

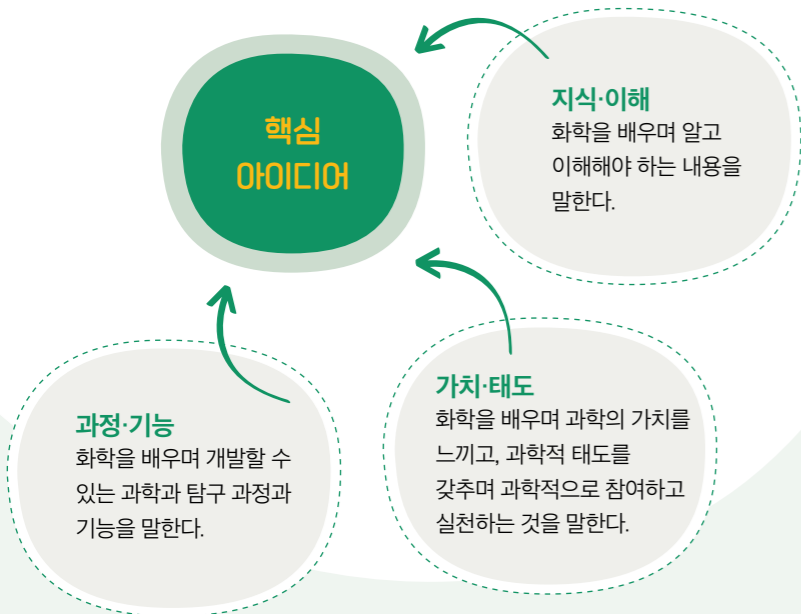
고등학교

화학

정대홍
성숙경
김혜경
박수연
이지아
장혜진
조민진



화학 교과서로 다양한 활동과 탐구를 중심으로 학습하면서
 지식·이해, 과정·기능, 가치·태도의 세 차원을 상호 보완적으로 기르고,
 단원별 핵심 아이디어에 도달할 수 있다.



『화학』 교과서는 2022 개정 교육과정에 따라 화학의 기초를 학습하고, 학생들이 살아가는 데 필요한 핵심 역량을 함양하도록 구성되어 있다. 학생들은 이 교과서를 통해 자연 현상과 물질에 흥미와 호기심을 가지고, 과학 탐구를 하면서 주변 현상을 이해하는 경험을 할 수 있다. 이러한 경험을 통해 지식·이해, 과정·기능, 가치·태도의 세 차원을 상호 보완적으로 키움으로써 ‘화학의 언어’, ‘물질의 구조와 성질’, ‘화학 평형’, ‘역동적인 화학 반응’ 단원의 핵심 아이디어에 도달할 수 있다.

‘화학의 언어’ 단원에서는 화학의 유용성과 화학 학습의 기초에 해당하는 내용을 알아보고, 화학 반응에 참여하는 물질의 양을 나타내는 단위인 ‘몰’이 과학·공학·의학 등에서 표준화된 소통의 도구로 활용됨을 이해한다.

‘물질의 구조와 성질’ 단원에서는 분자 구조를 바탕으로 하여 물질의 물리적, 화학적 성질을 이해하고, 분자의 구조와 성질이 과학·기술·사회에서 유용하게 활용됨을 인식한다.

‘화학 평형’ 단원에서는 가역 반응이 평형에 도달하게 되는 것은 생명 현상을 이해하는 핵심 원리이며, 산업에서 중요하게 이용되는 원리임을 이해한다.

‘역동적인 화학 반응’ 단원에서는 pH 개념과 산과 염기가 반응할 때의 양적 관계를 알아보고, 이를 활용하여 지속가능한 삶을 실천할 수 있음을 이해한다.

화학을 학습하면 화학 원리가 인간의 삶에 주는 영향을 이해할 수 있으며, 이러한 이해를 통해 학생들은 일상생활의 다양한 문제를 과학적으로 인식하고 해결하려는 태도를 기를 수 있다. 더 나아가 학생들이 과학·기술·사회의 상호 관계를 이해하고, 이를 바탕으로 하여 개인과 사회의 문제를 해결하는 데 참여하고 실천할 수 있는 역량을 갖추게 되기를 기대한다.

이 책의 구성과 특징



대단원 시작 학습

I 화학의 언어

1 생활 속 화학과 물질의 양
2 화학 연산

화학 실험 수업을 할 때는 필요한 실험 용구와 기구(노즐, 눈금기 등)를 사용하여 물질을 양을 어떻게 표현할까?
물질을 양을 나타내는 용어는 질량과 부피이다. 질량을 나타내는 단위는 질량, 부피를 나타내는 단위는 부피이다. 질량과 부피를 나타내는 단위를 사용하여 물질을 양을 표현할 수 있다.

화학 실험 용구와 기구(노즐, 눈금기 등)를 사용하여 물질을 양을 어떻게 표현할까?
물질을 양을 나타내는 단위는 질량과 부피이다. 질량을 나타내는 단위는 질량, 부피를 나타내는 단위는 부피이다. 질량과 부피를 나타내는 단위를 사용하여 물질을 양을 표현할 수 있다.

대단원 도입
대단원에서 배운 내용과 핵심 아이디어를 한눈에 파악하고, 단원을 학습하면서 포트폴리오로 만들 수 있는 활동을 확인할 수 있다.

본문 개념 학습

1 화학 결합

이 단원의 학습 목표는 화학 결합의 종류와 특성을 이해하고, 화학 결합의 종류에 따라 물질의 성질을 설명할 수 있다.

1. 이온 결합
2. 공유 결합
3. 금속 결합

이 단원의 학습 목표는 화학 결합의 종류와 특성을 이해하고, 화학 결합의 종류에 따라 물질의 성질을 설명할 수 있다.

01 기억 반응과 화학 평형

기억 반응의 특성을 이해하고, 화학 평형의 개념을 설명할 수 있다.

1. 기억 반응의 특성
2. 화학 평형의 개념

02 pH

pH의 개념을 이해하고, pH를 측정하는 방법을 설명할 수 있다.

1. pH의 개념
2. pH 측정 방법

탐구

다양한 물질의 용해도 실험을 통해, 용해도를 설명할 수 있다.

1. 용해도의 개념
2. 용해도 실험

평가

본 단원의 학습 내용을 평가하고, 학습 목표를 달성했는지 스스로 평가할 수 있다.

1. 학습 목표 달성도 평가
2. 학습 내용 평가



중단원 도입
이전에 배운 내용을 확인하고, 중단원에서 학습할 지식·이해, 과정·기능, 가치·태도를 파악하여 학습 목표를 스스로 세울 수 있다.

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

대단원 마무리

본 단원의 학습 내용을 정리하고, 중단원의 학습 목표를 달성했는지 스스로 평가할 수 있다.

1. 학습 목표 달성도 평가
2. 학습 내용 평가

대단원 마무리
단원에서 배운 내용을 한눈에 알아보게 정리하고, 다양한 문제를 풀어 학습한 정도를 파악하며, 과학 역량 키우기를 통해 과학적으로 사고할 수 있다.

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

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

읽을거리

다양한 분야의 읽을거리를 통해 과학 학습에 흥미를 가질 수 있다.

1. 직업과 과학
2. 생활 속 과학

대단원 마무리 학습

본 단원의 학습 내용을 정리하고, 중단원의 학습 목표를 달성했는지 스스로 평가할 수 있다.

1. 학습 목표 달성도 평가
2. 학습 내용 평가

화학 반응식 우주선 발로 보자

화학 반응식을 우주선 발사에 적용하여, 화학 반응의 원리를 이해할 수 있다.

1. 화학 반응식의 종류
2. 우주선 발사

화학 반응식 우주선 발로 보자

화학 반응식을 우주선 발사에 적용하여, 화학 반응의 원리를 이해할 수 있다.

1. 화학 반응식의 종류
2. 우주선 발사

새롭게 출현한 아보카도수

새롭게 출현한 아보카도수의 특성을 이해하고, 아보카도수의 생장 환경을 설명할 수 있다.

1. 아보카도수의 특성
2. 아보카도수의 생장 환경

평가

본 단원의 학습 내용을 평가하고, 학습 목표를 달성했는지 스스로 평가할 수 있다.

1. 학습 목표 달성도 평가
2. 학습 내용 평가

화학 반응식 우주선 발로 보자

화학 반응식을 우주선 발사에 적용하여, 화학 반응의 원리를 이해할 수 있다.

1. 화학 반응식의 종류
2. 우주선 발사

중단원 마무리 학습

본 단원의 학습 내용을 정리하고, 중단원의 학습 목표를 달성했는지 스스로 평가할 수 있다.

1. 학습 목표 달성도 평가
2. 학습 내용 평가





I 화학의 언어

1 생활 속 화학과 물질의 양

01 화학과 현대 과학·기술·사회	13
02 물과 물질의 양	18
● 최신 과학 이야기	26
● 중단원 마무리	27

2 화학 반응식

01 화학 반응식의 의미	31
02 화학 반응의 양적 관계	36
● 화학과 나의 미래	40
● 중단원 마무리	41
대단원 마무리	44
프로젝트	48



II 물질의 구조와 성질

1 화학 결합과 결합의 극성

01 화학 결합의 전기적 성질	53
02 전기음성도와 결합의 극성	58
● 과학자 이야기	64
● 중단원 마무리	65

2 분자의 구조와 성질

01 루이스 전자점식	69
02 전자쌍 반발 이론과 분자 구조	72
03 분자 구조에 따른 물질의 성질	78
● 화학과 나의 미래	84
● 중단원 마무리	85
대단원 마무리	88
프로젝트	92

III 화학 평형

1 화학 평형

01 가역 반응과 화학 평형	97
02 화학 평형과 평형 상수	102
03 화학 반응의 진행 방향 예측	106
● 화학과 나의 미래	108
● 중단원 마무리	109

2 화학 평형 이동

01 농도·압력 변화와 화학 평형 이동	113
02 온도 변화와 화학 평형 이동	120
03 일상생활 속의 화학 평형 이동	124
● 생활 속 과학 이야기	126
● 중단원 마무리	127
대단원 마무리	130
프로젝트	134

IV 역동적인 화학 반응

1 물의 자동 이온화와 pH

01 물의 자동 이온화와 물농도	139
02 pH	144
● 생활 속 과학 이야기	148
● 중단원 마무리	149

2 중화 반응

01 중화 반응의 양적 관계	153
02 중화 적정	158
● 화학과 나의 미래	162
● 중단원 마무리	163
대단원 마무리	166
프로젝트	170
부록	172



실험실 안전 수칙

실험하기 전

- 긴 머리는 단정히 묶는다.
- 실험복, 보안경, 실험용 고무장갑 등 안전 장구를 착용한다.
- 발등을 덮는 신발을 신는다.

실험하는 동안

실험실에서는 항상 선생님의 안내에 따른다.

기계가 발생하는 실험을 할 때는 장문을 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.

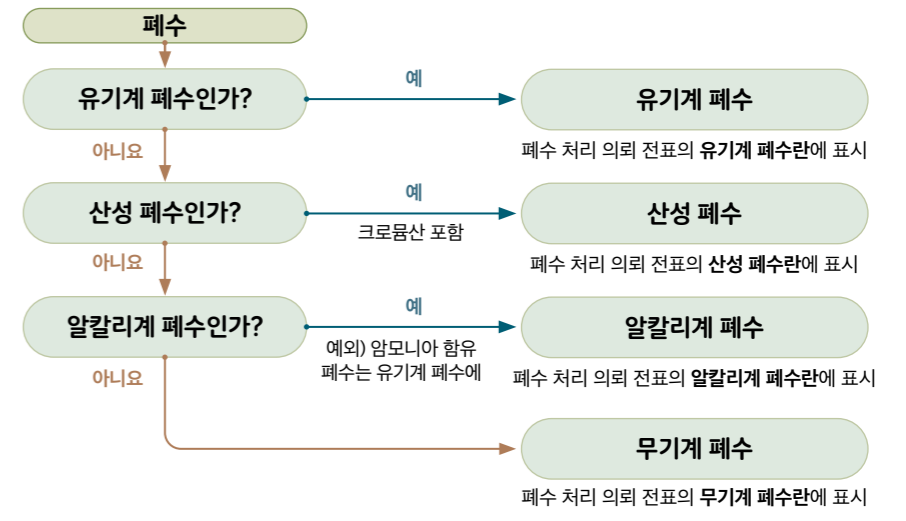
실험 재료를 함부로 맛보거나 냄새를 맡지 않는다.

적은 손으로 전기 기구의 전선이나 콘센트를 만지지 않는다.

실험이 끝난 뒤

- 사용한 화학 약품은 폐수 분류 단계에 따라 분류하여 배출하며, 고체 시약은 고체 폐기물 지정 용기에 배출한다.
- 사용한 실험 기구는 선생님의 안내에 따라 깨끗이 씻는다.
- 실험이 끝나면 반드시 손을 깨끗이 씻는다.

폐수 분류 단계



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.



I

화학의 언어

- 1 생활 속 화학과 물질의 양
- 2 화학 반응식

이 단원의 핵심 아이디어

화학 실험을 수행할 때는 물질의 양을 정확하게 나타내는 것이 중요하다. 화학에서 물질의 양은 어떻게 표현할까?

몰은 화학 반응에 참여하는 물질의 양을 나타내는 표준 단위이다. 이 단원에서 물질의 양을 몰 단위로 나타내고, 몰이 과학·공학·의학 등 화학 반응과 관련된 여러 분야에서 소통의 도구로 활용되고 있음을 알아보자.

포트폴리오

» 이 단원을 학습하면서 나만의 특기를 발휘한 포트폴리오를 만들어 보자.
· 26 쪽 최신 과학 이야기 · 40 쪽 화학과 나의 미래 · 48 쪽~49 쪽 프로젝트

1

생활 속 화학과 물질의 양

01. 화학과 현대 과학·기술·사회

02. 물과 물질의 양



캠핑할 때 사용하는 텐트, 연료 등은 모두 화학과 관련되어 있다. 우리 생활에서 화학과 관련된 또 다른 물건에는 어떤 것이 있을까?

학습할 내용을 알아보고 스스로 학습 계획을 세워 봅시다.

이전 학습 내용

알고 있는 내용에 표 해 보자.

- 원소
- 원자
- 분자
- 화합물

이 단원의 핵심 내용

이 단원에서 배울 핵심 내용을 본문에서 찾아보자.

- 화학과 현대 과학·기술·사회
- 물질량
- 물
- 물과 기체의 부피

이 단원의 학습 목표

지식·이해 화학이 현대 과학·기술·사회에 미친 영향을 알고, 물을 이용해 물질의 양을 표현할 수 있다.

과정·기능 화학이 현대 과학·기술·사회의 발전에 기여한 사례를 조사하고, 물질의 물질량을 탐색할 수 있다.

가치·태도 화학의 유용성을 깨닫고, 물이 물질의 양을 표현하는 유용한 단위임을 인식할 수 있다.

나의 학습 계획

나는 이 단원에서 _____ 을/를 알고 싶다.

01

화학이 현대 과학·기술·사회

- 화학이 인류의 문제를 해결한 사례를 제시할 수 있다.
- 화학이 과학·기술·사회의 발전에 기여한 사례를 설명할 수 있다.
- 화학 관련 일상생활 문제를 인식하고, 이를 과학적으로 해결하려는 태도를 가진다.



“ 우리는 주로 음식으로 영양소를 섭취하지만, 영양제로 부족한 영양소를 보충하기도 한다. 영양제를 만드는 과정에서 화학은 어떤 역할을 할까? ”

화학이 우리 사회의 발전

화학은 물질의 성질과 변화를 연구하고, 우리 생활에 필요한 물질을 만들거나 물질의 새로운 특성을 발견하여 유용한 기술로 활용하는 학문이다.

주변을 둘러보면 많은 것이 화학을 이용해 만들어졌다는 사실을 쉽게 확인할 수 있다. 우리는 합성 섬유로 만든 옷을 입고, 화학 전지로 작동하는 스마트폰을 이용해 다른 사람과 소통하며, 아플 때 합성 의약품의 도움을 받는다. 이러한 화학의 혜택이 없다면 우리의 삶은 지금의 모습과는 다를 것이다.

자료 읽기 화학의 발전이 없었다면 그림 I-1의 모습이 어떻게 달라질지 이야기해 보자.

그림 I-1 화학이 우리 생활



유리, 철근 콘크리트로 만든 건물에서 생활한다.

세탁소에서 세제나 특수 용매로 옷의 오염을 제거한다.

아플 때 화학 반응으로 합성한 의약품으로 복용한다.

합성 섬유로 만든 기능성 옷을 입는다.

연료의 연소 반응으로 작동하는 자동차를 탄다.

화학 전지로 작동하는 스마트 기기를 사용한다.

화학은 우리의 삶을 편하게 할 뿐만 아니라, 인류가 극복해야 할 문제를 해결하고 인류 문명이 발전하는 데에도 큰 영향을 미쳤다.

암모니아의 합성



산업 혁명 이후 인구가 급격히 증가하면서 인류는 식량 부족 문제에 처했는데, 이를 해결한 것은 화학이었다. 20 세기 초 공기 중의 질소를 이용한 암모니아 합성법이 개발되면서 질소 비료를 대량으로 생산하게 되었고, 식량 생산량이 획기적으로 늘어났다. 현재에는 암모니아 합성법으로 생산한 암모니아를 비료나 세정제 등 다양한 물질을 생산하는 원료로 이용하거나, 아이스크림 공장처럼 냉동 장치를 사용하는 곳에서 냉매로 이용한다.



합성 섬유의 개발



인구가 증가하면서 옷을 만드는 섬유의 수요도 늘어났지만, 면이나 비단과 같은 천연 섬유로는 이를 충족하기가 어려웠다. 나일론과 같은 합성 섬유는 천연 섬유와 달리 대량으로 생산할 수 있고 섬유의 수명도 길어서 천연 섬유를 대체해 널리 쓰이게 되었다. 또 방수가 되면서도 땀의 배출이 원활한 섬유, 외부 환경이 변해도 체온 유지를 도와주는 섬유 등 다양한 기능을 갖춘 합성 섬유가 개발되어 운동복, 우주복 등에 사용된다.



철의 제련



철광석을 제련해 철을 생산하는 것은 인류가 2천 년 이상 활용한 화학 반응이다. 특히 18 세기 이후 철을 제련하고 가공하는 기술이 크게 발달하면서 사회에 큰 변화가 일어났다. 철도, 대형 교량, 선박 등이 만들어져 사람과 물자의 이동이 활발해졌다. 또 고층 건물을 지을 수 있게 되면서 인구가 밀집한 대도시에서도 사람들에게 충분한 생활 공간을 제공할 수 있게 되었다.



확인하기

- () 합성법이 개발되면서 인류의 식량 생산량이 늘어났다.
- 최초의 항생제로, 감염병을 치료하는 데 사용한 물질은 무엇인지 써 보자.

항생제와 백신의 개발



과거에는 세균이나 바이러스로 인한 감염병으로 사망하는 사람이 많았다. 그러나 최초의 항생제인 페니실린이 발견된 후, 페니실린의 분자 구조를 변형하여 성능을 개량한 항생제가 대량 생산되면서 수많은 사람의 목숨을 구했다. 또 백신에 사용되는 생체 물질의 구조 일부분을 화학적으로 합성, 변형하여 백신이 인체 내에서 잘 작용하게 만드는 기술은 새로운 감염병에 대응하는 백신을 빠르게 개발하는 데 도움을 주었다.



지속가능한 미래를 만드는 화학

과학기술이 발전하면서 현대 사회의 인류는 이전에 경험하지 못한 편리함을 누리고 있다. 하지만 화석 연료를 과도하게 사용하면서 이산화 탄소 등 온실 가스의 배출량이 크게 증가해 급격한 기후 변화라는 위기를 맞게 되었다. 이러한 문제를 극복하기 위해 화학은 어떤 역할을 하고 있을까?

화학은 화석 연료의 사용을 줄이고 대체 에너지의 사용을 늘려 이산화 탄소 배출을 줄이는 데 기여하고 있다. 예를 들어 대체 에너지 중 하나로 태양 에너지를 이용하는 방법이 있는데, 에너지 효율이 높은 태양 전지 소재를 개발하기 위해서는 화학의 역할이 필수적이다.

대기 중에 방출된 이산화 탄소의 농도를 낮추는 기술인 탄소 포집·활용·저장(CCUS, Carbon Capture·Utilization·Storage) 기술을 발전시키는 데도 화학이 중요한 역할을 한다. 이산화 탄소를 포집해 섬유나 건축 자재 등 유용한 물질을 만들거나, 이산화 탄소가 대기 중으로 빠져나가지 못하도록 땅속 깊이 저장하는 기술에는 이산화 탄소와 관련된 화학 반응이 이용된다.

이처럼 화학은 인류의 지속가능한 미래를 만드는 일에서 핵심적인 역할을 한다.

그림 I-2 지속가능한 미래를 만드는 화학



해보기

화학이 현대 과학·기술·사회의 발전에 기여한 사례 조사하기

1. 모둠별로 다음 분야 중 한 가지를 선택하고, 선택한 분야에서 화학이 인류의 문제를 해결한 사례를 조사해 보자.

준비물 스마트 기기

- 의류
- 식량
- 주거
- 건강
- 환경
- 기타

도움 자료
활동 전에 다음 자료를 먼저 읽어 보자.
• 178 쪽 디지털 리터러시 도움 자료

2. 조사한 사례를 다음 항목에 따라 구체적으로 정리해 보자.

- 화학이 해결한 문제는 무엇인가?
- 화학이 문제 해결에 어떻게 기여했는가?
- 그 후로 사회가 어떻게 발전했는가?

3. 공유 플랫폼을 활용해 모둠에서 공동으로 발표 자료를 만들어 발표해 보자.

4. 다른 모둠의 발표를 들으면서 공유 플랫폼에 질문이나 의견을 남기고, 우리 모둠의 발표 자료를 수정하는 데 도움이 될 내용을 써 보자.



5. 4의 내용을 바탕으로 하여 우리 모둠의 자료를 수정하고, 최종 자료를 공유 플랫폼에 공유해 보자.



확인하기

- 1 에너지 효율이 높은 태양 전지 소재를 개발하는 데 ()이/가 이용된다.
- 2 대기 중에 방출된 ()의 농도를 낮추는 탄소 포집·활용·저장 기술에 화학이 활용된다.

소단원 마무리

창의력 키우기

대기 중의 이산화 탄소를 포집해 활용하는 여러 가지 분야를 찾아보자.

디지털 소양 키우기

화학이 만든 미래 사회는 어떤 모습인지 상상해 간단한 기사를 작성하고, 공유 플랫폼을 활용해 작성한 기사를 공유해 보자.

02

몰과 물질의 양

- 물질의 양을 몰 단위로 표현할 수 있다.
- 다양한 단위를 몰로 환산할 수 있다.
- 물질의 양을 몰 단위로 나타낼 때의 편리성을 인식할 수 있다.

“ 사탕 가게에서 막대 사탕처럼 크기가 큰 사탕은 개수 단위로 팔지만, 크기가 작은 사탕이나 젤리는 무게를 달아서 판다. 원자나 분자처럼 크기가 매우 작은 입자는 어떻게 세는 것이 편리할까? ”



몰과 아보가드로수

일상생활에서 많은 수의 물건을 다룰 때는 묶음 단위를 사용하는 것이 편리하다. 예를 들어 달걀 30 개는 한 판, 연필 12 자루는 한 다스라고 한다. 이러한 묶음 단위를 이용하면 달걀 열 판은 300 개이고, 연필 다섯 다스는 60 자루라는 것을 쉽게 알 수 있다.

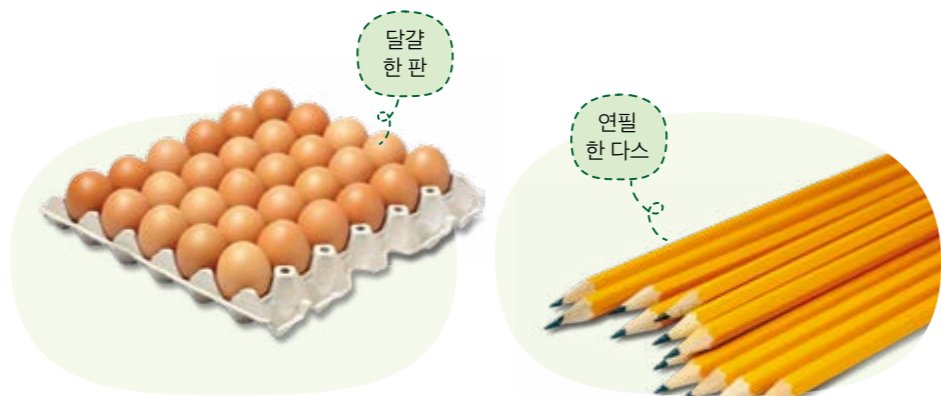


그림 I-3 일상생활에서 사용하는 묶음 단위

원자나 분자처럼 물질을 이루는 입자는 매우 작고 가벼워서, 겉보기에는 물질의 양이 적더라도 그 속에는 셀 수 없을 만큼 많은 입자가 들어 있다. 따라서 원자나 분자의 수를 나타낼 때는 **몰(mole)**이라는 묶음 단위를 사용한다. 몰은 물질의 양을 나타내는 단위로, 기호는 'mol'이라고 쓴다. 1 몰(mol)은 입자 6.02×10^{23} 개를 의미하며 이 수를 **아보가드로수**라고 한다.

아보가드로
(Avogadro, A., 1776~1856)
이탈리아의 과학자. 1811 년에 모든 기체는 같은 온도와 압력에서 같은 부피 속에 존재하는 분자 수가 같다고 주장했다. 후대 과학자들은 1 몰에 들어 있는 입자 수를 측정하여 아보가드로의 주장이 옳다는 것을 증명했고, 1 몰의 입자 수에 '아보가드로수'라고 이름을 붙였다.

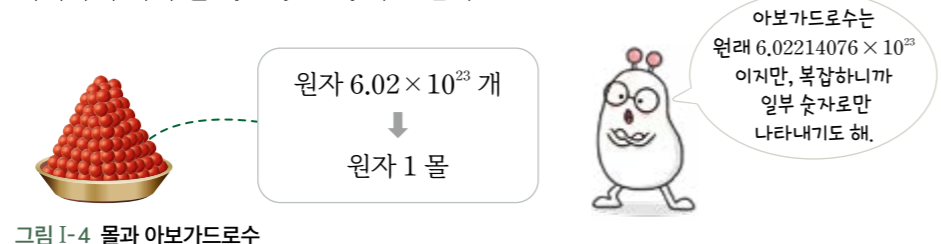


그림 I-4 몰과 아보가드로수

1 몰에 얼마나 많은 수의 입자가 들어 있는지 알아보자.

해보기

1 몰의 개수 체험하기

탐구 능력 | 문제 해결 능력

준비물 동전 모양 초콜릿, 자, 계산기

1. 동전 모양 초콜릿 10 개를 쌓고 높이를 측정해 보자.
 - 높이는 몇 cm인가?
2. 동전 모양 초콜릿 1 개의 두께가 몇 cm인지 계산해 보자.
3. 동전 모양 초콜릿 1 몰을 쌓는다면 그 높이는 몇 km일지 계산해 보자.
4. 모둠별로 1 몰의 개수를 체험할 수 있는 활동을 만들어 발표해 보자.



모든 물질 1 몰에는 그 물질을 구성하는 입자가 6.02×10^{23} 개 들어 있으므로 어떤 물질의 양(mol)을 알면 그 물질을 구성하는 입자 수를 알 수 있다.

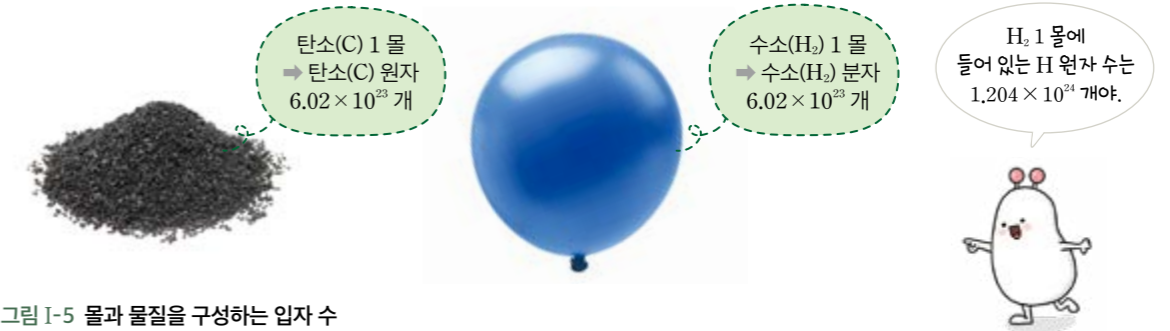


그림 I-5 몰과 물질을 구성하는 입자 수

확인하기

- 1 1 몰은 6.02×10^{23} 개의 입자를 의미하며, 이 수를 ()이라고 한다.
- 2 이산화 탄소(CO_2) 1 몰에 포함된 산소(O) 원자 수를 구해 보자.

물과 물질량

같은 크기의 나사못을 수백 개씩 포장할 때, 나사못 100 개의 질량을 알고 있다면 직접 세는 대신 질량을 측정해 개수를 파악할 수 있다. 원자나 분자도 1 몰의 질량을 알고 있으면 질량을 측정해 입자 수를 알 수 있다.

물질 1 몰의 질량을 **물질량**이라고 하며, 단위는 g/mol로 나타낸다. 같은 1 몰이라도 물질을 구성하는 원자의 종류와 수에 따라 물질량이 달라진다. 분자의 물질량은 분자를 구성하는 원자의 물질량을 합해 구할 수 있다.

몇 가지 원자의 물질량

원자	물질량(g/mol)
H	1
C	12
N	14
O	16
Na	23
Mg	24.3
S	32
Cl	35.5

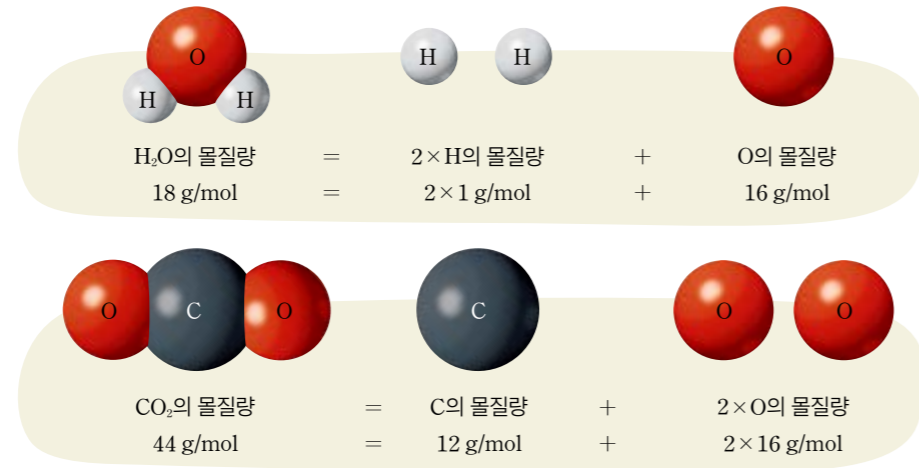


그림 I-6 물(H_2O)과 이산화 탄소(CO_2) 분자의 물질량

다음 물질의 물질량을 구해 보자.

- (1) O_2 (2) CH_4 (3) NH_3

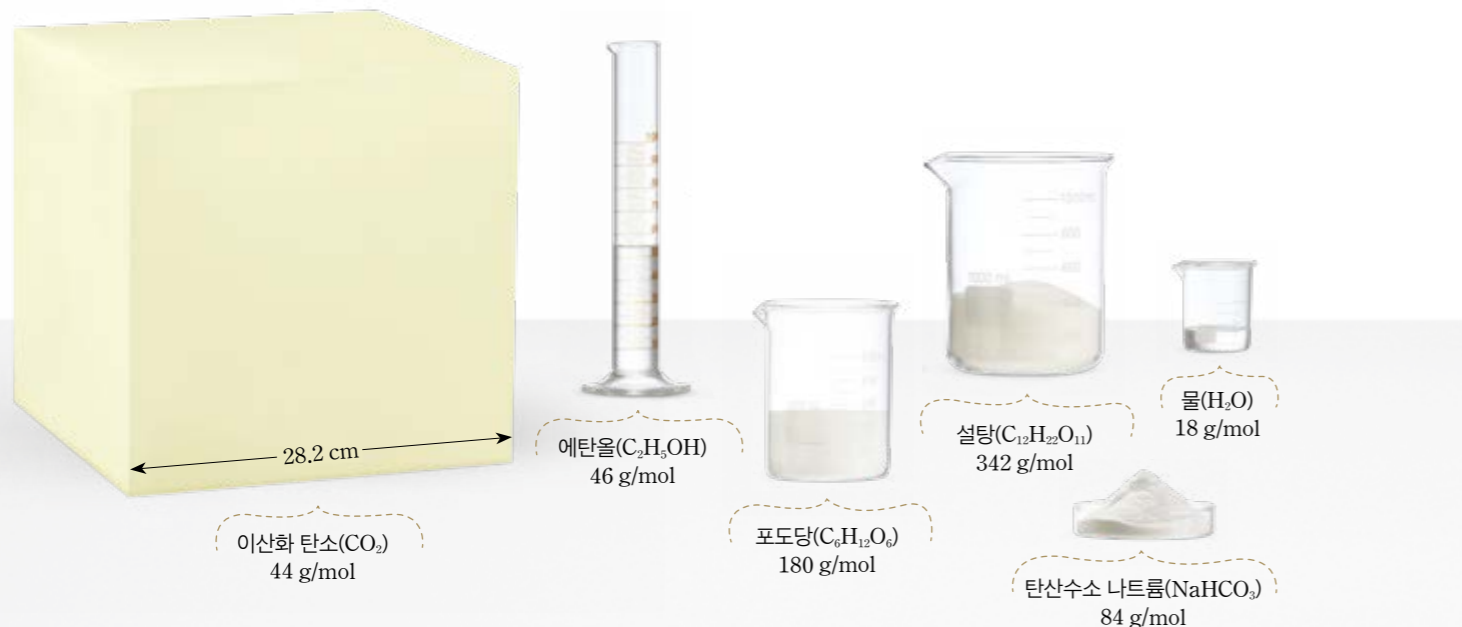


그림 I-7 여러 가지 물질 1 몰과 물질량

염화 나트륨($NaCl$)처럼 분자로 존재하지 않는 화합물의 물질량은 그 물질의 화학식을 이루고 있는 원자의 물질량을 합해 구할 수 있다.

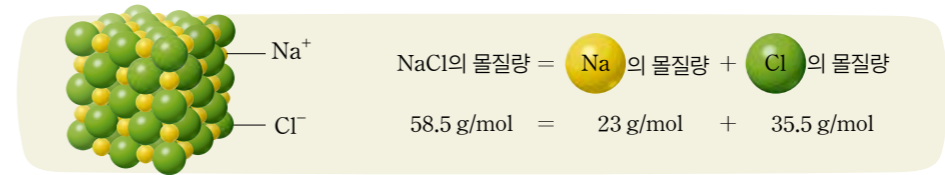


그림 I-8 염화 나트륨($NaCl$)의 물질량

물질의 물질량을 이용하면 물질의 질량으로부터 양(mol)을 구할 수 있고, 이로부터 물질을 구성하는 입자 수를 알 수 있다.

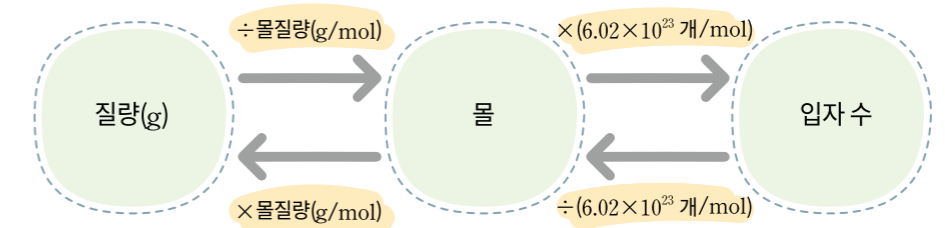


그림 I-9 물과 물질의 질량, 입자 수의 관계

연습 해보기

에탄올(C_2H_5OH) 23 g에 들어 있는 에탄올 분자 수를 구해 보자.

풀이 따라가기

1 단계 C_2H_5OH 의 질량과 물질량을 이용해 양(mol)을 구한다.

$$C_2H_5OH \text{의 양(mol)} = \frac{\text{질량(g)}}{\text{물질량(g/mol)}} = \frac{23 \text{ g}}{46 \text{ g/mol}} = \text{①} \text{ mol}$$

2 단계 C_2H_5OH 의 양(mol)을 이용해 분자 수를 구한다.

$$C_2H_5OH \text{의 분자 수} = \text{①} \text{ mol} \times 6.02 \times 10^{23} \text{ 개/mol} = \text{②} \text{ 개}$$

답 ② 개

직접 해 보기

물(H_2O) 3.6 g에 들어 있는 수소(H) 원자 수를 구해 보자.

확인하기

1 물질 1 몰의 질량인 ()을/를 이용하면 물질의 질량으로부터 양(mol)을 구할 수 있다.

2 메테인(CH_4) 0.5 몰에 들어 있는 수소(H) 원자의 질량은 몇 g인가?

연계 중학교 과학

『중학교 과학』 ‘물질의 구성’ 단원에서 화합물을 화학식으로 나타내는 방법을 학습했다.

나트륨과 칼륨은 국제순수·응용화학연합(IUPAC) 이름인 ‘소듐(Sodium)’과 ‘포타슘(Potassium)’으로 부를 수 있어.



물과 기체의 부피

일반적으로 물질의 양은 질량이나 부피로 나타내는데, 기체는 질량보다 부피를 측정하기가 더 쉽다. 기체의 부피와 기체의 양(mol)은 어떤 관계가 있을까?

아보가드로 법칙에 따르면 같은 온도와 압력에서 기체의 종류와 관계없이 같은 부피에 포함된 기체 분자 수는 같다. 실제로 0 °C, 1 기압에서 기체 1 몰이 차지하는 부피는 기체의 종류와 관계없이 항상 22.4 L이다. 예를 들어 0 °C, 1 기압에서 헬륨(He) 1 몰, 산소(O₂) 1 몰, 이산화 탄소(CO₂) 1 몰의 부피는 모두 22.4 L이며, 그 속에는 각 기체 분자가 6.02 × 10²³ 개씩 들어 있다.

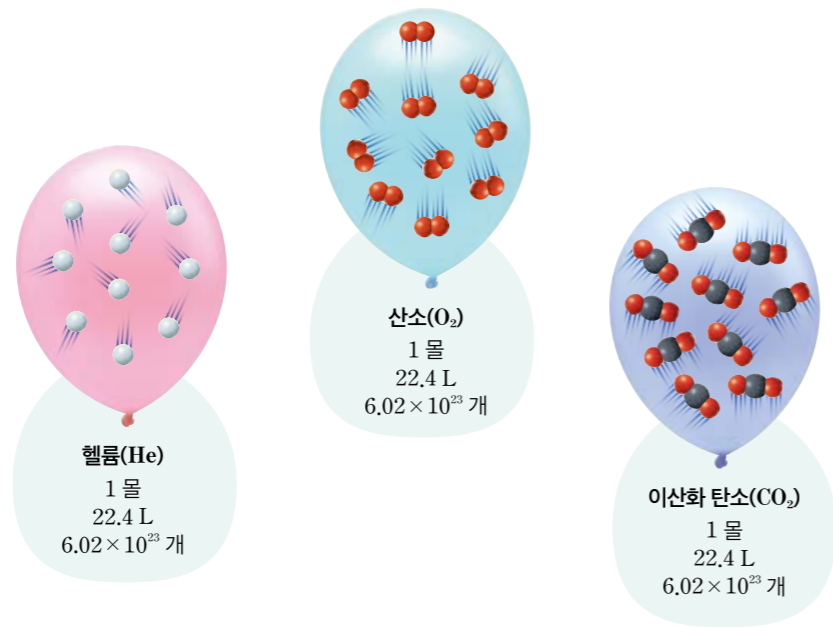


그림 I-10 0 °C, 1 기압에서 기체 1 몰의 부피와 입자 수

0 °C, 1 기압에서 모든 기체 1 몰의 부피는 22.4 L이므로 기체의 부피로부터 기체 분자의 양(mol)을 구할 수 있고, 이로부터 기체 입자 수를 알 수 있다.

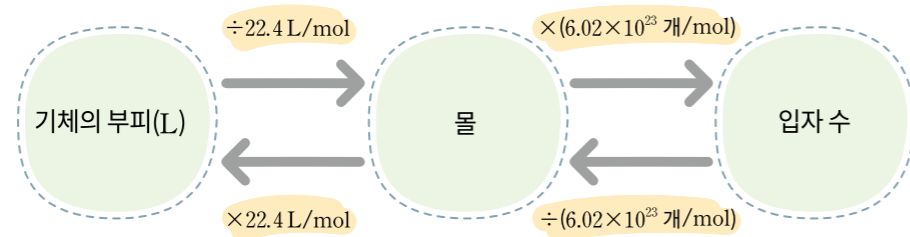


그림 I-11 0 °C, 1 기압에서 물과 기체의 부피, 입자 수의 관계

❗ 0 °C, 1 기압에서 다음 기체의 양(mol)을 구해 보자.

- (1) 메테인(CH₄) 22.4 L (2) 수소(H₂) 2.24 L (3) 질소(N₂) 5.6 L

연계 물질과 에너지

『물질과 에너지』 ‘물질의 세 가지 상태’ 단원에서 물과 기체 부피의 정량적인 관계를 학습한다.

해보기

교실에 채워진 기체의 양(mol) 구하기

탐구 능력 | 문제 해결 능력

준비물 스마트 기기, 계산기

1. 모뎀별로 스마트 기기의 길이 측정 애플리케이션을 이용해 교실의 가로, 세로, 높이를 측정하고, 교실의 부피가 몇 L인지 구해 보자.

부피 단위의 환산
1 cm³ = 1 mL = 0.001 L
1 m³ = 1000000 cm³ = 1000 L

- 가로:
- 세로:
- 높이:
- 교실의 부피:



2. 0 °C, 1 기압에서 교실에 채워진 공기의 양(mol)을 구해 보자.



3. 2에서 교실에 채워진 기체가 모두 질소(N₂)라고 가정할 때 기체의 질량(g)을 구해 보자.



0 °C, 1 기압에서 물과 입자 수, 질량, 기체의 부피 관계를 정리하면 다음과 같다.

$$\text{몰(mol)} = \frac{\text{입자 수}}{6.02 \times 10^{23} \text{ 개/mol}} = \frac{\text{질량(g)}}{\text{몰질량(g/mol)}} = \frac{\text{기체의 부피(L)}}{22.4 \text{ L/mol}}$$

모의실험



확인하기

- 1 0 °C, 1 기압에서 기체 1 몰의 부피는 () L이다.
2 0 °C, 1 기압에서 이산화 탄소(CO₂) 기체 11.2 L의 질량은 몇 g인가? (단, CO₂의 몰질량은 44 g/mol이다.)

탐구

● 탐구 수행 / 결론 도출

Q 탐구 능력 | Q 의사 결정 능력

다양한 물질의 물질량 탐색하기

▶ 실험 영상



준비물

- 탄소 가루 구리판
- 물 염화 나트륨
- 포도당 에탄올
- 전자저울 비커
- 페트리 접시 약손가락
- 금속용 가위 실험복
- 보안경
- 실험용 고무장갑
- 안전 장갑

안전



- 실험할 때는 반드시 실험복, 보안경, 실험용 고무장갑을 착용한다.
- 시약끼리 섞이지 않도록 약손가락을 구분하여 사용한다.
- 실험 후 남은 탄소 가루는 고체 폐기물 수집 용기에, 구리판은 금속 고체 폐기물 수집 용기에 배출한다.
- 실험 후 남은 에탄올은 유기계 폐수통에 배출한다.

도움 자료

- 탐구 전에 다음 자료를 먼저 읽어 보자.
- 8 쪽~9 쪽 실험실 안전 수칙
- 174 쪽~175 쪽 실험 기구 사용 방법
- 176 쪽~177 쪽 주요 시약별 주의 사항

목표

몰 단위의 의미와 크기를 이해하고, 특정한 양(mol)에 해당하는 물질의 질량을 측정할 수 있다.

과정

1. 탄소(C), 구리(Cu), 물(H₂O), 염화 나트륨(NaCl), 포도당(C₆H₁₂O₆), 에탄올(C₂H₅OH)의 물질량을 찾아보자.

도움말 교과서나 인터넷 자료에서 각 물질의 물질량을 찾아보거나, 구성 원자의 물질량을 이용해 계산할 수 있다.



2. 모둠별로 과정 1의 물질 중 질량을 측정할 물질과 그 양(mol)을 정하자.



3. 적절한 실험 기구를 이용하여 과정 2에서 정한 각 물질의 질량을 측정해 보자.

포도당 0.1 몰의 질량인 18 g을 측정해 보자.

포도당 0.1 몰의 입자 수는 6.02×10^{23} 개야.



결과 및 정리

1. 물질의 양(mol)과 측정한 질량을 쓰고, 각 물질의 입자 수를 비교해 보자.

물질			
양(mol)			
질량(g)			
입자 수(개)			

2. 물질의 입자 수를 구하기 위해 질량을 측정하는 까닭을 설명해 보자.



3. **창의** 탄소, 구리, 물, 염화 나트륨, 포도당, 에탄올 중 같은 질량에 포함된 물질의 양(mol)이 가장 많은 것과 가장 적은 것은 각각 어느 것인지 토의해 보자.



스스로 평가하기

- | 지식·이해 | 모둠별로 정한 물질의 양(mol)을 질량으로 환산했는가? ☆☆☆☆☆
- | 과정·기능 | 특정 양(mol)에 해당하는 물질의 질량을 측정했는가? ☆☆☆☆☆
- | 가치·태도 | 물질량이 물질의 양(mol)을 몰 단위로 표현하는 데 유용하다는 것을 인식했는가? ☆☆☆☆☆

우리가 물질을 다룰 때 실제로 측정할 수 있는 것은 질량이나 부피이다. 그런데 화학 반응은 물질을 구성하는 입자 사이에서 일어나므로 화학 반응을 이해하려면 측정한 질량이나 부피를 몰(mol) 단위로 변환하여 입자 수를 알아내는 것이 중요하다. 과학, 공학, 의학 등 화학 반응이 필요한 여러 분야에서는 물질의 양을 정확하게 표현하기 위해 몰을 표준 단위로 사용한다.

소단원 마무리

창의력 키우기

과학, 공학, 의학 분야에서 몰이 활용되는 예를 찾아 발표해 보자.

디지털 소양 키우기

화학자들은 아보가드로수의 10²³을 따서 10 월 23 일을 '몰의 날'로 정하고 기념하기도 한다. '몰의 날'을 안내하는 카드 뉴스를 만들고, 공유 플랫폼을 활용해 공유해 보자.

새롭게 측정된 아보가드로수

과학 지식은 과학자들의 합의를 거쳐 구성되고, 기술의 발전이나 후속 연구를 통해 새로운 증거가 발견되면 수정되기도 한다. 아보가드로수도 지금의 정의에 이르기까지 그 기준이 계속해서 변해 왔다.



1960 년대에 국제순수·응용화학연합(IUPAC)에서는 아보가드로수를 탄소-12(¹²C) 12 g에 들어 있는 탄소 원자의 개수라고 정의했다.



이렇게 정의한 아보가드로수는 질량의 기준을 따르는 비독립적인 단위였다. 또 질량의 기준인 국제 킬로그램 원기의 무게가 미세하게 줄어들고 있었으므로 아보가드로수도 시간에 따라 변했다.



과학자들은 이런 불완전함을 극복하기 위해 정확한 아보가드로수를 측정하는 연구를 수행했다. 이 과정에서 화학, 물리학, 재료 공학, 기계 공학 등 다양한 분야의 과학자들이 참여했다.



계속된 연구 끝에 규소(Si) 구를 이용하여 아보가드로수를 측정하게 되었고, 2019 년 아보가드로수는 $6.02214076 \times 10^{23}$ 이라는 정해진 값을 가진 상수가 되었다.

활동하기

조사

'아보가드로 프로젝트'가 무엇인지 조사하고, 이 연구 과정에서 세계의 과학자들이 어떻게 협력했는지 알아보자.



01 화학과 현대 과학·기술·사회 13 쪽

(1) 화학과 우리 사회의 발전

① 합성	합성 섬유의 개발	② 제련	의약품의 개발
<ul style="list-style-type: none"> 질소 비료의 대량 생산으로 식량 생산량 증가 암모니아를 비료, 세정제의 원료나 냉동 장치의 냉매로 이용 	<ul style="list-style-type: none"> 대량 생산이 가능하고 섬유의 수명이 길어서 천연 섬유를 대체해 널리 쓰임. 다양한 기능을 갖춘 합성 섬유 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 철을 이용해 철도, 대형 교량, 선박 등이 만들어져 사람과 물자의 이동이 활발해짐. 고층 건물을 지을 수 있게 됨. 	<ul style="list-style-type: none"> ③ 의 분자 구조를 변형하여 성능을 개량한 항생제 생산 화학은 새로운 감염병 백신을 빠르게 개발하는 데 도움을 줌.

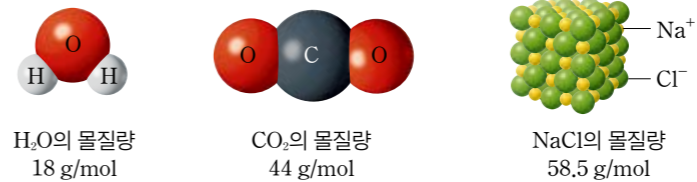
(2) 지속가능한 미래를 만드는 화학: 화학은 태양 전지 등 대체 에너지 개발에 도움을 주고, 탄소 포집·활용·저장(CCUS) 기술 등 대기 중 ④의 농도를 낮추는 기술 개발에서 핵심적인 역할을 한다.

02 물과 물질의 양 18 쪽

(1) ⑤: 원자, 분자 등 입자 약 6.02×10^{23} 개를 나타내는 묶음 단위

(2) 물질량: 물질 1 몰의 질량 → 단위는 g/mol로 나타낸다.

① 물질을 구성하는 원자의 종류와 수에 따라 물질량이 달라진다.



② 물질의 물질량을 이용하면 물질의 질량으로부터 양(mol)을 알 수 있다.



(3) 물과 기체의 부피: 0 °C, 1 기압에서 기체 1 몰의 부피는 ⑦ L이다.

(4) 몰과 입자 수, 질량, 기체의 부피 관계(0 °C, 1 기압)

$$\text{몰(mol)} = \frac{\text{입자 수}}{6.02 \times 10^{23} \text{ 개/mol}} = \frac{\text{질량(g)}}{\text{물질량(g/mol)}} = \frac{\text{기체의 부피(L)}}{22.4 \text{ L/mol}}$$

함께 풀어 보기

제시된 핵심 내용과 관련된 간단한 문제를 만들고, 공유 플랫폼에 공유하여 친구들과 함께 풀어 보자.

화학과 현대 과학·기술·사회

.....

.....

.....

.....

.....

물질량

.....

.....

.....

.....

몰과 기체의 부피

.....

.....

.....

.....

화학과 현대 과학·기술·사회

01 다음은 어떤 학문 분야의 발전이 가져온 생활의 변화에 대한 설명이다.

()이/가 발전하면서 합성 섬유로 만든 옷을 입고, 화학 전지로 작동하는 스마트폰을 이용해 소통하며, 합성 의약품으로 질병을 치료할 수 있게 되었다.

()안에 들어갈 학문 분야로 가장 적절한 것은?

- ① 수학 ② 물리학 ③ 화학
- ④ 생명과학 ⑤ 지구과학

화학과 현대 과학·기술·사회

02 화학이 인류의 문제를 해결하고 인류 문명의 발전에 영향을 미친 예로 옳지 않은 것은?

- ① 항생제, 백신 개발로 인류의 수명이 증가했다.
- ② 합성 섬유의 개발로 천연 섬유의 단점을 보완했다.
- ③ 화학 비료를 대량 생산 하게 되어 식량 부족 문제 해결에 기여했다.
- ④ 철광석의 제련으로 대형 선박, 교량이 만들어져 교통이 발달했다.
- ⑤ 화석 연료의 사용량이 증가하여 대기 중 이산화 탄소의 양이 감소했다.

서술형

화학과 현대 과학·기술·사회

03 다음은 신문 기사의 일부이다.

정부가 기후 변화 협의회(IPCC)는 최근 발표한 종합 보고서에서 지구의 평균 온도 상승 폭이 21 세기 내에 1.5 °C를 넘을 가능성이 크다고 예측했다. …… 지구 온난화의 주요 원인은 이산화 탄소와 같은 온실 가스의 배출이다. 1850년부터 2019년까지 인간 활동으로 배출된 온실 가스의 양은 약 2400 Gt(기가톤)인데, 이 중 절반가량은 1990년~2019년에 배출된 것으로 추정된다. 즉, 이산화 탄소의 배출량뿐만 아니라 배출량이 증가하는 속도도 점점 빨라지고 있다.

(자료 출처: 『연합뉴스』, 2023. 03. 21.)

기사에 제시된 인류의 문제를 해결하기 위해 화학이 할 수 있는 일을 한 가지 설명해 보자.

물

04 물질의 양(mol)이 가장 큰 것은?

- ① 탄소(C) 1 몰
- ② 수소(H₂) 2 몰
- ③ 염화 나트륨(NaCl) 0.5 몰
- ④ 마그네슘(Mg) 원자 3.01×10^{23} 개
- ⑤ 이산화 탄소(CO₂) 분자 1.806×10^{23} 개

물질량

05 물질의 물질량으로 옳지 않은 것은? (단, H, C, O의 물질량은 각각 1 g/mol, 12 g/mol, 16 g/mol이다.)

- ① 수소(H₂) - 2 g/mol
- ② 물(H₂O) - 18 g/mol
- ③ 산소(O₂) - 16 g/mol
- ④ 탄소(C) - 12 g/mol
- ⑤ 메테인(CH₄) - 16 g/mol

물질량

06 물질의 양이 1 몰이 아닌 것은? (단, H, N, O의 물질량은 각각 1 g/mol, 14 g/mol, 16 g/mol이다.)

- ① 물(H₂O) 18 g에 들어 있는 물 분자 수
- ② 수소(H₂) 1 g에 들어 있는 수소 원자 수
- ③ 질소(N₂) 28 g에 들어 있는 질소 분자 수
- ④ 암모니아(NH₃) 17 g에 들어 있는 수소 원자 수
- ⑤ 이산화 질소(NO₂) 46 g에 들어 있는 질소 원자 수

서술형

물질량

07 표는 어느 환자의 처방전이다.

처방 의약품 이름	1회 투약량	1일 투약 횟수	총 투약 일수
아세틸 살리실산	180 mg	3회	3일

처방된 전체 아세틸 살리실산(C₉H₈O₄)에 포함된 산소(O) 원자의 양(mol)을 구하고, 계산 과정을 설명해 보자. (단, 아세틸 살리실산의 물질량은 180 g/mol이다.)

물과 기체의 부피

08 물과 기체의 부피에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, 0 °C, 1 기압에서 기체 1 몰의 부피는 22.4 L이다.)

- ① 물질량이 서로 다른 기체라도 같은 온도와 압력에서 1 몰의 부피는 같다.
- ② 0 °C, 1 기압에서 산소(O₂) 기체 0.2 몰의 부피는 4.48 L이다.
- ③ 0 °C, 1 기압에서 메테인(CH₄) 기체 11.2 L에 들어 있는 메테인의 양은 0.5 몰이다.
- ④ 0 °C, 1 기압에서 헬륨(He) 기체 2.24 L와 암모니아(NH₃) 기체 2.24 L에 들어 있는 분자의 양(mol)은 같다.
- ⑤ 0 °C, 1 기압에서 이산화 탄소(CO₂) 기체 5.6 L와 암모니아(NH₃) 기체 5.6 L에 들어 있는 원자 수는 같다.

물과 기체의 부피

09 다음은 0 °C, 1 기압에서 기체 (가)~(다)에 대한 자료이다.

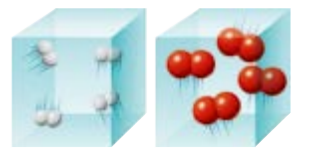
- (가) 수소(H₂) 4 g
- (나) 산소(O₂) 11.2 L
- (다) 메테인(CH₄) 분자 6.02×10^{23} 개

이에 대한 설명으로 옳은 것은? (단, H의 물질량은 1 g/mol이고, 0 °C, 1 기압에서 기체 1 몰의 부피는 22.4 L이다.)

- ① (가)의 부피는 44.8 L이다.
- ② (가)에서 수소 분자 수는 6.02×10^{23} 개이다.
- ③ (나)에서 산소 분자의 양은 1 몰이다.
- ④ (다)에서 탄소 원자의 양은 4 몰이다.
- ⑤ 분자의 양(mol)은 (다) > (나) > (가)이다.

물과 기체의 부피

10 그림은 같은 온도와 압력에서 같은 부피의 수소(H₂) 기체와 산소(O₂) 기체를 모형으로 나타낸 것이다. 두 기체가 같은 값을 갖는 것만을 <보기>에서 있는 대로 골라 보자. (단, H, O의 물질량은 각각 1 g/mol, 16 g/mol이다.)



- 보기
- ㉠. 질량 ㉡. 원자 수 ㉢. 기체의 양(mol)

스스로 점검하기

- 지식-이해** 화학이 현대 과학·기술·사회에 미친 영향을 알고, 물을 이용해 다양한 물질의 양을 표현했다. ★★★★★
- 과정-기능** 화학이 현대 과학·기술·사회의 발전에 기여한 사례를 조사하고, 물질의 물질량을 탐색했다. ★★★★★
- 가치-태도** 화학의 유용성을 깨달았고, 물이 물질의 양을 표현하는 유용한 단위임을 인식했다. ★★★★★

평가 결과가 아쉽다면 '1. 생활 속 화학과 물질의 양'을 다시 한번 학습해 봅시다.

2

화학 반응식

- 01. 화학 반응식의 의미
- 02. 화학 반응의 양적 관계



햄버거 가게에서 햄버거를 만들 때 정해진 비율대로 재료를 넣는 것처럼, 화학 반응이 일어날 때 반응물과 생성물 사이에는 일정한 양적 관계가 성립한다. 화학 반응의 양적 관계를 어떻게 알 수 있을까?

학습할 내용을 알아보고 스스로 학습 계획을 세워 봅시다.

이전 학습 내용

알고 있는 내용에 ✓ 표 해 보자.

- 화학 반응식 화학 반응의 규칙성 물 물질량

이 단원의 핵심 내용

이 단원에서 배울 핵심 내용을 본문에서 찾아보자.

- 화학 반응식의 의미 쪽 | ○ 화학 반응의 양적 관계 쪽

이 단원의 학습 목표

- 지식·이해** 여러 가지 반응의 화학 반응식을 쓰고, 반응물과 생성물의 양적 관계를 설명할 수 있다.
- 과정·기능** 화학 반응의 양적 관계를 확인하는 실험을 설계 수행하고, 결과를 분석할 수 있다.
- 가치·태도** 생활 속 화학 반응을 화학 반응식으로 이해하고, 관련된 문제를 탐구로 해결하려는 태도를 지닌다.

나의 학습 계획

나는 이 단원에서 을/를 알고 싶다.

01

화학 반응식의 의미

- 여러 가지 화학 반응을 화학 반응식으로 나타낼 수 있다.
- 화학 반응식을 사용할 때의 편리성과 유용성을 인식할 수 있다.

“ 언어가 통하지 않는 상황에서도 화학식을 알면 서로 소통할 수 있다. 말로 표현하기 어려운 복잡한 화학 반응도 화학식으로 나타내면 쉽게 알아볼 수 있을까? ”



화학 반응식

물질 사이에 상호작용이 일어나 성질이 다른 새로운 물질이 생성되는 현상을 **화학 반응**이라고 한다. 화학 반응은 반응물을 구성하는 원자 사이의 결합이 끊어지고 새로운 결합이 형성되는 과정으로, 화학 반응 전후에 원자의 종류와 개수는 변하지 않는다.

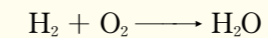
화학 반응에 참여하는 반응물과 생성물의 화학식을 이용하여 화학 반응을 나타낸 것을 **화학 반응식**이라고 한다. 수소와 산소가 반응하여 물을 생성하는 반응을 화학 반응식으로 나타내 보자.

연계 중학교 과학

『중학교 과학』 ‘화학 반응의 규칙성’ 단원에서 간단한 화학 반응을 화학 반응식으로 표현하는 방법을 학습했다.

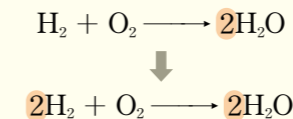
1 반응물과 생성물의 화학식을 쓰고, ‘→’와 ‘+’를 이용하여 나타내기

반응물은 수소(H₂)와 산소(O₂)이고 생성물은 물(H₂O)이다. 화살표(→)는 반응의 진행을 의미하므로 ‘→’의 왼쪽에는 반응물을, 오른쪽에는 생성물을 쓴다. 반응물이나 생성물이 각각 두 가지 이상일 때는 ‘+’로 연결한다.



2 반응 전후에 원자의 종류와 수가 항상 같아지도록 화학식 앞의 계수 맞추기

수소와 산소가 반응하여 물을 생성할 때 수소(H) 원자 수와 산소(O) 원자 수는 변하지 않는다. 따라서 산소 원자의 수가 같도록 H₂O 앞에 계수 2를 쓰고, 다음으로 수소 원자의 수가 같도록 H₂ 앞에 계수 2를 쓴다.

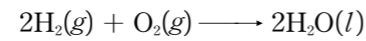


계수는 가장 간단한 정수로 나타내고, 계수가 1이면 생략해.



상태를 나타내는 기호
고체는 solid, 액체는 liquid, 기체는 gas, 수용액은 aqueous solution의 약자를 사용한다.

반응물과 생성물의 상태를 나타내기 위해 화학식 뒤에 기호를 쓸 수도 있다. 이때 고체는 (s), 액체는 (l), 기체는 (g), 수용액은 (aq)로 나타낸다. 수소 기체와 산소 기체가 반응해 물을 생성하는 반응의 화학 반응식을 반응물과 생성물의 상태를 포함해 나타내면 다음과 같다.



❗ 일산화 탄소(CO) 기체와 산소(O₂) 기체가 반응해 이산화 탄소(CO₂) 기체를 생성하는 반응을 물질의 상태를 포함한 화학 반응식으로 나타내 보자.

일상생활에서는 수많은 화학 반응이 일어나고 있다. 우리 주변에서 일어나는 화학 반응을 찾아 화학 반응식으로 나타내 보자.

해보기 🔍 탐구 능력 | 🗨 의사 결정 능력

생활 속 화학 반응을 화학 반응식으로 나타내기

1. 다음 두 반응을 화학 반응식으로 나타내 보자.

• 화학 반응식

• 화학 반응식

2. 주변에서 찾을 수 있는 화학 반응 한 가지를 화학 반응식으로 나타내 보자.



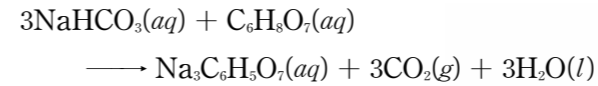
정리

• 화학 반응을 화학 반응식으로 나타낼 때 유용한 점을 정리해 보자.



과학 미당 생활 속 과학 | 내 입속의 화학 반응

입에 넣으면 탄산수를 마실 때처럼 툭툭 튀는 느낌이 나는 사탕을 먹을 때 입속에서는 어떤 화학 반응이 일어날까? 사탕 속에 포함된 탄산수소 나트륨(NaHCO₃)과 시트르산(C₆H₈O₇)이 입속의 침에 녹으면 다음과 같이 반응한다.



이 반응으로 이산화 탄소(CO₂) 기포가 생겼다가 터지면서 입속에서 툭툭 튀는 느낌이 나게 된다.

발포 바이타민처럼 물에 넣으면 기포가 발생하는 알약도 이와 같은 화학 반응을 이용한 것이다. 이러한 알약에도 탄산수소 나트륨과 시트르산이 들어 있어서 물에 넣으면 이산화 탄소 기체가 발생한다. 이 과정에서 알약이 잘게 쪼개져 물에 쉽게 녹으며, 이렇게 물에 녹은 약은 몸에 빠르게 흡수된다는 장점이 있다. 이처럼 우리는 다양한 화학 반응이 일어나는 세상 속에 살고 있다.

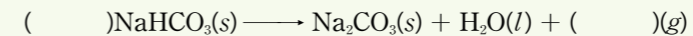


• 시트르산(C₆H₈O₇)
레몬이나 귤 등의 과일에 들어 있는 산으로, 구연산이라고도 한다. 식품이나 의약품의 첨가제로 이용된다.

🧠 **생각 펼치기** | 발포 바이타민 용기의 뚜껑에는 제습제가 들어 있어 일반 용기의 뚜껑보다 두껍다. 용기의 뚜껑에 제습제를 넣는 까닭은 무엇일까?

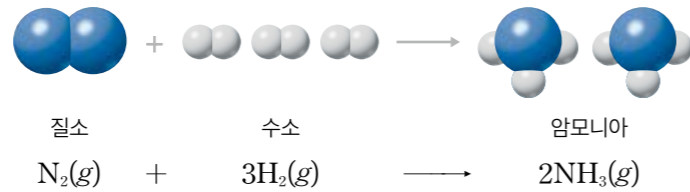
확인하기

- 1 화학 반응 전후에 ()의 종류와 개수는 변하지 않는다.
- 2 다음은 탄산수소 나트륨이 분해되는 반응의 화학 반응식이다. () 안에 계수나 화학식을 써서 화학 반응식을 완성해 보자.



화학 반응식의 의미

화학 반응식은 화학 반응에 관여하는 반응물과 생성물의 종류와 개수를 나타낸다. 예를 들어 질소(N₂) 기체와 수소(H₂) 기체가 반응해 암모니아(NH₃) 기체를 생성하는 화학 반응을 화학 반응식으로 나타내면 다음과 같다. 이 화학 반응식으로부터 무엇을 알 수 있는지 생각해 보자.



질소 분자 1 개가 수소 분자 3 개와 반응하여 암모니아 분자 2 개를 생성하므로, 질소 분자와 수소 분자는 1 : 3의 개수비로 반응한다. 즉, 화학 반응에 참여하는 분자의 개수비 또는 몰비는 화학 반응식의 계수비와 같다.

화학 반응식	$N_2(g) + 3H_2(g) \longrightarrow 2NH_3(g)$				
반응물과 생성물	질소	+	수소	→	암모니아
물질의 양	 1 몰		 3 몰		 2 몰
	✎ 몰비 N ₂ : H ₂ : NH ₃ = _____ : _____ : _____				
분자 수	1 mol × 6.02 × 10 ²³ 개/mol		3 mol × 6.02 × 10 ²³ 개/mol		2 mol × 6.02 × 10 ²³ 개/mol
	✎ 분자 수 비 N ₂ : H ₂ : NH ₃ = _____ : _____ : _____				

자료 읽기 반응물과 생성물의 몰비, 분자 수 비를 써 보자.




반응물과 생성물의 몰비 외에 화학 반응식에서 얻을 수 있는 정보에는 무엇이 있을까?

아보가드로 법칙에 따르면 같은 온도와 압력에서 같은 양(mol)의 기체 부피는 기체의 종류에 관계없이 같다. 따라서 온도와 압력이 일정할 때 화학 반응에 참여하는 기체의 몰비는 부피비와 같다. 또 물질의 몰비에 물질량을 곱해 질량비를 계산할 수 있다.

오개념 바로잡기

1 몰의 질량인 물질량은 물질마다 다르므로 몰비와 질량비는 같지 않지만, 몰비에 각각의 몰 질량을 곱하여 화학 반응에서 물질의 질량비를 알 수 있다.

다음은 암모니아 생성 반응에서 부피비와 질량비를 나타낸 것이다.

화학 반응식	$N_2(g) + 3H_2(g) \longrightarrow 2NH_3(g)$		
물질의 양	1 몰	3 몰	2 몰
기체의 부피 (0 °C, 1 기압)	 1 mol × 22.4 L/mol	 3 mol × 22.4 L/mol	 2 mol × 22.4 L/mol
	✎ 부피비 N ₂ : H ₂ : NH ₃ = _____ : _____ : _____		
질량	1 mol × 28 g/mol	3 mol × 2 g/mol	2 mol × 17 g/mol
	✎ 질량비 N ₂ : H ₂ : NH ₃ = _____ : _____ : _____		

자료 읽기

반응물과 생성물의 부피비, 질량비를 써 보자.

화학 반응 전과 후에 물질의 전체 질량은 변하지 않고 일정하게 보존돼.



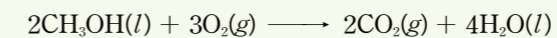
화학 반응식으로부터 반응물과 생성물의 종류, 물질의 몰비와 질량비를 알 수 있으며, 기체의 부피비도 알 수 있다. 이처럼 화학 반응식은 화학 반응이 일어날 때 반응물과 생성물의 양과 관련된 다양한 정보를 제공하는 유용한 도구이다.

확인하기

1 다음 중 화학 반응식에서 계수비와 같은 것을 있는 대로 골라 보자. (단, 온도와 압력은 일정하다.)

몰비	분자 수 비	질량비	기체의 부피비
----	--------	-----	---------

2 다음 메탄올(CH₃OH)의 연소 반응식에서 알 수 있는 정보를 세 가지 써 보자.



소단원 마무리

창의력 키우기

고대 이집트의 왕 클레오파트라는 진주를 식초에 녹여 마셨다는 일화가 있다. 진주의 주성분인 탄산 칼슘(CaCO₃)과 식초의 주성분인 아세트산(CH₃COOH) 사이의 화학 반응식을 찾아보고, 이 일화가 실제로 가능할지 토의해 보자.

디지털 소양 키우기

과학사에서 찾을 수 있는 흥미로운 화학 반응식을 조사하고, 공유 플랫폼을 활용하여 공유해 보자.

