

고등학교

# 화학 반응의 세계

정대홍  
성숙경  
김혜경  
박수연  
이지아  
장혜진  
조민진



# 이 책의 구성과 특징



## 대단원 시작 학습

### I 산 염기 평형

산과 염기는 물속에서 잘 섞이는 산과 염기를 혼합하면 염과 물을 생성하는 화학 반응이 일어난다. 산과 염기를 혼합하면 염과 물을 생성하는 화학 반응이 일어난다. 산과 염기를 혼합하면 염과 물을 생성하는 화학 반응이 일어난다.

**산 염기 평형의 중요성**

- 산과 염기
- 산과 염기의 산화 환원
- 중화 작용
- 생물 기능
- 환경 작용

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

## 본문 개념 학습

### 04 탄소 화합물의 유용성

탄소 화합물은 우리 생활에서 없어서는 안 될 물질이다. 탄소 화합물은 우리 생활에서 없어서는 안 될 물질이다. 탄소 화합물은 우리 생활에서 없어서는 안 될 물질이다.

**탄소 화합물의 가치**

- 탄소 화합물은 우리 생활에서 없어서는 안 될 물질이다.
- 탄소 화합물은 우리 생활에서 없어서는 안 될 물질이다.
- 탄소 화합물은 우리 생활에서 없어서는 안 될 물질이다.

### [실험실 안전 기호]

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

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

### 탐구

탄소 화합물의 유용성을 알아보자. 탄소 화합물은 우리 생활에서 없어서는 안 될 물질이다. 탄소 화합물은 우리 생활에서 없어서는 안 될 물질이다.

### 해 보기

탄소 화합물의 유용성을 알아보자. 탄소 화합물은 우리 생활에서 없어서는 안 될 물질이다. 탄소 화합물은 우리 생활에서 없어서는 안 될 물질이다.

## 프로젝트 학습

### 지속가능한 미래를 위한 재활용을 넘어 생활용으로

재활용을 넘어 생활용으로 재활용을 활용하는 방법을 알아보자. 재활용을 넘어 생활용으로 재활용을 활용하는 방법을 알아보자.

**재활용을 넘어 생활용으로**

1. 재활용을 넘어 생활용으로 재활용을 활용하는 방법을 알아보자.
2. 재활용을 넘어 생활용으로 재활용을 활용하는 방법을 알아보자.
3. 재활용을 넘어 생활용으로 재활용을 활용하는 방법을 알아보자.

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

## 대단원 마무리 학습

### 대단원 마무리

단원에서 배운 내용을 한눈에 알아보기 정리하고, 다양한 문제를 풀어 학습한 정도를 파악하며, 과학 글쓰기를 통해 과학적으로 사고할 수 있다.

**대단원 마무리**

1. 단원에서 배운 내용을 한눈에 알아보기 정리하고, 다양한 문제를 풀어 학습한 정도를 파악하며, 과학 글쓰기를 통해 과학적으로 사고할 수 있다.
2. 단원에서 배운 내용을 한눈에 알아보기 정리하고, 다양한 문제를 풀어 학습한 정도를 파악하며, 과학 글쓰기를 통해 과학적으로 사고할 수 있다.
3. 단원에서 배운 내용을 한눈에 알아보기 정리하고, 다양한 문제를 풀어 학습한 정도를 파악하며, 과학 글쓰기를 통해 과학적으로 사고할 수 있다.

**읽을거리**  
 직업, 생활 속 과학, 최신 과학 등 다양한 분야의 읽을거리를 통해 과학 학습에 흥미를 가질 수 있다.

## 읽기 자료 학습

### 파이토케미컬 내용 지키는 식물 색소

식물 색소는 우리 생활에서 없어서는 안 될 물질이다. 식물 색소는 우리 생활에서 없어서는 안 될 물질이다.

**사생활 에너지 활용하는 친환경 전기 연구원**

친환경 에너지 활용하는 친환경 전기 연구원. 친환경 에너지 활용하는 친환경 전기 연구원.



# 이 책의 차례



## I 산염기 평형

01 산과 염기	8
02 산과 염기의 상대적 세기	10
03 중화 적정	16
04 염의 가수 분해	20
05 완충 작용	24
● 생활 속 과학 이야기	28
● 화학과 나의 미래	29
대단원 마무리	30
프로젝트	34

## II 산화·환원 반응

01 산화와 환원	38
02 화학 전지의 발전	46
03 화학 전지의 원리	50
04 전기 분해	58
05 우리 생활 속 산화·환원 반응	64
● 생활 속 과학 이야기	68
● 화학과 나의 미래	69
대단원 마무리	70
프로젝트	74

## III 탄소 화합물과 반응

01 탄소 화합물의 종류	78
02 탄소 화합물의 화학 반응	88
03 다양한 고분자 화합물	92
04 탄소 화합물의 유용성	98
● 최신 과학 이야기	104
● 화학과 나의 미래	105
대단원 마무리	106
프로젝트	110

## 부록

학습 자료실	113
정답 및 해설	124
찾아보기	134
자료 출처	135

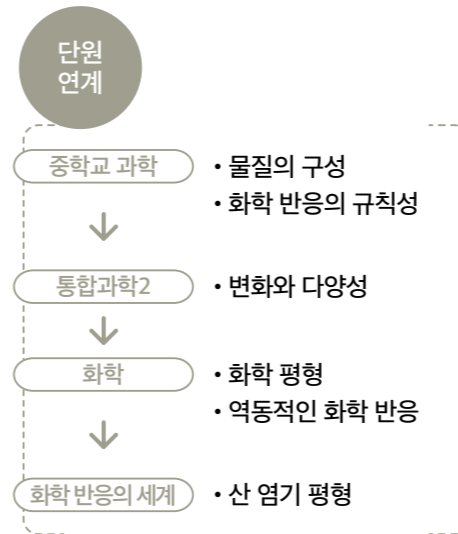


# I 산염기 평형

바다는 산업 활동으로 발생하는 이산화 탄소를 상당량 흡수함으로써 지구의 기후 변화를 늦추는 데 크게 기여한다. 바다가 이렇게 많은 이산화 탄소를 흡수하는 것은 산 염기 평형과 관련이 있다. 이 단원에서 산과 염기, 중화 반응을 화학 평형의 원리로 설명하고, 이런 반응이 생명체의 항상성과 지구 생태의 지속가능성에 어떤 영향을 미치는지 알아보자.

- 01 산과 염기
- 02 산과 염기의 상대적 세기
- 03 중화 적정
- 04 염의 가수 분해
- 05 완충 작용

## 이 단원에서 학습할 내용



이 단원의 학습 목표

- 지식·이해** 브뢴스테드-라우리 산과 염기를 구분하고, 이온화 상수를 이용해 약산과 약염기 수용액의 pH를 구하는 방법과 염의 가수 분해를 설명할 수 있다.
- 과정·기능** 이온화 상수를 이용해 산과 염기의 상대적인 세기를 추론하고, 중화 적정 실험의 pH 변화를 시각화하고 해석할 수 있다.
- 가치·태도** 생체 내 완충 작용과 지구 생태의 지속가능성을 산 염기 평형의 관점에서 이해하려는 태도를 가질 수 있다.

**포트폴리오** » 이 단원을 학습하면서 나만의 특기를 발휘한 포트폴리오를 만들어 보자.  
 • 28 쪽 생활 속 과학 이야기 • 29 쪽 화학과 나의 미래 • 34 쪽~35 쪽 프로젝트

# 01 산과 염기

## 산과 염기

● 브뢴스테드·라우리 산과 염기의 정의를 이해하고, 이에 따라 산과 염기를 구별할 수 있다.

“  
 제빵 소다(NaHCO<sub>3</sub>)를 물에 녹여 맛보니 쓴맛이 나고, 손으로 만져 보니 미끈거리는 느낌이 났다. 제빵 소다의 화학식에는 수산화 이온(OH<sup>-</sup>)이 포함되어 있지 않는데 왜 염기의 성질이 나타날까?  
 ”



### 브뢴스테드·라우리 산과 염기

스웨덴의 과학자 아레니우스는 물에 녹았을 때 수소 이온(H<sup>+</sup>)을 내놓는 물질을 산, 수산화 이온(OH<sup>-</sup>)을 내놓는 물질을 염기라고 정의했다. 이 정의는 수용액에만 적용되므로 그 밖의 조건에서는 물질을 산과 염기로 설명할 수 없다. 이를 해결하기 위해 브뢴스테드와 라우리는 다른 물질에 양성자(H<sup>+</sup>)를 제공하는 물질을 산, 다른 물질로부터 양성자(H<sup>+</sup>)를 제공받는 물질을 염기라고 정의했다. 예를 들어 염화 수소(HCl)가 물(H<sub>2</sub>O)에 녹는 반응에서 염화 수소는 물에 양성자(H<sup>+</sup>)를 제공하므로 산으로, 물은 염화 수소로부터 양성자(H<sup>+</sup>)를 제공받으므로 염기로 작용한다.

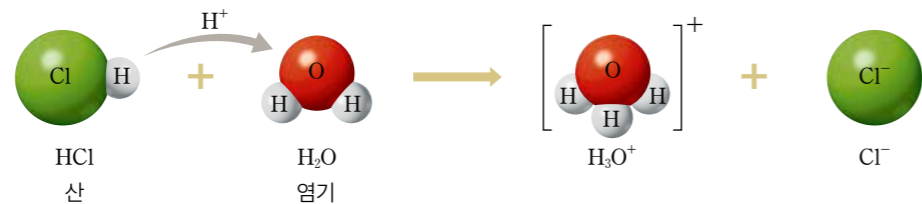


그림 I-1 염화 수소와 물의 반응

브뢴스테드·라우리 정의를 이용하면 염화 수소(HCl)와 암모니아(NH<sub>3</sub>)의 반응처럼 수용액이 아닌 상태에서 일어나는 반응도 산 염기 반응으로 설명할 수 있다.

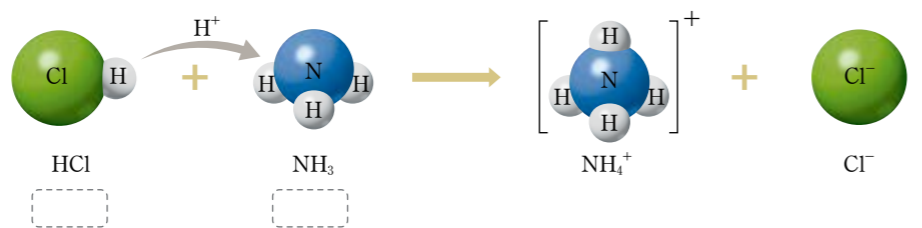


그림 I-2 염화 수소와 암모니아의 반응

☞ **자료 읽기** 그림 I-2에서 브뢴스테드·라우리 산과 염기로 작용한 물질을 찾아 [ ]에 각각 써 보자.

#### 산과 염기 정의의 확장

1923년에 덴마크의 과학자 브뢴스테드(Bronsted, J. N., 1879~1947)는 아레니우스(Arrhenius, S. A., 1859~1927)가 제안한 산과 염기 정의보다 확장된 산과 염기 정의를 발표했다. 우연히 같은 시기에 영국의 과학자 라우리(Lowry, T. M., 1874~1936)도 같은 이론을 발표했다. 이 때문에 이 정의를 브뢴스테드·라우리 산과 염기 정의라고 한다.

#### ● 양성자(H<sup>+</sup>)

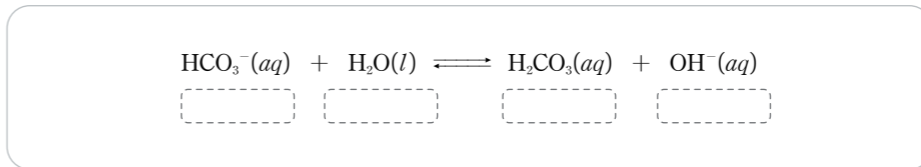
양성자와 전자를 각각 하나씩 가진 수소(H) 원자가 전자를 잃으면 양성자만 남게 된다. 따라서 브뢴스테드·라우리 정의에서는 수소 이온(H<sup>+</sup>)을 양성자(H<sup>+</sup>)로 표현하기도 한다.

### 해보기

#### 브뢴스테드·라우리 산과 염기 구분하기

탐구 능력

탄산수소 이온(HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)이 물에 녹으면 다음과 같은 평형을 이룬다.

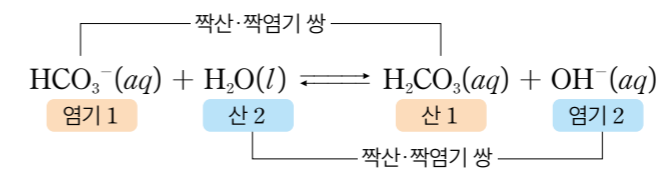


1. 정반응에서 브뢴스테드·라우리 산과 염기로 작용한 물질을 찾아 [ ]에 각각 써 보자.
2. 역반응에서 브뢴스테드·라우리 산과 염기로 작용한 물질을 찾아 [ ]에 각각 써 보자.
3. 1의 산과 2의 염기, 2의 산과 1의 염기를 각각 짝 짓고, 어떤 관계가 있는지 설명해 보자.



탄산수소 이온(HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)과 물(H<sub>2</sub>O)의 정반응에서는 물(H<sub>2</sub>O)이 산으로, 탄산수소 이온(HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)이 염기로 작용하고, 역반응에서는 탄산(H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)이 산으로, 수산화 이온(OH<sup>-</sup>)이 염기로 작용한다.

이때 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>과 H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O과 OH<sup>-</sup>처럼 양성자(H<sup>+</sup>)의 이동이 일어나는 한 쌍의 산과 염기를 짝산·짝염기 쌍이라고 한다.



#### 확인하기

1. 브뢴스테드·라우리 정의에 따르면 다른 물질에 양성자(H<sup>+</sup>)를 제공하는 물질은 ( ), 다른 물질로부터 양성자(H<sup>+</sup>)를 제공받는 물질은 ( )이다.
2. 양성자(H<sup>+</sup>)의 이동이 일어나는 한 쌍의 산과 염기를 ( )이라고 한다.

#### 소단원 마무리

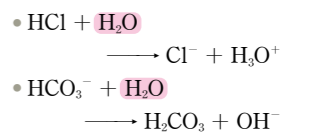
##### 창의력 키우기

수산화 나트륨(NaOH)은 물(H<sub>2</sub>O)에 녹아 수산화 이온(OH<sup>-</sup>)을 내놓는 아레니우스 염기이다. 수산화 나트륨을 브뢴스테드·라우리 염기로 정의할 수 있을지 토의해 보자.

##### 디지털 소양 키우기

아레니우스 산과 염기 정의로 설명할 수 없지만, 브뢴스테드·라우리 산과 염기 정의로 설명할 수 있는 화학 반응식을 조사하고 발표해 보자.

#### 양쪽성 물질



물은 염화 수소와 반응할 때는 염화 수소로부터 양성자(H<sup>+</sup>)를 제공받는 브뢴스테드·라우리 염기로 작용하는데, 탄산수소 이온과 반응할 때는 탄산수소 이온에 양성자(H<sup>+</sup>)를 제공하는 브뢴스테드·라우리 산으로 작용한다. 이처럼 산으로도 작용할 수 있고 염기로도 작용할 수 있는 물질을 양쪽성 물질이라고 한다.

# 02

## 산과 염기의 상대적 세기

- 이온화 상수를 이용해 산과 염기의 상대적인 세기를 추론할 수 있다.
- 이온화 상수를 이용해 약산과 약염기 수용액의 pH를 구할 수 있다.

“ 같은 농도의 염산과 아세트산 수용액의 pH를 측정했더니 염산의 pH는 약 2, 아세트산 수용액의 pH는 약 4였다. 두 수용액의 농도가 같은데도 pH가 다른 까닭은 무엇일까? ”



### 산과 염기의 이온화 상수

**염산(HCl(aq))**  
염화 수소(HCl)가 물에 녹아 생성된 수용액을 염산(HCl(aq))이라고 한다.

농도가 같은 염산(HCl(aq))과 아세트산 수용액(CH<sub>3</sub>COOH(aq))의 pH가 다른 까닭은 산의 종류에 따라 물속에서 이온화하는 정도가 다르기 때문이다. 염화 수소(HCl)는 물에 녹아 대부분 이온화하지만, 아세트산은 물에 녹아 일부만 이온화한다. 따라서 수용액 속 수소 이온(H<sup>+</sup>) 농도는 염산이 아세트산 수용액보다 크다.

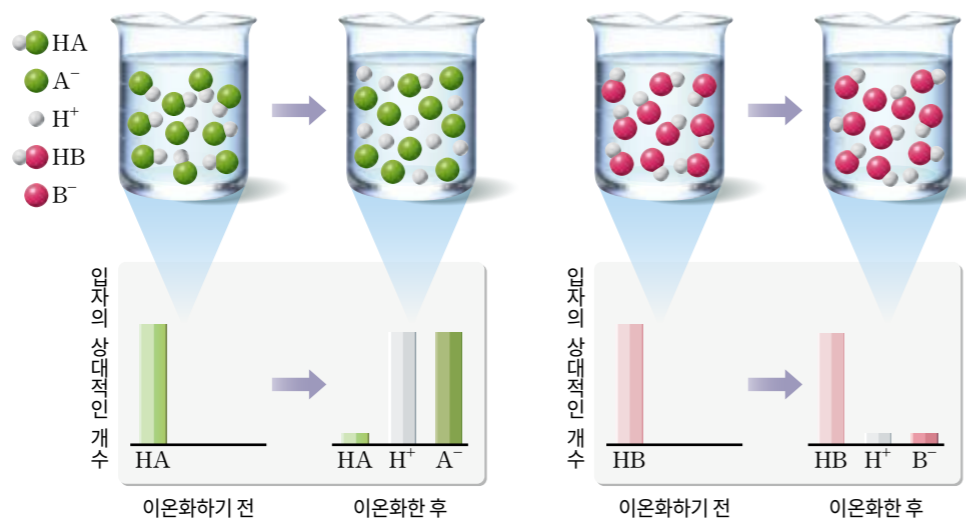


그림 I-3 산 HA와 HB의 이온화 정도 비교 산의 종류가 다르면 물속에서 이온화하는 정도가 다르다.

염산, 황산처럼 물에 녹아 대부분 이온화하는 산을 **강산**이라 하고, 아세트산처럼 물에 녹아 일부만 이온화하는 산을 **약산**이라고 한다. 수산화 나트륨, 수산화 칼슘처럼 물에 녹아 대부분 이온화하는 염기를 **강염기**라 하고, 암모니아, 수산화 마그네슘처럼 물에 녹아 일부만 이온화하는 염기를 **약염기**라고 한다.

일반적으로 강산이나 강염기는 물에 녹아 대부분 이온화하지만, 약산이나 약염기는 물에 녹아 일부만 이온화하여 평형을 이루므로 평형 상수를 이용해서 약산과 약염기가 이온화하는 정도를 나타낼 수 있다.

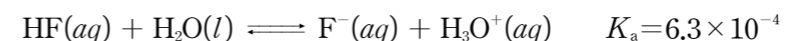
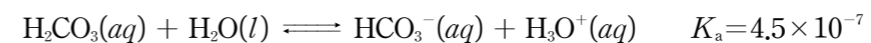
약산(HA)의 이온화 평형을 화학 반응식으로 나타내면 다음과 같다.



순수한 용매인 물의 농도는 일정하므로 이 반응의 평형 상수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]}$$

이때  $K_a$ 를 **산의 이온화 상수**라고 한다.  $K_a$ 는 평형 상수이므로 온도가 일정하면 반응물이나 생성물의 농도와 관계없이 일정하며,  $K_a$ 를 비교하면 산의 상대적인 세기를 비교할 수 있다. 예를 들어 탄산(H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)과 플루오린화 수소(HF)가 이온화하는 반응의 화학 반응식과 25 °C에서  $K_a$ 는 각각 다음과 같다.



$K_a$ 가 클수록 이온화가 잘되므로 산의 세기가 강하다. 따라서  $K_a$ 가 더 큰 플루오린화 수소가 탄산보다 더 강한 산이다.

한편 약염기(B)는 물속에서 다음과 같은 이온화 평형을 이룬다.



이 반응의 평형 상수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$K_b = \frac{[BH^+][OH^-]}{[B]}$$

이때  $K_b$ 를 **염기의 이온화 상수**라고 하며,  $K_b$ 가 클수록 이온화가 잘되므로 염기의 세기가 강하다.

25 °C에서 암모니아(NH<sub>3</sub>)와 히드라진(N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)의 이온화 상수( $K_b$ )가 각각  $1.8 \times 10^{-5}$ ,  $1.3 \times 10^{-6}$ 일 때 두 염기의 세기를 비교해 보자.

### 확인하기

- 산이나 염기의 이온화 상수가 클수록 산이나 염기의 세기가 (강하다 / 약하다).
- 탄산 이온(CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>)의 이온화 반응식을 쓰고, 이온화 상수( $K_b$ )를 식으로 써 보자.

### 연계 화학

『화학』 화학 평형 단원에서 화학 평형과 평형 상수를 학습했다.

### 몇 가지 약산의 이온화 상수 (25 °C)

산	$K_a$
HCOOH	$1.8 \times 10^{-4}$
CH <sub>3</sub> COOH	$1.8 \times 10^{-5}$
HClO	$4.0 \times 10^{-8}$
HCN	$6.2 \times 10^{-10}$

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

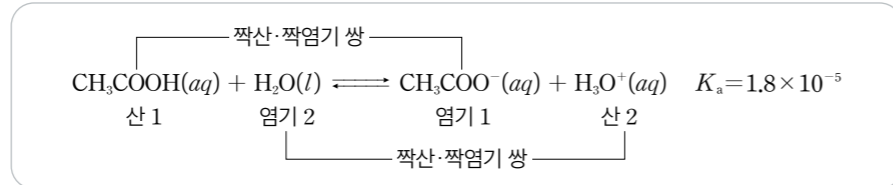
### 이온화 상수와 짝산·짝염기 쌍에서 산과 염기의 상대적 세기

산과 염기의 이온화 상수를 이용하면 정반응 또는 역반응 중 어느 반응이 우세한지 알 수 있으므로 짝산·짝염기 쌍에서 산과 염기의 상대적 세기를 비교할 수 있다.

#### 해보기

#### 짝산·짝염기 쌍에서 산과 염기의 상대적 세기 알아보기

다음은 아세트산(CH<sub>3</sub>COOH)의 이온화 반응식과 25 °C에서의 이온화 상수(K<sub>a</sub>)이다.



1. 정반응과 역반응의 평형 상수를 각각 식으로 나타내고, 역반응의 평형 상수를 구해 보자.



2. 1의 평형 상수를 이용해 아세트산의 이온화 반응에서 정반응과 역반응 중 어느 반응이 더 우세한지 판단해 보자.

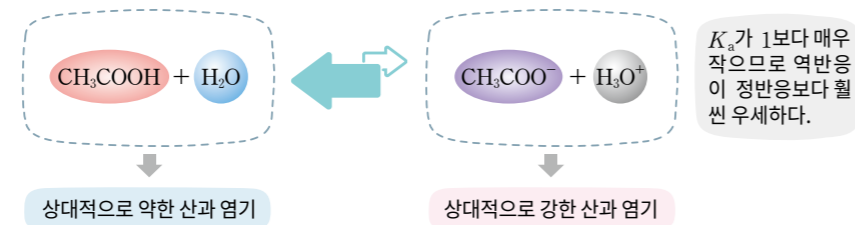


3. 반응에 관여한 산과 염기의 세기를 각각 비교해 [ ]에 부등호(>, <)로 나타내 보자.

산의 세기: CH<sub>3</sub>COOH(aq) [ ] H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>(aq)

염기의 세기: H<sub>2</sub>O(l) [ ] CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>(aq)

CH<sub>3</sub>COOH은 이온화 상수(K<sub>a</sub>)가 1보다 매우 작으므로 CH<sub>3</sub>COOH의 이온화 반응은 역반응이 우세하게 일어난다. 따라서 하이드로늄 이온(H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>)이 CH<sub>3</sub>COOH보다 H<sup>+</sup>를 더 잘 제공하므로 상대적으로 강한 산이고, 아세트산 이온(CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>)이 H<sub>2</sub>O보다 H<sup>+</sup>를 더 잘 받으므로 상대적으로 강한 염기이다.



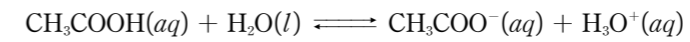
일반적으로 산의 세기가 강할수록 그 짝염기의 세기는 약하고, 산의 세기가 약할수록 그 짝염기의 세기는 강하다.

### 이온화 상수와 pH

일정한 온도에서 이온화 상수는 산과 염기의 농도와 관계없이 일정하므로 약산과 약염기의 이온화 상수를 이용하면 수용액의 pH를 구할 수 있다.

#### 연습 해보기

25 °C에서 0.1 M 아세트산 수용액(CH<sub>3</sub>COOH(aq))의 pH를 구해 보자. (단, 25 °C에서 아세트산의 이온화 상수(K<sub>a</sub>)는 1.8 × 10<sup>-5</sup>이다.)



#### 풀이 따라가기

1 단계 반응물과 생성물의 평형 농도를 구한다.

CH<sub>3</sub>COOH이 물에 녹으면 CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>과 H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>이 같은 양만큼 생성되므로 평형 농도를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

	CH <sub>3</sub> COOH(aq) + H <sub>2</sub> O(l) ⇌ CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup> (aq) + H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> (aq)		
처음 농도(M)	0.1	0	0
반응 농도(M)	-x	+x	+x
평형 농도(M)	0.1-x	x	x

2 단계 평형 농도를 이온화 상수 식에 대입해 [H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>]를 구한다.

약산은 거의 이온화하지 않으므로 CH<sub>3</sub>COOH의 평형 농도는 처음 농도와 거의 같다. 따라서 0.1-x ≈ 0.1이라고 할 수 있다.

$$K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = \frac{x \times x}{0.1 - x} \approx \frac{x^2}{0.1}$$

$$x = \sqrt{K_a \times 0.1} = \sqrt{1.8 \times 10^{-5} \times 0.1} = 1.3 \times 10^{-3}, \text{ 따라서 } [\text{H}_3\text{O}^+] = 1.3 \times 10^{-3} \text{ M}$$

3 단계 pH를 구한다.

$$\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+] \text{이므로 수용액의 pH} = -\log(1.3 \times 10^{-3}) = 2.9 \text{이다.}$$

답 2.9

#### 직접 해 보기

25 °C에서 0.01 M 암모니아 수용액(NH<sub>3</sub>(aq))의 pH를 소수 첫째 자리까지 구해 보자. (단, 25 °C에서 암모니아의 이온화 상수(K<sub>b</sub>)와 물의 이온화 상수(K<sub>w</sub>)는 각각 1.8 × 10<sup>-5</sup>, 1.0 × 10<sup>-14</sup>이다.)

#### 확인하기

- 일반적으로 산의 세기가 강할수록 그 짝염기의 세기는 (강하다 / 약하다).
- 약산의 ( )와/과 수용액의 초기 농도로 약산 수용액의 pH를 구할 수 있다.

#### 연계 화학

『화학』 '역동적인 화학 반응' 단원에서 pH를 학습했다.

#### 약산의 K<sub>a</sub>와 pH의 관계

약산(HA)의 초기 농도가 C M, 반응 농도가 x M일 때 K<sub>a</sub>는 다음과 같이 표현된다.

$$K_a = \frac{x \times x}{C - x} \approx \frac{x^2}{C}$$

x = [H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>]이므로 약산 수용액의 pH는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$CK_a = x^2 = [\text{H}_3\text{O}^+]^2$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{CK_a}$$

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

$$= -\frac{1}{2} \log(CK_a)$$

# 탐구

예측 / 탐구 수행

## 0.1 M 산과 염기 수용액의 pH를 측정하고 이론값과 비교하기

### 목표

산 또는 염기 수용액의 pH를 이온화 상수를 이용해 계산하고, 측정된 pH값과 비교할 수 있다.

### 과정

1. 모둠별로 산 또는 염기 수용액의 pH를 구해 보자.

- 모둠원끼리 다음 수용액을 각각 하나씩 나누어 선택하자.

(가) 0.1 M 염산(HCl(aq))	(나) 0.1 M 아세트산 수용액(CH <sub>3</sub> COOH(aq))
(다) 0.1 M 수산화 나트륨 수용액(NaOH(aq))	(라) 0.1 M 암모니아 수용액(NH <sub>3</sub> (aq))

- 25 °C에서 선택한 수용액의 pH를 구해 보자.

**도움말** pH를 구하는 데 필요한 약산이나 약염기의 이온화 상수를 찾아본다.

- 선택한 수용액: \_\_\_\_\_
- pH를 구하는 데 필요한 정보(이온화 반응식과 이온화 상수 등)
  -
- pH 구하기
  -

- pH 계산 과정을 다른 모둠원들에게 설명하고 계산한 pH값을 공유해 보자.
- 염산, 아세트산 수용액, 수산화 나트륨 수용액, 암모니아 수용액을 비커에 각각 20 mL 씩 담자.
- pH 측정기로 수용액의 pH를 각각 측정하자.

**도움말** 한 수용액의 pH를 측정할 때 다른 수용액의 pH를 측정할 때는 증류수로 pH 측정기를 잘 씻어 사용한다.

- 준비물**
- 0.1 M 염산
  - 0.1 M 아세트산 수용액
  - 0.1 M 수산화 나트륨 수용액
  - 0.1 M 암모니아 수용액
  - 증류수
  - 계산기
  - 비커
  - pH 측정기
  - 실험복
  - 보안경
  - 실험용 고무장갑

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

- 도움 자료**
- 탐구 전에 다음 자료를 먼저 읽어 보자.
- 114 쪽~115 쪽 실험실 안전 수칙
  - 118 쪽~119 쪽 주요 시약별 주의 사항
  - 120 쪽 산의 이온화 상수

강산이나 강염기 수용액의 pH는 수용액의 농도만 알아도 구할 수 있어!

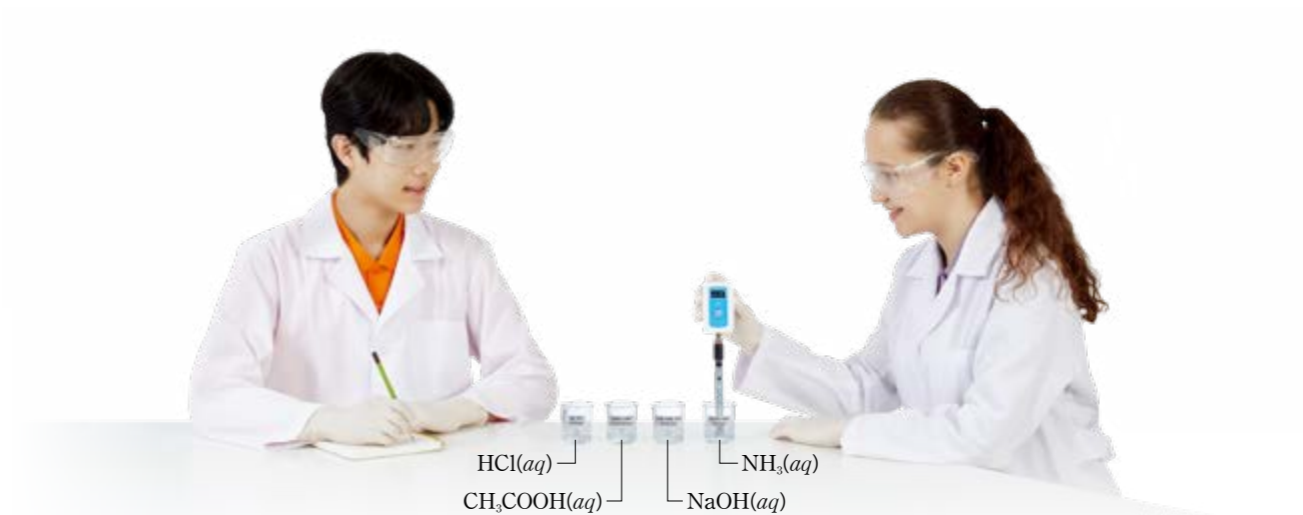


### 결과 및 정리

1. 계산한 pH값과 측정된 pH값을 정리해 보자.

수용액	HCl(aq)	CH <sub>3</sub> COOH(aq)	NaOH(aq)	NH <sub>3</sub> (aq)
계산한 pH값				
측정된 pH값				

2. 계산한 pH값과 측정된 pH값을 비교해 보고, 이온화 상수를 이용해 pH를 계산하는 것이 유용한지 이야기해 보자.



### 스스로 평가하기

- | 지식·이해 | 0.1 M 산 또는 염기 수용액의 pH를 정확히 계산했는가? ☆☆☆☆☆
- | 과정·기능 | pH 측정기를 올바르게 사용하여 수용액의 pH를 측정했는가? ☆☆☆☆☆
- | 가치·태도 | 수용액의 pH를 계산하고 공유하는 과정에서 모둠원이 이해하기 쉽게 설명했는가? ☆☆☆☆☆

### 소단원 마무리

#### 창의력 키우기

아세트산 수용액(CH<sub>3</sub>COOH(aq))을 10 배 희석하면 pH는 어떻게 변할까? 아세트산의 이온화 상수(K<sub>a</sub>)를 이용하여 계산해 보자.

#### 디지털 소양 키우기

산의 이온화 상수(K<sub>a</sub>)와 그 짝염기의 이온화 상수(K<sub>b</sub>)는 서로 어떤 관계일까? 여러 가지 짝산·짝염기 쌍의 K<sub>a</sub>와 K<sub>b</sub>를 탐색해 보자.

# 03

## 중화 적정

- 중화 적정 실험의 pH 변화를 시각화할 수 있다.
- 중화 적정 곡선을 해석할 수 있다.

“ 묽은 염산의 농도 표시가 물에 젖어 알아볼 수 없게 되었다. 묽은 염산의 농도를 알 수 있는 방법이 있을까? ”



### 연계 화학

『화학』 '역동적인 화학 반응' 단원에서 pH, 중화 반응의 양적 관계, 중화 적정을 학습했다.

중화 반응에서 산의 수소 이온( $H^+$ )과 염기의 수산화 이온( $OH^-$ )은 1 : 1의 몰비로 반응해 물( $H_2O$ )을 생성한다. 따라서 수소 이온과 수산화 이온의 양(mol)이 같아져 중화가 완결되는 지점인 중화점을 찾으면 농도를 모르는 산 또는 염기의 농도를 구할 수 있다. 이때 지시약을 이용해 중화점을 판단할 수도 있지만, 중화 적정 과정에서의 pH 변화를 관찰하면 중화점을 더 정확하게 찾을 수 있다.

Q 탐구 능력 | 문제 해결 능력 | 의사 결정 능력

### 탐구

● 정보 수집·변환·해석

#### 준비물

- 0.1 M 수산화 나트륨 표준 용액
- 0.1 M 염산  뷰렛
- 뷰렛 집게  집게
- 스탠드  깔때기
- 비커  pH 센서
- 자석 젓개  자석
- 피펫  피펫 필러
- 스마트 기기  실험복
- 보안경
- 실험용 고무장갑

#### 안전

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

### 중화 적정 곡선 그리기

#### 목표

중화 적정 실험을 수행해 pH 데이터를 얻고, 이를 시각화해 중화 적정 곡선으로 나타낼 수 있다.

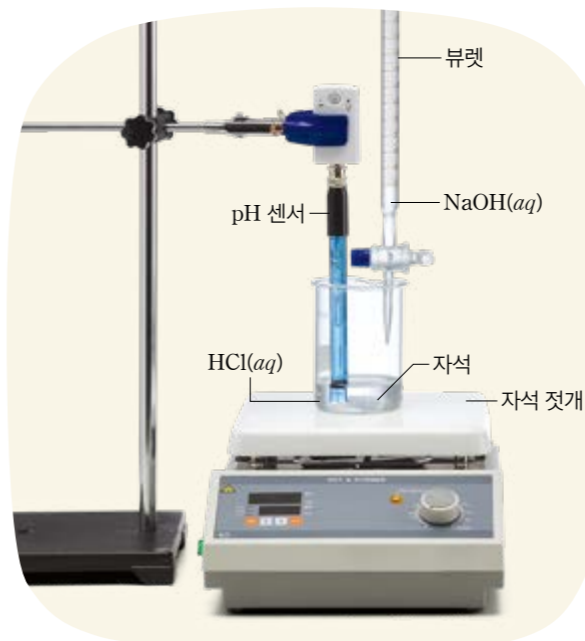
#### 예상

0.1 M 염산( $HCl(aq)$ )에 0.1 M 수산화 나트륨 수용액( $NaOH(aq)$ )을 넣어 줄 때, 넣어 준 수산화 나트륨 수용액의 부피에 따라 pH가 어떻게 변할지 이야기해 보자.

#### 과정

1. 스탠드에 고정한 뷰렛에 깔때기를 이용해 수산화 나트륨 표준 용액을 넣고, 꼭지를 열어 용액을 3 방울 정도 흘린 다음 꼭지를 닫고 눈금을 읽자.
  - 처음 눈금은 몇 mL인가?

2. 염산 20 mL를 비커에 담고 자석을 넣은 다음 그림과 같이 장치하자.
  - 도움말**  자석이 돌아갈 때 pH 센서의 전극과 닿지 않도록 장치한다.
3. pH 센서로 측정된 데이터를 받을 수 있는 프로그램을 열고 초기 pH를 측정하자.
  - 도움말**  스마트 기기에 pH 센서의 데이터를 받을 수 있는 프로그램을 설치한다.
4. 자석 젓개를 켜고 수산화 나트륨 수용액을 1 방울씩 떨어뜨리면서 pH 센서의 데이터를 확인하자. 이때 수산화 나트륨 수용액이 1 mL 들어갈 때마다 pH를 기록하자.
  - 도움말**  수산화 나트륨 수용액의 부피와 pH를 동시에 확인해야 하므로 모뎀원끼리 역할을 분담한다.
5. 용액의 pH가 크게 변한 다음 수산화 나트륨 수용액이 2 mL~3 mL 더 들어가면 측정을 멈추자.



- 도움 자료**
- 탐구 전에 다음 자료를 먼저 읽어 보자.
- 114 쪽~115 쪽 실험실 안전 수칙
  - 116 쪽~117 쪽 실험 기구 사용 방법
  - 118 쪽~119 쪽 주요 시약별 주의 사항

그래프는 프로그램을 이용해서 그릴 수도 있고, 스프레드시트를 이용해서 그릴 수도 있어.

#### 스스로 평가하기

**| 지식·이해 |**  
중화 적정 실험에서 pH 변화를 실험 데이터에 근거해 해석하고 설명했는가? ☆☆☆☆☆

**| 과정·기능 |**  
수산화 나트륨 수용액의 부피에 따른 pH 데이터를 수집해 그래프로 잘 나타냈는가? ☆☆☆☆☆

**| 가치·태도 |**  
중화 적정 실험을 수행해 pH 데이터를 수집하고 시각화하는 과정에 적극적으로 참여했는가? ☆☆☆☆☆

#### 결과 및 정리

1. 모뎀별로 넣어 준 수산화 나트륨 수용액의 부피에 따른 pH를 스프레드시트를 이용해 그래프로 나타내 보자.
2. 넣어 준 수산화 나트륨 수용액의 부피에 따른 pH 변화를 설명하고, 중화점에서 그래프 모양이 어떤 특징을 나타내는지 설명해 보자.
3. 농도를 모르는 산 또는 염기 수용액을 염기 또는 산 표준 용액으로 중화 적정 할 때 중화점을 찾는 방법을 토의해 보자.

**중화 적정**

중화 반응의 양적 관계를 이용하여 농도를 모르는 산 또는 염기 수용액의 농도를 구하는 방법이다. 이때 농도를 정확하게 아는 용액을 표준 용액이라고 한다.

**중화 적정 곡선**

산과 염기의 중화 적정에서 넣어 준 표준 용액의 부피에 따른 수용액의 pH를 나타낸 그래프를 **중화 적정 곡선**이라고 하며, 이를 이용하면 중화 적정의 진행에 따른 pH 변화를 한눈에 확인할 수 있다.

그림 I-4는 25 °C에서 강염기인 0.1 M 수산화 나트륨 수용액(NaOH(aq))을 표준 용액으로 하여 강산인 0.1 M 염산(HCl(aq)) 100 mL를 적정할 때의 중화 적정 곡선이다.

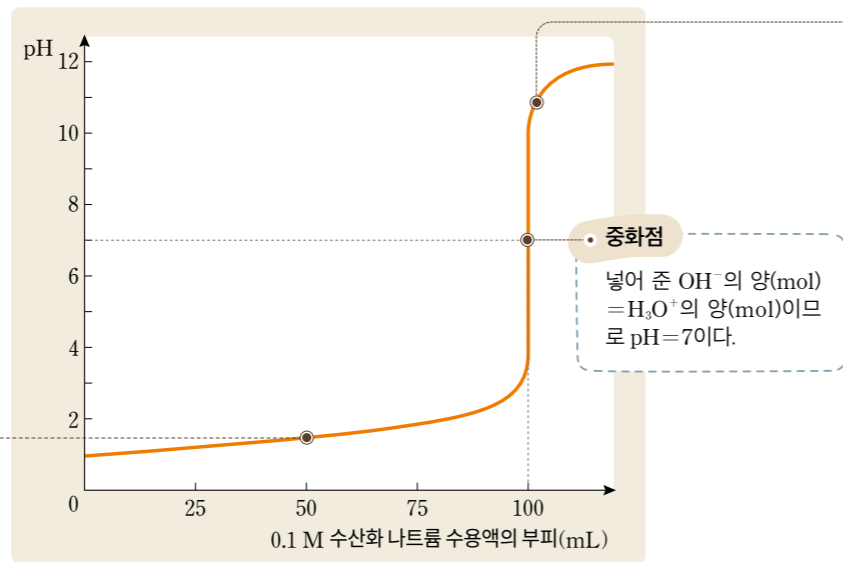


그림 I-4 0.1 M HCl(aq)을 0.1 M NaOH(aq)으로 적정할 때의 중화 적정 곡선(25 °C)

**NaOH(aq)을 50 mL 넣었을 때의 pH(중화점 이전)**

1. 수용액 속 H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>의 양(mol)을 구한다.

수용액 속 H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>의 양은 처음 H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>의 양에서 넣어 준 OH<sup>-</sup>의 양을 빼서 구할 수 있으므로

$$\text{H}_3\text{O}^+\text{의 양} = (0.1 \text{ mol/L} \times 0.1 \text{ L}) - \text{①} = 0.005 \text{ mol}$$

2. [H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>]를 이용해 수용액의 pH를 구한다.

H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>의 양은 0.005 mol이고, 전체 수용액의 부피는 ② L이므로

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{0.005 \text{ mol}}{\text{② L}} = 0.033 \text{ M이다.}$$

따라서 수용액의 pH = ③ = 1.5이다.

➔ NaOH(aq)을 50 mL 넣었을 때 pH가 약 0.5 증가했다. 이처럼 강산에 강염기를 넣을 때 중화점 근처에 도달하기 전에는 pH가 천천히 증가한다.

그림 I-4를 살펴보면 중화점 근처에 도달하기 전까지는 pH가 조금씩 변하다가 중화점 근처에 도달하면 pH가 급격하게 변하는 것을 알 수 있다. 그 까닭은 무엇일까?

중화점 근처에 도달하기 전에는 용액의 [H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>]가 비교적 크므로 강염기를 조금씩 넣어도 pH가 크게 변하지 않는다. 그러나 중화점 근처에 도달하면 용액의 [H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>]가 상대적으로 작으므로 강염기가 조금만 첨가되어도 pH가 크게 변한다.

중화 적정 곡선을 이용하면 중화점을 정확하게 알 수 있으며, 이를 바탕으로 하여 농도를 모르는 산 또는 염기 수용액의 농도를 정확하게 구할 수 있다.

**NaOH(aq)을 101 mL 넣었을 때의 pH(중화점 이후)**

1. 수용액 속 OH<sup>-</sup>의 양(mol)을 구한다.

수용액 속 OH<sup>-</sup>의 양은 넣어 준 OH<sup>-</sup>의 양에서 처음 H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>의 양을 빼서 구할 수 있으므로

$$\text{OH}^-\text{의 양} = (0.1 \text{ mol/L} \times 0.101 \text{ L}) - \text{①} = \text{② mol}$$

2. [OH<sup>-</sup>]를 이용해 수용액의 pH를 구한다.

OH<sup>-</sup>의 양은 ② mol이고, 전체 수용액의 부피는 0.201 L이므로

$$[\text{OH}^-] = \frac{\text{② mol}}{0.201 \text{ L}} = 0.0005 \text{ M이다.}$$

따라서 수용액의 pOH = -log0.0005 = 3.3이고, pH = 14 - 3.3 = 10.7이다.

➔ 중화점에 도달한 직후에는 NaOH(aq)을 1 mL만 더 넣어도 pH가 크게 변한다.

중화점 이후에는 용액에 OH<sup>-</sup>이 더 많으므로 OH<sup>-</sup>의 양(mol)을 이용해서 pH를 구하는 거야.

**확인하기**

- 산과 염기의 중화 적정에서 넣어 준 염기 또는 산 표준 용액의 부피에 따른 수용액의 pH 변화를 나타낸 곡선을 ( )이라고 한다.
- 25 °C에서 강산 수용액을 강염기 표준 용액으로 적정할 때 중화점에서 수용액의 pH는 ( )이다.

**소단원 마무리**

**창의력키우기**

페놀프탈레인 용액은 pH 8.3~10.0 사이에서 붉은색으로 변하는데, 25 °C에서 중화점의 pH가 7인 강산과 강염기의 중화 적정 실험에서 페놀프탈레인 용액을 지시약으로 사용할 수 있는 까닭을 설명해 보자.

**디지털소양키우기**

산과 염기의 중화 적정에서 pH를 측정하는 방법 외에 중화점을 알 수 있는 방법을 조사하고, 공유 플랫폼을 활용하여 공유해 보자.

