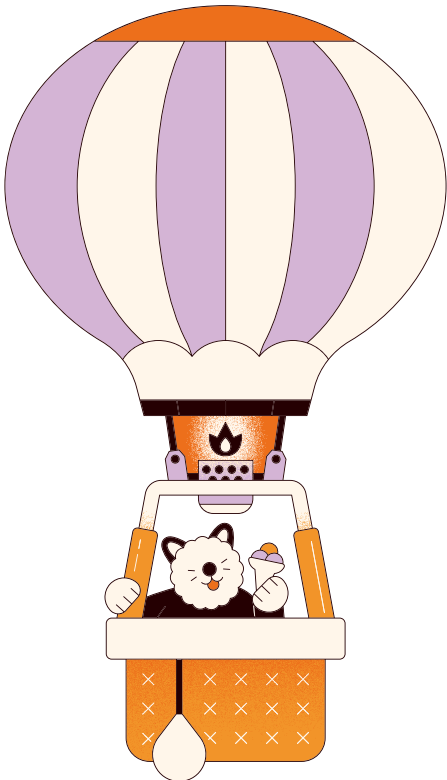


고등학교

물질과 에너지

정대홍
성숙경
김혜경
박수연
이지아
장혜진
조민진



이 책의 구성과 특징



대단원 시작 학습

I 물질의 세 가지 상태

물질은 기체, 액체, 고체로 나뉘며, 각각 다른 특성을 가진다. 이 단원에서는 물질의 세 가지 상태를 비교하고, 그 특성을 이해하는 데 중점을 둔다.

- 기체의 성질
- 분자 모형의 부분 모형과 분자 모형
- 액체의 분자 모형과 분자 모형
- 고체의 분자 모형과 구조

대단원 도입
학년별 학습 연계와 단원의 학습 목표를 확인하고, 단원을 학습하면서 학습 과제로 만들 수 있는 활동을 확인할 수 있다.

본문 개념 학습

04 고체의 종류와 구조

고체는 분자 모형과 분자 모형의 구조를 이해하고, 고체의 종류와 구조를 설명할 수 있다.

단원 목표: 고체의 종류와 구조를 설명할 수 있다.

실험실 안전 기호

실험실 안전 기호를 이해하고, 실험실 안전을 위한 조치를 취할 수 있다.

- 실험복 착용
- 눈 안전
- 손 안전
- 도구 주의
- 부식성 물질 주의
- 독성 물질 주의
- 유리 기구 주의
- 화재 주의
- 전기 안전
- 폐기물 처리 안전

대단원 마무리

대단원 마무리 학습을 통해, 본문의 내용을 정리하고, 다양한 문제를 풀어 학습한 정도를 파악하며, 과학 글쓰기를 통해 과학적으로 사고할 수 있다.

단원 전개

- 자세하고 친절한 설명과 다양한 자료를 보면서 쉽고 자연스럽게 개념을 익힐 수 있다.
- 탐구, 해 보기 등 여러 가지 활동으로 과학 역량을 키울 수 있다.
- 학습한 개념을 스스로 확인하고, 이를 활용해 창의력 사고를 키울 수 있는 문제나 디지털 역량과 관련된 문제를 해결할 수 있다.

프로젝트 학습

프로젝트

재료 과학, 세상을 만드는 재료를 탐구하다

재료 과학은 우리 생활에 밀접하게 연관되어 있으며, 다양한 재료를 탐구하여 세상을 만드는 데 기여한다. 이 단원에서는 재료 과학의 중요성을 이해하고, 다양한 재료를 탐구하는 데 중점을 둔다.

1. 재료 과학의 중요성 이해하기

2. 다양한 재료를 탐구하기

3. 재료 과학의 미래 전망 이해하기

프로젝트

단원과 관련된 조사, 발표, 캠페인, 만들기 등의 프로젝트 활동을 수행하며 과학 탐구 능력, 문제 해결 능력, 의사 결정 능력을 기를 수 있다.

대단원 마무리 학습

대단원 마무리

대단원 마무리 학습을 통해, 본문의 내용을 정리하고, 다양한 문제를 풀어 학습한 정도를 파악하며, 과학 글쓰기를 통해 과학적으로 사고할 수 있다.

1. 대단원 마무리 학습 목표

2. 대단원 마무리 학습 활동

3. 대단원 마무리 학습 평가

읽을거리

직업, 예술과 화학, 최신 과학, 과학사 등 다양한 분야의 읽을거리를 통해 과학 학습에 흥미를 가질 수 있다.

읽기 자료 학습

읽기 자료 학습

읽기 자료를 통해, 다양한 분야의 과학 지식을 습득하고, 과학 학습에 흥미를 가질 수 있다.

1. 영인한 실용 공판 '냉동 인간'

2. 개작한 물 책임지는 수질 환경 연구원



이 책의 차례



I 물질의 세 가지 상태

01 기체의 성질	8
02 혼합 기체의 부분 압력과 몰분율	18
03 액체의 분자 간 상호작용	22
04 고체의 종류와 구조	30
● 예술과 화학 이야기	36
● 화학과 나의 미래	37
대단원 마무리	38
프로젝트	42

II 용액의 성질

01 경이로운 물의 성질	46
02 용액의 성질	52
03 삼투 현상	58
● 최신 과학 이야기	62
● 화학과 나의 미래	63
대단원 마무리	64
프로젝트	68

III 화학 변화의 자발성

01 화학 반응과 엔탈피	72
02 반응 경로와 반응 엔탈피	76
03 화학 변화의 자발성	80
● 과학사 이야기	86
● 화학과 나의 미래	87
대단원 마무리	88
프로젝트	92

IV 반응 속도

01 화학 반응 속도	96
02 일차 반응의 반감기	102
03 유효 충돌과 활성화 에너지	106
04 농도, 온도, 촉매에 따른 반응 속도의 변화	108
● 최신 과학 이야기	120
● 화학과 나의 미래	121
대단원 마무리	122
프로젝트	126

부록

학습 자료실	128
정답 및 해설	131
찾아보기	140
자료 출처	141

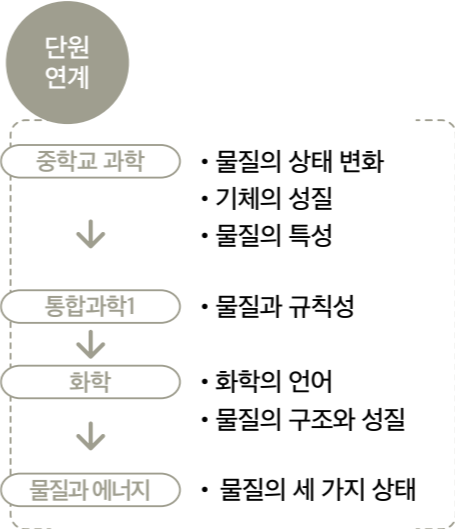


I

물질의 세 가지 상태

에스프레소 기계로 커피를 추출할 때는 물을 끓여 만든 수증기의 압력을 이용한다. 이처럼 물질의 상태 변화를 이용하는 예를 주변에서 쉽게 찾아볼 수 있다. 이 단원에서는 물질이 온도와 압력에 따라 기체, 액체, 고체 상태로 존재한다는 것을 알고, 이러한 물질의 상태가 일상생활에 어떤 영향을 주는지 알아보자.

이 단원에서 학습할 내용



이 단원의 학습 목표

- 지식·이해** 물질이 온도와 압력에 따라 기체, 액체, 고체 상태로 존재한다는 것을 알고, 각 상태의 성질을 설명할 수 있다.
- 과정·기능** 이상 기체 방정식을 활용해 기체의 종류를 확인하고, 물질의 끓는점에 영향을 주는 요인을 추론하며, 고체를 결합의 종류에 따라 분류할 수 있다.
- 가치·태도** 물질의 세 가지 상태가 일상생활에 미치는 영향에 호기심을 갖고, 기체, 액체, 고체의 성질이 유용하게 쓰인다는 것을 인식할 수 있다.

- 01 기체의 성질
- 02 혼합 기체의 부분 압력과 몰분율
- 03 액체의 분자 간 상호작용
- 04 고체의 종류와 구조

학습 과제물

» 이 단원을 학습하면서 나만의 특기를 발휘한 학습 과제물을 만들어 보자.

- 36 쪽 예술과 화학 이야기
- 37 쪽 화학과 나의 미래
- 42 쪽~43 쪽 프로젝트

01

기체의 성질

- 기체의 압력, 온도, 양(mol), 부피 사이의 관계를 통합적으로 설명할 수 있다.
- 이상 기체 방정식을 근사적으로 활용하는 사례를 조사하여 화학의 유용함을 인식할 수 있다.

“ 18 세기에 증기 기관이 발전하면서 산업 혁명이 일어났고, 인류의 생활에 큰 변화가 일어났다. 산업 혁명을 이끈 증기 기관의 원리는 기체의 어떤 성질을 이용한 것일까? ”



물질의 세 가지 상태 중 분자 사이의 거리가 가장 멀고 분자들이 가장 자유롭게 운동하는 것은 기체이다. 따라서 기체는 온도나 압력과 같은 외부 조건에 따라 부피가 크게 변한다. 이와 관련된 기체의 성질을 알아보자.

기체의 압력

기체 분자들은 끊임없이 운동하면서 물체와 충돌해 힘을 가한다. 기체 분자들이 단위 면적에 작용하는 힘을 **기체의 압력**이라 하고, 지구 대기가 나타내는 압력을 **대기압**이라고 한다.

토리첼리(Torricelli, E., 1608 ~1647)는 그림 I-1과 같이 수은을 가득 채운 유리관을 거꾸로 세우면 관 속 수은 기둥의 높이가 760 mm 가 되는 지점에서 수은이 멈추는 것을 확인했다. 이때 유리관에 채워진 수은 기둥의 압력과 대기가 수은 기둥 밖의 수은 면을 누르는 압력이 같으므로 대기압은 760 mm의 수은

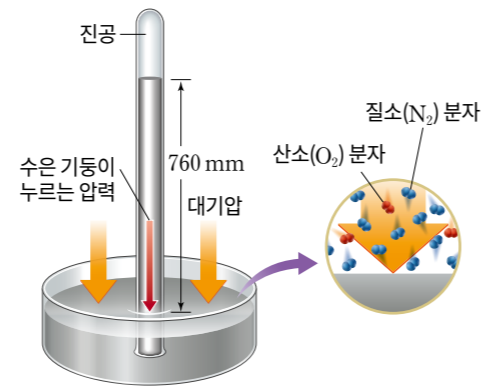


그림 I-1 토리첼리의 대기압 측정 실험

기둥이 나타내는 압력과 같다. 이때의 압력을 1 기압으로 정의하고 다음과 같이 나타낸다.

$$1 \text{ 기압(atm)} = 760 \text{ mmHg}$$

압력의 단위
 압력의 단위에는 기압(atm), mmHg, Pa, N/m² 등이 있으며 각 단위의 관계는 다음과 같다.
 1 atm = 760 mmHg
 = 101325 Pa
 1 Pa = 1 N/m²

기체의 압력과 부피의 관계

주사기에 공기를 넣고 끝을 막은 후 피스톤을 누르면 부피가 감소한다. 이처럼 외부 압력과 기체의 압력이 평형 상태에 있을 때 기체는 외부 압력에 따라 부피가 크게 변한다. 기체의 압력과 부피 사이에는 어떤 관계가 있을까?

보일은 한쪽 끝이 막힌 J 자 모양의 유리관과 수은을 사용해 압력에 따른 기체의 부피를 측정했다. 유리관의 열린 쪽에 수은을 넣으면 막힌 쪽의 기체에 가해지는 외부 압력이 증가한다. 따라서 외부 압력과 평형을 이루는 기체의 압력이 증가하므로 막힌 쪽에 갇혀 있던 기체의 부피가 줄어든다.

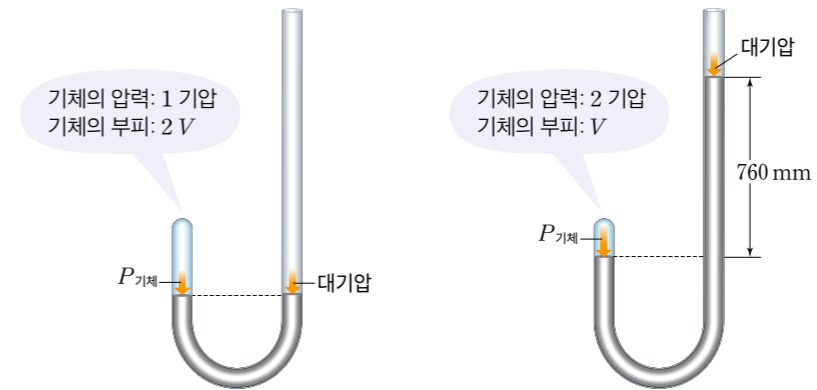


그림 I-2 보일의 J 자 관 실험

보일은 이 실험 결과를 통해 일정한 온도에서 일정량의 기체의 부피(V)는 압력(P)과 반비례 관계에 있다는 것을 알아냈다. 이것을 **보일 법칙**이라고 하며, 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$V \propto \frac{1}{P} \text{ 또는 } PV = k \text{ (k는 상수)}$$

기체의 온도가 일정하고 기체의 양이 일정할 경우, 압력이 P₁ 일 때 기체의 부피를 V₁이라 하고 압력이 P₂일 때 기체의 부피를 V₂라고 하면 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

확인하기

- 1 일정한 온도에서 일정량의 기체의 부피는 압력과 () 관계에 있는데, 이것을 () 법칙이라고 한다.
- 2 20 °C, 1 기압에서 부피가 2 L인 질소 기체가 있다. 같은 온도에서 이 질소 기체의 부피가 5 L로 되었을 때, 기체의 압력은 몇 기압인가?

보일 (Boyle, R., 1627~1691)
 영국의 과학자. 기체의 성질과 관련된 여러 가지 실험 결과를 바탕으로 하여 1662년에 보일 법칙을 발표했다. 실험을 통한 객관적인 검증을 중요하게 여긴 보일의 연구 태도는 화학이 과학의 한 영역으로 자리 잡는 기반이 되었다.

자료 읽기

그림 I-3에서 압력이 P, 2P 일 때 (압력 × 부피)를 각각 구해 보자.

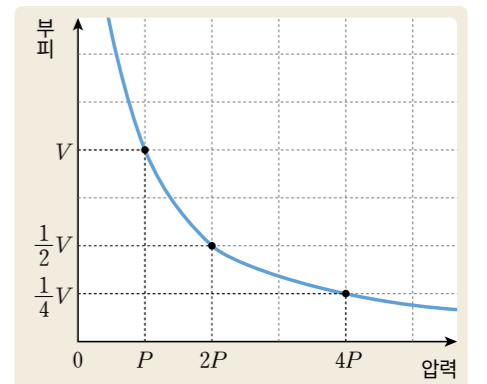


그림 I-3 기체의 압력과 부피의 관계

기체의 온도와 부피의 관계

냉장고에서 꺼낸 달걀을 바로 뜨거운 물에 넣어 삶으면 달걀 속 기체의 부피가 급격하게 늘어나면서 달걀이 깨진다. 이처럼 기체는 온도에 따라 부피가 크게 변하는데, 기체의 온도와 부피 사이에는 어떤 관계가 있을까?



그림 I-4 삶은 달걀 속 기체의 부피 팽창

해보기

기체의 온도와 부피의 관계 알아보기

탐구 능력

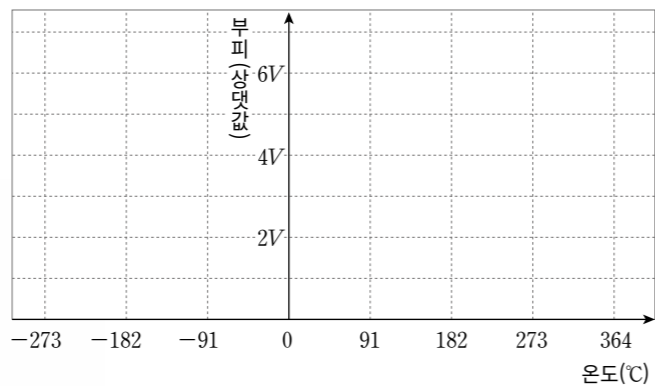
검색·누리집

'샤를 법칙 모의실험'을 검색해 일정한 압력에서 기체의 온도가 변할 때 기체의 부피와 기체 분자의 운동이 어떻게 변하는지 확인해 보자.

아래 표는 외부 압력과 실린더 속 기체의 양이 일정할 때, 온도와 부피 사이의 관계를 알아보는 모의실험을 수행한 결과이다.

모형				
온도(°C)	0	91	182	273
부피(상대값)	3V	4V	5V	6V

1. 기체의 온도와 부피의 관계를 아래 좌표평면에 그래프로 나타내 보자.



2. 1의 그래프를 이용하여 기체의 부피가 0이 되는 온도를 예상해 보자.

기체 분자의 크기는 기체가 차지하는 부피에 비해 매우 작으므로 분자 자체의 크기는 무시할 수 있어.



절대 온도의 단위는 K(켈빈)이야.

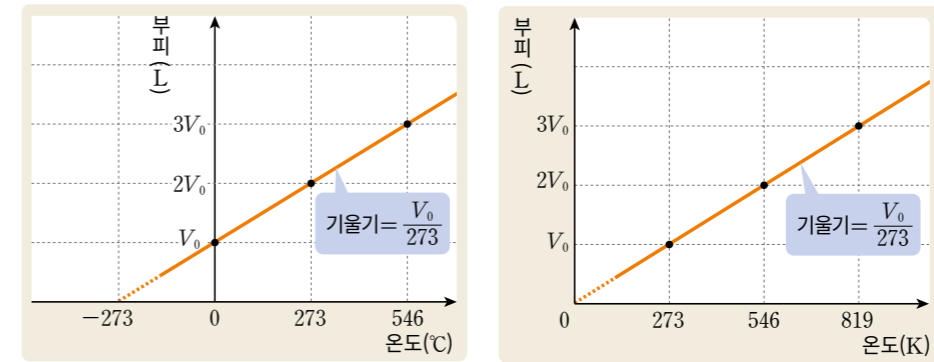


샤를은 일정한 압력에서 일정량의 기체의 부피는 기체의 종류에 관계없이 온도가 1°C 높아질 때마다 0°C일 때 부피의 $\frac{1}{273}$ 씩 증가한다는 것을 알아냈다.

$$V_t = V_0 + \frac{V_0}{273} t$$

(V_t : t°C에서 기체의 부피, V_0 : 0°C에서 기체의 부피)

이 관계를 그래프로 나타내면 그림 I-5의 (가)와 같다.



(가) 섭씨온도와 기체의 부피

(나) 절대 온도와 기체의 부피

그림 I-5 기체의 온도와 부피의 관계

그림 I-5의 (가)에서 기체의 부피가 이론적으로 0이 되는 온도는 -273°C인데, 이를 원점으로 하여 그래프를 다시 그리면 (나)와 같다. 이때 기체의 부피가 0이 되는 온도인 -273°C를 **절대 영도**라고 하고, 절대 영도를 0으로 하여 섭씨온도와 같은 간격으로 나타내는 온도를 **절대 온도**라고 한다. 절대 온도(T)와 섭씨온도(t)의 관계는 다음과 같다.

$$T(K) = t(^{\circ}C) + 273$$

(나)에서 알 수 있듯이 압력이 일정할 때 일정량의 기체의 부피(V)는 절대 온도(T)에 비례한다. 이것을 **샤를 법칙**이라고 하며, 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$V \propto T \text{ 또는 } V = kT \text{ (k는 상수)}$$

기체의 압력과 양이 일정할 경우, 온도가 T_1 일 때 기체의 부피를 V_1 이라 하고 온도가 T_2 일 때 기체의 부피를 V_2 라고 하면 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

27°C에서 부피가 5 L인 기체가 있다. 같은 압력에서 기체의 온도를 87°C로 높이면 기체의 부피는 몇 L가 되는가?

연계 화학

『화학』 '화학의 언어' 단원에서 기체의 부피와 양(mol)의 관계를 학습했다.

기체의 양(mol)과 부피의 관계

일정량의 기체의 부피는 압력과 온도에 따라 변한다. 온도와 압력이 일정할 때 기체의 양(mol)과 부피는 어떤 관계가 있을까?

아보가드로(Avogadro, A., 1776~1856)는 “모든 기체는 같은 온도와 압력에서 같은 부피 속에 같은 수의 분자를 갖는다.”라는 가설을 발표했고, 그 후 이 가설은 실험으로 증명되었다. 즉, 일정한 온도와 압력에서 기체의 부피(V)는 양(n)에 비례한다. 이를 **아보가드로 법칙**이라고 하며, 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$V \propto n \text{ 또는 } V = kn \text{ (} k \text{는 상수)}$$

기체 분자의 크기

기체 분자의 크기는 기체가 차지하는 부피에 비해 매우 작으므로 분자 자체의 크기는 무시한다.

예를 들어 분자의 크기를 무시할 때 0 °C, 1 기압에서 기체 1 mol의 부피는 기체의 종류에 관계없이 22.4 L이다.

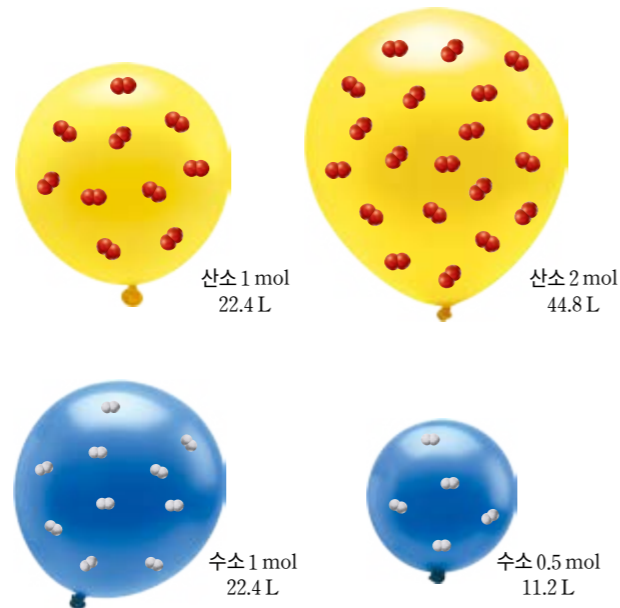


그림 I-6 기체의 양(mol)과 부피의 관계

❓ 0 °C, 1 기압의 이산화 탄소 기체 16.8 L에 들어 있는 이산화 탄소의 양은 몇 mol인가?

확인하기

- 1 절대 영도를 0으로 하여 섭씨온도와 같은 간격으로 나타낸 온도를 () (이)라고 한다.
- 2 일정한 온도와 압력에서 기체의 부피는 양(mol)에 (비례한다, 반비례한다).

이상 기체 방정식

모의실험으로 기체의 압력, 온도, 양(mol), 부피 사이의 관계를 확인해 보자.

해보기

기체의 압력, 온도, 양(mol), 부피의 관계 확인하기

탐구 능력 | 문제 해결 능력

준비물 스마트 기기

- 1 기체의 성질을 확인하는 모의실험을 이용해 기체의 압력(P), 절대 온도(T), 부피(V), 양(n)을 변화시키면서 $\frac{PV}{nT}$ 를 계산해 보자.

구분	압력(P)	절대 온도(T)	양(n)	부피(V)	$\frac{PV}{nT}$
조건 1					
조건 2					
조건 3					
조건 4					

- 2 공유 플랫폼을 활용해 모의실험 결과를 공유하고, 친구들의 결과와 비교해 보자.
- 3 모의실험 결과를 바탕으로 하여 알 수 있는 사실을 토의해 보자.



기체의 부피(V)를 일정하게 두고 다른 값을 변화시켜 볼까?

절대 온도(T)와 기체의 양(n)을 각각 2 배로 늘려 보자.

절대 온도(T)와 양(n)을 각각 2 배로 늘리니까 압력(P)이 4 배로 늘어났어.

검색·누리집

'기체의 성질 모의실험'을 검색해 기체의 압력, 절대 온도, 양(mol), 부피 사이의 관계를 확인해 보자.

도움말 기체의 압력(P), 절대 온도(T), 양(n), 부피(V) 중 세 가지 값을 정하면 남은 한 가지 값이 결정된다.

기체의 성질에 관한 보일 법칙, 샤를 법칙, 아보가드로 법칙을 종합하여 기체의 압력(P), 절대 온도(T), 양(n), 부피(V)의 관계를 정리하면 그림 I-7과 같다.

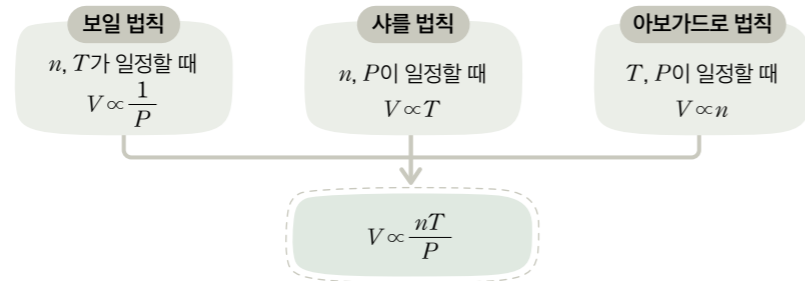


그림 I-7 기체의 압력, 온도, 양(mol), 부피의 관계

그림 I-7의 관계를 비례 상수를 이용해 정리하면 다음과 같다.

$$PV = n \times \text{상수} \times T$$

0 °C, 1 기압에서 기체 1 mol의 부피는 22.4 L임을 이용해 상수를 구할 수 있다.

$$\text{상수} = \frac{PV}{nT} = \frac{1 \text{ atm} \times 22.4 \text{ L}}{1 \text{ mol} \times 273 \text{ K}} \approx 0.082 \text{ atm} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K})$$

이 상수를 **기체 상수**라고 부르며, R 로 나타낸다. 따라서 기체의 압력, 절대 온도, 양(mol), 부피의 관계를 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$PV = nRT$$

이 식을 **이상 기체 방정식**이라 하며, 이상 기체 방정식을 정확히 따르는 기체를

이상 기체라고 한다.

연습 해보기

27 °C, 3 기압에서 부피가 4.1 L인 강철 용기 속에 들어 있는 질소 기체의 양(mol)을 구해 보자.

풀이 따라가기

질소 기체의 양을 n mol이라 하고 이상 기체 방정식에 대입하면

$$PV = nRT$$

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{\text{①} \text{ atm} \times 4.1 \text{ L}}{0.082 \text{ atm} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \times \text{②} \text{ K}} = \text{③} \text{ mol}$$

답 ③ mol

직접 해 보기

127 °C, 4 기압에서 부피가 8.2 L인 강철 용기 속에 들어 있는 산소 기체의 양(mol)을 구해 보자.

● 이상 기체

분자 사이의 인력이나 반발력이 없고, 분자 사이의 충돌로 인한 운동 에너지 손실이 없으며, 분자의 크기를 무시할 수 있는 이상 기체이다.

이상 기체 방정식의 활용

이상 기체 방정식을 활용하면 기체의 물질량을 구할 수 있다. 물질량이 M g/mol 인 기체의 질량이 w g일 때 기체의 양은 $\frac{w}{M}$ mol이므로, 이 식을 이상 기체 방정식에 대입하여 기체의 물질량을 나타내면 다음과 같다.

$$PV = nRT = \frac{w}{M}RT$$

$$M = \frac{wRT}{PV}$$

이를 이용하면 기체의 압력, 온도, 부피, 질량을 측정해 기체의 물질량을 구할 수 있다.

❓ 27 °C, 1 기압에서 어떤 기체 0.8 g의 부피가 615 mL라면, 이 기체의 물질량은 몇 g/mol인가?

이상 기체 방정식을 근사적으로 활용해 기체의 압력, 온도, 양(mol), 부피의 관계를 일상생활에 적용할 수 있다.



자동차 타이어가 손상되어 타이어 속 공기의 양(n)이 줄어들면 공기의 압력(P)이 적정 압력보다 작아져 타이어 공기압 경고등이 켜진다.



기온(T)이 낮아지면 타이어 속 공기의 압력(P)이 작아져 타이어 공기압 경고등이 켜질 수 있다. 따라서 겨울철에는 여름철보다 타이어에 공기를 더 채워 적정 압력을 유지한다.

실제 기체와 이상 기체 방정식
실제 기체는 분자 자체의 부피가 있으며, 기체 분자 사이에 인력과 반발력이 작용하므로 이상 기체 방정식에 완벽하게 들어맞지 않는다. 그러나 압력이 작고 온도가 높아 분자 사이의 거리가 멀고 분자가 빠르게 운동하는 상황에서는 실제 기체도 이상 기체와 비슷하게 행동하므로 이상 기체 방정식을 근사적으로 활용할 수 있다.

그림 I-8 이상 기체 방정식을 근사적으로 활용하는 예

❓ 그림 I-8의 사례 외에 실생활에서 이상 기체 방정식을 근사적으로 활용하는 사례를 조사하여 설명해 보자.

확인하기

- 1 기체의 압력(P), 온도(T), 양(n), 부피(V)의 관계를 정리해 나타낸 식 $PV = nRT$ 를 () (이)라고 한다.
- 2 27 °C에서 어떤 기체 0.5 mol의 부피가 24.6 L라면, 이 기체의 압력은 몇 기압인가?

탐구

● 탐구 설계 및 수행 / 결론 도출

준비물

- 휴대용 산소통
- 휴대용 헬륨 통
- 물 수조
- 전자저울
- 눈금실린더(500 mL)
- 고무관 온도계
- 기압계 실험복
- 보안경
- 실험용 고무장갑

안전



- 실험할 때는 반드시 실험복, 보안경, 실험용 고무장갑을 착용한다.
- 산소 기체와 헬륨 기체를 들이 마시지 않는다.
- 기체 통을 버릴 때는 통 속에 남은 기체가 없도록 완전히 비워서 버린다.

도움 자료

- 탐구 전에 다음 자료를 먼저 읽어 보자.
- 128 쪽~129 쪽 실험실 안전 수칙

도움말 제시된 준비물 외에도 필요한 실험 기구를 추가할 수 있다.

Q 탐구 능력 | 문제 해결 능력 | 의사 결정 능력

기체의 종류를 확인할 수 있는 실험을 설계하고 수행하기

목표

이상 기체 방정식을 활용하여 기체의 종류를 확인하는 실험을 계획하고 수행할 수 있다.

실험 설계

그림과 같이 상표를 가린 용기에 산소 기체와 헬륨 기체가 각각 담겨 있다. 용기에 들어 있는 기체의 종류를 확인하는 실험을 계획해 보자.

1. 이상 기체 방정식을 활용해 기체의 종류를 어떻게 확인할지 토의해 보자.

- 기체의 종류를 확인하는 데 필요한 값을 쓰고, 이상 기체 방정식을 활용해 나타내 보자.
- 위 값을 구하려면 무엇을 측정해야 하는지 써 보자.



2. 다음 준비물을 이용하여 실험을 계획하고, 실험 과정을 설명하는 실험 계획서를 작성하여 발표해 보자.



실험 계획서

- 측정할 값
- 측정 방법
- 실험 과정

3. 다른 모둠의 발표를 듣고, 더 정확한 실험 결과를 얻을 수 있도록 우리 모둠의 실험 계획서를 보완하여 완성하자.

실험 수행

실험 계획에 따라 실험을 수행하고 결과를 기록하자.

- 실험실의 온도: _____
- 실험실의 대기압: _____
- 기체의 질량과 부피

구분	용기 1	용기 2
기체의 질량(g)		
기체의 부피(mL)		

정리

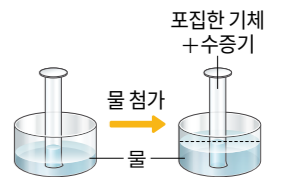
1. 실험 결과를 이용해 각 용기에 담긴 기체의 물질량을 구해 보자.
2. 산소와 헬륨의 물질량을 찾아보고, 각 용기에 담긴 기체의 종류를 예상해 보자.
3. 용기의 상표를 확인해 우리 모둠이 예상한 결과가 맞는지 확인하자.
4. **정의** 정확한 물질량을 얻기 위해 실험 과정에서 개선할 점을 토의해 보자.

스스로 평가하기

- | 지식·이해 | 이상 기체 방정식을 활용해 산소 기체와 헬륨 기체를 구분했는가? ☆☆☆☆☆
- | 과정·기능 | 기체의 종류를 확인하는 데 필요한 값을 측정해 이상 기체 방정식에 대입했는가? ☆☆☆☆☆
- | 가치·태도 | 이상 기체 방정식이 기체의 종류를 확인하는 데 유용하게 쓰임을 깨달았는가? ☆☆☆☆☆

도움말

- 눈금실린더에 포집한 기체의 부피를 측정할 때 눈금실린더 내부 수면과 수조 수면의 높이를 같게 맞추어야 한다.
- 눈금실린더 속에는 포집한 기체 외에 물이 증발하여 생성된 수증기가 있으므로 기체의 압력은 실험실의 대기압에서 실험실 온도에서의 수증기압을 빼서 구한다.



소단원 마무리

창의력 키우기

그림과 같은 장난감의 아래쪽 유리 구를 손으로 감싸면 액체가 위쪽 유리 구로 이동한다. 이 장난감의 원리가 무엇인지 기체의 성질을 이용하여 설명해 보자.



디지털 소양 키우기

일상생활에서 경험할 수 있는 현상 중 이상 기체 방정식으로 설명할 수 있는 것을 한 가지 찾아 이를 설명하는 1 분 동영상을 만들고, 공유 플랫폼을 활용하여 공유해 보자.

02

혼합 기체의 부분 압력과 몰분율

- 혼합 기체의 부분 압력과 몰분율의 관계를 설명할 수 있다.
- 일상생활에서 쓸모 있게 사용하는 혼합 기체에 호기심을 가질 수 있다.



“ 수입한 과일의 해충을 없앨 때 살충제와 이산화 탄소의 혼합 기체를 이용한다. 어떻게 하면 살충제와 이산화 탄소를 원하는 비율로 혼합할 수 있을까? ”

부분 압력 법칙

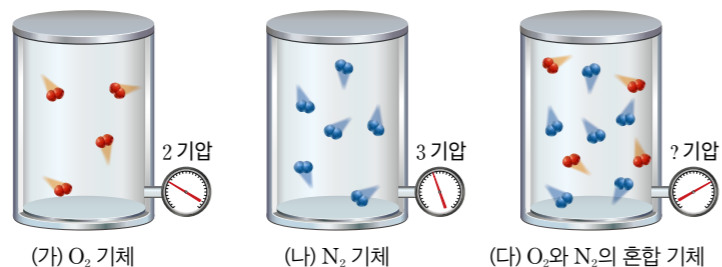
일상생활에서는 혼합 기체를 많이 사용하는데, 혼합 기체에서도 기체의 성질에 관한 법칙을 적용할 수 있다. 혼합 기체의 압력과 각 성분 기체가 나타내는 압력 사이에는 어떤 관계가 있는지 알아보자.

해보기

혼합 기체의 압력과 성분 기체의 압력 사이 관계 알아보기

탐구 능력

그림은 일정한 온도에서 용기에 들어 있던 산소(O₂) 기체와 질소(N₂) 기체를 한 용기에 모두 넣었을 때의 분자 모형과 기체의 압력을 나타낸 것이다. (단, 용기의 부피는 모두 같고, 산소 기체와 질소 기체는 서로 반응하지 않는다.)



1. (가)와 (나)에서 기체 분자의 양(mol)과 기체의 압력 사이의 관계를 설명해 보자.



2. (다)에서 산소와 질소의 혼합 기체의 압력은 몇 기압인지 예상해 보자.



서로 반응하지 않는 두 가지 이상의 기체가 섞여 있는 혼합 기체에서 각 성분 기체가 나타내는 압력을 **부분 압력(분압)**이라고 한다.

온도와 부피가 일정할 때 기체의 압력은 기체의 양(mol)에 비례하므로, 어떤 기체가 들어 있는 일정한 부피의 용기에 다른 기체를 넣으면 증가한 기체의 양(mol)만큼 전체 압력이 커진다. 따라서 혼합 기체의 전체 압력(P)은 각 성분 기체가 나타내는 부분 압력(P_A, P_B ...)의 합과 같은데, 이를 **부분 압력 법칙**이라고 한다.

$$P = P_A + P_B + \dots$$

그림 I-9는 일정한 온도 T에서 서로 반응하지 않는 기체 A와 기체 B를 부피가 V인 용기에 혼합했을 때 혼합 기체의 양(mol)을 나타낸 것이다.

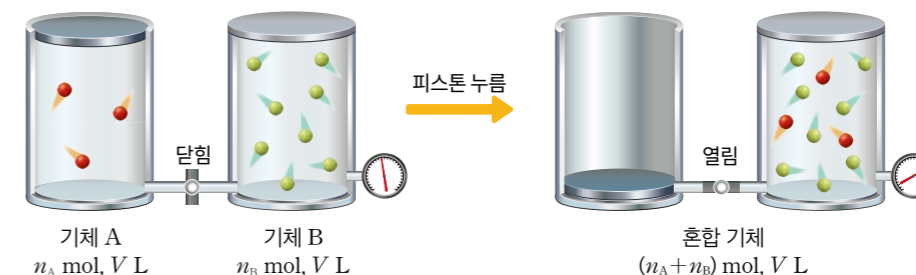


그림 I-9 기체 A와 기체 B를 혼합하기 전과 후의 양(mol)과 부피

그림 I-9에서 성분 기체의 부분 압력 P_A, P_B와 혼합 기체의 전체 압력 P를 이상 기체 방정식으로 나타내면 다음과 같다.

$$P_A = \frac{n_A RT}{V} \quad P_B = \frac{n_B RT}{V} \quad P = (n_A + n_B) \frac{RT}{V}$$

이로부터 전체 압력 P와 성분 기체 A, B의 양(mol) n_A, n_B 및 부분 압력 P_A, P_B 사이의 관계식을 얻을 수 있다.

$$P_A = P \times \frac{n_A}{n_A + n_B} \quad P_B = P \times \frac{n_B}{n_A + n_B}$$

이때 $\frac{n_A}{n_A + n_B}$ 나 $\frac{n_B}{n_A + n_B}$ 와 같이 혼합물에서 각 성분 물질의 양(mol)을 전체 양(mol)으로 나눈 값을 **몰분율**이라고 한다. 즉, 혼합 기체에서 각 성분 기체의 부분 압력은 몰분율에 비례한다.

확인하기

- 1 혼합 기체의 전체 압력은 각 성분 기체의 ()의 합과 같다.
- 2 부피가 일정한 용기 속에 기체 A 2 mol과 기체 B 3 mol이 혼합되어 있고, 혼합 기체의 압력은 3 기압이다. 이때 기체 A와 기체 B의 몰분율과 부분 압력을 각각 구해 보자. (단, 온도는 일정하고, 기체 A와 B는 서로 반응하지 않는다.)

몰(mol)
몰(mol)은 물질의 양을 나타내는 단위이다. 1 mol은 입자 6.02214076 × 10²³ 개를 의미하며, 이 수를 아보가드로수라고 한다.

연계 화학

『화학』 ‘화학의 언어’ 단원에서 몰(mol)을 학습했다.

전체 압력, 부분 압력과 몰분율의 관계 유도

전체 압력 P에 A의 몰분율을 곱하면 다음과 같다.

$$P \times \frac{n_A}{n_A + n_B} = (n_A + n_B) \frac{RT}{V} \times \frac{n_A}{n_A + n_B} = \frac{n_A RT}{V} = P_A$$

같은 방식으로

$$P \times \frac{n_B}{n_A + n_B} = P_B$$

임을 알 수 있다.

혼합 기체의 이용

공기는 일상생활에서 가장 쉽게 접할 수 있는 혼합 기체이다. 공기에는 질소(N_2)와 산소(O_2)가 들어 있고, 그 밖에 아르곤(Ar), 이산화 탄소(CO_2) 등의 기체가 소량 들어 있다. 공기 중의 산소와 이산화 탄소는 각각 호흡과 광합성에 이용되므로 공기는 생명체가 살아가는 데 필수적이다. 또 산업 분야에서는 공기를 냉각해 액체로 만든 후 질소, 산소, 아르곤 등의 성분을 분리하여 이용한다.

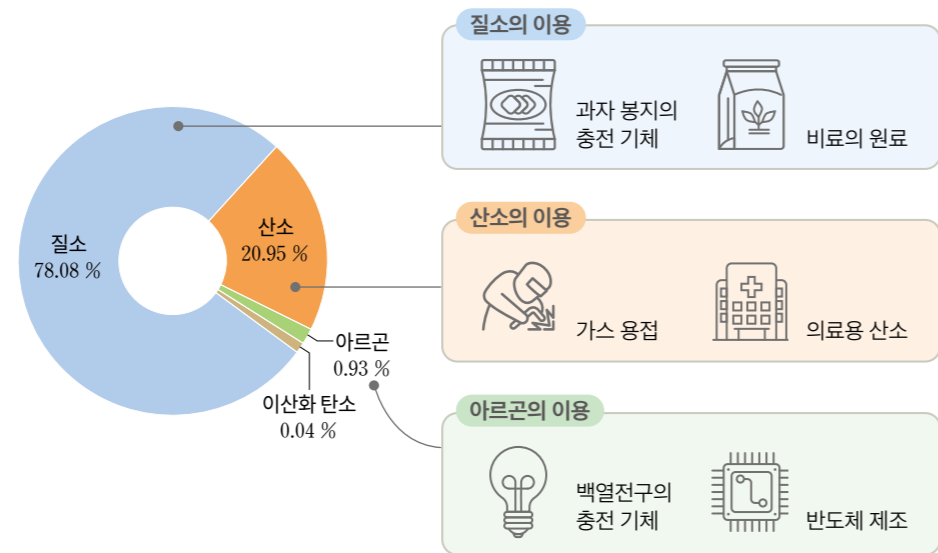


그림 I-10 공기를 구성하는 기체의 조성(부피비)과 이용

(자료 출처: 미국항공우주국)

일상생활에서는 다양한 혼합 기체를 활용한다. 예를 들어 고기를 포장할 때는 용기 속에 산소(O_2)와 이산화 탄소(CO_2)를 일정한 비율로 혼합해 넣는다. 이때 산소는 고기의 색을 붉게 유지하고, 이산화 탄소는 미생물이 번식하는 것을 억제한다. 또 병원에서 환자의 전신 마취에 사용하는 의료용 마취 가스에는 일산화 이질소(N_2O)와 산소(O_2)를 일정 비율로 혼합해 사용한다.



고기를 포장할 때 산소와 이산화 탄소의 혼합 기체를 사용한다.



의료용 마취 가스에 일산화 이질소와 산소의 혼합 기체를 사용한다.

그림 I-11 일상생활에서 혼합 기체의 활용

과학 마당 생활속 과학 | 스쿠버 다이빙과 혼합 기체

바닷속 깊은 곳을 탐험하는 잠수부들은 호흡을 위해 물속에 공기통을 메고 들어간다. 이 공기통에는 산소를 포함한 혼합 기체가 들어 있는데, 잠수하는 깊이에 따라 공기통에 넣는 기체의 종류와 비율이 달라진다.

수심 30 m를 넘지 않는 얇은 바닷속으로 잠수할 때는 공기통에 일반적인 공기를 채워 사용해도 큰 문제가 없지만, 깊은 바닷속처럼 고압의 환경에서 공기를 계속 들이마시면 혈액 속의 질소 농도가 커져서 여러 가지 부작용이 나타날 수 있다. 깊은 바닷속에서 수면으로 올라올 때 외부 압력이 작아져 혈액에 녹아 있던 질소가 빠져나오면서 기포를 형성하고, 기포들이 혈관을 막아 통증을 일으키는 잠수병이 나타날 수 있다. 또 혈액 속에 녹은 질소가 마취 작용을 일으켜 판단력이 흐려지고 어지럼증을 느끼기도 한다.

이런 부작용을 방지하기 위해 전문 잠수부들이 깊은 바닷속으로 잠수할 때는 헬륨과 산소를 혼합한 기체를 사용하거나, 헬륨, 산소, 질소를 혼합한 기체를 사용한다.

생각 펼치기 잠수부들이 공기통에 헬륨, 산소, 질소 등의 기체를 일정한 비율로 채울 때 기체의 어떤 성질을 이용하는지 조사해 보자.



확인하기

- 공기를 구성하는 기체 중 가장 많은 양(mol)을 차지하는 기체는 ()이다.
- 고기를 포장할 때 산소와 이산화 탄소의 ()을/를 사용한다.

소단원 마무리

창의력 키우기

금성의 대기압은 지구의 대기압의 약 90 배이다. 금성의 대기 조성을 찾아보고, 금성의 대기를 구성하는 성분 기체의 부분 압력을 설명해 보자.

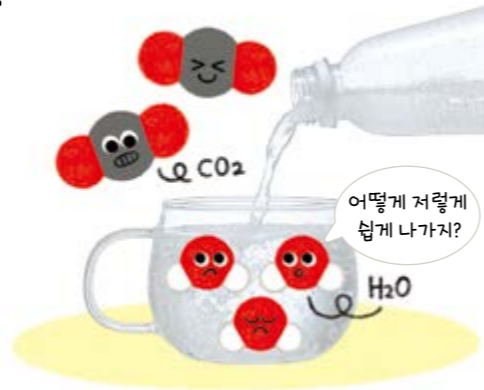
디지털 소양 키우기

하루 동안 일상생활에서 혼합 기체를 이용한 예를 네 칸 만화로 그리고, 공유 플랫폼을 활용하여 공유해 보자.

액체의 분자간 상호작용

- 분자 간 상호작용의 종류를 구별할 수 있다.
- 물질이 액체로 존재할 수 있는 까닭과 액체의 종류에 따라 끓는점이 달라지는 것을 분자 간 상호작용을 이용해 설명할 수 있다.

“탄산음료를 컵에 따르면 물은 대부분 액체 상태로 존재하지만 물에 녹아 있던 이산화 탄소는 쉽게 기체가 되어 날아간다. 물과 이산화 탄소는 분자 사이에 작용하는 힘이 어떻게 다를까?”



분자 간 상호작용과 물질의 상태

물질의 상태는 온도와 압력에 따라 변하며, 이는 분자 사이에 작용하는 힘인 분자 간 상호작용과 관련이 있다. 압력이 일정할 때 온도가 높아지면 분자 운동이 활발해져서 분자들의 평균 운동 에너지가 커진다. 분자의 운동 에너지가 분자 간 인력을 극복할 만큼 크면 분자들이 자유롭게 움직이는 기체 상태가 된다. 반대로 압력이 일정할 때 온도가 낮아지면 분자 간 인력의 영향이 커져서 분자들이 서로 붙들리므로 액체나 고체 상태로 존재한다.

기체는 분자 사이의 거리가 멀고 분자 간 인력이 거의 작용하지 않으므로 부피가 쉽게 변하고 모양이 일정하지 않다. 액체는 분자 사이의 거리가 매우 가깝고 분자 간 인력이 어느 정도 작용하여 기체보다 부피가 훨씬 작지만, 분자들이 움직일 수 있으므로 모양이 일정하지 않다. 고체는 분자 간 인력이 액체보다 크게 작용하며 분자들은 고정된 위치에서 진동하는 정도로만 움직이므로 모양이 일정하다.

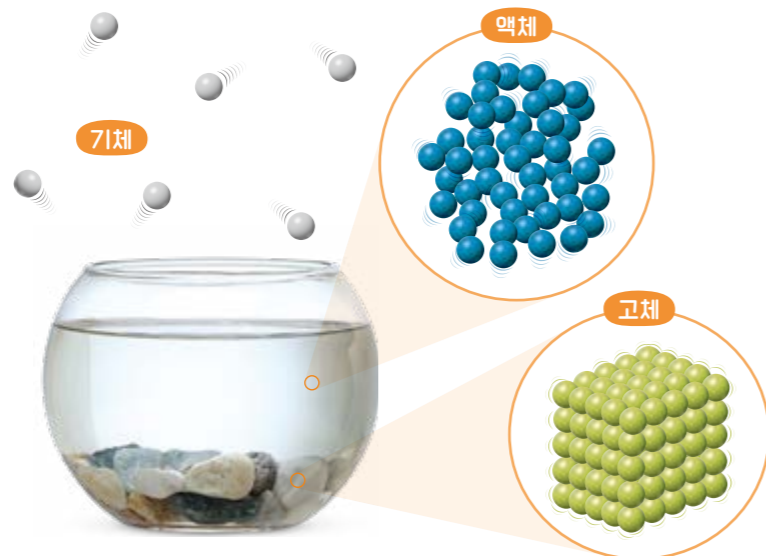


그림 I-12 물질의 세 가지 상태

분자 간 상호작용은 양전하를 띤 입자와 음전하를 띤 입자 사이의 정전기적 인력 때문에 일어난다. 분자를 이루는 원자의 종류와 수, 분자 구조와 극성 등에 따라 분자 간 상호작용의 크기나 종류가 달라진다. 분자 간 상호작용의 종류에 어떤 것이 있는지 알아보자.

