



6주차 시간의 화살

2교시 열과 열전달

앗, 뜨거워

다음이 공통적으로 설명하는 것은 무엇일까요?

- 온도 차이가 있을 때 존재하는 에너지 전달이다.
- 대부분의 물질은 이것을 가하면 팽창한다.
- 대류, 전도, 복사의 과정으로 전달된다.

정답은, 이번 시간 학습을 하면서 찾아보세요!

열 = 두 물체 사이에 () 차이가 있을 때 전달되는 에너지의 한 형태

✎ 열은 에너지를 전달하는 한 형태입니다.

과학에서 열의 의미는 우리가 일상생활에서 사용하는 열의 의미와 조금 다릅니다. 일상생활에서 열은 에너지가 저장된 형태로 사용되는 경우가 많습니다. "이 물체는 열이 많다"와 같은 표현은 과학적으로 잘못된 표현입니다.

열은 에너지를 전달하는 수단이지 에너지를 저장하는 것은 아닙니다.

열은 일과 같은 부류에 속하며 열의 크기는 전달된 에너지의 양을 뜻합니다.

열이 에너지를 저장하지 않는다면 온도가 높은 물체의 에너지는 무엇인가?

물체가 가지고 있는 알짜 에너지(운동에너지+ 퍼텐셜 에너지)를 내부 에너지(internal energy)라 합니다. 외부에서 물체에 열이 전달되면 내부 에너지는 증가하고, 반대로 물체에서 외부로 열이 빠져나가면 내부 에너지는 감소합니다.

높은 온도

열

낮은 온도

1. 열

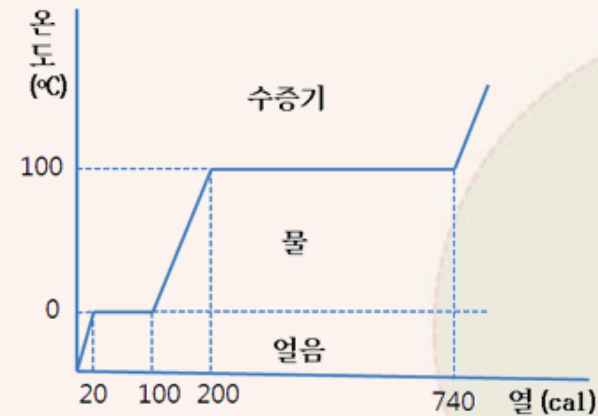
내부에너지 = “물체가 가지고 있는 알짜 에너지”

내부에너지의 변화는 열과 일에 의해서 일어납니다. 일상생활에서 열이 많다는 말은 사실 내부에너지가 크다는 말과 같은 의미입니다.

물체에 열을 가하면 물체의 온도가 올라갑니다. 그런데 물체에 열을 가했는데도 불구하고 온도는 올라가지 않고, 물체의 상태가 변하는 경우가 있습니다. 예를 들어 봅시다. 얼음에 열을 가하면 물로 변합니다. 이때 온도는 0°C를 유지하지만 얼음은 물로 변합니다. 이와 같이 얼음 상태를 물 상태로 바꾸려면 얼음 상태를 유지하는 물 분자들 사이의 분자 결합을 깨뜨려야 하는데 이 때 열이 필요합니다.

열은 온도를 증가시킬 뿐만 아니라, 물체의 ()를 변화시킬 수 있습니다.

이와 같이 물체의 상을 변화시키는데 필요한 열을 잠열(latent heat)라 합니다. 고체가 액체로 변할 때는 액화열이라 하고, 액체가 기체로 바뀔 때는 기화열이라 합니다. 잠열이 필요한 상전이를 불연속 상전이(또는 1차 상전이)라 한다. 그런데 물체의 상을 변화시키는데 열이 필요하지 않은 상 변화도 있습니다. 이러한 상변화를 연속 상전이(또는 2차 상전이)라고 합니다.