02

화학 반응의 양적 관계

- 화학 반응에서 반응물과 생성물의 양적 관계를 설명할 수 있다.
- 실험을 통해 화학 반응의 양적 관계를 확인할 수 있다.
- 산업과 일상생활에서 화학 반응의 양적 관계를 이용함을 인식하여 화학의 유용성을 깨닫는다.

“ 자동차의 에어백은 아자이드화 나트륨(NaN_3) 고체가 분해하면서 발생하는 질소 기체에 의해 팽창한다. 에어백을 적당한 크기로 부풀리기 위해 넣어야 하는 아자이드화 나트륨의 양을 어떻게 알 수 있을까? ”



화학 반응을 이용해 특정한 양의 생성물을 얻고 싶을 때는 반응물의 양을 미리 알아야 한다. 이때 화학 반응식을 이용하면 반응물과 생성물의 양적 관계를 알 수 있다. 예를 들어 수소(H_2) 2 kg을 얻기 위해 전기 분해 해야 하는 물(H_2O)의 질량을 구하면 다음과 같다.

화학 반응식	$2\text{H}_2\text{O}(l) \longrightarrow 2\text{H}_2(g) + \text{O}_2(g)$
몰비	1 몰 : 1 몰
질량비	(1×18)g : (1×2)g
필요한 물질의 질량(g)	$\text{H}_2\text{O} : \text{H}_2 = 18 : 2 = x : 2000 \quad \therefore x = 18000$

위 화학 반응식에서 물과 수소의 계수가 2로 서로 같으므로, 물 1 몰이 분해 되면 수소 1 몰이 생성된다. 물질의 몰비에 각 물질의 물질량을 곱하면 질량비를 알 수 있으므로 수소 2 kg을 얻으려면 물 18 kg을 분해해야 한다.

일반적으로 화학 반응에서 필요한 물질의 양을 측정할 때는 질량이나 부피 단위를 사용한다. 그림 I-12와 같이 화학 반응식의 계수비로부터 반응물과 생성물의 몰, 부피, 질량 관계를 알 수 있으므로 이를 이용해 물질의 양(mol), 부피, 질량 중 필요한 값을 구할 수 있다.

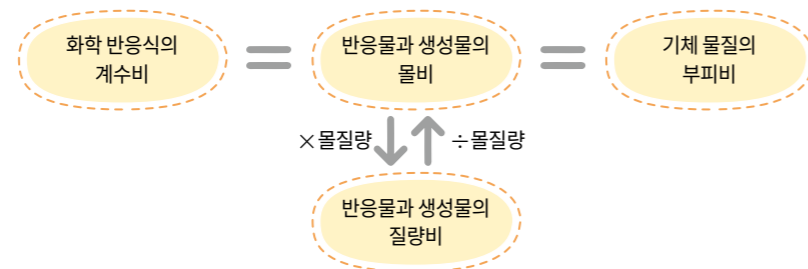


그림 I-12 화학 반응의 양적 관계 화학 반응식의 계수비로 몰, 부피, 질량 관계를 알 수 있다.

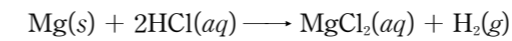
화학 반응식은 반응물과 생성물의 종류와 상태뿐만 아니라 반응에 관여하는 물질의 양적 관계를 나타내므로, 이를 이용하면 필요한 물질의 양을 예측해 정확한 실험을 할 수 있다. 또 화학 반응에서 반응물 중 하나가 모두 소모되면 반응이 더 이상 진행되지 않으므로, 화학 반응식을 이용해 주어진 양의 반응물로부터 최대로 생성되는 생성물의 양을 알 수 있다.

연습 해보기

0 °C, 1 기압에서 HCl 0.2 몰이 녹아 있는 HCl(aq) 100 mL에 Mg(s) 1.2 g을 넣어 반응시켰다. 반응이 완결되었을 때 발생한 $\text{H}_2(g)$ 의 부피(L)를 구해 보자. (단, 온도와 압력은 일정하고, Mg의 몰질량은 24 g/mol이며, 0 °C, 1 기압에서 기체 1 몰의 부피는 22.4 L이다.)

풀이 따라가기

1 단계 화학 반응식을 완성하고, 계수비를 구한다.



계수비는 Mg : HCl : $\text{H}_2 =$ ① : ② : 1이다.

2 단계 반응의 양적 관계를 구한다.

Mg의 양(mol)은 $\frac{1.2 \text{ g}}{24 \text{ g/mol}} = 0.05 \text{ mol}$, HCl의 양(mol)은 0.2 mol이다. Mg과

HCl은 1 : 2의 몰비로 반응하므로, Mg은 모두 반응하고 HCl은 0.1 mol 남는다.

3 단계 생성물의 양을 구한다.

Mg과 H_2 의 몰비는 1 : 1 = 0.05 mol : x mol이므로 x = ③ 이다.

따라서 생성되는 $\text{H}_2(g)$ 의 부피는 $0.05 \text{ mol} \times 22.4 \text{ L/mol} =$ ④ L이다.

답 ④ L

직접 해 보기

0 °C, 1 기압에서 $\text{O}_2(g)$ 22.4 L가 든 용기에 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(l)$ 0.1 몰을 넣어 완전 연소 시켰다. 반응 후 남아 있는 반응물의 종류와 그 양(mol)을 구해 보자. (단, 온도와 압력은 일정하고, 0 °C, 1 기압에서 기체 1 몰의 부피는 22.4 L이다.)

확인하기

1 질소(N_2)와 충분한 양의 수소(H_2)를 반응시켜 암모니아(NH_3) 10 몰을 생성하는 데 필요한 N_2 의 질량은 몇 g인가? (단, N_2 의 몰질량은 28 g/mol이다.)

2 천연가스의 주성분인 메테인(CH_4) 1 몰과 휘발유의 주성분인 옥테인(C_8H_{18}) 1 몰이 각각 완전 연소 할 때 발생하는 이산화 탄소(CO_2)의 부피비를 구해 보자. (단, 온도와 압력은 일정하다.)

탐구

● 탐구 설계 및 수행 / 결론 도출

준비물

- 마그네슘 리본
- 묽은 염산
- 가지 달린 삼각 플라스크
- 실리콘 마개
- 주사기(100 mL)
- 고무관 핀셋
- 전자저울 페트리 접시
- 눈금실린더 가위
- 사포 계산기
- 실험복 보안경
- 실험용 고무장갑
- 안전 장갑

안전



- 실험할 때는 반드시 실험복, 보안경, 실험용 고무장갑을 착용한다.
- 실험 후 남은 마그네슘은 금속 고체 폐기물 수집 용기에 배출한다.
- 실험 후 남은 용액은 약염기로 중화하여 무기계 폐수통에 배출한다.

도움 자료

- 탐구 전에 다음 자료를 먼저 읽어 보자.
- 8 쪽~9 쪽 실험실 안전 수칙
- 174 쪽~175 쪽 실험 기구 사용 방법
- 176 쪽~177 쪽 주요 시약별 주의 사항

Q 탐구 능력 | 문제 해결 능력 | 의사 결정 능력

화학 반응의 양적 관계를 확인하는 실험을 계획하고 수행하기

▶ 실험 영상



목표

마그네슘(Mg)과 염산(HCl(aq)) 반응의 양적 관계를 확인하는 실험을 계획하고 수행할 수 있다.

실험 계획

1. 마그네슘과 염산의 반응을 화학 반응식으로 나타내 보자.



2. 마그네슘이 50 mL의 염산과 반응할 때 발생하는 생성물의 부피를 측정하려고 한다. 다음 안내를 고려하여 마그네슘을 몇 g 준비할지 토의해 보자.

- 마그네슘의 몰질량은 24 g/mol이다.
- 염산 50 mL는 마그네슘과 반응하기에 충분한 양이다.
- 생성물의 부피는 100 mL 주사기를 이용하여 측정하고, 주사기 피스톤의 마찰은 무시한다.
- 실험실의 온도와 압력에서 기체 1 몰의 부피는 24 L로 가정한다.

● 100 mL 주사기로 모을 수 있는 생성물의 최대 양(mol)은 얼마인가?



● 필요한 마그네슘의 양(mol)과 질량(g)은 각각 얼마인가?



3. 다음 준비물을 이용하여 실험을 계획하자. 실험 장치를 그림으로 그리고 과정을 설명하는 실험 계획서를 작성하여 발표해 보자.

▶ 도움말 제시된 준비물 외에도 필요한 실험 기구를 추가할 수 있다.



실험 계획서

● 실험 과정

● 실험 장치 그림

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

실험 수행

계획한 대로 실험을 수행한 다음, 반응한 마그네슘의 양과 생성물의 양을 정리해 보자.

실험	1	2	3
반응한 마그네슘의 양(mol)			
생성물의 부피(mL)			
생성물의 양(mol)			

정리

1. 실험 결과로부터 반응한 마그네슘과 생성된 기체의 몰비를 구하고, 공유 플랫폼을 활용하여 공유해 보자.



2. 공유 플랫폼의 결과를 확인하고, 결과가 화학 반응식을 이용하여 예상한 값과 다르다면 그 까닭이 무엇인지 토의해 보자.



▶ 도움말 실험을 한 번 수행한 후 결과를 확인하여 계획을 수정할 수 있다. 측정값이 적절하면 2 회 이상 반복하여 평균값을 사용한다.

스스로 평가하기

| 지식·이해 | 실험을 계획할 때 필요한 마그네슘의 양(mol)과 질량을 정확히 계산했는가? ☆☆☆☆☆

| 과정·기능 | 실험 계획서를 구체적으로 작성하고, 실험을 계획에 따라 수행했는가? ☆☆☆☆☆

| 가치·태도 | 탐구를 통한 문제 해결 활동의 즐거움을 체험했는가? ☆☆☆☆☆

소단원 마무리

창의력키우기

수소 연료 전지 자동차에서 생성되는 물을 모을 물탱크를 설치하려고 한다. 수소 연료 전지의 화학 반응식을 찾아보고, 수소의 최대 충전 양이 6 kg일 때 물탱크의 최소 용량은 몇 L여야 할지 토의해 보자.

디지털소양키우기

과학 영화나 소설에 나오는 화학 반응을 조사하고, 이 화학 반응의 양적 관계를 그림이나 글로 정리한 후 공유 플랫폼을 활용하여 공유해 보자.

세상의 기준을 만드는 표준 연구원

표준 연구원이 하는 일은 무엇일까?

길이, 질량 등을 측정할 때 사용하는 단위의 기준이 상황에 따라 달라진다면 일정한 규격의 제품을 만들 수 없고, 정밀한 실험을 할 수 없는 등 큰 혼란이 생길 것이다. 특히 몰의 단위는 화학 반응의 정량적 측정의 기반이 되므로 화학 관련 정보의 정확성과 정보 소통에 반드시 변하지 않는 표준이 필요하다. 한국표준과학연구원의 화학 소재 측정 본부에서는 물과 같은 단위의 국가 표준을 확립하고, 생활에 밀접한 식품과 환경, 산업용 가스 분야의 측정 표준을 연구한다. 또 실제 산업 현장에서 사용할 수 있는 측정 기술을 개발해 보급한다.

표준 연구원이 되려면 어떤 능력이 필요할까?

표준 연구원이 되려면 측정 표준을 만들고 정밀한 측정을 수행하는 것이 많은 사람에게 도움이 된다는 점을 알고, 표준을 정의하는 것에 관심을 가져야 한다. 이를 위해 정밀한 측정을 수행하는 능력이 필요하며, 표준을 정하는 기준이 되는 물질의 특성을 이해하고 적용할 수 있어야 한다. 또 분석 화학 분야처럼 물질을 분석하는 기술이나 이론에 관심이 많아야 한다.

관련 학과 화학과, 화학 공학과, 재료 공학과, 물리학과 등

활동하기

일상생활 속에서 표준이 모호해 불편했던 상황을 떠올려 보고, 이를 개선하는 방법을 제안해 보자.

조사



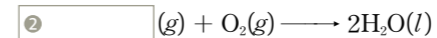
01 화학 반응식의 의미 31쪽

(1) 화학 반응식: 화학 반응에 참여하는 반응물과 생성물의 화학식을 이용하여 화학 반응을 나타낸 것

(2) 화학 반응식 쓰기

- ① →의 왼쪽에 ①, 오른쪽에 생성물의 화학식을 쓴다.
- ② 반응 전후에 원자의 종류와 개수가 같도록 계수를 맞춘다.
- ③ 물질의 상태를 (s), (l), (g), (aq)로 나타낸다.

예 수소 기체와 산소 기체가 반응하여 물이 생성되는 반응



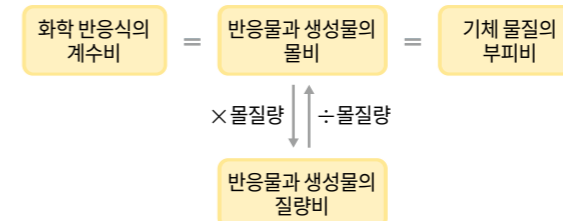
(3) 화학 반응식의 의미: 화학 반응식으로부터 반응물과 생성물의 종류, 물질의 몰비, 질량비, 기체의 부피비 등을 알 수 있다.

화학 반응식			
	$\text{N}_2 \text{ (g)}$	$+ 3\text{H}_2 \text{ (g)}$	$\longrightarrow 2\text{NH}_3 \text{ (g)}$
반응물과 생성물	질소	수소	암모니아
반응 계수비, 몰비, 부피비(온도, 압력 일정)	③	: ④	: ⑤
질량비	14	: 3	: 17

02 화학 반응의 양적 관계 36쪽

(1) 화학 반응식의 계수비는 반응 몰비, 기체의 ⑥ 와/과 같고, 화학 반응식의 계수비에 ⑦ 을/를 곱하면 질량비를 구할 수 있다.

(2) 화학 반응식의 계수비를 이용해 물질의 양(mol), 질량 중 필요한 값을 구할 수 있다.



함께 풀어 보기

제시된 핵심 내용과 관련된 간단한 문제를 만들고, 공유 플랫폼에 공유하여 친구들과 함께 풀어 보자.

화학 반응식의 의미

.....

.....

.....

.....

화학 반응의 양적 관계

.....

.....

.....

.....

화학 반응식의 의미

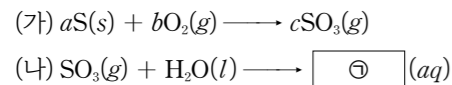
01 화학 반응식에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

- ① 반응물은 화살표(→)의 왼쪽에 쓴다.
- ② 화학 반응 전후 원자의 종류는 변하지 않는다.
- ③ 수용액을 나타낼 경우 화학식 뒤에 (aq)를 쓴다.
- ④ 반응 전후 분자 수가 같아지도록 화학식의 계수를 맞춘다.
- ⑤ 반응물과 생성물의 화학식을 이용하여 화학 반응을 간단히 나타낸 것이다.

화학 반응식의 의미

02 다음은 산성비의 형성과 관련된 화학 반응식이다.

$a \sim c$ 는 반응 계수이다.



$a+b+c$ 의 값과 ㉠에 들어갈 화학식을 옳게 짝 지은 것은?

- | | | |
|---|---------|-----------|
| | $a+b+c$ | ㉠ |
| ① | 4 | $2HSO_2$ |
| ② | 5 | H_2SO_3 |
| ③ | 5 | H_2SO_4 |
| ④ | 7 | $2HSO_2$ |
| ⑤ | 7 | H_2SO_4 |

화학 반응식의 의미

03 다음 화학 반응식으로부터 알 수 있는 정보로 옳지 않은 것은? (단, 반응 전후 온도와 압력은 일정하다.)



- ① 반응물은 두 가지이다.
- ② 반응물은 모두 기체 상태이다.
- ③ 반응물의 몰비는 $CH_4 : O_2 = 1 : 2$ 이다.
- ④ 생성물의 부피비는 $CO_2 : H_2O = 1 : 2$ 이다.
- ⑤ 생성물의 분자 수 비는 $CO_2 : H_2O = 1 : 2$ 이다.

서술형

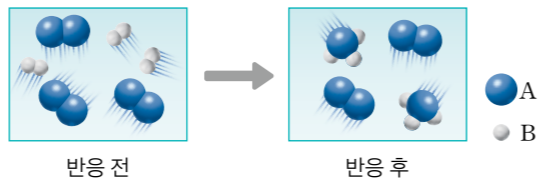
화학 반응식의 의미

04 에테인(C_2H_6) 기체는 완전 연소 하여 이산화 탄소(CO_2) 기체와 물(H_2O)을 생성한다.

- (1) 에테인이 완전 연소 할 때의 반응을 상태를 포함하여 화학 반응식으로 나타내 보자.
- (2) $0^\circ C$, 1 기압에서 에테인 3 g이 완전 연소 했을 때 발생하는 이산화 탄소 기체의 부피(L)를 구하고, 계산 과정을 설명해 보자. (단, 온도와 압력은 일정하고, H와 C의 몰질량은 각각 1 g/mol, 12 g/mol이며, $0^\circ C$, 1 기압에서 기체 1 몰의 부피는 22.4 L이다.)

화학 반응식의 의미

05 그림은 $A_2(g)$ 와 $B_2(g)$ 가 반응하여 $X(g)$ 가 생성되는 반응을 모형으로 나타낸 것이다.



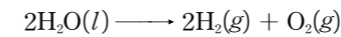
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A와 B는 임의의 원소 기호이다.)

- 보기
- ㄱ. X의 화학식은 AB_3 이다.
 - ㄴ. $A_2(g)$ 와 $B_2(g)$ 는 1 : 1의 몰비로 반응한다.
 - ㄷ. 온도와 압력이 일정할 때 반응 후 기체 부피는 감소한다.

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

화학 반응의 양적 관계

06 다음은 물 분해 반응의 화학 반응식이다.



이 반응의 양적 관계에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도와 압력은 일정하고, H와 O의 몰질량은 각각 1 g/mol, 16 g/mol이다.)

- 보기
- ㄱ. 생성물의 몰비는 $H_2 : O_2 = 2 : 1$ 이다.
 - ㄴ. $H_2O(l)$ 1 L가 분해되면 $H_2(g)$ 1 L가 생성된다.
 - ㄷ. $H_2O(l)$ 18 g이 분해되면 $O_2(g)$ 8 g이 생성된다.

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

화학 반응의 양적 관계

07 다음은 산화 철(III)(Fe_2O_3)의 제련 과정에 대한 설명과 화학 반응식이다.

- (가) 코크스(C(s))가 불완전 연소 하여 일산화 탄소가 생성된다.
 $2C(s) + O_2(g) \longrightarrow 2CO(g)$
- (나) 산화 철(III)과 일산화 탄소가 반응하여 철과 이산화 탄소가 생성된다.
 $Fe_2O_3(s) + 3CO(g) \longrightarrow 2Fe(s) + 3CO_2(g)$

2.8 kg의 순수한 Fe(s)을 얻기 위해 필요한 C(s)의 최소 질량(kg)을 구해 보자. (단, C와 Fe의 몰질량은 각각 12 g/mol, 56 g/mol이다.)

스스로 점검하기

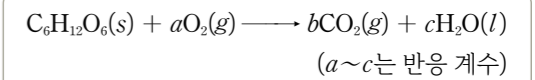
- 지식-이해** 여러 가지 반응의 화학 반응식을 쓰고, 반응물과 생성물의 양적 관계를 설명했다. ✍️ ☆☆☆☆☆
- 과정-기능** 화학 반응의 양적 관계를 확인할 수 있는 실험을 설계 수행하고 결과를 분석했다. ✍️ ☆☆☆☆☆
- 가치-태도** 생활 속 화학 반응을 화학 반응식으로 이해하고, 관련된 문제를 탐구로 해결하려는 태도를 가졌다. ✍️ ☆☆☆☆☆

평가 결과가 아쉽다면 '2. 화학 반응식'을 다시 한번 학습해 봅시다.

서술형

화학 반응의 양적 관계

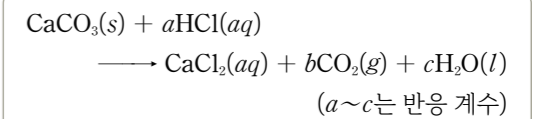
08 다음은 포도당($C_6H_{12}O_6$)이 산소(O_2)와 반응하는 호흡 과정을 화학 반응식으로 나타낸 것이다.



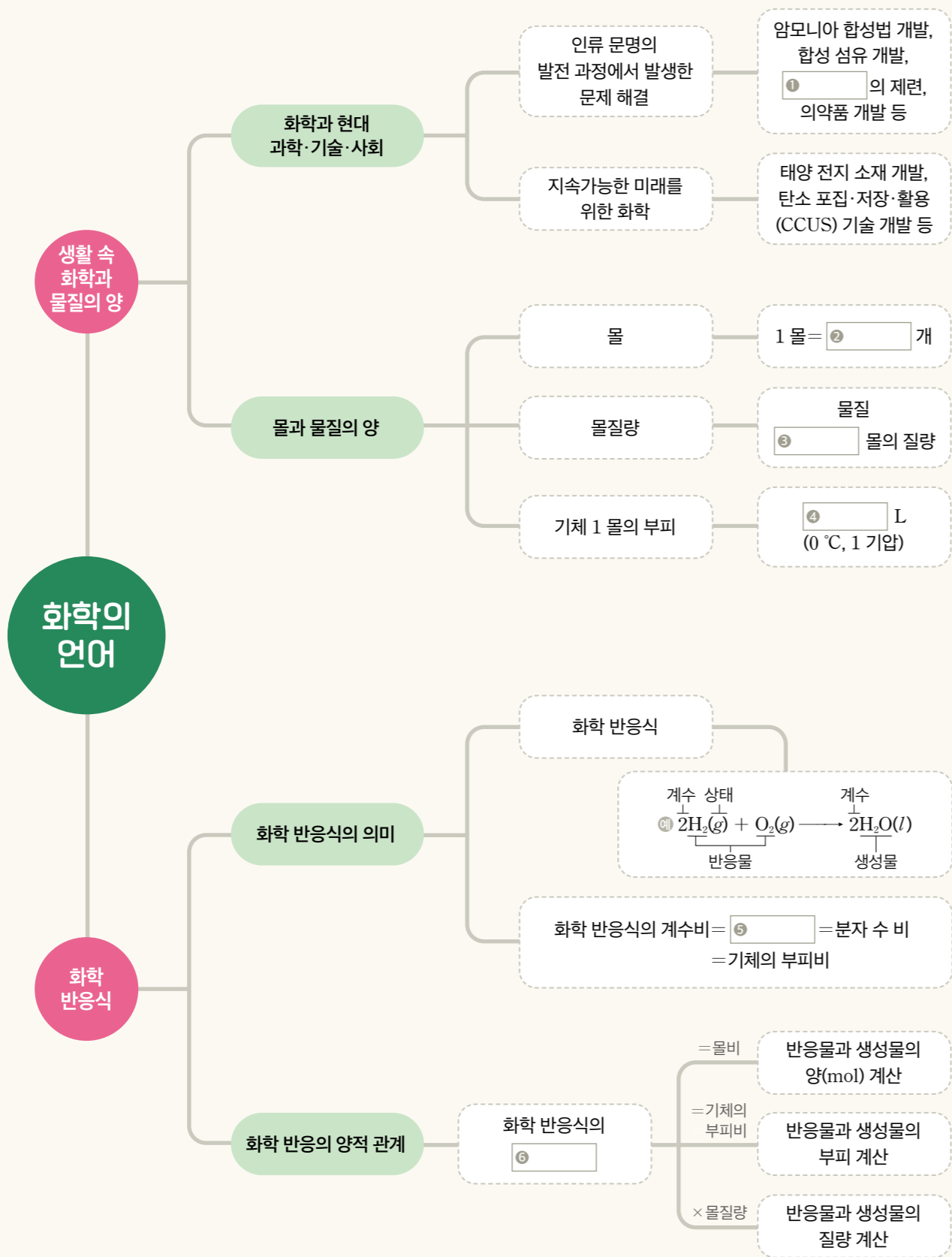
- (1) 반응 계수 $a \sim c$ 를 각각 구해 보자.
- (2) $t^\circ C$, 1 기압에서 포도당 x g이 호흡 과정을 거치면 이산화 탄소 기체 0.6 L와 물 y g이 생성된다. x 와 y 를 각각 구하고, 계산 과정을 설명해 보자. (단, 온도와 압력은 일정하고, 포도당과 물의 몰질량은 각각 180 g/mol, 18 g/mol이며, $t^\circ C$, 1 기압에서 기체 1 몰의 부피는 24 L이다.)

화학 반응의 양적 관계

09 다음은 탄산 칼슘($CaCO_3$)과 염산(HCl(aq))의 반응을 화학 반응식으로 나타낸 것이다.



$0^\circ C$, 1 기압에서 탄산 칼슘 1 g이 충분한 양의 염산과 완전히 반응할 때 생성되는 이산화 탄소 기체의 부피(L)를 구해 보자. (단, 온도와 압력은 일정하고, 탄산 칼슘의 몰질량은 100 g/mol이며, $0^\circ C$, 1 기압에서 기체 1 몰의 부피는 22.4 L이다.)



1 생활 속 화학과 물질의 양

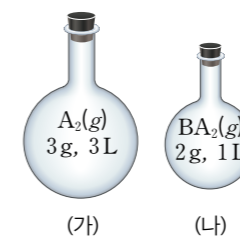
01 화학이 인류 문명의 발전에 기여한 사례로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 골라 보자.

- 보기
- ㄱ. 다양한 기능을 갖춘 합성 섬유로 옷을 만들게 되었다.
 - ㄴ. 의약품, 백신의 발달로 질병을 치료하고 예방할 수 있게 되었다.
 - ㄷ. 기후 위기를 극복하기 위해 화석 연료의 사용량을 늘리는 방법을 개발했다.

02 입자 수가 가장 많은 것은? (단, H, C, O의 물질량은 각각 1 g/mol, 12 g/mol, 16 g/mol이고, 0 °C, 1 기압에서 기체 1 몰의 부피는 22.4 L이다.)

- ① 수소(H₂) 2 g에 들어 있는 수소 분자 수
- ② 흑연(C) 12 g에 들어 있는 탄소 원자 수
- ③ 물(H₂O) 36 g에 들어 있는 수소 원자 수
- ④ 포도당(C₆H₁₂O₆) 18 g에 들어 있는 산소 원자 수
- ⑤ 0 °C, 1 기압에서 메테인(CH₄) 기체 22.4 L에 들어 있는 분자 수

03 그림은 용기에 들어 있는 기체 A₂와 BA₂의 질량과 부피를 각각 나타낸 것이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A와 B는 임의의 원소 기호이고, 용기 속 기체의 온도와 압력은 같다.)



- 보기
- ㄱ. (가)와 (나)에서 기체의 양(mol)은 같다.
 - ㄴ. (가)에서 기체 분자 수와 (나)에서 기체의 총 원자 수는 같다.
 - ㄷ. A와 B의 물질량비는 1 : 2이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

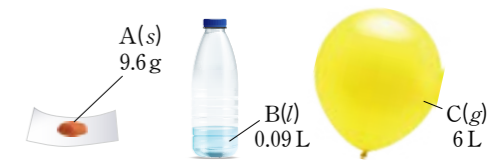
04 표는 같은 온도와 압력에서 같은 부피의 기체 (가)~(다)에 대한 자료이다. (다)는 X와 Y로 이루어진 화합물이다.

기체	(가)	(나)	(다)
질량(상댓값)	7	8	11
화학식	X ₂	Y ₂	

(다)의 화학식을 쓰고, 그 까닭을 설명해 보자.

05 다음은 t °C, 1 기압에서 물질 A~C에 대한 자료이다.

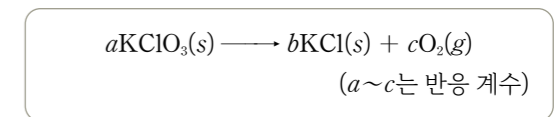
- 물질량: A 64 g/mol, B 18 g/mol
- B(l)의 밀도: 1 g/mL
- t °C, 1 기압에서 기체 1 몰의 부피: 24 L



A~C의 양(mol)을 각각 구하고, 계산 과정을 설명해 보자.

2 화학 반응식

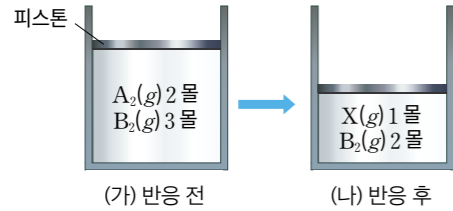
06 다음은 염소산 칼륨(KClO₃)을 가열할 때 일어나는 반응을 화학 반응식으로 나타낸 것이다.



t °C, 1 기압에서 산소 기체 8 L가 생성되었을 때 반응한 염소산 칼륨의 질량은? (단, KClO₃의 물질량은 123 g/mol이고, t °C, 1 기압에서 기체 1 몰의 부피는 24 L이다.)

- ① $\frac{41}{2}$ g ② $\frac{82}{3}$ g ③ 41 g
- ④ $\frac{123}{2}$ g ⑤ 123 g

07 그림은 실린더에서 기체 A₂와 B₂가 반응하여 기체 X를 생성할 때 반응 전과 후 실린더에 존재하는 물질의 양을 나타낸 것이다.

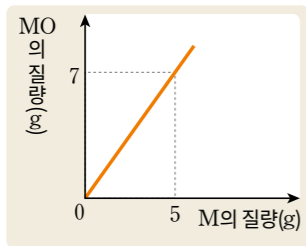


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A와 B는 임의의 원소 기호이고, 온도와 압력은 일정하며, 피스톤의 질량과 마찰은 무시한다.)

- 보기
- ㄱ. X의 화학식은 A₂B이다.
 - ㄴ. 부피는 (나)가 (가)의 3/5 배이다.
 - ㄷ. (나)에 A₂(g) 4 몰을 더 넣고 완전히 반응시킨 후 기체의 부피는 (나)와 같아진다.

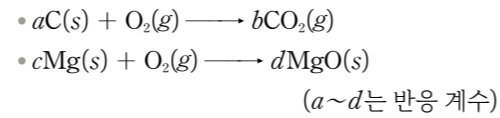
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

08 그림은 금속 M이 산소와 결합하여 MO를 생성할 때 M의 질량에 따른 MO의 질량을 나타낸 것이다.



㉠ M의 물질량(g/mol)과 MO 28 g이 생성되었을 때
 ㉡ 반응한 산소 기체의 양(mol)을 구해 보자. (단, O의 물질량은 16 g/mol이다.)

09 다음은 탄소(C)와 마그네슘(Mg)의 연소를 화학 반응식으로 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, C와 Mg의 물질량은 각각 12 g/mol, 24 g/mol이다.)

- 보기
- ㄱ. a+c=b+d이다.
 - ㄴ. 물질 1 몰이 연소할 때 필요한 O₂의 질량은 C가 Mg의 2 배이다.
 - ㄷ. O₂ 1 g과 반응하는 물질의 질량은 Mg이 C의 4 배이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

서술형
 10 다음은 자동차의 에어백이 작동하는 원리에 대한 설명이다.

에어백은 감지기가 자동차에 가해지는 충격을 감지하여 아자이드화 나트륨(NaN₃) 고체가 나트륨(Na) 고체와 질소(N₂) 기체로 분해되고, 이때 발생하는 질소 기체에 의해 팽창한다. 보통 운전석 에어백의 경우 ㉠ 질소 기체에 의해 75 L의 부피로 부풀 수 있는 양의 아자이드화 나트륨을 넣는다.

- (1) 아자이드화 나트륨의 분해 반응식을 물질의 상태를 포함하여 써 보자.
- (2) ㉠에 적절한 아자이드화 나트륨의 질량(g)을 구하고, 계산 과정을 설명해 보자. (단, N와 Na의 물질량은 각각 14 g/mol, 23 g/mol이고, 고체의 부피는 무시하며, 에어백이 부풀 때의 온도와 압력에서 기체 1 몰의 부피는 25 L라고 가정한다.)

과학 역량 키우기

과학 글쓰기

11 바닷물은 지구 표면의 약 70 %를 차지하고 있으며, 지구의 바닷물의 양은 다음과 같다.

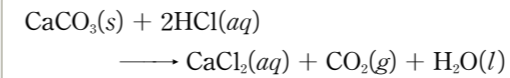
각 대양에 담겨 있는 물의 양은 태평양 6억 7천만 km³, 대서양 3억 6천만 km³, 인도양 2억 km³, 남극해 1억 2천만 km³, 북극해 1700만 km³이다.

(자료 출처: 한국해양과학기술원)

바닷물의 양을 물(6.02×10²³)로 나타내 보고, 이 비율로 느낀 점을 글로 써 보자.

실험 설계하기

12 다음은 탄산 칼슘(CaCO₃)과 염산(HCl(aq))의 반응을 나타낸 것이다.



다음 준비물을 이용하여 탄산 칼슘과 이산화 탄소 사이의 양적 관계를 알아보기 위한 실험을 설계해 보자.

- [준비물]
 탄산 칼슘, 시약포지, 묽은 염산, 삼각 플라스크, 약순가락, 전자저울, 눈금실린더, 유리 막대
- [조건]
 • 탄산 칼슘의 물질량은 100 g/mol이다.
 • 묽은 염산 100 mL는 탄산 칼슘 0.1 몰과 반응하기에 충분한 양이다.

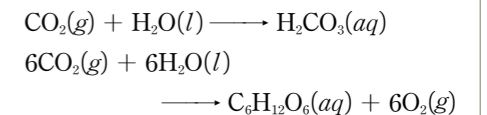
- (1) 실험의 가설을 설정해 보자.
- (2) 설정한 가설을 토대로 실험 계획서를 작성해 보자.

13 다음은 이산화 탄소(CO₂)의 반응에 대한 설명이다.

(가) 이산화 탄소는 물에 녹아 대부분 분자 상태로 존재하지만, 일부는 물과 반응하여 수소 이온을 생성하므로 이산화 탄소가 녹은 물은 산성을 나타낸다. 따라서 탄산 칼슘이 주 성분인 석회암 지대에 이산화 탄소가 녹아 있는 빗물이나 지하수가 흘러 들어가면 다음 반응이 일어나 석회 동굴이 만들어진다.

$$\text{CaCO}_3(s) + \text{CO}_2(g) + \text{H}_2\text{O}(l) \longrightarrow \text{Ca}^{2+}(aq) + 2\text{HCO}_3^-(aq)$$

(나) 바다는 이산화 탄소의 저장고 역할을 한다. 대기 중 이산화 탄소가 녹은 바닷물은 온도와 염분 농도 차에 따른 해류의 순환으로 심해로 이동해 이산화 탄소를 저장하고, 바다에 사는 식물성 플랑크톤은 광합성을 통해 이산화 탄소를 흡수한다.



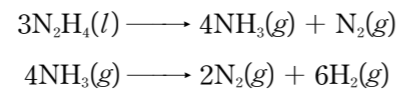
(다) 이산화 탄소는 온도가 낮고 압력이 높을수록 물에 잘 녹는다. 깊은 바다로 내려갈수록 온도는 낮아지고 압력은 높아지므로 바닷물에 녹는 이산화 탄소의 양이 많아진다. 따라서 (㉠)의 반응이 잘 일어나므로 일정 수심보다 더 내려가면 깊은 바다에서는 탄산 칼슘이 주 성분인 조개껍데기를 보기 어렵다.

- (1) ㉠에 들어갈 화학 반응식을 써 보자.
- (2) (가)~(다)의 내용을 바탕으로 하여 대기 중 이산화 탄소의 농도 증가가 해양 생태계에 미치는 영향을 추론하여 글을 써 보자.

화학 반응식, 우주선을 달로 보내다

우주 탐사는 인류의 가장 큰 도전 과제 중 하나이다. 우리나라는 2022 년 달에 탐사선을 보내어 세계 7 번째 달 탐사국이 되었다. 탐사선 다누리호에서 사용하는 연료는 하이드라진(N_2H_4)으로, 다누리호는 전체 질량의 38 %에 달하는 260 kg의 연료를 싣고 출발했다. 다누리호에 실은 연료의 양을 어떻게 정했을까?

우주선의 연료는 짧은 시간 동안 반응하면서 많은 양의 열과 기체를 발생시켜 추진력을 제공한다. 다음은 하이드라진이 우주선을 추진하는 연료로 사용될 때 일어나는 반응의 화학 반응식이다.



위 반응에서 생성된 고온의 기체가 우주선 밖으로 배출되면서 생기는 추진력으로 우주선이 목표 지점까지 도달할 수 있다. 과학자들은 화학 반응식을 이용해 생성되는 기체의 부피를 알아내고, 반응에서 발생하는 열 등의 조건을 고려하여 우주선 추진에 필요한 연료의 양을 계산한다. 이처럼 화학 반응식은 달 탐사 같은 우주 임무에도 유용하게 사용된다.



▲ 다누리호가 찍은 지구와 달의 사진

1 화학 반응식을 이용하여 우주선 로켓 구상하기

- 우주선의 연료로 사용되고 있는 물질을 찾아보고, 연료의 화학 반응식과 양적 관계를 설명해 보자.
- 학교 운동장에서 간이 우주선 로켓을 발사하려고 할 때 사용하기 적절한 연료를 찾아보고, 로켓의 형태와 재질, 선택한 연료의 화학 반응식, 연료로 적절한 까닭 등을 포함한 제작 계획서를 만들어 공유 플랫폼에 공유해 보자.

과정·기능 길잡이

우주선의 연료를 찾을 때 쉽게 접근할 수 있는 반응은 연소 반응이다. 연소 과정에서 생성되는 기체와 열은 우주선에 추진력을 제공한다.

2 우주선 로켓 제작 아이디어 발표하기

- 모둠별로 고안한 우주선 로켓 제작 계획을 발표하고, 실현 가능성과 우주선의 성능 등을 고려하여 학급 전체가 제작할 우주선 로켓을 구상해 보자.

도움말 간이 우주선 로켓을 제작하고 영상을 찍어 공유할 수 있다.

가치·태도 길잡이

다른 모둠의 발표를 잘 듣고 잘한 점과 보완할 점을 생각해 본다.

- 우리 모둠의 활동을 평가해 보자.

내용	평가		
연료의 화학 반응식을 쓰고 양적 관계를 설명했는가?	상	중	하
연료로 적절한 물질을 찾아 간이 우주선 로켓 제작 계획서를 만들고 발표했는가?	상	중	하
모든 모둠원이 우주선 로켓 제작 계획을 발표하고 학급 전체의 우주선을 구상하는 과정에 적극적으로 참여했는가?	상	중	하

포트폴리오

» 이 단원의 활동 결과를 정리해 보자.

· 26 쪽 최신 과학 이야기 · 40 쪽 화학과 나의 미래 · 48 쪽~49 쪽 프로젝트

- 이 단원의 활동 결과를 모아 I. 화학의 언어 포트폴리오 자료로 정리해 보자.
- 디지털** 공유 플랫폼을 활용해 포트폴리오를 친구들과 공유하고, 친구들의 포트폴리오에 댓글을 달거나 **좋아요** 표시를 하면서 소통해 보자.
- 포트폴리오를 인쇄해 책자로 만들어 보자.



II

물질의 구조와 성질

- 1 화학 결합과 결합의 극성
- 2 분자의 구조와 성질

이 단원의 핵심 아이디어

원자들의 화학 결합으로 형성되는 분자는 그 구조에 따라 물리적, 화학적 성질이 달라진다. 분자 구조와 물질의 성질은 어떤 관계가 있을까?

분자 구조로 물질의 극성을 판단할 수 있고, 물질의 용해성, 전기적 성질 등을 예측할 수 있다. 이 단원에서 분자의 구조와 성질이 과학·기술·사회에서 유용하게 활용되는 사례를 알아보고, 이를 바탕으로 하여 분자 구조의 유용성을 생각해 보자.

포트폴리오

» 이 단원을 학습하면서 나만의 특기를 발휘한 포트폴리오를 만들어 보자.
· 64 쪽 과학자 이야기 · 84 쪽 화학과 나의 미래 · 92 쪽~93 쪽 프로젝트

1

화학 결합과 결합의 극성

- 01. 화학 결합의 전기적 성질
- 02. 전기음성도와 결합의 극성

산소, 물, 소금 등 세상을 이루는 수많은 물질은 원자들이 화학 결합을 하여 만들어진다. 원자 사이의 화학 결합은 어떻게 이루어지는 것일까?

학습할 내용을 알아보고 스스로 학습 계획을 세워 봅시다.

이전 학습 내용

알고 있는 내용에 표 해 보자.

- 주기율표 화학 결합 공유 결합 이온 결합

이 단원의 핵심 내용

이 단원에서 배울 핵심 내용을 본문에서 찾아보자.

- 화학 결합의 전기적 성질 쪽 전기음성도 쪽
 결합의 극성 쪽 쌍극자 모멘트 쪽

이 단원의 학습 목표

- 지식·이해** 전기음성도와 쌍극자 모멘트를 이해하고, 이를 바탕으로 하여 결합의 극성을 판단할 수 있다.
과정·기능 물의 전기 분해 실험을 수행하고, 결과를 화학 결합의 전기적 성질과 관련지어 해석할 수 있다.
가치·태도 화학 결합의 성질에 궁금증을 가지고, 탐구 활동을 하여 궁금증을 해결하려는 태도를 가질 수 있다.

나의 학습 계획

나는 이 단원에서 을/를 알고 싶다.

01

화학 결합의 전기적 성질

- 물의 전기 분해 실험을 수행해 화학 결합의 성질을 추론하는 과정에 즐거움을 느끼며 참여할 수 있다.
- 화학 결합의 전기적 성질을 설명할 수 있다.

“ 버려진 물건으로 예술품을 만드는 것을 재활용 예술이라고 한다. 이런 예술품을 만들 때는 못이나 접착제로 재료를 이어 붙인다. 원자가 결합해 물질을 만들 때 원자를 이어 주는 것은 무엇일까? ”



버려진 플라스틱을 붙여서 만든 고래야.

화학 결합

세상에는 셀 수 없이 많은 물질이 존재하지만, 물질을 구성하는 원소는 90여 종에 불과하다. 90여 종의 원소는 서로 결합을 형성해 원소와는 성질이 다른 수많은 물질을 만든다.

원자들은 어떻게 결합을 형성할까? 일반적으로 비금속 원자는 전자를 얻으려는 경향이 있으므로 비금속 원자끼리는 전자쌍을 공유하면서 결합을 형성한다. 비금속 원자와 금속 원자가 결합할 때는 전자를 잃기 쉬운 금속 원자가 비금속 원자에 전자를 주면서 이온이 되어 결합을 형성한다.

연계 통합과학1

『통합과학1』 ‘물질과 규칙성’ 단원에서 화학 결합, 공유 결합, 이온 결합을 학습했다.



그림 II-1 화학 결합으로 형성된 여러 가지 물질. 물은 공유 결합으로 형성되는 물질이고, 소금은 이온 결합으로 형성되는 물질이다. 석영은 원자들이 공유 결합을 하여 그물처럼 연결된 물질이다.

물의 전기 분해 실험으로 화학 결합의 전기적 성질을 알아보자.

탐구

● 탐구 수행 / 결론 도출

🔍 탐구 능력 | 🧠 문제 해결 능력 | 🗣 의사 결정 능력

물의 전기 분해 실험하기



- 준비물**
- 증류수 황산 나트륨
 - 빨대 빨대 마개
 - 침 핀 9 V 건전지
 - 유리병 홈판
 - 스포이트 비커
 - 약솜가락 유리 막대
 - 집게 달린 전선
 - 실험복 보안경
 - 실험용 고무장갑

- 안전**
- 실험할 때는 반드시 실험복, 보안경, 실험용 고무장갑을 착용한다.
 - 젖은 손으로 전선을 만지지 않는다.
 - 실험 후 남은 황산 나트륨 수용액은 무기계 폐수통에 배출한다.

- 도움 자료**
- 실험하기 전에 다음 자료를 먼저 읽어 보자.
- 8 쪽~9 쪽 실험실 안전 수칙
 - 178 쪽 디지털 리터러시 도움 자료

목표

물의 전기 분해 실험으로 화학 결합의 전기적 성질을 설명할 수 있다.

예상

1. 물(H₂O)을 전기 분해 하면 어떤 물질이 생성될지 써 보자.



2. 물의 분해 반응식을 쓰고, 생성물의 부피비를 예측해 보자.



과정 및 결과

1. 비커에 증류수를 넣고 황산 나트륨(Na₂SO₄)을 소량 녹이자.

- 황산 나트륨을 녹이는 까닭은 무엇일까?



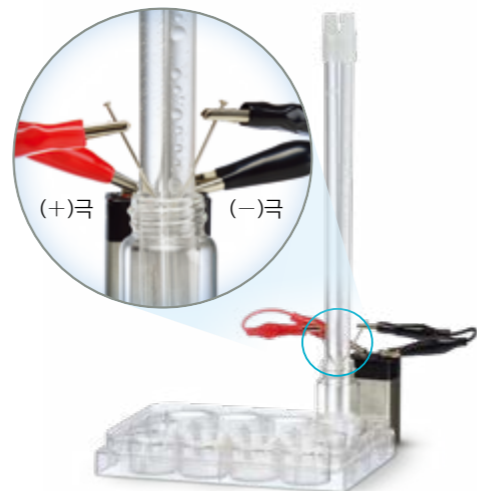
2. 유리병을 홈판에 꽂은 다음 **과정 및 결과 1**의 용액을 절반 정도 채우자.

3. 빨대 2 개의 한쪽 끝을 각각 마개로 막고, **과정 및 결과 1**의 용액을 가득 채운 다음 유리 병에 뒤집어 세우자.

4. 빨대 아래쪽에 침 핀을 각각 꽂고 건전지에 연결한 뒤 각 전극에서 일어나는 변화를 관찰하자.

5. 반응이 충분히 일어난 뒤 건전지를 분리하자.

도움말 용액이 침 핀 아래로 내려가기 전에 건전지를 분리한다.



6. 생성된 기체의 부피비를 확인해 보자.

도움말 기체가 생성된 높이를 측정해 부피비를 구할 수 있다.

- 각 전극에서 발생한 기체의 부피비는 얼마인가?

(+)극 : (-)극 = _____ : _____

정리

1. 생성된 기체의 종류를 물의 분해 반응식과 관련지어 설명해 보자.

- 각 전극에서 발생한 기체의 종류는 무엇인가?

(+)극: _____, (-)극: _____

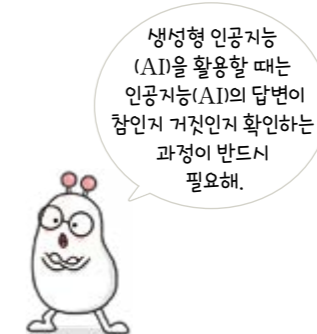
- 그렇게 생각한 까닭은 무엇인가?



2. 실험 결과를 바탕으로 하여 물 분자를 이루는 원자 사이의 화학 결합에 어떤 성질이 있는지 추론해 보자.



3. **창의** 물의 전기 분해로 발생한 두 가지 기체를 확인하는 방법을 생성형 인공지능(AI)으로 찾아 정리하고, 공유 플랫폼을 활용하여 공유해 보자.



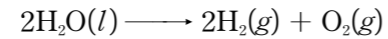
스스로 평가하기

- | 지식·이해 | 물질을 이루는 원자 사이의 화학 결합에 전기적 성질이 있음을 설명했는가? ☆☆☆☆☆
- | 과정·기능 | 실험 결과를 바탕으로 하여 물 분자를 이루는 원자 사이의 화학 결합에 어떤 성질이 있는지 추론했는가? ☆☆☆☆☆
- | 가치·태도 | 화학 결합의 성질에 관한 궁금증을 해소하려는 태도로 탐구를 수행했는가? ☆☆☆☆☆

물을 이루는 수소와 산소
 물 분자는 수소 원자 2 개와 산소 원자 1 개로 이루어져 있으므로 물을 분해할 때 생성되는 산소 기체와 수소 기체의 몰비와 부피비는 1 : 2이다.

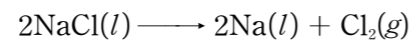
화학 결합의 전기적 성질

물(H₂O)에 전류를 흘려 주면 물이 분해되어 물의 양이 점점 줄어들면서 각 전극에서 기포가 발생한다. 이때 (+)극에서는 산소(O₂) 기체가, (-)극에서는 수소(H₂) 기체가 1 : 2의 부피비로 발생한다.



물에 전기 에너지를 가하면 물 분자를 이루는 수소(H) 원자와 산소(O) 원자 사이의 결합이 끊어진다. 이는 수소 원자와 산소 원자가 결합을 형성할 때 전자가 관여하며, 수소 원자와 산소 원자 사이의 결합에 전기적 성질이 있기 때문이다.

전기 분해를 하면 공유 결합뿐만 아니라 이온 결합에도 전기적 성질이 있다는 것을 확인할 수 있다. 예를 들어 염화 나트륨(NaCl)과 같은 이온 결합 물질은 고체 상태일 때 전류가 흐르지 않지만 액체 상태가 되면 전류가 흐르는데, 이는 염화 나트륨을 구성하는 이온이 액체 상태에서 자유롭게 움직일 수 있기 때문이다. 염화 나트륨 용융액에 전류를 흘려 주면 (-)극에서는 나트륨(Na)이, (+)극에서는 염소(Cl₂) 기체가 발생하는데, 이로부터 나트륨과 염소가 결합을 형성할 때 전자가 관여함을 알 수 있다.



이처럼 화학 결합이 형성될 때는 전기적 성질을 띠는 전자가 관여하며, 화학 결합에는 전기적 성질이 있다.

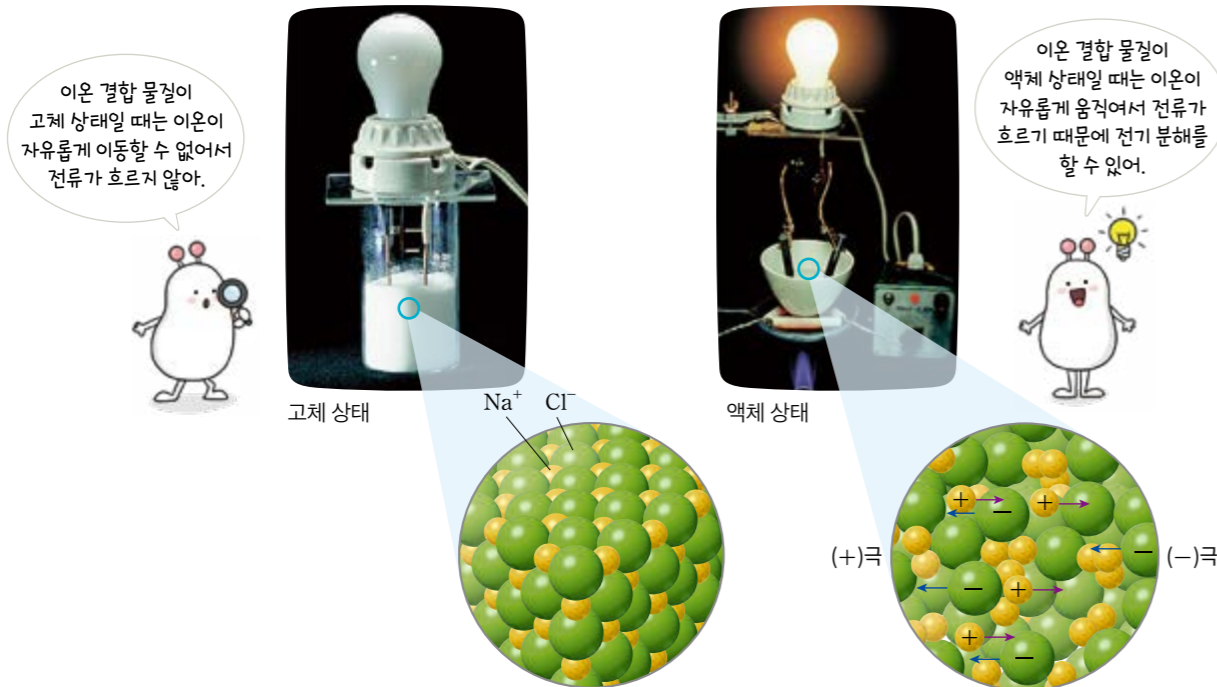


그림 II-2 고체와 액체 상태에서 염화 나트륨의 전기 전도성

과학미당 역사속 과학 | 금보다 비쌌던 알루미늄

19세기 중반만 하더라도 알루미늄은 금보다 훨씬 귀한 금속으로 대접을 받았다. 나폴레옹 3세는 왕궁의 모든 식기를 알루미늄으로 갖출 수 없어서 왕족과 같이 귀한 손님에게는 알루미늄으로 된 식기와 술잔을 내놓고, 신분이 낮은 손님에게는 금과 은으로 된 식기를 내놓는 차별 아닌 차별 대우를 했다. 또 당시 미국에서는 국력을 자랑하기 위해 워싱턴 기념탑의 꼭대기를 알루미늄으로 장식했다.

지각에서 가장 풍부한 금속 원소인 알루미늄이 이렇게 귀했던 까닭은 알루미늄이 대부분 산화 알루미늄(Al₂O₃) 형태로 존재하며, 산화 알루미늄에서 산소를 떼어 내 순수한 알루미늄을 얻기가 쉽지 않았기 때문이다.

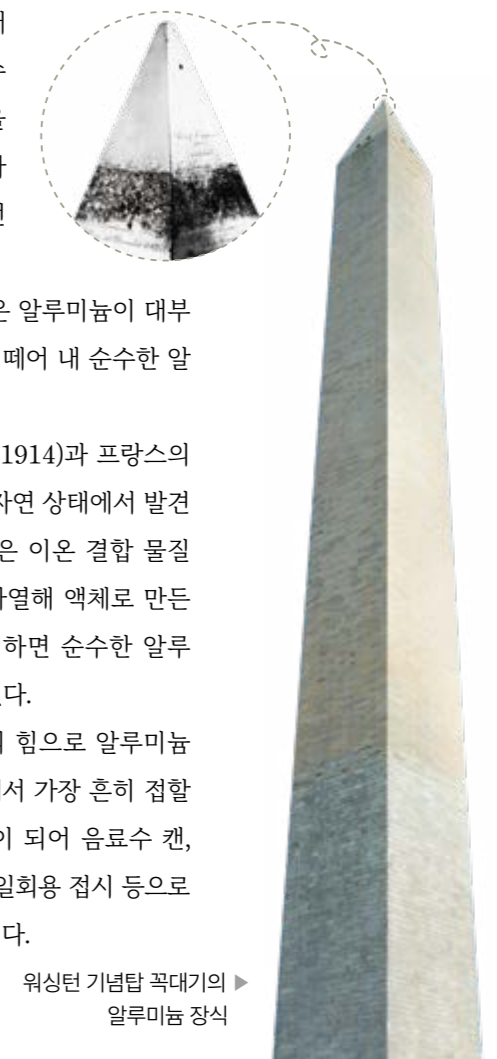
알루미늄이 대중화된 것은 1886년 미국의 홀(Hall, C. M., 1863~1914)과 프랑스의 에루(Héroult, P. L. T., 1863~1914)가 개발한 제련 방법 덕분이다. 자연 상태에서 발견

되는 산화 알루미늄은 이온 결합 물질이므로, 고온으로 가열해 액체로 만든 다음 전기 분해를 하면 순수한 알루미늄을 얻을 수 있다.

이러한 화학의 힘으로 알루미늄은 현대 사회에서 가장 흔히 접할 수 있는 금속이 되어 음료수 캔, 알루미늄박, 일회용 접시 등으로 이용되고 있다.



▲ 알루미늄 제품



▶ 워싱턴 기념탑 꼭대기의 알루미늄 장식

확인하기

- 1 물의 전기 분해 실험에서 (+)극과 (-)극에서 발생하는 기체의 종류와 부피비를 써 보자.
- 2 물에 전류를 흘려 주었을 때 수소와 산소로 분해되는 까닭은 화학 결합이 형성될 때 ()이 관여하기 때문이다.

소단원 마무리

창의력 키우기

순수한 물과 소금물 중 전기 전도도가 큰 물질은 어떤 것인지 생각해 보고, 젖은 손으로 전기 플러그나 콘센트를 만지면 감전의 위험이 있는 까닭을 설명해 보자.

디지털 소양 키우기

전기 분해로 순수한 원소를 얻는 방법을 보여 주는 영상이나 자료를 찾아 공유 플랫폼을 활용하여 공유해 보자.

02

전기음성도와 결합의 극성

- 전기음성도의 주기성에 호기심을 가지고, 이를 해결하려는 태도를 가질 수 있다.
- 전기음성도 차이와 쌍극자 모멘트로 결합의 극성을 판단할 수 있다.

“ 줄다리기를 할 때 양쪽에서 줄을 당기는 힘이 같다면 줄 가운데의 매듭은 어느 한쪽으로 치우치지 않지만, 줄을 당기는 힘이 서로 다르다면 힘이 더 큰 쪽으로 매듭이 치우친다. 원자 사이에 전자쌍을 공유하여 결합을 형성할 때 원자의 종류에 따라 공유 전자쌍이 치우치는 정도가 다를까? ”



전기음성도의 주기적 변화

비금속 원자끼리 공유 결합을 할 때 원자핵과 공유 전자쌍 사이의 인력으로 결합이 형성된다. 이때 수소(H₂)나 산소(O₂)처럼 결합을 이루는 원자의 종류가 같으면 공유 전자쌍이 어느 한 원자 쪽으로 치우치지 않는다. 반면 물(H₂O)처럼 결합을 이루는 원자의 종류가 다르면 공유 전자쌍이 어느 한 원자 쪽으로 치우친다. 이는 원자의 종류에 따라 원자핵이 공유 전자쌍을 끌어당기는 정도가 다르기 때문이다. 이때 공유 결합을 이루는 각 원자가 공유 전자쌍을 끌어당기는 정도를 상대적인 수치로 나타낸 것을 **전기음성도**라고 한다.

전기음성도는 폴링(Pauling, L. C., 1901~1994)이 정한 척도가 주로 사용된다. 폴링은 공유 전자쌍을 끌어당기는 정도가 가장 큰 플루오린(F)의 전기음성도를 4.0으로 정하고, 이를 기준으로 다른 원자들의 전기음성도를 상대적으로 나타냈다.

연계 통합과학1

『통합과학1』 '물질과 규칙성' 단원에서 원소의 주기성, 공유 결합을 학습했다.

18족 원소의 전기음성도
18족 원소는 매우 안정해 다른 원자들과 결합을 형성하기 어려우므로 보통 전기음성도를 다루지 않는다.

주기	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	H 2.2																
2	Li 1.0	Be 1.6											B 2.0	C 2.6	N 3.0	O 3.4	F 4.0
3	Na 0.9	Mg 1.3											Al 1.6	Si 1.9	P 2.2	S 2.6	Cl 3.2
4	K 0.8	Ca 1.0	Sc 1.4	Ti 1.5	V 1.6	Cr 1.7	Mn 1.6	Fe 1.8	Co 1.9	Ni 1.9	Cu 1.9	Zn 1.7	Ga 1.8	Ge 2.0	As 2.0	Se 2.6	Br 3.0
5	Rb 0.8	Sr 1.0	Y 1.2	Zr 1.3	Nb 1.6	Mo 2.2	Tc 2.1	Ru 2.2	Rh 2.3	Pd 2.2	Ag 1.9	Cd 1.7	In 1.8	Sn 2.0	Sb 2.1	Te 2.1	I 2.7
6	Cs 0.8	Ba 0.9	La 1.1	Hf 1.3	Ta 1.5	W 1.7	Re 1.9	Os 2.2	Ir 2.2	Pt 2.2	Au 2.4	Hg 1.9	Tl 1.8	Pb 1.8	Bi 1.9	Po 2.0	At 2.2
7	Fr 0.7	Ra 0.9	Ac 1.1														

그림 II-3 전기음성도

(자료 출처: 『CRC Handbook of Chemistry and Physics(104th ed.)』, 2023.)

해보기

전기음성도의 주기성 찾기

탐구 능력 | 의사 결정 능력

준비물 스마트 기기

1. 다음 1주기~3주기 원소의 전기음성도 값을 스프레드시트에 써 보자.

주기	족	1	2	13	14	15	16	17
1		H						
2		Li	Be	B	C	N	O	F
3		Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl

2. 스프레드시트로 전기음성도의 주기적 경향성을 찾기에 적절한 그래프를 그리고, 공유 플랫폼을 활용하여 공유해 보자.

정리

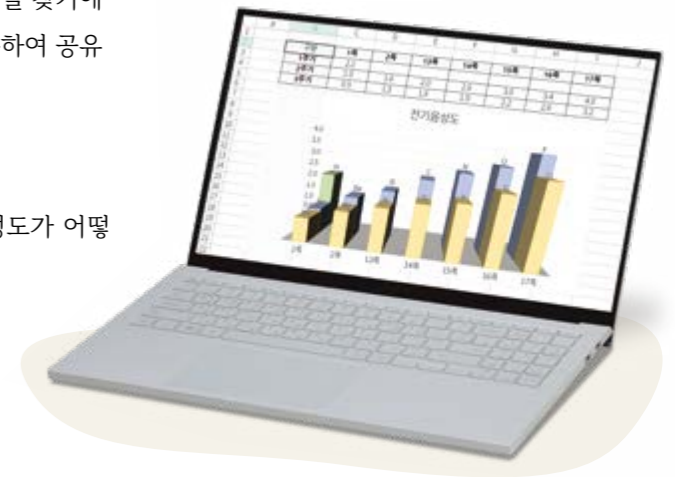
1. 같은 족에서 원자 번호가 커질수록 전기음성도가 어떻게 변하는지 이야기해 보자.



2. 같은 주기에서 원자 번호가 커질수록 전기음성도가 어떻게 변하는지 이야기해 보자.



3. 공유한 그래프 중 전기음성도의 주기성을 가장 효과적으로 표현한 그래프를 고르고, 그렇게 생각한 까닭을 이야기해 보자.



전기음성도는 원자핵과 공유 전자쌍 사이의 정전기적 인력에 따라 달라진다. 대체로 같은 주기에서는 원자 번호가 커질수록 전기음성도가 증가하고, 같은 족에서는 원자 번호가 커질수록 전기음성도가 감소하는 경향이 있다.

확인하기

1. 공유 결합을 이루는 각 원자가 공유 전자쌍을 끌어당기는 정도를 상대적인 수치로 나타낸 것을 ()이라고 한다.

2. 같은 주기에서 원자 번호가 커질수록 전기음성도가 대체로 (증가한다, 감소한다).

도움 자료
활동 전에 다음 자료를 먼저 읽어 보자.
• 179 쪽 스프레드시트 기본 기능

주기율표에서 플루오린(F)에 가까워지는 방향으로 갈수록 전기음성도가 대체로 증가하는 경향이 있어.



결합의 극성

전기음성도가 같거나 다른 두 원자가 공유 결합을 형성할 때 전기음성도 차이에 따른 공유 전자쌍의 치우침을 알아보자.

해보기

공유 전자쌍의 치우침 확인하기

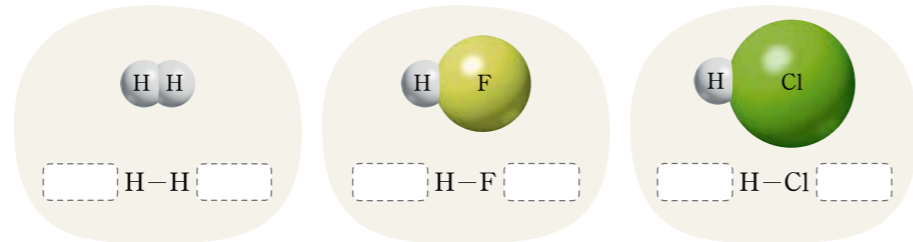
탐구 능력 | 의사 결정 능력

모의실험



준비물 스마트 기기

1. 수소(H₂), 플루오린화 수소(HF), 염화 수소(HCl) 분자에서 각 결합을 이루는 원자의 전기음성도를 에 써 보자.



- 각 결합에서 공유 전자쌍은 어느 원자 쪽으로 치우칠까?



2. 분자 구조 모델링 프로그램으로 세 가지 분자를 다양한 모형으로 나타내고, 공유 전자쌍의 치우침을 보여 주는 모형을 찾아 H-H, H-F, H-Cl 결합에서 공유 전자쌍의 치우침을 확인해 보자.

- 모형에서 공유 전자쌍의 치우침에 따라 색깔이 어떻게 변하는가?



정리

1. 세 가지 결합에서 공유 전자쌍이 치우친 정도가 얼마나 다른지 모형을 이용하여 비교해 보자.



2. 전기음성도 차이와 공유 전자쌍의 치우침 사이에는 어떤 관계가 있는지 토의해 보자.



검색·누리집

<https://science-on.kofac.re.kr>

한국과학창의재단의 지능형 과학실 ON에서 '극성'을 검색해 전기음성도와 결합의 극성을 알아보는 프로그램을 실행해 보자.

수소(H₂)처럼 같은 종류의 원자가 공유 결합을 할 때 공유 전자쌍은 어느 한쪽으로 치우치지 않는다. 이러한 결합을 **무극성 공유 결합**이라고 한다. 산소(O₂), 질소(N₂) 등은 무극성 공유 결합으로 이루어진 분자이다.

반면 염화 수소(HCl), 플루오린화 수소(HF)처럼 전기음성도가 서로 다른 두 원자가 공유 결합을 할 때 전기음성도가 큰 원자는 전기음성도가 작은 원자보다 공유 전자쌍을 세게 끌어당기므로 공유 전자쌍은 전기음성도가 큰 원자 쪽으로 치우친다. 이러한 결합을 **극성 공유 결합**이라고 한다. 이때 전기음성도가 큰 원자는 부분적인 음전하(δ^-)를, 전기음성도가 작은 원자는 부분적인 양전하(δ^+)를 띤다.

부분 전하의 표시 δ (델타)를 이용해 δ^+ 와 δ^- 로 나타낸다.

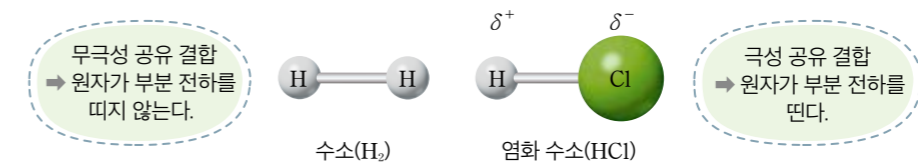


그림 II-4 무극성 공유 결합과 극성 공유 결합으로 이루어진 분자

그렇다면 H-F 결합과 H-Cl 결합에서 공유 전자쌍이 치우치는 정도는 얼마나 다를까?

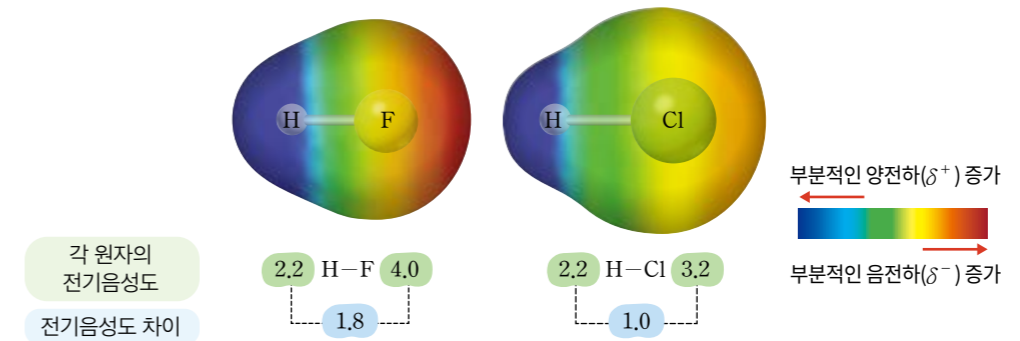


그림 II-5 결합을 이루는 원자의 전기음성도 차이에 따른 공유 전자쌍의 치우침

그림 II-5와 같이 H-F 결합이 H-Cl 결합보다 공유 전자쌍의 치우침이 더 크다. 이는 수소(H) 원자와 플루오린(F) 원자의 전기음성도 차이가 수소(H) 원자와 염소(Cl) 원자의 전기음성도 차이보다 크기 때문이다. 즉, 화학 결합을 형성하는 두 원자의 전기음성도 차이가 커질수록 결합의 극성이 대체로 커진다.

확인하기

1. 공유 결합은 결합하는 두 원자의 전기음성도의 차이에 따라 () 공유 결합과 () 공유 결합으로 나눌 수 있다.
2. 다음 세 가지 결합을 무극성 공유 결합과 극성 공유 결합으로 구분해 써 보자.

N-H N≡N C-F

결합의 쌍극자 모멘트

극성 공유 결합에서 두 원자가 서로 다른 부분 전하를 띠는 것처럼, 크기가 같고 부호가 반대인 두 전하가 일정한 거리를 두고 분리된 것을 **쌍극자**라고 한다. 쌍극자는 **쌍극자 모멘트**를 가지는데, 쌍극자 모멘트는 공유 결합에서 극성의 크기를 나타내는 척도로 사용된다. 쌍극자 모멘트는 전기음성도가 작은 원자에서 큰 원자를 향하도록 **그림 II-6**과 같은 화살표로 나타낸다.



그림 II-6 염화 수소(HCl)의 쌍극자 모멘트 표시

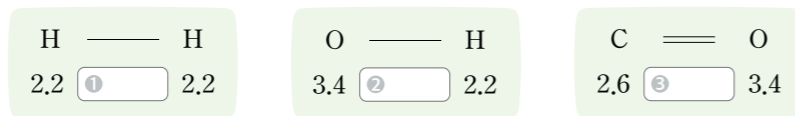
무극성 공유 결합은 결합한 원자가 부분 전하를 띠지 않으므로 결합의 쌍극자 모멘트가 0이다. 원자 사이의 전기음성도 차이가 0보다 큰 극성 공유 결합은 결합의 쌍극자 모멘트가 0이 아니다. 결합한 원자의 전기음성도 차이가 커질수록 공유 전자쌍의 치우침이 커져서 부분 전하의 크기가 증가하므로 쌍극자 모멘트와 결합의 극성이 대체로 커진다.

연습 해보기

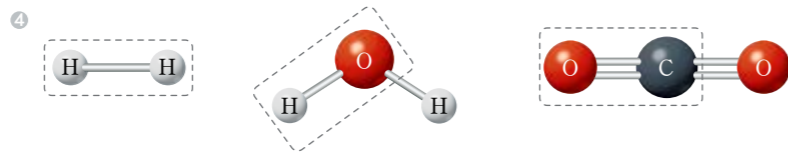
수소(H₂), 물(H₂O), 이산화 탄소(CO₂) 분자 내 결합의 극성을 쌍극자 모멘트로 판단해 보자.