쌍극자·쌍극자 힘

극성 분자인 염화 수소(HCl) 분자에서 수소(H)보다 염소(Cl)의 전기음성도가 크므로 분자 내 공유 전자쌍은 염소 원자 쪽으로 치우친다. 따라서 수소 원자는 부분적인 양전하(δ^+)를 띠고, 염소 원자는 부분적인 음전하(δ^-)를 띤다. 이처럼 한 분자 내에서 양전하와 음전하가 쌍을 이룬 것을 **쌍극자**라고 한다.

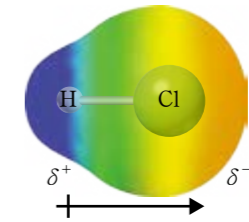


그림 I-13 염화 수소(HCl) 분자의 쌍극자

쌍극자가 있는 분자들이 서로 가까워지면 양전하를 띤 부분과 음전하를 띤 부분 사이에 정전기적 인력이 작용하는데, 이 인력을 **쌍극자·쌍극자 힘**이라고 한다. ●분자량이 비슷한 물질이라면 ●쌍극자 모멘트가 클수록 쌍극자·쌍극자 힘이 강하므로 끓는점이 높다.

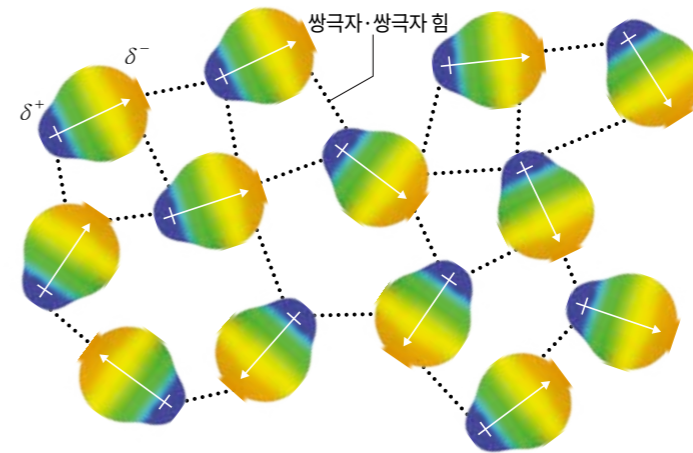


그림 I-14 쌍극자·쌍극자 힘 쌍극자가 있는 분자끼리 가까워지면 같은 전하 사이에는 반발력이 작용하고, 다른 전하 사이에는 인력이 작용한다. 이때 분자들은 인력을 최대화하고 반발력을 최소화하여 더 안정해지는 방향으로 배열한다.

❓ 표는 세 가지 물질의 물리적 성질을 나타낸 것이다. (가)~(다)를 쌍극자·쌍극자 힘이 강한 것부터 순서대로 써 보자.

물질	분자량	쌍극자 모멘트(D)
(가)	44	0.08
(나)	46	1.3
(다)	41	3.9

● 분자량

질량수가 12인 탄소 원자의 질량을 12로 하고 이를 기준으로 하여 나타낸 원자의 상대적인 질량을 원자량이라고 하며, 분자를 이루는 원자들의 원자량을 합한 값을 분자량이라고 한다. 분자량 값은 분자의 물질량에 해당한다.

몇 가지 분자의 물질량과 분자량

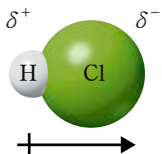
분자	물질량	분자량
H ₂	2 g/mol	2
HCl	36.5 g/mol	36.5
CH ₄	16 g/mol	16

연계 화학

『화학』 ‘물질의 구조와 성질’ 단원에서 분자의 극성을 학습했다.

● 쌍극자 모멘트

쌍극자에서 부분 전하의 크기와 양전하와 음전하 사이의 거리를 곱한 값으로, 단위는 D(debye)를 사용하며, 그 값이 클수록 분자의 극성이 크다. 쌍극자 모멘트는 전기음성도가 작은 원자에서 큰 원자를 향하도록 아래와 같은 화살표로 나타낸다.



분자 간 인력이 강할수록 끓는점이 높다.



분산력

질소(N₂)는 무극성 분자로 질소 분자 사이에는 쌍극자·쌍극자 힘이 작용하지 않는다. 그러나 질소의 온도가 끓는점보다 낮아지면 질소도 액체 상태가 된다. 질소와 같은 무극성 분자들이 서로 끌어당겨 액체 상태로 존재하는 것은 어떤 힘 때문일까?

분자 안에는 (+)전하를 띤 원자핵이 있고 원자핵보다 가벼운 전자가 원자핵 주위에서 끊임없이 움직이는데, 전자들이 원자핵 주위를 움직이다가 순간적으로 한쪽으로 치우치면 쌍극자가 생길 수 있다. 이러한 쌍극자는 주변의 분자에 영향을 주어 또 다른 쌍극자를 유도하는데, 이렇게 유도된 쌍극자 사이에 작용하는 정전기적 인력을 **분산력**이라고 한다.

연계 중학교 과학

『중학교 과학』 ‘물질의 구성’ 단원에서 원자가 원자핵과 전자로 이루어져 있음을 학습했다.

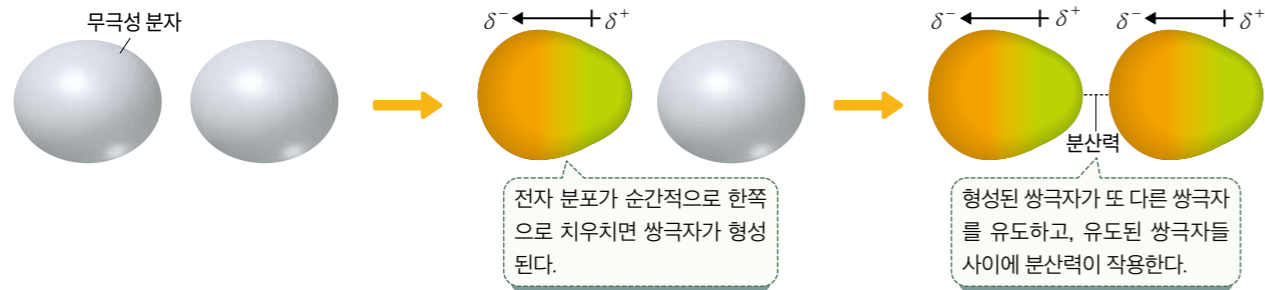


그림 I-15 분산력

분자 내 전자가 많고 넓은 범위에 존재할수록 전자들이 한쪽으로 쉽게 치우쳐 순간적인 쌍극자가 잘 형성된다. 따라서 분자의 분자량이 클수록 분산력이 강해 끓는점이 높다. 예를 들어 그림 I-16에서 플루오린(F₂), 염소(Cl₂), 브로민(Br₂), 아이오딘(I₂) 분자들의 끓는점을 비교하면 분자량이 커질수록 분산력이 강해져서 끓는점이 높아지는 것을 알 수 있다. 분산력은 분자 내 전자의 움직임 때문에 발생하므로 무극성 분자뿐만 아니라 극성 분자 사이에도 작용한다.

(자료 출처: 『CRC Handbook of Chemistry and Physics(105th ed.)』, 2024.)

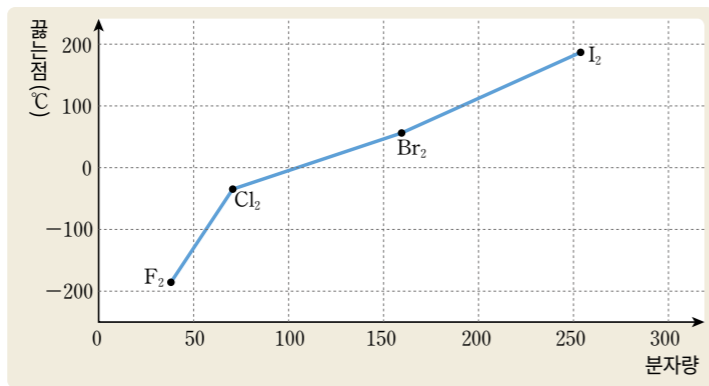


그림 I-16 플루오린, 염소, 브로민, 아이오딘의 분자량과 끓는점

④ 메테인(CH₄), 에테인(C₂H₆), 프로페인(C₃H₈)의 분산력 크기를 부등호(>, <)를 사용하여 비교해 보자.

수소 결합

물(H₂O)과 클로로메테인(CH₃Cl)은 쌍극자 모멘트가 비슷한 극성 분자이고, 분자량은 클로로메테인이 물의 약 3 배이다. 일반적으로 극성이 비슷하면 분자량이 클수록 분산력이 강해 끓는점이 높지만, 이와 반대로 물의 끓는점은 클로로메테인보다 훨씬 높다. 이런 예외가 나타나는 까닭은 무엇일까?

물 분자에서 산소(O) 원자는 부분적인 음전하(δ^-)를 띠고, 수소(H) 원자는 부분적인 양전하(δ^+)를 띤다. 이때 산소의 전기음성도가 매우 커서 결합한 수소 원자의 하나뿐인 전자를 강하게 잡아당기므로 수소 원자와 산소 원자가 띠는 부분 전하의 크기는 크다. 또 수소 원자와 산소 원자는 크기가 작아 서로 가까이 접근할 수 있다. 따라서 물 분자의 수소 원자와 이웃한 물 분자의 산소 원자 사이에는 매우 강한 정전기적 인력이 작용하는데, 이러한 분자 간 인력을 **수소 결합**이라고 한다. 수소 결합은 수소(H) 원자가 전기음성도가 매우 크고 크기가 작은 산소(O), 질소(N), 플루오린(F) 원자와 결합한 분자에서 나타난다.

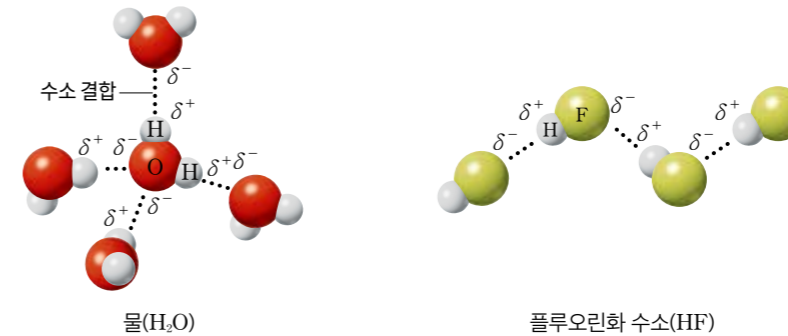


그림 I-18 수소 결합

분자 간 상호작용은 분자의 종류에 따라 그 세기가 달라지는데, 분자량이 비슷하다면 대체로 수소 결합은 쌍극자·쌍극자 힘보다 강하고, 쌍극자·쌍극자 힘은 분산력보다 강하다.

확인하기

- 1 수소(H₂), 산소(O₂), 염소(Cl₂)를 끓는점이 높은 것부터 순서대로 써 보자. (단, H, O, Cl의 분자량은 각각 1, 16, 35.5이다.)
- 2 ()은/는 수소(H) 원자가 산소(O), 질소(N), 플루오린(F) 원자와 결합한 분자 사이에 작용하는 분자 간 인력이다.

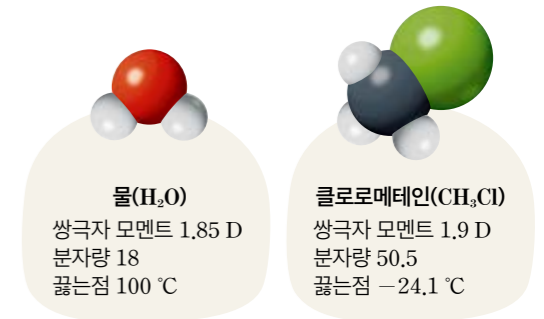


그림 I-17 물과 클로로메테인의 특성

(자료 출처: 『CRC Handbook of Chemistry and Physics(105th ed.)』, 2024.)

수소(H), 질소(N), 산소(O), 플루오린(F)의 전기음성도

원자	전기음성도
H	2.2
N	3.0
O	3.4
F	4.0

(자료 출처: 『CRC Handbook of Chemistry and Physics(105th ed.)』, 2024.)

오개념 바로잡기

분자 간 상호작용은 쌍극자·쌍극자 힘, 분산력, 수소 결합 중 어느 한 가지만 작용하는 것이 아니라, 분자의 구조에 따라 여러 종류의 상호작용이 동시에 작용하기도 한다.

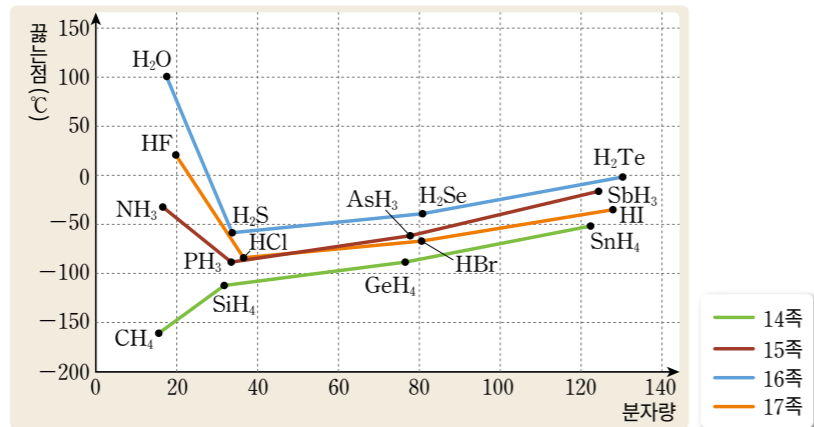
수소 화합물의 끓는점에 영향을 주는 요인 추론하기

목표

수소 화합물의 끓는점 차이를 분자 간 상호작용으로 추론하고 설명할 수 있다.

자료 해석

그림은 14족~17족 원소의 수소 화합물의 분자량에 따른 끓는점을 나타낸 것이다.



(자료 출처: 'CRC Handbook of Chemistry and Physics(105th ed.)', 2024.)

- 14족~17족 원소의 수소 화합물 중 무극성 분자를 써 보자.
- 같은 족 원소의 수소 화합물에서 분자의 분자량이 커지면 끓는점은 어떻게 변하는지 설명해 보자. (단, H₂O, HF, NH₃는 제외한다.)

스스로 평가하기

| 지식·이해 |
수소 화합물의 끓는점을 분자 간 상호작용으로 설명했는가?
☆☆☆☆☆

| 과정·기능 |
수소 화합물의 끓는점에 영향을 주는 요인을 추론할 때 타당한 근거를 제시했는가?
☆☆☆☆☆

| 가치·태도 |
분자 간 상호작용이 물질의 끓는점을 추론하는 데 유용하게 사용됨을 인식했는가?
☆☆☆☆☆

정리

1. H₂S가 SiH₄보다 끓는점이 높은 까닭을 분자 간 상호작용으로 설명해 보자.
2. 14족 원소의 수소 화합물의 끓는점이 CH₄ < SiH₄ < GeH₄ < SnH₄ 순으로 높아지는 까닭을 분자 간 상호작용으로 설명해 보자.
3. 15족~17족 원소의 수소 화합물의 끓는점이 14족 원소의 수소 화합물과 다른 경향을 나타내는 까닭을 분자 간 상호작용으로 설명해 보자.

액체의 증기압

에탄올과 물을 유리판에 한 방울씩 떨어뜨리면 에탄올은 빨리 증발하고 물은 천천히 증발한다. 즉, 액체 상태에서 분자와 분자 사이의 인력을 끊고 증발하는 정도는 물질마다 차이가 있다. 물질이 증발하는 정도를 어떻게 나타낼 수 있을까?

액체를 플라스크 속에 넣고 밀폐하면 처음에는 증발하는 분자 수가 응축하는 분자 수보다 많지만, 시간이 지나면 증발하는 분자 수와 응축하는 분자 수가 같아지고 액체 면의 높이가 일정하게 유지된다. 이 상태는 겉으로는 아무 변화도 없는 것처럼 보이지만, 증발과 응축이 같은 속도로 일어나는 **동적 평형 상태**이다. 이 상태에서 액체가 증발해 생긴 기체, 즉 증기가 나타내는 압력을 **증기압(증기 압력)**이라고 한다.



그림 I-19 닫힌 용기에서 액체와 기체의 동적 평형

분자 간 인력이 다르면 액체가 증발하는 정도가 달라져 증기압이 달라진다. 분자 간 인력이 약한 물질일수록 증발이 잘 일어나 증기압이 크고, 반대로 분자 간 인력이 강한 물질일수록 증발이 잘 일어나지 않아 증기압이 작다. 따라서 증기압을 이용해 물질이 증발하는 정도를 비교할 수 있다.

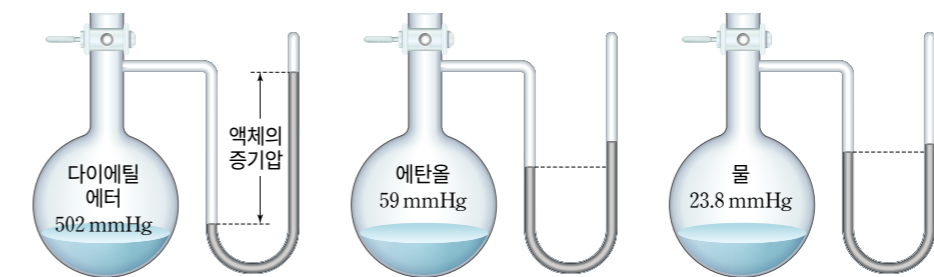


그림 I-20 25 °C에서 몇 가지 액체의 증기압

(자료 출처: 미국국립표준기술연구소)

자료 읽기 그림 I-20의 다이에틸 에터, 에탄올, 물 중 같은 온도에서 증발이 가장 잘 일어나는 물질은 어느 것인지 써 보자.

연계 화학

『화학』 '화학 평형' 단원에서 가역 반응과 동적 평형 상태를 학습했다.

(자료 출처: 미국국립표준기술연구소)

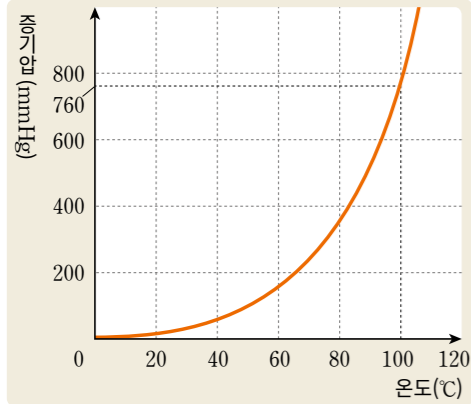


그림 I-21 물의 증기압 곡선

기준 끓는점

외부 압력이 1 기압일 때의 끓는점을 기준 끓는점이라고 한다. 물의 기준 끓는점은 100 °C이다.

증발과 응축의 동적 평형 상태는 온도의 영향을 받는다. 온도가 높아지면 증발이 더 잘 일어나므로 증기압은 온도가 높을수록 증가한다. 그림 I-21과 같이 온도에 따른 액체의 증기압을 나타낸 그래프를 증기압 곡선이라고 한다.

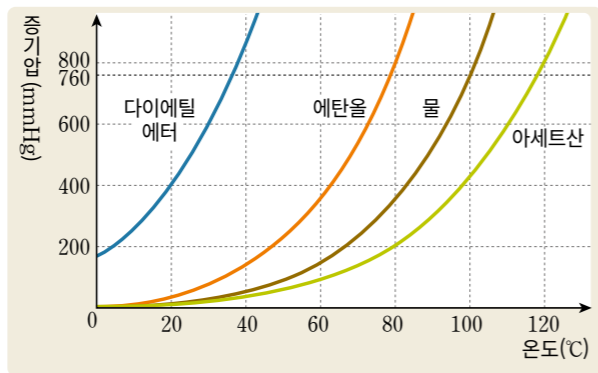
액체의 온도가 높아져서 증기압이 점점 증가하다가 외부 압력과 같아지는 점에 도달하면 액체 표면뿐만 아니라 액체의 내부에서도 기화가 일어난다. 이러한 현상을 끓음이라 하며, 이때의 온도를 끓는점이라고 한다. 외부 압력이 1 기압(760 mmHg)일 때 물의 끓는점은 100 °C이다.

분자 간 인력이 약한 물질은 증발이 잘 일어나므로 온도를 조금만 높여도 증기압이 대기압과 같아진다. 따라서 분자 간 인력이 약한 물질일수록 증기압이 크고 끓는점이 낮다.

해보기

여러 가지 액체의 증기압 곡선 해석하기

그림은 다이에틸 에터, 에탄올, 물, 아세트산의 증기압 곡선이다.



(자료 출처: 미국국립표준기술연구소)

1. 1 기압에서 다이에틸 에터, 에탄올, 물, 아세트산을 끓는점이 높은 순서대로 써 보자.



2. 다이에틸 에터, 에탄올, 물, 아세트산을 분자 간 인력이 강한 순서대로 쓰고, 그 까닭을 설명해 보자.



3. 외부 압력이 커지면 네 물질의 끓는점은 어떻게 될지 토의해 보자.



압력솥에서는 100 °C보다 높은 온도에서 물이 끓고, 높은 산에서는 100 °C보다 낮은 온도에서 물이 끓는다. 그 까닭을 설명해 보자.

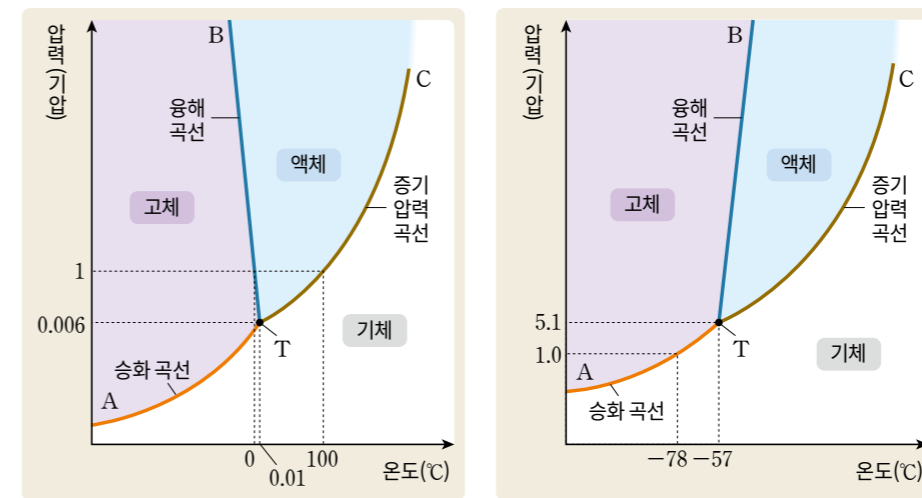
온도, 압력과 물질의 상태

물질의 상태는 온도뿐만 아니라 압력에도 영향을 받는다. 예를 들어 물은 외부 압력이 작아지면 100 °C보다 낮은 온도에서도 끓어서 기체 상태가 된다. 또 0 °C보다 낮은 온도에서도 얼음에 큰 압력을 가하면 액체 상태로 변한다.

물질의 상태와 온도, 압력의 관계를 나타낸 그림을 상평형 그림이라고 한다. 그림 I-22는 물과 이산화 탄소의 상평형 그림을 나타낸 것이다.

상평형

물질의 세 가지 상태인 기체, 액체, 고체 상태 중 두 가지 이상이 동적 평형을 이루고 있는 것을 상평형이라고 한다.



물의 상평형 그림

이산화 탄소의 상평형 그림

그림 I-22 물과 이산화 탄소의 상평형 그림

(자료 출처: Silberberg 외, 『Chemistry(10th ed.)』, McGraw-Hill Education, 2023.)

상평형 그림의 각각의 곡선에 해당하는 온도와 압력에서는 서로 다른 물질의 상태가 평형을 이루고 있다. 세 곡선이 만나는 점 T에서는 고체, 액체, 기체의 세 상태가 평형을 이루는데, 이 점을 삼중점이라고 한다. 삼중점보다 낮은 압력에서는 고체에서 액체를 거치지 않고 기체로 상태가 바뀌는 승화가 일어난다.

일반적으로 물질의 융해 곡선은 이산화 탄소의 융해 곡선과 같이 양의 기울기를 나타내지만, 물의 융해 곡선은 음의 기울기를 나타낸다.

확인하기

- 1 분자 간 인력이 강한 물질일수록 같은 온도에서 증기압이 (크다, 작다).
- 2 물질의 상태와 온도, 압력의 관계를 나타낸 그림을 ()이라고 한다.

소단원 마무리

창의력 키우기

황화 수소(H_2S) 분자 사이에는 쌍극자-쌍극자 힘, 분산력, 수소 결합 중 어떤 분자 간 힘이 작용하는지 설명해 보자.

디지털 소양 키우기

온도와 압력에 따라 물질의 상태가 변하는 모습을 동영상으로 촬영하고, 공유 플랫폼을 활용하여 공유해 보자.

04

고체의 종류와 구조

- 고체를 결정과 비결정으로 구분할 수 있다.
- 결정성 고체를 화학 결합의 종류에 따라 분류할 수 있다.

“ 유리컵은 떨어뜨리면 깨지지만, 금속으로 만든 컵은 떨어뜨려도 깨지지 않는다. 유리와 금속을 이루는 결합에는 어떤 차이가 있을까? ”



결정과 비결정

물질을 구성하는 입자의 이동보다 입자 간 인력의 영향이 매우 커지면 입자들은 고정된 위치에서 진동 운동만 하고, 그 결과 물질은 고체 상태가 된다.

입자의 배열은 고체의 성질에 영향을 미친다. 석영, 염화 나트륨, 철과 같이 구성 입자의 배열이 규칙적인 고체를 **결정성 고체**라 하고, 유리, 플라스틱과 같이 구성 입자의 배열이 불규칙한 고체를 **비결정성 고체**라고 한다. 결정성 고체는 구성 입자들이 규칙적인 간격과 형태로 배열되어 있어 일정한 녹는점을 가지지만, 비결정성 고체는 구성 입자들이 불규칙하게 배열되어 있어 형태가 자유롭고 녹는점이 일정하지 않다.

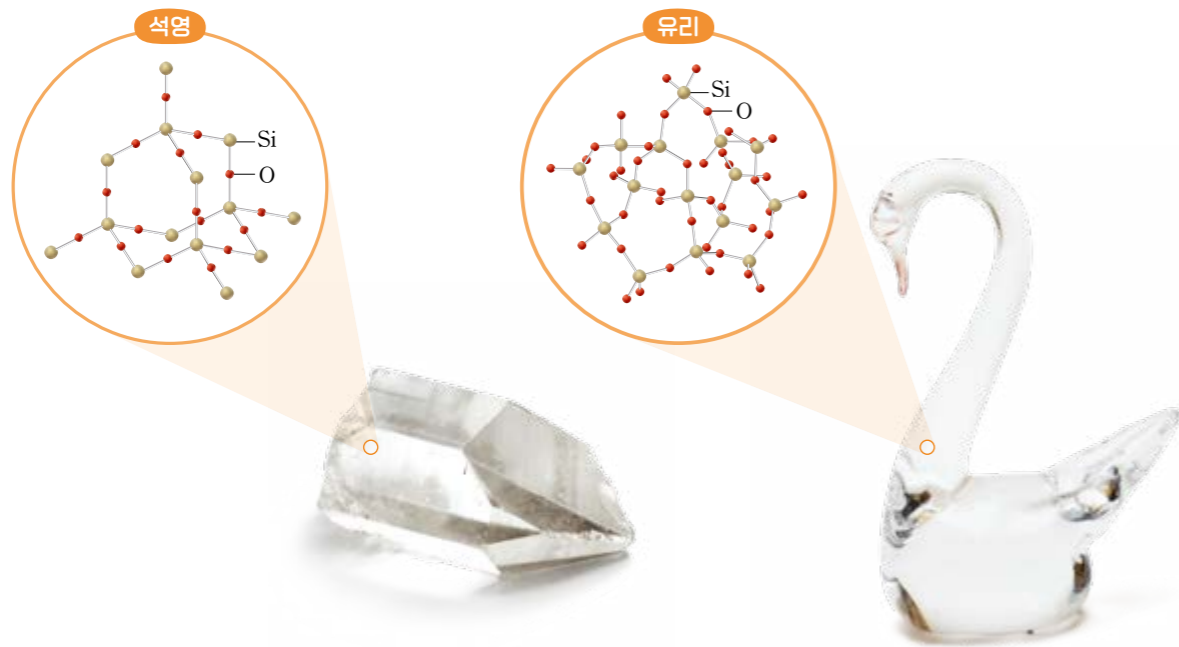


그림 I-23 석영과 유리 석영과 유리의 구성 성분은 모두 이산화 규소(SiO₂)이지만, 석영은 결정성 고체이고 유리는 비결정성 고체이다.

해보기

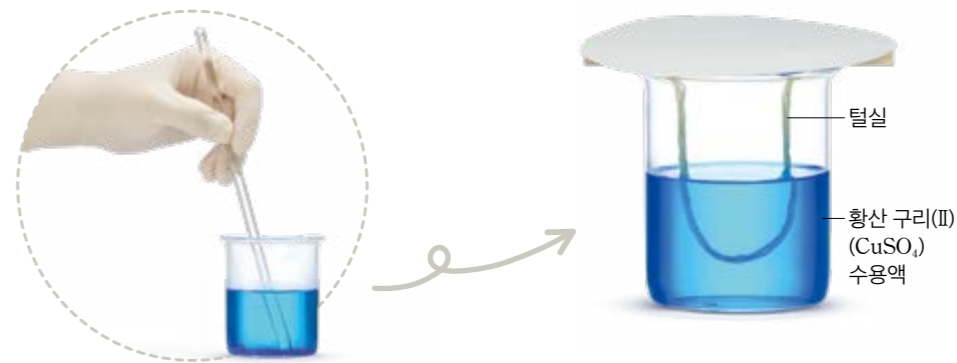
황산 구리(II)(CuSO₄) 결정 만들기

탐구 능력

준비물 황산 구리(II)(CuSO₄), 더운물, 비커, 유리 막대, 약순가락, 페트리 접시, 탈실, 나무젓가락, 거름종이, 실험복, 보안경, 실험용 고무장갑, 안전 장갑

1. 비커에 약 60 °C의 물 50 mL를 담고, 황산 구리(II)(CuSO₄)를 더 이상 녹지 않을 때까지 녹이자.
2. 나무젓가락에 탈실의 양 끝을 묶고 1의 황산 구리(II)(CuSO₄) 수용액이 담긴 비커에 걸쳐 놓은 다음, 거름종이로 비커를 덮자.
3. 2의 비커를 며칠 동안 놓아두고 결정이 생기는 것을 확인하자.

도움말 흔들림이 적고 먼지가 없는 장소에 두고 관찰한다.



정리

- 만들어진 황산 구리(II)(CuSO₄) 결정을 관찰하고 결정의 특징을 설명해 보자.



비결정성 고체의 성질을 이용해 새로운 소재를 개발하기도 한다. 예를 들어 철이나 지르코늄 등을 이용해 만든 비결정성 합금은 강도가 강하고 잘 부식되지 않아 기계 부품, 스마트폰, 스포츠용품 등 여러 가지 분야에 이용된다.



그림 I-24 비결정성 합금의 활용

확인하기

- 1 구성 입자의 배열이 규칙적인 고체를 () 고체라고 한다.
- 2 비결정성 고체는 녹는점이 (일정하다, 일정하지 않다).

안전



- 실험할 때는 반드시 실험복, 보안경, 실험용 고무장갑을 착용한다.
- 실험 후 남은 용액은 폐수 처리 기준과 방법에 따라 처리한다.

도움 자료

- 탐구 전에 다음 자료를 먼저 읽어 보자.
- 128 쪽~129 쪽 실험실 안전 수칙

결정성 고체를 구성하는 입자는 공유 결합, 이온 결합, 금속 결합 등 결합의 종류에 따라 다양한 결정을 형성한다.

분자 결정과 공유 결정

분자 결정은 공유 결합으로 이루어진 분자들이 분자 간 인력에 의해 규칙적으로 배열된 고체로, 얼음(H₂O), 아이오딘(I₂), 드라이아이스(CO₂) 등이 있다. 분자 간 인력은 공유 결합이나 이온 결합에 비해 약하므로 분자 결정은 대체로 녹는점이 낮다. 또 공유 결합에 참여하는 전자는 분자 사이를 이동하지 못하므로 전기 전도성이 없다.

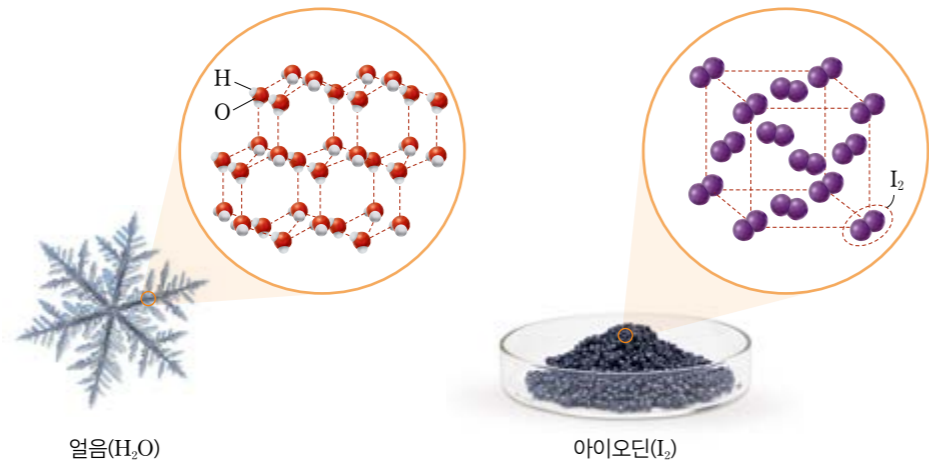


그림 I-25 분자 결정

공유 결정은 원자들이 공유 결합에 의해 그물처럼 연결된 고체로, 다이아몬드(C), 흑연(C), 석영(SiO₂) 등이 있다. 원자 사이의 공유 결합은 매우 강하므로 공유 결정은 녹는점이 매우 높고 단단하다. 공유 결정은 대부분 전기 전도성이 없지만, 흑연은 예외적으로 전기 전도성이 있다.

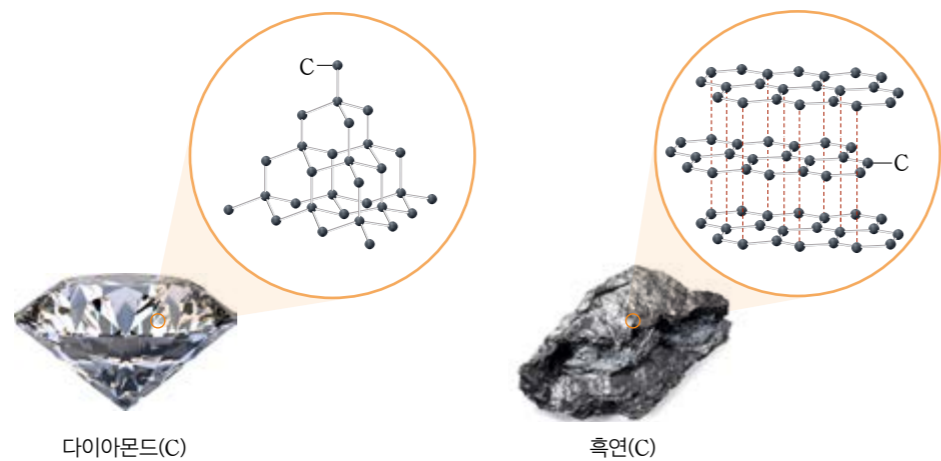


그림 I-26 공유 결정 다이아몬드는 하나의 탄소(C) 원자가 4 개의 공유 결합을 형성하고, 흑연은 하나의 탄소(C) 원자가 3 개의 공유 결합을 형성한다.

연계 통합과학1

『통합과학1』 ‘물질과 규칙성’ 단원에서 공유 결합 물질의 성질을 학습했다.

흑연의 전기 전도성

흑연은 탄소로 구성되는데, 탄소 원자의 원자가 전자 중 3 개는 다른 탄소 원자와 공유 결합을 이루고, 남은 1 개의 전자가 흑연 층 사이를 이동하므로 흑연은 전기 전도성이 있다.

이온 결정

이온 결정은 양이온과 음이온 사이의 정전기적 인력, 즉 이온 결합에 의해 이온들이 규칙적으로 배열된 고체로, 염화 나트륨(NaCl), 산화 마그네슘(MgO) 등이 있다. 이온 결정은 이온 간 강한 인력 때문에 높은 녹는점을 가지지만, 외부 힘에 의해 이온들의 위치가 조금만 변해도 정전기적 반발력이 발생하여 쉽게 쪼개지거나 부서진다.

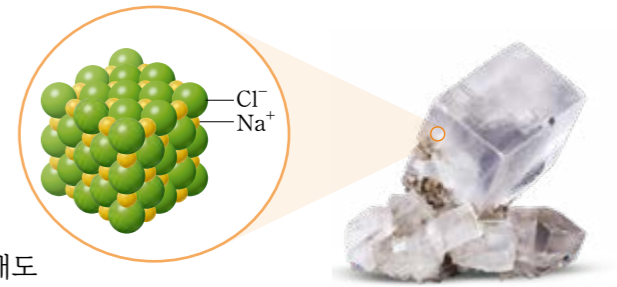


그림 I-27 염화 나트륨(NaCl) 결정

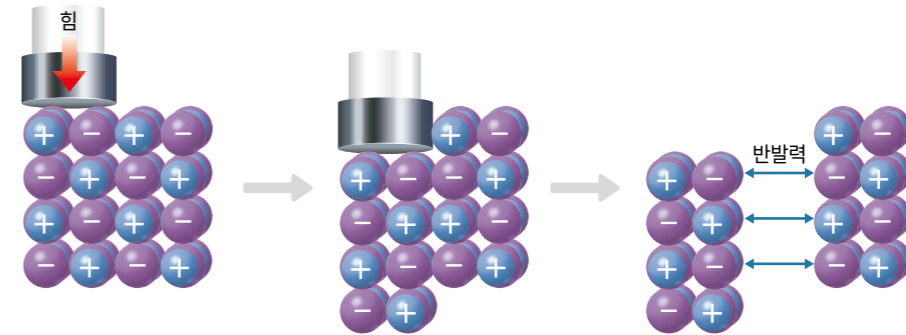


그림 I-28 이온 결정의 쪼개짐

이온 결정은 고체 상태에서 이온이 이동하지 못하므로 전기 전도성이 없다. 반면 액체 상태나 수용액 상태에서는 전하를 띤 이온이 이동할 수 있어서 전기 전도성이 있다.

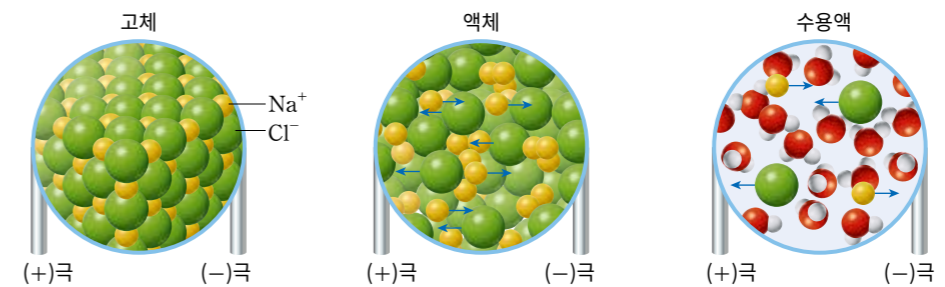


그림 I-29 고체, 액체, 수용액 상태에서 염화 나트륨의 전기 전도성

연계 통합과학1

『통합과학1』 ‘물질과 규칙성’ 단원에서 이온 결합 물질의 성질을 학습했다.

확인하기

- ()은/는 원자들이 공유 결합으로 그물처럼 연결되어 있어서 매우 단단하다.
- ()은/는 고체 상태에서 전기 전도성이 없지만, 액체 상태에서는 전기 전도성이 있다.

금속 결정

금속 원자는 전자를 쉽게 잃고 양이온이 된다. 이때 떨어져 나온 전자는 한 원자에 구속되는 것이 아니라 금속 양이온 사이를 자유롭게 이동할 수 있다. 이 전자를 **자유 전자**라고 하며, 금속 양이온과 자유 전자 사이의 정전기적 인력에 의한 결합을 **금속 결합**이라고 한다. 이러한 금속 결합으로 금속 원자가 규칙적으로 배열된 고체를 **금속 결정**이라고 한다. 금속 결정의 예로는 철(Fe), 구리(Cu), 알루미늄(Al) 등이 있다.

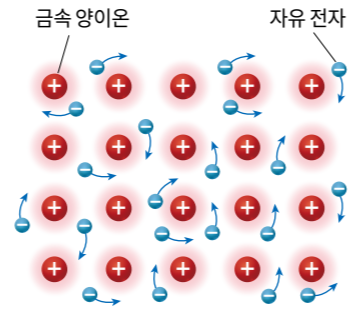


그림 I-30 금속 결합

금속 결정은 대체로 녹는점이 높으며, 자유 전자 때문에 다양한 특성을 나타낸다. 금속 결정의 자유 전자는 원자 사이를 자유롭게 움직이므로 금속 결정은 열전도율과 전기 전도도가 크다. 또 힘을 받아 원자의 위치가 조금 바뀌어도 자유 전자가 움직여 결합을 유지하므로 금속 결정은 실처럼 가늘게 뽑히거나 종이처럼 얇게 펴질 수 있다. 대부분의 금속 결정은 광택을 띠는데 이는 자유 전자가 금속 표면에서 빛을 반사하기 때문에 나타나는 성질이다.

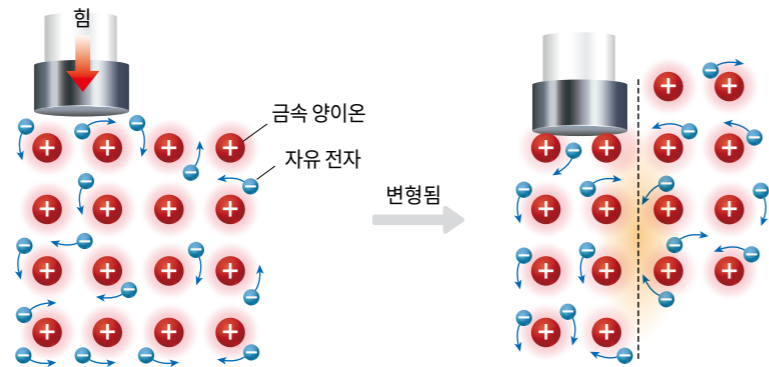


그림 I-31 금속 결정의 변형



그림 I-32 금속 결정으로 만든 다양한 형태의 제품 금속 결정은 자유 전자가 있어서 실처럼 가늘게 뽑히거나 얇게 펴질 수 있으므로 철사나 캔 같은 형태로 만들 수 있고, 광택을 띤다.

해보기

화학 결합의 종류에 따라 고체 결정 분류하기

1. 구리, 설탕, 염화 나트륨을 이용하여 다음과 같이 실험해 보자.



망치로 힘을 가했을 때의 변화를 관찰하자. 고체 상태에서 전류가 흐르는지 알아보자. 수용액 상태에서 전류가 흐르는지 알아보자. (단, 물에 녹지 않는 물질은 제외한다.)

- 준비물**
- 구리판 설탕 결정
 - 염화 나트륨 결정
 - 페트리 접시 비커
 - 증류수 망치
 - 종이 금속용 가위
 - 유리 막대
 - 전기 전도성 측정기
 - 실험복 보안경
 - 실험용 고무장갑
 - 안전 장갑

안전



- 실험할 때는 반드시 실험복, 보안경, 실험용 고무장갑을 착용한다.
- 고체에 망치로 힘을 가할 때 손을 다치지 않도록 주의한다.
- 실험 후 남은 물질은 폐수 처리 기준과 방법에 따라 처리한다.

2.1의 결과를 정리하고, 각 고체를 구성하는 화학 결합의 종류를 써 보자.

고체	구리	설탕	염화 나트륨
망치로 힘을 가했을 때의 변화			
전기 전도성	고체		
	수용액	-	
화학 결합의 종류			

3. 구리, 설탕, 염화 나트륨이 어느 결정에 속하는지 각각 쓰고, 그 까닭을 설명해 보자.



확인하기

- 1 금속 결정은 금속 양이온 사이를 자유롭게 이동하는 ()이/가 있어서 전기 전도도가 크다.
- 2 다음 중 고체 상태에서 전류가 흐르는 결정을 골라 보자.

구리 염화 칼륨 드라이아이스

소단원 마무리

창의력 키우기

다이아몬드(C)는 매우 단단하지만 같은 원소로 이루어진 흑연(C)은 잘 부서지는 까닭을 설명해 보자.

디지털 소양 키우기

결정성 고체를 분자 결정, 공유 결정, 이온 결정, 금속 결정 중 하나로 분류하는 순서도를 그려 보자.

아름다움을 만들어 내는 빛과 물질의 조화

우리가 미술 작품을 보고 아름답다고 느끼는 것은 눈에 들어온 빛을 인식하고, 그 빛이 우리의 감성을 자극하기 때문이다. 예술가들은 그들이 활동하던 시기의 소재를 활용해서 빛의 아름다움을 연출했다.

전기가 없던 시대에 건축가들은 커다란 성당 건물 안을 밝히기 위해 햇빛이 들어올 수 있는 큰 창을 만들었다. 창문에는 은, 금, 구리 등의 금속 화합물이 포함된 색유리 조각으로 만든 스테인드글라스를 설치해 화려한 빛의 그림을 볼 수 있게 했다.

서울의 한 미술관에 있는 조형물인 「큰 나무와 눈」은 매끈한 공 모양의 금속을 높게 이어 붙여 만든 작품으로, 주위의 사물이 반사되어 보는 위치에 따라 신기한 형상을 만들어 낸다. 이 작품은 스테인리스 소재로 만들어 야외에서도 녹슬지 않으며, 거울처럼 빛을 반사한다.

카푸어(Kapoor, A., 1954~), 「큰 나무와 눈」

프랑스 노트르담 대성당의 스테인드글라스

활동하기

체험

가까운 미술관을 방문해 다양한 작품을 감상하고, 가장 인상 깊은 작품을 한 가지 골라 물질의 어떤 성질을 활용했는지 조사해 보자.



문화유산에 생명을 불어넣는 문화유산 보존 과학자

누리집



검색·누리집

문화유산보존과학센터에서 문화유산 보존 과학자가 하는 일을 자세히 알아보자.

문화유산 보존 과학자가 하는 일은 무엇일까?

문화유산 보존 과학자는 문화유산의 재료 특성을 분석하고, 파손된 문화유산을 복원하거나 문화유산이 더 이상 손상되지 않도록 보존 처리를 하며, 문화유산의 진위를 과학적으로 감정한다. 이를 통해 파손된 유물의 원래 모습을 되찾고 현재의 문화유산을 다음 세대에 잘 전달하는 역할을 한다.

문화유산 보존 과학자는 어떤 능력이 필요할까?

문화유산 보존 과학자가 되려면 무엇보다 문화유산을 사랑하고 보존하고자 하는 사명감이 있어야 한다. 또 물질의 특성을 잘 알고 이를 분석하는 기술이 필요하다. 예를 들어 사찰의 석탑을 복원하려면 석탑을 이루는 암석을 분석해야 한다. 이때 초음파를 이용해 경도를 분석하고, 엑스선을 이용해 화학 성분을 분석하며, 편광 현미경으로 광물 구조를 확인하는 등 여러 물질 분석 도구를 활용하므로 이러한 분석 방법을 잘 알아야 한다.

