

고등학교

화학Ⅱ



머리말

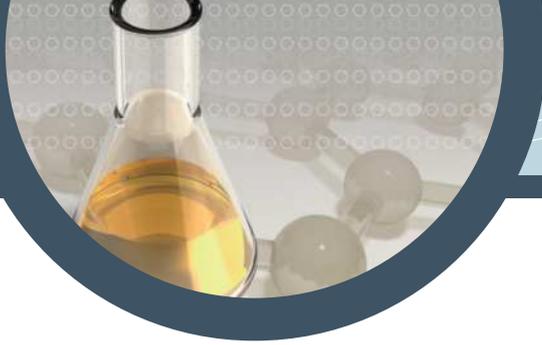


물질의 구조와 성질 및 변화를 탐구하는 화학은 물리학, 생명과학, 지구과학 등의 교차점 역할을 하는 기초 학문이면서, 재료공학, 의학 등과 같은 학문과도 밀접하게 관련된 실용적인 학문이기도 하다. ‘화학Ⅱ’는 과학 기술 전문 분야의 학업을 계속하거나 그 분야의 직업에 종사하려는 학생들을 위한 선택 과목으로, ‘화학Ⅰ’의 기본 개념에서 더욱 심화된 화학 개념과 다양한 탐구 방법을 학습하고 화학의 기초 전문 지식을 갖추게 하기 위한 과목이다.

이 책은 ‘물질의 세 가지 상태와 용액’, ‘반응엔탈피와 화학 평형’, ‘반응 속도와 촉매’, ‘전기 화학과 이용’의 4개의 단원으로 구성되어 있다. ‘물질의 세 가지 상태와 용액’에서는 물질의 상태에 따른 성질과 용액의 성질을 이해하고, ‘반응엔탈피와 화학 평형’에서는 화학 반응을 열화학 반응식으로 나타내고 화학 평형의 원리를 실생활에서 일어나는 현상과 관련지어 배운다. ‘반응 속도와 촉매’에서는 화학 반응마다 속도가 다름을 이해하고 현대 산업에서 화학 반응 속도를 조절하는 예를 배우고, ‘전기 화학과 이용’에서는 화학 에너지를 전기 에너지로 바꾸는 화학 전지를 배운다.

오늘날의 과학은 매우 빠르게 발전하여 많은 양의 지식이 축적되어 있을 뿐만 아니라 기술이나 공학과 융합되기도 한다. 이러한 변화 속에서 미래 사회에는 방대한 과학 지식의 학습보다는 과학과 핵심 역량의 함양이 요구된다. 따라서 ‘화학Ⅱ’는 화학의 핵심 개념을 통합적으로 이해하고 탐구 활동을 수행하면서 과학적 사고력, 과학적 탐구 능력, 과학적 문제 해결력, 과학적 의사소통 능력, 과학적 참여와 평생 학습 능력 등의 과학과 핵심 역량을 함양할 수 있도록 내용을 구성하였다. ‘화학Ⅱ’를 배우면서 21세기 지식 기반 사회가 필요로 하는 화학적 소양과 화학의 기초 전문 지식을 갖추 수 있기를 기대한다.

지은이 씀



물질의 세 가지 상태와 용액

1 기체, 액체, 고체 • 10

- 01 기체 • 11
- 02 분자 간 상호 작용 • 24
- 03 액체와 고체 • 38

2 용액 • 48

- 01 용액의 농도 • 49
- 02 묽은 용액의 성질 • 53
- 단원 마무리 • 66
- 창의·융합 프로젝트 ① • 70
- 생명 빨대와 적정 기술

II

반응엔탈피와 화학 평형

1 반응엔탈피 • 74

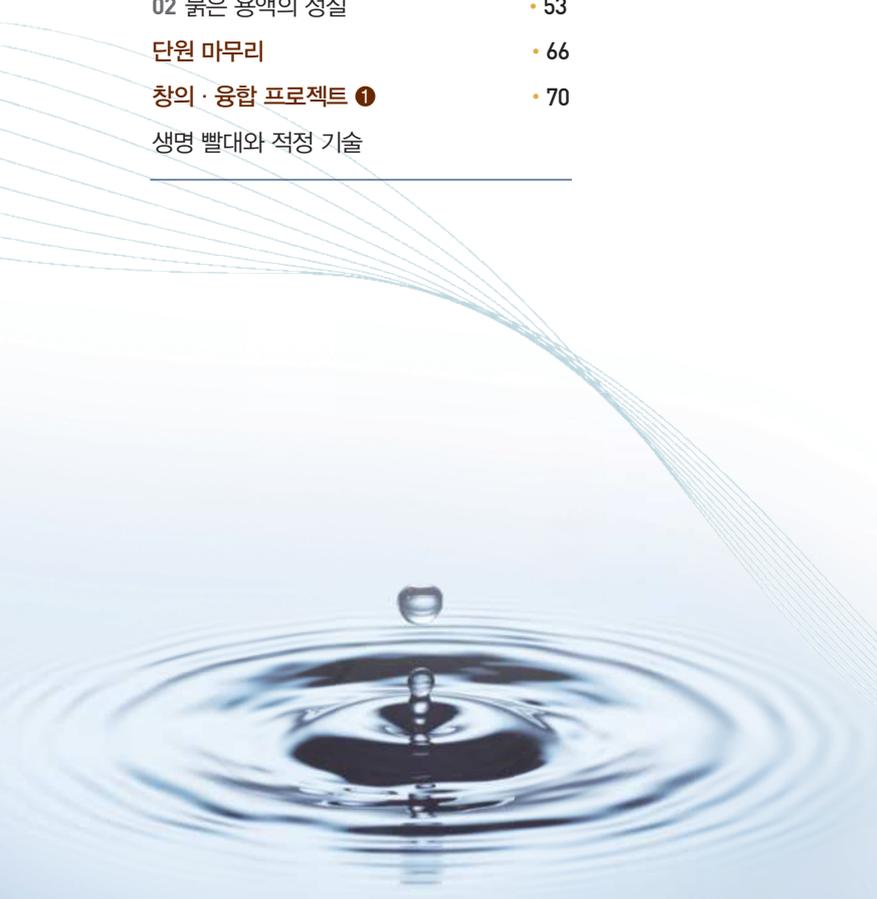
- 01 엔탈피와 열화학 반응식 • 75
- 02 결합 에너지와 헤스 법칙 • 79

2 화학 평형 • 88

- 01 화학 평형과 평형 상수 • 89
- 02 평형 이동 • 95
- 03 상평형 • 104

3 산 염기 평형 • 110

- 01 산과 염기의 세기 • 111
- 02 완충 용액 • 118
- 단원 마무리 • 128
- 창의·융합 프로젝트 ② • 132
- 내가 만드는 제로 에너지 하우스



III

반응 속도와 촉매

1 반응 속도 • 136

01 반응 속도 • 137

02 활성화 에너지 • 148

2 농도 및 온도와 반응 속도 • 154

01 농도와 반응 속도 • 155

02 온도와 반응 속도 • 160

3 촉매와 반응 속도 • 166

01 촉매에 따른 반응 속도 • 167

02 촉매와 효소의 활용 • 173

단원 마무리 • 178

창의 · 융합 프로젝트 ③ • 182

시간과 정성을 담은 천연 염색: 쪽 염색



IV

전기 화학과 이용

1 전기 화학과 이용 • 186

01 화학 전지 • 187

02 전기 분해 • 195

03 전기 화학과 우리 생활 • 198

단원 마무리 • 204

창의 · 융합 프로젝트 ④ • 206

내 스마트폰 속 화학 전지

부록 • 209



이 책의 구성과 특징



단원의 도입

단원의 본문

I 물질의 세 가지 상태와 용액

이 단원에서는 물질의 세 가지 상태(고체, 액체, 기체)와 용액의 개념을 배우고, 물질의 변화와 용액의 특성에 대해 알아본다.

1. 기체, 액체, 고체
2. 용액

이 단원에서 배울 내용은 다음과 같다.

- 1. 물질의 세 가지 상태(고체, 액체, 기체)의 특성과 변화
- 2. 용액의 개념과 용액의 특성
- 3. 용액의 농도와 용해도의 개념
- 4. 용액의 제조와 농도 계산
- 5. 용액의 증발과 응축
- 6. 용액의 흡열과 발열

I 대단원 도입 |

각 단원에서 배울 핵심 개념과 과학과 핵심 역량을 확인해 보자.

1 기체, 액체, 고체

01. 기체
02. 액체와 고체
03. 기체의 변화

이 단원에서 배울 내용은 다음과 같다.

1. 기체의 특성과 변화
2. 액체와 고체의 특성과 변화
3. 기체의 변화와 열에너지의 관계

이 단원에서 배울 내용은 다음과 같다.

1. 기체의 특성과 변화
2. 액체와 고체의 특성과 변화
3. 기체의 변화와 열에너지의 관계

I 중단원 도입 |

단원과 관련하여 알고 있는 내용을 점검하고, 스스로 학습 계획을 세워 보자.

1

I 소단원 도입 |

생각 열기를 통해 일상생활의 경험과 배경 지식을 떠올려 보고 앞으로 배울 내용을 짐작해 보자.

01 반응 속도

반응 속도는 화학 반응이 일어나는 빠르기를 나타내는 척도이다. 반응 속도에 영향을 미치는 요인(온도, 농도, 촉매 등)을 알아보고, 반응 속도를 측정하는 방법을 배운다.

이 단원에서 배울 내용은 다음과 같다.

1. 반응 속도의 개념과 측정 방법
2. 반응 속도에 영향을 미치는 요인
3. 반응 속도를 측정하는 방법

2

I 탐구 활동 |

과학과 핵심 역량을 키우는 실험, 자료 해석, 프로젝트 등의 다양한 탐구 활동을 해 보자.

2 반응 속도의 변화

이 단원에서 배울 내용은 다음과 같다.

1. 반응 속도의 개념과 측정 방법
2. 반응 속도에 영향을 미치는 요인
3. 반응 속도를 측정하는 방법

이 단원에서 배울 내용은 다음과 같다.

1. 반응 속도의 개념과 측정 방법
2. 반응 속도에 영향을 미치는 요인
3. 반응 속도를 측정하는 방법

이 단원에서 배울 내용은 다음과 같다.

1. 반응 속도의 개념과 측정 방법
2. 반응 속도에 영향을 미치는 요인
3. 반응 속도를 측정하는 방법

자기 주도 학습
도우미

- 보충 설명
- 용어 정리
- 연계 학습
- 주의 사항

탐구 안전
아이론

- 보안경 착용
- 실험용 장갑 착용
- 폐기물 처리
- 환기
- 마스크 착용
- 개집 주의
- 연기 주의
- 화상 주의
- 불 사용 주의
- 먹지 말 것
- 냄새 맡지 말 것
- 만지지 말 것

단원의 마무리

3

화학 이야기

화학은 수소의 원자가 홀로 홀로 존재하는 화학 반응으로 반응 속도는 다음과 같다.

$$2H_2(g) \rightarrow 2H_2(g) + O_2(g)$$

이 반응은 1초에 대해 1회 반응하여, 1초 동안 100개의 수소가 분해된다고 가정하는 100% 반응으로, 100%가 되면 속도가 절반이 되고 50%가 되면 속도는 1/4가 된다.

이 그래프는 100% 반응 속도를 나타낸다.

보존화학 법칙의 분해와 반응기

화학은 실용적인 차이를 지니고 있다. 예를 들어, 화학 반응은 원자나 분자의 수를 보존한다. 예를 들어, 화학 반응은 원자나 분자의 수를 보존한다. 예를 들어, 화학 반응은 원자나 분자의 수를 보존한다.

평가하기

1. 화학 반응에서 원자 수가 보존된다는 것을 설명하시오.
2. 화학 반응에서 질량 보존 법칙을 설명하시오.

Tab. 3. 화학 이야기

3

| 함께 해 보기 |
친구들과 협력하여 다양한 주제의 활동을 함께 해결해 보자.

| 평가하기 |
소단원의 학습 내용을 잘 이해했는지 스스로 평가해 보자.

스스로 확인하기

1. 학습 내용 정리하기

1. 학습 내용 정리하기

이 단원에서 배운 내용을 정리하시오.

2. 평가하기

이 단원에서 배운 내용을 정리하시오.

| 스스로 확인하기 |
'핵심 내용 정리하기', '개념 확장하기' 문제로 중단원을 정리해 보자.

4

화학 이야기

화학은 수소를 비롯한 여러 가지 원자가 있는 원자로, 이 원자들은 원자 간의 결합을 통해 분자를 형성한다. 예를 들어, 수소는 원자가 홀로 홀로 존재하는 화학 반응으로 반응 속도는 다음과 같다.

화학은 실용적인 차이를 지니고 있다. 예를 들어, 화학 반응은 원자나 분자의 수를 보존한다. 예를 들어, 화학 반응은 원자나 분자의 수를 보존한다.

화학 이야기

화학과 관련된 다양한 이야기를 읽고 내용과 관련된 문제를 해결하여 사고력, 의사소통 능력 등을 키워 보자.

화학 이야기

바다, 아낌없이 주는 용역

바다는 수소를 비롯한 여러 가지 원자가 있는 원자로, 이 원자들은 원자 간의 결합을 통해 분자를 형성한다. 예를 들어, 수소는 원자가 홀로 홀로 존재하는 화학 반응으로 반응 속도는 다음과 같다.

화학은 실용적인 차이를 지니고 있다. 예를 들어, 화학 반응은 원자나 분자의 수를 보존한다. 예를 들어, 화학 반응은 원자나 분자의 수를 보존한다.

단원 마무리

1. 학습 내용 정리하기

이 단원에서 배운 내용을 정리하시오.

2. 평가하기

이 단원에서 배운 내용을 정리하시오.

| 단원 마무리 |
'기초 개념 적용하기, 개념 응용력 키우기, 핵심 역량 키우기, 스스로 정리하기' 문제로 단원의 전체적인 내용을 이해하고 정리해 보자.

창의·융합 프로젝트

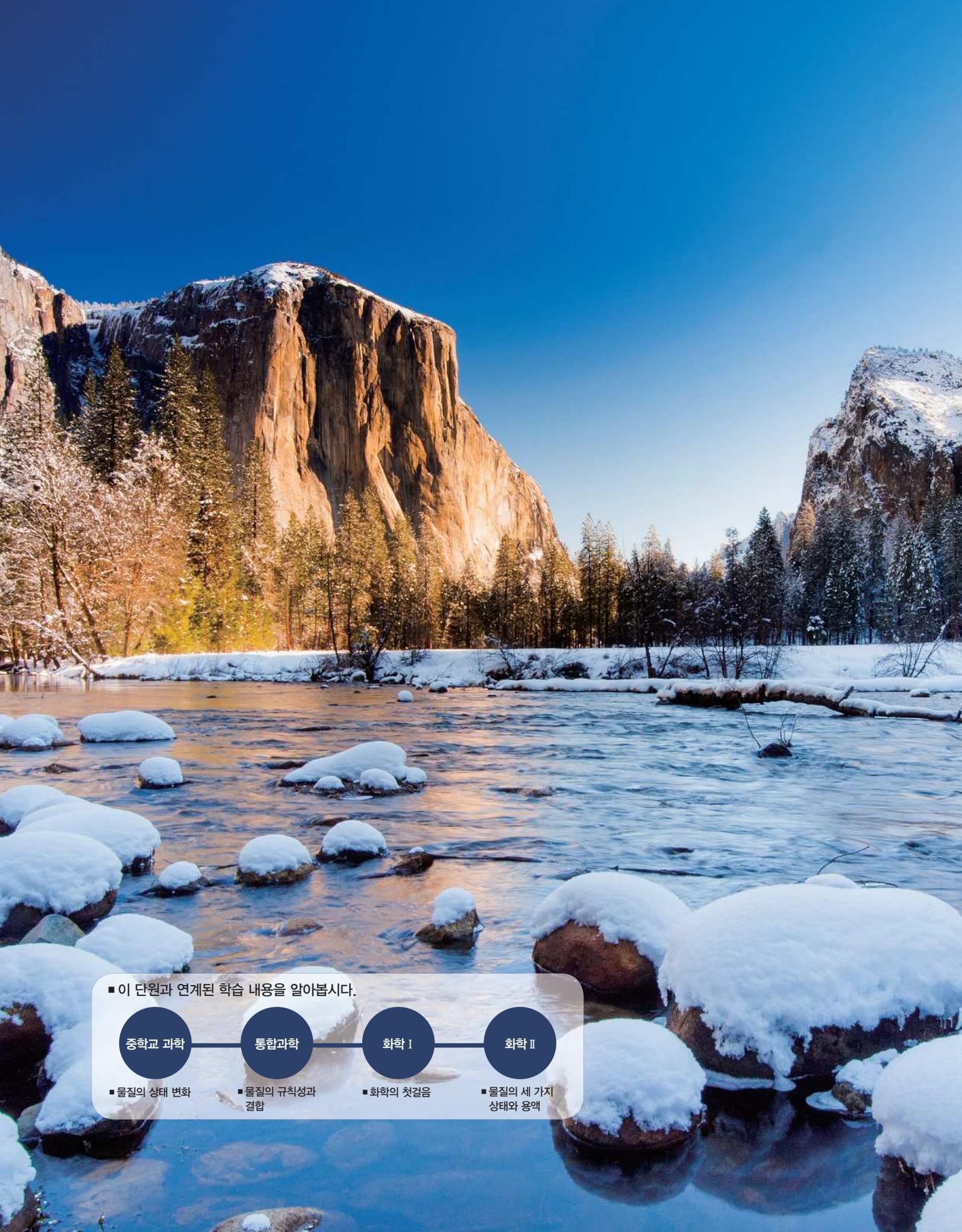
1. 학습 내용 정리하기

이 단원에서 배운 내용을 정리하시오.

2. 평가하기

이 단원에서 배운 내용을 정리하시오.

| 창의·융합 프로젝트 |
과학과 연계된 다양한 분야를 조사·체험하는 프로젝트 활동으로 창의력을 키워 보자.



■ 이 단원과 연계된 학습 내용을 알아봅시다.

중학교 과학

■ 물질의 상태 변화

통합과학

■ 물질의 규칙성과 결합

화학 I

■ 화학의 첫걸음

화학 II

■ 물질의 세 가지 상태와 용액



I

물질의 세 가지 상태와 용액

미국 요세미티 국립 공원은 빙하의 침식 작용으로 형성된 화강암 지형과 폭포, 계곡 등 세계적으로 손꼽히는 절경으로 유명하다. 추운 겨울이 되면 폭포나 계곡, 호수를 이루는 물이 얼고, 날씨가 따뜻해지면 얼음이나 눈이 다시 녹는다. 또한 호수의 물은 다양한 물질들이 녹아 있는 용액이기도 하다. 이 단원에서는 물질의 세 가지 상태와 용액의 성질을 알아보고, 일상생활에서 일어나는 현상을 물질 세계의 관점에서 설명해 보자.

1. 기체, 액체, 고체

2. 용액

■ 이 단원의 주요 핵심 역량을 알아봅시다.



과학적
사고력

물질의 세 가지 상태가 지닌 성질을 분자 간 상호 작용으로 이해하고 묽은 용액의 성질을 설명할 수 있다.



과학적
탐구 능력

여러 가지 농도의 용액을 만들 수 있으며, 묽은 용액의 총괄성을 도출하는 실험을 할 수 있다.



과학적
문제 해결력

기체의 온도, 압력, 부피, 몰수 사이의 관계를 이해하고 이상 기체 방정식으로 기체의 분자량을 구할 수 있다.



과학적
의사소통 능력

물질의 증기 압력과 끓는점을 나타낸 자료를 해석하여 토의할 수 있다.



과학적 참여와
평생 학습 능력

일상생활에서 어는점 내림, 끓는점 오름, 삼투압과 관련된 현상과 활용된 사례를 조사하고 발표할 수 있다.



기체, 액체, 고체

- 01. 기체
- 02. 분자 간 상호 작용
- 03. 액체와 고체

열기구(온도와 기체의 부피 관계 이용)



이 단원의 주요 개념

01

기체 (p.11~23)

- 이상 기체 방정식
- 기체의 분자량 구하기
- 부분 압력 법칙
- 기체의 온도, 압력, 부피, 몰수 사이에는 어떤 관계가 있을까?

02

분자 간 상호 작용 (p.24~37)

- 쌍극자·쌍극자 힘
- 분산력
- 수소 결합과 물의 성질
- 분자 간 상호 작용의 크기와 끓는점은 어떤 관계가 있을까?

03

액체와 고체 (p.38~45)

- 액체의 증기 압력과 끓는점
- 고체의 종류
- 결정 구조
- 액체의 증기 압력과 끓는점은 어떤 관계가 있을까?
- 고체의 종류와 결정 구조에는 어떤 것이 있을까?



나의 학습 준비 - 알고 있는 용어를 표시해 보자.

- | | | | |
|--------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 보일 법칙 | <input type="checkbox"/> 샤를 법칙 | <input type="checkbox"/> 아보가드로 법칙 | <input type="checkbox"/> 쌍극자 모멘트 |
| <input type="checkbox"/> 극성 분자 | <input type="checkbox"/> 무극성 분자 | <input type="checkbox"/> 증발과 끓음 | <input type="checkbox"/> 화학 결합 |



나의 학습 계획

- 이 단원에서 배우게 될 내용 가운데 내가 알고 싶거나 궁금한 것을 적어 보자.

01 기체

- 기체의 온도, 압력, 부피, 몰수 사이의 관계를 설명할 수 있다.
- 이상 기체 방정식을 활용하여 기체의 분자량을 구할 수 있다.
- 혼합 기체에서 몰 분율을 이용하여 부분 압력을 구할 수 있다.

생각 열기

풍등 축제에 가면 저마다의 소원을 실은 풍등이 밤하늘에 두둥실 떠오르는 장관을 볼 수 있다.

Q 풍등에 불을 붙이면 하늘로 떠오르는 까닭은 무엇일까?

1 기체 분자의 운동

| 기체 분자 운동론 |

기체는 액체나 고체와는 다른 특성이 있다. 기체는 액체나 고체에 비해 압축이 매우 잘되고 밀도가 훨씬 작으며 용기의 모양에 관계없이 용기 전체에 고르게 퍼지는 성질이 있다. 또한 기체의 부피는 온도나 압력에 따라 크게 변한다. 이러한 기체의 성질을 분자 운동으로 설명하는 이론을 기체 분자 운동론이라고 한다. 기체 분자 운동론의 가정은 다음과 같다.



그림 1-1 기체 분자 운동론의 가정

운동 에너지

질량이 m 인 물체의 속력이 v 일 때 운동 에너지(E_k)는 다음과 같다.

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

기체 분자 운동론으로 온도에 따른 기체 분자의 운동을 설명할 수 있다. 그림 I-2와 같이 기체 분자들은 같은 온도에서도 제각기 다른 속력으로 운동하고 있으며, 온도가 높을수록 속력이 빠른 기체 분자들의 비율이 증가한다. 즉, 온도가 높을수록 기체 분자의 평균 운동 속력이 증가하고 평균 운동 에너지가 커진다.

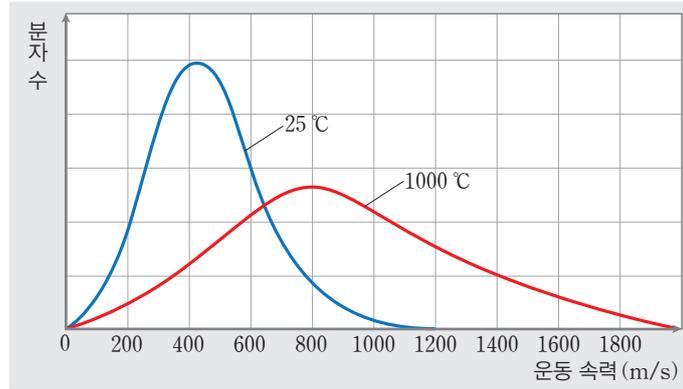


그림 I-2 온도에 따른 산소 분자의 운동 속도 분포

압력

단위 면적에 작용하는 힘이다.
압력(Pa) =

$$\frac{\text{작용하는 힘(N)}}{\text{힘을 받는 면의 넓이(m}^2\text{)}}$$

1 기압(atm) = 101325 Pa

| 기체의 압력 |

기체 분자 운동론에 따르면 기체 분자들은 끊임없이 운동하면서 물체의 표면에 충돌하여 힘을 가한다. 이때 기체 분자가 단위 면적에 작용하는 힘을 기체의 압력이라고 한다. 지구를 둘러싼 공기 때문에 생기는 압력을 대기압이라고 하는데, 토리첼리는 그림 I-4와 같은 장치를 사용하여 최초로 대기압을 측정하였다. 한쪽 끝이 막힌 긴 유리관에 수은을 가득 채운 다음 수은이 담겨 있는 수조에 거꾸로 세우면, 수은 기둥이

누르는 압력과 공기가 수은 표면을 누르는 압력이 같아질 때까지 수은 기둥이 내려간다. 수은 기둥의 높이가 760 mm일 때의 압력을 1 기압으로 정의하고, 이를 다음과 같이 나타낸다.

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



그림 I-3 토리첼리 (Torricelli, E., 1608~1647) 이탈리아의 수학자이자 과학자. 수은을 이용한 실험으로 대기압과 진공의 존재를 확인하고 수은 기압계를 발명하였다.

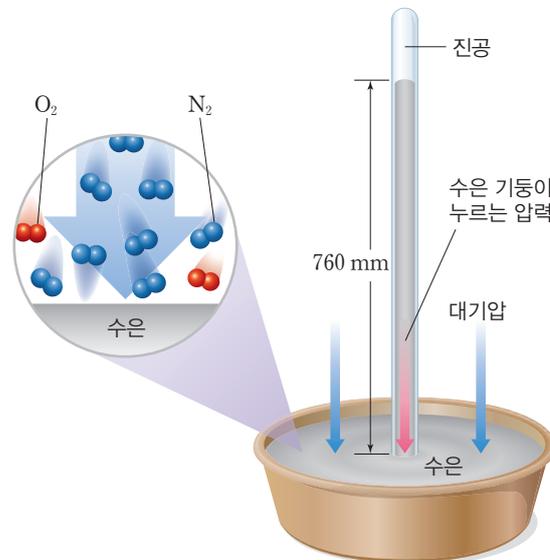


그림 I-4 대기압의 측정

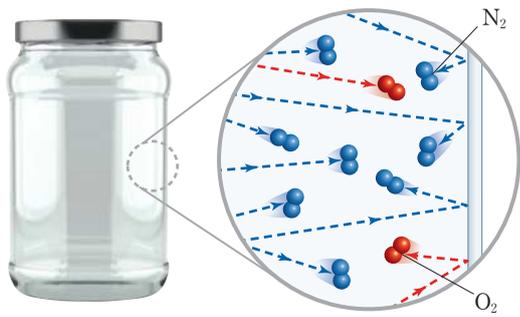


그림 I-5 기체의 압력과 분자 운동

기체의 압력이 나타나는 까닭은 그림 I-5와 같이 기체 분자들이 운동하면서 용기 벽면에 충돌하기 때문이다. 기체 분자의 충돌 횟수가 많을수록, 기체 분자가 강하게 충돌할수록 기체 분자가 용기의 벽면에 미치는 압력이 커진다.

온도가 높아지면 그림 I-6과 같이 분자의 평균 운동 속력과 평균 운동 에너지가 커지므로 기체 분자들이 용기의 벽면과 충돌하는 횟수가 많아지고 더 강하게 충돌한다. 따라서 온도가 높아지면 기체의 압력이 커진다. 일정한 온도와 부피에서 기체 분자의 수가 증가하면 충돌의 강도는 변하지 않지만, 충돌 횟수가 많아지므로 용기 벽면에 더 큰 힘을 가하게 되어 기체의 압력이 커진다. 또한 일정한 온도에서 기체 분자가 들어 있는 용기의 부피를 줄이면, 충돌의 강도는 변하지 않지만 충돌 횟수가 많아지므로 기체의 압력이 커진다. 이처럼 기체의 압력은 온도, 기체 분자의 수, 용기의 부피에 따라 달라진다.

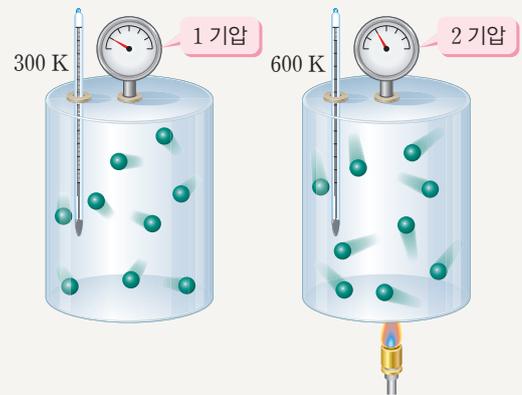


그림 I-6 온도 변화에 따른 기체 압력의 변화

용기 속 기체의 압력은 그림 I-7과 같이 수은이 들어 있는 U자관 장치를 이용하여 측정할 수 있다. (가)와 같이 U자관 양쪽의 수은 기둥 높이가 같을 때는 기체의 압력이 대기압과 같다. (나)에서는 기체의 압력이 수은 기둥의 높이 차이만큼 대기압보다 크고, (다)에서는 기체의 압력이 수은 기둥의 높이 차이만큼 대기압보다 작다.

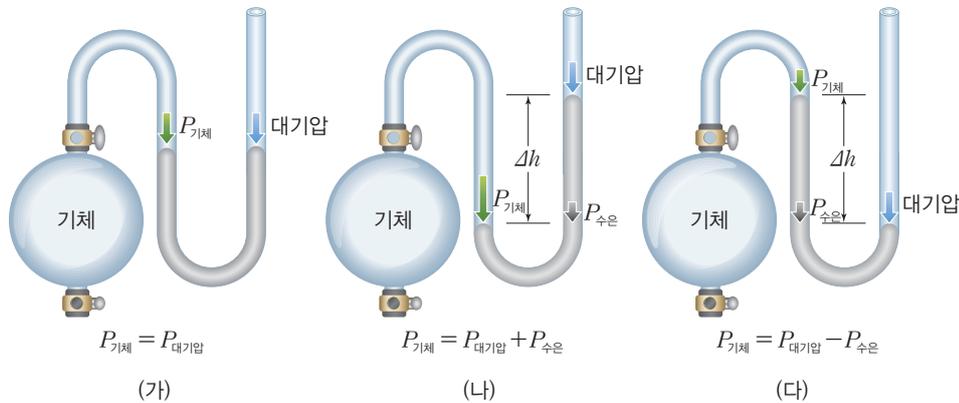


그림 I-7 기체의 압력 측정

기체의 상태를 나타낼 때 필요한 변수는 압력(P), 부피(V), 온도(T), 기체의 몰수(n)야.



2 기체 법칙

| 기체의 압력과 부피의 관계: 보일 법칙 |

공기가 들어 있는 주사기의 끝을 막고 피스톤을 누르면 부피가 감소한다. 보일은 일정한 온도에서 압력이 증가할 때 일정량의 기체가 차지하는 부피를 연구하였다. 보일의 실험으로 기체의 압력과 부피의 관계를 알아보자.



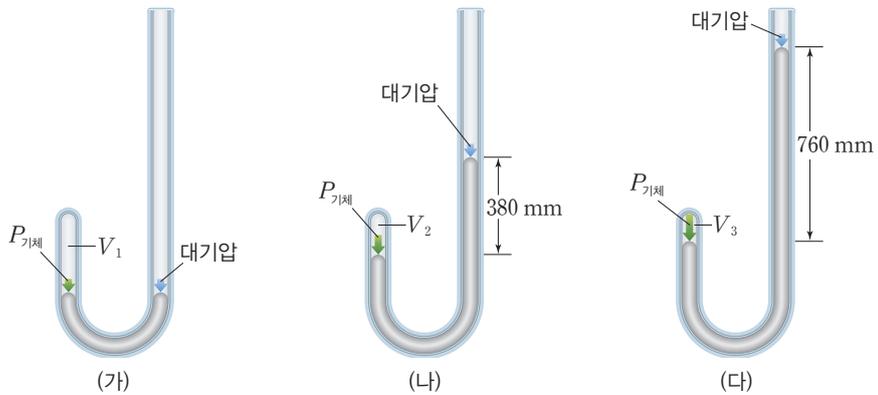
기체의 압력과 부피의 관계



보일은 한쪽 끝이 막힌 J자형 유리관의 열린 쪽에 수은을 넣으면서 유리관 속 기체의 부피를 측정하였다. 대기압은 1 기압이고 온도는 일정하다.



그림 I-8 보일(Boyle, R., 1627~1691) 영국의 과학자. 원소를 정의하였고, 기체의 압력과 부피에 관한 보일 법칙을 발표하였다.



과정

1 유리관 속 기체의 압력(P)과 ‘압력 × 부피’ 값을 계산하여 표의 빈칸을 채워 보자.

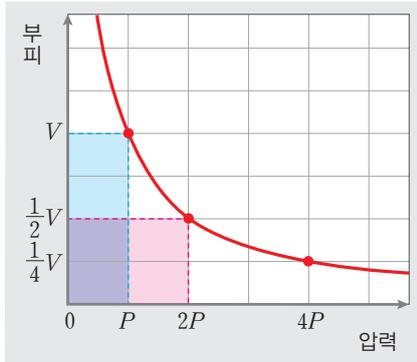
실험	(가)	(나)	(다)
수은 기둥의 높이 차이(mm)	0	380	760
기체의 압력 P (atm)			
기체의 부피 V (mL)	100	67	50
$P \times V$ (atm·mL)			

2 기체의 압력을 가로축, 부피를 세로축으로 하여 그래프를 그려 보자.

정리

- 1 기체의 압력과 부피 사이에는 어떤 관계가 있는가?
- 2 기체의 압력과 부피의 관계를 기체 분자의 운동으로 설명해 보자.

그림 I-9와 같이 일정한 온도에서 일정량의 기체의 압력 P 가 $2P$, $4P \dots$ 로 커지면 기체의 부피 V 는 $\frac{1}{2}V$, $\frac{1}{4}V \dots$ 로 감소한다. 즉, 기체의 부피(V)는 압력(P)에 반비례하며, 압력과 부피의 곱($P \times V$)은 일정하다. 이를 보일 법칙이라고 한다.



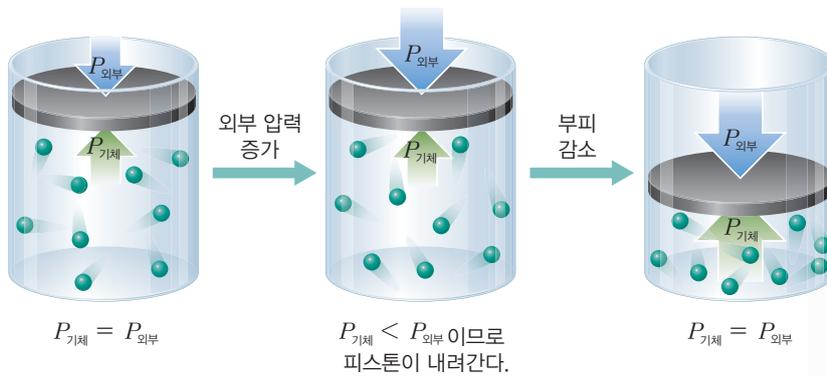
$$P \times V = k \quad (k: \text{상수})$$

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$$

(P_1 : 처음 압력, V_1 : 처음 부피)
(P_2 : 나중 압력, V_2 : 나중 부피)

그림 I-9 보일 법칙 압력-부피 그래프에서 압력이 P , 부피가 V 일 때의 면적과 압력이 $2P$, 부피가 $\frac{1}{2}V$ 일 때의 면적은 같다.

온도와 기체 분자의 수가 일정할 때 그림 I-10과 같이 외부 압력을 높이면 용기의 부피가 감소하여 기체 분자 사이의 거리가 가까워진다. 일정한 시간 동안 기체 분자가 용기 벽면에 충돌하는 횟수가 많아지므로 기체의 압력이 커지고, 기체의 압력이 외부 압력과 같아질 때까지 부피가 감소한다.



실린더의 피스톤은 외부 압력과 기체의 압력이 평형을 이루는 위치에서 멈춘다. 이때 외부 압력과 기체 압력은 같아.



그림 I-10 보일 법칙과 기체 분자 운동론

? 20 °C, 1 기압에서 주사기에 공기가 50 mL 들어 있다. 주사기 끝을 막고 피스톤을 눌렀더니 주사기 속 공기가 20 mL로 줄어들었다. 이때 주사기 속 공기의 압력을 구해 보자. (단, 온도는 일정하며, 피스톤의 마찰은 무시한다.)

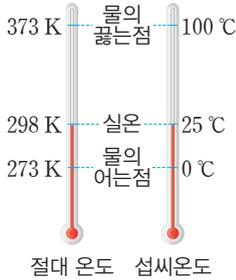
생각 넓히기 오른쪽 그림은 수면의 높이 변화로 대기압의 변화를 알 수 있는 탁상용 기압계이다. 대기압이 높은 날과 낮은 날에 구 부분과 관 부분의 수면의 높이가 어떻게 다를지 설명해 보자. (단, 온도는 일정하다.)



| 기체의 온도와 부피의 관계: 샤를 법칙 |

☞ 섭씨온도와 절대 온도
섭씨온도(t)에 273을 합하면 절대 온도(T)를 구할 수 있다.

$T(K) = t(^{\circ}C) + 273$
절대 온도의 단위는 K(Kelvin)을 사용한다.



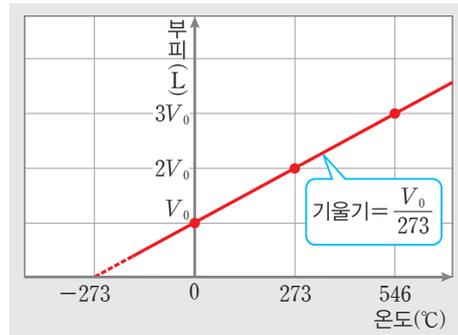
일정한 압력에서 기체를 가열하면 부피가 증가하고 냉각하면 부피가 감소한다. 샤를(Charles, J. A. C., 1746~1823)의 실험에 따르면 일정한 압력에서 일정량의 기체의 부피는 기체의 종류에 관계없이 온도가 1°C 높아질 때마다 0°C 때 부피의 $\frac{1}{273}$ 만큼씩 증가한다. 이를 샤를 법칙이라고 한다.

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

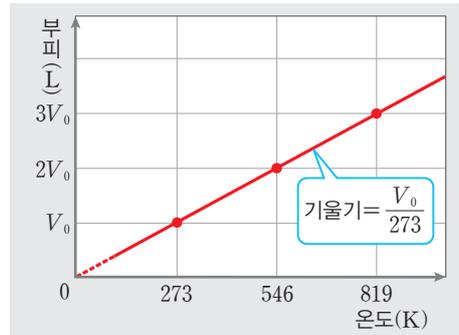
(V_t : $t^{\circ}C$ 일 때 기체의 부피, V_0 : 0°C일 때 기체의 부피)

그림 I-11의 (가)와 같이 온도를 낮추어 $-273^{\circ}C$ 가 되면 기체의 부피는 이론적으로 0이 되는데, 이 온도를 절대 영도라고 한다. 그래프 (가)를 절대 영도가 원점이 되도록 다시 그리면, (나)와 같이 나타낼 수 있다. 절대 영도를 0으로 하여 섭씨온도와 같은 간격으로 나타낸 온도를 절대 온도(T)라고 한다.

실제 기체는 절대 영도에 도달하기 전에 액체나 고체로 상태가 변해, 액체나 고체에서는 샤를 법칙이 적용되지 않기 때문에 이 구간을 점선으로 나타내.



(가) 섭씨온도와 기체의 부피



(나) 절대 온도와 기체의 부피

그림 I-11 기체의 온도와 부피의 관계

압력이 일정할 때 일정량의 기체의 부피는 절대 온도에 비례하며, 기체의 부피와 온도의 비($\frac{V}{T}$)는 항상 일정하다.

$$V = \frac{V_0}{273}T = kT \Rightarrow \frac{V}{T} = k \quad (k: \text{상수})$$

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

(T_1 : 처음 온도, V_1 : 처음 부피)
(T_2 : 나중 온도, V_2 : 나중 부피)

❓ 27°C, 2 L의 헬륨 기체를 $-3^{\circ}C$ 로 냉각할 때 부피를 구해 보자. (단, 압력은 일정하다.)

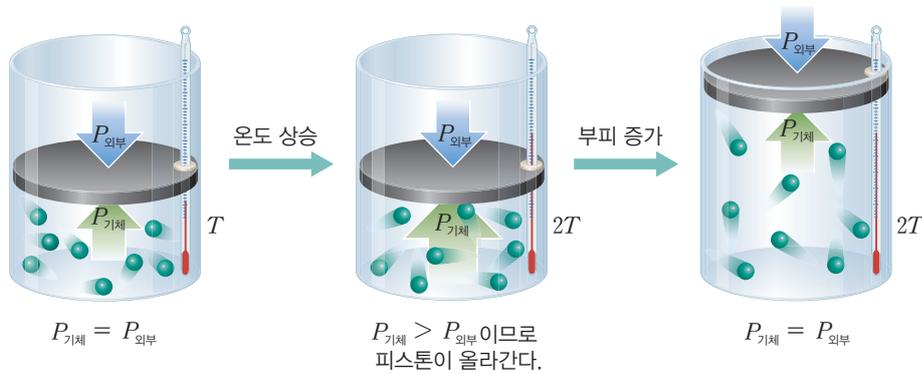


그림 I-12 샤를 법칙과 기체 분자 운동론

그림 I-12와 같이 외부 압력이 일정할 때, 기체를 가열하면 기체 분자가 더욱 빠르게 운동하면서 용기 벽에 더 자주, 더 강하게 충돌하므로 기체의 압력이 커진다. 따라서 기체의 압력이 외부 압력과 같아질 때까지 피스톤을 위로 밀어 올려 부피가 증가한다.

| 기체의 몰수와 부피의 관계: 아보가드로 법칙 |

아보가드로는 ‘기체는 온도와 압력이 같을 때, 기체의 종류에 관계없이 같은 부피 속에 같은 수의 분자가 들어 있다.’고 가정하였다. 즉, 일정한 온도와 압력에서 기체의 부피(V)는 기체의 몰수(n)에 비례한다. 이러한 관계를 아보가드로 법칙이라고 한다.



그림 I-13 아보가드로 법칙 온도와 압력이 같을 때, 같은 부피의 풍선 속에 들어 있는 기체 분자 수는 같다.

$$V = kn \quad (k: \text{상수})$$

일정한 온도와 압력에서 기체를 더 넣으면 기체 분자의 몰수가 증가하므로 용기 벽면에 충돌하는 기체 분자의 수가 증가하여 기체의 압력이 커진다. 따라서 기체의 압력이 외부 압력과 같아질 때까지 피스톤을 위로 밀어 올리므로 부피가 증가한다.

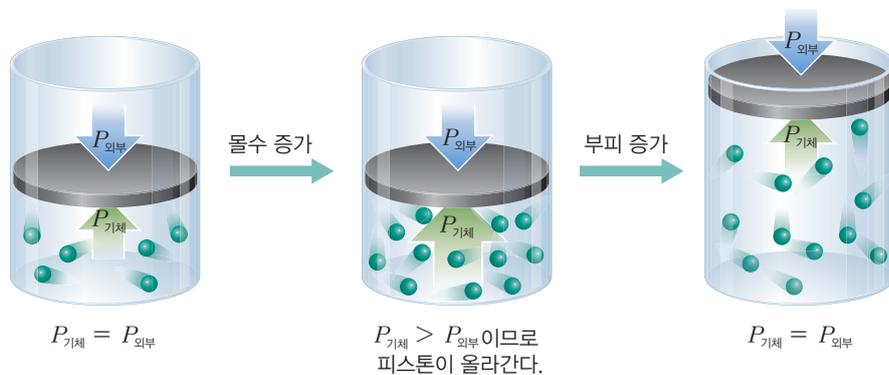


그림 I-14 아보가드로 법칙과 기체 분자 운동론



그림 I-15 아보가드로 (Avogadro, A., 1776~1856) 이탈리아의 물리학자. 1811년 아보가드로 가설을 발표하였으며, 이 가설은 뒤에 실험으로 증명되어 아보가드로 법칙으로 불리게 되었다.

| 기체의 압력, 부피, 온도, 몰수의 관계: 이상 기체 방정식 |

보일 법칙, 샤를 법칙, 아보가드로 법칙을 종합하여 기체의 부피(V)가 온도(T), 압력(P), 몰수(n)와 각각 어떤 관계인지 정리하면 그림 I-16과 같다.

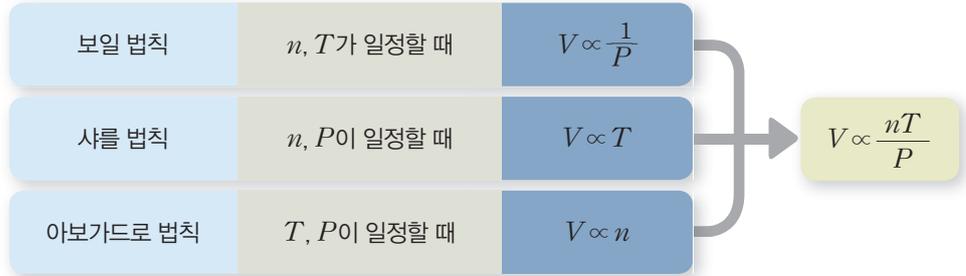


그림 I-16 기체의 부피, 온도, 압력, 몰수의 관계

 이상 기체

분자 사이에 인력이나 반발력이 작용하지 않고 분자의 크기를 무시할 수 있는 가상의 기체이다.

기체의 부피는 기체의 몰수와 절대 온도에 비례하고 압력에 반비례한다. 이를 비례상수(R)를 이용하여 정리하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있고, 이 식을 **이상 기체 방정식**이라고 한다.

$$V = R\left(\frac{nT}{P}\right) \rightarrow PV = nRT$$

기체 1몰은 0°C , 1 기압에서 22.4 L의 부피를 차지하므로 이를 대입하면 R 값을 구할 수 있다. 이 R 를 **기체 상수**라고 한다.

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

? 0°C , 2 기압에서 이산화 탄소 기체 11.2 L 속에 들어 있는 이산화 탄소 분자의 몰수를 구해 보자.

 기체의 밀도와 분자량

기체의 밀도는 질량을 부피로 나눈 값이므로 $d = \frac{w}{V}$ 를 이상

기체 방정식에 대입하면

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

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

가 된다.

분자량이 M 인 기체의 질량이 w g일 때, 기체의 몰수(n)는 기체의 질량을 분자량으로 나눈 값 $\left(\frac{w}{M}\right)$ 이므로, 이상 기체 방정식을 다음과 같이 바꾸어 쓸 수 있다.

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

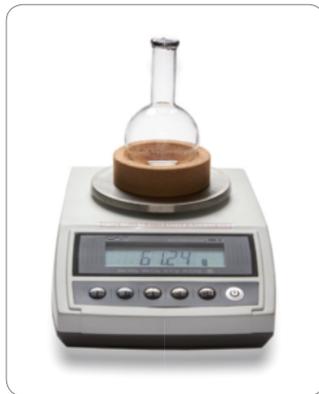
따라서 기체의 분자량 M 은 다음과 같이 나타낼 수 있으며, 기체의 질량(w), 온도(T), 압력(P), 부피(V)를 측정하여 기체의 분자량을 구할 수 있다.

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

이상 기체 방정식을 활용하여 아이소프로판올(C_3H_8O)의 분자량을 구해 보자.

과정

- 1 중탕용 비커에 물을 $\frac{3}{4}$ 정도 넣고 $90\text{ }^\circ\text{C}$ 이상이 될 때까지 가열한다.
- 2 둥근바닥 플라스크에 알루미늄박으로 뚜껑을 만들어 씌운 뒤, 바늘로 작은 구멍을 뚫고 질량(w_1)을 측정한다.
- 3 이 플라스크에 아이소프로판올을 1 mL 정도 넣고 알루미늄박 뚜껑을 꼭 덮는다.
- 4 플라스크를 과정 1의 비커에 넣고 중탕하다가 아이소프로판올이 모두 증발하면 가열을 멈추고 물의 온도(t)를 측정한다.
- 5 플라스크를 찬물이 담긴 수조에 넣어 식힌 뒤, 꺼내서 겉에 묻은 물을 완전히 닦아 내고 질량(w_2)을 측정한다.
- 6 응축된 아이소프로판올을 버리고 플라스크 안에 물을 가득 채운 뒤 눈금 실린더로 물의 부피(V)를 측정한다.
- 7 실험실의 대기압을 측정한다.



준비물

아이소프로판올, 물, 500 mL 비커, 100 mL 둥근바닥 플라스크, 눈금 실린더, 스포이트, 수조, 디지털 온도계, 기압계, 전자저울, 핫플레이트, 스탠드, 클램프, 클램프 홀더, 둥근바닥 플라스크 받침대, 실험용 티슈, 알루미늄박, 바늘, 실험용 장갑, 보안경

결과 및 정리

- 1 실험 과정에서 측정한 값을 표에 정리해 보자.

과정 2에서의 질량(w_1)	과정 4에서의 물의 온도(t)	과정 5에서의 질량(w_2)	과정 6에서 플라스크의 부피(V)	과정 7에서의 대기압(P)
g	$^\circ\text{C}$	g	L	atm

- 2 과정 4에서 아이소프로판올이 모두 증발하여 둥근바닥 플라스크를 가득 채웠을 때 아이소프로판올 기체의 질량은 몇 g인가?
- 3 실험 결과를 이용하여 아이소프로판올의 분자량을 구해 보자.
- 4 아이소프로판올의 분자식은 C_3H_8O 이다. 실험에서 구한 아이소프로판올의 분자량을 실제 분자량과 비교해 보고, 오차의 원인이 무엇인지 토의해 보자.

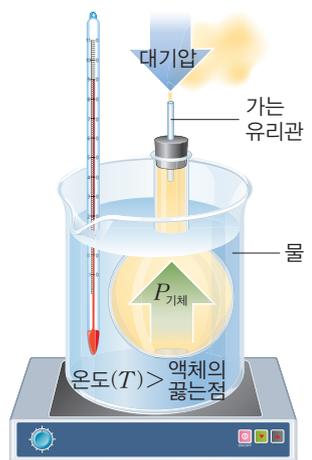
주의 사항

- 중탕할 때 둥근바닥 플라스크의 목 부분까지 물에 잠기게 설치한다.
- 아이소프로판올 증기는 흡입하지 않도록 하고 실험실의 환기에 유의한다.
- 핫플레이트에 화상을 입지 않도록 한다.



뒤마(Dumas, J. B. A., 1800~1884)는 이상 기체 방정식을 활용하여 휘발성 액체의 분자량을 알아내는 방법을 고안하였다. 그림 I-17과 같이 소량의 휘발성 액체를 기화시키면 기체는 플라스크를 가득 채우고 일부는 밖으로 빠져나가 플라스크 안의 기체 압력과 대기압이 같아진다. 이때 플라스크 속 기체의 압력, 부피, 질량, 온도를 측정하여 이상 기체 방정식에 대입하면 이 물질의 분자량을 구할 수 있다.

플라스크 속 기체의 질량은 기체를 모두 응축시킨 뒤 액체의 질량을 측정하면 알 수 있지.



- ▶ P (기체의 압력) = 대기압
- ▶ V (기체의 부피) = 플라스크의 부피
- ▶ w (기체의 질량) = 기체가 모두 응축된 뒤 플라스크의 질량 - 플라스크의 질량
- ▶ T (기체의 온도) = 중탕 용기 속 물의 온도

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

그림 I-17 휘발성 액체 물질의 분자량 구하기

미니 연습장

예제 · · 테니스공은 잘 될 수 있도록 대기압보다 큰 압력으로 기체를 채운다. 25 °C에서 부피가 144 cm³인 테니스공 안에 0.33 g의 질소 기체를 채울 때 테니스공 안의 기체 압력을 구해 보자. (단, 질소의 분자량은 28이다.)

풀이 · · 단계 1 이상 기체 방정식을 압력(P)에 대한 식으로 정리한다.

$$PV = nRT = \frac{w}{M}RT \Rightarrow P = \frac{wRT}{MV}$$

단계 2 주어진 조건을 부피는 L, 온도는 K로 나타낸다.

$$V: 144 \text{ cm}^3 = 144 \text{ mL} = 144 \times 10^{-3} \text{ L}$$

$$T: 25 \text{ }^\circ\text{C} + 273 = 298 \text{ K}$$

단계 3 주어진 조건을 대입하여 압력(P)을 구한다.

질소의 분자량은 28이므로 1몰의 질량은 28 g/mol이다.

$$P = \frac{wRT}{MV} = \frac{0.33 \text{ g} \times 0.082 \text{ atm} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \times 298 \text{ K}}{28 \text{ g/mol} \times 144 \times 10^{-3} \text{ L}} \approx 2.0 \text{ atm}$$

유제 · · 자동차 에어백에 질소 기체가 가득 찼을 때 25 °C에서 에어백의 부피는 65 L, 압력은 829 mmHg이었다. 에어백에 들어 있는 질소 기체의 몰수를 구해 보자.

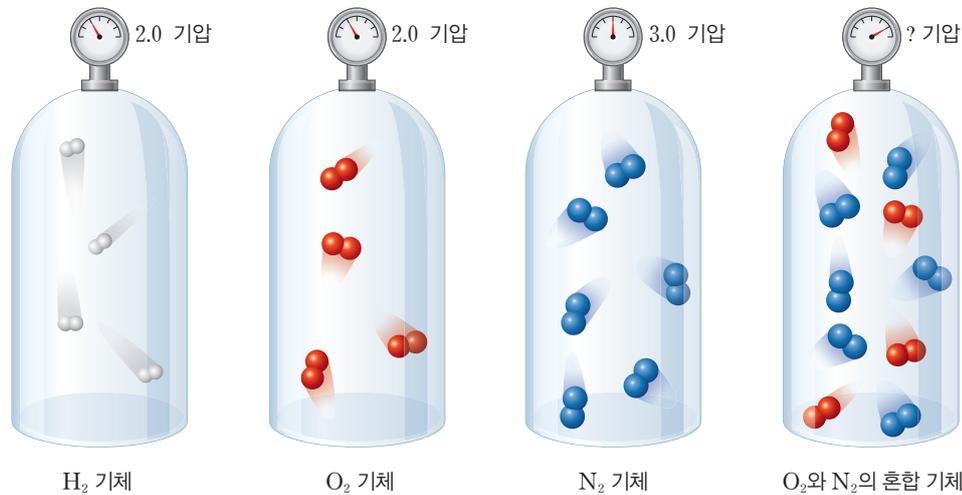


3 기체 혼합물과 부분 압력 법칙

공기는 질소, 산소 등 여러 가지 기체의 혼합물이다. 지금까지 알아본 기체 법칙들이 한 가지 기체뿐만 아니라 혼합 기체에도 적용될까? 서로 반응하지 않는 두 기체를 섞으면 압력은 어떻게 될까?

미니 탐구 토의 혼합 기체의 압력

그림은 25 °C에서 같은 부피의 용기에 여러 가지 기체를 넣었을 때의 입자 모형과 압력을 나타낸 것이다.



- 1 H₂ 기체와 O₂ 기체의 압력이 같은 까닭은 무엇인가?
- 2 기체 분자의 몰수와 기체의 압력 사이의 관계를 토의해 보자.
- 3 O₂와 N₂의 혼합 기체의 압력은 얼마일까? 그렇게 생각한 까닭은 무엇인가?

기체의 압력은 기체 분자가 용기 벽면에 충돌하여 나타나므로 기체 분자의 수가 많을수록 기체의 압력이 커진다. 즉, 온도와 부피가 일정할 때 기체의 압력은 몰수에 비례한다. 따라서 기체 A가 들어 있는 일정한 부피의 용기에 기체 B를 더 넣으면 기체 B의 압력만큼 전체 압력이 커진다.

$$P_T = P_A + P_B$$

이때 P_T 는 혼합 기체의 전체 압력이고, P_A 와 P_B 는 혼합 기체에서 기체 A와 기체 B가 각각 차지하는 압력으로 **부분 압력** 또는 **분압**이라고 한다. 돌턴(Dalton, J., 1766~1844)은 혼합 기체의 전체 압력이 각 성분 기체의 부분 압력의 합과 같다는 것을 밝혔고, 이를 **부분 압력 법칙**이라고 한다.

그림 I-18은 온도 T 에서 n_A 몰의 기체 A와 n_B 몰의 기체 B를 부피 V 인 용기에 혼합하였을 때, 성분 기체의 부분 압력 P_A , P_B 와 전체 압력 P_T 를 이상 기체 방정식으로 나타낸 것이다. 이로부터 전체 압력 P_T 와 성분 기체 A, B의 몰수 및 부분 압력 사이의 관계식을 얻을 수 있다.

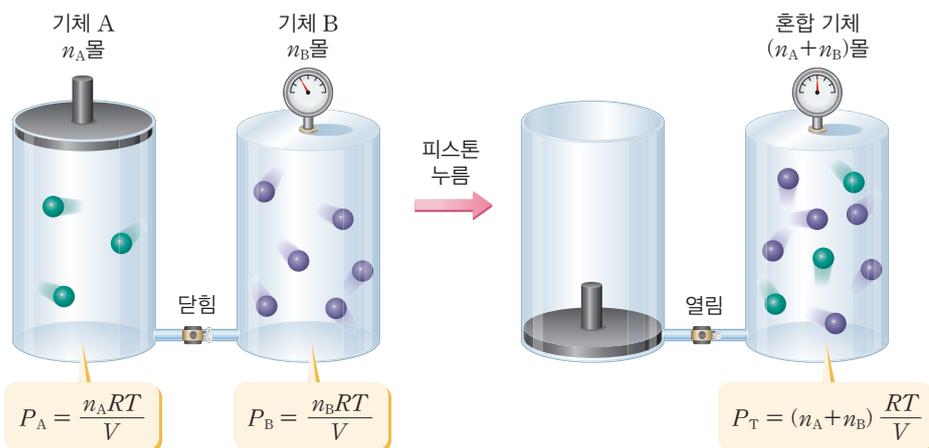


그림 I-18 이상 기체 방정식과 부분 압력 법칙

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

이때 $\frac{n_A}{n_A + n_B}$ 나 $\frac{n_B}{n_A + n_B}$ 와 같이 혼합물에서 각 성분 물질의 몰수를 전체 몰수로 나눈 값을 몰 분율이라고 한다. 기체 혼합물에서 성분 기체의 부분 압력은 몰 분율에 비례한다.

📖 몰 분율과 부분 압력의 관계식 유도 과정
혼합 기체에서

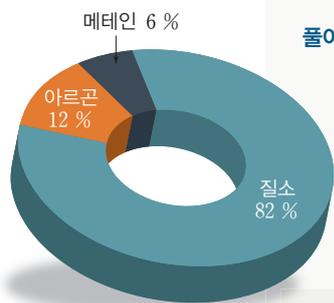
$$\frac{RT}{V} = \frac{P_T}{n_A + n_B} \text{이므로, 이 값을}$$

$$P_A = \frac{n_A RT}{V} \text{에 대입하면}$$

$$P_A = P_T \times \frac{n_A}{n_A + n_B} \text{이다.}$$

마찬가지 방법으로 계산하면

$$P_B = P_T \times \frac{n_B}{n_A + n_B} \text{이다.}$$



예제 · · 그림은 보이어 1호가 보내온 자료를 바탕으로 하여 토성의 위성인 타이탄의 대기 성분과 몰비를 추정해 본 것이다. 타이탄 표면의 대기압이 1220 mmHg이었을 때 타이탄 대기를 이루는 각 기체의 부분 압력을 구해 보자.

풀이 · · 단계 1 각 기체의 몰 분율을 구한다.

$$\text{질소: } 0.82, \text{ 아르곤: } 0.12, \text{ 메테인: } 0.06$$

단계 2 전체 압력에 성분 기체의 몰 분율을 곱하여 부분 압력을 구한다.

$$P_{N_2} = 1220 \text{ mmHg} \times 0.82 = 1000.4 \text{ mmHg}$$

$$P_{Ar} = 1220 \text{ mmHg} \times 0.12 = 146.4 \text{ mmHg}$$

$$P_{CH_4} = 1220 \text{ mmHg} \times 0.06 = 73.2 \text{ mmHg}$$

유제 · · 건조 공기에는 질소가 78%, 산소가 21%, 아르곤이 1%의 몰비로 들어 있다. 대기압이 0.8 기압인 고산 지대에서 질소, 산소, 아르곤의 부분 압력을 구해 보자.

미니
연습장

자료실 실제 기체는 이상 기체와 어떻게 다를까?

이상 기체는 기체 분자 자체의 부피가 없고 분자들 사이에 어떤 힘도 작용하지 않는다고 가정한 가상의 기체이다. 따라서 실제 기체를 이상 기체 방정식에 적용하면 잘 맞지 않을 때가 있다.

실제 기체가 이상 기체에서 벗어나는 정도는 $\frac{PV}{RT}$ 값으로 나타낼 수 있다.
 이상 기체 방정식 $PV = nRT$ 에서 $\frac{PV}{RT} = n$ 이므로 이상 기체 1몰의 $\frac{PV}{RT}$ 값은 항상 1이다. 하지만 실제 기체는 분자들 사이에 인력이나 반발력이 작용할 수 있으므로 실제 기체 1몰의 $\frac{PV}{RT}$ 값은 1에서 벗어날 수 있다. 그림 I-19와 같이 분자 사이에 인력이 작용할 때는 이웃 분자들이 끌어당기는 힘 때문에 분자가 용기 벽면에 약하게 충돌한다. 따라서 기체의 압력이 이상 기체보다 작아지고, $\frac{PV}{RT}$ 는 1보다 작다.

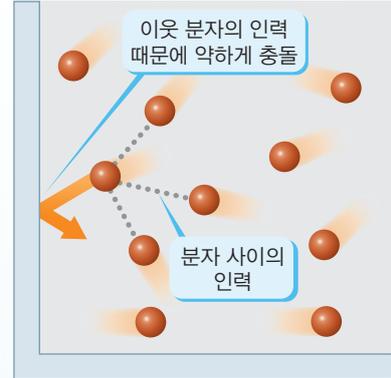


그림 I-19 실제 기체의 분자 사이의 인력과 압력

〈출처〉 Haynes, 『CRC handbook of chemistry and physics』, 2016.

실제 기체들은 그림 I-20과 같이 압력이 낮을 때는 이상 기체에 가깝지만 압력이 높아지면 이상 기체에서 많이 벗어난다. 또한 0 °C와 200 °C에서의 CH₄의 그래프를 비교해 보면 온도가 높을 때 이상 기체에 더 가깝다. 온도가 같을 때는 여러 가지 실제 기체 가운데 분자량이 가장 작은 H₂가 가장 이상 기체에 가깝다.

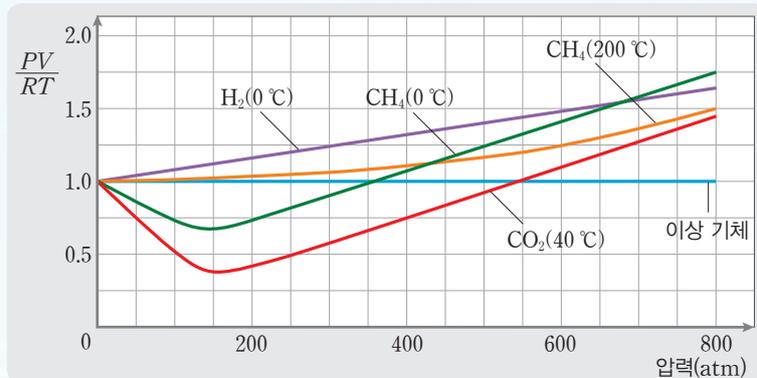


그림 I-20 이상 기체와 실제 기체의 압력에 따른 $\frac{PV}{RT}$ 값

즉, 실제 기체는 압력이 낮고 온도가 높을수록 이상 기체에 가깝다. 이것은 압력이 낮고 온도가 높으면 전체 기체의 부피가 크기 때문에 분자 자체의 부피는 무시할 수 있으며, 분자 사이의 거리가 멀어 분자 사이의 인력도 거의 작용하지 않기 때문이다. 실제 기체도 실온(25 °C), 대기압(1 기압)에서는 이상 기체에 매우 가까우므로 이상 기체 방정식을 적용할 수 있다.

평가하기

- 1 기체의 밀도가 온도, 압력, 기체의 분자량에 따라 어떻게 달라지는지 이상 기체 방정식을 이용하여 설명해 보자.
- 2 질소(N₂) 기체 5.6 g과 산소(O₂) 기체 3.2 g을 혼합한 기체에서 질소 기체의 부분 압력이 300 mmHg일 때, 혼합 기체의 전체 압력을 구해 보자. (단, 온도는 일정하고, 질소, 산소의 분자량은 각각 28, 32이다.)

02

분자 간 상호 작용

- 분자 사이에 작용하는 힘의 종류와 원리를 설명할 수 있다.
- 분자 간 상호 작용의 크기와 끓는점의 관계를 설명할 수 있다.
- 물의 분자 구조와 수소 결합을 이용하여 물의 성질을 설명할 수 있다.

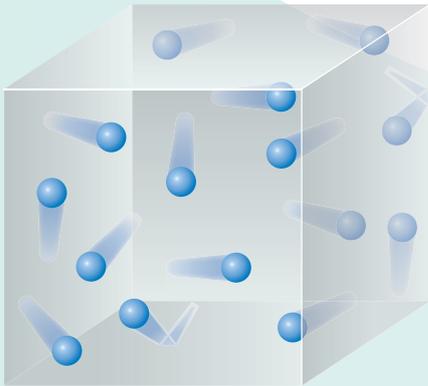
생각 열기

네오디뮴 구슬 자석을 규칙적으로 쌓으면 멋진 구조물을 만들 수 있다. 자석의 N극과 S극 사이에 작용하는 강한 인력 때문에 구조물의 형태가 잘 유지되며, 구슬을 떼어 내려면 큰 힘이 필요하다.

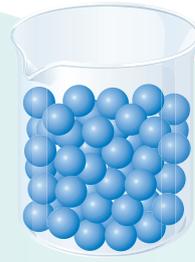
☉ 네오디뮴 자석은 높은 온도에서 자성이 약해지는 단점이 있다. 네오디뮴으로 만든 구조물은 높은 온도에서 어떻게 될까?



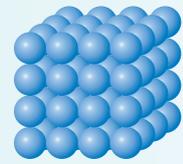
기체는 분자 사이의 거리가 매우 멀어서 분자 사이에 인력이 거의 작용하지 않는다. 따라서 기체의 종류에 관계없이 이상 기체 방정식 $PV = nRT$ 을 이용하여 기체의 상태를 나타낼 수 있다. 그러나 액체와 고체는 분자 사이의 거리가 가까워서 인력이 작용한다. 이때 분자 사이에 작용하는 인력은 근본적으로 모두 정전기적 힘이지만, 물질에 따라 분자 사이에 작용하는 힘의 종류나 크기가 다르다.



기체



액체



고체

그림 I-21 물질의 세 가지 상태

액체와 고체에서 분자 사이에는 다양한 형태의 정전기적 인력이 작용하며, 물질을 구성하는 분자가 극성인지 무극성인지에 따라 분자 사이에 작용하는 힘의 종류가 달라진다. 또한 분자 사이에 작용하는 힘의 크기에 따라 녹는점, 끓는점, 용해열, 기화열과 같은 물질의 물리적 성질이 달라진다.

분자 사이에 작용하는 힘의 상대적 크기는 물질의 끓는점을 비교하여 알 수 있다. 물질의 온도가 높아지면 분자들의 운동 에너지가 커지므로 분자 사이의 인력을 끊고 기체로 존재한다. 따라서 분자 사이에 작용하는 힘이 클수록 끓는점이 높아진다. 분자 사이에 작용하는 힘의 종류와 원리를 알아보자.

1 쌍극자·쌍극자 힘

분자는 공유 결합으로 형성되며, 공유 전자쌍의 분포에 따라 극성 분자와 무극성 분자로 분류할 수 있다. 전기 음성도가 서로 다른 원소로 이루어진 이원자 분자나 비대칭적인 구조의 다원자 분자는 부분적인 전하를 띠는 극성 분자이다. 예를 들어 염화 수소(HCl)는 전기 음성도가 큰 Cl 원자 쪽으로 공유 전자쌍이 치우쳐 있으므로, H 원자는 부분적인 양전하(δ^+)를 띠고 Cl 원자는 부분적인 음전하(δ^-)를 띠어 쌍극자를 형성한다.

쌍극자를 가지는 극성 분자들이 가까워지면 같은 전하 사이의 반발력을 최소화하고 반대 전하 사이의 인력을 최대화하도록 분자들이 배열한다. 이때 한 분자의 쌍극자와 이웃한 분자의 쌍극자 사이에 인력이 작용하는데, 이러한 분자 사이의 힘을 쌍극자·쌍극자 힘이라고 한다.

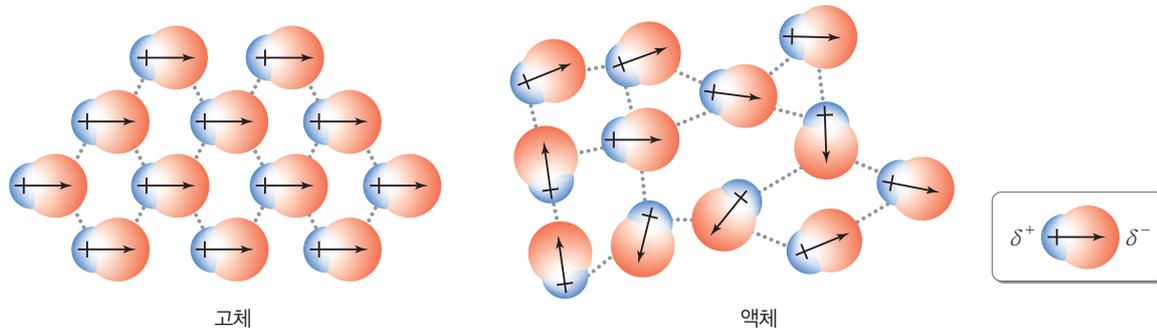


그림 I-22 극성 분자 사이에 작용하는 쌍극자·쌍극자 힘

표 I-1은 분자량이 비슷하지만 쌍극자 모멘트가 다른 몇 가지 물질의 끓는점을 나타낸 것이다. 분자량이 비슷할 때, 분자의 쌍극자 모멘트가 클수록 쌍극자·쌍극자 힘이 더 커지므로 끓는점이 높아진다.

표 I-1 분자량이 비슷한 물질의 쌍극자 모멘트와 끓는점

분자	분자량	쌍극자 모멘트(D)	끓는점(°C)
CH ₃ CH ₂ CH ₃	44	0.08	-42
CH ₃ OCH ₃	46	1.30	-25
CH ₃ Cl	50	1.89	-24
CH ₃ CHO	44	2.75	21
CH ₃ CN	41	3.93	82

연계 학습

극성 분자 ▶ 화학 I, III-2 분자의 구조와 성질

쌍극자

크기가 같고 부호가 반대인 두 전하가 일정한 거리에 떨어져 부분적인 전하를 나타내는 것을 쌍극자라고 한다.

쌍극자 모멘트

쌍극자 모멘트는 결합 또는 분자의 극성을 나타내는 값이다. 그 크기는 전하량(q)과 두 전하 사이의 거리(r)를 곱한 값이고, 단위는 debye(D)로 표시한다.

〈출처〉 Haynes, 『CRC handbook of chemistry and physics』, 2016.

2 분산력

H₂, N₂, O₂, CH₄과 같은 무극성 분자 사이에는 어떤 힘이 작용할까? 무극성 분자는 전자의 치우침 없이 전자가 고르게 분포한다고 가정하지만, 전자가 순간적으로 분자의 한쪽으로 치우치면 잠시 동안 쌍극자가 생길 수 있다. 이처럼 전자가 분자의 한쪽으로 치우치는 현상을 편극이라고 하고, 이때 순간적으로 생성되는 쌍극자를 순간 쌍극자라고 한다. 순간 쌍극자는 이웃한 분자의 전자 분포에 영향을 미쳐 또 다른 순간 쌍극자를 만들어 낼 수 있다. 이 두 순간 쌍극자 사이에 작용하는 약한 힘을 분산력이라고 한다.

분산력은 분자 내 전자 분포의 변화 때문에 생기는 분자 사이의 인력이므로 무극성 분자뿐만 아니라 극성 분자에도 존재해.

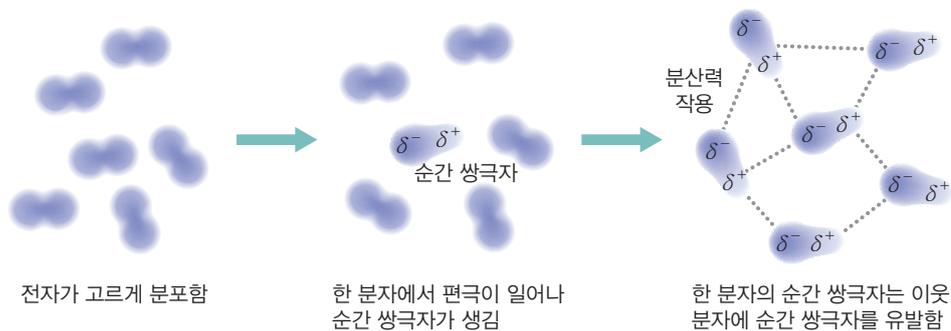


그림 1-23 무극성 분자에서 분산력이 작용하는 과정



여러 가지 탄화수소의 끓는점



표는 원유 속에 포함된 대표적인 탄화수소의 물리적 성질을 나타낸 것이다.

탄화수소	분자식	분자량	끓는점(°C)
메테인	CH ₄	16	-161
에테인	C ₂ H ₆	30	-89
프로페인	C ₃ H ₈	44	-42
노말부테인	C ₄ H ₁₀	58	-0.5
노말펜테인	C ₅ H ₁₂	72	36
노말헥세인	C ₆ H ₁₄	86	69

〈출처〉 Haynes, 『CRC handbook of chemistry and physics』, 2016.

정리

- ① 탄화수소 분자 사이에 작용하는 힘은 무엇인가?
- ② 탄화수소의 분자량과 끓는점 사이에는 어떤 관계가 있는가?
- ③ 25 °C에서 기체로 존재하는 탄화수소는 무엇인가? 분자 사이의 인력의 크기와 실온에서의 상태와의 관계를 설명해 보자.

분자 내의 전자들이 한쪽으로 치우치는 편극이 잘 일어날수록 분산력이 커진다. 일반적으로 분자량이 커질수록 분산력이 커지는데, 분자량이 큰 분자는 크기가 크고 전자가 많아서 편극이 잘 일어나기 때문이다. 그림 I-24와 같이 무극성 물질인 할로젠 원소와 비활성 기체는 분자량이 커질수록 분산력이 증가하여 끓는점이 높아진다.

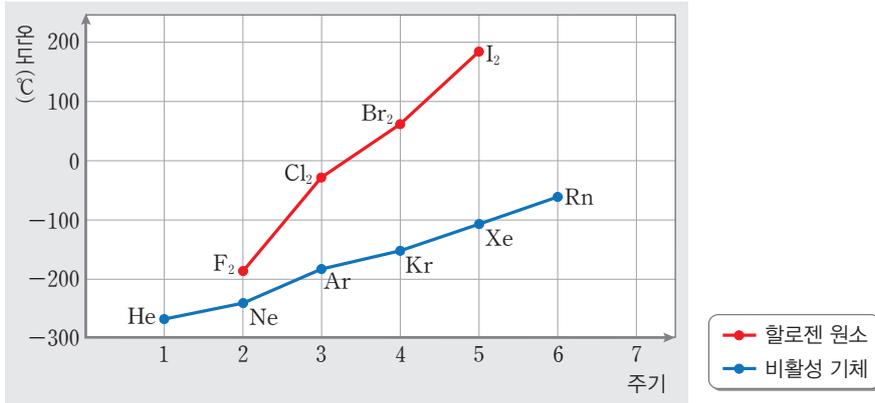


그림 I-24 할로젠 원소와 비활성 기체의 끓는점

분산력은 분자의 모양에 따라 달라지기도 한다. 그림 I-25와 같이 네오펜테인과 노말펜테인은 분자량이 같지만, 끓는점은 노말펜테인이 더 높다. 분자 모양이 구형에 가까운 네오펜테인에 비해 사슬 모양인 노말펜테인은 표면적이 커서, 이웃 분자와의 상호 작용으로 편극이 잘 일어나 분산력이 더 크기 때문이다.

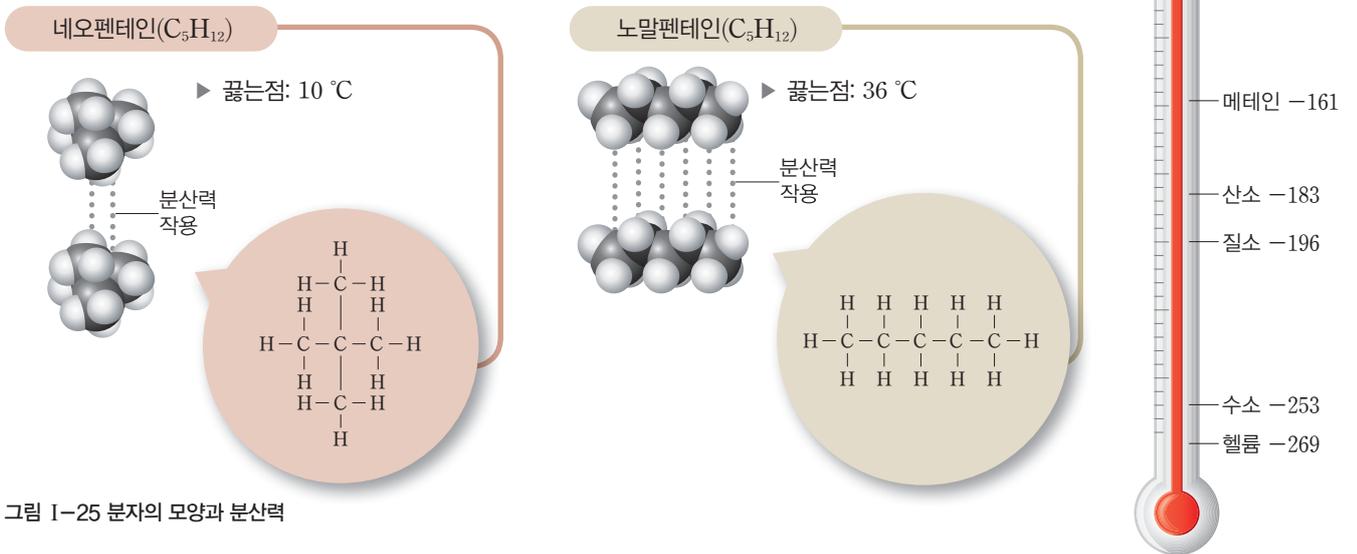


그림 I-25 분자의 모양과 분산력

생각 넓히기 일반적으로 무극성 물질은 분자량이 클수록 끓는점이 높지만, 그림 I-26과 같이 수소(H₂)와 헬륨(He), 메테인(CH₄)과 산소(O₂)에서는 분자량이 작은 물질의 끓는점이 더 높다. 그 까닭을 설명해 보자.

그림 I-26 몇 가지 물질의 끓는점(°C)

〈출처〉 Haynes, 『CRC handbook of chemistry and physics』, 2016.



표는 여러 가지 물질의 분자량과 쌍극자 모멘트 및 끓는점을 나타낸 것이다.

물질	구조식	분자량	쌍극자 모멘트(D)	끓는점(°C)
질소	$N \equiv N$	28	0	-196
산소	$O = O$	32	0	-183
일산화 질소	$N = O$	30	0.16	-152
프로페인	$H_3C - CH_2 - CH_3$	44	0.08	-42
아세트알데하이드	$\begin{array}{c} O \\ \\ H_3C - C - H \end{array}$	44	2.75	20

〈출처〉 Haynes, 『CRC handbook of chemistry and physics』, 2016.

정리

- ① 분자량이 비슷할 때 쌍극자 모멘트가 달라지면 물질의 끓는점은 어떻게 달라지는가? 그 까닭을 설명해 보자.
- ② 쌍극자 모멘트가 비슷할 때 분자량이 달라지면 물질의 끓는점은 어떻게 달라지는가? 그 까닭을 설명해 보자.

극성 물질인 HCl는 끓는점이 $-85^\circ C$ 이다. 그러나 분자량이 비슷한 무극성 물질 O_2 는 끓는점이 $-183^\circ C$ 이다. 이처럼 분자량이 비슷할 때는 분산력만 작용하는 무극성 물질에 비해 분산력과 쌍극자·쌍극자 힘이 모두 작용하는 극성 물질의 끓는점이 더 높다. 하지만 분자량이 충분히 커지면 분산력이 극성 분자들 사이에 작용하는 쌍극자·쌍극자 힘과 비슷하거나 더 클 때도 있다. 예를 들어 극성 물질인 CH_3F 은 끓는점이 $-78^\circ C$ 이지만, 무극성 물질인 CCl_4 의 끓는점은 $77^\circ C$ 이다. 이는 CCl_4 분자들 사이의 분산력이 CH_3F 분자들 사이의 분산력과 쌍극자·쌍극자 힘의 합보다 더 크기 때문이다.

연계 학습

분자 구조 ▶ 화학 I, III-1 화학 결합

생각 넓히기 다음은 분자식이 $C_2H_2Cl_2$ 인 두 물질의 구조식과 끓는점을 나타낸 것이다. 두 물질의 끓는점이 다른 까닭을 설명해 보자.

구조식	$\begin{array}{c} H & & H \\ & \diagdown & / \\ & C = C \\ & / & \diagdown \\ Cl & & Cl \end{array}$	$\begin{array}{c} H & & Cl \\ & \diagdown & / \\ & C = C \\ & / & \diagdown \\ Cl & & H \end{array}$
분자량	97	97
끓는점(°C)	60	49

3 수소 결합

그림 I-27에서 14족 원소의 수소 화합물은 분자량이 커질수록 끓는점이 높아진다. 그러나 15, 16, 17족 원소의 수소 화합물은 분자량이 가장 작은 NH_3 , H_2O , HF 의 끓는점이 가장 높다. 이는 NH_3 , H_2O , HF 분자 사이에 강한 인력이 작용하고 있음을 뜻한다.

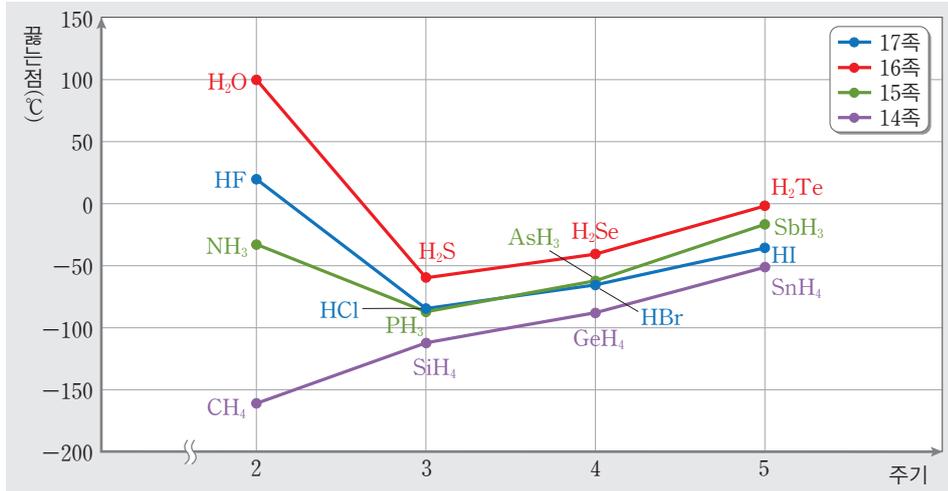


그림 I-27 14, 15, 16, 17족 원소의 수소 화합물의 끓는점

전기 음성도가 큰 F, O, N 원자에 결합한 H 원자와 이웃한 분자의 F, O, N 원자 사이에 작용하는 강한 정전기적 인력을 수소 결합이라고 한다. HF, H_2O 분자들은 그림 I-28과 같이 수소 결합을 한다. 이때 수소 원자는 전기 음성도가 큰 두 원자 사이에서 한 원자와는 공유 결합을 하고 다른 원자와는 수소 결합을 하여 다리 역할을 한다.

수소 결합은 특별히 강한 쌍극자-쌍극자 힘이라고 생각할 수도 있지만, H, F, O, N와 같은 몇 가지 원소만이 수소 결합을 형성하기 때문에 따로 한 형태의 분자 사이의 힘으로 취급해.