풀이 따라가기

1 단계 H-H, O-H, C=O 결합을 이루는 원자의 전기음성도를 >, =, <로 비교한다.



2 단계 결합을 이루는 원자의 전기음성도 차이가 0이 아닌 결합의 쌍극자 모멘트를 화살표(+→)로 나타내고, 각 원자의 부분 전하를 δ⁺, δ⁻로 표시한다.



3 단계 결합의 극성을 판단한다.

- H-H: (① 극성, 무극성) 공유 결합
- O-H: (② 극성, 무극성) 공유 결합
- C=O: (③ 극성, 무극성) 공유 결합

결합을 형성하는 원자의 전기음성도 차이가 커질수록 공유 전자쌍의 치우침이 커진다. 이때 전기음성도 차이가 매우 커지면 전기음성도가 작은 원자에서 전기음성도가 큰 원자로 전자가 완전히 이동해 양이온과 음이온이 형성되고, 이온 사이의 정전기적 인력으로 이온 결합이 형성된다.

즉, 결합을 이루는 두 원자의 전기음성도가 같아서 두 원자가 전자를 동등하게 공유하면 무극성 공유 결합이 되고, 두 원자의 전기음성도 차이가 매우 커서 전자가 한 원자 쪽으로 이동하면 이온 결합이 된다. 따라서 무극성 공유 결합과 이온 결합은 화학 결합의 양 끝이라고 할 수 있으며, 대부분의 화학 결합은 **그림 II-7**과 같이 무극성 공유 결합과 이온 결합 사이의 어딘가에 위치한다.

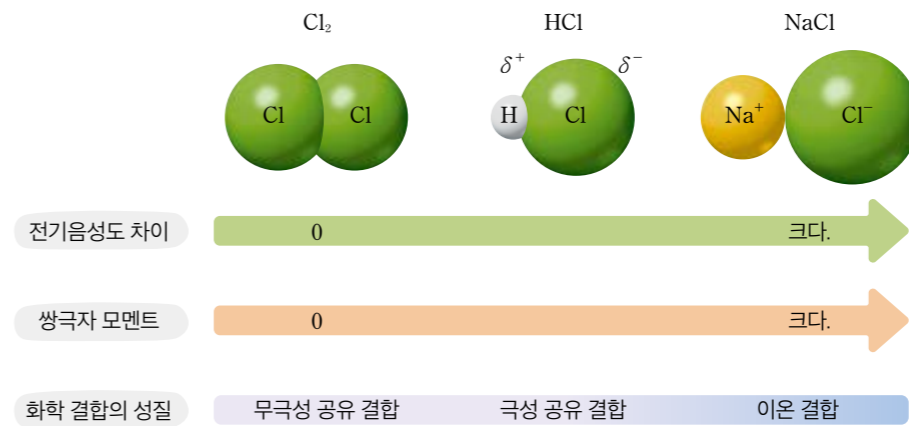
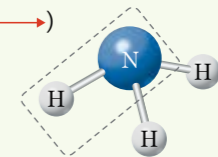


그림 II-7 전기음성도 차이에 따른 화학 결합의 구분

확인하기

1 암모니아(NH₃)에서 N-H 결합의 쌍극자 모멘트를 화살표(+→)로 나타내고, 각 원자의 부분 전하를 표시해 보자.



2 대체로 결합을 이루는 원자의 전기음성도 차이가 커질수록 결합의 쌍극자 모멘트가 (커지고, 작아지고) 결합의 극성이 (커진다, 작아진다).

소단원 마무리

창의력 키우기

탄소(C)와 황(S)은 전기음성도가 2.6으로 표시된다. 그러나 C-S 결합에서 결합의 쌍극자 모멘트는 0이 아니다. 그 까닭을 생각해 보자.

디지털 소양 키우기

분자 구조 모델링 프로그램으로 무극성 공유 결합, 극성 공유 결합, 이온 결합으로 이루어진 물질에서 전자의 치우침을 나타내는 모형을 각각 그려 보자.

노벨상을 두 번 수상한 과학자 폴링

폴링은 노벨 화학상과 노벨 평화상을 받은 미국의 화학자이다. 노벨상을 단독으로 두 번 받은 사람은 세계에서 폴링 단 한 명이다.

폴링은 원자가 결합을 할 때 원자 사이에 전자를 공유한다는 이론에 관심을 가지고 분자의 성질이 원자의 결합 구조와 어떤 관계가 있는지 연구했다. 꾸준한 연구 끝에 폴링은 원자 사이의 결합을 설명한 공로로 1954년 노벨 화학상을 수상했다. 그는 이온 결합과 공유 결합을 결합의 양 끝에 놓고 대부분의 결합이 이 두 결합 사이의 어딘가에 존재한다고 주장했고, 이 과정에서 전기음성도 개념을 도입했다.

제이 차 세계 대전 후 폴링은 원자 폭탄 사용에 반대하는 연설을 하거나 핵 실험 중지를 요구하는 성명서를 유엔(UN)에 제출하는 등 핵무기 개발의 위험을 알리려고 많은 노력을 했다. 또 방사성 스트론튬이 사람에게 미치는 영향을 연구하기도 했다. 이런 노력의 결실로 1962년에 지하를 제외한 모든 곳에서 핵 실험을 금지하는 조약이 체결됐고, 핵 실험 금지 조약이 체결되는 데 크게 공헌한 폴링은 노벨 평화상을 받았다.

활동하기

토의

과학자의 사회적 참여와 관련된 사례를 조사하고, 과학자가 지녀야 할 소양에 관해 토의해 보자.



01 화학 결합의 전기적 성질 53 쪽

물(H₂O)을 전기 분해 하면 산소(O₂) 기체와 수소(H₂) 기체가 ①의 부피비로 발생한다. → 화학 결합에 ② 성질이 있다는 것을 알 수 있다.

02 전기음성도와 결합의 극성 58 쪽

(1) 전기음성도

- ① 공유 결합을 이루는 각 원자가 ③을/를 끌어당기는 정도를 상대적인 수치로 나타낸 것
- ② 주기적 경향성: 같은 주기에서는 원자 번호가 커질수록, 같은 족에서는 원자 번호가 작아질수록 전기음성도가 대체로 (④ 증가한다, 감소한다).

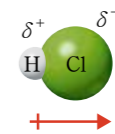


(2) 결합의 극성

⑤ 공유 결합	⑥ 공유 결합
전기음성도가 같은 원자 사이에 이루어지는 결합으로, 공유 전자쌍의 치우침이 없는 공유 결합	전기음성도가 서로 다른 원자 사이에 이루어지는 결합으로, 전기음성도가 큰 원자 쪽으로 공유 전자쌍이 치우치는 공유 결합
예 $\text{H} - \text{H}$ 수소(H ₂)	예 $\text{H} - \text{Cl}$ 염화 수소(HCl)

(3) 결합의 쌍극자 모멘트

- ① 공유 결합에서 극성의 크기를 나타내는 척도로, 전기음성도가 작은 원자에서 큰 원자를 향하도록 화살표로 나타낸다.
- ② 두 원자의 전기음성도 차이가 클수록 결합의 쌍극자 모멘트와 결합의 극성이 대체로 (⑦ 증가한다, 감소한다).



함께 풀어 보기

제시된 핵심 내용과 관련된 간단한 문제를 만들고, 공유 플랫폼에 공유하여 친구들과 함께 풀어 보자.

화학 결합의 전기적 성질

.....

.....

.....

전기음성도

.....

.....

.....

결합의 극성

.....

.....

.....

쌍극자 모멘트

.....

.....

.....

[01~02] 다음은 물과 염화 나트륨 용액의 전기 분해 실험이다.

[실험 과정]

(가) 황산 나트륨(Na_2SO_4)을 소량 넣은 물(H_2O)에 전류를 흘려 주었더니 기체 A와 B가 2 : 1의 부피비로 생성됐다.

(나) 염화 나트륨(NaCl) 용액에 전류를 흘려 주었더니 나트륨(Na)과 염소(Cl_2) 기체가 생성됐다.

[실험 결론]

• 화학 결합이 형성될 때 \ominus 이/가 관여함을 알 수 있다.

서술형

화학 결합의 전기적 성질

01 (가)의 A와 B가 어떤 기체인지 쓰고, 그렇게 생각한 까닭을 물의 분해 반응식과 관련지어 설명해 보자.

화학 결합의 전기적 성질

02 위 실험에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. (나)의 염화 나트륨 용액에서는 이온이 이동할 수 있다.
- ㄴ. \ominus 은 전자이다.
- ㄷ. 화학 결합에 전기적 성질이 있음을 알 수 있다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

전기음성도

03 전기음성도에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

- ① 전기음성도가 가장 큰 원자는 플루오린(F)이다.
- ② 같은 족에서 원자 번호가 커질수록 전기음성도가 대체로 증가한다.
- ③ 같은 주기에서 원자 번호가 커질수록 전기음성도가 대체로 증가한다.
- ④ 전기음성도가 큰 원자일수록 공유 결합에서 공유 전자쌍을 세계 끌어당긴다.
- ⑤ 전기음성도가 같은 원자끼리 결합하면 공유 전자쌍이 어느 한 원자로 치우치지 않는다.

전기음성도

04 그림은 주기율표의 일부를 나타낸 것이다.

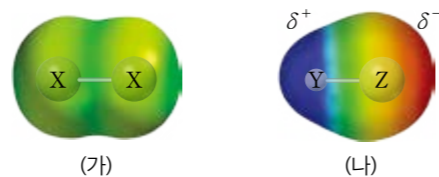
족	1	2	13	14	15	16	17	18
주기								
2	W			X	Y			
3	Z							

원자 W~Z의 전기음성도를 비교한 것으로 옳은 것은? (단, W~Z는 임의의 원소 기호이다.)

- ① $W > X > Y > Z$ ② $X > Y > Z > W$
- ③ $Y > X > W > Z$ ④ $Y > X > Z > W$
- ⑤ $Z > W > X > Y$

결합의 극성

05 그림은 원자 X~Z로 이루어진 분자 (가)와 (나)의 공유 전자쌍의 치우침과 부분 전하를 모형으로 나타낸 것이다.



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

보기

- ㄱ. (가)는 무극성 공유 결합으로 이루어져 있다.
- ㄴ. 전기음성도는 Z가 Y보다 크다.
- ㄷ. (나)에서 공유 전자쌍은 Z 쪽으로 치우친다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

결합의 극성

06 표는 2주기 원자 X~Z의 전기음성도를 나타낸 것이다.

원자	X	Y	Z
전기음성도	3.0	3.4	4.0

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

보기

- ㄱ. 원자 번호는 X가 Y보다 크다.
- ㄴ. X와 Z가 결합을 형성할 때 공유 전자쌍은 Z 쪽으로 치우친다.
- ㄷ. Y-Z 결합에서 Y는 부분적인 양전하(δ^+)를 띤다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

쌍극자 모멘트

07 공유 결합과 쌍극자 모멘트에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기

- ㄱ. 물(H_2O)에는 쌍극자 모멘트가 0인 결합이 있다.
- ㄴ. 공유 결합에서 극성의 크기를 쌍극자 모멘트로 나타낸다.
- ㄷ. 결합하는 원자의 전기음성도 차이가 작을수록 결합의 쌍극자 모멘트가 대체로 증가한다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

스스로 점검하기

지식-이해

전기음성도와 쌍극자 모멘트를 이해하고, 이를 바탕으로 하여 결합의 극성을 판단했다.



과정-기능

물의 전기 분해 실험을 수행하고, 결과를 화학 결합의 전기적 성질과 관련지어 해석했다.



가치-태도

화학 결합의 성질에 궁금증을 가지고, 탐구 활동을 하여 궁금증을 해결하려는 태도를 가졌다.



평가 결과가 아쉽다면 '1. 화학 결합과 결합의 극성'을 다시 한번 학습해 보시오.

서술형

쌍극자 모멘트

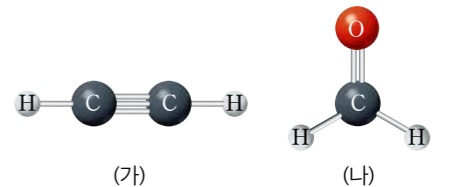
08 그림은 원자 A~D로 이루어진 분자에서 결합의 쌍극자 모멘트를 나타낸 것이다.



원자 A~D를 전기음성도가 큰 것부터 순서대로 나열하고, 그렇게 생각한 까닭을 설명해 보자. (단, A~D는 임의의 원소 기호이다.)

쌍극자 모멘트

09 그림은 분자 (가)와 (나)의 구조를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 전기음성도는 $O > C > H$ 이다.)

보기

- ㄱ. (가)에는 무극성 공유 결합과 극성 공유 결합이 모두 있다.
- ㄴ. (나)의 C=O 결합에서 결합의 쌍극자 모멘트는 C에서 O를 향하도록 표시(\rightarrow)한다.
- ㄷ. (가)의 C-H 결합과 (나)의 C-H 결합에서 H는 모두 부분적인 양전하(δ^+)를 띤다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

2

분자의 구조와 성질

- 01. 루이스 전자점식
- 02. 전자쌍 반발 이론과 분자 구조
- 03. 분자 구조에 따른 물질의 성질



‘오목한 부분에 볼록한 부분을 끼운다’는 단순한 원리로 장난감 블록을 조작하면 다양한 모양을 만들 수 있다. 원자는 어떤 원리로 결합해 분자를 만들까?

학습할 내용을 알아보고 스스로 학습 계획을 세워 봅시다.

이전 학습 내용

알고 있는 내용에 표 해 보자.

- 원자가 전자
- 전기음성도
- 결합의 극성

이 단원의 핵심 내용

이 단원에서 배울 핵심 내용을 본문에서 찾아보자.

- 루이스 전자점식 쪽
- 전자쌍 반발 이론 쪽
- 분자 구조 쪽
- 분자의 극성 쪽

이 단원의 학습 목표

- 지식·이해** 루이스 전자점식과 전자쌍 반발 이론으로 분자의 구조와 성질을 설명할 수 있다.
- 과정·기능** 전자쌍 반발 이론을 근거로 분자 구조를 추론해 모형으로 나타낼 수 있다.
- 가치·태도** 화학을 활용해 우리 주위 물질의 성질에 관한 궁금증을 해소하려는 태도를 가질 수 있다.

나의 학습 계획

나는 이 단원에서 을/를 알고 싶다.

01

루이스 전자점식

- 원자와 분자를 루이스 전자점식으로 표현할 수 있다.
- 루이스 전자점식으로 공유 결합을 나타내면 원자 사이의 화학 결합을 이해하는 데 유용함을 인식할 수 있다.

“ 이모티콘처럼 간단한 특징을 표현한 그림을 사용하는 것이 모든 것을 자세하게 묘사하는 것보다 더 편리하고 효율적일 때가 있다. 원자 사이의 결합을 더 간단하게 표현하는 방법이 있을까? ”



원자들이 분자를 이룰 때 ● 원자가 전자를 공유해 공유 결합을 형성한다. 예를 들어 이산화 탄소(CO₂) 분자에서 탄소(C) 원자와 산소(O) 원자의 공유 결합을 모형으로 나타내면 그림 II-8과 같다. 그런데 이와 같이 나타낸 모형에는 결합에 참여하지 않는 안쪽 전자 껍질의 전자들까지 표시하므로 한눈에 결합을 파악하기 어렵다.

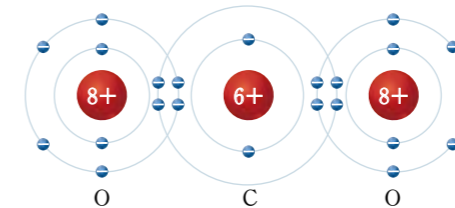


그림 II-8 이산화 탄소 분자의 공유 결합을 나타낸 모형

루이스는 원자가 전자를 원소 기호 주위에 점으로 표시해 공유 결합을 나타내는 방법을 제안했는데, 이를 루이스 전자점식이라고 한다. 루이스 전자점식을 이용하면 분자 내 원자 사이의 결합을 단순하게 표현할 수 있다.

연계 통합과학1

『통합과학1』 ‘물질과 규칙성’ 단원에서 원자가 공유 결합을 형성해 분자를 이루는 것을 학습했다.

● 원자가 전자
가장 바깥 전자 껍질에 있으면서 화학 반응에 관여하는 전자를 말한다.

루이스
(Lewis, G. N., 1875~1946)
미국의 화학자. 1916년 ‘원자와 분자’라는 논문에서 옥텟 규칙, 공유 결합의 아이디어를 제안했다. 또 산·염기 이론을 확장하고 중수소를 연구하는 등의 많은 업적을 남겨 40여 번이나 노벨 화학상 후보에 올랐다.

원자의 루이스 전자점식 그리기

- 1 원자가 전자를 나타내는 점을 원소 기호의 상하좌우에 하나씩 배치한다.
- 2 원자가 전자가 5 개 이상이면 다섯 번째 전자부터 다시 상하좌우에 하나씩 그려 쌍을 이루게 한다.

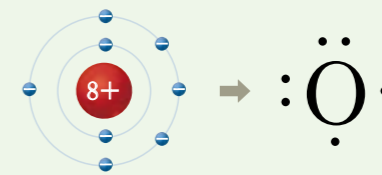


그림 II-9 산소(O) 원자의 루이스 전자점식

상하좌우에 점을 찍는 순서는 상관이 없어!



그림 II-10은 1주기~3주기 원소를 루이스 전자점식으로 나타낸 것이다.

족 \ 주기	1	2	13	14	15	16	17	18
1	H•							He••
2	Li•	•Be•	•B•	•C•	N	•O•	•F•	•Ne••
3	Na•	•Mg•	•Al•	•Si•	•P•	•S•	Cl	•Ar••

그림 II-10 1주기~3주기 원소의 루이스 전자점식

자료 읽기 그림 II-10에서 질소(N)와 염소(Cl)의 루이스 전자점식을 표현해 보자.

분자를 루이스 전자점식으로 나타낼 때는 전자쌍을 짝 지은 점으로 표시하고, 결합을 형성하는 원자들이 옥텟 규칙을 만족하도록 배치한다. 이때 결합하는 두 원자 사이에 공유되어 결합에 참여하는 전자쌍을 **공유 전자쌍**이라 하고, 결합에 참여하지 않는 전자쌍을 **비공유 전자쌍**이라고 한다.

옥텟 규칙
원자가 전자를 잃거나 얻기도 하고, 원자들끼리 전자를 공유하기도 하면서 가장 바깥 전자 껍질의 전자 배치를 18족 원소처럼 만들려는 경향성을 말한다.

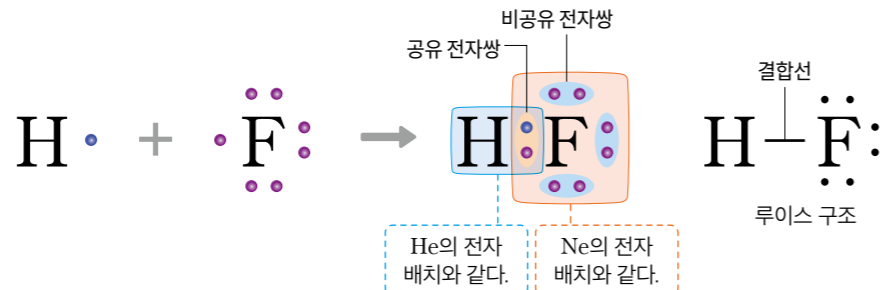


그림 II-11 플루오린화 수소 분자의 루이스 전자점식과 루이스 구조

루이스 전자점식에서 공유 전자쌍을 결합선으로 나타낸 것을 **루이스 구조**라고 한다. 이때 비공유 전자쌍은 1 쌍의 점으로 나타내거나 생략할 수 있다.

플루오린화 수소(HF) 분자를 이루는 결합처럼 두 원자 사이에 공유 전자쌍이 1 개인 공유 결합을 단일 결합이라고 하며, 결합선 1 개로 나타낸다. 산소(O₂) 분자와 질소(N₂) 분자를 이루는 결합처럼 공유 전자쌍이 2 개와 3 개인 공유 결합을 이중 결합과 삼중 결합이라고 하며, 각각 결합선 2 개와 3 개로 나타낸다.

자료 읽기
그림 II-12에서 산소 분자에 존재하는 공유 전자쌍은 _____ 개, 비공유 전자쌍은 _____ 개이다.



그림 II-12 산소 분자와 질소 분자의 루이스 전자점식과 루이스 구조

해보기

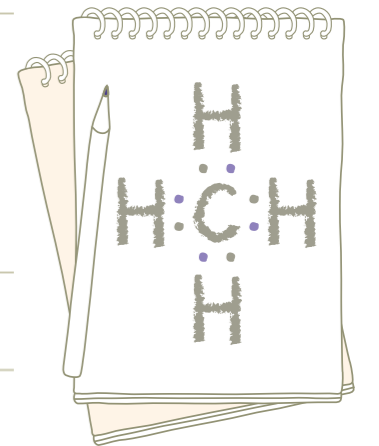
분자를 루이스 전자점식으로 표현하기

탐구 능력

몇 가지 분자를 루이스 전자점식과 루이스 구조로 표현하고, 각 분자에 존재하는 공유 전자쌍 수와 비공유 전자쌍 수를 써 보자.

도움말 분자 내의 모든 원자가 옥텟 규칙을 만족하도록 전자쌍을 배치한다.

물질	메테인(CH ₄)	암모니아(NH ₃)	물(H ₂ O)	이산화 탄소(CO ₂)
루이스 전자점식				
루이스 구조				
공유 전자쌍 수				
비공유 전자쌍 수				



확인하기

- ()을/를 원소 기호 주위에 점으로 표시해 공유 결합을 나타내는 방법을 루이스 전자점식이라고 한다.
- 염화 수소(HCl)와 사염화 탄소(CCl₄)의 루이스 전자점식을 그리고, 분자 내 공유 전자쌍과 비공유 전자쌍 수를 써 보자.

소단원 마무리

창의력 키우기

삼염화 붕소(BCl₃)는 암모니아(NH₃)와 잘 반응한다. BCl₃의 루이스 전자점식을 그리고, BCl₃가 NH₃와 잘 반응하는 까닭을 생각해 보자.

디지털 소양 키우기

CHCl₃, NF₃, OCl₂ 분자의 루이스 전자점식 또는 루이스 구조를 찾아 공유 플랫폼을 활용하여 공유해 보자.

02

전자쌍 반발 이론과 분자 구조

- 전자쌍 반발 이론을 근거로 분자 구조를 추론해 모형으로 나타낼 수 있다.
- 소프트웨어를 활용해 여러 가지 분자 구조를 모델링할 수 있다.
- 중심 원자의 전자쌍 종류와 수에 따른 분자 구조를 설명할 수 있다.

“안전하고 튼튼한 다리를 만들려면 힘을 분산할 수 있는 안정한 형태로 설계해야 한다. 분자가 형성될 때에도 안정한 형태를 만드는 원리가 있을까?”



전자쌍 반발 이론

분자의 모양은 분자 내 원자들의 삼차원 배열로 결정된다. 루이스 전자점식은 분자 내 원자의 원자가 전자가 어떻게 결합에 참여하는지를 보여 주지만, 평면으로 나타내는 방식이므로 루이스 전자점식으로 실제 분자 구조를 알기는 어렵다. 중심 원자 주위의 전자쌍 수에 따라 분자 구조가 어떻게 달라지는지 알아보자.

해보기

탐구 능력 | 의사 결정 능력

준비물

- 공예용 털실 철사
- 자 각도기
- 안전 장갑

안전

안전 장갑을 착용하고 털실 철사 끝에 손이 찢리지 않도록 주의한다.

2에서 철사를 배열할 때 철사가 구부러지지 않도록 해야 해.



전자쌍 수에 따른 분자 구조 알아보기

1. 10 cm 정도의 털실 철사의 한쪽 끝을 각각 2 개, 3 개, 4 개씩 묶자.
 - 매듭 부분이 분자의 중심 원자이고 철사는 중심 원자 주위의 전자쌍이라고 가정하면 철사들 사이에는 어떤 힘이 작용할까?



2. 털실 철사 묶음의 모든 철사가 최대한 멀리 떨어지도록 배열한 다음 인접한 철사끼리 나타내는 각도를 측정하자.

털실 철사의 수	2	3	4
인접한 철사 사이의 각도			

3. 2의 구조물에서 철사들의 끝점을 선으로 연결하면 어떤 모양이 되는지 이야기해 보자.

털실 철사 2 개, 3 개, 4 개의 한쪽 끝을 연결한 철사 묶음에서 모든 철사가 최대한 멀리 떨어지도록 배치하면 다음과 같다.

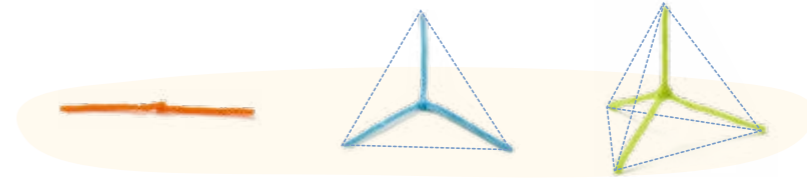


그림 II-13 털실 철사의 개수에 따른 공간 배치

이러한 털실 철사의 공간 배치는 분자 내 중심 원자의 전자쌍 배치와도 관련지어 생각할 수 있다.

분자의 중심 원자의 전자쌍들은 서로 같은 전하를 띠므로 전자쌍 사이에는 정전기적 반발력이 작용하며, 전자쌍들은 반발력을 최소화하기 위해 가능한 한 서로 멀리 떨어져 배치된다. 이러한 원리에 근거해 분자 구조를 예측하는 이론을 **전자쌍 반발 이론**이라고 한다.

전자쌍 반발 이론을 이용해 중심 원자의 공유 전자쌍 수에 따른 전자쌍의 공간 배치를 생각해 보자.

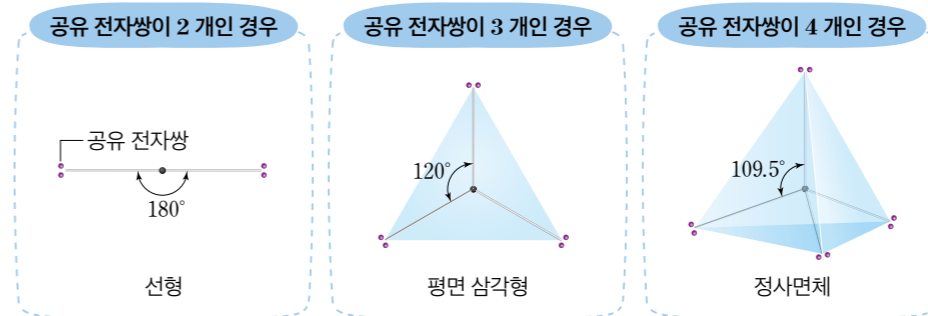


그림 II-14 전자쌍 반발 이론에 따른 전자쌍의 배치 모형

전자쌍 반발 이론에 따르면 중심 원자를 둘러싸고 있는 공유 전자쌍이 2 개일 때 전자쌍은 서로 반대 방향에 선형으로 배치된다. 공유 전자쌍이 3 개일 때는 각 전자쌍이 평면 삼각형의 꼭짓점에 배치되며, 공유 전자쌍이 4 개일 때는 각 전자쌍이 정사면체의 꼭짓점에 배치된다.

확인하기

- 1 분자에서 중심 원자의 전자쌍은 ()을/를 최소화하도록 배치된다.
- 2 중심 원자 주위에 2 개의 공유 전자쌍만 존재할 때 공유 전자쌍의 배치가 어떤 모양인지 써 보자.

자료 읽기

그림 II-14에서 중심 원자 주위의 공유 전자쌍이 각각 2 개, 3 개, 4 개일 때 중심 원자와 인접한 두 전자쌍이 이루는 각은 각각 _____°, _____°, _____°이다.

분자 구조

전자쌍 반발 이론에 따르면 중심 원자의 전자쌍 수와 배열은 분자의 삼차원 모양을 결정하는 데 중요한 역할을 한다. 소프트웨어를 활용해 분자 구조를 모델링해 보자.



정보 수집·변환·해석

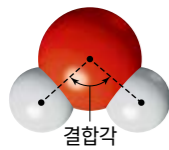
준비물 스마트 기기

검색·누리집

‘분자 구조 모델링’, ‘분자 구조 모의실험’ 등을 검색해 분자 구조 모델링 프로그램을 실행하거나 탐구 활동에 제시된 모의실험 콘텐츠를 실행해 보자.

결합각

원자가 3 개 이상 결합한 분자에서 중심 원자의 핵과 중심 원자와 결합한 두 원자의 핵을 연결한 선이 이루는 각을 말한다.



탐구 능력 | 문제 해결 능력 | 의사 결정 능력

소프트웨어를 활용해 분자 구조 모델링하기



목표

전자쌍 반발 이론을 근거로 분자 구조를 추론하고, 분자 구조를 모델링할 수 있다.

실험 1 중심 원자에 공유 전자쌍만 존재하는 분자 구조 모델링

과정 및 결과

1. 전자쌍 반발 이론을 바탕으로 하여 염화 베릴륨(BeCl_2), 삼염화 붕소(BCl_3), 메테인(CH_4)의 분자 구조를 추론해 분자 모형으로 나타내 보자.

분자	루이스 전자점식	중심 원자의 공유 전자쌍 수	분자 모형
BeCl_2			
BCl_3			
CH_4			

2. BeCl_2 , BCl_3 , CH_4 을 분자 구조 모델링 프로그램으로 모델링해 보고, 분자 구조와 결합각을 확인해 보자.

분자	BeCl_2	BCl_3	CH_4
분자 구조			
결합각			

정리

추론한 분자 구조와 모델링한 결과를 비교하고, 전자쌍 반발 이론이 유용한지 토의해 보자.



실험 2 중심 원자에 공유 전자쌍과 비공유 전자쌍이 함께 존재하는 분자 구조 모델링

과정 및 결과

1. 전자쌍 반발 이론을 바탕으로 하여 암모니아(NH_3)와 물(H_2O)의 분자 구조를 추론해 분자 모형으로 나타내 보자.

분자	루이스 전자점식	중심 원자의 전자쌍 수		분자 모형
		공유 전자쌍	비공유 전자쌍	
NH_3				
H_2O				

2. NH_3 , H_2O 을 분자 구조 모델링 프로그램으로 모델링해 보고, 분자 구조와 결합각을 확인해 보자.

분자	NH_3	H_2O
분자 구조		
결합각		

정리

1. 추론한 분자 구조와 모델링한 결과를 비교해 보자.

2. BeCl_2 과 H_2O 의 분자를 구성하는 원자 수는 같지만 분자 구조가 다른 까닭을 토의해 보자.



3. CH_4 , NH_3 , H_2O 의 중심 원자의 전자쌍은 모두 4 개로 같지만 결합각이 서로 다른 까닭을 토의해 보자.



도움말 비공유 전자쌍도 공유 전자쌍과 함께 반발력이 가장 작도록 배치하여 분자 구조를 추론한다.

스스로 평가하기

| 지식·이해 |
분자 구조를 추론하고, 그 근거를 전자쌍 반발 이론으로 설명했는가? ☆☆☆☆☆

| 과정·기능 |
분자 구조 모델링 프로그램을 올바르게 사용해 분자 구조를 모델링했는가? ☆☆☆☆☆

| 가치·태도 |
분자 구조를 추론하고 분자를 모델링하는 과정에 즐거움을 느끼며 참여했는가? ☆☆☆☆☆



>> 중심 원자에 공유 전자쌍만 있을 때

염화 베릴륨(BeCl₂) 분자에서는 중심 원자인 베릴륨(Be) 주위의 공유 전자쌍 2 개가 180°로 배치되어 분자 구조가 선형이 된다. 삼염화 붕소(BCl₃) 분자에서는 중심 원자인 붕소(B) 주위의 공유 전자쌍 3 개가 120°로 배치되어 분자 구조가 평면 삼각형이 된다. 메테인(CH₄) 분자는 중심 원자인 탄소(C) 주위의 공유 전자쌍 4 개가 109.5°의 각을 이루어 배치되면 서로 최대한 멀리 떨어질 수 있으므로 분자 구조가 정사면체가 된다.

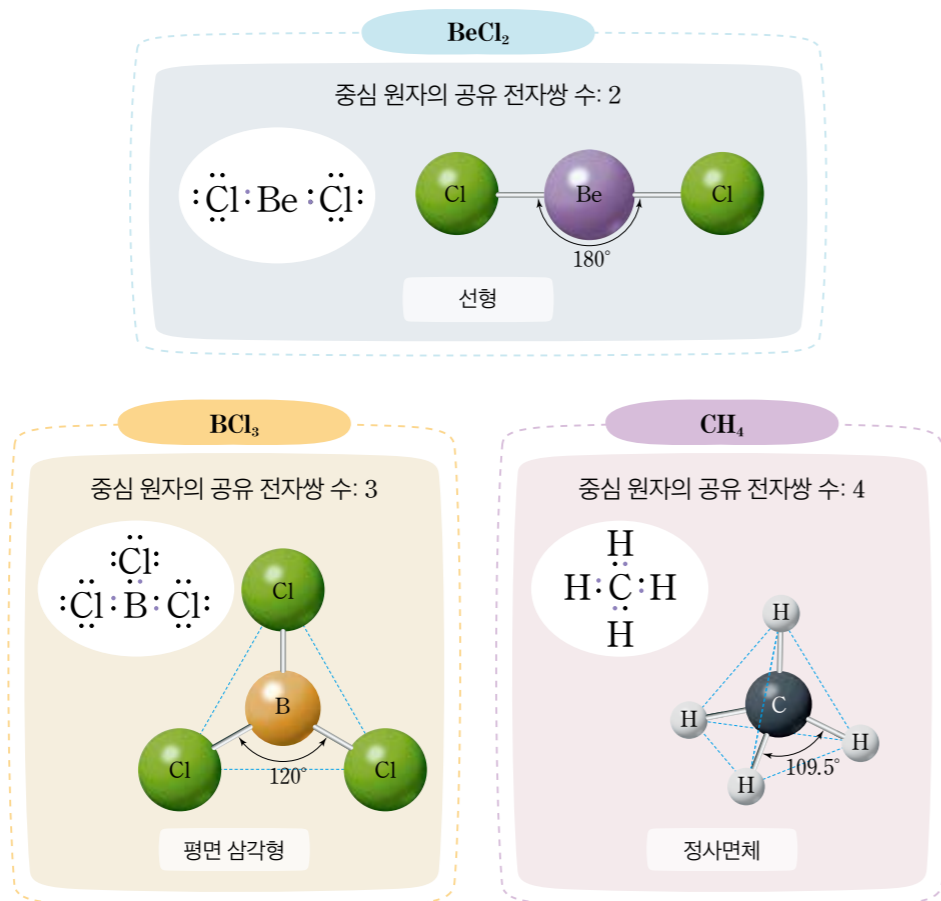


그림 II-15 중심 원자에 공유 전자쌍만 있는 분자 구조

전자쌍 반발 이론으로 분자 구조를 결정할 때 이중 결합이나 삼중 결합은 하나의 결합으로 취급한다. 예를 들어 이산화 탄소(CO₂)는 중심 원자인 탄소(C) 원자와 산소(O) 원자 사이에 2 개의 이중 결합이 있으므로 분자 구조가 염화 베릴륨과 같이 선형이다.



그림 II-16 이산화 탄소의 루이스 전자점식과 분자 구조

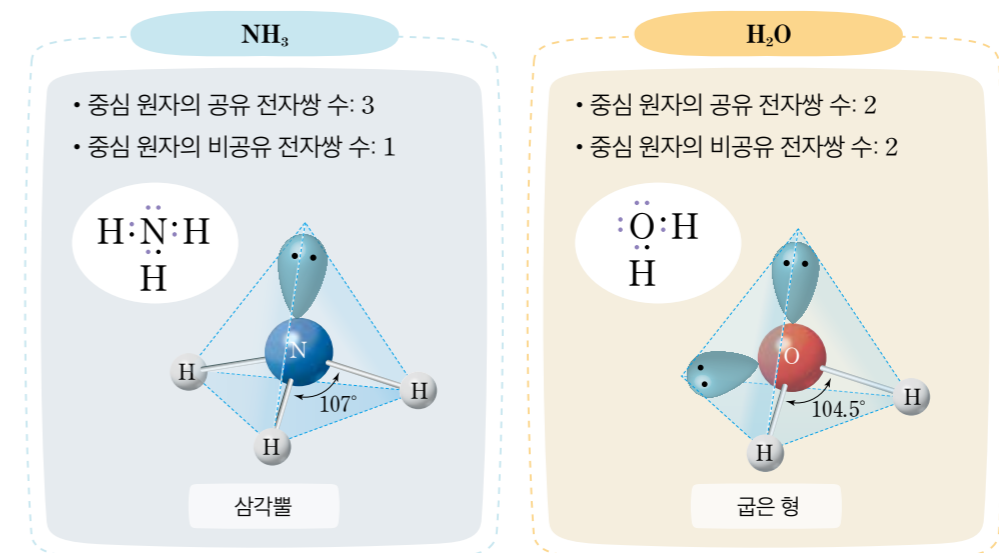
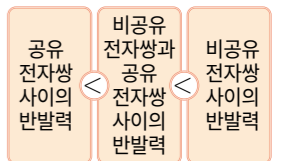
>> 중심 원자에 공유 전자쌍과 비공유 전자쌍이 함께 있을 때

분자의 중심 원자에 비공유 전자쌍이 있으면 공유 전자쌍만 있을 때와는 분자 구조와 결합각이 달라진다.

중심 원자 주위에 비공유 전자쌍을 포함해 4 개의 전자쌍이 있는 암모니아(NH₃)와 물(H₂O) 분자에서 전자쌍은 메테인(CH₄)과 같은 사면체 방향으로 배치된다. 하지만 분자 구조는 결합한 원자들로만 나타내므로 암모니아의 분자 구조는 1 개의 질소(N) 원자와 3 개의 수소(H) 원자만을 고려해 삼각뿔이고, 물의 분자 구조는 1 개의 산소(O) 원자와 2 개의 수소(H) 원자만을 고려해 굽은 형이다.

공유 전자쌍과 비공유 전자쌍 사이의 반발력이 공유 전자쌍 사이의 반발력보다 크므로 암모니아의 결합각은 메테인의 결합각보다 작고, 2 개의 비공유 전자쌍 사이의 반발력 때문에 물의 결합각은 암모니아의 결합각보다 작다.

전자쌍 사이의 반발력
비공유 전자쌍은 공유 전자쌍보다 중심 원자 주위의 공간을 더 많이 차지한다. 따라서 전자쌍 사이의 반발력의 크기 차이는 다음과 같다.



중심 원자의 전자쌍 수가 같은 분자에서는 대체로 중심 원자에 비공유 전자쌍 수가 많을수록 결합각이 작아져!

그림 II-17 중심 원자에 비공유 전자쌍이 있는 분자 구조

확인하기

- 1 사염화 탄소(CCl₄)의 분자 구조는 ()이다.
- 2 사염화 탄소(CCl₄)와 삼염화 질소(NCl₃) 중 결합각이 더 큰 분자를 써 보자.

소단원 마무리

창의력 키우기

우리 주변에서 여러 가지 분자 구조를 표현할 수 있는 물체를 찾아보자.

디지털 소양 키우기

과학자들이 분자 구조 모델링을 연구에 활용하는 다양한 사례를 찾아 공유 플랫폼을 활용하여 공유해 보자.

03

분자 구조에 따른 물질의 성질

- 분자 구조에 따른 분자의 극성을 설명할 수 있다.
- 물질의 물리적, 화학적 성질을 분자 구조와 관련지어 설명할 수 있다.
- 물질의 물리적, 화학적 성질을 파악하는 것이 일상생활의 문제 해결에 중요하게 활용됨을 인식할 수 있다.

“한겨울 추위를 막아 주는 오리털 외투는 드라이클리닝이 아니라 물세탁을 해야 외투 속 재료의 손상을 줄일 수 있다. 그 까닭은 무엇일까?”



분자 구조와 극성

분자 구조는 분자의 극성을 결정하고, 분자의 극성으로 용해도와 같은 물질의 성질을 예측하고 설명할 수 있다.

분자 내에 전하가 고르게 분포해 분자의 쌍극자 모멘트가 0인 분자를 무극성 분자라 하고, 분자 내의 전하 분포가 고르지 않아 부분 전하를 띠므로 분자의 쌍극자 모멘트가 0이 아닌 분자를 극성 분자라고 한다.

2 개의 원자가 결합한 분자에서 무극성 공유 결합으로 이루어진 분자는 무극성 분자이고, 극성 공유 결합으로 이루어진 분자는 극성 분자이다.



그림 II-18 이원자 분자의 극성

3 개 이상의 원자가 결합한 분자에서는 결합의 극성과 분자 구조를 고려해 분자의 극성을 알 수 있다. 선형인 이산화 탄소(CO₂)는 결합의 쌍극자 모멘트가 균형을 이루면서 분자 내에서 전하가 고르게 분포하게 되므로 분자의 쌍극자 모멘트가 0인 무극성 분자이다. 반면 굽은 형인 물(H₂O)은 결합의 쌍극자 모멘트가 균형을 이루지 않고, 전기음성도가 큰 산소 쪽으로 전체적인 전하의 치우침이 나타나므로 분자의 쌍극자 모멘트가 0이 아닌 극성 분자이다.

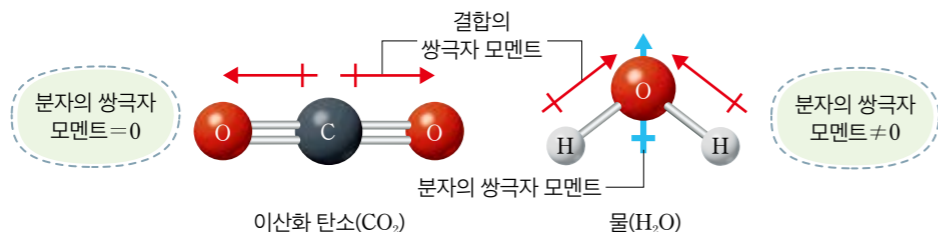


그림 II-19 극성 공유 결합으로 이루어진 무극성 분자와 극성 분자

해보기

분자의 극성 확인하기

탐구 능력 | 의사 결정 능력

모의실험



준비물 스마트 기기

1. 암모니아(NH₃)와 메테인(CH₄)의 쌍극자 모멘트를 예측해 보자.

- 각 분자의 구조를 쓰고, 각 분자에서 모든 결합의 쌍극자 모멘트를 화살표(→)로 각각 표시해 보자.

암모니아(NH₃)

분자 구조: _____

메테인(CH₄)

분자 구조: _____

- 각 분자의 쌍극자 모멘트가 0이 될지 토의해 보자.

2. 분자 구조 모델링 프로그램으로 암모니아와 메테인의 쌍극자 모멘트를 확인하고, 각 분자가 극성인지 무극성인지 설명해 보자.

암모니아와 메테인은 모두 극성 공유 결합으로 이루어진 분자이다. 분자 구조가 삼각뿔인 암모니아는 결합의 쌍극자 모멘트가 상쇄되지 않으므로 분자의 쌍극자 모멘트가 0이 아닌 극성 분자이다. 반면 분자 구조가 정사면체인 메테인은 대칭 구조이므로 결합의 쌍극자 모멘트가 모두 상쇄되며 분자의 쌍극자 모멘트가 0인 무극성 분자이다.

이처럼 분자의 극성을 판단할 때는 결합의 극성과 분자 구조를 함께 고려해야 한다.

확인하기

- 1 분자 내에 극성 공유 결합을 갖는 분자는 모두 극성 분자이다. (○, ×)
- 2 다음 분자가 극성 분자인지 무극성 분자인지 써 보자.

(1) HCN	(2) CH ₃ Cl	(3) BCl ₃
---------	------------------------	----------------------

검색·누리집

'분자의 극성 모의실험'을 검색해 분자의 극성을 알아보는 프로그램을 실행해 보자.

오개념 바로잡기

분자 구조가 선형, 평면 삼각형, 사면체인 분자 중 중심 원자와 결합한 원자의 종류가 모두 같은 분자는 결합의 쌍극자 모멘트가 모두 상쇄되므로 무극성 분자이지만, 중심 원자와 결합한 원자가 모두 같은 종류가 아닌 분자는 결합의 극성이 모두 상쇄되지 않으므로 극성 분자이다.

극성 분자와 무극성 분자의 성질

극성 분자와 무극성 분자의 전기적 성질이 어떻게 다른지 알아보자.

해보기

극성 분자와 무극성 분자의 전기적 성질 비교하기

탐구 능력

모의실험



준비물 스마트 기기

1. 기체 상태의 플루오린(F_2) 분자와 플루오린화 수소(HF) 분자가 전기장 속에서 어떻게 배열될지 예측해 보자.

- 각 분자가 극성인지 무극성인지 판단하고, 분자 내 부분 전하가 존재하면 δ^+ , δ^- 로 표시해 보자.

플루오린(F_2)	플루오린화 수소(HF)
(극성, 무극성) 분자	(극성, 무극성) 분자

- 각 분자를 평행판 사이의 전기장 속에 넣었을 때 어떻게 배열될지 토의해 보자.

2. 분자의 극성을 알아보는 프로그램으로 각 분자가 전기장 속에서 어떻게 배열되는지 확인해 보자.

3. 평행판 사이의 전기장 속에서 두 기체 분자의 배열이 다른 까닭을 설명해 보자.

극성 분자는 분자 내 부분 전하를 띠므로 무극성 분자와 전기적 성질이 다르다. 기체 상태의 극성 분자를 평행판 사이의 전기장 속에 넣으면 분자 내 부분 전하 때문에 일정한 방향으로 배열되지만, 무극성 분자는 전기장의 영향을 받지 않으므로 무질서하게 배열된다.

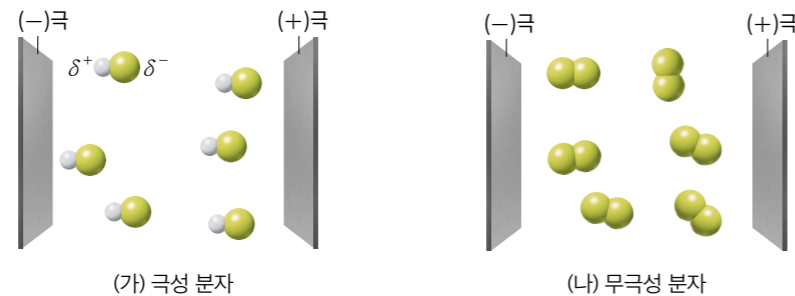


그림 II-20 전기장 속에서 극성 분자와 무극성 분자의 배열

검색·누리집

'분자의 극성 모의실험'을 검색해 분자의 극성을 알아보는 프로그램을 실행해 보자.

자료읽기

그림 II-20에서 평행판의 (+)극과 (-)극의 방향을 반대로 바꾸면 (가)와 (나)의 분자 배열이 어떻게 달라질지 토의해 보자.

물(H_2O)은 극성 분자이므로 물줄기를 약하게 흘려 주면서 음전하를 띤 대전체를 가까이 하면 물 분자에서 부분적인 양전하(δ^+)를 띤 수소(H) 원자가 대전체로 끌리면서 물줄기가 휜다. 또 물줄기에 양전하를 띤 대전체를 가까이 하면 부분적인 음전하(δ^-)를 띤 산소(O) 원자가 대전체로 끌리면서 물줄기가 휜다.

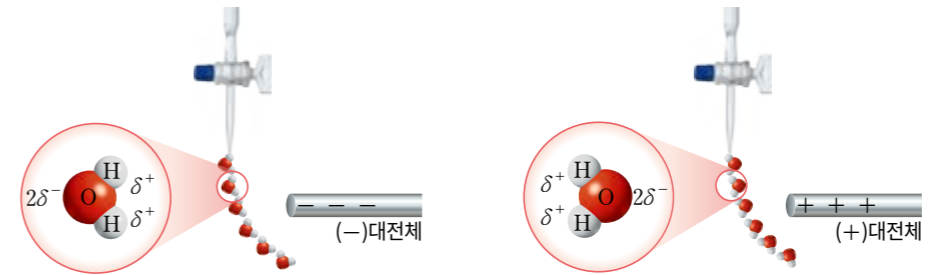


그림 II-21 물줄기에 대전체를 가까이 했을 때의 변화

대전체

물체 사이에서 전자가 이동해 전기를 띠게 되는 현상을 대전이라 하며, 대전된 물체를 대전체라고 한다.



과학미당 생활속 과학 | 불 없이 물로 식품을 데우는 전자레인지의 원리

즉석식품이나 식은 음식을 데울 때 전자레인지를 이용하면 매우 편리하다. 전자레인지의 물 분자의 극성과 마이크로파의 성질을 이용해 식품을 가열하는 기구이다. 어떻게 물 분자의 극성을 이용해서 식품을 데우는 것일까?

전자레인지에서 마이크로파가 발생하면 음식물 속 물 분자는 마이크로파의 전기장의 방향에 따라 정렬하고, 마이크로파가 진동함에 따라 배열을 바꾸며 회전한다. 전자레인지에 사용하는 마이크로파는 1초 동안 약 24억 5000만 번 진동하므로 이에 따라 물 분자가 회전하면서 서로 충돌하게 된다. 이 회전 운동 에너지가 주위에 전달되어 음식물의 온도가 높아진다.



확인하기

1. 기체 상태일 때 전기장 속에서 일정한 방향으로 배열하는 분자는 (극성 분자, 무극성 분자)이다.
2. 물줄기에 양전하를 띤 대전체와 음전하를 띤 대전체를 각각 가까이 했을 때 나타나는 변화를 써 보자.

어떤 물질이 다른 물질에 잘 용해되거나 용해되지 않는 성질도 분자의 극성과 관련이 있다. 분자의 극성과 용해성이 어떤 관계가 있는지 알아보자.

해보기

분자의 극성에 따른 용해성 알아보기

탐구 능력 | 의사 결정 능력

실험 영상



다음은 분자의 극성에 따른 용해성을 확인하는 실험이다.

[실험 과정]

- (가) 뚜껑이 있는 유리병에 극성인 물(H₂O)과 무극성인 헥세인(C₆H₁₄)을 넣고 흔든 다음 가만히 놓아둔다.
 (나) (가)의 유리병에 염화 구리(II)(CuCl₂)를 약간 넣고 흔든 다음 가만히 놓아둔다.
 (다) (나)의 유리병에 아이오딘(I₂)을 약간 넣고 흔든 다음 가만히 놓아둔다.

[실험 결과]



정리

- (가)의 결과로 알 수 있는 사실을 분자의 극성과 관련지어 설명해 보자.
- (나)와 (다)의 결과에서 물과 헥세인에 각각 녹아 있는 물질이 무엇인지 쓰고, 이 결과로 알 수 있는 사실을 분자의 극성과 관련지어 설명해 보자.

분자의 극성과 용해성

극성 분자끼리는 서로 반대 전하를 띤 부분에 강한 인력이 작용하므로 쉽게 섞일 수 있지만, 극성 분자와 무극성 분자에서는 극성 분자끼리만 강한 인력이 작용하므로 무극성 분자는 그 사이로 섞여 들어가지 못하고 층을 이룬다.

극성 물질인 물과 무극성 물질인 헥세인은 서로 섞이지 않으므로 한 용기에 함께 넣으면 층이 만들어진다. 여기에 이온 결합 물질인 염화 구리(II)를 넣으면 물에 녹아 물의 층이 푸른색으로 변하고, 무극성 물질인 아이오딘을 넣으면 헥세인에 녹아 헥세인의 층이 붉은 보라색을 나타낸다. 일반적으로 이온 결합 물질이나 극성 물질은 극성 용매에 잘 용해되고, 무극성 물질은 무극성 용매에 잘 용해된다. 즉, 물질의 용해성은 분자의 극성에 따라 달라진다.

과학미당 생활속 과학 | 카페인이 없는 디카페인 커피의 원리

커피를 마시면 커피의 성분인 카페인의 각성 효과 때문에 졸음을 쫓을 수 있다. 그러나 카페인 부작용을 겪는 사람도 있어 요즘에는 카페인이 제거된 ‘디카페인 커피’를 마시는 사람이 늘고 있다. 디카페인 커피는 어떻게 만드는 것일까?

커피 원두에서 카페인을 제거하려면 카페인을 추출할 용매가 필요하다. 카페인은 아주 약한 극성을 띠기 때문에 조건에 따라 무극성 용매와 극성 용매에 모두 용해될 수 있다. 따라서 물을 사용해 카페인을 추출하기도 하고, 최근에는 이산화탄소로 카페인을 추출하기도 한다. 이산화탄소는 특정한 온도와 압력 조건에서 기체와 액체의 중간 정도의 성질을 띠는 상태가 되어 용매로 사용할 수 있다. 무극성인 이산화탄소를 용매로 사용하면 커피 맛이나 향을 내는 극성 물질은 추출하지 않으므로 커피 맛과 향을 유지하면서 효과적으로 카페인을 제거할 수 있다.



생각펼치기 식물이나 광물 등 여러 성분으로 이루어진 물질에서 특정 성분만을 녹여서 얻는 방법을 추출이라고 한다. 추출이 실생활이나 산업에서 이용되는 구체적인 예를 조사하고, 물질의 성질이 어떻게 활용되는지 설명해 보자.

확인하기

- 물에 잘 녹을 것으로 예상되는 물질을 있는 대로 골라 보자.

에탄올(C₂H₅OH) 흑연(C) 산소(O₂) 염화 수소(HCl)

- 이온 결합 물질은 (극성, 무극성) 용매에 잘 용해된다.

소단원 마무리

창의력 키우기

캡사이신이 포함된 매운 음식을 먹을 때 우유를 마시는 것이 물을 마시는 것보다 매운맛을 없애는 데 더 효과적인 까닭을 물질의 극성과 관련지어 추론해 보자.

디지털 소양 키우기

실생활에서 물질의 극성에 따른 용해성 차이를 이용하는 다양한 예를 찾아 공유 플랫폼을 활용하여 공유해 보자.

이론과 실험의 다리를 놓는 계산 화학자

계산 화학자가 하는 일은 무엇일까?

화학자라고 하면 흔히 흰 실험복을 입고 여러 가지 실험 기구로 실험하는 모습이 떠오른다. 그러나 일반적으로 생각하는 모습과 다르게 온종일 컴퓨터로 분석과 계산을 반복하는 화학자도 있는데, 이러한 화학자의 대표 주자로 계산 화학자가 있다. 계산 화학자는 이론적인 모델과 수식을 바탕으로 하여 기존의 현상을 증명하거나 물질의 성질을 예측하는 일을 한다. 또 물질의 반응을 연구해 촉매나 이차 전지 소재의 성능을 예측하고 신약 후보군을 선별하며, 복잡한 물질을 합성하기 위해 인공지능(AI)을 이용한 연구를 진행하기도 한다. 1998 년과 2013 년에는 계산 화학 분야에서 노벨 화학상 수상자가 나오기도 했다.

계산 화학자는 어떤 능력이 필요할까?

최근의 계산 화학은 예전과는 달리 다양한 사용자 맞춤형 도구가 보급되고 프로그램의 접근성이 높아졌다. 따라서 계산 화학자는 컴퓨터를 다루고 코딩하는 것을 넘어 다양한 분야에 계산 화학을 접목해 새로운 연구를 진행할 수 있어야 한다. 이에 따라 화학, 바이오, 재료, 에너지, 반도체 등 다양한 분야에서 문제를 발견하고, 그 문제를 해결하려는 열린 마음과 문제 해결력, 깊이 있는 화학 지식이 필요하다.

관련 학과 화학과, 재료 공학과, 화학 공학과 등

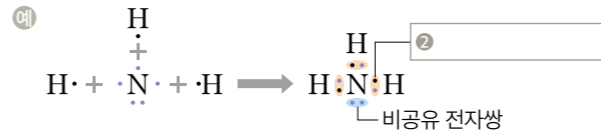
활동하기

계산 화학 분야에서 인공지능(AI)을 이용해 연구하는 사례에는 어떤 것이 있는지 찾아보자.

조사

01 루이스 전자점식 69쪽

① 을/를 원소 기호 주위에 점으로 표시해 공유 결합을 나타내는 방법



02 전자쌍 반발 이론과 분자 구조 72쪽

(1) ③ : 분자의 중심 원자의 전자쌍들이 가능한 한 서로 멀리 떨어져 배치된다는 것에 근거해 분자 구조를 예측하는 이론

(2) 분자 구조

분자 구조와 결합각	180° 선형	120° ④ <input type="text"/>	109.5° 정사면체	107° 삼각뿔	104.5° 굽은 형
중심 원자의 전자쌍 수 (공유 전자쌍, 비공유 전자쌍)	2, 0	3, 0	⑤ <input type="text"/> , 0	3, ⑥ <input type="text"/>	2, 2
예	BeCl ₂	BCl ₃	CH ₄	NH ₃	H ₂ O

03 분자 구조에 따른 물질의 성질 78쪽

(1) 분자의 극성

- ① 무극성 분자: 분자의 쌍극자 모멘트가 0인 분자 예 H₂, CO₂, CH₄
- ② 극성 분자: 분자의 쌍극자 모멘트가 0이 아닌 분자 예 HF, H₂O, NH₃

(2) 무극성 분자와 극성 분자의 성질

구분	무극성 분자	극성 분자
분자의 쌍극자 모멘트	0이다.	0이 아니다.
대전체를 가까이 했을 때	대전체 쪽으로 잘 끌리지 않는다.	대전체 쪽으로 ⑦ <input type="text"/> .
전기장에서의 배열	방향성을 나타내지 않는다.	일정한 방향으로 배열한다.
용해성	⑧ <input type="text"/> 용매에 잘 용해된다.	극성 용매에 잘 용해된다.

함께 풀어 보기

제시된 핵심 내용과 관련된 간단한 문제를 만들고, 공유 플랫폼에 공유하여 친구들과 함께 풀어 보자.

✓ 루이스 전자점식

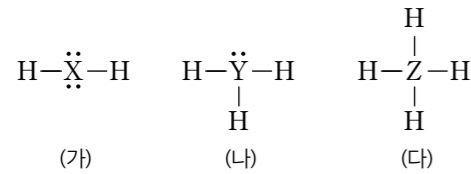
✓ 전자쌍 반발 이론

✓ 분자 구조

✓ 분자의 극성

루이스 전자점식

01 그림은 2주기 원소 X~Z와 수소(H)가 결합한 분자 (가)~(다)의 루이스 구조를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것은? (단, X~Z는 임의의 원소 기호이다.)

- ① X는 탄소(C)이다.
- ② Y의 원자가 전자 수는 4이다.
- ③ Z는 16족 원소이다.
- ④ (나)에는 2 개의 비공유 전자쌍이 있다.
- ⑤ (다)에는 4 개의 공유 전자쌍이 있다.

루이스 전자점식

02 다음 중 분자 내 비공유 전자쌍 수가 가장 많은 분자는?

- ① N₂ ② O₂ ③ BCl₃
- ④ CCl₄ ⑤ CO₂

루이스 전자점식

03 그림은 2주기 원소 A, B를 루이스 전자점식으로 나타낸 것이다.



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

- 보기
- ㄱ. A₂에는 삼중 결합이 존재한다.
 - ㄴ. B₂에서 비공유 전자쌍은 3 개이다.
 - ㄷ. AB₃에서 A에는 1 개의 비공유 전자쌍이 존재한다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

전자쌍 반발 이론과 분자 구조

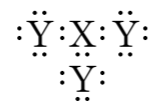
04 다음 중 분자 구조가 다른 하나는?

- ① BeCl₂ ② HCN ③ H₂O
- ④ CS₂ ⑤ CO₂

서술형

전자쌍 반발 이론과 분자 구조

05 그림은 2주기 원소 X와 3주기 원소 Y로 이루어진 분자의 루이스 전자점식을 나타낸 것이다.

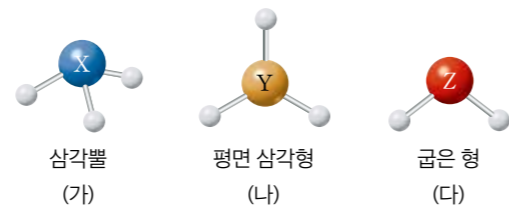


이에 대한 설명으로 옳지 않은 것을 골라 옳게 고쳐 보자. (단, X, Y는 임의의 원소 기호이다.)

- (가) 결합각은 109.5°보다 작다.
- (나) 분자 구조는 평면 삼각형이다.
- (다) 중심 원자에 3 개의 공유 전자쌍이 있다.

전자쌍 반발 이론과 분자 구조

06 그림은 2주기 원소 X~Z와 수소(H)로 이루어진 분자 (가)~(다)의 분자 구조와 모형을 나타낸 것이다.



(가)~(다)에 대한 설명으로 옳은 것은? (단, X~Z는 임의의 원소 기호이다.)

- ① (가)의 중심 원자에 비공유 전자쌍이 존재한다.
- ② (나)의 중심 원자에 4 개의 전자쌍이 존재한다.
- ③ (다)의 모든 원자는 같은 평면에 위치하지 않는다.
- ④ 결합각은 (다)가 (가)보다 크다.
- ⑤ 중심 원자의 비공유 전자쌍 수는 (나)와 (다)가 같다.

분자의 극성

07 다음은 세 가지 분자 (가)~(다)의 분자식이다.

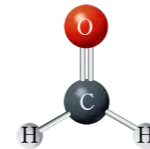
- (가) HCN (나) BCl₃ (다) H₂S

(가)~(다)에 대한 설명으로 옳은 것은?

- ① 극성 분자는 세 가지이다.
- ② (가)~(다) 중에서 구조가 같은 분자가 존재한다.
- ③ 분자의 쌍극자 모멘트가 0인 분자는 한 가지이다.
- ④ 극성 공유 결합으로 이루어진 분자는 두 가지이다.
- ⑤ 모든 원자가 같은 평면에 위치하는 분자는 두 가지이다.

분자의 극성

08 그림은 폼알데하이드(CH₂O)의 분자 구조를 모형으로 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. 모든 결합은 극성 공유 결합이다.
 - ㄴ. 모든 원자는 같은 평면에 위치한다.
 - ㄷ. 분자의 쌍극자 모멘트는 0이 아니다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

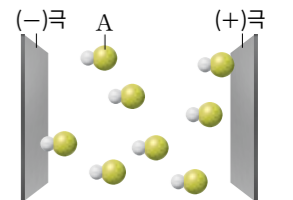
스스로 점검하기

- 지식-이해** 루이스 전자점식과 전자쌍 반발 이론으로 분자의 구조와 성질을 설명했다. ★★★★★
- 과정-기능** 전자쌍 반발 이론을 근거로 분자 구조를 추론해 모형으로 나타냈다. ★★★★★
- 가치-태도** 화학을 활용해 우리 주위 물질의 성질에 관한 궁금증을 해소하려는 태도를 가졌다. ★★★★★

평가 결과가 아쉽다면 '2. 분자의 구조와 성질'을 다시 한번 학습해 봅시다.

분자의 극성

09 그림은 기체 상태의 분자 A를 평행판 사이의 전기장에 넣었을 때의 모습을 모형으로 나타낸 것이다. A에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

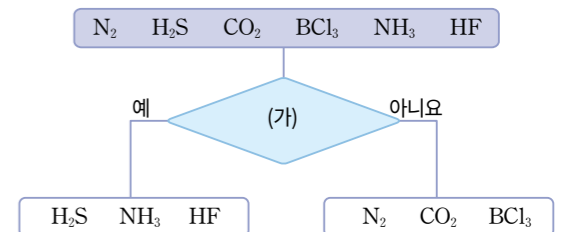


- ① 물과 잘 섞인다.
- ② 분자에 극성 공유 결합이 있다.
- ③ 분자의 쌍극자 모멘트가 0이다.
- ④ 무극성인 헥세인(C₆H₁₄)에 잘 녹지 않는다.
- ⑤ 평행판의 (+)극과 (-)극의 방향이 반대로 바뀌면 배열이 반대로 바뀐다.

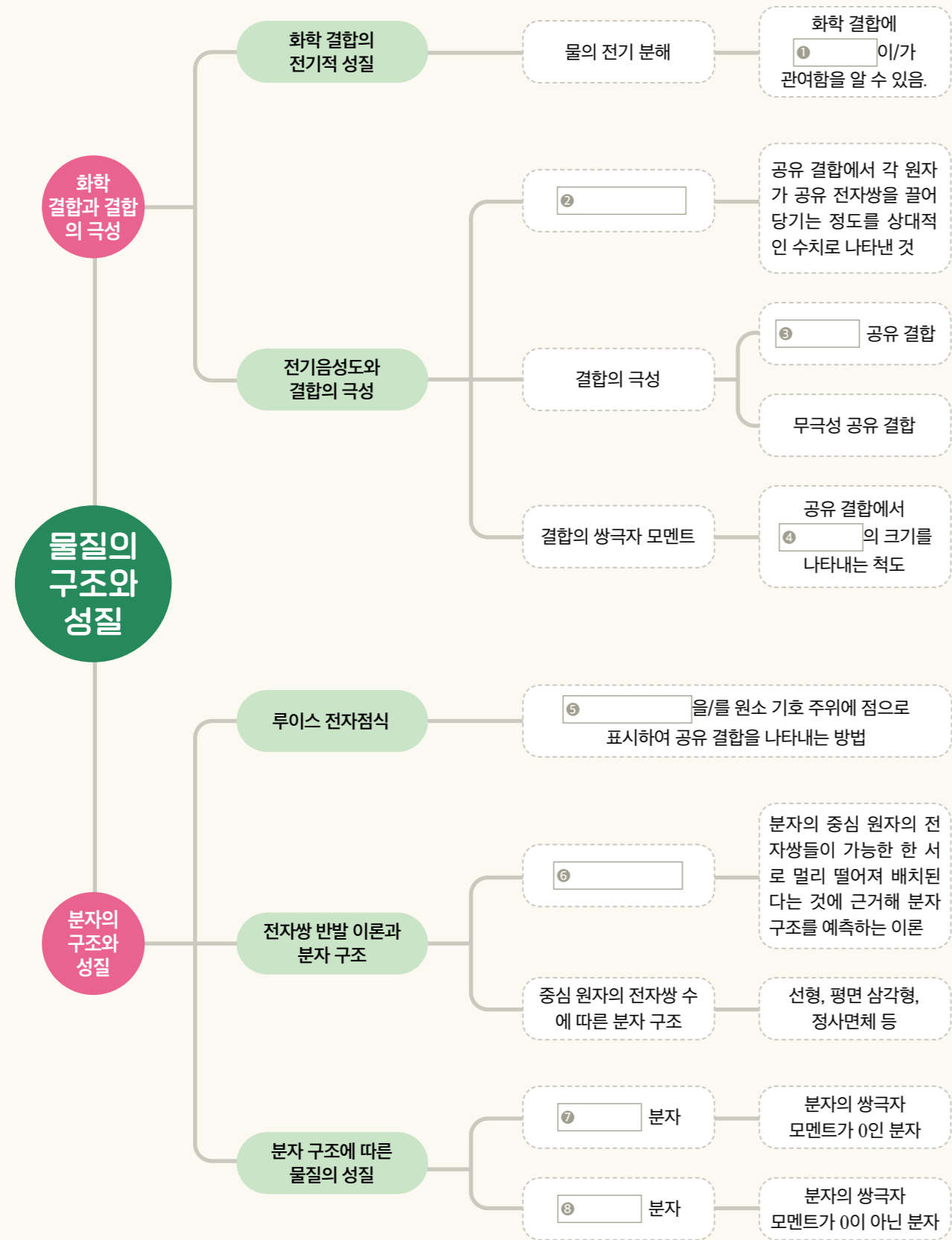
서술형

분자의 극성

10 그림은 몇 가지 물질을 주어진 기준에 따라 분류한 것이다.

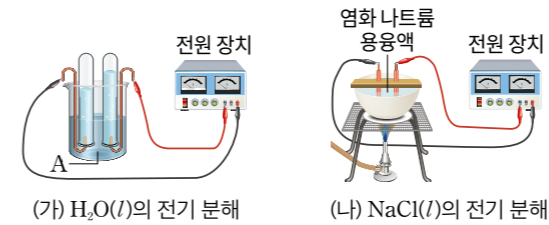


(가)에 들어갈 분류 기준으로 적절한 것을 두 가지 써 보자.



1 화학 결합과 결합의 극성

01 그림은 물(H₂O)과 염화 나트륨(NaCl) 용융액을 전기 분해 하는 것을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

[보기]
 ㄱ. A에는 소량의 전해질이 녹아 있다.
 ㄴ. 화학 결합에는 전기적 성질이 있다.
 ㄷ. 공유 결합과 이온 결합에 모두 전자가 관여한다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

02 그림은 1주기~3주기 원소의 전기음성도를 나타낸 것이다.

서술형

주기	1	2	13	14	15	16	17
1	H 2.2						
2	Li 1.0	Be 1.6	B 2.0	C 2.6	N 3.0	O 3.4	F 4.0
3	Na 0.9	Mg 1.3	Al 1.6	Si 1.9	P 2.2	S 2.6	Cl 3.2

위 그림에서 알 수 있는 전기음성도의 주기적 경향성을 두 가지 찾고, 각각의 경향성에 대해 한 가지 예를 들어 설명해 보자.

03 다음은 분자 구조 모델링 프로그램으로 결합의 극성을 확인하는 탐구이다.

[탐구 과정]
 (가) HF, HCl, F₂ 분자에서 원자의 전기음성도 차이로 공유 전자쌍의 치우침을 예상한다.
 (나) 분자 구조 모델링 프로그램으로 각 분자에서 공유 전자쌍의 치우침을 모형으로 나타낸다.
 (다) 전기음성도와 공유 전자쌍의 치우침 사이의 관계를 도출한다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 전기음성도는 H < Cl < F이다.)

[보기]
 ㄱ. (가)에서 공유 전자쌍이 치우치지 않는 분자는 한 가지이다.
 ㄴ. (나)에서 H는 모두 부분적인 양전하(δ^+)를 띤다.
 ㄷ. (다)에서 “전기음성도 차이가 클수록 공유 전자쌍의 치우침이 크다.”라는 결론을 도출할 수 있다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04 표는 원자 W~Z 사이의 결합에 대한 자료이다.