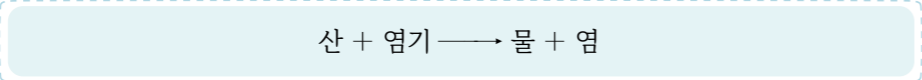
# 04 염의 가수 분해

- 이온화 상수를 이용해 염의 가수 분해를 설명할 수 있다.
- 이온화 상수를 이용해 염 수용액의 액성을 예측하고, 실험 결과와 비교할 수 있다.

“ 케첩, 소시지, 빵 등의 pH를 적절하게 맞추기 위해 아세트산 나트륨이 사용된다. 아세트산 나트륨이 pH를 조절할 수 있는 까닭은 무엇일까? ”



산과 염기가 중화 반응을 할 때 물과 함께 생성되는 이온 결합 물질을 염이라고 한다. 염은 산의 음이온과 염기의 양이온이 결합해 생성되므로 반응한 산과 염기에 따라 종류가 달라진다.



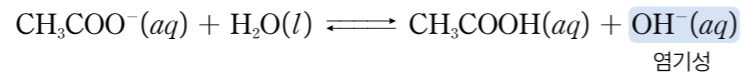
강산인 염산(HCl(aq))과 강염기인 수산화 나트륨 수용액(NaOH(aq))의 중화 반응으로 생성되는 염인 염화 나트륨(NaCl)은 수용액에서 나트륨 이온(Na<sup>+</sup>)과 염화 이온(Cl<sup>-</sup>)으로 존재하므로 물에 녹아 중성을 나타낸다. 그렇다면 중화 반응으로 생성된 염 수용액은 모두 중성일까?

### 약산과 강염기의 염

약산인 아세트산(CH<sub>3</sub>COOH)과 강염기인 수산화 나트륨(NaOH)이 반응하여 생성되는 아세트산 나트륨(CH<sub>3</sub>COONa)은 물에 녹아 아세트산 이온(CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>)과 나트륨 이온(Na<sup>+</sup>)으로 존재한다.



생성된 이온 중 나트륨 이온(Na<sup>+</sup>)은 물속에 그대로 있지만, 아세트산의 짝염기인 아세트산 이온(CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>)은 물과 반응해 수산화 이온(OH<sup>-</sup>)을 생성하므로 수용액은 염기성을 띤다.



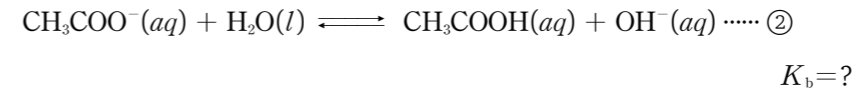
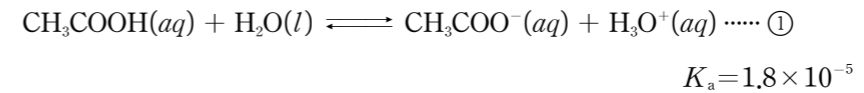
즉, 약산과 강염기의 중화 반응으로 생성된 염의 수용액은 염기성을 띤다. 이때 약산의 짝염기의 이온화 상수(K<sub>b</sub>)를 이용하면 수용액의 pH를 구할 수 있다.

Na<sup>+</sup>과 같은 강염기의 양이온이나 Cl<sup>-</sup>과 같은 강산의 음이온은 매우 안정해서 브뢴스테드-라우리 산이나 염기로 작용하지 않아.

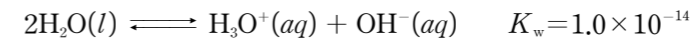


25 °C에서 0.1 M 아세트산 나트륨 수용액의 pH를 구해 보자.

1 CH<sub>3</sub>COOH의 이온화 상수(K<sub>a</sub>)를 이용해서 짝염기인 CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>의 이온화 상수(K<sub>b</sub>)를 구한다.



CH<sub>3</sub>COOH의 이온화 반응식(①)과 그 짝염기인 CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>의 이온화 반응식(②)을 더하면 물(H<sub>2</sub>O)의 이온화 반응식이 되므로, 산의 이온화 상수(K<sub>a</sub>)와 짝염기의 이온화 상수(K<sub>b</sub>)의 곱은 물의 이온화 상수(K<sub>w</sub>)와 같다.



따라서 CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>의 이온화 상수(K<sub>b</sub>)는  $\frac{1.0 \times 10^{-14}}{1.8 \times 10^{-5}} = 5.6 \times 10^{-10}$ 이다.

2 CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>의 이온화 상수(K<sub>b</sub>)를 이용해 [OH<sup>-</sup>]를 구한다. [CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>]가 x M만큼 줄어들어 평형에 도달하면 수용액 속 [CH<sub>3</sub>COOH], [OH<sup>-</sup>]는 x M만큼 늘어난다. 이때 x가 매우 작은 값이므로 CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>의 평형 농도는 초기 농도와 거의 같다. 따라서 [OH<sup>-</sup>]는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$K_b = 5.6 \times 10^{-10} = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}][\text{OH}^-]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]} = \frac{x \times x}{0.1 - x} \approx \frac{x^2}{0.1}$$

$$x = \sqrt{0.1 \times 5.6 \times 10^{-10}} = 7.5 \times 10^{-6}, \text{ 따라서 } [\text{OH}^-] = 7.5 \times 10^{-6} \text{ M}$$

3 [OH<sup>-</sup>]를 pOH로 변환하고, pH를 구한다. pOH = -log[OH<sup>-</sup>]이므로 수용액의 pOH = -log(7.5 × 10<sup>-6</sup>) = 5.1이고, pH = 14 - pOH이므로 수용액의 pH = 14 - 5.1 = 8.9이다.

### 확인하기

- 1 약산과 강염기의 중화 반응으로 생성된 염 수용액의 액성이 ( )인 것은 약산의 짝염기가 물과 반응해 ( ) 이온을 생성하기 때문이다.
- 2 탄산수소 나트륨 수용액(NaHCO<sub>3</sub>(aq))의 액성을 써 보자.

연계 화학 『화학』의 ‘역동적인 화학 반응’ 단원에서 물의 자동 이온화와 물의 이온화 상수를 학습했다.

산의 이온화 상수(K<sub>a</sub>)와 그 짝염기의 이온화 상수(K<sub>b</sub>)의 관계  $K_a \times K_b = \frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]} \times \frac{[\text{HA}][\text{OH}^-]}{[\text{A}^-]} = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] = K_w$

13 쪽 약산의 K<sub>a</sub>와 pH 관계를 참고해!



## 강산과 약염기의 염

강산인 염산(HCl(aq))과 약염기인 암모니아(NH<sub>3</sub>)의 중화 반응으로 생성되는 염인 염화 암모늄 수용액(NH<sub>4</sub>Cl(aq))의 액성은 어떠한가?



염화 암모늄 수용액에 존재하는 염화 이온(Cl<sup>-</sup>)은 물속에 그대로 있지만, 암모니아의 짝산인 암모늄 이온(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)은 물과 반응해 하이드로늄 이온(H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>)을 생성하므로 수용액은 산성을 띤다.



즉, 강산과 약염기의 중화 반응으로 생성된 염의 수용액은 산성을 띤다.

염 수용액에서 염을 이루는 이온이 물과 반응해 수산화 이온(OH<sup>-</sup>)이나 하이드로늄 이온(H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>)을 생성하는 반응을 **염의 가수 분해**라고 한다. 염 수용액의 pH는 염의 가수 분해 정도에 따라 결정되며, 이는 산과 염기의 이온화 상수로 구할 수 있다.

### 연습 해보기

25 °C에서 0.01 M 염화 암모늄 수용액(NH<sub>4</sub>Cl(aq))의 pH를 구해 보자. (단, 25 °C에서 NH<sub>3</sub>의 이온화 상수(K<sub>b</sub>)와 물의 이온화 상수(K<sub>w</sub>)는 각각 1.8 × 10<sup>-5</sup>, 1.0 × 10<sup>-14</sup>이다.)

#### 풀이 따라가기

1 단계 NH<sub>3</sub>의 이온화 상수(K<sub>b</sub>)를 이용해서 짝산인 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>의 이온화 상수(K<sub>a</sub>)를 구한다.

$$\text{NH}_4^+\text{의 이온화 상수}(K_a) = \frac{K_w}{K_b} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{1.8 \times 10^{-5}} = 5.6 \times 10^{-10}$$

2 단계 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>의 이온화 상수(K<sub>a</sub>)를 이용해 [H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>]를 구한다.

NH<sub>4</sub><sup>+</sup>(aq) + H<sub>2</sub>O(l) ⇌ NH<sub>3</sub>(aq) + H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>(aq)의 반응에서 [NH<sub>4</sub><sup>+</sup>]가 x M만큼 줄어들어 평형에 도달했다고 할 때 [NH<sub>3</sub>]와 [H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>]는 x M만큼 늘어나므로 이온화 상수(K<sub>a</sub>)는 다음과 같이 나타낼 수 있다. 이때 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>의 평형 농도는 초기 농도와 거의 같다.

$$K_a = 5.6 \times 10^{-10} = \frac{[\text{NH}_3][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{NH}_4^+]} = \frac{x \times x}{0.01 - x} \approx \frac{x^2}{0.01}$$

$$x = \sqrt{0.01 \times 5.6 \times 10^{-10}} = 2.4 \times 10^{-6}, \text{ 따라서 } [\text{H}_3\text{O}^+] = 2.4 \times 10^{-6} \text{ M}$$

3 단계 pH로 변환한다.

$$\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+] \text{이므로 수용액의 } \text{pH} = -\log(2.4 \times 10^{-6}) = 5.6 \text{이다. } \quad \text{답 } 5.6$$

#### 직접 해 보기

25 °C에서 0.2 M NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>(aq)의 pH를 소수 첫째 자리까지 구해 보자. (단, 25 °C에서 NH<sub>3</sub>의 이온화 상수(K<sub>b</sub>)와 물의 이온화 상수(K<sub>w</sub>)는 각각 1.8 × 10<sup>-5</sup>, 1.0 × 10<sup>-14</sup>이다.)

## 탐구

### 염 수용액의 액성을 예측하고 확인하기

● 예측 / 탐구 수행

#### 목표

짝산 또는 짝염기의 이온화 상수를 바탕으로 하여 염 수용액의 액성을 예측하고, 실험 결과와 비교할 수 있다.

#### 과정 및 결과

1. 25 °C에서 이온화 상수를 이용해 0.1 M 아세트산 나트륨 수용액(CH<sub>3</sub>COONa(aq))과 0.1 M 염화 암모늄 수용액(NH<sub>4</sub>Cl(aq))의 pH를 구하고, 수용액의 액성을 예측해 보자.



2. 두 가지 염 수용액을 각각 pH 시험지에 묻히고, pH 시험지의 색 변화를 관찰해 수용액의 pH와 액성을 결정해 보자.



구분	0.1 M CH <sub>3</sub> COONa(aq)		0.1 M NH <sub>4</sub> Cl(aq)	
	pH	액성	pH	액성
예측한 결과				
실험 결과				

#### 정리

1. 염 수용액의 액성이 서로 다른 까닭을 설명해 보자.



2. 예측한 결과와 실험 결과를 비교하고, 차이가 있다면 그 까닭을 토의해 보자.



#### 준비물

- 0.1 M 아세트산나트륨 수용액
- 0.1 M 염화 암모늄 수용액
- pH 시험지  비커
- 유리 막대  계산기
- 실험복  보안경
- 실험용 고무장갑

#### 안전



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

#### 도움 자료

탐구 전에 다음 자료를 먼저 읽어 보자.

- 114 쪽~115 쪽 실험실 안전 수칙
- 120 쪽 산의 이온화 상수

#### 스스로 평가하기

| 지식·이해 |  
실험에 사용한 염 수용액의 액성이 서로 다른 까닭을 옳게 설명했는가? ☆☆☆☆☆

| 과정·기능 |  
염 수용액의 액성을 옳게 판단했는가? ☆☆☆☆☆

| 가치·태도 |  
염 수용액의 액성을 예측하고 확인하는 과정에 적극적으로 참여했는가? ☆☆☆☆☆

### 소단원 마무리

#### 창의력 키우기

약산과 강염기의 중화 반응에서 중화점에 도달한 수용액의 액성을 추론해 보자.

#### 디지털 소양 키우기

물에 녹았을 때 중성이 아닌 염이 일상생활에서 이용되는 예를 찾아보고, 공유 플랫폼을 활용하여 공유해 보자.

# 05

## 완충 작용

- 완충 작용을 화학 평형으로 설명할 수 있다.
- 생체 내 완충 작용으로부터 화학 원리의 신비로움을 인식할 수 있다.

“ 레몬은 바이타민 C가 많아서 감기 예방에 도움이 된다. 신맛이 강한 레몬은 산성을 띠는데, 이런 과일을 계속 먹으면 몸이 산성화될까? ”



외부나 체내 환경이 변해도 우리 몸의 pH는 크게 변하지 않는다. 우리 몸에는 산이나 염기를 첨가해도 pH가 크게 변하지 않게 하는 물질이 있기 때문이다.

물은 소량의 산이나 염기를 첨가하면 pH가 크게 변하지만, 약산과 그 짝염기가 섞여 있는 수용액이나 약염기와 그 짝산이 섞여 있는 수용액은 소량의 산이나 염기를 첨가해도 pH가 크게 변하지 않는다. 이러한 용액을 완충 용액이라고 한다.

물과 완충 용액에 산과 염기를 첨가했을 때 pH 변화를 알아보자.

탐구 능력 | 문제 해결 능력 | 의사 결정 능력

### 탐구

탐구 수행 / 자료 분석·추론

#### 준비물

- 0.2 M 아세트산 수용액
- 0.2 M 아세트산나트륨 수용액
- 0.2 M 수산화 나트륨 수용액
- 0.2 M 염산  증류수
- 비커  눈금실린더
- 스포이트  pH 측정기
- 유리 막대  실험복
- 보안경
- 실험용 고무장갑

#### 안전



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

### 물과 완충 용액의 pH 변화 비교하기

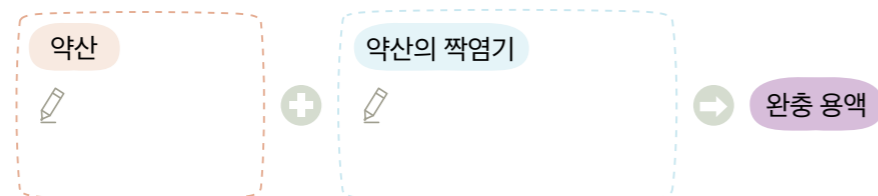
#### 목표

강산이나 강염기를 첨가할 때 물과 완충 용액의 pH 변화를 비교할 수 있다.

#### 과정 및 결과

1. 비커에 아세트산 수용액( $\text{CH}_3\text{COOH}(aq)$ )과 아세트산 나트륨 수용액( $\text{CH}_3\text{COONa}(aq)$ )을 50 mL씩 섞어 완충 용액을 만들자.

- 이 완충 용액을 만들 때 사용된 물질 중 약산과 그 짝염기가 무엇일까?



2. 비커에 증류수( $\text{H}_2\text{O}(l)$ ), 아세트산 수용액( $\text{CH}_3\text{COOH}(aq)$ ), 아세트산 나트륨 수용액( $\text{CH}_3\text{COONa}(aq)$ ), 1에서 만든 완충 용액을 50 mL씩 담고, pH 측정기로 각 액체의 pH를 측정하자.

**도움말** 한 수용액의 pH를 측정할 다음 다른 수용액의 pH를 측정할 때는 증류수로 pH 측정기를 잘 씻어 사용한다.

3. 2의 증류수와 수용액에 각각 수산화 나트륨 수용액( $\text{NaOH}(aq)$ ) 5 mL를 첨가해 섞은 다음 pH를 측정하자.

구분	$\text{H}_2\text{O}(l)$	$\text{CH}_3\text{COOH}(aq)$	$\text{CH}_3\text{COONa}(aq)$	완충 용액
처음 pH				
$\text{NaOH}(aq)$ 을 넣었을 때의 pH				

4. 2와 같이 비커에 증류수와 여러 가지 수용액을 50 mL씩 다시 담고, 각각 염산( $\text{HCl}(aq)$ ) 5 mL를 첨가해 섞은 다음 pH를 측정하자.

**도움말** 공유 플랫폼을 활용하여 실험 결과를 공유한다.

구분	$\text{H}_2\text{O}(l)$	$\text{CH}_3\text{COOH}(aq)$	$\text{CH}_3\text{COONa}(aq)$	완충 용액
처음 pH				
$\text{HCl}(aq)$ 을 넣었을 때의 pH				

- 도움 자료**  
탐구 전에 다음 자료를 먼저 읽어 보자.
- 114 쪽~115 쪽 실험실 안전 수칙
  - 116 쪽~117 쪽 실험 기구 사용 방법
  - 118 쪽~119 쪽 주요 시약별 주의 사항

### 정리

1. 증류수, 아세트산 수용액, 아세트산 나트륨 수용액, 완충 용액의 pH 변화에 어떤 차이가 있는지 비교해 보자.



2. 정리 1과 같은 차이가 생기는 까닭을 모둠별로 토의해 보자.



#### 스스로 평가하기

- | 지식·이해 | 강산이나 강염기를 첨가할 때 물과 완충 용액의 pH 변화를 비교해 설명했는가? ☆☆☆☆☆
- | 과정·기능 | 약산과 그 짝염기가 포함된 염 수용액으로 완충 용액을 옳게 만들었는가? ☆☆☆☆☆
- | 가치·태도 | 토의할 때 모듬원의 의견을 경청했는가? ☆☆☆☆☆

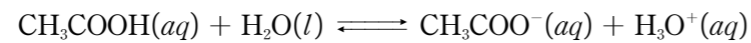
연계 화학

『화학』 ‘화학 평형’ 단원에서 평형 이동과 르사틀리에 원리를 학습했다.

화학 평형과 완충 작용

아세트산(CH<sub>3</sub>COOH)과 아세트산 나트륨(CH<sub>3</sub>COONa)을 섞은 수용액이나 암모니아(NH<sub>3</sub>)와 염화 암모늄(NH<sub>4</sub>Cl)을 섞은 수용액은 완충 용액이다. 이러한 용액이 완충 작용을 하는 원리는 무엇일까?

아세트산과 아세트산 나트륨이 같은 양(mol) 섞여 있는 수용액을 생각해 보자. 약산인 아세트산은 매우 적은 양(mol)만 이온화하고 아세트산 나트륨은 수용액에서 이온으로 존재하므로 수용액에는 비슷한 양(mol)의 아세트산(CH<sub>3</sub>COOH)과 아세트산 이온(CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>)이 존재한다.



이 수용액에 산을 첨가해 [H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>]가 증가하면 하이드로늄 이온(H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>)이 아세트산 이온(CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>)과 반응하므로 수용액의 [H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>]가 거의 일정하게 유지된다.

또 이 수용액에 염기를 첨가해 [OH<sup>-</sup>]가 증가하면 수산화 이온(OH<sup>-</sup>)이 아세트산(CH<sub>3</sub>COOH)과 중화 반응을 하므로 수용액의 [H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>]가 거의 일정하게 유지된다.

완충 작용과 반응 지수

CH<sub>3</sub>COOH의 이온화 반응의 평형 상수는 다음과 같다.

$$K = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

이 반응에서 [H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>]가 증가하면 반응 지수(Q)가 평형 상수(K)보다 커지므로 Q가 K와 같아질 때까지 역반응이 진행된다.

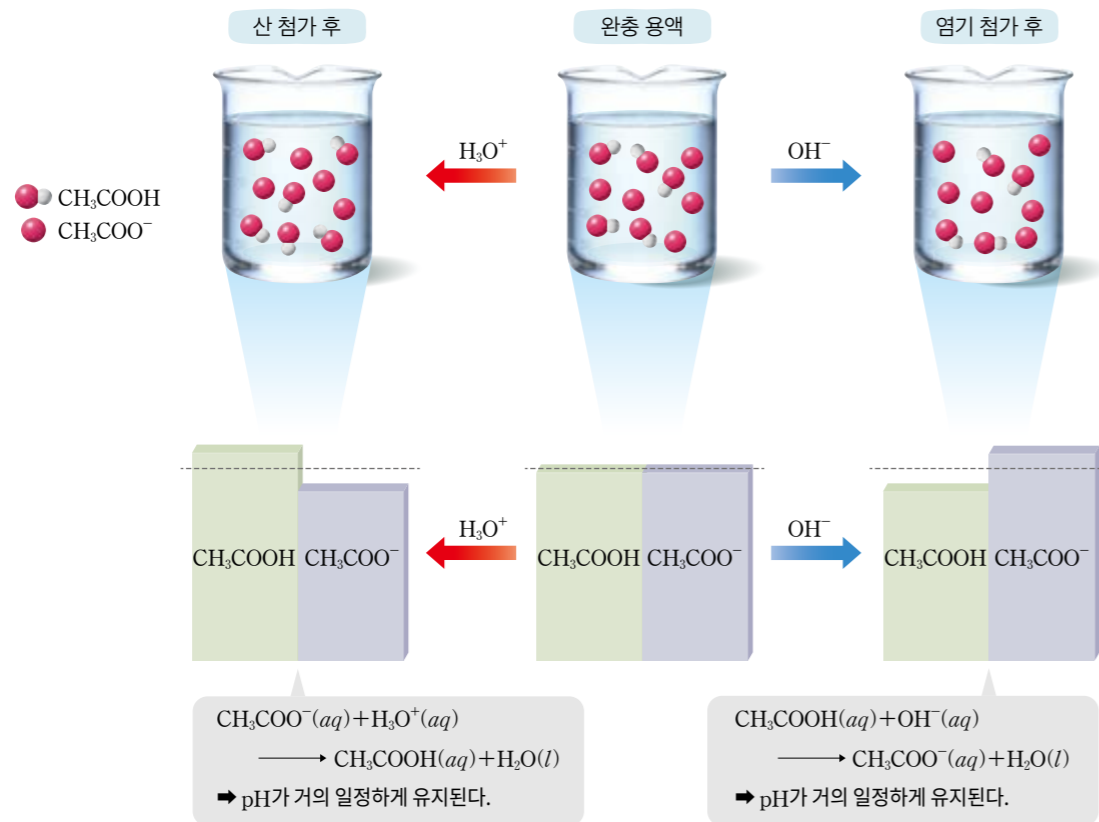
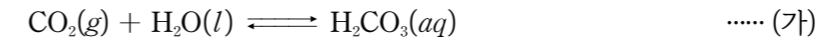


그림 I-5 완충 용액의 원리

생체 내 완충 작용

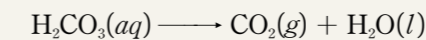
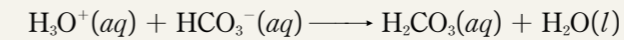
효소의 작용이나 대사 작용과 같은 많은 생명 과정은 pH에 민감하므로 생명체는 하이드로늄 이온의 농도를 좁은 범위 내에서 조절해야 한다. 예를 들어 인체는 혈액의 pH를 7.35~7.45로 유지하는데, 이 과정에서 가장 중요한 것은 이산화 탄소(CO<sub>2</sub>)이다. 이산화 탄소는 혈액의 pH를 어떻게 조절할까?

이산화 탄소는 혈액에 용해되어 탄산(H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)을 형성한다. 탄산은 이온화되어 탄산수소 이온(HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)과 평형을 이루면서 혈액의 pH를 일정하게 유지한다.



심한 운동으로 젓산이 생성될 때 혈액의 pH는 다음과 같이 조절된다.

1. 젓산이 생성되면 혈액의 [H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>]가 증가한다.
2. (나)에서 역반응이 우세하게 진행되어 [H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>]가 감소하고 [H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>]가 증가한다.
3. (가)에서 역반응이 우세하게 진행되어 [H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>]가 감소하고 [CO<sub>2</sub>]가 증가한다. 이때 생성된 CO<sub>2</sub>는 폐에서 배출된다.



→ 이러한 평형 이동으로 증가한 H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>이 감소하므로 혈액의 pH가 일정하게 유지된다.

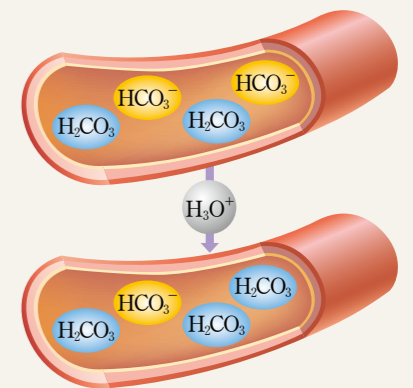


그림 I-6 H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> 증가에 따른 H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>과 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 변화

확인하기

- 1 약산과 그 짝염기가 섞여 있는 수용액처럼 소량의 산이나 염기를 첨가해도 pH가 크게 변하지 않는 용액을 ( ) (이)라고 한다.
- 2 암모니아(NH<sub>3</sub>)와 염화 암모늄(NH<sub>4</sub>Cl)을 같은 양(mol) 섞은 수용액에 수산화 나트륨(NaOH)을 소량 첨가해도 pH 변화가 크지 않은 까닭을 써 보자.

소단원 마무리

창의력 키우기

혈액의 pH가 적정 pH를 벗어나면 우리 몸에 어떤 변화가 일어날지 찾아보자.

디지털 소양 키우기

인체에서 일어나는 완충 작용을 조사하고 공유 플랫폼을 활용하여 공유해 보자.

# 혈액의 pH와 고산병

낮은 지대에서 해발 2000 m~3000 m 이상의 높은 지대에 가면 호흡 곤란, 두통, 구토 등의 증상이 나타날 수 있는데, 이를 고산병이라고 한다. 고산병의 원인 중 하나는 체내 혈액의 pH가 올라가는 것이다. 높은 지대에 가는 것과 혈액의 pH는 어떤 관련이 있는 것일까?

높은 지대는 지상보다 공기의 밀도가 낮으므로 혈액에 공급되는 산소가 부족해질 수 있다. 산소 부족을 해소하기 위해 호흡할 때 호흡기 근육의 수축이 강하게 이루어지며, 분당 호흡수가 증가하게 된다. 이러한 과정을 거치면 혈액에 산소를 더 많이 공급할 수 있지만, 혈액 중 이산화 탄소를 많이 잃게 되는 문제가 생긴다.

이산화 탄소는 혈액의 pH를 일정한 범위로 유지해 준다. 따라서 이산화 탄소가 몸에서 너무 많이 빠져나가면 혈액의 완충 능력이 약해지고, 혈액의 수소이온( $H_3O^+$ ) 농도가 낮아져 pH가 높아진다. 이러한 까닭으로 고산병이 발생하게 되는 것이다.

**활동하기**

**조사**

고산병을 예방하는 약인 아세트졸아마이드의 역할을 조사해 보자.



# 피부의 건강을 연구하는 화장품 연구원

**누리집**



**검색·누리집**

커리어넷에서 화장품 연구원과 관련된 정보를 찾아보자.

**화장품 연구원이 하는 일은 무엇일까?**

화장품 연구원은 화장품을 개발하기 위해 화장품 원료로 적합한 물질을 찾고, 화장품이 피부나 인체에 미치는 영향과 부작용 등을 연구한다. 이러한 피부 분석에서 가장 기본적으로 고려할 것은 피부의 pH로, 화장품 연구원은 피부의 pH를 적정 pH인 5.5 정도로 유지하는 데 도움이 되는 다양한 소재를 연구하고 개발한다.



**화장품 연구원은 어떤 능력이 필요할까?**

화장품 연구원은 피부 보습, 피부의 적정 pH 유지, 노화 방지 등에 효과적인 다양한 식물 소재를 연구하거나 피부 유전자를 분석하기도 하므로, 화학과 생명과학을 아우르는 폭넓은 지식이 필요하다. 이 밖에도 화장품 연구원은 소비자와 밀접한 관계를 갖고 제품을 개발하기 때문에 소비자의 심리나 데이터를 분석하는 능력, 제품에 담긴 과학적 내용을 소비자가 이해할 수 있도록 풀어내는 의사소통 능력을 갖춰야 한다.

**관련 학과**

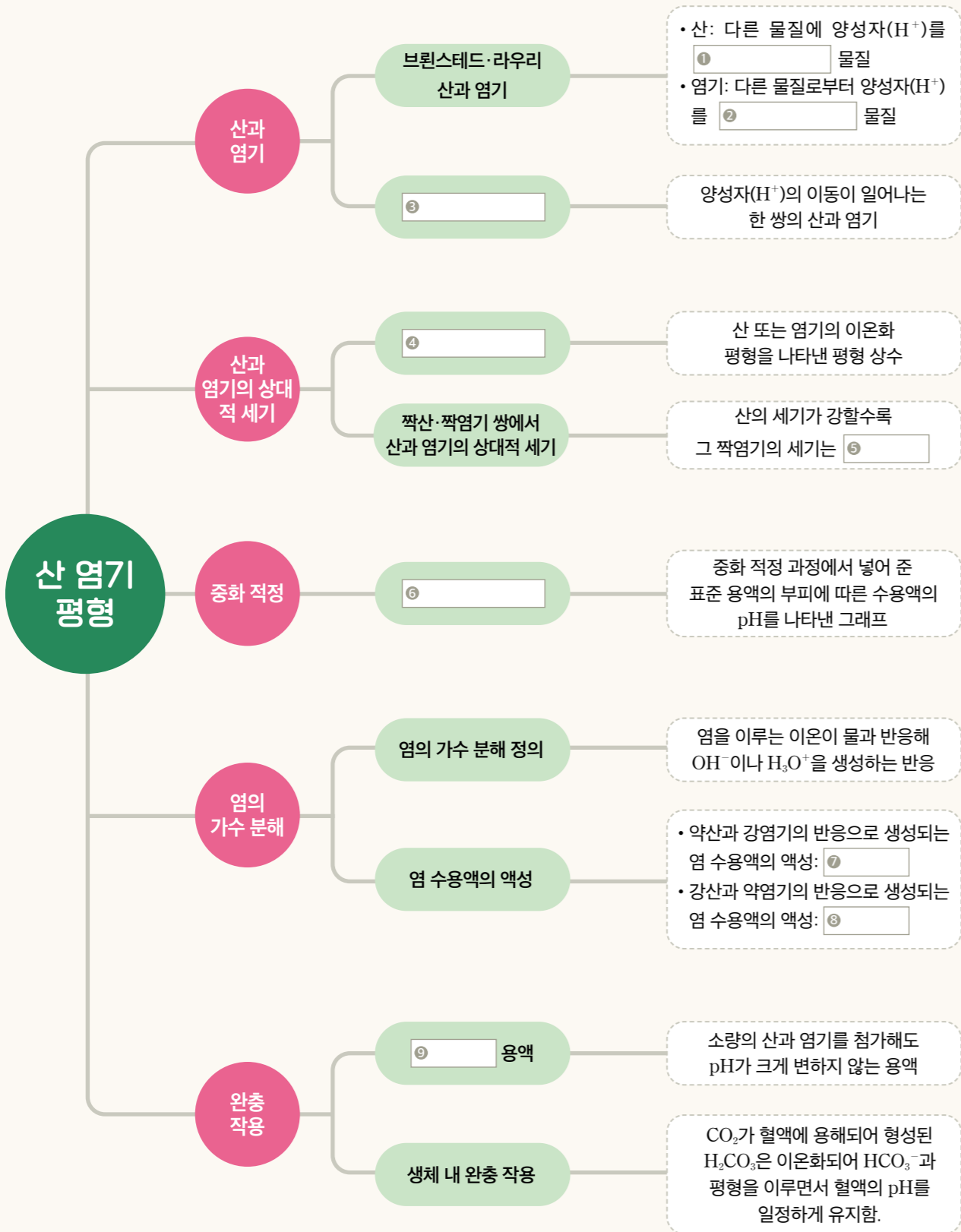
화학, 재료 공학과, 생명과학과 등

**활동하기**

**체험**

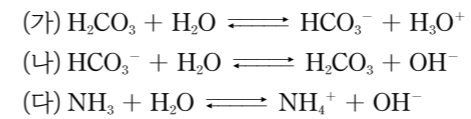
천연 화장품의 종류와 만드는 방법을 찾아보고, 주변에서 구할 수 있는 물질로 천연 화장품을 만들어 보자.





01. 산과 염기

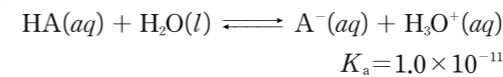
01 다음은 몇 가지 산 염기 반응의 화학 반응식이다.



(가)~(다) 중 물(H<sub>2</sub>O)이 브뢴스테드-라우리 산으로 작용하는 반응만을 있는 대로 골라 써 보자.

서술형 02. 산과 염기의 상대적 세기

02 다음은 산 HA의 이온화 반응식과 25 °C에서의 이온화 상수(K<sub>a</sub>)이다.

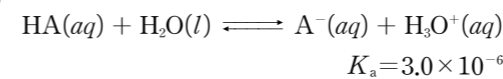


(1) 이 반응의 정반응과 역반응에서 브뢴스테드-라우리 산과 염기로 작용한 물질을 찾아 그 세기를 각각 비교하고, 그렇게 생각한 까닭을 설명해 보자.

(2) 25 °C에서 0.1 M HA(aq)의 pH를 구하고, 풀이 과정을 설명해 보자.

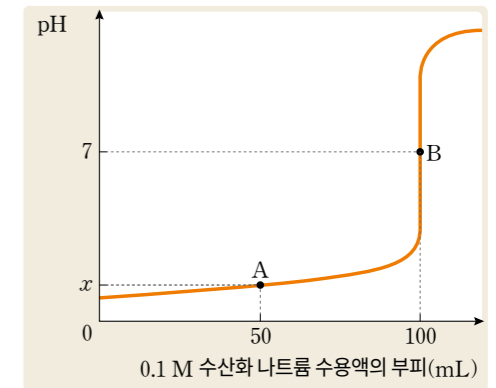
서술형 03. 산과 염기의 상대적 세기

03 다음은 산 HA의 이온화 반응식과 25 °C에서의 이온화 상수(K<sub>a</sub>)이다.



25 °C에서 x M HA(aq)의  $\frac{[A^-]}{[HA]}$ 가 0.001일 때 x를 구하고, 풀이 과정을 설명해 보자.

[04~05] 그림은 25 °C에서 농도를 모르는 염산(HCl(aq)) 100 mL를 0.1 M 수산화 나트륨 수용액(NaOH(aq))으로 적정할 때의 중화 적정 곡선이다.



03. 중화 적정

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

- <보기>
- ㄱ. HCl(aq)의 농도는 0.1 M이다.
  - ㄴ. A에서 Cl<sup>-</sup>과 Na<sup>+</sup>의 몰비는 Cl<sup>-</sup>:Na<sup>+</sup>=2:1이다.
  - ㄷ. B에서 NaOH(aq)을 1 방울 떨어뜨리면 pH가 급격히 증가한다.

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

03. 중화 적정

05 x를 다음과 같이 나타낼 때 a로 옳은 것은? (단, 혼합 용액의 부피는 혼합 전 각 용액의 부피의 합과 같다.)

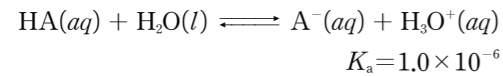
$x = -\log(a)$

- ①  $\frac{1}{30}$       ②  $\frac{1}{15}$       ③  $\frac{1}{3}$   
 ④ 15      ⑤ 75

06 아세트산 나트륨 수용액(CH<sub>3</sub>COONa(aq))에 대한 설명으로 옳은 것은? (단, 25 °C에서 물의 이온화 상수(K<sub>w</sub>)는 1.0 × 10<sup>-14</sup>이다.)

- ① 25 °C에서 pH는 7보다 작다.
- ② 질산 암모늄 수용액(NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>(aq))과 액성이 같다.
- ③ 수용액에 가장 많이 들어 있는 이온은 아세트산 이온(CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>)이다.
- ④ 나트륨 이온(Na<sup>+</sup>)은 물과 반응하여 수산화 나트륨(NaOH)을 생성한다.
- ⑤ 아세트산 이온(CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>)은 물과 반응하여 수산화 이온(OH<sup>-</sup>)을 생성한다.

07 다음은 산 HA의 이온화 반응식과 25 °C에서의 이온화 상수(K<sub>a</sub>)이다.



25 °C에서 0.1 M NaA(aq)에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 25 °C에서 물의 이온화 상수(K<sub>w</sub>)는 1.0 × 10<sup>-14</sup>이다.)

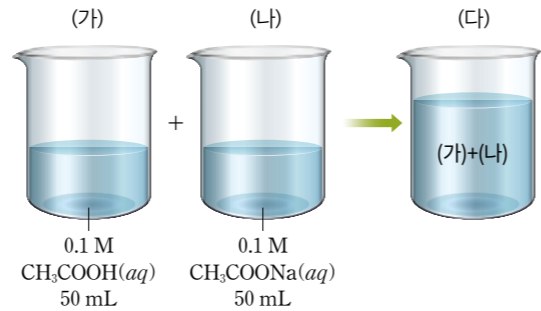
- 보기
- ㄱ. pH는 7보다 작다.
  - ㄴ. [A<sup>-</sup>]는 0.1 M보다 작다.
  - ㄷ. A<sup>-</sup>의 이온화 상수(K<sub>b</sub>)는 1.0 × 10<sup>-8</sup>이다.

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

08 다음 설명에서 A에 알맞은 자연수 중 가장 작은 수를 구하고, 풀이 과정을 설명해 보자. (단, 25 °C에서 NH<sub>3</sub>의 이온화 상수(K<sub>b</sub>)와 물의 이온화 상수(K<sub>w</sub>)는 각각 1.8 × 10<sup>-5</sup>, 1.0 × 10<sup>-14</sup>이다.)

25 °C에서 0.1 M 염화 암모늄 수용액(NH<sub>4</sub>Cl(aq))의 pH는 A보다 작다.

09 그림과 같이 아세트산 수용액(CH<sub>3</sub>COOH(aq)) (가)와 아세트산 나트륨 수용액(CH<sub>3</sub>COONa(aq)) (나)를 섞어 수용액 (다)를 만들었다.



(가)~(다)에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. pH는 (나)가 (가)보다 크다.
  - ㄴ. (가)에 소량의 염기를 떨어뜨리면 CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>의 양(mol)이 증가한다.
  - ㄷ. (다)에 소량의 염산을 떨어뜨려도 pH는 크게 변하지 않는다.

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

10 다음은 혈액의 완충 작용에 관한 설명과 그에 관련된 화학 반응식이다.

[혈액의 완충 작용]

이산화 탄소(CO<sub>2</sub>)는 혈액에 용해되어 탄산(H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)을 형성하고, 탄산이 이온화되어 탄산수소 이온(HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)과 평형을 이루면서 혈액의 pH를 일정하게 유지하는 역할을 한다.

[화학 반응식]

(가) CO<sub>2</sub>(g) + H<sub>2</sub>O(l) ⇌ H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>(aq)

(나) H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>(aq) + H<sub>2</sub>O(l) ⇌ HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>(aq) + H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>(aq)

심한 운동으로 젖산이 생성될 때 혈액의 pH가 어떻게 조절되는지 화학 반응식 (가)와 (나)를 모두 이용하여 설명해 보자.

과학 글쓰기

11 다음은 과다 호흡 증후군의 원인과 치료에 관련된 자료이다.

(가) 과다 호흡 증후군이란 스트레스 등으로 과도하게 호흡할 때 숨 쉬는 것에 어려움을 느끼는 증상이다. 과다 호흡 발작이 시작되면 숨이 잘 쉬어지지 않는다는 느낌이 들면서 어지럼증, 손발 저림, 마비 증상을 느끼고, 심하면 실신하기도 한다. 우리 몸은 정상적인 호흡으로 산소를 받아들이고 이산화 탄소를 배출시켜 동맥혈의 이산화 탄소 농도를 적정 범위로 유지한다. 그런데 과도하게 호흡하면 이산화 탄소가 지나치게 많이 배출되어 혈액의 pH가 적정 범위를 벗어나게 된다. 이에 따라 뇌는 숨을 적게 쉬도록 근육에 명령하는데, 이 때문에 숨이 잘 쉬어지지 않아 답답함을 느끼고 숨을 더 많이 쉬게 되는 악순환이 거듭된다.

(나) 과다 호흡 증후군이 발생하면 숨을 천천히 깊게 들이마신 다음 천천히 오래 내뱉는 방법으로 스스로 호흡을 조절하는 것이 도움이 된다. 또 달리기 등의 운동을 하여 우리 몸에 이산화 탄소가 많이 만들어지게 함으로써 증상을 개선할 수 있다.

(다) 이산화 탄소가 혈액에 용해되는 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.

$$CO_2(g) + H_2O(l) \rightleftharpoons H_2CO_3(aq) \quad \cdots \cdots ①$$

$$H_2CO_3(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons HCO_3^-(aq) + H_3O^+(aq) \quad \cdots \cdots ②$$

- (1) (가)에서 이산화 탄소가 지나치게 많이 배출될 때 혈액의 pH가 어떻게 변하는지 (다)의 화학 반응식과 관련지어 설명해 보자.
- (2) (나)의 과다 호흡 증후군을 완화하는 방법을 실행했을 때 혈액의 pH가 어떻게 조절되는지 (다)의 화학 반응식과 관련지어 설명해 보자.

*(Blank area for student response)*

스스로 점검하기

- 지식-이해** 브뢴스테드-라우리 산과 염기를 구분하고, 이온화 상수를 이용해 약산과 약염기 수용액의 pH를 구하는 방법과 염의 가수 분해를 설명했다. ★★★★★
- 과정-기능** 이온화 상수를 이용해 산과 염기의 상대적인 세기를 추론하고, 중화 적정 실험의 pH 변화를 시각화하고 해석했다. ★★★★★
- 가치-태도** 생체 내 완충 작용과 지구 생태의 지속가능성을 산 염기 평형의 관점에서 이해하려는 태도를 가졌다. ★★★★★

평가 결과가 아쉽다면 1. 산 염기 평형을 다시 한번 학습해 봅시다.

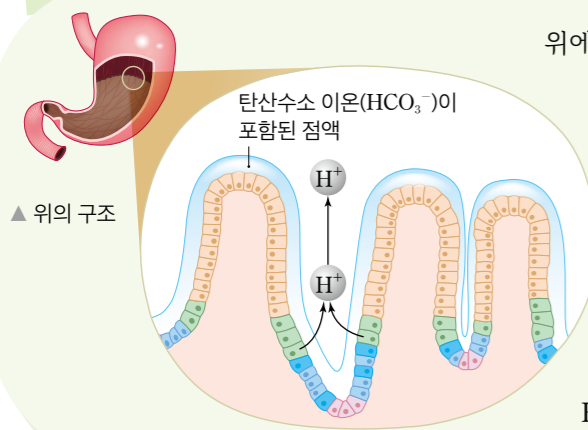
글쓰기 길잡이

이산화 탄소가 과도하게 배출될 때 (다)의 화학 반응 ①, ②의 평형이 어느 방향으로 이동할지 생각해 본다.

# 생명과 지구의 pH를 지켜라! 산과 염기

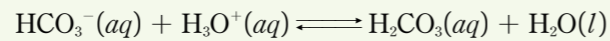
산 염기 반응이나 완충 작용은 생명체의 항상성 유지나 지구 생태의 지속가능성 등에 매우 큰 영향을 미친다.

## 생체 내 pH 유지



위에서는 위산이 분비되어 pH가 2 정도로 유지된다.

위에서 분비되는 단백질 분해 효소인 펩신이 작용하려면 수소 이온(H<sup>+</sup>)이 필요하기 때문이다. 이때 위벽에서는 펩신 때문에 위벽이 손상되는 것을 막기 위해 탄산수소 이온(HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)이 포함된 점액을 분비한다. HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>은 위산의 H<sup>+</sup>을 중화해 위벽의 pH를 7 정도로 유지한다.

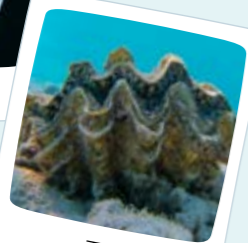


## 해양 생태계와 이산화 탄소



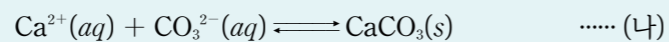
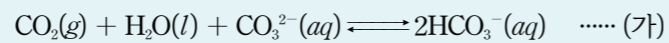
바다 달팽이

▲ 탄산 칼슘 골격을 가진 해양 생물



조개

CO<sub>2</sub>는 바닷물에 녹아 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 등을 생성하는데, 이런 물질들이 이루는 평형을 (가)와 같이 간단히 나타낼 수 있다. 이때 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>은 Ca<sup>2+</sup>과 반응해 (나)와 같이 해양 생물의 탄산 칼슘(CaCO<sub>3</sub>) 골격을 형성한다.



그런데 바닷속의 CO<sub>2</sub> 농도가 증가하면 (가)의 정반응이 우세하게 진행되므로 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 농도가 감소하고, 이에 따라 (나)의 역반응이 우세하게 진행되므로 CaCO<sub>3</sub> 골격을 가진 해양 생물이 살기 어려워진다.

## 1 생명과 지구 환경에 관련된 산 염기 반응 조사하기

1. 모둠별로 생명체의 항상성 또는 지구 생태의 지속가능성 중 한 가지 주제를 선택하고, 선택한 주제와 관련 있는 산 염기 반응을 조사해 보자.
2. 조사한 반응 중 한 가지를 골라 설명하는 자료를 인포그래픽으로 만들어 보자.



인포그래픽이란 디자인 요소를 활용해 정보를 시각적인 이미지로 전달하는 자료를 말해.

## 2 생명과 지구 환경에 관련된 산 염기 반응 발표하기

1. 우리 모둠이 만든 자료를 발표하고, 공유 플랫폼을 활용하여 공유해 보자.
2. 공유 플랫폼에 올린 자료를 인쇄하여 학급 게시판에 게시하고, 우리 모둠의 활동을 평가해 보자.

### 가치-태도 길잡이

다른 모둠의 발표를 경청한다.

