

완자 · 역학과 에너지

내신만점 · 실력UP 집중

II 열과 에너지

2 열기관과 엔트로피

01

열역학 제1법칙

내신만점 · 실력UP

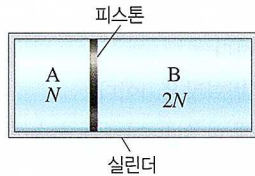
II-2-01 열역학 제1법칙



내신 만점 문제

A 내부 에너지와 기체가 하는 일

중요 01 그림과 같이 단열되지 않은 피스톤으로 분리된 실린더의 두 부분 A, B에 분자의 수가 각각 N , $2N$ 인 단원자 분자 이상 기체가 들어 있다. 피스톤은 힘의 평형을 이루며 정지해 있고 A와 B에 있는 기체는 서로 열평형 상태이다.



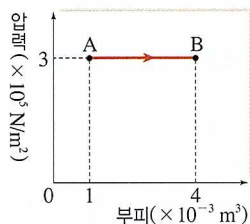
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은? (단, 실린더는 단열되어 있고, 피스톤과 실린더 사이의 마찰은 무시한다.)

[보기]

- ㄱ. 기체의 부피는 B가 A의 2배이다.
- ㄴ. 내부 에너지는 A에서와 B에서가 서로 같다.
- ㄷ. 기체 분자 1개의 평균 운동 에너지는 A의 기체와 B의 기체가 같다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

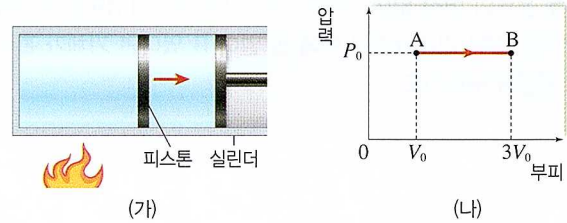
02 그림은 일정량의 이상 기체의 상태가 A → B를 따라 변할 때 압력과 부피의 관계를 나타낸 것이다.



(1) A → B 과정에서 이상 기체가 외부에 한 일은 몇 J인지 쓰시오.

(2) B에서 이상 기체의 내부 에너지를 U 라고 할 때, A에서 이상 기체의 내부 에너지를 구하시오.

중요 03 그림 (가)와 같이 실린더 속에 일정량의 이상 기체를 넣고 외부에서 열을 가했더니 피스톤이 오른쪽으로 밀려나면서 기체의 압력이 부피에 따라 (나)와 같이 변하였다.



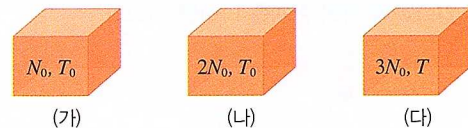
A → B 과정에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은? (단, 실린더와 피스톤은 단열되어 있고, 피스톤과 실린더 사이의 마찰은 무시한다.)

[보기]

- ㄱ. 기체의 온도는 일정하다.
- ㄴ. 기체가 외부에 한 일은 $3P_0V_0$ 이다.
- ㄷ. 기체 분자의 평균 운동 에너지는 B에서가 A에서보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04 그림 (가)는 상자 안에 온도가 T_0 인 단원자 이상 기체가 N_0 개 들어 있는 모습을, (나)는 온도가 T_0 인 단원자 이상 기체가 $2N_0$ 개 들어 있는 모습을 나타낸 것이다. 그림 (다)는 상자 안에 온도가 T 인 단원자 이상 기체가 $3N_0$ 개 들어 있는 모습을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

[보기]

- ㄱ. 이상 기체 분자 한 개의 평균 운동 에너지는 (나)에서가 (가)에서의 2배이다.
- ㄴ. 이상 기체의 내부 에너지는 (나)에서가 (가)에서의 2배이다.
- ㄷ. (가)와 (다)에서 이상 기체의 내부 에너지 비 $U_{(가)} : U_{(다)} = 2 : 3$ 이면 T 는 $2T_0$ 이다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

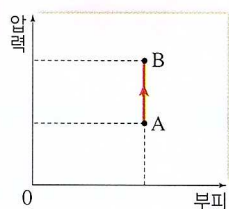
B 열역학 제1법칙

05 1기압의 이상 기체 20 L가 실린더에 들어 있다. 이 기체를 온도의 변화 없이 천천히 팽창시켜 부피가 30 L가 되게 하였다. 이때 기체가 피스톤에 한 일이 W 였다면 기체가 흡수한 열량을 구하시오.

06 어떤 이상 기체에 10 kcal의 열을 공급하였더니 외부에 42000 J의 일을 하였다. 이 이상 기체의 내부 에너지 증가량은? (단, 4200 J은 1000 cal에 해당한다.)

- ① 0 ② 10 J ③ 420 J
④ 1000 J ⑤ 4200 J

07 그림은 일정량의 이상 기체의 상태가 A → B를 따라 변할 때 압력과 부피의 관계를 나타낸 것이다.



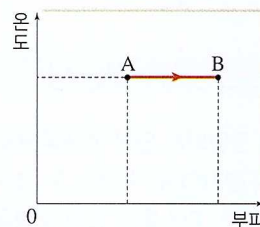
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

[보기]

- ㄱ. 기체는 외부에 일을 한다.
ㄴ. 기체의 온도는 일정하게 유지된다.
ㄷ. 기체는 외부에서 열을 얻는다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

08 그림은 일정량의 이상 기체의 상태가 A → B를 따라 변할 때 온도와 부피의 관계를 나타낸 것이다.