결합과 부분 전하	δ^+ W δ^- X	δ^+ X δ^- Y	δ^+ W δ^- Z
원자 간 전기음성도 차이	1.2	0.6	1.0

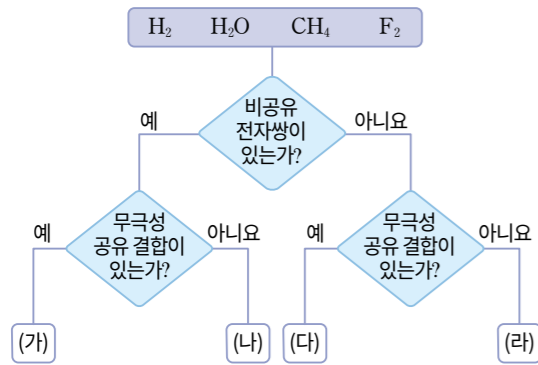
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, W~Z는 임의의 원소 기호이다.)

[보기]
 ㄱ. X와 Z의 전기음성도 차이는 0.4이다.
 ㄴ. W~Z 중 전기음성도가 가장 큰 원자는 Y이다.
 ㄷ. W-X-Y 분자에서 W는 부분적인 양전하(δ^+)를 띤다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

2 분자의 구조와 성질

05 그림은 네 가지 분자를 주어진 기준에 따라 분류한 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보기>
 ㄱ. (가)는 H₂이다.
 ㄴ. (다)를 이루는 결합의 쌍극자 모멘트는 0이다.
 ㄷ. (라)의 분자 구조는 굽은 형이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
 ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

06 다음은 세 가지 분자에 대한 설명이다.

CO₂, CH₂O, CCl₄ 중에서 분자에 비공유 전자 쌍이 있는 분자는 x 개, 분자에 이중 결합이 있는 분자는 y 개, 분자를 이루는 원자가 모두 같은 평면에 위치하는 분자는 z 개이다.

$x+y+z$ 의 값은?

- ① 3 ② 4 ③ 5
 ④ 6 ⑤ 7

07 염화 베릴륨(BeCl₂)과 물(H₂O) 분자의 루이스 전자점식을 그리고, 두 분자의 결합각을 비교하여 그렇게 생각한 까닭을 설명해 보자.

08 다음은 2주기 원자 X, Y와 분자 (가)~(다)에 대한 자료이다.

• X, Y의 루이스 전자점식



• (가)~(다)의 구성 원자

분자	(가)	(나)	(다)
구성 원자	X, H	Y, H	X, Y

• (가)~(다)에서 X와 Y는 모두 옥텟 규칙을 만족한다.
 • (가)~(다)의 구성 원자 수는 3 이하이다.

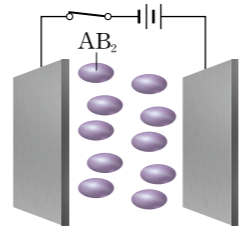
(가)~(다)에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, X, Y는 임의의 원소 기호이다.)

<보기>
 ㄱ. 분자 내 비공유 전자쌍 수는 (가)가 (나)보다 크다.
 ㄴ. (나)와 (다)의 분자 구조는 굽은 형이다.
 ㄷ. (다)에서 Y는 부분적인 음전하를 띤다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
 ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

서술형

09 기체 분자 AB₂를 전기장 속에 넣었을 때 분자가 그림과 같이 일정한 방향으로 배열되었다.



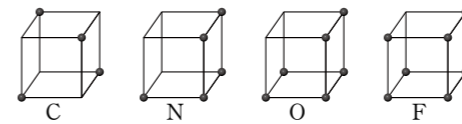
분자의 중심 원자가 A일 때, AB₂의 분자 구조가 선형인지 굽은 형인지 판단하고 그 까닭을 설명해 보자. (단, A, B는 임의의 원소 기호이다.)

과학 역량 키우기

보고서 작성하기

10 다음은 과학자 루이스의 연구 내용 중 일부를 설명한 것이다.

루이스는 정육면체를 활용해 원자를 나타내곤 했다. 원자의 원자가 전자를 정육면체 꼭짓점에 배치하여 원자를 나타낸 것이다.



또 루이스는 안정한 분자들은 대부분 짝수 개의 전자를 가진다는 것에 주목하여 분자 내 전자들은 서로 짝을 이루어 존재하고, 원자 사이의 결합은 두 원자가 2 개, 즉, 한 쌍의 전자를 공유하는 것이라고 설명했다.

- (1) 루이스가 정육면체로 원자를 나타낸 까닭을 설명해 보자.
 (2) 화학 결합에 관해 연구한 과학자와 그 연구 내용을 조사하여 보고서를 작성해 보자.

포트폴리오 작성하기

11 다음은 기름 유출 사고에 관한 설명이다.

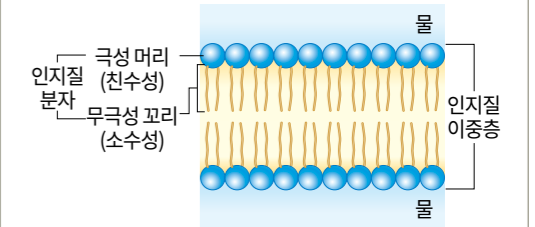
유조선 침몰이나 관리 소홀 등의 까닭으로 기름이 바다로 유출되는 사고가 일어나면 심각한 환경 문제가 발생한다. 유출된 기름은 바닷물 표면에 얇은 막을 형성하면서 퍼져 나가는데, 이 기름 막 때문에 바다의 용존 산소량과 햇빛 투과량이 감소한다. 또 시간이 지나면 기름이 작은 방울이나 공 형태로 뭉쳐 바닷속에 가라앉게 되므로 오랜 시간 동안 생태계에 피해를 준다.

- (1) 유출된 기름이 바닷물과 섞이지 않고 막을 형성하는 까닭을 물질의 극성과 관련지어 설명해 보자.
 (2) 바다에 유출된 기름을 제거하는 다양한 방법과 각각의 장단점 등을 조사해 포트폴리오를 작성해 보자.

과학 글쓰기

12 다음은 세포막과 관련된 자료의 일부이다.

세포막은 주로 인지질과 단백질로 이루어져 있는데, 세포막의 인지질 분자는 극성 부분과 무극성 부분을 모두 가지고 있다. 세포의 안과 밖은 주로 물로 이루어져 있으므로 인지질 분자에서 극성의 머리 부분은 물과 접촉하는 바깥쪽을 향하고, 무극성의 꼬리 부분은 물을 피해 반대 방향으로 늘어난 다른 인지질의 꼬리와 마주 보고 배열된다.



이렇게 형성된 세포막의 인지질 이중층 구조의 안쪽은 무극성 환경이 된다. 따라서 산소, 이산화 탄소 등의 무극성 분자는 인지질 이중층을 통해 이동할 수 있다. 그러나 포도당, 아미노산 등의 비교적 큰 극성 분자나 이온은 인지질 이중층을 직접 통과할 수 없으므로 막단백질을 통해 세포 내부 또는 외부로 이동한다.

- (1) 세포막의 인지질 이중층에서 인지질 분자는 어떤 방향으로 배열되는지 써 보자.
 (2) 다음에서 인지질 이중층을 직접 통과할 수 없는 물질을 있는 대로 고르고, 그 까닭을 위 자료의 내용을 근거로 설명해 보자.

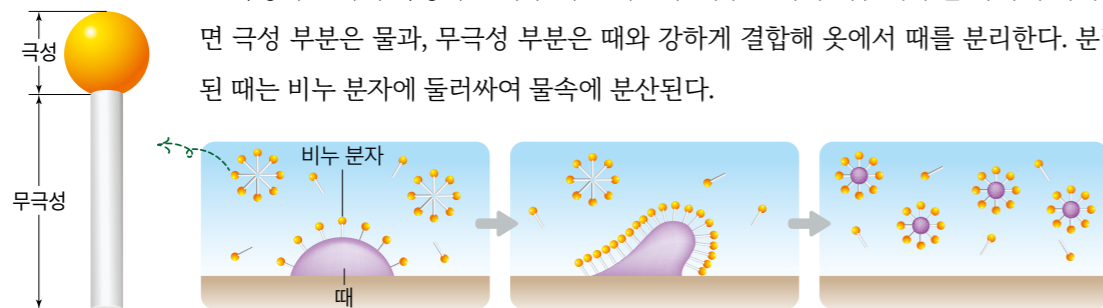
칼륨 이온(K⁺), 염화 이온(Cl⁻), 이산화 탄소(CO₂), 산소(O₂), 포도당(C₆H₁₂O₆)



두 얼굴을 가진 분자, 계면활성제

극성인 물과 무극성인 기름은 잘 섞이지 않는다. 하지만 두 층으로 분리된 물과 기름에 비눗물을 넣고 저으면 경계가 사라지면서 물과 기름이 섞인다. 또 물만으로는 잘 지워지지 않는 기름때도 비누를 사용하면 없앨 수 있다. 비누는 물과 기름 사이에서 어떤 역할을 하는 것일까?

비누가 기름때를 없앨 수 있는 것은 비누의 분자 구조와 관련이 있다. 비누 분자는 극성 부분과 무극성 부분이 함께 존재한다. 비누 분자가 기름때와 물 사이에 끼어 들면 극성 부분은 물과, 무극성 부분은 때와 강하게 결합해 옷에서 때를 분리한다. 분리된 때는 비누 분자에 둘러싸여 물속에 분산된다.



▲ 비누의 세탁 원리

이처럼 성질이 서로 다른 물질을 분산하여 서로 섞여 있는 상태를 유지해 주는 물질을 계면활성제라고 한다. 계면활성제는 식품, 화장품 등 다양한 분야에 활용하므로 우리 주변에서 쉽게 볼 수 있다. 또 우리 몸의 폐에도 인지질과 단백질의 혼합물로 구성된 폐 계면활성제가 있다. 이처럼 계면활성제는 우리 삶에 없어서는 안 될 물질이다.

에멀션 화장품

계면활성제가 화장품의 물과 기름 성분을 고루 섞어 준다.



마요네즈

레시틴이라는 천연 계면활성제가 기름과 다른 재료를 섞어 준다.



비누

계면활성제인 비누가 옷이나 손의 기름때를 물에 분산해 준다.

1 생활 속 계면활성제 조사하기

1. 모둠별로 우리 생활 속에서 계면활성제가 사용되는 제품을 찾아 제품 속에 포함된 계면활성제의 종류와 특성, 역할을 조사하고 정리해 보자.
2. 정리한 내용을 바탕으로 하여 우리 사회에서 계면활성제에 비유할 수 있는 인물이나 상황은 어떤 것이 있을지 토의해 보자.

과정·기능 길잡이

모둠별로 선택한 제품의 성분표를 확인하고, 제품 속 계면활성제의 화학적 특성, 계면활성제가 들어간 까닭 등을 조사한다.

2 역할극 동영상 제작하기

1. 토의한 내용을 바탕으로 하여 계면활성제의 원리를 비유적으로 설명할 수 있는 역할극을 동영상으로 만들고 공유 플랫폼을 활용해 공유해 보자.
2. 우리 모듬의 활동을 평가해 보자.

내용	평가		
일상생활에서 계면활성제의 유용성을 이해했는가?	상	중	하
계면활성제를 적절한 비유로 나타냈는가?	상	중	하
역할극 동영상을 제작하는 과정에서 모든 모듬원이 협력했는가?	상	중	하

포트폴리오

» 이 단원의 활동 결과를 정리해 보자.

• 64 쪽 과학자 이야기 • 84 쪽 화학과 나의 미래 • 92 쪽~93 쪽 프로젝트

- 1 이 단원의 활동 결과를 모아 II. 물질의 구조와 성질 포트폴리오 자료로 정리해 보자.
- 2 **디지털** 공유 플랫폼을 활용해 포트폴리오를 친구들과 공유하고, 친구들의 포트폴리오에 댓글을 달거나 '좋아요' 표시를 하면서 소통해 보자.
- 3 포트폴리오를 인쇄해 책자로 만들어 보자.





III

화학 평형

1 화학 평형

2 화학 평형 이동

이 단원의 핵심 아이디어

염전에서 바다물을 모아 놓고 물을 햇볕에 증발시켜 소금을 얻는다. 만약 바다물을 유리병에 담아 밀폐한 후 햇볕이 잘 드는 곳에 둔다면 염전에서처럼 소금을 얻을 수 있을까?

화학 반응이 진행될 때 정반응 속도와 역반응 속도가 같아지면 화학 평형에 도달한다. 이 단원에서 다양한 생명 현상을 이해하는 핵심 원리이며 산업에서 중요하게 쓰이는 화학 평형을 알아보자.

포트폴리오

» 이 단원을 학습하면서 나만의 특기를 발휘한 포트폴리오를 만들어 보자.
• 108 쪽 화학과 나의 미래 • 126 쪽 생활 속 과학 이야기 • 134 쪽~135 쪽 프로젝트

1

화학 평형

- 01. 가역 반응과 화학 평형
- 02. 화학 평형과 평형 상수
- 03. 화학 반응의 진행 방향 예측



온도에 따라 색이 변하는 장미에 입을 불면 입김이 닿은 장미의 색이 변했다가 시간이 지나면 다시 원래의 색으로 되돌아온다. 우리 주변에 이렇게 변했다가 되돌아오는 것이 있을까?

학습할 내용을 알아보고 스스로 학습 계획을 세워 봅시다.

이전 학습 내용

알고 있는 내용에 표 해 보자.

- 화학 변화 반응물 생성물 화학 반응식

이 단원의 핵심 내용

이 단원에서 배울 핵심 내용을 본문에서 찾아보자.

- 가역 반응 쪽 화학 평형 쪽
 평형 상수 쪽 반응 지수 쪽

이 단원의 학습 목표

- 지식·이해** 가역 반응에서 나타나는 화학 평형 상태의 특징과 평형 상수의 의미를 설명할 수 있다.
과정·기능 화학 반응에서 반응물과 생성물의 농도비의 규칙성을 추론할 수 있다.
가치·태도 평형 상수와 반응 지수를 비교해 화학 반응의 진행 방향을 예측하여 화학 평형의 유용성을 깨달을 수 있다.

나의 학습 계획

나는 이 단원에서 을/를 알고 싶다.

01

가역 반응과 화학 평형

- 가역 반응에서 나타나는 화학 평형 상태의 특징을 설명할 수 있다.
- 우리 주변에서 일어나는 가역 반응과 비가역 반응에 흥미와 호기심을 가질 수 있다.

“ 변색 렌즈 안경은 햇빛을 받으면 렌즈의 색이 어둡게 변해 야외에서는 선글라스 역할을 하고, 실내에서는 색이 없어져 안경으로 사용한다. 장소에 따라 렌즈의 색이 변하는 까닭은 무엇일까? ”



가역 반응과 비가역 반응

소금을 물에 녹인 후 물을 증발시키면 다시 소금이 석출되지만, 메테인이 연소하여 생성된 이산화 탄소와 물은 다시 메테인과 산소가 되기 매우 어렵다. 원래의 모습으로 되돌아갈 수 있는 반응과 되돌아갈 수 없는 반응을 관찰해 보자.

● 황산 구리(II) 오수화물 수화물이란 물 분자를 포함한 화합물을 뜻하는 말로, 황산 구리(II) 오수화물($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)은 물 분자 5 개를 포함한 황산 구리(II)를 뜻한다.

해보기

황산 구리(II)와 설탕의 변화 관찰하기

Q 탐구 능력 | Q 의사 결정 능력

▶ 실험 영상



준비물 ● 황산 구리(II) 오수화물, 백설탕, 증발 접시, 가열 장치, 스포이트, 비커, 물, 실험복, 보안경, 실험용 고무장갑, 안전 장갑

- 증발 접시에 파란색 황산 구리(II) 오수화물($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)을 담고 색이 변할 때까지 가열하자.
- 2.1의 증발 접시에 물을 떨어뜨린 후 나타나는 색 변화를 관찰하여 써 보자.
- 증발 접시에 백설탕을 담고 색이 변할 때까지 가열하자.
- 4.3의 증발 접시에 물을 떨어뜨린 후 나타나는 색 변화를 관찰하여 써 보자.

안전 ⚠



- 실험할 때는 반드시 실험복, 보안경, 실험용 고무장갑을 착용한다.
- 실험 후 남은 황산 구리(II) 오수화물은 고체 폐기물 수집 용기에 배출한다.
- 가열 장치를 다룰 때는 반드시 안전 장갑을 착용한다.

$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$



결과

- 황산 구리(II) 오수화물과 백설탕 중 가열 전의 상태로 되돌아갈 수 있는 것과 되돌아갈 수 없는 것을 각각 써 보자.

화학 평형

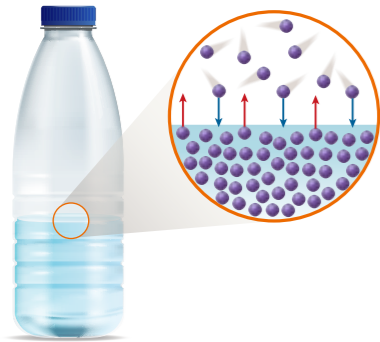


그림 III-3 물과 수증기의 동적 평형 상태

물이 든 병의 뚜껑을 닫아 밀폐하면 병 속의 물은 처음에는 줄어들지만 오랜 시간이 지나면 일정하게 유지된다. 이는 처음에는 병의 내부에서 물이 증발하는 속도가 수증기가 응축하는 속도보다 빠르지만, 시간이 지나면 물이 증발하는 속도와 수증기가 응축하는 속도가 같아지기 때문이다. 이처럼 정반응 속도와 역반응 속도가 같아서 겉으로는 변화가 일어나지 않는 것처럼 보이는 상태를 **동적 평형**이라고 한다.

화학 반응에서도 가역 반응인 경우 정반응 속도와 역반응 속도가 같은 동적 평형 상태에 도달할 수 있다. 화학 반응에서의 동적 평형 상태는 어떤 특징이 있을까?

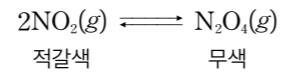
상평형

밀폐된 병 속에서 물의 증발 속도와 수증기의 응축 속도가 같아 물과 수증기가 공존하는 것과 같이 고체, 액체, 기체 등의 물질의 상태 중 두 가지 이상의 상태가 동적 평형을 유지하는 것이다.

해보기

가역 반응에서 동적 평형 상태 해석하기

적갈색 이산화 질소(NO_2) 기체가 서로 반응하여 무색 사산화 이질소(N_2O_4) 기체를 생성하는 반응은 다음과 같이 가역적으로 일어난다.



(가)와 (나)는 일정한 온도에서 이산화 질소 기체와 사산화 이질소 기체를 각각 뚜껑이 있는 유리병에 넣고 뚜껑을 닫아 두었을 때의 결과이다.



1. (가)에서 색이 점점 옅어지고, (나)에서 색이 점점 진해지는 까닭을 각각 설명해 보자.

2. (가)와 (나)에서 시간이 충분히 흐른 후 색이 변하지 않고 일정하게 유지되는 까닭을 토의해 보자.

탐구 능력 | 문제 해결 능력

모의실험



일정한 온도에서 밀폐된 용기 안에 이산화 질소(NO_2)를 넣어 두면 이산화 질소가 결합해 사산화 이질소(N_2O_4)를 생성하는 반응이 우세하게 일어나 색이 점점 연해지다가 시간이 지나면 일정하게 유지된다. 같은 조건에서 밀폐된 용기 안에 사산화 이질소를 넣어 두면 사산화 이질소가 분해되어 이산화 질소를 생성하는 반응이 우세하게 일어나 색이 점점 진해지다가 시간이 지나면 일정하게 유지된다.

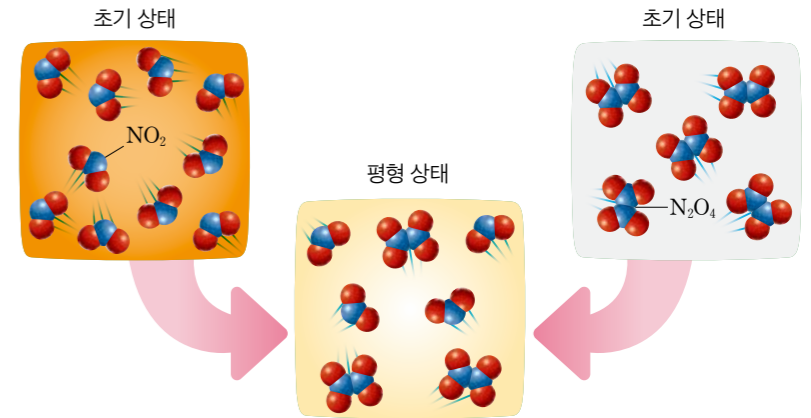


그림 III-4 이산화 질소(NO_2)와 사산화 이질소(N_2O_4)의 동적 평형 상태

이때 시간이 지나면 색이 일정하게 유지되는 까닭은 정반응 속도와 역반응 속도가 같아 이산화 질소와 사산화 이질소의 농도가 일정하게 유지되기 때문이다. 이처럼 가역 반응에서 정반응 속도와 역반응 속도가 같아 반응물과 생성물의 농도가 변하지 않고 일정하게 유지되는 상태를 **화학 평형**이라고 한다.

화학 평형의 특징

- 정반응 속도와 역반응 속도가 같은 동적 평형 상태이다.
- 반응물의 농도와 생성물의 농도가 일정하게 유지된다.
- 겉으로는 변화를 관찰할 수 없어 반응이 정지한 것처럼 보인다.

평형 농도

화학 평형 상태에서 반응물과 생성물의 농도를 평형 농도라고 한다. 온도, 압력 등의 외부 조건이 일정하게 유지되면 평형 농도는 변하지 않는다.

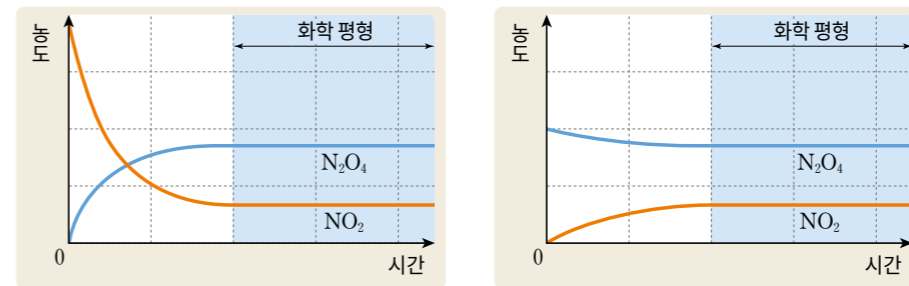


그림 III-5 시간에 따른 이산화 질소(NO_2)와 사산화 이질소(N_2O_4)의 농도 변화

확인하기

- 1 가역 반응에서 반응물과 생성물의 농도가 변하지 않고 일정하게 유지되는 상태를 () (이)라고 한다.
- 2 화학 평형 상태에서 정반응 속도와 역반응 속도가 같다. (○, ×)

소단원 마무리

창의력 키우기

일상생활에서 가역 반응과 비가역 반응의 예를 찾아보자.

디지털 소양 키우기

화학 반응이 화학 평형에 도달했는지 알 수 있는 방법을 조사한 후, 가역 반응 실험 영상을 찾아보고 그 반응이 화학 평형에 도달했는지 판단해 보자.

02

화학 평형과 평형 상수

- 반응물과 생성물의 농도를 이용해 평형 상수를 나타낼 수 있다.
- 탐구를 통한 화학 평형에서 농도비의 규칙성을 찾는 활동의 즐거움을 체험할 수 있다.
- 평형 상수의 의미를 설명할 수 있다.

“탄산수는 물에 이산화 탄소를 녹여서 만든다. 일정한 조건에서 물에 이산화 탄소를 계속 녹일 수 있을까?”



화학 평형에서 농도비의 규칙성

화학 반응이 화학 평형에 도달하면 반응물과 생성물의 농도는 변하지 않고 일정하게 유지된다. 화학 평형에 도달해 일정하게 유지되는 반응물과 생성물의 농도 사이에는 어떤 관계가 있을까? 화학 평형에서 반응물과 생성물의 농도비의 규칙성을 찾아보자.

1. 평형 농도 $[NO_2]$ 와 $[N_2O_4]$ 를 스프레드시트에 각각 입력하자.
2. 수식 ㉠~㉢은 평형 농도 $[NO_2]$ 와 $[N_2O_4]$ 사이의 규칙성을 찾기 위한 여러 가지 관계식을 나타낸 것이다. 수식 ㉠의 입력값을 참고하여 수식 ㉡, ㉢을 스프레드시트에 입력해 보자.

1	실험	평형 농도(mol/L)		농도비		
		$[NO_2]$	$[N_2O_4]$	㉠ $\frac{[N_2O_4]}{[NO_2]}$	㉡ $\frac{[N_2O_4]}{[NO_2]^2}$	㉢ $\frac{[N_2O_4]}{2 \times [NO_2]}$
3	1	0.047	0.467	=C3/B3		
4	2	0.051	0.551			
5	3	0.046	0.448			
6	4	0.045	0.428			
7	5	0.053	0.595			

도움 자료
탐구 전에 다음 자료를 먼저 읽어 보자.
• 179 쪽 스프레드시트 기본 기능

도움말 스프레드시트에 수학 기호를 입력하는 방법은 다음과 같다.
• 덧셈: +
• 뺄셈: -
• 곱셈: *
• 나눗셈: /
• 제곱: ^2

3. 실험 1~5에서 ㉠~㉢의 값을 각각 계산해 보자.

결과 및 정리

1. 과정 3에서 계산한 값에 일정한 규칙성이 있는 수식을 찾아보자.
2. 결과 및 정리 1에서 찾은 수식과 화학 반응식의 계수는 어떤 관계가 있는지 토의해 보자.

스프레드시트 대신 계산기로 계산할 수 있어.



탐구

정보 수집·변환·해석

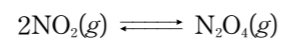
화학 평형에서 농도비의 규칙성 찾기

목표

스프레드시트를 활용하여 화학 평형에서 농도비의 규칙성을 찾을 수 있다.

과정

표는 25 °C에서 밀폐된 용기에 이산화 질소(NO_2)와 사산화 이질소(N_2O_4)의 농도를 달리 하여 넣고 평형에 도달했을 때의 농도에 대한 자료이다.



실험	처음 농도(mol/L)		평형 농도(mol/L)	
	$[NO_2]$	$[N_2O_4]$	$[NO_2]$	$[N_2O_4]$
1	0.120	0.428	0.047	0.467
2	0.090	0.529	0.051	0.551
3	0.060	0.440	0.046	0.448
4	0.030	0.437	0.045	0.428
5	0.000	0.622	0.053	0.595

- 준비물 스마트 기기

몰농도
용액 1 L 속에 녹아 있는 용질의 양(mol)으로 단위는 M 또는 mol/L를 사용한다. $[NO_2]$ 는 NO_2 의 몰농도를 나타낸다.

연계 화학
『화학』 '역동적인 화학 반응' 단원에서 몰농도를 학습한다.

스스로 평가하기

| 지식·이해 |
결과로부터 화학 평형에서 농도비의 규칙성을 발견했는가? ☆☆☆☆☆

| 과정·기능 |
주어진 자료로부터 농도비를 정확히 계산했는가? ☆☆☆☆☆

| 가치·태도 |
농도비의 규칙성을 찾는 과정의 즐거움을 체험하고 적극적으로 참여했는가? ☆☆☆☆☆



평형 상수

화학 반응에서 반응물과 생성물의 처음 농도가 다르면 평형 농도도 다르다. 그러나 일정한 온도에서 화학 반응이 평형에 도달했을 때 반응물의 농도 곱에 대한 생성물의 농도 곱의 비는 처음 농도와 관계없이 항상 일정한 값을 갖는다.

다음 화학 반응이 평형에 도달했을 때 항상 일정한 값을 나타내는 반응물의 농도 곱에 대한 생성물의 농도 곱의 비를 K 라고 하면, K 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$aA + bB \rightleftharpoons cC + dD \quad K = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$$

([A], [B], [C], [D]는 각 물질의 평형 농도)

이때 K 를 **평형 상수**라고 한다. 평형 상수는 일정한 온도에서 처음 농도와 관계 없이 일정한 값을 나타내고, 온도의 영향만을 받는다.

그렇다면 평형 상수로는 어떤 정보를 얻을 수 있을까?

평형 상수가 1보다 매우 크면 화학 평형 상태에서 생성물이 반응물보다 많다. 반대로 평형 상수가 1보다 매우 작으면 화학 평형 상태에서 반응물이 생성물보다 많다. 즉, 평형 상수가 클수록 생성물의 농도가 더 큰 상태에서 평형에 도달하고, 평형 상수가 작을수록 반응물의 농도가 더 큰 상태에서 평형에 도달한다.

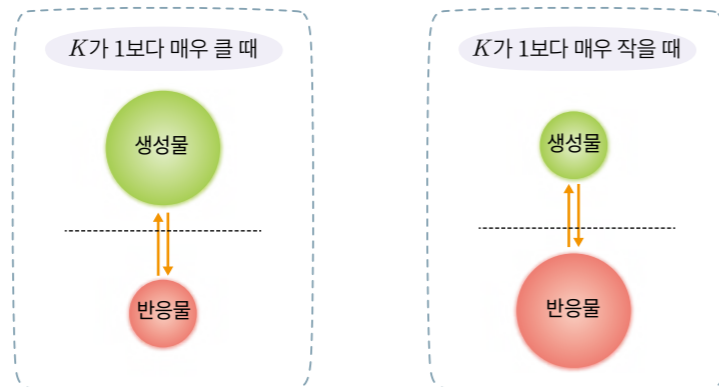


그림 III-6 가역 반응에서 평형 상수(K)에 따른 화학 평형 상태에서 반응물과 생성물의 양 비교

예를 들어 $2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$ 반응의 평형 상수(K)는 25 °C에서 9.9×10^{25} 이므로 이 반응이 평형에 도달했을 때 물질은 대부분 $SO_3(g)$ 으로 존재한다. 반면 $CH_3COOH(aq) \rightleftharpoons CH_3COO^-(aq) + H^+(aq)$ 반응의 평형 상수(K)는 25 °C에서 1.8×10^{-5} 이므로 이 반응이 평형에 도달했을 때 물질은 대부분 $CH_3COOH(aq)$ 으로 존재한다.

이처럼 화학 반응에서 평형 상수를 알면 화학 평형 상태에서 반응물과 생성물의 양을 비교할 수 있다.

일반적으로 평형 상수는
물농도를 이용해 계산하지만
단위는 생략해.

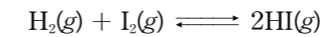


평형 상수에서 순수한 고체와 액체의 표현

순수한 고체나 액체는 반응 전후 농도의 변화가 없으므로 평형 상수를 계산할 때 순수한 고체나 액체의 농도는 생략한다.

연습 해보기

다음은 수소(H_2)와 아이오딘(I_2)이 반응하여 아이오딘화 수소(HI)가 생성되는 반응이다.



어떤 온도에서 1 L 용기에 수소 1 몰과 아이오딘 1 몰을 넣고 반응시켜 평형에 도달했을 때 아이오딘화 수소가 1.6 몰 생성됐다. 이 온도에서의 평형 상수(K)를 구해 보자.

풀이 따라가기

1 단계 계수비는 $H_2 : I_2 : HI = \text{①}$ 이다. 그러므로 HI 1.6 몰이 생성되려면 H_2 는 ② 몰, I_2 은 ③ 몰이 반응해야 한다.

	$H_2(g)$	+	$I_2(g)$	\rightleftharpoons	$2HI(g)$
초기 양(mol)	1		1		0
반응 양(mol)	-②		-③		+1.6
평형 양(mol)	④		⑤		1.6

2 단계 평형에 도달했을 때 물질의 농도는 H_2 ⑥ mol/L, I_2 ⑦ mol/L, HI ⑧ mol/L이므로 평형 상수(K)를 구하면 다음과 같다.

$$\text{평형 상수}(K) = \frac{[HI]^2}{[H_2][I_2]} = \frac{\text{⑧}^2}{\text{⑥} \times \text{⑦}} = \text{⑨}$$

답 ⑨

직접 해 보기

플루오린화 수소(HF)의 분해 반응식은 $2HF(g) \rightleftharpoons H_2(g) + F_2(g)$ 이다. 어떤 온도에서 1 L 용기에 플루오린화 수소 1.2 몰을 넣고 반응시켜 평형에 도달했을 때 수소(H_2)와 플루오린(F_2)이 각각 0.1 몰 생성됐다. 이 온도에서의 평형 상수(K)를 구해 보자.

확인하기

- 화학 반응이 평형에 도달했을 때 반응물의 농도 곱에 대한 생성물의 농도 곱의 비를 ()이라고 한다.
- 반응 $HNO_3(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + NO_3^-(aq)$ 의 평형 상수식을 써 보자.

소단원 마무리

창의력 키우기

어떤 온도의 밀폐된 용기에서 $2NO_2(g) \rightleftharpoons N_2O_4(g)$ 의 반응이 일어날 때 $NO_2(g)$ 의 처음 농도가 100 배 증가하면 $N_2O_4(g)$ 의 농도가 50 배 증가할지 토의해 보자.

디지털 소양 키우기

우리 몸에서 일어나는 다양한 반응 중 평형 상수를 활용하여 설명할 수 있는 반응을 조사해 보자.

03

화학 반응의 진행 방향 예측

- 반응 지수의 의미를 설명할 수 있다.
- 반응 지수를 평형 상수와 비교하여 반응의 진행 방향을 예측할 수 있다.

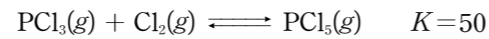
“ 우리는 일상생활에서 내일의 날씨, 대기 중 오존 농도, 파도의 높이 등을 예측해 활용한다. 화학 반응도 어느 방향으로 진행할지 예측해 활용할 수 있을까? ”



화학 반응이 가역적이라면 반응은 평형에 도달할 때까지 진행된다. 반응 용기에 반응물과 생성물을 함께 넣으면 반응은 어느 방향으로 진행할까?

해보기 화학 반응의 진행 방향 예측하기

어떤 온도에서 삼염화 인(PCl_3)과 염소(Cl_2)가 반응하여 오염화 인(PCl_5)이 생성되는 반응의 평형 상수(K)는 50이다.



표는 같은 온도에서 밀폐된 용기에 각 물질의 처음 농도를 달리하여 넣은 실험에 대한 자료이다.

실험	처음 농도(mol/L)		
	$[PCl_3]$	$[Cl_2]$	$[PCl_5]$
1	0.31	0.68	5.21
2	0.98	0.01	1.83
3	0.67	3.39	114

정리

1. 실험 1~3 중 반응 초기에 이미 평형 상태인 것으로 예측되는 실험을 찾고, 그렇게 생각한 까닭을 설명해 보자.

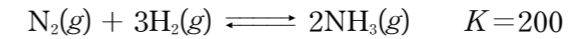


2. 실험 1~3 중 반응 초기에 정반응이 우세하게 진행할 것으로 예측되는 실험과 역반응이 우세하게 진행할 것으로 예측되는 실험을 각각 찾고, 그렇게 생각한 까닭을 설명해 보자.



화학 반응에서 관찰하는 시점의 반응물과 생성물의 농도를 평형 상수식에 넣어 계산한 값을 **반응 지수(Q)**라고 한다. 화학 반응의 평형 상수를 알고 있을 때 반응 지수(Q)와 평형 상수(K)를 비교하면 반응의 진행 방향을 예측할 수 있다.

예를 들어 어떤 온도에서 암모니아(NH_3) 생성 반응의 평형 상수(K)는 200이다.



같은 온도에서 1 L 용기에 질소(N_2), 수소(H_2), 암모니아(NH_3)를 각각 0.1 몰씩 넣으면 반응은 어느 방향으로 진행할까?

평형 상수식에 각 기체의 농도를 대입하여 반응 지수(Q)를 구하면 다음과 같다.

$$Q = \frac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3} = \frac{0.1^2}{0.1 \times 0.1^3} = 100$$

반응 지수(Q)가 평형 상수(K)보다 작으므로($Q < K$), 이 반응이 평형에 도달하기 위해서는 반응물의 농도는 감소하고, 생성물의 농도는 증가해야 한다. 따라서 정반응이 우세하게 진행된다. 이처럼 화학 반응은 반응 지수가 평형 상수와 같아지는 방향으로 진행하여 평형에 도달한다.

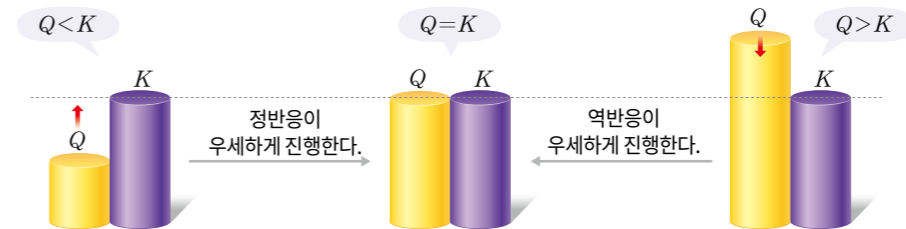


그림 III-7 반응 지수(Q)와 평형 상수(K)를 이용한 화학 반응의 진행 방향 예측

확인하기

- 1 반응물과 생성물의 현재 농도를 평형 상수식에 넣어 계산한 값을 () (이)라고 한다.
- 2 어떤 온도에서 $A(g) \rightleftharpoons B(g)$ 반응의 평형 상수(K)가 1일 때, 처음 농도가 $[A]=1 \text{ mol/L}$, $[B]=2 \text{ mol/L}$ 이면 (정반응, 역반응)이 우세하게 진행된다.

소단원 마무리

창의력키우기

어떤 용기에서 $PCl_3(g) + Cl_2(g) \rightleftharpoons PCl_5(g)$ 반응이 평형에 도달했을 때, 용기의 부피를 2 배로 늘리면 반응은 어느 방향으로 진행할지 반응 지수를 이용하여 설명해 보자. (단, 온도는 일정하다.)

디지털 소양키우기

다양한 산업에서 반응 지수를 활용한 사례를 인터넷에서 검색해 찾아보자.

우주를 향해 꿈을 쏘아올리는 로켓 추진제 연구원



로켓 추진제 연구원이 하는 일은 무엇일까?

로켓 추진제는 화학 반응 하면 짧은 시간 내에 부피가 수천 배 이상으로 급격하게 팽창하는 물질로, 우주 공간처럼 외부로부터 산소를 공급받지 못하는 환경에서도 반응할 수 있다. 한편 로켓이 더 멀리 안전하게 비행하려면 로켓의 무게를 가볍게 하는 것이 매우 중요한데 로켓 추진제의 무게는 로켓의 무게를 줄이는 데 매우 큰 영향을 미친다. 로켓 추진제 연구원은 더 적은 양으로 더 멀리 비행할 수 있는 새로운 추진제를 개발하거나 다양한 추진제의 비행 결과를 얻고 어떻게 개선하면 좋을지를 연구하는 사람이다.

로켓 추진제 연구원은 어떤 능력이 필요할까?

새로운 추진제를 개발할 때는 최적의 성능을 가진 산화제와 연료의 반응비를 밝히는 것이 가장 중요하다. 로켓 추진제 연구원은 반응물과 연소 생성물 사이의 평형 상수를 이용하여 추진제의 성능을 이론적으로 계산하고 로켓 추진 성능을 예측할 수 있어야 한다. 따라서 로켓 추진제 연구원이 되기 위해서는 화학 반응, 화학 평형, 평형 상수에 대한 높은 이해력과 계산 능력, 원하는 결과를 얻을 때까지 연구를 반복하는 끈기가 필요하다.

관련 학과 화학과, 화학 공학과, 재료 공학과, 항공 우주 공학과 등

활동하기

로켓의 동체와 연료 등에 활용되는 다양한 소재를 찾아보고, 각 소재를 개발하는 데 화학이 어떻게 활용되는지 조사해 보자.



01 가역 반응과 화학 평형 97 쪽

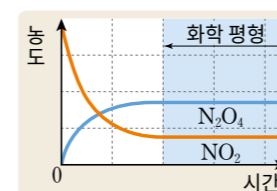
(1) 가역 반응과 비가역 반응

① 가역 반응: ① 와/과 ② 이/가 모두 일어날 수 있는 반응

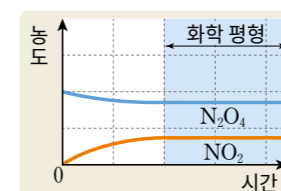
② 비가역 반응: 한 방향으로만 일어나는 반응

(2) ③ : 가역 반응에서 반응물과 생성물의 농도가 일정하게 유지되어 겉으로 보이는 변화가 일어나지 않는 것처럼 보이는 동적 평형 상태

④ 시간에 따른 이산화 질소(NO₂)와 사산화 이질소(N₂O₄)의 농도 변화



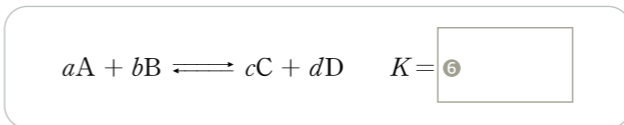
이산화 질소(NO₂)만 넣었을 때



사산화 이질소(N₂O₄)만 넣었을 때

02 화학 평형과 평형 상수 102 쪽

(1) 평형 상수: 일정한 온도에서 화학 반응이 평형에 도달했을 때 ④ 의 농도 곱에 대한 ⑤ 의 농도 곱의 비로 화학 평형 상태를 표현한 것이다.



(2) 평형 상수로 알 수 있는 정보

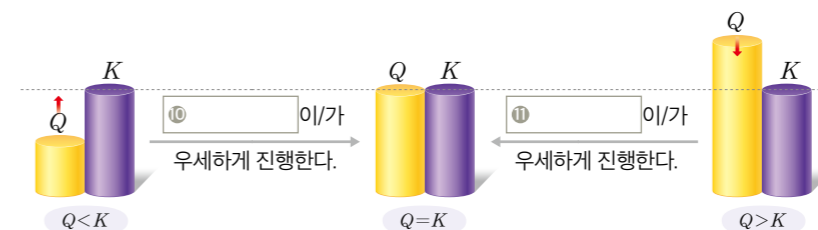
① K가 1보다 매우 ⑦ 화학 평형 상태에서 생성물이 반응물보다 많다.

② K가 1보다 매우 ⑧ 화학 평형 상태에서 반응물이 생성물보다 많다.

03 화학 반응의 진행 방향 예측 106 쪽

(1) ⑨ : 화학 반응을 관찰하는 시점의 반응물과 생성물의 농도를 평형 상수식에 넣어 계산한 값

(2) 반응 지수(Q)와 평형 상수(K)의 관계



함께 풀어 보기

제시된 핵심 내용과 관련된 간단한 문제를 만들고, 공유 플랫폼에 공유하여 친구들과 함께 풀어 보자.

✓ 가역 반응

.....

.....

.....

.....

✓ 화학 평형

.....

.....

.....

.....

✓ 평형 상수

.....

.....

.....

.....

✓ 반응 지수

.....

.....

가역 반응

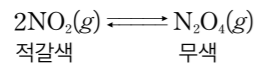
01 가역 반응에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기
 ㄱ. 정반응과 역반응이 모두 일어난다.
 ㄴ. 가역 반응은 \rightleftharpoons 를 사용해 하나의 화학 반응식으로 나타낼 수 있다.
 ㄷ. 메테인의 연소 반응은 가역 반응이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
 ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

화학 평형

02 다음은 $\text{NO}_2(g)$ 가 반응하여 $\text{N}_2\text{O}_4(g)$ 를 생성하는 반응의 화학 반응식이다.



일정한 온도에서 밀폐된 용기에 $\text{NO}_2(g)$ 를 넣었을 때 일어나는 변화에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, 용기의 부피는 일정하다.)

- ① 용기 내부의 색이 점점 없어진다.
 ② $\text{NO}_2(g)$ 의 농도는 처음보다 감소한다.
 ③ 용기 내부의 전체 기체 분자 수가 처음보다 감소한다.
 ④ 시간이 지나도 $\text{NO}_2(g)$ 가 생성되는 반응은 일어나지 않는다.
 ⑤ 시간이 충분히 흐른 후 용기 내부의 색이 일정하게 유지된다.

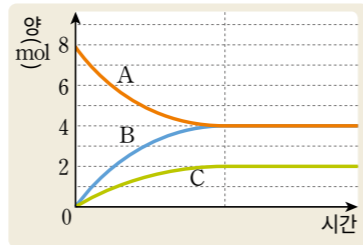
평형 상수

03 평형 상수(K)에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

- ① 온도가 일정할 때 일정한 값을 갖는다.
 ② 평형 상수는 온도 외에도 농도와 압력의 영향을 받는다.
 ③ 평형 상수 계산 시 순수한 고체나 액체의 농도는 생략한다.
 ④ 평형 상수를 통해 화학 평형 상태에서 반응물과 생성물의 양을 비교할 수 있다.
 ⑤ 화학 반응이 평형에 도달했을 때 반응물의 농도 곱에 대한 생성물의 농도 곱의 비이다.

평형 상수

04 그림은 1 L 반응 용기에 $A(g)$ 를 넣은 후 시간에 따른 반응 용기 속 각 물질의 양(mol)을 나타낸 것이다. $A(g)$ 가 분해되면 $B(g)$ 와 $C(g)$ 가 생성되는 가역 반응이 일어난다. (단, 온도는 일정하다.)



- (1) 이 반응의 화학 반응식을 써 보자.
 (2) 이 반응의 평형 상수식을 써 보자.

평형 상수와 반응 지수

05 다음은 $A(g)$ 와 $B(g)$ 가 반응하여 $C(g)$ 가 생성되는 반응의 화학 반응식이다.

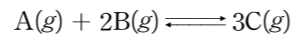
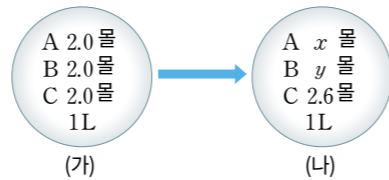


그림 (가)는 반응 초기 $A(g) \sim C(g)$ 의 양(mol)을, (나)는 시간이 충분히 흐른 후 $A(g) \sim C(g)$ 의 양(mol)을 각각 나타낸 것이다.



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

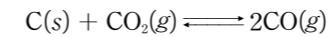
보기
 ㄱ. (가)에서 이 반응의 반응 지수(Q)는 평형 상수(K)보다 크다.
 ㄴ. $x+y=3.4$ 이다.
 ㄷ. 이 반응의 평형 상수(K)는 1보다 작다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
 ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

서술형

평형 상수와 반응 지수

06 다음은 $C(s)$ 와 $\text{CO}_2(g)$ 가 반응하여 $\text{CO}(g)$ 가 생성되는 반응의 화학 반응식이다. 1 L의 밀폐된 용기에 $C(s)$ 1 mol, $\text{CO}_2(g)$ 1 mol을 넣고 시간이 충분히 흐른 후 평형에 도달했을 때 $\text{CO}(g)$ 1 mol이 생성됐다. (단, 온도는 일정하다.)



- (1) 이 반응의 평형 상수(K)를 구해 보자.
 (2) 밀폐된 1 L 용기에 $C(s)$ 0.5 mol, $\text{CO}_2(g)$ 1 mol, $\text{CO}(g)$ 1 mol을 넣으면 정반응과 역반응 중 어느 반응이 우세하게 진행될지 설명해 보자.

서술형

평형 상수와 반응 지수

07 표는 1 L의 밀폐된 두 용기에서 서로 다른 반응 (가)와 (나)가 각각 평형에 도달했을 때의 자료이다.

반응	화학 반응식	평형 농도(mol/L)
(가)	$A(g) + B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$	[A]=1 [B]=1 [C]=2
(나)	$B(g) + 2C(g) \rightleftharpoons 2D(g)$	[B]=2 [C]=1 [D]=2

(가)와 (나) 중 용기의 부피를 2 L로 늘리면 역반응이 우세하게 진행되는 것을 고르고, 그 까닭을 설명해 보자. (단, 온도는 일정하다.)

스스로 점검하기

- 지식·이해** 가역 반응에서 나타나는 화학 평형 상태의 특징과 평형 상수의 의미를 설명했다. ★★★★★
- 과정·기능** 화학 반응에서 반응물과 생성물의 농도비의 규칙성을 추론했다. ★★★★★
- 가치·태도** 평형 상수와 반응 지수를 비교해 화학 반응의 진행 방향을 예측하여 화학 평형의 유용성을 깨달았다. ★★★★★

평가 결과가 아쉽다면 '1. 화학 평형'을 다시 한번 학습해 봅시다.

평형 상수와 반응 지수

08 다음은 $A(g)$ 와 $B(g)$ 가 반응하여 $C(g)$ 가 생성되는 반응의 화학 반응식이다.

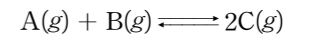
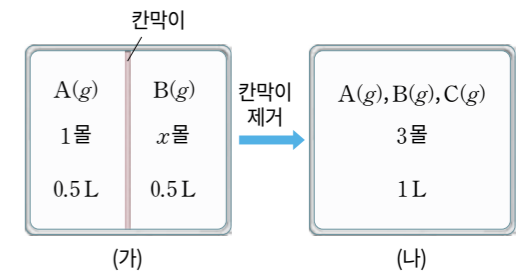


그림 (가)는 칸막이로 분리된 강철 용기에 $A(g)$ 와 $B(g)$ 를 각각 넣은 초기 상태를, (나)는 칸막이를 제거한 후 평형에 도달한 상태를 나타낸 것이다. (나)에서 $A(g) \sim C(g)$ 를 모두 합한 전체 기체의 양은 3 mol이다.



(나)에서 $C(g)$ 가 0.4 mol일 때, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는 일정하다.)

보기
 ㄱ. $x=2$ 이다.
 ㄴ. (나)에서 $[A]=2[C]$ 이다.
 ㄷ. 이 반응의 평형 상수(K)는 $\frac{1}{9}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
 ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

2

화학 평형 이동

- 01. 농도·압력 변화와 화학 평형 이동
- 02. 온도 변화와 화학 평형 이동
- 03. 일상생활 속의 화학 평형 이동



해발 고도가 매우 높은 고지대는 산소가 부족해 고산병에 걸릴 수 있다. 그런데 남아메리카의 고지대에 사는 원주민들이 고산병에 걸리지 않는 까닭은 무엇일까?

학습할 내용을 알아보고 스스로 학습 계획을 세워 봅시다.

이전 학습 내용

알고 있는 내용에 표 해 보자.

- 가역 반응
- 화학 평형
- 평형 상수
- 반응 지수

이 단원의 핵심 내용

이 단원에서 배울 핵심 내용을 본문에서 찾아보자.

- 농도 변화와 화학 평형 이동 쪽
- 온도 변화와 화학 평형 이동 쪽
- 압력 변화와 화학 평형 이동 쪽
- 일상생활 속의 화학 평형 이동 쪽

이 단원의 학습 목표

지식·이해 화학 평형 이동을 이해하고, 르사틀리에 원리를 이용하여 화학 평형 이동을 설명할 수 있다.

과정·기능 농도, 압력, 온도 변화에 따른 화학 평형 이동을 실험하고, 변인에 따른 평형 이동 방향을 예측할 수 있다.

가치·태도 생명 현상과 산업 현장에서 화학 평형 이동을 이용한 사례를 조사하여 과학 지식이 일상생활의 문제 해결에 활용됨을 인식할 수 있다.

나의 학습 계획

나는 이 단원에서 을/를 알고 싶다.

01

농도·압력 변화와 화학 평형 이동

- 농도, 압력 변화가 화학 평형에 미치는 영향을 설명할 수 있다.
- 농도, 압력 변화에 따른 화학 평형 이동을 실험하고 변인에 따른 평형 이동 방향을 예측할 수 있다.

“ 화학 평형 상태에서는 각 물질의 농도가 일정하게 유지된다. 만약 반응에 참여하는 물질을 더 넣거나 빼면 화학 평형 상태는 어떻게 될까? ”



화학 평형 이동

관으로 연결한 두 용기에 물을 넣으면 양쪽 용기의 수면 높이가 같다. 그림 III-8과 같이 한쪽 용기에 물을 더 넣으면 물은 즉시 반대쪽 용기로 이동하여 다시 수면의 높이가 같아진다.

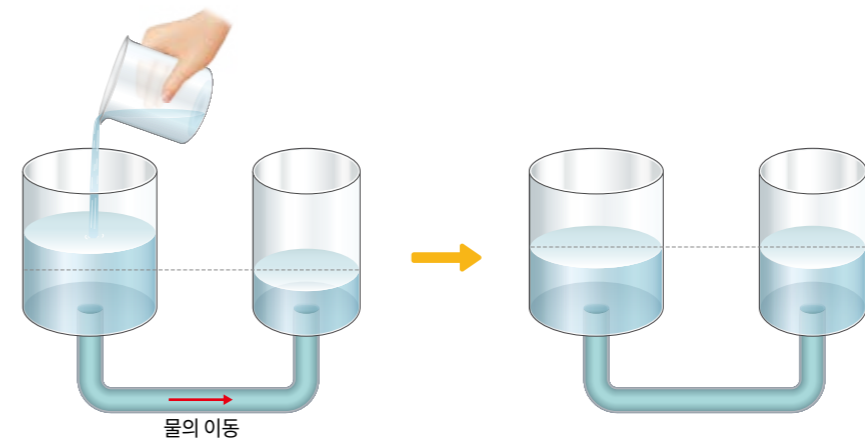


그림 III-8 관으로 연결된 용기에서 물의 이동과 수면의 높이

화학 반응이 평형 상태일 때 반응물이나 생성물을 더 넣으면 어떻게 될까?

일정한 온도와 압력에서 화학 반응이 평형 상태일 때 반응물과 생성물의 농도는 일정하게 유지된다. 하지만 농도, 압력, 온도와 같은 조건이 달라지면 평형이 깨진다. 이에 따라 조건의 변화를 감소시키는 쪽으로 정반응 또는 역반응이 우세하게 진행해 새로운 평형을 이루는데, 이것을 **화학 평형 이동**이라고 한다.

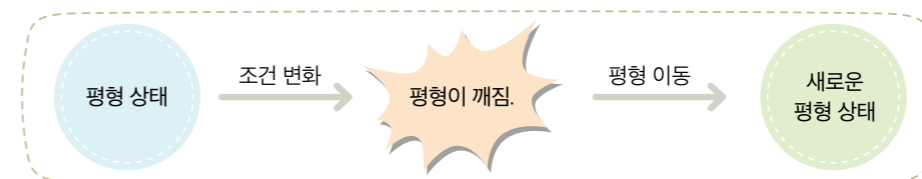


그림 III-9 화학 평형 이동

농도 변화와 화학 평형 이동

화학 평형 상태에서 반응물과 생성물의 농도는 일정하게 유지된다. 이때 반응물이나 생성물의 농도가 변하면 화학 평형은 어느 방향으로 이동할까?



Q 탐구 능력 | 문제 해결 능력 | 의사 결정 능력

농도 변화에 따른 화학 평형 이동 실험하기

▶ 실험 영상

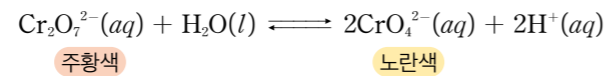


목표

농도를 변화시킬 때 화학 평형이 어느 방향으로 이동하는지 설명할 수 있다.

과정 및 결과

다이크로뮴산 칼륨($K_2Cr_2O_7$)은 수용액에서 다음과 같이 평형을 이룬다.



- 시험관에 다이크로뮴산 칼륨 수용액을 4 mL 넣자.
 - 주황색 다이크로뮴산 칼륨 수용액에는 어떤 이온들이 들어 있는가?
- 1의 시험관에 수산화 나트륨(NaOH) 수용액을 한 방울씩 떨어뜨리면서 색 변화를 관찰하자.
 - 용액의 색은 어떻게 변하는가?
- 2의 시험관에 염산(HCl(aq))을 한 방울씩 떨어뜨리면서 색 변화를 관찰하자.
 - 용액의 색은 어떻게 변하는가?

준비물

- 0.1 mol/L 다이크로뮴산 칼륨 수용액
- 1 mol/L 수산화 나트륨 수용액
- 1 mol/L 염산
- 시험관 시험관대
- 스포이트 비커
- 실험복 보안경
- 실험용 고무장갑

안전



- 실험할 때는 반드시 실험복, 보안경, 실험용 고무장갑을 착용한다.
- 실험 후 남은 다이크로뮴산 칼륨 수용액은 무기계 폐수통에 배출한다.
- 실험 후 남은 염산은 묽은 수산화 나트륨 수용액으로 중화해 무기계 폐수통에 배출한다.
- 실험 후 남은 수산화 나트륨 수용액은 묽은 산으로 중화해 무기계 폐수통에 배출한다.

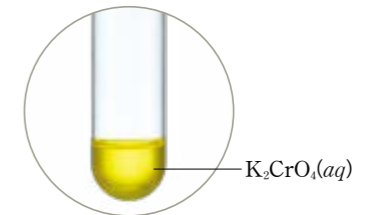
도움 자료

- 탐구 전에 다음 자료를 먼저 읽어 보자.
- 8 쪽~9 쪽 실험실 안전 수칙
- 174 쪽~175 쪽 실험 기구 사용 방법
- 176 쪽~177 쪽 주요 시약별 주의 사항



정리

- 과정 및 결과 2에서 정반응과 역반응 중 어느 반응이 우세하게 일어나는지 쓰고, 그렇게 생각한 까닭을 설명해 보자.
- 과정 및 결과 3에서 정반응과 역반응 중 어느 반응이 우세하게 일어나는지 쓰고, 그렇게 생각한 까닭을 설명해 보자.
- 실험 결과를 이용하여 수소 이온의 농도가 달라지면 화학 평형이 정반응과 역반응 중 어느 방향으로 이동하는지 토의해 보자.
- ▶ 정의 노란색 크로뮴산 칼륨(K_2CrO_4) 수용액에 염산과 수산화 나트륨 수용액을 차례로 떨어뜨리면 용액의 색이 어떻게 변할지 토의해 보자.



스스로 평가하기

- | | |
|--|------|
| 지식·이해 수소 이온 농도 변화에 따른 화학 평형 이동 방향을 옳게 설명했는가? | ☆☆☆☆ |
| 과정·기능 수용액의 색 변화를 정확히 관찰했는가? | ☆☆☆☆ |
| 가치·태도 적정량의 시약을 사용하여 안전하게 실험했는가? | ☆☆☆☆ |

같은 원리 다른 탐구

과정

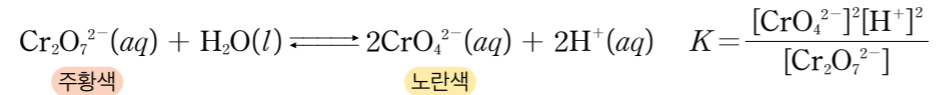
- 뚜껑이 있는 유리병에 염화 나트륨(NaCl) 포화 수용액 10 mL를 넣자.
- 염화 나트륨 포화 수용액에 진한 염산(HCl(aq))을 떨어뜨리면서 변화를 관찰하자.
 - ▶ 진한 염산이 피부나 눈에 닿으면 심한 손상을 입을 수 있으므로 주의한다. 또 진한 염산을 코나 입으로 흡입 시 알레르기 반응, 천식, 호흡 곤란 등이 발생할 수 있으므로 반드시 후드 안에서 실험한다.

결과 및 정리

- 과정 2에서 진한 염산을 넣을 때 일어나는 변화를 써 보자.
- 결과 및 정리 1과 같은 변화가 일어나는 까닭을 화학 평형 이동과 관련지어 설명해 보자.



다이크로뮴산 칼륨($K_2Cr_2O_7$)은 수용액에서 다음과 같이 평형을 이룬다.



오개념 바로잡기

다이크로뮴산 칼륨을 녹인 수용액은 주황색을 띠지만 그 안에 노란색을 띠는 크로뮴산 이온도 존재한다.

다이크로뮴산 이온($Cr_2O_7^{2-}$)과 크로뮴산 이온(CrO_4^{2-})이 평형을 이루고 있는 수용액에 수산화 나트륨($NaOH$) 수용액을 넣으면 수산화 이온(OH^-)이 용액 속의 수소 이온(H^+)과 중화 반응 하여 수소 이온의 농도가 감소한다. 이때 수소 이온의 농도가 증가하는 정반응이 우세하게 진행하여 새로운 평형을 이룬다. 따라서 생성물인 크로뮴산 이온의 양이 늘어나 용액의 색은 주황색에서 노란색으로 변한다.

이 수용액에 염산($HCl(aq)$)을 넣으면 반대로 수소 이온의 농도가 증가하므로 수소 이온의 농도가 감소하는 역반응이 우세하게 진행하여 새로운 평형을 이룬다. 따라서 반응물인 다이크로뮴산 이온의 양이 늘어나 용액의 색은 노란색에서 주황색으로 변한다.

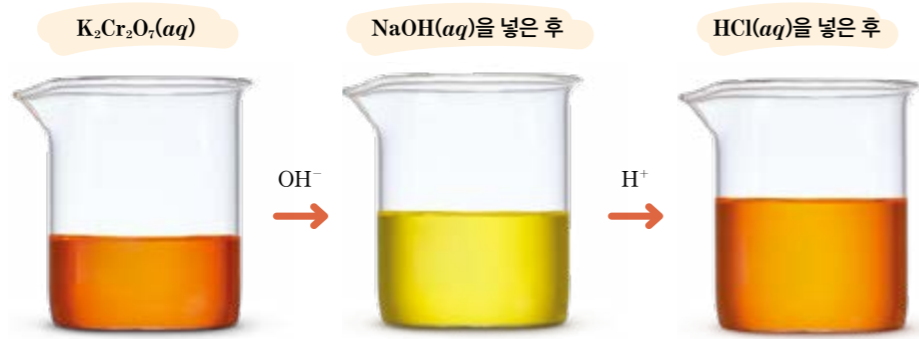


그림 III-10 다이크로뮴산 칼륨 수용액에 수산화나트륨 수용액과 염산을 차례로 넣었을 때 혼합 용액의 색 변화

이처럼 화학 반응이 평형 상태에 있을 때 반응물이나 생성물의 농도가 증가하면 반응은 그 물질의 농도가 감소하는 방향으로 진행하여 새로운 평형을 이룬다. 반대로 반응물이나 생성물의 농도가 감소하면 반응은 그 물질의 농도가 증가하는 방향으로 진행하여 새로운 평형을 이룬다.

확인하기

- 1 화학 반응이 평형 상태일 때 조건이 달라지면 정반응이나 역반응이 우세하게 일어나 새로운 평형에 도달하는데, 이를 ()이라고 한다.
- 2 화학 평형 상태에서 반응물을 첨가하면 (정반응, 역반응)이 우세하게 진행하여 새로운 평형에 도달한다.
- 3 화학 평형 상태에서 생성물을 첨가하면 (정반응, 역반응)이 우세하게 진행하여 새로운 평형에 도달한다.

압력 변화와 화학 평형 이동

고체나 액체와 달리 기체는 압력이 변하면 부피가 크게 달라지므로 농도가 달라진다. 기체의 반응에서 압력이 변하면 화학 평형은 어느 방향으로 이동할까?

탐구

압력 변화에 따른 화학 평형 이동 실험하기

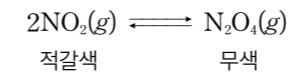
● 자료 해석 / 결론 도출

목표

자료를 해석하여 압력을 변화시킬 때 화학 평형이 어느 방향으로 이동하는지 설명할 수 있다.

과정 및 결과

이산화 질소(NO_2)와 사산화 이질소(N_2O_4)는 다음과 같이 평형을 이룬다.



다음은 이산화 질소(NO_2)와 사산화 이질소(N_2O_4)의 혼합 기체를 주사기 안에 넣고 피스톤을 눌러 압력을 증가시킬 때 주사기 안에서 일어나는 변화이다. (가)~(다)에서 혼합 기체의 색을 관찰해 빈칸에 써 보자.



정리

1. (가)→(나), (나)→(다)로 될 때 혼합 기체의 색이 변하는 까닭을 각각 설명해 보자.
2. 압력이 달라지면 화학 평형이 정반응과 역반응 중 어느 방향으로 이동하는지 토의해 보자.

탐구 능력 | 문제 해결 능력 | 의사 결정 능력

모의실험



이산화 질소는 매우 유독한 기체이므로 실험 사진이나 영상으로 관찰하자.



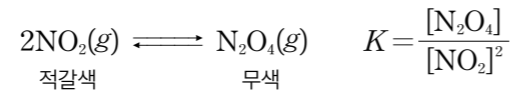
스스로 평가하기

| 지식·이해 |
압력 변화에 따른 화학 평형 이동 방향을 옳게 설명했는가?
☆☆☆☆☆

| 과정·기능 |
혼합 기체의 색 변화를 정확히 관찰했는가?
☆☆☆☆☆

| 가치·태도 |
탐구를 통해 궁금증을 해소하려는 태도를 지녔는가?
☆☆☆☆☆

이산화 질소(NO₂)와 사산화 이질소(N₂O₄)는 다음과 같이 평형을 이룬다.



일정한 온도에서 이산화 질소와 사산화 이질소가 평형을 이룰 때 압력을 높이면 전체 기체 분자 수가 감소하는 정반응이 우세하게 진행하여 새로운 평형을 이룬다.

반대로 압력을 낮추면 전체 기체 분자 수가 증가하는 역반응이 우세하게 진행하여 새로운 평형을 이룬다.

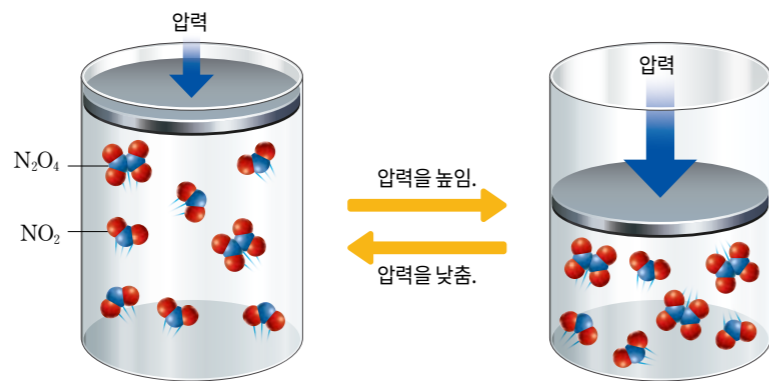
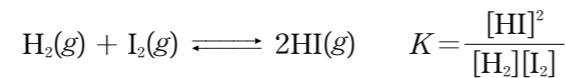


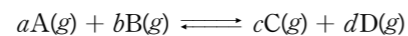
그림 III-11 압력 변화와 화학 평형 이동

이처럼 기체의 화학 반응이 평형 상태에 있을 때 압력이 증가하면 압력을 낮추는 방향, 즉 전체 기체 분자 수가 감소하는 방향으로 평형이 이동해 새로운 평형을 이룬다. 반대로 압력이 감소하면 압력을 높이는 방향, 즉 전체 기체 분자 수가 증가하는 방향으로 평형이 이동해 새로운 평형을 이룬다.

그러나 기체의 반응에서 압력 변화가 항상 평형에 영향을 주는 것은 아니다. 예를 들어 수소(H₂) 기체와 아이오딘(I₂) 기체가 반응하여 아이오딘화 수소(HI) 기체가 생성되는 반응과 같이 반응 전후 전체 기체 분자 수의 변화가 없는 반응에서는 압력을 변화시켜도 화학 평형이 이동하지 않는다.



다음 기체의 반응이 평형에 도달했을 때 압력이 증가하면 화학 평형이 정반응과 역반응 중 어느 방향으로 이동하는지 써 보자.



(1) $a+b > c+d$ 일 때

(2) $a+b < c+d$ 일 때

반응 지수와 화학 평형 이동

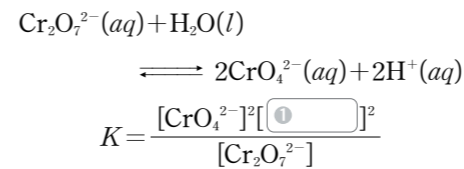
화학 평형 상태에서 물질의 농도나 압력이 달라지면 반응 지수(Q)가 평형 상수(K)와 같아질 때까지 정반응이나 역반응이 진행되므로 반응 지수(Q)의 변화로 화학 평형의 이동 방향을 예측할 수 있다.

연습 해보기

일정한 온도에서 농도와 압력에 따른 화학 평형 이동을 반응 지수(Q)와 평형 상수(K)로 설명해 보자.

풀이 따라가기

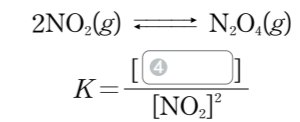
[농도의 영향]



화학 평형 상태에서 생성물인 H⁺의 농도가 2 배가 되면 $Q = \text{②} \times K$ 이다.

$Q > K$ 이므로 $Q = K$ 가 될 때까지 ③ 이 우세하게 진행한다.

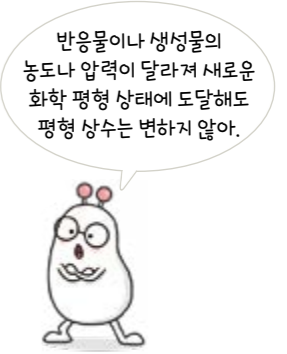
[압력의 영향]



화학 평형 상태에서 압력을 높여 부피가

$\frac{1}{2}$ 배로 되면, 각 물질의 농도는 ⑤ 배가 되어 $Q = \text{⑥} \times K$ 이다.

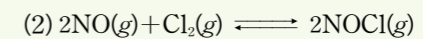
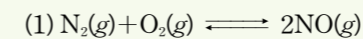
$Q < K$ 이므로 $Q = K$ 가 될 때까지 ⑦ 이 우세하게 진행한다.



확인하기

1 기체의 반응이 화학 평형 상태일 때 압력이 증가하면 전체 기체 분자 수가 (감소하는, 증가하는) 방향으로 평형이 이동해 새로운 평형을 이룬다.

2 다음 기체의 반응이 평형에 도달했을 때 압력이 증가하면 화학 평형이 어느 방향으로 이동하는지 써 보자.