내용	평가		
산 염기 평형으로 생명체의 항상성이나 지구 생태의 지속가능성을 설명했는가?	상	중	하
자료를 만들 때 적절한 그림과 화학 반응식을 사용했는가?	상	중	하
모든 모둠원이 산과 염기가 생명과 지구 생태에 미치는 영향을 생각하며 활동에 참여했는가?	상	중	하

### 포트폴리오

» 이 단원의 활동 결과를 정리해 보자.

· 28 쪽 **생활 속 과학 이야기** · 29 쪽 **화학과 나의 미래** · 34 쪽~35 쪽 **프로젝트**

- 1 이 단원의 활동 결과를 모아 I. 산 염기 평형 포트폴리오 자료로 정리해 보자.
- 2 **디지털** 공유 플랫폼을 활용해 포트폴리오를 친구들에게 공유하고, 친구들의 포트폴리오에 댓글을 달거나 '좋아요' 표시를 하면서 소통해 보자.
- 3 포트폴리오를 인쇄해 책자로 만들어 보자.



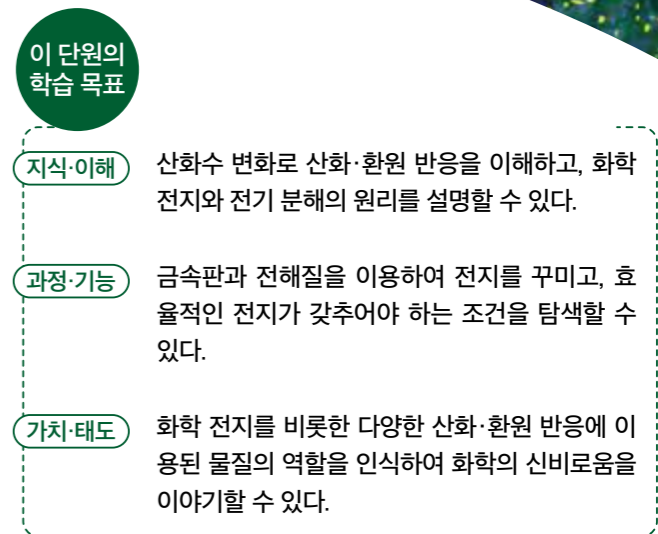
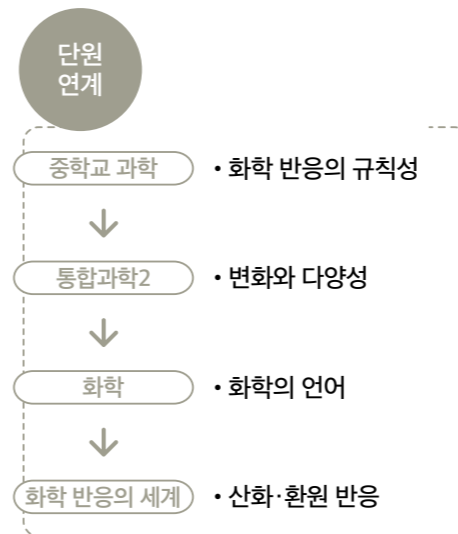
# II

## 산화·환원 반응

반딧불이는 체내의 루시페린이 산화·환원 반응을 하여 빛을 내는데 이때 내는 빛의 세기를 조절할 수 있을까? 물질의 산화·환원 반응의 경향성은 정량적으로 측정할 수 있으며, 이는 산화·환원 반응의 조절 및 화학 전지 개발의 기본 원리가 된다. 이 단원에서 산화·환원 반응으로 화학 전지의 원리를 설명하고, 일상생활과 생명 현상에서 이용되는 다양한 산화·환원 반응을 알아보자.

- 01 산화와 환원
- 02 화학 전지의 발전
- 03 화학 전지의 원리
- 04 전기 분해
- 05 우리 생활 속 산화·환원 반응

### 이 단원에서 학습할 내용



**포트폴리오** » 이 단원을 학습하면서 나만의 특기를 발휘한 포트폴리오를 만들어 보자.  
 · 68 쪽 생활 속 과학 이야기 · 69 쪽 화학과 나의 미래 · 74 쪽~75 쪽 프로젝트

# 01

## 산화와 환원

- 산화·환원 반응을 전자의 이동과 산화수 변화로 설명할 수 있다.
- 반쪽 반응식을 활용해 산화·환원 반응식을 완성할 수 있다.

“ 우리 선조들은 고려청자의 신비로운 비취색을 만들어 냈는데, 그 비법은 바로 흙 속의 ‘철’ 성분이었다고 한다. 철은 어떤 화학 반응을 했을까? ”



### 전자 이동과 산화·환원 반응

자연계에서 철(Fe)은 대부분 산소(O<sub>2</sub>)와 결합한 산화 철(III)(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)로 존재하므로, 용광로에서 제련하여 순수한 철을 얻는다. 용광로에서 산화 철(III)이 산소를 잃고 철이 되는 것처럼 물질이 산소를 잃는 반응을 **환원**이라 하고, 일산화 탄소(CO)가 산소를 얻어 이산화 탄소(CO<sub>2</sub>)가 되는 것처럼 물질이 산소를 얻는 반응을 **산화**라고 한다.

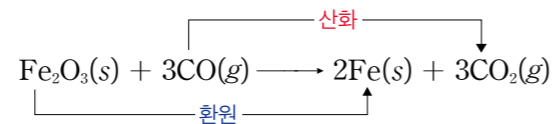
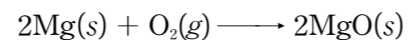
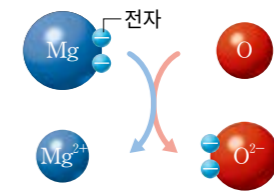
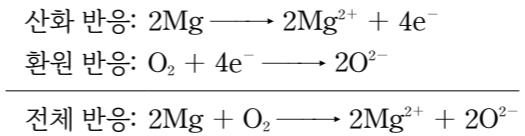


그림 II-1 철의 제련 용광로에 산화 철(III)이 주성분인 철광석과 함께 코크스(C), 석회석(CaCO<sub>3</sub>)을 넣고 가열한 공기를 불어 넣으면 코크스가 연소하면서 일산화 탄소가 생성된다. 이 일산화 탄소가 산화 철(III)을 환원시킨다.

산화·환원을 전자의 이동으로 설명하면 더 많은 화학 반응을 산화·환원으로 설명할 수 있다. 다음은 마그네슘(Mg)의 연소 반응을 나타낸 것이다.



마그네슘(Mg)은 전자를 잃어 마그네슘 이온(Mg<sup>2+</sup>)이 되고, 산소(O<sub>2</sub>)는 전자를 얻어 산화 이온(O<sup>2-</sup>)이 되어 이온 결합 물질인 산화 마그네슘(MgO)을 생성한다. 이때 물질이 전자를 잃는 반응을 **산화**라 하고, 물질이 전자를 얻는 반응을 **환원**이라고 한다.



산화·환원 반응은 전자를 주고받는 반응이므로 한 반응에서 전자를 잃는 물질이 있으면 반드시 전자를 얻는 물질도 있다. 즉, 산화·환원 반응은 언제나 동시에 일어난다.

철의 제련 과정이나 마그네슘의 연소 반응은 산소 또는 전자의 이동이 비교적 명확하므로 산화·환원 반응을 쉽게 설명할 수 있다. 그러나 공유 결합 물질 사이의 반응에서는 전자의 이동이 명확하지 않아 산화와 환원을 파악하기가 어렵다. 공유 결합 물질에서는 전자의 이동을 어떻게 설명할 수 있을지 생각해 보자.

**산화·환원 반응의 동시성**  
산화·환원 반응이라는 용어는 산화 반응과 환원 반응이 항상 동시에 일어난다는 것을 강조하는 용어이다.

### 연계 통합과학2

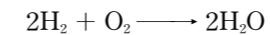
『통합과학2』 ‘변화와 다양성’ 단원에서 산화·환원 반응을 학습했다.

### 해보기

탐구 능력 | 의사 결정 능력

### 공유 결합 물질의 반응에서 산화·환원 파악하기

다음은 수소(H<sub>2</sub>)와 산소(O<sub>2</sub>)가 반응하여 물(H<sub>2</sub>O)을 생성할 때의 화학 반응식이다.



1. 다음 분자 모형에 공유 전자쌍을 표시하고, 공유 전자쌍의 치우침이 나타나는 원자에 부분 전하(δ<sup>+</sup>, δ<sup>-</sup>)를 표시해 보자.

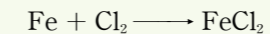


2. 위 반응에서 전자의 치우침을 전자를 잃고 얻는 것으로 가정할 때, 전자를 잃는 것과 전자를 얻는 것은 어떤 물질이라고 할 수 있을지 설명해 보자.

### 확인하기

1 물질이 전자를 잃는 반응을 (      ), 전자를 얻는 반응을 (      )(이)라고 한다.

2 다음 반응에서 산화되는 물질과 환원되는 물질을 각각 써 보자.



### 연계 화학

『화학』 ‘물질의 구조와 성질’ 단원에서 전기음성도와 분자의 극성을 학습했다.

## 산화수

공유 결합 물질의 반응과 같이 전자의 이동이 뚜렷하지 않은 반응에서 산화·환원 반응을 설명하기 위해 산화수를 이용한다. 산화수란 어떤 물질에서 각 원자가 어느 정도 산화되었는지를 나타내는 가상의 전하이다.

이온 결합 물질에서 원자의 산화수는 이온의 전하와 같다. 예를 들어 염화 나트륨(NaCl)에서 나트륨(Na)의 산화수는 +1, 염소(Cl)의 산화수는 -1이다.

공유 결합 물질에서 원자의 산화수는 전기음성도가 큰 원자가 공유 전자쌍을 모두 차지한다고 가정하여 구한다. 예를 들어 물(H<sub>2</sub>O) 분자에서 전기음성도가 큰 산소(O)가 공유 전자쌍을 모두 차지한다고 가정하면 산소는 전자 2 개를 얻고 수소(H)는 전자 1 개씩을 잃은 것이므로, 산소의 산화수는 -2이고, 수소의 산화수는 +1이다.

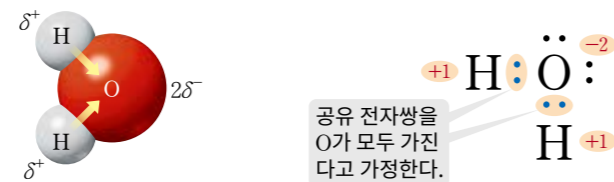


그림 II-2 물 분자를 구성하는 각 원자의 산화수

일반적으로 원자의 산화수는 다음과 같은 규칙에 따라 정한다.

### 산화수를 정하는 규칙

- 1 원소를 구성하는 원자의 산화수는 0이다.
  - 예 H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, Na, C에서 각 원자의 산화수는 모두 0이다.
- 2 단원자 이온에서 원자의 산화수는 그 이온의 전하와 같다.
  - 예 Na<sup>+</sup>에서 Na의 산화수는 +1이다.
- 3 다원자 이온을 구성하는 각 원자의 산화수의 합은 그 이온의 전하와 같다.
  - 예  $\overset{+5}{\text{N}}\overset{-2}{\text{O}}_3^- \Rightarrow (+5) \times 1 + (-2) \times 3 = -1$
- 4 화합물에서 전기음성도가 큰 원자가 (-)산화수를, 전기음성도가 작은 원자가 (+)산화수를 갖는다. 화합물에서 각 원자의 산화수의 합은 0이다.
  - 예  $\overset{-3}{\text{N}}\overset{+1}{\text{H}}_3$ (전기음성도: N>H)  $\Rightarrow (-3) \times 1 + (+1) \times 3 = 0$
  - 예  $\overset{+4}{\text{N}}\overset{-2}{\text{O}}_2$ (전기음성도: N<O)  $\Rightarrow (+4) \times 1 + (-2) \times 2 = 0$

### ◆ 화합물에서 원자의 산화수

- i) 플루오린(F)의 산화수는 -1이다.
- ii) 1족 원소(Li, Na 등)의 산화수는 +1이고 2족 원소(Be, Mg 등)의 산화수는 +2이다.
- iii) 대부분의 화합물에서 H의 산화수는 +1이나 금속의 수소 화합물에서는 -1이다.
  - 예 HCl에서 H의 산화수는 +1이고, NaH에서 H의 산화수는 -1이다.
- iv) 대부분의 화합물에서 O의 산화수는 -2이나 과산화물이나 플루오린 화합물에서는 -2가 아니다.
  - 예 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>에서 O의 산화수는 -1, OF<sub>2</sub>에서 O의 산화수는 +2이다.

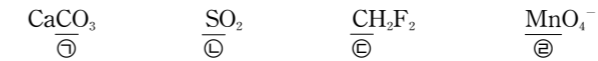
몇 가지 화합물과 이온에서 원자의 산화수를 구해 보자.

## 해보기

### 화합물과 이온에서 원자의 산화수 구하기

탐구 능력

- 1 다음 화합물과 이온에 표시된 원자의 산화수 ㉠~㉤을 구해 보자.



㉠ \_\_\_\_\_, ㉡ \_\_\_\_\_, ㉢ \_\_\_\_\_, ㉣ \_\_\_\_\_

- 2 산화수를 구한 과정을 친구들에게 설명해 보자.



같은 원자라 하더라도 결합하는 원자에 따라 산화수가 달라질 수 있다. 예를 들어 이산화 탄소(CO<sub>2</sub>)에서 탄소(C)의 산화수는 +4이고, 메테인(CH<sub>4</sub>)에서 탄소의 산화수는 -4이다.

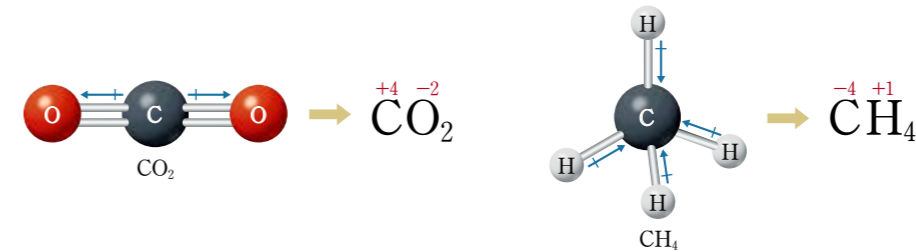
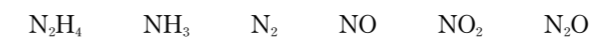


그림 II-3 이산화 탄소와 메테인을 구성하는 각 원자의 산화수

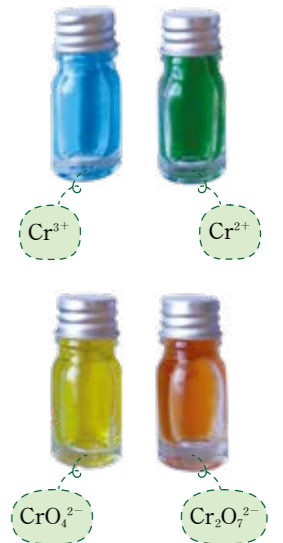
- 2 다음 질소 화합물 중 질소(N)의 산화수가 가장 큰 것과 가장 작은 것을 차례로 써 보자.



### 확인하기

- 1 어떤 물질에서 각 원자가 어느 정도 산화되었는지를 나타내는 가상의 전하를 ( )이라고 한다.
- 2 다음 밑줄 친 원자의 산화수를 구해 보자.
  - (1) F<sub>2</sub>      (2) H3PO4      (3) K2SO4      (4) MnO2      (5) MgH<sub>2</sub>

여러 가지 크로뮴 화합물 수용액의 색  
다음 용액에서 Cr의 산화수는 +3, +2, +6 등으로 다양하다.



산화·환원의 정의

산화	환원
산소를 얻음	산소를 잃음
전자를 잃음	전자를 얻음
산화수 증가함	산화수 감소함

산화수 변화는 산화와 환원을 가장 넓은 범위에서 정의하는 방법이다.

산화수 변화와 산화·환원 반응

산화수 변화를 알면 산화·환원 반응을 쉽게 파악할 수 있다. 화학 반응이 일어날 때 산화수가 증가하거나 감소하는 원자가 있으면 그 반응은 산화·환원 반응이다. 반응 전후 산화수가 증가하는 원자를 포함하는 물질은 **산화**된 것이고, 산화수가 감소하는 원자를 포함하는 물질은 **환원**된 것이다.

메테인(CH<sub>4</sub>)의 연소 반응을 산화수 변화로 설명해 보자.

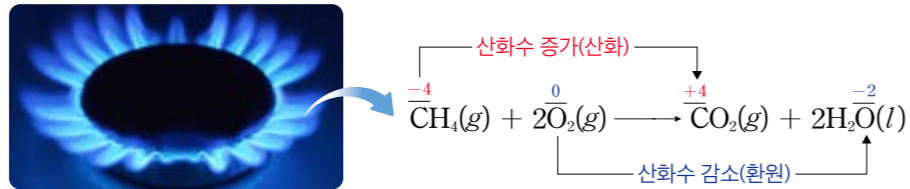


그림 II-4 메테인의 연소 반응

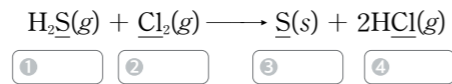
이 반응에서 탄소(C)의 산화수는 -4에서 +4로 증가하므로 메테인은 산화되고, 산소(O)의 산화수는 0에서 -2로 감소하므로 산소는 환원된다.

연습 해보기

황화 수소(H<sub>2</sub>S)와 염소(Cl<sub>2</sub>)가 반응하면 염화 수소(HCl)가 생성된다. 이 반응에서 산화되는 물질과 환원되는 물질을 찾아보자.

풀이 따라가기

1 단계 화학 반응식을 쓰고, 각 원자의 산화수를 구한다.



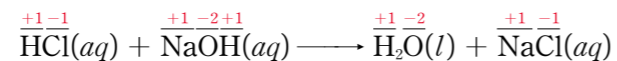
2 단계 반응 전후 산화수가 증가한 원자가 포함된 물질은 산화, 산화수가 감소한 원자가 포함된 물질은 환원으로 구분한다.

- S의 산화수는 ⑤ 하므로 H<sub>2</sub>S는 ⑥ 된다.
- Cl의 산화수는 ⑦ 하므로 Cl<sub>2</sub>는 ⑧ 된다.

직접 해 보기

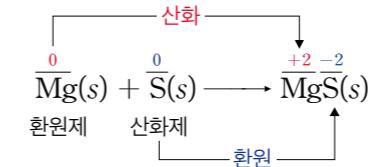
질소(N<sub>2</sub>) 기체와 수소(H<sub>2</sub>) 기체가 반응하여 암모니아(NH<sub>3</sub>) 기체가 생성되는 반응의 화학 반응식을 쓰고, 산화수 변화를 이용해 산화되는 물질과 환원되는 물질을 찾아보자.

화학 반응 중에는 중화 반응과 같이 산화수의 변화가 없는 반응도 있는데, 이러한 반응은 산화·환원 반응이 아니다.



산화제와 환원제

마그네슘(Mg)과 황(S)이 반응하면 마그네슘은 황에게 전자를 주어 황을 환원시키고, 황은 마그네슘의 전자를 받아 마그네슘을 산화시킨다. 마그네슘과 같이 자신은 산화되고 다른 물질을 환원시키는 물질을 **환원제**라 하고, 황과 같이 자신은 환원되고 다른 물질을 산화시키는 물질을 **산화제**라고 한다. 산화·환원 반응은 동시에 일어나므로 산화제와 환원제는 항상 함께 존재한다.



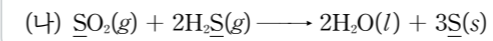
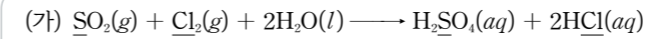
어떤 반응에서 산화제로 작용한 물질은 다른 반응에서도 항상 산화제로 작용할까?

해보기

산화제와 환원제 구분하기

탐구 능력

(가)와 (나)는 이산화 황(SO<sub>2</sub>)이 관여하는 두 가지 반응의 화학 반응식이다.



1. 위 반응식에서 밑줄 친 원소의 산화수를 쓰고 산화, 환원되는 물질을 찾아보자.



2. (가)와 (나)에서 이산화 황이 산화제로 쓰였는지 환원제로 쓰였는지 쓰고, 두 반응에서 이산화 황의 역할이 다른 까닭을 토의해 보자.

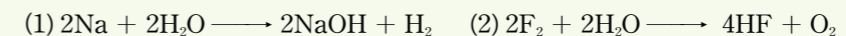


같은 물질이라도 반응하는 물질에 따라 산화제로 작용하기도 하고, 환원제로 작용하기도 한다. 그 까닭은 산화·환원 반응에서 전자를 잃거나 얻으려는 경향은 서로 상대적이기 때문이다.

확인하기

1 산화·환원 반응에서 어떤 원자의 산화수가 증가하면 그 원자를 포함하는 물질은 (산화 / 환원)된 것이다.

2 다음 반응에서 산화제로 작용한 물질을 찾아보자.



산화제와 환원제로 사용되는 물질

- 산소를 잘 내놓거나 전자를 얻기 쉬운 F<sub>2</sub>, Cl<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, KMnO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> 등은 주로 산화제로 사용된다.
- 산소와 잘 반응하거나 전자를 잃기 쉬운 Li, Na, K, SnCl<sub>2</sub> 등은 주로 환원제로 사용된다.

건강 향산화제

건강 보조 식품으로 인기를 얻고 있는 향산화제는 세포 속 분자 대신 자신이 더 빨리 산화되어 세포 손상을 막는 환원제이다.

산화제와 환원제의 상대적 세기 비유



여우는 토끼를 쫓기도 하지만 호랑이에게 쫓기기도 한다. 이처럼 산화제와 환원제의 세기도 상대적이다.

### 산화·환원 반응식의 완성

산화·환원 반응에서 산화와 환원은 항상 동시에 일어나고, 물질이 잃은 총 전자 수와 물질이 얻은 총 전자 수가 같으므로 이를 이용하면 산화된 물질과 환원된 물질 사이의 양적 관계를 나타내는 화학 반응식을 완성할 수 있다.

화학 반응에서 전자의 이동을 알기 쉽게 나타내기 위해 산화 반응과 환원 반응을 분리하여 나타낸 반응식을 **반쪽 반응식**이라고 한다.

반쪽 반응식을 이용하여 다음 산화·환원 반응식을 완성해 보자.



1 산화·환원 반응을 산화 반응과 환원 반응으로 나누고, 각 반쪽 반응의 원자 수가 같도록 계수를 맞춘다.

- 산화 반응:  $\text{Cu} \longrightarrow \text{Cu}^{2+}$
- 환원 반응:  $\text{Fe}^{3+} \longrightarrow \text{Fe}^{2+}$

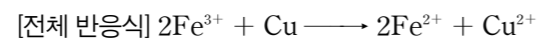
2 각 반쪽 반응에서 화살표 양쪽의 전하량이 같도록 전자를 더한다.

- 산화 반응:  $\text{Cu} \longrightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$
- 환원 반응:  $\text{Fe}^{3+} + \text{e}^- \longrightarrow \text{Fe}^{2+}$

3 산화 반응과 환원 반응에서 이동한 전자 수가 같도록 계수를 맞춘다.

- 산화 반응:  $\text{Cu} \longrightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$
- 환원 반응:  $2\text{Fe}^{3+} + 2\text{e}^- \longrightarrow 2\text{Fe}^{2+}$

4 두 반쪽 반응식을 더하여 하나의 반응식으로 만든다.



이 반응에서 구리(Cu) 1 mol이 구리(II) 이온( $\text{Cu}^{2+}$ )으로 산화될 때는 전자 2 mol을 잃고, 철(III) 이온( $\text{Fe}^{3+}$ ) 1 mol이 철(II) 이온( $\text{Fe}^{2+}$ )으로 환원될 때는 전자 1 mol을 얻는다. 따라서 Cu 1 mol당  $\text{Fe}^{3+}$  2 mol이 반응해야 산화·환원 반응이 완전히 일어난다.

두 반쪽 반응에서 이동한 전자 수가 같아야 해!



### 연계 화학

『화학』 ‘화학의 언어’ 단원에서 화학 반응에서 물질의 양적 관계를 학습했다.

### 연습 해보기

다음 산화·환원 반응식을 완성해 보자.

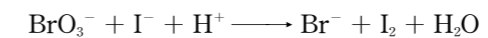


### 풀이 따라가기

- 산화·환원 반응을 산화 반응과 환원 반응으로 나누고, 각 반쪽 반응의 원자 수가 같도록 계수를 맞춘다.
  - 산화 반응:  $\text{Fe}^{2+} \longrightarrow \text{Fe}^{3+}$
  - 환원 반응:  $\text{MnO}_4^- + (\quad)\text{H}^+ \longrightarrow \text{Mn}^{2+} + (\quad)\text{H}_2\text{O}$
- 각 반쪽 반응에서 화살표 양쪽의 전하량이 같도록 전자를 더한다.
  - 산화 반응:  $\text{Fe}^{2+} \longrightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{e}^-$
  - 환원 반응:  $\text{MnO}_4^- + (\quad)\text{H}^+ + (\quad)\text{e}^- \longrightarrow \text{Mn}^{2+} + (\quad)\text{H}_2\text{O}$
- 산화 반응과 환원 반응에서 이동한 전자 수가 같도록 계수를 맞춘다.
  - 산화 반응:  $(\quad)\text{Fe}^{2+} \longrightarrow (\quad)\text{Fe}^{3+} + (\quad)\text{e}^-$
  - 환원 반응:  $\text{MnO}_4^- + (\quad)\text{H}^+ + (\quad)\text{e}^- \longrightarrow \text{Mn}^{2+} + (\quad)\text{H}_2\text{O}$
- 두 반쪽 반응을 더하여 하나의 반응식으로 만든다.
  - 전체 반응식:  $(\quad)\text{Fe}^{2+} + \text{MnO}_4^- + (\quad)\text{H}^+ \longrightarrow (\quad)\text{Fe}^{3+} + \text{Mn}^{2+} + (\quad)\text{H}_2\text{O}$

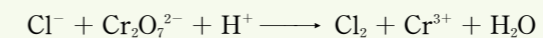
### 직접 해 보기

다음 산화·환원 반응식을 완성해 보자.



### 확인하기

- 산화·환원 반응에서 산화 반응과 환원 반응을 분리하여 나타낸 반응식을 ( ) (이)라고 한다.
- 다음 산화·환원 반응식을 완성해 보자.



### 소단원 마무리

#### 창의력 키우기

다음 산화·환원 반응의 특징을 설명하는 비유를 들어 보자.

산화와 환원은 항상 동시에 일어나며, 같은 물질이 반응에 따라 산화제도 될 수 있고, 환원제도 될 수 있다.

#### 디지털 소양 키우기

주변에서 일어나는 다양한 산화·환원 반응에서 산화제와 환원제를 찾고 공유 플랫폼을 활용하여 공유해 보자.

산화·환원 반응식을 완성했으면 다음 사항을 확인해야 해.



- 반응물과 생성물을 구성하는 원자의 종류와 수가 같은가?
- 반응물과 생성물의 총전하량이 변하지 않았는가?

# 02

## 화학 전지의 발전

- 화학 전지의 발전 과정을 설명할 수 있다.
- 실용 전지의 구조적 공통점을 추론할 수 있다.

“ 일상생활을 편리하게 하는 많은 무선 전자 제품은 전지로 작동한다. 전지는 어떠한 원리로 전기 에너지를 생산할까? ”



### 화학 전지의 역사

1780 년 이탈리아의 생리 의학자 갈바니(Galvani, L. A., 1737~1798)는 구리판 위의 개구리를 철로 만든 해부용 칼로 건드렸을 때 죽은 개구리가 움직이는 것을 관찰했다. 갈바니는 이로부터 생명체의 몸속에 전기가 저장되어 있다고 주장했고, 이는 생체 전기를 연구하게 된 시작점이 되었다.

그러나 볼타는 이러한 현상이 같은 금속 사이에서는 나타나지 않음을 발견하고, 이때 발생하는 전기는 서로 다른 금속이 접촉할 때 발생하는 금속 전기라고 생각했다. 볼타는 구리판과 아연판 사이에 전해질을 적신 헝겊을 넣고 금속판을 번갈아 쌓은 실험 장치에서 전류가 흐르는 것을 확인하고 두 금속판이 전해질 수용액에서 화학 반응을 일으켜 전자가 이동한다고 주장했다.

볼타의 실험 장치처럼 화학 반응으로 발생한 에너지를 전기 에너지로 전환하는 장치를 **화학 전지**라고 하며, 현재까지 다양한 화학 전지가 개발되어 활용되고 있다.

**볼타**  
(Volta, A. G. A. A.,  
1745~1827)

이탈리아의 물리학자. 화학 반응을 이용한 전지를 개발해 전기 화학 발전에 크게 기여했다. 전압을 측정하는 단위인 '볼트(V)'는 볼타의 이름에서 비롯되었다.



그림 II-5 갈바니의 실험



그림 II-6 볼타의 실험

### 해보기

### 화학 전지의 발전 과정 조사하기

탐구 능력 | 의사 결정 능력

준비물 스마트 기기

모둠별로 인터넷에서 다음 화학 전지를 탐색하여 정리해 보자.

전지 이름	볼타 전지	다니엘 전지	납축전지	건전지
전지의 구조				
개발 시기	1800 년			
개발 배경	전기 실험을 하려면 전류가 지속적으로 흐르는 장치가 필요하다.			
한계점	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 시간이 지나면서 전압이 떨어진다.</li> <li>• 아연판이 다 녹기 전에 반응이 멈춘다.</li> <li>• 전해질이 흘러나와 휴대 하기가 힘들다.</li> </ul>			

### 정리

1. 조사한 각 전지의 구조를 비교하여 초기 화학 전지와 실용 전지의 구조적 공통점을 추론해 보자.



2. 조사한 내용을 바탕으로 하여 화학 전지가 어떤 방향으로 발전했는지 토의해 보자.



## 여러 가지 실용 전지

전지의 활용 범위가 확대되면서 여러 가지 실용 전지들이 개발되었다. 실용 전지는 충전할 수 없는 **일차 전지**와 충전하여 재사용할 수 있는 **이차 전지**로 구분하며, 연료를 공급하여 전기 에너지를 생산하는 **연료 전지**도 있다.

모든 전지는 산화 반응이 일어나는 전극인 (-)극, 환원 반응이 일어나는 전극인 (+)극, 그리고 전자나 이온이 이동할 수 있는 전해질로 구성된다.

전지는 주로 휴대용 기기 및 운송 수단에 활용되므로 충격으로부터 안전하고, 가벼우면서도 고용량의 에너지를 저장할 수 있어야 한다. 따라서 이러한 조건에 맞는 다양한 전극 물질과 전해질을 찾는 노력과 함께 전지를 구성하는 물질의 채취와 처리 과정에서 환경 오염을 줄이는 연구도 진행하고 있다.

또 지속가능한 발전을 위해 친환경 고효율 연료로 전기 에너지를 생산하는 다양한 연료 전지를 일상화하는 연구도 진행하고 있다.

### 실용 전지의 역사

#### 납축전지

1859년에 개발된 최초의 이차 전지로 납(Pb), 이산화 납(PbO<sub>2</sub>)을 전극으로 사용한다. 비교적 큰 전기 에너지를 얻을 수 있어 기술적 발전을 거쳐 현재까지 자동차의 시동 및 조명 기기의 전원 등으로 사용한다.



#### 망가니즈 건전지

1866년에 개발된 최초의 일차 전지이다. 전해질을 고체 물질에 흡수시켜 수분이 거의 없어 건전지(dry cell)로 불린다. 크기와 모양이 다양하여 손전등, 리모컨 등과 같은 소형 전자 기기에 널리 사용한다.



#### 단추형 전지

최초의 단추형 전지는 1947년에 개발된 수은 전지이다. 동전이나 원통형 모양으로 손목시계 등과 같은 작은 전자 기기에 사용한다. 그러나 현재는 유독성 물질인 수은 대신 산화 은, 리튬, 아연 등으로 만든 전지를 사용한다.



#### 니켈·금속 수소화물 전지

1970년에 개발된 이차 전지이다. 다양한 휴대용 전자 기기에 사용할 수 있도록 부피를 줄이고, 에너지 밀도를 높였으며, 유해 중금속을 사용하지 않아 환경에 미치는 피해를 줄였다.



#### 리튬 이온 전지

1985년에 개발된 전지로 가볍고, 에너지 밀도가 커서 스마트폰, 노트북 등과 같은 휴대용 전자 기기나 전동 공구, 전기 자동차 등에 널리 사용한다.



#### 전고체 전지

액체 전해질 대신 고분자를 사용하는 것을 시작으로 2000년대 들어 전지의 구성 물질 전체가 고체로 이루어진 전고체 전지를 연구 중이다. 액체 전해질을 사용한 전지에 비해 폭발 위험이 적다.

#### 수소 연료 전지

수소를 연료로 공급하여 수소가 산소와 반응할 때 발생하는 에너지를 이용한 전지이다. 1960년대부터 우주선 내에 물과 전기를 공급하는 데 사용되었다. 수소를 산화시켜 물을 생성하므로 환경친화적이며, 에너지 효율이 크다는 장점이 있다. 현재 수소 자동차의 동력으로 활용되고 있으며 선박, 무인 비행 물체 등 다양한 운송 수단의 에너지원으로 연구 중이다.



#### 확인하기

- 1 불타는 서로 다른 ( )이 전해질을 사이에 두고 있을 때 전류가 흐른다는 것을 발견하였다.
- 2 다음 기기들에 활용되는 화학 전지를 써 보자.  
(1) 스마트폰 (2) 손목시계 (3) 리모컨 (4) 자동차

#### 소단원 마무리

##### 창의력 키우기

리모컨에 건전지를 넣어 둔 채 오랫동안 방치하면 액체가 새어나와 하얗게 굳는다. 이 액체의 종류와 액체가 새어나오는 까닭을 조사해 보자.

##### 디지털 소양 키우기

현재 사용하고 있는 스마트폰 배터리의 수명을 확인하는 방법을 탐색해 보자.

# 03 화학 전지의 원리

- 화학 전지의 원리를 산화·환원 반응으로 설명할 수 있다.
- 표준 환원 전위를 이용하여 전위차를 구할 수 있다.

“ 경주 천마총에서 목걸이를 비롯한 여러 가지 유물이 발견되었다. 그런데 목걸이를 만든 은 등의 금속 재료는 녹이 슬어 까맣게 변했는데 금은 그 색깔을 그대로 유지하고 있었다. 그 까닭은 무엇일까? ”



## 금속의 이온화 경향

금은 오랜 시간이 지나도 모양이나 광택을 유지하지만 철이나 아연 등의 금속은 쉽게 산화되어 그 형태를 알아보기 어려워진다. 금속의 종류에 따라 산화되는 정도가 어떻게 다른지 알아보자.

## 해보기

### 금속의 반응성 비교하기

탐구 능력

#### 준비물

- 마그네슘판  아연판
- 구리판  금속용 가위
- 1 M 황산 마그네슘 수용액
- 1 M 황산 아연 수용액
- 1 M 황산 구리(II) 수용액
- 12홈판  스포이트
- 사포  실험복
- 보안경
- 실험용 고무장갑
- 안전 장갑

#### 안전



- 실험할 때는 반드시 실험복, 보안경, 실험용 고무장갑을 착용한다.
- 금속을 자를 때 안전 장갑을 착용하고, 손을 다치지 않도록 주의한다.
- 실험 후 남은 용액은 폐수 처리 기준과 방법에 따라 처리한다.

1. 그림과 같이 12홈판의 1번 줄에 마그네슘(Mg)을, 2번 줄에 아연(Zn)을, 3번 줄에 구리(Cu)를 넣는다.

**도움말** 금속 조각은 표면의 불순물을 제거한 후 사용한다.

2. A 행에 1 M 황산 구리(II)(CuSO<sub>4</sub>) 수용액을, B 행에 1 M 황산 아연(ZnSO<sub>4</sub>) 수용액을, C 행에 1 M 황산 마그네슘(MgSO<sub>4</sub>) 수용액을 넣는다.



#### 정리

1. 반응이 일어난 홈을 찾고, 각 반응에서 산화되는 물질을 써 보자.
2. 실험 결과로부터 마그네슘, 아연, 구리를 산화되기 쉬운 순서대로 나열해 보자.

금속 원소는 일반적으로 전자를 잃고 양이온이 되려는 경향이 있는데, 이것을 **이온화 경향**이라고 한다. 그림 II-7은 여러 가지 금속의 이온화 경향을 비교한 것이다.



그림 II-7 여러 가지 금속의 이온화 경향

이온화 경향이 큰 금속은 전자를 잃고 산화되기 쉽다. 따라서 아연(Zn)과 구리이온(Cu<sup>2+</sup>)이 반응하면 Zn에서 Cu<sup>2+</sup>으로 전자가 이동하지만, 구리(Cu)와 아연이온(Zn<sup>2+</sup>)은 반응하지 않는다.

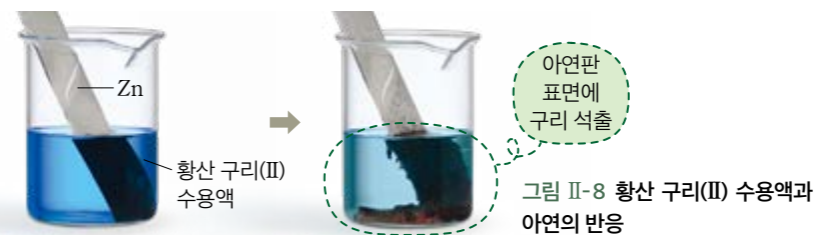
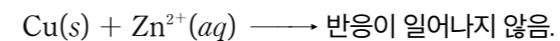


그림 II-8 황산 구리(II) 수용액과 아연의 반응



또 금속 중 수소보다 이온화 경향이 큰 금속이 산과 반응하면 수소 기체가 발생하나, 수소보다 이온화 경향이 작은 금속은 산과 반응하지 않는다.

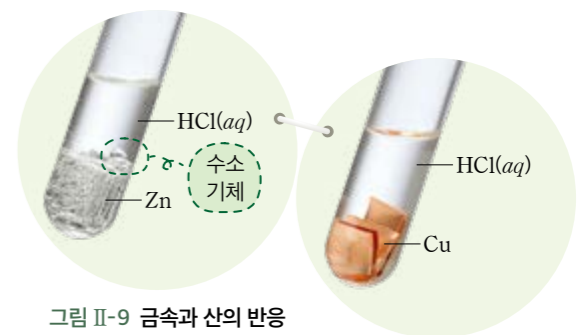
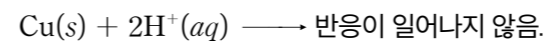


그림 II-9 금속과 산의 반응

#### 확인하기

1. 금속 원소가 전자를 잃고 양이온이 되려는 경향을 ( )이라고 한다.
2. 황산 철(III) 수용액에 아연 조각을 넣으면 반응이 일어나고, 구리 조각을 넣으면 반응이 일어나지 않는다. 철, 구리, 아연을 이온화 경향이 큰 순서대로 쓰고, 그 까닭을 설명해 보자.

## 화학 전지

산에 이온화 경향이 서로 다른 두 금속판을 넣고 두 금속판을 도선으로 연결하면 어떤 현상이 나타나는지 알아보자.

### 해보기

#### 화학 전지의 원리 알아보기

탐구 능력 | 의사 결정 능력

준비물 아연판, 구리판, 묽은 황산, 비커, 집게 달린 전선, 스타이로폼판, 실험복, 보안경, 실험용 고무장갑

#### 안전



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

#### 도움 자료

탐구 전에 다음 자료를 먼저 읽어 보자.

- 114 쪽~115 쪽 실험실 안전 수칙
- 118 쪽~119 쪽 주요 시약별 주의 사항

#### 실험 ①



#### 실험 ②



1. 실험 ①과 같이 묽은 황산이 들어 있는 비커에 아연판과 구리판을 넣은 후 기포 발생 위치를 써 보자.



2. 실험 ②와 같이 집게 달린 전선을 이용해 아연판과 구리판을 연결하고 기포 발생 위치를 써 보자.



3. 실험 ①과 실험 ②에서 산화 반응과 환원 반응이 일어나는 곳을 토의해 보자.



4. 실험 결과를 바탕으로 하여 전자의 이동 방향을 토의해 보자.

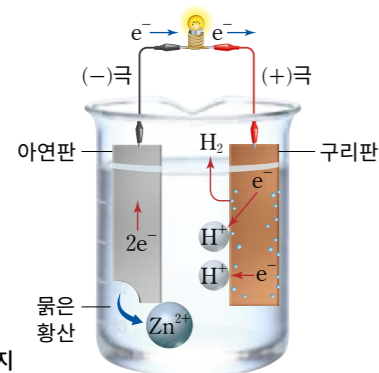
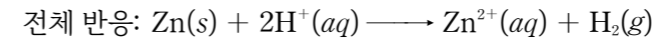
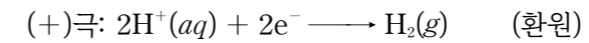
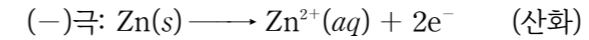


그림 II-10 볼타 전지

묽은 황산에 아연판과 구리판을 넣고 두 금속판을 도선으로 연결하면 전류가 흐르는데, 이와 같은 전지를 **볼타 전지**라고 한다. 볼타 전지의 아연판에서는 아연이 전자를 잃고 산화되어 아연 이온으로 되어 용액에 녹고, 이때 생성된 전자가 구리판으로 이동한다. 황산 수용액 속 수소 이온은 구리판 표면에서 전자를 얻고 환원되므로 구리판에서는 수소 기체가 발생한다.

화학 전지에서 산화 반응이 일어나는 전극이 (-)극, 환원 반응이 일어나는 전극이 (+)극이므로 볼타 전지의 각 전극에서 일어나는 반응은 다음과 같다.



볼타 전지에서는 전류가 흐르기 시작한 후 전압이 떨어지는 현상이 나타나는데, 이를 **분극 현상**이라고 한다. 이것은 발생한 수소 기체가 구리판 표면에 달라붙어 수소 이온의 환원을 방해하기 때문에 나타난다.

다니엘(Daniell, J. F., 1790~1845)은 그림 II-11과 같이 전지를 꾸며 분극 현상이 일어나지 않아 비교적 오래 사용할 수 있는 다니엘 전지를 개발했다. 다니엘 전지에서 각 전극은 서로 다른 전해질 수용액에 담겨 있는데 각각을 **반쪽 전지**라고 한다. 아연 반쪽 전지에서는 아연이 산화되어 아연 이온이 되고, 구리 반쪽 전지에서는 구리 이온이 환원되어 구리가 석출된다. 따라서 아연 반쪽 전지에서는 양이온이 증가하고 구리 반쪽 전지에서는 양이온이 감소하여 전하의 불균형이 생기는데, 염다리로 두 반쪽 전지를 연결하면 염다리 속 이온이 이동하여 전하 균형이 유지된다.

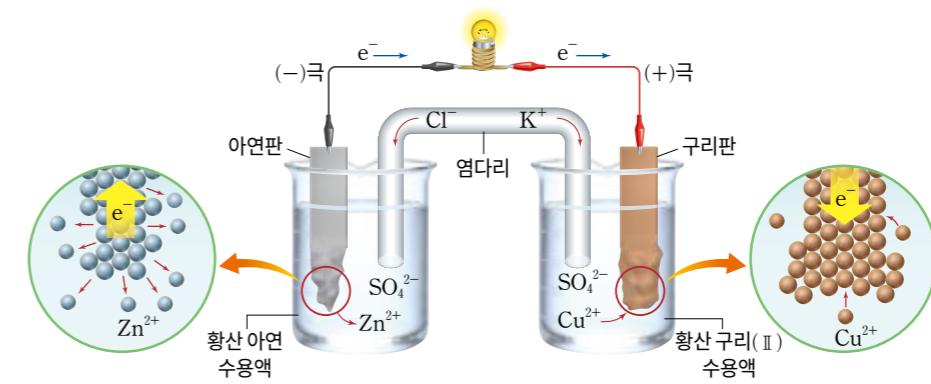
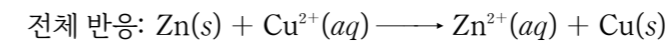
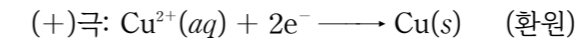
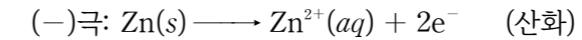


그림 II-11 다니엘 전지

#### 확인하기

- 1 볼타 전지의 아연판은 (산화 / 환원) 반응이 일어나므로 ((-)극 / (+)극)이다.
- 2 다니엘 전지의 ( )은/는 두 반쪽 전지를 연결해 전하 균형을 유지한다.

#### 분극 현상 방지

이산화 망가니즈(MnO<sub>2</sub>)나 과산화 수소(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)와 같은 산화제를 넣어 수소 기체를 산화시켜 물로 만들면 분극 현상을 줄일 수 있다.

#### 염다리

전지에서 두 반쪽 전지를 연결하는 장치로, 전해질 포화 수용액이 들어 있다. 다니엘 전지에서 염다리 속의 음이온은 황산 아연 수용액 쪽으로, 양이온은 황산 구리(II) 수용액 쪽으로 이동하여 양쪽 반쪽 전지의 전하 균형을 맞춘다.

#### 자료 읽기

다니엘 전지에서 반응이 일어나면 아연판에서는 아연이 아연 이온으로 되어 용액에 녹아 나오므로 아연판의 질량은 \_\_\_\_\_하고, 구리판에서는 구리 이온이 구리로 석출되므로 구리판의 질량은 \_\_\_\_\_한다.

● 전위차

물체가 높은 곳에서 낮은 곳으로 스스로 이동하는 것처럼 전자는 전기적 위치 에너지가 높은 곳에서 낮은 곳으로 스스로 이동한다. 이때 전기적 위치 에너지의 차이를 전위차라고 한다.

● 표준 상태

전극 전위는 전해질 수용액의 농도, 온도 등에 따라 달라지므로, 25 °C에서 반쪽 전지를 구성하는 전해질의 농도가 1 M, 기체 물질의 압력이 1 atm일 때를 표준 상태로 정의한다.

