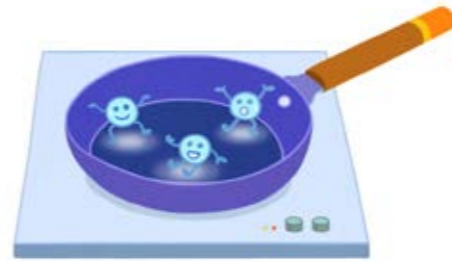


02

열에 의한 물질의 변화

학습 목표 열에 의한 물질의 상태 변화를 이해하고, 이상 기체의 온도, 압력, 부피의 관계를 설명할 수 있다.

뜨겁게 달군 프라이팬 위에 떨어뜨린 물방울은 둥근 모양을 유지하며 굴러다닌다. 물방울이 둥근 모양을 유지할 수 있는 까닭은 무엇일까?



비열

질량이 m 인 어떤 물질이 열량 Q 를 얻어 온도가 ΔT 만큼 변했을 때 다음과 같은 관계식이 성립한다.

$$Q = cm\Delta T$$

이때 c 를 이 물질의 **비열**이라고 한다. 비열은 물질 1 kg의 온도를 1 K 높이는 데 필요한 열량으로 비열의 단위는 $J/(kg \cdot K)$ 이다.

비열은 물질에 따라 다르다. 물은 상대적으로 비열이 크고, 대부분의 금속은 상대적으로 비열이 작다.

잠열

물의 비열이 다른 물질에 비해 상대적으로 크기 때문에 나타나는 현상에는 무엇이 있는지 조사해 보자.

잠열

물질에 가해 준 열은 그 물질의 온도를 높이거나 물질의 상태를 변화게 하는 데 쓰인다. 물질의 상태가 변하는 동안에는 물질이 열을 흡수하거나 방출하더라도 온도가 변하지 않는데, 이때 물질의 상태 변화에 필요한 단위 질량당 열량을 **잠열**이라고 한다. 잠열은 물질의 종류에 따라 다르다. 잠열 L 은 상태가 변하는 데 필요한 열량 Q , 물질의 질량 m 과 다음과 같은 관계가 있으며, 단위는 J/kg 이다.

$$Q = Lm$$

융해열은 고체에서 액체로 상태가 변할 때의 잠열이고, 기화열은 액체에서 기체로 상태가 변할 때의 잠열이다.

연계 중학교 과학

물질에 따라 비열이 다르다는 것을 배웠다.

여러 가지 물질의 비열

물질	비열 [J/(kg·K)]
은	230
구리	390
철	450
유리	840
알루미늄	900
얼음 (-5 °C)	2100
물(15 °C)	4186
수증기 (110 °C)	2010

(출처: "Physics: Principles with Applications 7th", 2016.)

그림 II-6은 1 기압에서 얼음에 일정하게 열을 가할 때 시간에 따른 온도 변화를 나타낸 것이다. 구간 A, C, E에서는 시간에 따라 온도가 높아지지만, 상태가 변하는 구간 B, D에서는 온도가 일정하게 유지된다. 물의 비열이 얼음의 비열보다 크기 때문에 그래프의 기울기는 구간 A에서 구간 C에서보다 크다.

* 1 기압
= $1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$

1 기압에서 물의 융해열과 기화열

- 물의 융해열: $3.33 \times 10^5 \text{ J/kg}$
- 물의 기화열: $2.26 \times 10^6 \text{ J/kg}$