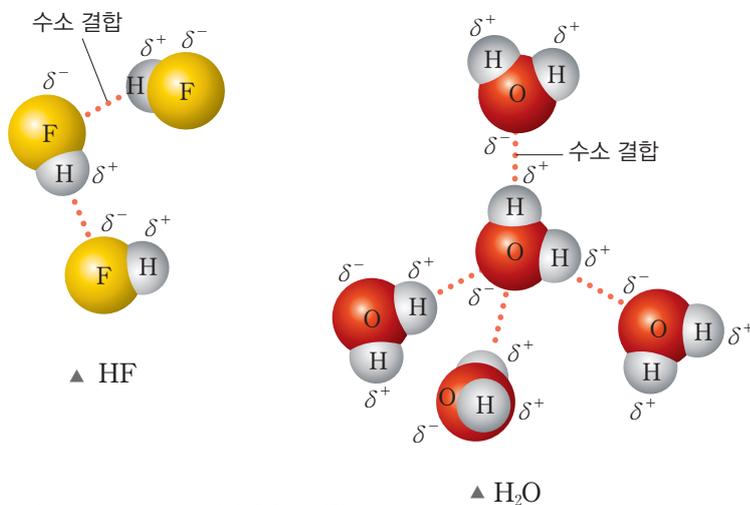
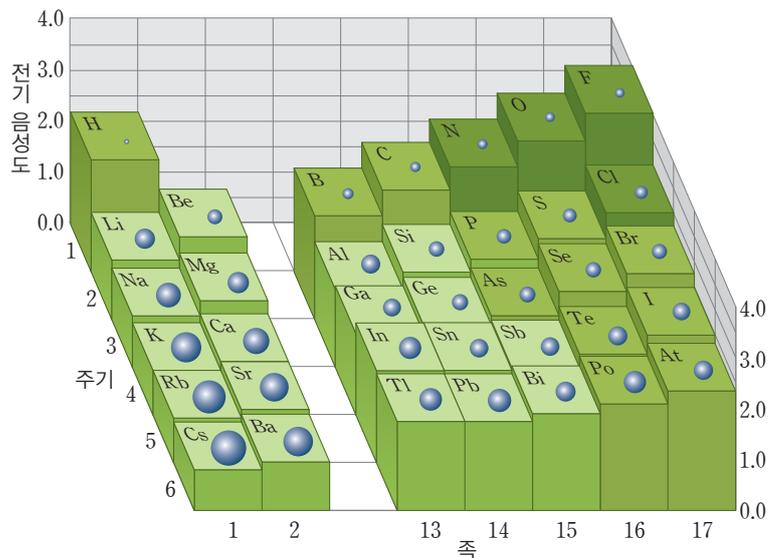


그림 I-28 HF, H_2O 분자의 수소 결합



기둥의 높이는 전기 음성도를, 기둥 위의 공은 원자 반지름의 상대적 크기를 나타낸다.



〈출처〉 Haynes, 「CRC handbook of chemistry and physics」, 2016.

그림 I-29 전기 음성도와 원자 반지름

H, F, O, N와 같은 몇 가지 원소만이 수소 결합에 관여하는 까닭은 무엇일까? 그림 I-29와 같이 H, F, O, N는 원자 반지름이 매우 작은 원소이다. 또한 F, O, N는 전기 음성도가 매우 큰 원소이고, H는 전기 음성도가 가장 작은 비금속 원소 가운데 하나이다. 그러므로 F, O, N 원자와 H 원자가 공유 결합하면 매우 강한 쌍극자가 생성될 뿐만 아니라 원자들이 작아서 매우 가깝게 접근할 수 있어 분자들 사이에 강한 인력이 작용한다. 따라서 수소 결합은 일반적인 쌍극자·쌍극자 힘보다 훨씬 강하다.

수소 결합은 DNA, 단백질과 같은 중요한 생체 분자들의 구조에도 결정적인 영향을 미친다. 그림 I-30과 같이 DNA는 2개의 분자 사슬 사이에 수소 결합이 형성되면서 안정한 2중 나선 구조를 이룬다. 2중 나선의 안쪽에 위치한 염기는 공통적으로 질소 화합물이다. 전기 음성도가 큰 질소와 결합한 수소는 반대편 사슬의 산소 또는 질소와 N-H...O 또는 N-H...N 형태의 수소 결합을 형성한다.

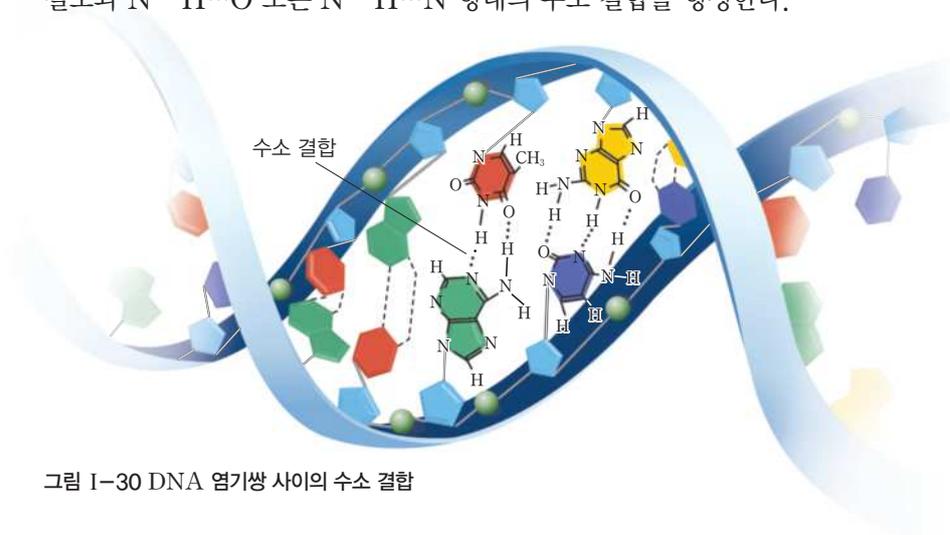


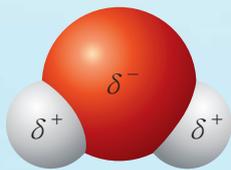
그림 I-30 DNA 염기쌍 사이의 수소 결합

4 수소 결합과 물의 특별한 성질

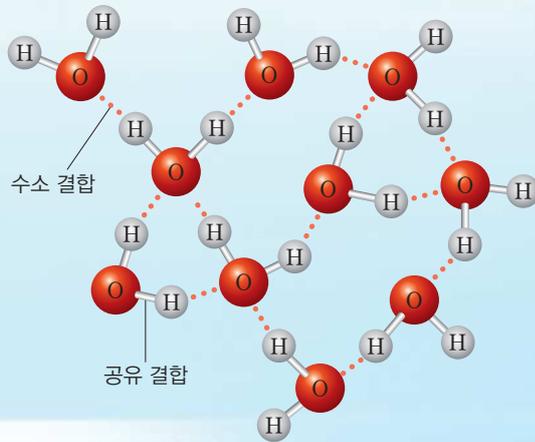
물은 지표에서 가장 풍부한 액체 상태의 물질이며, 생물을 이루는 주요한 성분이다. 만약에 물이 없다면 지구상의 생물은 존재할 수 없을 것이다. 물은 다른 액체들과 다른 독특한 성질이 있는데, 대부분 수소 결합과 관련이 있다.

| 물의 분자 구조와 수소 결합 |

물 분자는 산소 원자 1개와 수소 원자 2개의 공유 결합으로 이루어지며 결합각이 104.5°인 굽은 형 구조의 극성 분자이다. 따라서 물은 극성 물질이나 이온 결합 물질을 녹이는 용매로 이용된다. 또한 물 분자는 전기 음성도가 큰 산소 원자가 수소 원자와 결합하고 있어 액체나 고체 상태에서 수소 결합을 한다.



▲ 물 분자의 구조



▲ 물 분자 사이의 수소 결합

그림 I-31 물 분자의 구조와 수소 결합

물 분자 사이에는 강한 분자 간 힘인 수소 결합이 작용하므로 얼음이 물로 변하거나 물이 수증기로 변할 때는 많은 열에너지가 필요하다. 따라서 표 I-2와 같이 물은 분자량이 비슷한 다른 물질보다 용해열과 기화열이 크고 녹는점과 끓는점이 매우 높다. 이 밖에 물이 수소 결합을 하기 때문에 나타나는 다양한 특성을 알아보자.

표 I-2 물과 분자량이 비슷한 몇 가지 물질의 물리적 성질

화합물	분자식	분자량	용해열 (kJ/mol)	기화열 (kJ/mol)	녹는점(°C)	끓는점(°C)
메테인	CH ₄	16	0.94	8.2	-183	-161
암모니아	NH ₃	17	5.7	23.4	-78	-33
물	H ₂ O	18	6.0	40.7	0	100

〈출처〉 Haynes, 「CRC handbook of chemistry and physics」, 2016.

| 물의 밀도 |

대부분의 물질은 액체에서 고체로 상태가 변하면 부피가 감소하여 밀도가 커진다. 그러나 물은 얼음으로 변할 때 오히려 부피가 증가하여 밀도가 작아진다. 그림 I-32



의 파라핀과 같이 대부분의 물질은 고체가 액체 아래로 가라앉지만, 얼음은 물 위에 뜬다. 액체에서 고체로 상태가 변할 때 물의 밀도 변화가 다른 물질과 다른 까닭은 수소 결합으로 인한 물과 얼음의 분자 배열의 차이로 설명할 수 있다.

그림 I-32 고체와 액체의 밀도 파라핀은 고체가 액체 아래로 가라앉지만, 얼음은 물 위에 뜬다.

얼음은 물보다 분자 사이에 수소 결합을 더 많이 형성하고 분자들이 규칙적으로 배열되어 있다. 그림 I-33과 같이 얼음에서는 물 분자가 수소 결합으로 서로 맞물리면서 육각형의 고리가 연결된 독특한 배열을 이루는데, 이때 가운데에 빈 공간이 많이 생겨 분자 사이의 평균 거리가 멀어진다. 따라서 얼음의 밀도는 물의 밀도보다 작아진다.

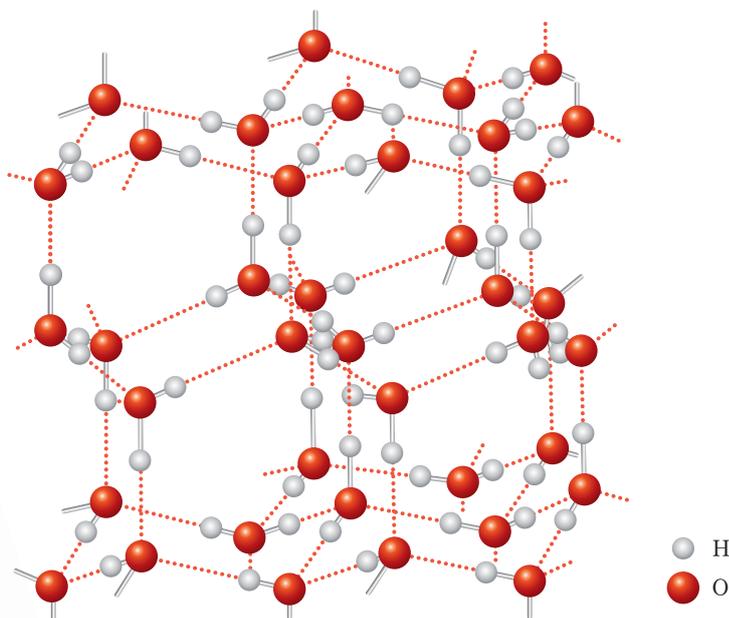
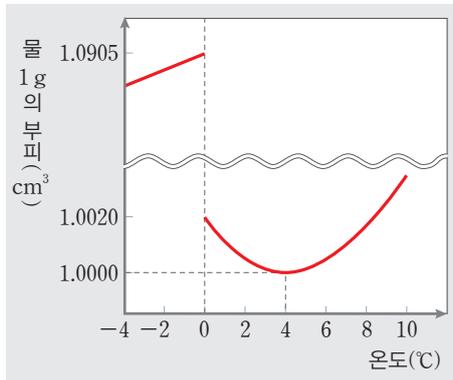


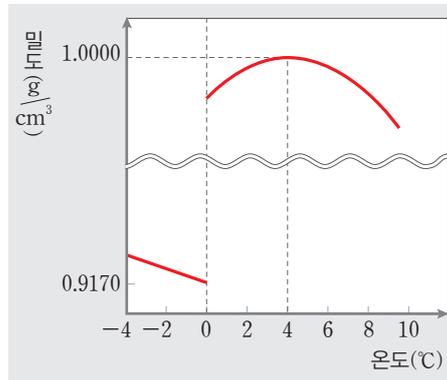
그림 I-33 얼음의 3차원 구조

? 얼음이 같은 질량의 물보다 부피가 크기 때문에 나타나는 현상을 찾아보자.

물의 부피와 밀도는 온도에 따라 어떻게 변할까? 그림 I-34의 (가)와 같이 얼음을 가열하면 분자 운동이 활발해지므로 분자 사이의 거리가 멀어져 부피가 증가한다. 얼음의 온도가 0 °C에 도달하여 액체 상태인 물로 변하면, 수소 결합으로 유지되던 육각형 구조가 대부분 허물어지면서 빈 공간이 채워지므로 부피가 급격히 감소한다. 0 °C~4 °C에서는 남아 있던 육각형 구조가 허물어지면서 빈 공간이 채워지는 효과가 분자 운동이 활발해져서 분자 간 거리가 멀어지는 효과보다 크므로 부피가 감소하고, 4 °C 이상에서는 열팽창 효과가 크게 작용하므로 부피가 증가한다. 따라서 물은 4 °C에서 부피가 최소가 되고 밀도는 최대가 된다.



(가) 부피 변화



(나) 밀도 변화

그림 I-34 온도에 따른 물의 부피와 밀도

〈출처〉 Haynes, 『CRC handbook of chemistry and physics』, 2016.

생각 넓히기 겨울철에 호수나 강의 물은 표면부터 얼기 때문에 얼음 아래에서 생물이 살아갈 수 있다. 물이 표면부터 어는 까닭을 온도에 따른 물의 밀도 변화로 설명해 보자.

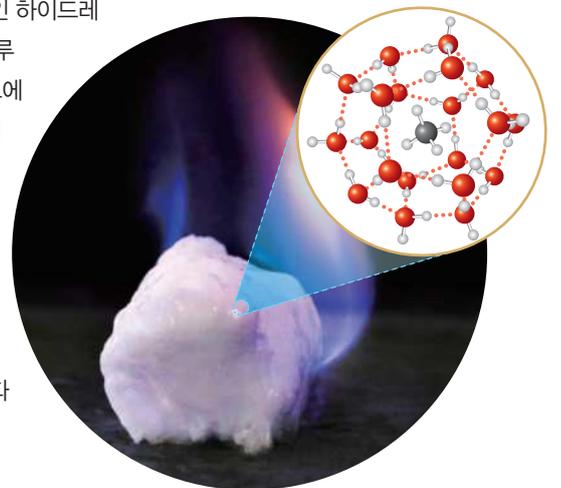
함께 해 보기

메테인 하이드레이트는 얼음 속에 메테인 분자가 들어 있어 불을 붙이면 마치 얼음이 타는 것처럼 보여서 ‘불타는 얼음’이라고 불린다. 메테인 하이드레이트의 구조와 성질은 물의 수소 결합과 관련이 있다.

압력이 높고 온도가 낮은 상태에서 메테인과 물이 혼합되면 메테인 하이드레이트가 만들어지는데, 메테인 분자는 물 분자가 수소 결합하여 이루어진 결정 격자 안에 갇히게 된다. 1 cm³의 메테인 하이드레이트에 들어 있는 메테인을 추출하면 0 °C, 1 기압에서 160 cm³ 정도이다. 메테인 하이드레이트는 농축된 천연가스라고 볼 수 있으며 미래의 에너지원으로 각광받고 있다.

활동하기

메테인 하이드레이트는 새로운 대체 에너지로 주목받고 있지만, 시추 과정에서 메테인이 방출되는 등 해결해야 할 문제가 있다. 메테인 하이드레이트의 개발과 보존 가운데 한 가지 입장을 정해서 다른 사람을 설득하는 글을 써 보자.



핵심 역량 | 과학적 참여와 평생 학습 능력

| 물의 열용량 |

한여름 바닷가에 강한 햇빛이 내리쬐면 모래밭은 뜨겁지만 바닷물은 뜨겁지 않다. 그러나 새벽녘이 되면 차가운 모래밭에 비해 바닷물은 상대적으로 미지근하게 느껴진다. 즉, 모래는 빨리 데워지고 빨리 식지만 물은 천천히 데워지고 천천히 식는다. 어떤 물질 1g의 온도를 1°C 높이는 데 필요한 열에너지를 **비열**이라고 한다. 표 I-3과 같이 물은 다른 물질에 비해 비열이 매우 커서 온도를 높이려면 많은 열에너지가 필요하다. 물의 비열이 큰 까닭은 물 분자들의 수소 결합 때문이다. 물을 가열하면 물 분자 사이의 수소 결합을 끊는 데 열에너지가 사용되기 때문에 온도가 천천히 올라간다.

표 I-3 여러 가지 물질의 비열

물질	물	에탄올	철	수은	금
비열(J/(g·°C))	4.18	2.46	0.45	0.14	0.13

〈출처〉 Haynes, 「CRC handbook of chemistry and physics」, 2016.

지표의 약 70%는 바다로 덮여 있다. 물의 비열이 클 뿐만 아니라 바닷물의 질량도 매우 크기 때문에 바다는 지구의 온도 변화를 줄여 주는 역할을 한다. 어떤 물체 또는 일정량의 어떤 물질의 온도를 1°C 올리는 데 필요한 열량을 **열용량**이라고 하며, 물질의 비열이 크고 질량이 클수록 열용량이 커진다. 바닷물의 큰 열용량 덕분에 해안 지방의 일교차는 내륙 지방보다 작다. 인체의 약 70%를 차지하는 물도 외부의 기온 변화로부터 체온을 일정하게 유지하는 데 도움을 준다.

생각 넓히기 해안 지방에서 낮과 밤에 부는 바람의 방향 변화를 물의 비열과 관련지어 설명해 보자.

| 물의 표면 장력 |

풀잎에 맺힌 물방울은 둥근 모양인데, 이것은 분자 사이에 작용하는 힘 때문이다. 그림 I-35와 같이 액체 내부에 있는 분자는 모든 방향으로 인력이 작용하지만, 액체 표면에 있는 분자는 아래와 옆 방향으로만 인력이 작용한다. 따라서 표면에 있는 분자들은 액체 내부로 끌려 들어가는 힘을 받게 되고 표면적이 최소화되는 경향이 나타난다. 풀잎에 맺힌 물방울이 둥근 것은 부피가 같을 때 구형의 표면적이 가장 작기 때문이다.

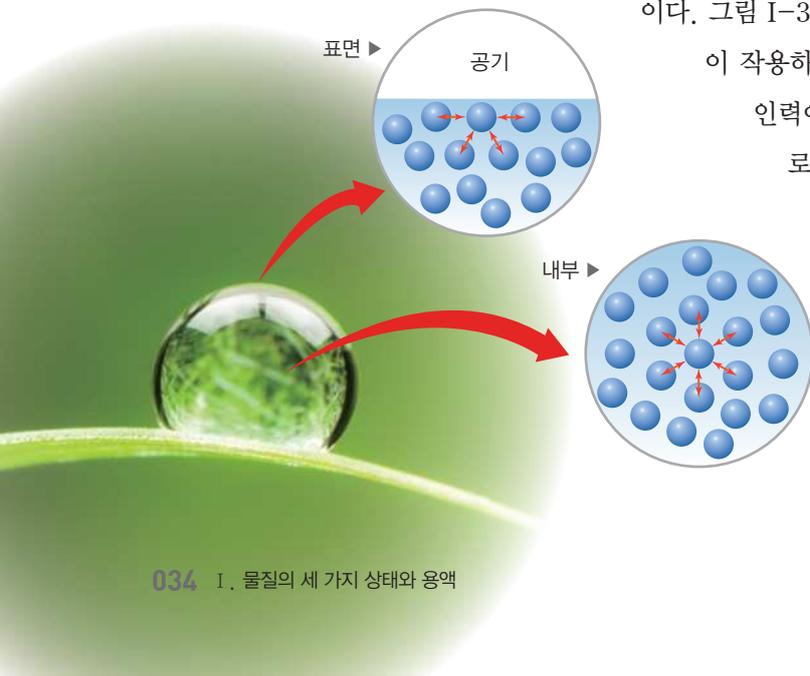


그림 I-35 물방울의 표면과 내부에서 물 분자에 작용하는 힘

이처럼 액체는 표면적을 줄이려는 경향이 있고, 액체의 표면적을 늘리려면 에너지가 필요하다. 액체의 표면적을 단위 면적만큼 늘리는 데 필요한 에너지를 **표면 장력**이라고 한다. 분자 사이의 인력이 강할수록 표면 장력이 커지는데, 물은 수소 결합 때문에 분자 사이의 인력이 매우 강하므로 표면 장력이 크다.

표면 장력 때문에 물 표면은 마치 탄성이 있는 막처럼 작용한다. 그림 I-36의 소금쟁이가 수면 위를 떠다닐 수 있고 밀도가 물보다 큰 금속 클립이 수면에 떠 있을 수 있는 것도 모두 표면 장력 때문이다.



그림 I-36 물의 표면 장력 물은 표면 장력이 크므로 물의 표면은 탄성이 있는 막과 비슷하다.

그림 I-37과 같이 가는 유리관을 물에 넣으면 물이 유리관을 따라 위로 올라간다. 이처럼 액체가 가는 관이나 미세한 틈을 따라 이동하는 현상을 **모세관 현상**이라고 한다. 모세관 현상은 유리관의 표면 입자와 액체 분자 사이에 작용하는 인력인 **부착력**과 액체 분자 사이의 인력인 **응집력** 때문에 나타난다.

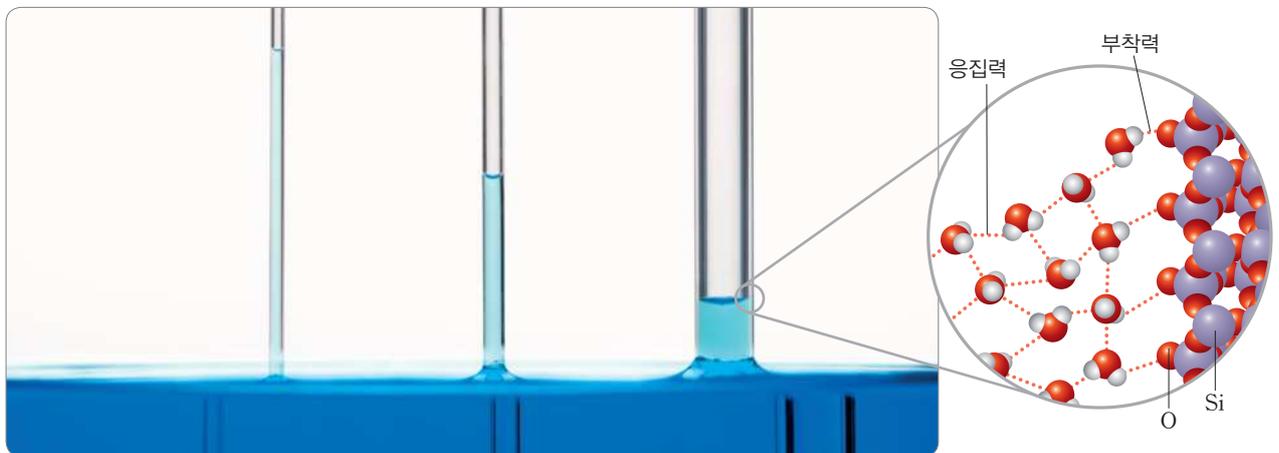


그림 I-37 모세관 현상과 부착력, 응집력

그림 I-38과 같이 물 분자는 유리와의 부착력 때문에 유리관 벽을 타고 올라가고, 물은 분자 사이의 강한 응집력 때문에 서로 뭉쳐 표면적을 줄이려 한다. 이 과정이 반복되면 물은 점차 모세관을 따라 위쪽으로 올라간다. 모세관 현상은 액체와 관 사이의 부착력과 액체 사이의 응집력이 클수록 잘 일어난다. 물은 SiO_2 가 주성분인 유리와 부착력이 크고 물 분자 사이의 수소 결합으로 응집력도 크므로, 물속에 가는 유리관을 세우면 다른 액체에 비해 모세관 현상이 매우 잘 일어난다.

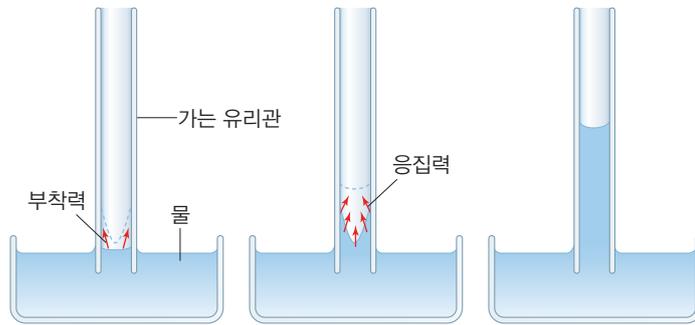


그림 I-38 모세관 현상의 원리

종이나 수건에 물이 잘 스며드는 것도 모세관 현상으로 설명할 수 있다. 종이나 수건의 주성분인 셀룰로스는 물과 수소 결합을 할 수 있어 부착력이 크다. 따라서 수건의 아래쪽만 물에 닿아 있어도 수건의 미세한 틈 사이로 물이 스며들어 위쪽까지 올라가 젖게 된다. 또한 뿌리에서 흡수된 물이 나무 꼭대기까지 올라가는 데도 모세관 현상이 하나의 요인으로 작용한다. 식물의 물관은 셀룰로스로 이루어져 있으므로 물과의 부착력이 커서 물이 물관을 타고 올라갈 수 있다.

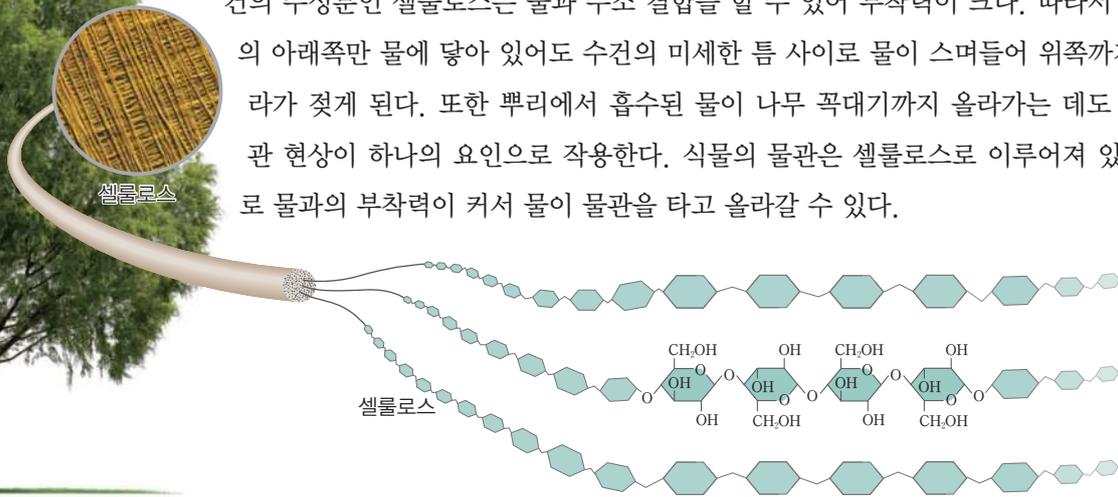


그림 I-39 식물 세포벽을 이루는 셀룰로스

평가하기

- 1 극성 물질의 분자 사이에 작용하는 힘을 설명해 보자.
- 2 16족 원소의 수소 화합물인 H_2O , H_2S , H_2Se , H_2Te 는 모두 극성 물질이다.
 - (1) 분산력의 크기를 비교해 보자.
 - (2) 끓는점이 가장 높은 물질은 무엇인가? 그 까닭을 설명해 보자.

나미브 사막의 딱정벌레가 물을 얻는 방법

남아프리카의 나미브 사막은 매우 덥고 비가 거의 내리지 않는다. 한 달에 몇 번 대서양에서 불어오는 바람이 차가운 해류를 만나 생기는 축축한 안개가 이곳에 공급되는 유일한 물이지만, 이조차도 금세 사라져 버린다. 이처럼 척박한 환경 속에서도 나미브 딱정벌레는 아침 안개에서 물을 만들어 살아간다. 딱정벌레가 모래 언덕의 경사면에서 머리를 아래로 향한 채 엎드리면 등껍질에 물방울이 맺히고 딱정벌레는 이를 받아먹을 수 있다.



그림 I-40 안개에서 물을 얻고 있는 딱정벌레

딱정벌레의 등껍질에 있는 수많은 돌기와 도랑이 이들의 생존 비결이다. 등껍질에는 약 1 mm 간격으로

지름 0.5 mm의 돌기가 촘촘히 돌아 있는데, 돌기의 끝부분은 물과의 친화력이 강한 반면 돌기의 나머지 부분과 등은 왁스와 비슷한 물질로 덮여 있기 때문에 물과의 친화력이 약하다. 안개의 작은 물방울은 친수성 돌기의 끝에 달라붙어 점점 커지고, 돌기 끝에 맺혔던 물방울이 떨어지면 도랑을 따라 딱정벌레의 입안으로 흘러 들어간다. 왁스 덕분에 물은 다른 곳으로 스며들지 않는다.

과학자와 공학자들은 나미브 딱정벌레를 모방하여 공기 중의 수증기를 효율적으로 응축해 물을 모을 수 있는 표면 처리 기술을 개발하고 이를 여러 분야에 응용하려고 노력하고 있다.

과학적 참여와 평생 학습 능력

물을 효율적으로 응축하여 모으는 기술을 어떤 곳에 이용할 수 있을지 토의해 보자.

관련 직업: 생체 모방 공학자



03

액체와 고체

- 액체의 증기 압력과 끓는점의 관계를 설명할 수 있다.
- 고체를 화학 결합의 종류에 따라 분류할 수 있다.
- 간단한 결정 구조를 설명할 수 있다.

생각 열기

생수병의 뚜껑을 열어 두면 물의 양은 조금씩 줄어든다. 그러나 뚜껑을 닫아 두면 거의 줄어들지 않는다.

Q 뚜껑을 닫아 두면 물의 양이 줄어들지 않는 까닭은 무엇일까?



1 액체

액체는 기체에 비해 분자 사이의 거리가 매우 가깝고 분자 사이의 인력이 훨씬 크다. 또한 액체 물질의 분자 사이에는 빈 공간이 매우 작아 액체의 부피는 같은 질량의 기체보다 훨씬 작고, 온도나 압력이 변할 때 부피가 거의 변하지 않는다. 그러나 고체 보다는 분자 사이의 인력이 약하고 움직임이 자유로워 담은 용기에 따라 모양이 변한다. 즉, 액체 물질을 이루는 분자들은 분자 사이의 거리가 매우 가까우면서도 비교적 자유롭게 움직일 수 있는 유동성이 있다.

| 증기 압력과 끓는점 |

비에 흠뻑 젖은 땅은 시간이 지나면 마르고, 바닥에 떨어진 물방울도 시간이 지나면 사라진다. 이는 액체의 표면에 있는 분자의 일부가 분자 사이의 인력을 이겨 내고 기체가 되어 공기 중으로 퍼지는 증발 현상 때문이다.

액체가 밀폐된 용기에 담겨 있을 때는 어떨까? 그림 I-42와 같이 밀폐된 용기에 액체를 넣으면 액체 표면에서 증발이 일어나 기체 분자들이 점점 많아진다. 이 분자들은 자유롭게 움직이면서 용기 벽에 부딪히기도 하고, 에너지가 작은 일부 기체 분자는 액체 표면에 부딪혀 다시 액체로 돌아가기도 한다. 이처럼 증발과 반대되는 현상을 응축이라고 한다. 처음에는 응축하는 분자보다 증발하는 분자가 많지만, 시간이 지날수록 응축하는 분자가 점점 많아지면서 나중에는 증발하는 분자 수와 응축하는 분자 수가 같아져 겉으로 아무 변화가 없는 것처럼 보이는 동적 평형 상태가 된다. 이때 이 물질의 증기가 나타내는 압력을 증기 압력 또는 증기압이라고 한다.

그림 I-41 비에 젖은 땅은 시간이 지나면 마른다.

연계 학습

동적 평형 ▶ 화학 I, IV-1 산업기와 중화 반응





그림 1-42 밀폐된 용기에서 액체의 증발과 응축

액체의 증기 압력은 물질의 종류에 따라 다르다. 일반적으로 분자 사이의 인력이 작은 물질은 분자들이 증발하기 쉬우므로 증기 압력이 크다. 또한 액체의 증기 압력은 온도가 높을수록 크다. 온도가 높아지면 분자들의 평균 운동 에너지가 커져서 기체로 되기 쉽기 때문이다.

한편 액체의 온도가 높아져 증기 압력이 커지다가 외부 압력과 같아지면 액체의 표면뿐만 아니라 내부에서도 기화가 일어나 기포가 생기면서 액체가 끓기 시작한다. 이때의 온도를 끓는점이라고 한다. 즉, 끓는점은 외부 압력과 액체의 증기 압력이 같아지는 온도이며, 외부 압력이 변하면 끓는점도 변한다. 외부 압력이 1 기압일 때의 끓는점을 기준 끓는점이라고 한다.

액체의 증기 압력
액체의 증기 압력은 용기의 크기나 모양과 관계가 없다.



그림 1-43 액체의 끓음 액체가 끓기 전에도 액체 내부의 일부 분자들이 순간적으로 기포를 형성할 수 있지만 외부 압력이 기포 내부의 증기 압력보다 크므로 기포는 바로 없어진다. 그러나 증기 압력이 외부 압력과 같아지면 기포가 없어지지 않고 액체 위로 떠오르게 된다.

온도에 따른 액체의 증기 압력 변화를 그래프로 나타낸 것을 증기 압력 곡선이라고 한다. 다음 탐구 활동으로 증기 압력 곡선과 끓는점의 관계를 알아보자.



물질의 증기 압력 곡선과 끓는점



그림은 다이메틸 에테르, 다이에틸 에테르, 물의 증기 압력 곡선을 나타낸 것이다.

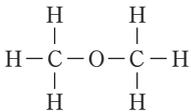


〈출처〉 Haynes, 「CRC handbook of chemistry and physics」, 2016.

정리

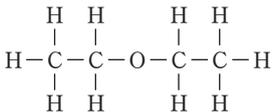
- ① 분자 사이의 인력이 작은 물질부터 순서대로 쓰고, 그 까닭을 설명해 보자.
- ② 각 물질의 기준 끓는점은 몇 °C인가? 대기압이 0.8 기압인 높은 산에서 물을 가열하면 몇 °C에서 끓을지 토의해 보자.
- ③ 물질의 증기 압력과 끓는점 사이의 관계를 토의해 보자.

다이메틸 에테르



다이메틸 에테르와 다이에틸 에테르는 극성이 작아 분자 사이의 인력이 약한데, 다이메틸 에테르의 분자량이 더 작아 분산력도 작으므로 다이메틸 에테르의 증기 압력이 더 크다. 물은 수소 결합을 하기 때문에 다이메틸 에테르와 다이에틸 에테르보다 강한 분자 사이의 인력이 작용하므로 증기 압력이 작다.

다이에틸 에테르



증기 압력 곡선을 이용하면 물질의 끓는점을 알 수 있다. 물의 기준 끓는점은 100 °C, 다이에틸 에테르는 35 °C, 다이메틸 에테르는 -24 °C이다. 즉, 증기 압력이 작은 물질일수록 끓는점이 높다. 또한 외부 압력이 0.8 기압일 때의 물의 끓는점은 물의 증기 압력 곡선에서 증기 압력이 0.8 기압이 되는 온도인 약 94 °C로 기준 끓는점보다 낮다. 즉, 물질의 끓는점은 외부 압력이 작아지면 낮아진다.

생각 넓히기 주사기에 뜨거운 물을 $\frac{1}{3}$ 정도 넣은 뒤 주사기의 입구를 막고 피스톤을 잡아당기면, 주사기 안에서 어떤 변화가 일어날지 설명해 보자.

2 고체

고체는 액체보다 입자 사이에 작용하는 힘이 더 크고, 액체와 달리 입자들이 고정된 위치에서 진동 운동만 하므로 유동성이 없고 모양이 일정하다. 고체는 소금, 다이아몬드, 금속 등과 같이 입자들이 규칙적으로 배열되어 일정한 모양을 이루는 결정성 고체와 유리, 고무, 젓 등과 같이 입자들이 무질서하게 배열되어 넓은 범위에서는 규칙성이 없는 비결정성 고체로 나눌 수 있다.

비결정성 고체의 녹는점
비결정성 고체의 입자들은 불규칙한 배열을 하므로 녹는점이 일정하지 않다.



그림 1-44 석영과 유리 석영과 유리는 모두 산소와 규소 원자로 이루어진 고체 물질로, 화학식은 SiO_2 로 같다. 그러나 석영은 원자들이 규칙적으로 배열된 결정성 고체이고, 유리는 불규칙적으로 배열된 비결정성 고체이다.

| 여러 가지 결정 |

결정성 고체는 입자 사이의 결합 방식에 따라 이온 결정, 분자 결정, 공유 결정, 금속 결정으로 나눌 수 있다.

이온 결정은 양이온과 음이온이 이온 결합하여 규칙적으로 배열되어 있는 고체이다. 예를 들어 염화 나트륨(NaCl)은 Na^+ 과 Cl^- 이 이온 결합하여 형성된 이온 결정이다. 이온 결정은 이온들이 반대 전하를 띠는 다른 이온을 둘러싸며 인력은 최대화하고 반발력은 최소화하도록 배열하고, 비교적 단단하고 녹는점이 높다. 그러나 외부에서 힘을 가하면 이온층이 밀리면서 같은 전하를 띤 이온 사이에 반발력이 작용하므로 쉽게 찢개지거나 부서진다.

결정성 고체를 '결정'이라고도 불러.



연계 학습
화학 결합 ▶ 통합과학, I 물질의 규칙성과 결합 / 화학 I, III-1 화학 결합

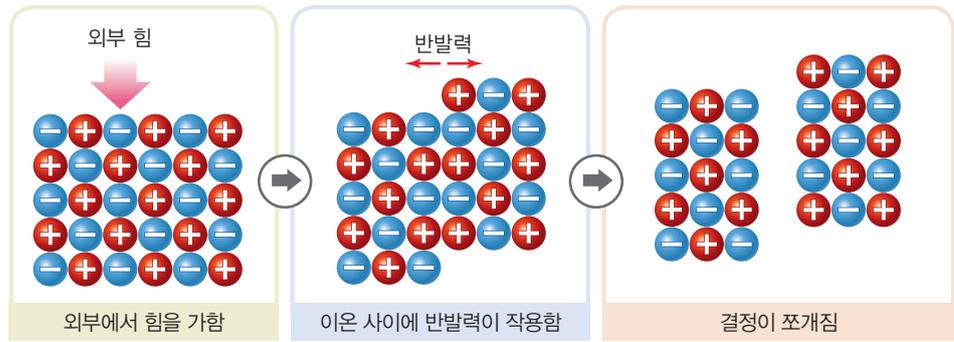


그림 I-45 이온 결정의 쪼개짐

분자 결정은 분자들이 규칙적으로 배열되어 있는 고체이다. 분자들은 분자 사이의 인력으로 분자 결정을 이룬다. 예를 들어 얼음은 물 분자 사이의 수소 결합으로 형성된 고체이고, 드라이아이스는 이산화 탄소 분자 사이의 분산력으로 형성된 고체이다. 이 밖에 나프탈렌과 아이오딘도 분자 결정이다. 분자 사이의 인력은 화학 결합에 비해 매우 약하므로, 분자 결정은 녹는점이 낮고 승화성을 띠기도 한다.

공유 결정은 원자들이 공유 결합으로 그물처럼 연결되어 형성된 고체이다. 예를 들어 석영(SiO_2)은 규소(Si)와 산소(O) 원자, 다이아몬드나 흑연은 탄소(C) 원자 사이의 공유 결합으로 형성된 고체이다. 공유 결정은 모든 원자들이 강한 공유 결합으로 연결되어 있으므로 녹는점이 높고 매우 단단한 편이다.



그림 I-46 분자 결정인 아이오딘과 공유 결정인 다이아몬드와 흑연

나트륨, 철, 금, 은 등의 금속은 금속 원자들이 금속 결합을 하여 규칙적으로 배열된 고체로, 금속 결정이라고 한다. 금속 결합은 금속 원자에서 떨어져 나온 자유 전자가 금속 양이온 사이를 움직이면서 이들 사이의 강한 정전기적 인력으로 형성된다. 따라서 전기 전도성과 열전도성이 높고, 녹는점이 높은 편이다. 또한 금속에 힘을 가해 금속 양이온이 다른 위치로 이동하더라도 자유 전자가 빠르게 움직여 금속 결합을 유지시키므로, 얇게 펴거나(펴짐성) 가늘게 뽑을 수 있는 성질(뽑힘성)이 있다.



그림 1-47 금속 결정의 여러 가지 성질

표 1-4 결정성 고체의 비교

결정성 고체	구성 입자	구성 입자 사이의 힘	녹는점	예
이온 결정	양이온, 음이온	이온 결합	높음	염화 나트륨, 염화 칼륨
분자 결정	분자	쌍극자·쌍극자 힘, 분산력, 수소 결합	낮음	얼음, 드라이아이스
공유 결정	원자	공유 결합	매우 높음	다이아몬드, 흑연
금속 결정	금속 원자	금속 결합	높음	나트륨, 철, 금, 은

이온 결정은 이온성 고체, 분자 결정은 분자성 고체, 공유 결정은 공유성 고체라고도 하지. 금속 결정은 일반적으로 금속이라고 불러.



| 결정 구조 |

벽돌을 반복하여 쌓아 건물의 벽을 만드는 것처럼 결정성 고체도 단위 세포 또는 단위격자라고 하는 작은 단위들이 반복하여 배열되는 구조이다. 정육면체 모양의 단위 세포로 이루어진 구조를 입방 구조라고 하고, 입방 구조에는 단순 입방 구조, 체심 입방 구조, 면심 입방 구조가 있다.

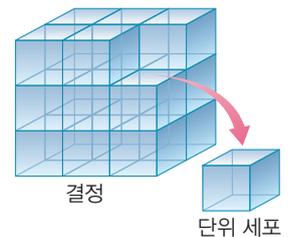
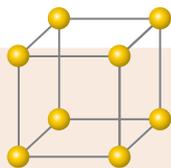


그림 1-48 결정과 단위 세포

단순 입방 구조

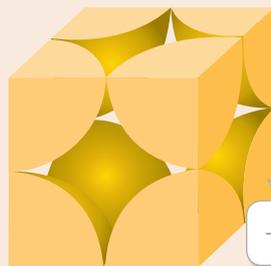
단위 세포 정육면체의 각 꼭짓점에 ▶
입자가 위치



8개의 꼭짓점에 $\frac{1}{8}$ 입자가 위치하므로

$$8 \times \frac{1}{8} = 1$$

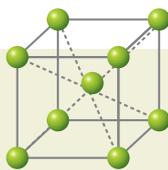
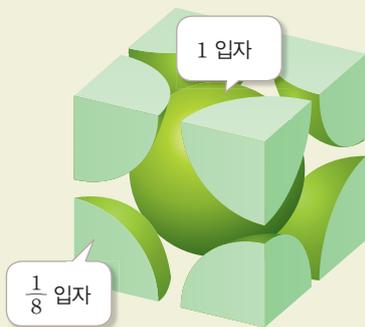
즉, 하나의 단위 세포 속에 포함된 입자 수는 **1**이다.



예 Po

각 꼭짓점에 위치한 입자는 다른 8개의 단위 세포와 맞닿아 있으므로, 하나의 단위 세포에는 $\frac{1}{8}$ 만 포함된다.

체심 입방 구조



◀ 단위 세포 정육면체의 각 꼭짓점과
중심에 입자가 위치

8개의 꼭짓점에 $\frac{1}{8}$ 입자가 위치하고, 중심에 1 입자가 위치하므로

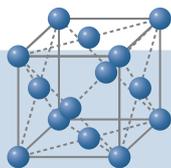
$$8 \times \frac{1}{8} + 1 = 2$$

즉, 하나의 단위 세포 속에 포함된 입자 수는 **2**이다.

예 Li, Na, K

면심 입방 구조

단위 세포 정육면체의 각 꼭짓점과 ▶
면의 중심에 입자가 위치



8개의 꼭짓점에 $\frac{1}{8}$ 입자가 위치하고, 6개의 면에 $\frac{1}{2}$ 입자가 위치하므로

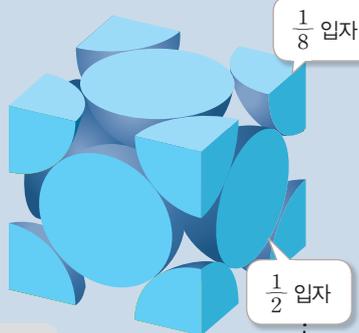
$$8 \times \frac{1}{8} + 6 \times \frac{1}{2} = 4$$

즉, 하나의 단위 세포 속에 포함된 입자 수는 **4**이다.

예 Al, Cu, Au, Ag, Pb,

아이오딘(I₂), 드라이아이스(CO₂)

각 면에 위치한 입자는 다른 1개의 단위 세포와 맞닿아 있으므로, 하나의 단위 세포에는 $\frac{1}{2}$ 만 포함된다.



평가하기

- 1 브로민(Br₂)과 에탄올(C₂H₅OH)의 기준 끓는점은 각각 59 °C, 78 °C이다. 온도가 일정할 때, 브로민과 에탄올 가운데 증기 압력이 큰 물질을 고르고, 그 까닭을 설명해 보자.
- 2 이온 결정, 분자 결정, 공유 결정, 금속 결정에서 결정을 이루는 입자 사이의 힘을 설명해 보자.

번개가 남긴 신기한 암석 섬전암



그림 1-49 섬전암

석영은 산소 원자와 규소 원자가 공유 결합하여 규칙적으로 배열된 결정성 고체이다. 유리는 구성 원자들이 불규칙하게 배열된 비결정성 고체이지만 석영과 마찬가지로 산소와 규소로 이루어져 있다. 석영과 유리는 구성 원자가 같으므로 석영이 주성분인 모래를 높은 온도로 가열하면 유리를 만들 수 있다. 그런데 이러한 과정이 자연적으로 일어나기도 한다.

석영질 모래가 많은 사막에서는 내부가 비어 있고 안쪽 면이 유리로 되어 있는 신기한 암석이 발견된다. 이는 번개가 칠 때 사막의 모래가 엄청나게 높은 열을 받아 유리 성분을 지닌 암석으로 변한 것이다. 이 암석을 **섬전암(fulgurite)**이라고 하며, ‘화석이 된 번개’라고도 부른다.

섬전암의 길이는 보통 3 m 이하지만, 때로는 20 m 이상의 매우 긴 암석이 발견되기도 한다. 섬전암의 겉은 모래이므로 거칠지만 내부는 유리이므로 매끈하다.



그림 1-50 섬전암의 모양

과학적 의사소통 능력

유리의 제조 과정 및 섬전암의 생성 과정을 더 자세히 조사하여 이들의 비슷한 점과 차이점이 무엇인지 토의해 보자.

과학적 참여와 평생 학습 능력

섬전암을 연구하면 어떤 정보를 얻을 수 있을지 토의해 보자.



스스로 확인하기

핵심 내용 정리하기

기체, 액체, 고체

기체

- 보일 법칙: 일정한 온도에서 일정량의 기체의 부피는 압력에 \propto 한다.
- 샤를 법칙: 기체의 압력과 양이 일정할 때 기체의 부피는 \propto 에 비례한다.
- \propto 은 기체의 압력, 부피, 몰수, 절대 온도의 관계를 나타낸 식으로 $PV = \propto$ 로 나타낼 수 있다.
- 혼합 기체의 압력은 같은 온도와 부피에서 각 기체의 부분 압력의 합과 같으며, 부분 압력은 전체 압력과 \propto 의 곱으로 구할 수 있다.

분자 간 상호 작용

- 극성 분자에서 부분적인 양전하를 띠는 부분과 이웃한 분자에서 부분적인 음전하를 띠는 부분 사이에 작용하는 정전기적 인력을 \propto , 전자가 순간적으로 치우쳐서 생기는 순간 쌍극자와 유발된 순간 쌍극자 사이에 작용하는 인력을 \propto 이라고 한다.
- F, O, N 원자에 결합한 H 원자와 이웃한 분자의 F, O, N 원자 사이에 작용하는 강한 정전기적 인력을 \propto 이라고 한다.

액체와 고체

- \propto : 밀폐된 용기에 담긴 액체의 표면에서 증발하는 분자 수와 \propto 하는 분자 수가 같아져 길으로는 아무 변화가 없는 것처럼 보일 때, 이 물질의 증기가 나타내는 압력
- 결정성 고체에는 이온 결정, \propto , 공유 결정, 금속 결정이 있다.
- 단위 세포의 각 꼭짓점에 입자가 위치한 구조를 단순 입방 구조, 각 꼭짓점과 중심에 입자가 위치한 구조를 \propto 구조, 각 꼭짓점과 면의 중심에 입자가 위치한 구조를 면심 입방 구조라고 한다.

스스로 평가하기

- 1 기체의 부피가 압력, 온도, 몰수에 따라 어떻게 변하는지 설명해 보자.
- 2 이상 기체 방정식에서 분자량을 구하는 식을 유도해 보자.
- 3 쌍극자-쌍극자 힘, 분산력, 수소 결합이 작용하는 물질의 예를 들어 보자.
- 4 수소 결합 때문에 나타나는 물의 특성을 설명해 보자.
- 5 액체의 증기 압력과 끓는점을 설명해 보자.
- 6 결정을 화학 결합의 종류에 따라 분류해 보자.

* 성취 정도를 \checkmark 표시해 보자

20 | 40 | 60 | 80 | 100

20 | 40 | 60 | 80 | 100

20 | 40 | 60 | 80 | 100

20 | 40 | 60 | 80 | 100

20 | 40 | 60 | 80 | 100

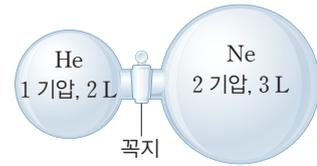
20 | 40 | 60 | 80 | 100


개념 확장하기

1

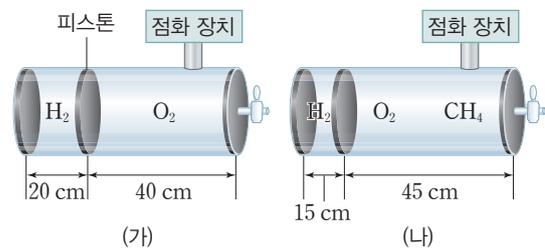
오른쪽 그림은 꼭지로 연결된 두 용기에 헬륨(He)과 네온(Ne) 기체가 들어 있는 상태를 나타낸 것이다. (단, 온도는 일정하다.)

- (1) 꼭지를 열었을 때 각 기체의 부분 압력과 혼합 기체의 전체 압력을 구해 보자.
- (2) 혼합 기체에서 헬륨과 네온의 몰 분율을 각각 구해 보자.



2

그림 (가)는 피스톤으로 분리된 실린더에 수소(H_2) 기체와 산소(O_2) 기체를 넣은 상태를, (나)는 (가)의 실린더에 메테인(CH_4) 기체를 추가로 넣었을 때의 상태를 나타낸 것이다. (단, 온도는 일정하며, 피스톤의 마찰은 무시한다.)



- (1) (가)에서 수소와 산소의 몰비를 구해 보자.
- (2) (나)에서 수소, 산소, 메테인의 압력의 비를 구해 보자.
- (3) (나)의 점화 장치를 작동하여 메테인을 완전 연소시키면 피스톤은 어느 쪽으로 이동하는지 설명해 보자. (단, 메테인의 연소 생성물은 모두 기체 상태이다.)

3

물 분자 사이의 수소 결합 때문에 생기는 현상을 <보기>에서 모두 골라 보자.

• 보기 •

- ㄱ. 소금은 물에 잘 녹는다.
- ㄴ. 내륙 지방보다 해안 지방의 일교차가 작다.
- ㄷ. 뿌리에서 흡수된 물이 나무 꼭대기까지 올라간다.
- ㄹ. 물은 분자량이 비슷한 다른 물질에 비해 끓는점이 매우 높다.

4

고체에 관한 설명으로 옳은 것을 <보기>에서 모두 골라 보자.

• 보기 •

- ㄱ. 결정성 고체는 입자들이 규칙적으로 배열되어 일정한 모양을 이룬다.
- ㄴ. 이온 결정은 매우 단단하여 외부에서 힘을 가해도 쉽게 부서지지 않는다.
- ㄷ. 얼음과 드라이아이스는 공유 결정이다.
- ㄹ. 석영은 규소와 산소 원자 사이의 공유 결합으로 형성된다.
- ㅁ. 금속 결정은 금속 원자와 자유 전자 사이의 이온 결합으로 형성된다.



용액

- 01. 용액의 농도
- 02. 묽은 용액의 성질

여러 가지 용액



이 단원의 주요 개념

01

용액의 농도 (p.49~52)

- 퍼센트 농도
- ppm 농도
- 몰 농도
- 몰랄 농도
- 용액의 농도는 어떻게 나타낼까?



02

묽은 용액의 성질 (p.53~63)

- 용액의 증기 압력 내림
- 끓는점 오름과 어는점 내림
- 삼투 현상과 삼투압
- 용액의 종류에 관계없이 나타나는 묽은 용액의 성질에는 어떤 것들이 있을까?



나의 학습 준비 - 알고 있는 용어를 표시해 보자.

- | | | |
|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 용액 | <input type="checkbox"/> 퍼센트 농도 | <input type="checkbox"/> 몰 농도 |
| <input type="checkbox"/> 증기 압력 | <input type="checkbox"/> 끓는점 | <input type="checkbox"/> 어는점 |



나의 학습 계획

- 이 단원에서 배우게 될 내용 가운데 내가 알고 싶거나 궁금한 것을 적어 보자.

01 용액의 농도

- 용액의 농도를 여러 가지 방법으로 나타낼 수 있다.
- 여러 가지 농도의 용액을 만들 수 있다.



생각 열기

사람들은 과자나 음료수를 고를 때 성분표에 적힌 성분의 종류와 함유량을 확인하기도 한다.

Q 과자나 음료수에 들어 있는 성분의 함유량은 어떻게 표시되어 있을까?

설탕을 물에 녹인 설탕물과 같이 두 가지 이상의 순물질이 균일하게 섞여 있는 혼합물을 **용액**이라고 한다. 설탕과 같이 녹는 물질을 **용질**, 물과 같이 녹이는 물질을 **용매**라고 하며, 용질이 용매에 녹아 용액이 만들어지는 과정을 **용해**라고 한다.

국이나 커피의 맛을 조절하려고 물이나 소금, 설탕의 양을 다르게 하는 것처럼 용액에서 용매와 용질의 비율을 다르게 하면 용액의 성질이 달라진다. 용매와 용질이 섞여 있는 비율을 용액의 **농도**라고 하며, 용액의 농도는 여러 가지 방법으로 나타낼 수 있다.

| 퍼센트 농도 |

퍼센트(백분율, %)는 전체의 양을 100으로 가졌을 때 특정 부분이 차지하는 양을 나타내는 것으로, 일상생활에서 개수, 금액, 인원, 점수 등의 비율을 나타낼 때 쓰는 단위이다.

용액의 농도를 퍼센트로 나타낼 때는 일반적으로 용액 100 g에 녹아 있는 용질의 질량(g)을 이용한다. 이를 **질량 퍼센트 농도** 또는 **퍼센트 농도**라고 한다.

$$\text{퍼센트 농도}(\%) = \frac{\text{용질의 질량}(g)}{\text{용액의 질량}(g)} \times 100$$

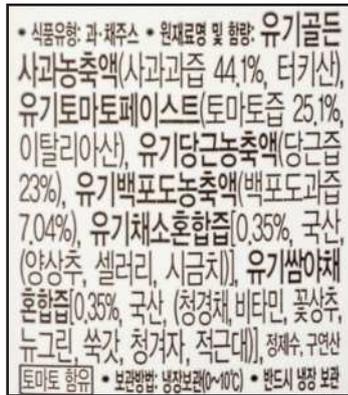


그림 1-51 퍼센트 농도

용질과 용매

기체나 고체가 액체에 녹아 있는 용액에서 액체 물질을 용매라고 하고, 기체나 고체 물질을 용질이라고 한다. 같은 상태의 물질이 혼합되었을 때는 양이 많은 물질이 용매, 양이 적은 물질이 용질이다.

여러 가지 용액

용액의 종류	예
기체 + 기체	공기
액체 + 기체	탄산수
액체 + 액체	식초
액체 + 고체	바닷물
고체 + 고체	황동

연계 학습

퍼센트 농도 ▶ 화학 I, 1-2 물질의 양과 화학 반응식

? 물 180 g에 설탕 20 g을 녹인 설탕물의 퍼센트 농도를 구해 보자.



ppm

ppm은 parts per million의 약자이다.

| ppm 농도 |

대기 중의 오존이나 강물 속의 금속 이온은 양이 매우 적으므로 퍼센트 농도로 나타내면 값이 너무 작아서 사용하기 불편하다. 이처럼 용액에 비해 용질의 양이 매우 적을 때는 농도의 단위로 **ppm**(백만분율)을 사용한다. ppm은 전체의 양을 1000000으로 가정했을 때 특정 부분이 차지하는 양을 나타내는 단위이다. 용액의 농도는 일반적으로 용액 1000000 g 속에 들어 있는 용질의 질량(g)으로 나타낸다.

ppm은 식품이나 의약품의 안전한 정도를 수치로 나타내거나 대기나 물속에 있는 매우 적은 양의 물질의 농도를 나타낼 때 주로 사용한다.

| 몰 농도 |

용액의 성질은 용질의 질량보다는 용질의 입자 수로 결정될 때가 많으므로 질량을 기준으로 하는 농도를 사용하는 것이 불편하다. 같은 질량이라도 용질의 종류가 다르면 입자의 수가 다르기 때문이다. 따라서 화학에서는 용질의 입자 수를 사용하여 농도를 나타내는 방법인 **몰 농도**를 주로 사용한다. 몰 농도는 용액 1 L 속에 녹아 있는 용질의 몰수로, 단위는 M을 쓴다.

$$\text{몰 농도}(M) = \frac{\text{용질의 몰수}(\text{mol})}{\text{용액의 부피}(L)}$$

? 0.1 M NaOH 수용액 0.5 L를 만들 때 필요한 NaOH의 질량을 구해 보자. (단, NaOH의 화학식량은 40이다.)

| 몰랄 농도 |

용액의 부피는 온도에 따라 변하므로 몰 농도는 온도에 따라 값이 달라진다. 따라서 용액의 부피 대신 온도에 관계없이 값이 일정한 용매의 질량을 이용하는 **몰랄 농도**를 사용할 때도 있다. 몰랄 농도는 용매 1 kg에 녹아 있는 용질의 몰수로, 단위는 *m*을 쓴다.

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

? 물 500 g에 NaOH 2 g을 녹인 수용액의 몰랄 농도를 구해 보자. (단, NaOH의 화학식량은 40이다.)

과정

- 1 1%, 1m, 1M NaCl 수용액을 만들 때 필요한 NaCl과 물의 양을 계산하여 표에 기록한다. (단, NaCl의 화학식량은 58.5이다.)

구분	용액	용액의 양	NaCl의 양	물의 양
(가)	1% NaCl 수용액	100 g	() g	() g
(나)	1m NaCl 수용액	() g	0.1 mol=() g	() g
(다)	1M NaCl 수용액	100 mL	() mol=() g	

- 2 1% NaCl 수용액 만들기 ▶ 시약포지와 비커를 사용하여 (가)에 해당하는 NaCl과 물의 질량을 각각 측정된 뒤, 비커의 물에 NaCl을 넣고 유리 막대로 저어 녹인다.



- 3 1m NaCl 수용액 만들기 ▶ 과정 2와 같은 방법으로 (나) 수용액을 만든다.
 4 1M NaCl 수용액 만들기 ▶ 부피 플라스크와 그 밖에 필요한 실험 도구를 사용하여 (다) 수용액을 만든다.

정리

- 1M NaCl 수용액을 만드는 과정을 설명해 보자.
- 퍼센트 농도와 몰랄 농도 용액을 만들 때는 비커를 사용하지만, 몰 농도 용액을 만들 때는 부피 플라스크를 사용하는 까닭은 무엇인가?

준비물

염화 나트륨(NaCl), 증류수, 200 mL 비커, 100 mL 부피 플라스크, 유리 막대, 씻기병, 스포이트, 깔때기, 약순가락, 시약 포지, 전자 저울, 실험용 장갑, 보안경

주의 사항



모둠 활동

역할	이름
모듬장	
자료 관리자	
기록자	
점검자	

모듬원의 역할을 각 농도의 용액 만들기 또는 NaCl의 양 측정하기, 물의 양 측정하기, 용액 만들기 등으로 나누고, 자신의 역할을 책임감 있게 수행한다.

퍼센트 농도와 몰랄 농도의 용액을 만들 때는 필요한 용질과 용매의 질량을 재어 비커나 삼각 플라스크 등에 넣은 뒤 잘 섞어 준다. 그러나 몰 농도는 전체 용액의 부피를 맞추는 것이 중요하므로, 몰 농도 용액을 만들 때는 정확한 표시선이 있는 부피 플라스크를 사용한다.

연계 학습

몰 농도 용액 만들기 ▶ 화학 I, 1-2 물질의 양과 화학 반응식

농도의 단위가 서로 다른 용액의 진하기를 비교하거나 퍼센트 농도로 표시된 시약으로 원하는 농도의 용액을 만들려면 농도의 단위를 환산하는 과정이 필요하다.



예제 · · 염산은 염화 수소(HCl) 수용액으로, 보통 시판되는 염산의 농도는 35 %이고 밀도는 실온에서 1.25 g/mL이다. 이 염산의 농도를 몰 농도와 몰랄 농도로 나타내 보자. (단, HCl의 분자량은 36.5이다.)

풀이 · · (1) 몰 농도 구하기: 용액의 부피와 용질의 몰수를 알아야 한다.

35 % 염산 → 용액 100 g에 HCl 35 g이 녹아 있다.

• 용액의 부피: 용액의 밀도를 이용하여 질량을 부피로 환산한다.

$$100 \text{ g} \times \frac{1 \text{ mL}}{1.25 \text{ g}} \times \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}} = 0.08 \text{ L}$$

• HCl의 몰수: HCl의 분자량은 36.5이므로 1몰의 질량은 36.5 g/mol이다.

$$\frac{35 \text{ g}}{36.5 \text{ g/mol}} \approx 0.96 \text{ mol}$$

따라서 몰 농도는 $\frac{0.96 \text{ mol}}{0.08 \text{ L}} = 12 \text{ M}$ 이다.

(2) 몰랄 농도 구하기: 용매의 질량과 용질의 몰수를 알아야 한다.

35 % 염산 → 물 65 g에 HCl 35 g이 녹아 있다. → 물 65 g

• 물의 질량(kg): $65 \text{ g} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} = 0.065 \text{ kg}$

• HCl의 몰수(mol): $\frac{35 \text{ g}}{36.5 \text{ g/mol}} \approx 0.96 \text{ mol}$

따라서 몰랄 농도는 $\frac{0.96 \text{ mol}}{0.065 \text{ kg}} \approx 15 \text{ m}$ 이다.

유제 · · 0.3 m 포도당 수용액의 밀도는 실온에서 1.02 g/mL이다. 이 용액의 몰 농도를 구해 보자. (단, 포도당의 분자량은 180이다.)

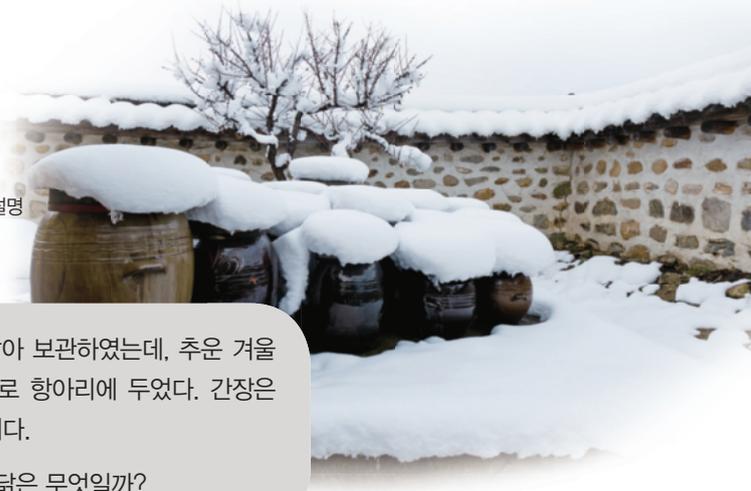
평가하기

- 1 물 500 g에 포도당을 녹여 0.1 m 포도당 수용액을 만드는 방법을 설명해 보자. (단, 포도당의 분자량은 180이다.)
- 2 퍼센트 농도, ppm 농도, 몰랄 농도의 비슷한 점과 다른 점을 설명해 보자.

02

묽은 용액의 성질

- 묽은 용액의 증기 압력 내림, 끓는점 오름, 어는점 내림을 설명하고 예를 들 수 있다.
- 삼투 현상과 삼투압을 설명할 수 있다.



생각 열기

우리 조상들은 간장이나 물을 항아리에 담아 보관하였는데, 추운 겨울이 되면 물 항아리는 비우고 간장은 그대로 항아리에 두었다. 간장은 잘 얼지 않아 항아리가 깨지지 않기 때문이다.

❶ 추운 겨울에도 간장이 잘 얼지 않는 까닭은 무엇일까?

겨울철에 영하의 추운 날씨가 지속되면 시냇물이나 강물은 퐁퐁 얼지만 바닷물은 잘 얼지 않는다. 이는 염류가 녹아 있는 바닷물의 성질이 순수한 물과 다르기 때문이다. 순수한 용매에 용질이 녹아 용액이 되면 성질이 어떻게 달라질까?

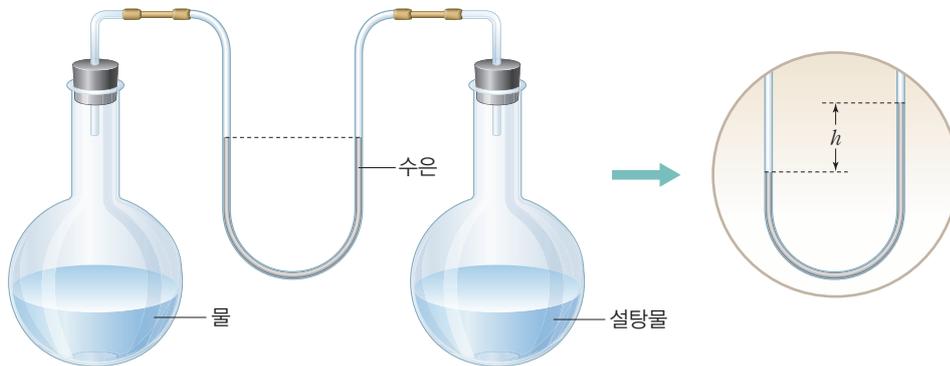
1 용액의 증기 압력 내림

증기 압력은 액체에서 증발과 응축이 평형을 이룰 때 이 액체의 증기가 나타내는 압력이다. 순수한 물과 수용액에서 증기 압력은 어떻게 다른지 다음 탐구 활동으로 알아보자.

미니 탐구 토의 물과 설탕물의 증기 압력 비교

물과 설탕물을 플라스크에 넣어 그림과 같이 장치하고 일정한 온도에서 충분한 시간이 지난 뒤 관찰하였더니, 처음에는 같았던 수은 기둥의 높이가 h 만큼 달라졌다.

연계 학습 액체의 증기 압력 ▶ 38쪽



- 1 수은 기둥의 높이가 달라진 까닭을 토의해 보자.
- 2 설탕물의 농도가 더 커지면 h 는 어떻게 달라질지 토의해 보자.

같은 온도에서 용액은 순수한 용매에 비해 증발하기 어렵다. 용액 표면의 일부를 용질이 차지하고 있어 표면에 있는 용매의 입자 수가 줄어들기 때문이다.

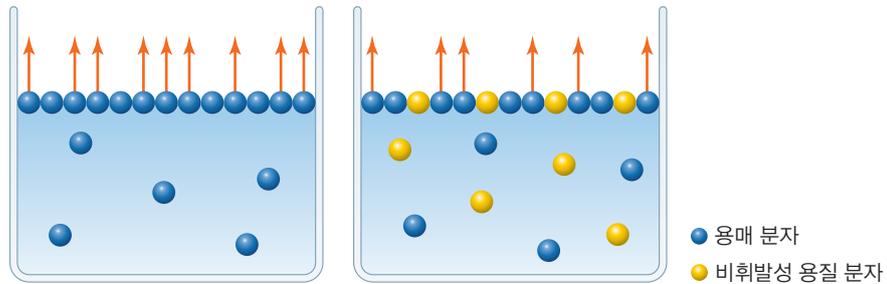


그림 I-53 용매와 용액의 표면에서 일어나는 증발

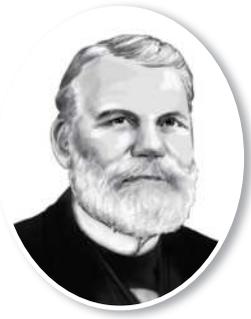


그림 I-52 라울(Raoult, F. M., 1830~1901) 프랑스의 화학자. 묽은 용액의 어는점 내림에 관한 연구를 바탕으로 하여 증기 압력 내림에 대한 법칙을 발견하였다.

☞ 용매와 용질의 몰 분율

용매의 몰 분율 $X_{\text{용매}} = \frac{\text{용매의 몰수}}{\text{용질의 몰수} + \text{용매의 몰수}}$

이고, 용질의 몰 분율 $X_{\text{용질}} =$

$\frac{\text{용질의 몰수}}{\text{용질의 몰수} + \text{용매의 몰수}}$

이므로, $X_{\text{용매}} + X_{\text{용질}} = 1$ 이다.

라울은 비휘발성이고 비전해질인 용질이 녹아 있는 용액의 증기 압력($P_{\text{용액}}$)은 용액 내 용매의 몰 분율($X_{\text{용매}}$)과 순수한 용매의 증기 압력(P°)을 곱한 것과 같다는 것을 발견하였다. 이를 라울 법칙이라고 하고, 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$P_{\text{용액}} = X_{\text{용매}} \times P^\circ$$

용액의 증기 압력은 순수한 용매보다 낮아지는데, 이러한 현상을 증기 압력 내림이라고 한다. 증기 압력 내림(ΔP)은 순수한 용매의 증기 압력(P°)에서 용액의 증기 압력($P_{\text{용액}}$)을 뺀 값이므로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

($1 - X_{\text{용매}}$)은 용질의 몰 분율($X_{\text{용질}}$)이므로, 증기 압력 내림(ΔP)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta P = X_{\text{용질}} \times P^\circ$$

용액의 증기 압력은 순수한 용매보다 항상 작으며, 용액에 용질이 많이 녹아 있을수록 용액의 증기 압력 내림이 크다.

모든 농도에서 라울 법칙을 만족하는 용액을 이상 용액이라고 하는데, 농도가 묽은 용액일수록 라울 법칙을 잘 만족하므로 이상 용액에 가깝다.

? 25 °C에서 물 180 g에 포도당 18 g을 녹인 포도당 수용액의 증기 압력을 구해 보자. (단, 25 °C에서 물의 증기 압력은 23.8 mmHg이고, 물의 분자량은 18, 포도당의 분자량은 180이다.)

2 끓는점 오름과 어는점 내림

같은 온도에서 비휘발성 용질이 녹아 있는 용액은 순수한 용매보다 증기 압력이 작다. 따라서 더 높은 온도로 가열해야 증기 압력과 외부 압력이 같아지므로 비휘발성 용질이 녹아 있는 용액의 끓는점은 순수한 용매보다 높다. 이와 같은 현상을 끓는점 오름이라고 한다.

용액의 끓는점 오름(ΔT_b)은 용액의 끓는점과 순수한 용매의 끓는점의 차이이다. 비휘발성, 비전해질인 용질이 녹아 있는 묽은 용액에서 끓는점 오름은 용질의 종류와 관계없고 용질의 몰수에 따라 달라진다. 끓는점 오름은 용액의 몰랄 농도(m)를 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta T_b = K_b \times m$$

K_b 는 몰랄 오름 상수라고 하며, 1 m 용액에서의 끓는점 오름을 실험으로 구한 값이다. K_b 는 용질의 종류와는 관계없고 용매의 종류에 따라 달라진다.

비휘발성 용질이 녹아 있는 용액의 어는점은 순수한 용매의 어는점보다 낮는데, 이를 어는점 내림이라고 한다. 용액의 어는점 내림(ΔT_f)은 용액의 어는점과 순수한 용매의 어는점의 차이이며, 끓는점 오름과 마찬가지로 용질의 종류와 관계없고 용액의 몰랄 농도에 비례한다.

$$\Delta T_f = K_f \times m$$

K_f 는 몰랄 내림 상수라고 하며, 1 m 용액에서의 어는점 내림을 실험으로 구한 값이다. K_f 도 K_b 와 마찬가지로 용질의 종류와는 관계없고 용매의 종류에 따라 달라진다.

그림 1-54 일상생활에서 끓는점 오름과 어는점 내림을 이용하는 예



▲ 염화 칼슘이나 염화 나트륨을 눈이 쌓인 도로 위에 뿌리면 어는점이 내려가므로 영하의 날씨에도 눈이 얼어붙지 않는다.

▲ 자동차 부동액의 주성분은 에틸렌 글리콜이다. 냉각수에 에틸렌 글리콜을 섞으면 끓는점이 올라가므로 여름에 냉각수가 끓어 넘치는 것을 방지하고, 어는점이 내려가므로 겨울에 냉각수가 어는 것을 방지한다.

표 1-5 몰랄 오름 상수(K_b)와 몰랄 내림 상수(K_f)

용매	끓는점(°C)	K_b (°C·kg/mol)	어는점(°C)	K_f (°C·kg/mol)
물	100.0	0.51	0	1.86
벤젠	80.1	2.64	5.5	4.9
에탄올	78.3	1.23	-114.1	1.9
아세트산	117.9	3.22	16.6	3.63

〈출처〉 Haynes, 『CRC handbook of chemistry and physics』, 2016.



예제 · · 1 기압에서 어떤 포도당 수용액의 끓는점이 100.153 °C였다. (1) 이 용액의 몰랄 농도와 (2) 어는점을 구해 보자.

풀이 · · (1) $\Delta T_b = K_b \times m$ 에서,

$$\Delta T_b = 100.153 \text{ }^\circ\text{C} - 100 \text{ }^\circ\text{C} = 0.153 \text{ }^\circ\text{C}$$

$K_b = 0.51 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{kg/mol}$ 이므로,

$$\text{몰랄 농도 } m = \frac{\Delta T_b}{K_b} = \frac{0.153 \text{ }^\circ\text{C}}{0.51 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{kg/mol}} = 0.3 \text{ mol/kg이다.}$$

(2) $\Delta T_f = K_f \times m = 1.86 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{kg/mol} \times 0.3 \text{ mol/kg} = 0.558 \text{ }^\circ\text{C}$ 이므로, 어는점은 $0 \text{ }^\circ\text{C} - 0.558 \text{ }^\circ\text{C} = -0.558 \text{ }^\circ\text{C}$ 이다.

유제 · · 비휘발성, 비전해질이며 분자량이 44인 용질 2.2 g을 물 100 g에 녹였다. 이 수용액의 어는점을 구해 보자.

용액의 끓는점 오름이나 어는점 내림을 이용하면 용액 속에 녹아 있는 용질의 분자량을 알아낼 수 있다. 어떤 용매 W g에 분자량이 M 인 용질 w g이 녹아 있는 용액의 끓는점 오름이나 어는점 내림을 ΔT 라 하고, 몰랄 오름 상수나 몰랄 내림 상수를 K 라고 하면, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta T = K \times m = K \times \frac{w/M}{W/1000} = \frac{K \times 1000 \times w}{W \times M}$$

따라서 용질의 분자량은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$M = \frac{K \times 1000 \times w}{W \times \Delta T}$$

? 벤젠 5 g에 나프탈렌 0.8 g을 녹인 용액의 어는점을 측정하였더니 $-0.62 \text{ }^\circ\text{C}$ 였다. 나프탈렌의 분자량을 구해 보자.

요소와 포도당 수용액의 어는점 내림을 측정하여 분자량을 구해 보자.

과정

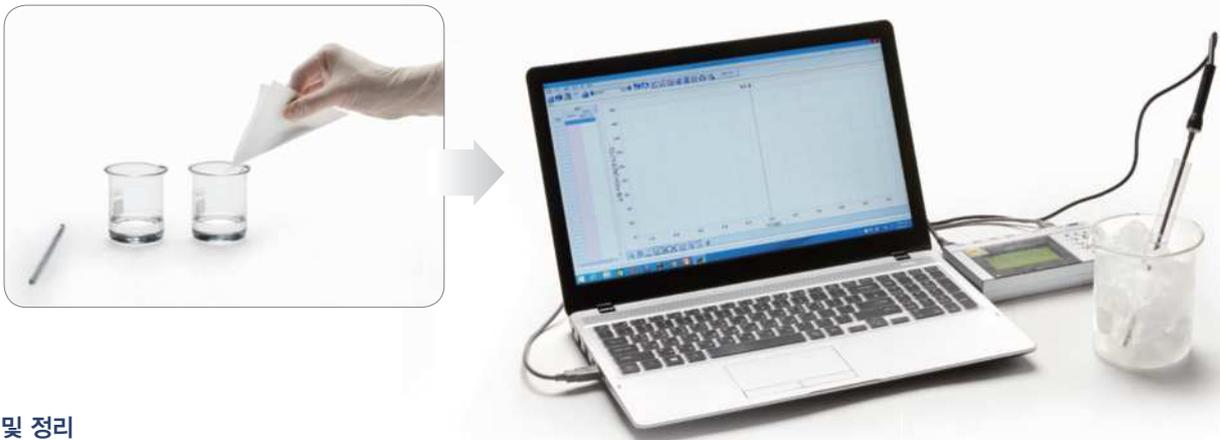
- 1 비커 2개에 각각 증류수 25 g을 담고, 물질 A와 B를 각각 6 g씩 넣어 잘 녹인다.
- 2 시험관에 A 수용액을 $\frac{1}{2}$ 정도 채운 뒤 온도 센서를 꽂는다.
- 3 과정 2의 시험관을 한제에 넣고 냉각하면서 온도를 측정한다. 이때 측정 간격은 5초 내외로 하고, 온도 변화 그래프를 동시에 작성한다.
- 4 얼기 시작한 뒤 2분 정도가 지나면 온도 측정을 중지하고, 작성된 그래프에서 어는점을 찾아 기록한다.
- 5 B 수용액으로 과정 2~4를 반복한다.

준비물

요소, 포도당, 증류수, 한제, 비커, 유리 막대, 눈금 스포이트, 시험관, MBL(컴퓨터, 인터페이스, 온도 센서), 시약포지, 약술가락, 전자 저울, 실험용 장갑, 보안경

주의 사항

- 용액이 들어 있는 시험관이 한제에 충분히 잠기도록 한다.



결과 및 정리

- 1 실험 결과를 표에 정리해 보자.

구분	얼기 시작하는 온도(°C)	ΔT_f (°C)	몰랄 농도(m)	용질의 몰수(mol)
A 수용액				
B 수용액				

한제

냉각할 때 사용하는 것으로, 일반적으로 얼음과 소금을 섞어 사용한다.

- A와 B의 분자량을 구해 보자. A와 B는 각각 요소와 포도당 가운데 어느 것일까?

- 2 용액이 어는 동안에도 온도가 계속 낮아지는 까닭을 토의해 보자.

용액을 냉각하면서 시간에 따른 온도 변화를 그래프로 나타내면 용액의 어는점을 찾을 수 있고, 어는점 내림을 이용하여 용질의 분자량을 구할 수 있다. 용액의 온도 변화 그래프에서 용액이 어는 동안에도 온도가 조금씩 낮아지는데, 이는 용매가 얼면서 아직 얼지 않은 용액의 농도가 점점 더 진해지기 때문이다.

3 삼투 현상과 삼투압

김장을 할 때 배추를 소금에 절이면 배추의 수분이 빠져나와 배추가 쭈그러든다. 또 혈액 속 세포인 적혈구는 진한 소금물에 넣으면 쭈그러들지만, 물에 넣으면 부풀어 오르다가 터진다. 이러한 현상은 왜 나타날까?

셀로판, 달걀 속껍질, 세포막, 방광막 등에는 눈에 보이지 않지만 매우 작은 구멍이 있다. 용매 입자는 그 구멍을 자유롭게 통과하지만, 큰 용질 입자는 통과하지 못한다. 이러한 얇은 막을 반투막이라고 한다. 반투막을 사이에 두고 용매는 같지만 농도가 다른 두 용액이 있을 때, 농도가 낮은 용액의 용매 입자가 농도가 높은 용액으로 이동하는 현상을 삼투 현상이라고 한다. 다음 탐구 활동으로 삼투 현상을 관찰해 보자.



삼투 현상 관찰하기



준비물

증류수, 1 M 설탕 수용액, 2 M 설탕 수용액, 삼투압 실험 장치, 마이크로 스포이트, 실험용 장갑, 보안경

주의 사항

삼투압 실험 장치의 관에 용액을 넣을 때는 마이크로 스포이트를 관 깊숙이 넣어 아래쪽부터 용액이 들어가도록 해야 한다.

클립 찾아보기

EBS 클립뱅크
clipbank.ebs.co.kr
(검색어: 삼투 현상)

과정

- 1 M과 2 M의 설탕 수용액을 준비한다.
- 마이크로 스포이트를 사용하여 삼투압 실험 장치의 왼쪽 관과 오른쪽 관에 각각 증류수와 1 M 설탕 수용액을 같은 양씩 넣는다.
- 약 10분 뒤 양쪽 관의 액면의 높이 변화를 관찰한다.
- 증류수와 2 M 설탕 수용액으로 과정 2와 3을 반복한다.



정리

- 1 액면의 높이가 달라진 까닭은 무엇인가?
- 2 설탕 수용액의 농도에 따라 액면의 높이는 어떻게 달라질까? 그 까닭을 토의해 보자.

그림 I-55와 같이 반투막을 경계로 하여 U자관의 양쪽에 같은 높이만큼 물과 설탕 물을 넣으면 수면은 내려가고 설탕물의 액면은 올라간다. 이것은 반투막을 통과할 수 있는 물 분자가 순수한 물에서 농도가 높은 설탕물 쪽으로 이동하였기 때문이다. 이때 용액의 농도 차이가 클수록 액면의 높이 차이도 크다. 삼투 현상이 일어나지 않게 하려면 설탕물 쪽에 압력을 가해야 하는데, 이에 해당하는 압력을 **삼투압**이라고 한다.

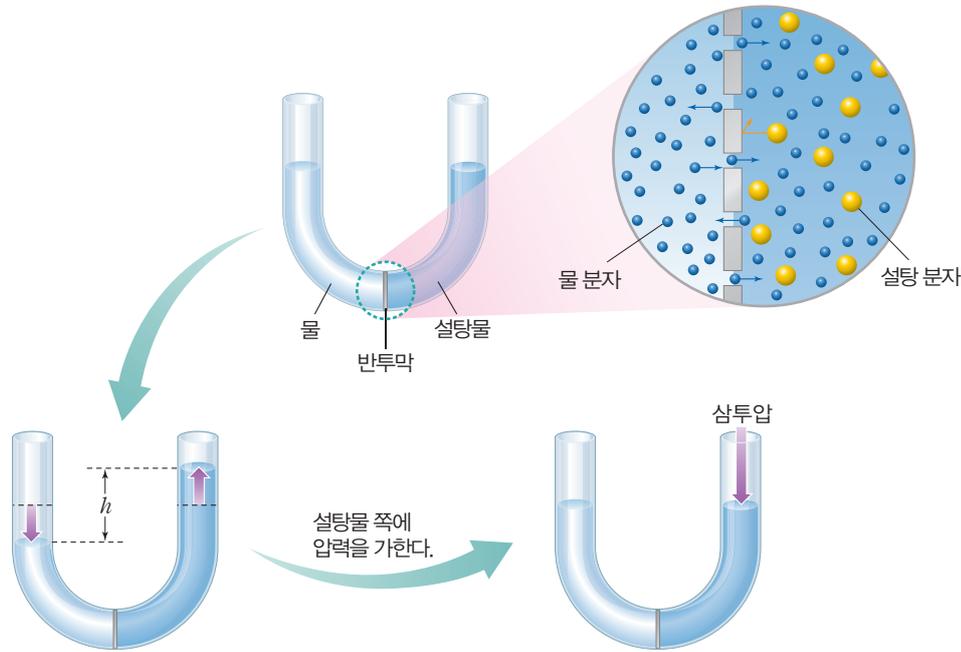


그림 I-55 삼투압의 원리

생각 넓히기 농도가 서로 다른 두 용액이 반투막을 사이에 두고 있을 때 농도가 높은 용액 쪽에 삼투압보다 더 큰 압력을 가하면 어떻게 될지 생각해 보자.

반트호프는 비휘발성이고 비전해질인 용질이 녹아 있는 묽은 용액에서 삼투압은 용매나 용질의 종류에 관계없이 용액의 몰 농도와 절대 온도에 비례한다는 것을 발견하였다. 이를 **반트호프 법칙**이라고 하고, 다음과 같은 **반트호프 식**으로 나타낼 수 있다.

$$\pi = CRT$$

(π : 삼투압, C : 몰 농도, R : 기체 상수, T : 절대 온도)



그림 I-56 반트호프(van't Hoff, J. H., 1852~1911) 네덜란드의 화학자. 삼투압 법칙을 수립하였고, 탄소 화합물의 구조를 연구하여 입체 화학의 기초를 확립하였다.