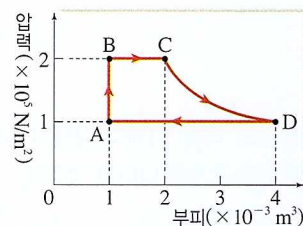
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

[보기]

- ㄱ. 압력은 일정하다.
ㄴ. 내부 에너지 변화량은 0이다.
ㄷ. 기체가 외부에 한 일은 기체가 흡수한 열량과 같다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

중요 **09** 그림은 일정량의 이상 기체의 상태가 A → B → C → D → A를 따라 변할 때 압력과 부피의 관계를 나타낸 것이다. C → D 과정에서 기체의 압력과 부피를 곱한 값은 일정하게 유지된다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

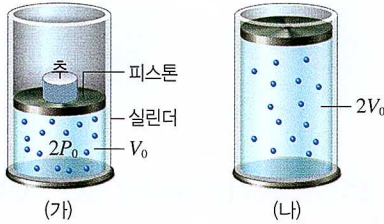
[보기]

- ㄱ. A → B 과정에서 기체가 외부에서 흡수한 열량은 기체가 외부에 한 일과 같다.
ㄴ. 기체의 절대 온도는 C에서가 A에서의 4배이다.
ㄷ. D → A 과정에서 기체가 받은 일은 B → C 과정에서 기체가 한 일의 $\frac{3}{2}$ 배이다.

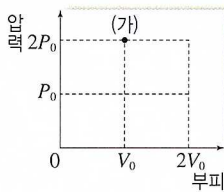
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

서술형

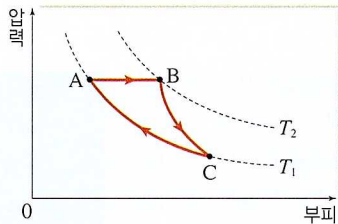
10 그림 (가)는 단열된 실린더 속에 일정량의 이상 기체를 넣고 단열된 피스톤 위에 추를 올려놓았을 때 압력이 $2P_0$, 부피가 V_0 인 모습을, (나)는 피스톤 위의 추를 제거하였을 때 부피가 $2V_0$ 이 되어 피스톤이 정지한 모습을 나타낸 것이다.



(가)에서 (나)로 변하는 과정을 압력-부피 그래프에 대략적으로 그리고, 그 까닭을 서술하시오. (단, 대기압은 일정하고, 피스톤과 실린더 사이의 마찰은 무시한다.)



11 그림은 일정량의 이상 기체의 상태가 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ 를 따라 변할 때 압력과 부피의 관계를 나타낸 것이다. $A \rightarrow B$ 는 등압 과정, $B \rightarrow C$ 는 단열 과정, $C \rightarrow A$ 는 등온 과정이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

[보기]

- ㄱ. $T_1 < T_2$ 이다.
- ㄴ. 기체가 $A \rightarrow B$ 과정에서 흡수한 열량은 $C \rightarrow A$ 과정에서 방출한 열량보다 크다.
- ㄷ. 내부 에너지 변화량의 크기는 $B \rightarrow C$ 과정에서 $A \rightarrow B$ 과정에서의 2배이다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

서술형

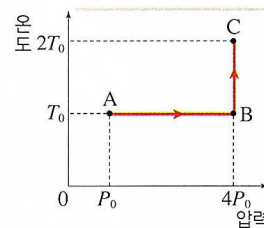
12 그림 (가)와 같이 압력이 P_0 , 부피가 V_0 , 온도가 T_0 인 일정량의 이상 기체에 열을 가해 (나)와 같이 압력이 일정한 상태에서 부피가 $2V_0$ 이 되게 한 후, (다)와 같이 추를 치우고 (나)의 온도를 유지하면서 부피가 $\frac{5}{2}V_0$ 이 되도록 변화시켰다.



(다)에서 온도와 압력은 얼마인지 풀이 과정과 함께 구하시오. (단, 대기압은 무시하고 실린더와 피스톤은 모두 단열되어 있으며, 피스톤과 실린더 사이의 마찰은 무시한다.)

중요

13 그림은 일정량의 이상 기체의 상태가 $A \rightarrow B \rightarrow C$ 를 따라 변할 때 온도와 압력의 관계를 나타낸 것이다. A에서 기체의 부피는 V_0 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

[보기]

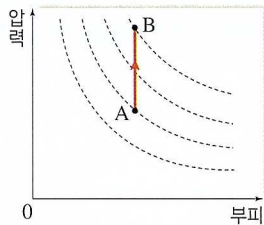
- ㄱ. 기체 분자의 평균 운동 에너지는 A에서와 B에서가 같다.
- ㄴ. 기체의 부피는 C에서가 A에서의 $\frac{1}{2}$ 배이다.
- ㄷ. $B \rightarrow C$ 과정에서 기체가 외부에 한 일은 $P_0 V_0$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

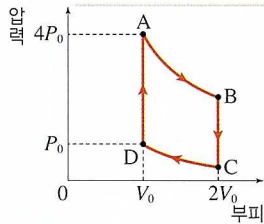
14 일정량의 이상 기체가 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ 의 과정을 거쳐 원래 상태로 되돌아왔다. 다음은 과정별로 이상 기체의 열역학 과정의 특징을 나타낸 것이다.

- $A \rightarrow B$ 과정: 부피는 일정하고, 온도가 올라간다.
- $B \rightarrow C$ 과정: 외부와의 열 출입 없이 부피가 증가한다.
- $C \rightarrow D$ 과정: 부피는 일정하고, 온도가 내려간다.
- $D \rightarrow A$ 과정: 외부와의 열 출입 없이 부피가 감소한다.

이 기체의 열역학 과정의 특징을 이용해 압력-부피 그래프에 대략적으로 그리시오. (단, 그래프의 점선은 등온선이고, A, B, C, D의 온도는 모두 다르다.)