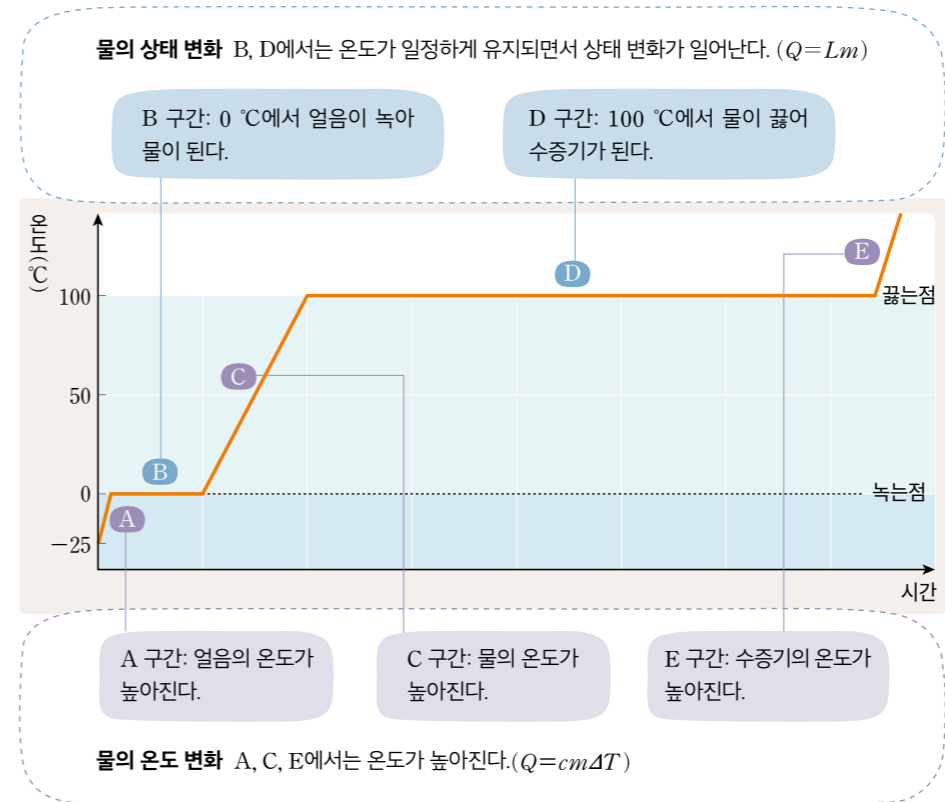


그림 II-6 온도에 따른 물의 상태 변화

일상생활에서 잠열을 활용하는 예로 냉장고가 있다. 그림 II-7과 같이 액체 상태의 냉매가 증발기에서 기화하면서 냉장고 내부로부터 열을 흡수해 냉장고 안의 온도를 낮춘다. 또 냉장고 밖의 응축기에서 냉매가 액화하면서 외부로 열을 방출한다.

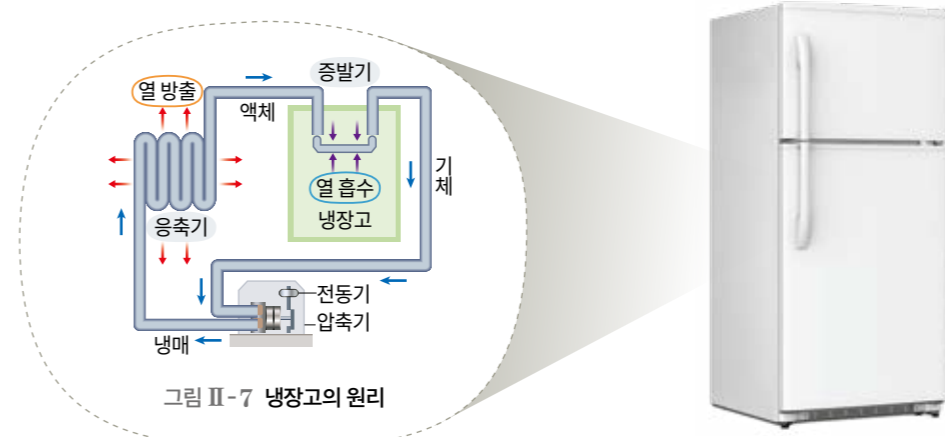
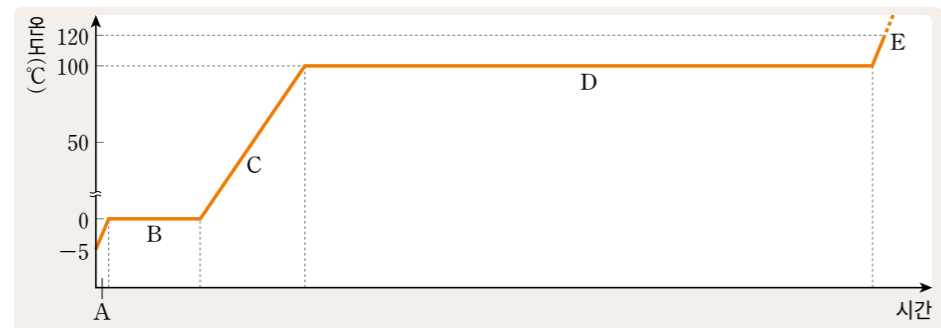