? 20 °C에서 포도당 9 g을 물에 녹여 500 mL의 용액을 만들 때 이 용액이 나타내는 삼투압을 구해 보자. (단, 포도당의 분자량은 180이다.)

삼투압을 알면 반트호프 식을 이용하여 용액에 녹아 있는 용질의 분자량을 구할 수 있다. 절대 온도 T K에서 비휘발성이고 비전해질인 용질 w g이 녹아 있는 V L의 용액이 나타내는 삼투압이 π atm일 때 용질의 분자량(M)은 다음과 같다.



고분자 화합물

분자량이 매우 큰 화합물로, 보통 분자량이 10000 이상이다. 단백질, 녹말, 셀룰로스, 나일론, 폴리에틸렌 등이 있다.

$$\pi = CRT = \frac{w/M}{V} \times RT = \frac{w \times R \times T}{M \times V}$$

$$M = \frac{w \times R \times T}{\pi \times V}$$

이 식은 주로 생체 분자나 고분자 화합물의 분자량을 구하는 데 이용된다.



예제 · · 호르몬 단백질인 인슐린 5.0 g이 녹아 있는 수용액 500 mL가 25 °C에서 나타내는 삼투압이 0.0422 atm이었다. 인슐린의 분자량을 구해 보자.

풀이 · · $w = 5.0$ g, $R = 0.082$ atm·L/(mol·K), $T = 298$ K, $\pi = 0.0422$ atm, $V = 0.5$ L를

$$M = \frac{w \times R \times T}{\pi \times V} \text{에 대입하면,}$$

$$M = \frac{5.0 \text{ g} \times 0.082 \text{ atm} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \times 298 \text{ K}}{0.0422 \text{ atm} \times 0.5 \text{ L}} \approx 5790 \text{ g/mol이다.}$$

따라서 인슐린의 분자량은 약 5790이다.

유제 · · 25 °C에서 헤모글로빈 2 g이 녹아 있는 수용액 100 mL가 나타내는 삼투압이 0.0072 atm이었다. 헤모글로빈의 분자량을 구해 보자.

함께
해 보기

놀레(Nollet, J., 1700~1770)는 삼투압을 최초로 실험한 과학자이다. 놀레는 알코올이 든 병의 입구를 돼지 방광막으로 막아 물속에 두었는데, 시간이 지나자 방광막이 부풀어 팽팽해졌고 바늘로 찌르자 내용물이 높이 뿜어져 올라왔다. 반대로, 물이 든 병을 돼지 방광막으로 막아 알코올 속에 두었더니 방광막이 안쪽으로 오목해졌다. 이후 여러 명의 과학자들이 다양한 실험을 하여 삼투압을 연구하였고, 반트호프는 다른 과학자들과 자신의 연구 결과를 바탕으로 하여 반트호프 식을 도출하였다.

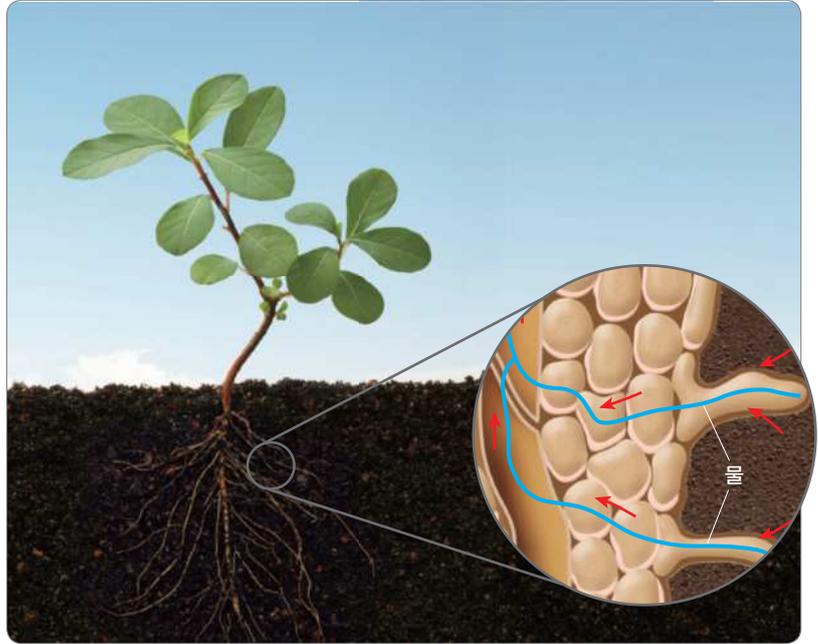
핵심 역량 | 과학적 의사소통 능력



활동하기

삼투압을 연구한 과학자들을 조사하고, 그들의 실험이나 연구 결과를 발표해 보자.

삼투 현상은 우리 주변에서 다양하게 찾아볼 수 있다. 배추나 오이 등을 소금물에 절이면 배추나 오이가 쭈그러들고, 매실과 설탕을 함께 넣어 두면 매실청이 생기면서 매실이 쪼글쪼글 해진다. 또한 식물의 뿌리털에서 물이 흡수되는 것도 삼투 현상으로 설명할 수 있다.



정리

- ① 우리 생활이나 동식물에서 나타나는 삼투와 관련된 현상을 조사해 보자.
- ② 삼투 현상의 원리와 관련된 산업 기술을 조사하고, 장단점을 발표해 보자.

➕ **더 알아보기** 혈액 투석의 원리를 조사하여 삼투 현상과 비교해 보자.

삼투압을 비롯하여 비휘발성이고 비전해질인 용질이 소량 녹아 있는 묽은 용액의 증기 압력 내림, 끓는점 오름, 어는점 내림은 모두 용질의 종류와는 관계없이 용액의 농도에 비례한다. 즉, 묽은 용액에서 용질의 몰수에만 비례하는 이러한 공통의 성질을 묽은 용액의 총괄성이라고 한다.

평가하기

- 1 바닷물과 순수한 물의 증기 압력, 끓는점, 어는점을 각각 비교해 보자.
- 2 바닷물과 순수한 물이 반투막을 사이에 두고 있을 때 나타나는 현상을 설명해 보자.

자료실 전해질 수용액에서의 총괄성을 알아보자.

비휘발성이고 비전해질인 용질이 소량 녹아 있는 묽은 용액의 증기 압력 내림, 끓는점 오름, 어는점 내림, 삼투압 등의 총괄성은 모두 용질의 종류와는 관계없이 용액의 농도, 즉, 일정량의 용매 속에 녹아 있는 용질의 입자 수에 비례한다.

그렇다면 전해질 수용액에서는 총괄성이 어떻게 나타날까? 전해질은 물에 녹아 이온화하므로 같은 몰수의 비전해질보다 더 많은 입자가 용액 속에 있다. 예를 들어 제설제로 사용하는 염화 칼슘(CaCl_2)은 물에 녹아 1개의 Ca^{2+} 와 2개의 Cl^- 으로 이온화하는 전해질이다. 염화 칼슘은 같은 양의 비전해질에 비해 물에 녹았을 때의 입자 수가 훨씬 많으므로 적은 양으로도 효과가 크게 나타난다.

그림 I-57과 같이 전해질 수용액에서의 총입자 수는 이온화하는 정도에 따라 달라진다. 따라서 전해질 수용액의 총괄성을 다룰 때는 이온화한 총입자 수를 고려해야 한다.



그림 I-57 이온화 정도에 따른 용액 속 입자 수의 차이



바다, 아낌없이 주는 용액

바닷물은 소금을 비롯한 여러 가지 염분이 녹아 있는 용액이다. 아주 오래전부터 인류는 바닷물을 증발시켜 소금을 얻어 왔고, 천일염의 가치는 높게 평가받고 있다. 바닷물에서 또 무엇을 얻을 수 있을까?

물이 부족한 지역이나 오랜 기간 항해하는 선박에서는 바닷물을 순수한 물로 바꾸어 식수로 활용하기도 한다. 순수한 물을 얻는 방법으로는 반투막에 염분 농도가 높은 바닷물을 넣고 높은 압력을 가하는 역삼투, 이온 교환막과 전기를 이용하는 전기 투석, 증류, 냉동 등이 있다. 많은 국가들이 미래의 물 부족 대란을 대비하려고 바닷물을 이용하여 물을 얻는 방법을 연구한다.

바다에서 조력이나 파력, 풍력 등을 이용하여 에너지를 생산할 수도 있지만, 최근에는 바닷물의 염분 차이를 이용하는 바닷물 기반 신재생 에너지도 연구되고 있다. 바닷물과 강물의 염분 차이를 이용하는 염분 차 발전은 바닷물과 강물을 끌어오는 수로만 설치하면 되고 발전 과정에서 다른 부산물이 생성되지 않으므로 친환경적이다.

이 밖에도 바닷물의 풍부한 염류가 식물의 영양 공급원이 될 수 있으므로 바닷물로 친환경 비료를 만들기도 하고, 바닷물을 과산화 수소 연료 전지에 활용하는 방안도 연구되고 있다.



그림 1-58 바닷물로부터 소금을 얻는 염전

관련 직업: 해수 담수화 연구원, 신재생 에너지 발전 설비 기능사

그림 1-59 해수 담수화 시설



과학적 참여와 평생 학습 능력

해양 기반 신재생 에너지의 종류, 각 에너지의 장점과 한계점을 조사하여 발표해 보자.



스스로 확인하기

핵심 내용 정리하기

용액

용액의 농도

- 퍼센트 농도: 용액 g 속에 녹아 있는 용질의 질량(g)
- ppm 농도: 용액 g 속에 녹아 있는 용질의 질량(g)
- 몰 농도: 용액 속에 녹아 있는 용질의 몰수. 단위는 을 쓴다.
- 몰랄 농도: 속에 녹아 있는 용질의 몰수. 단위는 m 을 쓴다.
- 용액 만들기: 퍼센트 농도와 몰랄 농도의 용액을 만들 때는 필요한 용매와 용질의 을 측정하여 비커나 삼각 플라스크에 넣은 뒤 잘 섞어 준다. 몰 농도의 용액을 만들 때는 눈금선이 있는 를 사용한다.

묽은 용액의 성질

- 용액의 증기 압력은 순수한 용매보다 낮는데, 이를 증기 압력 내림이라고 한다. 은 비휘발성, 비전해질인 용질이 녹아 있는 용액에서 증기 압력 내림이 용질의 몰 분율에 비례함을 발견하였다. 이를 이라고 한다.
- 비휘발성 용질이 녹아 있는 용액의 끓는점이나 어는점이 순수한 용매보다 높거나 낮은 현상을 각각 끓는점 오름, 어는점 내림이라고 한다. 끓는점 오름과 어는점 내림은 용질의 종류와 관계없고 용액의 에 비례한다.
- 삼투 현상: 용매는 같지만 농도가 다른 두 용액이 을 사이에 두고 접해 있을 때, 농도가 낮은 용액의 용매 입자가 농도가 높은 용액으로 이동하는 현상. 이러한 현상이 일어나지 않도록 가해 주는 압력을 이라고 한다.
- 반트호프 법칙: 비휘발성, 비전해질인 용질이 녹아 있는 묽은 용액에서 삼투압은 용매나 용질의 종류와 관계없이 용액의 와 절대 온도에 비례한다.

스스로 평가하기

- 1 여러 가지 용액의 농도를 설명해 보자.
- 2 여러 가지 농도의 용액을 만드는 방법을 설명해 보자.
- 3 묽은 용액의 증기 압력 내림, 끓는점 오름, 어는점 내림을 설명해 보자.
- 4 일상생활에서 증기 압력 내림, 끓는점 오름, 어는점 내림의 예를 들어 보자.
- 5 삼투 현상과 삼투압을 설명해 보자.

* 성취 정도를 표시해 보자

20 | 40 | 60 | 80 | 100

20 | 40 | 60 | 80 | 100

20 | 40 | 60 | 80 | 100

20 | 40 | 60 | 80 | 100

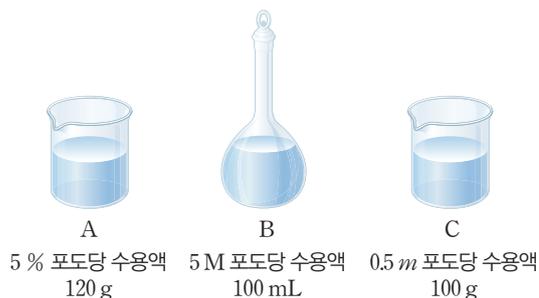
20 | 40 | 60 | 80 | 100



개념 확장하기

1 산이나 온천의 물에는 광물 성분인 Ca^{2+} 이나 Mg^{2+} 등이 많이 들어 있는데, 이러한 물을 센물이라고 한다. 어떤 산에서 600 g의 물을 채취하여 성분을 분석하였더니 칼슘 120 mg이 함유된 것으로 나타났다. 칼슘의 농도를 질량 퍼센트와 ppm으로 각각 나타내 보자.

2 그림과 같이 농도가 다른 포도당 수용액 A, B, C가 있다. 포도당이 많이 녹아 있는 것부터 순서대로 기호를 나열해 보자. (단, 포도당의 분자량은 180이다.)



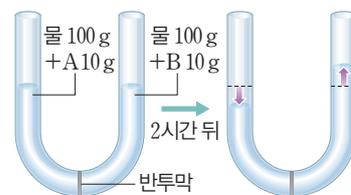
3 <보기>의 용액을 같은 기압에서 끓는점이 높은 것부터 나열해 보자. (단, 설탕과 포도당, 요소의 분자량은 각각 342, 180, 60이다.)

• 보기 •

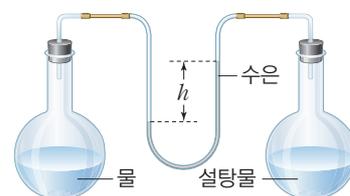
ㄱ. 0.3 m 설탕 수용액 ㄴ. 10 % 포도당 수용액 ㄷ. 물 100 g에 요소 3 g을 녹인 용액

4 그림과 같이 비휘발성이고 비전해질인 용질 A, B를 100 g의 물에 각각 10 g씩 녹인 용액을 U자관의 양쪽에 넣었다. 2시간 뒤 B를 녹인 용액의 수면이 더 높아졌다.

- (1) A와 B를 녹인 수용액의 몰 농도를 비교해 보자.
- (2) A와 B의 분자량을 비교해 보자.



5 물과 설탕물을 플라스크에 넣어 그림과 같이 장치하고 일정한 온도에서 충분한 시간이 지난 뒤 관찰하였더니, 처음에는 같은 높이였던 수은 기둥에 h 만큼의 차이가 생겼다. <보기>에서 옳은 것을 모두 골라 보자.



• 보기 •

- ㄱ. 설탕물의 증기 압력은 순수한 물보다 낮다.
- ㄴ. 설탕물의 농도가 증가해도 h 는 일정하다.
- ㄷ. 물의 양을 200 mL 더 늘려서 실험하면 h 는 증가한다.

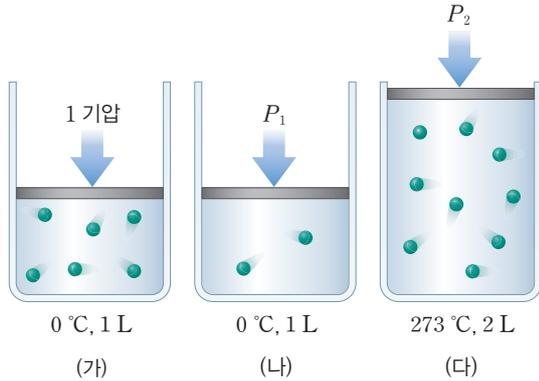


단원 마무리

기초 개념 적용하기

기체 법칙

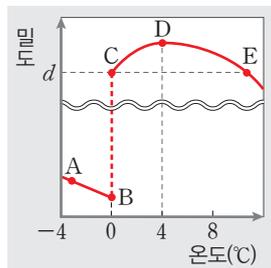
1 그림은 3개의 실린더에 헬륨(He) 기체가 각각 들어 있는 모습을 모형으로 나타낸 것이다.



(나)와 (다)에서 헬륨 기체에 작용하는 압력 P_1 과 P_2 를 각각 구해 보자. (단, 피스톤의 무게와 마찰은 무시한다.)

물의 밀도 변화

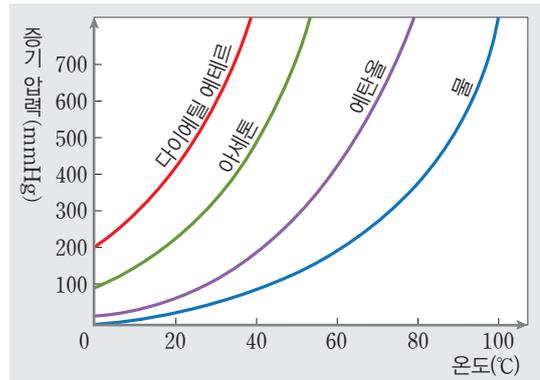
2 그림은 물의 온도에 따른 밀도를 나타낸 것이다. 옳은 설명에는 ○표, 옳지 않은 설명에는 ×표를 해 보자.



- (1) A → B로 변할 때 분자 운동이 더 활발해진다. ()
- (2) B → C로 변할 때 수소 결합의 수는 증가한다. ()
- (3) 같은 질량의 물의 부피는 D에서 가장 크다. ()
- (4) 물의 평균 분자 운동 에너지는 $E > C$ 이다. ()

액체의 증기 압력

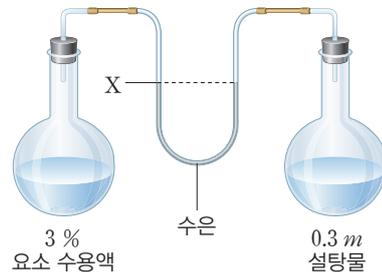
3 그림은 몇 가지 물질의 증기 압력 곡선을 나타낸 것이다.



- (1) 압력이 일정할 때 끓는점이 가장 높은 물질은 무엇인가?
- (2) 온도가 일정할 때 아세톤과 에탄올의 증기 압력을 비교하고, 그 까닭을 분자 사이의 인력으로 설명해 보자.

용액의 농도와 증기 압력

4 그림과 같이 3% 요소 수용액과 0.3 m 설탕물을 같은 크기의 플라스크에 넣고 수은이 들어 있는 U자관으로 연결하였다. 이 실험 결과를 옳게 설명한 말을 괄호 안에서 골라 보자. (단, 요소의 분자량은 60이다.)

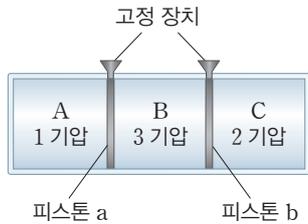


요소 수용액의 몰랄 농도는 설탕물의 농도인 0.3 m 보다 (크고, 작고), 요소 수용액 쪽의 수은의 높이인 X점은 (위쪽, 아래쪽)으로 이동한다.

개념 응용력 키우기

기체 법칙

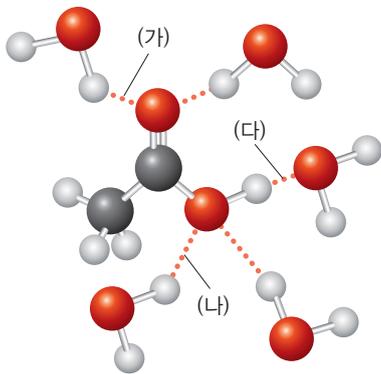
5 그림은 피스톤으로 분리된 같은 부피의 용기에 같은 질량의 기체 A~C를 넣은 것을 나타낸 것이다. (단, 온도는 일정하며, 피스톤의 마찰은 무시한다.)



- (1) 기체 A, B, C의 몰비를 구해 보자.
- (2) 기체 A, B, C의 분자량의 비를 구해 보자.
- (3) 고정 장치를 풀고 시간이 흘러 피스톤이 멈추었을 때, 피스톤 a, b는 처음 위치에서 각각 어느 쪽으로 이동했는지 설명해 보자.

수소 결합

6 그림은 아세트산(CH_3COOH) 수용액에 들어 있는 분자들 사이의 힘을 나타낸 것이다.

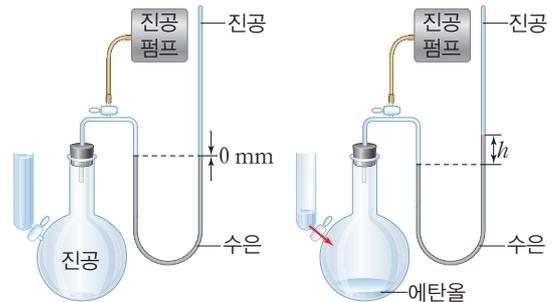


〈보기〉에서 옳은 것을 모두 골라 보자.

- 보기 •
- ㄱ. 아세트산은 극성 분자이다.
 - ㄴ. (가), (나), (다)는 수소 결합이다.
 - ㄷ. 아세트산은 노말부테인(C_4H_{10})보다 끓는점이 높다.

액체의 증기 압력

7 그림은 에탄올의 증기 압력을 측정하는 과정을 나타낸 것이다.



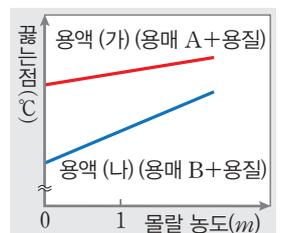
플라스크 내부의 공기를 진공 펌프로 빨아내 진공 상태로 만든다.

플라스크에 에탄올을 소량 넣으면 에탄올이 증발하여 수은 기둥을 밀어낸다.

- (1) 플라스크 내부를 진공 상태로 만드는 까닭은 무엇인가?
- (2) 다이에틸 에테르를 넣는다면 h 는 어떻게 달라질지 예상해 보고, 그 까닭을 설명해 보자. (단, 온도는 일정하다.)

끓는점 오름

8 용액 (가)와 (나)는 용매 A와 B에 각각 비휘발성, 비전해질인 용질을 녹인 것이다. 그림은 각 용액의 농도를 변화시키면서 일정한 압력에서 끓는점을 측정하여 나타낸 것이다. 〈보기〉에서 옳은 것을 모두 골라 보자.



- 보기 •
- ㄱ. 용매 A, B에서 몰랄 오름 상수는 A가 더 크다.
 - ㄴ. 용매 A, B 가운데 같은 온도에서의 증기 압력은 B가 더 크다.
 - ㄷ. 그래프의 기울기가 다른 까닭은 용질의 종류가 다르기 때문이다.



핵심역량 키우기

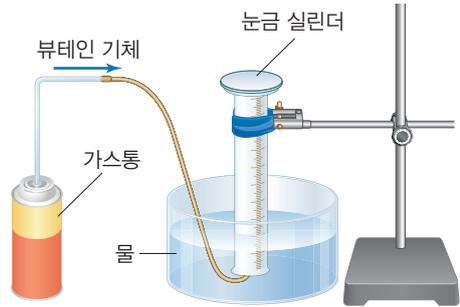
과학적 탐구 능력

+ 과학적 사고력

기체 p. 11~23

9 다음은 부테인의 분자량을 구하는 실험 과정을 나타낸 것이다.

- 1 부테인 가스통의 질량(w_1)을 측정한다.
- 2 오른쪽 그림과 같이 눈금 실린더에 물을 가득 채워 수조에 거꾸로 세운 뒤 부테인 기체를 모은다.
- 3 기체가 모이면 눈금 실린더와 수조의 수면 높이가 같아지도록 한 뒤 기체의 부피(V)를 측정한다.
- 4 부테인 가스통의 질량(w_2)을 다시 측정한다.
- 5 실험실의 온도(t)와 대기압(P_1)을 측정한다.
- 6 실험실 온도에서의 물의 수증기압(P_2)을 조사한다.



- (1) 과정 3과 같이 눈금 실린더와 수조의 수면 높이를 맞추어야 하는 까닭을 설명해 보자.
- (2) 눈금 실린더에 모인 부테인 기체의 압력을 구해 보자.
- (3) 실험에서 얻은 값을 이용하여 부테인의 분자량(M)을 구하는 식을 써 보자. (단, 기체 상수는 R 이며, 부피, 질량, 온도, 압력의 측정 단위는 각각 mL, g, °C, 기압이다.)

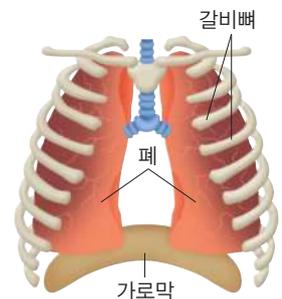
과학적 참여와 평생 학습 능력

+ 과학적 의사소통 능력

보일 법칙 p. 14~15

10 다음은 호흡의 원리를 설명한 글이다.

우리가 숨을 들이쉬고 내쉬는 과정에는 보일 법칙이 적용된다. 숨을 들이쉬는 때는 가로막이 아래로 내려가고 갈비뼈가 위로 올라간다. 이렇게 가슴통이 넓어지면 폐 속의 기압이 낮아져 외부 공기가 폐 속으로 들어오게 된다. 반대로 숨을 내쉬는 때는 가로막이 올라가고 갈비뼈가 내려와 가슴통이 좁아지고 폐 안의 공기가 밖으로 나가게 된다.



흉부에 심한 압박이 가해져 늘리면 기도는 열려 있지만 가슴이 상하 운동을 하지 못해 호흡이 불가능해진다. 이런 상태가 지속되면 산소 부족으로 사망하게 되는데, 이것을 외상성 질식사라고 한다. 관련 기사를 검색해 보고, 외상성 질식사의 원인과 예방법을 호흡의 원리와 연관 지어 홍보하는 글을 써 보자.

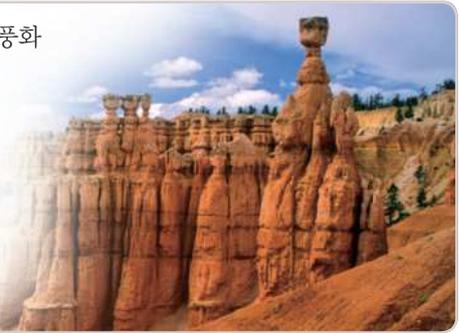
과학적 의사소통 능력

⊕ 과학적 사고력

수소 결합과 물의 성질
p. 31~36

11 다음은 미국의 브라이스캐니언(Bryce Canyon) 국립 공원을 설명한 글이다.

브라이스캐니언의 신비롭고 아름다운 풍경은 풍화 작용으로 만들어졌다. 이 지역은 1년에 180 일 이상 낮에는 온도가 영상이었다가 밤이 되면 영하로 떨어진다. 암석에 스며든 물이 얼었다 녹기를 반복하면서 암석의 틈이 넓어지는 얼음의 썩기 작용으로 풍화가 매우 활발하게 진행되고 있다.



- (1) 브라이스캐니언의 풍화 과정을 물의 수소 결합과 관련지어 설명해 보자.
- (2) 브라이스캐니언처럼 물의 수소 결합에 관련된 신비로운 자연의 현상을 찾아 발표해 보자.

과학적 사고력

⊕ 과학적 문제 해결력

묽은 용액의 성질
p. 53~57

12 철수는 제설제로 사용할 수 있는 몇 가지 물질의 화학식, 화학식량, 100 g당 가격을 조사하였다.

물질	화학식	화학식량	100 g당 가격(원)
포도당	$C_6H_{12}O_6$	180	280
소금	$NaCl$	58,5	256
요소	$(NH_2)_2CO$	60	170
염화 칼슘	$CaCl_2$	111	180
질산 알루미늄	$Al(NO_3)_3$	213	290

- (1) 제설제로 사용하기에 가장 경제적인 물질을 고르고, 그 까닭을 설명해 보자.
- (2) 제설제로 적합한 물질을 선택하려면 무엇을 더 조사해야 하는지 토의해 보자.

스스로 정리하기

이 단원을 공부하는 동안 어렵거나 잘 이해되지 않았던 내용을 써 보자.

.....

위에 쓴 내용이 교과서 몇 페이지에 있는지 찾아서 정리해 보자.

.....

정리한 내용을 바탕으로 하여 문제를 만들어 보자.

.....

만든 문제를 짝과 바꾸어서 풀어 보자.

.....

생명 빨대와 적정 기술

우리는 목이 마를 때 손쉽게 마실 물을 구할 수 있다. 그러나 아이들이 깨끗한 물을 구할 수 없어 오염된 물을 마시고 각종 감염병에 걸려 죽어가는 지역도 있다. 이처럼 안타까운 일을 줄이려고 생명 빨대(life straw)가 개발되었다. 생명 빨대는 깨끗한 물을 마실 수 있게 해 주는 정수기와 같은 도구이다. 간편하게 목에 걸고 다니다가 언제 어디서든 물을 마실 때 빨대처럼 물에 대고 빨아들이거나, 물통에 연결하여 정수된 물을 받을 수 있다.

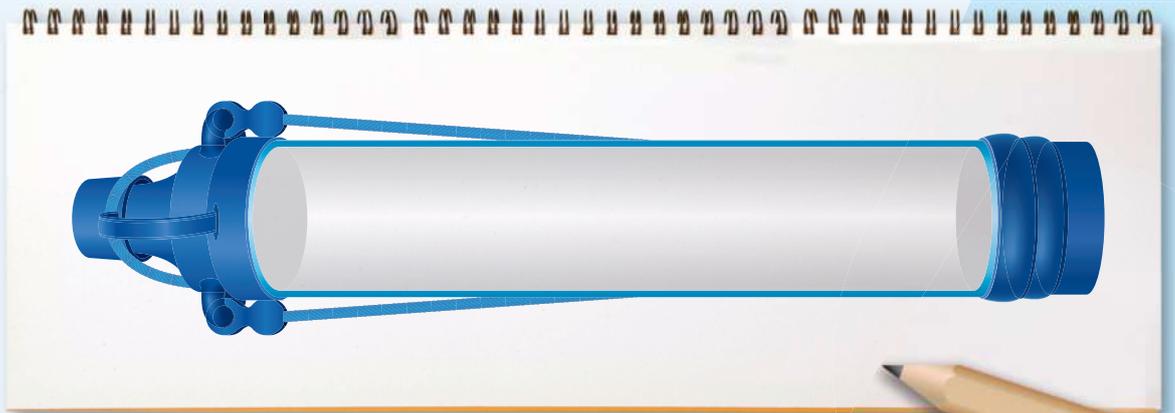
또한 정수 장치가 내장된 라이프 세이버 물병(life saver bottle)은 깨끗한 물을 구하기 어려운 재해 발생 지역에서 사람들에게 안전한 식수를 공급한다.

생명 빨대나 라이프 세이버 물병과 같이 화려한 첨단 기술이 반영되지 않더라도 해당 지역의 환경, 문화, 사회적 여건을 고려하여 개발된 기술이나 제품을 적정 기술(appropriate technology)이라고 한다.



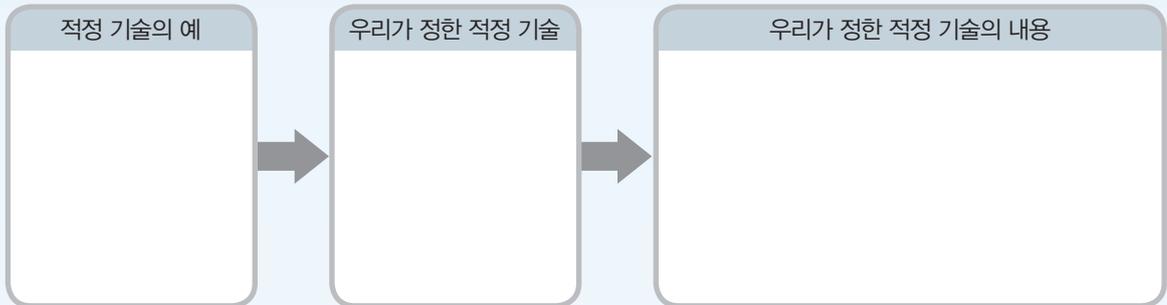
활동 1 생명 빨대의 구조

생명 빨대는 어떤 구조일까? 생명 빨대의 내부 구조를 조사하여 그려 보고, 각 부분의 역할을 설명해 보자.



활동 2 적정 기술 조사하기

1 적정 기술의 예를 조사하고, 한 가지를 정하여 발표해 보자.



2 적정 기술에서 가장 중요시해야 할 점은 무엇인지 정리하고, 토의해 보자.



■ 이 단원과 연계된 학습 내용을 알아봅시다.

중학교 과학

■ 화학 반응의 규칙성과 에너지 변화

통합과학

■ 화학 변화

화학 I

■ 역동적인 화학 반응

화학 II

■ 반응엔탈피와 화학 평형



II

반응엔탈피와 화학 평형

운동 선수가 격렬한 운동을 할 때 근육에는 많은 양의 산소가 필요하다. 산소가 근육에 운반되는 과정은 헤모글로빈과 산소 사이의 화학 평형과 관계가 있다. 이 단원에서는 화학 평형의 원리가 생체 내에서 일어나는 다양한 반응들과 어떻게 연관되어 있는지 살펴보자.

1. 반응엔탈피

2. 화학 평형

3. 산 염기 평형

■ 이 단원의 주요 핵심 역량을 알아봅시다.



과학적 사고력

반응 경로에 관계없이 엔탈피 변화량이 일정함을 실험이나 예로 이해할 수 있다.



과학적 탐구 능력

농도, 압력, 온도 변화에 따른 화학 평형 이동을 알 수 있는 실험을 수행할 수 있다.



과학적 문제 해결력

화학 평형 이동의 원리를 실생활의 예를 들어 설명할 수 있다.



과학적 의사소통 능력

생체 내 완충 용액의 역할과 완충 작용의 예를 조사하여 발표할 수 있다.



과학적 참여와 평생 학습 능력

화학 반응과 에너지의 관계를 이해하며 지속적으로 이용이 가능한 에너지의 필요성을 설명할 수 있다.



반응엔탈피

- 01. 엔탈피와 열화학 반응식
- 02. 결합 에너지와 헤스 법칙

열을 방출하는 성냥의 연소 반응



이 단원의 주요 개념

01

엔탈피와 열화학 반응식 (p.75~78)

- 엔탈피
- 열화학 반응식
- 열화학 반응식을 엔탈피를 이용하여 어떻게 나타낼 수 있을까?

02

결합 에너지와 헤스 법칙 (p.79~85)

- 결합 에너지
- 헤스 법칙
- 엔탈피와 결합 에너지는 어떤 관계가 있을까?
- 반응 경로에 따라 반응엔탈피는 어떻게 변할까?



나의 학습 준비 - 알고 있는 용어를 표시해 보자.

- 화학 반응 열 발열 반응 흡열 반응
 결합 에너지



나의 학습 계획

- 이 단원에서 배우게 될 내용 가운데 내가 알고 싶거나 궁금한 것을 적어 보자.

.....

.....

.....

01

엔탈피와 열화학 반응식

- 엔탈피를 정의하고 화학 반응에서 방출하거나 흡수하는 열을 엔탈피 변화로 설명할 수 있다.
- 엔탈피를 이용하여 열화학 반응식을 표현할 수 있다.

생각 열기

손난로는 겨울철 야외 활동을 할 때 차가워진 손을 따뜻하게 데워 준다. 냉각 팩을 이용하면 삐거나 아픈 부위를 차게 하여 통증을 줄일 수 있다.

☞ 손난로와 냉각 팩으로 손을 데우거나 아픈 부위를 차게 할 수 있는 까닭은 무엇일까?



1 엔탈피

손난로는 물질들이 반응할 때 방출하는 열을 이용하여 손을 따뜻하게 데우고, 냉각 팩은 물질들이 반응할 때 주위에서 열을 흡수하는 성질을 이용한다. 이처럼 우리 주위에서 일어나는 화학 반응 가운데 열을 방출하는 화학 반응을 **발열 반응**, 열을 흡수하는 화학 반응을 **흡열 반응**이라고 한다. 발열 반응이 일어나면 주위의 온도가 높아지고 흡열 반응이 일어나면 주위의 온도가 낮아진다.

🔗 연계 학습

발열 반응, 흡열 반응

▶ 통합과학, IV 화학 변화 / 화학 I, IV-2 산화 환원 반응

발열 반응



도시가스의 주성분인 메테인(CH_4)의 연소 반응은 발열 반응이다.



철의 부식은 철이 산소와 반응하여 산화철(III)로 변하는 과정으로 발열 반응이다.

📖 철의 산화와 손난로

철의 부식은 철이 느리게 산화되는 과정이다. 반면 손난로는 입자가 작은 철가루를 사용하여 산소와 접촉하는 면적이 넓기 때문에 산화가 빠르게 일어난다. 함께 들어 있는 소금이나 활성탄은 산화 반응이 빠르게 일어나도록 돕는다.

흡열 반응



수산화 암모늄과 염화 바륨의 반응은 흡열 반응이다. 플라스크와 나무판 사이에 물을 적셔 놓으면 물이 얼어 나무판을 들어 올릴 수 있다.



제빵 소다의 성분인 탄산수소 나트륨(NaHCO_3)이 분해되는 반응은 흡열 반응이다. 분해될 때 생성되는 이산화탄소 때문에 빵이 부풀다.

그림 II-1 발열 반응과 흡열 반응의 예

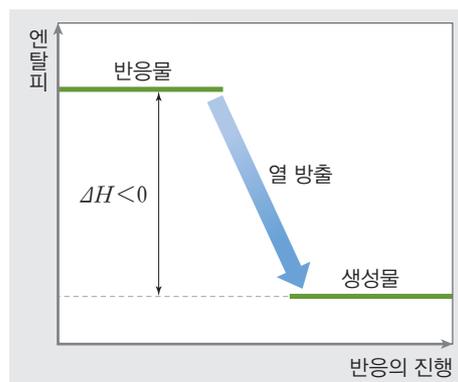
화학 반응에서 열을 방출하거나 흡수하는 것은 반응물과 생성물이 가진 에너지의 양이 다르기 때문이다. 물질은 핵에너지, 전자와 핵 사이의 에너지, 원자 사이의 결합 에너지, 분자의 운동 에너지 등 여러 종류의 에너지를 가지고 있다. 일정한 압력에서 어떤 물질이 가지는 고유한 에너지를 **엔탈피(H)**라고 한다. 일정한 압력에서 화학 반응이 일어날 때, 반응물이 가진 엔탈피의 합과 생성물이 가진 엔탈피의 합이 다르기 때문에 그 차이만큼 열이 방출되거나 흡수된다.

어떤 물질의 엔탈피를 정확히 측정하기는 어렵지만 화학 반응이 일어날 때의 엔탈피 변화는 출입하는 열에너지를 측정하여 알 수 있다. 일정한 압력에서 화학 반응이 일어날 때의 엔탈피 변화를 **반응엔탈피(ΔH)**라고 하며, 다음과 같이 나타낸다.

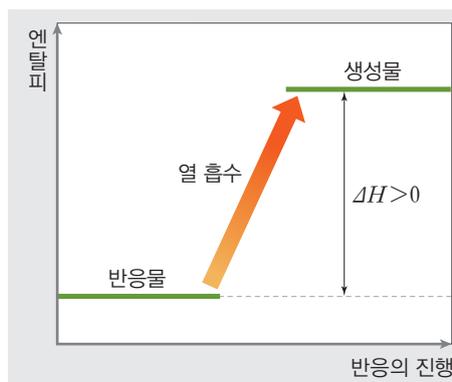
$$\text{반응엔탈피}(\Delta H) = \text{생성물의 엔탈피 합} - \text{반응물의 엔탈피 합}$$

그림 II-2와 같이 화학 반응에서 생성물의 엔탈피가 반응물의 엔탈피보다 작으면 엔탈피 차이만큼의 열을 주위로 방출하는 발열 반응이 일어난다. 반대로 생성물의 엔탈피가 반응물의 엔탈피보다 크면 주위에서 열을 흡수하는 흡열 반응이 일어난다.

엔탈피(enthalpy)는 그리스어의 'enthalpo(뜨겁다)'에서 유래되었어.



▲ 발열 반응



▲ 흡열 반응

그림 II-2 발열 반응과 흡열 반응에서의 반응엔탈피

발열 반응에서는 엔탈피가 감소하므로 반응엔탈피의 부호가 (-)이고, 흡열 반응에서는 엔탈피가 증가하므로 반응엔탈피의 부호가 (+)이다.

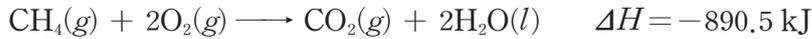
$$\text{발열 반응: } H_{\text{생성물}} < H_{\text{반응물}} \rightarrow \Delta H < 0$$

$$\text{흡열 반응: } H_{\text{생성물}} > H_{\text{반응물}} \rightarrow \Delta H > 0$$

? 메테인(CH_4) 1몰이 연소하면 891 kJ의 열을 방출한다. 메테인의 연소 반응을 화학 반응식으로 쓰고, 이 반응의 엔탈피 변화를 그림 II-2와 같이 나타내 보자.

2 열화학 반응식

어떤 화학 반응의 반응엔탈피를 알면 반응물과 생성물의 에너지 관계나 화학 반응에서 출입하는 열의 양과 같은 정보를 얻을 수 있다. 화학 반응식에 반응엔탈피를 함께 나타낸 것을 **열화학 반응식**이라고 한다. 발열 반응인 메테인의 연소 반응을 열화학 반응식으로 나타내면 다음과 같다.



반응엔탈피의 부호가 (-)이므로 이 반응은 발열 반응이고, 메테인 1몰이 연소할 때 890.5 kJ의 열을 방출한다는 것을 알 수 있다.

탄산 칼슘의 열분해 반응을 나타내는 열화학 반응식에서는 반응엔탈피의 부호가 (+)이므로 흡열 반응이고, 탄산 칼슘 1몰이 분해될 때 179.2 kJ의 열을 흡수한다는 것을 알 수 있다.



엔탈피는 물질의 상태, 온도와 압력, 물질의 양에 따라 달라지므로 열화학 반응식을 나타낼 때는 다음과 같은 점에 유의해야 한다.

표준 상태

엔탈피는 온도와 압력에 따라 달라지므로 기준이 되는 온도와 압력이 필요하다. 이를 표준 상태라고 하며 일반적으로 25 °C, 1 기압을 말한다.

물질의 상태

엔탈피는 물질의 상태에 따라 달라지므로 열화학 반응식에는 반드시 물질의 상태를 함께 나타낸다.
고체: (s), 액체: (l), 기체: (g), 수용액: (aq)

$$\text{H}_2(g) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(l) \quad \Delta H = -285.8 \text{ kJ}$$

물질의 양

엔탈피는 물질의 양에 비례한다. 따라서 화학 반응식의 계수가 변하면 엔탈피도 변한다.
 $2\text{H}_2(g) + \text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(l) \quad \Delta H = -571.6 \text{ kJ}$

역반응의 반응엔탈피

역반응의 ΔH 는 정반응의 ΔH 와 절댓값은 같고 부호는 반대이다.
 $\text{H}_2\text{O}(l) \longrightarrow \text{H}_2(g) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g) \quad \Delta H = 285.8 \text{ kJ}$

? 탄소가 연소하여 이산화 탄소 기체 1몰이 생성될 때 393 kJ의 열을 방출한다. 이 반응을 열화학 반응식으로 나타내 보자.



ΔH_f° 에서 위 첨자 '°'는 표준 상태를, 아래 첨자 'f'는 '생성(formation)'을 뜻해.

표 II-1 몇 가지 화학 반응의 열화학 반응식

화학 반응	열화학 반응식
메테인의 생성 반응	$C(s, \text{흑연}) + 2H_2(g) \longrightarrow CH_4(g) \quad \Delta H_f^\circ = -74.6 \text{ kJ}$
프로페인의 연소 반응	$C_3H_8(g) + 5O_2(g) \longrightarrow 3CO_2(g) + 4H_2O(l) \quad \Delta H = -2220 \text{ kJ}$
염산과 수산화 나트륨 수용액의 중화 반응	$HCl(aq) + NaOH(aq) \longrightarrow NaCl(aq) + H_2O(l) \quad \Delta H = -55.8 \text{ kJ}$
염화 칼슘의 용해 반응	$CaCl_2(s) \longrightarrow CaCl_2(aq) \quad \Delta H = -81.7 \text{ kJ}$

(출처) Haynes, 『CRC handbook of chemistry and physics』, 2016.

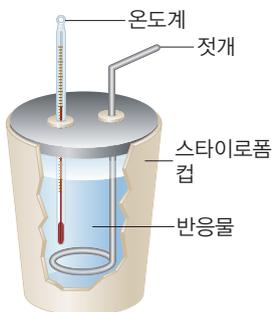


그림 II-3 간이 열량계의 구조

메테인의 생성 반응과 같이 표준 상태에서 어떤 물질 1몰이 성분 원소의 가장 안정한 원소 물질로부터 생성될 때의 반응엔탈피를 **표준 생성 엔탈피**라고 하고 ΔH_f° 로 나타낸다.

반응엔탈피는 **열량계**를 이용하여 측정할 수 있다. 스타이로폼 용기를 사용하는 간이 열량계로 기체가 발생하지 않는 반응의 반응엔탈피를 간단히 측정할 수 있다. 열량계와 외부 사이의 열 출입이 없다면 반응 과정에서 발생한 열량은 용액이 얻은 열량(Q)과 같으며 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Q = c \times m \times \Delta t$$

(c: 용액의 비열, m: 용액의 질량, Δt : 온도 변화)

비열

물질 1 g의 온도를 1 °C 올릴 때 필요한 열의 양으로 물의 비열은 4.18 J/(g·°C)이다.

간이 열량계는 간단하고 사용하기 쉽지만 열 손실이 크기 때문에 반응할 때의 열을 정확하게 측정하기 어려운 단점이 있다.

▶ 생각 넓히기 간이 열량계에 증류수 100 g을 넣은 뒤 염화 칼슘(CaCl₂) 10 g을 녹였더니 용액의 온도가 15 °C 높아졌다. 염화 칼슘이 용해될 때의 반응엔탈피를 구해 보자. (단, 염화 칼슘의 화학식은 111이고, 용액의 비열은 4.2 J/(g·°C)라고 가정한다.)

평가하기

- 1 암모니아 생성 반응의 열화학 반응식은 다음과 같다.



반응물의 엔탈피 합과 생성물의 엔탈피 합의 크기를 비교해 보자.

- 2 물(H₂O(l))의 표준 생성 엔탈피(ΔH_f°)는 -285.8 kJ/mol이다. 물의 생성 반응을 열화학 반응식으로 나타내 보자.

02

결합 에너지와 헤스 법칙

- 엔탈피 변화와 결합 에너지의 관계를 설명할 수 있다.
- 화학 반응에서 엔탈피 변화의 총합은 반응 경로에 관계없이 일정함을 설명할 수 있다.



생각 열기

등산로 입구의 등산 안내도를 보면 정상으로 가는 여러 가지 등산로가 있다. 사람들은 각자 원하는 등산로를 선택해서 정상에 도달할 수 있다.

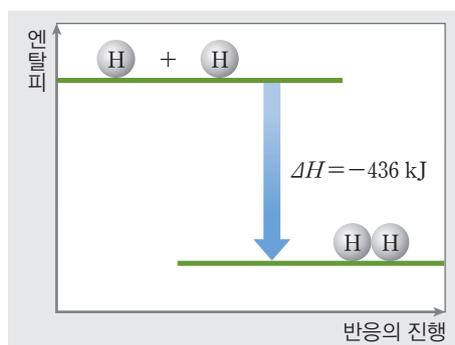
Q 같은 지점에서 출발한 뒤 서로 다른 등산로를 거쳐 정상까지 올라갈 때 정상까지의 높이는 차이가 있을까?

1 결합 에너지와 반응엔탈피

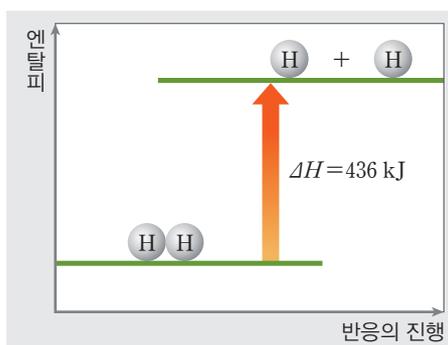
화학 반응은 반응물이 생성물로 변하는 과정으로, 반응물을 이루는 원자 사이의 결합이 끊어지고 원자들이 다시 배열되어 새로운 결합이 형성된다. 결합이 끊어지거나 형성될 때 엔탈피는 어떻게 변할까?

두 개의 수소 원자(H)가 공유 결합을 하여 수소 분자(H₂)를 형성하면 핵과 전자 사이의 인력으로 각각의 원자 상태보다 안정해진다. 즉, 원자의 엔탈피 합보다 분자의 엔탈피가 더 낮다. 따라서 수소 분자가 형성될 때는 그림 II-4의 (가)와 같이 엔탈피의 차이만큼 에너지를 방출한다. 반대로 수소 분자에서 원자 사이의 결합을 끊으려면 (나)와 같이 에너지를 흡수해야 한다.

연계 학습
공유 결합 ▶ 화학 I, III-1 화학 결합



(가) 결합이 형성될 때



(나) 결합이 끊어질 때

그림 II-4 결합이 형성될 때와 끊어질 때의 엔탈피 변화

기체 상태에서 두 원자 사이의 공유 결합 1몰을 끊는 데 필요한 에너지를 **결합 에너지**라고 한다. H₂는 분자 1몰의 결합을 끊는 데 436 kJ의 에너지가 필요하므로 H-H의 결합 에너지는 436 kJ/mol이다.



📖 평균 결합 에너지

다원자 분자에서 원자 사이의 결합 에너지는 주변 환경에 따라 다르다. 따라서 다양한 분자 내에서의 결합 에너지 값을 측정하여 이를 평균한 평균 결합 에너지를 사용한다.

결합을 끊으려면 에너지를 흡수해야 하므로 결합 에너지는 항상 양(+)의 값이다. 화합물의 종류가 달라도 같은 원자로 이루어진 결합은 결합 에너지가 서로 비슷하다. 예를 들어 에테인(CH₃CH₃)과 프로페인(CH₃CH₂CH₃)에서 C-C 결합의 결합 에너지는 같지는 않지만 비슷하다. 표 II-2는 여러 가지 결합의 평균 결합 에너지를 나타낸 것이다.

표 II-2 원자 사이의 평균 결합 에너지

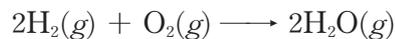
(단위: kJ/mol)

결합	결합 에너지	결합	결합 에너지	결합	결합 에너지	결합	결합 에너지
H-H	436	C-C	350	N-F	270	C=O	732
H-C	410	C-F	450	N-Cl	200	C=C	611
H-F	570	C-Cl	330	N-Br	240	C≡C	835
H-Cl	431	C-Br	270	N-O	200	O=O	498
H-Br	366	C-I	240	O-O	180	N≡N	945
H-I	298	C-N	300	O-F	180	F-F	159
H-N	390	C-O	350	O-Cl	200	Cl-Cl	242
H-O	460	C-S	260	O-Br	210	Br-Br	194
H-S	340	N-N	240	S-S	225	I-I	152

〈출처〉 Haynes, 『CRC handbook of chemistry and physics』, 2016.

🗨️ 생각 넓히기 표 II-2에서 C-F, C-Cl, C-Br의 평균 결합 에너지를 비교하고, 값이 다른 까닭을 설명해 보자.

결합 에너지와 반응엔탈피의 관계를 수소와 산소가 반응하여 수증기가 생성되는 반응으로 알아보자.



이 반응이 일어나려면 2개의 H-H 결합과 1개의 O=O 결합이 끊어지고, 그 결과 생성된 4개의 수소 원자와 2개의 산소 원자가 재배열되어 4개의 O-H 결합이 새로 형성되어야 한다. 이 과정을 모형으로 나타내면 다음과 같다.

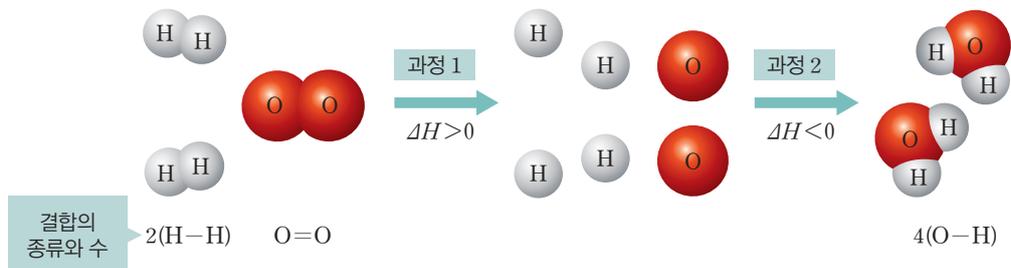
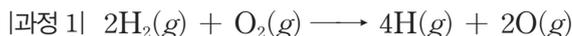


그림 II-5 수소와 산소가 반응하여 수증기를 만드는 반응의 모형

두 과정을 화학 반응식으로 나타내면 다음과 같다.



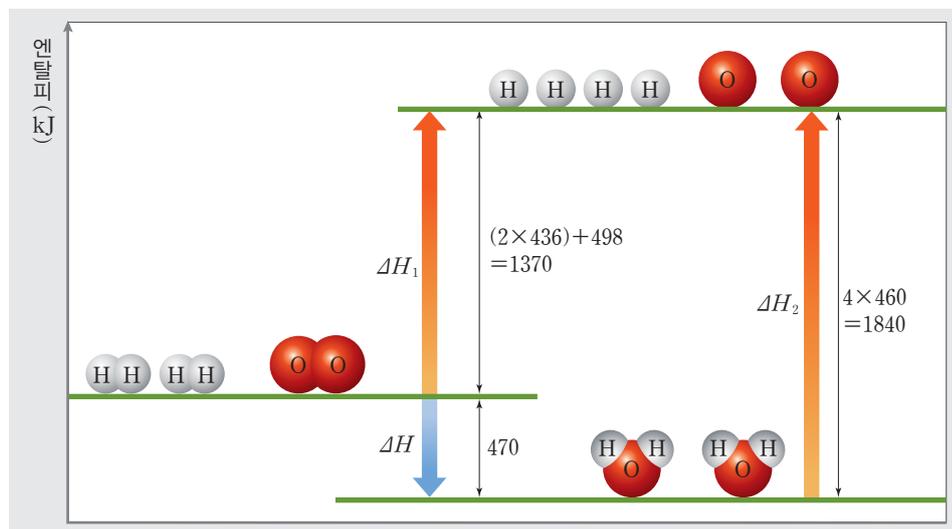
과정 1은 반응물의 모든 결합이 끊어지는 반응으로 이때의 엔탈피 변화는 반응물의 결합 에너지의 합과 같다. 과정 2는 생성물의 모든 결합이 끊어지는 반응의 역반응과 같고, 이때의 엔탈피 변화는 생성물의 결합 에너지의 합과 크기는 같고 부호가 반대이다. 전체 반응은 과정 1과 과정 2의 합이므로 전체 반응의 엔탈피 변화(ΔH)는 과정 1과 과정 2의 엔탈피 변화의 합에서 구할 수 있다. 일반적으로 반응엔탈피는 반응물과 생성물의 결합 에너지를 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

📖 결합 에너지를 이용한 반응 엔탈피 계산
반응물이나 생성물에 다원자 분자가 포함될 때 이 분자에 들어 있는 결합의 결합 에너지는 평균 결합 에너지이다. 따라서 이를 이용하여 구한 반응엔탈피는 근삿값이다.

반응엔탈피(ΔH) \approx 반응물의 결합 에너지 합 - 생성물의 결합 에너지 합

표 II-2의 값을 이용하면 수소와 산소가 반응하여 수증기가 생성되는 반응의 반응엔탈피를 다음과 같이 구할 수 있고, 그림으로 나타내면 그림 II-6과 같다.

$$\begin{aligned} \Delta H &\approx \text{반응물의 결합 에너지 합} - \text{생성물의 결합 에너지 합} \\ &= \{2 \times (\text{H}-\text{H} \text{ 결합 에너지}) + (\text{O}=\text{O} \text{ 결합 에너지})\} \\ &\quad - 4 \times (\text{O}-\text{H} \text{ 결합 에너지}) \\ &= (2 \times 436 + 498) - 4 \times 460 = -470 \text{ kJ} \end{aligned}$$



ΔH_1 : 반응물의 결합 에너지의 합
 ΔH_2 : 생성물의 결합 에너지의 합
 $\Delta H = \Delta H_1 - \Delta H_2$

그림 II-6 $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 반응의 엔탈피 변화

? 표 II-2를 이용하여 메테인의 연소 반응의 반응엔탈피를 구해 보자.

2 헤스 법칙

등산을 할 때 출발점에서 산 정상에 오르는 경로는 다양하지만 출발점과 정상의 높이 차는 일정하다. 화학 반응도 여러 가지 경로로 일어날 수 있다. 반응물과 생성물은 같지만 반응 경로가 다를 때 반응엔탈피에는 차이가 있을까?



반응 경로에 따른 반응엔탈피 측정



준비물

1 M 염산(HCl(aq)), 수산화 나트륨(NaOH), 증류수, 간이 열량계, 눈금 실린더, 약숟가락, 시약포지, 전자 저울, 실험용 장갑, 보안경

주의 사항

- 수산화 나트륨은 공기 중의 수분을 흡수하므로 질량을 가 능하면 빨리 측정한다.
- 용액이 피부에 닿지 않게 한다.
- 온도를 측정할 때 용액을 젓 개로 잘 저어 주어야 한다.
- 염산과 수산화 나트륨이 반응 할 때 중화열이 많이 발생하 므로 주의한다.



과정

[실험 1]

- 1 간이 열량계에 증류수 100 g을 넣고 온도 (T_1)를 측정한다. NaOH 4.0 g을 넣고 녹인 뒤 최고 온도(T_2)를 기록한다.
- 2 실온에서 식혀 온도(T_3)를 측정한다. 용액 속에 1 M HCl(aq) 100 g을 넣고 섞은 뒤 최고 온도(T_4)를 기록한다.



[실험 2]

- 1 간이 열량계에 증류수 100 g과 1 M HCl(aq) 100 g을 넣고 섞은 뒤 온도(T_5)를 측정한다.
- 2 NaOH 4.0 g을 넣고 잘 저어 주면서 녹인 뒤 최고 온도(T_6)를 기록한다.



결과 및 정리

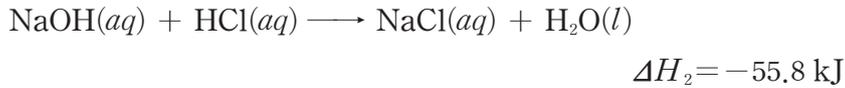
- 1 각 실험에서 측정한 온도를 기록해 보자.

실험 1				실험 2	
T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6

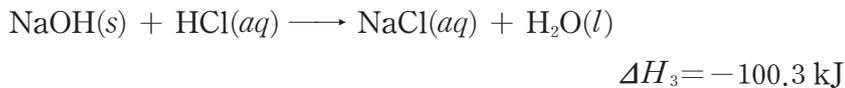
- 2 [실험 1]과 [실험 2]에서의 반응을 화학 반응식으로 나타내 보자.
- 3 측정한 온도 변화를 이용하여 각 실험에서의 반응엔탈피(kJ/mol)를 구해 보자. (단, 모든 수 용액의 비열은 $4.2 \text{ J}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$ 라고 가정하며, NaOH의 화학식량은 40이다.)
- 4 두 실험의 반응엔탈피를 비교해 보고, 결과가 무엇을 뜻하는지 토의해 보자.

수산화 나트륨, 물, 염산이 반응하여 염화 나트륨 수용액이 생성되는 반응은 다음과 같은 두 가지 경로로 일어날 수 있다.

경로 1 | 수산화 나트륨이 물에 녹아 수산화 나트륨 수용액이 되고, 이 수용액이 염산과 반응할 때



경로 2 | 수산화 나트륨 고체를 직접 염산에 녹일 때



이때 |경로 1|의 두 반응을 합하면 |경로 2|의 반응과 같다. 각각의 반응엔탈피 사이에는 다음과 같은 관계가 성립하고, 그림 II-7과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta H_1 + \Delta H_2 = \Delta H_3$$

이처럼 화학 반응에서 반응물의 종류와 상태, 생성물의 종류와 상태가 같으면 반응 경로에 관계없이 엔탈피 변화의 합은 일정하다. 이를 **헤스 법칙** 또는 **총열량 불변 법칙**이라고 한다.



그림 II-8 헤스(Hess, G. H., 1802~1850) 스위스의 화학자이자 의사. 열역학에 관한 연구를 하였으며, 반응엔탈피를 체계적으로 측정하여 헤스 법칙을 제시하였다.

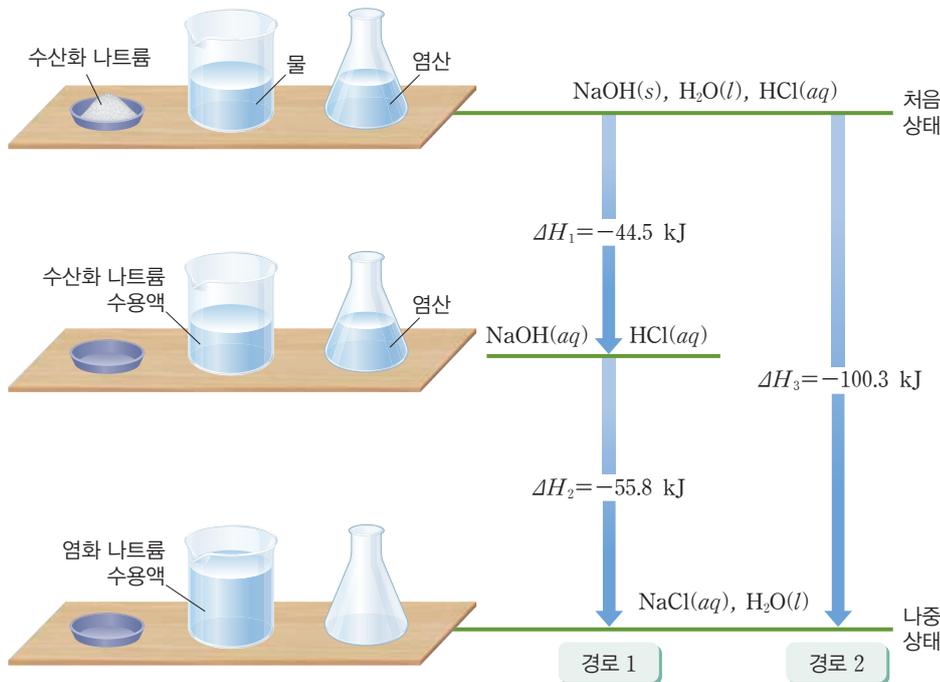


그림 II-7 수산화 나트륨, 물, 염산의 반응에서 반응 경로에 따른 에너지 변화

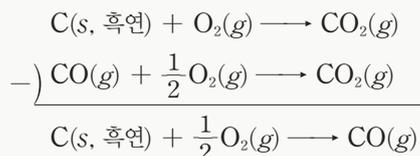
헤스 법칙을 이용하면 반응엔탈피를 알고 있는 반응을 이용하여 직접 측정하기 어려운 반응의 반응엔탈피를 구할 수 있다. 탄소가 불완전 연소하여 일산화 탄소(CO)가 될 때의 반응엔탈피는 측정하기 어렵다. 탄소가 연소하면 대부분 이산화 탄소(CO₂)가 되기 때문이다. 하지만 탄소가 연소하여 이산화 탄소를 생성할 때의 반응엔탈피와 일산화 탄소가 연소하여 이산화 탄소를 생성할 때의 반응엔탈피는 측정할 수 있으므로, 이를 이용하여 일산화 탄소의 생성 엔탈피를 구할 수 있다.



예제 · · 다음 열화학 반응식을 이용하여 탄소가 불완전 연소하여 일산화 탄소가 되는 반응의 반응엔탈피를 구해 보자.

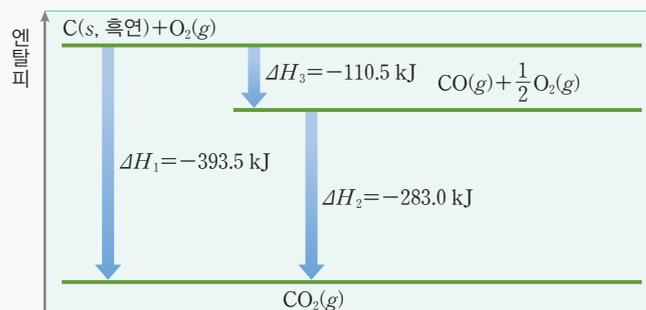


풀이 · · 단계 1 반응식 ①, ②를 이용하여 반응식 ③을 만든다. (③=①-②)

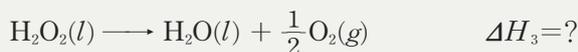
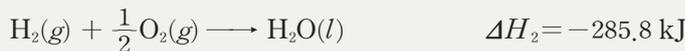


단계 2 반응식 사이의 관계(③=①-②)를 이용하여 반응엔탈피를 구한다.

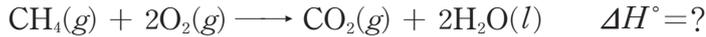
$$\Delta H_3 = \Delta H_1 - \Delta H_2 = -393.5 \text{ kJ} - (-283.0 \text{ kJ}) = -110.5 \text{ kJ}$$



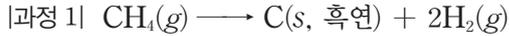
유제 · · 다음 열화학 반응식을 이용하여 과산화 수소 분해 반응의 반응엔탈피를 구해 보자.



헤스 법칙을 이용하면 반응물과 생성물의 표준 생성 엔탈피로부터 표준 반응엔탈피를 구할 수 있다. 메테인의 연소 반응의 표준 반응엔탈피를 구해 보자.



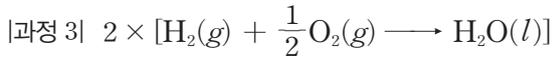
이 반응은 반응물을 원소 물질로 분해한 뒤 원소 물질로부터 생성물을 만드는 과정으로 나눌 수 있다.



$$-\Delta H_f^\circ(\text{CH}_4(g)) = 74.6 \text{ kJ/mol} \cdots \textcircled{1}$$



$$\Delta H_f^\circ(\text{CO}_2(g)) = -393.5 \text{ kJ/mol} \cdots \textcircled{2}$$



$$2 \times \Delta H_f^\circ(\text{H}_2\text{O}(l)) = 2 \times (-285.8 \text{ kJ/mol}) \cdots \textcircled{3}$$

반응 ①은 메테인 생성 반응의 역반응이다. 따라서 이 반응의 반응엔탈피는 메테인의 표준 생성 엔탈피와 크기는 같고 부호는 반대이다. 반응 ②는 CO_2 의 생성 반응이므로 이 반응의 반응엔탈피는 CO_2 의 표준 생성 엔탈피이다. 반응 ③은 H_2O 2몰이 생성되므로 이 반응의 반응엔탈피는 H_2O 의 표준 생성 엔탈피의 2배이다.

반응 ①, ②, ③을 모두 합하면 전체 반응이 되므로 헤스 법칙에 따라 전체 반응의 표준 반응엔탈피는 각 반응의 반응엔탈피를 모두 합한 값이다.

$$\begin{aligned} \Delta H^\circ &= -\Delta H_f^\circ(\text{CH}_4(g)) + \Delta H_f^\circ(\text{CO}_2(g)) + 2 \times \Delta H_f^\circ(\text{H}_2\text{O}(l)) \\ &= 74.6 - 393.5 + (-571.6) = -890.5 \text{ kJ} \end{aligned}$$

표준 반응엔탈피는 생성물의 표준 생성 엔탈피의 합에서 반응물의 표준 생성 엔탈피의 합을 뺀 것과 같다.

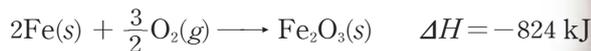
$$\Delta H^\circ = \sum \Delta H_f^\circ(\text{생성물}) - \sum \Delta H_f^\circ(\text{반응물})$$

? 표준 생성 엔탈피를 이용하여 프로페인(C_3H_8)이 완전 연소할 때의 표준 반응엔탈피를 구해 보자.

$$\begin{aligned} \Delta H_f^\circ(\text{C}_3\text{H}_8(g)) &= -103.8 \text{ kJ/mol} & \Delta H_f^\circ(\text{H}_2\text{O}(l)) &= -285.8 \text{ kJ/mol} \\ \Delta H_f^\circ(\text{CO}_2(g)) &= -393.5 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

평가하기

- 1 반응물과 생성물의 결합 에너지를 이용하여 반응엔탈피를 구하는 방법을 설명해 보자.
- 2 다음 열화학 반응식을 이용하여 철의 제련 반응의 반응엔탈피를 구해 보자.

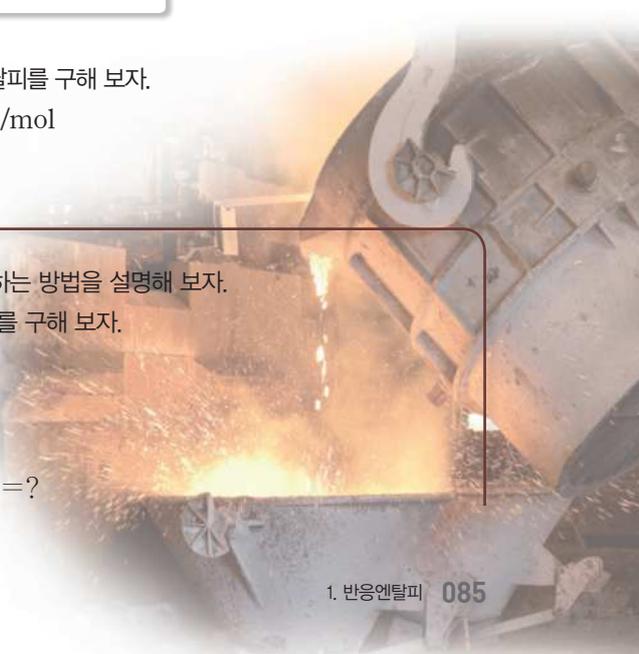


표준 반응엔탈피

25 °C, 1 기압에서의 반응엔탈피를 표준 반응엔탈피라 하고 ΔH° 로 표현한다.

원소 물질의 표준 생성 엔탈피

표준 상태에서 원소 물질의 표준 생성 엔탈피는 0으로 한다. 또한 표준 상태에서 원소 물질에 여러 가지 동소체가 존재할 때는 가장 안정한 물질의 표준 생성 엔탈피를 0으로 한다. 예를 들어 탄소는 25 °C, 1 기압에서 흑연, 다이아몬드 등의 동소체가 존재하며, 가장 안정한 흑연의 표준 생성 엔탈피가 0이다.





스스로 확인하기

핵심 내용 정리하기

반응엔탈피

엔탈피와 열화학 반응식

- 일정한 압력에서 어떤 물질이 가지고 있는 고유한 에너지의 양을 ㉠ 라고 한다.
- 일정한 압력에서 화학 반응이 일어날 때의 엔탈피 변화를 ㉡ 라고 하며, ㉢ 의 엔탈피 합에서 ㉣ 의 엔탈피 합을 뺀 것이다.
- 화학 반응식에 반응엔탈피를 함께 나타낸 것을 ㉤ 이라고 한다.
- 표준 상태에 있는 성분 원소 물질로부터 화합물 1몰이 생성될 때의 반응엔탈피를 ㉥ 라고 하고 ΔH_f° 로 나타낸다.
- 반응엔탈피는 열량계로 측정할 수 있으며, 발생한 열을 구하는 식은 다음과 같다.
㉦

결합 에너지와 헤스 법칙

- 기체 상태에서 두 원자 사이의 공유 결합 1몰을 끊는 데 필요한 에너지를 ㉧ 라고 하며, 항상 양(+)의 값이다.
- ㉨ 는 반응물의 결합 에너지 합에서 생성물의 결합 에너지 합을 뺀 값이다.
- 화학 반응에서 반응물과 생성물의 종류와 상태가 같으면 반응 경로에 관계없이 엔탈피 변화의 총합은 일정하다. 이를 ㉩ 이라고 한다.
- 표준 반응엔탈피(ΔH°)는 ㉪ 의 표준 생성 엔탈피의 합에서 ㉫ 의 표준 생성 엔탈피의 합을 뺀 것과 같다.

스스로 평가하기

1 발열 반응에서의 엔탈피 변화를 설명해 보자.

* 성취 정도를 표시해 보자

20 | 40 | 60 | 80 | 100

2 연소 반응의 예를 찾아 열화학 반응식으로 나타내 보자.

20 | 40 | 60 | 80 | 100

3 결합 에너지를 이용하여 반응엔탈피를 구하는 방법을 설명해 보자.

20 | 40 | 60 | 80 | 100

4 헤스 법칙을 이용하여 직접 측정하기 어려운 반응의 반응엔탈피를 구해 보자.

20 | 40 | 60 | 80 | 100

5 표준 생성 엔탈피를 이용하여 표준 반응엔탈피를 구하는 방법을 설명해 보자.

20 | 40 | 60 | 80 | 100



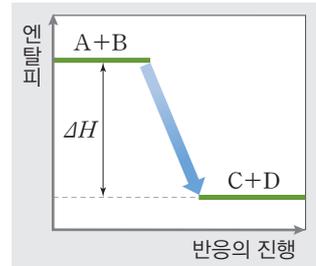
개념 확장하기

1

그림은 A와 B가 반응하여 C와 D가 생성되는 반응의 엔탈피 변화를 나타낸 것이다. <보기>에서 옳은 것을 모두 골라 보자.

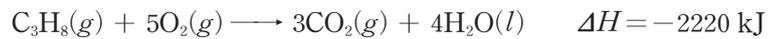
• 보기 •

- ㄱ. 반응이 일어나면 주위의 온도가 높아진다.
- ㄴ. $\Delta H > 0$ 이다.
- ㄷ. 반응물의 엔탈피 합이 생성물의 엔탈피 합보다 크다.



2

다음은 프로페인(C_3H_8)의 연소 반응을 열화학 반응식으로 나타낸 것이다.



이 반응식에서 알 수 있는 것을 <보기>에서 모두 골라 보자.

• 보기 •

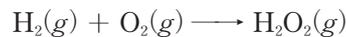
- ㄱ. 반응물의 종류
- ㄴ. 생성물의 상태
- ㄷ. 반응물의 엔탈피
- ㄹ. 반응엔탈피

3

표는 몇 가지 결합의 결합 에너지를 나타낸 것이다.

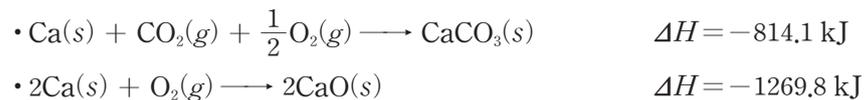
결합	H-H	O-H	O-O	O=O
결합 에너지(kJ/mol)	436	460	180	498

이 표를 이용하여 다음 반응의 반응엔탈피(ΔH)를 구해 보자. (단, H_2O_2 의 구조식은 H-O-O-H이다.)

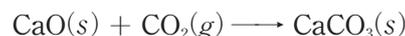


4

다음은 칼슘(Ca)과 관련된 두 가지 반응의 반응엔탈피를 나타낸 것이다.



다음 반응의 반응엔탈피(ΔH)를 구해 보자.





화학 평형

- 01. 화학 평형과 평형 상수
- 02. 평형 이동
- 03. 상평형

평형 이동 원리가 적용되는 암모니아 합성



이 단원의 주요 개념

01

화학 평형과 평형 상수

(p.89~94)

- 가역 반응과 동적 평형
- 화학 평형 법칙과 평형 상수
- 반응의 진행 방향 예측
- 평형 상태에서 반응물과 생성물의 농도 사이에는 어떤 관계가 있을까?

02

평형 이동 (p.95~103)

- 화학 평형 이동
- 르샤틀리에 원리
- 평형 상태에서 농도, 압력, 온도가 변하면 화학 평형은 어떻게 이동할까?

03

상평형 (p.104~107)

- 물질의 상태
- 상평형 그림
- 온도, 압력 변화에 따른 물질의 상태 변화를 어떻게 설명할 수 있을까?



나의 학습 준비 - 알고 있는 용어를 표시해 보자.

- | | | | |
|-----------------------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 동적 평형 | <input type="checkbox"/> 가역 반응 | <input type="checkbox"/> 상태 | <input type="checkbox"/> 상태 변화 |
| <input type="checkbox"/> 증기 압력 곡선 | <input type="checkbox"/> 녹는점 | <input type="checkbox"/> 끓는점 | |



나의 학습 계획

- 이 단원에서 배우게 될 내용 가운데 내가 알고 싶거나 궁금한 것을 적어 보자.

01

화학 평형과 평형 상수

- 가역 반응에서 동적 평형 상태를 설명할 수 있다.
- 평형 상태의 화학 반응에서 반응물과 생성물의 농도 사이의 관계를 설명할 수 있다.



생각 열기

1층과 2층을 연결하는 에스컬레이터가 있다. 에스컬레이터를 타고 1층에서 2층으로 올라가는 사람의 수와 2층에서 1층으로 내려가는 사람의 수가 같다고 하자.

① 1층과 2층에 있는 사람의 수는 각각 어떻게 될까?

1 가역 반응과 동적 평형

자동차의 배기가스에 포함된 이산화 질소(NO_2)는 대기 오염 현상인 스모그의 원인 물질 중 하나이다. NO_2 는 두 분자가 결합하여 사산화 이질소(N_2O_4)를 생성할 수 있고, 반대로 N_2O_4 는 분해되어 NO_2 를 생성할 수 있다. 이 반응은 조건에 따라 정반응과 역반응이 모두 일어날 수 있는 가역 반응이다.



미니 탐구

자료 해석

NO_2 와 N_2O_4 의 가역 반응

NO_2 를 플라스크에 넣고 마개를 닫은 뒤 차가운 얼음물에 넣었더니 적갈색이 없어졌다. 이 플라스크를 얼음물에서 꺼내어 뜨거운 물에 넣었더니 다시 적갈색이 짙어졌다.



▲ 얼음물에 넣었을 때



▲ 뜨거운 물에 넣었을 때

- 1 NO_2 가 들어 있는 플라스크를 얼음물과 뜨거운 물에 넣었을 때 색깔 변화가 나타나는 까닭은 무엇일까?
- 2 온도가 일정할 때 플라스크 속 기체의 색깔이 어떻게 변하는 지 토의해 보자.



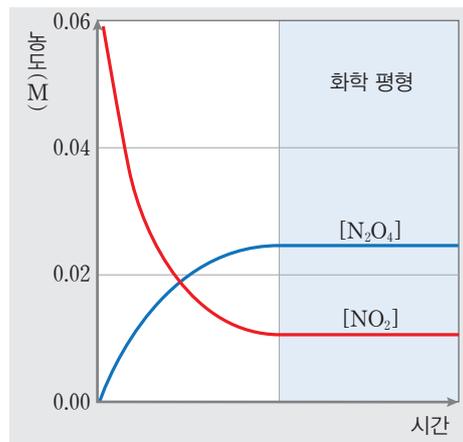
그림 II-9 다양한 온도에서 NO_2 와 N_2O_4 혼합물의 색 왼쪽부터 온도가 각각 50°C , 23°C , 0°C 이다.

NO_2 와 N_2O_4 의 혼합 기체가 들어 있는 플라스크를 얼음물에 넣으면 NO_2 가 반응하여 무색의 N_2O_4 를 생성하므로 색깔이 옅어진다. 반대로 뜨거운 물에 넣으면 N_2O_4 가 분해되어 적갈색의 NO_2 를 생성하므로 색깔이 짙어진다.

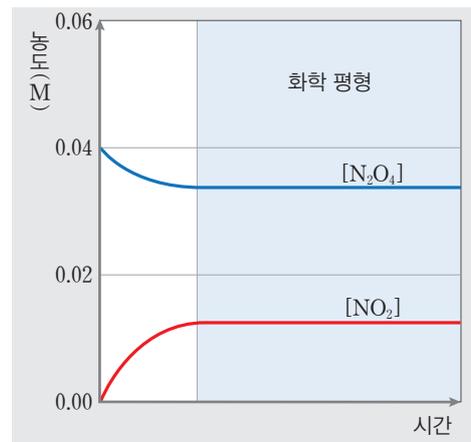
그림 II-10은 일정한 온도에서 1 L 용기에 NO_2 만 넣었을 때와 N_2O_4 만 넣었을 때, 시간에 따른 각 물질의 농도 변화를 나타낸 것이다. 그림 (가)와 같이 용기에 NO_2 만 넣었을 때는 NO_2 의 농도는 감소하고 N_2O_4 의 농도는 증가하여 시간이 지나면 NO_2 와 N_2O_4 의 농도가 일정해진다. 그림 (나)와 같이 용기에 N_2O_4 만 넣었을 때는 N_2O_4 의 농도는 감소하고 NO_2 의 농도는 증가하여 시간이 지나면 두 물질의 농도가 일정해진다. 이처럼 가역 반응에서 모든 반응물과 생성물의 농도가 시간에 따라 변하지 않고 일정하게 유지되는 상태를 화학 평형 상태라고 한다.

📖 평형 농도

화학 평형 상태에서 각 물질의 농도를 평형 농도라고 한다.



(가) NO_2 만 넣었을 때



(나) N_2O_4 만 넣었을 때

그림 II-10 NO_2 와 N_2O_4 의 시간에 따른 농도 변화

화학 평형 상태에서 반응물과 생성물의 농도가 일정하게 유지되는 까닭은 무엇일까? (가)에서 NO_2 가 반응하여 N_2O_4 가 생성되는 반응은 처음에는 빠르게 진행되지만 시간이 지나면 NO_2 의 농도가 감소하기 때문에 점점 느려진다. 그리고 N_2O_4 가 분해되어 NO_2 가 되는 반응의 속도는 처음에는 거의 0이지만 반응이 진행되면 N_2O_4 의 농도가 증가하므로 점점 빨라진다. 화학 평형 상태가 되면 N_2O_4 의 생성 반응과 분해 반응의 속도가 같아져 반응물과 생성물의 농도가 일정하게 유지된다. 화학 평형 상태는 겉으로 보기에는 변화가 없어 반응이 정지된 것처럼 보이지만 실제로는 정반응과 역반응이 같은 속도로 끊임없이 일어나고 있는 동적 평형 상태이다.

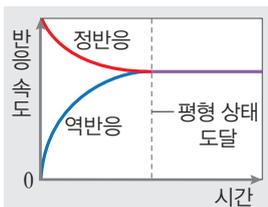


그림 II-11 평형 상태에서의 반응 속도

2 평형 상수

가역 반응이 평형 상태에 도달하면 반응물과 생성물의 농도가 일정하게 유지된다. 그렇다면 평형 상태에서 반응물과 생성물의 농도 사이에는 어떤 관계가 있을까?



자료 해석

평형 농도 사이의 관계

표는 일정한 온도에서 NO₂와 N₂O₄의 초기 농도를 달리하여 용기에 넣고 밀폐한 다음 평형에 도달하였을 때 각각의 평형 농도를 나타낸 것이다.



실험	초기 농도(M)		평형 농도(M)		$\frac{[\text{N}_2\text{O}_4]}{[\text{NO}_2]}$	$\frac{[\text{N}_2\text{O}_4]}{2[\text{NO}_2]}$	$\frac{[\text{N}_2\text{O}_4]}{[\text{NO}_2]^2}$
	[NO ₂]	[N ₂ O ₄]	[NO ₂]	[N ₂ O ₄]			
I	0.0600	0	0.0107	0.0246			
II	0	0.0400	0.0125	0.0337			
III	0.0600	0.0200	0.0141	0.0429			

- 1 NO₂와 N₂O₄의 평형 농도를 이용하여 $\frac{[\text{N}_2\text{O}_4]}{[\text{NO}_2]}$, $\frac{[\text{N}_2\text{O}_4]}{2[\text{NO}_2]}$, $\frac{[\text{N}_2\text{O}_4]}{[\text{NO}_2]^2}$ 값을 각각 계산해 보자.
- 2 평형 상태에서 반응물과 생성물의 농도 사이에는 어떤 관계가 있는지 설명해 보자.

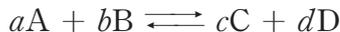
기체의 농도

기체는 용기의 부피가 기체의 부피가 되므로 기체의 몰 농도는 용기 1 L에 들어 있는 기체의 몰수로 정의할 수 있다.

[A]는 A의 몰 농도를 뜻해.



NO₂와 N₂O₄의 초기 농도에 관계없이 평형 상태에서 $\frac{[\text{N}_2\text{O}_4]}{[\text{NO}_2]^2}$ 값은 거의 일정하다. 즉, 일정한 온도에서 어떤 반응이 화학 평형 상태에 있을 때 반응물의 농도 곱에 대한 생성물의 농도 곱의 비는 항상 일정하다. 이것을 **화학 평형 법칙**이라고 하고, 일반적으로 다음과 같이 나타낸다.

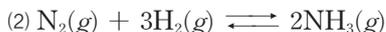
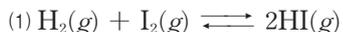


$$K = \frac{[\text{C}]^c[\text{D}]^d}{[\text{A}]^a[\text{B}]^b} = \text{일정}$$

([A], [B], [C], [D]): 평형 상태에서 각 물질의 몰 농도

이때 K 를 **평형 상수**라고 하고, 이 식을 **평형 상수식**이라고 한다. 평형 상수는 온도가 일정할 때 농도나 기체의 압력에 관계없이 항상 일정하다.

? 다음 화학 반응의 평형 상수식을 써 보자.



질량 작용 법칙

화학 평형 법칙은 질량 작용 법칙이라고도 하며, 노르웨이 화학자 굴드베르크(Guldberg, C. M., 1836~1902)와 보게(Waage, P., 1833~1900)가 제안하였다.