소단원 마무리

창의력 키우기

주사기에서 2NO₂(g) ⇌ N₂O₄(g)의 반응이 평형을 이루고 있을 때 헬륨(He) 기체를 넣으면 화학 평형이 정반응과 역반응 중 어느 방향으로 이동하는지 토의해 보자. (단, 피스톤이 고정되어 있지 않다.)

디지털 소양 키우기

농도나 압력 변화에 따른 화학 평형 이동을 일상생활 속 상황에 비유해 보고, 공유 플랫폼을 활용하여 공유해 보자.

02

온도 변화와 화학 평형 이동

- 온도 변화가 화학 평형에 미치는 영향을 설명할 수 있다.
- 온도 변화에 따른 화학 평형 이동을 실험하고 변인에 따른 평형 이동 방향을 예측할 수 있다.
- 화학 평형 이동을 르사틀리에 원리로 설명할 수 있다.

“뜨거운 음료를 넣으면 색이 변하는 컵이 있다. 이처럼 온도가 변하면 색이 변하는 것도 화학 평형 이동과 관계가 있을까?”



화학 반응이 평형 상태에 있을 때 온도를 변화시키면 화학 평형은 어느 방향으로 이동할까?

탐구

● 탐구 수행 / 결론 도출

Q 탐구 능력 | S 문제 해결 능력 | Q 의사 결정 능력

온도 변화에 따른 화학 평형 이동 실험하기

▶ 실험 영상

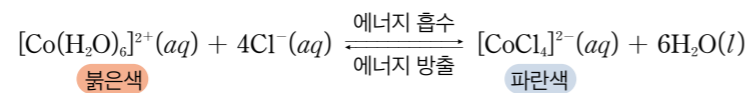


목표

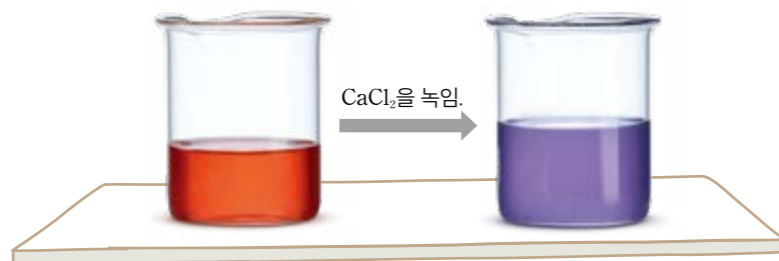
온도를 변화시킬 때 화학 평형이 어느 방향으로 이동하는지 설명할 수 있다.

과정 및 결과

염화 코발트(II)(CoCl₂)는 물에 녹아 [Co(H₂O)₆]²⁺과 Cl⁻으로 존재하며, 염화 칼슘(CaCl₂)과 반응하여 다음과 같이 평형을 이룬다. 이 반응의 정반응은 흡열 반응이다.



1. 비커에 염화 코발트(II) 수용액 50 mL를 넣고 수용액의 색이 변할 때까지 염화 칼슘을 녹인다.



준비물

- 0.1 mol/L 염화 코발트(II) 수용액
- 염화 칼슘
- 스포이트
- 유리 막대
- 얼음물
- 실험복
- 실험용 고무장갑
- 안전 장갑
- 시험관
- 약솜가락
- 비커
- 뜨거운 물
- 보안경

안전



- 실험할 때는 반드시 실험복, 보안경, 실험용 고무장갑을 착용한다.
- 실험 후 남은 염화 코발트(II) 수용액과 염화 칼슘은 무기계 폐수통에 배출한다.
- 뜨거운 물을 다룰 때는 반드시 안전 장갑을 착용한다.

2. 1의 용액 5 mL를 시험관에 넣고, 시험관을 얼음물이 들어 있는 비커에 넣은 후 색 변화를 관찰하자.

• 용액의 색은 어떻게 변하는가?



3. 2의 시험관을 뜨거운 물이 들어 있는 비커에 넣은 후 색 변화를 관찰하자.

• 용액의 색은 어떻게 변하는가?



정리

1. 과정 및 결과 2에서 정반응과 역반응 중 어느 반응이 우세하게 일어나는지 쓰고, 그렇게 생각한 까닭을 설명해 보자.



2. 과정 및 결과 3에서 정반응과 역반응 중 어느 반응이 우세하게 일어나는지 쓰고, 그렇게 생각한 까닭을 설명해 보자.



3. 실험 결과를 이용하여 온도가 달라지면 화학 평형이 정반응과 역반응 중 어느 방향으로 이동하는지 설명하고, 그 까닭을 에너지의 출입과 관련지어 토의해 보자.



스스로 평가하기

- | 지식·이해 | 온도 변화에 따른 화학 평형 이동 방향을 옳게 설명했는가? ☆☆☆☆☆
- | 과정·기능 | 수용액의 색 변화를 정확히 관찰했는가? ☆☆☆☆☆
- | 가치·태도 | 시약과 뜨거운 물을 조심히 다루며 안전하게 실험했는가? ☆☆☆☆☆

도움 자료

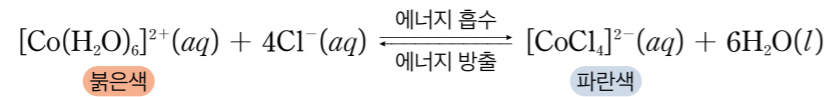
- 탐구 전에 다음 자료를 먼저 읽어 보자.
- 8 쪽~9 쪽 실험실 안전 수칙
- 174 쪽~175 쪽 실험 기구 사용 방법
- 176 쪽~177 쪽 주요 시약별 주의 사항

『통합과학2』 '변화와 다양성' 단원에서 에너지를 흡수하거나 방출하는 반응을 학습했다.

에너지를 흡수하면 주변 온도가 낮아지고, 에너지를 방출하면 주변 온도가 높아져.



$[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ 과 Cl^- 이 반응하면 다음과 같이 평형을 이룬다. 이때 정반응은 흡열 반응이다.



$[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ 과 $[\text{CoCl}_4]^{2-}$ 이 평형에 도달한 수용액을 얼음물이 들어 있는 비커에 넣어 온도를 낮추면 평형은 온도를 높이는 방향으로 이동한다. 따라서 에너지를 방출하는 반응인 역반응이 우세하게 진행하여 새로운 평형을 이루고 수용액의 색이 붉은색으로 변한다.

이 수용액을 뜨거운 물이 들어 있는 비커에 넣어 온도를 높이면 평형은 온도를 낮추는 방향으로 이동한다. 따라서 에너지를 흡수하는 반응인 정반응이 우세하게 진행하여 새로운 평형을 이루고 수용액의 색이 붉은색에서 파란색으로 변한다.



그림 III-12 온도 변화와 화학 평형 이동

이처럼 화학 반응이 평형 상태에 있을 때 온도를 변화시키면 그 온도 변화가 감소하는 방향으로 반응이 진행하여 새로운 평형을 이룬다.

온도가 변화하여 화학 평형이 이동할 때 평형 상수(K)는 어떻게 될까?

온도 변화에 의해 새로운 평형을 이루면 평형 상수도 달라진다. 정반응이 발열 반응인 경우 온도를 높일수록 평형 상수가 작아지는 것은 온도가 증가하면 온도를 낮추는 역반응이 우세하게 진행하여 새로운 평형을 이루기 때문이다.

반대로 정반응이 흡열 반응인 경우 온도를 높일수록 평형 상수가 커지는 것은 온도가 증가하면 온도를 낮추는 정반응이 우세하게 진행하여 새로운 평형을 이루기 때문이다.

정반응이 다음과 같을 때 온도를 낮추면 평형 상수가 어떻게 변하는지 설명해 보자.

- (1) 정반응이 발열 반응일 때
- (2) 정반응이 흡열 반응일 때

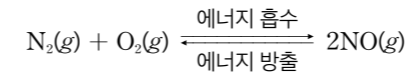
화학 평형 이동의 원리

화학 평형 상태일 때 농도, 압력, 온도가 변하면 평형이 이동하여 새로운 평형을 이룬다. 르샤틀리에의 이 현상을 정리하여 화학 평형의 이동에 관한 법칙을 발표했다.

- 화학 반응이 평형 상태일 때 반응물이나 생성물의 농도가 증가하면 반응은 그 물질의 농도가 감소하는 방향으로 진행하여 새로운 평형을 이룬다.
- 기체의 화학 반응이 평형 상태일 때 압력이 증가하면 반응은 압력이 감소하는 방향, 즉 전체 기체 분자 수가 감소하는 방향으로 진행하여 새로운 평형을 이룬다.
- 화학 반응이 평형 상태일 때 온도를 높이면 반응은 온도를 낮추는 방향, 즉 흡열 반응 쪽으로 진행하여 새로운 평형을 이룬다.

즉, 농도, 압력, 온도가 변하면 그 변화가 감소하는 방향으로 화학 평형이 이동하는데, 이를 르샤틀리에 원리라고 한다.

다음은 질소(N_2)와 산소(O_2)가 반응하여 일산화 질소(NO)가 생성되는 반응의 화학 반응식이다.

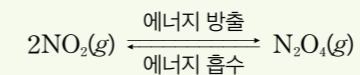


대기 오염 물질인 일산화 질소가 실온에서는 거의 생기지 않지만 운행 중에 뜨거워진 자동차 엔진 내부에서 많이 발생하는 까닭을 설명해 보자.



확인하기

- 1 정반응이 발열 반응인 경우, 온도를 낮추면 (정반응, 역반응)이 우세하게 진행된다.
- 2 다음 화학 반응이 평형에 도달했을 때 온도를 높이면 평형 상수(K)는 어떻게 변할지 써 보자.



소단원 마무리

창의력 키우기

온도에 따라 색이 변하는 열 변색 물감을 조사해 보고, 일상생활에서 열 변색 물감을 유용하게 활용하는 방법을 제안해 보자.

디지털 소양 키우기

온도 변화가 화학 평형 이동에 미치는 예와 관련된 영상을 찾아 공유해 보자.

르샤틀리에
(Le Chatelier, H. L., 1850~1936)

프랑스의 화학자. 1884년 화학 평형 상태가 외부 작용에 의해 깨지면, 그 외부 작용의 효과를 상쇄하는 방향으로 평형이 이동한다는 르샤틀리에 원리를 발표했다. 또 높은 온도에서 일어나는 화학 반응을 연구해 시멘트 공업, 유리 공업, 도자기 공업 등과 같이 근대 산업화에 널리 쓰인 광물 화학 공업 발전에도 기여했다.

03

일상생활 속의 화학 평형 이동

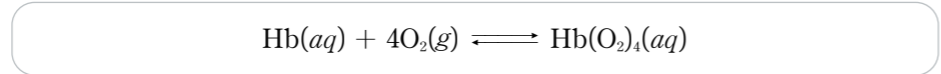
- 생명 현상과 산업 현장에서 화학 평형 이동을 이용한 사례를 설명할 수 있다.
- 일상생활 속의 화학 평형 이동을 이용한 사례를 통해 화학의 유용함을 인식할 수 있다.

“ 수국은 산성 토양에서는 파란색 꽃이 피고, 염기성 토양에서는 분홍색 꽃이 핀다. 토양에 따라 수국꽃의 색이 달라지는 것도 화학 평형 이동과 관련이 있을까? ”



일상생활에서 일어나는 여러 가지 현상을 화학 평형 이동으로 설명할 수 있다. 몸속에서 일어나는 생명 현상은 화학 평형 이동과 관련이 있고, 산업 현장에서 생성물의 수득률을 높이는 공정을 설계하는 데도 화학 평형 이동을 적용한다.

혈액이 체내에 산소를 공급하는 과정을 화학 평형 이동으로 알아보자. 우리 몸에서 산소는 적혈구 속에 있는 헤모글로빈(Hb)에 의해 운반되며, 이 과정은 다음과 같은 가역 반응으로 표현할 수 있다.



산소 농도가 높은 폐에서는 정반응이 우세하게 진행하여 산화 헤모글로빈(Hb(O₂)₄)이 생성된다. 이 산화 헤모글로빈이 산소 농도가 낮은 조직으로 이동하면 역반응이 우세하게 진행하여 조직에 산소를 공급한다.

산소 농도가 낮은 고지대에 가면 폐에서 산화 헤모글로빈이 생성되는 정반응이 잘 일어나지 못해 조직에 산소를 충분히 공급할 수 없다. 이로 인해 구토나 현기증

이 나는 것이 고산병이다. 하지만 고지대에서 3 주 이상 지내면 체내에 헤모글로빈의 양이 늘어나 폐에서 다시 정반응이 잘 일어나게 되어 조직에 산소 공급을 원활하게 할 수 있다. 이렇게 우리 몸은 외부 환경 변화에 대응해 자신의 상태를 일정하게 유지하려는 항상성이 있다.

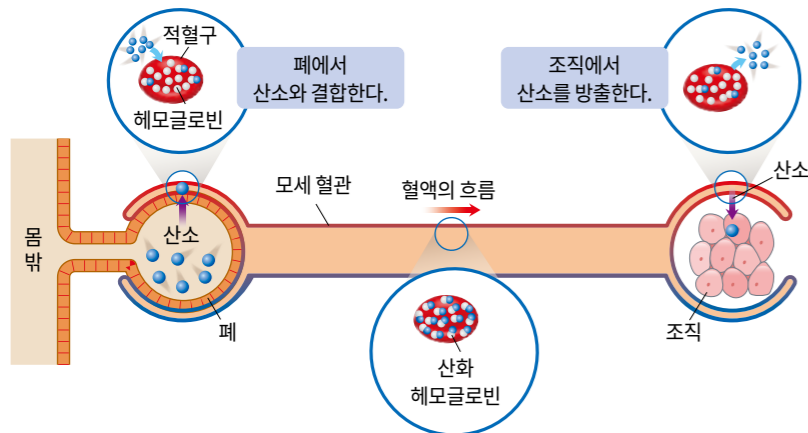
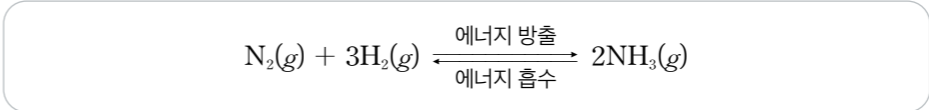


그림 III-13 혈액이 체내에 산소를 공급하는 과정

산업 현장에서 생성물의 수득률을 높이는 과정에서도 화학 평형 이동이 이용된다. 다음 암모니아(NH₃) 합성 과정에서 화학 평형 이동을 이용하여 어떻게 수득률을 높이는지 알아보자.



암모니아 합성 반응은 전체 기체 분자 수가 감소하고, 에너지를 방출하는 반응이므로 수득률을 높이려면 압력을 높이고, 온도를 낮춰 정반응이 우세하게 진행되게 해야 한다. 하지만 압력이 커지면 큰 압력을 견딜 수 있는 반응 용기가 필요해 비용이 많이 들고, 온도가 낮으면 반응 속도가 느려져 생산 효율이 떨어진다. 따라서 산업 현장에서는 적정 압력과 온도에서 촉매를 사용하여 암모니아를 합성한다.

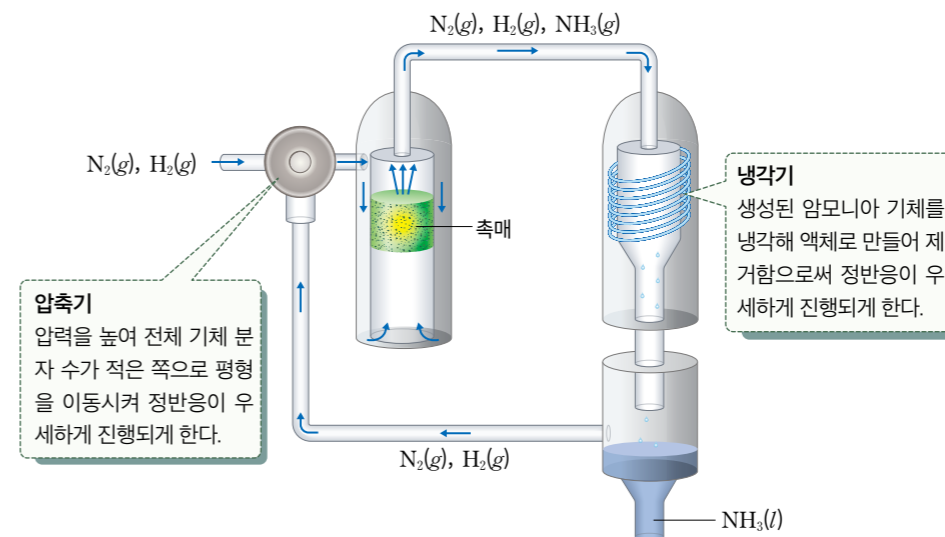


그림 III-14 암모니아 생산 공정

확인하기

- 1 혈액이 체내에 산소를 공급하는 과정에서 화학 평형 이동이 관여한다. (○, ×)
- 2 암모니아 합성 과정은 전체 기체 분자 수가 감소하는 반응이므로 수득률을 높이려면 기체의 압력을 (높여야, 낮춰야) 한다.

소단원 마무리

창의력 키우기

수국꽃의 색이 토양의 액성에 따라 달라지는 원리를 조사하고, 파란색 수국꽃을 분홍색으로 변화시키는 방법을 설명해 보자.

디지털 소양 키우기

산업 현장에서 화학 평형 이동을 이용해 수득률을 높인 사례를 조사해 보자.

● 수득률
화학 반응식으로부터 계산하여 얻을 수 있는 이론적인 생성물의 양과 실제로 얻어 낼 수 있는 생성물의 양의 비율이다.

● 촉매
화학 반응에서 반응 속도를 조절하는 물질이다.

연계 물질과 에너지

『물질과 에너지』 '반응 속도' 단원에서 촉매와 반응 속도를 학습한다.

고지대와 축구 경기

세계 여러 도시나 국가는 월드컵 같은 대형 국제 대회를 유치하여 관광 산업을 육성하고, 경제적 이득을 얻기 위해 노력한다. 멕시코, 볼리비아, 남아프리카 공화국 등 고지대에 도시가 있는 국가도 예외는 아니다. 하지만 이렇게 고도가 높은 지역은 평지에 비해 산소가 부족하여 인체 조직에 충분한 양의 산소를 전달할 수 없어 이 지역에서 축구를 하면 조금만 뛰어도 숨이 차고 쉽게 피로해진다. 따라서 고지대에서 경기가 열리면 높은 고도에 적응한 그 지역 국가 선수들에 비해 다른 나라 선수들은 체력적으로 부담을 많이 갖게 된다. 일부 선수들은 이 차이가 승부에 영향을 미친다고 지적했고, 한때 국제축구연맹(FIFA)에서는 월드컵 개최지의 고도 제한을 두자는 의견이 나오기도 했다.

고지대에서 축구 경기가 예정되면 선수들은 경기 3주~4주 전에 경기장이 있는 지역에 미리 가서 신체 적응 훈련을 한다. 또 많은 나라는 저산소실 훈련, 고도 차이를 이용한 훈련 등 다양한 스포츠 과학을 연구해 고지대에서 선수들의 신체 능력을 강화하고 경기력을 향상하기 위해 노력한다.

활동하기

조사

운동선수들이 고지대에 미리 적응하거나 경기력을 향상하기 위해 어떤 훈련을 했는지 찾아보고, 이때 선수의 신체에 생기는 변화를 화학 평형 이동으로 설명해 보자.



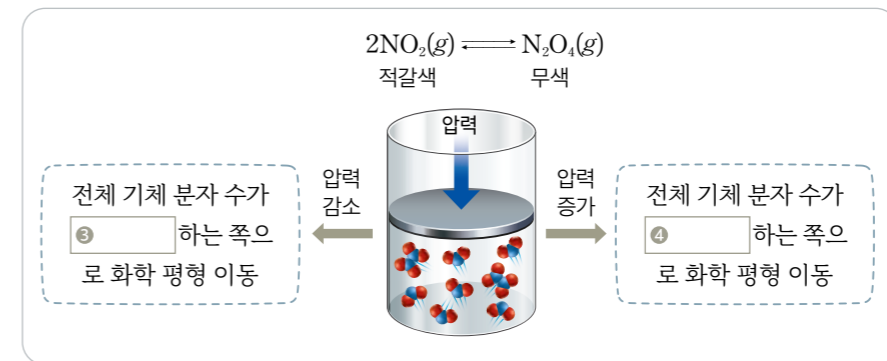
01 농도·압력 변화와 화학 평형 이동 113 쪽

(1) 농도 변화와 화학 평형 이동: 반응물이나 생성물의 농도를 변화시키면 그 농도 변화를 감소시키는 방향으로 화학 평형 이동

① 반응물을 첨가하거나 생성물을 제거하면 ① 이/가 우세하게 진행된다.

② 반응물을 제거하거나 생성물을 첨가하면 ② 이/가 우세하게 진행된다.

(2) 압력 변화와 화학 평형 이동: 기체가 포함된 화학 반응에서 압력을 변화시키면 그 압력 변화를 감소시키는 방향으로 화학 평형 이동



02 온도 변화와 화학 평형 이동 120 쪽

온도를 변화시키면 그 변화를 감소시키는 방향으로 화학 평형 이동



03 일상생활 속의 화학 평형 이동 124 쪽

- (1) 혈액이 체내에 산소를 공급하는 과정에서 화학 평형 이동이 관여한다.
- (2) 암모니아를 합성할 때 화학 평형 이동의 원리를 이용하여 수득률을 높일 수 있다.

함께 풀어 보기

제시된 핵심 내용과 관련된 간단한 문제를 만들고, 공유 플랫폼에 공유하여 친구들과 함께 풀어 보자.

농도 변화와 화학 평형 이동

.....

.....

.....

.....

압력 변화와 화학 평형 이동

.....

.....

.....

.....

온도 변화와 화학 평형 이동

.....

.....

.....

.....

일상생활 속의 화학 평형 이동

.....

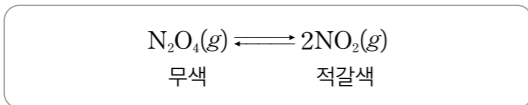
.....

.....

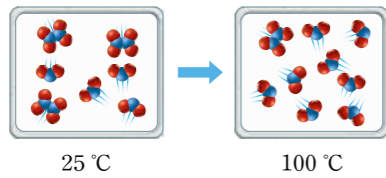
.....

온도 변화와 화학 평형 이동

01 다음은 $N_2O_4(g)$ 가 분해되어 $NO_2(g)$ 가 생성되는 반응의 화학 반응식이다.



그림은 25 °C 강철 용기에서 화학 평형 상태에 있는 $N_2O_4(g)$ 와 $NO_2(g)$ 의 혼합 기체의 온도를 100 °C로 높였을 때의 입자 모형을 나타낸 것이다.



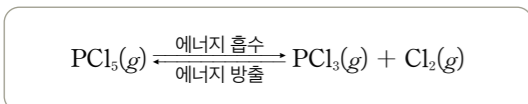
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. 25 °C에서보다 100 °C에서 혼합 기체의 색이 진하다.
 - ㄴ. 정반응은 에너지를 흡수하는 반응이다.
 - ㄷ. 이 반응의 평형 상수(K)는 25 °C일 때가 100 °C일 때보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

농도·압력·온도 변화와 화학 평형 이동

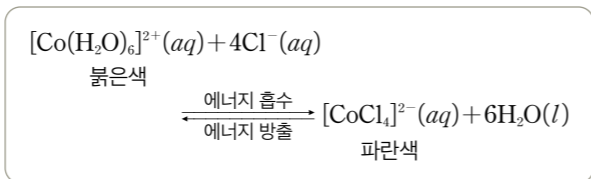
02 다음은 $PCl_5(g)$ 이 분해되어 $PCl_3(g)$ 과 $Cl_2(g)$ 가 생성되는 반응의 화학 반응식이다.



어떤 용기에서 이 반응이 화학 평형을 이룰 때, 정반응이 우세하게 진행되게 하는 조건 변화를 <보기>에서 있는 대로 골라 보자.

- 보기
- ㄱ. 온도를 낮춘다.
 - ㄴ. $Cl_2(g)$ 를 첨가한다.
 - ㄷ. $PCl_5(g)$ 을 첨가한다.
 - ㄹ. 기체의 압력을 낮춘다.

[03~04] 다음은 $CoCl_2(aq)$ 에 $Cl^-(aq)$ 을 첨가했을 때 일어나는 반응의 화학 반응식이다.



농도 변화와 화학 평형 이동

03 다음은 일정한 온도에서 $[Co(H_2O)_6]^{2+}(aq)$ 과 $[CoCl_4]^{2-}(aq)$ 이 평형에 도달한 수용액에 진한 $HCl(aq)$ 을 넣었을 때 일어나는 반응에 대한 학생들의 대화이다.

- 학생 A: 진한 $HCl(aq)$ 을 넣을수록 용액의 색이 파란색으로 변해.
- 학생 B: 그건 용액 안의 $Cl^-(aq)$ 농도가 증가하기 때문이야.
- 학생 C: 그러면 역반응이 우세하게 진행되겠구나.

대화 내용이 옳은 학생을 있는 대로 골라 보자.

서술형 온도 변화와 화학 평형 이동

04 다음은 $CoCl_2(aq)$ 에 $CaCl_2(s)$ 을 녹인 수용액을 이용한 화학 평형 이동 실험이다.

[실험 과정]
 (가) 비커에 $CoCl_2(aq)$ 를 넣고 색이 변할 때까지 $CaCl_2(s)$ 을 녹인 후 시험관 2 개에 나누어 담는다.
 (나) 시험관 2 개를 각각 얼음물과 뜨거운 물에 넣고 색 변화를 관찰한다.

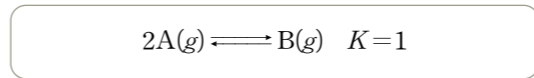
[실험 결과]

구분	얼음물에 넣은 시험관	뜨거운 물에 넣은 시험관
색	㉠	㉡

㉠과 ㉡에 각각 적절한 색을 쓰고, 그렇게 답한 까닭을 설명해 보자.

농도·압력 변화와 화학 평형 이동

05 다음은 $A(g)$ 가 반응하여 $B(g)$ 를 생성하는 반응의 화학 반응식과 평형 상수(K)이다.

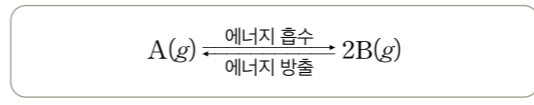


밀폐된 1 L 용기에 $A(g)$ 1 몰, $B(g)$ 10 몰을 넣었을 때 반응의 진행 방향과 화학 평형 상태일 때 B의 양(mol)을 옳게 짝 지은 것은? (단, 온도는 일정하다.)

진행 방향	B의 양(mol)
① 정반응 쪽	11
② 정반응 쪽	12
③ 평형 상태	10
④ 역반응 쪽	8
⑤ 역반응 쪽	9

서술형 압력·온도 변화와 화학 평형 이동

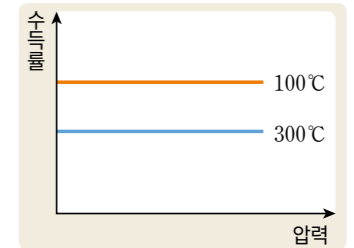
06 다음은 $A(g)$ 가 분해되어 $B(g)$ 가 생성되는 반응의 화학 반응식이다. 밀폐된 1 L 용기에서 $A(g)$ 와 $B(g)$ 는 화학 평형에 도달했다.



- (1) 용기의 온도를 높이면 $B(g)$ 의 분자 수가 어떻게 변하는지 설명해 보자.
- (2) 용기에 $He(g)$ 2 몰을 첨가하면 $A(g)$ 의 분자 수가 어떻게 변하는지 설명해 보자.

압력·온도 변화와 화학 평형 이동

07 그림은 어떤 화학 반응에서 온도와 압력을 변화시켰을 때 그에 따른 생성물의 수득률을 나타낸 것이다.



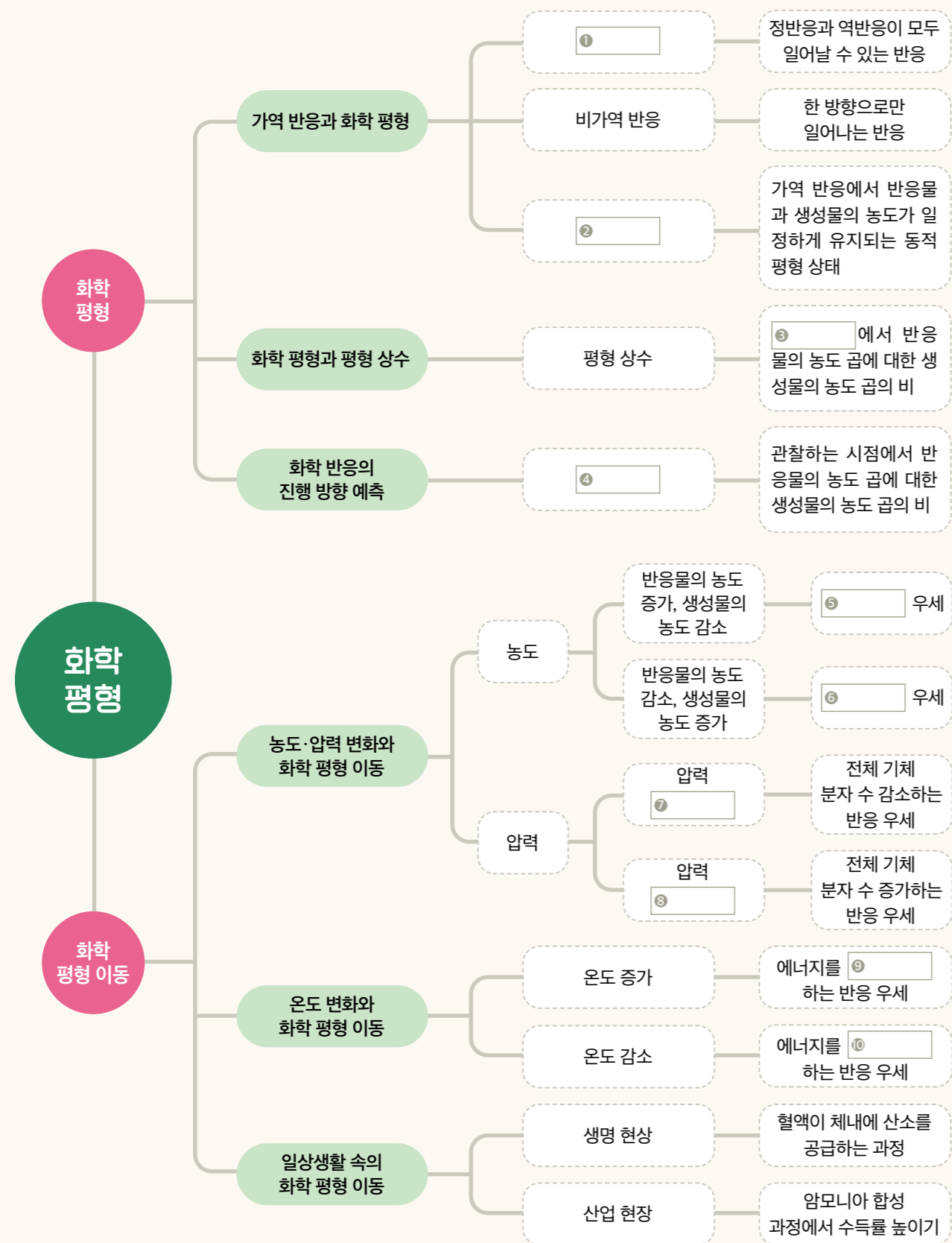
위와 같은 수득률을 나타내는 반응은?

- ① $N_2O_4(g) \xrightleftharpoons[\text{에너지 방출}]{\text{에너지 흡수}} 2NO_2(g)$
- ② $N_2(g) + O_2(g) \xrightleftharpoons[\text{에너지 방출}]{\text{에너지 흡수}} 2NO(g)$
- ③ $H_2(g) + Cl_2(g) \xrightleftharpoons[\text{에너지 흡수}]{\text{에너지 방출}} 2HCl(g)$
- ④ $N_2(g) + 3H_2(g) \xrightleftharpoons[\text{에너지 흡수}]{\text{에너지 방출}} 2NH_3(g)$
- ⑤ $2SO_2(g) + O_2(g) \xrightleftharpoons[\text{에너지 흡수}]{\text{에너지 방출}} 2SO_3(g)$

스스로 점검하기

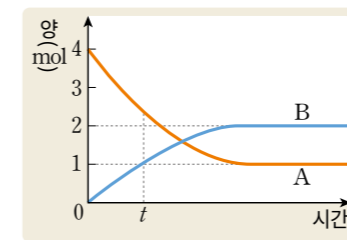
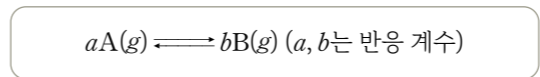
- 지식·이해** 화학 평형 이동을 이해하고, 르사틀리에 원리를 이용하여 화학 평형 이동을 설명했다. ★★★★★
- 과정·기능** 농도, 압력, 온도 변화에 따른 화학 평형 이동을 실험하고, 변인에 따른 평형 이동 방향을 예측했다. ★★★★★
- 가치·태도** 생명 현상과 산업 현장에서 화학 평형 이동을 이용한 사례를 조사하여 과학 지식이 일상생활의 문제 해결에 활용됨을 인식했다. ★★★★★

평가 결과가 아쉽다면 '2. 화학 평형 이동'을 다시 한번 학습해 보십시오.



1 화학 평형

01 다음은 A(g)가 B(g)가 되는 반응의 화학 반응식과 밀폐된 1 L 용기에 A(g)를 넣었을 때 시간에 따른 A(g)와 B(g)의 양(mol)을 나타낸 것이다.

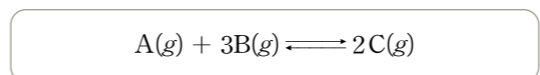


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는 일정하다.)

보기
 ㄱ. $a-b=1$ 이다.
 ㄴ. t 에서 $Q > K$ 이다.
 ㄷ. 이 반응의 평형 상수(K)는 4이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
 ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

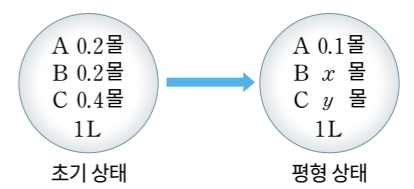
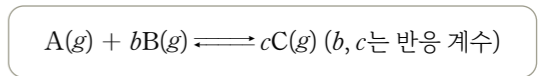
02 다음은 A(g)와 B(g)가 반응하여 C(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 밀폐된 1 L 용기에서 A(g)~C(g)의 처음 농도와 평형에 도달했을 때 농도에 대한 자료이다. (단, 온도는 일정하다.)



구분	[A]	[B]	[C]
처음 농도(mol/L)	0.04	0.08	0
평형 농도(mol/L)	0.02	-	-

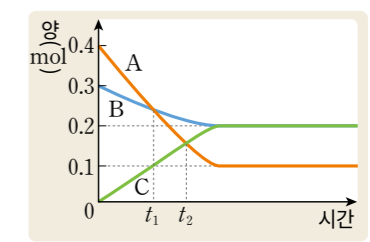
- (1) 평형에 도달했을 때 [A]와 [B]의 크기를 비교해 >, =, <로 나타내 보자.
 (2) 이 반응의 평형 상수(K)를 구해 보자.

03 다음은 A(g)와 B(g)가 반응하여 C(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 반응의 초기와 평형 상태에서 A(g)~C(g)의 양(mol)을 나타낸 것이다.



$2b=c$ 일 때 이 반응의 평형 상수(K)를 구해 보자. (단, 온도는 일정하고, x 와 y 는 0이 아니다.)

04 그림은 밀폐된 1 L 용기에 A(g) 0.4 mol, B(g) 0.3 mol을 넣었을 때 화학 반응이 진행한 시간에 따른 각 기체의 양(mol)을 나타낸 것이다.

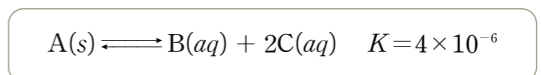


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는 일정하다.)

보기
 ㄱ. 이 반응의 평형 상수(K)는 20이다.
 ㄴ. t_1 에서 반응 지수(Q)는 평형 상수(K)보다 작다.
 ㄷ. t_2 에서 B의 양은 0.22 몰이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
 ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

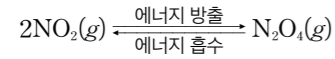
05 다음은 A(s)를 1 L의 물에 녹여 B(aq)와 C(aq)가 생성되는 반응의 화학 반응식이다.



이 반응이 평형에 도달했을 때 [B]와 [C]의 농도를 각각 구해 보자. (단, 온도는 일정하고, 고체를 물에 녹였을 때 물의 부피 변화는 없다.)

2 화학 평형 이동

06 다음은 $\text{NO}_2(g)$ 가 반응하여 $\text{N}_2\text{O}_4(g)$ 를 생성하는 반응의 화학 반응식이다.

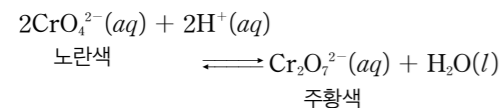


일정한 온도에서 밀폐된 1 L 용기에 $\text{NO}_2(g)$ 0.6 몰을 넣은 후 평형에 도달했을 때 $\text{N}_2\text{O}_4(g)$ 0.2 몰이 생성되었다. 이에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

- ① 평형에 도달했을 때 $\text{NO}_2(g)$ 의 농도는 0.2 mol/L이다.
- ② 주어진 온도에서 평형 상수(K)는 1이다.
- ③ 온도를 낮추면 평형 상수(K)가 커진다.
- ④ 온도를 높이면 $\text{N}_2\text{O}_4(g)$ 의 농도가 감소한다.
- ⑤ 압력을 높이면 $\text{N}_2\text{O}_4(g)$ 의 양(mol)이 증가한다.

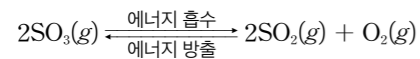
서술형

07 다음은 일정한 온도에서 노란색 크로뮴산 칼륨(K_2CrO_4) 수용액의 색이 주황색이 될 때까지 $\text{HCl}(aq)$ 을 넣었을 때 일어나는 반응의 화학 반응식이다.



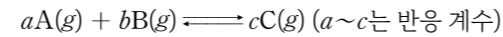
같은 온도에서 이 수용액에 $\text{NaOH}(aq)$ 을 넣으면 용액의 색이 어떻게 변할지 쓰고, 그 까닭을 설명해 보자.

08 다음은 $\text{SO}_3(g)$ 이 분해되어 $\text{SO}_2(g)$ 과 $\text{O}_2(g)$ 가 생성되는 반응의 화학 반응식이다. 이 반응이 화학 평형 상태에 있을 때 이에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?



- ① 압력을 높이면 수득률이 증가한다.
- ② 온도를 높이면 평형 상수(K)가 커진다.
- ③ 온도를 낮추면 역반응이 우세하게 진행된다.
- ④ 압력을 낮추면 정반응이 우세하게 진행된다.
- ⑤ $\text{SO}_3(g)$ 을 넣으면 생성물의 양(mol)이 증가한다.

09 다음은 $A(g)$ 와 $B(g)$ 가 반응하여 $C(g)$ 가 생성되는 반응의 화학 반응식이다.



표는 용기에 $A(g)$ 와 $B(g)$ 를 넣고 온도와 압력을 변화시켰을 때 평형 상태에서 $C(g)$ 의 수득률에 대한 자료이다.

온도(°C)	200	400	600
100	82 %	25 %	5 %
200	86 %	36 %	8 %
600	96 %	65 %	23 %

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

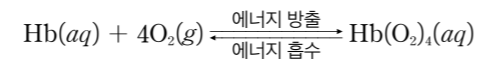
- 보기
- ㄱ. $a + b > c$ 이다.
 - ㄴ. 압력이 높을수록 평형 상수가 커진다.
 - ㄷ. 온도가 높을수록 평형 상수가 작아진다.

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

서술형

10 다음은 인체 내의 화학 평형 이동에 대한 자료이다.

적혈구에 포함되어 있는 헤모글로빈(Hb)은 산소(O_2)와 결합하여 인체 내에서 산소를 운반한다.

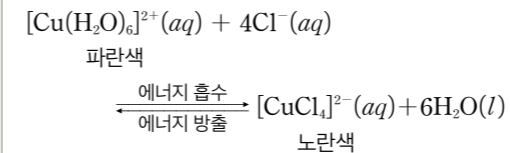


운동 후 체온이 높아졌을 때 화학 평형이 정반응과 역반응 중 어느 방향으로 이동하는지 쓰고, 그 까닭을 설명해 보자.

과학 역량 키우기

실험 설계하기

11 황산 구리(II)(CuSO_4) 수용액에 진한 염산($\text{HCl}(aq)$)을 넣으면 다음과 같이 평형을 이룬다. 이 반응의 정반응은 흡열 반응이다.



다음 준비물을 이용해 온도 변화에 따른 평형 이동을 알아보는 실험을 설계해 보자.

[준비물]
황산 구리(II) 수용액, 진한 염산, 얼음물, 뜨거운 물, 시험관, 비커, 스포이트

과학 글쓰기

12 병원에서는 유독 가스 중독, 화상 상처 등을 치료할 때 다음과 같은 고압 산소 치료실을 이용한다.



고압 산소 치료 원리를 화학 평형 이동과 관련지어 설명해 보자.



과학 글쓰기

13 다음은 아폴로-소유스 시험 계획에 대한 자료의 일부이다.

아폴로-소유스 시험 계획은 미국과 (구)소련의 우주선이 공동으로 비행한 최초의 우주 계획이다. 그런데 임무를 마치고 귀환을 준비하던 1975년 7월 24일, 우주선 내부로 유독 가스가 누출되는 사고가 발생하였다. 이 사고로 우주 비행사 중 한 명이 의식을 잃고, 가스 흡입으로 인해 폐렴과 폐부종 증상이 나타나 14일간 병원 치료를 받아야만 했다.

누출된 가스는 바로 사산화 이질소(N_2O_4)이다. 사산화 이질소는 강한 독성과 부식성을 가진 강력한 산화제로 로켓 추진을 위한 물질로 사용된다. 사산화 이질소는 무색의 기체로 밀폐된 공간에서 이산화 질소(NO_2)와 화학 평형을 이루는데 이때 온도가 높을수록 이산화 질소의 농도가 증가하게 된다.

(1) 밀폐된 공간에 $\text{N}_2\text{O}_4(g)$ 가 유출되었을 때의 화학 반응식을 써 보자.

(2) 지구 대기권에 진입하면서 우주선 내부의 온도가 점점 높아진다면 (1)에서 쓴 반응의 평형 상수(K)는 어떻게 변할지 설명해 보자.



친환경 연료 생산의 수득률을 높여보자

지구 온난화를 막기 위해 한국을 포함한 많은 국가들이 2050년까지 탄소 배출량을 0으로 만들겠다는 탄소 중립 선언을 했다. 탄소 중립 선언은 산업 구조 개편과 에너지 전환을 통해 탄소를 배출하지 않거나, 배출된 탄소를 모두 포집해 저장한 후 활용하여 대기 중으로 내보내지 않겠다는 탈탄소화를 목표로 하고 있다.

최근 새로운 에너지원으로 그린 메탄올이 주목받고 있다. 그린 메탄올은 바이오매스에서 나온 이산화 탄소와 재생 에너지 전력으로 물을 전기 분해 해 얻은 수소를 반응시켜 합성할 수 있고 부산물로 물만 생성된다. 특히 그린 메탄올은 열효율이 높고 저장이 쉬워 선박의 연료로 급부상하고 있다. 이에 최근 그린 메탄올을 대량으로 생산하는 공장 설립도 추진 중이다.

1 그린 메탄올을 합성하는 화학 반응과 생산 조건 조사하기

1. 이산화 탄소(CO₂)와 수소(H₂)를 이용하여 그린 메탄올(CH₃OH)을 합성하는 화학 반응식을 써 보자.
2. 그린 메탄올의 수득률을 높이려면 어떤 조건이 필요한지 조사해 보자.

2 각 분야의 전문가가 되어 그린 메탄올 생산 공장 설비가 갖춰야 할 조건과 주변 환경을 위한 고려 사항 등에 대해 토의하기

과정 기능 길잡이
담당한 전문가의 역할을 조사한 후 토의한다.



3 그린 메탄올 생산 공장을 설립하기 위한 사업 계획서 만들기

1. 모둠별로 토의 내용을 활용하여 그린 메탄올 생산 공장을 설립하기 위한 사업 계획서를 만들고 발표해 보자.
2. 우리 모둠의 활동을 평가해 보자.

가치태도 길잡이
다른 모둠의 발표를 경청한다.

내용	평가		
그린 메탄올의 수득률을 높이기 위해 필요한 조건을 잘 조사했는가?	상	중	하
담당한 전문가의 역할을 잘 이해하고 역할에 맞게 토의했는가?	상	중	하
모든 모둠원이 사업 계획서 만들기 활동에 적극적으로 참여했는가?	상	중	하



포트폴리오

» 이 단원의 활동 결과를 정리해 보자.

• 108 쪽 **화학**과 나의 미래 • 126 쪽 **생활 속 과학 이야기** • 134 쪽~135 쪽 **프로젝트**

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





IV

이 단원의 핵심 아이디어

역동적인 화학 반응

- 1 물의 자동 이온화와 pH
- 2 중화 반응

레몬이나 귤 등의 과일에는 시트르산이 들어 있으며, 산이 내놓은 수소 이온 때문에 신맛이 난다. 수용액 속 수소 이온의 농도는 어떻게 표현할까?

화학 반응에 참여하는 물질의 농도는 용액 속에 포함된 입자 수에 비례하는 몰농도를 사용한다. 이 단원에서 몰농도 개념을 응용한 pH와 중화 반응의 양적 관계를 이해하고, 이를 활용해 화학을 통한 지속가능한 삶을 실천해 보자.

포트폴리오

» 이 단원을 학습하면서 나만의 특기를 발휘한 포트폴리오를 만들어 보자.
• 148 쪽 생활 속 과학 이야기 • 162 쪽 화학과 나의 미래 • 170 쪽~171 쪽 프로젝트

1

물의 자동 이온화와 pH

- 01. 물의 자동 이온화와 물농도
- 02. pH



식물이 잘 자라려면 식물의 종류에 따라 토양의 pH를 적절하게 조절해 주어야 한다. pH는 토양의 어떤 성분을 측정하는 것일까?

학습할 내용을 알아보고 스스로 학습 계획을 세워 봅시다.

이전 학습 내용

알고 있는 내용에 표 해 보자.

- 산
- 염기
- 화학 평형

이 단원의 핵심 내용

이 단원에서 배울 핵심 내용을 본문에서 찾아보자.

- 물의 자동 이온화
- 물농도
- 물의 이온화 상수
- pH와 pOH

이 단원의 학습 목표

- 지식·이해** 물의 자동 이온화와 물의 이온화 상수를 이해하고, 수소 이온의 농도를 pH로 표현할 수 있다.
- 과정·기능** 물농도의 의미를 이해하고, 원하는 물농도의 용액을 만들기 위한 탐구를 설계할 수 있다.
- 가치·태도** pH가 일상생활의 문제 해결에 활용됨을 인식할 수 있다.

나의 학습 계획

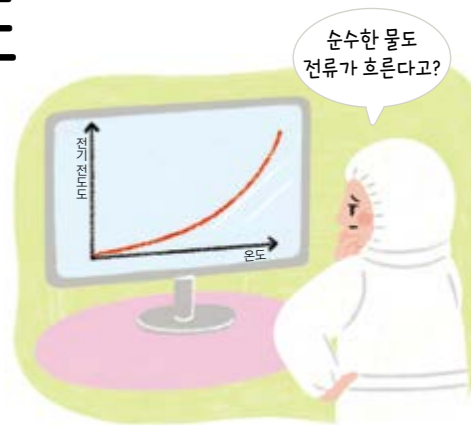
나는 이 단원에서 _____ 을/를 알고 싶다.

01

물의 자동 이온화와 물농도

- 물의 자동 이온화와 물의 이온화 상수를 설명할 수 있다.
- 물농도의 의미를 알고, 원하는 물농도의 용액을 만들 수 있다.
- 화학에서 물농도를 사용했을 때의 편리성을 인식할 수 있다.

“ 매우 정밀한 장치로 순수한 물의 전기 전도도를 측정했는데 전기 전도도가 0이 아니었다. 순수한 물에 전류가 흐르는 까닭은 무엇일까? ”



물의 자동 이온화

순수한 물에도 적은 양의 전류가 흐른다. 이는 순수한 물에도 적은 양이지만 이온이 존재한다는 것을 의미한다.

그림 IV-1과 같이 물 분자는 스스로 수소 이온(H⁺)을 내놓을 수도 있고 받을 수도 있다. 따라서 아주 적은 양이지만 물 분자들끼리 수소 이온을 주고받아 하이드로늄 이온(H₃O⁺)과 수산화 이온(OH⁻)을 생성하여 동적 평형 상태를 이룬다. 이를 **물의 자동 이온화**라고 한다.

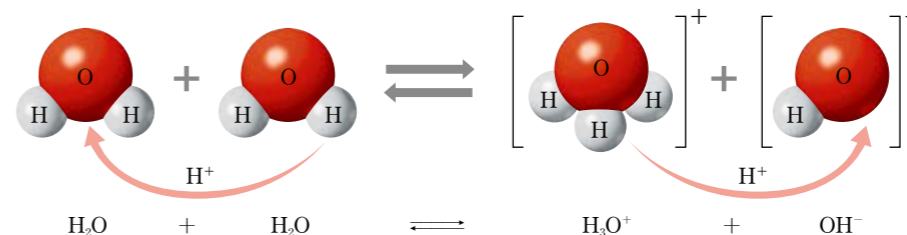


그림 IV-1 물의 자동 이온화

물의 자동 이온화 반응이 동적 평형 상태를 이루면 하이드로늄 이온의 농도와 수산화 이온의 농도가 일정하게 유지되어 두 농도의 곱이 일정하므로 평형 상수를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

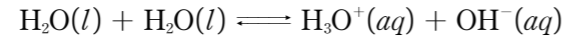
$$K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-]$$

이때 평형 상수 K_w 를 **물의 이온화 상수**라고 한다.

이온화 상수식에서 H₃O⁺과 OH⁻의 농도는 물농도야!



물의 자동 이온화 반응에서 H_3O^+ 과 OH^- 은 항상 1:1의 개수비로 생성되므로, 평형 상태에서 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 와 $[\text{OH}^-]$ 는 같다.



또 이 반응은 정반응보다 역반응이 훨씬 우세하게 일어나므로 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 와 $[\text{OH}^-]$ 는 매우 작다. 25 °C의 순수한 물에서 K_w 값은 1.0×10^{-14} 으로, 물이 자동 이온화하여 동적 평형에 도달했을 때 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 와 $[\text{OH}^-]$ 는 각각 1.0×10^{-7} M이다.

$[\text{H}_3\text{O}^+]$ 와 $[\text{OH}^-]$ 를 비교하면 수용액의 액성을 알 수 있다. 순수한 물과 같이 $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-]$ 인 용액을 **중성 용액**이라 하고, $[\text{H}_3\text{O}^+] > [\text{OH}^-]$ 인 용액은 **산성 용액**이라 하며, $[\text{H}_3\text{O}^+] < [\text{OH}^-]$ 인 용액은 **염기성 용액**이라고 한다.

K_w 는 평형 상수로 온도가 일정할 때 항상 같은 값을 나타내므로, 중성인 물에 산을 첨가하면 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 는 증가하고 $[\text{OH}^-]$ 는 감소하여 $[\text{H}_3\text{O}^+] > [\text{OH}^-]$ 인 산성 용액이 된다. 염기를 첨가하면 $[\text{OH}^-]$ 는 증가하고 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 는 감소하여 $[\text{H}_3\text{O}^+] < [\text{OH}^-]$ 인 염기성 용액이 된다.

● 액성

용액의 성질을 뜻하는 말로, 주로 수소 이온의 농도에 따라 달라진다.

온도에 따른 K_w 값

물의 자동 이온화 반응은 흡열 반응이므로 온도가 높아질수록 평형이 정반응 쪽으로 이동하여 K_w 가 증가한다.

온도(°C)	K_w
0	1.1×10^{-15}
25	1.0×10^{-14}
60	9.5×10^{-14}

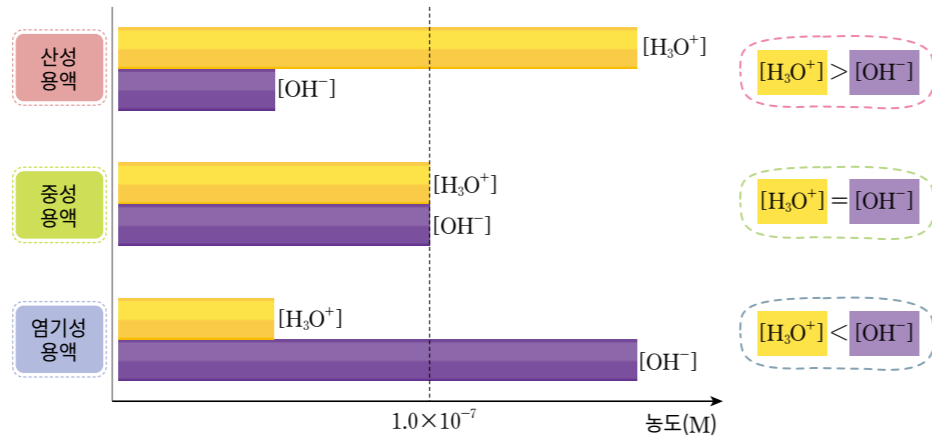
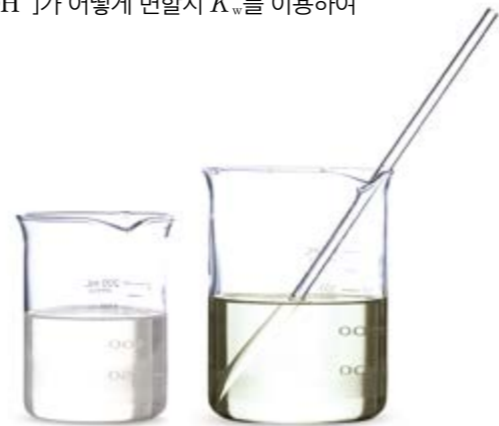


그림 IV-2 산성, 중성, 염기성 용액에서 수소이온과 수산화 이온의 농도 비교(25 °C)

❓ 다음 물질을 물에 녹였을 때 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 와 $[\text{OH}^-]$ 가 어떻게 변할지 K_w 를 이용하여 설명해 보자.

- (1) 수산화 나트륨(NaOH)
- (2) 아세트산(CH_3COOH)



몰농도

일상생활에서 흔히 사용하는 퍼센트 농도는 용액 속에 포함된 용질의 질량 비율을 나타낸 것으로, 농도가 같은 용액이라도 용액에 포함된 입자 수가 다를 수 있다. 반응의 양적 관계를 파악하기 위해서는 용질의 입자 수를 알아야 하므로, 화학에서는 용액에 들어 있는 입자 수가 표현된 몰농도를 주로 사용한다.

용액 1 L 속에 녹아 있는 용질의 양(mol)을 **몰농도**라고 하며, 단위는 M 또는 mol/L를 사용한다.

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

● 퍼센트 농도
용액 100 g 속에 녹아 있는 용질의 질량(g)이다.

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

몰농도를 이용해 용액 속 용질의 양 구하기

- 용질의 양(mol) = 몰농도(mol/L) × 용액의 부피(L)
- 용질의 질량(g) = 용질의 양(mol) × 용질의 몰질량(g/mol)

연습 해보기

물에 수산화 나트륨(NaOH) 5 g을 녹여 수산화 나트륨 수용액 250 mL를 만들었다. 이 용액의 몰농도(M)를 구해 보자. (단, 수산화 나트륨의 몰질량은 40 g/mol이다.)

풀이 따라가기

1 단계 녹이는 NaOH의 양(mol)을 구한다.

$$\text{NaOH의 양} = \frac{\text{질량(g)}}{\text{몰질량(g/mol)}} = \frac{\text{①} \text{ g}}{40 \text{ g/mol}} = \text{②} \text{ mol}$$

2 단계 용액의 몰농도(M)를 구한다.

$$\text{용액의 몰농도} = \frac{\text{NaOH의 양(mol)}}{\text{용액의 부피(L)}} = \frac{\text{②} \text{ mol}}{0.25 \text{ L}} = \text{③} \text{ M}$$

답 ③ M

직접 해 보기

물에 설탕($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) 34.2 g을 녹여 설탕 수용액 500 mL를 만들었다. 이 용액의 몰농도(M)를 구해 보자. (단, 설탕의 몰질량은 342 g/mol이다.)

확인하기

- 1 물 분자가 스스로 이온화하여 수소이온과 수산화 이온을 생성하는 반응을 ()이라고 한다.
- 2 0.2 M 포도당($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) 수용액 500 mL를 만드는 데 필요한 포도당의 질량은 몇 g 인가? (단, 포도당의 몰질량은 180 g/mol이다.)

농도를 정확하게 아는 용액을 **표준 용액**이라고 한다. 표준 용액은 수용액의 반응에서 농도를 모르는 용액의 농도를 알아내는 데 사용할 수 있다. 원하는 몰농도의 표준 용액을 만들어 보자.

탐구

● 탐구 수행 / 결론 도출

Q 탐구 능력 | 문제 해결 능력 | 의사 결정 능력

0.1 M 표준 용액 만들기

▶ 실험 영상

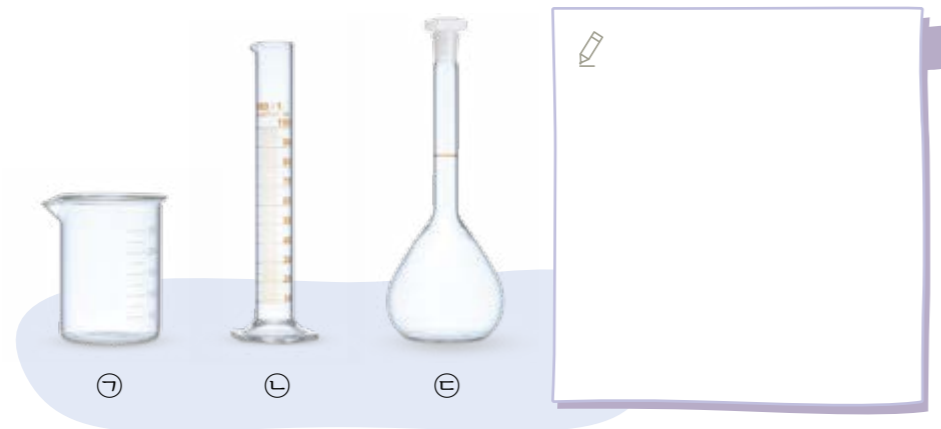


목표

적절한 실험 기구를 사용하여 0.1 M 표준 용액을 만들 수 있다.

준비

1. 다음 실험 기구 중 표준 용액을 만들 때 일정량의 용액의 부피를 정확하게 측정하는 데 가장 적절한 기구를 선택하고, 선택한 까닭을 설명해 보자.



✍

준비물

- 염화 나트륨 포도당
- 수산화 나트륨 증류수
- 부피 플라스크(1 L)
- 전자저울 비커
- 깔때기 씻기병
- 유리 막대 약순가락
- 실험복 보안경
- 실험용 고무장갑

안전



- 실험할 때는 반드시 실험복, 보안경, 실험용 고무장갑을 착용한다.
- 실험 후 남은 수산화 나트륨 수용액은 묽은 산으로 중화해 무기계 폐수통에 배출한다.

도움 자료

- 실험하기 전에 다음 자료를 먼저 읽어 보자.
- 8 쪽~9 쪽 실험실 안전수칙
- 174 쪽~175 쪽 실험 기구 사용 방법
- 176 쪽~177 쪽 주요 시약별 주의 사항

2. 표준 용액을 만들 때 필요한 다른 기구들은 무엇이 있을지 써 보자.

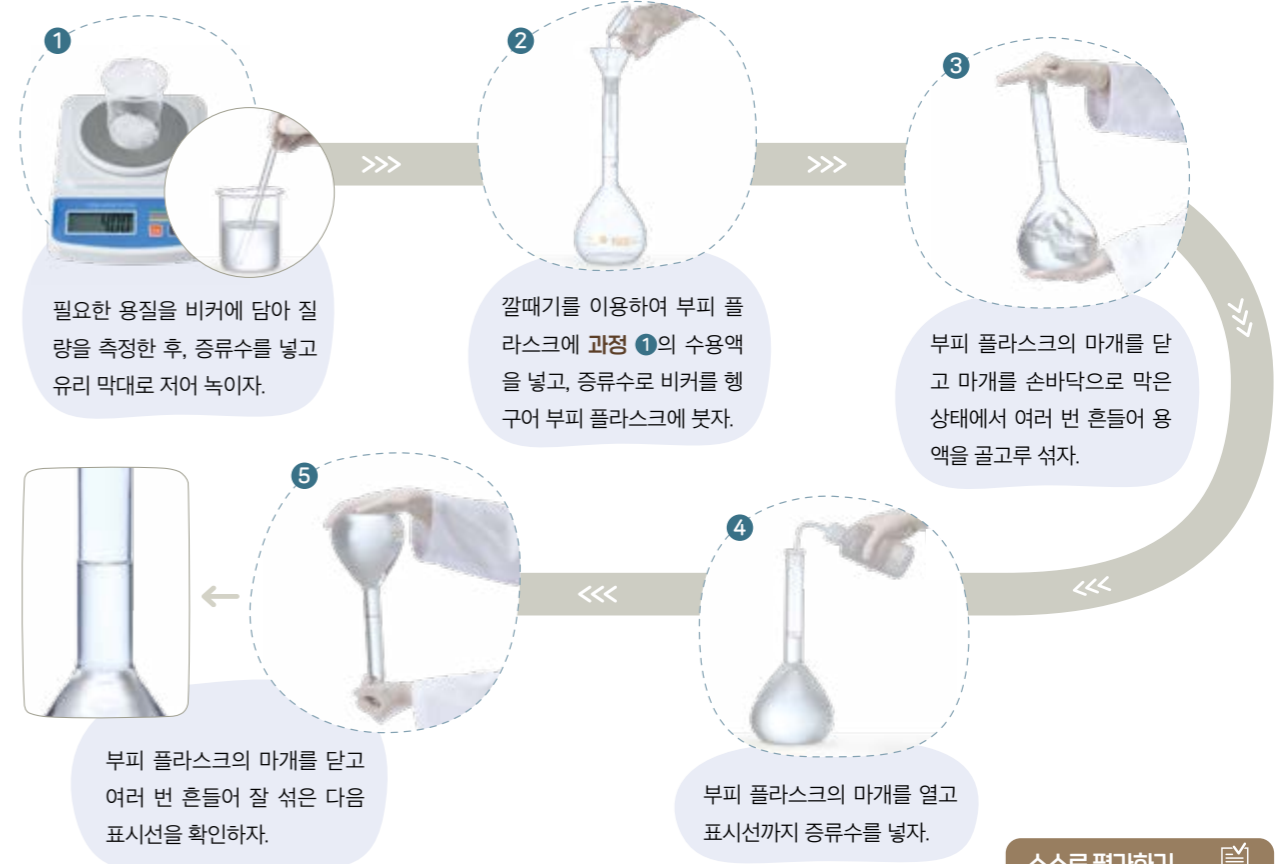


3. 모듈별로 염화 나트륨, 포도당, 수산화 나트륨 중 하나를 선택하여 화학식을 찾고, 제시된 원자의 몰질량을 이용하여 0.1 M 표준 용액 1 L를 만들기 위해 필요한 질량을 구해 보자.

원자	H	C	O	Na	Cl
몰질량(g/mol)	1	12	16	23	35.5

선택한 물질	선택한 물질의 화학식	선택한 물질의 몰질량(g/mol)	필요한 질량(g)

과정



결과 및 정리

1. 0.1 M 수용액을 만드는 데 필요한 질량이 물질마다 다른 까닭을 설명해 보자.
✍
2. 과정 2에서 증류수로 비커를 헹구어 부피 플라스크에 붓는 까닭을 설명해 보자.
✍
3. ▶ 창의 물 1 L에 용질 0.1 몰을 녹인 용액의 농도를 0.1 M와 비교해 보자.
✍

스스로 평가하기

- | 지식·이해 |**
몰질량을 이용해 0.1 M 표준 용액 1 L를 만들기 위한 질량을 정확히 계산했는가? ☆☆☆☆☆
- | 과정·기능 |**
실험 기구를 사용 방법에 맞게 사용하여 0.1 M 수용액을 만들었는가? ☆☆☆☆☆
- | 가치·태도 |**
표준 용액을 만드는 과정에 흥미와 호기심을 가졌는가? ☆☆☆☆☆

소단원 마무리

창의력 키우기

0 °C와 25 °C 물속 하이드로늄 이온(H₃O⁺)의 농도를 K_w를 이용하여 구하고 그 값을 비교해 보자.

디지털 소양 키우기

수돗물, 실내 공기 속에 들어 있는 유해 물질의 농도를 알아보는 방법을 탐색해 보자.

02 pH

- 수소 이온의 농도를 pH로 표현할 수 있다.
- 우리 주변 용액의 액성과 pH의 관계를 알고 자연 현상과 과학에 흥미와 호기심을 갖는다.

“ 수용액 속 수소 이온 농도와 수산화 이온 농도는 숫자로 표현하기가 불편하다. 수소 이온 농도와 수산화 이온 농도를 간편하게 나타낼 수 없을까? ”



수소 이온 농도와 pH

수용액의 액성은 수용액 속 하이드로늄 이온(H_3O^+) 농도에 의해 결정되므로 하이드로늄 이온 농도를 정확하게 아는 것이 중요하다. 수용액에서 하이드로늄 이온은 수소 이온(H^+)이 물(H_2O) 분자와 결합한 형태이므로 H_3O^+ 를 간단히 H^+ 로 나타낼 수 있다. 그런데 $[H^+]$ 값은 지수 표현이 불편하여 상용로그를 적용하여 간편하게 나타내는데, 이를 **수소 이온 농도 지수(pH)**라고 한다. 같은 방법으로 $[OH^-]$ 는 pOH로 나타낼 수 있다.

$$pH = \log \frac{1}{[H^+]} = -\log[H^+]$$

25 °C의 중성 용액에서 $[H^+]$ 와 $[OH^-]$ 는 각각 1.0×10^{-7} M이므로 pH와 pOH는 다음과 같다.

$$pH = -\log[H^+] = -\log(1.0 \times 10^{-7}) = 7.00$$

$$pOH = -\log[OH^-] = -\log(1.0 \times 10^{-7}) = 7.00$$

또 25 °C의 수용액에서 $[H^+]$ 와 $[OH^-]$ 의 곱은 1.0×10^{-14} 이므로, 수용액의 pH와 pOH를 더하면 항상 14.00이 된다.

$$pH + pOH = 14.00 (25 \text{ }^\circ\text{C})$$

pH는 pH 시험지나 pH 측정기로 측정한다. pH 시험지는 만능 지시약을 종이에 적셔 만든 것으로 pH에 따라 색깔이 달라진다.



그림 IV-3 pH 측정기와 pH 시험지



그림 IV-4 몇 가지 물질의 액성(25 °C) 25 °C의 수용액에서 산성 용액은 $[H^+]$ 가 1.0×10^{-7} M보다 크므로 pH가 7.00보다 작고, 염기성 용액은 $[H^+]$ 가 1.0×10^{-7} M보다 작으므로 pH가 7.00보다 크다. 25 °C의 수용액에서 pH는 0.00~14.00 사이의 값을 갖는다.

자료 읽기 그림 IV-4에서 토마토의 pH는 4.00이므로 $[H^+] = 1.0 \times 10^{-4}$ M이고, 우유의 pH는 6.00이므로 $[H^+] = 1.0 \times 10^{-6}$ M이다. 즉, 같은 온도에서 $[H^+]$ 가 100 배 감소하면 pH는 _____ 만큼 커진다.

연습 해보기

25 °C에서 pH 6.00인 수용액의 $[H^+]$, pOH, $[OH^-]$ 를 구해 보자.

풀이 따라가기

1 단계 pH로부터 $[H^+]$ 를 구한다.

$$pH = -\log[H^+] = 6.00 \quad [H^+] = \text{①} \text{ M}$$

2 단계 pOH를 구한다.

$$pH + pOH = \text{②} \quad pOH = \text{③}$$

3 단계 $[OH^-]$ 를 구한다.

$$pOH = -\log[OH^-] \quad [OH^-] = \text{④} \text{ M}$$

직접 해 보기

25 °C에서 pH 5.00인 로션의 $[H^+]$, pOH, $[OH^-]$ 를 구해 보자.

확인하기

- 1 ()은/는 $[H^+]$ 값을 간단한 숫자로 나타낸 것으로, 25 °C의 수용액에서 0.00~14.00 사이의 값을 갖는다.
- 2 25 °C 수용액의 액성이 산성이면 pH가 7.00보다 (크고, 작고), 수용액의 액성이 염기성이면 pH가 7.00보다 (크다, 작다).

건강 우리 몸속 pH 균형의 중요성

우리 몸속 각각의 장기는 특정한 pH 환경을 유지하며 기능을 수행한다. 따라서 몸속 pH 균형이 깨지면 다양한 질환에 노출될 수 있으므로 진단 검사 중에는 pH를 측정하는 것도 있다.



탐구

정보 수집·변환·해석 / 탐구 수행 / 결론 도출

준비물

- 0.1 M 염산 pH 측정기
- 부피 플라스크(10 mL)
- 피펫(1 mL) 피펫 필터
- 비커 증류수
- 씻기병 눈금실린더
- 스마트 기기 실험복
- 보안경
- 실험용 고무장갑

안전



- 실험할 때는 반드시 실험복, 보안경, 실험용 고무장갑을 착용한다.
- 실험 후 남은 묽은 염산은 묽은 수산화 나트륨 수용액으로 중화해 무기계 폐수통에 배출한다.

