

II. 열과 에너지

01

단열과 열팽창

수록 구성

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

01

단열과 열팽창

핵심 내용 **아래**

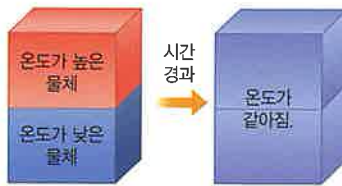
●● 두 물체의 온도 차에 의해 **열전달**이 일어나며, 열을 얻은 물체는 길이와 부피가 커지는 **열팽창**을 한다. ●●

1 열전달과 단열

시간이 지나면 컵에 담긴 뜨거운 물은 식고, 반대로 차가운 음료는 미지근해진다. 이처럼 일상에서 일어나는 온도 변화는 두 물체 사이의 열의 이동으로 설명할 수 있다.

1. 열과 열전달

- (1) **온도**: 온도는 입자들의 *열운동이 활발한 정도를 나타내는 척도이며, 온도가 높은 물체일수록 입자의 열운동이 활발하다.
- (2) **열**: 두 물체 사이의 온도 차에 의해 일어나는 에너지의 전달 과정, 또는 그 과정에서 전달되는 에너지를 열이라 하고, 이때 이동하는 열의 양을 열량이라고 한다.
- (3) **열전달**: 열전달은 열의 형태로 에너지가 전달되면서 발생하는 현상이다.
 - ① 미시적 관점에서의 열전달: 자연계에서는 온도가 다른 두 물체가 서로 접촉해 있으면 평균적으로 입자의 열운동이 활발한 쪽에서 열운동이 덜 활발한 쪽으로 에너지가 이동하여 물체의 *내부 에너지를 변화시킨다.
 - ② 열평형: 열전달은 두 물체의 온도가 같아질 때까지 계속되며, 두 물체의 온도가 같아진 상태를 열평형 상태라고 한다. 열평형 상태는 접촉한 두 물체 사이에 열의 이동이 균형을 이루어 열의 알짜 이동이 없는 상태이다.



▲ 열평형

절대 온도

열역학에서 온도는 주로 SI 기본 단위인 절대 온도로 나타낸다. 절대 온도의 단위는 K(켈빈)을 사용하며, 이론적으로 분자 운동이 멈추어 기체의 부피가 0이 되는 온도인 약 -273°C 를 0 K으로 정하고 섭씨온도와 같은 간격으로 눈금을 매긴 것이다.

열(heat)과 일(work)

물리학에서 열과 일은 각각 상호작용의 한 방식으로, 열은 온도 차에 의한 에너지 전달로, 일은 힘을 통한 에너지 전달로 이해할 수 있다.

심화 + 열역학 제0법칙

이 법칙은 '온도'라는 물리량이 존재함을 말해 주며, 온도 측정의 근거가 되는 법칙이다.

물체 A와 B가 열평형 상태이고 B와 C가 열평형 상태이면, A와 C도 열평형 상태이다.

체온계(B)로 내 몸(A)의 온도를 재고, 똑같은 체온계(B)로 물(C)의 온도를 잴 때 모두 36.5°C 로 측정되었다고 가정하자. 이때 우리는 내 몸(A)과 물(C)의 온도가 같다고 당연하게 결론을 내린다. 우리는 경험적으로 이러한 사실을 이미 알고 있지만, 과학 법칙을 세울 때는 수많은 관찰과 경험을 통해 당연하다고 여기는 경험적 사실을 논리 체계의 가장 기본적인 약속으로 삼는다. 이 당연한 약속이 있어야만 그 위에 열역학 제1법칙, 제2법칙과 같은 더 복잡한 논리 체계를 쌓을 수 있다. 열역학 제0법칙은 제1법칙과 제2법칙이 만들어진 후에 그 중요성이 인식되었고, 이것이 더 근본적인 전제라는 인정을 받아 '제0법칙'으로 명명하였다.

💡 용어 리마인드

*열운동 [물리학]

물질을 이루는 입자는 열운동이라는 무작위 운동을 하고 있어 각각의 입자가 역학적 에너지를 가지고 있다.

*내부 에너지 [물리학]

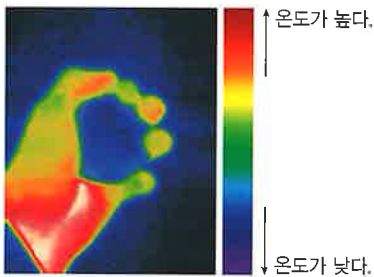
물체를 구성하는 모든 입자들의 열운동에 의한 운동 에너지와 입자들 사이의 상호작용에 의한 위치 에너지를 합한 것을 내부 에너지라고 한다.

개념 기본 문제

01 온도와 열에 대한 설명으로 옳은 것은?