중요 **15** 그림은 일정량의 이상 기체의 상태가 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ 를 따라 변할 때 압력과 부피의 관계를 나타낸 것이다. $A \rightarrow B$ 과정과 $C \rightarrow D$ 과정은 등온 과정이다.



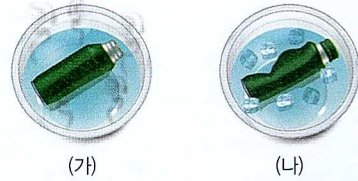
A에서 절대 온도가 T_0 일 때, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

[보기]

- ㄱ. C에서 절대 온도는 $\frac{1}{2}T_0$ 이다.
- ㄴ. $B \rightarrow C$ 과정에서 방출하는 열량이 $D \rightarrow A$ 과정에서 흡수하는 열량보다 많다.
- ㄷ. 기체는 $C \rightarrow D$ 과정에서 외부로 열을 방출한다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

16 그림 (가)와 같이 알루미늄 병의 뚜껑을 열고 병 안의 기체를 서서히 가열한 후 뚜껑을 닫고, (나)와 같이 병을 얼음 물 속에 넣었더니 병이 찌그러졌다.



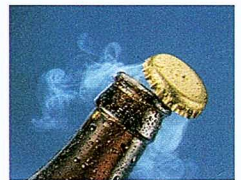
(나)에서 병 안의 기체에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

[보기]

- ㄱ. 기체는 외부에서 일을 받았다.
- ㄴ. 기체의 내부 에너지는 감소한다.
- ㄷ. 기체가 잃은 열에너지는 기체의 내부 에너지 감소량과 같다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

중요 **17** 그림은 탄산음료의 병뚜껑을 열 때 수증기가 응결하여 뿌옇게 김이 생기는 모습을 나타낸 것이다. 이와 같은 현상에 적용된 열역학 과정의 다른 예로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?



[보기]

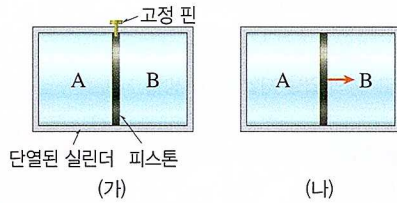
- ㄱ. 압력 밥솥을 사용하여 밥을 하면 빠른 시간에 밥을 할 수 있다.
- ㄴ. 태양열에 의해 지표면이 가열되어 공기가 상승하면서 구름이 생긴다.
- ㄷ. 스프레이 통에서 기체를 분사하면 통이 차가워진다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ



실력UP 문제

01 그림 (가)는 피스톤으로 나누어진 단열된 실린더 안의 두 구역에 동일한 이상 기체 A, B를 동시에 넣은 직후 압력이 같은 모습을 나타낸 것이다. 피스톤은 고정 핀으로 고정되어 있으며, 피스톤을 통해 열의 이동이 가능하다. 그림 (나)는 (가)에서 충분한 시간이 지난 뒤 고정 핀을 제거한 순간 피스톤이 B쪽으로 움직이는 모습을 나타낸 것이다.



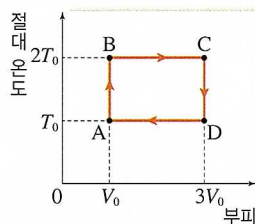
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은? (단, 피스톤과 실린더 사이의 마찰은 무시한다.)

[보기]

- ㄱ. (가)에서 기체의 온도는 A가 B보다 높다.
- ㄴ. (가)에서 열은 A에서 B로 이동한다.
- ㄷ. (가)에서 고정 핀을 제거한 순간 기체의 압력은 A가 B보다 크다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02 그림은 일정량의 이상 기체의 상태가 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ 를 따라 변할 때 온도와 부피의 관계를 나타낸 것이다.



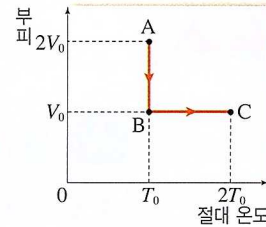
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

[보기]

- ㄱ. 기체의 압력은 C에서가 A에서보다 높다.
- ㄴ. $B \rightarrow C$ 과정에서 기체가 한 일은 기체가 흡수한 열량과 같다.
- ㄷ. $A \rightarrow B$ 과정에서 기체가 흡수한 열량은 $C \rightarrow D$ 과정에서 기체가 방출한 열량과 같다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

03 그림은 일정량의 이상 기체의 상태가 $A \rightarrow B \rightarrow C$ 를 따라 변할 때 부피와 온도의 관계를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

[보기]

- ㄱ. 기체의 압력은 C일 때가 A일 때의 2배이다.
- ㄴ. $A \rightarrow B$ 과정에서 기체와 외부와의 열 출입이 없다.
- ㄷ. $B \rightarrow C$ 과정에서 기체가 외부에서 흡수하는 열량은 기체의 내부 에너지 증가량과 같다.

① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04 그림은 단열 압축 실험 장치를 나타낸 것으로 실린더 안에 숨을 넣고 손잡이를 눌러 실린더 안의 기체를 순간적으로 압축시키면 숨에 불이 붙는다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은? (단, 실린더와 피스톤은 단열되어 있으며, 피스톤과 실린더 사이의 마찰은 무시한다.)



[보기]

- ㄱ. 손잡이를 누르면 실린더 안 기체 분자의 속력이 커진다.
- ㄴ. 기체에 해 준 일이 모두 기체의 내부 에너지로 전환된다.
- ㄷ. 손잡이를 누르는 동안 실린더 안 기체의 압력은 일정하게 유지된다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

정답 및 해설

내신만점문제 · 실력UP문제
열역학 제1법칙

(3) 동해에서 이동해 온 습한 공기가 태백 산맥의 동쪽을 올라가면서 비를 뿌린 후 서쪽 경사면으로 내려오는 과정에서 단열 압축되어 고온 건조한 바람이 발생한다.