도움 자료

- 실험하기 전에 다음 자료를 먼저 읽어 보자.
- 8 쪽~9 쪽 실험실 안전수칙

탐구 능력 | 문제 해결 능력 | 의사 결정 능력

강산 수용액을 희석할 때 pH 변화 측정하기

실험 영상



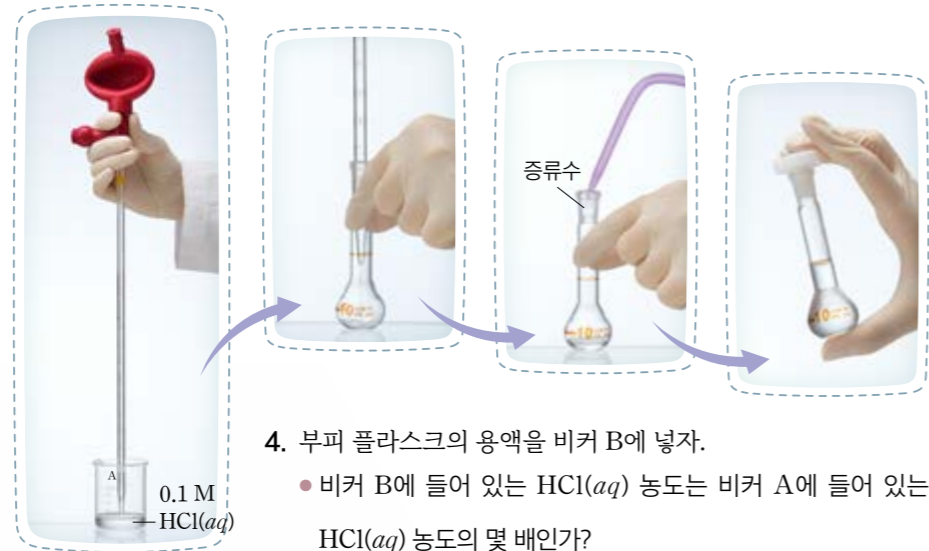
목표

0.1 M 염산을 희석할 때 몰농도에 따른 pH 값을 수집하여 그래프로 표현하고 해석할 수 있다.

과정

실험 1 0.1 M 염산 희석하기

- 50 mL 비커 5 개를 준비하고, A~E로 표시하자.
- 비커 A에 0.1 M 염산(HCl(aq)) 10 mL를 넣자.
- 피펫으로 비커 A에서 0.1 M 염산 1 mL를 덜어 10 mL 부피 플라스크에 넣은 다음 표시선까지 증류수를 채운 뒤 마개를 닫고 여러 번 흔들어 섞자.



- 부피 플라스크의 용액을 비커 B에 넣자.
 - 비커 B에 들어 있는 HCl(aq) 농도는 비커 A에 들어 있는 HCl(aq) 농도의 몇 배인가?

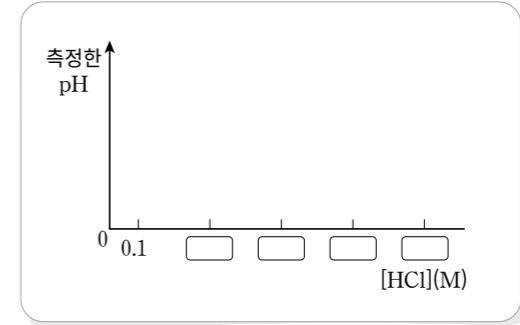
- 과정 3과 같이 비커 B에서 염산 1 mL를 덜어 부피 플라스크에 넣고 희석된 염산을 만들어 비커 C에 넣자. 순차적으로 비커 C의 염산을 희석하여 비커 D의 염산을, 비커 D의 염산을 희석하여 비커 E의 염산을 만들자.



실험 2 pH 측정기를 사용하여 염산의 pH 값 수집하기

- 비커 B~E에 담긴 염산의 농도를 계산하여 스프레드시트에 기록하자.
- pH 측정기로 비커 A~E에 담긴 염산의 pH를 측정하고 스프레드시트에 기록하자.
- 스프레드시트를 활용해 농도에 따른 pH를 막대그래프로 나타내 보자.

구분	[HCl](M)	측정한 pH
A	0.1	
B		
C		
D		
E		



도움말

- 용액을 희석할 때마다 부피 플라스크와 피펫은 잘 씻어 사용한다.
- 한 수용액의 pH를 측정할 다음 다른 수용액의 pH를 측정할 때는 증류수로 pH 측정기를 잘 씻어 사용한다.
- pH 측정기를 사용하기 어려운 경우 pH 시험지를 활용할 수 있다.

도움 자료

- 실험하기 전에 다음 자료를 먼저 읽어 보자.
- 179 쪽 스프레드시트 기본 기능

결과 및 정리

- 염산을 10 배씩 희석할 때 염산의 pH는 어떻게 변하는지 해석하고, 그 까닭을 설명해 보자.
 -
- 염산의 농도에 따른 이론적인 pH를 계산해 보고, 측정한 pH와 비교해 보자. 차이가 있다면 그 까닭은 무엇인지 토의해 보자.
 -
- 정의** 0.1 M 염산 대신 0.1 M 수산화 나트륨 수용액으로 같은 실험을 한다면 pH는 어떻게 변할지 토의해 보자.
 -

스스로 평가하기

- | 지식·이해 | pH와 수소 이온 농도의 관계를 이해했는가? ☆☆☆☆☆
- | 과정·기능 | pH 측정기를 올바르게 사용하여 염산의 pH를 측정하고 그래프로 잘 변환했는가? ☆☆☆☆☆
- | 가치·태도 | 탐구를 통해 문제 해결 활동의 즐거움을 체험했는가? ☆☆☆☆☆

소단원 마무리

창의력 키우기

0.1 M 염산을 계속 묽혀 1.0×10^{-8} M, 1.0×10^{-9} M 가 되었을 때 희석된 수용액의 액성을 예측해 보자.

디지털 소양 키우기

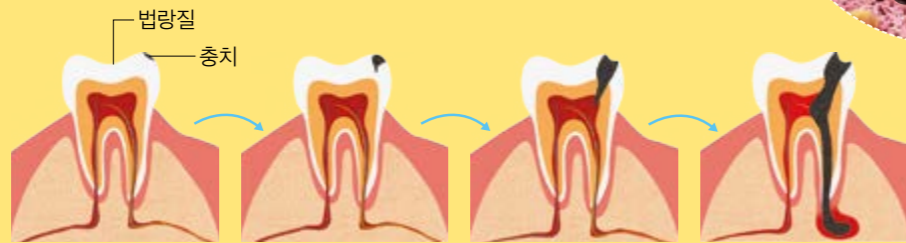
pH를 측정하여 질병을 진단하는 사례를 탐색하고, pH 측정 결과에 따라 예측되는 질병을 조사하여 공유해 보자.

충치와 pH

우리가 평소 충치라고 하는 치아우식증은 미탄스균이 치아에 붙어 있는 당을 분해할 때 생성되는 산성 물질 때문에 생긴다. 입속 침의 pH는 6.4~7.0이지만 미탄스균 때문에 산이 생성되면 치아에 붙어 있는 음식물 찌꺼기의 pH를 4.0~4.5까지 낮춘다. 치아 표면은 칼슘, 인 등으로 구성된 매우 단단한 법랑질(Ca₅(PO₄)₃(OH)(s))로 싸여 있다. 그런데 입속 pH가 5.0~5.5 이하로 낮아지면 치아 표면의 법랑질이 부식되면서 칼슘, 인 등이 녹아 치아 표면에 구멍이 생기게 된다. 시간이 지나면서 구멍이 점점 커지다가 내부 신경까지 건드리면 극심한 통증이 나타난다.



미탄스균의 현미경 사진 ▶



충치를 예방하기 위해서는 입속 pH를 6.4~7.0으로 유지하는 것이 중요하다. 따라서 끈적거리고 치아에 잘 달라붙는 당분이 많은 음식 섭취를 줄이고, 음식을 먹은 후 치아에 붙어 있는 음식물 찌꺼기를 칫솔질로 제거해야 한다. 또 pH가 낮은 탄산음료나 과일을 먹은 뒤에는 물이나 구강 청결제로 입속을 헹궈 pH를 정상 범위로 유지하는 것이 좋다.

활동하기

치아 건강에 해로운 생활 습관이나 음식물에는 어떤 것들이 있는지 조사하여 발표해 보자.

발표

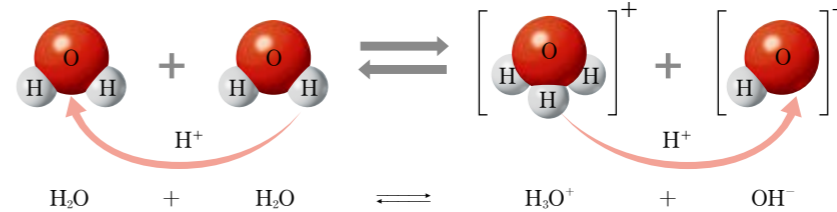
중단원 마무리

1. 물의 자동 이온화와 pH

01 물의 자동 이온화와 몰농도 139 쪽

(1) 물의 자동 이온화: 아주 적은 양의 물(H₂O) 분자들끼리 수소 이온(H⁺)을 주고받아

1 와/과 2 을/를 생성하여 동적 평형을 이루는 반응



(2) 물의 이온화 상수(K_w)

① 25 °C에서 K_w는 3 이며, 온도가 같으면 항상 같은 값을 나타낸다.

② 25 °C에서 [H₃O⁺]와 [OH⁻] 관계에 따른 수용액의 액성

농도	[H ₃ O ⁺] > [OH ⁻]	[H ₃ O ⁺] = [OH ⁻]	[H ₃ O ⁺] < [OH ⁻]
액성	4	중성	5

(3) 몰농도: 용액 6 L에 녹아 있는 용질의 양(mol) (단위: M 또는 mol/L)

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

(4) 7 : 농도를 정확하게 아는 용액

02 pH 144 쪽

(1) pH: 상용로그를 활용하여 8 의 농도를 간편하게 표현한 값으로, 25 °C의 수용액에서 0.00~14.00 사이의 값을 갖는다. 수산화 이온(OH⁻)의 농도는 9 (으)로 나타낸다.

$$pH = \log \frac{1}{[H^+]} = -\log[H^+]$$

(2) 25 °C에서 수용액의 액성과 pH

액성	산성	중성	염기성
pH	pH 10 < 7.00	pH = 7.00	pH 11 > 7.00

(3) 25 °C 수용액의 pH와 pOH를 더하면 항상 12 이다.

함께 풀어 보기

제시된 핵심 내용과 관련된 간단한 문제를 만들고, 공유 플랫폼에 공유하여 친구들과 함께 풀어 보자.

물 자동 이온화

.....

.....

.....

.....

물의 이온화 상수

.....

.....

.....

.....

몰농도

.....

.....

.....

.....

pH와 pOH

.....

.....

.....

.....

물의 자동 이온화

01 물의 자동 이온화에 대한 설명으로 옳은 것은?

- ① 매우 적은 양의 물 분자가 OH⁻을 주고받는다.
- ② 물의 이온화 상수(K_w)는 25 °C에서 1.0×10⁻⁷이다.
- ③ 수용액의 액성이 염기성일 때 [H₃O⁺]는 [OH⁻]보다 크다.
- ④ 온도가 일정할 때 [H₃O⁺]와 [OH⁻]의 곱은 항상 일정하다.
- ⑤ 온도가 일정할 때 pH가 증가할수록 물의 이온화 상수(K_w)가 증가한다.

물농도

02 0.1 M 탄산 나트륨(Na₂CO₃) 수용액 200 mL를 만들기 위해 필요한 탄산 나트륨의 질량(g)을 구해 보자. (단, Na, C, O의 물질량은 각각 23 g/mol, 12 g/mol, 16 g/mol이다.)

물농도

03 0.1 M 염화 나트륨(NaCl) 수용액 100 mL에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 염화 나트륨의 물질량은 58.5 g/mol이다.)

- <보기>
- ㄱ. 수용액 속 염화 나트륨의 양은 0.01 몰이다.
 - ㄴ. 수용액을 만들기 위해 5.85 g의 염화 나트륨이 필요하다.
 - ㄷ. 이 염화 나트륨 수용액에 증류수를 첨가하여 수용액의 부피가 200 mL가 되면 농도는 0.05 M가 된다.

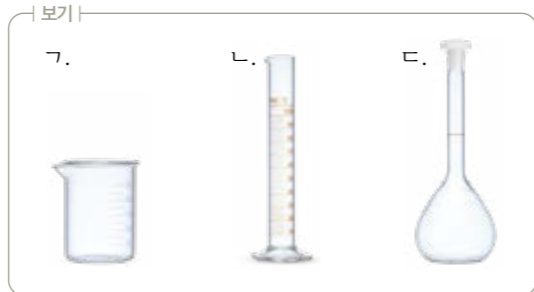
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[04~05] 다음은 수산화 나트륨(NaOH) 표준 용액을 만드는 실험이다.

- [실험 과정]
- (가) NaOH 10 g을 소량의 증류수가 담긴 A에 넣고 유리 막대로 저어 녹인다.
 - (나) (가)의 용액을 500 mL B에 넣고, 증류수로 A를 행구어 B에 넣는다.
 - (다) B의 표시선까지 증류수를 채운다.
 - (라) B의 마개를 닫고 흔들어 용액을 섞는다.

표준 용액과 물농도

04 위 과정의 A와 B에 해당하는 기구를 <보기>에서 각각 골라 보자.



표준 용액과 물농도

05 수산화 나트륨 표준 용액의 농도는 몇 M인가? (단, NaOH의 물질량은 40 g/mol이다.)

- ① 0.25 M ② 0.5 M ③ 1.0 M
- ④ 1.25 M ⑤ 1.5 M

pH와 pOH

06 pH와 pOH에 대한 설명으로 옳은 것은?

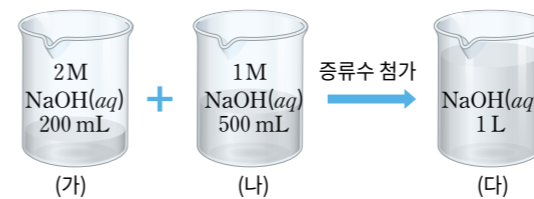
- ① pH가 커질수록 산성이 커진다.
- ② 수용액의 H⁺ 농도가 클수록 pOH가 크다.
- ③ pH 2.0인 염산에 증류수를 넣으면 pH는 작아진다.
- ④ 수용액의 pH가 커질수록 pOH도 비례하여 커진다.
- ⑤ pOH 5.0인 탄산수소 나트륨 수용액 속 [H⁺]는 [OH⁻]보다 크다.

물농도와 pH

07 산 HA 0.1 g을 물에 녹여 수용액 100 mL를 만들고 pH를 측정했더니 2.0이었다. 산 HA의 물질량(g/mol)을 구해 보자. (단, 산 HA는 물에 녹아 완전히 이온화한다.)

물농도와 pH

08 그림과 같이 농도와 부피가 다른 NaOH(aq) (가)와 (나)를 섞은 후, 증류수를 첨가해 수용액 (다)를 만들었다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- <보기>
- ㄱ. (가)에 포함된 NaOH의 양은 0.2 몰이다.
 - ㄴ. pH는 (가) > (나)이다.
 - ㄷ. $\frac{\text{(나)의 물농도}}{\text{(다)의 물농도}} = \frac{10}{9}$ 이다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

서술형

pH와 pOH

09 25 °C 수용액의 pH가 4.0일 때와 pH가 9.0일 때 각 수용액의 수산화 이온(OH⁻) 농도를 구하고, 그 과정을 설명해 보자.

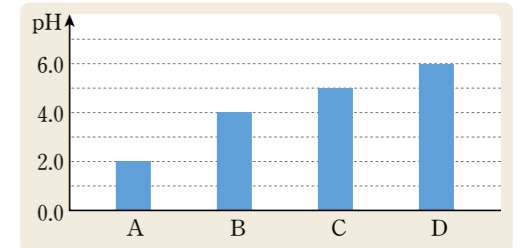
스스로 점검하기

- 지식-이해** 물의 자동 이온화와 물의 이온화 상수를 이해하고, 수소 이온의 농도를 pH로 표현했다. ★★★★★
- 과정-기능** 물농도를 알고, 원하는 물농도의 용액을 만들기 위한 탐구를 설계하고 수행했다. ★★★★★
- 가치-태도** pH가 일상생활의 문제 해결에 활용됨을 인식했다. ★★★★★

평가 결과가 아쉽다면 '1. 물의 자동 이온화와 pH'를 다시 한번 학습해 봅시다.

pH와 pOH

10 그림은 염산에 증류수를 넣어 차례로 희석할 때 용액 A~D의 pH를 나타낸 것이다.



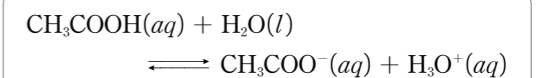
이에 대한 설명으로 옳은 것은? (단, 온도는 25 °C로 일정하다.)

- ① 가장 많이 희석된 상태는 용액 A이다.
- ② [H⁺]는 용액 A가 용액 B의 2 배이다.
- ③ [OH⁻]는 용액 C가 용액 B의 10 배이다.
- ④ 용액 A에서 용액 D로 갈수록 [OH⁻]는 감소한다.
- ⑤ 용액 D의 농도가 $\frac{1}{2}$ 이 되도록 희석하면 pH는 12.0이 된다.

서술형

pH

11 pH 3.0인 아세트산 수용액에 염산을 넣었더니 pH 2.0이 되었다. 이 과정에서 $\frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$ 의 값이 어떻게 변할지 아래 화학 반응식을 참고하여 설명해 보자. (단, 온도는 일정하다.)



2

중화 반응

01. 중화 반응의 양적 관계

02. 중화 적정



산성화된 토양에는 석회 가루와 같은 염기성 물질을 뿌려 pH를 조절한다. 원하는 pH의 토양을 만들려면 석회 가루를 얼마나 뿌려야 할까?

학습할 내용을 알아보고 스스로 학습 계획을 세워 봅시다.

이전 학습 내용

알고 있는 내용에 표 해 보자.

- 지시약 산성 용액 염기성 용액 중화 반응에서의 온도 변화

이 단원의 핵심 내용

이 단원에서 배울 핵심 내용을 본문에서 찾아보자.

- 중화 반응 쪽 알짜 이온 쪽
 중화 반응의 양적 관계 쪽 중화 적정 쪽

이 단원의 학습 목표

- 지식-이해** 중화 반응의 양적 관계를 이용해 산이나 염기 수용액의 농도를 계산할 수 있다.
과정-기능 중화 적정 실험을 설계하고, 설계에 따라 실험을 수행할 수 있다.
가치-태도 중화 반응의 양적 관계를 이해하여 지속가능한 삶에 활용할 수 있다.

나의 학습 계획

나는 이 단원에서 을/를 알고 싶다.

01

중화 반응의 양적 관계

- 산과 염기의 중화 반응을 설명할 수 있다.
- 중화 반응의 양적 관계를 모형으로 설명할 수 있다.
- 중화 반응의 양적 관계를 이해하여 지속가능한 삶에 활용할 수 있다.

“ 만능 지시약을 넣은 수산화 나트륨 수용액에 드라이아이스를 넣으면 용액의 색이 연속해서 변한다. 반응한 드라이아이스의 양과 용액의 색은 어떤 관련이 있을까? ”



이것은 마술이 아닌 과학이야!

산과 염기의 중화 반응

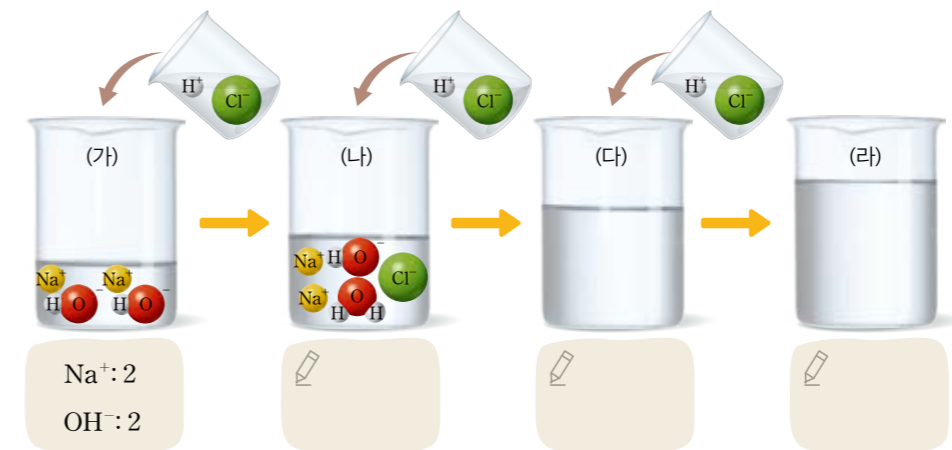
수산화 나트륨 수용액과 묽은 염산이 반응할 때 혼합 용액 속 이온 사이에 어떤 변화가 일어나는지 알아보자.

해보기

산과 염기의 반응 모형 해석하기

탐구 능력 | 문제 해결 능력

그림은 수산화 나트륨 수용액에 묽은 염산을 넣을 때 용액 속 입자 모형을 나타낸 것이다.



1. 용액 (다)와 (라)에 들어 있는 입자를 모형으로 나타내고, (나)~(라)에 들어 있는 이온의 종류와 수를 써 보자.
2. 용액 (가)~(라)의 액성을 각각 써 보자.
3. 반응에 실제로 참여해 생성물을 만드는 이온만으로 반응식을 써 보자.

모의실험



연계 통합과학2

『통합과학2』 '변화와 다양성' 단원에서 중화 반응을 학습했다.

염산과 수산화 나트륨 수용액을 섞으면 중화 반응이 일어나 물이 생성되고, 나트륨 이온(Na^+)과 염화 이온(Cl^-)은 용액에 그대로 남아 있다.

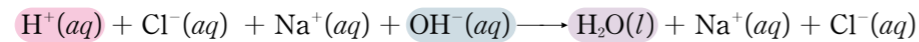
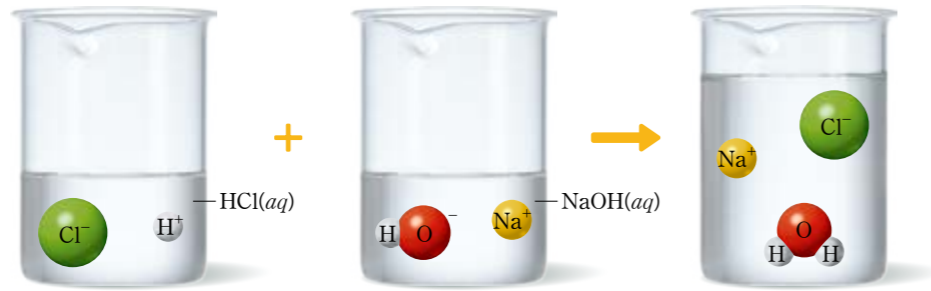
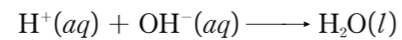


그림 IV-5 염산과 수산화 나트륨 수용액의 중화 반응 모형

이때 나트륨 이온과 염화 이온처럼 반응에 참여하지 않고 수용액에 그대로 남아 있는 이온을 **구경꾼 이온**이라 하고, 수소 이온이나 수산화 이온처럼 반응에 직접 참여한 이온을 **알짜 이온**이라고 한다. 중화 반응의 알짜 이온 반응식은 다음과 같다.



염산과 수산화 나트륨 수용액이 완전히 중화 반응 한 후 혼합 용액을 가열하면 물은 증발하고 흰색 결정인 염화 나트륨이 남는다. 염화 나트륨과 같이 산의 음이온과 염기의 양이온이 결합한 물질을 **염**이라고 한다. 중화 반응에서 생기는 염은 반응한 산과 염기의 종류에 따라 달라진다.

산과 염기의 반응에서 수소 이온과 수산화 이온은 1 : 1의 몰비로 반응한다. 따라서 혼합하는 수소 이온의 양(mol)과 수산화 이온의 양(mol)이 같으면 중화 반응이 완전히 일어나 용액은 중성이 된다. 그러나 수소 이온과 수산화 이온 중 어느 한쪽의 양이 더 많으면 중화 반응이 일어난 후에도 용액은 산성이나 염기성을 나타낸다.

❓ 염산 100 mL에 같은 몰농도의 수산화 나트륨 수용액 200 mL를 넣으면 용액의 액성은 어떻게 될까?

확인하기

- 1 중화 반응의 알짜 이온 반응식을 써 보자.
- 2 산의 음이온과 염기의 양이온이 결합한 물질을 () (이)라고 한다.

● 알짜 이온 반응식
실제로 반응에 참여한 이온만으로 나타낸 반응식이다.

중화 반응의 양적 관계

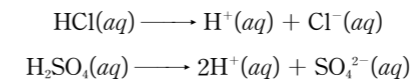
용액 속에 들어 있는 용질의 양(mol)은 용액의 몰농도와 부피에 따라 달라진다. 농도와 부피가 다른 산 수용액을 완전히 중화하는 데 필요한 염기 수용액의 부피를 알아보자.

해보기

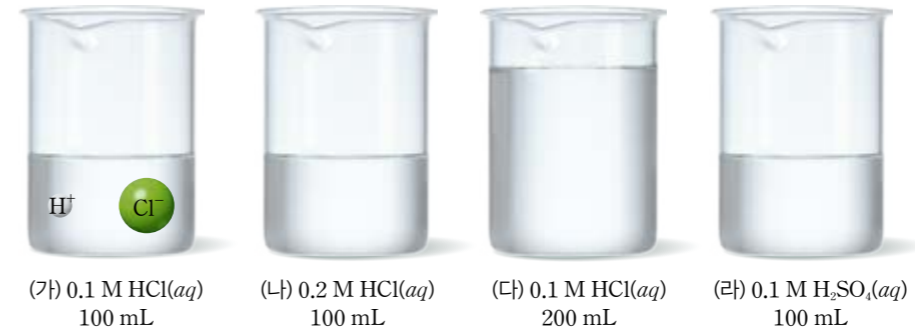
산과 염기의 반응에서 양적 관계 알아보기

🔍 탐구 능력 | 🧠 문제 해결 능력

염산과 황산은 수용액에서 다음과 같이 이온화한다.



(가) 모형을 참고하여 (나)~(라)에 들어 있는 이온을 모형으로 나타내 보자.



정리

1. (가)~(라)의 수용액에 들어 있는 수소 이온(H^+)의 양(mol)을 구해 보자.

구분	(가)	(나)	(다)	(라)
H^+ 의 양(mol)				

2. (가)~(라)의 수용액을 완전히 중화하는 데 필요한 수산화 나트륨의 양(mol)을 구해 보자.

구분	(가)	(나)	(다)	(라)
NaOH의 양(mol)				

3. (가)~(라)의 수용액을 완전히 중화하는 데 필요한 0.1 M 수산화 나트륨 수용액의 부피를 구해 보자.

구분	(가)	(나)	(다)	(라)
NaOH(aq)의 부피(mL)				



용질의 양(mol)은 '몰농도(mol/L) × 용액의 부피(L)'로 구할 수 있어.

0.1 M 염산 100 mL에는 0.01 몰의 수소 이온이 들어 있으므로 완전히 중화하려면 0.01 몰의 수산화 이온이 필요하다. 따라서 0.1 M 수산화 나트륨 수용액 100 mL가 필요하다.

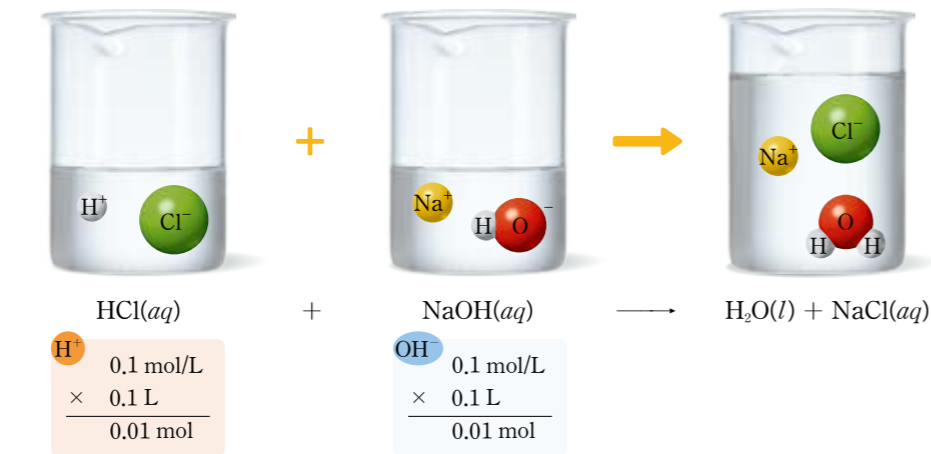


그림 IV-6 염산과 수산화 나트륨 수용액의 중화 반응 모형과 양적 관계

자료읽기 0.1 M HCl(aq) 100 mL와 0.1 M NaOH(aq) 100 mL가 완전히 중화할 때 생성되는 H₂O(l)의 양은 _____ 몰이다.

0.1 M 황산(H₂SO₄(aq)) 100 mL에는 0.02 몰의 수소 이온이 들어 있으므로 완전히 중화하려면 0.02 몰의 수산화 이온이 필요하다. 따라서 0.2 M 수산화 나트륨 수용액 100 mL가 필요하다.

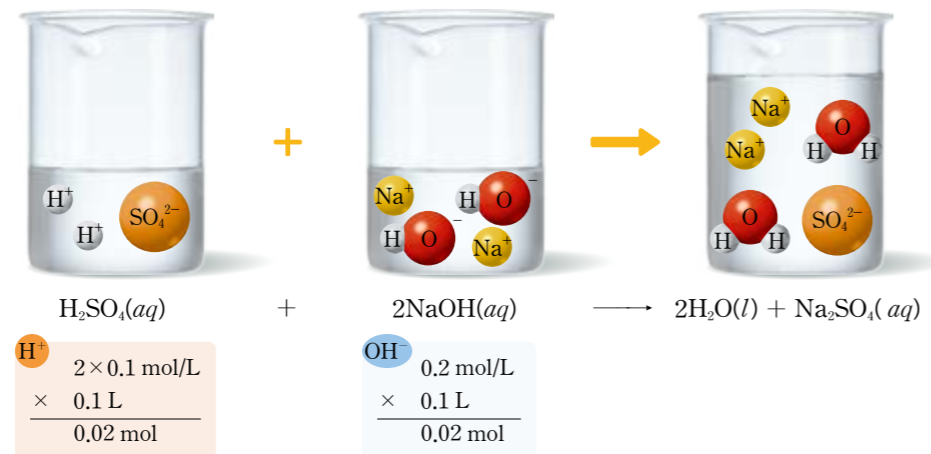


그림 IV-7 황산과 수산화 나트륨 수용액의 중화 반응 모형과 양적 관계

자료읽기 0.1 M H₂SO₄(aq) 100 mL와 0.2 M NaOH(aq) 100 mL가 완전히 중화할 때 생성되는 H₂O(l)의 양은 _____ 몰이다.

산 1 몰이 내놓은 수소 이온의 양(mol)을 n , 염기 1 몰이 내놓은 수산화 이온의 양(mol)을 n' 라 하고, 몰농도가 M 인 산 수용액 V L와 몰농도가 M' 인 염기 수용액 V' L가 반응하여 완전히 중화한다면 $nMV = n'M'V'$ 의 관계식이 성립한다.

가수

산 1 몰이 내놓은 수소 이온의 양(mol) 또는 염기 1 몰이 내놓은 수산화 이온의 양(mol)이다.

산의 가수

- 1가 산: HCl, CH₃COOH
- 2가 산: H₂SO₄, H₂CO₃
- 3가 산: H₃PO₄

염기의 가수

- 1가 염기: NaOH, KOH
- 2가 염기: Ca(OH)₂, Ba(OH)₂
- 3가 염기: Al(OH)₃

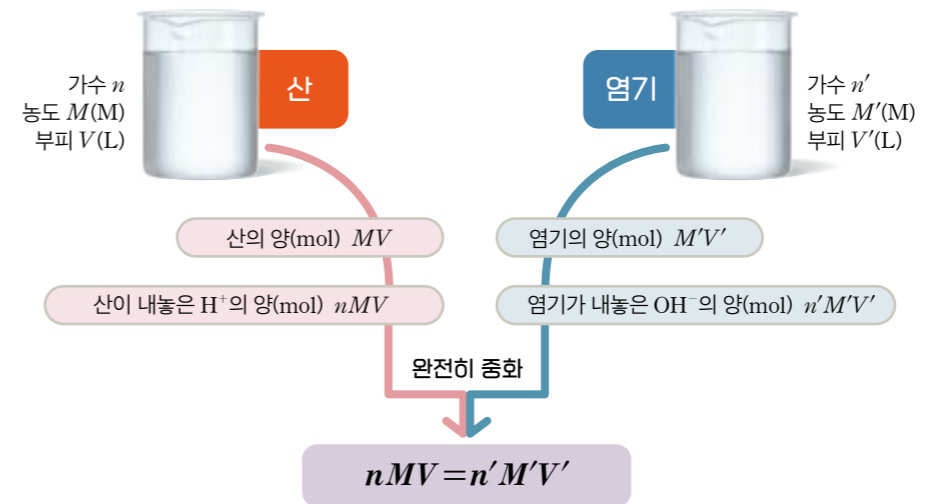


그림 IV-8 중화 반응의 양적 관계

연습 해보기

0.4 M 염산(HCl(aq)) 100 mL를 완전히 중화하는 데 필요한 0.1 M 수산화 바륨(Ba(OH)₂) 수용액의 부피(mL)를 구해 보자.

풀이 따라가기

H^+ 의 양(mol) = OH^- 의 양(mol)
 $1 \times 0.4 \text{ mol/L} \times 0.1 \text{ L} = 2 \times 0.1 \text{ mol/L} \times \text{①} \text{ L}$

답 ② _____ mL

직접 해 보기

0.2 M 황산(H₂SO₄(aq)) 100 mL를 완전히 중화하는 데 필요한 0.1 M 수산화 바륨(Ba(OH)₂) 수용액의 부피(mL)를 구해 보자.

확인하기

- 1 중화 반응에서 반응하는 산의 H⁺과 염기의 OH⁻의 몰비는 ()이다.
- 2 0.2 M 염산 0.1 L를 중화하는 데 필요한 수산화 나트륨(NaOH)의 양은 몇 몰인가?

소단원 마무리

창의력 키우기

사람의 위에서는 음식물을 소화하기 위해 염산을 분비한다. 그런데 음식물과 섞인 염산이 작은창자에 도달하면 산성을 띠지 않는 까닭을 설명해 보자.

디지털 소양 키우기

중화 반응 가상 실험을 찾아보고, 가상 실험으로 중화 반응의 양적 관계, 지시약의 색 변화, 알짜 이온과 구경꾼 이온을 확인해 보자.

02

중화 적정

- 중화 적정 실험을 계획하고 수행할 수 있다.
- 아세트산의 함량을 구하는 방법을 통해 중화 적정의 유용성을 표현할 수 있다.

“ 오렌지주스, 레몬주스, 자몽주스는 모두 신맛이 난다. 이들 음료 속에 들어 있는 수소 이온의 농도는 어떻게 알 수 있을까? ”



농도를 모르는 일정 부피의 산 수용액에 농도를 알고 있는 염기 표준 용액을 조금씩 넣으면서 산 수용액이 완전히 중화하는 데 필요한 염기 표준 용액의 부피를 측정하면 산 수용액의 농도를 알아낼 수 있다. 이처럼 중화 반응의 양적 관계를 이용하여 농도를 모르는 산이나 염기 수용액의 농도를 알아내는 방법을 **중화 적정**이라고 한다.

중화 적정 실험에서 중화 반응이 일어남에 따라 용액의 액성이 달라지므로, 액성에 따라 색이 변하는 지시약을 사용하면 **중화점**을 판단할 수 있다. 중화 적정에서는 용액의 부피를 정밀하게 측정할 수 있는 피펫, 부피 플라스크, 뷰렛 등의 실험 도구를 이용한다.

● **중화점**
반응하는 수소 이온의 양(mol)과 수산화 이온의 양(mol)이 같아져 산과 염기가 완전히 중화하는 지점이다.

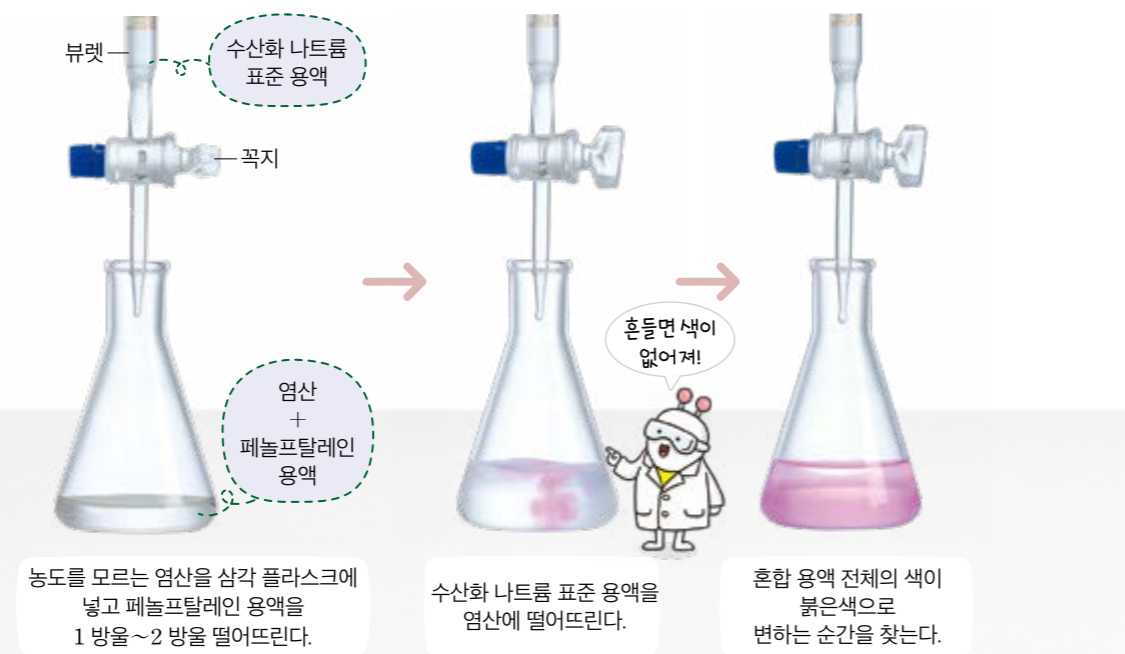


그림 IV-9 수산화 나트륨 표준 용액으로 염산을 중화 적정 하는 실험에서 중화점을 찾는 방법

탐구

식초 속 아세트산 함량 구하기

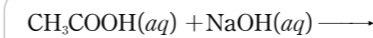
● 탐구 설계 및 수행

목표

중화 적정으로 식초 속 아세트산의 농도를 구하는 실험을 계획하고 수행하여 식초 속 아세트산의 함량을 구할 수 있다.

준비

아세트산(CH₃COOH)과 수산화 나트륨(NaOH) 수용액의 중화 반응식을 완성해 보자.



● 아세트산 0.1 몰을 완전히 중화하는 데 필요한 수산화 나트륨의 양은 _____ 몰이다.

과정

표준 용액으로는 0.1 M 수산화 나트륨 수용액, 지시약으로는 페놀프탈레인 용액을 이용하여 식초 속 아세트산의 농도를 구하는 실험을 설계해 보자.

1. 모둠별로 그림과 같은 중화 적정 실험 장치를 꾸미고 각 실험 도구의 사용 방법, 넣어야 할 용액 등을 정리해 보자.



▶ 실험 영상



준비물

- 0.1 M 수산화 나트륨 표준 용액
- 식초
- 증류수
- 페놀프탈레인 용액
- 삼각 플라스크
- 눈금실린더
- 비커
- 피펫
- 피펫 필러
- 유리 막대
- 깔때기
- 뷰렛
- 뷰렛 집게
- 스탠드
- 흰 종이
- 실험복
- 보안경
- 실험용 고무장갑
- 마스크

안전

-
- 실험할 때는 반드시 실험복, 보안경, 실험용 고무장갑, 마스크를 착용한다.
- 실험 후 남은 수산화 나트륨 수용액은 묽은 산으로 중화해 무기계 폐수통에 배출한다.

도움 자료

- 실험하기 전에 다음 자료를 먼저 읽어 보자.
- 8 쪽 ~ 9 쪽 실험실 안전 수칙
- 142 쪽 ~ 143 쪽 표준 용액 만들기
- 174 쪽 ~ 175 쪽 실험 기구 사용 방법

2. 과정 1을 바탕으로 하여 모둠별로 실험 과정을 구체적으로 설계하여 발표해 보자.

도움말 공유 플랫폼을 활용해 공동으로 자료를 만들고 발표한다.



3. 다른 모둠의 발표를 듣고 수정, 보완해야 할 점을 서로 토의해 최종 실험 과정을 정하자.

우리 모둠의 실험 과정

결과

1. 모둠별로 설계한 실험 과정에 따라 실험을 3 회 수행한 후 실험에서 측정한 값을 표에 써 보자.

실험	뷰렛의 처음 눈금	뷰렛의 나중 눈금	중화 적정에 사용한 수산화 나트륨 수용액의 부피(mL)
1			
2			
3			

• 중화 적정에 사용한 수산화 나트륨 수용액 부피의 평균값은 몇 mL인가?



2. 중화 반응의 양적 관계를 이용하여 식초 속 아세트산의 몰농도를 구해 보자.

도움말 중화 반응의 양적 관계식 $nMV = n'M'V'$ 를 이용한다.

• 묽힌 식초 속 아세트산의 농도는 몇 M인가?



• 식초 속 아세트산의 농도는 몇 M인가?



3. 다음 자료를 이용하여 식초 속 아세트산의 함량(%)을 구해 보자.

- 식초의 밀도: 1 g/mL
- 아세트산(CH₃COOH)의 몰질량: 60 g/mol



정리

실험값을 식초가 들어 있던 용기에 표시된 아세트산의 함량(%)과 비교하고, 차이가 있다면 그 까닭을 토의해 보자.



아세트산의 함량(%)은 $\frac{\text{아세트산의 질량}}{\text{식초의 질량}} \times 100$ 으로 구할 수 있어.



• 총산도는 용액 100 mL당 들어 있는 용질의 g 수로 정의하는데, 식초의 밀도를 1 g/mL로 하여 % 농도로 나타낼 수 있다.



총산도: 6%~7%

스스로 평가하기

- | 지식·이해 | 중화 반응의 양적 관계를 이해하여 실험 결과로 식초 속 아세트산의 함량을 올바르게 구했는가? ☆☆☆☆☆
- | 과정·기능 | 실험 과정을 구체적이고 실현 가능하도록 설계했으며, 실험 기구의 용도와 사용 방법을 숙지해 실험했는가? ☆☆☆☆☆
- | 가치·태도 | 식초 속 아세트산의 함량을 구하는 방법을 인지하여 중화 적정의 유용성을 깨달았는가? ☆☆☆☆☆

소단원 마무리

창의력 키우기

아세트산의 함량이 다른 두 가지 식초가 있을 때 pH 측정기나 pH 시험지를 사용하지 않고 산성도를 비교할 수 있는 방법을 설명해 보자.

디지털 소양 키우기

굴 통조림이나 간장을 만들 때 식품 첨가물로 염산을 사용하기도 한다. 사용한 염산이 식품에 남지 않게 제거하는 방법을 찾아 정리하고, 공유 플랫폼을 활용하여 공유해 보자.



진실을 밝히는 과학 수사 연구원



누리집 검색·누리집
커리어넷에서 과학
수사 연구원과 관련
된 정보를 찾아보자.

과학 수사 연구원이 하는 일은 무엇일까?

과학 수사 연구원은 범죄 수사 증거물의 과학적 감정 및 연구 활동으로 사건을 해결하고, 범인을 검거하도록 지원하는 일을 한다. 흔히 알고 있는 부검이나 DNA 분석, 독극물 분석, 화재나 범죄 현장에 남아 있는 미세한 증거물 감정뿐만 아니라 다리 붕괴 등과 같은 안전사고나 교통사고의 원인을 조사하는 일도 과학 수사 연구원의 업무이다. 또 각종 디지털 증거물의 복원, 복구 및 분석 등의 업무를 담당하기도 한다.

과학 수사 연구원은 어떤 능력이 필요할까?

국립과학수사연구원에는 검시과, 법의검사과(법의학 분야, 심리 분야), 유전자과, 독성학과, 화학과, 교통과, 안전과, 디지털과 등의 부서가 있으며, 각 부서에서 세분된 감정 업무를 처리한다. 따라서 관련 분야의 전문 지식을 쌓아 일정한 자격을 갖추어야 한다. 또 다양한 유형의 증거물을 다루는 감정 업무 특성상 유연하고 창의적인 사고와 정확한 감정을 위한 냉철한 사고, 꼼꼼함과 정확성이 필요하다.

관련 학과 화학과, 약학과, 법의학과, 생물학과, 유전 공학과, 기계 공학과, 전자 공학과 등

활동하기

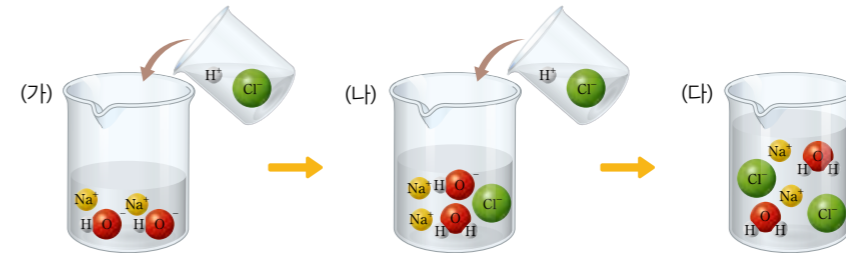
조사

국립과학수사연구원 누리집과 최신 기사를 참고하여 과학 수사 연구원이 문제 해결에 결정적 기여를 한 사례를 찾아보자.



01 중화 반응의 양적 관계 153 쪽

(1) 중화 반응: 산의 ① 와/과 염기의 ② 이/가 반응하여 물을 생성하는 반응



이온의 종류와 수	(가)	(나)	(다)
H ⁺	③	④	⑤
Cl ⁻	0	1	2
Na ⁺	2	2	2
OH ⁻	2	⑥	⑦

① ③ : 반응에 참여하지 않고 수용액에 그대로 남아 있는 이온

② 알짜 이온 반응식: $H^+(aq) + OH^-(aq) \rightarrow$ ⑧

(2) 중화 반응의 양적 관계: H⁺과 OH⁻은 1 : 1의 몰비로 반응한다. → 혼합하는 H⁺과 OH⁻의 양(mol)이 같으면 혼합 용액의 액성은 ⑩ 이다.

$$nMV = n'M'V'$$

(n, n': 산과 염기의 가수, M, M': 산과 염기 수용액의 몰농도, V, V': 산과 염기 수용액의 부피)

02 중화 적정 158 쪽

- (1) ⑪ : 농도를 모르는 일정량의 산(염기) 수용액에 염기(산) 표준 용액을 조금씩 가하면서 용액이 완전히 중화하는데 필요한 부피를 측정하여 농도를 모르는 산(염기) 수용액의 농도를 알아내는 방법
- (2) ⑫ : 용액의 액성에 따라 색이 변하여 중화 적정에서 중화점을 확인하는데 사용하는 물질



함께 풀어 보기

제시된 핵심 내용과 관련된 간단한 문제를 만들고, 공유 플랫폼에 공유하여 친구들과 함께 풀어 보자.

중화 반응

.....

.....

.....

알짜 이온

.....

.....

.....

중화 반응의 양적 관계

.....

.....

.....

중화 적정

.....

.....

.....

중화 반응

01 다음은 중화 반응에 대한 학생들의 대화이다.



대화 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

- ① A ② B ③ A, C
- ④ B, C ⑤ A, B, C

중화 반응

02 산과 염기의 중화 반응에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

- ① 산과 염기가 반응하여 물과 염을 생성한다.
- ② 산을 염기로 중화하면 용액의 pH가 커진다.
- ③ 산의 수소 이온(H⁺)과 염기의 수산화 이온(OH⁻)은 1 : 1의 몰비로 반응한다.
- ④ 염기를 산으로 중화하면 용액 속의 수산화 이온의 양(mol)이 감소한다.
- ⑤ 중화 반응에서 생성되는 물의 양(mol)은 반응하는 수소 이온의 양(mol)의 2 배이다.

중화 반응

03 다음과 같이 몰농도가 같은 산 수용액과 염기 수용액을 각각 혼합했을 때, 혼합 용액의 pH가 가장 큰 것은? (단, 온도는 일정하고, 제시된 산과 염기는 수용액에서 완전히 이온화한다.)

- ① HCl(aq) 2 L와 NaOH(aq) 1 L
- ② HCl(aq) 1 L와 Ca(OH)₂(aq) 1 L
- ③ H₂SO₄(aq) 1 L와 NaOH(aq) 1 L
- ④ HCl(aq) 2 L와 Ca(OH)₂(aq) 1 L
- ⑤ H₂SO₄(aq) 1 L와 Ca(OH)₂(aq) 1 L

중화 반응의 양적 관계

04 표는 HCl(aq)과 NaOH(aq)의 부피를 달리하여 혼합할 때 혼합 전 두 용액과 혼합 용액 속 이온의 종류에 대한 자료이다. A~D는 각각 H⁺, Cl⁻, Na⁺, OH⁻ 중 하나이다.

실험	혼합 전 두 용액 속 이온의 종류		혼합 용액 속 이온의 종류
	HCl(aq)	NaOH(aq)	혼합 용액
(가)	A, C	B, D	A, B, D
(나)	A, C	B, D	A, C, D

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 혼합 용액의 부피는 혼합 전 각 용액의 부피의 합과 같다.)

[보기]

- ㄱ. D는 구경꾼 이온이다.
- ㄴ. (가)의 혼합 용액에서 [A]=[B]+[D]이다.
- ㄷ. (나)의 혼합 용액에서 [D]=[A]+[C]이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

서술형

중화 반응의 양적 관계

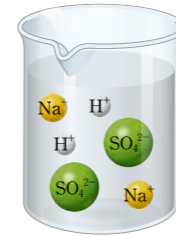
05 표는 HCl(aq)과 NaOH(aq)의 부피를 달리하여 혼합한 용액 (가)~(다)에 대한 자료이다.

혼합 용액	혼합 전 용액의 부피(mL)		전체 음이온의 양 (mol)
	HCl(aq)	NaOH(aq)	
(가)	100	25	0.01
(나)	50	50	0.01
(다)	50	100	0.02

(가), (나), (다)를 모두 혼합한 용액 속에 존재하는 Na⁺과 Cl⁻의 몰비(Na⁺ : Cl⁻)를 구하고, 그 과정을 설명해 보자.

중화 반응의 양적 관계

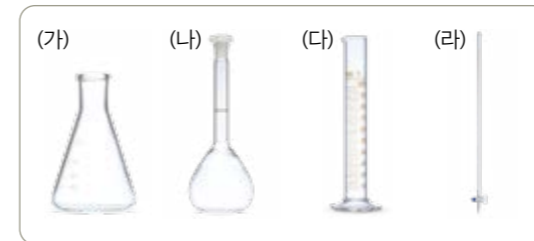
06 그림은 농도가 같은 NaOH(aq)과 H₂SO₄(aq)을 반응시킨 혼합 용액에 존재하는 이온을 모형으로 나타낸 것이다. 이에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?



- ① 혼합 용액의 액성은 산성이다.
- ② Na⁺과 SO₄²⁻은 구경꾼 이온이다.
- ③ 알짜 이온 반응식은 H⁺ + OH⁻ → H₂O이다.
- ④ 생성된 H₂O의 양(mol)은 반응한 NaOH의 양(mol)보다 크다.
- ⑤ 혼합 전 H₂SO₄의 양(mol)은 NaOH의 양(mol)과 같다.

중화 적정

07 다음은 중화 적정 실험에 사용하는 실험 기구 중 일부를 나타낸 것이다.



- (1) 표준 용액을 만들 때 용액의 부피를 정확하게 측정하는 데 사용하는 실험 기구를 골라 보자.
- (2) 중화 적정 실험에서 가해지는 표준 용액의 부피를 연속적으로 측정할 때 사용하는 실험 기구를 골라 보자.

스스로 점검하기

- 지식-이해** 중화 반응의 양적 관계를 이용해 산이나 염기 수용액의 농도를 계산했다. ★★★★★
- 과정-기능** 중화 적정 실험을 설계하고, 설계에 따라 실험을 수행했다. ★★★★★
- 가치-태도** 중화 반응의 양적 관계를 이해하여 지속가능한 삶에 활용했다. ★★★★★

평가 결과가 아쉽다면 '2. 중화 반응'을 다시 한번 학습해 보시다.

중화 적정

08 다음은 CH₃COOH의 중화 적정 실험이다.

[실험 과정]
 (가) CH₃COOH(aq)을 준비한다.
 (나) (가)의 수용액 x mL에 물을 넣어 100 mL 수용액을 만든다.
 (다) (나)에서 만든 수용액 20 mL를 삼각 플라스크에 넣고 페놀프탈레인 용액을 2 방울~3 방울 떨어뜨린다.
 (라) (다)의 삼각 플라스크에 0.1 M NaOH(aq)을 한 방울씩 떨어뜨리면서 삼각 플라스크를 흔들어서 준다.
 (마) (라)의 삼각 플라스크 속 수용액 전체가 붉은 색으로 변하는 순간 적정을 멈추고 적정에 사용된 NaOH(aq)의 부피(V)를 측정한다.

[실험 결과]
 • V: y mL
 • (가)의 CH₃COOH(aq)의 몰농도: a M

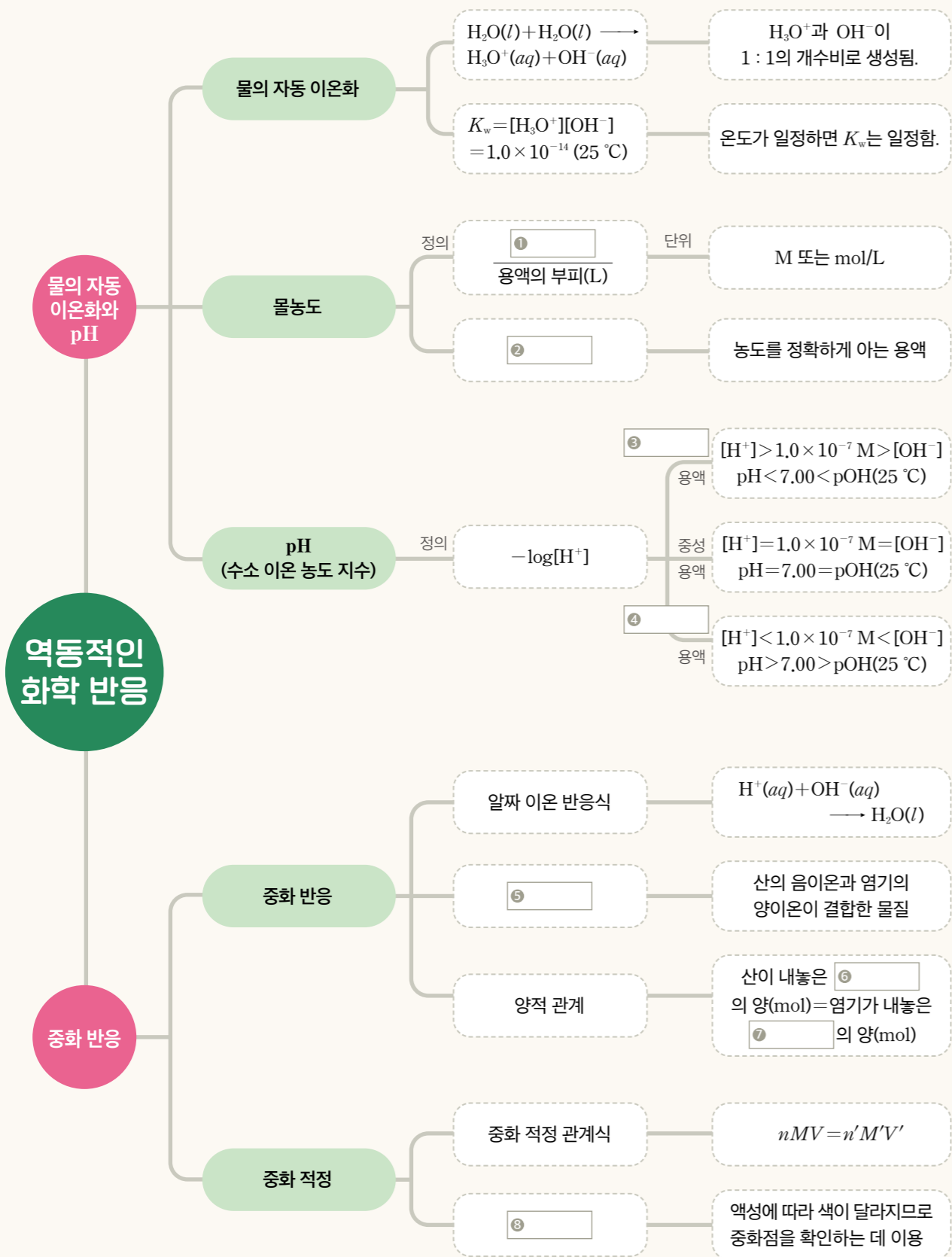
a는? (단, 온도는 25 °C로 일정하다.)

- ① $\frac{y}{5x}$ ② $\frac{2y}{5x}$ ③ $\frac{y}{2x}$
- ④ $\frac{y}{x}$ ⑤ $\frac{2y}{x}$

서술형

중화 적정

09 식초 10 mL에 0.4 M 수산화 나트륨 수용액 25 mL를 가하였더니 완전히 중화하였다. 식초 속 아세트산의 몰농도를 구하고, 그 과정을 설명해 보자.



1 물의 자동 이온화와 pH

01 다음은 미지 농도의 염산을 묽히는 실험이다.

[실험 과정]
 (가) 피펫으로 미지 농도의 염산 25 mL를 취하여 500 mL 부피 플라스크에 넣는다.
 (나) (가)의 부피 플라스크에 증류수를 가하여 표시선까지 채우고 잘 섞는다.
 [실험 결과]
 • 묽힌 염산의 pH=3.0이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

[보기]
 ㄱ. (가)의 미지 농도의 염산 25 mL에 포함된 HCl의 양은 1.0×10^{-3} 몰이다.
 ㄴ. 과정 (나)에서 pH는 커진다.
 ㄷ. 실험 온도에서의 K_w 를 알면 묽힌 염산의 pOH를 알 수 있다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
 ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

서술형
 02 다음은 커피의 pH에 대한 설명이다.

커피는 쓴맛과 더불어 약간의 신맛이 나는데 커피의 종류나 가공 방법에 따라 신맛의 정도가 다르다. 보통 커피 원두의 pH는 5.0 정도인데 발효를 통해 가공한 원두의 pH는 4.0 정도가 된다.

(가) pH 5.0과 pH 4.0의 수소 이온 농도를 몰농도로 나타내고, (나) 수소 이온 농도는 몇 배 차이가 나는지 설명해 보자.

03 표는 수용액 X와 Y에 대한 자료이다.

수용액	용질의 질량(g)	수용액의 부피(mL)	몰농도 (M)	용질의 몰질량 (g/mol)
X	10	100	0.1	
Y		200	0.2	20

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

[보기]
 ㄱ. X의 몰질량은 10 g/mol이다.
 ㄴ. Y(aq)에 사용된 Y의 질량은 0.8 g이다.
 ㄷ. 수용액 속 $\frac{X \text{의 양(mol)}}{Y \text{의 양(mol)}} = \frac{1}{4}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
 ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

2 중화 반응

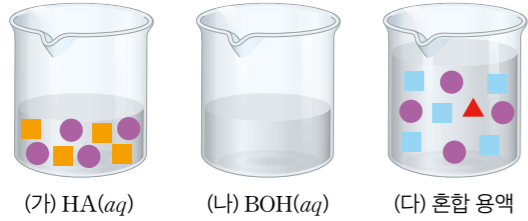
04 그림은 $H_2SO_4(aq)$ 10 mL와 $NaOH(aq)$ 15 mL를 혼합한 용액 속 이온 모형을 나타낸 것이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, H_2SO_4 은 물에서 완전히 이온화하여 H^+ 과 SO_4^{2-} 으로만 존재한다.)



[보기]
 ㄱ. ●는 음이온이다.
 ㄴ. ▲는 구경꾼 이온이다.
 ㄷ. $H_2SO_4(aq)$ 20 mL를 완전 중화하기 위해 필요한 $NaOH(aq)$ 의 부피는 24 mL이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
 ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

05 그림 (가)와 (나)는 온도와 부피가 같은 산 $HA(aq)$ 과 염기 $BOH(aq)$ 을, (다)는 (가)와 (나)를 혼합한 용액에 들어 있는 이온을 모형으로 나타낸 것이다. (나)에 들어 있는 이온을 모형으로 나타내 보자.



06 표는 $NaOH(aq)$ 과 $HCl(aq)$ 의 부피를 달리하여 혼합한 용액 (가)~(다)에 대한 자료이다.

혼합 용액	혼합 전 수용액의 부피(mL)		혼합 용액 속 이온	혼합 용액 속 음이온 양(상댓값)
	$NaOH(aq)$	$HCl(aq)$		
(가)	10	5	Na^+, OH^-, Cl^-	x
(나)	10	20	Na^+, Cl^-	2
(다)	10	30	Na^+, H^+, Cl^-	y

$\frac{y}{x}$ 를 구해 보자.

서술형

07 수산화 나트륨($NaOH$) 1 g을 물에 녹여 250 mL 수용액을 만들었다. 농도를 모르는 황산 수용액($H_2SO_4(aq)$) 10 mL를 완전히 중화하는 데 이 수용액 30 mL가 사용되었다. 이 실험에 사용된 (가) 수산화 나트륨 수용액의 몰농도와 (나) 황산 수용액의 몰농도를 구하고, 그 과정을 설명해 보자. (단, 수산화 나트륨의 몰질량은 40 g/mol이다.)

08 다음은 식초를 $\frac{1}{10}$ 로 묽힌 용액 20 mL를 삼각 플라스크에 넣은 후 $NaOH(aq)$ 으로 중화 적정을 하여 식초 속 $CH_3COOH(aq)$ 의 함량을 알아보는 실험에 대한 자료이다.

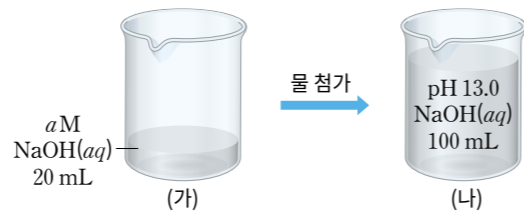
- 사용한 $NaOH(aq)$ 의 몰농도: 0.05 M
- 사용한 지시약: 페놀프탈레인 용액
- 중화점에서 혼합 용액의 색:
- 중화점까지 넣어 준 $NaOH(aq)$ 의 부피: 40 mL

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

- 보기
- ㉠. ⊖은 노란색이다.
 - ㉡. 식초 속 $CH_3COOH(aq)$ 의 몰농도는 0.1 M이다.
 - ㉢. 묽힌 식초가 들어 있는 삼각 플라스크에 $NaOH(aq)$ 을 넣어 줄 때 뷰렛을 사용한다.

- ① ㉠ ② ㉡ ③ ㉢
 ④ ㉠, ㉢ ⑤ ㉡, ㉢

09 그림 (가)는 25 °C에서 a M $NaOH(aq)$ 20 mL를, (나)는 (가)에 물을 첨가하여 100 mL로 만든 $NaOH(aq)$ 을 나타낸 것이다. (단, 수용액의 온도는 25 °C로 일정하고, 25 °C에서 물의 이온화 상수(K_w)는 1.0×10^{-14} 이다.)



- (1) a 를 구해 보자.
 (2) (가) 용액을 완전히 중화하는 데 필요한 0.1 M $H_2SO_4(aq)$ 의 부피(mL)를 구해 보자.

과학 역량 키우기

실험 설계하기

10 다음은 0.1 M 표준 용액을 만드는 실험이다.

[실험 과정]

- (가) 포도당 0.05 몰을 저울로 측정해 200 mL 비커에 넣은 다음 증류수를 넣고 유리 막대로 저어 녹인다.
- (나) 부피 플라스크에 (가)의 수용액을 넣고 증류수로 비커를 헹구어 부피 플라스크에 붓는다.
- (다) 부피 플라스크의 마개를 닫고 잘 흔들어 섞은 다음 표시선까지 증류수를 넣는다.
- (라) 부피 플라스크의 마개를 닫고 여러 번 흔들어 잘 섞은 뒤 표시선을 확인한다.

- (1) 과정 (가)를 수행하기 위해 필요한 자료를 쓰고, 측정해야 할 포도당의 질량을 써 보자.
 (2) 과정 (나)에서 필요한 부피 플라스크의 용량을 쓰고, 그 까닭을 설명해 보자.

포트폴리오 작성하기

11 다음은 제산제에 대한 설명이다.

위에서 분비되는 위산은 단백질 소화에도 필요한 펩신의 활성을 돕고 살균 작용을 한다. 그러나 과식을 하거나 자극적인 음식을 먹으면 위산이 평소보다 많이 분비되어 속이 쓰리고 신물이 올라오는데, 이때 먹는 약이 제산제이다.

- (1) 시중에서 판매되는 제산제의 주성분을 찾고, 성분들의 공통점을 찾아보자.
 (2) 위산과 제산제의 화학 반응식을 쓰고, 어떤 원리로서 속 쓰림을 가라앉게 하는지 써 보자.
 (3) 천연 제산제로 사용할 수 있는 물질을 조사해 포트폴리오를 작성해 보자.

과학 글쓰기

12 다음은 유적지에서 채취한 물의 pH에 대한 글이다.

전라남도 구례군 사성암은 바위 위에 지어진 작은 절로 백제 성왕(544 년) 때 세워진 것으로 알려져 있다. 사성암의 바위틈에서 맑은 물이 나온다는 문헌을 확인하기 위해 순천시 맑은물관리센터와 전라남도보건환경연구원에서 실시한 수질 검사가 화제가 되고 있다.
 사성암 바위틈에서 흘러나오는 물의 pH를 측정한 결과 pH 8.8 이상으로 측정되어 천연 알칼리수의 존재가 확인된 것이다. 이는 기적의 물로 불리는 프랑스 루르드(pH 7.9), 멕시코 트라코테(pH 8.2)의 샘물보다도 높은 수치이다.

- (1) 사성암 바위틈에서 흘러나오는 물의 수소 이온 농도와 수산화 이온 농도의 크기를 비교해 보자.
 (2) 사성암 바위틈에서 흘러나오는 물의 pH가 8.8 이상인 까닭에 대한 가설을 세우고, 자료를 조사하여 가설을 입증하는 근거를 정리해 글로 써 보자.



기후 위기와 이산화 탄소

검색·누리집
기후위기적응정보포털 누리집에서 기후 변화 영향과 적응 대책을 찾아보자.

기후 위기란 기후 변화가 극단적인 날씨뿐만 아니라 인류 문명에 회복할 수 없는 위험을 초래하여 온실 가스를 획기적으로 감축해야 하는 상태를 말한다.

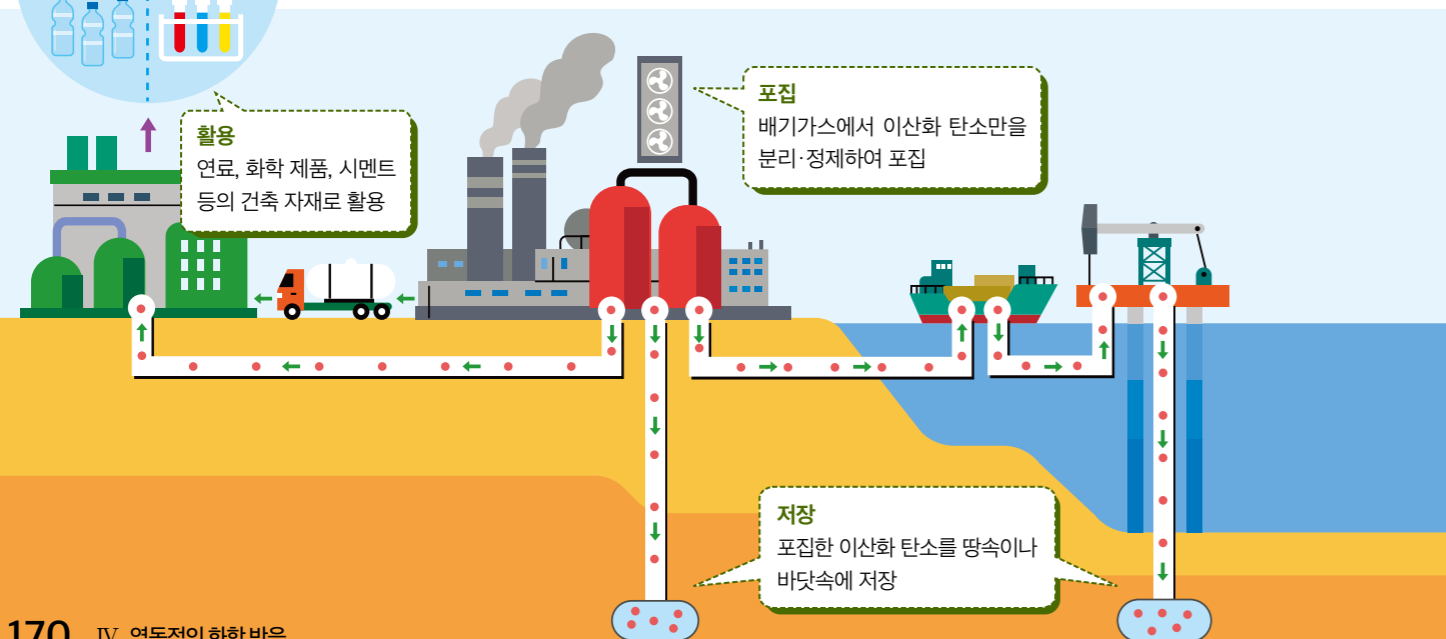
21 세기에 닥칠 전 지구적 기후 위기를 전망하면 다음과 같다.

ccaipath.kaccc.kei.re.kr

- ▶ 21 세기 말 지구의 평균 기온은 1986 년~2005 년에 비해 3.7 °C 오르고 해수면은 63 cm 상승할 것이다.
- ▶ 온난화된 기후로 인해 건조 지역과 습윤 지역의 계절 간 강수량 차가 증가하고, 우기와 건기 간의 온도 차도 더 커질 것이다.
- ▶ 전 세계 빙하 부피는 더욱더 감소하고, 빙권의 북극 바다 얼음 덮개가 지속적으로 축소되고 얇아질 것이다.
- ▶ 대기 중 이산화 탄소의 농도가 증가함에 따라 해양 산성화가 증가할 것이다.