- ① 지면에 정지해 있는 물체의 내부 에너지는 0이다.
- ② 난방 기기는 천장에 설치해야 효율적으로 방 전체를 따뜻하게 할 수 있다.
- ③ 고온의 물체와 저온의 물체가 접촉하면 고온의 물체를 구성하는 입자들의 열운동이 둔해진다.
- ④ 보온병의 벽 내부를 진공으로 만드는 까닭은 복사에 의한 열전달을 방지하기 위함이다.
- ⑤ 온도가 다른 두 물체가 우주 공간에서 서로 떨어져 있을 때는 물체 사이에 열전달이 일어나지 않는다.

02 그림은 눈덩이를 들고 있는 사람의 손을 열화상 카메라로 촬영한 사진이다.



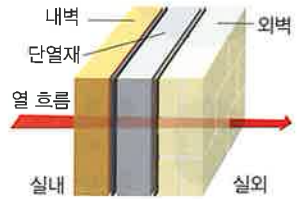
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 열화상 카메라는 복사 전자기파를 감지하여 각 지점의 온도를 색깔로 나타낸다.
- ㄴ. 눈덩이에서는 복사 전자기파가 방출되지 않는다.
- ㄷ. 열은 사람의 손에서 눈덩이로 이동한다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

03 그림은 건물 벽의 단면 구조로, 내벽과 외벽 사이에 단열재가 있으며, 열은 벽을 통해 실내에서 실외로 이동한다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?



보기

- ㄱ. 온도는 실내가 실외보다 높다.
- ㄴ. 단열재가 두꺼울수록 단열 성능이 좋다.
- ㄷ. 단열재의 열전도도가 클수록 단열 성능이 좋다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄷ

04 그림은 어떤 건물의 콘크리트 벽에 유리창을 설치한 모습을 나타낸 것이다. 콘크리트 벽의 두께는 유리창의 20배이며, 콘크리트의 열전도도는 유리의 1.5배이다. 면적은 콘크리트 벽과 유리창이 서로 같다.



같은 시간 동안 콘크리트 벽과 유리창을 통해 빠져나가는 열량을 각각 Q_1 , Q_2 라고 할 때, $Q_1 : Q_2$ 를 구하시오. (단, 콘크리트 벽과 유리창 사이에는 열이 전달되지 않는다.)

05 그림은 유리창에 붙이는 단열 필름의 특징을 나타낸 것이다.

적외선 반사율	97 %	자외선 반사율	99.99 %
가시광선 투과율	70 %	열전도도	㉠

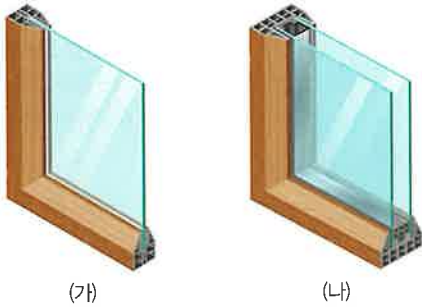
제시된 단열 필름에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 복사에 의한 열전달을 효과적으로 차단한다.
- ㄴ. ㉠이 클수록 좋은 단열 성능을 가진다.
- ㄷ. 이 단열 필름을 붙여도 유리창을 통해 외부 볼 수 있다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

- 06** 그림 (가)는 한 장의 유리로 된 창문을, (나)는 두 장의 유리로 된 이중창을 나타낸 것이다.

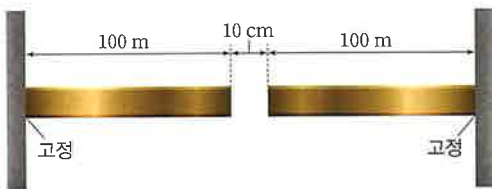


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. (가)가 (나)보다 단열 성능이 우수하다.
 - ㄴ. 유리판에서는 전도에 의해 열이 전달된다.
 - ㄷ. (나)의 두 유리판 사이의 빈 공간에 열전도도가 낮은 기체를 채우면 단열이 잘 된다.

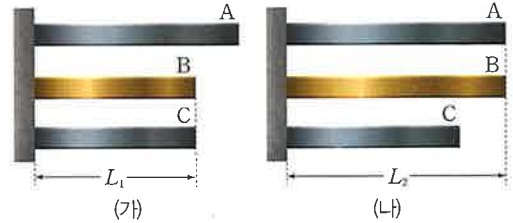
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

- 07** 그림은 온도가 T_0 일 때 길이가 각각 100 m인 동일한 재료의 두 금속 막대의 한쪽 끝을 각각 벽에 고정하고, 다른 쪽 끝 사이의 간격을 10 cm만큼 떨어뜨려 놓은 모습을 나타낸 것이다. 두 금속 막대의 온도를 50°C 만큼 균일하게 높였더니 두 금속 막대의 끝이 서로 맞닿았다.