관련 학과

문화유산학과, 문화유산 보존 과학과, 화학과, 재료 공학과, 화학 공학과 등



활동하기

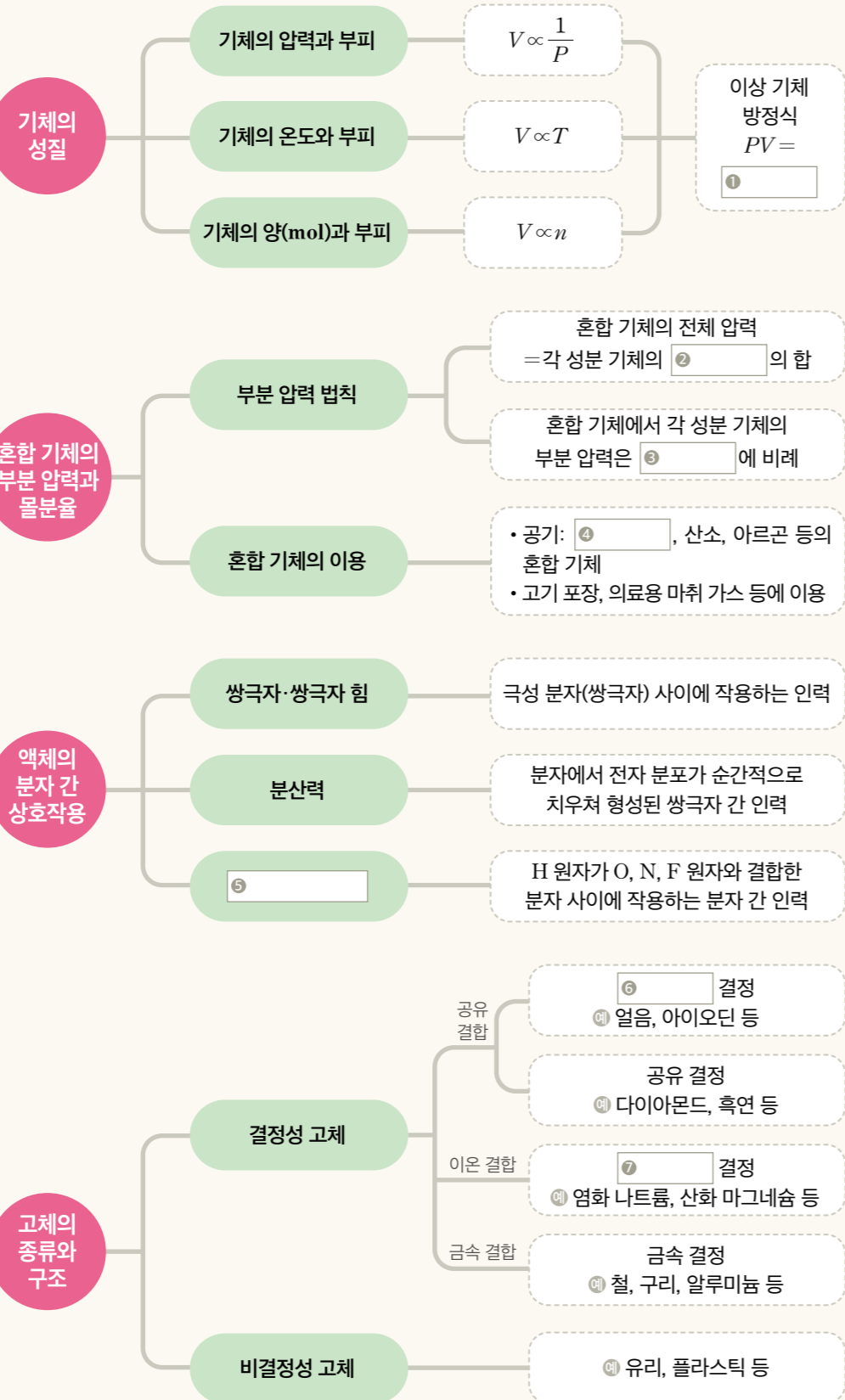
조사

옛 그림을 복원하거나 보존 처리를 하는 과학적 방법을 조사하여 발표해 보자.

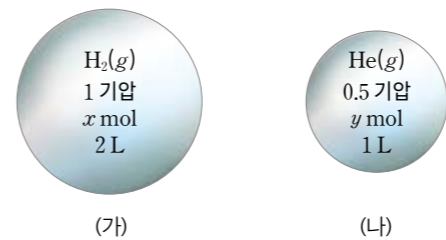


문화유산 보존 과학자들이 복원한 익산 미륵사지 석탑

물질의 세 가지 상태



01. 기체의 성질
01 그림은 일정한 온도에서 수소 기체와 헬륨 기체가 각각 강철 용기에 들어 있는 모습을 나타낸 것이다.



$x : y$ 는?
 ① 4 : 1 ② 2 : 1 ③ 1 : 1
 ④ 1 : 2 ⑤ 1 : 4

서술형 01. 기체의 성질
02 다음은 기체 A의 물질량을 구하는 실험이다.

[실험 과정]
 (가) 실험실의 압력(P)과 온도(t)를 측정한다.
 (나) 기체 A가 든 통의 질량(w_1)을 측정한다.
 (다) 그림과 같이 장치하고 눈금실린더에 기체 A를 모은다.



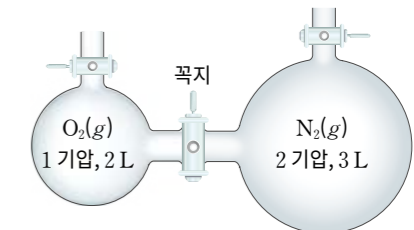
(라) 눈금실린더 안쪽과 바깥쪽의 수면 높이가 같도록 수조에 물을 채우고 기체의 부피(V)를 측정한다.
 (마) 기체 A가 든 통의 질량(w_2)을 다시 측정한다.

[실험 결과]

P(기압)	t(°C)	w_1 (g)	w_2 (g)	V(mL)
1	17	158.0	157.4	450

기체 A의 물질량(g/mol)을 소수 첫째 자리까지 구하고, 계산 과정을 설명해 보자. (단, 기체 상수 R는 0.082 atm·L/(mol·K)이고, 물의 증기압은 고려하지 않는다.)

02. 혼합 기체의 부분 압력과 몰분율
03 그림은 꼭지로 분리된 용기에 산소와 질소가 각각 들어 있는 모습을 나타낸 것이다.



(1) 꼭지를 열어 두 기체를 혼합했을 때 혼합 기체의 전체 압력(기압)을 구해 보자. (단, 온도는 일정하고, 연결관의 부피는 무시한다.)
 (2) 혼합 기체에서 질소 기체의 몰분율을 구해 보자.

03. 액체의 분자 간 상호작용
04 표는 2주기~3주기 원소의 수소 화합물 (가)~(다)에 대한 자료이다.

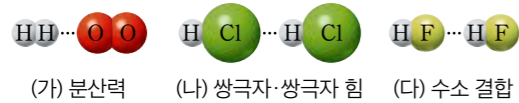
화합물	(가)	(나)	(다)
분자식	CH ₄	H ₂ O	SiH ₄
분자량	16	18	32
기준 끓는점(°C)	-161	100	

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

[보기]
 ㄱ. 기준 끓는점은 (가)가 (다)보다 높다.
 ㄴ. 분산력이 작용하는 것은 두 가지이다.
 ㄷ. (나)가 (가)보다 기준 끓는점이 높은 것은 수소 결합이 주요 원인이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
 ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

05 그림은 분자 간 상호작용의 세 가지 유형 (가)~(다)를 나타낸 것이다.

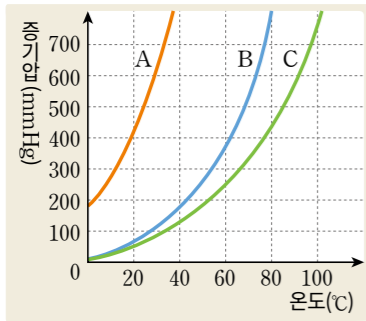


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. Br₂의 기준 끓는점이 Cl₂보다 높은 것은 (가)가 주요 원인이다.
 - ㄴ. CF₄의 기준 끓는점이 CH₄보다 높은 것은 (나)가 주요 원인이다.
 - ㄷ. NH₃의 기준 끓는점이 PH₃보다 높은 것은 (다)가 주요 원인이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

06 그림은 물질 A~C의 온도에 따른 증기압을 나타낸 것이다.

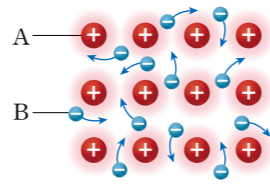


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. 기준 끓는점은 B>C이다.
 - ㄴ. 분자 간 인력은 C가 가장 강하다.
 - ㄷ. 20 °C에서 증기압은 C>B>A이다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

07 그림은 고체 X의 결합 모형을 나타낸 것이다.

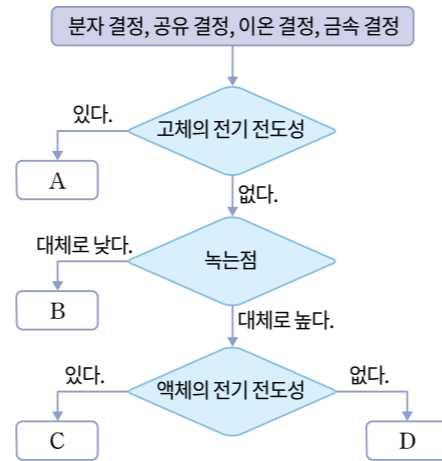


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. 고체 X는 금속 결정이다.
 - ㄴ. 양이온과 음이온이 정전기적 인력으로 결합하고 있다.
 - ㄷ. 고체 X에 전원 장치를 연결하면 A는 (-)극 쪽으로, B는 (+)극 쪽으로 이동한다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

08 그림은 고체를 분류하는 과정을 나타낸 것이다.



A~D는 각각 무엇인지 쓰고, 그 까닭을 설명해 보자.

과학 글쓰기

09 다음은 심해 잠수와 관련된 자료의 일부이다.

(가) 국립해양생물자원관은 2021년부터 2023년까지 총 9 차례에 걸쳐 산소, 질소, 헬륨의 혼합 기체인 트라이믹스(trimix) 기체를 이용한 잠수 기술로 동해 해역과 제주 해역의 수심 30 m~75 m 구간의 해양 생물 조사를 진행했고, 그 결과 총 156 종의 심해 해양 생물을 확인했다.

(나) 수심이 10 m 증가할 때마다 수압은 1 기압씩 증가하므로 깊은 바닷속은 지면보다 압력이 크다. 따라서 전문 잠수부들은 수심 40 m 이상의 깊은 바닷속에 잠수할 때 트라이믹스 기체를 사용한다. 트라이믹스 기체는 산소, 질소, 헬륨의 세 가지 기체를 혼합해 공기보다 질소와 산소 함유량을 줄인 기체로, 깊은 곳에 잠수하거나 오랫동안 잠수할 때 이용하는 기체이다. 일반적으로 잠수부들은 잠수할 수심에서 산소의 부분 압력이 1.4 기압 이하가 되도록 기체 비율을 조절한다.

(다) 대기압에서 질소는 신체에 독성을 나타내지 않지만, 질소의 부분 압력이 약 3.4 기압 이상이 되면 마취 증상이 나타나 판단력과 기억력이 떨어지고 방향 감각을 잃을 수 있다. 한편 산소는 호흡에 필수적인 기체이지만, 산소의 부분 압력이 높으면 신체 조직에 손상을 일으킬 수 있다. 산소의 부분 압력이 1 기압 이상인 환경에 오랫동안 지속해서 노출되면 폐에 손상을 입을 수 있고, 부분 압력이 과도하게 높아지면 중추 신경계에 이상이 생길 수 있다.

- (1) 트라이믹스 기체를 이용해 수심 70 m에 잠수하여 해양 생물 조사를 진행하려는 잠수부가 공기통에 채운 산소의 최대 몰분율을 구해 보자. (단, 대기압은 1 기압이다.)
- (2) 전문 잠수부들이 수심 40 m 이상의 깊은 바닷속에 잠수할 때 공기가 아니라 트라이믹스 기체를 사용하는 까닭을 (다) 및 질소와 산소의 부분 압력을 이용해 설명해 보자. (단, 대기압은 1 기압이고, 공기 중 질소의 몰분율은 0.78, 산소의 몰분율은 0.21이다.)

스스로 점검하기

- 지식·이해** 물질이 온도와 압력에 따라 기체, 액체, 고체 상태로 존재한다는 것을 알고, 각 상태의 성질을 설명했다. ★★★★★
- 과정·기능** 이상 기체 방정식을 활용해 기체의 종류를 확인했고, 물질의 끓는점에 영향을 주는 요인을 추론했으며, 고체를 화학 결합의 종류에 따라 분류했다. ★★★★★
- 가치·태도** 물질의 세 가지 상태가 일상생활에 미치는 영향에 호기심을 갖게 되었고, 기체, 액체, 고체의 성질이 유용하게 쓰인다는 것을 인식했다. ★★★★★

평가 결과가 아쉽다면 1. 물질의 세 가지 상태를 다시 한번 학습해 보자.

글쓰기 길잡이

부분 압력 법칙과 제시문에 주어진 정보를 종합해서 트라이믹스 기체를 사용하는 까닭을 글로 나타낸다.

재료 과학, 세상을 만드는 재료를 탐구하다

재료 과학은 우리 생활에 필요한 재료의 특성을 다루는 학문으로, 재료로 이용할 새로운 물질을 찾아 구조와 특성을 연구하고, 물질을 합성하고 가공하는 방법을 알아내어 실용화하는 일을 포함한다. 예를 들어 각종 전자 제품에 이용되는 리튬 이온 전지의 성능을 높이는 연구, 리튬 대신 이차 전지에 이용할 금속을 찾는 연구 등은 재료 과학의 주요 연구 분야 중 하나이다. 최근에는 화석 연료를 대체할 수 있는 에너지 관련 연구도 활발하게 이루어지고 있다.

재료 과학에서 다루는 소재 분야는 크게 세라믹·금속·합금 소재, 에너지·전기·광·자기 소재, 신약·생의학 소재, 고분자·플라스틱 소재, 나노 소재 등이 있다. 이러한 소재는 우리 생활의 거의 모든 영역에 활용되고 있다.



광물이나 금속으로 이루어진 소재



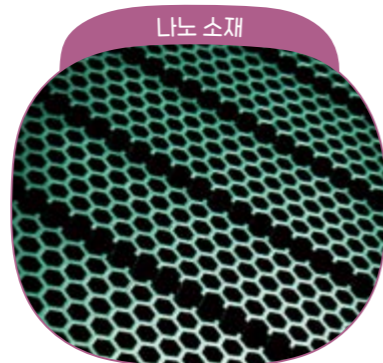
전기 에너지를 생산하는 데 이용되거나 전자기적 성질을 띠는 소재



새로운 약물 개발이나 의료 기술 등에 사용되는 소재



다양한 기능을 갖춘 플라스틱, 합성 섬유 등의 소재



물체의 크기가 원자 수준으로 매우 작을 때 나타나는 특성을 이용한 소재

1 여러 가지 소재 분야의 연구 동향 조사하기

1. 다음 소재 분야 중 한 가지를 선택해 어떤 소재들이 개발되고 있는지 조사해 보자.

- 세라믹·금속·합금 소재
- 에너지·전기·광·자기 소재
- 신약·생의학 소재
- 고분자·플라스틱 소재
- 나노 소재

과정·기능 길잡이

소재 분야를 검색해 최신 기사를 찾아보고, 관련된 연구소나 기업의 누리집에서 필요한 자료를 찾는다.

2. 1에서 찾은 소재 중 최근에 활발하게 연구되고 있는 것을 선택해 자세히 조사하고, 발표 자료를 만들어 보자.

- 소재 이름:
- 소재의 특성 및 이용되는 분야:

2 조사 내용 발표하기

1. 우리 모둠이 만든 자료를 발표해 보자.
2. 우리 모둠의 활동을 평가해 보자.

가치·태도 길잡이

다른 모둠의 발표를 잘 듣고 소재와 관련된 연구가 실제로 얼마나 유용하게 활용되고 있는지 생각해 본다.

내용	평가		
선택한 소재의 특성과 이용 분야를 조사했는가?	상	중	하
자료를 조사할 때 신뢰할 수 있는 출처를 참고했는가?	상	중	하
모든 모둠원이 역할을 분담해 자료 조사와 발표에 참여했는가?	상	중	하



학습 과제물

» 이 단원의 활동 결과를 정리해 보자.

- 36 쪽 예술과 화학 이야기
- 37 쪽 화학과 나의 미래
- 42 쪽~43 쪽 프로젝트

- 1 이 단원의 활동 결과를 모아 I. 물질의 세 가지 상태 학습 과제물 자료로 정리해 보자.
- 2 공유 플랫폼을 활용해 학습 과제물을 친구들에게 공유하고, 친구들의 학습 과제물에 댓글을 달거나 '좋아요' 표시를 하면서 소통해 보자.
- 3 학습 과제물을 인쇄해 책자로 만들어 보자.



II

용액의 성질

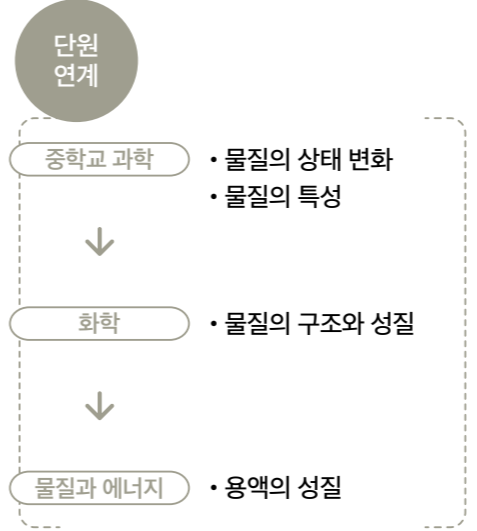
미국 브라이스캐니언 공원에 있는 첨탑 모양의 돌기둥과 절벽은 모두 물이 만들어 낸 것이다. 물은 다른 액체와 달리 얼면서 부피가 늘어나는데, 바위틈에 스며든 물이 얼었다가 녹는 과정이 오랫동안 반복되면 바위틈이 점점 벌어지고 침식되면서 독특한 지형이 만들어진다. 이 단원에서는 다른 액체와 구별되는 물의 성질을 수소 결합으로 설명하고, 용액의 농도에 따라 증기압, 끓는점, 어는점과 같은 성질이 어떻게 달라지는지 알아보자.

01 경이로운 물의 성질

02 용액의 성질

03 삼투 현상

이 단원에서 학습할 내용



이 단원의 학습 목표

- 지식·이해** 다른 액체와 구별되는 물의 성질을 수소 결합으로 설명하고, 용액의 농도에 따른 증기압, 끓는점, 어는점, 삼투 현상의 변화를 설명할 수 있다.
- 과정·기능** 실험 데이터를 이용해 용액의 농도에 따른 증기압, 끓는점, 어는점의 변화를 비교하고 농도와 삼투 현상의 관계를 찾을 수 있다.
- 가치·태도** 용액의 농도에 따른 증기압, 끓는점, 어는점의 변화와 삼투 현상이 나타나는 사례를 찾고 화학 원리가 유용하게 적용됨을 인식할 수 있다.

학습 과제를 >> 이 단원을 학습하면서 나만의 특기를 발휘한 학습 과제물을 만들어 보자.

- 62 쪽 최신 과학 이야기
- 63 쪽 화학과 나의 미래
- 68 쪽~69 쪽 프로젝트

01

경이로운 물의 성질

- 다른 액체와 구별되는 물의 성질을 수소 결합으로 설명할 수 있다.
- 경이로운 물의 성질을 예를 들어 설명할 수 있다.

“과학자들은 지구가 아닌 다른 행성에 생명체가 있는지 조사할 때 그곳에 물이 있는지 확인한다. 물이 생명체가 존재한다는 근거가 되는 까닭은 무엇일까?”



물(H₂O)은 우리 몸의 60 % 이상을 구성하고, 지구 표면의 약 70 %를 차지한다. 지구에서 생명체가 살아갈 수 있는 까닭은 지구상에 물이 존재하기 때문이다.

물 분자는 2 개의 수소(H) 원자와 1 개의 산소(O) 원자로 이루어져 있으며, 수소 원자는 부분적인 양전하(δ^+)를, 산소 원자는 부분적인 음전하(δ^-)를 띠는 극성 분자이다. 따라서 물은 이온 결합 물질과 극성 물질을 잘 녹이므로 우리 몸의 혈액 속 물은 영양소를 녹여 온몸의 세포에 전달하고, 불필요한 노폐물을 녹여 몸 밖으로 배출한다. 또 물은 몸속에서 호흡으로 에너지를 생산할 때 일어나는 화학 반응의 반응물이 되기도 하고, 몸속 pH를 조절하여 반응에 필요한 환경을 유지해 주는 역할을 하기도 한다.

물은 분자량이 비슷한 다른 분자보다 녹는점과 끓는점이 높아 지구에서 대부분 액체 상태로 존재한다. 이것은 물 분자가 이웃한 다른 물 분자와 수소 결합을 형성해 분자 간 인력이 매우 강하기 때문이다. 이 밖에도 물 분자 사이의 수소 결합은 물이 다른 물질과는 다른 여러 가지 독특한 성질을 나타내게 한다.

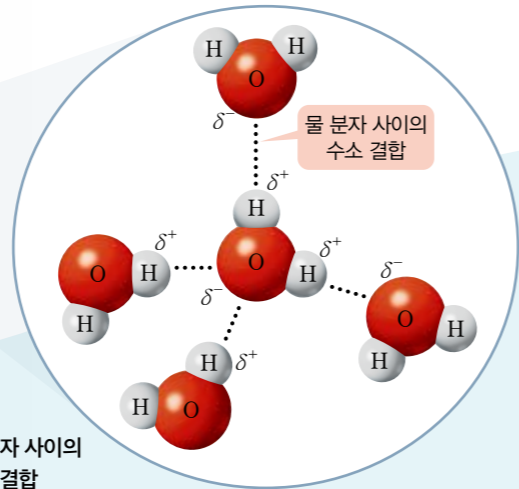


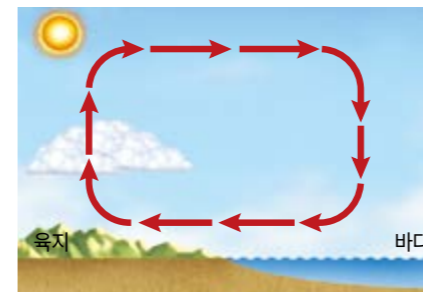
그림 II-1 물 분자 사이의 수소 결합



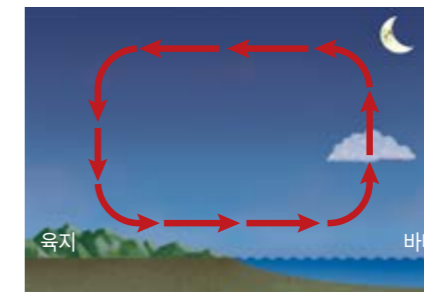
물의 비열

물은 수소 결합을 하고 있어 분자 간 인력을 끊는 데 많은 에너지가 필요하므로 다른 물질에 비해 비열이 크다. 따라서 물은 다른 물질보다 온도 변화가 작아 쉽게 데워지거나 식지 않는다.

해안가에서는 바닷물과 육지의 비열 차이가 생겨 하루를 주기로 바람의 방향이 바뀐다. 바닷물의 비열이 육지의 비열보다 크므로 낮에는 육지의 공기가 바다의 공기보다 빨리 데워져 그림 II-2처럼 바다에서 육지 쪽으로 해풍이 분다. 반대로 밤에는 육지의 공기가 바다의 공기보다 빨리 식어 육지에서 바다 쪽으로 육풍이 분다.



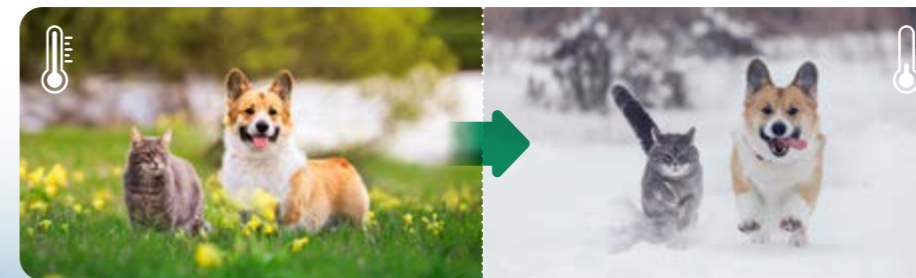
낮에는 바다에서 육지 쪽으로 해풍이 분다.



밤에는 육지에서 바다 쪽으로 육풍이 분다.

그림 II-2 바닷가의 해풍과 육풍

생명체는 외부 환경이 변해도 체온이 급격하게 변하지 않고 안정적인 상태를 유지할 수 있는데 이것은 물의 비열이 크기 때문이다. 또 지구의 평균 온도가 급격하게 바뀌지 않고 일정하게 유지되는 것도 비열이 큰 바닷물이 지구 표면의 대부분을 차지하고 있기 때문이다.



계절이 변해도 생명체들이 안정적인 상태를 유지하는 것은 물의 비열이 크기 때문이다.

지구의 평균 온도가 일정하게 유지되는 것은 비열이 큰 바닷물이 지구 표면의 대부분을 차지하기 때문이다.

확인하기

- 1 물은 (극성, 무극성) 물질이기 때문에 이온 결합 물질과 극성 물질을 잘 녹인다.
- 2 물은 다른 물질에 비해 ()이/가 크므로 쉽게 데워지거나 식지 않는다.

● 비열
어떤 물질 1g의 온도를 1℃ 높이는 데 필요한 열량이다.

여러 가지 물질의 비열

물질	비열(J/(g·℃))
물	4.2
에탄올	2.5
철	0.45
구리	0.39
공기	1.02

(자료 출처: 『CRC Handbook of Chemistry and Physics(105th ed.)』, 2024.)

물의 밀도

그림 II-3에서 고체 파라핀은 액체 파라핀 아래로 가라앉지만, 얼음은 물 위에 뜬다. 이런 차이가 나타나는 까닭은 무엇일까?



그림 II-3 파라핀과 물의 고체와 액체 상태일 때 밀도

대부분의 물질은 액체에서 고체가 될 때 분자 사이의 거리가 가까워지면서 부피가 줄어들므로 밀도가 증가한다. 반면 물이 얼음으로 될 때 물 분자는 분자 사이의 수소 결합 때문에 안쪽에 빈 공간이 있는 육각형 고리 모양으로 배열한다. 이 때문에 얼음의 부피는 물보다 커지고, 밀도는 물보다 작아져서 얼음은 물 위에 뜬다.

물의 온도가 낮아지면 물 분자 사이의 거리가 가까워지는데 4 °C일 때 물 분자 사이의 평균 거리가 가장 가깝다. 따라서 4 °C에서 물의 부피는 가장 작고, 밀도는 가장 크다. 물의 온도가 4 °C보다 더 낮아지면 물 분자 간 수소 결합을 더 많이 형성하므로 부피가 커지고 밀도는 감소한다. 온도가 더 낮아져 0 °C가 되면 물이 얼음으로 상태가 변하므로 부피가 급격히 커지고, 밀도는 급격히 감소한다.

그림 II-4 얼음과 물의 분자 배열

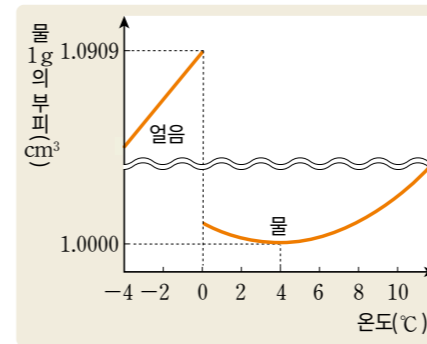
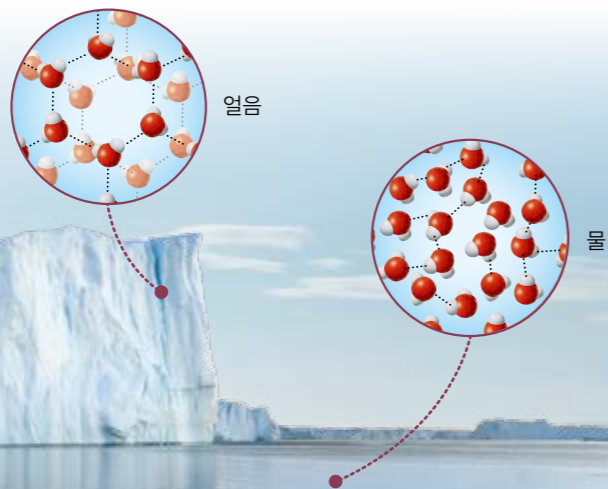


그림 II-5 온도에 따른 물의 부피

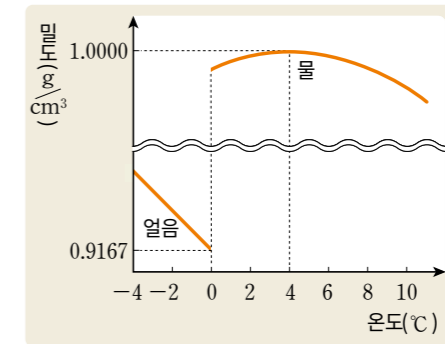


그림 II-6 온도에 따른 물의 밀도

(자료 출처: "CRC Handbook of Chemistry and Physics(105th ed.)", 2024.)

일상생활에서 물의 밀도 변화 때문에 일어나는 현상을 찾아보자.

해보기

탐구 능력 | 문제 해결 능력

물의 밀도 변화 때문에 일어나는 현상 찾아보기

1. 다음 현상이 일어나는 까닭을 온도에 따른 물의 밀도와 관련지어 설명해 보자.



겨울철에 강물은 수면부터 얼어 물고기들이 살 수 있으므로 얼음낚시를 할 수 있다.



바위틈에 스며든 물이 얼었다 녹으면서 바위가 부서진다.



2. 온도에 따른 물의 밀도와 관련된 또 다른 현상을 찾아보고, 그 까닭을 설명해 보자.



확인하기

- 1 물은 수소 결합을 하므로 물이 얼음이 될 때 밀도가 (증가한다, 감소한다).
- 2 물은 0 °C ~ 4 °C 구간에서 온도가 높아질수록 밀도가 (증가하며, 감소하며), 물의 밀도는 4 °C에서 가장 (크다, 작다).



그림 II-7 물이 가득 찬 컵

물의 표면 장력

컵에 물을 가득 채우면 컵 위로 물의 표면이 볼록하게 올라오는 것을 볼 수 있다. 이는 물 분자 사이에 작용하는 인력 때문이다. 그림 II-8과 같이 액체 내부에 있는 분자는 모든 방향으로 분자 간 인력이 작용하지만, 액체 표면의 분자는 옆과 아래 방향으로만 분자 간 인력이 작용한다. 따라서 액체 표면의 분자는 액체 내부로 끌려 들어가는 힘을 받으므로 액체는 액체 표면에 있는 분자 수를 최대한 줄여 표면적을 최소화하려는 성질을 나타낸다. 이처럼 액체가 표면적을 최소화하려는 힘을 **표면 장력**이라고 한다.

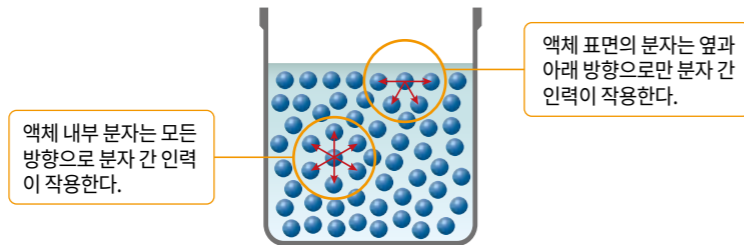


그림 II-8 액체 표면과 내부에서 분자가 받는 인력

액체는 같은 부피에서 공과 같은 구형일 때 표면적이 가장 작다. 따라서 액체 방울은 공과 같은 구형이 되려는 경향이 있고, 표면 장력이 클수록 더 둥근 모양을 나타낸다. 액체 방울의 모양을 이용해 표면 장력의 크기를 비교해 보자.

해보기

준비물

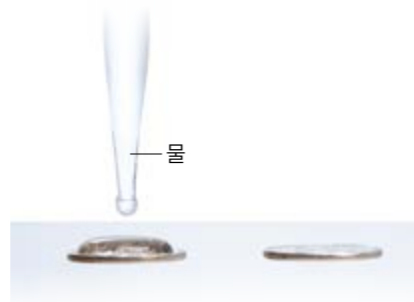
- 100 원 동전 2 개
- 물
- 에탄올
- 비커
- 스포이트
- 실험복
- 보안경
- 실험용 고무장갑

안전

- 실험할 때는 반드시 실험복, 보안경, 실험용 고무장갑을 착용한다.
- 실험 후 남은 용액은 폐수 처리 기준과 방법에 따라 처리한다.

물과 에탄올의 표면 장력 비교하기

- 스포이트를 이용해 100 원 동전 위에 물을 천천히 떨어뜨리면서 물이 흘러넘치기 전까지 물방울의 모양을 관찰하자.
- 에탄올과 또 다른 100 원 동전을 사용해 1과 같이 해 보자.



정리

- 동전에 쌓은 물방울과 에탄올 방울의 모양을 비교하여 설명해 보자.
- 실험 결과를 바탕으로 하여 물과 에탄올의 표면 장력의 크기를 비교해 보자.

물은 분자 사이에 수소 결합을 형성해 분자 간의 인력이 강하고 다른 액체보다 표면 장력이 크다. 물의 이런 성질 때문에 풀잎에 물방울이 둥글게 맺히고, 소금쟁이가 물 위로 다닐 수 있다.



풀잎에 물방울이 둥글게 맺힌다.



소금쟁이가 물에 빠지지 않고 물 위로 다닌다.

그림 II-9 물의 표면 장력이 커서 나타나는 현상

물이 든 용기에 가는 유리관을 넣으면 유리관 속 물의 높이가 용기 속 물의 높이보다 높아지는 것을 관찰할 수 있는데, 이런 현상을 **모세관 현상**이라고 한다. 모세관 현상은 관의 표면과 물 사이의 인력으로 인해 물이 관 표면에 붙고, 뒤이어 물의 표면 장력 때문에 수면이 당겨 올라가는 과정이 반복되면서 일어난다. 수건이나 종이에 물이 흡수되는 것이나, 식물 뿌리에서 흡수된 물이 줄기를 따라 위로 올라가는 것은 모두 모세관 현상으로 설명할 수 있다.

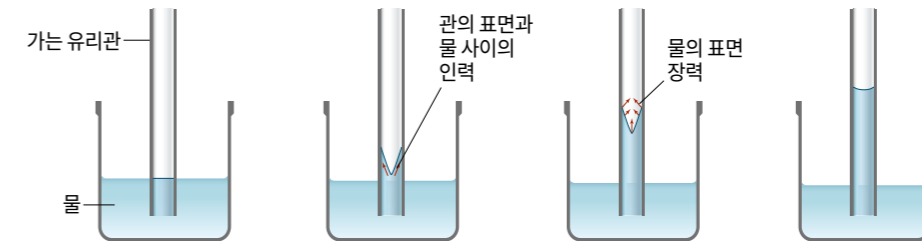


그림 II-10 모세관 현상의 원리

확인하기

- ()은/는 액체가 표면적을 최소화하려는 힘이다.
- 물은 분자 사이에 ()을/를 형성하므로 다른 액체보다 표면 장력이 크다.

소단원 마무리

창의력 키우기

물의 분자 구조가 선형이라면 우리 몸과 자연에서 일어나는 현상이 어떻게 달라질지 토의해 보자.

디지털 소양 키우기

물의 수소 결합과 관련된 자연 현상을 보여 주는 사진이나 동영상을 찾고, 공유 플랫폼을 활용하여 공유해 보자.

02

용액의 성질

- 용액의 농도에 따른 증기압, 끓는점, 어는점의 변화를 비교할 수 있다.
- 용액의 농도에 따른 증기압, 끓는점, 어는점의 변화를 일상생활에서 나타나는 사례와 관련지어 설명할 수 있다.

“ 같은 양의 물과 주스를 냉동실에 두었을 때, 물은 얼어 얼음이 되었는데 주스는 얼지 않는 경우가 있다. 주스가 물보다 잘 얼지 않는 까닭은 무엇 일까? ”



• 용액
둘 이상의 물질이 균일하게 섞여 있는 혼합물이다.

주스나 식초처럼 우리 주변에서는 물에 다른 물질이 녹아 있는 용액을 흔하게 찾아볼 수 있다. 순수한 용매와 용액의 성질은 어떻게 다른지 알아보자.

증기 압력 내림

증발과 응축이 같은 속도로 일어나 겉으로는 아무런 변화가 없는 것처럼 보이는 동적 평형 상태의 순수한 용매와 용액의 증기압은 어떤 차이가 있을까?

일정한 온도에서 같은 양의 물과 설탕물을 넣은 플라스크를 수은이 담긴 유리관으로 연결한 후 충분한 시간이 지나면 수은 기둥의 높이는 설탕물 쪽이 더 높아진다.

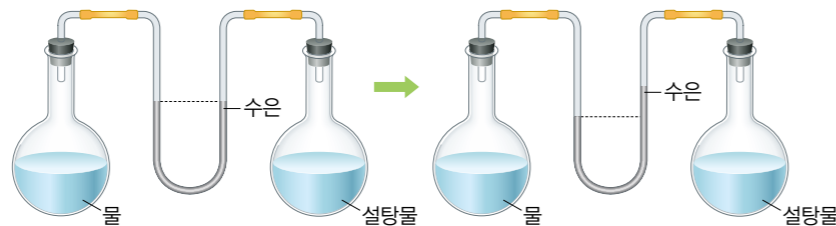


그림 II-11 물과 설탕물의 증기압 비교

설탕물처럼 비휘발성 용질이 녹아 있는 용액은 용질 입자가 용액 표면의 일부분을 차지해 순수한 용매보다 잘 증발하지 않는다. 따라서 용액의 증기압은 용매의 증기압보다 낮는데, 이러한 현상을 증기 압력 내림이라고 한다.

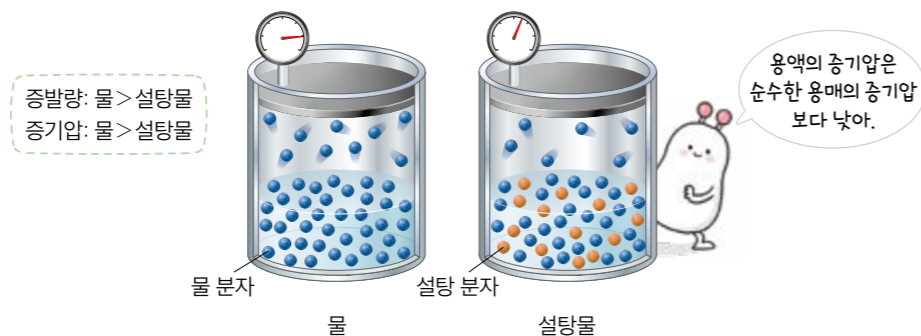


그림 II-12 물과 설탕물의 증발

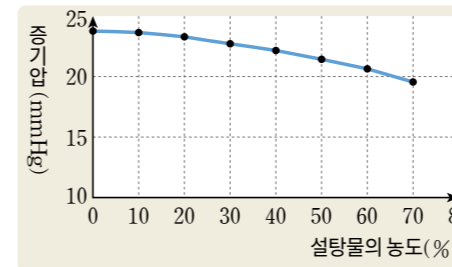
증기 압력 내림은 용액의 농도에 따라 어떻게 달라질까?

해보기

용액의 농도에 따른 증기압 비교하기

탐구 능력 | 문제 해결 능력

그림은 25 °C에서 설탕물의 농도에 따른 증기압을 나타낸 것이다.



(자료 출처: Jiao 외, 2004.)

1. 설탕물의 농도에 따라 증기압이 어떻게 변하는지 설명해 보자.



2. 설탕물의 농도가 80 %일 때 증기압이 어떻게 될지 예측해 보자.



연계 물질과 에너지

『물질과 에너지』 ‘물질의 세 가지 상태’ 단원에서 증기압(증기 압력)을 학습했다.

증기 압력 내림(ΔP)은 순수한 용매의 증기압($P_{\text{용매}}$)과 용액의 증기압($P_{\text{용액}}$)의 차로 나타낼 수 있다. 용액의 농도가 증가할수록 증기압이 낮아지므로 증기 압력 내림(ΔP)은 커진다.

라울(Raoult, F. M., 1830~1901)은 비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 묽은 용액에서 증기 압력 내림(ΔP)은 용질의 종류와 관계없이 용질의 몰분율($X_{\text{용질}}$)에 비례한다는 것을 밝혀냈다.

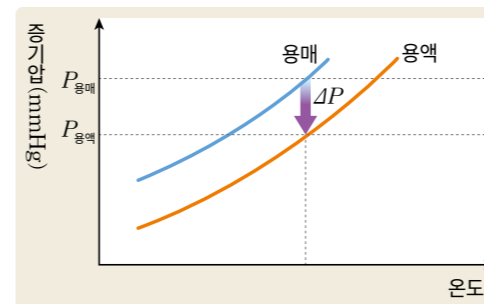


그림 II-13 용매와 용액의 증기 압력 곡선

$$\Delta P = P_{\text{용매}} - P_{\text{용액}} = P_{\text{용매}} \cdot X_{\text{용질}}$$

라울 법칙

$$P_{\text{용액}} = P_{\text{용매}} \cdot X_{\text{용매}}$$

$$\Delta P = P_{\text{용매}} - P_{\text{용액}} = P_{\text{용매}} - (P_{\text{용매}} \cdot X_{\text{용매}}) = P_{\text{용매}} (1 - X_{\text{용매}})$$

($P_{\text{용액}}$: 용액의 증기압,
 $P_{\text{용매}}$: 순수한 용매의 증기압,
 $X_{\text{용매}}$: 용매의 몰분율)
 $X_{\text{용매}} + X_{\text{용질}} = 1$ 이므로 용액의 증기 압력 내림은 다음과 같다.

$$\Delta P = P_{\text{용매}} \cdot X_{\text{용질}}$$

($X_{\text{용질}}$: 용질의 몰분율)

확인하기

- 1 비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 용액은 순수한 용매보다 증기압이 낮는데, 이러한 현상을 () (이)라고 한다.
- 2 일정한 온도에서 비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 용액의 농도가 증가할수록 증기압이 () (낮아진다, 높아진다).

끓는점 오름과 어는점 내림

1 기압에서 순수한 물은 100 °C에서 끓고, 0 °C에서 언다. 반면 설탕물과 같은 용액의 끓는점과 어는점은 농도의 영향을 받는다.

용액의 농도에 따른 끓는점과 어는점을 구할 때는 몰랄 농도를 사용한다. 몰랄 농도는 용매 1 kg에 들어 있는 용질의 양(mol)으로, 단위는 *m* 또는 mol/kg으로 나타낸다. 몰랄 농도는 일정한 용매의 질량을 기준으로 용질 입자 수를 나타내므로 온도의 영향을 받지 않는다.

$$\text{몰랄 농도}(m) = \frac{\text{용질의 양(mol)}}{\text{용매의 질량(kg)}}$$

농도에 따른 끓는점과 어는점을 측정할 때 온도에 영향을 받지 않는 몰랄 농도를 사용해.



탐구

● 탐구 수행 / 결론 도출

준비물

- 증류수
- 설탕물(0.5 *m*(몰랄 농도), 1 *m*(몰랄 농도))
- 비커
- 스포이트
- 온도 센서
- 스탠드
- 얼음과 소금
- 스마트 기기
- 보안경
- 실험용 고무장갑
- 안전 장갑
- 눈금실린더
- 약순가락
- 가열 장치
- 집게
- 시험관
- 실험복

설탕물의 농도에 따른 끓는점과 어는점 측정하기

목표

다양한 농도 조건에서 온도 센서를 이용하여 설탕물의 끓는점과 어는점을 측정할 수 있다.

과정

실험 1 설탕물의 끓는점 측정하기

1. 증류수 50 mL를 비커에 넣고 그림과 같이 장치하자.
2. 온도 센서의 데이터를 얻기 위한 프로그램을 실행하고 초기 온도를 측정하자.
3. **과정 1**의 비커를 가열하면서 온도 센서의 데이터를 수집해 시간에 따른 온도 변화 그래프를 확인하자.
4. 물이 끓기 시작하면 2 분 정도 더 온도를 측정한 후, 끓는점을 찾아 기록하자.
5. 증류수 대신 0.5 *m*(몰랄 농도) 설탕물, 1 *m*(몰랄 농도) 설탕물을 이용하여 **과정 1~4**를 각각 반복하자.

원하는 몰랄 농도의 설탕물 제조 방법

몰랄 농도는 용매 1 kg에 들어 있는 용질의 양(mol)이고, 설탕의 물질량은 342 g/mol이다.

증류수 100 g에 설탕 0.05 mol(17.1 g)을 녹인 설탕물의 몰랄 농도는 0.5 *m*(몰랄 농도)이다.

$$\frac{0.05(\text{mol})}{0.1(\text{kg})} = \frac{17.1(\text{g})}{342(\text{g/mol}) \cdot 0.1(\text{kg})} = 0.5 m$$

증류수 100 g에 설탕 0.1 mol(34.2 g)을 녹인 설탕물의 몰랄 농도는 1 *m*(몰랄 농도)이다.

$$\frac{0.1(\text{mol})}{0.1(\text{kg})} = \frac{34.2(\text{g})}{342(\text{g/mol}) \cdot 0.1(\text{kg})} = 1 m$$

실험 2 설탕물의 어는점 측정하기

1. 500 mL 비커에 얼음과 소금을 약 3:1의 질량비로 섞어 한제를 만들자.
2. 증류수 5 mL를 시험관에 넣고 그림과 같이 장치하자.
3. 온도 센서의 데이터를 얻기 위한 프로그램을 실행하고 초기 온도를 측정하자.
4. 온도 센서의 데이터를 수집해 시간에 따른 온도 변화 그래프를 확인하자.
5. 물이 얼기 시작하면 2 분 정도 더 온도를 측정한 후, 어는점을 찾아 기록하자.
6. 증류수 대신 0.5 *m*(몰랄 농도) 설탕물, 1 *m*(몰랄 농도) 설탕물을 이용하여 **과정 2~5**를 각각 반복하자.

결과

실험 1과 **실험 2**에서 얻은 끓는점과 어는점 그래프를 공유 플랫폼을 활용하여 공유하고, 농도에 따른 끓는점과 어는점을 써 보자.

구분	증류수	0.5 <i>m</i> (몰랄 농도) 설탕물	1 <i>m</i> (몰랄 농도) 설탕물
끓는점(°C)			
어는점(°C)			

정리

1. **실험 1**과 **실험 2**의 결과를 바탕으로 하여 용액의 농도와 끓는점, 어는점의 관계를 설명해 보자.
2. **창의** 1.5 *m*(몰랄 농도) 설탕물의 끓는점과 어는점을 예상해 보자.

스스로 평가하기

- | 지식·이해 | 용액의 농도와 끓는점, 어는점의 관계를 옳게 설명했는가? ☆☆☆☆☆
- | 과정·기능 | 온도 센서를 이용해 설탕물의 농도에 따른 끓는점과 어는점을 측정했는가? ☆☆☆☆☆
- | 가치·태도 | 용액의 끓는점, 어는점 변화에 관심을 갖고 실험에 적극적으로 참여했는가? ☆☆☆☆☆

안전



- 실험할 때는 반드시 실험복, 보안경, 실험용 고무장갑을 착용한다.
- 가열 장치를 다룰 때는 반드시 안전 장갑을 착용한다.

한제

두 가지 이상의 물질을 혼합해서 만드는 냉각제이다.





설탕물의 농도가 커질수록 끓는점은 높아지고, 어는점은 낮아진다. 용액의 농도와 끓는점, 어는점 사이에는 어떤 관계가 있을까?

그림 II-14와 같이 비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 용액의 증기압은 순수한 용매의 증기압보다 낮다. 따라서 용액은 순수한 용매보다 높은 온도에서 끓는데, 이러한 현상을 **끓는점 오름**이라고 한다.

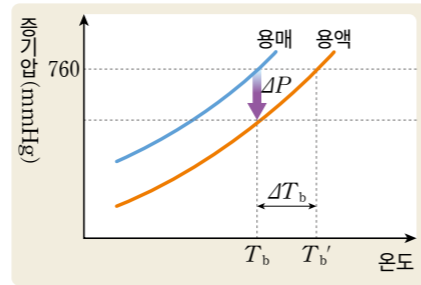


그림 II-14 용액의 증기 압력 곡선과 끓는점 오름

용액의 끓는점 오름(ΔT_b)은 용액의 끓는점(T_b')과 순수한 용매의 끓는점(T_b)의

차이다. 비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 용액의 끓는점 오름은 용질의 종류와 상관없이 용액의 몰랄 농도(m)에 비례한다.

$$\Delta T_b = K_b \cdot m \quad (K_b \text{는 몰랄 오름 상수})$$

한편 비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 용액은 순수한 용매보다 낮은 온도에서 어는데, 이러한 현상을 **어는점 내림**이라고 한다.