(자료 출처: 기후위기적응정보포털)

이러한 기후 위기의 원인으로 온실 가스, 특히 이산화 탄소(CO₂)가 거론된다. 이에 따라 이산화 탄소를 줄이는 탄소 포집·활용·저장(CCUS) 기술이 주목받고 있다. 이산화 탄소 활용 기술 중 광물 탄산화 기술은 이산화 탄소를 염기성 용액과 중화하여 탄산염 광물로 저장하는 기술이다. 광물 탄산화는 이산화 탄소를 줄이는 기능뿐만 아니라 건축 자재, 시멘트 등을 얻을 수 있어 기술적 가치가 매우 크다.



1 기후 변화를 일으키는 이산화 탄소의 농도를 줄이는 방법 알아보기

1. 이산화 탄소 활용 기술 중 광물 탄산화 기술은 어떤 반응을 이용한 것인지 이 글에서 찾아 써 보자.
2. 기후 변화에 따라 앞으로 인류와 생태계에 어떤 변화가 예상되는지 조사해 보자.
3. 전 지구적 기후 위기 속에서 이산화 탄소의 농도를 줄이기 위해 실천할 수 있는 활동으로 표어를 만들어 보자.

과정 기능 길잡이

기후 위기에 적응하기 위해 우리나라에서는 어떤 대책을 마련하고 있는지 찾아본다.

2 이산화 탄소의 농도를 줄이는 방법 홍보하기

1. 모둠에서 만든 표어를 이용해 이산화 탄소의 농도를 줄이는 방법을 홍보해 보자.
2. 우리 모둠의 활동을 평가해 보자.

가치 태도 길잡이

다른 모둠의 발표를 경청한다.

내용	평가		
광물 탄산화 기술에서 이용한 반응을 설명했는가?	상	중	하
이산화 탄소의 농도를 줄이는 방법을 찾기 위해 필요한 자료를 조사했는가?	상	중	하
모둠원이 이산화 탄소의 농도를 줄이는 일의 중요성을 인식했는가?	상	중	하

포트폴리오

» 이 단원의 활동 결과를 정리해 보자.

• 148 쪽 생활 속 과학 이야기 • 162 쪽 화학과 나의 미래 • 170 쪽~171 쪽 프로젝트

- 1 이 단원의 활동 결과를 모아 IV. 역동적인 화학 반응 포트폴리오 자료로 정리해 보자.
- 2 **디지털** 공유 플랫폼을 활용해 포트폴리오를 친구들과 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 ³ = 0.001 m ³
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(104th ed.)』, 2023.)

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(104th ed.)』, 2023.)

부록



학습 자료실

- 단위와 기본 상수
- 실험 기구 사용 방법
- 주요 시약별 주의 사항
- 디지털 리터러시 도움 자료
- 스프레드시트 기본 기능
- 화합물 명명법
- 주기율표

정답 및 해설

찾아보기

자료 출처

URL 목록

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 용기 또는 영점 단추를 눌러 영점을 맞춘다.

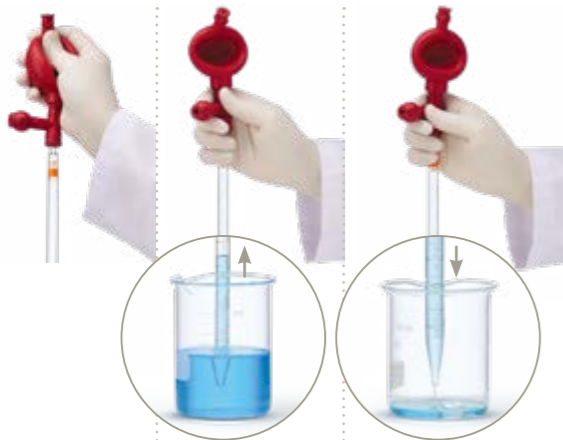
4 물질을 저울에 올려 나타나는 숫자를 읽는다.

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 적정에서 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.

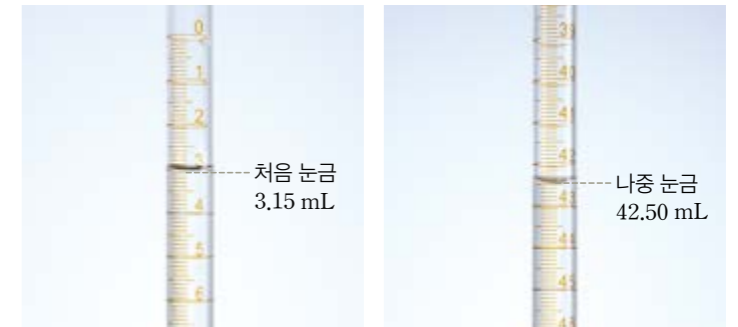
4 뷰렛 아래에 적정할 용액이 들어 있는 용기를 놓고, 뷰렛의 꼭지를 열어 용액을 조금씩 흘려 준다. 중화점을 찾으면 꼭지를 완전히 닫고 뷰렛의 눈금을 기록한다.

뷰렛 눈금 읽기



뷰렛의 눈금을 읽을 때는 액체의 표면에 눈높이를 맞춘다.

사용한 표준 용액 부피 계산하기



적정에 사용한 표준 용액의 부피는 (나중 눈금 - 처음 눈금)이다.
 나중 눈금: 42.50 mL, 처음 눈금: 3.15 mL
 사용한 표준 용액의 부피: 42.50 mL - 3.15 mL = 39.35 mL

스포이트 사용 방법



스포이트를 잡을 때는 엄지손가락과 집게손가락으로 고무 부분을 잡고, 나머지 손가락으로 감싸듯이 잡는다.

고무 부분을 누른 채 스포이트를 액체에 넣고, 고무 부분을 잡고, 나머지 손가락으로 천천히 놓아 액체를 빨아들인다.

가열 장치 사용 방법



가열 장치에 실험 기구를 올려놓고 온도 조절 장치를 돌려 전원을 켜는다. 사용한 직후에는 전원을 꺼도 잔열이 남아 있으므로 주의한다.

그림 문자 안내

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

1. 다이크로뮴산 칼륨(K₂Cr₂O₇)

- 관련 실험**
- 농도 변화에 따른 화학 평형 이동 실험하기

유해성·위험성 정보



- 피부나 눈에 닿으면 심한 손상을 입을 수 있다.
- 흡입 시 알레르기 반응, 천식, 호흡 곤란 등을 일으킬 수 있다.
- 장기간 반복 노출 시 암을 유발할 수 있다.

사용 시 주의 사항

- 실험복, 보안경, 실험용 고무장갑을 착용하여 피부, 눈, 옷 등에 묻지 않도록 주의한다.

폐수 처리 방법

- 무기계 폐수통에 안전하게 처리한다.

2. 수산화 나트륨(NaOH)

- 관련 실험**
- 농도 변화에 따른 화학 평형 이동 실험하기
 - 0.1 M 표준 용액 만들기
 - 식초 속 아세트산 함량 구하기

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 많은 열이 발생하므로 반드시 다량의 물에 용질을 넣고 천천히 저어 가며 녹인다.

폐수 처리 방법

- 묽은 산으로 중화한 후 무기계 폐수통에 안전하게 처리한다.

3. 아세트산(CH₃COOH)

관련 실험

- 식초 속 아세트산 함량 구하기

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 묽힐 때는 다량의 물에 조금씩 넣어 가며 묽힌다.
- 인화성 물질이므로 가열 장치와 가까이 두지 않는다.

폐수 처리 방법

- 탄산수소 나트륨으로 중화해 유기계 폐수통에 안전하게 처리한다.

4. 에탄올(C₂H₅OH)

관련 실험

- 다양한 물질의 물질량 탐색하기

유해성·위험성 정보



- 눈에 닿거나 증기에 노출되면 심한 자극을 유발할 수 있다.
- 증기를 흡입하면 졸음 또는 현기증이 일어날 수 있다.
- 장기간 반복 노출 시 암을 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.
- 인화성 물질이므로 가열 장치와 가까이 두지 않는다.

폐수 처리 방법

- 유기계 폐수통에 안전하게 처리한다.

5. 염산(HCl)

관련 실험

- 화학 반응의 양적 관계를 확인하는 실험을 계획하고 수행하기
- 농도 변화에 따른 화학 평형 이동 실험하기
- 강산 수용액을 희석할 때 pH 변화 측정하기

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 묽힐 때 다량의 열이 발생하므로 반드시 물에 염산을 넣어 묽힌다.

폐수 처리 방법

- 다량의 물에 넣어 묽히거나, 묽은 염산과 묽은 수산화 나트륨 용액을 서로 조금씩 섞어 중성으로 만든 후 무기계 폐수통에 안전하게 처리한다.

6. 염화 칼슘(CaCl₂)

관련 실험

- 온도 변화에 따른 화학 평형 이동 실험하기

유해성·위험성 정보



- 피부나 눈에 닿으면 자극을 유발할 수 있다.
- 흡입하면 호흡기에 자극을 유발할 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 화상을 입지 않도록 주의한다.

폐수 처리 방법

- 무기계 폐수통에 안전하게 처리한다.

7. 황산 구리(II) 오수화물(CuSO₄·5H₂O)

관련 실험

- 황산 구리(II)와 설탕의 변화 관찰하기

유해성·위험성 정보



- 피부나 눈에 닿으면 자극을 유발할 수 있다.
- 태아 및 생식 능력에 손상을 일으킬 수 있다.

사용 시 주의 사항

- 실험복, 보안경, 실험용 고무장갑을 착용하여 피부, 눈, 옷 등에 묻지 않도록 주의한다.

폐수 처리 방법

- 무기계 폐수통에 안전하게 처리한다.

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

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.

그래프 그리기

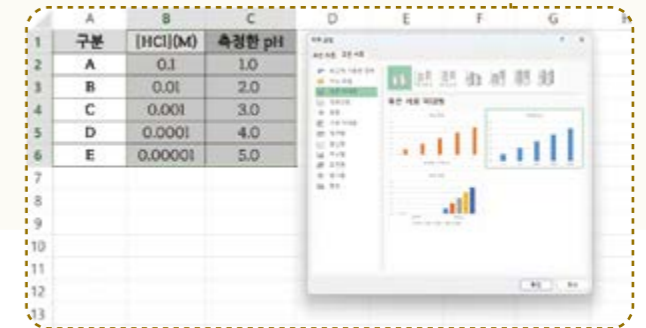
1. 측정값을 표로 정리하기

행(가로줄)
열(세로줄)

일반적으로 행에는 변화를 주는 현상이나 요소를 입력하고, 열에는 그에 따라 변하는 값을 입력한다.

2. 그래프로 나타내기

- 1 스프레드시트에 입력한 자료 중 그래프로 나타낼 부분을 선택한다.
- 2 삽입 → 차트 메뉴를 선택해 원하는 형태의 그래프로 나타낸다.



수식 계산하기

스프레드시트에 '=' 기호를 입력하고 뒤이어 수식을 입력하면 값을 계산할 수 있다.

수학 기호	+	-	×	÷	제곱	괄호
스프레드시트 입력	+	-	*	/	^2	()

	A	B	C	D
1	실험	평균 농도(mol/L)		[N ₂ O ₄]
2		[NO ₂]	[N ₂ O ₄]	[NO ₂] ²
3	1	0.047	0.467	=C3/B3*2
4	2	0.051	0.551	B3 셀의 값 * C3 셀의 값
5	3	0.046	0.448	
6	4	0.045	0.428	
7	5	0.053	0.595	

1 수식을 입력하고 엔터 키를 눌러 값을 계산한다.

	A	B	C	D
1	실험	평균 농도(mol/L)		[N ₂ O ₄]
2		[NO ₂]	[N ₂ O ₄]	[NO ₂] ²
3	1	0.047	0.467	211.4079
4	2	0.051	0.551	
5	3	0.046	0.448	
6	4	0.045	0.428	
7	5	0.053	0.595	

2 셀을 클릭하면 나타나는 사각형의 오른쪽 아래 점을 자료의 마지막 행까지 드래그한다.

	A	B	C	D
1	실험	평균 농도(mol/L)		[N ₂ O ₄]
2		[NO ₂]	[N ₂ O ₄]	[NO ₂] ²
3	1	0.047	0.467	211.4079
4	2	0.051	0.551	211.8416
5	3	0.046	0.448	211.7202
6	4	0.045	0.428	211.358
7	5	0.053	0.595	211.8192

3 각 행의 값이 자동으로 계산된다.

1. 기본 원칙

- (1) 외래어 표기는 원칙적으로 '외래어 표기법'을 따르되, 대한화학회에서 새로 정한 화학 술어와 명명법 통일의 원칙을 최대한 존중한다.
- (2) 이미 우리말로 정착된 원소의 이름은 그대로 사용하고, 그렇지 않은 경우에는 IUPAC의 명명법을 사용한다.

2. 무기 화합물 명명법

(1) 화학식의 체계

① 일반적으로 전기음성도가 작은 성분을 앞에 쓰고, 전기음성도가 비슷한 원소는 알파벳 순서로 적는다.

예) KCl, HBr, H₂SO₄, CaSO₄, NaHSO₄

② 일반적으로 비금속 원소로 구성된 화합물은 다음 순서로 원소 기호를 배열한다.

B, Si, C, Sb, As, P, N, H, Te, Se, S, At, I, Br, Cl, O, F

예) NH₃, H₂S, Cl₂O, BH₃, PH₃

③ 산소를 포함하는 산은 수소를 가장 앞에 쓰고, 그 뒤에 중심 원자와 중심 원자에 결합된 산소 원자를 표시한다.

예) H₂SO₄, H₂SO₃, H₂SO₂

④ 셋 이상의 서로 다른 원소들로 구성된 사슬 화합물은 중심 원자를 먼저 적고, 나머지 원소들은 실제 결합한 원자들을 알파벳 순서로 적는다. 산성 화합물은 수소 원자를 가장 앞에 적는다.

예) HOCN, SO₄²⁻, H₃PO₄

⑤ 화학식에서 동일한 원자나 원자단의 수는 원소 기호나 원자단을 표시하는 괄호의 오른쪽 아래에 나타낸다.

예) CaCl₂, Ca₃(PO₄)₂

⑥ 용매화된 화합물은 중간점(·) 다음에 첨가물의 수를 숫자로 표시해서 나타낸다.

예) Na₂CO₃·10H₂O, 8H₂S·46H₂O

⑦ 이온 전하는 Aⁿ⁺ 또는 Aⁿ⁻처럼 오른쪽 위에 표시한다. 원자단을 괄호로 묶어서 표시하는 경우 괄호 바깥에 전하를 나타내는 기호를 적는다.

예) Cu²⁺, NO⁺, [Al(H₂O)₆]³⁺

(2) 구성 원소의 종류와 비를 나타내는 이름

① 전기적 양성인 성분과 전기적 음성인 성분이 하나씩 있는 경우에는 음성 성분을 먼저 표시하고, 두 성분을 띄어 쓰기로 구별한다. 양이온은 원소의 이름을 그대로 쓰고,

음이온은 원소의 이름에 '~화'를 붙인다. 단, 염소와 산소의 경우에는 '소'를 생략한다.

HCl 염화 수소	NaCl 염화 나트륨
NiO 산화 니켈	NH ₄ Cl 염화 암모늄
NaOH 수산화 나트륨	Na ₂ SO ₄ 황산 나트륨

② 화합물에 포함된 원자나 원자단의 수는 수 접두사를 붙여서 표시한다. 원자나 원자단의 이름이 우리말일 경우 '일~', '이~', '삼~', '사~'와 같은 우리말 접두사를 사용하고, 그렇지 않은 경우 '모노~', '다이~', '트라이~', '테트라~' 등의 접두사를 사용한다. 혼동의 우려가 없으면 수 접두사를 생략할 수 있다.

NO ₂ 이산화 질소	N ₂ O ₄ 사산화 이질소
K ₂ Cr ₂ O ₇ 다이크로뮴산 칼륨	CCl ₄ 사염화 탄소

③ 여러 가지 산화 상태가 가능한 원소는 산화 상태를 나타내는 로마 숫자를 소괄호에 넣어 표시하기도 한다.

FeO 산화 철(II)	Fe ₂ O ₃ 산화 철(III)
--------------	--

④ 전기적 양성 성분이나 음성 성분이 하나 이상일 경우에는 IUPAC 이름의 알파벳 순서로 적는다. 수소가 음성 성분의 일부일 때는 음성 성분의 뒤에 붙여서 표시한다.

KMgF ₃ 플루오린화 마그네슘 칼륨
NaHCO ₃ 탄산수소 나트륨

⑤ 수화물은 '수화물'이라고 표시한다.

Na₂CO₃·10H₂O 탄산 나트륨 십수화물

⑥ 13족~16족 비금속 원소의 수소화물은 '~에인'을 붙여서 표시하지만, 관용명을 쓰는 경우도 많다.

BH ₃ 보레인	SiH ₄ 실레인
NH ₃ 암모니아	H ₂ O 물
PH ₃ 포스핀	NH ₂ NH ₂ 하이드라진

⑦ 다음의 경우에는 관용명을 허용한다.

H ₂ O ₂ 과산화 수소	CaC ₂ 칼슘 카바이드
KMnO ₄ 과망가니즈산 칼륨	

(3) 산소산(산소를 포함하는 산)과 그 유도체

① 다음과 같은 관용명을 사용한다.

HNO ₃ 질산	H ₂ SO ₄ 황산
H ₂ CO ₃ 탄산	H ₃ PO ₄ 인산
HIO ₃ 아이오딘산	H ₂ MnO ₄ 망가니즈산
H ₂ CrO ₄ 크로뮴산	H ₂ Cr ₂ O ₇ 다이크로뮴산

② 여러 가지 산화 상태가 가능한 원소의 산소산의 경우 기준이 되는 산소산보다 산화 상태가 높으면 '과~산'으로 표기하고, 기준이 되는 산소산보다 산화 상태가 낮으면 '아~산'과 '하이포~산'으로 표기한다.

HNO ₂ 아질산	HNO 하이포질산
HClO ₄ 과염소산	HClO ₂ 아염소산
HClO 하이포염소산	HMnO ₄ 과망가니즈산

③ 산소산의 산소가 다른 산소나 황으로 치환된 유도체는 '과산화~'와 '싸이오~'로 표기한다.

HNO ₄ 과산화질산	H ₂ S ₂ O ₃ 싸이오황산
------------------------	--

(4) 그 외 허용되는 관용명

CaO 생석회	Ca(OH) ₂ 소석회
SiO ₂ 실리카	NaHCO ₃ 제빵 소다

3. 유기 화합물 명명법

(1) 탄화수소의 이름

① 사슬형 포화 탄화수소의 이름에는 접미사 '~에인'을 사용한다.

CH ₄ 메테인	C ₂ H ₆ 에테인
C ₃ H ₈ 프로페인	C ₄ H ₁₀ 뷰테인

② 이중 결합을 가진 탄화수소의 이름은 같은 구조의 포화 탄화수소의 이름에서 어미 '~에인'을 '~엔'으로 바꾸어 준다. 관용명을 사용하기도 한다.

CH₂=CH₂ 에텐 또는 에틸렌

③ 삼중 결합을 가진 탄화수소의 이름은 같은 구조의 포화 탄화수소의 이름에서 어미 '~에인'을 '~아인'으로 바꾸어 준다. 관용명을 사용하기도 한다.

CH≡CH 에타인 또는 아세틸렌

④ 탄화수소에서 수소가 제거되어 만들어지는 작용기는 어미를 '~일'로 바꾸어 준다.

CH₃- 메틸 CH₃CH₂- 에틸

(2) 산소를 포함하는 유기 화합물의 이름

① 알코올: 모체에 접미사 '~올'을 붙인다. 모체의 이름에서 유도되는 작용기의 이름에 '알코올'을 붙이기도 한다.

CH₃OH 메탄올 또는 메틸 알코올
CH₃CH₂OH 에탄올 또는 에틸 알코올

② 알데하이드: 모체의 이름에 접미사 '~알'을 붙이거나, 관용명에 '~알데하이드'를 붙여서 나타낸다.

HCHO 메탄알 또는 폼알데하이드
CH₃CHO 에탄알 또는 아세트알데하이드

③ 카복실산: 탄화수소의 이름에 어미 '~산'을 붙여서 나타내거나, 관용명을 사용한다.

HCOOH 메탄산 또는 폼산
CH₃COOH 에탄산 또는 아세트산

(3) 할로젠 원소를 포함하는 유기 화합물의 이름

① 할로젠 치환기의 이름을 붙여서 표기한다.

CH₃F 플루오로메테인 CH₃Cl 클로로메테인

② 다음 관용명은 그대로 사용한다.

CH₂Cl₂ 염화 메틸렌 CCl₄ 사염화 탄소

(4) 고분자의 이름

① 단량체의 이름 앞에 접두사 '폴리~'를 붙여서 표기한다.

-(CH₂CH₂)_n 폴리에틸렌

② 천연 고분자, 합성 고분자 중 다음 관용명을 사용하는 경우도 있다.

녹말 단백질 핵산
나일론 아크릴

1주기	1족																18족																		
	1																	2																	
	H																	He																	
	수소																	헬륨																	
2주기	3	4																	5	6	7	8	9	10											
	Li	Be																	B	C	N	O	F	Ne											
	리튬	베릴륨																	붕소	탄소	질소	산소	플루오린	네온											
3주기	11	12																	13	14	15	16	17	18											
	Na	Mg																	Al	Si	P	S	Cl	Ar											
	나트륨	마그네슘																	알루미늄	규소	인	황	염소	아르곤											
4주기	19	20	21	22	23	24	25	26	27																	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co																	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
	칼륨	칼슘	스칸듐	타이타늄	바나듐	크로뮴	망가니즈	철	코발트																	니켈	구리	아연	갈륨	저마늄	비소	셀레늄	브로민	크립톤	
5주기	37	38	39	40	41	42	43	44	45																	46	47	48	49	50	51	52	53	54	
	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh																	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
	루비듐	스트론튬	이트륨	지르코늄	나이오븀	몰리브데넘	테크네튬	루테튬	로듐																	팔라듐	은	카드뮴	인듐	주석	안티모니	텔루륨	아이오딘	제논	
6주기	55	56	라타넘족		72	73	74	75	76	77																	78	79	80	81	82	83	84	85	86
	Cs	Ba	라타넘족		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir																	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
	세슘	바륨	라타넘족		하프늄	탄탈럼	텅스텐	레늄	오스뮴	이리듐																	백금	금	수은	탈륨	납	비스무트	폴로늄	아스타틴	라돈
7주기	87	88	악티늄족		104	105	106	107	108	109																	110	111	112	113	114	115	116	117	118
	Fr	Ra	악티늄족		Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt																	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og
	프랑슘	라듐	악티늄족		러더포듐	더브늄	시보그뮴	보륨	하슘	마이트너뮴																	다름슈타튬	린트게튬	코페르니슘	니호늄	플레로븀	모스코븀	리버모륨	테네신	오가네손
			57	58	59	60	61	62																	63	64	65	66	67	68	69	70	71		
			La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm																	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
			라타넘	세륨	프라세오디뮴	네오디뮴	프로메튬	사마륨																	유로퓸	가돌리늄	터븀	디스프로슘	홀름	어븀	툴륨	이터븀	루테튬		
			89	90	91	92	93	94																	95	96	97	98	99	100	101	102	103		
			Ac	Th	Pa	U	Np	Pu																	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr		
			악티늄	토륨	프로트악티늄	우라늄	넵투늄	플루토늄																	아메리슘	퀴륨	버클륨	캘리포늄	아인슈타이늄	페르뮴	멘델레븀	노벨륨	로렌슘		

원자 번호 — 20
 원소 기호 — Ca
 원소 이름 — 칼슘

금속 원소
 준금속 원소
 비금속 원소

(자료 출처: 대한화학회)

I 화학의 언어

1 생활 속 화학과 물질의 양

01 화학과 현대 과학·기술·사회

13 쪽 **자료 읽기**

예시답안 철을 제련할 수 없어서 튼튼한 건물을 짓기 어려울 것이다. 연료나 화학 전지를 이용할 수 없어서 자동차나 스마트폰이 존재하지 않을 것이다. 합성 의약품을 이용할 수 없어서 천연 약재만 이용할 것이다. 천연 섬유로 된 옷만 입을 수 있고, 세제나 특수 용매가 없어서 옷을 관리하기 어려울 것이다. 등

15 쪽 **확인하기**

- 1 암모니아
- 2 페니실린

17 쪽 **확인하기**

- 1 화학
- 2 이산화 탄소(CO₂)

소단원 마무리 | 17 쪽 |

◦ 창의력 키우기

예시답안 이산화 탄소를 칼슘, 마그네슘 등과 반응시켜 건축 자재를 만든다. 이산화 탄소와 메테인을 반응시켜 수소를 생산한다. 등

◦ 디지털 소양 키우기

도움말 미래 사회에 영향을 줄 수 있는 화합물이나 화학 반응의 사례를 찾아보고 이를 바탕으로 하여 미래 사회의 모습을 자유롭게 상상해 기사로 작성한다.

02 물과 물질의 양

19 쪽 **확인하기**

- 1 아보가드로수
- 2 1.204×10^{24} 개 | 이산화 탄소 분자 1 개에 산소 원자 2 개가 들어 있으므로 이산화 탄소 1 몰에는 산소 원자 2 몰이 들어 있다. 따라서 산소 원자 수는 1.204×10^{24} 개이다.

20 쪽 **물음**

- (1) 32 g/mol | O₂의 물질량은 $2 \times 16 \text{ g/mol} = 32 \text{ g/mol}$ 이다.

- (2) 16 g/mol | CH₄의 물질량은 $12 \text{ g/mol} + 4 \times 1 \text{ g/mol} = 16 \text{ g/mol}$ 이다.

- (3) 17 g/mol | NH₃의 물질량은 $14 \text{ g/mol} + 3 \times 1 \text{ g/mol} = 17 \text{ g/mol}$ 이다.

21 쪽 **연습 해보기**

| 풀이 따라가기 |

- 1 0.50
- 2 3.01×10^{23}

| 직접 해 보기 |

$$2.408 \times 10^{23} \text{ 개} \mid \text{H}_2\text{O의 양(mol)} = \frac{3.6 \text{ g}}{18 \text{ g/mol}} = 0.2 \text{ mol}$$

이므로 H₂O 0.2 몰에 들어 있는 H 원자의 양은 0.4 몰이다. 따라서 H 원자 수는 $0.4 \text{ mol} \times 6.02 \times 10^{23} \text{ 개/mol} = 2.408 \times 10^{23}$ 개이다.

21 쪽 **확인하기**

1 물질량

2 2 g | CH₄ 0.5 몰에 들어 있는 H 원자의 양은 2 몰이고, H의 물질량은 1 g/mol이므로 질량은 $2 \text{ mol} \times 1 \text{ g/mol} = 2 \text{ g}$ 이다.

22 쪽 **물음**

- (1) 1 몰 | $\frac{22.4 \text{ L}}{22.4 \text{ L/mol}} = 1 \text{ mol}$
- (2) 0.1 몰 | $\frac{2.24 \text{ L}}{22.4 \text{ L/mol}} = 0.1 \text{ mol}$
- (3) 0.25 몰 | $\frac{5.6 \text{ L}}{22.4 \text{ L/mol}} = 0.25 \text{ mol}$

23 쪽 **확인하기**

1 22.4

2 22 g | 0 °C, 1 기압에서 이산화 탄소 11.2 L는 0.5 몰이므로 질량은 $0.5 \text{ mol} \times 44 \text{ g/mol} = 22 \text{ g}$ 이다.

소단원 마무리 | 25 쪽 |

◦ 창의력 키우기

예시답안 실험실에서 물질을 반응시켜 새로운 물질을 생성할 때 필요한 반응물의 양(mol)을 계산하기 위해 몰 단위를 사용한다. 공장에서 암모니아 등의 물질을 생산할 때 투입해야 하는 원료의 양(mol)을 계산하기 위해 몰 단위를 사용한다. 의료 분야에서 수액을 환자에게 투

여할 때 일정한 부피의 수액 속에 들어 있는 약물의 양(mol)을 고려해서 투여한다. 등

◦ 디지털 소양 키우기

도움말 적절한 그림이나 글을 활용해 1 몰의 수인 6.02×10^{23} 이 잘 드러나도록 카드 뉴스를 만든다.

중단원 마무리 | 27 쪽~29 쪽 |

1 암모니아	2 철	3 페니실린	4 이산화 탄소
5 물	6 2	7 22.4	
01 ③	02 ⑤	03 해설 참조	04 ②
05 ③	06 ④	07 해설 참조	08 ⑤
09 ①	10 나, 다		

01 화학이 발전하면서 합성 섬유, 화학 전지, 합성 의약품 등을 우리 생활에서 이용할 수 있게 되었다.

02 인류 문명이 발전하면서 석유 등 화석 연료의 사용량이 늘어나 대기 중 이산화 탄소의 양이 증가했고, 지구 온난화로 인한 기후 위기가 발생했다. 이를 극복하기 위해 화학자들은 태양 에너지 등의 대체 에너지를 이용할 수 있도록 태양 전지 소재를 개발하고, 탄소 포집·활용·저장 기술 등 대기 중 이산화 탄소를 감소시키는 기술을 발전시키고 상용화하기 위해 노력한다.

03 **예시답안** 화석 연료 대신 태양 전지를 사용해 이산화 탄소의 발생량을 줄일 수 있도록 태양 전지의 효율을 높이는 소재를 개발한다. 공장이나 자동차 등에서 배출되는 이산화 탄소를 포집해 유용한 물질을 만드는 기술을 개발한다. 등

04 ④ 마그네슘 원자 3.01×10^{23} 개는 0.5 몰이다.
⑤ 이산화 탄소 분자 1.806×10^{23} 개는 0.3 몰이다.

05 ① 수소(H₂)의 물질량은 $2 \times 1 \text{ g/mol} = 2 \text{ g/mol}$ 이다.
② 물(H₂O)의 물질량은 $2 \times 1 \text{ g/mol} + 16 \text{ g/mol} = 18 \text{ g/mol}$ 이다.
③ 산소(O₂)의 물질량은 $2 \times 16 \text{ g/mol} = 32 \text{ g/mol}$ 이다.
④ 탄소(C)의 물질량은 12 g/mol 이다.
⑤ 메테인(CH₄)의 물질량은 $12 \text{ g/mol} + 4 \times 1 \text{ g/mol} = 16 \text{ g/mol}$ 이다.

06 암모니아 17 g은 1 몰이고, 암모니아 1 분자에 들어 있는 수소 원자 수는 3이므로 암모니아 1 몰 속에 들어 있는 수소 원자의 양은 3 몰이다.

07 **예시답안** 0.036 몰, 180 mg은 0.18 g이다. 1 일 투약 횟수는 3 회, 총 투약 일수는 3 일이므로 처방된 전체 아세틸 살리실산의 질량은 1.62 g이다. 따라서 아세틸 살리실산의 양은 $\frac{1.62 \text{ g}}{180 \text{ g/mol}} = 0.009 \text{ mol}$ 이고, 아세틸 살리실산 1 분자에 들어 있는 산소 원자 수는 4이므로 처방된 전체 아세틸 살리실산에 포함된 산소 원자의 양은 $4 \times 0.009 \text{ mol} = 0.036 \text{ mol}$ 이다.

08 ① 같은 온도와 압력에서 기체의 종류와 관계없이 기체 1 몰의 부피는 같다.

② 0 °C, 1 기압에서 산소(O₂) 기체 0.2 몰의 부피는 $0.2 \text{ mol} \times 22.4 \text{ L/mol} = 4.48 \text{ L}$ 이다.

③ 메테인(CH₄) 기체 11.2 L에 들어 있는 메테인의 양은 $\frac{11.2 \text{ L}}{22.4 \text{ L/mol}} = 0.5 \text{ mol}$ 이다.

④ 0 °C, 1 기압에서 헬륨(He) 기체 2.24 L와 암모니아(NH₃) 기체 2.24 L에 들어 있는 분자의 양은 0.1 몰로 같다.

⑤ 0 °C, 1 기압에서 이산화 탄소(CO₂) 기체 5.6 L에 들어 있는 원자의 양은 $3 \times 0.25 \text{ mol} = 0.75 \text{ mol}$ 이고, 암모니아(NH₃) 기체 5.6 L에 들어 있는 원자의 양은 $4 \times 0.25 \text{ mol} = 1 \text{ mol}$ 이다.

09 (가) 수소(H₂) 기체의 물질량은 2 g/mol이므로 수소 기체 4 g의 양은 2 몰이다.

(나) 0 °C, 1 기압에서 산소(O₂) 기체 11.2 L의 양은 0.5 몰이다.

(다) 메테인(CH₄) 분자 6.02×10^{23} 개는 1 몰이다.

① 0 °C, 1 기압에서 수소 기체 2 몰의 부피는 44.8 L이다.

② 수소 기체 2 몰의 분자 수는 1.204×10^{24} 개이다.

③ 0 °C, 1 기압에서 산소 기체 11.2 L에 들어 있는 산소 분자의 양은 0.5 몰이다.

④ 메테인 1 몰에 들어 있는 탄소 원자의 양은 1 몰이다.

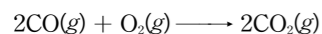
⑤ 분자의 양(mol)은 (가) > (다) > (나)이다.

10 같은 온도와 압력에서 기체의 종류와 관계없이 같은 부피에 들어 있는 기체 분자 수는 같다. 수소 분자와 산소 분자를 구성하는 원자 수는 같으므로 수소 기체와 산소 기체에서 원자 수와 양(mol)은 같지만, 물질량이 다르므로 기체의 질량은 다르다.

2 화학 반응식

01 화학 반응식의 의미

32 쪽 물음



33 쪽 확인하기

1 원자

2 2, CO₂

34 쪽 자료 읽기

몰비 N₂ : H₂ : NH₃ = 1 : 3 : 2

분자 수 비 N₂ : H₂ : NH₃ = 1 : 3 : 2

35 쪽 자료 읽기

부피비 N₂ : H₂ : NH₃ = 1 : 3 : 2

질량비 N₂ : H₂ : NH₃ = 14 : 3 : 17

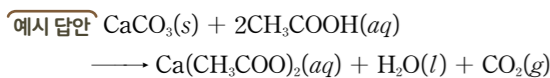
35 쪽 확인하기

1 몰비, 분자 수 비, 기체의 부피비

2 예시 답안 반응물은 메탄올과 산소, 생성물은 이산화 탄소와 물이다. 반응물과 생성물의 몰비는 CH₃OH : O₂ : CO₂ : H₂O = 2 : 3 : 2 : 4이다. 반응물 중 메탄올은 액체, 산소는 기체 상태이고, 생성물 중 이산화 탄소는 기체, 물은 액체 상태이다. 등

소단원 마무리

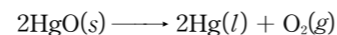
◦ 창의력 키우기



화학 반응식을 통해 탄산 칼슘이 아세트산에 녹는 것을 알 수 있다. 따라서 진주를 식초에 녹여 마시는 것이 가능하지만, 실제로는 식초에 진주가 다 녹는 데 시간이 걸리므로 클레오파트라라는 다 녹지 않은 진주를 삼켰을 것 같다.

◦ 디지털 소양 키우기

예시 답안 프랑스의 과학자 라부아지에는 산화 수은(II)(HgO)을 가열해 수은과 산소로 분해하는 실험으로 산소를 발견했다.



37 쪽 연습 해보기

| 풀이 따라가기 |

1 1 2 2 3 0.05 4 1.12

| 직접 해 보기 |

O₂(g), 0.7 몰 | 에탄올의 연소 반응식은 다음과 같다.

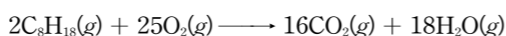
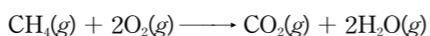


C₂H₅OH(l)과 O₂(g)는 1 : 3의 몰비로 반응하므로 C₂H₅OH(l) 0.1 몰과 O₂(g) 1 몰을 반응시키면 C₂H₅OH(l)은 모두 반응하고, O₂(g)는 0.3 몰이 반응하여 0.7 몰이 남는다.

37 쪽 확인하기

1 140 g | 화학 반응식은 N₂(g) + 3H₂(g) → 2NH₃(g)이므로 반응에서 N₂(g)와 NH₃(g)의 몰비는 1 : 2이다. 따라서 NH₃ 10 몰을 생성하는 데 필요한 N₂의 양은 5 몰이고, 질량은 5 mol × 28 g/mol = 140 g이다.

2 메테인 : 옥테인 = 1 : 8 | 연소 반응식은 다음과 같다.

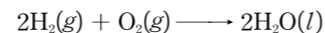


1 몰이 완전 연소할 때 발생하는 CO₂의 양은 CH₄이 1 몰, C₈H₁₈이 8 몰이므로 발생하는 CO₂의 부피비는 1 : 8이다.

소단원 마무리

◦ 창의력 키우기

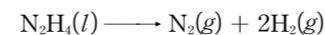
예시 답안 수소 연료 전지의 전체 반응은 다음과 같다.



반응하는 수소와 생성되는 물의 몰비가 1 : 1이고, 수소의 최대 충전 양 6 kg을 몰 단위로 환산하면 $\frac{6000 \text{ g}}{2 \text{ g/mol}} = 3000 \text{ mol}$ 이다. 따라서 생성되는 물의 양은 3000 몰이고, 질량은 3000 mol × 18 g/mol = 54000 g이다. 물의 밀도를 1 g/mL라고 가정하고 물탱크의 용량을 구하면 최소 54000 mL = 54 L 이상이 되어야 한다.

◦ 디지털 소양 키우기

예시 답안 화성에 표류하게 된 과학자의 이야기를 다룬 영화에서 주인공은 우주선 로켓의 연료인 하이드라진(N₂H₄)을 분해하여 질소와 수소를 얻는다.



이 반응에서 하이드라진, 질소, 수소의 몰비는 1 : 1 : 2이고, 질량비는 8 : 7 : 1이다.

중단원 마무리

| 41 쪽~43 쪽 |

1 반응물 2 2H₂ 3 1 4 3
5 2 6 부피비 7 물질량

01 ④ 02 ⑤ 03 ④

04 (1) $2\text{C}_2\text{H}_6(g) + 7\text{O}_2(g) \longrightarrow 4\text{CO}_2(g) + 6\text{H}_2\text{O}(l)$

(2) 해설 참조 05 ③ 06 ①

07 0.9 kg 08 (1) a=6, b=6, c=6

(2) 해설 참조 09 0.224 L

- 01 화학 반응 전후에 원자의 종류와 수가 같도록 화학식의 계수를 맞추어야 한다.
- 02 화학 반응 전후에 원자의 종류와 수는 같으므로 (가)에서 황(S)의 원자 수는 a=c, 산소(O)의 원자 수는 2b=3c이고, 이에 따라 화학 반응식의 계수를 맞추면 a=2, b=3, c=2이다. 따라서 a+b+c=7이다. (나)에서 SO₃과 H₂O이 반응하여 생성되는 물질은 H₂SO₄이다.
- 03 반응 전후 온도와 압력이 일정할 때 화학 반응식의 계수비는 기체 물질의 부피비와 같다.
- 04 (1) 에테인의 연소 반응식은 다음과 같다.
 $2\text{C}_2\text{H}_6(g) + 7\text{O}_2(g) \longrightarrow 4\text{CO}_2(g) + 6\text{H}_2\text{O}(l)$
(2) 예시 답안 4.48 L, C₂H₆의 물질량은 30 g/mol이므로 C₂H₆ 3 g은 0.1 몰이다. C₂H₆과 CO₂의 계수비는 1 : 2이므로 C₂H₆ 0.1 몰이 연소하면 CO₂ 0.2 몰이 생성된다. 따라서 발생하는 CO₂(g)의 부피는 0.2 mol × 22.4 L/mol = 4.48 L이다.
- 05 ㄱ. 반응 모형으로 알 수 있는 화학 반응식은 다음과 같다.
 $\text{A}_2(g) + 3\text{B}_2(g) \longrightarrow 2\text{AB}_3(g)$
따라서 생성물은 AB₃이다.

ㄴ. 반응 계수로부터 A₂와 B₂는 1 : 3의 몰비로 반응함을 알 수 있다.

ㄷ. 4 개의 분자가 반응하여 2 개의 분자를 생성하므로 온도와 압력이 일정할 때 반응 후 기체 부피는 감소한다.

06 ㄱ. 수소와 산소의 계수비가 2 : 1이므로 생성되는 수소와 산소의 몰비는 2 : 1이다.

ㄴ. 온도와 압력이 일정할 때 계수비는 기체의 부피비와 같으므로 액체인 H₂O(l) 1 L가 분해될 때 생성되는 H₂(g)의 부피는 1 L가 아니다.

ㄷ. H₂O 18 g의 양은 1 몰이고 H₂O과 O₂의 계수비는 2 : 1이므로 생성되는 O₂의 양은 0.5 몰이다. 따라서 질량은 16 g이다.

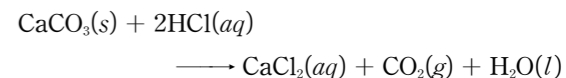
07 (나)에서 CO와 Fe의 계수비는 3 : 2이고, (가)에서 C와 CO의 계수비는 1 : 1이므로 Fe 1 몰을 얻는 데 필요한 C의 양은 1.5 몰이다. Fe 2.8 kg은 50 몰이므로 2.8 kg의 Fe을 얻는 데 필요한 C의 최소 양은 75 몰이다. 이를 질량으로 나타내면 75 mol × 12 g/mol = 900 g = 0.9 kg이다.

08 (1) 반응 전후 원자 수가 같도록 화학 반응식을 완성하면 C₆H₁₂O₆ + 6O₂ → 6CO₂ + 6H₂O이다.

(2) 예시 답안 x=0.75, y=0.45, 이산화 탄소 0.6 L는 $\frac{1}{40}$ 몰이다. 포도당과 이산화 탄소의 몰비는 1 : 6이므로

로 반응한 포도당의 질량은 $\frac{1}{240} \text{ mol} \times 180 \text{ g/mol} = 0.75 \text{ g}$ 이다. 따라서 x=0.75이다. 이산화 탄소와 물의 몰비는 1 : 1이므로 생성된 물의 질량은 $\frac{1}{40} \text{ mol} \times 18 \text{ g/mol} = 0.45 \text{ g}$ 이다. 따라서 y=0.45이다.

09 화학 반응식은 다음과 같다.



탄산 칼슘 1 g은 0.01 몰이다. 반응에서 몰비는 탄산 칼슘 : 이산화 탄소 = 1 : 1이므로 탄산 칼슘 0.01 몰과 충분한 양의 염산이 반응하여 이산화 탄소 0.01 몰이 생성된다. 0 °C, 1 기압에서 기체 1 몰의 부피는 22.4 L이므로 발생한 이산화 탄소의 부피는 0.224 L이다.

대단원 마무리

44 쪽~47 쪽

- ① 철 ② 6.02×10^{23} ③ 1 ④ 22.4
 ⑤ 물비 ⑥ 계수비

01 ㄱ, ㄴ 02 ③ 03 ④ 04 해설 참조

05 해설 참조 06 ② 07 ④

08 ㉠ 40 g/mol ㉡ 0.25 몰 09 ⑤

10 (1) $2\text{NaN}_3(s) \longrightarrow 2\text{Na}(s) + 3\text{N}_2(g)$ (2) 해설 참조

과학역량 키워드

11 해설 참조 12 (1) 해설 참조 (2) 해설 참조

13 (1) 해설 참조 (2) 해설 참조

01 ㄱ. 화학의 발전으로 땀의 배출이 원활한 섬유, 체온을 유지하는 섬유 등 다양한 기능을 갖춘 합성 섬유가 개발되어 이용된다.

ㄴ. 화학의 발전은 의약품, 백신의 발달로 질병을 치료하고 예방하는 데 도움을 주었다.

ㄷ. 화학은 에너지 효율이 높은 태양 전지 소재를 개발해 화석 연료의 사용량을 줄이는 데 기여하고 있다.

02 ① 수소(H_2) 2 g에 들어 있는 수소 분자 수는 1 몰이다.

② 흑연(C) 12 g에 들어 있는 탄소 원자 수는 1 몰이다.

③ 물(H_2O) 36 g은 2 몰이므로 이에 들어 있는 수소 원자 수는 4 몰이다.

④ 포도당($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) 18 g은 0.1 몰이므로 이에 들어 있는 산소 원자 수는 0.6 몰이다.

⑤ 0 °C, 1 기압에서 메테인(CH_4) 기체 22.4 L에 들어 있는 메테인 분자 수는 1 몰이다.

03 ㄱ. 같은 온도와 압력에서 기체의 부피는 (가) > (나)이므로 기체의 양(mol)도 (가) > (나)이다.

ㄴ. (가)에 들어 있는 A_2 분자 수가 $3n$ 몰일 때 (나)에 들어 있는 BA_2 의 분자 수는 n 몰이고, BA_2 1 분자를 구성하는 원자 수가 3이므로 (나)에 들어 있는 총 원자 수는 $3n$ 몰이다.

ㄷ. A_2 가 1 L일 때 질량은 1 g이므로 A_2 와 BA_2 의 양(mol)이 같다면 질량비는 $\text{A}_2 : \text{BA}_2 = 1 : 2$ 가 된다. 따라서 A_2 와 B의 물질량비는 1 : 1이고, A와 B의 물질량비는 1 : 2이다.

04 예시답안 X_2Y , X_2 와 Y_2 의 물질량비는 7 : 8이므로 X

원자의 물질량을 $3.5n$, Y 원자의 물질량을 $4n$ 이라고 하면 (다) 분자의 물질량은 $11n$ 이 되어야 한다. 이 조건을 만족하는 분자는 X 원자 2 개, Y 원자 1개로 구성된 분자이므로 (다)의 화학식은 X_2Y 이다.

05 예시답안 A의 물질량이 64 g/mol이므로 A의 양(mol)은 $\frac{9.6 \text{ g}}{64 \text{ g/mol}} = 0.15 \text{ mol}$ 이다.

B의 밀도를 이용해 질량을 구하면 다음과 같다.

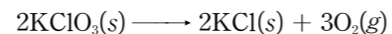
$$0.09 \text{ L} \times \frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ L}} \times 1 \text{ g/mL} = 90 \text{ g}$$

B의 물질량은 18 g/mol이므로 B의 양(mol)은 $\frac{90 \text{ g}}{18 \text{ g/mol}} = 5 \text{ mol}$ 이다.

주어진 조건에서 기체 1 몰의 부피가 24 L이므로 C의

양(mol)은 $\frac{6 \text{ L}}{24 \text{ L/mol}} = 0.25 \text{ mol}$ 이다.

06 염소산 칼륨의 열분해 반응식은 다음과 같다.

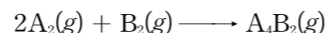


염소산 칼륨과 산소의 계수비는 2 : 3이다. 주어진 조건에서 산소 기체 8 L의 양은 $\frac{1}{3}$ 몰이므로 반응한 염소

산 칼륨의 양을 x 몰이라 하면 $x : \frac{1}{3} = 2 : 3$, $x = \frac{2}{9}$ 이다. 따라서 반응한 염소산 칼륨의 질량은

$$\frac{2}{9} \text{ mol} \times 123 \text{ g/mol} = \frac{82}{3} \text{ g}$$

07 A_2 2 몰과 B_2 1 몰이 반응하여 X 1 몰이 생성되었으므로 화학 반응식은 다음과 같다.

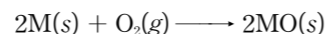


ㄱ. X의 화학식은 A_4B_2 이다.

ㄴ. 주어진 조건에서 기체 1 몰의 부피가 V 라면 (가)의 부피는 $5V$, (나)의 부피는 $3V$ 이다.

ㄷ. A_2 와 B_2 는 2 : 1의 몰비로 반응하므로 (나)에 A_2 4 몰을 더 넣고 반응시키면 A_2 와 B_2 는 모두 반응하고 2 몰의 X가 더 생성되므로 반응 후 전체 기체는 3 몰이 된다. 따라서 반응 후 기체의 부피는 (나)와 같다.

08 M과 O_2 가 반응하여 MO를 생성하는 반응의 화학 반응식은 다음과 같다.

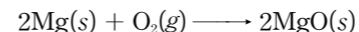
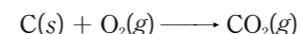


㉠ M과 O_2 의 반응 몰비는 2 : 1이다. M 5 g은 O_2 2 g, 즉 $\frac{1}{16}$ 몰과 반응하므로 M 5 g은 $\frac{1}{8}$ 몰이다. 따라서

M의 물질량은 40 g/mol이다.

㉡ M과 MO의 질량비는 5 : 7이므로 MO 28 g이 생성되었을 때 M은 20 g, 산소는 8 g이 반응했다. 따라서 반응한 산소 기체의 양은 0.25 몰이다.

09 주어진 화학 반응식을 완성하면 다음과 같다.

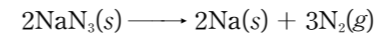


ㄱ. $a + c = b + d = 3$ 이다.

ㄴ. C 1 몰이 연소할 때 O_2 1 몰이 반응하고, Mg 1 몰이 연소할 때 O_2 0.5 몰이 반응하므로 1 몰이 연소할 때 필요한 O_2 의 질량은 C가 Mg의 2 배이다.

ㄷ. 같은 양의 O_2 와 반응하는 C와 Mg의 몰비는 1 : 2이고, 질량비는 $12 : 48 = 1 : 4$ 이다.

10 (1) 아자이드화 나트륨은 나트륨 고체와 질소 기체로 분해되므로 화학 반응식은 다음과 같다.



(2) 예시답안 130 g, 질소 기체 1 몰의 부피가 25 L이므로 에어백의 부피가 75 L로 부풀려면 3 몰의 질소 기체가 발생해야 한다. 화학 반응식의 계수비에 따라 3 몰의 질소 기체가 발생하려면 2 몰의 아자이드화 나트륨이 필요하므로 이를 질량으로 환산하면 $2 \text{ mol} \times 65 \text{ g/mol} = 130 \text{ g}$ 이다.

11 예시답안 태평양에 담겨 있는 물 6억 7천만 km^3 를 mL로 환산하면 6.7×10^{23} mL이다. 아보가드로수는 6.02×10^{23} 이므로 태평양의 물을 몰로 나타내면 약 1 몰 mL이다. 또 전체 바닷물의 양은 1.37×10^{24} mL이므로 지구의 바닷물의 양은 약 2 몰 mL이다.

끝이 보이지 않는 태평양의 물을 1 몰 mL, 지구 표면의 70 %를 차지하는 바닷물의 양을 2 몰 mL라고 나타낼 수 있으므로 몰이 얼마나 큰 수인지를 어렵할 수 있을 것 같다.

12 (1) 예시답안 탄산 칼슘과 이산화 탄소는 1 : 1의 몰비로 반응할 것이다.

(2) 예시답안 (가) 탄산 칼슘 1 g, 2 g, 3 g을 측정하여

준비한다.

(나) 묽은 염산 100 mL를 삼각 플라스크에 넣고 질량을 측정한다.

(다) 묽은 염산에 탄산 칼슘 1 g을 넣고 반응을 완결시킨 후 질량을 측정한다.

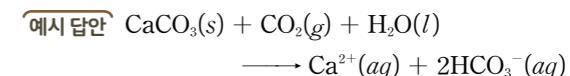


(라) 탄산 칼슘 2 g, 3 g으로 과정 (나)~(다)를 반복한다.

(마) (반응 전 묽은 염산이 들어 있는 삼각 플라스크의 질량 + 탄산 칼슘의 질량) - (반응 후 삼각 플라스크의 질량)으로 발생한 이산화 탄소의 질량을 구한다.

(바) 반응한 탄산 칼슘과 발생한 이산화 탄소의 몰비를 구하고 가설을 확인한다.

13 (1) (가)를 통해 물속에 녹아 있는 이산화 탄소가 석회암과 같은 탄산 칼슘 성분을 녹인다는 것을 알 수 있다. 따라서 바다에 녹는 이산화 탄소의 양이 많아지면 (가)의 반응으로 녹는 탄산 칼슘의 양도 증가하여 깊은 바닷속에서 탄산 칼슘이 주성분인 조개껍데기를 보기 어렵다.



(2) 이산화 탄소는 식물성 플랑크톤의 광합성에 필요한 물질이기도 하지만, 화석 연료의 연소 등으로 대기 중 이산화 탄소의 농도가 과도하게 증가하면 바닷물에 녹아 들어가는 이산화 탄소의 양도 증가하여 바닷물이 산성화되므로 해양 생물의 생존에 영향을 미친다.

예시답안 대기 중 이산화 탄소의 농도가 증가하면 물에 녹는 이산화 탄소의 양이 많아지고, (나)에 제시된 $\text{H}_2\text{O}(l) + \text{CO}_2(g) \longrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3(aq)$ 반응으로 생성되는 탄산의 양도 많아지므로 해양이 점점 산성화된다. 해양이 산성화되면 조개, 갑각류 등의 껍데기를 이루는 주성분인 탄산 칼슘이 바닷물에 녹는 반응이 잘 일어난다. 이로 인해 껍데기가 얇아진 조개와 갑각류는 바닷속에서 살아남을 확률이 낮아지고, 이러한 생물의 개체수가 감소하면서 해양 생태계 균형이 깨질 수 있다.

II 물질의 구조와 성질

1 화학 결합과 결합의 극성

01 화학 결합의 전기적 성질

57 쪽 **확인하기**

1 (+)극에서 산소(O₂), (-)극에서 수소(H₂)가 발생하고, 부피비는 산소 : 수소 = 1 : 2이다.

2 전자

소단원 마무리 57 쪽

◦ 창의력 키우기

예시 답안 순수한 물은 전류가 잘 흐르지 않지만, 소금물은 전류가 잘 흐르므로 소금물이 물보다 전기 전도도가 크다. 손의 땀에는 소금 등의 전해질이 포함되어 있으므로 젖은 손은 전류가 잘 흐른다. 따라서 젖은 손으로 전기 플러그나 콘센트를 만지면 감전의 위험이 있다.

◦ 디지털 소양 키우기

도움말 물질의 전기 분해, 전기 분해를 이용한 금속의 제련 등을 검색해 영상이나 자료를 공유한다.

02 전기음성도와 결합의 극성

59 쪽 **확인하기**

1 전기음성도

2 증가한다

61 쪽 **확인하기**

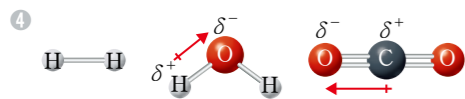
1 극성(무극성), 무극성(극성)

2 무극성 공유 결합은 N≡N, 극성 공유 결합은 N-H, C-F이다.

62 쪽 **연습 해보기**

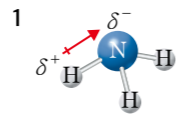
| 풀이 따라가기 |

① = ② > ③ <



④ 무극성 ⑤ 극성 ⑥ 극성 ⑦ 극성

63 쪽 **확인하기**



2 커지고, 커진다

소단원 마무리 63 쪽

◦ 창의력 키우기

예시 답안 주기율표에는 전기음성도를 반올림해 표시했으므로 C와 S의 전기음성도가 같게 표시되어 있으나 실제로는 S의 전기음성도가 C보다 조금 크다. 따라서 C와 S의 결합은 쌍극자 모멘트가 0보다 큰 극성 공유 결합이다.

◦ 디지털 소양 키우기



중단원 마무리 65 쪽~67 쪽

- ① 1 : 2 ② 전기적 ③ 공유 전자쌍
④ 증가한다 ⑤ 무극성 ⑥ 극성 ⑦ 증가한다

- 01 해설 참조 02 ⑤ 03 ② 04 ③
05 ⑤ 06 ④ 07 ② 08 해설 참조 09 ⑤

01 **예시 답안** A는 수소(H₂), B는 산소(O₂)이다. 물의 분해 반응식은 2H₂O(l) → 2H₂(g) + O₂(g)으로 물을 분해할 때 생성되는 H₂와 O₂의 부피비는 화학 반응식의 계수비와 같은 2 : 1이다. 실험에서 생성된 기체의 부피비가 A : B = 2 : 1이므로 A는 H₂, B는 O₂이다.

02 H₂O(l)이나 NaCl(l)의 전기 분해 실험으로 화학 결합이 형성될 때 전자가 관여하며, 화학 결합은 전기적 성질이 있다는 것을 알 수 있다.

03 전기음성도는 대체로 같은 주기에서 원자 번호가 커질수록, 같은 족에서 원자 번호가 작아질수록 증가하는 경향이 있다.

04 전기음성도는 대체로 같은 주기에서 원자 번호가 커질수록, 같은 족에서 원자 번호가 작아질수록 증가하는 경향이 있다. 따라서 전기음성도 크기를 비교하면 Y > X > W > Z이다.

05 ㄱ. (가)는 공유 전자쌍의 치우침이 없는 무극성 공유 결합으로 이루어져 있다.

ㄴ, ㄷ. (나)에서 공유 전자쌍은 Z 쪽으로 치우치므로 Z는 부분적인 음전하(δ⁻)를 띠며, 전기음성도는 Z > Y이다.

06 ㄱ. 전기음성도는 같은 주기에서 원자 번호가 커질수록 증가하므로 원자 번호는 X < Y이다.

ㄷ. 전기음성도는 Y < Z이므로 Y-Z 결합에서 Y는 부분적인 양전하(δ⁺)를 띤다.

07 결합의 쌍극자 모멘트는 결합하는 원자의 전기음성도 차이가 클수록 대체로 증가한다. 극성 공유 결합의 쌍극자 모멘트는 0이 아니다.

08 **예시 답안** B, D, A, C이다. 결합의 쌍극자 모멘트는 전기음성도가 작은 원자에서 큰 원자를 향하도록 표시하므로 주어진 자료를 살펴보면 전기음성도는 B > A, D > A > C, B > D임을 알 수 있다.

09 ㄱ. (가)에서 C≡C은 무극성 공유 결합이고, C-H은 극성 공유 결합이다.

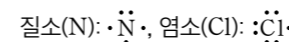
ㄴ. 전기음성도는 O > C이므로 결합의 쌍극자 모멘트는 C에서 O를 향하도록 표시한다.

ㄷ. (가)와 (나)에서 H는 C와 공유 결합을 하고 있으며, 전기음성도는 C > H이므로 H는 모두 부분적인 양전하(δ⁺)를 띤다.

2 분자의 구조와 성질

01 루이스 전자점식

70 쪽 **자료 읽기**



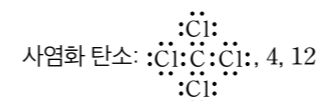
70 쪽 **자료 읽기**

2, 4

71 쪽 **확인하기**

1 원자가 전자

2 염화 수소: H: \ddot{Cl} :, 1, 3



소단원 마무리 71 쪽

◦ 창의력 키우기

예시 답안 $\begin{array}{c} \cdot\ddot{Cl}\cdot \\ \cdot\ddot{Cl}\cdot \\ \cdot\ddot{B}\cdot \\ \cdot\ddot{Cl}\cdot \end{array}$, BCl₃는 중심 원자인 B가 옥텟 규칙을 만족하지 못하므로, 옥텟 규칙을 만족하려고 비공유 전자쌍이 있는 NH₃와 반응한다.

◦ 디지털 소양 키우기

예시 답안

CHCl ₃	NF ₃	OCl ₂
$\begin{array}{c} \cdot\ddot{Cl}\cdot \\ \cdot\ddot{C}\cdot \\ \cdot\ddot{Cl}\cdot \\ \cdot\ddot{Cl}\cdot \end{array}$	$\begin{array}{c} \cdot\ddot{F}\cdot \\ \cdot\ddot{N}\cdot \\ \cdot\ddot{F}\cdot \\ \cdot\ddot{F}\cdot \end{array}$	$\begin{array}{c} \cdot\ddot{Cl}\cdot \\ \cdot\ddot{O}\cdot \\ \cdot\ddot{Cl}\cdot \end{array}$

02 전자쌍 반발 이론과 분자 구조

73 쪽 **자료 읽기**

180, 120, 109.5

73 쪽 **확인하기**

1 정전기적 반발력

2 선형

77 쪽 **확인하기**

1 정사면체

2 사염화 탄소(CCl₄) | 사염화 탄소(CCl₄)와 삼염화 질소(NCl₃)는 중심 원자의 전자쌍 수가 4로 같으므로 중심 원자에 비공유 전자쌍이 없는 사염화 탄소가 중심 원자에 비공유 전자쌍이 1 개 있는 삼염화 질소보다 결합각이 크다.

소단원 마무리 77 쪽

◦ 창의력 키우기

예시 답안 선형: 연필, 평면 삼각형: 삼각형의 교통 표지판, 정사면체: 테트라포드, 삼각뿔: 삼각뿔 형태의 등갓, 굽은 형: 집게

◦ 디지털 소양 키우기

예시 답안 신약 개발을 위해 단백질, 약물, 세포막 같은 복잡한 분자를 모델링해 약물의 작용을 예측한다.

03 분자 구조에 따른 물질의 성질

79 쪽 **확인하기**

1 × | 분자 내에 극성 공유 결합이 있더라도 분자 구조에 따라 쌍극자 모멘트가 모두 상쇄되면 무극성 분자이다.

2 (1) 극성 분자 (2) 극성 분자 (3) 무극성 분자

80 쪽 **자료 읽기**

(가)에서 극성 분자는 분자 배열 방향이 반대로 바뀌지만, (나)의 무극성 분자는 무질서한 배열에 변화가 없다.

81 쪽 **확인하기**

1 극성 분자

2 물줄기에 양전하 또는 음전하를 띤 대전체를 가까이 하면 대전체가 띠는 전하의 종류와 관계없이 물줄기가 대전체로 끌린다.

83 쪽 **확인하기**

1 에탄올(C₂H₅OH), 염화 수소(HCl)

2 극성

소단원 마무리 83 쪽

◦ 창의력 키우기

예시 답안 캡사이신은 극성이 매우 약해 무극성에 가까우므로 물보다 우유에 더 잘 녹기 때문이다.

◦ 디지털 소양 키우기

예시 답안 물과 기름이 서로 섞이지 않는 것을 이용하는 마블링 기법으로 그림을 그린다.

중단원 마무리 85 쪽~87 쪽

- ① 원자가 전자 ② 공유 전자쌍 ③ 전자쌍 반발 이론
- ④ 평면 삼각형 ⑤ 4 ⑥ 1 ⑦ 끌린다 ⑧ 무극성

- 01 ⑤ 02 ④ 03 ③ 04 ③
- 05 해설 참조 06 ① 07 ③ 08 ⑤
- 09 ③ 10 해설 참조

- 01 ① X는 원자가 전자 수가 6인 산소(O)이다.
- ② Y는 질소(N)로 원자가 전자 수가 5이다.
- ③ Z는 탄소(C)로 14족 원소이다.
- ④ (나)에는 1 개의 비공유 전자쌍이 있다.

02 각 분자의 비공유 전자쌍 수는 ① 2, ② 4, ③ 9, ④ 12, ⑤ 4이다.

03 ㄱ. A의 원자가 전자는 5 개로 A₂는 삼중 결합을 해 옥텟 규칙을 만족한다.

ㄴ. B는 1 개의 단일 결합으로 B₂를 만들며, 각 원자에 3 개의 비공유 전자쌍이 존재하므로 B₂ 분자에는 6 개의 비공유 전자쌍이 존재한다.

ㄷ. AB₃의 A 원자와 B 원자 사이에는 1 개씩의 공유 결합이 존재하며, A에 1 개의 비공유 전자쌍이 있다.

04 물(H₂O)은 중심 원자인 산소 주위에 2 개의 비공유 전자쌍이 존재하므로 굽은 형이 된다. 물을 제외한 분자의 구조는 선형이다.

05 주어진 분자는 중심 원자에 3 개의 공유 전자쌍만 있으므로 분자 구조는 평면 삼각형이며, 결합각은 120°이다.

예시 답안 (가) 결합각은 120°로 109.5°보다 크다.

06 (가)의 분자 구조는 삼각뿔로, (가)의 중심 원자에 1 개의 비공유 전자쌍이 있다. (나)의 분자 구조는 평면 삼각형으로, (나)의 중심 원자에 비공유 전자쌍이 없으며 3 개의 공유 전자쌍이 있다. (다)의 분자 구조는 굽은 형으로, (다)의 중심 원자에 2 개의 비공유 전자쌍이 있다.

④ (가)와 (다)는 모두 중심 원자에 4 개의 전자쌍이 있다. 그런데 비공유 전자쌍이 (가)에는 1 개, (다)에는 2 개 존재하므로 (가)의 결합각이 (다)보다 크다.

07 (가)~(다)의 분자 구조는 각각 선형, 평면 삼각형, 굽은 형이다. (나)는 분자의 쌍극자 모멘트가 0인 무극성 분자이다. (가)와 (다)는 극성 분자이다.

08 CH₂O에 존재하는 C-H, C=O의 결합은 전기음성도가 다른 원자 사이의 결합으로 극성 공유 결합이며, 이 분자는 분자의 쌍극자 모멘트가 0이 아닌 극성 분자이다. 이 분자의 구조는 평면 삼각형으로, 분자를 이루는 모든 원자가 같은 평면에 위치한다.

09 기체 분자 A를 평행판 사이의 전기장에 넣었을 때 분자가 일정한 방향으로 배열하므로 A가 극성 분자임을 알 수 있다. 극성 분자의 쌍극자 모멘트는 0이 아니다.

10 (가)에서 ‘예’로 답한 분자는 극성 분자, ‘아니요’로 답

한 분자는 무극성 분자이므로 이와 관련된 분류 기준이 (가)로 적절하다.

예시 답안 분자의 쌍극자 모멘트가 0이 아닌가? 극성 분자인가?

대단원 마무리

88 쪽~91 쪽

- ① 전자 ② 전기음성도 ③ 극성
- ④ 극성 ⑤ 원자가 전자
- ⑥ 전자쌍 반발 이론 ⑦ 무극성 ⑧ 극성

- 01 ⑤ 02 해설 참조 03 ⑤ 04 ④
- 05 ② 06 ⑤ 07 해설 참조 08 ③

09 해설 참조

과학 역량 키우기

- 10 (1) 해설 참조 (2) 해설 참조 11 (1) 해설 참조 (2) 해설 참조
- 12 (1) 해설 참조 (2) 해설 참조

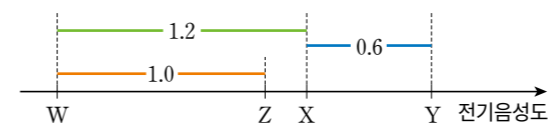
01 ㄱ. 순수한 물은 전류가 잘 흐르지 않으므로 물을 전기 분해 할 때는 증류수에 전해질을 소량 녹여 사용한다.
ㄴ, ㄷ. 이 실험으로 화학 결합에 전자가 관여하며, 화학 결합은 전기적 성질이 있다는 것을 알 수 있다.

02 **예시 답안** 같은 주기에서는 원자 번호가 커질수록 전기 음성도가 증가하는 경향이 있다. 예를 들어 2주기에서 C, N, O, F을 비교하면 원자 번호가 커질수록 전기음성도가 증가한다. 또 같은 족에서는 원자 번호가 커질수록 전기음성도가 감소하는 경향이 있다. 예를 들어 1족에서 H, Li, Na을 비교하면 원자 번호가 커질수록 전기 음성도가 감소한다.

03 ㄱ. HF, HCl, F₂ 분자에서 공유 전자쌍이 치우치지 않는 분자는 F₂ 한 가지이다.

ㄴ. 전기음성도는 F>H, Cl>H이므로 HF, HCl에서 H는 모두 부분적인 양전하(δ⁺)를 띤다.

04 결합을 이루는 원자 중 부분적인 음전하를 띤 원자의 전기음성도가 크므로, 전기음성도는 X>W, Y>X, Z>W이고 전기음성도 차이는 다음과 같다.



ㄱ. X와 Z 원자의 전기음성도 차이는 0.2이다.

ㄷ. W-X-Y 분자에서 전기음성도가 가장 작은 W 원자는 부분적인 양전하(δ⁺)를 띤다.

05 비공유 전자쌍이 있는 H₂O과 F₂이 (가)와 (나) 중 하나인데, F₂에는 무극성 공유 결합이 있고, H₂O에는 무극성 공유 결합이 없으므로 (가)는 F₂이고 (나)는 H₂O이다. H₂, CH₄ 중 H₂에는 무극성 공유 결합이 있고, CH₄에는 무극성 공유 결합이 없으므로 (다)는 H₂, (라)는 CH₄이다.

ㄴ. (다)의 H₂는 분자 내에 무극성 공유 결합만 존재하므로 결합의 쌍극자 모멘트가 0이다.

ㄷ. (라)의 CH₄은 중심 원자인 C에 4 개의 공유 전자쌍이 있으므로 분자 구조가 정사면체이다.

06 CO₂, CH₂O, CCl₄ 분자는 산소(O) 또는 염소(Cl) 원자에 비공유 전자쌍을 가지므로 x=3이다. CO₂와 CH₂O에는 산소(O)와 탄소(C) 원자 사이의 이중 결합이 존재하므로 y=2이다. 각 분자의 구조는 CO₂가 선형, CH₂O가 평면 삼각형, CCl₄가 정사면체로 평면 구조인 분자는 CO₂, CH₂O 두 가지이므로 z=2이다. 따라서 x+y+z=7이다.

07 두 분자는 모두 중심 원자가 2 개의 단일 결합을 하고 있지만, H₂O의 중심 원자인 산소(O)에는 2 개의 비공유 전자쌍이 있으므로 H₂O의 결합각이 BeCl₂의 결합각보다 작다.

예시 답안 염화 베릴륨: :Cl:Be:Cl:, 물: H:O:H, BeCl₂의 중심 원자인 Be에는 2 개의 공유 전자쌍만 있지만 H₂O의 중심 원자인 O에는 2 개의 공유 전자쌍과 2 개의 비공유 전자쌍이 있으므로 결합각은 H₂O이 BeCl₂보다 작다.