그림 II-7 냉장고의 원리

다음 활동을 하면서 비열과 잠열을 활용해 얼음이 수증기가 될 때까지 가해야 하는 열량을 정량적으로 계산해 보자.

해보기 온도 변화와 상태 변화에 필요한 열량 구하기

다음은 1 기압에서 -5°C 의 얼음 1g에 열을 가해 120°C 의 수증기가 될 때까지 온도 변화를 나타낸 그래프이다.



- A 구간: 얼음 1g의 온도가 -5°C 에서 0°C 가 될 때까지 열량 Q_A 를 흡수한다.
- B 구간: 0°C 얼음 1g이 0°C 물 1g이 될 때까지 열량 Q_B 를 흡수한다.
- C 구간: 물 1g의 온도가 0°C 에서 100°C 가 될 때까지 열량 Q_C 를 흡수한다.
- D 구간: 100°C 물 1g이 100°C 수증기 1g이 될 때까지 열량 Q_D 를 흡수한다.
- E 구간: 수증기 1g의 온도가 100°C 에서 120°C 가 될 때까지 열량 Q_E 를 흡수한다.

- 60 쪽의 ‘여러 가지 물질의 비열’ 표를 참고해 Q_A, Q_C, Q_E 를 구한다.
 - 61 쪽의 ‘1 기압에서 물의 융해열과 기화열’을 참고해 Q_B, Q_D 를 구한다.
- 1 기압에서 -5°C 의 얼음 1g이 120°C 의 수증기가 될 때까지 흡수해야 하는 총열량은 얼마인가?

스스로 확인

- 1 물질의 상태 변화에 필요한 단위 질량당 열량을 ()이라고 한다.
- 2 물질이 기체에서 액체로 상태가 변할 때 열에너지를 방출한다. (○, ×)

기체의 압력, 부피, 온도

기체를 이루는 분자들은 끊임없이 움직이는 분자 운동을 하며, 압력, 부피, 온도와 같은 물리량으로 기체의 상태를 설명할 수 있다.

그림 II-8과 같이 풍선 속 기체 분자는 끊임없이 풍선 안쪽 벽에 충돌하며 풍선의 바깥 방향으로 힘을 가한다.

이와 같이 기체 분자가 벽이나 용기에 계속 충돌하며 가하는 단위넓이당 힘을 기체의 **압력**이라고 한다. 기체 분자가 물체의 벽에 수직으로 작용하는 힘을 F , 벽의 넓이를 A 라고 하면, 기체의 압력 P 는 다음과 같다.



그림 II-8 풍선 속 기체의 압력

$$P = \frac{F}{A} \text{ (단위: } \text{N/m}^2 \text{ 또는 } \text{Pa}^*)$$

* Pa(파스칼)
압력의 단위. 1 Pa은 1 m^2 의 넓이에 1 N의 힘을 받을 때 압력의 크기이다.
 $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$

또 풍선 속 기체는 풍선을 가득 채우기 때문에 풍선의 부피가 곧 기체의 부피가 된다. 온도는 기체의 분자 운동이 활발한 정도를 나타내는 물리량이다.