<물의 상변화 그림>

예제 1)

높은 산으로 올라갈수록 왜 온도가 내려갈까? 높은 산은 태양에 더 가깝지 않은가?

풀이)

물론 높은 산은 태양에 더 가깝습니다. 그러나 지구와 태양 사이의 거리는 149,000,000km 이고, 산 높이는 기껏해야 1km이므로 태양에 더 가까운 것은 거의 영향을 주지 않습니다.

산에서 공기가 찬 이유는 기체가 높이 올라갈수록 기체가 팽창하기 때문입니다. 위로 올라갈수록 공기의 밀도가 낮으므로 산봉우리로 올라가는 공기는 주위의 공기에 일을 하면서 팽창합니다. 기체가 외부에 일을 하므로 공기의 내부에너지가 줄어듭니다. 기체의 내부에너지는 온도에 비례하므로 내부에너지가 줄어드는 것은 온도가 내려감을 의미합니다.



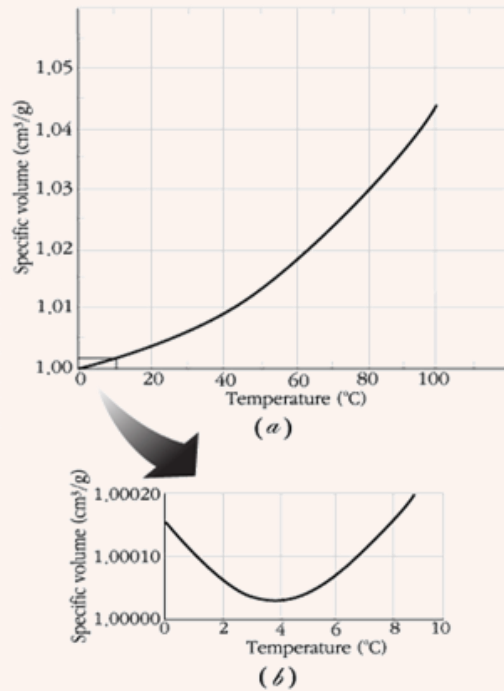
2. 열팽창

- ✎ 물체의 온도가 올라가면 대부분의 물체는 길이와 부피가 늘어납니다. 이와 같이 온도가 올라갈 때 물체의 길이가 늘어나는 것을 **선팽창**, 부피가 늘어나는 것을 **부피팽창**이라 하며, 이들을 열팽창이라 합니다.

대부분의 물질은 열을 가하면 팽창한다.

물체가 열팽창하는 이유는 물체를 구성하는 **이웃한 분자 사이의 거리가 온도가 올라가면 멀어지기 때문**입니다. 고체의 온도를 녹는점까지 올리면 이웃한 분자들이 멀어져서 고체의 형태를 유지할 수 없게 됩니다.

그러나 모든 물체가 온도가 올라가면 팽창하지는 않습니다. 대표적인 물질이 물입니다. 물은 4℃ 보다 클 때는 온도가 올라가면 팽창하지만, 4℃ 이하의 물은 온도가 내려갈수록 부피가 커집니다. 그림은 물의 부피를 온도의 함수로 나타낸 것입니다. 일정한 질량의 **물의 온도를 낮추면 4℃에서 부피가 가장 작습니다**. 즉, 밀도=질량/부피 이므로 4℃에서 물의 밀도가 가장 큼니다.



<물 부피의 온도 의존성>

▣ 물이 얼 때 표면부터 어는 이유를 물의 밀도와 관련 지어 생각해 보시오.

예제 1)

보통 유리컵에 뜨거운 물을 부으면 깨지기 쉽다. 그러나 파이렉스 유리로 만든 유리컵은 뜨거운 물을 부어도 깨지지 않는다. 그 이유는 무엇인가?

