

II. 열과 에너지

03

열역학 제1법칙

수록 구성

- 개념 기본 문제
- 개념 적용 문제
- 1등급 도전 문제
- 정답과 해설

03

열역학 제1법칙

핵심 내용 **마라보**

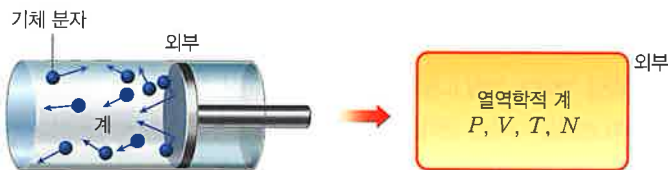
열역학 제1법칙은 계에 가해진 열에너지가 계의 내부 에너지를 변화시키거나 외부에 일을 하는 데 쓰인다는 에너지 보존 법칙이다.

1 기체의 내부 에너지와 일

열역학에서는 우주를 계와 외부로 나누어 에너지의 흐름으로 이해한다. 계와 외부 사이는 열과 일을 통해 에너지를 교환하므로, 자동차 엔진처럼 복잡한 열기관의 원리를 이해하려면 실린더 안의 기체를 하나의 계로 단순화하여 열과 일의 흐름을 분석하는 것에서부터 시작해야 한다.

1. 열역학적 계와 기체의 내부 에너지

- (1) **열역학적 계:** 우리가 관찰하는 우주의 특정 부분(물질들의 모임)을 계(system)라고 하며, 계를 제외한 나머지 모든 부분을 외부라고 한다. 계의 경계를 명확히 설정함으로써 복잡한 현상 속 에너지와 물질의 출입을 체계적으로 분석할 수 있다.
- 계가 필요한 까닭: 수많은 기체 분자의 움직임을 하나하나 역학적으로 분석하는 것은 불가능하다. 따라서 열역학에서는 이상 기체 법칙을 따르는 이상 기체 분자의 모임인 열역학적 계를 설정하고, 계 전체의 통계적 특성인 압력(P), 부피(V), 온도(T), 분자 수(N) 등을 이용하여 기체의 상태를 설명한다.



▲ 이상 기체로 이루어진 열역학적 계

- (2) **기체의 내부 에너지:** 기체의 내부 에너지는 계를 구성하는 모든 기체 분자의 운동 에너지와 위치 에너지의 총합이다. 기체 분자들은 끊임없이 무질서하게 운동하므로, 이러한 무질서한 운동에 의한 운동 에너지가 내부 에너지로 나타난다.

- ① 이상 기체의 내부 에너지: 이상 기체는 분자 사이의 상호작용을 무시하므로 위치 에너지는 0이다. 따라서 이상 기체의 내부 에너지는 모든 기체 분자들의 운동 에너지 합과 같다.
- ② 이상 기체의 내부 에너지와 절대 온도: 기체 분자 한 개의 평균 운동 에너지($\overline{E_k}$)는 기체의 절대 온도(T)에 비례한다. 따라서 기체를 구성하는 분자의 수(N)가 일정할 때, 기체의 내부 에너지(U)는 절대 온도(T)에 비례한다.

$$U = N \times \overline{E_k} \rightarrow U \propto NT$$

계의 종류

에너지와 물질의 교환 여부에 따라서 계를 설정한다.

- 열린계: 에너지와 물질 모두 외부와 교환하는 계이다.
 - ☐ 뜨거운 물이 담긴 뚜껑 없는 컵 내부: 물 분자가 수증기로 빠져나가므로 물질 교환이 일어난다.
- 닫힌계: 외부와 에너지는 교환하지만, 물질은 교환하지 않는 계이다. 열역학에서는 주로 닫힌계를 다룬다.
 - ☐ 밀폐된 실린더: 피스톤의 움직임을 통해 외부와 일을 주고받으며 에너지를 교환한다.
- 고립계: 에너지와 물질 모두 외부와 교환하지 않는, 완전히 차단된 계이다.
 - ☐ 완벽한 밀폐와 완벽한 단열은 어려우므로 이상적인 계이다.

열역학적 계의 상태 표현

기체의 상태를 기체 분자들의 통계적 특성인 압력, 부피, 온도, 분자 수 등 열역학적 계로 표현하면 우리가 직접 측정할 수 없는 미시 세계의 '내부 에너지'를 거시 세계에서 측정 가능한 '온도'라는 물리량으로 알 수 있게 해 준다.

고체의 내부 에너지

고체의 내부 에너지는 질량에 비례하며, 절대 온도가 높을수록 증가한다.

개념 기본 문제

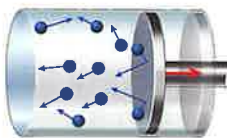
01 기체의 내부 에너지에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 이상 기체의 내부 에너지는 분자들의 운동 에너지의 총합이다.
- ㄴ. 기체의 온도가 높을수록 기체 분자의 열운동은 활발하다.
- ㄷ. 일정량의 이상 기체의 내부 에너지는 절대 온도에 비례한다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02 그림은 밀폐된 실린더 안의 이상 기체가 일정한 압력으로 팽창하며 피스톤을 밀어내는 모습을 나타낸 것이다.



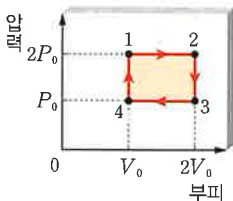
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 피스톤의 질량과 모든 마찰은 무시한다.)

보기

- ㄱ. 실린더의 내부는 닫힌계이다.
- ㄴ. 기체는 외부와 에너지를 교환한다.
- ㄷ. 기체의 내부 에너지는 감소한다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

03 그림은 일정량의 이상 기체의 상태가 $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$ 의 경로를 따라 변하는 과정을 압력·부피 그래프로 나타낸 것이다.

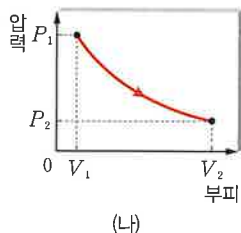
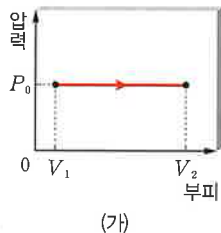


- (1) 한 번의 순환 과정에서 기체가 외부에 하는 일을 구하시오.
- (2) 한 번의 순환 과정에서 기체의 내부 에너지 변화량을 구하시오.
- (3) 기체의 내부 에너지가 가장 큰 상태는 1~4 중에서 무엇인지 쓰시오.