용액의 어는점 내림(ΔT_f)은 순수한 용매의 어는점(T_f)과 용액의 어는점(T_f')의 차이이다. 비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 용액의 어는점 내림은 끓는점 오름과 마찬가지로 용질의 종류와 상관없이 용액의 몰랄 농도(m)에 비례한다.

$$\Delta T_f = K_f \cdot m \quad (K_f \text{는 몰랄 내림 상수})$$

그림 II-15는 수용액의 끓는점 오름과 어는점 내림을 나타낸 것이다. 설탕처럼 비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 묽은 용액의 끓는점과 어는점은 용질의 종류에 관계없이 용액의 농도에만 영향을 받는다.

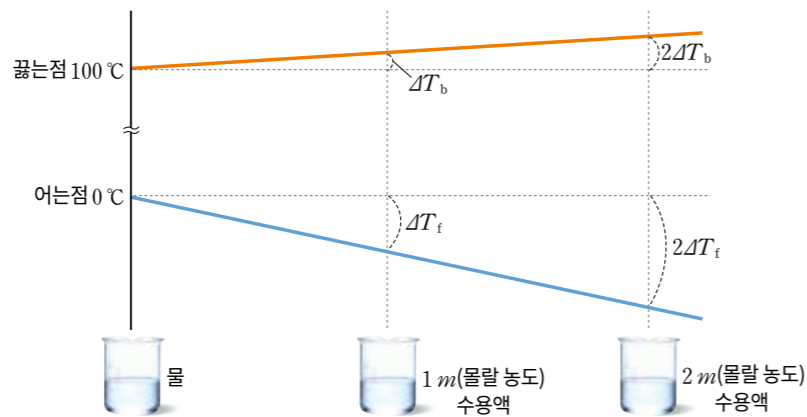


그림 II-15 비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 수용액의 몰랄 농도에 따른 끓는점과 어는점

용매의 몰랄 오름 상수

용액의 농도가 1 m(몰랄 농도)일 때 끓는점 오름 값으로 용매의 종류에 따라 다르다.

용매	끓는점 (°C)	K_b (°C·kg/mol)
물	100.0	0.51
에탄올	78.4	1.22
아세트산	118.1	3.07
벤젠	80.1	2.53

(자료 출처: Oxtoby 외, "Chemistry (8th ed.)", Cengage Learning, 2021.)

용매의 몰랄 내림 상수

용액의 농도가 1 m(몰랄 농도)일 때 어는점 내림 값으로 용매의 종류에 따라 다르다.

용매	어는점 (°C)	K_f (°C·kg/mol)
물	0.0	1.86
에탄올	-114.7	1.9
아세트산	17	3.9
벤젠	5.5	4.9

(자료 출처: Oxtoby 외, "Chemistry (8th ed.)", Cengage Learning, 2021.)

우리 주변에서는 끓는점 오름, 어는점 내림과 관련된 여러 가지 사례를 찾아볼 수 있다.

자동차 냉각수에 에틸렌 글리콜 성분이 들어 있는 부동액을 넣는다.



예 냉각수의 끓는점은 높아지고 어는점은 낮아지므로 엔진의 열기에 냉각수가 끓거나 추운 날씨에 냉각수가 어는 것을 방지한다.

개구리가 겨울잠을 잘 때 체액 속 포도당 농도가 증가한다.



도도에 제설제를 뿌리면 추운 날씨에 눈이 쌓여도 도로가 잘 얼지 않는다.

아이스크림은 -18°C 이하의 낮은 온도로 보관해야 녹지 않는다.



도도에 제설제를 뿌리면 추운 날씨에 눈이 쌓여도 도로가 잘 얼지 않는다.



그림 II-16 일상생활 속 끓는점 오름과 어는점 내림의 사례

확인하기

- 1 용매 1 kg에 들어 있는 용질의 양(mol)으로 나타낸 농도를 ()이라고 한다.
- 2 용액의 농도가 커지면 끓는점은 (높아지고, 낮아지고), 어는점은 (높아진다, 낮아진다).

소단원 마무리

창의력 키우기

얼음 창고와 아이스크림 창고 중 어느 창고의 온도가 더 낮아야 하는지 토의해 보자.

디지털 소양 키우기

제설제로 쓰이는 염화 칼슘의 문제점을 검색해 보고, 이를 개선할 수 있는 제설제를 조사해 보자.

자료 읽기

그림 II-16의 사례를 끓는점 오름, 어는점 내림을 이용하여 설명해 보자.

03

삼투 현상

- 용액의 농도에 따른 삼투 현상을 설명할 수 있다.
- 일상생활에서 삼투 현상이 나타나는 사례를 찾아 화학 원리가 유용하게 적용됨을 인식할 수 있다.

“과일청을 만들 때 빈 통에 과일과 설탕만 적당한 비율로 넣고 숙성한다. 이 때 즙을 넣지 않아도 완성된 과일청에 즙이 생기는 까닭은 무엇일까?”



식물이나 동물의 세포막은 물 분자처럼 작은 용매 입자는 통과시키지만, 설탕 분자처럼 큰 용질 입자는 통과시키지 못한다. 이처럼 입자 크기에 따라 물질이 선택적으로 통과할 수 있는 막을 **반투막**이라고 한다.

그림 II-17과 같이 반투막을 사이에 두고 농도가 서로 다른 용액이 있으면 농도가 작은 쪽에서 큰 쪽으로 용매 입자가 더 많이 이동하는데, 이러한 현상을 **삼투 현상**이라고 한다.

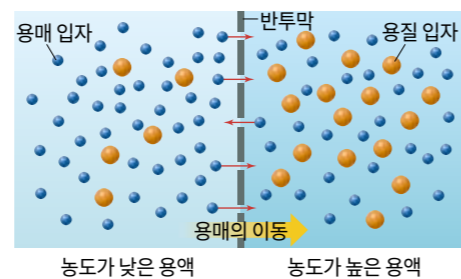


그림 II-17 삼투 현상

그림 II-18처럼 빨대 한쪽에 반투막 튜브를 연결해 만든 삼투 현상 실험 장치에 설탕물을 넣은 후 물속에 충분한 시간 동안 넣어 두면, 삼투 현상이 일어나 물이 설탕물 쪽으로 더 많이 이동한다. 따라서 반투막 튜브가 부풀어 오르고 빨대 속 물의 높이가 높아진다.

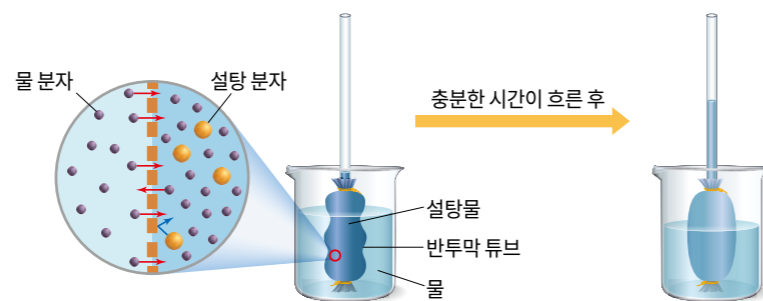


그림 II-18 삼투 현상 실험 장치

위 실험 장치를 이용해 삼투 현상이 일어나는 정도가 용액의 농도와 어떤 관계가 있는지 알아보자.

탐구

농도와 삼투 현상의 관계를 찾기 위한 실험을 설계하고 수행하기

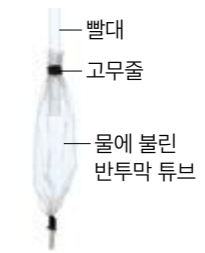
● 탐구 설계 및 수행 / 결론 도출

목표

용액의 농도와 삼투 현상의 관계를 찾을 수 있는 실험을 설계하고 수행할 수 있다.

실험 설계 및 수행

1. 물에 불린 반투막 튜브의 한쪽은 빨대에 묶고, 다른 한쪽은 새지 않게 묶어서 오른쪽과 같은 삼투 현상 실험 장치를 2 개 만들자.
2. 1의 삼투 현상 실험 장치를 이용해 용액의 농도와 삼투 현상의 관계를 알아보는 실험을 설계해 보자.



준비물

- 반투막(15 cm) 튜브 2 개
- 설탕
- 증류수
- 비커
- 전자저울
- 유리 막대
- 스포이트
- 빨대
- 고무줄
- 가위
- 스탠드
- 집게
- 실험복
- 보안경
- 실험용 고무장갑

안전

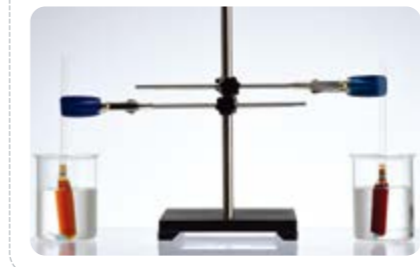


실험할 때는 반드시 실험복, 보안경, 실험용 고무장갑을 착용한다.

실험 계획서

- 삼투 현상을 비교할 설탕물의 농도
- 삼투 현상이 일어나는 정도를 비교하는 방법
- 실험 과정

실험 장치



실험 장치를 보고 실험을 설계해 보자.



스스로 평가하기

[지식·이해]
용액의 농도와 삼투 현상의 관계를 설명했는가? ☆☆☆☆☆

[과정·기능]
용액의 농도와 삼투 현상의 관계를 찾기 위한 실험을 설계하여 수행했는가? ☆☆☆☆☆

[가치·태도]
용액의 삼투 현상에 관심을 갖고 실험에 적극적으로 참여했는가? ☆☆☆☆☆

정리

관찰한 결과를 이용하여 용액의 농도와 삼투 현상의 관계를 설명해 보자.

삼투 현상은 반투막을 사이에 둔 두 용액의 농도 차이가 클수록 잘 일어난다. 예를 들어 반투막을 사이에 두고 순수한 물과 설탕물이 있을 때, 설탕물의 농도가 클수록 삼투 현상이 잘 일어나 물이 설탕물 쪽으로 더 많이 이동한다.

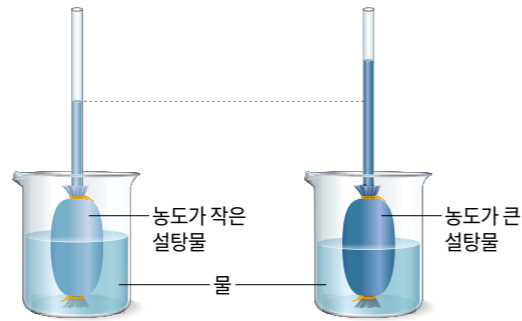


그림 II-19 용액의 농도에 따른 삼투 현상 농도가 작은 설탕물이 들어 있는 장치보다 농도가 큰 설탕물이 들어 있는 장치에서 삼투 현상이 잘 일어나므로 빨대 속 물의 높이가 더 높다.

오이를 소금물에 넣어 두면 쪼그라드는 것처럼 우리 생활 속에서 다양한 삼투 현상을 볼 수 있다. 일상생활에서 일어나는 삼투 현상을 찾아보자.

해보기 일상생활 속 삼투 현상 찾기

탐구 능력 | 문제 해결 능력

1. 다음은 주변에서 볼 수 있는 삼투 현상이다. 밑줄 친 현상이 일어나는 까닭을 삼투 현상을 이용하여 설명해 보자.



배추김치를 담글 때는 배추에 소금을 뿌려 숨을 죽인다.



식물에 비료를 너무 많이 주면 말라 죽을 수 있으므로 적당한 양만 준다.

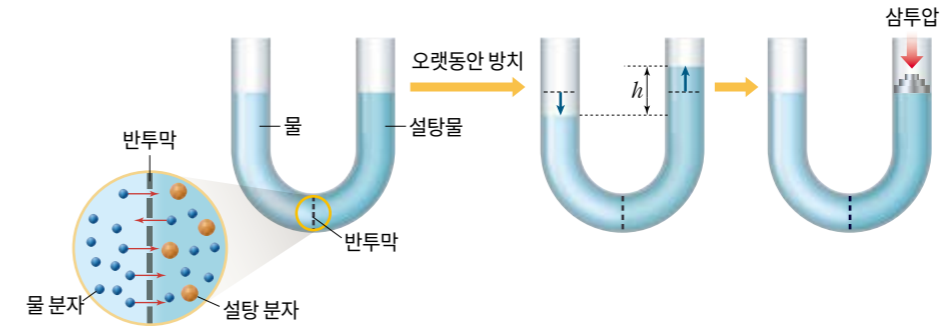


2. 또 다른 일상생활 속 삼투 현상을 찾아 설명해 보자.



자료실 삼투압

U자관의 가운데에 반투막을 설치하고 한쪽에는 물을, 다른 한쪽에는 설탕물을 넣고 충분한 시간 동안 놓아두면 삼투 현상이 일어나 물이 설탕물 쪽으로 더 많이 이동한다. 이때 삼투 현상으로 인해 설탕물 쪽으로 물을 밀어내는 압력을 삼투압이라고 한다. 삼투압의 크기는 양쪽 수면의 높이를 같게 만들기 위해 설탕물 쪽에 가해야 하는 압력과 같다.



판트호프는 비휘발성, 비전해질 용질이 녹은 용액의 삼투압(π)은 용매나 용질의 종류와 관계없이 용액의 몰농도(C)와 절대 온도(T)에 비례한다는 사실을 알아냈다.

$$\pi = CRT \quad (R \text{는 기체 상수})$$

증기 압력 내림, 끓는점 오름, 어는점 내림, 삼투압은 모두 용질의 종류와 관계없이 용액 속에 녹아 있는 용질 입자 수에 따라 결정되는 성질이다. 이것을 묽은 용액의 총괄성이라고 한다.

판트호프
(van't Hoff, J. H.,
1852~1911)

네덜란드의 화학자. 삼투압 법칙을 수립했고, 물리화학의 창시자이며, 입체화학의 기초를 확립했다. 제1회 노벨 화학상 수상자이다.

● 몰농도

용액 1 L 속에 녹아 있는 용질의 양(mol)으로, 단위는 M 또는 mol/L로 나타낸다.

$$\text{몰농도}(M) = \frac{\text{용질의 양(mol)}}{\text{용액의 부피(L)}}$$

확인하기

- 1 반투막을 사이에 놓고 농도가 서로 다른 용액이 있을 때 용매 입자는 농도가 (큰, 작은) 쪽에서 (큰, 작은) 쪽으로 더 많이 이동한다.
- 2 삼투 현상은 반투막을 사이에 둔 두 용액의 농도 차가 (클수록, 작을수록) 잘 일어난다.

소단원 마무리

창의력 키우기

꽃이 잘 상하지 않는 까닭을 삼투 현상을 이용하여 설명해 보자.

디지털 소양 키우기

생명 현상에서 삼투 현상이 일어나는 예를 조사하고, 공유 플랫폼을 활용하여 공유해 보자.

영원한 삶을 꿈꾸는 냉동 인간

영화에서 과거에 냉동된 인체가 오랜 시간이 흐른 후 깨어나는 장면을 종종 볼 수 있다. 실제로 이런 냉동 인간을 만드는 것이 가능할까?

냉동 인간의 정식 명칭은 ‘인체 냉동 보존술(cryonics)’로, 인체를 냉동해 세포가 망가지거나 노화되지 않은 채로 보존하는 것이다. 인체 냉동 보존술의 주목적은 현재 의료 기술로 치료할 수 없는 환자의 신체를 얼려서 보존한 뒤, 의료 기술이 충분히 발달한 미래에 녹여서 치료하는 것이다.

사람의 몸을 구성하는 주성분은 물이므로 인체를 그대로 냉동하면 세포나 혈액 속에 들어 있는 물이 얼면서 부피가 늘어나 세포나 혈관이 손상될 수 있다. 따라서 인체 냉동 보존술을 연구하는 과학자들은 인체에 특수한 동결 보존액을 주입해 인체 내의 물이 얼지 않게 만든다.

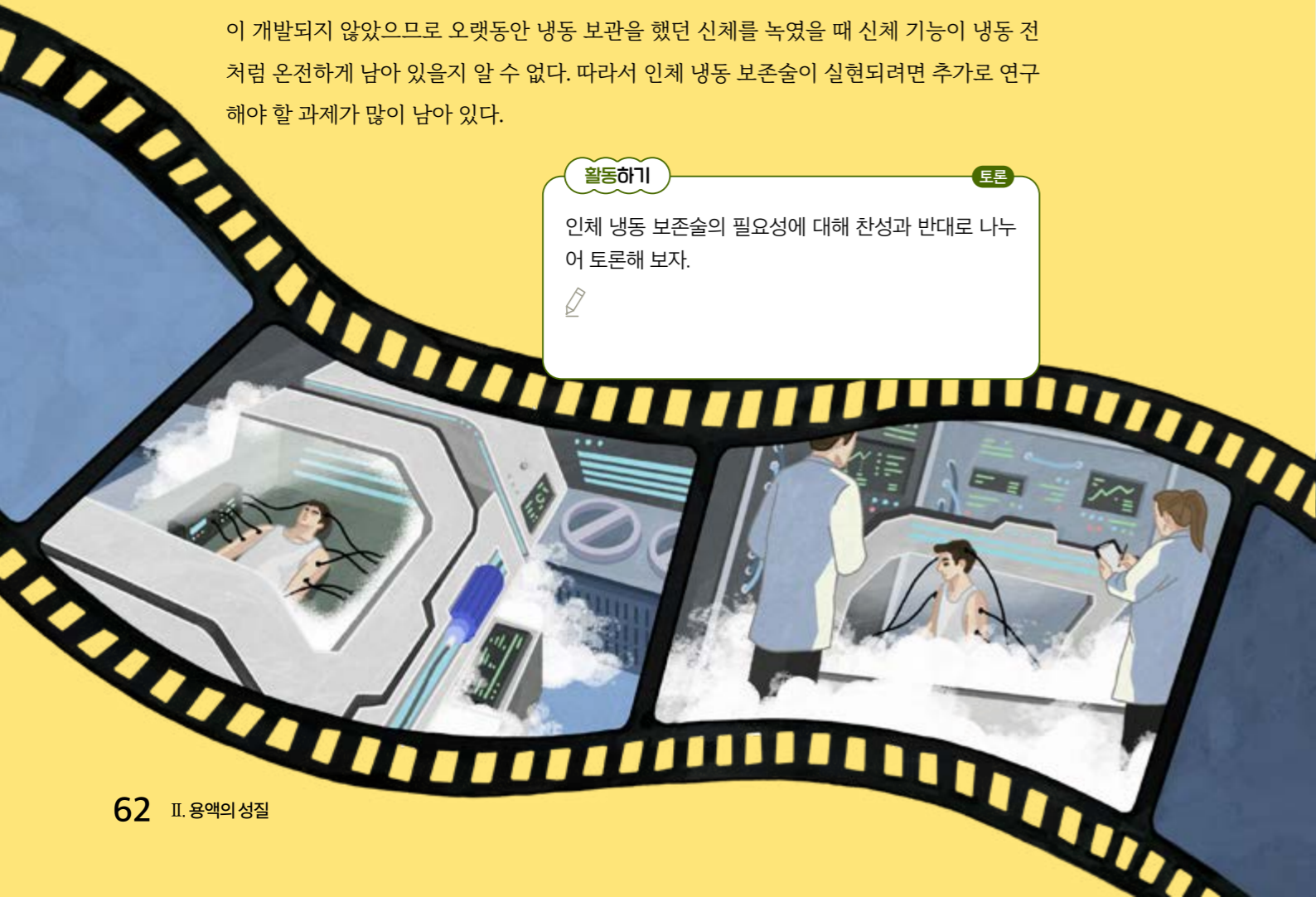
그러나 현재 이런 동결 보존액의 안전성이 확보되지 않았고, 냉동한 신체를 녹이는 기술이 개발되지 않았으므로 오랫동안 냉동 보관을 했던 신체를 녹였을 때 신체 기능이 냉동 전처럼 온전하게 남아 있을지 알 수 없다. 따라서 인체 냉동 보존술이 실현되려면 추가로 연구해야 할 과제가 많이 남아 있다.

활동하기

인체 냉동 보존술의 필요성에 대해 찬성과 반대로 나누어 토론해 보자.



토론



깨끗한 물을 책임지는 수질 환경 연구원

누리집



검색·누리집
커리어넷에서 수질
환경 연구원과 관련
된 정보를 찾아보자.

수질 환경 연구원이 하는 일은 무엇일까?

수질 환경 연구원은 상수원, 정수장, 댐, 저수지 등의 수질 정보를 분석하여 수질을 진단하고 최상의 상태로 관리하는 사람이다. 물을 정수할 때 필요한 약품을 관리하고, 새로운 수질 감시 방법을 개발하거나 상수원 인근 주민에게 수질 오염을 방지하는 법을 교육하기도 한다. 수질 환경 연구원은 정부 부처나 공공 기관뿐만 아니라 오폐수 처리 업체, 물 제조 업체, 수영장 등 물과 관련 있는 시설에서 근무할 수 있다.

수질 환경 연구원은 어떤 능력이 필요할까?

기본적으로 화학, 생명과학, 지구과학 등 자연 과학에 흥미와 소질이 있어야 하며, 실험실에서 장시간 실험하고 분석하는 일이 많으므로 꼼꼼한 관찰력, 분석력, 측정 능력이 필요하다. 또 환경 보전의 중요성을 알고 환경 문제에 지속적으로 관심을 기울여야 한다.

관련 학과 환경 과학과, 화학과, 화학 공학과 등

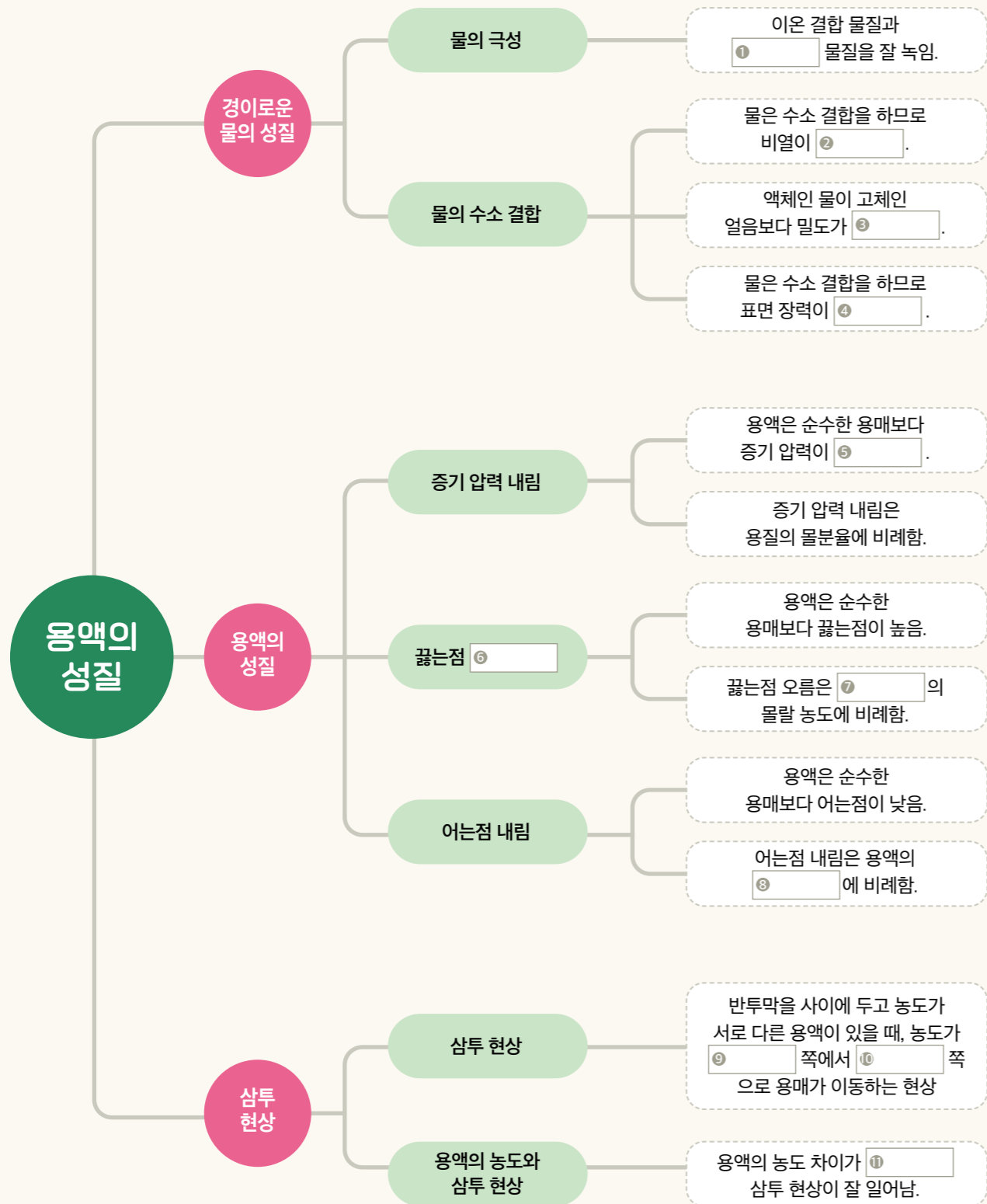
활동하기

정수장, 댐, 물을 주제로 하는 박물관 등 물과 관련된 곳을 견학해 보자.



체험



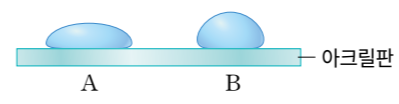


01 물에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

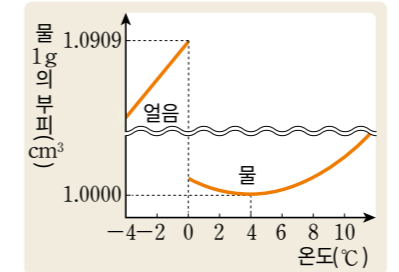
보기
 ㄱ. 물은 무극성 물질을 잘 녹인다.
 ㄴ. 물은 수소 결합을 해서 비열이 크다.
 ㄷ. 물의 비열이 커서 생명체는 외부 환경이 변해도 체온이 급격하게 변하지 않는다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
 ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02 그림은 아크릴판 위에 물과 에탄올을 각각 떨어뜨렸을 때 액체 방울의 모양을 나타낸 것이다. A와 B 중 물은 어느 것인지 쓰고, 그렇게 생각한 까닭을 설명해 보자.



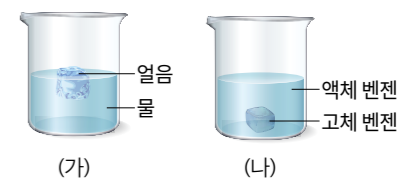
03 그림은 온도에 따른 물 1g의 부피를 나타낸 것이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 외부 압력은 1기압으로 일정하다.)



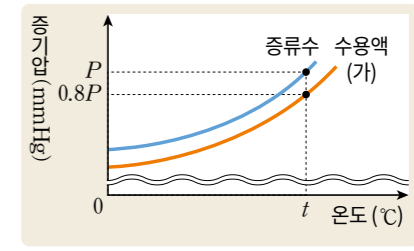
보기
 ㄱ. 물의 밀도는 4°C일 때 가장 크다.
 ㄴ. 얼음은 온도가 낮아질수록 밀도가 커진다.
 ㄷ. 물이 얼음으로 될 때 부피가 급격하게 커지는 까닭은 분자 사이의 수소 결합 때문이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
 ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04 그림 (가)는 물이 들어 있는 비커에 얼음을 넣으면 물에 뜨는 것을, (나)는 액체 벤젠에 고체 벤젠을 넣으면 가라앉는 것을 나타낸 것이다. 이러한 현상이 일어나는 까닭을 수소 결합을 이용하여 설명해 보자.



05 그림은 증류수와 수용액 (가)의 온도에 따른 증기압을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 외부 압력은 P mmHg로 일정하다.)

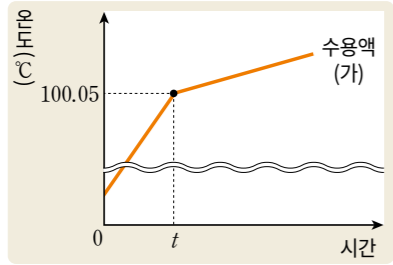
보기
 ㄱ. 온도가 t°C일 때 수용액 (가)의 증기압 내림은 0.2P mmHg이다.
 ㄴ. 끓는점에서 증류수와 수용액 (가)의 증기압은 같다.
 ㄷ. 수용액 (가)는 증류수보다 끓는점이 낮다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
 ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

06 어는점 내림에 영향을 주는 요인으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 골라 보자.

보기
 ㄱ. 용질의 종류 ㄴ. 용매의 종류
 ㄷ. 용액의 농도

07 그림은 비휘발성, 비전해질 용질 A(s)를 녹인 수용액 (가)를 일정한 열량으로 가열했을 때 시간에 따른 수용액의 온도를 나타낸 것이다. 물의 몰랄 오름 상수(K_b)는 $0.5\text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{kg/mol}$ 이다.

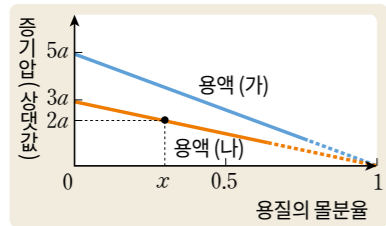


수용액 (가)에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 외부 압력은 1 기압으로 일정하고, 수용액은 라울 법칙을 따르며, 끓기 전 물의 증발은 무시한다.)

- 보기
- ㄱ. 농도는 $0.1\text{ }m$ (몰랄 농도)이다.
 - ㄴ. 시간이 지날수록 농도가 더 커진다.
 - ㄷ. t 일 때 증기압은 1 기압보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

08 그림은 일정한 온도에서 용액 (가)와 (나)의 용질의 물 분율에 따른 증기압을 나타낸 것이다. 용액 (가)와 (나)의 용매는 각각 A와 B이고, 용질은 동일하다.



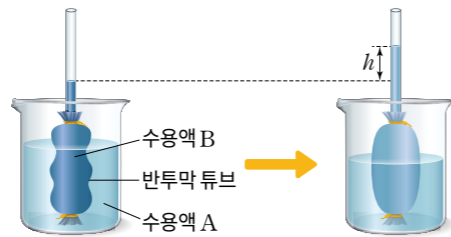
- (1) x 를 구하고 풀이 과정을 설명해 보자.
- (2) 용질의 물분율이 0.5일 때, (가)와 (나)의 증기 압력 내림을 비교해 보자.

09 삼투 현상과 관련 있는 현상을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. 김장을 하기 전 배추에 소금을 뿌려 숨을 죽인다.
 - ㄴ. 눈이 쌓인 도로에 제설제를 뿌리면 도로가 잘 얼지 않는다.
 - ㄷ. 바위틈에 스며든 물이 얼었다가 녹으면서 바위가 부서진다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

10 그림은 농도가 다른 포도당 수용액 A와 B를 각각 비커와 빨대 한쪽에 반투막 튜브를 연결해 만든 삼투 현상 실험 장치에 넣고 충분한 시간이 지났을 때 일어나는 변화를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는 일정하고, 물의 증발은 무시한다.)

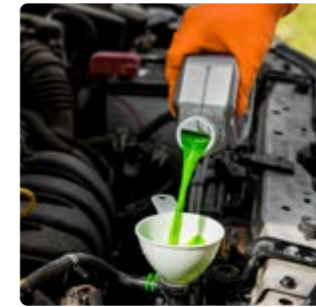
- 보기
- ㄱ. 농도는 수용액 A가 수용액 B보다 크다.
 - ㄴ. 어느점은 수용액 B가 수용액 A보다 낮다.
 - ㄷ. 반투막 튜브 안에 수용액 B보다 농도가 더 큰 수용액 C를 넣으면 h 가 더 높아진다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

11 다음은 자동차 냉각수에 대한 설명이다.

자동차의 엔진은 연료가 연소할 때 발생하는 열에너지를 운동 에너지로 전환해 자동차를 움직이는 기관이다. 이 과정에서 엔진의 온도가 높아지는데, 엔진이 과열 되면 부품이 손상되거나 화재가 일어날 수 있으므로 엔진의 온도가 일정 한도 이상 높아지지 않도록 냉각수를 사용한다. 냉각수는 과열된 기계의 열을 식히는 역할을 하는데, 자동차에서는 엔진 내부를 순환하며 열을 흡수한 후 외부로 방출해 엔진의 온도를 조절한다.

초기 자동차는 냉각수로 순수한 물을 사용했다. 그러나 순수한 물은 엔진에서 발생하는 열에너지에 의해 끓거나, 외부 온도가 매우 낮은 경우 어는 문제가 발생했다. 그래서 냉각수에 부동액을 넣어 냉각수가 끓거나 어는 것을 방지하게 되었다. 가장 널리 사용되는 부동액은 에틸렌 글리콜 또는 프로필렌 글리콜을 주성분으로 한다. 이때 냉각수에 넣어 주는 부동액의 양은 지역의 기후나 계절에 따라 조절한다.



- (1) 냉각수에 부동액을 넣는 까닭을 끓는점 오름과 어는점 내림을 이용하여 설명해 보자.
- (2) 봄과 겨울 중 냉각수에 부동액을 더 많이 넣어야 하는 계절을 쓰고, 그 까닭을 설명해 보자.

Blank area for writing answers to questions 11(1) and 11(2).

스스로 점검하기

- 지식-이해** 다른 액체와 구별되는 물의 성질을 수소 결합으로 설명하고, 용액의 농도에 따른 증기압, 끓는점, 어는점, 삼투 현상의 변화를 설명했다. ★★★★★
- 과정-기능** 실험 데이터를 이용해 용액의 농도에 따른 증기압, 끓는점, 어는점의 변화를 비교하고 농도와 삼투 현상의 관계를 찾았다. ★★★★★
- 가치-태도** 용액의 농도에 따른 증기압, 끓는점, 어는점의 변화와 삼투 현상이 나타나는 사례를 찾고 화학 원리가 유용하게 적용됨을 인식했다. ★★★★★

평가 결과가 아쉽다면 Ⅱ. 용액의 성질을 다시 한번 학습해 보시오.

글쓰기 길잡이

냉각수에 넣어 주는 부동액의 역할을 고려한다.

물의 재발견, 대체 수자원

전 세계적으로 산업이 빠르게 발전하고 인구도 많아져 물의 수요는 계속 증가하고 있지만, 사용 가능한 물의 양은 한정적이어서 수많은 국가가 물 부족 문제를 겪고 있다. 게다가 이상 기후로 인해 앞으로 이런 물 부족 문제를 겪을 나라들은 점점 더 늘어날 전망이다. 우리나라도 국토 대부분이 산이고 강수량이 여름철에 집중되어 사용 가능한 수자원의 양이 풍부하지 않은데, 이상 기후로 인한 가뭄의 빈도가 높아지고 있어 문제가 더 커지고 있다.

이러한 물 부족 문제를 해결하는 방법으로 대체 수자원이 주목받고 있다. 대체 수자원은 기존의 수자원을 사용할 수 없을 때 대신 사용 가능한 수자원을 의미한다. 대표적인 대체 수자원에는 다음과 같은 것들이 있다.



1 대체 수자원 조사하기

1. 제시된 대체 수자원 중 한 가지를 골라 어떤 과학적 원리를 이용하는지 조사해 보자.
2. 1에서 조사한 대체 수자원을 실제로 활용하고 있는 사례를 찾아보자.

가치-태도 길잡이
조사를 통해 대체 수자원의 중요성을 깨닫는다.

2 대체 수자원 알리기

1. 1에서 조사한 대체 수자원을 소개하는 발표 자료를 만들자.
2. 1에서 만든 발표 자료를 이용해 발표한 후, 대체 수자원의 중요성에 대해 이야기해 보자.
3. 우리 모둠의 활동을 평가해 보자.

내용	평가
대체 수자원에 대한 정보와 활용 사례를 잘 조사했는가?	상 중 하
발표 자료를 이해하기 쉽게 작성하고, 전달하고자 하는 내용을 정확히 발표했는가?	상 중 하
모든 모둠원이 대체 수자원을 조사하여 발표하는 활동에 적극적으로 참여했는가?	상 중 하



학습 과제물

» 이 단원의 활동 결과를 정리해 보자.

· 62 쪽 최신 과학 이야기 · 63 쪽 화학과 나의 미래 · 68 쪽~69 쪽 프로젝트

- 1 이 단원의 활동 결과를 모아 II. 용액의 성질 학습 과제물 자료로 정리해 보자.
- 2 **디지털** 공유 플랫폼을 활용해 학습 과제물을 친구들에게 공유하고, 친구들의 학습 과제물에 댓글을 달거나 '좋아요' 표시를 하면서 소통해 보자.
- 3 학습 과제물을 인쇄해 책자로 만들어 보자.





III

화학 변화의 자발성

우주 왕복선은 물질이 화학 반응을 할 때 출입하는 에너지를 이용해 추진력을 얻는다. 이처럼 물질이 화학 반응을 할 때 출입하는 에너지는 우리의 삶에 유용하게 활용된다. 이 단위에서는 화학 반응이 일어날 때 함께 일어나는 엔탈피와 엔트로피 변화를 알아보고, 엔탈피와 엔트로피 변화를 이용해 우리 주위의 반응들이 자발적으로 일어날지를 예측해 보자.

- 01 화학 반응과 엔탈피
- 02 반응 경로와 반응 엔탈피
- 03 화학 변화의 자발성

이 단원에서 학습할 내용

<p>단원 연계</p> <p>중학교 과학</p> <p>↓</p> <p>통합과학2</p> <p>↓</p> <p>물질과 에너지</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 물질의 상태 변화 • 화학 반응의 규칙성 <p>• 변화와 다양성</p> <ul style="list-style-type: none"> • 화학 변화의 자발성 	<p>이 단원의 학습 목표</p> <p>지식·이해 엔탈피와 엔트로피의 의미를 알고, 엔탈피와 엔트로피 변화로 화학 변화의 자발성을 설명할 수 있다.</p> <p>과정·기능 중화 반응 실험으로 헤스 법칙을 확인하고, 직접 측정하기 어려운 화학 반응의 반응 엔탈피를 헤스 법칙으로 구할 수 있다.</p> <p>가치·태도 주변에서 일어나는 변화를 엔탈피와 엔트로피 변화로 설명할 수 있음을 이해하여 화학의 중요성을 인식할 수 있다.</p>
---	---	--

학습 과제물 >> 이 단원을 학습하면서 나만의 특기를 발휘한 학습 과제물을 만들어 보자.

• 86 쪽 과학사 이야기 • 87 쪽 화학과 나의 미래 • 92 쪽~93 쪽 프로젝트

01

화학 반응과 엔탈피

- 엔탈피의 의미를 알고, 반응물과 생성물의 엔탈피 차이로 반응 엔탈피를 설명할 수 있다.
- 엔탈피를 이용하여 열화학 반응식을 표현할 수 있다.

“손난로에서는 열을 방출하는 반응이 일어나고, 냉각 팩에서는 열을 흡수하는 반응이 일어난다. 이처럼 화학 반응이 일어날 때 열이 출입하는 까닭은 무엇일까?”



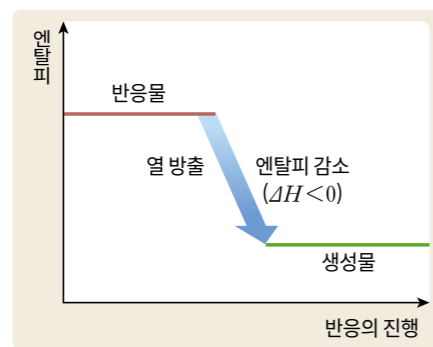
엔탈피

화학 반응이 일어날 때는 항상 열이 흡수되거나 방출되는데, 이것은 반응물과 생성물이 가진 에너지가 서로 다르기 때문이다. 이때 특정 온도와 압력에서 물질이 가지는 고유한 에너지를 **엔탈피**라고 하고, 기호 H 로 나타낸다.

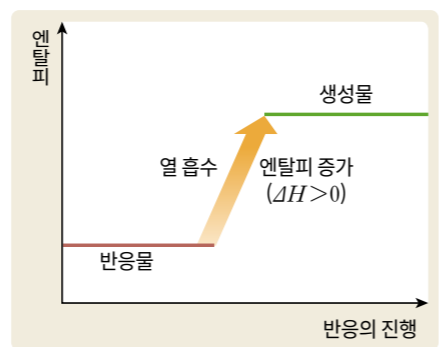
각 물질이 가진 엔탈피를 직접 측정할 수는 없지만, 일정한 압력에서 화학 반응이 일어날 때 출입하는 열을 측정하여 반응물과 생성물의 엔탈피 차이를 알 수 있다. 이를 **반응 엔탈피**(ΔH)라고 하며, 생성물의 엔탈피 합에서 반응물의 엔탈피 합을 뺀 값이다.

$$\text{반응 엔탈피}(\Delta H) = \text{생성물의 엔탈피 합} - \text{반응물의 엔탈피 합}$$

반응물의 엔탈피가 생성물의 엔탈피보다 크면 엔탈피 차이만큼의 열을 방출하는 **발열 반응**이 일어나며, 엔탈피가 감소하므로 반응 엔탈피는 음의 값이다. 반대로 생성물의 엔탈피가 반응물의 엔탈피보다 크면 엔탈피 차이만큼의 열을 흡수하는 **흡열 반응**이 일어나며, 엔탈피가 증가하므로 반응 엔탈피는 양의 값이다.



발열 반응



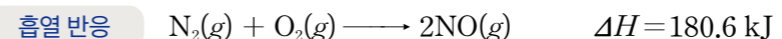
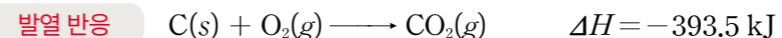
흡열 반응

그림 III-1 화학 반응에서의 엔탈피 변화

열화학 반응식

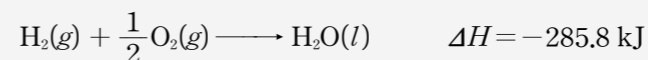
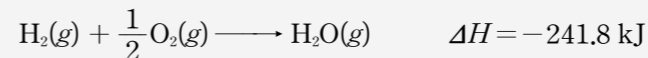
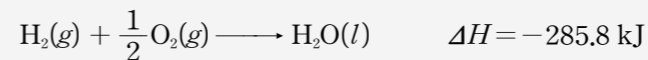
화학 반응식에 반응 엔탈피(ΔH)를 함께 나타낸 것을 **열화학 반응식**이라고 한다.

25 °C, 1 기압에서 흑연(C) 1 mol이 연소할 때 393.5 kJ의 열을 방출하고, 질소(N_2) 1 mol이 산소(O_2)와 반응하여 일산화 질소(NO)를 생성할 때 180.6 kJ의 열을 흡수한다. 이때 각 반응의 열화학 반응식은 다음과 같다.



반응 엔탈피(ΔH)는 온도, 압력, 물질의 상태, 물질의 양에 따라 달라지므로 열화학 반응식을 쓸 때는 다음과 같은 점에 유의한다.

- 1 반응 엔탈피는 온도와 압력에 따라 달라지므로 온도와 압력 조건을 표시해야 한다. 온도와 압력 조건이 표시되지 않으면 25 °C, 1 기압에서의 반응이다.
- 2 물질은 상태에 따라 엔탈피가 달라지므로 반응물과 생성물의 상태를 함께 나타내야 한다.
- 3 반응 엔탈피는 반응에 참여한 반응물의 양에 비례하므로 화학 반응식의 계수가 달라지면 반응 엔탈피의 크기도 달라진다.



물질의 상태와 엔탈피

같은 종류의 물질이라도 엔탈피는 고체 < 액체 < 기체 순으로 증가한다.

❓ 탄산 칼슘($CaCO_3$) 고체 1 mol이 분해되어 산화 칼슘(CaO) 고체와 이산화 탄소(CO_2) 기체가 생성될 때 178.3 kJ의 열을 흡수한다. 이 반응을 열화학 반응식으로 나타내 보자.

확인하기

- 1 일정한 압력과 온도에서 물질이 가지는 고유한 에너지를 ()이라고 한다.
- 2 발열 반응과 흡열 반응에서 반응물과 생성물의 엔탈피 크기를 부등호(>, <)를 사용하여 비교해 보자.

연소 엔탈피
물질 1 mol이 완전 연소할 때의 반응 엔탈피이다.

● **지속가능한 에너지 개발**
미래 세대의 필요를 충족할 수 있는 범위에서 현재 세대의 필요를 충족하는 에너지 개발이다.

화석 연료가 연소할 때 방출하는 열은 일상생활과 산업에 중요하게 사용되어 왔다. 하지만 현실로 닥친 기후 위기와 자원 고갈 등의 문제로 화석 연료를 대체할

● 지속가능한 에너지 개발이 필수적인 과제가 되었다.

반응 엔탈피로 대체 연료와 화석 연료의 효율성을 비교하고, 대체 연료가 갖추어야 할 요건을 알아보자.

탐구 능력 | 문제 해결 능력 | 의사 결정 능력

탐구

● 자료 분석·추론 / 결론 도출 / 의사소통·협업

준비물

- 스마트 기기
- 참고 도서
- 계산기

대체 연료와 화석 연료의 효율성 비교하기

목표

연소 엔탈피로 대체 연료와 화석 연료의 효율성을 비교하고, 대체 연료가 갖추어야 할 요건을 설명할 수 있다.

자료

표는 휘발유의 주성분인 옥테인(C_8H_{18})과 대체 연료로 개발되고 있는 에탄올(C_2H_5OH), 수소(H_2)에 대한 몇 가지 자료이다.

구분	옥테인	에탄올	수소
화학식	$C_8H_{18}(l)$	$C_2H_5OH(l)$	$H_2(g)$
몰당 연소 엔탈피(kJ/mol)	-5470	-1367	-285.8
밀도(g/L)(25 °C, 1 기압)	703	785	0.0813
몰질량(g/mol)	114	46	2

(자료 출처: Robinson 외, 『Chemistry(8th ed.)』, Pearson, 2020.)

과정 및 결과

1. 옥테인, 에탄올, 수소의 연소 반응을 각각 열화학 반응식으로 나타내 보자.

● **도움말** 연소 반응에서 생성물인 H_2O 는 액체 상태로 나타낸다.

✎

● 연소 생성물로 판단할 때 가장 친환경적인 연료는 어느 것인가?



2. 연료의 몰당 연소 엔탈피(kJ/mol)를 단위 질량당 연소 엔탈피(kJ/g)와 단위 부피당 연소 엔탈피(kJ/L)로 변환하여 연료의 효율성을 비교해 보자.

구분	옥테인	에탄올	수소
단위 질량당 연소 엔탈피(kJ/g)			
단위 부피당 연소 엔탈피(kJ/L)			

● 연료의 효율성을 비교하기 위해 몰당 연소 엔탈피를 단위 질량당 또는 단위 부피당 연소 엔탈피로 변환하는 까닭을 생각해 보자.



● 이 자료로 판단할 때 어느 연료가 가장 효율적이라고 할 수 있는지 이야기해 보자.



3. 대체 연료의 효율성을 판단할 때 연소 엔탈피 외에 고려할 사항은 어떤 것이 있는지 모둠별로 조사해 보자.

● **도움말** 환경 영향 및 탄소 중립, 활용 분야, 생산·저장·수송, 비용 등의 관점에서 생각해 볼 수 있다.



정리

과정 및 결과 1~3의 결과를 바탕으로 하여 옥테인, 에탄올, 수소 중 어느 연료가 가장 효율적일지 토의해 보자.

스스로 평가하기

- | 지식·이해 | 열화학 반응식을 옳게 완성했는가? ☆☆☆☆☆
- | 과정·기능 | 단위를 옳게 변환하고, 이를 이용해 연료의 효율성을 판단했는가? ☆☆☆☆☆
- | 가치·태도 | 과학적·경제적·환경적 가치를 고려해 합리적으로 의사 결정을 했는가? ☆☆☆☆☆



소단원 마무리

창의력키우기

상용화된 수소 자동차가 100 km를 달리려면 수소 기체 1 kg 정도가 필요한데, 실온, 대기압에서 그 부피는 약 12200 L나 된다. 수소 자동차의 연료 탱크에 이렇게 큰 부피의 수소 기체를 어떻게 저장할 수 있을지 생각해 보자.

디지털소양키우기

여러 가지 탄소 중립 연료를 조사하고 공유 플랫폼을 활용하여 공유해 보자.