완자샘 비법특강

120쪽~121쪽

Q1 $4P_0V_0$ Q2 0 Q3 A → B 과정, B → C 과정

Q1 압력-부피 그래프에서 A → B → C → D → A로 둘러싸인 부분의 넓이가 기체가 외부에 한 일이므로 한 일 = $(3P_0 - P_0) \times (3V_0 - V_0) = 2P_0 \times 2V_0 = 4P_0V_0$ 이다.

Q2 기체의 상태가 A → B → C → A를 따라 변할 때 기체의 분자수는 일정하고, 온도 변화량은 0이므로 내부 에너지 변화량은 0이다.

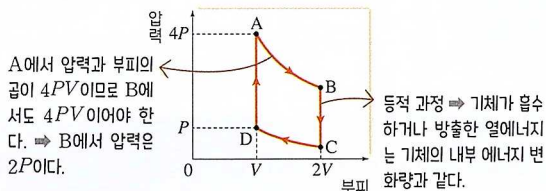
Q3 A → B 과정은 부피가 일정하므로 $W=0$ 이고 온도는 증가한다. 따라서 $Q=\Delta U$ 에서 내부 에너지 변화량의 부호가 (+)이므로 열을 흡수하는 과정이다. B → C 과정은 온도가 일정하고 기체가 외부로 일을 하므로 $Q=W$ 에서 $W>0$ 이므로 열을 흡수한다. C → D 과정은 부피가 일정하고 온도가 감소하므로 $Q=\Delta U$ 에서 내부 에너지 변화량의 부호가 (-)이므로 열을 방출하는 과정이다. D → A 과정은 온도가 일정하고 기체가 외부에서 일을 받으므로 $Q=W$ 에서 $W<0$ 이므로 열을 방출한다.

대표 자료 분석

122쪽

- 1 $2P$ 2 $\frac{P}{2}$ 3 (1) 한다 (2) 감소 (3) 받는다 (4) 증가
4 (1) A → B 과정, D → A 과정 (2) B → C 과정, C → D 과정
5 (1) × (2) ○ (3) ×

꼼꼼 문제 분석



1 A → B 과정은 등온 과정이므로 A와 B에서 온도가 같다. A에서 압력과 부피의 곱이 $4PV$ 이므로 B에서 압력을 P' 라고 하면 $4PV = P' \times 2V$ 에서 $P' = 2P$ 이다.

2 C → D 과정은 등온 과정이므로 C와 D에서 온도가 같다. D에서 압력과 부피의 곱이 PV 이므로 C에서 압력을 P' 라고 하면 $PV = P' \times 2V$ 에서 $P' = \frac{P}{2}$ 이다.

- 3** (1) A → B 과정에서는 부피가 증가하므로 $W=P\Delta V$ 에서 $W>0$ 이다. W 의 부호가 (+)이므로 기체는 외부에 일을 한다.
(2) 압력과 부피의 곱은 기체의 온도에 비례한다. 압력과 부피를 곱한 값이 C에서 B에서보다 작으므로 B → C 과정에서 기체의 온도는 감소한다.
(3) C → D 과정에서는 부피가 감소하므로 $W=P\Delta V$ 에서 $W<0$ 이다. W 의 부호가 (-)이므로 기체는 외부에서 일을 받는다.
(4) 압력과 부피의 곱은 기체의 온도에 비례한다. 압력과 부피를 곱한 값이 A에서 D에서보다 크므로 D → A 과정에서 기체의 온도는 증가한다.

- 4** (1) A → B 과정은 등온 과정이므로 $Q=\Delta U+W$ 에서 $Q=0+W$ 이다. 이때 부피가 증가하여 $W>0$ 이므로 $Q>0$ 이다. 따라서 열을 흡수하는 과정이다. D → A 과정은 등적 과정이므로 $Q=\Delta U+W$ 에서 $Q=\Delta U+0$ 이다. 온도가 증가하여 $\Delta U>0$ 이므로 $Q>0$ 이다. 따라서 열을 흡수하는 과정이다.
(2) B → C 과정은 등적 과정이므로 $Q=\Delta U+W$ 에서 $Q=\Delta U+0$ 이다. 이때 온도가 감소하여 $\Delta U<0$ 이므로 $Q<0$ 이다. 따라서 열을 방출하는 과정이다. C → D 과정은 등온 과정이므로 $Q=\Delta U+W$ 에서 $Q=0+W$ 이다. 이때 부피가 감소하여 $W<0$ 이므로 $Q<0$ 이다. 따라서 열을 방출하는 과정이다.

- 5** (1) A → B 과정은 등온 과정이다. 등온 과정은 온도가 일정하므로 내부 에너지는 일정하다.
(2) B에서의 온도는 A에서와 같고, D에서의 온도는 C에서와 같다. 따라서 B → C 과정에서 온도 변화량과 D → A 과정에서 온도 변화량은 서로 같으므로 B → C 과정에서 내부 에너지 감소량은 D → A 과정에서 내부 에너지 증가량과 같다.
(3) C → D 과정에서 부피가 감소하므로 외부에서 일을 받는다. 이때 등온 상태를 유지하려면 받은 일만큼 외부로 열을 방출해야 한다.

- 01 ③ 02 (1) 900 J (2) $\frac{1}{4}U$ 03 ② 04 ① 05 W
 06 ① 07 ② 08 ④ 09 ④ 10 해설 참조
 11 ③ 12 해설 참조 13 ⑤ 14 해설 참조
 15 ② 16 ③ 17 ⑤

01 ㄱ. 이상 기체 법칙 $PV=nRT$ 에서 A와 B의 기체는 압력 P , 기체 상수 R , 온도 T 가 같으므로 부피 V 와 분자의 수 N 은 서로 비례한다. 따라서 분자의 수가 2배인 B의 기체의 부피는 A의 2배이다.