04 일정량의 이상 기체의 열역학 과정에 대한 설명으로 옳은 것은?

- ① 등압 과정에서 기체의 부피가 팽창한다면 기체의 온도는 낮아진다.
- ② 단열 과정에서는 외부와의 열의 출입이 없으므로 기체의 내부 에너지는 변하지 않는다.
- ③ 등온 과정에서는 기체의 온도가 일정하므로 기체가 흡수한 열은 모두 외부에 한 일로 전환된다.
- ④ 등적 과정에서 기체의 압력이 일정하게 유지된 채로 온도가 변한다.
- ⑤ 단열 압축 과정에서 기체는 외부에서 받은 일만큼 열을 방출한다.

05 그림 (가), (나)는 이상 기체의 부피가 V_1 에서 V_2 로 팽창하는 과정을 압력·부피 그래프로 나타낸 것으로, (가)는 압력이 일정한 과정이고, (나)는 온도가 일정한 과정이다. (가)와 (나)에서 기체의 양과 기체가 한 일은 서로 같다.



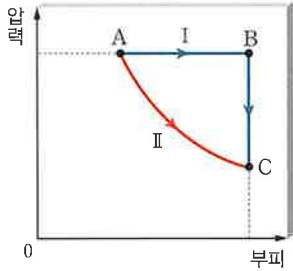
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. $P_2 < P_0$ 이다.
- ㄴ. 그래프 아래의 넓이는 (가)와 (나)에서 서로 같다.
- ㄷ. 부피가 V_1 일 때 기체의 온도는 (가)에서가 (나)에서보다 높다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

- 06** 그림은 일정량의 이상 기체의 상태가 변하는 과정을 나타낸 것으로, I은 $A \rightarrow B \rightarrow C$ 를 따라 변하는 과정, II는 $A \rightarrow C$ 를 따라 변하는 과정이다. $A \rightarrow B$ 과정은 압력이 일정한 과정, $B \rightarrow C$ 과정은 부피가 일정한 과정, $A \rightarrow C$ 과정은 온도가 일정한 과정이다.



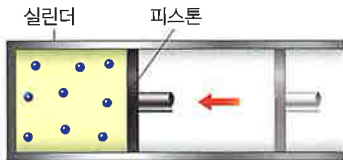
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 기체가 한 일은 I에서가 II에서보다 크다.
- ㄴ. 기체가 흡수한 열량은 I에서가 II에서보다 크다.
- ㄷ. 기체의 내부 에너지 변화량은 I에서가 II에서보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

- 07** 그림과 같이 밀폐된 실린더에 들어 있는 일정량의 이상 기체의 압력을 일정하게 유지하면서 온도를 T_1 에서 T_2 로 변화시켰더니 부피가 감소하였다.



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

보기

- ㄱ. $T_1 < T_2$ 이다.
- ㄴ. 기체는 외부로부터 일을 받는다.
- ㄷ. 기체의 부피가 감소하는 동안 기체는 외부로 열을 방출한다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

- 08** 그림은 단열된 실린더에 일정량의 이상 기체를 넣고, 단열된 피스톤 위에 모래를 올려놓은 모습을 나타낸 것이다. 피스톤이 정지한 상태에서 기체에 서서히 열을 가하였더니 피스톤이 위로 움직였다.



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

보기

- ㄱ. 피스톤이 움직이는 동안 기체의 압력은 일정하다.
- ㄴ. 피스톤이 움직이는 동안 기체의 온도는 일정하다.
- ㄷ. 기체가 흡수한 열량은 모래와 피스톤이 받은 일과 같다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

- 09** 그림은 증기 배출구가 닫힌 채로 밀폐된 압력밥솥을 가스레인지 위에 올려놓고 가열하는 모습을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 압력밥솥 내부의 기체는 이상 기체로 가정하며, 압력밥솥의 부피 팽창은 무시한다.)

보기

- ㄱ. 압력밥솥 내부의 기체가 외부에 한 일은 0이다.
- ㄴ. 기체가 흡수한 열량은 모두 기체의 내부 에너지를 증가시키는 데 사용된다.
- ㄷ. 압력밥솥 내부 기체의 압력은 일정하다.

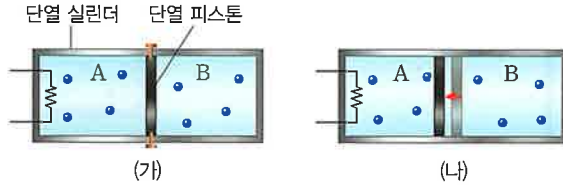
- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

개념 적용 문제

➤ 열역학 제1법칙

- 01** 그림 (가)는 핀으로 고정된 단열 피스톤에 의해 나누어진 단열 실린더에 이상 기체 A, B가 각각 들어 있는 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)에서 A를 가열한 후 핀을 제거하였더니 피스톤이 A 쪽으로 이동하는 모습을 나타낸 것이다.

➤ 열역학 제1법칙의 관계식은 $Q = \Delta U + W$ 이며, 기체가 외부로부터 일을 받으면 기체가 한 일 $W < 0$ 이다.



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

보기

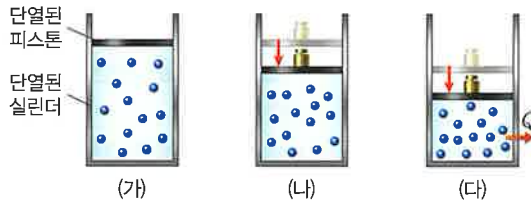
- ㄱ. (가)에서 기체의 압력은 A가 B보다 작다.
- ㄴ. (나)에서 A의 내부 에너지는 증가한다.
- ㄷ. (나)에서 피스톤이 이동하는 동안 B의 온도는 낮아진다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

➤ 열역학 제1법칙

- 02** 그림 (가)는 이상 기체가 들어 있는 단열된 실린더에서 단열된 피스톤이 정지해 있는 모습을, (나)는 (가)의 피스톤 위에 추를 올려놓았더니 피스톤이 아래로 이동하여 정지한 모습을, (다)는 (나)의 기체를 서서히 냉각하여 열량 Q 를 제거하였더니 기체의 압력이 일정하게 유지되며 피스톤이 아래로 이동하여 정지한 모습을 나타낸 것이다.

➤ '단열된 실린더', '단열된 피스톤'이라는 단서는 실린더와 피스톤을 통해 출입하는 열이 없다는 의미이다. (다)와 같은 과정은 피스톤과 실린더 이외에 별도의 냉각 장치로 열을 제거하는 것으로 이해할 수 있다.