08 주어진 루이스 전자점식으로 X는 17족 원소, Y는 16족 원소임을 알 수 있다. 분자 (가)~(다)에 관한 자료로 알 수 있는 (가), (나), (다)의 분자식은 각각 HX, H₂Y, YX₂이다.

ㄱ. (가)의 X 원자에 3 개의 비공유 전자쌍이 존재하고, (나)의 Y 원자에 2 개의 비공유 전자쌍이 존재한다.

ㄴ. (나)와 (다)는 모두 중심 원자인 Y에 2 개의 비공유 전자쌍이 있다. 따라서 두 개의 결합이 일직선상에 놓이지 않으며, 분자 구조는 굽은 형이다.

ㄷ. 같은 주기에서 전기음성도의 경향에 따라 X의 전기음성도가 Y보다 더 크기 때문에 Y는 부분적인 양전하를 띤다.

09 기체 분자 AB₂는 전기장 속에서 일정한 방향으로 배열되므로, 극성 분자임을 알 수 있다. A를 중심으로 2개의 A-B 결합이 직선상에 놓여 대칭으로 존재하면 분자 구조는 선형이 되는데, 이때는 결합의 쌍극자 모멘트가 상쇄되어 분자의 쌍극자 모멘트가 0이 되므로 AB₂ 분자가 무극성이 된다. 따라서 분자는 A-B 결합의 쌍극자 모멘트가 상쇄되지 않는 굽은 형이다.

예시답안 기체 분자 AB₂는 굽은 형이다. 전기장 속에서 AB₂ 분자들이 일정한 방향으로 배열하고 있으므로 이 분자는 극성이다. 따라서 분자 구조는 결합의 쌍극자 모멘트가 상쇄되지 않는 굽은 형이다.

10 (1) **예시답안** 정육면체의 꼭짓점에는 최대 8개의 전자를 배치할 수 있다. 루이스는 가장 바깥 전자 껍질에 최대 8개의 전자를 배치할 수 있다고 생각했으므로 정육면체로 원소를 나타냈다.

(2) **예시답안** 과학자 폴링은 원자 사이에 전자를 공유하는 것에 관심을 가지고, 화학 결합과 분자의 성질을 연구했다. 이 과정에서 전기음성도 개념을 도입하기도 했다.

11 (1) **예시답안** 기름의 주성분은 무극성 물질이므로 극성 물질인 물과 잘 섞이지 않는다.

(2) **예시답안** 물은 흡수하지 않고 기름을 잘 흡수하는 흡착포를 사용해 기름을 제거한다. 기름을 분산해 주는 물질을 사용해 기름이 해수와 섞이도록 하여 바다의 자정 작용을 촉진한다.

12 (1) **예시답안** 인지질 분자는 극성 머리 부분이 물과 접촉하는 바깥쪽으로, 무극성 꼬리 부분은 반대 방향으로 늘어선 다른 인지질의 꼬리 부분과 마주 보도록 배열된다.

(2) **예시답안** 칼륨 이온(K⁺), 염화 이온(Cl⁻), 포도당(C₆H₁₂O₆)이 인지질 이중층을 직접 통과할 수 없다. 포도당과 같이 비교적 큰 극성 분자나 K⁺, Cl⁻과 같은 이온은 무극성 물질과 잘 섞이지 않으므로 무극성 환경인 인지질 이중층을 통과할 수 없다.

III 화학 평형

1 화학 평형

01 가역 반응과 화학 평형

99 쪽 **확인하기**

1 정반응, 역반응

2 가역, 비가역

101 쪽 **확인하기**

1 화학 평형

2 ○

소단원 마무리

101 쪽

◦ 창의력 키우기

예시답안 토양의 성질에 따라 수국꽃의 색이 변하는 것은 가역 반응의 예이다. 녹색 채소를 물에 오래 끓이면 녹색으로 변하는 것은 비가역 반응의 예이다.

◦ 디지털 소양 키우기

예시답안 색이 변하는 화학 반응의 경우 화학 평형에 도달하면 색이 일정하게 유지되므로 얻은 색과 측정하고자 하는 색을 비교하는 색도계를 이용하여 화학 평형에 도달했는지 알 수 있다. 색이 변하지 않는 반응의 경우 자외선을 이용하는 분광 광도계를 활용하면 농도의 변화를 감지하여 화학 평형에 도달했는지 알 수 있다.

도움말 반응이 진행될 때 색의 변화 외에 압력이나 부피의 변화로도 평형에 도달했는지 알 수 있다.

02 화학 평형과 평형 상수

105 쪽 **연습 해보기**

| 풀이 따라가기 |

- ① 1 : 1 : 2 ② 0.8 ③ 0.8 ④ 0.2 ⑤ 0.2
⑥ 0.2 ⑦ 0.2 ⑧ 1.6 ⑨ 64

| 직접 해 보기 |

0.01 | 계수비는 HF : H₂ : F₂ = 2 : 1 : 1이므로 H₂(g)와 F₂(g)이 각각 0.1 몰씩 생성되려면 HF(g)는 0.2 몰 반응해야 한다. 따라서 HF(g)의 평형 농도는 1 mol/L이고 평형 상수(K)는

$$\frac{[H_2][F_2]}{[HF]^2} = \frac{0.1 \times 0.1}{1^2} = 0.01 \text{이다.}$$

105 쪽 **확인하기**

1 평형 상수

$$2 K = \frac{[H^+][NO_3^-]}{[HNO_3]}$$

소단원 마무리

105 쪽

◦ 창의력 키우기

예시답안 일정한 온도에서 가역 반응은 화학 평형에 도달할 때까지 진행하고 그때의 평형 상수는 일정한 값을 유지하므로 모든 반응물이 정반응으로 진행하여 생성물이 되는 것은 아니며 역반응이 진행되어 반응물이 존재한다. 따라서 NO₂(g)의 농도가 100 배 증가하였을 때 N₂O₄(g)의 농도는 50 배로 증가하지는 않는다.

◦ 디지털 소양 키우기

예시답안 우리 몸에서 다양한 효소와 기질 간의 반응은 평형 상수에 의해 조절된다. 또 약을 먹었을 때 약은 수용체와의 결합 반응의 평형 상수에 따라 우리 몸에 퍼지는 정도가 조절된다.

03 화학 반응의 진행 방향 예측

107 쪽 **확인하기**

1 반응 지수

2 역반응

소단원 마무리

107 쪽

◦ 창의력 키우기

예시답안 용기의 부피를 2 배로 늘리면 반응물과 생성물의 평형 농도가 각각 $\frac{1}{2}$ 배가 되어 반응 지수(Q)는 $2 \times \frac{[PCl_5]}{[PCl_3][Cl_2]}$ 가 된다. 즉, 반응 지수(Q)는 평형 상수(K)의 2 배가 되므로 역반응이 우세하게 진행된다.

◦ 디지털 소양 키우기

예시답안 환경 분야에서는 반응 지수를 활용해 각종 대기 오염 물질이 대기에 미치는 영향, CO₂가 해양에 미치는 영향 등을 예측한다. 화력 발전 등의 에너지 생산에서는 반응 지수를 활용해 적절한 연소 조건을 유지하여 에너지 생산 효율을 최적화한다.

중단원 마무리

109 쪽~111 쪽

- ① 정반응(역반응) ② 역반응(정반응) ③ 화학 평형
④ 반응물 ⑤ 생성물 ⑥ $\frac{[C][D]^d}{[A]^a[B]^b}$ ⑦ 크면
⑧ 작으면 ⑨ 반응 지수 ⑩ 정반응 ⑪ 역반응

01 ③ 02 ④ 03 ②

04 (1) 2A(g) ⇌ 2B(g) + C(g) (2) $K = \frac{[B]^2[C]}{[A]^2}$

05 ② 06 (1) 2 (2) 해설 참조 07 해설 참조 08 ⑤

01 가역 반응은 정반응과 역반응이 모두 일어나는 반응으로 ⇌를 사용해 하나의 화학 반응식으로 나타낸다. 메테인의 연소는 비가역 반응이다.

02 밀폐된 용기에 NO₂(g)를 넣으면 2NO₂(g) ⇌ N₂O₄(g) 반응이 일어난다.

① 무색의 N₂O₄(g)가 증가하므로 용기 내부의 색이 점점 짙어진다.

② 평형에 도달할 때까지 NO₂(g)는 감소하고 N₂O₄(g)는 증가한다.

③ 평형에 도달할 때 2개의 NO₂(g)가 1개의 N₂O₄(g)가 되므로 용기 내부의 전체 기체 분자 수는 감소한다.

④ N₂O₄(g)가 NO₂(g)로 되는 역반응도 일어난다.

⑤ 시간이 충분히 흐른 후 화학 평형에 도달하므로 용기 내부의 색은 일정하게 유지된다.

03 ① 평형 상수(K)는 온도가 일정할 때 일정한 값을 갖는다.

② 평형 상수(K)는 온도의 영향만을 받는다.

③ 순수한 고체나 액체의 농도는 표현할 수 없으므로 평형 상수를 계산할 때 순수한 고체나 액체의 농도는 생략한다.

④ 평형 상수(K)가 1보다 매우 크면 화학 평형 상태에서 생성물이 반응물보다 많고, 1보다 매우 작으면 화학 평형 상태에서 반응물이 생성물보다 많다.

⑤ 평형 상수(K)는 화학 반응이 평형에 도달했을 때 반응물의 농도 곱에 대한 생성물의 농도 곱의 비로 나타낸다.

04 (1) A(g)는 반응물, B(g)와 C(g)는 생성물이고 반응했

을 때 농도의 감소와 증가 정도로 계수비를 구하면 A : B : C = 2 : 2 : 1이다. 따라서 이 반응의 화학 반응식은 $2A(g) \rightleftharpoons 2B(g) + C(g)$ 이다.

(2) 평형 상수(K)는 화학 평형 상태에서 반응물의 농도 곱에 대한 생성물의 농도 곱의 비이므로 이 반응의 평형 상수식은 $K = \frac{[B]^2[C]}{[A]^2}$ 이다.

05 A : B : C의 계수비는 1 : 2 : 3이므로 C가 0.6 몰 증가할 때 A와 B는 각각 0.2 몰, 0.4 몰 감소하므로 $x = 2 - 0.2 = 1.8, y = 2 - 0.4 = 1.6$ 이다.

ㄱ. C의 양이 증가하는 것으로 보아 (가)는 정반응이 우세하게 진행하여 (나)에 도달하므로 (가)의 반응 지수(Q)는 평형 상수(K)보다 작다.

ㄴ. $x + y = 1.8 + 1.6 = 3.4$ 이다.

ㄷ. (나)는 화학 평형에 도달한 상태이므로 평형 상수

(K)는 $\frac{2.6^3}{1.8 \times 1.6^2} > 1$ 이다.

06 이 반응이 평형에 도달할 때까지 반응 전후 물질의 양적 관계는 다음과 같다.

	$C(s) + CO_2(g) \rightleftharpoons 2CO(g)$		
초기 양(mol)	1	1	0
반응 양(mol)	-0.5	-0.5	+1
평형 양(mol)	0.5	0.5	1

(1) 반응에 고체가 포함된 경우 평형 상수식에서 고체의 농도는 생략한다. 따라서 1 L의 밀폐된 용기에서 일어나는 이 반응의 평형 상수(K)는 $\frac{[CO]^2}{[CO_2]} = \frac{1^2}{0.5} = 2$ 이다.

(2) 같은 온도에서 1 L의 밀폐된 용기에 C(s) 0.5 몰, $CO_2(g)$ 1 몰, $CO(g)$ 1 몰을 넣으면 반응 지수(Q)는 $\frac{[CO]^2}{[CO_2]} = \frac{1^2}{1} = 1, K > Q$ 이므로 정반응이 우세하게 진행된다.

예시 답안 정반응, 반응 지수(Q)가 평형 상수(K)보다 작으므로 정반응이 우세하게 진행된다.

07 (가)의 평형 상수(K)는 $\frac{[C]^2}{[A][B]} = \frac{2^2}{1 \times 1} = 4$ 이고,

(나)의 평형 상수(K)는 $\frac{[D]^2}{[B][C]^2} = \frac{2^2}{2 \times 1^2} = 2$ 이다. 이

때 용기의 부피를 2 L로 늘리면 각 물질의 농도가 $\frac{1}{2}$

로 감소한다. 따라서 (가)의 반응 지수(Q)는 $\frac{[C]^2}{[A][B]}$

$= \frac{1^2}{\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}} = 4$ 가 되어 평형 상수(K)와 같으므로 그

대로 평형 상태를 유지하고, (나)의 반응 지수(Q)는 $\frac{[D]^2}{[B][C]^2} = \frac{1^2}{1 \times (\frac{1}{2})^2} = 4$ 가 되어 평형 상수(K)보다

크므로 역반응이 우세하게 진행된다.

예시 답안 (나), 용기의 부피를 2 L로 늘리면 (나)의 반응 지수(Q)가 평형 상수(K)보다 커지기 때문에 역반응이 우세하게 진행된다.

08 칸막이를 제거한 후 평형에 도달할 때까지 반응 전후 물질의 양적 관계는 다음과 같다.

	$A(g) + B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$		
초기 양(mol)	1	x	0
반응 양(mol)	-0.2	-0.2	+0.4
평형 양(mol)	0.8	x-0.2	0.4

ㄱ. (나)에서 전체 기체의 양이 3 몰이므로 $0.8 + x - 0.2 + 0.4 = 3, x = 2$ 이다.

ㄴ. (나)에서 강철 용기는 1 L 이므로 $[A] = 0.8 \text{ mol/L}, [C] = 0.4 \text{ mol/L}$ 이고 $[A] = 2[C]$ 이다.

ㄷ. 이 반응의 평형 상수(K)는 $\frac{[C]^2}{[A][B]} = \frac{0.4^2}{0.8 \times 1.8} = \frac{1}{9}$ 이다.

2 화학 평형 이동

01 농도·압력 변화와 화학 평형 이동

116 쪽 **확인하기**

1 화학 평형 이동

2 정반응

3 역반응

118 쪽 **물음**

(1) 정반응

(2) 역반응

119 쪽 **연습 해보기**

| 풀이 따라가기 |

1 H⁺ 2 4 3 역반응

4 N₂O₄ 5 2 6 $\frac{1}{2}$ 7 정반응

119 쪽 **확인하기**

1 감소하는

2 (1) 이동하지 않는다. (2) 정반응

소단원 마무리

119 쪽

◦ 창의력 키우기

예시 답안 주사기에 He(g)을 넣으면 주사기의 부피가 늘어나므로 NO₂(g)와 N₂O₄(g)의 농도가 감소한다. $Q = \frac{[N_2O_4]}{[NO_2]^2}$ 에 감소한 농도 값을 넣으면 분자보다 분모 값이 더 작아지므로 $Q > K$ 이다. 따라서 $Q = K$ 가 될 때까지 역반응이 우세하게 진행된다.

도움말 주사기에 반응에 참여하지 않는 기체를 넣어 줄 때는 주사기의 부피에 영향을 주는지 고려해야 한다.

◦ 디지털 소양 키우기

예시 답안 지하철 한 칸에 갑자기 사람이 더 들어오면 사람들이 상대적으로 여유가 있는 옆 칸으로 이동하여 시간이 흐른 후 골고루 퍼진다.

02 온도 변화와 화학 평형 이동

122 쪽 **물음**

(1) 온도를 높이는 정반응이 우세하게 진행하여 평형 상수가 커진다.

(2) 온도를 높이는 역반응이 우세하게 진행하여 평형 상수가 작아진다.

123 쪽 **물음**

뜨거워진 자동차 엔진 내부는 온도가 높으므로 에너지를 흡수하는 N₂(g)와 O₂(g)가 반응해 NO(g)가 생성되는 반응이 우세하게 진행되므로 NO(g)가 많이 발생한다.

123 쪽 **확인하기**

1 정반응

2 평형 상수(K)는 작아진다.

소단원 마무리

123 쪽

◦ 창의력 키우기

예시 답안 열 변색 물감은 온도에 따라 색이 변하는 물감으로 이를 이용한 불임딱지를 음료에 부착하여 그 음료를 마시기 적절한 온도를 알려 주거나, 아기용 식기에 활용해 적당한 온도의 분유나 이유식을 섭취하도록 한다.

◦ 디지털 소양 키우기

도움말 온도 변화가 화학 평형 이동에 미치는 예와 관련된 영상 중 2NO₂(g) \rightleftharpoons N₂O₄(g) 실험 영상을 찾아 공유할 수 있다.

03 일상생활 속의 화학 평형 이동

125 쪽 **확인하기**

1 ○

2 높여야

소단원 마무리

125 쪽

◦ 창의력 키우기

예시 답안 수국의 분홍색 색소는 Al³⁺과 결합하면 파란색으로 변한다. 이때 토양이 산성일수록 수국이 뿌리로 흡수하는 Al³⁺ 농도가 증가하고 수국의 색은 파란색으로 변한다. 따라서 파란색 수국꽃이 핀 토양을 염기성으로 변화시켜 토양 속 Al³⁺ 농도를 감소시키면 꽃의 색이 분홍색으로 변할 수 있다.

◦ 디지털 소양 키우기

예시 답안 암모니아를 분해하여 수소를 생산할 때 분리막을 이용해 수소를 생산과 동시에 정제한다. 이를 통해 생성물의 농도를 낮춰 정반응이 우세하게 진행되게 하여 수득률을 높인다.

중단원 마무리

127 쪽~129 쪽

1 정반응 2 역반응 3 증가 4 감소
5 방출 6 흡수

01 ③ 02 ㄷ, ㄹ 03 학생 A, 학생 B

04 해설 참조 05 ⑤ 06 (1) 해설 참조

(2) 해설 참조 07 ③

01 ㄱ. 온도가 높을수록 적갈색의 $\text{NO}_2(g)$ 가 많아지므로 25 °C에서보다 100 °C에서 색이 진하다.

ㄴ. 온도가 높을수록 $\text{NO}_2(g)$ 가 많아지므로 정반응은 에너지를 흡수하는 반응이다.

ㄷ. 온도가 높을수록 정반응이 우세하게 진행되므로 평형 상수(K)는 100 °C일 때가 25 °C일 때보다 크다.

02 정반응은 에너지를 흡수하고, 전체 기체 분자 수가 증가하는 반응이므로 정반응이 우세하게 진행되는 조건은 반응물 증가, 생성물 감소, 압력 감소, 온도 증가이다.

03 $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}(aq)$ 과 $[\text{CoCl}_4]^{2-}(aq)$ 이 평형에 도달한 수용액에 진한 $\text{HCl}(aq)$ 을 넣을수록 수용액 속의 $\text{Cl}^-(aq)$ 이 증가해 정반응이 우세하게 진행되므로 $[\text{CoCl}_4]^{2-}(aq)$ 이 증가하고 용액의 색은 파란색이 된다.

04 정반응이 에너지를 흡수하는 반응이므로 얼음물에 넣으면 역반응이 우세하게 진행되어 용액의 색이 붉은색으로 변한다. 반대로 뜨거운 물에 넣으면 정반응이 우세하게 진행되어 용액의 색이 파란색으로 변한다.

예시답안 ㉠ 붉은색 ㉡ 파란색, 수용액의 온도가 낮아지면 에너지를 방출하는 반응이 우세하게 진행되고, 온도가 높아지면 에너지를 흡수하는 반응이 우세하게 진행되기 때문이다.

05 밀폐된 용기에 $\text{A}(g)$ 와 $\text{B}(g)$ 를 넣었을 때 반응 지수(Q)는 $\frac{[\text{B}]}{[\text{A}]^2} = \frac{10}{1^2} = 10$ 으로 평형 상수(K)보다 크므로 반응은 역반응 쪽으로 진행한다. 화학 평형에 도달했을 때 $\text{A}(g)$ 의 양을 $(1+2n)$ 몰, $\text{B}(g)$ 의 양을 $(10-n)$ 몰이라고 하면 평형 상수(K)는 $\frac{[\text{B}]}{[\text{A}]^2} = \frac{10-n}{(1+2n)^2} = 1$ 이므로 $n=1$ 이다. 따라서 $\text{B}(g)$ 의 양은 9 몰이다.

06 (1) 정반응이 흡열 반응이므로 용기의 온도를 높이면 생성물인 $\text{B}(g)$ 의 분자 수가 증가한다.

예시답안 정반응이 에너지를 흡수하는 반응이므로 용기의 온도를 높이면 $\text{B}(g)$ 의 분자 수는 증가한다.

(2) $\text{He}(g)$ 을 2 몰 첨가하면 전체 기체의 압력은 증가하지만, 기체의 부피가 변하지 않으므로 $\text{A}(g)$ 와 $\text{B}(g)$ 의 농도는 변하지 않는다. 따라서 화학 평형 이동이 일어나지 않아 $\text{A}(g)$ 의 분자 수는 변화가 없다.

예시답안 $\text{He}(g)$ 을 첨가해도 부피가 변하지 않으므로 화학 평형 이동이 일어나지 않아 $\text{A}(g)$ 의 분자 수는 변화가 없다.

07 압력을 변화시켜도 화학 평형이 이동하지 않으므로 이 반응은 전체 기체의 분자 수가 변하지 않는 반응이고 온도가 낮아질수록 수득률이 증가하므로 정반응은 에너지를 방출하는 발열 반응이다.

대단원 마무리

130 쪽~133 쪽

- 1 가역 반응 2 화학 평형 3 화학 평형 4 반응 지수
5 정반응 6 역반응 7 증가 8 감소
9 흡수 10 방출

- 01 ㉢ 02 (1) $[\text{A}]=[\text{B}]$ (2) 10000 03 36 04 ㉣
05 $[\text{B}]=0.01 \text{ mol/L}$, $[\text{C}]=0.02 \text{ mol/L}$ 06 ㉡
07 해설 참조 08 ㉠ 09 ㉣ 10 해설 참조

과학 역량 키우기

- 11 해설 참조 12 해설 참조
13 (1) 해설 참조 (2) 해설 참조

01 ㄱ. A가 3 몰 감소할 때 B는 2 몰 증가하므로 화학 반응식은 $3\text{A}(g) \rightleftharpoons 2\text{B}(g)$ 이고 $a-b=3-2=1$ 이다.
ㄴ. 평형에 도달하기 전까지 정반응이 우세하게 진행되므로 $Q < K$ 이다.

ㄷ. 밀폐된 1L 용기에서 일어나는 반응이므로 평형에 도달했을 때 $[\text{A}]=1 \text{ mol/L}$, $[\text{B}]=2 \text{ mol/L}$ 이고 이 반응의 평형 상수(K)는 $\frac{[\text{B}]^2}{[\text{A}]^3} = \frac{2^2}{1^3} = 4$ 이다.

02 이 반응의 계수비는 $\text{A} : \text{B} : \text{C} = 1 : 3 : 2$ 이고, 밀폐된 1 L 용기에서 일어나는 반응이므로 반응 전후 물질의 양적 관계는 다음과 같다.

	A	B	C
초기 양(mol)	0.04	0.08	0
반응 양(mol)	-0.02	-0.06	+0.04
평형 양(mol)	0.02	0.02	0.04

(1) 평형에 도달했을 때 $[\text{A}]$ 와 $[\text{B}]$ 는 0.02 mol/L로 같다.

(2) 이 반응의 평형 상수(K)는 $\frac{[\text{C}]^2}{[\text{A}][\text{B}]^3} = \frac{0.04^2}{0.02 \times 0.02^3} = 10000$ 이다.

03 A가 0.1 몰 감소할 때 B는 $0.1 \times b$ 몰 감소하고 $x=0.2-0.1 \times b$ 인데 x 는 0이 아니므로 $b=1$ 이다. 이때 $2b=c$ 이므로 c 는 2이다. 따라서 이 반응의 화학 반응식과 평형에 도달할 때까지 반응 전후 물질의 양적 관계는 다음과 같다.

	$\text{A}(g)$	$\text{B}(g)$	$2\text{C}(g)$
초기 양(mol)	0.2	0.2	0.4
반응 양(mol)	-0.1	-0.1	+0.2
평형 양(mol)	0.1	0.1	0.6

밀폐된 1 L 용기에서 일어나는 반응이므로 이 반응의 평형 상수(K)는 $\frac{[\text{C}]^2}{[\text{A}][\text{B}]} = \frac{0.6^2}{0.1 \times 0.1} = 36$ 이다.

04 A와 B의 양이(mol)가 각각 0.3 몰, 0.1 몰 감소할 때 C의 농도는 0.2 몰 증가하므로 이 반응의 화학 반응식은 $3\text{A}(g) + \text{B}(g) \rightleftharpoons 2\text{C}(g)$ 이다.

ㄱ. 밀폐된 1 L 용기에서 일어나는 반응이므로 평형에 도달했을 때 $[\text{A}]=0.1 \text{ mol/L}$, $[\text{B}]=0.2 \text{ mol/L}$, $[\text{C}]=0.2 \text{ mol/L}$ 이고 평형 상수(K)는

$$\frac{[\text{C}]^2}{[\text{A}]^3[\text{B}]} = \frac{0.2^2}{0.1^3 \times 0.2} = 200 \text{이다.}$$

ㄴ. t_1 에서 평형 상태에 비해 반응물의 농도가 더 크고 생성물의 농도가 더 작으므로 $Q < K$ 이다.

ㄷ. t_2 에서 A와 C의 양(mol)이 같으므로 감소한 B의 양을 m 이라고 하면, $0.4-3m=2m$, $m=0.08$ 이므로 B의 양은 $0.3-m=0.3-0.08=0.22(\text{mol})$ 이다.

05 화학 반응에 고체가 포함되었을 때 고체의 농도는 생략하므로 이 반응의 평형 상수식은 $K = [\text{B}][\text{C}]^2$ 이다. 평형 상태에서 $\text{A}(s)$ 를 물에 녹여 B가 x 몰 생성되면 C는 $2x$ 몰 생성된다. 이때 물은 1 L이므로 $K = [\text{B}][\text{C}]^2 = x \times (2x)^2 = 4x^3 = 4 \times 10^{-6}$ 이고, $x=0.01 \text{ mol/L}$ 이다. 따라서 $[\text{B}]=0.01 \text{ mol/L}$, $[\text{C}]=0.02 \text{ mol/L}$ 이다.

06 일정한 온도의 밀폐된 1 L 용기에서 평형에 도달할 때까지 반응 전후 물질의 양적 관계는 다음과 같다.

	$2\text{NO}_2(g)$	$\text{N}_2\text{O}_4(g)$
초기 양(mol)	0.6	0
반응 양(mol)	-0.4	+0.2
평형 양(mol)	0.2	0.2

① 평형에 도달했을 때 $\text{NO}_2(g)$ 의 양은 $0.6-0.4=0.2(\text{mol})$ 이고 밀폐된 1 L 용기에서 일어나는 반응이므로 $\text{NO}_2(g)$ 의 농도는 0.2 mol/L이다.

② 평형에 도달했을 때 $\text{N}_2\text{O}_4(g)$ 의 농도는 0.2 mol/L이므로 주어진 온도에서 평형 상수(K)는 $\frac{[\text{N}_2\text{O}_4]}{[\text{NO}_2]^2} = \frac{0.2}{(0.2)^2} = 5$ 이다.

③ 정반응은 에너지를 방출하는 반응이므로 온도를 낮추면 정반응이 우세하게 진행되고 평형 상수(K)가 커진다.

④ 온도를 높이면 에너지를 흡수하는 역반응이 우세하게 진행되어 $\text{N}_2\text{O}_4(g)$ 의 농도가 감소한다.

⑤ 압력을 높이면 전체 기체 분자 수가 감소하는 방향으로 평형이 이동하므로 정반응이 우세하게 진행되어 $\text{N}_2\text{O}_4(g)$ 의 양(mol)이 증가한다.

07 $\text{NaOH}(aq)$ 을 넣으면 OH^- 이 용액 속 H^+ 과 중화 반응해 H^+ 의 농도가 감소한다. 따라서 역반응이 우세하게 진행되어 H^+ 의 농도가 증가하고, 용액의 색이 노란색으로 변한다.

예시답안 용액의 색이 노란색으로 변한다. $\text{NaOH}(aq)$ 을 넣으면 OH^- 이 용액 속 H^+ 과 중화 반응해 H^+ 의 농도가 감소하므로 역반응이 우세하게 진행되기 때문이다.

08 정반응은 전체 기체 분자 수가 증가하는 흡열 반응이다.
① 압력이 낮을수록 정반응이 우세하게 진행되어 수득률이 증가한다.

② 온도를 높이면 정반응이 우세하게 진행되므로 평형 상수(K)가 커진다.

③ 온도를 낮추면 에너지를 방출하는 역반응이 우세하게 진행된다.

④ 압력이 낮아지면 전체 기체 분자 수가 증가하는 정반응이 우세하게 진행된다.

⑤ 반응물인 $\text{SO}_3(g)$ 의 농도가 증가하면 정반응이 우세하게 진행되므로 생성물의 양(mol)이 증가한다.

09 주어진 반응은 온도가 낮을수록, 압력이 높을수록 반응의 수득률이 높아지므로 정반응은 에너지를 방출하는 발열 반응이고 전체 기체 분자 수가 감소한다.

ㄱ. 정반응이 진행됐을 때 전체 기체 분자 수가 감소하므로 $a+b > c$ 이다.

ㄴ. 평형 상수는 온도에만 영향을 받는다.

ㄷ. 발열 반응이므로 온도가 높을수록 역반응이 우세하게 진행되어 평형 상수가 작아진다.

10 정반응은 에너지를 방출하는 발열 반응이므로 운동 후 체온이 높아지면 반응은 역반응이 우세하게 진행된다.

예시답안 역반응이 우세하게 진행된다. 우리 몸이 운동 후 체온이 높아지면 반응은 에너지를 흡수하는 쪽으로 우세하게 진행되어 체내 산화 헤모글로빈의 양이 감소하기 때문이다.

11 **예시답안** [실험 과정] ① 시험관에 황산 구리(II) 수용액을 5 mL 넣는다.

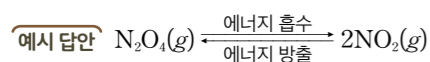
② 시험관에 진한 염산을 수용액의 색이 변할 때까지 넣는다.

③ 시험관을 얼음물이 들어 있는 비커에 넣은 후 색 변화를 관찰한다.

④ 시험관을 뜨거운 물이 들어 있는 비커에 넣은 후 색 변화를 관찰한다.

12 **예시답안** 공기 중의 산소는 폐를 통해 혈액 속으로 녹아들어 가서 산소 기체와 혈액 속에 녹아 있는 산소가 화학 평형을 이룬다. 이때 산소의 압력이 큰 산소 치료실에 들어가서 치료를 받으면 평형이 이동하여 혈액 속으로 산소가 많이 녹아들어 간다. 혈액에 녹아 있는 산소가 많아지면 유독 가스 중독의 치료 효과를 높일 수 있고, 상처 부위 회복이 더 활발히 이루어져 치료가 빠르게 이루어진다.

13 (1) 밀폐된 공간에 $N_2O_4(g)$ 가 유출되면 적갈색의 $NO_2(g)$ 가 생성되며 이 반응은 흡열 반응이다.



(2) 에너지를 흡수하는 흡열 반응이면 온도가 높아질수록 정반응이 우세하게 진행된다. 따라서 반응물의 농도는 감소하고 생성물의 농도는 증가해 평형 상수(K)가 커진다.

예시답안 $N_2O_4(g)$ 가 분해되어 $NO_2(g)$ 가 생성되는 반응은 흡열 반응으로 우주선 내부의 온도가 높아지면 $NO_2(g)$ 의 농도가 증가하여 평형 상수(K)는 커진다.

IV 역동적인 화학 반응

1 물의 자동 이온화와 pH

01 물의 자동 이온화와 몰농도

140 쪽 **물음**

(1) 온도가 일정할 때 K_w 는 일정한 값을 나타내므로 $[OH^-]$ 는 증가하고, $[H_3O^+]$ 는 감소한다.

(2) 온도가 일정할 때 K_w 는 일정한 값을 나타내므로 $[H_3O^+]$ 는 증가하고, $[OH^-]$ 는 감소한다.

141 쪽 **연습 해보기**

| 풀이 따라가기 |

① 5

② 0.125

③ 0.5

| 직접 해 보기 |

0.2 M | 설탕의 양은 $\frac{34.2 \text{ g}}{342 \text{ g/mol}} = 0.1 \text{ mol}$ 이므로, 설탕 수

용액의 농도는 $\frac{0.1 \text{ mol}}{0.5 \text{ L}} = 0.2 \text{ M}$ 이다.

141 쪽 **확인하기**

1 물의 자동 이온화

2 18 g | 필요한 포도당의 양은 $0.2 \text{ mol/L} \times 0.5 \text{ L} = 0.1 \text{ mol}$ 이므로 포도당 $0.1 \text{ mol} \times 180 \text{ g/mol} = 18 \text{ g}$ 이 필요하다.

소단원 마무리 | 143 쪽

◦ 창의력 키우기

예시답안 0 °C에서 K_w 값은 1.1×10^{-15} 이므로 물속 하이드록시드 이온의 농도는 $\sqrt{1.1 \times 10^{-15}} \text{ M} = 3.3 \times 10^{-8} \text{ M}$ 이고, 25 °C 물속 하이드록시드 이온의 농도는 $1.0 \times 10^{-7} \text{ M}$ 이다. 이처럼 온도가 높을수록 하이드록시드 이온의 농도가 커진다.

◦ 디지털 소양 키우기

예시답안 인터넷 홈페이지 ‘물사랑누리집’에 들어가 수질 검사를 신청하면 해당 지역 담당 공무원이 방문해 수돗물을 채수하여 수질 검사 기관에 의뢰하거나, 수질 검사원이 직접 방문하여 수질 검사를 해 준다.

서울, 인천(서구), 군산, 진주 등의 지역에서는 구청, 동행정복지센터 등 행정 기관을 통해 실내 공기질 측정기를 주민에게 무상 대여해 준다.

02 pH

145 쪽 **자료 읽기**

2 | 수소 이온 농도가 10 배 감소하면 pH는 1만큼 커지고, 수소 이온 농도가 100 배 감소하면 pH는 2만큼 커진다.

145 쪽 **연습 해보기**

| 풀이 따라가기 |

① 1.0×10^{-6}

② 14.00

③ 8.00

④ 1.0×10^{-8}

| 직접 해 보기 |

$[H^+] = 1.0 \times 10^{-5} \text{ M}$, $pOH = 9.00$, $[OH^-] = 1.0 \times 10^{-9} \text{ M}$

145 쪽 **확인하기**

1 pH

2 작고, 크다

소단원 마무리 | 147 쪽

◦ 창의력 키우기

예시답안 용액 속에는 물의 자동 이온화로 생성된 하이드록시드 이온이 $1.0 \times 10^{-7} \text{ M}$ 만큼 존재하므로 계속 묶어도 수용액의 액성은 염기성이 되지 않고 거의 중성을 나타낸다.

◦ 디지털 소양 키우기

예시답안 • 요산도 검사: 소변의 산성, 알칼리성 정도를 확인한다.

• 예측되는 질병

– 알칼리성뇨: 급만성 신질환, 대사성 및 호흡성 알칼리혈증, 구토, 요로 감염

– 산성뇨: 대사성 및 호흡성 산혈증, 심한 설사, 고열

중단원 마무리 | 149 쪽~151 쪽

- ① 하이드록시드 이온(H_3O^+) ② 수산화 이온(OH^-)
- ③ 1.0×10^{-14} ④ 산성 ⑤ 염기성 ⑥ 1
- ⑦ 표준 용액 ⑧ 수소 이온(H^+) ⑨ pOH
- ⑩ < ⑪ > ⑫ 14.00

01 ④ 02 2.12 g 03 ③ 04 A-ㄱ, B-ㄷ

05 ② 06 ② 07 100 g/mol 08 ⑤

09 해설 참조 10 ③ 11 해설 참조

01 ① 매우 적은 양의 물 분자가 H^+ 을 주고받는다.

② 25 °C에서 $K_w = 1.0 \times 10^{-14}$ 이다.

③ 수용액의 액성이 염기성일 때 $[H_3O^+] < [OH^-]$ 이다.

④ 온도가 일정할 때 물의 이온화 상수(K_w)는 일정한 값을 갖는다.

⑤ 온도가 일정할 때 pH가 증가하면 pOH는 감소하며, 물의 이온화 상수(K_w)는 항상 일정하다.

02 0.1 M 탄산 나트륨(Na_2CO_3) 수용액 200 mL를 만들기 위해 필요한 탄산 나트륨의 양은 0.02 몰이다. 탄산 나트륨의 몰질량을 구하면 $23 \times 2 + 12 + 16 \times 3 = 106 \text{ g/mol}$ 이므로 필요한 탄산 나트륨의 질량은 $0.02 \text{ mol} \times 106 \text{ g/mol} = 2.12 \text{ g}$ 이다.

03 ㄱ. 0.1 M 염화 나트륨 수용액 100 mL에 들어 있는 염화 나트륨의 양은 $0.1 \text{ mol/L} \times 0.1 \text{ L} = 0.01 \text{ mol}$ 이다. ㄴ. 염화 나트륨의 몰질량은 58.5 g/mol이므로 필요한 염화 나트륨의 질량은 $0.01 \text{ mol} \times 58.5 \text{ g/mol} = 0.585 \text{ g}$ 이다.

ㄷ. 이 염화 나트륨 수용액에 증류수를 첨가하여 수용액의 부피가 200 mL가 되면 용질은 0.01 몰로 일정하고 부피만 2 배가 되었으므로 농도는 처음 농도의 절반인 0.05 M가 된다.

04 A는 비커(ㄱ), B는 부피 플라스크(ㄷ)이다. ㄴ의 눈금 실린더는 액체의 부피를 측정하는 데 사용한다.

05 수산화 나트륨의 몰질량은 40 g/mol이므로 수산화 나트륨 10 g은 0.25 몰이다. 수용액 0.5 L에 0.25 몰의 수산화 나트륨이 녹아 있으므로 수산화 나트륨 수용액의 농도는 $\frac{0.25 \text{ mol}}{0.5 \text{ L}} = 0.5 \text{ M}$ 이다.

- 06 ① $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$ 이므로 수소 이온의 농도가 클수록 pH는 작아지고 산성이 커진다.
 ② 온도가 일정할 때 물의 이온화 상수, 즉 $[\text{H}^+] \times [\text{OH}^-]$ 는 일정하므로 수용액의 H^+ 농도가 클수록 OH^- 의 농도는 작고 pOH는 크다.
 ③ pH 2.0인 염산에 증류수를 넣으면 H^+ 농도가 묽어지므로 pH는 커진다.
 ④ 온도가 일정할 때 $\text{pH} + \text{pOH}$ 값은 일정하므로 pH가 커지면 pOH는 작아진다.
 ⑤ pOH 5.0인 탄산수소 나트륨 수용액의 액성은 염기성이므로 $[\text{H}^+]$ 는 $[\text{OH}^-]$ 보다 작다.
- 07 pH가 2.0이므로 수용액 속 $[\text{H}^+] = 1.0 \times 10^{-2} \text{ M}$ 이다. 산 HA는 물에 녹아 완전히 이온화하므로 HA 0.1 g을 물에 녹여 수용액 100 mL를 만들었을 때 수용액의 농도가 $1.0 \times 10^{-2} \text{ M}$ 이다. 따라서 HA 0.1 g은 $1.0 \times 10^{-3} \text{ mol}$ 이므로 HA의 몰질량은 100 g/mol이다.
- 08 ㄱ. (가)의 농도는 2 M이므로 수용액 0.2 L에는 0.4 몰의 NaOH이 들어 있다.
 ㄴ. (가)는 (나)보다 더 진한 염기 수용액이므로 pH 는 (가) > (나)이다.
 ㄷ. (가)에 들어 있는 NaOH은 0.4 몰이고, (나)에 들어 있는 NaOH은 0.5 몰이다. 두 수용액을 합한 (다)에는 0.9 몰의 NaOH이 들어 있고 용액의 부피는 1 L이므로 (다)의 농도는 0.9 M이다. 따라서 $\frac{(\text{나})\text{의 몰농도}}{(\text{다})\text{의 몰농도}} = \frac{1}{0.9} = \frac{10}{9}$ 이다.
- 09 **예시답안** 25 °C 수용액에서 $\text{pH} + \text{pOH} = 14.0$ 이다. 따라서 pH가 4.0일 때 $\text{pOH} = 10.0$, pH가 9.0일 때 $\text{pOH} = 5.0$ 이다. $\text{pOH} = -\log[\text{OH}^-]$ 이므로 각 수용액의 $[\text{OH}^-]$ 는 $1.0 \times 10^{-10} \text{ M}$, $1.0 \times 10^{-5} \text{ M}$ 이다.
- 10 ① pH가 가장 큰 용액 D가 가장 많이 희석된 상태이다.
 ② 용액 A의 $[\text{H}^+]$ 는 $1.0 \times 10^{-2} \text{ M}$ 이고, 용액 B의 $[\text{H}^+]$ 는 $1.0 \times 10^{-4} \text{ M}$ 이므로 $[\text{H}^+]$ 는 용액 A가 용액 B의 100 배이다.
 ③ $\text{pH} + \text{pOH} = 14.0$ 이므로, 용액 B의 $\text{pOH} = 10.0$, 용액 C의 $\text{pOH} = 9.0$ 이다. 따라서 용액 B의 $[\text{OH}^-]$ 는 $1.0 \times 10^{-10} \text{ M}$ 이고, 용액 C의 $[\text{OH}^-]$ 는 $1.0 \times 10^{-9} \text{ M}$ 이므로 $[\text{OH}^-]$ 는 용액 C가 용액 B의 10 배이다.

- ④ 온도가 일정하므로 K_w 는 일정한 값을 갖는다. 따라서 용액 A에서 용액 D로 갈수록 $[\text{H}^+]$ 는 감소하고, $[\text{OH}^-]$ 는 증가한다.
 ⑤ pH가 6.0인 용액 D를 희석해도 물의 자동 이온화로 생성된 H^+ 이 존재하므로 염기성 수용액이 될 수 없다.

11 **예시답안** 주어진 반응의 평형 상수식은 $K = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$ 이고, 염산을 첨가하여 pH가 3.0에서 2.0로 감소하면 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 는 10 배가 된다. 온도가 일정할 때 평형 상수는 일정하므로 $\frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$ 는 $\frac{1}{10}$ 로 감소한다.

2 중화 반응

01 중화 반응의 양적 관계

154 쪽 **물음**
 염기성 | 몰농도가 같을 때 염기인 수산화 나트륨 수용액의 부피가 더 크므로 혼합 용액은 염기성을 띤다.

154 쪽 **확인하기**
 $1 \text{ H}^+(aq) + \text{OH}^-(aq) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(l)$
 2 염

156 쪽 **자료 읽기**
 0.01 | 산과 염기의 반응에서 생성되는 물의 양(mol)은 반응한 수소 이온이나 수산화 이온의 양(mol)과 같다.

156 쪽 **자료 읽기**
 0.02 | 황산 1 몰이 이온화하면 수소 이온 2 몰을 내놓는다.

157 쪽 **연습 해보기**

| 풀이 따라가기 |

- ① 0.2
- ② 200

| 직접 해 보기 |

200 mL | $2 \times 0.2 \text{ mol/L} \times 0.1 \text{ L} = 2 \times 0.1 \text{ mol/L} \times x \text{ L}$, $x = 0.2$ 이므로 필요한 $\text{Ba}(\text{OH})_2(aq)$ 의 부피는 200 mL이다.

157 쪽 **확인하기**

1 : 1

20.02 몰 | $1 \times 0.2 \text{ mol/L} \times 0.1 \text{ L} = 0.02 \text{ mol}$

소단원 마무리

157 쪽

◦ 창의력 키우기

예시답안 위에서 분비된 염산은 음식을 소화하기 위해 작용한다. 위에서 음식물과 섞인 염산은 작은창자로 내려가면서 염기성을 띠는 소화액과 중화 반응을 하므로 작은창자에서는 산성을 띠지 않는다.

◦ 디지털 소양 키우기

도움말 스마트폰 애플리케이션에서 중화 반응 가상 실험을 실행한 후 산과 염기, 지시약의 종류를 선택하고, 스포이트로 산과 염기를 넣으면서 알짜 이온, 구경꾼 이온, 양적 관계를 확인한다. 또 지시약을 바꾸어 가면서 액성에 따른 색 변화를 확인한다.

02 중화 적정

소단원 마무리

161 쪽

◦ 창의력 키우기

예시답안 아세트산 함량이 다른 두 가지 식초 일정량을 용기에 담은 후 크기가 같은 금속 마그네슘을 넣었을 때 기포가 활발하게 발생하는 쪽이 아세트산 함량이 크다.

◦ 디지털 소양 키우기

예시답안 수산화 나트륨으로 중화한 후 세척하여 염산이 남지 않게 한다.

중단원 마무리

163 쪽~165 쪽

- ① 수소 이온(H^+) ② 수산화 이온(OH^-) ③ 0
- ④ 0 ⑤ 0 ⑥ 1 ⑦ 0 ⑧ 구경꾼 이온
- ⑨ $\text{H}_2\text{O}(l)$ ⑩ 중성 ⑪ 중화 적정 ⑫ 지시약

- 01 ③ 02 ⑤ 03 ② 04 ①
- 05 해설 참조 06 ④ 07 (1) (나) (2) (라)
- 08 ③ 09 해설 참조

- 01 학생 B: 산 수용액에 염기 수용액을 넣으면 혼합 수용액의 H^+ 농도는 감소한다.
- 02 산과 염기의 중화 반응에서 생성되는 물의 양(mol)은 반응하는 수소 이온의 양(mol)과 같다.
- 03 산과 염기의 반응에서 수소 이온과 수산화 이온은 같은 양(mol)만큼 반응한다. 따라서 ①, ③ 수용액은 산성을, ④, ⑤ 수용액은 중성을, ② 수용액은 염기성을 띤다. 25 °C에서 산성 용액의 pH는 7.0보다 작고, 중성 용액의 pH는 7.0이며, 염기성 용액의 pH는 7.0보다 크다.
- 04 (가)에서 C가 반응하고, (나)에서 B가 반응하므로 중화 반응에서 B, C는 알짜 이온, A, D는 구경꾼 이온이다. (가)에서는 (B, D) 이온이 있는 용액이 과량이므로 $[\text{D}] = [\text{A}] + [\text{B}]$ 이고, (나)에서는 (A, C) 이온이 있는 용액이 과량이므로 $[\text{A}] = [\text{C}] + [\text{D}]$ 이다.
- 05 (나) → (다)에서 $\text{HCl}(aq)$ 의 부피가 일정하고 $\text{NaOH}(aq)$ 의 부피가 2 배가 될 때 전체 음이온의 양이 2 배가 되므로 (다)는 염기성 용액이다. 이때 증가한 음이온의 양 0.01 몰은 $\text{NaOH}(aq)$ 50 mL에 들어 있는 OH^- 의 양이므로 $\text{NaOH}(aq)$ 50 mL에 들어 있는 Na^+ 의 양은 0.01 몰이다. (다)에서 전체 음이온의 양은 Cl^- 과 중화 반응 후 남은 OH^- 의 양을 합한 것이다. (가)는 $\text{HCl}(aq)$ 이 과량인 산성 용액으로 (가)에 들어 있는 음이온은 Cl^- 이며 그 양이 0.01 몰이므로 $\text{HCl}(aq)$ 100 mL에 들어 있는 Cl^- 의 양은 0.01 몰이다. (나)는 $\text{NaOH}(aq)$ 이 과량인 염기성 용액이다.
예시답안 7 : 4, (가), (나), (다)를 모두 혼합하면 $\text{NaOH}(aq)$ 의 부피는 175 mL이고, $\text{HCl}(aq)$ 의 부피는 200 mL이다. $\text{NaOH}(aq)$ 50 mL에 들어 있는 Na^+ 의 양은 0.01 몰이므로 Na^+ 의 양은 0.035 몰이고, $\text{HCl}(aq)$ 100 mL에 들어 있는 Cl^- 의 양은 0.01 몰이므로 Cl^- 의 양은 0.02 몰이다. 따라서 Na^+ 과 Cl^- 의 몰비는 7 : 4이다.
- 06 ① 혼합 용액 속에 수소 이온이 존재하므로 수용액의 액성은 산성이다.
 ② 반응에 참여하지 않는 Na^+ , SO_4^{2-} 은 구경꾼 이온이다.
 ③ 알짜 이온은 H^+ , OH^- 이고 알짜 이온 반응식은 $\text{H}^+ + \text{OH}^- \longrightarrow \text{H}_2\text{O}$ 이다.

- ④ 생성된 물의 양(mol)은 반응한 NaOH의 양(mol)과 같다.
 ⑤ 혼합 전 황산과 수산화 나트륨의 양(mol)은 같고, 황산은 2가 산이므로 용액 속에 수소 이온이 남아 있다.

07 특정한 부피의 표준 용액을 만드는 데 필요한 실험 기구는 부피 플라스크(나)이고, 표준 용액을 넣어 용액의 부피를 연속적으로 측정하는 실험 기구는 뷰렛(라)이다.

08 (다) 수용액 속 아세트산의 양

$$= a \text{ mol/L} \times x \cdot 10^{-3} \text{ L} \times \frac{1}{5}$$

중화점까지 넣어 준 수산화 나트륨의 양

$$= 0.1 \text{ mol/L} \times y \cdot 10^{-3} \text{ L}$$

09 예시 답안

1 M, $1 \times x \text{ mol/L} \times 0.01 \text{ L} = 1 \times 0.4 \text{ mol/L} \times 0.025 \text{ L}$
 이므로 $x = 1$ 이다.

대단원 마무리

166 쪽~169 쪽

- ① 용질의 양(mol) ② 표준 용액 ③ 산성 ④ 염기성
 ⑤ 염 ⑥ 수소 이온(H⁺)
 ⑦ 수산화 이온(OH⁻) ⑧ 지시약

- 01 ④ 02 해설 참조 03 ④ 04 ⑤
 05 해설 참조 06 1.5 07 해설 참조 08 ③
 09 (1) 0.5 (2) 50 mL

과학 역량 키우기

- 10 (1) 해설 참조 (2) 해설 참조
 11 (1) 해설 참조 (2) 해설 참조 (3) 해설 참조
 12 (1) 해설 참조 (2) 해설 참조

- 01 ㄱ. (나)의 묽힌 염산의 pH는 3.0이므로 수소 이온의 농도는 $1.0 \times 10^{-3} \text{ M}$ 이다. 수용액의 부피는 0.5 L이므로 HCl의 양은 $5 \times 10^{-4} \text{ mol}$ 이다.
 ㄴ. (나)에서 증류수를 첨가하면 염산의 농도가 묽어지므로 pH는 커진다.
 ㄷ. K_w 값을 알면 pH+pOH 값을 이용하여 pOH를 구할 수 있다.

02 예시 답안 (가) $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$ 이므로 pH 5.0의 수소 이온 농도는 $1.0 \times 10^{-5} \text{ M}$ 이고, pH 4.0의 수소 이온 농도는 $1.0 \times 10^{-4} \text{ M}$ 이다.

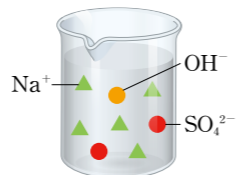
(나) $\frac{1.0 \times 10^{-4}}{1.0 \times 10^{-5}} = 10$ 이므로 pH 4.0일 때의 수소 이온 농도는 pH 5.0일 때의 수소 이온 농도의 10 배이다.

03 ㄱ. X(aq)의 몰농도는 0.1 M이고 수용액의 부피는 0.1 L이므로 용질의 양은 0.01 몰이다. 용질의 질량은 10 g이므로 X의 몰질량은 1000 g/mol이다.

ㄴ. Y(aq)의 몰농도는 0.2 M이고 수용액의 부피는 0.2 L이므로 용질의 양은 0.04 몰이다. 용질 Y의 몰질량은 20 g/mol이므로 사용된 Y의 질량은 0.8 g이다.

ㄷ. 수용액 속 용질의 양은 X가 0.01 몰, Y가 0.04 몰이므로 $\frac{\text{X의 양(mol)}}{\text{Y의 양(mol)}} = \frac{0.01}{0.04} = \frac{1}{4}$ 이다.

04 ㄱ, ㄴ. 용액 중에 존재하는 양이온의 총 전하량=음이온의 총 전하량이므로 용액 속 각 이온은 다음과 같다.



ㄷ. 황산 수용액 10 mL 속 황산 이온의 양은 $2n$ 이고, 수산화 나트륨 수용액 15 mL 속 나트륨 이온의 양은 $5n$ 이다. 따라서 황산 수용액 20 mL 속 황산 이온의 양은 $4n$, 수소 이온의 양은 $8n$ 이므로 필요한 수산화 이온의 양은 $8n$ 이다. 즉, 다음과 같은 비례 관계가 성립하므로 필요한 NaOH(aq)의 부피는 24 mL이다.

$$5n : 15 \text{ mL} = 8n : x, x = 24 \text{ mL}$$

05 (다)의 혼합 용액 중에 들어 있는 이온 중 ●는 HA(aq)의 구경꾼 이온이므로 A⁻이다. ■는 BOH(aq)의 구경꾼 이온인 B⁺이고, ▲는 알짜 이온인 OH⁻이다. 혼합 용액 속에 구경꾼 이온인 B⁺(■)가 5 개 존재하므로, (나) 용액에도 B⁺(■) 5 개와 OH⁻(▲) 5 개가 존재할 것이다.

예시 답안



06 (나)의 혼합 용액에는 구경꾼 이온만 존재하므로 중성 용액이다. 따라서 NaOH(aq) 10 mL 속 양이온(Na⁺) 양(상댓값)은 2이고, HCl(aq) 20 mL 속 음이온(Cl⁻) 양(상댓값)은 2이다.

(가)의 혼합 용액 속 음이온의 양 x 는 과량으로 들어 있는 NaOH(aq) 속 양이온의 양과 같으므로 2이고, (다)의 혼합 용액 속 음이온의 양 y 는 과량으로 들어 있는 HCl(aq) 속 음이온의 양과 같으므로 3이다. 따라서

$$\frac{y}{x} = 1.5 \text{이다.}$$

07 예시 답안 (가) 0.1 M, (나) 0.15 M
 (가) 수산화 나트륨 수용액의 농도는

$$\frac{\frac{1}{40} \text{ mol}}{0.25 \text{ L}} = 0.1 \text{ M이다.}$$

(나) 황산 수용액의 농도를 x 라고 하면
 $1 \times 0.1 \times 0.03 \text{ L} = 2 \times x \times 0.01 \text{ L}$
 $x = 0.15 \text{ M이다.}$

08 ㄱ. ㉠은 붉은색이다.

ㄴ. 식초 속 아세트산의 몰농도를 $x \text{ M}$ 라 하면 중화점에서 식초 속 수소 이온 양=수산화 이온 양이다.

$$\frac{x}{10} \text{ mol/L} \times 0.02 \text{ L} = 0.05 \text{ mol/L} \times 0.04 \text{ L}$$

따라서 식초 속 아세트산의 몰농도 $x = 1 \text{ M}$ 이다.

ㄷ. 표준 용액은 뷰렛에 넣는다.

09 (1) (가)와 (나)에 들어 있는 NaOH의 양(mol)은 같으므로 $a \text{ mol/L} \times 0.02 \text{ L} = 0.1 \text{ mol/L} \times 0.1 \text{ L}$,
 $a = 0.5$ 이다.

(2) 황산 수용액의 부피를 $x \text{ mL}$ 라고 하면,

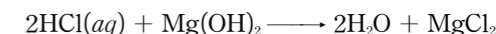
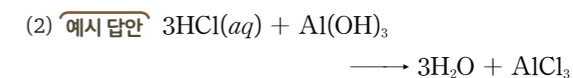
$$1 \times 0.5 \text{ mol/L} \times 0.02 \text{ L} = 2 \times 0.1 \text{ mol/L} \times \frac{x}{1000} \text{ L}$$

$x = 50$ 이다.

10 (1) 예시 답안 포도당 0.05 몰에 해당하는 질량을 알아야 하므로 포도당의 몰질량(180 g/mol)을 조사해야 한다. 포도당 0.05몰의 질량은 9 g이다.

(2) 예시 답안 0.05 몰의 포도당을 이용하여 0.1 M 포도당 수용액을 만들려면 수용액의 부피가 500 mL가 되어야 한다. 따라서 필요한 부피 플라스크의 용량은 500 mL이다.

11 (1) 예시 답안 수산화 알루미늄(Al(OH)₃), 수산화 마그네슘(Mg(OH)₂), 탄산수소 나트륨(NaHCO₃) 등으로 모두 염기성을 띤다.



염기성을 띤 제산제가 위산을 중화해 속 쓰림을 가라앉게 한다.

(3) 예시 답안 • 달걀 껍데기의 성분인 탄산 칼슘은 산과 반응하는 염기성 물질이다. 달걀 껍데기를 깨끗이 씻어 말린 후 가루로 만들어 볶으면 제산제로 활용할 수 있다.

• 검게 변한 바나나에 들어 있는 칼륨이 염기를 만들어 내 속 쓰림을 가라앉게 할 수 있다.



12 (1) 산성 용액에서 [H⁺] > [OH⁻]이고, 염기성 용액에서 [H⁺] < [OH⁻]이다.

예시 답안 물의 pH는 8.8 이상이므로 수소 이온의 농도보다 수산화 이온의 농도가 더 큰 염기성 수용액이다.

(2) 예시 답안 사성암 바위틈에서 흘러나오는 물의 pH가 8.8 이상인 것은 물이 바위틈을 지나면서 암석 성분 중 물에 녹아 염기성을 띤 물질이 녹은 것이 그 원인으로 예상된다.

실제 산업에서 마시는 알칼리수를 제조할 때 칼슘, 칼륨, 마그네슘이 포함된 미네랄 염을 첨가하는데, 이러한 미네랄 염은 물에 소량 녹아 약한 염기성을 띤다. 생수로 시판되는 약알칼리수 역시 다양한 미네랄을 포함한 알칼리 암반을 지나 만들어지는 암반 대수층의 물로 pH가 7보다 큰 약한 염기성을 띤다.

ㄱ	
가수	156
가역 반응	98
결합각	74
계면 활성제	92
공유 전자쌍	58, 70
구경꾼 이온	154
굽은 형	77
극성 공유 결합	61
극성 분자	78
ㄷ	
다이크로뮴산 칼륨	114
단일 결합	70
대전체	81
동적 평형	100
ㄹ	
루이스	69
루이스 구조	70
루이스 전자점식	69
르샤틀리에	123
르샤틀리에 원리	123
ㅁ	
물	18
물농도	102, 141
물질량	20
무극성 공유 결합	61
무극성 분자	78
물의 이온화 상수	139
물의 자동 이온화	139
ㅂ	
반응 지수	107
부분 전하	61
뷰렛	158
비가역 반응	98
비공유 전자쌍	70

ㅅ	
산성 용액	140
산의 가수	156
산화 헤모글로빈	124
삼각뿔	77
삼중 결합	70
상평형	100
석회 동굴	99
선형	73, 76
수득률	125
수소 이온 농도 지수	144
시트르산	33
쌍극자	62
쌍극자 모멘트	62
ㅇ	
아보가드로	18
아보가드로 법칙	22
아보가드로수	18, 26
IUPAC	21, 26
아자이드화 나트륨	36
알짜 이온	154
알짜 이온 반응식	154
양적 관계	36
역반응	98
염	154
염기성 용액	140
염기의 가수	156
염화 코발트(II)	120
옥텟 규칙	70
원자가 전자	69
이중 결합	70
ㅈ	
전기음성도	58
전자쌍 반발 이론	73
전자쌍 사이의 반발력	77
정반응	98

정사면체	73, 76
중성 용액	140
중화 적정	158
중화점	158
ㅊ	
촉매	125
ㅋ	
크로뮴산 칼륨	114
ㄴ	
탄산수소 나트륨	33
탄소 포집·활용·저장(CCUS) 기술	16, 170
ㅇ	
퍼센트 농도	141
평면 삼각형	73, 76
평형 상수	104
폴링	58, 64
표준 용액	142
pH	144
pH 시험지	144
pH 측정기	144
pOH	144
ㅎ	
하이드라진	48
헤모글로빈	124
헥세인	82
화학 반응	31
화학 반응식	31
화학 평형	101
화학 평형 이동	113

Ⅰ 화학의 언어

- ▶ 12 쪽(텐트): 게이이미지코리아
- ▶ 10 쪽~11 쪽(배경 이미지), 13 쪽(알약, 유리창, 옷, 스마트 기기), 14 쪽(비료, 세정제, 아이스크림 공장, 합성 섬유, 우주복, 운동복), 15 쪽(철의 제련, 고층 건물, 의약품 연구, 알약, 백신), 17 쪽(노트북, 비닐하우스), 18 쪽(사탕, 달걀, 연필), 19 쪽(탄소), 23 쪽(스마트폰, 벽), 30 쪽(햄버거), 36 쪽(에어백): 셔터스톡
- ▶ 48 쪽(다누리호 발사, 다누리호가 찍은 지구와 달의 사진): 연합뉴스
- ▶ 28 쪽(문제 03번 지문): 이재윤, 「기후 위기 거둬 경고하며 신속 대응 촉구한 IPCC 보고서」, 『연합뉴스』, 2023. 3. 21.
- ▶ 47 쪽(문제 11번 지문): 한국해양과학기술원, <https://www.kiost.ac.kr>

Ⅱ 물질의 구조와 성질

- ▶ 50 쪽~51 쪽(배경 이미지), 57 쪽(워싱턴 기념탑 꼭대기의 알루미늄 장식): 게이이미지코리아
- ▶ 52 쪽(바다), 53 쪽(플라스틱 고래, 소금, 석영, 탁자), 57 쪽(알루미늄 제품, 워싱턴 기념탑), 68 쪽(장난감 블록), 72 쪽(다리), 81 쪽(전자레인지, 볶음밥, 스파게티, 빵, 탁자), 83 쪽(커피, 원두), 92 쪽(에멀션 화장품, 마요네즈, 비누): 셔터스톡
- ▶ 58 쪽(전기음성도): Rumble 외, 『CRC Handbook of Chemistry and Physics(104th ed.)』, CRC Press, 2023.
- ▶ 56 쪽(염화 나트륨의 전기 전도성): Silberberg 외, 『Silberberg & Amateis Chemistry』, McGraw Hill Education, 2023.
- ▶ 60 쪽(결합의 극성을 알아보는 프로그램 화면): 한국과학창의재단 지능형 과학실 ON, <https://science-on.kofac.re.kr/body/archive/793/contents.do>

Ⅲ 화학 평형

- ▶ 94 쪽~95 쪽(배경 이미지), 99 쪽(석회 동굴, 암모니아 제조 공장, 가스레인지), 102 쪽(탄산수), 106 쪽(주간 날씨), 108 쪽(로켓 1, 2, 행성, 우주인), 112 쪽(고지대 원주민), 120 쪽(열 변색 컵), 133 쪽(고압 산소 치료실): 셔터스톡
- ▶ 124 쪽(수국): 이미지투데이
- ▶ 148 쪽(뮤탄스군): 게이이미지코리아
- ▶ 136 쪽~137 쪽(레몬), 138 쪽(토양 pH 측정), 139 쪽(물), 140 쪽(용액이 담긴 비커), 148 쪽(과일, 음료수, 사탕, 총치), 152 쪽(트랙터), 158 쪽(주스), 161 쪽(굴 통조림): 셔터스톡
- ▶ 170 쪽(기후 위기 전망): 기후위기적응정보포털, <https://kaccc.kei.re.kr>

부록

- ▶ 179 쪽(노트북), 205 쪽(달걀 껍데기, 바나나): 셔터스톡
- ▶ 178 쪽(이미지): 클립아트코리아
- ▶ 176 쪽~177 쪽(GHS 그림문자): 한국산업안전공단
- ▶ 173 쪽(단위와 기본 상수): 한국표준과학연구원, 『국제단위계(제9 판)』, 한국표준과학연구원, 2019. Rumble 외, 『CRC Handbook of Chemistry and Physics(104th ed.)』, CRC Press, 2023.
- ▶ 176 쪽~177 쪽(주요 시약별 주의 사항): 한국산업안전보건공단 화학물질정보, <https://msds.kosha.or.kr> 교육부, 『학교 화학 약품 안전 관리 매뉴얼(중등용)』, 한국과학창의재단, 2016.
- ▶ 182 쪽~183 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.

구성과 특징

- 4 쪽(콘텐츠 목록) | <https://qr.mirae-n.com/c/3b2qn2933p>

I 화학의 언어

- 23 쪽(물 계산기) | <https://qr.mirae-n.com/v/l9k4qsq4x5>
- 24 쪽(다양한 물질의 물질량 탐색하기) | <https://qr.mirae-n.com/v/z9glv9wj5w>
- 38 쪽(화학 반응의 양적 관계를 확인하는 실험을 계획하고 수행하기) | <https://qr.mirae-n.com/v/93200ov532>

II 물질의 구조와 성질

- 54 쪽(물의 전기 분해 실험하기) | <https://qr.mirae-n.com/v/886o191wu4>
- 60 쪽(공유 전자쌍의 치우침 확인하기) | <https://qr.mirae-n.com/v/91h60t00bo>
- 74 쪽(소프트웨어를 활용해 분자 구조 모델링하기) | <https://qr.mirae-n.com/v/rj4mt40h71>
- 79 쪽(분자의 극성 확인하기) | <https://qr.mirae-n.com/v/l2q1m9qn85>
- 80 쪽(극성 분자와 무극성 분자의 전기적 성질 비교하기) | <https://qr.mirae-n.com/v/z6o1khrupw>
- 82 쪽(분자의 극성에 따른 용해성 알아보기) | <https://qr.mirae-n.com/v/loderxv905>

III 화학 평형

- 97 쪽(황산 구리(II)와 설탕의 변화 관찰하기) | <https://qr.mirae-n.com/v/u79r977y98>
- 100 쪽(가역 반응에서 동적 평형 상태 해석하기) | <https://qr.mirae-n.com/v/bcxa65o6f8>
- 114 쪽(농도 변화에 따른 화학 평형 이동 실험하기) | <https://qr.mirae-n.com/v/4th1o5p710>
- 117 쪽(압력 변화에 따른 화학 평형 이동 실험하기) | <https://qr.mirae-n.com/v/9vd5jy38up>
- 120 쪽(온도 변화에 따른 화학 평형 이동 실험하기) | <https://qr.mirae-n.com/v/d6j9h6w2b0>

IV 역동적인 화학 반응

- 142 쪽(0.1 M 표준 용액 만들기) | <https://qr.mirae-n.com/v/5xc81f94sp>
- 146 쪽(강산 수용액을 희석할 때 pH 변화 측정하기) | <https://qr.mirae-n.com/v/d55v9l992t>
- 153 쪽(산과 염기의 반응 모형 해석하기) | <https://qr.mirae-n.com/v/t2z70u5xyq>
- 155 쪽(산과 염기의 반응에서 양적 관계 알아보기) | <https://qr.mirae-n.com/v/4j6p59554j>
- 159 쪽(식초 속 아세트산 함량 구하기) | <https://qr.mirae-n.com/v/5qzuu72xgv>
- 162 쪽(커리어넷) | <https://www.career.go.kr>

집필진	약력
정대홍 (집필진 대표)	(현) 서울대학교 화학교육과 교수 서울대학교 사범대학 화학교육과 졸업, 서울대학교 대학원 화학교육과 졸업, 서울대학교 대학원 화학교육과 박사
성숙경	(현) 창덕여자고등학교 교사 서울대학교 사범대학 화학교육과 졸업, 서울대학교 대학원 화학교육과 졸업, 한국교원대학교 대학원 화학교육과 박사
김혜경	(현) 당곡고등학교 교사 서울대학교 사범대학 화학교육과 졸업, 서울대학교 대학원 화학교육과 졸업
박수연	(현) 성수고등학교 교사 서울대학교 사범대학 화학교육과 졸업, 서울대학교 대학원 화학교육과 졸업
이지아	(현) 세종과학고등학교 교사 서울대학교 사범대학 화학교육과 졸업, 서울대학교 대학원 화학과 졸업
장혜진	(현) 강원대학교 과학교육학부 부교수 서울대학교 사범대학 화학교육과 졸업, 서울대학교 대학원 과학교육과 졸업, 서울대학교 대학원 과학교육과 박사
조민진	(현) 은평고등학교 교사 서울대학교 사범대학 화학교육과 졸업, 서울대학교 대학원 화학교육과 졸업

단원별 집필진

I 화학의 언어	1. 생활 속 화학과 물질의 양	정대홍, 조민진
	2. 화학 반응식	성숙경
II 물질의 구조와 성질	1. 화학 결합과 결합의 극성	성숙경
	2. 분자의 구조와 성질	장혜진
III 화학 평형	1. 화학 평형	이지아
	2. 화학 평형 이동	김혜경
IV 역동적인 화학 반응	1. 물의 자동 이온화와 pH	이지아
	2. 중화 반응	박수연

검정심의회

위원장

간사

연구위원

검정위원

한국과학창의재단

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

교육부의 위탁을 받아 한국과학창의재단이 검정 심사를 하였음.

고등학교 화학

초판 발행	2025. 3. 1.	정가	원
지은이	정대홍 외 6인		
발행인	(주)미래엔(서울특별시 서초구 신반포로 321)		
인쇄인	(주)미래엔(서울특별시 서초구 신반포로 321)		

이 교과서의 본문 용지는 우수 재활용 제품 인증을 받은 재활용 종이를 사용하였습니다.

교과서에 대한 문의 사항이나 의견이 있으신 분은 '교과서민원바로처리센터 (전화 1566-8572, www.textbook114.com 또는 www.교과서114.com)'에 문의하여 주시기 바랍니다.

이 도서에 게재된 저작물에 대한 보상금은 문화체육관광부 장관이 정하는 기준에 의거 시단법인 한국문학예술저작권협회(전화 02-2608-2800, www.kolaa.kr)에서 저작재산권자에게 지급합니다.

내용 관련 문의 (주)미래엔 과학팀 전화 1800-8890 전송 02-541-8150
개별 구입 문의 mall.mirae-n.com(미래엔 도서몰) 전화 1800-8890