02

반응 경로와 반응 엔탈피

- 화학 반응에서의 반응 엔탈피는 반응 경로와 관계없이 일정함을 설명할 수 있다.
- 직접 측정하기 어려운 화학 반응의 반응 엔탈피를 헤스 법칙으로 구할 수 있다.

“ 등산할 때 산의 정상에 오르는 경로는 여러 가지인데, 이때 경로가 달라 이동 거리는 다르더라도 정상까지 올라간 높이는 같다. 같은 화학 반응에서 반응 경로가 달라도 반응 엔탈피가 같을까? ”



헤스 법칙

고체 수산화 나트륨(NaOH(s)), 물(H₂O), 염산(HCl(aq))이 반응해 염화 나트륨(NaCl) 수용액을 생성하는 반응은 다음의 두 가지 경로로 일어날 수 있다.

경로 1	고체 수산화 나트륨 1 mol이 물에 녹아 수산화 나트륨 수용액이 되고, 수산화 나트륨 수용액이 염산과 반응하는 경우
①	$\text{NaOH}(s) \longrightarrow \text{NaOH}(aq) \quad \Delta H_1 = -44.5 \text{ kJ}$
②	$\text{NaOH}(aq) + \text{HCl}(aq) \longrightarrow \text{NaCl}(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) \quad \Delta H_2 = -55.8 \text{ kJ}$
경로 2	고체 수산화 나트륨 1 mol이 직접 염산과 반응하는 경우
	$\text{NaOH}(s) + \text{HCl}(aq) \longrightarrow \text{NaCl}(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) \quad \Delta H_3 = -100.3 \text{ kJ}$

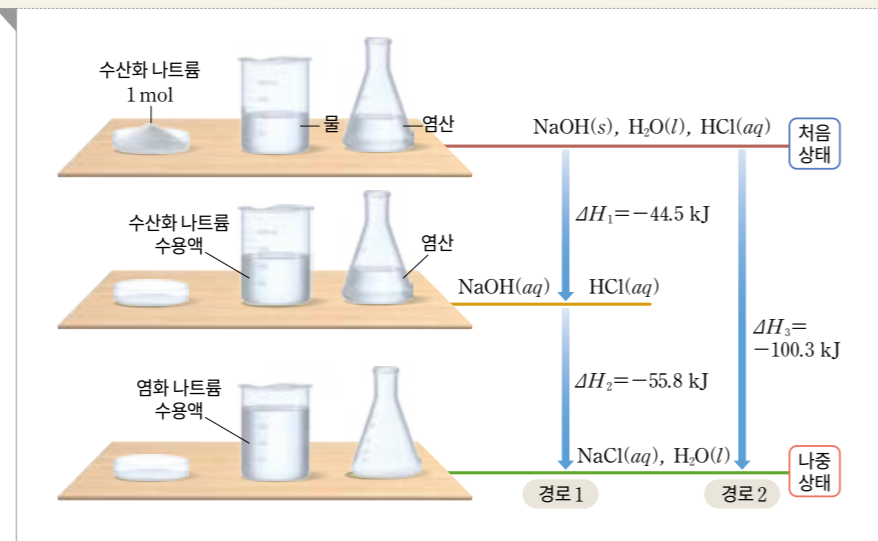


그림 III-2 수산화 나트륨과 염산의 반응에서 반응 경로와 반응 엔탈피

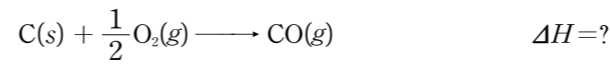
경로 1의 두 반응 ①과 ②를 합하면 경로 2의 반응과 같고, 각 반응 엔탈피 사이에는 $\Delta H_1 + \Delta H_2 = \Delta H_3$ 의 관계가 성립한다.

이처럼 화학 반응이 일어날 때 반응물의 종류와 상태, 생성물의 종류와 상태가 같으면 반응 경로와 관계없이 반응 엔탈피의 총합은 일정하다. 이를 **헤스 법칙** 또는 **총열량 불변 법칙**이라고 한다.

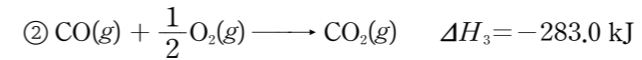
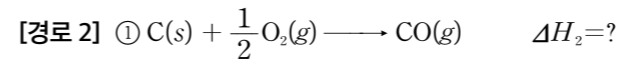
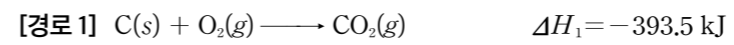
반응 엔탈피를 직접 측정하기 어려운 반응은 헤스 법칙을 이용한다. 예를 들어 흑연(C)이 불완전 연소하여 일산화 탄소(CO)가 생성될 때의 반응 엔탈피를 측정하기는 어렵지만 흑연이나 일산화 탄소가 완전 연소하여 이산화 탄소(CO₂)가 생성될 때의 반응 엔탈피는 쉽게 측정할 수 있다. 이때 헤스 법칙을 이용하면 흑연이 불완전 연소할 때의 반응 엔탈피를 구할 수 있다.

연습 해보기

흑연이 불완전 연소할 때의 반응 엔탈피를 구해 보자.



흑연이 완전 연소하는 반응은 다음의 두 가지 경로로 일어날 수 있다.

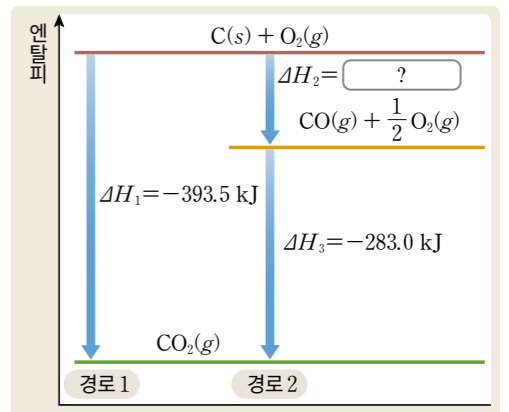


이때 [경로 1]의 반응은 [경로 2]의 두 반응을 합한 것과 같으므로 헤스 법칙에 따라 다음 관계가 성립한다.

$$\Delta H_1 = \text{①} + \text{②}$$

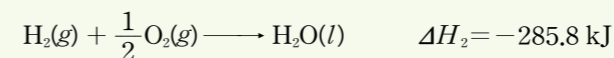
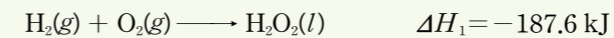
$$\Delta H_2 = \Delta H_1 - \Delta H_3 = \text{③} \text{ kJ} - (\text{④} \text{ kJ})$$

즉, C가 불완전 연소하여 CO가 생성될 때의 반응 엔탈피는 ⑤ kJ이다.



확인하기

- 1 물질이 반응할 때 반응물의 종류와 상태, 생성물의 종류와 상태가 같으면 반응 경로와 관계없이 반응 엔탈피의 총합은 일정하는데, 이를 () 법칙이라고 한다.
- 2 다음 열화학 반응식을 이용해 1 mol의 과산화 수소(H₂O₂)가 물과 산소로 분해될 때의 반응 엔탈피를 구해 보자.



헤스
(Hess, G. H., 1802~1850)
스위스 태생의 러시아 화학자. 물, 광물, 석유 등 각종 천연물 분석과 백금의 촉매 작용 등을 연구했으며, 가장 중요한 업적은 화학 반응에서 에너지가 보존됨을 밝힌 것이다.

● 열량
열에너지의 양이다.

헤스 법칙 확인하기

화학 반응에서 출입하는 열량은 열량계를 사용해 측정한다. 그림 III-3과 같은 간이 열량계에서 화학 반응이 일어날 때 열량계에 열의 출입이 없다고 가정하면, 화학 반응에서 출입하는 열이 모두 용액의 온도 변화에 사용되므로 용액의 온도 변화를 측정해 열량(Q)을 구할 수 있다.

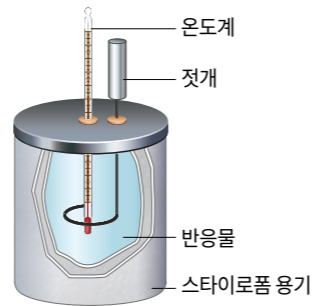


그림 III-3 간이 열량계

$$Q = c_{\text{용액}} \times m_{\text{용액}} \times \Delta t$$

($c_{\text{용액}}$: 용액의 비열, $m_{\text{용액}}$: 용액의 질량, Δt : 용액의 온도 변화)

고체 수산화 나트륨과 염산의 중화 반응을 이용해 헤스 법칙을 확인해 보자.

탐구

● 탐구 수행 / 결론 도출

탐구 능력 | 문제 해결 능력 | 의사 결정 능력

중화 반응으로 헤스 법칙 확인하기

목표

염산과 고체 수산화 나트륨의 중화 반응에서 출입하는 열량을 측정해 헤스 법칙을 확인할 수 있다.

과정

실험 1 고체 수산화 나트륨이 물에 녹아 수산화 나트륨 수용액이 되고, 이 수용액이 염산과 반응하는 [경로 1]

- 간이 열량계에 증류수 100 g을 넣고 온도(T_1)를 측정하자.
- 과정 1의 증류수에 고체 수산화 나트륨 4.0 g을 넣고 젓개로 저어 모두 녹인 후 최고 온도(T_2)를 측정하자.
- 과정 2의 용액을 실온으로 식힌 후 온도를 측정하고(T_3), 이 용액에 1.0 M 염산 100 g을 넣고 섞은 후 최고 온도(T_4)를 측정하자.



준비물

- 수산화 나트륨(NaOH(s))
- 1.0 M 염산(HCl(aq))
- 증류수
- 간이 열량계
- 비커
- 전자저울
- 온도계
- 시약포지
- 약순가락
- 젓개
- 실험복
- 보안경
- 실험용 장갑

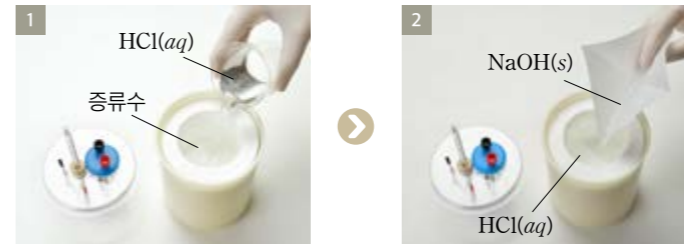
안전



- 실험할 때는 반드시 실험복, 보안경, 실험용 장갑을 착용한다.
- 수산화 나트륨은 조해성이 강하므로 시약을 덜어 낸 후 뚜껑을 빠르게 닫는다.
- 실험 후 남은 용액은 폐수 처리 기준과 방법에 따라 처리한다.

실험 2 고체 수산화 나트륨이 직접 염산과 반응하는 [경로 2]

- 간이 열량계에 증류수 100 g과 1.0 M 염산 100 g을 넣고 섞은 후 온도(T_5)를 측정하자.
- 과정 1의 염산에 고체 수산화 나트륨 4.0 g을 넣고 녹인 후 최고 온도(T_6)를 측정하자.



결과

측정한 온도를 기록하고 실험 1의 과정 2와 3, 실험 2의 과정 2에서 발생한 열량을 계산해 보자. (단, HCl(aq)의 밀도는 1 g/mL, 모든 용액의 비열은 4.2 J/(g·°C)라고 가정하고, NaOH의 몰질량은 40.0 g/mol이다.)

구분	실험 1				실험 2	
	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6
온도(°C)						
온도 변화(°C)						
발생한 열량(kJ)						
반응 엔탈피(kJ/mol)						

정리

- 실험 1의 과정 2와 3, 실험 2의 과정 2에서 일어난 변화를 열화학 반응식으로 써 보자.
- [경로 1]과 [경로 2]에서의 반응 엔탈피를 비교해 반응 경로와 반응 엔탈피의 관계를 토의해 보자.

소단원 마무리

창의력 키우기

헤스 법칙을 설명할 수 있는 다양한 비유를 들어 보자.

디지털 소양 키우기

생활 속의 반응을 한 가지 고르고, 다양한 열화학 반응식을 이용하여 반응 엔탈피를 구한 다음 공유 플랫폼을 활용하여 공유해 보자.

도움 자료

- 탐구 전에 다음 자료를 먼저 읽어 보자.
- 128 쪽~129 쪽 실험실 안전 수칙

스스로 평가하기

[지식·이해]
실험 결과로 반응 경로와 반응 엔탈피의 관계를 설명했는가?
☆☆☆☆

[과정·기능]
간이 열량계를 사용 방법에 맞게 사용하여 실험하고, 반응 엔탈피를 정확하게 계산했는가?
☆☆☆☆

[가치·태도]
실험 결과를 이해하여 헤스 법칙의 유용성을 인식했는가?
☆☆☆☆

03

화학 변화의 자발성

- 엔트로피의 의미를 설명할 수 있다.
- 엔탈피와 엔트로피 변화로 화학 변화의 자발성을 설명할 수 있다.

“ 유리병에 분홍색 사탕과 노란색 사탕을 넣고 흔들면 사탕이 무질서하게 섞인다. 계속 흔들다 보면 두 층으로 나뉠 수도 있을까? ”



자발적 변화와 엔트로피

열은 온도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동하고, 물은 위에서 아래로 흐르는 것처럼 외부의 지속적인 도움 없이 스스로 일어나는 변화를 **자발적 변화**라고 한다. 일상생활에서 관찰할 수 있는 자발적 변화의 특징을 알아보자.

비자발적 변화

물이 산소와 수소로 분해되는 현상은 자발적이지 않다. 물에 전류를 흘려 주면 분해될 수 있지만 전류가 공급되지 않으면 물은 분해되지 않는다.

해보기

자발적 변화의 특징 알아보기

탐구 능력 | 의사 결정 능력

그림은 일상생활에서 관찰할 수 있는 자발적 변화를 나타낸 것이다.



(가) 냄새가 공기 중으로 퍼져 나간다.



(나) 잉크가 물속으로 퍼져 나간다.

1. (가)와 (나)에서 일어나는 현상의 공통점을 입자의 관점에서 설명해 보자.
2. (가)와 (나)에서와는 반대로 냄새나 잉크가 한쪽으로 다시 모이는 현상이 일어날 수 있는지 토의해 보자.
3. 일상생활에서 관찰할 수 있는 자발적 변화의 예를 더 찾아보자.

냄새 분자가 공기 중으로 퍼져 나가거나 잉크 분자가 물속으로 퍼져 나갈 때 점점 더 무질서한 상태가 된다. 이처럼 무질서해지는 변화는 자발적으로 일어나지만 그 반대의 현상은 자발적으로 일어나지 않는다.



그림 III-4 자발적 변화와 비자발적 변화

오랜 기간 수많은 관찰을 통해 과학자들은 자발적 변화에서 공통적으로 엔트로피라고 부르는 성질이 증가하는 경향이 있음을 알게 되었다. 엔트로피(entropy)란 무질서도를 나타내는 척도로, 기호 S로 표시한다. 엔트로피가 증가하는 것은 질서 있는 상태에서 무질서한 상태가 되는 것을 의미한다.

자연계의 변화는 왜 무질서해지는 방향으로 진행할까? 이는 확률과 관계가 있다. 어떤 상태가 무질서해지는 것은 그 상태로 존재할 확률이 크다는 의미이다.

예를 들어 동전 4 개를 동시에 던질 때 모두 같은 면이 나올 확률보다 앞면과 뒷면이 섞여 나올 확률이 더 크며, 동전의 개수가 늘어날수록 모두 같은 면이 나올 확률에 비해 앞면과 뒷면이 섞여 나올 확률은 점차 커진다.

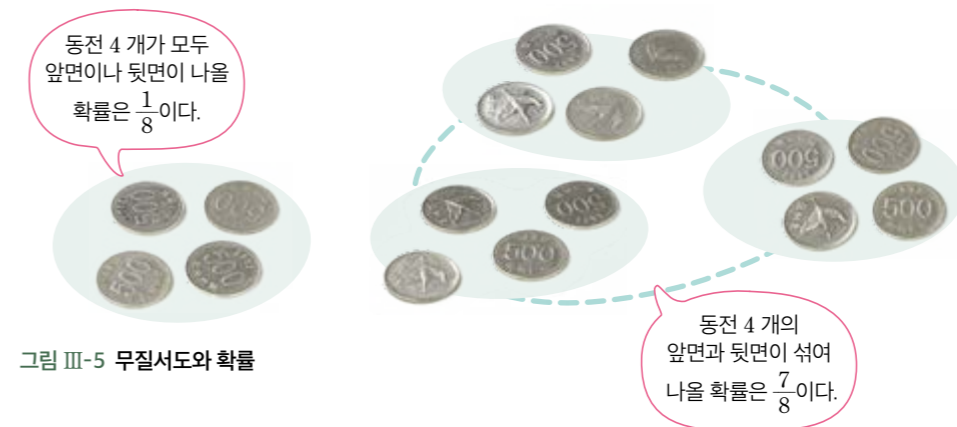


그림 III-5 무질서도와 확률

확인하기

- 1 무질서도를 나타내는 척도를 ()이라고 한다.
- 2 무질서도가 증가하면 엔트로피가 (증가한다, 감소한다)이다.

오개념 바로잡기

자발적 변화가 냄새나 잉크가 확산하는 것처럼 항상 빠르게 일어나는 것은 아니다. 철이 부식되는 것처럼 천천히 진행되는 자발적 변화도 있다.

엔트로피의 변화



↓ 엔트로피 증가



질서 있는 상태에서 무질서한 상태로 되면 엔트로피가 증가한다.

엔트로피 변화

어떤 변화가 일어날 때 엔트로피 변화(ΔS)는 최종 상태의 엔트로피에서 초기 상태의 엔트로피를 뺀 값이다.

$$\Delta S = S_{\text{최종}} - S_{\text{초기}}$$

따라서 어떤 변화에서 엔트로피가 증가하면 $\Delta S > 0$ 이고, 엔트로피가 감소하면 $\Delta S < 0$ 이다. 다음은 엔트로피가 증가하는 변화를 설명한 것이다.

>> 분자의 움직임이 활발해질 때

물질이 열을 흡수하여 온도가 높아지거나 상태 변화가 일어나면 분자 운동이 활발해져 무질서도가 증가하므로 물질의 엔트로피가 증가한다. 고체 상태에서는 분자의 배열이 규칙적이고, 액체 상태에서는 분자의 배열이 상대적으로 더 불규칙하다. 기체 상태에서는 분자가 자유롭게 움직여 가장 무질서하다. 즉, 엔트로피의 크기는 고체, 액체, 기체 순으로 증가하므로 고체가 용해하거나 액체가 기화하면 엔트로피가 증가하고, 기체가 액화하거나 액체가 응고하면 엔트로피가 감소한다.

드라이아이스의 승화와 엔트로피 변화



드라이아이스가 승화할 때는 엔트로피가 크게 증가한다.

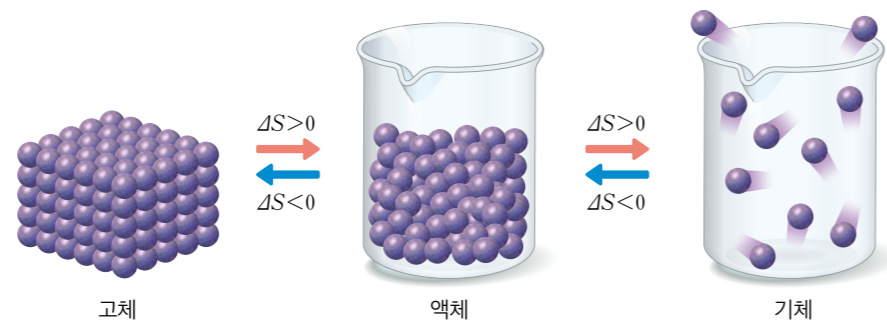


그림 III-6 물질의 상태와 엔트로피 변화

>> 순수한 두 물질이 섞일 때

순수한 두 물질이 섞이면 무질서도가 커지므로 엔트로피는 증가한다.

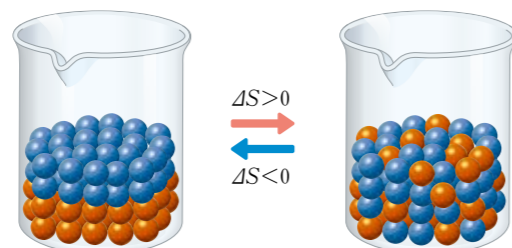


그림 III-7 두 물질이 섞일 때의 엔트로피 변화

예를 들어 설탕이 물에 녹을 때는 설탕 분자가 더 넓은 공간으로 퍼지므로 무질서해진다. 이처럼 고체나 액체의 용해 과정에서는 엔트로피가 증가한다. 또 입자들이 농도나 밀도 차에 의해 액체나 기체 속으로 확산할 때도 엔트로피가 증가한다.

오개념 바로잡기

용해 과정에서 엔트로피가 항상 증가하는 것은 아니다. 기체가 용해하는 과정에서는 엔트로피가 감소한다.

>> 입자 수가 증가할 때

화학 반응에서 입자 수가 증가하면 엔트로피가 증가한다. 특히 기체의 엔트로피는 액체나 고체의 엔트로피보다 훨씬 크기 때문에 화학 반응에서 기체 분자 수의 증가는 액체나 고체 분자 수의 증가에 비해 엔트로피 증가에 매우 큰 영향을 미친다. 예를 들어 탄산 칼슘의 열분해 반응이 일어나면 탄산 칼슘 고체가 분해되면서 입자 수가 증가하고, 기체인 이산화 탄소가 생성되므로 엔트로피가 크게 증가한다.

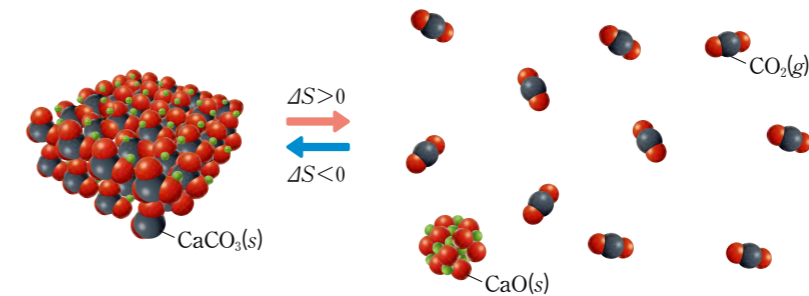
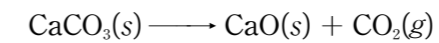


그림 III-8 입자 수가 증가할 때의 엔트로피 변화

엔트로피(S)와 물질의 양
엔트로피는 물질의 양에 의존하는 성질로, 분자의 수 또는 물질의 양이 늘어나면 엔트로피는 증가한다.

해보기

엔트로피 변화의 부호 예측하기

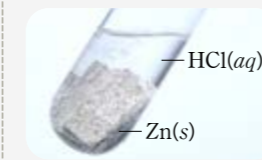
탐구 능력

다음 변화가 일어날 때 엔트로피가 어떻게 변하는지 쓰고, 그렇게 답한 까닭을 써 보자.

공기 중의 수증기가 얼어 눈 결정이 된다.



아연과 염산이 반응하여 수소 기체가 발생한다.



질소와 수소를 반응시켜 암모니아를 합성한다.



확인하기

- 1 에탄올이 증발하는 것은 엔트로피가 (증가하는, 감소하는) 변화이다.
- 2 $2A(g) \longrightarrow 2B(g) + C(g)$ 의 반응에서 엔트로피 변화(ΔS)의 부호를 예측해 보자.

물질은 엔탈피가 낮을수록 안정해.



계와 주위

관심의 대상이 되는 반응이 직접 일어나는 영역 또는 물질을 계라고 하고, 계를 제외한 외부의 모든 영역을 주위라고 한다. 여기에서는 반응에 관여하는 물질, 또는 계에 관한 엔탈피와 엔트로피만을 다룬다.

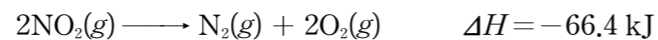
화학 변화의 자발성

화학 반응이 일어나면 물질이 가진 엔탈피와 엔트로피가 달라지는데, 자발적 변화는 반응에 관여하는 물질의 엔탈피, 엔트로피 변화와 어떤 관계가 있을까?

자연계에서 일어나는 변화는 물질이 안정해지면서 엔탈피를 낮추려는 방향($\Delta H < 0$)과 무질서한 상태로 변하면서 엔트로피를 높이려는 방향($\Delta S > 0$)으로 진행하려는 경향을 가지므로, 이 두 가지 요인이 함께 작용하여 특정한 반응의 자발성을 결정한다.

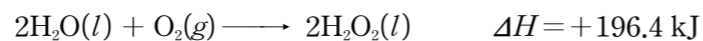
>> 엔탈피와 엔트로피 변화가 모두 자발성에 유리하거나 불리한 반응

- 엔탈피와 엔트로피 변화가 모두 자발성에 유리한 반응: 다음은 이산화 질소(NO_2)가 질소(N_2)와 산소(O_2)로 분해되는 반응이다.



이 반응에서 엔탈피는 감소하고($\Delta H < 0$), 기체 분자 수가 증가하여 무질서도가 증가하므로 엔트로피는 증가한다($\Delta S > 0$). 따라서 이 반응은 항상 자발적이다.

- 엔탈피와 엔트로피 변화가 모두 자발성에 불리한 반응: 다음은 물과 산소가 반응해 과산화 수소가 생성되는 반응이다.



이 반응에서 엔탈피는 증가하고($\Delta H > 0$), 반응이 진행될수록 기체의 양이 줄어들어 엔트로피가 크게 감소한다($\Delta S < 0$). 따라서 이 반응은 항상 비자발적이다.

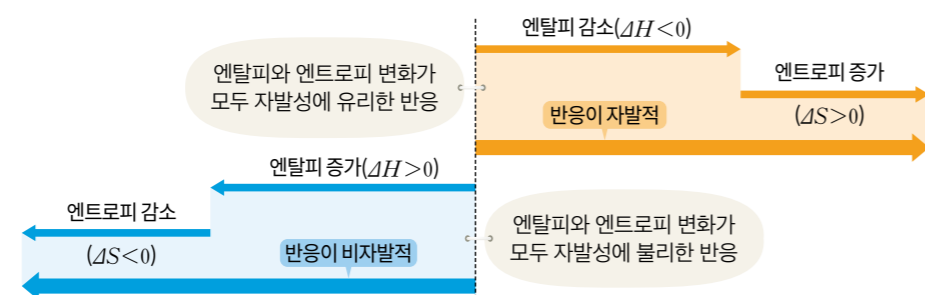
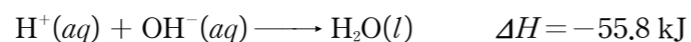


그림 III-9 엔탈피와 엔트로피 변화가 모두 자발성에 유리하거나 불리한 반응

>> 엔탈피와 엔트로피 변화 중 한 가지 요인만 자발성에 유리한 반응

- 엔탈피 변화가 자발성에 유리한 반응: 다음은 산과 염기가 중화 반응을 해 물을 생성하는 반응이다.



이 반응에서는 전체 입자 수가 감소하여 엔트로피가 감소하지만($\Delta S < 0$), 엔탈피가 더 크게 낮아지므로($\Delta H < 0$) 반응이 자발적으로 일어난다. 이처럼 엔탈피를 낮추려는 경향이 엔트로피가 감소하는 경향보다 큰 경우 반응이 자발적으로 일어난다.

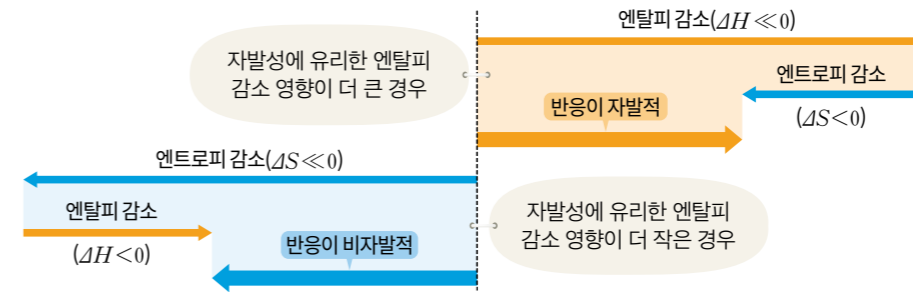
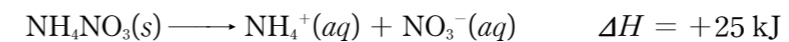


그림 III-10 엔탈피 변화가 자발성에 유리한 반응

- 엔트로피 변화가 자발성에 유리한 반응: 휴대용 냉각 팩 속에서는 질산 암모늄이 자발적으로 물에 용해되는 반응이 일어난다.



이 반응에서 엔탈피는 증가하지만($\Delta H > 0$), 입자 수가 증가하고 이온들이 물 분자에 섞여 들어가면서 입자 운동이 자유로워지므로 엔트로피가 크게 증가한다($\Delta S > 0$). 이처럼 엔트로피를 높이려는 경향이 엔탈피가 증가하는 경향보다 큰 경우 반응이 자발적으로 일어난다.

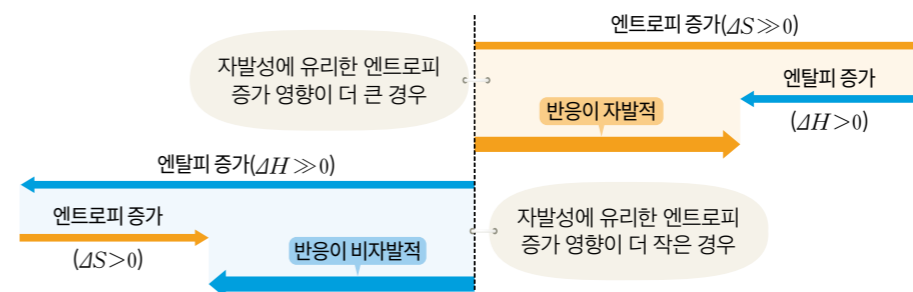


그림 III-11 엔트로피 변화가 자발성에 유리한 반응

확인하기

- 1 엔트로피는 증가하고 엔탈피가 감소하는 반응은 항상 (자발적이다, 비자발적이다).
- 2 다음 반응의 자발성을 판단해 보자.



소단원 마무리

창의력 키우기

시약용이나 소독용 과산화 수소에는 과산화 수소의 분해를 늦추는 물질인 인산을 첨가하기도 한다. 이처럼 과산화 수소에 인산을 첨가하는 까닭을 화학 반응의 자발성을 이용하여 설명해 보자.

디지털 소양 키우기

일상생활 속에서 엔트로피가 증가하는 변화를 찾아 사진을 찍고, 공유 플랫폼을 활용하여 공유해 보자.

'열은 더운 곳에서 찬 곳으로만 흐른다' 엔트로피의 탄생

1824

엔트로피(entropy)라는 개념이 탄생했을 때는 이미 산업 혁명이 일어나 "열이 일을 할 수 있다."라는 생각이 매우 중요해진 시기였다. 프랑스의 과학자인 카르노는 이 생각을 구현한 증기 기관에 큰 관심을 가졌고, 열이 일로 변환되는 과정에서 열 손실은 반드시 일어나므로 발생한 열을 일로 완전히 변환하는 것은 불가능하다는 것을 알게 되었다.



카르노
(Carnot, N. L. S.,
1796~1832)

열이 고온의 물체에서 저온의 물체로 이동할 때 일을 할 수 없어.

1877

이후 맥스웰과 볼츠만은 이러한 엔트로피의 개념을 통계적, 확률적으로 해석했다.



볼츠만
(Boltzmann, L. E.,
1844~1906)

분자 상태는 존재할 확률이 낮은 상태에서 존재할 확률이 높은 상태로 변해!

1865

이러한 카르노의 연구로부터 영감을 받은 독일의 물리학자 클라우지우스는 1850년 열역학 제일법칙과 제이법칙의 내용이 들어 있는 논문을 발표했는데, 이 논문에는 "열은 찬 곳에서 더운 곳으로 스스로 이동할 수 없다."라는 매우 유명한 진술이 담겨 있다.

1865년 클라우지우스는 열역학 법칙을 포괄적으로 설명하기 위해 엔트로피라는 새로운 물리량을 제안했다. 그는 열역학 법칙을 "우주의 에너지는 일정하며, 우주의 엔트로피는 최댓값을 향해 증가한다."라고 정리했다.

자연계의 변화는 엔트로피가 증가하는 방향으로 일어난다!



클라우지우스
(Clausius, R. J. E.,
1822~1888)

활동하기

열역학의 발전에 기여한 과학자들과 그 업적을 조사하고 연대표를 만들어 보자.

조사



지구를 살리는 착한 에너지를 찾는 에너지공학 기술자

누리집



검색·누리집

한국에너지기술연구원에서 에너지공학 기술자와 관련된 정보를 찾아보자.

에너지공학 기술자가 하는 일은 무엇일까?

에너지공학 기술자는 친환경적이고 경제적인 에너지를 생산하고 활용할 수 있도록 다양한 기술을 개발하는 일을 한다. 태양광, 풍력, 바이오에너지 등 폭넓은 에너지 분야에서 기술상의 조건을 분석하며 이에 필요한 시스템 및 장비를 설계, 계획, 조직화한다. 또 원자력 에너지나 해양 에너지, 폐기물 에너지, 화석 연료 청정화 분야 등에서 연구를 진행하고, 에너지 효율 진단이나 탄소 배출권 거래 등의 업무를 하기도 한다.

에너지공학 기술자는 어떤 능력이 필요할까?

에너지공학 기술자는 자원 과학 및 공학 전반에 대한 지식이 있어야 하며, 새로운 연구에 대한 호기심과 연구 기획 능력, 그리고 지속적으로 연구 개발을 추진하는 추진력을 갖추어야 한다. 협업으로 진행되는 에너지 자원 개발 연구를 수행하기 위해서는 의사소통 능력도 중요하다.

관련 학과

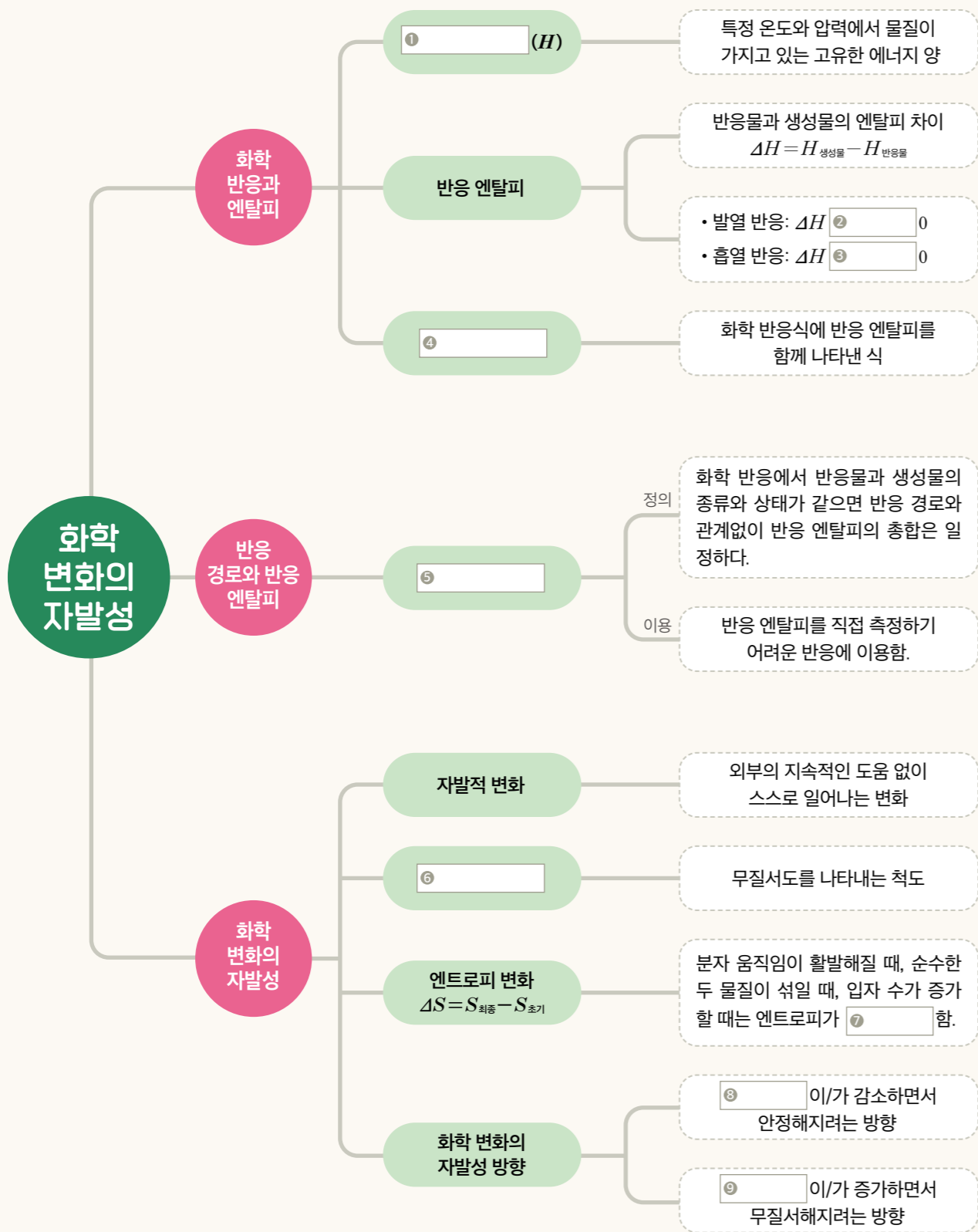
에너지공학과, 전기공학과, 전자공학과, 화학공학과, 재료공학과, 신소재공학과 등

활동하기

조사

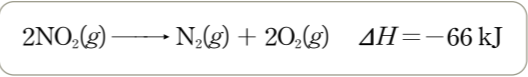
한국에너지기술연구원 등 에너지 기술을 연구하는 다양한 국책 연구소 누리집에 접속해 에너지공학 기술자들이 하는 연구를 찾아보자.





01. 화학 반응과 엔탈피

01 다음은 이산화 질소(NO_2)가 질소(N_2)와 산소(O_2)로 분해되는 반응의 열화학 반응식이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

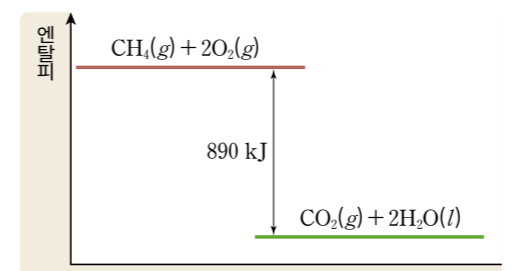
보기

- ㄱ. $\text{NO}_2(g)$ 분해 반응은 발열 반응이다.
- ㄴ. 반응물의 엔탈피는 생성물의 엔탈피 합보다 크다.
- ㄷ. 1 mol의 $\text{NO}_2(g)$ 가 분해되면 66 kJ의 열을 방출한다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
 ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

01. 화학 반응과 엔탈피

02 그림은 메테인(CH_4) 연소 반응의 엔탈피 변화를 나타낸 것이다.



25 °C, 1 기압에서 CH_4 2 L가 연소할 때 방출하는 열 에너지(kJ)를 소수 첫째 자리까지 구해 보자. (단, CH_4 의 물질량은 16 g/mol이고, 25 °C, 1 기압에서 CH_4 의 밀도는 0.7 g/L라고 가정한다.)

01. 화학 반응과 엔탈피

03 열화학 반응식으로 알 수 있는 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 반응물의 상태 ㄴ. 생성물의 질량
- ㄷ. 반응물의 엔탈피 ㄹ. 반응 엔탈피의 크기

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

서술형 01. 화학 반응과 엔탈피

04 버스와 같은 일부 차량에서는 액화된 프로페인(C_3H_8)을 연료로 사용한다. 표는 프로페인과 대체 연료 중 하나인 에탄올($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)에 대한 자료이다.

구분	프로페인	에탄올
물질량(g/mol)	44	46
연소 엔탈피(kJ/mol)	-2220	-1367

프로페인과 에탄올의 단위 질량당 연소 엔탈피(kJ/g)를 비교해 보고, 이를 근거로 하여 어떤 연료가 효율성이 큰지 설명해 보자.

02. 반응 경로와 반응 엔탈피

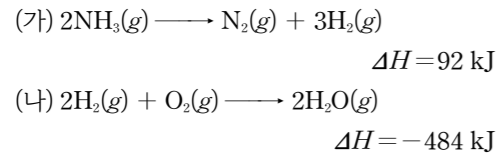
05 (가)~(다)는 물질 A~D가 관여하는 몇 가지 열화학 반응식이다.

(가) $\text{A}(g) \longrightarrow \text{B}(g) \quad \Delta H = a \text{ kJ}$
 (나) $2\text{C}(g) \longrightarrow 3\text{B}(g) \quad \Delta H = b \text{ kJ}$
 (다) $\text{D}(g) \longrightarrow \text{C}(g) \quad \Delta H = c \text{ kJ}$

$3\text{A}(g) \longrightarrow 2\text{D}(g)$ 의 반응 엔탈피(ΔH)를 a, b, c 를 이용하여 식으로 옳게 나타낸 것은?

- ① $a+2b-c$ ② $2a+b-2c$
 ③ $a+2b-2c$ ④ $3a-b+2c$
 ⑤ $3a-b-2c$

06 (가)는 암모니아(NH₃) 분해 반응, (나)는 수소(H₂) 연소 반응의 열화학 반응식이다.



$\text{N}_2(g) + 3\text{H}_2\text{O}(g) \longrightarrow \frac{3}{2}\text{O}_2(g) + 2\text{NH}_3(g)$ 의 반응 엔탈피(kJ)를 구해 보자.

07 다음은 수산화 나트륨 수용액과 묽은 염산이 중화할 때의 반응 엔탈피를 구하는 실험이다.

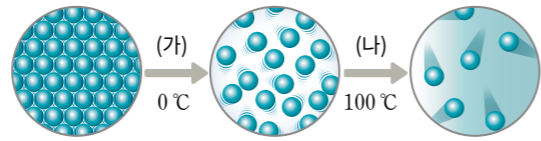
[실험 과정]
 (가) 1.0 M 수산화 나트륨 수용액(NaOH(aq)) 50 mL와 1.0 M 묽은 염산(HCl(aq)) 50 mL를 준비하고 각각의 온도를 측정한다.
 (나) 열량계에서 두 용액을 섞은 후 최고 온도를 측정한다.
 [실험 결과]
 • 두 용액의 처음 온도: 24.2 °C
 • 반응 후 혼합 용액의 최종 온도: 30.7 °C

실험 결과를 바탕으로 하여 수산화 나트륨 수용액과 묽은 염산의 중화 반응의 열화학 반응식을 구해 보자. (단, 모든 용액의 밀도는 1 g/mL, 비열은 4.2 J/(g·°C) 이고, 혼합에 의한 용액의 부피 변화와 열량계의 열 손실은 없다.)

08 엔트로피에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

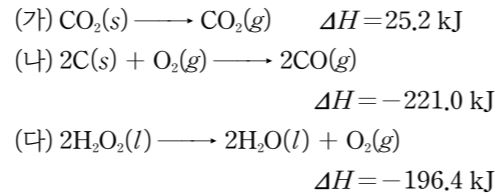
- ① 무질서도를 나타내는 척도이다.
- ② 엔트로피의 크기는 물질의 양과 관계가 없다.
- ③ 순수한 두 물질이 섞일 때 엔트로피가 증가한다.
- ④ 온도가 높아져 분자 운동이 활발해지면 엔트로피가 증가한다.
- ⑤ 기체가 더 넓은 공간으로 퍼져 나갈 때 엔트로피가 증가한다.

09 그림은 1 기압에서 얼음을 가열할 때 나타나는 상태 변화를 모형으로 나타낸 것이다.



과정 (가)와 (나)의 엔트로피 변화 $\Delta S_{(가)}$ 와 $\Delta S_{(나)}$ 의 크기를 등호 또는 부등호(>, =, <)를 사용하여 비교해 보자. (단, 비교하는 물질의 질량은 같다.)

10 (가)~(다)는 우리 주위에서 볼 수 있는 반응의 열화학 반응식이다.



반응 (가)~(다)에서 나타나는 공통적인 성질로 옳은 것은?

- ① 흡열 반응이다.
- ② 엔탈피가 감소한다.
- ③ 엔트로피가 증가한다.
- ④ 비자발적인 반응이다.
- ⑤ 기체 입자 수가 감소한다.

11 휴대용 냉각 팩 속에서 질산 암모늄이 물에 용해되는 반응은 흡열 반응이며, 자발적으로 일어난다. 이 반응에서 나타나는 엔트로피 변화를 입자 관점에서 설명하고, 이를 근거로 흡열 반응이 어떻게 자발적으로 일어날 수 있는지 설명해 보자.

과학 글쓰기

12 다음은 수소 연료와 관련된 자료의 일부이다.

수소(H₂) 기체 1 g당 연소 엔탈피는 메테인의 2.5 배이고, 수소가 연소하면 물만 생성되므로 대체 연료로 수소가 떠오르고 있다. 하지만 수소가 대체 연료로 활용되기 위해서는 생산, 저장, 운송 등의 문제를 해결해야 한다.

수소는 지구상에 매우 풍부하게 존재하지만, 수소 기체 상태로는 거의 존재하지 않는다. 현재 수소 기체는 주로 천연가스를 고온의 수증기와 반응시키거나 물을 전기 분해 하여 얻는데, 두 반응 모두 흡열 반응이므로 수소를 생산하는 데 많은 에너지가 소모되어 경제성이 없다.

수소의 저장 및 수송에도 해결해야 할 여러 가지 문제가 있다. 그중 하나는 수소의 단위 부피당 연소 엔탈피가 상대적으로 작다는 것이다. 단위 질량당 연소 엔탈피는 수소가 메테인보다 훨씬 크지만, 단위 부피당 연소 엔탈피는 메테인의 $\frac{1}{3}$ 정도이다. 또 자동차가 80 L의 휘발유를 사용해 주행할 수 있는 거리를 수소 연료를 사용해 주행하려면 1 기압에서 약 24000 L들이의 큰 수소 기체 저장 탱크가 필요하다. 따라서 수소 기체를 활용하기 위해 수소 기체를 액화하거나 금속 표면에 수소를 흡착시켜 금속 수소화물을 생성하는 방법을 연구하고 있다.

- (1) 수소의 연소 생성물이 무엇인지 써 보자.
- (2) 수소를 연료로 이용하는 것의 장점과 문제점을 설명해 보자.

스스로 점검하기

- 지식-이해** 엔탈피와 엔트로피의 의미를 알고, 엔탈피와 엔트로피 변화로 화학 변화의 자발성을 설명했다. ★★★★★
- 과정-기능** 중화 반응 실험으로 헤스 법칙을 확인하고, 직접 측정하기 어려운 화학 반응의 반응 엔탈피를 헤스 법칙으로 구했다. ★★★★★
- 가치-태도** 주변에서 일어나는 변화를 엔탈피와 엔트로피 변화로 설명할 수 있음을 이해하여 화학의 중요성을 인식했다. ★★★★★

평가 결과가 아쉽다면 Ⅲ. 화학 변화의 자발성을 다시 한번 학습해 보시오.

글쓰기 길잡이

수소가 대체 연료로 사용되기 위해 생산, 저장, 운송의 문제를 어떻게 해결해야 하는지 정리한다.

저엔트로피 사회를 향하여

“쏟아진 물을 다시 컵에 담을 수 있을까?” 이 당연한 물음 속에 엔트로피 증가 법칙이 있다.

열역학 제이법칙으로 알려진 엔트로피 증가 법칙은 물질과 에너지의 출입이 없는 환경에서 엔트로피가 최대가 되는 방향으로 변화가 진행된다는 것이다. 물론 어떤 변화에서는 부분적으로 엔트로피가 감소할 수 있지만 이 과정에서 사용한 에너지로 인해 엔트로피가 증가하여 전체 엔트로피는 항상 증가한다. 즉, 지구를 외부와 단절된 환경으로 본다면 지구상의 모든 물질과 에너지는 질서 있는 상태에서 무질서한 상태로, 사용할 수 있는 상태에서 사용할 수 없는 상태로 변한다는 것이다.

엔트로피가 증가하는 것은 사용할 수 있는 에너지가 점점 감소한다는 것을 뜻하므로 인류는 언젠가는 유용한 에너지가 없는 삶에 직면할 수도 있다. 따라서 인류의 삶이 오랫동안 지속되려면 에너지의 흐름을 최소화하고, 물질적 소비를 줄이는 저엔트로피 사회로의 전환을 실천해야 한다.