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

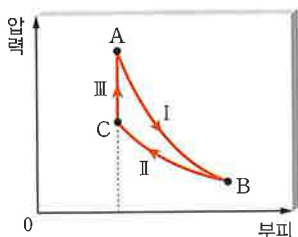
보기

- ㄱ. 기체의 압력은 (가)와 (나)에서 서로 같다.
- ㄴ. 기체의 내부 에너지는 (나)에서가 (다)에서보다 크다.
- ㄷ. (나)에서 (다)로 변하는 과정 동안 기체가 외부로부터 받은 일은 Q 와 같다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

➤ 열역학 과정

- 03** 그림은 일정량의 이상 기체의 상태가 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ 를 따라 순환하는 동안 압력과 부피를 나타낸 것으로, I은 단열 과정, II는 등온 과정, III은 등적 과정이다. 표는 각 과정별로 기체가 흡수 또는 방출한 열량 Q 와 기체의 내부 에너지 변화량 ΔU 를 나타낸 것이다.



과정	Q	ΔU
I	㉠	$-2E_0$
II	$-E_0$	0
III		㉡

➤ 열량의 부호는 기체가 열을 흡수하면 $Q > 0$, 방출하면 $Q < 0$ 이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

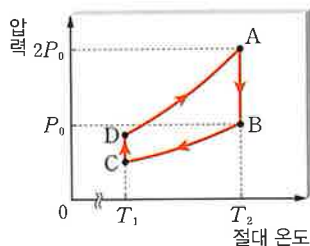
보기

- ㄱ. ㉠은 $2E_0$ 이다.
 ㄴ. ㉡은 $3E_0$ 이다.
 ㄷ. 한 번 순환하는 동안 기체가 한 일은 E_0 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

➤ 열역학 과정

- 04** 그림은 일정량의 이상 기체의 상태가 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ 를 따라 순환하는 동안 압력과 절대 온도를 나타낸 것이다. $A \rightarrow B$, $C \rightarrow D$ 과정은 온도가 일정한 과정이고, $B \rightarrow C$, $D \rightarrow A$ 과정은 단열 과정이다. 기체의 내부 에너지는 B에서가 D에서의 $\frac{4}{3}$ 배이다.



➤ 이상 기체의 내부 에너지는 절대 온도에 비례한다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

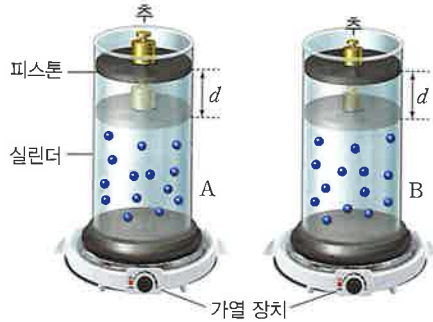
- ㄱ. $4T_1 = 3T_2$ 이다.
 ㄴ. 기체의 부피는 A에서가 B에서의 2배이다.
 ㄷ. $D \rightarrow A$ 과정에서 기체가 외부로부터 받은 일의 양은 D에서 기체의 내부 에너지의 $\frac{1}{3}$ 배이다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

➤ 열역학 과정

05 그림은 이상 기체가 들어 있는 두 실린더 A, B를 동일하게 가열하였더니 피스톤이 각각 거리 d 만큼 서서히 올라간 후 정지한 모습을 나타낸 것이다. A와 B에는 각각 같은 양의 이상 기체가 들어 있으며, 가열 전 기체의 부피는 서로 같다. 피스톤에 놓은 추의 질량은 A에서가 B에서보다 크다.

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



➤ 열역학 과정이 서서히 일어난다는 의미는 매 순간 열평형을 이루면서, 과정이 진행되는 모든 순간 내부의 온도와 압력이 균일하다는 의미이다.

보기

- ㄱ. 가열 전 기체의 온도는 B에서가 A에서보다 높다.
- ㄴ. 가열 후 기체의 온도는 A에서가 B에서보다 높다.
- ㄷ. 기체가 외부에 한 일은 A에서가 B에서보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

➤ 열역학 제1법칙의 적용

06 그림 (가)는 공기가 지형을 따라 올라가면서 온도가 내려가 구름이 생기는 모습을, (나)는 공기 압축 점화 장치의 피스톤을 빠르게 눌러 실린더 내부의 숨을 연소시키는 모습을 나타낸 것이다.



➤ (가), (나)의 열역학 과정은 열이 이동할 시간이 거의 없을 정도로 매우 빠르게 상태 변화가 일어나므로 단열 과정으로 볼 수 있다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. (가)에서 공기의 내부 에너지가 감소한다.
- ㄴ. (나)에서 피스톤을 누를 때 공기에 한 일이 실린더 안 공기의 내부 에너지로 전환된다.
- ㄷ. (가)에서 지형을 따라 올라가는 공기와 (나)에서 실린더 내부의 공기는 모두 외부로부터 일을 받는다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

➤ 열역학 제1법칙

- 07 그림 (가)는 단열된 피스톤으로 분리된 실린더의 두 부분에 같은 양의 동일한 이상 기체 A, B가 들어 있는 모습을, (나)는 (가)와 같은 실린더를 금속 피스톤으로 분리한 두 부분에 같은 양의 동일한 이상 기체 C, D가 들어 있는 모습을 나타낸 것이다. A, B, C, D의 온도와 압력은 서로 같다.



➤ 이상 기체 법칙의 관계식 $PV=nRT$ 에 따라, 기체의 절대 온도 T 는 PV 값에 비례한다.

A와 C에 같은 열량을 공급한 후 각각 열평형 상태가 되었을 때, 기체의 상태에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 피스톤의 질량과 모든 마찰은 무시한다.)

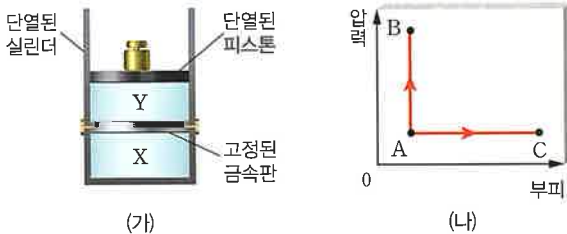
보기

- ㄱ. 최종 기체의 부피는 B가 C보다 작다.
- ㄴ. 최종 기체의 내부 에너지는 A가 C보다 크다.
- ㄷ. (가) 과정에서 B가 받은 일의 양은 (나) 과정에서 C의 내부 에너지 증가량보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

➤ 열역학 과정

- 08 그림 (가)와 같이 고정된 금속판으로 분리된 단열된 실린더에 같은 양의 동일한 이상 기체 X, Y가 열평형 상태에 있다. 그림 (나)는 (가)에서 X를 서서히 가열했을 때, X와 Y의 상태가 A → B 또 는 A → C로 변하는 과정을 압력·부피 그래프로 나타낸 것이다.