평형 상수가 1보다 매우 크면 정반응이 우세하여 평형 상태에서 생성물이 더 많이 존재한다. 반대로 평형 상수가 1보다 매우 작으면 그 반응은 역반응이 우세하여 평형 상태에서 반응물이 더 많이 존재한다.

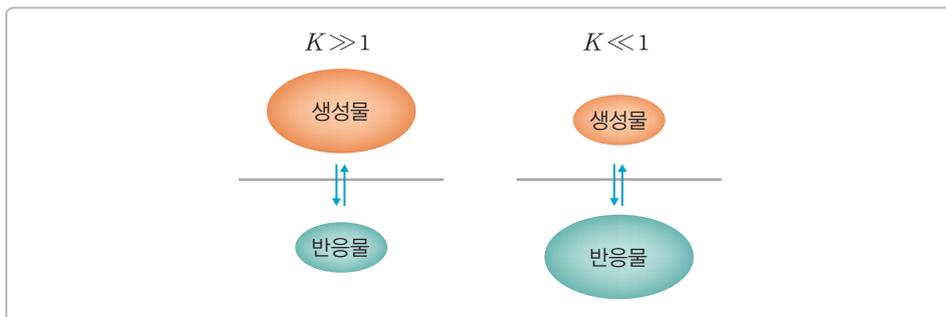
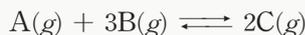


그림 II-12 평형 상수의 의미



예제 · · 다음은 기체 A와 B로부터 기체 C가 생성되는 화학 반응식을 나타낸 것이다.



어떤 온도에서 1.0 L 용기에 A 0.6몰과 B 0.8몰을 넣고 반응시켰더니 평형 상태에서 C 0.4몰이 생성되었다. 이 반응의 평형 상수를 구해 보자.

풀이 · · 단계 1 주어진 물질의 몰 농도를 구한다.

$$[A] = 0.6 \text{ M}, [B] = 0.8 \text{ M}, [C] = 0.4 \text{ M}$$

단계 2 C 0.4몰이 생성되려면 A 0.2몰과 B 0.6몰이 반응해야 한다. 따라서 A, B, C의 평형 농도는 다음과 같이 구할 수 있다.

	$A(g) + 3B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$		
처음 농도(M)	0.6	0.8	0
농도 변화(M)	-0.2	-0.6	+0.4
평형 농도(M)	0.4	0.2	0.4

단계 3 A, B, C의 평형 농도를 평형 상수식에 대입하여 평형 상수를 구한다.

$$K = \frac{[C]^2}{[A][B]^3} = \frac{0.4^2}{0.4 \times 0.2^3} = 50$$

유제 · · 다음은 기체 A와 B로부터 기체 C가 생성되는 화학 반응식을 나타낸 것이다.



어떤 온도에서 1 L 용기에 A 1.0몰과 B 2.0몰을 넣고 반응시켰더니 평형 상태에서 A 0.5몰이 남아 있었다. 이 반응의 평형 상수를 구해 보자.



3 반응의 진행 방향 예측

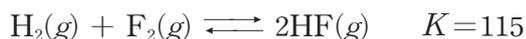
가역 반응에서 반응 용기에 반응물만 넣으면 정반응 쪽으로 반응이 진행하여 평형에 도달한다. 반대로 생성물만 넣으면 역반응 쪽으로 반응이 진행하여 평형에 도달한다. 반응 용기에 반응물과 생성물을 함께 넣으면 반응은 어느 쪽으로 진행할까? 평형 상수식에 반응물과 생성물의 현재 농도를 대입하여 얻은 값을 **반응 지수(Q)**라고 한다.

$$aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$$

$$Q = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$$

일정한 온도에서 평형 상수는 항상 일정하므로 반응 지수를 구하여 평형 상수와 비교하면 그림 II-13과 같이 반응의 진행 방향을 예측할 수 있다.

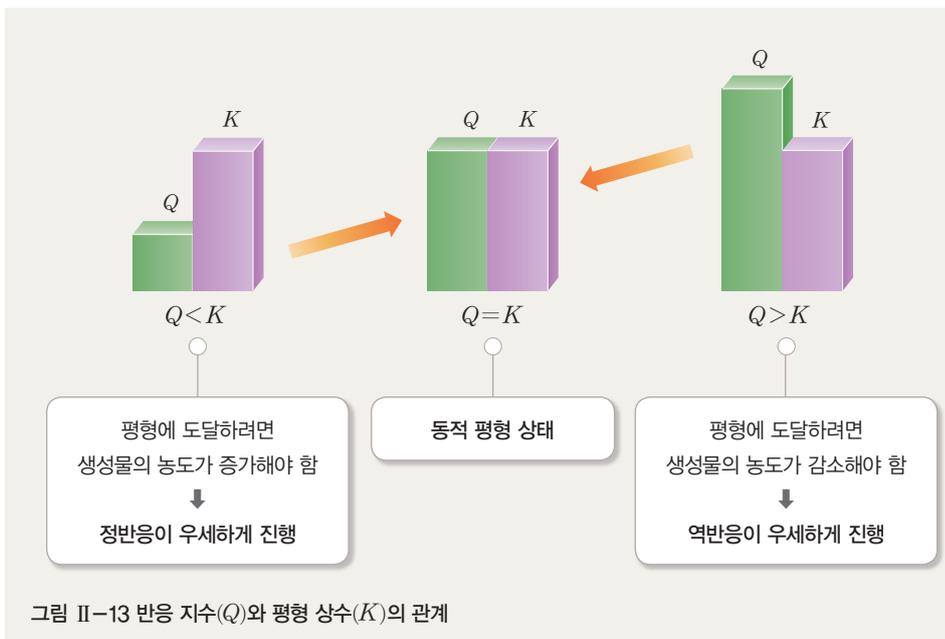
예를 들어 어떤 온도에서 수소(H₂)와 플루오린(F₂)이 반응하여 플루오린화 수소(HF)가 되는 반응의 평형 상수는 115이다.



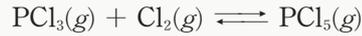
이 온도에서 1 L 용기에 H₂ 0.1몰, F₂ 0.1몰, HF 1.0몰이 들어 있으면 반응은 어느 쪽으로 진행될까? 반응 지수를 구하면 다음과 같다.

$$Q = \frac{(1.0)^2}{0.1 \times 0.1} = 100$$

반응 지수를 평형 상수와 비교하면 $Q < K$ 이므로 정반응이 우세하게 진행된다.



예제 · · 어떤 온도에서 다음 반응의 평형 상수 $K = 10$ 이다.



이 온도에서 표와 같이 각 물질의 초기 농도를 달리하여 반응 용기에 넣고 밀폐하였다. 각 실험에서 반응의 진행 방향을 예측해 보자.

실험	초기 농도(M)		
	$[\text{PCl}_3]$	$[\text{Cl}_2]$	$[\text{PCl}_5]$
I	0.4	0.6	0.6
II	0.2	0.2	0.4
III	0.1	0.4	1.6

풀이 · · 평형 상수식에 각 물질의 초기 농도를 대입하여 반응 지수를 구한 뒤 평형 상수와 비교해 본다.

실험	반응 지수	Q 와 K 의 비교	반응의 진행
I	$Q = \frac{0.6}{0.4 \times 0.6} = 2.5$	$Q < K$	정반응 우세
II	$Q = \frac{0.4}{0.2 \times 0.2} = 10$	$Q = K$	평형 상태
III	$Q = \frac{1.6}{0.1 \times 0.4} = 40$	$Q > K$	역반응 우세

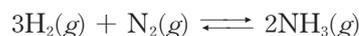
유제 · · 어떤 온도에서 다음 반응의 평형 상수 $K = 1.5$ 이다.



이 온도에서 1 L 용기에 A 4몰, B 4몰, C 8몰이 들어 있을 때 반응의 진행 방향을 예측해 보자.

평가하기

- 가역 반응에서 반응물만 용기에 넣어서 동적 평형 상태에 이르기까지의 반응물과 생성물의 농도 변화를 설명해 보자.
- 일정한 온도에서 1.0 L 용기에 H_2 5몰, N_2 3몰을 넣고 반응시켰을 때 평형 상태에서 NH_3 3몰이 생성되었다. 이 반응의 평형 상수는 얼마인가? 같은 온도에서 1.0 L 용기에 H_2 , N_2 , NH_3 가 각각 3몰씩 들어 있을 때 반응의 진행 방향을 예측해 보자.



02

평형 이동

- 농도, 압력, 온도 변화에 따른 화학 평형의 이동을 설명할 수 있다.
- 화학 평형 이동을 르사틀리에 원리로 설명할 수 있다.

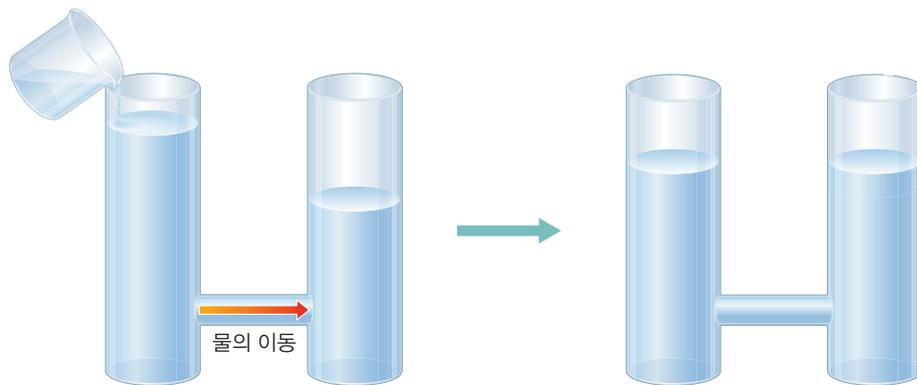


생각
열기

색안경 대신 사용하는 변색 안경은 자외선에 반응하는 물질이 렌즈에 들어 있어 빛을 받으면 색을 띠고 빛이 차단되면 투명해진다.

Q 변색 안경이 일반 색안경보다 편리한 점은 무엇일까?

그림 II-14와 같이 같은 부피의 물이 들어 있던 용기의 한쪽에만 물을 더 부으면 어떻게 될까? 물을 부으면 물을 부은 쪽의 수위가 순간적으로 높아지지만 관을 통과하여 다른 쪽으로 물이 이동한다. 그 결과 물을 부은 쪽의 수위는 낮아지고 반대쪽의 수위는 높아져 양쪽의 수위가 다시 같아진다.



물을 더 부을 때
새로운 물의 높이는
양쪽 다 처음 물의
높이보다 높아.



그림 II-14 평형 이동의 이해

평형 상태에 있는 화학 반응은 외부 조건이 변하지 않으면 평형을 유지한다. 그러나 농도, 압력, 온도 등의 외부 조건이 변하면 평형이 깨지고, 정반응이나 역반응 가운데 어느 한쪽이 우세하게 진행하여 새로운 평형 상태에 도달한다. 이러한 현상을 평형 이동이라고 한다.



그림 II-15 평형 이동

평형 상태에 있는 화학 반응에서 반응물이나 생성물의 농도가 변할 때 평형이 이동하는 까닭을 평형 상수와 관련지어 생각해 보자. 암모니아를 합성하는 반응이 평형 상태에 있을 때 평형 상수식은 다음과 같다.



평형 상태에서 반응물인 질소의 농도를 증가시키면 평형 상수식에서 분모의 값이 커지므로 반응 지수 Q 는 평형 상수 K 보다 작아진다. Q 가 K 와 같아지려면 분모의 값이 작아지고 분자의 값이 커져야 하므로 반응은 정반응 쪽으로 진행되어 새로운 평형에 도달한다.

온도와 평형 상수

온도가 일정하면 평형이 이동하여 새로운 평형 상태가 되어도 평형 상수는 처음 평형에서의 평형 상수와 같다.

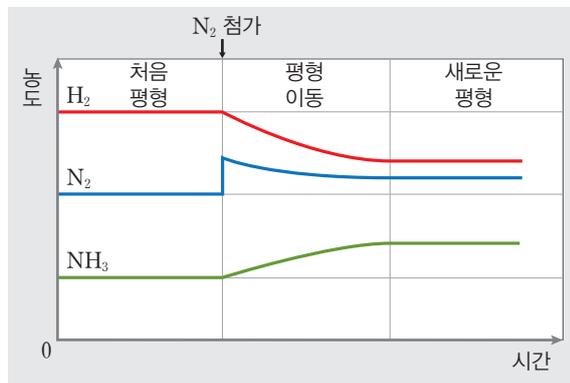
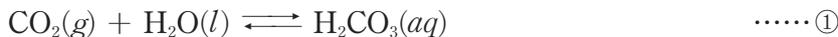
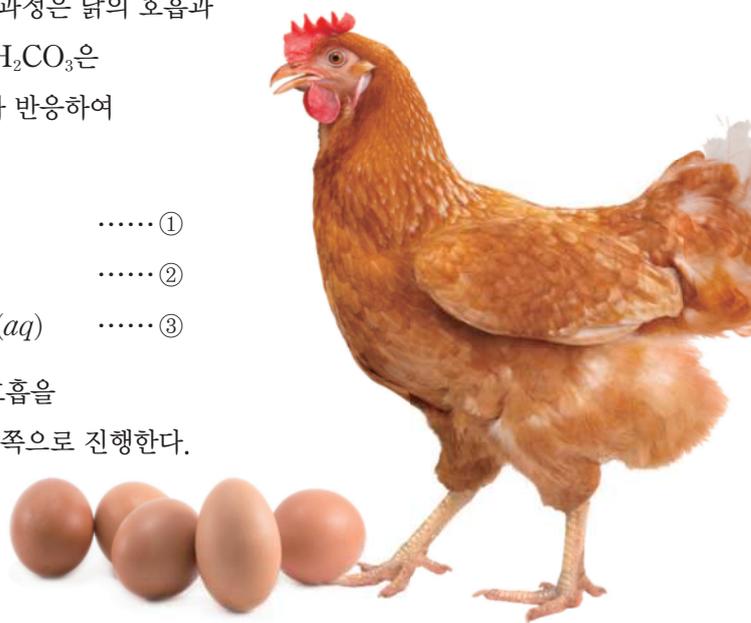


그림 II-16 평형 상태에서 질소를 첨가했을 때 농도 변화

농도 변화에 따른 평형 이동의 예는 생활 속에서도 찾아볼 수 있다. 달걀 껍데기의 성분은 탄산 칼슘(CaCO_3)인데, 달걀 껍데기가 만들어지는 과정은 닭의 호흡과 관련이 있다. 혈액에 CO_2 가 녹으면 탄산(H_2CO_3)이 되고, H_2CO_3 은 H^+ 과 HCO_3^- 으로 이온화한다. 그리고 CaCO_3 은 H_2CO_3 과 반응하여 HCO_3^- 을 만든다.



땀샘이 없는 닭은 호흡으로 열을 방출한다. 더운 여름에 호흡을 많이 하면 CO_2 의 방출량이 증가하므로 반응이 ①의 역반응 쪽으로 진행된다. H_2CO_3 의 농도가 감소하면 ②의 역반응이 일어나고, HCO_3^- 의 농도가 감소하면 ③의 정반응이 일어나서 CaCO_3 의 양이 감소한다. 따라서 겨울보다 여름에 달걀 껍데기가 얇아진다.



2 압력 변화와 평형 이동

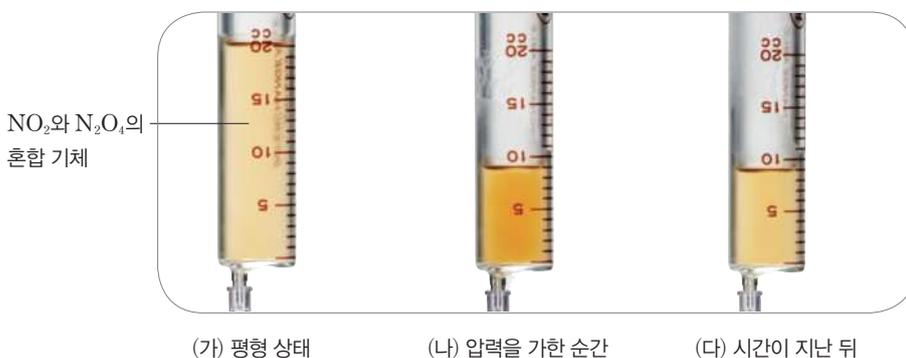
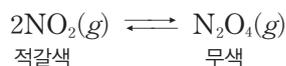
기체는 압력에 따라 부피가 크게 변하므로 기체의 반응은 압력의 변화에도 영향을 받는다. 압력을 변화시키면 평형이 어떤 영향을 받는지 다음 탐구 활동으로 알아보자.



압력 변화에 따른 평형 이동



이산화 질소(NO_2)와 사산화 이질소(N_2O_4)는 평형을 이룬다. 그림은 NO_2 와 N_2O_4 의 혼합 기체에 압력을 가했을 때 기체의 색깔 변화를 나타낸 것이다.



정리

- ① 압력을 가한 순간 기체의 색깔이 진해진 까닭은 무엇일까?
- ② (다)에서 기체의 색깔이 다시 옅어진 까닭은 무엇일까?
- ③ 압력을 가한 뒤 평형이 어떻게 이동했는지 설명해 보자.

기체의 부피와 농도

기체의 농도는 단위 부피당 존재하는 기체의 몰수로 나타낼 수 있다. 따라서 부피가 감소하면 기체의 농도는 증가한다.

NO_2 와 N_2O_4 의 혼합 기체가 평형 상태에 있을 때 압력을 가해 부피를 $\frac{1}{2}$ 로 줄이면 NO_2 와 N_2O_4 의 농도는 각각 처음 평형 농도의 2배가 된다. 이때 반응 지수 Q 를 구하면 다음과 같다.

$$Q = \frac{2[\text{N}_2\text{O}_4]}{(2[\text{NO}_2])^2} = \frac{1}{2} \frac{[\text{N}_2\text{O}_4]}{[\text{NO}_2]^2} = \frac{1}{2} K$$

반응 지수와 평형 상수를 비교하면 $Q < K$ 이므로 정반응 쪽으로 반응이 진행되어 새로운 평형에 도달한다.

어떤 화학 반응이 평형 상태에 있을 때 농도, 압력, 온도를 변화시키면 그 변화를 줄이는 방향으로 평형이 이동한다. 르사틀리에에는 평형 이동과 관련하여 다음과 같이 주장하였는데, 이를 르사틀리에 원리 또는 평형 이동 법칙이라고 한다.

외부 조건의 변화로 평형 상태가 깨지면 그 변화를 감소시키는 방향으로 평형이 이동하여 새로운 평형에 도달한다.

NO_2 와 N_2O_4 의 반응이 평형 상태에 있을 때 압력을 높이면 압력을 낮추는 방향으로 평형이 이동한다. 온도와 부피가 일정할 때 기체의 압력은 기체의 몰수에 비례하므로, 압력을 낮추려고 기체의 몰수가 감소하는 정반응 쪽으로 평형이 이동하여 새로운 평형에 도달한다. 반대로 평형 상태에서 압력을 낮추면 압력을 높이는 방향으로 평형이 이동한다. 따라서 기체의 전체 몰수가 증가하는 역반응 쪽으로 평형이 이동하여 새로운 평형에 도달한다.



그림 II-17 르사틀리에 (Le Chatelier, H. L., 1850~1936) 프랑스의 화학자. 여러 가지 조건의 변화에 따른 화학 평형의 이동을 연구하여 르사틀리에 원리를 발표하였다.

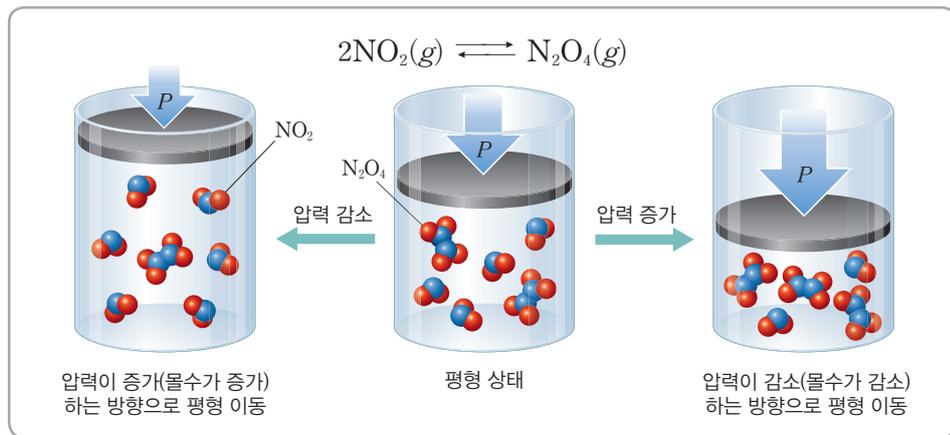
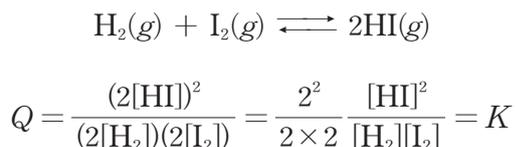


그림 II-18 압력 변화와 평형 이동

반응 전후에 기체의 몰수가 변하지 않을 때는 압력을 변화시켜도 평형이 이동하지 않는다. 예를 들어 수소(H_2)와 아이오딘(I_2)이 반응하여 아이오딘화 수소(HI)가 생성되는 반응에서, 평형 상태에서 압력을 2배로 높여 각 물질의 농도가 2배가 되더라도 $Q=K$ 이므로 평형은 어느 쪽으로도 이동하지 않는다.



기체 반응에서 반응물과 생성물의 계수 합이 같은 반응은 압력의 영향을 받지 않아.



3 온도 변화와 평형 이동

일정한 온도에서 평형 상수는 농도나 압력에 관계없이 일정하다. 평형 상태에서 온도를 변화시키면 평형 상수와 평형 상태는 어떻게 달라질까?



온도 변화에 따른 평형 이동



준비물

염화 코발트(II) 육수화물 (CoCl₂·6H₂O), 진한 염산 (HCl(aq)), 증류수, 비커, 스포이트, 시험관, 시험관대, 약손가락, 시약포지, 전자 저울, 마스크, 실험용 장갑, 보안경

주의 사항

- 염화 코발트(II)는 독성이 있으므로 시약이나 용액이 피부에 묻지 않도록 하고, 보안경을 반드시 착용한다.
- 진한 염산은 후드에서 사용한다.
- 실험에 사용한 용액은 반드시 폐수통에 버린다.



Co(H₂O)₆²⁺은 염산과 반응하여 다음과 같이 평형을 이룬다.



과정

- 1 CoCl₂·6H₂O 0.5 g을 증류수 15 mL에 녹인다.
- 2 이 용액을 시험관 3개(A~C)에 각각 2 mL씩 담는다.
- 3 시험관 A는 그대로 두고, 시험관 B에는 진한 염산 2 mL, 시험관 C에는 진한 염산 4 mL을 넣은 뒤 각 용액의 색깔을 관찰한다.
- 4 시험관 A~C를 얼음물에 넣고 색깔 변화를 관찰한다.
- 5 시험관 A~C를 뜨거운 물에 넣고 색깔 변화를 관찰한다.



결과 및 정리

- 1 시험관 C의 색깔 변화를 르샤틀리에 원리와 관련지어 설명해 보자.
- 2 시험관 A~C를 얼음물과 뜨거운 물에 넣었을 때 용액의 색깔 변화를 르샤틀리에 원리와 관련지어 설명해 보자.

평형 상태에 있는 화학 반응에서 온도를 높이면 열을 흡수하는 흡열 반응 쪽으로 평형이 이동하고, 온도를 낮추면 열을 방출하는 발열 반응 쪽으로 평형이 이동하여 새로운 평형에 도달한다.

평형 상태에서 염화 코발트(II) 수용액의 온도를 높이면 열을 흡수하는 방향, 즉 흡열 반응인 정반응 쪽으로 평형이 이동하여 새로운 평형에 도달한다. 이때 생성물인 CoCl_4^{2-} 의 농도가 증가하므로 용액의 색깔은 푸른색으로 변한다.

반대로 평형 상태에서 온도를 낮추면 열을 방출하는 방향, 즉 발열 반응인 역반응 쪽으로 평형이 이동하여 새로운 평형에 도달한다. 이때 반응물인 $\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}$ 의 농도가 증가하므로 용액의 색깔은 붉은색으로 변한다.



역반응의 반응엔탈피는 정반응의 반응엔탈피와 절댓값은 같고 부호는 반대이다. 따라서 정반응이 흡열 반응($\Delta H > 0$)이면 역반응은 발열 반응($\Delta H < 0$)이다.



평형 상수는 온도가 일정하면 농도나 압력의 변화에 관계없이 일정하지만 온도가 변하면 평형 상수도 달라진다. 정반응이 흡열 반응일 때 평형 상태에서 온도를 높이면 흡열 반응인 정반응 쪽으로 평형이 이동한다. 따라서 새로운 평형 상태에서 생성물의 농도는 처음 평형 상태에서보다 증가하고 반응물의 농도는 감소하므로 평형 상수는 증가한다. 반대로 정반응이 발열 반응일 때는 온도를 높이면 역반응 쪽으로 평형이 이동하므로 평형 상수는 감소한다.

함께 해 보기

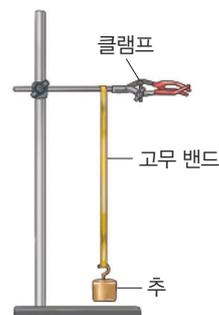
고무 밴드로 알아보는 르샤틀리에 법칙

고무 밴드는 수많은 고분자 사슬로 이루어져 있다. 고무 밴드를 늘일 때 어떤 변화가 생길까?

[활동1] 고무 밴드(폭 5 mm 이상)를 손으로 만져 온도를 느껴 보자. 고무 밴드를 재빠르게 늘여서 곧바로 손으로 만져 보아 늘이기 전과 온도를 비교해 보자.

[활동2] 고무 밴드를 그림과 같이 매달고 고무 밴드에 추(1 kg)를 매달아 지면에 거의 닿게 한다. 헤어드라이어로 고무 밴드를 가열한 뒤 고무 밴드의 길이 변화를 관찰하자.

- 1 고무 밴드를 늘이는 과정은 발열 과정인지 흡열 과정인지 토의해 보자.
- 2 고무 밴드를 가열할 때 생기는 변화를 르샤틀리에 원리로 설명해 보자.



수득률

화학 반응에서 이론적으로 얻을 수 있는 생성물의 최대량과 실제로 얻은 생성물의 양의 비이다.

4 르샤틀리에 원리의 활용

산업 공정에서는 생산하려는 생성물의 양이 최대가 되고 남는 반응물의 양이 최소가 되는 것이 중요하다. 르샤틀리에 원리는 수득률을 높일 수 있는 최적의 반응 조건을 결정하는 데 활용할 수 있다. 대표적인 예로 비료의 원료로 쓰는 암모니아 생성 반응을 들 수 있다.

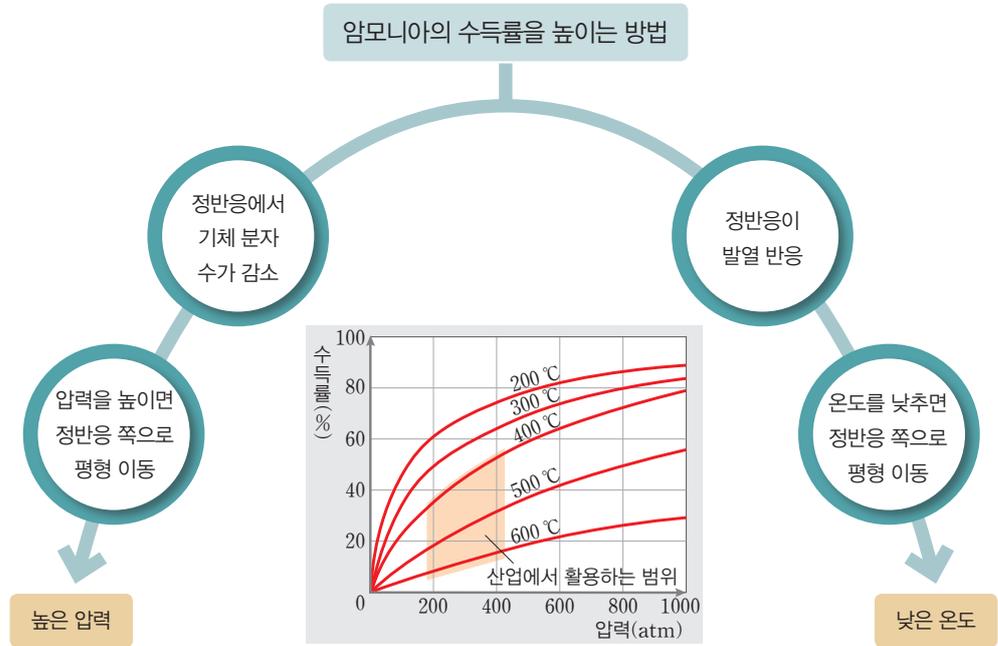
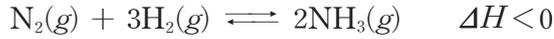
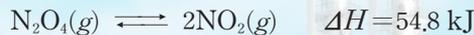


그림 II-20 반응 조건에 따른 암모니아의 수득률

르샤틀리에 원리에 따르면 압력이 높을수록, 온도가 낮을수록 암모니아 생성 반응의 수득률이 높아진다. 하지만 압력을 높이려면 높은 압력에 견디는 장치를 만드는 데 비용이 많이 들고, 온도가 너무 낮으면 반응이 느려져 시간이 오래 걸리는 문제점이 있다. 실제 산업 현장에서는 반응 속도를 빠르게 하려고 촉매를 사용하여 400 °C ~ 600 °C, 300 기압 정도에서 암모니아를 합성한다.

평가하기

- 1 평형 상태에 있는 어떤 화학 반응에서 반응물을 더 넣었을 때 평형이 어떻게 이동하는지 설명해 보자.
- 2 25 °C에서 다음 반응이 평형 상태에 있다.



일정한 온도에서 반응 용기의 부피를 2배로 늘릴 때 평형 이동과 평형 상수의 변화를 설명해 보자.

고래도 잠수병에 걸릴까?

물속에서는 수심이 10 m씩 깊어질 때마다 압력이 약 1 기압씩 높아진다. 외부 압력이 높아지면 잠수부의 혈액에 녹는 질소의 양이 증가하기 때문에 신경의 정보 전달 기능이 마비되어 ‘질소 마취’ 상태에 빠질 수 있다.

이러한 증상은 잠수부가 수심이 얇은 곳으로 올라오면 사라지지만, 너무 빠르게 올라오면 더 위험할 수 있다. 수면에서는 외부 압력이 낮아지므로 질소의 용해도가 감소하여 기체로 바뀌고, 미처 배출되지 못한 질소 기체가 혈액 속에서 기포를 형성하여 혈관을 막는다. 이 때문에 손발이 마비되거나 호흡 곤란 같은 증상이 생기는데, 이를 잠수병이라고 한다. 잠수병을 막으려면 수면으로 올라올 때 1분당 9 m 이하의 속도를 지켜야 한다.

그렇다면 고래와 같이 수중 생활을 하는 동물들도 잠수병에 걸릴까? 고래는 잠수병에 걸리지 않는 생체 조직과 보호 메커니즘을 갖추고 있다. 고래는 심해에서 혈액의 산소 교환을 중단하여 질소가 녹아드는 것을 막는다고 한다. 그런데 최근에 고래가 잠수병으로 죽었다는 연구가 발표되었다. 그 까닭은 잠수함 탐지용 음파 탐지기 때문이었다. 수심 깊은 곳에 있던 고래가 음파에 놀라 갑자기 수면으로 올라오면서 잠수병으로 죽은 것이다. 오랫동안 고래잡이로 고통받던 고래들이 이제는 잠수병으로 신음하고 있다.

과학적 사고력

잠수병이 생기는 까닭을 르샤틀리에 원리로 설명해 보자.

과학적 탐구 능력

잠수병을 예방하려고 잠수부의 공기 탱크에 헬륨과 산소의 혼합 기체를 사용한다. 그 까닭을 설명해 보자.



03 상평형

- 물질의 상태가 온도와 압력에 따라 달라짐을 설명할 수 있다.
- 상평형 그림을 이용하여 물질의 상태 변화를 설명할 수 있다.

생각 열기

라면의 건더기 스프, 즉석 국, 인스턴트커피 등은 동결 건조 식품이다. 동결 건조는 식품을 얼린 다음 압력을 낮추어 수분을 제거하는 방법으로 고온 건조에 비해 열에 약한 성분의 손실이 적다.

❶ 동결 건조 과정에서 물의 상태는 어떻게 변할까?



물질은 온도에 따라 상태가 변한다. 액체 상태로 존재하는 물질은 끓는점보다 높은 온도에서 기체 상태로 바뀐다. 물질은 압력에 따라 상태가 변하기도 한다. 물은 1 기압에서는 100 °C에서 끓어 기체가 되지만 외부 압력이 1 기압보다 낮으면 100 °C보다 낮은 온도에서도 기체 상태로 존재할 수 있다.

상과 상평형

물질의 세 가지 상태인 기체, 액체, 고체를 상이라고 하며, 한 물질의 여러 상들이 동적 평형을 이루고 있는 상태를 상평형이라고 한다.

또한 물질은 적절한 온도와 압력에서 고체와 액체, 액체와 기체, 고체와 기체가 평형을 이룰 수도 있다. 물질의 상태와 온도, 압력의 관계를 그래프로 나타낸 것을 상평형 그림이라고 한다. 상평형 그림은 그림 II-21과 같이 세 개의 곡선으로 이루어져 있고, 곡선으로 나누어진 각각의 영역은 고체, 액체, 기체 상태로 안정하게 존재할 수 있는 온도와 압력 조건을 나타낸다. 예를 들어 이 물질은 a의 온도와 압력에서는 고체로, b의 온도와 압력에서는 액체로 존재한다.

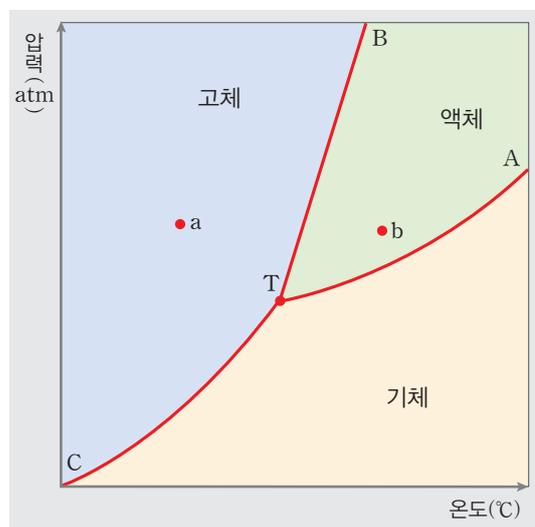


그림 II-21 상평형 그림

그림 II-21에서 세 개의 곡선은 서로 다른 상태들이 평형을 이루는 온도와 압력 조건을 나타낸다. 곡선 TA는 액체와 기체가 평형을 이루는 온도와 압력을 나타내는 곡선으로 증기 압력 곡선이라고 한다. 곡선 TB는 고체와 액체가 평형을 이루는 온도와 압력을 나타내는 용해 곡선이고, 곡선 TC는 고체와 기체가 평형을 이루는 온도와 압력을 나타내는 승화 곡선이다. 세 곡선이 만나는 점 T는 고체, 액체, 기체의 세 가지 상태가 평형을 이루며 함께 존재할 수 있는 온도와 압력 조건으로, **3중점**이라고 한다.

상평형 그림으로 온도와 압력이 변할 때 물질의 상태가 어떻게 달라지는지 알 수 있다. 예를 들어 그림 II-22와 같이 초기 상태가 a인 얼음을 일정한 압력(P)에서 가열한다고 생각해 보자. 얼음은 용해 곡선과 만나는 점(b)의 온도에서 녹기 시작한다. 이 점에서 얼음과 물은 함께 존재하며 얼음이 다 녹을 때까지 온도는 일정하게 유지된다. 얼음이 다 녹으면 물의 온도는 다시 높아지며, 증기 압력 곡선과 만나는 점(d)의 온도에서 물은 끓기 시작한다. 물이 끓는 동안에도 온도는 일정하게 유지되며 물이 모두 수증기로 변하면 수증기의 온도는 다시 높아진다.

상태 변화와 온도

고체가 녹는 동안에는 외부에서 열을 가해도 에너지가 상태 변화에 사용되기 때문에 물질의 온도는 일정하게 유지된다.

연계 학습

끓는점 ▶ 39쪽 참조

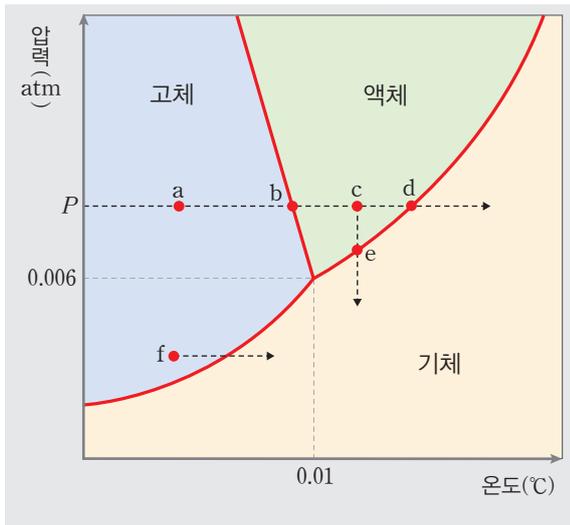


그림 II-22 물의 상평형 그림

압력을 변화시킬 때의 상태 변화를 살펴보자. 초기 상태가 c인 물을 일정한 온도에서 압력을 낮추면 증기 압력 곡선과 만나는 점(e)의 압력에서 끓어 수증기로 변한다.

고체를 가열하면 항상 액체 상태를 거쳐 기체로 변할까? 초기 상태가 f인 얼음을 가열할 때와 같이 3중점 이하의 압력에서 고체를 가열하면 액체 상태를 거치지 않고 기체로 승화한다는 것을 알 수 있다.

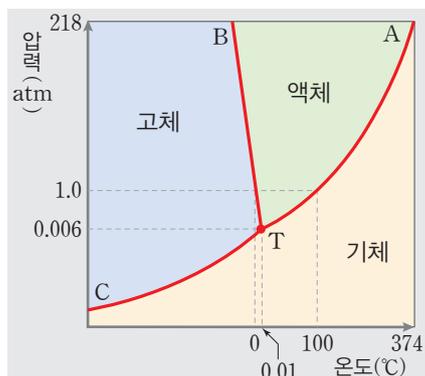
상평형 그림은 물질에 따라 서로 다르다. 물질의 상평형 그림을 이용하면 온도와 압력 변화에 따른 각 물질의 상태 변화의 특징을 알 수 있다.



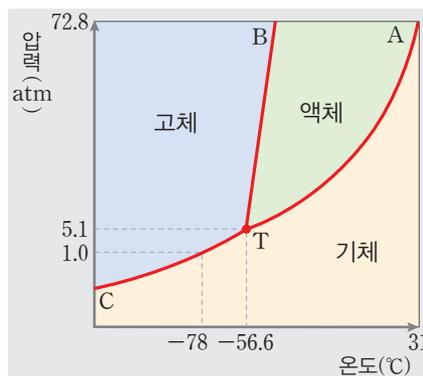
자료 해석

물과 이산화 탄소의 상평형 그림 비교

다음은 물과 이산화 탄소의 상평형 그림이다.



▲ 물의 상평형 그림



▲ 이산화 탄소의 상평형 그림

- 1 온도가 일정할 때 얼음과 드라이아이스를 액체 상태로 만들려면 압력을 어떻게 변화시켜야 하는가?
- 2 1 기압에서 얼음과 드라이아이스를 가열할 때의 상태 변화를 설명해 보자.

압력에 따른 얼음의 상태 변화



철사 양쪽에 무거운 추를 달아 얼음 위에 올려놓으면 압력 때문에 녹는점이 낮아져 얼음이 녹으면서 철사가 얼음 안으로 파고들어 간다. 철사가 지나가면 압력이 사라져 녹았던 물이 다시 얼게 된다.

물과 이산화 탄소의 상평형 그림에서 물의 용해 곡선은 음의 기울기를 나타내지만 이산화 탄소의 용해 곡선은 양의 기울기를 나타낸다. 따라서 외부 압력이 커지면 물의 어는점은 낮아지지만 이산화 탄소의 어는점은 높아진다. 일반적으로 외부 압력이 커지면 물질 입자들 사이의 간격이 줄어들어 밀도가 커진다. 대부분의 물질들은 고체가 액체보다 밀도가 크기 때문에 외부 압력이 커지면 액체가 고체로 변한다. 하지만 물은 얼음의 밀도가 물보다 작기 때문에 외부 압력이 커지면 얼음이 녹아 물이 된다.

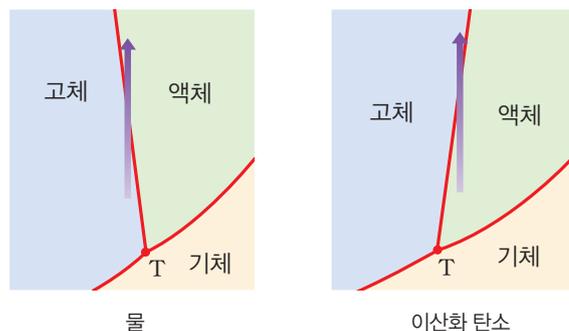


그림 II-23 압력의 증가에 따른 물과 이산화 탄소의 상태 변화

물의 상평형 그림을 이용하여 우리 생활 속의 상태 변화와 관련된 현상들을 설명할 수 있다. 압력 밥솥을 이용하여 짧은 시간에 밥을 지을 수 있거나 높은 산에서 밥을 할 때 쌀이 설익는 것은 외부 압력에 따라 끓는점이 달라지기 때문이다. 압력 밥솥은 내부 압력이 대기압보다 높아서 물이 100 °C보다 높은 온도에서 끓기 때문에 쌀이 잘 익고 밥하는 시간을 줄일 수 있다. 반대로 높은 산에서는 대기압이 낮아 물이 100 °C보다 낮은 온도에서 끓기 때문에 쌀이 설익는다.



그림 II-24 외부 압력에 따른 끓는점 변화의 예

물은 3중점의 압력이 0.006 기압이다. 따라서 1 기압에서 얼음에 열을 가하면 액체 인 물을 거쳐 수증기로 변한다. 반면 이산화 탄소는 3중점의 압력이 5.1 기압이다. 따라서 드라이아이스는 1 기압에서 열을 가하면 액체 상태를 거치지 않고 승화한다. 물도 외부 압력이 3중점의 압력보다 낮으면 승화가 일어날 수 있다. 동결 건조 방법은 3중점 이하의 압력에서 얼음이 승화하는 성질을 이용한다. 식품을 급속 냉동한 뒤 압력을 0.006 기압 이하로 낮추면 얼어 있는 식품 속의 물이 승화하므로 식품을 건조할 수 있다. 이러한 동결 건조 방법은 영양소의 파괴가 적고 식품 고유의 맛과 향을 보존할 수 있으며, 우주 식량을 만드는 데도 사용한다.



그림 II-25 드라이아이스의 승화



그림 II-26 우주 식량

평가하기

- 1 상평형 그림에서 세 곡선의 의미를 설명해 보자.
- 2 일정한 온도에서 외부 압력을 높일 때 얼음의 상태 변화를 상평형 그림으로 설명해 보자.



스스로 확인하기



핵심 내용 정리하기

화학 평형

화학 평형과 평형 상수

- 조건에 따라 정반응과 역반응이 모두 일어날 수 있는 반응을 ㉠ 이라고 하며, 반응물과 생성물의 농도가 일정하게 유지되는 상태를 ㉡ 상태라고 한다.
- 화학 평형 상태는 정반응과 역반응이 같은 속도로 일어나고 있는 ㉢ 상태이다.
- 화학 평형 상태에서 반응물의 농도 곱에 대한 생성물의 농도 곱의 비를 ㉣ 라고 한다.
- 평형 상수식에 반응물과 생성물의 현재 농도를 대입하여 얻은 값을 ㉤ 라고 하고, ㉤ 가 평형 상수보다 크면 반응이 ㉥ 쪽으로 진행된다.

평형 이동

- 평형 상태에서 반응물의 농도를 증가시키면 ㉦ 쪽으로 평형이 이동하고, 압력을 증가시키면 기체의 몰수가 ㉧ 하는 방향으로 평형이 이동한다.
- 정반응이 발열 반응일 때 온도를 높이면 ㉨ 쪽으로 평형이 이동하고, 이때 평형 상수는 ㉩ 한다.
- ㉪ 에 따르면 농도, 압력, 온도와 같은 외부 조건이 변하면 그 변화를 줄이는 방향으로 평형이 이동한다.

상평형

- 상평형 그림은 물질의 상태와 ㉫ , ㉬ 의 관계를 그래프로 나타낸 것으로 증기 압력 곡선, 용해 곡선, 승화 곡선으로 이루어져 있고, 세 곡선이 만나는 점을 3중점이라고 한다.
- 물의 용해 곡선은 음의 기울기를 나타내므로 압력이 높아지면 어는점이 ㉭ .

스스로 평가하기

- 1 가역 반응에서 반응 용기에 반응물만 넣었을 때 시간에 따른 반응물과 생성물의 농도 변화를 설명해 보자.
- 2 평형 상수와 반응 지수의 크기를 비교하여 반응의 진행 방향을 예측해 보자.
- 3 농도, 압력, 온도 변화에 따른 평형의 이동을 설명해 보자.
- 4 르샤틀리에 원리가 적용되는 생활 속의 예를 들어 보자.
- 5 물의 상평형 그림에서 외부 압력이 변할 때 끓는점의 변화를 설명해 보자.

* 성취 정도를 표시해 보자

20 | 40 | 60 | 80 | 100

20 | 40 | 60 | 80 | 100

20 | 40 | 60 | 80 | 100

20 | 40 | 60 | 80 | 100

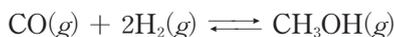
20 | 40 | 60 | 80 | 100



개념 확장하기

1

일정한 온도와 압력에서 밀폐된 용기에 일산화 탄소(CO)와 수소(H₂) 기체를 넣었더니 다음과 같은 반응으로 평형에 도달하였다.



<보기>에서 옳은 것을 모두 골라 보자.

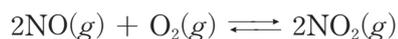
• 보기 •

- ㄱ. 반응물과 생성물이 함께 존재한다.
- ㄴ. 메탄올(CH₃OH)의 농도는 변하지 않는다.
- ㄷ. 정반응 속도와 역반응 속도가 같다.

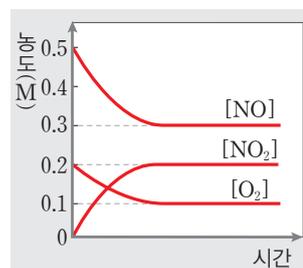
2

그림은 어떤 온도에서 일산화 질소(NO)와 산소(O₂)가 반응하여 이산화 질소(NO₂)가 생성될 때 시간에 따른 반응물과 생성물의 농도 변화를 나타낸 것이다.

(1) 다음 반응의 평형 상수를 구해 보자.



(2) 같은 온도에서 1 L 용기에 NO, O₂, NO₂가 각각 1몰씩 들어 있다면 반응은 어느 쪽으로 진행될까?



3

다음은 오염화 인(PCl₅)의 분해 반응을 열화학 반응식으로 나타낸 것이다.



이 반응이 평형 상태에 있을 때 평형이 역반응 쪽으로 이동할 때를 <보기>에서 모두 골라 보자.

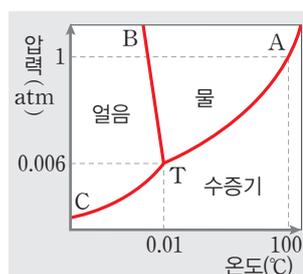
• 보기 •

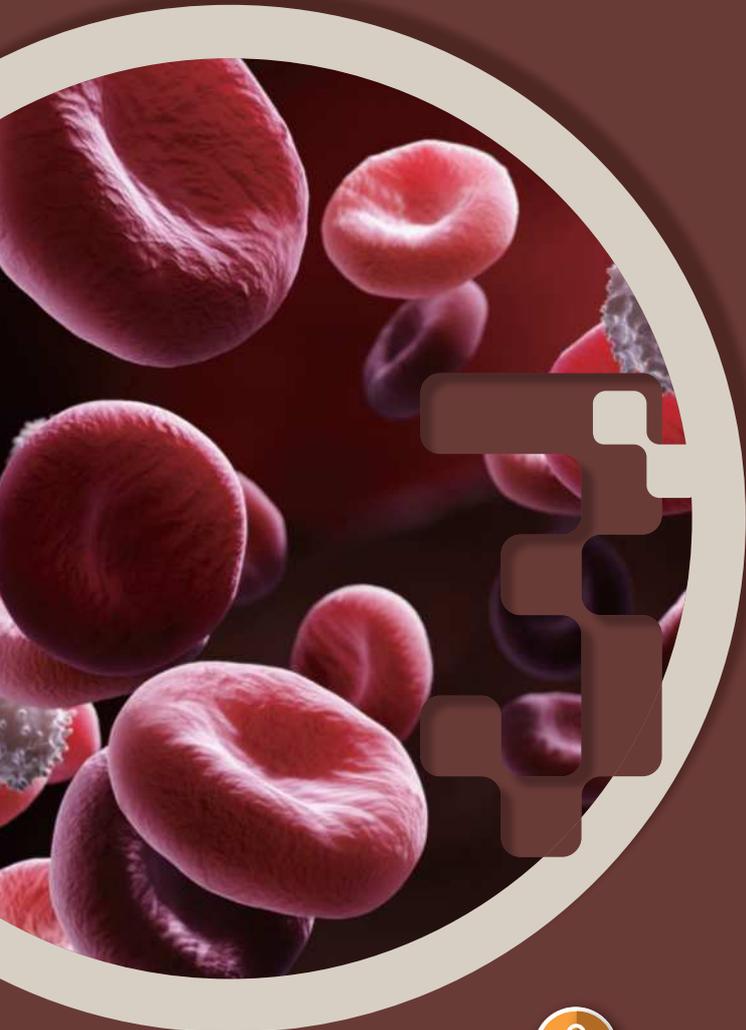
- ㄱ. 반응 용기에 염소(Cl₂) 기체를 넣을 때
- ㄴ. 반응 용기의 부피를 줄일 때
- ㄷ. 온도를 높일 때

4

그림은 물의 상평형 그림을 나타낸 것이다. 다음의 각 현상과 관련된 곡선을 TA, TB, TC에서 골라 써 보자.

- (1) 높은 산에서 밥을 하면 쌀이 설익는다.
- (2) 동결 건조 방법을 이용하여 건조 식품을 만든다.
- (3) 얼음에 압력을 가하면 얼음이 녹는다.





산 염기 평형

- 01. 산과 염기의 세기
- 02. 완충 용액

생체 내의 완충 용액 혈액



이 단원의 주요 개념

01

산과 염기의 세기 (p.111~117)

- 이온화 상수와 산 염기의 세기
- 짝산 - 짝염기의 상대적 세기
- 염의 가수 분해
- 산과 염기의 세기는 어떻게 나타낼 수 있을까?
- 산과 염기가 중화 반응을 하여 생긴 염 수용액의 액성은 어떻게?

02

완충 용액 (p.118~125)

- 공통 이온 효과
- 완충 용액
- 완충 용액은 어떻게 pH 변화를 막을 수 있을까?
- 생체 내에서 완충 용액은 어떤 역할을 할까?



나의 학습 준비 - 알고 있는 용어를 표시해 보자.

- | | | |
|----------------------------|--------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> 산 | <input type="checkbox"/> 염기 | <input type="checkbox"/> 브뢴스테드-로리 산 염기 |
| <input type="checkbox"/> 염 | <input type="checkbox"/> 공통 이온 | |



나의 학습 계획

- 이 단원에서 배우게 될 내용 가운데 내가 알고 싶거나 궁금한 것을 적어 보자.

.....

.....

.....

01 산과 염기의 세기

- 이온화 상수를 이용하여 산과 염기의 세기를 설명할 수 있다.
- 염의 가수 분해와 염 수용액의 특성을 설명할 수 있다.

생각 열기

식초의 성분인 아세트산이나 음료에 들어 있는 탄산은 먹을 수 있지만, 자동차의 배터리에 사용되는 황산이나 화합물을 생산할 때 사용하는 염산은 먹을 수 없다.

Q 산의 종류에 따라 이러한 차이가 생기는 까닭은 무엇일까?



1 이온화 상수와 산과 염기의 세기

산이나 염기는 세기에 따라 강산과 약산, 강염기와 약염기로 나눌 수 있다. 산과 염기의 세기에 따라 성질에 어떤 차이가 있을까?

연계 학습

산과 염기의 성질 ▶ 통합과학, VI 화학 변화 / 화학 I, IV-1 산 염기와 중화 반응

미니 탐구

토의

산의 세기 비교

1 M 염산과 1 M 아세트산 수용액이 20 mL씩 들어 있는 시험관에 전극을 담가 전류의 세기를 비교하였다. 그리고 두 시험관에 같은 크기의 아연 조각을 넣은 뒤 발생하는 기포의 양을 비교하였다. 표는 실험 결과를 나타낸 것이다.



구분	1 M 염산	1 M 아세트산 수용액
전류의 세기	강함	약함
기포의 양	많음	적음

산은~
전류를 흐르게 하고 신맛이 나며, 푸른색 리트머스 종이를 붉게 변화시켜, 금속과 반응하면 수소가 발생하고, 탄산 칼슘과 반응하면 이산화 탄소가 발생해.

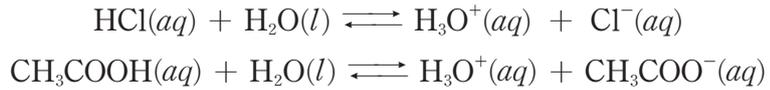


- 1 염산이 아세트산 수용액보다 전류의 세기가 강한 까닭을 토의해 보자.
- 2 염산이 아세트산 수용액보다 아연과 반응하여 발생하는 기포의 양이 많은 까닭을 토의해 보자.

연계 학습

브뢴스테드-로리의 산 염기 ▶
화학 I, IV-1 산 염기와 중화
반응

염산과 아세트산 수용액의 농도가 같아도 용액에 흐르는 전류의 세기나 금속과 반응할 때 발생하는 기체의 양은 다르다. 브뢴스테드-로리의 산 염기 정의에 따르면 염산과 아세트산은 수소 이온(H⁺)을 내놓는 산이다.



염산은 수소 이온을 많이 내놓기 때문에 수용액 속에 존재하는 이온의 수가 많고 전류가 강하게 흐른다. 반면 아세트산은 내놓는 수소 이온의 수가 적기 때문에 전류가 약하게 흐른다. 염산과 같이 수용액에서 대부분 이온화하는 산을 **강산**이라고 하고 아세트산과 같이 수용액에서 일부만 이온화하는 산을 **약산**이라고 한다.

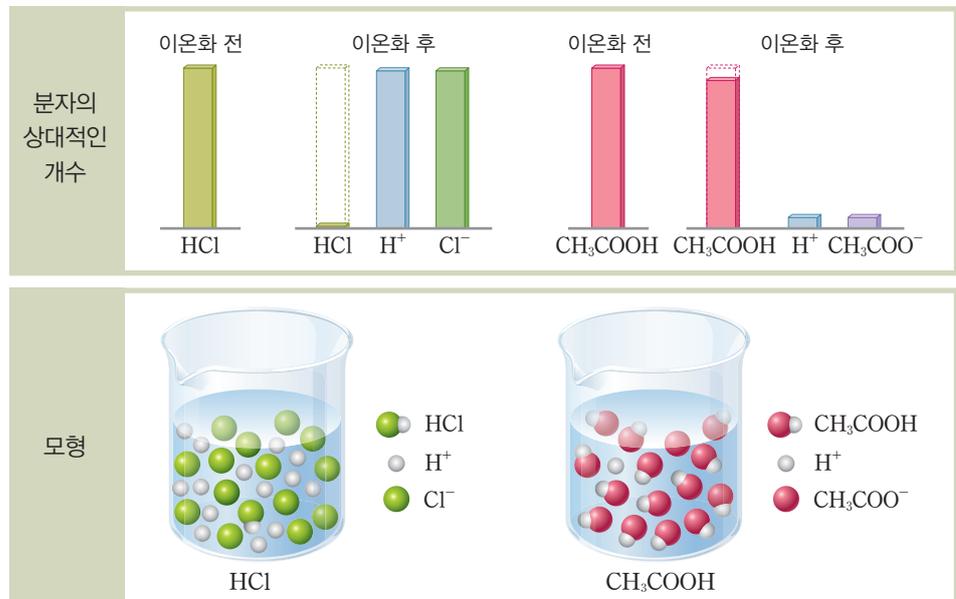
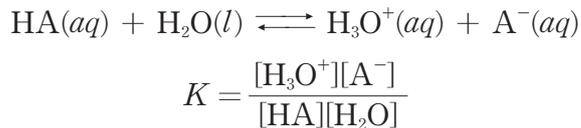


그림 II-27 염산과 아세트산의 이온화

일반적으로 약산(HA)은 수용액에서 물과 반응하여 이온화 평형을 이루고, 이 반응의 평형 상수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.



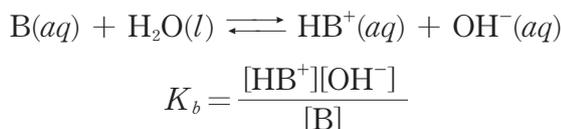
약산의 수용액에서 용매인 물의 농도는 거의 변하지 않으므로 [H₂O]는 상수로 볼 수 있다. 따라서 위의 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$K_a = K[\text{H}_2\text{O}] = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$$

이때 K_a 를 산의 이온화 상수라고 한다.

K_a 는 일종의 평형 상수이므로 온도가 일정하면 그 물질의 농도에 관계없이 일정하다. K_a 가 클수록 정반응이 우세하여 평형 상태에서 H_3O^+ 의 농도가 높으므로 상대적으로 산의 세기가 강하고, K_a 가 작을수록 역반응이 우세하여 평형 상태에서 H_3O^+ 의 농도가 낮으므로 상대적으로 산의 세기가 약하다.

약산과 마찬가지로 약염기(B)도 수용액에서 다음과 같이 이온화 평형을 이룬다.



이때 K_b 를 염기의 이온화 상수라고 한다. K_b 도 온도가 일정하면 농도와 관계없이 일정하고, K_b 가 클수록 염기의 세기가 강하고, K_b 가 작을수록 염기의 세기가 약하다. 표 II-3은 몇 가지 약산의 이온화 상수를 나타낸 것이다.

표 II-3 몇 가지 약산의 이온화 상수(25 °C)

산	K_a	산	K_a
플루오린화 수소산(HF)	6.3×10^{-4}	아세트산(CH ₃ COOH)	1.8×10^{-5}
아질산(HNO ₂)	5.6×10^{-4}	사이안화 수소산(HCN)	6.2×10^{-10}
폼산(HCOOH)	1.8×10^{-4}		

$K[H_2O] = K_b$ 로 나타낼 수 있지.



〈출처〉 Haynes, "CRC handbook of chemistry and physics", 2016.

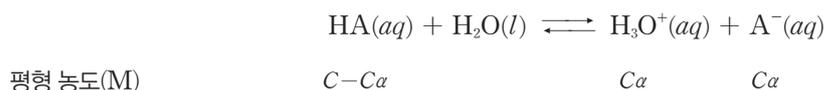
자료실 이온화도와 이온화 상수의 관계는?

산의 세기를 나타내는 다른 방법으로 이온화도가 있다. 이온화도(α)는 산이나 염기와 같은 전해질이 수용액에서 이온화하는 정도를 말하며, 용해된 전해질의 몰수에 대한 이온화된 전해질의 몰비로 나타낸다.

$$\text{이온화도}(\alpha) = \frac{\text{이온화된 전해질의 몰수}}{\text{용해된 전해질의 몰수}} \quad (0 < \alpha \leq 1)$$

이온화도는 산과 염기의 종류에 따라 다르다. 강산과 강염기는 수용액에서 대부분 이온화하므로 이온화도가 1에 가까우며, 약산과 약염기의 이온화도는 매우 작다.

평형 상수인 이온화 상수는 농도와 관계없이 일정하지만, 이온화도는 산과 염기의 농도에 따라 값이 달라진다. 농도가 C M 인 약산 HA의 이온화도가 α 라고 할 때, 이 산이 이온화 평형을 이룬 상태에서의 각 성분의 농도는 다음과 같다.



산의 이온화 상수 $K_a = \frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]} = \frac{C\alpha \times C\alpha}{C(1-\alpha)} = \frac{C\alpha^2}{1-\alpha}$ 인데, 약산은 α 가 1에 비해 매우 작으므로 $1-\alpha \approx 1$

로 둘 수 있다. 따라서 $K_a \approx C\alpha^2$ 이 된다. 즉, $\alpha = \sqrt{\frac{K_a}{C}}$ 이므로 농도가 묽을수록 이온화도가 커짐을 알 수 있다.

산과 염기의 이온화 상수를 이용하면 반응물과 생성물의 평형 농도를 구할 수 있다.



예제 ·· CH_3COOH 은 수용액에서 다음과 같이 이온화 평형을 이룬다.



25 °C에서 0.1 M CH_3COOH 수용액에 들어 있는 H_3O^+ 과 CH_3COO^- 의 농도를 구해 보자. (단, 25 °C에서 CH_3COOH 의 이온화 상수(K_a)는 1.8×10^{-5} 이다.)

풀이 ·· 단계 1 반응물과 생성물의 평형 농도를 구한다.

	$\text{CH}_3\text{COOH}(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+(aq) + \text{CH}_3\text{COO}^-(aq)$		
처음 농도(M)	0.1	0	0
농도 변화(M)	-x	+x	+x
평형 농도(M)	0.1-x	x	x

단계 2 평형 농도를 이온화 상수식에 대입한다.

$$K_a = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = \frac{x \times x}{0.1 - x} = 1.8 \times 10^{-5}$$

약산은 x 가 매우 작으므로 $0.1 - x \approx 0.1$ 로 둘 수 있다.

$$x^2 = 1.8 \times 10^{-5} \times 0.1 \text{ 이므로, } x = 1.34 \times 10^{-3} \text{ M이다.}$$

따라서 평형 농도는 $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{CH}_3\text{COO}^-] = 1.34 \times 10^{-3} \text{ M}$ 이다.

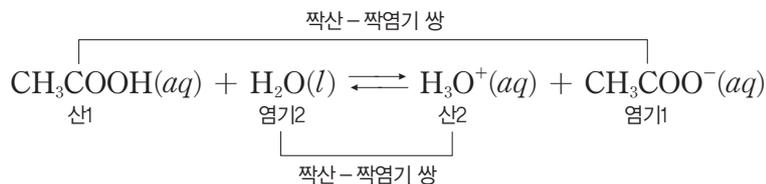
유제 ·· 25 °C에서 1 M 플루오린화 수소산(HF)에 들어 있는 H_3O^+ 의 농도를 구해 보자. (단, 25 °C에서 HF의 $K_a = 6.3 \times 10^{-4}$ 이다.)



계산 결과 구한 수소 이온의 농도($[\text{H}_3\text{O}^+]$) 0.00134 M은 초기 농도 0.1M에 비해 충분히 작으므로, $0.1 - x \approx 0.1$ 로 둔 가정은 적절해.

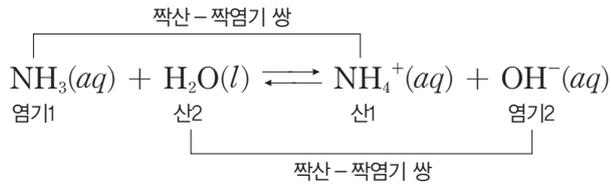


아세트산은 물과 반응하여 다음과 같이 이온화 평형을 이룬다.



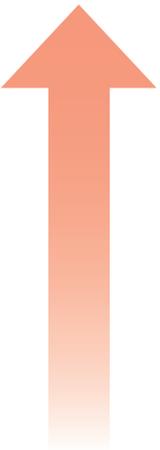
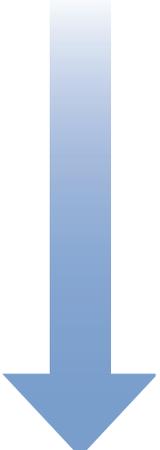
정반응에서는 CH_3COOH 이 H^+ 을 내놓고 H_2O 이 H^+ 을 받으므로 CH_3COOH 이 산이고 H_2O 이 염기이다. 역반응에서는 H_3O^+ 이 H^+ 을 내놓고 CH_3COO^- 이 H^+ 을 받으므로 H_3O^+ 이 산이고 CH_3COO^- 이 염기이다. 이때 CH_3COOH 과 CH_3COO^- 과 같이 H^+ 의 이동으로 산과 염기가 되는 한 쌍의 물질을 짝산-짝염기라고 한다.

짝산-짝염기는 염기의 이온화 평형에서도 찾을 수 있다. 수용액에서 암모니아(NH₃)는 물과 반응하여 다음과 같이 이온화 평형을 이룬다. 이 반응에서 NH₄⁺과 NH₃, H₂O과 OH⁻은 각각 짝산-짝염기의 관계에 있다.

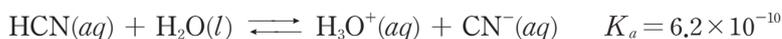


산과 염기의 이온화 상수를 이용하면 짝산-짝염기 쌍에서 산과 염기의 상대적 세기를 비교할 수 있다. 25 °C에서 아세트산의 이온화 상수(K_a)는 1.8×10^{-5} 으로 매우 작다. K_a 가 작다는 것은 평형 상태에서 역반응이 우세하다는 것을 뜻한다. 따라서 H₃O⁺이 CH₃COOH보다 상대적으로 산의 세기가 강하고 CH₃COO⁻이 H₂O보다 상대적으로 염기의 세기가 강하다. 일반적으로 산의 세기가 강할수록 그 짝염기의 세기는 약하고, 산의 세기가 약할수록 그 짝염기의 세기는 강하다.

표 II-4 산과 그 짝염기의 상대적 세기

산의 상대적 세기	짝산	짝염기	염기의 상대적 세기
	H ₃ O ⁺	H ₂ O	
	HSO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	
	H ₃ PO ₄	H ₂ PO ₄ ⁻	
	HF	F ⁻	
	HCOOH	HCOO ⁻	
	CH ₃ COOH	CH ₃ COO ⁻	
	H ₂ CO ₃	HCO ₃ ⁻	
	HCN	CN ⁻	
	NH ₄ ⁺	NH ₃	
	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	
	H ₂ O	OH ⁻	
	약		

? 사이안산(HCN)은 물과 반응하여 다음과 같이 이온화 평형을 이룬다.



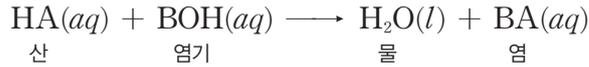
브뢴스테드-로리의 산과 염기를 찾고 산 염기의 상대적 세기를 비교해 보자.

연계 학습

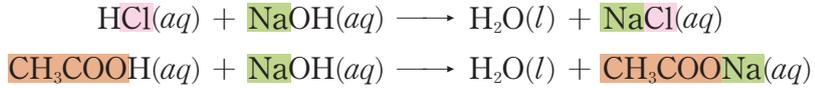
중화 반응 ▶ 통합과학, VI 화학 변화

2 염의 가수 분해

산과 염기가 중화 반응하면 물과 함께 염이 생성된다. 염은 산의 음이온과 염기의 양이온이 결합하여 생성된 이온 화합물이다.



다음과 같이 염은 반응한 산과 염기의 종류에 따라 달라진다.



염을 물에 녹이면 액성은 중성일까? 다음 탐구 활동으로 염 수용액의 액성을 알아보자.



여러 가지 염 수용액의 액성



준비물

염화 나트륨(NaCl), 황산 칼륨(K₂SO₄), 탄산수소 나트륨(NaHCO₃), 아세트산 나트륨(CH₃COONa), 염화 암모늄(NH₄Cl), 증류수, 비커, 유리 막대, 만능 pH 시험지, 약순가락, 시약포지, 전자 저울, 실험용 장갑, 보안경

과정

- 1 비커에 증류수를 각각 20 mL씩 넣고, NaCl, K₂SO₄, NaHCO₃, CH₃COONa, NH₄Cl을 각각 1 g씩 넣어 녹인다.
- 2 각 수용액을 유리 막대에 묻혀 만능 pH 시험지에 대어 본 뒤, 표준 변색표와 비교하여 pH를 측정한다.



정리

- 1 각 염 수용액의 pH와 액성을 기록한다.

염	NaCl	K ₂ SO ₄	NaHCO ₃	CH ₃ COONa	NH ₄ Cl
수용액의 pH					
수용액의 액성					

- 2 염 수용액의 액성과 염을 만드는 데 사용된 산과 염기의 세기는 어떤 관계가 있는지 토의해 보자.

주의 사항



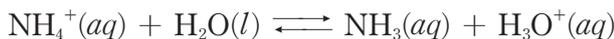
염 수용액은 염을 이루는 양이온과 음이온의 종류에 따라 액성이 달라진다. 약산인 아세트산과 강염기인 수산화 나트륨이 중화 반응하여 생성된 아세트산 나트륨(CH₃COONa)은 수용액에서 다음과 같이 이온화한다.



아세트산 이온(CH₃COO⁻)은 약산인 아세트산의 짝염기이므로 H⁺과의 결합력이 강하다. 따라서 CH₃COO⁻의 일부가 물과 반응하여 OH⁻을 생성한다. 이 때문에 CH₃COONa 수용액은 약한 염기성을 나타낸다.



강산과 약염기의 중화 반응으로 생성된 염인 염화 암모늄(NH₄Cl)은 수용액에서 약한 산성을 나타낸다. 이것은 약염기의 짝산인 NH₄⁺의 일부가 물과 반응하여 H₃O⁺을 생성하기 때문이다.



이처럼 염의 수용액에서 염을 이루는 이온이 물과 반응하여 H₃O⁺이나 OH⁻을 생성하는 반응을 염의 가수 분해라고 한다.

강산과 강염기의 중화 반응으로 생성된 염인 염화 나트륨의 수용액이 중성인 것은 Na⁺과 Cl⁻이 가수 분해하지 않기 때문이다. 표 II-5는 염을 이루는 양이온과 음이온의 종류에 따른 염 수용액의 액성을 나타낸 것이다.

표 II-5 염 수용액의 액성

반응한 산과 염기	염의 예	염 수용액의 액성
강산 + 강염기	NaCl, KCl, NaNO ₃	중성
강산 + 약염기	NH ₄ Cl, NH ₄ NO ₃	산성
약산 + 강염기	CH ₃ COONa, KCN, Na ₂ CO ₃	염기성

염의 가수 분해의 원리

약산과 약염기는 수용액에서 이온화하기보다는 분자 상태로 존재하려고 한다. 따라서 약산의 짝염기는 물로부터 H⁺을 받아 분자 상태로 돌아가려고 하고, 약염기의 짝산은 물에 H⁺을 주고 분자 상태로 돌아가려고 한다. 그 결과 염 수용액의 액성이 염기성 또는 산성이 된다.

평가하기

- 1 암모니아(NH₃)는 물과 반응하여 다음과 같이 이온화 평형을 이룬다.



25 °C에서 0.1 M 암모니아 수용액에 들어 있는 OH⁻의 농도를 구해 보자. (단, 25 °C에서 NH₃의 이온화 상수 $K_b = 1.8 \times 10^{-5}$ 이다.)

- 2 다음 염들을 수용액의 액성이 같은 것끼리 분류해 보자.
NaCl, NaHCO₃, K₂SO₄, (NH₄)₂SO₄, HCOONa

02

완충 용액

- 완충 용액의 원리를 설명할 수 있다.
- 생체 내 화학 반응에서 완충 용액의 중요성을 설명할 수 있다.



생각 열기

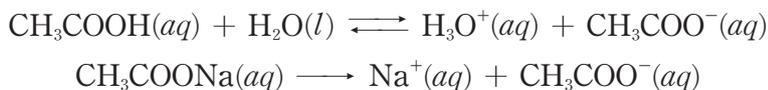
인간이 생명을 유지하려면 체온이 일정해야 한다. 일정한 체온을 유지하려고 더울 때는 땀을 흘려 열을 식히고, 추울 때는 몸을 떨어 열을 낸다.

☞ 인체에서 항상 일정하게 유지되어야 하는 것은 체온 이외에 어떤 것이 있을까?

우리 몸은 외부나 체내의 환경이 변하더라도 체온, 혈당량, 체액의 pH 등을 일정한 범위 내에서 조절하여 생명을 유지한다. 특히 pH는 우리 몸에서 일어나는 다양한 화학 반응과 관련되어 있어 매우 중요하다. 우리 몸의 pH가 어떻게 조절되는지 알아보자.

1 공통 이온 효과와 완충 용액

평형 상태에 있는 아세트산(CH₃COOH) 수용액에 아세트산 나트륨(CH₃COONa)을 넣으면 어떤 변화가 일어날까? CH₃COOH은 수용액에서 이온화 평형을 이루며, CH₃COONa은 물에 녹아 대부분 이온화한다.



CH₃COONa의 이온화로 용액 속 CH₃COO⁻의 농도가 증가하여 평형 상태가 깨지므로, 르사틀리에 원리에 따라 CH₃COO⁻의 농도를 감소시키는 역방향 쪽으로 평형이 이동한다. 이처럼 이온화 평형에 참여하는 이온과 공통되는 이온을 수용액에 넣을 때 그 이온의 농도가 감소하는 방향으로 평형이 이동하는 현상을 **공통 이온 효과**라고 한다.

① 농도 증가



② CH₃COO⁻의 농도가 감소하는 역반응 쪽으로 평형 이동

CH₃COONa을 CH₃COOH 수용액에 넣으면 공통 이온 효과로 평형이 역반응 쪽으로 이동하므로, 용액 속 H₃O⁺의 농도가 감소하여 pH가 증가한다.



공통 이온

CH₃COOH과 CH₃COONa은 모두 이온화하면 CH₃COO⁻이 생성된다. 이처럼 서로 다른 전해질에 공통으로 포함되어 있는 이온을 공통 이온이라고 한다.



pH

pH는 수소 이온 농도 지수로 용액의 산성도를 나타내며 다음과 같이 정의한다.

$$\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$$

CH_3COOH 과 CH_3COO^- 이 함께 녹아 있는 용액처럼 약산과 그 약산의 짝염기가 섞여 있는 용액이나 약염기와 그 약염기의 짝산이 섞여 있는 용액을 완충 용액이라고 한다. 물과 완충 용액에 소량의 산이나 염기를 넣을 때 용액의 pH는 어떻게 변하는지 알아보자.



완충 용액의 특징



과정

- 1 삼각 플라스크 2개에 증류수와 완충 용액을 각각 50 mL씩 넣는다.
- 2 증류수와 완충 용액을 유리 막대에 묻혀 만능 pH 시험지에 대어 본 뒤 표준 변색표와 비교하여 pH를 측정한다.
- 3 증류수와 완충 용액에 1 M $\text{HCl}(aq)$ 을 각각 한 방울씩 떨어뜨린 뒤 pH를 측정한다.
- 4 새로운 증류수와 완충 용액을 준비하여 1 M NaOH 수용액을 각각 한 방울씩 떨어뜨린 뒤 pH를 측정한다.



준비물

pH 4.8 완충 용액, 1 M 염산 ($\text{HCl}(aq)$), 1 M 수산화 나트륨(NaOH) 수용액, 증류수, 삼각 플라스크, 유리 막대, 스포이트, 만능 pH 시험지, 실험용 장갑, 보안경
 ※ pH 4.8 완충 용액은 증류수 100 mL에 아세트산 3 g, 아세트산 나트륨 4 g을 녹여 미리 준비한다.

주의 사항

- 염산과 수산화 나트륨 수용액이 피부나 옷에 묻지 않도록 한다.
- 실험에 사용한 용액은 반드시 폐수통에 버린다.



결과 및 정리

- 1 각 실험 과정에서 측정한 pH를 표에 기록한다.

구분	증류수	완충 용액
실험 전		
1 M $\text{HCl}(aq)$ 을 넣었을 때		
1 M NaOH 수용액을 넣었을 때		

- 2 증류수와 완충 용액에 각각 소량의 강산이나 강염기를 넣었을 때 pH 변화를 비교해 보자.
- 3 실험 결과를 바탕으로 하여 완충 용액의 특징을 설명하고, 이를 어떻게 활용할 수 있을지 토의해 보자.

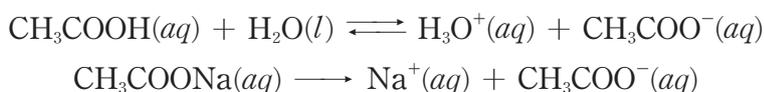
모듬 활동	
역할	이름
모듬장	
자료 관리자	
기록자	
점검자	

그림 II-28은 증류수와 완충 용액에 각각 소량의 HCl(aq)과 NaOH 수용액을 넣었을 때 지시약인 BTB 용액의 색깔 변화를 나타낸 것이다. 증류수는 산이나 염기를 조금만 넣어도 pH가 크게 변하지만 완충 용액은 pH가 거의 변하지 않는다.



그림 II-28 증류수와 완충 용액(pH 7)에 강산이나 강염기를 넣었을 때의 변화

완충 용액에 소량의 강산이나 강염기를 넣어도 pH가 크게 변하지 않는 까닭은 무엇일까? CH₃COOH과 CH₃COONa이 같은 몰수만큼 녹아 있는 완충 용액에서 CH₃COOH과 CH₃COONa은 다음과 같이 이온화한다.



CH₃COOH은 약산이므로 매우 적은 양만 이온화하고 염인 CH₃COONa은 대부분 이온화하므로, 완충 용액에는 CH₃COOH과 CH₃COO⁻이 거의 비슷한 양만큼 존재한다. 이 용액에 HCl과 같은 강산을 소량 넣으면 HCl이 물과 반응하여 생긴 H₃O⁺이 용액 속의 CH₃COO⁻과 반응하여 없어지므로 pH가 거의 일정하게 유지된다.



반대로 완충 용액에 NaOH과 같은 강염기를 소량 넣어도 NaOH이 이온화하여 생긴 OH⁻이 용액 속의 CH₃COOH과 중화 반응하여 없어지므로 pH가 거의 일정하게 유지된다.



일반적으로 약산(HA)과 그 약산의 짝염기(A⁻)로 이루어진 완충 용액에 산을 넣으면 A⁻과 반응하여 산이 없어지고, 염기를 넣으면 HA와 반응하여 염기가 없어지므로 용액의 pH가 크게 변하지 않는다.

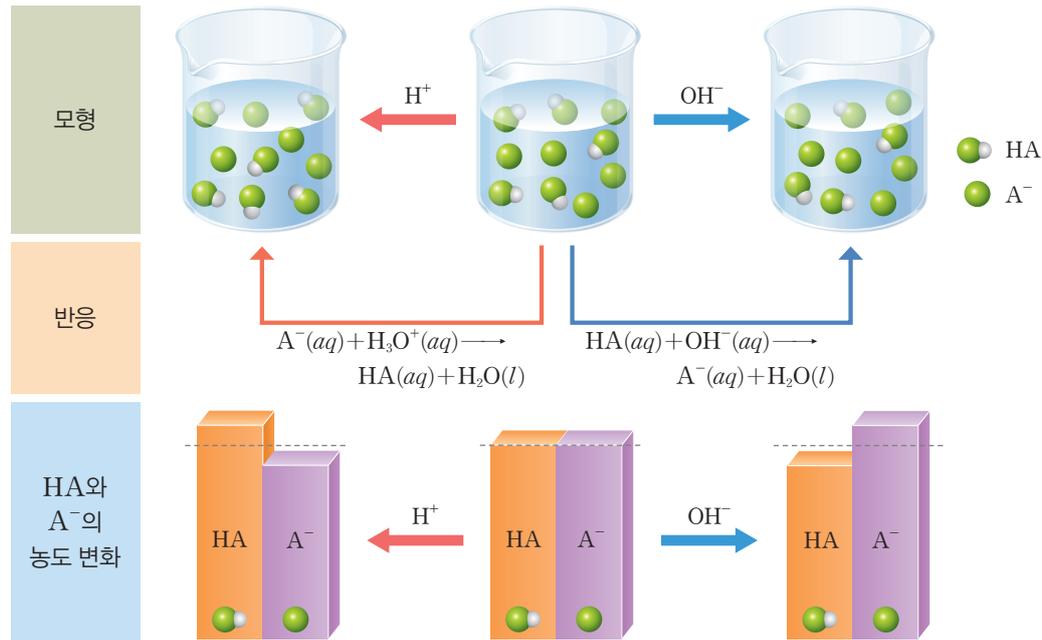


그림 II-29 완충 용액의 원리

? 약산 HCN과 CN⁻으로 이루어진 완충 용액에 소량의 산을 넣을 때 일어나는 변화를 화학 반응식으로 나타내 보자.

자료실 완충 용액의 pH는 어떻게 조절할까?

완충 용액은 효소를 사용하는 많은 생물 관련 실험에 사용될 뿐만 아니라 직물 염색, 페인트 제조 등 산업 분야에도 활용된다. 또한 세탁 세제나 화장품의 성분 물질들이 분해되는 것을 막는 데 사용되기도 한다. 완충 용액의 pH는 각각의 목적에 따라 다양한 값을 가지는데, 완충 용액의 pH는 어떻게 조절할까?

완충 용액의 pH는 사용하는 약산과 그 약산의 짝염기 또는 약염기와 그 약염기의 짝산의 종류에 따라 달라진다. 예를 들어 약산인 아세트산(CH₃COOH)과 아세트산의 짝염기(CH₃COO⁻)를 포함하는 염인 아세트산 나트륨(CH₃COONa)을 같은 양만큼 녹이면 pH 4.75인 산성 완충 용액이 된다. 반면 약염기인 암모니아(NH₃)와 그 짝산(NH₄⁺)을 포함하는 염인 염화 암모늄(NH₄Cl)을 같은 양만큼 녹이면 pH 9.25인 염기성 완충 용액이 된다.

완충 용액의 pH는 약산과 약염기의 양에 따라서도 달라진다. 아세트산과 아세트산 나트륨으로 만든 완충 용액에서 약산인 아세트산의 양이 짝염기의 양보다 많아지면 완충 용액의 pH는 4.75보다 낮아지고, 약염기의 양이 더 많아지면 pH는 4.75보다 높아진다.

📖 몇 가지 체액의 pH

혈액: 7.4

세포질: 7.0

위액: 1.6~1.8

침: 5.8~7.1

2 생체 내 완충 작용

우리 몸의 체액은 종류에 따라 pH가 조금씩 다르지만 몸 전체를 순환하는 혈액은 pH가 7.4 정도로 거의 일정하게 유지된다. 산성이나 염기성을 띠는 음식을 섭취하거나 몸속에서 산이나 염기가 생성되어도 혈액의 pH는 크게 변하지 않는다. 혈액의 pH는 어떻게 일정하게 유지될까?



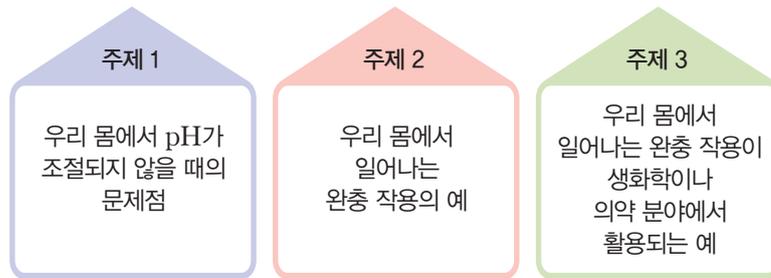
생체 내 완충 용액의 역할 조사



우리 몸의 pH는 완충 작용으로 일정하게 유지된다. 우리 몸속 완충 용액의 역할과 중요성을 조사해 보자.

주제 선정하기

완충 용액과 관련된 다음 세 가지 주제에서 모둠별로 관심 있는 주제를 정해 보자.



모둠 활동

역할	이름
모둠장	
자료 관리자	
점검자	
질문자	

모둠 활동 평가하기

- 역할을 분담하고 각자의 역할을 수행했는가?
- 서로 의견을 공유했는가?
- 모둠원을 배려하며 활동했는가?



조사하기

- 모둠에서 정한 주제의 내용을 조사해 보자.

발표, 토의하기

- 모둠별로 조사한 자료를 발표해 보자.

생체 내에서 일어나는 화학 반응에는 대부분 효소가 관여한다. 일반적으로 효소는 단백질로 이루어져 있고 단백질은 pH 변화에 따라 쉽게 변형되기 때문에 효소의 기능은 pH 변화에 민감하다. 따라서 우리 몸의 pH를 일정하게 유지하는 것은 매우 중요하다.

혈액은 우리 몸의 pH를 유지하는 데 가장 큰 역할을 하는 완충 용액이다. 혈액의 pH는 7.4 정도이며 다양한 화학 물질로 유지되는데, 탄산(H_2CO_3)과 탄산수소 이온(HCO_3^-)으로 나타나는 완충 작용이 가장 중요하다. H_2CO_3 은 혈액에 CO_2 가 녹아 생성되며, 혈액 속에서 약산인 H_2CO_3 과 H_2CO_3 의 짝염기인 HCO_3^- 은 평형을 이룬다.