- (1) 이 금속의 선팽창 계수를 구하시오.
- (2) 끝이 서로 맞닿은 상태의 두 금속 막대를 다시 처음 온도 T_0 으로 냉각시켰을 때, 두 금속 막대 사이의 간격을 구하시오. (단, 금속 막대의 열팽창 및 수축 과정은 완전히 가역적이다.)

- 08** 그림 (가)는 한쪽 끝이 동일한 벽에 고정된 막대 A, B, C를 나타낸 것이다. (가)에서 세 막대의 온도는 T_1 로 같고, B와 C의 길이는 L_1 로 같다. 그림 (나)는 (가)에서 세 막대의 온도가 모두 T_2 로 변했을 때로, A와 B의 길이는 L_2 로 같고, $L_1 < L_2$ 이다. A와 C는 동일한 물질로 만들어졌다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. $T_1 < T_2$ 이다.
 - ㄴ. 선팽창 계수는 A가 B보다 크다.
 - ㄷ. (가)에서 (나)로 온도가 변할 때의 길이 변화량은 A가 C보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

- 09** 건축물에 활용된 열 관련 기술에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. 이중창에서는 유리 사이의 공기층 덕분에 복사에 의한 열전달이 일어나지 않는다.
 - ㄴ. 철근 콘크리트에 사용되는 철과 콘크리트는 선팽창 계수가 비슷하여 온도 변화에도 건축물이 안정적으로 유지된다.
 - ㄷ. 건물의 내벽과 외벽 사이에 열전도도가 낮은 단열재를 채워 넣는다.
 - ㄹ. 건물 외벽에 설치하는 ㄷ자형 가스 배관은 열팽창이 일어나지 않는 특수 합금으로 만들어야만 파손을 방지할 수 있다.

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

개념 적용 문제

> 단열

01 다음은 단열재의 종류에 따른 보온 효과를 비교하는 실험이다.

▷ 단열 효과를 높이기 위해서는 전도, 복사, 대류에 의한 열전달을 모두 차단해야 한다.

실험 과정

- (가) 동일한 종이컵 A, B, C를 준비한 후 A는 그대로 두고, B는 뽁뽁이로 감싸고, C는 알루미늄 포일로 감싼다.
 (나) 각 컵에 80 °C의 물을 같은 양만큼 붓고 뚜껑을 닫는다.
 (다) 상온에서 10분 후 각 컵에 담긴 물의 온도를 측정한다.



실험 결과

종이컵	10분 후 물의 온도
A	T_1
B	T_2
C	T_3

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. $T_1 < T_2$ 이다.
 ㄴ. 알루미늄 포일은 전도가 잘 일어나는 금속이므로 $T_1 > T_3$ 이다.
 ㄷ. 5 °C의 물을 담고 같은 실험을 반복한다면 10분 후 물의 온도는 A가 B보다 높다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

> 열전달과 단열

02 그림은 여름철 자동차 내부 온도가 상승하는 것을 억제하는 햇빛 가리개이다. 햇빛 가리개는 은박 재질로 만들며, 자동차 유리 안쪽에 밀착시켜 사용한다.
 이와 같은 단열 원리를 적용한 사례만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?



▷ 열전달에는 전도, 대류, 복사의 세 방식이 있으므로, 단열 원리 또한 열전달의 세 방식을 각각 차단하는 원리를 이용한다.

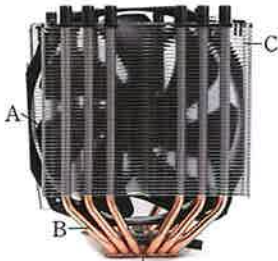
보기

- ㄱ. 건물 벽 내부에 유리 섬유 단열재를 사용한다.
 ㄴ. 겨울에 입는 외투는 솜이나 오리털로 내부를 채운다.
 ㄷ. 화재 현장에서 소방관이 입는 방열복의 표면은 금속 재질로 코팅되어 있다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

➤ 열전달 방식의 이용

03 그림은 컴퓨터의 중앙 처리 장치(CPU)에 장착하는 열 방출 장치의 모습과 특징을 나타낸 것이다.



중앙 처리 장치

- A: 냉각 팬이 C의 얇은 금속판 사이로 바람을 불어넣는다.
 B: 중앙 처리 장치와 맞닿는 부분은 구리나 알루미늄으로 만든다.
 C: 여러 갈래로 난 구리 기둥을 따라 얇은 금속판 여러 장을 촘촘히 배치한 구조이다.