엔트로피 증가 법칙은 사회, 경제, 환경 등 모든 분야에 적용할 수 있다. 문명의 발달로 생기는 여러 가지 문제점, 특히 식량난, 자원 고갈과 수급 불균형, 환경 오염과 생태계 파괴 등은 엔트로피 증가의 결과라고도 할 수 있다.



1 저엔트로피 사회로 전환할 수 있는 방법 생각하기

1. 엔트로피 증가로 설명할 수 있는 현대 사회의 문제점을 조사해 보자.
2. 저엔트로피 생활 방식이 무엇인지 조사해 보자.
3. 고엔트로피 사회에서 저엔트로피 사회로 전환하는 방법을 조사하고, 그 실천 방안을 토의해 보자.

과정·기능 길잡이

조사 결과를 바탕으로 하여 모둠원끼리 실천 방안을 토의한다.

2 홍보 자료 제작하기

1. 모둠별로 구체적 실천 방안을 선정하여 이를 홍보하는 카드 뉴스를 제작해 보자.
2. 우리 모둠의 활동을 평가해 보자.

가치·태도 길잡이

저엔트로피 사회로의 전환이 인류의 지속가능한 삶에 영향을 미치는지 생각해 본다.

내용	평가		
엔트로피 증가로 설명할 수 있는 현대 사회의 문제점을 조사했는가?	상	중	하
저엔트로피 생활 방식이 무엇인지 적절한 검색어를 사용해 찾고, 정리했는가?	상	중	하
모든 모둠원이 지속가능한 사회에 기여하려는 태도를 가지게 되었는가?	상	중	하



학습 과제물

» 이 단원의 활동 결과를 정리해 보자.

· 86 쪽 과학사 이야기 · 87 쪽 화학과 나의 미래 · 92 쪽~93 쪽 프로젝트

- 1 이 단원의 활동 결과를 모아 III. 화학 변화의 자발성 학습 과제물 자료로 정리해 보자.
- 2 공유 플랫폼을 활용해 학습 과제물을 친구들에게 공유하고, 친구들의 학습 과제물에 댓글을 달거나 '좋아요' 표시를 하면서 소통해 보자.
- 3 학습 과제물을 인쇄해 책자로 만들어 보자.



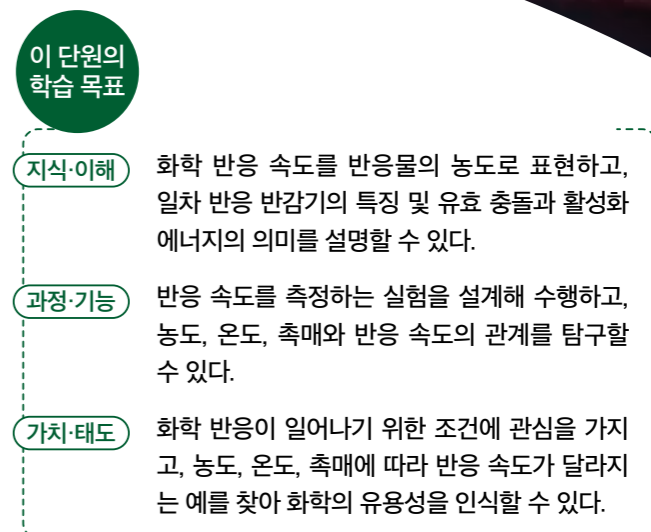
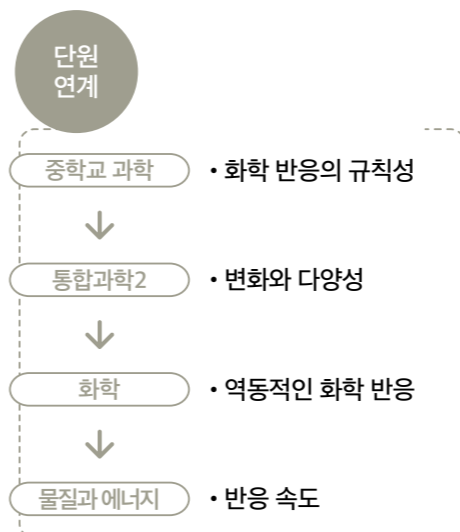
IV

반응 속도

현대 산업에서 제품을 안정적으로 생산하려면 화학 반응의 속도를 적절히 조절할 수 있어야 한다. 생명체 안에서 일어나는 수많은 화학 반응도 적절한 속도로 일어나는 것이 중요하다. 이 단원에서는 화학 반응 속도가 농도, 온도, 촉매 등 다양한 요인에 따라 변한다는 것을 이해하고, 이런 변화가 환경적, 생물학적, 경제적으로 우리 생활에 어떤 영향을 미치는지 알아보자.

- 01 화학 반응 속도
- 02 일차 반응의 반감기
- 03 유효 충돌과 활성화 에너지
- 04 농도, 온도, 촉매에 따른 반응 속도의 변화

이 단원에서 학습할 내용



학습 과제물 » 이 단원을 학습하면서 나만의 특기를 발휘한 학습 과제물을 만들어 보자.
 • 120 쪽 최신 과학 이야기 • 121 쪽 화학과 나의 미래 • 126 쪽~127 쪽 프로젝트

01

화학 반응 속도

- 화학 반응 속도를 반응물의 농도로 표현할 수 있다.
- 자료를 해석해 반응 속도식을 구할 수 있다.

“ 철이 녹스는 것은 오랜 시간이 지나야 알 수 있지만, 종이 불타는 것은 바로 확인할 수 있다. 이와 같은 반응의 빠르기는 어떻게 표현할 수 있을까? ”



반응 속도

우리 주변에서는 수많은 화학 반응이 일어나며, 반응에 걸리는 시간은 매우 다양하다. 철문이나 청동 장식이 녹슬거나 종이의 색이 변하는 반응은 오랜 시간이 걸리지만, 바나나 껍질의 색이나 음식의 맛이 변하는 반응은 며칠 사이에 일어난다. 또 연소 반응이나 중화 반응처럼 순식간에 일어나는 반응도 있다.



청동이 녹스는 반응



바나나 껍질의 색이 변하는 반응



로켓 연료의 연소 반응

그림 IV-1 다양한 빠르기의 반응 바나나 껍질의 색이 변하는 반응은 청동이 녹스는 반응보다는 빠르고, 로켓 연료의 연소 반응보다는 느리다.

여러 가지 반응의 빠르기는 어떻게 나타낼 수 있을까?

물체가 운동하는 빠르기를 나타낼 때 다른 물체의 운동과 비교해 더 빠르거나 느리다고 상대적으로 나타낼 수 있지만, 속도로 수치화해서 표현할 수도 있다. 화학 반응의 빠르기도 다른 반응과 비교해 상대적으로 나타낼 수 있지만, 수치로 나타내면 비교 대상 없이 객관적으로 표현할 수 있다.

반응이 빠르거나 느리다고 표현하는 것은 비교 대상이나 기준에 따라 달라지는 상대적인 표현이야.



화학 반응의 빠르기를 수치로 나타낸 것을 **반응 속도**라고 한다. 반응 속도는 화학 반응이 일어나는 일정 시간 동안 반응물의 양이 감소한 정도 또는 생성물의 양이 증가한 정도로 나타낸다. 이러한 물질의 양 변화는 물질의 질량, 부피, 압력 등을 측정해서 나타낼 수 있는데, 일반적으로 화학 반응에서 특정 물질의 양을 가장 편리하게 나타낼 수 있는 값은 물질의 농도이다. 따라서 화학 반응에서 반응 속도는 일정 시간 동안 변화한 반응물의 농도 또는 생성물의 농도로 나타낸다.

$$\text{반응 속도}(v) = \frac{\text{반응물의 농도 감소량}}{\text{반응 시간}} = \frac{\text{생성물의 농도 증가량}}{\text{반응 시간}}$$

그림 IV-2는 A → B의 반응에서 시간에 따른 반응물과 생성물의 농도를 나타낸 것이다.

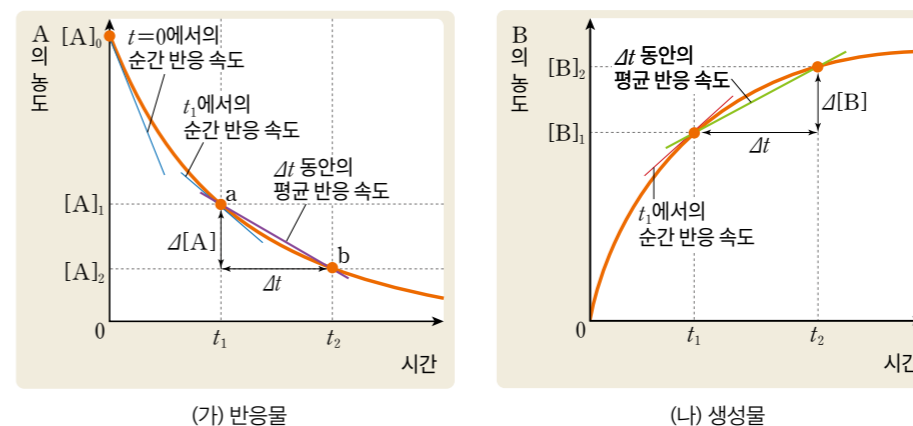


그림 IV-2 시간에 따른 반응물과 생성물의 농도

(가)의 시간 t_1 과 t_2 에서 A의 농도는 각각 $[A]_1$ 과 $[A]_2$ 이고, 두 시간 사이의 반응 속도(v)는 시간 변화에 대한 농도 변화의 비이므로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$v = -\frac{\Delta[A]}{\Delta t} = -\frac{[A]_2 - [A]_1}{t_2 - t_1}$$

이렇게 나타낸 반응 속도를 시간 t_1 과 t_2 사이의 **평균 반응 속도**라고 하며, 이는 a점과 b점을 지나는 직선의 기울기와 같다. 측정하는 두 시간의 간격(Δt)이 거의 0이 될 정도로 작아지면 반응 속도는 특정 시간 t 에서의 접선의 기울기에 해당하는데, 이를 **순간 반응 속도**라고 한다.

확인하기

- 1 화학 반응의 빠르기를 수치로 나타낸 것을 ()이라고 한다.
- 2 화학 반응에서 반응 속도를 어떻게 나타내는지 써 보자.

반응 속도 측정

- 일정한 시간 간격으로 주사기에 모인 기체의 부피를 측정한다.



- 일정한 시간 간격으로 기체가 빠져나가면서 감소한 반응물의 질량을 측정한다.



자료 읽기

그림 IV-2의 (나)에서 시간 t_1 과 t_2 사이의 평균 반응 속도를 생성물 B의 농도로 표현해 보자.

반응 속도 표현

반응 속도는 항상 양의 값으로 나타내는데, 반응물(A)은 시간이 지나면 농도가 줄어들기 때문에 반응물의 농도 변화량은 음의 값이다. 따라서 반응물의 농도 변화로 반응 속도를 나타낼 때는 (-)를 붙여 표현한다.

화학 반응의 특징을 고려해 실제 반응에서 반응 속도를 측정해 보자.

탐구 능력 | 문제 해결 능력 | 의사 결정 능력

탐구

● 탐구 설계 및 수행 / 정보 수집·변환·해석

준비물

- 마그네슘 리본
- 0.2 M 염산
- 가지 달린 삼각 플라스크 (250 mL)
- 구멍 뚫린 실리콘 마개
- 플라스틱 주사기(60 mL)
- 고무관 3 방향 꼭지
- 압력 센서 전자저울
- 가위 사포
- 페트리 접시 테이프
- 핀셋 스마트 기기
- 실험복 보안경
- 안전 장갑
- 실험용 고무장갑

안전



- 실험할 때는 반드시 실험복, 보안경, 실험용 고무장갑을 착용한다.
- 마그네슘 리본을 다룰 때 날카로운 부분에 손을 다치지 않도록 안전 장갑을 착용한다.
- 실험 후 남은 물질은 폐수 처리 기준과 방법에 따라 처리한다.

도움 자료

- 탐구 전에 다음 자료를 먼저 읽어 보자.
- 128 쪽~129 쪽 실험실 안전 수칙
- 130 쪽 실험 기구 사용 방법

센서를 활용해 반응 속도를 측정하는 실험 설계하고 수행하기

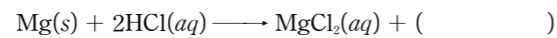
목표

시간에 따른 반응물이나 생성물의 양을 측정하는 실험 설계를 하고 이를 수행하여 반응 속도를 나타낼 수 있다.

실험 설계

염산(HCl(aq)) 50 mL와 마그네슘(Mg) 0.4 g이 반응할 때의 반응 속도를 알아보는 실험을 하려고 한다. 단계에 따라 실험을 설계해 보자.

- 이 반응의 화학 반응식을 완성해 보자.



- 다음 실험 도구를 활용해 실험 장치를 구성하려고 한다. 실험 도구의 용도와 사용 방법을 모둠별로 조사해 보자.



- 이 반응의 화학 반응식과 실험 도구를 바탕으로 하여 이 실험에서 무엇을 측정해야 할지 모둠별로 토의해 보자.

부피가 일정한 용기 내 기체의 양(mol)이 많아지면 기체의 압력이 커지므로 압력 센서로 반응 시간에 따른 ()의 ()을/를 측정해 반응 속도를 나타낸다.

- 모둠별로 실험 과정을 설계해 글과 그림으로 나타내 보자.

실험 계획서

- 실험 과정
- 실험 장치 그림

실험 수행 및 정리

- 모둠별로 설계한 과정에 따라 실험을 수행하고, 결과를 시간-압력 그래프로 나타내자.

도움말 스마트 기기에 압력 센서의 데이터를 받을 수 있는 프로그램을 설치한다.



실험이 제대로 이루어지지 않는다면 원인을 찾아 개선하여 다시 수행할 수 있어.



스스로 평가하기

[지식·이해]
시간-압력 그래프를 옳게 해석했는가? ☆☆☆☆☆

[과정·기능]
압력 센서를 올바르게 사용해 압력을 측정하고, 측정 결과를 시간-압력 그래프로 나타냈는가? ☆☆☆☆☆

[가치·태도]
센서를 이용해 반응 속도를 측정하는 방법에 관심을 가지고 적극적으로 활동했는가? ☆☆☆☆☆

- 시간-압력 그래프에서 무엇을 반응 속도로 해석할 수 있을지 토의해 보자.

- 창의** 실험 결과를 시간-농도 그래프로 나타내는 방법을 생각해 보자.

도움말 일정한 부피에 들어 있는 기체의 양(mol)이 많아질수록 압력이 커지는 것을 바탕으로 하여 기체의 압력과 농도의 관계를 생각해 본다.

반응 속도식

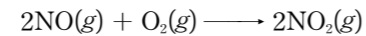
같은 반응이라도 반응물의 농도에 따라 반응 속도가 다르다. 반응물의 농도와 반응 속도의 관계를 어떻게 표현하는지 알아보자.

해보기

반응물의 농도로 반응 속도 나타내기

탐구 능력

일산화 질소(NO)와 산소(O₂)가 반응하면 이산화 질소(NO₂)가 생성된다.



표는 일정한 온도에서 두 반응물의 초기 농도를 달리하면서 측정한 초기 반응 속도이다.

실험	반응물의 초기 농도(mol/L)		초기 반응 속도(mol/(L·s))
	[NO]	[O ₂]	
1	0.020	0.020	0.056
2	0.020	0.040	0.112
3	0.040	0.020	0.224

1. [NO]는 일정하게 유지하고 [O₂]를 2 배 증가시키면 반응 속도가 어떻게 변하는지 써 보자.



2. [O₂]는 일정하게 유지하고 [NO]를 2 배 증가시키면 반응 속도가 어떻게 변하는지 써 보자.



3. 이 반응의 반응 속도(v)를 다음과 같은 식으로 나타낼 때 m과 n이 각각 얼마인지 써 보자.

$$v = k[\text{NO}]^m[\text{O}_2]^n$$



반응물 A와 B가 반응해 생성물 C와 D를 생성하는 반응은 일반적으로 다음과 같이 나타낸다.



반응 속도(v)는 반응물의 농도에 의존하므로 이 반응의 반응 속도는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$v = k[\text{A}]^m[\text{B}]^n$$

이 식을 **반응 속도식**이라 하고, k를 **반응 속도 상수**라고 한다. k는 화학 반응의 종류에 따라 다른 값을 갖고, 온도에 따라 변한다.

초기 반응 속도

반응이 시작되는 지점의 반응 속도이다. 일반적으로 반응 속도는 시간이 지날수록 감소하므로 어떤 반응의 반응 속도를 결정할 때는 주로 초기 반응 속도를 이용한다.

이 식에서 각 농도의 지수인 m과 n을 **반응 차수**라고 한다. 이때 A에 대해서는 m차 반응, B에 대해서는 n차 반응이며, 이 반응의 전체 반응 차수는 m+n이다. m과 n은 화학 반응식의 계수와 관계없이 실험으로 결정한다.

연습 해보기

표는 일정한 온도에서 A(g) + B(g) → C(g)의 반응이 일어날 때, A와 B의 초기 농도와 초기 반응 속도(v)를 측정한 결과이다. 표의 자료를 이용해서 반응 속도식을 완성하고, 반응 속도 상수(k)를 구해 보자.

$$v = k[\text{A}]^m[\text{B}]^n$$

실험	[A](mol/L)	[B](mol/L)	초기 반응 속도(mol/(L·s))
1	0.1	0.1	4.0 × 10 ⁻⁵
2	0.1	0.2	4.0 × 10 ⁻⁵
3	0.2	0.1	1.6 × 10 ⁻⁴

풀이 따라가기

1 단계 반응 차수를 구해 반응 속도식을 완성한다.

실험 1, 3에서 [B]가 일정할 때 [A]를 2 배로 하면 반응 속도가 4 배가 되므로 m은 ① 이다. 실험 1, 2에서 [A]가 일정할 때 [B]를 2 배로 해도 반응 속도가 변하지 않으므로 n은 ② 이다. 따라서 v = k ③ 이다.

2 단계 반응 속도식에 실험 1~3 중 하나의 값을 대입하여 k를 구한다.

반응 속도식에 실험 1의 값을 대입하면

$$k = \frac{4.0 \times 10^{-5} \text{ mol/(L·s)}}{(0.1 \text{ mol/L})^2} = \text{④ 이다.}$$

확인하기

- 반응 속도식이 v = k[A][B]인 반응에서 온도와 [B]가 일정할 때 [A]가 2 배가 되면 반응 속도는 () 배가 된다.
- 반응 속도식에서 반응 차수는 (화학 반응식의 계수로, 실험으로) 결정한다.

영차 반응

A → B 반응에서 v = k와 같이 반응 속도가 상수로 표현되는 반응을 영차 반응이라고 한다. 영차 반응에서는 반응 속도가 반응물의 농도에 영향을 받지 않는다.

일차 반응

A → B 반응에서 반응 속도식이 v = k[A]와 같이 표현되는 반응을 일차 반응이라고 한다. 일차 반응에서는 반응 속도가 반응물의 농도에 정비례한다.

반응 속도 상수(k)의 단위는 전체 반응 차수에 따라 달라져.



소단원 마무리

창의력 키우기

A → B의 반응이 영차 반응일 때, 일정한 온도에서 시간에 따른 반응 속도 변화를 반응 속도식을 이용하여 설명해 보자.

디지털 소양 키우기

화학 반응 속도를 측정하는 다양한 방법을 조사하고, 공유 플랫폼을 활용하여 공유해 보자.

02

일차 반응의 반감기

- 일차 반응의 반감기가 갖는 특징을 설명할 수 있다.
- 일차 반응의 반감기가 활용되는 사례를 조사해 발표할 수 있다.

“ 2016년에 강원도에서 발굴된 청동기 시대 집터 유적에서 청동 장신구, 화살촉, 토기 등이 발견되었다. 이러한 유물과 집터는 무려 3천 년 전인 기원전 13세기부터 11세기 무렵 만들어진 것이라고 한다. 오래된 유물의 연대를 어떻게 측정할 수 있을까? ”



반감기

방사성 탄소의 농도로 유물의 연대를 측정하거나 핵폐기물의 소멸 시기를 계산할 수 있는 것은 이와 관련된 반응이 모두 일차 반응이기 때문이다.

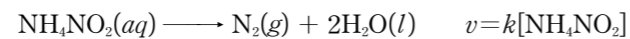
일차 반응에서 반응물의 농도는 시간에 따라 어떻게 변할까?

해보기

일차 반응의 특징 알아보기

탐구 능력

아질산 암모늄(NH₄NO₂) 분해 반응의 화학 반응식과 반응 속도식은 다음과 같다.



표는 일정한 온도에서 시간에 따른 아질산 암모늄의 농도를 나타낸 것이다.

시간(h)	0	1	2	3	4
[NH ₄ NO ₂](mol/L)	0.100	0.050	0.025	0.012	0.006

1. 이 반응이 몇 차 반응인지 써 보자.



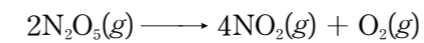
2. [NH₄NO₂]가 0.100 M에서 0.050 M가 되는 데 걸리는 시간과 0.050 M에서 0.025 M가 되는 데 걸리는 시간을 비교해 보자.



3. [NH₄NO₂]가 절반으로 줄어드는 데 걸리는 시간은 어떤 특징이 있는지 설명해 보자.



아질산 암모늄의 분해 반응처럼 오산화 이질소(N₂O₅)가 이산화 질소(NO₂)와 산소(O₂)로 분해되는 반응도 일차 반응이다. 그림 IV-3은 일정한 온도에서 오산화 이질소(N₂O₅)가 분해될 때 시간에 따른 반응물의 농도 변화를 나타낸 것이다.



오산화 이질소의 초기 농도가 절반이 되는 데 100 초가 걸리고, 이 농도가 다시 절반이 되는 데 100 초가 걸린다.

반응물의 농도가 절반으로 줄어드는 데 걸리는 시간을 반감기($t_{1/2}$)라고 하는데, 일정한 온도에서 오산화 이질소의 분해 반응과 같은 일차 반응의 반감기는 반응물의 농도에 관계없이 항상 일정하다.

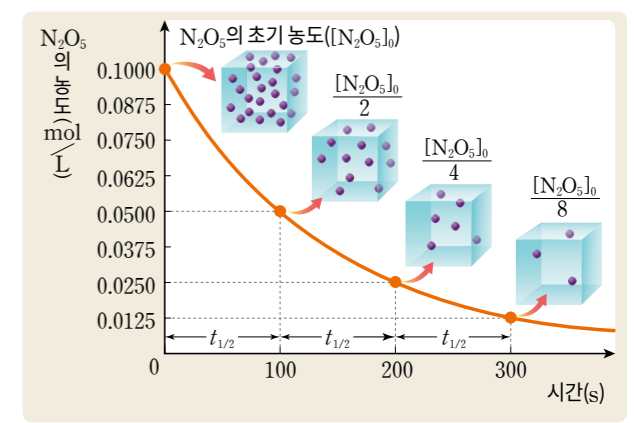


그림 IV-3 일차 반응에서 시간에 따른 반응물의 농도 변화

(자료 출처: Zumdahl 외, 『Chemistry(11th ed.)』, Cengage Learning, 2023.)

연습 해보기

표는 A(g) → B(g)의 반응에서 온도를 일정하게 유지하고 시간에 따른 A(g)의 농도를 측정한 결과이다. 이 반응의 반응 속도식을 구하고 150 초 후 A의 농도(mol/L)를 구해 보자.

시간(s)	0	25	50	75	100
[A](mol/L)	0.064	0.045	0.032	0.023	0.016

풀이 따라가기

1 단계 이 반응의 반감기를 바탕으로 하여 반응 속도식을 구한다.

A의 초기 농도가 절반으로 줄어드는 데 걸린 시간은 ① 초이며, 이 농도가 다시 절반으로 줄어드는 데 걸린 시간도 ② 초로, 반감기가 일정하므로 이 반응은 ③ 차 반응이다. 따라서 $v = k$ ④ 이다.

2 단계 150 초 후의 A의 농도를 구한다.

150 초 후는 반감기가 ⑤ 번 지난 것이므로 A의 농도는 ⑥ mol/L이다.

확인하기

- 1 반응물의 농도가 절반이 되는 데 걸리는 시간을 () (이)라고 한다.
- 2 일정한 온도에서 일차 반응의 반감기는 반응물의 ()에 관계없이 일정하다.

반감기의 활용

방사성 탄소가 붕괴하는 반응은 일차 반응으로, 반감기가 약 5730 년으로 일정하므로 유물에 포함된 방사성 탄소는 시간이 지남에 따라 일정한 비율로 줄어든다. 따라서 유물에서 검출되는 방사성 탄소 농도와 대기의 방사성 탄소 농도를 비교하면 유물의 연대를 측정할 수 있다.

이처럼 일차 반응은 반감기가 일정하므로 반응물의 농도를 측정하면 반응에 걸린 시간을 알 수 있어서 여러 분야에 유용하게 활용한다. 일차 반응의 반감기를 활용하는 사례를 조사해 보자.

해보기

일차 반응의 반감기를 활용하는 사례 조사하고 발표하기

탐구 능력

준비물 스마트 기기, 참고 도서

1. 일차 반응의 반감기를 활용하는 사례를 찾아보자.



2. 찾은 사례를 모둠원과 공유하고, 그중 한 가지를 골라 어떤 일차 반응이 활용되었는지 구체적으로 조사해 보자.



3. 조사한 내용으로 발표 자료를 만들어 발표해 보자.

도움말 공유 플랫폼을 활용해 발표 자료를 공유할 수 있다.

가짜 포도주를 잡는다!
일차 반응의 반감기



방사성 탄소가 포함된 이산화 탄소의 농도를 측정해 포도주의 생산 연도를 정확하게 측정할 수 있는 기술이 개발됐다. 이 기술을 활용하면 생산 연도를 속이고 판매하는 가짜 포도주를 가려낼 수 있다.

과학 마당 생활 속 과학 | 의료용 방사성 동위원소

병원에서 정밀한 암 진단을 하기 위해서 암세포의 위치를 찾거나 뇌의 대사 활동을 알아보는 데 양전자 방출 단층 촬영(PET, Positron Emission Tomography)이라는 영상 기술을 이용한다. 이 기술은 방사성 동위원소가 포함된 의약품을 환자에게 주사한 다음, 약물의 위치와 분포를 영상으로 촬영하고 분석해 질병을 진단하는 기술이다.

양전자 방출 단층 촬영에 활용하는 물질 중 방사성 갈륨(^{68}Ga)과 방사성 저마늄(^{68}Ge)이 있다. 방사성 갈륨은 방사성 의약품으로 활용되는 물질로, 반감기가 약 68 분으로 짧아서 체내에 주입하면 질병을 진단한 후 빠르게 사라지므로 안전도가 높다. 또 단백질이나 항체 등 다양한 물질에 드러나 추적할 수 있으므로 질병을 찾는 데 효과적이다. 이러한 장점으로 방사성 갈륨은 주로 신경 내분비 종양과 전립샘암 등의 진단에 사용된다.

방사성 저마늄은 방사성 갈륨을 생산하는 데 활용되는 물질이다. 방사성 갈륨은 반감기가 짧아 보관이 어려운데, 방사성 저마늄은 반감기가 약 270 일로 장기 보관이 가능하다. 따라서 방사성 저마늄을 담고 있는 방사성 물질 생성기에서 필요할 때마다 방사성 갈륨을 추출해서 사용한다. 최근에는 우리나라에서 방사성 저마늄을 생산해 수출하기도 했다.



▲ 양전자 방출 단층 촬영

확인하기

- 방사성 탄소가 붕괴하는 반응은 ()차 반응이다.
- 일차 반응은 ()이 일정하므로 반응물의 농도를 측정하면 반응에 걸린 시간을 알 수 있는 특징이 있다.

소단원 마무리

창의력 키우기

여러 가지 화학 반응 중 한 가지를 골라 반응의 반감기를 확인하는 실험을 설계해 보자.

디지털 소양 키우기

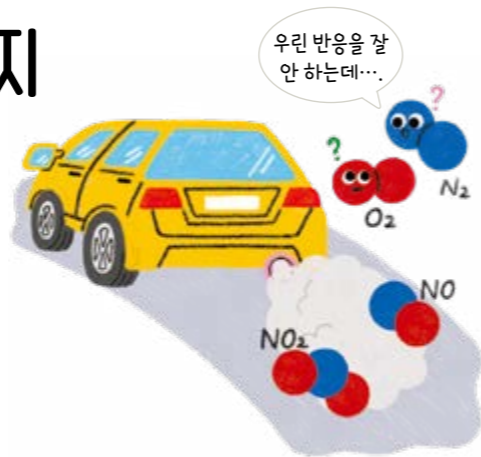
우리 사회에서 반감기라는 용어를 사용하는 사례를 검색하고 발표해 보자.

03

유효 충돌과 활성화 에너지

● 화학 반응에서 유효 충돌과 활성화 에너지의 의미를 설명할 수 있다.

“ 자동차 연료가 연소할 때 질소와 산소가 반응해 질소 산화물을 만들지만, 공기 중에서는 질소와 산소가 거의 반응하지 않는다. 그 까닭은 무엇일까? ”



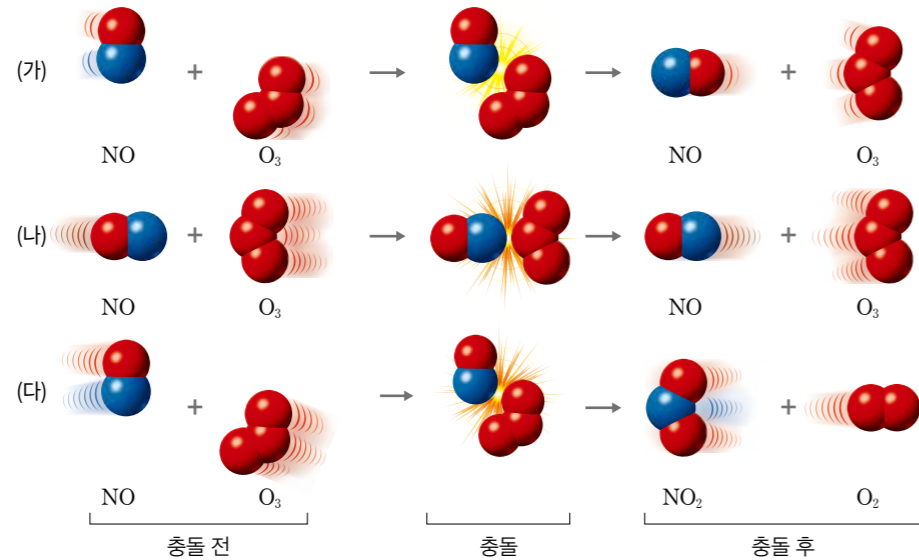
화학 반응이 일어나려면 반응물 입자들이 충돌해야 한다. 하지만 입자들이 충돌한다고 해서 모두 반응이 일어나는 것은 아니다. 어떻게 충돌해야 반응이 일어날까?

해보기

화학 반응이 일어나는 충돌 알아보기

Q 탐구 능력

그림은 일산화 질소(NO)와 오존(O₃)이 서로 충돌하는 것을 모형으로 나타낸 것이다.



(가)의 입자와 (나), (다)의 입자는 속도가 달라서 충돌 세기가 다르다는 것을 유의해서 봐야 해.



1. (가)~(다)를 반응이 일어난 충돌과 반응이 일어나지 않은 충돌로 구분해 보자.



2. 반응이 일어난 충돌과 반응이 일어나지 않은 충돌을 비교하여 차이점을 설명해 보자.



활성화 에너지
반응물이 에너지 장벽을 넘을 수 있는 에너지가 있어야만 반응이 일어나는 것은 높이뛰기 선수가 넘어야 할 가로대의 높이에 비유할 수 있다.



반응물 입자들이 반응이 일어나기에 적합한 방향으로 충분히 빠르게 충돌하면 반응물의 결합이 끊어지고 새로운 결합이 형성되어 생성물이 만들어진다. 이처럼 반응이 일어나기에 적합한 충돌을 **유효 충돌**이라고 한다. 이때 반응물이 충분히 빠른 속도로 충돌하지 않으면 반응물 입자 사이의 결합이 끊어질 만큼의 에너지가 공급되지 못하므로 생성물이 만들어지지 않는다. 이는 화학 반응이 일어나려면 반응물과 생성물 사이에 넘어야 하는 에너지 장벽이 있다는 것을 뜻한다. 화학 반응이 일어나기 위해 필요한 최소한의 에너지를 **활성화 에너지(E_a)**라고 한다.

일산화 질소와 오존의 반응에서 반응의 진행에 따른 엔탈피는 **그림 IV-4**와 같다.

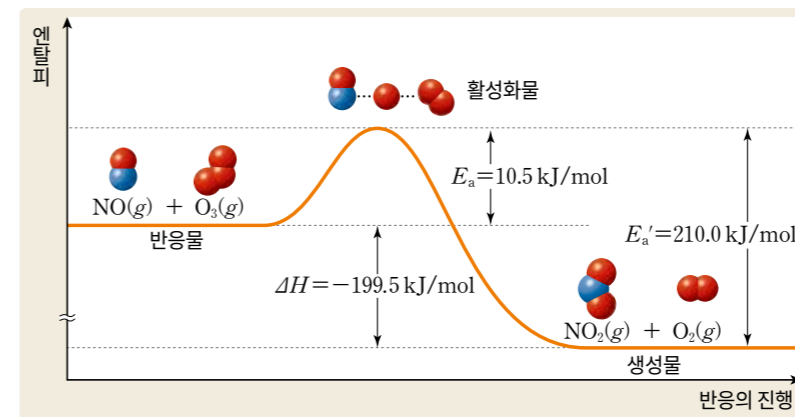
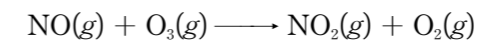


그림 IV-4 반응의 진행에 따른 엔탈피 E_a는 정반응의 활성화 에너지, E_a'는 역반응의 활성화 에너지, ΔH는 반응 엔탈피이며, ΔH = E_a - E_a'이다. (자료 출처: Gilbert 외, 『Chemistry(6th ed.)』, Norton, 2020.)

일산화 질소와 오존이 유효 충돌 하면 반응물이 생성물로 변하기 위해 넘어야 하는 에너지 장벽의 정점에 도달해 화학 결합이 끊어지기 직전의 불안정한 상태가 된다. 이러한 상태를 **활성화 상태**라 하고, 활성화 상태에 있는 불안정한 물질을 **활성화물**이라고 한다.

활성화 에너지는 반응물과 활성화물의 엔탈피 차와 같아.



확인하기

- 1 반응물이 반응이 일어나기에 적합한 방향으로 충분한 에너지를 가지고 충돌하는 것을 ()이라고 한다.
- 2 화학 반응이 일어나기 위해 필요한 최소한의 에너지를 ()이라고 한다.

소단원 마무리

창의력 키우기

화학 반응의 유효 충돌을 나타낼 수 있는 다양한 비유를 생각해 발표해 보자.

디지털 소양 키우기

매우 큰 운동 에너지를 가진 BrNO 두 분자가 충돌해 Br₂을 생성하려면 두 분자가 어떤 방향으로 충돌해야 할지 그려 보고, 공유 플랫폼을 활용하여 공유해 보자.

04

농도, 온도, 촉매에 따른 반응 속도의 변화

- 농도, 온도, 촉매에 따라 반응 속도가 달라짐을 설명할 수 있다.
- 일상생활에서 농도, 온도, 촉매에 따라 반응 속도가 달라지는 예를 찾아 화학의 유용성을 인식할 수 있다.

“
숯불을 향해 부채질하면 불꽃이 커지는데, 이는 숯이 빠르게 연소하기 때문이다. 부채질할 때 숯이 빠르게 연소하는 까닭은 무엇일까?
”



농도가 반응 속도에 미치는 영향

숯불을 향해 부채질할 때 숯불이 빠르게 타오르는 까닭은 산소의 농도가 숯의 연소 반응 속도에 영향을 주기 때문이다. 다른 화학 반응에서도 이러한 현상을 찾을 수 있을까? 농도에 따라 반응 속도가 어떻게 달라지는지 확인해 보자.

탐구 능력 | 문제 해결 능력 | 의사 결정 능력

탐구

● 탐구 수행 / 결론 도출

농도에 따른 반응 속도 측정하기

목표

농도에 따른 반응 속도를 측정하고 농도와 반응 속도의 관계를 설명할 수 있다.

준비

다음은 아이오딘산 칼륨 수용액과 아황산수소 나트륨 수용액의 반응을 설명한 것이다.

도움말 '아이오딘 시계 반응'을 검색해서 영상으로 반응을 확인할 수 있다.

- 아이오딘산 칼륨(KIO₃) 수용액과 아황산수소 나트륨(NaHSO₃) 수용액의 반응이 완결되면 아이오딘(I₂)이 생성된다.
- 아이오딘이 녹말과 반응하면 청람색으로 변한다.

1. 이 반응의 반응 속도를 어떤 방법으로 측정할 수 있을지 생각해 보자.



2. 아이오딘산 칼륨 수용액의 농도가 반응 속도에 미치는 영향을 알아보기 위해 어떤 요인을 통제해야 할지 토의해 보자.



준비물

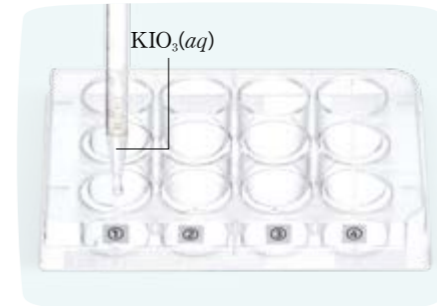
- 0.1 M 아이오딘산 칼륨 수용액
- 0.05 M 아황산수소 나트륨 수용액
- 1% 녹말 수용액
- 증류수
- 12호판
- 비커
- 피펫
- 피펫 채우개
- 유리병
- 이름 붙임 딱지
- 초시계
- 계산기
- 실험복
- 보안경
- 실험용 고무장갑

과정

1. 아황산수소 나트륨 수용액 18 mL와 녹말 수용액 2 mL를 섞고, ①~④라고 표시한 유리병 네 개에 각각 2.0 mL씩 담자.

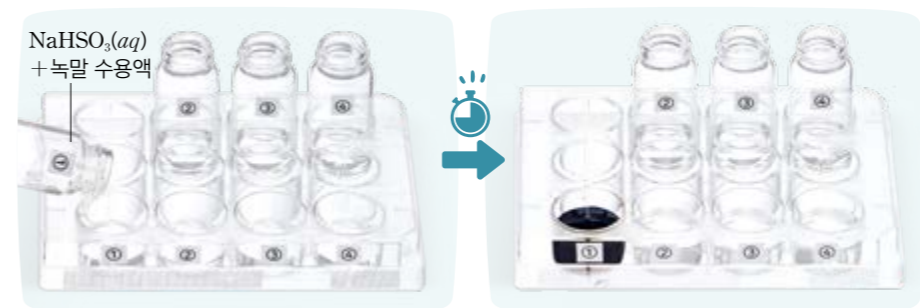
2. ①~④라고 표시한 홈에 아이오딘산 칼륨 수용액을 각각 0.5 mL, 1.0 mL, 1.5 mL, 2.0 mL씩 넣고, 증류수를 넣어 전체 부피가 2.0 mL가 되게 하자.

도움말 증류수를 넣는 다음 홈판을 살짝 흔들어 용액이 균일해지게 한다.



3. 유리병 ①의 용액을 홈 ①에 넣고 용액의 색이 변할 때까지 걸린 시간을 측정하자.

도움말 용액을 넣는 동시에 초시계를 작동하여 시간을 측정해야 하므로 모뎀원끼리 역할을 분담한다.



4. 유리병 ②~④로 홈 ②~④에 과정 3을 반복하자.

결과 및 정리

- 홈 ①의 아이오딘산 칼륨 수용액의 상대 농도를 1이라고 할 때 홈 ②~④의 아이오딘산 칼륨 수용액의 상대 농도를 구해 보자.
- 각 홈에서 용액의 색이 변할 때까지 걸린 시간을 쓰고, 반응 속도를 계산해 보자.

홈의 번호	①	②	③	④
KIO ₃ (aq) 부피(mL)	0.5	1.0	1.5	2.0
증류수 부피(mL)	1.5	1.0	0.5	0
KIO ₃ (aq)의 상대 농도	1			
걸린 시간(s)				
반응 속도($\frac{1}{s}$)				

3. 실험 결과를 바탕으로 하여 반응물의 농도와 반응 속도의 관계를 설명해 보자.



안전

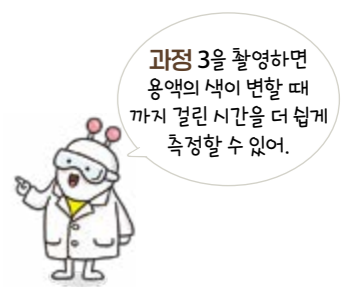


- 실험할 때는 반드시 실험복, 보안경, 실험용 고무장갑을 착용한다.
- 실험 후 남은 용액은 폐수 처리 기준과 방법에 따라 처리한다.

도움 자료

탐구 전에 다음 자료를 먼저 읽어 보자.

- 128 쪽~129 쪽 실험실 안전 수칙



스스로 평가하기

| 지식·이해 |
실험 결과를 바탕으로 하여 반응물의 농도와 반응 속도의 관계를 설명했는가? ☆☆☆☆☆

| 과정·기능 |
KIO₃ 수용액의 농도를 제외한 다른 변인을 일정하게 통제하며 실험을 수행했는가? ☆☆☆☆☆

| 가치·태도 |
농도에 따라 반응 속도가 어떻게 변하는지 관심을 가지고 실험에 참여했는가? ☆☆☆☆☆

일반적으로 반응물의 농도가 커지면 반응 속도가 빨라진다. 그 까닭은 무엇일까?

그림 IV-5는 반응물의 농도와 충돌 횟수의 관계를 나타낸 것이다. 반응물의 농도가 커질수록 단위 시간당 반응물 사이의 충돌 횟수가 많아진다. 단위 시간당 입자의 충돌 횟수가 많아지면 일정한 시간 동안 반응하는 입자 수도 많아지므로 반응 속도가 빨라진다.

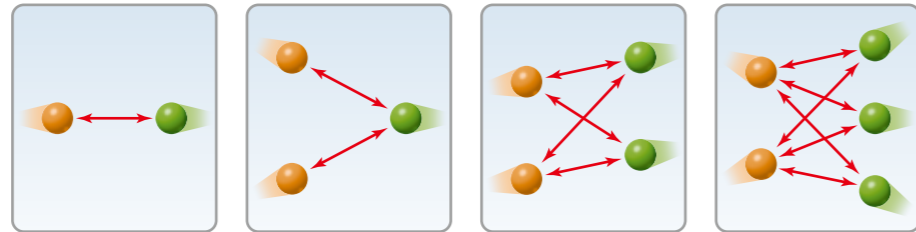


그림 IV-5 농도에 따른 반응물의 충돌 횟수 반응물의 농도가 커질수록 단위 시간당 반응물 사이의 충돌 횟수가 많아진다.

기체의 반응에서 그림 IV-6과 같이 압력을 높이면 기체의 부피가 줄어들어 단위 부피 속의 입자 수가 많아지므로 기체의 농도가 커진다. 기체의 농도가 커지면 단위 시간당 입자의 충돌 횟수가 많아져서 반응 속도가 빨라진다.

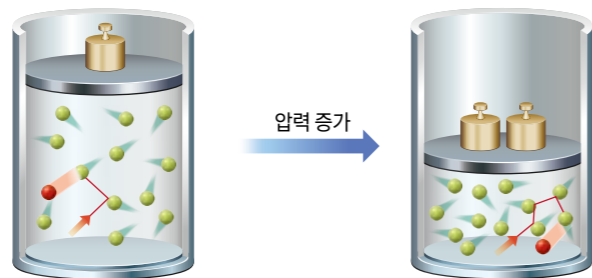


그림 IV-6 압력에 따른 기체 분자의 충돌 횟수 압력을 높이면 기체의 농도가 커지므로 기체 분자 사이의 충돌 횟수가 많아진다.

반응물이 고체일 때 반응 속도는 표면적의 영향을 받는다. 화학 반응이 일어날 때 고체의 표면적이 커질수록 반응물 사이의 접촉 면적이 증가해 단위 시간당 입자의 충돌 횟수가 많아지므로 반응 속도가 빨라진다.

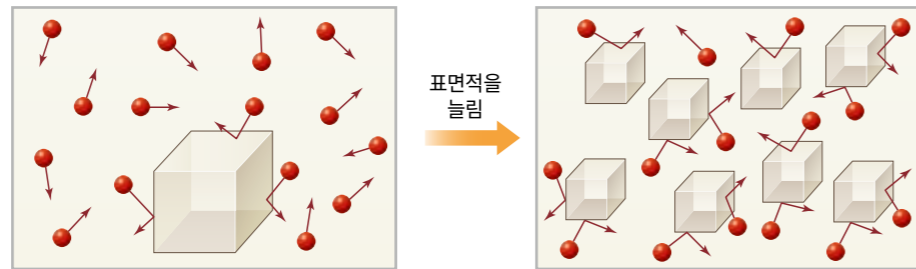
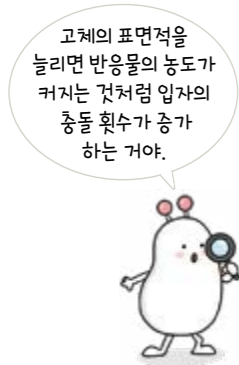


그림 IV-7 고체 입자의 표면적과 충돌 횟수

우리 주변에는 반응물의 농도, 압력, 표면적을 변화시켜 반응 속도를 조절하는 여러 가지 예가 있다.

자료 읽기 그림 IV-8에서 각각의 반응 속도 변화를 농도, 표면적과 관련지어 정리해 보자.



고압 산소실에서 저산소증을 치료한다.



가루약이 알약보다 빨리 흡수된다.



음식물을 밀폐 용기에 보관한다.



통나무를 쪼개면 더 잘 연소한다.



그림 IV-8 농도, 표면적을 변화시켜 반응 속도를 조절하는 예

❗ 탄광이나 밀가루 공장에서 작은 불씨로도 폭발 사고가 일어나기 쉬운 까닭을 써 보자.

확인하기

- 1 반응물의 농도가 커지면 단위 시간당 입자의 충돌 횟수가 (많아지므로, 적어지므로) 반응 속도가 빨라진다.
- 2 크기가 같은 마그네슘 리본을 다음 용액과 반응시켰을 때 반응 속도가 빠른 것부터 순서대로 나열해 보자. (단, 용액의 온도는 모두 같다.)

0.1 M 염산

0.5 M 염산

1 M 염산

탐구

● 탐구 수행 / 결론 도출

Q 탐구 능력 | S 문제 해결 능력 | Q 의사 결정 능력

온도가 반응 속도에 미치는 영향

여름철에는 겨울철보다 음식물이 더 빨리 상한다. 이는 온도가 반응 속도에 영향을 미치기 때문이다. 온도에 따라 반응 속도가 어떻게 달라지는지 확인해 보자.

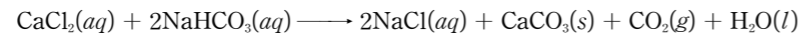
온도에 따른 반응 속도 측정하기

목표

온도에 따른 반응 속도를 측정하고, 온도와 반응 속도의 관계를 설명할 수 있다.

준비

염화 칼슘(CaCl_2) 수용액과 탄산수소 나트륨(NaHCO_3) 수용액 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



1. 시험관에 염화 칼슘 수용액과 탄산수소 나트륨 수용액을 1 mL씩 섞고 변화를 관찰하여 써 보자.



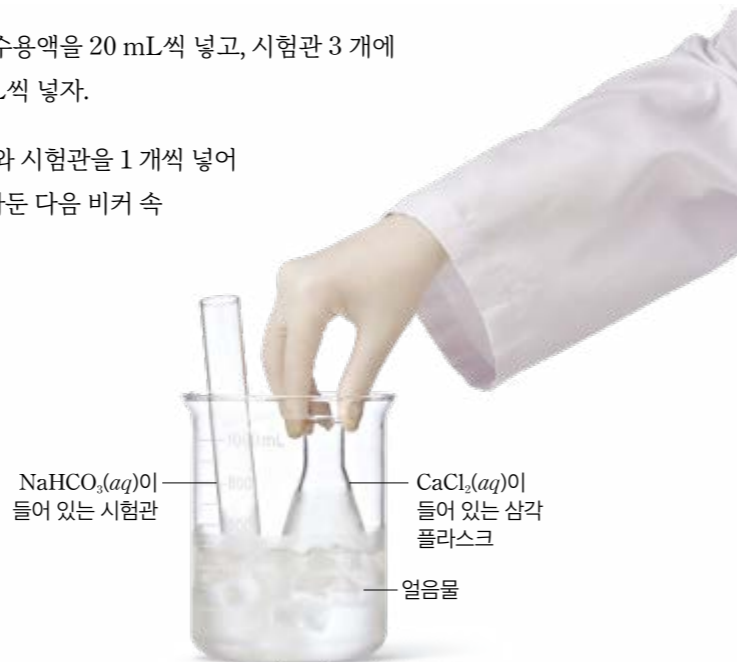
2. 이 반응의 반응 속도를 어떤 방법으로 측정할 수 있을지 생각해 보자.