운동으로 생긴 젖산이나 몸의 이상 등과 같이 여러 가지 이유로 혈액 속 H_3O^+ 의 농도가 증가하면 반응 ②에서 평형이 역반응 쪽으로 이동하여 H_2CO_3 이 생성된다.



H_2CO_3 의 농도가 증가하면 반응 ①에서 평형이 역반응 쪽으로 이동하여 H_2CO_3 이 CO_2 와 물로 분해된다. 이렇게 생성된 CO_2 는 호흡으로 몸 밖으로 배출된다. 그 결과 증가한 H_3O^+ 이 없어지므로 혈액의 pH는 일정하게 유지된다. 반대로 혈액 속 OH^- 의 농도가 증가하면 H_2CO_3 과 반응하여 없어지므로 혈액의 pH는 일정하게 유지된다.

젖산

글리코젠이 분해되어 생성되는 물질로, 주로 운동을 할 때 근육 속에서 만들어진다. 젖산이 혈액 속으로 녹아들면 혈액의 pH가 낮아진다.

? 완충 용액인 혈액을 구성하는 약산과 약산의 짝염기는 각각 무엇인지 써 보자.

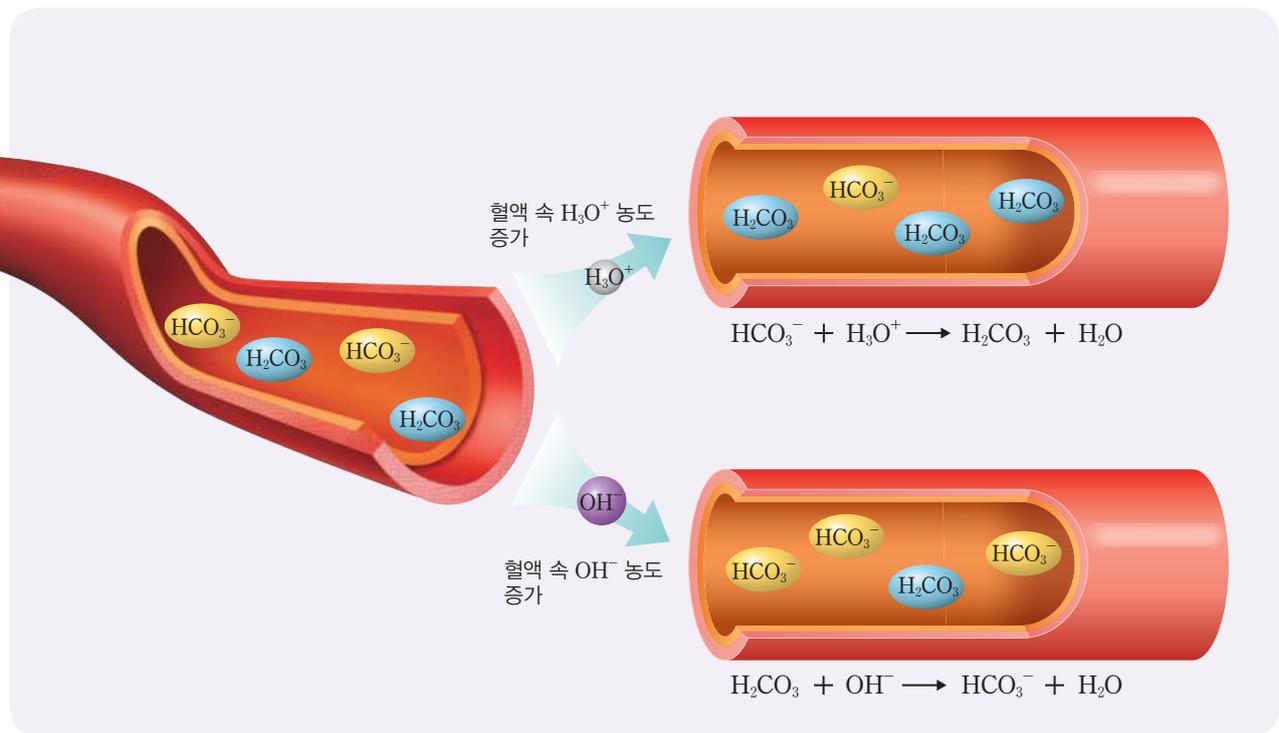


그림 II-30 탄산과 탄산수소 이온으로 나타나는 혈액의 완충 작용



혈액 속에 존재하는 양이 많지 않아 그 효과가 크지는 않지만 인산이수소 이온과 인산수소 이온의 완충 작용도 혈액의 pH 조절에 영향을 미친다. 두 이온은 수용액 속에서 다음과 같은 평형을 이룬다.



혈액 속 H_3O^+ 의 농도가 증가하면 역반응 쪽으로 평형이 이동하여 증가한 H_3O^+ 을 없애므로 pH 변화를 막는다. 반대로 H_3O^+ 의 농도가 감소하면 정반응 쪽으로 평형이 이동하여 다시 H_3O^+ 의 농도를 증가시켜 pH 변화를 막는다.

이렇게 우리 몸의 pH는 다양한 완충 작용으로 조절된다. 우리 몸의 pH가 적절히 조절되지 않으면 생명을 유지하는 데 필요한 화학 반응들이 일어나지 않아 질병에 걸리거나 목숨을 잃을 수도 있다. 따라서 생체 내 완충 용액은 생명을 유지하는 데 없어서는 안 될 중요한 장치이다.

생각 넓히기 고산병은 산소가 부족한 높은 지대에서 우리 몸에 생기는 증상이다. 공기 중의 산소가 부족하면 우리 몸은 호흡량을 늘리고, 이 때문에 혈액의 pH가 높아진다. 산소가 부족할 때 혈액의 pH가 높아지는 까닭을 설명해 보자.

자료실 약물을 만들 때 완충 용액을 사용하는 까닭은 무엇일까?

병원에서 사용하는 주사제와 같이 약물은 여러 가지 화합물이 녹아 있는 수용액이다. 일반적으로 약물에는 자극을 줄이려고 혈액과 비슷한 pH의 완충 용액을 사용한다. 하지만 완충 용액은 약물이 안정하고 효과적으로 작용하는 데도 필요하다. 약물로 사용되는 화합물은 용액의 pH에 따라 안정하게 존재하기도 하고 분해되기도 한다. 따라서 약물이 안정하게 존재할 수 있는 pH의 완충 용액을 사용해야 한다.

또한 약물이 작용하려면 체내에 흡수되어야 하는데, 이 과정에서 세포막을 통과해야 한다. 약물로 사용하는 화합물은 대부분 약산이나 약염기로 체내의 pH에 따라 흡수율이 달라진다. 따라서 약물의 종류에 따라 pH를 조절하는 것이 필요하다.



평가하기

- 1 완충 용액이 어떻게 이루어져 있는지 설명해 보자.
- 2 탄산과 탄산수소 이온으로 이루어진 완충 용액에서 pH가 낮아질 때 일어나는 변화를 설명해 보자.

해양 산성화

산호초가 사라지고 있다. 전 세계 산호초의 9%를 차지하는 카리브해의 산호초는 현재 80% 정도 사라진 상태이며, 지난 40년간 총 50개의 거대 산호초가 사라졌다. 원인은 해양 산성화 때문이다.



그림 II-31 산호초 군락(가)과 사라진 산호초(나)

산업 혁명 이후 대기 중 이산화 탄소의 양은 급격히 증가하였다. 매년 대기로 방출되는 이산화 탄소의 약 $\frac{1}{3}$ 이 바다에 흡수된다. 이렇게 흡수된 이산화 탄소 때문에 바닷물의 pH가 낮아지는 현상이 바로 해양 산성화이다. 해양 산성화는 해양 생물들에게 어떤 영향을 미칠까?

바닷물에 녹아 있는 이산화 탄소의 일부는 물과 반응하여 탄산(H_2CO_3)을 만들고 탄산은 차례로 이온화하여 수소 이온(H^+)과 탄산수소 이온(HCO_3^-), 탄산 이온(CO_3^{2-})을 만든다. CO_3^{2-} 은 칼슘 이온(Ca^{2+})과 반응하여 산호나 바다달팽이, 플랑크톤과 같은 해양 생물의 골격을 이루는 탄산 칼슘($CaCO_3$)을 만드는 데 사용된다. 바닷물이 산성화되면 H^+ 이 CO_3^{2-} 과 반응하여 HCO_3^- 을 만드는 반응이 우세해져 바다 생물이 껍질이나 뼈대를 만드는 데 써야 할 재료인 CO_3^{2-} 이 부족해지기 때문에 바다 생태계에 심각한 영향을 미친다.



과학적 참여와 평생 학습 능력

이산화 탄소의 배출을 줄이려고 가정이나 학교에서 실천할 수 있는 일을 조사하여 발표해 보자.



스스로 확인하기

핵심 내용 정리하기

산 염기 평형

산과 염기의 세기

- 산이나 염기가 수용액에서 이온화 평형을 이룰 때의 평형 상수를 K_a 라고 하며, 온도가 일정하면 농도와 관계없이 일정하다.
- 수소 이온의 이동으로 산 또는 염기가 되는 한 쌍의 물질을 K_b 라고 하며, 일반적으로 산의 세기가 강할수록 그 짝염기의 세기는 약하다.
- 산과 염기가 중화 반응하면 H_2O 과 Cl^- 이 생성된다.
- 염의 수용액에서 염을 이루는 이온이 물과 반응하여 H_3O^+ 이나 OH^- 을 만드는 반응을 염의 K_h 라고 하며, 약산과 강염기가 중화 반응하여 생긴 염을 물에 녹인 수용액의 액성은 Cl^- 이다.

완충 용액

- 이온화 평형에 참여하는 이온과 공통된 이온을 수용액에 넣었을 때 그 이온의 농도가 감소하는 방향으로 평형이 이동하는 현상을 K_a 라고 한다.
- H_2O 과 Cl^- 가 섞여 있는 용액을 완충 용액이라고 한다.
- 약산 HA와 그 약산의 짝염기 A^- 으로 이루어진 완충 용액에 산을 넣으면 H_2O 과 반응하고, 염기를 넣으면 OH^- 와 반응하므로 용액의 pH가 크게 변하지 않는다.
- 혈액의 pH는 주로 H_2O 과 H_2CO_3 의 완충 작용으로 일정하게 유지된다. 혈액 속 H_3O^+ 의 농도가 증가하면 H_2O 이 H_3O^+ 과 반응하여 OH^- 을 생성하므로 혈액의 pH가 크게 변하지 않는다.

스스로 평가하기

- 1 산과 염기의 세기를 이온화 상수를 이용하여 설명해 보자.
- 2 산의 이온화 평형식에서 짝산—짝염기의 쌍을 찾고, 산과 염기의 세기를 비교해 보자.
- 3 약산과 강염기의 중화 반응으로 생성된 염 수용액의 액성을 설명해 보자.
- 4 완충 용액의 pH가 크게 변하지 않는 까닭을 설명해 보자.
- 5 혈액의 pH가 유지되는 까닭을 완충 용액의 작용과 관련지어 설명해 보자.

* 성취 정도를 \checkmark 표시해 보자

20 | 40 | 60 | 80 | 100

20 | 40 | 60 | 80 | 100

20 | 40 | 60 | 80 | 100

20 | 40 | 60 | 80 | 100

20 | 40 | 60 | 80 | 100



개념 확장하기

1

표는 25 °C에서 몇 가지 약산의 이온화 상수를 나타낸 것이다.

약산	HCOOH	CH ₃ COOH	HCN
이온화 상수(K_a)	1.8×10^{-4}	1.8×10^{-5}	6.2×10^{-10}

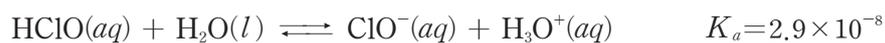
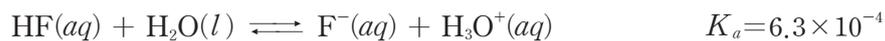
〈보기〉에서 옳은 것을 모두 골라 보자.

• 보기 •

- ㄱ. 가장 강한 산은 HCOOH이다.
- ㄴ. 0.1 M 수용액에 포함된 전체 이온의 수가 가장 많은 것은 HCN이다.
- ㄷ. 0.1 M 수용액에 흐르는 전류의 세기가 가장 큰 것은 HCOOH이다.

2

다음은 25 °C에서 약산의 이온화 평형식과 이온화 상수를 나타낸 것이다.



- (1) HF와 HClO의 짝염기를 각각 써 보자.
- (2) (1)에서 구한 두 짝염기의 세기를 비교하고, 그 까닭을 설명해 보자.

3

아세트산(CH₃COOH)은 수용액에서 다음과 같이 이온화하여 평형을 이룬다.



CH₃COOH 수용액에 아세트산 나트륨(CH₃COONa)을 녹인 뒤 새로운 평형을 이루었을 때 증가한 값을 〈보기〉에서 모두 골라 보자. (단, 수용액의 온도는 일정하다.)

• 보기 •

- ㄱ. 아세트산의 이온화 상수
- ㄴ. 용액 속 CH₃COOH의 총개수
- ㄷ. 용액 속 H₃O⁺의 총개수

4

아세트산 0.1몰과 아세트산 나트륨 0.1몰을 물에 녹여 완충 용액 1 L를 만들었다.

- (1) 이 용액에 소량의 염산(HCl(aq))을 넣을 때 용액에서 일어나는 반응을 설명해 보자.
- (2) 이 용액에 소량의 수산화 나트륨(NaOH) 수용액을 넣을 때 용액에서 일어나는 반응을 설명해 보자.

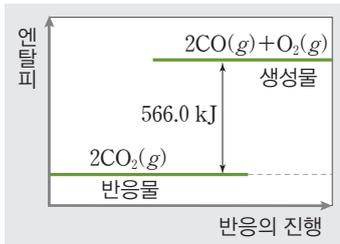


단원 마무리

기초 개념 적용하기

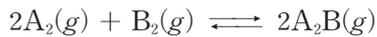
열화학 반응식

- 1 그림은 어떤 화학 반응이 일어날 때의 엔탈피 변화이다. 이 화학 반응을 열화학 반응식으로 나타내 보자.

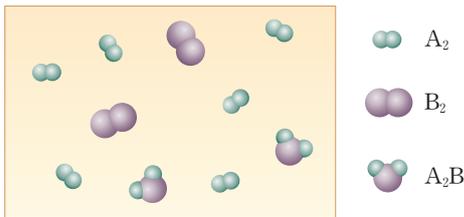


평형 상수와 반응 지수

- 2 다음은 A₂와 B₂가 반응하여 A₂B가 생성되는 반응의 화학 반응식을 나타낸 것이다.



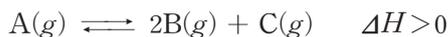
그림은 25 °C, 1 L 용기에서의 반응 전 모습을 나타낸 것이다. 이때 분자 모형 1개는 기체 분자 1몰에 해당한다.



반응의 진행 방향을 예측해 보자. (단, 25 °C에서 이 반응의 평형 상수는 0.05이다.)

평형 이동

- 3 다음은 기체 A가 분해되어 기체 B와 C가 생성되는 반응을 열화학 반응식으로 나타낸 것이다.

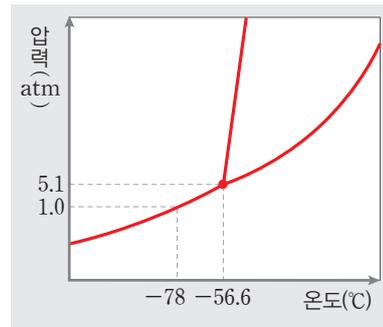


다음과 같이 조건을 변화시킬 때 평형이 어느 쪽으로 이동하는지 써 보자.

- (1) 일정한 부피에서 기체 A를 넣을 때
- (2) 온도를 높일 때
- (3) 혼합 기체의 부피를 감소시킬 때

상평형 그림

- 4 다음은 이산화 탄소의 상평형 그림을 나타낸 것이다.



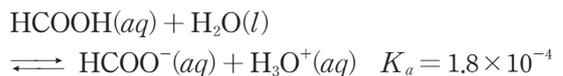
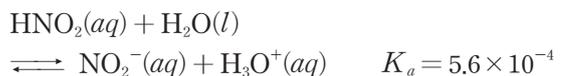
<보기>에서 옳은 것을 모두 골라 보자.

보기

- 이산화 탄소는 -56.6 °C, 6 기압에서 고체로 존재한다.
- 드라이아이스는 1 기압에서 승화한다.
- 이산화 탄소는 5.1 기압보다 낮은 압력에서 액체로 존재할 수 없다.

산과 염기의 세기

- 5 다음은 25 °C에서 아질산(HNO₂)과 폼산(HCOOH)의 이온화 평형과 이온화 상수를 나타낸 것이다.



<보기>에서 옳은 것을 모두 골라 보자.

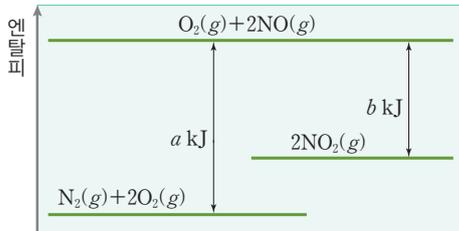
보기

- HNO₂은 HCOOH보다 강한 산이다.
- NO₂⁻은 HCOO⁻보다 강한 염기이다.
- 두 반응에서 H₂O은 모두 염기로 작용한다.

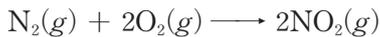
개념 응용력 키우기

헤스 법칙

6 그림은 질소(N₂)와 산소(O₂)가 반응하여 이산화 질소(NO₂)를 생성하는 과정의 엔탈피 변화를 나타낸 것이다.

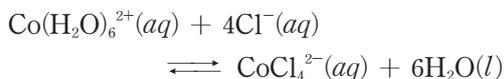


- (1) NO(g)의 생성 반응에서 반응엔탈피를 a 또는 b 로 나타내 보자.
- (2) 다음 반응에서 반응엔탈피를 a , b 로 나타내 보자.



농도와 온도에 따른 평형 이동

7 다음은 염화 코발트(II) 수용액에서 일어나는 평형과 관련된 화학 반응식과 실험을 나타낸 것이다.



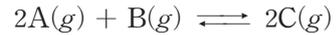
[실험 과정 및 결과]

- (가) 시험관에 붉은색 염화 코발트(II)(CoCl₂) 수용액을 2 mL씩 넣는다.
- (나) 시험관에 진한 염산(HCl(aq)) 2 mL를 넣었더니 용액의 색이 푸른색으로 변하였다.
- (다) 과정 (나)의 시험관을 얼음물에 넣었더니 용액의 색이 다시 붉은색으로 변하였다.

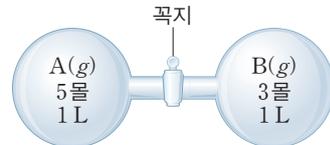
- (1) (나)에서 용액의 색이 변한 까닭을 르샤틀리에 원리로 설명해 보자.
- (2) 주어진 반응이 발열 반응인지 흡열 반응인지 실험 결과를 바탕으로 설명해 보자.

평형 상수

8 다음은 기체 A와 기체 B가 반응하여 기체 C가 생성되는 반응을 화학 반응식으로 나타낸 것이다.



이때 그림과 같이 꼭지로 분리된 용기에 기체 A와 B가 들어 있다.

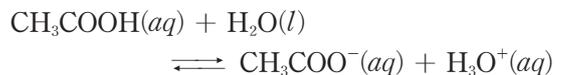


꼭지를 열고 두 기체를 반응시켜 평형에 도달하였을 때 용기에 들어 있는 기체의 전체 분자 수는 6몰이었다. (단, 온도는 일정하다.)

- (1) 평형 상태에서 기체 C의 몰수를 구해 보자.
- (2) 이 반응의 평형 상수를 구해 보자. (단, 연결관의 부피는 무시한다.)

완충 용액

9 다음은 아세트산(CH₃COOH)의 이온화 평형을 나타낸 것이다.



아세트산과 아세트산 나트륨(CH₃COONa)을 각각 0.5몰씩 물에 녹여 1 L 용액을 만들었다. <보기>에서 옳은 것을 모두 골라 보자. (단, 온도는 일정하다.)

• 보기 •

- ㄱ. CH₃COONa는 수용액에서 대부분 이온화한다.
- ㄴ. 소량의 HCl을 넣으면 용액 속 CH₃COO⁻의 농도는 감소한다.
- ㄷ. 소량의 NaOH을 넣으면 CH₃COOH의 K_a 는 증가한다.

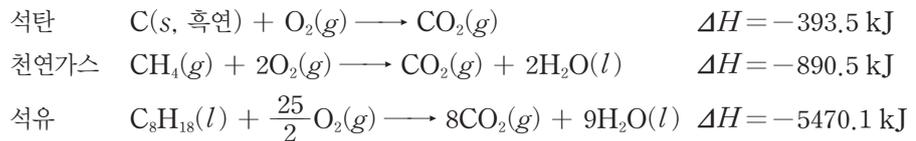
핵심 역량 키우기

과학적 문제 해결력

+ 과학적 사고력

엔탈피와 열화학 반응식
p. 75~78

10 태양 에너지, 풍력 에너지, 지열 에너지 등 신재생 에너지의 연구가 이루어지고 있지만 아직도 우리가 사용하는 에너지의 대부분은 화석 연료에서 얻고 있다. 다음은 몇 가지 화석 연료의 주성분의 연소 반응을 열화학 반응식으로 나타낸 것이다.



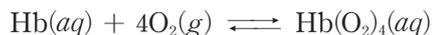
- (1) 석탄, 천연가스, 석유 가운데 1 g을 연소시킬 때 발생하는 열이 가장 많은 연료는 무엇인지 찾아보자. (단, H, C의 원자량은 각각 1, 12이다.)
- (2) 화석 연료가 연소할 때 발생하는 이산화 탄소는 온실 기체이다. 연소할 때 발생하는 에너지와 이산화 탄소의 양을 고려할 때 석탄, 천연가스, 석유 가운데 어느 것이 더 친환경적인 연료인지 찾고 그 까닭을 설명해 보자.

과학적 의사소통 능력

+ 과학적 문제 해결력

평형 이동 p. 95~102

11 적혈구 내에 있는 헤모글로빈(Hb)은 폐에서 산소와 결합하여 신체의 조직 세포에 산소를 운반한다. 이 과정은 다음과 같은 반응식으로 나타낼 수 있다.



- (1) 높은 산에 올라가면 조직 세포에 산소가 잘 공급되지 못해 두통과 어지러움 등의 증세가 나타난다. 그 까닭을 주어진 화학 반응식을 이용하여 설명해 보자.
- (2) 고산 지대에서 생활하는 사람들의 헤모글로빈 수치는 낮은 지대에 사는 사람들에 비해 상대적으로 높다고 한다. 그 까닭을 토론해 보자.



과학적 참여와 평생 학습 능력

⊕ 과학적 의사소통 능력

산과 염기의 세기
p. 111~117

12 일반적으로 빗물은 pH 5.6 ~ pH 6.5 정도의 약산성을 띠지만 대기 오염이 심한 지역에서는 pH 5.6 미만의 산성비가 내리기도 한다. 산성비가 내리는 원인과 산성비의 피해를 조사하고 개인이나 정부가 할 수 있는 일을 각각 조사하여 발표해 보자.



과학적 사고력

⊕ 과학적 문제 해결력

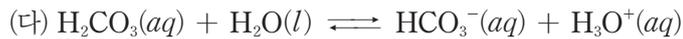
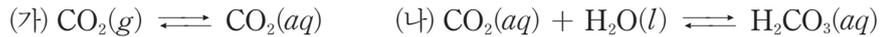
화학 평형, 완충 용액
p. 118~124

13 다음은 의료 정보란에 나와 있는 과호흡 증후군의 설명이다.

정의	과도한 호흡 때문에 혈액 속 이산화 탄소의 농도가 정상 범위 아래로 떨어져서 호흡 곤란, 어지럼증, 실신 등의 증상이 나타나는 것을 과호흡 증후군이라고 한다.
치료	봉투를 이용한 재호흡법: 가장 많이 이용되고 있는 방법으로 환자 자신이 내신 숨으로 재호흡시키는 방법이다. 내신 숨으로 봉투를 부풀려 그 안의 공기로 호흡시킨다.



다음은 혈액 속 이산화 탄소의 농도와 관련된 화학 반응식을 나타낸 것이다.



과호흡을 하면 혈액의 pH가 상승한다. 그 까닭을 주어진 화학 반응식으로 설명하고, 봉투를 이용한 재호흡법이 증상을 완화시킬 수 있는 까닭을 설명해 보자.

스스로 정리하기

이 단원을 공부하는 동안 어렵거나 잘 이해되지 않았던 내용을 써 보자.

.....

위에 쓴 내용이 교과서 몇 페이지에 있는지 찾아서 정리해 보자.

.....

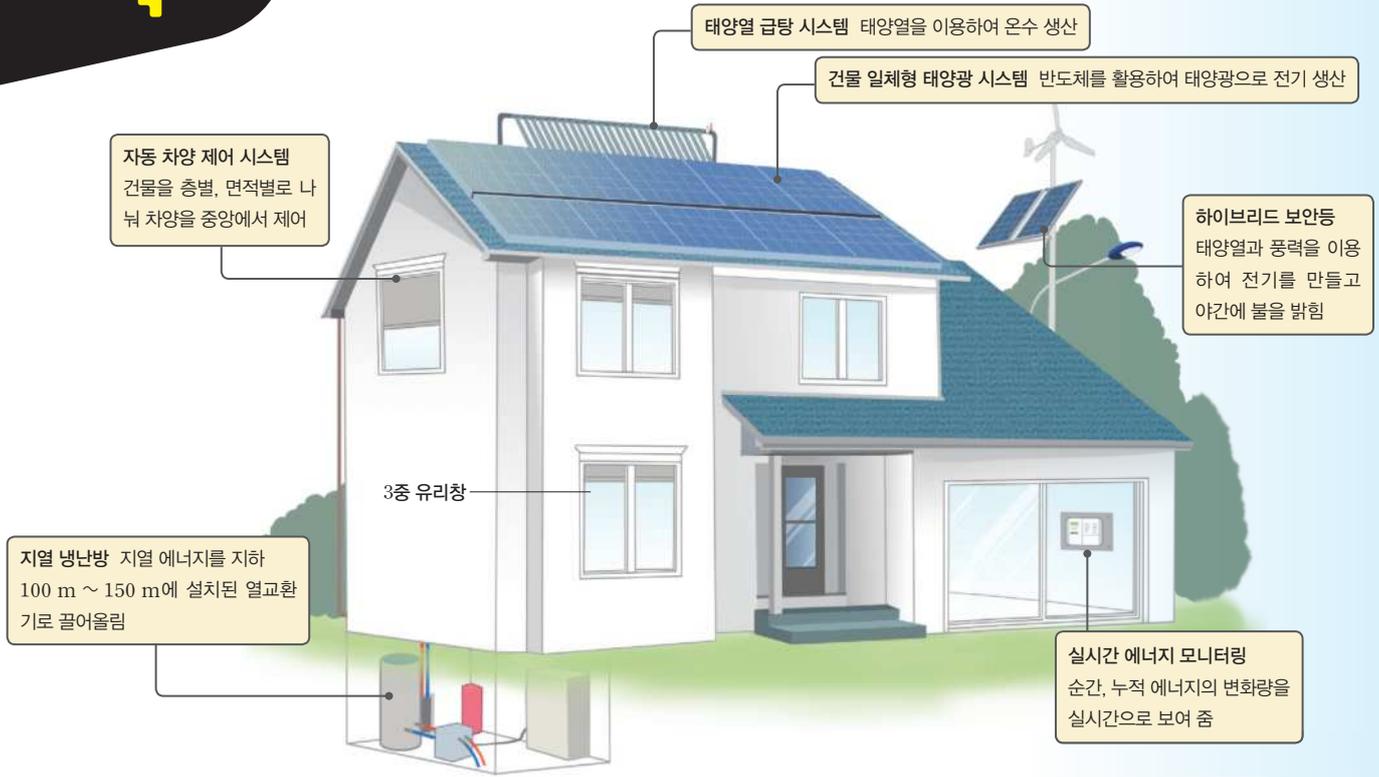
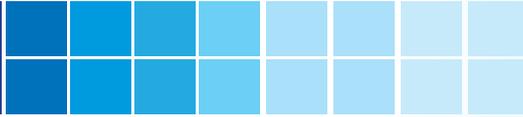
정리한 내용을 바탕으로 하여 문제를 만들어 보자.

.....

만든 문제를 짝과 바꾸어서 풀어 보자.

.....

제로 에너지 하우스
개념도



내가 만드는 제로 에너지 하우스

기후 변화 및 지구 온난화로 에너지와 환경 정책은 전 세계의 중요한 쟁점이 되었다. 이에 따라 에너지를 감축하고 탄소의 배출을 줄일 수 있는 새로운 주택 개발에 관심이 모아지고 있다. 제로 에너지 하우스란 주택의 연간 에너지 사용 및 그에 따른 탄소 배출 효과가 0이 되는 에너지 자립형 주택을 말한다. 제로 에너지 하우스에는 태양열, 지열, 풍력 등 자연 에너지를 적극적으로 활용하는 주택과 건물 구조체의 단열 및 형태를 활용하여 에너지 손실을 최소화하는 주택이 있다.



세계의 제로 에너지 하우스

- 한국 '서울 에너지 드림 센터': 태양광 발전과 지열 냉난방으로 30 %의 에너지를 자체 생산하고, 반사벽, 경사 창문 등을 이용하여 에너지 사용량의 70 %를 줄였다.
- 영국 '베딩톤 제로 에너지 단지(BedZED)': 주택의 지붕에 열교환기가 부착된 환풍기와 태양광 발전 패널을 설치하였으며, 지하에는 빗물 저장 탱크를 설치하여 물 사용량을 줄였다.
- 독일 '아들러스호프(Adlershof)': 벽과 옥상에 식물을 기르고 환기 시스템과 차양 장치를 적극적으로 활용하는 등 친환경 건축 기법을 실현하였다.

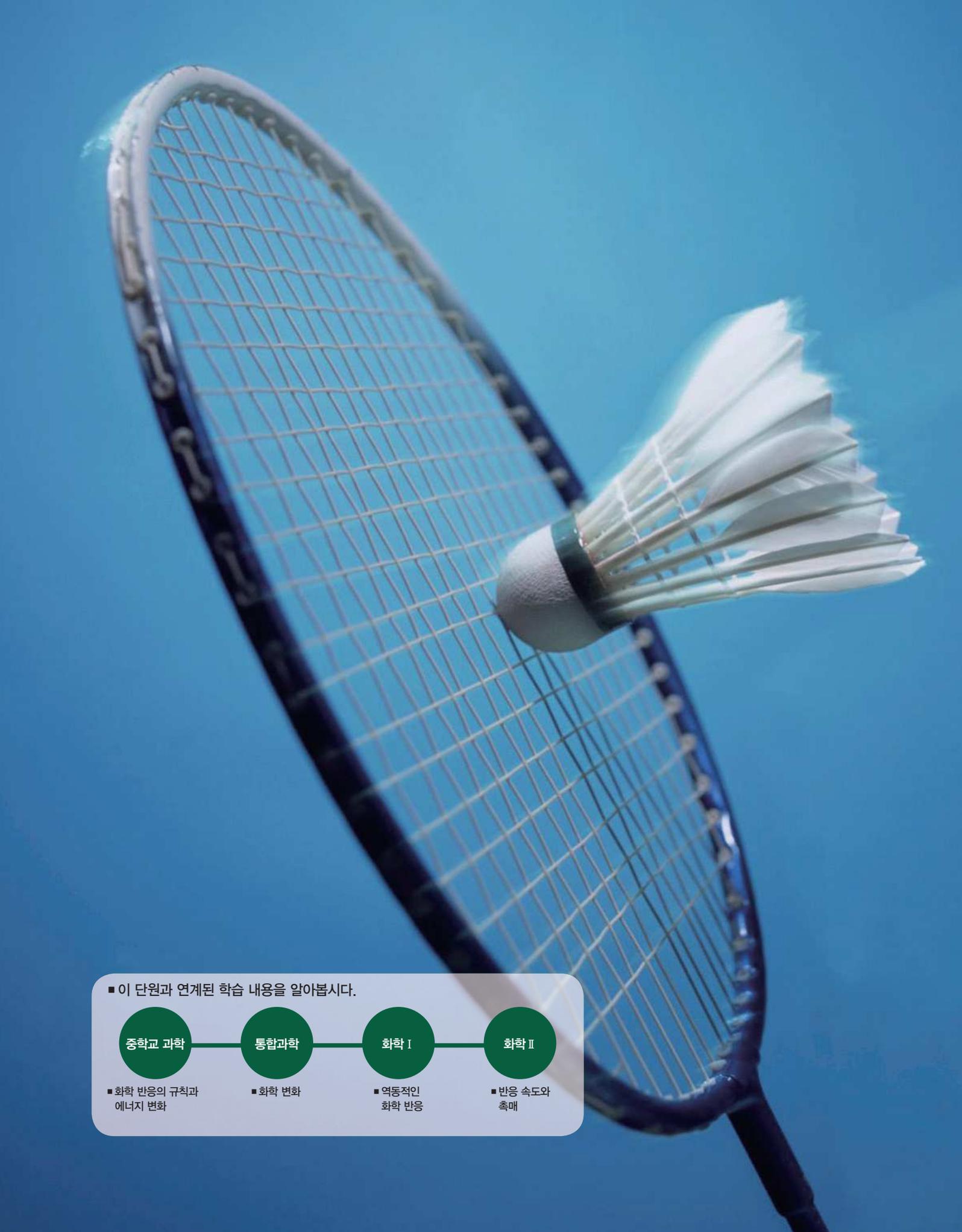


▲ 독일 아들러스호프 과학 기술 단지 내에 있는 포토닉스 - 광학 연구 센터



활동 1 제로 에너지 하우스 설계하기

- 1 모둠별로 제로 에너지 하우스의 자료와 동영상을 찾아보고, 제로 에너지 하우스의 특징을 조사하여 발표해 보자.
- 2 모둠별로 제로 에너지 하우스를 설계해 보자. 설계한 제로 에너지 하우스의 특성이 잘 드러나도록 설계도를 그리고 각 모둠별로 발표해 보자.
- 3 각 모둠이 발표한 작품의 장점을 말해 보고, 단점을 개선할 수 있는 방안을 토의해 보자.



■ 이 단원과 연계된 학습 내용을 알아봅시다.

중학교 과학

■ 화학 반응의 규칙과 에너지 변화

통합과학

■ 화학 변화

화학 I

■ 역동적인 화학 반응

화학 II

■ 반응 속도와 촉매

III

반응 속도와 촉매

배드민턴 선수는 셔틀콕을 빠르게 또는 느리게 상대편 쪽으로 보낸다. 셔틀콕의 운동 속도를 시간과 거리로 나타낼 수 있는 것처럼 화학 반응의 반응 속도는 시간당 농도 변화로 나타낼 수 있다. 또한 우리 주변에는 반응 속도의 조절이 필요할 때가 많다. 화학 반응 속도에 영향을 미치는 농도, 온도, 촉매의 역할을 알아보자.

1. 반응 속도
2. 농도 및 온도와 반응 속도
3. 촉매와 반응 속도

■ 이 단원의 주요 핵심 역량을 알아봅시다.



과학적
사고력

여러 가지 반응 속도식을 설명할 수 있다.



과학적
탐구 능력

농도, 온도, 촉매가 반응 속도에 어떤 영향을 미치는지 실험하고 결과를 해석할 수 있다.



과학적
문제 해결력

농도, 온도, 촉매가 반응 속도에 영향을 미치는 원리를 이용하여 실생활 및 산업의 문제를 해결할 수 있다.



과학적
의사소통 능력

반감기가 실생활에 이용되는 사례를 조사하고 발표할 수 있다.



과학적 참여와
평생 학습 능력

생명 현상과 관련이 있는 촉매와 효소의 중요성을 설명할 수 있다.



반응 속도

- 01. 반응 속도
- 02. 활성화 에너지

순식간에 불꽃을 만들어내는 불꽃 막대



이 단원의 주요 개념

01

반응 속도 (p.137~147)

- 빠른 반응, 느린 반응
- 반응 속도, 반응 속도식
- 반감기

→ 여러 가지 화학 반응 속도를 어떻게 나타낼 수 있을까?

02

활성화 에너지 (p.148~151)

- 활성화 에너지
- 화학 반응에서 활성화 에너지와 반응 속도는 어떤 관계가 있을까?



나의 학습 준비 - 알고 있는 용어를 표시해 보자.

- | | | |
|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 화학 반응 | <input type="checkbox"/> 반응물 | <input type="checkbox"/> 생성물 |
| <input type="checkbox"/> 농도 | <input type="checkbox"/> 반응엔탈피 | |



나의 학습 계획

- 이 단원에서 배우게 될 내용 가운데 내가 알고 싶거나 궁금한 것을 적어 보자.

.....

.....

.....

01 반응 속도

- 화학 반응의 속도가 다양함을 알고, 화학 반응 속도를 적절한 방법으로 계산할 수 있다.
- 자료를 해석하여 반응 속도식을 구하고, 1차 반응의 반감기를 구할 수 있다.

생각 열기

진희는 사용하던 프린터를 교체하기로 하고 인터넷으로 여러 가지 프린터의 디자인, 내구성, 가격, 메모리 용량 등을 검색해 보았다.

Q 프린터를 구입할 때 추가로 고려해야 할 것은 무엇일까?



1 빠른 반응과 느린 반응

김치와 과일의 숙성과 같이 일상생활에서는 어떤 변화가 빠르게 일어나는지 또는 천천히 일어나는지가 중요하다. 우리 주변에서 일어나는 화학 반응에는 변화가 급격하게 일어나는 빠른 반응과 변화가 일어나는 지조차 알기 어려울 만큼 천천히 일어나는 느린 반응이 있다. 원자나 분자가 빛에너지를 흡수하는 반응과 화약의 폭발은 빠른 반응이고, 철이 부식되는 반응과 풍화 작용으로 바위의 모양과 성분이 변하는 반응은 느린 반응이다.

철의 부식은 풍화로 바위의 모양과 성분이 변하는 반응에 비하면 상대적으로 빠른 반응이라고 할 수 있다. 이처럼 빠름과 느림의 판단 기준은 다를 수 있다. 일상생활에서 자동차의 빠르기를 표현할 때 시속(km/h)을 쓰는 것처럼 반응 속도도 일정한 기준을 사용하여 표현할 필요가 있다.

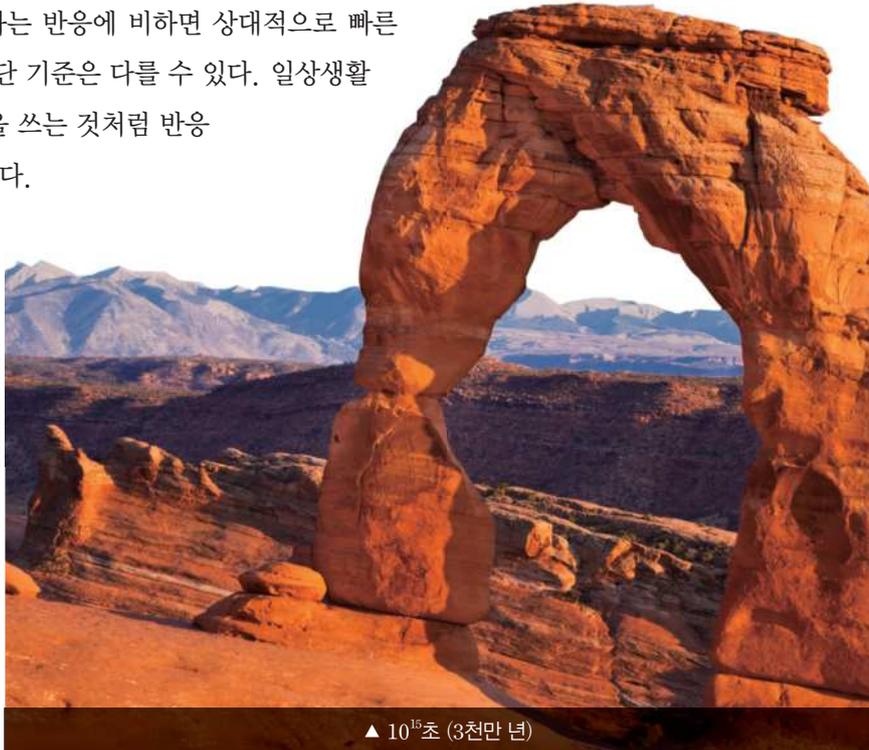


그림 III-1 다양한 반응의 빠르기 화약의 폭발은 1초 만에 일어나지만, 철로 만든 배의 부식에는 수십 년이 걸리며 풍화 작용으로 바위의 모양과 성분이 변하는 데는 수천만 년이 걸린다.



2 반응 속도

스키 선수가 설원을 미끄러져 내려가는 빠르기, 투수가 던진 야구공의 빠르기, 마라톤 선수의 빠르기 등은 어떻게 나타낼 수 있을까? 마라톤에서 10 km를 1시간에 달린 선수와 2시간에 달린 선수의 속력은 달린 거리를 걸린 시간으로 나누어 각각 10 km/h, 5 km/h로 나타낼 수 있다. 화학 반응의 빠르기는 어떻게 나타낼 수 있을지 다음 탐구 활동으로 알아보자.



화학 반응의 빠르기를 나타내는 방법



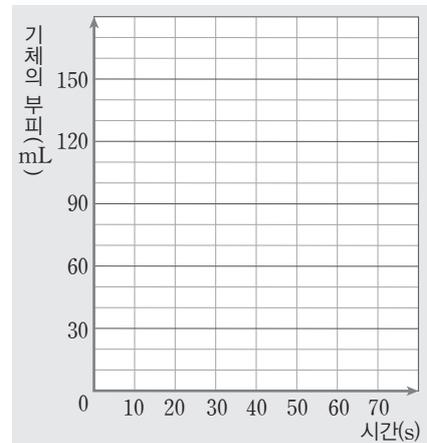
마그네슘이 묶은 염산과 반응할 때 발생하는 기체의 부피를 10초 간격으로 측정하여 표와 같은 결과를 얻었다.



시간(s)	0	10	20	30	40	50	60	70
기체의 부피(mL)	0	52	95	120	135	145	150	150

정리

- 1 이 실험 결과를 그래프로 나타내 보자.
- 2 10초 간격으로 발생한 기체의 부피는 시간이 지날수록 어떻게 되는지 비교해 보자.
- 3 이 반응의 빠르기를 어떻게 나타내는 것이 좋을지 토의해 보자.



화학 반응의 빠르기는 화학 반응이 일어나는 동안에 관찰 또는 측정된 변화와 시간을 이용하여 나타낼 수 있다.

마그네슘과 묽은 염산이 반응하면 수소 기체가 발생한다.



이 반응의 빠르기는 일정한 시간 동안에 발생한 기체의 부피 변화로 나타낼 수 있다.

$$\text{반응의 빠르기} = \frac{\text{발생한 기체의 부피 변화}}{\text{반응 시간 또는 시간 변화}}$$

화학 반응이 빠르게 또는 느리게 일어나는 정도를 **반응 속도**(v)라고 한다. 일반적으로 반응 속도는 일정한 시간 동안에 변화한 반응물이나 생성물의 농도를 측정하여 나타낸다. 반응 속도는 변화된 물질의 몰 농도를 초 단위로 측정된 시간으로 나누어 계산할 수 있으므로 반응 속도의 단위는 $\text{mol}/(\text{L}\cdot\text{s})$ 가 된다.

 마그네슘과 묽은 염산의 반응에서 수소 기체를 포집하지 않고 공기 중으로 흩어지도록 할 때는 시간에 따라 반응 용기 전체의 감소하는 질량 변화를 측정하여 반응의 빠르기를 나타낼 수 있다.

반응의 빠르기 =

$$\frac{\text{반응 용기 전체의 감소하는 질량 변화}}{\text{반응 시간 또는 시간 변화}}$$

$$\begin{aligned} \text{반응 속도}(v) &= \frac{\text{농도 변화}}{\text{시간 변화}} \\ &= \frac{\text{감소한 반응물의 농도}}{\text{반응 시간}} \quad \text{또는} \quad \frac{\text{증가한 생성물의 농도}}{\text{반응 시간}} \end{aligned}$$

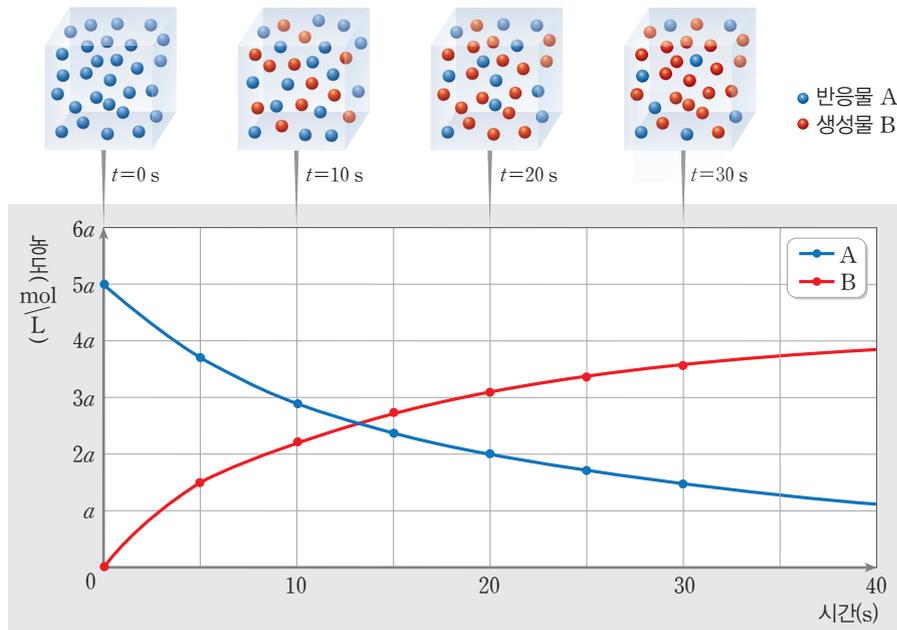


그림 III-2 화학 반응 $A \rightarrow B$ 에서 시간에 따른 반응물과 생성물의 농도 변화 시간이 지날수록 반응물 A의 농도는 감소하고, 생성물 B의 농도는 증가한다.

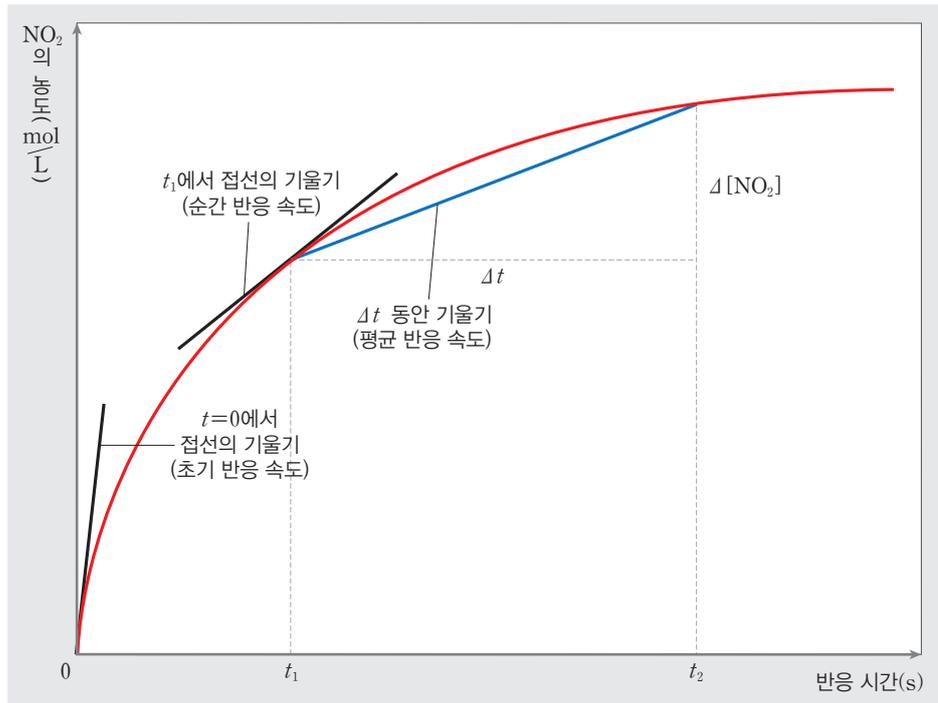


그림 III-3 N_2O_5 의 분해 반응에서 시간에 따른 NO_2 의 농도 변화 N_2O_5 가 분해되면 NO_2 와 O_2 로 되며, 시간이 지날수록 반응 속도는 점점 느려진다.

오산화 이질소(N_2O_5)가 이산화 질소(NO_2)와 산소(O_2)로 분해되는 반응은 다음과 같다.



이 반응이 진행되는 동안 반응물의 양은 점점 감소하므로 시간이 지날수록 반응 속도는 점차 느려진다. 그림 III-3과 같이 반응이 진행되는 동안 일정한 시간 동안 생성된 NO_2 의 농도가 변하여 반응 속도는 계속 변하므로, 반응 속도는 반응이 일어나는 시간(Δt) 동안의 농도 변화($\Delta[\text{NO}_2]$)인 **평균 반응 속도**로 나타낼 수 있다.

반응이 일어나는 시간(Δt)이 거의 0이 될 정도로 작으면 평균 반응 속도는 t_1 에서의 **순간 반응 속도**가 되는데, t_1 에서의 접선의 기울기와 같다. 따라서 시간-농도 그래프에서 특정 시점에서의 접선의 기울기를 구하면 순간 반응 속도를 알 수 있다. $t=0$ 일 때 접선의 기울기를 **초기 반응 속도**라고 한다.

📖 t_1 과 t_2 사이의 평균 반응 속도

$$\text{평균 반응 속도} = \frac{\Delta[\text{NO}_2]}{\Delta t}$$

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

$\Delta[\text{NO}_2]$: NO_2 의 농도 변화

❓ 표는 탄산 칼슘과 묽은 염산이 반응할 때 발생하는 이산화 탄소의 부피를 10초 간격으로 측정한 결과를 나타낸 것이다. 평균 반응 속도가 가장 빠른 구간은 어디인가?

시간(s)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
기체의 부피(mL)	0	21	36	48	57	63	68	71	73	74	74

분광학을 이용한 반응 속도의 측정

관련 직업: 분석 화학자

화학 반응이 일어날 때 다양한 방법으로 반응물이나 생성물의 농도 변화를 측정한다. 반응물이나 생성물이 빛을 흡수한다면 그림 III-4와 같은 분광기를 이용할 수 있다. 분광기는 광원에서 방출되는 빛의 세기와 시료를 통과한 빛의 세기를 비교하여 반응물이나 생성물이 흡수하는 빛의 양인 흡광도를 측정하는 장치이다. 흡광도는 반응물이나 생성물의 몰 농도에 비례한다.

수용액에서 브로민과 폼산은 $\text{Br}_2(aq) + \text{HCOOH}(aq) \longrightarrow 2\text{Br}^-(aq) + 2\text{H}^+(aq) + \text{CO}_2(g)$ 와 같이 반응한다. Br_2 은 적갈색이고 나머지 분자와 이온은 무색이다. 반응이 진행되면서 Br_2 의 농도가 감소하므로 적갈색이 옅어지고, 그림 III-5와 같이 분광기로 측정할 때 Br_2 의 흡광도는 감소한다. 이처럼 시간에 따른 흡광도를 측정하여 반응 속도를 구할 수 있다.

그림 III-4 분광기

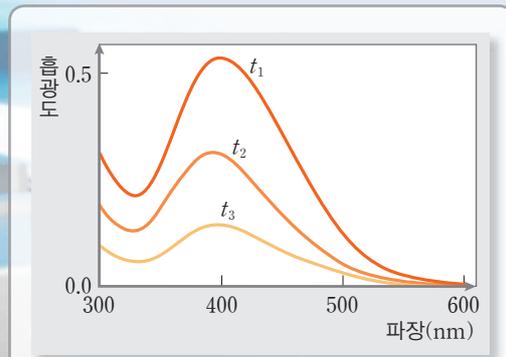
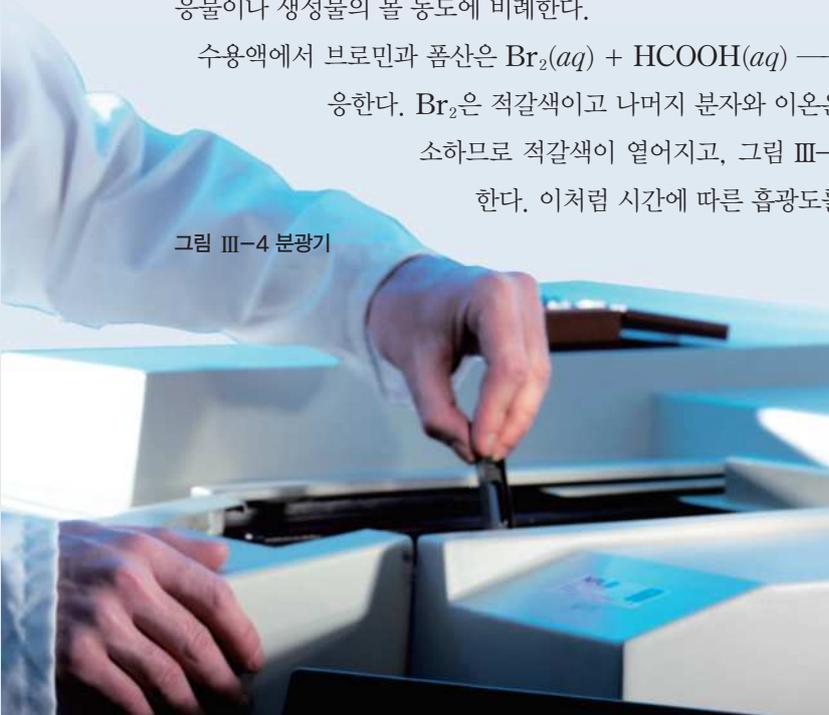
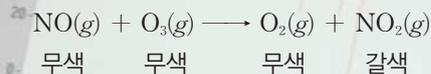


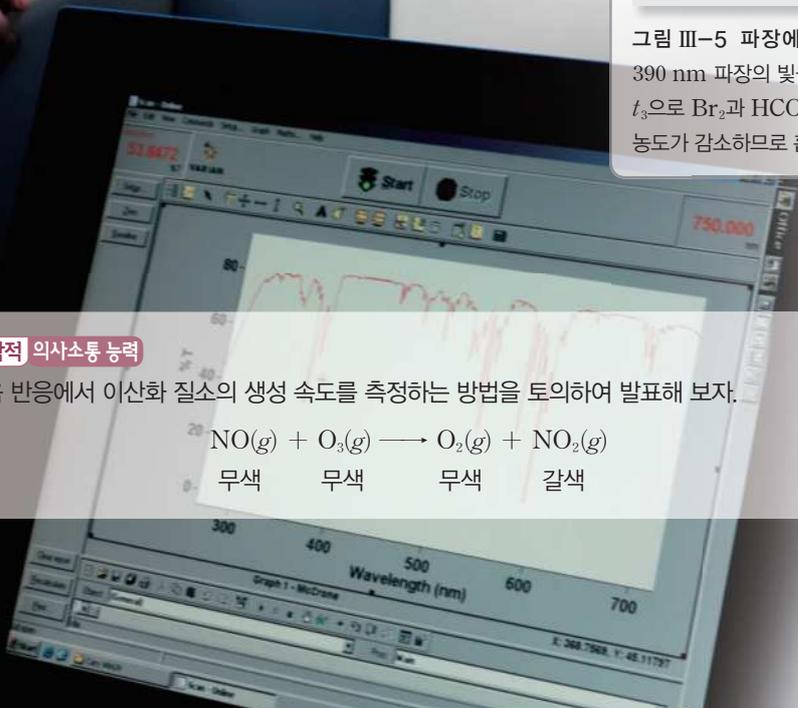
그림 III-5 파장에 따른 브로민의 흡광도 Br_2 은 390 nm 파장의 빛을 가장 많이 흡수한다. 시간 t_1 에서 t_3 으로 Br_2 과 HCOOH 의 반응이 진행될 때 Br_2 의 몰 농도가 감소하므로 흡광도가 감소한다.

과학적 의사소통 능력

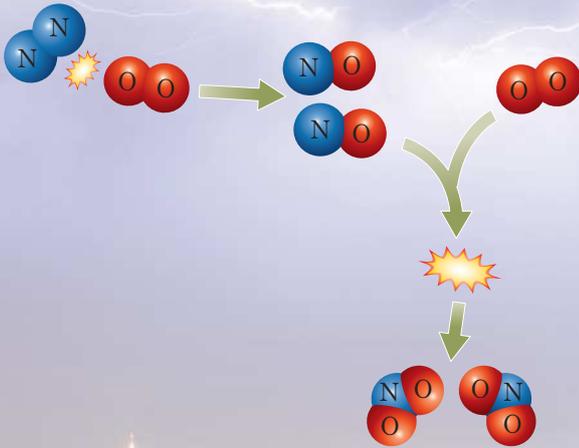
다음 반응에서 이산화 질소의 생성 속도를 측정하는 방법을 토의하여 발표해 보자.



〈출처〉 Brusa, 「The kinetics and mechanism of the oxidation of formic acid by bromine in acid aqueous media」, 1980. / Kapungu, 「Oxyhalogen-sulfur chemistry: kinetics and mechanism of oxidation of captopril by acidified bromate and aqueous bromine」, 2013.



3 반응 속도식



두 가지 반응물의 농도가 화학 반응에 영향을 줄 때는 반응 속도를 어떻게 표현할 수 있을까? 그림 III-6과 같이 번개가 칠 때 생성된 일산화 질소는 산소와 반응하여 이산화 질소가 된다. 이 반응에서 일산화 질소의 농도, 산소의 농도와 반응 속도 사이의 관계를 구체적으로 어떻게 나타낼 수 있을지 다음 탐구 활동으로 알아보자.

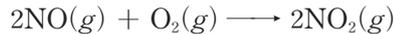
그림 III-6 이산화 질소의 생성



반응 속도식 구하기



무색의 일산화 질소와 산소를 반응시키면 적갈색의 이산화 질소가 생성된다.



25 °C에서 일산화 질소와 산소의 초기 농도를 변화시키면서 초기 반응 속도를 측정하여 표와 같은 결과를 얻었다.

실험	초기 농도(mol/L)		초기 반응 속도 (mol/(L·s))
	[NO]	[O ₂]	
I	0.010	0.010	0.0142
II	0.020	0.010	0.0569
III	0.010	0.020	0.0284
IV	0.020	0.020	0.1138

정리

- 1 일산화 질소의 농도가 일정할 때 산소의 농도가 2배로 증가하면 반응 속도는 어떻게 되는지 설명해 보자.
- 2 산소의 농도가 일정할 때 일산화 질소의 농도가 2배로 증가하면 반응 속도는 어떻게 되는지 설명해 보자.
- 3 반응 속도(v)를 다음과 같이 나타낼 때 m 과 n 을 구해 보자.

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

NO와 O₂가 반응하여 NO₂가 생성되는 반응에서 반응 속도(v)는 NO와 O₂의 농도에 따라 달라진다. 반응 속도와 반응물의 농도 사이의 관계는 비례 상수 k 를 사용하여 반응 속도식 $v = k[\text{NO}]^2[\text{O}_2]$ 으로 나타낼 수 있다. 반응 속도식은 주어진 화학 반응이 반응물의 농도와 어떤 관련이 있는지를 보여 준다. 그림 III-7과 같이 반응 속도식에는 여러 가지 정보가 포함되어 있다.

📖 반응 차수

반응 속도식 $v = k[\text{A}]^m[\text{B}]^n$ 에서 m 과 n 을 반응 차수라고 한다. 예를 들어 $m=1$ 이면 이 반응은 A에 대해 1차 반응이고, $n=2$ 이면 B에 대해 2차 반응이다.

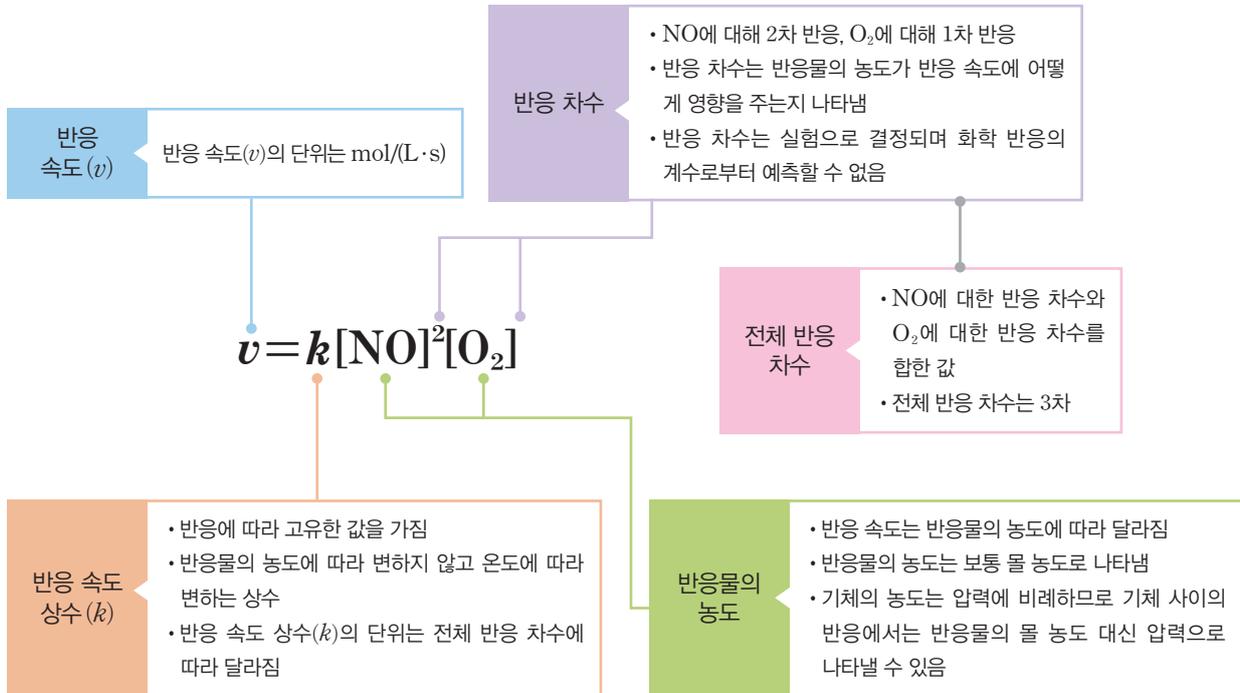
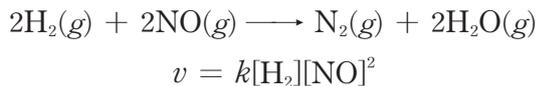


그림 III-7 반응 속도식에 포함된 정보

화학 반응식의 계수와 반응 차수는 관계가 없다. 일정한 온도에서 수소와 일산화 질소가 반응하여 질소와 수증기가 되는 반응을 예로 들어 보자. 실험으로부터 이 반응의 초기 반응 속도는 H₂에 대해 1차 반응이고, NO에 대해 2차 반응인 것으로 나타났다. 따라서 이 반응의 반응 속도식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.



전체 반응 차수는 3차이며, 화학 반응식에서 H₂의 계수와 반응 차수는 관계가 없음을 알 수 있다.

? 다음 반응 속도식에서 각 반응물의 반응 차수와 전체 반응 차수를 구해 보자.

(1) $v = k[\text{N}_2\text{O}_5]$

(2) $v = k[\text{O}_3][\text{NO}]$

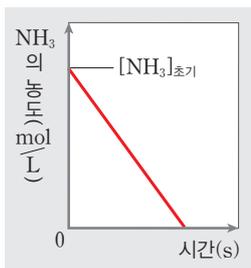


그림 III-8 시간에 따른 NH₃의 농도 변화

암모니아는 뜨거운 백금(Pt) 표면에서 질소와 수소로 분해된다.

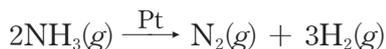


그림 III-8에서 시간에 따른 NH₃의 농도 변화 그래프의 기울기가 일정하므로 이 반응의 속도는 암모니아의 농도에 관계없이 일정하다. 이와 같은 반응을 0차 반응이라고 한다.

$$v = k[\text{NH}_3]^0 = k(\text{일정})$$



예제 · · 실온에서 $2\text{NO}(g) + \text{Br}_2(g) \longrightarrow 2\text{NOBr}(g)$ 반응을 일산화 질소와 브로민의 초기 농도를 변화시키면서 초기 반응 속도를 측정하여 표와 같은 결과를 얻었다. 반응 속도식을 구해 보자.

실험	초기 농도(mol/L)		초기 반응 속도(mol/(L·s))
	[NO]	[Br ₂]	
I	0.20	0.30	144
II	0.50	0.30	900
III	0.20	0.75	360
IV	0.70	0.75	4410

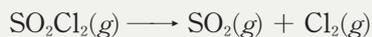
풀이 · · 단계 1 반응 속도 v 를 반응 속도 상수 k , 반응물의 농도, 반응 차수 m , n 으로 나타낸다.

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

단계 2 실험 I과 실험 II에서 Br₂의 농도가 일정할 때 NO의 농도를 2.5배로 하면 초기 반응 속도는 6.25배가 된다. 따라서 반응 속도는 NO의 농도의 제곱에 비례하므로 $m=2$ 이다. 실험 I과 실험 III에서 NO의 농도가 일정할 때 Br₂의 농도를 2.5배로 하면 초기 반응 속도는 2.5배가 된다. 따라서 반응 속도는 Br₂의 농도에 비례하므로 $n=1$ 이다.

단계 3 반응 속도식은 $v = k[\text{NO}]^2[\text{Br}_2]$ 이다.

유제 · · 염화 설퍼릴은 다음과 같이 이산화 황과 염소로 분해된다.

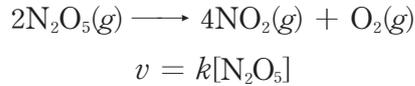


일정한 온도에서 염화 설퍼릴의 초기 농도를 변화시키면서 초기 분해 속도를 측정하여 표와 같은 결과를 얻었다. 이 반응의 반응 속도식을 구해 보자.

초기 농도(mol/L) [SO ₂ Cl ₂]	0.01	0.02	0.04
초기 분해 속도(mol/(L·s))	2×10^{-7}	4×10^{-7}	8×10^{-7}

4 반감기

반응 속도가 반응물의 농도에 따라 달라지는 정도는 화학 반응식의 계수와는 관계가 없으며, 화학 반응에 따라 다양하다. 반응 속도는 반응물의 농도의 영향을 받지 않을 때도 있고, 반응물의 농도에 따라 반응 속도가 일정하게 변할 때도 있다. 오산화 이질소(N_2O_5)의 분해 반응은 처음 반응물의 농도가 반으로 줄어드는 데 걸리는 시간이 일정한 화학 반응이다.



일정한 온도에서 N_2O_5 의 분해 반응은 N_2O_5 에 대해 1차 반응이다. 즉, N_2O_5 의 농도에 따른 반응 속도를 그래프로 나타내면 그림 III-9와 같이 기울기가 k 인 직선이 된다.

그림 III-10과 같이 시간에 따른 N_2O_5 의 농도 변화 그래프에서 N_2O_5 의 초기 농도 ($[N_2O_5]_0$)가 절반이 될 때까지 걸리는 시간은 $t_{1/2}$ 초이다. 이처럼 초기 농도가 절반으로 되는 데까지 걸리는 시간($t_{1/2}$)을 반감기라고 한다. 여기서 $t_{1/2}$ 초가 더 흐르면 N_2O_5 의 농도는 초기 농도의 $\frac{1}{4}$ 이 된다. 이처럼 1차 반응의 반감기는 초기 농도와는 관계없이 항상 일정하다.

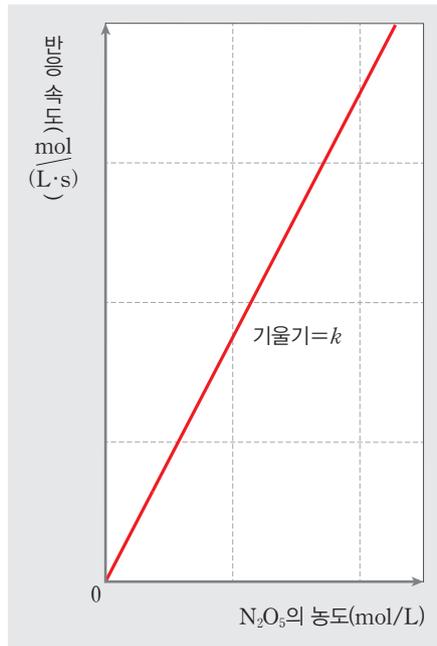


그림 III-9 N_2O_5 의 농도에 따른 반응 속도

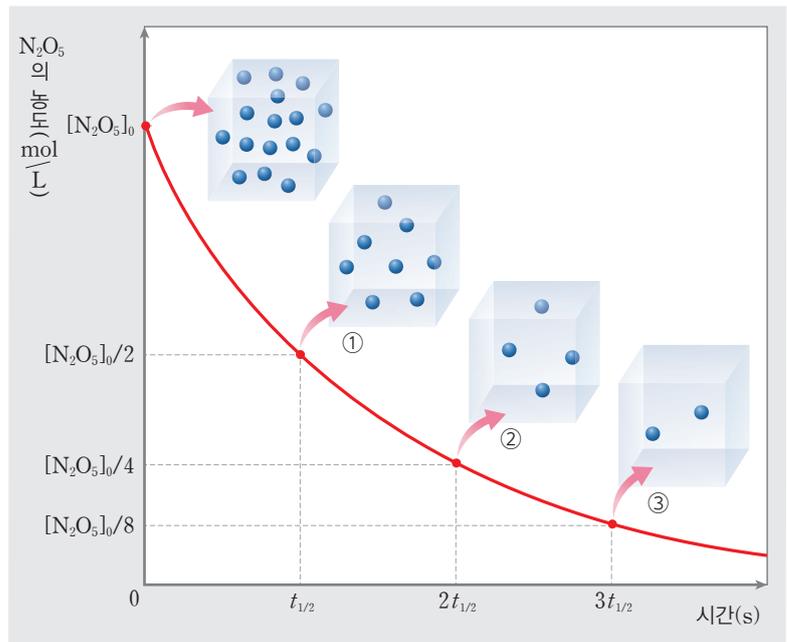
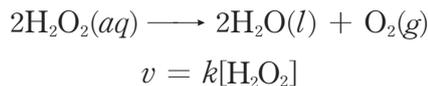


그림 III-10 시간에 따른 N_2O_5 의 농도 변화 ① 첫 번째 반감기에서 N_2O_5 의 농도는 $[N_2O_5]_0/2$ 로 줄어든다. ② 두 번째 반감기에서 $[N_2O_5]_0/4$ 로 줄어든다. ③ 세 번째 반감기에서 $[N_2O_5]_0/8$ 로 줄어든다.

과산화 수소(H_2O_2)가 물과 산소로 분해되는 화학 반응식과 반응 속도식은 다음과 같다.



이 반응은 H_2O_2 에 대해 1차 반응이다. 그림 III-11과 같이 H_2O_2 의 분해 반응의 반감기는 10시간이므로, 10시간이 지나면 초기 농도의 절반이 되고 20시간이 되면 초기 농도의 $\frac{1}{4}$ 이 된다.

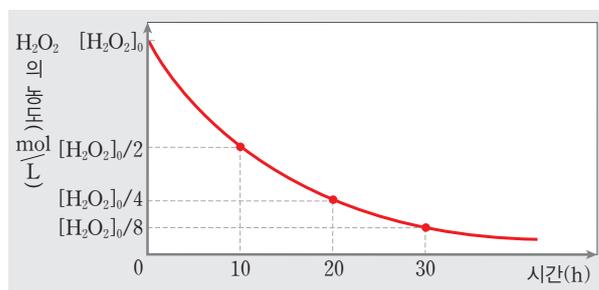


그림 III-11 시간에 따른 과산화 수소의 농도 변화

함께
해 보기

브로민화 메틸의 분해와 반감기

성층권의 오존층은 자외선을 차단하여 지구 생명체를 보호한다. 딸기, 토마토 등의 농작물에 해충이 생기는 것을 방지하려고 사용하는 브로민화 메틸(CH_3Br)은 오존층을 파괴하는 물질이다. CH_3Br 은 성층권에서 빛을 흡수하여 Br을 내놓고, Br은 성층권의 오존층을 파괴하는 반응을 촉진한다. 따라서 CH_3Br 이 성층권으로 확산되기 전에 지표면에 가까운 대기권에서 얼마나 빨리 분해되는지가 중요하다. 흙 속에서 CH_3Br 의 반감기는 토양의 조건에 따라 2.5시간 ~ 114시간으로 짧지만 CH_3Br 은 성층권으로 확산되어 오존층에 영향을 미칠 수 있다.

활동하기

우리 생활에서 반감기를 이용하는 사례를 조사하여 발표해 보자.



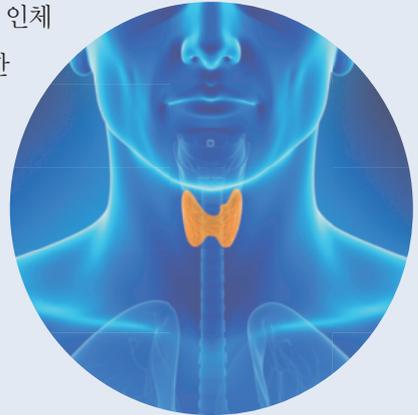
핵심 역량 | 과학적 의사소통 능력

평가하기

- 1 화학 반응에서 시간이 지날수록 반응 속도가 달라지는 까닭을 설명해 보자.
- 2 반응 속도식에서 반응 차수를 구하는 방법을 설명해 보자.

갑상샘 진단과 반감기의 활용

방사성 동위 원소를 인체에 주입하고 동위 원소가 방출하는 방사선을 검출하여 인체 내 기관의 크기, 형태, 질병의 유무 등을 진단하는 의학 분야를 핵의학이라고 한다. 갑상샘은 갑상샘 호르몬을 만들어 대사를 촉진하고 체온을 유지하는 역할을 한다. 갑상샘 환자에게 비방사성 아이오딘(^{127}I)과 일정량의 방사성 아이오딘(^{131}I)을 혼합하여 투여하면, 이 물질들은 갑상샘에 흡수되어 갑상샘 호르몬을 만드는 데 사용된다. ^{131}I 은 붕괴되면서 방사선을 방출하므로 이 방사능 변화를 측정하면 갑상샘 기능에 이상이 있는지를 조사할 수 있다. ^{131}I 의 반감기는 약 8일로 짧은 편이므로 ^{131}I 은 갑상샘 질병을 진단하는 데 유용하게 사용된다.



관련 직업: 영상 의학과 전문의,
영상 의학과 촬영 기사

그림 III-12 갑상샘 질환의 진단에 사용하는 양전자 방출 단층 촬영 검사(PET-CT) 방사성 아이오딘(^{131}I)을 투여받은 환자의 갑상샘의 방사능 변화를 측정할 때 사용한다.

과학적 문제 해결력

갑상샘 환자에게 방사성 아이오딘(^{131}I)을 투여한 지 24일 뒤 환자의 갑상샘에 남아 있는 ^{131}I 의 농도는 처음 농도의 몇 %가 될까? (단, 인체의 다른 기관에서는 ^{131}I 을 사용하지 않는다고 가정한다.)

02

활성화 에너지

- 화학 반응에서 활성화 에너지의 의미를 설명할 수 있다.
- 반응 과정에서 활성화 에너지에 따라 반응 속도가 달라짐을 설명할 수 있다.

생각 열기

숯은 탈 수 있는 물질이지만 공기 중의 산소와 접촉하더라도 스스로 연소하지 않는다. 따라서 숯에 불을 붙일 때는 착화탄을 사용한다.

☞ 숯에 불을 붙일 때 착화탄을 사용하는 까닭은 무엇일까?



화학 반응이 일어나려면 반응하는 물질 입자들이 충돌해야 한다. 그렇다면 반응물이 서로 충돌하면 항상 반응이 일어날까? 숯과 공기 중의 산소는 끊임없이 충돌하지만 연소 반응은 일어나지 않는다.

그림 III-13은 일산화 탄소 분자와 이산화 질소 분자가 충돌하여 반응이 일어날 때와 반응이 일어나지 않을 때를 모형으로 나타낸 것이다. 그림 III-13의 (가)와 같이 결합 상태가 변하여 반응이 일어나는 충돌을 유효 충돌이라고 한다. (나), (다)와 같이 충돌해도 결합 상태가 변하지 않아 반응이 일어나지 않는 충돌은 유효 충돌이 아니다.

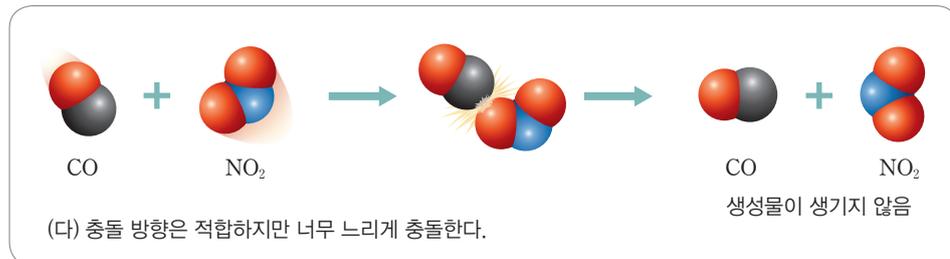
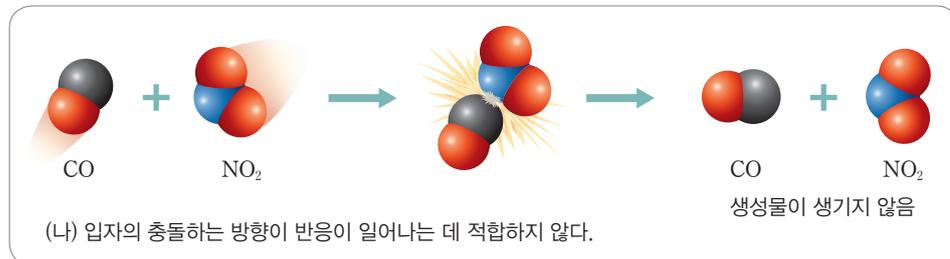
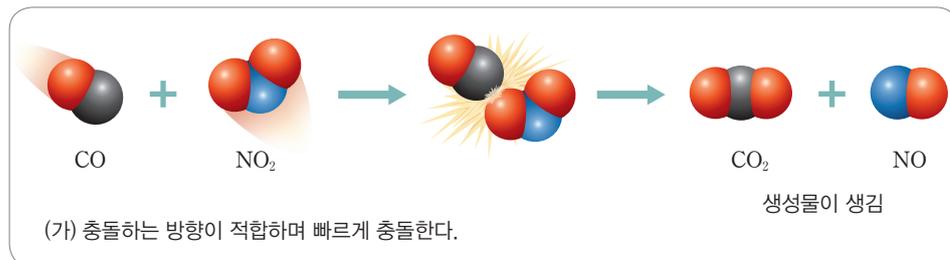


그림 III-13 분자의 충돌과 반응

화학 반응이 일어나려면 반응물 입자들이 반응이 일어나기에 적합한 방향으로 충분히 빠르게 충돌해야 한다. 반응물이 빠른 속도로 충돌할 때 전달되는 에너지는 반응물의 입자들 사이의 결합을 끊는 데 사용된다. 결합이 끊어지면 입자들이 재배열되어 새로운 생성물이 된다.

반응물보다 생성물의 엔탈피가 낮더라도 반응이 일어나려면 반응물의 에너지보다 큰 에너지 장벽을 넘어야 한다. 즉, 그림 III-14와 같이 퍼팅할 때 골프공과 홀 사이의 언덕이 골프공의 움직임에 방해가 되는 것처럼 반응물과 생성물 사이에 넘어야 할 에너지 장벽이 존재하는 것으로 볼 수 있다. 반응물이 에너지 장벽을 넘을 수 있는 에너지를 가질 때만 반응이 활성화된다는 뜻에서 에너지 장벽을 활성화 에너지(E_a)라고 한다. 활성화 에너지는 화학 반응이 일어나는 데 필요한 최소한의 에너지이다.



그림 III-14 활성화 에너지의 비유 골프공을 홀 가까이로 보내려면 언덕을 넘길 수 있을 정도의 힘으로 퍼팅해야 한다.

일산화 탄소와 이산화 질소가 반응하여 이산화 탄소와 일산화 질소가 되려면 반응물이 서로 적합한 방향으로 충돌해야 할 뿐만 아니라 반응물 입자 사이의 결합을 끊을 수 있는 에너지가 필요하다. 즉, 일산화 탄소에서 탄소 원자와 산소 원자 사이의 결합과 이산화 질소에서 질소 원자와 산소 원자 사이의 결합을 끊을 수 있도록 최소한의 에너지를 공급해 주어야 한다. 이때 필요한 최소한의 에너지인 활성화 에너지를 반응 진행에 따른 엔탈피 변화로 나타내면 그림 III-15와 같다.

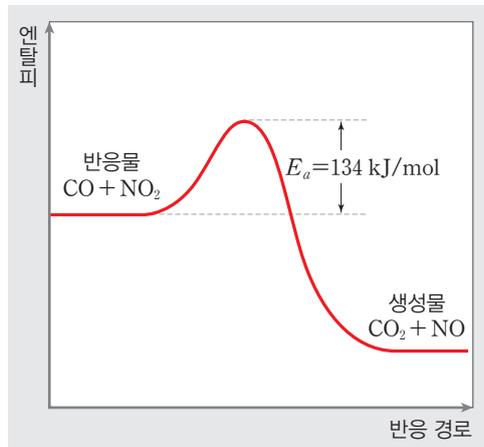


그림 III-15 일산화 탄소와 이산화 질소의 반응에서 반응 경로에 따른 엔탈피 변화와 활성화 에너지(E_a)

〈출처〉 Milks, 「Single pulse shock tube study of the reaction nitrogen dioxide(NO_2) and carbon monoxide(CO)」, 1979.

아이오딘화 수소(HI)의 분해 반응이 일어나는 과정을 살펴보자.

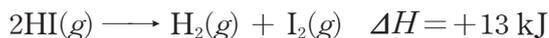
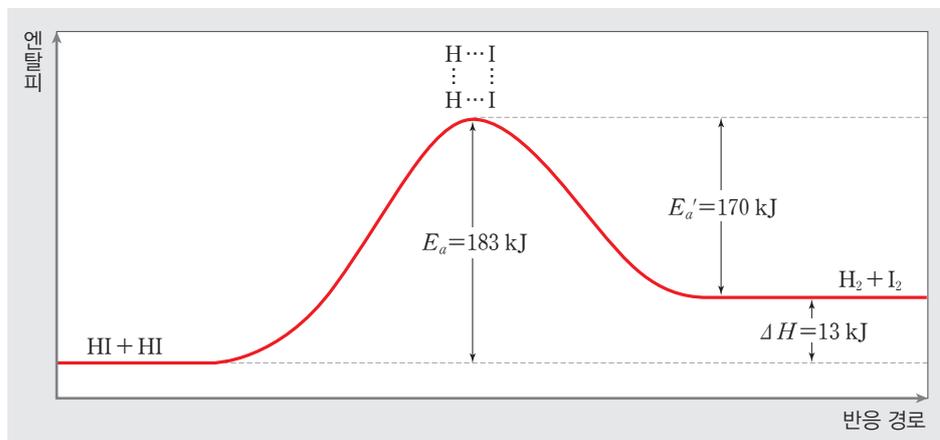


그림 III-16에서 HI와 HI가 적합한 방향으로 충분한 에너지를 가지고 충돌하면 에너지 장벽의 정상까지 올라갈 수 있다. 에너지 장벽의 정상에 도달한 분자는 H-I와 H-I의 결합이 반쯤 끊어지고 H-H와 I-I의 결합이 반쯤 형성된 상태라고 할 수 있다. 이와 같은 상태를 **활성화 상태**라고 하며, 활성화 상태에 있는 불안정한 화합물을 **활성화물**이라고 한다. 반응물과 활성화물의 에너지 차이를 활성화 에너지라고 하며, 활성화물은 활성화 상태에서 다시 반응물로 될 수도 있고 생성물로 될 수도 있다.



〈출처〉 Baulch, 「Evaluated kinetic data for high temperature reactions, Volume 4 Homogeneous gas phase reactions of halogen - and cyanide - containing species」, 1981. / Sullivan, 「Rates of reaction of hydrogen with iodine」, 1959.

그림 III-16 반응 경로에 따른 엔탈피 변화 아이오딘화 수소의 분해 반응에서 정반응의 활성화 에너지(E_a)는 183 kJ, $\Delta H = 13$ kJ이고 이로부터 역반응의 활성화 에너지(E_a')는 170 kJ임을 알 수 있다.

숯의 연소와 같은 발열 반응이 일어나려면 필요한 활성화 에너지는 처음에는 외부에서 공급해야 하고, 일단 반응이 진행되면 방출되는 에너지의 일부가 활성화 에너지로 쓰인다. 반대로 흡열 반응이 일어나려면 외부에서 지속적으로 에너지를 공급해야 한다. 한편 반응엔탈피(ΔH)는 생성물과 반응물의 엔탈피 차이이므로 반응엔탈피는 활성화 에너지의 크기와는 관계가 없다.