기체의 압력, 부피, 온도는 서로 관련이 있다. 예를 들어 추운 날 바깥에서 공기가 빠진 것처럼 보이는 축구공을 따뜻한 실내에 가져가면 부피가 커져 팽팽해진다. 또 그림 II-9와 같이 과자 봉지를 들고 비행기에 타면, 비행기의 고도가 높아짐에 따라 기압이 낮아져 과자 봉지가 팽팽해지는 것을 볼 수 있다. 이러한 현상들은 기체의 온도, 압력, 부피의 관계로 설명할 수 있다.



그림 II-9 기체의 압력과 부피

탐구

변인 조작 / 다양한 도구 사용 / 수학적 사고 활용



실험 영상

- 준비물
- 온도 센서
- 압력 센서
- 실린더
- 피스톤
- 금속 구
- 데이터 분석 애플리케이션
- 스마트 기기
- 수조
- 얼음물
- 실온의 물
- 뜨거운 물
- 보안경
- 면장갑

- 역할 나누기
- 3~5 명을 한 모둠으로 하고, 역할을 나눠 보자.
- 실험 수행: _____
- 결과 기록: _____

안전 뜨거운 물을 다룰 때에는 보안경과 면장갑을 착용한다.

탐구 능력 | 문제 해결 능력

센서를 이용하여 기체의 압력, 부피, 온도 관계 분석하기

목표

- 기체의 온도가 일정할 때 압력과 부피의 관계를 도출할 수 있다.
- 기체의 부피가 일정할 때 압력과 온도의 관계를 도출할 수 있다.

실험 1 온도가 일정할 때 기체의 압력과 부피의 관계

과정

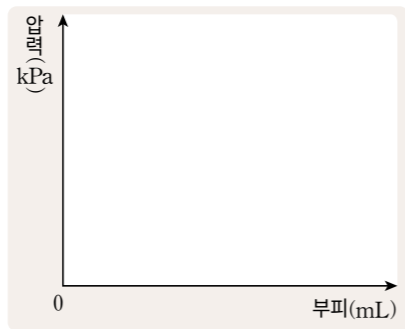
1. 실린더와 압력 센서를 분리한 상태에서 피스톤을 눈금이 50 mL인 위치에 놓고, 압력 센서를 연결한다.
2. 피스톤의 위치를 50 mL로 유지한 상태에서 압력을 측정해 **결과및정리 1**의 표에 기록한다.
3. 피스톤을 천천히 눌러 기체의 부피를 5 mL씩 압축하면서 압력을 측정해 **결과및정리 1**의 표에 기록한다.



결과 및 정리

1. 기체의 부피에 따른 압력값을 표와 그래프로 나타내 보자.

부피(mL)	50	45	40	35	30
압력(kPa)					



2. 기체의 온도가 일정할 때 압력과 부피의 관계를 설명해 보자.



실험 2 기체의 부피가 일정할 때 압력과 온도의 관계

과정

1. 3 개의 수조에 얼음물, 실온의 물, 뜨거운 물을 각각 담아 준비한다.
2. 온도 센서와 연결한 금속 구를 압력 센서와 분리한 상태에서 얼음물에 완전히 담그고, 압력 센서를 연결한다.
3. 온도와 압력이 평형에 도달할 때까지 기다렸다가 온도와 압력을 측정해 **결과및정리 1**의 표에 기록한다.
4. 얼음물 대신 실온의 물, 뜨거운 물을 사용해 **과정 2~3**을 각각 반복한다.

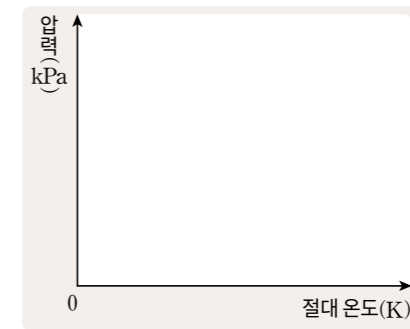
실험 영상



결과 및 정리

1. 온도에 따른 압력값을 표와 그래프로 나타내 보자.