➤ 이상 기체의 내부 에너지는 절대 온도에 비례한다.

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

보기

- ㄱ. X의 상태는 A → B 과정을 따라 변한다.
- ㄴ. 기체의 내부 에너지는 B에서가 C에서보다 작다.
- ㄷ. 기체가 흡수한 열량은 X가 Y보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

바로알기 ㄱ. t 초 후 두 금속과 물이 열평형에 도달하였으므로, t 초일 때 알루미늄과 철의 온도는 같다.

- 02** ㄱ. 융해열은 고체 상태의 물질이 모두 액체 상태로 변하는 데 필요한 열량이다. 그래프에서 A는 2분~6분 구간 동안 녹으므로, 융해열은 이 동안 A에 가한 열량과 같다.
 ㄴ. A를 일정하게 가열하므로 가한 열량은 시간에 비례한다. A를 1 kg 융해시키는 데 4분이 걸리고, 기화시키는 데는 10분이 걸린다. 따라서 A를 1 kg을 기화시키는 데 필요한 열량(기화열)은 1 kg을 융해시키는 데 필요한 열량(융해열)의 2.5배이다. 융해열과 기화열은 물질의 질량에 비례하므로, 질량이 2 kg여도 이 비율은 같다.

바로알기 ㄴ. 가한 열량 $Q = cm\Delta T$ 이고, Q 가 가열 시간 t 에 비례할 때 비열 c 와 단위 시간당 온도 변화 $\frac{\Delta T}{t}$ 는 반 비례한다. 고체 상태 구간(0분~2분)에서 $\frac{\Delta T}{t}$ 는 $10^\circ\text{C}/\text{분}$ 이고, 액체 상태 구간(6분~10분)에서 $\frac{\Delta T}{t}$ 는 $20^\circ\text{C}/\text{분}$ 이다. 따라서 A의 비열은 고체 상태일 때가 액체 상태일 때보다 크다.

- 03** ㄱ. 더운 날 땀이 마르는 것은 액체 상태의 땀이 기체로 변하는 기화 현상이다. 기화가 일어날 때는 주변의 열을 흡수하는데, 이를 기화열이라고 한다. 땀이 피부로부터 기화열을 흡수하므로 피부의 온도가 내려가 시원함을 느끼게 된다.

바로알기 ㄴ. 같은 온도라도 끓는 물보다 수증기에 의한 화상이 더 심한 까닭은 수증기의 비열이 물의 비열보다 작지만, 수증기가 피부에 닿아 액체로 변할 때 방출하는 잠열이 크기 때문이다.

ㄴ. 뚝배기는 비열이 크고 두꺼워 열용량이 크다. 열용량이 큰 물질은 온도를 변화시키는 데 많은 열량이 필요하므로, 천천히 데워지고 천천히 식는다.

- 04** ㄴ. 차가운 컵 표면에 닿은 공기 중의 수증기는 이슬점 아래로 온도가 낮아져서 액체인 물방울로 변한다. 제습기도 이 원리를 이용하여 공기 중의 습기(수증기)를 제거한다.

ㄴ. 기체 상태의 수증기가 액체 상태의 물로 상태가 변할 때는 잠열을 방출한다. 이 열 때문에 냉각기의 온도가 올라가므로, 제습기가 냉각 기능을 계속 유지하기 위해서는 흡수한 열을 냉각기에서 제거하는 과정이 필요하다.

바로알기 ㄱ. 제습기는 공기 중의 수증기를 액체 상태의 물로 상태를 변화시키는 장치이다. 공기의 온도가 이슬점 아래로 내려가면 응축이 일어나므로, 냉각기의 온도는 이

슬점보다 낮으면 되고, 반드시 0°C 이하일 필요는 없다. 만약 0°C 이하라면 물이 아닌 성에나 얼음이 생기게 된다.

- 05** ㄱ. (나)는 압력이 일정한 상태에서 부피가 팽창하는 과정이다. 샤를 법칙에 따라 부피가 두 배가 되려면 절대 온도 역시 두 배가 되어야 하므로 기체의 온도가 상승한다. 따라서 (나)에서 기체 분자의 열운동은 활발해진다.

ㄴ. 0°C , 1기압에서 1 mol의 이상 기체는 항상 22.4 L의 부피를 차지한다. 따라서 (가)에서 기체의 온도는 $0^\circ\text{C} = 273\text{ K}$ 이다. (나)는 압력이 일정한 상태에서 부피가 두 배가 되었으므로, 샤를 법칙에 따라 절대 온도도 두 배가 되어야 한다. 따라서 (나)에서 기체의 온도는 $273\text{ K} \times 2 = 546\text{ K}$ 이며, 이를 섭씨온도로 환산하면 273°C 이다.

ㄴ. (다)는 부피가 일정한 상태에서 온도를 변화시키는 과정이다. (나) 상태의 압력과 온도는 각각 1기압, 546 K이고, (다) 상태의 온도는 $546^\circ\text{C} + 273 = 819\text{ K}$ 이다. 이 조건에서는 $\frac{P}{T} = \text{일정}$ 이므로, $\frac{1\text{기압}}{546\text{ K}} = \frac{P_{(d)}}{819\text{ K}}$ 이다. 따라서 (다)에서 기체의 압력 $P_{(d)} = 1.5\text{기압}$ 이다.

- 06** ㄱ, ㄴ. 이상 기체 법칙으로 처음과 t 초일 때를 나타내면 다음과 같다.

$$P_0 V_0 = n_0 R T_0 \quad \dots (\text{처음 상태})$$

$$P_1 V_1 = n_1 R T_1 \quad \dots (t\text{초일 때})$$

열기구 아래는 열려 있어 외부 대기와 맞닿아 있으므로, 가열 중에는 내부 기체의 압력은 외부 대기압과 같은 상태로 일정하게 유지된다($P_0 = P_1$). 또한 열기구 내부의 부피는 일정하므로($V_0 = V_1$) $n_0 T_0 = n_1 T_1$ 이 성립한다. 기체의 질량은 기체 분자의 양(n)에 비례하고, 열기구 내부의 부피는 일정하므로 기체의 밀도(ρ)는 기체 분자의 양에 비례한다. 따라서 위 식을 밀도로 표현하면 $\rho_0 T_0 = \rho_1 T_1$ 이다. 처음 온도를 절대 온도로 환산하면 $T_0 = 7^\circ\text{C} + 273 = 280\text{ K}$ 이고, t 초일 때 밀도가 처음의 $\frac{4}{5}$ 배가 되었으므로, t 초일 때

기체의 온도 T_1 은 $T_1 = \frac{5}{4} T_0 = \frac{5}{4} \times 280\text{ K} = 350\text{ K}$ 이다.