평가하기

- 1 화학 반응이 일어나는 조건 두 가지를 입자의 충돌로 설명해 보자.
- 2 숯의 연소 반응에서 활성화 에너지 이상의 에너지가 필요한 까닭을 설명해 보자.

로켓과 활성화 에너지

고더드(Goddard, R. H., 1882~1945)는 화성까지 타고 갈 수 있는 기구를 만드는 것이 자신의 꿈이자, 삶의 목표였다. 그는 자신의 목표대로 역사상 첫 번째로 액체 연료 로켓을 개발하였고 현대 로켓 공학을 크게 발전시켰다. 현재 인공 위성의 운반이나 우주 왕복선의 추진체로 여러 가지 연료 로켓이 이용되고 있다.

로켓의 액체 연료로 액체 수소나 액체 하이드라진이 사용된다. 이들 연료를 연소시키려면 산화제와 점화 시스템이 필요하다. 액체 수소는 액체 산소를 일정량씩 주입하면서 전기 불꽃을 일으키거나 산소와 결합할 때 급속히 연소 반응을 일으키는 트리에틸 알루미늄을 점화제로 사용하여 연소시킨다. 액체 하이드라진은 사산화 이질소와 접촉시켜 연소시킨다. 이처럼 로켓의 액체 연료를 연소시키려면 연소 반응이 일어나는 데 필요한 최소한의 에너지 공급이 필요하다.

그림 III-17 우리 나라 최초의 우주 발사체 나로호 2013년 1월 30일 3차 발사에 성공한 나로호는 1단은 액체 연료를, 2단은 고체 연료를 사용하였다.



그림 III-18 미국 우표에 실린 고더드



과학적 의사소통 능력

액체 수소 로켓을 점화시키는 방법을 활성화 에너지 측면에서 조사하여 발표해 보자.

과학적 참여와 평생 학습 능력

로켓 개발이 사회에 미치는 긍정적인 영향과 부정적인 영향을 토의하여 발표해 보자.



스스로 확인하기

핵심 내용 정리하기

반응 속도

반응 속도

- 화학 반응 가운데 화약의 폭발과 같이 변화가 급격하게 일어나는 ㉠과 철제 장신구가 녹스는 것과 같이 변화가 일어나는지조차 알기 어려울 만큼 천천히 일어나는 ㉡이 있다.
- 마그네슘과 묽은 염산이 반응할 때의 반응의 빠르기는 일정한 시간 동안에 발생한 수소기체의 ㉢ 변화로 나타낼 수 있다.
- 화학 반응이 빠르게 또는 느리게 일어나는 정도를 ㉣라고 한다.
- 화학 반응이 반응물의 농도와 어떤 관계가 있는지 반응 속도 상수(k)를 사용하여 나타낸 식을 ㉤이라고 한다.
- 반응물의 초기 농도가 절반으로 되는 데까지 걸리는 시간을 ㉥라고 한다.

활성화 에너지

- 반응물 입자들 사이에 적합한 ㉦과 충분한 ㉧를 가진 충돌이 일어날 때 결합 상태가 변하여 화학 반응이 일어날 수 있다.
- 화학 반응이 일어나는 데 필요한 최소한의 에너지를 ㉨라고 한다.

스스로 평가하기

1 일상생활에서 빠른 반응과 느린 반응의 예를 찾아보자.

* 성취 정도를 표시해 보자

20 | 40 | 60 | 80 | 100

2 반응 속도가 무엇인지 설명해 보자.

20 | 40 | 60 | 80 | 100

3 반응 속도식을 $v = k[A]^m[B]^n$ 로 나타낼 때 $[A]$, $[B]$, k , m , n 이 무엇을 뜻하는지 설명해 보자.

20 | 40 | 60 | 80 | 100

4 반감기의 뜻을 설명해 보자.

20 | 40 | 60 | 80 | 100

5 활성화 에너지의 뜻을 설명해 보자.

20 | 40 | 60 | 80 | 100



개념 확장하기

1

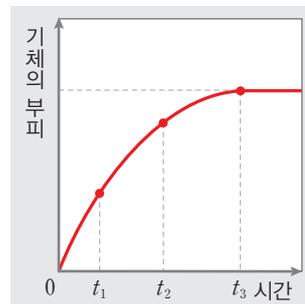
다음은 탄산 칼슘과 묽은 염산의 반응을 화학 반응식으로 나타낸 것이다.



이 반응의 반응 속도를 측정하는 실험 방법을 제시하고, 반응 속도의 단위를 써 보자.

2

그림은 일정한 온도에서 0.1 M 염산 20 mL와 충분한 양의 마그네슘을 반응시켰을 때, 시간에 따라 발생한 기체의 총부피를 나타낸 것이다. <보기>에서 옳은 것을 모두 골라 보자.

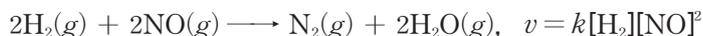


• 보기 •

- ㄱ. t_1 에서 순간 반응 속도는 t_2 에서보다 빠르다.
- ㄴ. t_3 이후 기체의 부피가 일정한 까닭은 마그네슘이 모두 반응하였기 때문이다.
- ㄷ. 처음($t=0$)부터 t_3 까지 단위 시간당 발생한 기체의 부피는 점점 증가한다.
- ㄹ. 시간이 지날수록 염산의 농도는 점점 감소한다.

3

다음은 일정한 온도에서 수소와 일산화 질소가 반응하여 질소와 수증기로 되는 반응의 화학 반응식과 반응 속도식을 나타낸 것이다.



<보기>에서 옳은 것을 모두 골라 보자.

• 보기 •

- ㄱ. 반응 속도식은 수소에 대해 1차 반응, 일산화 질소에 대해 2차 반응이다.
- ㄴ. 반응 속도식의 전체 반응 차수는 3차이다.
- ㄷ. 반응 차수는 화학 반응식의 계수로부터 결정한다.

4

반감기가 5700년이고, 질량수가 14인 탄소(^{14}C)는 방사선을 방출하면서 붕괴된다.



11400년 뒤 ^{14}C 의 농도는 초기 농도의 몇 배가 될지 반감기로 설명해 보자.



농도 및 온도와 반응 속도

01. 농도와 반응 속도

02. 온도와 반응 속도

산소 공급이 증가할수록 잘 타오르는 모닥불



이 단원의 주요 개념

01

농도와 반응 속도 (p.155~159)

- 농도와 반응 속도
- 충돌수
- 표면적과 반응 속도
- 농도에 따라 반응 속도는 어떻게 달라질까?

02

온도와 반응 속도 (p.160~163)

- 온도와 반응 속도
- 활성화 에너지와 분자 수
- 온도에 따라 반응 속도는 어떻게 달라질까?



나의 학습 준비 - 알고 있는 용어를 표시해 보자.

- | | | |
|----------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 반응 속도 | <input type="checkbox"/> 반응 속도식 | <input type="checkbox"/> 유효 충돌 |
| <input type="checkbox"/> 활성화 에너지 | <input type="checkbox"/> 운동 에너지 | |



나의 학습 계획

- 이 단원에서 배우게 될 내용 가운데 내가 알고 싶거나 궁금한 것을 적어 보자.

.....

.....

.....

01

농도와 반응 속도

- 농도에 따라 반응 속도가 달라짐을 설명할 수 있다.
- 반응 속도와 농도의 관계를 이용한 일상생활의 예를 설명할 수 있다.

생각 열기

넓이가 같은 벽 두 곳을 세 사람이 두 팀으로 나누어 페인트칠을 한다. 한쪽 벽은 한 사람이 칠하고 나머지 벽은 두 사람이 맡아서 칠한다.

Q 세 사람이 페인트칠을 하는 속도가 같다면 어느 쪽의 페인트칠이 더 빨리 끝날까?



같은 시간 동안에 같은 넓이의 벽을 페인트칠을 할 때 사람이 많으면 더 빨리 페인트칠을 할 수 있는 것처럼 화학 반응에서 입자 수를 조절하면 반응 속도를 변화시킬 수 있다. 높은 산을 오르는 등반가는 산소가 부족하여 호흡이 곤란해지면 산소 농도를 높이기 위해 산소통을 이용하고, 모닥불의 불씨가 꺼져 가면 산소 공급을 증가시키기 위해 부채질을 한다.

그림 III-19와 같이 같은 화학 반응이라도 반응물의 농도가 다르면 반응 속도가 달라진다. 강철 솜을 공기 중에서 가열하면 느리게 연소하여 산화 철(III)이 되지만, 가열한 강철 솜을 산소로 가득 찬 집기병에 넣으면 강철 솜은 격렬하게 연소하여 산화 철(III)이 된다. 이는 산소의 농도에 따라 강철 솜의 연소 반응 속도가 달라지기 때문이다.



▲ 강철 솜을 공기 중에서 가열할 때



▲ 가열한 강철 솜을 산소로 가득 찬 집기병에 넣었을 때

그림 III-19 산소의 농도에 따른 강철 솜의 연소 반응 속도

반응물의 농도에 따라 반응 속도가 달라지는 까닭은 무엇일까? 화학 반응이 일어나려면 반응하는 입자들이 서로 충돌해야 한다. 그림 III-20과 같이 반응물의 농도가 증가할수록 단위 부피당 입자 수가 많아지므로 단위 시간당 충돌수가 많아진다. 입자의 충돌수가 많아지면 일정한 시간 동안에 반응을 일으킬 수 있는 입자 수도 많아지므로 반응 속도가 빨라진다.

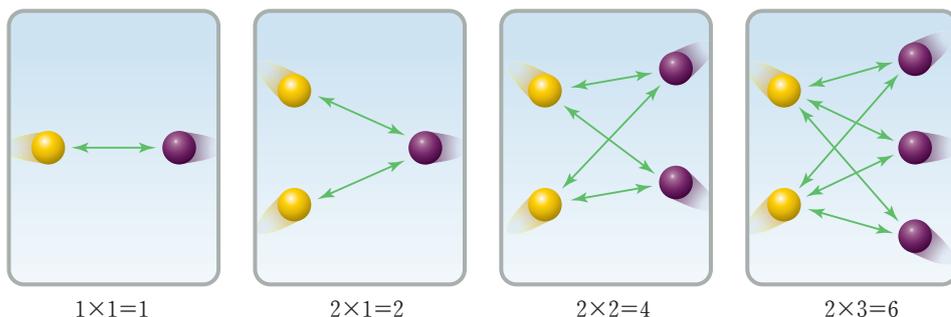


그림 III-20 농도와 충돌수의 관계

강철 솜을 공기 중에서 연소시킬 때보다 산소로 가득 차 있는 집기병 속에서 연소시킬 때 더 빠르게 연소된다. 이는 같은 시간 동안에 철과 충돌할 수 있는 산소의 입자 수가 많기 때문이다. 다음 탐구 활동으로 반응 속도에 미치는 농도의 영향을 알아보자.



농도에 따른 반응 속도



준비물

0.05 M 아황산수소 나트륨 (NaHSO₃) 수용액, 0.05 M 아이오딘산 칼륨(KIO₃) 수용액, 1% 녹말 수용액, 증류수, 12홈판, 비커, 플라스틱병, 스포이트, 초시계, 라벨지, 실험용 장갑, 보안경

주의 사항

- 용액마다 정해진 스포이트를 사용한다.
- 실험에 사용한 모든 용액은 반드시 폐수통에 버린다.



NaHSO₃ 수용액과 KIO₃ 수용액이 반응할 때 농도에 따라 반응 속도가 어떻게 달라지는지 알아보자.

과정

- 1 12홈판의 홈 5개에 A~E라고 라벨을 붙이고, 스포이트로 0.05 M KIO₃ 수용액을 각각 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 mL씩 넣은 뒤 여기에 증류수를 더 넣어 전체 부피가 2.5 mL가 되도록 한다. 이때 홈판을 살짝 흔들어 용액이 균일해지도록 한다.
- 2 비커에 0.05 M NaHSO₃ 수용액 15 mL와 1% 녹말 수용액 3 mL를 넣어 잘 섞는다.
- 3 과정 2의 용액을 플라스틱병 A~E에 스포이트로 각각 2.5 mL씩 넣는다.
- 4 플라스틱병 A에 들어 있는 용액을 홈 A에 재빨리 넣고, 초시계를 작동시킨다.
- 5 검은 보라색이 나타나는 순간 초시계를 멈추고, 시간을 0.1초 단위까지 기록한다.
- 6 B~E도 과정 4와 5를 반복한다.



두 용액을 반응시킬 때 스마트폰이나 디지털카메라로 촬영한 동영상을 보면서 함께 토의해 보자.

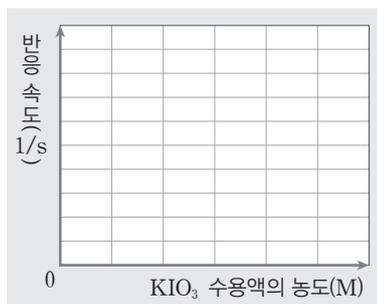
결과 및 정리

① 실험 결과를 표에 정리해 보자.

홈	0.05 M KIO_3 수용액의 부피(mL)	증류수의 부피(mL)	KIO_3 수용액의 농도(M)	반응 시간 (s)	반응 속도 (1/s)
A					
B					
C					
D					
E					

- 이 반응의 반응 속도를 나타내는 방법을 토의해 보자.
- KIO_3 수용액의 농도와 반응 시간의 관계를 설명해 보자.
- KIO_3 수용액의 농도에 따라 반응 속도가 달라지는 까닭을 토의해 보자.

➤ **더 알아보기** KIO_3 수용액의 농도와 반응 속도의 관계를 그래프로 그리고, 이 반응의 반응 속도는 KIO_3 에 대해 몇 차 반응인지 알아내어 보자.



모둠 활동

역할	이름
모둠장	
자료 관리자	
기록자	
점검자	

• 모둠원의 역할을 용액 넣기, 용액 섞기, 시간 측정하기 등으로 나누고, 자신의 역할을 책임감 있게 수행한다.

농도가 다른 KIO_3 수용액과 충분한 양의 NaHSO_3 수용액이 반응할 때, KIO_3 수용액의 농도가 진할수록 반응 속도가 빠르다. 이는 KIO_3 수용액의 농도가 진할수록 단위 시간당 반응물 사이의 충돌수가 많아지고, 일정한 시간 동안에 반응을 일으킬 수 있는 입자 수가 많아져서 반응 속도가 빨라지기 때문이다. 그림 III-21과 같이 A와 B가 반응할 때 B의 농도가 진할수록 단위 시간당 충돌수가 많아진다.

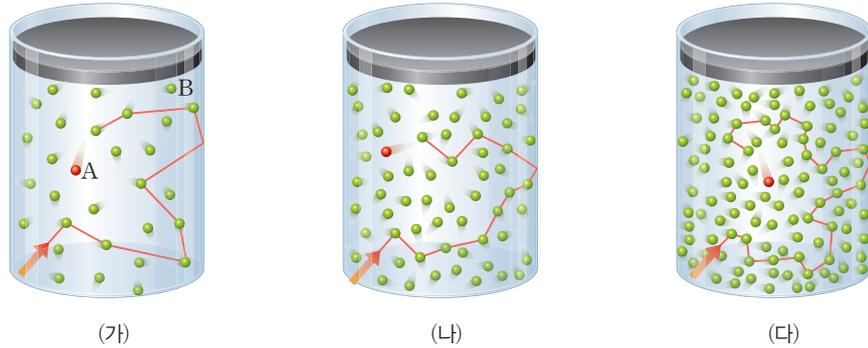


그림 III-21 농도에 따른 입자의 충돌수 붉은색으로 표시된 선은 A와 B의 충돌 경로에 따른 단위 시간당 충돌수를 보여준다.

일상생활에서도 그림 III-22와 같이 반응물의 농도에 따라 반응 속도가 달라지는 원리를 이용한다. 금속을 용접할 때는 아세틸렌이 연소할 때 발생하는 높은 열을 이용하여 산소-아세틸렌 용접을 한다. 이때 아세틸렌의 연소가 빠르게 일어나게 하려면 고압 산소로 더 많은 산소를 공급해 주어야 한다.

그림 III-22 농도에 따라 반응 속도가 달라지는 원리를 이용한 산소-아세틸렌 용접

? 일상생활에서 반응물의 농도가 반응 속도에 영향을 미치는 예를 찾아보고, 그 원리를 자세히 설명해 보자.



반응물이 기체일 때 압력이 클수록 반응 속도가 빠르다. 이는 그림 III-23과 같이 외부 압력이 커지면 기체의 부피가 감소하여 단위 부피당 입자 수가 많아지고 일정한 시간 동안에 분자 사이의 충돌수가 많아지기 때문이다. 일정한 온도에서 기체의 농도는 압력에 비례하므로 기체 사이의 반응 속도는 농도 대신 부분 압력을 사용하여 나타낼 수 있다.

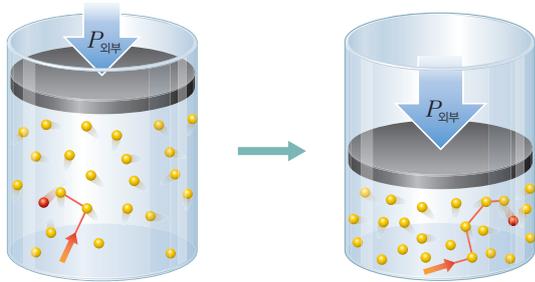


그림 III-23 압력에 따른 입자의 충돌수

한편 반응물의 접촉 면적이 클수록 반응 속도가 빨라진다. 예를 들어 철은 덩어리일 때보다 숨이나 가루 상태일 때 더 빨리 연소한다. 이는 부피가 같더라도 철의 크기가 작을수록 표면적이 커져 단위 시간당 철과 산소의 충돌수가 많아지기 때문이다.

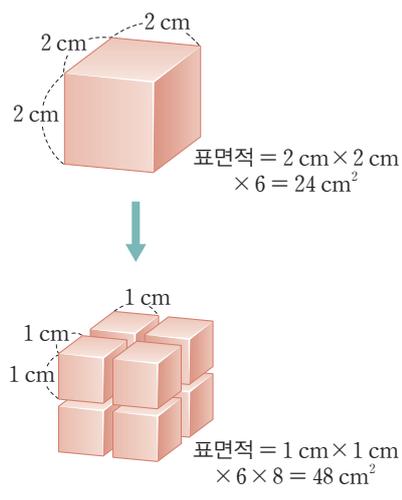


그림 III-24 철의 크기와 표면적의 관계

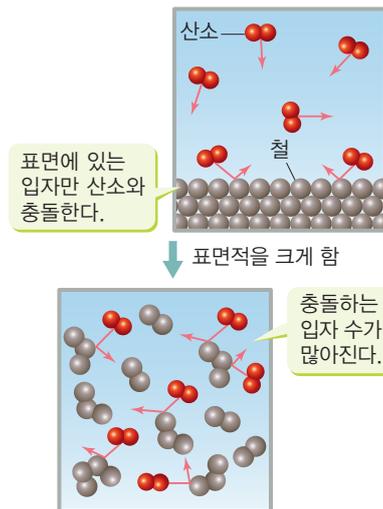


그림 III-25 철의 표면적에 따른 충돌수



- 1 반응물의 농도와 반응 속도의 관계를 입자 사이의 충돌수로 설명해 보자.
- 2 철로 만든 현관문에 페인트칠을 하는 까닭을 반응 속도에 영향을 미치는 요인과 관련지어 설명해 보자.

02

온도와 반응 속도

- 온도에 따라 반응 속도가 달라짐을 설명할 수 있다.
- 반응 속도와 온도의 관계를 이용한 일상생활의 예를 설명할 수 있다.



생각 열기

생선 가게에서는 추운 겨울보다 기온이 높은 여름에 생선 주변에 얼음을 많이 쌓아 둔다.

☉ 생선 진열대에 겨울보다 여름에 얼음을 더 많이 쌓아 두는 까닭은 무엇일까?

기온이 높은 여름에는 생선을 신선하게 보관하려고 생선 주변에 얼음을 많이 쌓아 둔다. 온도가 낮아지면 생선이 상하는 반응이 느리게 일어나기 때문이다. 이처럼 화학 반응에서 온도를 조절하면 반응 속도를 변화시킬 수 있다.

그림 III-26과 같이 온도가 다른 물에 발포정을 넣거나 발광 막대를 넣으면 뜨거운 물에 넣은 발포정이 가장 먼저 녹고 뜨거운 물에 넣은 발광 막대가 가장 밝게 빛나는 것을 볼 수 있다. 일반적으로 온도가 높아지면 화학 반응의 속도가 빨라지고 온도가 낮아지면 화학 반응의 속도가 느려진다.



얼음물

실온의 물

뜨거운 물



얼음물

실온의 물

뜨거운 물

그림 III-26 온도에 따른 반응 속도의 변화

$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 수용액과 $\text{HCl}(aq)$ 의 반응 속도가 온도에 따라 어떻게 변하는지 알아보자.

과정 1, 2



과정

- 12홈판 그림에 ×표가 표시된 A4 용지를 준비하고, 세 개의 12홈판에서 ×표 위치의 홈에 각각 A, B, C라고 표시한 뒤, 0.2 M $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 수용액을 각각 2.5 mL씩 넣는다.
- 플라스틱병 3개에 A, B, C라고 표시하고, 2 M $\text{HCl}(aq)$ 을 1.0 mL씩 넣는다.

- 3 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 수용액이 들어 있는 홈 A와 플라스틱병 A의 용액의 온도를 측정한다.
- 플라스틱병 A의 용액을 홈 A의 수용액에 넣고, 두 용액이 섞일 때부터 ×표가 보이지 않을 때까지 걸리는 시간을 초시계로 측정한다.
- 홈 B 주위, 플라스틱병 B가 들어 있는 홈과 그 주위에 뜨거운 물을 넣고 잠시 두었다가 과정 3, 4와 같이 실험한다.
- 홈 C 주위, 플라스틱병 C가 들어 있는 홈과 그 주위에 얼음물을 넣고 잠시 두었다가 과정 3, 4와 같이 실험한다.



준비물

0.2 M 싸이오황산 나트륨 ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 수용액, 2 M 염산 ($\text{HCl}(aq)$), 뜨거운 물, 얼음물, A4 용지, 12홈판, 플라스틱병, 스포이트, 라벨지, 디지털 온도계, 초시계, 유성펜, 실험용 장갑, 보안경

주의 사항

- 염산은 강산이므로 주의해서 다룬다.
- 피부나 눈에 염산이 닿지 않도록 실험용 장갑과 보안경을 착용한다.
- 피부나 눈에 염산이 닿았을 때는 흐르는 물이나 눈 세척기로 눈을 충분히 씻어낸 뒤 병원 진료를 받는다.
- 실험에 사용한 용액은 반드시 폐수통에 버린다.



두 용액을 반응시킬 때 스마트폰이나 디지털카메라로 촬영한 동영상상을 보면서 함께 토의해 보자.

결과 및 정리

- 1 실험 결과를 표에 정리해 보자.

홈	온도(°C)	×표가 보이지 않을 때까지 걸린 시간(s)	반응 속도(1/s)
A			
B			
C			

- 2 용액의 온도와 ×표가 보이지 않을 때까지 걸린 시간과의 관계를 설명해 보자.
- 3 온도와 반응 속도의 관계를 토의해 보자.

$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 수용액과 HCl 의 반응식은 다음과 같다.



이 반응에서는 물에 녹지 않는 황(S)이 생성되어 용액이 뿌옇게 변한다. 따라서 반응 속도는 일정량의 황이 생성되어 흡판 아래에 놓아둔 종이에 표시한 ×표가 보이지 않을 때까지 걸린 시간을 측정하여 비교할 수 있다. $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 수용액과 HCl 의 온도가 높을수록 ×표가 보이지 않을 때까지 걸린 시간이 짧아지고 반응 속도가 빨라진다.

일반적으로 온도가 10°C 높아지면 반응 속도는 2배 정도 빨라지고, 온도가 20°C 높아지면 반응 속도는 4배 정도 빨라진다. 온도가 높아지면 분자들의 에너지가 증가하여 분자의 운동 속력이 빨라지고, 이에 따라 분자들의 충돌수가 증가하여 반응 속도가 빨라질 것으로 예상할 수 있다. 그러나 온도가 10°C 높아질 때 충돌수는 2% 정도밖에 증가하지 않는다. 그러므로 온도의 증가에 따른 반응 속도의 빠르기는 충돌수의 증가만으로 설명할 수 없다.

온도가 높을수록 반응 속도가 빨라지는 까닭을 그림 III-27로 알아보자. 같은 반응에서는 온도가 높아져도 활성화 에너지(E_a)의 값이 변하지 않는다. 그러나 온도가 높아지면 큰 운동 에너지를 가지는 분자가 많아지기 때문에 활성화 에너지를 넘어서 반응을 일으킬 수 있는 분자들이 많아진다. 즉, 높은 온도에서는 활성화 에너지보다 큰 운동 에너지를 가진 분자가 많아져서 반응 속도가 빨라진다.

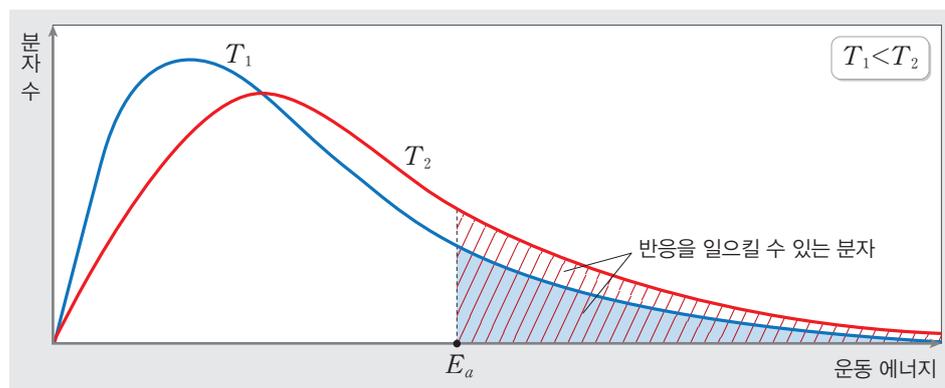


그림 III-27 온도에 따른 기체 분자의 운동 에너지 분포 곡선

평가하기

- 1 반응물의 온도와 반응 속도의 관계를 입자의 운동 에너지로 설명해 보자.
- 2 머리카락에 파마약을 바르고 따뜻하게 하면 파마가 더 빨리되는 까닭을 반응 속도에 영향을 미치는 요인과 관련지어 설명해 보자.

약을 1일 3회 복용하는 까닭

관련 직업: 약사, 신약 개발 연구원, 의사

약은 왜 하루에 대개 3번 복용하는 것일까? 몸속에서 약물이 흡수, 대사, 배설되는 과정을 이해하는 데 반응 속도가 중요하다. 혈장이나 소변에 존재하는 약물의 농도를 시간에 따라 측정한 결과는 그림 III-28과 같다. 약물의 치료 범위는 약물의 치료 효과가 바람직하게 나타나는 최소 유효 농도와 약물의 효과보다 부작용이 더 커서 약물이 독성을 나타내는 최소 독성 농도에 따라 결정된다. 따라서 약물의 복용은 최소 유효 농도보다는 높고, 최소 독성 농도보다 낮은 농도를 유지해야 한다. 그림 III-29와 같이 약물을 처음 복용하여 최소 유효 농도에 이르는 개시 시간 이후 혈액 속 약물의 농도를 치료 범위 내로 유지하려면 일정한 시간 간격으로 약물을 복용해야 한다.

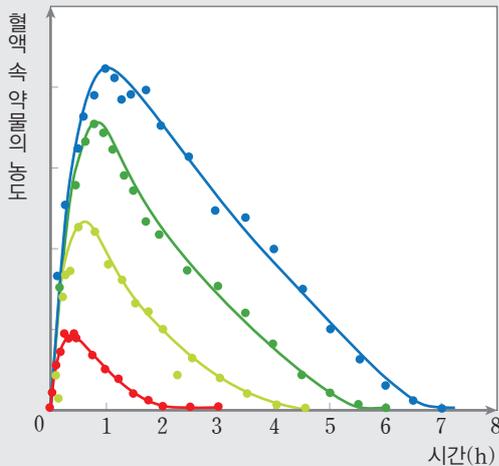


그림 III-28 1번 복용할 때 시간에 따른 혈액 속 약물의 농도
각 그래프는 약물의 경구 복용량이 a g(빨강), $2a$ g(연두), $3a$ g(초록), $4a$ g(파랑)일 때를 나타낸다.

<출처> Wilkinson, 「Pharmacokinetics of ethanol after oral administration in the fasting state」, 1977. / 정선미, 「농도가 좌우한다, 약! 아니면 독?」, 2016.

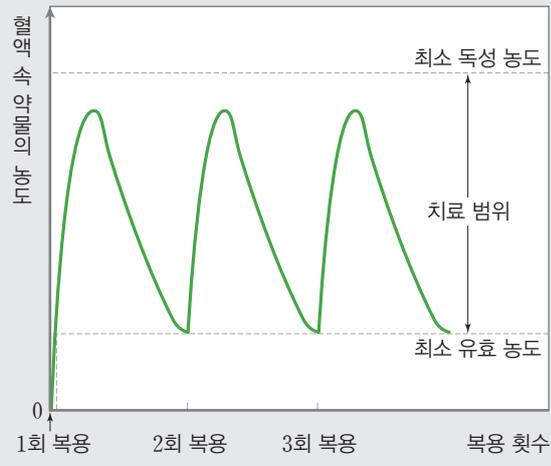


그림 III-29 1일 3번 복용할 때 시간에 따른 혈액 속 약물의 농도

과학적 의사소통 능력

약의 복용법을 지키지 않았을 때 어떤 문제가 발생할 수 있는지 함께 이야기해 보자.

과학적 참여와 평생 학습 능력

약의 올바른 복용량의 결정에 영향을 미치는 요인을 인터넷 검색으로 조사해 보자.





스스로 확인하기

핵심 내용 정리하기

농도 및 온도와 반응 속도

농도와 반응 속도

- 반응물의 가 증가할수록 단위 부피당 입자 수가 많아지므로 단위 시간당 가 많아지고 일정한 시간 동안에 반응을 일으킬 수 있는 입자 수도 많아지므로 반응 속도가 .
- 반응물이 기체일 때 이 클수록 일정한 시간 동안에 분자 사이의 충돌수가 더 크기 때문에 반응 속도가 빨라진다.
- 철이 덩어리보다 솜이나 가루일 때 더 빠르게 연소하는 것처럼 고체 반응물의 이 증가하면 단위 시간당 반응물 사이의 충돌수가 증가하므로 반응 속도는 빨라진다.

온도와 반응 속도

- 일반적으로 온도가 10 °C 높아지면 반응 속도는 2배 정도 , 온도가 20 °C 높아지면 반응 속도는 4배 정도 .
- 같은 반응에서는 온도가 높아져도 활성화 에너지 값은 .
- 온도가 높아지면 큰 운동 에너지를 가지는 분자 수가 많아지기 때문에 활성화 에너지보다 운동 에너지를 가진 분자 수가 많아져서 반응 속도가 .

스스로 평가하기

	* 성취 정도를 <input checked="" type="checkbox"/> 표시해 보자
1 반응물의 농도에 따라 반응 속도가 달라지는 까닭을 설명해 보자.	<input type="text"/> 20 <input type="text"/> 40 <input type="text"/> 60 <input type="text"/> 80 <input type="text"/> 100 <input type="text"/>
2 일상생활에서 반응 속도와 농도의 관계를 이용한 예를 찾아보자.	<input type="text"/> 20 <input type="text"/> 40 <input type="text"/> 60 <input type="text"/> 80 <input type="text"/> 100
3 반응물이 기체일 때 압력에 따라 반응 속도가 달라지는 까닭을 설명해 보자.	<input type="text"/> 20 <input type="text"/> 40 <input type="text"/> 60 <input type="text"/> 80 <input type="text"/> 100
4 반응물의 접촉 면적에 따라 반응 속도가 달라지는 까닭을 설명해 보자.	<input type="text"/> 20 <input type="text"/> 40 <input type="text"/> 60 <input type="text"/> 80 <input type="text"/> 100
5 반응물의 온도에 따라 반응 속도가 달라지는 까닭을 설명해 보자.	<input type="text"/> 20 <input type="text"/> 40 <input type="text"/> 60 <input type="text"/> 80 <input type="text"/> 100
6 일상생활에서 반응 속도와 온도의 관계를 이용한 예를 찾아보자.	<input type="text"/> 20 <input type="text"/> 40 <input type="text"/> 60 <input type="text"/> 80 <input type="text"/> 100



개념 확장하기

1

<보기>는 일상생활에서 농도, 표면적, 온도를 변화시켜 반응 속도를 조절하는 사례들이다. 농도가 반응 속도에 영향을 미치는 예를 찾아보자.

• 보기 •

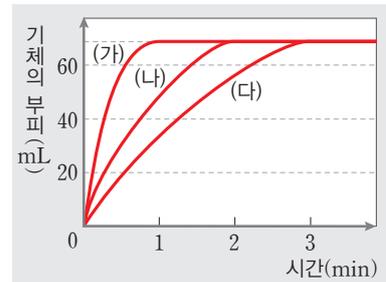
- ㄱ. 산소-아세틸렌 용접으로 금속을 용접할 때 고압의 산소를 공급한다.
- ㄴ. 의사가 처방해 준 알약을 가루로 빻아서 복용하면 위험할 수 있다.
- ㄷ. 일산화 탄소 중독 환자에게 산소마스크를 씌운다.
- ㄹ. 추운 날씨에도 비닐하우스에서 딸기를 재배할 수 있다.

2

그림은 일정량의 마그네슘을 농도가 다른 염산과 반응시켰을 때 시간에 따라 발생한 기체의 총부피를 나타낸 것이다. <보기>에서 옳은 것을 모두 골라 보자. (단, 온도는 일정하다.)

• 보기 •

- ㄱ. 염산의 농도가 가장 진한 것은 (가)이다.
- ㄴ. 반응한 마그네슘의 질량은 (가) > (나) > (다)이다.
- ㄷ. 반응하기 시작한 뒤 30초 동안의 평균 반응 속도는 (다) > (나) > (가)이다.
- ㄹ. 염산의 농도가 진할수록 반응이 완결되는 데 걸리는 시간이 짧다.

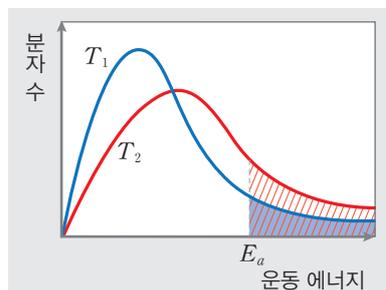


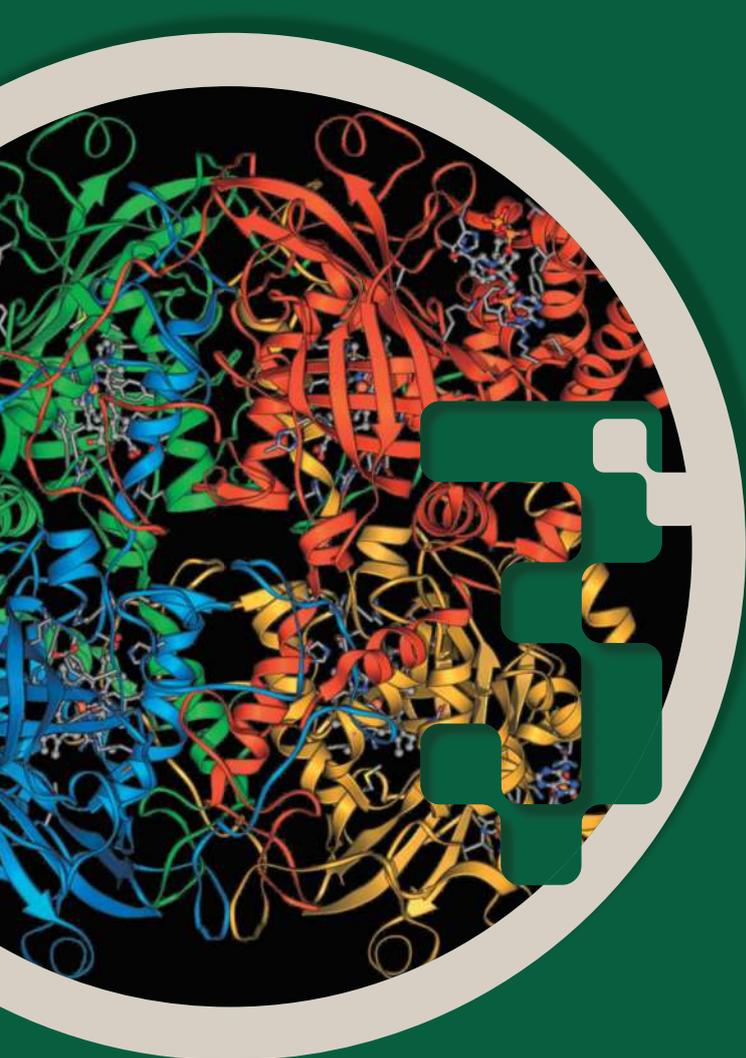
3

그림은 온도 T_1 와 T_2 에서 기체 분자의 운동 에너지 분포 곡선을 나타낸 것이다. <보기>에서 옳은 것을 모두 골라 보자. (단, E_a 는 활성화 에너지이다.)

• 보기 •

- ㄱ. 온도는 $T_1 < T_2$ 이다.
- ㄴ. 반응 속도는 T_2 에서 더 빠르다.
- ㄷ. 활성화 에너지는 $T_1 > T_2$ 이다.
- ㄹ. 활성화 에너지보다 큰 운동 에너지를 갖는 분자 수는 $T_1 < T_2$ 이다.





촉매와 반응 속도

- 01. 촉매에 따른 반응 속도
- 02. 촉매와 효소의 활용

생체 내 효소 중의 하나인 카탈레이스



이 단원의 주요 개념

01

촉매에 따른 반응 속도 (p.167~172)

- 촉매의 작용 원리
- 효소의 작용 원리와 역할
- 촉매는 어떻게 반응 속도를 변화시킬까?



02

촉매와 효소의 활용 (p.173~175)

- 산업에서 촉매와 효소의 활용
- 산업에서 촉매와 효소는 어떻게 활용될까?



나의 학습 준비 - 알고 있는 용어를 표시해 보자.

- 촉매 반응 속도 생체 촉매
 효소



나의 학습 계획

- 이 단원에서 배우게 될 내용 가운데 내가 알고 싶거나 궁금한 것을 적어 보자.

.....

.....

.....

01

촉매에 따른 반응 속도

- 촉매가 반응 속도를 변화시키는 원리를 설명할 수 있다.
- 효소의 작용 원리와 생체 내에서의 역할을 설명할 수 있다.

생각 열기

예전에는 동해에 가려면 자동차로 한계령이나 미시령 같은 높은 고개를 넘어야만 했다. 고갯길은 구불구불하고 경사가 급해 시간이 오래 걸렸고 겨울철에는 눈이 조금만 내려도 통행이 금지되었다.

예전에 비해 요즘은 자동차로 동해까지 가는 시간이 많이 줄었다. 그 까닭은 무엇일까?

1 촉매와 반응 속도

자동차로 산 너머의 목적지에 갈 때 구불구불한 고갯길을 넘어가면 시간이 오래 걸리지만 터널을 통과하면 빨리 도착할 수 있다. 화학 반응에서도 반응이 빠르게 일어나도록 도와주는 물질이 있다. 화학 반응의 속도에 영향을 주는 물질을 알아보자.

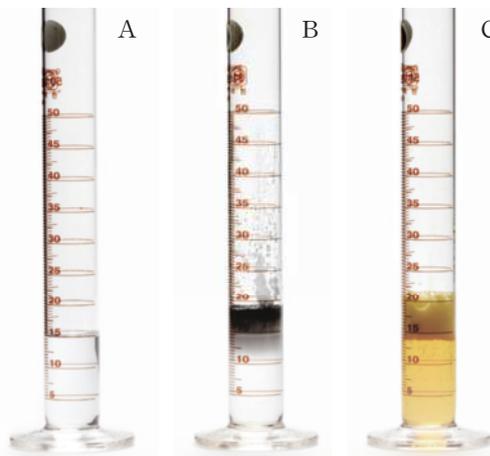


과산화 수소의 분해에 영향을 주는 물질



과정

- 1 눈금 실린더 A ~ C에 10 % H_2O_2 10 mL와 합성 세제 수용액 5 mL 씩을 각각 넣는다.
- 2 눈금 실린더 B에는 소량의 MnO_2 가루를, C에는 1 M KI 수용액 1 mL를 넣는다.
- 3 각 눈금 실린더에서 일어나는 변화를 관찰한다.



준비물

10 % 과산화 수소수(H_2O_2), 이산화 망가니즈(MnO_2), 1 M 아이오딘화 칼륨($KI(aq)$), 합성 세제 수용액, 눈금 실린더, 스포이트, 약손가락, 실험용 장갑, 보안경

주의 사항

- H_2O_2 는 피부에 닿지 않도록 한다.
- 기체가 발생하면서 거품과 함께 용액이 넘칠 수 있으므로 주의한다.
- 실험에 사용한 모든 용액은 반드시 폐수통에 버린다.

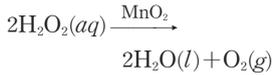


정리

- 1 눈금 실린더 A ~ C에서 발생하는 기포의 양을 비교해 보자.
- 2 MnO_2 , KI이 H_2O_2 의 분해 속도에 미치는 영향을 설명해 보자.

촉매의 표시

촉매는 화학 반응식에서 화살표 위에 표시한다.



H_2O_2 는 H_2O 과 O_2 로 분해된다. 이 반응은 실온에서 느리게 일어나지만 MnO_2 나 KI 을 넣으면 반응이 빠르게 일어난다. H_3PO_4 은 H_2O_2 의 분해 반응을 더 느리게 한다. 이처럼 화학 반응 과정에서 자신은 소모되지 않으면서 반응 속도를 변화시키는 물질을 **촉매**라고 한다. MnO_2 나 KI 과 같이 반응 속도를 빠르게 하는 물질을 **정촉매**라고 하고, H_3PO_4 과 같이 반응 속도를 느리게 하는 물질을 **부촉매**라고 한다.

화학 반응에서 반응물이 생성물로 변하려면 활성화 에너지 장벽을 넘어야 한다. 즉, 활성화 에너지 이상의 에너지를 가진 분자들이 충돌할 때 화학 반응이 일어난다. 촉매는 그림 III-30과 같이 활성화 에너지를 변화시켜 반응 속도를 변화시킨다. 활성화 에너지가 달라지면 같은 온도에서 반응을 일으킬 수 있는 분자 수가 증가하거나 감소하므로 반응 속도가 변한다.

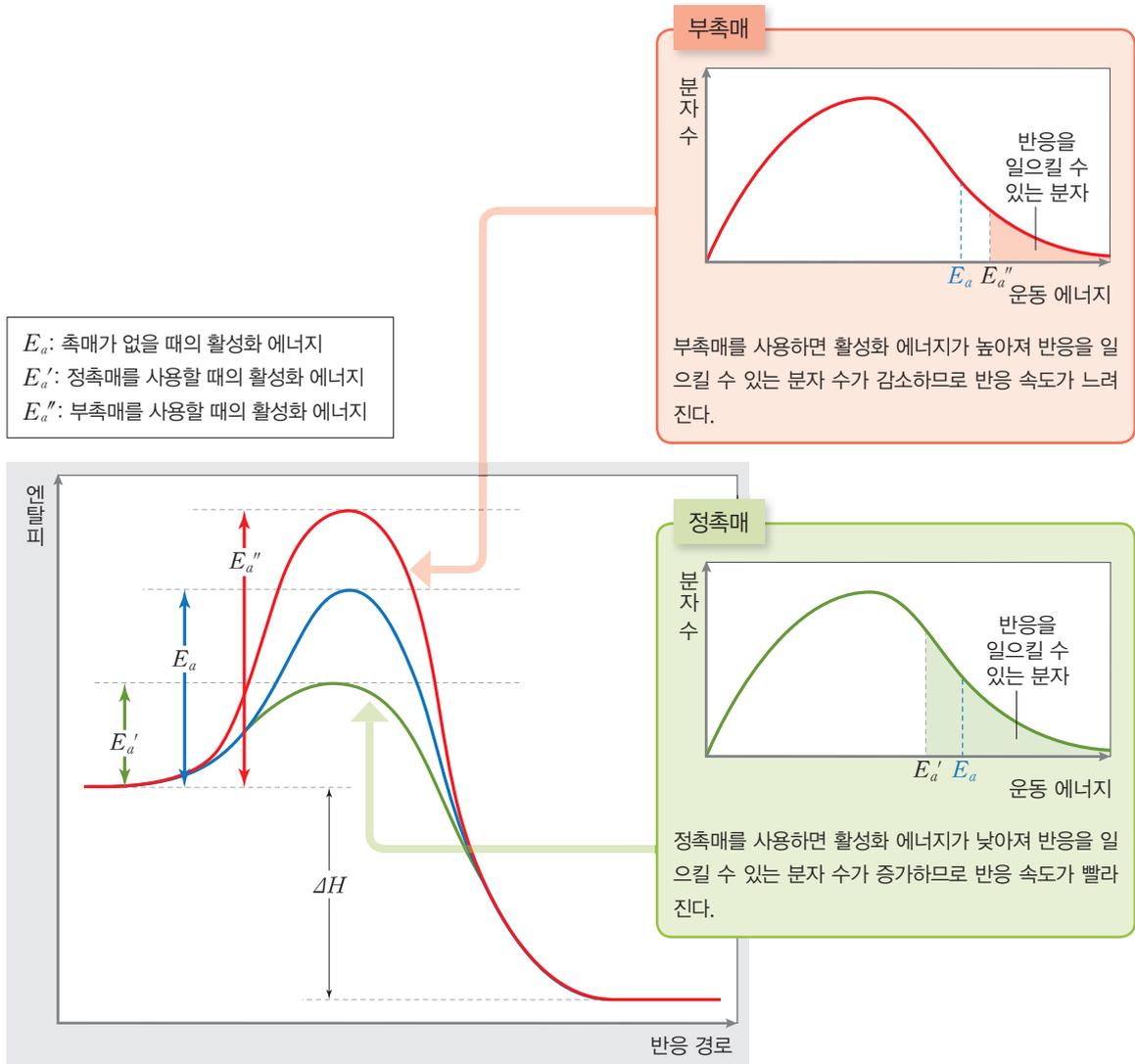
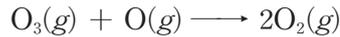
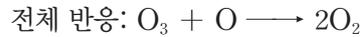
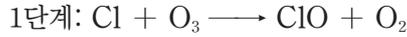


그림 III-30 촉매 사용에 따른 활성화 에너지 변화와 분자 수

태양에서 오는 자외선을 흡수하는 성층권의 오존이 산소 원자와 반응하여 다음과 같이 분해된다.



이 반응은 활성화 에너지가 매우 높아 느리게 진행된다. 그러나 프레온 가스가 분해될 때 생기는 염소 원자(Cl)가 존재하면 염소 원자가 촉매로 작용하는 새로운 반응 경로가 생긴다.



이때 염소 원자는 반응이 끝난 뒤에도 소모되지 않으므로 촉매로 작용함을 알 수 있다. 이 반응의 활성화 에너지는 촉매가 없을 때보다 훨씬 낮아 오존의 분해 반응이 매우 빠르게 일어난다.

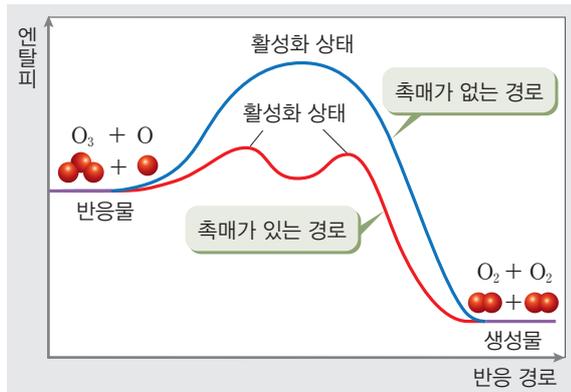


그림 III-31 촉매의 유무에 따른 반응 경로의 차이

프레온은 1930년대 이후 널리 사용되었고 오존층 파괴의 주원인이 되었다. 그러나 오존층을 보호하려고 프레온 가스의 사용량을 감축하고 금지하는 등 국제적으로 노력한 결과 2000년대 이후에는 더 이상 오존층 구멍이 확대되지 않고 있다.

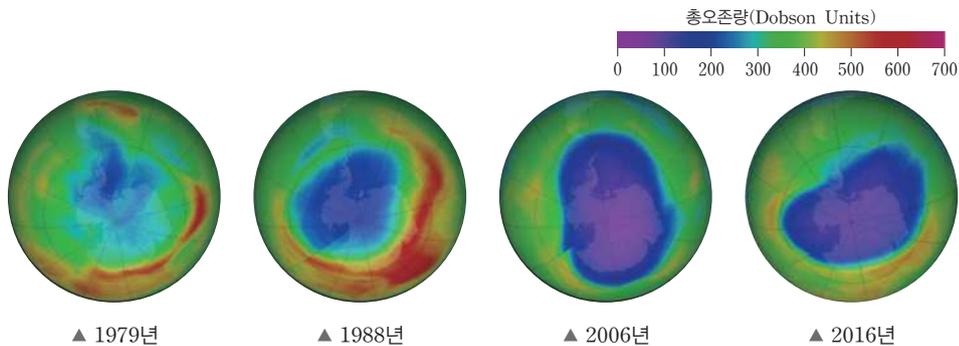
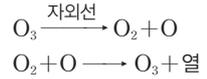


그림 III-32 남극 상공 오존층 구멍의 변화

오존-산소 순환

성층권에서 오존과 산소는 다음과 같은 반응으로 평형을 이룬다.

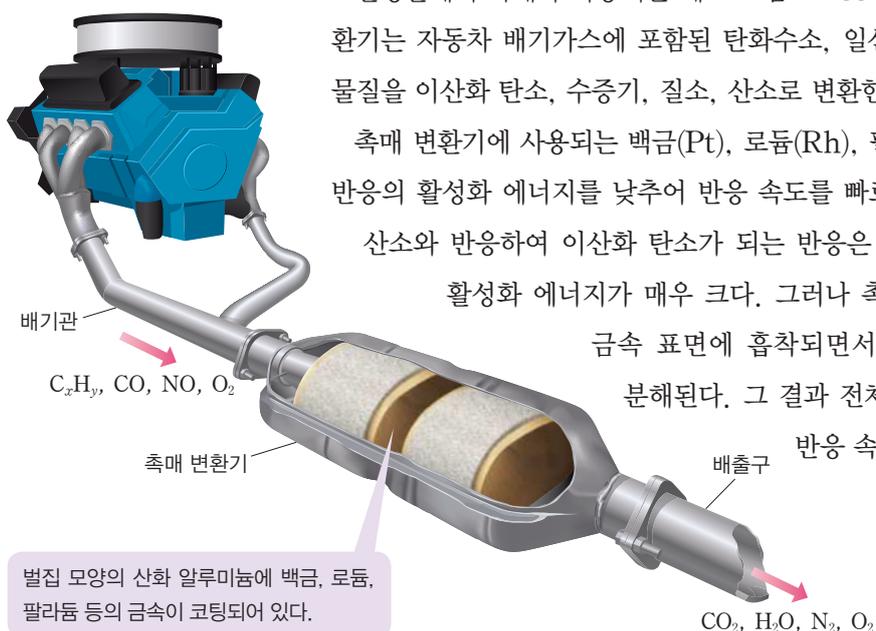


프레온 가스

염화 플루오린화 탄소로 불리는 화합물의 총칭이다. 부식성이 없고 불연성 기체이므로 냉매나 소화제 등으로 널리 사용되었다. 오존층을 파괴하는 물질임이 알려져 1987년 몬트리올 의정서 채택 이후 단계적으로 사용이 금지되었다.

실생활에서 촉매가 사용되는 예로 그림 III-33과 같은 촉매 변환기가 있다. 촉매 변환기는 자동차 배기가스에 포함된 탄화수소, 일산화 탄소, 일산화 질소 등의 해로운 물질을 이산화 탄소, 수증기, 질소, 산소로 변환한다.

촉매 변환기에 사용되는 백금(Pt), 로듐(Rh), 팔라듐(Pd) 등의 금속은 이러한 변환 반응의 활성화 에너지를 낮추어 반응 속도를 빠르게 한다. 예를 들어 일산화 탄소가 산소와 반응하여 이산화 탄소가 되는 반응은 산소 분자의 결합이 강하기 때문에 활성화 에너지가 매우 크다. 그러나 촉매 변환기를 사용하면 산소 분자가 금속 표면에 흡착되면서 결합이 약해져 산소 원자로 쉽게 분해된다. 그 결과 전체 반응의 활성화 에너지가 낮아지고 반응 속도는 빨라진다.



벌집 모양의 산화 알루미늄에 백금, 로듐, 팔라듐 등의 금속이 코팅되어 있다.

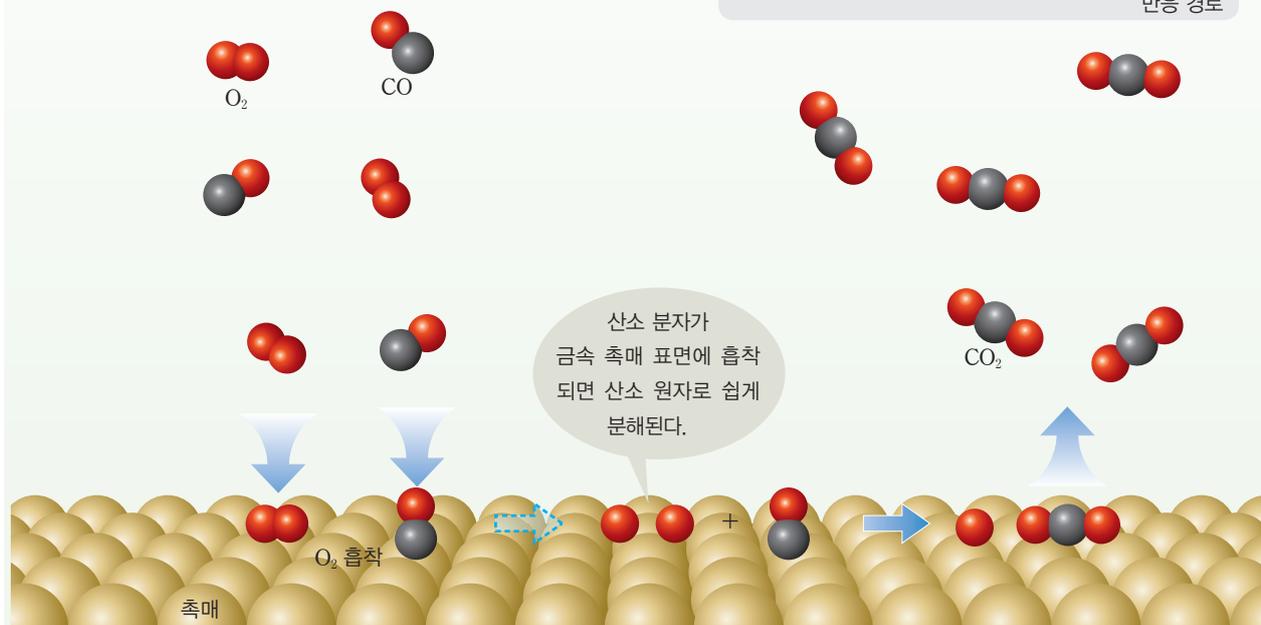
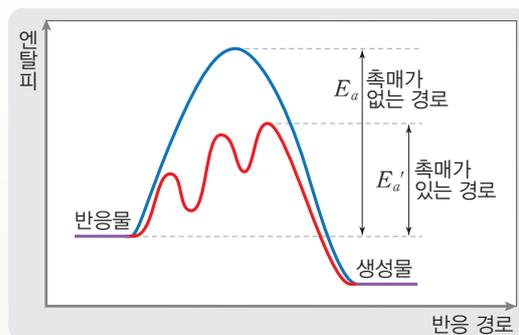


그림 III-33 자동차 촉매 변환기의 구조와 작용 원리

2 효소

밥을 오래 씹으면 단맛이 나는 것은 침에 들어 있는 아밀레이스가 밥 속의 녹말을 엷당으로 분해하기 때문이다. 음식물이 분해되는 과정은 시간이 오래 걸리는 반응이지만 우리 몸에서는 몇 시간 안에 일어나는데, 이는 아밀레이스와 같은 효소의 작용 덕분이다.

효소는 복잡한 구조의 큰 단백질 분자로 세포 내에서 생명 활동에 필요한 반응을 촉진하는 일종의 촉매이다. 효소의 촉매 작용은 단백질 구조의 **활성 자리**라는 위치에서 일어나며 활성 자리의 입체 구조에 맞는 특정한 물질과 반응한다. 예를 들어 탄수화물의 분해 효소인 수크레이스는 설탕에만 결합하여 설탕을 포도당과 과당으로 분해한다. 이때 설탕이 수크레이스의 활성 자리에 결합하면 반응의 활성화 에너지가 낮아지고 반응 속도는 빨라진다.

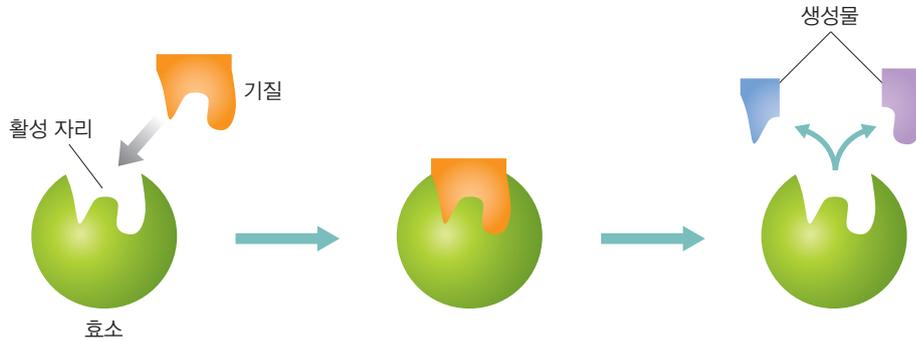


그림 III-34 효소의 작용

피셔는 효소의 작용 원리를 자물쇠와 열쇠의 관계에 비유하여 설명하였다. 자물쇠의 구멍에 맞는 열쇠로만 자물쇠를 열 수 있듯이 효소도 활성 자리에 맞는 특정한 물질과만 결합하여 작용한다.

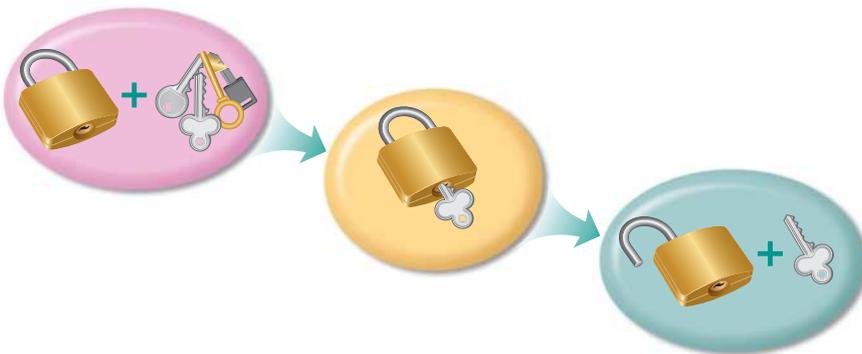


그림 III-35 효소 작용 원리에 대한 자물쇠-열쇠 비유

? 침 속에 들어 있는 소화 효소인 아밀레이스는 녹말을 분해하지만 비슷한 구조인 셀룰로스는 분해하지 못한다. 그 까닭을 설명해 보자.

연계 학습

효소 ▶ 통합과학, V 생명 시스템

기질

효소의 활성 자리와 결합할 수 있는 특정한 반응물이다.



그림 III-36 피셔(Fischer, E. H., 1852~1919) 독일의 화학자. 당과 퓨린의 합성을 연구하여 1902년 노벨 화학상을 수상하였으며 효소와 기질 사이의 상호 작용을 설명하기 위해 자물쇠와 열쇠 모형을 제안하였다.

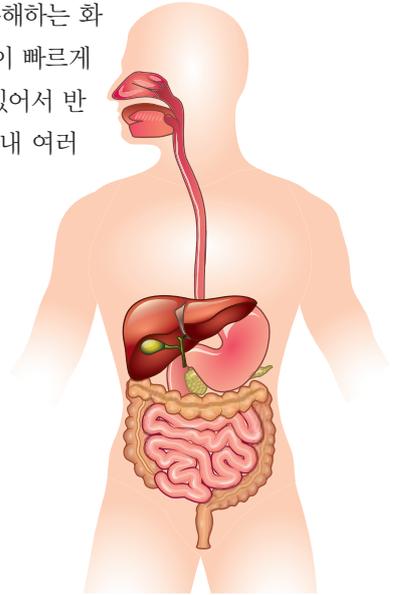
생체 내에서 효소는 어떤 역할을 담당하고 있는지 다음 탐구 활동으로 알아보자.



생체 내 효소의 역할 조사



우리 몸에서는 생명을 유지하려고 물질을 합성하고 분해하는 화학 반응이 끊임없이 일어나고 있다. 이러한 화학 반응이 빠르게 일어나기에는 사람의 체온은 낮지만, 몸속에 효소가 있어서 반응이 빠르게 일어난다. 다음의 예시를 참고하여 생체 내 여러 가지 효소의 역할과 종류를 모둠별로 조사해 보자.



소화 효소

음식물 속에 들어 있는 녹말, 단백질, 지방과 같이 분자량이 큰 물질을 체내에 흡수될 수 있는 작은 물질로 분해한다. 예를 들어 이자에서 분비되는 라이페이스는 지방을 지방산과 글리세롤로 분해한다.

주제 선정하기



조사하기

- 생명을 유지하는 데 필요한 화학 반응과 관련된 효소의 역할과 종류를 조사해 보자.

발표, 토의하기

- 각 모둠별로 조사한 내용을 효과적으로 전달할 수 있는 창의적인 전시물을 만들어 발표해 보자.

모둠 활동

역할	이름
모둠장	
자료 관리자	
점검자	
질문자	

1. 역할을 분담하고 각자의 역할을 수행했는가?
2. 서로 의견을 공유했는가?
3. 모둠원을 배려하며 활동했는가?

평가하기

- 1 정촉매를 사용하였을 때 활성화 에너지와 반응 속도가 어떻게 변하는지 설명해 보자.
- 2 효소의 작용 원리를 자물쇠-열쇠 모형을 이용하여 설명해 보자.

02

촉매와 효소의 활용

· 현대 산업에서 촉매와 효소의 역할을 설명할 수 있다.

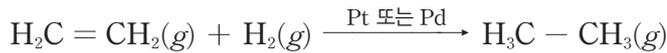


생각 열기

세제는 물에 녹지 않는 기름때를 물에 잘 녹게 만들어 얼룩을 제거한다. 최근에 시판되는 세제에는 여러 종류의 효소가 첨가되어 있다.

㉠ 세제에 효소를 첨가하는 까닭은 무엇일까?

합성 섬유, 플라스틱, 자동차 연료, 의약품 등 많은 화학제품의 생산 과정에 촉매가 사용된다. 특히 정유 산업이나 석유 화학 산업에서 촉매는 매우 중요한데, 표면에서 촉매 작용이 일어나는 **표면 촉매**가 많다. 금속 촉매를 이용한 에틸렌($\text{CH}_2=\text{CH}_2$)의 수소화 반응은 그림 III-37과 같은 단계를 거쳐 일어난다.



이 밖에도 표면 촉매는 암모니아 합성, 폴리에틸렌을 비롯한 고분자 생산 등 산업 분야에 널리 사용된다.

정유 산업과 석유 화학 산업
정유 산업은 원유에서 나프타나 휘발유 등을 생산하는 산업이고, 석유 화학 산업은 나프타나 천연가스를 원료로 다양한 화학제품을 만드는 산업이다.

폴리에틸렌
에틸렌이 반복적으로 결합하여 만들어지는 사슬 모양의 고분자 화합물. 각종 용기, 포장용 필름 등을 만드는 데 사용된다.

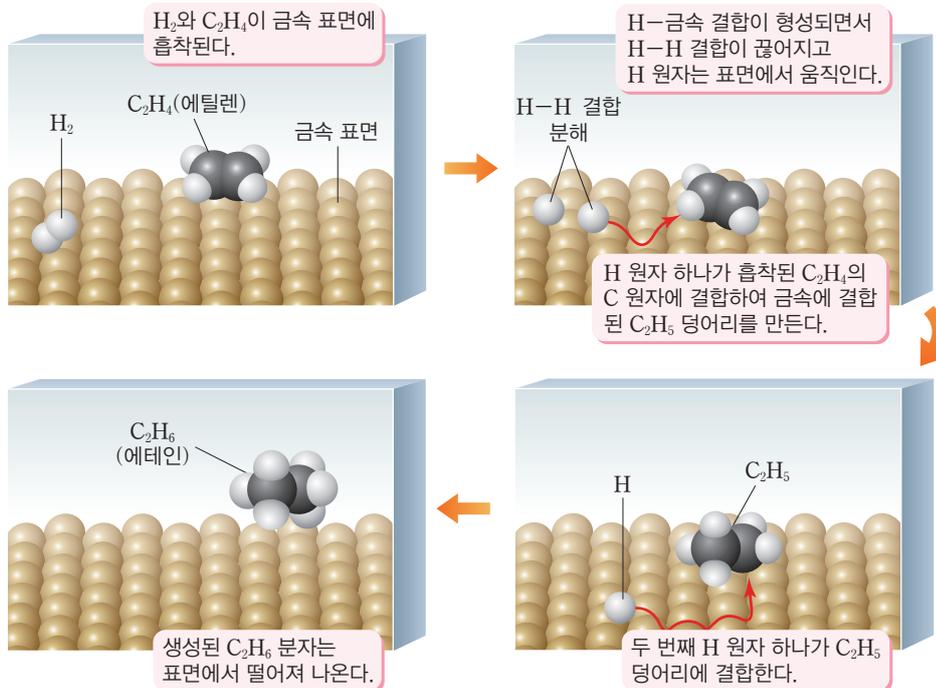


그림 III-37 촉매를 이용한 에틸렌의 수소화 반응

활성 산소

우리 몸속에서 에너지를 만드는 과정에서 생기는 유해성 산소로 반응성이 높다.

최근에는 환경과 에너지 분야에서 광촉매가 주목받고 있다. 광촉매는 빛을 받으면 촉매 작용을 하는 물질로 이산화 타이타늄(TiO₂)이 대표적이다. 광촉매는 빛을 받으면 표면에서 산소나 물과 반응하여 활성 산소를 만드는데, 활성 산소는 반응성이 커서 유해 물질을 분해할 수 있다. 또한 광촉매로 물을 광분해하여 수소와 산소를 만들 수 있기 때문에 에너지 문제를 해결하는 방법도 될 수 있다.

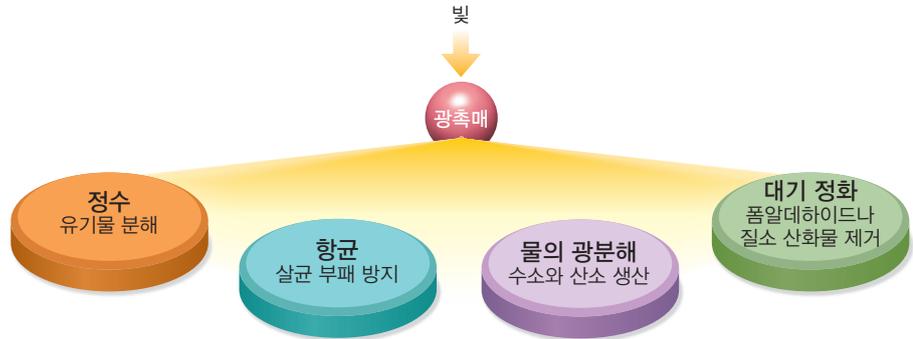
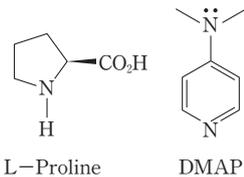


그림 III-38 광촉매의 활용

유기 촉매의 예



에스터

탄소 화합물 가운데 $\begin{matrix} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C}-\text{O}- \end{matrix}$ 와 같은 작용기를 가진 것을 에스터라고 한다.

촉매 중에는 탄소, 수소, 질소와 같은 비금속 원소로 이루어진 촉매들도 있는데, 이러한 촉매를 유기 촉매라고 한다. 유기 촉매는 금속 촉매에 비해 친환경적이고 가격이 저렴하여 다양한 화학 반응에 널리 사용되고 있다. 예를 들어 DMAP이라 불리는 다이메틸 아미노피리딘(dimethylaminopyridine)은 알코올과 카복실산에서 에스터를 합성할 때 촉매로 사용된다.

한편 우리 조상들은 예로부터 청국장, 메주, 식혜 등과 같은 발효 식품을 만드는 데 효소를 사용해 왔다. 최근에는 식품뿐만 아니라 세제, 의약품 등 다양한 분야에서 효소가 활용되고 있다.

함께
해 보기

녹색 화학과 촉매

영국의 화학자 톰 윌턴 교수는 “문제를 일으킨 것도 화학이지만 해결할 수 있는 것도 화학이다.”라고 말했다. 녹색 화학은 사람과 환경에 해로운 물질의 사용과 생산을 최소화하는 친환경 화학을 말한다. 녹색 화학으로 반응의 효율을 높여 원료를 절약하고 불필요한 부산물을 줄일 수 있다. 촉매는 반응 속도를 높이고 불필요한 부산물을 줄이며 재사용이 가능하므로 녹색 화학에 중요하다.

활동하기

촉매나 효소를 활용하여 녹색 화학을 실현한 예를 조사하여 발표해 보자.

핵심 역량 | 과학적 의사소통 능력



다음 탐구 활동으로 산업 현장에서 촉매와 효소가 어떻게 활용되고 있는지 알아보자.



산업에 촉매와 효소가 활용되는 사례 조사



현대 산업에서 촉매와 효소는 여러 분야에서 중요한 역할을 한다. 촉매는 정유 산업, 고분자 산업, 환경 보전 및 에너지 산업 등에 활용되고, 효소는 식품, 세제, 사료, 의약 및 연구 개발 등에 활용된다. 촉매와 효소가 어떻게 활용되는지 모둠별로 조사해 보자.



▲ 정유 산업에서 촉매는 탈황 공정, 크래킹 등 많은 과정에 활용된다.



▲ 세척 효과를 높이려고 세제에 효소가 사용되기도 한다.

주제 선정하기



조사하기

모둠에서 정한 분야에서 촉매나 효소가 활용된 사례를 조사해 보자.

발표, 토의하기

- 1 모둠별로 조사한 촉매와 효소의 활용 사례를 발표해 보자.
- 2 각 모둠의 발표를 종합하여 촉매를 사용할 때의 장점을 토의해 보자.

모둠 활동	
역할	이름
모둠장	
자료 관리자	
점검자	
질문자	

1. 역할을 분담하고 각자의 역할을 수행했는가?
2. 서로 의견을 공유했는가?
3. 모둠원을 배려하며 활동했는가?

평가하기

- 1 표면 촉매가 화학 반응 속도를 증가시키는 원리를 설명해 보자.
- 2 세제에 효소를 사용했을 때의 장점을 설명해 보자.



스스로 확인하기



핵심 내용 정리하기

촉매와 반응 속도

촉매에 따른 반응 속도

- 화학 반응에서 자신은 소모되지 않으면서 반응 속도를 변화시키는 물질을 라고 하며, 반응 속도를 빠르게 하는 물질을 , 느리게 하는 물질을 라고 한다.
- 촉매는 를 변화시켜 반응 속도를 변화시킨다. 정촉매를 사용하면 가 낮아져 반응을 일으킬 수 있는 분자 수가 하므로 반응 속도가 빨라진다.
- 는 세포 내에서 생명 활동에 필요한 반응들을 촉진시키는 일종의 생체 촉매이다. 는 일반적으로 단백질로 이루어져 있으며, 라고 부르는 특정한 위치에서 촉매 작용이 일어난다.

촉매와 효소의 활용

- 현대 산업에서 활용되고 있는 촉매로는 주로 금속 표면에서 촉매 작용이 일어나는 , 빛을 받으면 촉매 작용을 하는 , 비금속 원소로 이루어진 등이 있다.
- 는 식품뿐만 아니라 단백질 성분의 때를 분해하는 세제에 사용되기도 하는 등 다양한 분야에서 활용된다.

스스로 평가하기

1 촉매의 정의와 종류를 설명해 보자.

* 성취 정도를 표시해 보자

20 | 40 | 60 | 80 | 100

2 촉매가 반응 속도를 변화시키는 원리를 활성화 에너지와 관련지어 설명해 보자.

20 | 40 | 60 | 80 | 100

3 효소가 작용하는 원리를 모형을 이용하여 설명해 보자.

20 | 40 | 60 | 80 | 100

4 현대 산업에서 촉매가 활용되는 예를 들어 보자.

20 | 40 | 60 | 80 | 100

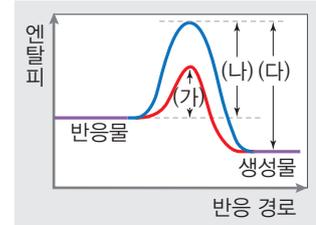
5 현대 산업에서 효소가 활용되는 예를 들어 보자.

20 | 40 | 60 | 80 | 100

 개념 확장하기

1 그림은 정촉매를 사용할 때와 사용하지 않을 때에 반응 경로에 따른 에너지 변화를 나타낸 것이다. 각 물음에 해당하는 값을 그림에서 찾아 (가)~(다)를 이용하여 나타내 보자.

- (1) 촉매를 사용하지 않을 때의 활성화 에너지
- (2) 정촉매를 사용할 때의 활성화 에너지
- (3) 반응엔탈피



2 눈금 실린더 2개에 H_2O_2 수용액 10 mL와 합성 세제를 각각 넣고, 한쪽에는 MnO_2 를 조금 넣었다. 실험 결과 MnO_2 를 넣은 쪽에서 발생한 거품의 양이 더 많았다.

- (1) 거품이 발생한 까닭을 설명해 보자.
- (2) MnO_2 를 넣으면 거품이 더 많이 발생하는 까닭을 설명해 보자.

3 그림은 수크레이스의 작용을 나타낸 것이다.



수크레이스가 설탕을 포도당과 과당으로 분해하는 원리를 효소의 작용에서 자물쇠-열쇠 비유를 이용하여 설명해 보자.

4 자동차의 촉매 변환기는 자동차 배기가스에 포함된 CO나 NO와 같은 해로운 기체들을 CO_2 , N_2 등으로 변환한다. 촉매 변환기에는 백금(Pt), 로듐(Rh), 팔라듐(Pd) 등의 금속이 사용된다. 촉매 변환기에 사용되는 금속의 역할을 설명해 보자.



5 광촉매는 빛을 이용하여 대기나 물속의 유해 물질을 분해할 수 있다. 광촉매가 유해 물질을 분해하는 원리를 설명해 보자.



단원 마무리

기초 개념 적용하기

빠른 반응, 느린 반응

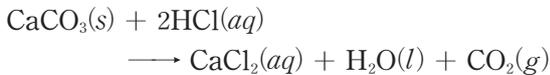
1 <보기>의 반응을 반응 속도가 빠른 것부터 차례대로 나열해 보자.

보기

- ㄱ. 가야 시대 철제 갑옷의 부식
- ㄴ. 공기 중에서 통나무의 연소
- ㄷ. 사과나무에서 익어 가는 사과
- ㄹ. 축제의 불꽃놀이

반응 속도

2 다음은 탄산 칼슘과 충분한 양의 염산이 반응할 때의 화학 반응식과 이 반응에서 발생하는 기체의 부피를 10초 간격으로 측정한 결과를 나타낸 것이다.



반응 시간(s)	0	10	20	30	40	50	60	70
기체의 부피(mL)	0	24	37	43	47	48	48	48

<보기>에서 옳은 것을 모두 골라 보자.

보기

- ㄱ. 반응이 모두 끝나는 데 걸린 시간은 60초이다.
- ㄴ. 평균 반응 속도가 가장 빠른 구간은 0초~10초 사이이다.
- ㄷ. 10초~20초 사이의 평균 반응 속도는 3.7 mL/s이다.
- ㄹ. 처음 넣어 준 탄산 칼슘의 양이 절반으로 줄어드는 데 걸리는 시간은 10초이다.

반응 속도에 영향을 미치는 요인

3 <보기>는 반응 속도와 관련된 현상들이다.

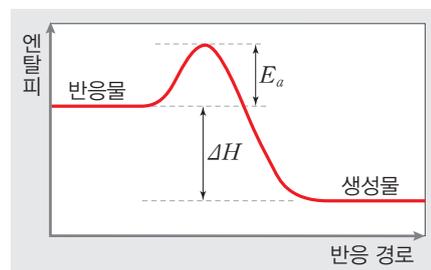
보기

- ㄱ. 꺼져가는 모닥불에 부채질을 하여 불을 지핀다.
- ㄴ. 머리카락에 파마약을 바르고 따뜻하게 하면 파마가 더 빨리 완성된다.
- ㄷ. 높은 산을 오르는 등반가는 산소통을 이용하여 호흡한다.
- ㄹ. 밀가루 공장에서는 작은 불씨에도 폭발의 위험이 있다.
- ㅁ. 껍질을 깎은 감자를 물에 담가 두면 갈색으로 변하는 것을 늦출 수 있다.
- ㅂ. 통나무를 가늘게 쪼개서 캠프파이어를 했다.

- (1) 농도와 반응 속도의 관계를 이용한 것을 골라 보자.
- (2) 온도와 반응 속도의 관계를 이용한 것을 골라 보자.
- (3) 표면적과 반응 속도의 관계를 이용한 것을 골라 보자.

촉매와 반응 속도

4 그림은 어떤 화학 반응의 반응 경로에 따른 에너지 변화를 나타낸 것이다.



<보기>에서 옳은 것을 모두 골라 보자. (단, 온도는 일정하다.)

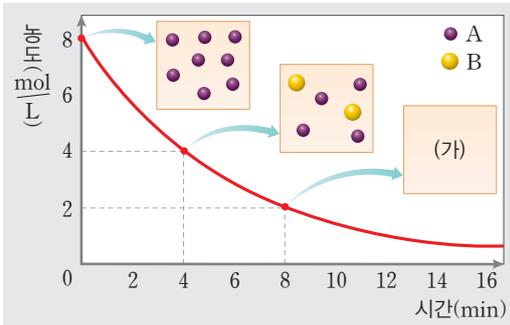
보기

- ㄱ. 정촉매를 사용하면 E_a 가 감소한다.
- ㄴ. 정촉매를 사용하면 반응이 일어날 수 있는 분자의 수가 증가한다.
- ㄷ. 부촉매를 사용하면 ΔH 가 증가한다.

개념 응용력 키우기

반감기

5 그림은 화학 반응 $2A \rightarrow B$ 에서 시간에 따른 반응물과 생성물의 농도 변화를 그래프와 입자 모형으로 나타낸 것이다.



〈보기〉에서 옳은 것을 모두 골라 보자.

- 보기**
- ㄱ. 전체 반응 차수는 2차이다.
 - ㄴ. A의 초기 농도를 2배로 해도 A의 반감기는 4분이다.
 - ㄷ. (가)에 A는 2개, B는 3개 있다.

농도와 반응 속도

6 표는 일정량의 아연과 충분한 양의 염산을 반응시킬 때의 실험 조건을 나타낸 것이다.

실험	염산의 농도(mol/L)	아연의 형태
I	0.1	조각
II	0.2	가루
III	0.2	조각

- (1) 아연이 모두 반응할 때까지 걸리는 시간은 어떻게 될지 비교해 보자.
- (2) 반응이 완결될 때까지의 평균 반응 속도를 비교하여 설명해 보자.

온도와 반응 속도

7 그림은 시험관에 같은 양의 찬물과 뜨거운 물을 각각 넣고 페놀프탈레인 용액을 2방울 ~ 3방울씩 떨어뜨린 뒤, 크기와 양이 같은 금속 마그네슘 리본을 각각 넣은 결과이다.



〈보기〉에서 옳은 것을 모두 골라 보자.

- 보기**
- ㄱ. (가)에서 산소 기체가 발생한다.
 - ㄴ. 기포가 발생하는 정도는 (가)보다 (나)가 크다.
 - ㄷ. 이 실험에서 반응 속도에 영향을 주는 요인은 발포정이 찬물보다 뜨거운 물에 더 빨리 녹는 것과 같다.

표면 촉매의 촉매 작용

8 다음은 에틸렌의 수소화 반응을 화학 반응식으로 나타낸 것이다.

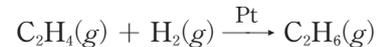
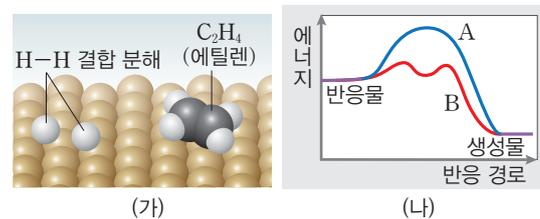


그림 (가)는 금속 촉매를 사용할 때 에틸렌의 수소화 반응의 한 단계를, (나)는 금속 촉매의 유무에 따른 에너지 변화를 나타낸 것이다.



〈보기〉에서 옳은 것을 모두 골라 보자.

- 보기**
- ㄱ. (가)에서 H-H 결합이 끊어지므로 반응의 활성화 에너지가 낮아진다.
 - ㄴ. (나)에서 금속 촉매를 사용한 반응의 반응 경로는 B이다.
 - ㄷ. 금속 촉매는 반응엔탈피를 감소시킨다.

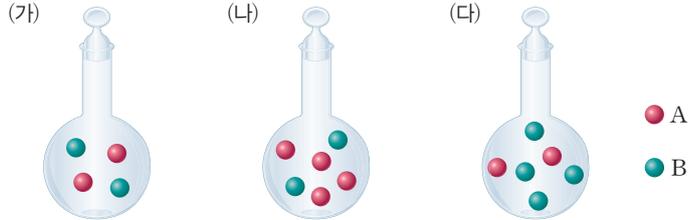
핵심 역량 키우기

과학적 문제 해결력

+ 과학적 사고력

반응 속도식 p. 137~144

9 (가)~(다)는 $2A + B \longrightarrow C$ 에서 반응물의 초기 농도를 나타낸 것이다.



(가), (나), (다)의 초기 반응 속도의 비가 1 : 2 : 8일 때 이 반응의 반응 속도식을 반응 속도 상수 k 를 사용하여 나타내 보자. (단, 온도는 일정하고 (가)~(다)의 부피는 같다.)

과학적 사고력

+ 과학적 의사소통 능력

반응 속도, 반감기 p. 137~146

10 반응 속도와 관련 있는 연구를 한 과학자와 연구 내용을 조사하여 그 업적을 친구들이 쉽게 알 수 있도록 미니 과학책을 만들어 보자.

예시

<표지>

<목차>

- (1) 리비의 생애
- (2) 방사성 탄소 연대 측정법
- (3) 유물의 연대 측정법
- (4) 후기(활동을 하면서 새롭게 알게 된 것과 느낀 점)



과학적 참여와 평생 학습 능력

+ 과학적 사고력

반응 속도에 영향을 주는 요인 p. 137~162

11 그림은 어떤 세제에 표시되어 있는 표준 사용량을 나타낸 것이다. 여러 가지 세제의 표준 사용량을 조사하고, 표준 사용량이 표시되어 있지 않은 제품의 표준 사용량을 토의하여 작성해 보자.

사용 방법 및 표준 사용량		* 다음 표준 사용량에 맞추어 세탁하여 주시기 바랍니다.	
세탁할 의류량	세제 사용량(ml)	<p>·1컵 = 85ml ·투입물 계량컵 대용량 사용 하실 수 있습니다</p>	
10 kg	90 ml		
7 kg	65 ml		
5 kg	45 ml		
3 kg	20 ml		
정량	1.35 L	표준사용량	세탁수 5 L에 세제 사용량 9ml

종류	표준 사용량	종류	표준 사용량
세탁기용 세제		삼푸	
주방용 세제			

과학적 탐구 능력

⊕ 과학적 사고력

농도와 반응 속도
p. 155~162

12 대리석으로 만들어진 원각사지 10층 석탑은 유리로 된 보호벽으로 둘러싸여 있다.

- (1) 석탑을 유리벽으로 보호하는 까닭을 토의해 보자.
- (2) 온도가 비슷할 때 석탑이 훼손되는 까닭을 알아보기 위한 가설을 설정하고 실험에 필요한 것을 <보기>에서 선택하여 실험 과정을 설계해 보자.

• 보기 •

비커, 증류수, 진한 염산, 부피 플라스크, 피펫, 피펫 필터, 삼각 플라스크, 탄산 칼슘 분필, 막자사발, 눈금 실린더, 전자 저울, 시약포지, 약수저, 유리 막대, 초시계

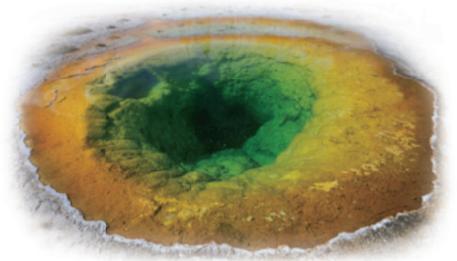


과학적 의사소통 능력

⊕ 과학적 탐구 능력

촉매와 반응 속도
p. 167~175

13 미국 옐로우스톤 국립 공원에 있는 온천 호수는 물 온도가 70 °C가 넘고 호수에 서식하는 미생물 때문에 독특한 색깔을 띠고 있다. 과학자들은 뜨거운 물속이나 강한 산성처럼 생물이 살 수 없을 것 같은 환경에서 서식하는 극한 환경 미생물에서 추출한 효소에 관심이 있다.



