에서는 흡수하거나 방출한 열이 내부 에너지 변화량과 같다는 것을 이해한다.

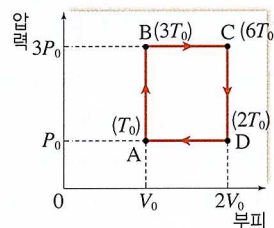
ㄱ.  $C \rightarrow D$  과정은 등적 과정이므로  $Q = \Delta U$ 에서 방출한 열은 내부 에너지 감소량과 같다. 따라서 240 J의 열을 방출하므로 내부 에너지는 240 J 감소한다.

ㄴ.  $A \rightarrow B \rightarrow C$  과정에서 내부 에너지 증가량이 420 J이므로  $C \rightarrow D \rightarrow A$  과정에서는 내부 에너지 감소량이 420 J이다. 그런데  $C \rightarrow D$  과정에서 내부 에너지 감소량이 240 J이므로  $D \rightarrow A$  과정에서 내부 에너지 감소량은  $420 \text{ J} - 240 \text{ J} = 180 \text{ J}$ 이다.

②  $D \rightarrow A$  과정에서  $Q$ 와  $\Delta U$ 로부터  $W$ 를 계산한다.

ㄷ.  $D \rightarrow A$  과정에서 방출하는 열이 220 J이고 내부 에너지 감소량은 180 J이므로 외부로부터 받은 일은  $220 \text{ J} - 180 \text{ J} = 40 \text{ J}$ 이다.

## 02 — 꼼꼼 문제 분석



압력-온도 그래프를 압력-부피 그래프로 변형하면 그림과 같다.  
 $\Rightarrow PV \propto T$ 이므로 각 상태에서 온도를 알 수 있다.