이를 섭씨온도로 환산하면 $350\text{ K} - 273 = 77^\circ\text{C}$ 이다.

바로알기 ㄴ. 이상 기체 법칙에서 $\frac{PV}{T} = nR$ 이다. 열기구 내부의 부피와 압력은 일정하지만, 온도가 상승함에 따라 내부 기체 분자 일부가 외부로 빠져나가므로 기체의 양(n)은 감소한다. 따라서 0초~ t 초 동안 열기구 내부 기체의 $\frac{\text{압력} \times \text{부피}}{\text{절대 온도}}$ 값은 일정하지 않고 감소한다.

- 07 ㄱ. 최종 열평형 온도를 확인하기 위해 에스프레소와 물이 0°C까지 냉각될 때 잃는 열량(Q_1)과 -10°C의 얼음이 0°C가 된 후 모두 녹는 데 필요한 열량(Q_2)을 비교한다.

$$\begin{aligned} Q_1 &= (60 \text{ g} \times 1 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C} \times 90 ^\circ\text{C}) \\ &\quad + (200 \text{ g} \times 1 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C} \times 10 ^\circ\text{C}) \\ &= 5400 \text{ cal} + 2000 \text{ cal} = 7400 \text{ cal} \\ Q_2 &= (200 \text{ g} \times 0.5 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C} \times 10 ^\circ\text{C}) \\ &\quad + (200 \text{ g} \times 80 \text{ cal/g}) \\ &= 1000 \text{ cal} + 16000 \text{ cal} = 17000 \text{ cal} \end{aligned}$$

따라서 -10°C의 얼음 200 g이 0°C가 되는 데 필요한 열량이 1000 cal이므로 얼음은 0°C까지 온도가 올라가며, $Q_1 < Q_2$ 이므로 0°C의 얼음은 모두 녹지 않고 일부 남게 되어, 아이스커피의 최종 열평형 온도는 0°C가 된다.

ㄷ. 에스프레소가 열평형 상태인 0°C가 될 때까지 잃는 열량은 5400 cal이고, 얼음이 -10°C에서 0°C가 되기 까지 얻는 열량은 1000 cal이다. 따라서 열평형 상태에 도달할 때까지 에스프레소가 잃는 열량은 얼음이 -10°C에서 0°C가 되기까지 얻는 열량의 5.4배이다.

[바로알기] ㄴ. 에스프레소와 물이 0°C로 냉각되면서 잃는 총 열량은 7400 cal이다. 이 중에서 1000 cal는 얼음을 0°C로 데우는 데 사용되고, 나머지 6400 cal가 얼음을 녹이는 데 사용된다. 따라서 녹은 얼음의 양은 얼음의 융해열이 80 cal/g이므로 $\frac{6400 \text{ cal}}{80 \text{ cal/g}} = 80 \text{ g}$ 이다.

- 08 ㄱ. 온도가 일정한 상태에서 일정량의 기체는 보일 법칙에 따라 압력(P)과 부피(V)가 반비례한다. (가)에서 해발고도가 높아질수록 기압이 낮아지므로, 온도가 일정하다고 가정했을 때 해발고도가 높아질수록 부피가 증가하는 (나)의 B는 보일 법칙으로 설명할 수 있다.

ㄴ. 이상 기체의 압력이 일정할 때 기체의 부피와 절대 온도는 비례한다. (나) 그래프의 특정 해발고도에서 B의 부피가 A의 부피보다 크므로, B의 온도가 A의 실제 온도보다 높다는 것을 알 수 있다. 이는 실제 상황(A)에서는 해발고도가 높아짐에 따라 주변 온도가 낮아짐을 의미한다.

ㄷ. 이상 기체 법칙에 따라서 $\frac{PV}{T} = nR$ 이다. 기체의 양(n)은 일정하고, R 는 기체 상수이므로 역시 일정하다. 따라서 (나)의 A를 포함하여 $\frac{PV}{T}$ 값은 해발고도나 기체의 압력, 부피, 온도와 관계없이 항상 일정하다. 그러므로 500 m일 때와 1000 m일 때의 $\frac{PV}{T}$ 값은 서로 같다.

03 열역학 제1법칙

중요 개념 체크

131쪽

- 1 내부 에너지 2 (1) ○ (2) × 3 (1) × (2) ○

집중 분석 유제

133쪽

- 1 ⑤ 2 ①

- 1 같은 상태에서 팽창을 시작할 때, 단열 과정의 그래프가 등온 과정의 그래프보다 기울기가 더 가파르다. 따라서 I은 등온 과정이고, II는 단열 과정이다.

ㄱ. 기체가 한 일은 압력·부피 그래프에서 그래프 아래의 넓이와 같다. 그래프 아래의 넓이는 I에서 II에서보다 크므로 기체가 한 일은 I에서 II에서보다 크다.

ㄴ. I은 온도가 일정한 등온 과정이므로 B에서의 온도가 A에서의 온도와 같다. II에서는 기체가 일을 하면서 내부 에너지가 감소하므로 온도가 낮아진다. 따라서 $T_B > T_C$ 이고, 이상 기체의 내부 에너지는 절대 온도에 비례하므로 내부 에너지는 B에서 C에서보다 크다.

ㄷ. I은 등온 과정이므로 기체의 내부 에너지 변화가 없다 ($\Delta U_I = 0$). 열역학 제1법칙($Q = \Delta U + W$)에 따라 I에서 기체가 흡수한 열량은 기체가 외부에 한 일과 같다($Q_I = W_I$). II는 단열 과정이므로 외부와의 열 출입이 없어 기체가 흡수한 열량은 0이다($Q_{II} = 0$). 따라서 기체가 흡수한 열량은 I에서 II에서보다 크다.