풀이)

보통 유리와 파이렉스 유리(Pyrex glass)의 열전도도와 선팡창 계수가 표와 같습니다.

| 종류 | 열전도도(J/m · °C) | 선팡창계수(/ °C) |
|---------|--------------------|--------------------|
| 보통유리 | 1.32×10^5 | 9×10^{-6} |
| 파이렉스 유리 | 1.09×10^5 | 3×10^{-6} |

유리컵에 뜨거운 물을 부었을 때 유리컵이 깨지는 이유는 유리컵의 **안쪽과 바깥쪽 사이의 온도 차이** 때문입니다.

안쪽은 뜨거우므로 바깥쪽 보다 크게 팽창합니다. 따라서 유리컵은 큰 **열변형력**을 받게 됩니다. 이 열 변형력을 지탱하지 못하면 컵은 깨집니다. 유리컵을 깨지지 않게 하려면 유리의 **열전도도가 커서 안과 밖의 온도차를 줄이면** 됩니다.

또는 **유리의 선팡창계수를 줄여서 열 변형력을 줄이면** 됩니다. 열전도도 면에서 보통유리는 파이렉스 유리보다 17%정도 좋습니다. 그러나 선팡창계수를 보면 보통유리가 파이렉스 유리보다 3배 더 크게 열팽창을 합니다. 비록 보통유리가 파이렉스 유리보다 열전도도는 좋지만 선팡창계수가 훨씬 크기 때문에 큰 열 변형력을 크게 받게 되어 쉽게 깨집니다.

3. 열전달

✎ 열에 의해서 에너지가 전달되는 과정은 **대류, 전도, 복사**의 세 가지로 크게 나눌 수 있습니다.

대류

대류는 온도가 높은 유체(액체 또는 기체)가 한 곳에서 다른 곳으로 이동하면서 에너지를 운반하는 과정입니다. 즉, 물질의 직접적인 이동에 의해서 열이 전달됩니다. 주전자에 물을 끓이면 불과 직접 접하는 부분의 물이 뜨거워지고, 뜨거운 물은 밀도가 작아지므로 위로 올라가게 되고 위 쪽의 차가운 물이 아래로 내려오게 됩니다. 기상현상, 해류의 대류 등을 **자연 대류**라 하고, 선풍기, 냉난방기 등에 의한 대류를 **강제대류**라 합니다.

전도

은 젓가락을 뜨거운 국에 담그면 금방 손에 뜨거운 기운이 전달됩니다. 이러한 현상은 대류와는 달리 직접적인 물질의 이동에 의해서 열이 전달되는 것이 아니라 물질을 통해서 열이 전달되기 때문입니다. 이러한 열전달을 전도라 합니다. 물체의 한 쪽 끝의 온도를 높이면 물질내부의 분자들의 무질서한 운동이 증가하고, 열적으로 들뜬 분자들이 이웃한 분자들과 충돌하여 이웃한 분자들의 무질서한 운동을 증가시킵니다. 이러한 과정이 온도가 낮은 쪽으로 연쇄적으로 발생하면서 열전달이 일어납니다.

복사

온도를 가진 물체는 ()를 내보냅니다. 또한 물체는 외부에서 들어오는 전자기파를 흡수 합니다. 전자기파를 흡수하면 물체의 온도가 올라갑니다. 태양 빛을 쬔었을 때 따뜻해지는 이유가 바로 빛(전자기파)의 복사 때문입니다.

예제 1)

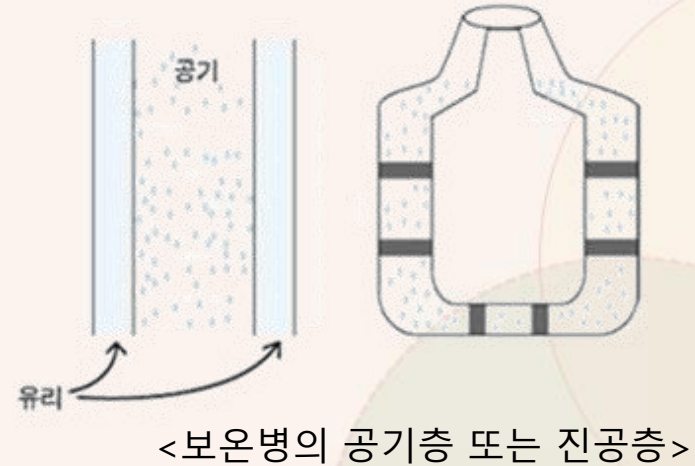
은은 열전도도가 좋은 금속인데도 불구하고 보온병 안쪽은 왜 은도금을 할까?