➤ 대류는 유체가 직접 이동하면서 열을 전달하는 방식이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

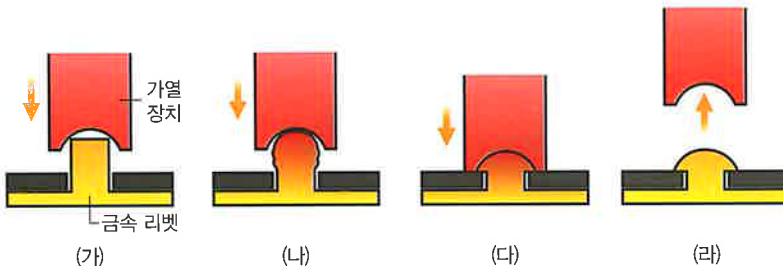
- ㄱ. A는 대류에 의한 열 방출 효율을 높인다.
 ㄴ. B는 구리나 알루미늄의 큰 열용량을 활용하는 원리이다.
 ㄷ. C는 표면적을 넓게 하여 열 방출 효율을 높인다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

➤ 열팽창의 활용

04 그림 (가)~(라)는 열 관련 기술이 활용되는 예시를 나타낸 모식도이다. (가)와 같이 결합할 물체의 구멍에 결합용 금속 리벳을 끼우고, (나)와 (다)에서처럼 금속 리벳을 가열하면서 눌러 머리 모양을 만든다. (라)는 가열 장치를 제거하고 금속 리벳을 식히는 과정이다.

➤ 열팽창은 물체를 구성하는 입자들의 열운동이 활발해져 입자 사이의 평균 거리가 멀어지기 때문에 발생한다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

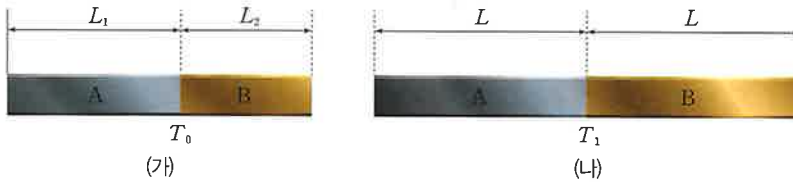
보기

- ㄱ. (나)에서 가열 장치와 금속 리벳 사이에서는 전도에 의해 열이 전달된다.
 ㄴ. 금속 리벳을 구성하는 입자의 열운동은 (다)에서가 (라)에서보다 더 활발하다.
 ㄷ. (라)에서 금속 리벳이 식으면 수축하여 구멍 양쪽의 물체를 강하게 결합한다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

➤ 선팅창

- 05** 그림 (가)는 온도가 T_0 일 때 길이가 각각 L_1, L_2 이고 단면의 모양과 면적이 같은 두 금속 A, B를 이어 붙인 모습을 나타낸 것이다. (가)에서 $L_1 > L_2$ 이다. 그림 (나)는 온도가 T_1 로 변할 때 (가)의 A, B의 모습을 나타낸 것이다. (나)에서 A와 B의 길이는 L 로 같으며, L 은 L_1, L_2 보다 크다.



➤ 처음 길이가 L_0 이던 고체 막대의 경우, 온도가 ΔT 만큼 변했을 때 늘어난 길이 ΔL 은 처음 길이 L_0 과 온도 변화 ΔT 에 각각 비례한다.

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T$$

(α : 선팅창 계수)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 선팅창 계수는 A가 B보다 작다.
- ㄴ. $T_0 > T_1$ 이다.
- ㄷ. $(L - L_1)$ 은 L_1 에 비례한다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

➤ 바이메탈

- 06** 그림 (가)는 두 금속 A, B로 만든 바이메탈을 이용한 스위치 회로를 나타낸 것이다. 선팅창 계수는 A가 B보다 작다. 그림 (나)는 (가)의 바이메탈이 선팅창을 하여 회로의 연결이 끊어진 상태를 나타낸 것이다.



➤ 바이메탈은 두 금속의 온도 변화가 같더라도 선팅창 정도가 다른 성질을 이용한다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?

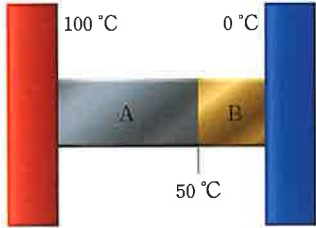
보기

- ㄱ. (가)에서 (나)로 변할 때 금속의 길이 변화량은 A가 B보다 작다.
- ㄴ. 바이메탈의 온도는 (가)에서가 (나)에서보다 높다.
- ㄷ. 이 회로를 이용해 전열기가 특정 온도 이하로 낮아지지 않도록 조절할 수 있다.