- 2 ㄱ. 이상 기체 법칙($\frac{P}{T} = \frac{nR}{V}$)에 따라서 부피가 일정한 과정의 압력·절대 온도 그래프에서 원점을 지나는 직선의 기울기는 부피에 반비례한다. A → B 과정의 기울기가 C → D 과정의 기울기보다 크므로, 기체의 부피는 A에서 C에서보다 작다.

[바로알기] ㄴ. B → C 과정은 온도가 일정한 등온 과정이다. 기체의 부피는 A에서와 B에서가 같고, A에서 C에서보다 작으므로 B → C 과정에서 기체의 부피는 증가한다. 따라서 이 과정에서 기체는 외부에 일을 한다.

ㄷ. B → C 과정은 온도가 일정한 등온 과정이므로 기체의 내부 에너지 변화량이 0이다. 따라서 기체의 내부 에너지는 B와 C에서 서로 같다.

- 01 ⑤ 02 ③ 03 (1) P_0V_0 (2) 0 (3) 2
04 ③ 05 ③ 06 ③ 07 ④
08 ① 09 ③

- 01 ㄱ. 이상 기체는 분자 사이의 상호작용을 무시하므로 분자 간 위치 에너지는 0이다. 따라서 이상 기체의 내부 에너지는 계를 구성하는 모든 분자들의 운동 에너지 총합과 같다.
ㄴ. 기체 분자의 평균 운동 에너지는 기체의 절대 온도에 비례한다. 온도가 올라가면 분자들의 무질서한 운동, 즉 열운동이 활발해진다.
ㄷ. 일정량의 이상 기체에서 내부 에너지는 기체를 구성하는 분자의 수와 절대 온도의 곱에 비례한다.

- 02 ㄱ. 닫힌계는 외부와 물질 교환 없이 에너지 교환만 일어나는 계를 의미한다. 문제 그림의 실린더는 밀폐되어 기체 분자의 출입이 없으므로 물질 교환이 일어나지 않지만, 외부와 열과 일의 형태로 에너지를 교환한다. 따라서 실린더의 내부는 닫힌계이다.
ㄴ. 기체가 일정한 압력으로 팽창하기 위해서는 외부로부터 열을 공급받아야 한다. 이 열의 일부는 기체의 내부 에너지를 증가시키는 데 사용되고, 나머지는 피스톤을 밀어 내는 일을 하는 데 사용된다. 따라서 기체는 열과 일의 형태로 외부와 에너지를 교환한다.

[바로알기] ㄷ. 일정한 압력에서 기체의 부피가 팽창하면, 샤를 법칙에 따라 기체의 절대 온도는 증가한다. 이상 기체의 내부 에너지는 절대 온도에 비례하므로, 기체의 온도가 증가하면 내부 에너지는 증가한다.

- 03 (1) 한 번의 순환 과정에서 기체가 외부에 하는 일(W)은 압력·부피 그래프에서 그래프로 둘러싸인 부분의 넓이와 같다. 이 부분은 가로 길이가 V_0 이고 세로 길이가 P_0 인 직사각형이므로, 그 넓이는 P_0V_0 이다.
(2) 기체의 상태가 처음으로 되돌아오는 순환 과정에서는 처음 온도와 나중 온도가 같으므로 한 번의 순환 과정에서 내부 에너지의 총 변화량은 0이다.
(3) 이상 기체의 내부 에너지는 절대 온도에 비례하고, 절대 온도는 압력과 부피의 곱에 비례한다($PV=nRT$). 각 상태에서 PV 값을 비교하면 2에서 $4P_0V_0$ 로 가장 크다. 따라서 기체의 내부 에너지는 2에서 가장 크다.

- 04 ③ 등은 과정에서는 기체의 온도가 일정하게 유지되므로 $\Delta U=0$ 이다. 이를 열역학 제1법칙 $Q=\Delta U+W$ 에 적용하면 $Q=W$ 이므로, 기체가 흡수한 열은 모두 기체가 외부에 한 일로 전환된다.

[바로알기] ① 등압 과정에서 기체의 부피는 절대 온도에 비례하므로(샤를 법칙), 기체의 부피가 팽창하면 기체의 온도는 높아진다.

② 단열 과정에서는 외부와의 열 출입(Q)이 없지만, 열역학 제1법칙에 따라 $0=\Delta U+W$ 이므로 기체가 일을 하거나 받으면 기체의 내부 에너지가 변한다.

④ 등적 과정에서는 기체의 부피가 일정하게 유지된 채로 온도와 압력이 변한다. 기체의 압력이 일정하게 유지되는 과정은 등압 과정이다.

⑤ 단열 압축 과정에서는 외부와의 열 출입이 없으므로 기체는 열을 방출하지 않는다.

- 05 ㄱ. (가)는 압력이 P_0 로 일정한 등압 과정이고, (나)는 압력이 P_1 에서 P_2 로 감소하는 등은 과정이다. 두 과정에서 기체가 한 일(=압력·부피 그래프 아래의 넓이)이 같으면 압력이 일정한 (가)의 P_0 는 압력이 계속 변하는 (나)의 처음 압력 P_1 과 나중 압력 P_2 사이의 값이 되어야 한다. 즉, $P_1>P_0>P_2$ 가 성립해야 한다.

ㄴ. 기체가 하는 일은 압력·부피 그래프에서 그래프 아래의 넓이와 같다. 기체의 부피가 V_1 에서 V_2 로 팽창하는 동안 (가)와 (나)에서 기체가 한 일이 서로 같으므로, 그래프 아래의 넓이는 (가)와 (나)에서 서로 같다.

[바로알기] ㄷ. 이상 기체의 절대 온도는 압력과 부피의 곱에 비례한다($PV=nRT$). $P_1>P_0$ 이므로, 부피가 V_1 일 때 기체의 온도는 (나)에서가 (가)에서보다 높다.

- 06 ㄱ. 기체가 하는 일은 압력·부피 그래프에서 그래프 아래의 넓이와 같다. I에서 기체가 한 일은 $A \rightarrow B$ 과정에서 한 일(직사각형의 넓이)과 같고, II에서 한 일은 곡선 $A \rightarrow C$ 아래의 넓이와 같다. 그래프에서 I 아래의 넓이가 II 아래의 넓이보다 크므로, 기체가 한 일은 I에서가 II에서보다 크다.

ㄴ. 열역학 제1법칙에 따르면 기체가 흡수한 열량은 $Q=\Delta U+W$ 이다. I과 II 과정의 처음 상태(A)와 나중 상태(C)가 같으므로 내부 에너지 변화량(ΔU) 또한 같다. 기체가 한 일은 I에서가 II에서보다 크므로, 기체가 흡수한 열량 역시 I에서가 II에서보다 크다.