구분	절대 온도(K)	압력(kPa)
얼음물		
실온의 물		
뜨거운 물		



2. 데이터 분석 애플리케이션의 그래프에서 기체의 압력이 0이 될 때 기체의 온도를 알아 보자. 이 값은 무엇을 의미하는가?
3. 기체의 부피가 일정할 때 압력과 온도의 관계를 설명해 보자.

스스로 평가

- | 지식·이해 | 기체의 압력과 부피, 온도의 관계를 설명할 수 있는가?
- | 과정·기능 | 센서를 이용해 데이터를 측정하고, 규칙성을 도출할 수 있는가?
- | 가치·태도 | 실험 결과를 있는 그대로 기록하고 해석했는가?

- ☆☆☆
- ☆☆☆
- ☆☆☆

탐구 후기



실제 기체와 이상 기체
 실제 기체도 압력이 낮고 온도가 높아서 기체의 밀도가 작으면 이상 기체에 가까워진다.

이상 기체 법칙

실제 기체의 경우 기체의 부피가 매우 작아지면 분자 사이에 작용하는 힘이 커지기도 하고, 온도가 끓는점 이하로 낮아지면 액체 상태가 되기도 한다. 기체의 일반적인 성질을 설명하기 위해 도입한 가상의 기체를 **이상 기체**라고 한다. 이상 기체는 실제 기체와 달리 분자의 크기와 분자들끼리 주는 영향을 무시한다. 또 이상 기체는 상태 변화를 하지 않고, 기체 분자들끼리 충돌할 때 에너지 손실이 없다. 이상 기체의 압력, 부피, 온도 사이에는 그림 II-10과 같은 관계가 있다.

기체의 온도를 일정하게 유지하면서 기체의 압력을 2배, 3배,로 높이면, 부피가 $\frac{1}{2}$ 배, $\frac{1}{3}$ 배,로 감소한다. 즉, 그림 (가)와 같이 기체의 온도 T 가 일정할 때 기체의 부피 V 는 압력 P 에 반비례한다. ($V \propto \frac{1}{P}$)

기체의 부피를 일정하게 유지하면서 기체의 온도를 높이면 기체의 압력이 높아진다. 그림 (나)와 같이 기체의 부피 V 가 일정할 때 기체의 압력 P 와 절대 온도 T 는 비례한다. ($P \propto T$)

기체의 압력을 일정하게 유지하면 기체의 부피는 온도가 1°C 오를 때마다 0°C 일 때 부피의 약 $\frac{1}{273}$ 씩 증가한다. 기체의 부피가 0일 때의 온도는 약 -273°C , 즉 절대 온도 0 K이다. 그림 (다)와 같이 기체의 압력 P 가 일정할 때 기체의 부피 V 는 절대 온도 T 에 비례한다. ($V \propto T$)

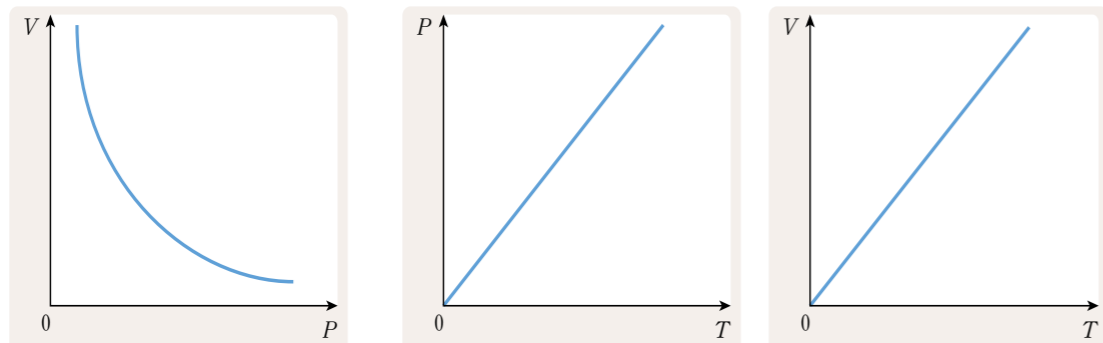


그림 II-10 이상 기체의 부피, 온도, 압력 관계

기체의 부피 V , 압력 P , 온도 T 사이의 관계를 정리하면 다음과 같다.