표준 환원 전위

화학 전지에서 전류가 흐르는 까닭은 두 반쪽 전지 사이에 전위차가 생기기 때문이다. 이때 두 반쪽 전지의 전위차를 전지 전위라고 하며 표준 상태의 두 반쪽 전지를 연결한 화학 전지의 전위를 표준 전지 전위( $E^{\circ}_{\text{전지}}$ )라고 한다.

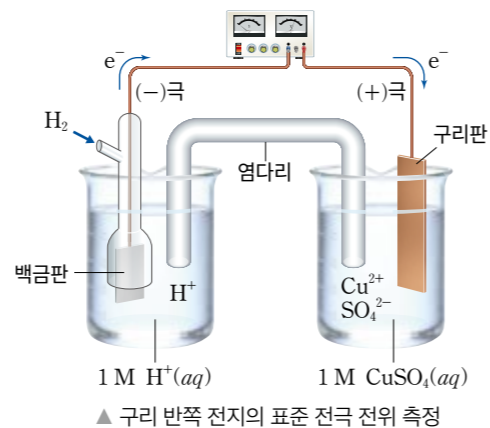
산화·환원 반응은 항상 동시에 일어나므로 어느 한쪽을 분리하여 그 반쪽 전지의 전극 전위를 측정할 수 없다. 따라서 반쪽 전지의 전극 전위는 표준 수소 전극의 전극 전위 값을 0.00 V라고 하고, 이를 기준으로 측정한다. 표준 수소 전극과 표준 상태의 다른 반쪽 전지를 연결하여 환원 반응의 전극 전위를 측정한 것을 표준 환원 전위( $E^{\circ}$ )라고 하며, 모든 반쪽 전지의 전극 전위는 표준 환원 전위로 나타낸다. 수소 이온( $H^+$ )보다 환원이 잘되는 물질은 반쪽 전지의 표준 환원 전위 값이 (+)이고, 수소( $H_2$ )보다 산화가 잘되는 물질은 반쪽 전지의 표준 환원 전위 값이 (-)이다. 금속의 경우 반쪽 전지의 표준 환원 전위가 작을수록 이온화 경향이 크다.

반쪽 반응	표준 환원 전위(V)	경향성
$O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e^- \longrightarrow 2H_2O(l)$	+1.23	환원되기 쉽다. ↑
$Ag^+(aq) + e^- \longrightarrow Ag(s)$	+0.80	
$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow Cu(s)$	+0.34	
$2H^+(aq) + 2e^- \longrightarrow H_2(g)$	0.00	
$Fe^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow Fe(s)$	-0.45	
$Zn^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow Zn(s)$	-0.76	
$2H_2O(l) + 2e^- \longrightarrow H_2(g) + 2OH^-(aq)$	-0.83	
$Mg^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow Mg(s)$	-2.37	

표 II-1 표준 환원 전위(25 °C) (자료 출처: \*CRC Handbook of Chemistry and Physics(105th ed.), 2024)

자료실 표준 수소 전극

25 °C에서 수소 이온의 농도가 1 M인 용액 속에 백금(Pt)판을 꽂고, 그 주위에 1 atm의 수소 기체를 채운 것이다. 전위를 0.00 V로 정하여 전위의 기준점으로 삼으며, 측정하려고 하는 반쪽 전지에 따라  $H_2$ 가 산화되거나  $H^+$ 이 환원된다. 예를 들어 구리 전극의 표준 환원 전위는  $Cu^{2+}(aq)$ 이 환원되고,  $H_2(g)$ 가 산화되는 반응의 전위차인 +0.34 V이다.

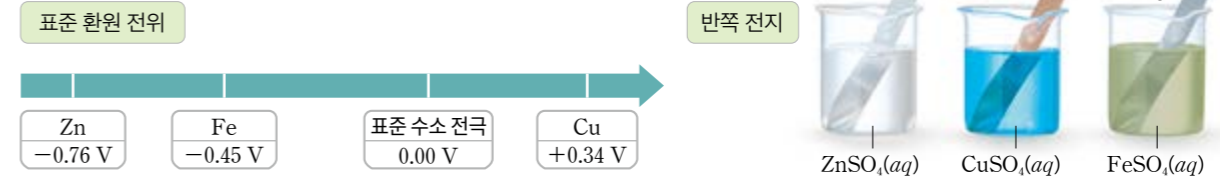


각 반쪽 전지의 표준 환원 전위를 이용해 다니엘 전지의 표준 전지 전위를 구해 보자.

해보기

표준 전지 전위 구하기

다음은 아연(Zn), 철(Fe), 구리(Cu)의 표준 환원 전위와 표준 상태의 아연, 구리, 철 반쪽 전지를 나타낸 것이다.



- 주어진 반쪽 전지를 전극으로 하여 (가) 구리-아연 전지, (나) 구리-철 전지를 만들 때 (-)극이 되는 반쪽 전지를 쓰고, 그 까닭을 설명해 보자.
- 다니엘 전지 (가), (나)의 (-)극, (+)극에서 일어나는 반쪽 반응을 써 보자.

구분	(가) 구리-아연 전지	(나) 구리-철 전지
(-)극		
(+)극		

- 표준 환원 전위를 이용해 다니엘 전지 (가), (나)의 표준 전지 전위를 각각 구하고, 그 과정을 설명해 보자.
- 아연과 철로 구성된 다니엘 전지의 표준 전지 전위를 구하고 그 과정을 설명해 보자.

탐구 능력 | 의사 결정 능력

오개념 바로잡기

전극 전위는 전극의 종류에 따라 정해지는 상대적인 값이므로, 전지 전위를 구할 때 반쪽 전지의 반응식의 계수가 2 배가 되더라도 표준 환원 전위 값은 변하지 않는다.

산화 반응이 일어나는 전극이 산화 전극, 환원 반응이 일어나는 전극이 환원 전극이야!



표준 전지 전위( $E^{\circ}_{\text{전지}}$ )는 환원 반응이 일어나는 반쪽 전지의 표준 환원 전위에 산화 반응이 일어나는 반쪽 전지의 표준 환원 전위를 뺀 값이다.

$$E^{\circ}_{\text{전지}} = E^{\circ}_{\text{환원 전극}} - E^{\circ}_{\text{산화 전극}}$$

확인하기

- 표준 수소 전극을 기준으로 표준 상태의 반쪽 전지를 연결하여 환원 반응의 전극 전위를 측정할 값을 ( )이라고 한다.
- 금속의 이온화 경향이 클수록 반쪽 전지의 표준 환원 전위가 ( 크다 / 작다 ).

● 탐구 설계 및 수행 / 결론 도출

준비물

- 구리판     아연판
- 마그네슘판
- 1 M 황산 구리(II) 수용액
- 1 M 황산 아연 수용액
- 1 M 황산 마그네슘 수용액
- 염화 칼륨 포화 용액
- 사포     거름종이
- 전압계     집게 전선
- 6홀판     페트리 접시
- 가위     핀셋
- 실험복     보안경
- 실험용 고무장갑
- 안전 장갑

안전



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

효율적인 전지가 갖추어야 하는 조건 탐색하기

목표

금속판과 전해질을 이용해 전지를 구성하고, 효율적인 전지가 갖추어야 하는 조건을 탐색할 수 있다.

과정 및 결과

1. 홀판, 몇 가지 금속판과 전해질 수용액을 이용하여 전지를 설계해 보자.

구분	금속판의 종류	전해질의 종류
(-)극		
(+)극		
전지 설계도		

2. 우리 모둠에서 설계한 대로 화학 전지를 만들어 보자.

**도움말** 금속판은 표면의 불순물을 제거한 후 사용한다.

3. 화학 전지에서 일어나는 변화를 관찰하고, 전지 전위를 측정해 보자.

구분	금속판의 종류	전해질의 종류	전극에서 일어나는 변화	전지 전위(V)
(-)극				
(+)극				

염다리는 거름종이로 만들자.



정리

1. 공유 플랫폼을 활용해 실험 결과를 공유해 보자.

A1	모둠						
	A	B	C	D	E	F	G
1	모둠	전극	금속판의 종류	전해질의 종류	전극에서 일어나는 변화	전지 전위(V)	
2	1	(-)극					
3		(+)극					
4	2	(-)극					
5		(+)극					
6	3	(-)극					
7		(+)극					

2. 공유한 실험 결과를 바탕으로 하여 전지를 구성하는 금속판과 전해질의 종류에 따라 전압이 서로 다른 까닭을 표준 환원 전위 표를 참고하여 토의해 보자.



3. 효율적인 전지가 갖추어야 하는 조건을 정하고, 여러 모둠이 만든 전지 중 가장 효율적인 전지를 선정해 보자.



4. 전지의 효율을 높이기 위해 고려해야 하는 다양한 요소를 탐색해 보자.



스스로 평가하기

- | 지식·이해 | (-)극과 (+)극을 이루는 금속판과 전해질을 옳게 이해했는가? ☆☆☆☆☆
- | 과정·기능 | 설계한 전지를 옳게 구성하여 금속판과 전해질의 종류에 따른 전압을 측정했는가? ☆☆☆☆☆
- | 가치·태도 | 실험 결과를 분석하여 효율적인 전지가 갖추어야 할 조건을 인식했는가? ☆☆☆☆☆

도움 자료

탐구 전에 다음 자료를 먼저 읽어 보자.

- 114 쪽~115 쪽 실험실 안전 수칙
- 118 쪽~119 쪽 주요 시약별 주의 사항
- 120 쪽 표준 환원 전위

금속판의 가격도 고려 사항이 될 수 있어.



소단원 마무리

창의력 키우기

알칼리 건전지의 반쪽 반응식을 찾아보고, 표준 환원 전위 표(120 쪽)를 활용하여 알칼리 건전지의 표준 전지 전위를 구해 보자.

디지털 소양 키우기

바닷물에 녹아 있는 나트륨 이온과 칼륨 이온으로 리튬 이온 전지의 리튬을 대체할 수 있을지 자료를 검색하여 가능성을 알아보자.

# 04

## 전기 분해

- 전기 분해의 원리를 산화·환원 반응으로 설명할 수 있다.
- 산업 현장에서 활용되는 전기 분해의 예를 조사해 발표할 수 있다.

“ 소금물에 전류를 흘렸더니 소독약 냄새가 났다. 어떤 반응이 일어나 소독약 냄새가 나는 것일까? ”



### 전기 분해의 원리

화학 전지는 산화·환원 반응을 이용하여 물질이 가지고 있는 화학 에너지를 전기 에너지로 전환한다. 반대로 물질에 전기 에너지를 가하면 산화·환원 반응이 일어나 물질이 분해되는데, 이를 **전기 분해**라고 한다.

염화 나트륨(NaCl)을 액체로 만든 용융액에는 나트륨 이온(Na<sup>+</sup>)과 염화 이온(Cl<sup>-</sup>)이 들어 있다. **그림 II-12**와 같이 염화 나트륨 용융액에 전류를 흘려 주면 (+)극에서는 염화 이온(Cl<sup>-</sup>)이 전자를 내놓고 산화되어 염소(Cl<sub>2</sub>) 기체가 발생하고, (-)극에서는 나트륨 이온(Na<sup>+</sup>)이 전자를 얻고 환원되어 나트륨(Na)이 생성된다.

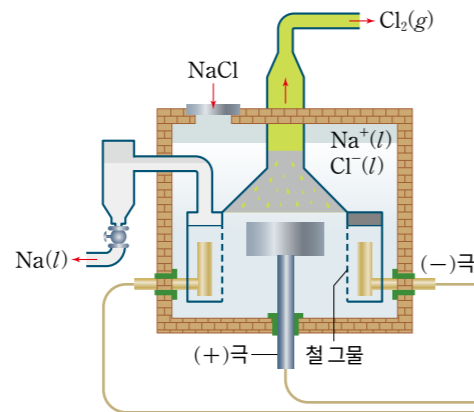
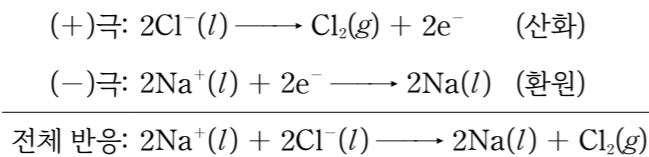


그림 II-12 염화 나트륨 용융액의 전기 분해

즉, 전해질의 용융액에 전류를 흘려 주면 (+)극에서는 음이온이 산화되고, (-)극에서는 양이온이 환원되어 용융액이 분해된다.

그렇다면 염화 나트륨 수용액을 전기 분해 할 때도 염소 기체와 나트륨이 생성될까? 염화 나트륨 수용액에는 나트륨 이온, 염화 이온과 함께 물이 존재한다. **그림 II-13**과 같이 염화 나트륨 수용액에 전류를 흘려 주면 (+)극에서는 염화 이온이 산화되어 염소 기체가 발생하고, (-)극에서는 나트륨 이온 대신 물이 환원되어 수소 기체가 발생한다.

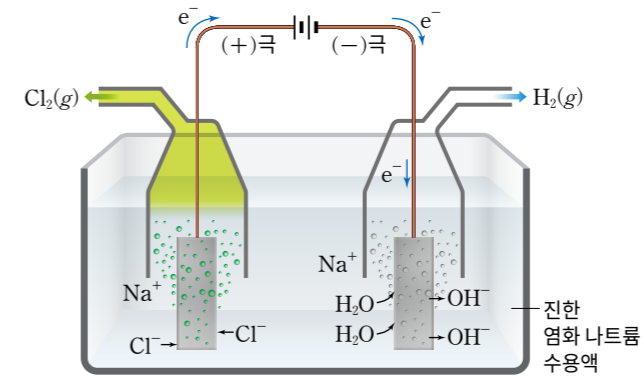
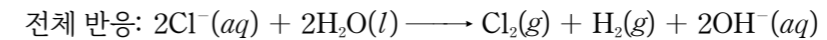
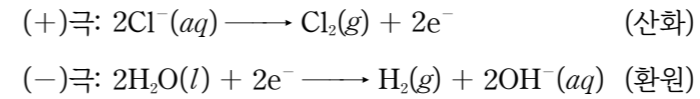
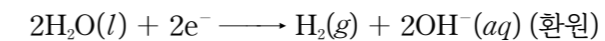
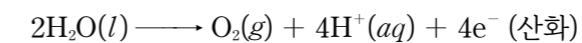


그림 II-13 염화 나트륨 수용액의 전기 분해

이처럼 전해질 수용액을 전기 분해 할 때 (-)극에서는 전해질의 양이온과 물 중 환원되기 쉬운 물질이 환원된다. 따라서 수용액에 리튬 이온(Li<sup>+</sup>), 칼륨 이온(K<sup>+</sup>), 나트륨 이온(Na<sup>+</sup>) 등과 같은 양이온이 녹아 있는 경우 물이 대신 환원되어 수소 기체가 발생한다.



(+)극에서는 전해질의 음이온과 물 중 산화되기 쉬운 물질이 산화된다. 따라서 황산 이온(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), 탄산 이온(CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>), 수산화 이온(OH<sup>-</sup>) 등과 같은 음이온이 녹아 있는 경우 물이 대신 산화되어 산소 기체가 발생한다.



### 확인하기

- 1 액체나 수용액에 전기 에너지를 가하여 산화·환원 반응을 일으켜 물질을 분해하는 것을 ( )이라고 한다.
- 2 황산 구리(II) 수용액과 황산 나트륨 수용액을 전기 분해 할 때 각 전극에서 생성되는 물질을 비교해 보자.

**물의 전기 분해**  
물을 전기 분해 하여 수소 기체와 산소 기체를 얻으려면 전해질로 황산 나트륨(Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)이나 수산화 나트륨(NaOH) 등과 같은 전해질을 녹여야 한다.

## 전기 분해의 이용

일상생활에서 흔히 이용하는 알루미늄, 구리 등의 금속을 얻을 때나 연료 전지에 활용되는 수소, 살균제로 활용되는 염소를 얻을 때는 전기 분해를 이용한다. 또 장신구나 금속 공예 작품을 만들 때도 전기 분해를 이용해 도금을 한다.

### 도금

금속이 녹스는 것을 방지하거나 금속 표면을 아름답게 꾸미려고 금속 표면에 다른 금속을 입히는 기술이다.

## 탐구

● 탐구 수행 / 결론 도출

### 준비물

- 구리 펜던트  은판
- 다이시아아노산 칼륨 용액
- 6호판
- 건전지(1.5 V AA 3개)
- 스위치형 집게 달린 건전지 받침
- 핀셋  증류수
- 실험복  보안경
- 실험용 고무장갑

### 안전



- 실험할 때는 반드시 실험복, 보안경, 실험용 고무장갑을 착용한다.
- 다이시아아노산 칼륨 용액이 손에 닿지 않도록 주의하고, 손에 묻은 경우 흐르는 물로 즉시 씻는다.
- 실험 후 남은 용액은 폐수 처리 기준과 방법에 따라 처리한다.
- 반드시 환기가 잘되는 곳에서 실험한다.

### 도움 자료

- 탐구 전에 다음 자료를 먼저 읽어 보자.
- 114 쪽~115 쪽 실험실 안전 수칙
  - 118 쪽~119 쪽 주요 시약별 주의 사항

## 은도금하기

### 목표

금속 염 수용액과 건전지를 이용하여 구리 표면에 은을 도금하고, 도금의 원리를 설명할 수 있다.

### 과정

1. 다이시아아노산 칼륨( $K[Ag(CN)_2]$ ) 용액을 6호판의 한 홈에 넣자.
2. 전지의 (+)극에 은판을, (-)극에 구리 펜던트를 연결한 후 구리 펜던트와 은판을 6호판의 용액에 넣고 전원을 켜자.
3. 펜던트 표면이 모두 은색으로 바뀌면 전원을 끄고 펜던트와 은판을 꺼내어 증류수로 씻어 말리자.

**도움말** 은판과 구리 펜던트가 닿지 않도록 하고, 펜던트 표면이 은색으로 바뀌면 방향을 돌려 가며 확인해 도금되지 않은 부분이 없도록 한다.

### 정리

1. 구리 펜던트와 은판에서 일어나는 변화를 각각 화학 반응식으로 나타내 보자.

- ✎ 구리 펜던트:
- 은판:

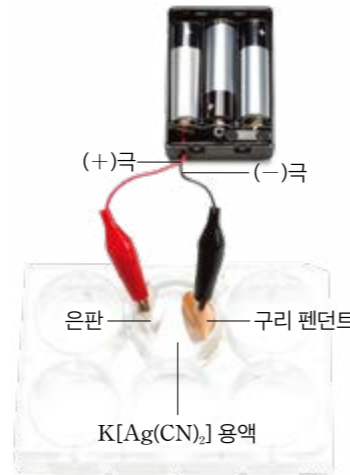
2. 은판의 변화와 용액 속 은 이온 수의 변화를 토의해 보자.



### 스스로 평가하기

- |  |       |
|--|-------|
| 지식·이해   전기 분해의 원리를 이해하고 도금에서 일어나는 전자의 이동을 설명했는가? | ☆☆☆☆☆ |
| 과정·기능   (+)극과 (-)극에 연결하는 물질을 옳게 선택하여 도금을 완성했는가?  | ☆☆☆☆☆ |
| 가치·태도   실험 결과로 도금의 유용성을 깨달았는가?                   | ☆☆☆☆☆ |

Q 탐구 능력 | 문제 해결 능력 | 의사 결정 능력



구리 펜던트에 은을 도금할 때는 (-)극에 구리 펜던트를 연결하고, (+)극에 은판(Ag)을 연결한 후 은 이온( $Ag^+$ )이 들어 있는 도금액 속에 넣고 전류를 흘려 준다. 이때 구리 펜던트 표면에서 은 이온이 환원되어 은이 석출되면서 구리 펜던트 표면이 은으로 도금된다.

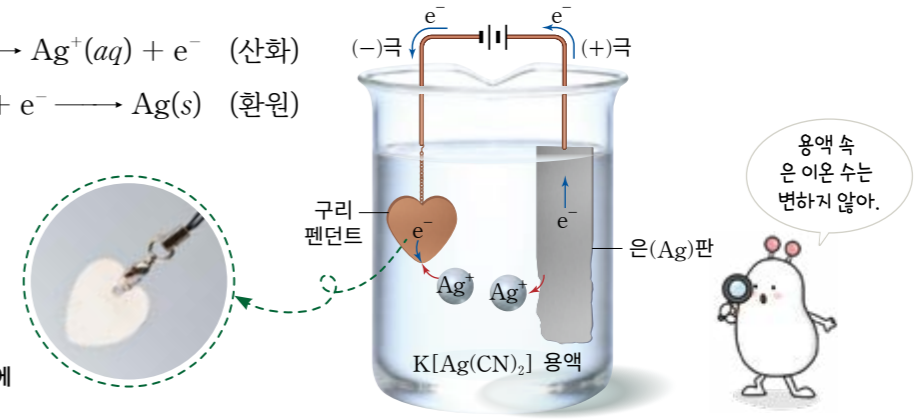
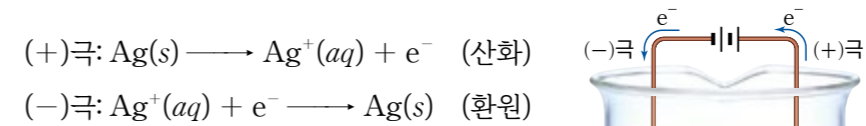


그림 II-14 구리 펜던트에 은도금하기

이처럼 이온화 경향이 작은 금, 은, 크로뮴 등으로 금속 표면을 도금하면 내부 금속을 보호하거나 표면을 아름답게 꾸밀 수 있어 도금은 일상생활에서 유용하게 활용된다.

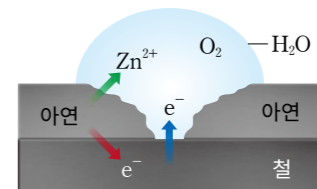


그림 II-15 일상생활 속 도금 활용

### 자료실 철 표면을 아연으로 도금해도 철을 보호할 수 있을까?

공기 중에서 철이 물과 접촉하면 산화되어 붉은 녹을 형성한다. 그런데 철 표면에 아연을 도금하면 도금이 벗겨져 철이 일부 노출되더라도 이온화 경향이 큰 아연이 먼저 산화되므로 철의 부식을 방지할 수 있다.

- 산화 반응:  $Zn(s) \longrightarrow Zn^{2+}(aq) + 2e^-$
- 환원 반응:  $O_2(g) + 2H_2O(l) + 4e^- \longrightarrow 4OH^-(aq)$



▲ 철 표면을 아연으로 도금한 함석에 흠집이 났을 때의 반응

전기 분해를 이용하면 광석이나 금속 혼합물로부터 순수한 금속을 얻을 수 있다.

전기 분해로 불순물을 포함한 구리로부터 순수한 구리를 얻을 때는 그림 II-16 과 같이 불순물을 포함한 구리판을 (+)극에, 순수한 구리판을 (-)극에 연결한 후 두 전극을 황산 구리(II) 수용액에 담근다. 불순물 중에는 구리보다 산화가 더 잘되는 아연(Zn), 철(Fe), 니켈(Ni) 등이 들어 있는데, 전류를 흘려 주면 (+)극에서 구리와 함께 이들 원소가 산화되어 금속 양이온으로 수용액에 녹아 나오고, 구리보다 산화되기 어려운 은(Ag), 백금(Pt), 금(Au) 등은 (+)극 밑에 금속 상태로 가라앉아 제거된다.

(-)극에 연결된 구리판에서는 구리 이온만 환원되어 구리 금속으로 석출된다.

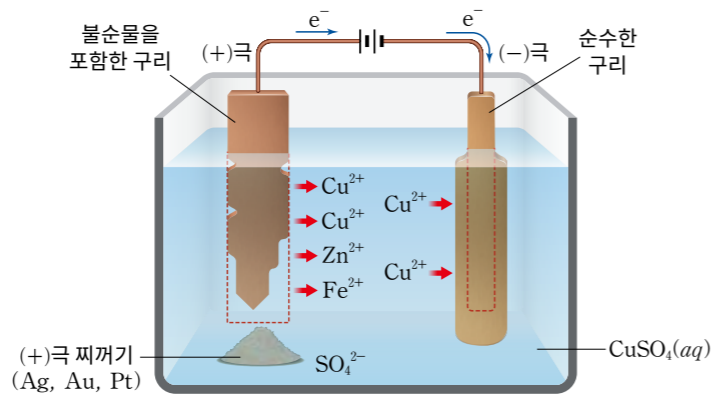
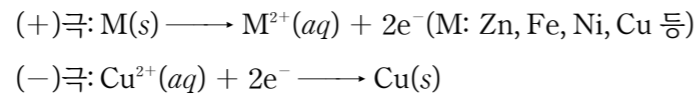


그림 II-16 구리의 정제

이 밖에도 전기 분해는 제조업, 환경, 신재생 에너지 분야에서 다양하게 활용된다.

**생활** 소금물과 표백제

소금물을 전기 분해 하면 수산화 나트륨과 염소 기체가 생성되는데, 이 두 물질이 반응하면 산화력이 매우 커서 표백제와 살균 소독제로 널리 이용되는 하이포염소산 나트륨(NaClO)이 된다.

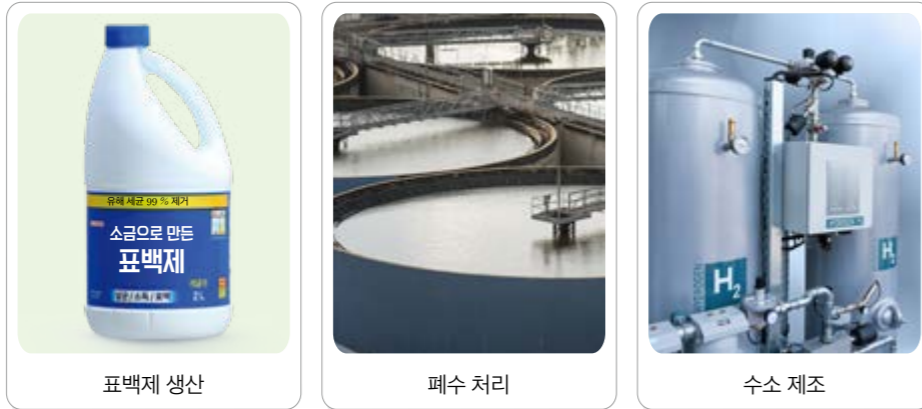


그림 II-17 전기 분해의 이용 폐수 속의 유기물을 산화·환원 반응으로 분해하고, 금속 이온을 환원시켜 자원을 재활용할 수 있다. 또 물을 전기 분해 하여 얻은 수소 기체를 에너지원으로 활용한다.

**해보기**

**전기 분해의 활용 사례 조사하기**

탐구 능력 | 의사 결정 능력

준비물 스마트 기기, 참고 도서

1. 산업 현장에서 전기 분해를 활용하는 사례를 찾아보자.
2. 모둠별로 찾은 사례 중 한 가지를 선택하여 전기 분해가 어떻게 활용되는지 조사해 보자.

3. 모둠별로 조사한 자료를 정리하여 발표해 보자.

**정리**

- 모둠별 발표를 듣고 궁금한 점을 질문해 보자.



**확인하기**

- 1 철 숟가락을 은으로 도금할 때 철 숟가락은 ( )극에 연결하고, 은판은 ( )극에 연결한다.
- 2 구리의 정제 과정에서 불순물이 포함된 구리가 연결된 전극에서 일어나는 반응을 써 보자.

**소단원 마무리**

**창의력 키우기**

화학 전지와 전기 분해에서 산화 반응과 환원 반응이 일어나는 전극을 비교하여 설명해 보자.

**디지털 소양 키우기**

다양한 금속의 제련 방법을 탐색하고, 금속에 따라 제련 방법이 서로 다른 까닭을 조사하여 발표해 보자.

# 우리 생활 속 산화·환원 반응

- 생명 현상 및 화학 전지에서 이용되는 다양한 산화·환원 반응을 설명할 수 있다.
- 산화·환원 반응에 이용된 물질의 역할을 조사하여 화학의 신비로움을 이야기할 수 있다.

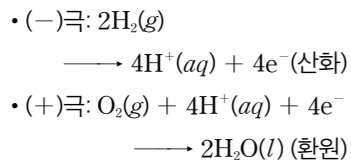
“ 전기뱀장어는 순간적으로 높은 전기 에너지를 발생시켜 먹이를 기절시키거나 자신을 방어하는 수단으로 이용한다. 전기뱀장어는 어떤 원리로 전기를 발생시킬까? ”



생명체의 생명 유지나 영양분 합성, 우리 생활을 편리하게 하는 다양한 화학 전지에는 모두 산화·환원 반응이 이용된다.

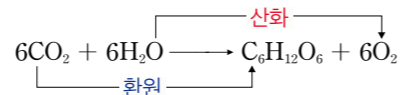
### 수소 연료 전지

수소의 산화·환원 반응으로 생기는 에너지를 직접 전기 에너지로 바꾼다.



### 광합성

식물의 엽록체에서 빛에너지를 흡수하면서 이산화 탄소와 물이 반응하여 포도당과 산소를 생성한다.



### 세포 호흡

마이토콘드리아에서 산소와 포도당이 반응하여 이산화 탄소와 물을 생성하고 에너지를 방출한다.

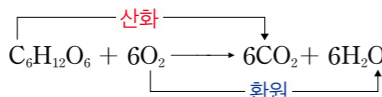


그림 II-18 우리 생활 속 산화·환원 반응

## 해보기

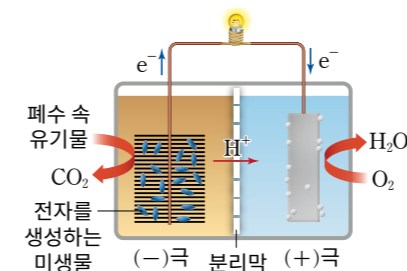
탐구 능력 | 의사 결정 능력

### 산화·환원 반응에 이용되는 물질의 역할 조사하기

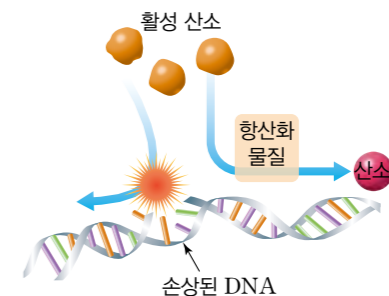
준비물 스마트 기기, 참고 도서

1. 다음 반응을 산화·환원 반응으로 설명하고, 밑줄 친 물질의 역할을 정리해 보자.

미생물 연료 전지는 미생물이 폐수에 포함된 유기물을 분해하는 과정에서 생성되는 전자를 이용해 전지를 작동한다.



항산화제는 각종 질환에 관여하는 활성 산소를 제거하는 물질로 질병을 예방하고 노화를 막는다고 알려져 있다.



2. 생명 현상 및 화학 전지에서 이용되는 다양한 산화·환원 반응을 탐색해 공유해 보자.

3. 모둠별로 생명 현상이나 화학 전지에서 이용되는 산화·환원 반응을 1 개씩 고르고, 그 반응에 이용된 물질이 어떤 역할을 하는지 정리해 보자.

### 정리

- 공유 플랫폼에 각 모둠이 조사한 내용을 올리고, 화학의 신비로움을 이야기해 보자.

### 확인하기

- 1 세포 호흡 과정에서 포도당은 (산화 / 환원)되고, 산소는 (산화 / 환원)된다.
- 2 수소 연료 전지에서 반응의 최종 생성물을 써 보자.

## 지속가능한 발전을 위한 미래 전지 설계하기

### 목표

현재 활용되고 있는 전지의 한계점을 파악하고, 지속가능한 발전을 위한 미래 전지를 설계할 수 있다.

### 과정 및 결과

1. 인터넷을 활용하여 지속가능한 발전을 위한 미래 전지가 갖추어야 할 조건을 조사해 보자.



2. 현재 활용되고 있는 화학 전지가 지속가능한 발전을 위한 미래 전지가 되기 위해서 어떤 점이 개선되어야 하는지 토의하고 미래 전지를 설계해 보자.

현재 전지의 문제점

개선 방법

우리가 설계한 미래 전지

3. 2에서 설계한 미래 전지를 소개하는 카드 뉴스를 만들어 발표해 보자.

**도움말** 직접 발표하거나, 공유 플랫폼을 활용해 공유할 수 있다.



## 정리

1. 모둠별 발표를 듣고 궁금한 점을 질문해 보자.
2. 우리 모둠에서 만든 평가 기준에 따라 각 모둠에서 설계한 전지를 평가해 보자.

### 평가 기준

- 
- 
- 

제시된 아이디어의 좋은 점, 문제점, 흥미로운 점을 찾아 살펴본 후 모듬원의 의견을 종합해 평가해야 해.



### 스스로 평가하기

- |   |      |
|---|------|
| 지식·이해   지속가능한 발전을 위한 미래 전지가 갖추어야 할 조건을 잘 정리했는가? | ☆☆☆☆ |
| 과정·기능   모듬원과 논의하여 문제점을 찾고 합리적인 개선 방법을 제시했는가?    | ☆☆☆☆ |
| 가치·태도   다른 모듬의 발표를 잘 듣고 공정하게 평가했는가?             | ☆☆☆☆ |

### 소단원 마무리

#### 창의력 키우기

전기뱀장어는 어떤 원리로 전기 에너지를 발생시키는지 조사해 보자.

#### 디지털 소양 키우기

구리, 알루미늄, 철 등을 제련할 때 필요한 전력량을 조사하고, 친환경 에너지를 전기 분해에 활용할 수 있는지 가능성을 탐색해 보자.

# 파이토케미컬 내 몸을 지키는 식물 색소

식물을 뜻하는 파이토(phyto)와 화학 물질을 뜻하는 케미컬(chemical)의 합성어인 파이토케미컬은 식물에서 합성되어 건강에 도움을 주는 생리 활성 물질이다. 다양한 과일과 채소에 포함된 파이토케미컬은 식물의 맛과 향, 색을 결정하는 물질로, 강력한 항산화 작용으로 암을 예방하고 노화를 방지하는 데 도움을 주는 것으로 알려져 있다.

예를 들어 토마토에 풍부한 라이코펜은 빨간색 카로티노이드 색소로 쉽게 산화되는 성질이 있어 체내에 존재하는 활성 산소와 빠르게 결합한다. 활성 산소는 혈관 질환, 암, 노화 등의 원인이 되는 물질로 라이코펜이 풍부한 토마토를 즐겨 먹으면 활성 산소로 인한 질병 발생 위험이 낮다고 알려져 있다. 블루베리의

보라색 색소인 안토시아닌은 동맥 경화 같은 심혈관 질환 예방에 뛰어난 효과가 있고, 당근의 주황색 색소인 베타카로틴은 눈 건강 및 노화 방지에 도움이 된다고 보고되고 있다. 이처럼 항산화 기능을 가진 다양한 색의 과일과 채소를 골고루 섭취하면 질병을 예방하고 노화를 방지해 건강을 유지할 수 있다.

**활동하기**

**조사**

식물이 파이토케미컬을 스스로 합성하는 까닭을 탐색하고, 파이토케미컬의 효능을 산화·환원의 관점에서 설명해 보자.



**파이토케미컬**  
phytochemical



**녹색**  
(엽록소)

효능 | 노화 예방, 해독 작용  
식품 | 시금치, 케일



**붉은색**  
(라이코펜)

효능 | 항암 효과, 혈관 기능 강화  
식품 | 딸기, 비트, 붉은 피망



**흰색**  
(알리신)

효능 | 유해 물질 배출, 뼈 건강 강화  
식품 | 양파, 도라지, 무



**노랑, 주황**  
(베타카로틴)

효능 | 눈 건강과 노화 방지  
식품 | 귤, 호박, 옥수수



**보라색**  
(안토시아닌)

효능 | 심혈관 질환 예방  
식품 | 블루베리, 가지, 자색 고구마

# 새로운 에너지를 찾는 탐험가 전지 연구원

**누리집**



검색·누리집  
커리어넷에서 전지 연구원과 관련된 정보를 찾아보자.

**전지 연구원이 하는 일은 무엇일까?**

전지의 발전은 우리가 많은 기기를 편리하게 무선으로 사용할 수 있게 해 주었다. 현재는 자동차와 같이 큰 에너지가 필요한 기기에 사용할 수 있는, 에너지 밀도가 높으면서도 폭발 위험이 없고, 부피가 작고 가벼운 전지 개발이 중요한 과제가 되고 있다. 전지 연구원은 신소재를 연구하고 전지의 구조를 개선해 더 작은 크기에서도 더 큰 에너지를 내고, 급속 충전이 가능하며 수명이 긴 전지를 개발하는 사람이다.

**전지 연구원은 어떤 능력이 필요할까?**

전지 연구원은 전지의 네 가지 구성 요소인 양극, 음극, 전해질, 분리막을 각자의 전문 분야에서 연구하여 각 분야 간 협업으로 전지의 성능을 개선하는 작업을 하며, 전지가 장착되는 각종 전자 기기의 특성을 파악하여 전지의 특성을 조절해야 하므로 서로 소통하는 능력이 필요하다. 또 화학 에너지가 전기 에너지로 전환되는 과정에서 전지의 안전성을 확보하고 효율을 높일 수 있도록 전지 모델링 및 시뮬레이션으로 전지의 성능을 예측할 수 있어야 한다.

**관련 학과**

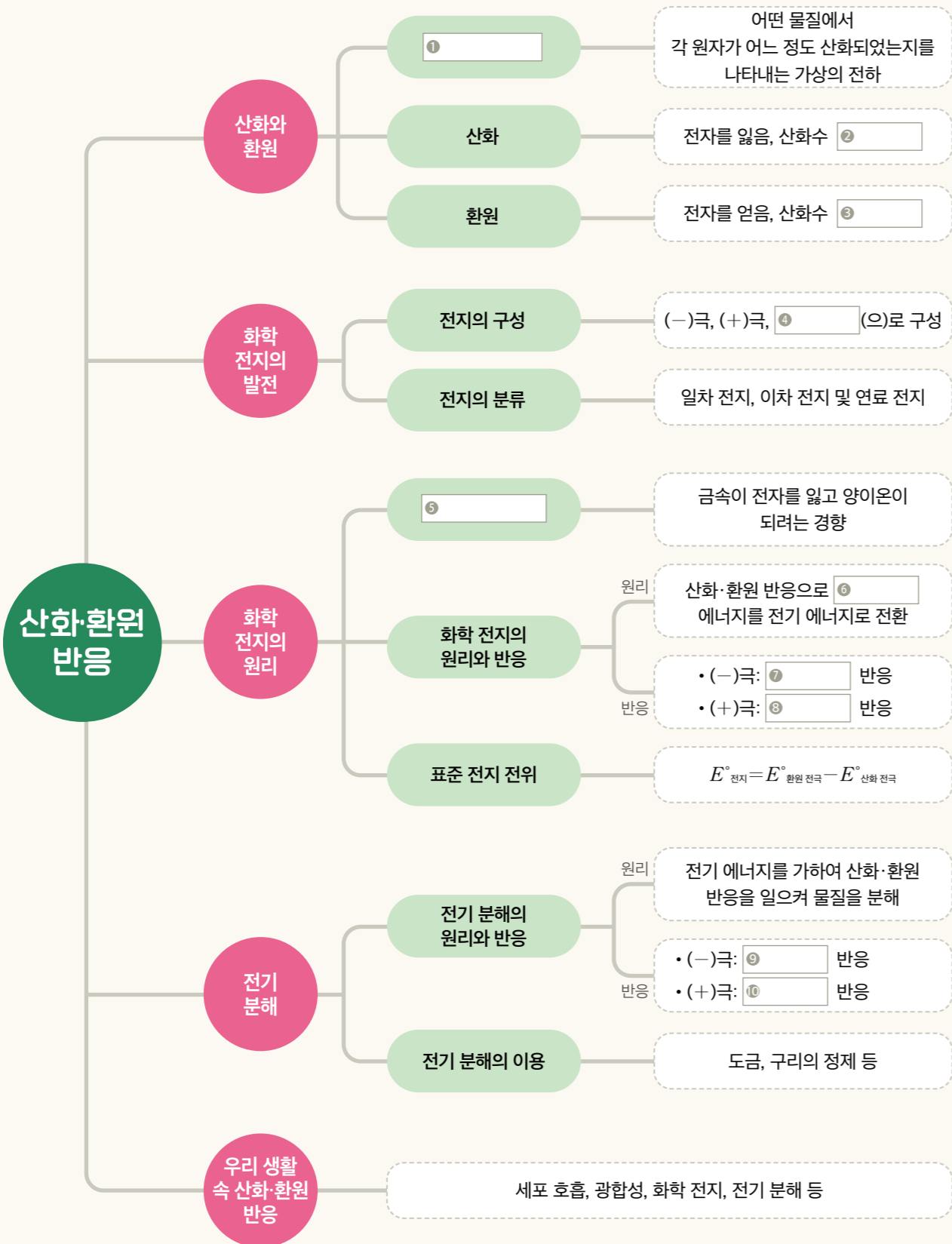
화학과, 화학 공학과, 금속 공학과, 재료 공학과, 신소재 공학과, 배터리 공학과 등

**활동하기**

**체험**

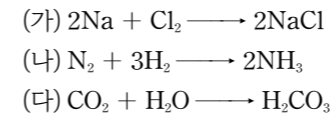
우리나라의 전지 연구 기관을 찾아 연구원을 인터뷰하거나 강연 동영상을 찾아보고, 전지 산업의 중요성을 생각해 보자.





01. 산화와 환원

01 다음은 세 가지 화학 반응식을 나타낸 것이다.



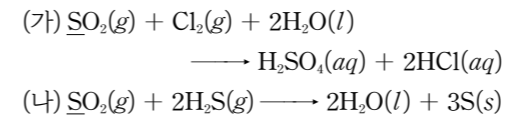
(가)~(다)에서 산화·환원 반응을 있는 대로 고른 것은?

- ① (가)      ② (다)      ③ (가), (나)  
④ (나), (다)      ⑤ (가), (나), (다)

서술형

01. 산화와 환원

02 다음은 이산화 황(SO<sub>2</sub>)과 관련된 두 가지 화학 반응식이다.

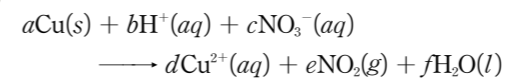


(1) 반응 (가)와 (나)에서 밑줄 친 황(S) 원자의 산화수의 변화를 각각 설명해 보자.

(2) 반응 (가)에서 환원제로 작용한 물질과 반응 (나)에서 산화제로 작용한 물질을 각각 써 보자.

01. 산화와 환원

03 다음은 완성되지 않은 산화·환원 반응식을 나타낸 것이다.



반응 계수 a~f의 합은?

- ① 8      ② 9      ③ 10  
④ 11      ⑤ 12

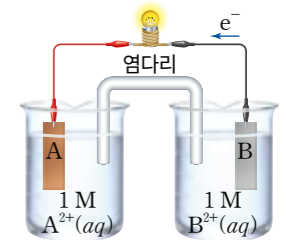
02. 화학 전지의 발전

04 여러 가지 전지에 대한 설명으로 옳은 것은?

- ① 일차 전지는 충전하여 재사용할 수 있다.  
② 납축전지는 최초의 일차 전지로 자동차의 전원으로 사용된다.  
③ 수은 전지는 연료를 공급하여 전기 에너지를 생산할 수 있다.  
④ 소형 전자 기기에 사용되는 망가니즈 건전지는 이차 전지이다.  
⑤ 리튬 이온 전지는 가볍고 용량이 커서 휴대용 전자 기기에 활용된다.

03. 화학 전지의 원리

05 그림은 금속 A와 B를 전극으로 사용한 화학 전지와 전자의 이동 방향을 나타낸 것이다.



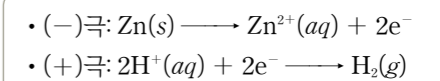
이에 대한 설명으로 옳은 것은? (단, A와 B는 임의의 원소 기호이다.)

- ① 금속판 A에서 산화 반응이 일어난다.  
② 금속의 이온화 경향은 A가 B보다 작다.  
③ 반응이 진행될수록 A<sup>2+</sup>(aq) 수는 증가한다.  
④ 반응이 진행될수록 금속판 B의 질량은 증가한다.  
⑤ 반응이 진행되면 각 반쪽 전지의 전하 불균형이 일어난다.

서술형

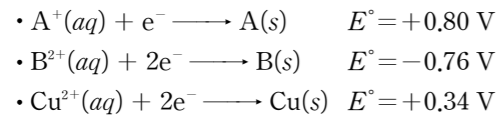
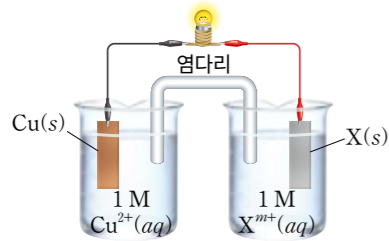
03. 화학 전지의 원리

06 다음은 볼타 전지의 반쪽 반응식이다.



볼타 전지에서는 전류가 흐르기 시작한 후 전압이 떨어지는 현상이 나타나는데, 이러한 현상이 일어나는 까닭을 설명해 보자.

07 그림은 화학 전지를 나타낸 것이고, 자료는 25 °C에서 세 가지 금속의 반쪽 반응에 대한 표준 환원 전위( $E^\circ$ )이다.

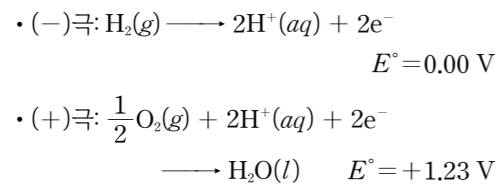


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A와 B는 임의의 원소 기호이다.)

- 보기
- ㄱ. 금속의 이온화 경향은  $A > Cu > B$ 이다.
  - ㄴ. X가 A이면  $Cu(s)$ 는 (-)극이다.
  - ㄷ. X가 B이면  $B(s)$ 의 질량은 점차 감소한다.

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

08 다음은 수소 연료 전지의 반쪽 반응식과 표준 환원 전위이다.