[바로알기] ㄷ. 기체의 내부 에너지는 상태 함수로, 과정의 경로와는 무관하고, 오직 처음과 나중 상태에 의해서만 결정된다. I 과 II 과정 모두 A 상태에서 시작하여 C 상태로 끝나므로 처음과 나중 상태가 같다. 따라서 기체의 내부 에너지 변화량은 I 과 II에서 서로 같다.

07 ㄴ. 기체의 부피가 감소하였으므로 기체는 외부로부터 일을 받는다.

ㄷ. 압력이 일정한 상태에서 기체의 부피가 감소하면 온도가 낮아지므로(샤를 법칙), 내부 에너지도 감소한다. 열역학 제1법칙 $Q = \Delta U + W$ 에서 $\Delta U < 0$ 이고, 기체가 외부로부터 일을 받았으므로 $W < 0$ 이다. 따라서 $Q < 0$ 이며, 이는 기체가 외부로 열을 방출했음을 의미한다.

[바로알기] ㄱ. 압력이 일정한 등압 과정에서 기체의 부피는 절대 온도에 비례한다(샤를 법칙). 부피가 감소하였으므로 기체의 절대 온도는 낮아진다. 따라서 $T_1 > T_2$ 이다.

08 ㄱ. 피스톤 위에 놓인 모래의 질량과 대기압이 일정하므로, 피스톤이 움직이는 동안 기체의 압력은 일정하게 유지된다.

[바로알기] ㄴ. 압력이 일정한 등압 과정에서 열역학 제1법칙에 의해 기체에 가한 열의 일부는 기체가 외부에 일을 하는 데 사용되고, 나머지는 내부 에너지를 증가시키는 데 사용된다. 따라서 기체의 온도는 상승한다.

ㄷ. 열역학 제1법칙에 따라 기체가 흡수한 열량은 내부 에너지 변화량과 기체가 외부에 한 일의 합과 같다($Q = \Delta U + W$). 이 과정에서 기체의 온도가 상승하여 내부 에너지가 증가하고($\Delta U > 0$), 부피가 팽창하여 외부에 일을 하므로($W > 0$), 기체가 흡수한 열량(Q)은 기체가 한 일(모래와 피스톤이 받은 일)보다 크다.

09 ㄱ. 기체가 외부에 한 일 W 는 압력 P 와 부피 변화량 ΔV 의 곱인 $W = P\Delta V$ 로 정의된다. 압력밥솥은 밀폐되어 있어 부피가 일정하므로 $\Delta V = 0$ 이고, 따라서 압력밥솥 내부의 기체가 한 일 $W = 0$ 이다.

ㄴ. 열역학 제1법칙 $Q = \Delta U + W$ 를 적용하면 압력밥솥을 가열하였으므로 $Q > 0$ 이고, 보기 ㄱ의 해설에서 $W = 0$ 이므로 $\Delta U = Q > 0$ 이다. 따라서 기체가 흡수한 열량은 모두 기체의 내부 에너지를 증가시키는 데 사용된다.

[바로알기] ㄷ. 압력밥솥 내부 기체의 내부 에너지가 증가하므로 온도도 올라간다. 이상 기체 법칙 $PV = nRT$ 에 따르면 V , n 이 일정할 때 압력 P 는 절대 온도 T 에 비례하므로 압력밥솥 내부 기체의 압력은 증가한다.

개념 적용 문제

136쪽~139쪽

01 ⑤ 02 ② 03 ③ 04 ④ 05 ④ 06 ③
07 ③ 08 ①

01 ㄱ. (가)에서 A를 가열한 후 판을 제거하였더니, (나)에서 피스톤이 A 쪽으로 이동하는 것은 B의 압력이 A의 압력보다 크다는 것을 의미한다. A를 가열한 후에도 A의 압력이 더 작는데, (가)는 A를 가열하기 전이므로 (가)에서 기체의 압력은 A가 B보다 작다.

ㄴ. (나)에서 피스톤이 A 쪽으로 이동하면 A의 부피는 감소하므로 A는 외부로부터 일을 받는다($W_A < 0$). 실린더와 피스톤이 모두 단열되어 있으므로 외부와의 열 출입은 없다($Q = 0$). 열역학 제1법칙($Q = \Delta U + W$)에 따라, A의 내부 에너지 변화량 $\Delta U_A = -W_A > 0$ 이므로, (나)에서 A의 내부 에너지는 증가한다.

ㄷ. (나)에서 피스톤이 이동하는 동안 B의 부피는 증가하므로 B는 외부에 일을 한다($W_B > 0$). 이 과정은 단열 팽창 과정이므로 외부와의 열 출입은 없다($Q = 0$). 따라서 열역학 제1법칙에 따라 $\Delta U_B = -W_B < 0$ 이므로 (나)에서 B의 내부 에너지는 감소하며, 이상 기체의 내부 에너지는 절대 온도에 비례하므로 B의 온도는 낮아진다.

02 ㄴ. (나) → (다) 과정은 압력이 일정한 상태에서 기체를 냉각하여 부피를 줄이는 등압 압축 과정이다. 샤를 법칙에 따라 압력이 일정할 때 부피는 절대 온도에 비례하므로, 부피가 감소하면 기체의 온도도 낮아진다. 이상 기체의 내부 에너지는 절대 온도에 비례하므로, 온도가 높은 (나)에서가 (다)에서보다 내부 에너지가 크다.

[바로알기] ㄱ. (가) 상태에서 피스톤은 기체의 압력과 외부 압력에 의해 평형을 이룬다. (나) 상태에서는 피스톤 위에 추를 올려놓았으므로, 기체의 압력은 (가)에서의 외부 압력에 추의 무게에 의한 압력을 더한 값과 같다. 따라서 기체의 압력은 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

ㄷ. (나) → (다) 과정은 압력이 일정한 상태에서 부피가 감소하므로 내부 에너지는 감소하고($\Delta U < 0$), 외부로부터 일을 받는다($W < 0$). 따라서 기체가 방출한 열량 Q 는 열역학 제1법칙에 따라 $Q = \Delta U + W$ 이므로, $Q \neq W$ 이다.

03 ㄷ. 한 번 순환하는 동안 $\Delta U = 0$ 이므로, 열역학 제1법칙에 적용하면 $Q = W$ 이다. 즉, $Q_I + Q_{II} + Q_{III} = W_{전체}$ 이다.