ㄷ. 기체 분자 1개의 평균 운동 에너지는 기체의 온도에 비례한다. 두 기체의 온도가 같으므로 기체 분자 1개의 평균 운동 에너지는 A와 B의 기체가 서로 같다.

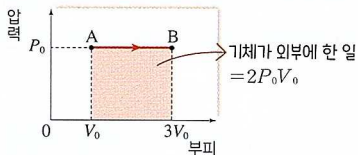
[바로알기] ㄴ. 이상 기체의 내부 에너지는 기체 분자의 수와 온도의 곱에 비례한다. A와 B의 기체는 온도는 같지만 분자의 수가 B에서 A에서의 2배이므로 내부 에너지는 B에서 A에서의 2배이다.

02 (1) 압력-부피 그래프에서 이상 기체가 외부에 한 일은 그래프 아랫부분의 넓이이므로 $(3 \times 10^5 \text{ N/m}^2) \times (3 \times 10^{-3} \text{ m}^3) = 900 \text{ J}$ 이다.

(2) 내부 에너지는 분자의 개수와 온도의 곱에 비례한다. 분자의 개수는 A와 B에서 같고 압력×부피의 값이 B에서 A에서의 4배이므로 온도는 B에서 A에서의 4배이다. 따라서 B에서 내부 에너지를 U 라고 하면 A에서 내부 에너지는 B에서의 $\frac{1}{4}$ 배인 $\frac{1}{4}U$ 이다.

03 ———— 품점 문제 분석

압력-부피 그래프 아랫부분의 넓이는 기체가 하거나 받은 일의 양과 같다.



ㄷ. 온도는 B에서 A에서보다 높으므로 기체 분자의 평균 운동 에너지도 B에서 A에서보다 크다.

[바로알기] ㄱ. A의 압력과 부피의 곱은 P_0V_0 이고, B의 압력과 부피의 곱은 $3P_0V_0$ 이므로 기체의 절대 온도는 B에서 A에서의 3배이다.

ㄴ. 압력-부피 그래프에서 기체가 외부에 한 일은 그래프 아랫부분의 넓이이므로 $2P_0V_0$ 이다.

04 ㄴ. 이상 기체의 내부 에너지는 기체 분자의 수와 온도의 곱에 비례하므로, (가)에서는 N_0T_0 , (나)에서는 $2N_0T_0$ 에 비례한다. 따라서 이상 기체의 내부 에너지는 (나)에서가 (가)에서의 2배이다.

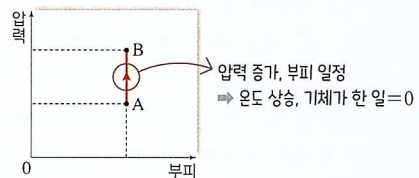
[바로알기] ㄱ. 이상 기체 분자 한 개의 평균 운동 에너지는 온도에 비례한다. (가)와 (나)의 온도는 같으므로 이상 기체 분자 한 개의 평균 운동 에너지는 같다.

ㄷ. $U_{(가)} : U_{(나)} = 2 : 3$ 이면 $U_{(가)} \propto N_0T_0$, $U_{(나)} \propto 3N_0T_0$ 에서 $N_0T_0 : 3N_0T_0 = 2 : 3$ 이다. 따라서 $T = \frac{1}{2}T_0$ 이다.

05 이상 기체가 온도의 변화 없이 팽창하므로 열역학 제1법칙 $Q = \Delta U + W$ 에서 내부 에너지 변화량 $\Delta U = 0$, $Q = W$ 이다.

06 10 kcal은 10000 cal이므로 42000 J이다. 열역학 제1법칙 $Q = \Delta U + W$ 에서 $42000 \text{ J} = \Delta U + 42000 \text{ J}$ 에서 $\Delta U = 0$ 이다. 따라서 내부 에너지 증가량은 0이다.

07 ———— 품점 문제 분석



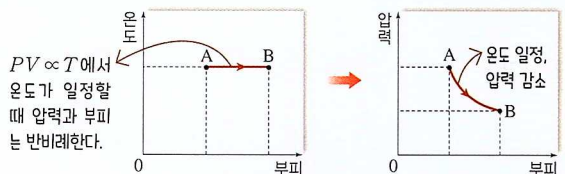
ㄷ. 기체의 상태가 변하는 동안 부피가 일정하므로 외부에 한 일 $W = 0$ 이다. 따라서 열역학 제1법칙 $Q = \Delta U + W$ 에서 $Q = \Delta U$ 이다. 이때 기체의 온도가 높아졌으므로 $\Delta U > 0$ 이고, $Q > 0$ 이므로 외부에서 열에너지 Q 를 얻었다.

[바로알기] ㄱ. 부피가 일정하므로 기체가 외부에 한 일은 0이다.

ㄴ. $PV \propto T$ 에서 부피가 일정할 때 압력은 온도에 비례하므로 압력이 증가하면 기체의 온도도 높아진다.

08 ———— 품점 문제 분석

온도-부피 그래프를 압력-부피 그래프로 전환하면 그림과 같다.



ㄴ. 내부 에너지 변화량은 온도 변화량에 비례한다. A → B 과정에서 온도가 일정하므로 온도 변화량은 0이다. 따라서 내부 에너지 변화량도 0이다.

ㄷ. $Q = \Delta U + W$ 에서 $\Delta U = 0$ 이므로 $Q = W$ 이다. 따라서 기체가 외부에 한 일은 기체가 흡수한 열량과 같다.