과정

1. 삼각 플라스크 3 개에 염화 칼슘 수용액을 20 mL씩 넣고, 시험관 3 개에 탄산수소 나트륨 수용액을 20 mL씩 넣자.

2. 얼음물에 **과정 1**의 삼각 플라스크와 시험관을 1 개씩 넣어 용액과 물의 온도가 같아지게 놓아둔 다음 비커 속 물의 온도를 측정하자.



준비물

- 0.1 M 염화 칼슘 수용액
- 0.1 M 탄산수소 나트륨 수용액
- 얼음물
- 실온의 물
- 더운물
- 시험관
- 시험관대
- 레이저
- 페트리 접시
- 비커
- 눈금실린더
- 흰 종이
- 삼각 플라스크
- 스포이트
- 초시계
- 계산기
- 온도계
- 실험복
- 보안경
- 실험용 고무장갑

안전



- 실험할 때는 반드시 실험복, 보안경, 실험용 고무장갑을 착용한다.
- 레이저 빛을 눈에 비추지 않도록 주의한다.
- 실험 후 남은 용액은 폐수 처리 기준과 방법에 따라 처리한다.

도움 자료

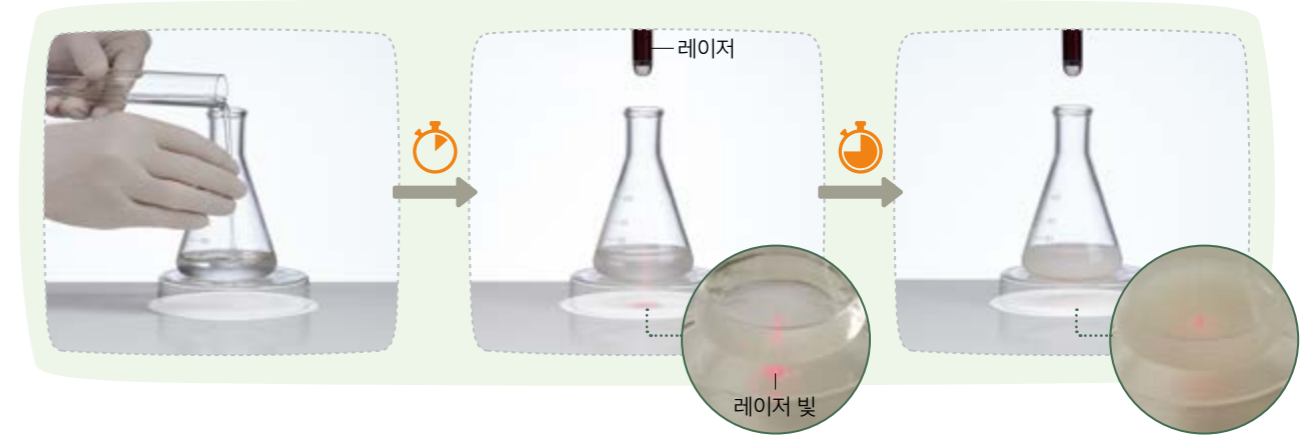
- 탐구 전에 다음 자료를 먼저 읽어 보자.
- 128 쪽~129 쪽 실험실 안전 수칙

3. 흰 종이 위에 페트리 접시를 뒤집어 놓고, 얼음물에 넣어 두었던 삼각 플라스크를 올려 놓자.

도움말 비커에서 삼각 플라스크를 꺼낸 다음 삼각 플라스크 겉면의 물기를 닦는다.

4. 시험관의 수용액을 삼각 플라스크에 재빨리 넣고, 레이저를 플라스크 위에서 아래로 쏘면서 흰 종이에 레이저 빛이 보이지 않을 때까지 걸린 시간을 측정하자.

도움말 용액을 넣는 동시에 초시계를 작동하여 시간을 측정해야 하므로 모동원끼리 역할을 분담한다.



5. 얼음물 대신 실온의 물과 더운물로 **과정 2~4**를 반복하자.

결과 및 정리

1. 물의 온도와 레이저 빛이 보이지 않을 때까지 걸린 시간을 쓰고, 반응 속도를 계산해 보자.

온도	얼음물(°C)	실온의 물(°C)	더운물(°C)
걸린 시간(s)			
반응 속도($\frac{1}{s}$)			

2. 실험 결과를 바탕으로 하여 온도와 반응 속도의 관계를 설명해 보자.



스스로 평가하기

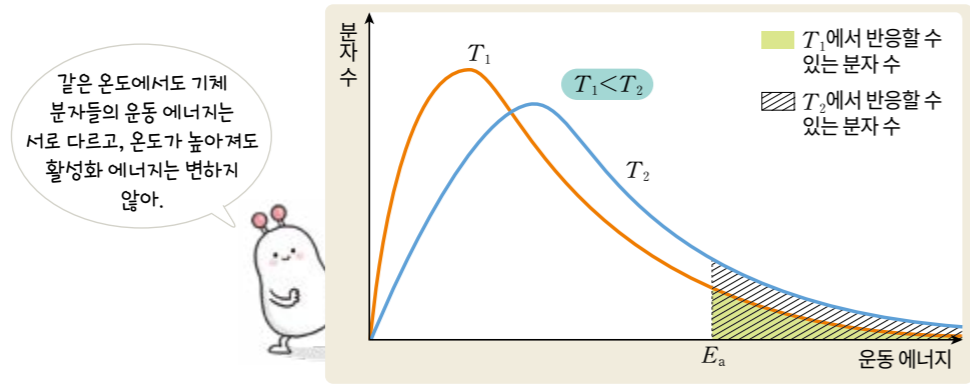
- | 지식·이해 | 실험 결과를 바탕으로 하여 온도와 반응 속도의 관계를 설명했는가? ☆☆☆☆☆
- | 과정·기능 | 레이저 빛이 보이지 않을 때까지 걸린 시간을 정확히 측정했는가? ☆☆☆☆☆
- | 가치·태도 | 온도에 따라 반응 속도가 어떻게 변하는지 관심을 가지고 실험에 참여했는가? ☆☆☆☆☆

온도, 충돌 횟수, 반응 속도의 관계
온도가 25 °C에서 35 °C로 10 °C
높아질 때 충돌 횟수는 약 2 %
증가하지만, 반응 속도는 약 2 배
빨라진다.

일반적으로 온도가 높아지면 반응 속도가 빨라진다. 그 까닭은 무엇일까?

온도가 높아지면 분자들의 평균 속력이 커지므로 충돌 횟수가 증가하지만, 온도 상승에 따른 반응 속도의 변화를 충돌 횟수의 증가로만 설명하기는 어렵다. 그렇다면 충돌 횟수 이외에 온도에 따른 반응 속도에 영향을 주는 요인은 무엇일까?

그림 IV-9는 온도에 따른 기체 분자의 운동 에너지 분포 곡선을 나타낸 것이다.



(자료 출처: Zumdahl 외, 『Chemistry(11th ed.)』, Cengage Learning, 2023.)

그림 IV-9 온도에 따른 기체 분자의 운동 에너지 분포 곡선

온도가 높아지면 큰 운동 에너지를 가진 분자 수가 증가하므로 활성화 에너지 이상의 에너지를 가진 분자 수도 증가한다. 이에 따라 유효 충돌을 하는 분자 수가 증가하므로 반응 속도가 빨라진다.

온도가 반응 속도에 영향을 주는 예는 생명 현상에서도 찾아볼 수 있다. 귀뚜라미가 날개를 비벼 울음소리를 낼 때 날개의 근육이 수축하는데, 이런 신체 활동에서 일어나는 반응은 온도가 높아질수록 빨라지므로 기온이 높아질수록 귀뚜라미 울음소리의 간격이 짧아진다. 또 개구리나 뱀 등은 겨울철에 체온이 낮아져 물질 대사 속도가 느려진다. 따라서 활동하는 데 필요한 에너지를 생성하기 어려우므로 활동을 줄이거나 겨울잠을 자기도 한다.



귀뚜라미



개구리

그림 IV-10 온도가 반응 속도에 영향을 주는 예

일상생활이나 산업 현장에서 온도를 변화시켜 반응 속도를 조절하는 예를 알아 보자.

해보기

탐구 능력

온도를 변화시켜 반응 속도를 조절하는 예 조사하기

일상생활이나 산업 현장에서 온도를 변화시켜 반응 속도를 조절하는 사례를 찾아 설명해 보자.

음식물을 냉장고에 보관한다.

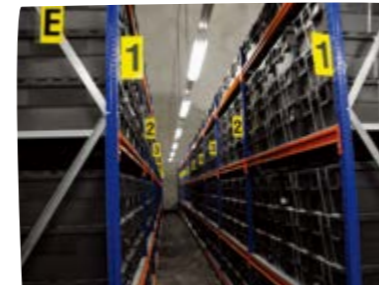


예 음식물을 낮은 온도에 보관해 음식물이 변질 되는 속도를 느리게 한다.

비닐하우스에서 작물을 재배한다.



종자를 냉동하여 보관한다.



확인하기

- 1 온도가 높아지면 ()보다 큰 에너지를 갖는 분자 수가 많아져서 반응 속도가 빨라진다.
- 2 다음 중 온도를 조절해 반응 속도를 변화시키는 예를 있는 대로 골라 보자.

냉장고

비닐하우스

고압 산소실

탐구

● 탐구 수행 / 결론 도출

- 준비물** 10% 과산화 수소수
 아이오딘화 칼륨
 주방용 액체 세제
 스포이트 눈금실린더
 약손가락 보안경
 실험복
 실험용 고무장갑

- 안전** 실험할 때는 반드시 실험복, 보안경, 실험용 고무장갑을 착용한다.
 실험 후 남은 용액은 폐수 처리 기준과 방법에 따라 처리한다.

도움 자료
 탐구 전에 다음 자료를 먼저 읽어 보자.
 • 128 쪽~129 쪽 실험실 안전 수칙

스스로 평가하기

| 지식·이해 |
 과산화 수소의 분해 반응에서 아이오딘화 칼륨의 역할을 옳게 설명했는가? ☆☆☆☆☆

| 과정·기능 |
 눈금실린더에서 기포가 발생하는 정도를 옳게 비교했는가? ☆☆☆☆☆

| 가치·태도 |
 반응 속도에 영향을 주는 물질에 관심을 가지고 실험에 참여했는가? ☆☆☆☆☆

촉매가 반응 속도에 미치는 영향

반응물의 농도와 온도 외에 반응 속도를 조절할 수 있는 또 다른 요인은 없을까? 반응 속도에 영향을 주는 물질을 알아보자.

Q 탐구 능력 | 문제 해결 능력

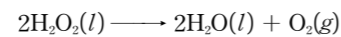
반응 속도에 영향을 주는 물질 알아보기

목표

반응 속도를 변화시키는 물질의 작용을 관찰하고, 그 역할을 설명할 수 있다.

준비

과산화 수소(H₂O₂) 분해 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



- 반응 속도를 변화시키는 물질의 사용에 따른 반응 속도를 비교하려면 무엇을 관찰해야 할까?

과정

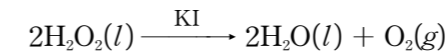
1. 눈금실린더 A와 B에 과산화 수소수 10 mL와 주방용 세제 2 방울~3 방울을 각각 넣자.
2. 눈금실린더 A에는 아무것도 넣지 않고, 눈금실린더 B에는 아이오딘화 칼륨(KI)을 소량 넣은 다음 각 눈금실린더에서 일어나는 변화를 관찰하자.



결과 및 정리

1. 눈금실린더 A와 B에서 기포가 발생하는 정도를 비교하여 설명해 보자.
2. 과산화 수소의 분해 반응에서 아이오딘화 칼륨의 역할을 설명해 보자.

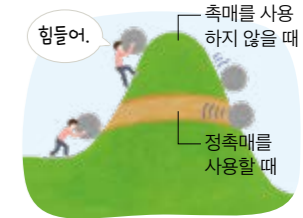
과산화 수소(H₂O₂)는 실온에서 물(H₂O)과 산소(O₂)로 서서히 분해되는데, 아이오딘화 칼륨(KI)을 넣으면 분해 속도가 빨라진다. 이처럼 화학 반응 과정에서 자신은 변하지 않으면서 반응 속도를 변화시키는 물질을 **촉매**라고 한다. 촉매는 화학 반응식에서 화살표 위에 주로 표시한다.



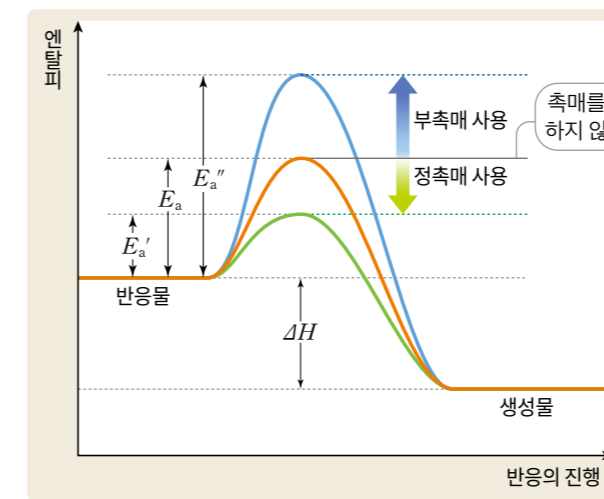
과산화 수소 분해 반응에서의 아이오딘화 칼륨처럼 반응 속도를 빠르게 하는 물질을 **정촉매**라고 한다. 반면 과산화 수소(H₂O₂)에 묽은 인산(H₃PO₄)을 넣으면 분해 속도가 느려지는데, 이처럼 반응 속도를 느리게 하는 물질을 **부촉매**라고 한다.

촉매는 어떻게 반응 속도를 변화시킬 수 있을까? 촉매를 사용하면 새로운 반응 경로로 반응이 진행되어 활성화 에너지의 크기가 달라지므로 반응 속도가 변한다. 정촉매를 사용하면 활성화 에너지가 낮아지므로 반응할 수 있는 분자 수가 많아져 반응 속도가 빨라진다. 반대로 부촉매를 사용하면 활성화 에너지가 커지므로 반응할 수 있는 분자 수가 적어져 반응 속도가 느려진다.

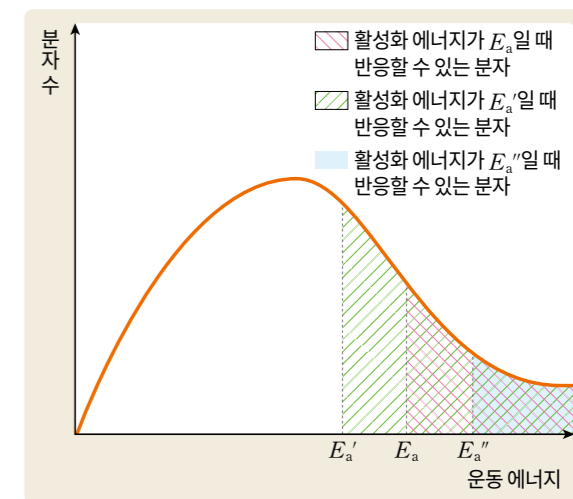
화학 반응에서 정촉매를 사용할 때 반응 경로 변화의 비유



일반적으로 촉매는 정촉매를 의미하고, 부촉매는 반응 속도를 느리게 하므로 억제제라고 부르기도 해.



활성화 에너지 변화



반응할 수 있는 분자 수 변화

그림 IV-11 촉매 사용에 따른 활성화 에너지와 반응할 수 있는 분자 수의 변화 E_a는 촉매를 사용하지 않을 때의 활성화 에너지, E_a'는 정촉매를 사용할 때의 활성화 에너지, E_a''는 부촉매를 사용할 때의 활성화 에너지이다.

확인하기

1. 반응의 활성화 에너지를 낮추어 반응 속도를 빠르게 하는 물질을 () (이)라고 한다.
2. 다음 중 촉매를 사용할 때 달라지는 것을 있는 대로 골라 보자.

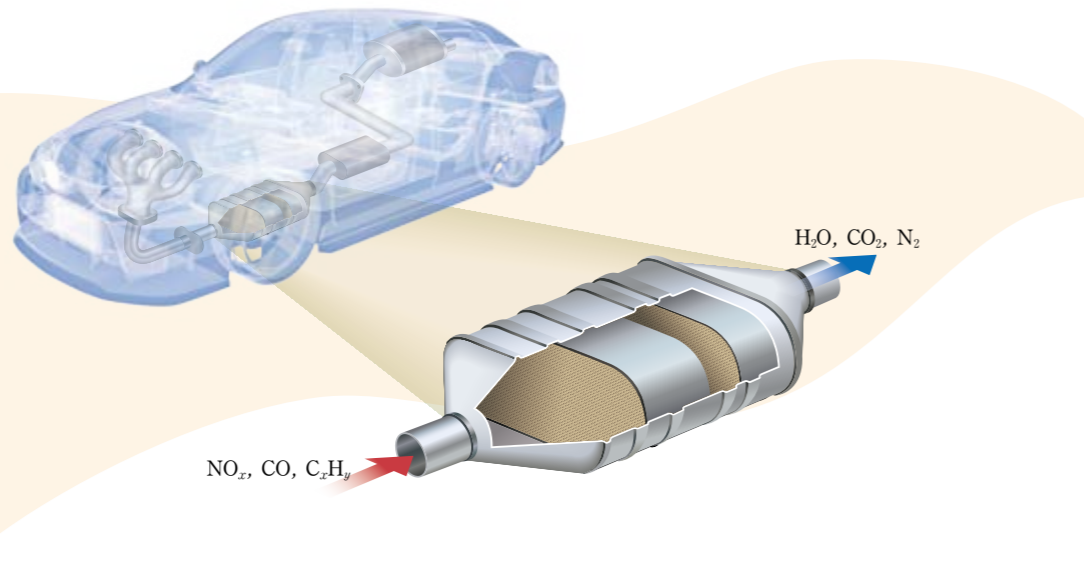
활성화 에너지 반응 속도 반응 엔탈피 분자 운동 속도

촉매의 활용

촉매는 우리 생활에 필요한 제품을 생산하는 데 매우 중요한 역할을 한다. 촉매를 사용하면 반응의 활성화 에너지를 변화시켜 반응 속도를 조절할 수 있으므로 비용, 시간, 생산량 측면에서 많은 이익을 얻을 수 있다.

금속이나 금속 산화물 등으로 이루어진 고체 촉매는 암모니아나 플라스틱 등 우리 생활에 꼭 필요한 물질을 합성하는 데 사용된다. 이뿐만 아니라 발전소의 이산화 황(SO₂)이나 자동차의 배기가스에 포함된 질소 산화물(NO_x) 등의 오염 물질을 제거하는 과정에도 사용되어 다양한 환경 문제 해결에 도움을 주고 있다.

그림 IV-12 자동차의 촉매 변환기 자동차 연료가 연소할 때 생성되는 탄화수소(C_xH_y), 일산화 탄소(CO), 질소 산화물(NO_x) 등의 대기 오염 물질이 이산화 탄소(CO₂), 수증기(H₂O), 질소(N₂), 산소(O₂)로 변환된다.



환경과 에너지 분야에서 주목받는 광촉매는 빛을 받으면 촉매 작용을 하는 물질이다. 광촉매는 물을 빛에너지로 분해해 수소와 산소를 만들 수 있으며, 빛에너지만으로 오염 물질을 제거할 수 있다. 이처럼 광촉매를 활용하면 에너지와 환경 문제를 동시에 해결할 수 있으므로 광촉매에 관한 연구를 활발히 진행하고 있다.

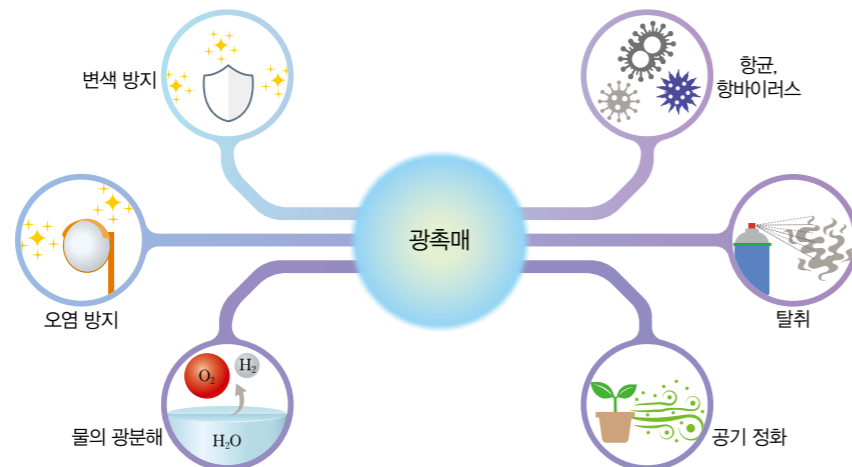
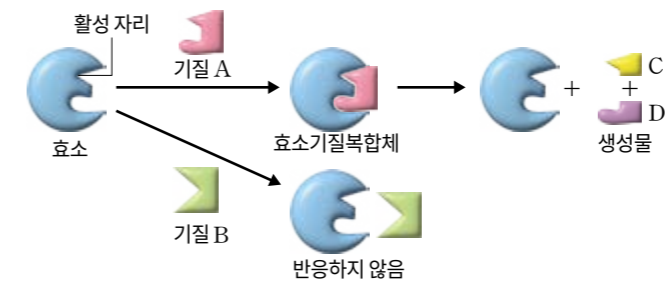


그림 IV-13 광촉매의 활용

생체 내에서는 생명활동을 유지하기 위해 다양한 화학 반응이 지속해서 일어난다. 이러한 화학 반응은 일반적으로 높은 활성화 에너지가 필요하지만 생체 내에서는 빠르게 진행되는데, 이때 효소가 중요한 역할을 한다. 효소는 생명활동에 필요한 반응의 속도를 빠르게 하는 생체 촉매로, 복잡한 구조의 단백질 분자이다.

효소의 촉매 작용은 활성 자리라는 부위에서 일어난다. 효소는 활성 자리와 입체 구조가 맞는 특정한 반응물과 선택적으로 결합해 반응 속도를 빠르게 한다.



기질 효소의 활성 자리와 결합할 수 있는 특정한 반응물이다.

그림 IV-14 효소의 촉매 작용

인류는 오래전부터 생활에 효소를 이용했다. 치즈, 포도주, 식혜, 메주 등의 발효 식품을 만드는 데 효소를 이용하며, 생활용품, 화장품, 의약품 등에도 효소를 활용한다. 또 효소를 환경이나 에너지 분야에 활용하는 방법을 꾸준히 연구하고 있어 효소의 활용 분야는 계속 넓어지고 있다.



그림 IV-15 효소의 활용

확인하기

- 1 광촉매는 ()을/를 받을 때 촉매 작용을 하는 물질이다.
- 2 생물체 내에서 생명활동에 필요한 반응의 속도를 빠르게 하는 촉매를 ()이라고 한다.

소단원 마무리

창의력 키우기

촉매를 이용해서 대기 중의 이산화 탄소를 플라스틱 등의 자원으로 활용하는 방법을 조사해 보자.

디지털 소양 키우기

생활을 편리하게 하는 데 촉매를 활용하는 예를 검색해 보자.

무엇이든 붙일 수 있다! 클릭 화학

과학자들은 반응의 부산물을 줄이고 반응 속도를 조절하기 위해 끊임없이 연구한다. 2022년 노벨 화학상은 클릭 화학과 생체 직교 화학을 개발한 샤프리스, 멜달, 버토지가 공동으로 수상했다.

클릭 화학은 실온, 대기압 조건에서도 부산물 없이 원하는 생성물을 빠르게 합성할 수 있는 반응을 뜻한다. 허리띠의 버클을 ‘딸깍’ 잠그는 것처럼 반응이 빠르고 간단하다는 의미에서 클릭 화학이라는 이름으로 불리게 되었다.

클릭 화학의 대표적인 반응은 샤프리스와 멜달이 연구한 구리 이온을 이용해 두 분자를 연결하는 반응으로, 부산물 없이 원하는 생성물을 빠르게 얻을 수 있어 다양한 분야에 활용될 수 있다.

그러나 이 반응은 구리 이온이 사용되므로 체내에 적용하기에는 적합하지 않은데, 이러한 점을 해결한 것이 버토지가 연구한 생체 직교 화학이다. 버토지는 반

응물 분자 내 결합각을 조절함으로써 반응물의 에너지를 활성화 에너지 근처까지 높여 촉매 없이 원하는 분자를 연결하는 방법을 개발했다. 이 반응은 반응물이 원하는 생체 분자와만 빠르게 반응하므로 생체 내의 다른 작용에는 영향을 미치지 않는다는 장점이 있다.

클릭 화학과 클릭 화학을 생체에 적용한 생체 직교 화학은 생명 현상을 분자 수준에서 관찰하고 조절하게 하여 신약 개발, 질병 진단과 치료법 연구를 크게 발전시키고 있다.

활동하기

조사

클릭 화학과 생체 직교 화학의 조건을 조사해 보자.



반응 속도가 빠르고 부산물이 적게 생성되는 반응이 필요해. 구리 이온을 촉매로 이용하면 어떨까?

구리 이온을 촉매로 이용하면 분자들을 손쉽게 연결할 수 있어. 이건 기존에는 볼 수 없던 반응이야!

생체에 영향을 주지 않도록 촉매 없이도 몸속에서 원하는 반응을 할 수 있어야 해.



샤프리스 (Sharpless, K. B., 1941~)

멜달 (Meldal, M. P., 1954~)

버토지 (Bertozzi, C. R., 1966~)

반응을 설계하는 촉매 연구원

누리집



검색·누리집 한국화학연구원에서 촉매 연구원과 관련된 정보를 찾아보자.

촉매 연구원은 어떤 일을 할까?

촉매 연구원은 속도가 느린 반응을 빠르게 하거나 속도가 빠른 반응을 느리게 조절하는 촉매를 합성해 반응 속도를 조절하고, 이를 여러 가지 화학 반응에 응용하는 연구를 한다.

예를 들어 반응성이 작아 활용하기 어려운 물질을 활용 가능성이 큰 물질로 바꾸는 반응의 촉매를 개발하거나 많은 에너지와 다양한 원료를 확보할 수 있는 반응의 촉매를 개발하는 연구 등을 한다. 또 친환경 촉매, 화학 공정에서 폐기물을 최소화하도록 도와주는 촉매 등을 연구해 인류가 당면한 에너지 고갈 문제와 기후 위기를 해결하기 위해 노력한다.

촉매 연구원은 어떤 능력이 필요할까?

촉매를 개발하려면 물질의 성질과 화학 반응을 이해해야 하므로 화학, 재료 공학, 물리학, 생명과학 등 다양한 분야의 기초 지식이 필요하다. 또 반응을 분석할 때 새로운 반응 경로를 연구하기도 하므로 창의적으로 생각하는 능력과 이를 실험으로 검증하는 연구 역량이 필요하다.

관련 학과 ▶ 화학과, 재료 공학과, 화학 공학과, 에너지 공학과, 신소재 공학과 등

활동하기

조사

인류가 촉매를 사용하는 예를 찾고, 이러한 촉매의 활용이 환경, 생물, 경제에 어떤 영향을 미치는지 조사해 보자.



반응 속도

화학 반응 속도

반응 속도

- 반응의 빠르기를 수치로 나타낸 것
- 반응 속도 = $\frac{\text{물질의 농도 변화량}}{\text{반응 시간}}$

반응 속도식

반응 속도식 $v = k[A]^m[B]^n$ 에서
 k 는 ① ,
 m, n 은 반응 차수

일차 반응의 반감기

②

반응물의 농도가 절반으로 줄어드는 데 걸리는 시간

일차 반응의 반감기의 특징

온도가 일정할 때 반응물의 농도에 관계없이 일정함.

유효 충돌과 활성화 에너지

③

반응이 일어나기에 적합한 충돌

④

화학 반응이 일어나기 위해 필요한 최소한의 에너지

농도, 온도, 촉매에 따른 반응 속도의 변화

농도와 반응 속도

반응물의 농도 증가 → 충돌 횟수 증가
 → 반응 속도 ⑤

온도와 반응 속도

온도 증가
 → 유효 충돌을 할 수 있는 입자 수 증가
 → 반응 속도 ⑥

촉매와 반응 속도

⑦ : 화학 반응에서 자신은 변하지 않으면서 반응 속도를 변화시키는 물질

정촉매 사용 → 활성화 에너지 감소
 → 반응 속도 ⑧

• 광촉매: 빛을 받으면 촉매 작용을 하는 물질

• 생체 촉매인 ⑨ 은/는 식품, 환경, 에너지 등 많은 분야에서 활용됨.

01. 화학 반응 속도

01 A + B → C의 반응에서 [B]를 일정하게 하고 [A]를 2 배로 했더니 반응 속도가 2 배가 되고, [A]를 일정하게 하고 [B]를 2 배로 했더니 반응 속도의 변화가 없었다. (단, 온도는 일정하다.)

(1) 이 반응의 반응 속도식을 써 보자.

(2) 이 반응의 반응 속도 상수 k 의 단위를 써 보자.

01. 화학 반응 속도

02 표는 $2\text{NO}(g) + \text{O}_2(g) \rightarrow 2\text{NO}_2(g)$ 의 반응에서 반응물의 초기 농도를 다르게 하면서 초기 반응 속도를 측정 한 결과이다.

실험	반응물의 초기 농도(mol/L)		초기 반응 속도 (mol/(L·s))
	[NO]	[O ₂]	
1	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-4}	2.4×10^{-6}
2	1.0×10^{-4}	2.0×10^{-4}	4.8×10^{-6}
3	2.0×10^{-4}	2.0×10^{-4}	1.9×10^{-5}

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 실험 1~3의 온도는 모두 같다.)

보기
 ㄱ. NO에 대한 이차 반응이다.
 ㄴ. O₂에 대한 이차 반응이다.
 ㄷ. 이 반응의 전체 반응 차수는 4이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
 ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02. 일차 반응의 반감기

03 일차 반응에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

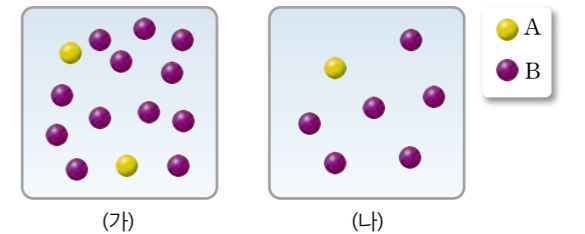
보기
 ㄱ. 반응 속도는 시간이 지날수록 점점 빨라진다.
 ㄴ. 반감기는 반응물의 농도에 관계없이 일정하다.
 ㄷ. 화학 반응식에서 반응물의 계수는 항상 1이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
 ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

서술형

02. 일차 반응의 반감기

04 그림은 일차 반응 $\text{A}(g) \rightarrow 2\text{B}(g)$ 에서 부피와 온도가 같은 두 강철 용기에 각각 A(g)의 농도를 다르게 해서 넣고 4 분이 지난 후 용기 내 입자를 모형으로 나타낸 것이다. (단, 온도는 일정하다.)

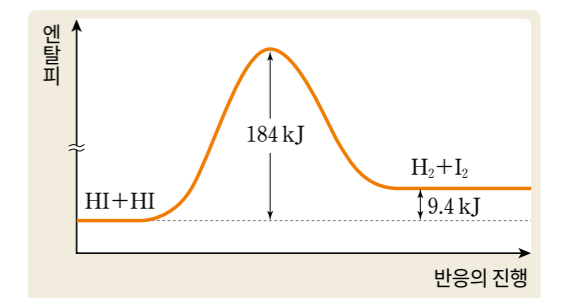
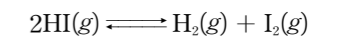


(1) 이 반응의 반감기를 구하고, 풀이 과정을 설명해 보자.

(2) (가)와 (나)에서 A의 초기 몰농도비([A]_(가) : [A]_(나))를 구하고, 풀이 과정을 설명해 보자.

03. 유효 충돌과 활성화 에너지

05 다음은 아이오딘화 수소(HI)의 분해 반응식과 일정한 온도에서 반응의 진행에 따른 엔탈피를 나타낸 것이다.



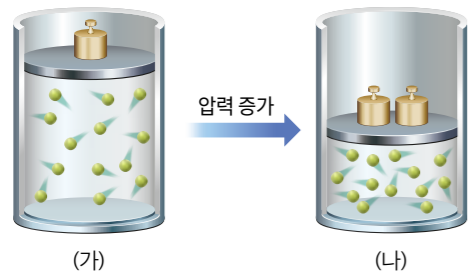
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기
 ㄱ. 반응 엔탈피(ΔH)는 0보다 작다.
 ㄴ. 역반응의 활성화 에너지는 174.6 kJ이다.
 ㄷ. 정반응의 활성화 에너지가 역반응의 활성화 에너지보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
 ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04. 농도, 온도, 촉매에 따른 반응 속도의 변화

06 그림은 일정한 온도에서 일정량의 기체가 들어 있는 실린더의 압력을 증가시켰을 때 실린더 내부 입자의 변화를 모형으로 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㉠. 반응 속도는 (나)가 (가)보다 빠르다.
 - ㉡. 단위 시간당 입자의 충돌 횟수는 (가)가 (나)보다 많다.
 - ㉢. 음식물을 냉장고에 넣어 두면 오래 보관할 수 있는 까닭을 이 모형으로 설명할 수 있다.

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

04. 농도, 온도, 촉매에 따른 반응 속도의 변화

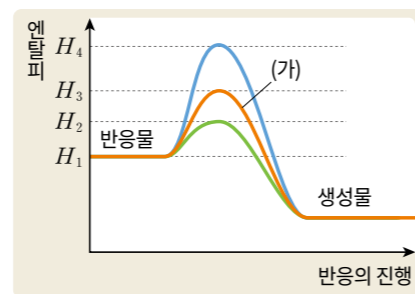
07 반응 속도에 영향을 미치는 요인에 대한 설명으로 가장 적절한 것은?

- ① 온도가 높아지면 활성화 에너지가 감소해 반응 속도가 빨라진다.
- ② 온도가 높아지면 입자의 충돌 횟수가 감소해 반응 속도가 느려진다.
- ③ 반응물의 농도가 증가하면 단위 시간당 입자의 충돌 횟수가 증가해 반응 속도가 빨라진다.
- ④ 기체 반응에서 온도가 일정할 때 압력을 높이면 입자의 충돌 횟수가 감소해 반응 속도가 느려진다.
- ⑤ 정촉매를 사용하면 정촉매를 사용하지 않을 때보다 활성화 에너지가 커지므로 반응 속도가 느려진다.

서술형

04. 농도, 온도, 촉매에 따른 반응 속도의 변화

08 그림은 어떤 반응에서 촉매를 사용하지 않을 때와 정촉매와 부촉매를 각각 사용할 때 반응의 진행에 따른 엔탈피를 나타낸 것이다.



정촉매와 부촉매를 사용했을 때의 활성화 에너지를 각각 구하고, 그렇게 생각한 까닭을 설명해 보자. (단, (가)는 촉매를 사용하지 않은 경우이며, 온도는 일정하다.)

04. 농도, 온도, 촉매에 따른 반응 속도의 변화

09 다음은 반응 속도를 조절하는 몇 가지 물질을 설명한 것이다.

- (가) 빛을 받으면 촉매 작용을 하는 물질
- (나) 금속이나 금속 산화물로 이루어진 고체 촉매
- (다) 생명활동에 필요한 반응의 속도를 빠르게 하는 생체 촉매

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㉠. (가)는 오염 물질의 제거, 물의 분해 등에 이용된다.
 - ㉡. (나)는 자동차의 촉매 변환기 등에 이용되어 대기 오염 물질을 제거한다.
 - ㉢. 하나의 (다)는 다양한 반응물과 결합할 수 있으므로 반응 속도를 조절하는 데 효과적이다.

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

과학 글쓰기

10 다음은 약의 복용법과 관련된 글의 일부이다.

일반적으로 약은 하루 3번 복용한다. 약의 하루 복용 횟수는 어떻게 정할까?
 약을 먹으면 약물의 혈중 농도가 시간에 따라 점차 높아져 최대 혈중 농도에 도달했다가 시간이 지남에 따라 줄어든다. 약효가 발휘되는 정도는 약물의 혈중 농도에 따라 달라지며, 약물의 혈중 농도가 기준 농도 이상이면 약효가 나타나고 그 이하가 되면 약효가 나타나지 않는다. 또 약물의 혈중 농도가 지나치게 높은 경우 약이 체내에서 독성을 나타낼 수 있다. 따라서 약물이 최대 혈중 농도에 도달할 때까지 걸리는 시간과 약물의 농도가 최대 혈중 농도에서 절반이 되는 데 걸리는 시간, 즉 반감기를 고려해 약물의 복용 간격을 정하고, 이에 따라 하루 복용 횟수를 정한다. 그러므로 약을 먹을 때는 복용법을 꼭 지켜야 한다.
 어린아이에게 약을 먹일 때는 특히 주의해야 한다. 어린아이가 알약을 삼키기 어려워하면 알약을 갈아서 가루약으로 만들어 먹이거나 큰 약을 작게 쪼개어 먹이는 경우가 있는데 이렇게 ㉠ 약의 형태를 바꾸면 약효에 변화가 생길 수 있다.

- (1) 약을 하루 복용 횟수보다 많이 먹을 때와 적게 먹을 때 발생하는 문제를 글에서 찾아 써 보자.
- (2) ㉠의 까닭을 반응 속도와 관련지어 설명해 보자.



스스로 점검하기

- 지식·이해** 화학 반응 속도를 반응물의 농도로 표현하고, 일차 반응의 반감기의 특징 및 유효 충돌과 활성화 에너지의 의미를 설명했다. ★★★★★
- 과정·기능** 반응 속도를 측정하는 실험을 설계해 수행하고, 농도, 온도, 촉매와 반응 속도의 관계를 탐구했다. ★★★★★
- 가치·태도** 화학 반응이 일어나기 위한 조건에 관심을 가지고, 농도, 온도, 촉매에 따라 반응 속도가 달라지는 예를 찾아 화학의 유용성을 인식했다. ★★★★★

평가 결과가 아쉽다면 IV. 반응 속도를 다시 한번 학습해 보자.

글쓰기 길잡이

하루 복용 횟수보다 약을 많이 먹거나 적게 먹을 때 약물의 혈중 농도가 어떻게 될지 생각해 본다.

환경문제의 해결사, 촉매와 효소

과학과 산업이 발전함에 따라 인류의 삶의 질이 향상되고 있지만, 그 결과 인간과 동식물의 생활 환경인 지구가 오염되는 문제도 생기고 있다. 무분별한 자원 개발로 자연이 파괴되고, 산업 활동 결과로 발생하는 폐기물이나 폐수, 자연적으로 잘 분해되지 않는 생활 쓰레기, 공장의 매연이나 자동차의 배기가스 등은 대기 오염, 토양 오염, 수질 오염의 원인이 된다.

이러한 환경 문제를 해결하기 위해 여러 가지 연구를 진행하고 있으며, 그중 촉매와 효소를 이용하여 환경 문제를 해결하는 방법에 대해 꾸준히 연구하고 있다.



“온실 가스의 변신, 효소가 책임진다!”

이산화 탄소(CO₂)를 폼산(HCOOH)으로 전환하는 효소가 개발됐다. 폼산은 개미나 벌의 독에 섞여 있는 물질로, 세균을 없애거나 pH를 조절할 수 있어서 식품 첨가물 등으로 쓰이며, 폼산을 활용해 전지를 만드는 연구도 진행되고 있다. 기존에는 화석 연료를 이용해 폼산을 생산했으므로 온실 가스인 이산화 탄소가 배출되었다. 그러나 새로운 기술을 활용하면 이산화 탄소를 폼산으로 전환할 때 에너지가 적게 필요하므로 탄소 중립 실현에 도움이 될 것으로 기대된다.

기존 기술	새로운 기술
<ul style="list-style-type: none"> 고온에서 반응함. 귀금속 촉매를 이용함. 부산물(CO₂, H₂ 등)이 발생함. 	<ul style="list-style-type: none"> 실온(25 °C~30 °C)에서 반응함. 재조합 효소를 이용함. 부산물이 발생하지 않음.

▲ 새로 개발된 기술의 차별성

1 촉매나 효소로 환경 문제를 해결하는 사례 조사하기

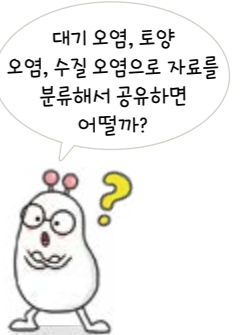
1. 인류가 마주한 환경 문제와 그 원인을 조사해 보자.
2. 1에서 조사한 내용을 모둠원과 공유하고, 그중 하나를 선택하여 촉매를 활용해 문제를 해결할 수 있는 방법을 조사해 보자.
3. 2의 내용을 홍보하는 자료를 인터넷 기사 형태로 만들어 보자.

과정·기능 길잡이

촉매나 효소가 환경 문제를 해결하는 데 어떤 역할을 하는지 설명하는 내용을 포함하여 기사를 작성한다.

2 홍보 자료 발표하기

1. 모둠에서 만든 홍보 자료를 발표하고, 공유 플랫폼을 활용하여 공유해 보자.
2. 발표를 들으며 느낀 점과 지속가능한 지구를 위해 지녀야 하는 삶의 태도를 이야기해 보자.
3. 우리 모둠의 활동을 평가해 보자.



내용	평가		
촉매나 효소가 환경 문제를 해결하는 데 어떻게 이용되는지 설명했는가?	상	중	하
인류가 마주한 환경 문제를 조사할 때 적절한 검색어를 활용해 필요한 자료를 조사했는가?	상	중	하
모든 모둠원이 인류가 마주한 환경 문제의 심각성을 인지하고, 지속가능한 지구에 대한 책임감을 느끼면서 활동에 참여했는가?	상	중	하



학습 과제물

» 이 단원의 활동 결과를 정리해 보자.

• 120 쪽 최신 과학 이야기 • 121 쪽 화학과 나의 미래 • 126 쪽~127 쪽 프로젝트

- 1 이 단원의 활동 결과를 모아 IV. 반응 속도 학습 과제물 자료로 정리해 보자.
- 2 공유 플랫폼을 활용해 학습 과제물을 친구들에게 공유하고, 친구들의 학습 과제물에 댓글을 달거나 '좋아요' 표시를 하면서 소통해 보자.
- 3 학습 과제물을 인쇄해 책자로 만들어 보자.



실험하는 동안

실험하기 전

긴머리는 단정히 묶는다.

실험복, 보안경, 실험용 고무장갑 등 안전 장구를 착용한다.

발등을 덮는 신발을 신는다.

실험실에서는 항상 선생님의 안내에 따른다.

기계가 발생하는 실험을 할 때는 창문을 열어 환기한다.

시험관이나 플라스크의 입구가 사람을 향하게 하지 않는다.

자리를 옮기지 않고 제자리에서 실험한다.

날카로운 도구를 사용할 때는 다치지 않게 주의한다.

뜨거운 물체를 다룰 때는 반드시 열을 견딜 수 있는 장갑을 끼고 집게를 사용한다.

실험실에서 음식을 먹지 않는다.

장난치거나 뛰어 다니지 않는다.

실험 기구는 정확한 사용 방법을 익힌 후 사용한다.

실험 재료를 함부로 맛보거나 냄새를 맡지 않는다.

젖은 손으로 전기 기구의 전선이나 콘센트를 만지지 않는다.

실험이 끝난 뒤



사용한 화학 약품은 선생님의 안내에 따라 정해진 곳에 버린다.



사용한 실험 기구는 선생님의 안내에 따라 깨끗이 씻는다.



실험이 끝나면 반드시 손을 깨끗이 씻는다.

안전사고와 응급 처치



화재가 발생했을 때

선생님과 다른 학생들에게 큰 소리로 상황을 알리고, 젖은 걸레나 실험복 등으로 불을 덮어서 끈다.

큰불이 났을 때

소화기로 불을 끄며 화재경보기를 울리고 119에 신고한 뒤, 몸을 낮춘 상태에서 수건 등으로 코와 입을 막고 비상 대피로를 통해 밖으로 나간다.

피부에 시약이 닿았을 때



시약이 닿은 부위를 흐르는 물에 충분히 씻는다. 눈에 용액이 튀었을 때는 눈 세척기나 흐르는 물에 충분히 씻는다.

유리 기구가 깨졌을 때



깨진 유리 조각을 만지지 않고 선생님께 알린 뒤 선생님의 안내에 따라 처리한다.

화상을 입었을 때



차가운 물로 씻고 열기를 식힌 뒤 즉시 선생님께 상황을 알리고 의사의 진료를 받는다.

상처가 났을 때



피가 나면 소독약으로 소독한 뒤 깨끗한 천으로 눌러 지혈하고, 보건실이나 병원에서 치료를 받는다.

감전 사고가 발생했을 때



전원을 내리고 감전된 사람을 전기 기구와 떨어뜨린 뒤 119에 신고한다. 실험 중 전기 기구의 상태가 위험하다고 느끼면 즉시 선생님과 주변 학생들에게 알려 사고를 예방한다.

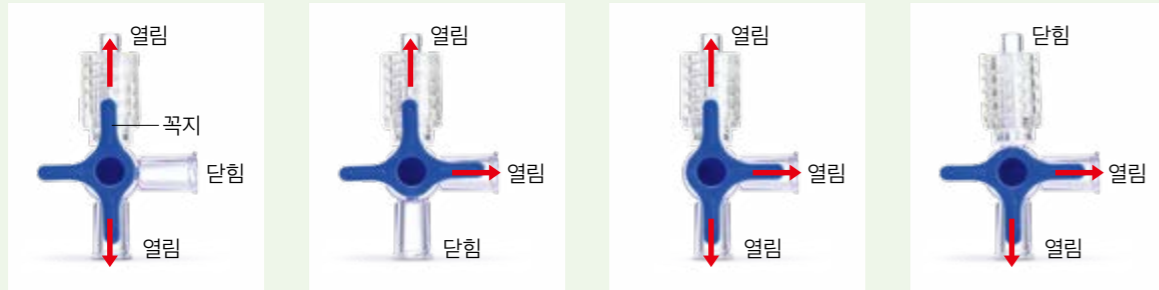
유독한 화학 약품 냄새를 맡았을 때



실험실 밖으로 나가 옷을 느슨하게 하고 신선한 공기를 마신다.

3 방향 꼭지 사용 방법

꼭지가 관과 같은 방향을 향하면 열린 것이고, 관과 수직 방향을 향하면 닫힌 것이다.



무선 센서 사용 방법

pH 센서



산 수용액이나 염기 수용액의 pH를 측정할 때 사용한다.

온도 센서

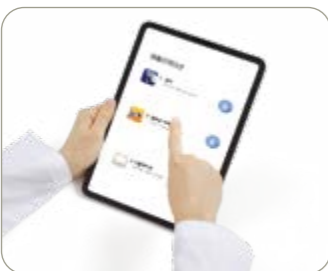


액체나 수용액의 온도를 측정할 때 사용한다.

압력 센서



기체의 압력을 측정할 때 사용한다.



1 스마트 기기에 센서 관련 프로그램을 설치한다.



2 센서의 전원을 켜 후 스마트 기기의 프로그램과 연결한다.



3 센서로 측정된 데이터를 수집하여 분석한다.

I 물질의 세 가지 상태

01 기체의 성질

9 쪽 **자료 읽기**
압력이 P일 때: PV, 압력이 2P일 때: PV

9 쪽 **확인하기**
1 반비례, 보일
2 0.4 기압 | $1 \text{ atm} \times 2 \text{ L} = P \text{ atm} \times 5 \text{ L}$ 이므로 $P=0.4$ 이다.

11 쪽 **물음**
6 L | $\frac{5 \text{ L}}{300 \text{ K}} = \frac{V \text{ L}}{360 \text{ K}}$ 이므로 $V=6$ 이다.