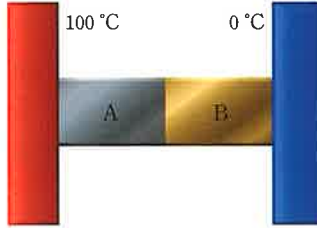
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

➤ 열전달과 단열

- 07** 그림 (가), (나)는 단면적이 같고 열전도도가 서로 다른 두 물체 A, B를 연결하고, 양 끝을 각각 온도가 100 °C, 0 °C로 일정한 열원에 접촉시킨 모습을 나타낸 것이다. (가), (나)에서 A와 B를 연결한 물체 전체의 길이는 서로 같고, A의 길이는 (가)에서가 (나)에서보다 길다. (가)에서 A와 B가 연결된 부분의 온도는 50 °C이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은? (단, 두 열원 사이에서 열은 A와 B를 통해서만 이동한다.)

보기

- ㄱ. 열전도도는 A가 B보다 크다.
- ㄴ. (가)에서 같은 시간 동안 전달하는 열량은 A가 B보다 많다.
- ㄷ. A와 B가 연결된 물체 전체의 단열 성능은 (가)에서가 (나)에서보다 좋다.

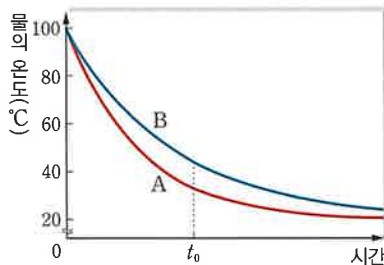
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

➤ 전도를 통해 같은 시간 동안 전달되는 열량은 열전도도와 온도 차에 각각 비례하고, 물체의 길이에 반비례한다.

$$Q = kA \frac{T_1 - T_2}{L} t$$

- 08** 그림은 열전도도가 서로 다른 물질 A, B로 각각 만든 같은 크기와 모양의 밀폐 용기에 100 °C의 물을 같은 양만큼 넣고 시간에 따른 물의 온도를 측정한 결과를 나타낸 것이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 보기에서 있는 대로 고른 것은?



➤ 열은 두 물체 사이의 온도 차에 의해 에너지가 전달 되는 현상을 의미한다. 두 물체의 온도 차가 클수록 전달 되는 열량도 크다.

보기

- ㄱ. 열전도도는 A가 B보다 크다.
- ㄴ. A에서 같은 시간 동안 용기 밖으로 빠져나가는 열량은 점점 감소한다.
- ㄷ. t_0 일 때 물의 내부 에너지는 A에서가 B에서보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

$$v = \sqrt{\frac{2}{3}gR}, \cos\theta = \frac{2}{3}, \sin\theta = \sqrt{1 - \cos^2\theta} = \frac{\sqrt{5}}{3} \text{를}$$

③에 대입하여 $t > 0$ 인 값을 구하면

$$t = \frac{1}{9}(10\sqrt{3} - \sqrt{30})\sqrt{\frac{R}{g}} \text{이다.}$$

따라서 C에서 내린 수선의 발을 E라고 하면 A에서 D까지의 거리는 $\overline{AE} + \overline{ED}$ 이므로

$$R\sin\theta + (v\cos\theta) \cdot t =$$

$$\frac{\sqrt{5}}{3}R + \sqrt{\frac{2}{3}gR} \times \frac{2}{3} \times \frac{1}{9}(10\sqrt{3} - \sqrt{30})\sqrt{\frac{R}{g}}$$

$\approx 1.44R$ 이다.

	채점 기준	배점(%)
(1)	구심력의 식과 역학적 에너지 보존 법칙을 이용한 관계식으로 답을 올바르게 구한 경우	30
	구심력의 식과 역학적 에너지 보존 법칙의 식을 옳게 썼으나 답을 구하지 못한 경우	20
	구심력의 식이나 역학적 에너지 보존 법칙의 식 중 하나만 옳게 쓴 경우	10
(2)	물체가 C에서 구면을 벗어나는 순간의 속력을 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	20
(3)	A에서 D까지의 거리를 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	50
	A에서 D까지의 거리를 풀이 과정만 옳게 구한 경우	30

- 3** **모범답안** (1) 태양의 질량을 M 이라고 할 때 행성에 작용하는 중력이 구심력으로 작용하므로

$$G\frac{Mm}{r_0^2} = \frac{mv^2}{r_0} \text{에서 } v^2 = \frac{GM}{r_0} \text{이다.}$$

$$\text{즉, (가)에서 행성의 운동 에너지 } E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{GMm}{2r_0},$$

중력에 의한 위치 에너지 $E_p = -G\frac{Mm}{r_0}$, 행성의 역학적 에너지 $E_{(가)}$ 는 운동 에너지와 중력에 의한 위치 에너지의 합이므로 다음과 같다.

$$E_{(가)} = \frac{1}{2}mv^2 - G\frac{Mm}{r_0} = \frac{GMm}{2r_0} - G\frac{Mm}{r_0} = -\frac{GMm}{2r_0}$$