바로알기 ㄱ. $PV \propto T$ 에서 온도가 일정할 때 부피가 증가했으므로 압력은 감소한다.

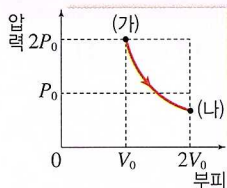
09 ㄴ. 압력과 부피의 곱은 온도에 비례하므로 기체의 절대 온도는 C에서 A에서의 4배이다.

ㄷ. 압력-부피 그래프 하트부분의 넓이는 기체가 하거나 받은 일이다. B → C 과정에서 기체가 한 일은 $(2 \times 10^5 \text{ N/m}^2) \times (1 \times 10^{-3} \text{ m}^3) = 200 \text{ J}$ 이고, D → A 과정에서 기체가 받은 일은 $(1 \times 10^5 \text{ N/m}^2) \times (3 \times 10^{-3} \text{ m}^3) = 300 \text{ J}$ 이므로 D → A 과정에서 기체가 받은 일은 B → C 과정에서 기체가 한 일의 $\frac{3}{2}$ 배이다.

바로알기 ㄱ. A → B 과정은 등적 과정이다. 따라서 기체가 한 일은 0이므로 $W = 0$ 이다. $Q = \Delta U + W$ 에서 $Q = \Delta U + 0$ 이므로 기체가 외부에서 흡수한 열량은 기체의 내부 에너지 변화량과 같다.

10 피스톤은 단열되어 있으므로 추를 제거했을 때 기체는 압력 변화에 의해 단열 팽창한다.

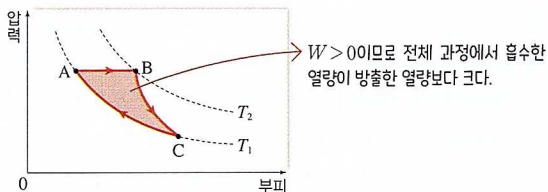
모범 답안 그림 참조, (가)에서 온도는 압력과 부피의 곱인 $2P_0V_0$ 에 비례한다. (가)에서의 추를 제거했을 때 기체는 단열 팽창하므로 (나)에서의 온도는 $2P_0V_0$ 보다 감소한다. 따라서 (나)에서 부피가 $2V_0$ 일 때 압력은 P_0 보다 아래쪽으로 오도록 곡선으로 그려야 한다.



채점 기준	배점
그래프를 옳게 그리고 그 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
그래프만 옳게 그린 경우	50 %

11 — 품평 문제 분석

압력-부피 그래프에서 전체 순환 과정으로 둘러싸인 부분의 넓이는 기체가 외부에 한 일이다.

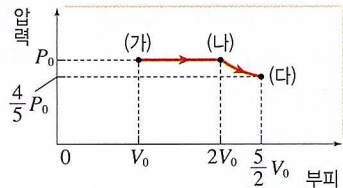


ㄱ. $PV \propto T$ 이고 압력과 부피의 곱은 B에서 A에서보다 크다. 따라서 B에서의 온도인 T_2 가 A에서의 온도인 T_1 보다 크다.

ㄴ. A → B → C → A의 전체 과정에서 그래프로 둘러싸인 부분의 넓이만큼 기체가 외부에 일을 하므로 전체 과정에서 흡수한 열량이 방출한 열량보다 많다. B → C 과정은 단열 과정이므로 A → B 과정에서 흡수한 열량은 C → A 과정에서 방출한 열량보다 크다.

바로알기 ㄷ. 내부 에너지 변화량의 크기는 온도 변화량에 비례한다. A → B 과정은 T_1 에서 T_2 로, B → C 과정은 T_2 에서 T_1 로 변하므로 온도 변화량은 서로 같다. 따라서 내부 에너지 변화량의 크기는 B → C 과정과 A → B 과정에서 같다.

12 등압 과정은 기체가 흡수한 열이 기체의 내부 에너지를 증가시키고, 기체가 외부로 일을 하는 과정이다. (가) → (다) 과정을 압력-부피 그래프로 나타내면 그림과 같다.

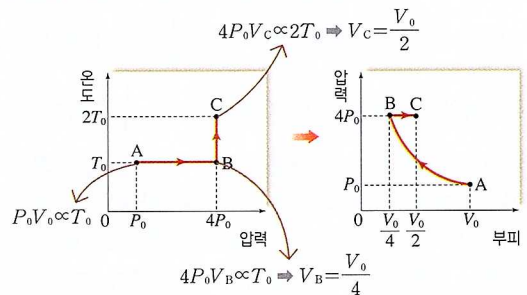


모범 답안 (나)에서의 온도를 $T_{(나)}$ 라고 하면 (가) → (나) 과정에서 $\frac{P_0V_0}{T_0} = \frac{P_0 \times 2V_0}{T_{(나)}}$ 이므로 $T_{(나)} = 2T_0$ 이다. (나) → (다) 과정에서 온도는 같으므로 (다)에서 온도는 $2T_0$ 이고, (다)에서의 압력을 P 라고 하면 $2P_0V_0 = P \times \frac{5}{2}V_0$ 에서 $P = \frac{4}{5}P_0$ 이다.

채점 기준	배점
압력을 풀이 과정과 함께 옳게 쓴 경우	100 %
압력만 옳게 쓴 경우	50 %

13 — 품평 문제 분석

온도-압력 그래프를 압력-부피 그래프로 전환하면 그림과 같다.

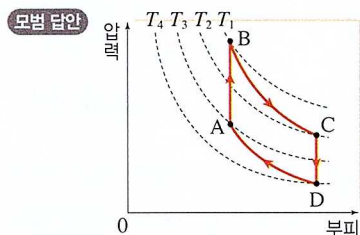


ㄱ. 기체 분자의 평균 운동 에너지는 온도에 비례한다. 온도는 A와 B에서 같으므로 기체 분자의 평균 운동 에너지는 A에서와 B에서가 같다.