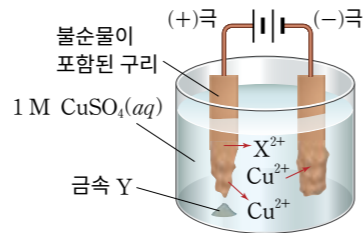


- (1) 수소 연료 전지의 전체 반응식을 써 보자.
- (2) 수소 연료 전지의 표준 전지 전위를 구하고, 그 과정을 설명해 보자.

09  $CuCl_2(aq)$ 과  $NaCl(aq)$ 을 전기 분해 할 때 ㉠, ㉡에서 생성되는 물질을 써 보자. (단, 표준 환원 전위는  $Cu^{2+}(aq) > H_2O(l) > Na^+(aq)$ 이다.)

물질	(+)극	(-)극
$CuCl_2(aq)$	$Cl_2(g)$	㉠
$NaCl(aq)$	$Cl_2(g)$	㉡

10 그림은 25 °C에서 불순물 X, Y가 포함된 구리에서 순수한 구리를 얻는 장치이다. (단, X와 Y는 임의의 원소 기호이다.)



- (1) X, Y, Cu의 이온이 금속으로 되는 반응의 표준 환원 전위를 등호나 부등호로 비교해 보자.
- (2) 환원 전극(-극)의 질량은 어떻게 변하는지 써 보자.

11 다음 글을 읽고 바이타민 C를 섭취했을 때 산화되는 물질과 환원되는 물질을 각각 쓰고, 그렇게 생각한 까닭을 설명해 보자.

바이타민 C는 수용성으로 혈액에 녹아 온몸에 가장 광범위하게 작용할 수 있는 바이타민이다. 전자를 잘 내놓으므로 활성 산소를 빠르게 제거하여 세포의 산화를 막아 노화를 방지하는 효과가 있다.

과학 글쓰기

12 다음은 전고체 전지와 관련된 자료의 일부이다.

전기 자동차에 사용되는 리튬 이온 전지의 에너지 밀도는 kg당 250 Wh 수준으로 현재 1 회 충전 주행 거리가 약 500 km~600 km이다. 하지만 급속 충전으로 전지의 80 %만 충전할 수 있고 겨울철에는 주행 거리가 30 %~40 % 감소해 실제 주행 거리는 더 짧다. 더욱 큰 문제는 안전성이다. 전기 자동차에 사용되는 리튬 이온 전지의 경우 물리적 충격에 의해 분리막이 손상되면 화재가 발생하는데, 추돌 사고가 대형 화재 사고로 번질 수 있기 때문이다.

전고체 전지는 이러한 리튬 이온 전지의 문제를 해결할 수 있다. 전고체 전지는 액체 전해질 대신 고체 전해질을 사용하는 전지로, 고체 전해질은 물리적 충격에도 안전하여 추돌 사고가 나도 화재 위험성이 적다. 또 전지 안전성과 관련된 부품을 줄일 수 있어 전지의 무게와 부피를 줄일 수 있으며, 리튬 이온 전지에 비해 에너지 밀도가 높아 전지 용량을 늘릴 수 있고 주행 거리도 늘어난다는 장점이 있다.

그러나 전고체 전지의 상용화에는 시간이 더 필요할 것으로 전망된다. 주요 소재가 고가의 금속이어서 아직은 전지 원가 경쟁력을 확보하기 어렵기 때문이다.

(1) 전고체 전지의 개발 배경을 설명해 보자.

(2) 전고체 전지의 장점을 정리하고 상용화를 위해 해결해야 할 과제를 설명해 보자.

글쓰기 길잡이

전지의 전해질이 액체에서 고체로 바뀔 때의 차이를 정리한다.

스스로 점검하기

- 지식-이해** 산화수 변화로 산화·환원 반응을 이해하고, 화학 전지와 전기 분해의 원리를 설명했다. ★★★★★
- 과정-기능** 금속판과 전해질을 이용하여 전지를 꾸미고, 효율적인 전지가 갖추어야 하는 조건을 탐색했다. ★★★★★
- 가치-태도** 화학 전지를 비롯한 다양한 산화·환원 반응에 이용된 물질의 역할을 인식하여 화학의 신비로움을 이야기했다. ★★★★★

평가 결과가 아쉽다면 Ⅱ. 산화-환원 반응'을 다시 한번 학습해 봅시다.

# 버려지는 전지 왜 재활용해야 할까?

사용한 폐전지를 모두 수거한다면 처리 공정을 거쳐 성분의 95 %를 회수할 수 있으므로, 환경 보호를 실천하고 경제적인 효과도 기대할 수 있다.

**폐전지 처리 과정** 폐전지 → 종류별 분류 → 용융·파쇄 → 유기 금속 추출 → 폐전지 자원화

환경부 법령 개정으로 2008년부터 재활용 대상 품목에 추가된 폐전지는 재활용이 잘되고 있을까? 현재 사용 후 수거되는 폐전지는 20 % 정도에 불과하고 나머지는 일반 쓰레기로 배출되는 것으로 조사되었다. 더욱 문제가 되는 것은 2000년대 전기 자동차 시장의 확대와 함께 배출량이 급증한 폐리튬 이온 전지의 처리이다.

현재 폐리튬 이온 전지의 재활용 비율은 폐건전지에 비해 매우 낮은 편이다. 폐리튬 이온 전지는 조심해서 분쇄하지 않으면 폭발의 위험이 있으며, 리튬을 채굴하는 것보다 재활용할 때 더 큰 비용이 들기 때문이다. 하지만 전기 자동차 수요가 폭발적으로 증가할 것이라는 전망과 함께 2025년부터 리튬이 부족할 것으로 예상되어 폐리튬 이온 전지의 재활용은 매우 중요한 과제가 되었다. 폐리튬 이온 전지의 재활용이 필요한 까닭은 환경적인 측면도 있다. 리튬 1kg을 채굴하는 데 약 2300L의 엄청난 양의 물이 필요하여 환경에도 부정적인 영향을 미치기 때문이다. 따라서 폐리튬 이온 전지는 자원과 환경을 지키기 위해 반드시 재활용해야 한다.

▼ 칠레 아타카마 사막의 리튬 광산



## 1 폐전지 재활용 실태 조사하기

1. 폐리튬 이온 전지를 재활용해야 하는 까닭을 글에서 찾아 써 보자.
2. 우리 지역에서 폐전지의 재활용을 위해 어떤 정책을 추진하고 있는지 조사해 보자.
3. 폐전지 재활용을 활성화하기 위한 아이디어를 정리하고, 생활 속에서 실천하기 위한 캠페인을 계획해 보자.

### 과정·기능 길잡이

행정안전부의 지자체 누리집을 검색하면 폐전지 수거함 위치, 지자체별 폐전지 교환 사업 등의 정보를 알 수 있다.

## 2 캠페인 발표하기

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

내용	평가		
폐전지를 재활용해야 하는 까닭을 이해했는가?	상	중	하
폐전지의 재활용을 위한 정책과 실태를 조사할 때 적절한 검색어를 활용해 조사했는가?	상	중	하
캠페인을 계획할 때 다른 모듬원의 아이디어를 수용하고 적극적으로 참여했는가?	상	중	하

### 가치·태도 길잡이

폐전지 재활용의 중요성을 알릴 수 있는 효과적인 캠페인을 생각해 본다.

### 포트폴리오

» 이 단원의 활동 결과를 정리해 보자.

• 68 쪽 생활 속 과학 이야기 • 69 쪽 화학과 나의 미래 • 74 쪽~75 쪽 프로젝트

- 1 이 단원의 활동 결과를 모아 II. 산화·환원 반응 포트폴리오 자료로 정리해 보자.
- 2 **디지털** 공유 플랫폼을 활용해 포트폴리오를 친구들에게 공유하고, 친구들의 포트폴리오에 댓글을 달거나 **좋아요** 표시를 하면서 소통해 보자.
- 3 포트폴리오를 인쇄해 책자로 만들어 보자.



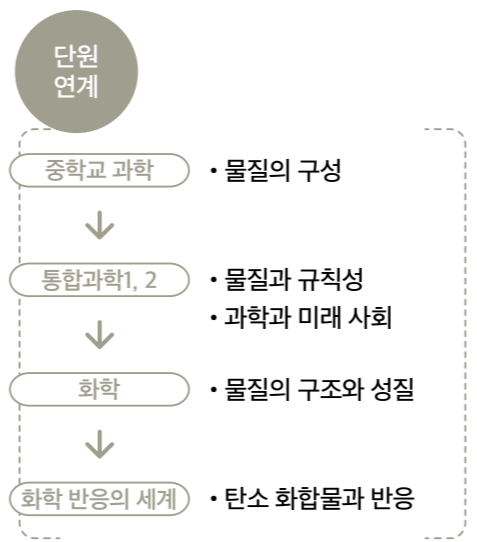
# Ⅲ

## 탄소 화합물과 반응

케이크의 원료인 밀가루, 달걀, 크림, 과일 그리고 케이크를 담기 위해 사용하는 종이 상자에는 모두 탄소가 포함되어 있다. 이 단원에서 우리 주변에서 흔히 볼 수 있는 다양한 탄소 화합물의 종류와 반응을 학습하고 탄소 화합물의 변화가 고분자 재료 및 신약 개발 등 최신 과학·기술·사회 발달에 어떤 영향을 미치는지 알아보자.

### 이 단원에서 학습할 내용

- 01 탄소 화합물의 종류
- 02 탄소 화합물의 화학 반응
- 03 다양한 고분자 화합물
- 04 탄소 화합물의 유용성



**이 단원의 학습 목표**

- 지식·이해** 탄소 화합물의 정의와 종류, 작용기에 따른 성질의 변화를 이해하고, 중합 반응으로 고분자가 합성되는 과정을 설명할 수 있다.
- 과정·기능** 실험을 통해 작용기의 변화를 탐구하고, 새로운 물질을 만들 수 있다.
- 가치·태도** 우리 주변의 다양한 탄소 화합물과 탄소 화합물의 반응을 통해 합성된 새로운 물질이 과학·기술·사회 발전에 끼친 영향을 조사해 화학의 유용성을 깨달을 수 있다.

**포트폴리오** » 이 단원을 학습하면서 나만의 특기를 발휘한 포트폴리오를 만들어 보자.  
 · 104 쪽 최신 과학 이야기 · 105 쪽 화학과 나의 미래 · 110 쪽~111 쪽 프로젝트

# 01

## 탄소 화합물의 종류

- 일상생활에 유용한 탄소 화합물을 작용기에 따라 분류하고, 화학식으로 표현할 수 있다.
- 작용기에 따른 탄소 화합물의 성질을 설명할 수 있다.

“ 색연필, 종이, 지우개 등에는 모두 탄소가 포함되어 있다. 일상생활에서 사용하는 다른 물질에도 탄소가 포함되어 있을까? ”



### 탄소 화합물의 다양성

우리가 일상생활에서 접하는 밥, 고기, 과일 등의 음식물이나 옷, 신발, 가방 같은 생활용품 대부분에는 탄소(C)가 포함되어 있다. 이처럼 탄소 원자가 수소(H), 산소(O), 질소(N), 할로젠(F, Cl, Br, I) 등의 원자와 결합해 만들어진 화합물을 **탄소 화합물**이라고 한다. 우리 주변의 다양한 탄소 화합물을 찾아보자.

### 해보기

Q 탐구 능력 | Q 의사 결정 능력

#### 우리 주변의 탄소 화합물 찾아보기

준비물 스마트 기기

다음은 우리가 주위에서 흔히 접하는 여러 가지 물질이다.



1. 각 물질을 구성하는 성분의 화학식을 찾아보고, 탄소 화합물이 들어 있는 물질을 써 보자.
2. 우리 주변에서 탄소 화합물이 들어 있는 또 다른 물질을 찾아보자.

우리 주변에는 수많은 탄소 화합물이 존재한다. 이처럼 탄소 화합물의 종류가 많은 까닭은 무엇일까?

탄소는 원자가 전자가 4 개이므로 최대 4 개의 다른 원자와 공유 결합을 할 수 있다. 따라서 여러 가지 원자와 결합해 다양한 화합물을 만들 수 있다.

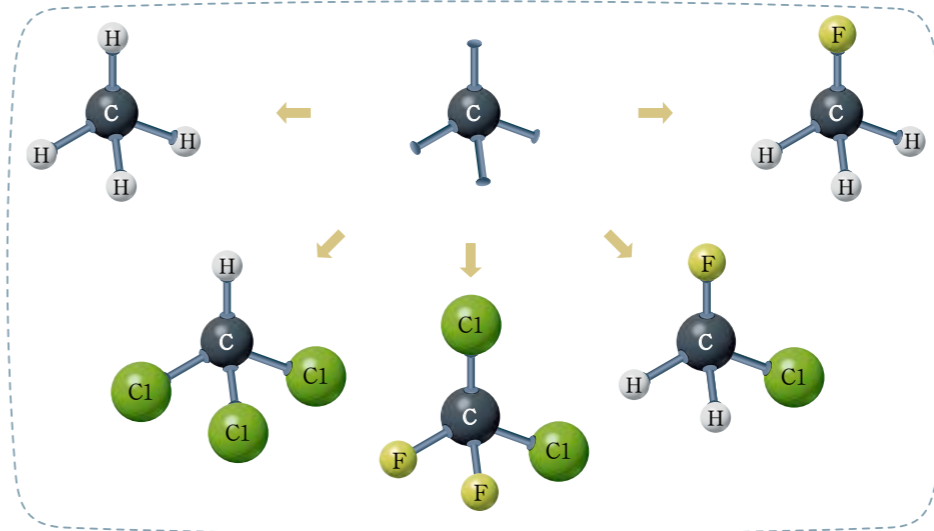
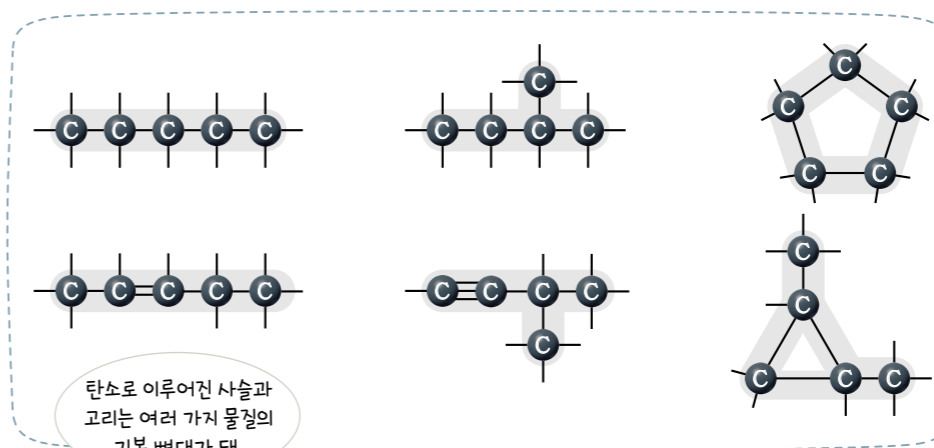


그림 III-1 탄소 화합물의 다양성

또 탄소 원자끼리도 공유 결합을 하므로 탄소 원자들이 결합을 반복하여 사슬이나 고리 형태 등 다양한 구조를 이루고, 탄소와 탄소 사이에 이중 결합이나 삼중 결합을 형성하기도 한다.

이처럼 탄소는 다양한 구조와 결합을 형성할 수 있으므로 알려진 탄소 화합물만 수백만 종에 이르며, 지금도 새로운 물질이 계속 발견되고 있다.



탄소로 이루어진 사슬과 고리는 여러 가지 물질의 기본 뼈대가 돼.

그림 III-2 탄소 원자 5 개로 이루어진 탄소 화합물의 다양한 구조

탄소 원자 5 개로 이루어진 탄소 화합물의 다른 구조를 찾아보자.

탄소에 결합한 원자의 종류와 개수가 다르면 다른 탄소 화합물이야.

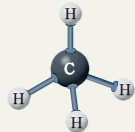
모두 탄소 원자 5 개로 이루어져 있는데, 구조는 다르네!

## 탄화수소

탄소와 수소로만 이루어진 화합물을 **탄화수소**라고 한다. 가장 간단한 탄화수소인 메테인(CH<sub>4</sub>)부터 프로페인(C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>), 뷰테인(C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>), 에텐(C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), 에타인(C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) 등 다양한 탄화수소가 일상생활에서 유용하게 이용되고 있다.



메테인(CH<sub>4</sub>)

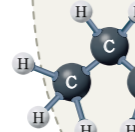


분자량이 작고 끓는점이 매우 낮은 무색무취의 기체이다. 액화 천연 가스(LNG)의 주성분으로 도시에서 난방과 취사에 사용한다.

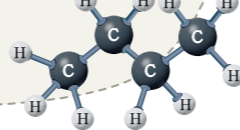


프로페인(C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>)

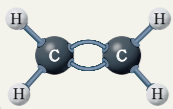
뷰테인(C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>)



탄소가 단일 결합으로만 연결된 무색무취의 기체이다. 액화 석유 가스(LPG)의 주성분으로 자동차의 연료로 사용한다.



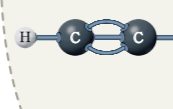
에텐(에틸렌, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)



탄소와 탄소 사이에 이중 결합이 있는 무색의 기체로 특유의 냄새가 난다. 과거에는 마취제로 사용했고, 현재는 덜 익은 상태로 수확한 과일을 익히는 데 사용한다.



에타인(아세틸렌, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>)



탄소와 탄소 사이에 삼중 결합이 있는 무색무취의 기체이다. 과거에는 조명용 연료로 사용했고, 현재는 금속의 용접 및 절단 등에 사용한다.

### 확인하기

- 1 우리 주변에 ( )이 많은 까닭은 탄소의 원자가 전자가 ( )개이므로 여러 가지 원자와 결합을 할 수 있고, 탄소 원자들이 결합을 반복하여 사슬이나 고리 형태 등 다양한 구조를 이루며 탄소와 탄소 사이에 이중 결합이나 삼중 결합을 형성할 수 있기 때문이다.
- 2 액화 천연 가스(LNG)의 주성분은 ( )이고, 프로페인과 뷰테인은 ( )의 주성분이다.

## 작용기에 따른 탄소 화합물

메테인의 수소(H) 원자 중 1 개가 -OH로 바뀌면 어떻게 될까?

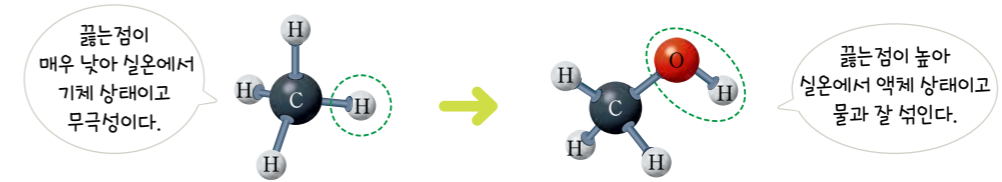


그림 III-3 메테인의 수소(H) 원자 중 1 개가 -OH로 바뀐 경우

탄화수소에서 수소 원자 대신 다른 원자나 원자단이 결합하면 물질의 성질이 변한다. -OH와 같이 탄소 화합물의 성질을 결정하는 원자단을 **작용기**라고 하는데, 작용기가 같으면 화합물에 포함된 탄소 수가 달라도 비슷한 성질을 나타낸다.

● 원자단  
몇 개의 원자가 결합하여 한 개의 원자처럼 행동하는 원자의 집단이다.

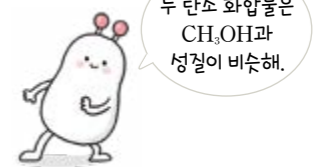
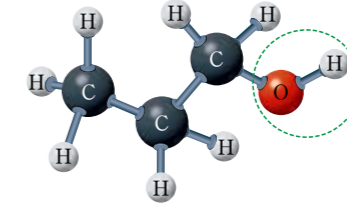
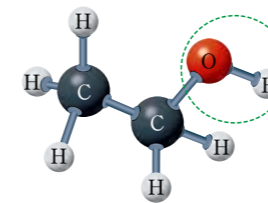


그림 III-4 작용기 -OH를 갖는 탄소가 각각 2 개, 3 개인 탄소 화합물

작용기에는 다양한 종류가 있고 탄소 화합물은 작용기에 따라 다른 성질을 나타낸다. 예를 들어, 메테인의 수소(H) 원자 중 1 개가 -CHO로 바뀌거나 -COOH로 바뀌면 다음과 같이 성질이 변한다.

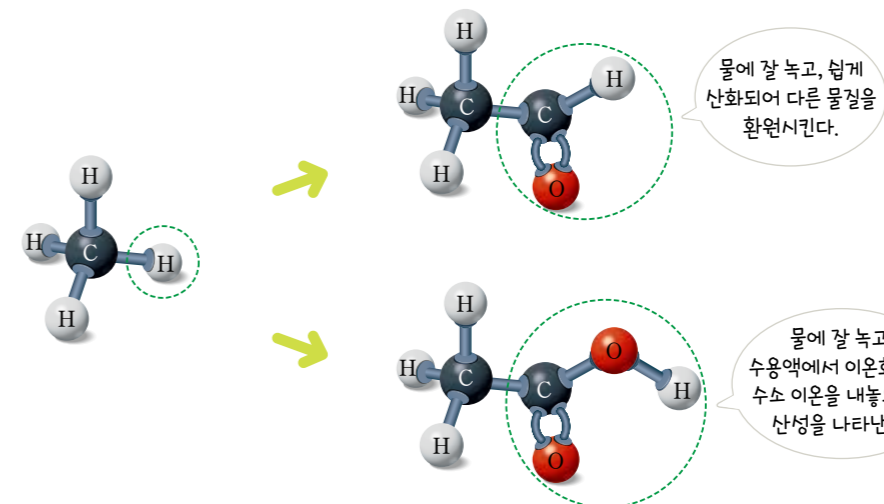


그림 III-5 메테인의 수소(H) 원자 중 1 개가 -CHO나 -COOH로 바뀐 경우

탄소 화합물은 작용기에 따라 성질이 달라지므로 화학식으로 나타낼 때 작용기를 알아보기 쉽게 따로 쓰기도 하는데, 이렇게 나타낸 화학식을 **시성식**이라고 한다. 예를 들어 분자식이 CH<sub>4</sub>O인 탄소 화합물을 작용기 -OH가 드러나도록 시성식으로 표현하면 CH<sub>3</sub>OH이다.

시성식으로 물질을 나타내면 물질의 성질을 쉽게 알 수 있어 편리해.



# 탐구

자료 분석 / 결론 도출

탐구 능력 | 문제 해결 능력 | 의사 결정 능력

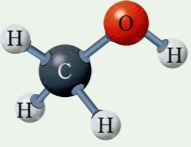
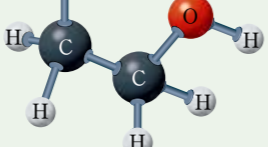
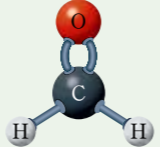
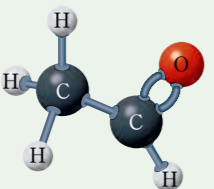
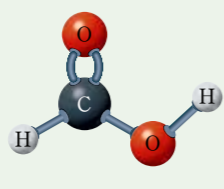
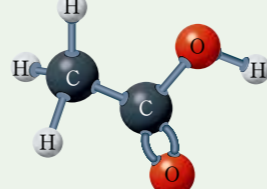
## 탄소 화합물을 화학식으로 표현하고 성질 탐구하기

### 목표

간단한 탄소 화합물을 시성식으로 표현하고, 성질을 탐구할 수 있다.

### 과정 및 결과

1. 다음 여러 가지 탄소 화합물의 구조에서 작용기 부분을 표시하고, 빈칸에 작용기가 드러나도록 시성식을 써 보자.

 메탄올 <input type="text"/>	 에탄올 <input type="text"/>	 폼알데하이드 <input type="text"/>
 아세트알데하이드 <input type="text"/>	 폼산 <input type="text"/>	 아세트산 <input type="text"/>

2. 위의 여러 가지 탄소 화합물을 작용기가 같은 물질끼리 분류해 보자.


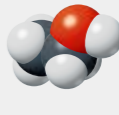
작용기	탄소 화합물
-OH	

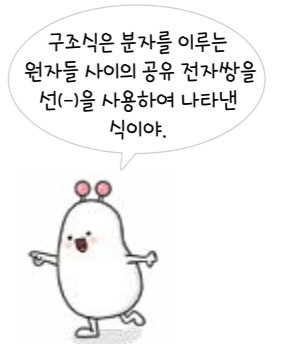
준비물  스마트 기기

도움말  가상 실험실에서 탄소 화합물의 분자 구조를 만들 수 있다.

3. 2에서 작용기에 따라 분류한 탄소 화합물의 성질을 조사하고 공통점을 찾아 공유 플랫폼을 활용하여 공유한 후 발표해 보자.

### 예시 | 작용기 -OH

탄소 화합물	메탄올	에탄올
구조식	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\   \\ \text{H} \end{array}$ 	$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\   &   \\ \text{H}-\text{C}- & \text{C}-\text{OH} \\   &   \\ \text{H} & \text{H} \end{array}$ 
성질	<ul style="list-style-type: none"> <li>실온에서 액체 상태이다.</li> <li>극성 분자로 물과 잘 섞인다.</li> <li>독성이 있다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>실온에서 액체 상태이다.</li> <li>극성 분자로 물과 잘 섞인다.</li> <li>살균 효과가 있다.</li> </ul>
공통점	<ul style="list-style-type: none"> <li>실온에서 액체 상태이다.</li> <li>극성 분자로 물과 잘 섞인다.</li> </ul>	



### 정리

1. 발표를 듣고, 탄소 화합물의 성질을 결정하는 것은 무엇인지 설명해 보자.



2. **창의** 네일 리무버에 들어 있는 아세톤의 분자식은 C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O이다. 아세톤과 분자식이 같고 작용기 -CHO를 갖는 탄소 화합물을 찾아 시성식을 써 보고 성질을 조사한 후 아세톤의 성질과 비교해 보자.



### 스스로 평가하기

지식·이해   탄소 화합물의 구조를 보고 작용기를 찾아 시성식으로 옮겨 나타냈는가?	☆☆☆☆
과정·기능   탄소 화합물을 작용기에 따라 옮겨 분류했는가?	☆☆☆☆
가치·태도   다른 모둠의 발표를 경청하고 탄소 화합물의 성질을 결정하는 것이 무엇인지 적극적으로 탐구했는가?	☆☆☆☆

>> 알코올

탄화수소에서 수소 원자 1 개 대신 -OH가 결합한 것을 **알코올**이라고 한다. 일반적으로 알코올은 무색의 휘발성 액체로, 탄소 수가 비슷한 다른 탄소 화합물에 비해 끓는점이 높고, 탄소 수가 클수록 녹는점과 끓는점이 높아진다. 또 탄소 수가 작은 알코올은 물에 잘 녹는데, 수용액에서 이온화하지 않으므로 중성을 나타낸다.

가장 간단한 구조의 알코올인 메탄올(CH<sub>3</sub>OH)은 무색의 액체로 나무로부터 얻을 수 있으며, 화학 약품의 원료와 용매로 많이 이용된다.

술의 주성분인 에탄올(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH)은 무색의 액체로, 녹말이나 설탕과 같은 당을 발효시켜 얻을 수 있다. 소독용 알코올은 에탄올 80 %와 물 20 %를 혼합한 것으로 에탄올의 살균 효과를 이용한 것이다. 이 외에도 에탄올은 손 소독제나 자동차의 앞 유리를 닦을 때 쓰는 워셔액에도 이용된다.

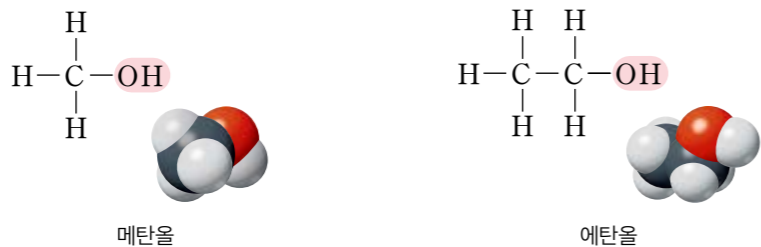


그림 III-6 메탄올과 에탄올의 구조

알코올 중에는 에틸렌 글리콜이나 글리세롤과 같이 -OH가 2 개 이상인 것도 있다. 에틸렌 글리콜은 휘발성이 작고 물에 잘 녹는 액체이므로 자동차의 부동액으로 이용된다. 글리세롤은 점성이 매우 강해 끈끈하고 물기를 흡수하는 흡습성이 커 보습 효과가 좋은 액체이므로 천연 비누의 재료나 화장품, 의약품의 원료로 이용된다.

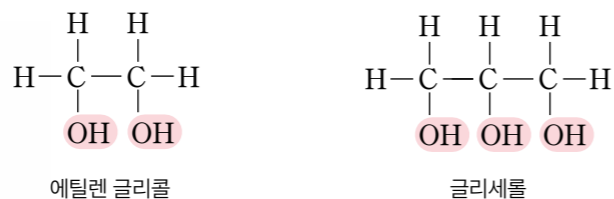


그림 III-7 에틸렌 글리콜과 글리세롤의 구조



그림 III-8 알코올의 이용 소독용 알코올은 에탄올의 살균 효과를 이용한 것이다. 비누를 만들 때 보습 효과를 위해 글리세롤을 첨가한다.

작용기 -OH를 하이드록시기라고 해.



🔍 생활 에탄올의 살균 효과

에탄올은 세균 표면의 막을 뚫고, 세균의 단백질을 응고시켜 죽이는 살균 효과가 있어서 소독제로 쓰인다. 이때 에탄올의 비율이 70 %~80 %여야 살균 효과가 가장 좋다.

>> 알데하이드

탄화수소에서 수소 원자 1 개 대신 -CHO가 결합한 것을 **알데하이드**라고 한다. 일반적으로 탄소 수가 작은 알데하이드는 물에 잘 녹는다. 또 알데하이드는 쉽게 산화되어 다른 물질을 환원시키는 성질을 가진다.

가장 간단한 구조의 알데하이드인 폼알데하이드(HCHO)는 자극성 냄새가 나는 기체로 물에 잘 녹는다. 포르말린은 폼알데하이드의 30 %~40 % 수용액으로 방부제, 소독제, 가구의 접착제 등에 이용된다. 건축 과정에서 사용된 접착제에 들어 있는 폼알데하이드는 새집 증후군의 주요 원인 물질이다.

아세트알데하이드(CH<sub>3</sub>CHO)는 접착제의 원료로 이용되거나 향료로 쓰이고, 아세트산(CH<sub>3</sub>COOH)을 만드는 데도 이용된다.



그림 III-9 폼알데하이드와 아세트알데하이드의 구조

에탄올이 체내에 흡수되면 체내 대사 과정에서 반응이 일어나 아세트알데하이드가 생성되는데, 아세트알데하이드는 두통과 구토를 일으켜 문제가 되기도 한다.

작용기 -CHO는 포알기라고 해.



● 새집 증후군

새로 지은 건물의 건축 자재에서 배출되는 물질들로 인해 두통, 피부염, 기관지염 같은 증상이 나타나는 것이다. 새집 증후군을 예방하려면 건물 내부의 온도를 높였다가 환기하는 과정을 반복해 건축 자재에서 배출된 유해 물질을 내보내야 한다.

과학 마당 생활 속 과학 | 알데하이드와 향

알데하이드는 특유의 향이 나는 탄소 화합물로, 화합물에 포함된 탄소 수에 따라 다양한 향이 난다.

폼알데하이드는 자극성 냄새가 나고 독성이 있어 향을 이용하지 않지만, 아세트알데하이드는 과일 향 향수를 제조할 때 이용하기도 한다. 그 밖에 비누 향, 백합 향, 풀 향 등이 나는 알데하이드도 있으며 이 알데하이드들은 향수, 화장품, 식품 등에 첨가되어 쓰이고 있다.

🔍 생각 펼치기 | 일상생활 속에서 알데하이드 향을 이용한 제품을 찾아 향을 맡아 본 후 어떤 향이 나는지 이야기해 보자.



>> 카복실산

탄화수소에서 수소 원자 1 개 대신 -COOH가 결합한 것을 카복실산이라고 한다. 탄소 수가 작은 카복실산은 물에 잘 녹고, 수용액에서 이온화하여 수소 이온을 내놓으므로 산성을 나타낸다.

가장 간단한 구조의 카복실산인 폼산(HCOOH)은 특유의 자극적인 냄새가 나는 무색의 액체로 산성을 띠고 독성이 있다. 개미나 벌에 쏘였을 때 피부가 부어오르고 가려운 것은 이들 곤충의 침에 폼산이 들어 있기 때문이다. 그러나 적절한 농도의 폼산은 피부병 치료제에 활용하기도 한다.



작용기 -COOH는 카복실기라고 해.



폼산은 작용기 -CHO랑 -COOH를 모두 가지고 있어!

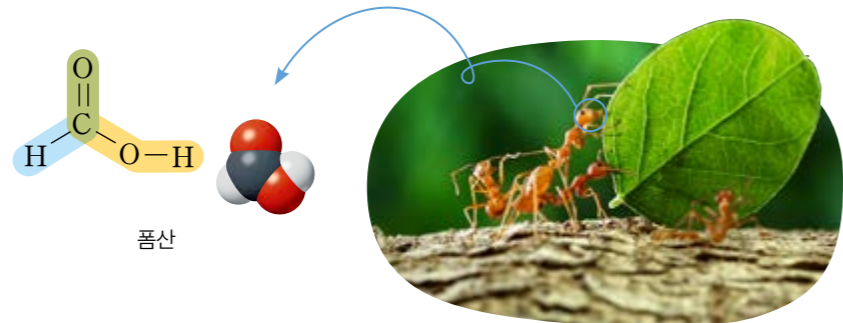


그림 III-10 폼산의 구조와 개미

❗ 폼산(HCOOH)처럼 두 가지 작용기를 모두 갖는 물질은 어떤 성질을 나타낼지 설명해 보자.

🔍 생활 아세트산과 음식

음식의 신맛을 내는 데 이용되는 식초는 아세트산의 3%~6% 수용액이다. 포도즙을 발효시켜 만드는 발사믹 식초나 막걸리를 이용해 만드는 막걸리식초 모두 아세트산을 포함한다.

아세트산(CH<sub>3</sub>COOH)은 시큼하고 자극적인 냄새가 나는 무색의 액체이다. 어는점이 16.6℃로 기온이 조금만 낮아져도 쉽게 얼어 빙초산이라고도 한다. 아세트산은 생활에서 가장 많이 사용되는 카복실산으로 식초, 의약품, 섬유 염료 등의 원료로 쓰인다.

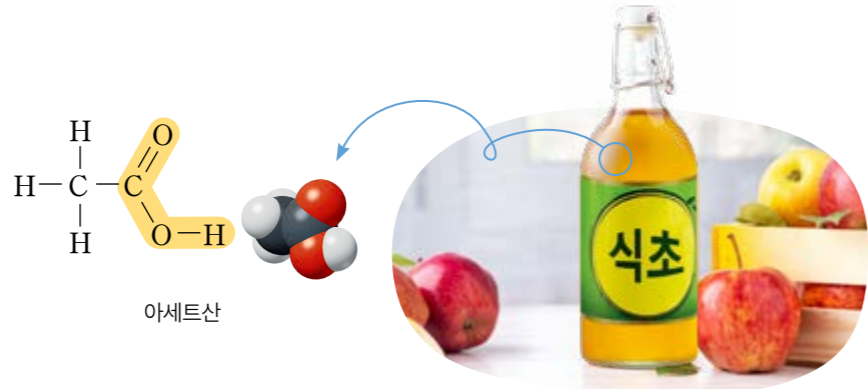


그림 III-11 아세트산의 구조와 식초

우리 몸의 유전물질이나 영양소는 -OH나 -COOH 같은 작용기를 가지고 있어서 우리 몸의 60% 이상을 구성하는 물에 잘 녹아 체내에 흡수되고, 몸 곳곳에서 다양하게 활용된다.

과학마당 생활속 과학 | 인공 감미료가 설탕을 대체할 수 있을까?

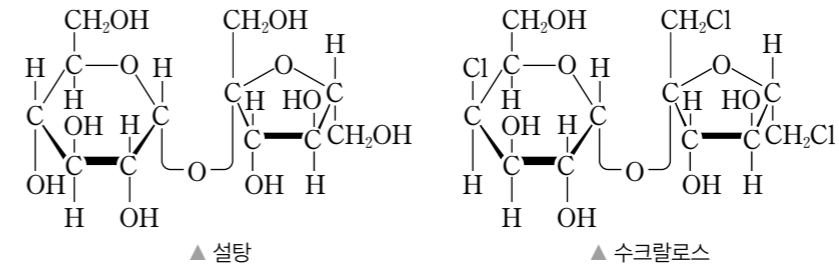
음식의 단맛을 내는 설탕은 우리가 가장 많이 접하는 탄소 화합물 중 하나이다. 그런데 설탕을 과도하게 섭취하면 비만이 되기 쉽고, 혈당 조절 과정에 문제를 일으켜 당뇨병과 같은 성인병을 유발하기도 한다. 그래서 설탕이 아닌 인공 감미료로 단맛을 낸 음료나 과자 등이 개발되고 있다. 인공 감미료는 어떤 물질일까?



원재료명정제수, 이산화 탄소, 구연산, 구연산 칼륨, 향료, 인산, 수크랄로스(감미료), 프로필렌 글리콜

아스파르탐, 수크랄로스 등의 인공 감미료

는 모두 탄소로 이루어진 고리나 사슬 구조가 있고, -OH나 -COOH 등의 작용기를 갖고 있는 탄소 화합물이다. 이 물질들은 설탕과 구조가 유사하고, 동일한 열량을 내지만 설탕보다 수백 배 이상 달아 매우 적은 양으로 설탕과 같은 단맛을 낼 수 있다. 또 대부분 몸속에서 소화되지 않고 그대로 배출되므로 체중이나 혈중 포도당 농도에 크게 영향을 미치지 않는다. 하지만 인공 감미료는 성분에 따른 일일 섭취 허용량을 초과해 섭취하지 않도록 주의해야 한다.



🔍 생각 펼치기 III 설탕과 수크랄로스의 구조에서 작용기를 찾아 표시해 보자.

확인하기

- 1 탄소 화합물 중 작용기 -OH를 갖고 있는 물질은 (                    ), -CHO를 갖고 있는 물질은 (                    )(이)라고 한다.
- 2 카복실산은 수용액에서 이온화하여 (                    ) 이온을 내놓으므로 (                    ) 을/를 나타낸다.

소단원 마무리

🔍 창의력 키우기

-OH, -CHO, -COOH 작용기를 갖는 유전물질이나 영양소에서 그 작용기가 어떠한 역할을 하는지 예를 들어 설명해 보자.

📺 디지털 소양 키우기

탄소 화합물과 관련된 나의 일상을 3분 이내의 동영상 일기로 만들어 친구들과 공유해 보자.

# 02

## 탄소 화합물의 화학 반응

- 간단한 탄소 화합물의 화학 반응 예를 찾을 수 있다.
- 탄소 화합물의 화학 반응을 작용기의 변화로 설명할 수 있다.

“ 오랫동안 보관해 둔 매실청에서 기포가 올라오면서 술 냄새가 나거나 맛이 시큼해질 때가 있다. 매실청 안에서 어떤 화학 반응이 일어나 맛이 변한 것일까? ”



쌀이나 옥수수로 만든 막걸리는 더 발효시켜 식초를 만들 수 있다. 이러한 과정에서 탄소 화합물에는 어떤 변화가 일어나는 것일까?

쌀, 옥수수와 같은 곡물이나 설탕을 발효시키면 포도당으로부터 이산화 탄소(CO<sub>2</sub>)와 함께 에탄올(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH)이 만들어지는 반응이 일어난다.



에탄올(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH)이 산화되면 작용기 -OH가 -CHO로 변해 아세트알데하이드(CH<sub>3</sub>CHO)가 된다. 또 아세트알데하이드(CH<sub>3</sub>CHO)가 산화되면 작용기 -CHO가 -COOH로 변해 아세트산(CH<sub>3</sub>COOH)이 된다. 이처럼 화학 반응이 일어나 탄소 화합물의 작용기가 변하면 물질의 성질이 변한다.

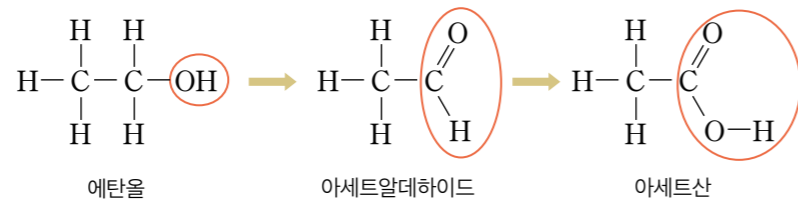


그림 III-12 화학 반응으로 에탄올이 아세트산이 되는 과정

에탄올과 마찬가지로 메탄올(CH<sub>3</sub>OH)이 산화되면 메탄올(CH<sub>3</sub>OH)의 작용기 -OH가 -CHO로 변해 포알데하이드(HCHO)가 되고, 포알데하이드는 산화되어 작용기 -CHO가 -COOH로 변해 폼산(HCOOH)이 된다.

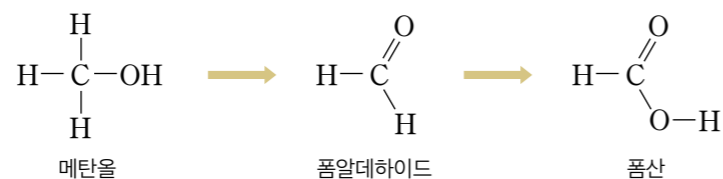


그림 III-13 화학 반응으로 메탄올이 폼산이 되는 과정

### 자료 읽기

그림 III-13에서 변화된 작용기를 표시하고, 작용기 변화에 따른 물질의 성질 변화를 설명해 보자.

### 해보기

## 탄소 화합물의 화학 반응 예 찾기

탐구 능력 | 문제 해결 능력

준비물 스마트 기기

다음은 천연 발효 식초의 광고이다.

자연이 빚은 천연 발효 식초,  
단 1g의 인공 첨가물도 넣지 않습니다!

..... 국산 현미만을 엄선하여 지하 심층수로 고두밥을 짓고, 현미 고두밥에 전통 누룩을 넣은 후 정성껏 치냈습니다. 이것을 대대로 내려온 옹기에 넣어 30℃ 정도의 온도로 보관하면 맛있는 현미막걸리가 됩니다. 이 막걸리를 일정한 온도와 습도를 유지하며 계속 숙성시키면 2년 후 한 방울로도 폭발적인 풍미를 선사하는 천연 발효 식초가 탄생하는 것입니다. ....



### 정리

1. 위의 광고를 보고, 식초가 만들어지는 과정에서 일어나는 탄소 화합물의 화학 반응식을 써 보자.



2. 식품이 만들어지는 과정에서 일어나는 탄소 화합물의 또 다른 화학 반응 예를 찾아보고, 이를 소개하는 자료를 만들어 보자.



### 확인하기

1. 에탄올이 산화되어 작용기 -OH가 -CHO로 변하면 ( )이 되고, 작용기 -CHO가 -COOH로 변하면 ( )이 된다.

2. 화학 반응이 일어나 탄소 화합물의 ( )이 변하면 물질의 성질이 변한다.

# 탐구

● 탐구 수행 / 결론 도출

Q 탐구 능력 | 문제 해결 능력 | 의사 결정 능력

## 은거울 반응으로 작용기의 변화 탐구하기

### 준비물

- 0.1 M 질산 은 수용액
- 진한 암모니아수
- 0.5 M 포도당 수용액
- 0.1 M 수산화 칼륨 수용액
- 뚜껑이 있는 유리병
- 스포이트  뜨거운 물
- 실험복  보안경
- 실험용 고무장갑
- 안전 장갑

### 안전



- 실험할 때는 반드시 실험복, 보안경, 실험용 고무장갑을 착용한다.
- 유독 물질을 다룰 때의 유의 사항을 충분히 숙지하고 실험한다.
- 뜨거운 물을 다룰 때는 반드시 안전 장갑을 착용한다.
- 실험 후 남은 용액은 폐수 처리 기준과 방법에 따라 처리한다.

### 도움 자료

- 114 쪽~115 쪽 실험실 안전 수칙
- 118 쪽~119 쪽 주요 시약별 주의 사항

수산화 칼륨은 OH<sup>-</sup>이 필요해서 넣는 거야.

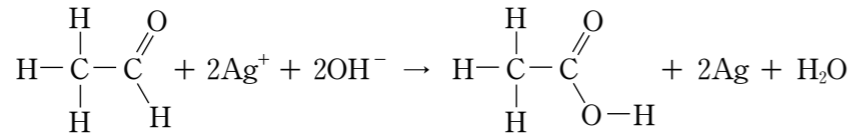


### 목표

알데하이드의 반응을 통해 작용기의 변화를 탐구할 수 있다.

### 예비 학습

은거울 반응은 알데하이드가 은 이온(Ag<sup>+</sup>), 수산화 이온(OH<sup>-</sup>)과 반응해 산화되어 카복실산이 되고, 은 이온은 환원되어 은이 생성되는 반응이다.



포도당은 수용액에서 작용기 -OH를 갖는 고리 구조와 작용기 -CHO를 갖는 사슬 구조를 번갈아 나타내므로 환원성이 있다.



- 위의 구조에서 작용기 -OH와 -CHO를 찾아 표시해 보자.

### 과정

1. 뚜껑이 있는 유리병에 질산 은 수용액을 5 mL 넣고, 진한 암모니아수를 한 방울씩 가하자.

**도움말** 갈색 앙금이 생기면 흔들어 주면서 앙금이 모두 녹을 때까지 암모니아수를 계속 가한다.

2. **과정 1**의 유리병에 포도당 수용액과 수산화 칼륨 수용액을 각각 2 mL씩 넣고 뚜껑을 닫자.

3. **과정 2**의 유리병을 60 °C의 뜨거운 물에 넣고, 흔들며 반응시키자.



### 결과 및 정리

1. **과정 3**에서 뚜껑이 있는 유리병 벽에 어떤 변화가 생기는지 써 보자.