풀이)

은은 좋은 열전도체입니다. 보온병은 그림과 같이 유리벽 사이에 진공층이 있어 열전달을 차단합니다. 열의 전도와 대류는 물질의 분자운동과 관련이 있습니다. 그런데 **진공에는 물질이 없으므로 전도와 대류에 의한 열전달이 일어나지 않습니다.** 전도와 대류에 의한 열전달이 없더라도 **복사에 의한 열전달이 있을 수 있습니다.** 은은 복사 에너지의 방출을 막습니다.

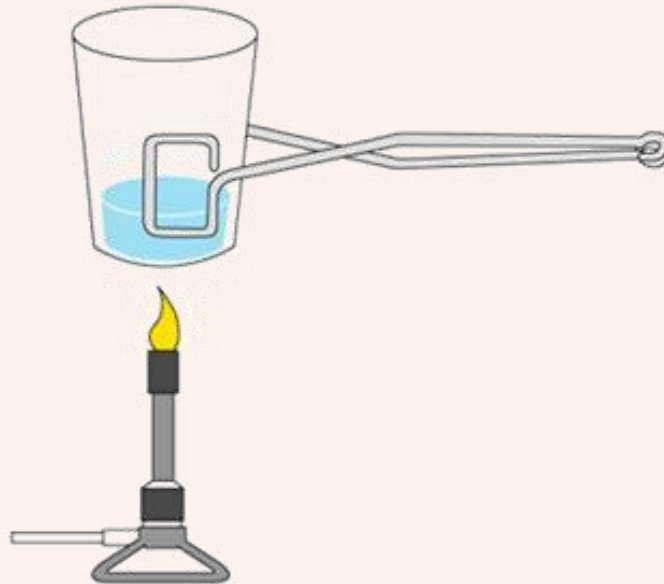
그 이유는 무엇일까요?

은은 **복사선(가시광선, 적외선)을 잘 ()합니다.** 뜨거운 유체는 대부분 적외선을 방출하는데 은이 적외선을 잘 반사하므로 복사에 의한 열이 빠져나가기 어렵습니다. 한편 은의 온도가 높아지더라도 은 자체가 외부로 전자기파를 방출하는 방출률이 낮기 때문에 또한 열 손실을 막을 수 있습니다.



종이컵 속에서 물 끓이기

- ① 물을 약간 넣은 종이컵을 손집게로 잡고 촛불이나 버너 위에 올려놓아 보아라.
- ② 이 때 불길이 종이컵의 바닥에만 닿도록 조심하여라.
- ③ 몇 분 후, 종이컵은 타지 않은 채 물만 끓게 될 것이다!



▶ 각자 답을 생각해 봅시다.

5. 인체의 열손실 과정

복사
(radiation)
50%

대류
(convection)
25%

증발 (evaporation)