(2) (나)에서 근일점에서 행성의 속력을 v_0 , 원일점에서 행성의 속력을 v_1 이라고 하면 면적 속도 일정 법칙에 의해

$$r_0v_0 = rv_1 \text{에서 } v_1 = \frac{r_0}{r}v_0 \text{이다. 역학적 에너지가 보존되므로}$$

$$\frac{1}{2}mv_0^2 - G\frac{Mm}{r_0} = \frac{1}{2}mv_1^2 - G\frac{Mm}{r} \text{이고 근일점에서}$$

운동 에너지 $E_0 = \frac{1}{2}mv_0^2$ 이므로 E_0 은 다음과 같다.

$$E_0 - G\frac{Mm}{r_0} = \left(\frac{r_0}{r}\right)^2 E_0 - G\frac{Mm}{r}$$

$$\left(1 - \frac{r_0^2}{r^2}\right)E_0 = GMm\left(\frac{1}{r_0} - \frac{1}{r}\right)$$

$$\frac{(r-r_0)(r+r_0)}{r^2}E_0 = GMm\left(\frac{r-r_0}{r_0r}\right)$$

$$E_0 = GMm\frac{r}{r_0(r+r_0)}$$

따라서 (나)에서 행성의 역학적 에너지 $E_{(나)}$ 는 운동 에너지와 중력에 의한 위치 에너지의 합이므로 다음과 같다.

$$E_{(나)} = \frac{1}{2}mv_0^2 - G\frac{Mm}{r_0} = E_0 - \frac{r+r_0}{r}E_0 = -\frac{r_0}{r}E_0 = -\frac{r_0}{r} \times GMm\frac{r}{r_0(r+r_0)} = -\frac{GMm}{r+r_0}$$

$$E_{(가)} = -\frac{GMm}{2r_0} \text{과 } E_{(나)} = -\frac{GMm}{r+r_0} \text{에서 } r > r_0 \text{이므로 } E_{(나)} > E_{(가)} \text{이다.}$$

	채점 기준	배점(%)
(1)	(가)에서 행성의 역학적 에너지를 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	40
	(가)에서 행성의 역학적 에너지의 식만 옳게 구한 경우	20
(2)	(나)에서 행성의 역학적 에너지를 구하여 (가)의 행성의 역학적 에너지와 크기를 옳게 비교한 경우	60
	(나)에서 행성의 역학적 에너지를 옳게 구하였으나 (가)의 행성의 역학적 에너지와 크기를 옳게 비교하지 못한 경우	30

- 4** 우주선 안에 있는 사람이 들고 있던 물체를 가만히 놓았을 때 물체가 g 의 가속도로 등가속도 운동을 하면 우주선 안에서 밖을 볼 수 없는 사람은 이 물체가 중력에 의해 아래로 가속되는지 우주선이 위로 가속되어 관성력에 의해 아래로 가속되는지 구별할 수 없다.

모범답안 g 의 가속도로 등가속도 직선 운동을 하는 우주선 안과 같이 가속 좌표계의 공간에서는 빛이 휘어져 진행하는 것처럼 보이는데, 등가 원리에 의해 중력과 관성력을 구별할 수 없으므로 중력이 있는 공간에서도 빛이 휘어져 진행할 것이다.

	채점 기준	배점(%)
	등가 원리를 이용하여 중력에 의해 빛이 휘어지는 까닭을 옳게 설명한 경우	100
	등가 원리에 의한 것이라고만 설명한 경우	50

II 열과 에너지

01 단열과 열팽창

중요 개념 체크

104쪽

- 1 복사 2 (1) × (2) ○ 3 (1) × (2) ○

탐구 확인 문제

105쪽

1 ①

1. 단열이 잘 될수록 이동하는 열량이 작으므로, 같은 시간 동안 물의 온도 변화량이 작다.

[바로알기] ㄱ. 10분 후 물의 온도 $T_1 > T_2$ 이므로 A에 든 물의 온도가 B에 든 물의 온도보다 더 많이 높아졌다. 따라서 보냉 주머니의 단열 성능은 물의 온도 변화량이 작은 B가 더 좋다.

ㄷ. 보냉 주머니는 주머니 안 물의 온도를 낮게 유지하는 용도이므로, 외부에서 주머니 안의 물로 열이 이동하는 것을 막는 역할을 한다.

개념 기본 문제

106쪽~107쪽

- 01 ③ 02 ④ 03 ④ 04 3 : 40
05 ④ 06 ⑤ 07 (1) $1 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ (2) 10 cm
08 ③ 09 ③

- 01 ③ 고온의 물체는 입자들의 열운동이 활발하고, 저온의 물체는 열운동이 덜 활발하다. 두 물체가 접촉하면 열이 고온의 물체에서 저온의 물체로 이동하며, 이 과정에서 고온의 물체는 에너지를 잃으므로 구성 입자들의 열운동이 둔해지고 물체의 온도가 낮아진다.