2. 실험 과정에서 산화되는 물질과 환원되는 물질을 각각 찾아 써 보자.



3. 이 변화를 통해 알 수 있는 포도당의 작용기 변화를 써 보자.



### 스스로 평가하기

지식·이해   은거울 반응 실험에서 일어나는 작용기의 변화를 옳게 설명했는가?	☆☆☆☆☆
과정·기능   실험을 과정에 따라 정확히 수행하고 일어나는 변화를 잘 관찰했는가?	☆☆☆☆☆
가치·태도   유독 물질과 뜨거운 물을 조심히 다루며 안전하게 실험했는가?	☆☆☆☆☆

### 같은 원리 다른 탐구

#### 음주 측정기로 작용기 변화 탐구하기

##### 과정

1. 실리카 젤에 0.1 M 다이크로뮴산 칼륨 수용액과 6 M 황산 수용액을 2 : 1의 부피비로 섞은 용액을 흡수시키자.
2. 플라스틱 관의 한쪽 끝을 마개로 막고 **과정 1**의 실리카 젤을 넣자.
  - ⚠ 실리카 젤이 손에 닿지 않도록 주의한다.
3. 에탄올을 적신 솜을 관의 끝 쪽에 끼워 넣고, 마개를 닫아 밀폐한 다음 실리카 젤에 일어나는 변화를 관찰하자.



##### 결과 및 정리

1. 실리카 젤에 일어나는 변화를 써 보자.
2. **결과 및 정리 1**과 같은 변화가 일어나는 까닭을 조사해 보자.

### 소단원 마무리

#### 창의력 키우기

내가 원하는 모양의 은거울을 만들 수 있는 실험 장치와 실험 방법을 설계해 보자.

#### 디지털 소양 키우기

전자식 음주 측정기의 원리를 조사해 보자.

# 03

## 다양한 고분자 화합물

● 단위체의 중합 반응으로 다양한 고분자가 합성되는 것을 이해하여 화학 반응의 유용성을 인식할 수 있다.

“우리가 먹는 음식은 탄수화물, 단백질, 지방 등 다양한 성분으로 구성되어 있다. 이런 성분들은 몸속에서 어떤 형태로 흡수되는 것일까?”



### 단위체와 고분자

우리 몸을 이루는 단백질이나 우리가 흔히 사용하는 플라스틱 등은 작은 분자들이 반복적으로 결합하여 거대한 분자를 형성한 것이다. 이러한 물질을 **고분자**라 하고, 고분자를 이루는 작은 분자를 **단위체**라고 한다.

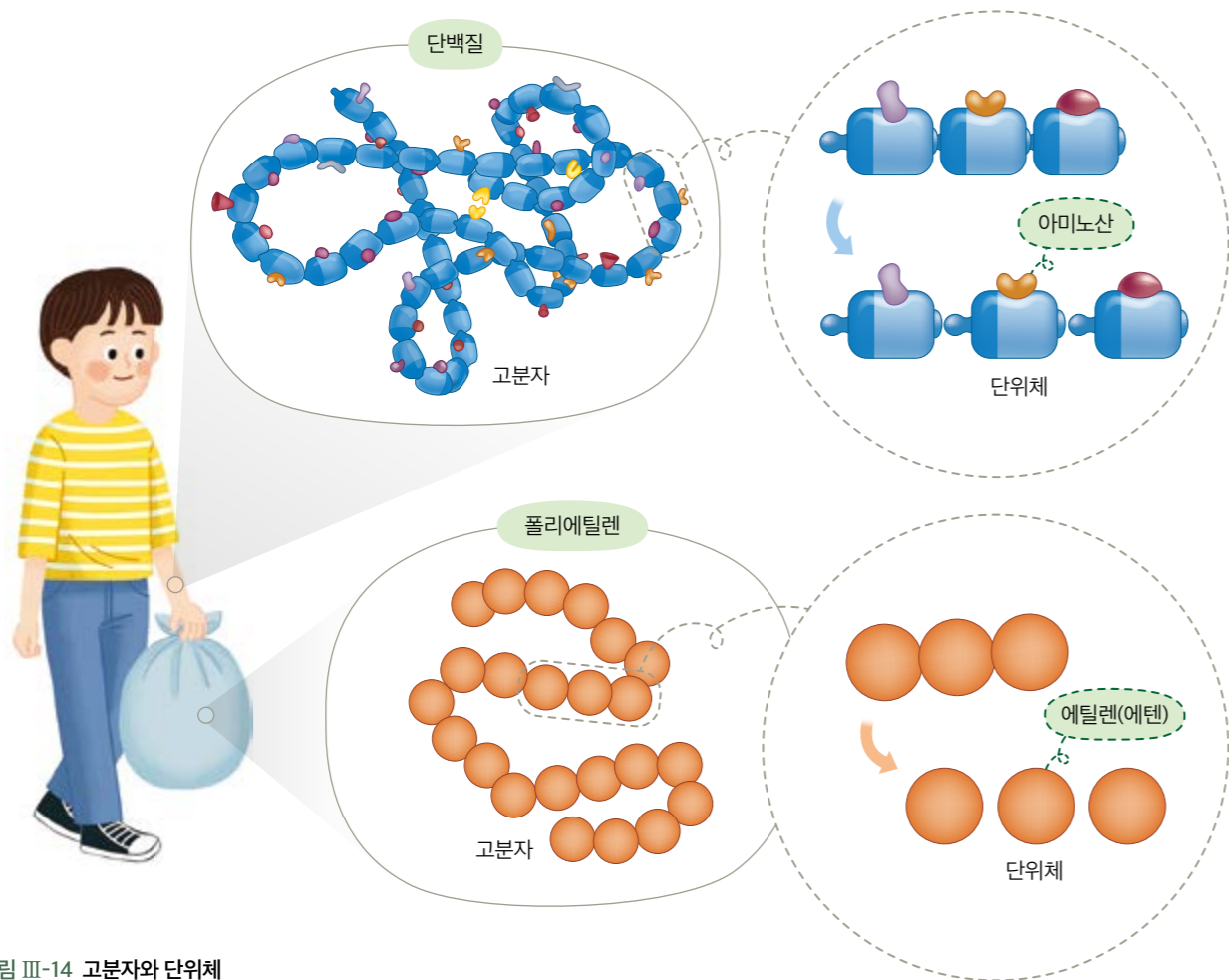


그림 III-14 고분자와 단위체

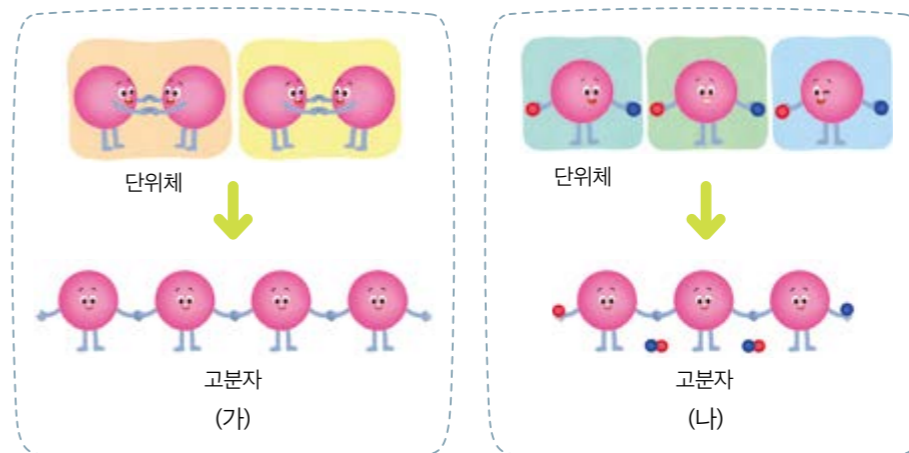
단위체가 결합하여 고분자를 합성하는 반응을 **중합 반응**이라고 한다. 중합 반응이 어떻게 이루어지는지 알아보자.

### 해보기

탐구 능력 | 의사 결정 능력

### 단위체의 중합 반응을 모형으로 알아보기

다음은 단위체의 두 가지 중합 반응을 비유적으로 나타낸 모형이다.



1. (가)처럼 단위체가 결합하여 고분자가 될 때 일어나는 변화를 설명해 보자.
2. (나)처럼 단위체가 결합하여 고분자가 될 때 일어나는 변화를 설명해 보자.

단위체에 있는 결합이 끊어지면서 연결되는 중합 반응을 **첨가 중합 반응**이라고 하고, 단위체의 작용기가 서로 반응하여 물과 같은 간단한 분자가 떨어져 나가면서 연결되는 중합 반응을 **축합 중합 반응**이라고 한다.

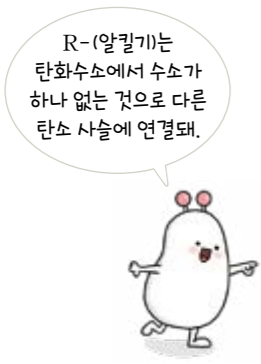
이처럼 중합 반응으로 매우 많은 수의 단위체가 결합해 합성된 고분자 화합물은 거대한 분자 구조를 가지므로 단위체와는 다른 특성을 가진다.

### 확인하기

- 1 고분자는 ( )이/가 반복적으로 결합하여 형성된 거대 분자이다.
- 2 단위체에 있는 결합이 끊어지면서 연결되는 반응을 (첨가 / 축합) 중합 반응이라고 한다.
- 3 단위체의 작용기가 서로 반응하여 물과 같은 간단한 분자가 떨어져 나가면서 연결되는 반응을 (첨가 / 축합) 중합 반응이라 한다.

연계 통합과학1

『통합과학1』 ‘물질과 규칙성’ 단원에서 단백질이 아미노산의 다양한 배열을 통해 생성된다는 것을 학습했다.



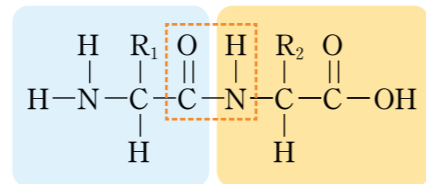
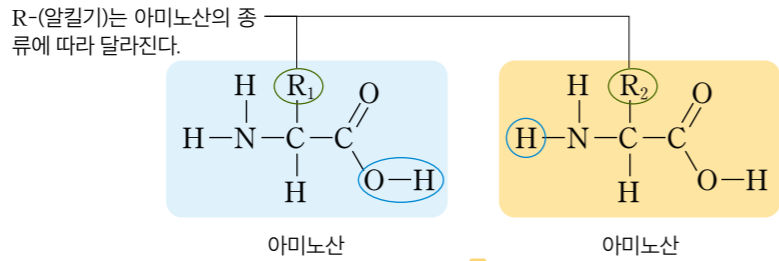
폴리펩타이드

아미노산 사이의 결합을 펩타이드 결합이라 하고, 아미노산 여러 개가 길게 연결된 것을 폴리펩타이드라고 한다.

여러 가지 고분자

>> 단백질

단백질은 피부와 근육을 구성하는 성분으로 생명 현상에서 중요한 역할을 하는 물질이다. 단백질의 단위체는 아미노산으로, 20여 가지가 있다. 아미노산이 어떤 순서로 배열하여 결합하는지에 따라 수많은 종류의 단백질이 만들어진다.



아미노산 사이에 축합 중합 반응이 일어나 결합을 형성한다.

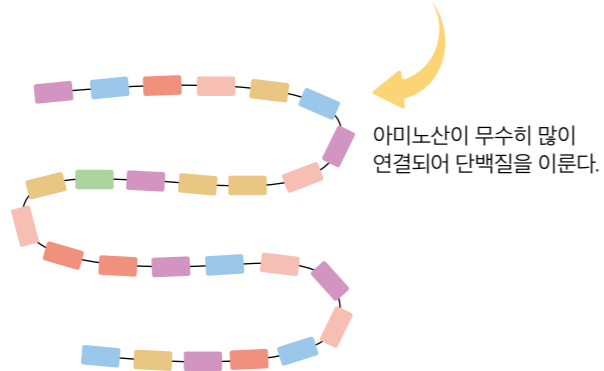
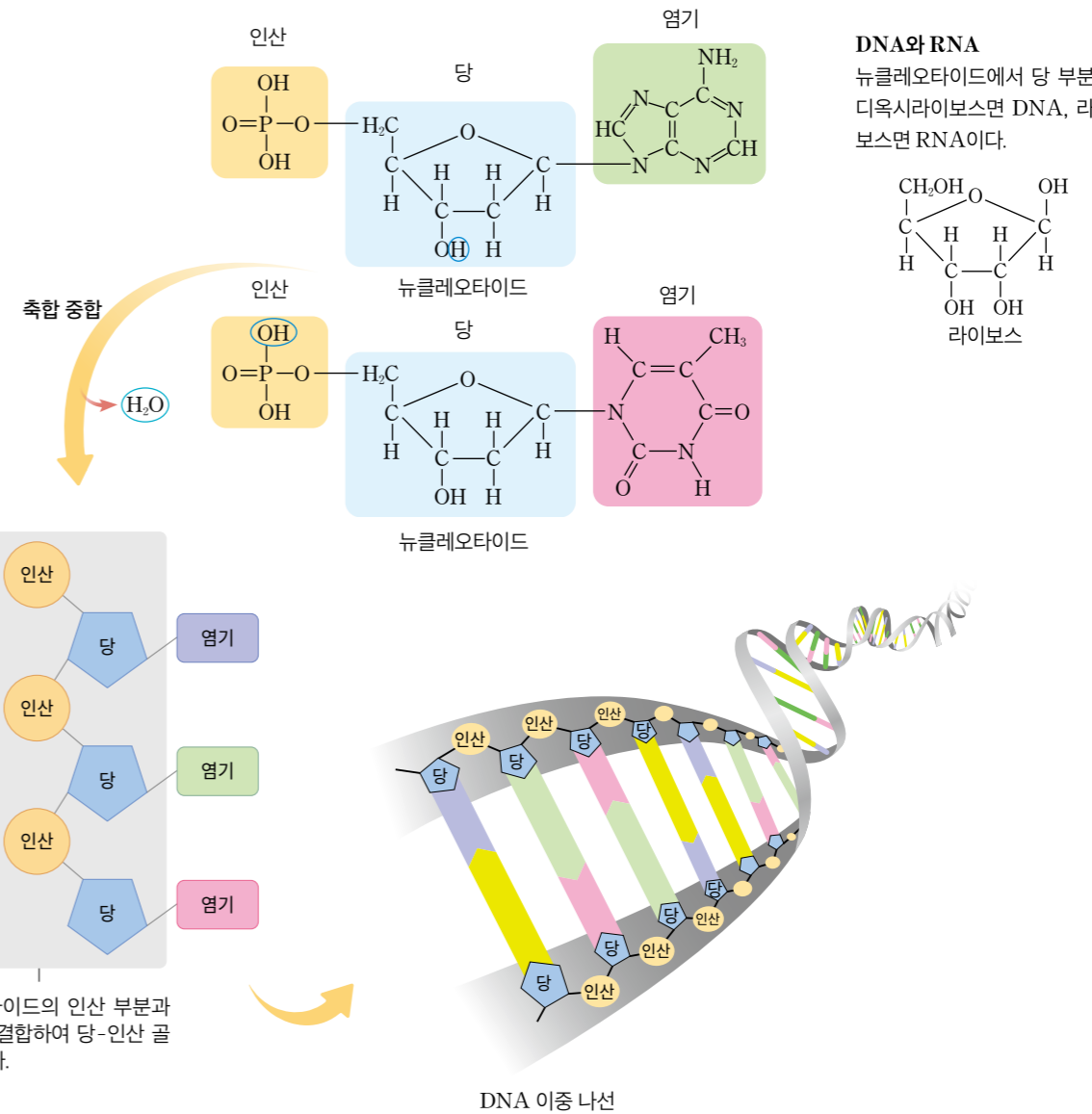


그림 III-15 아미노산과 단백질

>> 핵산

핵산은 생물의 유전정보가 들어 있는 물질로 DNA와 RNA가 있다. 핵산의 단위체는 뉴클레오타이드이며, 뉴클레오타이드는 인산, 당, 염기로 구성된다. 뉴클레오타이드의 인산 부분과 다른 뉴클레오타이드의 당 부분이 축합 중합 반응으로 결합하여 핵산의 골격을 이룬다.



연계 통합과학1

『통합과학1』 ‘물질과 규칙성’ 단원에서 핵산이 뉴클레오타이드의 반복적인 결합으로 생성된다는 것을 학습했다.

DNA와 RNA

뉴클레오타이드에서 당 부분이 디옥시라이보스면 DNA, 라이보스면 RNA이다.

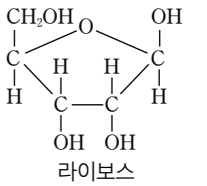


그림 III-16 뉴클레오타이드와 DNA

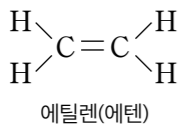
확인하기

- 단백질의 단위체는 ( )이고, 핵산의 단위체는 ( )이다.
- 단백질과 핵산은 단위체의 ( 첨가 / 축합 ) 중합 반응으로 고분자가 된다.

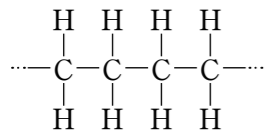
>> 플라스틱

플라스틱은 대표적인 합성 고분자로, 가볍고 튼튼하며 다양한 물건을 대량으로 만들 수 있어서 널리 이용되는 물질이다. 단위체의 종류에 따라 생성되는 플라스틱의 종류는 매우 다양하다. 우리 주변에서 많이 쓰이는 플라스틱에는 비닐봉지, 완충 포장재에 쓰이는 폴리에틸렌(PE), 음료수병과 일회용 컵에 쓰이는 폴리에틸렌 테레프탈레이트(PET) 등이 있다.

폴리에틸렌(PE)



첨가 중합

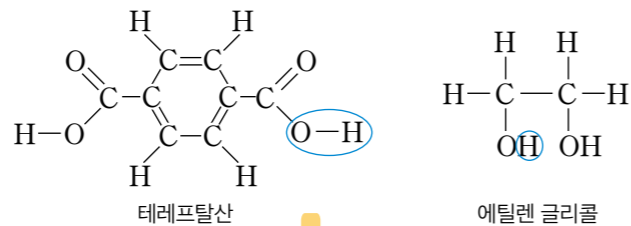


에틸렌(에텐)의 첨가 중합 반응으로 폴리에틸렌이 생성된다.

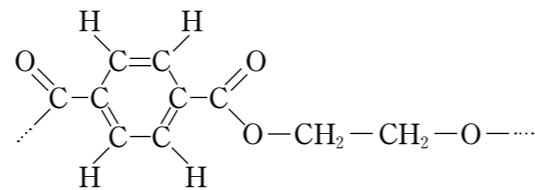


그림 III-17 폴리에틸렌으로 만든 비닐봉지

폴리(에틸렌 테레프탈레이트)(PET)



축합 중합  $\rightarrow$  H<sub>2</sub>O



테레프탈산과 에틸렌 글리콜의 축합 중합 반응으로 폴리(에틸렌 테레프탈레이트)가 생성된다.



그림 III-18 폴리(에틸렌 테레프탈레이트)로 만든 음료수병

④ 일상생활 속에서 사용하는 플라스틱 제품 중 하나를 골라 원료로 사용되는 플라스틱의 종류를 찾고, 플라스틱의 단위체, 중합 반응의 종류를 설명해 보자.

>> 고무

천연고무는 고무나무의 수액을 추출하여 얻는 고분자로, 탄성과 방수성이 좋아 매트리스 등에 사용된다. 천연고무의 단위체는 아이소프렌이며, 아이소프렌의 첨가 중합 반응으로 생성된다.

한편 고무나무 수액을 추출하는 것은 시간이 오래 걸리고 생산할 수 있는 수량이 한정적이므로 과학자들은 아이소프렌과 비슷한 구조의 단위체를 반복 결합하여 합성 고무를 만들었다. 예를 들어 잠수복에 이용되는 네오프렌은 클로로프렌의 첨가 중합 반응으로 생성된 합성 고무이다.

고분자의 구조식 반복되는 부분을 간략하게 표현하기도 한다.

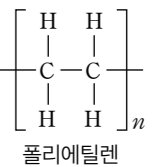
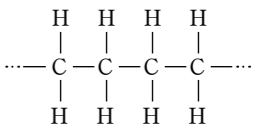


그림 III-19 천연고무와 합성 고무

확인하기

- 1 폴리에틸렌의 단위체는 ( )이다.
- 2 음료수 병에 쓰이는 폴리(에틸렌 테레프탈레이트)는 (첨가 / 축합) 중합으로 만들어진다.

소단원 마무리

창의력 키우기

'폴리(poly)'의 어원을 찾아보고, 고분자의 이름에 대부분 '폴리'라는 말이 들어 있는 까닭을 설명해 보자.

디지털 소양 키우기

단위체가 중합 반응을 해 고분자를 생성하는 반응을 친구들과 함께 몸짓으로 표현해 보고, 사진이나 영상을 찍어 공유 플랫폼을 활용하여 공유해 보자.

# 04

## 탄소 화합물의 유용성

탄소 화합물의 반응을 통해 합성된 새로운 물질이 과학·기술·사회 발전에 끼친 영향을 조사하고, 그 유용성을 설명할 수 있다.

“우리 주변의 유용한 물질들은 탄소 화합물의 반응으로 합성된 것이다. 탄소 화합물의 반응으로 만들어진 물질에는 어떤 것이 있을까?”



### 역사 나일론과 치아 건강

과거에는 칫솔모로 돼지 등의 동물 털을 이용했는데, 동물 털 칫솔은 가격이 비싸서 신분이 높은 사람만 사용할 수 있었고, 치아를 닦기도 불편했다. 나일론 칫솔모가 개발되면서 칫솔이 대중화되었고, 많은 사람이 치아를 건강하게 관리할 수 있게 되었다.

의약품, 합성 세제, 타이어, 페인트 등은 탄소 화합물의 반응으로 합성된 물질들이다. 이러한 물질은 우리 생활에서 유용하게 사용될 뿐만 아니라, 과학·기술·사회 전반에 큰 영향을 미치기도 했다. 그 대표적인 예로 합성 섬유인 나일론이 있다.

과거 인류가 사용한 면, 모, 비단 등의 천연 섬유를 만들기 위해서는 식물이나 동물을 길러야 하므로 대량 생산이 어려웠다. 특히 비단은 매우 귀해서 신분이 높은 사람만 이용할 수 있었다.

산업 혁명 이후 섬유 수요가 급격히 증가하면서 새로운 섬유를 만들려는 연구가 진행되었다. 1935년 캐러더스(Carothers, W. H., 1896~1937)

는 축합 중합 반응을 이용해 최초의 합성 섬유인 나일론을 개발했다. 나일론은 비단처럼 가볍고 부드러우면서도, 질기고 신축성이 뛰어나 비단을 대신해 다양하게 이용되었다. 제2차 세계 대전 중에는 낙하산에 쓰였고, 나일론 스타킹은 선풍적인 인기를 끌며 사람들의 옷차림을 변화시켰다. 이후 폴리에스터, 아크릴 등 다양한 합성 섬유가 개발되는 계기가 되기도 했고, 지금도 자동차 산업, 항공 우주 산업, 의료 기기 산업 등 다양한 산업에 응용되어 신소재 개발을 촉진하고 있다.



그림 III-20 나일론의 다양한 이용

탄소 화합물의 반응으로 합성된 물질이 과학·기술·사회 발전에 영향을 끼친 다른 사례를 조사해 보자.

### 해보기

#### 탄소 화합물이 과학·기술·사회에 끼친 영향 조사하기

탐구 능력 | 의사 결정 능력

1. 우리 주변에서 탄소 화합물의 반응으로 합성된 물질을 찾아보고, 모둠별로 물질을 한 가지 정하여 그 물질을 소재로 한 네 칸 만화를 그려 보자.

- 준비물  스마트 기기  
 그림 도구

포함할 내용  
• 물질을 합성하게 된 사회적 배경  
• 물질이 과학·기술·사회 발전에 끼친 영향

2. 우리 모둠의 네 칸 만화를 공유 플랫폼을 활용하여 공유해 보자.

**예시 만화**

1. 머리가 아파서 살리실산을 먹었는데 이번엔 속이 아파. 무슨 대책이 없을까?

2. 살리실산의 부작용을 줄인 아스피린을 합성했습니다. —호프만

3. 최초의 합성 의약품인 아스피린을 개발한 이후 다양한 합성 의약품이 생산되면서 사람들의 건강을 지킬 수 있게 되었다.

4. 오늘날에도 신약 개발은 화학 연구의 중요한 축을 이루며, 화학 산업은 인류 복지에 이바지하고 있다.

**호프만 (Hoffmann, F., 1868~1946)**  
독일의 화학자. 1899년 제약 회사에 근무하던 중 아스피린을 개발했다. 아스피린 외에 다양한 약품의 상용화를 위해서도 노력했다.

3. 공유한 내용을 바탕으로 하여 화학의 유용성을 이야기해 보자.

### 확인하기

1. 의약품, 합성 세제, 타이어 등은 탄소 화합물의 반응으로 합성된 물질이다. (○/×)
2. 최초의 합성 섬유인 ( )은/는 질기고 신축성이 뛰어나 비단을 대신해 다양하게 이용되었다.

탄소 화합물의 반응으로 새로운 탄소 화합물을 직접 합성하고, 이 물질을 유용하게 쓸 방법을 제안해 보자.

# 탐구

● 탐구 수행 / 결론 도출

Q 탐구 능력 | 문제 해결 능력 | 의사 결정 능력

## 탄소 화합물의 반응을 이용하여 새로운 물질 만들기

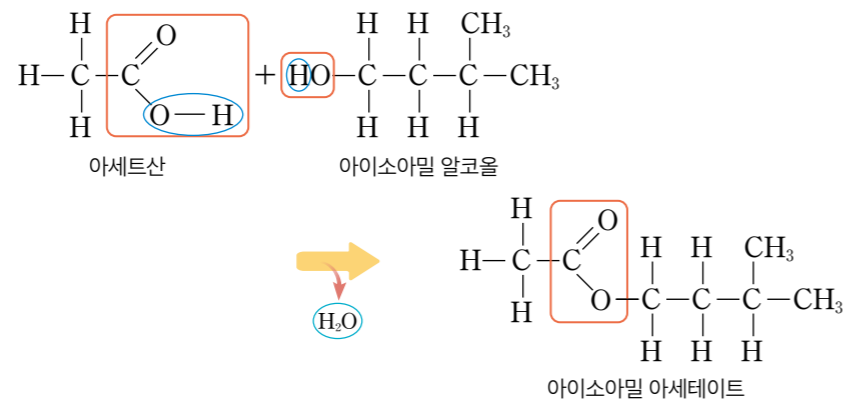
### 목표

탄소 화합물의 반응을 이용해 새로운 물질을 합성할 수 있다.

### 실험 1 바나나 향 만들기

#### 예비 학습

아세트산과 아이소아밀 알코올이 반응하면 바나나 향을 내는 물질인 아이소아밀 아세테이트가 생성된다.



#### 과정

1. 둥근바닥 플라스크에 아세트산 6 mL, 진한 황산 3 mL, 아이소아밀 알코올 6 mL를 넣자.
  - 도움말  진한 황산은 반응에서 생성되는 물을 제거하여 반응이 잘 일어나게 한다.
2. 둥근바닥 플라스크의 입구를 알루미늄박으로 막고 그림과 같이 장치한 후, 물중탕으로 40 °C~50 °C의 온도를 유지하면서 용액이 갈색으로 변할 때까지 가열하자.



#### 준비물

- 98 % 아이소아밀 알코올
- 99 % 아세트산
- 진한 황산
- 탄산수소 나트륨 포화 용액
- 둥근바닥 플라스크
- 피펫  피펫 필러
- 스포이트  비커
- 가열 장치  스탠드
- 집게  알루미늄박
- 깔때기  분별 깔때기
- 깔때기 고정 링
- pH 시험지  유리 막대
- 뚜껑이 있는 유리병
- 실험복  보안경
- 실험용 고무장갑
- 안전 장갑

#### 안전



- 실험할 때는 반드시 실험복, 보안경, 실험용 고무장갑을 착용한다.
- 진한 황산은 손에 묻거나 눈에 튀지 않도록 조심히 다룬다.
- 실험에 사용한 물질 및 생성물을 절대로 맛보지 않는다.
- 반드시 환기가 잘되는 곳에서 실험을 진행한다.
- 가열 장치를 다룰 때는 반드시 안전 장갑을 착용한다.
- 실험 후 남은 용액은 폐수 처리 기준과 방법에 따라 처리한다.

3. 과정 2의 둥근바닥 플라스크를 꺼내 온도가 실온이 될 때까지 식히자.



4. 식은 둥근바닥 플라스크 속 용액의 pH를 pH 시험지로 확인하면서 중성이 될 때까지 탄산수소 나트륨 포화 용액을 넣고 잘 흔들자.

5. 과정 4의 혼합물을 분별 깔때기에 옮긴 후, 층이 분리될 때까지 놓아두자.

6. 꼭지를 열어 아래층의 용액을 따라 내고, 분별 깔때기에 남은 아이소아밀 아세테이트를 뚜껑이 있는 유리병에 옮겨 담자.



#### 결과 및 정리

1. 아이소아밀 아세테이트의 냄새를 맡아 보고, 반응물과 비교해 보자.
  - ✎
2. 바나나 향 합성 반응에서 반응물과 생성물의 성질은 어떤 차이가 있는지 설명해 보자.
  - ✎
3.  창의 실험에서 합성한 바나나 향을 활용할 방법을 제안해 보자.
  - ✎

#### 도움 자료

- 114 쪽~115 쪽 실험실 안전 수칙
- 118 쪽~119 쪽 주요 시약별 주의 사항

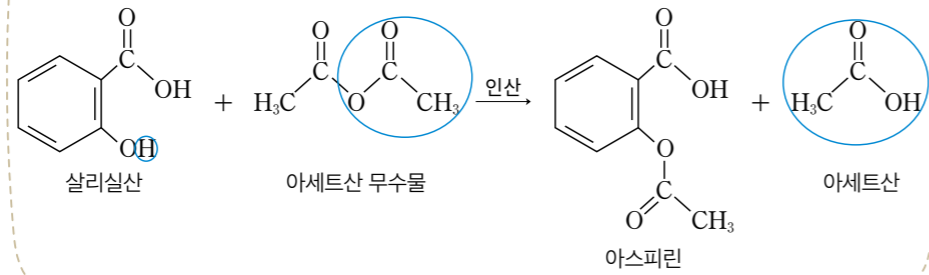
준비물

- 살리실산
- 아세트산 무수물
- 85 % 인산
- 증류수  얼음물
- 둥근바닥 플라스크
- 피펫  피펫 필러
- 스포이트  약순가락
- 비커  가열 장치
- 스탠드  집게
- 깔때기
- 깔때기 고정 링
- 거름종이  전자저울
- 페트리 접시  실험복
- 보안경
- 실험용 고무장갑
- 안전 장갑

실험 2 아스피린 만들기

예비 학습

살리실산과 아세트산 무수물이 반응하면 아스피린이 생성된다. 이때 인산이 촉매로 사용된다.



안전



- 실험할 때는 반드시 실험복, 보안경, 실험용 고무장갑을 착용한다.
- 실험에 사용한 물질 및 생성물을 맨손으로 만지지 않고, 절대로 흡입하거나 맛보지 않는다.
- 반드시 환기가 잘되는 곳에서 실험을 진행한다.
- 가열 장치를 다룰 때는 반드시 안전 장갑을 착용한다.
- 실험 후 남은 용액은 폐수 처리 기준과 방법에 따라 처리한다.

과정

1. 둥근바닥 플라스크에 살리실산 2.5 g과 아세트산 무수물 3 mL를 넣고 인산 두 방울을 떨어뜨린 후 물중탕으로 70 °C~80 °C의 온도를 유지하면서 10 분간 가열하자.
2. 둥근바닥 플라스크에 증류수 2 mL를 넣자.
  - 도움말**  넣어 준 증류수는 반응하지 않고 남아 있는 아세트산 무수물을 분해하는데 이 과정에서 기체가 발생하므로 코나 입으로 흡입하지 않게 주의한다.
3. 기체가 더 이상 발생하지 않으면 증류수 20 mL를 더 넣고 둥근바닥 플라스크를 얼음물에 넣어 결정을 생성하자.
4. 거름종이와 깔때기로 그림과 같이 거름 장치를 만들고, 생성된 결정을 거른 후 증류수로 씻고 건조하자.

결과 및 정리

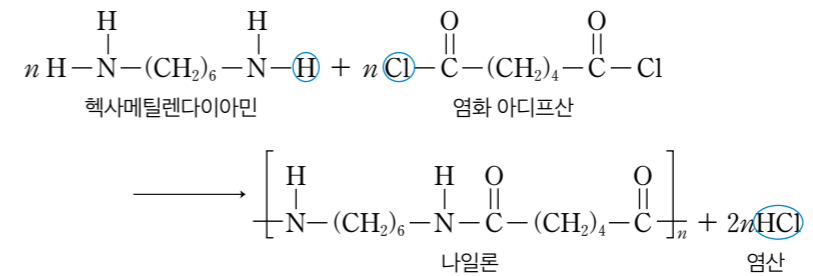
1. 반응물인 살리실산이 생성물인 아스피린이 될 때 pH 변화를 예상해 보고 그 까닭을 설명해 보자.
2. 아스피린 합성 반응에서 반응물과 생성물의 성질은 어떤 차이가 있는지 설명해 보자.



실험 3 나일론 만들기

예비 학습

• 헥사메틸렌다이아민과 염화 아디프산이 반응하면 나일론이 생성된다.



과정

1. 비커에 증류수 50 mL를 넣고 헥사메틸렌다이아민 2.3 g, 수산화 나트륨 0.4 g, 색소 소량을 녹이자.
2. 또 다른 비커에 다이클로로메테인 50 mL를 넣고 염화 아디프산 1 mL를 녹이자.
3. 과정 1의 용액을 과정 2의 용액에 넣자.
  - 도움말**  이때 용액이 유리 막대를 타고 흐르도록 천천히 부어, 두 용액이 섞이지 않게 한다.
4. 두 용액의 경계면에 형성된 막을 핀셋으로 건져 내어 유리 막대에 걸쳐 감고, 유리 막대를 돌려 섬유를 감아올린 다음 물로 여러 번 씻고 건조하자.

결과 및 정리

1. 반응물인 헥사메틸렌다이아민, 염화 아디프산과 생성물인 나일론의 모습을 비교해 보자.
2. 나일론 합성 반응에서 반응물과 생성물의 성질은 어떤 차이가 있는지 설명해 보자.



준비물

- 헥사메틸렌다이아민
- 수산화 나트륨  색소
- 염화 아디프산
- 다이클로로메테인
- 증류수  피펫
- 피펫 필러  약순가락
- 비커  유리 막대
- 핀셋  전자저울
- 페트리 접시  실험복
- 보안경
- 실험용 고무장갑

안전



- 실험할 때는 반드시 실험복, 보안경, 실험용 고무장갑을 착용한다.
- 실험에 사용한 물질 및 생성물을 맨손으로 만지지 않는다.
- 반드시 환기가 잘되는 곳에서 실험을 진행한다.
- 실험 후 남은 용액은 폐수 처리 기준과 방법에 따라 처리한다.

스스로 평가하기

**[ 지식·이해 ]**  
탄소 화합물의 반응을 통해 새로운 물질을 합성하는 과정을 이해했는가? ☆☆☆☆

**[ 과정·기능 ]**  
실험 과정을 올바르게 수행하여 새로운 물질을 만들었는가? ☆☆☆☆

**[ 가치·태도 ]**  
새로운 물질을 합성하면서 화학의 유용성을 깨달았는가? ☆☆☆☆

소단원 마무리

창의력 키우기

내가 만들고 싶은 새로운 탄소 화합물을 제안하고, 그 탄소 화합물을 어떻게 유용하게 활용할 것인지 발표해 보자.

디지털 소양 키우기

탄소 화합물의 반응으로 새로운 물질을 합성하는 영상을 찾아 공유 플랫폼을 활용하여 공유해 보자.

# 원하는 대로 정확하게 운반하는 고분자 덴드리머

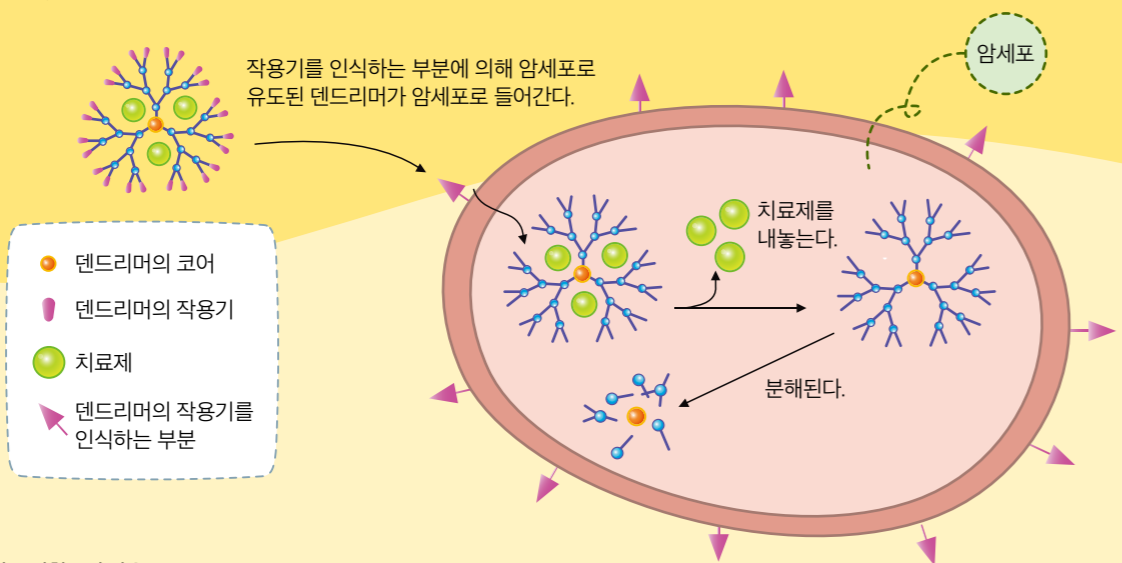
덴드리머(dendrimer)는 일정한 규칙에 따라 분자의 사슬이 중심에서 바깥 방향으로 삼차원으로 퍼진 형태의 고분자이다. 일반적으로 매우 대칭적인 공 모양의 화합물로, 중앙의 코어에서 뻗어 나가는 가지들이 연결되어 내부의 빈 공간을 만들고 표면 부분에 다양한 작용기가 존재한다. 덴드리머 내부의 빈 공간이나 표면 부분은 특정 물질을 결합시켜 운반할 수 있고, 표면 부분의 작용기는 덴드리머의 성질을 결정한다. 예를 들어 표면 부분의 작용기가 양전하를 띠는 덴드리머는 음전하를 띠는 세포막을 통과할 수 있다.

덴드리머는 원하는 대로 물질량, 구조, 성질을 조절하여 합성할 수 있는 고분자이다. 따라서 특정 물질이 결합할 수 있는 내부 구조나 표면 부분을 갖고 목표 지점에서만 작용할 수 있는 작용기가 있는 적절한 크기의 덴드리머를 합성해 응용하는 연구가 활발히 진행되고 있다.

예를 들어 약물 전달 시스템 분야에서는 필요한 약물을 정확하게 목표 지점에 운반하는 의약품 운반체로 덴드리머를 합성해 더 나은 치료 방법을 개발하기 위해 노력 중이다. 약물 전달 외에도 유전물질이나 촉매 운반체로도 연구되어 의료 분야 발전에 큰 도움이 될 것이라 기대되고 있고, 그 밖에 수소 연료, 화장품, 센서 등 많은 분야에서 활용하려고 연구 중이다.

**활동하기** **조사**

덴드리머가 활용되는 여러 가지 분야 중 하나를 선택하고, 그 분야에서 덴드리머의 유용함을 조사하여 발표해 보자.



# 옷에 첨단 기술을 입히는 스마트 의류 연구원

**누리집** **검색·누리집**

QR 코드

커리어넷에서 스마트 의류 연구원과 관련된 정보를 찾아보자.

## 스마트 의류 연구원이 하는 일은 무엇일까?

운동선수들이 훈련할 때 입는 스마트 운동복은 선수의 활동 범위, 운동 속도, 심박수 등을 실시간으로 기록하고, 군인들이 작전 시 입는 스마트 군복은 쉽게 마모되지 않고 열에 노출된 피부를 보호한다. 이런 발전은 스마트 의류 연구원의 노력으로 이루어진 것이다. 스마트 의류 연구원은 사람들이 착용하는 의류에 최첨단 스마트 기술을 접목하고, 기술이 접목된 의류를 착용하는 데 불편함이 없도록 연구하고 개발하여 스마트 의류가 단순한 옷을 넘어서 스마트폰이나 시계처럼 다양한 디지털 기능을 갖도록 변화시키고 있다.

## 스마트 의류 연구원은 어떤 능력이 필요할까?

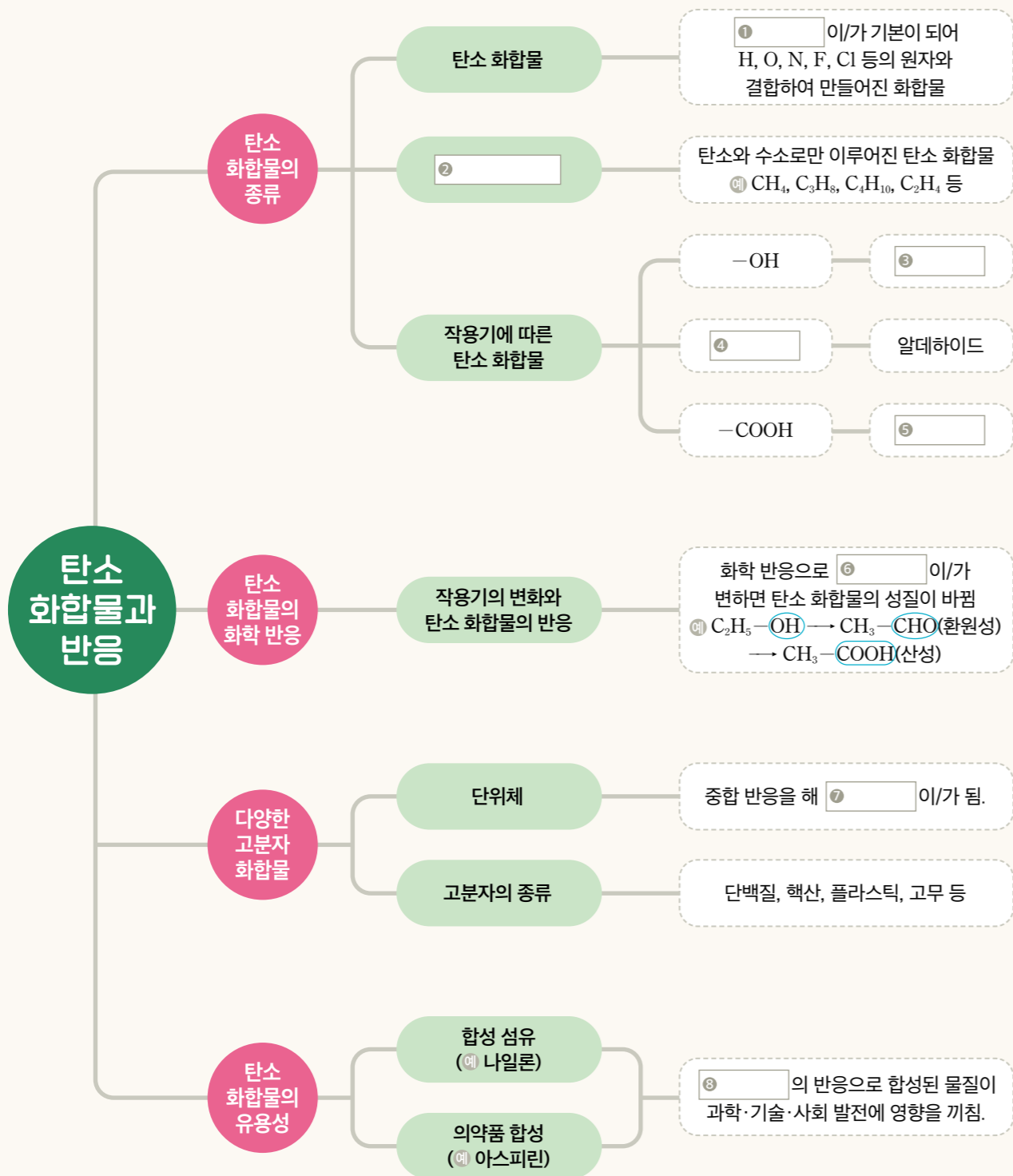
최첨단 기술에 익숙해야 하고 새로운 지식을 끊임없이 습득하려는 자세가 필요하다. 스마트 의류에 들어가는 장비를 다루기 위해서는 3D 프린팅에 대한 이해와 코딩에 대한 지식도 필요하다. 또 의류는 일상생활에서 착용하는 것이므로 미적 감각도 필요하다. 그러나 무엇보다 여러 가지 기술을 상상력을 가지고 다양하게 융합하는 창의력이 필요하다.

**관련 학과** 섬유 화학과, 신소재 공학과, 컴퓨터·시스템 공학과, 의류 산업학과 등

**활동하기** **발표**

내가 스마트 의류 연구원이 된다면 어떤 스마트 의류를 개발할지 정하여 접목해야 할 스마트 기술이 포함된 디자인을 제안해 보자.





01. 탄소 화합물의 종류

01 탄소 화합물이 다양한 까닭에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

**보기**  
 ㄱ. 탄소의 원자가 전자는 6 개이기 때문이다.  
 ㄴ. 탄소는 여러 종류의 원자와 결합할 수 있기 때문이다.  
 ㄷ. 탄소 원자들끼리 여러 가지 형태의 결합을 형성할 수 있기 때문이다.

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

01. 탄소 화합물의 종류

02 다음은 어떤 탄화수소에 대한 설명이다.