ㄴ. C에서 기체의 부피는 $\frac{V_0}{2}$ 이므로 기체의 부피는 C에서 A에서의 $\frac{1}{2}$ 배이다.

ㄷ. 압력-부피 그래프 아랫부분의 넓이는 기체가 외부에 하거나 받은 일을 나타내므로 B→C 과정에서 기체가 외부에 한 일은 $4P_0 \times \frac{V_0}{4} = P_0 V_0$ 이다.

14 압력과 부피의 곱은 기체의 온도에 비례하고, 압력-부피 그래프 아랫부분의 넓이는 기체가 한 일 또는 받은 일이다. 맨 위의 등온선부터 T_1, T_2, T_3, T_4 라고 하자. B→C 과정은 외부와의 열 출입 없이 부피가 증가하므로 단열 팽창이고 온도가 감소한다. 따라서 C는 T_2 에 오게 한다. C→D 과정은 부피는 일정하고, 온도는 내려가며, D→A 과정은 외부와의 열 출입 없이 부피가 감소하는 단열 압축이므로 온도가 올라가야 한다. 따라서 D는 T_4 까지 오게 한다.



채점 기준	배점
B→C, C→D, D→A 세 가지 열역학 과정을 그래프에 모두 옳게 나타낸 경우	100 %
세 가지 열역학 과정 중 두 가지만 옳게 나타낸 경우	50 %

15 ㄷ. C→D 과정은 등온 과정으로 $Q = \Delta U + W$ 에서 $\Delta U = 0$ 이므로 $Q = W$ 이다. 이때 부피가 감소하므로 $W < 0$ 에서 $Q < 0$ 이므로 외부로 열을 방출하는 과정이다.

바로알기 ㄱ. 기체의 온도는 압력과 부피의 곱에 비례하므로 A에서는 $4P_0 V_0 \propto T_0$ 이고, D에서는 $P_0 V_0 \propto \frac{1}{4} T_0$ 이다. 따라서 C에

서는 D에서와 온도가 같으므로 C에서 온도는 $\frac{1}{4} T_0$ 이다.

ㄴ. B→C 과정과 D→A 과정은 등적 과정으로 $Q = \Delta U + W$ 에서 $W = 0$ 이므로 $Q = \Delta U$ 이다. B→C 과정은 온도가 감소하는 과정이므로 내부 에너지가 감소하고, D→A 과정은 온도가 증가하는 과정이므로 내부 에너지가 증가한다. 그리고 두 과정의 온도차가 같으므로 B→C 과정에서 내부 에너지 감소량은 D→A 과정에서 내부 에너지 증가량과 같다. 따라서 B→C 과정에서 방출하는 열량은 D→A 과정에서 흡수하는 열량과 같다.

16 ㄱ. (나)에서 얼음물에 의해 기체의 온도가 내려가면서 외부 압력에 의해 기체의 부피가 감소한다. 부피가 감소하는 과정에서 기체는 외부에서 일을 받는다.

ㄴ. 기체의 온도가 내려가므로 기체의 내부 에너지도 감소한다.

바로알기 ㄷ. 열역학 제1법칙 $Q = \Delta U + W$ 에 따라 기체가 잃은 열에너지($Q < 0$)는 내부 에너지 감소량($\Delta U < 0$)과 기체가 받은 일($W < 0$)의 합과 같다.

17 탄산음료의 병뚜껑을 열 때 높은 압력의 기체가 순간적으로 병 밖으로 나오면서 기체의 온도가 내려가므로 단열 팽창 과정이다.

ㄴ. 태양열에 의해 지표면이 가열되면 공기가 상승하면서 단열 팽창이 일어나 주위의 온도가 낮아진다. 이때 수증기가 응결하여 구름이 생성된다.

ㄷ. 스프레이 통에서 기체를 분사하면 통 안의 공기는 순간적으로 부피가 증가하는 단열 팽창이 일어나 기체의 온도가 내려가므로 통이 차가워진다.

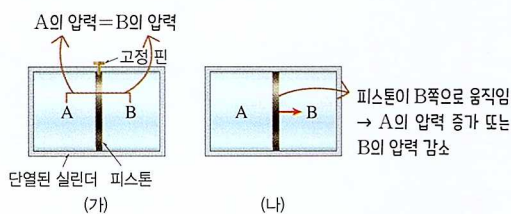
바로알기 ㄱ. 압력 바늘은 밀폐되어 설정된 값까지 압력이 커져도 기체의 부피가 변하지 않으므로 등적 과정에 해당한다. 따라서 받은 열이 모두 내부 에너지를 증가시켜 온도와 압력을 높인다. 압력이 높아지면 높은 온도에서 물이 끓어 밥이 빨리 익는다.

실력UP문제

127쪽

01 ② 02 ④ 03 ② 04 ③

01 품격 문제 분석

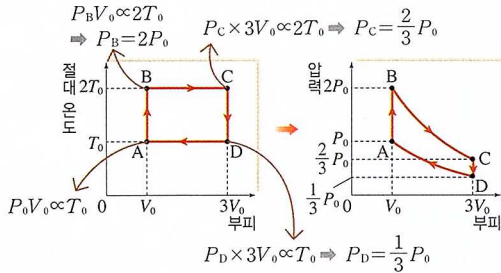


ㄷ. (나)에서 피스톤이 B쪽으로 움직였으므로 고정 핀을 제거한 순간 압력은 A가 B보다 크다.