[바로알기] ① 물체가 지면에 정지해 있어 역학적 에너지가 0이더라도, 물체를 구성하는 입자들은 끊임없이 열운동을 하고 있으므로 물체의 내부 에너지는 0이 아니다.

② 난방 기기는 바닥에 설치해야 대류 현상에 의해 따뜻해진 공기가 위로 올라가고 차가운 공기가 아래로 내려오면서 효율적으로 방 전체를 난방할 수 있다.

④ 보온병의 벽 내부를 진공으로 만드는 까닭은 입자의 이동이나 충돌을 막아 전도와 대류에 의한 열전달을 방지하기 위함이다.

⑤ 우주 공간처럼 매개 물질이 없는 곳에서도 물체는 복사의 형태로 열에너지를 방출한다. 따라서 온도가 다른 두 물체 사이에서는 복사에 의한 열전달이 일어난다.

- 02 ㄱ. 열화상 카메라는 물체가 자신의 온도에 따라 방출하는 전자기파(주로 적외선)를 감지하여 온도를 색깔로 시각화해 준다. 이처럼 전자기파에 의한 에너지 전달이 바로 복사이다.

ㄷ. 열은 항상 온도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동한다. 사람의 손은 눈덩이보다 온도가 높으므로 열은 사람의 손에서 눈덩이 쪽으로 전달된다.

[바로알기] ㄴ. 절대 영도(0 K) 이상의 온도를 가진 모든 물체는 복사 전자기파를 방출한다. 눈덩이는 영하의 온도이지만 절대 영도보다는 훨씬 높으므로, 스스로 복사 전자기파를 방출하고 있다. 다만 사람보다 온도가 낮아 방출하는 에너지양이 적을 뿐이다.

- 03 ㄱ. 열은 실내에서 실외로 이동하므로 실내가 실외보다 온도가 높음을 알 수 있다.

ㄴ. 열전도 식 $Q = kA \frac{T_1 - T_2}{L} t$ 에 따르면 단열재가 두꺼울수록 길이 L 이 크므로, 전달되는 열량 Q 가 작아진다. 따라서 단열재가 두꺼울수록 단열 성능이 좋다.

[바로알기] ㄷ. 열전도 식에 따르면 열전도도 k 가 클수록 전달되는 열량 Q 가 커진다. 따라서 단열재의 열전도도가 클수록 단열 성능은 나쁘다.

- 04 콘크리트 벽과 유리창의 면적, 건물 안팎의 온도 차, 걸린 시간은 동일하므로, 열전도 식 $Q = kA \frac{T_1 - T_2}{L} t$ 에 따라

$$Q_1 : Q_2 = \frac{k_1}{L_1} \cdot \frac{k_2}{L_2} = \frac{1.5k_2}{20L_2} \cdot \frac{k_2}{L_2} = \frac{1.5}{20} : 1 \text{이다. 따라서 } Q_1 : Q_2 = 3 : 40 \text{이다.}$$

- 05 ㄱ. 자료에 따르면 단열 필름은 복사 전자기파의 주된 형태인 적외선을 97 % 반사한다. 따라서 이 필름은 복사에 의한 열전달을 매우 효과적으로 차단하는 것이다.

ㄷ. 유리창은 기본적으로 바깥을 보기 위한 것이므로, 단열 필름을 붙이더라도 시야가 방해되면 안 된다. 제시된 단열 필름의 가시광선 투과율이 70 %로 높으므로 단열 필름을 붙여도 유리창을 통해 외부를 볼 수 있다.

[바로알기] ㄴ. 열전도도는 물질이 전도를 통해 열을 얼마나 잘 전달하는지를 나타내는 값이다. 좋은 단열 성능을 가지려면 열이 잘 전달되지 않아야 하므로, 열전도도 값 (㉓)이 작을수록 단열 성능이 좋다.

06 ㄴ. 유리는 고체이므로, 유리판 자체에서는 물질을 구성하는 입자들이 이웃한 입자들과 상호작용하며 에너지를 전달하는 전도 방식에 의해 열이 전달된다.

ㄷ. (나) 이중창의 두 유리판 사이의 빈 공간에 열전도도가 낮은 기체를 채우면 전도에 의한 열의 이동을 효과적으로 막을 수 있어 단열이 잘 된다.

[바로알기] ㄱ. (나)는 유리와 유리 사이에 공기층이 있어 열의 이동을 막아 준다. 따라서 한 장의 유리만으로 된 (가)보다 (나)가 단열 성능이 우수하다.