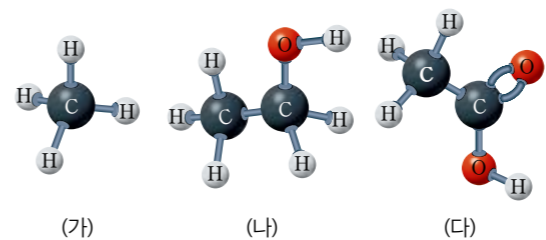
- 탄소와 탄소 사이에 삼중 결합이 있는 무색무취의 기체이다.
- 금속의 용접 및 절단 등에 사용한다.

이 물질로 적절한 것은?

- ① 메테인      ② 프로페인      ③ 부테인  
 ④ 에텐      ⑤ 에타인

01. 탄소 화합물의 종류

03 그림은 탄소 화합물 (가)~(다)의 구조를 모형으로 나타낸 것이다.



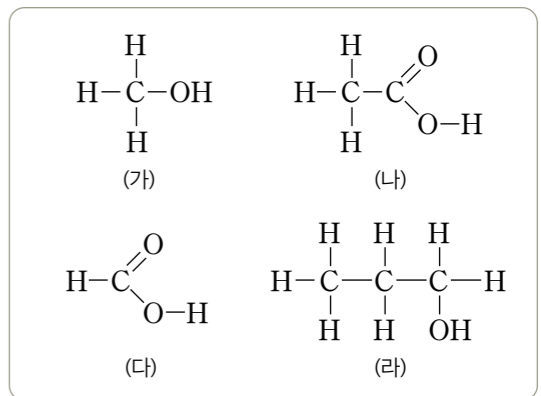
(가)~(다)에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

**보기**  
 ㄱ. (가)는 액화 천연 가스(LNG)의 주성분이다.  
 ㄴ. (나)는 에탄올이다.  
 ㄷ. (나)와 (다)는 모두 물에 잘 녹는다.

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

01. 탄소 화합물의 종류

04 그림은 탄소 화합물 (가)~(라)의 구조식을 나타낸 것이다. 이 물질들을 성질이 비슷한 것끼리 나누고, 그렇게 나누는 까닭을 설명해 보자.



02. 탄소 화합물의 반응

05 다음은 포도당이 발효되어 식초의 주성분인 아세트산이 되는 과정과 중간 생성물 (가)와 (나)의 성질에 대한 자료이다.

포도당 → (가) → (나) → 아세트산

중간 생성물	성질
(가)	무색의 액체로 살균 효과가 있다.
(나)	다른 물질을 환원시키는 성질이 있다.

(가)와 (나)에 해당하는 물질의 화학식을 옳게 짝 지은 것은?

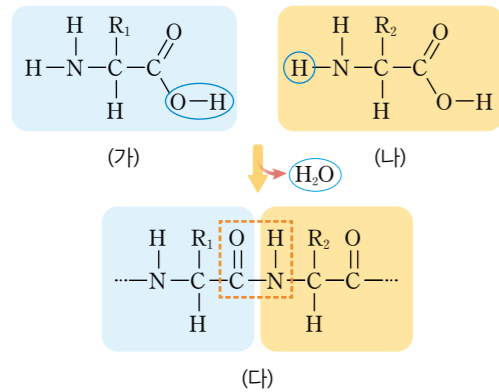
- |                                    |                                  |
|------------------------------------|----------------------------------|
| (가)                                | (나)                              |
| ① C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH | CH <sub>3</sub> CHO              |
| ② C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH | CH <sub>3</sub> COOH             |
| ③ CH <sub>3</sub> CHO              | CH <sub>3</sub> COOH             |
| ④ CH <sub>3</sub> COOH             | C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH |
| ⑤ CH <sub>3</sub> COOH             | CH <sub>3</sub> CHO              |

02. 탄소 화합물의 반응

06 그림과 같이 이름표의 일부가 지워진 시약병에 들어 있는 물질이 아세트알데하이드와 아세트산 중 어느 물질인지 구분할 수 있는 실험 방법을 제안하고, 그 방법을 제안한 까닭을 설명해 보자.



07 그림은 단위체 (가), (나)가 고분자 (다)를 형성하는 과정을 나타낸 것이다.



(가)~(다)에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- <보기>  
 ㉠. (가)와 (나)는 아미노산이다.  
 ㉡. (다)는 단백질이다.  
 ㉢. (다)는 첨가 중합 반응으로 생성된다.

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

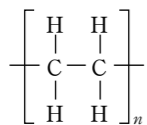
08 고분자에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- <보기>  
 ㉠. DNA의 단위체는 아미노산이다.  
 ㉡. 고무는 천연고무만 존재한다.  
 ㉢. 폴리(에틸렌 테레프탈레이트)는 축합 중합 반응으로 만들어진 고분자이다.

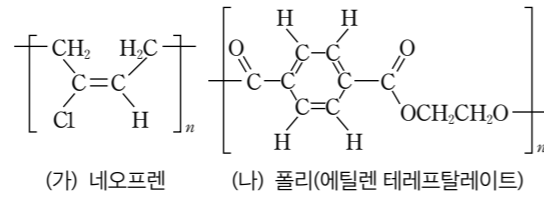
- ① ㉠      ② ㉡      ③ ㉠, ㉡  
 ④ ㉠, ㉢      ⑤ ㉡, ㉢

서술형

09 그림은 고분자 화합물인 폴리에틸렌의 구조식을 나타낸 것이다. 폴리에틸렌의 단위체를 쓰고, 어떤 중합 반응으로 합성되는지 설명해 보자.



10 그림 (가)와 (나)는 각각 네오프렌과 폴리(에틸렌 테레프탈레이트)의 구조식을 나타낸 것이다.



(가)와 (나)에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- <보기>  
 ㉠. (가)는 첨가 중합 반응으로 생성된 물질이다.  
 ㉡. (나)가 생성될 때 간단한 분자가 떨어져 나간다.  
 ㉢. (나)는 음료수병과 일회용 컵을 만들 때 쓰인다.

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

11 탄소 화합물이 과학·기술·사회 발전에 끼친 영향에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- <보기>  
 ㉠. 의약품의 개발로 사람들의 병이 치료되어 평균 수명이 증가했다.  
 ㉡. 천연 섬유 양이 충분해 합성 섬유의 개발은 큰 영향을 주지 않았다.  
 ㉢. 플라스틱의 개발로 다양한 물건을 저렴하게 사용할 수 있게 되었다.

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

서술형

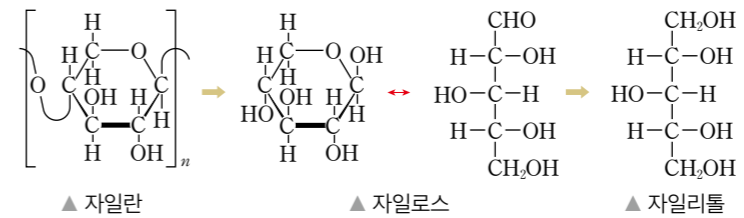
12 나일론이 과학·기술·사회 발전에 끼친 영향을 설명해 보자.

과학 글쓰기

13 다음은 자일란, 자일로스, 자일리톨에 대한 글이다.

나무의 세포벽에는 여러 종류의 당류가 불균일하게 결합한 고분자인 자일란(xylan)이 있다. 자일란을 분해하면 당류로 나누어지는데, 이때 나오는 물질이 나무의 설탕으로 불리는 자일로스(xylose,  $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5$ )이다. 자일로스는 설탕의 40% 정도로 단맛이 적고, 설탕을 분해하는 효소의 활성을 억제한다. 따라서 설탕에 자일로스를 혼합하면 설탕 흡수율을 낮춰 당뇨병 예방에 효과적이다.

껌에도 들어가는 자일리톨(xylitol,  $\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}_6$ )은 자일로스로부터 얻으며, 충치 예방용 첨가물로 널리 사용되고 있다. 자일리톨은 설탕과 단맛을 거의 비슷하게 내면서도 열량은 낮고, 충치를 일으키는 세균이 소화할 수 없어 치아를 부식시키는 산이 나오지 않아 치아 건강에 도움이 된다.



- (1) 고분자 자일란의 단위체 이름을 쓰고, 어떤 중합 반응으로 합성되는지 설명해 보자.  
 (2) 자일로스가 자일리톨이 되면서 성질이 변하는 까닭을 작용기의 변화를 이용하여 설명해 보자.



스스로 점검하기

- 지식·이해** 탄소 화합물의 정의와 종류, 작용기에 따른 성질의 변화를 이해하고, 중합 반응으로 고분자가 합성되는 과정을 설명했다. ★★★★★
- 과정·기능** 실험을 통해 작용기의 변화를 탐구하고, 새로운 물질을 만들었다. ★★★★★
- 가치·태도** 우리 주변의 다양한 탄소 화합물과 탄소 화합물의 반응을 통해 합성된 새로운 물질이 과학·기술·사회 발전에 끼친 영향을 조사해 화학의 유용성을 깨달았다. ★★★★★

평가 결과가 아쉽다면 Ⅲ. 탄소 화합물과 반응 을 다시 한번 학습해 보시오.

글쓰기 길잡이

자일로스와 자일리톨의 구조에서 작용기의 차이 점을 확인한다.

# 지속가능한 미래를 위해 재활용을 넘어 새활용으로



과학기술이 발달하고 인류가 다양한 물질을 사용하면서 헌 옷, 플라스틱 컵, 폐지 등 여러 종류의 쓰레기가 발생함에 따라 환경 보호를 위해 재활용에 대한 인식이 높아졌다. 재활용(recycling)은 본래의 용도를 다한 제품을 다시 한번 본래의 모습 그대로 사용하는 것이다. 예를 들어 우리가 분리배출했던 종이로 재생 종이를 만드는 것이나 폐플라스틱을 재가공해 다시 새로운 플라스틱 형태로 만드는 것이다.

새활용(upcycling)은 사용을 다한 제품을 단순히 재활용하는 것을 넘어 제품에 디자인을 더하거나 활용 방법을 바꾸어 처음과 전혀 다른 모습으로 재탄생시키는 것이다. 천막으로 만든 가방, 항공기 자재로 만든 이름표, 군용 텐트로 만든 모자 등과 같은 새활용 제품의 인기가 많아지면서 최근 더욱 주목받고 있다.



## 1 새활용 제품 조사하기

1. 우리 생활 속 다양한 새활용 제품 중 한 가지를 정해 새활용 과정을 조사해 보자.
2. 새활용 제품이 갖춰야 할 조건을 토론했던 학급에서 새활용 제품 기본 조건 세 가지를 정해 보자.

### 가치·태도 길잡이

새활용을 하는 까닭을 생각하며 새활용 제품이 갖춰야 할 조건을 정한다.

## 2 새활용 제품 제작하기

1. 모둠별로 우리 주변에서 사용을 다한 제품을 활용해 학급에서 정한 새활용 제품 기본 조건 세 가지에 부합하는 새활용 제품을 만들자.
2. 우리 모둠이 만든 새활용 제품을 전시해 보자.
3. 우리 모둠의 새활용 제품을 평가해 보자.

### 과정·기능 길잡이

새활용 제품을 만들 때 활용하는 도구들의 사용법을 숙지하고 안전에 유의한다.

내용	평가		
학급에서 정한 새활용 제품 기본 조건 세 가지에 잘 부합하게 새활용 제품을 만들었는가?	상	중	하
새활용 제품을 완성도 있게 만들었고 제품의 창의성과 예술성이 돋보이는가?	상	중	하
모든 모둠원이 새활용 제품을 만드는 활동을 하면서 자원 순환의 필요성을 깨달았는가?	상	중	하



### 포트폴리오

» 이 단원의 활동 결과를 정리해 보자.

• 104 쪽 최신 과학 이야기 • 105 쪽 화학과 나의 미래 • 110 쪽~111 쪽 프로젝트

- 1 이 단원의 활동 결과를 모아 III. 탄소 화합물과 반응 포트폴리오 자료로 정리해 보자.
- 2 공유 플랫폼을 활용해 포트폴리오를 친구들에게 공유하고, 친구들의 포트폴리오에 댓글을 달거나 '좋아요' 표시를 하면서 소통해 보자.
- 3 포트폴리오를 인쇄해 책자로 만들어 보자.



1. 국제단위계(SI 단위계)

(1) SI 기본 단위

기본량	기본 단위	
	명칭	기호
시간	초	s
길이	미터	m
질량	킬로그램	kg
전류	암페어	A
열역학 온도	켈빈	K
물질량	몰	mol
광도	칸델라	cd

(자료 출처: 『국제단위계(제9 판)』, 2019)

(2) 유도 단위의 예

유도량	유도 단위	
	명칭	기본 단위로 표시
진동수	헤르츠	$\text{Hz} = \text{s}^{-1}$
힘	뉴턴	$\text{N} = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
압력	파스칼	$\text{Pa} = \text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$
에너지, 열량	줄	$\text{J} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$
일률, 전력	와트	$\text{W} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3}$
전하, 전하량	쿨롱	$\text{C} = \text{A} \cdot \text{s}$
전위차(전압)	볼트	$\text{V} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-1}$
전기 저항	옴	$\Omega = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-2}$
섭씨온도	섭씨도	$^{\circ}\text{C} = \text{K}$

(자료 출처: 『국제단위계(제9 판)』, 2019)

2. SI 단위와 다른 단위의 관계

양	단위		SI 단위와의 관계
	명칭	기호	
시간	분	min	1 min = 60 s
	시간	h	1 h = 60 min = 3600 s
부피	리터	L	1 L = 1000 cm <sup>3</sup> = 0.001 m <sup>3</sup>
질량	톤	t	1 t = 1000 kg
압력	기압	atm	1 atm = 101325 Pa
	수은주 밀리미터	mmHg	1 mmHg = 133.322 Pa, 760 mmHg = 1 atm
에너지, 열량	칼로리	cal	1 cal = 4.184 J

(자료 출처: 『국제단위계(제9 판)』, 2019, 『CRC Handbook of Chemistry and Physics(105th ed.)』, 2024)

3. 기본 상수

명칭	기호	상수
아보가드로 상수	$N_A$	$6.02214076 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
기체 상수	$R$	$8.3145 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ $0.08206 \text{ atm} \cdot \text{L} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$

(자료 출처: 『국제단위계(제9 판)』, 2019, 『CRC Handbook of Chemistry and Physics(105th ed.)』, 2024)

# 부록



학습 자료실

- 단위와 기본 상수
- 실험실 안전 수칙
- 실험 기구 사용 방법
- 주요 시약별 주의 사항
- 산의 이온화 상수, 표준 환원 전위
- 디지털 리터러시 도움 자료
- 주기율표

정답 및 해설

찾아보기

자료 출처

실험하는 동안

실험하기 전

긴머리는 단정히 묶는다.

실험복, 보안경, 실험용 고무장갑 등 안전 장구를 착용한다.

발등을 덮는 신발을 신는다.

실험실에서는 항상 선생님의 안내에 따른다.

기계가 발생하는 실험을 할 때는 창문을 열어 환기한다.

시험관이나 플라스크의 입구가 사람을 향하게 하지 않는다.

자리를 옮기지 않고 제자리에서 실험한다.

날카로운 도구를 사용할 때는 다치지 않게 주의한다.

뜨거운 물체를 다룰 때는 반드시 열을 견딜 수 있는 장갑을 끼고 집게를 사용한다.

실험실에서 음식을 먹지 않는다.

장난치거나 뛰어 다니지 않는다.

실험 기구는 정확한 사용 방법을 익힌 후 사용한다.

실험 재료를 함부로 맛보거나 냄새를 맡지 않는다.

젖은 손으로 전기 기구의 전선이나 콘센트를 만지지 않는다.

실험이 끝난 뒤



사용한 화학 약품은 선생님의 안내에 따라 정해진 곳에 버린다.



사용한 실험 기구는 선생님의 안내에 따라 깨끗이 씻는다.



실험이 끝나면 반드시 손을 깨끗이 씻는다.

안전사고와 응급 처치



화재가 발생했을 때

선생님과 다른 학생들에게 큰 소리로 상황을 알리고, 젖은 걸레나 실험복 등으로 불을 덮어서 끈다.

큰불이 났을 때

소화기로 불을 끄며 화재경보기를 울리고 119에 신고한 뒤, 몸을 낮춘 상태에서 수건 등으로 코와 입을 막고 비상 대피로를 통해 밖으로 나간다.

피부에 시약이 닿았을 때



시약이 닿은 부위를 흐르는 물에 충분히 씻는다. 눈에 용액이 튀었을 때는 눈 세척기나 흐르는 물에 충분히 씻는다.

유리 기구가 깨졌을 때



깨진 유리 조각을 만지지 않고 선생님께 알린 뒤 선생님의 안내에 따라 처리한다.

화상을 입었을 때



차가운 물로 씻고 열기를 식힌 뒤 즉시 선생님께 상황을 알리고 의사의 진료를 받는다.

상처가 났을 때



피가 나면 소독약으로 소독한 뒤 깨끗한 천으로 눌러 지혈하고, 보건실이나 병원에서 치료를 받는다.

감전 사고가 발생했을 때



전원을 내리고 전기 기구와 떨어뜨린 뒤 119에 신고한다. 실험 중 전기 기구의 상태가 위험하다고 느끼면 즉시 선생님과 주변 학생들에게 알려 사고를 예방한다.

유독한 화학 약품 냄새를 맡았을 때



실험실 밖으로 나가 옷을 느슨하게 하고 신선한 공기를 마신다.

전자저울 사용 방법



1 전자저울을 편평한 곳에 놓고, 저울의 수평을 맞추는 공기 방울이 빨간색 원 안의 한가운데에 오게 한다.

2 전원 단추를 눌러 전자저울을 켜는다.

3 시약포지나 빈 용기를 올려놓고 영점 단추를 눌러 영점을 맞춘다.

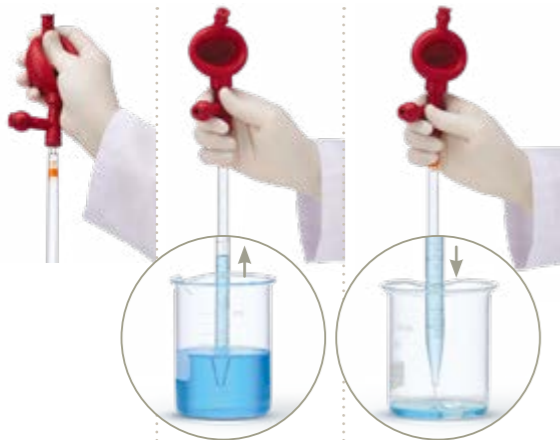
4 물질을 저울에 올려 나타나는 숫자를 읽는다.

피펫 사용 방법

고무 피펫 필러



공기 압축 주머니



1 A 부분을 누른 채로 공기 압축 주머니를 눌러 공기를 뺀다.

2 피펫 끝을 액체에 담고 S를 눌러 액체를 빨아들인다.

3 E를 눌러 액체를 따라 낸다.

슬라이드식 피펫 필러



1 피펫 필러의 피스톤을 완전히 집어 넣고 필러에 피펫을 끼운다.

2 피펫 끝을 액체에 담고 다이얼을 돌려 액체를 빨아들인다.

3 조절 막대를 눌러 액체를 따라 낸다.

중화 적정 실험에서 뷰렛 사용 방법



1 뷰렛의 꼭지를 닫고, 깔때기를 사용해 뷰렛에 표준 용액을 조금 넣는다. 뷰렛 아래에 빈 용기를 대고 꼭지를 완전히 열어 용액을 흘려보내 뷰렛 안쪽을 세척한다.

2 뷰렛의 꼭지를 닫고, 깔때기를 사용해 표준 용액을 뷰렛의 최대 눈금보다 조금 더 넣는다.

3 꼭지를 열어 용액을 흘려보내 뷰렛 끝의 공기 방울을 제거한 다음, 꼭지를 닫고 뷰렛의 눈금을 기록한다. 뷰렛의 눈금을 읽을 때는 용액 표면에 눈높이를 맞춘다.

4 적정할 용액이 들어 있는 용기와 실험 장치를 설치하고, 뷰렛의 꼭지를 열어 표준 용액을 한 방울씩 떨어뜨리면서 들어간 표준 용액의 부피를 측정한다.

무선 센서 사용 방법

pH 센서



산 수용액이나 염기 수용액의 pH를 측정할 때 사용한다.

온도 센서



액체나 수용액의 온도를 측정할 때 사용한다.

압력 센서



기체의 압력을 측정할 때 사용한다.



1 스마트 기기에 센서 프로그램을 설치한다.



2 센서의 전원을 켜 후 스마트 기기의 프로그램과 연결한다.




3 센서로 측정된 데이터를 수집하여 분석한다.



**그림 문자 안내**

			
인화성, 자연 발화성, 자기 발열성	산화성	금속 부식성, 피부 부식성, 심한 눈 손상성	호흡기 손상성, 발암성, 특정 표적 장기 독성
			
급성 독성	독성, 자극성 물질 경고	수생 환경 유해성	

### 1. 다이시아이아노은산 칼륨(KAg(CN)<sub>2</sub>)





- 관련 실험**
- 은도금하기
- 유해성·위험성 정보**
-  • 피부나 눈에 닿으면 자극을 유발하며 삼키면 치명적이다.
- 사용 시 주의 사항**
- 실험복, 보안경, 실험용 고무장갑을 착용하여 피부, 눈, 옷 등에 묻지 않도록 주의한다.
  - 반드시 환기가 잘되는 곳에서 다룬다.
- 폐수 처리 방법**
- 무기계 폐수통에 안전하게 처리한다.

### 2. 수산화 나트륨(NaOH)

- 관련 실험**
- 0.1 M 산과 염기 수용액의 pH를 측정하고 이론값과 비교하기
  - 중화 적정 곡선 그리기
  - 물과 완충 용액의 pH 변화 비교하기
- 유해성·위험성 정보**
-  
- 피부나 눈에 닿으면 심한 손상을 입을 수 있다.





- 사용 시 주의 사항**
- 실험복, 보안경, 실험용 고무장갑을 착용하여 피부, 눈, 옷 등에 묻지 않도록 주의한다.
  - 조해성이 있으므로 질량을 빨리 측정하여 용액을 만들고, 시약을 사용한 즉시 시약병의 뚜껑을 닫는다.
  - 물에 녹을 때 다량의 열이 발생하므로 반드시 다량의 물에 용질을 넣고 천천히 저어 가며 녹인다.
- 폐수 처리 방법**
- 묽은 산으로 중화한 후 무기계 폐수통에 안전하게 처리한다.

### 3. 아세트산(CH<sub>3</sub>COOH)





- 관련 실험**
- 0.1 M 산과 염기 수용액의 pH를 측정하고 이론값과 비교하기
  - 물과 완충 용액의 pH 변화 비교하기
  - 탄소 화합물의 반응을 이용하여 새로운 물질 만들기
- 유해성·위험성 정보**
-    
- 피부나 눈에 닿으면 심한 손상을 입을 수 있다.
  - 흡입 시 알레르기 반응, 천식, 호흡 곤란 등을 일으킬 수 있다.
- 사용 시 주의 사항**
- 실험복, 보안경, 실험용 고무장갑을 착용하여 피부, 눈, 옷 등에 묻지 않도록 주의한다.
  - 반드시 환기가 잘되는 곳에서 다루고, 시약병을 열 때 얼굴을 가까이 하지 않는다.
  - 진한 아세트산을 뿜힐 때는 다량의 물에 조금씩 넣어 가며 뿜는다.
  - 인화성 물질이므로 가열 장치와 가까이 두지 않는다.
- 폐수 처리 방법**
- 탄산수소 나트륨으로 중화한 후 유기계 폐수통에 안전하게 처리한다.

### 4. 암모니아수(NH<sub>3</sub>)






- 관련 실험**
- 0.1 M 산과 염기 수용액의 pH를 측정하고 이론값과 비교하기
  - 은거울 반응으로 작용기의 변화 탐구하기

- 유해성·위험성 정보**
-    
- 피부나 눈에 닿으면 심한 손상을 입을 수 있다.
  - 흡입하면 호흡기에 자극을 유발할 수 있다.
- 사용 시 주의 사항**
- 실험복, 보안경, 실험용 고무장갑을 착용하여 피부, 눈, 옷 등에 묻지 않도록 주의한다.
  - 반드시 환기가 잘되는 곳에서 다루고, 시약병을 열 때 얼굴을 가까이 하지 않는다.
- 폐수 처리 방법**
- 산성 물질을 넣어 중성으로 만든 후 무기계 폐수통에 안전하게 처리한다.




### 5. 염산(HCl)

- 관련 실험**
- 0.1 M 산과 염기 수용액의 pH를 측정하고 이론값과 비교하기
  - 중화 적정 곡선 그리기
  - 물과 완충 용액의 pH 변화 비교하기
- 유해성·위험성 정보**
-    
- 피부나 눈에 닿으면 심한 손상을 입을 수 있다.
  - 흡입 시 알레르기 반응, 천식, 호흡 곤란 등을 일으킬 수 있다.
- 사용 시 주의 사항**
- 실험복, 보안경, 실험용 고무장갑을 착용하여 피부, 눈, 옷 등에 묻지 않도록 주의한다.
  - 반드시 환기가 잘되는 곳에서 다루고, 시약병을 열 때 얼굴을 가까이 하지 않는다.
  - 진한 염산을 뿜힐 때 다량의 열이 발생하므로 반드시 물에 염산을 넣어 뿜는다.
- 폐수 처리 방법**
- 다량의 물에 넣어 뿜히거나, 묽은 염산과 묽은 수산화 나트륨 용액을 서로 조금씩 섞어 중성으로 만든 후 무기계 폐수통에 안전하게 처리한다.

### 6. 질산 은(AgNO<sub>3</sub>)

- 관련 실험**
- 효율적인 전지가 갖추어야 하는 조건 탐색하기
  - 은거울 반응으로 작용기의 변화 탐구하기
- 유해성·위험성 정보**
-     
- 피부나 눈에 닿으면 심한 손상을 입을 수 있다.
- 사용 시 주의 사항**
- 실험복, 보안경, 실험용 고무장갑을 착용하여 피부, 눈, 옷 등에 묻지 않도록 주의한다.
  - 직사광선이나 열이 닿지 않게 한다.
  - 은거울 반응 실험에서 만드는 암모니아성 질산 은 용액은 폭발 위험이 있으므로 즉석에서 만들고, 남은 용액은 보관하지 않고 전부 버린다.
- 폐수 처리 방법**
- 소금물을 가하여 염화 은으로 침전시키거나, 물에 희석하여 무기계 폐수통에 안전하게 처리한다.

### 7. 황산(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)

- 관련 실험**
- 화학 전지의 원리 알아보기
  - 탄소 화합물의 반응을 이용하여 새로운 물질 만들기
- 유해성·위험성 정보**
-   
- 피부나 눈에 닿으면 심한 손상을 입을 수 있다.
  - 흡입 시 치명적이다.
- 사용 시 주의 사항**
- 실험복, 보안경, 실험용 고무장갑을 착용하여 피부, 눈, 옷 등에 묻지 않도록 주의한다.
  - 진한 황산을 뿜힐 때는 다량의 열이 발생하므로 물에 황산을 조금씩 넣으며 천천히 섞어 준다. 황산에 물을 넣거나 물에 한꺼번에 황산을 넣으면 위험하다.
- 폐수 처리 방법**
- 염기성 물질을 넣어 중성으로 만든 후 무기계 폐수통에 안전하게 처리한다.

(자료 출처: 한국산업안전보건공단 화학물질정보, 『학교 화학 약품 안전 관리 매뉴얼(중등용)』, 2016)

1. 산의 이온화 상수(25 °C)

산	세기	이온화 반응	$K_a$	
황산수소 이온	↑ 강하다.	$\text{HSO}_4^-(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+(aq) + \text{SO}_4^{2-}(aq)$	$1.0 \times 10^{-2}$	
인산		$\text{H}_3\text{PO}_4(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+(aq) + \text{H}_2\text{PO}_4^-(aq)$	$6.9 \times 10^{-3}$	
플루오린화 수소		$\text{HF}(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+(aq) + \text{F}^-(aq)$	$6.3 \times 10^{-4}$	
폼산		$\text{HCOOH}(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+(aq) + \text{HCOO}^-(aq)$	$1.8 \times 10^{-4}$	
아세트산		$\text{CH}_3\text{COOH}(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+(aq) + \text{CH}_3\text{COO}^-(aq)$	$1.8 \times 10^{-5}$	
탄산		$\text{H}_2\text{CO}_3(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+(aq) + \text{HCO}_3^-(aq)$	$4.5 \times 10^{-7}$	
하이포염소산		$\text{HClO}(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+(aq) + \text{ClO}^-(aq)$	$4.0 \times 10^{-8}$	
인산이 수소 이온		$\text{H}_2\text{PO}_4^-(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+(aq) + \text{HPO}_4^{2-}(aq)$	$6.2 \times 10^{-8}$	
사이안화 수소		$\text{HCN}(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+(aq) + \text{CN}^-(aq)$	$6.2 \times 10^{-10}$	
암모늄 이온		$\text{NH}_4^+(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+(aq) + \text{NH}_3(aq)$	$5.6 \times 10^{-10}$	
탄산수소 이온		$\text{HCO}_3^-(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+(aq) + \text{CO}_3^{2-}(aq)$	$4.7 \times 10^{-11}$	
인산수소 이온		약하다.	$\text{HPO}_4^{2-}(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+(aq) + \text{PO}_4^{3-}(aq)$	$4.8 \times 10^{-13}$

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

2. 표준 환원 전위(25 °C, 1 M)

반쪽 반응	표준 환원 전위(V)	경향성
$\text{Au}^+(aq) + e^- \longrightarrow \text{Au}(s)$	+1.69	↑ 환원되기 쉽다.
$\text{O}_2(g) + 4\text{H}^+(aq) + 4e^- \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(l)$	+1.23	
$\text{Ag}^+(aq) + e^- \longrightarrow \text{Ag}(s)$	+0.80	
$\text{Cu}^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow \text{Cu}(s)$	+0.34	
$2\text{MnO}_2(s) + \text{H}_2\text{O}(l) + 2e^- \longrightarrow \text{Mn}_2\text{O}_3(s) + 2\text{OH}^-(aq)$	+0.15	
$2\text{H}^+(aq) + 2e^- \longrightarrow \text{H}_2(g)$	0.00	
$\text{Sn}^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow \text{Sn}(s)$	-0.14	
$\text{Fe}^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow \text{Fe}(s)$	-0.45	
$\text{Zn}^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow \text{Zn}(s)$	-0.76	
$2\text{H}_2\text{O}(l) + 2e^- \longrightarrow \text{H}_2(g) + 2\text{OH}^-(aq)$	-0.83	
$\text{ZnO}(s) + \text{H}_2\text{O}(l) + 2e^- \longrightarrow \text{Zn}(s) + 2\text{OH}^-(aq)$	-1.26	
$\text{Al}^{3+}(aq) + 3e^- \longrightarrow \text{Al}(s)$	-1.68	
$\text{Mg}^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow \text{Mg}(s)$	-2.37	
$\text{Na}^+(aq) + e^- \longrightarrow \text{Na}(s)$	-2.71	

(자료 출처: CRC Handbook of Chemistry and Physics(105th ed.), 2024, Inorganic Chemistry(4th ed.), 1997)

디지털 리터러시란?

디지털 리터러시(digital literacy)는 인터넷, 디지털 미디어, 인공지능 등을 사용하는 과정에서 윤리적 태도를 가지고 디지털 기술을 이해하고 활용해 정보를 탐색하고 관리하며 만들어 내는 역량이다. 디지털 기기와 프로그램을 사용하는 능력뿐만 아니라 디지털 정보를 활용하고 생성하는 능력, 디지털 도구를 이용해 의사소통하고 문제를 해결하는 능력, 디지털 환경에서의 윤리 의식 등이 포함된다.



디지털 리터러시 점검표

1. 목적에 맞는 디지털 도구와 소프트웨어 활용 방법을 습득하고 활용한다.
2. 누리집에서 적절한 검색을 통해 필요한 자료를 수집하고 비판적으로 분석한다.
3. 수집한 자료의 신뢰성과 정확성을 파악하여 유용한 자료와 정보를 선별한다.
4. 정보와 데이터를 효과적으로 전달하기 위해 종합·분석하고 디지털 콘텐츠를 만든다.
5. 협업 플랫폼을 통해 정보를 공유하고 의사 결정 과정에 참여한다.
6. 온라인 공간에서 상대방을 존중하고 공감과 배려를 바탕으로 하여 의사소통한다.
7. 온라인 활동과 스마트 기기를 활용할 때 개인 정보를 보호하기 위한 방법을 실천한다.
8. 온라인에서 발생할 수 있는 사이버 범죄의 예방법과 대처법을 알고 실천한다.
9. 저작권법을 이해하고 저작권을 보호하기 위한 적합한 방법을 실행한다.
10. 디지털 도구를 활용하여 문제 해결 방법을 고안하고 실행한다.
11. 디지털 기기를 이용할 때 사용 목적과 사용 시간을 스스로 관리한다.

1족																	18족			
1주기	1 H 수소 1.0080															2 He 헬륨 4.0026				
2주기	3 Li 리튬 6.94	4 Be 베릴륨 9.0122											5 B 붕소 10.81	6 C 탄소 12.011	7 N 질소 14.007	8 O 산소 15.999	9 F 플루오린 18.998	10 Ne 네온 20.180		
3주기	11 Na 나트륨 22.990	12 Mg 마그네슘 24.305							13 Al 알루미늄 26.982	14 Si 규소 28.085	15 P 인 30.974	16 S 황 32.06	17 Cl 염소 35.45	18 Ar 아르곤 39.95						
4주기	19 K 칼륨 39.098	20 Ca 칼슘 40.078(4)	21 Sc 스칸듐 44.956	22 Ti 타이타늄 47.867	23 V 바나듐 50.942	24 Cr 크로뮴 51.996	25 Mn 망가니즈 54.938	26 Fe 철 55.845(2)	27 Co 코발트 58.933			28 Ni 니켈 58.693	29 Cu 구리 63.546(3)	30 Zn 아연 65.38(2)	31 Ga 갈륨 69.723	32 Ge 저마늄 72.630(8)	33 As 비소 74.922	34 Se 셀레늄 78.971(8)	35 Br 브로민 79.904	36 Kr 크립톤 83.798(2)
5주기	37 Rb 루비듐 85.468	38 Sr 스트론튬 87.62	39 Y 이트륨 88.906	40 Zr 지르코늄 91.224(2)	41 Nb 나이오븀 92.906	42 Mo 몰리브데넘 95.95	43 Tc 테크네튬	44 Ru 루테튬 101.07(2)	45 Rh 로듐 102.91			46 Pd 팔라듐 106.42	47 Ag 은 107.87	48 Cd 카드뮴 112.41	49 In 인듐 114.82	50 Sn 주석 118.71	51 Sb 안티모니 121.76	52 Te 텔루륨 127.60(3)	53 I 아이오딘 126.90	54 Xe 제논 131.29
6주기	55 Cs 세슘 132.91	56 Ba 바륨 137.33	라타넘족	72 Hf 하프늄 178.49(2)	73 Ta 탄탈럼 180.95	74 W 텅스텐 183.84	75 Re 레늄 186.21	76 Os 오스뮴 190.23(3)	77 Ir 이리듐 192.22			78 Pt 백금 195.08	79 Au 금 196.97	80 Hg 수은 200.59	81 Tl 탈륨 204.38	82 Pb 납 207.2	83 Bi 비스무트 208.98	84 Po 폴로늄	85 At 아스타틴	86 Rn 라돈
7주기	87 Fr 프랑슘	88 Ra 라듐	악티늄족	104 Rf 러더포듐	105 Db 더브늄	106 Sg 시보그뮴	107 Bh 보름	108 Hs 하슘	109 Mt 마이트너뮴			110 Ds 다름슈타듐	111 Rg 린트게늄	112 Cn 코페르니슘	113 Nh 니호늄	114 Fl 플레로븀	115 Mc 모스코븀	116 Lv 리버모륨	117 Ts 테네신	118 Og 오가네손
				57 La 라타넘 138.91	58 Ce 세륨 140.12	59 Pr 프라세오디뮴 140.91	60 Nd 네오디뮴 144.24	61 Pm 프로메튬	62 Sm 사마륨 150.36(2)											
				89 Ac 악티늄	90 Th 토륨 232.04	91 Pa 프로트악티늄 231.04	92 U 우라늄 238.03	93 Np 넵투늄	94 Pu 플루토늄											

(자료 출처: 대한화학회)

1 산 염기 평형

01 산과 염기

8 쪽 **자료 읽기**

HCl: 산, NH<sub>3</sub>: 염기

9 쪽 **확인하기**

1 산, 염기

2 짝산·짝염기 쌍

소단원 마무리 9 쪽

◦ 창의력 키우기

**예시 답안** 수산화 나트륨(NaOH)은 물(H<sub>2</sub>O)에 녹아 Na<sup>+</sup>과 OH<sup>-</sup>으로 존재하는데, OH<sup>-</sup>은 H<sub>2</sub>O로부터 H<sup>+</sup>를 제공받을 수 있으므로 브뢴스테드·라우리 염기로 작용한다. 따라서 NaOH은 브뢴스테드·라우리 염기이다.

◦ 디지털 소양 키우기

**예시 답안** 다음 반응에서 메틸아민(CH<sub>3</sub>NH<sub>2</sub>)은 아세트산(CH<sub>3</sub>COOH)으로부터 H<sup>+</sup>를 제공받는 브뢴스테드·라우리 염기로, 아세트산은 메틸아민에 H<sup>+</sup>를 제공하는 브뢴스테드·라우리 산으로 작용한다.

CH<sub>3</sub>NH<sub>2</sub> + CH<sub>3</sub>COOH ⇌ CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub><sup>+</sup> + CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>  
이 반응은 아레니우스 산 염기 정의로 설명할 수 없지만, 브뢴스테드·라우리 산 염기 정의로 설명할 수 있다.

02 산과 염기의 상대적 세기

11 쪽 **물음**

K<sub>b</sub>가 클수록 염기의 세기가 강하므로 K<sub>b</sub>가 더 큰 암모니아(NH<sub>3</sub>)가 하이드라진(N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)보다 강한 염기이다.

11 쪽 **확인하기**

1 강하다

2 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>(aq) + H<sub>2</sub>O(l) ⇌ HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>(aq) + OH<sup>-</sup>(aq)

$$K_b = \frac{[\text{HCO}_3^-][\text{OH}^-]}{[\text{CO}_3^{2-}]}$$

13 쪽 **연습 해보기**

| 직접 해 보기 |

10.6 | 암모니아 수용액(NH<sub>3</sub>(aq))에서 NH<sub>3</sub>가 x M만큼 이온화했다고 하면 이온화 상수(K<sub>b</sub>)는 다음과 같이 나타낼 수

있다. 이때 NH<sub>3</sub>의 평형 농도는 초기 농도와 거의 같다.

$$K_b = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]} = \frac{x \times x}{0.01 - x} \approx \frac{x^2}{0.01}$$

NH<sub>3</sub>의 K<sub>b</sub>는 1.8 × 10<sup>-5</sup>이므로 x = [OH<sup>-</sup>] = 4.2 × 10<sup>-4</sup>(M)이다. 따라서 pOH는 3.4이다. 25 °C에서 물의 이온화 상수가 1.0 × 10<sup>-14</sup>이므로 NH<sub>3</sub>(aq)의 pH = 14 - pOH = 10.6이다.

13 쪽 **확인하기**

1 약하다

2 이온화 상수(K<sub>a</sub>)

소단원 마무리 15 쪽

◦ 창의력 키우기

**예시 답안** 25 °C에서 아세트산의 K<sub>a</sub>가 1.8 × 10<sup>-5</sup>을 이용해 1 M, 0.1 M, 0.01 M, 0.001 M의 아세트산 수용액의 pH를 계산하면 각각 2.37, 2.87, 3.37, 3.87이다. 즉, 아세트산 수용액을 10 배 희석하면 pH가 0.5 증가한다.

◦ 디지털 소양 키우기

**예시 답안** 몇 가지 산과 그 짝염기의 이온화 상수를 보면 산의 이온화 상수가 클수록 짝염기의 이온화 상수가 작고, 산과 그 짝염기의 이온화 상수를 곱한 값은 25 °C에서 약 1.0 × 10<sup>-14</sup>로 일정함을 알 수 있다.

산	K <sub>a</sub>	짝염기	K <sub>b</sub>
HF	6.3 × 10 <sup>-4</sup>	F <sup>-</sup>	1.6 × 10 <sup>-11</sup>
HCOOH	1.8 × 10 <sup>-4</sup>	HCOO <sup>-</sup>	5.6 × 10 <sup>-11</sup>
HClO	4.0 × 10 <sup>-8</sup>	ClO <sup>-</sup>	2.5 × 10 <sup>-7</sup>
HCN	6.2 × 10 <sup>-10</sup>	CN <sup>-</sup>	1.6 × 10 <sup>-5</sup>
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	5.6 × 10 <sup>-10</sup>	NH <sub>3</sub>	1.8 × 10 <sup>-5</sup>

(25 °C)

03 중화 적정

18 쪽

1 0.1 mol/L × 0.05 L 2 0.15 3 -log0.033

19 쪽

1 0.1 mol/L × 0.1 L 2 0.0001

19 쪽 **확인하기**

1 중화 적정 곡선

2 7

소단원 마무리 19 쪽

◦ 창의력 키우기

**예시 답안** 강산과 강염기의 중화 적정 실험에서 중화점 근처에서는 표준 용액 1 방울 차이로도 pH가 급격하게 변한다. 따라서 이 구간에서 색이 변하는 지시약을 사용하면 적은 오차로 중화점을 결정할 수 있다. 강산과 강염기의 중화 적정 실험에서 pH 8.3~10.0은 pH가 급격하게 변하는 구간에 포함되므로 페놀프탈레인 용액을 지시약으로 사용할 수 있다.

◦ 디지털 소양 키우기

**예시 답안** 온도를 측정한다. 전기 전도도를 측정한다.

04 염의 가수 분해

21 쪽 **확인하기**

1 염기성, 수산화

2 염기성 | NaHCO<sub>3</sub>은 강염기인 NaOH과 약산인 H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>이 중화 반응 해 생기는 염으로, 약산의 짝염기인 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>이 물과 반응해 OH<sup>-</sup>을 생성한다. 따라서 NaHCO<sub>3</sub>(aq)의 액성은 염기성이다.

22 쪽 **연습 해보기**

| 직접 해 보기 |

5.0 | NH<sub>4</sub><sup>+</sup>이 x M만큼 줄어들어 평형에 도달했다고 할 때 이온화 상수(K<sub>a</sub>)는 다음과 같이 나타낼 수 있다. 이때 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>의 평형 농도는 초기 농도와 거의 같다.

$$K_a = \frac{[\text{NH}_3][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{NH}_4^+]} = \frac{x \times x}{0.2 - x} \approx \frac{x^2}{0.2}$$

NH<sub>4</sub><sup>+</sup>의 K<sub>a</sub> =  $\frac{K_w}{\text{NH}_3\text{의 } K_b} = 5.6 \times 10^{-10}$ 이므로

x = 1.1 × 10<sup>-5</sup>이다. 따라서 [H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>] = 1.1 × 10<sup>-5</sup> M이므로 pH는 5.0이다.

소단원 마무리 23 쪽

◦ 창의력 키우기

**예시 답안** 약산과 강염기의 중화 반응에서 중화점에 도달했을 때 약산의 H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>과 강염기의 OH<sup>-</sup>은 모두 소모된다. 그런데 중화 반응으로 생성된 염을 이루는 이온 중 약산의 짝염기는 물과 반응하여 OH<sup>-</sup>을 내놓는다. 따라서 약산과 강염기의 중화 반응에서 중화점에 도달한 수용액의 액성은 염기성이다.

◦ 디지털 소양 키우기

**예시 답안** 약산인 H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>과 강염기인 NaOH의 중화 반응으로 생기는 염인 NaHCO<sub>3</sub>의 수용액은 약한 염기성을 띠므로 침에 산성 물질이 들어 있는 개미에 물렸을 때 침을 중화하는 용도로 사용할 수 있다.

05 완충 작용

27 쪽 **확인하기**

1 완충 용액

2 **예시 답안** 암모니아와 염화 암모늄이 같은 양(mol) 섞여 있는 용액은 완충 용액으로, 이 용액에 수산화 나트륨을 소량 넣으면 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>(aq) + OH<sup>-</sup>(aq) ⇌ NH<sub>3</sub>(aq) + H<sub>2</sub>O(l)의 반응이 일어나 수산화 이온이 감소하므로 pH 변화가 크지 않다.

소단원 마무리 27 쪽

◦ 창의력 키우기

**예시 답안** pH가 적정 범위보다 낮아지면 피로와 호흡 곤란 증상이 나타나며 심할 경우 혼수상태에 빠질 수 있다. pH가 적정 범위보다 높아지면 현기증, 실신, 손발 저림, 근육 경련 등의 증상이 나타나며 심할 경우 혼수상태에 빠질 수 있다.

◦ 디지털 소양 키우기

**예시 답안** 인산이수소 이온(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>)과 인산수소 이온(HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)은 혈액에서 다음과 같은 평형을 이루면서 완충 작용을 한다.



대단원 마무리 30 쪽~33 쪽

- 1 제공하는 2 제공받는 3 짝산·짝염기 쌍
- 4 이온화 상수(K<sub>a</sub>, K<sub>b</sub>) 5 약함 6 중화 적정 곡선
- 7 염기성 8 산성 9 완충

01 (나), (다) 02 (1) 해설 참조 (2) 해설 참조

03 해설 참조 04 ⑤ 05 ① 06 ⑤

07 ④ 08 해설 참조 09 ⑤ 10 해설 참조

**과학 글쓰기**

11 (1) 해설 참조 (2) 해설 참조

**01** (가)에서  $H_2O$ 은  $H^+$ 를 제공받고  $H_3O^+$ 이 되었으므로 브뢴스테드·라우리 염기로 작용했다. (나)와 (다)에서  $H_2O$ 은  $H^+$ 를 제공하고  $OH^-$ 이 되었으므로 브뢴스테드·라우리 산으로 작용했다.