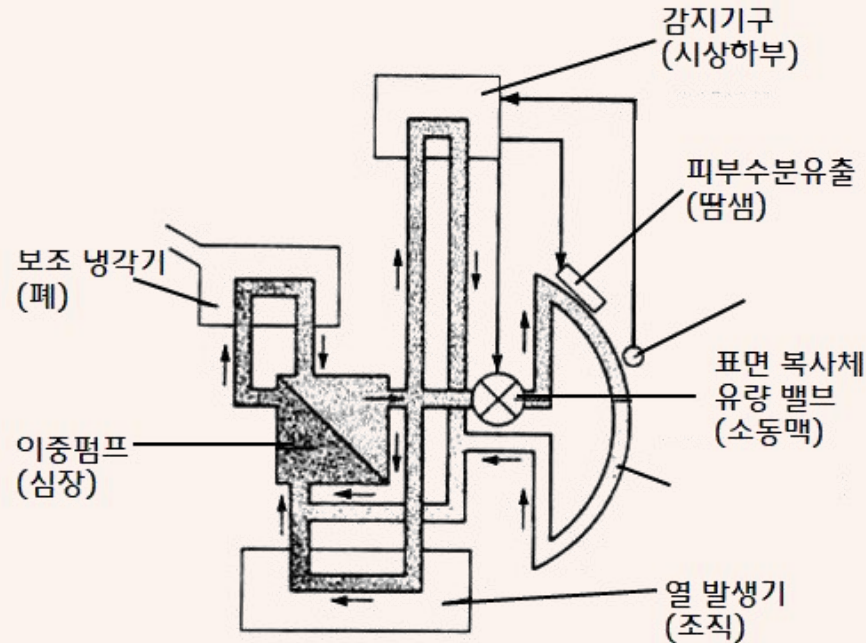
- 발한(perspiration)-7%
- 호흡에 의한 증발-14%

🔧 인체의 온도 조절 장치

- 뇌의 **시상하부(hypothalamus)**

🔧 하루에 2400kcal를 섭취하는
성인의 **열생산율은 약 1.7kcal/min**
또는 120W이다.

🔧 인체의 온도가 일정하다면, 같은
비율로 열손실이 일어나야 한다.



- ✎ 인체와 주위 환경의 온도 차이 때문에 인체는 복사에 의한 에너지 손실을 가지게 된다.
- ✎ 복사에 의한 에너지 손실율 = 인체가 외부로 복사에 의해서 방출하는 에너지 - 외부 환경의 복사로 부터 받는 에너지

인체의 복사율

$$H_r = \varepsilon A \sigma T^4$$

A = 표면적

σ = 스테판-볼츠만 상수

ε = 방출율 ($0 < \varepsilon \leq 1$)

T = 절대 온도

- ✎ 공기 온도가 25°C이고, 피부 온도가 34°C이고, 유효 체표면적인 1.2m² 일 때 복사에 의한 열손실율은 54kcal/hr 이다.

“에너지 손실의 약 50%는 복사 때문에 일어난다.”

대류에 의한 열손실

- ✎ 공기 온도가 25 °C 이고, 피부 온도가 34 °C 이고, 유효 체표면적인 1.2m² 일 때 복사에 의한 열손실율은 25kcal/hr 이다.

“에너지 손실의 약 25%는 대류 때문에 일어난다.”

✎ 에너지와 일률의 단위

- 땀이 증발할 때 열손실이 일어난다.
- 평상시에 증발에 의한 열손실은 복사나 대류에 의한 손실에 비해서 작다.
- 그러나 극한 운동을 할 때 증발에 의한 손실은 크게 증가한다.
- 극한 운동을 할 때 사람은 시간당 약 1리터의 땀을 흘린다.



- ✎ 인체가 땀을 흘리지 않더라도 **발한(perspiration)에 의한 손실**이 있다.
- ✎ 발한에 의한 손실율은 약 **7kcal/hr**이며, 인체 열 손실의 **약 7%**에 해당한다.
- ✎ 유사한 열손실이 기도 및 폐에서 수분 증발로 발생한다.
- ✎ 공기를 들이마시면 공기는 폐에서 수분으로 포화된다. 내쉬는 공기에 추가된 수분은 증발할 때와 같이 열을 빼앗아 간다.
- ✎ 일반적인 조건에서 **호흡에 의한 총 열손실**은 **약 14%**이다.

지금까지 열과 열 전달에 대해 알아보았습니다.
다음시간에는 **시간의 화살과 생명현상**에 대해서 살펴봅시다.