07 (1) 두 금속 막대의 재질과 처음 길이가 같으므로 한 막대가 늘어난 길이는 5 cm이다. 선팽창 공식 $\Delta L = \alpha L_0 \Delta T$ 에서 $\Delta L = 5 \text{ cm} = 0.05 \text{ m}$, $L_0 = 100 \text{ m}$, $\Delta T = 50^\circ \text{C}$ 이므로, 이 금속의 선팽창 계수 $\alpha = 1 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ 이다.

(2) 선팽창한 금속을 원래 온도로 냉각시키면 원래 길이로 되돌아간다. 따라서 두 금속 막대를 다시 T_0 로 냉각시키면 두 금속 막대 사이의 간격은 처음 떨어뜨려 놓은 간격인 10 cm로 돌아간다.

08 ㄱ. $L_1 < L_2$ 이므로 열팽창이 일어났음을 알 수 있고, 따라서 온도는 (가)보다 (나)에서가 높다. 즉, $T_1 < T_2$ 이다.

ㄷ. A와 C는 동일한 물질로 만들어졌으므로 선팽창 계수가 같다. 따라서 (가)에서 (나)로 온도가 변할 때 처음 길이가 더 긴 A의 길이 변화량이 C의 길이 변화량보다 크다.

[바로알기] ㄴ. 물체의 처음 길이를 L_0 , 온도 변화량을 ΔT 라고 할 때 팽창한 길이 ΔL 은 $\Delta L = \alpha L_0 \Delta T$ 이다. ΔL 은 B가 A보다 크고, 온도 변화량은 $\Delta T = T_2 - T_1$ 로 A와 B가 같으므로, 처음 길이 L_0 이 더 작은 B의 선팽창 계수 (α)가 A보다 크다.

09 ㄴ. 철과 콘크리트는 선팽창 계수가 거의 비슷하여, 온도가 변하더라도 두 물질이 거의 같은 비율로 늘어나거나 줄어든다. 이 덕분에 구조물 내부의 길이 차이에 의한 균열이 생기는 것을 막아 주므로 온도 변화에도 건축물이 안정적으로 유지된다.

ㄷ. 단열의 가장 기본적인 원리는 열의 이동을 막는 것이다. 따라서 열전도도가 낮아 열을 잘 전달하지 않는 물질을 단열재로 사용하여 외부와의 열 교환을 최소화한다.

[바로알기] ㄱ. 이중창의 공기층은 열전도도가 매우 낮아 전도와 대류에 의한 열전달을 크게 줄여 주는 역할을 하지만, 이중창에서도 작게나마 공기를 통한 전도와 유리판 사이의 복사에 의한 열전달이 일어난다.

ㄷ. ㄷ자 모양으로 배관을 구부리는 까닭은 배관이 팽창하거나 수축할 때 늘어나거나 줄어드는 길이를 ㄷ자 모양으로 구부러진 부분이 변형되면서 배관 전체가 파손되는 것을 막기 위함이다.

개념 적용 문제

108쪽~111쪽

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

01 ㄱ. A는 대조군으로서, 단열재로 감싸지 않았으므로 온도가 가장 많이 떨어진다. 따라서 $T_1 < T_2$ 이다.

ㄷ. 단열재는 뜨거운 물의 열이 밖으로 나가는 것(보온)뿐만 아니라, 외부의 열이 차가운 물로 들어오는 것(보냉)도 막아 준다. 따라서 5°C 의 물로 같은 실험을 반복한다면 10분 후 물의 온도는 A가 B보다 높다.

[바로알기] ㄴ. 알루미늄 포일이 전도가 잘 일어나는 것은 사실이지만 복사에 의한 열전달을 차단하며, 종이컵과 알루미늄 포일 사이의 미세한 공기층이 전도를 막아 주므로 A보다는 단열 성능이 좋다. 따라서 $T_1 < T_3$ 이다.

02 자동차 햇빛 가리개의 원리는 반짝이는 은박 표면이 태양의 복사 전자기파(햇빛)를 반사하여 복사에 의한 열전달을 막는 것이다.

ㄷ. 소방관의 방열복 표면이 금속 재질인 까닭은 화재 현장에서 발생하는 강력한 복사 전자기파를 반사하여 소방관을 보호하기 위함이다. 이는 자동차 햇빛 가리개와 동일한 원리가 적용된 사례이다.

[바로알기] ㄱ. 유리 섬유 단열재의 핵심 원리는 섬유 사이에 수많은 공기를 가두는 것이다. 갇힌 공기는 움직일 수 없어 대류를 막고, 공기 자체의 낮은 열전도도를 이용해 전도에 의한 열전달을 줄여 준다.

ㄴ. 솜이나 오리털은 외부의 내부에 공기층을 만들어 대류와 전도에 의한 열전달을 막는 역할을 한다.