- (1) 인터넷으로 극한 환경 미생물이 서식하는 환경의 예를 조사해 보자.
- (2) 극한 환경 미생물에서 추출한 효소를 어떤 분야에 활용할 수 있을지 자신의 생각을 발표해 보자.

스스로 정리하기

이 단원을 공부하는 동안 어렵거나 잘 이해되지 않았던 내용을 써 보자.

✍️ _____

위에 쓴 내용이 교과서 몇 페이지에 있는지 찾아서 정리해 보자.

✍️ _____

정리한 내용을 바탕으로 하여 문제를 만들어 보자.

✍️ _____

만든 문제를 짝과 바꾸어서 풀어 보자.

✍️ _____

시간과 정성을 담은

천연 염색: 쪽 염색

우리 조상들은 방부, 방충, 방향 등의 목적으로 일상생활에서 자연의 색을 물들이는 일을 해 왔다. 천연 염색의 기본색인 청, 적, 백, 황, 흑색 가운데 청색은 쪽으로 염색할 때 나타나는 쪽빛으로, 쪽빛은 '남색에 보라색이 약간 섞인 검정색에 가까운 푸른색'이다. 쪽 염색은 염색 재료를 구입하여 빠르고 쉽게 할 수 있는 염색법이 아니라 오랜 시간 동안 여러 단계의 화학 반응을 거쳐야만 완성되는 염색법이다. 3월 하순경 쪽 씨앗을 뿌리고 재배하여 7월 말쯤 수확한 잎과 대를 물에 담가 염료를 추출한다. 잎과 대를 건져내고 굴 껍질을 태워 만든 소석회를 넣은 뒤 잘 섞어 물에 녹는 염료로 만든다. 여기에 젖물을 넣어 15일~30일 정도 발효시키고, 이것으로 천을 염색하여 공기 중에서 건조하면 쪽 염색이 완성된다.



① 쪽풀



② 쪽풀 담그기



③ 소석회 넣기



④ 쪽 염색 완성

활동 1 천연 염색 재료의 종류와 방법 조사하기

천연 염색에 많이 사용하는 염색 재료의 종류를 조사하고 그 가운데 한 가지 염색 재료를 선택하여 천연 염색 방법을 조사하고 발표해 보자.



▲ 치자



▲ 소목



▲ 자초

(자료 검색용 키워드)

• 천연 염색

• 천연 염색 박물관

• 자연 염색

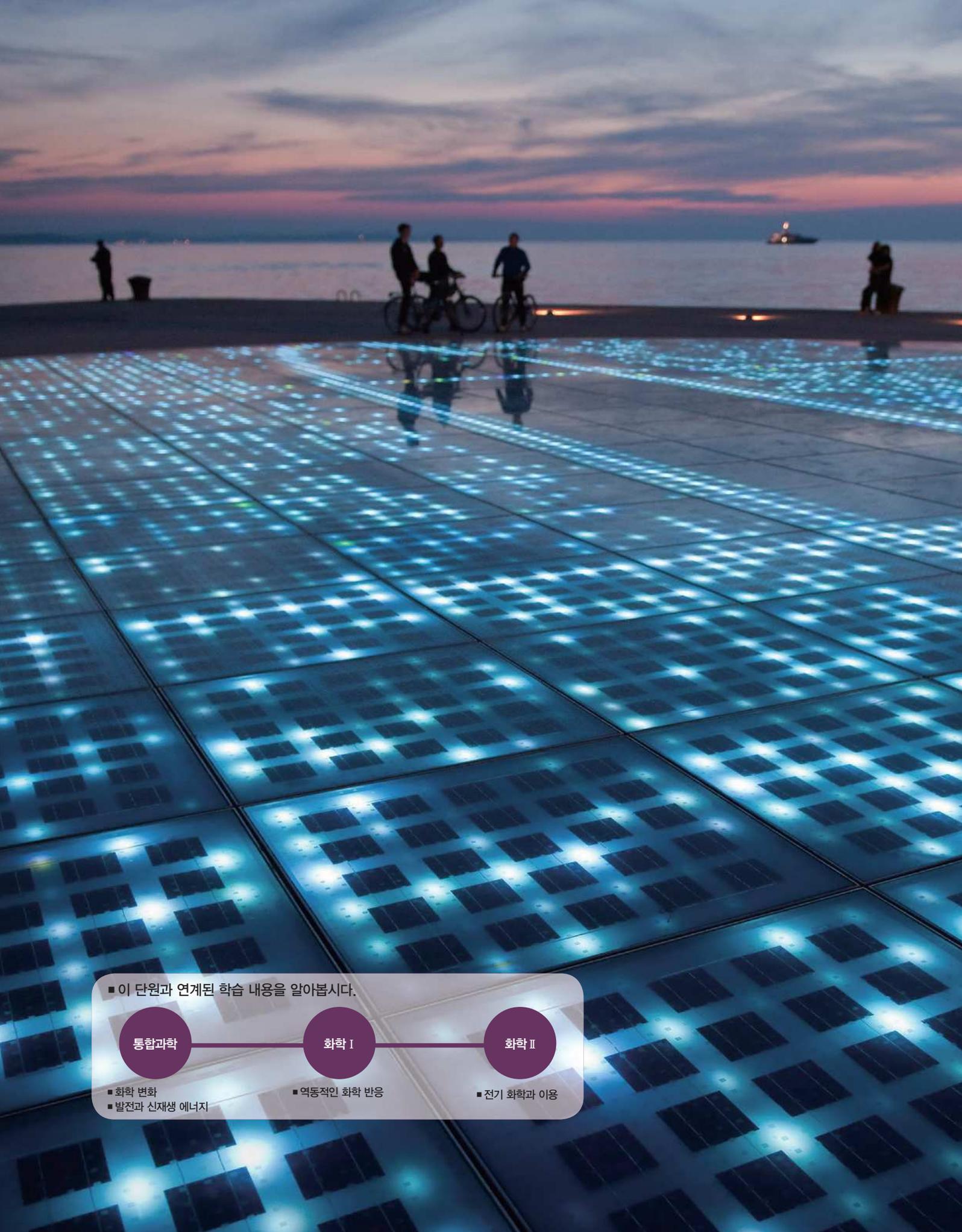
• 자연 염색 박물관

활동 2 천연 염색을 체험하고 홍보하기

활동 1에서 조사한 천연 염색 방법으로 손수건이나 면 티셔츠를 염색해 보고, 염색 과정, 완성한 작품 사진, 느낀 점 등을 인포그래픽으로 제작하여 홍보해 보자.

- 인포그래픽: 전달하고자 하는 정보를 그림, 사진, 그래프 등으로 표현하여 전달하는 것
- 전문적으로는 인포그래픽 툴이나 파워포인트를 이용하여 제작할 수 있다.
- 전지, 하드보드지, 유성펜 등을 이용하여 제작할 수 있다.
- 제작한 인포그래픽을 누리집이나 누리소통망(SNS) 등으로 홍보하기 전에 저작권법을 준수했는지 점검해 본다.





■ 이 단원과 연계된 학습 내용을 알아봅시다.

통합과학

- 화학 변화
- 발전과 신재생 에너지

화학 I

- 역동적인 화학 반응

화학 II

- 전기 화학과 이용



IV

전기 화학과 이용

크로아티아의 자다르에 있는 '해에게 건네는 인사'라는 조형물은 태양 전지를 사용하여 낮 동안에 태양광을 전기 에너지로 저장하였다가 해가 지면 저장된 전기 에너지로 아름다운 빛을 낸다. 이 단원에서는 화학 전지와 전기 분해의 원리, 전기 화학이 우리 생활에 미치는 영향을 알아보자.

1. 전기 화학과 이용

■ 이 단원의 주요 핵심 역량을 알아봅시다.



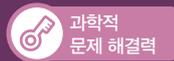
과학적
사고력

화학 전지와 전기 분해의 원리를 산화 환원 반응으로 설명할 수 있다.



과학적
탐구 능력

간단한 화학 전지를 만들 수 있다.



과학적
문제 해결력

수소 연료 전지를 상용화하는 방안을 생각할 수 있다.



과학적
의사소통 능력

수소 연료 전지의 활용 사례와 전기 화학 기술이 사회에 미치는 영향을 조사하여 발표할 수 있다.



과학적 참여와
평생 학습 능력

전기 화학 기술이 사회에 미치는 영향을 인식하고 차세대 에너지와 관련된 직업을 탐색할 수 있다.



전기 화학과 이용

- 01. 화학 전지
- 02. 전기 분해
- 03. 전기 화학과 우리 생활

전기 화학을 이용하여 사용하는 전구



이 단원의 주요 개념

<p>01</p> <p>화학 전지 (p.187~194)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 금속의 반응성 • 화학 전지 • 전지 전위 → 화학 전지는 어떻게 화학 에너지를 전기 에너지로 바꿀까? 	<p>02</p> <p>전기 분해 (p.195~197)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 전기 분해 • 전기 분해의 이용 → 전기 에너지를 공급하여 산화 환원 반응을 일으킬 수 있을까? 	<p>03</p> <p>전기 화학과 우리 생활 (p.198~201)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 수소 연료 전지 • 전기 화학 기술과 미래 사회 → 전기 화학은 우리 생활에 어떤 영향을 미칠까?
---	--	--



나의 학습 준비 - 알고 있는 용어를 표시해 보자.

- 산화 환원 반응 산화수 화학 전지
 연료 전지



나의 학습 계획

- 이 단원에서 배우게 될 내용 가운데 내가 알고 싶거나 궁금한 것을 적어 보자.

.....

.....

.....

01 화학 전지

- 화학 전지의 작동 원리를 산화 환원 반응으로 설명할 수 있다.
- 간단한 화학 전지를 만들 수 있다.



생각 열기

우리 생활의 필수품이 된 스마트폰은 수많은 화학 물질로 이루어져 있다. 스마트폰에 들어 있는 배터리 덕분에 우리는 오랜 시간 동안 스마트폰을 사용할 수 있다.

Q 스마트폰에 1.5 V 건전지를 끼워 사용한다면 어떤 불편한 점이 있을까?

1 금속의 반응성

스마트폰이나 노트북, 태블릿 PC와 같은 전자 제품들은 어디에서나 편리하게 사용할 수 있다. 이는 전자 제품 속에 들어 있는 화학 전지 덕분이다. 화학 전지는 산화 환원 반응이 일어나면서 전자가 이동하는 원리를 이용한 장치로, 전지 속 물질의 반응성 차이가 산화 환원 반응에서 중요한 역할을 한다. 다음 탐구 활동으로 금속의 반응성을 알아보자.



자료 해석

금속의 반응성

황산 아연($ZnSO_4$) 수용액과 황산 구리(II)($CuSO_4$) 수용액이 담긴 시험관에 아연판(Zn)과 구리판(Cu)을 각각 넣었을 때 실험 결과가 다음과 같았다.

	황산 아연 수용액	황산 구리(II) 수용액
아연판	 변화 없음	 Cu 석출
구리판	 변화 없음	 변화 없음

금속의 산화 환원 반응
물질이 전자를 잃는 반응을 산화, 전자를 얻는 반응을 환원이라고 한다. 고체 상태의 금속이 산화되면 금속 양이온이 되고, 수용액 속의 금속 양이온이 환원되면 고체 상태의 금속으로 석출된다.

- 1 구리가 석출된 시험관에서 어떤 산화 환원 반응이 일어났는지 설명해 보자.
- 2 아연과 구리 가운데 더 산화되기 쉬운 물질은 무엇인가?

아연은 구리보다 산화되기 쉬우므로 수용액의 구리 이온(Cu^{2+})과 만나면 전자를 잃고 아연 이온(Zn^{2+})으로 산화된다. 산화와 환원 반응은 항상 동시에 일어나므로 그림 IV-1과 같이 구리 이온은 아연이 잃은 전자를 받아 환원되어 고체 상태의 금속으로 석출된다.



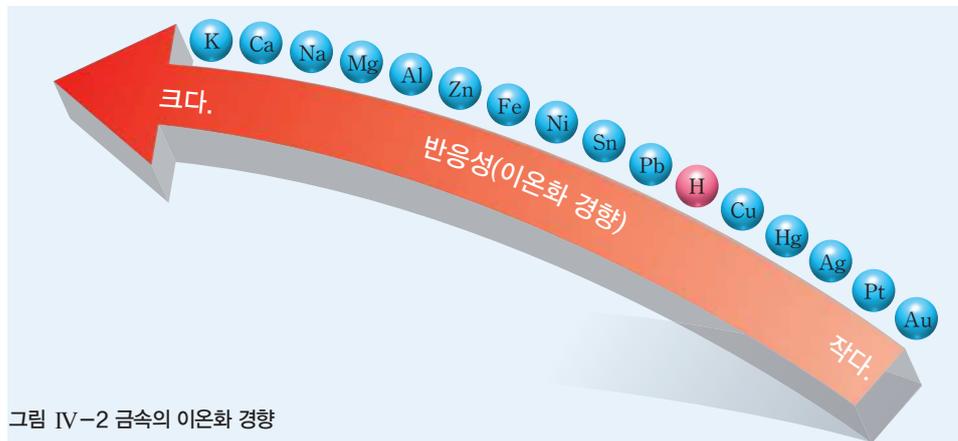
금속 원소는 일반적으로 산화되어 양이온이 되려는 경향이 있는데, 이것을 **이온화 경향**이라고 한다. 이온화 경향이 큰 금속일수록 산화되어 전자를 잃기 쉬우므로 반응성이 크다.

반응성이 작은 금속 양이온이 들어 있는 수용액에 반응성이 큰 금속을 넣으면 산화 환원 반응이 일어난다. 반대로 반응성이 큰 금속 양이온이 들어 있는 수용액에 반응성이 작은 금속을 넣으면 반응이 일어나지 않는다.

산과 금속의 반응

금속 원소에서 수소보다 이온화 경향이 큰 금속들은 수용액 속의 수소 이온과 반응하여 산화되면서 수용액에 녹는다. 수소 이온은 환원되어 수소 기체가 된다.

예 묽은 염산과 마그네슘의 반응



? 질산 은(AgNO_3) 수용액이 담긴 시험관에 철(Fe)을 넣었을 때 어떤 산화 환원 반응이 일어나는지 설명해 보자.

2 화학 전지

화학 전지는 전극과 전해질을 구성하는 물질들 사이의 반응성 차이를 이용한 것이다. 볼타는 아연판과 구리판을 묹은 황산에 넣고 도선으로 연결하여 볼타 전지를 만들었다.

그림 IV-3과 같이 볼타 전지의 아연판에서는 수소보다 반응성이 큰 아연이 전자를 잃고 Zn^{2+} 으로 산화되어 용액에 녹고, 아연이 잃은 전자는 도선을 따라 구리판으로 이동한다. 일반적으로 금속 원소는 전자를 얻어 음이온이 될 수 없으므로 묹은 황산 속의 H^+ 이 구리판 근처에서 전자를 얻어 환원되면서 수소(H_2) 기체가 발생한다.

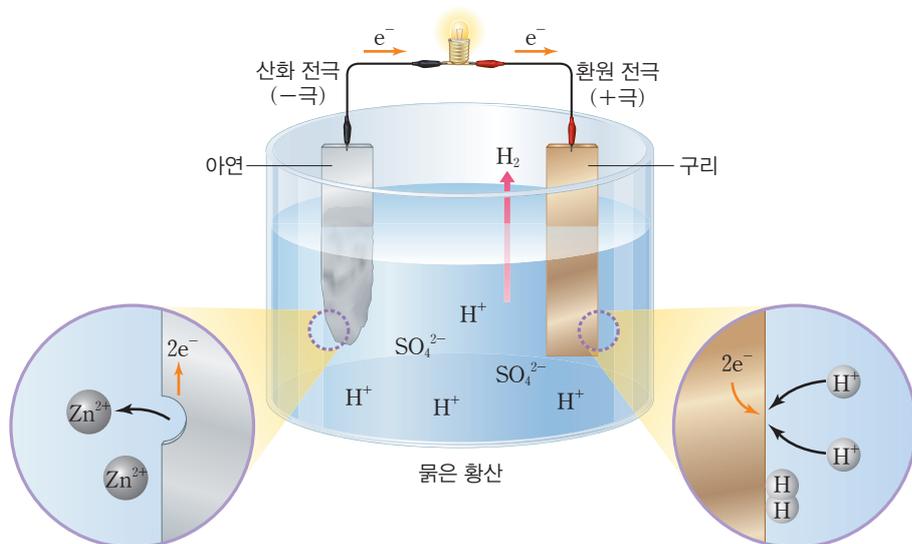


그림 IV-3 볼타 전지의 모형 두 금속판을 도선으로 연결하면 두 금속판에서 각각 산화와 환원 반응이 일어나 전자가 이동하면서 화학 전지가 형성된다.

화학 전지에서는 산화 환원 반응이 일어나면서 전자가 이동하여 전류가 흐른다. 전류는 열과 빛을 발생시키거나 전동기를 움직이게 하는 등의 일을 할 수 있는데, 전류가 흐르면서 일을 할 수 있는 능력을 전기 에너지라고 한다. 이처럼 화학 전지는 물질이 지닌 화학 에너지를 전기 에너지로 바꾸는 장치이다.

화학 전지에서 산화 반응이 일어나는 전극이 산화 전극(-극), 환원 반응이 일어나는 전극이 환원 전극(+극)이다. 볼타 전지에서는 산화 반응이 일어나는 아연판이 산화 전극이고 환원 반응이 일어나는 구리판이 환원 전극이다.

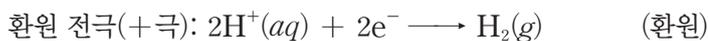


그림 IV-4 볼타(Volta, A. G. A. A., 1745~1827) 이탈리아의 물리학자. 마찰이 아닌 화학적 방법으로 전기를 발생시킬 수 있는 볼타 전지를 개발하여 화학 분야의 발전에 크게 기여하였다. 전압의 단위인 볼트는 볼타의 이름을 따서 지어진 것이다.



그림 IV-5 다니엘(Daniell, J. F., 1790~1845) 영국의 화학자. 볼타 전지의 분극 현상이 구리판에서 발생한 수소 기체 때문에 일어난다는 것을 밝혔고, 분극 현상 없이 비교적 오랜시간 사용할 수 있는 다니엘 전지를 개발하였다.

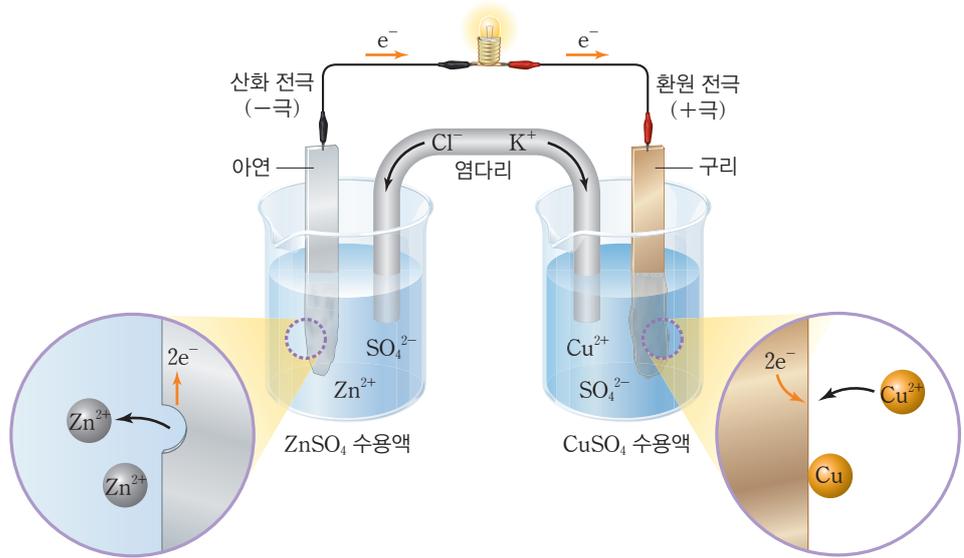
볼타 전지에서는 환원 전극에서 발생한 H_2 기체가 구리 표면에 붙어서 남아 있기 때문에 용액 속의 H^+ 이 전자를 받기 어려워지면서 전압이 낮아지는 분극 현상이 일어난다. H_2 기체를 제거하면 분극 현상을 줄일 수 있으므로 이산화 망가니즈(MnO_2)나 과산화 수소(H_2O_2)를 사용하여 H_2 기체를 산화시켜 H_2O 로 만든다.

다니엘은 볼타 전지의 단점을 보완한 새로운 전지를 개발하였다. 다니엘 전지에서는 각 전극이 서로 다른 전해질에 담겨 있는데, 각각을 반쪽 전지라고 한다. 다니엘 전지는 그림 IV-6과 같이 Zn^{2+} 이 들어 있는 수용액에 아연 전극을 담근 반쪽 전지와 Cu^{2+} 이 들어 있는 수용액에 구리 전극을 담근 반쪽 전지를 도선과 염다리로 연결하여 만든다.

아연 반쪽 전지에서는 아연이 전자를 잃고 Zn^{2+} 으로 산화되고, 아연이 잃은 전자는 도선을 따라 구리 반쪽 전지 쪽으로 이동한다. 구리 반쪽 전지에서는 용액 속 Cu^{2+} 이 환원되어 구리로 석출된다. 이때 산화가 일어나는 아연판이 산화 전극, 환원이 일어나는 구리판이 환원 전극이다. 다니엘 전지에서는 기체가 발생하지 않으므로 분극 현상이 거의 일어나지 않는다.

염다리

한천 용액에 염화 칼륨(KCl)이나 질산 나트륨($NaNO_3$)과 같은 전해질을 녹인 뒤, U자관에 넣어 굳힌 것이다. 다니엘 전지에서는 염다리 속의 음이온이 산화 전극 쪽으로, 양이온이 환원 전극 쪽으로 이동하여 양쪽 수용액의 전하 균형을 맞춘다.



화학 전지식

화학 전지는 왼쪽에 산화 반쪽 전지, 오른쪽에 환원 반쪽 전지의 전극과 전해질 등을 표시하는 화학 전지식으로 나타낸다. 다니엘 전지의 화학 전지식은 다음과 같다.

$Zn(s)|Zn^{2+}(aq)||Cu^{2+}(aq)|Cu(s)$
 이때 'I'는 서로 다른 상이 접촉한 경계를 나타내고, 'II'는 염다리를 나타낸다.

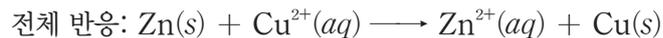
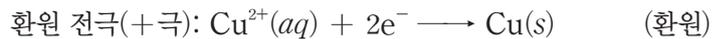
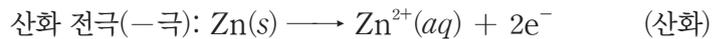


그림 IV-6 다니엘 전지의 구조와 전극에서 일어나는 산화 환원 반응

? 다니엘 전지에서 전류가 흐를 때 두 전극의 질량은 각각 어떻게 변하는지 설명해 보자.

과일에 들어 있는 시트르산이나 타타르산 등은 전해질이므로 전류가 흐를 수 있다. 여러 가지 과일을 이용하여 간단한 화학 전지를 만들어 보자.

과정

- 1 오렌지 2개를 각각 반으로 자른다.
- 2 각 오렌지 조각에 아연판과 구리판을 2 cm 간격으로 꽂는다.
- 3 각 오렌지의 아연판은 다른 오렌지의 구리판에 연결하고, 각 오렌지의 구리판은 다른 오렌지의 아연판에 연결하여 그림과 같은 과일 전지를 만든다.
- 4 양 끝의 전선을 멀티미터의 전극에 연결하여 전압을 측정한다.
- 5 디지털 시계의 전선을 그림과 같이 연결한다.
- 6 레몬이나 사과 등을 이용하여 과정 1~5를 반복한다.

준비물

오렌지, 레몬, 사과, 5 cm 길이의 아연판과 구리판, 집게 전선, 멀티미터, 디지털 시계, 칼, 사포, 실험용 장갑, 보안경

주의 사항

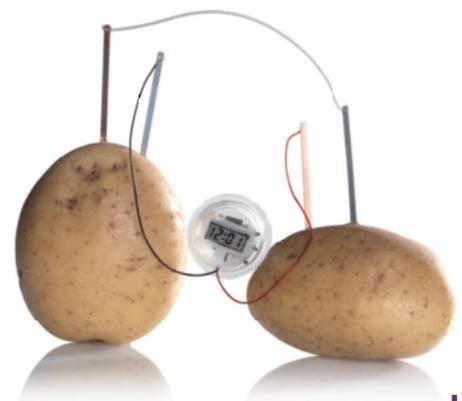
- 금속판은 사포로 문질러 코팅을 제거한다.
- 과일 조각에 꽂은 금속판이 서로 맞닿지 않도록 한다.



정리

- 1 여러 가지 과일 전지의 전압은 얼마인가? 어떤 과일 전지의 전압이 가장 큰가?
- 2 과일 전지에 디지털 시계를 연결하면 어떻게 되는가? 그 까닭을 과일 전지에서 일어나는 산화 환원 반응으로 설명해 보자.

더 알아보기 과일뿐만 아니라 채소로도 화학 전지를 만들 수 있다. 높은 전압을 얻으려면 어떤 채소를 사용하는 것이 좋을지 생각해 보고, 여러 가지 채소 전지를 만들어 보자.





3 실용 전지

건전지는 우리가 일상생활에서 많이 사용하는 실용 전지이다. 대표적인 건전지인 알칼리 전지는 그림 IV-7과 같이 산화 전극은 아연 분말과 전해질인 수산화 칼륨(KOH)의 혼합물이고 아연 막대로 금속판인 (-)극 단자에 연결되어 있다. 환원 전극은 이산화 망가니즈(MnO₂)와 탄소(C)의 혼합물로 금속판인 (+)극 단자에 연결되어 있다. 두 전극은 모두 전지의 내부에 있으며 격리판으로 분리되어 있다. 알칼리 전지의 두 전극에서는 다음과 같은 반응이 일어난다.

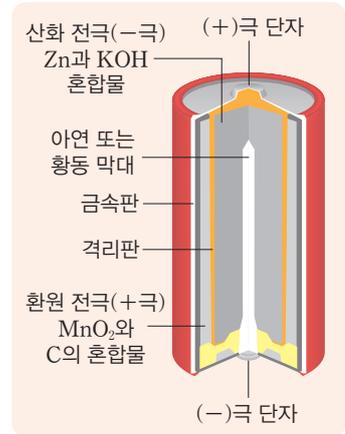


그림 IV-7 알칼리 전지의 구조

여러 가지 실용 전지

우리 생활에서 사용되는 또 다른 실용 전지로는 산화 은 단추 전지, 니켈-카드뮴 전지, 리튬 이온 전지 등이 있다.

- 산화 은 단추 전지는 크기가 작고 수명이 길며, 손목 시계나 계산기 등에 사용된다.



- 니켈-카드뮴 전지는 2차 전지로 무게에 비해 효율이 좋고 수명이 길며, 휴대용 전자 기기, 장난감 등에 사용된다.



- 리튬 이온 전지는 2차 전지로 에너지 밀도가 높고 사용하지 않을 때 자가 방전이 일어나는 정도가 작으며, 휴대용 전자 기기에 많이 사용된다.

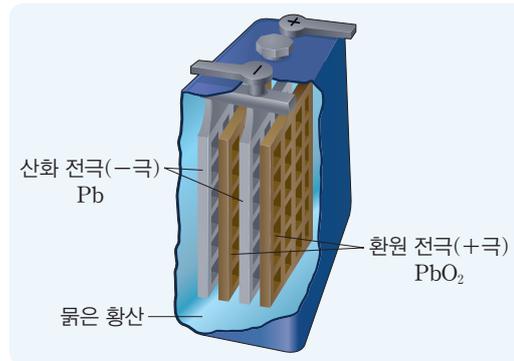
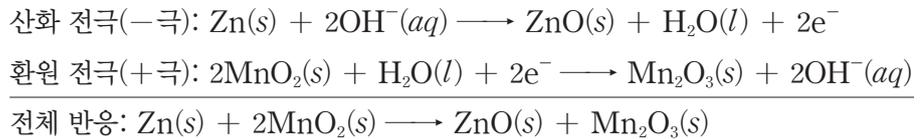
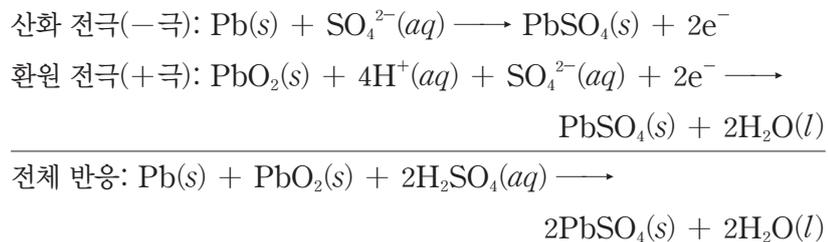


그림 IV-8 납축전지의 구조

납축전지는 산업용 전원 장치나 자동차 및 선박 등에 주로 사용된다. 납축전지는 그림 IV-8과 같이 산화 전극인 납(Pb)과 환원 전극인 이산화 납(PbO₂)이 전해질인 묽은 황산에 담겨 있다. 납축전지의 두 전극에서는 다음과 같은 반응이 일어난다.



납축전지에 전기 에너지를 공급하면 각 전극에서 역반응이 일어나 전극 물질이 다시 생성되는데, 이를 충전이라고 한다. 납축전지와 같이 충전이 가능한 전지를 2차 전지라고 한다.

4 전지 전위

두 반쪽 전지를 연결하면 전자를 더 잃기 쉬운 반쪽 전지에서 산화 반응이 일어나고, 전자를 더 얻기 쉬운 반쪽 전지에서 환원 반응이 일어나 전류가 흐른다. 이는 두 반쪽 전지의 전위차 때문이며, 각 반쪽 전지의 전위를 **전극 전위(E)**라고 한다. 25 °C에서 반쪽 전지를 구성하는 전해질의 농도가 1 M, 기체 물질의 압력이 1 기압일 때를 표준 상태로 정의하는데, 이때의 전극 전위를 **표준 전극 전위(E°)**라고 한다. 전극 전위는 주로 환원 반응의 전위인 **표준 환원 전위**를 사용한다. 표준 환원 전위가 클수록 환원되기 쉽고 표준 환원 전위가 작을수록 산화되기 쉽다.

반쪽 전지의 표준 환원 전위를 측정하려면 산화 환원 반응을 모두 이용해야 하므로 **표준 수소 전극**을 다른 반쪽 전지로 하는 화학 전지를 만들어 측정한다. 표준 수소 전극은 25 °C에서 수소 이온(H^+)의 농도가 1 M인 수용액에 백금 전극을 꽂고 1 기압의 수소(H_2) 기체를 채운 것으로, 표준 환원 전위를 0.00 V로 정하였다. 표준 상태의 아연 반쪽 전지와 표준 수소 전극을 연결하여 전지를 만들면 아연 반쪽 전지에서 산화 반응이, 표준 수소 전극에서 환원 반응이 일어난다. 두 반쪽 전지의 전위차를 측정하면 0.76 V인데, 표준 환원 전위가 더 큰 반쪽 전지에서 환원 반응이 일어나므로 표준 수소 전극의 표준 환원 전위가 아연 반쪽 전지의 표준 환원 전위보다 0.76 V만큼 높다. 따라서 아연 반쪽 전지의 표준 환원 전위는 -0.76 V이다.

비활성 전극

백금 전극은 전자를 전달하는 역할을 할 뿐 반응에 참여하지 않는다. 이러한 전극을 비활성 전극이라고 하는데, 또 다른 비활성 전극으로 탄소 전극이 있다.

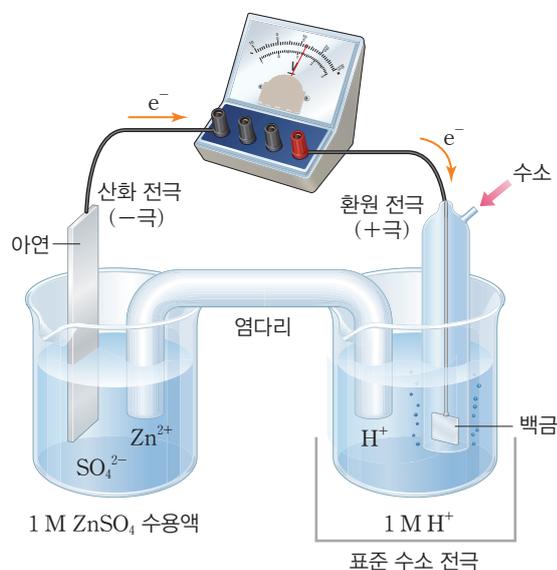
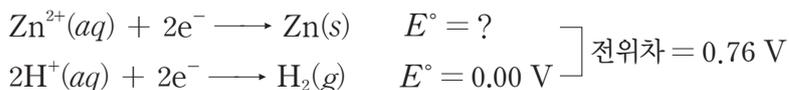


그림 IV-9 아연 반쪽 전지의 표준 전극 전위 측정

화학 전지에서 두 반쪽 전지의 전극 전위 차이를 전지 전위($E_{\text{전지}}$)라고 한다. 표준 전지 전위($E_{\text{전지}}^{\circ}$)는 환원 반응이 일어나는 반쪽 전지의 표준 환원 전위($E_{\text{환원 전극}}^{\circ}$)에서 산화 반응이 일어나는 반쪽 전지의 표준 환원 전위($E_{\text{산화 전극}}^{\circ}$)를 뺀 값이다.

$$E_{\text{전지}}^{\circ} = E_{\text{환원 전극}}^{\circ} - E_{\text{산화 전극}}^{\circ}$$

구리 반쪽 전지와 아연 반쪽 전지로 구성된 전지의 표준 전지 전위를 구해 보자. 표 IV-1에 따르면 구리 반쪽 전지의 표준 환원 전위는 +0.34 V이고 아연 반쪽 전지의 표준 환원 전위는 -0.76 V이다. 이 전지에서 표준 환원 전위가 더 큰 구리 반쪽 전지가 환원 전극이 되고 표준 환원 전위가 작은 아연 반쪽 전지가 산화 전극이 된다. 따라서 표준 전지 전위는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$E_{\text{전지}}^{\circ} = E_{\text{환원 전극}}^{\circ} - E_{\text{산화 전극}}^{\circ} = 0.34 \text{ V} - (-0.76 \text{ V}) = 1.10 \text{ V}$$

표 IV-1 25 °C에서 반쪽 전지의 표준 환원 전위

반쪽 반응	표준 환원 전위(V)	환원되는 경향
$\text{F}_2(\text{g}) + 2\text{e}^- \longrightarrow 2\text{F}^-(\text{aq})$	+2.87	<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); font-size: 2em; margin-right: 10px;">↑</div> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); font-size: 0.8em;">환원되기 쉽다.</div> </div>
$\text{O}_2(\text{g}) + 4\text{H}^+(\text{aq}) + 4\text{e}^- \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	+1.23	
$\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \longrightarrow \text{Ag}(\text{s})$	+0.80	
$\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Cu}(\text{s})$	+0.34	
$2\text{H}^+(\text{aq}) + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2(\text{g})$	0.00	
$\text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Pb}(\text{s})$	-0.13	
$\text{Ni}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Ni}(\text{s})$	-0.26	
$\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Fe}(\text{s})$	-0.45	
$\text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Zn}(\text{s})$	-0.76	
$2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2(\text{g}) + 2\text{OH}^-(\text{aq})$	-0.83	
$\text{Al}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{e}^- \longrightarrow \text{Al}(\text{s})$	-1.66	
$\text{Mg}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Mg}(\text{s})$	-2.37	
$\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \longrightarrow \text{Na}(\text{s})$	-2.71	

〈출처〉 Haynes, 『CRC handbook of chemistry and physics』, 2016.

평가하기

1 다니엘 전지의 구조와 두 전극에서 일어나는 산화 환원 반응을 설명해 보자.

2 $\text{Ni}(\text{s}) \mid \text{Ni}^{2+}(\text{aq}) \parallel \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) \mid \text{Cu}(\text{s})$ 전지의 전체 화학 전지 반응식을 써 보자.

02

전기 분해

- 전기 분해의 원리를 산화 환원 반응으로 설명할 수 있다.
- 전기 분해에서 생성되거나 소모되는 물질의 양을 계산할 수 있다.



생각 열기

스마트폰을 사용하다가 배터리가 부족해지면 충전기를 연결하여 배터리를 충전한다. 배터리의 충전은 전기 분해를 이용한 것이다.

❶ 화학 전지인 배터리가 방전되는 과정과 배터리를 충전하는 과정에는 어떤 차이가 있을까?

화학 전지는 산화 환원 반응으로 화학 에너지를 전기 에너지로 바꾸는 장치이다. 이와 반대로 전기 에너지를 공급하여 산화 환원 반응을 일으킬 수 있는데, 이 과정을 전기 분해라고 한다.

1 염화 구리(II) 용액의 전기 분해

염화 구리(II)(CuCl_2)의 용액은 구리(II) 이온(Cu^{2+})과 염화 이온(Cl^-)이 들어 있는 전해질이다. 이 용액에 탄소 전극을 넣고 전류를 흘려주면 (-)극에서는 Cu^{2+} 이 전자를 받아 환원되어 구리(Cu)가 석출된다. 반대로 (+)극에서는 Cl^- 이 전자를 잃고 산화되어 염소(Cl_2) 기체가 발생한다. 즉, 전기 분해에서는 화학 전지와 달리 산화 전극이 (+)극이고 환원 전극이 (-)극이다. 이처럼 전기 에너지를 공급하여 산화 환원 반응을 일으키면 CuCl_2 를 순물질로 분해할 수 있다.

클립 찾아보기

EBS 클립뱅크
clipbank.ebs.co.kr
(검색어: 전기 분해)

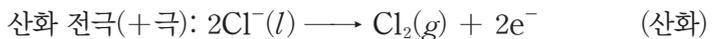
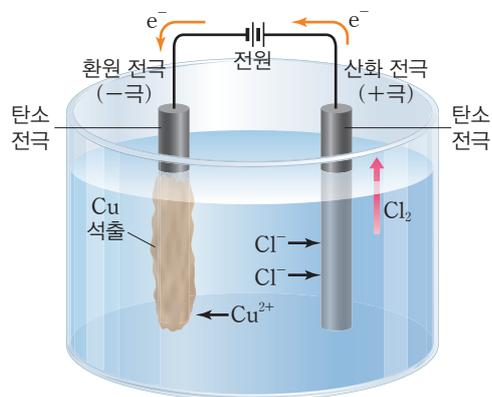


그림 IV-10 염화 구리(II) 용액의 전기 분해

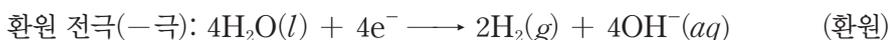
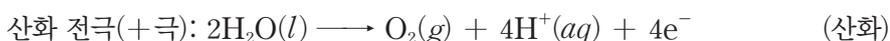
❷ 염화 나트륨(NaCl)의 용액을 전기 분해하면 어떤 물질이 생성되는지 설명해 보자.

2 물과 수용액의 전기 분해

순수한 물에는 이온이 거의 없어서 전류가 흐르지 못한다. 따라서 소량의 전해질을 넣은 뒤 물에 전류를 흘려주면, 산화 전극에서는 산소(O₂) 기체가 생성되고 환원 전극에서는 수소(H₂) 기체가 생성된다. 물을 전기 분해하면 수소 기체와 산소 기체가 2 : 1의 부피비로 발생한다.



그림 IV-11 물의 전기 분해



수용액에서 전기 분해되는 물질

Li⁺, Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Al³⁺ 등의 양이온이 포함된 수용액을 전기 분해하면 일반적으로 (-)극에서 물이 환원되어 수소 기체가 발생한다.

F⁻, CO₃²⁻, PO₄³⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻ 등의 음이온이 포함된 수용액을 전기 분해하면 일반적으로 (+)극에서 물이 산화되어 산소 기체가 발생한다.

염화 나트륨 수용액에는 H₂O과 Na⁺, Cl⁻이 들어 있다. 그림 IV-12와 같이 염화 나트륨 수용액을 전기 분해하면 환원 전극에서는 H₂O과 Na⁺ 가운데 표준 환원 전위가 더 큰 H₂O이 환원되므로 H₂ 기체가 발생한다.

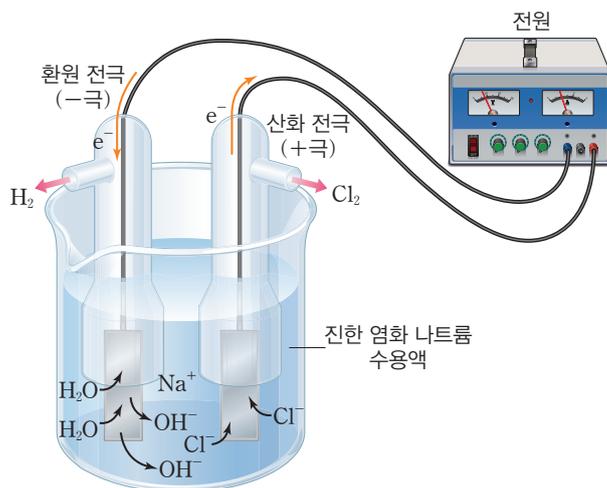
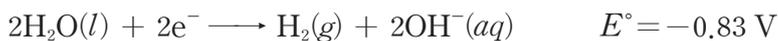


그림 IV-12 염화 나트륨 수용액의 전기 분해

산화 전극에서는 H₂O과 Cl⁻이 산화될 수 있는데, 진한 염화 나트륨 수용액을 전기 분해하면 Cl⁻이 산화되어 염소(Cl₂) 기체가 발생한다.

3 전기 분해의 이용

전기 분해는 금속 표면을 아름답게 만들거나 녹이 스는 것을 방지하는 도금, 알루미늄이나 구리의 제련 등에 사용된다.

전기 도금

도금이란 금속의 표면에 다른 금속을 입히는 기술로, 전기 분해를 이용한 도금을 전기 도금이라고 한다. 예를 들어 은 이온(Ag^+)이 들어 있는 수용액에서 도금할 물체를 (-)극에 연결하고 은판을 (+)극에 연결하여 전류를 흘려주면 다음과 같은 반응이 일어나 물체의 표면에 은이 도금된다.

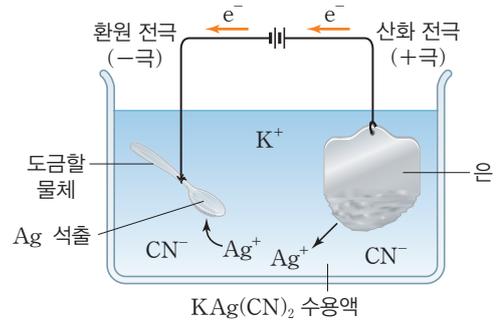
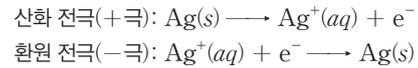


그림 IV-13 전기 도금 장치



제련

불순물이 포함된 금속에서 순수한 금속을 얻는 것을 제련이라고 한다. 불순물이 포함된 구리를 (+)극에 연결하고 순수한 구리를 (-)극에 연결한 뒤, 황산 구리(II) 수용액을 전기 분해하면 (-)극에서 구리가 환원되어 얻어진다.

불순물 가운데 구리보다 반응성이 큰 금속이 있으면 구리보다 먼저 산화되어 수용액에 녹는다. 구리보다 반응성이 작은 금속 불순물은 산화되지 않고 찌꺼기로 바닥에 쌓인다.

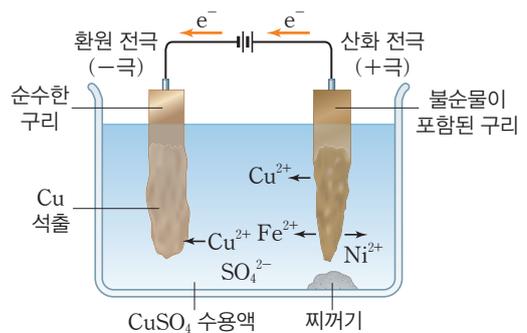
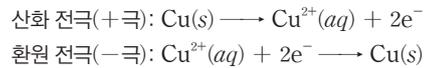


그림 IV-14 구리의 제련 장치



평가하기

- 1 염화 구리(II)(CuCl_2) 용액을 전기 분해할 때 각 전극에서 일어나는 반응을 설명해 보자.
- 2 1 M NiSO_4 수용액을 전기 분해할 때 각 전극에서 일어나는 반응을 설명해 보자.

전기 화학과 우리 생활

- 수소 연료 전지가 활용되는 예를 설명할 수 있다.
- 전기 화학 기술이 사회에 미치는 영향을 설명할 수 있다.



생각 열기

연료 전지 자동차는 기존의 자동차보다 공해 물질을 적게 배출한다. 이에 따라 전 세계적으로 연료 전지 자동차를 상용화하려는 연구가 활발히 진행되고 있다.

연료 전지 자동차와 같이 화학 전지가 중요하게 사용되는 분야는 무엇일까?

1 연료 전지

전지 내부에 저장된 물질이 지닌 화학 에너지를 전기 에너지로 변환하는 화학 전지와 달리 연료 전지는 외부에서 연료를 공급하여 화학 에너지를 전기 에너지로 변환하는 장치이다. 화학 전지는 화학 물질이 소모되면 충전하거나 새 전지를 사용해야 하지만 연료 전지는 수소, 탄화수소, 알코올 등과 같은 연료를 채우면 다시 사용할 수 있다.

최초의 연료 전지는 수소를 연료로 사용한 수소 연료 전지인데, 1960년대부터 우주선 내에 전기를 공급하는 데 사용되었다. 수소를 연소시키면 물만 생성되므로 수소를 연료로 사용하면 화석 연료와 달리 이산화 탄소가 배출되지 않는다. 수소 연료 전지의 작동 원리는 그림 IV-15와 같다.

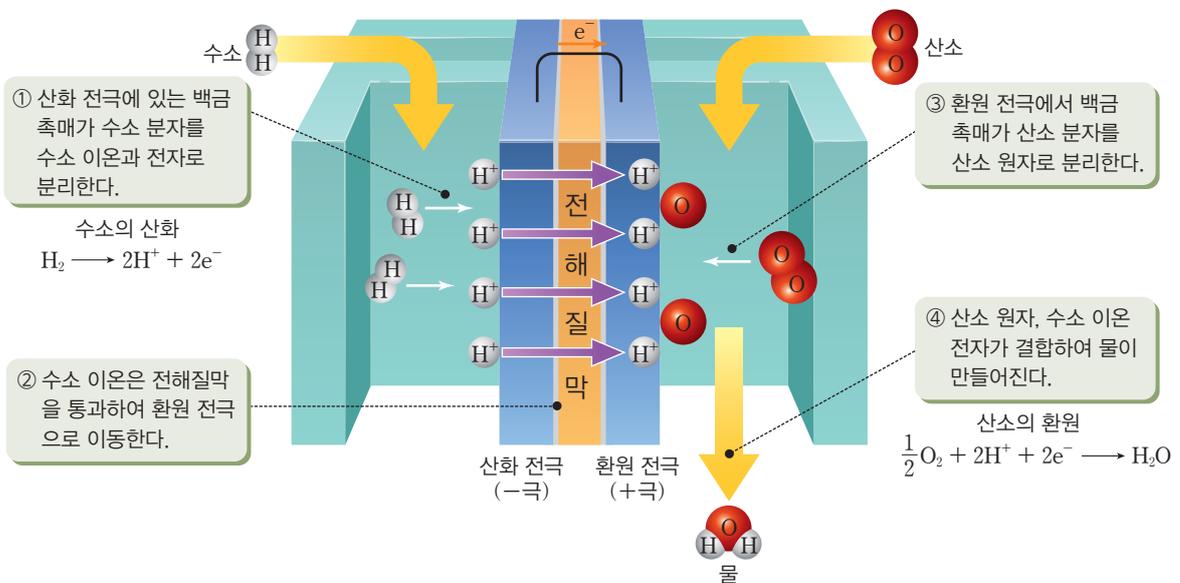


그림 IV-15 수소 연료 전지의 작동 원리

수소 연료 전지는 가정용이나 자동차에서부터 발전소 등과 같은 큰 규모의 시설에 이르기까지 널리 활용될 수 있다. 그리고 발전기와 같은 장치 없이 전기를 생산할 수 있다는 장점도 있다. 아래의 예시들을 참고하여 수소 연료 전지의 활용 사례를 모둠별로 조사해 보자.



▲ 수소 연료 전지 자동차 충전소



▲ 수소 연료 전지 발전소

주제 선정하기



• 우리 모둠에서 이 사례를 선정한 까닭은 무엇인가?

조사하기

- 1 선정한 사례에서 수소 연료 전지를 사용하는 것이 이로운 까닭은 무엇인가?
- 2 선정한 사례에서 사용되는 수소 연료 전지의 원리는 무엇인가?

발표, 토의하기



- 1 조사한 수소 연료 전지의 활용 사례를 발표해 보자.
- 2 수소 연료 전지 기술이 상용화되려면 아직 해결해야 할 문제점이 남아 있다. 각 모둠이 발표한 사례에서 어떤 문제점이 있는지 토의해 보자.

클릭! 찾아보기

한국 에너지공단: 신재생 에너지 센터
www.knrec.or.kr

EBS 클립뱅크
clipbank.ebs.co.kr
(검색어: 수소 자동차)

모둠 활동

역할	이름
모둠장	
자료 관리자	
점검자	
질문자	

1. 역할을 분담하고 각자의 역할을 수행했는가?
2. 서로 의견을 공유했는가?
3. 모둠원을 배려하며 활동했는가?

전기 화학 기술

전기 화학은 산화 환원 반응에 따른 전자의 이동과 관련된 다양한 현상을 다루는 학문이다. 전기 화학 기술은 화학 전지 제작, 금속의 제련, 다양한 화합물의 제조, 부식을 막고 광택을 내는 표면 처리 등에 광범위하게 활용되고 있다.

2 전기 화학 기술과 미래 사회

전기 화학 기술은 미래 사회에서 어떤 역할을 하게 될까? 현재는 주로 석탄이나 석유 등과 같은 화석 연료나 원자력 발전에서 에너지를 얻는다. 그러나 이 에너지들의 원료는 매장량에 한계가 있으며 환경 오염을 일으킨다. 이러한 문제점을 해결할 수 있는 대체 연료로 수소가 주목받고 있다. 그러나 물을 전기 분해하여 연료로 사용할 수소를 대량 생산하려면 많은 에너지가 필요하다. 따라서 아직까지는 화석 연료에서 수소를 생산하는 방법을 주로 사용한다.

최근에 화학자들은 식물의 광합성 과정처럼 많은 에너지를 들이지 않고도 빛에너지로 물을 분해할 수 있는 새로운 방법을 개발하였다. 식물의 엽록소를 대신할 수 있는 광촉매나 반도체성 광전극을 사용하면 태양광 에너지로 물을 광분해하여 수소를 얻을 수 있다.

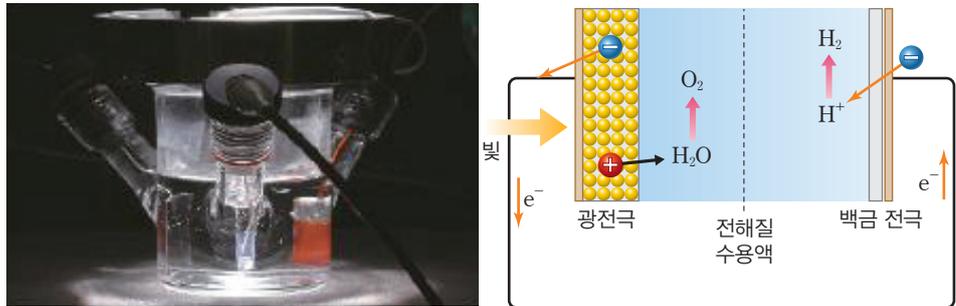


그림 IV-16 광전극을 이용한 물의 광분해 빛이 광전극(TiO_2)에 흡수되면 전자가 방출되고 광전극에서 물이 산소로 산화된다. 전자는 외부 도선을 따라 백금 전극으로 이동하여 수소 이온을 수소 기체로 환원시킨다.

함께
해 보기

차세대 에너지와 관련된 직업

미래의 차세대 에너지는 신재생 에너지나 탄소 저감 에너지 등과 같이 친환경적이고 지속적으로 이용이 가능한 에너지를 말한다. 차세대 에너지와 관련된 직업에는 어떤 것이 있을까? 대표적으로 연료 전지나 태양광 발전 등을 연구하여 효율을 높이고 실제로 사용할 수 있는 기술을 개발하는 연구원과 기술자가 있다. 차세대 에너지와 관련된 직업을 더 알아보자.

활동하기

- 1 한국 직업 정보 시스템(<http://www.work.go.kr/>)에서 차세대 에너지와 관련된 직업을 하나 선정하고 자세히 조사해 보자.
- 2 선정한 직업에 종사하려면 어떤 준비가 필요한지 조사해 보자.



전기 화학 기술은 현대 사회의 다양한 문제 해결에 기여해 왔다. 환경 오염 및 자원 고갈 문제 해결이나 휴대용 전자 기기의 발달 가운데 하나를 선택하고, 아래의 예시를 참고하여 각각을 대표할 수 있는 사례를 선정하여 모둠별로 조사해 보자.



▲ 태양광을 이용한 태양 전지나 연료 사용에 따른 오염 물질의 발생이 없는 수소 연료 전지는 환경 오염 및 자원 고갈 문제 해결에 기여할 수 있다.



▲ 리튬 이온 전지와 같은 고성능 배터리의 개발로 스마트폰이나 노트북과 같은 휴대용 전자 제품을 편리하게 사용할 수 있다.

주제 선정하기



- 모둠에서 이 사례를 선정한 까닭은 무엇인가?

조사하기

- 1 선정한 사례에서 사용되는 전기 화학 기술은 무엇인가?
- 2 선정한 사례에서 전기 화학 기술은 우리 사회의 문제 해결에 어떤 도움을 주었는가?

발표, 토의하기

- 전기 화학 기술이 우리 사회의 문제 해결에 기여한 사례를 발표해 보자.

모둠 활동

역할	이름
모둠장	
자료 관리자	
점검자	
질문자	

1. 역할을 분담하고 각자의 역할을 수행했는가?
2. 서로 의견을 공유했는가?
3. 모둠원을 배려하며 활동했는가?

평가하기

- 1 연료 전지와 화학 전지의 차이점을 설명해 보자.
- 2 수소 연료 전지가 활용되는 예를 제시해 보자.



스스로 확인하기

핵심 내용 정리하기

전기 화학과 이용

화학 전지

- 화학 전지는 전극과 전해질을 구성하는 물질들 사이의 반응성 차이에 따라 반응이 일어나 가 이동하는 원리를 이용한 장치이다.
- 다니엘 전지에서는 산화가 일어나는 아연판이 전극, 환원이 일어나는 구리판이 전극이다.
- 두 반쪽 전지의 전극 전위의 차이를 라고 하며, 표준 전지 전위는 환원 전극의 에서 산화 전극의 를 뺀 값이다.

전기 분해

- 전기 에너지를 공급하여 산화 환원 반응을 일으키는 과정을 라고 한다.
- 염화 구리(II) 용액의 전기 분해에서는 화학 전지와는 달리 (+)극이 전극이고 (-)극이 전극이 된다.
- 물을 전기 분해하면 산화 전극에서는 기체가 생성되고 환원 전극에서는 기체가 생성된다.

전기 화학과 우리 생활

- 는 수소를 연료로 사용하여 전기 에너지를 생산하는 장치로, 수소를 반응시키면 만 생성된다.
- 물의 는 반도체성 광전극 또는 광촉매, 물, 태양광 에너지로 수소를 제조하는 방법이다.

스스로 평가하기

	* 성취 정도를 <input checked="" type="checkbox"/> 표시해 보자
1 화학 전지에서 전기 에너지가 발생하는 과정을 설명해 보자.	<input type="text"/> 20 <input type="text"/> 40 <input type="text"/> 60 <input type="text"/> 80 <input type="text"/> 100
2 다니엘 전지의 구조와 전극에서 일어나는 산화 환원 반응을 설명해 보자.	<input type="text"/> 20 <input type="text"/> 40 <input type="text"/> 60 <input type="text"/> 80 <input type="text"/> 100
3 표준 환원 전위와 표준 전지 전위를 설명해 보자.	<input type="text"/> 20 <input type="text"/> 40 <input type="text"/> 60 <input type="text"/> 80 <input type="text"/> 100
4 염화 구리(II) 용액의 전기 분해에서 일어나는 산화 환원 반응을 설명해 보자.	<input type="text"/> 20 <input type="text"/> 40 <input type="text"/> 60 <input type="text"/> 80 <input type="text"/> 100
5 수소 연료 전지의 활용 사례를 제시해 보자.	<input type="text"/> 20 <input type="text"/> 40 <input type="text"/> 60 <input type="text"/> 80 <input type="text"/> 100

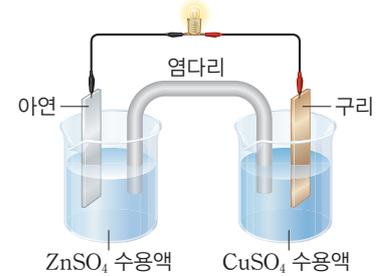
개념 확장하기

1

그림은 다니엘 전지의 구조를 나타낸 것이다. 다니엘 전지와 관련된 설명으로 옳지 않은 것을 <보기>에서 모두 골라 옳게 고쳐 보자.

• 보기 •

- ㄱ. 시간이 지날수록 아연판의 질량이 감소한다.
- ㄴ. 구리판에서 수소 기체가 발생한다.
- ㄷ. 염다리는 두 반쪽 전지의 전하 균형을 맞추는 역할을 한다.



2

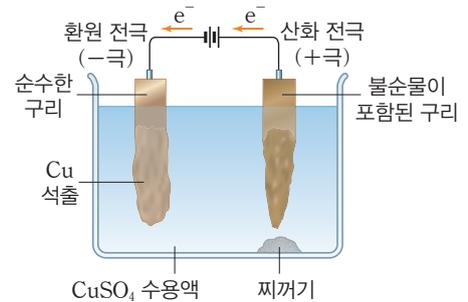
표준 전극 전위와 표준 전지 전위를 설명한 내용으로 옳은 것을 <보기>에서 모두 골라 보자.

• 보기 •

- ㄱ. 표준 환원 전위가 클수록 환원되기 쉽고, 작을수록 산화되기 쉽다.
- ㄴ. 두 반쪽 전지를 연결하여 전지를 만들면 환원 전위가 더 큰 반쪽 전지가 산화 전극이 된다.
- ㄷ. 표준 전지 전위는 환원 전극의 표준 환원 전위와 산화 전극의 표준 환원 전위를 합한 값이다.

3

그림은 철(Fe)과 은(Ag)이 불순물로 포함된 구리(Cu)를 제련하는 장치이다. 전기 분해를 할 때 불순물이 포함된 구리에서 가장 먼저 산화되는 금속과 찌꺼기로 바닥에 쌓이는 금속이 무엇인지 써 보자. (단, 표준 환원 전위(E°)는 구리 반쪽 전지가 +0.34 V, 철 반쪽 전지가 -0.45 V, 은 반쪽 전지가 +0.80 V이다.)

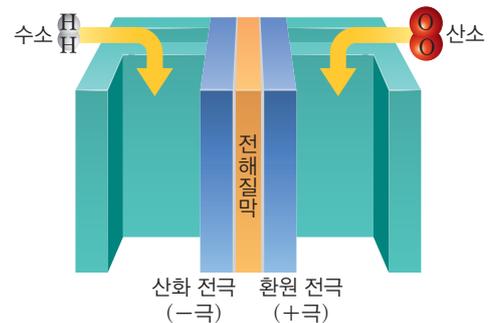


4

그림은 수소 연료 전지의 구조를 나타낸 것이다. 수소 연료 전지와 관련된 설명으로 옳지 않은 것을 <보기>에서 모두 골라 옳게 고쳐 보자.

• 보기 •

- ㄱ. 수소(H_2)는 환원되고 산소(O_2)는 산화된다.
- ㄴ. 수소 이온(H^+)은 전해질막을 통과할 수 없다.
- ㄷ. (+)극에서는 물(H_2O)이 생성된다.



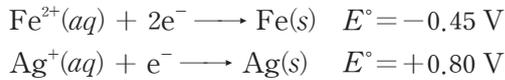


단원 마무리

기초 개념 적용하기

화학 전지

- 1 다음은 철(Fe)과 은(Ag)의 반쪽 반응과 25 °C에서의 표준 환원 전위를 나타낸 것이다.



철 반쪽 전지와 은 반쪽 전지를 연결한 화학 전지를 만들었다. 다음 물음에 답해 보자.

- (1) 산화 전극과 환원 전극에서 일어나는 반응을 써 보자.
- (2) 이 전지에서 전류가 흐를 때 두 전극의 질량은 각각 어떻게 변하는가?

전기 분해

- 2 표는 두 가지 물질의 1.0 M 수용액을 25 °C에서 각각 전기 분해하였을 때, 두 전극에서의 생성물을 나타낸 것이다.

물질 \ 전극	(+)극	(-)극
Cu(NO ₃) ₂	O ₂	Cu
NaNO ₃	O ₂	H ₂

〈보기〉에서 옳은 것을 모두 골라 보자.

보기

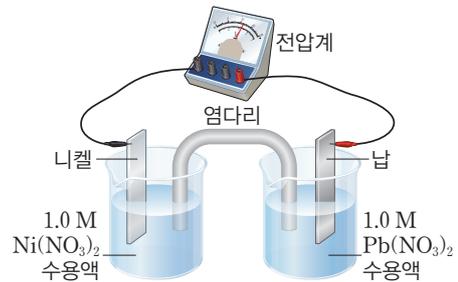
- ㄱ. Cu(NO₃)₂ 수용액의 전기 분해에서는 Cu²⁺이 산화된다.
- ㄴ. NaNO₃ 수용액을 전기 분해할 때 (+)극에서는 H₂O이 산화된다.
- ㄷ. Na⁺의 표준 환원 전위는 Cu²⁺보다 크다.



개념 응용력 키우기

화학 전지

- 3 그림은 니켈 반쪽 전지와 납 반쪽 전지로 구성된 화학 전지를 나타낸 것이다. 표준 환원 전위(E°)는 니켈 반쪽 전지가 -0.26 V, 납 반쪽 전지가 -0.13 V이다.



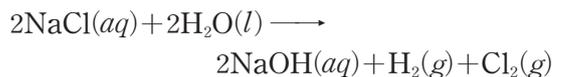
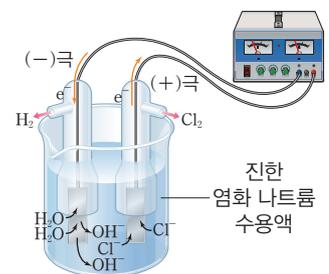
〈보기〉에서 옳은 것을 모두 골라 보자.

보기

- ㄱ. 시간이 지나면 Ni 전극의 질량은 증가하고 Pb 전극의 질량은 감소한다.
- ㄴ. 전체 화학 전지 반응식은 $\text{Ni}(s) + \text{Pb}^{2+}(aq) \longrightarrow \text{Ni}^{2+}(aq) + \text{Pb}(s)$ 이다.
- ㄷ. 염다리 속의 양이온은 니켈 반쪽 전지 쪽으로 이동한다.

전기 분해

- 4 그림은 염화 나트륨(NaCl) 수용액을 전기 분해할 때의 실험 장치와 화학 반응식을 나타낸 것이다.



〈보기〉에서 옳은 것을 모두 골라 보자.

보기

- ㄱ. (-)극에서는 산화 반응이 일어난다.
- ㄴ. 두 전극에서 발생하는 기체의 부피는 같다.
- ㄷ. 환원 전극 주위에서 용액의 pH는 증가한다.

핵심 역량 키우기

과학적 의사소통 능력

+ 과학적 사고력

화학 전지 p. 187~194

5 이탈리아의 과학자 볼타는 죽은 개구리를 구리판 위에 놓고 철로 만든 해부용 칼을 개구리 다리에 대면 다리가 움직이는 것을 관찰하였다. 볼타는 개구리 다리에 흐른 전류가 서로 다른 금속 때문에 생겼다고 생각하였고, 이로부터 볼타 전지를 구상하였다. 볼타가 전지를 개발한 과정과 전기 화학에서 볼타 전지의 중요성을 조사하여 발표해 보자.



과학적 사고력

+ 과학적 문제 해결력

전기 분해 p. 195~197

6 화학 전지는 충전하여 다시 사용할 수 없는 1차 전지와 여러 번 반복해서 충전할 수 있는 2차 전지로 나눌 수 있다. 우리가 주로 사용하는 알칼리 전지는 대부분 1차 전지인데, 이 전지를 충전하면 폭발할 위험이 있다. 1차 전지를 충전하면 위험한 까닭을 조사해 보자.

 스스로
정리하기

이 단원을 공부하는 동안 어렵거나 잘 이해되지 않았던 내용을 써 보자.

 _____

위에 쓴 내용이 교과서 몇 페이지에 있는지 찾아서 정리해 보자.

 _____

정리한 내용을 바탕으로 하여 문제를 만들어 보자.

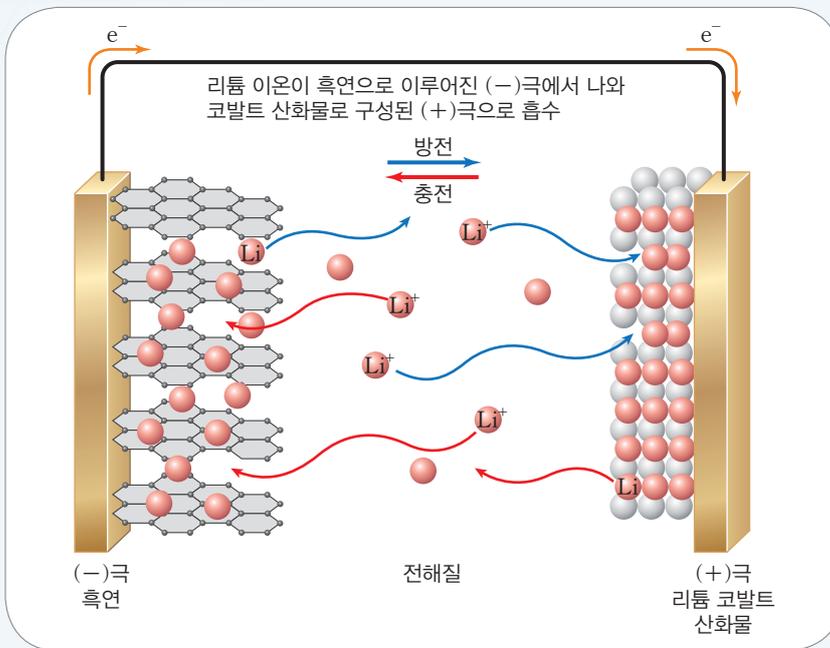
 _____

만든 문제를 짝과 바꾸어서 풀어 보자.

 _____

내 스마트폰 속 화학 전지

우리가 사용하는 전자 제품 속의 배터리는 대부분 리튬 2차 전지이다. 리튬 2차 전지에는 리튬 이온 전지나 리튬 고분자 전지 등이 있는데, 전지 속에서 리튬 이온이 이동하는 원리를 이용한 것이다. 스마트폰에 사용되는 리튬 이온 전지는 리튬 이온을 수용할 수 있는 결정 구조의 두 전극과 전해질로 구성되어 있다. 리튬 이온 전지를 사용하면 3.7 V 정도의 높은 전압을 얻을 수 있다.



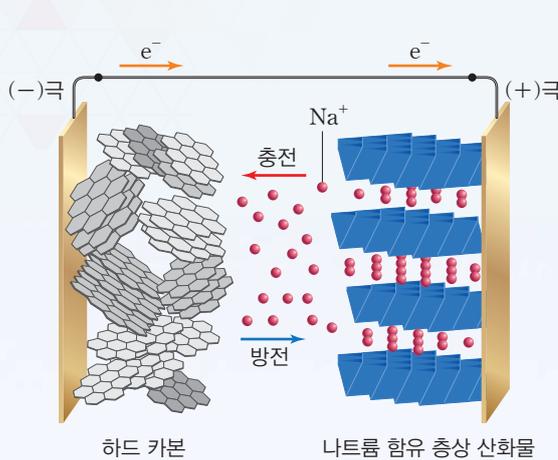
여학생: 겨울철에 스마트폰 배터리가 더 빨리 소모되는 것 같은데, 리튬 이온 전지의 원리와 관련이 있을까?

남학생: 리튬 이온 전지는 리튬 이온이 두 전극 사이를 이동하면서 전류가 흘러, 그런데 온도가 낮아지면 리튬 이온이 느리게 이동해서 전압이 낮아지고 결국 배터리가 더 빨리 소모되는 거야.

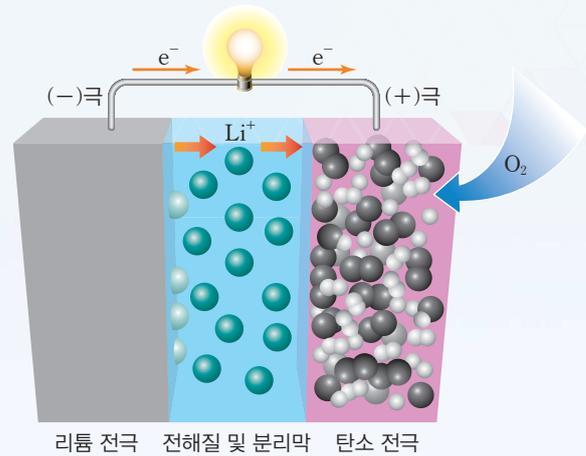
여학생: 그럼 겨울철에 배터리를 더 오래 쓰려면 스마트폰을 차가운 곳에 보관하면 안 되겠구나!

활동1 미래형 고성능 전지 조사하기

리튬 이온 전지 이외에도 충전하여 다시 사용할 수 있는 2차 전지들이 있다. 현재 개발 중인 미래형 고성능 전지에는 나트륨 이온 전지와 금속 공기 2차 전지 등이 있다.



▲ 나트륨 이온 전지는 풍부하고 가격이 저렴한 금속인 나트륨을 이용한 전지이다.



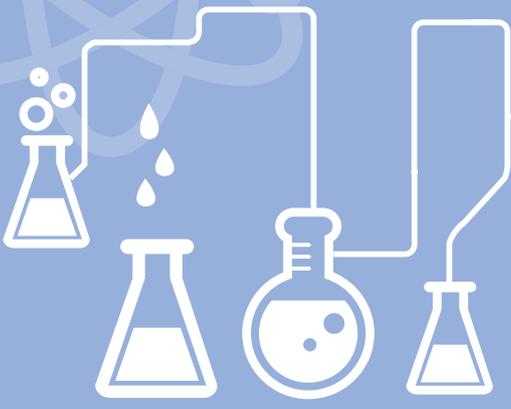
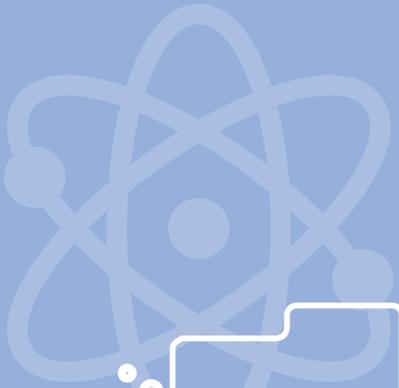
▲ 금속 공기 2차 전지는 공기 중의 산소를 (+)극으로 사용하기 때문에 더욱 가벼운 전지이다.

- 현재 리튬 이온 전지를 많이 사용하고 있지만 아직 개선해야 할 점이 많다. 어떤 점을 개선해야 하는지 더 조사해 보자.
- 리튬 이온 전지의 단점을 보완하려고 개발되는 미래형 고성능 전지 가운데 하나를 선정하고 그 원리와 특징을 조사하여 발표해 보자.

활동2 전지 연구 센터에서 하는 일 알아보기

미래형 고성능 배터리의 연구는 어디에서 이루어지고 있을까? 한국전기연구원(KERI)의 전지 연구 센터는 전기 에너지의 저장, 변환 및 발전 기술 분야를 연구하는 곳이다. 전지 연구 센터의 연구원들은 어떤 연구를 할까?

- 한국전기연구원 전지 연구 센터의 주요 연구 내용과 관련이 있는 뉴스나 신문 기사 등을 수집하고 인상 깊은 내용을 발표해 보자.
- 내가 전지 연구 센터의 연구원이 된다면 화학 전지와 관련하여 어떤 연구를 하고 싶은지 연구 계획을 세워 보자.





부록

실험실 안전 수칙	• 210
25 °C에서 산의 이온화 상수(K_a)	• 212
탐구에 제시되는 화합물의 물질 보건 안전 자료(MSDS)	• 213
정답과 해설	• 216
찾아보기	• 229
자료 출처	• 231



1. 안전하게 실험 준비

• 긴 머리카락은 끈으로 묶는다.
• 콘택트렌즈는 착용하지 않는다.

보안경
약품이 튀거나 눈에 이물질이 닿을 때를 대비하여 착용한다.

실험복
• 불이 잘 붙지 않고 약품과의 반응이 적은 재질로 되어 있다. 따라서 실험을 할 때는 반드시 실험복을 입는다.
• 내 몸에 맞는 실험복을 입는다.
• 실험복은 정기적으로 세탁하고 심하게 오염된 것은 폐기한다.

실험용 장갑
• 면장갑, 방열 장갑, 라텍스 장갑 등 여러 가지 종류가 있으며 필요에 맞게 선택한다.
• 손을 완전히 덮고 장갑과 손목 사이에 틈이 생기지 않도록 충분히 긴 것을 선택한다.
• 장갑을 벗을 때 피부에 닿지 않게 주의하고, 장갑을 벗은 뒤 손을 비누로 씻는다.

운동화와 같이 발등을 덮는 신발을 신는다. 절대 슬리퍼를 신지 않는다.

2. 실험할 때 주의 사항

실험 도구 사용

- 뷰렛에 액체를 부을 때는 눈높이보다 아래에서 붓는다.
- 모든 시약은 유독하다고 간주하고 직접 만지지 않으며, 시약병을 함부로 들고 다니지 않는다.
- 인화성 물질을 사용할 때는 물질을 알코올램프나 핫플레이트와 같은 열원에서 멀리 둔다.
- 전기 기구는 절대 젖은 손으로 만지지 않는다.
- 알코올램프를 사용할 때는 특히 주의하며, 유리 기구는 깨지지 않도록 조심하여 다룬다.
- 실험에 사용되는 모든 시약은 정해진 위치에 두고 관리한다.

안전한 행동 지침

- 실험실에서는 지도 선생님의 허락과 지시에 따라야 한다.
- 실험실에서는 뛰거나 잡담하는 장난을 치지 않는다.
- 실험은 주의를 집중하여 차분하게 수행한다.
- 냄새는 손으로 부채질하여 맡고 코로 직접 맡지 않는다.
- 실험실 내에서 음식물을 먹지 않고, 무단으로 자리를 이탈하지 않는다.
- 실험실에 비치된 소화기, 비상 샤워기, 환풍기, 전기 차단기, 비상문 등의 위치를 미리 확인한다.
- 환기를 하여 실내에 인화성 기체가 남지 않게 한다.

3. 실험이 끝난 뒤 정리

- 실험대와 그 주변을 깨끗이 청소한다.
- 실험 기구를 깨끗이 씻는다.
- 폐기물은 선생님의 지시에 따라 환경이 오염되지 않도록 처리한다.
- 실험이 끝난 뒤 폐수는 종류별로 구별하여 모으고, 절대 하수구나 싱크대에 버리지 않는다.

4. 상황별 응급 처치



강한 산이나 염기성 물질이 피부나 옷에 묻었을 때

고무 장갑을 낀 상태에서 묻은 독극물을 제거해야 한다. 가루는 먼저 털어낸 뒤 씻고, 액체는 다량의 흐르는 물로 씻어낸 뒤 병원 진료를 받는다.



유리 기구가 깨졌을 때

깨진 유리 조각을 절대 만지지 말고 선생님께 알린다.



화재가 발생했을 때

화재 경보기를 울리거나 '불이야'라고 크게 외쳐서 선생님과 다른 학생들에게 상황을 알리고, 젖은 걸레나 실험복 등으로 불을 덮어서 끈다.



옷에 불이 붙었을 때

걸레나 실험복을 물에 적셔서 불이 붙은 곳에 덮어서 끄거나 실험실 안전 비상 샤워기로 끈다.



화상을 입었을 때

불에 데인 곳을 깨끗하고 차가운 물에 충분히 담가 열기를 식힌 뒤 병원 진료를 받는다.



유독한 화학약품 냄새를 맡았을 때

실험실 밖으로 나와 옷을 느슨하게 하고 신선한 공기를 마신다.



눈에 용액이 튀었을 때

눈 세척기를 이용하거나 흐르는 물에 눈을 충분히 씻는다.



액체 질소에 닿았을 때

액체 질소에 닿은 곳을 절대 문지르지 말고 바로 병원 진료를 받는다.



레이저, 태양 등 강한 빛에 노출되었을 때

눈을 절대 문지르지 말고 양쪽 눈을 모두 감고 눈을 움직이지 않은 상태에서 즉시 병원 진료를 받는다.



상처가 나서 피가 날 때

상처 부위를 소독용 에탄올로 소독한 뒤 깨끗한 천으로 눌러 지혈하고 보건실이 나 병원에서 치료를 받는다.



화학 물질을 삼켰을 때

역지로 토하게 하는 것은 좋지 않다. 만약 구토를 하게 되면 구토물이 기도로 들어가지 않도록 머리를 엉덩이보다 낮게 유지한다. 의식이 있는 상태일 때는 우유나 물을 마시게 하는 것이 좋다.



전기 기구에 감전되었을 때

전기 기구의 전원을 내리고 감전된 사람을 재빨리 전기 기구와 분리한 뒤 119에 신고한다. 만약 환자의 의식이 없으면 구급 대원이 올 때까지 심폐 소생술을 실시한다.



산	산의 세기	반응	K_a
과염소산		$\text{HClO}_4 \longrightarrow \text{H}^+ + \text{ClO}_4^-$	매우 크다
아이오딘화 수소		$\text{HI} \longrightarrow \text{H}^+ + \text{I}^-$	매우 크다
브로민화 수소		$\text{HBr} \longrightarrow \text{H}^+ + \text{Br}^-$	매우 크다
염산		$\text{HCl} \longrightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^-$	매우 크다
질산		$\text{HNO}_3 \longrightarrow \text{H}^+ + \text{NO}_3^-$	매우 크다
황산		$\text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{H}^+ + \text{HSO}_4^-$	크다
옥살산		$\text{HOCCOOH} \longrightarrow \text{H}^+ + \text{HOCCOO}^-$	5.6×10^{-2}
아황산		$\text{H}_2\text{SO}_3 \longrightarrow \text{H}^+ + \text{HSO}_3^-$	1.4×10^{-2}
황산수소 이온		$\text{HSO}_4^- \longrightarrow \text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$	1.0×10^{-2}
인산		$\text{H}_3\text{PO}_4 \longrightarrow \text{H}^+ + \text{H}_2\text{PO}_4^-$	6.9×10^{-3}
철(III) 이온		$[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+} \longrightarrow \text{H}^+ + [\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_5(\text{OH})]^{2+}$	6.0×10^{-3}
텔루륨화 수소		$\text{H}_2\text{Te} \longrightarrow \text{H}^+ + \text{HTe}^-$	2.5×10^{-3}
플루오린화 수소		$\text{HF} \longrightarrow \text{H}^+ + \text{F}^-$	6.3×10^{-4}
아질산		$\text{HNO}_2 \longrightarrow \text{H}^+ + \text{NO}_2^-$	5.6×10^{-4}
셀레늄화 수소		$\text{H}_2\text{Se} \longrightarrow \text{H}^+ + \text{HSe}^-$	1.3×10^{-4}
크로뮴(III) 이온		$\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+} \longrightarrow \text{H}^+ + \text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_5(\text{OH})^{2+}$	1.5×10^{-4}
옥살산수소 이온		$\text{HOCCOO}^- \longrightarrow \text{H}^+ + \text{OCCOO}^{2-}$	1.5×10^{-4}
벤조산		$\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH} \longrightarrow \text{H}^+ + \text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-$	6.3×10^{-5}
아세트산		$\text{CH}_3\text{COOH} \longrightarrow \text{H}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-$	1.8×10^{-5}
알루미늄 이온		$[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+} \longrightarrow \text{H}^+ + [\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_5(\text{OH})]^{2+}$	1.4×10^{-5}
탄산		$\text{H}_2\text{CO}_3 \longrightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$	4.5×10^{-7}
황화 수소		$\text{H}_2\text{S} \longrightarrow \text{H}^+ + \text{HS}^-$	8.9×10^{-8}
인산이수소 이온		$\text{H}_2\text{PO}_4^- \longrightarrow \text{H}^+ + \text{HPO}_4^{2-}$	6.3×10^{-8}
아황산수소 이온		$\text{HSO}_3^- \longrightarrow \text{H}^+ + \text{SO}_3^{2-}$	6.2×10^{-8}
암모늄 이온		$\text{NH}_4^+ \longrightarrow \text{H}^+ + \text{NH}_3$	5.7×10^{-10}
탄산수소 이온	$\text{HCO}_3^- \longrightarrow \text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$	4.7×10^{-11}	
텔루륨화 수소 이온	$\text{HTe}^- \longrightarrow \text{H}^+ + \text{Te}^{2-}$	1.0×10^{-11}	
과산화 수소	$\text{H}_2\text{O}_2 \longrightarrow \text{H}^+ + \text{HO}_2^-$	2.4×10^{-12}	
인산일수소 이온	$\text{HPO}_4^{2-} \longrightarrow \text{H}^+ + \text{PO}_4^{3-}$	4.8×10^{-13}	
물	$\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$	$[\text{H}^+][\text{OH}^-] = 1.0 \times 10^{-14}$	
황화 수소 이온	$\text{HS}^- \longrightarrow \text{H}^+ + \text{S}^{2-}$	1.0×10^{-19}	
수산화 이온	$\text{OH}^- \longrightarrow \text{H}^+ + \text{O}^{2-}$	매우 작다	
암모니아	$\text{NH}_3 \longrightarrow \text{H}^+ + \text{NH}_2^-$	매우 작다	



● 과산화 수소(H₂O₂)

[일반 정보]

- 분자량: 34.0
- 끓는점: 141 °C, 녹는점: -11 °C

[유해 위험 문구]

- 강한 산화제로, 화재 또는 폭발을 일으킬 수 있음
- 삼키면 유해함
- 암을 일으킬 수 있음
- 피부에 심한 화상과 눈에 손상을 일으킬 수 있음

[피해야 할 조건 및 물질]

피해야 할 조건	<ul style="list-style-type: none"> • 열, 스파크, 화염 • 마찰, 오염
피해야 할 물질	<ul style="list-style-type: none"> • 가연성 물질(나무, 종이, 기름, 의류 등) • 물, 연료

● 다이크로뮴산 칼륨(K₂Cr₂O₇)

[일반 정보]

- 분자량: 294.2
- 녹는점: 398 °C

[유해 위험 문구]

- 삼키거나 흡입하면 알레르기성 반응, 천식, 호흡 곤란을 일으킬 수 있음
- 암을 일으킬 수 있음
- 피부에 심한 화상과 눈에 손상을 일으킬 수 있음
- 알레르기성 피부 반응을 일으킬 수 있음

[피해야 할 조건 및 물질]

피해야 할 조건	열
피해야 할 물질	<ul style="list-style-type: none"> • 가연성 물질, 환원성 물질 • 금속

● 마그네슘(Mg)

[일반 정보]

- 분자량: 24.3
- 끓는점: 1100 °C, 녹는점: 651 °C

[유해 위험 문구]

- 공기에 노출되면 스스로 발화함
- 물과 접촉하면 자연 발화할 수 있는 인화성 가스를 발생시킴
- 피부와 눈에 심한 자극을 일으킬 수 있음
- 호흡기계 자극을 일으킬 수 있음

[피해야 할 조건 및 물질]

피해야 할 조건	<ul style="list-style-type: none"> • 열, 스파크, 화염 • 실온이나 약간 더운 공기에 노출되면 자연 발화할 수 있으므로 적정 온도 이하에서 보관해야 함 • 습기
피해야 할 물질	공기, 물

● 수산화 나트륨(NaOH)

[일반 정보]

- 분자량: 40.0
- 끓는점: 1390 °C, 녹는점: 318 °C

[유해 위험 문구]

- 피부에 심한 화상과 눈에 손상을 일으킬 수 있음

[피해야 할 조건 및 물질]

피해야 할 조건	열
피해야 할 물질	<ul style="list-style-type: none"> • 가연성 물질, 환원성 물질 • 금속

● 싸이오황산 나트륨(Na₂S₂O₃)

[일반 정보]

- 분자량: 158.1
- 끓는점: 100 °C, 녹는점: 48 °C
- 주요 용도: 약물

[유해 위험 문구]

- 피부와 눈에 심한 자극을 일으킬 수 있음
- 호흡기계 자극을 일으킬 수 있음

[피해야 할 조건 및 물질]

피해야 할 조건	열, 스파크, 화염
피해야 할 물질	가연성 물질, 환원성 물질



● 아세트산 나트륨 무수물(CH₃COONa)

[일반 정보]

- 분자량: 82.0
- 끓는점: 881.4 °C, 녹는점: 324 °C
- 인화점: > 250 °C
- 주요 용도 : 의약품, 비누, 글루코스의 정제 등

[유해 위험 문구]

- 피부에 자극을 일으킬 수 있음

[피해야 할 조건 및 물질]

피해야 할 조건	열, 스파크, 화염
피해야 할 물질	가연성 물질, 환원성 물질

● 아이소프로필 알코올((CH₃)₂CHOH)

[일반 정보]

- 분자량: 60.1
- 끓는점: 83 °C, 녹는점: -90 °C
- 인화점: 11.7 °C
- 주요 용도: 합성 원료, 탈수제, 화장품 원료, 세척제, 살균제, 용매, 휘발유 첨가제 등

[유해 위험 문구]

- 인화성이 높은 액체 및 증기
- 삼켜서 기도로 들어가면 유해할 수 있음
- 눈에 심한 자극을 일으킬 수 있음
- 호흡기계 자극을 일으킬 수 있음
- 태아 또는 생식 능력에 손상을 일으킬 수 있음

[피해야 할 조건 및 물질]

피해야 할 조건	열, 스파크, 화염
----------	------------

● 아이오딘산 칼륨(KIO₃)

[일반 정보]

- 분자량: 214.0
- 녹는점: 560 °C
- 주요 용도: 화학 부피 분석에서 산화제, 아이오딘 적정법

[유해 위험 문구]

- 삼키면 유해함

[피해야 할 조건 및 물질]

피해야 할 조건	열
피해야 할 물질	• 가연성 물질(나무, 종이, 기름, 의류 등) • 연료

● 아이오딘화 칼륨(KI)

[일반 정보]

- 분자량: 166.0
- 끓는점: 1323 °C, 녹는점: 681 °C
- 주요 용도: 사진 제판, 합성 원료, 분석용 시약, 갑상샘 질환의 치료, 만성 호흡기 질환의 치료를 위한 거담제 등

[유해 위험 문구]

- 눈에 심한 자극을 일으킬 수 있음
- 태아 또는 생식 능력에 손상을 일으킬 수 있음

[피해야 할 조건 및 물질]

피해야 할 조건	열, 스파크, 화염
피해야 할 물질	가연성 물질, 환원성 물질

● 아황산수소 나트륨(NaHSO₃)

[일반 정보]

- 분자량: 104.1
- 끓는점: 104 °C, 녹는점: 0 °C

[유해 위험 문구]

- 삼키면 유해함
- 흡입하면 알레르기성 반응, 천식, 호흡 곤란을 일으킬 수 있음
- 호흡기계 자극을 일으킬 수 있음

[피해야 할 조건 및 물질]

피해야 할 조건	열
----------	---

● 염화 수소(HCl)

[일반 정보]

- 분자량: 36.5
- 끓는점: -85°C , 녹는점: -114°C

[유해 위험 문구]

- 고압 가스를 포함하므로 가열하면 폭발할 수 있음
- 삼키면 유해함
- 피부에 심한 화상과 눈에 손상을 일으킬 수 있음
- 흡입하면 알레르기성 반응, 천식, 호흡 곤란을 일으킬 수 있음

[피해야 할 조건 및 물질]

피해야 할 조건	열
피해야 할 물질	물

● 염화 코발트 육수화물($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)

[일반 정보]

- 분자량: 237.9
- 녹는점: 87°C
- 주요 용도: 건습 지시약, 도자기 착색제, 도금, 촉매의 제조, 보건용 의약품, 독가스의 흡착제 등

[유해 위험 문구]

- 삼키면 유해함
- 유전적인 결함을 일으킬 수 있음
- 암을 일으킬 수 있음

[피해야 할 조건 및 물질]

피해야 할 조건	열
피해야 할 물질	• 가연성 물질, 환원성 물질 • 금속

● 이산화 망가니즈(MnO_2)

[일반 정보]

- 분자량: 86.9
- 녹는점: 535°C
- 주요 용도: 합금, 건전지 제조, 유리, 잉크, 도자기, 도료 등

[피해야 할 조건 및 물질]

피해야 할 조건	열, 스파크, 화염
피해야 할 물질	가연성 물질, 환원성 물질

● 인산(H_3PO_4)

[일반 정보]

- 분자량: 98.0
- 끓는점: 158°C , 녹는점: 42°C

[유해 위험 문구]

- 삼키면 유해함
- 피부에 심한 화상과 눈에 손상을 일으킬 수 있음
- 호흡기계 자극을 일으킬 수 있음

● 탄산수소 나트륨(NaHCO_3)

[일반 정보]

- 분자량: 84.0
- 녹는점: 50°C
- 주요 용도: 다수의 나트륨염 제조, 이산화 탄소 발생제, 베이킹파우더, 소화제, 제산제 등

[피해야 할 조건 및 물질]

피해야 할 조건	열, 스파크, 화염
피해야 할 물질	• 가연성 물질 • 자극성, 독성 가스

● 황산 칼륨(K_2SO_4)

[일반 정보]

- 분자량: 174.3
- 끓는점: 1698°C , 녹는점: 1069°C

[유해 위험 문구]

- 호흡기계 자극을 일으킬 수 있음

[피해야 할 조건 및 물질]

피해야 할 조건	열, 스파크, 화염
피해야 할 물질	가연성 물질, 환원성 물질



I 물질의 세 가지 상태와 용액

1. 기체, 액체, 고체

01 기체

15쪽 ? 일정한 온도에서 일정량의 기체의 PV값은 일정하다.
 $1 \text{ atm} \times 50 \text{ mL} = x \text{ atm} \times 20 \text{ mL}, x = 2.5$

답 2.5 atm

16쪽 ? 압력이 일정할 때 기체의 부피와 온도의 비는 항상 일정하다. 27°C 는 300 K, -3°C 는 270 K이므로,

$$\frac{V}{T} = \frac{2 \text{ L}}{300 \text{ K}} = \frac{x \text{ L}}{270 \text{ K}} = 1.8 \text{ L}$$

답 1.8 L

18쪽 ? 기체의 몰수 $n \propto \frac{PV}{T}$ 이다. 0°C , 1 기압에서 22.4 L 속에 1몰의 기체가 들어 있는데, 주어진 조건은 압력이 2배, 부피가 $\frac{1}{2}$ 배이고, 온도는 같으므로 들어 있는 이산화 탄소 분자의 몰수는 1몰이다.