$$\frac{PV}{T} = \text{일정}$$

이 식을 **보일·샤를 법칙**이라고 한다.

0°C , 1 기압에서 기체 1 mol의 부피는 기체의 종류에 관계없이 22.4 L이다. 이를 보일·샤를 법칙에 적용하면 $\frac{P_0 V_0}{T_0} \approx 8.31 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ 이 되는데, 이 값을 **기체 상수 R** 라고 한다. 1 mol의 기체에 대해 $\frac{PV}{T} = R$ 로 일정하므로, n mol의 기체에 대해서는 $\frac{PV}{T} = nR$ 가 성립한다. 이를 **이상 기체 법칙**이라고 하며 다음과 같이 표현한다.

$$PV = nRT$$

이상 기체의 압력, 부피, 온도 관계를 적용하면 생활 속 다양한 현상을 설명할 수 있다. 그림 II-11의 (가)처럼 들숨일 때 가로막이 아래로 내려가 폐의 부피가 늘어나고 폐 안의 압력이 낮아져 공기가 대기에서 폐 쪽으로 이동한다. 그림 (나)처럼 날숨일 때는 반대의 과정이 일어난다.

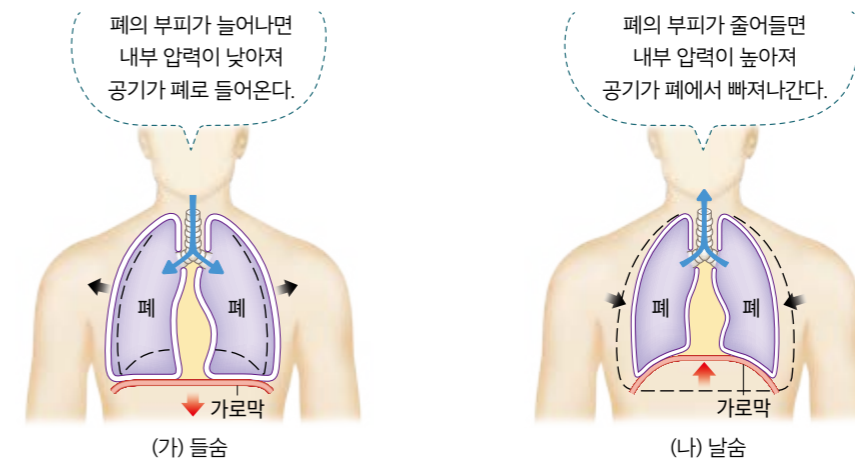


그림 II-11 호흡 운동에서 기체의 부피, 압력 관계

그림 II-12와 같은 열기구에는 공기를 가열하여 기체의 온도가 높아지면 부피가 팽창하기 때문에 밀도가 작아지는 것을 이용해 높은 곳으로 올라갈 수 있다.



그림 II-12 열기구

스스로 확인

- 1 이상 기체는 온도가 끓는점 이하로 내려가면 액체로 상태가 변한다. (○, ×)
- 2 온도가 일정할 때, 기체의 압력이 2 배가 되면 부피가 () 배가 된다. 또 압력이 일정할 때, 절대 온도가 2 배가 되면 기체의 부피는 () 배가 된다.

스스로 정리

공유 '열에 의한 물질의 변화' 단원에서 배운 내용을 확인할 수 있는 문제를 만들어 공유 플랫폼에 공유해 보자.