12 쪽 **물음**
0.75 mol | $1 \text{ mol} : 22.4 \text{ L} = n \text{ mol} : 16.8 \text{ L}$, $n=0.75$ 이다.

12 쪽 **확인하기**
1 절대 온도 2 비례한다

14 쪽 **연습 해보기**

| 풀이 따라가기 |

1 3 2 300 3 0.5

| 직접 해 보기 |

1 mol | $n = \frac{4 \text{ atm} \times 8.2 \text{ L}}{0.082 \text{ atm} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \times 400 \text{ K}} = 1 \text{ mol}$

15 쪽 **물음**
32 g/mol | $M = \frac{0.8 \text{ g} \times 0.082 \text{ atm} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \times 300 \text{ K}}{1 \text{ atm} \times 0.615 \text{ L}} = 32 \text{ g/mol}$

15 쪽 **물음**
예시답안 자동차 에어백에 들어갈 기체의 양을 계산할 때 이상 기체 방정식을 활용한다.

15 쪽 **확인하기**
1 이상 기체 방정식
2 0.5 기압 |

$P = \frac{0.5 \text{ mol} \times 0.082 \text{ atm} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \times 300 \text{ K}}{24.6 \text{ L}} = 0.5 \text{ atm}$

소단원 마무리 17 쪽

◦ 창의력 키우기
예시답안 아래쪽 유리 구를 손으로 감싸면 유리 구 속 기체의 온도가 높아져 부피가 증가하므로 액체를 위쪽 유리 구로 밀어낸다.

◦ 디지털 소양 키우기
도움말 튜브에 공기를 넣으면 부푸는 현상, 과자 봉지를 가지고 높은 산을 오르면 과자 봉지가 부푸는 현상 등을 이상 기체 방정식으로 설명하는 동영상을 만든다.

02 혼합 기체의 부분 압력과 몰분율

19 쪽 **확인하기**
1 부분 압력
2 몰분율: A 0.4, B 0.6, 부분 압력: A 1.2 기압, B 1.8 기압

21 쪽 **확인하기**
1 질소 2 혼합 기체

소단원 마무리 21 쪽

◦ 창의력 키우기
예시답안 금성의 대기 조성(부피비)은 이산화 탄소가 96.5%, 질소가 3.5%이다. 일정한 압력에서 기체의 부피는 양(mol)에 비례하므로 금성 대기에서 이산화 탄소의 몰분율은 0.965, 질소의 몰분율은 0.035이다. 금성의 대기압이 약 90 기압이므로 금성에서 이산화 탄소의 부분 압력은 $90 \text{ atm} \times 0.965 = 86.85 \text{ atm}$ 이고, 질소의 부분 압력은 $90 \text{ atm} \times 0.035 = 3.15 \text{ atm}$ 이다.

◦ 디지털 소양 키우기
도움말 공기를 이용한 예, 혼합 기체가 포함된 제품을 이용한 예 등 하루 동안 접할 수 있는 혼합 기체의 예를 찾아 네 칸 만화로 표현한다.

03 액체의 분자 간 상호작용

23 쪽 **물음**
(다), (나), (가)

24 쪽 **물음**
프로페인(C₃H₈) > 에테인(C₂H₆) > 메테인(CH₄)

25 쪽 **확인하기**

- 1 염소(Cl₂), 산소(O₂), 수소(H₂)
- 2 수소 결합

27 쪽 **자료 읽기**

다이에틸 에터

28 쪽 **물음**

물의 끓는점은 외부 압력에 따라 달라지는데, 압력솥 내부는 압력이 1 기압보다 크고, 높은 산에서는 대기압이 1 기압보다 작기 때문에 끓는점의 차이가 나타난다.

29 쪽 **확인하기**

- 1 작다
- 2 상평형 그림

소단원 마무리

◦ 창의력 키우기

예시 답안 황화 수소(H₂S)는 극성 분자이므로 쌍극자-쌍극자 힘과 분산력이 작용한다.

◦ 디지털 소양 키우기

도움말 얼음이 온도가 높아지면 녹는 현상, 얼음에 압력을 가하면 녹는 현상, 물을 끓이면 수증기가 되는 현상, 에탄올이 증발하는 현상 등 주변에서 찾아볼 수 있는 상태 변화를 동영상으로 촬영한다.

04 고체의 종류와 구조

31 쪽 **확인하기**

- 1 결정성
- 2 일정하지 않다

33 쪽 **확인하기**

- 1 공유 결정
- 2 이온 결정

35 쪽 **확인하기**

- 1 자유 전자
- 2 구리

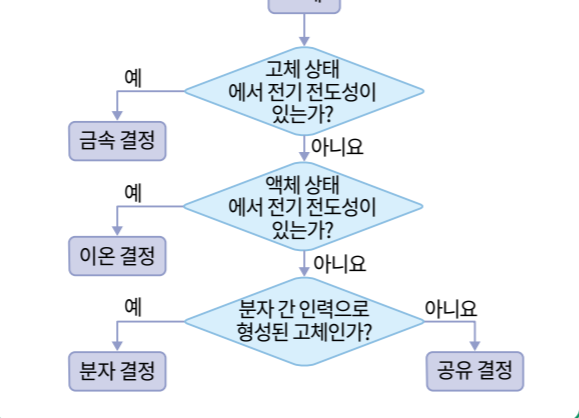
소단원 마무리

◦ 창의력 키우기

예시 답안 다이아몬드는 탄소 원자가 모두 공유 결합으로 그물처럼 연결되어 있으므로 매우 단단하다. 반면 흑연은 한 층 내에서는 공유 결합으로 연결되어 있지만, 층과 층 사이는 분산력으로 결합하고 있으므로 잘 부서진다.

◦ 디지털 소양 키우기

예시 답안



대단원 마무리

- 1 nRT
- 2 부분 압력
- 3 물분율
- 4 질소
- 5 수소 결합
- 6 분자
- 7 이온

01 ① 02 해설 참조 03 (1) 1.6 기압 (2) 0.75

04 ② 05 ③ 06 ① 07 ①

08 해설 참조

과학 글쓰기

09 (1) 0.175 (2) 해설 참조

01 (가)와 (나)의 몰비 $x:y = \frac{1 \times 2}{RT} : \frac{0.5 \times 1}{RT} = 4:1$ 이다.

02 **예시 답안** 31.7 g/mol, 기체 A의 물질량을 M, 질량을 w라 하면 $M = \frac{w}{n}$ 이고, $n = \frac{PV}{RT}$ 이므로 $M = \frac{wRT}{PV}$ 이다. 이때 $w = w_1 - w_2 = 158.0 \text{ g} - 157.4 \text{ g} = 0.6 \text{ g}$ 이므로 $M = \frac{0.6 \text{ g} \times 0.082 \text{ atm} \cdot \text{L} / (\text{mol} \cdot \text{K}) \times 290 \text{ K}}{1 \text{ atm} \times 0.45 \text{ L}} = 31.7 \text{ g/mol}$ 이다.

03 (1) O₂의 부분 압력 = $\frac{1 \text{ atm} \times 2 \text{ L}}{5 \text{ L}} = 0.4 \text{ atm}$, N₂의 부분 압력 = $\frac{2 \text{ atm} \times 3 \text{ L}}{5 \text{ L}} = 1.2 \text{ atm}$ 이므로 혼합 기체의 전체 압력은 1.6 기압이다.

(2) 질소 기체의 물분율은 $\frac{1.2}{1.6} = 0.75$ 이다.

04 (가)와 (다)는 무극성 분자로 기준 끓는점은 분자량이 큰 (다)가 (가)보다 높다. 분산력은 모든 분자에 작용하므로 분산력이 작용하는 것은 세 가지이다.

05 CF₄, CH₄은 모두 무극성 분자이므로 CF₄의 기준 끓는점이 CH₄보다 높은 것은 (가) 분산력이 주요 원인이다.

06 증기압은 A > B > C이므로 기준 끓는점은 C > B > A이고, 분자 간 인력은 C > B > A이다.

07 고체 X는 금속 결정이다. 금속 결정은 금속 양이온(A)과 자유 전자(B)의 정전기적 인력인 금속 결합으로 형성된 결정이다. 고체 X에 전원 장치를 연결하면 A는 이동하지 않고, B가 (+)극 쪽으로 이동한다.

08 **예시 답안** A-금속 결정, B-분자 결정, C-이온 결정, D-공유 결정, 네 종류의 결정 중 고체 상태에서 전기 전도성이 있는 A는 자유 전자가 있는 금속 결정이다. 나머지 결정 중 녹는점이 대체로 낮은 B는 분자 간 인력에 의해 형성된 결정인 분자 결정이다. 공유 결정과 이온 결정 중 액체의 전기 전도성이 있는 C는 액체 상태에서 전압을 가하면 이온이 이동할 수 있는 이온 결정이고, D는 공유 결정이다.

09 (1) 수심 70 m에서 잠수부가 받는 압력은 1 atm + 7 atm = 8 atm이고, 이 깊이에서 산소의 최대 부분 압력이 1.4 atm이 되어야 한다. 공기통에 채울 산소의 최대 물분율을 a라 하면 8 atm × a = 1.4 atm이므로 $a = \frac{1.4}{8} = 0.175$ 이다.

(2) **예시 답안** 수심 40 m의 바닷속에서 잠수부가 받는 압력은 대기압인 1 기압에 수압 4 기압을 더한 5 기압이다. 이 깊이에서 잠수부가 공기를 이용해 호흡할 때 질소의 부분 압력은 5 atm × 0.78 = 3.9 atm, 산소의 부분 압력은 5 atm × 0.21 = 1.05 atm이 되므로 잠수부는 질소의 영향으로 마취 증상을 겪을 수 있고, 수심이 깊어질수록 산소의 부분 압력도 높아져 폐 손상을 입을 위험이 커진다. 따라서 잠수부들은 공기보다 질소와 산소의 물분율이 작은 트라이믹스 기체를 사용해 깊은 바닷속에서 질소와 산소의 부분 압력이 일정 한도 이상 높아지지 않게 한다.

II 용액의 성질

01 경이로운 물의 성질

47 쪽 **확인하기**

- 1 극성
- 2 비열

49 쪽 **확인하기**

- 1 감소한다
- 2 증가하며, 크다

51 쪽 **확인하기**

- 1 표면 장력
- 2 수소 결합

소단원 마무리

◦ 창의력 키우기

예시 답안 물의 구조가 선형이라면 무극성 분자가 된다. 따라서 물이 쉽게 증발되어 액체인 물을 사용하기 어려울 것이다.

◦ 디지털 소양 키우기

도움말 빙산이 바다에 떠 있는 모습, 물방울이 동그랗게 맺히거나 소금쟁이가 물 위를 다니는 모습 등의 사진이나 동영상을 찾아 공유할 수 있다.

02 용액의 성질

53 쪽 **확인하기**

- 1 증기 압력 내림
- 2 낮아진다

57 쪽 **자료 읽기**

예시 답안 체액 속 포도당 농도가 증가하면 체액 속 물의 어는점이 낮아지므로 겨울철 추운 날씨에 겨울잠을 자는 개구리가 어는 것을 방지한다. 아이스크림은 다양한 물질이 혼합된 용액을 얼려서 만들므로 어는점이 낮아 -18 °C 이하의 낮은 온도에서 보관해야 녹지 않는다. 눈이 쌓인 도로에 제설제를 뿌리면 눈의 어는점이 낮아져 도로가 잘 얼지 않는다.

57 쪽 **확인하기**

- 1 몰랄 농도
- 2 높아지고, 낮아진다

소단원 마무리 57 쪽

◦ 창의력 키우기

예시 답안 순수한 물보다 다양한 물질이 혼합된 용액의 어는점이 더 낮으므로 아이스크림 창고의 온도가 얼음 창고의 온도보다 낮아야 한다.

◦ 디지털 소양 키우기

예시 답안 제설제로 쓰이는 염화 칼슘은 철을 부식시키는 성질이 있어 차를 손상시킬 수 있다. 또 염화 칼슘이 녹은 물이 식물에 닿으면 식물의 잎이 탈수 현상을 일으킬 수도 있고, 토양에 흡수되면 토양의 침식을 일으킬 수도 있다. 이를 개선하기 위해 아세트산 칼슘 마그네슘(CMA)을 이용한 제설제, 염화 칼슘에 불가사리나 조개 껍데기에서 추출한 물질을 넣어 철을 부식시키는 물질을 흡착하게 만든 제설제 등이 개발되었다.

03 **삼투 현상**

61 쪽 **확인하기**

- 1 작은, 큰
- 2 클수록

소단원 마무리 61 쪽

◦ 창의력 키우기

예시 답안 꿀은 수분이 거의 없어서 농도가 매우 크므로 미생물이 침투하면 삼투 현상 때문에 미생물의 수분이 꿀 쪽으로 더 많이 빠져나와 미생물이 서식하기 어렵다. 따라서 꿀은 잘 상하지 않는다.

◦ 디지털 소양 키우기

예시 답안 민물고기는 주변보다 체액의 농도가 더 높아 물이 몸 안으로 유입되므로 묽은 소변을 다량 배출해 체액의 농도를 유지한다. 반대로 바닷물고기는 주변보다 체액의 농도가 더 낮아 물이 몸에서 빠져나가므로 다량의 바닷물을 흡수한 후 염분은 아가미에 있는 염분 배출 세포를 통해 내보내 체액의 농도를 유지한다.

대단원 마무리 64 쪽~67 쪽

- | | | | |
|------|------|--------|---------|
| 1 극성 | 2 큼 | 3 큼 | 4 큼 |
| 5 낮음 | 6 오름 | 7 용액 | 8 몰랄 농도 |
| 9 작은 | 10 큰 | 11 클수록 | |

- | | | |
|------------------------|----------|---------|
| 01 ④ | 02 해설 참조 | 03 ⑤ |
| 04 해설 참조 | 05 ③ | 06 나, 다 |
| 07 ③ | | |
| 08 (1) 해설 참조 (2) 해설 참조 | 09 ① | 10 ④ |

과학 글쓰기

- 11 (1) 해설 참조 (2) 해설 참조

- 01 가. 물은 극성이므로 극성 물질을 잘 녹인다.
 나. 물의 비열이 큰 까닭은 수소 결합을 하기 때문이다.
 다. 물은 비열이 커서 쉽게 데워지거나 식지 않으므로 생명체는 외부 환경이 변해도 체온이 급격하게 변하지 않는다.
- 02 **예시 답안** B, 물은 에탄올보다 표면 장력이 커서 더 둥근 모양을 나타내기 때문이다.
- 03 가. 물의 부피가 4 °C일 때 가장 작으므로 밀도는 4 °C일 때 가장 크다.
 나. 얼음은 온도가 낮아질수록 부피가 작아지므로 밀도가 커진다.
 다. 물이 얼 때 분자 사이에 수소 결합을 하여 안쪽에 빈 공간이 있는 육각형 고리 모양으로 배열하므로 부피가 크게 증가한다.
- 04 **예시 답안** 물은 수소 결합을 하므로 물이 얼음이 될 때 분자 사이의 거리가 더 멀어져 밀도가 더 작아지므로 얼음이 물에 뜬다. 벤젠은 액체에서 고체가 될 때 분자 사이의 거리가 가까워져 밀도가 더 커지므로 액체 벤젠에 고체 벤젠이 가라앉는다.
- 05 가. 온도가 t °C일 때 수용액 (가)의 증기 압력 내림은 $P - 0.8P = 0.2P$ (mmHg)이다.
 나. 끓는점에서 증기압은 모두 P mmHg이다.
 다. 수용액 (가)는 용액이므로 증류수보다 끓는점이 높다.
- 06 용액의 어는점 내림은 용질의 종류에 관계없이 용매의 종류와 용액의 농도의 영향을 받는다.

- 07 가. 수용액 (가)의 끓는점이 100.05 °C이므로 농도는 0.1 m (몰랄 농도)이다.
 나. 용액이 끓기 시작하면 용매는 끓어서 기체가 되지만 용질은 수용액에 남아 있으므로 농도가 커진다.
 다. 끓는점에서 증기압은 1 기압이다.

- 08 (1) **예시 답안** $\frac{1}{3}$, 주어진 그래프에서 용질의 몰분율이 0일 때, 즉 순수한 용매 B의 증기압은 $3a$ 이고 용질의 몰분율이 x 일 때 용액 (나)의 증기압은 $2a$ 이므로 증기압력 내림은 $3a - 2a = a$ 이다. 용액의 증기 압력 내림은 순수한 용매의 증기압과 용질의 몰분율을 곱한 값과 같으므로 $a = 3a \times x$, $x = \frac{1}{3}$ 이다.

- (2) **예시 답안** 용액 (가)가 (나)보다 크다. 용액 (가)의 기울기가 (나)의 기울기보다 크므로 증기 압력 내림의 크기는 용액 (가)가 (나)보다 크다.

- 09 가. 김장을 하기 전 배추에 소금을 뿌려 숨을 죽이는 것은 삼투 현상을 이용한 것이다.
 나. 눈이 쌓인 도로에 제설제를 뿌리면 도로가 잘 얼지 않는 것은 제설제로 인한 어는점 내림을 이용한 것이다.
 다. 바위틈에 스며든 물이 얼었다가 녹으면서 바위가 부서지는 것은 온도에 따른 물의 밀도 변화 때문에 일어나는 현상이다.

- 10 가. 반투막 튜브를 사이에 두고 농도가 작은 쪽에서 큰 쪽으로 용매 입자가 더 많이 이동하므로 수용액 B의 농도가 수용액 A보다 크다.
 나. 수용액 B의 농도가 수용액 A보다 크므로 어는점은 수용액 B가 수용액 A보다 낮다.

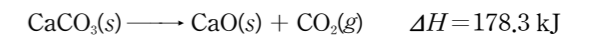
- 다. 반투막 튜브 안에 수용액 B보다 농도가 더 큰 수용액 C를 넣으면 반투막 튜브를 사이에 둔 두 수용액의 농도 차이가 더 커지므로 용매 입자의 이동이 더 많아져 h 가 높아진다.

- 11 (1) **예시 답안** 자동차 냉각수에 부동액을 넣으면 끓는점이 높아져서 엔진의 열기로 끓지 않고, 어는점이 낮아져 겨울철의 낮은 기온에 얼지 않는다.
 (2) **예시 답안** 겨울, 날씨가 추울수록 냉각수가 어는 것을 방지하기 위해 어는점을 더 낮춰야 하므로 냉각수에 부동액을 더 많이 넣어야 한다.

III **화학 변화의 자발성**

01 **화학 반응과 엔탈피**

73 쪽 **물음**



73 쪽 **확인하기**

- 1 엔탈피
- 2 발열 반응: 반응물의 엔탈피 > 생성물의 엔탈피, 흡열 반응: 생성물의 엔탈피 > 반응물의 엔탈피

소단원 마무리 75 쪽

◦ 창의력 키우기

예시 답안 고압·저온으로 액화한다. 넓은 표면을 가진 물질에 흡착시켜 저장한다. 등

◦ 디지털 소양 키우기

도움말 이퓨얼(e-fuel), 바이오매스, 바이오연료 등을 검색해 자료를 공유한다.

02 **반응 경로와 반응 엔탈피**

77 쪽 **연습 해보기**

- | | | |
|----------------|----------------|------------|
| 1 ΔH_2 | 2 ΔH_3 | 3 -393.5 |
| 4 -283.0 | 5 -110.5 | |

77 쪽 **확인하기**

- 1 헤스(총열량 불변)
- 2 $-98.2 \text{ kJ} \mid -(\Delta H_1) + (\Delta H_2)$ 로 구할 수 있다.

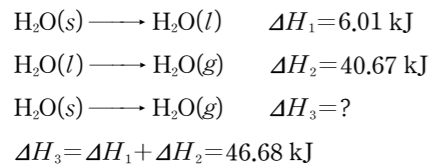
소단원 마무리 79 쪽

◦ 창의력 키우기

예시 답안 도시 간 이동(다른 경로로 두 도시 사이를 여행하는 것은 도중에 서로 다른 풍경, 도로 및 정류장을 지나지만 도시 간의 전체 직선 거리는 동일하다.), 퍼즐 조립하기(직소 퍼즐을 조립할 때 다른 순서로 조립할 수 있지만 최종 완성된 그림은 동일하다.) 등

◦ 디지털 소양 키우기

예시 답안 얼음이 냉동고 속에서 승화하는 변화: 얼음의 용해 엔탈피는 6.01 kJ/mol, 물의 증발 엔탈피는 40.67 kJ/mol이다. 따라서 승화 엔탈피는 46.68 kJ/mol일 것이다.



03 화학 변화의 자발성

81 쪽 **확인하기**

1 엔트로피 2 증가한다

83 쪽 **확인하기**

1 증가하는 2 $\Delta S > 0$

85 쪽 **확인하기**

1 자발적이다 2 비자발적이다.

소단원 마무리

85 쪽

◦ 창의력 키우기

예시답안 액체 과산화 수소가 분해되는 반응은 엔탈피는 감소하고, 엔트로피가 증가하는 반응이므로 자발적으로 일어난다. 따라서 과산화 수소는 실온에서도 서서히 분해되므로 인산을 넣어 분해 속도를 늦춰 준다.

◦ 디지털 소양 키우기

도움말 일상생활 속에서 엔트로피가 증가하는 장면(장작이 타는 모습, 도미노가 무너지는 모습 등)을 사진으로 찍어 공유한다.

대단원 마무리

88 쪽~91 쪽

- 1 엔탈피 2 < 3 > 4 열화학 반응식
5 헤스(총열량 불변) 법칙 6 엔트로피(S)
7 증가 8 엔탈피 9 엔트로피

- 01 ③ 02 77.9 kJ 03 ③
04 해설 참조 05 ⑤ 06 634 kJ
07 해설 참조 08 ② 09 $\Delta S_{(g)} > \Delta S_{(l)}$
10 ③ 11 해설 참조

과학 글쓰기

12 (1) 물 (2) 해설 참조

01 c. $\text{NO}_2(g)$ 2 mol이 분해될 때 66 kJ의 열을 방출한다.

02 메테인 1 mol이 연소하면 890 kJ의 열을 방출한다. 연소한 메테인의 양(mol)은 $\frac{0.7 \text{ g/L} \times 2 \text{ L}}{16 \text{ g/mol}}$ 이고, 연소할 때 $\frac{0.7 \text{ g/L} \times 2 \text{ L}}{16 \text{ g/mol}} \times 890 \text{ kJ/mol} \approx 77.9 \text{ kJ}$ 의 열을 방출한다.

03 열화학 반응식으로 실제 반응에 참여하는 물질의 질량 또는 반응물이나 생성물이 가진 엔탈피는 알 수 없다.

04 단위 질량당 연소 엔탈피(kJ/g)는 $\frac{\text{몰당 연소 엔탈피(kJ/mol)}}{\text{물질량(g/mol)}}$ 로 구할 수 있다. 따라서 단위 질량당 연소 엔탈피는 프로페인은 $\frac{-2220 \text{ kJ/mol}}{44 \text{ g/mol}}$, 에탄올은 $\frac{-1367 \text{ kJ/mol}}{46 \text{ g/mol}}$ 이다.

예시답안 단위 질량당 연소 엔탈피는 프로페인이 약 -50.5 kJ/g, 에탄올이 약 -29.7 kJ/g으로 질량 관점에서는 프로페인이 더 효율적인 연료이다.

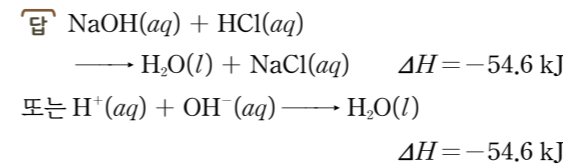
05 $3A(g) \longrightarrow 2D(g)$ 의 반응 엔탈피는 헤스 법칙을 이용해 다음과 같이 구할 수 있다.
(가) $\times 3$ $3A(g) \longrightarrow 3B(g)$ $\Delta H = 3a \text{ kJ}$
-(나) $3B(g) \longrightarrow 2C(g)$ $\Delta H = -b \text{ kJ}$
-(다) $\times 2$ $2C(g) \longrightarrow 2D(g)$ $\Delta H = -2c \text{ kJ}$
 $\hline 3A(g) \longrightarrow 2D(g)$ $\Delta H = (3a - b - 2c) \text{ kJ}$

06 $\text{N}_2(g) + 3\text{H}_2\text{O}(g) \longrightarrow \frac{3}{2}\text{O}_2(g) + 2\text{NH}_3(g)$ 은 {(가)의 역반응} + {(나)의 역반응 $\times \frac{3}{2}}$ 으로 구할 수 있다. 역반응의 반응 엔탈피는 부호를 반대로 써 주면 되고, 반응식의 계수가 2, 3, ... 배가 되면 반응 엔탈피도 2, 3, ... 배가 되므로 반응 엔탈피는 다음과 같다.

$$-(92 \text{ kJ}) + (+484 \text{ kJ}) \times \frac{3}{2} = 634 \text{ kJ}$$

07 중화 반응이 일어날 때 수산화 이온 0.05 mol과 수소 이온 0.05 mol이 모두 반응하여 0.05 mol의 물이 생성되었다. 또 반응에서 방출된 열은 다음과 같다.
 $4.2 \text{ J/(g} \cdot \text{°C)} \times 100 \text{ g} \times 6.5 \text{ °C} = 2730 \text{ J} = 2.73 \text{ kJ}$
0.05 mol의 물이 생성될 때 2.73 kJ의 열이 방출되므

로 1 mol의 물이 생성될 때 반응 엔탈피는 $\frac{-2.73 \text{ kJ}}{0.05 \text{ mol}} = -54.6 \text{ kJ/mol}$ 이다.



08 ② 엔트로피는 물질의 양에 의존하는 성질로 물질의 양이 많아지면 엔트로피도 증가한다.

09 (가)는 얼음의 용해, (나)는 물의 기화를 나타낸 것이다. 같은 질량의 물질에 대해 엔트로피는 고체 < 액체 < 기체이므로 엔트로피 변화는 $\Delta S_{(g)} > \Delta S_{(l)}$ 이다.

10 ① (가)는 흡열 반응, (나)와 (다)는 발열 반응이다.
② (가)는 엔탈피가 증가하고, (나)와 (다)는 엔탈피가 감소한다.
③, ⑤ (가)~(다)의 반응은 공통적으로 기체가 생성되거나 기체의 양이 많아지는 반응이므로 엔트로피가 증가한다.
④ (나)와 (다)는 엔탈피가 감소하면서 엔트로피가 증가하는 반응으로 항상 자발적인 반응이고, (가)는 엔탈피 증가 경향보다 엔트로피 증가 경향이 더 큰 경우 반응이 자발적으로 일어날 수 있다.

11 **예시답안** 질산 암모늄이 물에 용해되면 양이온과 음이온으로 이온화하여 입자 수가 증가하고 이온들이 물 분자와 섞이면서 자유롭게 운동하므로 엔트로피가 매우 크게 증가한다. 따라서 엔트로피가 증가하는 경향이 엔탈피가 증가하는 경향보다 크므로 반응이 자발적으로 일어난다.

12 (2) **예시답안** 수소는 단위 질량당 연소 엔탈피가 메테인에 비해 매우 크고, 연소 생성물이 물로 친환경적이며 지구상에 매우 풍부한 원소라는 장점이 있다. 그러나 수소는 생산하는 데 많은 에너지가 소모되고, 단위 부피당 연소 엔탈피가 작기 때문에 실제로 사용하려면 액화하거나 금속 표면에 흡착시켜서 부피를 줄여 저장하는 기술 개발이 필요하다.

IV 반응 속도

01 화학 반응 속도

97 쪽 **자료 읽기**

$$v = \frac{\Delta[B]}{\Delta t} = \frac{[B]_2 - [B]_1}{t_2 - t_1}$$

97 쪽 **확인하기**

1 반응 속도
2 반응 속도 = $\frac{\text{반응물의 농도 감소량}}{\text{반응 시간}} = \frac{\text{생성물의 농도 증가량}}{\text{반응 시간}}$

101 쪽 **연습 해보기**

| 풀이 따라가기 |

- 1 2 2 0 3 $[A]^2$ 4 $4.0 \times 10^{-3} \text{ L/(mol} \cdot \text{s)}$

101 쪽 **확인하기**

1 2
2 실험으로

소단원 마무리

101 쪽

◦ 창의력 키우기

예시답안 $A \longrightarrow B$ 반응에서 $v=k$ 와 같이 반응 속도가 상수로 표현되는 반응을 영차 반응이라고 한다. 영차 반응에서는 반응 속도가 반응물의 농도에 영향을 받지 않으므로 온도가 일정하다면 영차 반응이 일어나는 동안 반응 속도는 시간이 지나도 일정하게 유지된다.

◦ 디지털 소양 키우기

예시답안 빛을 흡수하는 물질이 생성되거나 소모되는 반응은 물질이 흡수하는 빛의 양을 측정해 반응 속도를 구할 수 있다.

02 일차 반응의 반감기

103 쪽 **연습 해보기**

| 풀이 따라가기 |

- 1 50 2 50 3 일 4 $[A]$ 5 3 6 0.008

103 쪽 **확인하기**

1 반감기($t_{1/2}$)
2 농도

105 쪽 **확인하기**

- 1 일
- 2 반감기($t_{1/2}$)

소단원 마무리 105 쪽

◦ 창의력 키우기

예시 답안 $2\text{H}_2\text{O}_2(l) \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(l) + \text{O}_2(g)$ 의 반응에서 일정한 시간 간격으로 O_2 가 빠져나가면서 감소한 반응물의 질량을 측정하고, 화학 반응의 양적 관계를 이용해 H_2O_2 의 반감기를 계산한다.

◦ 디지털 소양 키우기

예시 답안 아브스만은 새로운 지식을 습득하고 활용하는 것의 중요성을 담은 저서의 제목을 『지식의 반감기』라고 지었다. 또 미국의 한 단체는 행복 지수에 관해 연구한 「행복의 반감기」라는 보고서를 발표했다.

03 유효 충돌과 활성화 에너지

107 쪽 **확인하기**

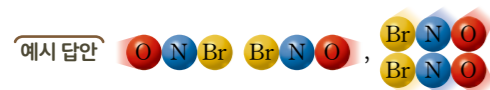
- 1 유효 충돌
- 2 활성화 에너지(E_a)

소단원 마무리 107 쪽

◦ 창의력 키우기

예시 답안 유효 충돌은 야구 경기에서 타자가 홈런을 치는 것에 비유할 수 있다. 타자가 홈런을 치려면 방망이가 돌아가는 방향과 공이 방망이에 부딪히는 위치가 적절해야 한다. 또 타자가 방망이를 충분히 빠른 속도로 휘둘러야 한다.

◦ 디지털 소양 키우기



04 농도, 온도, 촉매에 따른 반응 속도의 변화

111 쪽 **자료 읽기**

예시 답안 • 고압 산소실에서 저산소증을 치료한다. - 고압 산소실에서 높은 농도의 산소를 주입하여 호흡을 돕는다.

• 가루약이 알약보다 빨리 흡수된다. - 알약을 가루로 만들면 표면적이 커지므로 흡수되는 속도가 빨라진다.

• 음식을 밀폐 용기에 보관한다. - 음식을 밀폐 용기에 넣으면 외부의 산소가 차단되어 산소의 농도가 작아지므로 음식물의 변질 속도가 느려진다.

• 통나무를 쪼개면 더 잘 연소한다. - 통나무를 쪼개면 표면적이 커져 산소와의 접촉 면적이 증가하므로 더 잘 탄다.

111 쪽 **물음**

예시 답안 탄광이나 밀가루 공장에는 미세한 가루 입자가 떠다니는데, 입자가 매우 작아 공기와 접촉 면적이 매우 넓으므로 빠른 속도로 산소와 반응하여 폭발을 일으킬 수 있다.

111 쪽 **확인하기**

- 1 많아서
- 2 1 M 염산, 0.5 M 염산, 0.1 M 염산

115 쪽 **확인하기**

- 1 활성화 에너지(E_a)
- 2 냉장고, 비닐하우스

117 쪽 **확인하기**

- 1 정촉매
- 2 활성화 에너지, 반응 속도

119 쪽 **확인하기**

- 1 빛
- 2 효소

소단원 마무리 119 쪽

◦ 창의력 키우기

예시 답안 탄산 무수화 효소를 가진 미생물을 이용하여 이산화 탄소를 탄산 화합물로 전환하는 기술이 개발됐다. 이를 이용하면 이산화 탄소를 플라스틱뿐만 아니라 인공 뼈, 시멘트 등을 만들 수 있다.

◦ 디지털 소양 키우기

예시 답안 지하 주차장 전등의 반사판에 광촉매 코팅을 해 청결함을 유지한다. 음식물 쓰레기를 효소로 분해한다.

대단원 마무리 122 쪽~125 쪽

- 1 반응 속도 상수
- 2 반감기($t_{1/2}$)
- 3 유효 충돌
- 4 활성화 에너지(E_a)
- 5 증가
- 6 증가
- 7 촉매
- 8 증가
- 9 효소

- 01 (1) $v=k[A]$ (2) s^{-1}
- 02 ①
- 03 ②
- 04 (1) 해설 참조 (2) 해설 참조
- 05 ④
- 06 ①
- 07 ③
- 08 해설 참조
- 09 ③

과학 글쓰기

- 10 (1) 해설 참조 (2) 해설 참조

01 이 반응은 A에 대한 일차 반응, B에 대한 영차 반응이다. 따라서 이 반응의 반응 속도식은 $v=k[A]$ 이다. 이때 k 는 반응 속도($\text{mol}/(\text{L}\cdot\text{s})$)를 A의 농도(mol/L)로 나누어 구할 수 있으므로 단위는 s^{-1} 이다.

02 실험 2, 3에서 $[\text{O}_2]$ 가 일정할 때 $[\text{NO}]$ 를 2 배로 하면 반응 속도가 4 배가 되므로 이 반응은 NO에 대한 이차 반응이다. 실험 1, 2에서 $[\text{NO}]$ 가 일정할 때 $[\text{O}_2]$ 를 2 배로 하면 반응 속도가 2 배가 되므로 이 반응은 O_2 에 대한 일차 반응이다. 따라서 이 반응의 전체 반응 차수는 3이다.

03 ㄱ. 일차 반응의 반응 속도는 시간이 지날수록 점점 느려진다.
ㄷ. 반응 차수는 실험으로 결정하므로 화학 반응식의 계수는 반응 차수로 알 수 없다.

04 (1) **예시 답안** 2 분, (가)에서 처음에는 용기에 A만 있었으며, 현재 상태에서 A 모형이 2 개 남아 있고, B 모형이 12 개 생성되었다. A와 B의 반응 계수비는 1:2이므로 B가 12 개 생성되려면 A가 6 개 반응해야 한다. 따라서 (가)에서 처음 용기에 들어 있던 A는 8 개이다. A가 8 개에서 2 개로 줄었으므로 반감기가 2 번 지난 것이고, 이 반응은 일차 반응이므로 반감기는 2 분이다. (2) **예시 답안** 2:1, (가)와 (나) 모두 2 번의 반감기가 지난 상황이므로 처음에는 (가)의 용기에 A가 8 개, (나)의 용기에 A가 4 개 들어 있었으며, 두 용기의 부피가 같으므로 (가)와 (나)에서 A의 초기 몰농도비는 2:1이다.

05 ㄱ. 이 반응은 흡열 반응이므로 $\Delta H > 0$ 이다.
ㄴ, ㄷ. 역반응의 활성화 에너지는 $184 - 9.4 = 174.6(\text{kJ})$ 으로, 정반응의 활성화 에너지가 역반응의 활성화 에너지보다 크다.

06 ㄱ, ㄴ. 기체의 압력이 증가하면 충돌 횟수가 증가하므로 반응 속도가 증가한다.
ㄷ. 음식을 냉장고에서 오래 보관할 수 있는 것은 온도가 낮아지면 유효 충돌을 할 수 있는 입자 수가 감소하여 반응 속도가 느려지기 때문이며, 이 모형으로는 이를 설명할 수 없다.

07 ①, ② 온도가 높아지면 입자의 반응 충돌 횟수가 증가하고, 유효 충돌을 할 수 있는 입자 수가 증가하여 반응 속도가 빨라진다.
④ 기체 반응에서 온도가 일정할 때 압력을 높이면 입자의 충돌 횟수가 증가하여 반응 속도가 빨라진다.
⑤ 정촉매를 사용하면 활성화 에너지가 작아지므로 활성화 에너지보다 큰 에너지를 갖는 분자 수가 증가하여 반응 속도가 빨라진다.

08 **예시 답안** H_2-H_1 , H_4-H_1 , 정촉매를 사용하면 활성화 에너지가 작아지므로 정촉매를 사용했을 때 반응 진행에 따른 엔탈피는 자료의 연두색 그래프이다. 활성화 에너지는 활성화물의 엔탈피에서 반응물의 엔탈피를 빼서 구할 수 있으므로 정촉매를 사용했을 때의 활성화 에너지는 H_2-H_1 이다. 부촉매를 사용하면 활성화 에너지가 커지므로 부촉매를 사용했을 때 반응 진행에 따른 엔탈피는 자료의 하늘색 그래프이다. 이때 활성화 에너지는 H_4-H_1 이다.

09 (가)는 광촉매로 오염 물질 제거, 물의 분해 등에 이용된다. 자동차의 촉매 변환기에는 금속이나 금속 산화물로 이루어진 고체 촉매가 사용된다. (다)는 효소로, 하나의 효소는 특정한 반응물과 선택적으로 결합한다.

10 (1) **예시 답안** 약을 하루 복용 횟수보다 많이 먹으면 약물의 혈중 농도가 지나치게 높아져 약이 체내에서 독성을 나타낼 수 있으며, 약을 하루 복용 횟수보다 적게 먹으면 약물의 혈중 농도가 기준 농도 이하가 되어 약효가 나타나지 않는다.
(2) **예시 답안** 약의 표면적이 증가해 체내에서 약이 작용하는 반응 속도가 빨라지기 때문이다.

ㄱ	
결정성 고체	30
공유 결정	32
광촉매	118
금속 결정	34
금속 결합	34
기준 끓는점	28
기체 상수	14
기체의 압력	8
끓는점	28
끓는점 오름	56
끓음	28
ㄴ	
농도가 반응 속도에 미치는 영향	108
ㄷ	
대기압	8
대체 연료	74
ㄹ	
라울 법칙	53
ㅁ	
모세관 현상	51
몰랄 내림 상수	56
몰랄 농도	54
몰랄 오름 상수	56
물분율	19
물의 밀도	48
물의 비열	47
물의 표면 장력	50
ㅂ	
반감기	103
반응 속도	97
반응 속도 상수	100
반응 속도식	100
반응 엔탈피	72
반응 차수	101

반투막	58
보일	9
보일 법칙	9
부분 압력	18
부분 압력 법칙	19
부촉매	117
분산력	24
분압	18
분자 간 상호작용	22
분자 간 인력	22
분자 결정	32
비결정성 고체	30
비열	47
비자발적 변화	80
ㅅ	
삼투 현상	58
삼투압	61
상평형	29
상평형 그림	29
샤를	10
샤를 법칙	10
섭씨온도	11
수소 결합	25, 46
순간 반응 속도	97
실제 기체	15
쌍극자 모멘트	23
쌍극자·쌍극자 힘	23
ㅇ	
아보가드로 법칙	12
어는점 내림	56
엔탈피	72
엔트로피	81
엔트로피 변화	82
연소 엔탈피	74
열량	78
열량계	78
열화학 반응식	73

영차 반응	101
온도가 반응 속도에 미치는 영향	112
유효 충돌	107
이상 기체	14
이상 기체 방정식	14
이온 결정	33
일차 반응	101
ㅈ	
자발적 변화	80
자유 전자	34
절대 영도	11
절대 온도	11
정촉매	117
J 자 관 실험	9
증기압	27
증기 압력	27
증기 압력 곡선	28
증기 압력 내림	52
지속가능한 에너지 개발	74
ㅊ	
촉매	117
촉매가 반응 속도에 미치는 영향	116
총열량 불변 법칙	77
ㅌ	
평균 반응 속도	97
표면 장력	50
ㅎ	
해륙풍	47
헤스	77
헤스 법칙	77
화학 변화의 자발성	84
활성화 상태	107
활성화 에너지	107
활성화물	107
효소	119

❶ 물질의 세 가지 상태

- 5 쪽(얼음 결정): 서터스톡
- 6 쪽~7 쪽(배경 이미지): 서터스톡
- 8 쪽(기차): 서터스톡
- 10 쪽(삶은 달걀): 서터스톡
- 15 쪽(공기압 경고등, 타이어 공기 보충): 서터스톡
- 18 쪽(과일): 서터스톡
- 20 쪽(공기의 조성비): 미국항공우주국, <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/earthfact.html>
- 20 쪽(고기): 연합뉴스
- 20 쪽(의료용 마취 가스): 서터스톡
- 21 쪽(잠수부): 서터스톡
- 24 쪽(할로젠 원소의 물질량과 끓는점): Rumble 외, 『CRC Handbook of Chemistry and Physics(105th ed.)』, CRC Press, 2024.
- 25 쪽(물과 클로로메테인의 특성, 전기음성도 표): Rumble 외, 『CRC Handbook of Chemistry and Physics(105th ed.)』, CRC Press, 2024.
- 26 쪽(14족~17족 원소의 수소 화합물의 물질량과 끓는점): Rumble 외, 『CRC Handbook of Chemistry and Physics(105th ed.)』, CRC Press, 2024.
- 27 쪽(액체의 증기압): 미국국립표준기술연구소, <https://webbook.nist.gov/chemistry>
- 28 쪽(증기 압력 곡선 1, 2): 미국국립표준기술연구소, <https://webbook.nist.gov/chemistry>
- 29 쪽(상평형 그림): Silberberg 외, 『Chemistry(10th ed.)』, McGraw-Hill Education, 2023.
- 30 쪽(유리컵, 금속 컵, 석영, 유리 장식품): 서터스톡
- 31 쪽(테니스 라켓, 기계 부품, 스마트폰): 서터스톡
- 32 쪽(얼음 결정, 다이아몬드): 서터스톡
- 32 쪽(흡연): 게이티이미지코리아
- 33 쪽(영화 나트룸): 서터스톡
- 34 쪽(철사, 캔): 서터스톡
- 36 쪽(스테인드글라스, 큰 나무와 눈): 서터스톡
- 37 쪽(익산 미륵사지 석탑): 국가유산포털, <https://www.heritage.go.kr>
- 42 쪽(금속 소재, 태양 전지, 약품, 플라스틱, 나노 소재): 서터스톡

❷ 용액의 성질

- 44 쪽~45 쪽(배경 이미지): 서터스톡
- 47 쪽(여러 가지 물질의 비열 표): Rumble 외, 『CRC Handbook of Chemistry and Physics(105th ed.)』, CRC Press, 2024.
- 47 쪽(고양이와 강아지, 해변가): 서터스톡
- 48 쪽(빙하): 서터스톡
- 49 쪽(온도에 따른 물의 부피, 물의 밀도): Rumble 외, 『CRC Handbook of Chemistry and Physics(105th ed.)』, CRC Press, 2024.
- 49 쪽(얼음낚시, 부서진 바위): 서터스톡
- 50 쪽(물이 가득 찬 컵): 서터스톡
- 51 쪽(폴잎에 맺힌 물방울, 소금쟁이): 서터스톡
- 53 쪽(25 °C에서 설탕물의 농도에 따른 증기압): Jiao 외, 『Recent advances on membrane processes for the concentration of fruit juices: a review』, Journal of Food Engineering, 63(3), 311, 2004.
- 56 쪽(용매의 몰랄 오름 상수 표, 용매의 몰랄 내림 상수 표): Oxtoby 외, 『Chemistry(8th ed.)』, Cengage Learning, 2021.
- 57 쪽(차에 냉각수를 넣는 모습 1, 개구리, 아이스크림): 서터스톡
- 57 쪽(제설차): 연합뉴스
- 60 쪽(소금 뿌린 배추): 게이티이미지코리아
- 60 쪽(벼로 준 식물): 서터스톡
- 63 쪽(강물, 연구원 손 1, 2): 서터스톡
- 67 쪽(차에 냉각수를 넣는 모습 2): 서터스톡
- 68 쪽(하수 처리수 정화 시설, 해수 담수화 공장, 지하수 저류장): 서터스톡

❸ 화학 변화의 자발성

- 70 쪽~71 쪽(우주 왕복선): 서터스톡
- 74 쪽(수소 에너지): 서터스톡
- 74 쪽(연소 엔탈피): Robinson 외, 『Chemistry(8th ed.)』, Pearson, 2020.
- 80 쪽(음식, 잉크 확산): 서터스톡
- 82 쪽(드라이아이스): 서터스톡
- 83 쪽(눈 결정, 암모니아): 서터스톡
- 86 쪽(카르노, 클라우지우스, 볼츠만): 게이티이미지코리아
- 92 쪽(나무): 서터스톡

❹ 반응 속도

- 94 쪽~95 쪽(배경 이미지): 게이티이미지코리아
- 96 쪽(기차, 청동 장식품, 바나나, 로켓): 게이티이미지코리아
- 103 쪽(일차 반응에서 반응 시간에 따른 반응물의 농도 변화): Zumdahl 외, 『Chemistry(11th ed.)』, Cengage Learning, 2023.
- 104 쪽(포도주 1, 2): 서터스톡
- 107 쪽(반응의 진행에 따른 엔탈피): Gilbert 외, 『Chemistry(6th ed.)』, Norton, 2020.
- 108 쪽(화로): 서터스톡
- 111 쪽(고압 산소실): 게이티이미지코리아
- 111 쪽(밀폐 용기, 장작 연소): 서터스톡
- 114 쪽(온도에 따른 기체 분자의 운동 에너지 분포 곡선): Zumdahl 외, 『Chemistry(11th ed.)』, Cengage Learning, 2023.
- 114 쪽(개구리): 서터스톡
- 114 쪽(귀뚜라미): 서터스톡
- 115 쪽(냉장고, 비닐하우스): 서터스톡
- 115 쪽(중자 보관): 게이티이미지코리아
- 119 쪽(식혜): 게이티이미지코리아

☆ 집필진의 직접 집필인 경우 출처를 밝히지 않았음.
 ☆ 출처 표시를 안 한 사진 및 삽화 등은 저작자 및 발행사에서 저작권을 가지고 있는 경우임.

URL 목록

- 37 쪽(문화유산보존과학센터): <https://www.nrich.go.kr/conservation>
- 63 쪽(커리어넷): <https://www.career.go.kr>
- 87 쪽(한국에너지기술연구원): <https://www.kier.re.kr>
- 121 쪽(KRICT 한국화학연구원): <https://www.kRICT.re.kr>

연구 위원

정대홍(서울 서울대학교)* 성숙경(서울 창덕여자고등학교)

* 대표 연구 위원

집필 위원

정대홍(서울 서울대학교)* 성숙경(서울 창덕여자고등학교) 김혜경(서울 당곡고등학교) 박수연(서울 성수고등학교)
이지아(서울 세종과학고등학교) 장혜진(강원 강원대학교) 조민진(서울 은평고등학교)

* 대표 집필 위원

심의 기관

전북특별자치도교육청

심의 위원

개발 책임	하남규
편집	오진경 정종례 배태량 박수아
디자인 책임	손현지
디자인	김기욱 장병진 원유희 (주)THE-D
삽화	kimu(키무) 글로우노트(김고운) 김지애 김진호 박양수 신혜진 디자인엔 모먼트시리즈
사진 촬영	필름피아
실험 기자재 협조	세원과학사

교육부장관의 위임을 받아 전북특별자치도교육감이 2024년 0월 00일 인정 승인을 하였음.

고등학교 물질과 에너지

초판 발행	2025. 3. 1.	정가	원
지은이	정대홍 외 6인		
발행인	(주)미래엔(서울특별시 서초구 신반포로 321)		
인쇄인	(주)미래엔(서울특별시 서초구 신반포로 321)		

이 교과서의 본문 용지는 우수 재활용 제품 인증을 받은 재활용 종이를 사용하였습니다.

교과서에 대한 문의 사항이나 의견이 있으신 분은 '교과서민원바로처리센터 (전화 1566-8572, www.textbook114.com 또는 www.교과서114.com)'에 문의하여 주시기 바랍니다.

이 도서에 게재된 저작물에 대한 보상은 문화체육관광부 장관이 정하는 기준에 의거
사단법인 한국문학예술저작권협회(전화 02-2608-2800, www.kolaa.kr)에서 저작재산권자에게 지급합니다.

내용 관련 문의 (주)미래엔 과학팀 전화 1800-8890 전승 02-541-8150
개별 구입 문의 mall.mirae-n.com(미래엔 도서몰) 전화 1800-8890