보기 ㄱ의 해설에서 $Q_I = 0$, 표에서 $Q_{II} = -E_0$, 등적 과정에서 기체가 흡수한 열량은 내부 에너지 증가량과 같으므로 $Q_{III} = 2E_0$ 이다. 따라서 한 번 순환하는 동안 기체가 한 일 $W_{\text{전체}} = 0 - E_0 + 2E_0 = E_0$ 이다.

과정	Q	ΔU	W
I	$\ominus 0$	$-2E_0$	$2E_0$
II	$-E_0$	0	$-E_0$
III	$2E_0$	$\ominus 2E_0$	0

[바로알기] ㄱ. I은 단열 과정이므로 기체가 흡수한 열량 $\ominus$ 은 0이다.

ㄴ. 순환 과정에서는 기체가 처음의 압력과 부피로 되돌아 오므로 온도 변화가 0이고, 내부 에너지 변화량도 0이다. 따라서 $\ominus$ 은 $2E_0$ 이다.

- 04 ㄱ. 기체의 내부 에너지는 절대 온도에 비례하므로, 문제 조건 $U_B = \frac{4}{3}U_D$ 로부터 $4T_1 = 3T_2$ 이다.

ㄴ. $D \rightarrow A$ 과정은 단열 압축 과정이므로 외부와의 열 출입이 없다($Q=0$). 열역학 제1법칙에 따라, 기체가 외부로부터 받은 일의 양은 기체의 내부 에너지 변화량과 같다. 즉, $W = -\Delta U = U_D - U_A$ 이다. $U_D = kT_1$, $U_A = kT_2$ 라고 할 때, $T_2 = \frac{4}{3}T_1$ 을 위 식에 대입하면 기체가 외부로부터 받은 일 $W = k(T_1 - T_2) = -\frac{1}{3}kT_1$ 이다. 따라서 $D \rightarrow A$ 과정에서 기체가 외부로부터 받은 일의 양은 D에서 기체의 내부 에너지의 $\frac{1}{3}$ 배이다.

[바로알기] ㄴ. $A \rightarrow B$ 과정은 온도가 T_2 로 일정한 등온 팽창 과정이다. 보일 법칙($PV = \text{일정}$)에 따라 기체의 압력이 A에서 B에서의 2배이면, 기체의 부피는 B에서 A에서의 2배이다.

- 05 ㄴ. A, B에서 가열 전 기체의 부피가 같고, 가열 후 피스톤이 같은 거리 d 만큼 올라갔으므로 최종 부피도 A와 B에서가 같다. 이때 피스톤에 놓은 추의 질량이 클수록 압력도 크므로 $P_A > P_B$ 이다. 따라서 가열 후 PV 값은 A에서가 B에서보다 크고, 이상 기체 법칙 $PV = nRT$ 에 따라 가열 후 기체의 온도는 A에서가 B에서보다 높다.
- ㄴ. 압력이 일정할 때 기체가 외부에 한 일 $W = P\Delta V$ 인데, 피스톤이 올라간 거리 d 가 같고 피스톤의 면적이 동일하므로 A와 B의 부피 변화량 ΔV 는 같다. 따라서 기체가 외부에 한 일은 압력이 더 큰 A에서가 B에서보다 크다.

[바로알기] ㄱ. 같은 양의 이상 기체가 압력이 다른 채로 부피가 같으려면 온도가 달라야 한다. 가열 전 A, B에서 기체의 부피가 같고 기체의 압력은 $P_A > P_B$ 이므로, 이상 기체 법칙에 따라 온도는 A에서가 B에서보다 높다.

- 06 ㄱ. (가)에서 공기가 지형을 따라 올라갈 때, 고도가 높아져 외부 압력이 낮아지면 공기 덩어리는 팽창하면서 외부에 일을 한다. 이 과정은 외부와의 열 교환 없이 빠르게 일어나므로 단열 팽창에 해당하며, 공기는 일을 한 만큼 내부 에너지가 감소하고 온도가 내려간다.

ㄴ. (나)의 공기 압축 점화 장치는 단열 압축의 원리를 이용한다. 피스톤을 빠르게 눌러 외부에서 공기에 일을 해 주면, 외부와의 열 교환이 거의 없어 공기에 해 준 일은 공기의 내부 에너지를 증가시키는 데 사용된다. 따라서 공기의 온도가 숨의 발화점 이상으로 올라가 숨에 불이 붙는다.

[바로알기] ㄴ. (가)에서의 공기는 부피가 팽창하므로 외부에 일을 하고, (나)에서의 공기는 부피가 압축되므로 외부로부터 일을 받는다.

- 07 ㄱ. 처음 A, B, C, D의 온도와 압력이 서로 같으므로, 이상 기체 법칙에 따라 처음 A, B, C, D의 부피도 서로 같다. (가)에서 A에 열량을 공급하면 A가 팽창하면서 B를 압축시키므로, B의 최종 부피는 처음 부피보다 작아진다. (나)에서 C에 열량을 공급하면 금속 피스톤을 통해 열평형이 이루어지면서 C와 D의 온도와 압력이 같아지므로, 최종 부피는 처음 부피와 같다. 따라서 최종 열평형 상태에서 기체의 부피는 B가 C보다 작다.

ㄴ. (가)에서 A에 가해진 열량(Q)은 A의 내부 에너지를 증가시키고($\Delta U_A > 0$), 피스톤을 밀어 B에 일을 해 주는데($W_A > 0$) 사용된다. 단열 압축된 B는 W_A 만큼 내부 에너지가 증가한다($\Delta U_B > 0$). 즉, 열역학 제1법칙에 따라 $Q = \Delta U_A + W_A$, $W_A = -W_B$, $0 = \Delta U_B + W_B$ 이므로, 전체 내부 에너지 증가량은 $\Delta U_A + \Delta U_B = Q$ 이다. 또한 피스톤이 단열되어 있어 최종 열평형 상태에서 A의 온도가 B보다 높으므로 $\Delta U_A > \Delta U_B$ 이고, $\Delta U_A > \frac{Q}{2}$ 이다. 반면, (나)에서는 금속 피스톤을 통해 열이 전달되어 최종적으로 C와 D의 온도가 같아지므로, C에 가해진 열량 Q 는 두 기체에 균등하게 분배되어 $\Delta U_C = \frac{Q}{2}$ 이다. 따라서 처음 A와 C의 내부 에너지가 같으므로, 최종 기체의 내부 에너지는 내부 에너지 변화량이 더 큰 A가 C보다 크다.