바로알기 ㄱ, ㄴ. (가)에서 A, B의 처음 압력은 서로 같았는데 (나)에서 피스톤이 B쪽으로 움직이므로 (가)에서 시간이 지난 후 A의 압력이 증가하였거나 B의 압력이 감소하였음을 알 수 있다. 만약 (가)에서 A의 온도가 B보다 높다면 열이 A→B로 이동하여 A의 온도는 낮아지고, B의 온도는 높아진다. $PV \propto T$ 에서 A의 압력은 낮아지고 B의 압력은 높아지므로 피스톤이 A쪽으로 움직여야 한다. 그러나 피스톤이 B쪽으로 움직이므로 B의 온도가 A의 온도보다 높아야 하고 열은 B에서 A로 이동한다.

02 - 품평 문제 분석

온도-부피 그래프를 압력-부피 그래프로 전환하면 그림과 같다.



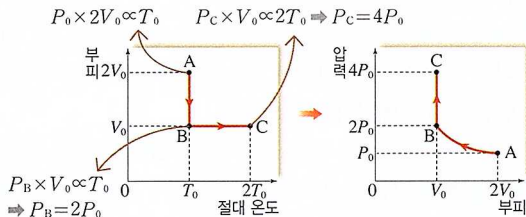
ㄴ. B→C 과정은 등온 과정이므로 $\Delta U=0$ 이다. 따라서 $Q=W$ 이므로 기체가 한 일은 기체가 흡수한 열량과 같다.

ㄷ. A→B 과정은 등적 과정이므로 $Q=\Delta U$ 이다. 이때 C→D 과정도 등적 과정이므로 $Q'=\Delta U'$ 인데 A→B 과정의 온도 증가량과 C→D 과정의 온도 감소량이 같으므로 A→B 과정에서 흡수한 열량과 C→D 과정에서 방출한 열량은 서로 같다.

[바로알기] ㄱ. A에서 기체의 압력을 P_0 이라고 하면, C에서 기체의 압력은 $\frac{2}{3}P_0$ 이므로 기체의 압력은 A에서가 C에서보다 높다.

03 - 품평 문제 분석

A에서의 압력을 P_0 이라고 하고 압력-부피 그래프로 전환하면 그림과 같다.



ㄷ. B→C 과정에서 온도는 증가하므로 기체의 내부 에너지는 증가한다. B→C 과정은 등적 과정으로 $Q=\Delta U$ 이므로 이때 기체의 내부 에너지 증가량은 기체가 외부에서 흡수하는 열량과 같다.

[바로알기] ㄱ. 압력-부피 그래프에서 C일 때의 압력은 A일 때의 압력의 4배이다.

ㄴ. A→B 과정은 등온 압축 과정이므로 $Q=W$ 에서 $W<0$ 이므로 $Q<0$ 이다. 따라서 외부로 열을 방출한다.

04 ㄱ. 단열 과정이 일어나므로 기체에 해 준 일만큼 내부 에너지가 증가한다. 내부 에너지가 증가하면 온도도 올라가며, 온도가 높을수록 기체 분자의 평균 속력이 커진다.

ㄴ. 열의 출입이 없으므로($Q=0$), 열역학 제1법칙에 따라 $0=\Delta U+W$ 에서 $\Delta U=-W$ 이다. 따라서 기체에 해 준 일($\Delta V<0$)이므로 $W<0$)이 모두 기체의 내부 에너지로 전환된다.

[바로알기] ㄷ. 기체가 압축되며 온도가 올라가므로 압력이 증가한다.

02 / 열역학 제2법칙

개념 확인문제

129쪽

① 일 ② 열효율 ③ 카르노 ④ 온도 ⑤ 열기관 ⑥ 지구 온난화

1 200 J 2 $1 - \frac{Q_3+Q_4}{Q_1+Q_2}$ 3 0.2 4 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ○

1 열기관의 열효율 e 는 열기관에 공급한 열 Q_1 에 대하여 열기관이 하는 일 W 의 비로 나타낸다. 즉, $e = \frac{W}{Q_1}$ 이므로 $0.2 =$

$\frac{W}{1000 \text{ J}}$ 에서 $W=200 \text{ J}$ 이다.

2 열효율을 e 라고 하고, 열기관이 흡수한 열량을 $Q_{\text{흡수}}$, 방출한 열량을 $Q_{\text{방출}}$ 이라고 하면 $e = \frac{Q_{\text{흡수}} - Q_{\text{방출}}}{Q_{\text{흡수}}} = 1 - \frac{Q_{\text{방출}}}{Q_{\text{흡수}}}$ 이다. 스팀 기관이 흡수한 열량은 Q_1 과 Q_2 이고, 방출한 열량은 Q_3 과 Q_4 이므로 $e = 1 - \frac{Q_3+Q_4}{Q_1+Q_2}$ 이다.

3 열효율을 e , 열기관이 흡수한 열량을 Q_1 , 방출한 열량을 Q_2 , 열기관이 한 일을 W 라고 하면, $e = \frac{W}{Q_1}$ 이고, $W=Q_1-Q_2$ 에서 $e = \frac{2000-1600}{2000} = 0.2$ 이다.

4 (1) 열기관은 열에너지를 일로 바꾸는 장치이다.

(2) 열기관이 흡수한 열에너지로 열기관은 외부에 일을 하고 그 나머지는 방출한다.

(3) 열기관은 교통, 농업, 산업 등에 사용되어 인류의 문명을 발전시켰다.

(4) 열기관은 지구 온난화를 일으키는 온실 기체를 방출한다.

개념 확인문제

132쪽

① 가역 ② 비가역 ③ 2 ④ 증가 ⑤ 높은 ⑥ 무질서도

1 ㄱ 2 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) × 3 $-\frac{Q}{T_H}$ 4 ㉠ 비가역,

㉡ 증가