답 1몰

20쪽 **유제** 주어진 조건을 압력은 atm, 온도는 K로 나타낸다. 기체의 몰수 $n = \frac{PV}{RT}$ 이므로, P 는 $\frac{829}{760}$ atm, V 는 65 L, T 는 298 K를 대입하면,

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{\frac{829}{760} \text{ atm} \times 65 \text{ L}}{0.082 \text{ atm} \cdot \text{L} / (\text{mol} \cdot \text{K}) \times 298 \text{ K}} \approx 2.9 \text{ mol}$$

답 2.9몰

22쪽 **유제** 부분 압력은 전체 압력에 몰 분율을 곱하여 구할 수 있다.

답 질소: 0.624 기압, 산소: 0.168 기압, 아르곤: 0.008 기압

23쪽 평가하기

1 **답** 기체의 몰수는 기체의 질량을 분자량으로 나눈 값이고, 기체의 밀도는 기체의 질량을 부피로 나눈 값이다. 따라서 이상 기체 방정식을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

$$PM = \frac{w}{V}RT = dRT$$

기체의 밀도(d)는 $\frac{PM}{RT}$ 이므로 기체의 온도가 낮을수록, 압력이 클수록, 분자량이 클수록 기체의 밀도가 크다.

2 혼합 기체의 전체 압력은 각 기체의 부분 압력의 합과 같고, 각 기체의 부분 압력은 기체의 몰수에 비례한다. 질소 기체 5.6 g은 0.2몰이고, 산소 기체 3.2 g은 0.1몰이다. 질소 0.2몰의 부분 압력이 300 mmHg이므로 산소 0.1몰의 부분 압력은 150 mmHg이고, 혼합 기체의 전체 압력은 300 mmHg + 150 mmHg = 450 mmHg이다.

답 450 mmHg

02 분자 간 상호 작용

32쪽 ? **답** 겨울철 수도관 속 물이 얼면 수도관이 터진다.

암석 틈에 스며든 물이 얼면 암석이 쪼개져 풍화된다.

겨울철 호수나 강의 물은 표면부터 언다.

빙산이 바닷물 위에 뜬다.

36쪽 평가하기

1 **답** 극성 분자는 쌍극자를 가지므로 극성 물질의 분자 사이에는 쌍극자-쌍극자 힘이 작용하며, 순간 쌍극자와 유발된 순간 쌍극자 사이의 인력인 분산력이 작용한다. 분자 내에 F, O, N 원자에 결합한 H 원자가 있을 경우 수소 결합력이 작용할 수도 있다.

2 (1) 분자량이 클수록 대체로 분산력이 크다.

답 $\text{H}_2\text{O} < \text{H}_2\text{S} < \text{H}_2\text{Se} < \text{H}_2\text{Te}$

(2) **답** H_2O , 물은 분자 사이에 수소 결합이 형성되므로 분자 사이의 인력이 매우 크다. 따라서 물의 끓는점이 가장 높다.

03 액체와 고체

44쪽 평가하기

1 **답** 브로민, 일반적으로 분자 사이에 작용하는 인력이 작은 물질일수록 증기 압력이 크고, 분자 사이에 작용하는 인력이 작은 물질일수록 끓는점이 낮다. 브로민과 에탄올 가운데 브로민의 끓는점이 더 낮으므로, 브로민의 증기 압력이 더 크다.

2 **답** 이온 결정은 이온 결합, 분자 결정은 분자 사이의 인력, 공유 결정은 공유 결합, 금속 결정은 금속 결합으로 이루어진다.



스스로 확인하기

46쪽~47쪽

핵심 내용 정리하기

- 기체 ㉠ 반비례 ㉡ 절대 온도 ㉢ 이상 기체 방정식 ㉣ nRT
 ㉤ 물 분율
 분자 간 상호 작용 ㉦ 쌍극자·쌍극자 힘 ㉧ 분산력 ㉨ 수소 결합 액체와 고체 ㉩ 증기 압력 ㉪ 응축 ㉫ 분자 결정 ㉬ 체심 입방

개념 확장하기

- 1 (1) 꼭지를 열면 He은 부피가 2 L에서 5 L로, Ne은 3 L에서 5 L로 변한다. 이때 전체 압력은 각 기체의 부분 압력을 합하여 구할 수 있다.
답 He의 부분 압력: 0.4 기압, Ne의 부분 압력: 1.2 기압, 혼합 기체의 전체 압력: 1.6 기압
 (2) 일정한 온도에서 기체의 몰수는 압력 × 부피에 비례하므로, He과 Ne의 몰비는 1 : 3이다.
답 He의 몰 분율: 0.25, Ne의 몰 분율: 0.75
- 2 (1) 일정한 온도와 압력에서 기체의 몰수는 부피에 비례한다.
답 1 : 2
 (2) (나)에서 수소와 혼합 기체의 몰비는 1 : 3이고 (가)에서 수소와 산소의 몰비가 1 : 2이므로 산소와 추가로 넣은 메테인의 몰비는 2 : 1이다. 혼합 기체에서 성분 기체의 부분 압력은 전체 압력에 몰 분율을 곱해서 구할 수 있으므로 산소의 부분 압력은 전체 압력의 $\frac{2}{3}$, 메테인의 부분 압력은 전체 압력의 $\frac{1}{3}$ 이다. 피스톤을 경계로 수소와 혼합 기체의 압력이 같으므로 수소, 산소, 메테인의 압력의 비는 3 : 2 : 1이다.
답 3 : 2 : 1
 (3) **답** 메테인의 연소 반응은 $\text{CH}_4(g) + 2\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{CO}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}(g)$ 이다. 반응 전과 반응 후의 기체의 분자 수 변화가 없으므로 압력이 변하지 않으며, 피스톤은 이동하지 않는다.
- 3 물 분자 사이의 수소 결합 때문에 분자 사이의 인력이 커서 비열이 크고 모세관 현상이 나타나며, 끓는점이 매우 높다.
답 나, 다, 르
- 4 이온 결정에 힘을 가하면 이온 층이 밀리면서 같은 전하를 띤 이온 사이에 반발력이 작용하므로 쉽게 쪼개지거나 부서진다. 얼음과 드라이아이스는 분자 결정이고, 금속 결정은 금속 결합으로 형성된다.
답 가, 르

2. 용액

01 용액의 농도

49쪽 ? $\frac{20 \text{ g}}{(180 + 20) \text{ g}} \times 100 = 10 \%$

답 10 %

50쪽 ? $0.1 \text{ M} = \frac{x \text{ g}}{40 \text{ g/mol} \times 0.5 \text{ L}}, x = 2$

답 2 g

? $\frac{2 \text{ g}}{40 \text{ g/mol} \times 0.5 \text{ kg}} = 0.1 \text{ m}$

답 0.1 m

52쪽 **유제** · 0.3 m 포도당 수용액을 물 1 kg에 포도당 0.3 mol, 즉 54 g($0.3 \text{ mol} \times 180 \text{ g/mol}$)이 녹아 있는 용액이라고 하면, 용액의 전체 질량은 1054 g이다. 수용액의 밀도가 1.02 g/mL이므로, 용액의 부피는

$$\frac{1054 \text{ g}}{1.02 \text{ g/mL}} \approx 1033 \text{ mL} = 1.033 \text{ L}$$

따라서 용액의 몰 농도는 $\frac{0.3 \text{ mol}}{1.033 \text{ L}} \approx 0.29 \text{ M}$ 이다.

답 0.29 M

52쪽 평가하기

- 1 **답** 0.1 m 포도당 수용액을 만들 때 필요한 포도당의 질량을 $x \text{ g}$ 이라고 하면, $\frac{x/180}{0.5} = 0.1$ 이므로 $x = 9$ 이다. 시약 포지를 이용하여 포도당 9 g을 측정하고 비커를 이용하여 물 500 g을 측정된 뒤, 비커의 물에 측정된 포도당을 넣고 유리 막대로 저어 잘 녹여 준다.
- 2 **답** 퍼센트 농도, ppm 농도, 몰랄 농도 모두 용질의 질량을 이용하는 농도이므로 온도나 압력에 관계없이 일정하다는 공통점이 있다. 그러나 몰랄 농도는 퍼센트 농도나 ppm 농도와는 달리 용질의 몰수를 이용하는 농도이므로 몰 농도와 함께 화학에서 주로 쓰인다.

02 묽은 용액의 성질

54쪽 ? $P_{\text{용액}} = X_{\text{용매}} \times P^\circ$
 $= \frac{180/18}{180/18 + 18/180} \times 23.8 \text{ mmHg} \approx 23.6 \text{ mmHg}$

답 23.6 mmHg



56쪽 **유제** $\Delta T_f = K_f \times m$

$$= 1.86 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{kg/mol} \times \frac{2.2 \text{ g}}{44 \text{ g/mol} \times 0.1 \text{ kg}} = 0.93 \text{ }^\circ\text{C}$$

따라서 어는점은 $0 \text{ }^\circ\text{C} - 0.93 \text{ }^\circ\text{C} = -0.93 \text{ }^\circ\text{C}$

답 $-0.93 \text{ }^\circ\text{C}$

56쪽 **?** $M = \frac{K \times 1000 \times w}{W \times \Delta T}$

$$= \frac{4.9 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{kg/mol} \times 1000 \text{ g/kg} \times 0.8 \text{ g}}{5 \text{ g} \times \{5.5 \text{ }^\circ\text{C} - (-0.62 \text{ }^\circ\text{C})\}} \approx 128 \text{ g/mol}$$

답 128

59쪽 **?** $\pi = CRT$

$$= \frac{9 \text{ g}}{180 \text{ g/mol}} \times 0.082 \text{ atm} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \times 293 \text{ K}$$

$\approx 2.4 \text{ atm}$

답 2.4 atm

60쪽 **유제** $M = \frac{w \times R \times T}{\pi \times V}$

$$= \frac{2 \text{ g} \times 0.082 \text{ atm} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \times 298 \text{ K}}{0.0072 \text{ atm} \times 0.1 \text{ L}}$$

$\approx 68000 \text{ g/mol}$

답 68000

61쪽 **평가하기**

- 답** 용액은 순수한 용매에 비해 증기 압력이 낮고, 끓는점 오름과 어는점 내림이 나타난다. 따라서 바닷물은 순수한 물보다 증기 압력이 낮고, 끓는점은 높으며 어는점은 낮다.
- 답** 바닷물의 농도가 더 높으므로, 물이 반투막을 통과하여 순수한 물에서 바닷물 쪽으로 이동하는 삼투 현상이 일어난다.



소스로 확인하기

64쪽~65쪽

핵심 내용 정리하기

용액의 농도 ㉠ 100 ㉡ 1000000 ㉢ 1 L ㉣ M

㉤ 용매 1 kg ㉥ 질량 ㉦ 부피 플라스크

묽은 용액의 성질 ㉧ 라울 ㉨ 라울 법칙 ㉩ 몰랄 농도

㉪ 반투막 ㉫ 삼투압 ㉬ 물 농도

개념 확장하기

1 $\frac{120 \times 0.001}{600} \times 100 = 0.02(\%)$,

$\frac{120 \times 0.001}{600} \times 1000000 = 200(\text{ppm})$

답 0.02 %, 200 ppm

2 **답** $B > C > A$

3 모두 몰랄 농도로 변환하여 비교한다. **답** $\text{㉠} > \text{㉡} > \text{㉢}$

4 (1) B를 녹인 용액의 수면이 더 높아졌으므로, B를 녹인 용액이 더 높은 농도이다.

답 $A < B$

(2) 같은 질량을 넣었으나 B의 용액의 몰 농도가 더 크므로 B의 분자량이 더 작다.

답 $A > B$

5 설탕물의 농도가 커지면 h 는 증가하고, 증기 압력은 액체의 양과 관계없으므로 물의 양을 늘려도 h 는 변함없다.

답 ㄱ



다윈 마무리

66쪽~69쪽



기초 개념 적용하기

1 기체의 압력은 부피에 반비례하며, 절대 온도와 기체의 몰수에 비례한다.

답 $P_1 : \frac{1}{3}$ 기압, $P_2 : \frac{3}{2}$ 기압

2 **답** (1) ○ (2) × (3) × (4) ○

얼음이거나 물의 온도가 높아질수록 분자 운동이 활발해지므로 평균 분자 운동 에너지가 증가한다. 얼음이 물로 상태가 변할 때 수소 결합이 줄어들면서 육각형 구조가 허물어진다. 일정한 양의 물은 4 °C에서 부피가 가장 작으며 밀도는 가장 크다.

3 (1) 증기 압력이 작은 물질일수록 끓는점이 높다. **답** 물

(2) **답** 아세톤의 증기 압력이 에탄올보다 더 크다. 즉, 에탄올의 분자 사이의 인력이 더 크다. 에탄올 분자 사이에는 수소 결합이 작용하기 때문이다.

4 3 % 요소 수용액은 물 97 g에 요소 3 g을 녹인 용액이다. 몰랄 농도로 환산하면 약 0.515 m이므로, 요소 수용액의 몰랄 농도가 설탕물보다 크다. 농도가 커면 증기 압력은 낮아지므로 요소 수용액이 들어 있는 쪽의 증기 압력이 더 작다. 따라서 X의 위치는 위쪽으로 이동한다.

답 크고, 위쪽



개념 응용력 키우기

5 (1) 온도, 부피가 같을 때 기체의 압력은 기체의 몰수에 비례한다.

답 1 : 3 : 2

(2) 기체의 질량이 같을 때 기체의 분자량과 기체의 몰수는 반비례한다.

답 6 : 2 : 3

(3) **답** 고정 장치를 풀면 각 기체의 압력이 같아질 때까지 피스톤이 이동한다. 이때 각 기체의 부피는 몰수에 비례하므로 기체 A, B, C의 부피비는 1 : 3 : 2이다. 따라서 피스톤 a는 왼쪽으로 이동하고, 피스톤 b는 처음 위치와 같다.

6 아세트산은 극성을 띠며, 분자 사이에 수소 결합을 형성하므로 끓는점이 높다. 또한 물에 용해되었을 때 물 분자와 수소 결합을 형성할 수 있다.

답 가, 나, 다

7 (1) **답** 공기가 채워져 있는 상태에서 측정된 압력은 공기 압력과 증기 압력의 합이므로, 증기 압력을 측정하려면 공기를 모두 빼내어 진공 상태로 만들어야 한다.

(2) **답** 다이에틸 에테르는 에탄올보다 분자 사이의 인력이 작으므로 증기 압력이 크다. 따라서 h 는 에탄올에서 측정된 값보다 더 커질 것이다.

8 B의 기울기가 더 크므로 몰랄 오름 상수는 B가 더 크다. 또한 그래프에서 용액 (가)와 용액 (나)의 기울기가 다른 까닭은 용매의 종류가 다르기 때문이다.

답 나

핵심 역량 키우기

9 (1) **답** 눈금 실린더 속 기체의 압력과 대기압이 같아지도록 수면의 높이를 맞추어야 한다.

(2) 눈금 실린더 속 기체는 뷰테인 기체와 수증기의 혼합 기체이므로 뷰테인 기체의 부분 압력은 대기압 - 수증기압이다.

답 $P_1 - P_2$

(3) **답**
$$M = \frac{wRT}{PV} = \frac{1000 \times (w_1 - w_2) \times R \times (t + 273)}{(P_1 - P_2) \times V}$$

10 **[도움말]** 외상성 질식사의 원인을 호흡의 원리와 관련지어 설명한 뒤, 외상성 질식사를 예방할 수 있는 다양한 방법을 떠올려 본다. 또한 사람이 많이 모이는 장소에서 외상성 질식사가 발생하지 않도록 하는 근본적인 대책을 서술한다.

11 (1) **답** 물이 얼음이 될 때 수소 결합 때문에 물 분자가 육각형 모양으로 규칙적으로 배열되면서 빈 공간이 많아져 부피가 커진다. 암석 틈에 스며든 물이 얼면 부피가 커지면서 암석을 쪼개는 썩기 작용이 일어난다.

(2) **[도움말]** 얼음의 썩기 작용 때문에 일어나는 지형의 변화, 주빙하 지역에 나타나는 구조토 등을 중심으로 검색하여 발표한다.

12 (1) 물 1 kg에 모든 물질을 100 g씩 녹인다고 가정하고, 전해질은 100 % 이온화한다고 가정하여 어는점 내림을 구한다. 경제적인 문제를 고려하려면 각 물질 1원의 질량에 해당하는 어는점 내림을 비교한다.

물질	화학식	화학식량	몰랄 농도 ($\frac{100}{M}$)	어는점 내림	100 g당 가격	1원의 질량에 해당하는 어는점 내림
포도당	$C_6H_{12}O_6$	180	0.56	$0.56 K_f$	280	$0.002 K_f$
소금	NaCl	58.5	1.71	$3.42 K_f$	256	$0.013 K_f$
요소	$(NH_2)_2CO$	60	1.67	$1.67 K_f$	170	$0.010 K_f$
염화 칼슘	$CaCl_2$	111	0.9	$2.7 K_f$	180	$0.015 K_f$
질산 알루미늄	$Al(NO_3)_3$	213	0.47	$1.9 K_f$	290	$0.006 K_f$

답 1원의 질량에 해당하는 어는점 내림이 가장 큰 염화 칼슘이 제설제로 알맞은 물질이다.

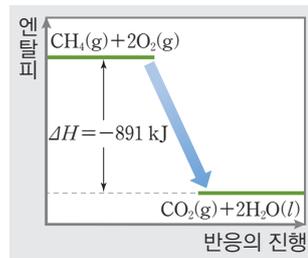
(2) **[예시 답안]** 각 물질이 물에 녹을 때 출입하는 열, 각 물질이 물에 녹을 때 생성될 가능성이 있는 다른 물질의 성질 등을 더 조사할 필요가 있다.

II 반응엔탈피와 화학 평형

1. 반응엔탈피

01 엔탈피와 열화학 반응식

76쪽 **?** **답**



77쪽 **?** **답**





78쪽 평가하기

- 1 답 $\Delta H < 0$ 이므로 반응물의 엔탈피 합이 생성물의 엔탈피 합보다 크다.
- 2 답 $\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H_f^\circ = -285.8 \text{ kJ}$

02 결합 에너지와 헤스 법칙

81쪽 ?

$$\Delta H \approx \{4 \times (\text{C-H 결합 에너지}) + 2 \times (\text{O=O 결합 에너지})\} - \{2 \times (\text{C=O 결합 에너지}) + 2 \times 2 \times (\text{O-H 결합 에너지})\} = \{4 \times 410 + 2 \times 498\} - \{2 \times 732 + 2 \times 2 \times 460\} = -668 \text{ (kJ)}$$

답 -668 kJ

84쪽 유제·

$$\Delta H_3 = -\Delta H_1 + \Delta H_2 = 187.8 \text{ kJ} - 285.8 \text{ kJ} = -98 \text{ kJ}$$

답 -98 kJ

85쪽 ?

$$\begin{aligned} \Delta H^\circ &= \{3 \times (\text{CO}_2 \text{의 표준 생성 엔탈피}) \\ &\quad + 4 \times (\text{H}_2\text{O} \text{의 표준 생성 엔탈피})\} \\ &\quad - \{(\text{C}_3\text{H}_8 \text{의 표준 생성 엔탈피}) \\ &\quad + 5 \times (\text{O}_2 \text{의 표준 생성 엔탈피})\} \\ &= \{3 \times (-393.5) + 4 \times (-285.8)\} \\ &\quad - \{(-103.8) + 5 \times 0\} \\ &= -2219.9 \text{ (kJ)} \end{aligned}$$

답 -2219.9 kJ

85쪽 평가하기

- 1 답 반응엔탈피는 반응물의 결합 에너지 합에서 생성물의 결합 에너지 합을 뺀 값과 같다.
- 2 주어진 반응의 반응엔탈피를 각각 ΔH_1 , ΔH_2 이라고 하면, 헤스 법칙에 따라 구하고자 하는 반응의 반응엔탈피 $\Delta H = 3\Delta H_2 - \Delta H_1 = 3 \times (-283 \text{ kJ}) - (-824 \text{ kJ}) = -25 \text{ kJ}$ 이다.
답 -25 kJ



※로 확인하기

86쪽~87쪽

핵심 내용 정리하기

- 엔탈피와 열화학 반응식 ㉠ 엔탈피 ㉡ 반응엔탈피 ㉢ 생성물 ㉣ 반응물 ㉤ 열화학 반응식 ㉥ 표준 생성 엔탈피
- ㉦ $Q = c \times m \times \Delta t$
- 결합 에너지와 헤스 법칙 ㉧ 결합 에너지 ㉨ 반응엔탈피 ㉩ 헤스 법칙 ㉪ 생성물 ㉫ 반응물

개념 확장하기

- 1 발열 반응은 반응물의 엔탈피 합이 생성물의 엔탈피 합보다 커서 $\Delta H < 0$ 이고, 열을 방출하기 때문에 주위의 온도가 높아진다.
답 ㄱ, ㄷ
- 2 열화학 반응식에서 반응물과 생성물의 엔탈피 변화(ΔH)는 알 수 있지만, 반응물과 생성물의 엔탈피는 알 수 없다.
답 ㄱ, ㄴ, ㄹ
- 3 반응엔탈피는 (반응물의 결합 에너지 합) - (생성물의 결합 에너지 합)으로 구할 수 있다.
 $\Delta H = \{(\text{H-H}) + (\text{O=O})\} - \{2 \times (\text{O-H}) + (\text{O-O})\} = (436 + 498) - (2 \times 460 + 180) = -166 \text{ (kJ)}$
답 -166 kJ
- 4 주어진 반응의 반응엔탈피를 각각 ΔH_1 , ΔH_2 이라고 하면, 헤스 법칙에 따라 구하고자 하는 반응의 반응엔탈피 $\Delta H = \Delta H_1 - \frac{1}{2}\Delta H_2 = -814.1 \text{ kJ} - \frac{1}{2} \times (-1269.8 \text{ kJ}) = -179.2 \text{ kJ}$ 이다.
답 -179.2 kJ

2. 화학 평형

01 화학 평형과 평형 상수

91쪽 ?

$$(1) \text{ 답 } K = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]} \quad (2) \text{ 답 } K = \frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{N}_2][\text{H}_2]^3}$$

- 92쪽 유제· A 0.5몰이 남았으므로 A 0.5몰과 B 1.0몰이 반응하여 C 1.0몰이 생성되었다. 따라서 평형에서의 몰수는 A 0.5몰, B 1.0몰, C 1.0몰이다. $K = \frac{1^2}{0.5 \times 1^2} = 2$
답 $K = 2$

- 94쪽 유제· $Q = \frac{8^2}{4^2 \times 4} = 1$, $Q < K$ 이므로 반응은 정반응 쪽으로 우세하게 진행된다.
답 정반응 쪽으로 우세하게 진행된다.

94쪽 평가하기

- 1 답 반응물의 농도는 점점 감소하고, 생성물의 농도는 점점 증가하다가 동적 평형 상태가 되면 반응물과 생성물의 농도가 일정하게 유지된다.

- 2 NH₃ 3몰이 생성되려면 H₂ 4.5몰, N₂ 1.5몰이 반응해야 한다. 따라서 평형 상태에서 각 화합물의 농도는 [H₂]=0.5 M, [N₂]=1.5 M, [NH₃]=3 M이고, 평형 상수

$$K = \frac{3^2}{0.5^3 \times 1.5} = 48 \text{이다.}$$

각 기체가 3몰씩 들어 있으면 $Q = \frac{3^2}{3^3 \times 3} = \frac{1}{9} < K$ 이므로 반응은 정반응 쪽으로 우세하게 진행된다.

답 K=48, 정반응 쪽으로 우세하게 진행된다.

02 평형 이동

102쪽 평가하기

- 1 답 증가한 반응물의 양이 감소하는 방향인 정반응 쪽으로 평형이 이동하여 새로운 평형에 도달한다.
- 2 반응 용기의 부피가 증가하면 기체의 압력이 감소하므로 기체의 몰수가 증가하는 정반응 쪽으로 평형이 이동하여 새로운 평형에 도달한다. 이때 온도가 일정하므로 평형 상수는 변하지 않는다.
- 답 정반응 쪽으로 평형 이동, 평형 상수는 변하지 않는다.

03 상평형

107쪽 평가하기

- 1 답 두 가지 상태가 평형을 이루는 온도와 압력을 나타내는 곡선이다. (증기 압력 곡선은 액체와 기체, 용해 곡선은 고체와 액체, 승화 곡선은 고체와 기체가 평형을 이루는 온도와 압력을 나타낸다.)
- 2 답 물의 상평형 그림에서 용해 곡선은 음의 기울기를 나타내므로 일정한 온도에서 압력을 높이면 얼음이 녹아 물이 된다.



소스로 확인하기

108쪽~109쪽

핵심 내용 정리하기

화학 평형과 평형 상수 ㉠ 가역 반응 ㉡ 화학 평형 ㉢ 동적 평형
 ㉣ 평형 상수 ㉤ 반응 지수 ㉥ 역반응
 평형 이동 ㉦ 정반응 ㉧ 감소 ㉨ 역반응 ㉩ 감소
 ㉪ 르샤틀리에 원리
 상평형 ㉫ 온도(압력) ㉬ 압력(온도) ㉭ 낮아진다

개념 확장하기

- 1 화학 평형 상태는 정반응 속도와 역반응 속도가 같은 동적 평형 상태로 반응물과 생성물의 농도가 일정하다.
- 답 ㄱ, ㄴ, ㄷ

- 2 (1) 평형 상태에서 NO, O₂, NO₂의 농도가 각각 0.3 M, 0.1 M, 0.2 M이므로 평형 상수 $K = \frac{0.2^2}{0.3^2 \times 0.1} = \frac{40}{9}$ 이다.

답 $\frac{40}{9}$

- (2) 반응 지수 $Q = \frac{1^2}{1^2 \times 1} = 1 < K$ 이므로 반응은 정반응 쪽으로 우세하게 진행된다.

답 정반응 쪽으로 우세하게 진행된다.

- 3 생성물(Cl₂)을 첨가하면 생성물을 감소시키는 역반응 쪽으로, 반응 용기의 부피를 줄이면 압력이 증가하므로 기체 몰수가 감소하는 역반응 쪽으로, 온도를 높이면 흡열 반응인 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

답 ㄱ, ㄴ

- 4 (1) 높은 산은 기압이 낮으므로 물의 끓는점이 낮아져 쌀이 설익는다.

답 곡선 TA

- (2) 동결 건조 방법은 3중점 이하의 압력에서 얼음이 승화하는 성질을 이용한다.

답 곡선 TC

- (3) 얼음에 압력을 가하면 물이 된다.

답 곡선 TB

3. 산 염기 평형

01 산과 염기의 세기

- 114쪽 **유제** · x M의 HF가 이온화했다고 하면,

$$\text{이온화 상수 } K_a = \frac{x^2}{1-x} \approx \frac{x^2}{1} = 6.3 \times 10^{-4}$$

$$x = 2.5 \times 10^{-2} \text{ M}$$

따라서 평형 농도는 [H₃O⁺] = 2.5 × 10⁻² M이다.

답 [H₃O⁺] = 2.5 × 10⁻² M

- 115쪽 **?** **답** 브뢴스테드 · 로리 산: HCN, H₃O⁺

브뢴스테드 · 로리 염기: CN⁻, H₂O

K_a가 매우 작으므로 역반응이 우세하여 평형 상태에서 반응물이 더 많이 존재한다. 따라서 H₃O⁺이 HCN보다 강한 산이고, 상대적으로 약한 산의 짝염기인 CN⁻이 H₂O보다 강한 염기이다.

117쪽 평가하기

- 1 농도 변화량을 x라고 하면, 평형 상태에서 반응물과 생성물의 농도는 각각 [NH₃] = 0.1 - x, [NH₄⁺] = x, [OH⁻] = x



이다. 따라서 $K_b = \frac{x^2}{0.1 - x} = 1.8 \times 10^{-5}$ 이고, 약염기는 x 가 매우 작으므로 $0.1 - x \approx 0.1$ 이라고 두면 $x = 1.3 \times 10^{-3} \text{ M}$ 이다.

답 $1.3 \times 10^{-3} \text{ M}$

- 2 강산과 강염기가 중화 반응하여 생긴 염의 수용액은 중성, 강산과 약염기가 반응하여 생긴 염의 수용액은 산성, 약산과 강염기가 반응하여 생긴 염의 수용액은 염기성을 나타낸다.

답 중성: NaCl, K₂SO₄, 산성: (NH₄)₂SO₄, 염기성: NaHCO₃, HCOONa

02 완충 용액

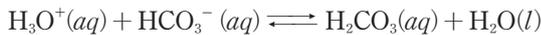
121쪽 ? **답** $\text{H}_3\text{O}^+(aq) + \text{CN}^-(aq) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(l) + \text{HCN}(aq)$

123쪽 ? **답** 약산: H₂CO₃, 약산의 짝염기: HCO₃⁻

124쪽 평가하기

- 1 **답** 완충 용액은 약산과 약산의 짝염기 또는 약염기와 약염기의 짝산이 함께 섞여 있는 용액이다.

- 2 **답** pH가 낮아지면 H₃O⁺ 농도가 높아지므로 H₂CO₃의 이온화 평형에서 역반응이 우세하게 일어나 증가한 H₃O⁺이 없어진다.



스스로 확인하기

126쪽~127쪽

핵심 내용 정리하기

산과 염기의 세기 ㉠ 이온화 상수 ㉡ 짝산-짝염기 ㉢ 물(염) ㉣ 염(물) ㉤ 가수 분해 ㉥ 염기성
완충 용액 ㉦ 공통 이온 효과 ㉧ 약산(약염기) ㉨ 약산의 짝염기(약염기의 짝산) ㉩ A⁻ ㉪ HA ㉫ 탄산 ㉬ 탄산수소 이온

개념 확장하기

- 1 이온화 상수가 클수록 산의 세기가 강하고, 같은 농도일 때 이온화되는 양이 많으므로 용액 속에 포함된 이온의 양도 많다. 용액에 흐르는 전류의 세기는 이온의 양이 많을수록 크다.

답 ㄱ, ㄷ

- 2 (1) **답** F⁻, ClO⁻
(2) 산의 세기가 강할수록 짝염기의 세기는 약하다. HF의 이온화 상수가 HClO보다 크므로 HF가 HClO보다 강한 산이다. 따라서 짝염기의 세기는 ClO⁻이 F⁻보다 강하다.

답 ClO⁻이 F⁻보다 강하다. 짝산의 세기가 HF가 HClO보다 강하기 때문이다.

- 3 CH₃COOH 수용액에 CH₃COONa를 녹이면 공통 이온 효과로 CH₃COO⁻의 농도를 줄이는 방향으로 평형이 이동하므로 역반응이 우세하게 진행된다. 따라서 용액 속 H₃O⁺의 총개수는 감소하고, CH₃COOH의 총개수는 증가한다. 이때 온도가 일정하므로 이온화 상수는 변하지 않는다.

답 ㄴ

- 4 (1) **답** HCl이 물과 반응하여 생긴 H₃O⁺이 용액 속의 CH₃COO⁻과 반응하여 없어지므로 용액의 pH가 크게 변하지 않는다.

(2) **답** NaOH이 이온화하여 생긴 OH⁻이 용액 속의 CH₃COOH과 반응하여 없어지므로 용액의 pH가 크게 변하지 않는다.

단원 마무리

128쪽~131쪽

기초 개념 적용하기

- 1 **답** $2\text{CO}_2(g) \longrightarrow 2\text{CO}(g) + \text{O}_2(g) \quad \Delta H = +566.0 \text{ kJ}$

- 2 각 화합물의 현재 농도가 각각 [A₂] = 6 M, [B₂] = 2 M, [A₂B] = 2 M이므로, 반응 지수 $Q = \frac{2^2}{6^2 \times 2} \approx 0.056$ 이다. $Q < K$ 이므로 반응은 역반응 쪽으로 우세하게 진행된다.
답 반응이 역반응 쪽으로 우세하게 진행된다.

- 3 (1) **답** 기체 A를 더 넣으면 기체 A가 없어지는 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

(2) **답** 온도를 높이면 흡열 반응인 정반응 쪽으로 평형이 이동한다.

(3) **답** 혼합 기체의 부피를 감소시키면 압력이 증가하므로 기체의 몰수가 감소하는 역반응 쪽으로 평형이 이동한다.

- 4 상평형 그림에서 -56.6 °C, 6 기압은 고체 영역이므로 이산화 탄소는 고체로 존재하고, 1 기압은 3중점의 압력보다 낮으므로 드라이아이스는 1 기압에서 승화한다. 또한 3중점의 압력인 5.1 기압보다 낮은 압력에서 이산화 탄소는 액체로 존재할 수 없다.

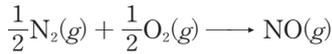
답 ㄱ, ㄴ, ㄷ

- 5 이온화 상수가 클수록 강한 산이다. 산의 세기가 강할수록 짝염기의 세기는 약하다. 약산의 이온화 평형에서 H₂O은 브뢴스테드-로리 염기로 작용한다.

답 ㄱ, ㄷ

개념 응용력 키우기

6 (1) NO의 생성 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.



그림에서 $\text{N}_2(g) + \text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{NO}(g)$ 반응의 반응엔탈피가 a kJ이므로 NO의 생성 반응의 반응엔탈피는 $\frac{1}{2}a$ kJ이다.

답 $\frac{1}{2}a$

(2) 주어진 반응은 다음 두 반응의 합과 같다.



따라서 주어진 반응의 반응엔탈피는 $(a-b)$ kJ이다.

답 $a-b$

7 (1) **답** 진한 염산(HCl(aq))을 넣으면 용액 속 Cl^- 의 농도가 증가하므로 Cl^- 의 농도가 감소하는 정반응 쪽으로 평형이 이동하기 때문에 용액의 색이 푸른색으로 변한다.

(2) **답** 과정 (다)에서 얼음물에 넣었을 때 역반응 쪽으로 평형이 이동하여 용액의 색이 다시 붉은색으로 변하였으므로 역반응이 발열 반응이다. 따라서 주어진 반응은 정반응이 흡열 반응이다.

8 (1) 반응한 B의 몰수를 x 몰이라고 하면 반응의 진행에 따른 몰수 변화는 다음과 같다.

	$2\text{A}(g) + \text{B}(g) \rightleftharpoons 2\text{C}(g)$	
처음 몰수	5 3 0	
반응 몰수	$-2x$ $-x$ $+2x$	
평형 몰수	$5-2x$ $3-x$ $2x$	

전체 몰수가 6몰이므로

$(5-2x) + (3-x) + 2x = 8-x = 6$, $x = 2$ 이다. 따라서 평형 상태에서 기체 C의 몰수는 4몰이다.

답 4몰

(2) 평형 상태에서 A와 B는 1몰, C는 4몰이다. 전체 부피는 2 L이므로 이를 고려하여 평형 상수를 구하면

$$K = \frac{\left(\frac{4}{2}\right)^2}{\left(\frac{1}{2}\right)^2\left(\frac{1}{2}\right)} = 32 \text{이다.}$$

답 $K=32$

9 아세트산과 아세트산 나트륨으로 이루어진 완충 용액에 소량의 HCl을 넣으면 H_3O^+ 이 CH_3COO^- 과 반응하므로 용액 속 CH_3COO^- 의 농도는 감소한다. 온도가 일정하면 농도 변화와 관계없이 이온화 상수는 일정하다.

답 ㄱ, ㄴ

핵심 역량 키우기

10 (1) 1몰의 질량이 석탄(C)은 12 g, 천연가스(CH_4)는 16 g, 석유(C_8H_{18})는 114 g이므로 1 g을 연소시킬 때 석탄은 $\frac{393.5}{12} \approx 32.8$ kJ/g, 천연가스는 $\frac{890.5}{16} \approx 55.7$ kJ/g, 석유는 $\frac{5470.1}{114} \approx 48.0$ kJ/g의 열이 발생한다.

답 천연가스

(2) **답** CO_2 1몰이 생길 때 발생하는 에너지가 더 많을수록 친환경적인 연료라고 할 수 있다. 석탄은 CO_2 1몰당 393.5 kJ, 천연가스는 890.5 kJ, 석유는 $\frac{5470.1}{8} = 683.8$ kJ이므로 천연가스가 가장 친환경적인 연료라고 할 수 있다.

11 (1) **답** 높은 산에서는 기압이 낮아져 산소의 압력도 낮아지므로 산소의 압력이 높아지는 역반응 쪽으로 평형이 이동한다. 즉, 산소와 결합한 헤모글로빈의 양이 줄어들어 조직 세포까지 산소를 충분히 운반하지 못하게 된다.

(2) **예시 답안** 조직 세포에 산소를 충분히 공급하려고 혈중 헤모글로빈의 농도가 증가하였다. 헤모글로빈 농도가 증가하면 정반응 쪽으로 평형이 이동하여 산소와 결합한 헤모글로빈의 농도가 증가하므로 조직 세포에 산소를 더 많이 운반할 수 있다.

12 **예시 답안** (원인) 화석 연료가 연소할 때 생성되는 황산화물과 질소 산화물이 대기 중의 물방울에 녹아 각각 황산과 질산을 생성하기 때문이다.

(피해) 삼림의 황폐화, 토양의 산성화, 호수, 강의 산성화 때문에 수중 생물이 폐사하고, 대리석, 금속, 콘크리트로 된 건축물이 부식된다.

(대책) 개인: 대중교통을 이용하거나 전기를 아껴 쓰는 등 화석 연료의 사용을 줄인다.

정부: 천연가스 버스 사용, 자동차 배출 가스 검사 강화, 산성화된 토양이나 호수 중성화, 대체 에너지 개발

13 **답** 과호흡 증후군은 신체적, 정신적 원인으로 호흡으로 이산화 탄소가 과도하게 배출되어 나타나는 증상이다. 과호흡 때문에 이산화 탄소 배출량이 늘어나면 반응 (가)에서 평형이 역반응 쪽으로 이동하고, 반응 (나)와 (다)도 차례로 역반응 쪽으로 이동하여 혈액의 H_3O^+ 농도가 감소한다. 즉, 혈액의 pH가 높아진다. 이때 붓투를 입과 코에 대고 자신이 내신 숨을 다시 들이마시면 날숨에 들어 있는 이산화 탄소를 다시 마시게 되므로 혈액 속 이산화 탄소 농도를 높이는 데 도움이 된다.



III 반응 속도와 촉매

1. 반응 속도

01 반응 속도

140쪽 ? 답 0초~10초 사이

143쪽 ? (1) 답 N_2O_5 에 대해 1차 반응, 전체 반응 차수는 1차
 (2) 답 O_3 에 대해 1차 반응, NO 에 대해 1차 반응, 전체 반응 차수는 2차

144쪽 유제 · SO_2Cl_2 의 농도를 0.01에서 0.02로 2배 증가시키면 반응 속도는 2배 증가하고, SO_2Cl_2 의 농도를 0.01에서 0.04로 4배 증가시키면 반응 속도는 4배 증가한다. 따라서 반응 속도는 SO_2Cl_2 의 농도에 비례한다.

답 반응 속도식: $v = k[SO_2Cl_2]$

146쪽 평가하기

- 1 답 화학 반응이 진행될수록 반응물의 농도가 감소하므로 반응 속도는 시간이 지날수록 느려진다.
- 2 답 반응 속도식에서 반응 차수는 화학 반응식의 계수와는 관계가 없으므로 반응물의 농도를 변화시키면서 초기 반응 속도를 측정하는 실험으로 구할 수 있다.

02 활성화 에너지

150쪽 평가하기

- 1 답 화학 반응이 일어나려면 생성물이 생성되기에 적합한 방향으로 반응물끼리 충돌해야 하고, 반응물의 입자들 사이의 결합을 끊을 수 있을 만큼 충분한 에너지를 가지고 빠른 속도로 충돌해야 한다.
- 2 답 숯(C)의 연소 반응이 일어나려면 숯에서 탄소 원자와 탄소 원자 사이의 결합과 산소(O_2)에서 산소 원자와 산소 원자 사이의 결합을 끊을 수 있도록 최소한의 에너지를 공급해야 하므로 활성화 에너지에 해당하는 만큼의 에너지가 필요하다.



스스로 확인하기

152쪽~153쪽

핵심 내용 정리하기

반응 속도 ㉠ 빠른 반응 ㉡ 느린 반응 ㉢ 부피 ㉣ 반응 속도
 ㉤ 반응 속도식 ㉥ 반감기
 활성화 에너지 ㉦ 방향 ㉧ 에너지 ㉨ 활성화 에너지

개념 확장하기

- 1 답 일정한 시간(예: 10초) 간격으로 발생하는 이산화 탄소 기체의 부피를 측정한다. 단위: mL/s, 일정한 시간(예: 10초) 간격으로 감소하는 전체 반응물의 질량을 측정한다. 단위: g/s
- 2 t_3 이후 기체의 부피가 일정한 까닭은 염산이 모두 반응하였기 때문이다. 처음($t=0$)부터 t_3 까지 발생한 기체의 부피는 점점 감소한다.
 답 ㄱ, ㄴ
- 3 반응 차수는 화학 반응식의 계수와는 관계가 없고 실험으로 구할 수 있다.
 답 ㄱ, ㄴ
- 4 11400년은 반감기가 2번 지난 것이다. 반감기가 1번 지났을 때 초기 농도의 절반이 되고, 반감기가 한번 더 지나면 초기 농도의 $\frac{1}{4}$ 배가 된다.
 답 초기 농도의 $\frac{1}{4}$ 배가 된다.

2. 농도 및 온도와 반응 속도

01 농도와 반응 속도

158쪽 ? 답 예: 식품의 진공 포장

원리: 식품을 진공 포장하면 산소나 수증기와와의 접촉을 차단하여 산소나 수증기의 농도가 낮아진다. 따라서 식품의 변질 속도를 늦출 수 있어 식품을 더 오랫동안 보관할 수 있다.

159쪽 평가하기

- 1 답 반응물의 농도가 진할수록 반응물 사이의 단위 시간당 충돌수가 많아지고 일정한 시간 동안에 반응을 일으킬 수 있는 입자 수가 많아지므로 반응 속도가 빠르다.
- 2 답 반응 속도에 영향을 미치는 농도 때문이다. 철이 녹스는 데는 산소와 물이 관여한다. 철로 만든 현관문에 페인트칠을 하면 공기 중의 산소 및 물과 반응하는 철의 접촉 면적이 줄어들기 때문에 철이 녹스는 속도를 늦출 수 있다.

02 온도와 반응 속도

162쪽 평가하기

- 1 **답** 온도가 높아지면 운동 에너지가 큰 분자의 수가 많아진다. 따라서 활성화 에너지를 넘어서 반응을 일으킬 수 있는 분자들이 많아지므로 반응 속도가 빨라진다.
- 2 **답** 머리카락에 파마약을 바르고 그냥 둘 때보다 따뜻하게 열을 가할 때 파마가 더 빨리된다. 이는 온도를 높여 파마가 완성되는 반응 속도를 빠르게 조절한 것이다.



스스로 확인하기

164쪽~165쪽

핵심 내용 정리하기

- 농도와 반응 속도 ㉠ 농도 ㉡ 충돌수 ㉢ 빨라진다 ㉣ 압력
 ㉤ 표면적
 온도와 반응 속도 ㉦ 빨라지고 ㉧ 빨라진다 ㉨ 변하지 않는다
 ㉩ 큰 ㉪ 빨라진다

개념 확장하기

- 1 나: 표면적, 르: 온도
답 농도: 가, 다
- 2 발생한 기체의 총부피가 같으므로 반응한 마그네슘의 질량은 (가)=(나)=(다)이다. 반응하기 시작한 뒤 30초 동안의 평균 반응 속도는 (가) > (나) > (다)이다.
답 가, 르
- 3 활성화 에너지는 $T_1 = T_2$ 이다.
답 가, 나, 르

3. 촉매와 반응 속도

01 촉매에 따른 반응 속도

- 171쪽 **?** **답** 아밀레이스의 활성 자리는 녹말과만 결합할 수 있기 때문이다.

172쪽 평가하기

- 1 **답** 정촉매를 사용하면 정반응의 활성화 에너지가 감소하므로 반응 속도가 증가한다.
- 2 **답** 자물쇠 구멍에 맞는 열쇠로만 자물쇠를 열 수 있듯이 효소도 활성 자리에 맞는 특정한 기질과만 결합하여 반응이 일어난다.

02 촉매와 효소의 활용

175쪽 평가하기

- 1 **답** 표면 촉매에 반응물이 흡착하면 반응물과 촉매 사이에 결합이 형성되어 반응물 내의 결합이 약해진다. 그 결과 반응의 활성화 에너지가 감소하여 반응 속도가 빨라진다.
- 2 **답** 세척력 증가, 물 사용량 감소, 환경 오염 감소 등의 장점이 있다.



스스로 확인하기

176쪽~177쪽

핵심 내용 정리하기

- 촉매에 따른 반응 속도 ㉠ 촉매 ㉡ 정촉매 ㉢ 부촉매
 ㉣ 활성화 에너지 ㉤ 증가 ㉥ 효소 ㉦ 활성 자리
 촉매와 효소의 활용 ㉧ 표면 촉매 ㉨ 광촉매 ㉩ 유기 촉매 ㉪ 효소

개념 확장하기

- 1 정촉매를 사용하면 정반응의 활성화 에너지가 낮아진다. 이 때 반응엔탈피는 변하지 않는다.
답 (1) (나)
(2) (가)
(3) (나)-(다)
- 2 **답** (1) 과산화 수소가 분해되어 산소가 발생하기 때문
(2) 이산화 망가니즈가 정촉매로 작용하기 때문
- 3 **답** 자물쇠 구멍에 맞는 열쇠만이 자물쇠를 열 수 있듯이 수크레이스의 활성 자리는 설탕과만 결합하여 분해한다.
- 4 **답** CO나 NO와 같은 해로운 기체와 O₂가 금속 촉매 표면에 흡착하면 원자 사이의 결합이 약해져 반응의 활성화 에너지가 낮아지고 반응 속도가 빨라진다.
- 5 **답** 광촉매가 빛을 받으면 표면에서 산소나 물과 반응하여 활성 산소를 만들고, 반응성이 큰 활성 산소가 유해 물질을 분해한다.



단원 마무리

178쪽~181쪽



기초 개념 적용하기

- 1 **답** 르-나-다-가
- 2 반응이 모두 끝나는 데 걸린 시간은 50초이다. 10초 ~ 20초 사이의 평균 반응 속도는 1.3 mL/s이다.
답 나, 르



- 3 **답** (1) 가, 다, 모
 (2) 나
 (3) 르, 브

4 정촉매를 사용하면 정반응의 활성화 에너지가 감소하여 반응이 일어날 수 있는 분자의 수가 증가한다. 촉매의 사용과 관계없이 반응엔탈피는 일정하다.

답 가, 나

개념 응용력 키우기

5 반감기가 일정하므로 전체 반응 차수는 1차이다.

답 나, 다

6 (1) 아연의 형태가 같을 때 염산의 농도가 진할수록 반응 속도가 빠르므로 아연이 모두 반응하는 데 걸리는 시간은 실험 I보다 실험 III에서 짧다. 염산의 농도가 같을 때 아연의 형태가 작을수록 반응물 사이의 접촉 면적이 커져서 반응 속도가 빠르므로 아연이 모두 반응하는 데 걸리는 시간은 실험 III보다 실험 II에서 짧다. 따라서 아연이 모두 반응하는 데 걸리는 시간은 실험 I > 실험 III > 실험 II이다.

답 실험 I > 실험 III > 실험 II

(2) **답** 실험 II > 실험 III > 실험 I

일정량의 아연이 충분한 양의 염산과 반응할 때 발생하는 수소 기체의 부피는 모두 같으므로, 아연이 모두 반응하는 데 걸리는 시간이 짧을수록 평균 반응 속도는 빠르다. 즉, 평균 반응 속도는 실험 II > 실험 III > 실험 I이다.

7 금속 마그네슘이 뜨거운 물과 반응하면 수소 기체가 발생한다.

답 나, 다

8 화학 반응이 일어나려면 반응물의 결합이 끊어져야 하는데, 금속 촉매의 표면에서 반응물의 결합이 끊어지므로 반응의 활성화 에너지가 낮아진다. 촉매를 사용해도 반응엔탈피는 변하지 않는다.

답 가, 나

핵심 역량 키우기

9 (가)와 (나)에서 B의 농도가 일정할 때 A의 농도를 2배로 하면 초기 반응 속도가 2배로 되므로 반응 속도는 A 농도에 비례한다. (가)와 (다)에서 A의 농도가 일정할 때 B의 농도를 2배로 하면 초기 반응 속도가 8배가 되므로 반응 속도는 B 농도의 세제곱에 비례한다. 따라서 A에 대해 1차, B에 대해 3차 반응이다.

답 반응 속도식: $v = k[A][B]^3$

10 **[도움말]** 방사성 탄소 연대 측정법을 개발한 공로로 노벨 화학상을 수상한 리비를 조사한 내용으로 표지와 목차에 맞추어 각자의 창의성을 발휘하여 미니 과학책을 만들어 본다.

11 **답** 세탁기용 세제: 물 30 L에 세제 20 g, 주방용 세제: 물 1 L에 세척제 2 g을 섞어 사용한다. 샴푸: 표준 사용량이 표시되어 있지 않다. 샴푸의 표준 사용량을 토의하여 작성해 본다.

12 (1) **답** 산성비가 내리면 대리석이 훼손되는데, 이는 대리석이 산성비와 반응하기 때문이다. 따라서 대리석으로 만들어진 석탑을 산성비로부터 보호하려고 보호벽으로 둘러싸는 것이다.

(2) **[예시 답안]** 가설: 빗물의 산성의 세기가 석탑의 훼손에 영향을 미칠 것이다.

통계 변인: 탄산 칼슘의 양, 염산의 양

조작 변인: 염산의 농도

종속 변인: 발생한 기체의 양

실험 과정: ① 증류수, 0.00001 M, 0.0001 M, 0.001 M, 0.01 M, 0.1 M 염산 수용액을 80 mL씩 A~E로 표시한 삼각 플라스크에 각각 넣고 각각의 질량을 측정하여 기록한다. ② 같은 모양과 크기의 탄산 칼슘 분필 6개의 질량을 각각 전자저울로 측정하여 기록한다. ③ 탄산 칼슘 분필 1개를 6개의 삼각 플라스크 A에 동시에 각각 넣는다. ④ 일정한 시간 간격으로 삼각 플라스크의 전체 질량을 측정하여 기록한다. ⑤ B~E도 과정 ③, ④와 같이 실험한다.

13 (1) **답** 초고온의 화산, 고온의 온천, 저온의 극지방, 건조한 사막, 고압의 심해 등

(2) **[예시 답안]** 극한 환경 미생물에서 추출한 효소는 산업용 효소 산업, 화학 산업, 제약 산업, 제지 및 펄프 산업, 식품 및 사료 산업 등 다양한 산업에 이용될 수 있다. 예를 들면 고온의 물에서도 견디는 효소를 이용한 세제, 내열성 DNA 중합 효소를 이용한 PCR법 등 생명 공학에서 사용하는 다양한 실험 기법의 효율성을 증대하는 용도로 사용되고 있다.

IV 전기 화학과 이용

1. 전기 화학과 이용

01 화학 전지

188쪽 ? 철의 이온화 경향이 은보다 크므로 철은 산화되고 은 이온은 환원된다.

답 철은 수용액의 은 이온(Ag^+)과 만나면 전자를 잃고 철 이온(Fe^{2+})으로 산화된다. Ag^+ 은 철이 잃은 전자를 받아 환원되어 고체 상태의 은으로 석출된다.

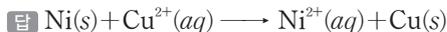
190쪽 ? 산화 전극에서는 아연이 전자를 잃고 산화되어 Zn^{2+} 으로 용액에 녹아 들어가고, 환원 전극에서는 용액 속 Cu^{2+} 이 환원되어 구리로 석출된다.

답 산화 전극의 질량은 감소하고 환원 전극의 질량은 증가한다.

194쪽 평가하기

1 **답** 다니엘 전지는 아연 이온이 들어 있는 수용액에 아연 전극을 담근 반쪽 전지와 구리 이온이 들어 있는 수용액에 구리 전극을 담근 반쪽 전지를 도선과 염다리(염다리)로 연결하여 만든다. 산화 전극인 아연판에서는 아연이 산화되어 용액 속으로 녹아 들어가고, 환원 전극인 구리판에서는 용액 속의 구리 이온이 환원되어 구리로 석출된다.

2 화학 전지식의 왼쪽에 산화 반쪽 전지, 오른쪽에 환원 반쪽 전지를 나타낸다. 따라서 니켈 반쪽 전지에서 산화가 일어나고 구리 반쪽 전지에서 환원이 일어난다.



02 전기 분해

195쪽 ? **답** 염화 나트륨(NaCl)의 용융액은 나트륨 이온(Na^+)과 염화 이온(Cl^-)이 들어 있는 전해질이다. 산화 전극에서는 Cl^- 이 전자를 잃고 산화되어 염소 기체(Cl_2)가 발생하고, 환원 전극에서는 Na^+ 이 전자를 받아 환원되어 나트륨(Na)이 석출된다.

197쪽 평가하기

1 **답** 산화 전극인 (+)극에서는 염화 이온이 전자를 잃고 산화되어 염소 기체가 발생하고, 환원 전극인 (-)극에서는 구리 이온이 전자를 받아 환원되어 구리가 석출된다.

2 **답** 산화 전극인 (+)극에서는 물이 전자를 잃고 산화되어 산소 기체가 발생하고, 환원 전극인 (-)극에서는 니켈 이온이 전자를 받아 환원되어 니켈이 석출된다.

03 전기 화학과 우리 생활

201쪽 평가하기

1 **답** 연료 전지는 외부에서 연료를 공급하여 화학 에너지를 전기 에너지로 변환하는 장치이고, 화학 전지는 전지 내부에 저장된 물질의 화학 에너지를 전기 에너지로 변환하는 장치이다.

2 **답** 수소 연료 전지 자동차는 수소 연료 전지에서 생산된 전기로 작동한다. 즉, 기존의 전기 자동차가 저장된 전기를 사용하는 것과 달리 수소 연료 전지에 연료와 공기를 공급하여 전기를 만들면서 작동한다. 수소 연료 전지 자동차는 배기가스가 없고 물만 배출하며 효율이 높다는 장점이 있다.



소스로 확인하기

202쪽~203쪽

핵심 내용 정리하기

화학 전지 ㉠ 산화 환원 ㉡ 전자 ㉢ 산화 ㉣ 환원

㉤ 전지 전위 ㉥ 표준 환원 전위

전기 분해 ㉦ 전기 분해 ㉧ 산화 ㉨ 환원 ㉩ 산소 ㉪ 수소

전기 화학과 우리 생활 ㉫ 수소 연료 전지 ㉬ 물 ㉭ 광분해

개념 확장하기

1 **답** ㉠: 구리판에서 구리가 석출된다.

2 두 반쪽 전지를 연결하여 전지를 만들면 환원 전위가 더 큰 반쪽 전지가 환원 전극이 된다. 그리고 표준 전지 전위는 환원 전극의 표준 환원 전위에서 산화 전극의 표준 환원 전위를 뺀 값이다.

답 ㉠

3 불순물에서 구리보다 표준 환원 전위가 작은 금속이 구리보다 먼저 산화되고 구리보다 표준 환원 전위가 큰 금속은 산화되지 않고 찌꺼기로 바닥에 쌓인다.

답 가장 먼저 산화되는 금속: 철(Fe)

찌꺼기로 바닥에 쌓이는 금속: 은(Ag)

4 **답** ㉠: 수소(H_2)는 산화되고 산소(O_2)는 환원된다.

㉡: 수소 이온(H^+)은 전해질막을 통과하여 (+)극으로 이동한다.

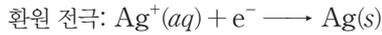
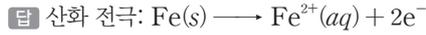


다윈나무리

204쪽~205쪽

기초 개념 적용하기

- 1 (1) 두 반쪽 전지를 연결하여 전지를 만들면 환원 전위가 더 큰 반쪽 전지가 환원 전극이 된다.



(2) 산화 전극에서는 철이 Fe^{2+} 으로 산화되어 용액에 녹고, 환원 전극에서는 용액 속 Ag^{+} 이 환원되어 은으로 석출된다.

답 산화 전극의 질량은 감소하고 환원 전극의 질량은 증가한다.

- 2 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 수용액의 전기 분해에서는 구리 이온이 환원되어 구리가 석출된다. 그리고 수용액에서 Cu^{2+} 은 환원되지만 Na^{+} 은 환원되지 못하므로 Na^{+} 의 표준 환원 전위가 더 작다.

답 나

개념 응용력 키우기

- 3 시간이 지나면 니켈 전극에서는 니켈이 산화되어 용액 속으로 녹아 들어가므로 질량이 감소하고, 납 전극에서는 납 이온이 환원되어 납으로 석출되므로 질량이 증가한다. 염다리 속의 양이온은 납 반쪽 전지 쪽으로 이동하고, 음이온은 니켈 반쪽 전지 쪽으로 이동한다.

답 나

- 4 전기 분해에서는 (-)극에서 환원 반응, (+)극에서 산화 반응이 일어난다. 그리고 전지 반응식을 보면 수소 기체와 염소 기체가 같은 부피만큼 발생한다는 것을 알 수 있다. 환원 전극인 (-)극에서는 수소 기체와 수산화 이온이 생성되므로 용액의 pH가 증가한다.

답 나, 다



핵심 역량 키우기

- 5 [예시 답안] 불타는 개구리 다리의 근육이 전기로 움직였다는 것에 의문을 갖고 개구리 다리를 이용한 전기 실험을 계속하였다. 그 결과 개구리의 양쪽 다리에 다른 종류의 금속을 댈 때만 개구리 다리가 움직인다는 것을 발견하였다. 불타는 서로 다른 금속 때문에 전류가 생긴다는 생각을 하였으며, 아연판과 구리판을 번갈아 쌓고 판 사이에 소금물을 적신 천을 끼워 넣은 불타 전지를 개발하였다. 불타 전지는 화학적 방법으로 전기를 발생시켜 전기를 이용한 여러 가지 실험을 가능하게 하여 전기 화학의 탄생에 기여하였다.
- 6 [예시 답안] 일반적으로 알칼리 전지의 (-)극에서는 아연이 산화되어 산화 아연이 되고, (+)극에서는 이산화 망가니즈가 환원된다. 그런데 전지에 전류를 흘려도 이 반응들의 역반응은 일어나지 않는다. 또한 전지를 사용하면 아연에 불순물이 생기는데, 전지에 역지로 전류를 흘려 충전하면 기체가 발생하거나 불순물과 반응하여 폭발할 수 있다.



ㄱ

가역 반응	89
강산	112
건전지	192
결정성 고체	41
결합 에너지	79
고분자 화합물	60
공유 결정	42
공통 이온	118
공통 이온 효과	118
광촉매	174
금속 결정	43
금속의 이온화 경향	188
기준 끓는점	39
기질	171
기체 분자 운동론	11
기체 상수	18
기체의 압력	12
끓는점	39
끓는점 오름	55

ㄴ

납축전지	192
느린 반응	137
니켈 - 카드뮴 전지	192

ㄷ

다니엘	190
다니엘 전지	190
단순 입방 구조	44
단위 세포	43
단위격자	43
대기압	12
동적 평형 상태	90
DMAP	174

ㄹ

리울	54
리울 법칙	54
르샤틀리에	99
르샤틀리에 원리	99
리튬 이온 전지	192

ㅁ

면심 입방 구조	44
모세관 현상	35
몰 농도	50
몰 분율	22
몰랄 내림 상수	55
몰랄 농도	50
몰랄 오름 상수	55
물의 광분해	200
물의 밀도	32
물의 수소 결합	31
물의 열용량	34
물의 전기 분해	196
물의 표면 장력	34

ㅂ

반감기	145
반응 속도	139
반응 속도 상수	143
반응 속도식	143
반응 지수	93
반응 차수	143
반응엔탈피	76
반쪽 전지	190
반투막	58
반트호프	59
반트호프 법칙	59
반트호프 식	59
발열 반응	75
보일	14

보일 법칙	15
볼타	189
볼타 전지	189
부분 압력	21
부분 압력 법칙	21
부착력	35
부촉매	168
분극 현상	190
분산력	26
분압	21
분자 결정	42
비결정성 고체	41
비열	34, 78
비활성 전극	193
빠른 반응	137

ㅅ

산의 이온화 상수	112
산화 전극	189
산화 은 단추 전지	192
3중점	105
삼투압	59
삼투 현상	58
상	104
상평형	104
상평형 그림	104
샤를 법칙	16
수득률	102
수소 결합	29
수소 연료 전지	198
순간 반응 속도	140
순간 쌍극자	26
승화 곡선	105
실용 전지	192
실제 기체	23
쌍극자	25

쌍극자 모멘트	25
쌍극자 · 쌍극자 힘	25
○	
아보가드로	17
아보가드로 법칙	17
압력	12
알칼리 전지	192
약산	112
어느점 내림	55
에스터	174
엔탈피	76
연료 전지	198
열량계	78
열용량	34
열화학 반응식	77
염	116
염기의 이온화 상수	113
염다리	190
염의 가수 분해	117
염화 구리(II) 용액의 전기 분해	195
완충 용액	119
용매	49
용액	49
용질	49
용해	49
유기 촉매	174
유효 충돌	148
용해 곡선	105
응집력	35
응축	38
이상 기체	18, 23
이상 기체 상태 방정식	18
이온 결정	41
이온화 경향	188
이온화도	113
2차 전지	191

ㄷ	
전극 전위	193
전기 도금	197
전기 분해	195
전기 에너지	189
전기 화학 기술	200
전지 전위	194
전체 반응 차수	143
절대 영도	16
절대 온도	16
정촉매	168
젓산	123
제련	197
증기 압력	38
증기 압력 곡선	40, 105
증기 압력 내림	54
증기압	38
증발	38
질량 작용 법칙	91
질량 퍼센트 농도	49
짜산 - 짝염기	114

ㄸ	
체심 입방 구조	44
초기 반응 속도	140
촉매	168
촉매 변환기	170
총괄성	61
총열량 불변 법칙	83

E	
토리첼리	12

II	
퍼센트 농도	49

편극	26
평균 결합 에너지	80
평균 반응 속도	140
평형 농도	90
평형 상수	91
평형 상수식	91
평형 이동	95
평형 이동 법칙	99
폴리에틸렌	173
표면 장력	35
표면 촉매	173
표준 반응엔탈피	85
표준 상태	77
표준 생성 엔탈피	78
표준 수소 전극	193
표준 전극 전위	193
표준 전지 전위	194
표준 환원 전위	193
프레온 가스	169
피셔	171
pH	118
ppm 농도	50

ㅎ	
헤스	83
헤스 법칙	83
화학 전지	187
화학 전지식	190
화학 평형 법칙	91
화학 평형 상태	90
환원 전극	189
활성 산소	174
활성 자리	171
활성화 상태	150
활성화 에너지	149
활성화물	150
효소	171
흡열 반응	75



사진 자료

- 표지 플라스크, 전구: 셔터스톡
- 3쪽 전구: 셔터스톡
- 4쪽 플라스크, 물방울: 게티이미지코리아
- 5쪽 컵케이크, 유리 기구: 게티이미지코리아
- 6쪽 책과 돋보기: 게티이미지코리아

I 물질의 세 가지 상태와 용액

- 8쪽 요세미티 국립공원: 게티이미지뱅크
- 10쪽 열기구: 게티이미지코리아
- 11쪽 풍등: 게티이미지코리아
- 12쪽 토리첼라: 윤익이미지
- 13쪽 유리병: 게티이미지코리아
- 14쪽 보일: 윤익이미지
- 17쪽 아보가드로: 윤익이미지
- 20쪽 테니스공: 게티이미지코리아
- 24쪽 네오디뮴 자석: 게티이미지뱅크
- 31쪽 바다 배경: 게티이미지코리아
- 32쪽 눈의 결정: 게티이미지코리아
- 33쪽 메테인 하이드레이트: 게티이미지코리아
- 34쪽 이슬이 맺힌 풀잎: 게티이미지코리아
- 35쪽 소금쟁이: 게티이미지코리아
- 36쪽 나무, 셀룰로스: 게티이미지코리아
- 37쪽 나미브 사막, 딱정벌레: 게티이미지코리아
- 38쪽 물병, 비에 젖은 땅: 게티이미지코리아
- 39쪽 유리병, 물 주전자, 기포: 게티이미지코리아
- 41쪽 석영, 유리병: 게티이미지코리아
- 42쪽 아이오딘, 다이아몬드와 흑연: 게티이미지코리아
- 43쪽 전기 전도성, 뿔힘상: 게티이미지코리아, 열전도성, 퍼짐성: 게티이미지뱅크
- 45쪽 섬전암, 사막과 번개, 섬전암을 잡고 있는 모습: 게티이미지코리아
- 48쪽 비커와 시험관: 게티이미지코리아
- 49쪽 음료수: 게티이미지코리아
- 53쪽 눈 쌓인 항아리: 게티이미지코리아
- 55쪽 제설차, 길에 뿌려진 염화 칼슘, 부동액: 게티이미지코리아
- 59쪽 반트호프: 윤익이미지
- 60쪽 놀레: 게티이미지코리아
- 61쪽 배추, 절인 배추, 뿌리: 게티이미지코리아
- 62쪽 제설 작업을 하는 도로: 게티이미지코리아
- 63쪽 염전, 해수 담수화 설비, 해수 담수화 공장 전경: 게티이미지코리아
- 69쪽 브라이스캐니언: 게티이미지뱅크

- 70쪽 하늘과 물컵, 생명 빨대로 물 마시기, 생명 빨대로 물통에 물 받기, 휴탕물과 깨끗한 물: 게티이미지코리아
- 71쪽 연필, 수첩: 게티이미지코리아

II 반응엔탈피와 화학 평형

- 72쪽 자전거 경주: 토픽이미지스
- 74쪽 성냥: 셔터스톡
- 75쪽 메테인, 빵: 셔터스톡, 냉각 팩, 질산 암모늄, 철 못의 부식: 게티이미지코리아
- 85쪽 철의 제련: 토픽이미지스
- 88쪽 암모니아 합성 공장: 셔터스톡
- 90쪽 다양한 온도에서 NO₂와 N₂O₄ 혼합물의 색: 게티이미지코리아
- 95쪽 변색 안경: 셔터스톡
- 97쪽 암탉, 달걀: 셔터스톡
- 99쪽 르샤틀리에: 게티이미지코리아
- 102쪽 암모니아 합성 공장: 셔터스톡
- 103쪽 잠수부: 셔터스톡, 잠수 도구, 고래: 게티이미지코리아
- 106쪽 압력에 따른 얼음의 상태 변화: 게티이미지코리아
- 107쪽 압력 밥솥, 우주 식량: 셔터스톡, 캠핑, 드라이아이스: 게티이미지코리아
- 110쪽 적혈구: 토픽이미지스
- 124쪽 등산, 주사액: 게티이미지코리아
- 125쪽 산호초 군락 (가), (나): 셔터스톡, 바닷속: 게티이미지코리아
- 130쪽 화석 에너지: 셔터스톡, 고산족: 게티이미지코리아
- 131쪽 산성비의 피해: 셔터스톡
- 132쪽 꽃, 풀, 전구: 게티이미지코리아
- 133쪽 아들러스호프, 제로 에너지 하우스 일러스트, 설계도 공책: 셔터스톡

III 반응 속도와 촉매

- 134쪽 배드민턴: 토픽이미지스
- 136쪽 컵케이크: 게티이미지코리아
- 137쪽 화약: 셔터스톡, 배의 부식, 아치스 국립공원: 게티이미지코리아
- 138쪽 야구공: 게티이미지코리아
- 141쪽 분광기: 게티이미지코리아



- 142쪽 번개: 게티이미지코리아
- 147쪽 갑상샘, 양전자 방출 단층 촬영 검사(PET-CT): 게티이미지코리아
- 148쪽 숲: 게티이미지코리아
- 151쪽 고더드 우표: 게티이미지코리아, 나로호: 토퍹이미지스
- 154쪽 모닥불: 셔터스톡
- 155쪽 강철 솜을 공기 중에서 가열할 때, 강철 솜을 산소로 가득 찬 집기병에 넣었을 때: 게티이미지코리아
- 158쪽 산소-아세틸렌 용접: 셔터스톡
- 160쪽 얼음 위의 생선: 셔터스톡
- 163쪽 알약: 게티이미지코리아
- 166쪽 효소: 유익이미지
- 167쪽 한계령 도로: 토퍹이미지스
- 171쪽 피셔: 유익이미지
- 172쪽 사람 소화 기관: 게티이미지뱅크
- 173쪽 세탁기와 세제: 게티이미지코리아
- 174쪽 녹색 화학: 게티이미지코리아
- 175쪽 석유 화학 공장: 게티이미지코리아
- 177쪽 촉매 변환기: 셔터스톡
- 181쪽 원각사지 10층 석탑, 온천 호수: 게티이미지코리아
- 182쪽 쪽 풀, 쪽 풀 담그기, 소석회 넣기, 쪽 염색, 쪽 염색 건조, 쪽 풀 배경: 정관채, 하늘, 태그: 게티이미지코리아
- 183쪽 염색한 손수건, 배경: 게티이미지코리아

IV 전기 화학과 이용

- 184쪽 라이트 쇼: 게티이미지코리아
- 186쪽 전구: 게티이미지뱅크
- 188쪽 묶은 염산과 마그네슘의 반응: 게티이미지코리아
- 189쪽 불타: 게티이미지코리아
- 190쪽 다니엘: 유익이미지
- 191쪽 감자 화학 전자: 게티이미지코리아
- 192쪽 건전지: 게티이미지뱅크, 산화 은 단추 전지, 니켈-카드뮴 전지: 게티이미지코리아
- 195쪽 스마트폰 충전: 게티이미지뱅크
- 196쪽 물의 전기 분해: 게티이미지코리아
- 198쪽 수소 연료 전지 버스: 연합뉴스
- 199쪽 수소 연료 전지 자동차 충전소: 연합뉴스, 수소: 게티이미지뱅크
- 200쪽 광전극을 이용한 물의 광분해: 광화학 및 광전기 화학적 수소 제조 - 백진욱, ECO: 게티이미지뱅크
- 201쪽 신재생 에너지: 게티이미지뱅크, 스마트폰 배터리: 게티이미지코리아
- 206쪽 리튬, 리튬 배터리: 셔터스톡, 배경: 게티이미지코리아, 한국 전기 연구원 전경: 한국 전기 연구원

인용 자료

앞면지 주기율표: 국제 순수 및 응용 화학 연맹(IUPAC), <https://iupac.org/>

I 물질의 세 가지 상태와 용액

- 23쪽 이상 기체와 실제 기체의 압력에 따른 값: W. M. Haynes, 『CRC Handbook of Chemistry and Physics, 97th Ed.』, CRC Press, 2016.
- 25쪽 분자량이 비슷한 물질의 쌍극자 모멘트와 끓는점: W. M. Haynes, 『CRC Handbook of Chemistry and Physics, 97th Ed.』, CRC Press, 2016.
- 26쪽 여러 가지 탄화수소의 녹는점과 끓는점: W. M. Haynes, 『CRC Handbook of Chemistry and Physics, 97th Ed.』, CRC Press, 2016.
- 27쪽 몇 가지 물질의 끓는점: W. M. Haynes, 『CRC Handbook of Chemistry and Physics, 97th Ed.』, CRC Press, 2016.
- 28쪽 극성 물질과 무극성 물질의 끓는점 비교: W. M. Haynes, 『CRC Handbook of Chemistry and Physics, 97th Ed.』, CRC Press, 2016.
- 30쪽 전기 음성도와 원자 반지름: W. M. Haynes, 『CRC Handbook of Chemistry and Physics, 97th Ed.』, CRC Press, 2016.
- 31쪽 물과 분자량이 비슷한 몇 가지 물질의 물리적 성질: W. M. Haynes, 『CRC Handbook of Chemistry and Physics, 97th Ed.』, CRC Press, 2016.
- 33쪽 온도에 따른 물의 부피와 밀도: W. M. Haynes, 『CRC Handbook of Chemistry and Physics, 97th Ed.』, CRC Press, 2016.
- 34쪽 여러 가지 물질의 비열: W. M. Haynes, 『CRC Handbook of Chemistry and Physics, 97th Ed.』, CRC Press, 2016.
- 40쪽 물질의 증기 압력 곡선: W. M. Haynes, 『CRC Handbook of Chemistry and Physics, 97th Ed.』, CRC Press, 2016.
- 56쪽 몰랄 오름 상수와 몰랄 내림 상수: W. M. Haynes, 『CRC Handbook of Chemistry and Physics, 97th Ed.』, CRC Press, 2016.

II 반응엔탈피와 화학 평형

- 78쪽 몇 가지 화학 반응의 열화학 반응식: W. M. Haynes, 『CRC Handbook of Chemistry and Physics, 97th Ed.』, CRC Press, 2016.

- 80쪽** 원자 사이의 평균 결합 에너지: W. M. Haynes, 『CRC Handbook of Chemistry and Physics, 97th Ed.』, CRC Press, 2016.
- 113쪽** 몇 가지 약산의 이온화 상수: W. M. Haynes, 『CRC Handbook of Chemistry and Physics, 97th Ed.』, CRC Press, 2016.

III 반응 속도와 촉매

- 141쪽** 분광학을 이용한 반응 속도의 측정, 파장에 따른 브로민 의 흡광도: Brusa, Colussi, 『The kinetics and mechanism of the oxidation of formic acid by bromine in acid aqueous media』, 『International Journal of Chemical Kinetics』, 12, 1980. / Kapungu, Rukweza, Tran, Mbiya, Adigun, Ndungu, Martincigh, Simoyi, 『Oxyhalogen-sulfur chemistry: kinetics and mechanism of oxidation of captopril by acidified bromate and aqueous bromine』, 『The Journal of Physical Chemistry A』, 117, 2013.
- 146쪽** 브로민화 메틸의 분해와 반감기: Schubert, 『US pushes limits on ozone destroyer』, 『Nature News, December』, 2005. / Butler, 『Atmospheric chemistry: better budgets for methyl halides?』, 『Nature』, 403, 2000. / 국립 환경 과학원, 『취급 제한 물질 적정 관리를 위한 공정 시험 기준 마련 및 적용성 평가 연구』, 『환경부 연구 보고서』, 2012.
- 147쪽** 갑상선 진단과 반감기의 활용: 김원배, 『갑상선 질환에서 방사성 동위 원소 치료』, 『대한 내과 학회지』, 71, 2006. / 대한 핵의학회(<http://www.ksnm.or.kr>), 일반인을 위한 핵의학 정보.
- 149쪽** 일산화 탄소와 이산화 질소의 반응에서 반응 경로에 따른 엔탈피 변화와 활성화 에너지(E_a): Milks, Adams, Matula, 『Single pulse shock tube study of the reaction nitrogen dioxide(NO_2) and carbon monoxide(CO)』, 『Combustion Science and Technology』, 19, 1979.
- 150쪽** 반응 경로에 따른 엔탈피 변화: Baulch, Duxbury, Grant, Montague, 『Evaluated kinetic data for high temperature reactions. Volume 4 Homogeneous gas phase reactions of halogen- and cyanide-containing species』, 『Journal of Physical and Chemical Reference Data』, 10, 1981. / Sullivan, 『Rates of reaction of hydrogen with iodine』, 『The Journal of Chemical Physics』, 30, 1959.

- 151쪽** 로켓과 활성화 에너지: NASA, 『Space shuttle use of propellants and fluids』, 『NASA Facts, September』, 2001. / 한국 항공 우주 연구원, 『액체 로켓 엔진 점화 장치』, 『대한민국 특허청』, 10-2004-0044637, 2004. / 한국 최초 우주 발사체 나로호: 한국 항공 우주 연구원, <https://www.kari.re.kr/kor.do/>
- 163쪽** 약을 1일 3회 복용하는 까닭, 1번 복용할 때 시간에 따른 혈액 속 약물의 농도, 1일 3번 복용할 때 시간에 따른 혈액 속 약물의 농도: Wilkinson, Sedman, Sakmar, Kay, Wagner, 『Pharmacokinetics of ethanol after oral administration in the fasting state』, 『Journal of Pharmacokinetics and Biopharmaceutics』, 5, 1977. / 정선미, 『농도가 좌우한다, 약! 아니면 독?』, 『세브란스 병원 웹진』, 4월호, 2016.
- 169쪽** 남극 상공 오존층 구멍의 변화: 미국 항공우주국(NASA), <http://earthobservatory.nasa.gov/>
- 182쪽** 정관채, 『한국 전통 쪽물 염색』, (재)나주시 천연 염색 문화 재단 출판부, 2015. / 김지희, 정관채 『자연 염색 공예: 전통에서 현대까지』, 한국 공예 문화 진흥원, 2009.

IV 전기 화학과 이용

- 194쪽** 25 °C에서 반쪽 전지의 표준 환원 전위: W. M. Haynes, 『CRC Handbook of Chemistry and Physics, 97th Ed.』, CRC Press, 2016.
- 198쪽** 수소 연료 전지의 작동 원리: U.S. Department of Energy, <http://energy.gov/eere/fuelcells/types-fuel-cells/>

부록

- 212쪽** 25 °C에서 산의 이온화 상수(K_a): W. M. Haynes, 『CRC Handbook of Chemistry and Physics, 97th Ed.』, CRC Press, 2016.
- 213쪽~215쪽** 탐구에 제시되는 화합물의 물질 보건 안전 자료 (MSDS): 안전 보건 공단, <http://msds.kosha.or.kr/>

집필진의 직접 집필인 경우 출처를 밝히지 않았음

집 | 필 | 진



노태희

서울대학교 사범대학 화학교육과 졸업
미국 시카고대학교 화학과 박사
미국 캔자스주립대학 Curriculum and Instruction 교육학 박사
|현| 서울대학교 사범대학 화학교육과 교수



강석진

서울대학교 사범대학 화학교육과 졸업
서울대학교 대학원 과학교육과 박사
|현| 전주교육대학교 과학교육과 교수



주영

서울대학교 사범대학 화학교육과 졸업
서울대학교 대학원 과학교육과 박사
|현| 수도여자고등학교 교사



고숙영

서울대학교 사범대학 화학교육과 졸업
서울대학교 대학원 과학교육과 석사
|현| 경인고등학교 교사



김용현

서울대학교 사범대학 화학교육과 졸업
서울대학교 화학과 석사
|현| 혜화여자고등학교 교사



최숙영

서울대학교 사범대학 화학교육과 졸업
서울대학교 대학원 과학교육과 석사
|현| 세종과학고등학교 교사



양찬호

서울대학교 사범대학 화학교육과 졸업
서울대학교 대학원 과학교육과 박사
|현| 서울대학교 사범대학 화학교육과 강사

단 | 원 | 별 | 집 | 필

- I 물질의 세 가지 상태와 용액 최숙영, 고숙영
- II 반응엔탈피와 화학 평형 김용현, 강석진
- III 반응 속도와 촉매 주영, 김용현
- IV 전기 화학과 이용 양찬호, 노태희