**02** (1) 예시답안 산의 세기:  $HA < H_3O^+$ , 염기의 세기:  $H_2O < A^-$ , HA의 이온화 반응에서 이온화 상수( $K_a$ )는  $1.0 \times 10^{-11}$ 으로 1보다 매우 작으므로 역반응이 정반응보다 우세하게 일어난다. 따라서 역반응의 산과 염기인  $H_3O^+$ 과  $A^-$ 이 더 강한 산과 염기이다.

(2) 예시답안 6, HA가  $x$  M만큼 줄어들어 평형에 도달했다고 할 때 이온화 상수( $K_a$ )는 다음과 같이 나타낼 수 있다. 이때 HA의 평형 농도는 초기 농도와 거의 같다.

$$K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]} = \frac{x \times x}{0.1 - x} \approx \frac{x^2}{0.1}$$

HA의  $K_a$ 는  $1.0 \times 10^{-11}$ 이므로  $x = 1.0 \times 10^{-6}$ 이다. 따라서  $[H_3O^+] = 1.0 \times 10^{-6}$  M이므로 pH는 6이다.

**03** 예시답안  $x=3$ , HA의  $K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]}$ 이고,

$[A^-] = [H_3O^+]$ 이다. 또 HA는 약산이므로  $[HA]$ 는 초기 농도인  $x$ 라고 할 수 있다. 따라서  $K_a$ 를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]} = \left(\frac{[A^-]}{[HA]}\right)^2 \times [HA] = \left(\frac{[A^-]}{[HA]}\right)^2 \times x = 3.0 \times 10^{-6}$$

이때  $\frac{[A^-]}{[HA]} = 1 \times 10^{-3}$ 이므로  $\left(\frac{[A^-]}{[HA]}\right)^2 = 1 \times 10^{-6}$

이다. 따라서  $\left(\frac{[A^-]}{[HA]}\right)^2 \times x = 1 \times 10^{-6} \times x = 3.0 \times 10^{-6}$

이므로  $x=3$ 이다.

**04** 중화 적정 곡선에서 0.1 M NaOH(aq) 100 mL를 넣었을 때 pH가 크게 변했으므로, 이때가 HCl(aq)의  $H_3O^+$ 의 양(mol)과 NaOH(aq)의  $OH^-$ 의 양(mol)이 같은 중화점이다.

ㄱ. 0.1 M NaOH(aq)을 100 mL 넣었을 때 수용액의  $H_3O^+$ 의 양(mol) =  $OH^-$ 의 양(mol)이므로

$[HCl] \times 0.1 \text{ L} = 0.1 \text{ mol/L} \times 0.1 \text{ L}$ 이다. 따라서 HCl(aq)의 농도는 0.1 M이다.

ㄴ. HCl(aq)과 NaOH(aq)의 농도가 0.1 M로 서로 같

은데, A에서 혼합 용액에 포함된 각 용액의 부피비가  $HCl(aq) : NaOH(aq) = 0.1 : 0.05 = 2 : 1$ 이므로  $Cl^-$ 과  $Na^+$ 의 몰비는  $Cl^- : Na^+ = 2 : 1$ 이다.

ㄷ. 그래프를 보면 B 근처에서 pH가 급격히 변하는 것을 알 수 있다.

**05**  $a = [H_3O^+] = \frac{H_3O^+ \text{의 양(mol)}}{\text{수용액의 부피(L)}}$ 이다.

A에서  $H_3O^+$ 의 양(mol)은 처음  $H_3O^+$ 의 양(mol)에서 넣어 준  $OH^-$ 의 양(mol)을 빼서 구할 수 있으므로

$(0.1 \text{ mol/L} \times 0.1 \text{ L}) - (0.1 \text{ mol/L} \times 0.05 \text{ L}) = 0.005 \text{ mol}$ 이다. 또 A에서 수용액의 부피는  $0.1 \text{ L} + 0.05 \text{ L} = 0.15 \text{ L}$

이다. 따라서  $a = \frac{0.005}{0.15} = \frac{1}{30}$ 이다.

**06** ①, ⑤  $CH_3COONa$ 은 약산인  $CH_3COOH$ 과 강염기인 NaOH의 중화 반응으로 생성되는 염이다. 약산의 짝염기인  $CH_3COO^-$ 은 물과 반응해  $OH^-$ 을 생성하므로 25 °C에서 수용액의 pH는 7보다 크다.

②  $NH_4NO_3$ 은 강산인  $HNO_3$ 과 약염기인  $NH_3$ 의 중화 반응으로 생성되는 염이므로 산성을 띤다.

③, ④  $CH_3COO^-$ 은 일부가 가수 분해 되지만,  $Na^+$ 은 가수 분해 되지 않으므로 수용액에 가장 많이 들어 있는 이온은  $Na^+$ 이다.

**07** NaA(aq)에서  $A^-$ 은 가수 분해 되어  $OH^-$ 을 생성하므로 수용액의 pH는 7보다 크고,  $[A^-]$ 는 0.1 M보다 작다. 짝산·짝염기 쌍에서  $K_a \times K_b = K_w$ 이다.  $A^-$ 은 HA의 짝염기이므로  $A^-$ 의  $K_b = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{1.0 \times 10^{-6}} = 1.0 \times 10^{-8}$ 이다.

**08** 예시답안 짝산·짝염기 쌍에서  $K_a \times K_b = K_w$ 이므로  $NH_4^+$ 의 이온화 상수( $K_a$ ) =  $\frac{1.0 \times 10^{-14}}{1.8 \times 10^{-5}} = 5.6 \times 10^{-10}$ 이다. 그리고  $NH_4Cl(aq)$ 의  $NH_4^+$ 은 물과 반응하여 다음과 같이  $H_3O^+$ 을 생성한다.



$NH_4^+$ 의 평형 농도는 초기 농도와 거의 같고,  $NH_3$ 와  $H_3O^+$ 의 평형 농도는 서로 같으므로 이온화 상수( $K_a$ )는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$K_a = \frac{[NH_3][H_3O^+]}{[NH_4^+]} \approx \frac{[H_3O^+]^2}{0.1} = 5.6 \times 10^{-10}$$

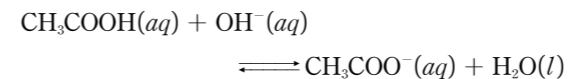
따라서  $[H_3O^+] = \sqrt{56 \times 10^{-12}}$ 인데,  $\sqrt{56}$ 은 7보다는 크고 8보다는 작은 수이므로  $7. \diamond$ 로 표현할 수 있다. 즉,  $[H_3O^+]$ 는  $7. \diamond \times 10^{-6}$ 으로 나타낼 수 있다. 이를 이용해 pH를 나타내면

$pH = -\log(7. \diamond \times 10^{-6}) = 6 - \log 7. \diamond$ 이며,  $\log 7. \diamond$ 는 0보다는 크고 1보다는 작은 수이므로

$pH = 6 - \log 7. \diamond = 5. \triangle$ 로 나타낼 수 있다. 따라서 A는 6이다.

**09** ㄱ. (가)는 산성 수용액이고, (나)는 약산의 짝염기를 포함한 염의 수용액이므로 염기성이다. 따라서 pH는 (나)가 (가)보다 크다.

ㄴ. (가)에 소량의 염기를 떨어뜨리면  $OH^-$ 이  $CH_3COOH$ 과 중화 반응을 하므로  $CH_3COO^-$ 의 양은 증가한다.



ㄷ. 약산인  $CH_3COOH$ 과 그 짝염기인  $CH_3COO^-$ 을 같은 농도로 섞어 만든 수용액 (다)는 완충 용액으로, 소량의 염산을 떨어뜨려도 pH가 크게 변하지 않는다.

**10** 예시답안 심한 운동으로 젖산이 생성되면 혈액의  $[H_3O^+]$ 가 증가해 (나)의 역반응이 우세하게 진행되므로  $[H_3O^+]$ 가 감소하고  $[H_2CO_3]$ 가 증가한다. 이에 따라 (가)의 역반응이 우세하게 진행되어  $[H_2CO_3]$ 가 감소하고  $[CO_2]$ 가 증가한다. 증가한  $CO_2$ 는 폐에서 배출된다. 이러한 평형 이동으로 증가한  $H_3O^+$ 이 감소해 혈액의 pH가 일정하게 유지된다.

**11** (1) 예시답안 이산화 탄소가 지나치게 많이 배출되면 (다)에서 ①의 역반응이 우세하게 일어나  $[H_2CO_3]$ 가 감소하고, 이 때문에 ②의 역반응이 우세하게 일어나  $[H_3O^+]$ 가 증가한다. 따라서 혈액의 pH가 높아진다.

(2) 예시답안 과다 호흡 증후군이 발생했을 때 호흡을 천천히 하거나 운동을 하면 혈액에 용해되는  $CO_2$ 의 양을 늘릴 수 있다. 혈액에 용해되는  $CO_2$ 의 양이 많아지면 (다)에서 ①의 정반응이 우세하게 일어나  $[H_2CO_3]$ 가 증가하고, 이 때문에 ②의 정반응이 우세하게 일어나  $[H_3O^+]$ 가 증가한다. 따라서 혈액의 pH가 낮아져 적정 범위에 도달할 수 있다.

## II 산화·환원 반응

### 01 산화와 환원

39 쪽 **확인하기**

1 산화, 환원

2 산화되는 물질: Fe, 환원되는 물질:  $Cl_2$

41 쪽 **물음**

$NO_2, NH_3$

41 쪽 **확인하기**

1 산화수

2 (1) 0 (2) +5 (3) +6 (4) +4 (5) -1

42 쪽 **연습 해보기**

| 풀이 따라가기 |

- ① -2                      ② 0
- ③ 0                        ④ -1
- ⑤ 증가                    ⑥ 산화
- ⑦ 감소                    ⑧ 환원

| 직접 해 보기 |

$N_2(g) + 3H_2(g) \longrightarrow 2NH_3(g)$ , 산화되는 물질:  $H_2$ , 환원되는 물질:  $N_2$  | H의 산화수는 0에서 +1로 증가하므로 산화되는 물질은  $H_2$ 이다. N의 산화수는 0에서 -3으로 감소하므로 환원되는 물질은  $N_2$ 이다.

43 쪽 **확인하기**

1 산화

2 (1)  $H_2O$  (2)  $F_2$  | 산화제는 자신은 환원되고 다른 물질을 산화시키는 물질이다.

45 쪽 **연습 해보기**

| 풀이 따라가기 |

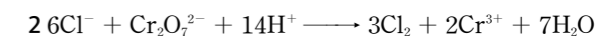
- ① 8, 4                      ② 8, 5, 4
- ③ 5, 5, 5, 8, 5, 4      ④ 5, 8, 5, 4

| 직접 해 보기 |



45 쪽 **확인하기**

1 반쪽 반응식



**소단원 마무리** 45 쪽

- 창의력 키우기
 

**예시 답안** • 줄다리기에 줄을 잡아당기는 쪽이 있으면 항상 끌려가는 쪽이 있고, 줄을 당기는 상대적인 세기에 따라 줄이 움직이는 방향이 달라진다.

• 시소에서 올라가는 쪽이 있으면 내려가는 쪽이 있고, 상대적인 무게에 따라 올라가거나 내려가는 방향이 달라진다.

◦ 디지털 소양 키우기

**예시 답안** 손난로를 흔들면 철 가루가 산소와 반응하여 산화 철(III)로 되는 반응이 일어나면서 열이 발생한다. 이 반응에서 철은 환원제이고, 산소는 산화제이다.

**도움말** 생활 속에서 일어나는 연소, 호흡, 부식, 광합성, 수돗물 소독, 염색, 파마 등 다양한 산화·환원 반응의 원리를 찾고, 각 반응에서 산화제와 환원제를 구분해 본다.

**02 화학 전지의 발전**

- 49 쪽** **확인하기**
  - 1 금속
  - (1) 리튬 이온 전지 (2) 단추형 전지 (3) 망가니즈 건전지 (4) 납축전지, 리튬 이온 전지(전기 자동차), 수소 연료 전지(수소 자동차)

**소단원 마무리** 49 쪽

- 창의력 키우기
 

**예시 답안** 망가니즈 건전지 중 알칼리 전지는 강염기인 수산화 칼륨(KOH)을 전해질로 사용한다. 건전지를 쓰지 않고 오래 방치하면 건전지의 금속 통이 찢어져 수산화 칼륨 수용액이 건전지 밖으로 빠져나오게 되는데 이를 건전지 누액 현상이라고 한다. 하얀 가루는 수산화 칼륨 수용액의 수분이 증발하고 수산화 칼륨이 하얀 가루로 석출된 것이다.

◦ 디지털 소양 키우기

**예시 답안** 스마트폰의 설정 메뉴에서 배터리 성능 상태를 확인하거나, 애플리케이션을 설치하여 배터리의 성능과 수명을 확인할 수 있다.

**03 화학 전지의 원리**

- 51 쪽** **확인하기**
  - 1 이온화 경향
  - 2 아연-철-구리, 아연(Zn)은 철 이온(Fe<sup>2+</sup>)과 반응하므로 아연은 철보다 이온화 경향이 크고, 구리(Cu)는 철 이온과 반응하지 않으므로 구리는 철보다 이온화 경향이 작다.

- 53 쪽** **자료 읽기**

감소, 증가

- 53 쪽** **확인하기**
  - 1 산화, (-)극 2 염다리

- 55 쪽** **확인하기**
  - 1 표준 환원 전위 2 작다

**소단원 마무리** 57 쪽

- 창의력 키우기
 

**예시 답안** (-)극:  $Zn(s) + 2OH^-(aq) \longrightarrow ZnO(s) + H_2O(l) + 2e^- \quad E^\circ = -1.26 V$

(+)극:  $2MnO_2(s) + H_2O(l) + 2e^- \longrightarrow Mn_2O_3(s) + 2OH^-(aq) \quad E^\circ = 0.15 V$

$E^\circ_{전지} = E^\circ_{환원 전극} - E^\circ_{산화 전극} = 0.15 - (-1.26) = +1.41(V)$

◦ 디지털 소양 키우기

**예시 답안** 리튬 이온 전지에 사용되는 리튬은 매장량이 한정적이므로 바닷물에 풍부한 나트륨, 칼륨을 전지에 활용하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 나트륨과 칼륨은 리튬과 같은 1족의 알칼리 금속이므로 성질이 유사하여 같은 원리로 전지를 구성할 수 있으나, 리튬에 비해 무겁고 에너지 밀도가 낮아 앞으로 더 많은 연구가 필요한 상황이다.

**04 전기 분해**

- 59 쪽** **확인하기**
  - 1 전기 분해
  - 2 (+)극에서는 황산 구리(II) 수용액과 황산 나트륨 수용액 모두 황산 이온 대신 물이 산화되어 산소 기체가 발생한다. 그러나 (-)극에서는 황산 구리(II) 수용액의 경우에는 구리 이온이 환원되어 구리가 석출되고, 황산 나트륨 수용액의 경우에는 물이 환원되어 수소 기체가 발생한다.

**63 쪽** **확인하기**

- 1 (-), (+)
- 2  $M(s) \longrightarrow M^{2+}(aq) + 2e^-$  (M: Zn, Fe, Ni, Cu 등) | 불순물 중 구리보다 산화가 잘되는 금속과 구리가 이온으로 산화되어 금속 양이온으로 수용액에 녹아 나온다.

**소단원 마무리** 63 쪽

- 창의력 키우기
 

**예시 답안** 화학 전지에서는 (-)극에서 전자가 나오는 산화 반응이 일어나고, (+)극에서 전자가 들어가는 환원 반응이 일어난다. 반면 전기 분해에서는 (-)극에서 전자가 공급되므로 환원 반응이 일어나고, (+)극에서 전자가 나오는 산화 반응이 일어난다.

◦ 디지털 소양 키우기

**예시 답안** 구리는 구리 광석을 환원제와 함께 높은 온도로 가열하여 얻는다. 철은 용광로에 철광석과 함께 석회석, 코크스를 넣고 가열한 공기를 불어 넣어 얻는다. 알루미늄은 알루미늄 광석인 보크사이트를 빙정석과 함께 가열하여 용융시킨 후 용융액을 전기 분해 하여 얻는다. 이처럼 각 금속마다 제련 방법이 다른 까닭은 금속의 이온화 경향이 다르기 때문이다. 상대적으로 이온화 경향이 작은 구리는 쉽게 제련할 수 있어 기원전부터 이용되었지만, 이온화 경향이 큰 알루미늄은 19 세기에 이르러서야 제련 방법이 개발되었으며, 제련하는 데 큰 에너지가 필요하다.

**05 우리 생활 속 산화·환원 반응**

- 65 쪽** **확인하기**
  - 1 산화, 환원
  - 2 물(H<sub>2</sub>O) | 수소 연료 전지의 전체 반응식은  $2H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2H_2O(l)$ 이다.

**소단원 마무리** 67 쪽

- 창의력 키우기
 

**예시 답안** 전기뱀장어는 꼬리 부분에 약 10 mV 가량의 발전을 담당하는 전기 생산 뉴런 수 천 개가 일정한 간격을 두고 직렬로 배열되어 있다. 이 뉴런 안쪽의 양끝에는 나트륨 이온과 칼륨 이온 통로가 있는데 자극을 받으면 이 통로가 닫히거나 열려 이온 농도 차가 생겨 전위차, 즉

전압이 발생한다. 이러한 원리로 전기뱀장어는 최대 약 800 V의 전압을 발생시킬 수 있다.

- 디지털 소양 키우기
 

**예시 답안** • 제련에 필요한 전력량: 구리 1 t당 1.6 MWh, 알루미늄 1 t당 13.6 MWh, 철 1 t당 550 kWh

• 친환경 에너지 생산량: 신재생 에너지 생산량은 매년 증가하는 추세이며, 2021 년 50657 GWh로 집계되었다. 이는 알루미늄 약 370만 t을 생산할 수 있는 에너지로 친환경 에너지를 이용한 금속 제련이 가능할 것으로 예상된다.

**대단원 마무리** 70 쪽~73 쪽

- ① 산화수 ② 증가 ③ 감소 ④ 전해질
  - ⑤ 이온화 경향 ⑥ 화학 ⑦ 산화
  - ⑧ 환원 ⑨ 환원 ⑩ 산화
- 
- 01** ③ **02** (1) 해설 참조 (2) (가) SO<sub>2</sub>, (나) SO<sub>2</sub>
  - 03** ⑤ **04** ⑤ **05** ② **06** 해설 참조 **07** ④
  - 08** (1)  $2H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2H_2O(l)$  (2) 해설 참조
  - 09** ㉠ Cu(s), ㉡ H<sub>2</sub>(g) **10** (1) X < Cu < Y (2) 증가한다.
  - 11** 해설 참조
  - 과학 글쓰기**
  - 12** (1) 해설 참조 (2) 해설 참조

- 01** (다)에서는 산화수가 달라지는 원자가 없으므로 (다)는 산화·환원 반응이 아니다.
- 02** (1) **예시 답안** 황(S) 원자의 산화수는 (가)에서는 +4에서 +6으로 증가하고, (나)에서는 +4에서 0으로 감소한다. (2) (가)에서 이산화 황이 염소와 반응할 때는 환원제로 작용하지만, (나)에서와 같이 황화 수소와 반응할 때는 산화제로 작용한다.
- 03** 반쪽 반응식에 원자 수와 전하량을 맞추어 쓰면 다음과 같다.
  - 산화:  $Cu \longrightarrow Cu^{2+} + 2e^-$
  - 환원:  $2H^+ + NO_3^- + e^- \longrightarrow NO_2 + H_2O$
 산화 반응과 환원 반응에서 이동한 전자 수를 같게 하

기 위해 환원 반응의 계수에 모두 2를 곱한 후 더하면 전체 반응식은 다음과 같다.



따라서 모든 반응 계수의 합은 12이다.

- 04** ① 충전하여 재사용이 가능한 것은 이차 전지이다.  
 ② 납축전지는 최초의 이차 전지로 큰 전기 에너지를 얻을 수 있어서 자동차의 전원으로 사용된다.  
 ③ 수은 전지는 단추형 전지로 일차 전지이다. 연료를 공급하여 전기 에너지를 생산하는 것은 연료 전지이다.  
 ④ 망가니즈 건전지는 충전이 불가능한 일차 전지이다.
- 05** ① 금속판 A에서는  $\text{A}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{A}(\text{s})$ 의 환원 반응이 일어난다.  
 ② 전자가 금속판 B에서 금속판 A로 이동하므로 금속 B의 이온화 경향이 더 크다.  
 ③ 반응이 진행될수록  $\text{A}^{2+}(\text{aq})$ 의 수가 점차 감소한다.  
 ④ 금속판 B에서는  $\text{B}(\text{s}) \longrightarrow \text{B}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^-$  반응이 일어나므로 금속판 B의 질량은 점차 감소한다.  
 ⑤ 반응이 진행되면  $\text{A}^{2+}(\text{aq})$ 의 수는 감소하고  $\text{B}^{2+}(\text{aq})$ 의 수는 증가하지만 염다리 속 이온이 이동하여 전하 균형이 유지된다.
- 06** **예시 답안** (+)극에서 발생한 수소 기체가 금속판 표면에 달라붙어 수소 이온의 환원을 방해하므로 전압이 떨어지는 현상이 나타난다. 이 현상을 분극 현상이라고 한다.
- 07** ㄱ. 표준 환원 전위가 작을수록 산화가 잘되는 금속이므로 이온화 경향이 크다. 따라서 금속의 이온화 경향은  $\text{B} > \text{Cu} > \text{A}$ 이다.  
 ㄴ. X가 A이면 구리 전극에서는 산화 반응이 일어나고 A(s) 전극에서는 환원 반응이 일어나므로 구리 전극이 (-)극이다.  
 ㄷ. X가 B이면 구리 전극에서는 환원 반응이 일어나고 B(s) 전극에서는 산화 반응이 일어나므로 산화되는 B(s)의 질량은 점차 감소한다.
- 08** (1) 제시된 두 반쪽 반응을 더하여 하나의 반응식으로 만든 다음 계수를 간단한 정수로 나타내면 다음과 같다.  

$$2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$$
  
 (2) 표준 전지 전위는 환원 반응이 일어나는 반쪽 전지

의 표준 환원 전위에서 산화 반응이 일어나는 반쪽 전지의 표준 환원 전위를 뺀 값이다.

$$E^\circ_{\text{전지}} = E^\circ_{\text{환원 전극}} - E^\circ_{\text{산화 전극}}$$

**예시 답안** 반쪽 전지의 반응식에서 (-)극에서 수소 기체가 산화되고 (+)극에서 산소 기체가 환원되므로

$E^\circ_{\text{환원 전극}} = 1.23 \text{ V}$ 이고,  $E^\circ_{\text{산화 전극}} = 0.00 \text{ V}$ 이다. 따라서 수소 연료 전지의 표준 전지 전위는 다음과 같다.

$$E^\circ_{\text{전지}} = 1.23 \text{ V} - 0.00 \text{ V} = 1.23 \text{ V}$$

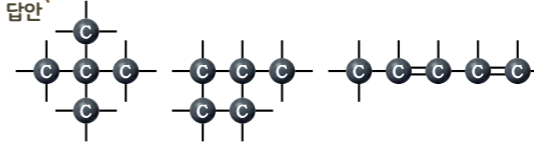
- 09** 전기 분해가 진행될 때 (+)극에서 산화 반응이, (-)극에서 환원 반응이 일어난다. 따라서  $\text{CuCl}_2(\text{aq})$ 을 전기 분해 할 때 (+)극에서  $2\text{Cl}^-(\text{aq}) \longrightarrow \text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{e}^-$ 의 산화 반응이, (-)극에서는  $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Cu}(\text{s})$ 의 환원 반응이 일어난다. 한편 표준 환원 전위는  $\text{H}_2\text{O}(\text{l}) > \text{Na}^+(\text{aq})$ 이므로  $\text{NaCl}(\text{aq})$ 을 전기 분해 할 때 (-)극에서  $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 이 환원되어  $\text{H}_2(\text{g})$ 가 생성된다.
- 10** (1) 정제 과정에서  $\text{X}^{2+}(\text{aq})$ 은 환원되지 않았으므로  $\text{X}^{2+}(\text{aq})$ 의 표준 환원 전위는  $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ 의 표준 환원 전위  $+0.34 \text{ V}$ 보다 작다. Y는 구리보다 산화되기 어려워 금속 상태로 가라앉는다. 따라서 Y 이온의 표준 환원 전위는  $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ 의 표준 환원 전위  $+0.34 \text{ V}$ 보다 크다.  
 (2) (-)극에서는  $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Cu}(\text{s})$ 의 반응이 일어나므로 (-)극인 구리판의 질량이 점점 증가한다.
- 11** **예시 답안** 바이타민 C는 산화되고, 활성 산소는 환원된다. 바이타민 C는 전자를 잘 내놓는 특성이 있으므로 전자를 잃고 산화되며, 활성 산소는 전자를 얻어 환원되어 안정한 물질이 된다.
- 12** (1) **예시 답안** 리튬 이온 전지는 전기차 핵심 동력으로 활용되고 있으나 외부 충격 등에 의한 화재 위험이 결정적 단점으로 꼽힌다. 따라서 화재 위험성을 없애 안정성을 확보하고, 오래 쓸 수 있는 에너지 밀도가 큰 전고체 전지를 개발하게 되었다.  
 (2) **예시 답안** 전고체 전지는 물리적 충격에 비교적 안전하고 고체 전해질을 사용하기 때문에 자동차 추돌 사고 등으로 인한 차량 화재 사고를 예방할 수 있다. 또 에너지 밀도가 높아 전지 용량이 크므로 주행 거리가 늘어난다는 장점이 있다. 그러나 주요 소재의 가격이 비싸므로 상용화하려면 저렴한 비용으로 얻을 수 있는 소재를 개발해야 한다.

### 탄소 화합물과 반응

#### 01 탄소 화합물의 종류

**79 쪽** 물음

**예시 답안**



탄소 원자끼리 공유 결합을 반복해 사슬이나 고리 형태 등 다양한 구조를 이루고, 탄소와 탄소 사이에 단일 결합, 이중 결합, 삼중 결합을 형성하므로 다양한 구조의 탄소 화합물이 존재한다.

**80 쪽** **확인하기**

- 1 탄소 화합물, 4  
 2 메테인, 액화 석유 가스(LPG)

**86 쪽** 물음

폼산은 작용기  $-\text{CHO}$ 와  $-\text{COOH}$ 를 모두 갖고 있으므로 알데하이드와 카복실산의 성질을 모두 나타낸다.

**87 쪽** **확인하기**

- 1 알코올, 알데하이드  
 2 수소, 산성

#### 소단원 마무리

◦ 창의력 키우기

**예시 답안** 영양소인 탄수화물을 섭취하면 작용기  $-\text{OH}$ 를 여러 개 갖는 포도당으로 분해되어 물에 잘 녹으므로 혈액에 녹아 체내에 흡수되어 우리 몸에서 다양하게 이용된다.

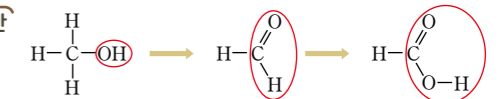
◦ 디지털 소양 키우기

**도움말** 입고 있는 옷이나 사용하는 도구의 성분을 조사해 탄소가 포함되어 있음을 알고 모두 탄소 화합물임을 깨닫는 영상을 촬영해 공유할 수 있다.

#### 02 탄소 화합물의 화학 반응

**88 쪽** **자료 읽기**

**예시 답안**



작용기  $-\text{OH}$ 를 갖는 메탄올이 산화되어 작용기  $-\text{CHO}$ 를 갖는 폼알데하이드가 되면 다른 물질을 환원시키는 성질이 생긴다. 이 폼알데하이드가 산화되어 작용기  $-\text{COOH}$ 를 갖는 폼산이 되면 산성을 나타낸다.

**89 쪽** **확인하기**

- 1 아세트알데하이드, 아세트산  
 2 작용기

#### 소단원 마무리

◦ 창의력 키우기

**예시 답안**

- 100 mL 비커에 질산 은 수용액 30 mL를 넣고 진한 암모니아수를 한 방울씩 가한다. 이때 갈색 앙금이 생기면 흔들어 주면서 앙금이 모두 녹을 때까지 가한다.
- ①의 비커에 수산화 칼륨 수용액 12 mL를 가한다.
- 원하는 모양의 틀에 포도당 수용액 12 mL를 넣는다.
- ②의 비커에서 만든 용액을 ③의 틀에 채우고 가열 교반기를 이용해 높은 온도에서 썬는다.

**도움말** 용액의 양이 많으므로 균일하게 혼합하기 위해 가열 교반기를 이용하고, 반드시 환기가 잘되는 곳에서 실험해야 한다.

◦ 디지털 소양 키우기

**예시 답안** 전자식 음주 측정기는 날숨으로 나온 알코올이 측정기 내의 백금 전극에 닿아 산화하여 아세트산이 될 때 발생하는 전류의 크기를 측정한다. 이때 날숨으로 알코올이 많이 나오면 생성되는 아세트산의 양이 많아지고, 발생하는 전류가 커지므로 기준치 이상의 전류가 흐르는지를 측정해 음주 여부를 판단한다.

**도움말** 날숨에 포함된 알코올이 산화되어 생성된 알데하이드가 다른 물질을 환원시키는 정도를 판단하여 날숨에 포함된 알코올의 양을 측정하는 음주 측정기도 있다.

03 다양한 고분자 화합물

93 쪽 **확인하기**

- 1 단위체
- 2 첨가
- 3 축합

95 쪽 **확인하기**

- 1 아미노산, 뉴클레오타이드
- 2 축합

96 쪽 **물음**

**예시 답안** 포장지의 원료는 폴리(염화 바이닐)이다. 폴리(염화 바이닐)의 단위체는 염화 바이닐  $\begin{matrix} \text{H} & \text{Cl} \\ | & | \\ \text{C} = \text{C} \\ | & | \\ \text{H} & \text{H} \end{matrix}$  이고, 첨가 중합 반응으로 합성된다.

97 쪽 **확인하기**

- 1 에틸렌(에텐)
- 2 축합

**소단원 마무리** 97 쪽

◦ 창의력 키우기

**예시 답안** ‘폴리(poly)’의 어원은 그리스어로 ‘많은’ 또는 ‘풍부한’을 의미한다. 흔히 동일한 것 여러 개가 합쳐져서 많을 때 접두사로 사용하므로 고분자의 이름에 많이 들어 간다.

◦ 디지털 소양 키우기

**도움말** 모둠 내에서 2 명씩 짝을 이뤄 두 손을 마주 잡고 있다가 모듬원 전부가 한 손씩 잡고 한 줄로 나란히 서는 장면을 찍어 공유할 수 있다.

04 탄소 화합물의 유용성

99 쪽 **확인하기**

- 1 ○
- 2 나일론

**소단원 마무리** 103 쪽

◦ 창의력 키우기

**예시 답안** 사용 후 비료로 이용할 수 있는 플라스틱을 만들어 플라스틱으로 인해 발생하는 환경 오염을 줄이고 토지를 기름지게 하겠다.

◦ 디지털 소양 키우기

**도움말** 나일론 합성 실험, 아스피린 합성 실험 등의 영상을 찾아 공유할 수 있다.

**대단원 마무리** 106 쪽~109 쪽

- |        |        |       |          |
|--------|--------|-------|----------|
| 1 탄소   | 2 탄화수소 | 3 알코올 | 4 -CHO   |
| 5 카복실산 | 6 작용기  | 7 고분자 | 8 탄소 화합물 |

- |          |          |      |          |
|----------|----------|------|----------|
| 01 ④     | 02 ⑤     | 03 ⑤ | 04 해설 참조 |
| 05 ①     | 06 해설 참조 | 07 ③ | 08 ②     |
| 09 해설 참조 | 10 ⑤     | 11 ④ | 12 해설 참조 |

**과학 글쓰기**

- 13 (1) 해설 참조 (2) 해설 참조

- 01 ㄱ. 탄소는 원자가 전자가 4 개이다.  
 ㄴ. 탄소는 원자가 전자가 4 개로 최대 4 개의 공유 결합이 가능해 여러 가지 원자와 결합하여 다양한 화합물을 만들 수 있다.  
 ㄷ. 탄소 원자끼리 공유 결합을 하여 사슬이나 고리 구조를 이루고, 탄소와 탄소 사이에 이중 결합이나 삼중 결합을 형성하는 등 여러 가지 형태의 결합을 형성할 수 있다.
- 02 에타인은 탄소와 탄소 사이에 삼중 결합이 있는 무색무취의 기체로 금속의 용접 및 절단 등에 사용한다.
- 03 ㄱ. (가)는 메테인으로 액화 천연 가스(LNG)의 주성분이다.  
 ㄴ. (나)는 에탄올로 물에 잘 녹는다.  
 ㄷ. (다)는 아세트산으로 물에 잘 녹고, 수용액에서 이온화하여 수소 이온을 내놓으므로 산성을 나타낸다.

- 04 (가)와 (라)는 각각 메탄올과 프로판올로 알코올이고, (나)와 (다)는 각각 아세트산과 폼산으로 카복실산이다.  
**예시 답안** (가)와 (라), (나)와 (다) 메탄올과 프로판올은 작용기 -OH를 갖는 알코올이므로 성질이 비슷하고, 아세트산과 폼산은 작용기 -COOH를 갖는 카복실산이므로 성질이 비슷하기 때문이다.
- 05 포도당이 발효되면 에탄올이 된다. 에탄올이 산화되면 아세트알데하이드를 거쳐 아세트산이 된다. (가)는 에탄올(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH)로 무색의 액체이며 살균 효과가 있고, (나)는 아세트알데하이드(CH<sub>3</sub>CHO)로 쉽게 산화되므로 다른 물질을 환원시키는 성질이 있다.
- 06 아세트알데하이드가 쉽게 산화되는 성질, 아세트산이 산성을 나타내는 성질 등을 이용한다.  
**예시 답안** 지시약을 이용해 시약병에 들어 있는 물질의 액성을 판단한다. 액성이 중성이면 아세트알데하이드이고, 산성이면 아세트산이다. 또 질산 은에 암모니아수를 가한 용액에 시약병에 들어 있는 물질과 수산화칼륨 수용액을 넣고 반응시켜 본다. 은 이온이 환원되어 은거울 반응이 일어나면 아세트알데하이드이고, 은거울 반응이 일어나지 않으면 아세트산이다.
- 07 ㄱ, ㄴ. 단위체 (가)와 (나)는 아미노산이고, 아미노산이 중합 반응 하여 만들어진 고분자 (다)는 단백질이다.  
 ㄷ. 아미노산은 축합 중합 반응으로 단백질을 생성한다.
- 08 ㄱ. DNA의 단위체는 뉴클레오타이드이다.  
 ㄴ. 고무는 천연고무, 합성 고무가 모두 존재한다.  
 ㄷ. 폴리(에틸렌 테레프탈레이트)는 간단한 분자가 떨어져 나가면서 연결되는 축합 중합 반응으로 만들어진 고분자이다.
- 09 폴리에틸렌의 단위체는 에틸렌(에텐)이고, 단위체가 첨가 중합 반응으로 결합하여 합성된다.  
**예시 답안**  $\begin{matrix} \text{H} & \text{H} \\ | & | \\ \text{C} = \text{C} \\ | & | \\ \text{H} & \text{H} \end{matrix}$  (에틸렌(에텐)), 단위체인 에틸렌(에텐)이 첨가 중합 반응으로 결합하여 합성된다.

- 10 ㄱ. (가)인 네오프렌은 첨가 중합 반응으로 생성된 합성 고무이다.  
 ㄴ. (나)인 폴리(에틸렌 테레프탈레이트)는 생성될 때 간단한 분자가 떨어져 나가는 축합 중합 반응을 한다.  
 ㄷ. 폴리(에틸렌 테레프탈레이트)는 음료수병과 일회용 컵을 만들 때 쓰인다.
- 11 ㄱ. 의약품은 사람들의 병을 치료해 평균 수명을 증가시켰다.  
 ㄴ. 산업 혁명 이후 섬유 수요가 급격히 증가하였으나 천연 섬유는 대량 생산이 어려워 합성 섬유가 만들어지게 되었고, 합성 섬유의 개발은 과학·기술·사회 전반에 큰 영향을 끼쳤다.  
 ㄷ. 플라스틱의 개발로 다양한 물건을 저렴하게 사용할 수 있게 되었다.
- 12 최초의 합성 섬유인 나일론은 비단처럼 가볍고 부드럽지만, 질기고 신축성이 뛰어나 비단을 대신해 다양하게 이용되었고 과학·기술·사회 전반에 큰 영향을 끼쳤다.  
**예시 답안** 나일론은 천연 섬유인 비단을 대신해 사용되었는데 제2 차 세계 대전에서 낙하산으로 쓰였고, 나일론 스타킹은 큰 인기로 사람들의 옷차림을 변화시켰다. 또 다양한 합성 섬유가 개발되는 계기가 되었고 각종 산업에 응용되어 신소재 개발을 촉진하고 있다.
- 13 (1) 고분자 자일란은 단위체인 자일로스의 축합 중합 반응으로 합성된다.  
**예시 답안** 자일로스, 단위체인 자일로스의 축합 중합 반응으로 합성된다.  
 (2) 자일로스의 작용기 -CHO가 -OH로 변해 자일리톨이 된다.  
**예시 답안** 자일로스 분자의 끝부분의 작용기 -CHO가 -OH로 변해 자일리톨이 되는데, 화학 반응으로 탄소 화합물의 작용기가 변하면 성질이 변하므로 자일로스가 자일리톨로 변할 때 성질이 변한다.

## 찾아보기

### ㄱ

강산	10
강염기	10
고무	97
고분자	92
광합성	64
글리세롤	84

### ㄴ

나일론	98
납축전지	48
네오프렌	97
뉴클레오타이드	95
니켈·금속 수소화물 전지	49

### ㄷ

다니엘 전지	53
단백질	94
단위체	92
단추형 전지	48
도금	60

### ㄹ

리튬 이온 전지	49
----------	----

### ㄴ

망가니즈 건전지	48
메탄올	84
메테인	80
미생물 연료 전지	65

### ㄷ

반쪽 반응식	44
반쪽 전지	53
불타	46
불타 전지	47, 52
분극 현상	53
뷰테인	80
브린스테드·라우리 산	8
브린스테드·라우리 염기	8

### ㄷ

산	8
산의 이온화 상수	11
산화	38, 42
산화수	40
산화제	43
새집 증후군	85
세포 호흡	64
수소 연료 전지	48, 64

### ㅇ

아미노산	94
아세트산	86
아세트알데하이드	85
아이소프렌	97
알데하이드	85

### ㅇ

알코올	84
약산	10
약염기	10
양성자	8
양쪽성 물질	9
에타인(아세틸렌)	80

### ㅇ

에탄올	84
에텐(에틸렌)	80
에틸렌 글리콜	84
연료 전지	48
염	20
염기	8

### ㅇ

염기의 이온화 상수	11
염다리	53
염의 가수 분해	22
완충 용액	24
완충 작용	26
이온화 경향	51

### ㅇ

이차 전지	48
일차 전지	48
작용기	81

전고체 전지	49
전기 분해	58
전위차	54
정제	62
중합 반응	93
중화 적정 곡선	18
짝산·짝염기 쌍	9

### ㅊ

천연고무	97
첨가 중합 반응	93
축합 중합 반응	93

### ㅋ

카복실산	86
------	----

### ㄷ

탄소 화합물	78
탄화수소	80

### ㅍ

폴리(에틸렌 테레프탈레이트)	96
폴리에틸렌	96
폼산	86
폼알데하이드	85
표준 상태	54
표준 수소 전극	54
표준 전지 전위	54
표준 환원 전위	54
프로페인	80
플라스틱	96
pH	13

### ㅎ

합성 고무	97
핵산	95
호프만	99
화학 전지	46, 52
환원	38, 42
환원제	43

## 자료 출처

### I 산염기 평형

- ▶ 6 쪽~7 쪽(배경 이미지), 28 쪽(높은 산), 29 쪽(화장품 1, 2), 34 쪽(바다 달팽이): 게티이미지코리아
- ▶ 11 쪽(몇 가지 약산의 이온화 상수(25 °C)): Rumble 외, 『CRC Handbook of Chemistry and Physics(105th ed.)』, CRC Press, 2024
- ▶ 34 쪽(조개), 35 쪽(자료 배경, 바다 달팽이와 조개): 셔터스톡

### II 산화·환원 반응

- ▶ 36 쪽~37 쪽(반딧불이), 38 쪽(용광로), 41 쪽(크로뮴 화합물 수용액의 색), 42 쪽(메테인 연소), 47 쪽(불타 전지), 48 쪽(자동차, 납축전지, 손전등, 손목시계), 49 쪽(카메라, 니켈·금속 수소화물 전지, 스마트폰), 61 쪽(금도금 사과, 통조림 캔, 수도꼭지), 62 쪽(폐수 처리, 수소 제조), 66 쪽(전지 이미지 1, 2), 68 쪽(브로콜리, 마늘, 굴, 포도), 69 쪽(전지 연구원), 74 쪽(리튬 광산): 셔터스톡
- ▶ 38 쪽(고려청자): 국립중앙박물관
- ▶ 48 쪽(수소 연료 전지): 미국 항공 우주국(NASA)
- ▶ 50 쪽(천마총 목걸이): 국가유산청
- ▶ 54 쪽(표준 환원 전위): Rumble 외, 『CRC Handbook of Chemistry and Physics(105th ed.)』, CRC Press, 2024

### III 탄소 화합물과 반응

- ▶ 76 쪽~77 쪽(배경 이미지), 78 쪽(색연필, 종이, 지우개), 80 쪽(가스레인지, LPG 주유소, 바나나, 용접하는 모습), 85 쪽(향수와 꽃), 86 쪽(깨미, 식초), 88 쪽(매실청), 94 쪽(스테이크), 96 쪽(비닐 속 과일, 음료수병), 97 쪽(침대, 매트리스, 잠수부), 98 쪽(낙하산, 스타킹, 나일론으로 만든 옷), 105 쪽(축구 선수, 인공 위성, 노트북), 110 쪽(모자, 가방): 셔터스톡

### 부록

- ▶ 4 쪽(전지), 5 쪽(낙하산): 셔터스톡
- ▶ 113 쪽(단위와 기본 상수): 한국표준과학연구원, 『국제단위계(제9 판)』, 한국표준과학연구원, 2019  
Rumble 외, 『CRC Handbook of Chemistry and Physics(105th ed.)』, CRC Press, 2024
- ▶ 118 쪽~119 쪽(GHS 그림 문자): 한국산업안전공단

- ▶ 118 쪽~119 쪽(주요 시약별 주의 사항): 한국산업안전보건공단 화학물질정보, <https://msds.kosha.or.kr>  
교육부, 『학교 화학 약품 안전 관리 매뉴얼(중등용)』, 한국과학창의재단, 2016
- ▶ 120 쪽(산의 이온화 상수, 표준 환원 전위): Rumble 외, 『CRC Handbook of Chemistry and Physics(105th ed.)』, CRC Press, 2024  
Huheey 외, 『Inorganic Chemistry(4th ed.)』, Harper Collins College Publishers, 1997
- ▶ 122 쪽~123 쪽(주기율표): 대한화학회, <https://new.kcsnet.or.kr>

✧ 집필진의 직접 집필인 경우 출처를 밝히지 않았음.  
✧ 출처 표시를 안 한 사진 및 삽화 등은 저작자 및 발행사에서 저작권을 가지고 있는 경우임.

### URL 목록

- 29 쪽(커리어넷): <https://www.career.go.kr>
- 69 쪽(커리어넷): <https://www.career.go.kr>
- 105 쪽(커리어넷): <https://www.career.go.kr>

### 연구 위원

정대홍(서울 서울대학교)\*

성숙경(서울 창덕여자고등학교)

\* 대표 연구 위원

### 집필 위원

정대홍(서울 서울대학교)\*

성숙경(서울 창덕여자고등학교)

김혜경(서울 당곡고등학교)

박수연(서울 성수고등학교)

이지아(서울 세종과학고등학교)

장혜진(강원 강원대학교)

조민진(서울 은평고등학교)

\* 대표 집필 위원

### 심의 기관

전북특별자치도교육청

### 심의 위원

개발 책임	하남규
편집	오진경 정종례 배태량 박수아
디자인 책임	손현지
디자인	김기욱 장병진 원유희 (주)THE-D
삽화	kimu(키무) 글로우노트(김고운) 김지애 김진호 박양수 신혜진 조성호 디자인앤 모먼트시리즈
사진 촬영	필름피아
실험 기자재 협조	세원과학사

교육부장관의 위임을 받아 전북특별자치도교육감이 2024년 0월 00일 인정 승인을 하였음.

## 고등학교 화학 반응의 세계

초판 발행	2025. 3. 1.	정가	원
지은이	정대홍 외 6인		
발행인	(주)미래엔(서울특별시 서초구 신반포로 321)		
인쇄인	(주)미래엔(서울특별시 서초구 신반포로 321)		

이 교과서의 본문 용지는 우수 재활용 제품 인증을 받은 재활용 종이를 사용하였습니다.

교과서에 대한 문의 사항이나 의견이 있으신 분은 '교과서민원바로처리센터 (전화 1566-8572, [www.textbook114.com](http://www.textbook114.com) 또는 [www.교과서114.com](http://www.교과서114.com))'에 문의하여 주시기 바랍니다.

이 도서에 게재된 저작물에 대한 보상은 문화체육관광부 장관이 정하는 기준에 의거  
사단법인 한국문학예술저작권협회(전화 02-2608-2800, [www.kolaa.kr](http://www.kolaa.kr))에서 저작재산권자에게 지급합니다.

내용 관련 문의	(주)미래엔 과학팀 전화 1800-8890 전송 02-541-8150
개별 구입 문의	<a href="mailto:mall.mirae-n.com">mall.mirae-n.com</a> (미래엔 도서몰) 전화 1800-8890